道路橋床版の
維持管理マニュアル

2012 年 6 月

公益社団法人 土 木 学 会

鋼構造委員会
道路橋床版の維持管理評価に関する検討小委員会

Manual for Maintenance of Highway Bridge Decks

June, 2012

Published by
Sub-committee on Evaluation for Maintenance of
Highway Bridge Decks

Committee on Steel Structures
Japan Society of Civil Engineers

序

土木学会鋼構造委員会では，平成 9 年 10 月に活動開始した「鋼橋床版の調査研究小委員会」（松井繁之委員長）を皮切りに，鋼橋の床版に関する委員会（通称，床版委員会）を継続してきており，今期はその第 4 期の委員会活動にあたる．この間，RC 床版やそれに変わる新規床版，また RC 床版を種々の工法で補修した床版を対象にした輪荷重試験を中心とした研究や，あらたな長支間床版としての PC 床版，合成床版の開発や性能評価，さらには鋼床版の疲労損傷についての研究など，テーマを変えつつ現在に至っている．

今期の委員会では，以前から問題となっていたコンクリート系床版の維持補修関連の研究課題を対象とした．おりしも，県や市町村への社会資本の維持管理計画をまとめるタイミングと重なり，点検や診断，また LCC といった単語の重みを感じる時期と重なっているように感じている．

床版は，コンクリート橋，鋼橋の両方に関係し，輪荷重を直接受ける構造部位であり，過載荷や衝撃荷重など，設計で考える以上の荷重を受ける部材であり，その損傷事例も数多く報告されている．床版は橋梁の部材の中で最も損傷が生じる部材であるとの報告もなされている．したがって，社会資本の維持管理計画の中でも，もっとも重要な位置にあるともいえる．

本「道路橋床板の維持管理マニュアル」では，点検・調査の方法や補修工法の選定法などにおいて，マニュアルとしての使いやすさに重きをおき，事例や具体例を多く記述するように努めた．事例としては，なるだけ地方の橋梁を対象とし，とくに維持管理の課題が指摘されている地方の橋梁床板に役立つ資料となるように取りまとめたつもりである．今後，このマニュアルが活用され，橋梁床板の維持管理が円滑に行われることを期待したい．また，このマニュアルを使用された方々からのご意見ご指摘をいただき，より内容の充実したものにしていきたいと思っている．皆様方のご協力をお願いする次第である．

2012 年 6 月

公益社団法人　土木学会　鋼構造委員会
道路橋床版の維持管理評価に関する検討小委員会
委員長　　大田　孝二

公益社団法人　土木学会　鋼構造委員会

道路橋床版の維持管理評価に関する検討小委員会

委　員　構　成

委　員　長	大田　孝二	（一財）土木研究センター
副委員長	阿部　忠	日本大学
幹　事　長	大西　弘志	岩手大学
幹　　事	塩永　亮介	（株）ＩＨＩ
〃	藤山　知加子	法政大学
連絡幹事	橘　吉宏	川田工業（株）
顧　　問	日野　伸一	九州大学大学院
〃	堀川　都志雄	元 大阪工業大学
〃	松井　繁之	大阪工業大学
委　　員	岡田　昌澄	首都高速道路（株）
〃	鈴木　寛久	首都高速道路（株）
〃	田中　良樹	（独）土木研究所
〃	増井　隆	首都高速道路（株）
〃	三田村　浩	（独）土木研究所 寒地土木研究所
〃	村山　隆之	（株）エム・ケー・コンサルタント

〈床版補修工法の評価選定検討分科会〉

分科会長	緒方　辰男	西日本高速道路（株）
幹　　事	久保　圭吾	宮地エンジニアリング　（株）
委　　員	石崎　茂	（株）富士技建
〃	一瀬　八洋	鹿島道路（株）
〃	今吉　計二	福岡北九州高速道路公社
〃	上條　崇	（株）横河住金ブリッジ
〃	川井　豊	日本大学
〃	後藤　昭彦	（株）高速道路総合技術研究所
〃	小林　朗	新日鉄マテリアルズ（株）　日鉄コンポジット社
〃	佐藤　貢一	奈良建設（株）
〃	佐藤　辰巳	パシフィックコンサルタンツ（株）
〃	清水　良平	川田工業（株）
〃	関口　幹夫	東京都
〃	本間　雅史	（株）ドーコン
〃	松井　俊道	名古屋高速道路公社
〃	松原　浩司	（株）ケミカル工事
〃	松本　政徳	（一社）日本建設機械施工協会　施工技術総合研究所
〃	峰松　敏和	住友大阪セメント（株）
〃	山浦　明洋	横河工事（株）
〃	横山　和昭	西日本高速道路（株）
〃	横山　広	（株）国土開発センター
旧　委　員	長屋　考司	名古屋高速道路公社
〃	和田　圭仙	西日本高速道路（株）

（五十音順，敬称略）

目　次

はじめに 1

第１章　総　則
1.1　適用の範囲 5
1.2　用語の定義 7
1.3　維持管理の流れ 10

第２章　道路橋床版の損傷と点検調査方法
2.1　道路橋床版の損傷
2.1.1　ＲＣ床版の損傷 16
2.1.2　ＰＣ床版の損傷 21
2.1.3　合成床版の損傷 23
2.2　道路橋床版の点検
2.2.1　点検の目的 28
2.2.2　点検の種別と方法 29
2.2.3　点検の流れ 31
2.2.4　道路橋床版の点検項目 34
2.2.5　点検結果による損傷度の評価 38
2.2.6　対策区分の判定 39
2.2.7　道路橋床版の評価・判定の運用 40
2.3　道路橋床版の詳細調査
2.3.1　調査の目的と概要 50
2.3.2　詳細調査の項目 50
2.3.3　詳細調査方法 54

第３章　道路橋床版の劣化進行過程の評価
3.1　道路橋床版の劣化要因と劣化進行過程
3.1.1　輪荷重による疲労 80
3.1.2　塩　害 84
3.1.3　凍　害 88
3.1.4　中性化 90
3.1.5　アルカリシリカ反応 92
3.1.6　初期欠陥 95
3.1.7　複合劣化 97

3.2　変状グレードによる劣化進行過程の評価
3.2.1　ひび割れ間隔と遊離石灰による評価 101
3.2.2　はく離面積による評価 102
3.2.3　舗装損傷による床版上面の評価 102
3.3　疲労耐久性の詳細な評価方法
3.3.1　ひび割れ密度による疲労耐久性評価 105
3.3.2　たわみ試験による疲労耐久性評価 107
3.3.3　輪荷重走行試験による疲労耐久性評価 112
3.3.4　数値解析による疲労耐久性評価 116

第４章　対策工法の選定
4.1　対策工法選定上の着目点 120
4.2　対策工法の選定手順 122
4.3　対策工法選定の事例 128
4.3.1　一般 128
4.3.2　中性化－ひび割れ注入工法，表面保護工法 129
4.3.3　塩害－電気化学的防食工法 135
4.3.4　輪荷重による疲労－縦桁増設工法 141
4.3.5　輪荷重による疲労－炭素繊維シート接着工法 147
4.3.6　輪荷重による疲労－下面増厚工法 153
4.3.7　輪荷重による疲労－鋼板接着工法 159
4.3.8　輪荷重による疲労－上面増厚工法 164
4.3.9　塩害－部分打換工法 171
4.3.10 輪荷重による疲労・塩害－下面増厚工法＋電気化学的防食工法 177
4.3.11 輪荷重による疲労・凍害－上面増厚工法 185

第５章　対策工法の設計施工
5.1　一般 193
5.2　各種対策工法 193
5.2.1　床版防水工法 193
5.2.2　ひび割れ注入工法 194
5.2.3　表面保護工法 199
5.2.4　電気化学的防食工法 207
5.2.5　縦桁増設工法 215
5.2.6　炭素繊維シート接着工法 219
5.2.7　下面増厚工法 228
5.2.8　鋼板接着工法 236
5.2.9　上面増厚工法 243
5.2.10 水平ひび割れ注入工法 252
5.2.11 部分打換工法 254
5.2.12 床版取替工法 257

【付録】

《付録１》道路橋の維持管理における本マニュアルの背景と概要 付-1
《付録２》道路橋床版の維持管理マニュアル適用事例
付録 2.1 輪荷重による疲労を受けたＲＣ床版 付-18
付録 2.2 凍結防止剤による塩害を受けたＲＣ床版 付-29
《付録３》数値解析事例 付-39
《付録４》道路橋の維持管理における設計基準の変遷 付-43

はじめに

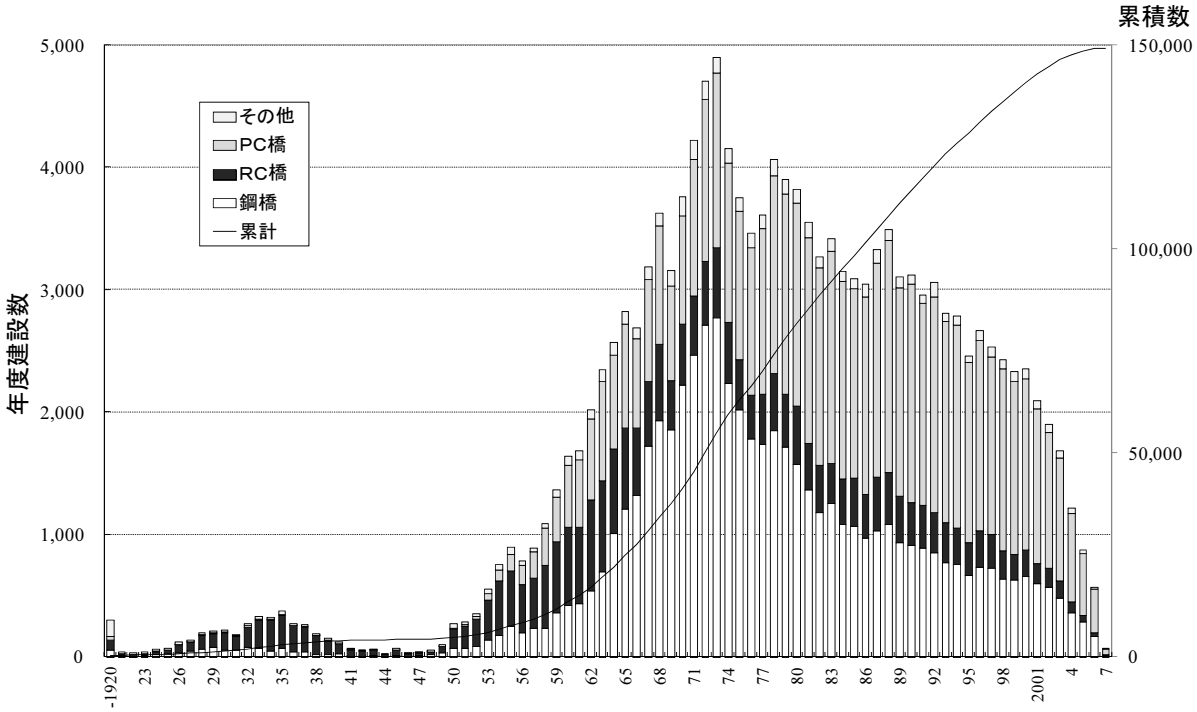
道路橋床版の損傷問題が話題に上って久しい[1),2)]．それ以来，様々な道路管理機関や研究機関において，道路橋床版に発現する種々の劣化損傷に対する検証が行われてきたが[3),4)]，輪荷重走行試験機の開発を契機として，多数の試験体に対する輪荷重走行試験結果の考察から，輪荷重の繰り返し走行による床版の疲労損傷進展のメカニズムが解明されるに至った[5), 6)]．その後，床版の疲労劣化の進展を促進する雨水の影響や塩害，凍害あるいはアルカリ骨材反応などの他の劣化要因についても研究が重ねられ[7),8),9)]，これらの研究成果を基礎として，道路橋床版の点検および調査結果を踏まえた健全度あるいは劣化度の評価判定方法が提案されてきた[10),11)]．そして，これらの成果に基づいて，国土交通省をはじめとする各種道路管理機関で床版の点検，調査結果から損傷度を評価，判定する手順を示した橋梁点検要領や保全点検要領として取りまとめられ，順次公表されてきている[12),13),14),15),16)]．

しかしながら，これらの点検要領における床版の劣化損傷に対する健全度の評価基準や補修・補強工法の選定フローについては，道路管理各機関によってまちまちであり，統一した見解が示されている訳ではない．これは，損傷要因が種々雑多であり，橋梁の立地条件の違いによる通行荷重の大きさや交通量の相違，あるいは床版を取り巻く気象条件や地理的条件等の環境条件の違いにより，床版の劣化進展のメカニズムが異なるだけでなく，発現される損傷形態も異なるためと考えられる．また，対象とする橋梁の社会的および経済的な重要度や損傷がもたらす第三者への影響度の相違，あるいは交通規制の容易さ等も，対策工法選定の影響因子となるためと考えられる．したがって，我が国の道路橋床版の維持管理における当面の課題としては，地方公共団体をはじめとするより広汎な一般の道路管理者に対し，上記諸条件の相違を勘案し，かつ，それぞれのニーズに対応した対策工法の選定法をより解りやすい形で提示した資料を提供することと思われる．すなわち，損傷要因毎に潜伏期，進展期，加速期，および劣化期等の劣化損傷過程と種々の条件を考慮した対策工法選定フローとのリンク付けを行い，予防保全型維持管理と事後保全型維持管理を適切に組み合わせた道路橋床版の効率的な維持管理の実施に結びつけることが重要と思われる．

また，道路橋床版の損傷は，建設後 10 数年以上経過した後に発現する場合が殆どであり，建設時の設計基準によって発現する損傷形態も異なる場合が多い．例えば，昭和 39 年以前の示方書で設計された床版では，配力鉄筋不足や版厚不足によるせん断剛性の不足等により疲労損傷のメカニズムがそれ以降の示方書で設計された床版と異なる．このため，対策工法の選定にあたっては，設計基準の変遷等床版の歴史的な背景も踏まえた検討が必要である．

さらに，近年になって床版の劣化損傷問題も多様化してきており，最近では，走行輪荷重による疲労と塩害や凍害との複合劣化[17)]や，劣化部床版の部分打替え部や部分的な断面修復部における補修部周辺鉄筋のマクロセル腐食による再劣化[18)]，あるいは上面増厚補強における打ち継ぎ部の層間はく離による再劣化事例等も報告されるようになり[19)]，これらに対する対策工法の確立も新たな課題として注目されつつある．

以上より，道路橋床版における最近の維持管理の課題は，劣化損傷要因毎および損傷の程度に応じ，かつ橋梁の立地条件に応じた対策工法の選定基準の確立であり，これには，損傷要因毎の健全度評価に基づく損傷度判定基準の整備と，橋梁の地理的条件，交通条件及び環境条件を勘案した上での LCC による評価に則った対策工法選定フローの確立が望まれる．

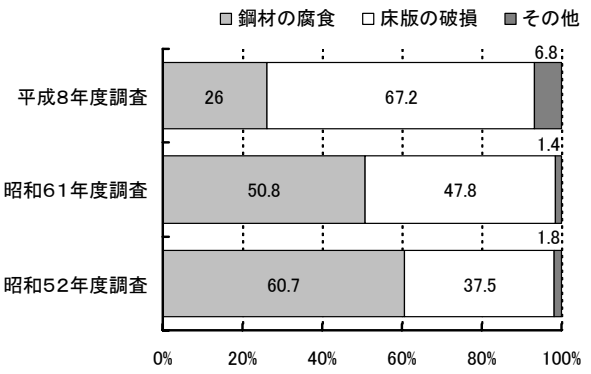


図－1　橋梁の架設数の推移 [20)]

一方，我が国における支間 15m 以上の道路橋約 15 万橋について，建設年度毎の建設数の推移は，**図－1** に示す通りであり [20)]，1950 年代後半から 1970 年代前半の高度成長期とその後の 10 数年間に橋梁総数の 70%以上が建設されている．このため，建設後 50 年を経過する橋梁は，今後，急速に増加し，ここ 10 数年間で全橋梁の半数近くに達するものと推定される．したがって，我が国における社会基盤の整備において，橋梁の維持管理の重要性はますます増加することは論を俟たない．

そのなかで道路橋における床版の役割は，道路橋の要求性能の中で最も重要な交通荷重を直接支持する構造要素であり，その損傷状況によっては交通流を遮断したり交通渋滞を引き起こしたりして，周辺地域の社会活動や経済活動を阻害する．また，道路や鉄道との交差部に位置する橋梁における床版下面のコンクリート片のはく落や床版の部分的な抜け落ちは，第三者被害を発生させるだけでなく社会基盤の交通ネットワークを阻害する原因となる．

さらに，鋼道路橋において橋梁の架替えの理由となった損傷の発生部位の調査結果を**図－2** 示す [21)]．この図より，鋼道路橋の架替えの理由となった損傷のうち，床版の損傷がその半数近くを占めており，この傾向は近年ますます増加しつつあると推定できる．これらのことから，道路橋床版の維持管理は，交通ネットワークを保持し社会基盤を支える上での極めて重要な業務と言え，床版の維持管理を経済的に，かつ効率よく実施することは，社会基盤の維持，保全に重要な役割を果たすものと言える．



図－2　鋼道路橋上部工における架替理由となった損傷の内訳（昭和 52 年～平成 8 年） [21)]

このような観点から，土木学会鋼構造委員会，道路橋床版の維持管理評価に関する検討小委員会，床版補修工法の評価選定検討分科会では，道路橋床版の維持管理を効率よく実施するとともに，道路橋床版の維持

管理に携わる様々な立場にある道路管理技術者が床版の維持管理あるいは損傷床版の補修補強工法の選定にあたって適切な判断ができる資料を作成することを目的として，健全性評価 WG と対策工法選定 WG の２つのワーキンググループを組織して道路橋床版の維持管理に関わる最新の文献及び資料を収集するとともに種々の条件に見合った対策工法の選定フローの確立をめざして議論を重ね，その成果を本マニュアルとしてとりまとめた.

なお, 本マニュアル作成にあたっては, 最近までに解明されてきた知見をできる限り取り入れるとともに，現場の道路管理機関の技術者や施工に携わる技術者を対象として分かりやすく解説し，現行の各道路管理機関における維持補修要領（管理者マニュアル）を補完する技術指針めざし，利用しやすい解説書とすることを心がけた．特に，床版損傷の点検，調査の解説では，劣化損傷の事例写真をできる限り多く掲載するとともに劣化進展のメカニズムの解説図を示し解りやすい説明を加えている.

以上のことを考慮して，本マニュアルの構成は，以下に示すとおりとした.

まず，第１章では，本マニュアルの適用範囲と用語の定義を行うとともに，床版の維持管理の基本となる橋梁の維持管理にあたっての基本的な考え方を示し，床版維持管理の業務フローについて概説した．次に，第２章では，鉄筋コンクリート床版をはじめとし，合成床版および PC 床版を含むコンクリート系の道路橋床版に対し，これらの床版に発現する劣化損傷を損傷形態毎に分類整理し，それぞれに対する調査点検方法を概説し解説を加えた．そして，調査点検結果の整理方法および調査点検結果を踏まえた道路橋床版に対する損傷度の評価判定基準を示した．続いて，第３章では，床版損傷をその要因別に分類整理し，２章の点検結果および詳細調査結果に基づく定量的な評価指標を提示するとともに，床版の健全性評価手法として，これまでに実施された輪荷重走行試験のデータを種々のパラメータについて整理しなおし，種々の床版における損傷の進行度と耐荷性能の低下度との関係を定量化するとともに, それらに対する解説を加えた. さらに，床版の疲労劣化の進行を解析的に評価する方法についても検討を加え，鉄筋コンクリート部材の疲労損傷を再現する力学モデルについて解説した.なお，付録 3 には，上面増厚補強床版や鋼板接着補強床版における補強後の疲労劣化進展を解析的に追跡した事例を示し，対策工法の実施時期と補強効果についても検討を加えたので参考にされたい．そして，第４章では対策工法選定にあたっての各種劣化要因毎の着眼点および対策工法選定のフローを示すとともに，各種対策工法のそれぞれに対し，着目する対策工法選定に至る手順を示したケーススタディーの結果を提示した．最後に，第５章では本マニュアルで取りあげた各種対策工法に対し，工法の概要と特徴および適用性について整理し，設計・施工要領および設計・施工にあたっての留意点を示すとともに，施工後の維持管理要領を示した．また，付録 2 に第４章に記載された各工法が具体的に採用される事例を示しているので参考にされたい.

そして最後となったが，道路橋床版の適切な維持管理を実施する上で，過去に実施された調査点検のデータや補修補強履歴に関するデータが，床版の健全性評価や補修補強工法選定に際しての貴重な資料となる．そのため, これらのデータの蓄積と保守が道路橋床版の維持管理における重要事項であることを強調したい.

【参考文献】

1) 国広哲男 : 道路橋床版の問題点，橋梁と基礎，Vol.2，No7，pp. 1-5，1968. 7.

2) 太田　実 : 床版の破損と対策，橋梁と基礎，Vol.4，No10，1970. 10.

3) 岡田　清，岡村宏一，園田恵一郎，島田　功 : 道路橋鉄筋コンクリート床版のひび割れ損傷と疲労性状，土木学会論文報告集　第 321 号，pp. 49-60，1982. 5.

4) 後藤裕司：鋼橋 RC 床版の破損機構に関する一考察，橋梁と基礎，Vol.17，No.8，pp. 111-115，1983. 8.
5) 前田幸雄，松井繁之：輪荷重動移動装置による道路橋床版の疲労に関する研究，第６回コンクリート工学年次講演会論文集，pp. 221-224, 1984 年 5 月.
6) 阪神高速道路公団，阪神高速道路管理技術センター：道路橋 RC 床版のひび割れ損傷と耐久性，1991 年 12 月.
7) 松井繁之:移動荷重を受ける道路橋 RC 床版の疲労強度と水の影響について, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.9, No.2，pp.627-632，1987.
8) 西川和廣，見波潔，柏原荘助，山本幹雄：広暮坪陸橋の塩害による損傷と対策，①過去の損傷および補修，橋梁と基礎，Vol.27，No.11，1993. 11.
9) 児島孝之，杉江功，丸山悟，村山康雄：アルカリ骨材反応による RC 床版の損傷と補修，コンクリート工学，Vol.32, No.2，1994. 2.
10) 前田幸雄，松井繁之：道路橋ＲＣ床版のたわみによる劣化度判定法に関する研究，昭和 47 年土木学会関西支部「既設橋梁構造物およびその構成部材の健全度，耐久性の判定」シンポジウム論文集，pp.107-116，1983.
11) 松井繁之，前田幸雄：道路橋 RC 床版の劣化度判定法の一考察，土木学会論文集 374/I-6, pp.419-426, 1986.
12) 国土交通省：橋梁定期点検要領（案），2004 年.
13) 東京都：東・中・西日本高速道路株式会社：保全点検要領．平成 18 年 4 月.
14) 東・中・西日本高速道路株式会社：保全点検要領．平成 18 年 4 月，設計要領第二集，橋梁保全編，平成 19 年 8 月.
15) 首都高速道路株式会社：構造物等点検要領．平成 21 年 7 月.
16) 阪神高速道路株式会社：道路構造物の点検要領．平成 17 年 10 月，道路構造物の補修要領，平成 17 年 4 月.
17) 小野貴之，三田村浩，林川俊郎，松井繁之：積雪寒冷地におけるＲＣ床版の疲労耐久性に関する研究，第 6 回道路橋床版シンポジウム論文報告集，pp.75-80，2008.6.
18) 加藤絵万，審良善和，岩波光保，横田弘：断面修復を施したコンクリート床版の鉄筋腐食性状に関する検討：土木学会論文集：2010：VOL.66，NO.4：P399-412.
19) 緒方辰雄，長谷俊彦，和田圭仙，渡辺晋也：輪荷重走行疲労試験による上面増厚床版界面の付着性状に関する研究：第 65 回土木学会年次学術講演概要集：2010.8.
20) 国土交通省：国土技術政策総合研究所 資料第 545 号，平成 20 年度道路構造物に関する基本データ集，平成 21 年 3 月.
21) 西川和廣，村越潤，上仙靖，福地友博，中嶋浩之：橋梁の架替に関する調査結果（Ⅲ），土木研究所資料　第 3512 号，1997.10.

第１章　総　則

1.1　適用の範囲

(1) 本マニュアルは道路橋における鋼橋のコンクリート系床版の点検，調査，それらの結果に基づく健全性評価，および補修，補強，または予防保全対策などの維持管理に適用する．
(2) 道路橋床版の維持管理は，床版の使用条件，環境条件，およびライフサイクルコストを勘案して，予防保全型維持管理，および事後保全型維持管理を適切に組み合わせ実施するのがよい．

【解説】

(1) 本マニュアルは，道路橋における鋼橋の既設床版の中で，鉄筋コンクリート床版（以下，ＲＣ床版という），プレストレストコンクリート床版（以下，ＰＣ床版という），鋼・コンクリート合成床版（以下，合成床版という）などのコンクリート系床版の点検，調査，それらの結果に基づく健全性評価，および補修，補強または予防保全対策などの維持管理に適用するものとした．

道路橋におけるコンクリート系床版は，移動する輪荷重を直接支持するだけでなく路面が雨水にさらされる宿命にあり水の影響を受けることは避けられない．このため，輪荷重の繰り返し載荷による疲労劣化の促進，塩化物イオンの浸入による鉄筋の腐食とそれに伴うひび割れの進展，上面コンクリートのスケーリングによる凍害劣化の進展，あるいはアルカリ骨材反応による骨材劣化などにより，疲労耐久性が低下する[1),2),3),4)]．このような環境下にある道路橋の床版を適切にかつ効率よく維持管理していくためには，対象とする床版の日常点検に始まって，劣化や損傷が確認された場合には，劣化損傷の要因を特定するための詳細調査を実施する必要がある．そして点検結果や詳細調査結果に基づいて径間またはパネルごとの健全性を精度良く評価し，劣化進行状況に応じて劣化・損傷要因を勘案した適切な対策工法を選定し，実施することが重要である．このような観点から，本マニュアルでは，上記コンクリート系床版の点検，調査に始まる維持管理のフローを示すとともに，事前に劣化の進行を抑制する予防保全対策や劣化が顕在化している場合の補修，補強などの対策工法選定に至る手順を具体的に示すとともに各種の対策工法の特徴と適用性，およびその効果について整理し，効率的に床版の維持管理ができるよう組み立てている．

(2) 我が国では，1960 年代の高度経済成長期に，道路，鉄道，港湾，上・下水道などの社会資本が集中的に整備され，近年，これらの社会資本の高齢化に伴う維持管理・更新が重要な課題となっている．そうした社会情勢の中，国土交通省は，９本の事業分野（道路，交通安全施設，空港，港湾，都市公園，下水道，治水，急傾斜地，海岸）別計画を一本化し，社会資本整備事業を重点的，効果的かつ効率的に推進するため，「社会資本整備重点計画法」（平成 15 年法律第 20 号）を制定した．

本法に基づき作成された第１次「社会資本整備重点計画」（平成 15 年 10 月 10 日閣議決定，計画期間：平成 15～19 年度）においては，「社会資本の更新時期の平準化，維持管理や更新を考慮に入れたトータルコストの縮減などを図るため，総合的な資産管理手法を導入し，効率的・計画的な維持管理を推進する」としている．

また，第２次「社会資本整備重点計画」（平成 21 年 3 月 31 日閣議決定　計画期間：平成 20～24 年度）では，「我が国の社会資本は，これまでに蓄積されてきたストックのうち高齢化したものの割合が，今後急速に増加するという課題に直面する」ことから，「これからは，施設の状態を定期的に点検・診断し，異常が認められる際には致命的欠陥が発現する前に速やかに対策を講じ，ライフサイクルコスト（以下，LCC という）の縮減を図る「予防保全」の考えに立った戦略的な維持管理・更新を実施していく」としている．

そして，「ストック型社会への対応」という観点に立って，維持管理や更新の推進，ソフト対策の推進といった，社会資本整備の各分野にわたって横断的に取り組むべき課題に重点的に対応することとしている．また，この計画では，これまで実施されてきた道路整備事業が，時代に応じた課題に対応しつつ着実に進められた結果として，一定の道路ストックが形成されていることから，これらの蓄積されたストックを適切に管理し，長寿命化を図るとともに，その機能を最大限に有効活用していくことが今後の方向性として示されている．そして，この長寿命化対策を推進するため，国土交通省は，各地方整備局において平成 18 年度から直轄道路橋の長寿命化修繕計画を策定中であり，地方公共団体においても，平成 19 年度から**表−解 1.1.1**[5]に示すような「長寿命化修繕計画策定事業（補助事業）」により管理する道路橋の長寿命化修繕計画を策定中である．

このような状況を勘案して，本マニュアルでは，道路橋床版の維持管理にあたって，床版の供用年数，交通状況，使用環境，および立地条件などに配慮し，LCC の最小化を目標として，予防保全型維持管理，および事後保全型維持管理を適切に組み合わせ実施するものとした．

予防保全型維持管理は，劣化が顕在化する前に対策を実施することによって LCC を低減できる場合には特に有効であり，劣化がある程度進行している過程であっても，床版の残存使用年数や使用条件，あるいは環境条件を考慮して補修，補強などの事後保全型対策工法と組み合わせ実施することにより効率のよい維持管理が可能となる．したがって，本マニュアルでは，これらを適切に組み合わせ実施することを基本とした．

表−解 1.1.1　道路橋の長寿命化対策に関する補助事業などの概要 [5]

区 分	長寿命化修繕計画策定事業		道路事業費（補助）（拡充）
		改正後（平成 21 年 1 月 27 日）	
事業内容	長寿命化修繕計画の策定	長寿命化修繕計画の策定	点検および長寿命化修繕計画の策定
補助対象（率）	長寿命化修繕計画策定に要する費用（1/2）	長寿命化修繕計画策定および点検に要する費用（1/2）	長寿命化修繕計画策定および点検に要する費用（1/2）
対象橋梁	次に掲げる道路に存する橋梁 ① 一般国道（指定区間外） ② 主要地方道 ③ その他の重要な道路網を形成する都道府県道および市町村道		小規模な道路橋
措置期限	① 都道府県および政令市：平成 23 年度 ② 市町村：平成 25 年度		平成 21 年度限り
採択基準	平成 24 年度以降（市町村は，平成 26 年度以降）の補修，補強，架替などへの補助は，地方公共団体が策定する長寿命化修繕計画に基づくものに限る．		

（注）　1　本表の内容は総務省の調査結果による．
　　2　主要地方道とは,道路法第 56 条の規定により国土交通大臣が指定する主要な都道府県道又は市道である．
　　3　採択基準は,国土交通省道路局所管補助事業採択基準などから抜粋した．

1.2　用語の定義

本マニュアルで用いる用語を次のように定義する．

維持管理　：構造物の供用期間において，構造物の性能を要求された水準以上に保持するための全ての技術行為．

予定供用期間　：構造物を供用する予定の期間．維持管理計画の見直しにともない変更される場合もある．

設計耐用期間　：当初の維持管理計画の範囲内で，特別な補修をすることなしに構造物が当初の目的のために使用されると設計時に想定される期間．

要求性能　：構造物がその目的を達成するために保有すべき性能．

性能レベル　：構造物に要求される性能レベルで，各要求性能に対し必要に応じて設定される．

安全性　：構造物が利用者，および第三者の生命・財産を脅かさないために必要な性能．

使用性　：構造物の使用者が許容限度以上の不快感，不安感を覚えずに構造物を利用するために必要な性能．

耐久性　：繰り返し働く変動作用あるいは長期の環境作用による構造物あるいは部材の性能の低下に対する抵抗性．一般に，環境作用による鋼材腐食，繰り返し働く変動作用による疲労現象，およびコンクリート部材の材料劣化や耐荷力の低下を考慮する．

点検　：診断において構造物や部材に異常がないか調べる行為の総称．実施する時期や対象構造物の状態に応じて数種の点検に分かれる．（「2.2.2　**点検の種別と方法**」に詳説）

橋梁検査員　：定期点検を行う場合において，点検計画案の作成，調査結果や所見の記録，対策区分の判定などを行う者．

橋梁点検員　：点検作業において，点検作業班を統括し，安全管理に留意して各作業員の行動を掌握する作業責任者．

調査　：点検において性能評価，対策の要否判定などを行うための根拠となる事象を調べる行為．

標準調査　：各点検で実施する調査として，維持管理計画の中であらかじめ定められたもの．

詳細調査　：標準調査では得られないより詳細な情報を得るために実施する調査の総称．（「2.3　**道路橋床版の詳細調査**」に詳説）

パネル単位　：主桁あるいは縦桁と横桁あるいは対傾構に囲まれた床版の範囲．

径間単位　：上部構造の支承線から支承線までの範囲．

変状　：構造物や部材において発生した通常とは異なる状態．劣化や損傷は，このうちに含まれる．

劣化　：時間の経過に伴って材料の物性や性能が低下すること（例：塩害，中性化，凍結融解，乾燥収縮，疲労劣化など）．

損傷　：劣化が進行し，形状の変化や部分的に欠損が生じた状態．または短時間の内に発生した欠損（例：ひび割れ，はく離，鉄筋腐食，漏水，抜け落ちなど）．

再劣化　：劣化や損傷した部位や部材を補修した後，再び同じ位置で劣化が生じること．

複合劣化　：複数の劣化要因によってコンクリートが劣化すること．（例：塩害と中性化，凍結融解と疲労劣化，など）．

損傷度　：点検結果をもとに，床版のパネル単位での損傷の度合いを示す評価指標．本マニュアルでは，程度の小さい方から a～e の 5 段階で示す．

変状グレード　：床版の径間単位での損傷の度合いを示す評価指標として，外観変状を区分（グレーディング）したもの．本マニュアルでは，程度の小さい方からⅠ～Ⅴの 5 段階で示す．

劣化進行過程　：劣化機構別にその進行過程を区分したもの．その時点での外観変状グレードと損なわれている性能の関係から，潜伏期・進展期・加速期・劣化期の 4 段階に分けられる．

健全度評価　：点検・調査結果に基づく損傷度の評価と対策区分の判定に加え，劣化・損傷要因の特定や各種データや最新の知見に基づいた劣化予測を行った上で，最適な対策工法を選定するための一連の評価．また，このような床版の維持管理に関する評価全般を言う．

健全度ランク　：床版の現在あるいは将来の状態を表す指標で，損傷の程度と損傷要因に関する客観的事実を基に，安全性と対策工法の規模に着目してⅠ～Ⅴ段階にランク付けしたもの．

修繕　：床版および床組の破損対策として行う対策の総称．補修および補強を含む．

補修　：床版および床組の本来の構造を変えることなく，変状が生じた床版の性能を回復させること，あるいは性能低下を遅らせることを目的とした行為．

補強　：床版および床組の従来の構造を変更し，力学的な性能を初期の状態より高いものに向上させることを目的とした行為．

初期欠陥　：施工時あるいは竣工直後間もなく発生したひび割れや豆板（ジャンカ），コールドジョイント，砂すじなどをいう．ひび割れに関しては，水和熱や乾燥収縮等による材料的な要因によるものも含む．

角落ち（角欠け）：走行車両の影響を受け，ひび割れ開口部に開閉運動が生じ，その作用でひび割れの角が落ちる現象．

スケーリング　：コンクリート表面のモルタル層が，薄片状にはく離またははく落する現象

ポップアウト　：表層下の骨材粒子などの膨張による破壊でできた表面の円錐状のはく落

はく離（うき）　：かぶり部分のコンクリートに構造物表面と平行にひび割れや空洞化が生じる現象．鉄筋の腐食膨張によるものが多く，進行するとかぶりコンクリートのはく落を招く．

層間はく離　：床版とその上部に施工される防水工やアスファルトなどの層間で接着力が切れてはく離を生じる現象．床版上面への増厚補強や，床版下面への鋼板や連続シートによって補強した場合も，コンクリートとそれら補強材の層間で発生したはく離も含む．

エフロレッセンス：コンクリート中もしくはコンクリート表面の可溶成分（遊離石灰：f-CaO）が，ひび割れ間の水分の移動によりコンクリート表面に移動し，表面での水分の逸散や空気中の炭酸ガスなどの吸収によって，溶解した成分（$CaCO_3$ や Na_2CO_3 など）が析出した現象．白色や明褐色をしており白華，白華現象ともいう．

ポットホール　：アスファルト舗装の表面にできる局部的な小穴．

ひび割れ密度　：1 パネル内に存在するひび割れの総延長をパネル面積で割った値．

床版打換え　：床版を部分的にコンクリートで打ち換える行為．

床版取替え　：床版全体を取り替える行為．

輪荷重走行試験：任意の荷重を作用させながら試験体上を輪荷重が往復運動する試験．連続的な移動載荷が可能で，輪荷重走行疲労試験とも言う．フライホイール等の回転力を往復運動に変換するクランク式と移動台車に駆動装置を搭載する自走式に大別される．

アセットマネジメント：道路を資産としてとらえ，道路構造物の状態を客観的に把握・評価し，中長期的な資産の状態を予測するとともに，予算制約の中で，適切な対策を施すことを考慮して，道路構造物を計画的かつ効率的に管理する手法.

BMS　：橋梁（ブリッジ）マネジメントシステムの略語で，橋梁の将来の状態予測を行い最適な管理計画の策定を支援するツールのこと.

【解説】

本節では，本マニュアルで共通に用いられている用語を抽出した．これら用語の定義については，以下の基準・指針等を参照した．また，いずれの基準類にも用語の定義として記載がないものに関しては，当小委員会から発刊した既存の委員会報告書や関連する学術論文等を参照した.

・（社）土木学会編「2007 年制定　鋼・合成構造標準示方書［総則編］
・（社）土木学会編「2007 年制定　コンクリート標準示方書［維持管理編］」
・（社）日本コンクリート工学会編「コンクリートのひび割れ調査．補修・補強指針-2009-」
・（社）日本コンクリート工学会編「コンクリート便覧」
・NEXCO 東日本・中日本・西日本「保全点検要領 H18.4 版」
・国土交通省「橋梁定期点検要領（案）H16.3（国土交通省）」

1.3　維持管理の流れ

道路橋床版の維持管理にあたっては，床版の要求性能を供用期間中適切に保持できるよう，床版のライフサイクル全般について配慮するとともに，点検から対策の実施に至る維持管理の流れを勘案したうえで，維持管理計画を策定し実施するのがよい．

【解説】

道路橋床版の標準的な維持管理の流れと，本マニュアルで扱っている章との関係を**図-解 1.3.1** に示す．

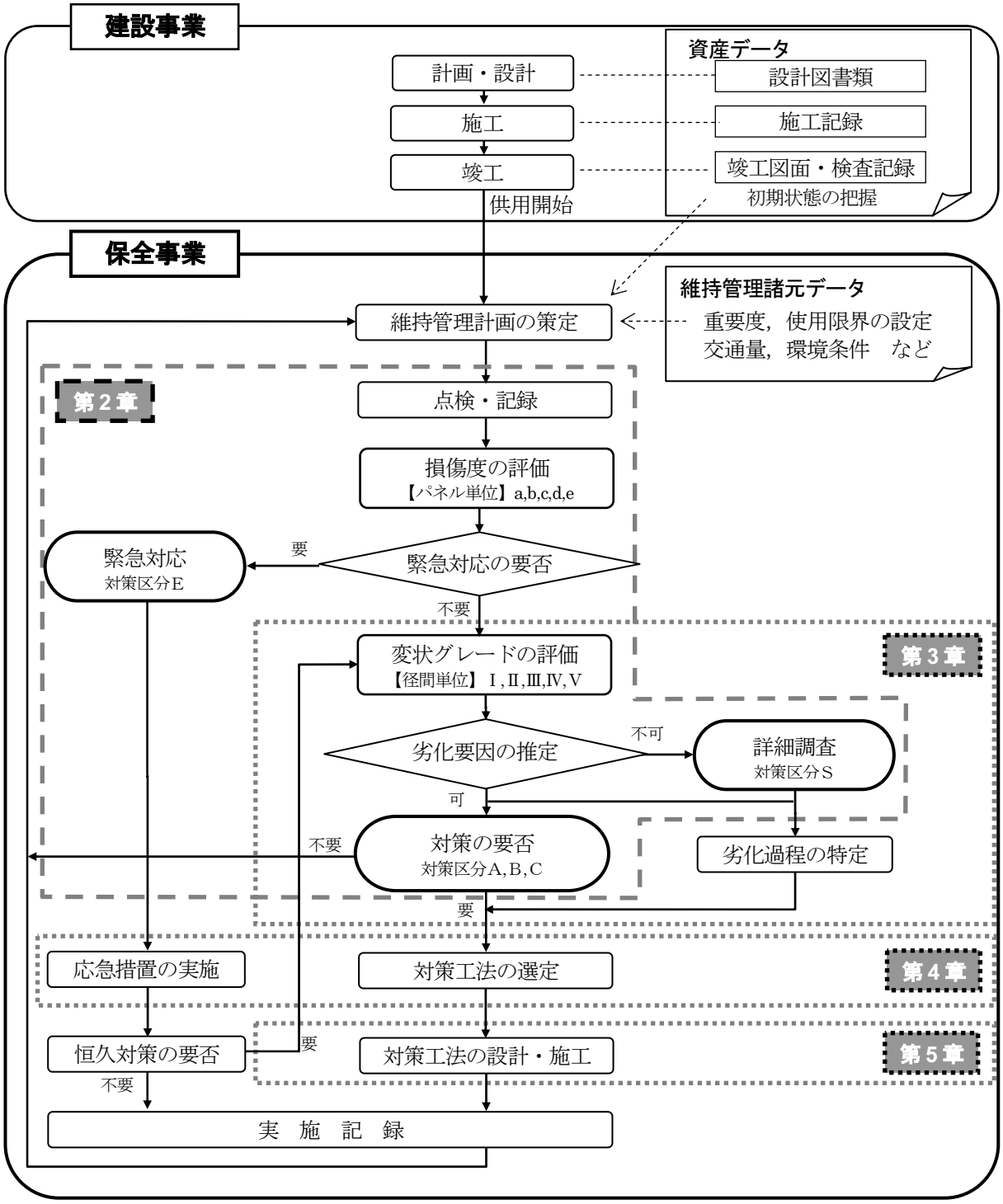


図-解 1.3.1　道路橋の標準的な維持管理の流れ

道路橋床版に求められる要求性能は，安全性能，使用性能，第三者影響度に関する性能，および耐久性能であり，コンクリート標準示方書［維持管理編］[6]の考え方を踏襲して，床版の維持管理においてもこれらの要求性能を供用期間中適切に保持できるよう配慮するものとした．道路橋床版は移動輪荷重の作用を直接受け過酷な使用環境下にあるため，供用期間中における橋梁の定期点検，点検結果の評価，判定を適切に実施するとともに，異常があれば詳細調査を実施し損傷要因を特定するとともに損傷要因に見合った適切な対策工法を実施して，上記要求性能を常に保持するとともにLCCを最小化できるよう維持管理計画を策定し，実施する必要がある．

本マニュアルでは，道路橋床版の維持管理において，LCCの縮減が図れ，効率的な維持管理が実践できるよう，適切な点検データの収集・蓄積，精度の高い健全性の評価と劣化予測，および最適な補修工法の選定を可能とすることを目指し，点検から対策の実施に至る維持管理の流れを**図-解 1.3.1**のようにとりまとめた．また，この維持管理フローにおける各工程と本マニュアルでの記載章との対応を図に併記した．

以下に，道路橋床版の維持管理の実務において道路管理者が本マニュアルを有効活用できるように，維持管理における各工程の定義と運用方法について解説する．さらに，点検および調査から診断および対策に至る維持管理の流れに沿って維持管理計画が適切に実行できるように，維持管理の実施にあたっての具体例や実務における課題と着目点を紹介する．

1)マニュアルにおける各工程の定義と運用方法

a) 損傷度の評価について

損傷度の評価は，損傷項目ごとに損傷の種別や大きさなど，構造物の状態を客観的事実として評価し，記録するものである．

・劣化・損傷要因までの評価は含まれてはおらず，点検項目ごとに客観的な損傷状態の評価をパネル単位にて行うものである．

・損傷度の評価は，点検員による項目ごとの定性的な評価であるが，部位および損傷項目ごとの統一的な点検データの統計分析により定量的・客観的な評価となる．

・道路管理上の安全（走行性確保），第三者被害（構造物はく落による被害など）への対応が優先されるため，このような損傷に対しては必然的に安全側の評価となり，損傷度が高めに評価される傾向がある．

b) 健全度評価について

健全度評価とは，基本的に補修・補強対策を実施する損傷を対象とし，損傷度の評価と対策区分の判定に加え，劣化・損傷要因の特定を行うとともに，各種データ（計測・試験・解析）に基づき耐荷力評価，劣化予測による残存耐荷力・余寿命評価を行った上で総合的に床版の健全度を評価し，最適な対策工法の選定を行うための一連の評価を指し，床版の維持管理に関する評価全般を示すものである．

本マニュアルにおける健全度評価は，劣化要因ごとに評価する劣化進行過程のように床版の外観変状のグレードにて段階評価するものとは別に，各調査結果や本マニュアルの3.3に示した評価方法を基にした保有性能（耐荷力評価，余寿命評価など）および要求性能に基づいて総合的な評価を行うものを示している．

c）健全度ランクについて

健全度ランク[7]は，**表-解 1.3.1**に示すように，床版の現在あるいは将来の状態を表すものとし，損傷の程度と損傷要因に関する客観的事実を基に床版の安全性と対策工法の規模（施工範囲，補修・補強対策のレベルなど）に着目してⅠ～Ⅴ段階にランク付けしたものである．

表-解 1.3.1　健全度の定義 [7)]

健全度ランク	状　態　（構造物の安全性と対策工法の規模）
Ⅰ	・劣化や変状がほとんど認められない. ・機能的に問題がない.
Ⅱ	・軽微な劣化や変状が認められる. ・部材の機能低下は見られず，利用者等への影響はない.
Ⅲ	・劣化や変状が進行している. ・部材の機能低下は小さく，利用者等への影響はほとんどない. ・一般的に小規模な対策により機能の回復が図られる.
Ⅳ	・劣化や変状が広範囲に進行している. ・部材の機能低下が進行し，利用者等への影響が危惧される. ・比較的規模の大きな対策が必要となる.
Ⅴ	・劣化や変状が著しく進行している. ・部材の機能が大きく低下しており，利用者等への危険が及ぶ恐れがある. ・大規模な対策，部材の更新または架替の必要がある.

d) 床版の劣化・損傷による変状グレードについて

道路橋床版の維持管理では，本来，アセットマネジメントにおいて健全度評価を行い，健全度ランクを判定したうえで，床版の維持管理を実施することが望ましい．しかし，現状の評価技術では，十分な対応が困難な状況である．そこで，本マニュアルでは，この健全度ランクを判定する簡易法として，床版のパネル単位の損傷度評価結果に基づいた床版の径間単位での損傷度の評価指標として**表-解 1.3.2** に示す外観変状のグレード（以下，変状グレードという）Ⅰ～Ⅴを定義し，この変状グレードにより対策区分における対策の要否を判定する評価法を提案している．

表-解 1.3.2　変状グレードの定義

変状グレード	道路橋床版の状態（機能面での安全性）	対策の規模
Ⅰ	劣化・損傷がほとんど認められない．（機能的に問題がない）	補修なし
Ⅱ	軽微な劣化・損傷が認められる．（機能低下は見られない）	補修なし（予防保全）
Ⅲ	劣化・損傷が部分的に進行している．（機能低下が小さい）	小規模補修（機能回復） 又は比較的規模の大きな 補修（予防保全）
Ⅳ	劣化・損傷が広範囲に進行している．（機能低下が進行中）	比較的規模の大きな補修
Ⅴ	劣化・損傷が著しく進行している．（機能低下が大きい）	大規模補修または更新

・変状グレードとは，床版の損傷項目を代表的な３項目（上面：舗装の劣化，下面：ひび割れ・遊離石灰など，はく離・鉄筋腐食など）に集約し，その項目ごとに径間単位で変状グレードをⅠ～Ⅴ段階で定量的に評価するものである．そして，本マニュアルではこの変状グレード（Ⅰ～Ⅴ）を対策区分（Ａ・Ｂ・Ｃ）による対策要否の判定，あるいは劣化過程（潜伏期，進展期，加速期，劣化期）に対応させることにより，床版の維持管理を行うものとした．

・本グレーディングによる評価方法は，コンクリート標準示方書 [6)] の，「性能評価は，定量的な方法で行うことが望ましいが，性能によっては用いる評価式がないものもあり，また評価式は提案されているがその精度が必ずしも満足できないものもある．そこで，実用性の高いグレーディングに基づく半定量的な評価方法を性能照査に基づく方法に代えて用いてもよい」との考え方に基づいている．

e) 対策区分の判定について

対策区分の判定は，点検結果における損傷度の評価を基に，適切な技術員が判定単位で総合的に診断を行い，維持管理における対策の要否を判断し記録するものである．

・評価された損傷について，最初に緊急対応の要否を判定し，必要に応じて応急措置を実施した後，恒久的な対策の要否を判定することが適切である．また，対策の要否を判定する際，劣化要因が推定できない場合は，詳細調査を行い，必要に応じて劣化過程を特定し，適切な対策工法を選定する必要がある．
・損傷項目ごとに損傷の大小を考慮し損傷状態を把握した上で評価を行い，径間単位を基本とし，必要に応じてパネル単位にて対策を判定するものとする．
・この判定には，資産諸元，構造形式，および維持管理条件などの重要度のほか，技術者の知識に基づく今後の劣化予測などの技術的な判断が加味されている．
・対策が必要と判定された損傷でも，実務において財政面，現場条件，あるいは他工事との調整などの要因で対策実施の有無が再検討され，実施が先送りにされるなど，結果として対策できないで損傷が累積する傾向があるので注意が必要である．

f) 劣化進行過程について

劣化進行過程とは，劣化要因（輪荷重による疲労，塩害，凍害，中性化，アルカリシリカ反応など）ごとに，劣化進行に伴う外観変状のグレードと損なわれている性能の関係から，劣化過程（潜伏期，進展期，加速期，劣化期）によって現状での性能低下状況を評価するものである．

劣化要因によっては，加速期が前期・後期に分けられているものや健全度ランクと一致していないものもあるため，本マニュアルでは，それぞれの要因について変状グレードと劣化過程の対応を示し，主たる劣化要因に対し劣化過程を特定することにより対策工法選定とリンクさせる手法をとっている．

g) 損傷度の評価から対策工法の選定までのマニュアルの運用について

維持管理の実務で本マニュアルを有効に活用できるように，実務において，損傷度の評価から対策工法の選定に至るマニュアル運用上の大まかなフローを**図-解 1.3.2** に示すとともに，維持管理におけるマニュアルの運用方法について代表例を挙げて以下に概説する．

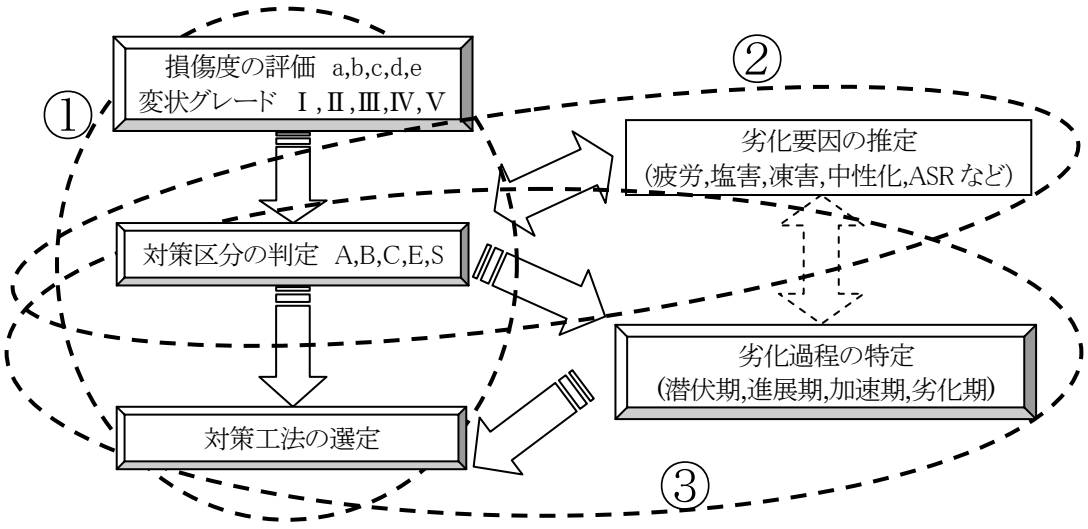


図-解 1.3.2　損傷度の評価から対策工法の選定までの関連イメージ

①損傷度の評価⇒対策区分の判定⇒対策工法の選定

・通常の維持管理において対応可能な損傷（確立された工法により対策が可能なもの）

主な損傷としては，走行の安全性や第三者被害を防止するため，維持管理において緊急対応が必要なもので，舗装のポットホールの発生，床版下面のコンクリート片の剥落などが対象となる．

②対策区分の判定⇔劣化要因の推定

・計画的な補修補強が必要な損傷（特殊な損傷や量が多く対策の優先順位付けが必要なもの）

主な損傷としては，パネル単位の損傷度の評価結果から径間単位の床版の変状を評価し，劣化要因を推定するとともに必要に応じて詳細調査を行い保有性能・劣化進行度などを加味して総合的な判定を行う必要があるもので，中性化，ひび割れ，鉄筋腐食など，損傷の進行に応じて，予防保全的な対応が有効となるものが対象となる．

③対策区分の判定⇒劣化過程の特定⇒対策工法選定

・短期・中期的な補修補強計画が必要な損傷（改築・大規模補修などの抜本的な対策が必要なもの）

主な損傷としては，対策工法を選定するために詳細調査を行う必要があり，劣化要因に対し，変状グレードから劣化過程を特定した上で，環境条件（交通量，路下条件，施工条件など）などの各評価要素を考慮した総合的判断に基づいて対策を実施するもので，橋梁単位での上面増厚や下面補強などによる補強，床版の部分打替えや全面取替えなどが対象となる．

2) 道路橋床版の維持管理における実務上の課題と留意点

道路橋床版の維持管理の実務者が本マニュアルを活用する際の課題と留意点を以下に示す．

a) 車両通行時の安全性および第三者被害に対する安全確保（管理瑕疵）への対応

・構造物の劣化・損傷が走行に支障となる場合

・コンクリート片の落下など，第三者被害が想定される場合

・事故や災害などにより通行止めが発生し応急処置・仮復旧が必要な場合

維持管理の実務では，これらのケースは最優先に対応する必要がある損傷で，ほとんどの場合は応急措置としての対策工法がほぼ確立されている．また，恒久的な対策が必要な場合は，詳細調査などを実施し，健全性を再評価した上で恒久的な対策を実施しなければならない．

b) 予算要求および維持管理計画の策定のための定量的な資料作成

・損傷評価を基に資料を作成すると損傷量が多い場合煩雑となるため，部材・径間単位ごとに損傷の傾向と損傷状態が把握できる資料を作成することが適切と考えられる．

・対策区分の判定に用いられた損傷の中でも，緊急対応や速やかな補修が必要な判定となった損傷を重点的に集計すると補修・補強計画が作成しやすい．

・集計された損傷に対して，統計的分析により橋梁または路線単位で対象範囲を設定し，中長期的に見て効率的な補修・補強計画を策定し，予算措置を行う根拠資料とすることが望ましい．

維持管理の実務では，以上の点に留意し，定量的な資料を作成し対応することが望ましい．また，対策区分の判定単位は，ある程度優先順位付けや対象損傷数量をまとめたうえで，維持管理履歴や未対策の累積損傷量を把握しておくと比較的管理しやすい．

c) 限られた予算で適切な維持管理を実施していくための課題

・過去に補修などの対策を行っているが維持管理履歴が記録されていないため，劣化要因が特定できない場合

・専門知識が十分でなく補修の優先順位付けや，適切な工法選定ができない状況下で，担当者の判断だけで実施の有無や補修内容を決定している場合．

・適切な診断や工法選定がなされておらず，工事を実施したものの早期に再劣化が発生する場合．

以上に示した状況は，維持管理の実務において維持管理計画を立て予算をとったものの，床版の劣

化・損傷要因を正しく把握できていない場合や対策工法の選定に問題があるケースと考えられる．そこで，点検員による点検結果を内部で再評価を行う 2 次審査などで専門家の知見に基づいた定性的・定量的な総合評価が行え，それに基づいて工法選定ができる審査体制を確立することが望まれる．しかし，現状では，予算などの問題や現場条件により未対策の損傷が年々累積しており，結果的には対症療法的な事後保全となる傾向があることに留意する必要がある．

d) 国道と地方道の通行車両の荷重特性の相違に対する対応

・国道，地方道路，有料道路では，通行車両の輪荷重条件（過大な輪荷重，大型車交通量など）に相違がある．

・場合によっては，路線もしくは橋梁ごとに通行車両の輪荷重条件に異なった特性がある．

道路橋床版の維持管理では，通行車両の荷重特性は床版の耐荷力や耐久性に大きな影響を及ぼすため，上記の点に留意して，維持管理の基本データを基に地域特性および床版の劣化・損傷傾向を把握して柔軟に対応することが重要である．特に，個別橋梁に対し対策の有無を判定する際，荷重条件（交通輪荷重・大型車混入率など）や構造条件（適用基準・床版厚・強度など）が厳しい場合，地域特性や輪荷重特性に基づいた劣化進行の速度を加味し，通常より予防保全に重点を置いた対応とすることが重要である．

【参考文献】

1) 松井繁之:移動荷重を受ける道路橋 RC 床版の疲労強度と水の影響について, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.9, No.2，pp.627-632，1987.

2) 西川和廣，見波潔，柏原荘助，山本幹雄：広暮坪陸橋の塩害による損傷と対策，①過去の損傷および補修，橋梁と基礎，Vol.27，No.11，1993. 11.

3)三田村浩，佐藤京，本多幸一，松井繁之：道路橋ＲＣ床版上面の凍害劣化と疲労寿命への影響，土木学会，構造工学論文集，Vol.55A，pp.1420-1431，2009.

4) 児島孝之，杉江功，丸山悟，村山康雄：アルカリ骨材反応による RC 床版の損傷と補修，コンクリート工学，Vol.32, No.2，1994. 2.

5) 総務省：社会資本の維持管理および更新に関する行政評価・監視　－道路橋の保全などを中心として－　結果に基づく勧告，平成 22 年 2 月

6) 土木学会：2007 年制定　コンクリート標準示方書［維持管理編］，平成 20 年 3 月

7) 国土交通省国土技術政策総合研究所：国土技術政策総合研究所資料 523 号，道路橋の計画的管理に関する調査研究―橋梁マネジメントシステム（BMS）－，平成 21 年 3 月

第 2 章　道路橋床版の損傷と点検調査方法

2.1　道路橋床版の損傷

2.1.1　RC 床版の損傷

RC 床版の主な損傷は，損傷部位および損傷内容により以下に分類されるため，維持管理においては，以下の各損傷に着目するのがよい．

(1) 床版上面の損傷
- 1) 舗装のひび割れ，はく離・ポットホール
- 2) 上面コンクリートのひび割れ・滞水
- 3)上面コンクリートの浮き・はく離
- 4) 上面側の内部鉄筋の露出・腐食・断面欠損

(2) 床版下面の損傷
- 1)下面コンクリートのひび割れ進展
- 2)漏水・遊離石灰・エフロレッセンス・錆汁
- 3)かぶりコンクリートの浮き・はく離・はく落
- 4)下面側の鉄筋露出，鉄筋腐食，断面欠損
- 5)下面コンクリートのスケーリング，ポップアウト

(3) 床版の剛性低下
- 1)たわみの増加
- 2)異常振動

(4) 補修・補強部材の損傷
- 1)断面修復材の浮き・はく離
- 2)上面増厚部の層間はく離
- 3)接着鋼板の腐食，浮き・はく離

【解説】

(1) 床版上面における損傷は，走行車両への安全性および快適性という道路機能に直結しやすいことから，この損傷への対応が，床版の維持管理において大きなウェイトを占める．床版上面の損傷は交通量が多いと発生しやすく，また，寒冷地においては凍結防止剤による塩害および凍害が要因となり床版上面に損傷が発生しやすい傾向がある．

道路橋床版の上面は一般的にはアスファルト舗装が敷設されているため，床版上面の損傷を外観目視で直接確認するには舗装を部分的に剥ぎ取る必要があり，点検時に床版上面の損傷状況を外観目視で確認した事例は少ないのが現状である．よって，床版上面の損傷状況を簡易に把握するためには，舗装のひび割れ・はく離・ポットホールの状況を確認することによって，床版上面の損傷状況を間接的に類推することになる．

また，舗装補修工事で既設の舗装を剥ぎ取った際には，床版上面のひび割れ・エフロレッセンス，浮き・はく離（骨材化），内部鉄筋の露出・腐食・断面欠損といった損傷状況を外観目視および打音点検で直接確認できるため，このような損傷箇所が確認された場合は，新たに舗装を敷設する前段の限られた時間において床版上面の補修を実施しているのが一般的である．

しかしながら,舗装剥ぎ取り後に確認される床版上面の損傷範囲および補修範囲が大規模になる場合は,舗装敷設前段の限られた時間では床版上面の補修工事に対応できなくなる事態も想定される.したがって,剥ぎ取り前の舗装の損傷が顕著で床版上面の損傷が大規模である可能性が高いと想定される場合には，舗装剥ぎ取り前に，舗装の部分的な剥ぎ取り（試掘）や非破壊試験を活用して床版上面の損傷状況を把握する必要がある．なお，床版上面の補修においては一般的には交通規制が必要となり，時間的・施工ヤード的な制約を受ける場合が多い.

1) 床版上の舗装にはクモの巣状のひび割れが発生する場合があり,そのひび割れが進行することにより**図-解 2.1.1** に示すようにリフレクションクラック（ポットホール）が突然現れる．これは，床版上面損傷により舗装が上下方向に動くことに起因する場合もあり,車輪が走行する部分に発生することが多い.舗装のひび割れ，はく離・ポットホールの発生頻度は供用期間の長い床版で高く，凍結防止剤による塩害および凍害を受けている床版での発生頻度が高くなる.
2) 舗装を剥がして観察した床版コンクリートのひび割れは,施工時の乾燥収縮によるものが何らかの原因で進展した場合が多く,**図-解 2.1.2** に示すように,ひび割れから浸入した水および滞水の影響によるポンピング作用や，内部鉄筋の腐食膨張によるひび割れ進展などが考えられる．なお，鉄筋のかぶり不足と凍結防止剤散布が要因となるため，上側鉄筋の腐食が先行する.
3) 鉄筋のかぶり不足と凍結防止剤散布により，**図-解 2.1.3** に示すように上側鉄筋が腐食して上面コンクリートの浮き・はく離が発生する．上面コンクリートの状況を観察すると，コンクリート片が舗装と一緒にはがれたりする．コンクリートのはく離は，舗装面にコンクリートの白い粉が析出することによって現れることが多い．コンクリートがはく離した後，通行車両により粉砕されることにより部分的に骨材化（土砂・砂利・粘土化）する場合もある.
4) 鉄筋の腐食が進展した場合は，骨材化したかぶりコンクリートを除去すると**図-解 2.1.4** に示すように腐食鉄筋が露出し，断面欠損している鉄筋が観察される．また，舗装打換工事において既設舗装を切削除去する際に，床版上面コンクリート部分が切削されることによってかぶりコンクリートが減厚し，鉄筋が露出する場合や鉄筋腐食の要因となる場合がある.

図-解 2.1.1　舗装のひび割れ，はく離・ポットホール

図-解 2.1.2　上面コンクリートのひび割れ・滞水

図-解 2.1.3　上面コンクリートの浮き・はく離

図-解 2.1.4　上面側の内部鉄筋の露出・腐食・断面欠損

(2) 道路橋床版の点検調査は床版下面の損傷状況を外観目視および打音により実施するのが一般的であり，重交通量の道路橋では過積載車を含む重車両の繰返し走行での疲労劣化により床版下面のひび割れ進展が主な損傷として目視確認できる．このような疲労劣化によるひび割れ進展過程は，車両の繰返し走行を再現した輪荷重走行試験機による実験でも確認されている．また，積雪地や寒冷地の道路では，冬期に散布される凍結防止剤による塩害も明らかになってきている．

1) 交通荷重の繰返し作用による床版の疲労損傷は，まず床版下面のひび割れとなって現れる．ひび割れは損傷の進行とともに，橋軸直角方向から橋軸方向のひび割れに進展していき，**図-解 2.1.5** に示すように，ひび割れ間隔の細分化とともに最終的には格子状に進展する．

2) 貫通ひび割れに水が浸透すると，**図-解 2.1.6** に示すように，漏水（水しみ）が発生し，その後，遊離石灰・エフロレッセンスを伴う．また，長期にわたる場合は鉄筋が腐食し，錆汁を伴うエフロレッセンスに進展する．

3) 下側鉄筋の腐食が進行するとかぶりコンクリートの浮き・はく離が生じ，はく落にいたる場合がある．
4) 下側鉄筋の腐食によりかぶりコンクリートがはく落した場合は，**図-解 2.1.7** に示すように腐食鉄筋が露出し，断面欠損している鉄筋が観察される．
5) 寒冷地においては，**図-解 2.1.8** に示すように，下面コンクリートの表面部に凍害の影響と思われるモルタル分の欠け落ちによるスケーリング，粗骨材の抜け落ちによるポップアウトが見られる場合がある．

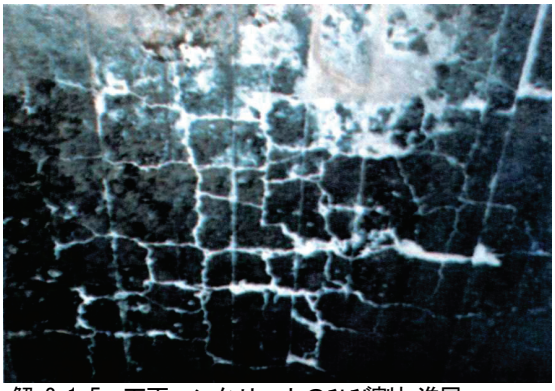


図-解 2.1.5　下面コンクリートのひび割れ進展

図-解 2.1.6　漏水・遊離石灰・エフロレッセンス・錆汁

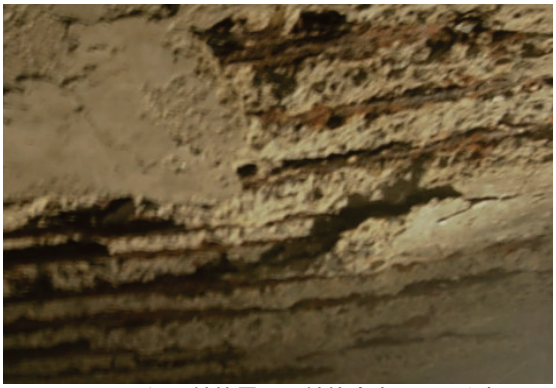


図-解 2.1.7　下面側の鉄筋露出，鉄筋腐食，断面欠損

図-解 2.1.8　下面コンクリートのスケーリング，ポップアウト

(3) コンクリート自体の材料劣化，疲労劣化および鉄筋腐食により，RC 床版のひび割れが進展し，かぶりコンクリートのはく離・はく落が生じることにより床版の剛性が低下すると，**図-解 2.1.9** に示すように床版のたわみの増加（異常振動）が常時計測により確認できると思われるが，このような計測事例は少ない．床版の維持管理において，床版の劣化の程度を知るための簡便な指標として RC 床版の振動特性（固有振動数）に着目する場合がある．荷重の走行に伴う床版の疲労劣化が進行するに伴い，床版の振動特性がどのように変化するのかを知るため，RC 床版のモデルを用いた輪荷重走行試験と並行して衝撃振動試験を行い，床版の劣化過程と振動特性の変化がどのように関係しているのかの試験が試行されている．

図-解 2.1.9　床版の剛性低下の計測事例（変位計測）

図-解 2.1.10　断面修復部境界付近の浮き・はく離

(4) これまでにも床版の劣化対策として，種々の補修・補強が実施されてきた．しかし，近年では補修・補強後において比較的短期間で既設床版の劣化進行および補修補強部の劣化が発生する場合があり，その対策が床版維持管理上の問題となっている．

既設床版の補修・補強においては，交通規制を伴う工事が多く，施工時間の制約により新設工事に比べ十分な品質の確保が行えない場合が多い．また，取替による更新以外の補修・補強工法においては，既設構造物の劣化部の完全な除去および劣化因子の排除が困難であるため，残存劣化因子および供給される劣化因子により再劣化が発生すると考えられる．特に，床版は薄い部材であるため，劣化が全断面にわたり発生している場合が多く，より再劣化が発生しやすい部材である．

補修・補強部材の損傷としては，補修材（断面修復材，ひび割れ注入材），補強材（接着鋼板，接着繊維，増厚材）について，浮き・はく離を主体とした損傷が確認されている．

1) 劣化したコンクリート構造物を補修する工法として，劣化により喪失した断面の修復や，中性化，塩化物イオンなどの劣化因子を含むかぶりコンクリートの撤去を目的とした断面修復工法が実施されている．

しかし，RC 床版においては，内在および外来によるコンクリート内の塩化物イオンが存在する場合があり，既設コンクリート部の含有塩化物イオン濃度が高い場合においては，補修部と既設コンクリート境界部に局部電池（マクロセル）が形成され，鉄筋が腐食することにより，**図-解 2.1.10** に示すように断面修復部境界付近に浮き・はく離（鉄筋腐食）が発生する場合がある．

2) 上面増厚工法は，疲労や塩害等により損傷を受けた RC 床版の補修・補強工法として，既設床版コンクリートの上面に鋼繊維補強コンクリートを打設する工法である．しかし，近年において，**図-解 2.1.11** に示すように増厚補強後においても路面ポットホールの発生，床版下面のひび割れの進展等の損傷が発生する場合がある．損傷の要因としては，層厚床版の施工目地等からの雨水および凍結防止剤の浸入による既設床版鉄筋の腐食，輪荷重繰返しによるコンクリート境界面の剥離等が考えられる．増厚コンクリート境界面が剥離した場合には，床版コンクリートが重ね梁状態となり上側の増厚コンクリートの骨材化が生じるとともに，下側の耐荷性能が低下する．

増厚コンクリート境界面の剥離については，施工時における研掃不足やコンクリートの締固め不足も要因の１つと考えられ，近年ではウォータージェットによる既設床版面の研掃やコンクリート境界面への接着剤塗布などの対策も実施されている．

3) 鋼板接着工法は，疲労等により損傷を受けた RC 床版の補修補強工法として，既設床版コンクリートの下面にエポキシ樹脂等を用いて鋼板を接着する工法である．本工法においては，補強材として鋼板を使用しているため，**図-解 2.1.12** に示すように補修後において鋼板の腐食が発生する場合がある．また，鋼板との接着部についても経年により付着切れを起こす場合もある．

損傷の要因としては，床版上面等からの雨水および凍結防止剤の浸入による既設床版鉄筋の腐食，輪荷重繰返しによる補強材境界面のはく離等が考えられる．境界面が剥離した場合には，床版の耐荷性能に対する補強効果の低下の他，補強鋼板自体が落下する危険もある．

図-解 2.1.11　上面増厚部の層間はく離状況

図-解 2.1.12　接着鋼板の腐食状況

2.1.2　PC 床版の損傷

PC 床版の主な損傷は，損傷部位および損傷内容により以下に分類することができる．

(1) RC床版に準ずる損傷

(2) PC床版特有の損傷

1) PCケーブルや定着部の腐食

2) 打ち継ぎ部のひび割れ

3) プレストレスの導入不足によるひび割れ

【解説】

PC 床版は，PC ケーブルを用い 1 方向あるいは 2 方向に床版内にプレストレスを作用させた床版構造である．剛性が大きく，耐荷力・耐久性共に RC 床版を上回ることから，一般に高耐久性床版に位置づけられる．また，PC 床版は，架設現場でコンクリート施工をする場所打ち PC 床版と，ブロックごとに製作工場でコンクリート施工をし，架設現場では間詰め部だけを打設するプレキャストPC床版に大別されるが，現時点では，場所打ち PC 床版が主流となっている．プレキャスト PC 床版の現場での継ぎ目は，通常，ループ継手を用いており，RC 構造として接続されている．

PC 床版の損傷事例は現時点ではほとんど報告されていないため，将来想定される損傷を下記に挙げる．

(1) RC 床版と同じコンクリート系床版であることから，RC 床版に準じて想定した.

1) 床版上面の損傷

a) 舗装のひび割れ・はく離・ポットホール

b) 上面コンクリートの砂利化

c) 床版上面鉄筋の腐食

2) 床版下面の損傷

a) ひび割れの進展

b) 漏水・エフロレッセンス・錆汁

c) 空洞・豆板

d) スケーリング，ポップアウト

e) 変色

f) 鉄筋腐食

3) 床版の剛性低下

a) 異常たわみ・変形

b) 異常振動

c) 桁・床組とのはく離

(2) PC 床版特有の損傷としては，以下が考えられる.

1) PC ケーブル・定着部の腐食：PC ケーブルのシース管内への雨水の浸入や，定着部の防錆機能の低下などにより，PC ケーブルが腐食し，進展すれば破断する場合が想定される．PC ケーブルは張力が導入されていることから，万一破断した場合には，PC ケーブルが飛び出す可能性があり危険を伴う．概念図を**図-解 2.1.13** に示す.

2) 打ち継ぎ部のひび割れ：プレキャスト PC 床版の，工場打ちコンクリートと場所打ちコンクリートの打ち継ぎ部となるループ継手部は，その他の部位に比べて弱点になりやすいと考えられる．概念図を**図-解 2.1.14** に示す.

3) プレストレスの導入不足によるひび割れ：場所打ち横締め PC 床版の場合，桁端部など，横桁の剛性が大きい部位は，横締め時に横桁がプレストレスの一部を担って床版へのプレストレスロスが生じやすく，設計思想どおりの圧縮力が作用していない場合があることが想定される．概念図を**図-解 2.1.15** に示す.

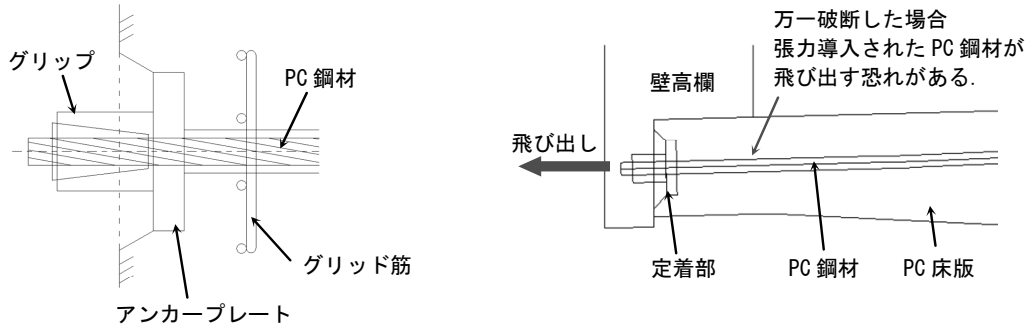


図-解 2.1.13　PC ケーブル・定着部の腐食の例（想定）

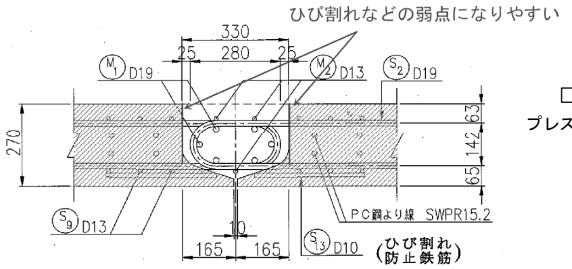


図-解 2.1.14　打継ぎ部のひび割れ例（想定）

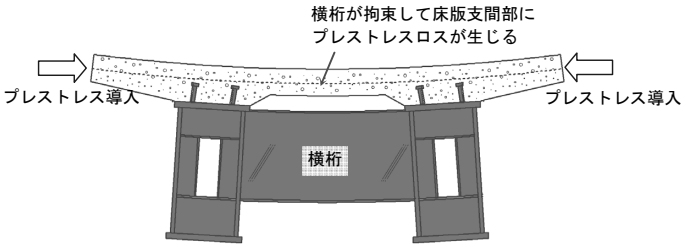


図-解 2.1.15　プレストレスロスによるひび割れ例（想定）

2.1.3　合成床版の損傷

合成床版の主な損傷は，損傷部位および損傷内容により以下に分類される．

(1) 鋼部材の変状

(2) コンクリート部材の変状

(3) 合成床版特有の損傷

【解説】

合成床版は，鋼板または形鋼とコンクリートが一体となって荷重に抵抗するよう，合成効果を利用した床版構造である．近年，鋼材ではなく，FRP やコンクリート製の永久型枠とコンクリートを合成させた合成床版も採用されている．これらは，PC 床版と同程度の疲労耐久性を有することから，高耐久性床版に分類される．

一方，類似した構造で，鋼板は合成効果を期待せず鋼製型枠としてのみ利用した I 形鋼格子床版などがある．この床版は，前述の合成床版とは異なり，RC 床版に分類される．

(1) 鋼部材の変状は**表-解 2.1.1** に示すように，塗膜の劣化，腐食による部材断面積の減少，疲労き裂の発生，き裂の進展による破断，過大な応力による変形等が代表的であり，いずれも耐荷力の低下につながる恐れがあるため注意が必要である．

過大な応力および疲労き裂の損傷例として，想定されるずれ止めの破壊形態を**図-解 2.1.16** に示す．

過大なせん断力によって，ずれ止め下端でスタッド溶接部が破断したり，鋼板に亀裂が生じたりする例が実験的に確認されている[2)]．

表-解 2.1.1　鋼部材の変状[1)]

変状の種類	原因	現象
塗膜の劣化（発錆）	紫外線，塩分，風雨等による劣化	塗膜の変色・退色，割れ，ふくれ，はがれ，鋼板の錆等
断面減少	腐食	鋼材が腐食により徐々に減厚する
変形・き裂	過大な応力	過大な応力により部材に変形，き裂が生じる
疲労き裂	疲労	繰返し荷重により部材に疲労き裂が生じる
遅れ破壊	化学的作用等による鋼材の劣化	ある期間を経過した後，高力ボルト等が脆性破壊する

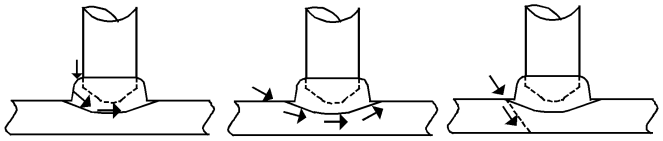


図-解 2.1.16　ずれ止め（頭付きスタッド）の破壊形態例 [2)]

(2) コンクリート部材の変状としてコンクリートの表面に現れる現象は，ひび割れ，剥離，剥落，エフロレッセンス，錆汁，アルカリ骨材反応によるゲル状物質の滲出，鉄筋露出，変色など多様である．**表-解 2.1.2** に変状の機構と現象の特徴を示す．機構が異なっても，類似する現象が現れる場合があり，コンクリート表面の現象から機構を特定することは難しい場合が多い．

表-解 2.1.2　コンクリートの変状 [1)]

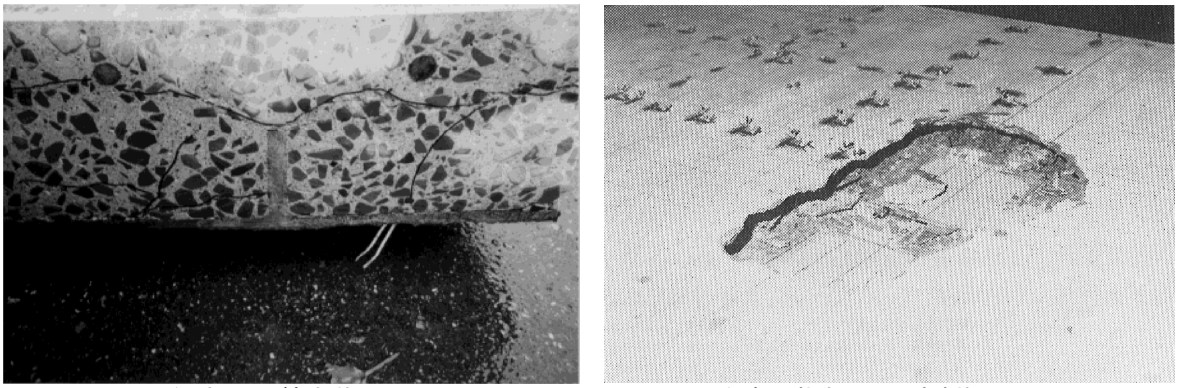
変状の機構	現象の特徴
塩害	鉄筋軸方向のひび割れ，かぶりコンクリートの剥離・剥落，錆汁，内部鉄筋の断面減少や破断
中性化	鉄筋軸方向のひび割れ，かぶりコンクリートの剥離・剥落
凍害	微細なひび割れ，スケーリング，ポップアウト
化学的侵食	コンクリートの剥離・剥落
アルカリ シリカ反応	亀甲状のひび割れ，ゲル状物質（アルカリシリカゲルが液体または半固体状になったもの）の滲出， コンクリート表面の変色
床版の疲労	格子状のひび割れ，角落ち，エフロレッセンスや錆汁の流出

(3) 実験結果より類推される，合成床版特有の損傷事例を以下に示す [1)]．これら損傷事例は，設計値を超える荷重を載荷して生じさせた，輪荷重走行試験の破壊形態を基にしている．実験結果による損傷のうち，水平ひび割れ状況と押し抜きせん断破壊状況を**図-解 2.1.17** に示す．

1) 乾燥状態での輪荷重走行試験による破壊形態について以下の報告がある．

a) 床版上面に橋軸直角方向のひび割れが発生し，ひび割れ貫通に伴ってコンクリートが補強リブと剥離し，床版内部のリブ間のコンクリートが梁のように独立して挙動するようになり（梁状化），最終的には押し抜きせん断破壊に至る．また，リブ上部を結ぶような水平ひび割れの発生が確認されている [3)]．

b) リブを有する構造の合成床版は，試験終了後の観察で，ひび割れはリブ上端に沿って水平方向に進展していることから，このタイプの床版の限界状態は，リブ上端に沿ったひび割れによって圧縮側コンクリートが鋼板パネル側と分離して，重ねばりの状態になると考えられている [4)]．



a）水平ひび割れ状況　　b）押し抜きせん断破壊状況

図-解 2.1.17　実験による損傷例 [5)]

2) 湿潤状態での輪荷重走行試験による破壊形態について以下の報告がある．

連続合成桁の中間支点部に着目し，あらかじめ主桁作用に相当する負曲げモーメントを与えつつ，乾燥状態で 30 万往復回の走行を行った後，床版上に滞水させた状態で輪荷重走行を行っている．試験の結果，せん断ひび割れとともにリブ上部での水平ひび割れが確認されており，あらかじめ与えられた負曲げモーメントによるひび割れから水が浸入し，ひび割れ面が擦り合わされてコンクリートが骨材化することでせん断耐荷力を失い，最終的には押し抜きせん断破壊に至ったものと考えられている [6].

また，本試験では，上記のほか，以下の変状が報告されている．

a) 床版上面の気泡の発生

b) 床版側面からの漏水

c) 床版上面泥上の堆積物

d) 床版下面の継手部からの漏水

以上のような輪荷重走行試験での損傷事例および RC 床版の点検要領を参考に整理した合成床版特有の想定される損傷の種類と着目箇所を**図-解 2.1.18** に，損傷の特徴を**表-解 2.1.3** に示す [1].

なお，合成床版では，RC 床版および PC 床版とは異なり，下面が鋼板で覆われていることから，損傷の確認には以下の点に注意する必要がある．

1) コンクリート部材下面のひび割れは直接目視により確認することができないため，関連する他の損傷から床版の損傷レベルを判定する必要がある．

2) 床版内部に雨水が浸入した場合，滞水し易い構造であるため注意が必要である．滞水の有無は，覆われている鋼板に設けられたモニタリング孔や，鋼板の継手部および付属物境界部などの隙間からの漏水により確認する．また，雨水の浸入による損傷の程度は，漏水の色などの状態を確認し判定する．

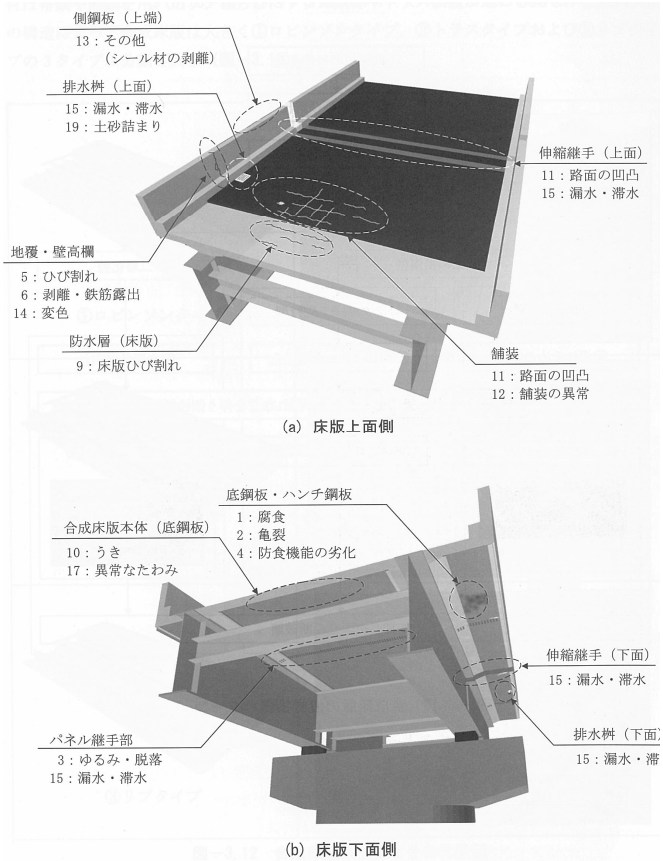
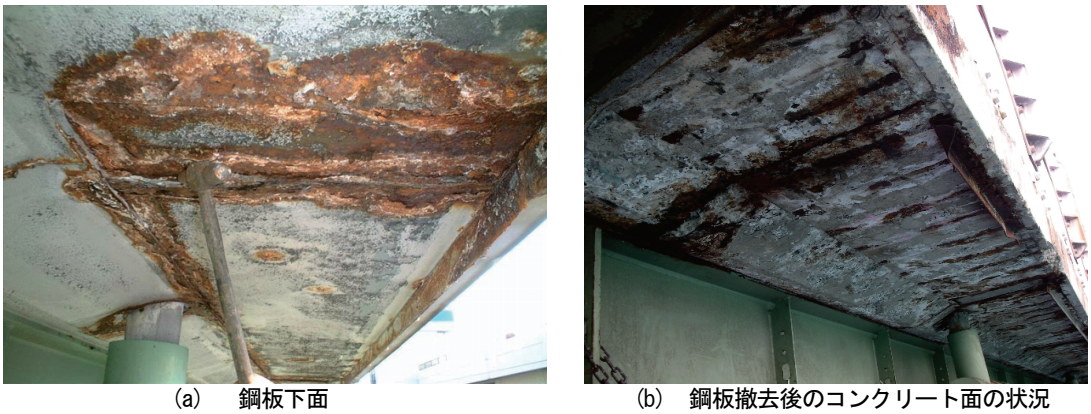


図-解 2.1.18　想定される合成床版の損傷と着目箇所 [7][8]

表-解 2.1.3　想定される合成床版特有の損傷

変状の種類		着目箇所	変状の特徴	標準的検出方法
1	腐食	底鋼板下面	集中的に錆が発生する状態	目視
2	亀裂	〃	鋼材に生じる疲労亀裂	目視
3	ゆるみ・脱落	パネル継手部	ボルトの異常	目視、テストハンマ
4	防食機能の劣化	底鋼板下面	防食皮膜の劣化による変色、ひび割れ、ふくれ、はがれ等	目視
5	ひび割れ	地覆 壁高欄	コンクリート部材の表面に発生	目視、写真
6	剥離・鉄筋露出	〃	〃	目視、写真
7	漏水・エフロレッセンス	モニタリング孔 パネル継手部 付属物境界部	滞水などにより劣化している場合は錆汁やエフロレッセンスが漏出	目視、写真
8	抜け落ち	底鋼板下面	鋼板の腐食	目視，写真
9	床版ひび割れ	床版上面	下面は確認できない （15 に関連させる）	目視、写真
10	うき	底鋼板	コンクリートと剥離した状態 （性能上は問題ない）	テストハンマ
11	路面の凹凸	舗装路面 伸縮継手	衝撃力を増加させる凹凸や段差	目視、コンベクス、ポール
12	舗装の異常	舗装路面	ひび割れ、ポットホール、泥状の噴出物	目視
13	その他 （シール材剥離）	側鋼板	止水シール材の剥離	目視
14	変色・劣化	地覆 壁高欄	コンクリートの変色	目視
15	漏水・滞水	伸縮継手 排水桝	雨水等が排水機構によらず漏出	目視
16	異常な音・振動	（不特定）	通常では発生しない音や振動	聴覚、目視
17	異常なたわみ	床版本体 （底鋼板）	通常では発生しないたわみ	目視
18	変形・欠損	（不特定）	地震等による部材の変形や欠損	目視
19	土砂詰まり	排水桝	土砂の詰まった状態	目視

3) 実構造物の損傷事例として，福岡北九州高速道路公社より，漏水による遊離石灰と錆汁の発生についての報告がある[9) 10)]．I 形鋼格子床版は一般に RC 床版に分類されるが合成床版の損傷を類推する上で有効と考えられるため，I 形鋼格子床版の劣化事例を**図-解 2.1.19** に示す．(a)は鋼板下面の状況を，(b)は鋼板撤去後のコンクリート面の状況を示しており，白色の析出物や鋼板上面に錆が発生している状況が確認できる．さらに，**図-解 2.1.20** は鋼製排水溝からの漏水によって生じたと考えられる合成床版の劣化事例を示す．供用を開始して数年後の状況図であるが，鋼製排水溝の下から漏水することにより，床版張出端部から遊離石灰が発生している．



(a)　鋼板下面　　(b)　鋼板撤去後のコンクリート面の状況

図-解 2.1.19　漏水による遊離石灰発生事例（I 形鋼格子床版）

(a)　鋼製排水溝下の滞水状況　　(b)　張出部先端

図-解 2.1.20　漏水による遊離石灰発生事例（合成床版）[9)10)]

2.2 道路橋床版の点検

2.2.1 点検の目的

点検は，床版を常に良好な状態に保全するため，床版の損傷，変状などの状況を的確に把握するために必要な情報を得ることを目的として実施する．

【解説】

本節は，多くの道路管理者が準拠している国の点検基準[11),12),13),14)]を基本とし，他の道路管理者の点検基準[15),16),17),18)]および維持管理基準[19),20),21)]などを参考にし，道路橋床版に着目して取りまとめたものである．

近年，道路構造物は，車両の大型化や交通量の増加に伴う損傷の進行，経過年数の増加に伴う損傷の顕在化，さらには構造物の損傷等に伴い一般公衆へ被害を与える事例，いわゆる第三者被害が発生するなど，その周辺の情勢は大きく変化してきた．

このような背景から，道路管理者は，安全で円滑な交通の確保，沿道や第三者への被害の防止を図るため，道路構造物の状態を常に把握し，異常，破損などへの迅速な対応，それらが発生する誘因の除去，ならびにその予防に努め，自然災害などの不測の事態に際しても，道路構造物の安全性が保持されるよう維持管理することが求められてきている．

道路橋における床版は，損傷および劣化事例も多く，道路機能への影響が大きい部材であるため，損傷および劣化の進行状況を点検により把握することは，床版の使用限界を判断する重要な要素となる．

床版の損傷状況を的確に把握し，その状況に応じて対策する効率的な維持管理を行うためには適宜点検を実施し必要となる基礎的資料を得ることが重要である．

道路橋に使用されている床版には，多くの種類があり，様々な状況で使用されている．しかしながら，本マニュアルでは，鋼橋におけるコンクリート系床版（鋼床版を除く）の RC 床版，PC 床版，および合成床版に適用する．また，それ以外の床版についても適用できる内容も含まれているので，下記のような床版の分類を参考として，適用範囲を理解した上で，準用することができる．

① RC 床版
  1) 現場打ち RC 床版
  2) プレキャスト RC 床版

② PC 床版
  1) 現場打ち PC 床版
  2) プレキャスト PC 床版

③ 合成床版
  1) 鋼・コンクリート合成床版
  2) その他の合成床版（FRP 合成床版，ハーフプレキャスト合成床版　など）

2.2.2　点検の種別と方法

(1) 初期点検

構造物の新設や大規模な補修・補強などの完了後，維持管理を開始する上での基礎資料となる構造物の初期状態を把握することを目的として実施する．

点検方法は，構造物完成後，維持管理の開始前に，近接目視および打音により行うのがよい．

(2) 日常（通常）点検

損傷・変状の早期発見を図り，安全かつ円滑な交通の確保および第三者に対する障害の防止を図ることを目的として，道路の通常巡回時に車上からの目視を主体として日常的に実施する．

点検方法は，路線毎に交通量・供用年数などに応じて点検頻度を設定し，日常的に路上から主に車上目視，車上感覚により行うのがよい．

(3) 定期点検

構造物の機能低下の原因となる損傷・変状を早期に発見し，構造物の損傷・変状を把握・判定することを目的として，頻度を定めて定期的に構造物に近接目視を基本として実施する．

点検方法は，維持管理費用・供用年数・交通量・損傷状況・環境条件などを考慮し，点検範囲および長期的な点検計画に基づいて，主に近接目視・打音等により診断・評価を行うのがよい．

(4) 異常時点検

地震，台風などの災害や大きな事故が発生した場合，あるいは予期しない異常が発生した場合などにおいて，構造物の安全性を確認することを目的として，適宜必要に応じて緊急に実施する．

(5) 特定点検

定期点検とは別に，特定の事象に着目して予防保全的な観点などからその事象の進行状況を把握することを目的として，あらかじめそれらの事象に応じた期間および方法を定めて，各事象に応じた点検方法・点検頻度を設定して計画的に実施する．

【解説】

(1) 構造物の新設に際し構造物の初期状態を把握することは，その後の維持管理において構造物の劣化性状を予測するうえで非常に重要となる．

初期点検とは，構造物の完成後の初期状態の把握や維持管理の基礎資料（初期値）を集めるために通常実施される竣工検査とは別に，維持管理開始前に近接目視および打音により行い，合わせて構造物の建設時の初期欠陥や変状のほか，災害および補修履歴などの記録も収集整理するのがよい．

また，多くの有料道路や一部の地方公共団体などでは，初期点検は維持管理開始後に改良工事等で構造物が新規に建設された場合や大規模な補修・補強により構造物の構造系が大きく変更された場合に，その記録を以後の維持管理に活用するために，劣化や損傷の有無よりも施工後の初期状態を把握することを目的として，工事完成から供用開始までの間に実施されている．なお，初期点検の点検結果は，定期点検と同様な評価手法により点検記録として保存するのがよい．

一方，国や地方公共団体などでは，建設完了時や大規模な改築などで構造を大きく変更した場合，初期欠陥の多くが供用後概ね２年程度の間に現れることが多いことから，初回点検として供用後２年以内に定期点検を実施するところもある．

(2) 日常（通常）点検は，一般に道路巡回，あるいは道路パトロールと呼ばれている点検であり，道路利用者の安全かつ円滑な交通の確保，ならびに沿線住民などの第三者に対する障害の防止を図るため，構造物全般を日常的に巡回点検し，主に路面から確認できる異常や損傷などを早期に発見することを目的として

実施する．

国や多くの地方公共団体の一般道路では，通常点検として道路巡回パトロールの一環として実施されている．点検頻度は各道路管理者により交通量や維持管理方法によって決められており，一般的に 1 回／数日～1 回／週程度の点検頻度で実施されている．

一方，NEXCO，首都高速，阪神高速等で管理されている有料道路では，交通管理部門の道路巡回パトロールとは別に，点検員による日常点検が実施されている．点検の実施内容は，高速道路上の車上点検を主とし，交通量や供用年数などの環境条件を考慮して点検種別が設定されており，路上および路下の遠望目視による徒歩点検なども実施されている．点検頻度は，各道路管理者が路線毎の交通量や損傷状態により設定しており，概ね 1～4 回/週で実施されている．

また，一部の道路管理者では，維持管理費削減や職員の点検技術向上を目的として，道路管理者の職員により点検を実施しているところもある．

(3) 定期点検とは，橋梁に係る維持管理を効率的に行うために必要な記録を得ることを目的に行う点検で，維持管理上，最も重要な点検である．また，構造物全体およびその構成部材の機能，ならびに安全性を低下させないように長期点検計画に基づいて実施する．

定期点検は，個々の構造物の状況を細部にわたって近接目視および打音等により行い，目的に応じて必要な点検機械・器具を用いて実施する詳細な点検である．また，構造物の損傷や変状などを早期に発見し，構造物の設計条件や施行条件，使用条件，環境条件等を総合的に勘案しつつ詳細な診断を行い，構造物の損傷状態を正しく把握することをその目的としている．

定期点検は，損傷状況の把握，対策区分の判定およびそれらの結果の記録を行い，予め一定の期間を定めて定期的に行われるものである．

点検頻度は，国や多くの地方公共団体などでは，1 回／5 年を基本としている．一方，道路管理者によっては，点検頻度を損傷・劣化状態や交通量や供用年数などの環境条件を考慮した維持管理水準の設定により，5～10 年の範囲で柔軟に設定されている場合もある．また，一部の道路管理者では，定期点検において，維持管理水準や損傷状況を考慮して遠望目視による概略点検と近接目視による詳細点検を区分して運用しているところもある．

(4) 異常時点検とは，地震，台風，火災，激突などの災害や大きな事故が発生した場合，あるいは予期していなかった異常が発生した場合などにおいて，必要に応じて道路橋の安全性を確認し，安全で円滑な交通確保と沿道や第三者への被害の防止を図るために実施する．

また，一部の道路管理者では，異常時点検，特定点検，詳細調査，追跡調査などを含めて臨時点検として運用しているところもある．

(5) 特定点検とは，知見の少ない損傷等の進行状況の把握，補修・補強などに用いられた新材料や新工法の有効性の確認，あるいは代表的構造物等の損傷傾向を把握して点検補修計画策定に役立てること等を目的としているため，同一個所を継続的に調査するのがよい．なお，特定点検の実施にあたって，対象個所の選定，点検手法や頻度の決定は，その目的や事例毎に適宜判断し，計画する必要がある．

以上に示した一連の点検を，効率的かつ合理的に行うためには，予め一定の期間を定めて行われる定期点検を核として，通常巡回に併せて日常的に行われる日常（通常）点検，特定の事象に特化した特定点検，災害や大きな事故が発生した場合と予期せぬ異常が発見された場合に行う異常時点検などとの役割分担のもとで，互いに情報を共有しながら適切に行うことが重要である．

2.2.3　点検の流れ

点検は，日々行われている維持管理の中で最も基本的かつ重要な行為であり，単独で機能するものでなく，構造物の維持管理において，点検結果に基づき判定を行い，緊急対応や補修，さらに詳細調査など関連する業務と連携して適切に実施するのがよい．

【解説】

図-解 2.2.1 に維持管理の主な流れの中での点検の位置付けと維持管理の標準フローを示す．

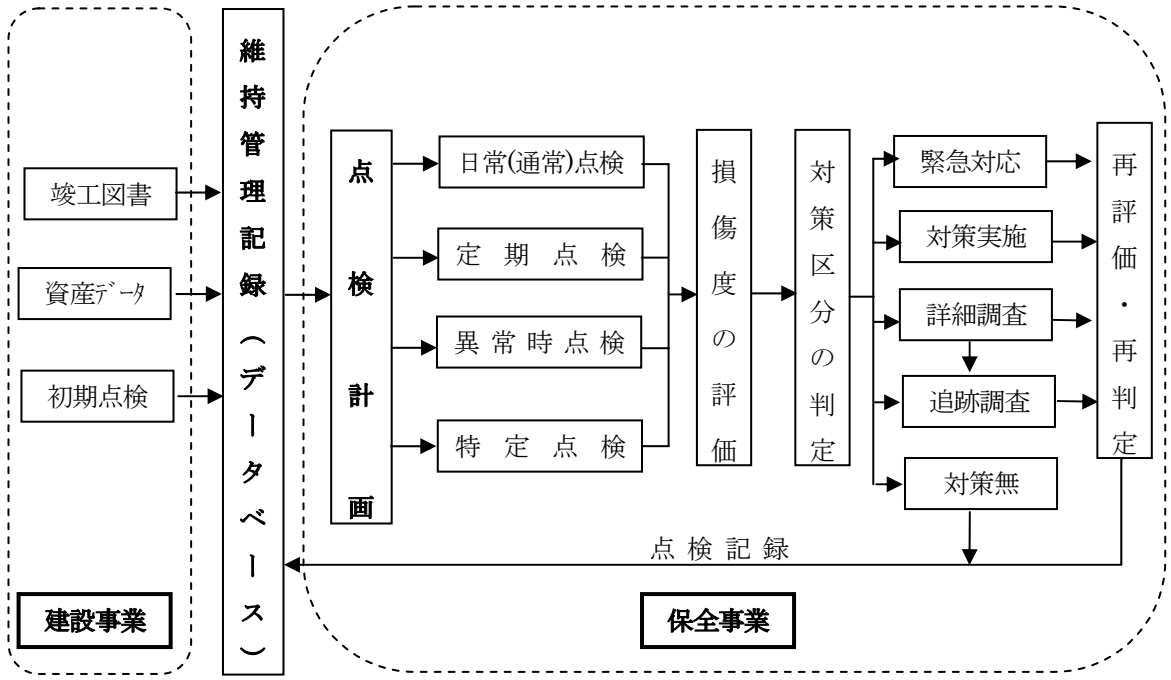


図-解 2.2.1　点検に関連する維持管理フロー

点検計画は，点検全体に配慮して，当該橋梁の状況に応じて適切な点検が実施できるよう作成するのがよい．点検を効率的かつ適切に行うためには，事前に十分な点検計画を作成する必要がある．ここでいう点検計画は，点検作業に着手するための，既往資料の調査，現地踏査，点検の工程，点検の種別・範囲・項目・方法，点検体制，管理者協議，安全対策，緊急連絡体制，緊急対応の必要性等の報告体制など点検に係る全ての計画をいう．

(1) 既往資料の調査

点検の対象となる床版の過去の点検結果や設計基準，図面等を調査し，橋梁の諸元および損傷の状況や補修履歴，災害の発生状況等を把握する必要がある．また，損傷の状況，設計基準，図面などを照査し，その対象床版の特性を理解する必要がある．

点検にあたっては，点検の対象となる橋梁の構造および特性と要求される点検の精度を十分に考慮し，その点検に適した手法を選定する必要がある．また，その手法による実施状況（方法，結果，結果の判定方法等）をあらかじめ確認しておき，実際の点検現場でとまどうことのないように留意する必要がある．

(2)現地踏査

点検に先立ち，橋梁本体および周辺状況を把握し，点検方法や足場等の資機材の計画立案に必要な情報を得るための現地踏査を実施する必要がある．また，必要に応じて点検する床版の図面，過去の点検結果・

対応記録等を持参する．この際，交通状況や点検に伴う交通規制の方法等についても調査し記録（写真を含む）するのがよい．

(3) 点検の工程

点検は，仮設備や保安施設などの有効利用などから，点検を集約して実施することが効率的であり，点検の全体工程を計画的に行うとともに，十分な連携を図って実施することが重要である．したがって，各種点検を対象床版に設定された点検頻度で一斉に点検するのではなく，点検の平準化が図れるように長期点検計画を作成したうえで，当該年度に実施する年度点検計画を作成するのがよい．

また，各種点検の実施にあたっては，点検を適切に行うために，点検順序，必要日数あるいは時間などをあらかじめ検討し，点検計画に反映させる必要がある．なお，特定点検など他の点検と定期点検をあわせて実施する場合には，それらも点検計画に反映する必要がある．

長期点検計画は，主として定期的に実施する点検を対象として，各床版に設定されている点検頻度を基本として作成する．なお，①資産の状況，②建設計画，③長期補修計画，④過去の点検結果などを考慮して総合的な視点にて作成する必要がある．また，維持管理状況に応じて適切な時期に見直しを行うことが重要である．

年度点検計画は，日常的に実施する点検も含めて当該年度に実施するすべての点検を対象として，①長期点検計画，②対象床版の数量，③年度補修計画，④年度維持管理予算，⑤前年度などの点検結果などを考慮して作成するのがよい．

(4) 点検の種別・範囲・項目・方法

点検では，長期および年度点検計画に基づき，点検種別および対象範囲毎に必要な情報が得られるよう，点検する部位に応じて，適切な項目（損傷の種類）に対して，必要な点検機械・機器を携行し，適切な方法で点検を実施するのがよい．

特に，一つの対象構造物に対して，複数の点検や調査等を実施する場合は，実施内容が重複しないようにそれぞれの役割を明確にし，点検時にとまどうことのないよう留意する必要がある．

(5) 点検体制

点検は，橋梁に関して十分な知識と実務経験を有する者がこれを行うのがよい．点検を行う場合は，点検計画の案の作成，対策区分の判定（損傷原因の推定や特定，所見の記録を含む）等を行う橋梁検査員を定めるのがよい．また，点検作業班の編成人員は，点検種別，点検内容，現地状況等を考慮して，橋梁点検員等の編成人員を定めるのがよい．

点検業務に携わる橋梁検査員，橋梁点検員として必要な要件の標準は次のとおりとするのがよい．

a．橋梁検査員[11)]：対策区分の判定を行うのに必要な以下の能力と実務経験を有する者とする．

- 橋梁に関する相応の資格または相当の実務経験を有すること
- 橋梁の設計，施工に関する相当の知識を有すること
- 点検に関する相当の技術と実務経験を有すること
- 点検結果を照査できる技術と実務経験を有すること

b．橋梁点検員[11)]：損傷状況の把握を行うのに必要な以下の能力と実務経験を有する者とする．

- 橋梁に関する実務経験を有すること
- 橋梁の設計，施工に関する基礎知識を有すること
- 点検に関する技術と実務経験を有すること

なお，一部の道路管理者では，点検員の資質が一定でないと点検結果にばらつきが生じることから，点検員の資格として広がりつつある，①土木鋼構造診断士（社団法人日本鋼構造協会），②コンクリート

診断士（社団法人日本コンクリート工学協会），③コンクリート構造診断士（社団法人プレストレストコンクリート技術協会)，④公認橋梁点検士（米国 FHWA･NHI）を要件にあげているところもある．

(6) 管理者協議

点検の実施にあたり，鉄道会社，公安委員会および他の道路管理者等との協議が必要な場合には，点検が行えるように協議を行う必要がある．

(7) 安全対策

点検は，道路交通，第三者および点検に従事する者に対して適切な安全対策を実施して行う必要がある．

点検は，供用下で行うことが多いことから，道路交通，第三者および点検に従事する者の安全確保を第一に，労働基準法，労働安全衛生法その他関連法規を遵守するとともに，現地の状況を踏まえた適切な安全対策について，点検計画に盛り込むのがよい．また，街路上，高速道路上，河川上等の作業条件の厳しい中で実施する場合，点検時の交通規制方法などを含めて適切な点検計画を作成するのがよい．

(8) 緊急連絡体制

事故等の発生時の緊急連絡体制を構築する．橋梁点検員等から，調査職員，警察署，救急指定病院等へ連絡する場合の手順を明らかにする必要がある．

(9) 緊急対応の必要性等の報告体制

点検において，橋梁の安全性や第三者被害の防止などの観点から緊急対応の必要性があると判断された場合の連絡体制を定めておく必要がある．

道路橋における維持管理は，現在，定期点検をはじめとする各種点検が行われ，その結果をもとに補修等が行われている．各種点検等および補修等の結果は個々に記録されているものの体系的な整理がなされていない状況が確認されている．このため，これらを一元的に管理，蓄積し，絶えず最新の記録が参照できるようにしておくこと，および管理上把握すべき主要課題については履歴を含めて時系列で整理，保存しておくことが重要である．

図-解 2.2.1 に示す点検に関連する維持管理フローにおいて，建設事業（改築事業などの構造形態変更も含む）では，維持管理を行う上で道路橋の基本的な諸元データとなるものとして①新設時に作成される設計図書および施工の竣工図書，②道路台帳などに基づく道路管理に必要な資産情報に関するデータ，③初期点検による完成後の初期状態を把握する点検記録などの情報があり，これら情報に関しては，維持管理において各作業工程で必要な時に情報収集や資産データの更新が迅速かつ容易にできるようにデータベース化を行うことが重要となる．

次に，保全事業では，点検計画に基づき，各種点検を実施し，構造物の損傷状況から損傷程度を評価し，その評価に基づき対策区分の判定が行われる．その判定結果に基づき，維持管理計画に基づく対策の実施や，緊急対応，詳細調査，追跡調査等の対策が実施されている．対策実施後，損傷状態の再評価および対策区分の再判定が必要となるため，修正などを速やかに反映させ，絶えず記録が最新の記録として参照できるようにデータベース化を行うことが重要となる．

道路橋の維持管理に係る記録の流れでは，建設事業および保全事業を含めて，維持管理を行う道路橋に関する資産の諸元データ，点検に関する記録および補修等の対策履歴の記録のうち，重要事項に関するものを選別，とりまとめてデータベース化を行い，維持管理の実務において適切かつ効率的な対応を可能とする一元管理を目的として，「道路橋の維持管理記録を一元管理するデータベース」（以下，「維持管理記録」という）の整備および管理を行うのがよい．

維持管理記録は，維持管理にて運用されることにより，最新の点検結果に基づきライフサイクルコスト等

を考慮した最適な補修等の計画の立案に有効活用される．また，維持管理の実施に伴う対策区分の再判定の結果を迅速に反映させて維持管理の履歴を蓄積する．これにより，常に記録が更新される状況となり，次回の定期点検等の点検計画に反映され，適切かつ効率的な点検の実施が可能となる．

以上のことを実践することにより，点検の計画（PLAN），点検の実施(DO)，点検結果の確認（CHECK），維持・補修の実施（ACTION）の PDCA サイクルを循環させる体系を確立することで，ライフサイクルコストの縮減を図る適切かつ効率的な維持管理が実現可能と考えられる．

詳細調査とは，補修などの必要性の判定や補修方法などを決定するために，損傷原因，損傷の程度，損傷規模などをより詳細に把握することを目的とし，点検結果により調査が必要と判断した場合に，損傷内容に応じて調査方法を選定して行う．

また，詳細調査は，補修等の必要性の判定を行うに当たって，各種非破壊検査やコア採取による強度試験・資料分析などの方法にて詳細な状態を把握し，劣化・損傷要因の特定，劣化予測，評価および判定をするため詳細な情報が必要な場合に実施するものであり，損傷の種類に応じて適切な時期に適切な方法で実施する必要がある．

なお，詳細調査は，損傷・変状の状況を定量的に評価するために適宜実施されているが，損傷・変状の進行状況によっては，調査結果に基づき状態の把握を行った後に損傷度の再評価および対策区分の再判定を実施する必要がある．また，詳細調査を経ずに追跡調査と特定点検へ移行する維持管理形態もあることに留意する必要がある．

追跡調査とは，点検・詳細調査などにより把握した損傷・変状に対して急激な進行の恐れなどがある場合にその進行状況を把握することを目的とし，点検結果により調査が必要と判断した場合に，損傷内容に応じて調査方法・調査頻度を選定して行う．

また，追跡調査の実施中に急激な進行の恐れがない場合，あるいは損傷の進行が道路橋の安全性や使用性に大きな影響を与えないと考えられる場合には，追跡調査は，定期点検などの際に進行状況を継続して確認する方法で代替することができる．

2.2.4 道路橋床版の点検項目

道路橋におけるコンクリート系床版の点検を行う場合，床版上の舗装を含めて点検することが重要であることを考慮し，主な点検項目を下記とするのがよい

(1) 点検個所：舗装 （アスファルト舗装，コンクリート舗装）

1) 点検種別

a) 日常（通常）点検

点検方法：車上点検・車上感覚

点検部位：舗装上面

b) 定期点検

点検方法：近接目視または点検ハンマー，レーダなどによる機器点検

点検部位：舗装上面

2) 点検単位

個所または径間単位

(2) 点検個所：床版（RC 床版，PC 床版，合成床版）

1) 点検種別

a) 定期点検

ⅰ) RC 床版（PC 床版・プレキャスト床版・鋼板接着補強などを含む）

ⅱ) 合成床版（鋼・コンクリート合成床版，その他合成床版などを含む）

点検方法：近接目視，標準調査など

点検部位：床版上面，床版下面，張出床版，床版目地

2) 点検単位

パネルまたは径間単位

点検は，対象橋梁毎に必要な情報が得られるように，道路橋床版を点検する個所，部位に応じて，適切な項目（損傷の種類）に対して実施するのがよい．**表-2.2.1** に道路橋床版を対象とする詳細な点検損傷項目の標準を示す．

表-2.2.1　点検項目の標準

点検個所		点検部位	対象とする点検損傷項目
舗装	アスファルト舗装 コンクリート舗装	舗装上面	ポットホール，パッチングのはがれ・はく離，陥没
			ブリスタリング（防水層など）
			ひび割れ
			滞水，冠水
			ポンピング
			目地部の損傷
床版	RC 床版 PC 床版	床版上面	ひび割れ
			漏水，滞水
		張出床版	遊離石灰
			錆汁
		床版下面	はく離（ うき）
			鉄筋の露出・腐食
		床版目地	空洞
			豆板
			補修・補強個所のはく離（うき）・はらみ
			補修・補強個所の鋼材の腐食
			その他損傷
	補強済床版 (鋼板接着補強など)	床版下面 （鋼板など） 張出床版 床版目地	補強材のはく離（ うき）
			漏水および遊離石灰
			鋼板の錆びおよび腐食
			補強材(型枠材含等)の変形
			シール部のはく離
			その他損傷
	合成床版	床版上面	ひび割れ
			漏水，滞水
			遊離石灰

			錆汁
			はく離（うき）
			鉄筋の露出・腐食
			空洞
			豆板
			補修・補強個所のはく離（うき）・はらみ
			補修・補強個所の鋼材の腐食
			その他損傷
		床版下面 （鋼板など） 張出床版 床版目地	はく離（ うき）
			漏水および遊離石灰
			鋼板の錆びおよび腐食
			鋼板(型枠材等)の変形
			シール部のはく離
			その他損傷

【解説】

道路橋床版を維持管理するには，点検項目として舗装と床版に着目することが重要である．舗装は，舗装劣化要因だけでなく，床版の劣化が要因となり変状を発生することもあるので，損傷状況に応じて床版下面と合わせて点検をすることが重要である．

点検単位は，舗装・床版上面では個所単位，床版下面ではパネル単位を基本とする．また，総合判定などが必要な際には，舗装・床版上面・下面毎に径間単位にて判定を行うのがよい．なお，パネルとは主桁腹板と横桁あるいは対傾構で囲まれた床版の区画を言う．

床版の劣化が進行した場合，特に床版上面に関する損傷状況を確認することが重要となる．舗装の劣化から床版上面への漏水や凍結防止材の浸透により，ひび割れを起因とする床版内部のコンクリートの劣化および鋼材の腐食を進行させる損傷事例が多く確認されている．

特に，通常，道路橋の維持管理においては，ポットホールなどの損傷対策の部分切削による応急措置，基層からの切削による舗装打ち替え工事，および床版上面の損傷状態を把握するための詳細調査などの際に，床版上面の舗装剥ぎ取り作業が発生する．そうした機会を活用して，床版上面のひび割れや砂利化，防水層の有無など損傷状況を点検することが重要である．

また，合成床版を点検する場合でも床版上面の点検項目に関しては，コンクリート部材を点検対象とするため RC 床版と同様な点検項目とするのがよい．

補強済床版[17)]とは，維持管理において RC 床版および PC 床版の下面をパネル単位にて鋼板接着や炭素繊維シートなどによる補強材により補強された床版を表すものである．

補強済床版を点検する場合，床版下面が補強材により覆われているため，ひび割れなどの変状が確認できないことに留意し，目視による点検ほか，必要に応じてたたき（打音）点検により補強材の接着状況，補強材のはく離（うき），水の浸入・漏水状況などの点検が重要である．ただし，その際には炭素繊維シートなどを傷つけないよう点検方法において適切な配慮が必要である．

また，合成床版や床版打設時の型枠などとして用いられている鋼板の床版下面の点検項目についても，補強済床版と同様な点検項目とする．鋼板のさびおよび腐食の項目は，補強接着鋼板，型枠材，底鋼板などの表面と部材本体を対象とする．

点検部位の床版目地[15)]とは，主に工場製作されるプレキャスト床版の版相互の目地部を点検の対象とするものである．

プレキャスト床版の製作単位は，平均 2.5m 程度であり，橋軸方向の連続性が損なわれている場合では，床版目地部からの漏水・遊離石灰・錆汁等が一定間隔で規則的に表れることに留意する必要がある．特に，プレキャスト床版の初期の損傷は,床版目地部に表れることから床版目地部は入念な点検を行う必要がある．

コンクリート系床版の維持管理において，これまで劣化が進行した床版に対して種々の補修補強が実施されてきた．しかし，近年では補修補強後において比較的短期間で既設床版の劣化進行および補修補強部の劣化が点検時に確認されている．

特に，既設床版の補修補強においては，交通規制を伴う工事が多く，施工時間の制約により新設工事に比べ十分な品質の確保が行えない場合がある．取替による更新以外の補修補強工法では，将来的には再劣化が発生する可能性がある．代表的な再劣化事例としては,

① 部分打替工法（断面修復）におけるマクロセル腐食,

② 上面増厚工法における層間はく離,

③ 鋼板接着補強における腐食・はく離,

④ 下面増厚補強におけるはく離

などがある．なお，これらの事例以外にも様々な事例が報告されており，再劣化のメカニズムを把握した上で個々の劣化状態を適切に考慮して点検することが重要である．

道路橋床版の点検では，定められた維持管理計画に基づき，供用中の床版の損傷状態を可能な限り適切に把握することが重要であり，各点検における床版の具体的な情報を得るために実施する調査として，維持管理計画に定められた頻度，項目および方法で標準的に行う標準調査と，標準調査の結果，損傷度の評価および対策区分の判定などを行うには十分な情報がなく，より詳細な情報が必要となった場合に実施する詳細調査の２つの調査が行われている．

通常行われている各点検において，橋梁点検員が行う標準的な調査としては，設計・施工や既往の維持管理に関する情報を書類などによる調査，目視やたたき（打音）などによる調査などが一般的である．以下に，点検時における標準調査の目的，項目および方法を示す．

標準調査は，各点検と同じ頻度と内容の調査を継続して実施し，床版の損傷・変状の有無，および既にある損傷・変状の進展の有無をできるだけ迅速に把握することを目的とし，維持管理計画の中で効率性，迅速性および経済性などを考慮した項目および方法を選定して行うのがよい．

道路橋床版の主な標準調査項目としては，①ひび割れ幅，長さ，進行状況　②うき，はく離，はく落　③遊離石灰や漏水　④鋼材の腐食状況　⑤抜け落ち　⑥補強材の損傷　⑦異常な変位や変形　⑧表面の変色の有無などがある．このうち，調査目的に応じた標準調査方法の一例を**表-解 2.2.1** に示す．

表-解 2.2.1　調査目的に応じた標準調査方法の一例

調査目的	調査方法
設計・施工に関する情報 （コンクリートの配合，強度，骨材） 既往の維持管理に関する情報	書類などによる調査
ひび割れ発生状況 （漏水・遊離石灰含む）	目視観察
	デジタルカメラ撮影
ひび割れ幅	クラックスケール，ルーペ，コンタクトゲージなど
はく離・はく落（空洞含む）	たたき（打音）点検
鉄筋腐食	目視観察
	たたき（打音）点検

2.2.5　点検結果による損傷度の評価

道路橋床版の点検結果は，損傷状況に応じて，**表 2.2.2** の評価区分を標準としてパネル単位で損傷度を評価するのがよい．

表-2.2.2　点検における損傷度の評価区分

評価区分		一般的状況
a	健　　全	損傷が特に認められない．
b	ほぼ健全	損傷が小さい． 損傷が軽微である．
c	やや注意	損傷がある． 機能低下が見られず，損傷の状態や進行状況を観察する必要がある．
d	注　　意	損傷が大きい． 機能低下があり，対策が必要であるが，速やかな対策を要しない．
e	危　　険	損傷が著しい．または，第三者への影響を与える可能性がある． 機能低下が著しく，速やかに対策が必要である．

損傷の程度については，点検項目に応じて損傷種類毎に評価するのがよい．また，損傷度を評価する際，点検結果による評価が困難な場合，損傷内容に応じて詳細調査を実施し，再評価するのがよい．

【解説】

点検における損傷の程度[11]は，損傷種類ごとに評価する．これらの記録は道路橋床版の状態を示す最も基礎的なデータとして蓄積され，維持・補修等の計画に利用される．したがって，損傷程度の評価はできるだけ正確かつ客観的となるように行う必要がある．

損傷程度の評価[11]では，損傷の種類に応じて定性的な区分で評価するもの，定量的な数値データとして評価するもの，あるいはそれらの両方で評価する必要があるものがある．いずれの評価においても，複数の部位，部材の組合せを総合的に評価する対策区分の判定とは異なり，損傷の程度をあらわす客観的な事実を示すものにすぎない点に注意する必要がある．

これらのデータは，床版の状態を示す最も基礎的なデータとなるだけでなく，対策区分の判定やその将来予測などを行う際にも必要となる．したがってこれらのデータには，客観性だけでなく，点検毎に採取されるデータ間で相対比較が行えるような連続性，データの均質性も要求される．データの取得にあたってはこれらの点についても留意する必要がある．

2.2.6　対策区分の判定

点検では，道路橋床版の損傷状況を把握したうえで，径間単位で，**表-2.2.3** の判定区分によって判定を行う．

Ａ以外の判定区分については，損傷の状況，損傷の原因，損傷進行の可能性，当該判定区分とした理由など，主に定期点検後の維持管理に必要な所見を記録するのがよい．

加えて，複数の床版の複数の損傷を総合的に評価するなど，床版全体としての状態についての所見も記録するのがよい．

表-2.2.3　対策の判定区分 [11)]

判定区分	判定内容
A	損傷が認められないか，損傷が軽微で補修を行う必要がない．
B	状況に応じて補修を行う必要がある．
C	速やかに補修等を行う必要がある．
E	橋梁構造の安全性およびその他の観点から，緊急対応の必要がある．
S	詳細調査の必要がある．

【解説】

表-2.2.3 の対策の判定区分については，道路橋床版に着目したため国の点検基準 [11)]に対し５段階評価に簡略化している．

点検では，当該道路橋床版の各損傷に対して補修や緊急対応，詳細調査など何らかの対策の必要性について，主に定期点検で得られる情報の範囲で概略判定する必要があり，橋梁検査員は点検結果から損傷原因の推定に努め補修等の範囲や工法の検討などが行えるよう必要な所見を記録する必要がある．加えて，複数の損傷を総合的に評価するなど，道路橋床版としての状態についての所見も記録する必要がある．

1) 対策区分の判定の基本的な考え方

対策区分の判定は，各損傷に対して維持・補修等の計画を検討する上で参考にする基礎的な評価であるため，統一的な評価基準で行うことが重要である．そこで，**表-2.2.3** に示す標準的な判定区分の目安を①～⑤に示す．これらの判定にあたっては，道路橋床版についての高度な知識や経験が不可欠であり，橋梁検査員がこれを行うこととなるが，状況に応じて，詳細調査を実施して，別途専門的知識を有する有識者の協力を得て判定を行う必要がある場合もある．

①判定区分Ａとは，定期点検で知りうる範囲で損傷が認められないか損傷が軽微で補修の必要がない状態をいう．

②判定区分Ｂとは，損傷があり補修の必要はあるが，損傷の原因，規模が明確であり，直ちに補修するほどの緊急性はなく，放置しても少なくとも次回の定期点検まで（＝5 年程度以内）に床版の安全性が著しく損なわれることはないと判断できる状態をいう．

③判定区分Ｃとは，損傷が相当程度進行し，床版の機能や安全性の低下が著しく，少なくとも次回の定期点検までには補修が必要と判断できる状態をいう．例えば，コンクリート部材に生じた限定的な鉄筋露出を伴うひびわれ損傷がこれに該当する．

④判定区分Ｅとは，橋梁構造の安全性が著しく損なわれており，緊急に処置されることが必要と判断できる状態．あるいは，自動車，歩行者の交通障害や第三者等への被害の恐れが懸念され，緊急に処置

されることが必要と判断できる状態をいう．

⑤判定区分Ｓとは，損傷があり，補修等の必要性の判定を行うにあたって原因の特定など詳細な調査が必要と判断できる状態をいう．例えば，コンクリート表面に亀甲状のひび割れが生じていてアルカリシリカ反応の疑いがある場合がこれに該当する．なお，本区分には，詳細調査を経ないで追跡調査が必要と判断できる場合も含めることとしている．

なお，ＣまたはＥの判定を行った場合は，対策として補修・補強で足りるか，または更新（部分打替または床版取替）が必要かを併せて判定する必要がある．

2) 補修の必要性と緊急性の判定

補修の必要性と緊急性の判定は，床版の効率的な維持・補修計画を立案するため，部位毎に，損傷の種類，損傷の状態，損傷進行の可能性を考慮するとともに，安全で円滑な交通の確保，沿道や第三者への被害の予防等を考慮して，補修の必要性と緊急性について判定するのがよい．

対策区分ＡＢＣの判定に際しては，損傷の種類や状態，原因の推定や損傷の進行予測などを行い，それらを総合的に判断して対策区分を判定する．

3)詳細調査の必要性の判定

点検で把握できる損傷の状況には限界があり，損傷原因や規模，進行の可能性などが不明で，補修の必要性の判定が困難である場合には，詳細調査が必要と判定される．

しかし，損傷の原因が不明であっても，容易に補修や改善の対応が可能であり，直ちに対処することが望ましいなど，必ずしも詳細調査が必要とはならない場合も考えられる．例えば，乾燥収縮によるコンクリート表面のひび割れなど，損傷原因は確定できるが進行の可能性を見極めた上で補修等の必要性を判定するのが妥当と判断される場合もあり，この場合は詳細調査を省略して追跡調査のみ行うことで十分である．この場合の判定は，本区分に含めることとしている．

2.2.7　道路橋床版の評価・判定の運用

(1) 点検要領

道路橋床版の点検は，本節 2.2.1～2.2.7 に示す点検要領に基づき実施するのがよい．

(2) 損傷度の評価方法

道路橋床版の点検における損傷度の評価は，点検項目と損傷度の評価区分に基づき評価単位毎に評価する．

(3) 対策区分の判定方法

道路橋床版の点検における，対策区分の判定は，点検結果の損傷度の評価に対して，点検項目と対策区分の判定項目に基づき適切な判定単位により判定するのがよい．

(4) 点検から補修までの維持管理実務での運用

道路橋床版の日々の維持管理実務において，床版の上面および下面での点検結果における注意すべき損傷に対し，劣化過程に応じて適切な維持管理の対策（維持補修・点検・調査）を行うのがよい．

【解説】

(1) 本マニュアルの 2.2.1～2.2.7 に記載されている道路橋床版の点検要領を集約し**表-解 2.2.7** の一覧表に示す．また，この表には，国土交通省の橋梁定期点検要領（案）[11]における道路橋床版に対応する部分と，本マニュアルの点検要領との比較も併記して示している．

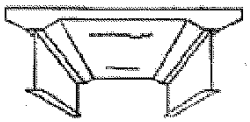
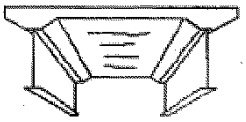
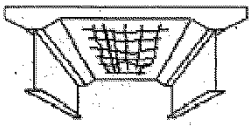
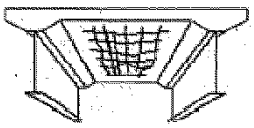
(2) 道路橋床版の点検では，**表-2.2.1** の点検項目に対し各点検を実施し，点検項目毎に損傷度の評価を**表-**

2.2.2 の５段階の評価区分で，**表-解 2.2.8** に基づき，舗装・床版上面では個所単位で，床版下面ではパネル単位を基本として損傷項目毎に外観的な損傷状態を客観的に評価する．

損傷度の評価には，劣化・損傷要因までの評価は含まれていない．一方，劣化進行過程は，主となる劣化要因（輪荷重の疲労，塩害，凍害，中性化，アルカリシリカ反応など）に対して外観変状のグレードから劣化過程における性能低下を評価するため，損傷度の評価と劣化過程は必ずしも一致していないことに留意する必要がある．

また，点検において損傷度を評価する際，床版の劣化進行過程を把握することが重要であるため，国土交通省の橋梁定期点検要領（案）[11]に記載されている RC 床版のひび割れ損傷と劣化過程の目安を**表-解 2.2.2** に紹介する．

表-解 2.2.2　RC 床版のひび割れ状況と劣化過程の目安

損傷度評価	ひび割れ幅に着目した程度	ひび割れ間隔に着目した程度	劣化過程の目安
a	〔ひびわれ間隔と性状〕 ひびわれは主として１方向のみで，最小ひびわれ間隔が概ね 1.0m 以上 〔ひびわれ幅〕 最大ひびわれ幅が 0.05mm 以下(ﾍｱｰｸﾗｯｸ程度)		潜伏期
b	〔ひびわれ間隔と性状〕 1.0m～0.5m，1 方向が主で直交方向は従，かつ格子状でない 〔ひびわれ幅〕 0.1mm 以下が主であるが，一部に 0.1mm 以上も存在する		潜伏期
c	〔ひびわれ間隔と性状〕 0.5m 程度，格子状直前のもの 〔ひびわれ幅〕 0.2mm 以下が主であるが，一部に 0.2mm 以上も存在する		進展期
d	〔ひびわれ間隔と性状〕 0.5m～0.2m，格子状に発生 〔ひびわれ幅〕 0.2mm 以上が目立ち部分的な角落ちもみられる		加速期
e	〔ひびわれ間隔と性状〕 0.2m 以下，格子状に発生 〔ひびわれ幅〕 0.2mm 以上がかなり目立ち連続的な角落ちが生じている		加速期～劣化期

(3) 道路橋床版の維持管理では，点検結果に基づき損傷度の評価を行った後，対策区分の判定を**表-2.2.3** の５段階判定により，**表-解 2.2.8** を参考にして，径間単位で判定する．判定にあたっては，点検部位毎，損傷項目毎の評価を基に，橋梁の重要性や損傷の進行状況，環境の条件など様々な要因を考慮して，径間単位で総合的に判定することが重要である．対策区分判定の一例を**表-解 2.2.8** に示す．

また，**表-解 2.2.8** における舗装上面の対策区分の判定では，道路利用者の走行安全性確保を優先するため安全側の評価基準となっていることに留意する必要がある．

表-解 2.2.3　対策区分の判定における維持管理の基礎データの代表例

【構造に関わる事項】	【設計・製作・施工の各条件に関わる事項】	【使用条件に関わる事項】
・構造形式，規模，構造の特徴	・設計年次，適用示方書 ・架設された年次 ・使用材料の特性（PC 部材，鋼部材，コンクリートなど）	・交通量，大型車混入率 ・橋梁の周辺環境・架橋条件 ・維持管理の状況（凍結防止材の散布など） ・橋梁の災害履歴，補修・補強の履歴

表-解 2.2.4　RC 床版のひび割れ発生に影響する損傷・劣化要因による評価要素

【荷重条件】	【構造条件】	【施工条件】
・過大な輪荷重 ・交通量 ・輪荷重位置　　など	・剛性不足 ・鉄筋量 ・桁の影響　　など	・初期欠陥 ・材料不良　　など

表-解 2.2.5　対策区分における対策要否の目安

変状グレード	対策区分の判定		対策規模の目安
Ⅰ	A	対策必要なし	補修なし
Ⅱ			補修なし（予防保全）
Ⅲ	B	状況に応じて対策が必要	小規模補修（機能回復） または比較的規模の大きな補修（予防保全）
Ⅳ	C	速やかに対策が必要	比較的規模の大きな補修
Ⅴ			大規模補修または更新

さらに，より的確な対策区分の判定には，損傷度評価による損傷状況に加え，橋梁構造に関する資産諸元や維持管理条件などの基礎データに関する十分な知識が必要となり，事前にしゅん工図書，設計図書などの必要な書類についても調査を行うことが重要である．国土交通省の橋梁定期点検要領（案）[11]に記載されている一般に必要となる情報のうちの代表的なものを**表-解 2.2.3** に示す.

次に，床版の変状は１因子のみで生じることは少なく，いくつかの因子が複雑に競合して生じる場合が多いことから，対策区分の判定を行う場合，単に損傷項目に対し判定単位に基づき現地の損傷状況や維持管理の基礎データのみにより判定するのではなく，今後の劣化予測など技術的判断を加味するため，道路管理における優先順位付け（走行性安全性の確保，管理瑕疵など）や床版の損傷発生に影響する要因（損傷・劣化）などを踏まえて総合的な判定をする必要がある.

また，対策区分に基づき補修・補強を実施する場合は，必要に応じて対策工法を選定するための詳細調査を実施し，損傷・劣化要因による評価要素などを考慮して総合的に評価を行い，適切な工法選定をすることが，道路橋床版の維持管理では重要なことである． RC 床版の損傷・劣化要因による評価要素の一例を**表-解 2.2.4** に示す.

本マニュアルでは，３章 3.2 に床版のパネル単位の損傷度評価結果に基づく床版の径間単位の損傷度の評価指標として，外観変状のグレード（以下，変状グレードという）を定義している．変状グレードとは，床版の損傷項目を代表的な３項目（①上面：舗装の劣化，②下面：ひび割れ・遊離石灰など，③下面：はく離・鉄筋腐食など）ごとに径間単位でⅠ～Ⅴ段階で定量的に評価するものである.

そして，この変状グレード（Ⅰ～Ⅴ）に基づく，対策区分（A・B・C）における対策の要否の判定および対策規模の目安を**表-解 2.2.5** に示す.

(4) 道路橋床版の維持管理では，床版の劣化過程において舗装面から観察される床版上面の損傷状況と床版下面の損傷状況の各々の進行を的確に把握することが重要である．これを基に，対象床版の劣化過程における適切な対策を実施することにより効率的な維持管理の実現が可能となる．

舗装上面および床版上下面における損傷種別毎の損傷度に対応する対策の一例を各劣化過程毎に**表-解 2.2.9** に示す．

表-解 2.2.9 の例では，各道路管理者における維持管理状況や予防保全の要素などを考慮していない．実際の床版の維持管理における補修補強の実施時期や対策工法選定などの判断には，個々の床版の維持管理状況を踏まえた維持管理実務での再審査が必要である．

対策区分Ｅの緊急対応となる損傷の中で，交通車両の走行性の確保と第三者被害防止のために応急措置が必要となる損傷対策事例を，損傷内容毎に**表-解 2.2.6** に示す．また，応急措置後恒久的な対策が必要な場合は，別途詳細調査などを実施し再評価する必要がある．

表-解 2.2.6　応急措置が必要な損傷と対策工法の事例

損傷内容	損傷部位	主な発生原因	応急措置の対策工法
ポットホール	舗装 床版上面	・舗装の劣化 ・床版の耐荷力の低下	・樹脂系のアスファルト常温合材によるパッチング 注 1) ・アスファルト合材によるパッチング　注 2)
舗装の陥没	舗装 床版	・床版の抜け落ち	・通行止め ・固定規制による車両通行の回避
コンクリート片のはく落	床版下面 張出床版	・床版コンクリートの塩害や中性化による鉄筋腐食 ・初期欠陥（かぶり不足，内在塩分による塩害など）	・コンクリートの叩き落とし　注 3) ・はく落対策　注 4)

注 1)　損傷が浅く小規模で特に緊急性がある場合を対象とし，樹脂系のアスファルト常温合材を使用して穴埋めを行う．

注 2)　破損部を中心に四角形にカッター切削により除去を行い，アスファルト合材により部分補修する．なお，防水層が損傷している場合は，別途防水層の補修後にアスファルト合材で補修する必要がある．

注 3)　コンクリートのうき・剥離個所に対して石刃（せっとう）ハンマーなどで，できる限りその部分のコンクリートを叩き落とす．叩き落とし作業には，健全なコンクリートに損傷を与えることのないよう行う必要がある．なお，脆弱部の範囲が広い場合には，効率よくハツリ取ることが可能なウォータージェット工法が有効とされている．

注 4)　損傷の規模や進行度および路下条件に応じて，応急措置後，速やかに損傷部コンクリートをハツリ，断面修復を行い，連続繊維シートなどで剥落対策を行う，また，広範囲な場合は，恒久的な対策を検討する必要がある，

表-解 2.2.7　道路橋床版の点検要領の概要

マニュアル	主な点検種別	点検方法	点検個所	点検頻度	損傷度	ランク	一般的状況	評価単位	点検個所
本マニュアル 第2章　道路橋床版の損傷と点検調査方法 2.2　道路橋床版の点検	日常(通常)点検	主に車上目視，車上感覚	路面上舗装面など	1回／数日～1回／週程度	5段階評価 a･b･c･d･e	a	健　全 損傷が特に認められない.	箇所 径間単位	アスファルト舗装 コンクリート舗装
						b	ほぼ健全 損傷が小さい. 損傷が軽微である.		
	定期点検	主に，近接目視･打音等	床版下面または床版上面	1回／数年(5～10年程度)	5段階評価 a･b･c･d･e	c	やや注意 損傷がある. 機能低下が見られず、損傷の状態や進行状況を観察する必要がある.	パネル単位 径間単位	RC床版 PC床版
						d	注　意 損傷が大きい. 機能低下があり、対策が必要であるが、速やかに対策を要しない.		合成床版 (鋼･ｺﾝｸﾘｰﾄ合成床版、ﾌﾟﾚｷｬｽﾄ床版など) 補強済床版(鋼板接着補強など)
		主に，近接目視、レーダなどによる機器点検	路面上舗装面など	1回／数年(5～10年程度)	5段階評価 a･b･c･d･e	e	危　険 損傷が著しい. または、第三者への影響を与える可能性がある. 機能低下が著しく、速やかに対策が必要である.	車線単位 径間単位	AS舗装

マニュアル	床版の点検種別	点検方法	点検個所	点検頻度	損傷度	ランク	一般的状況	評価単位	点検個所
国土交通省 橋梁定期点検要領(案) H16年3月	定期点検	近接目視	床版下面	1回/5年	5段階評価 a･b･c･d･e	a b c d	健全 ↑ ※全般的な基準無 ↓	パネル単位 径間単位	RC床版 張出床版
		近接目視	舗装	1回/5年	5段階評価 a･b･c･d･e	e	損傷大	車線単位 径間単位	AS舗装

点検部位	損傷項目	対策区分	ランク	判定内容	判定単位	判定要素	評価内容
舗装上面	ポットホールはがれ・陥没 、はく離 ブリスタリング(防水層など) ひび割れ 滞水、冠水 ポンピング 目地部の損傷	5段階判定 A･B･C･E･S	A	損傷が認められないか，損傷が軽微で補修を行う必要がない.	箇所 径間単位	◎資産諸元・維持管理条件 構造 設計・施工 使用条件 ◎損傷・劣化要因による評価要素	構造形式、規模、構造の特徴 設計年次・基準、材料特性、 交通量・大型車混入率、環境、維持管理状況
床版上面 床版下面 張出床版 床版目地 ※合成床版でも床版上面の損傷項目を同様とする。	ひび割れ 漏水・滞水 遊離石灰 錆汁、さびの流出 はく離(うき) 鉄筋の露出・腐食 空洞 豆板 補修・補強個所のはく離(うき)・はらみ 補修・補強個所の鋼材の腐食 その他の損傷	5段階判定 A･B･C･E･S	B C E	状況に応じて補修を行う必要がある. 速やかに補修等を行う必要がある. 橋梁構造の安全性およびその他の観点から，緊急対応の必要がある.	パネル単位 径間単位	荷重条件 構造条件 施工条件 ◎損傷度・劣化度による評価 床版上面 床版下面 ・パネル単位 ・径間単位	過大な輪荷重・交通量・輪荷重位置など 剛性不足、鉄筋量、桁の影響など 施工不良、材料不良など 補修頻度 補修面積 損傷項目(はくり、鉄筋露出、遊離石灰、ひび割れなどによる損傷度合い パネル判定に基づく損傷率による径間単位での劣化度判定
下面(鋼板など) 張出床版 床版目地	補強材のはく離(うき) 漏水および遊離石灰 鋼板のさびおよび腐食 補強材(型枠材含等)の変形 シール部のはく離 その他の損傷		S	詳細調査の必要がある.			
舗装上面	ポットホールはがれ・陥没 、はく離 ブリスタリング(防水層など) ひび割れ 滞水、冠水 ポンピング 目地部の損傷 パッチング	5段階判定 A･B･C･E･S			箇所 径間単位	床版上下面 ・総合判定	設計条件、使用条件、環境条件などより総合的な判定

点検部位	損傷項目	対策区分	ランク	判定内容	判定単位	判定要素	評価内容
	剥離・鉄筋露出 漏水・遊離石灰 抜け落ち 床版ひび割れ うき コンクリート補強材の損傷	7段階評価 A･B･C･E1･E2･M･S	A B C E1 E2	損傷が認められないか、損傷が軽微で補修を行う必要がない。 状況に応じて補修を行う必要がある。 速やかに補修等を行う必要がある。 橋梁構造の安全性の観点から、緊急対応の必要がある。 その他、緊急対応の必要がある。	径間単位	構造 設計・施工 使用条件	構造形式、規模、構造の特徴 設計年次・基準、材料特性、 交通量・大型車混入率、環境、維持管理状況
	舗装の異常	7段階評価 A･B･C･E1･E2･M･S	M S	維持工事で対応する必要がある。 詳細調査の必要がある。	径間単位	維持管理履歴	補修補強履歴

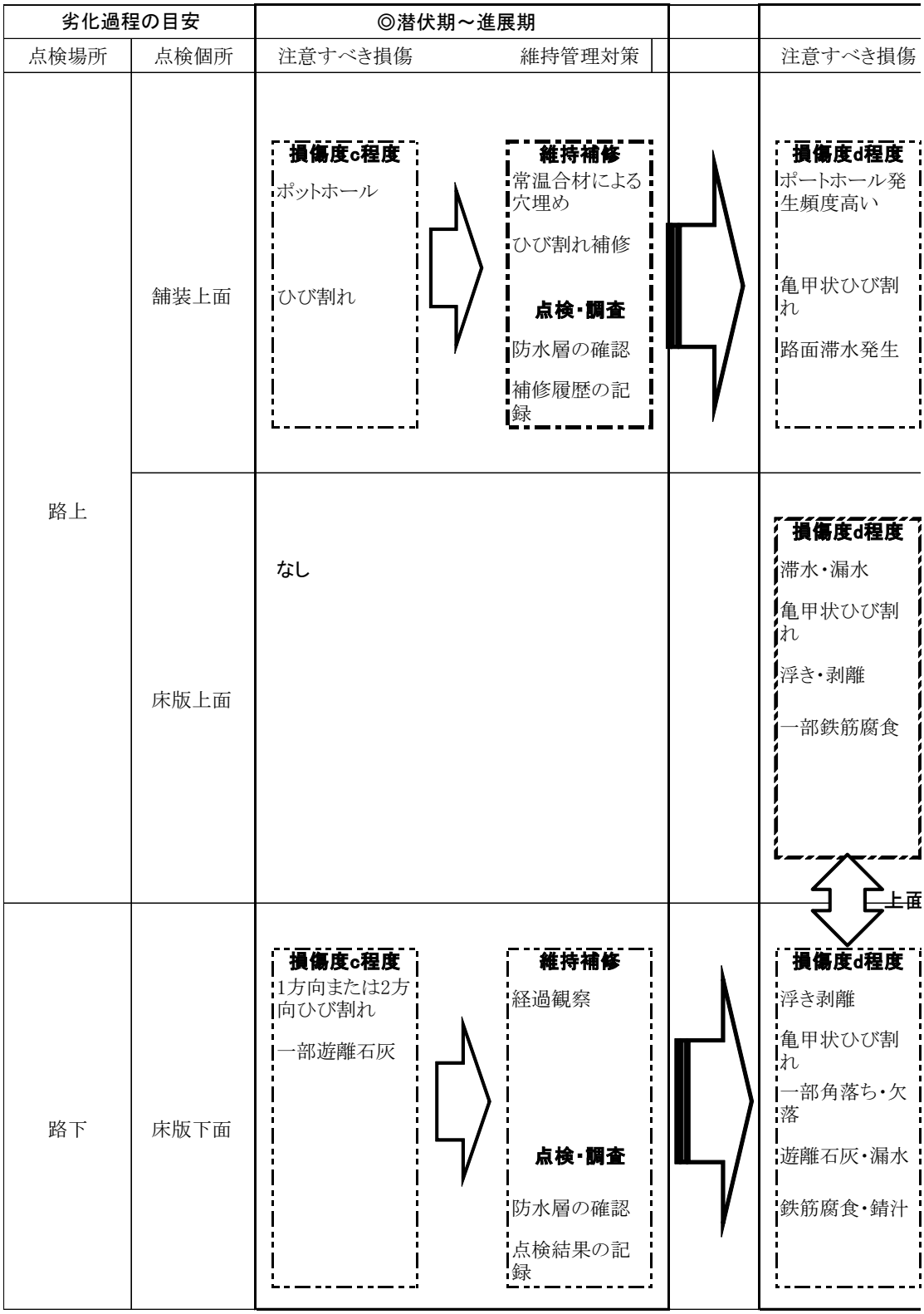
表-解 2.2.8 損傷度の評価および対策区分の判定基準

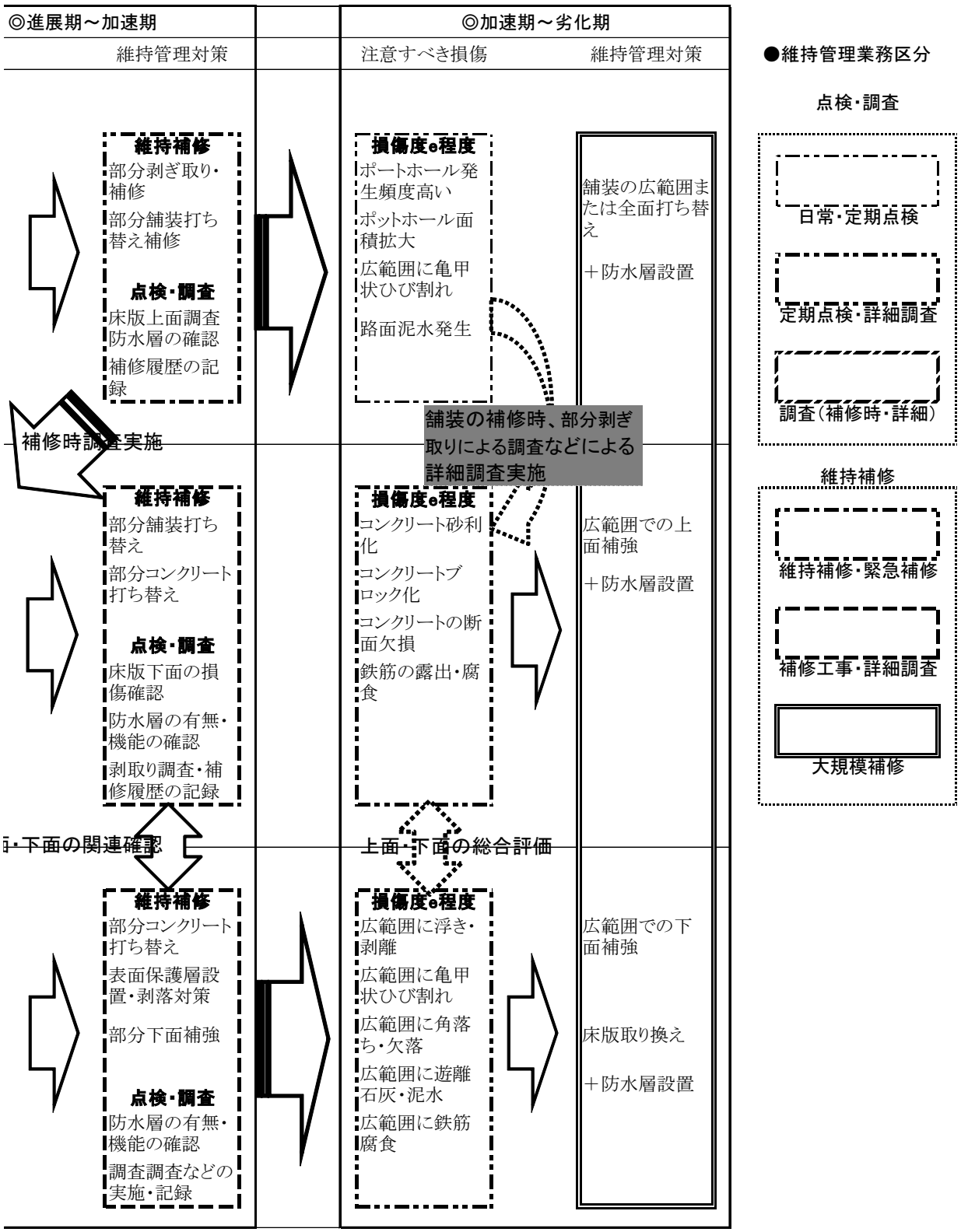
点検個所	点検部位	損傷項目	損傷度の評価			
			a	b	c	d
アスファルト舗装 コンクリート舗装	舗装上面	ﾎﾟｯﾄﾎｰﾙ，ﾊﾟｯﾁﾝｸﾞのはがれ･はく離，陥没			損傷が小さく走行位置にない	損傷が認められ走行位置にある
		ブリスタリング（防水層など）			損傷が認められるが走行に支障にならない	損傷が認められ走行に支障となる
		ひび割れ			ひび割れが認められる	2方向に著しいひび割れが確認できる
		滞水、冠水			損傷が認められるが走行に支障にならない	損傷が認められ走行に支障となる
		ポンピング			軽微なものが局部的に見られる	損傷が認められ床版へ水の浸入が懸念される
		目地部の損傷			軽微なものが局部的に見られる	損傷が認められ床版へ水の浸入が懸念される
RC床版 PC床版	床版上面 張出床版 床版下面 床版目地 ※合成床版でも床版上面の損傷項目を同様とする。	ひび割れ	〔ひびわれ間隔と性状〕 ひびわれは主として1方向みで，最小ひびわれ間隔が概ね1.0m以上 〔ひびわれ幅〕 最大ひびわれ幅がO.05mm以下(ﾍｱｰｸﾗｯｸ程度)	〔ひびわれ間隔と性状〕 1.0m～0.5m，1方向が主で直交方向は従，かつ格子状でない 〔ひびわれ幅〕 O.1mm以下が主であるが，一部にO.1mm以上も存在する	〔ひびわれ間隔と性状〕 O.5m程度，格子状直前のもの 〔ひびわれ幅〕 O.2mm以下が主であるが，一部にO.2mm以上も存在する	〔ひびわれ間隔と性状〕 O.5m～O.2m，格子状に発生 〔ひびわれ幅〕 O.2mm以上が目立ち部分的な角落ちもみられる
		漏水、滞水		軽微なものが局所的に認められる	天候により漏水が生じている	天候に関係なく常に漏水が生じている
		遊離石灰			ひびわれから漏水が生じているが，錆汁や遊離石灰はほとんど見られない。	ひびわれからの遊離石灰が生じているが，錆汁はほとんど見られない。
		錆汁			漏水等に伴って発生した局部的な鉄筋の錆汁滲出が認められる。	錆汁の滲出が著しい。
		はく離（うき）		軽微なものが局所的にある	小さなはく離（うき）がある	はく離あるいは大きなうきがある。
		鉄筋の露出･腐食			局所的に露出が認められる	鉄筋が露出しているが，鉄筋の腐食は軽微である。
		空洞		軽微なものが局所的にある	小さな空洞がある	大きな空洞がある
		豆板		軽微なものが局所的にある	小さな豆板がある	大きな空洞がある
		補修･補強個所のはく離（うき）･はらみ			補修･補強個所に軽微な変状がある	補修･補強個所にはく離（うき）･はらみがある
		補修･補強個所鋼材の腐食			補修･補強個所に軽微な変状がある	補修･補強個所に鋼材の腐食がある
		その他の損傷		軽微なものが局所的に認められる	小さく範囲に認められる	大きな範囲に認められる
合成床版（合成床版、ﾌﾟﾚｷｬｽﾄ床版など） 補強済床版（鋼板接着補強など）	下面（鋼板など） 張出床版 床版目地	補強材のはく離（うき）		軽微なものが局部的に認められる	はく離が認められる	広範囲にはく離が認められる
		漏水および遊離石灰		軽微なものが局所的に認められる	漏水、遊離石灰が認められる	漏水、遊離石灰が著しい
		鋼板の錆びおよび腐食		軽微なものが局所的に認められる	広範囲でさびが発生している。鋼板の腐食が生じている	鋼板の腐食が著しい
		補強材（型枠材含等）の変形		軽微なものが局所的に認められる	鋼板の一部に変形が認められる	鋼板の著しい変形やずれがある
		シール部のはく離		軽微なものが局所的に認められる	シール部のはく離が認められる	シール部の進行性のはく離が認められる
		その他の損傷		軽微なものが局所的に認められる	小さく居所的に認められる	大きな範囲に認められる

表-解 2.2.8 は，国の点検基準[11),12),13),14)]他の道路管理者の点検基準[15),16),17),18)]および維持管理基準[19),20),21)]などを参考にし，道路橋床版に着目して取りまとめたものである．

	対策区分の判定				
e	A	B	C	E	S
著しく大きく走行の支障または飛散の恐れがある	各損傷項目について損傷がほとんど認められない.	舗装を剥ぎ取り、床版上面の調査をした場合に、一部分に劣化著しいものが見られるが、健全な箇所が多い。	舗装の補修頻度が高く、舗装を剥ぎ取った床版上面のコンクリートがブロック化している。 鉄筋が一部腐食しているが、断面欠損は見られない。	舗装の補修頻度が高く、舗装を剥ぎ取った床版上面のコンクリートがブロック化や泥状化し、鉄筋が腐食して断面欠損している。 また、床版下面にも遊離石灰等が見られる場合が多い。	環境や地域の状況など一般的な損傷要因だけでは原因が説明できない状況などにおいては，詳細調査を実施することが妥当と判断できる場合がある。
著しく大きく走行の支障となる					
幅が10mm 以上のもの					
著しく大きく走行の支障となる					
著しく大きく走行の支障となる					
著しく大きく走行の支障となる					
〔ひびわれ間隔と性状〕 0.2m以下，格子状に発生 〔ひびわれ幅〕 0.2mm以上がかなり目立ち連続的な角落ちが生じている	・パネル単位判定 遊離石灰が一方向に発生，または遊離石灰を伴わないひび割れが二方向に発生している。 遊離石灰および二方向のひび割れが認められない。 ・径間単位判定 床版パネルの40 % 未満の上記のの損傷以上がある	・パネル単位判定 遊離石灰が二方向に発生しており，いずれかの方向の間隔が50cm 以上となっている。(亀甲状となっていない，またはその間隔が大きい。) または，遊離石灰を伴わないひび割れが二方向に発生しており，両方ともその間隔が50 cm 以下となっている。 また，一方向の遊離石灰または二方向ひび割れの進行が早いもの。 ・径間単位判定 床版パネルの40 % 以上に一方向の遊離石灰または遊離石灰を伴わない二方向ひび割れの損傷がある	・パネル単位判定 遊離石灰が二方向に発生しており，両方ともその間隔が50c m 以下で，その色が白いもの. または，施工継目において，遊離石灰が，その色が白いもの. ・径間単位判定 床版パネルの30 % 以上に上記の損傷がある	著しいひびわれを生じており，上部工全体の剛性の低下によって構造安全性を著しく損なう状況など、または剥離落下によって第三者被害が懸念される状況などにおいては，緊急対応が妥当と判断できる場合がある。	同一の路線における同年代に架設された橋梁と比べて損傷の程度に大きな差があり，環境や地域の状況など一般的な損傷要因だけでは原因が説明できない状況などにおいては，詳細調査を実施することが妥当と判断できる場合がある。
					発生している漏水や遊離石灰が，排水の不良部分から表面的なひびわれを伝って生じているものか， 部材を貫通したひびわれから生じているものか特定できない状況などにおいては，詳細調査を実施することが妥当と判断できる場合がある。
ひびわれから著しい漏水や遊離石灰が生じている。あるいは漏水に著しい泥や錆汁の混入が認められる					
コンクリートの落下の恐れがある	各損傷項目について損傷がほとんど認められない.	はく離・豆板・空洞：はく離・豆板・空洞が径10㎝以下の範囲にある.	はく離・豆板・空洞：径10～50㎝の範囲にある. 鉄筋露出：主鉄筋が50㎝以下の範囲に露出している.	コンクリートにはく離(うき)が発生しており，他の部位でも剥離落下を生じる危険性が極めて高く，第三者被害が懸念される 状況などにおいては，緊急対応が妥当と判断できる場合がある。	はく離が発生しているが鉄筋の腐食状況が不明で原因が特定できない状況、または鉄筋の腐食によってはく離している箇所が見られるが，鉄筋の腐食状況によって剥離が連続的に生じる恐れがある状況などにおいては，詳細調査を実施することが妥当と判断できる場合がある。
鉄筋が露出しており，鉄筋が著しく腐食している					
コンクリートの落下の恐れがある					
コンクリートの落下の恐れがある					
補修・補強個所著しい変状がある，断裂している	各損傷項目について損傷がほとんど認められない.	補強材のはく離および鋼材腐食が軽微なものが認めらている.	補強材のはく離および鋼材腐食が広範囲にはっきり認めらている.	補強材が剥離しており，剥離落下や鋼材の腐食進行によって第三者被害が懸念される状況などにおいては，緊急対応が妥当と判断できる場合がある。	変状が著しく，補強材のうきがあるが，目視ではその範囲・規模が特定できない状況などにおいては，詳細調査を実施することが妥当と判断できる場合がある。
補修・補強個所著しい変状がある，断裂している					
第三者被害の恐れがある	各損傷項目について損傷がほとんど認められない.	各損傷項目について損傷が認められている.	各損傷項目について広範囲にはっきり認めらている.	第三者被害が懸念される状況などにおいては，緊急対応が妥当と判断できる場合がある。	損傷が著しく，目視ではその範囲・規模が特定できない状況などにおいては，詳細調査を実施することが妥当と判断できる場合がある。

表-解 2.2.9 道路橋床版の点検における着目点と維持管理フロー




◎進展期～加速期
維持管理対策
◎加速期～劣化期
注意すべき損傷
維持管理対策
●維持管理業務区分
点検・調査
日常・定期点検
定期点検・詳細調査
調査（補修時・詳細）
維持補修
維持補修・緊急補修
補修工事・詳細調査
大規模補修
維持補修
部分剥ぎ取り・補修
部分舗装打ち替え補修
点検・調査
床版上面調査
防水層の確認
補修履歴の記録
損傷度e程度
ポートホール発生頻度高い
ポットホール面積拡大
広範囲に亀甲状ひび割れ
路面泥水発生
舗装の広範囲または全面打ち替え
＋防水層設置
補修時調査実施
舗装の補修時、部分剥ぎ取りによる調査などによる詳細調査実施
維持補修
部分舗装打ち替え
部分コンクリート打ち替え
点検・調査
床版下面の損傷確認
防水層の有無・機能の確認
剥取り調査・補修履歴の記録
損傷度e程度
コンクリート砂利化
コンクリートブロック化
コンクリートの断面欠損
鉄筋の露出・腐食
広範囲での上面補強
＋防水層設置
上面・下面の関連確認
上面・下面の総合評価
維持補修
部分コンクリート打ち替え
表面保護層設置・剥落対策
部分下面補強
点検・調査
防水層の有無・機能の確認
調査調査などの実施・記録
損傷度e程度
広範囲に浮き・剥離
広範囲に亀甲状ひび割れ
広範囲に角落ち・欠落
広範囲に遊離石灰・泥水
広範囲に鉄筋腐食
広範囲での下面補強
床版取り換え
＋防水層設置

2.3 道路橋床版の詳細調査

2.3.1 調査の目的と概要

詳細調査は，各点検における標準調査の結果，床版の安全性能，使用性能，耐久性能および第三者影響度に関する性能に関して十分な評価ができない場合，さらに必要な資料収集・確認，非破壊試験の適用および材料試験等の調査を詳細に行い，道路橋床版の損傷度を再評価するために行う．

【解 説】

道路橋床版において，日常点検，定期点検，臨時点検，緊急点検の結果，疲労や経年劣化，事故，地震等の各種災害等による著しい変状（劣化損傷）が発見された場合，適切な対策工法を選定するため，床版の損傷度評価を行って対策区分を判定する必要がある．標準調査で行われるパネル別の損傷度評価だけでは，変状の種別に応じた詳細な変状把握や将来の劣化進行予測を行うことが困難な場合，適切な方法により，損傷の実態や原因を究明し，現状を正しく捉える必要がある．このため，詳細調査は，標準調査で行う目視調査やたたきによる調査に加え，各種非破壊検査による方法，コア採取による強度試験や試料分析などの方法により詳細な情報を把握し，道路橋床版の劣化要因の特定，劣化予測，評価および判定に必要な情報を得ることを目的に実施し，その結果を，各点検結果の判定（再評価）に反映する．

具体的な詳細調査方法の選定に当たっては，各点検で得られた情報ならびにこれまでの維持補修資料，供用環境や使用条件，緊急性等を参考に適切な方法を適用することが必要である．詳細調査を計画する際は，現地踏査により現場環境を把握し，既往の設計図書，点検記録，補修履歴などのデータを十分に考慮して調査項目，調査方法，調査位置や数量ならびに足場等について立案することが重要である．調査に先立って実施する現地踏査は，現場の環境，道路交差条件，対外協議の要否等を把握するために行い，外観目視による劣化状況の把握や詳細調査計画を立案するためにも必要である．

詳細調査は，基本的に補修補強対策が必要とされる劣化損傷を対象として実施することから，得られた各種データに基づいて耐荷力評価，劣化予測による残存耐荷力，余寿命評価により総合的に床版の健全性が評価され，最適な対策工法が選定されることとなる．劣化損傷原因と考えられる因子としては，疲労，塩害，中性化，アルカリ骨材反応，凍害，火災，地震，事故，建設や補修工事における施工不良等があり，詳細調査はこれらの因子に対して，評価判定できる方法を適用することが重要である．

本節では，これらの変状因子に応じた詳細調査項目ならびに床版上下面からの詳細調査方法の例を紹介する．

2.3.2 詳細調査項目

調査項目は，調査の目的，対象とする橋梁の状況，必要とされる情報，床版の劣化原因などを考慮し，適切に選定する必要がある．

【解 説】

詳細調査では，各点検時に実施する標準調査結果を踏まえ，ひび割れ発生状況や遊離石灰の滲出，漏水状況，浮き・はく離状況等から劣化原因を絞り込み，劣化原因を特定するために必要な調査項目および調査方法を選定することが重要である．

道路橋床版の主な詳細調査項目としては，①床版上面の損傷状態　②床版たわみ　③床版下面のひび割れ　④かぶり厚，鉄筋位置　⑤浮き，はく離　⑥塩化物イオン含有量　⑦中性化深さ　⑧残存膨張量　⑨コンクリートの圧縮強度，静弾性係数　⑩鉄筋腐食　⑪試料分析などがある．このうち，調査項目に応じた調査方法の一例を**表-解 2.3.1** に示す．

表-解 2.3.1　調査項目に応じた調査方法の一例

調査項目[21)]	調査方法[21)]	2.3.3 における解説
床版上面の損傷状態	舗装剥ぎ取り後の目視調査，たたき点検等	(1) 1) a)
	電磁波レーダ法	(1) 2) a)
床版たわみ	重錘落下によるたわみ測定(FWD法，IIS法)	(1) 2) b)
	荷重車による載荷試験	(1) 2) c)
床版下面のひび割れ	超音波法	(2) 1) c) (i)
かぶり厚，鉄筋位置	電磁誘導法	(2) 1) b)
	電磁波レーダ法	(2) 1) d) (i)
浮き，はく離	衝撃弾性波法	(2) 1) c) (ⅱ)
	打音法	(2) 1) c) (ⅲ)
	赤外線法	(2) 1) d) (ⅱ)
	超音波法	(2) 1) c) (i)
	電磁波レーダ法	(2) 1) d) (i)
塩化物イオン含有量	電位差滴定法など	(2) 1) f) (ⅱ)
中性化深さ	フェノールフタレイン法	(2) 1) f) (ⅰ)
残存膨張量	コアの促進養生試験	(2) 1) f) (ⅲ)
コンクリートの圧縮強度，静弾性係数	コア採取法	(1) 1) b)
	反発(硬)度法	(2) 1) a)
鉄筋腐食	自然電位法	(2) 1) e) (i)
試料分析	電子線マイクロアナライザ(EPMA)	(2) 1) f) (ⅳ)

表-解 2.3.1 に示すように，詳細調査で実施する調査項目には以下のようなものがあり，それぞれの調査項目ごとの実施目的や得られる成果等についての概要を以下に示す．複合劣化が疑われる場合は，それぞれの劣化原因に応じて調査項目および方法を選定し，調査を実施することが重要である．

(1)　床版上面の損傷状態
(2)　床版たわみ
(3)　床版下面のひび割れ
(4)　かぶり厚，鉄筋位置
(5)　浮き，はく離
(6)　塩化物イオン含有量
(7)　中性化深さ
(8)　残存膨張量
(9)　コンクリートの圧縮強度，静弾性係数
(10)　鉄筋腐食
(11)　試料分析

(1) 床版上面の損傷状態

道路橋床版の上面は一般的にはアスファルト舗装が敷設されているため，床版上面の損傷を外観目視で直接的に確認するには舗装を部分的に剥ぎ取る必要がある．舗装面にひび割れやポットホール等の変状が見られるときは，舗装補修工事で既設の舗装を剥ぎ取った際，床版上面のひび割れ，浮き・はく離（砂利化），内部鉄筋の露出・腐食・断面欠損等の発生の有無や損傷状況を把握することを目的として，外観目視および打音点検で損傷箇所の詳細調査が行われる．この床版上面の劣化状態を把握することにより，補修方法の選定や補修範囲を決める際の判断材料となる．

(2) 床版たわみ

既設 RC 床版の健全性を直接的に評価する方法として，大掛かりでコストがかかるが，荷重車を用いた載荷試験による方法がある．実橋床版の健全性をたわみから判断する場合，床版は版剛性だけでなく，支持部材や支持間隔により変形量が大きく異なることから，実測たわみの絶対値から損傷度を評価することはできない．このため，床版の損傷度を変形量で評価する際には，個々の床版に関する指標として，支持桁の変位をゼロと仮定して得られる相対たわみを計算たわみに対する割合で示したたわみによる劣化度が用いられている．後述 3.3.2 のように，このたわみによる劣化度 D_δ が 1.0 になるときを使用限界状態と仮定して床版の健全性を評価している．

また，調査事例は少ないが，簡便にたわみ量を測る方法として，舗装の動的たわみ測定機（FWD）や東京都で開発した床版専用の衝撃加振試験機(IIS)を用いて,舗装面から衝撃荷重を与えたときのたわみ量を測定することにより，床版の健全度や損傷度を評価する新しい調査手法が試行されている．

(3) 床版下面のひび割れ

ひび割れ深さと劣化因子の侵入には密接な関係があり，ひび割れが深くなると劣化因子が侵入しやすくなり，鉄筋腐食を生じる可能性がある．このため，ひび割れが表面の浅い部分だけか鉄筋位置まで達しているか判定するために，比較的ひび割れ幅の大きい床版下面の代表的な箇所について，超音波法によりひび割れ深さを推定する場合もある．

(4) かぶり厚，鉄筋位置

電磁波レーダ法等による鉄筋探査により，鉄筋位置やかぶり厚を推定する．鉄筋のかぶり厚は，コンクリート構造物に作用する劣化因子が鉄筋に到達するまでの時間に影響を与えるため，かぶり厚を推定することにより，その構造物の耐久性を推定することが可能である．床版内の鉄筋のかぶり厚が小さいと鉄筋への塩分浸透時間等が短くなり,劣化因子の影響を受けやすくなる.電磁波法による床版内の鉄筋探査は,当初設計通りのかぶり厚が確保されていることの確認や，塩分の浸透や中性化等により，鉄筋位置で腐食発生限界となっていないか判断するため等に行われる．また，塩化物イオン濃度や中性化深さを測定するためにドリルで削孔する際，床版内の鉄筋を傷つけないように鉄筋探査が行われる．

(5) 浮き，はく離

鉄筋の腐食に伴うひび割れが進行すると，かぶりコンクリートに浮き・はく離が生じ，はく落に至る場合もある．かぶりコンクリートの浮き・はく離の発生位置，深さ，範囲の調査結果は，変状の発生原因の推定，補修・補強の要否の判定，補修・補強方法の選定時に重要な情報となる．かぶりコンクリートのはく落箇所は目視によって確認できるが，浮き，はく離が発生している箇所は，目視による確認が難しい．このような場合は，たたき点検による打撃音で浮き・はく離の有無をおおむね把握することができるが，たたき点検で正確な浮きやはく離の範囲を把握できない場合は，非破壊機器を用いたはく離調査を実施することがある．

また,既設床版内の水平ひび割れや,増厚床版のはく離を検出するために非破壊検査が行われる場合や,

非破壊検査で検出されたはく離部への樹脂充填状況の確認，補強材のはく離等を検出するために非破壊機器を用いた調査を実施することがある．

(6) 塩化物イオン含有量

一般に凍結防止剤の散布，飛来塩分等の外来塩分や海砂等の内在塩分の影響が疑われる場合に，塩化物イオン濃度の調査が実施される．特に塩害では，鉄筋位置の塩化物イオン量がいつの時点で腐食発生限界 1.2kg/m^3 を超えるか予測し，その結果に応じた対策をとることが重要である．劣化原因が塩害の場合は，想定した供用期間における劣化進行予測で鉄筋位置の塩化物イオン量が 1.2kg/m^3 以下であれば，塩分の侵入を防ぐ対策を施すことが有効である．しかし，除塩不足の状態で補修対策を行うと，内部に残された塩化物イオンが鉄筋を腐食させ，再劣化が生じる恐れがあるため留意する必要がある．

(7) 中性化深さ

中性化は，大気中の二酸化炭素の侵入に伴い，コンクリート表面から内部へ進行し，鉄筋位置付近まで進行すると不動態皮膜が破壊され，酸素と水の供給により腐食し始める．このため，測定された中性化深さと鉄筋探査結果を比較して，鉄筋が腐食発生状態になっているか確認するために中性化深さ測定を実施する．コンクリート標準示方書 維持管理編では，塩害環境下にある場合，中性化残りが 25㎜ で腐食発生限界としている．塩害と中性化の複合劣化が推測される場合は，コンクリートの中性化した部分でフリーデル氏塩などセメントに固定された塩化物イオンが可溶化して内部に拡散するため，中性化部分より内部で塩化物イオンが濃縮され，塩害が促進される可能性があるため留意する必要がある．

(8) 残存膨張量

アルカリシリカ反応によるコンクリート構造物の膨張量を予測する方法として，構造物から採取したコアにより残存膨張量を予測する方法がある．残存膨張量は，今後の劣化進行を把握する重要な指標となる．これまでのわが国の実績から，残存膨張量が 0.1%以上であれば有害な膨張が生じるという目安となる．しかし，現在提案されている試験は，いずれも促進養生試験であり，必ずしも実環境下における膨張量でないことに留意する必要がある．

(9) コンクリートの圧縮強度，静弾性係数

床版からコアを採取してコンクリートが当初設計通りの圧縮強度を満足しているか，所定の品質のコンクリートであるか調べるために，採取したコアの圧縮強度試験，静弾性係数試験を実施する．また，経年劣化により，コンクリート強度や弾性係数が低下していないか，施工不良等の影響によりコンクリート強度が設計強度より小さくないか等を確認するためにも試験を行う．

一方，反発度法は，床版からコアを採取せずに，コンクリート表層部の反発度を測定してコンクリートの強度を推定する方法である．コア採取は少なからず床版を傷つける恐れがあることと，交通規制等の制約下でコア採取が困難なことが多いことから，反発度法は，推定強度にある程度のばらつきはあるものの簡易な測定方法として有効である．

(10) 鉄筋腐食

鉄筋の腐食には，コンクリートの中性化深さ，塩化物イオン濃度，ひび割れの有無など，様々な要因が影響を及ぼす．鉄筋の腐食程度は，劣化原因推定の判断材料になるだけでなく，補修・補強の要否の判定，補修・補強方法の選定時に重要な情報となる．このため，変状の見られる箇所について，鉄筋が腐食する可能性があるか否か調べるために，自然電位法による調査を行うことがある．また，錆汁の見られる箇所では，部分的にはつり出しを行い，鉄筋の断面欠損が生じていないか調べて耐荷性能を確認することも行われる．

(11) 試料分析

劣化している床版から試料を採取し，コンクリート中の各種元素の分布状況や，劣化生成物に関する情報を得ることは，その後の劣化予測と適切な補修を行う上で重要な情報となる．主に形態を観察するための走査型電子顕微鏡(SEM)に対して,精度の高い組成分析を行うものが電子線マイクロアナライザー(EPMA)を用いた測定である．電子線マイクロアナライザーでは，電子線を照射した試料面から発生する特性X線を検出し，試料を構成する各元素の存在の有無を特定すると同時に，構成比率（濃度）を調べることができる．電子線マイクロアナライザーでは，固体物質であれば，ほとんどの分析が可能である．その特徴は，X線分析装置の分解能が高く，ppm オーダーの元素分析ができると同時に，広域マッピング機能を利用してマクロな面分析ができることがあり，硬化コンクリートの場合，微量の腐食物質の侵入状況分析等に活用されている．その用途は，炭酸化の進行状況，塩化物イオンの侵入状況や，最近では，補修材料の効果確認，防食材料の耐久性評価等にも活用されている．

2.3.3 詳細調査方法

道路橋床版の上・下面における詳細調査では，損傷形態や劣化要因に応じて選定した調査項目に関する情報が得られる適切な調査方法を選定する．

(1) 床版上面からの調査方法
  1) 舗装剥ぎ取り後の損傷調査
  2) 計測機器を活用する方法（床版用の電磁波レーダ探査，FWD によるたわみ測定，荷重車による載荷試験）

(2) 床版下面からの調査方法
  1) 非破壊機器を用いた調査：反発度法，電磁誘導法，弾性波法（超音波法，衝撃弾性波法，打音法），電磁波法（電磁波レーダ法，赤外線法），電気化学的方法（自然電位法）
  2) 局部的な破壊を伴う方法（ドリル法，コア採取による方法等）

【解 説】

道路橋床版に発生する変状は様々であり，劣化原因の特定や劣化損傷程度を把握するために行われる床版上下面からの主な調査方法は，以下のとおりである．

(1) 床版上面からの調査方法

表-解 2.3.1 に示す床版上面の損傷状態を把握するために，下記に示すような詳細調査が行われる．

1) 舗装剥ぎ取り後の損傷調査

a) 打音・目視調査

床版上面の浮きや剥離箇所は，舗装面のポットホールの発生原因となり，走行車両の安全性の確保や床版の耐久性に影響を及ぼすことが考えられる．このため，床版上面の浮きや剥離箇所を舗装撤去後の打音調査や目視調査により確認することは重要である．床版上面の調査では交通規制が必要となり，時間や作業ヤード等の制約を受ける場合が多いことから，舗装補修工事で既設の舗装を剥ぎ取った際に調査が行われることが多い．

打音調査は**図-解 2.3.1** に示すように，テストハンマーによりコンクリート表面を打撃し，その時の反発音からコンクリート面の浮きや，内部空洞などの内部損傷の有無を確認する手法である．コンクリートが健全な場合は，周波数の高い金属性の音色となるが，コンクリートに浮きや空洞がある場合には，周波数の低い鈍い音色となることで判定することができる．なお，打音調査とともにひび割

れや鉄筋腐食状況，砂利化などの発生状況も目視調査し，劣化・損傷程度や範囲を確認する．**図-解 2.3.2** に示すようなマーキングした損傷個所は，舗装工事までにはつり取り，鉄筋の防錆処理とともに断面修復を行うものとする．

b) コア採取

上面劣化等の変状の見られる床版において，打音や目視調査によって十分な情報が得られない場合には，劣化程度や劣化原因を特定することを目的として，できるだけ床版を傷めないように床版上面からコアを採取し，圧縮強度，静弾性係数，塩化物イオン含有量，残存膨張量などの各種試験を実施することがある．コア採取に当たっては，電磁波 RC レーダ等によって鉄筋位置を確認し，鉄筋を傷つけないように留意する必要がある．コアは，粗骨材の最大寸法を考慮して φ50×100mm～75×150 ㎜程度とすることが多いが，コア採取による床版の損傷を少なくするために，近年，φ50mm 以下の小径コアによりコンクリートの強度を推定する方法も提案されている．コアは**図-解** 2.3.3 に示すようにダイヤモンドコアカッターを用いて採取する．採取したコアについて，表面や採取孔を観察し，内部ひび割れやコンクリートの品質について，目視調査を行うこともできる．なお，コア採取箇所は，清掃後に無収縮モルタル等で補修を行うものとする．（**図-解 2.3.4** 参照）

図-解 2.3.1　打音調査および目視調査

図-解 2.3.2　損傷個所のマーキング

図-解 2.3.3　コアボーリング

図-解 2.3.4　採取孔の目視調査

2) 計測機器を活用する方法

床版上面からの調査方法として，測定車線のみ交通規制を伴うが，電磁波レーダ法を用いたかぶりコンクリートのはく離測定や，舗装の動的たわみ測定機を用いて重錘を落下させ床版たわみを推定する方法等が試行されている．また，床版のたわみや鉄筋応力などを測定する耐荷性能の調査では，交通規制

下で大掛かりとなるものの荷重車を用いた静的載荷試験が確実な調査手法である．

以下に計測機器を活用したそれぞれの調査方法を紹介する．

a) 電磁波レーダ法による舗装および床版の劣化状態の調査

電磁波レーダ法を用いた床版上面の調査方法としては，国土交通省の新技術データベース（NETIS）に登録されている G-Cube[22),23)]による方法がある．**図-解 2.3.5** に示すように床版用の電磁波レーダを多数配列した手押し式の探査機器を使用する．また，**図-解 2.3.6** のように G-Cube を牽引式の車両に搭載することにより，走行中の測定が試みられている．G-Cube の探査データを解析することにより，舗装と床版の境界位置（厚さの測定精度は 5 ㎜以内）や舗装のポットホールのほか，目視できない断面内のひびわれ，漏水や滞水箇所，鉄筋腐食，砂利化などの脆弱部が推定され，詳細調査や補修時の事前調査にも活用できる可能性がある．

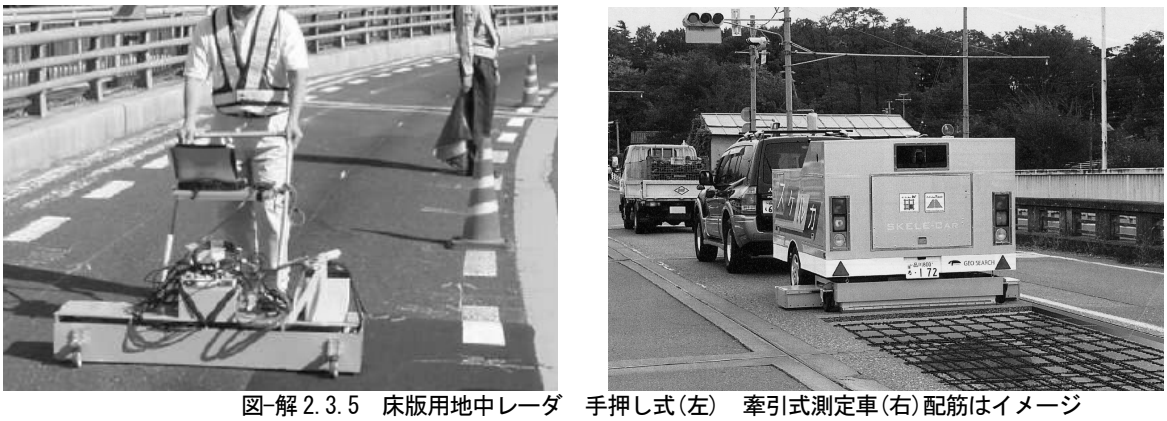


図-解 2.3.5　床版用地中レーダ　手押し式(左)　牽引式測定車(右)配筋はイメージ

図-解 2.3.6　三次元レーダ解析画像

b) FWD によるたわみ測定

道路橋床版の健全度調査法は，ひび割れ密度の調査や載荷試験による床版たわみの測定が有効であるが，これらの調査方法は，多大な労力と経費が不可欠であり，全ての橋梁に適用することは極めて困難である．そこで簡便にたわみ量を測る方法として，舗装の動的たわみ測定機（FWD：フォーリングウェイトデフレクトメータ）を用いて，舗装面から衝撃荷重を与えたときのたわみ量を測定することにより，床版の健全度や損傷度を評価する新しい点検手法が試行されている．FWD を用いた調査では，衝撃荷重を与えたときのたわみ量からたわみによる劣化度を求め，ひび割れ密度による劣化度

と合わせて，床版の健全度や損傷度の評価指標として活用する．

この FWD によるたわみ測定は，計測車線のみ交通規制が必要であるが，舗装面に重錘を落下させることにより発生する振動を計測して変位に変換する調査方法である．床版上面から FWD を用いて，補修・補強前後の床版たわみを測定することにより，補修・補強効果を確認することに利用できる[24),25)]．ただし，FWD のたわみ測定では，主桁のたわみ成分の補正ができないため，**図-解 2.3.7** に示すように補修や補強前後での相対比較による評価にとどまる．

一方，東京都が開発した重錘落下たわみ法（IIS 法）では，舗装面での主桁位置と床版支間中央の振動を速度センサで計測して，速度を積分して変位に変換したうえで，波形合成法[26),27)]で主桁のたわみを補正して高い精度で床版のたわみ量を測定できる．舗装用 FWD および床版専用の重錘落下たわみ測定機 IIS を**図-解 2.3.8** に示す．

図-解 2.3.9（左）は，昭和 48 年道路橋示方書に準じて製作された RC 床版について，輪荷重走行試験の途中で静的載荷を行い床版下面から変位計により測定したたわみと，IIS 重錘落下たわみ法により推定した床版たわみ（衝撃）の比較である．両者の差は僅かであることから，IIS 重錘落下たわみ法により概ね床版たわみを推定可能である[28)]．**図-解 2.3.9（右）**は，ロビンソン型の鋼・コンクリート合成床版について，荷重車による静的載荷試験時の変位計によるたわみと FWD および IIS による重錘落下によるたわみの関係をキャリブレーションした事例[29)]である．測定方法ごとの差は僅かであり，床版上面から測定する重錘落下によるたわみ測定方法により，荷重車を用いた静的載荷試験とほぼ同程度の床版たわみを推定することができる．

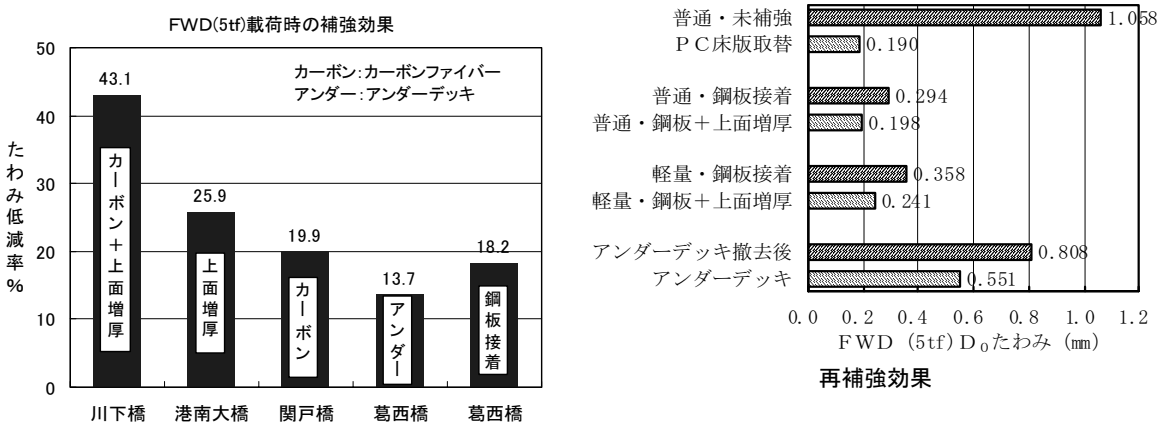


図-解 2.3.7　FWD を用いた重錘落下たわみ法による検討事例（左：文献 24)，（右：文献 25）

図-解 2.3.8　重錘落下たわみ測定機　舗装用 FWD（左）と東京都の床版専用 IIS（右）

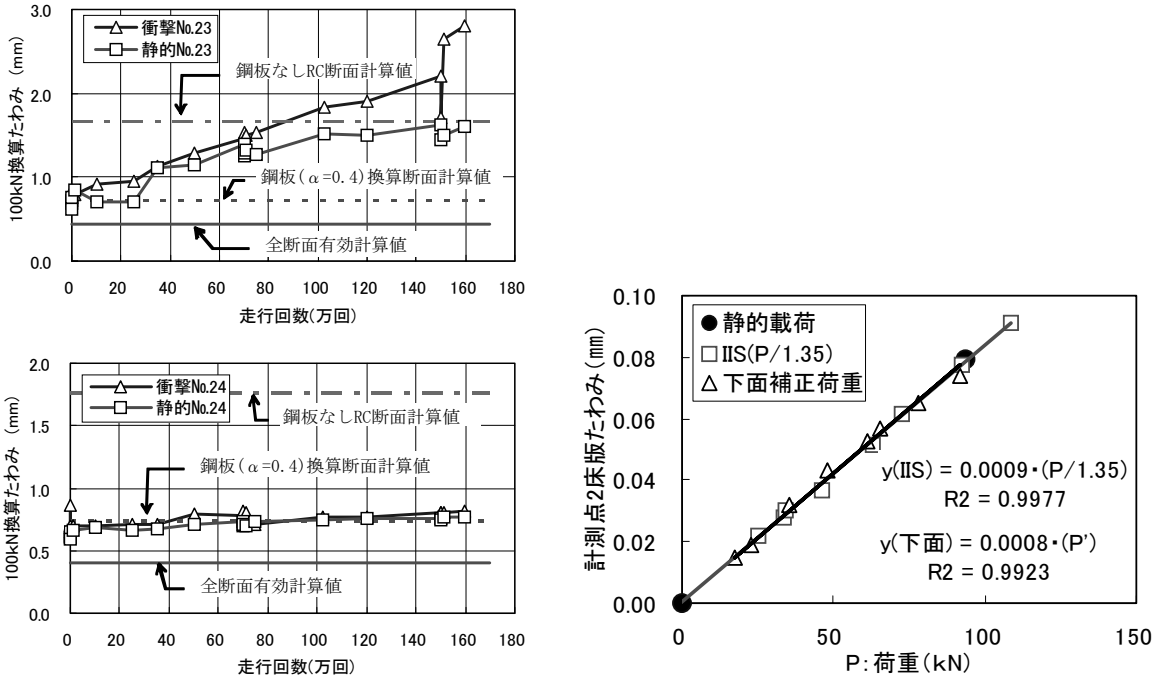


図-解 2.3.9　主桁の変位を考慮した衝撃たわみ法による検討事例（左：文献 26)，（右：文献 28）

c) 荷重車による載荷試験

既設 RC 床版の健全性を直接的に評価する方法として，荷重車を用いた載荷試験により，床版たわみやコンクリート，鉄筋ひずみ等を測定する方法がある．一般的に荷重車としては**図-解 2.3.10** に示すような散水車が使用され，重量を調整後，荷重車を**図-解 2.3.11** に示すように測定位置に合わせて静止させた状態で計測する静的載荷試験と，荷重車を走行させて計測する動的載荷試験が行われる．

床版たわみの測定は，**図-解 2.3.12** に示すように主桁間に渡した不動梁と床版下面との相対変位を，高感度のひずみゲージ式の変位計で測定する．床版下面のひずみ測定では，**図-解 2.3.13** に示すように，コンクリート面にひずみゲージを貼付して，載荷試験時のコンクリートひずみの変化を計測する．

鉄筋ひずみの測定は，**図-解 2.3.14** のように部分的に鉄筋をはつり出し，ひずみゲージを貼付して行う．鉄筋のひずみゲージの貼付けの際は極力，はつり面積を小さくして床版を傷めないように留意し，載荷試験後は，はつり箇所を付着性能の良いパテ材(エポキシ樹脂)で補修するのがよい．また，代表的なひび割れの開口変位を測定するため，**図-解 2.3.15** のようにパイ型変位計を用いた測定を行うこともある．

図-解 2.3.10　荷重車に載荷試験状況

図-解 2.3.11　レーザーポインタによる位置調整

図-解 2.3.12　床版たわみの測定

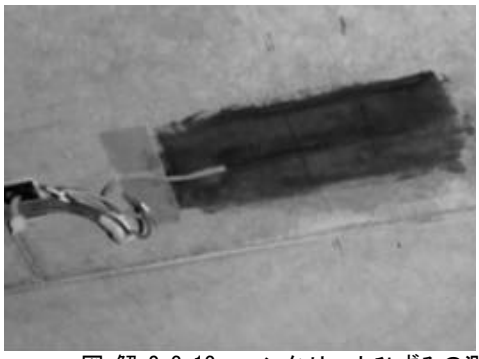


図-解 2.3.13　コンクリートひずみの測定

図-解 2.3.14　鉄筋ひずみの測定

図-解 2.3.15　ひびわれ開口変位の測定

(2) 床版下面からの詳細調査

床版下面からの調査方法としては，以降に示す 1)非破壊機器を用いた計測方法，2)局部的な破壊を伴う方法などがあり，それらの調査方法の原理，適用範囲，測定手法，適用例などについて解説する．

1) 非破壊機器を用いた調査

a) 反発度法による方法

表-解 2.3.1 に示すコンクリートの圧縮強度を推定する簡易な測定方法として，反発度法による調査方法がある．コアを採取して強度を確認する方法は，実床版のコンクリート強度の推定方法として最も基本的かつ重要な試験であるが，少なからず床版を傷つける恐れがある．このため，コンクリート表層部の反発度を測定してコンクリートの強度を推定する反発度法が広く用いられている．

① 測定原理

テストハンマーにより一定のエネルギーでコンクリート表面を打撃したときに，テストハンマーの跳返り高さ（反発度）とコンクリートの硬さおよびコンクリートの強度には相関があることがこれまでの研究で明らかにされている．跳返り高さの打撃によって生じるコンクリートのくぼみが大きいほど跳返り高さが低く，硬度は小さな値となる．テストハンマーの跳返り高さからコンクリート硬度を介してコンクリート圧縮強度が推定される．反発度から圧縮強度を求める換算式については，測定対象ごとに圧縮強度試験を行なうことよって実験的に求める方法が望ましい．

② 適用範囲

反発度は新設床版の強度管理や既設床版の点検調査に用いられる．基本的にどのような床版にも適用可能であるが，打撃時の反発の程度で強度推定を行うので，表層部の経年劣化等により表面部と内部で強度に差異がある場合は，内部コンクリートの強度推定は困難である．

測定精度に影響を及ぼす要因として，コンクリート表面の乾湿の影響やコンクリート表面の粗度による影響がある．測定可能なコンクリートの強度の範囲は，使用機器によって異なるが，約 10～60N/mm^2 とされている．

③ 機器

測定対象とするコンクリートによって使用するテストハンマーの種類が異なる．最も一般的なものは**図-解 2.3.16** に示す普通コンクリート用のシュミットハンマー(N(R)型)であるが，これ以外に軽量コンクリート用(L 型)，低強度コンクリート用(P 型)，マスコンクリート用(M 型)などがある．

④ 測定箇所

測定箇所の選定にあたっては，表面が平坦で縁部から 5cm 以上離れた位置を選択する．部材厚さが 10cm 以下となる所や，部材幅が 15cm 以下となる小寸法の箇所は，打撃エネルギーが逸散して測定結果に影響を及ぼすので選定しない．また，浮きやはく離，ひび割れ，気泡等によって反発の程度に影響を及ぼす可能性のある箇所は避ける．

⑤ 測定手法

１箇所の測定では，互いに 25～50mm の間隔をもった 9 点について測定する．反響やくぼみ具合などから判断して明らかに異常と認められる値，または，その偏差が平均値の 20%以上になる値があれば，その反発度を捨て，これに代わる測定値を補うものとする．打撃は，測定器を測定面に対して垂直に配置し，ゆっくり壁面に押し付けるようにして打撃する [30]．

⑥ 計算および補正

各測定箇所の反発度は 9 回の平均反発度で求める．リバウンドハンマーはその構造からハンマーの角度によって打撃エネルギーが異なるので，**図-解 2.3.17** に示すような角度補正を行う．補正式は下式に示すとおりで，測定反発度（R）に角度補正分（⊿R）を加えて基準反発度とする．

$$Ro = R + \Delta R$$

なお，既存の換算式を用いる場合には，角度補正に加えて測定対象の条件を考慮して，コンクリートの材齢や応力状態などの補正が加えられる場合がある．

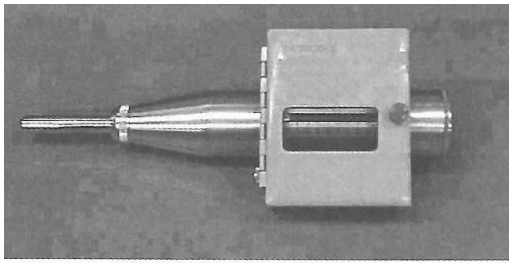


図-解 2.3.16　シュミットハンマー(N(R)型)の外観 [30]

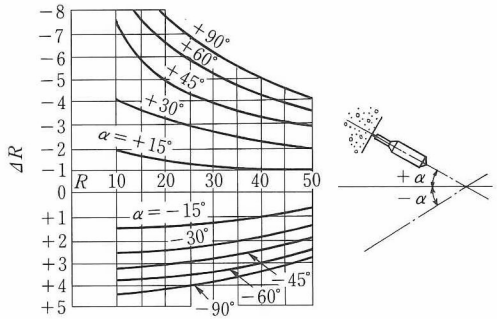


図-解 2.3.17　角度による補正 [30]

⑦ 測定精度

反発度法による測定精度は，コンクリート表面の乾湿による影響，コンクリート表面の粗度による影響の他，使用骨材，骨材寸法，配合，環境条件など多くの影響を受けるため，強度推定結果のばらつきは小さいものではない．乾湿の影響では，乾燥状態にある方が湿潤状態にあるよりも反発度は大きくなり，粗度の影響では粗面よりも平滑面の方が反発度は大きくなる．反発度法による推定強度の目安として，推定結果の標準偏差が約 3N/mm^2 であるとの報告もされている．

⑧ 適用例[37)]

適用例として鉄筋コンクリート壁高欄で実施した測定結果を示す．土木学会規準に準じて測定しており，コンクリート表面が経年劣化によりセメントペースト分がはく落し，部分的に多少凹凸のある状態で測定を行った．測定箇所は部材厚 20cm である上段，部材厚が 50cm である下段で，それぞれ 4 箇所づつ計 8 箇所とした．**図-解 2.3.18** に測定箇所ごとの反発度および圧縮強度の推定値を示す．反発度法による測定により，圧縮強度は上段で平均 25N/mm^2，下段で平均 39.3 N/mm^2 と推定され，上下段で差が見られた．また，反発度法による推定値を検証するため，土木学会「コンクリートからのコアおよびはりの切り取り方法並びに強度試験方法」に準拠し，採取したコアの圧縮強度試験を行ったところ，**図-解 2.3.19** に示すように，この鉄筋コンクリート壁高欄の圧縮強度は平均 31.8 N/mm^2 であった．

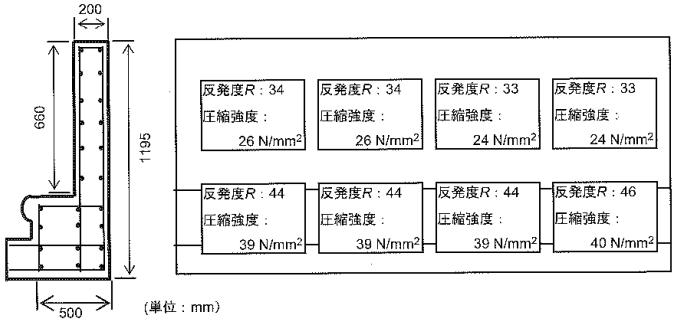


図-解 2.3.18　反発度および圧縮強度の推定値

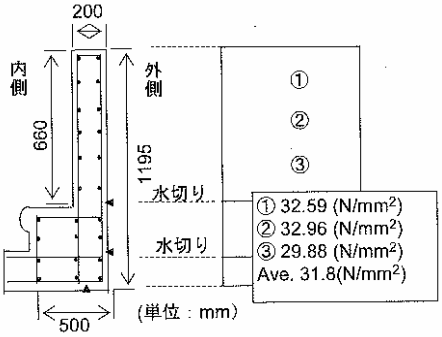


図-解 2.3.19　採取コアの圧縮強度結果

b) 電磁誘導を用いる方法

電磁誘導法は，コンクリート中の鉄筋探査を行う際に用いられる．鉄筋径やかぶり厚さの推定が可能であり，コンクリート中に空隙や豆板があっても鉄筋位置の推定が可能であるなどの特徴をもつ．この測定では，あらかじめ校正曲線を作成する等の準備が必要である．

① 計測原理[31)]

図-解 2.3.20 に示すように，コイルに交流電流を流すと磁場が発生し，磁場の範囲内に鉄筋等の磁性体が存在すると，磁性体に起電流が流れて新たな磁場が発生する．この磁場の影響によりコイルに電流が流れ，コイルの電圧が変化する現象を利用したものが電磁誘導法である．電磁誘導法では，この原理を利用して，コンクリート中の鉄筋探査を行うものである．

② 適用範囲

電磁誘導法は，かぶり厚さが既知である場合，比較的正確に鉄筋径を推定できる．コンクリート中に空洞，豆板等がある場合でも鉄筋探査が可能であるが，施工不良部（空洞，豆板，はく離等）の検出には適さない．また，電磁誘導法は，最外縁に存在する鉄筋について適用が可能であるが，内側にある鉄筋については測定が困難である．鉄筋間隔が小さい場合や格子状に配置されている場合は，測定値は隣り合う鉄筋の影響を受ける．鉄筋間隔がかぶり厚よりも小さい場合には，隣接する鉄筋の影響を受け，判別が困難とされている．

③ 機器[31)]

電磁誘導法による鉄筋探査装置は，磁場を発生させてその影響を測定するためにコイル等が内蔵されたプローブと，誘導された電流を検出する装置からなる．鉄筋探査装置の仕様を**表-解 2.3.2** に，一般的な鉄筋探査計を**図-解 2.3.22** に示す．

④ 測定手法[30)]

図-解 2.3.21 のように，試験プローブを用いて鉄筋に直交する方向にコンクリート表面を走査することにより鉄筋を検出する．プローブが鉄筋に近づくと，かぶり厚さの表示値が小さくなり鉄筋真上でブザーがなる．また，遠ざかるとブザーが止まり次第にかぶり厚さの表示値が大となる．この走査を左右両方向に繰り返し，鉄筋の中心を求める．この時，鉄筋径か，かぶり厚さの一方が既知である場合，比較的精度よく他方を推定することができる．

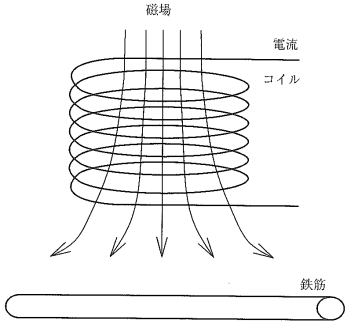


図-解 2.3.20　電磁誘導法の原理

表-解 2.3.2　鉄筋探査機（図-解 2.3.22）の仕様

探査対象物	金属（鉄筋探査時は，水平位置，かぶり厚さ，鉄筋径の推定が可能）
測 定 深 度	0～220 mm（プローブの交換による）
重　　量	約 3.1 kg（使用するプローブにより異なる）

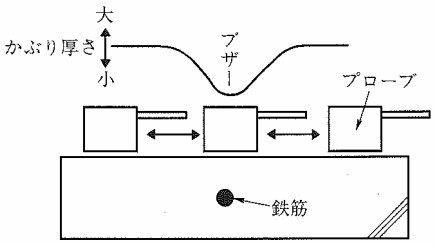


図-解 2.3.21　電磁誘導法による鉄筋探査方法

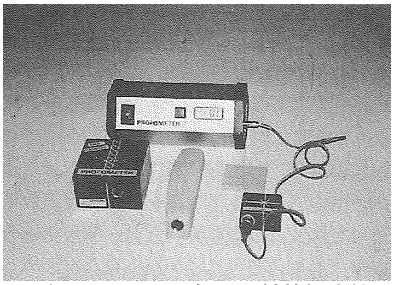


図-解 2.3.22　一般的な鉄筋探査機

⑤ 適用例[31)]

鉄筋コンクリート柱部材の耐震診断として行われた鉄筋探査の測定例を以下に示す．

図-解 2.3.23 に示す鉄筋探査結果より，鉄筋は格子状に配置されており，縦方向の鉄筋径が横方向のものより太いことから，縦方向の鉄筋は主鉄筋である．一方，横方向の鉄筋からの信号の方が強いことから，横方向鉄筋のかぶりは浅く，帯鉄筋であることが推定できる．また，主鉄筋間隔は 150mm 程度であり，また帯鉄筋については，下段 4 本の間隔は 100mm と狭いが，その上段では 150mm 間隔となっていると推定される．また，コンクリートのかぶり厚さは約 60mm であり，主鉄筋は D51，帯鉄筋は D38 と推定された．

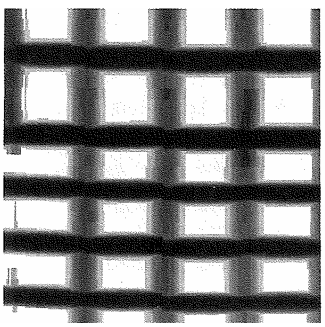


図-解 2.3.23　鉄筋探査結果（複数回の水平・垂直スキャンの結果）

c) 弾性波法を用いる方法

コンクリートを伝播する弾性波の特性を利用する調査方法として，超音波法，衝撃弾性波法，打音法があり，主に以下の項目の情報を得るために用いるものとする．

- コンクリートの圧縮強度，弾性係数
- コンクリートのひび割れ深さ
- コンクリート中の浮き，はく離，空隙
- コンクリート厚さなどの部材寸法

ｉ) 超音波法

超音波法は，発振子により超音波を入射し，コンクリート中を伝播した超音波の特性からコンクリートのひび割れ深さや内部欠陥などを評価する手法である[31)]．

① 計測原理[30)]

超音波法は，使用周波数が 20kHz 以上の超音波域と呼ばれる周波数帯を主に使用し，発振子からシリコングリース等を介してコンクリート中に発射された超音波を受振子で測定する方法である．到達時間，波形，周波数，位相などの変化を測定装置で読み取ることにより欠陥を検出する．センサの配置方法により表面法，透過法，反射法などに分類される．

② 適用範囲

比較的高い周波数を使用するため，コンクリート中の伝播距離は 1.5～2.0m 程度である．そのため，一般的には床版全体の評価ではなく，部分的な損傷（ひび割れ深さ測定，内部欠陥測定）を対象に適用される手法である．

超音波法は，他の弾性波法と比較すると弾性波の波長が短いことから，小さな内部欠陥に対する検出精度が高い反面，コンクリート中での超音波の減衰が大きく，表面から深い部分の検査には適していない．

③ 機器[31)]

超音波計測システムは，電気信号を発生するパルサ部，電気信号を超音波に変換する発振子，超音波を電気信号に変換する受振子，受振子により変換された電気信号を増幅する増幅器，受振波の伝播時間を計測する計測回路により構成されている．超音波法の測定には，１つの振動子で超音波の送受信を行う１探触子法と，超音波法の送受信を別々の行う２探触子法がある．一般的な超音波測定装置を**図-解 2.3.24** に示す．

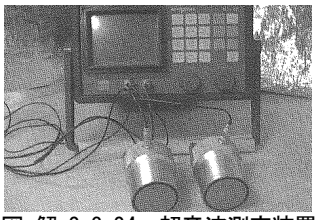


図-解 2.3.24　超音波測定装置

④　測定手法

コンクリートに直接超音波を入力した場合に超音波の指向性が悪いことを逆に利用して**図-解 2.3.25** に示すように，ひび割れ先端から迂回する超音波の伝播時間を測定することでひび割れ深さを測定する方法が提案されている．また，コンクリート中の超音波の伝播速度を計測してコンクリート強度を推定できることと，入力した反射波の卓越周波数に着目することにより，内部欠陥を検出することも行われている．

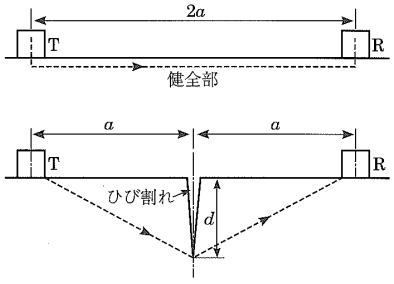


図-解 2.3.25　$T_C - T_O$法[36)]

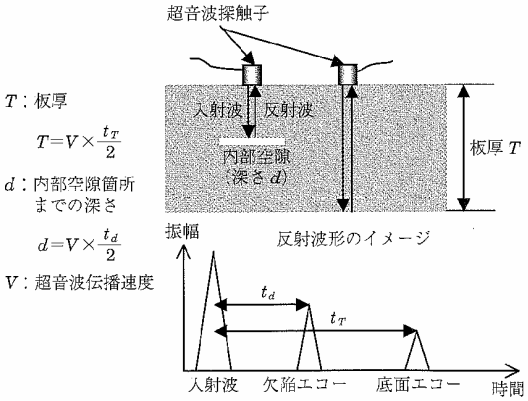


図-解 2.3.26　超音波法による内部空隙検出の原理[32)]

⑤ 評価項目

超音波法の具体的な評価項目としては，コンクリートの品質（強度，均一性），コンクリートのひび割れ深さ，コンクリートの内部欠陥（空隙，はく離等）の位置や大きさである．評価パラメータとしては，伝播速度，受振波の振幅，周波数特性などが挙げられる．

⑥ 適用例[32)]

コンクリート中に内部空隙がある場合，超音波法で得られる受信波形には，**図-解 2.3.26** のように入射波と底面エコーとの間に内部空隙に起因する欠陥エコーが現れる．したがって，欠陥エコーの有無から内部空隙の検出が可能となる．

適用例として，コンクリート供試体の表面から 10cm の位置に正方形の人工空隙を埋め込み，コンクリート表面から超音波法により空隙探査を行った結果を**図-解 2.3.27** に示す．同図より，反射波の最大振幅のコンター図と空隙の大きさおよび分布状況は良い対応を示していることがわかる．

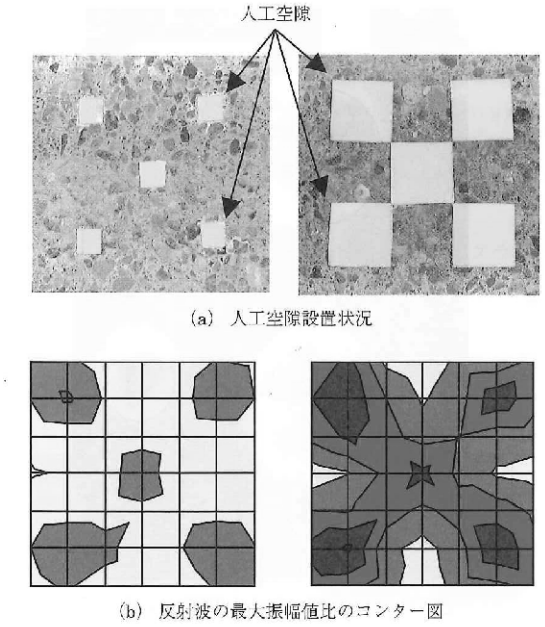


図-解 2.3.27　超音波法による内部空隙検出結果

ⅱ) 衝撃弾性波法

衝撃弾性波法は，ハンマーなどによる打撃により生じた弾性波を，コンクリート表面に設置した振動子やＡＥセンサーにより受振し，コンクリート内部の空隙や部材厚を評価する方法である．

① 計測原理

衝撃弾性波法は,ハンマー等でコンクリート表面に打撃を加えて変形を与えることで発生する波(衝撃弾性波）がコンクリート中を伝播した時の振動応答を調べることによって，コンクリート内部の情報を間接的に得る方法である．超音波法が 20kHz 以上の周波数を使って行う手法に対して，衝撃弾性波法は打撃方法にもよるが主に 20kHz までの周波数帯域の低い周波数の波を使用する．コンクリートは，材料的に不均一であり，超音波の減衰が大きくなるが，衝撃弾性波法の場合は，減衰の小さい低周波数を使用し，大きなエネルギーを与えることができるため，より遠くまで伝播させることができる．

② 適用範囲

衝撃弾性波法は，超音波法と比較して，入力する弾性波のエネルギーが大きく波長が長いため，コンクリート中の骨材や微小空隙等による減衰の影響を受けにくい．したがって，伝播距離を長くすることが可能であり，受信子で捉えた反射波の周波数分析することにより，部材の厚さ，空洞，はく離面の検出に適用されている．

③ 機器

衝撃弾性波法の測定システムは，**図-解 2.3.28** のように振動センサ（加速度センサ，AE センサ等），アンプおよび波形記録・表示装置により構成される．

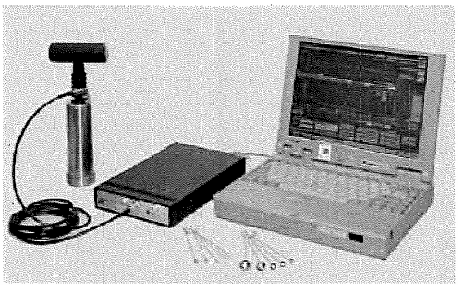


図-解 2.3.28　測定機器

④ 測定手法

衝撃弾性波法のうち，代表的な測定方法としてインパクトエコー法がある．この方法では，**図-解 2.3.29** のように部材表面と底面との間，あるいは部材表面と内部空隙との間でそれぞれ縦波の共振現象が生じることに着目し，受信波スペクトルにおけるピーク値から内部空隙の評価を行う．この方法は，内部空隙がない場合は，板厚に相当する縦波共振周波数が明確なピークとして現れる．内部空隙がある場合は，板厚に相当する周波数よりもさらに高い周波数領域に，部材表面から空隙までの距離に相当する縦波共振周波数が現れる．このように，周波数ピークの変化に着目することによって，内部空隙の把握が可能である．

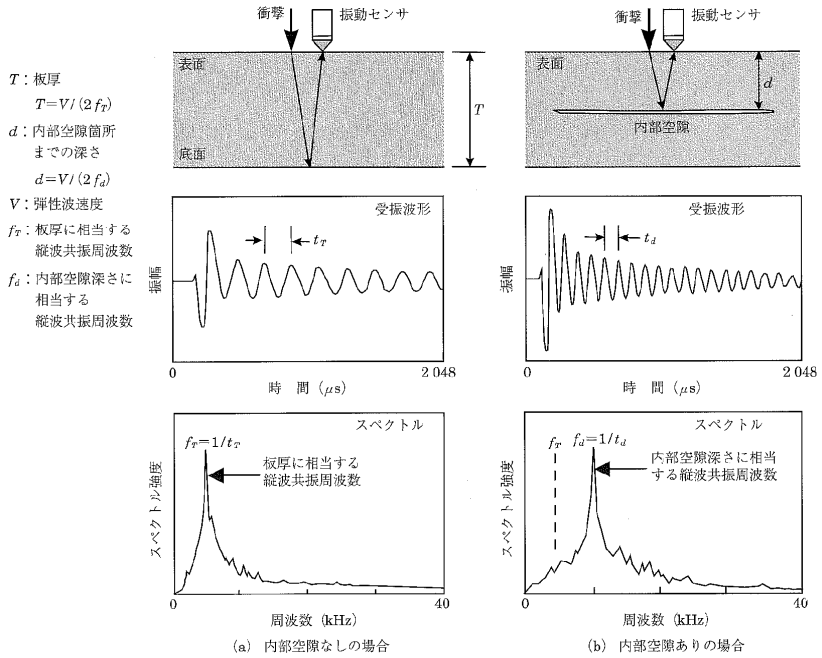


図-解 2.3.29　衝撃弾性波法による内部空隙検出の原理[32)]

⑤ 評価方法

衝撃弾性波法の評価パラメータとしては，伝播時間および受振波形の周波数分析からコンクリート内部の欠陥の評価を行う方法がある．

⑥ 適用例[34)]

増厚界面が部分的にはく離した実橋床版について，はく離した界面へ樹脂注入補修を行い，樹脂の充てん状況を確認するために**図-解 2.3.30** に示す衝撃弾性波法による調査を行った．施工前調査では，35 測点のうち 20 測点で床版内部欠陥ありと判定され，これは床版上面からのたたき点検で異常音が確認されたエリアと概ね一致していた．樹脂注入後にこの 20 測点の注入状況を衝撃弾性波法により測定したところ，19 測点で樹脂が充てんされていることが確認された．このうち，代表的な樹脂注入前後の波形を**図-解 2.3.31** に示す．注入前に欠陥箇所で確認されたピーク値が，注入後になくなっており，床版内部が樹脂で充てんされていることが推定される．

図-解 2.3.30　衝撃弾性波法による調査状況

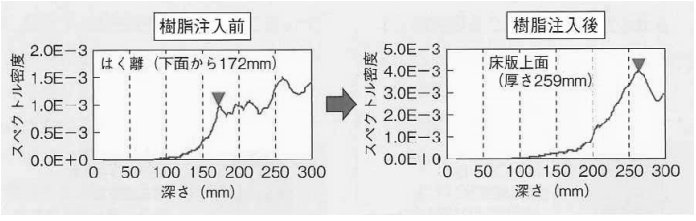


図-解 2.3.31　代表的な樹脂注入前後の分析波形

iii) 打音法を用いる方法

打音法は，コンクリート表面をハンマで打撃した際の打撃音をマイクロホンで受振し，得られた受振波形の振幅値の特性から，コンクリート中の浮きや表層近傍の空隙箇所などを把握する方法である．

① 計測原理

打音法は，基本的には衝撃弾性波法と同様の原理であり，**図-解 2.3.32** および**図-解 2.3.33** のように打撃によりコンクリート中に弾性波を発生させ，この弾性波がコンクリート表面から空気中に放射された音をマイクロホンで測定する．衝撃弾性波法が部材板厚方向の縦波共振に基づいているのに対して，打音法では内部空隙とコンクリート表面との間の板のたわみ共振に着目する点が特徴である．打音法では，通常は可聴域と呼ばれる 20Hz から 20kHz の周波数域の音（弾性波）を使用する．衝撃弾性波法と比較して，周囲の騒音の影響を受けやすい難点があるが，非接触で測定可能であるのでコンクリート表面の性状に影響を受けにくい，測定が簡便になるなどの長所がある [30]．

図-解 2.3.34 に示すように，内部空隙のある箇所での打音波形は，健全部での波形に比べて，たわみ共振に伴う挙動が顕著であり，最大振幅値も大きくなる．したがって，波形から卓越周波数や振幅の特性値を抽出することにより，客観的で定量的な評価が可能である．

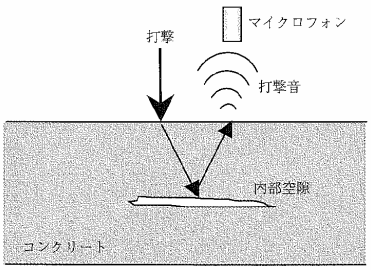


図-解 2.3.22　打音法による内部空隙検出の原理 [32]

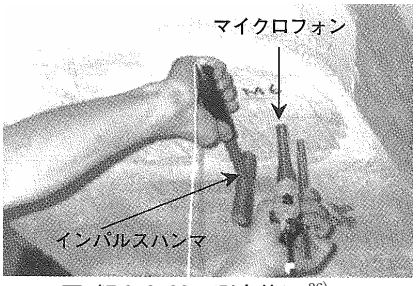


図-解 2.3.33　測定状況 [36]

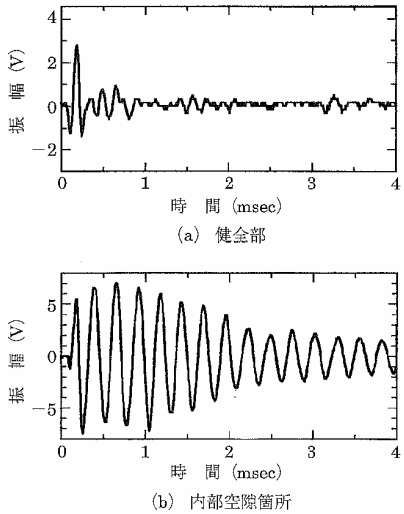


図-解 2.3.34　打音法による計測波形の例 [32]

② 適用範囲 [36]

打音法による主な調査対象は以下のとおりである．

・床版コンクリートの表面付近に存在するはく離

・コンクリート内部に存在する空洞

・鋼板等の補強材とコンクリート界面のはく離

③ 機器[31)]

打音法の測定システムは，インパルスハンマ，マイクロホン，プリアンプ，メインアンプ，AD 変換器および波形記録・解析装置より構成される．打音法に使用する機器を**図-解 2.3.35** および**図-解 2.3.36** に示す．

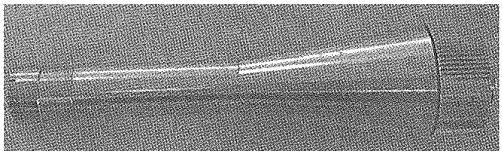


図-解 2.3.35　コンデンサ型マイクロホン

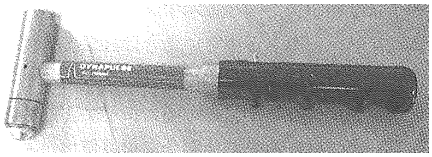


図-解 2.3.36　インパルスハンマ

④ 測定手法

測定対象である床版に対してランダムに測定位置を選定するのではなく，格子状に測定点を設け，位置と結果の対応が図れるように測定を行い，1 測定点当たり複数回の測定が望ましい．ただし，ハンマーの 2 度たたきやオーバーレンジなどの打撃ミスや打撃音波形のノイズが見られる場合には再度測定を行い，適切なデータを収録する．ハンマーによる打撃は，ハンマヘッドがコンクリート面に垂直に当たるように行う．マイクロホンは基本的には打撃点近傍のコンクリート面に近い位置に一定の間隔で設置し，できるだけコンクリートから発生する音を測定するようにする．

⑤ 評価方法

打音法の評価パラメータとしては，受振波形の最大振幅値や周波数分布からコンクリート内部の欠陥の評価を行う方法がある．

⑥ 適用例[32)]

適用例として，円形の人工空隙を埋設したスラブ供試体の表面において一定間隔で打音を計測し，得られた波形の最大振幅値の分布状況を**図-解 2.3.37** に示す．打音法による計測により，振幅値の大きな部分を示す赤色の箇所が内部空隙箇所とほぼ一致しており，打音により空隙箇所が視覚的に把握できている．

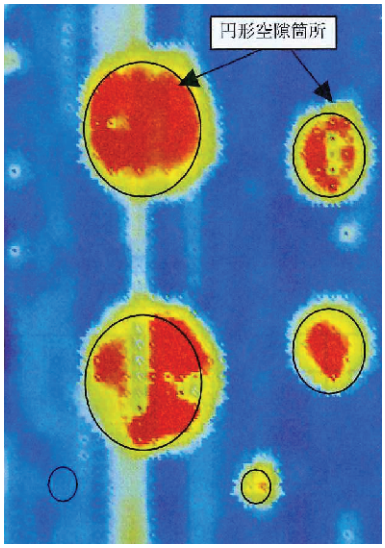


図-解 2.3.37　打音波形の最大振幅値分布

d) 電磁波法を利用する方法

電磁波法を利用する方法には，電磁波レーダ法，赤外線法（サーモグラフィ法）などがあり，主に以下の項目の情報を得るために用いるものとする．

・ コンクリート中の鋼材の位置，径，かぶり
・ コンクリート中の浮き，はく離，空隙

ｉ) 電磁波レーダ法

電磁波レーダ法は，比誘電率の異なる物質の境界において電磁波（マイクロ波）の反射が生じることを利用し，主にコンクリート中の鉄筋位置，かぶり厚さなどを調べる方法である．コンクリート表面に水を多く含む場合や配筋が密な場合には内部に電磁波が通らず，測定精度が落ちる問題があることに注意を要する．

① 計測原理

電磁波レーダ法の原理は現在広く用いられているレーダと基本的に同じである．コンクリート用電磁波レーダは，インパルス状の電磁波をコンクリート内へ送信アンテナから放射すると，その電磁波がコンクリートと電気的性質（比誘電率・導電率）の異なる物体（鉄筋，空洞など）との境界面で反射する．それを受信アンテナで受信し，それにかかる往復の伝播時間から反射物体までの距離を計算するとその位置を求めることができる．原理を**図-解 2.3.38** に示す．

② 適用範囲

電磁波レーダ法では，コンクリート構造物の鉄筋位置やかぶり厚，内部空隙の推定が可能である．電磁波レーダ法は，電磁波の反射波を測定する装置のため，測定精度は最も計測面側に位置する鉄筋に対して有効である．コンクリート表面に多くの水分が存在する場合は，コンクリート表面における電磁波の反射の影響が大きくなり，内部空隙の検出が困難な場合がある．

③ 機器

電磁波レーダ法による測定装置は，**図-解 2.3.40** のように電磁波を送受信するアンテナ部とデータの表示・記録を行う部分からなっている．装置の一例を**図-解 2.3.39** に示す．

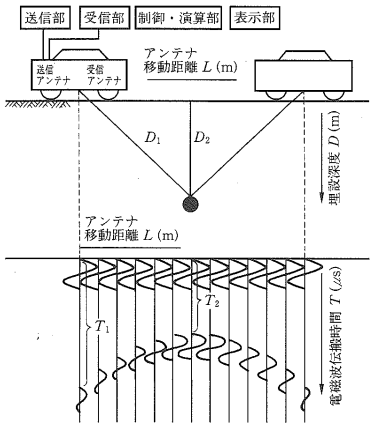


図-解 2.3.38　電磁波レーダ法の原理 [30)]

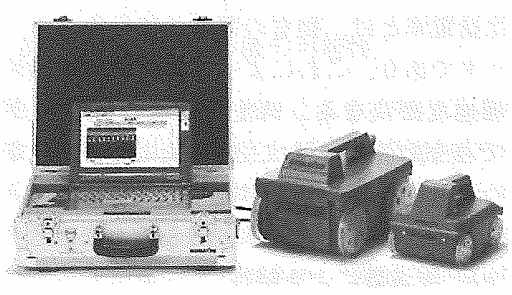


図-解 2.3.39　電磁波レーダ装置の一例

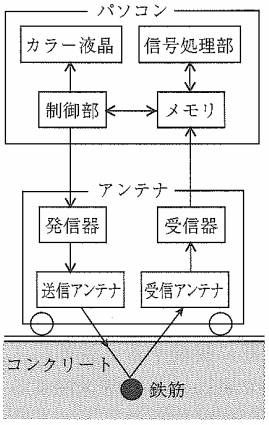


図-解 2.3.40　装置の構成

④ 測定手法

電磁波レーダ法を用いて鉄筋位置やかぶり厚さなどを調べる場合，測定対象の主鉄筋および配力鉄筋に直交する方向にアンテナ部を走行させて測定する．

⑤ 適用例[32)]

図-解 2.3.41 (a)に，複数鉄筋下にある矩形の空隙を電磁波レーダ法により測定した結果を以下に示す．図中には，表面から 10cm 程度および 20cm 程度付近に，鉄筋からの反射によるものと思われる陰影がほぼ等間隔に表れている．また，表面から 30cm 程度の箇所には，長さ 40cm の反射源も認められる．この結果に，さらに画像処理を施し，電磁波の反射源の位置関係を明確にしたものが**図-解 2.3.41 (b)**である．この図から，コンクリート中の鉄筋位置や空隙の箇所や規模を，かなり的確に把握できることがわかる．

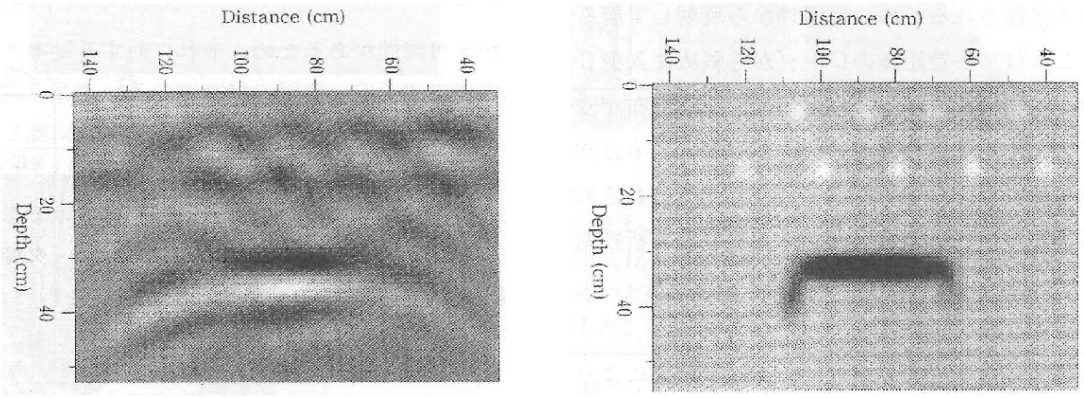


図-解 2.3.41 電磁波レーダ法による内部空隙の評価結果

ii）赤外線法（サーモグラフィ法）

赤外線法は，浮きやはく離等が存在する部分において熱伝導率が異なることを利用して，非接触で表面温度の分布状況を調べる方法である．非接触でしかも広範囲に適用することが可能であるが，探査深度に限界がり，また，コンクリート表面の汚れ，漏水，日照の程度などにより影響を受けるために，測定環境を整える必要がある．

① 計測原理

赤外線法による測定は，**図-解 2.3.42** のようにコンクリート表面から放出される赤外線を検出素子を用いて二次元的に走査し，検出された赤外線量を映像として表示する方法である．床版下面に浮きや空洞が存在する場合には，熱伝導率，比熱等，熱的性質が健全部と異なり，その違いは温度や日射等によって生じる構造物の温度変動の中で，表面温度の差となって現れる．赤外線法は，内部に生じた空隙が断熱層になり，日射や気温変化に起因して生じる表面温度の日変動の中で，**図-解 2.3.43** に示すように欠陥部と健全部との間に表面温度差が生じる時間帯があることを利用して，内部欠陥を検出する手法である．近年は，構造物を人工的に加熱して強制的に欠陥部と健全部の間の温度差を生じさせる手法も実用化されている[30)]．

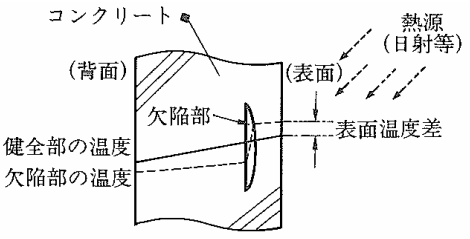


図-解 2.3.42 欠陥検出の原理

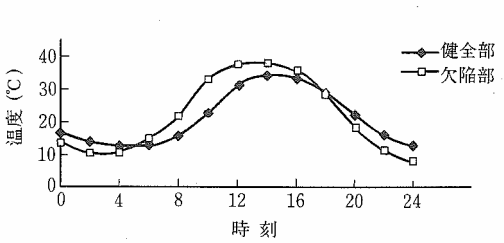


図-解 2.3.43 健全部と欠陥部の表面温度変化モデル

② 適用範囲

赤外線法は，コンクリートの浮き，はく離等の調査に使用される．赤外線法は，測定時の気象条件に左右され，表面の光沢や汚れにより生じる温度差を欠陥と誤認する可能性があるので留意する必要がある．検出精度は，構造物表面から 5cm 程度が限界であり，立地条件によっては，適切な距離あるいは角度からの測定が困難なことがある．

また，赤外線法の適用できる部位は，日射により，健全部と損傷部の温度差が赤外線サーモグラフィ装置で検出できる程度に生じる箇所でなければならない．ただし，温度変化が見られる場合，あるいは強制的にヒータによる加熱，散水等により冷却する場合にはこの限りではない．適用不可箇所の例を**図-解 2.3.44** に示す．

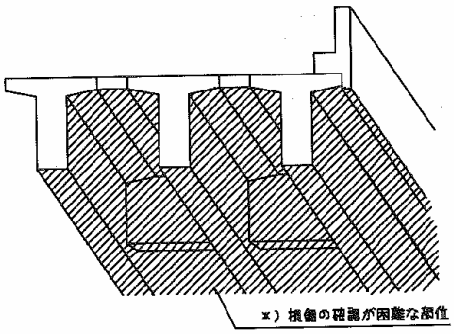


図-解 2.3.44　適用不可箇所の例 [35)]

③ 機器 [30)]

赤外線映像装置は，光学系に走査機構を付加して二次元の温度パターンを得ることができるもので，**図-解 2.3.45** のように走査機構に鏡 2 枚（回転鏡と往復鏡の組合せ）を用いる機械式走査機構を用いている．しかし，この方式では画像の形成に時間がかかるため，最近では，可視ビデオカメラと同様に，二次元センサを使用するものが普及しつつある．

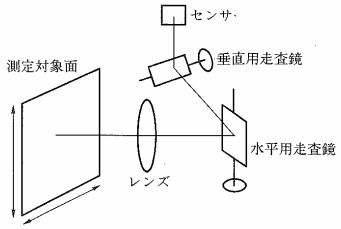


図-解 2.3.45　赤外線映像装置の構造（シングルディテクタータイプの場合）

④ 測定手法 [30)]

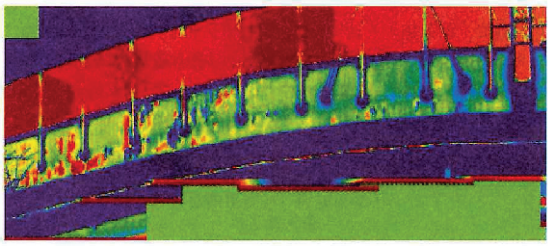
測定方法は，対象物にできるだけ正対した位置から，適切な距離をおいて測定する．写真撮影と大きく異なる点は，測定精度が測定時の気象条件に大きく左右されることであり，人工的加熱・冷却を行う場合を除き下記条件が満たされなければ，精度の高い調査は期待できない．

・晴天日に測定すること
・調査対象部分の日射受熱量が最大となる時間帯，あるいは最高気温，最低気温となる時間帯に測定する．

⑤ 適用事例[32)]

図-解 2.3.46 に橋梁高欄部の可視画像と赤外線法による画像とを合わせて示す．赤外線法の計測結果を見ると，コンクリートに浮きが生じた部分が表面温度の高い（赤色）部分として捉えており，欠陥箇所を視覚的に判断することができる．

可視画像



サーモグラフィ

図-解 2.3.46　サーモグラフィ法による橋梁高欄部コンクリートの調査事例

e) 電気化学的方法を用いる方法

電気化学的方法を利用する方法のひとつとして自然電位法があり，コンクリート中の鉄筋の腐食傾向を得るために用いられる．

ⅰ) 自然電位法

自然電位法は，コンクリート表面に照合電極を接触させ，構造物内部の鋼材の自然電位を測定することで，鋼材の腐食傾向を判定する方法である．この方法はアメリカで道路橋床版の鉄筋腐食を非破壊的に判定するために開発されたもので，測定方法が簡便でわが国においても鋼材腐食の測定に使用される頻度が高い．

① 計測原理

鉄筋が腐食していく場合は，**図-解 2.3.47** のように電子が鉄筋内を移動し電流が流れることになる．鉄筋の腐食が進行中であれば，アノード部の電位は卑（－側）に変化することが多い．自然電位法では，このような電位の変化を指標として鉄筋腐食の程度を推定するものである．

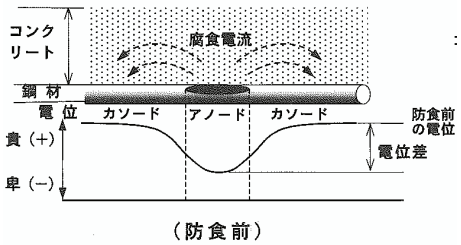


図-解 2.3.47　コンクリート中の 鉄筋腐食

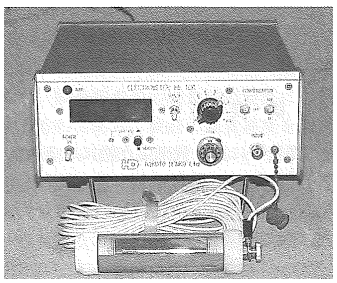


図-解 2.3.48　自然電位計測器の例[30)]

② 適用範囲

自然電位法は，調査を行った時点においてコンクリート中の鉄筋に腐食が発生している可能性について判断するために用いられる．この方法では，鉄筋腐食によりコンクリートのひび割れやはく離が発生する前に，腐食劣化の部位を把握することができる．[31]しかしながら，腐食の進展速度を測定するものでないことと，コンクリートが十分に湿っている場合にのみ確かな電位の読み値が得られることに留意する必要がある．

なお，コンクリート表面が非常に乾燥して電気的に絶縁体に近い場合，コンクリート表面に塗装等の絶縁材料が被服されている場合には適用できない．また，エポキシ樹脂鉄筋など表面がコーティングされている鉄筋には適用できない．

③ 機器

電位測定には照合電極と電位差計が使用される．照合電極の種類には種々あるが，コンクリート中の鋼材の測定には，銅硫酸銅電極，銀塩化銀電極，鉛電極，カロメル電極などが用いられる[30]．測定される自然電位の値は用いる照合電極によって変化するため，土木学会規準では，飽和硫酸銅電極による自然電位測定値を標準とし，その他の照合電極を用いた場合には，飽和硫酸銅電極に対する自然電位に換算することと規定している．自然電位計測器の例を**図-解 2.3.48** に示す．

④ 測定手法[30]

コンクリート表面での自然電位の測定方法を**図-解 2.3.49** に示す．照合電極の先端には含水させたスポンジ等を巻き付けてコンクリート表面の測定点に押し当てて保持し，指示値が安定するまで待った状態で読み取る．測定値は，照合電極の種類によって異なるため，使用した照合電極の略号を測定値の後に続けて記載するのが一般的である．また，測定時の天候や所要時間，散水等の事前処置など測定した際の諸条件を記録しておくことも重要である．

⑤ 評価方法[30]

自然電位による鉄筋の腐食性の評価は電位測定値および電位分布により行う．自然電位測定値 E に基づく評価基準としては，アメリカで制定された ASTM C 876 があり，**表-解 2.3.3** のように腐食の可能性を確率で評価している．日本国内の指針や試案も ASTM 規格とほぼ同様の範囲設定と腐食の評価が示されているものが多い．しかし，実構造物の自然電位を測定した場合，測定値が不確定あるいは腐食確率 50%と判定することが多い-0.20～-0.35vs CSE の間となることが多く認められていることから，最近ではこのような範囲の測定結果に対しても腐食性の判定を下すための評価も提案されている．

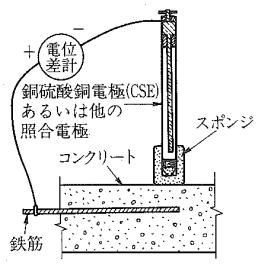


図-解 2.3.49　自然電位測定方法[30]

表-解 2.3.3　ASTM 876 による鉄筋腐食性評価

自然電位（E） （V vs CSE）	鉄筋腐食の可能性
$-0.20<E$	90% 以上の確率で腐食なし
$-0.35<E\leqq-0.20$	不確定
$E\leqq-0.35$	90% 以上の確率で腐食あり

⑥適用例[30)]

海洋環境下にあり飛来塩化物による外的塩害を受けた**図-解 2.3.50** に示す柱部材で計測された自然電位分布測定例を**図-解 2.3.51** に示す．浮きや鉄筋が露出している周辺では，電位が-200～-270Mv と卑な（低い）傾向にあることから，その部分の鉄筋は腐食しているものと推定される．

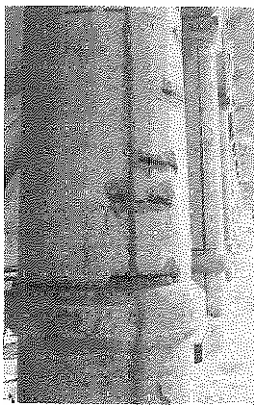


図-解 2.3.50　調査対象構造物

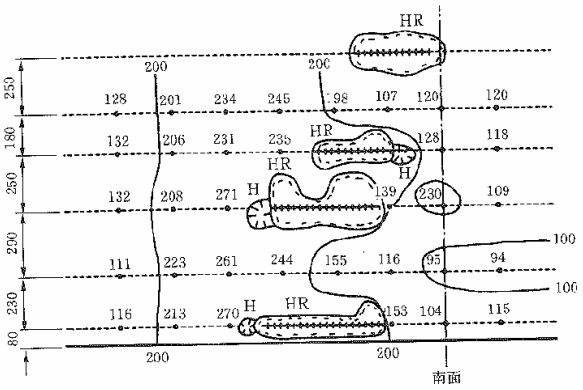


図-解 2.3.51　等電位線図

f) 局部的な破壊を伴う方法（ドリル法，コア採取による方法等）

局部的な破壊を伴う方法には，主にコア採取による方法，ドリル削孔粉を用いる方法，はつりによる方法および鋼材を採取する方法があり，コンクリートや鋼材の劣化状況に関する精度の高い情報を得るために用いられる．

目視による方法，たたきによる方法，あるいは非破壊検査機器を用いる方法で十分な情報が得られない場合，あるいは精度の高い情報が必要とされる場合などでは，局部的な破壊を伴う方法により調査を行う場合がある．局部的な破壊を伴う調査は，コンクリートの物性や劣化状況を把握するものと，鉄筋の劣化の状況を把握するものとに大別され，前者はコア採取やはつりによる方法あるいはドリル削孔粉を用いる方法が，後者には，はつりによる方法や床版中の鋼材を直接採取する方法が用いられる．試験の目的にもよるが，劣化の進行状況の確認，局部的な原因か否か判断する場合は，比較用として，ひび割れが発生していない健全部からも試料を採取することが望ましい．なお，局部的な破壊を伴う方法による調査の実施に際しては，床版が有する性能を損なわないように注意する必要がある．

i) 中性化深さ

中性化は，大気中の二酸化炭素の浸入に伴い，コンクリート表面から内部へ進行し，鉄筋位置付近まで進むと不動態皮膜が破壊され，酸素と水の供給により腐食し始める．このため，測定された中性化深さと鉄筋探査結果を比較して，鉄筋が腐食発生状態になっているのか確認を行うものである．中性化深さの測定を現場で行う場合には，構造物を極力傷つけないようにドリル法が行われることが多い．この試験方法は，φ10mm のドリルで削孔したときの削孔粉を用いて中性化深さを測定する方法で，(社)日本非破壊検査協会より制定されている．この方法によって測定された中性化深さは，コンクリートコアを用いる方法による深さとほぼ等しく，作業量，補修量の面で大幅な改善が期待できる方法である．

ドリル法による測定方法は，**図-解 2.3.52** に示すようにコンクリート表面を電動ドリルで削孔しながら，その削り粉が落下する位置にフェノールフタレイン 1%エタノール溶液を浸した濾紙を置き，濾紙をゆっくり回転させながら，濾紙が赤紫色に呈し始めた時の削孔深さをディプススケールで測定することにより中性化深さを求めるものである．なお，削孔 3 個の値のうち，いずれかの値の偏差が

±30%を超える場合は，粗骨材の影響が考えられるため，新たに 1 孔を削孔し，削孔 4 個の平均値を求めて平均中性化深さとする．

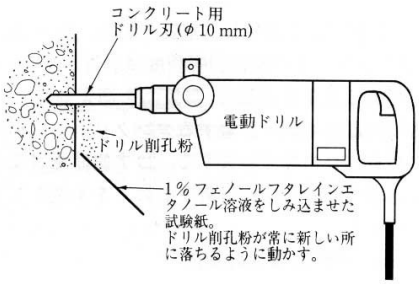


図-解 2.3.52　　ドリル法による中性化深さ測定方法 [30)]

ⅱ) 塩化物イオン含有量

既設床版の塩分量を調べる方法としては,「硬化コンクリート中に含まれる塩分の分析方法」に基づく電位差滴定法が多く行われている．**図-解 2.3.53** に示す電位差滴定法は，硝酸銀溶液を用いた塩化物イオンの沈殿滴定法であり，指示薬のように呈色の変化を見るのではなく，電気化学的な変化を捉えるもので微量分析にも適用できる．塩化物イオン含有量の測定は，コアを用いる方法とドリル粉末で行う方法がある．

図-解 2.3.54 に塩化物イオン含有量を測定した例を示す. 表面から 50mm 以下では塩化物イオン濃度が低くなっており 50mm で高濃度塩分量となっている．これは，中性化により未炭酸化領域に塩化物イオンの移動・濃縮現象が生じているためである．

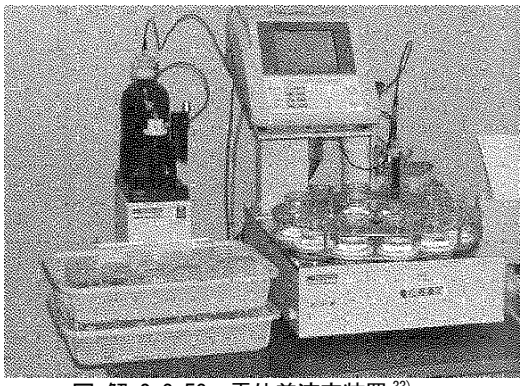


図-解 2.3.53　電位差滴定装置 [33)]

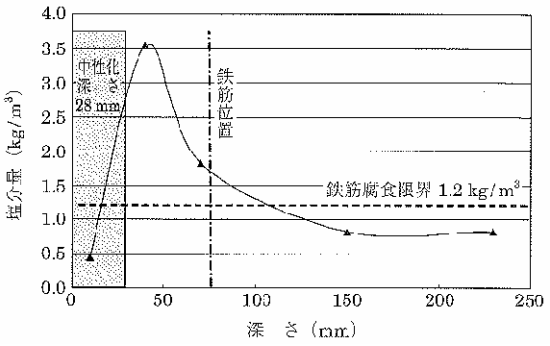


図-解 2.3.54　　塩化物イオン浸透量測定結果例 [33)]

また，その他の測定方法として，最近ＮＥＸＣＯ総研で開発された硬化コンクリート中の全塩化物イオン濃度の迅速測定方法 [38)] を紹介する．この試験方法は，硬化コンクリート中の塩化物イオン濃度を原位置にて迅速（１時間前後）に測定する方法である．

従来は,採取した試料を分析室に持ち帰り,試料を調整したうえで塩化物イオン濃度を定量するため,測定結果を得るまでに相当時間を要していた．本方法によると，試料の採取が完了すれば，原位置にして測定結果が１時間前後で得られることができ，効率的な工程で調査が実施可能となる．

本方法では，塩分調査に要する時間を短縮するため，サンプルはドリル粉とし，可搬式の電量滴定式塩分計と温水，および炭酸塩を使用して全塩化物イオン濃度を測定する方法である．ただし，今のところ，データ数が少ないため，実際の適用には，JIS 法とチェックする必要がある．

（iii）残存膨張量の測定

ASR(アルカリ骨材反応)による劣化が懸念される構造物における ASR の劣化進行予測は，採取したコアの残存膨張量で推定するのが一般的である．

使用骨材にアルカリシリカ反応性があれば，調査時に ASR の兆候が確認されなくても，長期の供用期間の後には膨張し，構造物に劣化が生じる可能性がある．コンクリートの調査時までどの程度膨張していたのか，あるいは今後どのような速度で最終的にどの程度まで膨張するかについて，確実な測定手法はないのが現状であるが，これらの目安として，対象とする構造物から採取したコアを用いて残存膨張量を測定する方法がある．ただし，構造物から採取したコアを用いた残存膨張量の測定は，あくまでも促進養生条件下における結果であり，現実の環境下における膨張量ではないことに留意する必要がある．

図-解 2.3.55 に促進膨張用試験体を示す．

わが国では，コンクリート中のアルカリシリカ反応性の残存膨張性を評価する試験として，温度 40℃，相対湿度 100%の湿気箱にて実施する方法(JCI-DD2)がよく用いられている．コアの膨張性が 0.1%以上の場合に「残存膨張性あり」と判定するが，膨張量の測定期間中にゲルの滲出の影響で途中から収縮傾向を示すなど，判定基準値を明確に決めることができない場合もある．この方法以外に，温度 80℃の 1N の NaOH 溶液中で実施するもの(ASTM C1260，カナダ法)および温度 50℃の飽和 NaCl 溶液中で実施するもの(デンマーク法)などがある．

湿気槽にて実施する方法(JCI-DD2)では，コアの直径や長さが小さくなると，コアからのアルカリの溶出の影響で，膨張量の測定が小さくなり，誤った評価をすることがある．一方，外部から NaOH や NaCl が供給される条件下で試験する方法では，**図-解 2.3.56** に示すように，コアの大きさによる影響を受けず，膨張量が全体的に大きくなるので，残存膨張性の評価が容易となる．促進膨張試験の判定基準値は，**表-解 2.3.4** に示すように，骨材のアルカリシリカ反応性の試験に準拠したものが使用されることが多い．しかし，コアの残存膨張性の「あり」，「なし」を判定する基準値は，十分な研究調査に基づいたものといえず，現状では実構造物の将来の膨張挙動との対応関係も必ずしも明確ではないことに留意する必要がある．

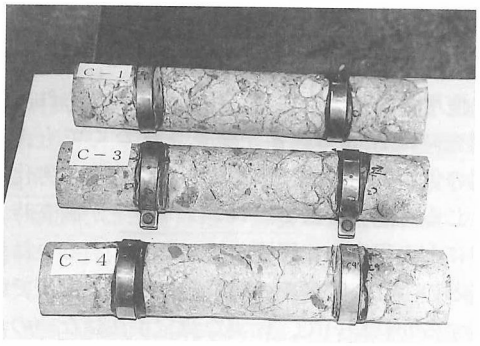


図-解 2.3.55　促進膨張用試験体 [30)]

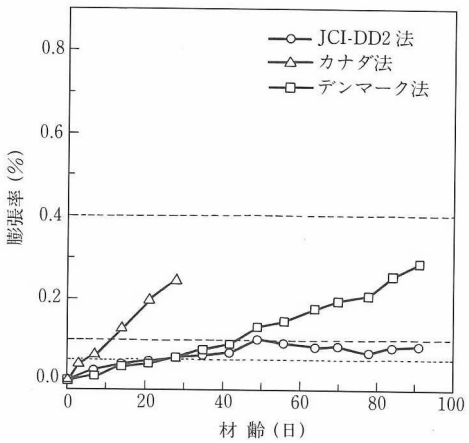


図-解 2.3.56　促進養生試験におけるコアの残存膨張量の比較 [30)]

表-解 2.3.4　コアの促進養生試験における判定基準[30)]

	促進養生の条件	判定基準	
JCI-DD２法	温度 40℃，湿度 100% の条件下にて養生	阪神高速道路公団	全膨張量が 0.1% を超える場合，有害と判定する。
		建設省	建設省総合プロジェクト「コンクリートの耐久性向上技術の開発」では 40℃，100% R.H.の条件下に 13 週間養生し，0.05% 以上の膨張量を示すものを有害または潜在的有害と判定する。
デンマーク法	温度 50℃ の飽和 NaCl 溶液中に浸漬	試験材齢３箇月での膨張量で以下のように判定する。 0.4% 以上：膨張性あり 0.1～0.4%：不明確 0.1% 未満：膨張性なし	
カナダ法（NBRI 法）	温度 80℃ の１N の NaOH 溶液中に浸漬	ASTM C 1260-94 の判定基準：試験開始後 14 日間での膨張量で以下のように判定する。 0.1% 以下の場合：無害 0.10～0.20% の場合：有害と無害な骨材が含まれる。 （この場合，14 日以降も更に試験を継続する） 0.20% 以上の場合：潜在的に有害な膨張率	

ⅳ）電子線マイクロアナライザー（EPMA）

電子線マイクロアナライザー（EPMA）は，波長分散型Ｘ線分光器を搭載した分析装置のことで，測定装置および原理は走査型電子顕微鏡（SEM）と同じである．SEM に対して精度の高い組成分析を行うための装置が EPMA である．EPMA では，電子線を照射した試料面から発生する特性Ｘ線を検出し，試料を構成する各元素の存在の有無を特定すると同時に，構成比率（濃度）を調べることができる．

EPMA では，個体物質であれば，無機物，有機物を問わず，ほとんどの分析が可能である．Ｘ線分析装置の分解能が高く ppm オーダーの元素分析ができると同時に，広域マッピング機能を利用してマクロな面分析ができるという特徴がある．硬化コンクリートに適用する場合には，微量の腐食物質の侵入状況の分析等に利用されている．その用途は，炭酸化の進行状況，塩化物イオンの侵入状況などであり，最近では補修材料の効果確認，防食材料の耐久性評価等にも活用されている．

マッピングの測定にあたっては，試料の凹凸が分析結果に大きく影響を及ぼすため，分析面を平坦に仕上げることが重要である．マッピング像では，通常，元素の量（跳ね返ってきた特性Ｘ線量）の大小に応じた色表示となる．

EPMA の最大の長所は，微量元素の存在状態をマクロなマッピング像として連続的にとらえることにある．これにより，複合劣化がよくわかるようになったのもこの手法の特色である．例えば，同一試料の炭素と塩素の分布状態を調べることで，中性化のフロントで塩素の凝縮が生じていることなどが確認できる．

定量分析を行う場合は，比例法（標準試料の特性Ｘ線強度の測定値と測定元素の濃度情報に基づき，分析試料の特性Ｘ線強度の測定値が濃度に比例するとして計算する方法），検量線法（分析試料と類似の化学成分を有し，測定元素の濃度のみが異なる数種類の試料をあらかじめ準備し，その分析結果から検量線を作成し計算する方法），理論的補正計算方法（標準試料の特性Ｘ線強度の測定値と測定元素の濃度情報に基づき，分析試料の特性Ｘ線強度の測定値を理論的補正方法により，濃度に変換する方法）のいずれかの方法が用いられる．これらのうち検量線法は，濃度既知の試料を準備する必要があるが，もっとも正確な値を得ることができる．

電子線マイクロアナライザーによる面分析結果の一例を**図-解 2.3.57** に示す．この図は RC 床版か

ら採取したコアを 3 分割した試料を厚さ方向に復元して並べた図であり，濃度分布は色分けにより表示されている．そして，それぞれの色に相当する濃度が図の右側にカラーバーとして表示される．

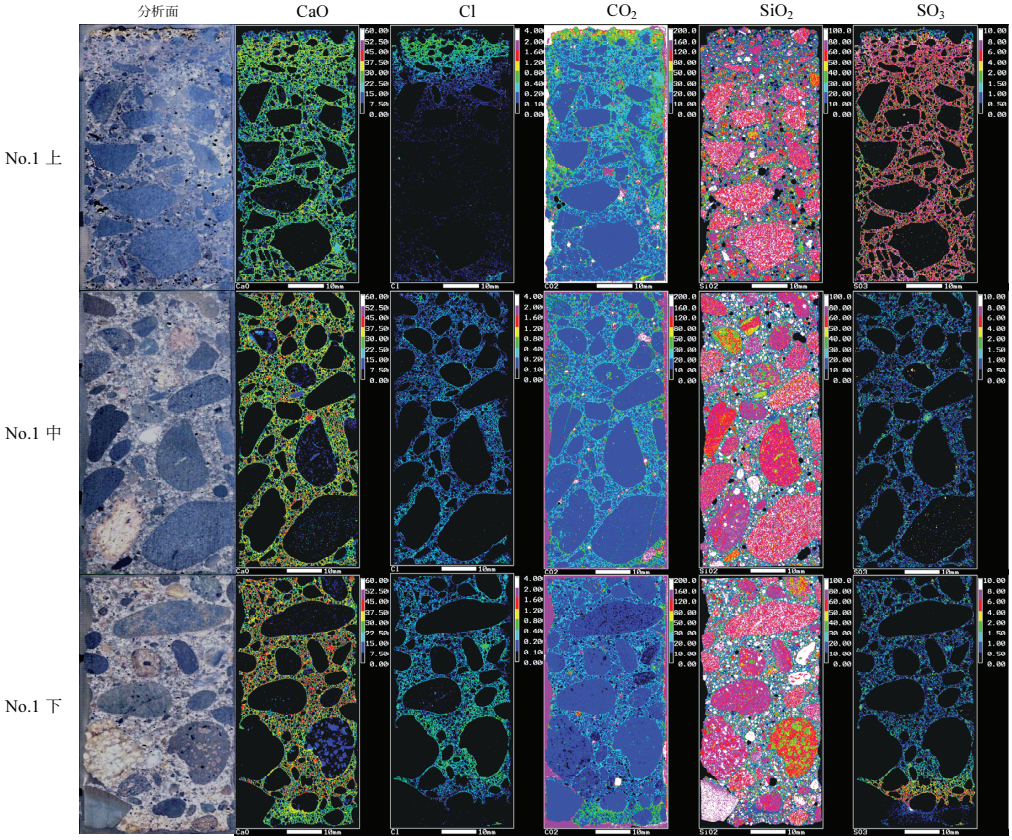


図-解 2.3.57　電子線マイクロアナライザー（EPMA）による面部分析結果の一例

【参考文献】

1) 社団法人日本橋梁建設協会：鋼・コンクリート合成床版維持管理の計画資料，平成 19 年 3 月．

2) 松井繁之，文兌景，福本唀士：鋼板・コンクリート合成床版中のスタッドの疲労破壊性状について，土木学会構造工学論文集，Vol.39A，1993.3.

3) 国土交通省土木研究所：道路橋床版の輪荷重走行試験における疲労耐久性評価手法の開発に関する共同研究報告書（その５）－評価編－，平成 13 年 3 月．

4) 春日井，永田，高田，井上，：帯鋼ジベルを用いた新しい合成床版の疲労耐久性と破壊性状，第 60 回年次学術講演会講演概要集，CS10-025，土木学会，平成 17 年 9 月．

5) 街道，渡辺，橘，松井，堀川：鋼コンクリート合成床版の輪荷重走行試験および３次元有限要素解析による疲労耐久性評価，土木学会構造工学論文集，Vol.50A (2004 年 3 月) ．

6) 林，佐藤，内田，吉川，福井，松井：T 形リブを用いた鋼・コンクリート合成床版の中間支点部輪荷重試験，第四回道路橋床版シンポジウム講演論文集，土木学会，平成 16 年 11 月．

7) 橘，横山，上村，高田，数藤，佐藤：鋼・コンクリート合成床版の施工と維持管理について，第五回道路橋床版シンポジウム講演論文集，土木学会，平成 18 年 7 月．

8) 山下，保呂，奥村，佐藤，永来：鋼・コンクリート合成床版の要求性能と検証方法に関する一考察，第五回道路橋床版シンポジウム講演論文集，土木学会，平成 18 年 7 月．

9) 龍，永野，堤，片山：福岡高速５号線における合成床版の耐久性確保に向けた取り組み，平成 21 年度土木学会西部支部技術発表会，土木学会西部支部，平成 21 年 11 月.
10) 藤木, 奥野, 馬場, 片山 : 合成床版の高耐久性確保に向けた取り組みについて, 第 64 回年次学術講演会概要集, I-349, 土木学会，平成 21 年 9 月.
11) 国土交通省　国道・防災課：橋梁定期点検要領（案），平成 16 年 4 月.
12) 国土交通省国土技術政策総合研究所：道路橋に関する基礎データ収集要領(案)，平成 19 年 5 月
13) 国土交通省国土技術政策総合研究所 : 国土技術政策総合研究所資料 №196 道路橋の定期点検に関する参考資料，平成 16 年 12 月
14) 国土交通省道路局国道・防災課：橋梁の維持管理の体系と橋梁管理カルテ作成要領（案），平成 16 年 3 月.
15) 東・中・西日本高速道路株式会社：保全点検要領（構造物編），平成 18 年 4 月.
16) 首都高速道路株式会社　保全・交通部：構造物等点検要領，平成 22 年 7 月.
17) 阪神高速道路株式会社：道路構造物の点検要領，平成 17 年 10 月.
18) 東京都　建設局：橋梁の点検要領（案），平成 19 年 7 月.
19) 東・中・西日本高速道路株式会社：設計要領　第 2 集　橋梁保全編　4 章床版，平成 22 年 7 月.
20) 阪神高速道路株式会社 : 道路構造物の補修要領　第 2 部コンクリート構造物　第 1 編床版補強要領, 平成 17 年 4 月.
21) 土木学会：2007 年制定　コンクリート標準示方書［維持管理編］，平成 20 年 3 月.
22) ジオ・サーチ株式会社(2009)：G-Cube・橋梁床版用内部診断技術，国土交通省新技術情報提供システム（NETIS），登録番号 CG-090019-V.
23) 佐藤雅規，大野敦弘，山本真一郎（2010）：舗装体内部損傷の劣化評価技術について（新技術 G-Cube 調査），H22 土木学会年次公演概要集 V-039.
24) 関口幹夫，阿部忠行（1996）：RC 床版の補強工法の評価について，第 22 回日本道路会議論文集.
25) 関口幹夫，宍戸薫，今里光夫（2000）：供用 30 年間の RC 床版の追跡調査結果，平成 12 年東京都土木技術年報,
26) 関口幹夫（2005）：重錘落下たわみによる RC 床版の健全度評価要領(案)，平成 17 年東京都土木技術年報,
27) 関口幹夫，横山広，堀川都志雄（2008）：リブ付き多層版解析による各種補強床版の実測たわみの評価，土木学会構造工学論文集，Vol.54A，pp.442-451.
28) 関口幹夫，橋原正周，橘吉宏(2010) : 24 年供用した鋼コンクリート合成床版の重錘落下たわみ法による評価，平成 22 年東京都土木技術支援・人材育成センター年報，pp.111-122.
29) 関口幹夫，佐々木俊平(2007)：IIS による各種床版の健全度評価，平成 19 年都土木技術センター年報，pp.229-240.
30) 日本コンクリート工学協会：コンクリート診断技術'08【基礎編】
31) 産業調査会：コンクリート補修・補強マニュアル，2003
32) 鎌田敏郎：講座 第 4 回ひび割れ・剥離・空洞(その 2)，プレスレストコンクリート, Vol.47, No.4，2005
33) 肥田研一：講座 第 9 回鉄筋腐食，プレスレストコンクリート,Vol.48, No.3, 2006
34) 「非破壊検査を用いた上面増厚床版内の損傷検知」，EXTEC ,No.83,pp45-49
35) 海洋架橋・橋梁調査会：道路橋マネジメントの手引き,平成 16 年 8 月
36) 日本コンクリート工学協会：コンクリートのひび割れ調査，補修・補強指針，2009
37) 非破壊検査研究会編：コンクリート構造物の検査・診断，2003.8
38) 株式会社高速道路総合技術研究所：硬化コンクリート中の全塩化物イオン濃度の迅速測定方法，2010.7
39) 土木学会：コンクリート標準示方書【規準編】，土木学会規準および関連規準，EPMA 法によるコンクリート中の元素の面分析方法（案），pp.297-307，2007

第 3 章　道路橋床版の劣化進行過程の評価

3.1　道路橋床版の劣化要因と劣化進行過程

3.1.1　輪荷重による疲労

(1) 道路橋床版の輪荷重による劣化・損傷は，床版下面のひび割れが進展し，局所的な陥没を引き起こして終局に至るものであり，劣化過程の特定においては，重車両の繰返し走行を考慮するのがよい.
(2) 輪荷重による劣化・損傷が確認された場合には，劣化進行過程を的確に評価し，交通の状態，環境条件，予定供用期間などを考慮して適切な対策工法を選定するのがよい.
(3) 輪荷重による損傷が進行している床版では，床版内部に水平ひび割れが生じ，床版機能を低下させていることがあるため，床版内部の水平ひび割れの有無を確認し，適切な対策を行うとよい.

【解説】

(1) 道路橋床版の劣化・損傷の最も大きな要因は，過積載車を含む重車両の繰返し走行による疲労劣化と考えられることから，走行輪荷重の影響による RC 床版の疲労損傷機構を解明する調査研究が多くの機関で精力的に実施され[1~3]，劣化進行過程が明らかにされてきた[4].

RC 床版は，輪荷重の繰返し走行により，橋軸直角方向に発生したひび割れが貫通し，はりが並べられた状態，すなわちはり状化し，連続性が失われる．さらに走行が繰り返されることにより橋軸方向にもひび割れが発生し，2 方向ひび割れとなり，最終的に押抜きせん断破壊に至る.

この疲労劣化・損傷の要因としては，過積載車両の通行，大型車の通行量の増加などの荷重要因，古い設計基準により設計・施工されたことによる床版厚の不足，鉄筋量の不足，過大な床版支間などの構造要因，雨水の床版内への浸入などの複合要因がある．また，地方道等では建設時 TL-14 で設計された橋梁を大型車が通行する例もあり，対策の検討にあたっては，建設時の設計条件と現状の交通状況にも配慮する必要がある.

輪荷重による床版の劣化進行過程は，通常，**図-解 3.1.1** に示すように潜伏期，進展期，加速期，劣化期に分けられ，**表-解 3.1.1** に各段階での床版下面のひび割れ進行状況を示す.

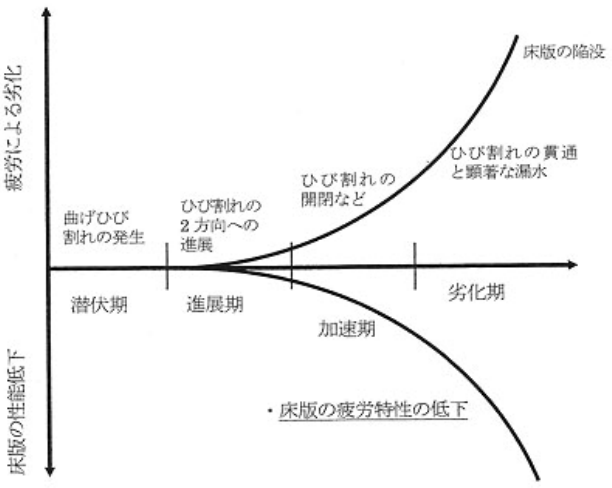
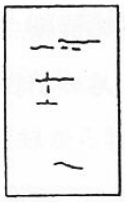
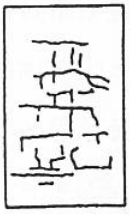
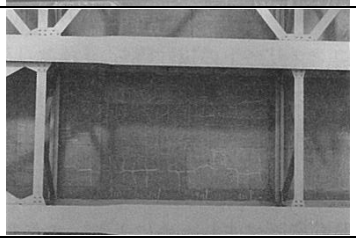
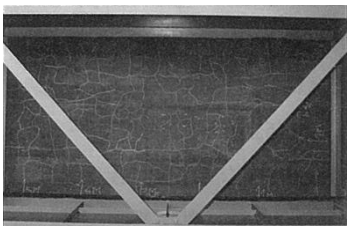
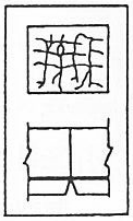
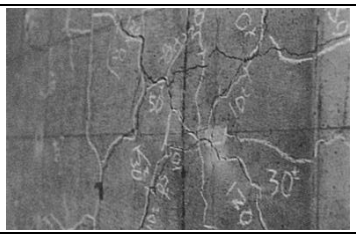
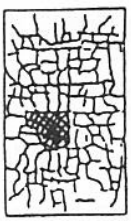
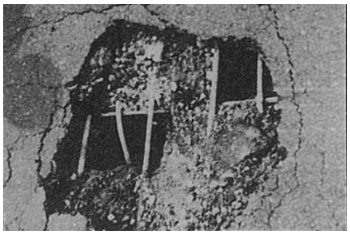


図-解 3.1.1　床版の疲労による劣化進行過程の概念図[5]

表-解 3.1.1　床版コンクリートの疲労による劣化進行過程とひび割れ形態の分類

劣化過程		ひび割れ形態	模式図	写真
潜伏期		橋軸直角方向ひび割れ		
進展期		直交２方向ひび割れ		
加速期	（前期）	亀甲状ひび割れ		
	（後期）	角落ち・ひび割れのスリット化		
劣化期		抜け落ち		

潜伏期：乾燥収縮もしくは載荷による主筋に沿った一方向ひび割れが数本程度確認できる段階

進展期:主桁作用による主筋に沿った曲げひび割れが進展するとともに配力鉄筋に沿う方向のひび割れも進展し始め，格子状のひび割れ網が形成される段階，外観上ひび割れ密度の増加は著しいが床版の連続性（二方向性）は失われていない．

加速期：ひび割れの細網化が進み，ひび割れの開閉やひび割れ面のこすり合わせが始まる段階．ひび割れのスリット化や角落ちが生じるとコンクリート断面の抵抗は期待できないので，床版の押抜きせん断耐力は急速に低下し始める．

劣化期：床版断面内にひび割れが貫通して床版の連続性が失われ，貫通ひび割れで区切られた梁状部材として輪荷重に抵抗することになる段階．貫通ひび割れの間隔やコンクリート強度，配筋量などが部材としての終局耐力に影響する．雨水の浸透や鉄筋腐食などに配慮する必要がある．

(2) 輪荷重による劣化・損傷対策としては橋面防水工法，ひび割れ注入工法，縦桁増設工法，炭素繊維シート接着工法，下面増厚工法，鋼板接着工法，上面増厚工法などがあり，床版の劣化進行過程を的確に評価し，交通の状態，環境条件，予定供用期間などを考慮して適切な対策工法を選定するのがよい．以下に，それぞれの対策工法の期待される効果を示す．また，**表-解 3.1.2** に床版の劣化状況に応じた標準的な適用工法を示す．

橋面防水工法：床版内に雨水が浸透することを防止し，活荷重による疲労損傷の加速を防止する．

ひび割れ注入工法：ひび割れに樹脂を注入することにより，床版コンクリートを一体化する．ひび割れからの雨水の浸透による漏水防止を図る．ただし，ひび割れの再発防止対策との併用が必要である．

縦桁増設工法：主桁間に鋼製桁等を増設して床版に接着することで，床版支間を狭くすることにより床版に作用する曲げモーメントを低減する．

下面増厚工法：床版下面に鉄筋，FRP 格子筋など引張材を配置して増厚することにより床版の剛性を回復させる．加速期後期における応急対策を除き単独では使用しない．上面増厚工法と併用する場合，下面からの曲げひび割れの進展，開口を抑制するため補強効果をより確実にすることができる．

炭素繊維シート接着工法：床版下面に炭素繊維シートを接着することにより，曲げ剛性の回復，ひび割れ開口の抑制による疲労耐久性の向上．加速期後期における応急対策を除き単独では使用しない．上面増厚工法と併用する場合，下面からの曲げひび割れの進展，開口を抑制するため補強効果をより確実にすることができる．

鋼板接着工法：床版下面に，鋼板を設置し，エポキシ樹脂を注入して一体化することにより，鋼板が引張材として機能し床版剛性を向上させる．また鋼板によるせん断耐力の増加や，注入した樹脂がひび割れに浸透するためコンクリートの連続性の回復も期待できる．

上面増厚工法：圧縮断面を増加させることにより床版の押抜きせん断耐力を増加させる．また床版剛性の増加によりたわみを低減する．

表-解 3.1.2　床版の疲労による劣化進行過程と適用工法の例

劣化過程	標準的な適用工法の例
潜伏期	橋面防水
進展期	橋面防水，ひび割れ注入*，縦桁増設，炭素繊維シート接着，下面増厚，鋼板接着，上面増厚
加速期（前期）	橋面防水，ひび割れ注入*，炭素繊維シート接着，下面増厚，鋼板接着，上面増厚
加速期（後期）	橋面防水，ひび割れ注入*，炭素繊維シート接着**，下面増厚**，鋼板接着，上面増厚
劣化期	供用制限，床版取替，床版打換

* ひび割れの再発防止対策との併用
**上面増厚工法との併用，応急対策

(3) 水平ひび割れは，**図-解 3.1.2** に示すように，床版の下鉄筋や上鉄筋近傍において水平面状に生じる損傷である．この水平ひび割れの発生原因や対策は十分調査研究がなされていないものの，現段階では，輪荷重の繰返し作用による床版の疲労劣化により生じるものと考えられており，劣化進行過程の加速期以降で生じるものと考えられる．

床版内部に水平ひび割れが生じると，この箇所の床版剛性が重ねばり状態となり，本来の床版剛性と比べて低下する．このため，たわみ量が増加し，舗装面のポットホールを何度補修しても再度ポットホールが発生するなどの状況が生じる場合多い．

水平ひび割れの有無は，衝撃弾性波法により床版内部調査を実施することで把握できるが，床版内部に欠陥が確認された箇所のコア抜きを行い，床版内部状況のモニタリングも行うとよい．

水平ひび割れの補修は，床版上面もしくは下面から樹脂注入を行うことにより実施されている．この樹脂注入により床版剛性が回復するものの，さらなる活荷重による劣化・損傷対策として，上面増厚工法，下面増厚工法，鋼板接着工法，炭素繊維シート接着工法を併用することが望ましい．

以下に，樹脂注入の施工概要の一例を示す．

①径φ28 ㎜，深さ 150mm の注入孔を水平ひび割れが生じている範囲に 1m 格子で削孔する．

②この注入孔から水を流し，ひび割れ内部の洗浄を行う．（**図-解 3.1.3**）

③洗浄したひび割れに水中硬化型エポキシ樹脂を注入し，ひび割れ内部を充填する．（**図-解 3.1.4**）

さらに，鋼板接着工法，上面増厚工法，下面増厚工法などで補修・補強した床版における再劣化現象として，既設床版と補強部材の間のはく離が報告されている[6]．**図-解 3.1.5**，**図-解 3.1.6** は，床版上面を鋼繊維超速硬コンクリートで部分的に補修した箇所が広範囲にはく離した事例であり，床版内部の水平ひび割れも確認されている．このため，この再劣化も既設床版内部の水平ひび割れと同様の劣化ととらえることができる．

このような再劣化の補修は，水平ひび割れと同様に，床版上面もしくは下面から樹脂注入を行うことにより実施する．なお，施工手順等は，(3)を参考にするとよい．

図-解 3.1.2　床版内部に生じた水平ひび割れ

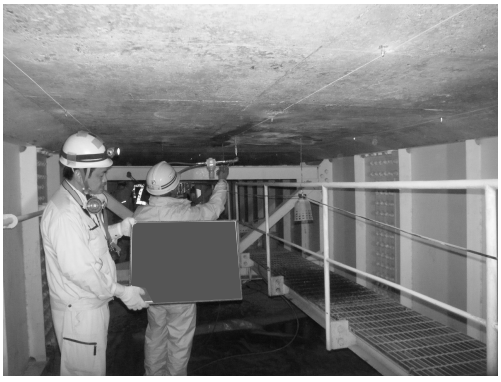


図-解 3.1.3　水平ひび割れ洗浄状況

図-解 3.1.4　水平ひび割れ樹脂注入状況

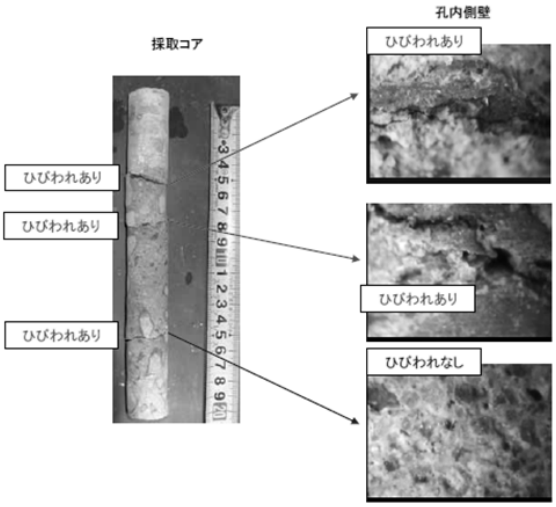


図-解 3.1.5　床版内部の水平はく離（コア抜き供試体）

図-解 3.1.6　上面増厚における界面の水平はく離

3.1.2　塩害

道路橋床版の塩害による劣化・損傷の要因となる塩化物イオンの供給原因は外来塩分（海水，凍結防止剤）と内在塩分（除塩不足の海砂）に分類され，いずれも塩化物イオンによる鉄筋腐食を伴い顕在化するため，劣化過程の特定においては塩化物イオン量と鉄筋腐食を考慮するのがよい.

また，道路橋床版における塩害による劣化・損傷の耐久性評価においては，下記の項目を的確に把握し，適切な対策工法を選定するのがよい.

(1) 塩化物イオンが供給される原因および劣化・損傷が生じている部分

(2) 塩害の劣化メカニズムと劣化過程

【解説】

(1) 塩化物イオンが供給される原因および劣化・損傷が生じている部分

塩害による道路橋床版の劣化・損傷の要因となる塩化物イオンの供給原因は以下のとおり外来塩分と内在塩分に分類される.

1）外来塩分（海から飛来する塩化物イオン，冬期に散布される凍結防止剤からの塩化物イオン）

2）内在塩分（コンクリート中に含まれる除塩不足の海砂等からの塩化物イオン）

これらの原因でコンクリート中に浸透した塩化物イオンが発錆限界塩化物イオン濃度以上に達した後，コンクリート中の鋼材の不動態皮膜が破壊され，コンクリート中での鋼材の腐食が進行することとなる.

錆は，元の体積の 2～4 倍程度に膨張し，引張強度が小さいコンクリートにひび割れを生じさせ，かぶりコンクリートのはく離やはく落，腐食による鋼材断面積の減少などが起こり，床版の抜け落ちなどに至ることもある.

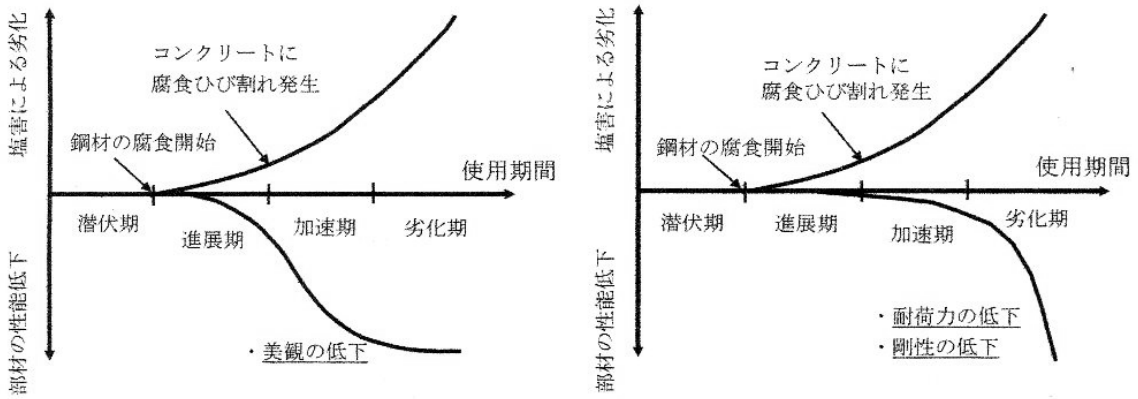
塩害による道路橋床版の劣化・損傷は，対象構造物が設置されている環境によって，塩害の原因となる塩化物イオンが供給される要因が異なる．海からの飛来塩化物イオンによる塩害は，海岸線近傍で生じ，主に床版下面での塩害の進行が顕著である．凍結防止剤の散布による塩害は，凍結防止剤が多量に散布される積雪寒冷地や山間部で生じ，主に床版上面での進行が顕著である．なお，積雪寒冷地の海岸線近傍では，双方が同時に起こる場合もある.

また，山間部での凍結防止剤による塩害では，橋梁自体に傾斜があるため，床版端部の伸縮装置部から塩化物イオンが流れ出て，桁端部の床版裏側での劣化・損傷が大きくなることや PC-T 桁橋梁では，PC

桁と間詰めコンクリートの品質が異なるため，濃淡電池による腐食が生じやすいのに加え，塩化物イオンの浸透量も異なるため，塩化物イオン濃度が異なることに起因するマクロセル腐食によって塩害の劣化・損傷が助長される場合も多い．

(2)　塩害の劣化メカニズムと劣化過程

土木学会，コンクリート標準仕方書【維持管理編】[5]では，塩害による鉄筋コンクリート構造物の劣化過程を**図-解 3.1.7** に示すように潜伏期，進展期，加速期，劣化期に分けている．



(a)美観・景観に着目した場合　　(b)安全性に着目した場合

図-解 3.1.7　塩害による劣化進行過程の概念図の例 [5]

潜伏期：鋼材表面における塩化物イオン濃度が腐食発生限界濃度*に達するまでの期間
（*標準的にはこの値を 1.2kg／m³ と定めている.）
進展期：鋼材の腐食開始から腐食ひび割れ発生までの期間
加速期(前期)：腐食ひび割れ発生により腐食速度が増大する期間
加速期(後期)：腐食ひび割れが多数発生し，部分的なはく離・はく落が認められる（外観上のグレード）
劣化期：腐食量の増大により耐荷力の低下が顕著な期間

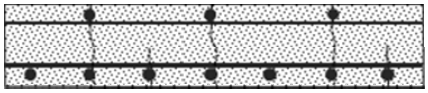
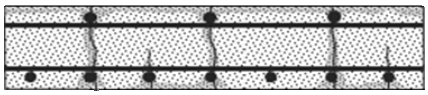
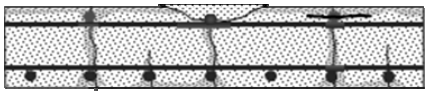
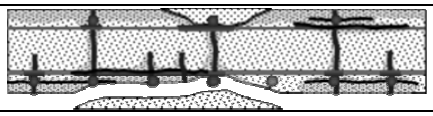
海から飛来してくる塩水および積雪地や寒冷地において冬期における路面の凍結防止用に散布される凍結防止剤に含まれる塩水による塩害は，**表-解 3.1.3** に示すように塩水を含む漏水が床版上面のひび割れから下面方向に進展し，床版上側鉄筋の腐食や鉄筋かぶりコンクリートの劣化に起因する床版上面の損傷が先行して発生するものと考えられる．この上面損傷は床版厚にかかわらず発生するが，凍結防止剤を多量に散布する積雪寒冷地において多発する傾向がある．また，特に版厚の厚い床版に上面損傷が生じた場合には，床版下面に損傷が進行するまで比較的長い時間がかかるため，下面からの観察ではひび割れ，遊離石灰等が確認されないことも多い．

このような劣化・損傷現象から道路橋床版の上面損傷のメカニズムを推定すれば，まず，建設当初にコンクリート床版の上面に発生した乾燥収縮ひび割れに車両の通行に伴って雨水が高圧で注入・吸引されるポンピング作用により，徐々にひび割れが拡大していく．次に，ひび割れが上側鉄筋に達すると鉄筋は発錆しやすくなり，発錆時の膨張圧によってかぶりコンクリートが浮いた状態となる．さらに，浮いた状態のコンクリートが床版上面に有れば，交通荷重の影響により床版にたたき作用や摺磨き作用等が生じコンクリートが骨材化し，損傷は舗装の浮き(ポットホール)として現出する．

これらの凍結防止剤による道路橋床版の塩害劣化については，劣化予測に関する研究，塩分浸透予測に

関する研究，上面増厚後の再損傷に関する研究，鉄筋腐食を伴う劣化機構の解明に関する研究等が現地における個々の詳細調査を主体として進められている．

表-解 3.1.3　床版の塩害による劣化進行過程

劣化過程	床版断面の損傷イメージ図 （ひび割れ，漏水，鉄筋腐食に着目）	床版の劣化・損傷内容
潜伏期		・乾燥収縮によるひび割れ
進展期		・塩分を含んだ水のひび割れ内への浸透
加速期		・床版上側鉄筋の腐食膨張 前期：腐食ひび割れ発生 後期：腐食ひび割れが多数発生
劣化期		・床版下側鉄筋の腐食膨張 ・床版下面コンクリートのはく離 ・腐食量の増大により耐荷力が低下

以上のように，床版上面側の劣化・損傷現象は従来の交通荷重の作用による疲労損傷形態とは異なり，劣化の発生が床版上面に限られることもある．このため，床版下面にひび割れや遊離石灰が析出しない場合であっても上面からの劣化は進行している可能性があり，従来の対応では維持管理上の問題が生じる可能性が大きいとも言える．

一方，高度経済成長期における除塩不足の海砂の使用は，西日本地域（関西・中国・四国・九州地方）のコンクリート構造物に多く，昭和 61 年のコンクリート中の塩分総量規制の通達以前の道路橋床版において海砂の使用による内在塩分量が多いものがある．これらの床版については，ひび割れ等からの漏水および凍結防止剤の影響も複合的な要因となり，塩害を助長することになるが，内在塩分の単独要因で塩害が発生した事例は少ないのが現状である．

内在塩分による塩害は，貫通ひび割れからの漏水や輪荷重による損傷と複合して進展していくものであり，外来塩分による劣化メカニズムと同様なメカニズムであるが，外来塩分が少ない地域においても漏水が加わると塩害が発生する可能性があることに留意する必要がある．

除塩不足の海砂の使用による塩害は，建設時に海砂が使用された場合に限定されるため，その確認が非常に重要であるが，除塩不足の海砂から供給される塩化物イオンの量は，外部から供給される塩化物イオンの量と比較して，概して少量であるため，その劣化・損傷は軽微であり，かぶりの小さいコンクリート部の損傷から開始するのが一般的である．なお，除塩不足の海砂を使用した場合でも，外部から塩化物イオンが供給される場合は，この範疇で留まることはない．

このように道路橋床版の塩害は，塩害の原因となる塩化物イオンの供給原因により，劣化・損傷が発生する箇所が異なるため，自ずと適用できる対策工法が限定され，また，橋梁の供用からの対策工事への制限を考慮すると，適用できる対策工法がさらに限定される場合も多々ある．

塩害による腐食の進行に伴う構造物の劣化・損傷の進展は，塩化物イオン濃度に大きく影響されるが，損傷度の把握には，**表-解 3.1.4** に示すような詳細調査を行い実施する．中でも，塩化物イオン濃度，鋼材の腐食，構造物の外観などが重要で，このような調査結果に基づく塩化物イオンの拡散の予測や構造物の性能低下の予測などを行った上で対策方法を選定する必要がある．

表-解 3.1.4　床版の塩害を対象とした詳細調査の項目と評価項目の例

調査項目	調査によって得られる情報	情報から予測できる評価項目
温度,湿度,降雨のかかり方,日射	温度,湿度,含水状態	定性的な腐食速度
飛来塩分量,凍結防止剤散布量,等	飛来塩分量,凍結防止剤散布量,等	表面における塩化物イオン濃度
ひび割れ（幅,深さ,密度）	腐食グレード,美観	腐食グレード,美観
コンクリート強度,弾性係数	コンクリート強度,弾性係数	コンクリート強度
中性化深さ	中性化深さ,中性化速度	将来の中性化深さ
塩化物イオン濃度の分布	塩化物イオンの見かけの拡散係数, 表面における塩化物イオン濃度, 初期含有塩化物イオン濃度, 鋼材位置の塩化物イオン濃度	鋼材位置の塩化物イオン濃度
含水率	含水率	定性的な腐食速度
鋼材の位置と腐食状況（面積,量), 錆汁	腐食グレード,腐食量,耐荷力	腐食速度,耐荷力
電気化学的指標（自然電位,分極抵抗, 電気抵抗など）	腐食発生の有無,腐食速度	将来の腐食グレード,腐食速度
たわみ,変位	剛性	床版の耐荷力性能

土木学会，コンクリート標準仕方書【維持管理編】[5)]では，塩害による鉄筋コンクリート構造物の損傷・劣化対策として，表面処理，断面修復，電気防食，電気化学的脱塩などがあり，塩害による損傷・劣化が激しく，耐荷力に問題があると判定された場合には，FRP 接着，鉄筋の補強を伴う断面修復，外ケーブル，巻立て，増厚等の補強が挙げられている．これらの対策方法は，それぞれ以下の効果が期待される．

鋼材の腐食因子の供給量を低減：表面処理工法
鋼材の腐食因子の除去　　：断面修復工法，電気化学的脱塩工法
鋼材の腐食進行の抑制　　：電気防食工法
耐荷力の向上　　：FRP 接着，鉄筋の補強を伴う断面修復，外ケーブル，巻立て，増厚等の記補強工法

これらの対策工法の適用を道路橋床版に限定した場合，劣化因子である塩化物イオンの供給原因や道路の供用条件等を十分に加味する必要があり，条件によって適用できる対策工法に制限が生じることとなる．

例えば，補強工法の外ケーブルや巻立ては，床版への適用は範囲外である．また，凍結防止剤による塩害の場合には，橋面防水工法は，表面処理工法の１つに位置付けることができ，断面修復工法は，床版では部分打換工法や床版取替工法として位置付けられている．

道路橋床版の補修・補強工法における代表的な工法には以下のものがある．

床版防水工法（シートおよび塗布）
表面保護工法
電気化学的防食工法
縦桁増設工法
炭素繊維シート接着工法
床版下面増厚工法
鋼板接着工法
床版上面増厚工法
部分打換工法
床版取替工法

これらの工法の内，鋼板接着工法は，その適用が塩害環境である場合，鋼板自体の腐食対策が必要であり，また，縦桁増設工法は，塩害に対する対策となりえないことから塩害対策の対象外となる．これら以外の対策工法は，塩化物イオンの進入を抑制する作用を有しているため，視点を変えれば，塩害対策の一助となる工法に位置付けることができる．このような塩害対策工法の床版への適用性を考慮して，塩害における床版の劣化進行過程と標準的な適用工法の例を**表-解 3.1.5** に示す．これらの補修・補強工法には，工法上の特性から床版上面または下面への適用が限定される工法があり，また，橋梁供用の関係から適用が制限される場合も存在する．

なお，上面増厚工法や部分打換工法において既設コンクリート部の含有塩化物イオン濃度が高い場合，補修部と既設コンクリート境界部にマクロセルが形成され鉄筋の腐食が早期に進行し再劣化することがあるので注意を要する．

表-解 3.1.5　床版の塩害による劣化進行過程と適用工法の例

劣化過程	標準的な適用工法の例
潜伏期	表面処理*（橋面防水，表面被覆）
進展期	表面処理，断面修復，電気防食，電気化学的脱塩
加速期（前期）	表面処理，断面修復，電気防食，電気化学的脱塩，繊維シート接着** 下面増厚**，上面増厚**，部分打換，床版取替
加速期（後期）	断面修復，電気防食**，繊維シート接着**，下面増厚**，上面増厚**， 部分打換，床版取替
劣化期	電気防食**，部分打換，床版取替

*予防的に実施される工法　　**他の対策工法との併用で適用できる工法

3.1.3　凍害

道路橋床版の凍害による劣化・損傷の要因は，コンクリート中の水分の凍結膨張であり，寒冷地における冬期の凍結と融解の繰返しによってコンクリート表面に微細ひび割れ，ポップアウト，スケーリングが発生するため，劣化過程の特定においては，冬期の気温の変化を考慮するのがよい．

【解説】

凍害とは，コンクリート中の水分の凍結膨張によって発生するものであり，長期間にわたる凍結と融解の繰返しによってコンクリートが徐々に劣化する現象である．そのメカニズムは，T.C.Powers が 1945 年に示した水圧説により説明されると考えられてきた．これによると，水には凍結するときに自由に膨張できるものとすると 9%の体積膨張を生ずるが，セメントペースト内部では空隙の組織の壁によって膨張が拘束される．この体積膨張を緩和するのに必要な自由空隙（空気で満たされた空隙）が存在しない場合，大きな圧力が生じ，これが劣化の原因になると考えられている．湿度降下に伴い，まず大きい空隙中の水が凍結する過程では，大きい空隙中にできた水晶により膨張が拘束される．この膨張を緩和するだけの自由空隙がない場合には，大きい静水圧が空隙の壁に作用し，これが引張強度に達したときにひび割れが生じるものと考えられており，これらの繰返しにより，最終的には床版コンクリート表面の破壊，あるいははく落に至る．

凍害を受けた床版は，コンクリート表面の微細なひび割れ，ポップアウト，スケーリングなどの形で劣化が顕在化するのが一般的であり，損傷の発生部位は，地覆部や張出部の水切り部分に多く見られる．

凍害による床版の劣化過程は，通常，**図-解 3.1.8** に示すように潜伏期，進展期，加速期，劣化期に分けられる．

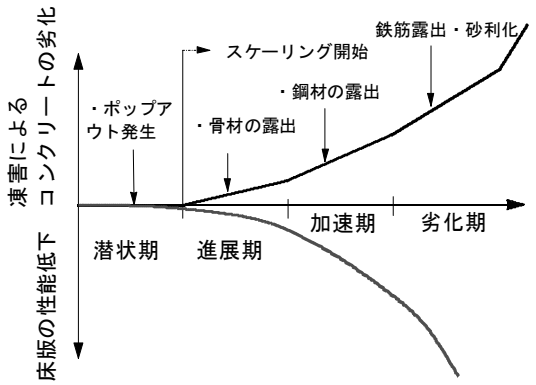


図-解 3.1.8　床版の凍害による劣化進行過程の概念図

潜伏期：床版コンクリートにポップアウトが発生した状態
進展期：床版コンクリートがスケーリングし，骨材が露出している状態
加速期（前期）：床版コンクリートのスケーリングが鉄筋付近まで達している状態
加速期（後期）：床版コンクリートのスケーリングにより，鉄筋が露出している状態
劣化期：床版コンクリートがスケーリングし，鉄筋の露出とコンクリートの砂利化が見られる状態

なお，凍害による床版の損傷度の把握には**表-解 3.1.6** に示す詳細調査を実施することが必要である．

凍害による劣化はコンクリート自体の劣化が主体となるため，凍害を受けたコンクリートの物性値は大きく低下している場合が多い．したがって，劣化の程度にもよるが水の供給を防いだうえで，損傷を受けた部分を取替える対策が最も有効である．また，その他の工法としては，表面処理・橋面防水，ひび割れ注入工法，上面増厚工法，下面増厚工法，鋼板接着工法，炭素繊維接着工法，取替工法などがあるが，床版の損傷度を的確に評価し，交通の状態，環境条件，予定供用期間などを考慮して適切な対策工法を選定する必要がある．標準的な適用工法を**表-解 3.1.7** に示す．

表-解 3.1.6　床版の凍害を対象とした詳細調査の項目と評価項目の例

調査項目	調査によって得られる情報	情報から予測できる評価項目
凍害深さ	凍害深さ，凍害進行速度	凍害進行速度
ひび割れ（幅，深さ，密度）	美観	美観
スケーリング	美観	美観
ポップアウト	美観，骨材の品質	美観
コンクリート強度，弾性係数	コンクリート強度，剛性	コンクリート強度
鉄筋の位置（かぶり）と腐食状況	腐食グレード，腐食量，耐荷力	腐食速度，腐食グレード
たわみ，変形	剛性，耐荷力	床版の耐荷力性能
細孔構造（細孔量，細孔径分布）	凍害深さ，コンクリート強度	凍害進行速度
空隙構造（空気量，気泡間隔係数）	凍害深さ	凍害進行速度
含水率（飽和度）	含水率	凍害進行速度
温度，日射，水の供給	温度，湿度，含水状態	凍害進行速度

表-解 3.1.7　床版の凍害による劣化進行過程と適用工法の例

劣化過程	標準的な適用工法の例
潜伏期	表面処理*・橋面防水，ひび割れ補修
進展期	表面処理・橋面防水，ひび割れ補修，スケーリング箇所の修復
加速期（前期）	表面処理・橋面防水，ひび割れ注入，断面修復，上面増厚
加速期（後期）	表面処理・橋面防水，ひび割れ注入，断面修復，上面増厚，部分打換
劣化期	ひび割れ注入，部分打換 上面増厚**，下面増厚**，鋼板接着**，炭素繊維接着**，打換**

*予防的に実施される工法
**塩害，疲労劣化による複合劣化における適用工法

3.1.4　中性化

(1) 道路橋床版の中性化による劣化・損傷の要因は，二酸化炭素によるコンクリート中の pH 低下による鉄筋腐食であり，劣化過程の特定においてはコンクリートの中性化深さ，ひび割れの発生，鉄筋腐食を考慮するのがよい.

(2) 交差物上の床版下面および側面で中性化が発生した場合，コンクリートのはく落による第三者被害に注意しなければならない.

(3) 中性化による劣化・損傷が確認された場合には，劣化進行過程を適切に評価し，環境条件，予定供用期間などを考慮して適切な対策工法を選定するのがよい.

【解説】

(1) コンクリート構造物に生じる中性化とは，大気中の二酸化炭素がコンクリート内に侵入し，水酸化カルシウムなどのセメント水和物と炭酸化反応を起こすことによってコンクリート空隙中の水分の pH を低下させる現象であり，中性化の進行により，**図-解 3.1.9** に示すコンクリート内部の鋼材表面を保護している不動態被膜が失われ，酸素と水分の供給により鋼材腐食が発生する．鋼材の腐食が進行した場合，その膨張力によるコンクリートのひび割れ，かぶりのはく離・はく落が発生するとともに，鋼材の断面欠損による耐荷力の低下等の性能低下を招く.

中性化は大気中にあるすべてのコンクリート構造物に発生するが，既設橋ＲＣ床版では鉄筋かぶりが比較的小さいことや，場合によっては組立鉄筋がかぶり内に配置されていることもあり，中性化による劣化が発生しやすい部材であるといえる.

中性化は時間とともに進行する劣化であり,その進行速度は既設コンクリートの品質,鉄筋かぶりの量,現地における乾湿条件などの影響を受ける．このため，建設の古い橋梁，かぶりが少なくなりやすい水切り部や湿潤環境にある部位に対しては十分注意する必要がある.

(2) 床版の上面には一般的には舗装が敷設されているため，中性化による劣化は主に床版下面や側面（地覆・壁高欄）で発生する場合が多く，劣化進行早期に美観・景観上の性能低下を起こしやすいが，劣化進行に伴う耐荷力への影響は，**図-解 3.1.10** に示すように遅れて発生することと，中性化自体の進行は比較的遅いため，適正な点検と対策を実施していれば極端な耐荷性能の低下に至ることは少ない．しかし，交差物上の床版下面および側面で中性化による劣化が発生した場合，突然のかぶりコンクリートのはく落による第三者被害が想定され，床版の耐荷性能の低下以上に注意しなければならない.

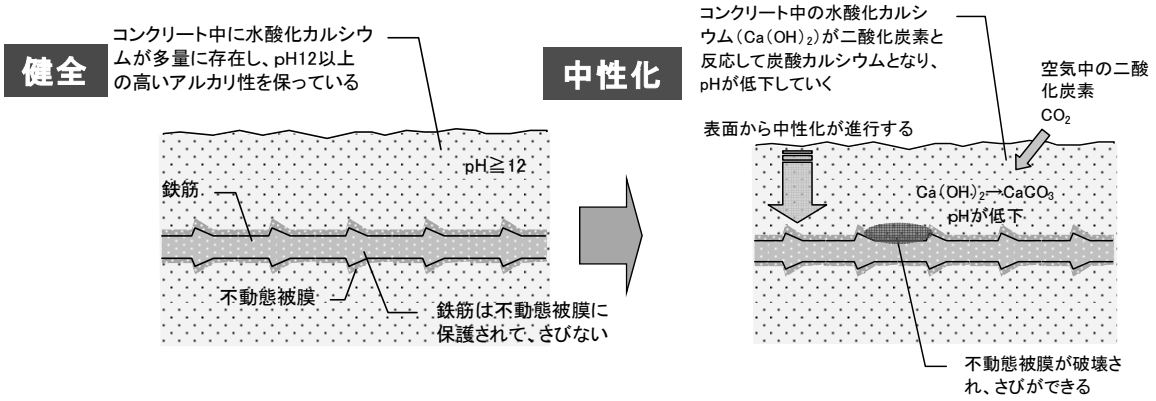
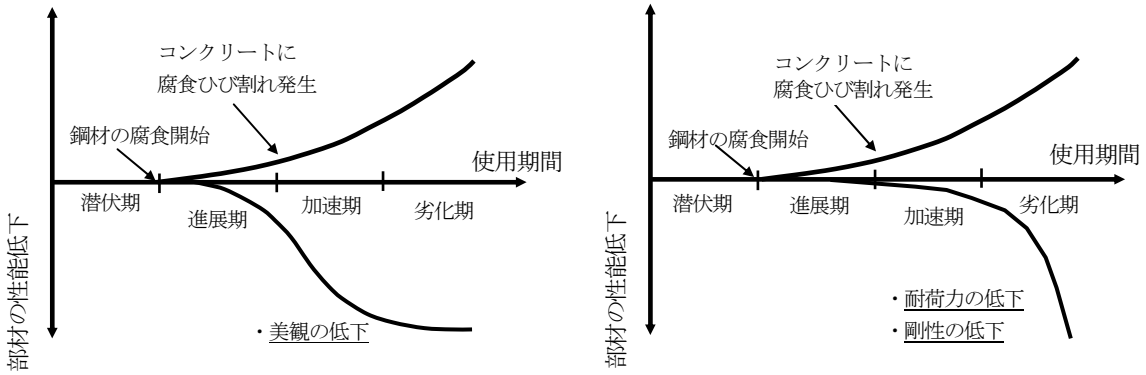


図-解 3.1.9　床版の中性化による劣化・損傷メカニズム



(a) 美観・景観に着目した場合　　(b) 安全性に着目した場合

図-解 3.1.10　中性化による劣化進行過程の概念図

中性化による床版の劣化過程は，通常，**図-解 3.1.10** に示すように潜伏期，進展期，加速期，劣化期に分けられる．さらに，中性化によって劣化した床版コンクリートの外観上のグレードにより，加速期は前期と後期に分けられる．

潜　伏　期：中性化深さが鋼材の腐食発生限界に到達するまでの期間．外観上の変状は見られない．
進　展　期：鋼材の腐食開始から腐食ひび割れ発生までの期間．外観上の変状は見られない．
加速期(前期)：腐食ひび割れ発生により鋼材の腐食速度が増大する期間．腐食ひび割れの発生が見られる．
加速期(後期)：腐食ひび割れ発生により鋼材の腐食速度が増大する期間．腐食ひび割れの伸展とともにはく離・はく落が見られる．鋼材の断面欠損は生じていない状態．
劣　化　期：鋼材の腐食量の増加により耐荷力の低下が顕著な期間．腐食ひび割れとともにはく離・はく落が見られ，鋼材の断面欠損が生じている状態．

(3) 中性化による腐食の進行に伴う構造物の劣化・損傷の進展は中性化深さに大きく影響されるが，損傷度の把握には，**表-解 3.1.8** に示すような詳細調査を行い，その後の劣化進行速度や構造物の性能低下の予測などを実施するのがよい．

表-解 3.1.8　床版の中性化を対象とした詳細調査の項目と評価項目の例

調査項目	調査によって得られる情報	情報から予測できる評価項目
温度，湿度，二酸化炭素濃度，降雨のかかり方，日射	温度，温度，含水状態	定性的な中性化速度，腐食速度
ひび割れ（幅，深さ，密度）	腐食グレード，美観	腐食グレード，美観
コンクリートの強度，弾性係数	コンクリート強度，剛性	
中性化深さ	中性化深さ	中性化速度，腐食開始時期
含水率	含水率	腐食速度
鋼材の位置と腐食状況（面積，量），錆汁	腐食グレード，腐食量，耐荷力	腐食速度，耐荷力
電気化学的指標（自然電位，分極抵抗，電気抵抗）	腐食グレード，腐食速度	腐食グレード，腐食速度，耐荷力
たわみ，変位	剛性，耐荷力	

中性化による道路橋床版の劣化・損傷対策としては，表面処理，ひび割れ注入，電気化学的防食，断面修復，縦桁増設，鋼板接着，炭素繊維接着，上面増厚，下面増厚などがあり，床版の劣化過程により適切な対策工法を選定するのがよい．なお，中性化による鉄筋コンクリート床版の損傷・劣化対策について，

以下の目的でそれぞれの工法についての効果が期待される.

・中性化の進行を抑制　　：表面処理，ひび割れ注入
・中性化深さを０にする　　：断面修復，（電気化学的防食）
・鉄筋の腐食進行を抑制　　：表面処理，電気化学的防食，断面修復
・耐荷力の回復・向上　　：縦桁増設，鋼板接着・炭素繊維接着，上面増厚，下面増厚
（　）：塩化物イオン濃度が高いことにより，鉄筋腐速度が速い場合，腐食量が大きい場合に選定する.

表-解 3.1.9　床版の中性化による劣化進行過程と適用工法の例

劣化過程	標準的な適用工法の例
潜伏期	表面処理
進展期	表面処理，（断面修復），ひび割れ注入
加速期（前期）	表面処理，（電気化学的防食），断面修復
加速期（後期）	断面修復
劣化期	断面修復，鋼板接着工法・炭素繊維接着，上面増厚，下面増厚

（　）：塩化物イオン濃度が高く鉄筋腐速度が速い場合や腐食量が大きい場合に選定する.

これらの対策工法を選定する場合には，劣化の状態や道路の供用条件等を十分に検討する必要があり，条件によって適用できる対策工法に制限が生じることとなる．このような中性化対策工法の床版への適用性を考慮して外観上の劣化進行過程と適用できる補修・補強工法を取りまとめた例を**表-解 3.1.9** に示す.

なお，これらの補修・補強工法には工法上の特性から，床版上面または下面への適用が限定される工法や橋梁供用の関係から適用が制限される場合もある．また，コンクリートのはく落による第三者被害が想定される場合には，上記工法の他，応急的にはく落対策を講じる必要がある.

中性化による劣化・損傷は，酸素と水分の供給による鋼材腐食の進行であり，床版上面のひび割れから供給される場合もあるため，橋面防水工が中性化対策として効果を発揮する場合もある．また，劣化期における補修・補強工法は耐荷力の回復・向上を主な目的としているため，劣化・損傷部における中性化対策を合わせて実施する必要がある.

3.1.5 アルカリシリカ反応

道路橋床版のアルカリシリカ反応による劣化・損傷は，「セメント中のアルカリと反応性鉱物との化学反応で生成するアルカリシリカゲルの存在」および「水分の供給」が要因となり，アルカリシリカゲルの容積が膨張することによってコンクリートにひび割れを発生させる現象である.

アルカリシリカ反応の劣化過程の特定においては，アルカリの供給，反応性鉱物，吸水の状況，コンクリートのひび割れ状況・析出物の状況を考慮するのがよい.

【解説】

アルカリ骨材反応は，アルカリシリカ反応（以下，ASR という），アルカリ炭酸塩岩反応，アルカリシリケート反応の３つに分類されていたが，現在では，いずれも骨材中のシリカ成分が反応するアルカリシリカ反応であると考えられている.

ASR とは，セメント中のアルカリと骨材に含まれる反応性鉱物との化学反応で生成するアルカリシリカゲルが，吸水によって容積が膨張しコンクリートにひび割れを発生させる劣化現象である．ASR は昭和50 年代前半に関西や中国，および北陸地方で主として安山岩砕石を用いた構造物で顕在化した．その後の活発な研究によりメカニズムが明らかにされ，1961 年からアルカリ総量の規制や混合セメントの使用，および安全と認められる骨材の使用が対策として実施されるようになった．当時，ASR による劣化が顕著で

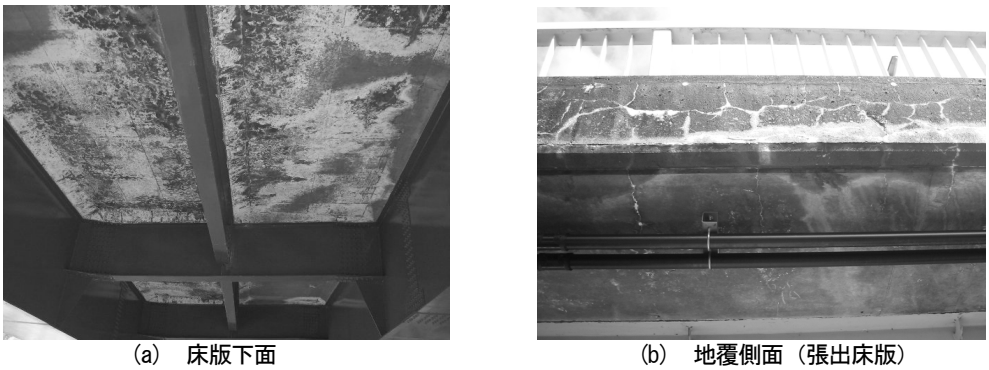
あったのは主に容積の大きい橋りょうの下部構造であるが，これは内部に ASR の反応に必要な水分を保持できるからである．

被災構造物への対策では，平成元年の建設省の総合技術開発プロジェクトで主として防水工法が採用されたが，水分供給の遮断では ASR 対策として効果が小さく，後になって塗膜のはく離などの再劣化が頻発した．現在では防水のための塗装は下火となり，密閉するのではなく内部水を水蒸気として排出できる撥水系材料の採用や劣化層の打替えが実施されているが，劣化のメカニズムや輪荷重走行による耐荷性の変化が明らかにされていないため，今後の研究が待たれる状況にある．

ASR による膨張は補強材の存在によって拘束され，自由度の大きい方向に膨張する性質がある．拘束される方向では補強材に応力が発生することとなるが，過去にはケミカルプレストレスとして耐荷性の低下を抑えると考えられてきた．ただし最近になって鉄筋破断の事例が報告されるようになり，耐荷性についても構造物の状況に応じて検討が必要になってきている．

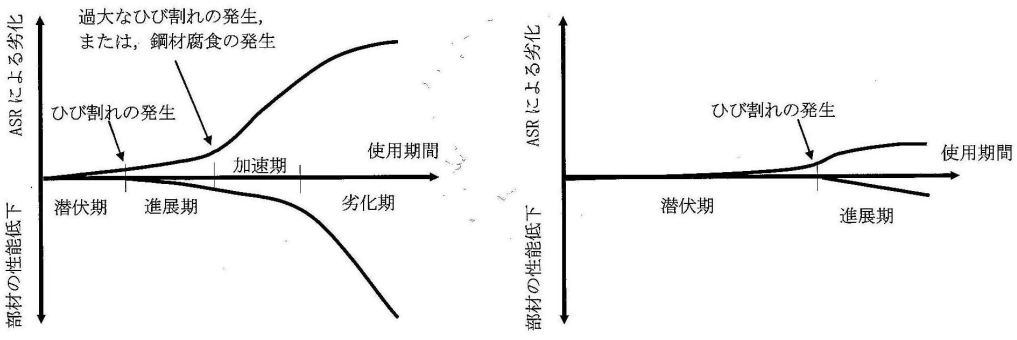
平成２年にスパイクタイヤの使用が禁止となり，それに伴って凍結防止剤が多量に散布されている．すなわち凍結防止剤として用いられる塩化ナトリウムに起因するアルカリの供給によって，現状では詳細なメカニズムが不明ではあるが，ASR 自体は促進されることが明らかとなり，時期を同じくして鉄筋コンクリート床版でも ASR が確認されるようになった．**図-解 3.1.11** は ASR 被災床版（RC 床版）の劣化事例であり，調査の段階で ASR による劣化を判別する着目点として地覆外側の劣化状況も示している．ASR は材料劣化であるため写真に示すような位置にもひび割れや白色の析出物が確認できる．

ASR が床版に発生すると，内部鉄筋が版の断面に対して上下に層状に配置される構造であり，その他には補強材が存在しないことから主たる膨張が版の上下方向となる．結果としてひび割れが水平方向に卓越することとなり，版は層状化し剛性が大幅に低下することとなる．よって，適切な補修・補強を施す必要がある．



(a)　床版下面　　(b)　地覆側面（張出床版）

図-解 3.1.11　ASR による床版の劣化事例（RC 床版）



(a) コンクリートが有する膨張性が大きい場合　　(b) コンクリートが有する膨張性が小さい場合

図-解 3.1.12　ASR による劣化進行過程の概念図 [5)]

ASR による床版の劣化過程は**図-解 3.1.12** のように模擬されるが，厳密には ASR 単独で劣化が進行することは少なく，凍結防止剤散布による ASR 促進やその浸透による塩害の併発など複合劣化の様相を示すことが多いと考えられる．図の劣化過程を解説すると以下のものとなる．床版構造では輪荷重を直接支持する部材であり，変動荷重の割合が大きいため，耐荷性の低下は他の部材よりも深刻となる．

潜伏期：ASR が進行するが膨張やそれに伴うひび割れが発生していない期間
進展期：水分やアルカリの供給下で反応が進行し，ひび割れが発生する期間
加速期：ASR 膨張が最大となり，内部の鋼材が腐食する場合もある期間
劣化期：ひび割れが増大し，部材の一体性が損なわれ耐荷性が顕著に低下する期間

近年，橋梁に関してはアセットマネジメントによる維持管理手法の浸透により定期的な点検が実施されるようになってきている．点検の注意点としては，床版に関しては「疲労」問題が突出しているため，網目状ひび割れと白色析出物で疲労劣化が進行していると判定される危険性がある．これは，ASR 被災床版でも同様の劣化現象となるためであるが，下部構造など他の構造物でも ASR が発生している地域か否か，交通量が疲労を考慮する程度のものかを調べれば判定の精度は向上し，さらに建設年次や凍結防止剤の散布の有無で混同することは無くなると考えられる．なお，ASR を簡易に判定する手法として ASR ゲルステイン法が開発されている．この手法ではコンクリートの表面に試薬を噴霧することでアルカリシリカゲルが変色する反応を利用している．ASR 被災床版の詳細調査を実施する際には，**表-解 3.1.10** が参考となる．

一般に ASR が発生したコンクリートでは弾性係数が低下することが知られている．床版構造での弾性係数の低下はたわみの増大という形で表面化するが，前述の水平ひび割れでも剛性が低下することとなる．対策工法に関してはそれらに配慮して選定する必要がある．なお，ASR は骨材付近の微細ひび割れから進展するため，床版上縁・下縁のコンクリートの表面付近では補修・補強材料の付着力が低下する危険性がある．よって，接着系の工法を採用する場合には，事前に付着強度を調べるなどの配慮が必要となる．適用工法に関しては今後の研究が待たれるが，現状で考えられる例を示せば**表-解 3.1.11** となる．なお，下面からの工法ではコンクリートの付着強度を調査したうえで採用を検討する必要がある．

表-解 3.1.10　床版の ASR を対象とした詳細調査の項目と評価項目の例 [5)]

調査項目	調査によって得られる情報	情報から予測できる評価項目
残存膨張量	ASR 進行速度	ASR 進行速度
ひび割れ（幅，深さ，密度）	ASR 進行速度，美観	ASR 進行速度
鋼材の位置と腐食状況（面積，量）	腐食グレード，耐荷力	腐食速度，耐荷力
鋼材の損傷の有無	耐荷力	耐荷力
変色，アルカリシリカゲルの滲出	美観	ASR 進行速度
コンクリートの強度，弾性係数	コンクリート強度，剛性，ASR 進行速度	コンクリート強度
変位（載荷試験），変形	剛性（使用限界との関係）	耐荷性
骨材の岩種 （反応性鉱物の種類，含有量）	骨材のアルカリシリカ反応性 ASR 進行速度	ASR 進行速度
コンクリートのアルカリ量	ASR 進行速度	ASR 進行速度
凍結防止剤の影響	ASR 進行速度	ASR 進行速度

表-解 3.1.11　床版の ASR による劣化進行過程と適用工法の例

劣化過程	標準的な適用工法の例
潜伏期	橋面防水
進展期	橋面防水，炭素繊維接着（予防保全として適用）
加速期	橋面防水，炭素繊維接着，上面増厚，下面増厚，鋼板接着，打ち換え
劣化期	断面修復，打ち換え

3.1.6　初期欠陥

道路橋床版の初期欠陥としては，豆板，コールドジョイント，かぶり不足，打継目不良，型枠の変形，内部欠陥，ひび割れなどがある．

初期欠陥がある場合，早期に劣化が始まるなど，耐久性に影響を及ぼすことから，すみやかに補修を行うのがよい．

【解説】

①豆板：豆板とは，打設されたコンクリートの一部でセメントペーストやモルタルの廻りが悪くなり粗骨材が多く集まってできた空隙の多い構造物の不良部分をいい，「ジャンカ」ともいう．豆板は，コンクリートを打設するときの材料分離，締固め不足，型枠下端からのセメントペーストの漏れなどによって生じる．道路橋床版で豆板が生じやすいのは，主桁フランジ近傍，ハンチ角部，張り出し床版端部，床版端部（橋台や橋脚上の端部）などである．

豆板が生じた部分は，空隙部分と同様で炭酸ガスや水を浸透しやすく，コンクリートの中性化抑制効果をほとんど示さない．豆板部に鋼材が存在する場合には，早期に腐食が始まるため，すみやかに補修を施す必要がある．

豆板の補修方法は，豆板部分やその近傍をハツリ取り，プライマーもしくはポリマーセメントペーストを塗布後，ポリマーセメントペーストなどを充填する．

②コールドジョイント：コールドジョイントとは，設計段階で考慮する打継目とは異なり，コンクリートを打重ねる時間の間隔を過ぎて打設した場合に，前に打ち込まれたコンクリートと後から打ち込まれたコンクリートが一体化しない状態となって，打ち重ねた部分に不連続な面が生じるこという．この面のコンクリートはぜい弱であり，ひび割れが生じていることが多く，床版の耐力，耐久性，水密性を低下させる原因となる．この補修方法としては，U カット充填工法などを，ひび割れの補修に準じて行うとよい．

③かぶり厚不足：設計段階で考慮しているかぶり厚より，かぶり厚が小さくなることをいい，施工時におけるスペーサーや鉄筋の固定不良によって生じる．また，設計上考慮していない鉄筋配置用の鉄筋が，かぶり厚不足となっている場合もある．鉄筋のかぶり厚が不足している場合，かぶりコンクリートにひび割れが生じ，鉄筋の腐食が進行しやすくなることから，かぶりコンクリートのはく落の原因となる．

この補修方法としては，浮きやはく離の近傍をハツリ取り，プライマーもしくはポリマーセメントペーストを塗布後，ポリマーセメントペーストなどを充填するとよい．

④打継目不良：床版コンクリートを打設する場合，打継目の処理が不適切であるとひび割れが生じる．この場合，貫通ひび割れとなる場合が多く，床版の耐久性，水密性を低下させる原因となる．

この補修方法としては，U カット充填工法，ひび割れ注入工法，橋面防水工法などを，ひび割れの補修に準じて行うとよい．

⑤型枠の変形：コンクリートの硬化過程での型枠支保工の沈下によってひび割れが生じるものであり，初期状態からひび割れが生じることから，他の劣化損傷要因による劣化の進行が早くなる恐れがある．

この補修方法としては，U カット充填工法，ひび割れ注入工法，橋面防水工法などを，ひび割れの補修に準じて行うとよい．

⑥内部欠陥：内部欠陥とは，コンクリート内部に生じたジャンカや空洞のことをいい，施工不良が主な原因である．内部欠陥は，材料分離の生じやすいコンクリートの打設，締め固め不足，型枠からのペースト，モルタル等の漏れなどによって生じ，合成床版のように鋼材が複雑にコンクリート中に埋め込まれる場合は，特に注意が必要となる．

⑦ひび割れ：初期欠陥に分類されるひび割れは，工事過程で生じるものをさし，コンクリートの運搬，打込み，養生が不適切であったり，型枠や支保工に異常があったりした場合に発生する．

近年，グリーン購入法の趣旨に従い，高炉セメントの使用が多くなっているが，スラグの粉末度や置換率，構造物の寸法や養生条件によって，水和熱や収縮が大きくなることもあり，初期欠陥の原因となることがある．

道路橋の床版では，鋼桁に固定されていることから，コンクリートの乾燥収縮，温度変化により引張応力が生じ，ひび割れが発生することがある．また，場所打ち PC 床版では，コンクリート硬化時に生じる水和熱による膨張収縮やＰＣケーブル緊張時の弾性変形を，先に施工した床版が拘束することにより橋軸直角方向にひび割れが生じる場合がある．

この補修方法としては，U カット充填工法，ひび割れ注入工法，橋面防水工法などを，ひび割れの補修に準じて行うとよい．

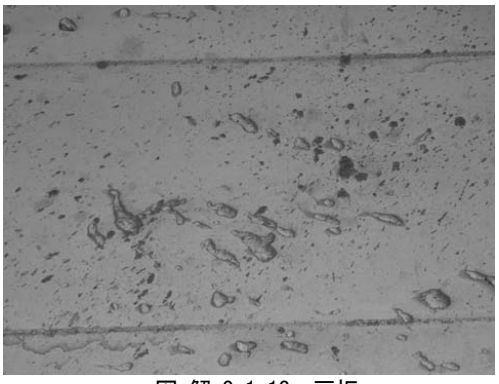


図-解 3.1.13　豆板

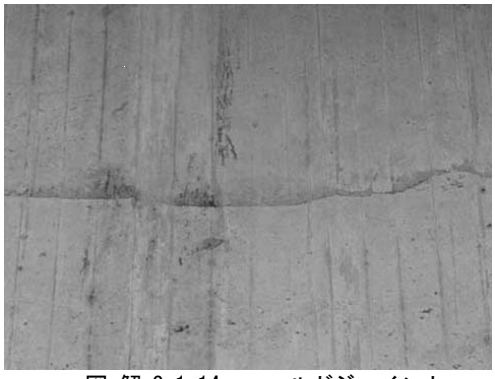


図-解 3.1.14　コールドジョイント

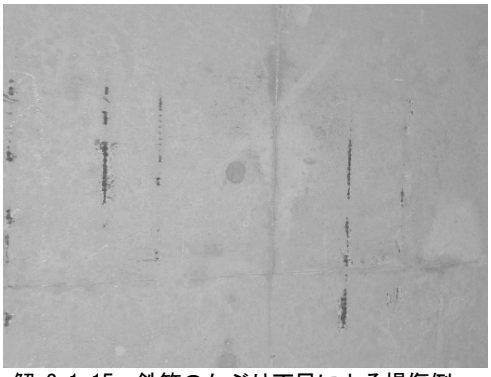


図-解 3.1.15　鉄筋のかぶり不足による損傷例

図-解 3.1.16　合成床版の充填性確認

図-解 3.1.17　乾燥収縮ひび割れ

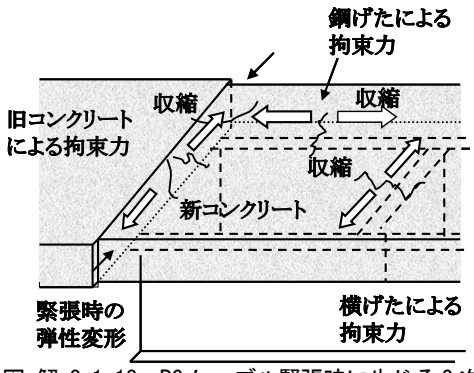


図-解 3.1.18　PC ケーブル緊張時に生じる 2 次力

3.1.7　複合劣化

(1) 道路橋床版の劣化については，単独の劣化要因による劣化のみならず，複数の要因による複合劣化が発生し，劣化を加速させる場合がある．このため，劣化過程の特定においてはこの複合劣化を考慮するのがよい．

以下に代表的な複合劣化を示すが，疲労を含まない劣化であっても，輪荷重作用の影響を考慮するのがよい．

1）疲労と塩害の複合劣化

疲労劣化を受ける床版に対し，塩化物イオンの影響により鉄筋腐食が促進される劣化

2）中性化と塩害の複合劣化

コンクリートの中性化が進行した床版に対し，塩化物イオンの影響により鉄筋腐食が促進される劣化

3）凍害と塩害の複合劣化

凍害を受ける床版に対し，塩化物イオンの影響により鉄筋腐食を促進させる劣化

4）アルカリシリカ反応（ASR）と塩害の複合劣化

ASR が発生している床版に対し，塩害の影響によりひび割れと鉄筋腐食を促進させる劣化

(2) 道路橋床版における複合的な損傷・劣化に対して補修補強工法を選定する場合は，複合する全ての劣化要因に対応する補修・補強工法を選定することを基本とする．

【解説】

(1) 道路橋床版の劣化については，単独の劣化要因による劣化のみならず，複数の要因による複合劣化が考えられる．しかし，その損傷に対する各複合要因の特定，また複合劣化によりどの程度劣化速度に影響が出るのかは，現在各分野で研究が進められているところであり，いまだ解明されていない部分が多いのが現状である．

道路橋床版は輪荷重を直接支持する部材であるため，全ての複合劣化には輪荷重による影響が付加的に関係すると考えられる．例えば塩害，中性化，ASR，凍害などにより劣化進行した床版に輪荷重が加わると，コンクリートのひび割れおよび土砂化が増進される．また，疲労劣化により床版下面，内部および上面に発生した損傷は，他の劣化要因による鉄筋腐食などと複合することにより大幅に加速される．なお，複合劣化における性能低下への影響については，その劣化要因により潜伏期，進展期，加速期，劣化期のどこから始まるのかは様々である．道路橋床版においては，ここで紹介する事例以外にも様々な組み合わせの複合劣化が存在するため，点検，診断においては，個々の劣化状態および環境条件を考慮し実施することが重要である．

床版の複合劣化に対して補修・補強工法を選定する場合には，主たる劣化要因および複合している劣化要因を的確に判断することが重要である．このため，想定される劣化要因に応じ，各項に解説された詳細調査を行い，その後の複合した劣化進行速度や構造物の性能低下速度の予測などを行うのがよい．

また，補修・補強工法の選定においては，本章の各項に解説された各種適用工法から主たる劣化要因に対応する補修・補強工法を選定するとともに，他の複合する劣化要因についての対策効果も考慮し選定することを基本とする． 例えば輪荷重の疲労に対して効果的な工法であっても，塩害との複合劣化の場合には，残留する塩化物イオンの影響により補強後短期間で鉄筋腐食などの再劣化が発生することがある．このため，対策工法の選定においては塩害にも対応できる疲労対策工法を選定するか，もしくは疲労対策工法と塩害対策工法の双方を実施する必要がある．

1) 疲労と塩害の複合劣化

道路橋床版は床版支間長（主桁間隔）に比して厚さの薄い構造であり，変動の激しい輪荷重を直接支える部材であるため，荷重の繰返しがもたらす疲労の影響が大きい．疲労劣化のメカニズムとしては 3.1.1 に示すとおり，床版下面からのひび割れとはく離から，最終的に床版の押抜きせん断破壊に至ることが知られている．

疲労劣化を受ける床版において，建設時におけるコンクリート骨材に海砂を使用した場合，塩化物イオンを含む混和剤を使用した場合，海岸に近く飛来塩分の影響がある場合，凍結防止剤の散布が日常的に行われる場合には，疲労による劣化に加えて塩害による複合劣化が発生し，床版の性能低下を加速させることが知られている．特に近年では寒冷地における凍結防止剤による道路橋床版の塩害が顕著である．

コンクリート構造物の塩害は，コンクリート中の鋼材の腐食が塩化物イオンの存在により促進され，腐食生成物の体積膨張がコンクリートにひび割れやはく離を引き起こし，鋼材の断面減少などを伴う現象である．床版の疲労劣化過程においては，床版上面・下面および内部にひび割れが発生するため，塩害環境下にある床版では，そのひび割れから床版内部に水，空気が浸入するとともに塩化物イオンによる鉄筋腐食が発生し，ひび割れの助長および鉄筋腐食による耐荷力低下により著しく疲労劣化を加速させる．

例えば，塩害劣化において進展期にある床版では，塩化物イオンの含有量は発錆限界以上であるが，ひび割れの発生は認められていない．この床版に輪荷重により潜伏期程度の疲労が複合した場合，疲労によるひび割れが発生するため，酸素や水および塩化物イオンが鉄筋周りに直接的に供給され，本来であれば塩害による劣化進行過程が進展期にある床版が容易に加速期に移行する．特に凍結防止剤による塩害の場合には，床版上側鉄筋の腐食による床版上面コンクリートの劣化が顕著化し，水と走行輪荷重によりかぶりコンクリートが土砂化し路面の走行性に大きく影響するとともに，疲労耐久性が大きく低下する場合もある．また，飛来塩分による塩害の場合には，床版下面に発生したひび割れから浸入した塩化物イオンにより，床版下側鉄筋の腐食が顕著化する傾向がある．

なお，疲労と塩害の複合劣化においては，交通荷重の影響および塩化物イオン量の影響を受けるが，両劣化ともひび割れ発生および水の影響も大きく受けるため，高耐久性床版を使用している場合や床版防水層の機能が健全であれば劣化の進行は遅いと考えられる．

2) 中性化と塩害の複合劣化

道路橋床版では，鉄筋かぶりが比較的小さいことや，場合によっては組立鉄筋がかぶり内に配置されていることもあり，中性化による劣化が発生しやすい部材であるといえる．中性化による劣化メカニズムは 3.1.4 に示すとおり，コンクリートの炭酸化反応により pH が低下し，これによりコンクリート内部鋼材が腐食し，ひび割れの発生，かぶりのはく離・はく落や鋼材の断面欠損などによる耐荷力の低下を招く現象であるが，その進行速度は比較的遅く，中性化のみで極端な耐荷性能の低下を招いた事例は少ない．

しかし，中性化が進行している床版に塩化物イオンが存在すると，中性化と塩害による複合劣化が発生し，鉄筋腐食による床版の性能低下を加速させることが知られている．

塩化物イオンは鉄筋の不動態被膜を破壊し腐食を発生させる要因となるが，この不動態膜の破壊はコンクリート内の塩化物イオン濃度が高いほど発生しやすく，また中性化などによりコンクリートの pH が低くなるほど発生しやすくなる．また，中性化によりコンクリート表層部に固相しているフリーデル氏塩が塩化物イオンとなって内部に移動・濃縮されること（中性化による塩化物イオンのフロント化現

象）が知られており，この濃縮が鉄筋位置で発生した場合には，中性化による pH 低下との相乗効果により鉄筋腐食を加速させる．

なお，疲労により床版下面にひび割れが発生した場合には，ひび割れからの二酸化炭素の供給により，中性化および塩害による鉄筋腐食がさらに加速され，塩害と同様に疲労劣化そのものも加速させる．

また，中性化と塩害の複合劣化においては，コンクリートの品質・強度と塩化物イオンの量に影響を受けるが，鉄筋腐食はひび割れ発生による空気と水および凍結防止剤等の侵入により加速されるため，高耐久性床版を用いている場合や床版防水層の機能が健全である場合は劣化の進行は遅いと考えられる．

3) 凍害と塩害の複合劣化

積雪寒冷地における道路橋床版では，床版上面に雨水および融雪水が滞水しやすく，凍害による床版上面劣化が発生する場合がある．また，床版下面における凍害は雨水などの影響により，張出床版水切り部に発生する場合が多い．凍害のメカニズムとしては 3.1.3 に示すとおり，コンクリート中の水分が 0 ℃以下になった時の凍結膨張によって発生するものであり，長年にわたる凍結と融解の繰返しによってコンクリートが徐々に劣化する現象である．

これに対し，コンクリート構造物の塩害は 3.1.2 に示すようにコンクリート中の鋼材の腐食が塩化物イオンの存在により促進され，腐食生成物の体積膨張がコンクリートにひび割れやはく離を引き起こし，鋼材の断面減少などを伴う現象であるが，積雪寒冷地における主要道路橋では凍結防止剤の散布量も多く，凍害と塩害が複合的に作用し，床版の性能低下を加速させる場合がある．

凍害と塩害の複合劣化メカニズムとしては，凍結融解によるコンクリートの直接的な強度低下と凍害劣化によるコンクリートの物質移動抵抗性の低下による塩化物イオンの移動により，鉄筋腐食が促進されるためと考えられている．

また，床版上面においてはこの複合劣化に輪荷重による繰返し載荷が加わると，①の疲労と塩害の複合劣化の場合以上にコンクリートに土砂化（骨材分離）が進行し，路面の走行性に影響を与えるとともに床版圧縮側の断面抵抗が減少したことによる疲労耐久性の低下を招く場合もある．

なお，凍害と塩害の複合劣化においては，気温，コンクリート品質および強度と塩化物イオンの量に影響を受けるが，両劣化とも水の影響を大きく受けるため，床版防水層の機能が健全であれば劣化の進行は遅いと考えられる．

凍害と塩害を受ける床版は，輪荷重の走行によりコンクリート表面がスケーリングするため，凍結防止剤や融雪剤の散布により塩化物イオン量が蓄積して鉄筋腐食を促進させる．

積雪寒冷地域の RC 床版は，融雪剤散布により融雪水が微細なクラックに侵入し，凍結・融解作用と輪荷重の走行による疲労損傷とが複合し，コンクリート表面にスケーリングや砂利化が発生する．この凍害による影響は伸縮継手付近から 5m 付近にまで及んでおり，塩害のみを受けた RC 床版に比して劣化の進行が著しい．

4) アルカリシリカ反応（ASR）と塩害の複合劣化

アルカリシリカ反応（ASR）は 3.1.5 に示すとおり，反応性骨材の膨張によりコンクリートにひび割れなどを発生させる現象であり，水分およびアルカリが供給される条件下で，長期にわたって進行するのが一般的である．なお，ASR が顕著な場合には橋脚など比較的厚いコンクリート部材で内部鉄筋が破断した事例もあるが，これまで，道路橋床版における劣化事例はあまり報告されていなかった．

これに対し，コンクリート構造物の塩害は 3.1.2 に示すようにコンクリート中の鋼材の腐食が塩化物イオンの存在により促進され，腐食生成物の体積膨張がコンクリートにひび割れやはく離を引き起こし，鋼材の断面減少などを伴う現象であり，寒冷地においては凍結防止剤により塩化物イオンが供給される

ことが多い.

ASR による劣化を受けた床版に凍結防止剤を散布すると，それに使用されている塩類（NaCl など）のアルカリイオンと水分が ASR の進行を促進することとなり, コンクリートのひび割れを進行させるとともに，ひび割れの進行により凍結防止剤に含まれる塩化物イオンによる鉄筋腐食も進行することになる．このため，ASR を受けた床版に凍結防止剤を散布した場合には，ASR と塩害が複合的に作用し，床版の性能低下を加速させる場合がある.

また，床版上面においてはこの複合劣化に輪荷重による繰返し載荷が加わると，①の疲労と塩害の複合劣化の場合以上にコンクリートに土砂化（骨材分離）が進行し，路面の走行性に影響を与えるとともに床版内部の断面抵抗が減少したことによる疲労耐久性の低下を招く場合もある.

なお，ASR と塩害の複合劣化においては，コンクリートの残存膨張率と塩化物イオン量の影響を受けるが，両劣化とも水の影響を大きく受けるため，床版防水層の機能が健全であれば劣化の進行は遅いと考えられる.

3.2　変状グレードによる劣化進行過程の評価

3.2.1　ひび割れ間隔と遊離石灰による評価

ひび割れ間隔と遊離石灰の漏出の有無に着目した変状グレードの評価は，道路橋床版の疲労による劣化進行過程を床版下面から評価判定する方法，**表-3.2.1** および**表-3.2.2** を用いて行うことができる．

表-3.2.1　ひび割れ間隔と遊離石灰に着目したパネル単位の損傷度判定

損傷度	床版の状況		判定の基準
a	遊離石灰および２方向のひび割れが認められない．		
b	遊離石灰が１方向に発生している． 遊離石灰を伴わないひび割れが２方向に発生している．		損傷は小さい 定期的な点検が必要
c	遊離石灰が２方向に発生しており，いずれかの方向の間隔が 50cm 以上となっている．（亀甲状となっていない．または，その間隔が大きい．） 遊離石灰を伴わないひび割れが２方向に発生しており，両方ともその間隔が 50cm 以下となっている．また，「ｂ」でその進行が早いもの．		損傷が大きくなりつつある適切な時期に補修が必要
d	一般部	遊離石灰が２方向に発生しており，両方ともその間隔が 50cm 以下で，その色が白い． また，「ｃ」でその進行が早いもの．	損傷が大きい 早急な補修が必要
	継目部	施工継目において，遊離石灰が発生しており，その色が白い．	
e	一般部	遊離石灰が２方向に発生しており，両方ともその間隔が 50cm 以下で，かつ，遊離石灰が泥水，錆汁で変色している． また，「ｄ」でその進行が早いもの．	損傷が著しい 緊急な補修が必要
	継目部	施工継目において，遊離石灰が泥水，錆汁で変色している．	

表-3.2.2　ひび割れ間隔と遊離石灰に着目した径間単位の変状グレードと劣化進行過程との関係

変状グレード	床版の状況	評価の基準	劣化過程
Ⅰ	床版パネルの 30%未満にｂ～ｅの損傷がある	劣化は小さい 部分的な補修が必要	潜伏期
Ⅱ	床版パネルの 30%以上にｂ～ｅの損傷がある	劣化は小さい 適切な時期に補修が必要	進展期
Ⅲ	床版パネルの 40%以上にｂ～ｅの損傷がある	劣化は大きくなりつつある 適切な時期に補修が必要	加速期
Ⅳ	床版パネルの 30%以上にｄ～ｅの損傷がある	劣化は大きい 早急な補修が必要	
Ⅴ	床版パネルの 40%以上にｄ～ｅの損傷がある	劣化が著しい 緊急な補修が必要	劣化期

【解説】

橋面防水が施工されていない場合は，床版下面のひび割れ間隔と遊離石灰の漏出の有無に着目した点検調査結果から**表-3.2.1** によりパネル単位で損傷度を判定する．このパネル単位の損傷度の数が評価する径間内の全パネル数に占める割合に応じて，**表-3.2.2** により径間単位の変状グレードとしてⅠ～Ⅴの５段階で評価することができる．なお，この径間単位での変状グレードの評価手法は主として高速道路の維持管理における活荷重による疲労耐久性を評価する手法として活用されているが，疲労以外の劣化要因についても適用される場合が多い．

3.2.2 はく離面積による評価

はく離面積による評価は，道路橋床版の塩害劣化の健全度を床版下面のはく離面積率から評価する方法であり，主として塩害による床版下面のかぶりコンクリートのはく離状況を定量的に把握する手法として活用できる．

【解説】

外来塩分（海水，凍結防止剤）および内在塩分（海砂）による塩害においては，内部鉄筋の腐食に伴い床版下面のかぶりコンクリートがはく離するため，はく離状況を定量的に評価するためには，床版下面のはく離面積を算出し，パネル面積に対する比率（はく離面積率）で評価する必要がある．

しかし，はく離面積を算出するためには大きな労力を要するため，はく離面積率による評価を実用化した事例は少ない．

はく離等の発生状況の点検調査結果に基づき外観目視で判定する方法として，**表-解 3.2.1** に準じて健全度をパネル単位で判定している事例もある．

表-解 3.2.1 はく離等に着目したパネル単位の変状グレードと劣化進行過程との関係の例

変状グレード	床版の状況	評価の基準	劣化過程
Ⅰ	はく離，豆板・空洞がない	劣化なし 補修不要	潜伏期
Ⅱ～Ⅲ	は　く　離：はく離が径 10cm 以下の範囲にある． 豆板・空洞：豆板・空洞が径 10cm 以下の範囲にある．	劣化は小さい 適切な時期に補修が必要	進展期
Ⅳ	は　く　離：はく離が径 10～50cm の範囲にある． 鉄筋の露出：主鉄筋が 50cm 以下の範囲に露出している． 豆板・空洞：豆板・空洞が径 10～50cm の範囲にある．	劣化が大きい 早急な補修が必要	加速期
Ⅴ	は　く　離：はく離が径 50cm 以上の範囲にある． 鉄筋の露出：主鉄筋が 50cm 以上の範囲に露出している． 豆板・空洞：豆板・空洞が径 50cm 以上の範囲にある．	劣化が著しい 緊急な補修が必要	劣化期

3.2.3 舗装損傷による床版上面の評価

(1) RC 床版の舗装面の損傷において，面状ひび割れやポットホールが繰返し同じ位置で発生する場合，床版上面の劣化に起因していることが疑われるため，床版の状況確認を行うのがよい．

(2) 路面点検の結果により，床版の劣化が著しいと疑われる場合，詳細調査を行い，劣化要因を特定するのがよい．

(3) 床版の劣化が上面のみに限られる場合もあるため，比較的新しい床版においても舗装の損傷状況については注意が必要である．特に防水層がない，もしくは不十分で舗装の損傷がみられる場合は，床版の劣化が疑われるので，床版の状況確認を行うのがよい．

(4) 床版の損傷状況については，床版下面の評価に加え床版上面の評価を含めて総合的に評価することが望ましい．

【解説】

(1) RC 床版の支持力低下などの劣化は，舗装の面状ひび割れやポットホールにつながることから，舗装の損傷状況によっては，床版の劣化が疑われる．また，原因が床版にある場合でも，供用下では舗装撤去後の床版の劣化判定や完全な補修まで行うことが難しいため，舗装補修後も床版の劣化進行や根本的な対策が

取られていない場合が多く，再劣化などにより再発することが多い．

床版の劣化による舗装の損傷は，床版劣化の加速期に，上面あるいは貫通ひび割れが存在する床版上でアスファルトが雨水で飽和状態となり保水状態が続くと，防水層の不良箇所などからひび割れに水が浸透する[7]．それらにより，床版上面のかぶりコンクリートが劣化するため，舗装に面状ひび割れやポットホールが発生する[5]．この際，セメント成分のひび割れからの溶出が顕著となる．

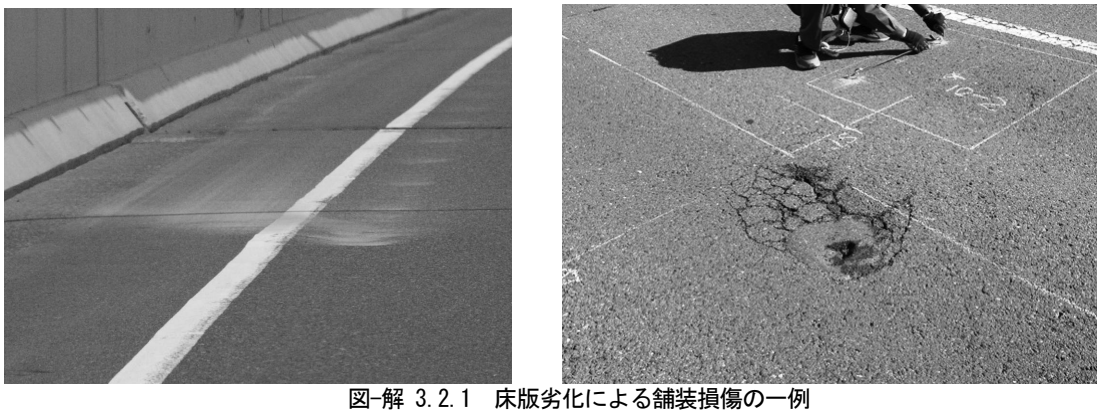


図-解 3.2.1　床版劣化による舗装損傷の一例

(2) 舗装の調査項目としては，ひび割れ率（線状，亀甲状），わだち掘れ量，平坦性，段差などがあり，径間毎に評価を行うものと，部分的に突出した損傷に対して評価を行うものがある．これら路面調査の結果により，**表-解 3.2.2** を参考として損傷種別により，原因が推察される．舗装の損傷状況が顕著であり，床版上面の劣化が著しい，もしくは大規模と疑われる場合については，部分的な剥ぎ取りや非破壊検査などにより，床版の詳細調査を行うことが望ましい．

表-解 3.2.2　舗装損傷の種類と原因[8]

部位	損傷の例		損傷の状況，考えられる原因等	主な発生位置	原因と考えられる層		
					床版	防水層	舗装
舗装表面	ひび割れ	線状	大型車の走行によるわだち割れ	走行軌跡部			◎
			床版のたわみによる縦方向の線状ひび割れ	鋼床版の縦リブ主桁上	◎		○
		亀甲状	混合物の劣化，床版防水層と混合物の接着不良，コンクリート床版の破損によるもの	走行軌跡部から発生し舗装面全体へ	○	○	○
	わだち掘れ		混合物の耐流動性不足による塑性変形，床版防水層の種類による可能性もある	走行軌跡部		○	◎
	平坦性の低下		混合物の強度，締固め不足によるさざなみ状の舗装面のしわ，こぶ状のより，床版の凹凸，床版防水層と混合物の接着不良によっても起こる	走行軌跡部	○	○	◎
	段差		伸縮装置と舗装の剛性の違い，伸縮装置取り付け部の混合物の締固め不足	伸縮装置			◎
	すべり抵抗性の低下		アスファルト過多混合物の使用によるフラッシュ，骨材のポリッシング	走行軌跡部			◎
	ずれ		床版防水層と混合物の接着不良，タックコートの過多やムラ	主に走行軌跡部 排水不良箇所		◎	○
	ポットホール		混合物の強度不足により生じた舗装表面の穴水の流入による骨材のはく離，亀甲状のひび割れを伴う場合あり	ひび割れ部 排水不良箇所	○	○	◎
	ブリスタリング		コンクリート床版の乾燥不足と緻密な混合物の使用，鋼床版のケレン不良		○	○	○
	目地の開き		目地部の接着不良，混合物の締固め不足	施工継目部			◎

(3) 建設年次が比較的新しい場合，重交通の橋梁や凍結防止剤を定常的に使用している橋梁などにおいては，床版下面に損傷が見られない場合においても，ひび割れが下面に到達するまでにかなりの時間を要すること，凍結防止剤の作用により床版上面からの劣化が加速されることなどから，上面からの劣化がかなり進行した場合でも，下面からの点検では，劣化を見落とす可能性がある．床版上面の判定例として，**表-解 3.2.3** に示すような床版上面の劣化状況により判定を行う事例もみられる．この際，ⅢもしくはⅣに該当するものは，劣化の程度により，せん断補強や部分打換等の対策が必要とされている．

表-解 3.2.3　床版上面のスパン単位の変状グレードと劣化進行過程との関係の例 [9)]

変状グレード	床版の状況	劣化過程
Ⅱ	舗装を剥ぎ取り，床版上面の調査をした場合に，一部分に下記Ⅳ，Ⅲの劣化・損傷が見られるが，健全な箇所が多い．	潜伏期
Ⅲ	舗装の補修頻度が高く，舗装を剥ぎ取った床版上面コンクリートがブロック化している． 鉄筋が一部腐食しているが，断面欠損は見られない．	進展期
Ⅳ	舗装の補修頻度が高く，舗装を剥ぎ取った床版上面のコンクリートがブロック化や泥状化し，鉄筋が腐食して断面欠損している．また，床版下面にも遊離石灰等が見られる場合が多い．	加速期

(4) 道路橋床版の塩害および凍害による劣化は，床版上面からのひび割れを主な経路として塩水が浸透することによって内部鉄筋が腐食し，損傷は床版上面から発生していくため，床版下面の評価に加えて，舗装面および床版上面の評価にも着目し，総合的に変状グレードを評価判定する必要がある．床版上下面の調査結果の総合判定による評価手法については，実用化された一般的な事例は少ないが，上下面の損傷度評価結果を総合してパネル単位で変状グレードを評価するイメージを**表-解 3.2.4** に示し，総合判定によるスパン単位での変状グレード評価の例を**表-解 3.2.5** に示す．

表-解 3.2.4　床版上下面の調査結果の総合判定によるパネル単位の評価イメージ

総合判定による変状グレード（Ⅰ～Ⅴ）		床版上面の損傷度（損傷規模）			
		損傷なし	損傷小	損傷中	損傷大
床版下面の損傷度	a	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅱ
	b	Ⅰ	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ
	c	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ
	d	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ	Ⅴ
	e	Ⅲ	Ⅳ	Ⅴ	Ⅴ

表-解 3.2.5　床版上下面の調査結果の総合判定によるスパン単位の変状グレードと劣化進行過程との関係の例

変状グレード	評価内容（対策時期と損傷規模に着目した総合的な劣化レベル）	劣化過程
Ⅰ	必要に応じて局部的に補修が必要な損傷がある場合もあるが，総合的に劣化は小さい	潜伏期
Ⅱ	適切な時期に補修が必要な損傷が部分的にあるが，総合的に劣化は小さい	
Ⅲ	適切な時期に補修が必要な損傷が全体的にあり，総合的に劣化は大きくなりつつある	進展期
Ⅳ	早急な補修が必要な損傷が全体的にあり，総合的に劣化が大きい	加速期
Ⅴ	緊急な補修が必要な損傷が全体的にあり，総合的に劣化が著しい	劣化期

3.3　疲労耐久性の詳細な評価方法

3.3.1　ひび割れ密度による疲労耐久性評価

床版下面のひび割れ調査結果により床版の疲労耐久性に関する劣化度を評価する場合，ひび割れ密度を算出し，これを用いて劣化度を評価するのがよい．

【解説】

RC 床版の疲労耐久性を定量評価する方法として，ひび割れ密度に基づく劣化度を用いることができる．

ひび割れ密度に基づく劣化度(D_c)は式(解 3.3.1)により算出する．

$$D_c = C_d / 10.0 \quad \cdots\cdots (解\ 3.3.1)$$

ここに，C_d：ひび割れ密度(m/m^2)

松井らは，輪荷重走行試験の供試体の各種挙動の観察・測定結果から走行荷重下における RC 床版のひび割れ劣化過程（**図-解 3.3.1**）について，次のように最終寿命 N_f との寿命比で説明している[10]．

第１段階　N/N_f（寿命比）=0～0.05 の間

輪荷重が走行する軌道下で，曲げモーメントによる初期ひび割れが急激に発生する．大概 5～6m/m^2 のひび割れ密度となる．

第２段階　N/N_f（寿命比）=0.05～約 0.5 の間

ひび割れ密度，たわみとも線形的に漸増し，この段階の最終時にはひび割れ密度は 10m/m^2 程度となり最終ひび割れ密度の 90～95%となる．この間は床版上下面からのひび割れが，荷重の繰返し作用のため徐々に深さ方向，側方へと進展する．この第２段階目の終わりは，下面ひび割れに段差が発生することにより判定でき，床版が板としての連続性を喪失する時点であると判断できる．

第３段階　N/N_f（寿命比）=～最終

ひび割れ密度の増加は停留するが，走行回数に対するたわみの増加率は一定のままか，あるいは，若干大きくなる．この段階ではひび割れの開閉動に加え，上下ずれ動および水平ずれ動が顕著になり，ひび割れ面が磨耗しひび割れはスリット化する．また，ひび割れ相互の交差部では 1cm 角大の角落ちが発生する．最終的に，貫通ひび割れ発生後，配力鉄筋方向のせん断抵抗がなくなり，主鉄筋断面の荷重負担が増加し，その断面が疲労せん断破壊して耐荷力を失う．

以上のように，床版に生じるひび割れの状況は床版の劣化過程判定の有効な指標とされている．松井らは，床版が使用限界に達すると，ひび割れ密度は 10m/m^2 をわずかに超えた付近で停留することに基づき，式(3.3.1)の RC 床版のひび割れ密度による劣化度評価法を提案している[10]．文献 11)によれば，ひび割れ密度による劣化度は，**表-解 3.3.1** に示すように劣化進行過程と対応させることができる．

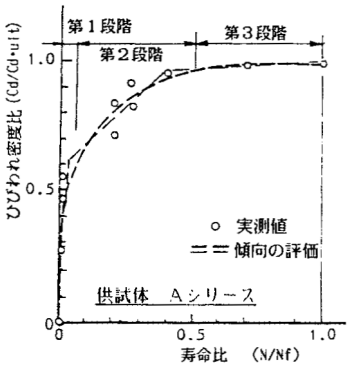


図-解 3.3.1　ひび割れ密度の変化状況[10]

表-解 3.3.1　ひび割れ密度に基づく劣化度と劣化進行過程との関係

ひび割れ密度による劣化度 $D_c = C_d / 10$	ひび割れの状態（補修・補強工法）	劣化進行過程
0.6 未満	ひび割れ無し～一方向ひび割れ（橋面防水工法）	潜伏期
0.6 以上 0.8 未満	格子状直前～格子状で網細化が進んでいる（ひび割れ注入工法など）	進展期
0.8 以上 0.9 未満	格子状で，幅 0.2mm 以上のひび割れがかなり目立ち，部分的角落ち，漏水，遊離石灰も見られる（上面増厚工法など）	加速期
0.9 以上	格子状で，ひび割れが貫通し，連続的な角落ち，漏水，遊離石灰が見られる（打ち換え）	劣化期

ひび割れの測定ならびに密度の計算にあたっては，測定誤差や計算誤差が大きくならないように，以下の点に留意するのがよい．

1) ひび割れ測定は，観測者のひび割れ発見能力の差異が調査結果に影響を与えないように，デジタルカメラ等の機器を用いて記録する方法が望ましい．
2) 多人数で目視によりひび割れ測定を行う場合は，観測者のひび割れ発見能力の差が調査結果に影響しないように，点検者間のキャリブレーションを行う．
3) 格子密度法によりひび割れ密度を算出する場合には，以下のような場合にひび割れ密度の算出結果の誤差が大きくなるので，留意する必要がある．
   ・格子線に対して傾斜したひび割れが多いとき．
   ・ひび割れが連続せず，こま切れの場合．
   ・格子間隔が粗い場合．
   ・着目全面積が小さい場合．
   ・着目面積内でひび割れが均等に分散していない場合．

松井らは RC 床版の活荷重たわみ，ひび割れ密度の増加傾向が荷重の走行回数に対して指数関数的に増加することを考慮して RC 床版の損傷ランクを 5 段階にランク付けするとともに，時間（竣工後の経年）を考慮に入れた対策区分判定の試案を提案している（**図-解 3.3.2**）．

例えば，**図-解 3.3.2** の損傷ランクと**表-2.2.2** の損傷度の評価区分，ならびに，**図-解 3.3.2** の対策区分と**表-2.2.3** の対策の判定区分との対応関係を**表-解 3.3.2**，**表-解 3.3.3** のように整理することで，輪荷重により疲労損傷を受ける床版について，ひび割れ密度に基づき損傷度評価から対策区分判定までが可能となる．

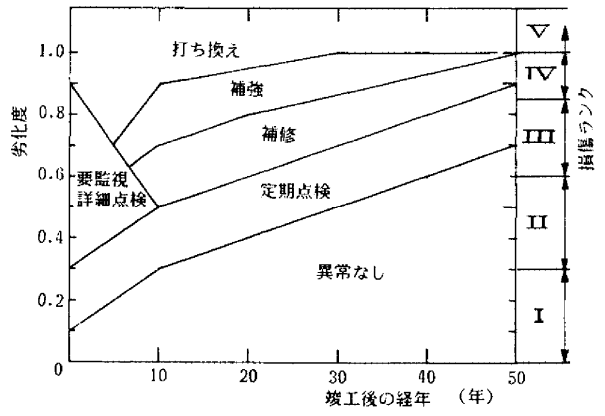


図-解 3.3.2　ひび割れ床版の損傷ランクと対策の区分 [10)]

表-解 3.3.2　損傷度の評価区分

文献 1	本マニュアル
Ⅰ	a
Ⅱ	b
Ⅲ	c
Ⅳ	d
Ⅴ	e

表-解 3.3.3　対策区分

文献 1	本マニュアル
異常なし	A
定期点検	
補修	B, C
補強	E
打ち換え	
要監視・詳細点検	S

なお，維持管理における RC 床版の補修・補強の実施の判断では，ひび割れ密度の調査結果に個人差が生じやすいことや床版の複合劣化を考慮し，ひび割れ以外の損傷状況や過去の点検結果による進行状況を把握し，施工条件および環境条件を踏まえ，点検および調査費用などの維持管理予算を含めた総合的な判定を行う必要がある点に留意しなければならない.

3.3.2 たわみ試験による疲労耐久性評価

たわみ試験による実測たわみを用いて床版の疲労耐久性に関する劣化度を評価する場合，ひび割れ進展に伴う床版の直交２方向の剛性低下度を考慮して評価するのがよい.

【解説】

床版の疲労耐久性を定量評価する方法として，たわみによる劣化度を用いることができる．たわみによる劣化度(D_δ)は式(解 3.3.2)により算出する.

$$D_\delta = \frac{w - w_0}{w_c - w_0} \quad \cdots\cdots\cdots\

また，これまで実橋で実施されたたわみ劣化度の判定から，以下の要因によってたわみ劣化度の誤差が大きくなるので，留意が必要である．

1) 実測時における影響要因

a) たわみ測定法が適正でない

b) 自動車輪荷重に測定誤差を考慮していない

2) 理論値算出における影響要因

a) 測定径間の違いによるたわみ量の差異を考慮せず簡易理論値を使用している

b) 地覆・高欄の影響を考慮していない

c) 舗装の影響を考慮していない

d) コンクリート強度の推定が不正確である

e) 床版断面諸量（床版厚，鉄筋量，かぶり厚）の推定が不正確である

f) 載荷位置の誤差を考慮していない

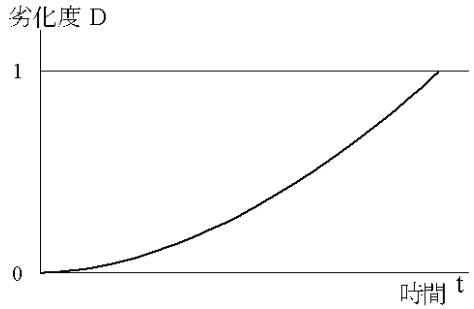


図-解 3.3.3　劣化度のイメージ

鋼板接着工法などで補強した床版の健全性をたわみで判断する場合は，補強によって剛性が改善され結果としてたわみ量は低減する．このような場合は，式(解 3.3.2)における W_0 と W_c を補強後の床版断面に対して算出し直してたわみ劣化度を評価する必要がある．

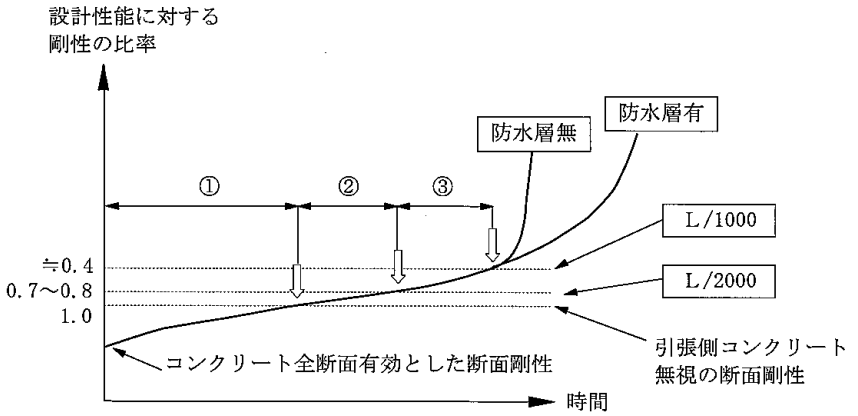
次に，合成床版は，施工性や高耐久性によるライフサイクルコスト低減およびコンクリートはく落防止などの特長から各機関にて広く採用されている．特に合成床版の維持管理では，実橋での供用実績が 20 年程度と比較的浅く，底鋼板により床版下面が覆われており，ひび割れや遊離石灰や漏水などの損傷が直接目視できないため，RC 床版のように直接的に疲労損傷や劣化の進行度を把握できなく，疲労破壊メカニズムが十分解明されている状況ではない．

そうした状況から，(社)日本橋梁建設協会 [12]では，間接的に劣化・損傷の進行度を把握する評価手法として，床版たわみによる評価法（**図-解 3.3.4**）を提案している．これによれば損傷程度の評価として，引張側コンクリートを無視した断面性能（＝設計性能）が確保された状態での活荷重たわみは，床版支間 L に対して $L/2000$ となると考えられ，水平ひび割れが生じて二層化した場合の断面性能による活荷重たわみは，$L/1000$ 程度であると推定している．

一方，数値解析は，技術の向上に伴い既往実験結果の高い再現が可能となりつつある．既往の研究 [13), 14)]では，終局破壊までの疲労過程を実験的にほとんど明らかにされていない合成床版を対象に数値解析による再現シミュレーションした結果，水平ひび割れが発生してもひび割れ面のせん断伝達機能が失われるまでは急激な耐荷力の低下に至らないこと，その後水平ひび割れにより二層化し，上層のコンクリートが輪荷重直下で圧縮疲労破壊により使用限界となるシナリオを示している．したがって，合成床版の維持管理では，数

値解析結果が示す上層コンクリートの圧縮疲労破壊先行となることも考慮して，たわみによる劣化評価も含めて疲労破壊メカニズムを解明できるように点検や補修などの維持管理記録の蓄積を行うことが重要である．

維持管理における RC 床版の補修・補強対策実施の判断では，たわみ値以外の損傷状況や過去の点検結果による進行状況を把握し，施工条件（設計，品質管理，初期欠陥，維持管理履歴など）および環境条件（交通状況，使用環境，立地条件など）を踏まえ，点検および調査費用などの維持管理予算を含めた費用対効果も考慮して総合的な判定を行う必要がある点に留意する．



状態①：設計性能の確保
状態②：供用性の確保（経過観察期間）
状態③：安全性の確保（補修移行期間）

図-解 3.3.4　合成床版のたわみの概念 [12)]

(1) 実橋でのＲＣ床版調査事例

1) 実橋載荷試験でのたわみによる劣化度とひび割れ密度の適用事例

松井ら [10)]は，たわみによる劣化度（D_δ）の検証を 13 橋で行い，**図-解 3.3.5** に示す結果を報告している．縦軸のたわみによる劣化度のたわみの実測値は，現場での載荷試験で測定した実測たわみを基にしている．横軸のひび割れ密度（単位：m/m^2）の測定は，20cm に接近しての裸眼で確認できる総てのひび割れを対象にして格子密度法で求めている．これによれば，たわみによる劣化度（D_δ=0～1）とひび割れ密度（0～10 m/m^2）の間には，正比例の関係が認められる．両者における使用限界も設定されているので，有効な評価方法である．

たわみによる劣化度の実橋への適用では，載荷試験によるたわみの測定が必要である．供用中の橋梁での正確なたわみの測定では，静的載荷試験が不可欠であり，全面的に交通規制を行って一般車両を止め，主桁間に測定用架台と変位計をセットし，計量した荷重車（又は，鋼塊などの重り）を正確に位置決めして測定する必要がある．精度よくたわみを測定するためには，計測器の精度などからμm 単位のたわみ量の測定が望ましく，少なくとも 0.1 mm 単位のたわみ量を発生させる荷重を経験則や事前の解析で推定して用意する必要がある．載荷試験は，準備が大掛かりで経費も多大であることから，十分な経験を持った技術者による綿密な事前検討を必要とする．

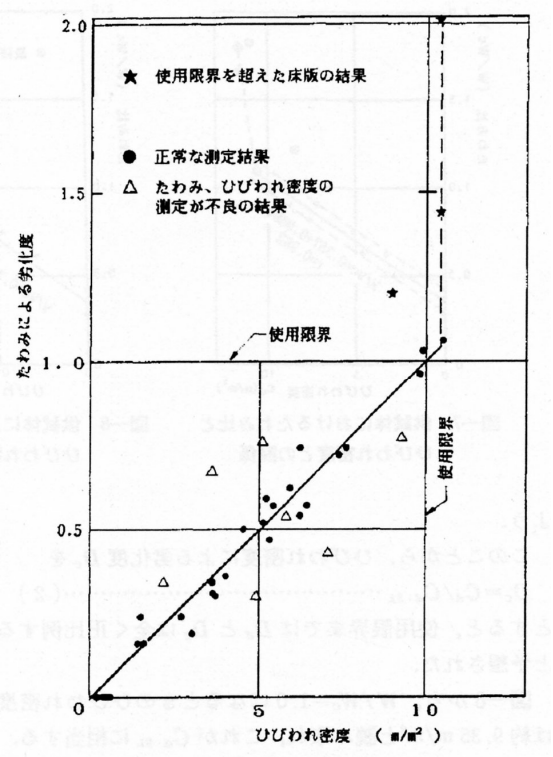


図-解 3.3.5　実橋床版における判定結果 [10)]

2) FWD によるたわみ測定事例

荷重車を用いた実橋での載荷試験によるたわみの測定は，交通規制が必要であり，大掛かりな準備と経費がかかるため，簡単に採用できない欠点がある．この欠点を克服するたわみ測定法として，**図-解 3.3.6(a)**に示す舗装用 FWD（Falling Weight Deflectometer）を活用する方法が開発されている [15), 16), 17)].

FWD は不動点が不要で，舗装路面に衝撃荷重を与えた時に発生するたわみを路面上のセンサーで動的に測定する重錘落下たわみ測定機である．したがって，載荷試験のように床版下面に変位計をセットする必要がない．大型の荷重車も不要である．測定も一箇所当たり数分と短時間で実施できる長所がある．しかしながら，FWD のたわみセンサーは舗装専用であり，桁もたわむ状態で床版のたわみを計測した場合，正しいたわみ量が得られないことに注意する必要がある．

舗装用 FWD を活用する方法では，衝撃荷重を発生させるための装置として FWD を使い，たわみを測定するセンサーは，床版に適用できるセンサーを使用して，主桁のたわみも同時に測定する必要がある．

これら FWD の欠点を改良した**図-解 3.3.6(b)**に示す IIS (Impulse Input System) が開発されている [18), 19)]．IIS は，バウンドしない重錘が特徴である．また，支持桁の変位を補正するシステムとして，**図-解 3.3.7** に示す波形合成法 [16)]が採用されている．測定には，専用の測定システムが必要であり，床版パネルの中心と左右の支持桁上に 3 個のセンサーを配置して測定する．

図-解 3.3.8 では，下面に変位計をセットして FWD でのたわみを補正した値を用いて，**式(3.3.2)**によるたわみによる劣化度とひび割れ密度，角欠け密度およびひび割れ＋角欠け密度による劣化度との関係を実橋で調査した事例である [17)]．FWD を活用したたわみ量の測定結果でも**式(3.3.2)**の妥当性が検証されている．一方，**図-解 3.3.9 は**，各種補強床版の補強効果の評価予測であり，補修前後でのたわみを測定して，各種の補強効果をたわみ低減率で相対的に評価している [15)]．また，FWD と IIS のセンサーを組合せて鋼コンクリート合成床版に適用した事例では，たわみの測定が可能であるとされている [20)]．

(a)舗装用FWD（車載式）　　(b)床版専用の重錘落下たわみ測定機（IIS）

図-解 3.3.6　ＦＷＤとＩＩＳ測定機

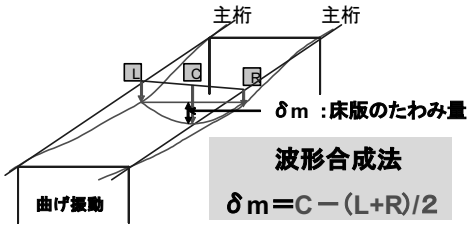


図-解 3.3.7　主桁の揺れの補正法[16)]

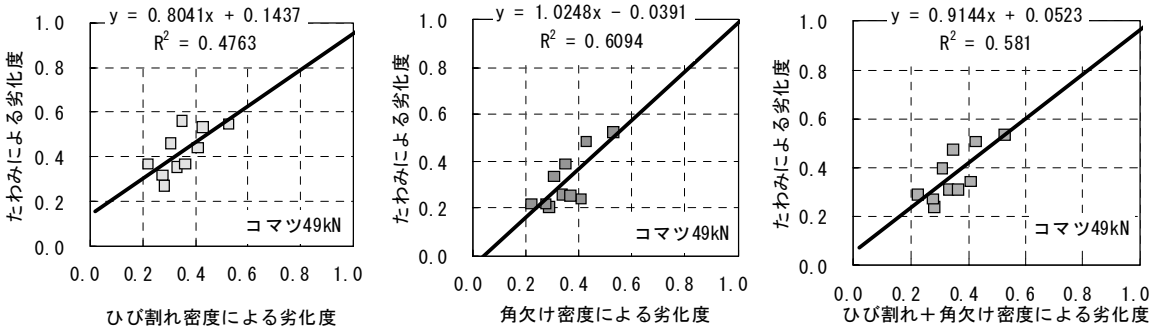


図-解 3.3.8　たわみによる補強効果の評価事例[17)]

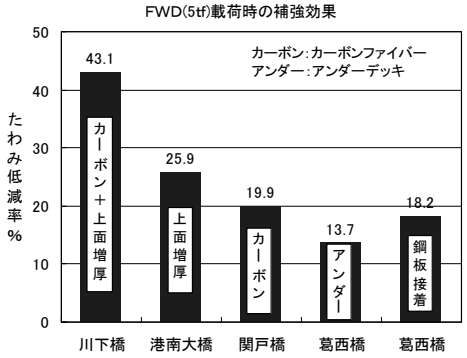


図-解 3.3.9　実橋床版における判定結果の事例[15)]

3.3.3 輪荷重走行試験による疲労耐久性評価

点検，調査結果に基づく劣化進行過程の評価に加えて，より詳細な疲労耐久性の評価が必要な場合には，輪荷重走行試験により疲労耐久性を評価することができる．

【解説】

道路橋床版の補修，補強効果の評価や新しい形式の床版の疲労耐久性を評価する方法として輪荷重走行試験が行われている．

実橋の床版の疲労耐久性を実験により直接に確認するためには，実橋から試験体となる床版を切出し，国内数箇所の試験機保有機関まで試験体を持ち込み，輪荷重走行試験を実施する必要がある．

以下に，国内で稼動中の輪荷重走行試験機の概要を述べる．

道路橋 RC 床版のひび割れ損傷は，すでに昭和 40 年代初期に発生が認められ，大学・公的研究機関等での室内実験および実橋調査等により損傷メカニズムの研究が行なわれてきた．特に，これらの損傷メカニズムの解明には，輪荷重走行試験機の活用による研究が大きく寄与してきた．この輪荷重走行試験機は，任意の荷重を作用させながら往復運動するもので国内に十数機が設置され，精力的な研究が行なわれてきた．輪荷重走行試験機はその構造から，フライホイール等の回転力を往復運動に変換し鉄輪を介して載荷を行うクランク式試験機と移動台車に駆動装置を搭載しゴムタイヤを介して載荷を行う自走式試験機に大別される．ゴムタイヤを利用したクランク式が採用されるケースもある．

現在，クランク式の輪荷重走行試験機に分類される試験機は**表-解 3.3.4** に示す 7 機である．これらのうち，基本的な試験を実施し，RC 床版の *S-N* 曲線が示されているものは大阪大学，日本大学および独立行政法人土木研究所の試験機である．また，ＩＨＩの試験機に関しては *S–N* 曲線に関係する参考となるデータを公開している．

クランク式試験機の外観は**図-解 3.3.10** および**図-解 3.3.12～図-解 3.3.15** に示すとおりである．この形式の試験機の駆動機構はモーター等で構成される動力システムからの力をフライホイールの軸に伝達することによってフライホイールを回転させ，フライホイールに生じた回転運動を台車とフライホイールの間を連結するロッドを介して台車の往復運動に変換させるというものである（**図-解 3.3.11** 参照）．この機構を有する試験機では動力システムが台車とは別に存在するため，載荷に必要な周辺設備の条件が許す限り，高速での荷重移動が可能なシステムとなっている．また，車輪に鉄輪を用いていることが多く，ゴムタイヤでは載荷できないレベルの荷重での試験が可能であり，床版の破壊寿命を調べるための促進試験を行うのに向いている．

クランク式の走行試験機で車輪に鉄輪を用いた場合，車輪を直接床版に接触させると載荷荷重は線荷重として床版に作用するため，適切な試験を実施できない．そこで，クランク式の走行試験機を有する各機関においては荷重載荷面積を確保するために様々な形式の軌道を車輪と床版の間に設置し，より実交通に近い荷重条件を再現しようとしている．軌道の中でも各保有機関の特徴が出ているのが載荷面積を確保するために設置されるブロック類である．

表-解 3.3.4　クランク式輪荷重走行試験機

項目		大阪大学 (大阪府吹田市)	日本大学 (千葉県習志野市)	(独)土木研究所 つくば中央研究所 (茨城県つくば市)	(独)土木研究所 寒地土木研究所 (北海道札幌市)	(株)高速道路 総合技術研究所 (静岡県富士市)	(株)横河ブリッジ (千葉県千葉市)	(株)ＩＨＩ (神奈川県綾瀬市)
性能	一輪最大荷重 (kN)	294	500	490	300	490	196	490
	載荷時 走行速度	1680 往復/時	1800 往復/時	2000 往復/時	1440 往復/時	1800 往復/時	1020 往復/時	1800 往復/時
	走行範囲(m)	2.0	2.0	3.0～1.0	2.0	3.0	2.0	3.0～1.0
試験体最大寸法 (m, 幅×長さ)		2.0×3.0	1.6×2.4	3.3×4.5		7.0×15.0	4.8×12.0	5.3×4.5

図-解 3.3.10　クランク式試験機（大阪大学）

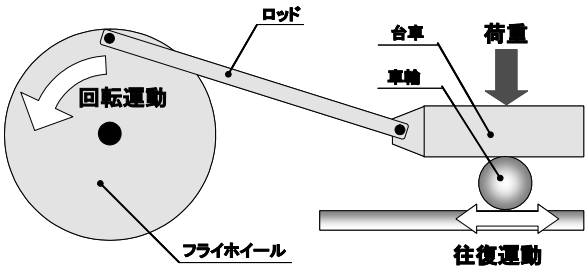


図-解 3.3.11　クランク式試験機の駆動機構概念図

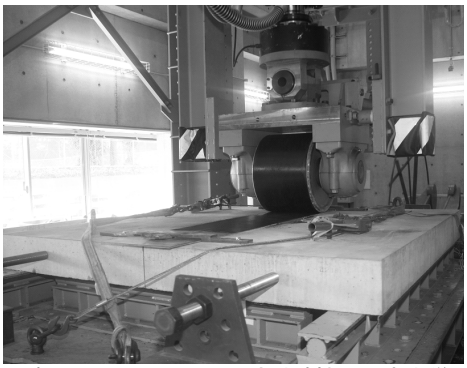


図-解 3.3.12　クランク式試験機（日本大学）

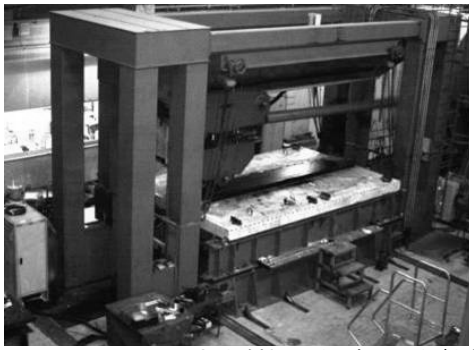


図-解 3.3.13　クランク式試験機（土木研究所 つくば中央研究所）

図-解 3.3.14　クランク式試験機(土木研究所 寒地土木研究所)

図-解 3.3.15　クランク式試験機(高速道路総合技術研究所)

自走式試験機は，台車本体に積載した油圧モーターを動力源として，台車が路面上をころがり駆動することにより往復運動し，ゴムタイヤを装着することで実橋に近い載荷状況が再現できる利点がある（**図-解 3.3.16**）．また，走行区間を大きく設定できるので，種類が異なる複数の試験体を同じ条件下で同時に試験することが可能である．**表-解 3.3.5** にこれらの自走式試験機の性能を示す．

自走式輪荷重走行試験機では，車輪に大型航空機用シングルタイヤ（東京都：**図-解 3.3.16**）やソリッドゴムタイプのダブルタイヤ（山口大学：**図-解 3.3.17**）が用いられている．空気入りゴムタイヤ式の場合，接地面積は荷重の増加とともに変化する．東京都のゴムタイヤ接地面積は，**図-解 3.3.18** に示すように，輪荷重 157kN のときに幅 230mm×長さ 390mm の走行方向に細長い楕円形となる．山口大学のゴムタイヤ接地面積は道路橋示方書の T 荷重接地面積である幅 500mm×長さ 200mm よりもやや大きな幅 550mm×長さ 240mm である．

表-解 3.3.5　自走式輪荷重走行試験機

項目		山口大学	大阪工業大学	東京都	ショーボンド建設
試験装置形状寸法	寸法	3.0×4.0m（試験体寸法）	フレーム幅 3.6×長さ 17.5m	フレーム幅 3.9×長さ 12.1m	幅 3.0×長さ 15m
	ピット	なし	なし	なし	幅 3.7，深さ 1.0m
車輪	種類	産業車両用ゴムタイヤ（ソリッドタイヤ）	航空機用ゴムタイヤ 産業車両用ゴムタイヤ（空気入りタイヤ）	航空機用ゴムタイヤ 産業車両用ゴムタイヤ（空気入りタイヤ）	航空機用ゴムタイヤ 産業車両用ゴムタイヤ（空気入りタイヤ）
性能	負荷荷重	147kN（最大）	～250kN	60～280kN	60～280kN
	定速走行速度		2～5km/hr	0.4～5.5km/hr	0.4～5.5km/hr
	走行区間	3.6m	最大 14.5m	最大 6.5m	最大 12.5m

図-解 3.3.16　自走式輪荷重走行試験機（東京都）

図-解 3.3.17　ゴムタイヤ式輪荷重走行試験機（山口大学）

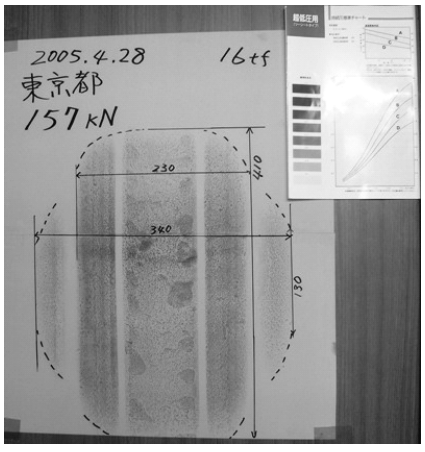


図-解 3.3.18　タイヤ接地圧測定結果（東京都）

さらに，クランク式や自走式とは異なる新しい試験機として，実際の大型トラックの走行を模擬したウインチ式の輪荷重走行試験機が開発され稼働している．この方式は，総重量 274kN（または 137kN）の載荷台車を電動ウインチで駆動するもので，ゴムタイヤ 2 軸 4 輪（または 2 軸 2 輪）を装着しており，大型トラックの後軸の走行を再現するものである．ウインチ式試験機の概要を**図-解 3.3.19** に示す．

項目	仕様
形式	電動ウインチ駆動方式
載荷台車重量	28トン（軸重14トン×2軸）
移動距離	無段階可変式（最大20m）
移動速度	毎分5往復（移動距離3m時）
タイヤサイズ	295/80R22.5
試験体の最大寸法	幅10m×長さ20m

項目	仕様
形式	電動ウインチ駆動方式
載荷台車重量	最大14トン（輪重7トン×2輪）
移動距離	無段階可変式（最大10m）
移動速度	毎分7往復（移動距離3m時）
タイヤサイズ	11R22.5 16PR
試験体の最大寸法	幅8m×長さ15m

図-解 3.3.19　ウインチ式輪荷重試験機

輪荷重走行試験は，実橋で観察される RC 床版のひび割れ進展の過程やコンクリートの押抜きせん断による陥没破壊モードを再現できる試験方法であり，道路橋 RC 床版の疲労損傷機構の解明に大きく貢献した試験方法である．加えて，損傷床版の補修工法の有効性や補強効果の検証にも用いられ，各種の補修・補強工法の開発にも活用されている．さらに，新形式床版の開発，床版の防水工や舗装の耐久性評価，鋼床版の疲労き裂に対する補修・補強工法の開発などにも有効と認められている [21)]．

輪荷重走行試験では，繰返し作用する輪荷重による床版の劣化・損傷過程の再現や破壊モードの確認ができる．また，試験体にひずみゲージと変位計を取り付けておくことで，床版内部の応力状態と走行回数の関係やたわみと走行回数との関係など，床版の劣化・損傷過程を把握するための基本的なデータを得ることができる．コンクリートのひび割れについては，実験中の目視観察によるひび割れ網の形成過程の追跡に加えて，3 方向変位計やパイゲージを用いてひび割れの開閉，段差，ずれなどのひび割れの詳細な動きに関するデータを得ることができる．

複数の試験体を用いて，荷重レベルを変えて破壊までの走行試験を実施することにより，対象となる床版の疲労強度曲線（*S*–*N* 曲線）を得ることができる．

3.3.4 数値解析による疲労耐久性評価

(1) 疲労によるコンクリートの力学的特性変化を予測する場合，得られたデータの種類・精度に応じて，適切なモデルを用いるのがよい.

(2) 想定される疲労外力が複雑な状態（振幅や周期が不確定，外力により床版内部に生じる主応力の方向が一定でない等）で床版の疲労寿命を予測する場合，床版全体を対象とした非線形有限要素解析等の数値解析によって，詳細な予測を行うことも可能である.

(3) 数値解析によって得られる版のたわみを用いてたわみ劣化度の評価を行う場合，解析での境界条件や版の異方性等の条件を考慮して適用するのがよい.

【解説】

(1) 床版の疲労損傷とは，床版内鉄筋の疲労と，コンクリートの力学的特性の変化（剛性および強度の低下，塑性化の進行）が複合的に生じた状態である．鉄筋の疲労については，鉄筋が負担する応力の振幅と載荷回数を用いて，鋼材の疲労解析の知見に基づいて，疲労寿命や疲労強度の算出が可能である．一方，コンクリートの力学特性の変化は，引張あるいは圧縮の繰返し荷重によってコンクリート内部に微細なひび割れが発生・進展することに起因しており，鉄筋コンクリートにおける付着疲労も，微細なクラックの進行によって鉄筋とコンクリートの境界面とがはく離することによって生じる[22]．また，部材や構造物レベルにおいて，構造物に生じたひび割れ面の凹凸が，繰返し荷重によって擦り磨かれ，平滑化することで部材のせん断剛性が低下する現象も，広義にはコンクリートの疲労として認識されている．応力状態が明快な場合は，コンクリート材料の疲労損傷に関する既往の知見に基づき，疲労寿命や疲労強度を予測することが可能である.

①コンクリートの圧縮疲労

疲労寿命（破壊までの載荷回数）と応力振幅の関係は，最大応力に対する最小応力の割合を表す係数 R を用いて f-N 曲線（f: 応力振幅，N: 繰返し回数）の上に示すことができる[23),24),25)]．f-N 曲線に，前述の係数 R のほか，時間依存性を取り込むため周期 T を導入した f-N-R-T 曲線も定義されている[26)]．コンクリートが高サイクル圧縮応力にさらされる場合，最大応力レベルあるいは応力振幅のどちらかを減少させれば，破壊までの回数は増加する[23)]．たとえば，最大応力を圧縮強度の 60%とし，最小応力レベルをゼロから圧縮強度の 40%まで変化させた場合，最小荷重の小さい（すなわち応力振幅の小さい）ケースでは，疲労寿命は 100 倍から 1000 倍長くなったと報告されている[24)]．

②コンクリートの引張疲労

引張疲労でも，応力レベルと振幅が損傷進行に大きな影響をもつ．一軸引張，あるいは一軸引張－圧縮の疲労実験では，最小応力をゼロから引張強度の 40%まで変化させた引張疲労実験で，最大応力レベルが一定である場合，最小応力が引張強度の 40%の場合は（すなわち振幅が小さい場合），疲労寿命はほぼ 1 オーダー増加することが報告されている[27)]．また，正負交番応力が疲労寿命を著しく低下させることも指摘されており，最大応力レベルを引張強度の 60%と一定とし，かつ最小応力をゼロから圧縮強度の 20%まで変化させた場合，疲労寿命は 2 オーダー低下したと報告されている[27)]．

③ひび割れ面を含む部材のせん断疲労

ひび割れ面をまたぐせん断応力の伝達機能は，ひび割れ面凹凸かみ合わせによって生じており，繰返し荷重による凹凸面の擦り磨き（破壊）によって，この機能は失われていく[28)]．ひび割れ面せん断伝達機能の喪失までの回数（疲労寿命）は，応力振幅によって影響を受けること，正負交番せん断力はひび割れ面損傷を促進して疲労寿命を低下させること，ひび割れ面に水を供給した場合もまた損傷の促進に繋がることが指摘されている[29)]．

④応力振幅が変動する場合の解析手法

各応力状態において，その応力振幅が変動する場合は，累積損傷被害則（マイナー則）を適用する考え方が一般的である．累積損傷度の考えを応用してコンクリートの引張疲労強度低下を算出する手法[30]や，累積損傷ひずみの進展と残存圧縮強度の算定に信頼性理論を取り入れた事例も報告されている[31]．

⑤数値解析モデル

数値解析によって，コンクリートの疲労損傷を再現する試みも報告されている．剛体―バネモデル（RBSM）を用いたモルタルの低サイクル疲労解析[32]や，コンクリート中のマイクロクラックの発生と進展に必要な破壊エネルギーを引張ひずみに関連付ける疲労モデル[33]，損傷変数と体積ひずみからクラック発生による引張剛性低下とクラック面再接触による圧縮剛性回復を考慮した疲労モデル[34]などがあり，いずれも要素レベルではコンクリートの疲労を概ねよく再現している．

このように，コンクリートの疲労損傷は主として繰返し荷重の載荷速度（周期），最大応力および応力振幅に依存するが，コンクリートの配合（単位セメント量，水セメント比，空気量）や骨材品質，環境条件（特に水分供給の有無[35]）にも大きく影響を受けることが知られている．コンクリートの疲労による力学的特性の変化を予測するにあたっては，荷重条件，コンクリートの品質と環境条件について，信頼性の高いデータを得ることが重要である．調査すべき主たる項目と得られる情報を**表-解 3.3.6** に示す．

表-解 3.3.6　コンクリートの疲労損傷評価・予測のための調査の項目と得られる情報の例

調査項目	調査によって得られる情報
設計図書，工事記録	配合，使用材料，設計基準強度，施工条件，想定外力
補修記録	補修履歴，補修区間，補修工法
気温，湿度，降雨のかかり方，日射	温度，湿度，含水状態，凍害の有無
ひび割れの発生状況	ひび割れ幅，ひび割れ深さ，ひび割れ密度など
コンクリートの配（調）合	水セメント比，使用セメント種類
含水率	含水量，水分分布

(2) 近年，計算機の発達によって，3 次元非線形有限要素解析による道路橋床板の疲労解析事例[36]が報告されている．床板全体をモデル化した解析の場合，(1)で示した鉄筋やコンクリートの材料としての疲労寿命調べる手法とは異なり，載荷回数に応じたたわみの増加や，ひび割れあるいはひずみの増加と分布など，輪荷重走行試験データや実橋の測定等で得られるデータと比較可能なアウトプットを得ることができる．対象とする路線の重要度，インプットとなる材料構造諸元のデータの信頼性，比較可能な実験あるいは実橋計測データの有無等を勘案し，適宜実施するのがよい．

(3) 松井ら[10]の提案した「たわみ劣化度」は輪荷重走行試験に関する研究成果の蓄積から提案された理論値であるため，数値解析で得られたたわみに適用する場合には，境界条件や版の異方性等の条件を精査して慎重に取り扱わなければならない．文献では，理論値算出における誤差として，載荷位置や計測位置の誤差，主桁や横桁，壁高欄，舗装等の剛性にも注意を払うよう述べられている．

なお，巻末の付録３に，上面増厚補強床版および鋼板接着補強床版における補強後の疲労劣化進展を解析的に追跡した事例を示し，対策工法の実施時期と補強効果についても検討を加えているので参考にされたい．

【参考文献】

1) 土木学会関西支部, 鉄筋コンクリート床版疲労設計委員会 : 鉄筋コンクリート床版の損傷と疲労設計へのアプローチ, 1997.1.
2) 岡田清，岡村宏一，園田恵一郎，島田功 : 道路橋鉄筋コンクリート床版のひび割れ損傷と疲労性状，土木学会論文報告集，第 321 号, pp.49-60, 1982.5.
3) 前田幸雄，松井繁之 : 輪荷重動移動装置による道路橋床版の疲労に関する研究，コンクリート工学協会第 6 回コンクリート工学年次講演会論文集，pp.221-224, 1984.5.
4) 阪神高速道路公団，阪神高速道路管理技術センター : 道路橋ＲＣ床版のひび割れ損傷と耐久性，1991.12.
5) 土木学会 : 2007 年制定コンクリート標準示方書【維持管理編】，2007
6) 「中央道諏訪南～諏訪間におけるコンクリート床版の補修」NEXCO 中日本八王子支社松本保全・サービスセンター, EXTEC No. 81，pp39-41
7) 新都市社会技術融合創造研究会 既設構造物の延命化技術に関する研究プロジェクトチーム : 平成 17 年度 既設構造物の延命化技術に関する研究　報告書，平成 18 年 2 月　（第 1 編 橋梁の現状と劣化の推定）
8) （社）日本道路協会 : 道路橋防水便覧，2007.3.　（8.3 損傷原因の推定）
9) 東・中・西日本高速道路 : 設計要領第二集　橋梁保全編，平成 23 年 7 月
10) 松井繁之, 前田幸雄: 道路橋 RC 床版の劣化度判定法の一提案, 土木学会論文集, 第 374 号/I-6, pp.419-426, 1986.
11) 玉越隆史, 大久保雅憲, 渡辺陽太: 道路橋の計画的管理に関する調査研究－橋梁マネジメントシステム（BMS）－, 国土技術政策総合研究所資料, No. 523, 2009.3.
12) 社団法人日本橋梁建設協会 : :鋼・コンクリート合成床版　維持管理の計画資料，平成 19 年 3 月.
13) 藤山知加子，商峰，櫻井信彰，前川宏一 : 直接経路積分法に基づく鋼コンクリート合成床版の疲労寿命推定と損傷モード，土木学会論文集 A, Vol.66 No.1,106-116,2010.3
14) 藤山知加子，櫻井信彰，前川宏一 : 鋼コンクリート境界面特性とリブ諸元が合成床版疲労損傷機構に及ぼす影響，土木学会論文集 A1, Vol.67 No.1,193-206,2011.
15) 関口幹夫 : RC 床版の補強工法の評価について，第 22 回日本道路会議論文集，pp.1034-1035,1997
16) 関口幹夫 : FWD による床版たわみ測定手法の検討，土木学会第 58 回年次学術講演論文集，CS6-051,pp.253-254,20
17) 関口幹夫，國府勝郎 : FWD による床版緒健全度評価手法の検討，土木学会構造工学論文集，Vol.50A,pp.697-706,2004.3
18) 関口幹夫 : 重錘落下たわみによる RC 床版の健全度評価要領(案)，平成 17 年東京都土木技術年報,2005
19) 関口幹夫，横山広，堀川都志雄 : リブ付き多層版解析による各種補強床版の実測たわみの評価，土木学会構造工学論文集，Vol.54A,pp.442-451,2008
20) 関口幹夫，橋原正周，橘吉宏 : 24 年供用した鋼コンクリート合成床版の重錘落下たわみ法による評価，平成 22 年東京都土木技術支援・人材育成センター年報，pp.111-122,2010
21) 松井繁之 編著 :　道路橋床版，森北出版, 2007.
22) Goto, Y. : Cracks formed in concrete around deformed tension bars, ACI Journal, Vol.68, No.26, 244-251, 1971.
23) Tepfers, R. and Kutti, T.: Fatigue strength of plain, ordinary, and lightweight concrete, ACI Journal, Vol.76, No.5, 635-652, 1979.
24) Tepfers, R.: Fatigue of plain concrete subjected to stress reversals, Fatigue of Concrete Structures Detroit, American Concrete Institute, publication SP-75, 343-372, 1982.
25) Awad, M., E. and Hilsdorf, H., K.: Strength and deformation characteristics of plain concrete subjected to high repeated and sustained loads, Civil Engineering Studies, Structural Research Series No.372, university of Illinois, Urbana, Feb. 1971, 266, 1974.
26) Hsu, T., T., C.: Fatigue of plain concrete, ACI Journal, Vol.88, No.4, 292-304, 1981.

27) Reinhardt, H., W., Cornelissen, H., A., W. and Hordijk, D., A.: Tensile tests and failure analysis of concrete, Journal of Structural Engineering, Vol.112, No.11, 2462-2477, 1986.

28) Li, B. and Maekawa, K.: Contact density model for cracks in concrete, IABSE colloquium, Delft, 51-62, 1987.

29) Gebreyouhannes, E.: Local-contact damage based modeling of shear transfer fatigue in cracks and its application to fatigue life assessment of reinforced concrete structure, Ph.D thesis, the university of Tokyo, 2007.

30) Oh, B., H.: Cumulative damage theory of concrete under variable-amplitude fatigue loadings, ACI material journal, Vol.88, No.1, 41-48, 1991.

31) 吉川弘道，大井祥之，丸本智：繰返し圧縮荷重を受けるコンクリートの強度劣化と鉄筋コンクリート部材の信頼性解析，土木学会論文集 No.520/V-28, 55-65, 1995.

32) Matsumoto, K., Sato, Y., Ueda, T. and Wang, L., 2008. Mesoscopic analysis of mortar under high-stress creep and low-cycle fatigue loading, Journal of Advanced Concrete Technology, 6(2): 337-352.

33）Alliche, A.: Damage model for fatigue loading of concrete, International Journal of Fatigue, 26, 915-921, 2004.

34) Papa, E. and Taliercio, A.: Anisotropic damage model for the multiaxial static and fatigue behaviour of plain concrete, Engineering fracture mechanics, Vol.55, No.2, 163-179, 1996.

35) 尾上幸造，松下博通：液体浸漬によるコンクリートの圧縮疲労強度低下に関するエネルギー的考察，土木学会論文集 E, Vol. 66, No. 2, 166-178, 2010.

36) Maekawa, K., Ishida, T. and Kishi, T.: Multi-scale modeling of structural concrete, Taylor & Francis, London, 2008.

第 4 章　対策工法の選定

4.1　対策工法選定上の着目点

道路橋床版において何らかの補修・補強が必要と評価，判定された場合には，損傷原因や周辺環境などを十分に考慮し，残存供用期間や残存耐荷期間，維持管理の容易さ，ライフサイクルコストなど補修・補強の効果，施工性，経済性を検討し，要求性能を満足するよう的確な対策工法を選定する．

【解説】

道路橋床版の補修・補強においては，同じ損傷であっても損傷の原因によって的確な対策工法を選定することが重要である．また，架橋位置の周辺環境などで補修工法によっては適用性，施工性の可否がある．特に架橋条件として交通量などの状況や災害時の緊急道路であるか，施工時の代替経路があるかなどは工法選定上留意すべき点である．誤った対策工法を選定すると，補修後の再劣化，床版の健全性の低下，維持管理費の増大といった問題を引き起こすので注意しなければならない．

一方，本マニュアルの付録 1 に示したように，我が国における各種道路機関では道路橋資産の計画的な管理と効率的な運用を目指してアッセットマネジメントの手法に則ったブリッジマネジメントシステム（以下 BMS という）を構築し，それを個々の橋梁の対策工法選定に活用し LCC の最小化を図るための研究が進められている．しかし，本手法は現時点ではマクロな推計，予測には活用できるものの，ミクロ管理に必要な精度が得られていない等の問題点を残している．したがって今後は，維持管理データのさらなる収集と蓄積，および点検データの精度向上が課題といえる．このため，現時点では，BMS のデータに基づく定量的，客観的な評価に加えて専門家の知見等による定性的，総合的評価に基づいて対策工法の選定を行うとともにその実施時期の決定を行うことが必要とされている．

このような状況の下，上記の定量的，客観的評価，および専門家等の知見による定性的，総合的評価を得ることを目的として，本マニュアルでは道路橋床版に発現する劣化・損傷要因として，輪荷重，塩害，凍害，中性化，アルカリ骨材反応，初期欠陥および複数の要因による複合劣化の 7 項目を対象とし，劣化進行過程を潜伏期，加速期，進展期，劣化期の 4 段階に区分し，それぞれについて補強の必要性と適用可能な工法を示した．

道路橋床版は，供用されている環境や施工された年代などの様々な条件によって，床版ごとに劣化・損傷の程度に違いが生じる．一般的に床版は，定期点検などにより床版下面のひび割れや遊離石灰の有無，橋面舗装の損傷などで概ねの損傷段階を確認できるが，これらが生じた要因は輪荷重だけでなく，塩害，凍害，中性化，アルカリ骨材反応，初期欠陥および複合劣化が考えられることから，劣化・損傷の要因と損傷段階を特定するための調査が必要となる．劣化・損傷の要因を誤って判断すると適切な対策工法を選定することができず，床版が再劣化する可能性があることから，劣化・損傷の要因を特定するための調査は必ず実施する必要がある．なお調査項目については，対象橋梁の供用環境などを考慮して必要な項目と方法を選定する必要がある．

また，本マニュアルでは一般的な床版の補修・補強工法として，防水工，ひび割れ注入工法，表面保護工法，電気化学的防食工法，縦桁増設工法，炭素繊維接着工法，下面増厚工法，鋼板接着工法，上面増厚工法，水平ひび割れ注入工法，部分打換工法，床版取替工法を対象とした．これらの対策工法の選定にあたっては，それぞれの工法の特徴を把握するとともに橋梁の供用環境を考慮し，対策効果，施工上の制約，既設橋梁への影響，耐久性，経済性，維持管理などを考慮して決定する必要がある．

特に，現在道路橋の維持管理に関しては，本マニュアル 1.1 の解説に概要を紹介した「長寿命化修繕計画」を策定している地方自治体も多い．また，旧設計基準で設計された床版厚の薄い橋梁や TL-14 で設計された橋梁に大型車が通行している実態もあるため，床版の補修・補強を行う際には，損傷箇所の補修だけでなく損傷の原因も取り除く予防保全的な対策を実施することも重要である．

また，劣化・損傷過程にある床版に対する対策工法の中でも，特に予防保全的な対策工法の場合は，対策工法の実施時期が LCC の最小化に大きく影響を及ぼすことが考えられる．このため，対策工法の選定にあたってはこれらのことにも十分留意して LCC の最小化をめざし予防保全的対策工法と事後保全的な補修・補強工法を適切に組み合わせて検討することが重要である．

以上のように工法選定を行う際には，橋梁の利用状況や損傷原因，環境，維持管理水準など種々の要因を考慮する必要があり，一般的な工法選定フローを示すことは困難であるが，これらの着目点を考慮して対策工法を選定する手順を「4.2 工法選定の手順」に示した．

4.2　対策工法の選定手順

対策工法は劣化・損傷要因と劣化過程，現場条件，経済性などを考慮し，以下に示す手順により選定するのがよい．

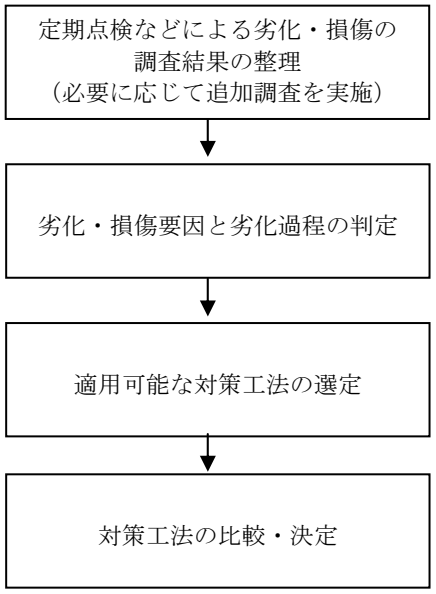
①定期点検などによる劣化・損傷の調査結果の整理（必要に応じて追加調査を実施）
②劣化・損傷要因と劣化過程の判定
③適用可能な対策工法の選定
④対策工法の比較・決定

【解説】

劣化・損傷を受けた床版の対策工法の選定にあたっては，劣化・損傷原因と劣化過程を正しく判定する必要がある．そのためには，定期点検などによる劣化・損傷の調査結果の整理を行い，必要に応じて対策工法を選定するための追加調査を実施する．また，適用設計基準から床版の諸元，材料を推定し床版の置かれた環境から損傷原因を推定することも重要である．定期点検などによる劣化・損傷の調査結果の整理から対策工法の決定までのフローを**図-4.2.1** に示す．また対策工法を選定するために必要な調査項目を**表-4.2.1** に示す．

劣化過程の判定基準と対策工法の適用性を**表-4.2.2** に示す．劣化・損傷要因ごとに，劣化過程の判定を行い，適用可能な対策工法を選定する必要がある．また，劣化・損傷は一つの要因だけでなく，複合的な要因で生じている場合も多く判定や対策工法の選定においては留意する必要がある．

複数の適用可能な対策工法について，補強効果，対応可能な交通規制，桁下足場の必要性，既設橋梁への影響，工法適用にあたっての課題や条件，耐久性，施工性，維持管理，経済性などの項目を比較し，最適な対策工法を総合的に決定する必要がある（**表-4.2.3** 参照）．なお，経済性については，対策工法の工事費だけでなく維持管理費や次回の対策費を考慮したライフサイクルコストを用いることが望ましい．また，道路橋床版への水の流入あるいは塩化物イオンなどの有害な物質の浸透を防止するために，アスファルト舗装を用いる場合には，選定した対策工法と床版防水工法を併用することを標準とする．なお，このフローに沿った対策工法の選定事例を 4.3 工法選定の事例，および付録 2 道路橋床版の維持管理マニュアル適用事例に示した．



＜調査項目＞　**（表-4.2.1 参照）**
・資料調査等
・ひびわれ調査
・劣化・損傷状況の検査
・コンクリートの物性調査
・載荷試験

＜劣化・損傷要因と劣化過程の種類＞　**（表-4.2.2 参照）**
・劣化・損傷要因：輪荷重による疲労，塩害，凍害，中性化，アルカリシリカ反応，複合劣化
・劣化過程：潜伏期，進展期，加速期前期，加速期後期，劣化期

＜対策工法の種類＞　**（表-4.2.2 参照）**
床版防水工法，ひび割れ注入工法，表面保護工法，
電気化学的防食工法，縦桁増設工法，炭素繊維シ接着工法，
下面増厚工法，鋼板接着工法，上面増厚工法，
水平ひび割れ注入工法，部分打換工法，床版取替工法，

＜比較内容＞　**（表-4.2.3 参照）**
補強効果，対応可能な交通規制，桁下足場の必要性，既設橋梁への影響，工法適応にあたっての課題や条件，耐久性，施工性，維持管理，経済性

図-4.2.1　対策工法の決定フロー

表-4.2.1　対策工法を選定するための調査項目

	番号	調査項目			名　称	備　考
資料調査	1	供用年数，適用示方書			年，　道示	損傷原因の判断（活荷重，塩害，凍害，中性化，アルカリシリカ反応）
	2	路線の重要度				
	3	一方向あたりの大型車の交通量（台／日）				損傷原因の判断（活荷重）
	4	床版厚	設計厚		mm	損傷原因の判断（活荷重）
			現行道示での床版厚		mm	現行道路橋示方書の配力筋量との比較
	5	鉄筋	鉄筋の種類			劣化過程の判定（活荷重）
			かぶり	上面	mm（設計値）	鉄筋位置の塩化物イオン濃度の推定に使用
				下面	mm（非破壊検査）	
			配力筋量			現行道路橋示方書の配力筋量との比較
	6	飛来塩分の影響	地域，海岸線からの距離による判断			損傷原因の判断（塩害）
	7	凍結防止剤の散布の有無				損傷原因の判断（塩害）
	8	寒冷地域				損傷原因の判断（凍害）
	9	防水層の施工時期				
ひび割れ調査（目視調査）	10	ひび割れ形状（一方向，格子状，網細化など）				劣化過程の判定（活荷重，塩害，中性化，アルカリシリカ反応）
	11	主なひび割れの位置（床版中央，ハンチ，張出部など）				
	12	ひび割れ幅，間隔			mm，　cm	劣化過程の判定（活荷重，塩害，中性化，アルカリシリカ反応）
	13	ひび割れ密度（m/m^2）				劣化過程の判定
	14	はく離，はく落の面積率				劣化過程の判定（活荷重，塩害，凍害，中性化，アルカリシリカ反応）
	15	ひび割れの角落ちの有無				劣化過程の判定（活荷重）
	16	遊離石灰の有無				貫通ひび割れの判断（活荷重）
	17	錆汁の有無				鉄筋腐食の判断（活荷重，塩害，凍害，中性化，アルカリシリカ反応）
	18	鉄筋腐食ひび割れ				劣化過程の判定（塩害，中性化，アルカリシリカ反応）
	19	漏水				貫通ひび割れの判断（活荷重，アルカリシリカ反応）
	20	アルカリシリカゲル滲出				損傷・劣化要因の判断（アルカリシリカ反応）
	21	コンクリートの変色				損傷・劣化要因の判断（アルカリシリカ反応）
ひび割れ調査（パイゲージ，コンタクトゲージ等）	22	すり磨きの有無				劣化過程の判定（活荷重）
	23	ひび割れの開閉の有無				劣化過程の判定（活荷重）
劣化・損傷状況の調査（非破壊検査・コア採取による）	24	水平ひび割れ調査	打音検査		上面：(※1)，下面：	水平ひび割れの判断 ※1：舗装を部分的に開削して調査
			衝撃弾性波法調査		上面：(※1)，下面：	
			コア採取		上面：　，下面：	
	25	凍害深さ	目視によるスケーリングの調査		上面：(※1)，下面：	劣化過程の判断（凍害）
			コア採取，ドリル削孔		上面：　，下面：	
	26	塩化物イオン	コア採取による浸透深さ調査			劣化過程の判定（塩害）
			鉄筋位置の濃度			腐食限界濃度1.2kg/cm^3を基準
	27	鉄筋腐食量	目視確認（部分開削，コア抜き等）			劣化過程の判定（活荷重，塩害，凍害，中性化，アルカリシリカ反応）
			電気化学的測定による腐食度区分		上面：　，下面：	A：点錆程度，B：全体に表面的腐食，C：軽微な断面欠損，D：著しい腐食
	28	中性化深さ	コア採取，ドリル削孔		上面：　，下面：	劣化過程の判断（中性化）
コンクリート物性調査（非破壊検査・コア採取による）	29	コンクリート強度	コア採取による圧縮試験			残存耐力の判定（活荷重，塩害，凍害，中性化，アルカリシリカ反応）
			非破壊検査			
	30	残存膨張量				損傷原因の判断（アルカリシリカ反応）
	31	骨材のアルカリシリカ反応性				損傷原因の判断（アルカリシリカ反応）
載荷試験	32	変位	載荷試験（荷重車，FWD）			劣化過程の判定（活荷重）， 残存耐力の判定（活荷重，塩害，凍害，中性化，アルカリシリカ反応）
			たわみ劣化度 D（計算値）			

表-4.2.2　劣化過程の判定基準と対策工法の適用性

劣化・損傷要因		劣化過程	劣化・損傷内容	床版防水	ひび割れ注入	表面保護	電気化学的防食
輪荷重による疲労	床版下面の損傷	潜伏期	一方向ひび割れが数本程度	□	—		
		進展期	格子状のひび割れ	□	△		
		加速期前期	亀甲状ひび割れ	□	△		
		加速期後期	角落ち・ひび割れのスリッド化	□	△		
		劣化期	床版の梁状化，陥没	□	×		
	水平ひび割れ	—	上側鉄筋側に水平ひび割れが発生	□	○		
		—	下側鉄筋側に水平ひび割れが発生	□	○		
塩害	床版上面の損傷	潜伏期	塩化物イオン濃度が腐食発生限界濃度に達するまで	□	×	○	—
		進展期	鉄筋の腐食が始まり腐食ひび割れが発生するまで	□	×	○	○
		加速期前期	腐食ひび割れ発生により腐食速度の増大	□	×	○	○
		加速期後期	腐食ひび割れが多数発生，部分的なはく離・はく落	□	×	○	△
		劣化期	腐食量の増大による耐荷力低下	□	×	—	△
	床版下面の損傷	潜伏期	塩化物イオン濃度が腐食発生限界濃度に達するまで	□	×	○	—
		進展期	鉄筋の腐食が始まり腐食ひび割れが発生するまで	□	×	○	○
		加速期前期	腐食ひび割れ発生により腐食速度の増大	□	×	○	○
		加速期後期	腐食ひび割れが多数発生，部分的なはく離・はく落	□	×	—	△
		劣化期	腐食量の増大による耐荷力低下	□	×	○	△
凍害	床版上面の損傷	潜伏期	ポップアウトの発生	□	○	○	
		進展期	スケーリングにより骨材が露出	□	○	○	
		加速期前期	スケーリングの深さが鉄筋付近	□	○	○	
		加速期後期	スケーリングにより鉄筋が露出	□	○	○	
		劣化期	鉄筋の露出とコンクリートの砂利化	□	○	○	
	床版下面の損傷	潜伏期	ポップアウトの発生	□	○	○	
		進展期	スケーリングにより骨材が露出	□	○	○	
		加速期前期	スケーリングの深さが鉄筋付近	□	○	○	
		加速期後期	スケーリングにより鉄筋が露出	□	○	○	
		劣化期	鉄筋の露出とコンクリートの砂利化	□	○	○	
中性化	床版上面の損傷	潜伏期	中性化深さが鋼材の腐食発生限界に達するまで	□	—	—	—
		進展期	鋼材の腐食開始から腐食ひび割れが発生するまで	□	○	○	—
		加速期前期	腐食ひび割れ発生により鋼材の腐食速度の増大	□	×	○	○
		加速期後期	腐食ひび割れの伸展とともに，はく離・はく落	□	×	○	×
		劣化期	腐食量の増大による耐荷力低下	□	×	○	×
	床版下面の損傷	潜伏期	中性化深さが鋼材の腐食発生限界に達するまで	□	—	—	—
		進展期	鋼材の腐食開始から腐食ひび割れが発生するまで	□	○	○	—
		加速期前期	腐食ひび割れ発生により鋼材の腐食速度の増大	□	×	○	○
		加速期後期	腐食ひび割れの伸展とともに，はく離・はく落	□	×	○	×
		劣化期	腐食量の増大による耐荷力低下	□	×	○	×
アルカリシリカ反応	床版上面の損傷	潜伏期	ASRが進行するが膨張に伴うひび割れの発生が無い	□	×	×	
		進展期	水分やアルカリの供給化で反応が促進しひび割れが発生	□	×	×	
		加速期	ASR膨張が最大，内部の鉄筋が腐食する場合もある	□	×	×	
		劣化期	ひび割れが増大し部材の一体性が損なわれ耐荷力が低下	□	×	○	
	床版下面の損傷	潜伏期	ASRが進行するが膨張に伴うひび割れの発生が無い	□	×	×	
		進展期	水分やアルカリの供給化で反応が促進しひび割れが発生	□	×	×	
		加速期	ASR膨張が最大，内部の鉄筋が腐食する場合もある	□	×	×	
		劣化期	ひび割れが増大し部材の一体性が損なわれ耐荷力が低下	□	×	○	

凡例：□：適用を原則とする，　○：適用可能，　△：他工法との併用で適用可能，　×：適用不可，　－：予防保全として適用可能

注）※1は，予防保全として適用可能であるが，損傷が軽度であるため一般的に適用しない劣化過程を示す．

炭素繊維接着は炭素繊維シート接着を意味する

対策工法の適用性									劣化過程の判定基準
縦桁増設	炭素繊維接着	下面増厚	鋼板接着	上面増厚	水平ひび割れ注入	部分打換	床版取替	荷重制限	
—	—	—	—	—		※1	※1	※1	潜伏期：一方向ひび割れ（ひび割れ調査）
○	○	○	○	○		※1	※1	※1	進展期：格子状のひび割れ（ひび割れ調査）
×	○	○	○	○		—	—	—	加速期前期：ひび割れ網細化，ひび割れ開閉(ひび割れ調査)
×	△	△	○	○		—	—	—	加速期後期：貫通ひび割れ（漏水），角落ち，摺り磨き(ひび割れ調査)，遊離石灰
×	×	×	×	×		○	○	○	劣化期：圧縮強度の低下（ｺﾝｸﾘｰﾄ強度），床版の梁状化，陥没（ひび割れ調査，変位），遊離石灰
×	×	×	×	○	○	○	○	○	水平ひび割れの調査（打音検査，衝撃弾性波法調査，コア採取）
×	△	○	△	—	○	○	○	○	
				—		※1	※1	※1	潜伏期：腐食限界塩化物イオン濃度以下（塩化物イオン濃度），鉄筋の腐食なし（塩化物イオン濃度，凍結防止剤の散布量，飛来塩分量）
				—		※1	※1	※1	進展期：腐食限界塩化物イオン濃度以上（塩化物イオン濃度），鉄筋の腐食あり（鉄筋腐食量）
				△		—	—	—	加速期前期：錆汁，腐食ひび割れが発生(ひび割れ調査)
				△		—	—	—	
				×		○	○	○	
×	—	—	×			※1	※1	※1	加速期後期：はく離，はく落，腐食量大
×	—	—	×			※1	※1	※1	
×	△	△	×			—	—	—	劣化期：圧縮強度の低下（コンクリート強度），ひび割れ幅大（ひび割れ調査）
×	△	△	×			—	—	—	
×	×	×	×			○	○	○	
				—		※1	※1	※1	潜伏期：スケーリングの発生なし（凍害深さ）
				—		※1	※1	※1	
				○		—	—	—	進展期：スケーリングの発生あり（凍害深さ）
				○		○	—	—	
				△		○	○	○	加速期前期：鉄筋位置付近までのスケーリングの発生（凍害深さ）
×	×	×	×			※1	※1	※1	
×	×	×	×			※1	※1	※1	加速期後期：スケーリングが鉄筋位置以上（凍害深さ），鉄筋の腐食あり（ひび割れ調査，鉄筋腐食量）
×	×	×	×			—	—	—	
×	×	×	×			○	—	—	劣化期：鉄筋の腐食大（鉄筋腐食量），圧縮強度の低下（コンクリート強度），はく離・はく落（ひび割れ調査）
×	△	△	△			○	○	○	
				—		×	×	×	潜伏期：中性化残りが10mm以上（中性化深さ）
				—		×	×	×	
				—		×	×	×	進展期：中性化残りが10mm以下（中性化深さ），腐食ひび割れなし(ひび割れ調査)
				—		×	×	×	
				○		×	×	×	加速期前期：錆汁，腐食ひび割れが発生(ひび割れ調査)
×	—	—	—			×	×	×	
×	—	—	—			×	×	×	加速期後期：はく離，はく落，腐食量大
×	—	—	—			×	×	×	
×	—	—	—			×	×	×	劣化期：圧縮強度の低下（コンクリート強度），ひび割れ幅大，はく離・はく落（ひび割れ調査）
×	○	○	○			×	×	×	
				—		※1	※1	※1	潜伏期：膨張によるひび割れなし（変色・アルカリシリカゲルの滲出，アルカリ量，骨材の反応性）
				—		※1	※1	※1	
				○		○	—	—	進展期：変色・アルカリシリカゲルの滲出あり，鉄筋腐食による錆汁なし（ひび割れ調査，鉄筋腐食量）
				×		○	○	○	
×	—	—	—			※1	※1	※1	加速期：ひび割れ幅・密度の増大，鉄筋腐食による錆汁あり（ひび割れ調査，鉄筋腐食量）
×	—	—	—			※1	※1	※1	
×	○	○	○			○	—	—	劣化期：圧縮強度の低下（コンクリート強度），ひび割れ幅大，はく離・はく落（ひび割れ調査）
×	×	×	×			○	○	○	

表-4.2.3　対策工法の比較表

項目			条件	＜劣化過程＞		＜必要な補強効果＞ ・曲げ耐力向上　: ・せん断耐力向上: ・鉄筋補強・防錆: ・床版厚修復　:	
工法				工法1		工法2	
概要図							
工法の特徴							
補強効果	曲げ耐力の向上						
	せん断耐力の向上						
	鉄筋	上面鉄筋補修・補強、防錆					
		下面鉄筋補修・補強、防錆					
	床版厚修復効果						
床版厚（UP厚）							
対応可能な交通規制	橋面上	交通規制なし					
		夜間の一車線規制日数					
		夜間の全止め日数					
		昼夜間の一車線規制日数					
		昼夜間の全止め(規制日数)					
	桁下道路等の交通規制						
桁下足場の必要性							
既設橋梁への影響	路面線形への影響	路面の段差					
		高欄・地覆高の修正					
	死荷重の増加量						
	死荷重増加による桁補強の有無						
	主構造の改修						
	舗装の修繕・橋面防水工の設置						
	伸縮装置の取替え						
工法適応にあたっての課題や条件							
耐久性	耐久年数や不具合事例など						
	耐久年数経過後の補修工法						
施工性	施工実績						
	工期						
維持管理							
経済性	工事費						
	ライフサイクルコスト（LCC）						
評価							

評価の凡例：◎：最も優れている、○：適用可能、△：好ましくないが適用可能、×：適用不可

＜橋梁の重要度＞　　＜施工上の制約＞ ・迂回路の確保　： ・交通規制　　： ・桁下空間　　： ・周辺環境の制約等：						備　考
工法3		工法4		工法5		
						＜必要な補強効果＞と比較し、性能を○、×で評価
						＜施工上の制約＞と比較し、性能を○、×、△で評価
						適用性を○、×、△で評価
						適用性を○、×、△で評価

4.3　対策工法選定の事例

4.3.1　一般

対策工法の選定は，対象となる橋梁の点検・調査結果に基づき，劣化要因や劣化過程，交通の状況および環境条件に応じて本選定事例を参考に行うのがよい.

【解説】

4.1 では対策工法選定上の着目点，4.2 では対策工法の選定手順を示した．ここでは，4.1 および 4.2 に準じてモデルケースに対する工法選定の事例を示す．橋梁諸元，交通の状況や周辺の環境，劣化・損傷要因および劣化過程の異なるモデルケースを設定して対策工法を選定している．**表-4.3.1** に対策工法選定の事例の一覧を示す.

表-4.3.1　対策工法選定の事例一覧

事例	4.3.2	4.3.3	4.3.4	4.3.5	4.3.6	4.3.7	4.3.8	4.3.9	4.3.10	4.3.11
劣化要因	中性化	塩害	輪荷重による疲労	輪荷重による疲労	輪荷重による疲労	輪荷重による疲労	輪荷重による疲労	塩害	塩害・輪荷重による疲労	凍害・輪荷重による疲労
劣化過程	下面：加速期前期	上面：進展期 下面：加速期前期	進展期	進展期・加速期前期	進展期	加速期	加速期・進展期	塩害加速期後期（上下） 輪荷重潜伏期	塩害加速期後期（下面） 輪荷重進展期	劣化期（上面凍害）・加速期後期（輪荷重）
選定された工法	ひび割れ注入工法+表面保護工法	電気化学的防食工法	縦桁増設工法	炭素繊維シート接着工法	下面増厚工法	鋼板接着工法	上面増厚工法	部分打換え工法	電気防食+下面増厚	上面増厚工法
道路の種類	地方主要幹線道路	県道	地方道	主要地方道	県道	主要幹線道路（都市部）	農道・生活道路	高速道路	主要地方道	幹線道路
橋種	単純合成鈑桁橋	単純鈑桁橋	単純非合成鈑桁	単純鈑桁橋	4径間連続非合成鈑桁	単純合成鈑桁	単純合成鈑桁	単純非合成鈑桁	単純鈑桁橋	単純非合成鈑桁
適用示方書	S39	S39	S48	S14	S39	S39	S39	S46	S14	S39
竣工年	S48	S46	S52	S26	S45	S41	S41	S53	S26	S41
大型車交通量（台/日）	500～1000	非常に少ない	500～1000	500～1000	500～1000	8000	500～1000	1500	500～1000	1000～2000
交通規制	－	昼夜間連続車線規制	昼夜間連続車線規制	夜間車線規制	中間1車線短期間	夜間車線規制	10日間連続車線規制	昼夜間連続車線規制	昼夜間連続車線規制	連続車線規制
迂回道路確保	－	不可	可	不可	不可	困難	可	可	可	不可
特記事項	内陸部	海岸・島間	床版支間大	要騒音配慮	要騒音配慮	要騒音配慮	－	山間部	海岸線河川	寒冷地

4.3.2　中性化－ひび割れ注入工法，表面保護工法

(1) 維持管理の方針

本橋は 1973 年に完成した海岸から約 10 ㎞内陸部に位置する道路で，4 径間単純鋼合成鈑桁橋である．地方都市を結ぶ主要幹線道路となっており，大型車両が多く通行する交通環境である．定期的に行われている橋梁点検の結果，コンクリート床版下面にひび割れ発生が確認されたため，その要因の特定と補修および補強の必要性を判断するための詳細調査を行った．

調査の結果，一部に鋼材の腐食にともなうコンクリートの浮き・はく離も確認され，中性化も一部は鋼材付近まで達していることが判明した．しかし，コア採取によるコンクリート強度試験，塩化物イオン含有量試験，カナダ法による膨張量試験の結果は問題ないことが確認されたため，発生したひび割れおよび浮き・はく離に対する補修と，予防措置の検討をおこなった．

(2) 橋梁の概要

本橋の諸元を**表-4.3.2**，RC 床版の諸元を**表-4.3.3**，断面図を**図-4.3.1** に示す．

表-4.3.2　橋梁の諸元

規格	一等橋
橋梁形式	4 径間単純合成鈑桁
橋長	129.0m
有効幅員	9.2m
主桁間隔	2.6m
ｱｽﾌｧﾙﾄ舗装厚	50mm
床版の種類	鉄筋コンクリート床版
床版厚	200mm
大型交通量	500～1000 台/日
設計活荷重	TL-20
適用示方書	昭和 39 年鋼道路橋設計示方書
竣工年度	1973 年（昭和 48 年）

表-4.3.3　RC 床版の諸元

コンクリート設計基準強度		σ_{ck} ＝21 N/mm^2
ハンチ高		50mm
支間部	主鉄筋	上側：D16（c.t.c.250mm） 下側：D13（c.t.c.125mm）
	配力筋	上側：D16（c.t.c.300mm） 下側：D13（c.t.c.300mm）

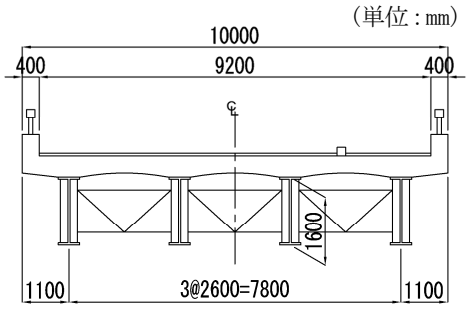


図-4.3.1　断面図

(3) 劣化・損傷の状況

コンクリート床版下面にひび割れが発生している．ひび割れ幅は 0.2ｍｍ～0.6ｍｍであり，主鉄筋方向に延伸していており，配力筋方向にはほとんど認められない．また，ひび割れ付近には漏水および遊離石灰は発生していなかったが，一部に錆汁が認められた．コンクリートの一部にははく落があり，全面打音検査の結果，かぶりコンクリートの浮きも数か所で認められた．外観目視調査では，以上の劣化・損傷以外には特に顕著な状況は認められていない．

本橋では，鉄筋腐食状況，かぶり厚，中性化深さ測定のため，ひび割れ発生部分の主鉄筋および配力筋をハツリ出し，調査を行っている．その結果，鉄筋は一部に浅い孔食がある軽微な腐食状況であった．またハツリ出した箇所での鉄筋かぶりは 25 ㎜であり，同一箇所での中性化深さは 30 ㎜であった．

すでにかぶりコンクリートがはく落している箇所の観察では，鉄筋は断面欠損がみられる腐食状況であり，鉄筋のかぶりは 23 ㎜とさらに小さい数値であった．

その他，コア採取によるコンクリート強度試験，塩化物イオン含有量試験，カナダ法による膨張量試験も同時に実施しているが，結果は問題ないことが判明した．

試験結果を**表-4.3.4～表-4.3.6** に示す．

表-4.3.4　中性化深さおよび鉄筋かぶり測定結果

試験箇所	中性化深さ（ｍｍ）	鉄筋かぶり（ｍｍ）	備考
A1～P1	31	27	ひび割れ発生部
P1～P2	30	25	ひび割れ発生部
	―	23	はく落部
P2～P3	28	25	ひび割れ発生部
P3～A2	35	31	ひび割れ発生部

表-4.3.5　コンクリート圧縮強度および塩化物イオン含有量試験結果

試験箇所	圧縮強度試験	塩化物イオン含有量（kg/m³）			
	（N/㎟）	0～20 ㎜	20～40 ㎜	40～60 ㎜	60～80 ㎜
A1～P1	30.8	1.10	0.86	0.82	0.60
P2～P3	28.1	1.02	0.98	0.81	0.79

表-4.3.6　膨張量試験結果

試験箇所	膨張量（%）				
	2 日目	5 日目	8 日目	12 日目	14 日目
P2～P3	0.001	0.002	0.006	0.012	0.016

(4) 点検による劣化・損傷調査の整理

点検による劣化・損傷調査結果を**表-4.3.7** に示す．本橋に発生したひび割れ，はく離および浮きは，点検調査の結果からアルカリ骨材反応，塩害に起因するものではなく，鉄筋のかぶり不足に加え，中性化の進行により鉄筋の一部が腐食した結果だと推察された．なお本橋のおかれた環境から，凍害の影響はないと判断した．

表-4.3.7　劣化・損傷の調査結果

	項目番号	調査項目			調査結果（床版部）	
資料調査等	1	供用年数，適用示方書			建設後38年，　S39道示	
	2	路線の重要度			主要幹線道路	
	3	一方向あたりの大型車の交通量（台／日）			500～1000台／日	
	4	床版厚	設計厚		200mm	-20mm
			現行道示での床版厚		220mm	
	5	鉄筋	鉄筋の種類		異形鉄筋	
			かぶり	上面	30mm（設計）	
				下面	25mm（実測）	
			配力筋量		現行道示より少ない	
	6	飛来塩分の影響			無（海岸より約10㎞）	
	7	凍結防止剤の散布の有無			無	
	8	寒冷地域			無	
	9	防水層の施工時期			未施工	
ひび割れ調査（目視）	10	ひび割れ形状（一方向，格子状，網細化など）			一方向	
	11	ひび割れ・剥離の位置（床版中央，ハンチ，張出部など）			床版中央	
	12	ひび割れ幅，間隔			0.2～0.6mm程度，約50cm	
	13	ひび割れ密度（m/m^2）			未測定	
	14	はく離，はく落の面積率			約2%（部分的に発生）	
	15	ひび割れの角落ちの有無			有	
	16	遊離石灰の有無			無	
	17	錆汁の有無			有	
	18	鉄筋腐食ひび割れ			有	
	19	漏水			無	
	20	アルカリ骨材ゲル滲出			無	
	21	コンクリートの変色			無	
ひび割れ（ゲージ等）	22	すり磨きの有無			未調査	
	23	ひび割れの開閉の有無			未調査	
劣化・損傷状況の調査（非破壊検査・コア採取による）	24	水平ひび割れ調査	打音検査		確認できず	
			その他の調査		未調査	
	25	凍害深さ	目視によるスケーリング		無	
			コア採取，ドリル削孔		無	
	26	塩化物イオン	コア採取によるEPMA等		未調査	
			鉄筋位置の濃度		0.98kg/m^3（下面）	
	27	鉄筋腐食量	目視確認（方法等）		はつり調査	
			腐食度区分＊		C：軽微な断面欠損（下面）	
	28	中性化	試験方法		はつり調査	
			中性化深さ		35㎜（下面）	
	29	アルカリシリカ反応	残存膨張量		無害	
			骨材反応性		未調査	
	30	旧工事の舗装切削における床版厚の減少			未調査	
コンクリート物性調査	31	コンクリート強度	コア採取による圧縮試験		28.1N/㎟（調査による）	
			非破壊検査		未調査	
載荷試験	32	変位	載荷試験（荷重車，FWD）		未調査	
			たわみ劣化度　D(計算値)		未調査	

腐食度区分，A：点錆程度，B：全体に表面的腐食，C：軽微な断面欠損，D：著しい腐食

(5) 劣化・損傷要因と損傷段階の判定および適用可能な対策工法の選定

損傷段階の断定および適用可能な対策工法を**表-4.3.8** に示す．判定の基準は，損傷段階の判定基準と対策工法の適用性（**表-4.2.2**）を用いた．

表-4.3.8　損傷段階の判定および適用可能な対策工法

<table>
<tr><th colspan="3" rowspan="2">劣化因子</th><th colspan="2">損傷段階の判定項目</th><th rowspan="2">損傷段階の判定</th></tr>
<tr><th>項目番号</th><th>調査結果</th></tr>
<tr><td rowspan="15">判定要因</td><td rowspan="5">輪荷重による疲労</td><td rowspan="5"></td><td>1</td><td>建設後38年，　S39道示</td><td rowspan="5">(潜伏期)</td></tr>
<tr><td>3</td><td>500～1000台／日</td></tr>
<tr><td>10</td><td>ひび割れは一方向</td></tr>
<tr><td>12</td><td>0.2～0.6㎜程度，約50cm間隔</td></tr>
<tr><td>16</td><td>遊離石灰は無</td></tr>
<tr><td rowspan="2">塩害</td><td rowspan="2">上面</td><td>6</td><td>飛来塩分の影響を受けない</td><td rowspan="2">(潜伏期)</td></tr>
<tr><td>7</td><td>凍結防止剤の散布は無</td></tr>
<tr><td rowspan="3">塩害</td><td rowspan="3">下面</td><td>6</td><td>飛来塩分の影響を受けない</td><td rowspan="3">(潜伏期)</td></tr>
<tr><td>7</td><td>凍結防止剤の散布は無</td></tr>
<tr><td>26</td><td>0.98 kg/cm^3（鉄筋位置）</td></tr>
<tr><td rowspan="2">凍害</td><td>上面</td><td>8</td><td>寒冷地ではない</td><td>(―)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">下面</td><td>8</td><td>寒冷地ではない</td><td rowspan="2">(―)</td></tr>
<tr><td>25</td><td>目視によるスケーリング無</td></tr>
<tr><td rowspan="7">中性化</td><td>上面</td><td>28</td><td>未調査</td><td>(―)</td></tr>
<tr><td rowspan="6">下面</td><td>5</td><td>鉄筋かぶり25㎜（実測）</td><td rowspan="6">(加速期前期)</td></tr>
<tr><td>10</td><td>ひび割れ形状　一方向</td></tr>
<tr><td>12</td><td>幅0.2～0.6㎜，約50㎝間隔</td></tr>
<tr><td>17</td><td>錆汁あり</td></tr>
<tr><td>18</td><td>鉄筋腐食ひび割れあり</td></tr>
<tr><td>27</td><td>鉄筋腐食度C，軽微な断面欠損あり</td></tr>
<tr><td>アルカリシリカ反応</td><td></td><td>29</td><td>残存膨張量　無害</td><td>(―)</td></tr>
<tr><td colspan="3">劣化・損傷要因と
損傷段階の判定</td><td colspan="3">上記より，中性化深さが35㎜，鉄筋かぶり25㎜となっており，中性化は鉄筋位置まで進行している．また，鉄筋腐食ひび割れがあり，ひび割れからの錆汁も確認されている．一方，塩化物イオン量は鉄筋位置で腐食限界値以下であり，凍結防止剤の散布もなされていないことから，劣化・損傷の主要因は中性化によるものと考えられる．
また，錆汁および腐食ひび割れが発生し，部分的にはく離や浮きが認められることから，加速期前期と判定した．</td></tr>
<tr><td colspan="3">適用可能な対策工法の選定</td><td colspan="3">上記に基づき適用可能な対策工法を選定すると以下となる．
・表面保護（断面修復＋表面被覆）⇒○
・電気化学的防食（再アルカリ化工法）⇒○

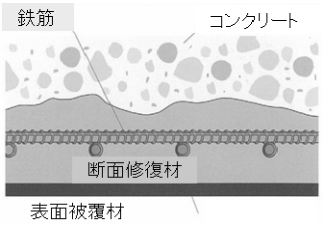
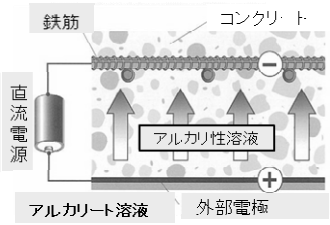
凡例：
●；予防保全として適用、○：適用可能，△：他工法との併用にて適用，
▲；適用に条件を伴う，―；適用対象外，×：適用不可もしくは効果が望めない，</td></tr>
<tr><td colspan="3"></td><td colspan="3">【総合判定】
上記の結果を考慮して，下記の2工法についての比較検討を実施し，適用工法を決定する．
・部分打換工法＝表面保護工法（断面修復）
・電気化学的工法（再アルカリ化工法）</td></tr>
</table>

劣化・損傷要因	損傷段階	対策工法の適用性											
		ひび割れ注入	表面保護	電気化学的防食	縦桁増設	炭素繊維接着	下面増厚	鋼板接着	上面増厚	水平ひび割れ注入	部分打換	床版取替	荷重制限
中性化	加速期前期	×	○	○	×	―	―	―	―	―	×	×	×

(6) 対策工法の比較・決定

適用可能な対策工法の比較を**表-4.3.9** に示す．検討の結果，現在すでに中性化している部分の回復は見込めないものの，劣化因子の侵入を抑制，防止する効果が高く，工事費の面でも有利な表面保護工法の適用が最も適していると判定できる．

表-4.3.9　適用可能な対策工法の比較表

条件			＜損傷段階＞		＜必要な補強＞	
			中性化（加速期前期）		中性化に対する予防保全	
項目						
工法			表面保護工法 (断面修復＋表面被覆)		電気化学的工法 (再アルカリ化工法)	
概要図						
工法の概要および特徴			コンクリート表面に有機系または無機系被覆材により被覆を施し，劣化因子の侵入を抑制，防止してコンクリートの耐久性の向上，劣化因子の進行を抑制する効果をもたらす.		コンクリート表面に仮設陽極をアルカリ性溶液で覆い陽極とし，鋼材を陰極として，1～2A/㎡程度の電流を１ヵ月程度通電することで電気化学的にアルカリ性を付与し，中性化によるこう鋼材の腐食反応を抑制する.	
補強効果	曲げ耐力の向上		無	○	無	○
	せん断耐力の向上		無	○	無	○
	鉄筋	上面鉄筋補修・補強、防錆	無	○	無	○
		下面鉄筋補修・補強、防錆	無	○	無	○
	床版厚修復効果		無	○	無	○
床版厚(UP厚)			変更なし		変更なし	
対応可能な交通規制	橋面上	交通規制なし	可	○	可	○
		夜間の一車線規制日数	無	○	無	○
		夜間の全止め日数	—	—	—	—
		昼夜間の一車線規制日数	無	○	無	○
		昼夜間の全止め規制日数	—	—	—	—
	桁下道路等の交通規制		無	○	無	○
桁下足場の必要性			必要	○	必要	○
既設橋梁への影響	路面線形への影響	路面の段差	無	○	無	○
		高欄・地覆高の修正	無	○	無	○
	死荷重の増加量		ほとんど増加しない		ほとんど増加しない	
	死荷重増加による桁補強の有無		無	○	無	○
	主構造の改修		無	○	無	○
	舗装の修繕・橋面防水工の設置		不要(現状維持)		不要(現状維持)	
	伸縮装置の取替え		不要		不要	
工法適応にあたっての課題や条件			表面被覆の再補修		表面被覆の再補修	
耐久性	耐久年数や不具合事例など		保護塗装を行った新設と同等程度の耐用年数が期待できる．橋面防水無しの場合，滞水によって表面被覆が剥がれる場合がある.	○	橋面防水無しの場合，滞水によって表面被覆が剥がれる場合がある.	◎
	耐久年数経過後の補修工法		電気防食		電気防食	
施工性	施工実績;床版(道路橋以外を含む)		多い	○	少ない	○
	工期		1.0	○	1.0＋１ヶ月	△
維持管理			・通常の RC 床版と同様の維持管理	○	・通常の RC 床版と同様の維持管理	○
経済性	工事費		1.0	◎	5.0	×
	ライフサイクルコスト(LCC)		高(再塗装)	△	低	○
評価			◎ 防食効果が確実であり，工事費が安価である.		△ 防食効果が確実であるが，工事費が高価である.	

評価の凡例:◎:最も優れている、○:適用可能、△:好ましくないが適用可能、×:適用不可

(7) 表面保護工法の設計

本橋はひび割れおよびコンクリートのはく離，浮きが発生している．**表-4.3.8** に示した通り，中性化対策工法としてのひび割れ補修工法は効果が期待できないが，通常，コンクリートに発生したひび割れに対しては，ひびわれ幅に応じた補修を行っている．特にひびわれ幅が 0.2～0.6ｍｍを対象とした場合にはひび割れ注入工法が適用されており，コンクリート構造体としての一体化という観点からは効果を期待できる．本橋においてもこの考えからひび割れ注入工法によるひび割れ補修は行うことにした．

また，コンクリートのはく離，浮きに対してはその周辺のぜい弱化した部分まで含めハツリ除去し，断面修復を行うこととした．本橋では，はく落および浮きの面積が部分的かつ小さいことから，上向き施工ではあったが左官工法を採用した．

表面被覆工法のうち有機系被覆工法の大きな特徴のひとつとして，柔軟形エポキシ樹脂やゴム系材料など柔軟性の大きい材料の選択が可能なことがある．本橋では，すでにひび割れの発生が確認されていること，ひび割れ注入工法で対処できない 0.2 ㎜以下のひび割れが今後進行することも考えられたため，ひび割れ追従性も考慮し，有機系被覆工法を採用することにした．

なお，本橋では中性化の劣化過程が加速期前期であったことから予防保全処置としての表面保護工法を採用したが，さらに劣化過程が進行した場合や今後の大型車両の通行量が増加する場合等，炭素繊維接着工法，下面増厚工法，鋼板接着工法などの補強工法も検討する必要がある．

4.3.3　塩害－電気化学的防食工法

(1) 維持管理の方針

本橋は 1971 年 3 月に完成した県道の海上橋で，比較的温暖な海岸に位置する島間に架設された 3 連の単純鈑桁橋である．交通量は少なく，大型車の通行量も少ないため，疲労に起因すると判断される劣化・損傷は確認されない．一方，海面までの桁下空間が約 4.0m と小さく，また，本橋梁の橋軸方向は西北西の方向で，気象・海象の状況としては，日最大風速 7m以上の日が 30 日／年程度，10m以上が 4～5 日／年とかなり穏やかであるが，風速 7m以上の風向きは，北および北北西であるため，飛来塩分の影響を大きく受け，塩害による鋼桁の腐食やコンクリート床版の塩害による劣化・損傷が確認された，

本橋梁は，生活用道路および観光用道路として使用されており，また，島間を結ぶ非常に重要な道路であるため，塩害対策工事を実施して，長期的な利用を進める方向での検討が実施された．

(2) 橋梁の概要

本橋の諸元を**表-4.3.10 に**，断面図を**図-4.3.2** に示す．

表-4.3.10　橋梁諸元

橋　　格	２等橋
橋梁形式	単純鈑桁３連橋
橋長	99.000m
有効幅員	5.500m
主桁間隔	3.600m
アスファルト舗装厚	50mm
床版の種類	鉄筋コンクリート床版
床版厚	150mm（中央部）
大型車交通量	非常に少ない
設計活荷重	TL-14
適用示方書	昭和 39 年鋼道路橋設計示方書
竣工年度	1971 年（昭和 46 年）

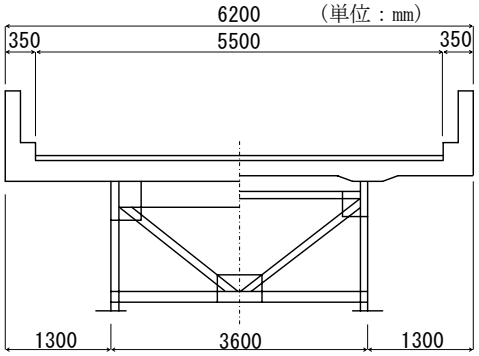


図-4.3.2　断面図

(3) 劣化・損傷の状況

床版の疲労に起因すると考えられる劣化・損傷は認められないが，鋼桁の腐食に伴う劣化・損傷が顕著であり，塩害の可能性が大きいため，床版の中性化および塩化物イオン含有量の調査が実施された．調査結果を**表-4.3.11** および**表-4.3.12** に示す．この結果に基づくと，中性化の進行が大きく，また，塩化物イオン含有量も発錆限界塩化物イオン濃度を大きく上回っている．加えて，塩化物イオン濃度では，中性化による塩化物イオンのフロント化（中性化の先端部での塩化物イオン濃度が大きくなる現象）も認めることができる．このことに基づくと，本床版は，飛来塩化物イオンによる塩害の可能性が大きく，また，中性化も塩害を促進する要因として関与していると推察される．なお，床版下面の外観調査では，塩害に起因する判断されるひび割れおよび錆汁が一部に認められ，たたき点検では，かぶりコンクリートの浮きも認められた．

表-4.3.11　中性化深さの測定結果

部材	位置	中性化深さ　mm					鉄筋かぶり
		①	②	③	④	平均	mm
床版	１径間	55	45	46	37	45.7	30
		28	31	36	30	31.2	48
	２径間	30	29	34	35	32.0	48
		26	36	36	36	33.5	32
	３径間	22	15	12	10	14.8	53
		12	20	15	9	14.0	40
	平均	—	—	—	—	28.5	41.8

表-4.3.12　含有塩化物イオン量の測定結果

部材	位置	0～20mm Kg／m³	20～40mm Kg／m³	40～60mm Kg／m³	60～80mm Kg／m³
床版	１径間	5.584	4.354	4.895	3.902
	２径間	3.542	4.275	3.386	2.724
	３径間	4.198	4.248	2.688	1.485
	平均	4.444	4.292	3.656	2.704

(4) 点検による劣化・損傷調査の整理

点検による劣化・損傷調査結果を**表-4.3.13** に示す．本橋は床版下面のひび割れ本数は比較的少なく，また，その原因は，飛来塩分による塩害と推察され，凍害，アルカリ骨材反応などによる劣化の可能性はない．

表-4.3.13　劣化・損傷の調査結果

	項目番号	調査項目			調査結果（床版部）	
資料調査等	1	供用年数，適用示方書			建設後 34 年（補修），S39 道示	
	2	路線の重要度			島間生活道路として非常に重要	
	3	一方向あたりの大型車の交通量（台／日）			非常に少ない	
	4	床版厚	設計厚		150mm	-50mm
			現行道示での床版厚		200mm	
	5	鉄筋	鉄筋の種類		異形鉄筋	
			かぶり（実測）	上面	未測定	
				下面	41.8mm（実測値）	
			配力筋量		H8 道示の基準より少ない	
	6	飛来塩分の影響	地域，海岸線からの距離による判断		非常に大きい（海上）	
	7	凍結防止剤の散布の有無			無	
	8	寒冷地域			無	
	9	防水層の施工時期			未施工	
ひび割れ調査（目視）	10	ひび割れ形状（一方向，格子状，網細化など）			一方向（一部錆汁を含む）	
	11	ひび割れの位置（床版中央，ハンチ，張出部など）			床版張出部に多い	
	12	ひび割れ幅，間隔			0.3mm 程度，20cm（概算）	
	13	ひび割れ密度（m/m^2）			未測定	
	14	はく離，はく落の面積率			数%（推定）	
	15	ひび割れの角落ちの有無			無	
	16	遊離石灰の有無			無	
	17	錆汁の有無			有	
	18	鉄筋腐食ひび割れ			有	
	19	漏水			無	
	20	アルカリ骨材ゲル滲出			無	
	21	コンクリートの変色			有（錆汁による変色）	
ひび割れ（ゲージ等）	22	すり磨きの有無			未調査	
	23	ひび割れの開閉の有無			未調査	
劣化・損傷状況の調査（非破壊検査・コア採取による）	24	水平ひび割れ調査	打音検査		確認できず	
			衝撃弾性波法調査		上面：未調査，下面：未調査	
			コア採取		上面：未調査，下面：未調査	
	25	凍害深さ	目視によるスケーリング		無	
			コア採取，ドリル削孔		上面：未調査，下面：未調査	
	26	塩化物イオン	コア採取による EPMA 等		未調査	
			鉄筋位置の濃度		2.688～4.895　kg/cm^3	
	27	鉄筋腐食量	目視確認（方法等）		はつり調査	
			腐食度区分＊		C：軽微な断面欠損	
	28	中性化	試験方法		はつり調査（フェノール法）	
			中性化深さ		28.5mm（平均）	
	29	アルカリシリカ反応	残存膨張量		未調査	
			骨材反応性		未調査	
	30	旧工事の舗装切削における床版厚の減少			未調査	
コンクリート物性調査	31	コンクリート強度	コア採取による圧縮試験		未調査	
			非破壊検査		未調査	
載荷試験	32	変位	載荷試験（荷重車，FWD）		未調査	
			たわみ劣化度　D(計算値)		未調査	

＊腐食度区分，A：点錆程度，B：全体に表面的腐食，C：軽微な断面欠損，D：著しい腐食

(5) 劣化・損傷要因と損傷段階の判定および適用可能な対策工法の選定

損傷段階の判定および適用可能な対策工法を**表-4.3.14** に示す．判定の基準は，損傷段階の判定基準と対策工法の適用性（**表-4.2.2**）を用いた．

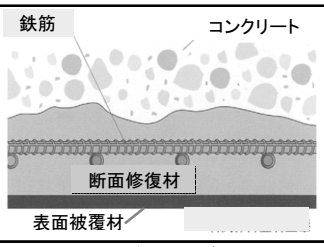
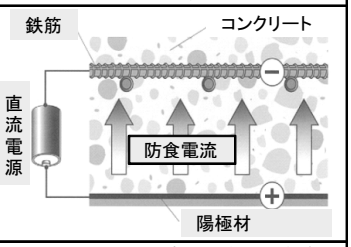
表-4.3.14　損傷段階の判定および適用可能な対策工法

<table>
<tr><th colspan="3" rowspan="2">劣化因子</th><th colspan="2">損傷段階の判定項目</th><th rowspan="2">損傷段階の判定</th></tr>
<tr><th>項目番号</th><th>調査結果</th></tr>
<tr><td rowspan="10">判定要因</td><td colspan="2">輪荷重による疲労</td><td>1
3
10</td><td>建設後34年（補修），S39道示
大型車；非常に少ない
ひび割れは一方向(塩害)</td><td>(潜伏期)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">塩害</td><td>上面</td><td>6
7</td><td>飛来塩分の影響を受ける
凍結防止剤を散布しない</td><td>(進展期)</td></tr>
<tr><td>下面</td><td>6
7
14
17
18
26
27</td><td>飛来塩分の影響を大きく受ける
凍結防止剤を散布しない
はく離がある
錆汁がある
鉄筋腐食ひび割れがある
2.688～4.895kg/cm^3（鉄筋位置）
C：軽微な断面欠損</td><td>(加速期前期)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">凍害</td><td>上面</td><td>8</td><td>積雪寒冷地以外</td><td>(―)</td></tr>
<tr><td>下面</td><td>8</td><td>積雪寒冷地以外</td><td>(―)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">中性化</td><td>上面</td><td>28</td><td>未調査</td><td>(―)</td></tr>
<tr><td>下面</td><td>28</td><td>28.5mm（平均）</td><td>(進展期)</td></tr>
<tr><td colspan="2">アルカリシリカ反応</td><td>20</td><td>ゲル滲出なし</td><td>(―)</td></tr>
<tr><td colspan="3">劣化・損傷要因と
損傷段階の判定</td><td colspan="2">上記より，本床版は飛来塩分による塩化物が下段鉄筋背面まで浸透しており，塩害（加速期）と判定．また，中性化も塩害を促進させる要因として関与している．また，塩害以外の損傷原因は認められない．なお，超長期的な耐久性を考慮する場合には，床版の補強を併用することも可能である．</td></tr>
<tr><td colspan="3">適用可能な対策工法の選定</td><td colspan="2">上記に基づき適用可能な対策工法を選定すると以下となる．
・表面保護（断面修復＋表面被覆）⇒○
・電気化学的防食（電気防食）⇒○
・電気化学的防食（脱塩）⇒○
・炭素繊維接着（電気防食との併用，長期的な疲労を考慮した場合）⇒*2
・下面増厚（電気防食との併用，長期的な疲労を考慮した場合）⇒*2
<table>
<tr><th rowspan="2">劣化・損傷要因</th><th rowspan="2">損傷段階</th><th colspan="12">対策工法の適用性</th></tr>
<tr><th>橋面防水</th><th>ひび割れ注入</th><th>表面保護</th><th>電気化学的防食</th><th>縦桁増設</th><th>炭素繊維接着</th><th>下面増厚</th><th>鋼板接着</th><th>上面増厚</th><th>水平ひび割れ注入</th><th>部分打換</th><th>床版取替</th><th>荷重制限</th></tr>
<tr><td>塩害</td><td>加速期前期</td><td>□</td><td>×</td><td>○</td><td>○</td><td>×</td><td>△</td><td>△</td><td>×</td><td></td><td></td><td>―</td><td>―</td><td>―</td></tr>
</table>
凡例：
□：適用を原則とする，○：適用可能，△：他工法との併用にて適用，
×：適用不可もしくは効果が望めない，―：予防保全として適用可能，
*1；予防保全として適用可能であるが，損傷が軽微であるため，一般的に適用しない，</td></tr>
<tr><td colspan="3"></td><td colspan="2">【総合判定】
上記の結果，塩害以外の損傷要因に起因する劣化が認められないこと並びに長期的な疲労による損傷は現状では必要ないため，下記の３工法についての比較検討を実施し，適用工法を決定する．
・表面保護工法（断面修復＋表面被覆）
・電気化学的工法（電気防食工法）
・電気化学的工法（脱塩工法）</td></tr>
</table>

(6) 対策工法の比較・決定

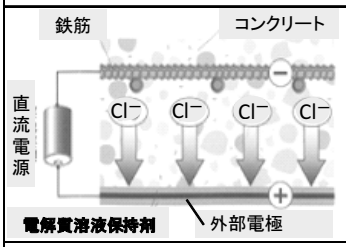
適用可能な対策工法の比較を**表-4.3.15**に示す．検討の結果，防食効果やＬＣＣ，その他の面で電気防食工法の適用が最も適していると判定できる．

表-4.3.15　適用可能な対策工法の比較表

		条件	＜損傷段階＞			＜必要な補強＞	
			塩害(加速期前期)			・疲労損傷に対する予防保全的	
						(現状，特に必要なし)	
項目							
工法			表面保護工法 (断面修復＋表面被覆)			電気化学的工法 (電気防食工法)	
概要図							
工法の概要および特徴			発錆限界以上の塩化物を含むコンクリートをはつり取り，塩化物を含まないコンクリート等で断面修復を行った後，コンクリートの表面を耐塩化物浸透性に優れた材料で被覆する．(本事例の場合，100mm程度のはつりが必要)			コンクリート表面に陽極を取付け，直流電源装置のプラス極に陽極を，鉄筋をマイナス極に繋ぎ，防食電流を供給することで，鋼材の腐食反応を停止させ防食する．	
補強効果	曲げ耐力の向上		無	○		無	○
	せん断耐力の向上		無	○		無	○
	鉄筋	上面鉄筋補修・補強、防錆	無	○		無	○
		下面鉄筋補修・補強、防錆	無	○		無	○
	床版厚修復効果		無	○		無	○
床版厚(UP厚)			150mm(変更なし)			150mm(変更なし)	
対応可能な交通規制	橋面上	交通規制なし	不可(鉄筋背面以上のはつり)	×		可	○
		夜間の一車線規制日数	工期中	○		無	○
		夜間の全止め日数	—	—		—	—
		昼夜間の一車線規制日数	工期中	○		無	○
		昼夜間の全止め規制日数	—	—		—	—
	桁下道路等の交通規制		無	○		無	○
桁下足場の必要性			必要	○		必要	○
既設橋梁への影響	路面線形への影響	路面の段差	無	○		無	○
		高欄・地覆高の修正	無	○		無	○
	死荷重の増加量		ほとんど増加しない			ほとんど増加しない(方式で異なる)	
	死荷重増加による桁補強の有無		無	○		無	○
	主構造の改修		無	○		無	○
	舗装の修繕・橋面防水工の設置		不要(現状維持)			不要(現状維持)	
	伸縮装置の取替え		不要			不要	
工法適応にあたっての課題や条件			表面被覆の再補修			定期的な防食効果の確認試験	
耐久性	耐久年数や不具合事例など		保護塗装を行った新設と同等程度の耐用年数が期待できる．橋面防水無しの場合，滞水によって表面被覆が剥がれる場合がある．	○		チタン系陽極材は耐用年数40年以上が保障されている．陽極かぶりがない場合は，周りのモルタルが損傷する場合がる．	○
	耐久年数経過後の補修工法		電気防食			電気防食の再施工	
施工性	施工実績;床版(道路橋以外を含む)		多い	○		多い	○
	工期(電気防食を1.0として)		1.0～2.0(はつり量による)	△		1.0	○
維持管理			・通常のRC床版と同様の維持管理 ・表面被覆の再施工が必要	○		・電気防食の維持管理 ・電気代・専門家の維持管理が必要	○
経済性	工事費(電気防食を1.0として)		1.0～2.0(はつり量による)	△		1.0	○
	ライフサイクルコスト(LCC)		高(再塗装)	×		最も低い	◎
評価			△ (防食効果は確実であるが，交通規制，再塗装が必要)			◎ (防食効果が確実で工事費，LCCが最も良い)	

評価の凡例:◎:最も優れている、○:適用可能、△:好ましくないが適用可能、×:適用不可

＜橋梁の重要度＞	＜施工上の制約＞	備　考
島間生活道路として非常に重要	・迂回路の確保　：不可	
	・交通規制　　：昼夜間の連続した一車線規制が可能	
	・桁下空間　　：制約なし	
	・周辺環境の制約等：制約なし	

電気化学的工法 （脱塩工法）				
				
コンクリート表面に仮設の陽極を設置し，直流電源装置のプラス極に陽極を，鉄筋をマイナス極に繋ぎ，1～2A／m^2程度の電流を2カ月程度通電し，塩化物イオンを陽極側に移動させ，コンクリート中の塩化物を除去する．				
無	○			＜必要な補強効果＞と比較し、性能を○、×で評価
無	○			
無	○			
無	○			
無	○			
150mm（変更なし）				
可	○			＜施工上の制約＞と比較し、性能を○、×、△で評価
無	○			
—	—			
無	○			
—	—			
無	○			
必要	○			
無	○			適用性を○、×、△で評価
無	○			
ほとんど増加しない				
無	○			
無	○			
不要（現状維持）				
不要				
表面被覆の再補修				
脱塩不足の場合，再腐食の可能性がある．橋面防水無しの場合，滞水によって表面被覆が剥がれる場合がある．	△			適用性を○、×、△で評価
電気防食				
少ない	△			
1.0＋2か月	△			
・通常のRC床版と同様の維持管理 ・表面被覆の再施工が必要				
	○			
1.0	○			
高（再塗装）	×			
△ （多量の塩化物含有時の防食効果の確実性や再塗装が必要）				

(7) 電気防食工法の設計

a) 設計方針および電気防食方式の選定

本橋梁は比較的交通量が少なく，ある程度の交通規制は可能であるが，島間の生活道路，観光道路として唯一の交通手段であるため，交通規制を伴わない橋梁下面からの防食対策工事を実施することとする．

(6)の検討の結果，電気防食工法が防食効果やＬＣＣ等，大多数の評価において有効と判定されたが，電気防食工法には本マニュアル**表-5.2.13**に示すように多数の工法があり，これらの中から本橋梁床版の塩害対策に最も適した方式を選定することが非常に重要である．

表-5.2.13の電気防食方式の中から，現状適用可能（現在使われている方式）な方式を選択すると概ね次のような選定となる．

①流電陽極方式

鋼材よりも卑なイオン化傾向を有する亜鉛やアルミニウムが犠牲材となって防食を行うため，直流電源装置が必要ないが，防食材が消耗するため，耐用年数が最大でも20年程度で，チタン系陽極材より短く，ＬＣＣにおいて劣る．また，防食材の自重が大きく，死荷重が増加する．

②外部電源面状方式（チタンメッシュ，パネル陽極，導電性モルタル方式）

死荷重の増加があり，導電性モルタルは，他の2方式より耐用年数が短い．

③外部電源面状方式（導電性塗料，チタン溶射，チタン亜鉛溶射方式）

死荷重の増加はないが，陽極材の耐用年数が短く，橋梁の位置関係においては，飛来砂等において陽極材が削り取られる場合がある．

④外部電源線状方式（チタンリボンメッシュ，チタングリッド方式）

双方ともチタンを基材とする陽極材であるため，陽極材の耐用年数は長いが，チタンリボンメッシュ方式の方がアルカリ環境下に加え，酸性環境下での耐久性もより長く，施工実績も圧倒的に多い．

⑤外部電源点状方式（チタンロッド方式）

点状に設置する陽極材であるため，防食効果の均一性に劣り，陽極材周りのバックフィル材が陽極よりも先に消耗し，耐久性が問題になる場合がある．

上記を総合的に判断すると，外部電源，線状陽極方式のチタンリボンメッシュ方式が最も本橋梁床版の防食対策に適していると判定でき，本電気防食方式を選択することとする．

また，本方式の電気防食においても，陽極材や陽極設置の溝切りの方式によって4種類のシステムがあり，いずれも同様な防食能力を有しているため，この選定は，構造物の管理者に委ねることとなる．

なお，周辺住民への配慮として，陽極設置のための溝切りやはつりにおいて，できるだけ粉じんを発生させないための対策も重要である．この対策としては，吸塵型のコンクリートカッターがすでに実用化，適用されている．

b) 電気防食工法の設計

本橋梁床版の防食対策に対する設計においては，通常の電気防食工事の範疇であるため，特別に照査する事項は存在しない．このため，土木学会　コンクリートライブラリー107　「電気化学的防食工法　設計施工指針(案)」等に基づく設計を行うことを基本とすればよい．

4.3.4　輪荷重による疲労－縦桁増設工法

(1) 維持管理の方針

本橋は昭和 52 年に供用を開始し 35 年近くが経過しており,地域の生活道路として交通量も多い. 本橋を有する路線は，数年後の高速道路の開通に伴い，IC から市街地へのアクセス道路として交通量の増加が予想されている.

本橋 RC 床版は昭和 48 年の道路橋示方書にて設計されており，現行の道路橋示方書と比較し床版厚が不足し設計輪荷重が小さい状況である．床版下面に格子状のひび割れが生じているが，損傷段階は輪荷重による疲労の進展期と判断され，ただちに補修・補強が必要な状況ではない．しかしながら，旧基準で設計されており床版厚が薄く，今後の交通量の増加に伴い劣化の進展速度が速まることが想定されることから，予防保全として現行基準の B 活荷重に対応できるよう床版を補強し，適切な維持管理を行いながら長期的に本橋を使用する方針である.

(2) 橋梁の概要

本橋の諸元と RC 床版の諸元を**表-4.3.16**,**表-4.3.17** に示す.平面図と断面図を**図-4.3.3**,**図-4.3.4** に示す.

表-4.3.16　橋梁諸元

橋　　格	一等橋
橋梁形式	単純非合成鈑桁
支間長	25.000m
有効幅員	車道：8.500m
主桁間隔	2@3,700m
ｱｽﾌｧﾙﾄ舗装厚	75mm
床版の種類	鉄筋コンクリート床版
床版厚	230mm
大型車交通量	500～1000 台／日
設計活荷重	TL-20
適用示方書	昭和 48 年鋼道路橋設計示方書
竣工年度	昭和 52 年

表-4.3.17　RC 床版の諸元

コンクリート設計基準強度		σ_{ck}=24N/mm^2
ハンチ高		80mm
支間部	主鉄筋	上側：D19(ctc300mm) 下側：D19(ctc150mm)
	配力筋	上側：D19(ctc300mm) 下側：D19(ctc150mm)
桁端部	主鉄筋	上下：D19(ctc100mm)
	配力筋	上下：D19(ctc150mm)
鉄筋材質		SD295A

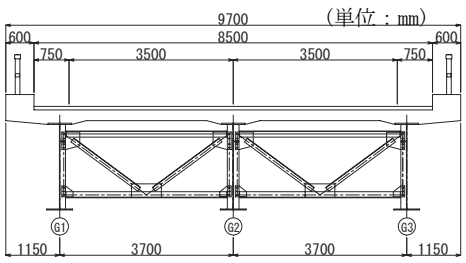


図-4.3.3　断面図

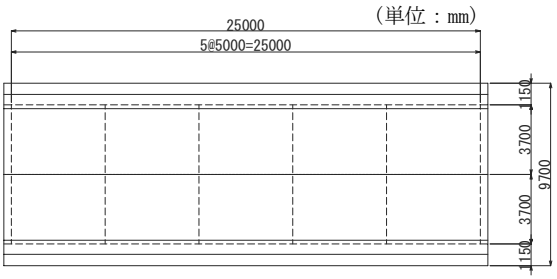


図-4.3.4　平面図

(3) 劣化・損傷の状況

床版下面のひび割れ密度について，主桁と対傾構に囲まれた範囲ごとに**図-4.3.5** に示す．車道部床版のひび割れ密度は 3～5m/m^2 であり全長に渡ってひび割れが生じている．ひび割れ幅およびひび割れ間隔はおおむね 0.2mm，30cm 程度である.

	S1	C1	C2	C3	C4	S2
G1		5m/m^2	4m/m^2	4m/m^2	5m/m^2	5m/m^2
G2		5m/m^2	5m/m^2	3m/m^2	5m/m^2	5m/m^2
G3						

図-4.3.5　床版下面のひび割れ密度

(4) 定期点検などによる劣化・損傷調査の整理

定期点検などによる劣化・損傷調査結果を**表-4.3.18** に示す．本橋は床版下面のひび割れ本数は比較的少なく，また，塩害，凍害，中性化，アルカリ骨材反応などによる劣化の可能性が低いことから，床版のコア採取などの追加調査を行わないこととした．

表-4.3.18　劣化・損傷の調査結果

	項目番号	調査項目			A1～A2	
資料調査	1	供用年数，適用示方書			建設から35年，S48道示	
	2	路線の重要度			一般市道	
	3	一方向あたりの大型車の交通量(台／日)			500以上1000未満	
	4	床版厚	設計厚		230mm	-20mm
			現行道示での床版厚		250mm	
	5	鉄筋	鉄筋の種類		異形鉄筋	
			かぶり	上面	31mm(設計値)	
				下面	31mm(設計値)	
			配力筋量		同等(補強の必要なし)	
	6	飛来塩分の影響	地域，海岸線からの距離による判断		無	
	7	凍結防止剤の散布の有無			無	
	8	寒冷地域			一般地域	
	9	防水層の施工時期			未施工	
ひび割れ調査 (目視調査)	10	ひび割れ形状(一方向，格子状，網細化など)			直行2方向	
	11	主なひび割れの位置(床版中央，ハンチ，張出部など)			床版中央，ハンチ	
	12	ひび割れ幅，間隔			0.2mm，　30cm	
	13	ひび割れ密度(m/m^2)			$5m/m^2$	
	14	はく離，はく落の面積率			無	
	15	ひび割れの角落ちの有無			無	
	16	遊離石灰の有無			無	
	17	錆汁の有無			無	
	18	鉄筋腐食ひび割れ			無	
	19	漏水			無	
	20	アルカリ骨材ゲル滲出			無	
	21	コンクリートの変色			無	
ひび割れ調査 (パイゲージ，コンタクトゲージ等)	22	すり磨きの有無			未調査	
	23	ひび割れの開閉の有無			未調査	
劣化・損傷状況の調査 (非破壊検査・コア採取による)	24	水平ひび割れ調査	打音検査		上面：未調査，下面：未調査	
			衝撃弾性波法調査		〃	
			コア採取		〃	
	25	凍害深さ	目視によるスケーリングの調査		上面：未調査，下面：無	
			コア採取，ドリル削孔		上面：未調査，下面：未調査	
	26	塩化物イオン	コア採取による浸透深さ調査(EPMA)		未調査	
			鉄筋位置の濃度 (腐食限界濃度$1.2kg/cm^3$)		上面：未調査，下面：未調査	
	27	鉄筋腐食量	目視確認(部分開削，コア抜き等)		〃	
			電気化学的測定による腐食度区分 (A：点錆程度，B：全体に表面的腐食，C：軽微な断面欠損，D：著しい腐食)		〃	
	28	旧工事の舗装切削における床版厚の減少(部分開削)			未調査	
コンクリート物性調査 (非破壊検査・コア採取による)	29	コンクリート強度	コア採取による圧縮試験		〃	
			非破壊検査		〃	
	30	残存膨張量			〃	
	31	骨材のアルカリ骨材反応性			〃	
載荷試験	32	変位	載荷試験(荷重車，FWD)		〃	
			たわみ劣化度　D（計算値）		〃	

(5) 劣化・損傷要因と損傷段階の判定および適用可能な対策工法の選定

損傷段階の判定および適用可能な対策工法を**表-4.3.19** に示す．判定の基準は，損傷段階の判定基準と対策工法の適用性（**表-4.2.2**）を用いた．

表-4.3.19　損傷段階の判定および適用可能な対策工法

<table>
<tr><td colspan="3"></td><td colspan="2">A1～A2</td></tr>
<tr><td colspan="3"></td><td colspan="2">損傷段階の判定項目</td><td rowspan="2">損傷段階の判定</td></tr>
<tr><td colspan="3"></td><td>項目番号</td><td>調査結果</td></tr>
<tr><td rowspan="9">判定要因</td><td>輪荷重による疲労</td><td></td><td>1
10
12
13
16</td><td>建設から35年,S48道示
ひび割れが直行2方向に発生
ひび割れ幅0.2mm，間隔30cm
ひび割れ密度　5m/m^2
遊離石灰が見られない</td><td>（進展期）</td></tr>
<tr><td rowspan="2">塩害</td><td>上面</td><td>6
7</td><td>飛来塩分の影響がない
凍結防止剤を散布しない</td><td>（－）</td></tr>
<tr><td>下面</td><td>6</td><td>飛来塩分の影響がない</td><td>（－）</td></tr>
<tr><td rowspan="2">凍害</td><td>上面</td><td>8</td><td>寒冷地域以外</td><td>（－）</td></tr>
<tr><td>下面</td><td>8</td><td>寒冷地域以外</td><td>（－）</td></tr>
<tr><td rowspan="2">中性化</td><td>上面</td><td></td><td></td><td>（－）</td></tr>
<tr><td>下面</td><td></td><td></td><td>（－）</td></tr>
<tr><td>アルカリ骨材反応</td><td></td><td>20
21</td><td>アルカリシリカゲル滲出が見られない
アルカリ骨材反応特有のコンクリートの変色が見られない</td><td>（－）</td></tr>
<tr><td colspan="3">劣化・損傷要因と損傷段階の判定</td><td colspan="2">上記より，ひび割れは直交2方向に発生し，遊離石灰が見られないことから輪荷重による疲労（進展期）と判定</td></tr>
<tr><td colspan="3">適用可能な対策工法の選定</td><td colspan="2">・ひび割れ注入工法（他工法と併用）
・縦桁増設工法
・炭素繊維接着工法
・下面増厚工法
・鋼板接着工法
・上面増厚工法

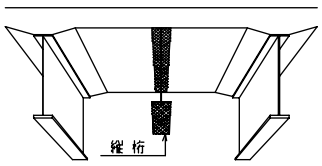
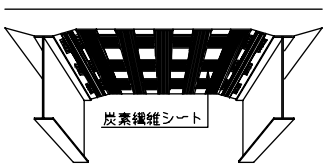
<table>
<tr><td rowspan="2">劣化・損傷要因</td><td rowspan="2">損傷段階</td><td colspan="13">対策工法の適用性</td></tr>
<tr><td>床版防水</td><td>ひび割れ注入</td><td>表面保護</td><td>電気化学的防食</td><td>縦桁増設</td><td>炭素繊維接着</td><td>下面増厚</td><td>鋼板接着</td><td>上面増厚</td><td>水平ひび割れ注入</td><td>部分打換</td><td>床版取替</td><td>荷重制限</td></tr>
<tr><td>輪荷重による疲労</td><td>進展期</td><td>□</td><td>△</td><td></td><td></td><td>○</td><td>○</td><td>○</td><td>○</td><td>○</td><td></td><td>※1</td><td>※1</td><td>※1</td></tr>
</table>
凡例:
□:適用を原則とする，○:適用可能，△:他工法との併用で適用可能，
×:適用不可，－:予防保全として適用可能，
※1:予防保全として適用可能であるが，損傷が軽度であるため一般的に適用しない，

交通規制を最小限とするため，主に床版下面での施工となる以下の3つの工法について比較し対策工法を決定する．
・縦桁増設工法
・炭素繊維接着工法
・鋼板接着工法</td></tr>
</table>

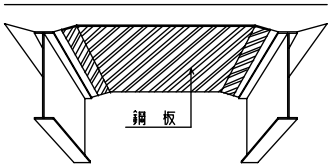
(6) 対策工法の比較・決定

適用可能な対策工法の比較を**表-4.3.20**に示す．本橋は比較的交通量が多く，交通規制を極力少なくする必要があるため，床版下面の施工となる工法より選定を行う．また，床版支間が比較的広く，作用曲げモーメントが大きいことから，床版支間を縮小して作用曲げモーメントを低減し，曲げ耐力の向上を図ることが可能な縦桁増設工法にて補強を行うこととする．

表-4.3.20　適用可能な対策工法の比較表

項目			条件 ＜損傷段階＞ 活荷重(進展期)		＜必要な補強効果＞ ・曲げ耐力向上　:必要 ・せん断耐力向上:不要 ・鉄筋補強・防錆:不要 ・床版厚修復　:不要	
工法			縦桁増設工法 (防水工とひび割れ注入(A1)を併用)		炭素繊維接着工法 (防水工とひび割れ注入(A1)を併用)	
概要図						
工法の特徴			床版の支間を短くすることで，作用曲げモーメントを減少させ，床版の曲げ耐力を向上させる．		床版下面に炭素繊維を接着することで，床版の曲げ耐力を向上させる．また，せん断耐力が20%向上するとの報告もある	
補強効果	曲げ耐力の向上		向上	○	向上	○
	せん断耐力の向上		無	△	向上	○
	鉄筋	上面鉄筋補修・補強、防錆	無	○	無	○
		下面鉄筋補修・補強、防錆	無	○	補強	○
	床版厚修復効果		無	○	無	○
床版厚(UP厚)			230mm(変更なし)		230mm(変更なし)	
対応可能な交通規制	橋面上	交通規制なし	不可(防水工で必要)	―	不可(防水工で必要)	―
		夜間の一車線規制日数	防水工1日×2回	○	防水工1日×2回	○
		夜間の全止め日数	防水工1日	○	防水工1日	○
		昼夜間の一車線規制日数	―	―	―	―
		昼夜間の全止め(規制日数)	―	―	―	―
	桁下道路等の交通規制		有(縦桁搬入時)	○	無	○
桁下足場の必要性			必要	○	必要	○
既設橋梁への影響	路面線形への影響	路面の段差	無	○	無	○
		高欄・地覆高の修正	無	○	無	○
	死荷重の増加量		0.65kN／m^2		ほとんど増加しない	
	死荷重増加による桁補強の有無		無	○	無	○
	主構造の改修		必要	△	無	○
	舗装の修繕・橋面防水工の設置		必要		必要	
	伸縮装置の取替え		不要		不要	
工法適応にあたっての課題や条件			車輪の走行位置直下に縦桁を配置することが望ましい．死荷重の増加に対して桁の照査が必要．		滞水防止，ひび割れ観察．	
耐久性	耐久年数や不具合事例など		劣化がかなり進行し，劣化過程で加速期後期以降となるなどの段階で本工法を適用した場合，疲労損傷を効果的に抑制できず，最終的に押し抜きせん断破壊に至る場合がある．→本件は劣化過程の進展期にあたるため効果が期待できる．	○	全面貼りでは滞水によって炭素繊維が剥がれる場合がある．→近年は格子貼りによる滞水対策が図られている．	○
	耐久年数経過後の補修工法		床版取替え		上面増厚	
施工性	工期		60日(1.50)	△	40日(1.00)	○
維持管理			・通常のRC床版と同様の維持管理 ・縦桁の塗装の塗り替えが必要	○	・通常のRC床版と同様の維持管理 ・仕上げ塗装の塗り替えが必要 ・滞水がないか点検が必要	○
経済性	工事費		中	△	小	○
	ライフサイクルコスト(LCC)		中	○	中	○
評価			◎ 床版支間が広いため，作用曲げモーメントを低減し曲げ耐力を向上させることが補強効果が大きい．		○	

評価の凡例:◎:最も優れている、○:適用可能、△:好ましくないが適用可能、×:適用不可

＜橋梁の重要度＞ 生活道路として重要	＜施工上の制約＞ ・迂回路の確保　：可能 ・交通規制　：昼夜間の連続した一車線規制が可能 ・桁下空間　：制約なし ・周辺環境の制約等　：制約なし	備　考
鋼板接着工法 （防水工とひび割れ注入(A1)を併用）		
		
床版下面に鋼板を接着することで，床版の曲げ耐力を向上させる．		
向上	○	＜必要な補強効果＞と比較し、性能を○、×で評価
無	△	
無	○	
補強	○	
無	○	
230mm（変更なし）		
不可（防水工で必要）	―	＜施工上の制約＞と比較し、性能を○、×、△で評価
防水工1日×2回	○	
防水工1日	○	
―	―	
―	―	
無	○	
必要	○	
無	○	適用性を○、×、△で評価
無	○	
0.36kN／m^2		
無	○	
無	○	
必要		
不要		
滞水防止，ひび割れ観察		
滞水により補強効果が低下する．補強後の維持管理が不適切だと，押し抜きせん断破壊に至る場合がある．	△	適用性を○、×、△で評価
床版取替え		
60日（1.50）	△	
・鋼板下面塗装の塗り替えが必要 ・鋼板上面に滞水がないか点検が必要 ・床版下面のひび割れが確認できない	△	
中	△	
中	○	
○		

(7) 縦桁増設工法の設計・施工

a) 設計・施工上の留意点

縦桁増設工法の設計・施工を実施するにあたり配慮する点を以上に示す.

・縦桁を増設するにあたり，既設対傾構を充腹横桁に取り替えて支点とする.

・縦桁を設置する位置は，車輪の通過頻度の高い位置を事前に調査し，きるだけこの直下に配置するものとする.

・新設される鋼製の縦桁，横桁関係の部材連結は，基本的に高力ボルト摩擦接合とする.

b) 補強設計実施例

本橋において縦桁増設補強設計を実施した例を下図に示す.

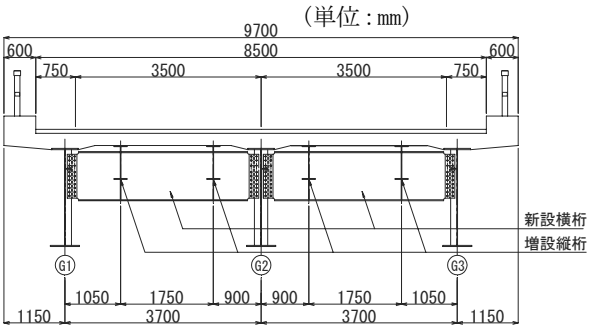


図-4.3.6 断面図

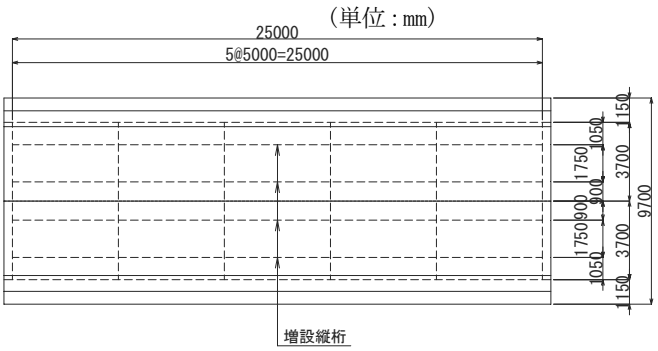


図-4.3.7 平面図

4.3.5　輪荷重による疲労－炭素繊維シート接着工法

(1) 維持管理の方針

本橋は昭和 26 年に主要地方道の河川橋として建設された．現在でも，近隣に迂回道路がないことから地域の主要道路として大型車を含む交通量の多い橋梁である．本橋の床版は，床版下面に二方向のひび割れが生じていることから，損傷段階は，輪荷重による疲労の進展期（一部，加速期前期）と判断され，ただちに補修・補強が必要な状況ではない．しかしながら，旧基準で設計されており，設計荷重が現在の基準より低く，鉄筋量が少なく今後劣化の進展速度が速いと想定される．近隣に迂回道路がないことから，本橋は長期的に供用する必要があることから予防保全として床版を補強し，適切な維持管理を行なっていくこととした．なお，現在の利用状況から，橋面の交通規制を極力伴わない工法を選定することとした．

(2) 橋梁の概要

本橋の諸元と RC 床版の諸元を**表-4.3.21**，**表-4.3.22** に，断面図を**図-4.3.8** に示す．

表-4.3.21　橋梁諸元

橋　　格	一等橋
橋梁形式	単純鈑桁橋（2 連）
橋長	24.000m（12m×2）
有効幅員	7,400m
主桁間隔	4@1.800m
ｱｽﾌｧﾙﾄ舗装厚	50mm
床版の種類	鉄筋コンクリート床版
床版厚	200mm
大型車交通量	500～1000 台／日
設計活荷重	13tf
適用示方書	昭和 14 年鋼道路橋設計示方書
竣工年度	昭和 26 年

表- 4.3.22　RC 床版の諸元

コンクリート設計基準強度		σ_{ck}=18N/mm^2
ハンチ高		50mm
支間部	主鉄筋	上側：φ13(ctc250mm) 下側：φ13(ctc125mm)
	配力筋	上側：φ12(ctc300mm) 下側：φ12(ctc300mm)
鉄筋材質		SR24

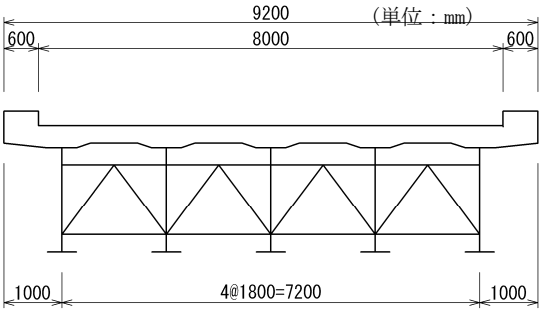


図- 4.3.8　断面図

(3) 劣化・損傷の状況

床版下面のひび割れは，縦断勾配の低い桁端部において，格子状のひび割れから遊離石灰の滲出が見られる．ただし，鉄筋の錆汁は見られない．その他の箇所においては，格子状のひび割れは生じているものの，遊離石灰，鉄筋の錆汁は見られない．床版下面のひび割れ状況を**図- 4.3.9** に示す．

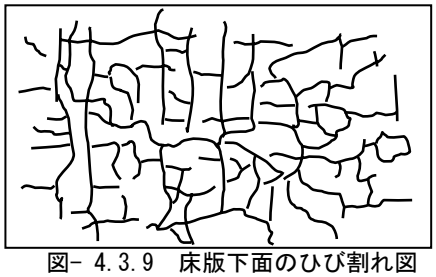


図- 4.3.9　床版下面のひび割れ図

(4) 定期点検などによる劣化・損傷調査の整理

定期点検などによる劣化・損傷調査結果を**表-4.3.23** に示す．本橋は床版下面に格子状のひび割れが認められるもののさび汁やかぶりコンリートの剥落などの変状が認められず，また，塩害，凍害，中性化，アルカリシリカ反応などによる劣化の可能性が低いことから，床版のコア採取などの追加調査を行わないこととした．

表- 4.3.23　劣化・損傷の調査結果

	番号	調査項目			一般部	備　考
資料調査	1	供用年数，適用示方書			60年，　S14鋼道示	損傷原因の判断(活荷重，塩害，凍害，中性化，アルカリシリカ反応)
	2	路線の重要度			主要地方道	
	3	一方向あたりの大型車の交通量(台／日)			500以上1000以下	損傷原因の判断(活荷重)
	4	床版厚	設計厚		200mm	損傷原因の判断(活荷重)
			現行道示での床版厚		182mm	現行道路橋示方書の配力筋量との比較
	5	鉄筋	鉄筋の種類		SR24	劣化過程の判定(活荷重)
			かぶり	上面	30mm(設計値)	鉄筋位置の塩化物イオン濃度の推定に使用
				下面	30mm(非破壊検査)	
			配力筋量		現行道示より少ない	現行道路橋示方書の配力筋量との比較
	6	飛来塩分の影響	地域，海岸線からの距離による判断		無し	損傷原因の判断(塩害)
	7	凍結防止剤の散布の有無			無し	損傷原因の判断(塩害)
	8	寒冷地域			無し	損傷原因の判断(凍害)
	9	防水層の施工時期			10年前	
ひび割れ調査 (目視調査)	10	ひび割れ形状(一方向，格子状，網細化など)			2方向	劣化過程の判定(活荷重，塩害，中性化，アルカリシリカ反応)
	11	主なひび割れの位置(床版中央，ハンチ，張出部など)			床版中央	
	12	ひび割れ幅，間隔			0.2mm，　50cm	劣化過程の判定(活荷重，塩害，中性化，アルカリシリカ反応)
	13	ひび割れ密度(m/m^2)			未検討	劣化過程の判定
	14	はく離，はく落の面積率			無し	劣化過程の判定(活荷重，塩害，凍害，中性化，アルカリシリカ反応)
	15	ひび割れの角落ちの有無			無し	劣化過程の判定(活荷重)
	16	遊離石灰の有無			一部あり	貫通ひび割れの判断(活荷重)
	17	錆汁の有無			無し	鉄筋腐食の判断(活荷重，塩害，凍害，中性化，アルカリシリカ反応)
	18	鉄筋腐食ひび割れ			無し	劣化過程の判定(塩害，中性化，アルカリシリカ反応)
	19	漏水			無し	貫通ひび割れの判断(活荷重，アルカリシリカ反応)
	20	アルカリシリカゲル滲出			無し	損傷・劣化要因の判断(アルカリシリカ反応)
	21	コンクリートの変色			無し	損傷・劣化要因の判断(アルカリシリカ反応)
ひび割れ調査 (パイゲージ，コンタクトゲージ等)	22	すり磨きの有無			無し	劣化過程の判定(活荷重)
	23	ひび割れの開閉の有無			未調査	劣化過程の判定(活荷重)
劣化・損傷状況の調査 (非破壊検査・コア採取による)	24	水平ひび割れ調査	打音検査		上面:未(※1)，下面:未	水平ひび割れの判断 ※1:舗装を部分的に開削して調査
			衝撃弾性波法調査		上面:未(※1)，下面:未	
			コア採取		上面:未調査，下面:未調査	
	25	凍害深さ	目視によるスケーリングの調査		上面:未(※1)，下面:未	劣化過程の判断(凍害)
			コア採取，ドリル削孔		上面:未調査，下面:未調査	
	26	塩化物イオン	コア採取による浸透深さ調査		未調査	劣化過程の判定(塩害)
			鉄筋位置の濃度		未調査	腐食限界濃度1.2kg/cm^3を基準
	27	鉄筋腐食量	目視確認(部分開削，コア抜き等)		未調査	劣化過程の判定(活荷重，塩害，凍害，中性化，アルカリシリカ反応)
			電気化学的測定による腐食度区分		上面:未調査，下面:未調査	A:点錆程度，B:全体に表面的腐食，C:軽微な断面欠損，D:著しい腐食
	28	中性化深さ	コア採取，ドリル削孔		上面:未調査，下面:未調査	劣化過程の判断(中性化)
コンクリート物性調査 (非破壊検査・コア採取による)	29	コンクリート強度	コア採取による圧縮試験		未調査	残存耐力の判定(活荷重，塩害，凍害，中性化，アルカリシリカ反応)
			非破壊検査		未調査	
	30	残存膨張量			未調査	損傷原因の判断(アルカリシリカ反応)
	31	骨材のアルカリシリカ反応性			未調査	損傷原因の判断(アルカリシリカ反応)
載荷試験	32	変位	載荷試験(荷重車，FWD)		未調査	劣化過程の判定(活荷重)，
			たわみ劣化度　D（計算値）		未調査	残存耐力の判定(活荷重，塩害，凍害，中性化，アルカリシリカ反応)

(5) 劣化・損傷要因と損傷段階の判定および適用可能な対策工法の選定

損傷段階の判定および適用可能な対策工法を**表- 4.3.24** に示す．判定の基準は，損傷段階の判定基準と対策工法の適用性（**表-4.2.2**）を用いた．

表- 4.3.24　損傷段階の判定および適用可能な対策工法

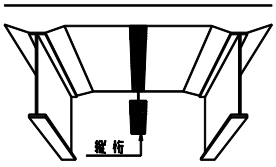
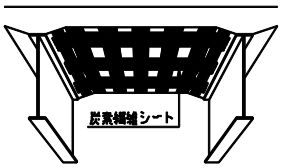
<table>
<tr><td colspan="3" rowspan="3"></td><td colspan="2">一般部</td></tr>
<tr><td colspan="2">劣化過程の判定項目</td><td rowspan="2">劣化過程の判定</td></tr>
<tr><td>項目番号</td><td>調査結果</td></tr>
<tr><td rowspan="8">判定要因</td><td colspan="2">輪荷重による疲労
（床版下面）</td><td>1
10
12
16</td><td>建設から60年,S14道示
ひび割れが格子状
ひび割れ幅0.2mm，間隔30～50cm
遊離石灰が一部見られる</td><td>進展期
(加速期前期)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">塩害</td><td>上面</td><td>6
7</td><td>飛来塩分の影響がない
凍結防止剤を散布しない</td><td>（－）</td></tr>
<tr><td>下面</td><td>6</td><td>飛来塩分の影響がない</td><td>（－）</td></tr>
<tr><td rowspan="2">凍害</td><td>上面</td><td>8</td><td>寒冷地域以外</td><td>（－）</td></tr>
<tr><td>下面</td><td>8</td><td>寒冷地域以外</td><td>（－）</td></tr>
<tr><td rowspan="2">中性化</td><td>上面</td><td></td><td></td><td>（－）</td></tr>
<tr><td>下面</td><td></td><td></td><td>（－）</td></tr>
<tr><td colspan="2">アルカリ骨材反応</td><td>20
21</td><td>アルカリシリカゲル滲出が見られない
アルカリ骨材反応特有のコンクリートの変色が見られない</td><td>（－）</td></tr>
<tr><td colspan="3">劣化・損傷要因と劣化過程の判定</td><td colspan="2">上記より，ひび割れは格子状で，塩害・凍害・中性化などの変状がみとめられないことから輪荷重による疲労（進展期，一部加速期前期）と判定</td></tr>
<tr><td colspan="3">適用可能な対策工法の選定</td><td colspan="2">・ひび割れ注入工法（他工法と併用）
・縦桁増設工法
・炭素繊維接着工法
・下面増厚工法
・鋼板接着工法
・上面増厚工法

<table>
<tr><td rowspan="2">劣化・損傷要因</td><td rowspan="2">劣化過程</td><td colspan="12">対策工法の適用性</td></tr>
<tr><td>橋面防水</td><td>ひび割れ注入</td><td>表面保護</td><td>電気化学的防食</td><td>縦桁増設</td><td>炭素繊維接着</td><td>下面増厚</td><td>鋼板接着</td><td>上面増厚</td><td>水平ひび割れ注入</td><td>部分打換</td><td>床版取替</td><td>荷重制限</td></tr>
<tr><td rowspan="2">輪荷重による疲労
床版下面の損傷</td><td>進展期</td><td>□</td><td>△</td><td></td><td></td><td>○</td><td>○</td><td>○</td><td>○</td><td>○</td><td></td><td>※1</td><td>※1</td><td>※1</td></tr>
<tr><td>加速期前期</td><td>□</td><td>△</td><td></td><td></td><td>×</td><td>○</td><td>○</td><td>○</td><td>○</td><td></td><td>—</td><td>—</td><td>—</td></tr>
</table>
</td></tr>
</table>

(6) 対策工法の比較・決定

適用可能な対策工法の比較を**表- 4.3.25** に示す．本橋は，夜間 1 車線のみ交通規制が可能であること，周辺住民環境への配慮から工事騒音を低減する必要があることから，これらの制約条件に対応可能で初期コスト，LCC も安価な炭素繊維シート接着工法を選定した．

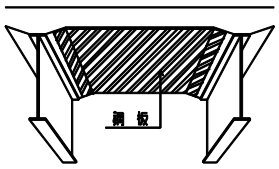
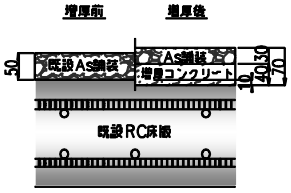
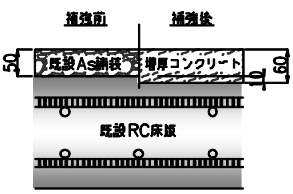
表- 4.3.25　適用可能な対策工法の比較表

		条件	＜劣化過程＞		＜必要な補強効果＞		
			輪荷重		・曲げ耐力向上　:必要		
			(進展期一部加速期前期)		・せん断耐力向上:不要		
					・鉄筋補強・防錆:不要		
項目					・床版厚修復　:不要		
工法			縦桁増設工法 (防水工を併用)		炭素繊維接着工法 (防水工を併用)		
概要図							
工法の特徴			床版の支間を短くすることで，床版の曲げ耐力を向上させる．		床版下面に炭素繊維を接着することで，床版の曲げ耐力を向上させる．また，せん断耐力が20%向上するとの報告もある		
補強効果	曲げ耐力の向上		向上	○	向上	○	
	せん断耐力の向上		無	×	向上	△	
	輪荷重に対する疲労耐久性の向上		小	△	向上	○	
	鉄筋	上面鉄筋補修・補強、防錆	無	○	無	○	
		下面鉄筋補修・補強、防錆	無	○	補強	○	
	床版厚修復効果		無	○	無	○	
床版厚(UP厚)			200mm(変更なし)		200mm(変更なし)		
対応可能な交通規制	橋面上	交通規制なし	不可(防水工で必要)	—	不可(防水工で必要)	—	
		夜間の一車線規制日数	防水工1日×2回	○	防水工1日×2回	○	
		夜間の全止め日数	防水工1日	○	防水工1日	○	
		昼夜間の一車線規制日数	不要	○	不要	○	
		昼夜間の全止め(規制日数)	不要	○	不要	○	
	桁下道路等の交通規制		有(縦桁搬入時)	○	無	○	
周辺環境	騒音の程度		昼間作業で騒音小	○	昼間作業で騒音小	○	
桁下足場の必要性			必要	○	必要	○	
既設橋梁への影響	路面線形への影響	路面の段差	無	○	無	○	
		高欄・地覆高の修正	無	○	無	○	
	死荷重の増加量		0.36kN／m^2		ほとんど増加しない		
	死荷重増加による桁補強の有無		無	○	無	○	
	主構造の改修		必要	△	無	○	
	舗装の修繕・橋面防水工の設置		防水工設置済み		防水工設置済み		
	伸縮装置の取替え		不要		不要		
工法適応にあたっての課題や条件			車輪の走行位置直下に縦桁を配置する必要がある．死荷重の増加に対して桁の照査が必要		滞水防止，ひび割れ観察		
耐久性	耐久年数や不具合事例など		縦桁上以外を車輪が走行する場合には，疲労損傷が進行し，最終的に押し抜きせん断破壊に至ることが想定される．	△	全面貼りでは滞水によって炭素繊維が剥がれる場合がある．→近年は格子貼りによる滞水対策が図られている．	○	
	耐久年数経過後の補修工法		床版取替え		上面増厚		
施工性	施工実績		近年は減少	△	多い	○	
	工期		90日(1.50)	△	60日(1.00)	○	
維持管理			・通常のRC床版と同様の維持管理 ・縦桁の塗装の塗り替えが必要	○	・通常のRC床版と同様の維持管理 ・橋下の通行は無く美観は要求されず 定期的な仕上げ塗装の塗り替えは不要 ・滞水がないか点検が必要	○	
経済性	工事費		高	×	最も安価	◎	
	ライフサイクルコスト(LCC)		高	×	最も低い	◎	
評価			△ (延命効果が少ない)		◎ (工事費，LCCが最も良い，交通止不要)		

評価の凡例:◎:最も優れている、○:適用可能、△:好ましくないが適用可能、×:適用不可

※1:超速硬コンクリートを用いた場合を示す

※2:早強コンクリートを用いた場合を示す

＜橋梁の重要度＞		＜施工上の制約＞				備　考
地方道路として重要		・迂回路の確保　：困難 ・交通規制　：夜間のみ1車線規制可能 ・桁下空間　：制約なし ・周辺環境の制約等：夜間の騒音への配慮が必要				
鋼板接着工法 （防水工を併用）		上面増厚工法＜ｱｽﾌｧﾙﾄ舗装＞ （防水工を併用）		上面増厚工法＜ｺﾝｸﾘｰﾄ舗装＞		
						
床版下面に鋼板を接着することで，床版の曲げ耐力を向上させる．		既設床版を増厚することで，床版の曲げ・せん断耐力を向上させる．超速硬コンクリートを使用．		アスファルト舗装をコンクリート舗装に打ち替え，床版の曲げ・せん断耐力を向上させる．早強コンクリートを使用．		
向上	○	向上	○	向上	○	＜必要な補強効果＞と比較し、性能を○、△、×で評価
無	△	向上	○	向上	○	
向上	○	向上	○	向上	○	
無	○	無	○	無	○	
補強	○	無	○	無	○	
無	○	有	○	有	○	
200mm（変更なし）		230mm（+30mm増厚）		250mm（+50mm増厚）		
不可（防水工で必要）	—	不可	—	不可	—	＜施工上の制約＞と比較し、性能を○、×、△で評価
防水工1日×2回	○	1日×4回	△	不可	×	
防水工1日	○	1日×4回	△	不可	×	
不要	○	連続24時間×2回※1	△	連続7日間×2回※2	×	
不要	○	連続24時間※1	×	連続7日間※2	×	
無	○	無	○	無	○	
昼間作業で騒音小	○	夜間作業時騒音大	×	夜間作業時騒音大	×	適用性を○、×、△で
必要	○	必要（ひび割れ注入工）	○	必要（ひび割れ注入工）	○	
無	○	有（すり付け長の確保可能）	○	無	○	適用性を○、×、△で評価
無	○	有	○	無	○	
0.36kN／m^2		0.23kN／m^2		無		
無	○	無	○	無	○	
無	○	無	○	無	○	
防水工設置済み		必要		防水工を設けない		
不要		必要		不要		
滞水防止，ひび割れ観察		死荷重の増加に対して桁の照査が必要．打継ぎ界面のはく離防止		打継ぎ界面のはく離防止		
滞水により補強効果が低下する．補強後の維持管理が不適切だと，押し抜きせん断破壊に至る場合がある	△	打継ぎ界面にはく離が生じる場合がある．→近年は接着剤を使用することで耐久性の向上が図られている．	○	打継ぎ界面にはく離が生じる場合がある．→近年は接着剤を使用することで耐久性の向上が図られている．	○	適用性を○、×、△で評価
床版取替え		旧増厚を切削後に再度上面増厚		旧増厚を切削後に再度上面増厚		
近年は減少	△	多い	○	少ない	○	
90日（1.50）	△	60日（1.00）	○	60日（1.00）	○	
・鋼板下面塗装の塗り替えが必要 ・鋼板上面に滞水がないか点検が必要 ・床版下面のひび割れが確認できない		通常のRC床版と同様の維持管理		通常のRC床版と同様の維持管理		
	△		○		○	
高	×	安	○	安価	○	
高	×	中	△	安価	○	
○ （工事費，LCCが高い，交通止不要）		× （高さのすり付けが・交通止めが必要と）		× （交通止めが必要となる）		

(7) 炭素繊維シート接着工法の設計

a) 設計方針

本橋は主要地方道で交通量が多く夜間のみ 1 車線交通規制が可能であることから，橋面の防水工とアスファルト舗装を施し，床版下面側からの補強対策を施すものとした．床版の損傷は進展期であり疲労耐久性の向上を図ることを目的とする．そのため床版の補強工法は炭素繊維シート接着工法を選定した．

b) 炭素繊維シート接着工法の補強仕様の決定

床版コンクリートの劣化のモニタリングおよび炭素繊維シートの接着性を長期的に確保するため床版コンクリート内の滞水防止を目的として，主鉄筋方向および配力鉄筋方向の炭素繊維シートを一定の間隔をあけて接着する，格子接着工法を採用する．既往の輪荷重実験より無補強の RC 床版に比べて 10 倍程度の疲労耐久性が得られる炭素繊維シートの引張剛性として 60kN/mm 以上を確保することとする．

表-4.3.26 に示すように幅 250mm の高弾性型炭素繊維シートを 100mm の間隔で接着した場合の補強材の引張剛性は以下のように 65kN/mm となる．

$$S_{cf}=n_{cf}\times E_{cf}\times t_{cf}\times w_{cf}/(w_{cf}+g_{cf})$$
$$=65\text{kN/mm}$$

ここに

S_{cf}：補強材の引張剛性
n_{cf}：炭素繊維シートの積層数
E_{cf}：炭素繊維シートのヤング係数
t_{cf}：炭素繊維シートの厚さ
w_{cf}：炭素繊維シートの幅
g_{cf}：炭素繊維シートの間隔

表- 4.3.26　炭素繊維シートの貼り付け仕様

炭素繊維シートの種類	高弾性型炭素繊維シート
繊維目付量	300g/m^2
炭素繊維シート設計の厚さ　(t_{cf})	0.143mm
炭素繊維シートのヤング係数 (E_{cf})	640kN/mm^2
引張強度	1900N/mm^2
炭素繊維シートの幅　(w_{cf})	250mm
炭素繊維シートの貼り付け間隔 (g_{cf})	100mm
炭素繊維シートの積層数　(n_{cf})	1 層（主筋方向・配力筋方向）
補強材の引張剛性　(S_{cf})	65kN/mm

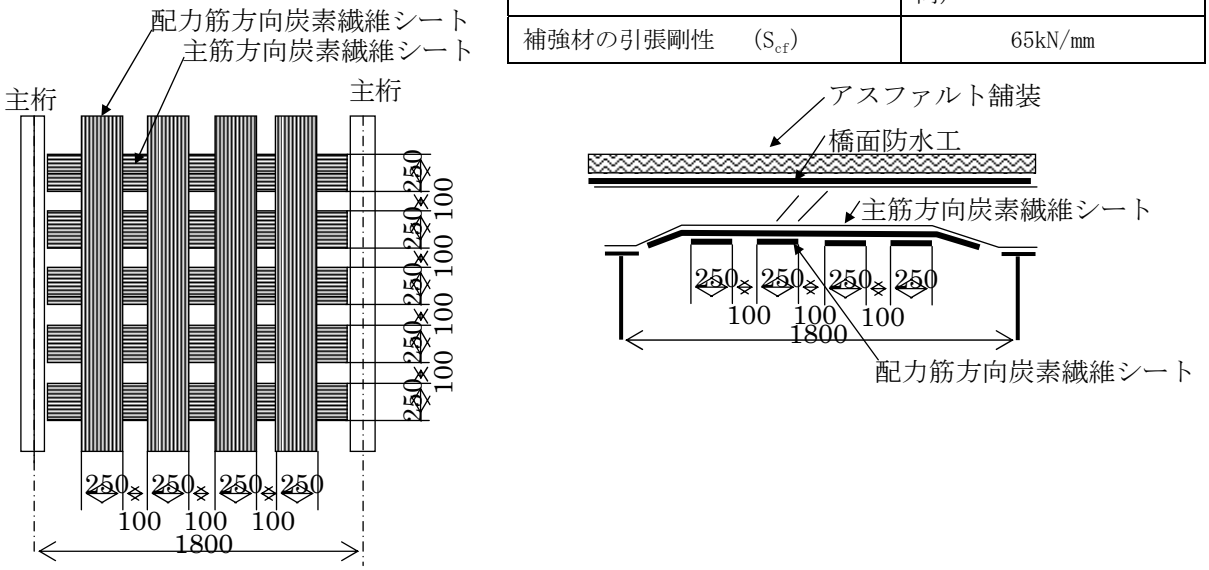


図-4.3.10　炭素繊維シート接着仕様

4.3.6　輪荷重による疲労－下面増厚工法

(1) 維持管理の方針

本橋は昭和 45 年に県道橋として建設され，現在は主要な県道として活用されており，特に朝夕の通勤時間等に重交通として利用されている．さらに，隣県との基幹路線でもあり，建設当初よりも大型車交通量が増加した状況にある．本橋の床版は，床版下面に格子状のひび割れが生じていることから，損傷段階は，輪荷重による疲労の進展期（一部，加速期）と判断され，ただちに補修・補強が必要な状況ではない．しかしながら，旧基準で設計されており床版厚が薄く劣化の進展速度が速いと想定されること，設計当初よりも大型車交通量が増加していること，基幹道路として重要であることなどの理由から，予防保全として現行基準の B 活荷重に対応できるよう床版を補強し，適切な維持管理を行いながら長期的に本橋を使用する方針である．

(2) 橋梁の概要

本橋の諸元と RC 床版の諸元を**表-4.3.27**，**表-4.3.28**，断面図を**図-4.3.11** に示す．

表-4.3.27　橋梁諸元

橋　　格	一等橋
橋梁形式	４径間連続非合成鈑桁
支間長	24.000m
有効幅員	13.500m
主桁間隔	3@2.950m
ｱｽﾌｧﾙﾄ舗装厚	75mm
床版の種類	鉄筋コンクリート床版
床版厚	200mm
大型車交通量	500～1000 台／日
設計活荷重	TL-20
適用示方書	昭和 39 年鋼道路橋設計示方書
竣工年度	昭和 45 年

表-4.3.28　RC 床版の諸元

コンクリート設計基準強度		σ_{ck}=28N/mm^2
ハンチ高		50mm
支間部	主鉄筋	上側：D19(ctc250mm) 下側：D19(ctc125mm)
	配力筋	上側：D16(ctc207mm) 下側：D16(ctc108mm)
張出し部	主鉄筋	上側：D19(ctc125mm) 下側：D19(ctc250mm)
	配力筋	上側：D16(ctc150mm) 下側：D16(ctc150mm)
桁端部	主鉄筋	上下：D19(ctc125mm)
	配力筋	上下：D16(ctc125mm)
鉄筋材質		SD295A

(3) 劣化・損傷の状況

床版下面のひび割れは，0.2～0.3mm 程度のひび割れが格子状に発生しており縦断勾配の低い桁端部において，遊離石灰の滲出が見られる．ただし，鉄筋の錆汁は見られない．その他の箇所においては，格子状のひび割れは生じているものの，遊離石灰，鉄筋の錆汁は見られない.床版下面のひび割れ状況を**図-4.3.12** に示す．

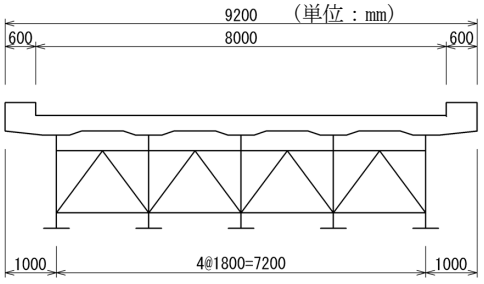


図-4.3.11　断面図

(4) 点検などによる劣化・損傷調査の整理

定期点検などによる劣化・損傷調査結果を**表-4.3.29** に示す．本橋は床版下面のひび割れ本数は比較的少なく，また，塩害，凍害，中性化，アルカリ骨材反応などによる劣化の可能性が低いことから，床版のコア採取などの追加調査を行わないこととした．

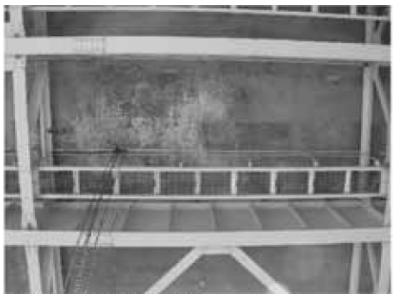


図-4.3.12　床版下面のひび割れ状

表-4.3.29　劣化・損傷の調査結果

	項目番号	調査項目			A1～P1	
資料調査	1	供用年数，適用示方書			建設から41年，S39道示	
	2	路線の重要度			幹線道路	
	3	一方向あたりの大型車の交通量(台／日)			1000以上2000未満	
	4	床版厚	設計厚		200mm	-30mm
			現行道示での床版厚		230mm	
	5	鉄筋	鉄筋の種類		異形鉄筋	
			かぶり	上面	40mm(設計値)	
				下面	40mm(設計値)	
			配力筋量		H8道示の基準より少ない	
	6	飛来塩分の影響	地域，海岸線からの距離による判断		無	
	7	凍結防止剤の散布の有無			無	
	8	寒冷地域			無	
	9	防水層の施工時期			床版補強時に同時施工	
ひび割れ調査(目視調査)	10	ひび割れ形状(一方向，格子状，網細化など)			格子状	
	11	主なひび割れの位置(床版中央，ハンチ，張出部など)			床版中央，ハンチ	
	12	ひび割れ幅，間隔			0.3mm，　20cm	
	13	ひび割れ密度(m/m^2)			$7m/m^2$	
	14	はく離，はく落の面積率			無	
	15	ひび割れの角落ちの有無			無	
	16	遊離石灰の有無			一部有	
	17	錆汁の有無			無	
	18	鉄筋腐食ひび割れ			無	
	19	漏水			無	
	20	アルカリ骨材ゲル滲出			無	
	21	コンクリートの変色			無	
ひび割れ調査(パイゲージ，コンタクトゲージ等)	22	すり磨きの有無			無	
	23	ひび割れの開閉の有無			有り	
劣化・損傷状況の調査(非破壊検査・コア採取による)	24	水平ひび割れ調査	打音検査		-	
			衝撃弾性波法調査		-	
			コア採取		上面：無，下面：無	
	25	凍害深さ	目視によるスケーリングの調査		-	
			コア採取，ドリル削孔		上面：無，下面：無	
	26	塩化物イオン	コア採取による浸透深さ調査(EPMA)		未実施	
			鉄筋位置の濃度 (腐食限界濃度$1.2kg/cm^3$)		上面：無，下面：無	
	27	鉄筋腐食量	目視確認(部分開削，コア抜き等)		上面：無，下面：無	
			電気化学的測定による腐食度区分 (A：点錆程度，B：全体に表面的腐食，C：軽微な断面欠損，D：著しい腐食)		上面：無，下面：無	
	28	旧工事の舗装切削における床版厚の減少(部分開削)			無	
コンクリート物性調査(非破壊検査・コア採取による)	29	コンクリート強度	コア採取による圧縮試験		$28N/mm^2$	
			非破壊検査		未調査	
	30	残存膨張量			〃	
	31	骨材のアルカリ骨材反応性			〃	
載荷試験	32	変位	載荷試験(荷重車，FWD)		〃	
			たわみ劣化度　D（計算値）		〃	

(5) 劣化・損傷要因と損傷段階の判定および適用可能な対策工法の選定

損傷段階の判定および適用可能な対策工法を**表-4.3.30** に示す．判定の基準は，損傷段階の判定基準と対策工法の適用性（**表-4.2.2**）を用いた．

表-4.3.30　損傷段階の判定および適用可能な対策工法

			A1～A2		
			損傷段階の判定項目		損傷段階の判定
			項目番号	調査結果	
判定要因	輪荷重による疲労		1	建設から41年,S39道示	（進展期）
			10	ひび割れが網細化	
			12	ひび割れ幅0.3mm，間隔20cm	
			13	ひび割れ密度　7m/m^2	
			16	遊離石灰が若干見られる	
			29	圧縮強度28N/mm^2→スケーリング部以外の強度低下は見られない	
	塩害	上面	6	飛来塩分の影響がない	(―)
		下面	6	飛来塩分の影響がない	(―)
	凍害	上面	8	寒冷地域以外	(―)
			7	凍結防止材を散布しない	
		下面	8	寒冷地域以外	(―)
			7	凍結防止材を散布しない	
	中性化	上面			(―)
		下面			(―)
	アルカリ骨材反応		20	アルカリシリカゲル滲出が見られない	(―)
			21	アルカリ骨材反応特有のコンクリートの変色が見られない	
劣化・損傷要因と損傷段階の判定			上記より，ひび割れは格子状に発生し，一部に遊離石灰が見られる．また，床版上面の損傷はないことから，輪荷重による疲労（進展期）劣化と判定される		

適用可能な対策工法の選定

劣化・損傷要因	損傷段階	対策工法の適用性											
		ひび割れ注入	表面保護	電気化学的防食	縦桁増設	炭素繊維接着	下面増厚	鋼板接着	上面増厚	水平ひび割れ注入	部分打換	床版取替	荷重制限
輪荷重による疲労	進展期	△			○	○	○	○	○		※1	※1	※1

【総合判断】

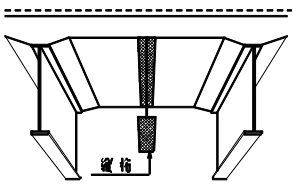
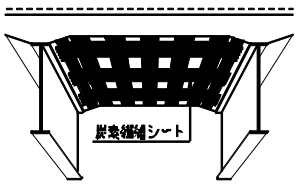
輪荷重による疲労が進展期であることから，床版補強をすれば部分打換，床版取替，荷重制限を行う必要はないと考えられる．したがって，本橋の床版には，以下に示す4工法が適用可能と考えられる．

- 縦桁増設工法
- 炭素繊維接着工法
- 鋼板接着工法
- 上面増厚工法
- 下面増厚工法

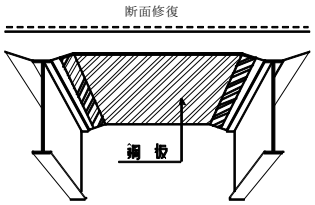
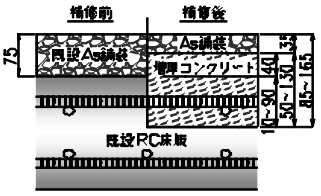
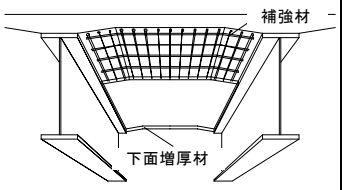
(6) 対策工法の比較・決定

適用可能な対策工法の比較を**表-4.3.31**に示す．本橋は，短期間の一車線交通規制が昼間のみ可能である．また，床版の曲げ補強，せん断補強，床版厚さを確保することからポリマーセメントモルタルを用い，最も安価で補強効果が高い下面増厚工法にて補強する．

表-4.3.31　適用可能な対策工法の比較表

項目			条件 ＜損傷段階＞ 活荷重(進展期)		＜必要な補強効果＞ ・曲げ耐力向上　:必要 ・せん断耐力向上:必要 ・鉄筋補強・防錆:必要 ・床版厚修復　:必要
工法			縦桁増設工法 (防水工と併用)		炭素繊維接着工法 (防水工と併用)
概要図					
工法の特徴			床版の支間を短くすることで，床版の曲げ耐力を向上させる．断面補修工法との併用が必要．		床版下面に炭素繊維を接着することで，床版の曲げ耐力を向上させる．また，せん断耐力が20%向上するとの報告もある．断面補修工法との併用が必要．
補強効果	曲げ耐力の向上		向上	○	向上	○
	せん断耐力の向上		無	?	向上	○
	鉄筋	上面鉄筋補修・補強、防錆	無	○	無	○
		下面鉄筋補修・補強、防錆	無	○	補強	○
	床版厚修復効果		断面修復工を実施	○	断面修復工を実施	○
床版厚(UP厚)			200mm(変更なし)		200mm(変更なし)	
対応可能な交通規制	橋面上	交通規制なし	不可(防水工で必要)	—	不可(防水工で必要)	—
		夜間の一車線規制日数	防水工1日×2回	○	防水工1日×2回	○
		夜間の全止め日数	防水工1日	○	防水工1日	○
		昼夜間の一車線規制日数	—	○	—	○
		昼夜間の全止め(規制日数)	—	—	—	—
	桁下道路等の交通規制		有(縦桁搬入時)	○	無	○
桁下足場の必要性			必要	○	必要	○
既設橋梁への影響	路面線形への影響	路面の段差	無	○	無	○
		高欄・地覆高の修正	無	○	無	○
	死荷重の増加量		0.36kN／m^2		ほとんど増加しない	
	死荷重増加による桁補強の有無		無	○	無	○
	主構造の改修		必要	△	無	○
	舗装の修繕・橋面防水工の設置		必要		必要	
	伸縮装置の取替え		不要		不要	
工法適応にあたっての課題や条件			車輪の走行位置直下に縦桁を配置する必要がある．死荷重の増加に対して桁の照査が必要		滞水防止，ひび割れ観察	
耐久性	耐久年数や不具合事例など		縦桁上以外を車輪が走行する場合には，疲労損傷が進行し，最終的に押し抜きせん断破壊に至ることが想定される．	△	全面貼りでは滞水によって炭素繊維が剥がれる場合がある．→近年は格子貼りによる滞水対策が図られている．	○
	耐久年数経過後の補修工法		床版取替え		上面増厚	
施工性	施工実績		近年は減少	△	多い	○
	工期		90日(1.50)	△	60日(1.00)	○
維持管理			・通常のRC床版と同様の維持管理 ・縦桁の塗装の塗り替えが必要	○	・通常のRC床版と同様の維持管理 ・仕上げ塗装の塗り替えが必要 ・滞水がないか点検が必要	○
経済性	工事費		高	?	安	○
	ライフサイクルコスト(LCC)		高	?	安	○
評価			? (せん断耐力が向上しない)		△ (床版の耐荷力向上は可能であるが、床版厚さは不足)	

評価の凡例:◎:最も優れている、○:適用可能、△:好ましくないが適用可能、?:適用不可

＜橋梁の重要度＞ 幹線道路		＜施工上の制約＞ ・迂回路の確保　：不可 ・交通規制　：昼のみの一車線規制が短期間可能 ・桁下空間　：制約なし ・周辺環境の制約等：周辺住民に対する騒音対策				備　考
鋼板接着工法 （防水工と併用）		上面増厚工法 （防水工と併用）		下面増厚工法 （防水工と併用）		
						
床版下面に鋼板を接着することで，床版の曲げ耐力を向上させる．断面補修工法との併用が必要．		既設床版のスケーリングの補修と同時に増厚することで，床版の曲げ・せん断耐力を向上させる．超速硬コンクリートを使用．		床版下面に下面増厚を施すことで，床版の曲げ耐力を向上させる．また，せん断耐力が増厚分向上する		
向上	○	向上	○	向上	○	＜必要な補強効果＞と比較し、性能を○、×で評価
無	?	向上	○	向上	○	
無	○	無	○	無	○	
補強	○	無	○	補強	○	
断面修復工を実施	○	有	○	断面修復工を実施	○	
200mm（変更なし）		240mm（+40mm増厚）		230mm（+30mm増厚）		
不可（防水工で必要）	—	不可	—	不可（防水工で必要）	—	＜施工上の制約＞と比較し、性能を○、×、△で評価
防水工1日×2回	○	1日×8回	○	防水工1日×2回	—	
防水工1日	○	1日×8回	○	防水工1日	—	
—	○	連続24時間×2回※1	○	—	○	
—	—	—	—	—	○	
無	○	無	○	無	○	
必要	○	不要	○	必要	○	
無	○	無	○	無	○	適用性を○、×、△で評価
無	○	無	○	無	○	
0.36kN／m^2		無		0.60kN／m^2		
無	○	無	○	無	○	
無	○	無	○	無	○	
必要		必要		必要		
不要		不要		不要		
滞水防止，ひび割れ観察		打継ぎ界面のはく離防止		滞水防止，ひび割れ観察		
滞水により補強効果が低下する．補強後の維持管理が不適切だと，押し抜きせん断破壊に至る場合がある	△	打継ぎ界面にはく離が生じる場合がある．→近年は接着剤を使用することで耐久性の向上が図られている．	○	橋面防水を併用することにより補強効果が継続される。経年による劣化は床版下面にひび割れとして現れるため下面の経過観察により確認する。	○	適用性を○、×、△で評価
床版取替え		旧増厚を切削後に再度上面増厚		上面増厚		
近年は減少	△	多い	○	多い	○	
90日（1.50）	△	60日（1.00）	○	90日（1.50）	△	
・鋼板下面塗装の塗り替えが必要 ・鋼板上面に滞水がないか点検が必要 ・床版下面のひび割れが確認できない	△	通常のRC床版と同様の維持管理	○	・通常のRC床版と同様の維持管理 ・滞水がないか点検が必要	○	
高	?	安	○	安	◎	
高	?	安	○	中	◎	
△ （床版の耐荷力向上は可能であるが、床版厚さは不足）		× （床版の補強効果は期待できるが、交通を長期に規制しなければならない）		◎ （工事費が安く床版の補強効果が期待でき、交通規制が短期）		

(7) 下面増厚工法の設計

a) 設計方針

本橋は県道の主要路線で交通量が多く一時的な交通規制のみ可能であることから，橋面の防水工とアスファルト舗装を施し，床版下面側からの補強対策を施すものとした．床版の損傷は進展期で床版の厚さを確保し曲げ及びせん断補強を行い，疲労耐久性の向上を図ることを目的とする．そのため床版の補強工法は下面増厚工法を選定した．

b) 対策工法の設計

下面増厚工法は現行の道路橋示方書で要求される曲げモーメントに対し既設鉄筋応力が許容応力以下となる補強鉄筋を床版下面に配置しポリマーセメントモルタルで増厚補強するものである．この下面増厚補強断面で輪荷重走行試験により疲労耐久性の工場が確認されている．そのため現行の道路橋示方書で必要とされている床版厚さを確保できなくとも，所定の疲労耐久性が得られるものである．本橋では必要とする曲げ補強から定まる鉄筋量 D10@100 と厚さ t=30mm となり，必要床版厚さ 230mm も確保できる．

・中間床版の照査

現行の道路橋示方書で要求される曲げモーメントに対し既設鉄筋応力が許容応力以下となる補強鉄筋を床版下面に配置する．

・片持ち床版の照査

現行の道路橋示方書で要求される曲げモーメントに対し既設鉄筋応力が許容応力以下となる補強鉄筋を床版下面に配置する．

・下面増厚量

下面増厚量　＝　主鉄筋方向補強鉄筋公称径　＋　配力鉄筋方向補強鉄筋公称径　＋　最小かぶり 10㎜ かつ鉄筋径

主鉄筋方向補強鉄筋公称径（D10）＋　配力鉄筋方向補強鉄筋公称径（D10）

＋　最小かぶり 10mm　＝　10mm ＋ 10mm ＋+10mm ＝ 30mm

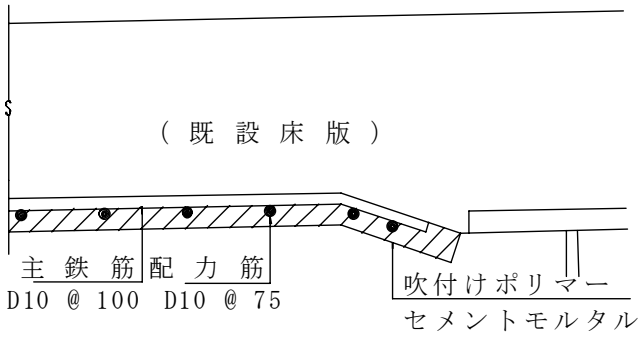


図-4.3.13　補強断面図

・死荷重増に関する主構造への影響

死荷重の増加が少ないため主構造への影響はない．

4.3.7　輪荷重による疲労－鋼板接着工法

(1) 維持管理の方針

本橋は昭和 41 年に建設された都市部の高架橋で，主要幹線道路であることから交通量が多く特に湾岸部からの大型輸送車両が頻繁に通行する交通環境であった.海岸線からは 10km 程度離れており，冬期の積雪もほとんど無い環境に置かれている．周辺にはアルカリシリカ反応による被災構造物も見られないことから，材料的な問題を有する危険性は少ない状況であった．床版の劣化状況は下面に二方向ひび割れが発生しており,その間隔も 50cm を下回り一部には角落ちも生じ始めていることから，進展期を過ぎて加速期に入った状況であると判定された．さらに，本橋の設計は昭和 39 年の道路橋示方書に準拠しており，主鉄筋量に対して配力鉄筋量が極端に少ない設計となっている．本橋の維持管理にあたっては，今後も大型車通行量が見込まれることを考慮すると何らかの対策が要求される状況である．しかしながら都市部で架け替えが容易ではなく，交通量も多いことから橋面の通行規制を行わない床版補強工法を選定する必要に迫られていた.

(2) 橋梁の概要

本橋の諸元を**表-4.3.32**，RC 床版の諸元を**表-4.3.33**，断面図を**図-4.3.14** に示す.

表-4.3.32　橋梁の諸元

橋　　格	一等橋
橋梁形式	単純合成鈑桁×3連
橋　　長	95.3m
有効幅員	12.5m
主桁間隔	2.4m
アスファルト舗装厚	50mm
床版の種類	鉄筋コンクリート床版
床版厚	190mm
大型車交通量	8,000台
設計活荷重	TL-20
適用示方書	昭和39年鋼道路橋設計示方書
竣工年度	昭和41年

表-4.3.33　RC 床版の諸元

コンクリート設計基準強度		$\sigma ck=21N/mm^2$
ハンチ高		70mm
支間部	主鉄筋	上側：D16（c.t.c.250mm）
		下側：D16（c.t.c.125mm）
	配力筋	上側：D13（c.t.c.300mm）
		下側：D13（c.t.c.300mm）
鉄筋材質		SD30A

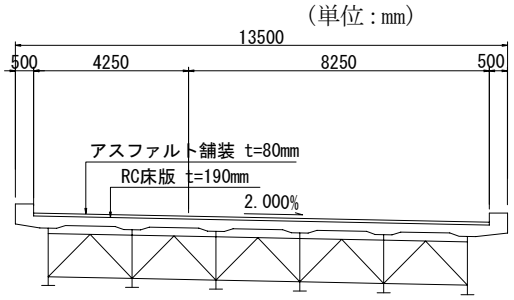


図-4.3.14　断面図

(3) 劣化・損傷の状況

床版下面側のひび割れは，二方向ひび割れとなって進展しており,その間隔も 50cm を下回っている．さらに輪荷重が通過する範囲では角落ちも生じ始めていた．遊離石灰と漏水は局所的に発生しており，その位置は橋面勾配の下側で輪荷重の通行軌跡の直下であった.

図-4.3.7.2 は主桁と対傾構に囲まれた床版のパネルのひび割れ調査結果である．ひび割れ密度は $10m/m^2$ を超過しており，剛性の低下が懸念される状況であった.

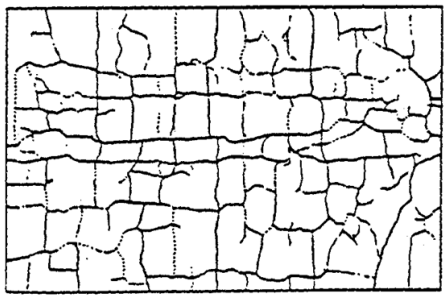


図-4.3.15　床版下面のひび割れ状

(4) 定期点検などによる劣化・損傷調査の整理

本橋床版の調査結果を**表-4.3.34** に示す. 材料の劣化に関する要因が考えられないので調査はひび割れ性状の確認を中心として行っている.

表-4.3.34 調査結果表

	番号	調査項目			パネル名	備 考
資料調査	1	供用年数, 適用示方書			46年, S39鋼道示	損傷原因の判断(活荷重, 塩害, 凍害, アルカリ骨材反応)
	2	路線の重要度			主要地方道	
	3	一方向あたりの大型車の交通量(台／日)				損傷原因の判断(活荷重)
	4	床版厚	設計厚		190mm	損傷原因の判断(活荷重)
			現行道示での床版厚		230mm	現行道路橋示方書の配力筋量との比較
	5	鉄筋	鉄筋の種類		SD30A	損傷段階の判定(活荷重)
			かぶり	上面	30mm(設計値)	鉄筋位置の塩化物イオン濃度の推定に使用
				下面	30mm(設計値)	
			配力筋量		現行道示よりも少ない	現行道路橋示方書の配力筋量との比較
	6	飛来塩分の影響	地域, 海岸線からの距離による判断		無し	損傷原因の判断(塩害)
	7	凍結防止剤の散布の有無			無し	損傷原因の判断(塩害)
	8	寒冷地域			無し	損傷原因の判断(凍害)
	9	防水層の施工時期			無し	
ひび割れ調査 (目視調査)	10	ひび割れ形状(一方向, 格子状, 網細化など)			2方向	損傷段階の判定(活荷重, 塩害, アルカリ骨材反応)
	11	主なひび割れの位置(床版中央, ハンチ, 張出部など)			床版中央	
	12	ひび割れ幅, 間隔			0.2mm, 50cm未満	損傷段階の判定(活荷重, 塩害, 凍害, アルカリ骨材反応)
	13	ひび割れ密度(m/m^2)			最大10.0m/m^2	損傷段階の判定
	14	はく離, はく落の面積率			無し	損傷段階の判定(活荷重, 塩害, 凍害, アルカリ骨材反応)
	15	ひび割れの角落ちの有無			有り(局所的)	損傷段階の判定(活荷重)
	16	遊離石灰の有無			有り(局所的)	貫通ひび割れの判断(活荷重, 塩害, 凍害, アルカリ骨材反応)
	17	錆汁の有無			無し	鉄筋腐食の判断(活荷重, 塩害, 凍害, アルカリ骨材反応)
	18	鉄筋腐食ひび割れ			無し	錆汁の有無
	19	漏水			有り(局所的)	貫通ひび割れの判断(活荷重, 塩害, 凍害, アルカリ骨材反応)
	20	アルカリシリカゲル滲出			無し	損傷・劣化要因の判断(アルカリ骨材反応)
	21	コンクリートの変色			無し	損傷・劣化要因の判断(アルカリ骨材反応)
ひび割れ調査 (パイゲージ, コンタクトゲージ等)	22	すり磨きの有無			未調査	損傷段階の判定(活荷重)
	23	ひび割れの開閉の有無			未調査	損傷段階の判定(活荷重)
劣化・損傷状況の調査 (非破壊検査・コア採取による)	24	水平ひび割れ調査	打音検査		未調査	水平ひび割れの判断 ※1:舗装を部分的に開削して調査
			衝撃弾性波法調査		未調査	
			コア採取		未調査	
	25	凍害深さ	目視によるスケーリングの調査		未調査	損傷段階の判断(凍害)
			コア採取, ドリル削孔		未調査	
	26	塩化物イオン	コア採取による浸透深さ調査		未調査	損傷段階の判定(塩害)
			鉄筋位置の濃度		未調査	腐食限界濃度1.2kg/cm^3を基準
	27	鉄筋腐食量	目視確認(部分開削, コア抜き等)		未調査	損傷段階の判定(活荷重, 塩害, 凍害, アルカリ骨材反応)
			電気化学的測定による腐食度区分		未調査	A:点錆程度, B:全体に表面的腐食, C:軽微な断面欠損, D:著しい腐食
	28	旧工事の舗装切削における床版厚の減少(部分開削)			未調査	
コンクリート物性調査 (非破壊検査・コア採取による)	29	コンクリート強度	コア採取による圧縮試験		未調査	残存耐力の判定(活荷重, 塩害, 凍害, アルカリ骨材反応)
			非破壊検査		未調査	
	30	残存膨張量			未調査	損傷原因の判断(アルカリ骨材反応)
	31	骨材のアルカリ骨材反応性			未調査	損傷原因の判断(アルカリ骨材反応)
載荷試験	32	変位	載荷試験(荷重車, FWD)		未調査	損傷段階の判定(活荷重),
			たわみ劣化度 D (計算値)		未調査	残存耐力の判定(活荷重, 塩害, 凍害, アルカリ骨材反応)

(5) 劣化・損傷要因と損傷段階の判定および適用可能な対策工法の選定

調査結果による損傷要因とその段階の検討表を**表-4.3.35** に示す. 本協床版の損傷要因はひび割れによる劣化が主で材料的な問題が無いことから輪荷重による疲労と判定され，その損傷段階は加速期と考えられる．対応する工法はひび割れ注入工法＋炭素繊維接着工法と鋼板接着工法および上面増厚工法となる．よって，次にその 3 工法について比較検討を実施する.

表-4.3.35　損傷要因と損傷段階検討表

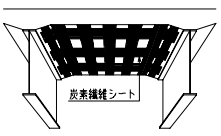
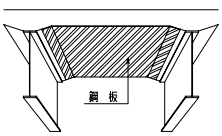
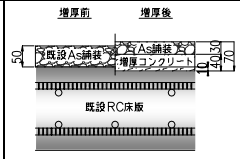
<table>
<tr><td colspan="3" rowspan="2"></td><td colspan="3">A1桁端部以外</td></tr>
<tr><td colspan="2">損傷段階の判定項目</td><td rowspan="2">損傷段階の判定</td></tr>
<tr><td colspan="2">項目番号</td><td>調査結果</td></tr>
<tr><td rowspan="9">判定要因</td><td>輪荷重による疲労</td><td></td><td>1
10
12
16
19</td><td>建設から46年,S39道示
ひび割れが格子状
ひび割れ幅0.2mm，間隔50cm未満
遊離石灰が見られる(局所的)
漏水が見られる(局所的)</td><td>(加速期)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">塩害</td><td>上面</td><td>6
7</td><td>飛来塩分の影響がない
凍結防止剤を散布しない</td><td>(－)</td></tr>
<tr><td>下面</td><td>6</td><td>飛来塩分の影響がない</td><td>(－)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">凍害</td><td>上面</td><td>8</td><td>寒冷地域以外</td><td>(－)</td></tr>
<tr><td>下面</td><td>8</td><td>寒冷地域以外</td><td>(－)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">中性化</td><td>上面</td><td></td><td>未調査</td><td>(－)</td></tr>
<tr><td>下面</td><td></td><td>未調査</td><td>(－)</td></tr>
<tr><td colspan="2">アルカリ骨材反応</td><td>20
21</td><td>アルカリシリカゲル滲出が見られない
アルカリ骨材反応特有のコンクリートの変色が見られない</td><td>(－)</td></tr>
<tr><td colspan="3">劣化･損傷要因と損傷段階の判定</td><td colspan="3">上記より，ひび割れは格子状で，遊離石灰･漏水が局所的であることから輪荷重による疲労(加速期)と判定</td></tr>
<tr><td colspan="3">適用可能な対策工法の選定</td><td colspan="3">･ひび割れ注入工法(他工法と併用)
･炭素繊維接着工法(他工法と併用)
･鋼板接着工法
･上面増厚工法
<table><tr><td rowspan="2">劣化･損傷要因</td><td rowspan="2">損傷段階</td><td colspan="13">対策工法の適用性</td></tr><tr><td>ひび割れ注入</td><td>表面保護</td><td>電気化学的防食</td><td>縦桁増設</td><td>炭素繊維接着</td><td>下面増厚</td><td>鋼板接着</td><td>上面増厚</td><td>水平ひび割れ注入</td><td>部分打換</td><td>床版取替</td><td>荷重制限</td></tr><tr><td>輪荷重による疲労</td><td>加速期</td><td>△</td><td colspan="2"></td><td>×</td><td>△</td><td>×</td><td>○</td><td>○</td><td></td><td>－</td><td>－</td><td>－</td></tr></table></td></tr>
</table>

(6) 対策工法の比較・決定

本橋床版に適用可能な補強工法の比較を**表-4.3.36** に示す. 輪荷重による疲労が加速期まで進行していることと，交通規制が困難な施工条件により，鋼板接着工法を最適な工法として選定する．なお，床版下面側の補強となるため床版防水工との併用が必須となり，鋼板で完全に下面が覆われることから防水性能の高い工法の選定が望まれる.

鋼板接着工法を選定する際の留意点として，接着系工法の宿命であるがコンクリートの健全性にその効果の良否が左右されることになるので，施工前には一体性が確保できるかどうかの確認が必要になる．具体的には付着試験などで表面の状態を確認することが確実であるが，その他にも周辺にアルカリシリカ反応被害構造物が無いか，凍害による被害が他の部位に発生していないかなどの間接的な確認も必要である.

表-4.3.36　床版補強工法比較

項目			条件：＜損傷段階＞ 活荷重(加速期) ＜必要な補強効果＞ ・曲げ耐力向上　:必要 ・せん断耐力向上:必要(回復で良い) ・鉄筋補強・防錆:不要 ・床版厚修復　:不要		＜橋梁の重要度＞ 主要地方道として重要 ＜施工上の制約＞ ・迂回路の確保　:困難 ・交通規制　:夜間のみの一車線規制が可能 ・桁下空間　:制約あり(交差道路，駐車場) ・周辺環境の制約等:騒音規制				備　考
工法			炭素繊維接着工法 (防水工とひび割れ注入(A1)を併用)		鋼板接着工法 (防水工を併用)		上面増厚工法＜ｱｽﾌｧﾙﾄ舗装＞ (防水工とひび割れ注入(A1)を併用)		
概要図									
工法の特徴			床版下面に炭素繊維を接着することで，床版の曲げ耐力を向上させる．また，せん断耐力が20%向上するとの報告もある．別途，ひび割れ注入が必要である.		床版下面に鋼板を接着することで剛性が大幅に増加し，床版の曲げ耐力が向上する．鋼板設置後の樹脂注入でひび割れにも充填され，せん断耐力が回復する.		既設床版を増厚することで，床版の曲げ・せん断耐力を向上させる．超速硬コンクリートを使用.		
補強効果	曲げ耐力の向上		向上	○	向上	○	向上	○	＜必要な補強効果＞と比較し、性能を○、×で評価
	せん断耐力の向上		回復	△	回復	△	向上	○	
	鉄筋	上面鉄筋補修・補強、防錆	無	○	無	○	無	○	
		下面鉄筋補修・補強、防錆	補強	○	補強	○	無	○	
	床版厚修復効果		無	○	無	○	有	○	
床版厚(UP厚)			200mm(変更なし)		200mm(変更なし)		250mm(+50mm増厚)		
対応可能な交通規制	橋面上	交通規制なし	不可(防水工で必要)	—	不可(防水工で必要)	—	不可	—	＜施工上の制約＞と比較し、性能を○、×、△で評価
		夜間の一車線規制日数	防水工1日×2回	○	防水工1日×2回	○	不可	○	
		夜間の全止め日数	防水工1日	○	防水工1日	○	不可	○	
		昼夜間の一車線規制日数	—	—	—	—	不可	○	
		昼夜間の全止め(規制日数)	—	—	—	—	不可	○	
	桁下道路等の交通規制		無	○	無	○	無	○	
桁下足場の必要性			必要	○	必要	○	必要(ひび割れ注入工)	○	
既設橋梁への影響	路面線形への影響	路面の段差	無	○	無	○	有(すり付け長の確保可能)	○	適用性を○、×、△で評価
		高欄・地覆高の修正	無	○	無	○	有	○	
	死荷重の増加量		ほとんど増加しない		0.36kN／m^2		0.23kN／m^2		
	死荷重増加による桁補強の有無		無	○	無	○	無	○	
	主構造の改修		無	○	無	○	無	○	
	舗装の修繕・橋面防水工の設置		必要		必要		必要		
	伸縮装置の取替え		不要		不要		必要		
工法適応にあたっての課題や条件			滞水防止，ひび割れ観察 加速期での適用ではひび割れへの確実な注入が必要		滞水防止，ひび割れ観察		死荷重の増加に対して桁の照査が必要．打継ぎ界面のはく離防止		
耐久性	耐久年数や不具合事例など		全面貼りでは滞水によって炭素繊維が剥がれる場合がある．→近年は格子貼りによる滞水対策が図られている.	○	橋面防水が確実に実施されれば，耐久性は炭素繊維接着工法と同等であり遜色ない.	○	打継ぎ界面にはく離が生じる場合がある．→近年は接着剤を使用することで耐久性の向上が図られている.	○	適用性を○、×、△で評価
	耐久年数経過後の補修工法		上面増厚		上面増厚		旧増厚を切削後に再度上面増厚		
施工性	施工実績		多い	○	全実績は最多(近年は減少)	○	多い	○	
	工期		90日(1.00)	△	90日(1.00)	△	60日(0.67)	○	
維持管理			・通常のRC床版と同様の維持管理 ・仕上げ塗装の塗り替えが必要 ・滞水がないか点検が必要	○	・鋼板下面塗装の塗り替えが必要 ・滞水がないか点検が必要 ・床版下面のひび割れが確認できない	△	通常のRC床版と同様の維持管理	○	
経済性	工事費		高　(高強度2×2層)	×	中	○	安	○	
	ライフサイクルコスト(LCC)		高	×	中	△	中	△	
評価			△ (ひび割れ注入の施工が別途必要)		○ (曲げ剛性が大幅に増加する)		× (通行規制に制限がある)		

評価の凡例:◎:最も優れている、○:適用可能、△:好ましくないが適用可能、×:適用不可
※1:超速硬コンクリートを用いた場合を示す
※2:早強コンクリートを用いた場合を示す

(7) 鋼板接着工法の設計

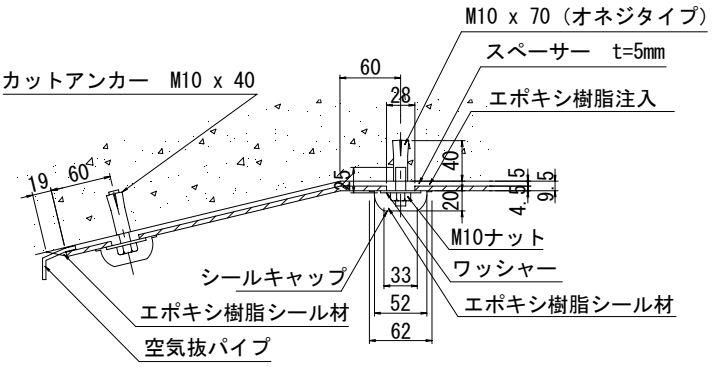
a) 設計方針

本橋は主要地方道であり，夜間のみの交通規制が可能であることから橋面防水とアスファルト舗装を夜間で実施し，床版補強は下面側からの施工が可能な鋼板接着工法を選定した．本工法であれば曲げ剛性が大幅に増加し，疲労耐久性の向上が期待できる．

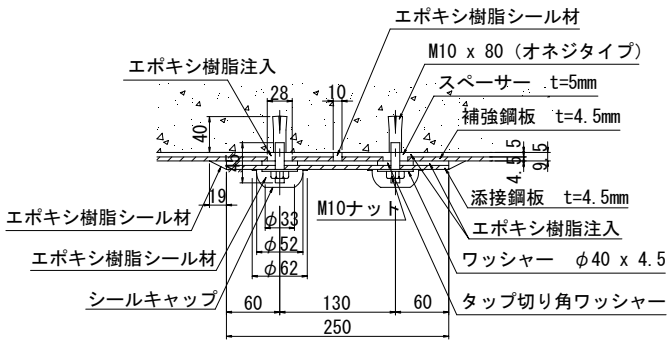
b) 対策工法の設計

鋼板接着工法ではエポキシ樹脂の接着力による補強鋼板の一体化により，曲げ剛性が大幅に増加するので一般的な許容応力度法の設計では，コンクリート内部の既設補強材の発生応力度が許容値を超過することはない．よって，本橋でも床版下面の全体を補強するため設計計算は省略する．因みに，設計計算が必要となる際には補強鋼板を引張鋼材として抵抗断面に換算して算入することになり，接着層となる樹脂厚さを無視して補強鋼板が床板下面に配置されているものとして計算する．その際の補強鋼板の許容応力度は，エポキシ樹脂接着剤による一体化であることを考慮して $\sigma_{pa}=80N/mm^2$ となる．

鋼板接着工法の施工は全面足場による橋下からの施工となるので，人力施工が基本となる．よって，補強鋼板は足場上での運搬が可能なように分割し，その質量は 150～200kg 程度を目安にした．塗装にあたっては，施工時に塗膜が損傷するので，下塗りで搬入して現場塗装を採用している．鋼板の取り付け詳細は図-4.3.7.3 のとおりで，厚さ 4.5mm の鋼板を用いていることから死荷重の増加は小さく，主構造に及ぼす影響は殆ど無い．



(a) 一般部



(b) 添接部

図-4.3.16　鋼板取付詳細図

4.3.8　輪荷重による疲労－上面増厚工法

(1) 維持管理の方針

本橋は昭和 41 年に農道橋として建設されたが，現在は周辺に商業施設や住宅，観光地が建設され生活用道路としも活用されており，特に観光シーズンの夏期には，観光バスが連なって走行するなど，建設当初よりも大型車交通量が増加した状況にある．本橋の床版は，床版下面に格子状のひび割れが生じていることから，劣化過程は，輪荷重による疲労の進展期（一部，加速期後期）と判断され，ただちに補修・補強が必要な状況ではない．しかしながら，旧基準で設計されており床版が薄く劣化の進展速度が速いと想定されること，設計当初よりも大型車交通量が増加していること，観光地のインフラとして重要であることなどの理由から，予防保全として現行基準の B 活荷重に対応できるよう床版を補強し，適切な維持管理を行いながら長期的に本橋を使用する．

(2) 橋梁の概要

本橋の諸元と RC 床版の諸元を，**表-4.3.37** と**表-4.3.38** に，断面図を**図-4.3.17** に示す．

表-4.3.37　橋梁諸元

橋　　格	一等橋
橋梁形式	単純合成鈑桁
支間長	25.000m
有効幅員	7,000m
主桁間隔	3@2,000m
ｱｽﾌｧﾙﾄ舗装厚	50mm
床版の種類	鉄筋コンクリート床版
床版厚	170mm
大型車交通量	500～1000 台／日
設計活荷重	TL-20
適用示方書	昭和 39 年鋼道路橋設計示方書
竣工年度	昭和 41 年

表-4.3.38　RC 床版の諸元

コンクリート設計基準強度		σ_{ck}=28N/mm²
ハンチ高		50mm
支間部	主鉄筋	上側：D16(ctc280mm) 下側：D16(ctc140mm)
	配力筋	上側：D13(ctc250mm) 下側：D13(ctc125mm)
張出し部	主鉄筋	上側：D16(ctc140mm) 下側：D16(ctc280mm)
	配力筋	上側：D13(ctc180mm) 下側：D13(ctc180mm)
桁端部	主鉄筋	上下：D16(ctc100mm)
	配力筋	上下：D13(ctc125mm)
鉄筋材質		SD295A

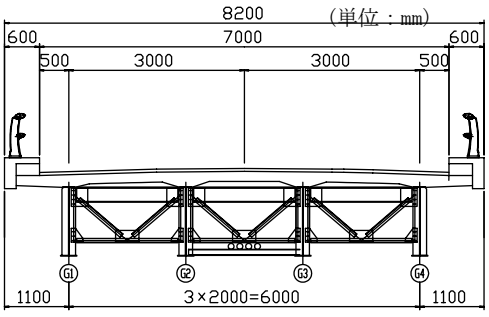


図-4.3.17　断面図

(3) 劣化・損傷の状況

床版下面のひび割れは，縦断勾配の低い桁端部において，格子状のひび割れから遊離石灰の滲出が見られる．ただし，鉄筋の錆汁は見られない．その他の箇所においては，格子状のひび割れは生じているものの，遊離石灰，鉄筋の錆汁は見られない．床版下面のひび割れ図を**図-4.3.18** に示す．

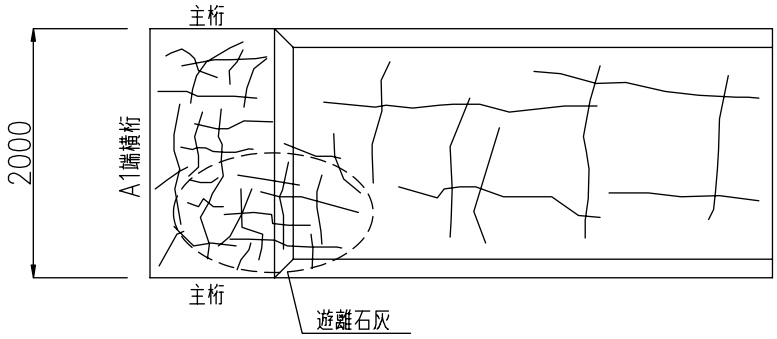


図-4.3.18　床版下面のひび割れ図

(4) 定期点検などによる劣化・損傷調査の整理

定期点検などによる劣化・損傷調査結果を**表-4.3.39** に示す．本橋は床版下面のひび割れ本数は比較的少なく，また，塩害，凍害，中性化，アルカリシリカ反応などによる劣化の可能性が低いことから，床版のコア採取などの追加調査を行わないこととした．

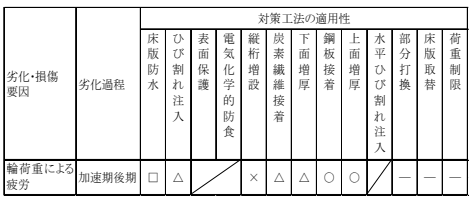
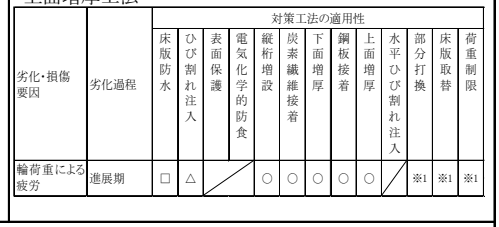
表-4.3.39　劣化・損傷の調査結果

	項目番号	調査項目			A1桁端部		A1桁端部以外	
資料調査	1	供用年数，適用示方書			建設から45年，S39道示			
	2	路線の重要度			観光路線として重要			
	3	一方向あたりの大型車の交通量(台／日)			500以上1000未満			
	4	床版厚	設計厚		220mm	端横桁で支持	170mm	−30mm
			現行道示での床版厚		—		200mm	
	5	鉄筋	鉄筋の種類		異形鉄筋		異形鉄筋	
			かぶり	上面	32mm(設計値)		32mm(設計値)	
				下面	32mm(設計値)		32mm(設計値)	
			配力筋量		H8道示の基準より少ない			
	6	飛来塩分の影響	地域，海岸線からの距離による判断		無			
	7	凍結防止剤の散布の有無			無			
	8	寒冷地域			無			
	9	防水層の施工時期			未施工			
ひび割れ調査(目視調査)	10	ひび割れ形状(一方向，格子状，網細化など)			格子状		格子状	
	11	主なひび割れの位置(床版中央，ハンチ，張出部など)			床版中央		床版中央，ハンチ	
	12	ひび割れ幅，間隔			0.3mm，　20cm		0.2mm，　100cm	
	13	ひび割れ密度(m/m^2)			未検討		未検討	
	14	はく離，はく落の面積率			無		無	
	15	ひび割れの角落ちの有無			無		無	
	16	遊離石灰の有無			有		無	
	17	錆汁の有無			無		無	
	18	鉄筋腐食ひび割れ			無		無	
	19	漏水			無		無	
	20	アルカリシリカゲル滲出			無		無	
	21	コンクリートの変色			無		無	
ひび割れ調査(パイゲージ，コンタクトゲージ等)	22	すり磨きの有無			未調査		未調査	
	23	ひび割れの開閉の有無			未調査		未調査	
劣化・損傷状況の調査(非破壊検査・コア採取による)	24	水平ひび割れ調査	打音検査		上面:未調査，下面:未調査		上面:未調査，下面:未調査	
			衝撃弾性波法調査		〃		〃	
			コア採取		〃		〃	
	25	凍害深さ	目視によるスケーリングの調査		上面:未調査，下面:無		上面:未調査，下面:無	
			コア採取，ドリル削孔		上面:未調査，下面:未調査		上面:未調査，下面:未調査	
	26	塩化物イオン	コア採取による浸透深さ調査		未調査		未調査	
			鉄筋位置の濃度		上面:未調査，下面:未調査		上面:未調査，下面:未調査	
	27	鉄筋腐食量	目視確認(部分開削，コア抜き等)		〃		〃	
			電気化学的測定による腐食度区分		〃		〃	
	28	中性化深さ	コア採取，ドリル削孔		〃		〃	
コンクリート物性調査(非破壊検査・コア採取による)	29	コンクリート強度	コア採取による圧縮試験		未調査		未調査	
			非破壊検査		29N/mm^2		33N/mm^2	
	30	残存膨張量			未調査		未調査	
	31	骨材のアルカリシリカ反応性			〃		〃	
載荷試験	32	変位	載荷試験(荷重車，FWD)		〃		〃	
			たわみ劣化度　D（計算値）		〃		〃	

(5) 劣化・損傷要因と劣化過程の判定および適用可能な対策工法の選定

劣化過程の判定および適用可能な対策工法を**表-4.3.40** に示す．判定の基準は，劣化過程の判定基準と対策工法の適用性（**表-4.2.2**）を用いた．

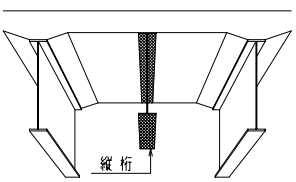
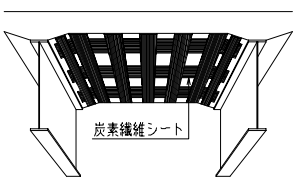
表-4.3.40　劣化過程の判定および適用可能な対策工法

<table>
<tr><th colspan="3" rowspan="3"></th><th colspan="3">A1桁端部</th><th colspan="3">A1桁端部以外</th></tr>
<tr><th colspan="2">劣化過程の判定項目</th><th rowspan="2">劣化過程の判定</th><th colspan="2">劣化過程の判定項目</th><th rowspan="2">劣化過程の判定</th></tr>
<tr><th>項目番号</th><th>調査結果</th><th>項目番号</th><th>調査結果</th></tr>
<tr><td rowspan="9">判定要因</td><td colspan="2">輪荷重による疲労</td><td>1
10
12
16</td><td>建設から45年,S39道示
ひび割れが格子状
ひび割れ幅0.3mm，間隔20cm
遊離石灰が見られる</td><td>（加速期後期）</td><td>1
10
12
16</td><td>建設から45年,S39道示
ひび割れが格子状
ひび割れ幅0.2mm，間隔50cm
遊離石灰が見られない</td><td>（進展期）</td></tr>
<tr><td rowspan="2">塩害</td><td>上面</td><td>6
7</td><td>飛来塩分の影響がない
凍結防止剤を散布しない</td><td>（－）</td><td>6
7</td><td>飛来塩分の影響がない
凍結防止剤を散布しない</td><td>（－）</td></tr>
<tr><td>下面</td><td>6</td><td>飛来塩分の影響がない</td><td>（－）</td><td>6</td><td>飛来塩分の影響がない</td><td>（－）</td></tr>
<tr><td rowspan="2">凍害</td><td>上面</td><td>8</td><td>寒冷地域以外</td><td>（－）</td><td>8</td><td>寒冷地域以外</td><td>（－）</td></tr>
<tr><td>下面</td><td>8</td><td>寒冷地域以外</td><td>（－）</td><td>8</td><td>寒冷地域以外</td><td>（－）</td></tr>
<tr><td rowspan="2">中性化</td><td>上面</td><td></td><td></td><td>（－）</td><td></td><td></td><td>（－）</td></tr>
<tr><td>下面</td><td></td><td></td><td>（－）</td><td></td><td></td><td>（－）</td></tr>
<tr><td colspan="2">アルカリ骨材反応</td><td>20
21</td><td>アルカリシリカゲル滲出が見られない
アルカリシリカ反応特有のコンクリートの変色が見られない</td><td>（－）</td><td>20
21</td><td>アルカリシリカゲル滲出が見られない
アルカリシリカ反応特有のコンクリートの変色が見られない</td><td>（－）</td></tr>
<tr><td colspan="3">劣化・損傷要因と劣化過程の判定</td><td colspan="3">上記より，ひび割れは網細化にまで至っていないが，遊離石灰が一部に見られることから輪荷重にいる疲労（加速期後期）と判定</td><td colspan="3">上記より，ひび割れは格子状で，遊離石灰が見られないことから輪荷重による疲労（進展期）と判定</td></tr>
<tr><td colspan="3">適用可能な対策工法の選定</td><td colspan="3">・ひび割れ注入工法（他工法と併用）
・縦桁増設工法
・炭素繊維接着工法（ひび割れ注入工との併用）
・鋼板接着工法
・上面増厚工法
 
</td><td colspan="3">・ひび割れ注入工法（他工法と併用）
・縦桁増設工法
・炭素繊維接着工法
・下面増厚工法
・鋼板接着工法
・上面増厚工法
 
</td></tr>
<tr><td colspan="6">【総合判断】
以下の4つの工法について比較し対策工法を決定する．なお，遊離石灰が見られるA1桁端部のみ，ひび割れ注入工を併用することとする．
・縦桁増設工法
・炭素繊維接着工法
・鋼板接着工法
・上面増厚工法</td></tr>
</table>

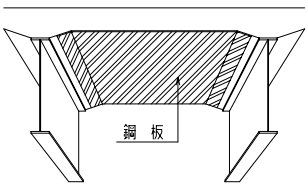
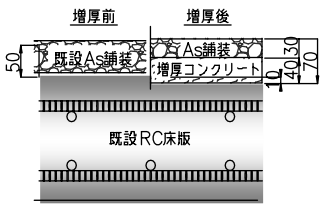
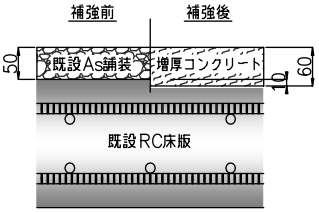
(6) 対策工法の比較・決定

適用可能な対策工法の比較を**表-4.3.41** に示す．本橋は 10 日間程度の連続した交通規制が可能であるため早強コンクリートを用い，最も安価で補強効果が高いコンクリート舗装を兼ねた上面増厚工法にて補強する．

表-4.3.41　適用可能な対策工法の比較表

項目			条件 ＜劣化過程＞ 活荷重(加速期後期)		＜必要な補強効果＞ ・曲げ耐力向上　:必要 ・せん断耐力向上:必要 ・鉄筋補強・防錆:不要 ・床版厚修復　:不要	
工法			縦桁増設工法 (防水工とひび割れ注入(A1)を併用)		炭素繊維接着工法 (防水工とひび割れ注入(A1)を併用)	
概要図						
工法の特徴			床版の支間を短くすることで，床版の曲げ耐力を向上させる.		床版下面に炭素繊維を接着することで，床版の曲げ耐力を向上させる．また，せん断耐力が20%向上するとの報告もある	
補強効果	曲げ耐力の向上		向上	○	向上	○
	せん断耐力の向上		無	×	向上	○
	鉄筋	上面鉄筋補修・補強、防錆	無	○	無	○
		下面鉄筋補修・補強、防錆	無	○	補強	○
	床版厚修復効果		無	○	無	○
床版厚(UP厚)			170mm(変更なし)		170mm(変更なし)	
対応可能な交通規制	橋面上	交通規制なし	不可(防水工で必要)	—	不可(防水工で必要)	—
		夜間の一車線規制日数	防水工1日×2回	○	防水工1日×2回	○
		夜間の全止め日数	防水工1日	○	防水工1日	○
		昼夜間の一車線規制日数	—	—	—	—
		昼夜間の全止め(規制日数)	—	—	—	—
	桁下道路等の交通規制		有(縦桁搬入時)	○	無	○
桁下足場の必要性			必要	○	必要	○
既設橋梁への影響	路面線形への影響	路面の段差	無	○	無	○
		高欄・地覆高の修正	無	○	無	○
	死荷重の増加量		0.36kN／m^2		ほとんど増加しない	
	死荷重増加による桁補強の有無		無	○	無	○
	主構造の改修		必要	△	無	○
	舗装の修繕・橋面防水工の設置		必要		必要	
	伸縮装置の取替え		不要		不要	
工法適応にあたっての課題や条件			車輪の走行位置直下に縦桁を配置する必要がある．死荷重の増加に対して桁の照査が必要		滞水防止，ひび割れ観察	
耐久性	耐久年数や不具合事例など		縦桁上以外を車輪が走行する場合には，疲労損傷が進行し，最終的に押し抜きせん断破壊に至ることが想定される.	△	全面貼りでは滞水によって炭素繊維が剥がれる場合がある．→近年は格子貼りによる滞水対策が図られている.	○
	耐久年数経過後の補修工法		床版取替え		上面増厚	
施工性	施工実績		近年は減少	△	多い	○
	工期		90日(1.50)	△	60日(1.00)	○
維持管理			・通常のRC床版と同様の維持管理 ・縦桁の塗装の塗り替えが必要	○	・通常のRC床版と同様の維持管理 ・仕上げ塗装の塗り替えが必要 ・滞水がないか点検が必要	○
経済性	工事費		高	×	安	○
	ライフサイクルコスト(LCC)		高	×	中	△
評価			× (せん断耐力が向上しない)		○ (安価である)	

評価の凡例:◎:最も優れている、○:適用可能、△:好ましくないが適用可能、×:適用不可
※1:超速硬コンクリートを用いた場合を示す
※2:早強コンクリートを用いた場合を示す

＜橋梁の重要度＞ 観光路線として重要		＜施工上の制約＞ ・迂回路の確保　：可能 ・交通規制　：昼夜間の連続した一車線規制が可能 ・桁下空間　：制約なし ・周辺環境の制約等：制約なし				備　考
鋼板接着工法 （防水工とひび割れ注入(A1)を併用）		上面増厚工法＜ｱｽﾌｧﾙﾄ舗装＞ （防水工とひび割れ注入(A1)を併用）		上面増厚工法＜ｺﾝｸﾘｰﾄ舗装＞ （ひび割れ注入（A1）を併用）		
						
床版下面に鋼板を接着することで，床版の曲げ耐力を向上させる．		既設床版を増厚することで，床版の曲げ・せん断耐力を向上させる．超速硬コンクリートを使用．		アスファルト舗装をコンクリート舗装に打ち替え，床版の曲げ・せん断耐力を向上させる．早強コンクリートを使用．		
向上	○	向上	○	向上	○	＜必要な補強効果＞と比較し、性能を○、×で評価
無	×	向上	○	向上	○	
無	○	無	○	無	○	
補強	○	無	○	無	○	
無	○	有	○	有	○	
170mm（変更なし）		200mm（+30mm増厚）		220mm（+50mm増厚）		
不可（防水工で必要）	—	不可	—	不可	—	＜施工上の制約＞と比較し、性能を○、×、△で評価
防水工1日×2回	○	1日×4回	○	不可	—	
防水工1日	○	1日×4回	○	不可	—	
—	—	連続24時間×2回※1	○	連続7日間×2回※2	○	
—	—	連続24時間※1	○	連続7日間※2	○	
無	○	無	○	無	○	
必要	○	必要（ひび割れ注入工）	○	必要（ひび割れ注入工）	○	
無	○	有（すり付け長の確保可能）	○	無	○	適用性を○、×、△で評価
無	○	有	○	無	○	
0.36kN／m^2		0.23kN／m^2		無		
無	○	無	○	無	○	
無	○	無	○	無	○	
必要		必要		防水工を設けない		
不要		必要		不要		
滞水防止，ひび割れ観察		死荷重の増加に対して桁の照査が必要．打継ぎ界面のはく離防止		打継ぎ界面のはく離防止		
滞水により補強効果が低下する．補強後の維持管理が不適切だと，押し抜きせん断破壊に至る場合がある	△	打継ぎ界面にはく離が生じる場合がある．→近年は接着剤を使用することで耐久性の向上が図られている．	○	打継ぎ界面にはく離が生じる場合がある．→近年は接着剤を使用することで耐久性の向上が図られている．	○	適用性を○、×、△で評価
床版取替え		旧増厚を切削後に再度上面増厚		旧増厚を切削後に再度上面増厚		
近年は減少	△	多い	○	少ない	○	
90日（1.50）	△	60日（1.00）	○	60日（1.00）	○	
・鋼板下面塗装の塗り替えが必要 ・鋼板上面に滞水がないか点検が必要 ・床版下面のひび割れが確認できない	△	通常のRC床版と同様の維持管理	○	通常のRC床版と同様の維持管理	○	
高	×	安	○	最も安価	◎	
高	×	中	△	最も低い	◎	
× （せん断耐力が向上しない）		△ （高さのすり付けが必要となる）		◎ （工事費，LCCが最も良い）		

(7) 上面増厚工法の設計

a) 設計方針

本橋は比較的交通量も少なく，10 日間程度の連続した交通規制が可能であることから，既設アスファルト舗装厚 50mm のすべてを，早強セメントを用いたコンクリート舗装に打替えることとする．また，初期ひび割れを防止するために，鋼繊維を混入した SFRC を用いる．

増厚コンクリートが薄くコンクリート舗装を兼ねる構造であるため，既設床版との一体化を確実に行い打継ぎ界面のはく離を抑制することを目的に，打継ぎ面の全面に土木用高耐久型エポキシ系接着剤を塗布する．

上面増厚工法の施工は，交通量の少ない期間において一車線規制（片側交通）にて行い，渋滞の発生をできるだけ低減するものとする．

周辺住民への配慮として，低騒音コンクリートフィニッシャを用い騒音を低減させる．

b) 増厚コンクリート厚の決定

現行道示 8.2.5 床版の最小全厚より，必要な床版厚を求め，既設床版厚を差し引いて増厚コンクリート厚を求める．

・現行道示の最小全厚（連続版）

最小全厚　$d = k_1 \times k_2 \times d_0 = 1.15 \times 1.0 \times 170 = 196 \rightarrow 200\text{mm}$

$$d_0 = 30L + 110 = 30 \times 2.0 + 110 = 170\text{mm}$$

ここに，L：床版の支間長　2.0m

k_1：大型車交通量係数　1.15（500 以上 1000 未満台数／日）

k_2：付加曲げモーメント係数　1.0

・増厚コンクリート厚（切削厚さを除く）

増厚コンクリートの最小厚さ　$h = d - t = 200 - 170 = 30\text{mm}$

ここに，t：既設床版の厚さ　170mm

以上より，増厚コンクリートの最小厚さは 30mm であるが，コンクリート舗装を兼ねる構造とするため，摩耗層を 20mm と考え増厚コンクリート厚は既設アスファルト舗装に合わせ 50mm（粗骨材の最大寸法 20mm）とする．

c) 死荷重増に関する主構造への影響

死荷重が増加しないため主構造への影響はない．

4.3.9　塩害－部分打換工法

(1) 維持管理の方針

対象橋梁は 1978 年 10 月に供用が開始された山間部に位置する高速道路橋で，上り，下り線が分離した鋼連続鈑桁橋の下り線（B ライン）である．交通量は約 5,500 台／日，大型車の混入率は約 30％と比較的多いが，疲労に起因すると判断される劣化・損傷は確認されていない．一方，当該橋梁は山間部に位置するため冬季の交通安全性確保のために，多量（約 40ｔ／km・年）の凍結防止剤が散布されており，塩害による劣化・損傷が懸念されている．なお，山間部に位置するため，飛来塩化物の影響は無く，また，海砂等による内在塩化物の影響もない．アルカリシリカ反応の可能性は皆無で，凍害の影響は軽微な環境である．

当該橋梁は日常点検および定期点検による調査において，床版上面の走行車線の舗装補修箇所周辺から若干の土砂の噴出が確認され，また，床版下面では漏水および遊離石灰が部分的に確認された．

この結果を踏まえて，当該床版の詳細調査を実施するとともに，詳細調査の結果に基づく対策工事を実施することとなった．

(2) 橋梁の概要

本橋の諸元を**表-4.3.42** に，断面図を**図-4.3.19** に示す．

表-4.3.42　橋梁諸元

橋　　格	1 等橋
橋梁形式	鋼単純非合成鈑桁橋
橋長	54.600m
有効幅員	9,500m（2 車線）
主桁間隔	2,800m
アスファルト舗装厚	60mm
床版の種類	鉄筋コンクリート床版
床版厚	210mm
大型車交通量	約 1,650 台／日（全体の約 30%）
設計活荷重	TL-20，TT43
適用示方書	昭和 46 年鋼道路橋設計示方書
竣工年度	1978 年（昭和 53 年）

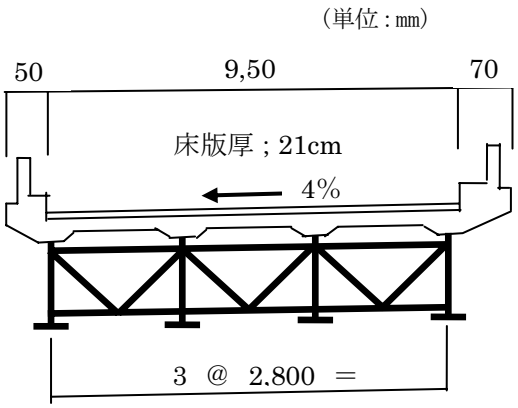


図-4.3.19　断面図

(3) 劣化・損傷の状況

当該橋梁は日常点検において，床版上面の走行車線の舗装補修箇所周辺から若干の土砂の噴出が確認され，また，定期点検において，床版下面に漏水および遊離石灰が部分的に確認されているが，大型車の通行量は，計画通行量より少なく，疲労に基づくと判断される外観上の変状は認められていない．また，この時点までの点検においては，下記の詳細点検において確認された鉄筋腐食によるかぶりコンクリートの剥落は確認されていない．これらの状況に基づきたたき点検等を伴う外観の詳細点検が下記において実施された．

① 車線規制による走行車線の舗装面からの詳細外観調査
② 車線規制による走行車線の舗装撤去後の床版上面の詳細外観調査
③ 床版全体の下面からの詳細外観調査

これらの詳細外観調査の結果の概要は以下であった．

①の調査においては，舗装面の浮きやひび割れが多数確認され，また，蜘蛛の巣状にひび割れている箇所も確認された．

②の調査においては，部分的な滞水と浮きやはく離が確認されるとともに，部分的に上面のコンクリートが骨材化（土砂化，砂利化，粘土化）している箇所もあった．

③の調査においては，走行車線側を主体として多数のパネル（主桁×横桁間）において，漏水および浮きやはく離が確認され，部分的に腐食した鉄筋が露出している箇所も確認された．

また，これらの損傷の特徴としては，損傷が走行車線側に集中していること，並びに同じ走行車線内においても損傷の程度が大きく異なることが確認された．

これらの詳細外観調査結果に基づく当該床版の損傷度および健全度の評価を本マニュアルの第 3 章に基づき実施した．評価の手法は，**表-3.2.1** および**表-3.2.2** に基づく床版下面のひび割れと遊離石灰による評価，**表-解 3.2.1** に基づくはく離等に着目した評価並びに**表-解 3.2.3** に基づく床版上面の舗装面の損傷による評価を実施し，総合的に判断した結果，「Ⅴ；緊急な補修が必要」と判定される箇所は，走行車線 9 スパンの内の 3 スパンであった．

上記の詳細外観調査およびその評価・判定において当該床版は，緊急の補修等の対策が必要であることが明らかとなったが，当該橋梁は，山間部に位置し，冬季に散布される凍結防止剤は 40ｔ／km・年と非常に多量であるため，塩害が損傷の原因として考えられ，橋面の排水勾配等が走行車線の損傷を助長していると推察される．これらを考慮し，走行車線の損傷部と健全部におけるコア採取による塩化物イオンの含有量試験が実施された．試験の結果，含有塩化物イオン量は，損傷部では床版上下全面において約 8kg／m^3以上の多量の塩化物を含有しており，一方，比較的健全な箇所の塩化物量は，発錆限界塩化物イオン量を下回っており，顕著な差があることが確認された．

(4) 定期点検などによる劣化・損傷調査の整理

点検による劣化・損傷調査結果を**表-4.3.43** に示す．本橋は床版下面の疲労に起因するひび割れはなく，塩害に起因する損傷が確認された．その原因は，凍結防止剤の散布による塩害と推察され，凍害，アルカリ骨材反応などによる劣化の可能性はない．

表-4.3.43　劣化・損傷の調査結果

	項目番号	調査項目			調査結果（床版部）	
資料調査等	1	供用年数，適用示方書			建設後33年，　S46道示	
	2	路線の重要度			高速道路であり，非常に重要	
	3	一方向あたりの大型車の交通量（台／日）			約1,650台／日（全体の約30%）	
	4	床版厚	設計厚		210mm	＋10mm
			現行道示での床版厚		200mm	
	5	鉄筋	鉄筋の種類		異形鉄筋	
			かぶり（設計）	上面	30mm	
				下面	30mm	
			配力筋量		現行道示に準拠	
	6	飛来塩分の影響			無（山間部）	
	7	凍結防止剤の散布の有無			有（約40ｔ／ｋｍ・年）	
	8	寒冷地域			比較的穏やかな寒冷地	
	9	防水層の施工時期			未施工	
ひび割れ調査（目視）	10	ひび割れ形状（一方向，格子状，網細化など）			一方向	
	11	ひび割れ・剥離の位置（床版中央，ハンチ，張出部など）			走行車線	
	12	ひび割れ幅，間隔			平均0.3mm程度，50cm	
	13	ひび割れ密度（m/m²）			未測定	
	14	はく離，はく落の面積率			約70%（対スパン；大きい箇所）	
	15	ひび割れの角落ちの有無			無	
	16	遊離石灰の有無			有	
	17	錆汁の有無			有	
	18	鉄筋腐食ひび割れ			有	
	19	漏水			有	
	20	アルカリ骨材ゲル滲出			無	
	21	コンクリートの変色			有	
ひび割れ（ゲージ等）	22	すり磨きの有無			未調査	
	23	ひび割れの開閉の有無			未調査	
劣化・損傷状況の調査（非破壊検査・コア採取による）	24	水平ひび割れ調査	打音検査		確認できず	
			その他の調査		未調査	
	25	凍害深さ	目視によるスケーリング		無	
			コア採取，ドリル削孔		未調査	
	26	塩化物イオン	コア採取によるEPMA等		未調査	
			鉄筋位置の濃度		約8kg/m³（損傷部）	
	27	鉄筋腐食量	目視確認（方法等）		はつり調査	
			腐食度区分＊		D：著しい腐食（損傷部）	
	28	中性化	試験方法		未調査	
			中性化深さ		未調査	
	29	アルカリシリカ反応	残存膨張量		未調査	
			骨材反応性		未調査	
	30	旧工事の舗装切削における床版厚の減少			未調査	
コンクリート物性調査	31	コンクリート強度	コア採取による圧縮試験		未調査	
			非破壊検査		未調査	
載荷試験	32	変位	載荷試験（荷重車，FWD）		未調査	
			たわみ劣化度　D(計算値)		未調査	

腐食度区分，A：点錆程度，B：全体に表面的腐食，C：軽微な断面欠損，D：著しい腐食

(5) 劣化・損傷要因と損傷段階の判定および適用可能な対策工法の選定

損傷段階の判定および適用可能な対策工法を**表-4.3.44** に示す．判定の基準は，損傷段階の判定基準と対策工法の適用性（**表-4.2.2**）を用いた．

表-4.3.44　損傷段階の判定および適用可能な対策工法

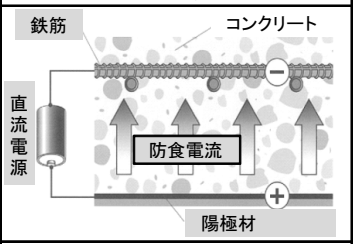
<table>
<tr><th colspan="3" rowspan="2">劣化因子</th><th colspan="2">損傷段階の判定項目</th><th rowspan="2">損傷段階の判定</th></tr>
<tr><th>項目番号</th><th>調査結果</th></tr>
<tr><td rowspan="12">判定要因</td><td colspan="2" rowspan="3">輪荷重による疲労</td><td rowspan="3">1
3
10</td><td rowspan="3">建設後33年，　S46道示
1650台／日（設計範囲内）
ひび割れは一方向</td><td rowspan="3">（潜伏期）</td></tr>
<tr><td rowspan="4">塩害</td><td rowspan="4">上面</td></tr>
<tr><td>6</td><td>飛来塩分の影響を受けない</td><td rowspan="4">（加速期後期）</td></tr>
<tr><td>7</td><td>凍結防止剤を大量に散布する</td></tr>
<tr><td>26</td><td>約8kg/m^3（鉄筋位置）</td></tr>
<tr><td>27</td><td>D：著しい腐食</td></tr>
<tr><td rowspan="7">塩害</td><td rowspan="7">下面</td><td>6</td><td>飛来塩分の影響を受けない</td><td rowspan="7">（加速期後期）</td></tr>
<tr><td>7</td><td>凍結防止剤を大量に散布する</td></tr>
<tr><td>14</td><td>はく離がある</td></tr>
<tr><td>17</td><td>錆汁がある</td></tr>
<tr><td>18</td><td>鉄筋腐食ひび割れがある</td></tr>
<tr><td>26</td><td>約8kg/m^3（鉄筋位置）</td></tr>
<tr><td>27</td><td>D：著しい腐食</td></tr>
<tr><td rowspan="2">凍害</td><td>上面</td><td>8
25</td><td>比較的穏やかな寒冷地
目視によるスケーリング；無</td><td>（―）</td></tr>
<tr><td>下面</td><td>8
25</td><td>比較的穏やかな寒冷地
目視によるスケーリング；無</td><td>（―）</td></tr>
<tr><td rowspan="2">中性化</td><td>上面</td><td>28</td><td>未調査</td><td>（―）</td></tr>
<tr><td>下面</td><td>28</td><td>未調査</td><td>（―）</td></tr>
<tr><td colspan="2">アルカリシリカ反応</td><td>20</td><td>ゲル滲出なし</td><td>（―）</td></tr>
<tr><td colspan="3">劣化・損傷要因と
損傷段階の判定</td><td colspan="3">上記より，本床版の損傷部は凍結防止剤による塩化物を床版の版厚上下全体に多量に含有しているが，健全部の塩化物は発錆限界以下である．また，損傷部は走行車線に集中しており，走行車線内においても比較的健全な箇所も存在しており，損傷部は塩害（加速期～劣化期）と判定される．また，塩害以外の損傷原因は認められない．</td></tr>
<tr><td colspan="3">適用可能な対策工法の選定</td><td colspan="3">上記に基づき適用可能な対策工法を選定すると以下となる．(施工方向の制限なし，損傷部対策)
・表面保護（断面修復＋表面被覆）；含有塩化物は，床版の版厚上下で多量であるため，床版版厚方向全てのはつりが必要＝部分打換工法⇒○
・電気化学的防食（電気防食）；はく離部の断面修復と併用することで，適用可能⇒○
・炭素繊維接着（他の塩害対策との併用）；疲労に対する補強を必要としない⇒×
・下面増厚（他の塩害対策との併用）；疲労に対する補強を必要としない⇒×
・上面増厚（他の塩害対策との併用）；疲労に対する補強を必要としない⇒×
・部分打換；⇒○
・床版取替；損傷は部分的であり，床版全体の取替えは過剰⇒×
<table>
<tr><th rowspan="2">劣化・損傷要因</th><th rowspan="2">損傷段階</th><th colspan="12">対策工法の適用性</th></tr>
<tr><th>橋面防水</th><th>ひび割れ注入</th><th>表面保護</th><th>電気化学的防食</th><th>縦桁増設</th><th>炭素繊維接着</th><th>下面増厚</th><th>鋼板接着</th><th>上面増厚</th><th>水平ひび割れ注入</th><th>部分打換</th><th>床版取替</th><th>荷重制限</th></tr>
<tr><td>塩害</td><td>加速期後期</td><td>□</td><td>×</td><td>―</td><td>△</td><td>×</td><td>△</td><td>△</td><td>×</td><td>△</td><td></td><td>―</td><td>―</td><td>―</td></tr>
</table>
凡例：
□：適用を原則とする，○：適用可能，△：他工法との併用にて適用，
×：適用不可もしくは効果が望めない，―：予防保全として適用可能，
＊1；予防保全として適用可能であるが，損傷が軽微であるため，一般的に適用しない，

【総合判定】
上記の結果を考慮して，下記の2工法についての比較検討を実施し，適用工法を決定する．
・部分打換工法＝表面保護工法（断面修復）
・電気化学的工法（電気防食工法）</td></tr>
</table>

(6) 対策工法の比較・決定

適用可能な対策工法の比較を**表-4.3.45** に示す．検討の結果，工事の緊急性，施工規模，工事費やＬＣＣ，その他の面で部分打換工法の適用が最も適していると判定できる，

表-4.3.45　適用可能な対策工法の比較表

		条件	＜損傷段階＞ 塩害(加速期後期) ＜必要な補強＞ 特に必要なし ＜橋梁の重要度＞ 高速道路として非常に重要		＜施工上の制約＞ ・迂回路の確保　：可 ・交通規制；昼夜間の一車線規制可能 ・桁下空間：規制なし ・周辺環境の規制等；制約なし	
項目						
工法			部分断面修復		電気化学的工法 (電気防食工法)	
概要図等						
工法の概要および特徴			劣化損傷した床版全体をスパン単位ではつり取り，新しいコンクリートを打設し，橋面防水を実施する．施工後の補修箇所は通常の維持管理を行う．		コンクリート表面に陽極を取付け，直流電源装置のプラス極に陽極を，鉄筋をマイナス極に繋ぎ，防食電流を供給することで，鋼材の腐食反応を停止させ防食する．	
補強効果	曲げ耐力の向上		無	○	無	○
	せん断耐力の向上		無	○	無	○
	鉄筋	上面鉄筋補修・補強、防錆	鉄筋のブラスト処理	○	無	○
		下面鉄筋補修・補強、防錆	鉄筋のブラスト処理	○	無	○
	床版厚修復効果		有	○	無	○
床版厚(UP厚)			210mm(変更なし)		210mm(変更なし)	
対応可能な交通規制	橋面上	交通規制なし	不可(はつり)	○	可(下面からの施工の場合)	○
		夜間の一車線規制日数	工期中	○	無	○
		夜間の全止め日数	―	―	―	―
		昼夜間の一車線規制日数	工期中	○	無	○
		昼夜間の全止め規制日数	―	―	―	―
	桁下道路等の交通規制		無	○	無	○
桁下足場の必要性			必要(下面型枠設置)	○	必要	○
既設橋梁への影響	路面線形への影響	路面の段差	無	○	無	○
		高欄・地覆高の修正	無	○	無	○
	死荷重の増加量		ほとんど増加しない		ほとんど増加しない(方式で異なる)	
	死荷重増加による桁補強の有無		無	○	無	○
	主構造の改修		無	○	無	○
	舗装の修繕・橋面防水工の設置		有		不要(現状維持)	
	伸縮装置の取替え		不要		不要	
工法適応にあたっての課題や条件			表面被覆の再補修		定期的な防食効果の確認試験	
耐久性	耐久年数や不具合事例など		補修部には，橋面防水を行うため，新設と同等以上の耐用年数が期待できる．	○	チタン系陽極材は耐用年数40年以上が保障されている．陽極かぶりがない場合は，周りのモルタルが損傷する場合がる．	○
	耐久年数経過後の補修工法		床版取替		電気防食の再施工	
施工性	施工実績；床版(道路橋以外を含む)		多い	○	多い	○
	工期		約3日	○	約1カ月	△
維持管理			・通常のRC床版と同様の維持管理	○	・電気防食の維持管理 ・電気代・専門家の維持管理が必要	○
経済性	工事費(部分打換を1.0として)		1.0	△	5.0(規模が小さく不向き)	○
	ライフサイクルコスト(LCC)		低	×	高	◎
評価			◎ (工事費，LCCが低く，維持管理が簡便)		△ (施工規模が小さいため，効率的な適用ができない)	

評価の凡例：◎：最も優れている、○：適用可能、△：好ましくないが適用可能、×：適用不可

(7) 部分打換工法の設計

a) 設計において考慮すべき事項

当該橋梁は，高速道路で重要度が高いこと，部分的な損傷が深刻で緊急性を有すること等を考慮した（6）の検討の結果，部分打換工法が工期や工事費，ＬＣＣ等において有効と判定された．

部分打換工法は，通常の床版の設計や施工と同様に実施すればよいが，検討すべき留意点としては以下のような項目が挙げられる．

① はつり方法；

周辺コンクリートへの影響を考慮して，ウォータージェット工法によるはつりを適用するか？

② 腐食鉄筋のケレン；

ケレンの手法としてどのような方法を適用するか？

③ 鉄筋の防錆処理；

適用するか否か？

④ マクロセル腐食対策；

どのような対策を実施するか？

⑤ コンクリートの種類；

工期を考慮して超速硬コンクリートを適用するか？

防食性を考慮してポリマーコンクリートを適用するか？

ひび割れを考慮して膨張材を適用するか？

これら以外にも状況に応じて発生する考慮すべき事項が存在すると考えられるが，それらについては，適宜検討するのがよい．

4.3.10　輪荷重による疲労・塩害－下面増厚工法＋電気化学的防食工法

(1) 維持管理の方針

本橋は 1951 年に比較的穏やかな海岸線に位置する主要地方道の河川橋として建設された．現在でも，近隣に迂回道路がないことから地域の主要道路として大型車を含む通過車両の多い橋梁である．本橋の床版は，床版下面に二方向のひび割れが生じており，また，ひび割れの一部からは塩害に起因すると考えられる錆汁の発生が確認された．

二方向に生じたひび割れは，輪荷重に起因する疲労が原因で，損傷段階としては進展期（一部，加速期）と判断され，また，発生したひび割れからの錆汁は，塩害によるもので，損傷段階としては加速期と判断される．なお，塩害の進展には疲労によって発生したひび割れが塩害の進展を促進していると考えられる．

本橋梁の疲労による劣化は，ただちに補修・補強が必要な状況ではないが，疲労に起因するひび割れが塩害の進行を助長していること，および旧基準で設計されており，設計荷重が現在の基準より低く，鉄筋量が少ないことや床版防水工が設置されていないことなどから，今後の疲労による劣化の進展速度は速いと想定される．一方，塩害による劣化の進行は，ひび割れ発生後，すなわち，加速期以降では，コンクリート中の鋼材腐食の進行に必要となる水や酸素が直接供給されるため，その進行が比較的早く，できるだけ早期の対策が必要と判断される．当該橋梁は，これまでの供用年数を考慮すると橋梁自体の架替が最も有効とも考えられるが，近隣に迂回道路がないことから，本橋梁をできるだけ長期的に供用する必要があることから，床版の疲労に対する予防保全的な床版の補強を実施するとともに，塩害に対する対策工事を行い，適切な維持管理を行なっていくこととした．なお，現在の利用状況から，本時点での対策は，橋面の交通規制を極力伴わない工法を選定することとしたが，長期的には上面増厚等の対策も併用し，100 年の供用を目指す計画である．

(2) 橋梁の諸元

本橋の諸元と RC 床版の諸元を**表-4.3.46**，**表-4.3.47** に，平面図と断面図を**図-4.3.20**，**図-4.3.21** に示す．

表-4.3.46　橋梁諸元

橋　　格	一等橋
橋梁形式	2 径間単純鈑桁橋
橋長	24.000m（12m×2）
有効幅員	7,400m
主桁間隔	4@1.800m
ｱｽﾌｧﾙﾄ舗装厚	50mm
床版の種類	鉄筋コンクリート床版
床版厚	200mm
大型車交通量	500～1000 台／日
設計活荷重	13tf
適用示方書	昭和 14 年鋼道路橋設計示方書
竣工年度	昭和 26 年

表-4.3.47　RC 床版の諸元

コンクリート設計基準強度		σ_{ck}=18N/mm^2
ハンチ高		50mm
支間部	主鉄筋	上側：φ13(ctc250mm) 下側：φ13(ctc125mm)
	配力筋	上側：φ12(ctc300mm) 下側：φ12(ctc300mm)
鉄筋材質		SR24

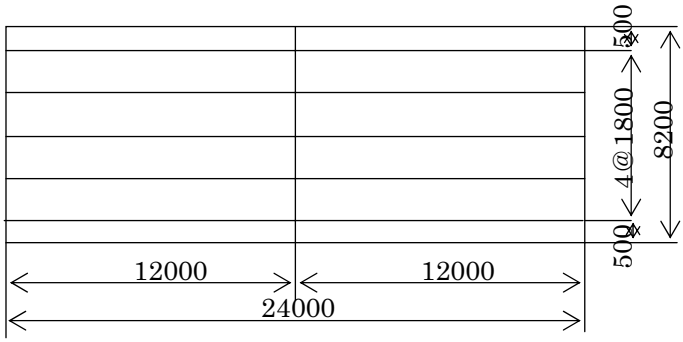


図-4.3.20　平面図

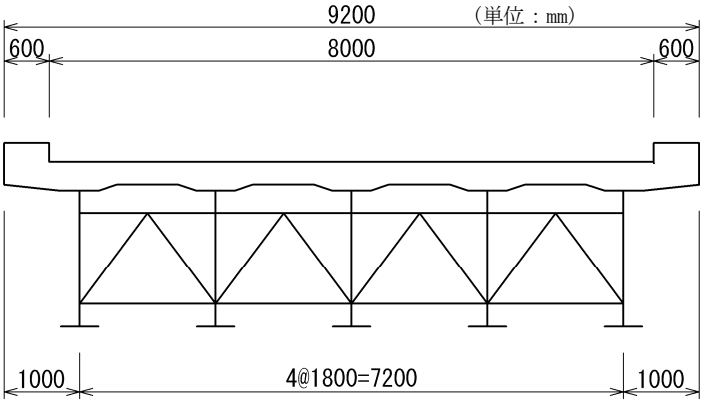


図-4.3.21　断面図

(3) 劣化・損傷の状況

床版下面のひび割れは，縦断勾配の低い桁端部において，格子状のひび割れから遊離石灰の滲出が見られ，また，一部のひび割れには鉄筋からの錆汁が認められる．その他の箇所においては，格子状のひび割れは生じているものの，遊離石灰，鉄筋の錆汁は見られない．床版下面のひび割れの状況を**図- 4.3.22** に示す．

また，本床版では塩害に起因する錆汁の発生が認められたため，含有塩化物イオン量の調査が実施された．試験結果を**表-4.3.48** に示す．この結果に基づくと，いずれにおいてもコンクリート中への塩化物の浸透が確認され，海側の桁間床版で最も大きく，山側ほど小さくなる傾向にあることが確認できる．深さ方向への塩化物イオンの分布は，鉄筋位置において発錆限界以上であり，海側の桁間では 10cm 以上の深さにおいても発錆限界を超える塩化物イオンを含有する調査結果であった．また，同時に実施した鉄筋のはつり調査での腐食の程度は，鉄筋全体に腐食が認められるものの，断面欠損は認められなかった．なお，はつり部で実施した中性化深さ試験の結果は，平均値で 10㎜であった．

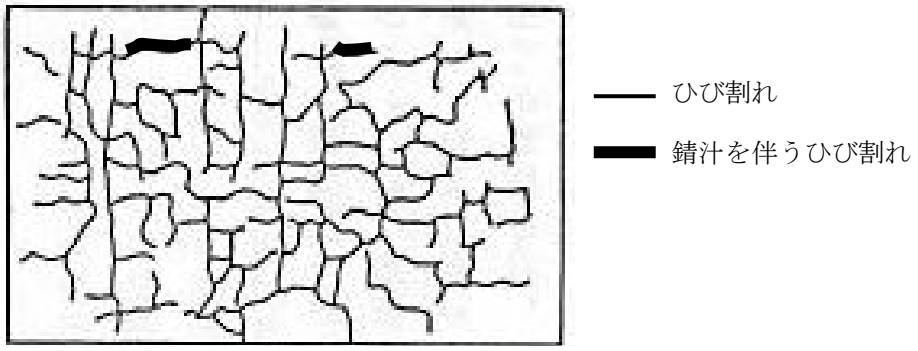


図-4.3.22　ひび割れの発生状

表-4.3.48　含有塩化物イオン量の測定結果

部材	位置	0～20㎜ kg／m^3	20～40㎜ kg／m^3	40～60㎜ kg／m^3	60～80㎜ kg／m^3	80～100㎜ kg／m^3
床版	１桁間	2.584	2.213	1.895	1.502	1.235
	２桁間	2.535	2.142	1.667	1.284	1.023
	３桁間	2.198	1.841	1.488	1.085	0.842
	４桁間	2.042	1.612	1.345	0.824	0.566

(4) 定期点検などによる劣化・損傷調査の整理

点検による劣化・損傷調査結果を**表-4.3.49** に示す．本橋は床版下面のひび割れは二方向に発生しているものの本数は比較的少なく，また，その原因は，輪荷重による疲労と飛来塩分による塩害の複合劣化と推察され，凍害，アルカリシリカ反応などによる劣化の可能性はない．

表-4.3.49　劣化・損傷の調査結果

	項目番号	調査項目			調査結果（床版部）	
資料調査等	1	供用年数，適用示方書			建設後60年，　S14道示	
	2	路線の重要度			主要地方道として重要	
	3	一方向あたりの大型車の交通量（台／日）			500～1000台／日	
	4	床版厚	設計厚		200mm	+18mm
			現行道示での床版厚		182mm	
	5	鉄筋	鉄筋の種類		SR24	
			かぶり（実測）	上面	30mm（設計値）	
				下面	31.8mm（実測値）	
			配力筋量		現行道示より少ない	
	6	飛来塩分の影響	地域，海岸線からの距離による判断		大きい（海岸から20m程度）	
	7	凍結防止剤の散布の有無			無	
	8	寒冷地域			無	
	9	防水層の施工時期			未施工	
ひび割れ調査（目視）	10	ひび割れ形状（一方向，格子状，網細化など）			二方向（一部錆汁を含む）	
	11	ひび割れの位置（床版中央，ハンチ，張出部など）			床版中央部に多い	
	12	ひび割れ幅，間隔			0.2mm程度，50cm（概算）	
	13	ひび割れ密度（m/m2）			未測定	
	14	はく離，はく落の面積率			無	
	15	ひび割れの角落ちの有無			無	
	16	遊離石灰の有無			一部に有	
	17	錆汁の有無			有	
	18	鉄筋腐食ひび割れ			有（判定不明確）	
	19	漏水			有	
	20	アルカリ骨材ゲル滲出			無	
	21	コンクリートの変色			有（錆汁による変色）	
ひび割れ（ゲージ等）	22	すり磨きの有無			未調査	
	23	ひび割れの開閉の有無			未調査	
劣化・損傷状況の調査（非破壊検査・コア採取による）	24	水平ひび割れ調査	打音検査		確認できず	
			衝撃弾性波法調査		上面：未調査，下面：未調査	
			コア採取		上面：未調査，下面：未調査	
	25	凍害深さ	目視によるスケーリング		無	
			コア採取，ドリル削孔		上面：未調査，下面：未調査	
	26	塩化物イオン	コア採取によるEPMA等		未調査	
			鉄筋位置の濃度		2.213～1.612　kg/cm^3	
	27	鉄筋腐食量	目視確認（方法等）		はつり調査	
			腐食度区分＊		B：全体に表面的腐食	
	28	中性化	試験方法		はつり調査（フェノール法）	
			中性化深さ		10mm（平均）	
			中性化残り		21.8mm（塩害環境）	
	29	アルカリシリカ反応	残存膨張量		未調査	
			骨材反応性		未調査	
	30	旧工事の舗装切削における床版厚の減少			無	
コンクリート物性調査	31	コンクリート強度	コア採取による圧縮試験		未調査	
			非破壊検査		未調査	
載荷試験	32	変位	載荷試験（荷重車，FWD）		未調査	
			たわみ劣化度　D(計算値)		未調査	

＊腐食度区分，A：点錆程度，B：全体に表面的腐食，C：軽微な断面欠損，D：著しい腐食

(5) 劣化・損傷要因と損傷段階の判定および適用可能な対策工法の選定

損傷段階の判定および適用可能な対策工法を**表-4.3.50** に示す．判定の基準は，損傷段階の判定基準と対策工法の適用性（**表-4.2.2**）を用いた．

表-4.3.50　損傷段階の判定および適用可能な対策工法

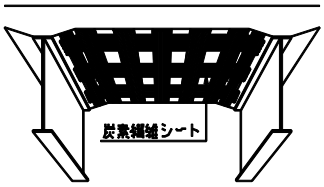
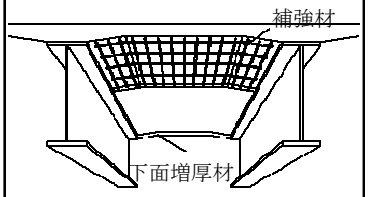
<table>
<tr><th colspan="3" rowspan="2">劣化因子</th><th colspan="2">損傷段階の判定項目</th><th rowspan="2">損傷段階の判定</th></tr>
<tr><th>項目番号</th><th>調査結果</th></tr>
<tr><td rowspan="11">判定要因</td><td colspan="2" rowspan="2">輪荷重による疲労</td><td>1
3
10
12
16</td><td>建設後60年，　S14道示
大型車；500～1000台／日
ひび割れは格子状
0.2mm程度，50cm（概算）
一部に有</td><td>(進展期)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">塩害</td><td>上面</td><td>6
7</td><td>飛来塩分の影響を受ける
凍結防止剤を散布しない</td><td>(潜伏期)</td></tr>
<tr><td>下面</td><td>6
7
17
18
26
27</td><td>飛来塩分の影響を受ける
凍結防止剤を散布しない
錆汁がある
鉄筋腐食ひび割れ？がある
2.213～1.612kg/cm^3（鉄筋位置）
B：全体に表面的腐食</td><td>(加速期)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">凍害</td><td>上面</td><td>8</td><td>積雪寒冷地以外</td><td>(―)</td></tr>
<tr><td>下面</td><td>8</td><td>積雪寒冷地以外</td><td>(―)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">中性化</td><td>上面</td><td>28</td><td>未調査</td><td>(―)</td></tr>
<tr><td>下面</td><td>28</td><td>10mm（平均）</td><td>(進展期)</td></tr>
<tr><td colspan="2">アルカリシリカ反応</td><td>20</td><td>ゲル滲出なし</td><td>(―)</td></tr>
<tr><td colspan="3">劣化・損傷要因と損傷段階の判定</td><td colspan="3">上記より，本床版は下面に二方向の格子状ひび割れが認められ，また，飛来塩分による塩化物が下段鉄筋背面まで浸透しているため，疲労（進展期と塩害（加速期）の複合劣化と判定した．なお，塩害の判定の加速期は，塩害の判定基準のひび割れの発生を基準としているが，本ひび割れが疲労または塩害に起因するかの判定は不明確である．但し，このひび割れに基づき，塩害の進行が大きく促進されると判断されるため，加速期と判定した．
また，中性化残りが塩害環境で規準を満足しておらず，中性化の影響も認められるが，その他の損傷原因は認められない．</td></tr>
<tr><td colspan="3">可能な対策工法の選定</td><td colspan="3">上記に基づき適用可能な対策工法を選定すると以下となる．（下面からの施工を想定）
輪荷重による疲労対策工法
・縦桁増設（現況桁間隔は1.8mであり，適用しても十分な効果が望めない）⇒×
・炭素繊維接着（他工法との併用で，塩害対策と併用できる）⇒*2
・下面増厚（他工法との併用で，塩害対策と併用できる）⇒*2
・鋼板接着（鋼板の腐食対策が必要で塩害環境には不向きである）⇒×
・上面増厚（他工法との併用で，塩害対策と併用できるが，下面からの施工ができない）⇒×
飛来塩化物による塩害対策工法
・表面保護（断面修復＋表面被覆）⇒○
・電気化学的防食（電気防食）⇒○
・電気化学的防食（脱塩）⇒○
凡例：
□：適用を原則とする，○：適用可能，△：他工法との併用にて適用，
×：適用不可もしくは効果が望めない，―：予防保全として適用可能，
*1；予防保全として適用可能であるが，損傷が軽微であるため，一般的に適用しない，</td></tr>
<tr><td colspan="3"></td><td colspan="3">【総合判定】
上記の結果，輪荷重による疲労の対策工法として，下記の２工法についての比較検討を行う．
・炭素繊維接着工法
・下面増厚工法
また，塩害の対策工法として，下記の３工法についての比較検討を行う．
・表面保護工法（断面修復＋表面被覆）
・電気化学的工法（電気防食工法）
・電気化学的工法（脱塩工法）
また，それぞれの対策方法として選定された工法を併用する場合の留意点等に対する検討を行う．</td></tr>
</table>

劣化・損傷要因	損傷段階	対策工法の適用性											
		橋面防水	ひび割れ注入	表面保護	電気化学的防食	縦桁増設	炭素繊維接着	下面増厚	鋼板接着	上面増厚	水平ひび割れ注入	部分打換	床版取替	荷重制限
疲労	進展期	□	△	／	／	○	○	○	○	○	／	*1	*1	*1
塩害	加速期前期	□	×	○	○	×	△	△	×	／	／	―	―	―

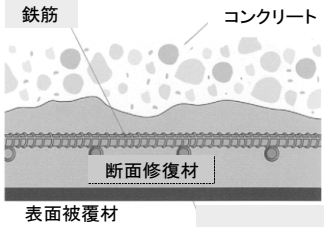
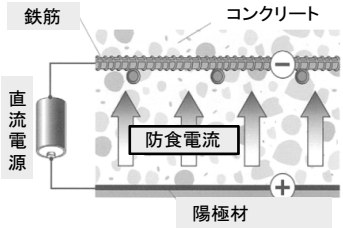
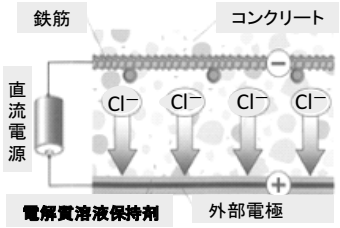
(6) 対策工法の比較・決定

適用可能な対策工法の比較を**表-4.3.51** に示す．検討の結果，必要とする補強効果や防食効果やＬＣＣ，その他の面で下面増厚工法と電気防食工法との併用が最も適していると判定できる．

表-4.3.51　適用可能な対策工法の比較表

項目						
		条件	＜損傷段階＞		＜必要な補強＞	
			疲労（進展期）		・疲労損傷（進展期）に対する保全的	
			塩害（加速期前期）		・曲げ耐力向上	
					・せん断耐力向上	
			輪荷重による疲労に対する対策工法			
工法			炭素繊維接着工法 （塩害対策工法との併用）		下面増厚工法 （塩害対策工法との併用）	
概要図						
工法の概要および特徴			床版下面に炭素繊維を接着することで，床版の曲げ耐力を向上させる．また，せん断耐力が20%向上するとの報告もある．すでに塩化物を含む構造物の塩害に対する防食効果は，全くないため，他の防食工法と併用しなければならない．		床版下面に鉄筋等の補強を行い，モルタル等を吹付けや左官で施工，床版の曲げ耐力およびせん断耐力を向上させる．すでに塩化物を含む構造物の塩害に対する防食効果は，全くないため，他の防食工法と併用しなければならない．	
補強効果	曲げ耐力の向上		向上	○	向上	○
	せん断耐力の向上		向上	○	向上	○
	鉄筋	上面鉄筋補修・補強、防錆	無	—	無	—
		下面鉄筋補修・補強、防錆	無	—	無	—
	床版厚修復効果		無	—	有	—
床版厚（UP厚）			200mm（変更なし）		230mm（+30mm増厚）	
対応可能な交通規制	橋面上	交通規制なし	可	○	可	○
		夜間の一車線規制日数	無	○	無	○
		夜間の全止め日数	—	—	—	—
		昼夜間の一車線規制日数	無	○	無	○
		昼夜間の全止め規制日数	—	—	—	—
	桁下道路等の交通規制		無	○	無	○
桁下足場の必要性			必要	○	必要	○
既設橋梁への影響	路面線形への影響	路面の段差	無	○	無	○
		高欄・地覆高の修正	無	○	無	○
	死荷重の増加量		ほとんど増加しない		0.6kN／m^2	
	死荷重増加による桁補強の有無		無	○	無	○
	主構造の改修		無	○	無	○
	舗装の修繕・橋面防水工の設置		不要（現状維持）		不要（現状維持）	
	伸縮装置の取替え		不要		不要	
工法適応にあたっての課題や条件			他の防食工法との併用		他の防食工法との併用	
耐久性	耐久年数や不具合事例など		橋面防水無しでの全面貼りでは滞水によって炭素繊維が剥がれる場合がある．→近年は格子貼りによる滞水対策が図られている．	○	橋面防水を併用することにより，補強効果が継続される．経年による劣化は床版下面にひび割れとして現れるため，下面の経過観察．	○
	耐久年数経過後の補修工法		上面増厚工法		上面増厚工法	
施工性	施工実績；床版（道路橋以外を含む）		多い	○	多い	○
	工期(電気防食を1.0として)		1.00＋炭素繊維施工	○	1.00＋下面増厚施工	○
維持管理			・通常のRC床版と同様の維持管理 ・仕上げ塗装の塗り替えが必要 ・漏水がないか点検が必要	○	・通常のRC床版と同様の維持管理 ・漏水がないか点検が必要	○
経済性	工事費(電気防食を1.0として)		1.00＋炭素繊維工事費	△	1.00＋下面増厚工事費	△
	ライフサイクルコスト（LCC）		低	○	低	○
評価			△ （適切な補強効果が得られるが，シート幅が限定され防食併用には不向き）		○ （適切な補強効果が得られる）	

評価の凡例：◎：最も優れている、○：適用可能、△：好ましくないが適用可能、×：適用不可

＜橋梁の重要度＞		＜施工上の制約＞				備　考
主要地方道路として重要		・迂回路の確保　：不可 ・交通規制　：規制は可能であるが，周辺への影響が大きい ・桁下空間　：制約なし ・周辺環境の制約等：制約なし				
塩害に対する対策						
表面保護工法(断面修復＋表面被覆) (疲労対策工法との併用)		電気化学的工法（電気防食工法） （疲労対策工法との併用）		電気化学的工法(脱塩工法) (疲労対策工法との併用)		
						
発錆限界以上の塩化物を含むコンクリートをはつり取り，塩化物を含まないコンクリート等で断面修復を行った後，コンクリートの表面を耐塩化物浸透性に優れた材料で被覆する．補強効果はほとんどないため，他の補強工法との併用が必要．		コンクリート表面に陽極を取付け，直流電源装置のプラス極に陽極を，鉄筋をマイナス極に繋ぎ，防食電流を供給することで，鋼材の腐食反応を停止させ防食する．補強効果はほとんどないため，他の補強工法との併用が必要．		コンクリート表面に仮設の陽極を設置し，直流電源装置のプラス極に陽極を，鉄筋をマイナス極に繋ぎ，1～2A／m2程度の電流を2カ月程度通電し，塩化物イオンを陽極側に移動させ，コンクリート中の塩化物を除去する．補強との併用が必要		
無	—	無	—	無	—	＜必要な補強効果＞と比較し、性能を○、×で評価
無	—	無	—	無	—	
無	—	無	—	無	—	
無	—	無	—	無	—	
無	—	無	—	無	—	
200mm(変更なし)		200mm(変更なし)		200mm(変更なし)		
不可(鉄筋背面以上のはつり)	×	可	○	可	○	＜施工上の制約＞と比較し、性能を○、×、△で評価
工期中	×	無	○	無	○	
—	—	—	—	—	—	
工期中	×	無	○	無	○	
—	—	—	—	—	—	
無	○	無	○	無	○	
必要	○	必要	○	必要	○	
無	○	無	○	無	○	適用性を○、×、△で評価
無	○	無	○	無	○	
ほとんど増加しない		ほとんど増加しない(方式で異なる)		ほとんど増加しない		
無	○	無	○	無	○	
無	○	無	○	無	○	
不要(現状維持)		不要(現状維持)		不要(現状維持)		
不要		不要		不要		
表面被覆の再補修		定期的な防食効果の確認試験		表面被覆の再補修		
保護塗装を行った新設と同等程度の耐用年数が期待できる．橋面防水無しの場合，滞水によって表面被覆が剥がれる場合がある．	○	チタン系陽極材は耐用年数40年以上が保障されている．陽極かぶりがない場合は，周りのモルタルが損傷する場合がる．	○	脱塩不足の場合，再腐食の可能性がある．橋面防水無しの場合，滞水によって表面被覆が剥がれる場合がある．	△	適用性を○、×、△で評価
電気防食		電気防食の再施工		電気防食		
多い	○	多い	○	少ない	△	
1.00～2.00(はつり量による)	△	1	○	1.00＋2か月	△	
・通常のRC床版と同様の維持管理 ・表面被覆の再施工が必要		・電気防食の維持管理 ・電気代・専門家の維持管理が必要		・通常のRC床版と同様の維持管理 ・表面被覆の再施工が必要		
	○		○		○	
1.00～2.00(はつり量による)	×	1	○	1	○	
高(再塗装)	×	最も低い	◎	高(再塗装)	×	
△ (防食効果は確実であるが，交通規制，再塗装が必要)		◎ (防食効果が確実で工事費，LCCが最も良い)		△ (多量の塩化物含有時の防食効果の確実性や再塗装が必要)		

(7) 下面増厚工法＋電気化学的防食工法の設計

a) 設計方針

本橋は主要地方道で交通量が多いため，床版下面側からの輪荷重による疲労対策と床版下面の飛来塩化物による塩害対策工事を行うこととした．輪荷重による床版の疲労損傷は進展期であり，疲労耐久性の向上を図ることを目的とする床版の補強工法に下面増厚工法を選定した．補強後の補強材の防食を考慮して補強材としてはFRPグリッド（炭素繊維）を採用した．

一方，飛来塩化物による塩害対策に適用する電気防食の方式は，下面増厚工法との併用が可能な線状陽極方式の電気防食を適用することとし，陽極の耐用年数が最も長いチタンリボンメッシュ方式を適用することとする．

なお，本橋梁には，橋面防水が適用されていないため，できるだけ早い時期のアスファルト舗装補修に併せ，橋面防水工事を実施する予定とした．

b) 対策工法の設計

下面増厚工法による補強の目標として，輪荷重走行試験により平成 8 年道示床版と同様の補強効果が得られることが確認されているFRPグリッドを使用した．また，電気防食工法における線状陽極材の設置間隔は，当該床版の塩化物イオン含有量および損傷状況等を考慮して，一般的な線状陽極の設置間隔である25cmを適用することとした．なお，電気防食設計の詳細については，土木学会　コンクリートライブラリー107　「電気化学的防食工法　設計施工指針(案)」等に基づくとよい．

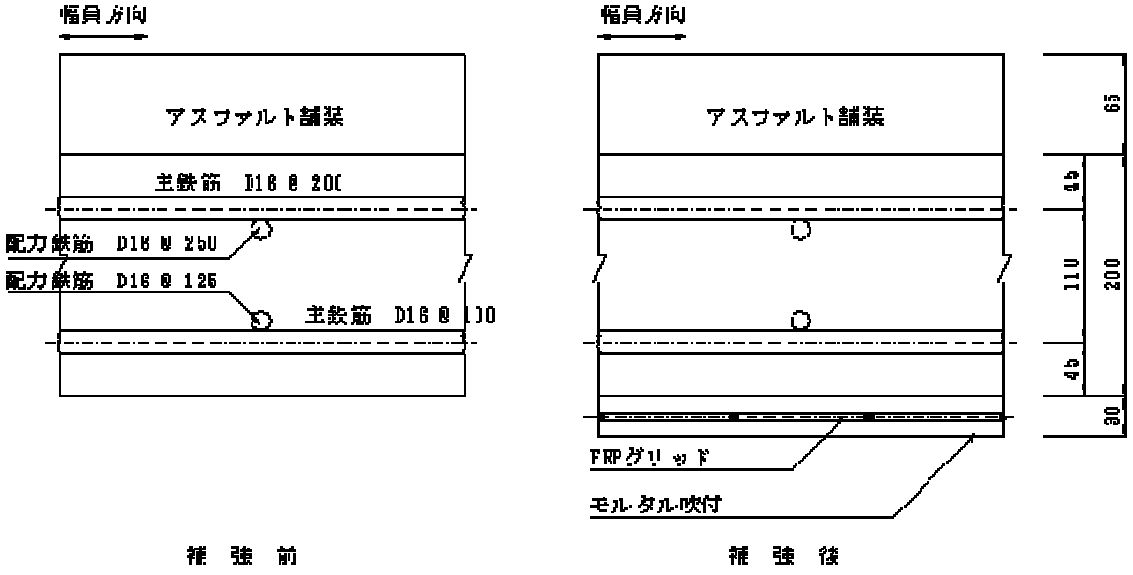


図-4.3.23　下面増厚補強断面図

表-4.3.52　ＣＦＲＰグリッドの性状

	断面積	断面寸法 mm		引張強度	弾性係数
	mm^2	高さ	幅	N/mm^2	N/mm^2
CFRPグリッド	26.4	5.0	5.3	1400	100000

4.3.11　輪荷重による疲労・凍害－上面増厚工法

(1) 維持管理の方針

本橋の RC 床版は昭和 39 年の道路橋示方書にて設計されており，現行の道路橋示方書と比較し床版厚の不足，鉄筋量の不足，設計輪荷重が小さい状況である．床版上面のコンクリートには，凍害によるスケーリングが見られ，鉄筋の一部が腐食している．また，床版下面のひび割れ密度は 7m/m^2 であり一部に遊離石灰も見られる．

本橋の床版は，凍害によるスケーリングにより床版厚が薄くなっており，劣化が進行すると輪荷重による押し抜きせん断破壊が生じる可能性が高い．そのため，床版厚の修復および補強を行い，適切な維持管理を行いながら長期的に本橋を使用する．

(2) 橋梁の概要

本橋の諸元と RC 床版の諸元を**表-4.3.53** と**表-4.3.54**，断面図を**図-4.3.24** に示す．

表-4.3.53　橋梁諸元

橋　　格	一等橋
橋梁形式	単純非合成鈑桁
支間長	40.000m
有効幅員	車道：8,000m，歩道：3.000m
主桁間隔	5@2,600m
ｱｽﾌｧﾙﾄ舗装厚	75mm
床版の種類	鉄筋コンクリート床版
床版厚	190mm
大型車交通量	1000～2000 台／日
設計活荷重	TL-20
適用示方書	昭和 39 年鋼道路橋設計示方書
竣工年度	昭和 41 年

表-4.3.54　RC 床版の諸元

コンクリート設計基準強度		σ_{ck}=28N/mm^2
ハンチ高		80mm
支間部	主鉄筋	上側：D16(ctc300mm) 下側：D16(ctc150mm)
	配力筋	上側：D13(ctc300mm) 下側：D13(ctc150mm)
桁端部	主鉄筋	上下：D16(ctc100mm)
	配力筋	上下：D13(ctc150mm)
鉄筋材質		SD295A

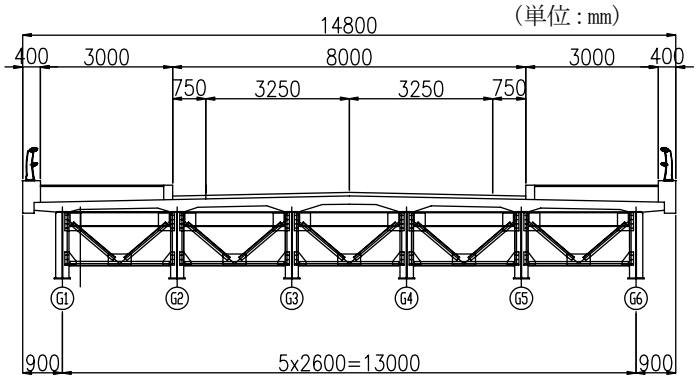


図-4.3.24　断面図

(3) 劣化・損傷の状況

床版下面のひび割れ密度について，主桁と対傾構に囲まれた範囲ごとに**図-4.3.25** に示す．また，床版上面の損傷状況を図**-4.3.26**～**図-4.3.29** に示す．車道部床版のひび割れ密度は 4～7m/m^2 であり全長に渡ってひび割れが生じている．橋面上のアスファルト舗装には，ひび割れや流動が生じており，開削すると床版に土砂化が生じている．土砂化は，上側鉄筋の下側にまで達する箇所もあり，鉄筋に腐食が見られる．

	S1	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
G1								
G2	7m/m^2	7m/m^2	4m/m^2	6m/m^2	4m/m^2	7m/m^2	5m/m^2	6m/m^2
G3	7m/m^2	6m/m^2	6m/m^2	4m/m^2	5m/m^2	6m/m^2	4m/m^2	6m/m^2
G4	7m/m^2	5m/m^2	4m/m^2	7m/m^2	4m/m^2	6m/m^2	5m/m^2	7m/m^2
G5								
G6								

図-4.3.25　床版下面のひび割れ密度

図-4.3.26　アスファルト舗装の状況

図-4.3.27　床版上面の状況（舗装開削）

図-4.3.28　床版コンクリートの土砂化

図-4.3.29　コンクリート劣化部の撤去状

(4) 定期点検などによる劣化・損傷調査の整理

これまでの定期点検などによる調査では，目視調査および，ひび割れ密度の算出が行われている．本橋の床版は，塩害，凍害による劣化の可能性が高いことから，対策工法の選定を行うにあたり，追加調査としてコンクリートのコア採取によるコンクリート圧縮強度，凍害深さ，塩化物イオン濃度の調査を行うこととする．劣化・損傷の調査結果を**表-4.3.55** に示す．

表-4.3.55　劣化・損傷の調査結果

	項目番号	調査項目			A1～A2	
資料調査	1	供用年数，適用示方書			建設から45年，S39道示	
	2	路線の重要度			幹線道路	
	3	一方向あたりの大型車の交通量（台／日）			1000以上2000未満	
	4	床版厚	設計厚		190mm	−40mm
			現行道示での床版厚		230mm	
	5	鉄筋	鉄筋の種類		異形鉄筋	
			かぶり	上面	32mm（設計値）	
				下面	32mm（設計値）	
			配力筋量		H8道示の基準より少ない	
	6	飛来塩分の影響	地域，海岸線からの距離による判断		無	
	7	凍結防止剤の散布の有無			有	
	8	寒冷地域			寒冷地	
	9	防水層の施工時期			未施工	
ひび割れ調査（目視調査）	10	ひび割れ形状（一方向，格子状，網細化など）			網細化	
	11	主なひび割れの位置（床版中央，ハンチ，張出部など）			床版中央，ハンチ	
	12	ひび割れ幅，間隔			0.3mm，　20cm	
	13	ひび割れ密度（m/m^2）			$7m/m^2$	
	14	はく離，はく落の面積率			無	
	15	ひび割れの角落ちの有無			無	
	16	遊離石灰の有無			有	
	17	錆汁の有無			無	
	18	鉄筋腐食ひび割れ			無	
	19	漏水			無	
	20	アルカリシリカゲル滲出			無	
	21	コンクリートの変色			無	
ひび割れ調査（パイゲージ，コンタクトゲージ等）	22	すり磨きの有無			未調査	
	23	ひび割れの開閉の有無			未調査	
劣化・損傷状況の調査（非破壊検査・コア採取による）	24	水平ひび割れ調査	打音検査		−	
			衝撃弾性波法調査		−	
			コア採取		上面：無，下面：無	
	25	凍害深さ	目視によるスケーリングの調査		−	
			コア採取，ドリル削孔		上面：50mm，下面：無	
	26	塩化物イオン	コア採取による浸透深さ調査		未実施	
			鉄筋位置の濃度		上面：0.8，下面：0.4	
	27	鉄筋腐食量	目視確認（部分開削，コア抜き等）		上面：一部腐食，下面：未調査	
			電気化学的測定による腐食度区分		上面：B，下面：未調査	
	28	中性化深さ	コア採取，ドリル削孔		上面：未調査，下面：未調査	
コンクリート物性調査（非破壊検査・コア採取による）	29	コンクリート強度	コア採取による圧縮試験		$38N/mm^2$	
			非破壊検査		未調査	
	30	残存膨張量			〃	
	31	骨材のアルカリシリカ反応性			〃	
載荷試験	32	変位	載荷試験（荷重車，FWD）		〃	
			たわみ劣化度　D（計算値）		〃	

(5) 劣化・損傷要因と劣化過程の判定および適用可能な対策工法の選定

劣化過程の判定および適用可能な対策工法を**表-4.3.56** に示す．判定の基準は，劣化過程の判定基準と対策工法の適用性（**表-4.2.2**）を用いた．

表-4.3.56　損傷段階の判定および適用可能な対策工法

			A1～A2		
			劣化過程の判定項目		劣化過程の判定
			項目番号	調査結果	
判定要因	輪荷重による疲労		1 10 12 13 16 29	建設から45年,S39道示 ひび割れが網細化 ひび割れ幅0.3mm，間隔20cm ひび割れ密度　7m/m^2 遊離石灰が見られる 圧縮強度32N/mm^2→スケーリング部以外の強度低下は見られない	（加速期後期）
	塩害	上面	6 7 26	飛来塩分の影響がない 凍結防止剤を散布する 鉄筋位置の塩化物イオン濃度0.8kg/cm^3	（潜伏期）
		下面	6 26	飛来塩分の影響がない 鉄筋位置の塩化物イオン濃度0.4kg/cm^3	（潜伏期）
	凍害	上面	8 25 27	寒冷地域 凍害深さ50mm スケーリング部	（劣化期）
		下面	8 26	寒冷地域 凍害無し	（潜伏期）
	中性化	上面			（－）
		下面			（－）
	アルカリ骨材反応		20 21	アルカリシリカゲル滲出が見られない アルカリ骨材反応特有のコンクリートの変色が見られない	（－）
劣化・損傷要因と劣化過程の判定			上記より，ひび割れは網細化し，一部に遊離石灰が見られる．また，床版上面にスケーリングが生じ鉄筋が腐食していることから，輪荷重にいる疲労（加速期後期）と凍害（劣化期）の複合劣化と判定される		
適用可能な対策工法の選定					

劣化・損傷要因	劣化過程	対策工法の適用性												
		床版防水	ひび割れ注入	表面保護	電気化学的防食	縦桁増設	炭素繊維接着	下面増厚	鋼板接着	上面増厚	水平ひび割れ注入	部分打換	床版取替	荷重制限
輪荷重による疲労	加速期後期	□	△			×	△	△	○	○		—	—	—
凍害	劣化期	□	○	○						△		○	○	○

凡例　□:原則適用○:適用可能，△:他工法との併用で適用可能，×:適用不可，－:予防保全として適用可能

【総合判断】

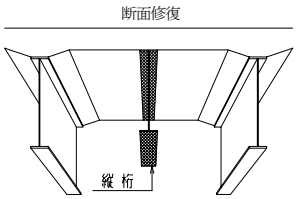
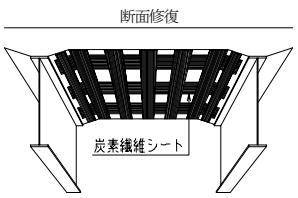
輪荷重による疲労が加速期後期であることから，凍害によるスケーリング部を断面修復すれば，部分打換，床版取替，荷重制限を行う必要はないと考えられる．したがって，本橋の床版には，以下に示す4工法が適用可能と考えられる．

- 表面保護工法（床版上面の断面修復）＋ひび割れ注入工法＋縦桁増設工法
- 表面保護工法（床版上面の断面修復）＋ひび割れ注入工法＋炭素繊維接着工法
- 表面保護工法（床版上面の断面修復）＋ひび割れ注入工法＋鋼板接着工法
- 上面増厚工法

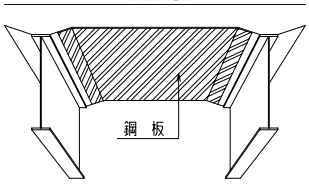
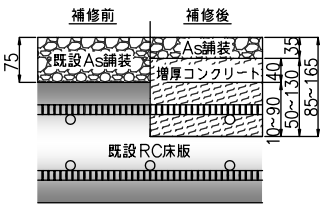
(6) 対策工法の比較・決定

適用可能な対策工法の比較を**表-4.3.57**に示す．本橋は，床版上面のスケーリングの補修と床版の補強が同時に実施できる接着剤塗布型 SFRC 上面増厚工法にて補強する．

表-4.3.57　適用可能な対策工法の比較表

項目			条件	＜劣化過程＞ 活荷重(加速期後期) 凍害(劣化期)		＜必要な補強効果＞ ・曲げ耐力向上　:必要 ・せん断耐力向上:必要 ・鉄筋補強・防錆:必要 ・床版厚修復　:必要	
工法				縦桁増設工法 (防水工・ひび割れ注入・断面修復と併用)		炭素繊維接着工法 (防水工・ひび割れ注入・断面修復と併用)	
概要図							
工法の特徴				床版の支間を短くすることで，床版の曲げ耐力を向上させる．断面補修工法との併用が必要．		床版下面に炭素繊維を接着することで，床版の曲げ耐力を向上させる．また，せん断耐力が20%向上するとの報告もある．断面補修工法との併用が必要．	
補強効果	曲げ耐力の向上			向上	○	向上	○
	せん断耐力の向上			無	×	向上	○
	鉄筋	上面鉄筋補修・補強、防錆		無	○	無	○
		下面鉄筋補修・補強、防錆		無	○	補強	○
	床版厚修復効果			断面修復工を実施	○	断面修復工を実施	○
床版厚(UP厚)				190mm(変更なし)		190mm(変更なし)	
対応可能な交通規制	橋面上	交通規制なし		不可(断面修復で必要)	—	不可(断面修復で必要)	—
		夜間の一車線規制日数		1日×8回	○	1日×8回	○
		夜間の全止め日数		1日×8回	○	1日×8回	○
		昼夜間の一車線規制日数		連続24時間×2回※1	○	連続24時間×2回※1	○
		昼夜間の全止め(規制日数)		—	—	—	—
	桁下道路等の交通規制			有(縦桁搬入時)	○	無	○
桁下足場の必要性				必要	○	必要	○
既設橋梁への影響	路面線形への影響	路面の段差		無	○	無	○
		高欄・地覆高の修正		無	○	無	○
	死荷重の増加量			0.36kN／m^2		ほとんど増加しない	
	死荷重増加による桁補強の有無			無	○	無	○
	主構造の改修			必要	△	無	○
	舗装の修繕・橋面防水工の設置			必要		必要	
	伸縮装置の取替え			不要		不要	
工法適応にあたっての課題や条件				車輪の走行位置直下に縦桁を配置する必要がある．死荷重の増加に対して桁の照査が必要		滞水防止，ひび割れ観察	
耐久性	耐久年数や不具合事例など			縦桁上以外を車輪が走行する場合には，疲労損傷が進行し，最終的に押し抜きせん断破壊に至ることが想定される．	△	全面貼りでは滞水によって炭素繊維が剥がれる場合がある．→近年は格子貼りによる滞水対策が図られている．	○
	耐久年数経過後の補修工法			床版取替え		上面増厚	
施工性	施工実績			近年は減少	△	多い	○
	工期			90日(1.50)	△	90日(1.50)	△
維持管理				・通常のRC床版と同様の維持管理 ・縦桁の塗装の塗り替えが必要	○	・通常のRC床版と同様の維持管理 ・仕上げ塗装の塗り替えが必要 ・滞水がないか点検が必要	○
経済性	工事費			高	×	高	×
	ライフサイクルコスト(LCC)			高	×	高	×
評価				× (せん断耐力が向上しない)		△ (床版の上下面からの補修・補強が必要となり高価である)	

評価の凡例:◎:最も優れている、○:適用可能、△:好ましくないが適用可能、×:適用不可
※1:超速硬コンクリートを用いた場合を示す

＜橋梁の重要度＞ 幹線道路		＜施工上の制約＞ ・迂回路の確保　：不可 ・交通規制　：昼夜間の連続した一車線規制が可能 ・桁下空間　：制約なし ・周辺環境の制約等：周辺住民に対する騒音対策				備　考
鋼板接着工法 （防水工・ひび割れ注入・断面修復と併用）		上面増厚工法 （防水工と併用）				
断面修復  		 				
床版下面に鋼板を接着することで，床版の曲げ耐力を向上させる．断面補修工法との併用が必要．		既設床版のスケーリングの補修と同時に増厚することで，床版の曲げ・せん断耐力を向上させる．超速硬コンクリートを使用．				
向上	○	向上	○			＜必要な補強効果＞と比較し、性能を○、×で評価
無	×	向上	○			
無	○	無	○			
補強	○	無	○			
断面修復工を実施	○	有	○			
190mm（変更なし）		230mm（+40mm増厚）				
不可（断面修復で必要）	—	不可	—			＜施工上の制約＞と比較し、性能を○、×、△で評価
1日×8回	○	1日×8回	○			
1日×8回	○	1日×8回	○			
連続24時間×2回※1	○	連続24時間×2回※1	○			
—	—	—	—			
無	○	無	○			
必要	○	不要	○			
無	○	無	○			適用性を○、×、△で評価
無	○	無	○			
0.36kN／m^2		無				
無	○	無	○			
無	○	無	○			
必要		必要				
不要		不要				
滞水防止，ひび割れ観察		打継ぎ界面のはく離防止				
滞水により補強効果が低下する．補強後の維持管理が不適切だと，押し抜きせん断破壊に至る場合がある	△	打継ぎ界面にはく離が生じる場合がある．→近年は接着剤を使用することで耐久性の向上が図られている．	○			適用性を○、×、△で評価
床版取替え		旧増厚を切削後に再度上面増厚				
近年は減少	△	多い	○			
90日（1.50）	△	60日（1.00）	○			
・鋼板下面塗装の塗り替えが必要 ・鋼板上面に滞水がないか点検が必要 ・床版下面のひび割れが確認できない	△	通常のRC床版と同様の維持管理	○			
高	×	安	○			
高	×	安	○			
× （せん断耐力が向上しない）		◎ （断面補修と同時に増厚が出来きるため安価である）				

(7) 上面増厚工法の設計

a) 設計方針

上面増厚は，死荷重の増加および伸縮装置などの嵩上げを行わなくて良いように既設アスファルト舗装厚 75mm の内，増厚コンクリート厚を 40mm，新規アスファルト舗装厚を 35mm として路面高の変更がない構造とする．増厚コンクリートは，交通規制の期間を短くするために超速硬セメントを用いることとする．また，初期ひび割れを防止するために，鋼繊維を混入した SFRC を用いる．

増厚コンクリート厚が薄いため既設床版との一体化を確実に行い，打継ぎ界面のはく離を抑制することを目的に，打継ぎ面の全面に土木用高耐久型エポキシ系接着剤を塗布する．

腐食した鉄筋は防錆処理を行うこととし，防錆処理はマクロセル腐食に対応した材料を用いる．

アスファルト舗装を用いることから，増厚コンクリート上面には床版防水工を行い床版への水の浸透を防ぐものとする．

上面増厚工法の施工は，交通量の少ない期間において一車線規制（片側交通）にて行い，渋滞の発生をできるだけ低減するものとする．

周辺住民への配慮として，低騒音コンクリートフィニッシャを用い騒音を低減させる．

今回，上面増厚および防水工を設置することから，床版下面のひび割れへの樹脂注入は行わず，定期点検において，ひび割れの進展を確認・記録し，経過観察を行うものとする．

b) 増厚コンクリート厚の決定

現行道示 8.2.5 床版の最小全厚より，必要な床版厚を求め，既設床版厚を差し引いて増厚コンクリート厚を求める．

・現行道示の最小全厚（連続版）

最小全厚　$d = k_1 \times k_2 \times d_0 = 1.2 \times 1.0 \times 188 = 226 \rightarrow 230\text{mm}$

$$d_0 = 30L + 110 = 30 \times 2.6 + 110 = 188\text{mm}$$

ここに，L：床版の支間長　2.6m

k_1：大型車交通量係数　1.2（1000 以上 2000 未満台数／日）

k_2：付加曲げモーメント係数　1.0

・増厚コンクリート厚（切削厚さを除く）

増厚コンクリートの厚さ　$h = d - t = 230 - 190 = 40\text{mm}$

ここに，t：既設床版の厚さ　190mm

以上より，切削厚さを含まない増厚コンクリートの厚さは 40mm（粗骨材の最大寸法 15mm）とする．

c) 死荷重増に関する主構造への影響

死荷重が増加しないため主構造への影響はない．

第 5 章　対策工法の設計施工

5.1　一　般

5.1.1　一　般

(1) 対策工法の設計施工は，劣化要因，劣化状態に応じて選定された補修・補強工法により，床版の要求性能を満足するような設計，施工および維持管理を行うことが重要である．
(2) 対策工法の設計は,対象となる床版の形式，形状，構造細目を確認した上で行う．
(3) 対策工法の設計は，既設道路橋床版の損傷履歴なども考慮して設計耐用期間にわたり要求性能を満足することを確認する．
(4) 対策工法の施工は，あらかじめ劣化部を確実に除去したうえで，施工上の制約条件，交通に対する安全性，施工時期等を考慮して設計で想定した品質を確保できるように実施する．
(5) 接着系の工法では，既設床版の接着面のコンクリート強度が所要の強度以上であることを確認する．

【解説】

(1) 対策工法の設計施工は，第 4 章により合理的に選定された補修・補強工法により，床版の要求性能を満足するように設計，施工，および維持管理を行うのがよい．
(2) 既設床版の補修・補強設計では,構造形状の把握が重要であるが,設計図書が現存しない場合も多い．また現存する場合でも現地踏査で図面と異なる形状を有する場合は，十分な現地の計測を行う．
(3) 対策工法の設計では設計耐用期間を設定し，その期間において要求性能を満足することを確認する必要がある．また，性能照査は要求性能に応じた限界状態を適切に設定し，数値解析などによって照査する．
(4) 施工計画においては，対象橋梁周辺の地形条件や搬入路を確認する必要があり，十分現地踏査を行い，適切な施工計画を検討する．また施工にあたっては,使用材料の特性に応じた施工基準などを参考に施工計画を策定するのがよい．なお,期待した対策効果が得られるように，床版の劣化状態を適切に把握し，劣化部の除去を確実に実施する必要がある．
(5) 炭素繊維シート接着工法，下面増厚工法，鋼板接着工法，上面増厚工法など接着系の工法では既設床版の接着面となるコンクリートが補強材との一体化に必要な強度を有していなければ補強効果が望めないことから，接着面のコンクリート強度を確認したうえで施工することが肝要である．

5.2　各種対策工法

5.2.1　床版防水工法

各種対策工法の設計・施工に際しては，適切な防水システムを整備する．

【解説】

床版防水システムは，床版のひび割れに起因する床版上面からの水分の侵入を防ぐための重要な役割を果たす．各種対策工法の設計・施工を実施する際には，適切な床版防水システムを整備することが重要である．床版防水システムの設計・施工については，道路橋防水システムガイドライン（案）[1)] を参照のこと．

【参考文献】

1)土木学会鋼構造委員会道路橋床版の維持管理評価に関する検討小委員会:道路橋防水システムガイドライン(案), 2012.6

5.2.2 ひび割れ注入工法

5.2.2.1 概要

(1) ひび割れ注入工法とは，ひび割れに樹脂系あるいはセメント系の材料を注入し，防水性および耐久性を向上させる工法である．躯体の一体化を図ることも可能であり，ひび割れ補修の最も一般的な工法である．

(2) ひび割れ注入工法の適用に際しては，ひび割れの幅，進行性の有無，乾湿状態など，事前調査に基づき，工法の適用性を検討したうえで補修工法を適切に選定する．

【解説】

(1) ひび割れ注入工法は，ひび割れ表面から樹脂系あるいはセメント系材料を注入する工法である．防水性や耐久性の向上を目的とするほか，躯体の一体化も図ることが可能である．注入方法により，以下の 3 工法に分類される．

① 自動式低圧低速入工法
② 手動式注入工法
③ 機械式注入工法

従来，注入工法は，手動式や足踏み式の機械注入工法が行われていたが，注入の精度が作業員の熟練度に左右される，注入量管理が難しい，注入圧が高いとひび割れの奥へ注入することが困難であること等から，現在では自動式低速低圧注入工法が主流となっている．

図-解 5.2.1 に自動式低圧低速注入工法の概要を示す．これらはいずれもゴムの復元力やスプリング等のバネ圧，圧縮空気圧を利用した専用の注入器具を用い，0.4MPa 以下の低圧かつ低速で注入するものである．注入量管理が可能である，注入精度が作業員の熟練度に左右されない，ひび割れ深部の幅が 0.05mm と狭い場合でも注入できる等の特徴がある．

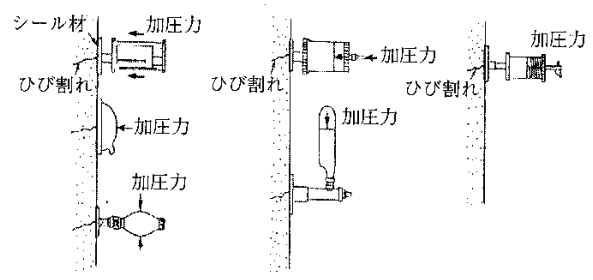


図-解 5.2.1 自動式低圧低速注入工法の概要 [3)]

(2) 注入工法は，被覆工法，充填工法とならび，ひび割れ補修工法のひとつの工法である．主にひび割れ幅により注入，被覆および充填工法の選択を行い，補修目的や発生原因も考慮にいれて決定する．**表-解 5.2.1** はこれらの選定のために用いられており，注入工法ではひび割れ幅が 0.2～1.0mm が適用対象となっている．

被覆工法は，微細なひび割れ（一般には 0.2mm 以下）の上に塗膜を構成させ，防水性，耐久性を向上させる目的で行われる工法で，ひび割れ部分のみを被覆する方法である．ひび割れ内部の処理ができない欠点がある．充填工法は，0.5mm 以上の比較的大きなひび割れに適用される工法で，ひび割れに沿って 10mm 程度の幅でコンクリートを U 字形にカットし，シーリング材，可とう性エポキシ樹脂，ポリマーセメントモルタル等を充填する．ここでは，ひび割れ補修工法の中の注入工法を主として説明する．

表-解 5.2.1　補修工法の分類[3)]

補修目的	ひび割れの現象・原因		ひび割れ幅 (mm)	補修工法※1			
				被覆工法	注入工法	充填工法	その他の工法
							浸透性防水材の塗布工法
防水性	ひび割れ幅の変動※2 小		0.2 以下	○	△		○
			0.2～1.0	△	○	○	
	ひび割れ幅の変動 大		0.2 以下	△	△		○
			0.2～1.0	△	○	○	
耐久性	鉄筋が腐食していない場合	ひび割れ幅の変動 小	0.2 以下	○	△	△	
			0.2～1.0	△	○	○	
			1.0 以上		△	○	
		ひび割れ幅の変動 大	0.2 以下	△	△	△	
			0.2～1.0	△	○	○	
			1.0 以上		△	○	
	鉄筋腐食					○	

※1　○印　適当と考えられる工法　△印　条件によっては適当を考えられる工法

※2　ひび割れ幅の変動とは，劣化にともなうひび割れの進展や温度変化等による変動を意味しており，交通荷重などにともなうひび割れの開閉は対象外とする．なお，ひび割れ幅の変動は 100%以上を「大」，100%に満たない場合を「小」とする．

5.2.2.2　設計

(1) ひび割れ注入工法によるコンクリート床版のひび割れ補修においては，ひび割れの原因，その劣化機構と劣化予測，補修範囲と規模のほか，交通の状況，施工に際しての安全性，経済性等を総合的に検討した上で，適切に補修材料，補修時期などを選定するのがよい．

(2) ひび割れ注入工法に使用する材料は，有機系材料，ポリマーセメント系材料，セメント系材料に大別される．補修目的や補修材料に要求される性能や使用環境，施工条件などを十分に検討し，材料を選定するのがよい．

【解説】

(1) ひび割れ補修するにあたり，まず調査を行い，ひび割れの原因とその劣化機構を把握し，劣化予測を行う必要がある．調査結果によっては補修が必要でないと判定される場合もあり，調査および原因推定結果に基づいて補修の要否を判定する必要がある．日本コンクリート工学協会『コンクリートのひび割れ調査，補修・補強指針』では補修の要否を定めている．内容をまとめると以下のとおりである．

① ひび割れに起因する角落，剥落，抜落ちの程度が明らかな場合には補修を実施する．

② 第三者への影響度に関する性能が問題となる場合，構造安全性能からの補強の要否を判定する場合等は技術者の高度な判断に基づく判定を行うのがよい．

③ 上記以外の場合でも，基本的には技術者が補修の要否を判断すべきであるが，一般に，**表-解 5.2.2** と照合して補修の要否判定を行ってよい．

補修補強が必要と判断された場合，補修方法の選定を行う．ひび割れ補修工法には前述のとおり，「注入工法」「被覆工法」「充填工法」があり，補修の目的およびひび割れ幅によって適切に選定する．次に補修材料をそれぞれの材料特徴と目的，施工環境等を検討し選定する．

表-解 5.2.2　耐久性または防水性からみた補修の要否に関するひび割れ幅の限度 [3)]

区分	その他の要因[*1] / 環境[*2]	耐久性からみた場合			防水性からみた場合
		きびしい	中間	ゆるやか	―
(A) 補修を必要とする	大	0.4以上	0.4以上	0.6以上	0.2以上
ひび割れ幅	中	0.4以上	0.6以上	0.8以上	0.2以上
(mm)	小	0.6以上	0.8以上	1.0以上	0.2以上
(B) 補修を必要としない	大	0.1以下	0.2以下	0.2以下	0.05以下
ひび割れ幅	中	0.1以下	0.2以下	0.3以下	0.05以下
(mm)	小	0.2以下	0.3以下	0.3以下	0.05以下

注)*1　その他の要因（大，中，小）とは，コンクリート構造物の耐久性および防水性に及ぼす有害性の程度を示し，下記の要因の影響を総合判断して定める．
ひび割れの深さ・パターン，かぶり厚さ，コンクリート表面被覆の有無，材料・配合，打継ぎなど．
*2　主として鉄筋の錆の発生条件の観点からみた環境条件．

(2) ひび割れ注入に使用する材料は，有機系材料，ポリマーセメント系材料，セメント系材料に大別される．有機系材料のうち，ひび割れ注入に使用する材料はエポキシ樹脂やアクリル樹脂などの合成樹脂であり，特徴としては以下の項目が挙げられる．[3)]

① コンクリートやモルタルとの接着性に優れる
② 躯体の一体化を図ることができる
③ 材料性状が 1000mPa･s 以下の低粘度なもの，ひび割れ幅が広い場合でも流下しないように揺変性を付与したもの，伸び率 50%以上の性能を有するものなど，種類が豊富である．

有機系注入材としては，エポキシ樹脂がもっとも広く使用されており，各機関・協会等で品質規格が示されている．**表-解 5.2.3** に示すように建設省総合技術開発プロジェクトでもひび割れの進行区分とひび割れ幅によって使用する注入材の品質規格が示されており，道路橋床版のひび割れ注入材はこれに従うのが望ましい．アクリル樹脂は，低温でも安定した硬化性や湿潤面に対する接着性に優れた材料である．

一方セメント系およびポリマーセメント系材料の特徴としては以下の項目が挙げられる[3)]．

① 有機系材料に比較して安価である
② 熱膨張率がコンクリートに近い
③ 湿潤面に適用できる
④ 超微粒子セメントを主材とし，これに接着性を付与するためにポリマーディスパージョンを配合した超微粒子セメントスラリーでは，0.05mm の微細ひび割れにも注入可能である

セメント系やポリマーセメント系注入材を使用する場合には，注入箇所が乾燥状態にあると躯体に水分が吸収され，ひび割れが閉塞し注入できない場合がある．このような場合には，注入に先立ちひび割れに注水し湿潤状態にすることが重要である．

表-解 5.2.3　建設省総合技術開発プロジェクト　注入材と充填材の品質規格 [4)]

項目 ＼ 材料の種類	土木補修用エポキシ樹脂注入材1種	土木補修用エポキシ樹脂注入材2種	土木補修用エポキシ樹脂注入材3種	土木補修用充填材ポリマーセメント系	土木補修用充填材シーラント系
ひび割れ進行区分[*1]	B		A	B	A, B
ひび割れ幅 (mm)	0.2～5.0			5.0<	
粘度 (mPa･s)	1000以下	4±1[*2]	1000以下	10000以下	ダレを認めず
可使時間 (分)	30 以上	30 以上	30 以上	30 以上	240以上
硬化時間 (時間)	16 以内	16 以内	24 以内	16 以内	24以内
硬化収縮 (%)	0.1 以下	0.1以下	0.1以下	0.1以下	―
伸び率 (%)	―	50 以上	100 以上	―	800以上
モルタル付着強さ（乾燥面） (N/mm²)	6 以上	6 以上	6 以上	6 以上	たわみ量10mm以上で破壊すること
付着力耐久性保持率 (%)[*3]	60 以上	60 以上	60 以上	60 以上	60以上

*1：A－ひび割れが進行している，B＝ひび割れの進行が止まった
*2：チキソトロピック係数 2 rpm/20 rpm の粘度で表わす．
*3：規格に対する百分率

5.2.2.3　施工と維持管理

(1) ひび割れ注入工法は，ひび割れ内部へ注入材が十分充填がされるように，適切な工法，手順で施工および施工管理を行うのがよい.

(2) ひび割れ注入工法により補修を行った床版に対しては，定期的に点検を実施し，記録，保存を行い，適切な維持管理を行うのがよい.

【解説】

(1) 事前調査による補修の要否判定の結果，補修対象となるひび割れに対して補修を実施する．補修設計の段階で補修範囲および注入材料を決定しておく．標準的な施工工程を**図-解 5.2.2** に，具体的な注入工法の手順，要領および注意事項について**表-解 5.2.4** に示す.

(2) 補修工事前に行った調査診断および補修計画，補修実施時の工事記録，補修後の定期点検は今後の道路橋床版の維持管理を行う上で非常に重要な記録であり，適切に保存管理をする必要がある.

特にひび割れについては，発生原因が多様であり，劣化の初期段階で認められる変状でもある．補修完了後も補修箇所のみではなく，構造物全般にわたり点検し，ひび割れ発生が認められた場合には調査・診断を行い，早期に適切な処理を行っていくことが重要である.

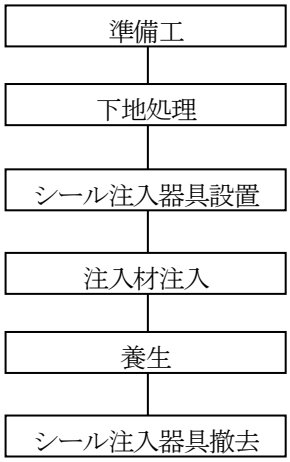


図-解 5.2.2　ひび割れ注入工法の標準的な施工工程

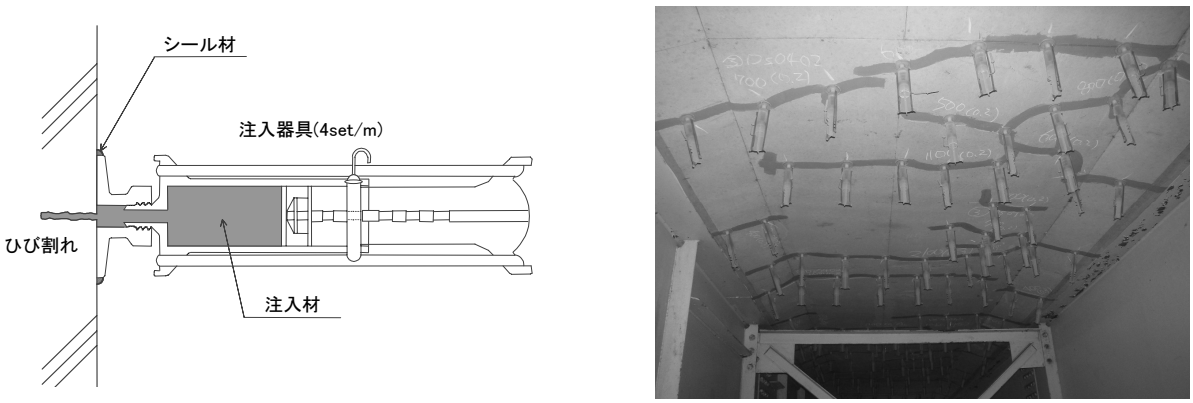


図-解 5.2.3　ひび割れ注入概念図と床版下面での注入工法

表-解 5.2.4　ひび割れ注入工法の施工要領（有機系注入材の場合）

工程	手順	要領	注意事項
準備工	補修箇所の確認	・補修箇所の確認，マーキングを行う．	・設計図書と照合する．
下地処理	補修箇所の清掃	・汚れや付着物は，ブラシ・エアー・水洗浄等で除去する．	・ひび割れ周辺に浮き等がある場合は除去する．
シール注入器具設置	注入器具の設置	・樹脂や急結セメント等を用いて，注入器具（座金）を取り付ける．	・対象箇所が乾燥していることを確認し，所定の間隔で注入器具（座金）を設置する．
	シール材の塗布	・ヘラ・ゴムベラ等を用いて，シール材（樹脂，急結セメント等）を押し付けるように塗布する．	・対象箇所が乾燥していることを確認し，漏れが生じないようにシールする． ※シール材を用いて注入器具を取り付ける工法もある．この場合は，シール材を塗布後に治具を取り付けることになる．
注入材注入	材料の調合，混練	・専用の工具を使用し，所定の調合で混練する．	・材料メーカーの指定する調合，混練方法に従う．
	注入器の設置 注入材の注入	・注入器具（座金）に注入材を充填した注入器を取り付け，低圧にて注入する．注入が停止するまで注入作業を継続するが，注入器内の注入材が無くなった場合は，注入材の追加充填を繰り返す．	・シール材が十分に硬化したことを確認し，保護具を使用して注入作業を行う．
養生	硬化養生	・注入材が硬化するまで養生する．	・使用材料，施工環境を考慮する．
シール注入器具撤去	注入器具 シール材の撤去	・注入器，注入器具（座金）を取り外し，シール材をディスクサンダーやスクレパーを用いて撤去する．	・保護具を用いて作業を行う．

【参考文献】

1) 土木学会：2007 年制定コンクリート標準示方書【維持管理編】，2007

2) 日本コンクリート工学協会：コンクリート診断技術 11，2011

3) 日本コンクリート工学協会：コンクリートのひび割れ調査，補修・補強指針－2003－，2003.6

4) 建設省：建設省総合技術開発プロジェクト　コンクリートの耐久性向上技術の開発（土木構造物に関する研究成果），平成元年 5 月

5.2.3　表面保護工法

5.2.3.1　概要

(1) 表面保護工法は，コンクリートの劣化の原因となる劣化因子の侵入を防止・抑制することを目的として，コンクリート構造物の表面に保護的処置をする工法である．

(2) 表面保護工法の道路橋床版への適用に際しては，表面被覆，含浸および断面修復の目的，部位，部材の力学的特性，環境条件および予測される劣化要因に応じて，適用性について検討したうえで工法の選定を行うのがよい．

【解説】

(1) 表面保護工法は，コンクリート構造物の表面に保護的措置を施す工法である．表面保護工法の種類は，①表面被覆工法，②表面含浸工法，③断面修復工法に大別される．なお，表面保護工法のうち，表面被覆工法および表面含浸工法を表面処理工法と定義される．

①の表面被覆工法は，床版コンクリートの表面または断面修復工法を適用した箇所に，有機系または無機系被覆材により被覆を施し，劣化因子の侵入を抑制，防止して，コンクリートの耐久性の向上または劣化因子の進行を抑制する効果をもたらす．表面被覆工法は，表面被覆材の種類により有機系被覆工法と無機系被覆工法に大別される．

②の表面含浸工法は，コンクリート表面に塗布した表面含浸材がコンクリート内部に含浸して，劣化因子の侵入抑制，または新たな性能を付与する効果をもたらす工法である．表面含浸工法に用いられる含浸材は，コンクリート表層部に吸水防止層を形成して水分や劣化因子の侵入を抑制するシラン系のものと，コンクリートへのアルカリ性付与や表層部，ぜい弱部などの強化あるいは緻密化を主目的としたけい酸塩系のものに大別される．

③の断面修復工法は，劣化または損傷によって喪失した断面や，コンクリートの劣化部を除去した断面を当初の断面寸法に復旧する工法であり，コンクリート床版の耐久性能を回復もしくは向上させる効果をもたらす．断面修復工法には左官工法，吹付け工法および充てん工法がある．また，断面修復材にはセメントモルタル，ポリマーセメントモルタル，ポリマーモルタルなどがある．

図-解 5.2.4 に表面保護工法の概念図を示す．

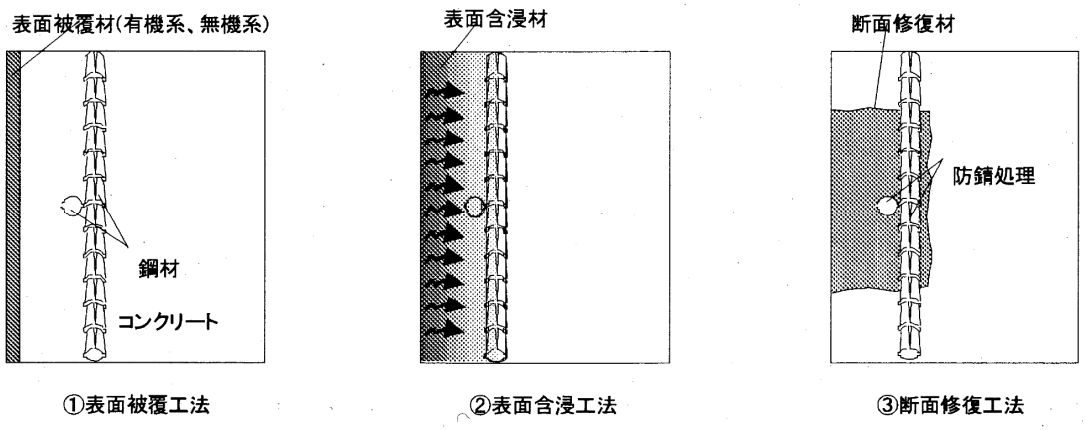


図-解 5.2.4　表面保護工法の概念図 [1)]

(2) 表面保護工法の適用効果について，工法の種類毎に以下に示す.

有機系被覆工法は，コンクリート構造物の劣化因子である二酸化炭素，塩化物イオン，水分，酸素等の侵入を抑制する効果の高い有機系被覆材の特質を活かした表面保護工法である．有機系被覆材の大きな特徴のひとつとして，柔軟形エポキシ樹脂やゴム系材料など柔軟性の大きい材料を選択することが可能なことである．これは，繰返し荷重の作用を受けるコンクリート床版においてコンクリートのひび割れ幅が変動する場合，劣化因子の侵入を抑制する効果を維持するために要求されるひび割れ追従性に優れた選択ができることを示す.

無機系被覆工法は，コンクリート構造物の劣化因子である二酸化炭素，塩化物イオン，水分，酸素等の侵入を抑制する効果の高い無機系被覆材の特徴を活かして，コンクリート表面を厚さが1～5mm程度の単層または複層によって構成される各種無機材料で被覆する表面保護工法である.有機系被覆材に比較して，紫外線劣化に対する抵抗性や耐候性に優れていると同時に難燃性に優れている特徴を有するが，ひび割れ追従性に劣るものもある.

表面含浸工法は,コンクリート表面の外観を著しく変化させることがなく,表面被覆工法と比較すると，少ない工程で，かつ短期間で施工できるという特長を有している．また，経年後に再施工する場合，表面含浸材を再度含浸させるだけで効果を発揮できる．中性化，塩害，凍害，アルカリ骨材反応などによるコンクリート構造物の劣化を抑制・防止する対策として有効な工法である.

断面修復工法は，左官工法，吹付け工法および充てん工法があり，採用する工法は，一般には，修復の対象となる断面の部位,範囲および規模などを考慮して選択される.これらの工法に用いる断面修復材は，一般にはモルタルの形態で適用され，セメントモルタル，ポリマーセメントモルタルおよびポリマーセメントモルタルの中から適切なものを選択する必要がある.

表面保護工法は以上のとおり各種の工法に大別されるが，各種の工法の組合せの形で適用される場合も多い．**図-解 5.2.5** に組合せによる表面保護工の例を示す.

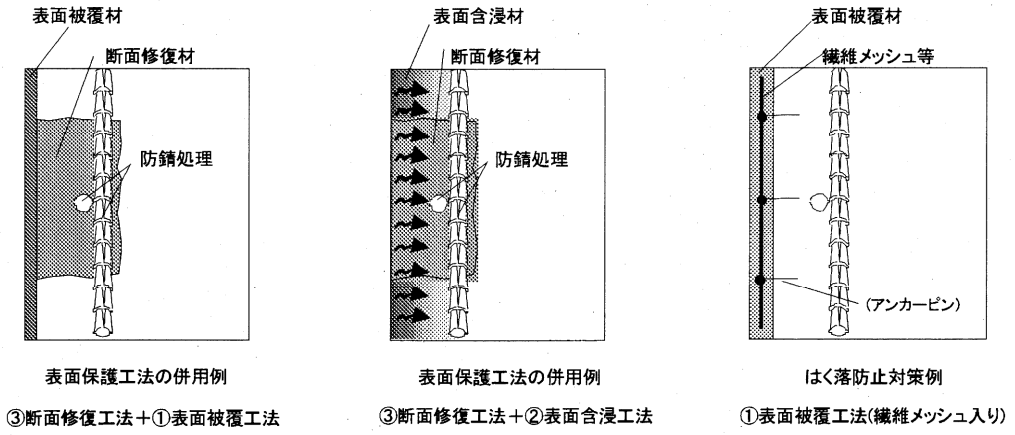


図-解 5.2.5　表面保護工法の組合せ事例 [1)]

5.2.3.2　設計

(1) 表面保護工法の選定に際しては，構造物の現況，環境条件，劣化度，施工条件，適用後の維持管理，ライフサイクルコストなどの必要な事項を考慮するのがよい.

(2) 表面保護工法の設計は，目標とする要求性能に基づき，各水準において表面保護工に期待される効果が発揮されるように行うのがよい.

【解説】

(1) 表面保護工法を選定する段階では，それまでに行われた日常点検や定期点検に基づくコンクリート床版の現況，環境条件，劣化機構や劣化度などが明らかにされており，要求される性能が明らかとなっている．表面保護工法の選定は，これらの情報に基づいて候補の対象となる表面保護工法の特徴が活かされ，かつ所要の効果が十分に確保されるように適切に行う必要がある．

いくつかの具体的な工法を採用候補に挙げて検討する際には，ライフサイクルコストや経済性を考慮しながら選定することも重要である．

図-解 5.2.6 に示すとおり，既設コンクリート床版に対しては，まず断面修復工の要否の検討を行い，次に表面処理工の要否の検討を行う．これらの検討にあたっては，**表-解 5.2.5** に示す要求性能に対する各表面保護工法の適用範囲，**表-解 5.2.6**～**表-解 5.2.9** に示す各工法の期待される性能と適用効果を把握しておくとよい．

表面保護工法としての性能だけでなく，各工法の特徴を明確に把握しておくことが重要である．表面保護工法の性能に

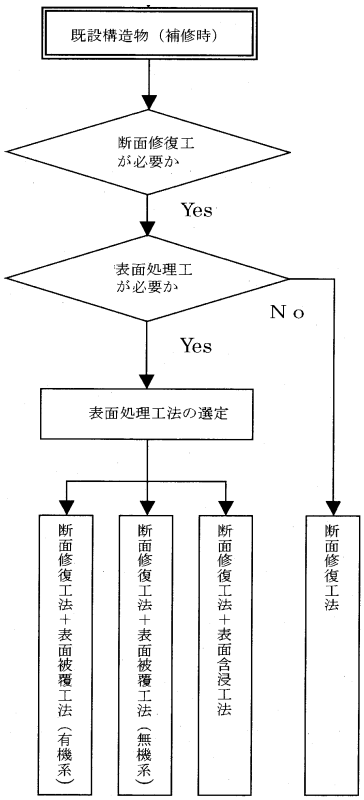


図-解 5.2.6　表面保護工法の選定の流れ [1)]

表-解 5.2.5　構造物の要求性能に対する表面保護工法の適用範囲 [1)]

要求性能に関連する項目 ＼ 表面保護工法		表面処理工			断面修復工（法）	メッシュ（工法）	シート（工法）
		表面被覆工法		表面含浸工法			
		有機系	無機系				
適用構造物		新設・既設	新設・既設	新設・既設	既設	新設・既設	新設・既設
劣化に対する抵抗性	中性化	○	○	○	○	＊	◯
	塩害	○	○	○	○	＊	◯
	凍害	○	○	△	○	＊	＊
	化学的侵食	○	△	－	○	＊	◯
	アルカリ骨材反応	△	△	△	○	＊	＊
	乾湿繰返し	○	○	○	○	＊	＊
	摩耗（キャビテーション抑制など）	○	○	△	○	＊	＊
	疲労によるひび割れ	－	－	－	－	△	△
	構造物中の劣化部分の除去	－	－	－	○	－	－
水密性	防水対策	○	○	○	○	＊	○
美観・景観	落書き防止	○	△	△	－	＊	—
	排ガス付着防止	○	△	△	－	＊	－
	防藻・防かび	○	△	△	－	＊	－
	意匠性向上	○	○	－	－	＊	－
	外観維持	－	－	○	－	－	－
第三者影響度に関する性能	はく落抵抗性	－	－	△	－	○	○
機能性	耐火性向上（爆裂防止）	△	○	－	○	＊	－
	収縮によるひび割れ抑制	○	○	－	○	＊	－
	保温性向上	△	○	－	－	＊	－
	海洋生物付着防止	△	－	－	－	＊	－
	融雪溝の雪滑り向上	△	－	－	－	＊	－
	車両走行安全性向上，視認性向上	△	－	－	－	＊	－
	ぜい弱部の強度回復（固化）	－	－	○	－	－	－

○は適用の対象，△は適用する場合に検討が必要（他の工種，工法との併用など），－は適用の対象外を示す．
＊：本表では，メッシュ（工法）あるいはシート（工法）によって付加される効果のみを示す．メッシュ（工法），シート（工法）は，表面被覆工法（有機系，無機系）と併用して使用するために，その適用範囲は，使用する表面被覆工の適用範囲に準ずる．

は，劣化を抑制する性能，コンクリートとの付着性，浸透性および美観・景観などの基本的な性能，維持管理のし易さなどがある．また，工法の特徴あるいは性能としては，施工の容易さおよび環境側面に関する性能がある．さらに，劣化因子を抑制する性能を持続的に発揮するための耐久性が重要であり，そのためにはコンクリートとの付着性に関しても持続的にその性能が維持できることが重要である．

断面修復工法では，施工規模や補修対象の部位に応じて，左官工法，吹付け工法および充てん工法の選定を行う．道路橋の床版コンクリートを対象とした場合，施工部位の位置が下面の場合は吹付け工法，上面の場合には充てん工法の適用が多く，また，補修面積の小さいものは施工方向にかかわらず左官工法の適用が多い．**図-解 5.2.7** に断面修復工法の適用範囲の概念図を示す．

表-解 5.2.6　有機系被覆工法に期待される性能と適用効果 [1)]

	塗装工法				シート工法[3)]					
	中塗り材の種類				塗布接着形シート工法（クロスシート，メッシュシート，等）					張付け接着形シート工法
	標準形	厚膜形	柔軟形	柔軟厚膜形						
樹脂およびシートの種類[1)]	エポキシ	エポキシ，アクリル，ビニルエステル，ポリエステル，アクロイル	エポキシ，ポリウレタン，ふっ素	エポキシ，ポリウレタン，アクリルゴム，クロロプレンゴム，ポリブタジエン，ポリウレア	ガラス繊維シート1層/2層/エポキシ	ビニロン繊維シート/エポキシ，アクリル，クロロプレンゴム	アラミド繊維シート/エポキシ	カーボン繊維シート/エポキシ，アクリル	ガラスマット[4)] 1層/2層/エポキシ/ビニルエステル/ポリエステル	ラミネートシート/エポキシ
膜厚（μm）	100未満	100以上	100未満	100以上	500/1000	500	700	積層数により変化	1000-2000	1000
期待される性能[2)]										
中性化抑制	○	○	○	○	*	*	*	*	*	*
塩化物イオンの侵入抑制	○	○	○	○	*	*	*	*	*	*
凍結融解抵抗性	△	△	△	○	*	*	*	*	*	*
化学的侵食抑制	△	○	△	○	○	—	*	○	○	*
アルカリ骨材反応抑制	△	△	△	△	*	*	*	*	*	*
ひび割れ追従性	△	△	○	○	*	*	*	*	*	*
美観・景観に関する性能	○	○	○	○	*	*	*	*	*	*
はく落抵抗性	—	—	—	—	○	○	○	○	*	○

1) 樹脂系に記載のものは全てではなく，市販の代表的な有機系被覆材を載せた．
2) 期待される効果は主要なもののみ示した．表中の○は適用対象，△は適用する場合に検討が必要（他の工法との併用など），－は適用対象外を示す．
3) はく落防止を主目的とする．それ以外の用途として下水道構造物の劣化防止に使用されることもある．＊印は，同様の樹脂系のものを用い，かつ膜厚が同じ場合は，塗装工法と同様の適用効果を期待できることを示す．膜厚は目安を示した．
4) ガラスマットについては，日本下水道事業団編「下水道コンクリート構造物の腐食抑制技術及び防食技術指針・同マニュアル（平成14年12月）」を参照した．

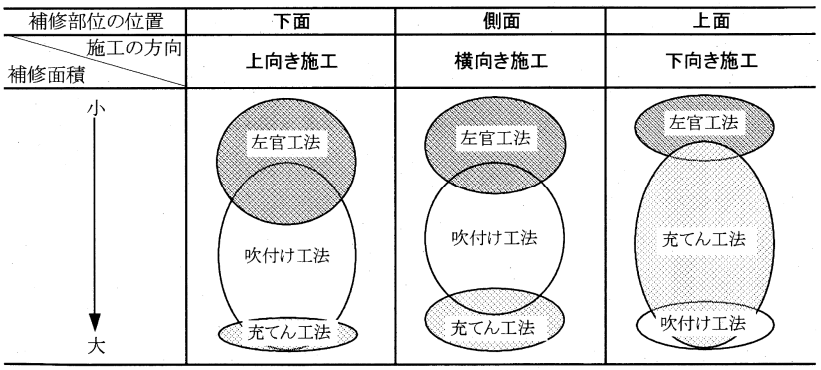


図-解 5.2.7　断面修復工法に期待される性能と適用効果 [1)]

表-解 5.2.7　無機系被覆工法に期待される性能と適用効果 [1)]

期待される性能	単層による塗装工法		複層による塗装工法		メッシュ工法[4)]
	柔軟形	標準形	柔軟形	標準形	*
中性化抑制	○	○	○	○	*
塩化物イオンの侵入抑制	○	○	○	○	*
凍結融解抵抗性	○	○	○	○	*
化学的侵食抑制	△	—	△	△	*
アルカリ骨材反応抑制[2)]	△	—	△	△	*
ひび割れ追従性	○	△	○	△	*
美観・景観に関する性能	△	△	○	○	*
はく落抵抗性[3)]	—	—	—	—	○

1）表中の○は適用対象，△は適用する場合に検討が必要（他の工法との併用など），－は適用の対象外を示す．
2）アルカリ骨材反応抑制は，標準的な遮水性により判定した．
3）はく落抵抗性は付着性を基本に判定した．
4）メッシュ工法の「＊」については，単層および複層による塗布工法と併用して使用するために，その適用範囲は，使用する無機系被覆の各工法の適用範囲に準ずることを示す．

表-解 5.2.8　表面含浸工法に期待される性能と適用効果 [1)]

期待される性能	シラン系	けい酸塩系		その他の系
		けい酸リチウム系	けい酸ナトリウム系	
中性化抑制	△	△	○	
塩化物イオンの侵入抑制	○	－	○	
凍結融解抵抗性	△	－	△	
化学的侵食抑制	－	－	－	
アルカリ骨材反応抑制[2)]	△	△	－	
美観・景観に関する性能	－	－	－	
はく落抵抗性[3)]	△	－	△	

1)　表中の○は適用対象，△は適用する場合検討が必要（他の工法との併用など），－は適用対象外を示す．
2)　アルカリ骨材反応抑制は標準的な遮水性により判定した．
3)　はく落抵抗性は付着性を基本に判定した．

表-解 5.2.9　断面修復工法に期待される性能と適用効果 [1)]

期待される性能	断面修復材の種類		
	セメント モルタル	ポリマーセメント モルタル	ポリマー モルタル
力学的性能	○	○	○
ひび割れ抵抗性	○	○	○
中性化抑制	○	○	○
塩化物イオンの侵入抑制	△	△	○
凍結融解抵抗性	○	○	○
化学的侵食抑制	△	△	○
アルカリ骨材反応抑制[1)]	△	△	○
美観･景観に関する性能	△	△	○
はく落抵抗性[2)]	○	○	○

注)　表中の○は適用効果あり，△は適用効果を期待する場合検討が必要（他の工法との併用など），を示す．
1)　アルカリ骨材反応抑制は，標準的な遮水性による判定．
2)　付着性状による判定．

(2) 表面保護工法の適用にあたっては，①構造物の性能を向上させる，②現状における性能を維持する，③要求される性能を下回ることのない程度に維持する，のうちのどれか１つの目標が想定される．したがって，表面保護工法に期待する目標を明確にしたうえで，目標に対する要求水準を定めてその水準が満足されるような設計を行うことが重要である．表面保護工法の設計では，期待される効果や要求性能に応じて，施工の範囲を適切に設定することも重要である．特に，断面修復工の設計では，劣化因子や劣化部の除去に当たって，はつりの範囲を設定することが基本であり，その施工範囲を適切に設定することが重要である．

表面保護工法の性能照査は，原則として，表面保護工法に期待される効果の持続期間中，表面保護工法を施したコンクリート構造物が所要の要求性能を満足することを確認することによって行う．構造物が有する性能を確認するためには，設計対象となる表面保護工法を用いた実構造物への適用事例や試験施工の結果などを踏まえて判断することが基本となる．しかし，試験施工などのデータが取得できない場合，表面保護工法の性能照査は，実際の施工条件を想定した表面保護システムを対象として行ってもよい．

表面保護システムとは，下地処理，素地調整，プライマー処理，中塗り，上塗り，含浸材塗布，断面修復などの方法ならびにそれらの程度，使用材料，施工条件など，表面保護工法の性能や機能に影響を及ぼす個々の条件を組み合わせた仕様のことである．したがって，使用材料が所要の性能を有することを試験などで確認するほか，実際に施工されるものと同等な条件などで性能評価をする必要がある．これには，表面保護工法が仕様どおりに確実に施工されるよう，施工計画が適正に策定されることが重要である．

5.2.3.3　施工と維持管理

(1) 表面保護工法の施工は，設計時に設定された性能が，表面保護工法に期待される効果の持続期間中に保持されるよう，これを入念に行うのがよい．

(2) 表面保護工法の維持管理は，コンクリート構造物に要求される所要の性能水準が維持されるように，残存する予定供用期間を通じて適切に行なうのがよい．

【解説】

(1) 表面保護工法の設計に基づいて適切な施工計画を策定し，これに従って施工する．表面保護工法の性能の良否は，施工状況にも大きく左右されるため，表面保護工法に関する十分な知識を有す技術者により入念な施工を行うことは，期待される効果を得るために重要である．そのために，施工のための調査を行い，劣化機構の確認，劣化の進行状況と範囲の確認，内部鋼材の腐食状況など構造物の現状を把握するとともに，適切な施工範囲，施工方法，施工手順などを定めた施工計画を策定し，その施工計画に従って施工を進めるのがよい．**図-解 5.2.8** に標準的な施工フローを，**図-解 5.2.9** に各表面保護工法の施工フローを示す．表面保護工法は，各工法により使用材料，前処理方法，施工方法が異なるため，施工にあたっては各工法の特徴や各工法特有の留意事項を理解しておく必要がある．

施工中は，施工計画書や現場における管理記録表等を使用して，常に材料，施工状況，施工後の品質などを確認できるようにしておくのがよい．また，施工工程の実施状況を的確に把握し，状況に応じて必要な処置，対策を実施する．施工後は工事報告書を作成し，施工後の維持管理や追跡調査の資料とする．工事報告書には，以下の内容が含むのがよい．

① 使用材料　②工程管理　③品質管理記録　④写真記録　⑤協議書類

⑥ その他，表面保護工法適用時の初期の構造物の状態，設計どおりに実施できたかどうかや施工の不具合や施工困難な部分の有無とその対応に関する記録

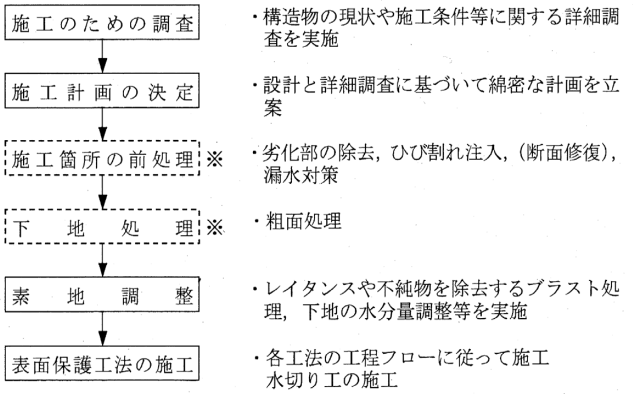


図-解 5.2.8　標準的な施工フロー[1)]

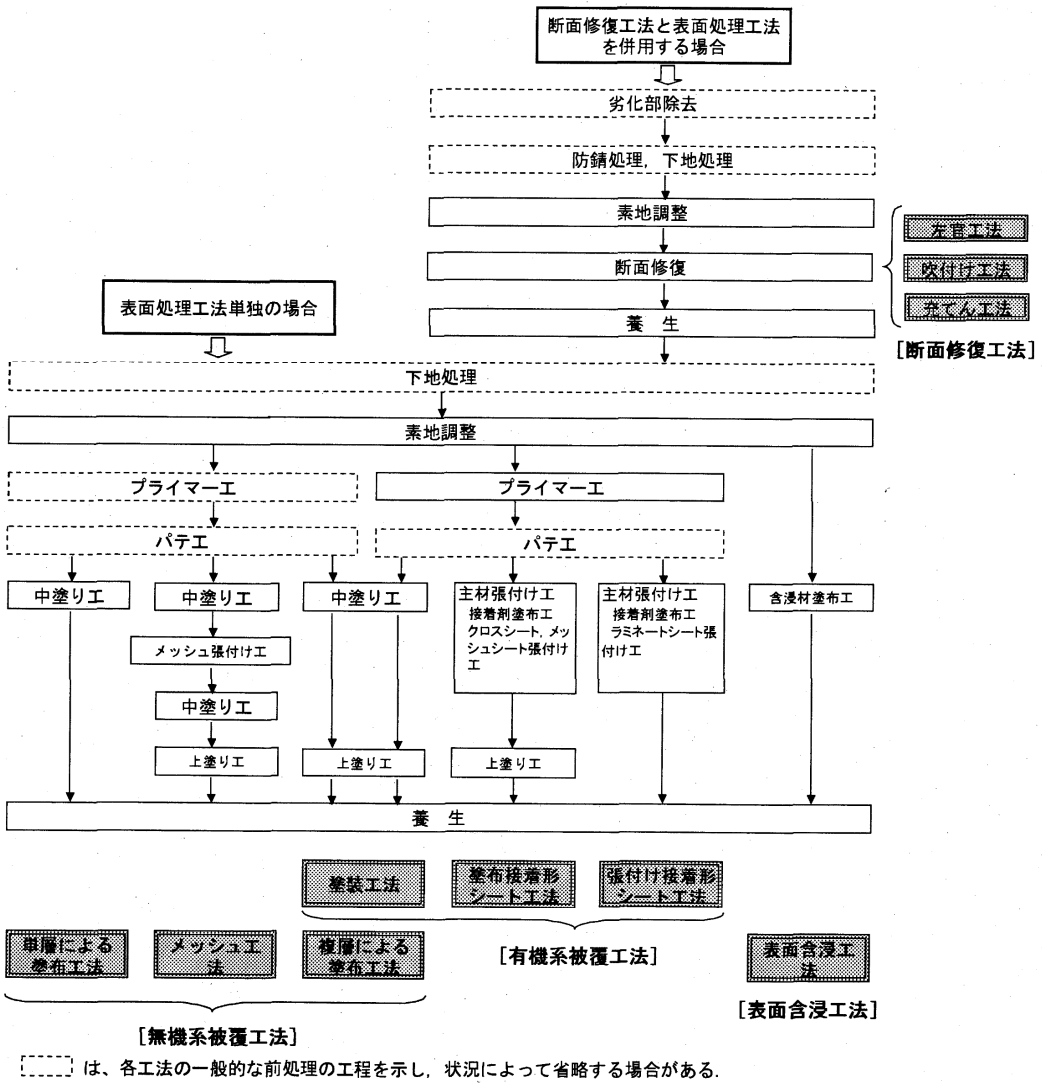


図-解 5.2.9　各表面保護工の施工フロー[1)]

(2) 表面保護工法が適用されたコンクリート構造物において，場合によっては表面保護層に「われ」，「ふくれ」あるいは「はく離」などの劣化が生じ，構造物の残存する予定供用期間内にその構造物の性能が所要の水準に維持されない事例もある．

表面保護工法を適用したコンクリート床版に対して，維持管理の手順を定め，構造部の残存予定期間中に表面保護工法に期待した効果が失われないよう，維持管理計画に基づいて維持管理を適切に行うのがよい．

日常点検などで表面保護層に何らかの異常が認められた場合には，表面保護工法が有する性能に及ぼす影響を速やかに検討し，必要に応じて対策を施すなどの処置をとるのがよい．表面保護工法の維持管理の手順を**図-解 5.2.10** に示す．また，維持管理計画に基づいた点検に際し，標準的な点検項目を**表-解 5.2.10** に示す．

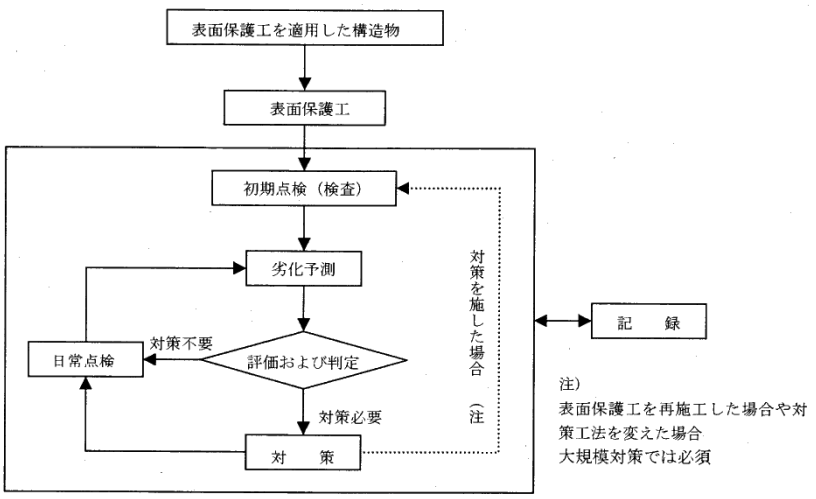


図-解 5.2.10　表面保護工の維持管理手順 [1)]

表-解 5.2.10　表面保護工の標準的な点検項目 [1)]

点検方法	点検項目
目視，接触	白亜化，ふくれ，われ，はがれ，磨耗，汚れ，変退色，光沢度，断面修復材の浮きなど
簡便な点検機器使用	断面修復材の浮きの程度
専用機器使用 部分的な破壊	付着強度，劣化因子の侵入深さ，劣化深さ，ひび割れ追従性，断面修復材の圧縮強度など

【参考文献】

1) 土木学会：コンクリートライブラリー　表面保護工法　設計施工指針（案），2005

5.2.4　電気化学的防食工法

5.2.4.1　概要

(1) 電気化学的防食工法は，防食対象であるコンクリート中の鋼材に電気を供給することで，コンクリート中の鋼材を塩害および中性化による腐食から保護する工法である．
(2) 電気化学的防食工法の適用に際しては，各種電気化学的防食工法の特性および適用の目的を十分に把握し，対象構造物の供用条件等を考慮して，目的に応じた工法を選定する．

【解説】

(1) 土木学会コンクリートライブラリー107「電気化学的防食工法設計施工指針（案）」[1)] においては，電気化学的防食工法として，①電気防食工法，②脱塩工法，③再アルカリ化工法，④電着工法の４工法が記載されている．これらの電気化学的防食工法の概要を以下に解説する．

①の電気防食工法は，コンクリート表面に設置した陽極をプラス極，防食対象である鋼材をマイナス極として，微弱な電流（5～20mA／㎡程度）を継続的に通電することによって，腐食反応によって発生する腐食電流の流れを停止することで，腐食反応を抑制する工法である．

②の脱塩工法は，コンクリート表面に設置した仮設陽極を電解質溶液で覆い，これをプラス極とし，対極となる鋼材をマイナス極として，大きな電流（1～2A／㎡程度）を２ヶ月間程度通電し，コンクリート中に存在する腐食の原因となる塩化物イオンを電気泳動によって除去もしくは低減することで，塩化物による鋼材表面の不動態被膜の破壊を阻止することで腐食反応を抑制する工法である．

③の再アルカリ化工法は，②の脱塩工法と同様に，コンクリート表面に設置した仮設陽極をアルカリ性溶液で覆い，これをプラス極とし，対極となる鋼材をマイナス極として，大きな電流（1～2A／㎡程度）を１ヶ月間程度通電することで，電気化学的にアルカリ性を付与し，中性化（炭酸化）によるｐＨの低下を阻止することで鋼材の腐食反応を抑制する工法である．

④の電着工法は，海水中等に設置した仮設陽極をプラス極とし，構造物中の鋼材をマイナス極として，比較的大きな電流（0.5A／㎡程度）を６ヶ月間程度通電することで，構造物に発生したひび割れを閉塞させたり，コンクリート表面への無機系物質を析出させることでコンクリート表面を密実化する工法である．

(2) 上記の各種電気化学的防食工法は，それぞれの工法で適用する目的が異なっている．各工法の目的および道路橋床版への適用性について以下に解説する．

①の電気防食工法は，コンクリート中の鋼材の腐食反応を制御することを目的としているため，塩害および中性化による腐食対策として適用することができる．

②の脱塩工法は，塩化物イオンの除去が目的で，この目的を達成するためには，約２ヶ月の通電期間が必要であり，橋梁床版上面を防食対象とする場合には，橋梁の供用に支障をきたすことも想定され，本工法の床版上面への適用にあたっては，橋梁の供用条件への配慮が非常に重要である．

③の再アルカリ化工法は，中性化（炭酸化）に対する対策工法であり，道路橋床版で問題となっている飛来塩化物，凍結防止剤，内在塩化物等に起因する塩害に対しては，工法の有する目的の範囲外である．

④の電着工法は，コンクリート表面の緻密化が目的で，橋梁上面への適用は，通電期間（約６ヶ月）や供用条件等の考慮が必要である．また，本工法は海中の構造物への適用を基本として開発された工法であるため，道路橋床版の下面への適用に対しても電解質水溶液の容器をコンクリート表面に通電期間中，設置し，維持する必要がある等の制限が存在する．

これらの工法の目的や道路橋床版を対象とした塩害対策への適用性を考慮すると，本工法の道路橋床版への適用性は，**表-解 5.2.11** のように取りまとめることができる．

表-解 5.2.11　電気化学的防食工法の道路橋床版の塩害対策への適用性

適用箇所 / 適用工法	塩害を対象とした適用箇所（道路橋床版）	
	床版上面	床版下面
電気防食工法	○	○
脱塩工法	△（×）	○（△）
再アルカリ化工法	×	×
電着工法	×	×

○；適用可能，△；適用に検討が必要，×；適用対象外

表-解 5.2.11 において，脱塩工法の床版上面への適用性を△（×），同様に床版下面を○（△）としたのは，床版上面への適用は橋梁の供用条件が大きく影響するためで，また，床版下面への適用での（△）は振動を伴う道路橋おいて電解質溶液を通電期間中，脱落なく，維持管理することの難易度を考慮した結果である．**表-解 5.2.12** にこれらの電気化学的防食工法の道路橋床版への適用実績を示す．

表-解 5.2.12　電気化学的防食工法の道路橋床版への適用実績

適用箇所 / 適用工法	塩害を対象とした適用箇所（道路橋床版）	
	床版上面	床版下面
電気防食工法	国内なし（海外多数）	国内多数（PC，RC，鋼桁等）
脱塩工法	なし	数件（主に桁部）
再アルカリ化工法	なし	なし
電着工法	なし	なし

上記を考慮し，道路橋床版への電気化学的防食工法の適用性として，電気防食工法について解説する．

コンクリート構造物への電気防食工法へ適用するための技術開発は，米国において，1970 年代に着手され，1980 年代に実用化に至っている．この技術開発の原因としては，1960 年代に米国において施行された「冬季道路網確保政策」が挙げられ，この政策の下，多量の凍結防止剤が散布されることとなった．また，この頃の米国の構造物は，1929 年の世界恐慌に伴うニューディル政策により，多量に建設された構造物がその耐用年数に至り，維持管理が非常に重要な時期に差し掛かっていたが，米国経済の状況は悪化しており，後に言われる，所謂，「荒廃するアメリカ」の時代であった．

コンクリート構造物の電気防食は，米国における凍結防止剤散布に起因する道路橋床版の塩害対策工法として開発された技術であり，そのため床版上面の塩害対策技術としての適用性は，優れていると判断できるが，国内での施工実績は存在しない．

この理由としては，我が国における凍結防止剤の大量散布は，1990 年のスパイクタイヤの使用禁止以降であり，また，米国では，コンクリート舗装が主流であるのに対し，我が国では，アスファルト舗装が主流であることやアスファルト舗装に加えて床版上面への防水処理の施工が実施されているため，その被害は，米国ほど深刻でないことが推察される．

しかしながら，米国における凍結防止剤による塩害劣化損傷が大量散布を開始してから約 20 年後であったことを考慮すると，今後，凍結防止剤による塩害劣化損傷が増加することが推定され，特に，防水対策を実施していない床版や防水対策に損傷を受けた橋梁などの凍結防止剤による塩害が懸念される．

一方，周りを海で囲まれた島国である日本においては，海岸線近傍に建設された橋梁が非常に多く，これらの橋梁下面の飛来塩化物イオンによる塩害での劣化損傷は，深刻である．

海岸線に存在する橋梁の飛来塩化物イオンによる塩害は,通常,より海水面に近い桁部が深刻であるが,床版下面においても，同様な塩害による損傷が認められており，このような場合，桁部および床版部の双方を防食対象として，電気防食を施工した事例は多数存在する．（このような場合，部材中の鋼材量の違いや劣化損傷程度の違いを考慮して，電気防食の回路を分割する場合が多い．）

図-解 5.2.11 および**図-解 5.2.12** に凍結防止剤による塩害の劣化損傷の状況を示す．

図-解 5.2.11　道路橋上面の塩害劣化損傷事例（米国）

図-解 5.2.12　道路橋下面の塩害劣化損傷事例（日本）

5.2.4.2　設計

(1) 電気防食工法には，種々の方式が存在するため，本工法の適用に際しては，目的とする要求性能を満足できる防食方式を選定する．

(2) 道路橋床版の塩害対策として適用する電気防食工法は，対象床版の損傷状況，損傷原因となる塩化物イオンの供給原因などを考慮して対策工法を設定するとともに選定した対策工法が有する防食能力が十分に発揮できるようにその設計を実施する．

(3) 電気防食工法の設計は，適用する防食方式が適切な防食効果を発揮できるようにするため，それぞれの電気防食方式が標準とする使用材料を用い，各工法が標準とする設計に基づくのがよい．

【解説】

(1) **表-解 5.2.13** は，参考文献 1)，2)に基づき，これまでにコンクリート構造物の塩害対策に適用された各種電気防食工法の一覧であり，これらの防食方式の道路橋床版への適用性の判定結果を併記した．また，これらの工法の中には，現在は存在しない工法もあるため，適用された年次も記載した．

コンクリート構造物への電気防食工法は，**5.2.4.1** に解説したように米国における凍結防止剤に起因する塩害の対策工法として開発が始められ，世界最初の適用実証試験は，1974 年に米国で実施された．防食対象は，鉄筋コンクリート橋梁の床版上面である．この時に適用された電気防食工法は，**表-解 5.2.13** の①の導電性オーバーレイ方式と呼ばれる方式で，直径 30cm 程度の円盤状の珪素鋳鉄を 1 次陽極として設置し，床版全体を導電性アスファルト（2 次陽極）で舗装する方式である．本適用実証試験において，電気防食工法が凍結防止剤による塩害の対策工法として非常に効果的であることが実証されたが，この方式の電気防食は，耐用年数が短いことや 1 次陽極の重量が大ききことなどの理由で，本格的に実用化されるこ

とはなかった.

その後，橋梁床版に一定間隔で溝を切り，この中に白金メッキニオブ線（1 次陽極）を挿入，これを炭素を混入したペースト（2 次陽極）で覆う溝式ノンオーバーレイ方式（**表-解 5.2.13** の⑨）や白金メッキニオブ線（1 次陽極）を線状にコンクリート表面に配置し，これを炭素繊維を混入したコンクリートやアスファルト（2 次陽極）で床版上面全面を覆うストリップオーバーレイ方式（**表-解 5.2.13** の⑩），炭素粉をポリエチレンなどの高分子樹脂と混合し，これで白金メッキチタン線の周りを被覆して電線状に加工した陽極を用いる導電性プラスチック方式（**表-解 5.2.13** の②）などが開発され，道路橋床版上面に適用されたが，いずれも通電による炭素の劣化が問題で，寿命が短く，耐久性に問題があることが明らかとなった.

表-解 5.2.13　各種電気防食方式

防食方式		電気防食方式	床版への適用		適用年次	土木学会[1)]
電源方式	形状		上面	下面		記載
外部電源方式	面状方式	①導電性オーバーレイ方式	△	×	73～85	
		②導電性プラスチック方式	△	△	85～91	
		③チタンメッシュ方式	○	○	84～現在	有
		④パネル陽極方式	×	△	93～現在	有
		⑤導電性塗料方式	×	○	85 頃～現在	有
		⑥チタン溶射方式	×	○	00 頃～現在	有
		⑦チタン亜鉛溶射方式	×	○	00 頃～現在	有
		⑧導電性モルタル方式	×	○	95 頃～現在	有
	線状方式	⑨溝式ノンオーバーレイ方式	△	×	78～90	
		⑩ストリップオーバーレイ方式	△	×	78～90	
		⑪チタンリボンメッシュ方式	○	○	88 頃～現在	有
		⑫チタングリッド方式	○	○	92 頃～現在	有
	点状	⑬チタンロッド方式	△	△	90 頃～現在	有
流電陽極方式	面状方式	⑭亜鉛シート方式	×	△	86～現在	有
		⑮亜鉛・アルミ擬合金溶射方式	×	△	80 頃～現在	有

○；適用可能，△；適用に検討が必要，×；適用対象外

図-解 5.2.13　床版上面への電気防食適用例（米国）

図-解 5.2.14　床版下面への電気防食の適用例（日本）

これらの電気防食方式における耐久性上の問題点の向上を目的とした開発された電気防食の方式がチタンメッシュ陽極方式（**表-解 5.2.13** の③）と呼ばれる方式で，苛性ソーダの製造などに用いられている工業用電解プラントの電極技術を応用し，金属チタンをエキスパンドメタル状に加工し，これを白金系貴金属で焼付コーティングした高耐久性の陽極を適用する技術である．この技術開発によって，米国における凍結防止剤による橋梁床版上面の塩害対策技術は，ほぼ確立された．**図-解 5.2.13** にチタンメッシュ方式の電気防食の橋梁床版上面への施工状況を示す．

また，我が国においては，橋梁床版上面への電気防食の適用事例は皆無であることを先に述べたが，下面への適用事例は，多数存在し，コンクリート桁と同時に施工される場合が多い．**図-解 5.2.14** は，鋼桁橋梁の床版下面を防食対象とした電気防食（チタンリボンメッシュ方式）の施工状況である．

(2) 道路橋床版の塩害対策工法の選定および対策工法の設計に対する考え方について，以下に解説する．

1）塩害対策工法の選定に対して考慮すべき事項

塩害対策工法の選定に対して考慮すべき事項としては，塩害対策を行う道路橋床版の損傷の程度およびその原因となる塩化物イオンが供給される原因が挙げられ，損傷の程度としては，以下のような状況がその対象となる．

① 塩害による劣化損傷が外観上認められる．

② コンクリート中に塩化物イオンの含有が認められる．

③ 今後の経年により，コンクリート中に塩化物イオンが含有される環境に存在する．

上記の状況を土木学会，コンクリート標準示方書【維持管理編】の劣化過程（塩害）に当てはめると，①は，加速期～劣化期，②および③は，潜伏期に位置付けることができる．

上記の①においては，劣化損傷している部位の修復を行うと共に，修復後の塩害劣化の進行を妨げるような，何らかの対策を施し，再劣化の対策を行うことが重要である．

また，②においては，含有している塩化物イオン量に基づき塩害による損傷が外観上の損傷に進展することを避けるための対策の検討を実施するが，土木学会，コンクリート標準示方書【維持管理編】の腐食発生塩化物イオン濃度；1.2 kg／m^{3}が目安となり，また，フィックの拡散則などに基づいた経年のシミュレーションを行い，適用する防食対策を選定する場合も多々ある．

一方，③においては，予防保全的な対策を実施するが，その際，塩害劣化損傷の原因となる塩化物イオンがコンクリート中に浸入する原因となる，以下の 3 つを考慮して，その対策を実施する．

a） 海洋性塩化物の浸透

b） 凍結防止剤からの塩化物の浸透

c） 除塩不足の海砂や混和材の使用による内在塩化物

上記の a）および b）は，今後，含有塩化物イオン量が増加する環境であり，このような環境に存在する道路橋では，今後の塩化物イオンの浸透を考慮した予防保全的防食対策を塩害劣化が進行すると判断される床版上面または下面に実施する．

一方，c）の環境に存在する構造物では，今後，塩化物イオン量が増加する可能性は小さいため，現時点でのイオン量に基づいた防食対策を選定することとなるが，この場合においても，1）－②において述べたフィックの拡散則などに基づいた経年のシミュレーションを実施して，対策工法の選定を行う場合もある．このように道路橋床版の塩害対策として電気化学的防食工法（電気防食工法）を選定する場合，対象床版の損傷状況や防食対象位置（床版上面または下面）を考慮し，**表-解 5.2.13** 等を参考として適用する方式を選定する．

2）道路橋床版へ電気化学的防食工法を適用する場合の防食設計の留意点

電気化学的防食工法のうち，道路橋床版の塩害対策として適用の可能性が最も大きい電気防食を対象として，適用時の防食設計に関する留意点を以下に解説する．

電気化学的防食工法の防食設計は，土木学会「電気化学的防食工法設計施工指針（案）」等を参考として実施し，5.2.4.3 (2) の防食基準を満足するように設計するが，道路橋床版上面への適用に関しては，橋面防水工への配慮が需要である．電気化学的防食工法では，通電する防食電流が大となった場合，電気分解により水素や酸素などのガスが発生する場合がある．このガスは，橋面防水工の付着を阻害し，はがれを生じる原因となるため，これらのガスが発生しないように防食電位をコントロールするなどの配慮が必要である．同様に，下面への適用の場合，炭素繊維シート接着工法やはく落防止工法等との併用では，橋面防水の場合と同様に塗膜のはく離の可能性がある．このような場合の実際的な対応としては，塗膜の一部に塗装を行わない箇所を設け，ガス抜きとする対策が適用されている．

また，断面修復箇所への電気抵抗率が大きい樹脂系埋め戻し材料などの適用は，防食電流の均一性を阻害する一因となるため，これを考慮した材料の選定を行うと伴に，すでに適用されている場合には，その調査を実施し，防食効果に支障をきたすと判断された場合は，これを撤去するなどの対策が必要である．

(3) 電気防食工法の設計は，適用する電気防食方式よって使用材料（陽極材料など）が異なるため，その設計の考え方も異なる．各種電気防食工法に適用する主な構成材料としては，以下のようなものがある．

① 陽極材料；適用する電気防食方式によって異なる．
② モニタリング用材料；照合電極，排流端子等．
③ 直流電源装置；流電陽極方式の場合は，不要．
④ 配線・配管材料；JIS 等に準じる材料．

電気防食の構成例として，**図-解 5.2.15** および**図-解 5.2.16** にチタンメッシュ方式およびチタンリボンメッシュ方式の概要図を示す．これらの電気防食方式は，**表-解 5.2.13** に示すように，直流電源装置を用いる外部電源方式の電気防食であり，チタンメッシュ方式は，防食電流の均一性に優れる面状陽極方式，チタンリボンメッシュ方式は，線状陽極方式である．また，これらの陽極は，エキスパンド状に加工したチタンの基材に白金系の貴金属を焼付コーティングした材料で，陽極の耐用年数に優れる材料である．なお，面状陽極方式の場合には，コンクリート表面全体に陽極を設置するが，線状陽極方式の場合，陽極の設置間隔の設定が非常に重要で，コンクリート中の鋼材量や鋼材腐食の進行状況等を考慮して決定することや試験や FEM 解析等を行い決定されている．（他の方式の電気防食の構造（構成）は，土木学会の電気化学的防食工法設計施工指針（案）[1] を参照されたい．）

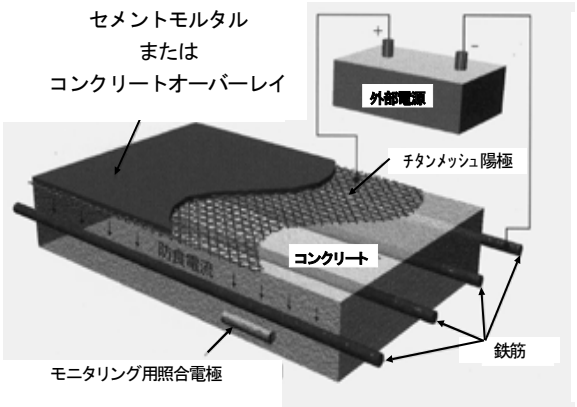


図-解 5.2.15 チタンメッシュ方式の電気防食システムの概要[3]

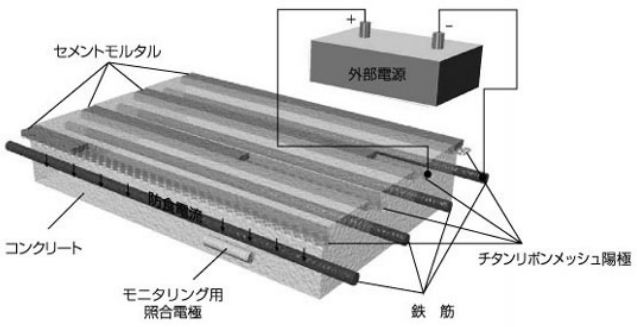


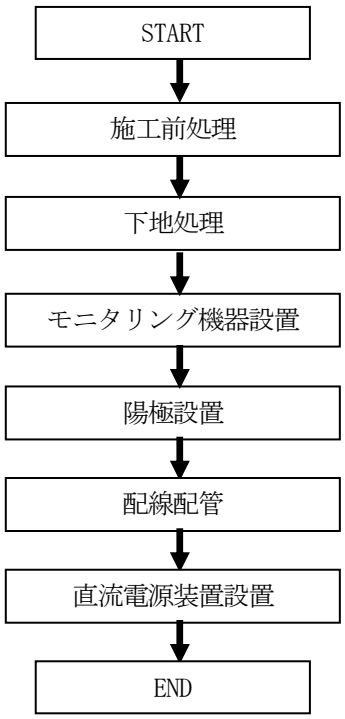
図-解 5.2.16 チタンリボンメッシュ方式の電気防食システムの概要[3)]

5.2.4.3　施工と維持管理

(1) 電気化学的防食工法（電気防食工法）の施工および施工管理並びに維持管理は，土木学会「電気化学的防食工法設計施工指針（案）」に準拠して実施してよい．
(2) 電気防食工法は，想定される防食効果が得られる基準（防食基準）を満足するように運用する．

【解説】

(1) 各種電気防食工法の施工工程は，用いる陽極の種類によって，その設置方法が異なるが，基本的な施工工程は，いずれも同様である．標準的な施工工程を**図-解 5.2.17** に示す．



前処理として断面修復，金属片除去などを行う．

陽極設置面にブラストなどの下地処理や下地の清掃を行う．

排流端子の溶接，照合電極の設置を行う．

陽極を設置する．

電線，電線管および接続箱などを用いて配線配管を行う．

直流電源装置を所定の位置に設置する．

図-解 5.2.17　電気防食工法の一般的な施工工程[2)]

なお，米国において実施されている道路橋上面へのチタンメッシュ方式の電気防食の陽極設置は，以下のような工程で実施されている．

① 橋梁上面の下地処理および清掃
② 通電点の橋梁下面への取り出し穴の削孔
③ ディストリビュータ（電流分配用チタンバー）の設置
④ 陽極（チタンメッシュ）の設置（固定）
⑤ ディストリビュータとチタンメッシュ接続のためのスポット溶接
⑥ 付着確保用セメントペーストの塗布
⑦ コンクリートの打設

また，電気防食においては，防食が確実に実施できるようにするため，通常の施工管理に加えて，下記の電気防食施工時の管理を実施している．

1）鋼材間導通確認試験

防食対象であるコンクリート中の鋼材の全てに防食電流を供給するためには，これらが電気的に接続し

ていることが必要で，これを確認するための試験．電気的接続がない場合には，これを接続する．

2）照合電極作動確認試験

電気防食における防食効果の確認や維持管理を行うためのセンサーである照合電極が，設置後にその目的を達成できる状態にあるかを確認するための試験.

3）陽極間導通確認試験

設置した陽極が防食電流を供給できるように，その全てが繋がっているかを確認するための試験.

4）陽極鋼材間絶縁確認試験

設置した陽極と防食対象の鋼材が接触している場合，防食回路は短絡して，防食電流の供給ができないため，この短絡がないかを確認するための試験.

5）仮通電試験

目的とする電気防食回路が構成されているかを確認するために，仮設電源を用いて短時間の通電を行い，照合電極の電位がマイナス方向に変化することを確認する試験.

6）通電試験

電源装置設置後に分極試験（E-log I 試験）を実施し，防食状態での通電を行うための通電電流量を求めるための試験.

また，施工後の維持管理は，一般の場合と同様に，点検，評価および判定，対策，記録を合理的に組み合わせて実施する．土木学会「電気化学的防食工法設計施工指針（案）」[1)]では，維持管理の手順並びに電気防食の具体的な点検項目および点検内容を明記しており，電気防食の維持管理はこれに準じるとよい.

(2) 防食基準とは，電気防食において想定される防食効果が得るため満足しなければならない防食対象鋼材の電位を規定する基準であり，土木学会，「電気化学的防食工法設計施工指針（案）」[1)]では，以下のように規定している.

1）防食電流を流す前後の鋼材の電位変化量を基準として，防食状態を管理する．電位変化量の基準は，鋼材の電位をマイナス方向に 100mＶ以上変化させることを基準とする.

2）PC 鋼材は，飽和硫酸銅電極（CSE）基準で，－1000mＶより貴な電位に設定しなければならない.

これらの基準は，外部電源方式の電気防食においては，流す電流密度によってコントロールされる．すなわち，流す電流密度が大きければ，1）の電位変化量（分極量，復極量）は，大きくなり，2）の鋼材電位もマイナス側に大きくなる．また，防食基準 2）は，コンクリート中の PC 鋼材の水素脆化を避けるための基準であり，通電により，水が電気分解することで発生する水素によって PC 鋼材が破断する可能性を避けるために，水の電気分解が起こらない範囲での通電を規定したものである．このため，道路橋床版を防食対象とする場合，大半は RC 造であり，これを考慮する必要性は小さい．なお，流電陽極方式の電気防食においては，これらの電位をコントロールすることはできない.

これらの基準の管理は，電気防食の施工時にコンクリート中に埋め込んだ照合電極と呼ばれる鋼材の電位計測用のモニタリング装置を用いて実施する．このため，防食効果の把握が適切に実施でき，電気防食が長期的な塩害腐食対策として有用視されている理由でもある.

【参考文献】

1) 土木学会：電気化学的防食工法設計施工指針（案）,コンクリートライブラリー107, 2001.11

2) 日本エルガード協会編；コンクリート構造物電気防食 Q&A，新建新聞社，2008

3) 電気化学的防食工法研究会パンフレット

5.2.5 縦桁増設工法

5.2.5.1　概要

(1) 縦桁増設工法は，鈑桁橋等において既設の主桁間に縦桁を増設して床版を支持させ，床版支間を縮小して曲げモーメントを減少させることにより，既設床版の耐荷力，耐久性の向上を図る工法である．
(2) 縦桁増設工法による道路橋床版の補修・補強は，点検結果に基づき，その劣化・損傷要因，劣化進行過程を適切に評価し，工法の適用性を検討したうえで行う．

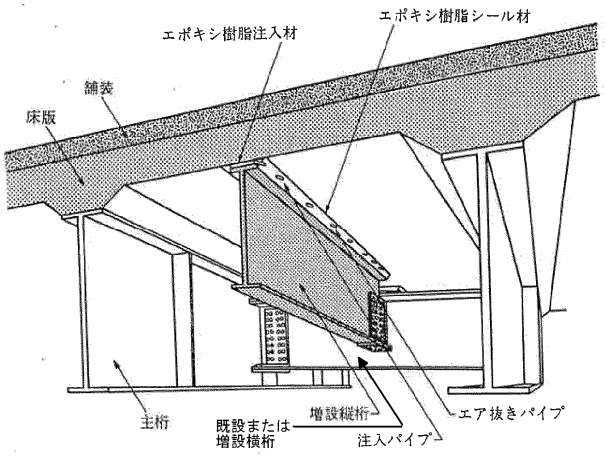
【解説】

(1) 縦桁増設工法は，鈑桁橋などにおいて既設の主桁間に縦桁を増設して床版を支持させ，床版支間を縮小して曲げモーメントを減少させることにより，既設床版の耐荷力，耐久性の向上を図る工法である．

本工法は，1975 年(昭和 50 年)頃から採用され始め，現在までに数多くの施工実績がある．縦桁増設工法の概念図を**図-解 5.2.18** に示す．

床版と増設する縦桁の間には一定の隙間を保って樹脂などを充填し密着を図る．縦桁を配置する際には，それらを支持する横桁が必要となり，既設横桁を利用する場合と，横桁がなく，新たに設置する場合がある．施工は床版下面側で行われるため，交通を開放しながらの施工が可能である．また，床版下面の一部を覆うだけなので，補強後の損傷の変化を確認することが可能である．

なお，桁増設による死荷重の増加があるため，既設部材への影響を検討する必要がある．



図－解 5.2.18　縦桁増設工法概念図

(2) 縦桁増設工法は，床版支間が比較的長く，輪荷重による曲げモーメントが大きい場合に効果的な補強工法であり，輪荷重による疲労に対しても有効である．適用時期は，損傷がより初期の段階であるほど高い補強効果が期待できる．ただし，本工法は床版の押抜きせん断耐力の補強にはならないため，損傷が過度に進行し貫通ひび割れが形成されている床版に対する補強効果はあまり期待できない．押抜きせん断耐力に対する補強効果も期待した適用方法としては，路面のレーンマーク位置を事前に調査し，車輪の通過頻度が高い位置の直下に縦桁を増設することにより，輪荷重の一部を直接縦桁に伝達させ，床版自体に作用するせん断力を低減することが考えられる．なお，本補強工法は，特殊な構造や添架物の設置状況によっては増設縦桁あるいは増設横桁の設置が困難な場合があることに注意を要する．

各種損傷要因と劣化進行過程に対する工法の適用性については 3 章を参照のこと．

5.2.5.2 設計

(1) 縦桁増設工法による道路橋床版の補修・補強設計は，床版の構造諸元，交通の状況，損傷状況を考慮して，補修・補強後の床版が所要の疲労耐久性を確保できるよう，増設縦桁の配置，剛性等の決定を行うのがよい．

(2) 増設縦桁が床版を確実に支持できるように，構造の詳細を決定する．

(3) 縦桁増設工法における増設縦桁および増設横桁の構成材料は，補強設計で要求される力学的性能を満足するものを使用する．また，増設縦桁と床版の隙間の充填材は，その品質および充填性が確認されたものを使用する．

【解説】

(1) 縦桁増設工法は，床版を支持する既設桁の間に縦桁を増設して，床版支間を縮小させることにより床版曲げモーメントを減少させ，耐荷力，耐久性の向上を図るものである．

補強後の床版応力を照査する際には，一般的に，既設桁と増設縦桁の剛度差により床版に不等沈下が生じるため，この影響を考慮し，床版の付加曲げモーメントを算定して応力照査を行う必要がある（土研資料第 1338 号[2)]，道示Ⅱ[3)]・付録または FEM 解析）．また，増設縦桁上の床版には負曲げモーメントが発生する場合があるのでこれに対する応力照査を実施する．

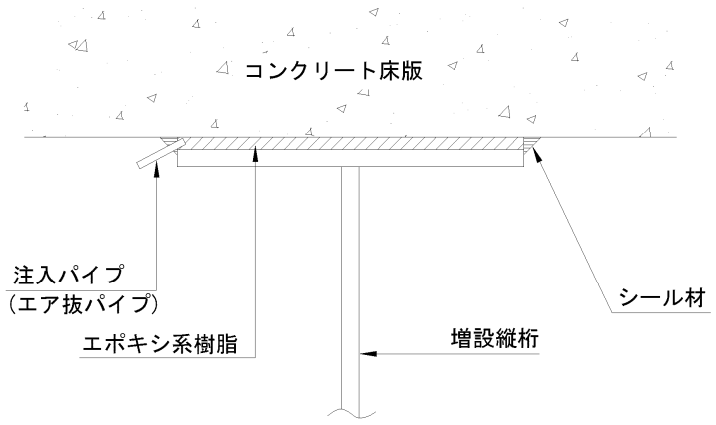
増設縦桁および横桁の断面設計は，載荷荷重に対する応力照査によるほか，主桁とのバランスを考慮し，主桁との剛度比およびたわみ制限により決定する．

鋼鈑桁および鋼箱桁に縦桁増設工法を適用する場合の設計手順を**図-解 5.2.19** に示す．

(2) 増設縦桁は，その上フランジが直接床版下面に接するように設置することが困難なため，通常，増設縦桁と床版との間に隙間(4～6mm 程度)を確保するよう縦桁を設置し，隙間の周囲をシール材でシールした後，隙間にエポキシ樹脂を注入して床版と縦桁の密着を図る．床版支持部の一般的な断面を**図-解 5.2.20** に示す．増設される鋼製の縦桁・横桁関係の部材連結は，一般的に高力ボルト摩擦接合による．

(3) 増設縦桁および増設横桁には，鋼製部材が用いられるのが一般的であるが，H 形 FRP はりを用いた工法も開発されている．増設桁が鋼製部材の場合は通常，ビルトアップされた鋼 I 桁あるいは I 形鋼等が使用され，鋼種には，SS400 および SM400 が用いられる．

増設縦桁と床版の隙間の充填材は，一般的に注入用エポキシ樹脂が使用される．



図－解 5.2.20 縦桁増設工法標準断面図

5.2.5.3　施工と維持管理

(1) 縦桁増設工法による補修・補強の施工は，増設縦桁による床版の支持が確実になされるように，適切な工法，材料の選定，施工および施工管理を行う．

(2) 縦桁増設工法により補修・補強を行った道路橋床版は，供用期間を通じて適切な維持管理を行い，所要の性能を満足するように維持する．

【解説】

(1) 縦桁増設工法の一般的な施工フローを**図-解 5.2.21** に示す．

増設縦桁と床版の隙間の充填作業は通常，増設縦桁を横桁に固定した後，縦桁と床版の隙間の周囲をエポキシ樹脂シール材等で密封し，隙間の程度に応じて適切な間隔で設けた注入パイプから注入ポンプを用いてエポキシ樹脂充填材を注入する形で行われる．注入パイプから注入した樹脂が隣接するエア抜きパイプ（注入パイプと兼用）から流出したら，順次隣接パイプからの注入に切り替えて，連続的に充填作業を行う．

エポキシ樹脂を充填する縦桁と床版の隙間はできるだけ小さくするのがよく，もし床版コンクリート面に大きな不陸があるときは，縦桁のフランジ幅相当の範囲をグラインダーがけするなどしてできるだけ平滑に仕上げておくのがよい．

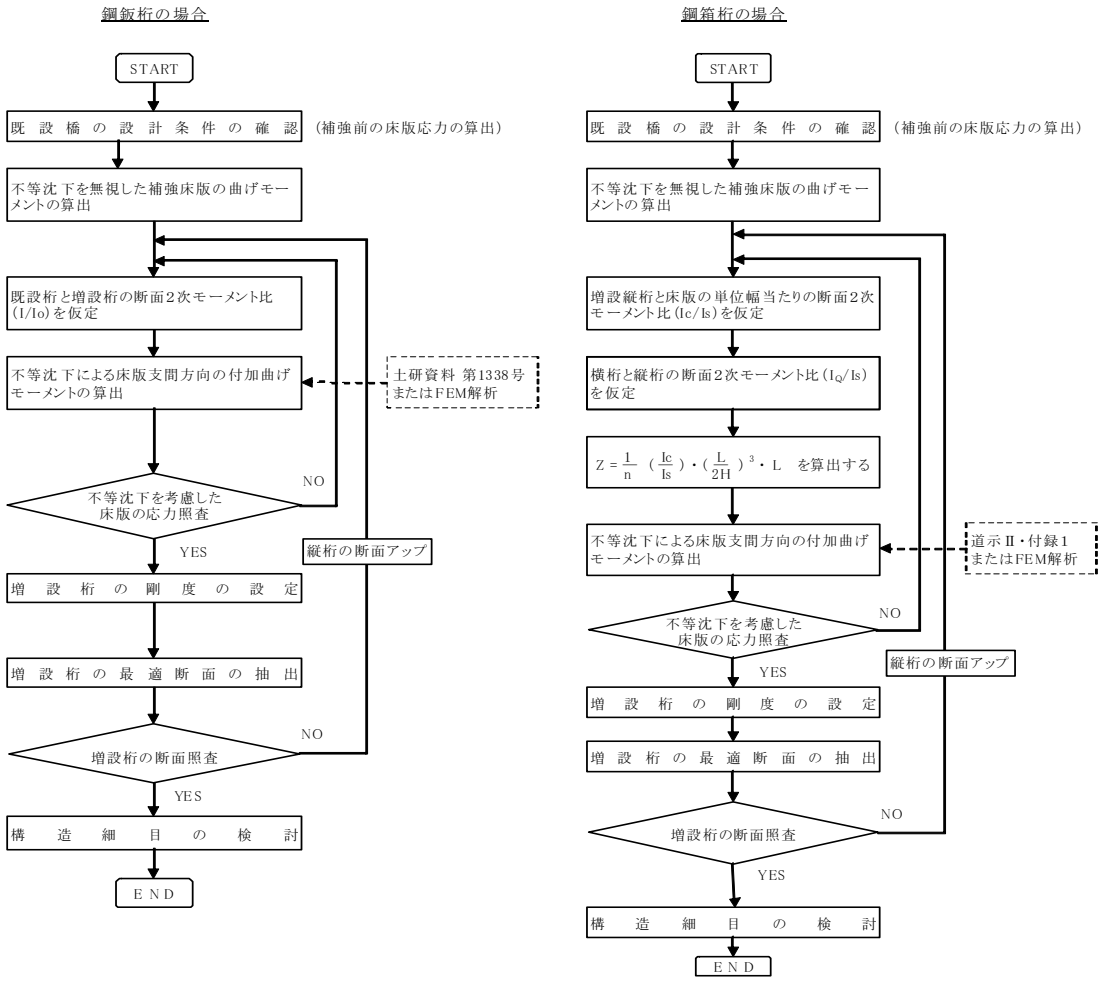


図-解 5.2.19　縦桁増設工法の設計手順 [4)]

中間対傾構を充腹横桁に取替える場合は，一度に全てを撤去するのではなく，個別に対傾構撤去，横桁設置を繰り返すか，1 日に施工する縦桁設置範囲に合わせて部分的に撤去，設置を行う等，構造物としての安全を計る必要がある．

なお，床版調査の結果，ひび割れ幅が大きいものについては縦桁設置に先行してひび割れ補修を行うことを検討する．

(2) 縦桁増設工法により補強された道路橋床版の維持管理では，以下の項目等について主に下面からの目視による点検・調査を実施する．

- 床版のひび割れ，漏水，遊離石灰等の変状の進行状況
- シール部分のはく離
- 増設桁のさびおよび腐食
- 増設桁の変形
- 不良音
- その他損傷，欠陥

なお，増設桁に鋼部材を用いた場合は，主桁と同様に定期的な塗装塗り替え等が必要となる．

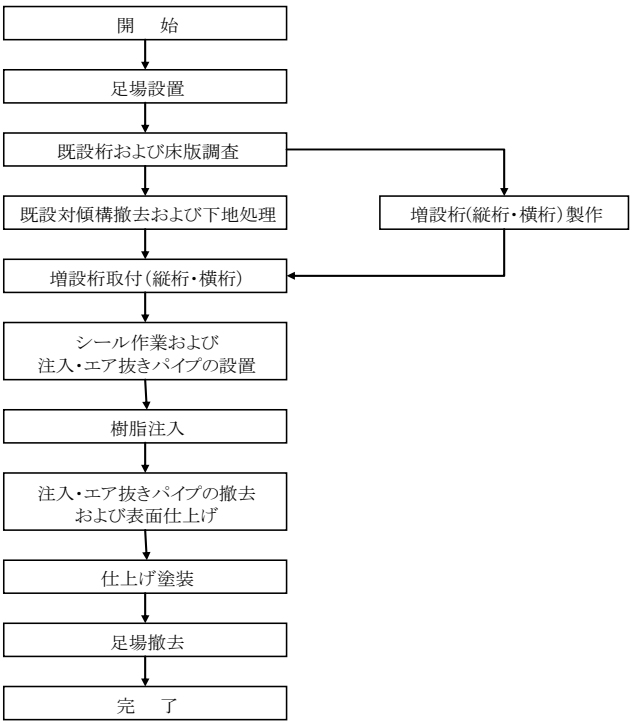


図-解 5.2.21　縦桁増設工法の一般的な施工フロー

【参考文献】

1) 日本道路協会：道路橋補修便覧，昭和 54 年 2 月
2) 建設省土木研究所：床版支持げたの不等沈下によって生じる床版の曲げモーメント計算図表　その 3，土木研究所資料第 1338 号，昭和 53 年 2 月
3) 日本道路協会：道路橋示方書　Ⅱ鋼橋編，平成 24 年 3 月
4) 土木学会，鋼構造委員会 鋼橋床版の調査研究小委員会：道路橋床版の新技術と性能照査方設計，平成 12 年 10 月
5) 松井繁之：道路橋床版 設計・施工と維持管理，森北出版，2007.10.
6) 鯨井裕嗣：「増設桁による床版補強の載荷試験」，橋梁と基礎(83-8)，pp.121-128，1983.8.
7) 深山大介，林聖一郎，松井繁之，蔡華堅：「縦桁が増設された RC 床版への連続繊維シートによる再補強に関する研究」，土木学会第 59 回年次学術講演会，平成 16 年 9 月
8) 土木学会：FRP 橋梁－技術とその展望－，構造工学シリーズ 14，平成 16 年 1 月

5.2.6　炭素繊維シート接着工法

5.2.6.1　概要

(1) 炭素繊維シート接着工法は，道路橋床版の耐荷力の増強を図るとともに，ひび割れの発生および進行を防止し疲労による劣化を抑制し長寿命化することを目的として，炭素繊維シートをエポキシ樹脂などの接着剤を含浸させながら接着し，床版コンクリートと一体化する工法である．

(2) 炭素繊維シート接着工法による補修・補強は，道路橋床版の点検結果に基づき，その劣化・損傷要因，劣化進行過程を適切に評価したうえで工法の適用性について検討し，実施するのがよい．

【解説】

(1) 炭素繊維シート接着工法は，炭素繊維を一方向に配列した炭素繊維シートを道路橋床版の引張応力作用面にエポキシ樹脂などの接着剤を含浸させながら接着し，床版コンクリートと一体化する工法である．

この工法では，曲げひび割れの開口挙動を拘束し，たわみや鉄筋の応力度を低減し，道路橋床版の疲労耐久性を向上させる効果がある．炭素繊維シート接着工法は，道路橋床版の補強で多数の施工事例があり，各機関で設計施工指針などの技術基準の作成が行われている．本工法は，鋼橋およびコンクリート橋いずれの RC 床版に対しても利用されている．

炭素繊維シートは，主として曲げモーメントに対して引張材として機能する．炭素繊維シート自体のせん断剛性は小さいので，道路橋床版の静的押し抜きせん断耐力の向上に対する効果は小さいものと考えられるが，炭素繊維シートを床版下面に接着補強することで 20%程度押抜きせん断耐力が向上したとする報告もある [1)]．本工法は道路橋床版下面に炭素繊維シートを接着することで，道路橋床版のたわみを抑制し，ひび割れの開閉を拘束することで床版コンクリートの劣化を抑制することで，道路橋床版の延命化を図る工法であり，2 方向ひび割れが発生しているものの床版コンクリートのブロック化までは至っていない程度の劣化進行過程の道路橋床版に対して適用されている．炭素繊維シート接着工法は，劣化・損傷が認められる道路橋床版はもとより，現状では損傷が小さい場合でも，設計当時に比べて作用荷重が大きく，将来，劣化が進行すると予想される道路橋床版にも予防保全対策として適用可能である．

また，アラミド繊維シートは，ヤング係数が炭素繊維シートの数分の 1 と小さいものの，絶縁体であることから鉄道架線上の跨線橋など電気的絶縁性が要求される場合に使用されることが多い．

本項では，炭素繊維シート接着工法による道路橋床版の補強の設計・施工の基本的な考え方を示しており，道路橋床版の劣化・損傷状況やその要因，環境条件を十分考慮したうえで，本項の規定を適用することができる．

(2) 炭素繊維シート接着工法による補修・補強の設計は，道路橋床版の点検結果に基づき，その劣化・損傷要因，劣化の進行過程を適切に評価し，工法の適用性について検討した上で行う．なお各種損傷要因と劣化の進行過程に対する本工法の適用性については 3 章を参照のこと．

橋面から水が浸透することにより，ひび割れ部のすり磨き作用が助長されて道路橋床版の劣化を促進することになる．また，床版下面に滞水して炭素繊維シートとコンクリートの接着に悪影響を及ぼすことが考えられ，橋面防水システムを整備することを原則とする．漏水の径路となるひび割れに関しても適切な処置を施す必要がある．塩害などとの複合劣化により鉄筋腐食やかぶりコンリートの浮や剥落がある場合には，不良部を除去して鉄筋の防錆処理，断面修復を行った上で炭素繊維シートを接着する．

5.2.6.2 設計

(1) 炭素繊維シート接着工法による道路橋床版の補修・補強設計は，道路橋床版の構造諸元，交通の状況，損傷状態を考慮して補強後の道路橋床版が所要の疲労耐久性を確保できるよう，炭素繊維シートの種類，積層数，貼り付け方法を決定する．

(2) 炭素繊維シートは，原則として床版パネル全体に貼り付けるのがよい．

(3) 炭素繊維シートの継手は，繊維方向の重ね継手とし，最小継手長は 100mm 以上とするのがよい．主鉄筋方向の炭素繊維シートには原則として継手を設けず，やむをえず継手を設ける場合は，炭素繊維シートに最大引張応力が作用する床版支間中央位置を避けて設けるのがよい．配力筋方向の炭素繊維シートの継手は，同一線上にならないように配置する．

(4) 炭素繊維シート接着工法に用いられる，炭素繊維シート，プライマー，不陸修正材，含浸接着樹脂などの材料は品質の確かめられたものを使用する．

【解説】

(1) 本工法は，床版支間中央部の下面の補強が主であるが，張出床版など主桁上の負曲げモーメントに対する補強として床版上面に適用された例もある．炭素繊維シート接着工法の標準的な施工断面を**図-解 5.2.22** に示す．当初は床版下面全面に接着する事例が多かったが，近年，床版コンクリート内の滞水防止やひび割れ観察など維持管理上の目的で炭素繊維シートの間隔をあけて格子状に接着する事例も増えている（**図-解 5.2.23**）． なお，炭素繊維シートを格子状に接着する場合は，炭素繊維シートを接着しない窓部にはプライマーや仕上げ塗料などの樹脂類を塗布せず，水分が透過できるようにするのがよい．

道路橋床版の疲労耐久性は，床版厚や鉄筋量および床版支間などの構造諸元や，当該橋梁の交通量や大型車混入率などの交通状況，ひび割れなどの損傷状態に依存する．また補強の目的は，損傷の軽微な道路橋床版の予防保全，損傷の進行した道路橋床版の応急対策，車両の大型化に対応した恒久対策など種々あり，目的に応じて要求される補修・補強の程度も異なる．一般に，炭素繊維シートの引張剛性（炭素繊維シートのヤング係数×断面積）が大きなものほどその補強効果が高くなると考えられるが，炭素繊維シートの引張剛性を大きくするために積層数を多くしすぎると不経済となったり，工事期間が長くなるなどの悪影響も考えられる．したがって対象となる床版の構造諸元，交通の状況，損傷状態，予定供用期間を考慮して補強後の道路橋床版が所要の疲労耐久性を確保できるよう，炭素繊維シートの種類，積層数を決定するのがよい．炭素繊維シートで補強した道路橋床版の疲労耐久性は，輪荷重走行試験など，道路橋床版の疲労損傷メカニズムを考慮できる適切な方法により確認するのがよい．

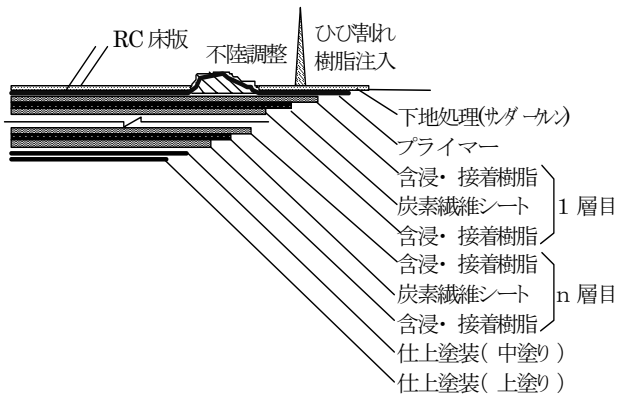


図-解 5.2.22 炭素繊維シート接着工法標準断面図

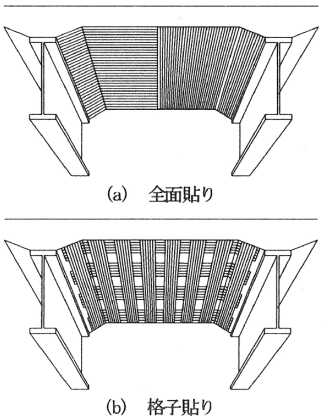


図-解 5.2.23 炭素繊維シートの接着方法 [3)]

炭素繊維シートの単位幅（1mm）あたりの引張剛性は，式（解 5.2.1）で表される．

$$E \cdot A = E_{CF} \cdot t_{cf} \cdot n \quad \cdots\cdots\cdots\

要はない．重ね継手の引張試験結果では，継手長さが 5cm 以下の範囲では継手長さに依存して継手強度は急激に変化するが，継手長さが 5cm 以上で継手強度はほぼ炭素繊維シートの引張強度に達して安定することが確認されている．また，設計上炭素繊維シートに生じる応力度は，炭素繊維シートの保証引張強度に比べて十分小さい．そこで，安定した継手強度を得るために最小継手長さは 10cm としてよい．床版の支間は一般に 3.5m 以下であり主鉄筋方向には継手を設けないのがよい．主鉄筋方向の炭素繊維シートに継手を設ける場合，原則として支間中央に配置するのを避ける．配力鉄筋方向については，一般に接着長さが長く継手を設けずに接着することは，施工上困難である．従って施工性を考慮して適切な長さ（2～4m 程度）の炭素繊維シートを重ね継手で接続しながら接着する．

多層積層する場合，同一位置で継手を設けると継手強度の低下，応力集中の原因となる．従って継手位置を 30cm 程度以上ずらして千鳥に配置するのがよい（**図-解　5.2.25**）．また平面内の継手配置も隣り合う炭素繊維シートの継手が同一線上にならないように配置するのがよい（**図-解　5.2.26**）．

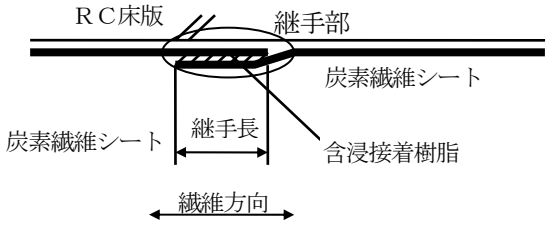


図-解 5.2.24　炭素繊維シートの継手

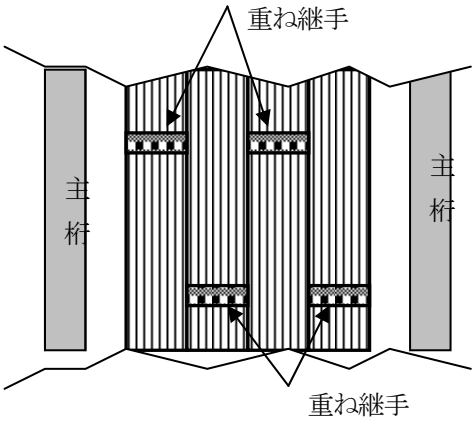
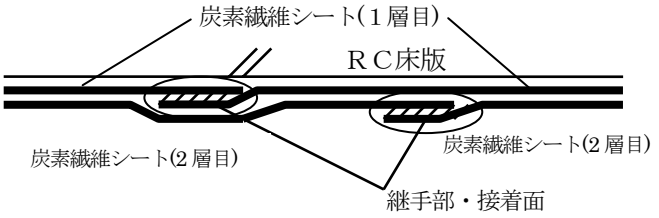


図-解 5.2.26　水位方向の継手の配



図ー解 5.2.25　多層積層の場合の重ね継手

(4) 炭素繊維シート接着工法には，炭素繊維シートと樹脂材料であるプライマー，不陸修正材，含浸接着樹脂が使用される．これらの樹脂材料は，炭素繊維シート接着工法専用のエポキシ系の樹脂材料が用いられることが多い．低温環境下や急速施工が要求されるような場合には，メチルメタクリレート（MMA）樹脂などアクリル系樹脂が用いられることもある．これらの材料は，所要の材料特性を満たすとともに品質の確かめられたものを使用するのがよい．

① 炭素繊維シート

炭素繊維シートは，炭素繊維を一方向に配列しシート状に保形したもので（**図-解 5.2.27**），**表-解 5.2.14** に示すように高強度型，中弾性型，高弾性型などの種類があり，それぞれヤング係数や引張強度が異なっている．ヤング係数は，材料試験値の平均値として，引張強度は保証強度（一般に材料試験の平均値－標準偏差の 3 倍）が規格値となっている．また炭素繊維シートの厚さは，繊維目付量すなわち炭素繊維シート 1m^2 あたりの炭素繊維の質量で規定され，繊維目付量を炭素繊維の密度で除した設計厚さがヤング係数や強度などの材料特性値の算定および設計計算に用いられる．また，炭素繊維シートは，含浸接着樹脂の種類や使用条件の違いによって，発現する引張強度や弾性係数ヤング係数が異なっている．したがって，炭素繊維と含浸接着樹脂の個々の組み合わせについて，JSCE－E541「連続繊維シートの引張試験方法」により，その材料特性値を確認して使用するのがよい[4)]．

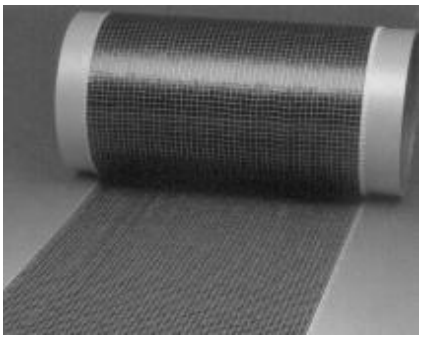


図-解 5.2.27　炭素繊維シート

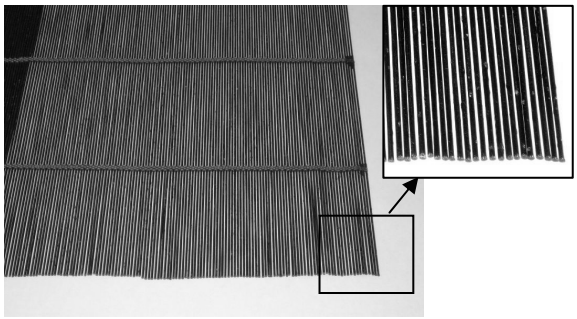


図-解 5.2.28　ストランド型炭素繊維シート[5)]

近年，炭素繊維束に工場で樹脂を含浸硬化させた直径 1mm 程度の炭素繊維強化樹脂（CFRP）ストランドを横糸で連結した CFRP ストランドシート（**図-解 5.2.28**）も開発され道路橋床版の補強に利用されている．この CFRP ストランドシートは，工場で樹脂を含浸・硬化した CFRP ストランドを用いるため，施工現場では炭素繊維への樹脂含浸工程が不要である．そのため，不陸修正材兼用のペースト状の接着剤でコンクリート表面に接着することが可能なため，プライマー塗布および不陸修正工程を省略でき施工期間の短縮が可能で，含浸不良や浮・膨れといった施工不良を低減すること可能である．CFRP ストランドシートは，コンクリート床版と一体化した状態では炭素繊維シートと同等の力学的特性を有するので，設計上は炭素繊維シートと同様にとり取り扱う扱ことができる．

道路橋床版の補強では，引張剛性（ヤング係数×断面積）の大きい方が補強効果（床版の延命効果）は高くなる．一方，高弾性率，高目付け品の方が材料価格は高いので要求性能に応じてコストミニマムとなるように補強材料を選定するのが一般的である．

表-解 5.2.14　炭素繊維シートの種類の例

タイプ	ヤング係数 E_{cf} (kN/mm^2)	比重 P_{cf}	繊維目付量 W_{cf} (g/m^2)	設計厚さ t_{cf} (mm)	単位幅当りの断面積 A_{cf} (mm^2/m)	引張強度 σ_{cf} (N/mm^2)
高強度型	245	1.80	200	0.111	111	3,400
			300	0.167	167	
			400	0.222	222	
			450	0.250	250	
			600	0.333	333	
中弾性型	390	1.82	300	0.165	165	2,900
			380	0.209	209	
	440	1.84	300	0.163	163	2,400
			340	0.185	185	
			400	0.217	217	
高弾性型	540	2.10	300	0.143	143	1,900
	640	2.10	270	0.128	128	1,900
			300	0.143	143	

② プライマー

プライマーは，コンクリート面と炭素繊維シートが確実に接着し一体化するために，あらかじめ，コンクリート面に塗布する樹脂材料であり，２液混合常温硬化型のエポキシ樹脂が用いられることが多い．炭素繊維シートとコンクリート面との間で所要の接着強度の発現を促すものである．含浸接着樹脂との組合せで接着強度を確認するのがよい．プライマーの品質規格の一例を**表-解 5.2.15** に示す．

表-解 5.2.15　プライマーの品質規格の例

試験項目	試験用基板	規格値	試験法
接着強度	コンクリート板	1.5N/mm^{2}以上	JSCE E 545-2000 準拠

③ 不陸修正材

不陸修正材は，コンクリート表面の小さい凹部や急な段差に充填してコンクリート表面をなだらかにするとともに，コンクリートとプライマーおよび含浸接着樹脂との接着性などの性能を持つものを使用する．不陸修正材の品質規格の例を**表-解 5.2.16** に示す．

表-解 5.2.16　エポキシ系不陸修正材の品質規格の例

項目	試験用基板	規格値	試験法
接着強度	コンクリート板	1.5N/mm^{2}以上	JSCE E 545-2000 準拠

④ 含浸接着樹脂

炭素繊維シートは，含浸接着樹脂が炭素繊維の素線（フィラメント）の間に確実に含浸して硬化し，炭素繊維相互を結合して十分な応力伝達を行なうことで，所要の強度やヤング係数などの品質を有する複合材料となるものである．したがって，含浸接着樹脂は，炭素繊維シートに対して確実な含浸性を有するとともに，炭素繊維シートの貼付け時にシートを保持するための適切な粘度を有することが必要である．施工の際に予想される温度で良好な粘度を有するものを選択するのが良い．炭素繊維シートの品質は，含浸接着樹脂が含浸して硬化した複合体の状態で評価する．含浸接着樹脂が十分に含浸していても，含浸接着樹脂の種類や成形方法の違いによって，発現する引張強度や弾性係数は異なる．それゆえ，炭素繊維シートとして所要の品質を確保できるよう，適切な含浸接着樹脂の選定を行い，JSCE-E541「連続繊維シートの引張試験方法（案）」により，その特性値を確認しておくのがよい．含浸接着樹脂の品質規格の一例を**表-解 5.2.17** に示す．

表-解 5.2.17　含浸接着樹脂の品質規格の例

項目	規格値	試験法
引張強度	29 N/mm^{2}以上　(20 N/mm^{2}以上)	JIS K 7113準拠
曲げ強度	39 N/mm^{2}以上　(25 N/mm^{2}以上)	JIS K 7203準拠
引張せん断強度	9.8　N/mm^{2}以上	JIS K 6850準拠

⑤ 仕上げ材

炭素繊維シート接着の仕上げ工として，紫外線による含浸接着樹脂の変色などの品質の変化や，外力による傷つき防止の目的で塗装やモルタルなどの表面保護材が用いられることがある．表面保護材は，所定の期間中，炭素繊維シートの品質を保持できるものであるとともに炭素繊維シートとの十分な付着強度をもつことを確認しておくのがよい．なおアラミド繊維シートを用いる場合，アラミド繊維が紫外線により劣化し強度低下を起こすので，紫外線を遮蔽する仕上げ層を設ける必要がある．

5.2.6.3　施工と維持管理

(1) 炭素繊維シート接着工法による補修・補強の施工は，床版コンクリートと炭素繊維シートの一体化が図れるように，適切な工法，材料の選定，施工および施工管理を行う．

(2) 施工計画は，環境条件や施工条件を考慮して工事の用件を満足させることができるように，施工手順，工程および品質管理の方法を示すのがよい．

(3) 下地処理工では，コンクリート表面の脆弱部および突起や段差などの不陸は，はつり，または研磨により除去し，平坦にする．コンクリート面の施工不良，著しい劣化，ひび割れ等は，これらを適切に補修する．

(4) 炭素繊維シートの施工は，所要の補修・補強性能を発揮できるように実施する．確実な施工を行うためには，施工の各段階で下記の事項に注意するのがよい．

① 環境条件が適切であること．
② 下地処理が適切になされていること．
③ プライマー，不陸修正材の混合と塗布が適切になされていること．
④ 炭素繊維シートが所定の位置，方向，積層数で貼り付けられていること．
⑤ 炭素繊維シートがコンクリート面に確実に接着していること．
⑥ 含浸接着樹脂が適切に混合，塗布され，かつ，確実に含浸していること．
⑦ プライマー，不陸修正材および含浸接着樹脂の養生を確実に行うこと．

(5) 炭素繊維シートの接着後，表面保護のため必要に応じて塗装などの表面仕上げを行う．

(6) 炭素繊維シート接着工法の検査は，材料の受け入れ検査および施工中，施工後の炭素繊維シート工法の貼り付け状況の検査を行うのがよい．また施工中および施工後に接着強度試験を行って，コンクリートとの接着性能を検査するのがよい．

(7) 炭素繊維シート接着工法による補修・補強を行った道路橋床版は，供用期間を通じて適切な維持管理を行い，所要の性能を満足するように維持するのがよい．

【解説】

(1) 炭素繊維シート接着工法，炭素繊維シートを，含浸接着樹脂を用いてコンクリート表面に接着させることにより，補強材と床版コンクリートが一体化して所要の補修補強性能を発揮するものである．したがって，母材コンクリートの強度を確認したうえで，これらの状態を満足するように適切な工法，材料の選定，施工および施工管理を行うのがよい．

(2) 施工計画は，環境条件や施工条件を考慮して工事の用件を満足させることができるように，施工手順，工程および品質管理の方法を示したものがよい．**図-解 5.2.29** に標準的な施工フローを示す．

(3) 下地処理工として炭素繊維シートと既設コンクリート面の接着を確保するために，コン

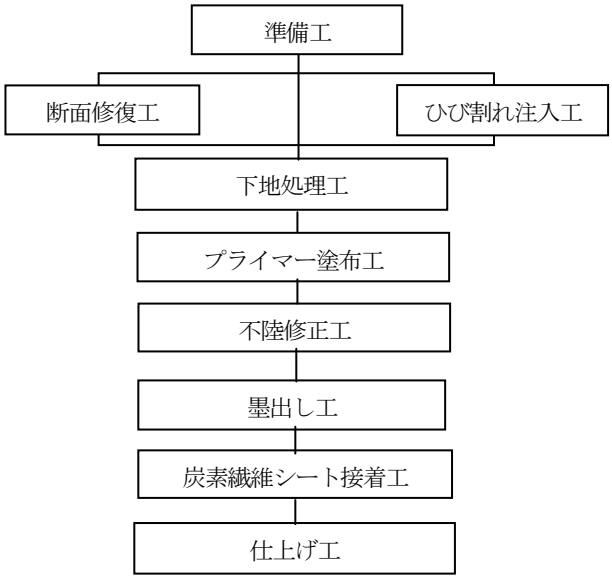


図-解 5.2.29 炭素繊維シート工法の標準的な施工フロー

クリート面の劣化層・油脂分を取り除き，炭素繊維シートの接着に障害となる不陸や突起をはつり落とすか不陸修正材を用いて平坦にする必要がある．ディスクサンダーやサンドブラストにより床版コンクリートの表面の下地処理を十分に行ない，汚れや脆弱部の無い状態とする．既設のコンクリート面に豆板などの施工不良，著しい劣化やひび割れ等がある場合には，適切な方法を用いて既設コンクリート面を補修する．

(4) プライマー，含浸接着樹脂などは一般にエポキシ樹脂を用いており，その粘度，可使時間，硬化時間などは現場の雰囲気温度，コンクリート表面温度の影響を受ける．施工時の気温に合わせて夏用，冬用，春秋用のタイプがあり，施工条件によって選択する必要がある．エポキシ樹脂の場合，施工に適した環境条件は，温度 5℃以上，湿度 85%以下が原則である．初期硬化するまでに降雨，結露などにより水分が付着して白化が生じた場合には，当該部分を溶剤で拭き取るかサンドペーパーで除去する．

現場の雰囲気温度やコンクリート表面温度が低い場合(5℃未満)，施工現場の保温を行うか低温用プライマーおよび含浸接着樹脂等を用いる．また，コンクリート表面が乾燥した状態でない場合は，湿潤面専用プライマーの使用などを検討するのがよい．

プライマー，含浸接着樹脂は所定の配合で正しく混合・撹拌する．一度に混合する量は可使時間内に使いきることができる量とする．一般にエポキシ樹脂などの可使時間は，混合量や温度によって変動するので，雰囲気温度，コンクリート表面温度には十分留意する．

炭素繊維シートは，含浸接着樹脂を繊維間に含浸させて硬化させることにより各々の繊維が一体化され，シート全体で均一に外力を受け所要の強度を発揮できる．そのためには含浸接着樹脂をシートに十分含浸させることが必要である．特に，重ね継手部は，繊維間・シート間に含浸接着樹脂が十分含浸され一体となるように施工する．

炭素繊維シート貼付け後の浮き，膨れ，はがれ，たるみ，しわなどの不良個所やエポキシ樹脂の含浸状態を目視あるいは打診により確認し，必要に応じ補修を行う．

シートがだれ落ちたりしないよう，含浸接着樹脂の施工後，適切な養生期間を置いて次のシートを施工するのが望ましい．また，含浸接着樹脂が初期硬化するまでは，雨水や埃の付着を防止するとともに，気候の急変の影響を受けないよう，必要に応じてビニルシートで覆うなどの措置を施す．

図-解 5.2.30 下地処理工

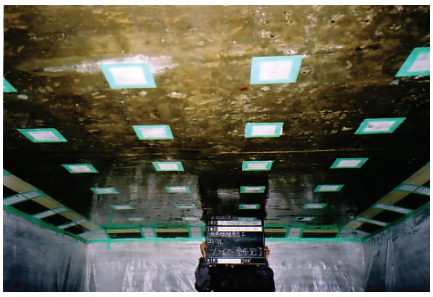


図-解 5.2.31　プライマー工

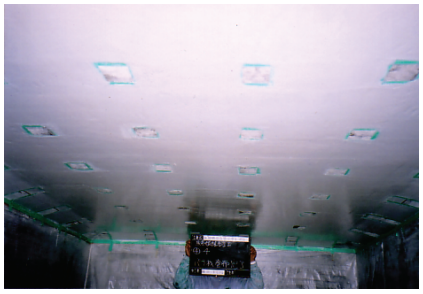


図-解 5.2.32　不陸修正工

図-解 5.2.33　炭素繊維シート接着工

図-解 5.2.34　仕上げ工

(5) 仕上げ工には，耐久性，美観などを考慮した塗装工，表面保護工，不燃被覆工，耐火被覆工などがある．表面の含浸接着樹脂は，紫外線，オゾンにより劣化して変色し，美観を損ないやすい．従って，直射日光が当たる環境で美観や照明効果性能が要求される場合には，保護塗装などの仕上げを行う必要がある．仕上げ工は，含浸接着樹脂の初期硬化を確認した後に施工するのが一般的である．

(6) 炭素繊維シート接着工法に使用する材料は，それぞれの材料が所要の品質を有することを確認するために，材料の受入れ時および施工に入る前にあらかじめ検査する必要がある．使用材料の検査は，製造者の発行する品質保証書(または，試験成績書等)により行う．

施工中および施工後の炭素繊維シートの接着位置，浮き，はがれ，たるみ，しわなどの状態，継手長さ，積層数および含浸接着樹脂塗布量などを検査するのがよい．

施工中および施工後の炭素繊維シートとコンクリートの接着状態は，必要に応じて接着強度試験で確認する．試験は，現場での作業と同一の材料を使用して，現場のコンクリート躯体で行うことを原則とするが，現場のコンクリート躯体での試験が困難な場合には，コンクリートの物性が明らかな平板を用いて試験を行ってもよい．

(7) 本工法では，美観が要求される場合には，塗膜の変色が生じた場合は塗装塗り替えを行うが，補強材の腐食などによる経年劣化の恐れがないので，定期的な塗り替えなどの対策は不要である．補強後の点検としては，目視やたたき点検により炭素繊維シートの剥離の有無などの変状を確認するのがよい．点検により部分的に剥離などの損傷が生じた場合には，樹脂注入や部分的なシートの貼り直しなどの補修，全面的なシートの貼り直しなどの対策が考えられる．また，たわみ抑制のため上面増厚との併用も考えられる．

【参考文献】

1) 森成道，若下藤紀，松井繁之，西川和廣 : 炭素繊維シートによる床版下面補強効果に関する研究，橋梁と基礎（95-3），pp25-32，1995.3

2) 「コンクリート部材の補修・補強に関する共同研究報告書（Ⅲ）-炭素繊維シート接着工法による道路橋コンクリート部材の補修・補強に関する設計・施工指針（案）-」，建設省土木研究所・炭素繊維補修補強工法技術研究会，建設省土木研究所共同研究報告書第 235 号，1999.12

3) 岡田昌澄，大西弘志，松井繁之，小林朗 : 格子配置された炭素繊維シートによる床版補強効果，第三回道路橋床版シンポジウム講演論文集（土木学会），pp.175-180，2003.6

4) 連続繊維シートを用いたコンクリート構造物の補修補強指針，土木学会，2000.3

5) 事例に基づく複合構造の維持管理技術の現状評価，複合構造レポート 04，pp.133，土木学会，2010.4

5.2.7　下面増厚工法

5.2.7.1 概要

(1) 下面増厚工法は，床版下面に所定量の補強筋を配置し，ポリマーセメントモルタルを吹付け工法などで増厚一体化する工法である．

(2) 下面増厚工法による補修・補強の設計は，床版の点検結果に基づき，その劣化・損傷要因，劣化進行過程を適切に評価し，工法の適用性について検討したうえで行うのがよい．

【解説】

(1) 下面増厚工法は，床版下面に所定量の補強筋を配置し，ポリマーセメントモルタル（以下 PCM と記す）を吹付け工法などで増厚し一体化する工法である．標準断面を**図-解 5.2.35** に示す．本工法は，PCM の高付着性能を利用し既設床版と下面増厚部を一体化し，合成機能を発揮させる工法である．その結果，床版の鉄筋応力度やたわみ量を低減させ疲労耐久性を向上させるものである [1),2)]．

また，PCM の中性化進行速度が一般のコンクリートと比較して遅く，凍結融解作用などの外的環境に対して耐久性が高いことから，補強後の耐久性向上も期待できる．そのため下面増厚工法のかぶり厚さは，耐久性から定まる値として 10mm 以上もしくは鉄筋径以上とし，一般のコンクリートのかぶり厚さより薄い構造となっている．吹付けによる増厚充填は充填性がよいことから，D6～D13 程度の細径鉄筋の場合，補強筋は床版下面に直接固定する手法が取られている（**図-解 5.2.36**）．一方，D16 以上の鉄筋を使用する場合は，床版と鉄筋の間を 10mm 程度あけ，PCM 吹付けモルタルが充填しやすくするようにするとよい．

PCM の湿式吹付け工法は，ミキサにより PCM を所定時間練混ぜ，練りあがった PCM をポンプにより吹付けノズル先端まで圧送し，高圧力のエアーで吹付けるものである．また，PCM の湿式吹付け工法は，ロス率が 1.25 程度と低く，吹付け作業時の粉塵も少なく作業環境は良好である．床版下面への一層あたりの吹付け厚さは 30mm 程度であり，増厚量が厚い場合は吹付けを積層し厚付けを行う．寒中の期間は施工後適切な養生を行い，所定の強度が得られるよう配慮する必要がある．

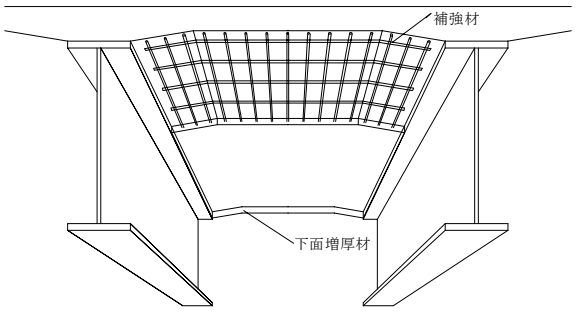


図-解 5.2.35 下面増厚工法概念図

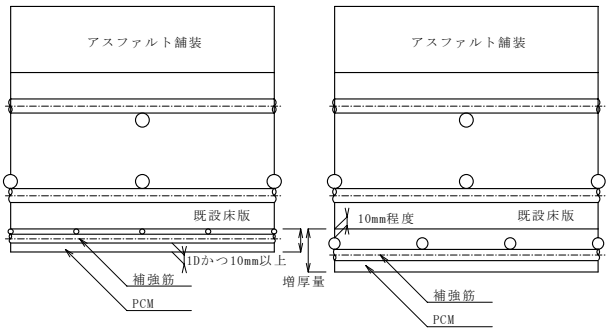


図-解 5.2.36 PCM を用いた下面増厚工法の標準断面

(2) 下面増厚工法は，床版の引張側となる下面に補強筋を配置し，既設鉄筋の応力を負担する補強工法である．このことから，主として床版の曲げ補強を目的に使用されている．補強筋を PCM を用いて増厚一体化するために床版厚さは増加し，増厚量分のせん断耐荷力の向上も期待できる．この曲げ補強とせん断補強により，下面増厚工法は床版の鉄筋応力度やたわみ量を低減させ疲労耐久性を向上させるものである [3)]．

下面増厚工法の床版の損傷要因と適用範囲については，3 章に記載されている．通行車両の荷重条件は，B活荷重に対する床版の補強対策が可能であり，劣化進行過程としては加速期前期までの床版に対する補

強対策である．床版の損傷段階が乾燥収縮により橋軸直角方向に貫通したひび割れが大きな間隔で発生する潜伏期の段階においても予防保全として下面増厚工法を実施することにより床版の疲労耐久性を向上させることから延命効果がある．過去の実績と実橋での載荷試験の結果から二方向ひび割れ，輪荷重により床版上面ではねじりモーメントによって橋軸直角方向にひび割れが発生し，下面から発生したひび割れとつながり貫通し，並列の梁状になる加速期前期の段階においても下面増厚工法を実施することにより床版の剛性が向上し疲労耐久性を向上させ延命効果があることが報告されている．これらの範囲の損傷に対し下面増厚工法は適用可能である．

下面増厚工法などの下面対策は，床版上部などからの雨水の浸透があると．既設床版と補強部界面に浸透水が滞水する．その結果，雨水の浸透および滞水は補強後の床版の疲労耐久性を低下させる．以上のことから下面増厚工法を検討する場合は，床版防水システムを計画し，あわせて部分打換え，ひび割れ注入の検討もするのがよい．

塩害，凍害，中性化，ASR により損傷を受けた床版に対する下面増厚工法の適用性については 3 章に示されている．下面増厚工法は輪荷重による床版の疲労損傷に加え，これらの劣化原因により床版が損傷しており，床版の損傷に対する補修と疲労耐久性向上が必要な場合に適用する．また，塩害，凍害，中性化，ASR により床版が劣化損傷し既設鉄筋の断面が欠損している場合に，欠損した鉄筋分の耐荷力を回復する目的として下面増厚工法を適用することができる．

塩害を受けた床版の損傷は，海浜部からの飛来塩分により塩化物イオンがコンクリート中に侵入するものと，施工時にコンクリートに使用された海砂により塩化物イオンがコンクリート中に内在する内部塩分によるものに大別される．いずれの場合も床版上面と下面側の鉄筋が発錆し，かぶりコンクリートの浮きや剥離が生じる．床版上面側と下面側の浮きや剥離が生じた箇所のコンクリート中の塩化物イオン濃度が発錆限界 1.2kg/m^3 以上である場合には，鉄筋の裏側までコンクリートを除去しポリマーセメントモルタルで断面修復する．さらに下面増厚補強することにより断面剛性が向上し床版の疲労耐久性が向上する．

凍害により損傷した床版は，床版上面側の地覆，高欄，床版や張出し床版，床版下面等にコンクリートのスケーリングや断面欠損が生じる．中性化により損傷した床版は主に床版下面のかぶりコンクリートの剥落や浮きが生じている．耐荷力や疲労耐久性の向上が必要な場合には，床版上面側や張出し床版などの断面欠損部分の補修を施し床版下面増厚工法により補強する．補修方法は損傷部分のコンクリートを取り除きポリマーセメントモルタルで断面修復する．補修後に下面増厚することにより床版断面剛性が向上し床版の疲労耐久性が向上する．

ASR による床版の損傷やその補修対策は十分な事例や研究が実施されていない．そのため，ASR により損傷した床版の補修補強を行う場合には，その適用性について十分検討したうえで実施するのがよい．損傷状況は ASR により床版内部に層状のひび割れが発生し，特に雨水等が供給される床版上面と張り出し床版や床版下面のかぶりコンクリート部にひび割れが発生し内部からゲルが析出し，損傷が進行すると浮きや剥離が生じるものである．これらの損傷箇所の断面欠損部分の断面修復をポリマーセメントモルタルで施し，下面増厚することにより断面剛性が向上し床版の疲労耐久性向上を目的とする補強が可能である．

塩害，凍害，中性化，ASR による床版劣化は，補修補強後に床版に雨水等が供給されることを防ぐことにより塩化物イオンの供給や劣化の進行を抑制し再損傷を防ぐことが可能となる．そのため，断面修復・下面増厚補強と同時に橋面防水工を実施する必要がある．また，伸縮ジョイントからの回り水や張出し床版からの回り水により床版下面に雨水や塩化物イオンが供給される場合は，供給される範囲をコンクリート表面保護工により塩化物イオンの侵入を防ぐことが必要である．

5.2.7.2　設計

(1) 下面増厚工法は，標準断面を基本とし，補強筋を設計計算により決定するのがよい.
(2) 増厚の施工範囲は，ハンチ下端までとし，増桁が増設されている場合は増桁上フランジ端部までとするのがよい.
(3) 下面増厚工法の標準的な構造細目を以下に示す.
- 補強筋は，主桁フランジ近傍まで配置し，鉄筋の場合は細径鉄筋を数多く配置するようにする.
- かぶり厚さは，所定の耐久性が得られる厚さ以上とする.
- 補強筋は，アンカーボルトと取り付け金具を用いて床版下面に直接固定・配置する.
- 補強筋の継手は重ね継手とし，所定の継手長を確保する.

(4)　補強筋は，規格に適合した適切な材料を使用する．下面増厚に使用するモルタルは，既設床版と一体化し補強効果を発揮できる材料を使用する.

【解説】

(1) 床版は，輪荷重を直接受け主桁などに比べ過酷な条件下にさらされているため，疲労耐久性能を確保することが重要である．近年，床版の種々の研究成果として床版厚さと水分が疲労寿命に大きく影響することが判明してきた．特に，床版の疲労劣化は，押抜きせん断耐力との関係性が明らかになってきている．このため,下面増厚により,既設床版のせん断耐力を確保するために必要な増厚量を決定する必要がある．このため，下面増厚量は，かぶり厚の設定，補強鉄筋量の設定およびせん断耐力の照査により決定する．なお，せん断耐力の照査は，補強床版厚が道路橋示方書に定める最小床版厚を満足する場合は，省略することができる.

下面増厚工法は，**図-解 5.2.37** の手順により設計を行うものとする．下面増厚により上部工の死荷重が増加するが，増厚さ 70mm 程度では橋梁の上部工全死荷重の 5～6%程度の増加である．このため，下面増厚に伴う死荷重増加に対する主桁や床組みの補強は基本的に行わなくともよい.

既往の研究成果より既設コンクリートと下面増厚部は一体となり合成構造として機能する．このことから下面増厚工法を曲げ部材に適用する場合，補強材と既設コンクリート断面が一体化した合成断面として，部材断面に生じるコンクリート，既設筋の応力度は算定することができるものとする．また，本工法は，すでに作用している永久荷重により既設構造物が変形した状態で施工が行なわれることから，補修・補強材は補強前に作用している永久荷重を負担することができない．したがって補強前に既に作用している永久荷重は，補強前の既設断面が負担するものとし，活荷重および補強後に作用する永久荷重は補強後の断面が負担するものとして，これらの荷重による応力度の合成応力度を算定する[4].

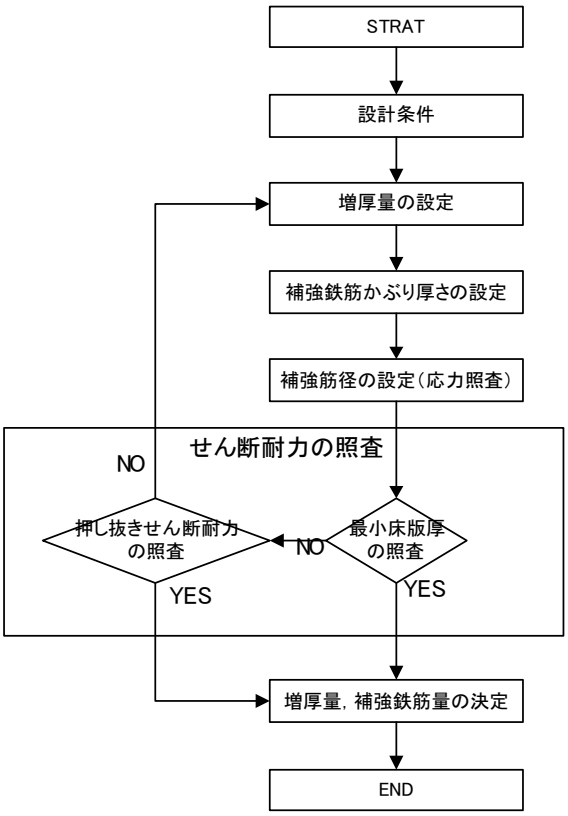


図-解 5.2.37　設計の手順

(2) 増厚の施工範囲は，ハンチ下端までとし，増桁が増設されている場合は，増桁上フランジ端部までとする．

ハンチ角部の断面変化点は，押抜きせん断破壊の端部となる場合がある．このため床版厚さはハンチ下端まで増厚した方が床版の押抜きせん断補強には有効であり，曲げ補強の端部定着としても有効である．このことから下面増厚補強範囲は，ハンチ下端までとした（**図-解 5.2.38**）

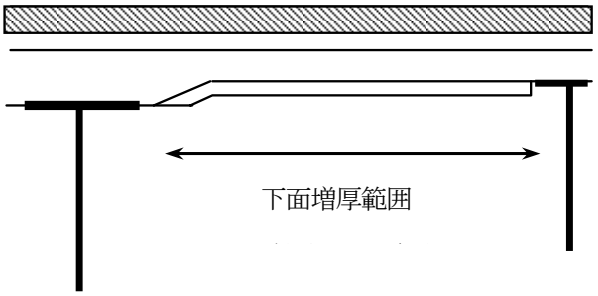


図-解 5.2.38　下面増厚補強範囲

(3) 必要断面積が同じであれば，補強筋の間隔を大きくすると補強筋の 1 本当りの必要断面積が大きくなり，増厚量も増加するため，不経済となる．また補強筋の間隔が適当に小さい方がひび割れの分散性も良好である．したがって，一般に必要断面積が同じ場合には，できるだけ間隔が小さくなるよう補強筋の大きさを選定する（最大間隔 150mm）．

増厚部の厚さは，補強筋の外側に 10mm 以上かつ補強筋の径以上のかぶりを確保できる厚さが標準である．補強筋とモルタルとの付着を確保し補強筋に合理的に応力負担させるために，補強筋の最外面から径以上のかぶりを確保し，PCM の中性化進行速度が，通常のコンクリートと比較して 1/5 以下であることから，耐久性上必要となる最小かぶり厚さを 10mm 以上としている．

さらに，塩害などで損傷した床版の補強を行う場合には，既設鉄筋および補強筋の必要かぶり厚さが確保できるように増厚量を決定する．また，鉄筋の腐食対策には PCM に防錆剤を混入することも，腐食対策として有効である [5)]．

使用限界状態内では，補強筋の既設コンクリート部材への定着は，増厚部のモルタルと旧コンクリートの付着により確保することができる．さらに補強筋をコンクリートアンカー（M8 以上）6 本／m^2 で固定することにより，終局性状が改善され，疲労耐久性が向上する．このことから，補強を目的とした場合には，コンクリートアンカー（M8 以上）を 6 本／m^2 以上で，補強筋を固定する．

補強筋の継手は，重ね継手とし，必要な継手長を重ねた後，PCM を増厚し継手部を既設部材に一体化する．補強筋が鉄筋の場合には，必要継手長は，鉄筋径の 30 倍以上の長さとする．その他の補強筋を使用する場合には，その材料の仕様に従うものとする．また，主鉄筋方向には継ぎ手を設けない．

(4) PCM を用いた下面増厚工法に用いる補強筋は，異形鉄筋，または FRP (Fiber Reinforced Polymer)グリッドを用いる．補強筋に鉄筋を用いる場合には，「JIS G 3112　鉄筋コンクリート用棒鋼」に適合する SD295A 以上の異形棒鋼を用いる．過去の使用実績では，D6～D19 の補強鉄筋が使用されている．D6，D10 等の細径鉄筋は SD295A が多く用いられている．細径鉄筋の SD345 は，受注生産であり量産されていないことから，補強鉄筋として細径鉄筋を使用する場合は SD295A を使用して良い．また，施工の合理化を目的に工場で格子状に溶接加工した補強鉄筋が使用されている．溶接加工した補強鉄筋は，輪荷重の繰返し作用による溶接箇所の破断が懸念されるが，補強筋に作用する応力レベルが比較的低いことと，輪荷重走行試験により補強鉄筋の溶接箇所の疲労損傷が無いことが確認されている.このことから，補強筋を格子状に溶接加工したものを使用することができる．

補強筋として用いる FRP グリッドは，連続繊維に樹脂系接着剤に含浸させながら連続的に格子などの形状に成形された連続繊維補強材で，道路橋床版の補強では炭素繊維を強化繊維とした CFRP (Carbon Fiber Reinforced Polymer)グリッドが主として用いられている．CFRP グリッドには，炭素繊維の種類によって高強度型（引張強度 1400MPa,ヤング係数 100GPa）と高弾性型（引張強度 1200MPa,ヤング係数 165GPa）が

あり，それぞれ断面積や格子間隔の異なるものが製造されている．

鉄筋と FRP グリッドの品質性能の違いは，補強筋の破断に至る荷重～ひずみの関係において，鉄筋が降伏点を有するのに対し，FRP グリッドでは降伏点を持たず，破断強度まで荷重～ひずみの関係が直線的で塑性変形を示さないことである[4]．また，CFRP グリッドは，素材の成分から中性化や塩害などによる発錆やアルカリなどによる劣化現象を生じない耐久性に優れた補強筋である．炭素繊維以外の強化繊維を使用する場合には，アルカリなどに対する化学的安定性や耐久性などに考慮した材料を選定が必要である．

表-解 5.2.18 ポリマーセメントモルタルの必要物性の例

試験名称	規格	基　準　値（4週強度）
付着試験	建 研 式	1.7　N/mm² 以上
圧縮試験	JIS R 5201	27.0　N/mm² 以上
曲げ試験	JIS R 5201	6.0　N/mm² 以上
引張試験	JIS A 1113	2.5　N/mm² 以上
静弾性試験	ASTM C 469	1.5×10^4　N/mm² 以下

下面増厚工法に用いる PCM は，輪荷重試験により床版補強の疲労耐久性向上を確認した材料を使用する．下面増厚工法に用いるPCMの必要物性の例を**表-解 5.2.18**に示す．下面増厚工法に使用するPCMは，主にプレミックスモルタルが使用されている．セメント成分，細骨材および粉末化された界面活性剤やポリマー成分と必要に応じて繊維などがあらかじめ製造元工場で配合され，一つの包装で供給される材料である．本材料は，水のみを混合することで下面増厚工法の PCM として用いることができる．試験または信頼できる資料により品質が確かめられるもの用いる．　また,従来使用されていた乾式吹付け材料は粉塵が多いなどの問題点が指摘されていたが，近年技術改善が図られてきている．輪荷重走行試験などにより補強効果の確認が行われれば使用することも考えられる．

5.2.7.3　施工と維持管理

(1) 下面増厚工法による道路橋床版の補強は，床版コンクリートと下面増厚部分の一体化が図れるように，適切な施工手順，材料の選定，施工および施工管理を行う．
(2) PCM の品質管理は，硬化する前の性状と硬化後の性状を確認することにより実施する．
(3) 下面増厚工法により補強を行った道路橋床版は，供用期間を通じて適切な維持管理を行い，所要の性能を満足するように維持するのがよい．

【解説】

(1) PCM による下面増厚工法の一般的な施工のながれを**図-解 5.2.39** に示す．**図-解 5.2.39** に示した各工程の概要は次のとおりである．

① 施工計画書：施工計画書では，計画工事の目的を十分理解し，現地の状況を踏まえて，使用材料，施工機械，施工手順，安全衛生管理等を計画する．施工前調査や試験施工により得られた結果を施工管理手法や施工管理試験に用いる．

② 足場架設：下面増厚施工は床版下面の施工であることから，上向き作業が主となる．そのため足場は全面板張りとし作業に支障の無いようにする．また，作業空間は表面処理工・補強筋の取付け・吹付け作業を通じて 1800mm 程度の作業空間が確保できるよう適切な足場を設置する．

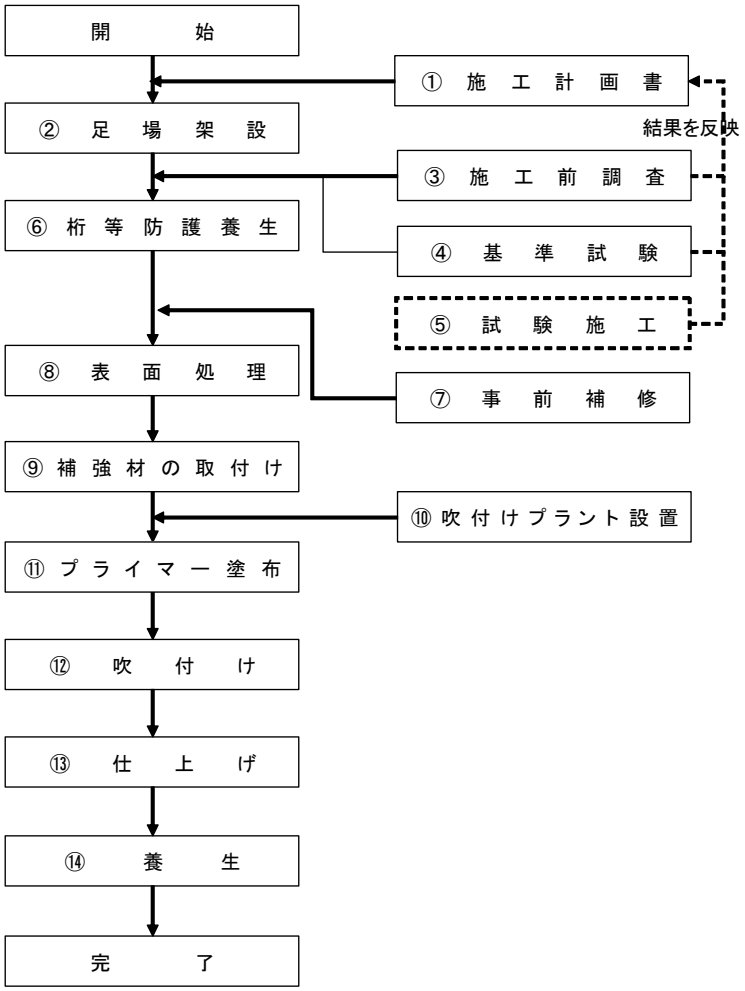


図-解 5.2.39　下面増厚工法の施工のながれ

③ 施工前調査:床版下面の変状調査及び既設床版形状を計測し，下面増厚工法の施工に必要な情報を得る．その結果を下面増厚工法の施工計画に反映させ，施工精度の向上と効率的で経済的な工程管理を行う．そのため下面増厚の施工前に実施する．

④ 基準試験:基準試験は対象となる橋梁毎の条件下で，実際に使用するミキサとポンプを用い，材料・設備・施工に関する試験を実施し，下面増厚材料が所定の性能を有していることを確認する．基準試験は，施工規模や現場の状況を考慮して材料メーカの品質証明により確認してもよい.

⑤ 試験施工:計画される増厚断面の配筋がD19程度以上で断面厚が厚くなるなど過去の実績が少ない場合，必要に応じて試験施工を実施する．試験施工は対象箇所や構造物の置かれている環境を考慮して行うものとし，実施工における施工管理方法・施工管理基準・品質管理基準に反映させることを目的とする.

⑥ 桁等防護養生 : ケレン工による桁の損傷やPCM吹付けモルタルによる粉塵等の飛散防止を目的に桁や足場の防護養生を行う.

⑦ 事前補修 : 事前調査の変状調査により確認されたひび割れのうち，漏水を伴っているものや，有害であると考えられるひび割れの補修を行っておく．また，変状調査により確認されたかぶりコンクリートの浮き，剥離や剥落箇所の補修対策として断面修復を行っておく．塩害などで劣化したコンクリートの補修を行う場合，高塩分部の除去や浮きや豆板などコンクリートの不良部を除した後，既設鉄筋の防錆処理など適切な処置を行う.

床版下面に発生しているひび割れは,ひび割れ注入などのひび割れ補修を実施することを基本とする．この場合，漏水が生じているか貫通ひび割れの可能性の高いひび割れを対象に，下面増厚工事に先立ち補修を実施すると良い.

下面増厚にて床版の性能を回復できないような劣化が著しい箇所は，下面増厚に先立ち劣化部を部分的に打ち替えることを基本とする.

⑧ 表面処理（**図-解 5.2.40**）：下面増厚に使用される PCM 吹付けモルタルの接着力を確保するために，床版下面の脆弱層を取り除く．施工方法は橋梁立地条件等を考慮し，ウォータージェット工法（P 処理または S 処理）またはバキュームブラスト工法により行う．

⑨ 補強筋の取付け（**図-解 5.2.41**）：補強筋を床版下面にコンクリートアンカーを用いて固定する（コンクリートアンカーM8　6 箇所／㎡）．

⑩ 吹付けプラント設置：PCM 材料，ミキサ，吹付け機，コンプレッサー，発電機等を適切な場所に設置する．

⑪ プライマー塗布：PCM 吹付けモルタル材料個々に指定された素地調整材料として，水やプライマー材を所定の方法で塗布する．

⑫ 吹付け（**図-解 5.2.42**）：PCM 吹付けモルタルをミキサで練混ぜ，PCM 吹付けモルタルをポンプにより床版下面まで圧送し，吹付けガンにより吹付け増厚を行う．

⑬ 仕上げ：　コテ仕上げにより施工面を仕上げる．

⑭ 養生：必要に応じ仕上がり面に養生剤を散布し，足場内を適度な環境温度に保つ．

⑮ 留意事項：下面増厚工法は，既設コンクリートと補強筋が接着一体化されることにより補強効果が得られる．しかし，既設コンクリートと補強筋の接着部に床版からの浸透水等により滞水等があるとその接着効果が得られず，十分な補強効果が期待できないこともある．また，床版のひび割れに雨水等が侵入すると上面側の鉄筋の発錆及び床版の疲労寿命が急激に低下することが確認されている．このため，下面増厚工法の施工に先立って床版防水システムを整備することを原則とする．

(2) 品質管理試験として以下の試験を行うのがよい．

① 材料のフレッシュ性状試験

PCM のフレッシュ性状は，モルタルの配合および流動性状を確認することにより行う．PCM は，所定配合を適切な練混ぜ方法により行うことにより，所定の流動性，ポンプ圧送性，厚付け性，良好な強度発現が得られる．このことから練混ぜを開始する時点および配合変更時にモルタル配合及び流動性状，モルタル温度，外気温等を確認し硬化前の品質を管理する．PCM のフレッシュ性状試験の例を**表-解 5.2.19** に示す．

図-解 5.2.40　表面処理状況
（バキュームブラスト）

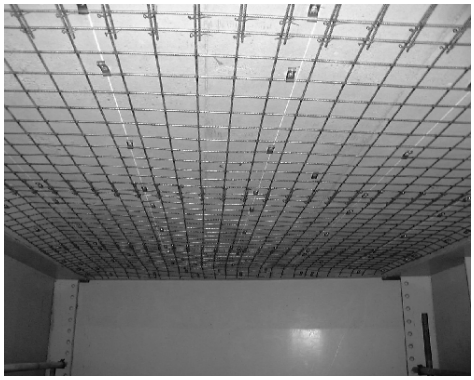


図-解 5.2.41　補強筋取付け状況

図-解 5.2.42　PCM 吹き付け状況

図-解 5.2.43　下面増厚補強完了

表-解 5.2.19　PCM のフレッシュ性状試験の例

試験項目	試験規格	試験頻度	備　　考
モルタル配合		練混ぜ開始時および配合変更時	適正配合であることを確認する.
流動性状	JIS R 5201	練混ぜ開始時*	フロー試験 JIS R 5201 等により流動性状を確認する. 練混ぜ開始時以降は目視により流動性を確認する.
モルタル温度		練混ぜ開始時*	
外気温等		練混ぜ開始時*	

注）*必要に応じて実施する.

② 硬化した後の強度性状試験

硬化した後の PCM の強度性状は，付着強度試験，圧縮強度試験により強度等を確認することにより行う．硬化した後の強度試験は PCM 吹付けにより下面増厚した材料品質の安定性と性能確保を確認するために，200m^2 ごとに１回，付着強度試験，圧縮試験により強度等を確認することにより行うのがよい．PCM の硬化した後の強度試験の例を**表-解 5.2.20** に示す.

表-解 5.2.20　PCM の硬化した後の強度試験の例

試験項目	試験規格	試験頻度	基準値（４週強度）	備　考
付着強度試験	建研式付着強度試験	200m^{2}に１回	1.7　N/mm^2　以上	
圧縮試験	JIS A 1149-2001	200m^{2}に１回	27　N/mm^2	

(3) 維持管理

本工法では，床版上面からの浸透水や補強筋の腐食などによる経年劣化が補強後の床版の劣化として考えられる．床版上面からの浸透水や補強筋の腐食などは，一般の床版の損傷と同様に床版下面の補強面の外観変状を観察することにより把握できる．部分的に浸透水や補強筋の腐食などが確認される場合には，増厚部分の浮きが生じている場合があるので，たたき検査により確認し，必要に応じて適切な対策を講じるのがよい.

【参考文献】

1) 川間重一・内田賢一･西川和廣：既設 RC 床版の階段状荷重漸増載荷における疲労耐久性評価手法に関する研究，土木学会第 55 回年次学術講演会, CS-257, 2000.10

2) 横山 和昭, 佐藤 貢一, 日野 伸一：下面増厚した RC 床版のせん断補強効果と疲労耐久性の評価に関する実験的研究, 土木学会論文集Ａ Vol. 63, No.4pp.768-779, 2007.12

3) 佐藤貢一，檜作　正登，肥田　研一，引地　健彦：吹付け下面増厚補強した道路橋 RC 床版の補強効果，コンクリート工学協会年次学論文報告集, Vol22 .No.3 pp517-pp522, 2000.6

4) 佐藤貢一，小林　朗，関根　健一，財津　公明： FRP グリット工法により床版下面増厚補強した道路橋 RC 床版の輪荷重走行試験による補強効果の確認，土木学会第 56 回年次学術講演会講演概要集, 2001.9

5) ポリマーセメントモルタル吹付け工法によるコンクリート構造物の補修補強設計・施工マニュアル（案）（増厚補強編）,ＲＣ構造物のポリマーセメントモルタル吹付け補修・補強工法協会,平成 19 年 7 月

5.2.8 鋼板接着工法

5.2.8.1 概要

(1) 鋼板接着工法は，補強鋼板を機械定着式アンカーなどで床版の引張応力作用面に固定し，エポキシ樹脂接着剤を注入することで床版コンクリートと接着，一体化させる工法である．

(2) 鋼板接着工法による補修・補強の設計は，床版の点検結果に基づき，その劣化・損傷要因，劣化進行過程を適切に評価し，工法の適用性について検討したうえで行うのがよい．

【解説】

(1) 鋼板接着工法は，床版の下面側（引張側）に鋼板を接着，一体化する工法であり，一般に接着剤にはエポキシ樹脂が用いられる．この工法では鉄筋量の不足を補うことができ，曲げ耐荷力が大幅に増加する．

鋼板接着補強床版の補強効果の確認試験は各種の機関で実施されており，劣化床版の疲労耐久性が大幅に改善されると報告されている．例として国土技術政策総合研究所では，比較的大きな損傷を与えた 39 年道示床版に鋼板接着し階段載荷を実施した結果，47 年道示床版もしくは一部の平成 8 年道示床版と同等の破壊時走行回数であることが報告されている．

なお，接着用エポキシ樹脂を低圧で注入することで，ひび割れにもエポキシ樹脂が充填され，ひび割れ発生によって低下したせん断耐力が回復するという効果も得られる．ただし，他の床版補強工法と同様に既設床版に対して面的に接着，一体化されることから，表面状態に施工の良否が左右されることになる．

鋼板接着工法の特色をまとめると以下のようになる．

・交通量の多少に関係なく，昼夜を問わず交通開放下で施工が可能である．
・床版の部分補強が可能である．
・損傷によるコンクリート片の落下を防ぎ，高架下の安全が確保できる．
・補強後の損傷の確認が困難である．
・鋼板で床版下面を覆うため橋面防水システムが必要となる．

本項では，鋼板接着工法による RC 床板の設計・施工の基本的な考え方を示しており，床板の損傷・劣化状況やその要因，環境条件を十分考慮したうえで，本項の規定を適用することができる．

(2) 劣化床版への鋼板接着工法の適用では，点検結果に基づきその劣化・損傷要因，劣化進行過程を適切に評価したうえで適用性を検討することが重要である．劣化の程度に応じた適用範囲は 3 章を参照のこと．

5.2.8.2 設計

(1) 鋼板接着工法による補強設計は，床板の構造諸元，交通の状況，床版の損傷状況を考慮して補強後の床版が，所要の疲労耐久性を確保できるようにすることを目的に実施する．

(2) 補強設計では，鋼板の断面積を鉄筋コンクリートとして引張補強材断面に換算してよい．なお，鋼板厚さを 4.5mm としてハンチ下端まで接着し，橋軸方向に連結することで端部まで連続した場合には設計計算を省略することができる．

(3) 鋼板接着工法の構造細目は，以下を標準としてもよい．

・鋼板は主鉄筋方向には継手を設けない一枚物とし，配力鉄筋方向には添接板を設けて接続する．
・ハンチも補強鋼板を折り曲げ加工して接着補強する．
・主桁間の橋軸方向では，1 径間を単位として連続して補強し，部分的な接着補強は行わない．
・機械定着式アンカーボルトの使用本数は 7 本/m^2 以上，最大ボルト間隔は 500mm 以下とする．

(4) 鋼板接着工法の使用材料については，次の点に留意するのがよい．

・鋼板接着工法に用いられる，補強鋼板，エポキシ樹脂接着剤，機械定着式アンカーボルトなどの使用材料は品質が確かめられたものを使用する．
・エポキシ樹脂は，コンクリートと補強鋼板を一体化するための所要の接着強度が得られるものを使用する．
・補強鋼板は，日本工業規格の規定を満足するものを使用する．
・補強鋼板には，必要に応じて表面保護を行うのがよい．

【解説】

(1)(2) 鋼板接着工法では，補強鋼板の一体化により曲げ剛性が大幅に増加するので，一般的な許容応力度法の設計ではコンクリート内部の既設補強材の発生応力度が許容値を超過することはない．よって，床版下面の全体を補強する際には設計計算を省略してよい．計算が必要となる際には，補強鋼板を引張鋼材として抵抗断面に換算して算入してよい．その際，接着層となる樹脂厚さは無視し，補強鋼板が床板下面に配置されているものとして計算する．補強鋼板の許容応力度は，エポキシ樹脂接着剤による一体化であることを考慮して $\sigma_{pa}=80N/mm^2$ とするのがよい．

(3) 鋼板接着工法の標準的な施工断面を**図-解 5.2.44** に示す．図は一般部と添接部を示しており，用途に応じて機械定着式アンカーボルトを使い分けている（オネジタイプ，カットアンカー）．図に示している添接板の幅は，補強鋼板 t=4.5mm に発生する応力を伝達できる付着長さを確保したうえで決定されたものであり，何らかの理由で鋼板厚さを変更する際には計算による確認が必要である．

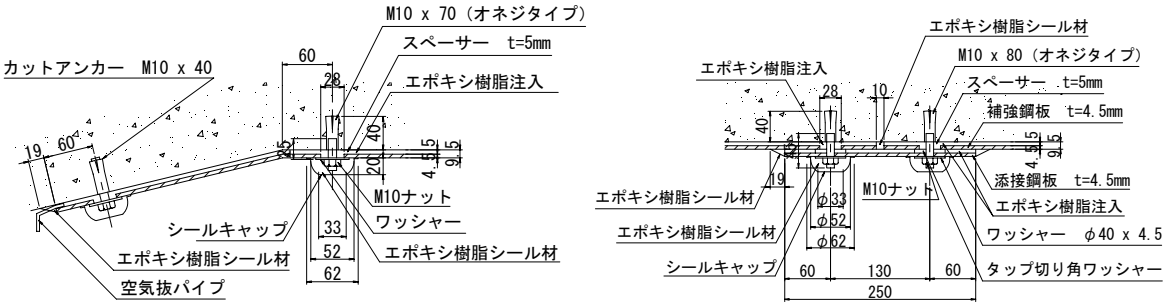


図-解 5.2.44　鋼板接着工法詳細図

(4) 鋼板接着工法では，補強鋼板と接着・一体化するためのエポキシ樹脂接着剤，鋼板を仮固定するための機械定着式アンカーボルトが使用される．何れも補強効果を得るための主要な材料であることから，品質が確認されたものを使用する必要がある．

エポキシ樹脂接着剤は，鋼板周囲をシールして注入時の圧力を確保するためのパテ状のシール材と液状の注入材が用いられるが，何れも所要の材料特性を満たすとともに品質の確かめられたものを使用する．鋼板接着工法では，接着剤の厚さとして 5mm が確保されるように施工されるのが一般的である．これは，床版下面のコンクリート表面の不陸を考慮した平均的な厚さとしての設定である．参考として**表-解 5.2.21～5.2.23** に注入用エポキシ樹脂接着剤の規格[1)]を示す．これは阪神高速道路株式会社によるもので，全ての樹脂材料に適用する 1 次試験，鋼板接着用に用いるエポキシ樹脂はさらに 2 次試験，3 次試験を行ってその物性値を確認することとしている．2 次試験に関しては現場適用性能として目標値が設定されているので，それを考慮する必要があれば参考文献 1)を参照されたい．

補強鋼板は，原則として日本工業規格（JIS）に規定される SS400 を用いるものとする．補強鋼板には，必要に応じて鋼橋と同様の表面保護を実施する．その際には鋼道路橋塗装・防食便覧（日本道路協会）を参考にするとよい．

表-解 5.2.21　エポキシ樹脂接着剤の規格（阪神高速道路－1 次試験） [1)]

（標準試験温度：20 ± 2 ℃）

試験項目	養生条件	単位	パテ・シール材	接着剤（超速硬）	接着剤(普通)	グラウト材	樹脂モルタル、樹脂コンクリート結合材
粘度（混合物）	－	Pa・S	ダレ認めず（スランプ試験）	5.0 ± 2.0	5.0 ± 2.0	2.0 ± 1.0	5.0 以下
比重（硬化物）	20℃／7日間	－	1.5 ～ 1.9	1.1 ～ 1.4	1.1 ～ 1.4	1.0 ～ 1.3	1.0 ～ 1.4
可使時間	－	分	60 以上※※	－	－	60 以上※※	－
曲げ強度 ※	20℃／7日間	N／mm²	35 以上	35 以上	40 以上	50 以上	15 以上
曲げ弾性率 ※	20℃／7日間	N／mm²	2×10^3 以上	－	－	1.5×10^3 以上	－
圧縮降伏強度 ※	20℃／7日間	N／mm²	60 以上	50 以上	50 以上	60 以上	30 以上
圧縮弾性率 ※	20℃／7日間	N／mm²	2×10^3 以上	1.5×10^3 以上	1.5×10^3 以上	1.5×10^3 以上	$(0.5 \sim 2.0) \times 10^3$
引張強度 ※	20℃／7日間	N／mm²	20 以上	15 以上	20 以上	30 以上	15 以上
引張弾性率 ※	20℃／7日間	N／mm²	2×10^3 以上	－	－	1.5×10^3 以上	－
引張せん断強度	20℃／7日間	N／mm²	10 以上	7 以上	7 以上	10 以上	10 以上
衝撃強さ ※	20℃／7日間	KJ／m²	1.5 以上	1.5 以上	1.5 以上	1.5 以上	1.5 以上
硬さ	20℃／7日間	HDD	80 以上	80 以上	80 以上	80 以上	80 以上
硬化時間	－	時間	－	5 以下	－	－	－

（注）1．試験方法はこの編第 18 章「エポキシ樹脂試験方法」による。
2．硬化時間は、20 ± 2 ℃で 7 日間養生の圧縮降伏強度規格値の 60 %に至るまでの時間とする。
3．パテシール材（冬用）およびグラウト材（冬用）の使用にあたっては、※印の項目について、養生条件が 5 ℃における試験も行う。この場合の規格値は上表（20 ℃試験）の 90 %とする。
4．パテシール材（冬用）およびグラウト材（冬用）の場合、※※の規格値は 42 分以上とすることができる。

表-解 5.2.22　鋼板接着用エポキシ樹脂接着剤の規格（阪神高速道路－2 次試験） [1)]

（標準試験温度は、養生温度と同等とする。）

試験項目	試験方法	グラウト材・パテシール材共通		単位	グラウト材		パテシール材	
		試験条件(夏用)	試験条件(冬用)		規格値(20℃試験)	規格値(5℃試験)	規格値(20℃試験)	規格値(5℃試験)
硬化収縮率（線収縮率）	JIS A6024-5.5	－		%	2.0以下	－	2.0以下	－
熱膨張係数	JIS K6911-5.25 準用	－10℃～Tig点		－	$1 \times 10^{-5} \sim 10 \times 10^{-5}$	－	$1 \times 10^{-5} \sim 10 \times 10^{-5}$	－
ガラス転移点	JIS K7121	Tig点		℃	40以上			
可使時間	温度上昇法	20℃試験／1000g	5℃試験／1000g	分	60以上			
粘度	JIS K6833	20℃試験／500g		Pa・S	1.0～3.0		ダレ認めず	
圧縮弾性率	JIS K7181	20℃養生/7日養生	5℃、20℃養生/7日養生	N/mm²	1.5×10^3以上	1.35×10^3以上	2.0×10^3以上	1.8×10^3以上
曲げ弾性率	JIS K7171			N/mm²	1.5×10^3以上	1.35×10^3以上	2.0×10^3以上	1.8×10^3以上
圧縮強度	JIS K7181	20℃養生/7日養生	5℃、20℃養生/7日養生	N/mm²	60以上	54以上	60以上	54以上
曲げ強度	JIS K7171	20℃養生/3日養生	5℃養生/3日養生	N/mm²	7日規格値の50%			
		20℃養生/7日養生	5℃、20℃養生/7日養生		50以上	45以上	35以上	31.5以上
		20℃養生/14日養生	5℃養生/14日養生		7日試験値の80%以上かつ7日規格値以上			
引張強度	JIS K7113	20℃養生/3日養生	5℃養生/3日養生	N/mm²	7日規格値の50%			
		20℃養生/7日養生	5℃、20℃養生/7日養生		30以上	27以上	20以上	18以上
		20℃養生/14日養生	5℃養生/14日養生		7日試験値の80%以上かつ7日規格値以上			
引張せん断強度	JIS K6850	20℃養生/3日養生	5℃養生／3日養生	N/mm²	7日規格値の50%			
		20℃養生/7日養生	5℃、20℃養生/7日養生		10以上	9以上	10以上	9以上
		20℃養生/14日養生	5℃養生/14日養生		7日試験値の80%以上かつ7日規格値以上			

（注）1．試験方法はこの編第18章「エポキシ樹脂試験方法」による。
2．ガラス転移点試験は20±2℃で14日養生した供試体を使用する。
3．5℃可使時間試験において温度が上昇しなかった場合は、10℃可使時間試験を行い、規格値を66以上とすることができる。

表-解 5.2.23　鋼板接着用エポキシ樹脂接着剤の規格（阪神高速道路－3 次試験）[1)]

（標準試験温度：20 ± 2 ℃）

試験項目	試験目的および試験方法	目　標　値
クリープ試験	床版下面と鋼板のずれせん断による樹脂のクリープ特性を確認する。JIS K 7115 の引張クリープ試験に準拠してもよい。	応力レベルが引張強度（１次試験規格値）の 33 %以上で、1000 時間以上破断しないこと。
曲げ疲労試験※	鋼板接着した供試体の曲げ疲労特性を確認する。JIS K 7119 のエポキシ樹脂単体の曲げ疲労試験に準拠してもよい。	樹脂単体の試験では、20 ± 2.5N／mm²の応力で 200 万回以上破壊しないこと。RC による大型供試体の場合は、曲げ耐力の 30 %の荷重に対して 100 万回以上破壊しないこと。
硬化樹脂に対する新樹脂の接着性試験※※	エポキシ樹脂の打ち増しを行っても、境界面に十分な接着性が発揮されることを確認する。JIS K 7113 引張強度、JIS K 7171 曲げ強度試験に準拠してもよい。	規格値に対して、90 %以上の曲げ強度、33 %以上の引張強度を示すこと。

※　コンクリートに鋼板を接着した試験を行う場合は、破壊形態がせん断破壊にならない

（参考）鋼板の定着長の計算

鋼板とコンクリート表面との間に作用する平均付着応力度が許容値に達したときに，はく離による破壊が起こると仮定した引張抵抗力から求める．

$$T_r = b \cdot L \cdot \sigma_b \quad \cdots\cdots\cdots\

(2) 施工計画は，品質を確保するために必要なものであり，適用する床板の損傷状況のみならず周辺環境も加味して立案することが大切である．施工計画で検討すべき内容を列挙すると以下のものとなる．

- 施工の目的
- 施工対象の概要と周辺環境
- 施工工期
- 使用材料と規格値
- 施工体制
- 施工手順
- 現場での検査項目
- 検査手法と確保すべき基準値

鋼板接着工法の施工現場での検査項目としては，鋼板の設置状況（施工範囲，注入厚さ）などの出来形の計測と使用するエポキシ樹脂接着剤の品質である．エポキシ樹脂接着剤は製造ロット毎に圧縮強度，引張強度などの主要な物性試験を現場抜き取り材料にて実施し，日々の施工単位毎に硬化確認するのが一般的である．**図-解 5.2.45** に標準的な施工フローを示す．

以下に施工上の留意点を示す

1) 原寸調査

原寸調査では，鋼板加工のための床版の寸法計測だけでなく，床版の損傷状況も把握する．その際，必要に応じて断面修復を行うこと．断面修復材料の規格は，既存床版コンクリートと同等以上とする．鋼板接着工法では，エポキシ樹脂注入時の圧力でひび割れ内部にも樹脂が充填されるので，前処理としてのひび割れ注入は必要ない．

2) 下地処理

下地処理では，エポキシ樹脂接着剤による一体化が確実に図れるように，表面に付着している油脂分などを除去する．

3)工場製作

工場製作では，原寸調査の結果を受けて作図された加工図をもとに，ボルト位置の孔明，ハンチ加工を行う．加工後にはブラストによる塗装前処理後現場に搬入する．

4) 鋼板取付け，シール工

工場製作された鋼板を現場に搬入し，先行打設された機械定着式アンカーボルトによって床版下面に固定する．固定後にはパテ状のエポキシ樹脂シール材で鋼板の周囲を注入時に液状の注入用エポキシ樹脂が漏れないように入念にシールする．

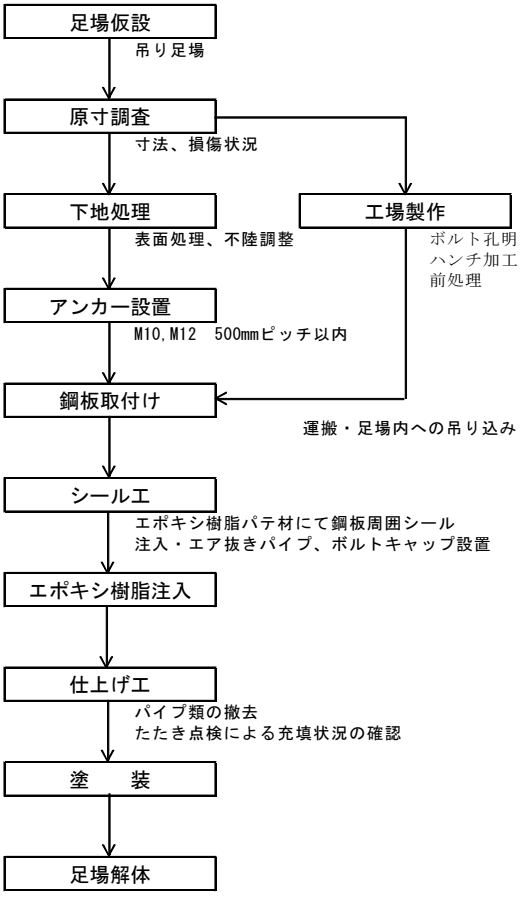


図-解 5.2.45　施工フロー

5) エポキシ樹脂注入工

一般的な鋼板接着用エポキシ樹脂注入材は，主剤と硬化剤の 2 液混合型であるため，十分に混合撹拌し可使時間内に注入施工する．注入にあたっては鋼板内部にエア溜まりができないように注意する必要がある．施工では，専用の注入用ポンプが使用されるが，施工規模に応じて適切な機材を選定する．

6) 仕上げ工，塗装工

エポキシ樹脂注入材の養生後に，パイプ類を撤去し鋼板の表面に付着した樹脂等を除去する．塗装は，設計で指定された仕様で実施するが，足場内での施工であることから塗装面に傷がつきやすいので，下塗りまでを工場塗装として，現場で補修塗り後に中塗り，上塗りを行う場合が多いようである．施工条件が整う場合には鋼橋塗装に準じる方法を採用する例もある．

(3) 鋼板接着工法による補強済み床版の維持管理では，目視による変状確認で錆や漏水・遊離石灰が顕著になれば足場を仮設し，たたき点検で浮きの状態を把握する調査が行われている．**表-解 5.2.24** に示す阪神高速道路株式会社の鋼板接着補修済み床版の損傷度判定[2)]では，点検項目を不良音，漏水および遊離石灰，錆および腐食，鋼板の変形，の４種類を設定して，それぞれの項目で評価している．

関口の研究[3)]では，**表-解 5.2.26** に示すように衝撃荷重の載荷試験の結果で鋼板接着済み床版の健全度を評価する試みが行われている．この方法によれば，足場を仮設する必要がないので，維持管理でのコスト縮減に寄与することになる．

表-解 5.2.24　阪神高速道路株式会社の鋼板接着補強済み床版の健全度評価[2)]

工種	判定区分 / 点検項目	S	A	B	C
補修済床版	不良音	路下が第三者の用に供されており、かつ落下防護ネットが未設置箇所において以下の状況が確認される。 ①鋼板の腐食が著しく、腐食片が欠落する恐れがある。 ②鋼板端部シール材にわれまたは挙動が見られ剥落する恐れがある。 ③ボルトシール部にき裂や挙動があり、ボルトまたはシール材が落下する恐れがある。	たたき点検において、鋼板１枚の1/2程度以上の範囲に不良音がある。	たたき点検において、鋼板１枚の1/2程度以下の範囲に不良音がある。	たたき点検において不良音がわずかにある。
	漏水および遊離石灰		①泥水や錆汁を伴った著しい漏水または遊離石灰の流出が見られる。 ②鋼構造物に、Aランクの腐食を生じさせている。	①顕著な漏水または遊離石灰の流出が見られる。 ②鋼構造物に、Bランクの腐食を生じさせている。	漏水または遊離石灰の流出がわずかに見られる。
	鋼板のさびおよび腐食		①鋼板に腐食（合計0.2m2以上）があり、床版機能を喪失する恐れがある。 ②広範囲（パネルの1/2以上）にさびがあり美観を著しく阻害している。	①鋼板に腐食がある。 ②広範囲にさびがある。	鋼板にさびが点在している。
	鋼板の変形		鋼板の著しい変形や、ずれが認められる。	鋼板の一部に変形が認められる。	変形はあるが軽微である。
	シール部のはく離		広範囲にシール部のはく離が見られ、かつ、車両通過時に鋼板が挙動している。	広範囲にシール部のはく離が見られる。	シール部のはく離が見られる。
	アンカーボルトおよびボルトシール部の異常		アンカーボルトに破断または抜落ちが見られ、かつ、車両通過時に鋼板が挙動している。	アンカーボルトに破断または抜落ちが見られる。	アンカーボルトのシール部が欠損している。
	その他の損傷		①主桁上フランジおよび端横桁からのずれまたは浮きがあり、車両通過時に挙動している。 ②床版相互が接触している。	①主桁上フランジからのずれまたは浮きがある。 ②床版遊間が不良である。	端横桁との間にすき間はあるが、挙動していない。

〔解説〕

1．桁連結化を行っている箇所の床版は、単純桁と連続桁との中間的なたわみ性状を示すため、ノージョイント周辺の床版には負の曲げモーメントが作用することとなり、過酷な応力状態となる。したがって、点検にあたってはひび割れの発生などに十分注意する必要がある。

2．床版の部分打ち替えを行っている箇所については、新設床版と既設床版との設計荷重の違いにより剛度差がある場合がある。このような場合、打ち継ぎ部近傍の既設床版の損傷が懸念されるため入念な点検が必要であり、特に打ち継ぎ目周辺における下面補強鋼板の接着状況ならびに漏水、遊離石灰の流出などに注意する必要がある。

3．漏水および遊離石灰が見られる場合において、泥水や錆汁を伴う場合は、その後の劣化進行が懸念されるとともに、現状において耐荷力・耐久性に問題が生じている可能性がある。したがって、このような場合は、耐荷力・耐久性評価の観点から舗装面の状態やその他の損傷状況（補修済床版においては、不良音やアンカーボルトの状態など）を確認する必要がある。

表-解 5.2.25　阪神高速道路株式会社による判定区分の内容[2)]

判定区分		損　傷　状　況
S	S1	機能低下が著しく、道路構造物の安全性から緊急に対策の必要がある場合
	S2	第三者への影響があると考えられ、緊急に対策の必要がある場合
A		機能低下があり、対策の必要がある場合
B		損傷の状態を観察する必要がある場合
C		損傷が軽微である場合
OK		上記以外の場合

表-解 5.2.26　関口の研究による鋼板接着補強済み床版の健全度評価[3)]

健全度ランク	IIS健全度 (HI_d)	鋼板剥離面積率(%)	上面ひび割れ密度(m/m^2)	劣化進行過程	判定内容
A	2以上	0	2未満	潜伏期	補強設計で想定した状態を維持
B	1.6～1.9	10未満	2～4未満	進展期	軽微な損傷を生じている可能性がある
C	1.2～1.5	10～20未満	4～6未満	加速期	明らかに損傷を生じはじめているので，再補修する必要がある
D	0.8～1.1	20～30未満	6～8未満	劣化期	押抜きせん断破壊などの重大な損傷を生じる可能性が大きいので，再補強又は取替えが必要である
E	0.7以下	30以上	8以上	-	使用限界（交通規制等）

【参考文献】

1) 阪神高速道路株式会社: 土木工事共通仕様書 第4編 関係規準, 第17章 エポキシ樹脂品質管理基準, pp.4-17-1－4-17-13, 平成21年2月

2) 阪神高速道路株式会社 : 道路構造物の点検要領　共通編・土木構造物編, 第17章　エポキシ樹脂品質管理基準, p.69, 89, 平成23年12月

3) 関口幹夫 : 重錘落下たわみによるRC床版の健全度評価要領(案), 東京都土木技研年報, pp.257-262, 平成17年

5.2.9　上面増厚工法

5.2.9.1　概要

(1) 上面増厚工法は，床版上面の劣化や耐荷力性能および耐疲労性の向上を図るために既設 RC 床版上面を切削し，増厚コンクリートと付着性を高めるために研掃を行い，鋼繊維補強コンクリートを増厚して一体化を図り床版を厚くする補強法である．

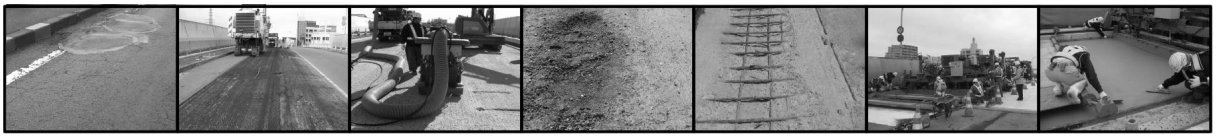
(2) 上面増厚工法の設計・施工は，橋梁点検における RC 床版の損傷状況による劣化進行過程から，施工条件，環境条件を適切に評価した上で工法の適用性について検討し，実施するのがよい．

【解説】

(1) 道路橋 RC 床版の上面増厚工法は，1) RC 床版の上面コンクリートの劣化に対する補強，2) 耐荷力性能および耐疲労性の向上を図るための補強，3) 既に一次補強として下面補強した RC 床版の二次補強がある．

1) RC 床版の上面コンクリートの劣化に対する補強

橋梁点検において，アスファルト舗装にポットホールやひび割れの発生が見られる場合は，RC 床版の上面コンクリートに何らかの損傷が発生している場合が多い．とくに，積雪寒冷地域の RC 床版は疲労劣化に加え，塩害・凍害によって上面コンクリートのスケーリングや骨材露出が生じ，下面に遊離石灰が発生する．この時点では劣化進行過程は進展期から加速期前期に相当する．RC 床版の上面コンクリートの劣化に対する補強では，**図-解 5.2.46** に示すように，床版上面を切削し，鋼繊維補強コンクリート（以下，SFRC）と付着性を高めるためにショットブラスト（投射密度 150kg/m^2）で研掃を行う．部分的にコンクリートにスケーリングが見られる場合は，脆弱部をウォータージェットなどで完全に除去し，その後，SFRC で増厚補強し，新旧コンクリートを一体化させる補強法である．最後に表面を平滑に仕上げ，橋面防水を行い，舗装を施す．なお，既設 RC 床版を切削し，元の床版厚まで修復する施工法は補修であり，元の床版厚まで修復した後，耐荷力性能の向上を目的として増厚した場合が補強となる．



①舗装　②切削　③研掃　④スケーリング　⑤脆弱部除去　⑥SFRC 打設　⑦表面仕上げ

図-解 5.2.46　SFRC 上面増厚工法

2) RC 床版の耐荷力性能および耐疲労性の向上を図るための補強

橋梁点検において，耐荷力性能の不足により RC 床版下面に 2 方向のひび割れが発生し，劣化進行過程が加速期前期の床版や平成 14 年改定の道路橋示方書・同解説 [1)]（以下，道示）に規定する床版厚に対して床版厚が不足している床版は，耐荷力性能および耐疲労性の向上を図るために上面増厚工法による補強が有効である．耐荷力性能や耐疲労性の向上を図るための上面増厚工法は，上面劣化が見られないことから**図-解 5.2.46**（①，②，③，⑥，⑦）に示すように，既設 RC 床版上面を切削機で 10mm 切削し，ショットブラストによる研掃（投射密度 150kg/m^2）を行い，新たに既設 RC 床版上面に SFRC を増厚して，新旧コンクリートを一体化させて床版を厚くする補強法である．

3) 既に補強された RC 床版の二次補強

昭和 30 年代から 40 年代に建設された RC 床版は，交通量の増大や過積載車両の通行により，2 方向のひび割れの発生や疲労寿命の低下により，RC 床版の下面からの補強法（炭素繊維シート接着工法，鋼板接着工法，下面増厚工法など）が施されてきた．RC 床版の下面補強法について既に 20 年を経過し，

再劣化が生じているものもある．このように既に一次補強が施された RC 床版の二次補強として上面増厚工法が検討されることがある．二次補強における上面増厚工法は，**図-解 5.2.46** に示すように，上面劣化による補強法と耐荷力性能および耐疲労性の向上を図るための補強対策と同様の補強法となる．また，一次補強として SFRC による上面増厚が行われてきた RC 床版の二次補強法としては，旧 SFRC 上面増厚部を撤去し，再度 10mm 切削・研掃して，SFRC を上面増厚補強することにより耐荷力性能および耐疲労性の向上が図られることになる．

4) 東・中・西日本高速道路（株）（NEXCO）における上面増厚工法の一例

NEXCO の一般的な上面増厚工法[2]は，**図-解 5.2.47(a)** 示すように，RC 床版上面を 10mm 切削し，その上に厚さ 60mm の SFRC を増厚している．また，連続橋の中間支点部の負の曲げ耐力の向上や負の曲げモーメントが作用する張り出し床版にも対応するために，上面増厚工法は**図-解 5.2.47(b)** に示すように，床版上面を 10mm 切削し，研掃した後，橋軸直角方向および橋軸方向に鉄筋を配置し，厚さ 100mm の SFRC を増厚する方法である．なお，上面増厚床版の中には，施工目地部の増厚層のはく離に伴って，アスファルト舗装にポットホールなどの路面変状が発生する事象[3]があり，近年では，施工目地の両側に幅 500mm で接着剤を塗布し，付着性能を高めて早期劣化を抑制する方法[4]が用いられている．

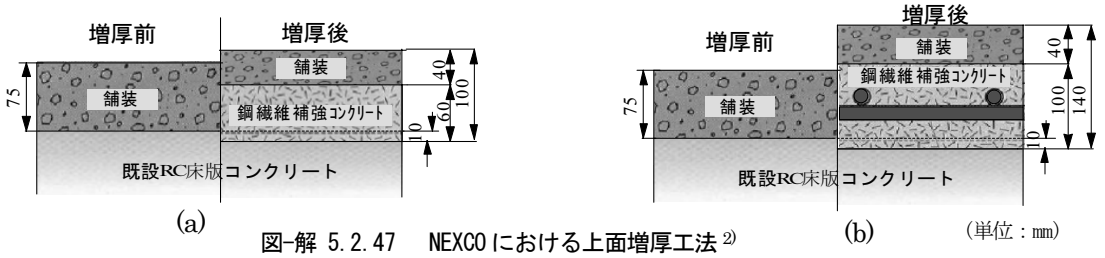


図-解 5.2.47　NEXCO における上面増厚工法[2]

5) 各種 SFRC 上面増厚工法

RC 床版の上面増厚工法には，既存 RC 床版上面を切削・研掃後，直接 SFRC を増厚する工法と，切削・研掃後，既設 RC 床版と SFRC の付着性を高めるために増厚界面に接着剤を塗布して増厚する工法，さらには，SFRC 内に鉄筋の代わりに炭素繊維強化プラスチック（CFRP）格子筋を配置した工法が提案されている．

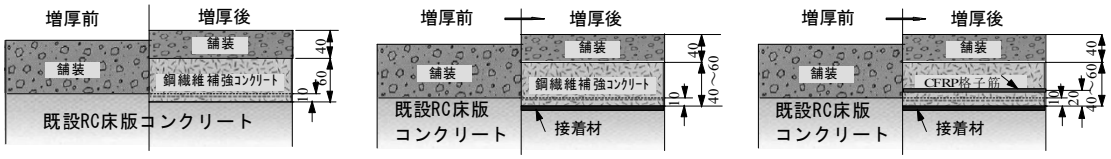


図-解 5.2.48　各種 SFRC 上面増厚工法

(a) SFRC 上面増厚工法の概要

SFRC 上面増厚工法は，1980 年頃から耐荷力性能および耐疲労性の向上を目的として採用された補強法である．施工法は**図-解 5.2.46**，**図-解 5.2.48(a)** に示すように，切削機により切削後，研掃を行い，SFRC を直接上面増厚する補強法である．1980 年当時は付着性を高める目的で増厚界面にせん断筋（RC 床版に 50mm 程度挿入）が配置された事例もある．最近では，付着性を高めるためにショットブラストによる研掃（投射密度 150kg/m^2）が行われ，既設 RC 床版と SFRC との付着性を高めてきた．しかし，SFRC 上面増厚工法においては，輪荷重の走行により，SFRC と既設 RC 床版の界面が早期に

はく離し，上面から侵入した雨水が増厚界面に滞水して，その影響によりアスファルト舗装にポットホールや増厚界面がはく離するなどの損傷が生じ，早期に再補修・補強された事例も報告されている．

使用材料は，鋼繊維を配合したコンクリート（SFRC）が用いられている．一般的に，8 時間程度で交通開放する場合の SFRC のセメントには，材齢 3 時間で設計基準強度（24N/mm^2）が確保できる超速硬セメントを使用する．骨材には，最大寸法 20mm もしくは 15mm の粗骨材，鋼繊維には長さ 30mm の鋼繊維を混入率 1.27Vol.%（100kg/m^3）で配合されている．一方，10 日間以上の通行止めが可能な場合の SFRC のセメントには早強セメントが使用されている．超速硬セメントを用いた SFRC の配合例を**表-解 5.2.27** に示す．

表-解 5.2.27　超速硬セメントを用いた SFRC の配合例

ｽﾗﾝﾌﾟ (cm)	W/C (%)	S/a	単位量 (kg/m^3)				
			セメント	水	細骨材	粗骨材	鋼繊維
6.5 ±1.5	39.5	51.2	430	170	851	858	100.0

増厚コンクリートの厚さは，現行道示の床版厚さで決まる場合と，骨材最大寸法の 2.5 倍から決まる場合がある．骨材最大寸法 20mm では，最小厚さは 50mm，骨材最大寸法 15mm では，最小厚さは 40mm となる．SFRC 上面増厚工法は，**図-解 5.2.48(a)** に示すように既設 RC 床版を 10mm 切削して，その上に適切な厚さを増厚するものである．耐荷力性能および耐疲労性の向上を図るためには SFRC の増厚全厚は，60mm が必要となる．増厚全厚が薄い場合には，増厚界面が早期にはく離し，一体性が失われ，上面増厚部と既設 RC 床版との 2 層床版となることから十分な厚さ（60mm 以上）を確保する必要があると考えられる．

(b) 接着剤塗布型 SFRC 上面増厚工法の概要 [5)]

SFRC 上面増厚工法は，輪荷重走行により増厚界面が早期にはく離し，上面から雨水が浸入して増厚界面に滞水して，はく離が進行することもある．この問題を解決し，さらに耐疲労性を高めるために増厚界面に上面増厚専用接着剤を塗布して，直ちに SFRC を増厚する補強法（以下，接着剤塗布型 SFRC 上面増厚工法）が，近年実施されている．

本工法は，**図-解 5.2.48(b)** および**図-解 5.2.49** に示すように，SFRC 上面増厚工法と同様に，既設 RC 床版上面を切削機で切削し，ショットブラストによる研掃を行った後，接着剤を約 1mm の平均厚で塗布して SFRC を上面増厚するものである．また，上面コンクリートが劣化した部分については脆弱部をウォータージェット等で完全に除去した後，接着剤を塗布して SFRC を増厚する．なお，接着剤塗布型 SFRC 上面増厚工法における耐疲労性の評価については，阿部らによる輪荷重走行試験 [7)]では，接着剤を全面に塗布することで，塗布しない場合と比較し，輪荷重の等価繰返し回数が 2.4～3.5 倍になり，床版の耐疲労性が向上することが確認されている．また，ウォータージェット等により増厚界面が湿潤状態で接着剤を塗布した場合についても，耐疲労性が評価されている [8)]．接着剤塗布型 SFRC 上面増厚工法は，跨線橋の補強 [9)]と部分的に界面がはく離した上面増厚工法の再補修に用いられた実績がある．また，首都高速道路においては鋼床版の補強方法としても接着剤塗布型 SFRC 上面増厚工法が採用されている [10)]．

使用材料は，SFRC については SFRC 上面増厚工法に用いた材料および配合は同様である．接着剤については，耐久性に優れているだけでなく，コンクリート切削面への塗布性や打継可能時間に配慮された SFRC 上面増厚工法専用の土木用高耐久型エポキシ系接着剤を用いる．土木用高耐久型エポキシ系接着剤の仕様例を**表-解 5.2.28** に示す．

床版上面コンクリートのスケーリングが生じている場合は，ウォータージェットにより脆弱部を除去した後，接着剤を平均厚 1.0mm で塗布して，SFRC を上面増厚する．増厚コンクリートの最小厚さ 40mm は，都道府県が管理している道路橋 RC 床版は NEXCO が管理している高速道路と比較して重車両の交通量が少ないことと，接着剤を塗布することで一体性が確保されることから，SFRC 上面増厚工法の最小厚 60mm よりも薄くできる．ただし，現行道示に基づいて設計された床版厚を確保する必要がある．

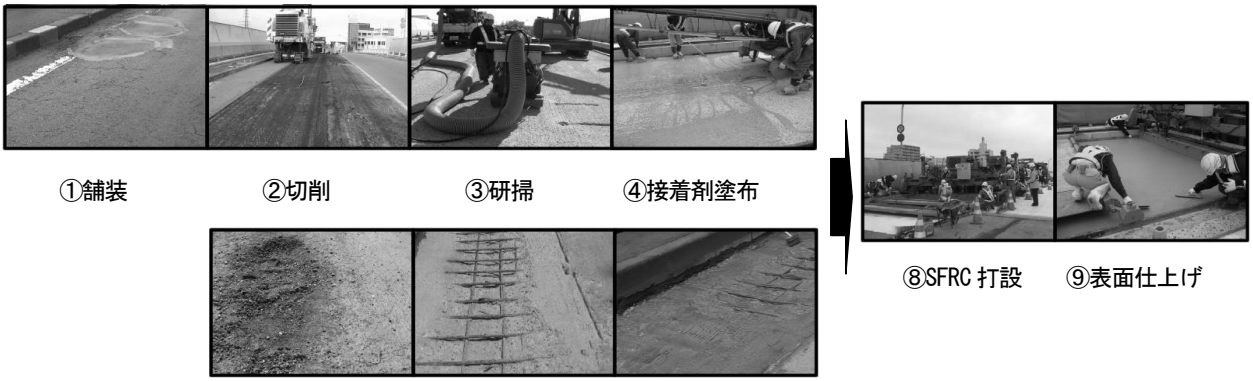


図-解 5.2.49　接着剤塗布型 SFRC 上面増厚工法[5)]

表-解 5.2.28　土木用高耐久型エポキシ系接着剤の仕様例

		冬　用（被着体温度： 5℃～20℃） 春・秋用（被着体温度：15℃～30℃） 夏　用（被着体温度：25℃～60℃）	
		性状と物性	備　考
外　観	主　剤	白色ペースト状	異物混入無し
	硬化剤	青色液状	異物混入無し
混合比（主剤：硬化剤）		5　：1	重量比
硬化物比重		1.40±0.20	JIS K 7112
圧縮強さ		50 N/mm²以上	JIS K 7181
圧縮弾性係数		1000 N/mm²以上	JIS K 7181
曲げ強さ		35 N/mm²以上	JIS K 7171
引張せん断強さ		10 N/mm²以上	JIS K 6850
コンクリート付着強さ		1.6 N/mm²以上または母材破壊	JIS K 6909（JHS 412）
標準塗布量		1.4 kg/m²以上（人力塗布）	被着体の種類によって塗布量は異なる

6) 数値解析による上面増厚工法の評価

上面増厚工法の補強時期と補強効果については，非線形有限要素解析を用いた数値解析による評価が試みられている《付録３》．支間 2.5m，厚さ 190mm の RC 床板の解析例では，活荷重たわみが支間長の 1/1000 を越えてすぐに上面増厚（普通コンクリート 30mm）を行った場合，補強後のたわみの進展に関して言えば，早期に補強したものの方が補強による抑制効果が高かった．数値解析では補強前のはつりを考慮せず，既に損傷を受けた上面コンクリート上に新たなコンクリートを増厚しているため，補強時

期が遅い場合の補強効果が過小評価された可能性はあるが，走行安全性や防水の観点からも上面コンクリートは健全に保たれることが望ましいことから，上面増厚工法を早期に実施したほうがよいと考えられる．

(2) 上面増厚工法の対象としている RC 床版は，主として昭和 39 年および昭和 48 年改定の道示で設計された床版である．また，昭和 50 年代に建設された RC 床版においても融雪剤の散布による塩害に加え，凍害の影響を受け，RC 床版の上面コンクリートにスケーリングや砂利化が生じ，供用開始後 30 年程度で撤去された床版など，コンクリートの劣化による損傷事例が年々増大している．

上面増厚工法にいては，床版上面の劣化状態を調査することが重要であるが，橋梁点検では床版上面にアスファルト舗装されていることから，劣化の範囲や状態，規模が調査しにくいのが現状である．橋梁点検においてはアスファルト舗装にポットホールが発生した状態は，上面コンクリートに劣化が生じている可能性が高い．その場合，床版下面には漏水や遊離石灰が発生している．したがって，上面増厚工法により補強する場合は，橋梁点検結果をもとに診断を適切に行う必要がある．

5.2.9.2　設計

(1) 増厚コンクリートの厚さは，増厚後の床版厚が最新の設計基準などで必要とされている床版厚さ以上となるように決定するのがよい．

(2) 増厚コンクリートにより著しく死荷重が増加する場合には，桁や下部工の応力照査を行うのがよい．

(3) 上面増厚工法の構造は，床版の劣化状況，道路の使用環境，経済性，維持管理などを考慮して決定するのがよい．

【解説】

(1) 上面増厚工法が対象としている RC 床版は，主として昭和 39 年および昭和 48 年改定の道示で設計された床版である．昭和 30 年代の基準では，活荷重が 80kN であり，床版厚が 160mm，鉄筋には丸鋼が使用されている．配力筋は主鉄筋の 25%が配置されている．昭和 43 年の暫定基準では，鉄筋には異形棒鋼が使用され，配力筋も主鉄筋の 70%が配置されている．一方，平成 8 年に改定した道示の活荷重は 100kN であり，床版厚も大型車両の計画交通量による割り増しがなされている．したがって，古い基準で建設された RC 床版は，平成 14 年改定の道示の活荷重および床版厚を確保し，耐荷力性能および耐疲労性の向上を図るのがよい．

RC 床版の増厚コンクリートの最小厚さは，平成 14 年改定の道示 [1)]に基づいて，床版支間，大型車両の交通量による床版厚を算定し，同等以上の厚さを確保するように厚さ決定する必要がある．ここで，平成 14 年改定の道示における最小床版厚は式（解 5.2.3）として与えられている．上面増厚工法は，既設床版を現行道示の床版厚と同等以上に増厚することで，疲労寿命が大幅に向上することが輪荷重走行試験にて確認されている．土木研究所での輪荷重走行試験 [12)]では，昭和 39 年道示仕様の床版に初期損傷を与えた後に上面増厚を行った供試体は，平成 8 年道示仕様の供試体の一部および昭和 49 年道示仕様の供試体と同等の破壊時走行回数を有していることが確認されている．なおこの上面増厚供試体は，増厚界面のはく離の進行に伴って，たわみが徐々に増加し破壊に至っていること，端部にせん断補強筋を設けることにより疲労寿命が伸びていることから，接着剤等を用いて増厚界面のはく離を抑制することが有効と考えられる．

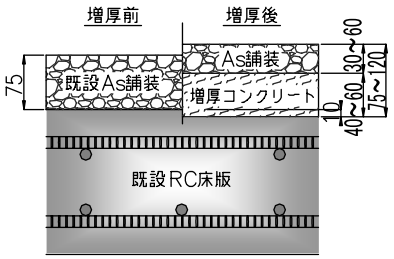
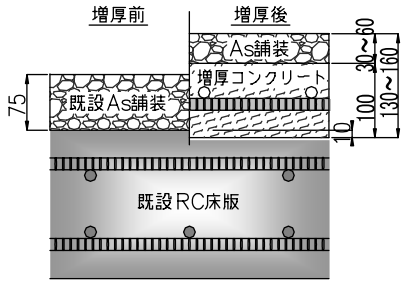
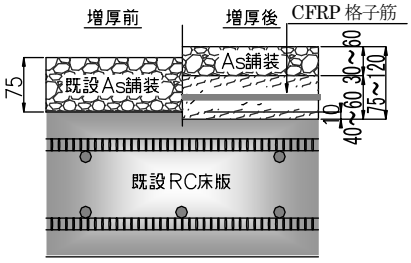
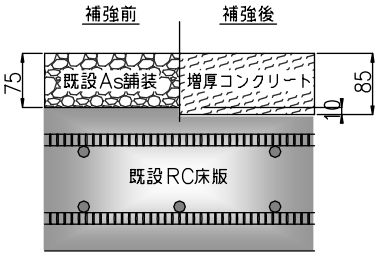
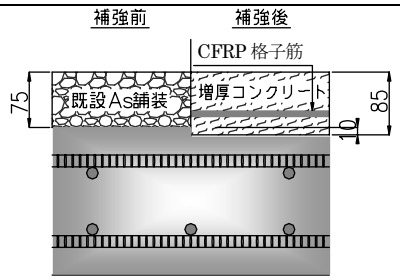
一方，阿部らは，47 年間共用され，1980 年に SFRC 上面増厚補強された RC 床版を用いて，旧 SFRC 上面増厚部を撤去し，既設 RC 床版を 10mm 切削して，新たに接着剤を塗布して SFRC 上面増厚補強を行い，耐疲労性のついての輪荷重走行試験を実施している [13)]．その結果，平成 14 年改定の道示に準拠して製作

した RC 床版と比較して 2.4～3.5 倍の耐疲労性が確保されている．ここでは，二次補強法においても接着剤塗布型 SFRC 上面増厚補強における耐疲労性が評価されている．

NEXCO では，上面増厚工法は RC 床版を増厚することにより押抜きせん断耐力を向上させることが主目的であり，室内試験等で上面増厚による疲労に対する延命効果が確認されていること，実橋の主鉄筋における最大発生応力度は既往のデータでは設計値よりも大幅に小さいことを考慮して，RC 床版の曲げ応力度の照査は一般に行わなくて良いとされている [2)]．その理由の一つとして，輪荷重走行試験では，鉄筋応力度は 10～20N/mm^2（試験荷重 110kN 換算）を示しており，その値はコンクリートを全断面有効とした値（約 10 N/mm^2）と引張応力度を無視した値（約 35 N/mm^2）の中間を示しているが，全断面有効とした値に近い傾向であることが挙げられる [2)]． なお，著しく強度の低い床版に上面増厚を行った場合，早期劣化の恐れがあるため，必ず床版の強度を確認するとともに，強度が低い場合には部分打換工法を併用するなどの対策を講じる必要がある．

$$d = k_1 \times k_2 \times d_0 \quad \cdots\cdots\cdots\

表-解 5.2.31　上面増厚工法の標準的な断面図

増厚のタイプ		断　面　図	特　徴
アスファルト舗装を設ける上面増厚	上面増厚	 （単位：mm）	①増厚コンクリート上にアスファルト舗装を設けた構造で，道路橋床版の上面増厚で最も一般的な構造である． ② 路面高さの変更を行わない構造となるように，増厚コンクリート厚さとアスファルト舗装厚さを決定した方が安価となる．
	鉄筋増厚	 （単位：mm）	① 上面増厚の，床版張出部や中間支点上の負曲げ対策に用いられる． ② 増厚コンクリート厚が比較的厚くなる傾向であることから，死荷重の増加が大きい．そのため，桁の応力照査や下部工の地震時の照査が必要となる． ③ 近年は増厚界面のはく離対策として接着剤が用いられている．
	CFRP 格子筋増厚	 （単位：mm）	① 床版張出部や中間支点上の負曲げ対策に用いられる． ② 鉄筋増厚に比べ増厚コンクリート厚を薄くできる． ③ 近年は増厚界面のはく離対策として接着剤が用いられている．
コンクリート舗装を兼ねる上面増厚	上面増厚	 （単位：mm）	① 路面高さを変更せずに，全厚をコンクリート舗装とした構造で，増厚コンクリートが厚いため補強効果が高く安価である． ② 雨上がりにおいて，車線部に滞水が生じないような路面排水とする必要がある． ③ 死荷重が増加しない． ④ 近年は増厚界面のはく離対策として接着剤が用いられている．
	CFRP 格子筋増厚	 （単位：mm）	① 床版張出部や中間支点上の負曲げ対策に用いられる． ② 雨上がりにおいて，車線部に滞水が生じないような路面排水とする必要がある． ③ 死荷重が増加しない． ④ 近年は増厚界面のはく離対策として接着剤が用いられている．

5.2.9.3 施工と維持管理

(1) 上面増厚工法による補修・補強の施工は，既設床版コンクリートと増厚コンクリートの一体化が図れるように，材料の選定，施工および施工管理を行うのがよい.
(2) 施工計画は，環境条件や施工条件を考慮して工事の用件を満足することができるように，施工手順，工程および品質管理の方法を示すのがよい.
(3) 上面はつり工では，床版コンクリート表面の脆弱部は完全に除去するのがよい.
(4) 上面増厚工法により補修・補強を行った道路橋床版は，供用期間を通じて適切な維持管理を行い，所用の性能を満足するように維持するのがよい.

【解説】

(1) 上面増厚工法は，既設床版と増厚コンクリートが一体化することで，所要の補修補強性能を発揮するものである．したがって，これらの状態を満足するように，材料の選定，施工および施工管理を行う必要がある.
(2) 上面増厚工法は，路面上の交通規制が必要であることから，環境条件や施工条件を考慮して交通規制の形態や規制日数を決定し施工計画に反映させる必要がある．**図-解 5.2.50** に標準的な施工フローを示す.
(3) 床版コンクリート表面の脆弱部は，増厚コンクリートとの一体化を阻害する要因であることから，ウォータージェットなどを用いて完全に除去する必要がある.

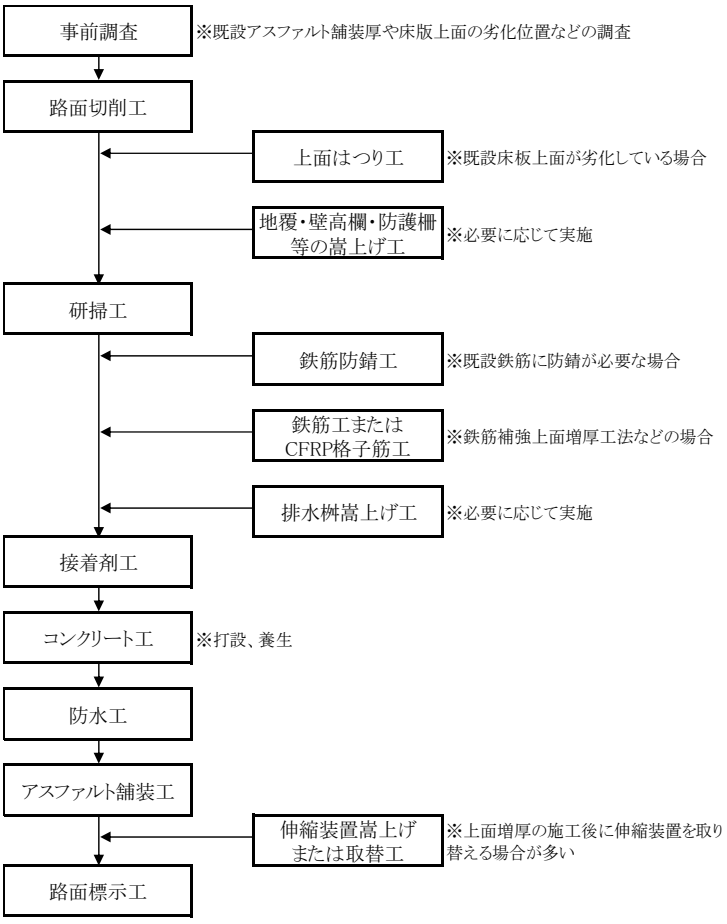


図-解 5.2.50 上面増厚工法の標準的な施工フロー

(4) 上面増厚による補強を行ったことによる特別な維持管理方法は規定されておらず，一般的な路面からの日常点検（舗装の状態点検），橋梁の定期点検による維持管理が行われる．点検において，舗装面の異常や床版下面の変状が認められた場合には，必要に応じて上面増厚コンクリートの剥離の発生の有無などの調査を行い，適切な対策を行うのがよい．

【参考文献】

1) 道路橋示方書・同解説　Ⅱ鋼橋編，社団法人日本道路協会，2002.3
2) 上面増厚工法マニュアル，財団法人高速道路調査会，1995.11
3) 長谷俊彦，和田圭仙，後藤昭彦：上面増厚床版における劣化要因の検証と耐久性向上対策の検討，日本コンクリート工学会，コンクリート工学誌 Vol. 50　No. 3，pp. 245-253，2012.3
4) 設計要領　第二集　橋梁保全編, 東日本高速道路株式会社・中日本高速道路株式会社・西日本高速道路株式会社, 2011.7
5) 阿部忠 : RC床版の劣化診断技術と補修・補強対策，［第4回］鋼繊維補強コンクリート（SFRC）上面増厚補強の耐疲労性，セメント・コンクリート誌 No.779，pp. 44-52，2012.1
6) 阿部忠 : RC床版の劣化診断技術と補修・補強対策，［第5回］SFRC上面増厚補強とCFSS底面接着補強を併用したRC床版の耐疲労性，セメント・コンクリート誌 No.780，pp. 44-51，2012.2
7) 阿部忠，木田哲量，高野真希子，小森篤也，児玉孝喜：輪荷重走行疲労実験におけるRC床版上面増厚補強法の耐疲労性の評価法，構造工学論文集 Vol. 56A，pp. 1270-1281，2010.3
8) 伊藤清志，阿部忠，児玉孝喜，山下雄史，一瀬八洋：乾燥・湿潤状態で接着剤を塗布したSFRC上面増厚補強法の耐疲労性の評価，構造工学論文集 Vol. 58A，pp. 1178-1188，2012 .3
9) 伊藤清志，松下憲生，横引功三：SFRCボンド補強工法（鋼床版とコンクリート床版），国土交通省中国技術事務所，平成21年度中国地方建設技術開発交流会（鳥取会場），2009.10
10) 梶原仁，山口達也，伊藤清志，松本公一 : 一車線規制に対応した鋼床版上SFRC 施工事例，第62回セメント技術大会，pp.100-101，2008.6
11) 鋼床版橋梁の疲労耐久性向上技術に関する共同研究所（その 2･3･4）報告書　―SFRC 舗装による既設鋼床版の補強に関する設計・施工マニュアル（案）―，共同研究報告書　第 395 号，（独）土木研究所，（株）横河ブリッジ，（株）NIPPO，鹿島道路（株），大成ロテック（株），2009.10
12) 道路橋床版の疲労耐久性に関する試験，国土技術政策総合研究所資料　第28号，2002.3
高野真希子，阿部忠，木田哲量，小森篤也，児玉孝喜，小川洋二 : 47 年供用した RC 床版の CFSS 下面補強および SFRC 上面増厚補強による耐疲労性，構造工学論文集 Vol.57A，　pp.1286-1296，2011 .3
13) 例えば，旧銚子大橋（1985，国道 126 号），黒岩橋（1986，箱根新道），栄橋（2006，茨城県），美嚢川橋（2009，兵庫県），金比羅橋（2010，国道 501 号）など

5.2.10　水平ひび割れ注入工法

5.2.10.1　概要

(1) 水平ひび割れ注入工法は，床版に注入孔を削孔し，この注入孔から水を流して水平ひび割れ内部の洗浄を行ったのち，水中硬化型エポキシ樹脂を充填する工法である．
(2) 水平ひび割れ注入工法の設計・施工は，床版内部の調査結果に基づき，その劣化・損傷要因，劣化進行過程を適切に評価したうえで工法の適用性について検討し実施するのがよい．

【解説】

(1) 水平ひび割れ注入工法は，床版に注入孔を削孔し，この注入孔から水を流し水平ひび割れ内部の洗浄を行ったのち，水中硬化型エポキシ樹脂を充填する工法である．輪荷重による道路橋床版の劣化では，外観の調査により把握できる舗装面のポットホールや床版下面のひび割れといった劣化現象以外に床版内部に水平ひび割れが生じている場合がある．本工法は，この床版内部の水平ひび割れの補修を対象としたものである．樹脂注入により，床版内部の水平ひび割れに樹脂が充填され床版剛性が回復する．また，活荷重による損傷・劣化対策として上面増厚工法，下面増厚工法，鋼板接着工法，炭素繊維シート接着工法を併用することにより床版補強が可能であり，耐久性の向上効果が期待される．

(2) 水平ひび割れ注入工法は，床版内部の水平ひび割れに対し樹脂注入を行い，床版剛性が回復することが期待できる場合に適用する．また，必要に応じ上面増厚工法，下面増厚工法，鋼板接着工法，炭素繊維シート接着工法を併用することにより床版の補強が可能である．その結果，耐久性の向上効果が期待される．

対象となる道路橋の交通規制が可能であれば，床版上面から削孔し，施工を行うのが一般的である．交通規制が困難な場合には床版下面から施工を行うことも可能である．また，対象となる床版内部の水平ひび割れ以外にも，上面増厚の浮き，床版上面のポットホールの補修部分の浮きに対しても同様に樹脂注入を行うことにより補修が実施されている．

5.2.10.2　設計

(1) 水平ひび割れの発生位置（床版内部の深さ）や発生範囲を把握し，補修計画を立案する．
(2) 水平ひび割れ内に充填する樹脂は，適切な材料を使用する．

【解説】

(1) 水平ひび割れは，床版内部の上鉄筋近傍，下鉄筋近傍，もしくは上面増厚の浮き，床版上面のポットホールの補修部分の浮きなどが対象である．水平ひび割れの発生位置（床版内部の深さ）や発生範囲により注入孔の深さや注入孔の位置を決定する．したがって，施工に先立ち水平ひび割れの位置，範囲を把握する必要がある．

水平ひび割れが生じている範囲の調査としては，打音法や超音波法，電磁波レーダ，コア抜き供試体の観察などが実施されているが，まだ研究段階である．そのため水平ひび割れの範囲は複数の調査を併用するなどして慎重に行う必要がある．その位置や範囲が合理的に把握できるものであれば，新工法を採用するのもよい．

(2) 水平ひび割れ内に充填する樹脂は，先行して水平ひび割れ内部を水により洗浄した後に，樹脂を充填することから水中硬化型の樹脂を使用する．

5.2.10.3　施工と維持管理

水平ひび割れ注入工法は，床版内部の水平ひび割れ充填が適切に図れるように，適切な施工手順，材料の選定，施工および施工管理を行う．

【解説】

水平ひび割れ注入工法の標準的な手順と留意点を以下に示す(**図-解 5.2.51**)．

① 水平ひび割れ範囲の把握

水平ひび割れの発生位置や発生範囲が設計段階で詳細に把握されていない場合は，施工前に事前調査を行い水平ひび割れの発生位置や発生範囲を把握するのがよい．水平ひび割れの調査方法は **5.2.10.2 設計**を参考にするとよい．

水平ひび割れが生じている範囲を 1m 格子でマーキングし注入孔を削孔する．削孔する注入孔は 1m 格子の格子点とする．孔の径はφ28 ㎜，最大深さは床版が貫通しない 150mm 程度が適当である．

② ひび割れ洗浄

・この注入孔から水を流しひび割れ内部の洗浄を行う．

・1m 格子の注入孔毎に洗浄水がセメント分を含まない清水となることを確認する．

③ 樹脂充填工

・洗浄した 1m 格子の注入孔毎に水中硬化型エポキシ樹脂を注入し，水平ひび割れ内部を充填する．

④ 充填状況確認

・打音調査等により水平ひび割れ内部に樹脂が充填されたことを確認する．

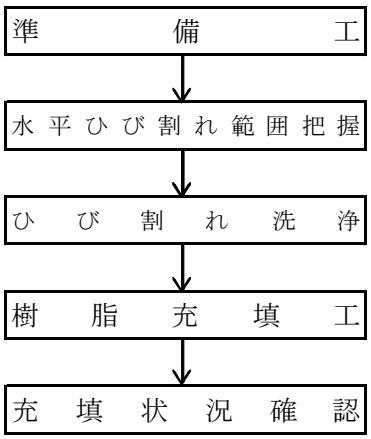


図-解 5.2.51　施工のながれ

5.2.11　部分打換工法

5.2.11.1 部分打換工法の概要

(1) 部分打換工法は，輪荷重の繰り返し作用による疲労劣化や材料劣化等による耐荷性能の低下により，局部的に供用に支障が生じた，もしくは生じる恐れがある場合に，劣化部分の撤去後に既設床版と同様の材料で，断面修復することにより床版を補修する工法である．

(2) 部分打換工法の設計・施工は，床板の点検結果に基づき，その劣化・損傷要因，劣化進行過程を適切に評価したうえで工法の適用性を検討し，実施するのがよい．

【解説】

(1) 部分打換工法は，劣化が局部的に進行した床版を補修する工法であり，劣化部分の撤去後に既設床版と同様な材料で，断面修復することにより床版を補修する工法である．この工法では既設床版の適用道路橋示方書に準拠した床版構造となることから耐荷性能，ならびに耐久性能が最新の要求レベルまでは改善されない．

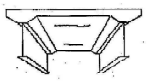
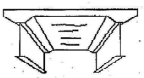
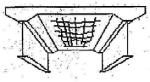
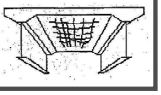
本項では，部分打換工による施工の基本的な考え方を示しており，環境条件を十分考慮したうえで本項の規定を適用することができる．

(2) 部分打換工法は，局部的な耐荷性能の低下に対して採用される対策であり，劣化床版の状態を的確に判定する必要が生じる．床板の損傷段階として「橋梁定期点検要領（案）」（国土交通省国道・防災課）[1)]による床版ひび割れの評価ランクに適用範囲を示したものを**表-解 5.2.32** に示す．局部的に，ひび割れが進展し，ひび割れ相互のすり磨き作用による角落ちが支持桁近傍まで広がっている外観状態では，耐荷性の低下により，部分的に抜け落ちが懸念されるため，補修を検討する必要が生じることになる．ただし，目視調査のみで劣化範囲の評価できないので，外観だけではなく，コアボーリングなどによる採取試料での材料試験や載荷試験を実施することで，橋梁全体の面から，床版の部分打換部分が特定の範囲に限定されていることを確認することが望ましい．

ただし，材料試験は試料採取位置のデータであることに留意し，橋梁全体を代表する位置であるかどうかを現地調査の結果などで確認する．載荷試験は大がかりな調査となるが，最近になって衝撃荷重載荷による簡便で経済的な方法も開発されており，それらの採用も視野に入れてもよい．

なお，部分打換が増加する場合は，ライフサイクルコストを考慮した際には，その供用期待年数が長期となるほど早期の対策が効果的となる．ただし，床版部分打換箇所の発生頻度によっては，信頼性及びライフサイクルコストの面から床版取替が優位となる可能性がある．

表-解 5.2.32　床版の損傷区分と適用範囲

区分	ひびわれ幅に着目した程度	ひびわれ間隔に着目した程度
a	〔ひびわれ間隔と性状〕 ひびわれは主として１方向のみで，最小ひびわれ間隔が概ね1.0m以上 〔ひびわれ幅〕 最大ひびわれ幅が0.05mm以下（ヘアークラック程度）	
b	〔ひびわれ間隔と性状〕 1.0m～0.5m，1方向が主で直交方向は従，かつ格子状でない 〔ひびわれ幅〕 0.1mm以下が主であるが，一部に0.1mm以上も存在する	
c	〔ひびわれ間隔と性状〕 0.5m程度，格子状直前のもの 〔ひびわれ幅〕 0.2mm以下が主であるが，一部に0.2mm以上も存在する	
d	〔ひびわれ間隔と性状〕 0.5m～0.2m，格子状に発生 〔ひびわれ幅〕 0.2mm以上が目立ち部分的な角落ちもみられる	
e	〔ひびわれ間隔と性状〕 0.2m以下，格子状に発生 〔ひびわれ幅〕 0.2mm以上がかなり目立ち連続的な角落ちが生じている	

5.2.11.2 設計

(1) 部分打換工法では，既設床版に及ぼす影響を把握し，必要に応じそれらも含めて安全性を確保するための設計を実施する．
(2) RC 床版，PC 床版における構造細目は適用道路橋示方書に準じて設計する．道路橋示方書に該当しない構造の細目は，示方書の保証するレベルに応じた個々に設定された仕様とする．
(3) 部分打換工法で用いられる各種材料は，品質が確かめられたものを使用する．部分打換工法では，床版防水工法を施工することを標準とする．

【解説】

(1) 部分打換部の耐荷性能は，適用道路橋示方書に準じた耐荷性能を確保できるが，例年的に劣化が進んだ既設床版と床版部分打換部分は剛性が異なるため，境界部に応力集中が生じ，構造的な弱点になる可能性がある．このため，既設床版と部分打換部との剛性が大きく異なる場合は，打ちかえ範囲をパネル単位としたり，打継目を支持桁上に配置することが望ましい．
(2) 部分打換工法の床版を設計する際には，構造細目に関しても適用道路橋示方書に準じるものとする．
(3) 部分打換工法では，現場の施工条件を考慮しながら経済性を比較し，コンクリートが使用される．セメントの種類は，規制時間の制約により選定され，早期に交通開放が必要な場合は，超速硬セメントが，7 日間以上の連続規制が可能な場合は早強セメントが用いられる．また，近年では，材令 24 時間で所定の圧縮強度が得られる超早強セメントの使用事例もある．部分打換工法は，適用示方書に準じた耐荷性能を有しており，品質も確保されることになるが耐久性を確保し，延命化を図るためにも適切な橋面防水システムを整備する必要がある. 橋面防水工法は, 現場の施工時間及び経済性の面も考慮して選定するのがよい.

5.2.11.3 施工と維持管理

(1) 部分打換工法の施工では，要求性能が満たせるように，適切な工法，材料の選定，施工および施工管理を行うのがよい.
(2) 部分打換工法の施工にあたっては，橋梁の現況だけではなく周辺環境を調査してそれらを反映させた適切な施工計画を立案する．施工計画では品質を確保するための施工管理（検査）も立案するのがよい.
(3) 部分打換工法による更新を行った床版では，供用期間を通じて適切な維持管理を行い，所要の性能を満足するように維持するのがよい．部分打換工法の維持管理では，再劣化の状態を適切に評価するのがよい.

【解説】

(1) 部分打換工では，適用道路橋示方書が保証する耐荷性能，耐久性能などの要求性能を満たせるように，施工方法を選定し材料選定ならびに検査を行うのがよい.
(2) 施工計画は，品質を確保するために必要なものであり，適用する橋梁の諸元のみならず周辺環境も加味して立案することが大切である．施工計画で検討すべき内容を列挙すると以下のものとなる.
    ・施工の目的
    ・施工対象の概要と周辺環境
    ・施工工期
    ・使用材料と規格値
    ・施工体制
    ・施工手順

・現場での検査項目・検査手法と確保すべき基準値

図-解 5.2.52 に部分打換の一例として，ウォータージェットはつり工を用いた場合の標準的な施工フローを示す．

以下に本工法の施工上の留意点を示す．

1) 打音調査

舗装面及び床版下面の点検結果で事前に床版部分打換を施工計画が作成される．舗装撤去後は，打音調査を行い，施工範囲を特定する．施工範囲が大規模になった場合は，工事時間内で実施できるか決定する必要がある．部分床版打換が残された部分は仮舗装を行い，別工事として計画するのがよい．

2) 劣化床版の撤去

劣化床版の撤去では，ブレーカによる手はつりとウォータジェット工法が用いられる．ウォータージェット工法の場合は，はつりガラが飛散しないように床版下面に鉄板を固定し，養生を行う．ウォータージェットを行う際に使用する水もシートを用いて集水できるよう養生を行う．また，作業が路面から行われるため，鉄筋下部にコンクリートが付着することが考えられるため，型枠設置前に，床版下面から鉄筋に付着したコンクリートを除去する必要がある．

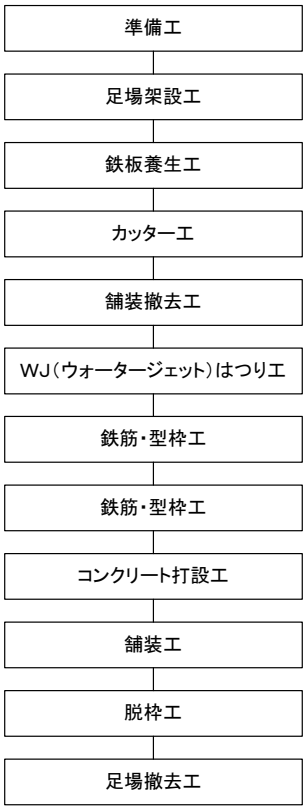


図-解 5.2.52　施工フローの一例

3) 既設床版との境界部

既設コンクリートにコンクリート粉が付着した状態で，コンクリートが打設されると，輪荷重による繰返しで付着性能が低下し，新旧コンクリートの境界面が剥離しやすくなる．このため，付着性能を高めるプライマー，接着剤が塗布される事例が増えている．

(3) 部分打換工法による補修済み床版の維持管理では，一般的な新設橋梁と同様に点検による維持管理が行われることになる．打換え部と既設床版との境界部は構造的な弱点となりやすいため，再劣化の起点となるため，境界部を重点的に点検する．点検結果の判定では，**表-解 5.2.32** に示す床版の損傷区分と適用範囲を基本と するが，漏水状況が増加傾向にある場合は再劣化に対して補修の必要性を検討する．

【参考文献】

1) 国土交通省　国道・防災課：橋梁定期点検要領（案），平成 16 年 3 月

5.2.12　床版取替工法

5.2.12.1　概要

(1) 床版取替工法は，輪荷重の繰り返し作用による疲労劣化や材料劣化等による耐荷性能の低下により供用に支障が生じた，もしくは生じる恐れがある場合に床版を更新するために採用される工法である．
(2) 床版取替工法の設計・施工は，点検結果に基づき劣化・損傷要因，劣化進行過程を適切に評価したうえで実施するのがよい．

【解説】

(1) 床版取替工法は，劣化が進行した床版に対する最も効果的でかつ抜本的な対策工法であり，劣化床版の撤去後に新設橋梁と同様な場所打ち工法やプレキャスト床版を架設することにより新規に床版を構築する工法である．この工法では現行の道路橋示方書に準拠した床版構造となることから耐荷性能，ならびに耐久性能が最新の要求レベルに改善されることになる．しかしながら支持桁を継続使用することが多いため，橋梁全体の耐荷性については支持桁に加え，下部構造を含めて検討する必要が生じる．

(2) 取替用床版には，以下に示す種類があり，現場の施工条件を考慮しながら経済性を比較し，個々に最適な工法が選定されている．なお，輪荷重走行試験による性能照査での製品開発が活発に行われており，鋼・コンクリート合成床版を中心に数多くの取替用床版が市場に供給されている．

・場所打ち RC・PC 床版
・ハーフプレキャスト床版　－　PC 埋設型枠
　ハーフプレファブ床版　－　鋼・コンクリート合成床版
・フルプレキャスト床版　－　RC 床版，PC 床版
　－　鋼床版

これらの各種取替用床版を，施工条件を考慮して適切に選定し，適用することが重要である[1)]．

床版取替工法の適用に当たっては，点検結果に基づき劣化･損傷要因，劣化進行過程を適切に評価したうえで工法の適用性を検討する必要がある．劣化の程度に応じた適用範囲は 3 章を参照のこと．

本工法の適用に当たっては，一般的な点検では耐荷性能は評価できないことから，コアボーリングなどによる採取試料での材料試験や載荷試験を実施することで，より精度の高い判定を実施することが望ましい．

留意点として，材料試験は試料採取位置のデータであることから，全体を代表する位置であるかどうかを現地調査の結果などで確認する．載荷試験は大がかりな調査となるが，最近になって衝撃荷重載荷による簡便で経済的な方法も行われており，それらの調査法の採用も検討するとよい．

なお，床版の性能が現行の耐荷性レベルに改善されることからライフサイクルコストを考慮した際には，その供用期待年数が長期となるほど早期の取替対策が効果的となる．ただし，対策を施す時点のコストが増大化するので，軽微な補修・補強による延命化を図ることで取替費用の調達期間を確保することも考慮する場合が生じる．

5.2.12.2 床版取替工法の設計

(1) 取替床版の設計は，道路示方書に規定されている耐荷性能に加えて，施工方法を考慮することで完成後の床版が所要の耐久性能を確保できるようにすることを目的に実施する．

(2) 床版取替工法では，支持構造に及ぼす影響を把握し，必要に応じそれらも含めて安全性を確保するための設計を実施する必要がある．

(3) 床版取替工法では，RC 床版，PC 床版における構造細目は最新の設計基準などに準じて設計する．基準などに該当しない構造の細目は，基準などの保証するレベルに応じて個々に設定された仕様とする．

(4) 床版取替工法で用いられる各種材料は，品質が確かめられたものを使用し，以下の点に留意するのがよい．

・床版取替工法で取替床版の連続化や支持桁との固定に用いられる材料は，品質が確かめられたものを使用する．

・取替床版上面には，防水層を設置する．

・補強鋼材が露出する構造では，必要に応じて鋼材の防食を施すのがよい．

【解説】

(1) 取替用床版の構造は，最新の設計基準に準じた構造での設計が可能である．なお，架設方法により床版を分割する際の接合部分など，構造的な弱点が避けられない場合でも道路橋示方書が保証する性能を保持するように配慮する必要がある．ただし，特殊な構造などで実験による確認で疲労耐久性が確認されている場合にはそれを採用してよい．ここでいう実験による確認とは輪荷重走行試験による走行疲労試験で耐久性を評価すること等を指す．

床版取替の設計では，その計画の際の検討項目が多方面に影響する．**表-解 5.2.33** に計画の対象とその影響範囲を示す．表によれば検討すべき内容が単独ではなく，それぞれが互いに影響していることが判る．

表-解 5.2.33　計画の対象と影響範囲

計画の対象	内　容	影響する範囲
支持桁	平面形状（斜桁，曲線桁）	床版種類，床版パネルの割付け，連結方法，交通規制
	支持桁の種類（合成，非合成）	固定方法，支保工，交通規制
	耐荷性	床版種類，補強
交通規制（施工時間）	全面通行止め	支持桁
	一時交通解放	床版種類，支持桁，橋面高さ，路面段差
撤去および架設方法	取り壊し	支持桁，運搬，撤去，交通規制，産廃処理
	据え付け	支持桁，運搬，架設，交通規制
仮設構造物	支保工	支持桁，足場，建築限界，河積阻害
	足場	建築限界，河積阻害

(2) 床版の取替では，既設の支持桁を継続使用することが多く，その際には支持桁の種類や耐荷性が計画に際しての重要な検討項目となる．支持桁を補強する際には，その補強時期や荷重状態の変化なども考慮する必要がある．施工時の交通条件の制約から取替中に交通仮開放が必要となる場合も生じる．その際に支持桁が合成桁である場合には，主桁支間中央付近に仮設ベントなどの支保工を設置するなどの対策が必要となる．支保工を設置した場合には，完成後の構造系が死活荷重合成桁となる場合もあり，それを考慮し

た設計が必要となる．なお，既設橋梁の構造が 3 主桁の合成鈑桁である場合には，既設床版撤去時の中桁の合成断面が減少することから交通開放化での施工が最も困難となるため，特に入念な計画が必要となる．

なお，床版重量が増加する場合には，下部工にも影響を及ぼすので耐震性などに問題がないかを確認する必要がある．

(3) 最新の設計基準などに規定のある構造で取替用床版を設計する際には，構造細目に関しても最新の設計基準などに準じるものとする．ただし，鋼・コンクリート合成床版などでは個々に構造細目が設定されており，それらを採用する際にはそれぞれの設定に準じて設計を行う．

(4) 床版取替工法では，コンクリートや補強鉄筋のほかに工法の種類に応じて鋼板や形鋼，FRP も用いられることがある．何れも床版を構成するための主要な材料であることから，品質が確認されたものを使用する必要がある．鋼・コンクリート合成床版では，底鋼板が露出することになる．よって鋼板には必要に応じて鋼橋と同様に表面保護を実施する．その際には，鋼道路橋塗装・防食便覧（日本道路協会）を参考にするとよい．

5.2.12.3 施工と維持管理

(1) 床版取替の施工では，要求性能が満たせるように，適切な工法，材料の選定，施工および施工管理を行う．

(2) 床版取替の施工にあたっては，橋梁の現況だけではなく周辺環境を調査してそれらを反映させた適切な施工計画を立案する．施工計画では品質を確保するための施工管理（検査）も立案する．

(3) 床版取替工法による更新を行った床版では，供用期間を通じて適切な維持管理を行い，所要の性能を満足するように維持することが望まれる．床版取替工法の維持管理では，再劣化の状態を適切に評価する必要がある．

【解説】

(1) 床版取替施工では，最新の設計基準などが保証する耐荷性能，耐久性能などの要求性能を満たせるように，施工方法を選定し材料選定ならびに検査を行わなければならない．なお，施工時間に制約を受ける際には工法選定にも影響を及ぼすことから入念な検討が必要となる．

(2) 施工計画は，品質を確保するために必要なものであり，適用する橋梁の諸元のみならず周辺環境も加味して立案することが大切である．施工計画で検討すべき内容を列挙すると以下のものとなる．

- 施工の目的
- 施工対象の概要と周辺環境
- 施工工期
- 使用材料と規格値
- 施工体制
- 施工手順
- 現場での検査項目
- 検査手法と確保すべき基準値

床版取替工の施工現場での検査項目としては，プレキャスト床版の工場製作時ならびに現場施工における品質と仕上がり精度などの出来形が必要となる．品質証明が得られる材料でも現場での使用状況に応じて品質試験を実施することが耐久性の観点からも有効であることから，積極的な確認が望まれる．

図-解 5.2.53 に，床版取替の一例としてフルプレキャストのコンクリート床版における標準的な施工フローを示す.

施工上の留意点を以下に示す.

1) 原寸計測

原寸計測では，支持桁の施工精度を把握し，その出来形形状に合わせた取替床版の施工が必要となる．その際には，撤去・架設に障害となる架空線などの制約条件にも配慮する必要がある.

2) 劣化床版の撤去

劣化床版の撤去では，交差条件によりコンクリート片の落下を最小限にしなければならない場合も少なくない．**図-解 5.2.54** は，劣化床版をはつり作業無しに撤去する反力ビームと油圧ジャッキを組み合わせた支持桁とのはく離機材による作業状況である．この方法では，事前にロードカッターで撤去に適した形状に切断する必要があり，その際の水処理も計画することになる．近年，無水切断による撤去方法も開発されており，都市部で実績を有している.

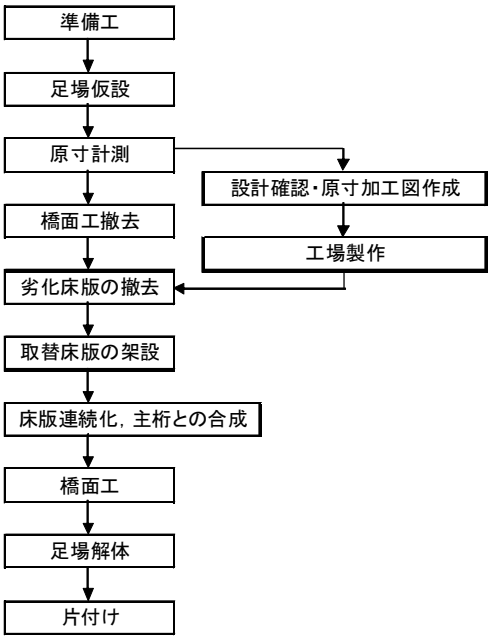


図-解 5.2.53　施工フローの一例
（フルプレキャストのコンクリート床版）

3) 取替床版の架設

取替床版の架設では，一般にラフテレーンクレーンが用いられているが，クレーンを設置するスペースがない場合やトラス橋など上空に制限を受ける際には，組み立て式のクレーンが適用された例がある（**図-解 5.2.55**）.

(3) 床版取替工法による更新済み床版の維持管理では，一般的な新設橋梁と同様に点検による維持管理が行われることになる．取替床版に鋼・コンクリート合成床版を採用した場合でも，橋梁定期点検要領に準じた点検を行うことで，劣化の進行が把握できることになる.

図-解 5.2.54　撤去床版の支持桁とのはく離用機材

図-解 5.2.55　組立式クレーンによる取替床版の仮設

【参考文献】

1) Tatsuo OGATA，Yasuo FUKUNAGA，Shigeyuki MATSUI:　RECENT BRIDGE DECK REPLACEMENT AT EXPRESSWAYS UNDER SEVERE ENVIRONMENT IN JAPAN，8th JSBM, 2011.10

付録

《付録１》道路橋の維持管理における本マニュアルの背景と概要

１．我が国における道路橋の維持管理の現況と課題

我が国における道路橋の維持管理は，現在，国土交通省の社会資本整備重点計画 [1)]における既存ストックの効率的活用という施策に基づいて，高速道路から市町村道に至るすべての橋梁に対し，定期点検に基づく早期発見，早期補修による予防保全を計画的に実施することにより長寿命化を実現する施策として，推進されている．このため，道路管理者である国土交通省や地方公共団体では，現在，長寿命化修繕計画を策定，または策定中であり，第 2 次社会資本整備重点計画の道路整備事業における全国道路橋の長寿命化修繕計画の策定率は，平成 19 年度で 28% ，24 年度で概ね 100%とする指標が設定されている．

地方公共団体では，長寿命化修繕計画策定事業（補助事業）における策定期限が，都道府県及び政令市が平成 23 年度，その他の市町村が 25 年度までである．そのため，現時点では，ほとんどの地方公共団体で，管理する道路橋に対する一通りの点検が完了し，計画がほぼ策定されつつある．今後，道路管理者は，この長寿命化修繕計画に基づき，個別道路橋の損傷状況を詳細に把握し，適切な補修・補強工法の選定や最適な補修費用の算出により，維持管理の実務で行う中長期的な維持管理計画を作成し，補修・補強工事の予算要求を行う段階となっている．

この維持管理計画を実際に策定するには，現状の道路橋における損傷状態の調査結果から，個別の劣化・損傷要因を把握することが必要であり，その調査結果に基づく適切な工法選定が必要となる．しかしながら，採用した工法の費用対効果の検証が十分でないことも考慮すると，すぐに長寿命化修繕計画の効果（中長期的なライフサイクルコストの最小化など）を計ることは現状では困難と考えられる．したがって，今後は，継続した道路橋の維持管理に関するデータ収集が重要であり，今後，長寿命化修繕計画と維持管理の実務をどのように検証し，点検データの精度向上や維持管理履歴をどう活用するかなどが課題となると考えられる．

また，実際に道路橋の維持管理を実施していくには，法令等に基づき整備すべき台帳等や設計図書（設計図，設計計算書，数量計算書等）あるいは竣工図書（竣工図，竣工調書等）などの基本的な諸元データの整備・保存・管理・活用が重要である．しかしながら，総務省の調査 [2)]では，「建設当時の資料がない」，「記載内容を精査していない」などの理由により法令台帳等の必要事項が整備されてなかったり，橋梁設計図書の保存期間の規定が明確でないため既に破棄されていたり紛失したりしていることが確認されている．こうした状況のため，今後，橋梁の長寿命化を推進していく際，図書の整備や復元設計などに余分な経費，時間，および労力を要し，業務に支障が出ることが危惧される．

また，同調査において，点検要領は各管理者にて作成されているが，点検の種類，頻度，点検項目，対策区分等が定められていないなど，管理者によって違いがあり，実施されている点検内容も，点検要領等に基づく定期点検ではなく，職員が道路パトロールなどに併せて簡易な車上目視点検のみで済ませている場合や，管理するすべての道路橋を対象としていないなどの現状があり，点検方法，点検内容等が不十分となっている状況が確認されている．点検結果は，維持・補修等の計画を立案する上で参考とする基礎的な情報であり，適切な方法で記録し，蓄積しておかなければならないものである．しかし，実際に行われている点検は，そのように精度の高いものとなっていないのが現状である．また，点検結果に基づく予防保全や補修などの実施状況についても，必要な対策が適切に実施されていない状況が確認されている．こうした事態の主な理由として，財政的な困難，維持管理を実施するための技術や知識の不足，人員不足，あるいは維持管理の実施の必要性について認識不足という状況が挙げられている．

こうした状況の中で，国土交通省では，近年，管理する道路橋において重大事故につながりかねない損傷

が発生したことなどの事故を契機に，平成 19 年 10 月に，橋梁工学の専門家からなる「道路橋の予防保全に向けた有識者会議」を設立し，計４回の会議により検討を進め，平成 20 年 5 月 16 日に「道路橋の予防保全に向けた提言」[3]を取りまとめている．

その中で道路橋の予防保全を実現する５つの方策が提言されており，その具体的な内容は，下記のとおりである．

①点検の制度化：すべての道路橋で点検を実施

②点検及び診断の信頼性確保： 技術基準，資格制度，人材育成を充実

③技術開発の推進：信頼性を高め，負担（労力，コスト）を軽減する技術開発を推進

④技術拠点の整備：損傷事例の集積と発信，高度な専門技術者の育成

⑤データベースの構築と活用：効率的な維持管理とマネジメントサイクルの確立

この提言は，道路橋の維持管理において，道路管理者が，「見ない」，「見過ごし」，あるいは「先送り」という傾向となっている維持管理の現状を打破し，劣化や損傷をそのまま放置すると重大な事故につながる橋が増大することによって人命の危険, 社会的損失, あるいは膨大な費用発生の可能性を示唆することにより，この事態を回避するための方策を示すものである．

２．道路橋の計画的管理に関する調査研究の現況―橋梁マネジメントシステム（BMS）－

国土技術政策総合研究所　道路構造物管理研究室は, 増大する道路橋資産の管理を計画的に行うため,「道路橋の計画的管理に関する調査研究―橋梁マネジメントシステム（BMS）－，国総研資料 523 号，H21,3」[4]において，アセットマネジメントシステムに用いる健全度（劣化）予測等の手法について提案している．その中の道路橋の維持管理に係る留意すべき事項を以下に紹介する．

(1) アセットマネジメントに関する留意事項

アセットマネジメントでは，将来の道路橋の健全度を如何に精度良く予測するかが課題であるが，健全度予測は各方面で研究が実施されているものの，現状では，精度などの点で多くの課題が残されている点に留意する必要がある．

(2) 橋梁の現状評価方法

橋の機能状態などの１次診断において，全ての橋の状態を実際に確認し，適切に判断する専門的な技術者が配置されていない道路管理機関にとっては，維持管理対策に対する適切な意思決定を行うことは困難と考えられる．すなわち，１次診断で問題無いとされた場合，管理者が結果に疑いを持つ可能性は極めて低いといえる．

このため，国土技術政策総合研究所では，既往の点検結果とその活用に関する課題などの分析を行い，損傷の大きさなどの客観的事実を「損傷程度の評価」として記録し，適当な技術者によって橋や構造の機能状態に関する１次的診断として「対策区分の判定」を行う手法を提案し，平成 16 年の点検要領において改訂した．

本システムにおける劣化予測では，客観的評価である損傷程度の評価を用いている．これは、対策区分の判定は，重要度などの部材の重みや今後の劣化見込みなどの技術的な判断を加味したもので，既にある程度将来予測も含んだ評価であり, 機能状態などの性能との関わりにおける対策などについての定性的評価よる管理者の助言として運用されているためである。

(3) 橋梁マネジメントシステム（BMS）の開発目標

将来の状態予測を行い最適な管理計画の策定を支援するツールとして BMS があり，国の管理する道路橋でミクロ，マクロ双方のマネジメントへの活用を目標に開発が進められてきた．しかしながら，本手法

はマクロな推計・予測には活用できるものの，実際の道路橋の維持管理では，①橋のパフォーマンスを支配する損傷の多くが局部的なもの，②劣化の進行程度にはミクロな環境や構造の条件が支配的な影響をもつこと，③目視が主体の点検で得られているデータのみでは損傷の状態が正確に把握できていないなどの課題から，個別橋に対する適切なミクロ管理に必要な精度が得られていないのが現状である．したがって，個々の橋梁に適用する際は，この限界を理解した上で，「既に劣化が進行している橋梁や将来深刻な状態となる可能性が高い橋梁」，の抽出や，「補修時期の検討やそれらを見逃さないため」の参考情報として，本システムを活用するのがよいと考えられる．すなわち，維持管理計画の策定には，BMS のデータに基づく定量的・客観的評価に加えて，専門家等の知見による定性的・総合評価が欠かせないことを十分に認識することが重要である．**図-付 1.1** に維持管理の実務への BMS の導入に際しての位置付けを示す．

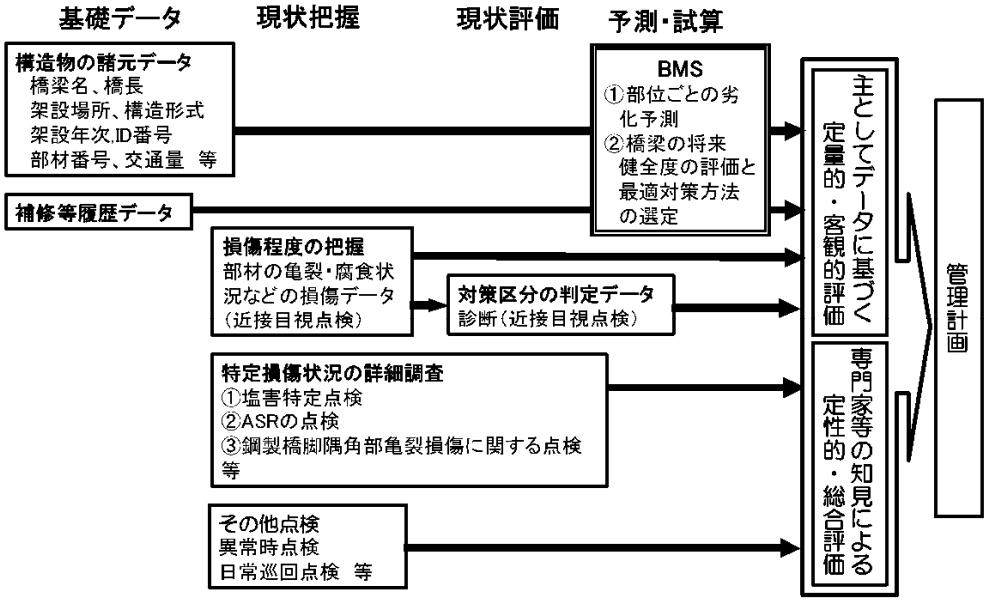


図-付 1.1　維持管理実務への BMS 導入の位置付け [4)]

３．社会資本の維持管理及び更新に関する行政評価・監視 －道路橋の保全等を中心として－

総務省から平成 22 年 2 月 5 に国土交通省，農林水産省へ勧告された「社会資本の維持管理及び更新に関する行政評価・監視　－道路橋の保全等を中心として－　結果に基づく勧告」[2)]について以下に紹介する．

(1) 調査内容

この調査は，社会資本のうち道路橋，農道橋及び林道橋の効率的な維持管理の推進及び安全性・信頼性確保の観点から調査が行われた．

○本行政評価・監視は，①道路橋，農道橋及び林道橋のアセットマネジメントを推進する観点から，ライフサイクルコスト（以下 LCC という）を効果的に縮減するための事業の実施状況，②道路橋等の安全性及び信頼性を確保する観点から，定期点検及び補修等の実施状況を調査

○調査対象：国土交通省，農林水産省，地方整備局(10)，国道事務所等(14)，道府県(9)，市町村(26)

(2) 調査結果

調査の結果，①LCC の縮減効果の把握が不十分，②定期点検・補修等の実施が不十分，③橋梁の維持管理に必要な基礎データの整備が不十分などの課題が指摘されている．

（主な勧告事項）

1)橋梁アセットマネジメントの取組（長寿命化対策）の推進

a) 道路橋における長寿命化対策の推進

①直轄道路橋の中長期的なLCCの最小化を図るため，引き続き点検データの収集・蓄積を行い，確度の高い劣化予測や最適な補修工法の選定等が可能となるよう橋梁マネジメントシステムの高度化を図ること．

②地方公共団体と連携・協働し，長寿命化修繕計画による効果(LCC の縮減効果等)を算出するための手法等の検討を進めること．

b) 農道橋及び林道橋における長寿命化対策の取組の推進

2) 橋梁の安全性及び信頼性の確保

a) 維持管理のための環境整備

b) 点検・補修等の適切な実施

①直轄道路橋を適切に維持管理するため，道路台帳（橋調書）の整備等を徹底すること．

②道路橋の効率的な維持管理のため，地方公共団体と連携し，橋梁のデータベース化などの検討を行った上で必要な情報の共有化を図ること．

③地方公共団体における定期点検等の実施を促進するため，点検方法，損傷に関する知識の習得などの技術支援を行うこと．

以上の内容について，本行政評価・監視では，定期点検及び補修等の実施状況を調査し，関係行政の改善を資するため勧告がされている．

この提言や勧告を維持管理の実務において実現するには，時間と経験を要するため，個々の道路管理者においては，職場環境・維持管理水準が異なる中で取り組みにくい課題ではあるが，早急に実現しなくてはならない課題であると考えられる．

また，総務省では、この勧告に対し，国土交通省及び農林水産省からの回答を受け，講じた改善措置のその後の改善状況を取りまとめた「社会資本の維持管理及び更新に関する行政評価・監視－道路橋の保全等を中心として－の勧告に伴う改善措置状況（2回目のフォローアップ）」[5)]が総務省ホームページにて平成23年12月13日から公表されている．

４．道路橋の維持管理における本マニュアルの位置づけと活用方法

道路の種類には，道路法の道路のほかに，港湾法の道路，道路運送法の道路，公園道・園道，農道，林道，里道，私道などがあり，道路法で定める道路の種類は，高速道路国道，一般国道，都道府県道，市町村道がある．主な道路管理者は，国土交通大臣，都道府県（政令市），市町村などである．有料道路では，道路整備特別措置法での道路管理者の権限代行により有料道路事業者（高速道路会社，地方道路公社など）が本来道路管理者に代わって建設，改築，維持，修繕などを行っている．また，道路法第42条には，道路管理者は道路を常時良好な状態に保つように維持，修繕し，もって一般交通に支障を及ぼさないように努めなければならないと規定されている．

こうした状況の中，道路橋の維持管理を行う際，各道路により環境条件（交通量，路下条件など）や管理水準（予算，点検頻度，技術力など）に違いがある．例えば，有料道路は料金徴収により維持管理を行っているため通常の道路と比べると高水準に管理されているが，都市部と地方部では交通量や通行車両の車種の違いにより劣化進行速度が異なるなど，道路橋の維持管理を行う環境も多岐にわたる．

本「道路橋床版の維持管理マニュアル」は，国道，都道府県道，市町村道，有料道路などの道路管理者を対象とし，道路橋の維持管理において第三者被害に対する影響度が高く，通行止めや架け替えなどの際の交

通障害に対する影響が大きい重要な部材である床版に対し，効率的な維持管理を行っていく際のマニュアルとして取りまとめたものである．以下に維持管理の実務における現状と課題，本マニュアルの位置付け，および活用方法などについて述べる．

道路橋の維持管理における実務では，車両走行の安全性確保と第三者被害の防止に努めるとともに，道路の交通機能を保持するため，現状を把握するため点検を実施し，必要があれば適切な補修を行って，道路を健全な状態に保つ責務がある．こうした要求に対し，道路橋床版は，道路橋の維持管理において重要度の高い部位であるが，上面は舗装に覆われているため損傷状態や劣化・損傷要因を把握することが容易でない．また，床版下面は，近接目視点検によりひび割れ，遊離石灰などの客観的な損傷は点検できるが，深刻な損傷の多くは，劣化・損傷要因が上面からの影響が大きく，損傷進行状況を詳細に把握することは厳しい状況である．さらに，近年は，RC 床版の補修補強工事により鋼板や炭素繊維シートなどの保護層に覆われることや，合成床版などの新たな床版では鋼板に覆われる形状が増え，実務において損傷進行状態の把握することが困難な状況となっている．今後，予防保全の考えに立った効率的な維持管理を行うには，点検を的確に行い損傷状況を正確に把握し劣化状態を評価する，より高い技術・知識が求められると考えられる．

そこで，本マニュアルは，道路橋の維持管理における道路橋床版の重要性に着目するとともに，環境条件や管理者の如何に関わらず，道路橋床版の維持管理の実務で活用できるマニュアルを目指し，以下に示す方針に沿ってとりまとめたものである．

(1) マニュアルの基本方針

本マニュアルは，国道，県市町村道，有料道路事業などの道路管理者を対象としているため，多くの道路管理者が準拠している国の点検要領を基本としている．特に，点検～補修までの維持管理の流れにおいて，点検結果に対し損傷度の評価と対策区分の判定の２段階で判定を行うこととしている．

(2) マニュアルの独自性

本マニュアルでは，道路管理者における点検種別，損傷評価，運用方法などの違いを考慮し，道路橋床版の維持管理を効率的かつ合理的に実施するため，国の基準に対し日常点検を含めた運用とし，対策区分の判定では，７区分を５区分の評価ランクへ簡略化している．また，損傷度の評価項目は，床版の上面（舗装を含む），下面，および床版種類毎に着目して設定している．

さらに，本マニュアルでは，床版の点検から補修実施に至る維持管理の実務に対応するため，損傷度の評価，あるいは，劣化・損傷要因と劣化進行過程を踏まえた健全性評価に基づいて，適切な対策工法の選定が行えるよう配慮した．

５．道路橋の維持管理に関する参考資料

現在国土交通省のホームページ [6]に掲載されている前節までの道路橋の維持管理に関する統計データを以下に紹介する．なお，地方公共団体の橋梁点検および長寿命化修繕計画策定に関する詳細な資料は，国土交通省「URL　http://www.mlit.go.jp/road/sisaku/yobohozen/yobohozen.html」のサイト内の‘関連データ‘を参照のこと．

(1) 日本の橋梁の現況（平成 21 年 4 月 1 日調査）

・我が国の橋梁（15m以上）は約 15 万橋（152,000 橋）.

・全国の道路橋における築後 50 年以上割合は 8%存在.

10 年後には 26%，20 年後には 53%.

・自治体管理の道路橋における築後 50 年以上の割合は 9%存在.

10 年後には 27%，20 年後には 54%.

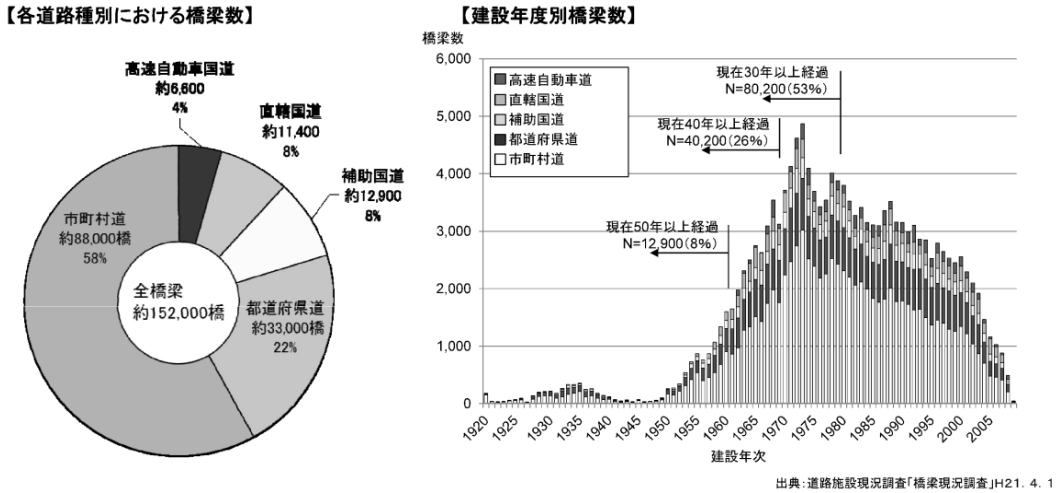


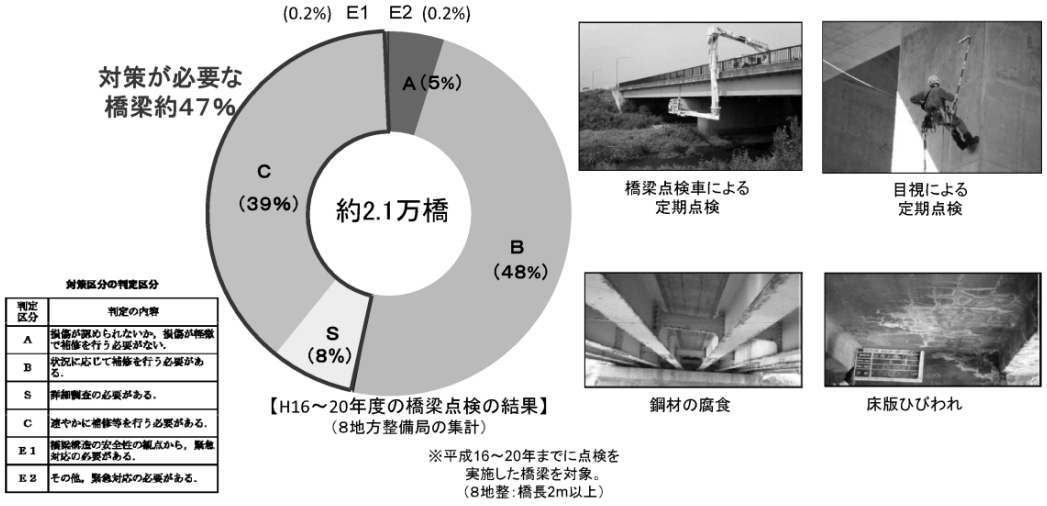
図-付 1.2　日本の橋梁の現況

(2) 橋梁点検の状況

1) 直轄国道

・直轄国道では，5 年に 1 回の頻度ですべての橋梁で定期的な点検を実施し，対策区分を判定.

・約 5 割の橋梁で重度な損傷を発見，5 年以内に計画的に補修実施.



対策区分の判定区分

判定区分	判定の内容
A	損傷が認められないか，損傷が軽微で補修を行う必要がない.
B	状況に応じて補修を行う必要がある.
S	詳細調査の必要がある.
C	速やかに補修等を行う必要がある.
E1	橋脚構造の安全性の観点から，緊急対応の必要がある.
E2	その他，緊急対応の必要がある.

図-付 1.3　橋梁点検の現況と点検結果

2)　地方公共団体

a) 橋梁点検の状況（平成 24 年 4 月現在）

・地方自治体 1,762 団体のうち，点検（定期点検及び緊急点検を含む）を実施している自治体は，H23.4 時点で 1,377 団体（78%）.

○都道府県：　47 団体のうち，全自治体で実施　（100%）

○政 令 市 ：　19 団体のうち，全自治体で実施　（100%）

○市区町村：　1,696 団体のうち，1,311 団体で実施（77%）

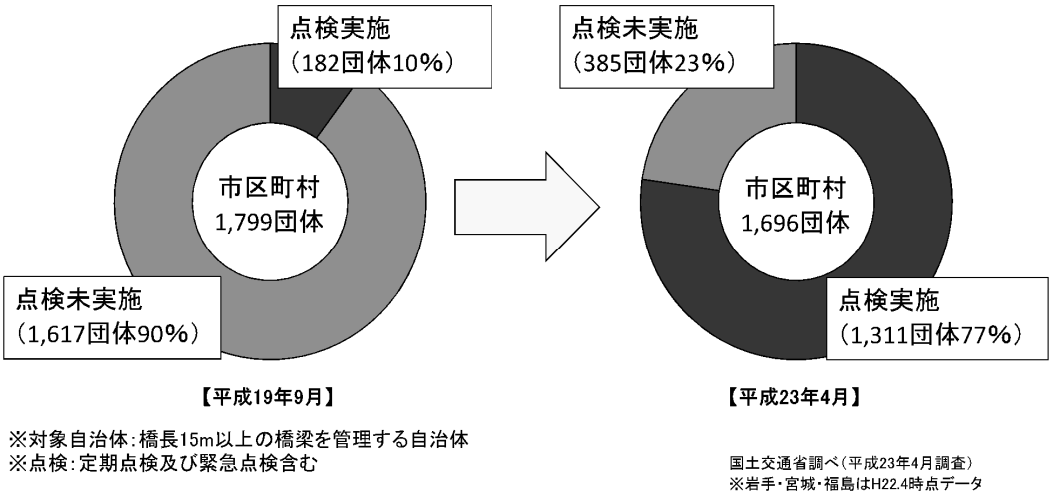


図-付 1.4　地方公共団体における橋梁点検の実施状況

b) 通行規制状況（平成 24 年 4 月現在）

・平成２０年４月時点で，地方公共団体が管理する橋長 15m 以上の橋梁で

通行止め 121 橋 通行規制 680 橋

・今般とりまとめた平成２３年４月時点の状況では

通行止め 172 橋 通行規制 1,1129 橋 と増加

表-付 1.1　橋梁の通行規制の実施状況

＜H20.4月時点＞

	橋梁数	うち都道府県管理道路	うち市区町村管理道路（政令市含む）
通行止め	143	4	139
	121	4	**117**
通行規制	834	94	740
	680	80	**600**

＜H23.4時点＞

	橋梁数	うち都道府県管理道路	うち市区町村管理道路（政令市含む）
通行止め	216	17	199
	172	16	**156**
通行規制	1,658	133	1,525
	1,129	115	**1,014**

※通行規制には、損傷・劣化による規制の他、古い設計等による重量規制等も含む

※上段：橋長2m以上の橋梁数　下段：橋長15m以上の橋梁数

※岩手・宮城・福島はH22.4時点データ

(3) 長寿命化修繕計画　策定状況（平成 23 年 4 月現在）

全国の道路橋における長寿命化修繕計画の策定状況は 23 年 4 月時点で 63%．そのうち，地方公共団体における策定状況は，53%

○都道府県：　策定率 93%　（47 団体 46,513 橋のうち、47 団体 44,678 橋で策定）

○政 令 市 ：　策定率 83%　（19 団体 8,504 橋のうち、19 団体 7,061 橋で策定）

○市区町村：　策定率 27%　（1,696 団体 84,504 橋のうち、458 団体 22,423 橋で策定）

表-付 1.2　地方公共団体における長寿命化修繕計画の策定状況

※ 策定率 ＝ 計画策定橋梁数／橋梁15m以上の管理橋梁数
岩手県・宮城県・福島県は、平成22年4月時点のデータ

全国道路橋の
長寿命化修繕計画策定状況

	直轄国道	有料道路	地方公共団体管理道路	総計
策定率	100%	100%	53%	63%

都道府県別内訳

橋長15m以上の全国道路橋における長寿命化修繕計画策定率について、平成24年度末までに概ね100%とする目標を設定
（社会資本整備重点計画H21.3閣議決定）

地方公共団体における
都道府県別長寿命化修繕計画策定状況

No.	都道府県名	都道府県	政令市	市区町村	計
1	北海道	98%	47%	11%	38%
2	青森県	100%		40%	66%
3	岩手県	100%		21%	46%
4	宮城県	100%	93%	0%	39%
5	秋田県	100%		43%	64%
6	山形県	98%		7%	44%
7	福島県	100%		9%	40%
8	茨城県	99%		3%	34%
9	栃木県	95%		28%	54%
10	群馬県	99%		27%	50%
11	埼玉県	100%	100%	4%	38%
12	千葉県	100%	100%	8%	42%
13	東京都	97%		47%	66%
14	神奈川県	100%	99%	1%	64%
15	山梨県	100%		30%	60%
16	長野県	98%		27%	50%
17	新潟県	100%	100%	32%	64%
18	富山県	100%		21%	59%
19	石川県	92%		54%	71%
20	岐阜県	100%		41%	62%
21	静岡県	99%	25%	17%	36%
22	愛知県	100%	100%	17%	51%
23	三重県	98%		22%	51%

No.	都道府県名	都道府県	政令市	市区町村	計
24	福井県	100%		28%	59%
25	滋賀県	66%		9%	31%
26	京都府	100%	100%	25%	61%
27	大阪府	97%	97%	24%	70%
28	兵庫県	93%	100%	24%	51%
29	奈良県	99%		20%	49%
30	和歌山県	100%		34%	59%
31	鳥取県	98%		42%	65%
32	島根県	100%		13%	42%
33	岡山県	100%	89%	59%	75%
34	広島県	100%	100%	42%	68%
35	山口県	35%		38%	37%
36	徳島県	100%		62%	76%
37	香川県	60%		80%	73%
38	愛媛県	100%		68%	80%
39	高知県	68%		12%	32%
40	福岡県	100%	100%	15%	56%
41	佐賀県	100%		35%	58%
42	長崎県	92%		83%	86%
43	熊本県	100%		60%	75%
44	大分県	100%		11%	39%
45	宮崎県	100%		21%	50%
46	鹿児島県	99%		32%	58%
47	沖縄県	100%		29%	63%
総計		96%	83%	27%	53%

6．わが国における道路の種類と道路管理者

以下にわが国の道路法における道路の種類と道路管理者，有料道路事業者，道路構造令における道路の区分を紹介する．

表-付 1.3　道路法で定める道路管理者 [7)]

道路の種類		道路管理者
高速自動車国道		国土交通大臣
一般国道	直轄国道（指定区間）	国土交通大臣
	補助国道（指定区間外）	都府県（政令市）
都道府県道		都道府県（政令市）
市町村道		市町村

表-付 1.4　道路構造令で定める道路の区分

地域の存する地域 ／ 高速自動車国道及び自動車専用道路又はその他の道路の別	地方部	都市部
高速自動車国道及び自動車専用道路	第１種	第２種
その他の道路	第３種	第４種

※　道路構造令第 3 条第 2 項により，道路の区分は，道路の存する地域の地形及び計画交通量によって「種」毎に「級」により分類され，第 1 種は第 1～4 級まで，第 2 種は第 1～2 級まで，第 3 種は第 1～5 級まで，第 4 種は第 1～4 級まで分類されている．詳細な内容は，道路構造令を参照．

表-付 1.5　道路法の対象となる有料道路の種類と事業主体 [7)]

事業主体	有料道路の種類
東日本高速道路株式会社 中日本高速道路株式会社 西日本高速道路株式会社	高速自動車国道
	一般有料道路 （一般国道，都道府県道，指定市道）
首都高速道路株式会社 阪神高速道路株式会社 指定都市高速道路公社 （名古屋，福岡，北九州，広島）	都市高速道路 （都道府県道，指定市道）
本州四国連絡高速道路株式会社	本州四国連絡高速道路 （一般国道）
地方道路公社	一般有料道路 （一般国道，都道府県道，市町村道）
地方公共団体	一般有料道路 （一般国道，都道府県道，市町村道）
	有料橋，有料渡船施設 （都道府県道，市町村道）

注）高速道路会社が事業を営む道路は独立行政法人日本高速道路保有・債務返済機構との協定及び協定に基づく国土交通大臣の許可を受けた道路のみ.

注）道路法に拠らない有料道路には，道路運送法による一般自動車道，森林組合法による林道，自然公園法による公園道 ，漁港漁場整備法による漁港道等がある.

7．各種道路管理者の点検要領の調査結果

今回，本マニュアルを作成するにあたり，各道路管理者の点検要領の調査を第 1 分科会健全性評価 WG にて行った．特に，道路橋の維持管理での点検実施～結果の評価・診断～対策の有無までの運用方法と道路橋床版に関する点検項目（点検種別，点検個所，損傷項目など）を主として調査を行った．調査結果は，**表-付 1.6** 道路橋床版に関する道路管理者の点検要領の調査一覧表に示す.

【参考文献】

1) 国土交通省ホームページ：政策・仕事≫総合政策≫重点的施策　社会資本整備重点計画について
URL　http://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/point/sosei_point_tk_000003.html

2) 総務省：社会資本の維持管理及び更新に関する行政評価・監視　－道路橋の保全等を中心として－　結果に基づく勧告，平成 22 年 2 月 5 日.

3) 道路橋の予防保全に向けた有識者会議：道路橋の予防保全に向けた提言，平成 20 年 5 月 16 日

4) 国土交通省国土技術政策総合研究所：国土技術政策総合研究所資料 523 号，道路橋の計画的管理に関する調査研究―橋梁マネジメントシステム（BMS）－，平成 21 年 3 月

5) 総務省行政評価局：社会資本の維持管理及び更新に関する行政評価・監視 －道路橋の保全等を中心として－ ＜勧告に伴う改善措置状況（2 回目のフォローアップ）の概要＞，平成 23 年 12 月 13 日.
URL　http://www.soumu.go.jp/menu_news/s-news/52254.html

6) 国土交通省ホームページ：政策・仕事≫道路≫主な施策≫道路の予防保全の推進　施策の概要　予防保全の取り組み
URL　http://www.mlit.go.jp/road/sisaku/yobohozen/yobo1_1.pdf

7) 国土交通省ホームページ：政策・仕事≫道路≫主な施策≫施策紹介・道路行政の簡単解説　II. 道路の種類
URL　http://www.mlit.go.jp/road/sisaku/dorogyousei/2.pdf

表-付 1.6 道路橋床版に関する道路管理者の点検要領の調査一覧表

団体名	点検基準	点検の種類	床版点検種別	点検方法	点検頻度	損傷度	ランク	一般的状況	損傷状況
	道路巡回実施要領(案)		通常点検	道路巡回	1回/日	?			
国土交通省	橋梁定期点検要領(案) H16年3月	通常点検 定期点検 中間点権 特定点検 異常時点検 詳細調査 追跡調査	定期点検	近接目視	1回/5年	5段階評価 a･b･c･d･e	a	健全	※損傷項目毎に損傷判定基準を設定
							b	↑	
							c	※全般的な基準無	
							d	↓	
							e	損傷大	
首都高速	構造物等点検要領　H22年7月	日常点検 (Ⅰ)(巡回点検)路上･下 (Ⅱ)(徒歩点検)路上･下 (Ⅲ)(巡視点検)	日常点検(Ⅰ) (巡回点検)	車上目視	2～3回/週	3段階評価 A･B　報告無			
			日常点検(Ⅱ) (徒歩点検)	路上徒歩	1回/5年	3段階評価 A･B　報告無			
		定期点検 (Ⅰ)接近点検 (Ⅱ)機器点検 (Ⅲ)(初回点検) (Ⅳ)(追跡点検) 臨時点検 (Ⅰ)(異常時点検) (Ⅱ)(類似構造物点検) (Ⅲ)(特別点検)	定期点検(Ⅰ) (接近点検)	近接目視	1回/5年	5段階評価 A･B0･B1･C･D		※損傷項目毎に損傷判定基準を設定	
							A	要緊急対応:交通や第三者への影響を防止するために、緊急の対応を必要とする損傷	
							B0	要対応:速やかに対応する損傷(発見から1年以内を目処に補修･補強着手する損傷)	
							B1	要対応:計画的に対応していく損傷(発見から5年以内を目処に補修･補強を完了する損傷)	
							C	対応不要:次回点検時まで対応を必要としない損傷	
							D	異状なし:点検実施の事実を記録	
			定期点検(Ⅱ) (機器点検)	機器測定 レーダ カメラなど	舗装 1回/年	4段階評価 A･B･C･D			
阪神高速	道路構造物の点検要領 H17年10月	初期点検 日常点検 路上点検 路下点検 検査路･検査車点検 土工部点検 定期点検 上下部工点検 はり上点検 土工部点検 ﾄﾝﾈﾙ･ｶﾙﾊﾞｰﾄ点検 個別点検 臨時点検 災害時点検 事故時点検 追跡･詳細点検 特別点検	日常点検 路上点検	車上目視	2～3回/週 路線･交通量などにより決定	4段階評価 S(S1･S2)･A･B･OK			
			定期点検 上下部工点検	近接目視	1回/5～8年 維持管理水準により頻度決定	5段階評価 S(S1･S2)･A･B･C･OK		※損傷項目毎に損傷判定基準を設定	
							S1	機能低下が著しく、道路構造物の安全性から緊急に対策の必要がある。	
							S2	第三者への影響があると考えられ、緊急に対策の必要がある。	
							A	機能低下があり、対策の必要がある場合	
							B	損傷の状態を観察する必要がある場合	
			定期点検 舗装点検	レーダ 自動計測	1回/2～3年		C	損傷が軽微である場合	
							OK	上記以外の場合	
東京都	橋梁の点検要領(案)　H19年7月	日常点検 定期点検 異常時点検 動態観測 詳細調査	日常点検	遠方目視	通常巡回 随時	3段階評価 Ⅰ･Ⅱ･Ⅲ			
			定期点検	近接目視	1回/5年	5段階評価 a･b･c･d･e	a	健全	損傷が特に認められない。
							b	ほぼ健全	損傷が小さい。
							c	やや注意	損傷がある。
							d	注意	損傷が大きい。
							e	危険	損傷が著しい。または、第三者への影響を与える可能性があ
				?	1回/5年			※損傷項目毎に損傷判定基準を	

【1／4】

評価単位	点検部位	損傷項目	対策区分	ランク	判定内容	判定目安	説明	評価単位
パネル単位 径間単位	RC床版 張出床版	剥離・鉄筋露出	7段階評価 A・B・C・E1・E2・M・S	A	損傷が認められないか、損傷が軽微で補修を行う必要がない。	※損傷項目毎に損傷判定基準を設定		径間単位
		漏水・遊離石灰		B	状況に応じて補修を行う必要がある。	構造	構造形式、規模、構造の特徴	
		抜け落ち		C	速やかに補修等を行う必要がある。	設計・施工	設計年次・基準、材料特性、	
		床版ひび割れ		E1	橋梁構造の安全性の観点から、緊急対応の必要がある。	使用条件	交通量・大型車混入率、環境、維持管理状	
		うき		E2	その他、緊急対応の必要がある。	維持管理履歴	補修補強履歴	
		コンクリート補強材の損傷		M	維持工事で対応する必要がある。			
車線単位 径間単位	AS舗装	舗装の異常		S	詳細調査の必要がある。			
箇所及び径間	AS舗装							
箇所及び径間	AS舗装							
パネル単位 径間単位	RC床版	ｺﾝｸﾘｰﾄひびわれ						
		ｺﾝｸﾘｰﾄ欠落、剥離、及び鉄筋露出						
		不良音、異常音						
		漏水、滞水						
		ｺﾝｸﾘｰﾄ空洞、豆板、及び鉄筋露出						
		ｺﾝｸﾘｰﾄ劣化、変色、材料強度低下、及び汚れ						
		ｺﾝｸﾘｰﾄ塗布　劣化及び汚れ						
		床版補強短冊鋼板破損						
		型枠材脱落						
径間単位	AS舗装							
箇所及び径間	AS舗装	ポットホール、陥没、はく離	5段階評価 T1・T2・T3・T4・Q					箇所及び径間
		段差、沈下						
		コルゲーション、こぶ						
		わだち掘れ						
		ひび割れ						
		油、砂などのこぼれ、焼損						
		目地部の損傷						
		滞水、冠水						
パネル単位 径間単位	未補修床版	ひび割れ	5段階評価 T1・T2・T3・T4・Q	T1	補修：耐久性、使用性、機能性の回復や向上、第三者影響度の軽減ならびに部材や構造物の剛性などの力学的性能の回復および向上のために採られる対策を総称する。	※床版補強要領より抽出 ◎損傷原因		パネル単位 径間単位
		はく離						
		鉄筋の露出および腐食				荷重条件	過大な輪荷重・交通量・輪荷重位置など	
		さびの流出						
		漏水		T2	応急処置：第三者に障害を及ぼす支障物の撤去や、損傷の進行を一時的に止めるためにとられる応急的な処置。			
		遊離石灰						
		豆板				構造条件	剛性不足、鉄筋量、桁の影響など	
		空洞		T3	点検強化：補修を実施しない場合にとられる対策であり、点検頻度の追加や点検項目などの追加により、損傷の進行状況を慎重に観察しながら構造物の安全性を確保する対策。この結果により補修や経過観察に移行することがある。			
		その他の損傷						
	補修済床版	不良音				施工条件	施工不良、材料不良など	
		漏水および遊離石灰						
		鋼板のさびおよび腐食						
		鋼板の変形		T4	経過観察：特に補修や点検強化を実施しない場合にとられる対策であり、通常の点検体制の中で損傷の進行状況を観察していくもの。			
		シール部のはく離						
		その他の損傷						
径間単位	AS舗装	わだち掘れ		Q	詳細調査：定期点検の結果だけでは、対策選定が困難な場合に執られる措置であり、損傷原因や今後の損傷進行を予測するために必要となる臨時点検、各種調査の実施。			
		ひび割れ						
		ポットホール、はがれ						
		パッチング						
		平坦性						
箇所および径間	AS舗装	段差・コルゲーション						
		ポットホール						
		わだち掘れ						
		漏水・滞水						
部材単位 パネル単位	RC床版	剥離・鉄筋露出	総合健全度判定 5段階評価 A・B・C・D・E			4．8総合健全度判定		径間単位
		遊離石灰		A	健全　【措置】－			
		豆板・空洞		B	ほぼ健全　【措置】記録	耐久性	主な部材単位での損傷や変状の程度から総合判定	
		抜け落ち		C	やや注意　【措置】記録、動態観測			
		鋼板接着部の損傷		D	注意　【措置】記録・確認			
		床版ひびわれ		E	危険　【措置】確認、緊急補修等	安全性	設計活荷重、交通量、供用年数による総合判定	
		変色・劣化		※総合健全度判定による				
		漏水・滞水						
？	AS舗装	段差・コルゲーション						
		ポットホール						
		わだち掘れ						
		漏水・滞水						

表-付 1.6　道路橋床版に関する道路管理者の点検要領の調査一覧表

団体名	点検基準	点検の種類	床版点検種別	点検方法	点検頻度	損傷度	ランク	一般的状況	損傷状況
NEXCO	保全点検要領　構造物編　H18年4月	初期点検 日常点検 安全点検 変状診断点検 ①経過観察 ②簡易診断 定期点検 定期点検A 定期点検B 詳細点検 臨時点検	日常点検【路面】	車上目視または降車による遠方目視，近接目視，打音	4～7回/2週交通量による	6段階評価 AA・A(A1A2A3)・B・C・OK・E	AA	損傷・変状が著しく、機能面からみて速やかに補修が必要である場合。	※損傷項目毎に損傷判定基準を設定
							(A1)	判定区分Aのうち，損傷の進行が早いと予想され、概ね2 年以内に補修が必要になると判断される場合。	
							(A2)	判定区分Aのうち，緩やかに損傷が進行すると予想され、概ね5年以内に補修が必要になると判断される場合。	
							(A3)	判定区分Aのうち，損傷の進行は遅く、今後5年以 降若しくは継続的な観察により適時補修判断を要する場合。	
			詳細点検	近接目視	1回/5年または10年 路下条件による		A3	損傷の進行は遅く、今後5年以 降若しくは継続的な観察により適時補修判断を要する場合。	
							B	損傷・変状はあるが機能低下が見られず、損傷の進行状態を継続的に観察する必要がある場合。	
							C	機能面に対する判定を行うために、調査を実施する必要がある場合。	
							OK	損傷・変状がないか、もしくは軽微な場合。	
							E	安全な交通または第三者に対し支障となる恐れがあり、 緊急的な対応が必要な場合。	

【２／４】

評価単位	点検部位	損傷項目	対策区分	ランク	判定内容	判定目安	説明	評価単位
箇所及び径間	AS舗装	ポットホールはがれ・陥没	※設計要領　第二集　橋梁保全編より抽出					
		段 差	【床版上面】 劣化度判定 補修頻度 補修面積 劣化度　3段階 Ⅳ・Ⅲ・Ⅱ	Ⅳ	舗装の補修頻度が高く、舗装を剥ぎ取った床版上面のコンクリートがブロック化や泥状化し、鉄筋が腐食して断面欠損している。また、床版下面にも遊離石灰等が見られる場合が多い。		補修履歴 損傷範囲 劣化進行状況	床版上面 径間単位
		わだち掘れ		Ⅲ	舗装の補修頻度が高く、舗装を剥ぎ取った床版上面のコンクリートがブロック化している。鉄筋が一部腐食しているが、断面欠損は見られない。			
		ひび割れ		Ⅱ	舗装を剥ぎ取り、床版上面の調査をした場合に、一部分に上記のⅣ，Ⅲの劣化が見られるが、健全な箇所が多い。			
		縦断の凹凸コルゲーション	【床版下面】 はくり、鉄筋露出、豆板・空洞の損傷度合いによる劣化度判定 劣化度　3段階 a・b・c	a	はくり：剥離が径50㎝以上の範囲に露出している。 鉄筋の露出：主鉄筋が50㎝以上の範囲に露出している。 豆板・空洞：豆板・空洞が径50㎝以上の範囲にある。	劣化が激しい。 緊急な補修が必要。	設計条件、使用条件、環境条件などより総合的な判定	床版下面 パネル単位
		薄層舗装のはく離		b	はくり：剥離が径10～50㎝の範囲に露出している。 鉄筋の露出：主鉄筋が50㎝以下の範囲に露出している。 豆板・空洞：豆板・空洞が径10～50㎝の範囲にある。	劣化が大きい。 早急な補修が必要。		
		滞 水		c	はくり：剥離が径10㎝以下の範囲に露出している。 豆板・空洞：豆板・空洞が径10㎝以下の範囲にある。	劣化が小さい。 適切な時期に補修が必要。		
		ポンピング	【床版下面】 遊離石灰、ひび割れの損傷度合いによるパネル別劣化度判定 劣化度　5段階 A・B・C・D・E	A：一般部	遊離石灰が二方向に発生しており，両方ともその間隔が50cm以下で，かつ，遊離石灰が泥水，錆汁で変色している。 また，「B」でその進行が早いもの。	劣化が著しい。 緊急な補修が必要。		床版下面 パネル単位
		ブリスタリング		A：継目部	施工継目において，遊離石灰が，泥水，錆汁で変色している。			
パネル単位 径間単位	RC床版	ひび割れ		B：一般部	遊離石灰が二方向に発生しており，両方ともその間隔が50cm以下で，その色が白いもの。また「C」でその進行が早いもの。	劣化が大きい。 早急な補修が必要。		
		はく離（うき）		B：継目部	施工継目において，遊離石灰が発生しており，その色が白いもの。			
		鉄筋の露出・腐食		C	遊離石灰が二方向に発生しており，いずれかの方向の間隔が50cm 以上となっている。（亀甲状となっていない，またはその間隔が大きい。） 遊離石灰を伴わないひび割れが二方向に発生しており，両方ともその間隔が50 cm 以下となっている。 また，「D」でその進行が早いもの。	劣化は大きくなりつつある。 適切な時期に補修が必要。		
		空洞		D	遊離石灰が一方向に発生している。 遊離石灰を伴わないひび割れが二方向に発生している。	劣化は小さい。 定期的な点検が必要。		
		豆板		E	遊離石灰および二方向のひび割れが認められない。			
		遊離石灰						
		錆汁	【床版下面】 損傷率によるスパン別劣化度判定 劣化度　5段階 Ⅴ・Ⅳ・Ⅲ・Ⅱ・Ⅰ	Ⅰ	床版パネルの４０％以上にB 以上の損傷がある。	劣化が著しい。 緊急な補修が必要。		床版下面 径間単位
		補修・補強個所のはく離（うき）・はらみ		Ⅱ	床版パネルの３０％以上にB 以上の損傷がある。	劣化が大きい。 早急な補修が必要。		
		漏水		Ⅲ	床版パネルの４０％以上にD 以上の損傷がある。	劣化は大きくなりつつある。 適切な時期に補修が必要。		
	張出床版	水切り部		Ⅳ	床版パネルの３０％以上にD 以上の損傷がある。	劣化は小さい。 適切な時期に補修が必要。		
	ﾌﾟﾚｷｬｽﾄ床版	床版目地：漏水・遊離石灰・錆汁		Ⅴ	床版パネルの３０％未満にD 以上の損傷がある。	劣化は小さい。 部分的な補修が必要。		
		下面：漏水・遊離石灰・錆汁						

表-付 1.6　道路橋床版に関する道路管理者の点検要領の調査一覧表

団体名	点検基準		点検の種類	床版点検種別	点検方法	点検頻度	損傷度	ランク	一般的状況	損傷状況
静岡県	橋梁点検マニュアル	H21年8月	通常点検		道路パトロール					
			定期点検	概略点検	遠望目視	5年	損傷等級　5段階 A･B･C･D･E	A	良好	損傷が特に認められない
								B	ほぼ良好	損傷が小さい
				詳細点検	近接目視			C	軽度	損傷がある
								D	顕著	損傷が大きい
								E	深刻	損傷が非常に大きい
			異常時点検							
岐阜県	岐阜県橋梁点検マニュアル	H22年4月	日常点検		道路パトロール					
			定期点検	簡易点検	近接目視 遠望目視	5年				
				予備点検			5段階評価 1･2･3･4･5	1	健全	健全
								2	↑	経過観察:ほぼ健全
								3	※全般的な基準無	補修開始:劣化損傷(中)
				詳細点検				4	↓	直ちに補修開始:劣化損傷(大)
								5	損傷大	機能停止の恐れ
			臨時点検							
愛知県	橋梁定期点検要領	H19年4月	初期点検							
			日常点検		道路パトロール					
			定期点検		近接目視 遠望目視	5年(初期は2年)	5段階評価 a･b･c･d･e	a	健全	
								b	↑	※損傷項目毎に損傷判定基準を設定
								c	※全般的な基準無	※ほぼ国交省基準に準拠
								d	↓	
								e	損傷大	
			異常時点検							
名古屋高速道路公社	道路構造物の点検要領(土木構造物編)	H18年4月	初期点検							
			日常点検	路上 路下 管理用通路 雨天時	車上･徒歩目視	路上1～3回/週 その他1～4回/年	5段階評価 S･A･B･C･D	S	交通機能に支障を生じたり、第三者被害となる可能性があるため、緊急に対策の必要がある場合	
								A	損傷劣化が著しく、早急に対応する必要がある場合	
								B	補修・補強が必要な損傷及び劣化がある場合	
			定期点検		接近目視	1回/5･8年 供用年数･対象構造物により決定		C	損傷及び劣化があり、その程度を記録する必要がある場合	
								D	損傷及び劣化が無い、または非常に軽微で記録しない場合。	
			臨時点検							
福岡県	定期点検要領(案)【橋梁編】	H21年5月	通常点検							
			定期点検	※2年以内に初回点検	近接目視	3･5･10年 重要度･対策区分により決定	5段階評価 a･b･c･d･e	a	健全	※損傷項目毎に損傷判定基準を設定
								b	↑	
								c	※全般的な基準無	
								d	↓	※ほぼ国交省基準に準拠
								e	損傷大	
			特定点検							
			異常時点検							
福岡市	福岡市定期点検マニュアル(案)	H19年3月	通常点検		近接目視	2年(職員)	3段階評価			
			定期点検 詳細点検		近接目視	5年 詳細点検:必要に応じて	5段階評価 a･b･c･d･e	a	健全	損傷が認められない
								b	軽傷	損傷はあるが軽傷である
								c	変状	損傷が発生している
								d	注意	損傷が著しい
								e	危険	損傷が激しく、安全を保障できない
			臨時点検							
北九州市	道路橋点検マニュアル	H21年3月	通常点検		職員実施	1～3年	3段階評価			
			定期点検		近接目視	5年	5段階評価 a･b･c･d･e	a	健全	※損傷項目毎に損傷判定基準を設定
								b	ほぼ健全	
								c	やや注意	
								d	注意	
								e	危険	※ほぼ国交省基準に準拠
			臨時点検							

【3／4】

評価単位	点検部位	損傷項目	対策区分	ランク	判定内容	判定目安	説明	評価単位
径間単位 パネル単位	床版	鋼材料　8種類 コンクリート材料　9種類	7段階評価 A･B･C･E1･E2･M･S	A	損傷が認められないか、損傷が軽微で補修を行う必要がない。	※損傷項目毎に損傷判定基準を設定	※ほぼ国交省基準に準拠	径間
				B	状況に応じて補修を行う必要がある。			
				C	速やかに補修等を行う必要がある。			
				E1	橋梁構造の安全性の観点から、緊急対応の必要がある。			
				E2	その他、緊急対応の必要がある。			
				M	維持工事で対応する必要がある。			
径間単位 パネル単位	床版	鋼材料　8種類 コンクリート材料　9種類	7段階評価 A･B･C･E1･E2･M･S	A	損傷が認められないか、損傷が軽微で補修を行う必要がない。	※損傷項目毎に損傷判定基準を設定	※ほぼ国交省基準に準拠	径間
				B	状況に応じて補修を行う必要がある。			
				C	速やかに補修等を行う必要がある。			
				E1	橋梁構造の安全性の観点から、緊急対応の必要がある。			
				E2	その他、緊急対応の必要がある。			
				M	維持工事で対応する必要がある。			
パネル単位	床版	鋼材料　10種類 コンクリート材料　14種類 ※ほぼ国交省基準に準拠	7段階評価 A･B･C･E･S･1･2	A	補修を行う必要がない。	※損傷項目毎に損傷判定基準を設定	※ほぼ国交省基準に準拠	パネル単位
				B	状況に応じて補修を行う。			
				C	次回の定期点検までに補修を行う必要がある。			
				E	まず、緊急対応が必要で、その後、必要に応じて詳細調査を行って損傷原因等を明らかにしたうえで補修を検討する。			
				S	詳細調査により損傷原因等を明らかにしたうえで補修を検討する。			
				1	点検時に清掃する			
				2	維持作業で対応する。			
パネル単位	RC床版	9項目（ひび割れ、浮き･はく離、はく落、鉄筋露出、漏水、流出石灰、錆汁、変色、二方ラな以上たわみ）	なし					
	PC床版	7項目（ひび割れ、漏水、流出石灰、錆汁、浮き･はく離、はく落、鉄筋露出）						
	補修済床版	鋼板補強（浮き･はく離、腐食、漏水、変形） 繊維補修（変形、断裂、漏水、流出石灰） 塗装（はがれ、漏水、流出石灰、錆汁）						
径間単位	床版	コンクリート部材　5項目 鉄筋露出、抜け落ち、床版ひび割れ、PC定着部の異常、変色･劣化	4段階評価 A･B･C･E	A	損傷が認められないか，損傷が軽微で補修を行う必要はない。	※損傷項目毎に損傷判定基準を設定	※ほぼ国交省基準に準拠	径間
				B	状況に応じて補修を行う必要がある。			
				C	速やかに補修等を行う必要がある。			
				E	緊急対応の必要がある。			
	床版	コンクリート部材　6項目						
径間単位	床版	鋼材料　10種類 コンクリート材料　14種類 ※ほぼ国交省基準に準拠	7段階評価 A･B･C･E1･E2･M･S	A	損傷が認められないか、損傷が軽微で補修を行う必要がない。	※損傷項目毎に損傷判定基準を設定	※ほぼ国交省基準に準拠	径間
				B	状況に応じて補修を行う必要がある。			
				C	速やかに補修等を行う必要がある。			
				E1	橋梁構造の安全性の観点から、緊急対応の必要がある。			
				E2	その他、緊急対応の必要がある。			
				M	維持工事で対応する必要がある。			

表-付 1.6　道路橋床版に関する道路管理者の点検要領の調査一覧表

団体名	点検基準		点検の種類	床版点検種別	点検方法	点検頻度	損傷度	ランク	一般的状況	損傷状況
佐賀県	佐賀県橋梁点検マニュアル	H21年	通常点検		車上・徒歩	不定期				
			定期点検		近接目視	5年	損傷等級　5段階 A･B･C･D･E	A B C D E	健全 ↑ ※全般的な基準 ↓ 損傷大	※損傷項目毎に損傷判定基準を設定 ※国交省基準に準拠
			詳細調査							
			異常時点検							
大分県	大分県橋梁定期点検要領(案)	H21年7月	日常点検							
			定期点検		近接目視	5年 維持管理水準　レベル 1･2･3	5段階評価 a･b･c･d･e	a b c d e	健全 ↑ ※全般的な基準無 ↓ 損傷大	※損傷項目毎に損傷判定基準を設定 ※ほぼ国交省基準に準拠
			緊急点検							
長崎県	橋梁点検マニュアル(案)	H19年3月	通常点検		道路パトロール					
			定期点検(概略・詳細)	概略点検	遠望目視	5年(2年も有) 損傷の発生状況と管理水準にて区分	損傷等級　5段階 A･B･C･D･E	A B C D E	良好 ほぼ良好 軽度 顕著 深刻	損傷が特に認められない 損傷が小さい 損傷がある 損傷が大きい 損傷が非常に大きい
				詳細点検	近接目視					
			異常時点検							
熊本県	熊本県橋梁点検マニュアル(案)	H18年3月	通常点検		道路パトロール					
			定期点検		遠望目視	5年	5段階評価 A･B･C･D･E	A B C D E	良好 ほぼ良好 軽度 顕著 深刻	損傷が特に認められない 損傷が小さい 損傷がある 損傷が大きい 損傷が非常に大きい
			詳細点検		近接目視	5年				
			異常時点検							
宮崎県	橘りょう点検マニュアル	H22年9月	通常点検(日常点検)	通常点検	道路パトロ	?				
				日常点検	遠望目視	?職員				
			定期点検	簡易点検	近接目視または遠望目視	5年	損傷度の分類 5段階評価 Ⅰ～Ⅴ	Ⅴ Ⅳ Ⅲ Ⅱ Ⅰ	高い ↑ 健全性 ↓ 低い	症状・要因・変状ともなし 症状・要因あり、損傷はなし 変状と判定、軽度の損傷 変状と判定、重度の損傷 危機管理体制(通行止め等)を要する損
				詳細点検	近接目視					
			塩分含有量調査							
			詳細調査							
			新設時点検	竣工時点検		完成時				
				初期点検		2年以内				
			緊急点検							
福岡北九州高速道路公社	道路構造物の点検要領(土木構造物編)	H19年4月	日常点検	路上・路下など	車上・徒	1～2回/週	4段階評価			※損傷項目毎に損傷
			定期点検		近接目視	5･6･7･8年供用年数・交通量・塩害・損傷度により決定	5段階評価 S･A･B･C･OK	S1 S2 A B C OK	機能低下が著しく、道路構造物の安全性から緊急に対策の必要がある。 第三者への影響があると考えられ、緊急に対策の必要がある。 機能低下があり、対策の必要がある場合 損傷の状態を観察する必要がある場合 損傷が軽微である場合 上記以外の場合	
			臨時点検							

【4／4】

評価単位	点検部位	損傷項目	対策区分	ランク	判定内容	判定目安	説明	評価単位
径間単位 パネル単位	床版	鋼材料　8種類 コンクリート材料　9種類	対策区分(部材単位) 部材の健全度より区分　4段階		健全度HI＝100−Σ損傷評価点DG			
				A	当面の修繕は不要	HI＜20		
				B	予防的な修繕が望ましい	20≦HI＜60		
				C	緊急の修繕が必要	60≦HI＜80		
				D	取替え(架替え)を含む検討が必要	80≦HI		
径間単位 パネル単位	床版	鋼材料　8種類 コンクリート材料　9種類	8段階評価 A･B･C･E1･E2･S1･S2･M	A	損傷が認められないか、損傷が軽微で補修を行う必要がない	※損傷項目毎に損傷判定基準を設定	※ほぼ国交省基準に準拠	径間
				B	次回点検まで対策を行わなくても安全性を損なう危険性が低く、状況に応じて補修を行う程度の損傷			
				C	次回点検までに対策を行うことが望ましい			
				E1	橋梁構造の安全性の観点から、緊急対応の必要がある			
				E2	第三者被害の観点から、緊急対応の必要がある			
				S1	詳細調査を行い補修の要否を検討する必要がある			
				S2	早期に補修を行う必要は無いが、進行の可能性がある損傷が認められ、追跡調査により監視することが望ましい			
				M	維持工事で対応することが望ましい			
径間単位 パネル単位	床版	鋼材料　8種類 コンクリート材料　9種類	対策区分(部材単位) 部材の健全度より区分　4段階		架替計画検討	主構部材HI≦30	耐荷力照査による補修･補強優先度 優先度Ⅰ～Ⅴ:5段階評価	
					早期対策	部材HI≦40		
					予防保全	部材40＜HI≦80		
					修繕なし	部材80＜HI		
					健全度HI＝100−Σ損傷評価点DG			
径間単位 パネル単位		※　部材別･工種別評価を損傷評価点と補正係数により径間別評価の損傷評価点を算出	対策区分(部材単位) 部材の健全度より区分　4段階		架替計画検討	主構部材HI≦20		
					早期対策	部材HI≦60		
					予防保全	部材60＜HI≦80		
					修繕なし	部材80＜HI		
					健全度HI＝100−損傷評価点			
径間単位 パネル単位 ※　国交省基準の「損傷判定基準」において定義される損傷状態との対比の目安を示す	RC床版	鋼材料　8種類 コンクリート材料　9種類	処方(対策区分)の判定　5段階 ･計画的な点検･補修等のための処方判定 ･緊急的な対応の必要性に関する判定		対策なし	重要度区分A･B･Cと損傷度により各損傷項目に対策目安を設定している。 ※健全度評価の体系･流れなどを別途設定している		
					点検充実			
					補修時期検討			
					速やかに補修実施			
					通行止め等			
判定基準を設定								
部材単位 パネル単位	未補修床版	9項目	5段階評価 T1･T2･T3･T4･Q	T1	補修			径間･パネル
				T2	応急処置			
				T3	点検強化			
	補修済床版	6項目		T4	経過観察			
				Q	詳細調査			

≪付録２≫　道路橋床版の維持管理マニュアル適用事例

付録２．１　　輪荷重による疲労を受けたＲＣ床版

１．概　要　【第１章　1.1，1.3 参照】

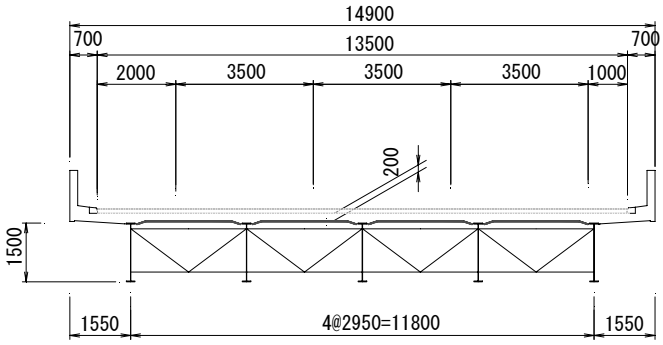
道路橋床版の維持管理は，本マニュアル 1.3 に基づき実施することとし，点検・調査データに基づく損傷度の評価，変状グレードの評価，劣化要因の推定，対策の要否判定を実施し，その評価結果に基づき対策工法の選定および設計・施工を行う．

本資料では，輪荷重による疲労を受けた RC 床版の維持管理について，本マニュアルの流れに沿って対策を実施した事例について述べる．

２．対象橋梁

本事例における対象橋梁の概要を以下に示す．なお，これらに示す緒元は本マニュアル適用事例を紹介するために，仮想の資産データおよび維持管理データにより設定したものである．

対象構造物　　：高速道路における鋼連続鈑桁形式の A 橋（上下線）（**図-付 2.1.1 参照**）
　　これまで，床版の補強対策は未実施（舗装と床版上面の部分補修を一部実施）
　　特に落下対策などを要する交差道路などは無い
劣化環境条件：交通量　約 50,000 台/日（大型車混入率約 20%）
　　凍結防止剤の年間散布量　約 0.5kg/㎡
　　山間部に位置しており，飛来塩分の影響は無い
対策工事条件：工事騒音に対する近隣住民からの苦情が懸念
　　交通状況より，通行止めおよび渋滞が発生する長期車線規制は困難



構造形式	鋼4径間連続非合成鈑桁橋
橋梁延長	上り線=102.8m　下り線=115.3m
総幅員	13.5m（3車線）
供用開始年度	S50年10月（供用後34年経過）
設計示方書年度	鋼道路橋設計示方書（S39年） 設計要領（S45年）
設計活荷重	TL-20

図-付 2.1.1　A 橋の断面図，緒元

３．点検調査方法と損傷状況【第２章　2.1，2.2.1～4 参照】

本事例における点検・調査については，本マニュアル 2.2 に基づき実施しており，損傷状況については，本マニュアル 2.1.1 を参考とした．

床版に着目した点検うち初期点検，異常時点検，特定点検は実施されていなかったため，損傷が確認された最新の「日常点検」，「定期点検」の結果について示す．なお，詳細調査については健全性の評価を行う段階で，実施の有無および内容について判断することとした．

(1) 点検方法

「日常点検」,「定期点検」における頻度および実施方法を以下に示す.

①日常点検　：１日１回の頻度で路上から車上及び降車目視により実施

②定期点検　：５年に１度の頻度で主に床版下面からの近接目視と打音により実施

(2) 床版の損傷状況

日常点検における床版上面（舗装面）の損傷状況，定期点検における床版下面の損傷状況およびそれらを平面的に重ね合わせた結果を以下に示す.

① 床版上面（舗装面）の状況

日常点検において，以下の状況が確認された（**図-付 2.1.2**）.

・舗装面にクモの巣状のひび割れが部分的に発生
・一部にはポンピングが発生
・ブリスタリングの発生は見られない
・目時部以外での損傷も発生
・ポットホールが全体で年３回程度発生し，ここ数年で発生し始めた.

図-付 2.1.2　日常点検による路面損傷状況

② 床版下面の状況

定期点検において,以下の状況が確認された(**図-付 2.1.3**).

・走行車線下で橋軸方向・橋軸直角方向のひび割れが発生
・一部には0.2mm以上のひび割れが発生
・一部で漏水エとエフロレッセンスが発生
・錆汁の発生までは見られない
・鉄筋露出，錆汁の発生は見られない
・一部に小規模の浮きはく離が発生

図-付 2.1.3　定期点検による床版下面損傷状況

③ 床版上面・下面損傷の位置関係

床版上面および床版下面の点検結果を平面的に重ね合わせたものを**図-付 2.1.4** に示す．この結果，下面が損傷している箇所では，上面の損傷も発生しやすいことが判る。

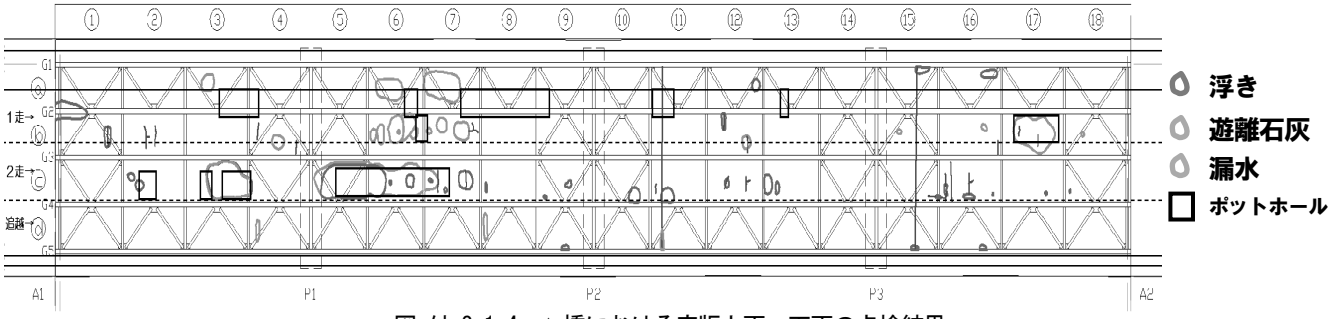


図-付 2.1.4　A 橋における床版上面・下面の点検結果

４．点検結果による損傷度の評価【第２章　2.2.5～7 参照】

本事例における損傷度の評価は，点検結果を基に本マニュアル 2.2.5（**表-2.2.2**）によりパネル毎に行った．なお，道路管理者よる明確な評価基準の閾値が設定されていなかったため，本マニュアル**表-解 2.2.8**, **表-解 2.2.9** の評価基準を参考とした．

① 損傷度の評価

現段階では，床版上面にポットホール等の舗装損傷が発生し始めており，また床版下面パネルのいくつかで，ひび割れやエフロレッセンスなどの損傷が発生しているものの，抜け落ちするような著しい剛性低下までは至っていないと考えられる．このため，損傷があるが機能低下が見られず，損傷の状態や進行状況を観察する必要がある状態「ｃ」（やや注意）と評価した．

② 緊急対応の評価

現段階において，床版上面（舗装面）損傷による走行安全性の低下や，床版下面損傷によるコンクリート片剥落などの第 3 者被害が想定されないため，緊急対応の必要性はないと判断した．

５．床版の劣化進行過程の評価【第３章　3.1 参照】

本事例における床版の健全性評価は，劣化要因ごとの劣化過程を特定することにより行う．劣化過程の特定は，変状における主たる劣化要因の推定を行い，その劣化進行に伴う性能低下を外観変状のグレードと対応させることにより行うこととした．

(1) 劣化要因の推定**【第２章　3.1 参照】**

劣化要因を推定するには，点検による損傷状況のほか，橋梁諸元や劣化環境条件などの要因を加味して行う必要がある．このため，橋梁諸元や劣化環境条件と損傷状況を踏まえ，劣化要因の推定を行った．

1) 橋梁緒元と劣化環境条件

劣化要因推定する上で，関連性が高いと考えられる橋梁緒元と劣化環境条件を以下に示す．

① 構造に関わる事項

・上部構造は，建設当時の鋼鈑桁橋としては支間・規模ともに標準的
・床版構造は，支間 2.95m で厚さ 200mm と比較的薄い

② 設計・製作・施工の各条件に関わる事項

・設計基準は，昭和 39 年の道路橋示方書を適用
・使用材料は，コンクリート設計基準強度（海砂は未使用），24N/mm^2，鉄筋 SD295Ａを使用

③ 使用条件に関わる事項

・交通量は約 5 万台・日，大型車混入率は約 20％
・周辺環境・架橋条件については特に留意する特徴無し
・凍結防止剤散布量は約 0.5kg/年・m^2
・橋梁の補修・補強履歴は舗装補修と床版上面の部分補修のみ，ただし 10 年前に床版防水を設置

2) 床版の損傷状況

日常点検および定期点検による確認された床版損傷のうち，劣化要因を推定する上で関連性が高いと考えられるものを以下に示す.

・舗装面の損傷より床版上面のひび割れ，浮きが発生している可能性がある.
・床版下面には部分的にエフロレッセンスを伴う格子状のひび割れが発生している.
・鉄筋の腐食損傷が少ない.
・アルカリシリカゲルの析出がない.
・初期欠陥と考えられる損傷はない.
・一部に漏水が発生していることから，防水層の機能が低下している可能性がある.

3) 床版損傷状況および橋梁緒元と劣化環境条件からの劣化要因の推定

床版損傷状況および橋梁緒元と劣化環境条件から，劣化要因に関する以下の推定を行った.

① 構造条件及び使用環境条件からの推定

・設計基準が昭和 39 年道示であり，床版耐力が低く疲労を受けやすい.
・大型車交通量が多いため，疲労を受けやすい.
・海岸飛来塩分の影響を受けないため，塩害を受けにくい.
・凍結防止剤の使用量は比較的少ないため，塩害を受けにくい.
・過去に床版の補強が実施されていないため，特に疲労を受けやすい.

② 損傷状況からの推定

・輪荷重の繰返し作用により，疲労からの床版上面損傷が発生した可能性がある.
・部分的にエフロレッセンスを伴う格子状のひび割れが発生しているため，疲労の可能性がある.
・鉄筋の腐食損傷が少ないため，塩害の可能性は低い.
・アルカリシリカゲルの析出がないため，ASR の可能性は低い.
・初期欠陥による損傷の可能性は低い.
・防水層機能が低下により，疲労が進行した可能性がある.

上記要因を総合的に判断し，本床版における主たる劣化要因は輪荷重における疲労と推定した.

なお，疲労のほかに凍結防止剤による塩害との複合劣化も懸念されるため，舗装の剥ぎ取りによる床版上面の調査や，コンクリートコアの採取による床版内部ひび割れなどの観察，コンクリート強度，塩化物イオン濃度，中性化深さなどの詳細調査を実施し，劣化要因の推定をすることが望ましい.

しかし，詳細調査には相応の費用と時間が必要となるため，本事例では外観変状や外的・内的条件などにより推定した劣化要因について，一定の信頼性がもてると判断し，詳細調査を実施しないこととした.

(2) 変状グレードの評価【第３章　3.2.1～3 参照】

床版の外観における変状グレードを，床版下面について本マニュアル 3.2.1 により評価した.

評価方法としては定期点検結果をもとに，パネル単位（主桁×横桁）の損傷度をひび割れとエフロレッセンスに着目して判定し，その損傷度の数が全パネル数に占める割合に応じて，スパン単位での変状グレードを評価する.

表-付 2.1.1 にパネル単位の損傷度判定結果,**表-付 2.1.2** にスパン単位での変状グレード判定結果を示す.

表-付 2.1.1　パネル単位の損傷度判定

	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫	⑬	⑭	⑮	⑯	⑰	⑱
ⓐ	c	b	c	b	b	d	d	c	c	b	b	b	b	b	c	c	b	b
ⓑ	c	b	b	d	b	d	d	b	b	b	b	b	b	b	b	b	d	b
ⓒ	b	b	d	b	c	c	c	b	b	c	c	b	b	b	b	c	b	b
ⓓ	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b

表-付 2.1.2　スパン別変状グレード判定

評価部位	A1～P1	P1～P2	P2～P3	P3～A2
劣化度区分	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ

(3) 対策区分の判定

対策区分については，点検による損傷度の評価，劣化要因の推定および変状グレード判定を基に，本マニュアル 2.2.6 によりスパン毎に**表-付 2.1.3** のように判定した.

これは，損傷度の評価では，損傷があるが機能低下が見られず，損傷の状態や進行状況を観察する必要がある状態「ｃ」（やや注意）と判定したことと，疲労によるスパン別変状グレードでは，劣化が大きくなりつつあり，適切な時期に補修が必要な「Ⅲ」と判定したことを考慮したためである.

表-付 2.1.3　対策区分の判定区分

判定部位	Ａ１～Ｐ１	Ｐ１～Ｐ２	Ｐ２～Ｐ３	Ｐ３～Ａ２
判定区分	Ｂ	Ｂ	Ｂ	Ｂ

(4) 劣化進行過程の評価【第３章　3.2 参照】

本マニュアルでは，対策工法の選定を劣化過程の特定により行う手法をとっているため，劣化要因と変状グレードから，本マニュアル 3.2 の**表-3.2.2** から劣化過程の特定を行った.

表-付 2.1.4 に疲労によるスパン別変状グレードからの劣化過程の特定結果を示す.

表-付 2.1.4　スパン別変状グレード判定からの劣化過程の特定

評価部位	A1～P1	P1～P2	P2～P3	P3～A2
劣化度区分	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ
劣化過程	加速期	加速期	加速期	加速期

表-解 3.2.2　ひび割れ間隔と遊離石灰に着目したスパン単位の変状グレードと劣化進行過程との関係

変状グレード	床版の状況	評価の基準	劣化過程
Ⅰ	床版パネルの 30%未満にｂ～ｅの損傷がある	劣化は小さい 部分的な補修が必要	潜伏期
Ⅱ	床版パネルの 30%以上にｂ～ｅの損傷がある	劣化は小さい 適切な時期に補修が必要	進展期
Ⅲ	床版パネルの 40%以上にｂ～ｅの損傷がある	劣化は大きくなりつつある 適切な時期に補修が必要	加速期
Ⅳ	床版パネルの 30%以上にｄ～ｅの損傷がある	劣化は大きい 早急な補修が必要	
Ⅴ	床版パネルの 40%以上にｄ～ｅの損傷がある	劣化が著しい 緊急な補修が必要	劣化期

６．対策工法の選定【第４章　4.1～3 参照】

５．床版の劣化進行過程の評価で，劣化要因と変状グレードの評価を基に対策区分の判定を行った．その結果，状況に応じて補修を行う必要がある「Ｂ」の判定となり，早急な補修は必要ないが，今後の維持管理におけるリスク低減およびライフサイクルコストの縮減を考慮し，対策を実施することとした.

床版の対策工法の選定にあたっては，本マニュアル**4.2**に従い実施した．対策工法を選定するには，劣化要因と劣化過程を正しく判定する必要があるため，点検などの調査結果の整理を行い，劣化要因と劣化過程に応じた適用可能な対策工法を選定する.

複数の適用可能な対策工法がある場合には，補強効果，対応可能な交通規制，桁下足場の必要性，既設橋梁への影響，工法適用にあたっての課題や条件，耐久性，施工性，維持管理，経済性などの項目を比較し，最適な対策工法を総合的に決定する.

(1) 点検調査の整理結果

点検および調査による結果を**表-付 2.1.5** に示す.

表-付 2.1.5　劣化・損傷の調査結果

	番号	調査項目			一般部	備　考
資料調査	1	供用年数, 適用示方書			S50年,　S39鋼道示	損傷原因の判断(活荷重, 塩害, 凍害, 中性化, アルカリシリカ反応)
	2	路線の重要度			高速自動車国道	
	3	一方向あたりの大型車の交通量(台／日)			10000	損傷原因の判断(活荷重)
	4	床版厚	設計厚		200mm	損傷原因の判断(活荷重)
			現行道示での床版厚		250mm	現行道路橋示方書の配力筋量との比較
	5	鉄筋	鉄筋の種類		SD295A	劣化過程の判定(活荷重)
			かぶり	上面	30mm(設計値)	鉄筋位置の塩化物イオン濃度の推定に使用
				下面	30mm(非破壊検査)	
			配力筋量		現行道示より少ない	現行道路橋示方書の配力筋量との比較
	6	飛来塩分の影響	地域, 海岸線からの距離による判断		無し	損傷原因の判断(塩害)
	7	凍結防止剤の散布の有無			0.5kg/年・m^2	損傷原因の判断(塩害)
	8	寒冷地域			小	損傷原因の判断(凍害)
	9	防水層の施工時期			10年前	
ひび割れ調査 (目視調査)	10	ひび割れ形状(一方向, 格子状, 網細化など)			格子状	劣化過程の判定(活荷重, 塩害, 中性化, アルカリシリカ反応)
	11	主なひび割れの位置(床版中央, ハンチ, 張出部など)			走行車線下床版中央	
	12	ひび割れ幅, 間隔			0.2mm,　30～50cm	劣化過程の判定(活荷重, 塩害, 中性化, アルカリシリカ反応)
	13	ひび割れ密度(m/m^2)			未検討	劣化過程の判定
	14	はく離, はく落の面積率			一部あり	劣化過程の判定(活荷重, 塩害, 凍害, 中性化, アルカリシリカ反応)
	15	ひび割れの角落ちの有無			無し	劣化過程の判定(活荷重)
	16	遊離石灰の有無			一部あり	貫通ひび割れの判断(活荷重)
	17	錆汁の有無			無し	鉄筋腐食の判断(活荷重, 塩害, 凍害, 中性化, アルカリシリカ反応)
	18	鉄筋腐食ひび割れ			無し	劣化過程の判定(塩害, 中性化, アルカリシリカ反応)
	19	漏水			一部あり	貫通ひび割れの判断(活荷重, アルカリシリカ反応)
	20	アルカリシリカゲル滲出			無し	損傷・劣化要因の判断(アルカリシリカ反応)
	21	コンクリートの変色			無し	損傷・劣化要因の判断(アルカリシリカ反応)
ひび割れ調査 (パイゲージ, コンタクトゲージ等)	22	すり磨きの有無			無し	劣化過程の判定(活荷重)
	23	ひび割れの開閉の有無			未調査	劣化過程の判定(活荷重)
劣化・損傷状況の調査 (非破壊検査・コア採取による)	24	水平ひび割れ調査	打音検査		上面:未調査, 下面:無	水平ひび割れの判断 ※1:舗装を部分的に開削して調査
			衝撃弾性波法調査		上面:未調査, 下面:未調査	
			コア採取		上面:未調査, 下面:未調査	
	25	凍害深さ	目視によるスケーリングの調査		上面:未調査, 下面:無	劣化過程の判断(凍害)
			コア採取, ドリル削孔		上面:未調査, 下面:未調査	
	26	塩化物イオン	コア採取による浸透深さ調査		未調査	劣化過程の判定(塩害)
			鉄筋位置の濃度		未調査	腐食限界濃度1.2kg/cm^3を基準
	27	鉄筋腐食量	目視確認(部分開削, コア抜き等)		未調査	劣化過程の判定(活荷重, 塩害, 凍害, 中性化, アルカリシリカ反応)
			電気化学的測定による腐食度区分		上面:未調査, 下面:未調査	A:点錆程度, B:全体に表面的腐食, C:軽微な断面欠損, D:著しい腐食
	28	中性化深さ	コア採取, ドリル削孔		上面:未調査, 下面:未調査	劣化過程の判断(中性化)
コンクリート物性調査 (非破壊検査・コア採取による)	29	コンクリート強度	コア採取による圧縮試験		未調査	残存耐力の判定(活荷重, 塩害, 凍害, 中性化, アルカリシリカ反応)
			非破壊検査		未調査	
	30	残存膨張量			未調査	損傷原因の判断(アルカリシリカ反応)
	31	骨材のアルカリシリカ反応性			未調査	損傷原因の判断(アルカリシリカ反応)
載荷試験	32	変位	載荷試験(荷重車, FWD)		未調査	劣化過程の判定(活荷重),
			たわみ劣化度 D (計算値)		未調査	残存耐力の判定(活荷重, 塩害, 凍害, 中性化, アルカリシリカ反応)

(2) 劣化要因と損傷段階の判定および適用可能な対策工法の選定

損傷段階の判定および適用可能な対策工法を**表-付 2.1.6** に示す．判定の基準は，損傷段階の判定基準と対策工法の適用性（**表-解 4.2.2**）を用いた．劣化要因の推定では，床版下面に格子状のひび割れ，一部に遊離石灰が認められるものの，塩害，凍害，中性化，アルカリシリカ反応などによる劣化の可能性が低いことから，の主たる劣化要因は輪荷重による疲労であり，変状グレードによる劣化過程の特定により加速期前期にあると考えられる．

表-付 2.1.6　劣化過程の判定および適用可能な対策工法

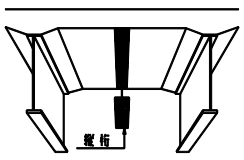
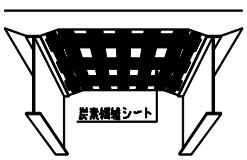
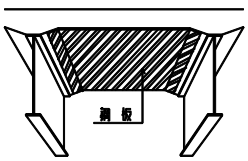
<table>
<tr><td colspan="3" rowspan="2"></td><td colspan="2">一般部</td></tr>
<tr><td colspan="2">劣化過程の判定項目</td><td rowspan="2">劣化過程の判定</td></tr>
<tr><td colspan="3"></td><td>項目番号</td><td>調査結果</td></tr>
<tr><td rowspan="15">判定要因</td><td rowspan="4">輪荷重による疲労（床版下面）</td><td rowspan="4"></td><td>1</td><td>建設から34年,S39道示</td><td rowspan="4">加速期前期</td></tr>
<tr><td>10</td><td>ひび割れが格子状</td></tr>
<tr><td>12</td><td>ひび割れ幅0.2mm，間隔30～50cm</td></tr>
<tr><td>16</td><td>遊離石灰が一部見られる</td></tr>
<tr><td rowspan="3">塩害</td><td rowspan="3">上面</td><td>6</td><td>飛来塩分の影響がない</td><td rowspan="3">（－）</td></tr>
<tr><td>7</td><td>凍結防止剤散布は比較的少ない0.5kg/年m^2</td></tr>
<tr><td>26</td><td>塩分濃度1.2kg/m^{3}未満</td></tr>
<tr><td rowspan="2">下面</td><td>6</td><td>飛来塩分の影響がない</td><td rowspan="2">（－）</td></tr>
<tr><td>26</td><td>塩分濃度1.2kg/m^{3}未満</td></tr>
<tr><td rowspan="2">凍害</td><td>上面</td><td>8</td><td>寒冷地域以外</td><td>（－）</td></tr>
<tr><td>下面</td><td>8</td><td>寒冷地域以外</td><td>（－）</td></tr>
<tr><td rowspan="2">中性化</td><td>上面</td><td>28</td><td>鉄筋位置に達していない</td><td>（－）</td></tr>
<tr><td>下面</td><td>28</td><td>鉄筋位置に達していない　15mm</td><td>（－）</td></tr>
<tr><td colspan="2">アルカリ骨材反応</td><td>20</td><td>アルカリシリカゲル滲出が見られない</td><td>（－）</td></tr>
<tr><td colspan="2"></td><td>21</td><td>アルカリ骨材反応特有のコンクリートの変色が見られない</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="3">劣化・損傷要因と劣化過程の判定</td><td colspan="3">上記より，ひび割れは格子状で，一部遊離石灰が認められた．塩害・凍害・中性化などの変状がみとめられないことから輪荷重による疲労（加速期前期）と判定</td></tr>
<tr><td colspan="3">適用可能な対策工法の選定</td><td colspan="3">・ひび割れ注入工法（他工法と併用）
・縦桁増設工法
・炭素繊維接着工法
・下面増厚工法
・鋼板接着工法
・上面増厚工法

<table>
<tr><td rowspan="2">劣化・損傷要因</td><td rowspan="2">劣化過程</td><td colspan="13">対策工法の適用性</td></tr>
<tr><td>橋面防水</td><td>ひび割れ注入</td><td>表面保護</td><td>電気化学的防食</td><td>縦桁増設</td><td>炭素繊維接着</td><td>下面増厚</td><td>鋼板接着</td><td>上面増厚</td><td>水平ひび割れ注入</td><td>部分打換</td><td>床版取替</td><td>荷重制限</td></tr>
<tr><td>輪荷重による疲労</td><td>加速期前期</td><td>□</td><td>△</td><td></td><td></td><td>○</td><td>○</td><td>○</td><td>○</td><td>○</td><td></td><td>－</td><td>－</td><td>－</td></tr>
</table></td></tr>
</table>

(3) 対策工法の比較・決定

輪荷重における疲労に対する適用可能な対策工法の比較を**表-付 2.1.7** に示す．本橋においては，交通状況より長期の通行止めおよび長期渋滞が発生する工事が困難であるため，下面からの対策工法を選定することを基本とするが，橋面防水工については夜間規制内での施工が可能であるため下面工法と合わせて実施することとした．また，縦桁増設工法および鋼板接着工法は橋梁下に鋼材搬入する施工ヤードが確保できないため，採用が困難と判断したため，炭素繊維シート接着工法とひび割れ注入工法を採用することとした．

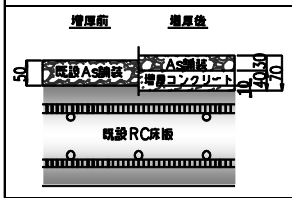
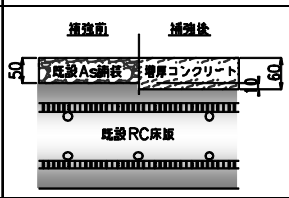
表-付 2.1.7　適用可能な対策工法の比較表

			条件		＜劣化過程＞		＜必要な補強効果＞		＜橋梁の重要度＞	
					輪荷重(加速期前期)		・曲げ耐力向上　:必要		高速自動車国道として重要	
							・せん断耐力向上:不要			
							・鉄筋補強・防錆:不要			
項目							・床版厚修復　:不要			
工法					縦桁増設工法 (防水工とひび割れ注入を併用)		炭素繊維接着工法 (防水工とひび割れ注入を併用)		鋼板接着工法 (防水工とひび割れ注入を併用)	
概要図										
工法の特徴					床版の支間を短くすることで，床版の曲げ耐力を向上させる．		床版下面に炭素繊維を接着することで，床版の曲げ耐力を向上させる．また，せん断耐力が20%向上するとの報告もある		床版下面に鋼板を接着することで，床版の曲げ耐力を向上させる．	
補強効果	曲げ耐力の向上				向上	○	向上	○	向上	○
	せん断耐力の向上				無	×	向上	△	無	△
	輪荷重に対する疲労耐久性の向上				小	△	向上	○	向上	○
	鉄筋	上面鉄筋補修・補強、防錆			無	○	無	○	無	○
		下面鉄筋補修・補強、防錆			無	○	補強	○	補強	○
	床版厚修復効果				無	○	無	○	無	○
床版厚(UP厚)					200mm(変更なし)		200mm(変更なし)		200mm(変更なし)	
対応可能な交通規制	橋面上	交通規制なし			不可(防水工で必要)	—	不可(防水工で必要)	—	不可(防水工で必要)	—
		夜間の一車線規制日数			防水工1日×2回	○	防水工1日×2回	○	防水工1日×2回	○
		夜間の全止め日数			防水工1日	○	防水工1日	○	防水工1日	○
		昼夜間の一車線規制日数			不要	○	不要	○	不要	○
		昼夜間の全止め(規制日数)			不要	○	不要	○	不要	○
	桁下道路等の交通規制				有(縦桁搬入時)	○	無	○	無	○
周辺環境	騒音の程度				昼間作業で騒音小	○	昼間作業で騒音小	○	昼間作業で騒音小	○
桁下足場の必要性					必要	○	必要	○	必要	○
既設橋梁への影響	路面線形への影響	路面の段差			無	○	無	○	無	○
		高欄・地覆高の修正			無	○	無	○	無	○
	死荷重の増加量				0.36kN／m^2		ほとんど増加しない		0.36kN／m^2	
	死荷重増加による桁補強の有無				無	○	無	○	無	○
	主構造の改修				必要	△	無	○	無	○
	舗装の修繕・橋面防水工の設置				必要		必要		必要	
	伸縮装置の取替え				不要		不要		不要	
工法適応にあたっての課題や条件					車輪の走行位置直下に縦桁を配置する必要がある．死荷重の増加に対して桁の照査が必要．桁下に施工ヤードが必要		滞水防止，ひび割れ観察		滞水防止，ひび割れ観察．桁下に施工ヤードが必要	
耐久性	耐久年数や不具合事例など				縦桁上以外を車輪が走行する場合には，疲労損傷が進行し，最終的に押し抜きせん断破壊に至ることが想定される．	△	全面貼りでは滞水によって炭素繊維が剥がれる場合がある．→近年は格子貼りによる滞水対策が図られている．	○	滞水により補強効果が低下する．補強後の維持管理が不適切だと，押し抜きせん断破壊に至る場合がある	△
	耐久年数経過後の補修工法				床版取替え		上面増厚		床版取替え	
施工性	施工実績				近年は減少	△	多い	○	近年は減少	△
	工期				90日(1.50)	△	60日(1.00)	○	90日(1.50)	△
維持管理					・通常のRC床版と同様の維持管理 ・縦桁の塗装の塗り替えが必要		・通常のRC床版と同様の維持管理 ・橋下の通行は無く美観は要求されず 定期的な仕上げ塗装の塗り替えは不要		・鋼板下面塗装の塗り替えが必要 ・鋼板上面に滞水がないか点検が必要 ・床版下面のひび割れが確認できない	
						○	・滞水がないか点検が必要	○		△
経済性	工事費				高	×	最も安価	◎	高	×
	ライフサイクルコスト(LCC)				高	×	最も低い	◎	高	×
評価					× (施工ヤードが確保できない)		◎ (桁下の施工ヤード不要，最も安価)		× (桁下の施工ヤードが確保できない)	

評価の凡例:◎:最も優れている、○:適用可能、△:好ましくないが適用可能、×:適用不可

※1:超速硬コンクリートを用いた場合を示す

※2:早強コンクリートを用いた場合を示す

＜施工上の制約＞ ・迂回路の確保　：困難 ・交通規制　：夜間のみ車線規制可能 ・桁下空間　：縦桁・鋼板の搬入・施工ヤード確保困難 ・周辺環境の制約等：近隣住民に対し工事騒音への配慮が必要				備　考
上面増厚工法＜ｱｽﾌｧﾙﾄ舗装＞ （防水工とひび割れ注入を併用）		上面増厚工法＜ｺﾝｸﾘｰﾄ舗装＞ （ひび割れ注入を併用）		
				
既設床版を増厚することで，床版の曲げ・せん断耐力を向上させる．超速硬コンクリートを使用．		アスファルト舗装をコンクリート舗装に打ち替え，床版の曲げ・せん断耐力を向上させる．早強コンクリートを使用．		
向上	○	向上	○	＜必要な補強効果＞と比較し、性能を○、△、×で評価
向上	○	向上	○	
向上	○	向上	○	
無	○	無	○	
無	○	無	○	
有	○	有	○	
230mm（+30mm増厚）		250mm（+50mm増厚）		
不可	―	不可	―	＜施工上の制約＞と比較し、性能を○、×、△で評価
1日×4回	△	不可	×	
1日×4回	△	不可	×	
連続24時間×2回※1	△	連続7日間×2回※2	×	
連続24時間※1	×	連続7日間※2	×	
無	○	無	○	
夜間作業時騒音大	×	夜間作業時騒音大	×	適用性を○、×、△で
必要（ひび割れ注入工）	○	必要（ひび割れ注入工）	○	
有（すり付け長の確保可能）	○	無	○	適用性を○、×、△で評価
有	○	無	○	
0.23kN／m^2		無		
無	○	無	○	
無	○	無	○	
必要		防水工を設けない		
必要		不要		
死荷重の増加に対して桁の照査が必要．打継ぎ界面のはく離防止		打継ぎ界面のはく離防止		
打継ぎ界面にはく離が生じる場合がある．→近年は接着剤を使用することで耐久性の向上が図られている．	○	打継ぎ界面にはく離が生じる場合がある．→近年は接着剤を使用することで耐久性の向上が図られている．	○	適用性を○、×、△で評価
旧増厚を切削後に再度上面増厚		旧増厚を切削後に再度上面増厚		
多い	○	少ない	○	
60日（1.00）	○	60日（1.00）	○	
通常のRC床版と同様の維持管理		通常のRC床版と同様の維持管理		
	○		○	
安	○	安価	○	
中	△	安価	○	
× （高さのすり付けが・交通止めが必要）		× （交通止めが必要となる）		

7. 補修・補強 【第5章 5.6参照】

本橋では，橋面防水工，炭素繊維シート接着工とひび割れ注入工を採用することとした．ここでは炭素繊維シート接着工法の補強仕様の決定する．床版コンクリートの劣化のモニタリングおよび床版コンクリート内の滞水防止のため，主鉄筋方向および配力鉄筋方向の炭素繊維シートを一定の間隔をあけて接着する，格子接着工法を採用する．既往の輪荷重実験より無補強のRC床版に比べて10倍程度の疲労耐久性が得られる炭素繊維シートの引張剛性として60kN/mm以上を確保することとする．**表-付 2.1.8**に示すように幅250mmの高弾性型炭素繊維シートを150mmの間隔で接着した場合の補強材の引張剛性S_{cf}は以下のように60kN/mmとなる．

$$S_{cf}=n_{cf}\times E_{cf}\times t_{cf}\times w_{cf}/(w_{cf}+g_{cf})$$
$$=60\text{kN/mm}$$

ここに

n_{cf}：炭素繊維シートの積層数，E_{cf}：炭素繊維シートのヤング係数

t_{cf}：炭素繊維シートの厚さ，　w_{cf}：炭素繊維シートの幅，　g_{cf}：炭素繊維シートの間隔

表-付 2.1.8　炭素繊維シートの貼り付け仕様

炭素繊維シートの種類	中弾性型炭素繊維シート
繊維目付量	450g/m^2
炭素繊維シート設計の厚さ　(t_{cf})	0.247mm
炭素繊維シートのヤング係数　(E_{cf})	390kN/mm^2
引張強度	2400N/mm^2
炭素繊維シートの幅　(w_{cf})	250mm
炭素繊維シートの貼り付け間隔　(g_{cf})	150mm
炭素繊維シートの積層数　(n_{cf})	1層（主筋方向・配力筋方向）
補強材の引張剛性　(S_{cf})	60kN/mm

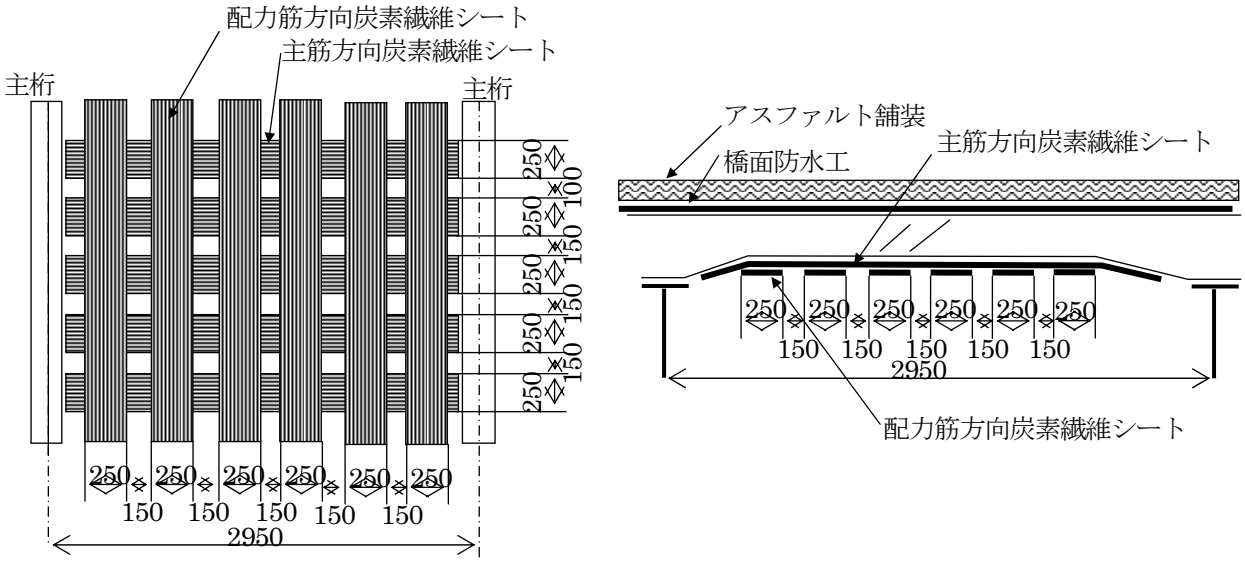


図-付 2.1.5　炭素繊維シート接着仕様

付録２．２　凍結防止剤による塩害を受けたＲＣ床版

１．概要　【第１章　1.1，1.3 参照】

道路橋床版の維持管理は，本マニュアル 1.3 に基づき実施することとし，点検データに基づく損傷度の評価，変状グレードの評価を実施し，その評価結果に基づき対策工法の選定および設計・施工を行う．

本資料では，凍結防止剤による塩害劣化を受けた道路橋床版の維持管理について，本マニュアルの流れに沿って対策を実施した事例について述べる．

２．対象橋梁

対象構造物　：高速道路の鋼連続鈑桁のＢ橋（**表-付 2.2.1** 参照）
　　これまで，床版の補修・補強対策は未実施（舗装の部分打換補修を一部実施）
　　河川と交差している橋梁

劣化環境条件：交通量　約 5,500 台/日（大型車混入率約 30%）
　　凍結防止剤の年間散布量　約 40t/km
　　山間部に位置しており，飛来塩分の影響は無い

対策工事条件：車線規制による工事は実施可能

表-付 2.2.1　Ｂ橋の概要・諸元

構造形式	鋼単純非合成鈑桁橋
橋梁延長	54.6m
有効幅員	9.5m（2 車線）
供用開始年	昭和 53 年 10 月
設計示方書（年度）	道路橋示方書（昭和 48 年）
設計活荷重	TL-20，TT43
床版支間／主桁数	2.8m（2800mm）／4 主桁
床版厚	21cm（210mm）

３．床版の損傷と点検調査方法　【第２章　2.1，2.2.1～4 参照】

本事例における点検・調査は，本マニュアル 2.2 に基づき実施し，損傷の状況については 2.1.1 を参考とした．床版に着目した点検において，初期点検，異常時点検，特定点検は実施されていなかったため，損傷が確認された最新の「日常点検」「定期点検」の結果について以下に示す．

なお，詳細調査の実施の有無については，定期点検結果を踏まえて判断することとする．

(1) 点検調査方法

①日常点検　：１日１回の頻度で路上から車上および降車目視により実施
②定期点検　：５年に１度主に床版下面からの近接目視と打音により実施

(2) 床版上面（舗装面）の状況

日常点検において，走行車線の舗装補修箇所周辺から**図-付 2.2.1** に示すように若干の土砂が噴出している状況が確認されている．

図-付 2.2.1　B橋の床版上面（舗装面）の状況

(3) 床版下面の状況

定期点検において，床版下面の各パネル（主桁×横桁間）には，**図-付 2.2.2** に示すような漏水・遊離石灰が部分的に確認されている．

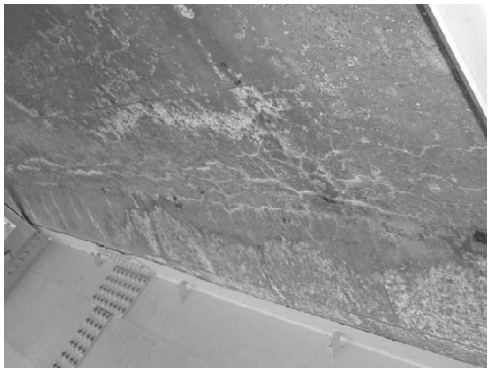


図-付 2.2.2　B橋の床版下面の状況（漏水・遊離石灰）

４．点検結果による損傷度の評価　【第２章　2.2.5～8 参照】

(1) 損傷度の評価区分

本橋における点検結果を基に，本マニュアルの**表-2.2.2** により，スパン単位で評価すると「ｃ」（やや注意）と評価され，損傷があるが機能低下が見られず，損傷の状態や進行状況を観察する必要がある状況であると判断される．

(2) 対策区分の１次判定

本橋における点検結果を基に，本マニュアルの**表-2.2.3** により，パネル単位で判定すると，いくつかのパネルにおいて「ｃ」（速やかに補修を行う必要があるもの）と判定されるものがあった．また，推定される劣化要因の１次判定については，点検による損傷状況のほか，橋梁諸元や維持管理条件などを加味して行った．以下に橋梁諸元の特徴と使用条件を示す．

【構造に関わる事項】

・構造的特徴：床版は支間 2.8m，厚さ 210mm と標準的

【設計・製作・施工の各条件に関わる事項】

・設計基準：昭和 48 年の道路橋示方書を適用

・使用材料の特性：コンクリート設計基準強度（海砂は未使用）24N/mm2

【使用条件に関わる事項】

・交通量は約 5,500 台/日（大型車混入率約 30%）で疲労の影響は少ない

・橋梁の周辺環境・架橋条件：留意する特徴無し

・維持管理の状況：凍結防止剤散布量は約 40t/km のため多く散布している

・橋梁の補修・補強履歴：部分的な舗装補修のみ（床版防水は未施工）

上記の橋梁緒元，環境条件と損傷状況を基に劣化要因を推定すると，交通量は少ないが，凍結防止剤の散布量が多く，床版防水工が未施工であるため，床版下面に遊離石灰が見られることから，主たる劣化要因は凍結防止剤による塩害と推定する．

５．詳細調査の実施と調査結果　【第２章　2.3，第３章　3.1 参照】

１次判定において，対策区分および劣化要因の推定を実施しているが，本事例ではさらに現状の劣化・損傷状態の把握，劣化要因の特定，劣化過程の特定および対策工法の選定に必要な情報を得るため詳細調査を実施する．

(1) 詳細調査項目

詳細調査の項目は，舗装の剥ぎ取りによる床版上面のひび割れ，浮き・はく離などの劣化・損傷状況の観察とコンクリートコアの採取による，床版内部ひび割れなどの観察およびコンクリート強度，塩化物イオン濃度などについて実施した．

主な調査項目と目的

①外観変状調査（舗装面，床版上面，床版下面）により，劣化・損傷範囲を確認する．

②塩化物イオン濃度の調査により，塩害の可能性を確認する．

③鉄筋腐食状況調査により，床版の健全度を確認する．（補修工事実施時）

(2) 詳細調査結果

1) 外観変状調査（舗装面，床版上面，床版下面）

舗装面の外観変状については，日常点検で確認されているポットホール補修の跡は１箇所だけであったが，車線規制を行い，ポットホール補修跡のある走行車線のみを近接して打音調査も含めて詳細に外観調査した結果，舗装面の浮き・ひび割れが多数確認され，**図-付 2.2.3** に示すように蜘蛛の巣状にひび割れている箇所もあった．本事例では，走行車線のみを車線規制して舗装切削した後に床版上面の調査結果に基づき補修範囲を決める方針とした．走行車線のみの舗装切削後の床版上面の打音調査を含む外観変状調査の結果では，部分的な滞水と浮き・はく離が確認され確認され，**図-付 2.2.4** に示すように部分的に上面のコンクリートが骨材化（土砂化，砂利化，粘土化）している箇所もあった．

床版下面については，車線規制に関係なく実施できるため，全面について打音調査を含む外観変状調査を実施した結果，走行車線側（G3-G4 間）を主体として多数のパネルにおいて，漏水および浮き・はく離が確認され，**図-付 2.2.5** に示すように部分的に腐食した鉄筋が露出している箇所もあった．

図-付 2.2.3　舗装面のひび割れ

図-付 2.2.4　床版上面の骨材化

図-付 2.2.5　床版下面の鉄筋露出

2) 塩化物イオン濃度の調査

外観調査において確認された損傷部と健全部において床版上面よりコアを採取し，含有塩分量を調査した結果，損傷部においては鉄筋腐食限界(1.2kg/m2)を大きく超える多量の塩分が検出されたが，健全部では鉄筋腐食限界以下の小さな塩分量であった．

3) 鉄筋腐食状況調査

本事例では後述するように損傷が顕著なパネルを部分的に床版全層のコンクリートを除去し，新しくコンクリートを打設する床版部分打換え工法を選定して補修した．このため，劣化したコンクリートを除去した際に既設鉄筋の腐食状況を調査した結果，**図-付 2.2.6** に示すように上側・下側ともに著しい腐食が確認された．

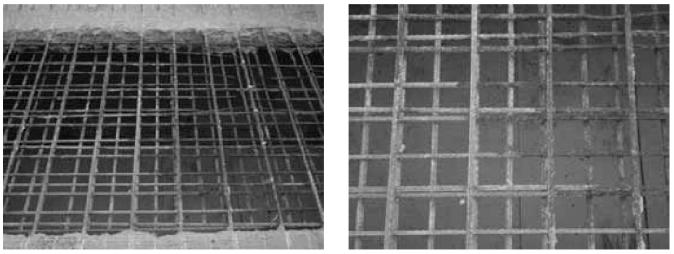


図-付 2.2.6　補修箇所の鉄筋腐食状況

(3) 詳細調査の整理結果

詳細調査の整理結果を**表-付 2.2.2** に示す．本橋は床版下面の疲労に起因するひび割れはなく，塩害に起因する損傷が確認された．その原因は，凍結防止剤の散布による塩害と推察され，凍害，アルカリ骨材反応などによる劣化の可能性はない．

表-付 2.2.2　詳細調査の整理結果

分類	項目番号	調査項目			調査結果（床版部）	
資料調査等	1	供用年数，適用示方書			建設後 33 年，　S46 道示	
	2	路線の重要度			高速道路であり，非常に重要	
	3	一方向あたりの大型車の交通量（台／日）			約 1,650 台／日（全体の約 30%）	
	4	床版厚	設計厚		210mm	＋10mm
			現行道示での床版厚		200mm	
	5	鉄筋	鉄筋の種類		異形鉄筋	
			かぶり（設計）	上面	30mm	
				下面	30mm	
			配力筋量		現行道示に準拠	
	6	飛来塩分の影響			無（山間部）	
	7	凍結防止剤の散布の有無			有（約 40ｔ／ｋｍ・年）	
	8	寒冷地域			比較的穏やかな寒冷地	
	9	防水層の施工時期			未施工	
ひび割れ調査（目視）	10	ひび割れ形状（一方向，格子状，網細化など）			一方向	
	11	ひび割れ・剥離の位置（床版中央，ハンチ，張出部など）			走行車線	
	12	ひび割れ幅，間隔			平均 0.3mm 程度，50cm	
	13	ひび割れ密度（m/m^2）			未測定	
	14	はく離，はく落の面積率			約 70%（対スパン；大きい箇所）	
	15	ひび割れの角落ちの有無			無	
	16	遊離石灰の有無			有	
	17	錆汁の有無			有	
	18	鉄筋腐食ひび割れ			有	
	19	漏水			有	
	20	アルカリ骨材ゲル滲出			無	
	21	コンクリートの変色			有	
ひび割れ（ゲージ等）	22	すり磨きの有無			未調査	
	23	ひび割れの開閉の有無			未調査	
劣化・損傷状況の調査（非破壊検査・コア採取による）	24	水平ひび割れ調査	打音検査		確認できず	
			その他の調査		未調査	
	25	凍害深さ	目視によるスケーリング		無	
			コア採取，ドリル削孔		未調査	
	26	塩化物イオン	コア採取による EPMA 等		未調査	
			鉄筋位置の濃度		約 8 kg/cm^3（損傷部）	
	27	鉄筋腐食量	目視確認（方法等）		はつり調査	
			腐食度区分＊		D：著しい腐食（損傷部）	
	28	中性化	中性化深さ		未調査	
	29	アルカリシリカ反応	残存膨張量		未調査	
			骨材反応性		未調査	
	30	旧工事の舗装切削における床版厚の減少			未調査	
コンクリート物性調査	31	コンクリート強度	コア採取による圧縮試験		未調査	
			非破壊検査		未調査	
載荷試験	32	変位	載荷試験（荷重車，FWD）		未調査	
			たわみ劣化度　D(計算値)		未調査	

腐食度区分，A：点錆程度，B：全体に表面的腐食，C：軽微な断面欠損，D：著しい腐食

６．床版の劣化進行過程の評価　【第３章　3.1 参照】

(1) 劣化要因の２次判定

４．(2)の対策区分の１次判定に５．で得られた詳細調査結果を加え，総合的に健全性評価を実施し，以下のとおり考察して整理した．

① 外観変状調査で損傷が確認された部分での塩化物イオンの濃度が高いため，劣化要因は凍結防止剤による塩害であると判断される．なお，床版防水工が未施工であるため，床版上面から塩水の浸透が進行し，塩害劣化が加速しているものと思われる．

② 外観変状調査で損傷が確認された部分の内部鉄筋は腐食が著しいため，凍結防止剤による塩害で鉄筋の腐食が進行したものと思われる．

以上より，１次判定に詳細調査結果を加えて考察してみても，劣化要因の２次判定としても，凍結防止剤による塩害であると判定される．

(2) 劣化進行過程の評価　　【第３章　3.2 参照】

点検・調査結果を整理して床版における変状グレードを評価するため，床版下面の評価については，本マニュアルに示されているひび割れ間隔と遊離石灰による評価を行った．また，床版上面については，舗装面および床版上面の損傷度評価に基づき実施した．さらに，床版上下面の損傷度評価結果を総合判定して，総合判定による変状グレードの評価を実施した．なお，本事例での評価は，日常点検で舗装のポットホール周辺の損傷が確認されている走行車線側(G1-G2)の 9 パネルのみの評価を実施した．

床版下面のパネル別の損傷度は，**図-付 2.2.7** に示すようにｂ判定が 1 パネル，ｃ判定が 4 パネル，ｄ判定が 4 パネルであった．床版上面（舗装面）のパネル別の損傷度は，**図-付 2.2.8** に示すように損傷小が 3 パネル，損傷中が 3 パネル，損傷大が 3 パネルであった．**図-付 2.2.7** および**図-付 2.2.8** を総合判定した各パネルの健全度評価結果は，**図-付 2.2.9** に示すように健全度Ⅰが 1 パネル，健全度Ⅱが 2 パネル，健全度Ⅲが 2 パネル，健全度Ⅳが 1 パネル，健全度Ⅴが 3 パネルであった．

c	d	d	d	c	c	c	b	d

図-付 2.2.7　床版下面の損傷度評価

損傷中	損傷中	損傷大	損傷大	損傷小	損傷小	損傷中	損傷小	損傷大

図-付 2.2.8　床版上面（舗装面）の損傷度評価

Ⅲ	Ⅳ	Ⅴ	Ⅴ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅰ	Ⅴ

図-付 2.2.9　床版上下面の総合判定による変状グレード

７．対策工法の選定　【第４章参照】

６．(2)で変状グレードを評価した結果，走行車線側で緊急に補修が必要なグレードⅤの 3 パネルについて対策を実施することとした．補修目標としては，塩害により塩分が多く浸透しているグレードⅤの 3 パネルについて全層のコンクリート部分を除去して新しいコンクリートに打換える部分打換工法を選定し，走行車線の車線規制により補修工事を実施することとした．劣化過程の判定および適用可能な対策工法を**表-付 2.2.3(1)**，(2)に示す．判定の基準は，劣化過程の判定基準と対策工法の適用性（**表-解 4.2.2**）を用いた．

表-付 2.2.3 (1)　劣化過程の判定および適用可能な対策工法（判定）

劣化因子			劣化過程の判定項目		劣化過程の判定
			項目番号	調査結果	
判定要因	輪荷重による疲労		1	建設後 33 年，S46 道示	（潜伏期）
			3	1650 台／日（設計範囲内）	
			10	ひび割れは一方向	
	塩害	上面	6	飛来塩分の影響を受けない	加速期後期
			7	凍結防止剤を大量に散布する	
			26	約 8 kg/cm^3（鉄筋位置）	
			27	D：著し腐食	
		下面	6	飛来塩分の影響を受けない	加速期後期
			7	凍結防止剤を大量に散布する	
			14	はく離がある	
			17	錆汁がある	
			18	鉄筋腐食ひび割れがある	
			26	約 8 kg/cm^3（鉄筋位置）	
			27	D：著し腐食	
	凍害	上面	8	比較的穏やかな寒冷地	(―)
			25	目視によるスケーリング；無	
		下面	8	比較的穏やかな寒冷地	(―)
			25	目視によるスケーリング；無	
	中性化	上面	28	未調査	(―)
		下面	28	未調査	(―)
	アルカリシリカ反応		20	ゲル滲出なし	(―)
劣化要因と劣化過程の判定			上記より，本床版の損傷部は凍結防止剤による塩化物を床版の版厚上下全体に多量に含有しているが，健全部の塩化物は発錆限界以下である．また，損傷部は走行車線に集中しており，走行車線内においても比較的健全な箇所も存在しており，損傷部は塩害の加速期後期と判定される．また，塩害以外の劣化要因は認められない．		

表-付 2.2.3 (2)　劣化過程の判定および適用可能な対策工法（対策工法）

適用可能な対策工法の選定

上記に基づき適用可能な対策工法を選定すると以下となる．（施工方向の制限なし，損傷部対策）

・表面保護（断面修復＋表面被覆）；含有塩化物は，床版の版厚上下で多量であるため，床版版厚方向全てのはつりが必要＝部分打換工法⇒○

・電気化学的防食（電気防食）；はく離部の断面修復と併用することで，適用可能⇒○

・炭素繊維接着（他の塩害対策との併用）；疲労に対する補強を必要としない⇒×

・下面増厚（他の塩害対策との併用）；疲労に対する補強を必要としない⇒×

・上面増厚（他の塩害対策との併用）；疲労に対する補強を必要としない⇒×

・部分打換；⇒○

・床版取替；損傷は部分的であり，床版全体の取替えは過剰⇒×

劣化・損傷要因	損傷段階	対策工法の適用性											
		ひび割れ注入	表面保護	電気化学的防食	縦桁増設	炭素繊維接着	下面増厚	鋼板接着	上面増厚	水平ひび割れ注入	部分打換	床版取替	荷重制限
塩害	加速期後期	×	○	△	×	△	△	▲	△	—	○	○	—

凡例：

●；予防保全として適用、○：適用可能，△：他工法との併用にて適用，

▲；適用に条件を伴う，—；適用対象外、×：適用不可もしくは効果が望めない，

【総合判定】

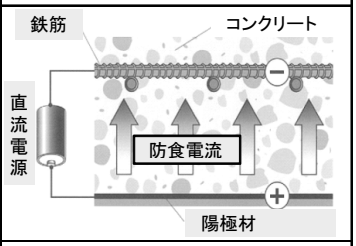
上記の結果を考慮して，下記の 2 工法についての比較検討を実施し，適用工法を決定する．

・部分打換工法＝表面保護工法（断面修復）

・電気化学的工法（電気防食工法）

適用可能な対策工法の比較を**表-付 2.2.4** に示す．検討の結果，工事の緊急性，施工規模，工事費やＬＣＣ，その他の面で部分打換工法の適用が最も適していると判定できる．

表-付 2.2.4　適用可能な対策工法の比較表

		条件	＜損傷段階＞ 塩害(加速期後期) ＜必要な補強＞ 特に必要なし ＜橋梁の重要度＞ 高速道路として非常に重要		＜施工上の制約＞ ・迂回路の確保　：可 ・交通規制；昼夜間の一車線規制可能 ・桁下空間：規制なし ・周辺環境の規制等；制約なし	
項目						
工法			部分断面修復		電気化学的工法 (電気防食工法)	
概要図等						
工法の概要および特徴			劣化損傷した床版全体をスパン単位ではつり取り，新しいコンクリートを打設し，橋面防水を実施する．施工後の補修箇所は通常の維持管理を行う．		コンクリート表面に陽極を取付け，直流電源装置のプラス極に陽極を，鉄筋をマイナス極に繋ぎ，防食電流を供給することで，鋼材の腐食反応を停止させ防食する．	
補強効果	曲げ耐力の向上		無	○	無	○
	せん断耐力の向上		無	○	無	○
	鉄筋	上面鉄筋補修・補強、防錆	鉄筋のブラスト処理	○	無	○
		下面鉄筋補修・補強、防錆	鉄筋のブラスト処理	○	無	○
	床版厚修復効果		有	○	無	○
床版厚(UP厚)			210mm(変更なし)		210mm(変更なし)	
対応可能な交通規制	橋面上	交通規制なし	不可(はつり)	○	可(下面からの施工の場合)	○
		夜間の一車線規制日数	工期中	○	無	○
		夜間の全止め日数	—	—	—	—
		昼夜間の一車線規制日数	工期中	○	無	○
		昼夜間の全止め規制日数	—	—	—	—
	桁下道路等の交通規制		無	○	無	○
桁下足場の必要性			必要(下面型枠設置)	○	必要	○
既設橋梁への影響	路面線形への影響	路面の段差	無	○	無	○
		高欄・地覆高の修正	無	○	無	○
	死荷重の増加量		ほとんど増加しない		ほとんど増加しない(方式で異なる)	
	死荷重増加による桁補強の有無		無	○	無	○
	主構造の改修		無	○	無	○
	舗装の修繕・橋面防水工の設置		有		不要(現状維持)	
	伸縮装置の取替え		不要		不要	
工法適応にあたっての課題や条件			表面被覆の再補修		定期的な防食効果の確認試験	
耐久性	耐久年数や不具合事例など		補修部には，橋面防水を行うため，新設と同等以上の耐用年数が期待できる．	○	チタン系陽極材は耐用年数40年以上が保障されている．陽極かぶりがない場合は，周りのモルタルが損傷する場合がる．	○
	耐久年数経過後の補修工法		床版取替		電気防食の再施工	
施工性	施工実績；床版(道路橋以外を含む)		多い	○	多い	○
	工期		約3日	○	約1カ月	△
維持管理			・通常のRC床版と同様の維持管理	○	・電気防食の維持管理 ・電気代・専門家の維持管理が必要	○
経済性	工事費(部分打換を1.0として)		1.0	△	5.0(規模が小さく不向き)	○
	ライフサイクルコスト(LCC)		低	×	高	◎
評価			◎ (工事費，LCCが低く，維持管理が簡便)		△ (施工規模が小さいため，効率的な適用ができない)	

評価の凡例：◎：最も優れている、○：適用可能、△：好ましくないが適用可能、×：適用不可

７．部分打換工法の設計　【第５章参照】

部分打換工法は，通常の床版の設計や施工と同様に実施すればよいが，検討すべき留意点としては以下のような項目が挙げられるため，その事例を示す．これらの項目以外にも状況に応じて考慮すべき事項が存在すると考えられるが，それらについては，適宜検討するのがよい．

① はつり方法

周辺コンクリートへの影響を考慮して，ウォータージェット工法によるはつりを適用するか？

本事例では，部分打換範囲が３パネルと小規模であったため，経済性も考慮して打継目周辺のはつりはエネルギーの小さい電動ピックなどの小型機械で実施している．

② 腐食鉄筋のケレン

ケレンの手法としてどのような方法を適用するか？

本事例では，人力によるブラシを用いた方法で腐食鉄筋をケレンしている．

③ 鉄筋の防錆処理

適用するか否か？

本事例では，亜硝酸リチウム配合の防錆剤を鉄筋周囲に塗布している．

④ マクロセル腐食対策

どのような対策を実施するか？

本事例では，新旧コンクリート接合面に遮蔽型マクロセル腐食対策を講じている．

⑤ コンクリートの種類

工期を考慮して超速硬コンクリートを適用するか？

防食性を考慮してポリマーコンクリートを適用するか？

ひび割れを考慮して膨張剤を適用するか？

本事例では，車線規制により養生期間が確保可能であったため，超速硬コンクリートは適用していないが，ひび割れ防止を目的に膨張剤入りの早強コンクリートを適用している．

なお，鉄筋防錆処理を実施しているため，ポリマーコンクリートは使用していない．

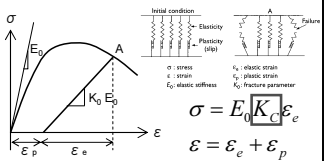
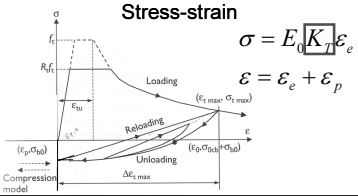
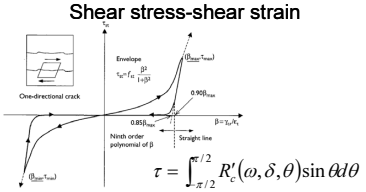
《付録 3》数値解析事例

1．数値解析手法の概要

近年開発されたコンクリート構造の高サイクル疲労損傷を再現する履歴経路積分型の疲労非線形有限要素解析（COM3D・東京大学開発）を利用して，RC 床版各種補強効果の評価を試みたものである．

コンクリートおよび鉄筋コンクリート要素では，ひび割れを内在する有限体積に適用される構成則を使用した [1), 2)]．本構成則は，複数の微細なひび割れの挙動を有限体積上で平均化することにより，有限要素の平均ひずみ－平均応力関係を規定する（分散ひび割れモデル）．ひび割れ以後の，ひび割れ開口方向の直応力及びひび割れ面に沿ったせん断応力伝達機構，さらに鉄筋とコンクリート間の付着とひび割れ位置での鉄筋の塑性局所化は，すべて有限要素の平均ひずみ－平均応力関係の中で再現される．これをひずみ経路に沿って経路積分することにより，応力とあわせて塑性・損傷状態を直接算出することが可能である．床版のように，構造内に分散して配置された鉄筋により，多数のひび割れが分散する場合には，全体挙動を再現するのに合理的な手法と言える．

平均ひずみ－平均応力関係は，**図－付 3.1** に示す 1 次元の圧縮，引張，ひび割れ面せん断伝達のモデルから構成される．3 次元の非線形構造解析における多方向複数のひび割れは，多方向非直交固定ひび割れモデルを組み込むことで再現した．これにより，荷重の履歴に応じたひび割れの発生と発生後の挙動とを，3 次元で再現することができる．

	Compression model	Tension model	Crack shear model
Core Constitutive low	Stress-strain  $\sigma = E_0 \boxed{K_C} \varepsilon_e$ $\varepsilon = \varepsilon_e + \varepsilon_p$	Stress-strain  $\sigma = E_0 \boxed{K_T} \varepsilon_e$ $\varepsilon = \varepsilon_e + \varepsilon_p$	Shear stress-shear strain  $\tau = \int_{-\pi/2}^{\pi/2} R'_c(\omega,\delta,\theta)\sin\theta d\theta$
Enhanced model for High cycle fatigue	Fracture parameter Kc considers time dependent plasticity & fracturing and cyclic fatigue damage $\boxed{dK_C} = \left(\frac{\partial K_C}{\partial t}\right)dt + \boxed{\left(\frac{\partial K_C}{\partial \varepsilon_e}\right)d\varepsilon_e}$ time dependent　cyclic fatigue $\left(\frac{\partial K_c}{\partial \varepsilon_e}\right) = \lambda \sim when F_k = 0$ $\left(\frac{\partial K_c}{\partial \varepsilon_e}\right) = -\left(\frac{\partial F_k}{\partial \varepsilon_e}\right)\left(\frac{\partial F_k}{\partial K}\right) + \lambda \sim when F_k = 0$ $\boxed{\lambda = K^3 \cdot (1 - K^4) \cdot g \cdot R}$ El-Kachif and Maekawa 2004	Fracture parameter K_T considers time dependent fracturing and cyclic fatigue damage $dK_T = Fdt + \boxed{Gd\varepsilon_e} + Hd\varepsilon_e$ Time dependent fracturing　Cyclic fatigue damage Maekawa et al. 2003, Hisasue 2005	Accumulated path function X reduce shear associated with cyclic fatigue damage $\tau = \underset{\text{function}}{\boxed{X}} \cdot \underset{\text{original model}}{\tau_0(\delta,\omega)}$ $\boxed{X} = 1 - \frac{1}{10}\log_{10}\left\{1 + \int\left\lvert d(\delta/\omega)\right\rvert\right\} \geq 0.1$ Contact density model by Li & Maekawa 1989 Modification of accumulated path function by Gebreyouhannes 2006
Physical meaning	Decrease of stiffness and plasticity accumulation by continuous fracturing of concrete	Decrease of tension stiffness by bond fatigue	Decrease of shear transfer normal to crack by continuous deterioration of rough crack surface

図－付 3.1　COM3D におけるコンクリート要素の基本構成則（1 次元）

コンクリートの高サイクル疲労損傷も，**図－付 3.1** の 1 次元の基本構成則のレベルで考慮されている [3)]．繰り返し荷重を受けるコンクリートでは，塑性変形が進行するだけでなく，コンクリート内部に発生する微細なひび割れの進展により，除荷および再載荷時の弾性剛性の低下（損傷）が徐々に進行する．この挙動は，圧縮と引張の基本構成則において，破壊パラメータとして組み込まれている．鉄筋とコンクリートの付着疲

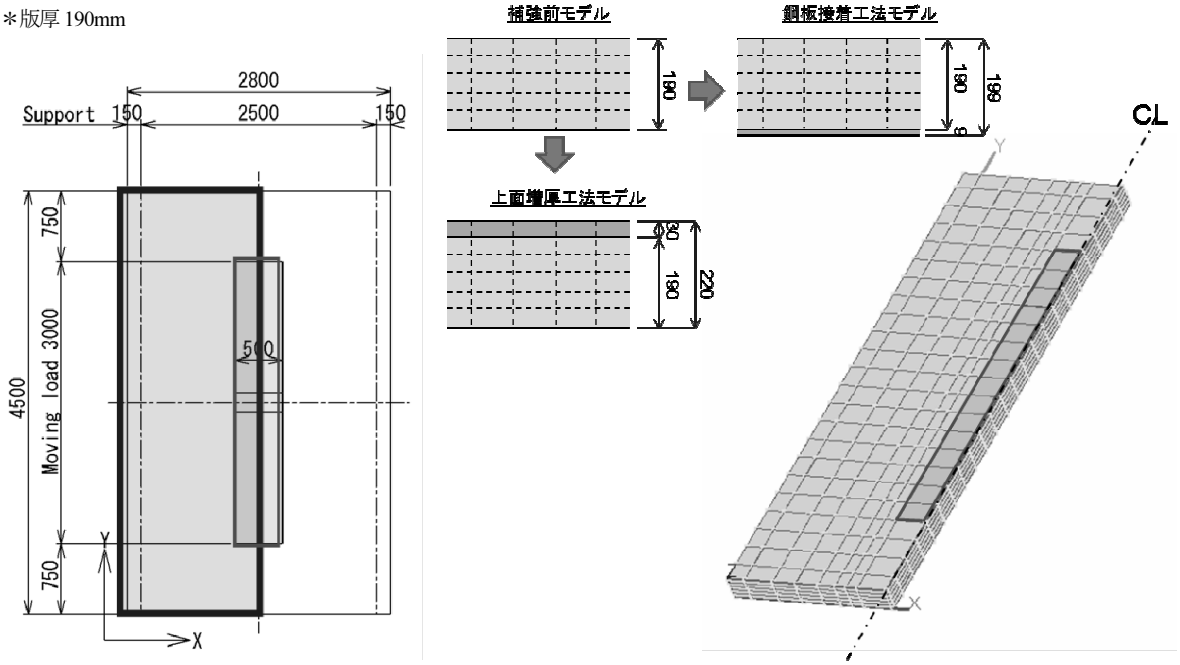
労に起因する剛性低下は，引張側の損傷として解析に反映される．一方，コンクリートひび割れ面に沿った方向のせん断応力伝達モデルでは，繰り返し回数に応じてせん断力伝達機能を低下させる微小損傷項が導入されている．通常，骨材を含む普通強度のコンクリートでは，ひび割れ面には凹凸が生じる．この凹凸が，繰り返し荷重による擦り磨き効果で平滑化し，かみ合わせ作用が低下する現象をモデル化したものである．以上の構成則の詳細については，参考文献を参照されたい．

２．数値解析事例

解析モデルの概要を**図ー付 3.2** に示す．解析では対称性を考慮して半面のみをモデル化し，要素は 8 節点アイソパラメトリック要素を用いた．鉄筋は 38mm 厚の RC 要素層として解析に取り入れ，それ以外は無筋コンクリート領域と規定され，コンクリートの引張破壊エネルギーに対応した引張軟化特性を設定した．各要素の諸元を**表ー付 3.1** に示す．荷重は 20kN とし，支間中央の 200×500mm（半面モデルにつき実際には幅 250mm）の載荷領域をセンターラインに沿って順次移動させ，輪荷重を模擬した．

このモデルで移動荷重を一定回数載荷した後，版下面に厚さ 9mm の鋼材要素を追加して鋼板接着工法を，

また版上面に厚さ 30mm の無筋コンクリート要素を追加して上面増厚工法を模擬し，引き続き移動荷重を与えるものとした．増厚前のはつりは考慮していない．また，どちらの補強工法に関しても，旧コンクリートと補強材料とは完全に一体化しているものとし，疲労による境界面の付着低下は考慮していない．



図ー付 3.2　対象とした RC 床板の諸元と有限要素解析モデル

表ー付 3.1　有限要素解析での材料諸元

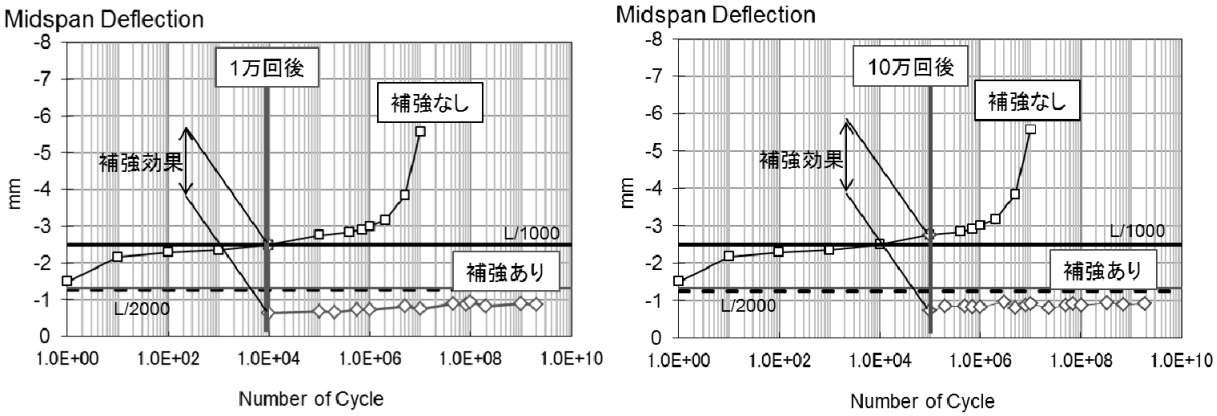
材料強度（N/mm^2）						配筋（SD345 想定）		
コンクリート				鋼材			主方向	配力筋方向
圧縮強度	30	引張強度	1.37	降伏強度	345	上面	D16ctc300	D13ctc300
弾性係数	28,200	ポアソン比	0.2	弾性係数	200,000	下面	D16ctc150	D10ctc300

３．結果と考察

(1) 鋼板接着工法の解析

1) 活荷重たわみの推移

鋼板接着工法について，補強なしのモデル床版の活荷重たわみが支間長の 1/1000 を越えてすぐに鋼板接着（鋼板厚 9mm）を行った場合（**図－付 3. 3(a)**），その後さらに 20tf 荷重 9 万回の載荷を行ってから同様の補強をした場合（**図－付 3. 3(b)**）の 2 ケースについて，移動荷重の通過回数と版中央の活荷重たわみの関係を示す．ここで，活荷重たわみとは，移動荷重除荷時の残留たわみを全たわみから引いたものとする．いずれのケースも，補強によって活荷重たわみは支間長の 1/3000 程度まで低減された．数値解析では新旧コンクリートの境界面は載荷回数にかかわらず完全な付着状態と仮定しているため，補強効果が過大に評価されている可能性がある．また，本研究の条件では，補強の時期によらず，補強を行った後はいずれも 1 億回以上の載荷に対してもたわみの増加はわずかであることがわかった．



(a) 鋼板接着工法―早期補強　　(b) 鋼板接着工法―後期補強

図－付 3. 3　移動荷重の通過回数と版中央の活荷重たわみの関係

2) 疲労耐久性の検討

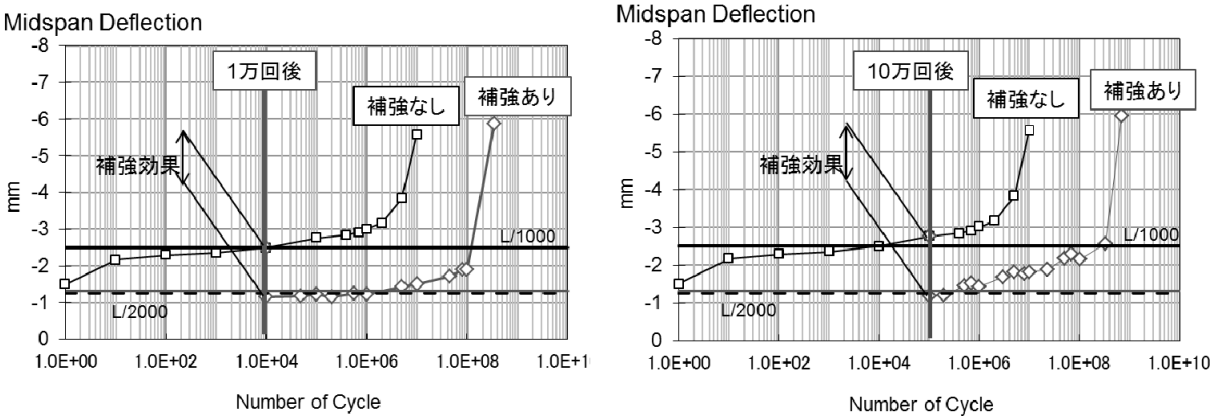
解析では，鋼板接着工法では，補強時期によってその効果に大きな差異は認められなかった．実橋では，コンクリートと鋼板の間への水の浸入による付着低下や鋼板自体の腐食という補強後の再劣化が報告されていることから，鋼板接着工法については，補強後の適切な維持管理に重点がおかれるべきであろう．

(2) 上面増厚工法の解析

1) 活荷重たわみの推移

上面増厚工法についても同様に，補強前のモデル床版の活荷重たわみが支間長の 1/1000 を越えてすぐに上面増厚（普通コンクリート 30mm）を行った場合（**図－付 3. 4(a)**），その後さらに 20tf 荷重 9 万回の載荷を行ってから同様の補強をした場合（**図－付 3. 4(b)**）について検討を行った．いずれのケースも，増厚補強直後の活荷重たわみは，支間長の 1/2000 程度まで低減されることが確認できた．補強後のたわみの進展を比較すると，早期に補強したケースでは載荷回数 100 万回程度までたわみが支間長の 1/2000 以内に抑えられているのに対し，後期に補強を行った場合は 100 万回以前に支間長の 1/2000 を越えており，さらにその後の増加率も他方より大きかった．

なお，本解析では補強前のはつりを考慮せず，既に損傷を受けた上面コンクリート上に新たなコンクリートを増厚しているため，補強時期が遅い場合の補強効果が過小評価された可能性はある．



(a) 上面増厚工法―早期補強　　(b) 上面増厚工法―後期補強

図－付 3.4　移動荷重の通過回数と版中央の活荷重たわみの関係

2) 疲労耐久性の検討

上記解析結果より，上面増厚工法では早期に実施したほうが，たわみ抑制効果が高く長期にわたって得られると推察された．走行安全性や防水の観点からも，床版上面のコンクリートの健全性を保つため，上面増厚工法については，比較的損傷が軽度なうちに実施するのが望ましいと言える．

４．数値解析，今後の活用

本解析では，版中央たわみに着目したが，実際の床版損傷度は解析結果から得られる他の指標も用いて総合的に検討するのがよい．たとえば，複数点の節点変位から算出されるたわみ曲率の進展，着目要素の応力変動から推定される鉄筋および鋼板の疲労損傷度，上面コンクリート要素の圧縮破壊の有無である．特に，走行安全性や防水の観点から，上面コンクリートの疲労損傷度について検討が必要であろう．実験荷重走行位置の変化や任意の載荷回数に対する応力やひずみ分布の変化を，分析する際に，数値解析のさらなる活用が見込まれる．

【参考文献】

1) 岡村甫，前川宏一：鉄筋コンクリートの非線形解析と構成則，技法堂出版，1991.
2) Maekawa, K., Pimanmas, A. and Okamura, H.: Nonlinear mechanics of reinforced concrete, Spon press, London, 2003.
3) Maekawa, K., Ishida, T. and Kishi, T.: Multi-scale modeling of structural concrete, Taylor & Francis, London, 2008.

《付録４》道路橋の維持管理における設計基準の変遷

道路橋床版における道路橋示方書の設計基準の変遷について下表に示す.

制定月日	適用基準および通達等		設計基準の内容	
			設計自動車荷重	設計曲げモーメント 主筋方向
昭和31年5月	鋼道路橋設計示方書 （日本道路協会）	基準	1等橋 TL20 P=20tf 2等橋 TL14 P=20tf	M=0.4P(L-1)/(L+4)x(1+i) i=20/(50+L)≦0.3
昭和39年6月	鋼道路橋設計示方書 （日本道路協会）	基準		
昭和42年9月	鋼道路橋一方向RC床版の配力筋量設計要領	通達		
昭和43年5月	鋼道路橋の床版設計に関する暫定基準案（日本道路協会）	基準		
昭和46年3月	鋼道路橋RC床版の設計について	建設省通達	TL20、TL14 に加え TT43 を導入	M=0.8(0.12L+0.07)P
昭和48年2月	道路橋示方書（日本道路協会）	基準		
昭和53年4月	道路橋RC床版の設計、施工について	建設省通達		
昭和55年2月	道路橋示方書（日本道路協会）	基準		
昭和59年	道路橋鉄筋コンクリート床版の設計施工指針	建設省通達		
平成2年2月	道路橋示方書（日本道路協会）	基準		
平成5年3月	橋、高架の道路等の技術基準における活荷重の取扱いについて	建設省通達	道路構造令の改正で設計自動車荷重を25tfまで引き上げた P=25tf	
平成6年2月	道路橋示方書（日本道路協会）	基準	TL20、TL14、TT43 を廃止して A 活荷重と B 活荷重を制定	
平成8年12月	道路橋示方書（日本道路協会）	基準		
平成14年3月	道路橋示方書（日本道路協会）	基準		

<table>
<tr><td colspan="6">設計基準の内容</td></tr>
<tr><td>設計曲げモーメント
配力筋方向</td><td>最小床版厚do</td><td>桁間隔（床版支間）</td><td colspan="2">許容応力度（kgf/cm2）</td><td>配力筋</td></tr>
<tr><td rowspan="4">規定なし</td><td rowspan="3">14cm
（有効厚11cm
かぶり 3cm）</td><td rowspan="4">4m以下</td><td rowspan="5">σck/3 ＜ 70
（σck ＞ 160）</td><td>1,300</td><td>主鉄筋量の25%以上</td></tr>
<tr><td>1,400
（SR24、SD24）
1,600（SR30）
1,800（SC30）</td><td rowspan="2">主鉄筋量の70%以上</td></tr>
<tr><td>do=3L+9≧16cm</td><td>1,400</td></tr>
<tr><td rowspan="5">M=0.8(0.1CL+0.04P)</td><td>do=3L+11≧16cm</td><td rowspan="2">原則として3.6m以下とする</td><td rowspan="3">σck/3<100
（σck ＞ 210）</td><td rowspan="2">1,400 に対して200 程度余裕を持たせる</td><td rowspan="5">配力筋方向の曲げモーメントに対して照査を行い、配力鉄筋量を決定する</td></tr>
<tr><td rowspan="4">do=3L+11≧16cm
d=k1xk2xdo

K1:交通量の係数
K2:付加曲げモーメントの係数</td><td>3m 以下が望ましい</td></tr>
<tr><td rowspan="3">原則として3m 以下とする</td><td>1,400</td></tr>
<tr><td rowspan="2">σck/3 ＜ 100
（σck ＞ 240）</td><td rowspan="2">1,400
付加曲げモーメントを加えない場合、200 程度余裕を持たせる</td></tr>
<tr><td>4m を越えるものは別途検討</td></tr>
</table>

執筆担当者

はじめに　……石﨑　茂
第１章　1.1　……石﨑　茂
　　1.2　……塩永亮介
　　1.3　……石﨑　茂，今吉計二
第２章　2.1　2.1.1　……横山和昭，後藤昭彦
　　2.1.2　……清水良平
　　2.1.3　……清水良平
　　2.2　……今吉計二
　　2.3　2.3.1　……松本政徳
　　2.3.2　……松本政徳
　　2.3.3　……松本政徳，関口幹夫
第３章　3.1　3.1.1　……久保圭吾，小林　朗
　　3.1.2　……横山和昭，峰松敏和
　　3.1.3　……横山和昭，本間雅史
　　3.1.4　……後藤昭彦，松原浩司
　　3.1.5　……清水良平，横山　広
　　3.1.6　……久保圭吾，佐藤貢一
　　3.1.7　……後藤昭彦，峰松敏和
　　3.2　3.2.1　……横山和昭
　　3.2.2　……横山和昭
　　3.2.3　……松井俊道，横山和昭
　　3.3　3.3.1　……上條　崇
　　3.3.2　……今吉計二，関口幹夫
　　3.3.3　……上條　崇
　　3.3.4　……藤山知加子
第４章　4.1　……本間雅史
　　4.2　……一瀬八洋
　　4.3　4.3.1　……小林　朗
　　4.3.2　……松原浩司
　　4.3.3　……峰松敏和
　　4.3.4　……山浦明洋
　　4.3.5　……小林　朗
　　4.3.6　……佐藤貢一
　　4.3.7　……横山　広
　　4.3.8　……一瀬八洋
　　4.3.9　……峰松敏和
　　4.3.10　……峰松敏和
　　4.3.11　……一瀬八洋
第５章　5.1　……本間雅史
　　5.2　5.2.1　……本間雅史
　　5.2.2　……松原浩司
　　5.2.3　……松原浩司
　　5.2.4　……峰松敏和
　　5.2.5　……山浦明洋
　　5.2.6　……小林　朗
　　5.2.7　……佐藤貢一
　　5.2.8　……横山　広
　　5.2.9　……一瀬八洋
　　5.2.10　……佐藤貢一
　　5.2.11　……佐藤辰巳
　　5.2.12　……横山　広

【付録編】
《付録１》　……今吉計二
《付録２》　ケース①　……後藤昭彦
　　ケース②　……横山和昭
《付録３》数値解析事例　……藤山知加子
《付録４》道路橋の維持管理における設計基準の変遷　…本間雅史

道路橋床版の維持管理マニュアル

平成24年6月14日印刷　　平成24年6月21日発行

編 集 者　東京都新宿区四谷一丁目（外濠公園内）　土 木 学 会 鋼 構 造 委 員 会
道路橋床版の維持管理評価に関する検討小委員会
委　員　長 大 田 孝 二
発 行 者　東京都新宿区四谷一丁目（外濠公園内）　土 木 学 会 大 西 博 文
発 行 所　東京都新宿区四谷一丁目（外濠公園内）　公益社団法人 土 木 学 会

〒160-0004 / 電話(03)3355-3441 番(代表)

ISBN 978-4-8106-0782-6