

土木学会平成24年度全国大会
研究討論会 研-06資料

鋼橋の長寿命化と再生技術

座長	藤井 堅	広島大学
話題提供者	玉越 隆史	国土技術政策総合研究所
	高木 千太郎	(公財)東京都道路整備保全公社
	福永 靖雄	NEXCO 西日本(株)
	高田 佳彦	阪神高速道路(株)
	木村 元哉	西日本旅客鉄道(株)

日時	平成24年 9月5日(水) 16:15~18:15
場所	名古屋大学 東山キャンパス
教室	■■■

鋼構造委員会

鋼橋の長寿命化対策・再生技術の現状と課題

玉越 隆史¹

¹正会員 国土技術政策総合研究所 道路構造物管理研究室長 (〒305-0804 茨城県つくば市旭1番地)
E-mail:tamakoshi-t92gd@nilim.go.jp

平成24年2月に約10年ぶりに改定された「道路橋示方書」では、膨大な道路資産の高齢化と道路管理の現状を踏まえ、適切な維持管理が確実かつ容易にでき、期待される耐久性が確実に発揮できる良質な資産が形成されることを目的として、設計段階から十分に維持管理に配慮した設計がなされるよう、維持管理に関連する規定の大幅な充実が図られた。

本稿では、道路橋の設計基準である道路橋示方書において、道路橋の長寿命化、耐久性向上を目的に充実された改定内容を紹介するとともに、鋼道路橋の長寿命化、再生技術の観点からの現状と課題について概観する。

Key Words 道路橋, 維持管理, 技術基準, 長寿命化, 再生技術

1. はじめに

道路は、国民生活や経済活動を支える最も基盤的な社会資本である。また、2011年東北地方太平洋沖地震¹⁾をはじめとする大規模な災害時には、救援や復旧・復興活動を支えるインフラとして重要な役割を担うことが再認識されている。現在、我が国では、約65万橋の道路橋資産を保有している²⁾。そのうち、橋長15m以上の橋梁(約16万橋)では(図-1)、建設後40年以上のものが約30%、建設後30年以上のものが約50%と、急速に高齢化が進んでいる。また、それに伴い、経年劣化による損傷が増加しており、鋼トラス橋斜材の破断や鋼主桁の重大な疲労亀裂、プレストレストコンクリート橋の緊張材の腐食による破断など、深刻な損傷も発生している³⁾。

現在の厳しい財政状況の下で、これらの膨大な道路資産を長期にわたり良好に維持していくことは社会的にも重要な課題となっている。道路橋の予防保全などの取組みによる管理費の抑制に努めつつ、新規に整備される道路橋については、設計や施工の段階から、定期点検や緊急調査、補修補強工事などの維持管理が確実かつ容易に

でき、期待される耐久性が確実に発揮できる良質な資産が形成されることが求められている。

平成24年2月に改定された道路橋示方書⁴⁾では、上記のような状況も踏まえ、維持管理が困難となる箇所や部位、構造を避けることが求められた。また、関連して、必要な維持管理設備や橋本体と同等な耐久性の確保が困難な部材の更新方法などについても、設計において反映するよう規定が設けられた。

2. 道路橋のおかれている現状

図-2は、全国の地方整備局で行われた直轄道路橋の定期点検⁵⁾結果を整理したものである²⁾。図-1(a)に、対策区分の判定結果別橋梁数の比率を示す。全国の直轄道路橋の約40%がC(速やかに補修を行う必要がある。)と判定されており、少なくとも次回の点検(5年間隔)

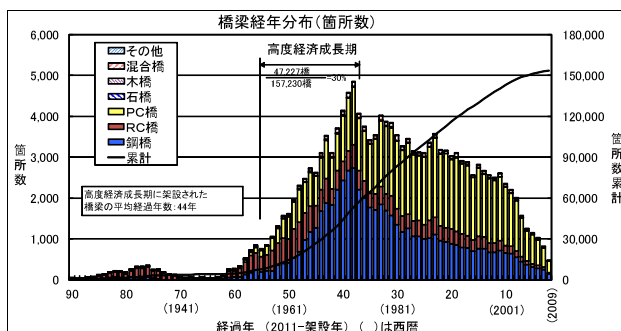
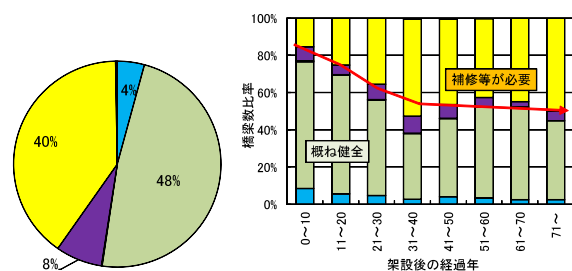


図-1 橋梁数の経年変化(橋長15m以上のもの)

対策判定区分	判定の内容
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。
C	速やかに補修等を行う必要がある。
S	詳細調査の必要がある。
M	維持工事に対応する必要がある。
B	状況に応じて補修を行う必要がある。
A	補修を行う必要がない。



(a) 対策区分別橋梁数比率 (b) 判定区分の経年変化

図-2 直轄道路橋の定期点検結果

までには補修等される必要があると判断されている。また、図-1(b)は、架設年代（橋年齢区分）毎の橋の状態を整理したものである。個々の橋梁のおかれる条件は様々であるものの、全体的な傾向としては、経年に従ってより深刻な状態のものが多くなっている。なお、供用開始から40年以上経過したものでは、状態区分の内訳がほぼ同じとなっており、平均的な劣化の状況に大きな差がない結果となっている。これは、供用開始から40年以上経過した橋では、塗装の更新など、様々な補修補強が行われているものが含まれている可能性が考えられる。以上のように、様々な環境で長期に供用される道路橋では、経年に従って様々な劣化や損傷等が生じる可能性は少なくないと考えられる。したがって、設計上の目標や仮定にかかわらず、供用し続ける限り、点検などによる適切な状態の把握と劣化や損傷に対する補修・補強など、維持管理を実施することを前提として整備していくことに合理性があると考えられる。

3. 道路橋の維持管理の現状と展望

道路橋の維持管理のこれまでと今後の方向性については、3つのフェーズに分類し、フェーズ1を「計画的管理」、フェーズ2を「戦略的管理」、フェーズ3を「無理なく無駄なく賢い管理」をキーワードとし捉えることができると考えている。

フェーズ1では、道路資産の増大と着実に進む高齢化に対する最初の取組みとして、「現状を把握することで必要な対策を確実に実行できるようにする。」ことが行われてきた。つまり、点検要領の整備と点検の実施により、橋の最新情報を的確に把握し、その分析結果を反映させて、合理的で計画的な維持管理体系を構築するという考え方である。平成16年には、国土交通省道路局が直轄管理の道路橋に対して、それまでの定期点検要領を刷新して、予防保全の実現を視野にして点検の充実を図るとともに、戦略的なデータ収集が開始されている。また、平成19年度には、地方自治体の管理する道路橋に対して、ライフサイクルコストの低減と保全の両立を図るために、長寿化修繕計画策定事業費補助制度が創設されたことで、全国の自治体において、急速に点検等による道路橋の状態の把握が進んでおり、様々な劣化や損傷が生じている既設橋の実態が明らかにされつつある。

フェーズ2は、時間とともに進行する劣化や損傷に対して、深刻化する前に措置を行い、安価で確実に耐久性を向上させるという考え方のもと、単に、橋の最新情報を知るだけでなく、様々なデータを駆使して将来を予測し、適切なタイミングで対策を行うという予防保全に向けた取組みである。代表的な例としては、橋梁マネジメントシステム（BMS）と呼ばれ、橋の損傷の進行を理

論や経験を取り込んだ統計処理やコンピュータシミュレーションによって予測し、維持管理シナリオに対応したライフサイクルコストの試算などを行うものである。一方で、橋は極めて複雑な構造体であり、架橋環境や利用実態によっても劣化進展の性状は千差万別であるため、予測と現実の間には大きな乖離が避けられないことも注意が必要である。したがって、将来予測に基づいて予防的な措置を行ったり、補修補強時期の最適化を模索することは、道路資産全体のライフサイクルコストの最小化に資する合理的な維持管理手法であるものの、将来予測の信頼性には解決困難な大きな限界があり、それらに過度に依存しない、現実的で信頼性の高い維持管理体系の構築が不可欠であると考えている。

最後に、フェーズ3は、これからの維持管理の方向性として、情報処理技術、情報伝送技術など、最新の科学的手法を柔軟かつ積極的に取り入れ、それらを使いこなす技術者の介在によって、個々の橋梁に対してカスタマイズされた最適な維持管理が行われると同時に、道路資産全体のライフサイクルコストの最小化、利用者に対するリスクの最小化が、無理なく無駄なく図られている賢い維持管理体系を構築することであると考えている。

4. 道路橋の技術基準における維持管理への配慮

近年の損傷事例や災害時の点検等において、点検や補修などの維持管理が困難な部位や構造がある事例も散見されることも踏まえて、平成24年2月の道路橋示方書の改定においては、設計の段階から、将来の劣化や損傷、被災などの事象に対して、できるだけ維持管理ができない箇所や部位、構造を避けることについても配慮することが規定された。また、これに関連して、維持管理の方法や必要となる維持管理設備などについても、橋の設計段階から可能な範囲で、具体的に想定して、配置計画や構造設計に反映すべきことが明記された。写真-1は、検査路の設置により近接手段が確保されている事例である。また、写真-2は、支承の補修のための仮支持に必要な補強が主桁に施された事例である。支承部は、滞水や粉塵等が堆積しやすい上に、大規模な地震時には支点部という位置づけ上、損傷が生じやすく、橋本体と同等の耐久性が結果的に得られないことも多い。こうした部位については、供用期間中の補修や交換等の具体的な維



写真-1 検査路による近接手段の確保 写真-2 仮支持のための主桁の補強の事例

持管理の方法について、計画、設計段階から考慮することで復旧性やライフサイクルコストの低減の観点から合理的となる場合も多いと考えられる。このように、維持管理における利用形態などについて、設計の段階から充実した検討を行うことは、将来の維持管理負担が軽減されるだけでなく、災害に対するリスク管理の観点からも、良質な資産の形成につながるものと考えられる。

5. 道路橋における部材の更新や再生

長期に供用される道路橋においては、不測の損傷によって、部材の更新や大規模な補修を余儀なくされたり、供用条件の変化によって、機能向上が求められる場合もある。上述のとおり、道路橋示方書では、供用期間中に更新することが想定される部材に対して、設計段階から部材の更新を念頭において、設計することが許容された。これは、橋の構成部材について、積極的に耐久性に劣る部材となるように設計を行うという意味ではなく、あくまで、標準的には、100年程度が想定される長期の耐久性上の目標期間に対して、当該橋をとりまく環境や位置づけから、一部の部材を更新可能な構造にしておくような配慮を行ってもよいという意味である。

なお、現在の道路橋の設計技術では、想定する期間の長さに応じて、高い信頼性で耐久性を制御できるような照査方法は確立していない。また、経済性や社会的影響などからも、橋全体を更新することが困難であることも事実である。現在のところ、道路橋示方書やその他の技術基準類において、合理的かつ容易に更新が可能な、いわゆる再生技術については知見がなく、ほとんど規定されていないのが実状と考えられる。

例えば、鋼構造における高力ボルト接合継手や溶接継手などの継手では、将来、継手部を切り離して、更新する部材と再度接合するといったことは想定されていない。高力ボルト摩擦接合では、一度締付けたボルトの再利用はもとより、接合面についても、新たに処理し直さなければ再接合ができる技術とはなっていない。溶接についても、過去に用いられてきた溶接性に劣る古い鋼材を再溶接する技術や、振動を伴う供用下での現場溶接の技術は確立していない。コンクリート構造においても、近年、外ケーブル工法など一部で更新が比較的容易にできる技術が、新設橋梁に採用されるケースも出てきているものの、劣化したRC部材や重大な変状を受けたPC桁の一部を更新することについては困難である。特に、コンクリート橋の場合には、架設時に採用された架設工法によっては、逆工程をたどっての部分更新も困難な場合が多いため、不測の事態が生じた際にも、確実かつ容易な更新・再生が可能な工法や構造に関する技術の確立が望まれるところである。さらに、橋梁構造の合理化の観点か

ら、コンクリート床版と鋼桁の組合せに代表されるように鋼部材とコンクリート部材を組み合わせた複合構造や合成構造が多く採用されてきている。それらの接合部では、スタッドジベルなどのずれ止めや支承部に用いられるようなアンカーボルト形式が使われており、これらは、一旦構築してしまうとコンクリートや鉄筋を撤去して再構築するしかなく品質が保証される容易な再生が可能とは言い難いのが現状である。

以上のように、様々な外力の影響を受けつつ長期に供用され、その間できるだけ途絶えることなく供用性が満足されることが求められる道路橋のようなインフラでは、不測の損傷や供用条件の変化に対しても、容易に更新や部分的な再生ができることは、インフラの信頼性向上の観点からも重要な視点であると考えられる。一方で、経済的合理性を考えると、そのような事態になる可能性が極めて少ないと考えられる事象に対して、付加コストを初期投資することには大きな抵抗があることも事実である。これらを考慮すると、初期コストを増大させることなく、不測の場合の部材更新や再生も容易に行える構造技術が開発され導入されることには大きな期待がある。

6. まとめ

道路橋のおかれている現状を紹介するとともに、道路橋の長寿命化を目的として規定の充実が図られた道路橋示方書の改定内容および供用期間中の部材更新を含む再生技術の現状と課題について述べた。

道路橋の高齢化、更新時代への対応にあたっては、無理なく無駄なく賢くをキーワードに、整備の段階から管理段階を見据え、最新の科学的手法を柔軟かつ積極的に取り入れ、それらを使いこなす技術者の介在によって、個々の橋梁及び道路資産全体のライフサイクルコストの最小化、利用者に対するリスクの最小化が図られている環境整備を指向していくことが重要である。その実現に向けて、各方面にて連携した取組みが行われていくことが期待される。

参考文献

- 1) 平成23年（2011年）東北地方太平洋沖地震土木施設災害調査速報、国土技術政策総合研究所資料 第646号、土木研究所資料 第4202号、2011
- 2) 平成21年度・平成22年度道路構造物に関する基本データ集、国土技術政策総合研究所資料第635号、2011
- 3) 玉越隆史：近年発生した橋梁の重大損傷の概要、道路、Vol. 816, pp. 28～32, 2009.
- 4) (社) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説、2012. 3
- 5) 橋梁定期点検要領(案) 平成16年3月 国土交通省道路局、http://www.mlit.go.jp/road/sisaku/yobohozen/yobo3_1_6.pdf

東京都の予防保全型管理と長寿命化の取り組み

公益財団法人 東京都道路整備保全公社

一般財団法人 首都高速道路技術センター

道路アセットマネジメント室長 高木 千太郎

1. はじめに

東京都が直接管理している道路橋の現状は、平成 23 年 3 月 31 日時点で架け替え等事業中の橋梁を含めると 1,261 橋の一般道路橋、622 橋の横断歩道橋、91 橋の人道橋を管理している。これら道路橋は、首都東京の重要な機能や都民の生活を支え、非常時においても一時も欠くことの出来ない重要な社会基盤施設である。管理している道路橋の建設年の推移を調べると、図-1 に示すように二つの大きなピークがあることが分かる。その一つ目は、関東大震災の震災復興、二つ目は、東京オリンピックを契機として高度成長期にかけ

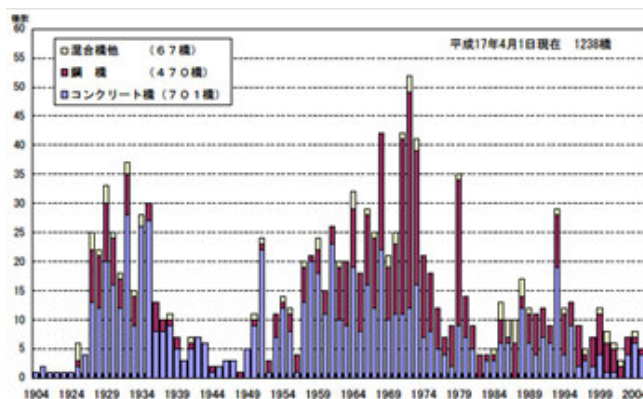


図-1 道路橋の経年別建設推移

て集中的に整備した大きなピークである。第一ピークの特徴は、歴史ある著名な橋梁が多く、例えば、国の重要文化財に指定された清洲橋、永代橋、勝鬨橋や吾妻橋、葛西橋などの長大橋梁である。次に、第二のピークは、当時の経済設計によって大量生産された時代で、たわみの大きい橋梁が多く、耐

久性や詳細構造に不安を感じる橋梁もある。高齢化橋梁を建設後 50 年とすると、東京都の場合、現在、32.5%が建設後 50 年以上経過、10 年後には 53.8%、20 年後には 74.7%と急速に高齢化が進むことになる。ここで示した高齢化橋梁の解消策としてこれまでは、「架け替え」を主体として行ってきたが、厳しい財政状況などの社会状況から考えるとこれは非常に困難状況にある。このような理由から、東京都は橋梁の予防保全型管理への転換と高齢化橋梁の寿命を延ばす長寿命化対策に取り組むこととした。

2. 橋梁の戦略的予防保全型管理に向けて

予防保全型管理を着実に進めるための第一は、橋梁の実態にあった維持管理の実施で

そのためには定期的な現況把握を適切な頻度で行うことである。現況把握とは、これまで30年に亘って5年に1度の頻度で行っている定期点検を着実に進め、損傷や劣化を見逃すことの無いようにすることである。第二は、発生した損傷や劣化の原因と進行度を精度高く予測し、橋梁の安全性、耐久性、使用性を確保することが必要である。第三は、現時点で求められている要求性能や技術基準を全ての橋梁が満たすように、効率的、効果的な対策を行うことで現行の基準に適合する橋梁への改善が必要としている。第四は、地球規模の大きな課題である環境の保全である。それには、これまでの架け替え主体の考え方から転換し、資源の有効活用及び温室効果ガス CO₂の排出削減につながる長寿命化対策を高齢化橋梁に実施することで可能な限り延命することである。橋梁の長寿命化は、近年急速に開発が進んでいる ICT 技術、新材料、新工法等によって、劣化した部材の機能向上が図れるようになったことから可能となっている。第五は、全国に先駆けて公表した中・長期計画を継続的に実行することである。これによって、都民や利用者に対するアカウントビリティが適切に果たされ、PDCA サイクルの確立によって継続的に施策を展開することが可能となる。以上が予防保全型管理への転換、そして推進である。

3. 東京都の進めている橋梁の長寿命化について

ここで示す橋梁の長寿命化とは、こまめな点検と維持管理によって当初想定された寿命を確保することでなく、想定される劣化速度を抑え、目標としている耐用年まで延命することである。長寿命化は、橋梁の重要度等でグループに分け、個別グループ別の設定目標年とし、目標耐用年数を確保する設計を仕様設計でなく、可能な限り性能設計によって行うこととしている。また、性能設計においては、施工条件、維持管理条件などの必要性を明記することとした。次に、長寿命化対策の効果であるが、第一に架け替えや大規模修繕ピークの平準化があげられる。第二には、橋梁事業費用の縮減である。これまでは、機能的寿命を主体として架け替えを行ってきたが、社会基盤施設の種々な機能要件が満たされてきている現状において今後は、物理的寿命と経済定寿命による架け替えに移行することになる。そこで、対象橋梁の物理的寿命を科学的に予測し、民間型の投資判断手法によって計画的に長寿命化や耐震対策などを行なう。これによって試算ではあるが、図-2に示すように30年間で約1兆円の関連経費の縮減が可能となる。

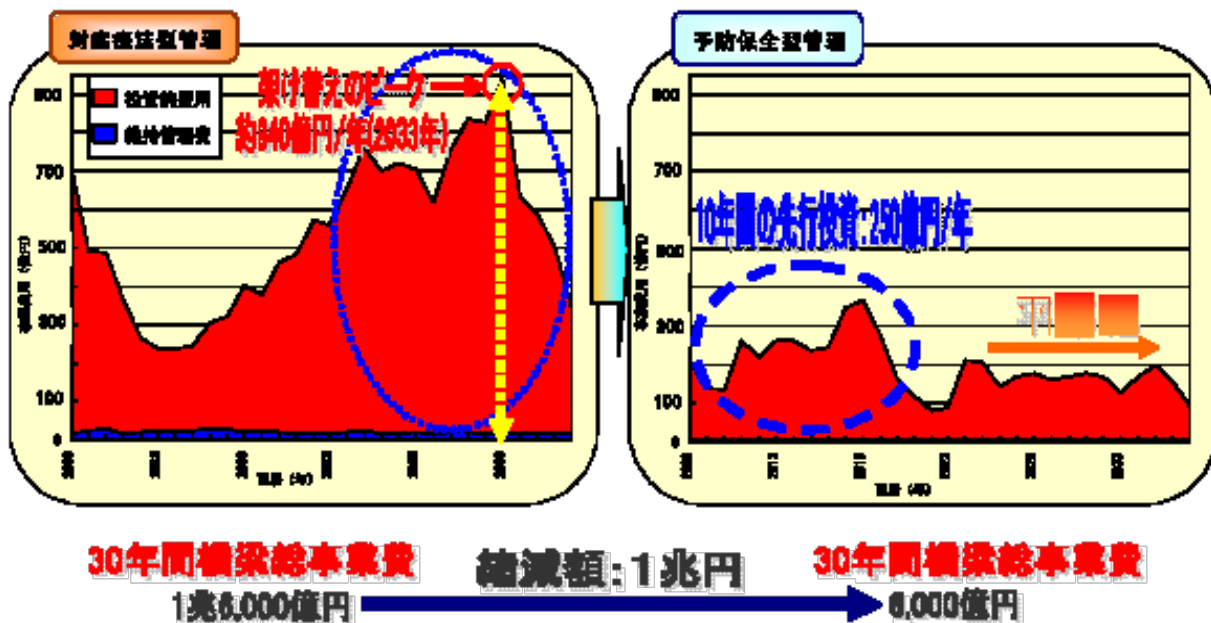


図-2 予防保全型管理及び長寿命化による効果

第三には、基準不適格構造物の解消である。長寿命化を対象橋梁に進めることで安全で安心な橋梁を都民に提供することになる。第四は、地球環境の改善への寄与があげられる。長寿命化対策を進めることで、架け替え橋梁に必要となる材料使用の削減、資源の有効活用、廃材処分を極力少なくすることになるので CO₂ を大きく削減する効果が期待できる。以上が、東京都の進めている長寿命化対策の概要と実施効果である。

4. おわりに

平成 21 年 4 月に公表し、実施している予防保全型管理、長寿命化を計画的に進める計画の現状であるが、アクションプランとして取り組んだ 3 か年が経過し、長寿命化対策を行っている現場も都内のあちこちに見られる状況となってきた。平成 24 年 4 月現在で長寿命化工事を行っている箇所は 12 か所、調査や詳細設計等を行っている箇所を含めると全体で 82 か所となり、アクションプランであげている 61 か所の目標を十分満足する実施状況である。しかし長寿命化対策を進める過程で明らかとなった課題も多い。供用中の橋梁に対する基礎を含めた対策が必要な場合が多いことから、関係機関への協議や橋梁に添架している企業者との調整も困難を極めている。今年度から第 8 次的点検も開始されるが、点検結果や明らかとなった課題を一步一步処理しながら都内の橋梁の安全性を高める取り組みを行っている現役職員の頑張りに期待したいし、必ず達成すると確信している。

高速道路橋の再生技術と長寿命化対策事例

西日本高速道路(株) 土木学会 正会員 ○福永 靖雄

1. はじめに

現在、西日本高速道路株式会社（以下、NEXCO西日本という）が管理する総延長3,364kmの高速道路の内、供用年数が30年を超える区間が約30%（1,000 km）以上あり、今後急速な変状の増加が懸念される。このため、NEXCO西日本では維持管理にかかるライフサイクルコストの最小化を目指し、老朽化した橋梁の補修と長寿命化を行うと共に、予想される変状に対して予防保全対策を進めている。橋梁の最大の変状要因は、漏水や、冬期に散布される凍結防止剤の供給が挙げられる。これらにより、橋梁床版の変状が促進され、さらに桁端部における腐食の拡大、支承部の腐食が多く発生し、維持管理上の大きな問題となっている。特に鋼橋における変状の大部分は、床版の損傷と桁端部での腐食であり、「如何に水を防ぐか」と「桁端部の再生」が大きな課題となっている。

本報告は、橋梁床版への床版防水工の取り組みと、顕在化している桁端部の腐食に対して効果的に長寿命化を行うため、新たな金属溶射技術による桁端防食法の取組みについて述べるものである。

2. 橋梁の損傷の現状

NEXCO 西日本における、橋梁の損傷の代表例は、図-1、写真-1 に示す伸縮装置からの漏水、図-2、写真-2 に示す張出床版端部の漏水に伴うはく離・はく落、図-3 および写真-3 に示す床版の損傷である。その他、鋼部材の疲労等も数は少ないが発生してきている。

これらの代表的な損傷に共通している促進要因が冬期の凍結防止剤によるものである。凍結防止剤は、高速道路の場合では、お客様の安全な走行を確保するためには必要不可欠なものであり、塩化ナトリウムが用いられている。

現在の凍結防止剤は、湿塩散布や薬液散布という手法が主流であり、塩化ナトリウム水溶液を路面に散布し、未然に路面の凍結を抑制するものであり、事前散布等も含め高速道路では一般的に用いられている。

凍結防止剤の薬液散布の塩化ナトリウム濃度は、約 20%の濃度があり、海水の約 6 倍の塩分量を有している。凍結防止剤は、お客様の安全と社会の交通インフラを確保する上で欠かせないものではあるが、一方では、この凍結防止剤による塩害を構造物に発生させている。凍結防止剤の替わりの材料等の研究も行われているが、経済性、供給量の課題、地域環境への影響などから、自然塩に勝るものが無いのが現状である。

現段階では、凍結防止剤を用いたとしても、構造物を善良に保全していくために、「如何に水（凍結防止剤を含んだ）を防ぐか」と桁端部の再生が大きな課題となってきている。

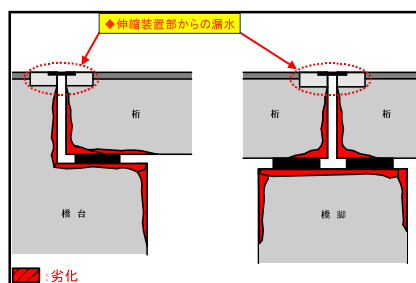


図-1 桁端部の損傷概要図



写真-1 桁端部の損傷例

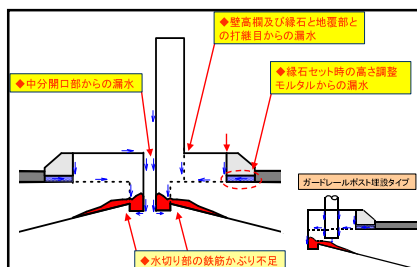


図-2 張出床版部の損傷概要図



写真-2 張出床版部の損傷例

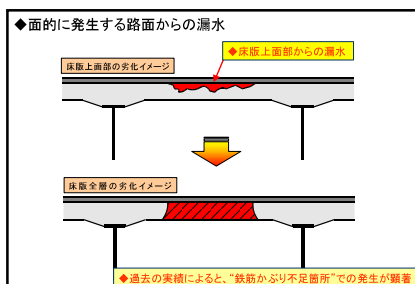


図-3 鋼橋床版の損傷概要図



写真-3 鋼橋床版の損傷例

3. 床版防水工の取り組み

「如何に水（凍結防止剤を含んだ）を防ぐか」の対応策方法が床版防水工である。新設される橋梁においては、すでに数年前から性能の高い床版防水工が用いられてきているが、既設橋梁に対しては、新設橋梁には無い課題が数多く存在している。その内最も影響が大きいのが施工時間の課題である。高速道路の場合においては、ある程度の交通量を有している区間では、社会的な影響度を鑑み、夜間規制や集中工事において工事を実施してきている。夜間規制の場合は、夜の8時～朝6時など平均10時間程度が施工時間となる。しかし、性能の高い防水工は、この施工時間だけで10時間程度が必要となり、性能の高い防水工が採用できないという大きな課題があった。NEXCO3社とNEXCO総合技術研究所では、この課題に一体的に取り組み、4時間程度の短時間で施工できる新たな防水工の規格、基準に取り組み、短時間で施工可能となる高性能の防水工の試験・基準を今年の7月に制定し、今年度より現地より新たな基準の基で施工を開始する予定である。

この他、既設橋梁で高性能の防水工を適用するには、既設床版の表面の凹凸の処理など、今後解決しなければならない課題も多く存在するが、「水を防ぐ」ということが構造物の長寿命化に繋がることは明らかであるため、今後とも課題解決を行っていくこととしている。さらに、新たな規格の高性能の防水工を行う場合であっても工事の施工時間が若干長くなること、また、一部は工事による渋滞の発生も否定できないことなどもあり、善良に管理するための、お客様、社会に対して理解を得るための広報等が重要になると考えている。

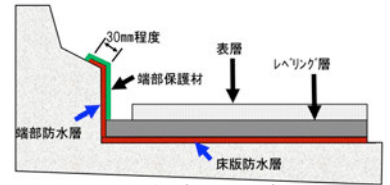


図-4 床版防水工の概要図



写真-4 シート系防水工の例



写真-5 塗布系防水工の例

4. 鋼橋における再生技術の取り組み

鋼橋の床版の損傷については、床版増厚、部分打替え等で対応してきているが、損傷を繰り返してきている損傷の著しい床版については、プレキャストPC床版等への取り替いを随時行ってきている。

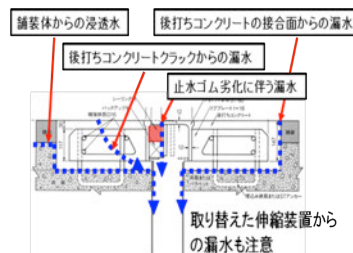


図-5 伸縮装置からの漏水概要

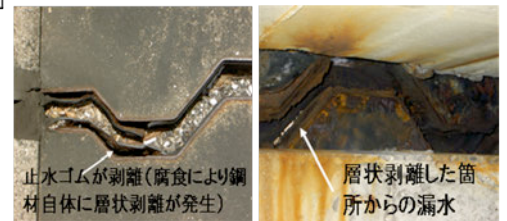


写真-6 伸縮装置の漏水例

橋梁の桁端部においては、伸縮装置からの漏水を止めることが最も重要であるが、既設橋梁の場合、交通規制下での取り替えにおいては、車線部での継ぎ手の課題や図-5に示す後打ちコンクリート等からの漏水などもあり、完全に水を止めることは非常に難しいのが現状である。さらに、写真-6に示すように、伸縮装置自体が走行性能や、伸縮性能では問題が無いため、漏水が見過ごされている事例も多い。

このような現状から、NEXCO西日本には、維持管理にかかるライフサイクルコストの最小化を目指し、鋼橋桁端部の再生と長寿命化を行うための方策として、金属溶射を用いた再生による予防保全対策を進めている。

溶射技術は、1919年に我が国に導入され、道路橋では、1972年に関門橋における補剛桁（亜鉛溶射(Zn)＋塗装）で使用され、近年では1990年に天保山橋梁（鹿児島県、アルミ溶射(Al)＋塗装）、2004～2011年にわたって福岡都市高速道路5号線(18.1km)の鋼橋全面に亜鉛・アルミ合金(Zn-Al)および擬合金溶射、アルミ・マグネシウム合金溶射工法(Al-Mg5%)が使用されている。

金属溶射は、母材の金属表面にプラズマ処理で作成した凹凸に、高温で熔融した“溶射金属”を圧搾空気などで吹きつけ、母材と被膜を機械的に密着させる技術であり、母材よりイオン化傾向の大きい（自然電位が低い）卑金属を密着させて、母材金属の腐食を抑制するといった防食メカニズムを有している。

NEXCO西日本では、狭隘な保全の現場で適用可能で、かつJIS規格に適合したアルミ・マグネシウム合金を用いた新たなプラズマ溶射技術（以下「Al・Mgプラズマアーク溶射」という。）の開発に取り組んでいる。

既設橋梁の桁端における金属溶射を適用するためには、まず、『現地での確実なブラストを行うこと』『狭隘な部分へ適用できる機器材の開発（小型化など）』が重要になる。

金属溶射の効果を十分に発揮させるためには、『現地での確実なブラスト（Sa3.0）作業』が最も重要となる。そこで、作業環境に配慮し且つ作業性の高いブラスト技術の開発を目的として、新たな湿粒ブラストとミストブラストとについて検討改良を加え実用化を図った。図-6にブラスト時の作業環境について比較した一例を示す。直圧式ブラストは、作業能率は高いが、粉塵発生量が多く、作業環境が悪く、湿粒ブラストは一定の含水比を持ったブラスト材を噴出するもので、粉塵の抑制に効果的で、適切な施工環境が確保でき、また、騒音についても直圧式に比べると数デシベル低減が可能となった。また、ミストブラストは、ブラスト材と同時に霧状の水を噴出させ、粉塵の発生を抑制させるもので、直圧式と湿流ブラスト装置の中間的な作業環境であった。これらの作業環境の比較により、作業の手元が目視により確認できる湿粒ブラストを現地に適用することとした。さらに、狭隘部な桁端部、支承部に適用するため、従来のブラストノズルでは施工困難な部位が多いため、ブラスト材の噴射角度を調節するために図-7に示すように噴出角度を調節するノズルを開発した。今回使用する湿粒ブラストで改良ノズルを用いた場合においてもSa3.0の素地調整が行え、且つ所定の付着力が確保されることを確認した。



直圧式ブラスト ミストブラスト 湿粒ブラスト

図-6 ブラスト作業環境の比較

直圧式ブラストは、作業能率は高いが、粉塵発生量が多く、作業環境が悪く、湿粒ブラストは一定の含水比を持ったブラスト材を噴出するもので、粉塵の抑制に効果的で、適切な施工環境が確保でき、また、騒音についても直圧式に比べると数デシベル低減が可能となった。また、ミストブラストは、ブラスト材と同時に霧状の水を噴出させ、粉塵の発生を抑制させるもので、直圧式と湿流ブラスト装置の中間的な作業環境であった。これらの作業環境の比較により、作業の手元が目視により確認できる湿粒ブラストを現地に適用することとした。さらに、狭隘部な桁端部、支承部に適用するため、従来のブラストノズルでは施工困難な部位が多いため、ブラスト材の噴射角度を調節するために図-7に示すように噴出角度を調節するノズルを開発した。今回使用する湿粒ブラストで改良ノズルを用いた場合においてもSa3.0の素地調整が行え、且つ所定の付着力が確保されることを確認した。



30° 120° 180°

図-7 ブラストノズルの改良例

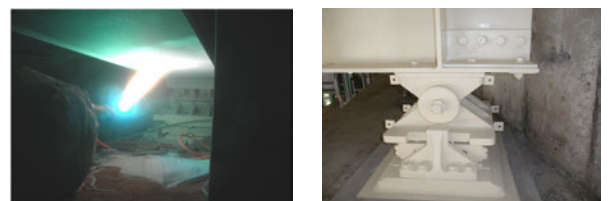
次に、『狭隘な部分へ適用できる機器材の開発（小型化等）』については、溶射ガンの小型化と溶射装置のコンパクト化を目標として開発を行った。溶射ガンの改良は、狭隘な部分で適切な溶射を可能とするため、図-8に示すようにノズルをスリム化しノズル面から2～20 cmの範囲で溶射可能な機構に改良し、作業員の負担を解消するために従来の機器（2.3 kg）からより小型化（1.1 kg）にコンパクト化を行った。また、従来は100 kg程度の重量であった溶射発生装置を小型軽量化（2分割）し桁端部足場への持ち込みを可能とした。



左：改良型 右：従来型

図-8 溶射ガンの改良

これらの改良により、図-9に示すように試験施工を行い、従来施工不可であった支承の背面ならびに桁遊間側の下フランジやウェブ・コバ面にも金属溶射を行うことが可能となった。溶射ガンや溶射発生装置の小型軽量化、機器の改良は、作業員の疲労を軽減し作業性の向上や溶射皮膜の品質向上に繋げることができるようになった。試験施工では、狭隘部でのブラスト・溶射作業の品質や施工性の向上、作業の効率化が図られると共に、金属支承の再生も可能であることを確認している。



狭隘部への溶射施工

施工完了


図-9 試験施工の実施

これらの改良により、図-9に示すように試験施工を行い、従来施工不可であった支承の背面ならびに桁遊間側の下フランジやウェブ・コバ面にも金属溶射を行うことが可能となった。溶射ガンや溶射発生装置の小型軽量化、機器の改良は、作業員の疲労を軽減し作業性の向上や溶射皮膜の品質向上に繋げることができるようになった。試験施工では、狭隘部でのブラスト・溶射作業の品質や施工性の向上、作業の効率化が図られると共に、金属支承の再生も可能であることを確認している。

試験施工では、狭隘部でのブラスト・溶射作業の品質や施工性の向上、作業の効率化が図られると共に、金属支承の再生も可能であることを確認している。

5. 終わりに

構造物の長寿命化を目指すためには、まず、『水を防ぐこと』が、非常に重要であると考えており、『水を防ぐ』対応を行うことで、構造物の寿命は飛躍的に伸びるものと考えている。一方、水を完全に防ぐことも困難であることも事実であり、水を防ぐ対策を行うとともに、フェールセーフ的な対策も必要と思われる。NEXCO西日本では、今後も維持管理に適用可能な更なる保全技術を創造し、具現化していくために努力を続けていきたいと考えている。ここに示した長寿命化方策が、橋梁の長寿命化を目指す技術者の参考になれば幸いである。



阪神高速道路の長寿命化対策 ～鋼橋を中心に～

平成24年9月5日

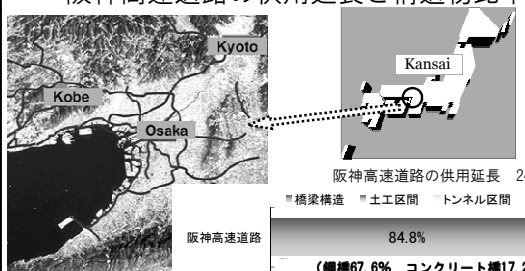
阪神高速道路株式会社建設事業本部
高田 佳彦

Contents

- I. 阪神高速道路の概要
- II. 鋼橋の典型的な損傷と長寿命化技術
- III. さらなる長寿命化にむけての取組

I. 阪神高速道路の概要

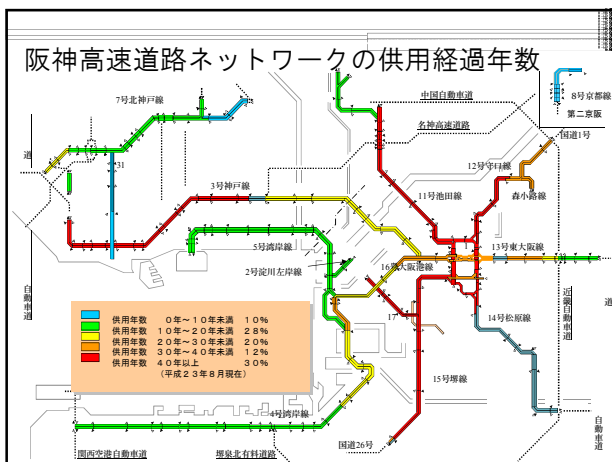
阪神高速道路の供用延長と構造物比率



阪神高速道路の供用延長 245.7km

構造物	比率
橋梁構造	84.8%
土工区間	8.3%
トンネル区間	6.9%
(鋼橋67.6% コンクリート橋17.2%)	
高速自動車国道	15.0%
高速自動車国道	75.5%
高速自動車国道	9.5%

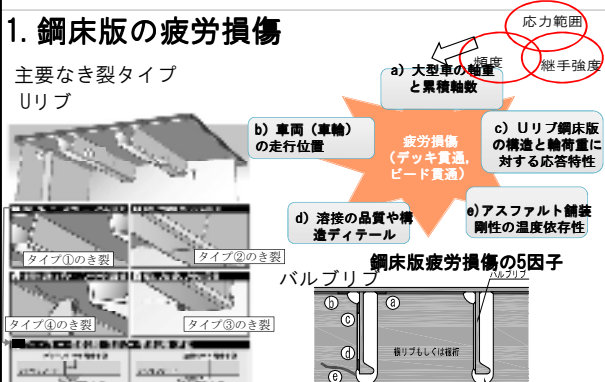
高速自動車国道は平成20年12月現在



II. 鋼橋の典型的な損傷と長寿命化対策

1. 鋼床版の疲労損傷

主要なき裂タイプ
Uリブ



- a) 大型車の重量と累積軸数
- b) 車両(車輪)の走行位置
- c) Uリブ鋼床版の構造と軸荷重に対する応答特性
- d) 溶接の品質や構造ディテール
- e) アスファルト舗装剛性の温度依存性

鋼床版疲労損傷の5因子

バルブリップ

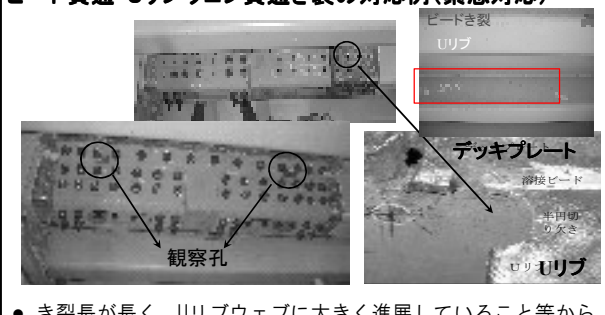
スリット

デッキプレート貫通き裂の補修例(緊急対応)



- き裂先端にSHを設け、デッキ及びリブ両面にあて板補強
- 既設部・補強部境界の断面急変部における配慮
- 補強部材と既設部材との密着性や防水対策に配慮

ビード貫通・Uリブウェブ貫通き裂の対応例(緊急対応)



- き裂長が長く、Uリブウェブに大きく進展していること等から既設Uリブを切除し、あて板付きUリブに取替え
- 既設部・補強部境界の断面急変部における配慮、観察孔の設置

⇒ビード貫通き裂に対し合理的な補修として、現場溶接も検討中

デッキ貫通き裂の長寿命化対策 (SFRC舗装)

アスファルト塗膜系防水材料
アスファルト舗装 (35mm)
ショットプラス+高耐久型エポキシ接着剤
SFRC舗装 (45mm)

- 高温時に特に剛性が低下するアスファルト舗装を撤去し、剛性の高いコンクリート舗装に打替え
- デッキと一体化させ曲げ剛性を向上することで溶接部に発生する応力範囲を低減させる

5号湾岸線:平成21年3月、平成21年4月

Uリブ突合せ溶接部のき裂の対策 (タイプ②)

突合せ溶接部
き裂
Uリブ

- Uリブ突合せ部の不溶着部を起点として発生し、Uリブコーナー部の溶込み不足が要因
- 裏当て金をダイヤモンドと兼用した事例もある
- き裂の有無にかかわらず、デッキプレート母材への進展を予防するため、デッキプレートとUリブとの溶接部の交点付近にはSHを施工

垂直補剛材とデッキの溶接部のき裂の対策

長寿命化要素技術

切欠き前後の重量調整車による载荷によるデッキの発生応力比較

- デッキの変形を垂直補剛材が拘束することで、その先端の溶接部に応力集中
- 垂直補剛材に半円孔を設けることで3~4割程度に応力が低減
- き裂先端にはストップホールを設置

Uリブと横リブの交差部のき裂の対策 (タイプ④)

長寿命化要素技術

横リブ交差部のき裂

Uリブのねじり変形を横リブが拘束することで、応力集中

横リブ交差部のき裂

縦リブ交差部のき裂

- Uリブ溶接線上を車両通過する際のUリブのねじれ変形を横リブが拘束することによる溶接部の応力集中が原因
- Uリブ下面と横リブウェブとを山形鋼で接合
- 横リブ側へ進展するき裂に対しては別途検討が必要

バルブリブと横リブの交差部のき裂対策 (タイプ④)

横リブ交差部

き裂の発生箇所において、バルブリブ高さ h とスリット半径 R の関係は、 $R35\text{mm}$ 以下で発生→ $R40\text{mm}$ 以上では未発生

スリットを塞ぐ当て板を設置

輪荷重に起因するデッキの変形により、溶接部に高い応力範囲の繰り返しが発生

2. 鋼桁橋の主桁と横桁・対傾構取合部

ウェブギャップ

- S55道示以前に建設された床版支間が大きく、床版厚の薄い橋梁において多数発見
- 外桁・第1内桁の横桁取合部に多い

タイプ2

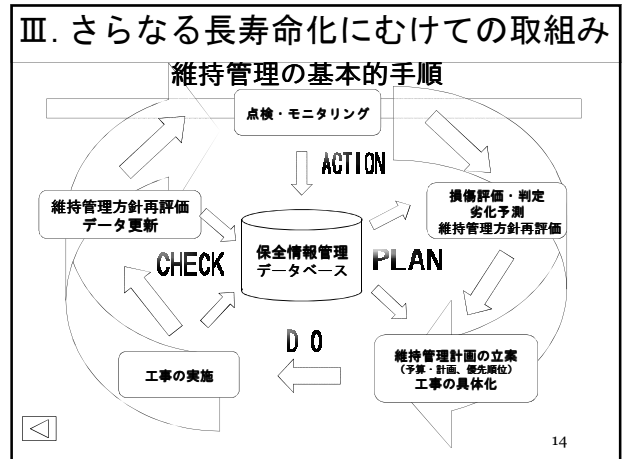
タイプ4とタイプ1

(1) 横桁取合部 (2) 対傾構取合部

鋼桁橋の主桁と横桁・対傾構取合部におけるき裂対策

- 既設のウェブギャップを撤去し、新たに増厚した(板厚を9mm⇒19mm)スカーラップのない新規部材を現場溶接で取付け。
- その際、ウェブギャップ板に半円孔を設けることにより、過大な剛性の増加を回避
- 応力低減効果を確認するため、実橋における試験施工を実施
- 溶接部近傍の最大発生応力が1/3以下に低減
- 施工(現場溶接)においては、溶接施工試験を実施し、品質を管理

既設ウェブギャップ除去 補修完了 補修完了



日常点検 定期点検

常に良好な状態が監視、安全円滑な交通の確保、第三者損害の防止。

損傷を早期発見し健全性を評価し、補修補強、将来の補修計画立案

路上点検

- 点検車からの目視
- 舗装や伸縮継手中心
- 本線部 3回/週

路下点検

- 地上からの遠望目視
- 橋梁下部・付属構造物
- 3~6/年(交通量等に応じて)

定期点検

- 橋梁全般、カルバート: 1回/5~8年 近接目視
- トンネル: 1回/5年近接目視
- 舗装: 1回/2~3年 自動計測

点検手法の技術開発・高度化

(1) ロープアクセスにより足場を必要としない鋼床版接近点検、ETも実施

(2) 鋼床版の複合的検査手法の開発

(3) 点検の高度化へ

目指すポイント

- 点検の進化
過去のデータから、対象構造物によりメリハリをつける。補強済みと未補強は同じ頻度か?
- 点検の効率化
日常点検と定期点検を機能的に結合
- 点検の高度化
判定に進行性・冗長性の要因を取り込む
- 点検の多機能化
点検時に、応急補修も実施
- 点検の高度情報化・高機能化
リアルタイムカメラ等の活用により、点検者と判定者の一体化

複合的検査フロー

- ①赤外線画像分析 (1次スクリーニング)
- ②舗装上からの渦流探傷法
- ③フェイズドアレイ法 (詳細調査)

舗装上面 鋼床版下面

~乗り越えるべき課題~ (全構造物の傾向)

点検結果におけるAランク(要対策)損傷推移

損傷の進展性の状況

- 震災の影響と考えられる損傷は補修により減少したが、H16年頃から増加
- これは、供用15年以上の路線における損傷が増加
- 桁点検では、ウェブギャップのき裂が多かったが近年は鋼床版
- 損傷の進展性は、新規に発生した損傷の増加よりむしろ、未補修損傷である既存損傷が進展、もしくは進展性無が高い

→補修の優先順位をつけ、必要な補修の着実な執行が必要

さらなる長寿命化にむけて(まとめとなすべきこと)

あるべき姿 長寿命にむけて安全・安心・快適な道路を提供 諸道路(道路資産)の長寿命化

目標と現実とのギャップを調整

具体的シナリオ
 維持修繕の一層の効率化高度化
 長期計画とストックマネジメント(平準化)
 予防保全のシナリオ

更なる進化
 補修・補強、点検の技術開発
 LCCを踏まえた高耐久性化
 技術者の育成とノウハウの伝承
 現場の制約に対応した工法

管理水準明確化
 劣化予測
 維持作業の合理化
 消耗品(舗装・塗装)の補修水準

制約条件 老朽化の進行 損傷の増加と未知の損傷の発生
 通行収入の減少リスク(管理費抑制)

1. はじめに

本稿では、鋼鉄道橋の維持管理の基本である点検について、現在の仕組みを紹介し、その後、J R西日本における鋼鉄道橋の維持管理の現状および長寿命化の取り組みについて述べる。

2. 鋼鉄道橋の点検

鋼鉄道橋を含む鉄道構造物では、従来より2年に1回、直轄点検員による点検（以下、全般検査という）を実施し、何らかの異常が見つかった場合に随時実施する詳細点検（以下、個別検査という）を組み合わせて構造物の損傷を発見し対策を施す体制をとってきた。

J R東海では1993年から東海道新幹線において「新幹線構造物検査センター」を中心とする専任体制を設け、「鉄けた特別検査」という塗装足場を活用した近接目視点検を実施している。

J R西日本では在来線・新幹線とも2006年から塗装足場を活用した至近目視点検による特別全般検査を導入しており、特別全般検査の周期は疲労損傷の頻度や重大性を勘案し図-1のフローに示すとおりとしている。

その後、2007年に国土交通省より鉄道構造物等維持管理標準が通達され、全鉄道事業者が行う構造物の検査は初回検査、全般検査、個別検査および随時検査の4つに区分された。このうち全般検査は通常全般検査と特別全般検査とに細分された。各検査の概念を表-1に示す。

以上のように、特別全般検査または特別検査と称する至近目視点検は、疲労損傷が課題であった東海道新幹線で始められ、実施体制はそれぞれ異なるものの鉄道各社で実施されるようになった。

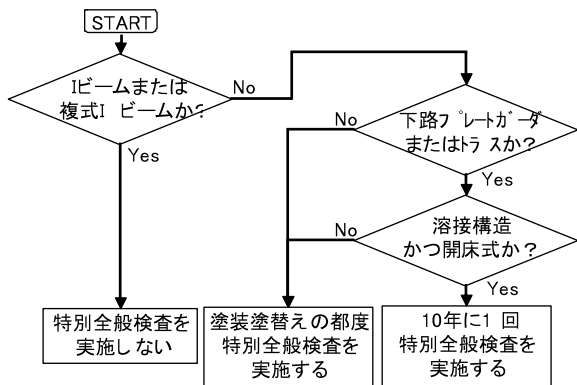


図-1 JR西日本の特別全般検査周期フロー

J R西日本では特別全般検査により至近距離からの目視点検を行うことで、疲労損傷の早期に発見が可能となり、通常全般検査では発見が困難であった部位のリベット弛緩等の損傷が見つかるなど²⁾、橋梁の健全度判定の精度が向上した。

3. 鋼鉄道橋の標準設計

1885年、わが国の鉄道建設に使用する大量の鉄桁をより早く効率的に架設するため、C.A.W.Pownallにより20ftから70ftまで10ft刻みの各径間を有する標準設計が行われた。その後、他の桁形式も標準設計化され、それぞれ、設計荷重の変遷や設計方法、構造ディテールの改良等に従い、設計・製作費用の低減や工期短縮を目的に、逐次新しい標準設計が制定された³⁾。

さらに標準設計桁を用いることにより、対象橋梁の設計年代を把握することで、その弱点や検査のポイントが分かり、維持管理の効率化や信頼性の向上にも有用である⁴⁾。

4. J R西日本の中小スパン橋梁の損傷と長寿命化

J R西日本において供用中の鋼鉄道橋の経年分布を図-2に示す。1925年前後に建設されたものが最も多く、

表-1 構造物の検査

検査種類	内容
初回検査	新設構造物および改築・取替を行った構造物の初期の状態を把握することを目的として実施する検査
全般検査	構造物の全般にわたって定期的に実施する検査で、通常全般検査、特別全般検査がある
通常全般検査	構造物の性能低下またはその恐れのあるものを抽出することを目的とし、定期的にも実施する全般検査
特別全般検査	構造物の健全度の判定の確度を高める目的で実施する全般検査
個別検査	全般検査、随時検査の結果、詳細な検査が必要とされた場合等に実施する検査
随時検査	異常時やその他必要と考えられる場合に実施する検査

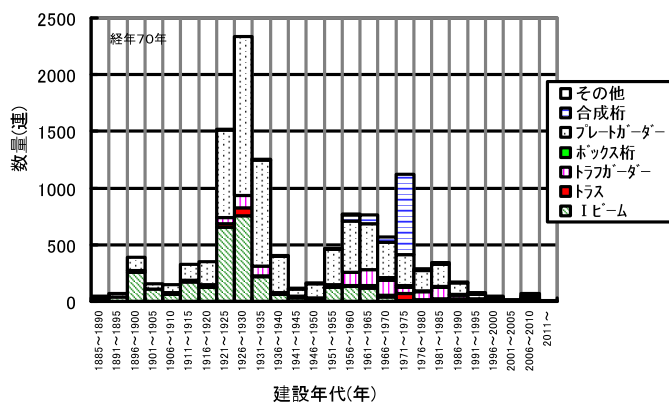


図-2 JR西日本の鋼鉄道橋の経年分布

供用開始後 100 年を超えるものも存在する。

桁形式別にみると、I ビーム桁や上路プレートガーダーの占める割合が多い。I ビーム桁や槽状桁は支間 7m 以下、上路・下路プレートガーダーは支間 25m 以下のものが多い。これらの中小スパン橋梁は橋梁全体の数量に占める割合が非常に多いため、数多くの損傷事例がある。これらの橋梁の代表的損傷とその対策はいくつかのパターンに分類することができる。

(1) I ビーム桁

I ビーム桁では支点部下フランジに近い腹板に水平方向にき裂が発生することが多く(図-3)、この種の損傷については、補修方法がなく、桁取替えを行っている。

(2) 槽状桁

槽状桁では軌条受けという部材を用いたタイプにおいて、軌条受けにき裂が発生する場合があります、これに対する補修は困難なため、取替えを念頭に維持管理を行う必要がある。

また、溶接構造が導入され始めた昭和 40 年代の槽状桁では端支材に疲労き裂が多発している(図-4)。このタイプはソールプレートの下にゴム板が挿入されているものが多く、左右桁のたわみ差により当該部位に高い応力が発生するものである。この対策については端支材を改造することにより、発生応力を低減させる補修方法がいくつか考えられているが、き裂が主桁腹板に到達したものについては、補修方法がなく、桁取替えを行っている。

(3) 上路プレートガーダー

図-5 に示すとおり、上路プレートガーダーでは支承部下フランジのき裂が多く発生している。この損傷については、支承と下フランジの一部を取替える補修が一般的であり、これにより機能回復を図ることができる。さらに支承付近が腐食しやすい環境ではこの種のき裂のほか腹板の腐食も進行している場合があり、それらに対しては桁端を切り欠き構造に改造することもある。

一方、支承部のバタツキがなく、き裂が軽微である場



図-3 I ビームのき裂

合には、簡易な当て板工法で延命させることでコストを抑える方法も考案されている⁵⁾。

5. 長大橋梁の長寿命化検討事例

規模が大きく架け替えが困難な長大橋梁について、長寿命化を図るため、今後の維持管理方針を検討した事例を以下に示す。

A 橋梁は重要線区に架かる橋長約 730m の橋梁で 3 複線(複線×3=6 線)であり、今回対象としたのはこのうち、上り内外線の複線下路トラス橋 22 連である。諸元を表-2 に、橋梁全景を図-6 にそれぞれ示す。過去の補修履歴や点検記録等により現状把握を行ったところ、本橋梁における着目点として「腐食」「支承機能」「疲労」を選定することとし、多角的に調査検討を実施した。

腐食については、外観点検、塗膜調査、付着塩分量を検討した結果、腐食に注意が必要な環境ではないことが分かった。また、塗膜については、塗り重ねた古い塗膜が大面積剥離に至る可能性があり、塗装塗替え時には旧塗膜調査を行い、適切な素地調整を行う必要があることが留意点として挙げられた。

支承機能については、季節毎の支承移動量を測定した結果、温度変化に合わせて支承が適正に移動していることが分かった。そこで、維持管理方針としては支承移動量を年 2 回程度測定することとした。

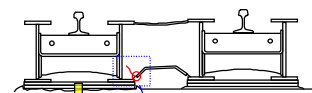


図-4 槽状桁端支材のき裂

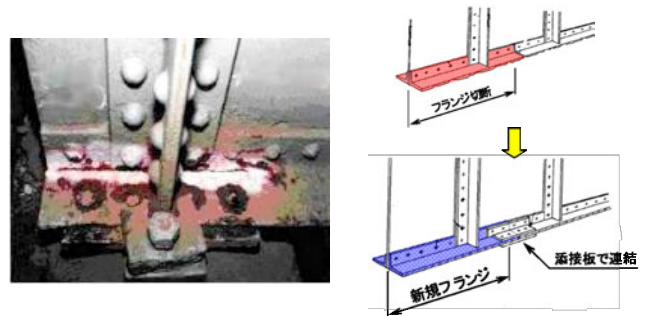


図-5 上路プレートガーダーのき裂

表-2 A 橋梁の諸元

橋梁形式	複線下路トラス／リベット構造
軌道形式	開床式／橋マクラギ式／60Kレール
製作年	1899年／Roberts Co, Pencoyd Iron Works
支間	31.623m (5格間)
全橋長	729.28m (22連)
設計活荷重	206,000lb機関車×2+3000 lb/ft (≒KS-14.6)
桁重量	98.958tf (1連)



図-6 A 橋梁

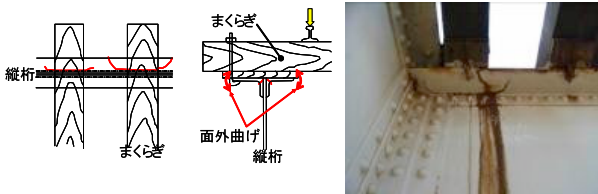


図-7 縦桁上フランジのき裂

疲労について、本橋梁では過去から縦桁上フランジにき裂が複数発生しており(図-7)、各連での発生数は同程度の頻度であった。き裂発生原因はまくらぎと縦桁上フランジの接触によりフランジの面外曲げと推定され、今後も発生数が増加すると考えられた。そこで、計画的に縦桁の上フランジ交換を進めてゆくこととした。試験施工の事例を図-8に示す。

以上のとおり、本橋梁の長寿命化を目的として策定した維持管理方針を表-3にまとめて示す。長大橋梁の長期的維持管理方針を策定したうえで維持管理を進めることにより、当該橋梁の安全性に対する信頼度が増すばかりでなく、長期的な補修・補強費用を見積もることができるため、鉄道インフラの安定的なサービス提供に貢献できるものとする。

6. おわりに

鋼鉄道橋は経年100年を超えるものも珍しくない時代になったが、多くは標準設計に基づき作られたものであるため、損傷に対する対策方法についても標準化が比較的容易であり、維持管理上の省力化と品質確保に役立っている。

現在、損傷の進行度合いによって対策工法の使い分け

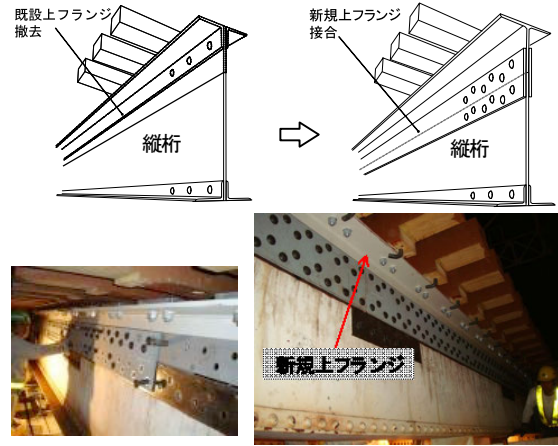


図-8 縦桁上フランジ交換

表-3 維持管理方針まとめ

要因	主な調査結果	当面の対策	維持管理方針
腐食	・塗膜厚大きい ・大面積剥離の可能性 ・腐食環境ではない	不要	塗替え事前に旧塗膜調査を実施し、適切な素地調整レベルを選定する。
支承機能	・交換したすべり支承の可動状況は良好	不要	・継続的に年2回程度支承移動量測定を実施 ・異常があれば、対策を検討
疲労	・縦桁上フランジのき裂多数(発生応力大) ・今後もき裂が増加する可能性	必要	・検査の強化(特に縦桁上フランジ) ・中長期的な計画で縦桁の上フランジ交換を行う

を行っているが、当然、損傷が軽微なうちの対策の方が費用・労力をかけずに済む。そのため、至近目視点検の導入による損傷の早期発見は、補修・補強費用の低減につながると考えられる。

一方、大規模トラス橋梁は少数であり維持管理方法の標準化が難しく、個別に長期的な維持管理方針を定める試みを行った。方針設定の手順は他の橋梁へ展開が可能であり、施工した部材交換についても他の同種損傷箇所に対策を行ううえで有益な事例となった。

本稿で紹介した知見が今後の鋼鉄道橋の維持管理に活かされることを期待している。

参考文献

- 1) 大竹敏雄, 神田仁: 東海道新幹線の橋梁と保守, 橋梁と基礎, Vol.43, No.8, 2009.8.
- 2) 小浦, 大都, 近藤, 木村, 村田, 松本: 鋼鉄道橋における足場を利用した検査での傾向について, 土木学会第63回年次学術講演会, IV-163, 2008.9.
- 3) 矢島秀治: 鋼鉄道橋の特徴と現状, 橋梁と基礎, Vol.43, No.8, 2009.8.
- 4) 仁杉巖監修, 阿部英彦, 稲葉紀昭, 中野昭郎, 市川篤司: 語り継ぐ鉄橋の技術, 鹿島出版会, 2008.12.
- 5) 大谷 将一郎, 西田 寿生: 支承部付近の疲労き裂に対する3面甲板工法の改良について, 土木学会第66回年次学術講演会, I-125, 2011.9.