

既設構造物の性能評価 ガイドライン

概要版

2020 年 3 月

土木学会

既設構造物の健全性評価法の高度化および体系化に関する研究小委員会

序

社会基盤施設の適切な維持管理が必要とされる中、構造物の健全性の評価は、主として外観目視の結果に基づいた健全度の階級分け（グレーディング）によって行われている。この評価法では、評価の精度が技術者の能力に依存するとともに、評価結果は1次的なスクリーニング結果としての意味合いが強く、詳細な健全性の把握（構造物の保有する性能の評価）は困難であるという課題を抱えている。また、健全度の階級は対策の要否に直結しており、構造物の性能回復が効果的に行われているとは言い難い。厳しい財政状況の下、対策が必要と診断される構造物が今後ますます増加する中で、対策の優先度を適切に判断し、効果的な対策を施していくためには、構造物の健全性をより正確かつ詳細に把握可能な評価法の構築が必要不可欠かつ急務である。そこで、土木学会コンクリート委員会より推薦され採択された令和元年度重点研究課題「既設構造物の健全性評価法の高度化および体系化に関する研究」では、土木学会が発刊する各種標準示方書の〔維持管理編〕に記載された性能評価法を統合し、評価法の高度化および体系化を図るとともに、構造物の管理者に向けた健全性評価のための「既設構造物の性能評価ガイドライン」の提示を試みた。

研究課題の実施にあたっては、コンクリート委員会に「既設構造物の健全性評価法の高度化および体系化に関する研究小委員会（231 委員会）」を設置し、複合構造委員会、鋼構造委員会、および構造工学委員会から委員の参加を得てガイドラインの作成に取り組んだ。委員会内には、グレーディング WG と FEM・WG を設置し、鋼構造物、コンクリート構造物、複合構造物を対象とした性能評価法と、それに基づいた評価事例をとりまとめた。性能評価法については、土木学会が発刊する複合構造標準示方書、コンクリート標準示方書、および鋼・合成構造標準示方書の各〔維持管理編〕に示された、構造物の性能の評価に主眼をおいた「外観変状に基づく性能評価」、および構造物の性能をより詳細かつ定量的に把握するための「非線形有限要素解析による性能評価」に関する規定を集約し整理を行った。これらの3示方書の内容を統合する試みは新しく、土木構造物共通示方書の取組みと合わせて、土木学会における示方書共通化の実現に資することが期待される。また、参考資料として示方書では提示が十分でなかった「外観変状に基づく性能評価」のコンセプトを詳述するとともに、構造物の評価への適用方法について事例を示した。更に「非線形有限要素解析による性能評価」については、既設構造物に対する非線形有限要素解析の手順を解説するとともに、各種構造物に対する評価事例を示した。今後、このガイドラインが構造物の管理者が利用する要領等に反映されることで、既設構造物の詳細な評価に基づいたより合理的な維持管理が実施されることを期待する。

最後に、委員会の活動をご支援いただいたコンクリート委員会に謝意を表します。また、委員会の運営とガイドラインの作成にご協力をいただいた池田学幹事長をはじめとする委員諸氏に深く感謝いたします。とりわけ、ガイドラインのとりまとめに多大なるご尽力をいただいたグレーディング WG の岩波光保主査ならびに西田寿生副査、FEM・WG の土屋智史主査ならびに高橋良輔副査、および牧剛史委員、渡辺忠朋委員に、心より感謝いたします。

2020 年 3 月

土木学会 令和元年度重点研究課題
既設構造物の健全性評価法の高度化および体系化に関する研究小委員会
委員長 齊藤成彦

土木学会 コンクリート委員会

既設構造物の健全性評価法の高度化および体系化に関する研究小委員会

委 員 構 成

委 員 長	斉藤 成彦	山梨大学
幹 事 長	池田 学	(公財) 鉄道総合技術研究所
委 員	岩城 一郎	日本大学
委 員 (グレーディング WG 主査)	岩波 光保	東京工業大学
委 員	加賀山 泰一	阪神高速技術 (株)
委 員	北根 安雄	京都大学
委 員	小林 孝一	岐阜大学
委 員 (FEMWG 副査)	高橋 良輔	秋田大学
委 員	舘石 和雄	名古屋大学
委 員	千々和 伸浩	東京工業大学
委 員 (FEMWG 主査)	土屋 智史	(株) コムスエンジニアリング
委 員 (グレーディング WG 副査)	西田 寿生	西日本旅客鉄道 (株)
委 員	本間 淳史	東日本高速道路 (株)
委 員	牧 剛史	埼玉大学
委 員	増井 隆	首都高速道路 (株)
委 員	若林 大	中日本高速道路 (株)
委 員	渡辺 健	(公財) 鉄道総合技術研究所
委 員	渡辺 忠朋	北武コンサルタント (株)

(50 音順, 敬称略)

WG 構成

FEM WG

主 査 土屋 智史

副 査 高橋 良輔

委 員

北根 安雄

千々和 伸浩

牧 剛史

渡辺 忠朋

(50 音順, 敬称略)

グレーディング WG

主 査 岩波 光保

副 査 西田 寿生

委 員

加賀山 泰一

増井 隆

若林 大

渡辺 健

(50 音順, 敬称略)

既設構造物の性能評価ガイドライン

目 次

1章 総則	15
1.1 適用の範囲	15
1.2 用語の定義	16
2章 性能評価の基本	17
2.1 一般	17
2.2 要求性能	17
2.3 性能評価の計画	19
2.4 性能評価に必要な調査	19
2.5 性能評価の方法	19
2.6 性能評価に基づく判断	22
3章 非線形有限要素解析による性能評価	23
3.1 一般	23
3.1.1 適用の範囲	23
3.1.2 評価の計画の策定	26
3.1.3 解析計画	27
3.1.4 解析手法の検証と妥当性の確認	30
3.1.4.1 一般	30
3.1.4.2 解析モデルの改善	32
3.1.4.3 適用範囲の検討	32
3.1.5 用語の定義	32
3.2 作用のモデル化	35
3.2.1 一般	35
3.2.2 作用時刻歴のモデル化	37
3.3 材料のモデル化	38
3.3.1 一般	38
3.3.2 コンクリートのモデル化	39
3.3.2.1 一般	39
3.3.2.2 ひび割れのモデル化	41
3.3.2.3 引張応力下における応力-ひずみ関係	43
3.3.2.4 ひび割れ面におけるせん断伝達モデル	45
3.3.2.5 圧縮応力下における応力-ひずみ関係	47
3.3.3 鉄筋のモデル化	51
3.3.4 PC鋼材のモデル化	58
3.3.5 構造用鋼材のモデル化	59
3.3.6 構造用FRPのモデル化	60
3.3.7 補修・補強用FRPのモデル化	60

3.3.8	断面修復材のモデル化	60
3.3.9	ひび割れ注入材のモデル化	61
3.3.10	材料境界面のモデル化	62
3.3.10.1	一般	62
3.3.10.2	ずれ止めによる鋼-コンクリート接合面のモデル化.....	63
3.3.10.3	ずれ止めを用いない各種材料間の境界面のモデル化.....	64
3.3.10.4	鉄筋コンクリート部材接合面のモデル化	66
3.4	構造物のモデル化	69
3.4.1	一般	69
3.4.2	形状および境界条件のモデル化	70
3.4.2.1	一般	70
3.4.2.2	部材のモデル化	74
3.4.2.3	部材接合部のモデル化	78
3.4.2.4	その他の構成要素のモデル化	78
3.4.2.5	地盤のモデル化	79
3.4.3	変状のモデル化	81
3.4.3.1	一般	81
3.4.3.2	コンクリートのひび割れおよび断面欠損のモデル化.....	82
3.4.3.3	コンクリート中における鋼材の断面減少のモデル化.....	83
3.4.3.4	鋼材のき裂および断面減少のモデル化	84
3.4.3.5	FRPの変状のモデル化	85
3.4.3.6	地盤の変状のモデル化	85
3.4.4	対策のモデル化	85
3.4.4.1	一般	85
3.4.4.2	構造物の躯体に対する補修・補強・修復のモデル化.....	87
3.5	応答値の算定	88
3.5.1	一般	88
3.5.2	応力、ひずみによる指標の算定	88
3.5.3	応力度の算定	90
3.5.4	ひび割れ幅の算定	91
3.5.5	変位・変形の算定	91
3.6	性能の評価	93
3.6.1	一般	93
3.6.2	安全性に関する評価	95
3.6.2.1	構造物の安全性の評価	95
3.6.2.2	耐荷性の評価	96
3.6.3	使用性に関する評価	98
3.6.4	復旧性に関する評価	100
3.7	妥当性の評価	103
3.7.1	一般	103

3.7.2	事前検証	103
3.7.3	解析の検証	105
3.7.4	解析結果の妥当性の確認	107
3.7.5	第三者評価	110
4章	外観変状に基づく性能評価	112
4.1	一般	112
4.2	外観変状のグレード	115
4.3	構造物の性能レベル	120
4.4	評価に基づく対策	122
4.5	外観変状のグレードと構造物の性能レベルの関係の例.....	123
4.5.1	ラーメン高架橋	123
4.5.1.1	鉄筋コンクリートラーメン高架橋	123
4.5.1.2	鉄骨鉄筋コンクリート（SRC）ラーメン高架橋	125
4.5.1.3	コンクリート充填鋼管（CFT）ラーメン高架橋	130
4.5.2	開削トンネル，ボックスカルバート	134
4.5.3	橋台・橋脚	136
4.5.3.1	鉄筋コンクリート橋台	136
4.5.3.2	鉄筋コンクリート橋脚	138
4.5.4	桁	140
4.5.4.1	鉄筋コンクリート桁	140
4.5.4.2	プレストレストコンクリート桁	143
4.5.4.3	鋼桁・合成桁	147
4.5.4.4	トラス橋	167
4.5.4.5	鉄骨鉄筋コンクリート（SRC）桁	169
4.5.4.6	波形鋼板ウェブを用いた合成桁	175
4.5.5	支承部	185
4.5.6	付帯設備	189
4.5.7	FRPはり	191
4.5.7.1	一般	191
4.5.7.2	FRPはり一般部	191
4.5.7.3	FRPはり接合部	191

参考資料1 既設構造物の非線形有限要素解析の手順

1. はじめに	197
2. 連続型評価と離散型評価における解析手順の違い	197
2.1 連続型評価	197
2.2 離散型評価	201
3. 解析手順	201
3.1 外形・境界条件のモデル化	202
3.2 使用する要素種類の決定	203
3.3 内部構造の推定	203
3.4 有限要素の分割の決定	203
3.5 適用する材料モデルの決定	204
3.6 材料特性値およびコンクリート配合の設定	204
3.7 変状のモデル化	204
3.7.1 コンクリートに生じた巨視ひび割れ	205
3.7.2 損傷したコンクリートの材料特性値	206
3.7.3 コンクリートの乾燥収縮	206
3.7.4 鉄筋の腐食	207
3.7.5 PC鋼材の腐食	209
3.7.6 構造用鋼材の腐食	209
3.7.7 構造用鋼材のき裂	210
3.7.8 コンクリートの断面欠損	210
3.8 作用履歴の設定	210
3.9 変動作用・偶発作用の設定	211
4. 評価	211
4.1 構造物の機能に基づく性能の評価	211
4.2 変状を生じた既設構造物の評価に用いる指標	214
4.2.1 材料の損傷指標	214
4.2.2 既設構造物における材料損傷指標の「初期値」	214
4.2.3 重度の変状が生じた既設構造物への損傷指標の適用	215
4.2.4 材料劣化および経時変化と材料の損傷指標	216
4.3 評価に用いる安全係数	217
4.4 評価に用いる解析の検証と解析結果の妥当性の確認	217
5. おわりに	218

附属資料1 腐食ひび割れ形成機構を考慮した鋼材腐食のモデル化方法..... 221

1. 腐食ひび割れの形成機構	221
2. モデル化領域のスケールと付着機構	223
3. モデル化領域のスケールとひび割れ面のモデル化	224

附属資料2 構造解析に用いる腐食膨張モデルの例と考え方..... 228

附属資料3 コンクリートの平均化損傷指標と要素寸法および部材寸法との関係に関する検討 232

1. 検討の背景と目的	232
2. 平均化処理に関する検討に用いるパラメータ	233
3. 要素寸法が大きい場合	234
4. 部材寸法が小さい場合	239

参考資料2 非線形有限要素解析による性能評価事例

1. 腐食したRC栈橋の解析	245
1.1 対象部材	245
1.2 解析の目的	246
1.3 解析方法	247
1.4 解析結果	251
1.5 結果の判断	252
2. 腐食したハーフジョイント桁の解析	255
2.1 検討対象の概要	255
2.2 解析の目的	257
2.3 解析方法	257
2.4 解析結果	260
2.5 結果の判断	265
3. 腐食したPC桁の解析	269
3.1 対象構造物	269
3.2 解析の目的	270
3.3 解析方法	270
3.4 解析結果	272
3.5 結果の判断	278
4. 腐食した合成桁の解析	279
4.1 対象構造物	279
4.2 解析の目的	282
4.3 解析方法	282
4.4 解析結果	287
4.5 結果の判断	295
5. 斜材破断した鋼トラス橋の解析	296
5.1 目的	296
5.2 対象橋梁	296
5.3 解析モデル	299
5.4 解析ケース	300
5.5 解析結果および考察	301
5.6 結果の判断	306

参考資料3 外観変状に基づく性能評価事例

1. はじめに	309
2. 事例①ー鋼2径間連続桁橋（RC床版）	309
2.1 対象構造物の概要	309
2.2 維持管理計画	313
2.3 点検結果および外観変状のグレード	315
2.4 性能の評価	322
2.5 対策要否の判定について	323
2.6 維持管理計画の見直しについて	324
3. 事例②ーPC単純ポストテンションT桁橋.....	326
3.1 対象構造物の概要	326
3.2 維持管理計画	330
3.3 点検結果および外観変状のグレード	332
3.4 性能の評価	334
3.5 対策要否の判定について	335
3.6 維持管理計画の見直しについて	335

既設構造物の性能評価ガイドライン

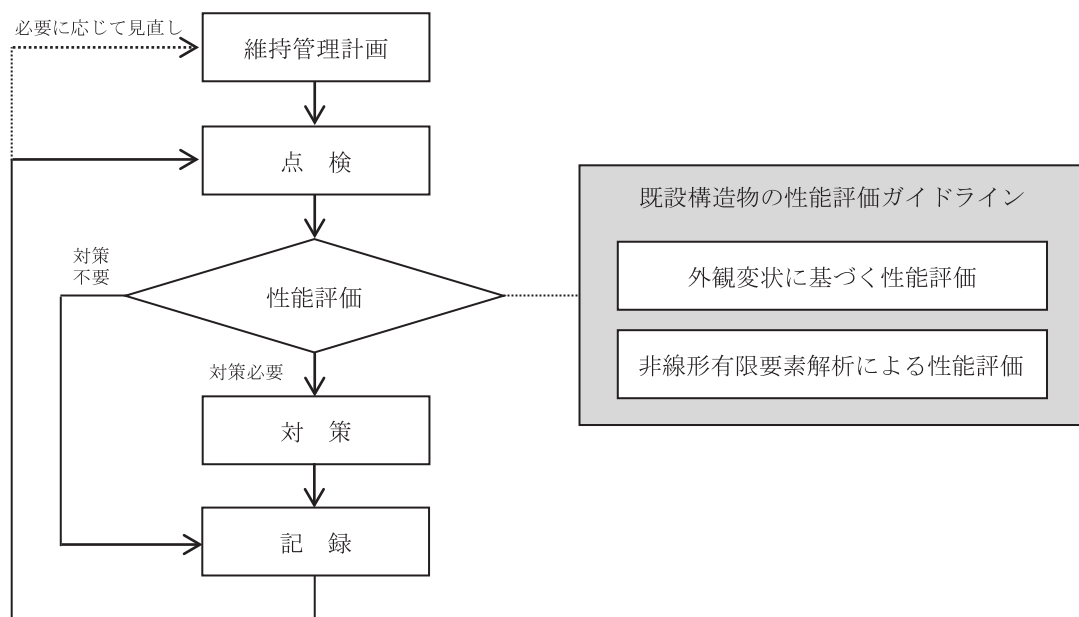
1 章 総 則

1.1 適用の範囲

- (1) このガイドラインは、既設構造物の性能を評価する場合に適用する。
- (2) 性能評価手法として、外観変状に基づく性能評価および非線形有限要素解析による性能評価について示す。

【解 説】 (1) について 構造物の維持管理において、構造物の性能を合理的に確保するためには、既設構造物が保持する現有性能を適切に評価するとともに、残存する設計耐用期間における性能の変化を適切に予測したうえで、効果的な対策を施す必要がある。このガイドラインは、変状の生じた既設構造物の性能を評価する場合の標準的な方法を示したものである。一般的な構造物の維持管理手順とガイドラインとの関係を解説図 1.1.1 に示す。このガイドラインが対象とする構造物は、コンクリート構造物、鋼構造物、鋼とコンクリート等で構成される複合構造物、および FRP を用いた構造物とする。

既設構造物の性能評価を行う目的には、対象構造物やその周辺環境から得られる情報に基づき、評価時点に構造物が有する性能を正確に評価したい場合、現況を詳細に把握できなくても変状を仮定することで性能への影響を評価したい場合、将来的な性能の変化を予測したい場合等がある。これらの目的を果たすため、このガイドラインは既設構造物の性能評価の標準的な方法とその適用事例について示したものである。また、このガイドラインは、適用する性能評価法に応じて適切に補修・補強の効果を考慮することで、補修・補強した構造物の性能評価にも適用することができる。



解説 図 1.1.1 構造物の維持管理の手順と性能評価の方法

解説 表 1.1.1 性能評価の方法と適用条件の例

評価手法		評価レベル	適用条件	評価指標	評価
非線形解析	有限要素モデル	定量的	—	非線形解析による応答値	応答値と限界値の比較
	線材モデル		構造細目・仕様等を満足	評価式に用いる応答値	
	設計での評価式				
外観変状に基づく評価手法 (グレーディング手法)		半定量的	構造細目・仕様等を満足 経験的データの蓄積	グレード 健全度，損傷評価値	評価値と性能 低下の対応表

（２）について 構造物の性能評価の方法とその適用条件の例を解説 表 1.1.1 に示す。「構造物の外観変状に基づく性能評価（いわゆるグレーディングによる方法）」は、点検で得られた構造物の外観変状に基づいて、構造物の状態を外観上のグレード等で表現し、構造物や部材の性能を評価する手法である。この手法は簡便に評価することが可能であるが、外観の変状のみで構造物の性能評価を行うことから、評価者の技術力に依存した半定量的な評価であり、安全側に評価することが基本となる。「設計での評価式による性能評価」は、新設構造物の設計時に用いた性能評価（照査）式により評価する方法であり、定量的な評価を比較的簡易に行うことが可能であるが、性能評価式の適用条件を満足していることが必要となる。「非線形解析による性能評価」は、例えば汎用的な非線形解析手法である有限要素解析を用いて、構造物に生じた変状を解析モデルに考慮することで、既設構造物の性能を定量的に評価する方法である。このガイドラインでは、構造物の性能評価における１次スクリーニングの役割として「外観変状に基づく性能評価」と、より詳細に性能評価を実施するための「非線形有限要素解析による性能評価」について示した。

このガイドラインに関連する基準・指針類を以下に示す。なお、このガイドラインは、これらの示方書の性能評価に関する内容をもとに、新たな記述も加えて整理したものである。

- ・土木学会：複合構造標準示方書〔原則編・設計編〕〔2014 年制定〕
- ・土木学会：複合構造標準示方書〔原則編・維持管理編〕〔2014 年制定〕
- ・土木学会：コンクリート標準示方書〔設計編〕〔2017 年制定〕
- ・土木学会：コンクリート標準示方書〔維持管理編〕〔2018 年制定〕
- ・土木学会：鋼・合成構造標準示方書〔総則編・構造計画編・設計編〕〔2016 年制定〕
- ・土木学会：鋼・合成構造標準示方書〔維持管理編〕〔2019 年制定〕

1.2 用語の定義

このガイドラインでは、次のように用語を定義する。

要求性能：目的および機能に応じて構造物に求められる性能

設計耐用期間：構造物または部材が要求性能を満足する設計上の期間

性能評価：構造物の現有する性能の評価および将来の性能予測を行うとともに、対策等の実施を判断する行為

2 章 性能評価の基本

2.1 一般

既設構造物の性能評価は、構造物の維持管理を合理的なものにするために実施する。

【解 説】 構造物の維持管理にあたっては、設計時に設定した構造物の要求性能を明確にした上で、性能評価を通して構造物が要求性能を満足していることを確認する必要がある。性能評価を実施することなく対処療法的に行う維持管理では、構造物の現有性能が不明確な上に、対策の対象となる性能もあいまいであるため、合理的な維持管理の実施は困難である。すなわち、構造物が現在保有する性能を定量的に評価し、対策の対象となる性能とその改善の程度を明確にしなければ、補修・補強設計を合理的に行うことができず、効果的な対策を施すことができない。

現在、構造物の診断では、外観の目視および打音検査の結果に基づいて構造物の健全性の程度をグレード分けした上で、健全性のグレードと変状の種類に応じて対策の要否や内容を直接判断しているのが一般的である。したがって、生じた変状によって構造物のどの性能を回復すべきか明確にできていないため、合理的な対策を講じることが困難な場合が多い。また、外観変状に基づく評価では、構造物の保有する性能を定量的に評価することは困難であるため、これまでの経験的知見に基づき安全側に評価を行うことになる。よって、外観変状に基づく性能評価は、構造物の耐久性（材料劣化抵抗性）に関わるような予防保全的な対策の実施を判断する場合や、性能低下に及ぼす変状の影響が明確で大胆な対策の実施を判断する場合に有効であり、構造物の詳細な評価に基づいた緻密な対策の検討を行う場合には、定量的な評価手法の適用が求められる。なお、新設構造物の設計時に用いた評価式は定量的な評価を可能とするが、様々な前提条件の下に適用できる簡易な評価法であり、変状によって前提条件を満たさない恐れのある既設構造物に対しては、評価式の適用は極めて困難である。よって、変状を有する既設構造物の性能を定量的に評価するためには、非線形解析に基づく性能評価を適用することが必要となる。既設構造物の維持管理では、外観変状に基づく性能評価は変状の生じた構造物の選別（スクリーニング）を行う目的で適用し、詳細な評価を行うことが必要と判断される場合には、非線形解析に基づく性能評価を適用するのが合理的である。

2.2 要求性能

既設構造物の性能評価は、一般に設計段階の安全性、使用性、および復旧性に対して行う。その際、構造物の有する機能に基づいた要求性能とその水準を考慮する。

【解 説】 新設設計時には、設定した要求性能とその水準に対して安全率を考慮して性能照査を行うため、実際に建設された構造物は設定した以上の性能水準を有していることが一般的である。既設構造物の性能照査では、この水準差（安全余裕）を含む実際に保有する性能を評価することが必要であり、かつ維持管理を

解説 表 2.2.1 構造物の要求性能（新設設計時）

要求性能	限界状態	照査指標	考慮する作用
安全性	断面破壊	力	全ての作用（最大値）
	疲労破壊	応力度，力	繰返し作用
	構造物の安定の限界	変形	全ての作用（最大値），偶発作用
	走行性の限界	加速度，振動，変形	全ての作用（最大値），偶発作用
	第三者影響度の限界	コンクリートのはく落 （中性化深さ，塩化物イオン）	環境作用
使用性	走行性・歩行性の限界	加速度，振動，変形	比較的しばしば生じる大きさの作用
	外観の阻害	ひび割れ幅，応力度	比較的しばしば生じる大きさの作用
	騒音・振動の限界	騒音・振動レベル	比較的しばしば生じる大きさの作用
	水密性の限界	構造体の透水量 ひび割れ幅	比較的しばしば生じる大きさの作用
	気密性の限界	構造体の透気量， ひび割れ幅	比較的しばしば生じる大きさの作用
	遮蔽性の限界	物質・エネルギーの漏洩量	比較的しばしば生じる大きさの作用
	損傷（機能維持）	変形，ひずみ，応力度	変動作用等
復旧性	損傷	変形，ひずみ，応力度	変動作用，偶発作用，環境作用

行う上で合理的である。既設構造物の管理において、実際に保有する性能に基づきその水準を柔軟に再設定するためには、新設設計時に照査用に設定した性能とその水準に対する評価という枠組みを超えて、構造物の目的とそれに応じた機能に基づいて評価を行うことが必要となる。また、新設設計時に設定した照査用の作用とその組合せに対し、既設構造物の評価で用いる作用は、実際に構造物に生じた作用の履歴と組合せを考慮することで、合理的な評価を行うことができる。このように、既設構造物に適した性能評価を実施することで、構造物が保有する性能を最大限活かした効果的な対策の実施が可能となる。

変状の生じた既設構造物に対して合理的な対策を実施するためには、性能評価によって対策の対象となる要求性能を明確にし、回復が必要な性能とその水準を適切に判断する必要がある。評価の対象となる要求性能は、一般に新設設計時に設定した安全性、使用性、および復旧性となる（解説 表 2.2.1）。なお、耐久性（材料劣化抵抗性）は、構造物が設計耐用期間にわたり安全性、使用性、および復旧性を保持する性能である。新設設計時には、構造物の要求性能とその水準に基づいて、個々の部位・部材の限界状態と考慮する作用を設定して照査を行う。既設構造物では、複数の部位・部材自体がそれぞれ様々な安全余裕を有しているため、既設構造物が有する機能に基づいて性能の水準と対応する限界状態を設定し、構造物としての評価を行う必要がある。

社会情勢の変化に伴い構造物の使用目的が変更された場合や、環境条件の変化により作用の修正が必要となった場合等には、要求性能が再設定される可能性がある。また、構造物が保有する性能に応じて作用を再設定する場合も考えられる。このような場合には、新たに設定した限界状態や作用に基づき性能評価を行うことになる。

構造物の現有性能の評価や性能予測によって、設計耐用期間を通して必要な要求性能が確保できないと判断される場合、または早期に対策を施すことで要求性能を合理的に確保できると判断される場合に、対策を検討することになる。性能評価において、評価の対象となる要求性能を明確にすることで、適切な対策方法を検討することができ、効果的な性能回復を実現することができる。

2.3 性能評価の計画

既設構造物の性能評価を行う際は、対象構造物の評価目的や得られる情報の質と量、各種制約条件等を勘案して、評価の計画を策定する。

【解 説】 既設構造物の性能評価の結果は、当該構造物を取り巻く様々な状況（社会的環境）や入手できる情報に大きく依存するため、性能評価を合理的に実施するためには、評価の目的に応じて適用する性能評価手法や評価の内容を適切に定めた性能評価の計画を策定し、検討手順をあらかじめ体系立てておくことが必要である。例えば、変状に関する情報が十分でない場合には、変状の程度や範囲を変えた複数の条件を設定して評価を実施したり、対象となる構造物の環境条件が不明確な場合には、複数の環境条件の変化を考慮した評価を実施したりすることで、不確定な情報のもとで性能評価を合理的に実施することを目指す。

性能評価の内容に影響を与える制約条件としては、構造物の重要度、評価の緊急度、検討にかかる費用、検討期間等がある。性能評価の計画を策定する際は、当該構造物の管理者の関与は不可欠であるが、適切な計画の策定を行うためには、調査、設計、施工、および構造、材料に関する十分な知識と経験を有する専門技術者の関与も不可欠であり、それらを統括（マネジメント）する仕組みの構築も重要である。

2.4 性能評価に必要な調査

性能評価に必要な情報は、適用する評価手法に応じた適切な調査を実施することにより入手する。

【解 説】 性能評価に必要な情報を入手するためには、適切な調査方法を選択して既設構造物の点検を実施する必要がある。したがって、適用する性能評価法が必要とする情報を予め明らかにしておくことが求められる。特に非線形有限要素解析による性能評価を実施する場合には、調査によって得られる情報の質や量が評価結果の精度や信頼性に影響を及ぼす。なお、既設構造物に生じた変状の全てを正確に把握することは困難であるため、点検により得られた情報は必要に応じて分析または処理を行う必要がある。

2.5 性能評価の方法

（１）性能評価は、外観変状に基づいた検討または非線形有限要素解析を用いた検討、あるいはそれらの組合せにより行う。

（２）性能評価では、評価時点における構造物の現有性能の評価と、当該構造物の設計耐用期間中の性能予測を実施する。

【解 説】 （１）について 既設構造物が所要の性能を満足しているか否かを確認するには、適切な性能評価手法を用いる必要がある。構造物の保有する性能を的確に把握し、合理的な維持管理を実施するには、既設構造物の性能を定量的に把握することが求められる。評価の対象となる安全性、使用性、復旧性等の性

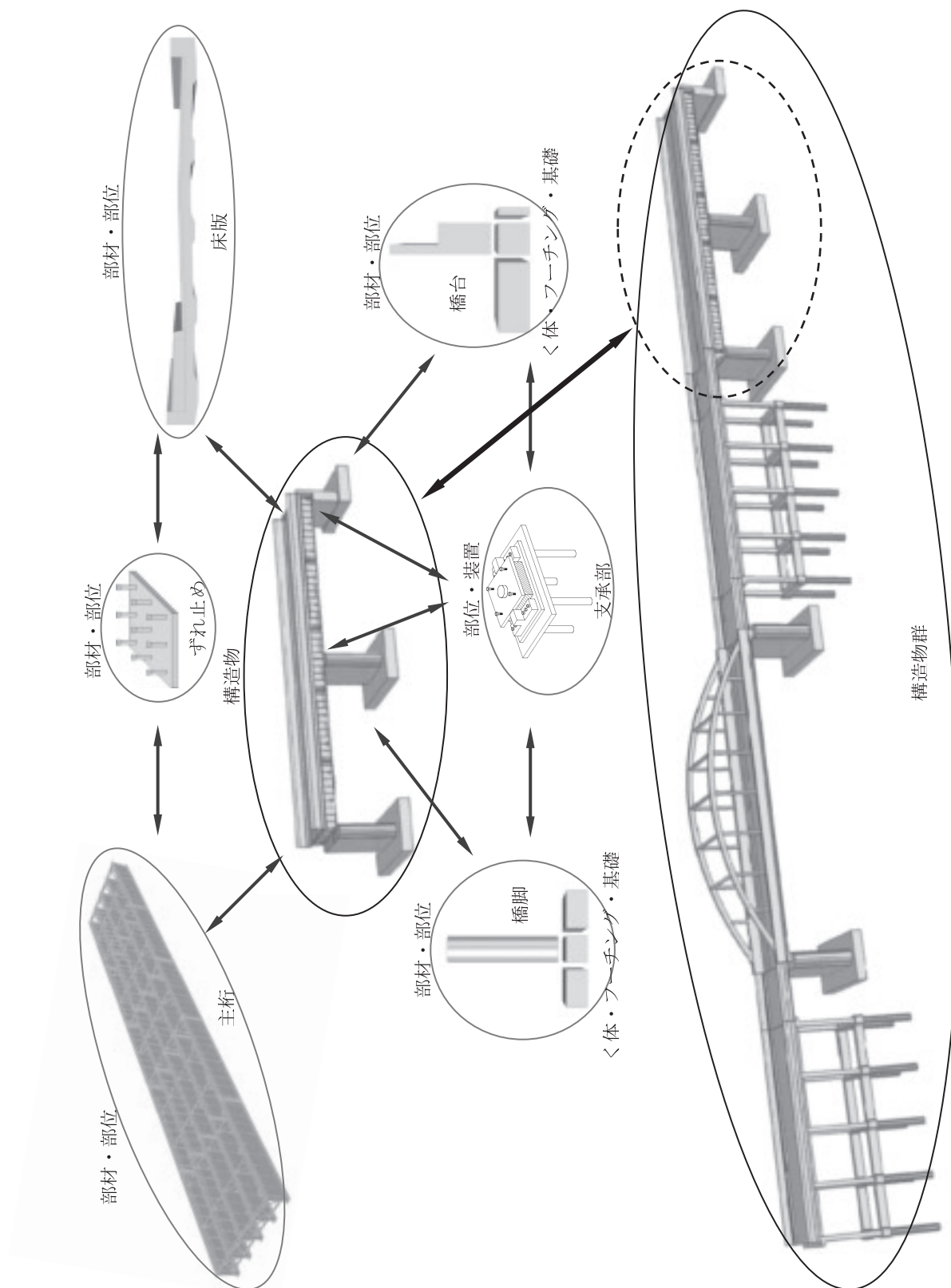
能は、構造物に対しての要求性能である。解説 図 2.5.1 に示すように、構造物は部位や部材等の種々の構造要素から構成されるため、部位・部材に着目して評価する場合には、部位・部材の状態が構造物の全体としての性能に与える影響を考慮して評価することが重要となる。

変状を有する既設構造物は、新設設計時に設定した前提条件を満足せず、破壊形態が変化する場合や十分なじん性を得られない場合等が考えられるため、「設計での評価式による性能評価」の適用は困難である。したがって、既設構造物の耐荷・変形挙動を定量的に評価するためには、性能評価式に比べて適用範囲が広い非線形有限要素解析の適用が推奨される。変状のモデル化の精度を認識したうえで、適切な解析計画を策定し、適切な解析プロセスを踏むことで、非線形有限要素解析による評価結果の信頼性や妥当性を十分に確保することが可能である。一方、外観変状に基づく性能評価は適用の容易さが特徴であるが、外観変状だけの限定された情報で判断することから、評価は技術者の能力に依存するため、安全側に評価を行うことが基本となる。性能評価にあたっては、評価対象となる構造物の特徴、評価の目的や必要な精度、点検より得られた構造物の状態等を勘案して適切な性能評価手法を選定することが重要となる。

このガイドラインでは、「外観変状に基づく性能評価」と「非線形有限要素解析による性能評価」を検討の基本に据えることとした。なお、既設構造物の使用性を定量的に評価する場合には、評価指標を直接測定できる場合があるため、現地における調査で得られた測定値に基づいて評価を行うことが可能である。

(2) について 既設構造物の性能評価は、評価時点で構造物が所要の性能を満足しているか否かを確認する現有性能評価と、残存する設計耐用期間中の合理的な管理を実施するために必要となる性能の経時変化の予測（性能予測または将来予測）から構成される。性能の経時的な変化を予測する際には、変状の原因となる劣化機構の推定や劣化の進行予測が重要である。

非線形有限要素解析を用いて性能予測を行う方法には、環境作用による材料特性の経時的な変化をモデル化し、構造物の性能の変化を連続的に予測する場合が考えられるが、その信頼性は点検で得られる情報の質と量、それに基づく変状原因の推定精度、材料劣化の予測モデル等に大きく依存する。そのため、既設構造物に対して得られる情報を用いたキャリブレーションの実施など、評価結果の妥当性評価を工夫したり、評価結果の取扱いに注意したりすることが必要である。



解説 図 2.5.1 構造物群の評価、構造物の評価および部材・部位の評価の概念図

2.6 性能評価に基づく判断

性能評価の結果に基づいて、構造物に対する対策の要否判断や管理の方法を検討する。

【解 説】 既設構造物の性能評価を実施した結果、所定の性能を満足していない場合、将来比較的早期に性能を満足しなくなることが確認された場合、この時点で対策を施すことが効果的と考えられる場合には、適切な方法により対策を実施することになる。既設構造物の性能評価では、構造物の有する機能に基づいた要求性能とその水準に対して限界状態を設定することになるため、当該構造物の重要度、社会情勢、維持管理の容易さ等を考慮して、適切に管理限界値を定めることになる。また、既設構造物の性能評価を実施することで、当初の維持管理計画の妥当性を確認できるとともに、必要に応じて維持管理計画の見直しを行うことができる。