

土木学会平成27年度全国大会
研究討論会 研-16 資料

維持管理を変える

～点検依存からの脱却と構造性能評価の実現に向けて～

座 長	奥井 義昭	埼玉大学
話題提供者	福永 靖雄	西日本高速道路(株)
	岩波 光保	東京工業大学
	渡辺 忠朋	北武コンサルタント(株)
	斉藤 成彦	山梨大学

日 時	平成27年9月18日(金) 16:20～18:20
場 所	岡山大学津島キャンパス
教 室	E21 講義室(会場名 I-8)

複合構造委員会

土木学会平成 27 年度全国大会
複合構造委員会・研究討論会

維持管理を変える
～点検依存からの脱却と構造性能評価の実現に向けて～

趣旨説明

座 長： 複合構造委員会委員長 奥井義昭（埼玉大学）
企 画： 複合構造委員会幹事 斉藤成彦（山梨大学）

構造物の維持管理は、主として外観目視の結果から材料劣化の程度によってグレードを定め、それに応じた対策を講じているのが現状であるが、外観の変状に基づく判断の多くは材料劣化の程度に着目したものであり、構造性能の観点から評価を行っているケースは少ない。笹子トンネルの崩落事故では点検のあり方が問われているが、点検に過度に依存するのではなく、点検より得た情報に基づいて構造物の性能評価を実施し、適切な時期での修繕や更新を行っていくことが重要と考えられる。一方、地域における技術者不足への対策として、点検員の育成に関する取組みが始まっているが、性能評価を実施できる技術者をいかに育成するかが課題となっている。今後ますます構造物の老朽化が進み、「この構造物の耐荷力はいくらなのか？いつまで供用できるのか？」といった問いに確実に答えるためにも、構造性能評価法の構築と性能評価を実施できる技術者の育成は急務である。

本討論会では、議論に先立ち、高速道路会社での取組み、土木学会研究委員会での取組み、地域における取組み等、性能評価に関する取組み事例について各方面からご紹介頂く。また、2015 年 3 月に、性能評価法の提示を主眼において制定された 2014 年制定複合構造標準示方書〔維持管理編〕の紹介も加えて、現状の維持管理における問題点を抽出し、構造性能評価に立脚した維持管理の実現に向けた議論を行う。本研究討論会での議論が、新たな維持管理へと舵を切るきっかけになることを期待する。

話題提供者

福永靖雄 西日本高速道路株式会社
岩波光保 東京工業大学
渡辺忠朋 北武コンサルタント
斉藤成彦 山梨大学

NEXCO 西日本における点検と評価の現状について

西日本高速道路(株)

福永 靖雄

1. はじめに

全国的高速道路は、現在約 9200km が供用されており、西日本高速道路(株)では、滋賀県から沖縄までの高速道路や一般有料自動車道の合計約 3453km を管理している。

全国的高速道路の経過年数の推移は、図 1 に示すように、名神高速道路が今年で全通 50 年を迎えたのを代表に、年々経過年数が年々増加してきており、2013 年度末には供用後 30 年以上を経過する延長が約 40% に至り、2050 年度末には供用後 50 年以上の延長が約 80% を占めることになる。また、橋梁を代表に、建設年代と経過年数を図 2 に示す。橋梁の種別にかかわらず、80 年代に構築された橋梁がもっとも多く、平均的な経過年数は 25 年となっている。このように、高速道路の経年劣化に関するリスクの高まりが懸念されてきている。

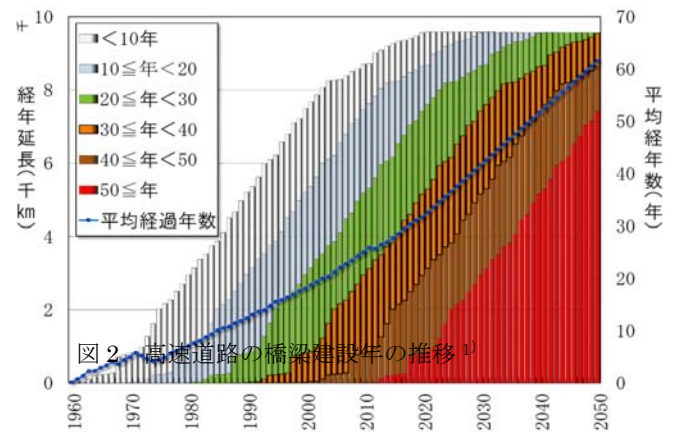
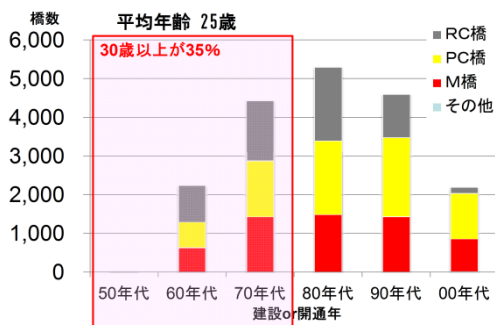


図 1 高速道路の経年変化の推移 1)



2. 点検と評価の現状

2. 1 環境の変化

今後の橋梁等の道路構造物が急速に老朽化していくことを踏まえ、道路管理者の責任によるメンテナンスサイクル（点検→診断→措置→記録）の確立するために具体的な点検頻度や方法等が法令で定めることが必要になってきたことから、平成 26 年 7 月に道路法施行規則が施行された。この概要は以下のとおりである。

- 必要な知識及び技能を有するものが行い、近接目視により、五年に一回の頻度で行うことを基本とする。
- 点検を行ったときには、健全性の診断を行う。
- 点検の内容を記録し、利用されている期間中はこれを保存する。また、健全性の診断は、トンネル等の健全性の診断結果の分類に関する告示により表 1 に掲げる区分とされている。

これを受け、国においては「道路橋点検要領（平成26年6月）」が改正された。この中で、定期点検では、部材単位の健全性の診断と道路橋毎の健全性の診断を行うこととされている。また、部材単位の診断は表2に示す判定の評価単位を標準とすることが示されている。

表1 健全性の区分²⁾

区分		状態
I	健全	構造物の機能に支障が生じていない状態。
II	予防保全段階	構造物の機能に支障が生じていないが、予防保全の観点から措置を講ずることが望ましい状態。
III	早期措置段階	構造物の機能に支障が生じる可能性があり、早期に措置を講ずべき状態。
IV	緊急措置段階	構造物の機能に支障が生じている、又は生じる可能性が著しく高く、緊急に措置を講ずべき状態。

表2 判定の評価単位の標準²⁾

上部構造			下部構造	支承部	その他
主桁	横桁	床版			

2. 2 NEXCO 西日本における点検

旧道路公団においては、昭和41年に道路修繕要領を制定し、順次、点検に関する要領を整備してきている。道路法等の改正に伴い、平成26年7月に改正内容を盛り込んだ内容に改正し、さらに詳細を平成27年4月に再度改定を行い運用している。

NEXCO 西日本の点検体系の概要を表3に示す。

表3 点検体系の概要³⁾

点検種別		点検の主な目的	点検方法	点検頻度
初期点検 (土工構造物)		初期状況把握	近接目視または遠方目視とし、必要に応じて触診や打音等の非破壊検査等を併用して行う点検	供用開始前 構造系の変更時等
初期点検 (土工構造物以外)		初期状況把握、第三者被害等の未然防止	近接目視かつ触診や打音、必要に応じて非破壊検査等を併用して行う点検	供用開始前 構造系の変更時等
		初期状況把握、健全性把握、保持	近接目視または遠方目視とし、必要に応じて触診や打音等の非破壊検査等を併用して行う点検	供用開始前 構造系の変更時等
日常点検		日常的な安全性の確認等	車上目視、車上感覚、遠望目視を適宜組み合わせ実施、必要に応じて降車確認	交通量で設定 4日～7回以上/2週
定期点検	基本点検	安全性把握、管内全般の現状把握等	近接目視または遠望目視	1回以上/年
	詳細点検	第三者被害の未然防止等	近接目視かつ触診や打音を行うことを原則	1回以上/5年
		健全性把握、保持等	近接目視を基本とし、必要に応じて触診や打音等の非破壊検査等を併用	1回以上/5年
		個別判定 健全度評価		
臨時点検	特別点検	手の点検の保管、類似構造物把握等	遠望目視、近接目視、触診、打音を適宜組み合わせ実施、必要に応じて非破壊検査等を併用	必要の都度
	緊急点検	防災関連要領参照	遠望目視、近接目視、触診、打音を適宜組み合わせ実施、必要に応じて非破壊検査等を併用	必要の都度

2.3 判定、健全度評価、健全性の診断

点検の結果は、各々の変状に対して、表4及び6の区分により「個別判定」、「健全度評価」を行うことを基本としている。

個別判定は、主に短期の補修計画策定の活用し、健全度評価は主に中長期の修繕・更新計画に活用するものであり詳細点検と初期点検において実施している。表4に個別の変状に対する判定区分を示す。また、表5に健全度評価の対象部材・評価単位を、表6に健全度評価を示す。

表4 個別の変状に対する判定区分³⁾

判定区分		一般的状況
個別判定の変状に対する判定	AA	変状が著しく、機能面への影響が非常に高いと判断され、速やかな対策が必要な場合。
	A	変状があり、機能低下に影響していると判断され、対策の検討が必要な場合
		A1 変状があり、機能低下への影響が高いと判断される場合。
		A2 変状があり、機能低下への影響が低いと判断される場合。
	B	変状はあるが、機能低下への影響は無く、変状の進行状態を継続的に監視する必要がある場合。
	C	変状の状態（機能面への影響度合い等）に関する判定を行うために、調査を実施する必要がある場合。
第三者等被害に対する判定	OK	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等に対し支障となる恐れがあるため、対策が必要と判断される場合

表 5 健全度評価の対象部材・評価単位³⁾

構造区分	部材	評価単位	備考
鋼橋	鋼桁	連 連における端部	
コンクリート橋 プレストレストコンクリート 橋	RC 桁 PC 桁 (外ケブル、PC 定着部含む)	連 連における端部	
複合橋	鋼部材、コンクリート部材 接合部	連 連における端部	
床版	RC 床版、PC 床版 鋼床版、鋼コンクリート合 成床版	連 連における端部	
下部構造	橋台、橋脚 (鋼製橋 脚含む)	基	基礎除く
支承	鋼製支承、ゴム支承	基	
伸縮装置	鋼製フィンガー・ジョイント 製品ジョイント 埋設ジョイント	基	

表 6 健全度評価 (変状グレード)³⁾

変状グレード	変状や劣化の進行	構造物の性能
I	問題となる変状がない	劣化の進行が見られない
II	軽微な変状が発生している	劣化は進行しているが、耐荷性能または走行性能は低下していない
III	変状が発生している	劣化がかなり進行しており、耐荷性能または走行性能の低下に対する注意が必要である。
IV	変状が著しい	耐荷性能が低下しつつあり、安全性に影響を及ぼす恐れがある。または、走行性能が低下しつつあり、使用性に影響を及ぼす恐れがある。
V	深刻な変状が発生している	耐荷性能の低下が深刻であり、安全性に、問題がある。 または、走行性能の低下が深刻であり、使用性に問題がある。

NEXCO においては、変状グレードという指標を判定に用いており、構造物そのものの健全性を部材毎に判定する手法を用いている。

この判定には、塩害や ASR に代表される材料や環境に起因する変状や鋼部材の疲労、RC 床版の疲労など外力に対する評価も含んで判定を行っている。このため、変状の主要因との関連も組み対策を講じる評価値として使用している。

この判定では、詳細点検のみでは判定できない場合もあり、この場合には、各種非破壊検査などの詳細調査や構造解析なども併用し再評価を行う場合もある。

NEXCO3 社では、以前より健全度評価を導入しており、その健全度データを用いて、変状状況を分析している。

橋梁の健全度を用いた分析の例を図 3³⁾ (NEXCO3 社データ) に示す。橋梁の健全度の割合は、経過年数とともに低下する傾向となっており、30 年経過すると、約半数の橋梁に注意が必要な変状が発生している。(鉄筋コンクリート橋、PC 橋等で 40 年以上の健全度が向上しているのは、補修により回復していることが影響している)

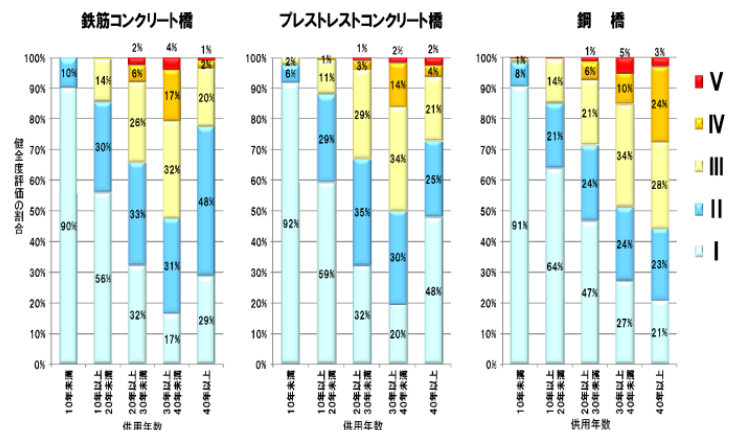


図 3 橋種毎の健全度の割合¹⁾

部材別の健全度を用いた分析の例として RC 床版の例を図 4 に示す。

鉄筋コンクリート床版については、疲労、塩害、アルカリシリカ反応に関わる各種要因及びその組合せ別に健全度を分析した結果を図 4 に示す。劣化要因が無い「劣無」と比較し、今回着目したいいずれかの劣化要因がある場合、健全度が低下している。特に「内在塩分かつ飛来塩分」の影響がある場合は、

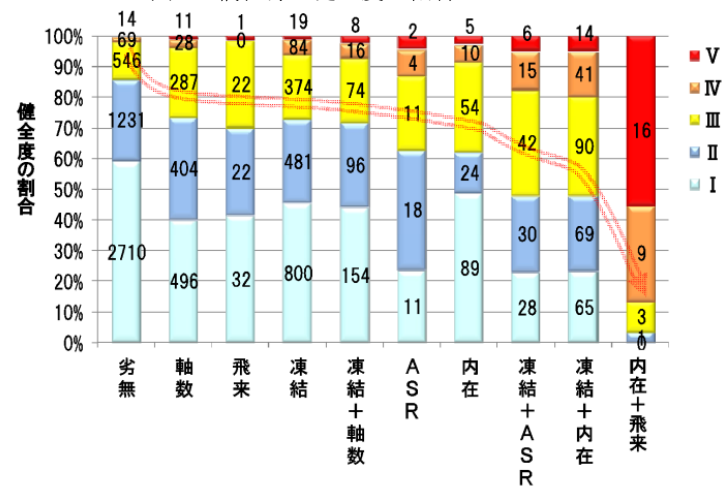
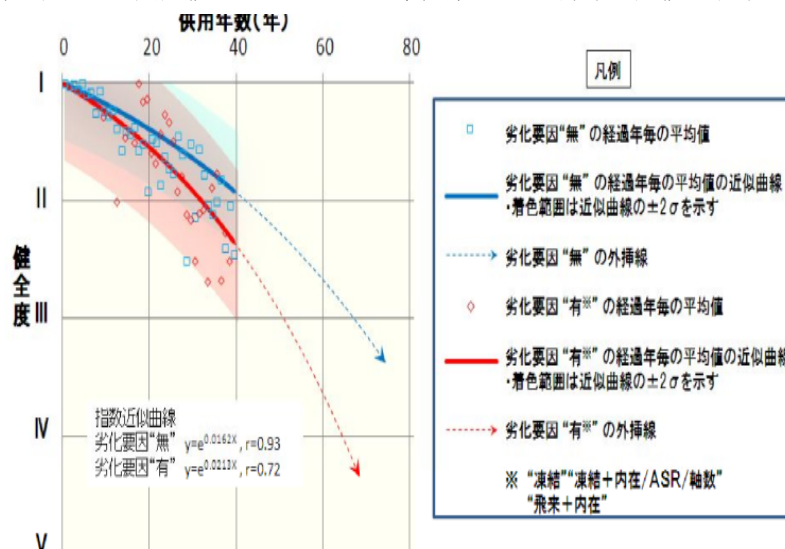


図 4 RC 床版における劣化要因に対する主な健全度分¹⁾

現時点で95%以上の床版で健全度がⅢ・Ⅳ・Ⅴと著しく低下している。図5に供用年別の健全度の推移を示す。劣化要因「有」の場合、健全度が急激に低下する傾向があり、また、劣化要因が無い場合でも永続的な健全性を維持することも難しいことも分かる。

この例で示したように、部材毎の健全度評価を用いることで、長期的な更新等の評価を行うことが可能であると言える。

点検において、診断（評価）を適切な指標にて行うことで統一的な評価が行え、単に材料劣化のみならず、劣化要因を組み合わせることで適切な評価を行うことが可能と思われる。



3. 終わりに

図5 RC床版の供用年数別の健全度の推移と予測¹⁾

NEXCO3 社では、この健全度データと変状要因の分析を「高速道路資産の長期保全及び更新のあり方に関する技術検討委員会」を審議して頂き、平成27年3月25日付けにて国土交通大臣から更新事業の実施について、道路特別措置法に基づく許可を受け、更新等の事業を行うこととなった。平成27年度より事業に着手することになっている。

診断（評価）は、技術者の力量にまだまだ頼っているところも大きいので、健全度の評価（診断）を確実にできる技術者の育成と定性的な評価からできるだけ定量的な評価方法の確立が重要と考える。

《参考文献》

- 1) 高速道路資産の長期保全及び更新のあり方に関する技術検討委員会報告書（平成26年1月）
- 2) 国土交通省定期点検要領（平成26年6月）
- 3) 保全点検要領（構造物編）（平成27年4月）西日本高速道路㈱

残存性能評価・予測に立脚した 維持管理に向けて

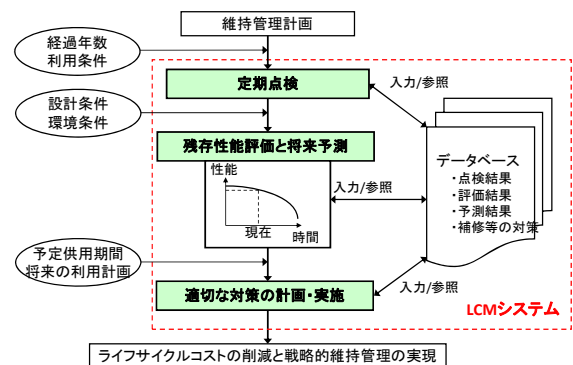
東京工業大学
岩波 光保
(iwanami@cv.titech.ac.jp)

本日の内容

1. はじめに
2. 目視による劣化度と構造性能の関連付けの試み
3. コンクリートと鋼材の境界部における水の作用
4. 構造工学委員会での取組み
5. まとめ

1. はじめに

港湾施設のライフサイクルマネジメントのフロー



2. 目視による劣化度と構造性能の 関連付けの試み

背景・目的



- ✓点検診断により得られるデータは数量が膨大
- ✓点検診断結果の活用方法

一般定期点検診断

目視調査を主体に施設の
部位毎に点検診断する
全部材, 劣化度a, b, c, d

目視調査による評価

評価

部位毎の点検診断結果を
もとに, 施設全体の性能を
総合的に評価する

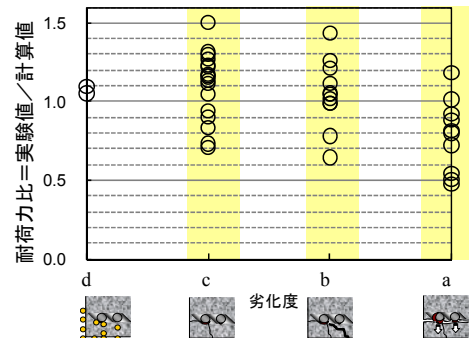
- ・目視による劣化度から保有性能を評価する手法
- ・保有性能評価に基づいて対策優先順位を決定する手法

港湾RC部材の劣化度と残存耐力に関する調査

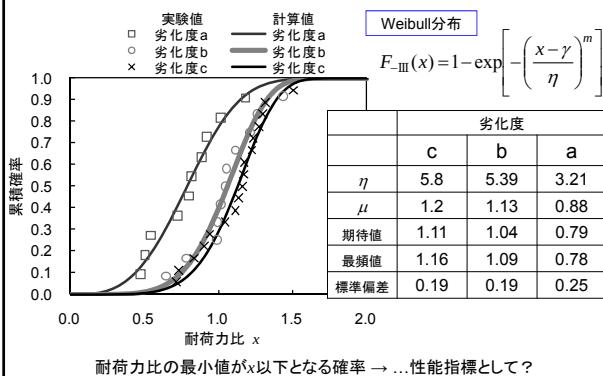


- ☐ 網目状のひび割れが部材表面の50%以上ある。
- a ☐ かぶりの剥落がある。
- ☐ 錆計が広範囲に発生している。
- b ☐ 網目状のひび割れが部材表面の50%未満である。
- ☐ 錆計が部分的に発生している。
- c ☐ 一方向のひび割れもしくは帯状又は線状のゲル析出物がある。
- ☐ 錆計が点状に発生している。
- d ☐ 変状なし。

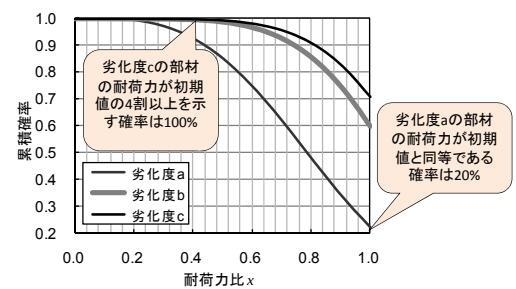
RC部材の劣化度と残存耐力の関係



確率論に基づく部材耐力の推定手法



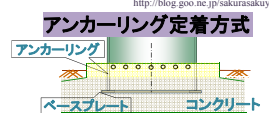
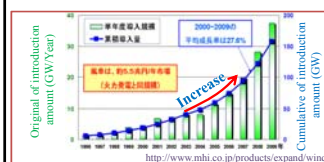
RC部材の耐力力比がx以上となる確率



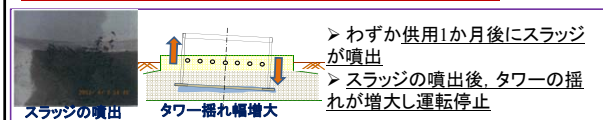
活用方策: 保有性能評価に基づく対策優先順位の決定

3. コンクリートと鋼材の境界部における水の作用

背景

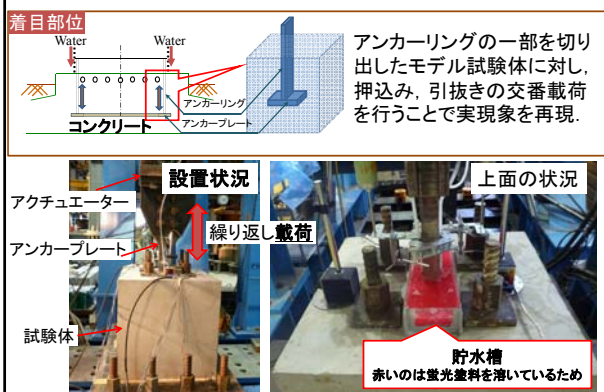


風車の設置数が年々増加する中、想定外の損傷が発生



何故? 余寿命は? → 液状水が関与して劣化を促進した可能性

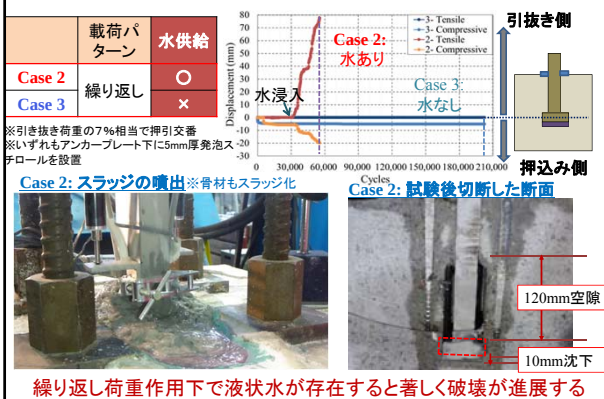
実験概要



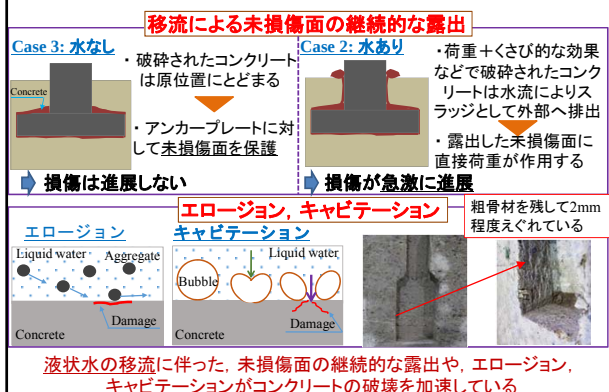
実験条件

ケース	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4	Case 5	Case 6
載荷パターン	静的 (引抜き460kNで破壊)	正負繰返し (荷重は風車のカットアウト支圧強度比を参考に設定=Case1から得られた引抜け荷重の7%相当)				
液状水供給	—	○	×	○	○	○
W/C	62.4%	62.4%	62.4%	62.4%	40.9%	62.4%
載荷速度	—	0.5Hz	0.5Hz	0.5Hz	0.5Hz	0.1Hz
模擬空隙	○	○	○	×	×	×
比較着目点	①液状水供給の有無の影響					
	②フリージングや界面付着が水の浸入速度に与える影響					
				③細孔構造と液状水の影響の関係		
				④載荷速度と液状水の影響の関係		

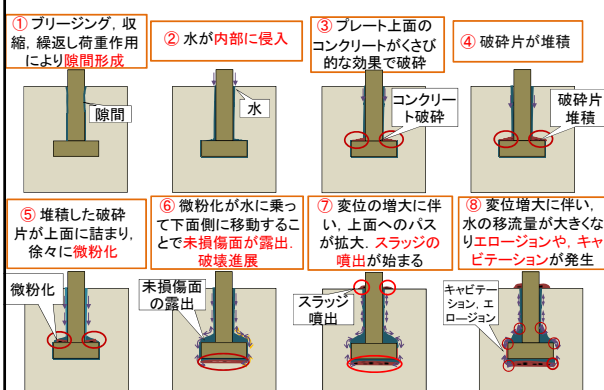
液状水が定着性能に与える影響



水の影響機構に関する考察



液状水作用下における損傷進展機構



まとめ

- ✓ 繰返し荷重作用下において、液状水が存在すると破壊が急速に進展する。
- ✓ 水の粘性に由来したくさび的な効果による破壊促進、水の移流に伴った未損傷面の継続的な露出、エロージョンやキャビテーション等が破壊促進に関与している。
- ✓ 当初は健全であっても、界面外部に水が滞留したり、雪が積もったりすると徐々に内部に水が浸入していく。
→排水措置が重要。
- ✓ 合成構造などの異種材料接合部、鉄筋とコンクリートの界面などでも液状水作用によって類似の問題が起きる可能性がある。

4. 構造工学委員会での取組み

橋梁の維持管理システム研究小委員会

(委員長: 中村光(名古屋大学教授))

○設立趣旨

建設後50年以上が経過した橋梁は、20年後にはほとんどの地域で半数を超えるため、高齢化した橋梁の維持管理の必要性が従来から指摘されていた。また、首都高速などの都市高速の劣化と改修費、笹子トンネルの事故、静岡県山間部橋梁の損傷事例などから、インフラの老朽化とその対策が社会問題化している。このような現状に対し、土木学会では社会インフラ維持管理・更新検討タスクフォースを設置し、インフラの維持管理・更新を学会の主要課題として検討を開始した。

構造工学委員会の特徴は特定の材料のみを検討対象としないことにある。また、インフラの維持管理の現場においても材料ごとに管理システムの区別はない。そこで、社会問題化し、今後その必要性・重要性が急速に高まる維持管理の問題に対して、土木構造物のうち、特に橋梁に特化することで、点検から維持管理に至る具体的(実践的)手法の確立を目指した検討を行う。

橋梁の維持管理システム研究小委員会

○活動内容

1. 点検マニュアルWG

各機関の橋梁の点検マニュアルの調査と点検実態調査およびその整理
橋梁の診断・評価に関する実態調査および整理

2. LCM WG

橋梁に特化したライフサイクルマネジメントの提案
管理者・民間点検会社、大学、学会などの維持管理技術者役割の検討

3. 橋梁長寿命化WG

橋梁の長寿命化修繕計画の実態調査およびその整理

橋梁など土木構造物の維持管理に関する地方での一取組

－ 補修設計，補修工事の品質確保のために －

北武コンサルタント株式会社 渡辺 忠朋

1. はじめに

現在，地方の建設業では，維持管理に関する業務が増加しており，橋梁などの構造物を中心に，点検，補修設計および補修工事などが，請負契約のもとに行われている。

新設構造物では，設計や施工の仕様が明確に規定され，それらに基づいて設計や施工を実施することで，品質の確保がなされており，請負者もその責務として自主的に照査や検査を実施することが可能である。

しかし，維持管理に関する業務では，新設構造物と異なり明確な仕様が少ない。請負者としてその品質の確保のためのよりどころが無く，それぞれになんらかの照査や検査を実施して，品質の確保に努めているのが実情である。

そのため，維持管理業務についても同様に，品質確保の根拠となる仕様の有無に関わらず，補修設計や補修工事の目的を理解した対応が求められていると考えられる。

このような実態を踏まえて，設計者や施工者がともに補修設計や補修工事の目的を共通に理解して維持管理業務に従事することが，品質確保にもっとも重要であるとの観点から，取り組んだ事例¹⁾を以下に紹介する。

2. 構造性能判定法の提案^{2), 3)}

2.1 概要

技術者が既設構造物の構造性能を簡易に評価できる手法を検討し作成した。著者らが開発した構造性能評価方法の概要は，以下のとおりである。

- ①構造性能の判定には，近接目視点検から得られる，ひび割れ，かぶりの剥落，鋼材の露出・腐食などの外観損傷の種類，程度および損傷領域を指標に用いる。
- ②外観損傷の種類ごとに，損傷の程度に応じて区分し，損傷の程度と領域が構造性能に与える影響を検討し，構造性能を満足する状態，満足しない可能性がある状態，満足しない状態の三段階にグレーディングした。
- ③構造性能は，設計段階で要求される性能に着目して，疲労破壊，破壊，第三者影響度などの安全性と，外観および走行性などの使用性とした。
- ④既存の調査結果を基に，代表的な外観損傷を記載した損傷図と，その外観損傷ごとに，外観損傷の区分と領域を考慮した構造性能のグレーディング結果を記載したものを構造性能インパクト関連表として，橋梁の上部・下部・付属物ごとにとりまとめた。

なお，本手法によって，以下のような技術的判断が可能となる。

- ①点検結果から，構造物の使用性および安全性に対する満足度が簡易に得られる。
- ②構造物の使用性および安全性に対する満足度が得られることから，補修および補強の対策工に求められる効果が明確になり，適切な対策工を選定することが可能となる。
- ③構造性能は，構造性能ポイント（ISP：Index for Structural Performance）として数値化されるため，定量的な判断を行うことが可能となり，構造性能ポイントの経時変化により将来の構造性能の予測も可能となる。

2.2 維持管理における要求性能と限界状態

2013 年制定土木学会コンクリート標準示方書〔維持管理編〕⁴⁾（以下，標準示方書〔維持管理編〕）では，維持管理時にも設計時と同様の要求性能に着目することを推奨している。これは，設計と維持管理の連続性の観点からも，維持管理時の構造性能の性能項目（限界状態）の満足度を照査できるようにすることは合理的であるとの考えに基づいたものであると考えられる。そこで，本手法では，道路橋を対象としているため，日本道路協会道路橋示方書（以下，道路橋示方書）⁵⁾ の設計体系化で規定された性能（限界状態）を，維持管理時

の構造性能の性能項目（限界状態）として規定することとした。なお、道路橋示方書では、耐久性の検討が規定されているが、ここでいう耐久性とは、構造性能の性能項目（限界状態）として規定せず、環境作用に対するコンクリートや鋼材の材料劣化の抵抗性と考ええるものであり、本提案法においては、材料劣化の影響を構造性能の評価の中で考慮することとした。ただし、材料劣化を許容した場合、コンクリートの剥落などが生じる可能性があり、これにより第三者に影響を及ぼすことが考えられるため、第三者影響度（公衆災害）も構造性能に含めて定義することとした。なお、要求性能と道路橋の性能項目（限界状態）の関係は、図-1 に示すとおりとした。

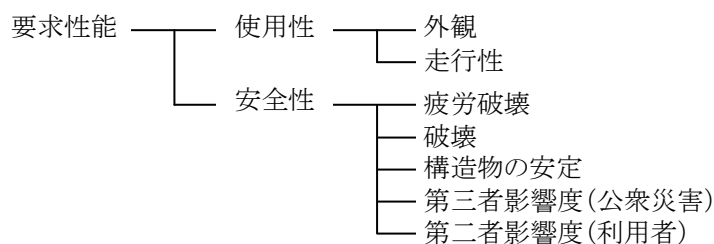


図-1 要求性能と性能項目（限界状態）の関係

し、材料劣化を許容した場合、コンクリートの剥落などが生じる可能性があり、これにより第三者に影響を及ぼすことが考えられるため、第三者影響度（公衆災害）も構造性能に含めて定義することとした。なお、要求性能と道路橋の性能項目（限界状態）の関係は、図-1 に示すとおりとした。

2.3 材料損傷と構造性能の関連付け

(1) 外観損傷の区分

本手法は、外観損傷に基づいて構造性能の判定を行うため、近接目視点検で取得可能な外観損傷情報のみに着目することとした。

着目した主な外観損傷は、以下のとおりである。

- ・ ひび割れ(幅, 間隔, 密度など)
- ・ かぶりの浮き, 剥離
- ・ スケーリング, 砂利化
- ・ 鋼材の露出
- ・ エフロレッセンス
- ・ 錆汁の有無

これらの外観損傷は、最終的に構造性能の評価に結び付ける必要があるため、外観損傷は、損傷領域の力学抵抗性に及ぼす影響を考慮して、それぞれ以下の3段階に区分することとした。

レベル1 損傷なし

レベル2 軽微な損傷（力学抵抗性に及ぼす影響が小さい）

レベル3 重大な損傷（力学抵抗性に及ぼす影響が大きい）

外観損傷の区分の例として、ひび割れ幅の例を表-1 に示す。ひび割れ幅が構造性能に与える影響は、着目する性能によって異なるため、表-1 において、それぞれの性能項目ごとにグレーディングの閾値を設定した。

なお、外観（使用性）に対するレベル3の限界値は、2012年制定土木学会コンクリート標準示方書〔設計編〕

6)（以下、標準示方書〔設計編〕）を参考に0.3mmとした。

表-1 ひび割れ幅の構造性能に対する限界値

外観 損傷の区分	使用性	安全性	
	外観	破壊 (橋台・橋脚)	破壊 (桁)
レベル1	0.1mm	—	—
レベル2	0.2mm	0.3mm	0.3mm
レベル3	0.3mm	0.3～0.7mm	0.3～0.5mm

また、破壊（安全性）の限界値は、表面ひび割れ幅は、かぶりやコンクリートの乾燥条件、ひび割れ発生材齢に応じて異なる。そのため、かぶりの影響による表面ひび割れ幅の違いを考慮することとし、実構造物の配筋詳細を基にパラメータスタディを実施して、表面ひび割れ幅と鉄筋応力度の関係を設定し、かぶりの比較的大きい橋台・橋脚とかぶりの小さい桁の2つに区分した。なお、この場合、鉄筋応力度は、レベル1、レベル2の限界値は、それぞれ100N/mm²、300N/mm²程度を想定して設定している。

レベル3を超えるひび割れ幅の場合は、鉄筋は降伏強度に達していると想定される。そのため、この想定が不合理と考えられる場合は、定量的評価等の詳細な検討を行うこととしている。

コンクリートのひび割れ幅は、鋼材腐食に大きな影響を与えるが、その限界値は、標準示方書〔設計編〕に

準じて 0.005C (C : かぶり) とした。したがって、ひび割れ幅が、0.005C より小さい場合は、鋼材腐食に対して設計耐用期間中の影響は無視してよいことになるが、エフロレッセンスや錆汁を伴っている場合は、ひび割れ幅にかかわらず鋼材腐食が開始しているものと判断することとした。なお、鋼材腐食の劣化予測は、同種環境の類似構造物の点検データを基に予測するか、劣化因子を詳細調査によって特定し、数値解析などにより予測することとしている。

(2) 構造性能評価インパクト関連表

構造性能インパクト関連表の一例を図-2 および図-3 に示す。構造性能インパクト関連表は、既存の調査結果を基に、代表的な外観損傷を記載した損傷図と、その外観損傷ごとに、外観損傷の区分と領域を考慮した構造性能のグレーディング結果が記載されたものである。外観損傷は、設計上損傷が想定されている部位や、設計上損傷が想定されていない部位に発生している場合を想定して作成した。また、その外観損傷が、構造物の力学性能に影響を及ぼすか否かも分かるように配慮した。これによって、橋梁点検の結果をもとに外観損傷が構造性能に及ぼす影響を考慮して、構造性能の評価を行うことが可能となる。

構造性能インパクト関連表の一例を図-2 に示す。構造性能インパクト関連表は、既存の調査結果を基に、代表的な外観損傷を記載した損傷図と、その外観損傷ごとに、外観損傷の区分と領域を考慮した構造性能のグレーディング結果が記載されたものである。外観損傷は、設計上損傷が想定されている部位や、設計上損傷が想定されていない部位に発生している場合を想定して作成した。また、その外観損傷が、構造物の力学性能に影響を及ぼすか否かも分かるように配慮した。これによって、橋梁点検の結果を基に外観損傷が構造性能に及ぼす影響を考慮して、構造性能の評価を行うことが可能となる。

この構造性能インパクト関連表は、主にコンクリート系道路橋梁を対象としており、橋梁を、上部構造、下部構造、支承部などの付属物に区分して作成している (図-3 参照)。また、構造性能インパクト関連表によって構造性能を把握するために、それに対応した橋梁点検記録簿も併せて作成した。

PC 斜張橋などの長大橋梁や特殊橋梁は、構造物の挙動が複雑であり、損傷領域の力学抵抗性の変化が構造全体へ与える影響を推定することは困難であるため、適用範囲外とした。これらの形式の橋梁に対しては、個別に点検や診断のルールを策定する必要があると認識している。

なお、本手法では、構造性能は図-1 に示すように、道路橋示方書、標準示方書等で橋梁に要求されている性能に着目し、それぞれ以下の 3 つにグレーディングしている。

レベル 1 構造性能を満足する状態

レベル 2 構造性能を満足しない可能性がある状態

レベル 3 構造性能を満足しない状態

ただし、本手法の構造性能の評価は、外観調査による材料損傷に基づいて行っているため、必ずしも精緻な構造性能の状況が把握できるものではないため、各要求性能に対して安全側に評価するように配慮した。したがって、インパクト関連表で示した構造性能の評価が不合理と考えられる場合は、詳細調査を実施し、その情報を基に新たな情報に基づく評価や、数値解析などの適切な手法を用いて構造性能を評価することを想定している。

なお、本手法で行った評価行為は、これまで高度な技術者が暗黙知として実行してきたことを、形式知として表したものに相当すると考えることもできる。

3. まとめ

本稿では、補修設計や補修工事など構造物の維持管理業務を、設計者や施工者がその目的を理解して作業を行うために作成した外観変状に基づく構造性能の評価法と点検法について記載した。ここで示した評価方法は、構造性能に着目しているため、従来の材料劣化に着目した評価法で得ることができない構造物の機能維持が作業の目的であることが明確になるため、設計者や施工者は、維持管理業務において共通の認識を得ることができ、かつ品質確保に貢献できるものと考えている。

■構造性能インパクト関連表										整理コード：B-AB-(1)	
能評価の対象部材 下部工（橋台）											
●材料損傷 $f(m)$ のグレード											
材料損傷のグレードは、以下に示す3段階に区分する。											
レベル1：損傷なし											
レベル2：ひび割れ幅 $w=0.0 \sim 0.3\text{mm}$											
レベル3：ひび割れ幅 $w=0.3 \sim 0.7\text{mm}$											
●材料損傷 $f(m)$ を考慮した構造性能 $f(m,s)$ のグレード											
材料損傷を考慮した構造性能のグレードは、以下に示す3段階に区分する。											
レベル1：性能を満足する											
レベル2：性能を満足しない可能性がある											
レベル3：性能を満足しない											
橋台の損傷事例(ひび割れ)											

図-2 構造性能インパクト関連表の一例

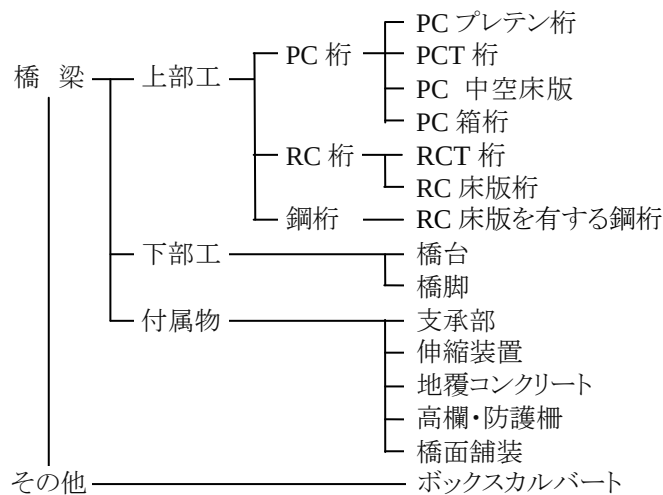


図-3 対象部位と形式

参考文献

- 1) 一般社団法人 札幌建設業協会：簡易な点検に基づく既設橋梁の構造性能判定法の提案 報告書，平成 26 年 3 月
- 2) 佐藤靖彦，渡辺忠朋，橋本一，北島幹士：簡易な点検に基づく既設橋梁の構造性能判定法の提案－材料の維持管理から構造物の維持管理への転換へ向けて－，コンクリート工学，Vol.53，No.2，2015.2
- 3) 佐藤靖彦，渡辺忠朋，橋本一，北島幹士，清兼盛司：既設橋梁の構造性能判定法の提案－材料の維持管理から構造物の維持管理への転換へ向けて－，橋梁と基礎，2015.6
- 4) 土木学会：2013 年制定コンクリート標準示方書【維持管理編】，2013.10
- 5) 社団法人 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 I 共通編 IIIコンクリート橋編，2012.3
- 6) 土木学会：2012 年制定コンクリート標準示方書【設計編】，2013.3

複合構造標準示方書〔維持管理編〕の概要

山梨大学 齊藤成彦

1. はじめに

土木学会では、**コンクリート標準示方書〔維持管理編〕**（2001 年制定，最新版 2012 年制定），および**鋼・合成構造標準示方書〔維持管理編〕**（2013 年制定）に加えて，鋼とコンクリートで構成される各種合成部材および FRP 部材を対象とした**複合構造標準示方書〔維持管理編〕**を 2014 年に新たに制定した．学会示方書としては先駆けとなった**コンクリート標準示方書〔維持管理編〕**は，維持管理計画から点検，診断，対策，記録に至る維持管理の標準的な枠組みを提示した．更にその後の改訂を経て，コンクリート構造物における中性化や塩害等の劣化機構に関する技術情報がより充実したものとなっている．また，**鋼・合成構造標準示方書〔維持管理編〕**についても，腐食や疲労，高力ボルト継手といった鋼構造物に特徴的な技術情報が示されている．

一方，事業者や地方自治体の維持管理基準・要領では，管理の対象となる構造物が特定されるため，構造物の性能に基づいた維持管理が要求されることになる．現在行われている構造物の維持管理は，主として外観目視の結果から材料劣化の程度によってグレードを定め，それに応じた対策を講じている場合が多い．しかしながら，外観の変状に基づく判断の多くは材料劣化の程度に着目したものであり，構造性能の観点から評価を行っているケースは少ない．例えば，コンクリートのひび割れや鋼材にき裂が生じていても，それが生じている部位や変状の程度によって，各構造性能に与える影響度は異なる．つまり，評価の対象とする構造性能によって，着目すべき外観変状のグレードと対応する性能のレベルを適切に関係付ける必要がある．

このような状況を鑑み，**複合構造標準示方書〔維持管理編〕**の制定では，構造性能に立脚した性能評価法を提示することが最大の目的となった．

2. 制定の基本方針

複合構造標準示方書〔維持管理編〕は，以下に示す基本方針¹⁾に基づいて制定された．

- ① **標準編**と**仕様編**の 2 編構成とし，**標準編**には維持管理の標準的な方法を記載し，**仕様編**には各作業の現時点で合理的と考えられる一般的な方法を具体的に記載する．
- ② 維持管理を合理的に実施するために，構造物の設計耐用期間を明確にする．
- ③ 構造物の点検は，情報を取得する行為であり，それ自体は評価や判断を含むものではないものと位置付ける．
- ④ 点検は，性能評価に必要な情報を取得するために実施するものとする．
- ⑤ 構造物の性能評価は，構造性能に対して行うものとし，構造物の評価時点での現有性能，および設計耐用期間終了までの性能予測を行うものとする．
- ⑥ 構造物の維持管理を合理的に実施するために，定量的な性能評価を実施することを原則とする．なお，定量的な評価手法の一つである非線形有限要素解析については，**複合構造標準**

示方書〔設計編〕の有限要素解析による性能照査編に基づくものとする。

- ⑦ 適切な能力を有する技術者が実施することを前提として、外観変状に基づく評価手法についても具体的な方法を提示する。
- ⑧ 対策では、対策工法の設計耐用期間を明確にするものとし、補修・補強設計を実施するものとする。
- ⑨ 設計編および施工編に合わせて、維持管理編においても FRP 部材への対応を記載する。

3. 構造性能に立脚した性能評価

複合構造標準示方書〔維持管理編〕の最大の特徴は、性能評価に関する具体的な方法が記載されたことにある。現状の維持管理では、物理的および経済的制約から外観変状の調査結果に基づいて対策の要否を判断する方法が主流となっているが、この示方書では、評価に先立ち、まず適切な性能評価手法を選定することが基本となっている。これは、構造物の現況や性能評価の目的等に応じて適切な方法を選択することを求めるものであり、この示方書が特徴の異なる複数の評価手法を提示したことによって実現されたものである。維持管理においては、まず性能評価手法が決まることで、その適用に必要な情報を点検から得ればよいことになる。

複合構造標準示方書に示された性能評価手法の分類と特徴を表 1 に示す。構造性能評価手法は、評価レベルで分類され、適用にあたっては各評価手法の特徴を踏まえた適用条件を明確にしておくことが重要となっている。

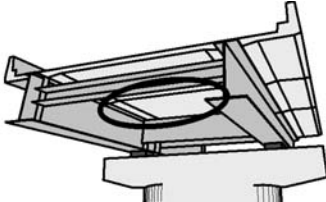
外観変状に基づく評価手法（いわゆるグレーディング手法）は、目視点検やたたき点検等によって把握した外観の変状に基づいて構造物の健全度（グレード）を判断する半定量的な手法である。比較的簡易な方法ではあるが、性能を適切に評価するためには、当該構造物や類似構造物に関する十分なデータの蓄積と専門技術者による高度な技術的判断が必要であり、かなり安全側に評価しておくことが大前提となる。また、現在用いられている外観変状に基づいた評価手法は、材料の劣化状況に応じて評価が決まり、構造物の性能の程度を明確に把握することができない場合が多い。そこでこの示方書では、材料劣化ではなく構造性能に立脚した評価の実施を基本とし、構造物に生じた変状と力学的抵抗性の変化に基づいて評価を行うこととされている。

当該構造物の設計時に利用した性能照査式を利用する場合には、適用基準類に示される構造細目や仕様等の前提条件を満足している必要がある。例えば、安全性における耐力力の評価では、

表 1 性能評価法と適用条件の例¹⁾

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	性能評価式に用いる応答値	
性能評価式					
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

表2 外観変状グレードと構造性能レベルの関係の例¹⁾

要求性能	限界状態	外観変状グレード		
		外観変状のグレードⅠ (軽度の損傷)	外観変状のグレードⅡ (中程度の損傷)	外観変状のグレードⅢ (重度の損傷)
		 パネル継手部		
		漏水・エフロレッセンス	ゆるみ・腐食(局所)	脱落・腐食(広範囲)
安全性	断面破壊	1	2	3
	疲労破壊	1	2	3
	構造物の安定の限界	-	-	-
	走行性の限界	1	1	2
	第三者影響度の限界	1	1	3
使用性	走行性・歩行性の限界	1	1	2
	外観の阻害	3	3	3
	騒音・振動数の限界	-	-	-
	水密性の限界	-	-	-
	気密性の限界	-	-	-
	遮蔽性の限界	-	-	-
	損傷(機能維持)	-	-	-
復旧性	損傷	1	2	3

部材の損傷により構成材料の一体性が保証されない場合には、設計時に設定した破壊形態や変形特性を担保できない恐れがあり、それらを前提とした性能照査式の適用は困難となる。

有限要素法に代表される非線形数値解析は、構造物の性能を定量的に評価可能な性能評価手法であり、対象構造物の評価に関する十分な実績を有する解析コードと、適切な知識と経験を有する解析者および結果の評価者との組合せによって、信頼性の高い評価結果を得ることができる。複合構造標準示方書では、[設計編]に有限要素解析による性能照査編が示されており、[維持管理編]に示す定量的評価手法に関する規定と合わせて適用することが想定されている。

複合構造標準示方書では、点検と評価の違いを明確に定義し、点検は、マニュアルの整備や訓練の実施により、構造物に関する高度な知識を有しない者によっても実施可能とされているが、性能評価については、構造物に関する高度な知識と経験を有する技術者によってのみ実施されるべきものとされていることも特徴である。

4. 構造性能評価の方法

複合構造標準示方書では、合理的な維持管理を実現するために、構造物の性能を定量的に評価することを推奨しているが、維持管理の現状を鑑みて、外観変状に基づく評価手法についても具体的な評価方法が示されている（例えば、表2は合成桁の一例を示している）。ただし、外観変

状に基づく評価手法を適用する場合には、適切な知識と経験を有する技術者によって安全側に評価が実施されることが前提とされている。現状の維持管理における問題点の一つに、点検を実施する者と評価を実施する者の技術的要件が明確にされていないことがある。この示方書では、評価は適切な技術力を有する者によって実施されることが前提とされているが、これは外観変状に基づく評価を行う場合であっても同様である。つまり、この示方書が示す外観変状に基づく評価手法とは、適切な知識と経験を有する技術者が点検結果に基づいて構造性能を判断する方法を示したものであり、評価結果が自動的に導かれるようなマニュアルを想定したものではない。

現状の維持管理で適用されている外観変状に基づいた評価は、構造物の外観に現れる材料劣化に着目したものとなっている場合が多く、構造物の性能に対する評価であることが明確となっていない。つまり、点検により確認された材料損傷は、その確認された部位や損傷の程度によって構造物の性能に与える影響は異なる。また、材料損傷が与える影響は、評価の対象となる性能によっても異なる。例えば、コンクリートのひび割れやはく離が確認された場合、鋼材腐食を伴っていなければ構造物の耐荷力に与える影響は小さいが、構造物の立地条件によっては第三者影響度が問題となる場合がある。材料損傷が確認された場合に、構造物のどの性能がどのように問題となるかを明確にすることで、その後の対策の要否判断や対策工の選定が合理的になると考えられる。そこで、この示方書では、外観変状の調査より確認された変状の程度や領域が、構造物の力学的抵抗性に与える影響を考慮した上で、構造物全体としての性能に与える影響を推定して評価することが原則とされている。

5. おわりに

複合構造標準示方書〔維持管理編〕は、従来の学会示方書を踏襲しつつも、構造性能評価をより強く意識した維持管理システムの提示を目指したものとなっている。特に、非線形有限要素法を用いることを想定した定量的評価手法と、構造性能に基づいた外観変状に基づく評価手法が、具体的に提示されていることが特徴的である。構造性能評価に立脚することで、点検のあり方が再定義されただけでなく、対策における補修・補強設計と照査の意義が明確となり、より合理的な維持管理が実現可能となる。今後の改訂によって、構造性能評価を前提とした場合のより具体的な点検方法の提示、設計耐用期間終了までの構造物の性能予測手法の提示、構造性能評価に基づいた対策方法の提示等が行われることが期待される。

参考文献

- 1) 土木学会：2014年制定複合構造標準示方書〔維持管理編〕，2015年