

近畿地方整備局における橋梁補修施策 マネジメントの取り組み ～橋梁補修施策プロファイリング手法の活用～

河合 良治¹・貝戸 清之²・吉津 宏夫³

¹ 準会員 近畿地方整備局 道路部 道路情報管理官（〒540-8586 大阪市中央区大手前 1-5-44）
E-mail: kawai-r86bu@mlit.go.jp

² 個人正会員 大阪大学准教授 大学院工学研究科 地球総合工学専攻（〒565-0871 吹田市山田丘 2-1）
E-mail: kaito@ga.eng.osaka-u.ac.jp

³ 準会員 近畿地方整備局 道路部 道路保全企画官（〒540-8586 大阪市中央区大手前 1-5-44）
E-mail: yoshidu-h86zy@mlit.go.jp

定期点検は 2018 年度に 1 巡目が完了し、2019 年度からは 2 巡目のサイクルが始まり、老朽化した道路構造物が急激に増加している中、様々な条件下にある膨大な施設構造物に対し、メンテナンスサイクルを確実に推進することが不可欠となっている。また、過去から蓄積された膨大な点検ビッグデータを実務的課題の解決や、アセットマネジメントの継続的稼働に向けて、どの様に活用していくかが重要となってくる。

本発表では、近畿地方整備局にある産学官の取り組みである「新都市社会技術融合創造研究会（橋梁補修施策プロファイリング手法の開発研究）」で得られた知見に基づく、橋梁の最適補修計画の策定の取り組みを報告する。

キーワード：メンテナンスサイクル、予防保全、プロファイリング、長寿命化修繕計画

1. はじめに

我が国の社会資本ストックは高度経済成長期に集中的に整備され、今後 10 年間で建設後 50 年以上経過する施設の割合は加速度的に高くなる見込みであり、その多くは地方自治体が管理している。今後、一斉に老朽化するインフラを戦略的に維持管理・更新することが求められているが、維持管理・更新には、施設管理者の厳しい財政状況における予算の確保や、技術職員の不足のほか、建設業のメンテナンス産業や地域の担い手確保等、社会全体として多くの課題に取り組む必要がある。¹⁾

(1) 近畿地方整備局管内の現状

近畿地方整備局管内（2 府 5 県）にある橋梁は約 9.9 万橋あり、このうち全体の約 90%となる約 8.9 万橋が地方自治体が管理する橋梁である。図-1 のとおり近畿地方整備局管内で建設年次が判明している道路橋（約 6.3 万橋）のうち、1969 年までに建設され 50 年以上経過している橋梁は、2019 年現在、全体の約 32%にあたる約 2.0 万橋あり、それらの多くは高度経済成長期の東京オリンピック（1964 年）、大阪万博（1970 年）時に集中的に建設され

たものである。更に今後 10 年後（2029 年）においては、全体の約 57%にあたる約 3.6 万橋が 50 年以上経過する見込みである。また、10 年後の老朽化の比率は、国が管理する橋梁より地方自治体が管理する橋梁の比率が高く、地方自治体管理橋梁の老朽化の進展が顕著になっている。

一方で、図-2 のとおり建設年度不明橋梁が約 3.5 万橋あり、そのうち地方自治体が管理する橋梁が約 87%を占めている。このことは、今後補修計画及び補修設計をする際に、大きなネックとなっている。

(2) 近畿地方整備局管内橋梁の 1 巡目点検結果

2014 年度から 2018 年度までの 5 年間（1 巡目）の点検状況は、概ね計画どおり完了している。また、近畿地方整備局管内橋梁の全道路管理者の判定区分の状況は、Ⅰ判定（39%）、Ⅱ判定（52%）、Ⅲ判定（8%）、Ⅳ判定（0.07%）となっている。そのうち近畿地方整備局(国)管理橋梁の判定区分状況は、図-3 のとおりⅡ判定（31%）、Ⅲ判定（6%）と全道路管理者との比率よりそれぞれ小さな値となっている。

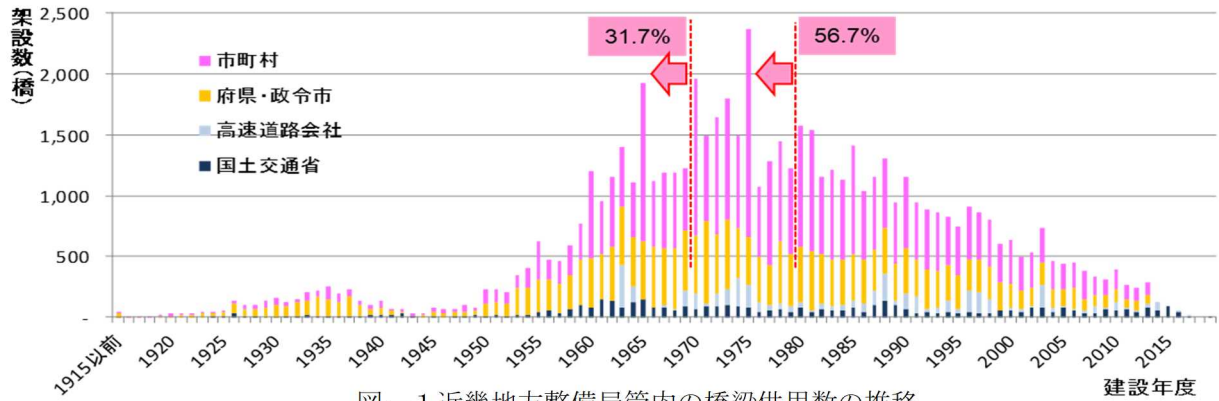


図-1 近畿地方整備局管内の橋梁供用数の推移

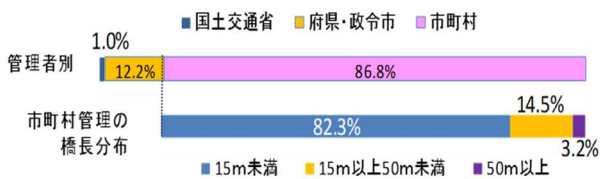


図-2 建設年度不明橋梁（約3万5千橋）の内訳

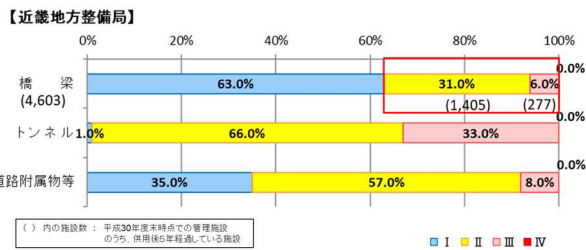


図-3 橋梁、トンネル等の判定区分状況

図-4に示すとおり、桁端部にある伸縮装置は、通行車両による繰り返しの衝撃や土砂堆積などにより、排水機能が経年劣化する。その結果、桁端部に漏水が発生し、腐食が顕著化しやすくなる。この伸縮装置からの漏水の有無に応じた鋼桁端部の腐食の進展速度に着目し、分析を行った。防食機能の劣化（塗装）と腐食、漏水・滞水の損傷程度の評価区分を、表-1に示す。

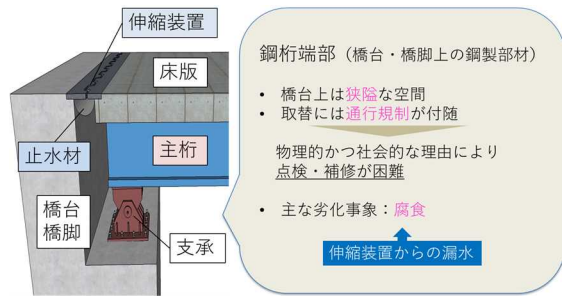


図-4 鋼桁端部の損傷要因

2. 鋼桁端部における腐食分析

(1) 新都市社会技術融合創造研究会

近畿地方整備局において、社会資本の整備、維持に関わる産・学・官の連携・協力による新しい技術の研究・普及等に関する事業を行い、もって都市再生と地域連携による経済活力の回復に貢献し、国民生活の質の向上、安全で安心出来る暮らしの確保、環境の保全・創造に寄与することを目的として「新都市社会技術融合創造研究会」（以下、新都市研究会という）を設置している。その新都市研究会において、2017年度から2019年度「橋梁補修施策プロファイリング手法の開発」（プロジェクトリーダー：大阪大学大学院 貝戸清之准教授）で鋼桁端部における腐食分析を行った。

(2) 腐食と防食機能の劣化を統合した健全度の設定

橋梁定期点検要領		防食機能の劣化と腐食	
板厚減少あり：腐食 板厚減少なし：防食機能の劣化 判断が難しい場合は腐食		健全度 一般的状況	
健全度	腐食	防食機能の劣化	健全度
	一般的状況	一般的状況	
損傷の深さ	損傷の面積	損傷なし	1 損傷なし
1 損傷なし		1 損傷なし	2 最外層の防食塗装に変色が生じたり、局所的なうみが生じている。
2 小	小	2 最外層の防食塗装に変色が生じたり、局所的なうみが生じている。	3 部分的に防食塗装が剥離し、下塗りが露出している。
3 小	大	3 部分的に防食塗装が剥離し、下塗りが露出している。	4 点錆が発生している。
4 大	小	4 点錆が発生している。	5 深さ：小、面積：小
5 大	大		6 深さ：小、面積：大
			7 深さ：大、面積：小
			8 深さ：大、面積：大

点検間・点検と補修間の健全度の推移をサンプルとする
1,850サンプル(177橋)

表-1 防食機能の劣化と腐食の損傷程度区分

橋梁定期点検要領³⁾で、板厚減少がないものを「防食機能の劣化」、板厚減少のあるものを「腐食」、また判断が難しい場合は、腐食として別々の損傷として

記録されているものを同一の損傷として考え、防食機能の劣化と腐食を統合した健全度を設定し、レジームスイッチング・マルコフ劣化ハザードモデルの推定に使用し、1,850 サンプル (177 橋) で推計を行った。²⁾

(3) 防食機能の劣化と腐食の進展過程

防食機能の劣化に関しては、漏水の影響は小さく、紫外線等の影響により劣化が進行していると考えられ、図-5に示すとおり、中間部と端部・支点部で健全度にほとんど違いがないのに対し、腐食に関しては、中間部に比べ、漏水の影響を受ける端部・支点部は腐食の進展が激しいことが分かる。このことは図-6に示すように、健全度1から5まで、つまり防食機能の劣化に対しては、伸縮装置からの漏水はほとんど影響がなく、健全度5から6、つまり腐食に対してのみ影響があることが分かる。²⁾

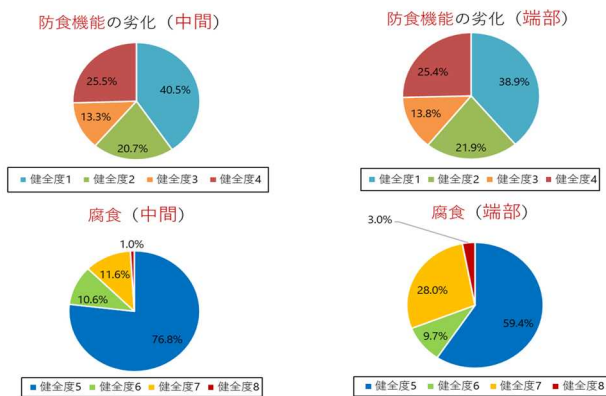


図-5 桁中間部と桁端部の健全度の分布

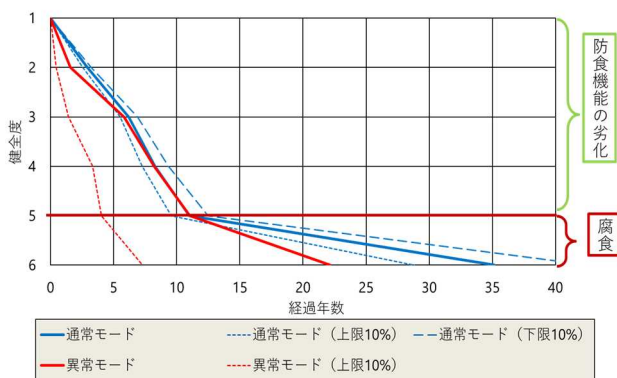


図-6 経過年数における健全度

(4) 鋼桁端部における腐食分析結果

以上の推計により下記の分析結果が分かった。

- ① 桁端部における腐食に対する寿命を12年と推計
- ② 従来の塗装の塗り替え周期(10年~15年)が実現象と比較して妥当性を確認

- ③ 伸縮装置のように主部材ではない部材であったとしても、主部材の劣化・損傷に多大な影響

上記のとおり、①損傷の劣化速度の推計が可能であることが分かった。また②現状の維持管理の実施状況とも整合していることも分かった。更に、③点検時の留意事項と予防保全とするための着目点となることが分かった。

3. 劣化速度の異質性に基づくプロファイリング手法の開発(橋梁補修の実装検討)

(1) 実務的課題に対するアプローチ

橋梁の各部材・部位の劣化過程には多様な要因が介在するため劣化速度には異質性が存在する。また、橋梁ごとに発生する損傷の種類や劣化速度の違いにより最適な補修戦略も多様に異なる。最適補修モデルを用いた橋梁マネジメントでは、橋梁ごとに決められた時間間隔で実施された点検結果に基づいて、橋梁部材や部位、さらには橋梁全体としての損傷度を診断し、必要となる補修戦略を決定するという方法論が採用されていた。

本発表では、橋梁の特性や損傷の種類に基づき橋梁をグループ化し、各グループ内において維持補修戦略の標準化を実施することが望ましく、実装という観点において現実的であると考え、先に記した「橋梁補修施策プロファイリング手法の開発」(プロジェクトリーダー: 大阪大学大学院 貝戸清之准教授)²⁾において、混合マルコフ劣化ハザードモデルを用いた劣化速度の異質性のモデル化と、劣化速度の異質性に着目した補修戦略のプロファイリングのための方法を用いて推計を行った。

(2) 橋梁マネジメントのプロファイリング

橋梁管理者が、管理対象となるすべての橋梁に関する詳細なデータを蓄積し、橋梁ごとに維持管理の最適化を図るような維持補修戦略を立案することが技術的には理想的である。

しかしながら、橋梁の老朽化が進展する一方で、熟練した土木技術者が減少傾向にある中で、橋梁マネジメントの実装が求められている。特に、維持補修の財源が厳しく、アセットマネジメント技術の蓄積も十分ではない地方自治体に、劣化予測とライフサイクル費用評価を前提とした橋梁アセットマネジメントシステムの構築を求めることは現実的ではない。橋梁アセットマネジメントの実装を進展させるためには、橋梁群全体を対象としてマクロなレベルでの集計的な橋梁マネジメント戦略を決定するための方法論を開発することが必要となる。

実際の課題に対処する方法の1つとして、図-7のとおり多様な使用環境や劣化特性を有する橋梁を3つのグループに分類し、各グループごとに標準化された補修戦略を適用するというプロファイリングの方法を検討した。現実の補修戦略プロファイリングにおいては、ライフサイクル費用評価に基づいた補修戦略のグループ化だけでなく、管理組織の予算的・人的制約、交通規制等による社会的費用、第三者被害リスクなどを考慮し、総合的に検討することが理想となる。本発表では、このような補修戦略プロファイリング課題の中で、劣化曲線の推計と橋梁群のグループ化とグループにおける標準化補修戦略を求めることを目的とした統計的プロファイリングを焦点とした。²⁾

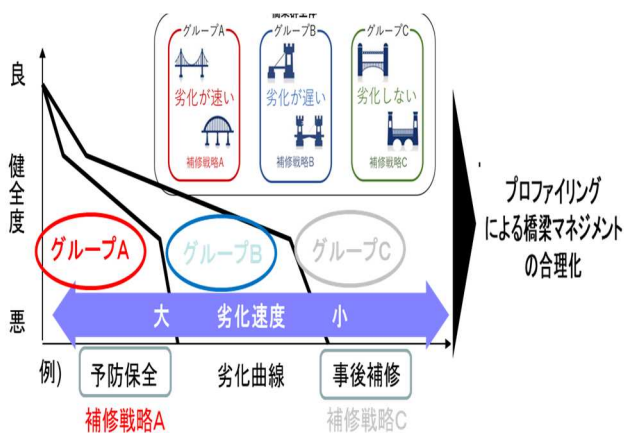


図-7 橋梁補修プロファイリング施策手法の開発

(3) 補修戦略 (RC床版を例として)

定期点検では、対象橋梁部材毎にそれぞれ異なった評価項目を用いて目視点検が行われる。また、橋梁部材は、橋梁部材内での位置属性の違いにより各要素に要素番号が割り当てられる。このため、異なる時点の点検結果を統合し、損傷の発生とその進行に関する時系列データを獲得することができる。

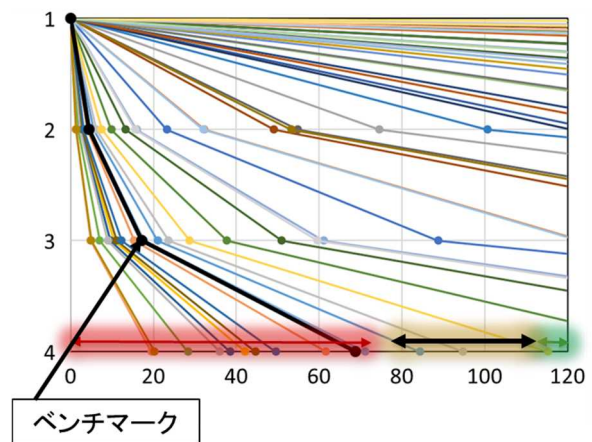
本発表で対象としたのは、近畿地方整備局管内の橋梁 342 橋で行い、これらの橋梁に対して、2006 年から 2015 年の間に実施された点検で得られた RC 床版ひび割れに関する損傷記述データを用いて、プロファイリング手法の適用可能性について分析を試みた。

なお、劣化曲線の算出は上記データから 1 事務所管内の橋梁 (全 54 橋) を対象とした。その結果を図-8 に示す。図中のベンチマーク曲線は、標準ハザード率を用いて求めた劣化曲線であり、対象とする橋梁の平均的な劣化曲線を表している。橋梁の維持補修の現場では、健全度 5 が観測される前に補修が行われ、次の点検時点では回復された健全度がデータベースに記載されることが多い。このため、健全度 4 から 5 に推移したサンプル数が少なく、健全度 4 に対応するハザード率の推計結果の信頼性に問題が残るものとなっている。²⁾

ベンチマーク推定結果

健全度s	推定値β	期待寿命 (年)
1	-1.50	4.48
2	-2.53	17.13
3	-3.94	68.72

橋梁i (i = 1, ..., 54) RC床版部材の期待寿命



設定した補修概要

各補修工法は補修後の効果が不明確なため健全度は1まで回復すると仮定

補修時健全度	補修戦略A ($0.84 \leq \epsilon$)	補修戦略B ($0.15 \leq \epsilon < 0.84$)	補修戦略C ($\epsilon < 0.15$)
2	○	×	×
3	○	×	×
4	×	×	○
5	○	○	○
対象橋梁数	10	8	36

※実際の長寿命化計画における補修優先順位と比較し、両者の優先順位に差異がある

図-8 RC床版を例とした補修戦略

(4) プロファイリング手法の開発の検討状況

- ① RC床版を中心とした劣化予測、ベンチマーク分析とプロファイリングを実施
- ② RC床版の劣化相対比較に基づく優先順位の試算を実施

上記②において、実際の点検データに基づくプロファイリングにより重大な損傷 (劣化速度が速い) を有している橋梁が、補修優先順位で上位になることが明らかになった。一方で、実際の長寿命化修繕計画における補修優先順位と比較し、両者の優先順位に差異があることを確認した。但し、この差異に関しては、実際の補修計画が損傷の状態のみに依らず、その他の要因 (補修工事の発注ロット、対象橋梁の重要度など) を総合的に決定されていることから必然的に生じているものである。

そのため、更なる実用化に際しては、Ⅱ判定の橋梁群に対する補修優先順位の決定にプロファイリング手法を適用して実務的課題を解決することを検討していく。同時に、いくつかの条件によって分類されたカテゴリー毎に、劣化予測式や期待寿命の標準モデルや標準値を準備しておくことも検討する。

4. 補修年次計画を最適化する検討

(1) 判定区分Ⅱ、Ⅲ橋梁の修繕等措置の実施状況

近畿地方整備局（国）管理橋梁の1巡目点検で早期に措置を講ずべき状態（判定区分Ⅲ）と診断された橋梁で、1巡目初年度（2014年度）に点検した橋梁において、次回点検（2019年度末）までに修繕等の措置に着手した割合は、100%となっている。以下、2015年度点検（85%）、2016年度点検（89%）、2017年度点検（65%）、2018年度点検（52%）と概ね5年以内（次回点検まで）に修繕ができる様に計画している。

一方で、予防保全の観点から措置を講ずることが望ましい状態（判定区分Ⅱ）と診断された橋梁の着手率は、29%と低い状況となっている。

(2) 1巡目点検と2巡目点検の推移

1巡目（2014年度）点検と2巡目（2019年度）点検の推移については、図-9のとおり、前回点検Ⅱ判定となった橋梁からⅢ判定に劣化が進行した橋梁は、15%ある。つまり、この15%の橋梁について、次回点検（5年以内）までに予防保全に着手することができれば、次回点検からは、順次、Ⅲ判定となる橋梁は減少すると考える。

しかし、一方では前回点検Ⅰ判定であった橋梁が、Ⅲ判定に急速に劣化が進行した橋梁が、3%ある。この前回Ⅰ判定からⅢ判定になった橋梁の要因をみると、凍結防止剤散布区間で、排水処理が不十分であった箇所（急速な進展）、過去の補修時（塗り替え塗装）の地下処理が不十分と思われる箇所（前回補修の不足、再劣化）、地震の影響により損傷が進展（外力による進展）などがあり、想定している通常の劣化速度と異なる変状となっていると推測する。

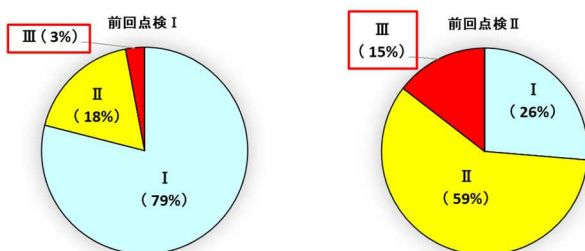


図-9 1巡目点検と2巡目点検の推移

そのため、補修年次計画の最適化にあたっては、先に述べたとおり前回点検Ⅱ判定となった橋梁からⅢ判定に劣化が進行する橋梁を、プロファイリング手法を活用し補修優先順位を決定するように考えることとした。

また、一方の課題である前回点検Ⅰ判定であった橋梁が、Ⅲ判定に急速に劣化が進行した橋梁に対しては、要因の分析を行い、今後の設計段階及び施工段階において、過去の事象を参考として改善していくこととする。更に、点検・診断時においては、今後の進展の状態を推測し、適切に設計に反映できるよう点検調書への記載の明確化も図っていく。

(3) 補修年次計画を最適化する着目点

着目点①（現行の計画の整理）

- ・国道事務所毎の補修時期や優先順位を横並びで評価

着目点②（路線毎に優先順位を検討）

- ・路線毎及び国道事務所毎の優先順位を定量的に評価
- ・事務所を跨ぐ同一路線にある橋梁、トンネル、法面等の対策優先順位を検討

着目点③（社会的影響度を考慮）

- ・維持管理上のリスクを考慮して定性的に優先順位を評価
- ・災害及び不具合が発生した場合の社会的影響の大きさを考慮

現在、すべての道路管理者において、橋梁のみならず、トンネル、土工、舗装、付属物等において、定期点検要領が定められ、5年に1度の点検を実施している。また、それらの構造物とは別に法面（道路防災点検、防災カルテ点検）においても点検を行っている。従って、橋梁のみにおいて、補修の優先順位の検討を進めても、隣接するトンネル等の構造物の健全度や法面の安定度などを考慮しなければ、路線としての健全度は保たれないことになる（着目点②）。

また、路線毎に優先順位を検討するにあたっては、その路線の代替路の有無や災害や不具合に伴う通行規制等が発生した場合の、社会的影響の大きさも考慮することとする（着目点③）。

なお、これらの検討にあたっては、従来は近畿地方整備局管内の国道事務所毎で実施していたものを、今年度（2020年度）新たに設置をされた「近畿道路メンテナンスセンター」において、整備局管内全体を網羅して長寿命化修繕計画を策定することとしている。

5. まとめ

メンテナンスサイクルの構築並びに、更なる加速化に向けての取り組みは、近畿地方整備局だけではなくすべての道路管理者で進められている。橋梁定期点検も1巡目から2巡目に入った中、全般的な課題と取り組むべき項目を表-2に示す。セカンドステージに入っているインフラメンテナンスにおいて、取り組むべき項目で重要なものは「メンテナンスサイクルの確立」であり、その具体例が「予防保全への転換」である。予防保全に取り組むために、維持管理・更新費用の把握と精緻化が必要である。

全般的な課題	取り組むべき項目	具体例
○ 高度経済成長期以降に整備し、老朽化した社会資本の割合が加速度的に上昇	(1)メンテナンスサイクルの確立	予防保全への転換
	(2)施設の集約・再編等	ガイドラインの作成
○ 技術系職員の減少、不足	(3)多様な契約方法の導入	民間活力の活用に関する支援
	(4)技術の継承・育成	人材育成
	(5)新技術の活用	新技術の活用に関する支援
○ メンテナンス費用の減少	(6)データの活用	データの活用に関する支援
	(7)国民の理解と協力	市民協働

表-2 全般的な課題と取り組むべき項目

今後、点検データの蓄積により、末端事象としてより多くの部材を用いることで、先見的な情報で決定した影響度を見直す必要がある。末端事象の数を増やし、影響度を見直すことで、より精緻なリスク評価を実施することが可能となる。²⁾

近畿地方整備局においては、事後保全型（対処療法）の維持管理は1巡目点検を終えた時点でも存在するが、徐々にLCCを最小化した予防保全型の戦略的な維持管理への移行に進みつつある。引き続き、新都市研究会での「橋梁補修施策プロファイリング手法の開発」で検証できた知見を、今後の橋梁補修施策の実装に向けて取り組んでいくこととする。

参考文献

- 1) 河合良治：第2回J A A M研究・実践発表論文
- 2) 貝戸清之：令和元年度新都市社会技術融合創造研究会 橋梁補修施策プロファイリング手法の開発
- 3) 国土交通省道路局国道・防災課：橋梁定期点検要領. 2014