

近畿地方整備局における 橋梁長寿命化修繕計画の取り組み

増田 寛四郎¹・貝戸 清之²・光川 直宏³・塚田 祥久³・井川 理智³

¹ 準会員 近畿地方整備局 近畿道路メンテナンスセンター 技術課長 (〒573-0094 枚方市南中振 3-2-3)
E-mail: masuda-k86xa@mlit.go.jp

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

³ 法人正会員 株式会社建設技術研究所 大阪本社 構造部 (〒541-0045 大阪市中央区道修町 1-6-7)
E-mail: mitukawa@ctie.co.jp

本報では、予防保全にむけた橋梁の長寿命化修繕計画として、健全度Ⅲ判定を着実に解消する従来のプロセスに加えて、重点化すべき健全度Ⅱ判定の戦略的な解消により、安全・安心の確保とコスト縮減効果の最大化を目指す取り組みについて中間報告を行う。検討の結果、健全度Ⅱ判定から健全度Ⅲ判定への進行を未然に防ぐサイクルを継続的に進めることによって、経時的に健全度ⅠおよびⅡ判定橋梁の割合が増加し、長期的観点でのコスト縮減が可能となった。

キーワード：戦略的修繕計画、橋梁プロファイリング、総合評価指標、区間指標、優先順位評価

1. はじめに

平成 26 年度より橋長 2m 以上の道路橋については、5 年に 1 回の頻度で定期点検を実施することが義務付けられている。近畿地方整備局では、管内の管理橋梁約 4,900 橋を対象として、毎年 1,000 橋程度定期点検を実施している。その定期点検結果をもとに、各事務所に修繕計画を策定しているところではあるが、近畿地方整備局管内における修繕計画策定に関する現状として、早期措置段階である健全度Ⅲの橋梁については、各事務所において次回点検までに修繕が完了するよう、工事発注を実施してきた。これに加え、予防保全段階である健全度Ⅱの橋梁の対策にも着手している状況であるが、健全度Ⅲのように次回点検までに修繕を完了するといった修繕ルールが明確ではないのが現状である。

本報では、予防保全にむけた橋梁の長寿命化修繕計画として、健全度Ⅲ判定を着実に解消する従来のプロセスに加えて、重点化すべき健全度Ⅱ判定の戦略的な解消により、安全・安心の確保とコスト縮減効果の最大化を目指す取り組みについて中間報告を行う。健全度Ⅱ判定の戦略的な解消においては、近畿地方整備局における産学官の取り組みである「新都市社会技術融合総合研究会（橋梁補修施策プロファイリング手法の開発研究）」で得られた知見も活用して補修計画を策定する¹⁾。

2. 戦略的修繕計画のポイント

戦略的修繕計画のポイントは、「橋梁プロファイリング」と「区間指標を導入した優先順位評価」により健全度Ⅱ判定から健全度Ⅲ判定への進行を未然に防ぐものである。図-1に示すとおり、従来の修繕計画では健全度Ⅲ判定の解消のみが進められるため、健全度Ⅱから健全度Ⅲへの進行を食い止められず、健全度Ⅲ判定がいつまでも解消されない状態であった。本検討では、健全度Ⅱから健全度Ⅲに進展する橋梁の解消を「橋梁プロファイリング」と「区間指標を導入した優先順位評価」を用いて重点化することで、修繕費用が高価となる健全度Ⅲ判定が漸減し、トータルコストを削減することが可能となる。

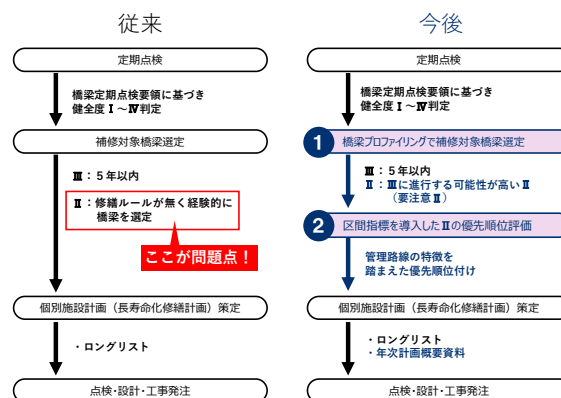


図-1 修繕計画の流れにおける従来と今後の違い

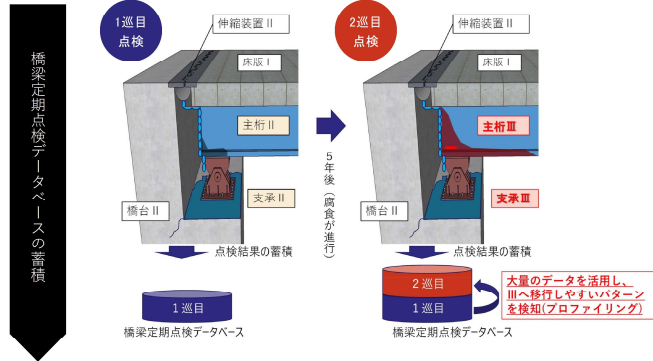
3. 橋梁プロファイリング

(1) 概要

健全度Ⅱの橋梁について、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」²⁾の統計分析手法を活用し、橋梁全体の耐荷性能に影響を与える損傷の分析を行い、修繕を重点化すべき損傷や部材の検討を行った。

平成26年度から平成30年度まで実施の定期点検を1巡目点検、令和元年度から実施の定期点検を2巡目点検として、橋梁定期点検結果をデータベースに蓄積し、ある損傷に対して、1巡目点検結果と2巡目点検結果の比較で部材間の劣化速度の違いを橋梁プロファイリング手法により分析した。その結果、図-2に示すとおり、劣化進行が早いグループ（要注意Ⅱ）を抽出し、健全度Ⅱの重点的な解消を目指す。

STEP1



STEP2

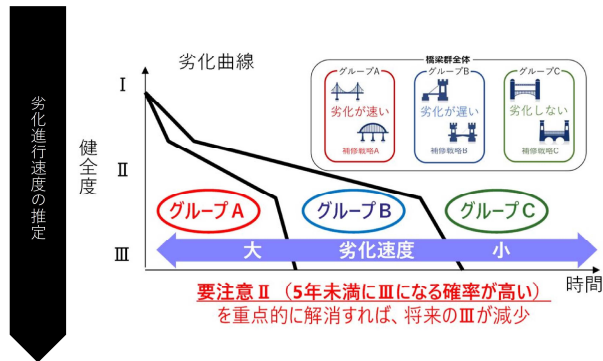


図-2 橋梁プロファイリングの流れ

(2) 優先順位の決定手法

橋梁プロファイリングによる末端事象から頂上事象への統合イメージを図-3に示す。図-3は、A橋を例にとり、末端事象から中位事象、頂上事象へプロファイリング結果を統合していく過程を示している。

STEP1：末端事象の例として、橋台で健全度Ⅱ→Ⅲとなる確率を「損傷ごとに」算出する。

STEP2：損傷ごとに算出した健全度Ⅱ→Ⅲとなる確率を算出する（円の重なり部を除く。プール演算）。

STEP3：同様に、全ての部材ごとに健全度Ⅱ→Ⅲとなる確率を算出する。

STEP4：全部材で算出した健全度Ⅱ→Ⅲとなる確率を算出し、橋梁全体でのリスク値と評価する。

このように橋梁プロファイリング手法を導入することによって、複数回の定期点検結果から半自動的に橋梁全体で健全度Ⅱから次回点検時に健全度Ⅲとなる確率を算出することが可能である。

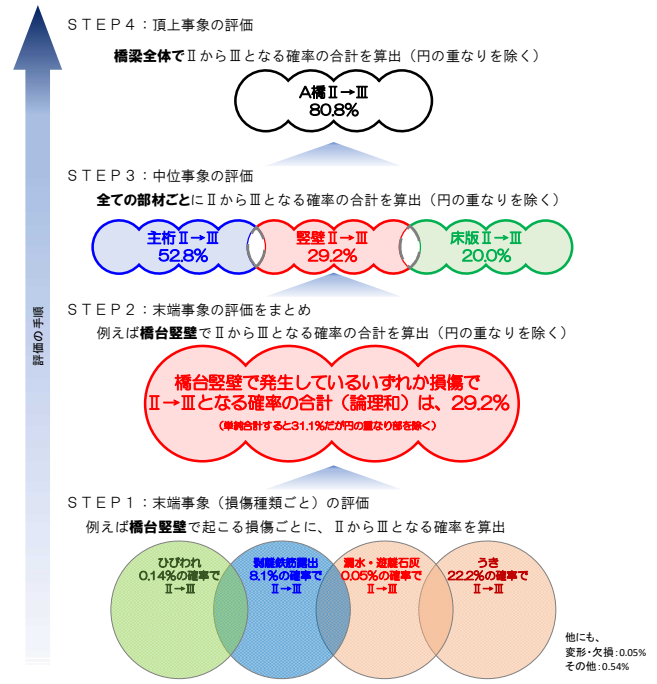


図-3 末端事象から頂上事象への統合イメージ

(3) 橋梁プロファイリングによる要注意Ⅱ判定の抽出例

近畿地方整備局が管理する橋梁の定期点検データに橋梁プロファイリングを適用した事例を述べる。なお、本節の解析結果においては具体的な橋梁名は伏せているが、実際には具体的な橋梁名とともに補修優先順位が決定されることに留意されたい。

近畿地方整備局管内の健全度Ⅰ、Ⅱ判定の橋梁のうち、プロファイリング手法が適用可能となった297橋を対象に確率（橋梁リスク）を算出した。図-4に、末端事象→中位事象→頂上事象の算出過程と頂上事象の生起確率上位10橋を例示しているが、確率（橋梁リスク）の数値の大きいものから補修優先度が高いと評価した。また、図-5には、補修優先順位上位の橋梁に生じている具体的な損傷例を示す。

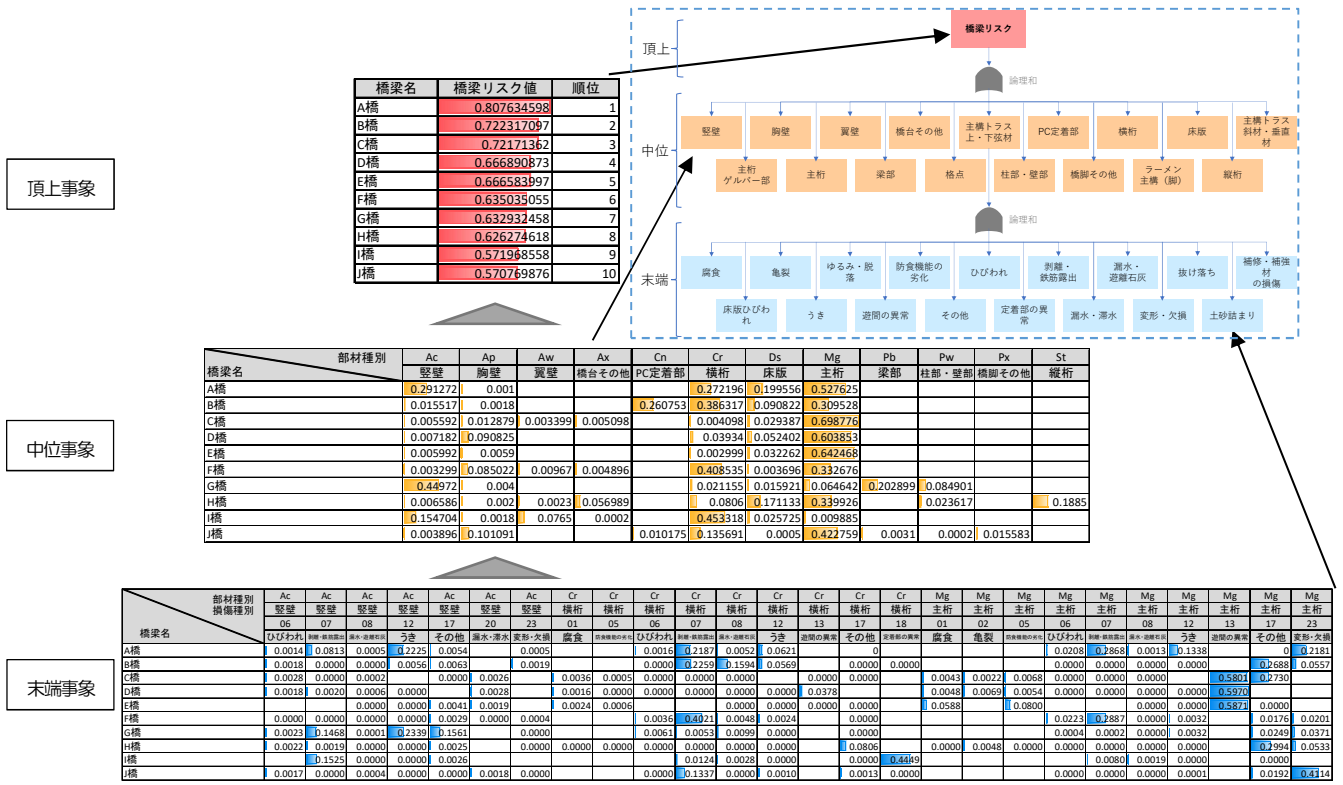


図-4 橋梁プロファイリング算出過程



A橋の損傷例 (劣化速度：大) B橋の損傷例 (劣化速度：大) L橋の損傷例 (劣化速度：中) M橋の損傷例 (劣化速度：中)

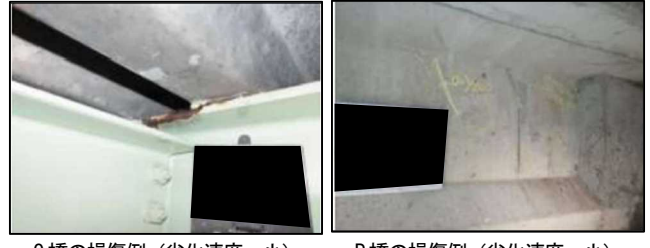
図-5 補修優先順位上位橋梁の損傷例

(4) 橋梁プロファイリングによる劣化速度別の比較

橋梁プロファイリングによる結果を図-2の劣化速度別に比較した。表-1、図-5、図-6より、建設年度によらず、確率（橋梁リスク）が0.2以下となると劣化速度中程度、確率（橋梁リスク）が0.1以下となると劣化速度小程度となることがわかる。

表-1 補修優先順位上位の橋梁

劣化速度	名称	建設年度	確率（橋梁リスク）
大（グループA）	A橋	1951	0.8076
大（グループA）	B橋	1982	0.7223
...
中（グループB）	L橋	1963	0.1778
中（グループB）	M橋	1953	0.1676
...
小（グループC）	O橋	1964	0.0680
小（グループC）	P橋	1979	0.0550
...



O橋の損傷例 (劣化速度：小) P橋の損傷例 (劣化速度：小)

図-6 補修優先順位中位、下位橋梁の損傷例

(5) 橋梁プロファイリングによる補修優先順位のまとめ

補修優先順位の決定手法として、橋梁プロファイリング手法を導入することで、橋梁定期点検結果から半自動的に健全度Ⅱから次回点検時に健全度Ⅲとなる確率を算出することが可能である。その確率（橋梁リスク）を用いて、橋梁の補修優先順位付けを行った。

4. 区間指標を導入した優先順位評価

(1) 概要

橋梁単体の健全度だけでなく、前後区間にあるその他構造物の健全度やネットワーク機能などの状況も加味して、健全度Ⅱの橋梁の重点解消箇所を決定するために、管理路線の維持管理リスクに着目した優先順位を評価する総合評価指標³⁾を導入した。

ここで総合評価指標とは、道路施設に求められる3つの性能(①耐荷性能、②災害抵抗性能、③走行安全性)に着目した評価指標であり、定期点検データを用いて各評価指標を100点満点で数値化して、健全、要補修、要緊急対策の段階の判別ができる。

図-7に優先順位評価の流れを示す。管理路線の維持管理リスクを I_R とする。

I_R の大小は対象構造物群の健全度 I_S と、路線のネットワーク機能の重みを I_N の合算値で評価する(式(1))。対象構造物群の健全度 I_S は対象構造物により構成され、橋梁、トンネル、防災施設群の3つの合算値とした(式(2))。また、路線のネットワーク機能の重み I_N は一般に区間の複数の属性(防災上の要因、交通特性、沿道特性等)により構成され、ここでは交通量、橋梁第三者被害可能性、DID地区、う回路の合算値とした(式(3))。これらを1kmの区間で合算し、便宜上100を満点とし、数値が大きいほど健全と定義した(式(1))。図-8に示すとおり、区間全体の健全度が低く、ネットワーク機能上のリスクが大きい区間は修繕優先度が高く評価される。

$$I_R = \frac{1}{2} \{ I_S + I_N \} \quad \dots(1)$$

$$I_S = I_{\text{橋梁}} + I_{\text{トンネル}} + I_{\text{防災点検}} \quad (\text{ただし、} 0 \leq I_S \leq 100) \quad \dots(2)$$

$$I_N = I_{\text{交通量}} + I_{\text{第三者被害}} + I_{\text{DID}} + I_{\text{迂回路}} \quad (\text{ただし、} 0 \leq I_N \leq 100) \quad \dots(3)$$

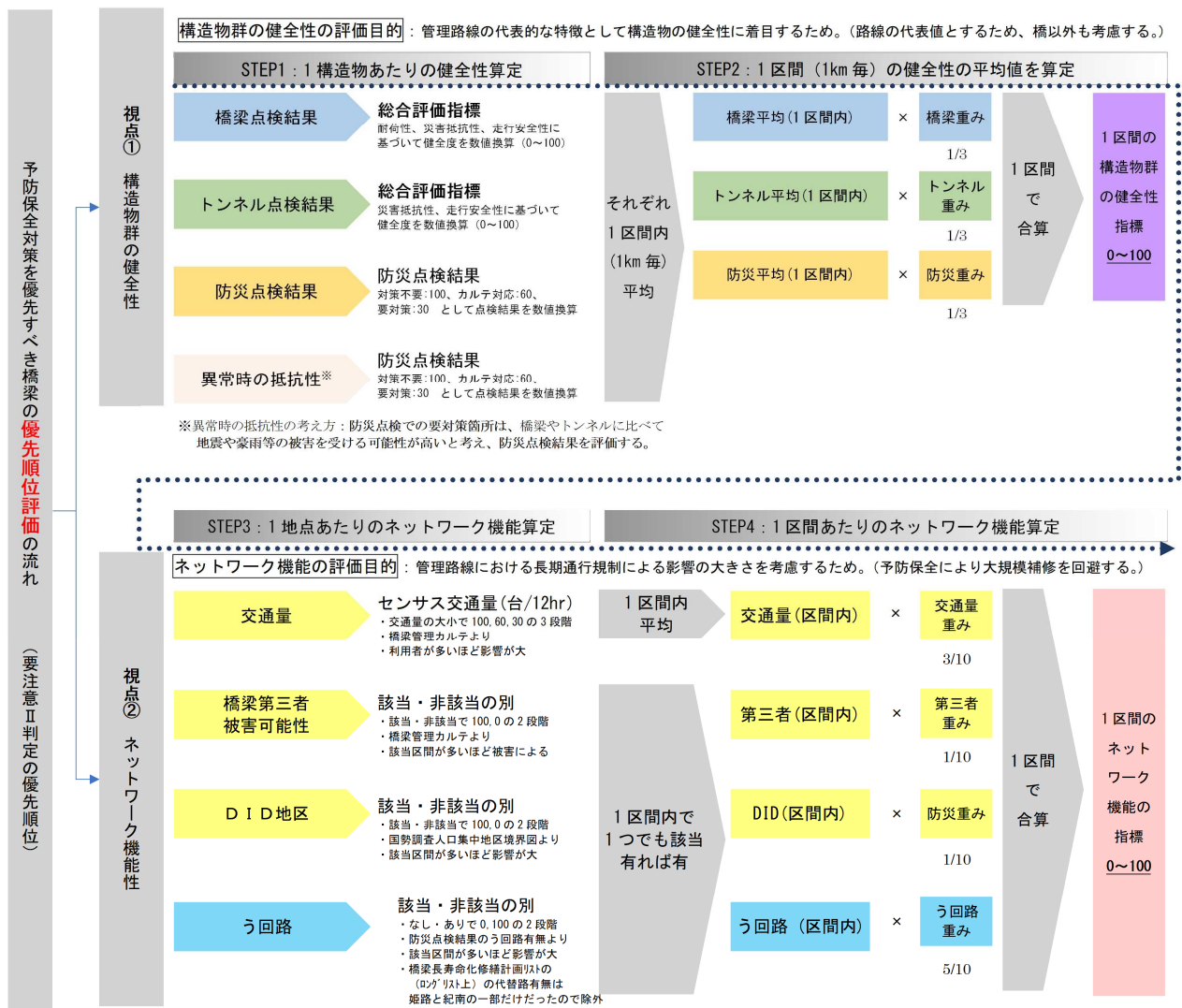


図-7 予保全対策を優先すべき橋梁の優先順位評価の流れ

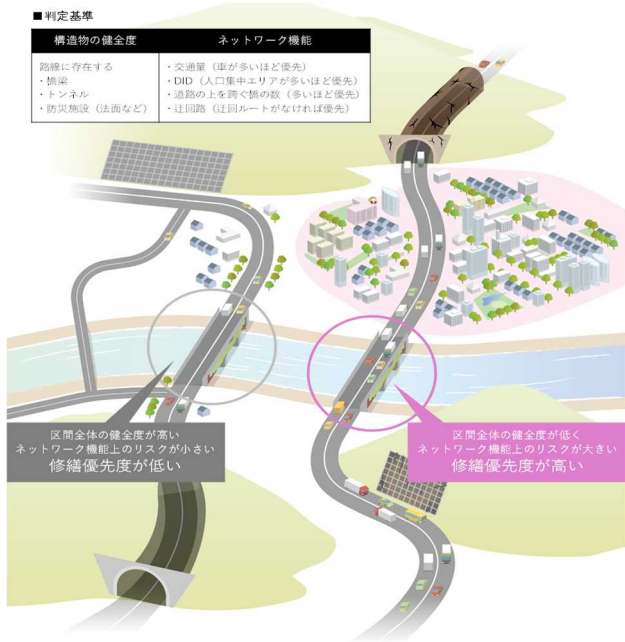


図-8 区間指標を導入した優先順位評価のイメージ

(2) 区間指標を導入した優先順位評価結果

前項で示した区間指標の検討過程を図化した。以下に、検討過程を示す。

- ステップ①：構造物ごとの健全性を算出した結果。代表として、橋梁の健全性評価結果（図-9）
- ステップ②：橋梁、トンネル、防災施設の健全性評価を区間平均した結果（図-10）
- ステップ③：路線のネットワーク機能指標（交通量、橋梁第三者被害可能性、DID地区、迂回路）の結果（図-11）
- ステップ④：構造物の健全性と路線のネットワーク機能を合算した区間指標評価結果（図-12）

ステップ①では優先順位が付けづらい箇所においても、ステップ②（構造物の健全性）、ステップ③（路線のネットワーク機能）のように各要素を付与することで、区間ごとの優先順位が分かるようになる。ステップ④で構造物の健全性と路線のネットワーク機能の合算を行い、優先順位評価結果とした。

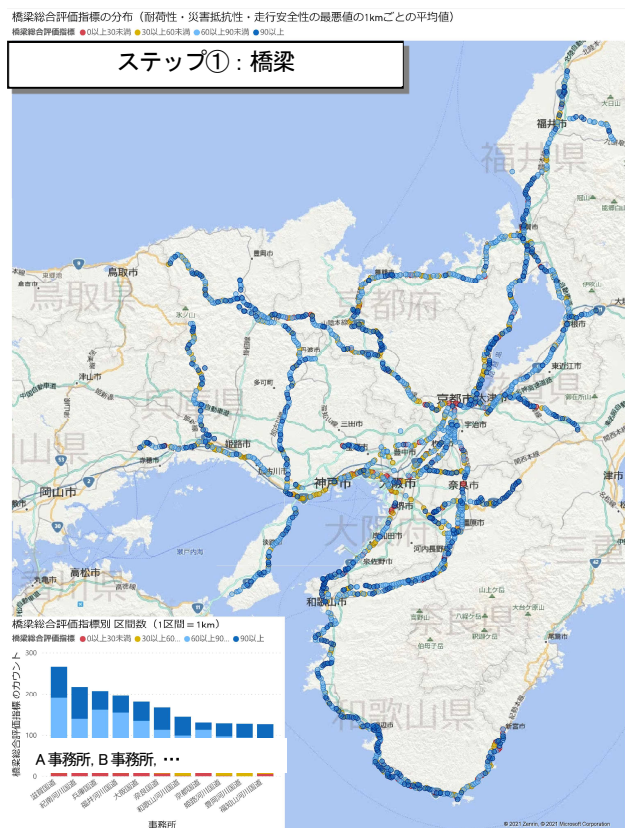


図-9 橋梁の健全性評価結果

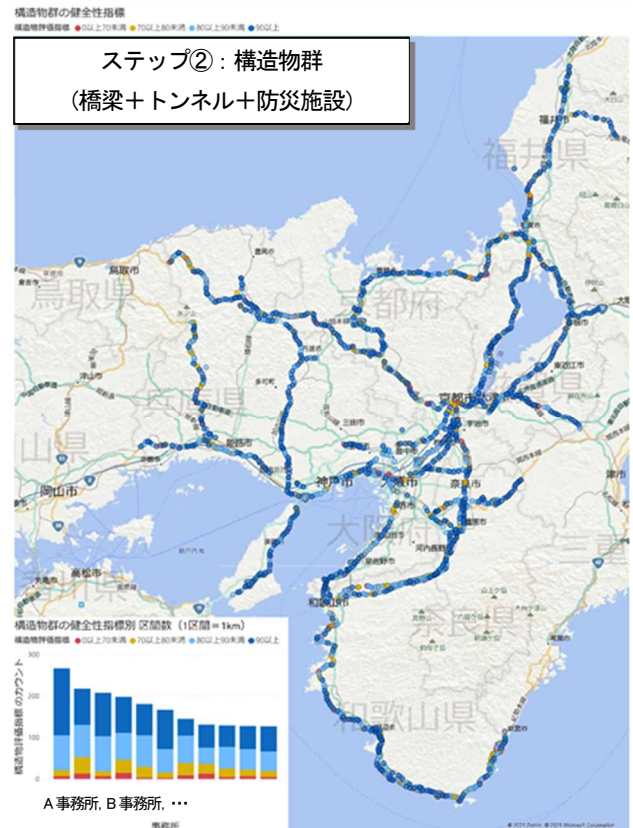


図-10 構造物群の健全性評価結果



図-11 ネットワークの機能指標の結果

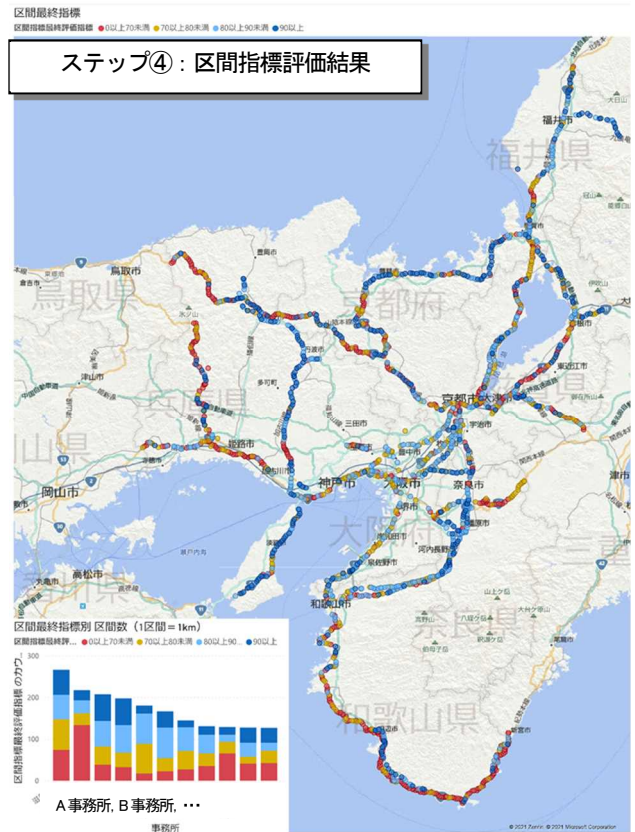


図-12 構造物の健全性と路線のネットワーク機能の合算

(3) 構造物群の健全度の重みに関する検討

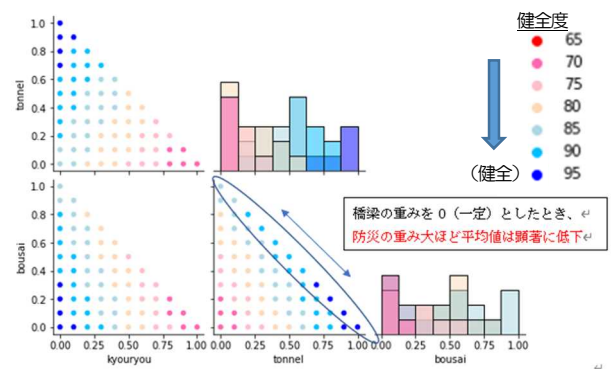
1区間の構造物群の健全性指標を算出するにあたり、図-7のように重みを均等に設定しているが、これは構造物間の重要度は同等としての評価である。しかしながら、1区間 (1km) に存在する構造物に偏りがあることも想定されることより、構造物間の重みについて検討した。

橋梁、トンネル、防災の重みを0から1.0まで0.1ずつ変動させ、事務所内の全区間の平均を算出した。3つの重みの合計は1.0であるため、2つの重みが決定すれば1つは自動的に決定されるため、式(4)のように66通りのパラメトリックスタディを行った。

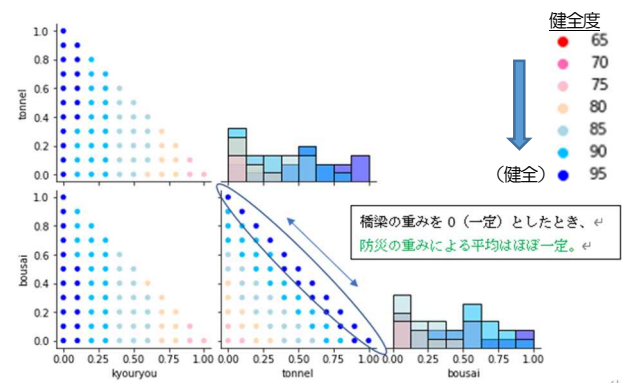
$${}_{n+r-1}C_r = \frac{(n+r-1)!}{r!(n-1)!} \quad n=11, r=2 \quad \dots (4)$$

検討結果として、事務所内の全区間平均値の算出結果 (重み組合せ66通り) を散布図行列にプロットし、構造物間の重みの違いによる傾向を確認した。図-13に示すA事務所では防災の重みが大にすると健全度が95から85点と顕著に低下し、B事務所では防災の重みを変化させても健全度は95点と一定の結果になることを確認した。

ここで、ネットワーク機能の重みに関しては、主に都市部と郊外部の影響を表現するため、図-7のような設定としているが、今後事務所ヒアリング等を反映し、再設定することも考えている。



A事務所 (防災の重み大ほど平均値は顕著に低下)



B事務所 (防災の重みによる平均はほぼ一定)

図-13 構造物間の重み検討結果例

5. まとめ

予防保全にむけた橋梁の長寿命化修繕計画策定について、重点化すべき健全度Ⅱ判定の戦略的な解消により、安全・安心の確保とコスト縮減効果の最大化を目指す取り組みに関する中間報告を行った。

「橋梁プロファイリング」を用いて橋梁定期点検結果から半自動的算出した橋梁の補修優先順位と、構造物群の健全度・ネットワーク機能特性を考慮した「区間指標」による補修優先順位を両方考慮することで、戦略的な健全度Ⅱの補修優先順位付けを行った（表-2）。

その結果、図-14に示すとおり、健全度Ⅱ判定から健全度Ⅲ判定への進行を未然に防ぐサイクルを継続的に進めることによって、経時的に健全度ⅠおよびⅡ判定橋梁の割合が増し、長期的観点でのコスト縮減が可能となる。

今後、実装に向けて各事務所へのヒアリング等を行い「橋梁プロファイリング」と「区間指標を導入した優先順位評価」による修繕計画策定の運用ための検討を引き続き行う。

表-2 健全度Ⅱの補修優先順位評価結果例

No.	修繕計画の最適化												区間指標 最終 (小ほど 優先) 【100】
	プロファイリング		区間指標-構造物群【100】				区間指標-ネットワーク群【100】						
	橋梁 リスク	優先対象	橋梁 【34】	トンネル 【33】	防災 【33】	構造物点 数 【100】	交通量 【30】	DID 【10】	第三者 【10】	迂回路 【50】	ネットワ ク 点 数 【100】		
A橋	0.807635	○	14	33	24	71	18	10	10	0	38	54.4	
B橋	0.722317	○	18	33	33	84	30	0	3	0	33	58.4	
C橋	0.721714	○	16	33	33	82	30	1	7	0	38	60.2	
D橋	0.666891	○	27	33	33	98	30	6	5	0	41	66.9	
E橋	0.666584	○	20	33	23	76	30	10	10	8	58	67.3	
F橋	0.635035	○	20	33	33	86	30	10	10	0	50	68.1	
G橋	0.632932	○	17	33	33	83	18	0	8	50	76	79.2	
H橋	0.626275	○	17	33	33	83	18	0	8	50	76	79.2	
J橋	0.571969	○	17	33	30	80	30	0	0	50	80	79.9	
K橋	0.57077	○	26	33	33	92	9	10	3	50	72	82.1	
...	0.569388	○	20	33	33	86	30	10	0	50	90	88.2	
...	0.513112	○	26	25	33	84	30	10	6	50	98	90.2	
...	0.507686	○	24	33	26	83	30	10	10	50	100	91.7	
...	0.506446	○	28	33	33	94	30	10	5	50	95	94.3	
...	0.489037	○	28	33	33	94	30	10	10	50	100	97.1	

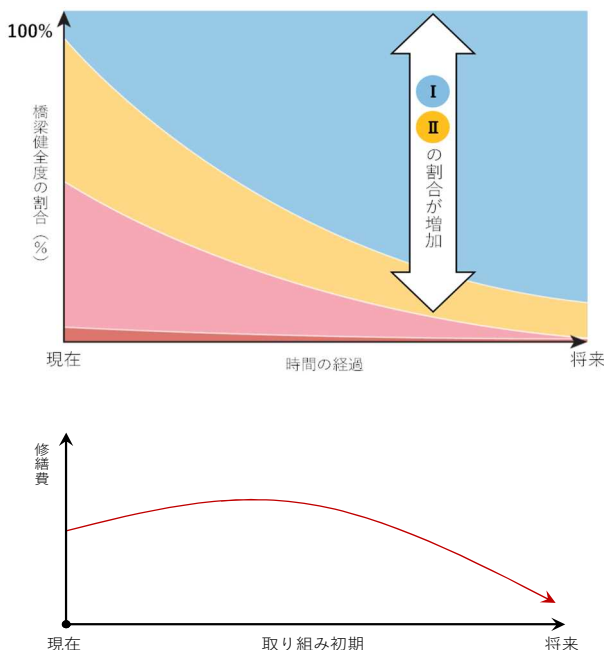


図-14 橋梁健全度と修繕費の経時変化イメージ

参考文献

- 1) 河合良治, 貝戸清之, 吉津宏夫: 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～, 第4回 JAAM 研究・実践発表会論文集, pp.1-6, 2020.11, https://www.ja-am.or.jp/research_publication/2020/document_list_2020.html
- 2) 貝戸清之: 橋梁補修施策プロファイリング手法の開発, 令和元年度新都市社会技術融合創造研究会報告書, 2020.3.
- 3) 玉越隆史, 大久保雅憲, 横井芳輝: 平成24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776号, 2014.1.