

塩害という持病を抱えた高齢橋梁の健康診断

木村 彪太

中部地方整備局 静岡国道事務所 管理第二課（〒420-0054 静岡県静岡市葵区南安倍2丁目8-1）

静岡国道事務所管内の沿岸部に位置する橋梁は厳しい塩害環境下にあり、これまで補修・補強が繰り返し行われてきた。過去2回、塩害特定点検を対象28橋に対して実施している。

対象28橋のうち、供用後50年経過した橋梁は25橋と約9割を占めており、さらに上部工の塩分濃度が鋼材腐食発錆限界濃度 1.2kg/m^3 を超過している橋梁も13橋確認された。これらの結果を受け、更新を含めた維持管理計画の見直しが必要となった。

本稿では、塩害の影響による損傷や補修補強履歴等を踏まえ、健全度グレードの定量化、維持管理シナリオの判定、個別診断カルテの作成について報告する。

キーワード 塩害、維持管理シナリオ、載荷試験、破断調査、個別診断カルテ

1. はじめに

国道1号の駿河湾沿岸約15kmの区間には、1960年代に供用し50年を経過した高架橋が多数存在している。さらに海洋からの飛来塩分も多く、厳しい塩害環境下にある。これらの環境にあるコンクリート橋に対しては、「コンクリート橋の塩害に関する特定点検要領（案）」¹⁾に従い、塩害特定点検を実施している。

しかし、同要領は、海からの飛来塩分による劣化が生じる可能性があるコンクリート橋の特定点検に適用したものであり、すでに塩害を発症した各橋梁（以下、塩害橋梁）の特性に合わせた評価は難しい。そのため、橋梁ごとの塩害劣化予測については別途検討する必要がある。そこで、塩害特定点検と定期点検の結果、補修補強履歴を時系列に整理し、点検結果と工事竣工資料等から、健全度の推移を明らかにしたうえで、今後の塩害橋梁の維持管理計画を立案した。

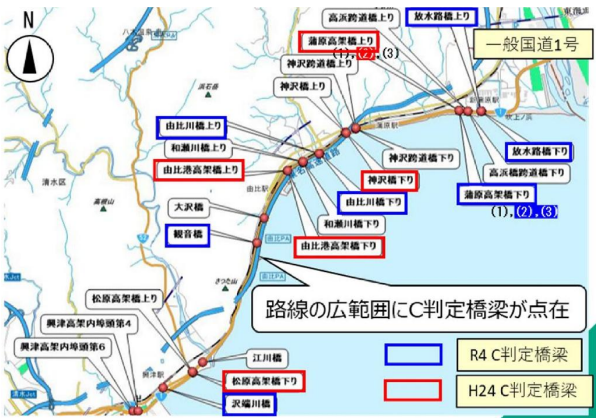


図-1 対象橋梁位置

2. 健全度グレードの定量化と評価手法

(1) 既存資料の整理（机上整理）

国道1号（蒲原地区～興津地区）の海岸沿岸部に位置する対象橋梁28橋（図-1）について、過去の塩害特定点検、定期点検、補修補強履歴を時系列に整理し、点検結果と工事竣工資料等から当時の健全度評価を実施した。

(2) 健全度評価

「塩害橋梁維持管理マニュアル（案）」²⁾の健全度に対するグレード表を参考に、定量評価できるように各グレードの健全度を点数で評価し、机上整理で得た点検写真や工事図面から健全度を点数化した（図-2）。また、過去の定期点検、工事記録（補修補強履歴）より過去イベント毎のその時点のグレードを評価した。

健全度			外観状況	
グレード	損傷原因	健全度点数	過去に補修が行われていない部材	過去に補修が行われた部材
グレードⅠ	損傷原因が塩害以外	100～80 (90)	経過年数が30年以上（ 1.2kg/m^3 以上）で、ごく軽微なひび割れや剥離が認められる ³⁾	—
グレードⅡ	将来塩害による損傷の発生が懸念される	80～60 (70)	—	—
グレードⅢ	損傷原因が塩害	60～20 (35)	ごく軽微なひび割れや剥離が認められる	—
			ひび割れ、剥離、あるいは剥離が部分的に認められる	補修後の経過年数が5年を超えて損傷の範囲が局部的
			ひび割れ、剥離、あるいは剥離が連続的に認められる場合	補修後の経過年数が5年以内で損傷の範囲が局部的もしくは補修後の経過年数が5年を超えて損傷の範囲が全体的
			コンクリートの断面欠損が認められ、内部の鋼材の露出が認められる	補修後の経過年数が5年以内で損傷の範囲が全体的
グレードⅣ		20～0 (10)	コンクリートの断面欠損が認められ、内部の鋼材の破断が認められる	—

グレードⅣは管理上の最低限界（内部鋼材の破断等、損傷が著しく耐荷性能が低下している）
⇒Ⅳに至らないようコントロールする

グレードⅢは劣化程度を細かく表現するため4段階に細分化

図-2 健全度グレードの点数化

(3) 健全度推移図

PC橋の健全度を推定する際には、鋼材の劣化予測式が用いられることもあるが、実態と乖離が生じる場合が多く、健全度の推移がより実態に即した形で把握できる手法が求められていた。

対象となる管理橋梁のこれまでの補修履歴や点検履歴が明確であったことから、それらの情報を活用し、実態に即した健全度の推移図を作成した。過去のイベント（点検や補修等）ごとのグレード評価によって健全度の推移を明らかにし、将来の予測にも活用できる健全度推移図を作成した（図-3）。健全度の推移を予測することで、グレードⅣとなる時期の把握もできるようになる。

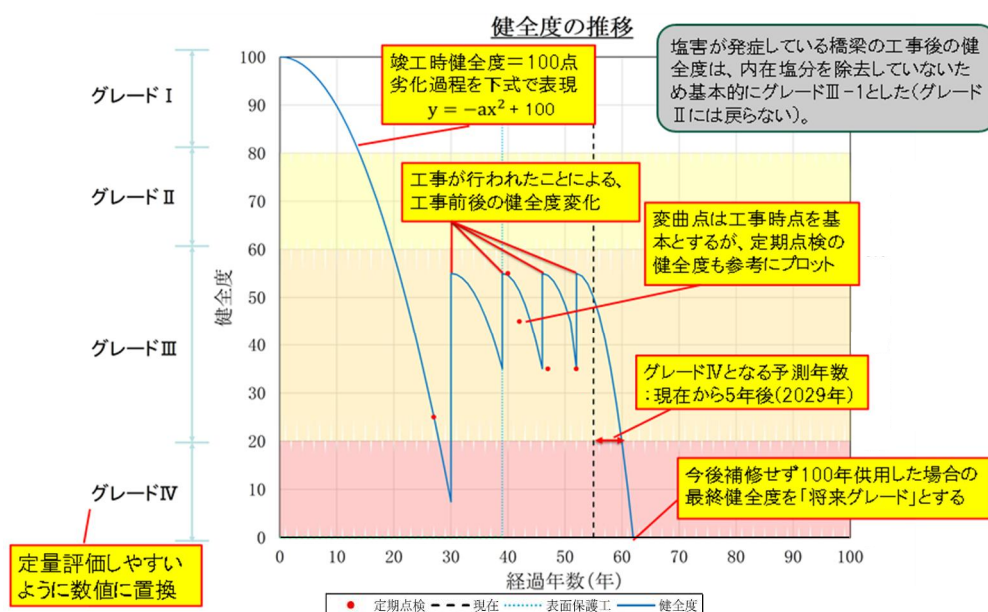


図-3 健全度の推移の事例

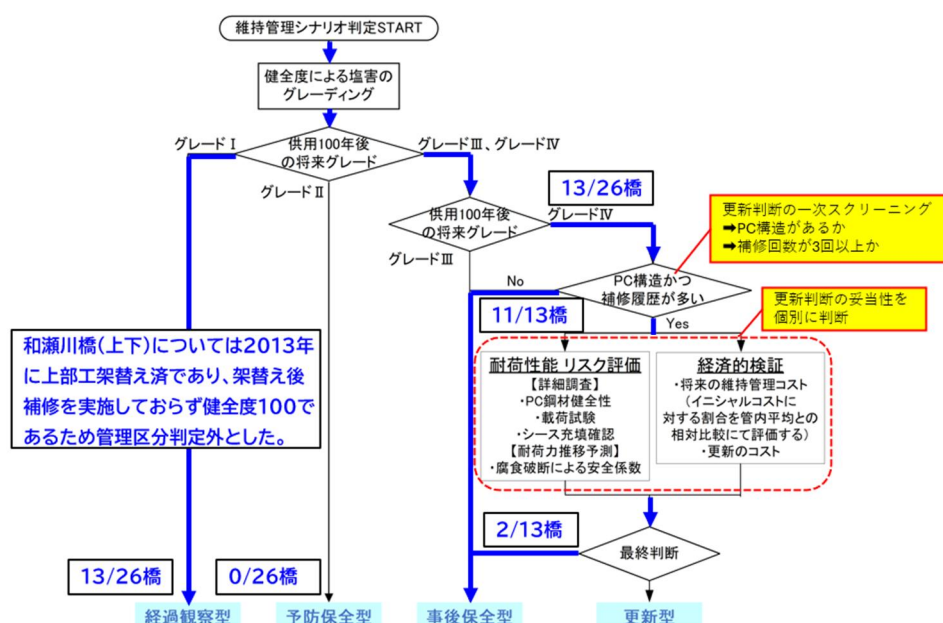


図-4 維持管理シナリオの判定フロー

3. 維持管理シナリオの判定

維持管理シナリオを将来グレードに応じて4つ（経過観察型、予防保全型、事後保全型、更新型）に分類した（図-4）。

橋梁ごとの健全度推移図を作成し、将来予測を実施した結果を維持管理シナリオの判定フローに落とし込みを行い、全28橋の内、更新型（架け替え）の必要性を検討する橋梁は2橋に絞ることが出来た。

4. 維持管理シナリオ活用(更新・継続使用の判断)

維持管理シナリオの判定フローより、更新判断が必要となる橋梁の絞込みを実施した。

一般に、損傷した橋梁に対して更新と継続使用(補修)のいずれを選択するかについて、統一された判断基準は確立されていない。

国道1号の供用条件を考慮すると、更新の判断は容易では無く、単純な費用の多寡のみによる意思決定は不合理となる懸念があったため、多角的な視点から更新の妥当性を検証する必要がある。

妥当性の検証として「経済的検証」によりLCC検証を実施し、「耐荷性能の検証」により、断面修復を繰り返された橋梁の継続使用について評価を行った。

(1) 更新グループの検証(経済的検証)

経済的検証として、架替えをした場合と補修を繰り返した場合の比較を行った結果、補修を繰り返した方のLCCが安価となるものの、性能保持が出来るか否かが課題となる(図-5)。

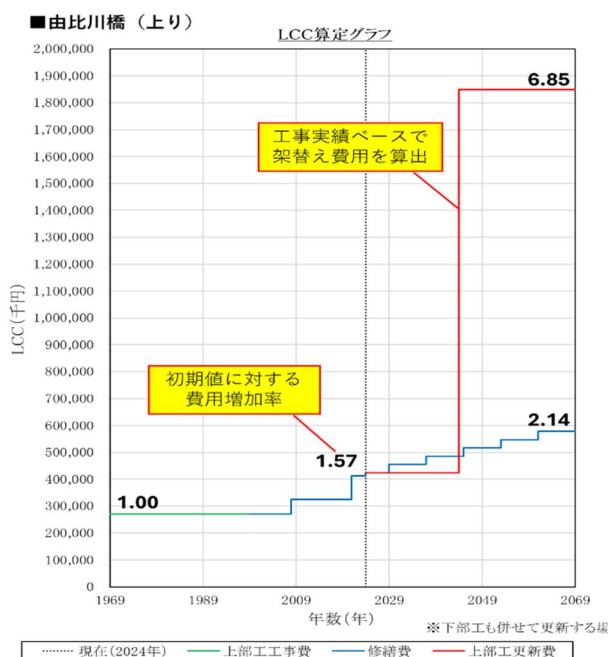


図-5 由比川橋(上り) LCC算定グラフ

(2) 更新グループの検証(現橋性能の評価)

a) 耐荷性能上のリスク明確化

更新型に分類された由比川橋(上・下)については、複数回の補修が繰り返されており、健全度推移図では、補修後外観上でグレードⅢ-1程度に回復したと判断しているのみであり、力学的な評価は出来ない(図-6)。

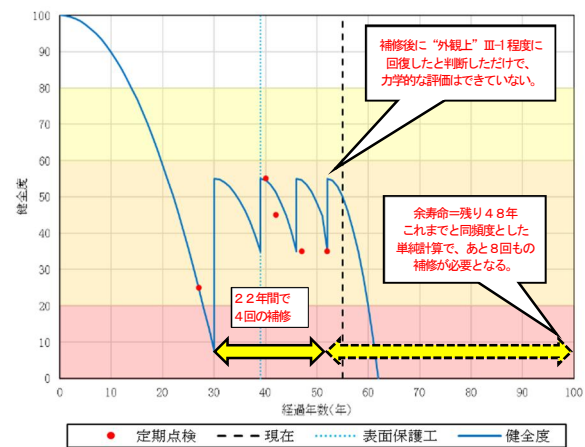


図-6 由比川橋(上り)健全度推移図

過去に全桁で断面修復が繰り返し行われており、現状では桁表面にコンクリート塗装が施されているため、外観からの損傷状況の把握は困難となっている。また、断面修復によるプレストレスの減少を推定することも難しい(図-7)。

このため、断面修復の繰り返しによるダメージの蓄積状況やPCシステムの健全性(鋼材腐食、シーす内充填状況、有効プレストレス)を把握する必要がある。由比川橋上りは載荷試験、由比川橋下りは漏洩磁束法によるPC鋼材の破断調査を実施して現在の状態を確認することとした。

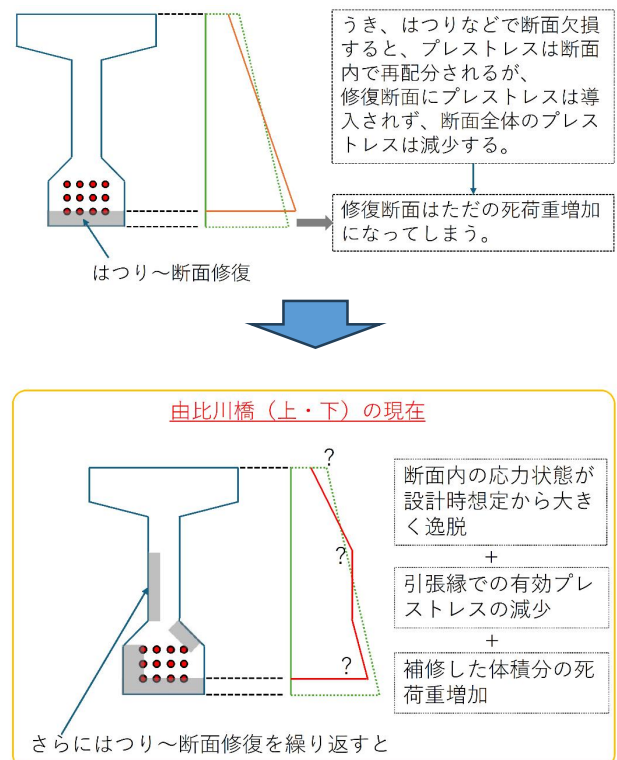


図-7 主桁の現状(イメージ)

b) 載荷試験の概要

由比川橋上りにおいて、静的載荷試験として、試験用載荷車両（25tラフテレーンクレーン）を各径間の支間中央に配置し、発生したたわみをサンプリグモアレカメラ（非接触式変位計）で計測した。安全性や第三者への影響を考慮し、上り走行車線を規制帯として車線減少規制のうえ、試験車両を前後移動させ試験を実施した。その際、追越車線を通行する一般車両や隣接するJR東海道本線貨物列車による振動の影響を避けるため、通行のないタイミングを選んでデータ取得を行った（図-8）。

c) 漏洩磁束法によるPC鋼材の破断調査の概要

由比川橋下りにおいて、過去の塩害特定点検の結果より、上部工の塩分濃度が鋼材腐食発錆限界濃度を大幅に超過している第2径間にて、漏洩磁束法によるPC鋼材の破断調査を実施した（図-9）。

2016年に第2径間の全主桁で同様の破断調査を実施しており、今回はその中でも最も塩分濃度が高いG5桁にて調査を実施した。

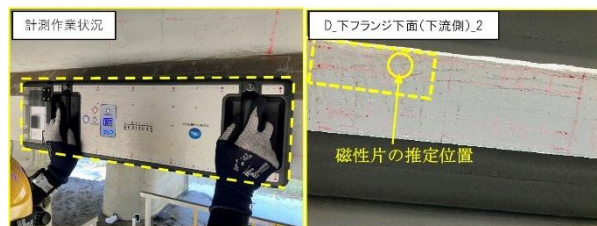


図-9 漏洩磁束法による調査状況

d) 耐荷性能の確認結果と考察

載荷試験の結果より、補修数量が最大である第4径間G4桁のたわみについて、理論値（設計値）に対し実測値はおよそ8割であり、他の径間についても、現状では桁の耐荷性能に問題が生じていないことを確認した（表-1）。

載荷試験を実施することで、潜在的リスクに対する評価を実施することができた（表-2）。

漏洩磁束法によるPC鋼材の破断調査の結果より、高濃度の塩分濃度が確認された第2径間G5桁について、破断を示す波形は認められず、2016年の調査結果も踏まえ、長期間素線破断がないことから、腐食速度が極めて緩慢な状態であることを確認した（表-3）。

破断調査を実施することにより、PC鋼材の腐食状況および腐食速度の評価を実施することができた。

表-1 G4桁たわみ計測結果と理論値の対比

径間	G4（山側耳桁）計測		G4理論値
	補修数量 (㎡)	桁たわみ (mm)	
第1径間	5.853	3.009	3.864
第2径間	8.049	3.118	
第3径間	7.236	2.953	
第4径間	9.360	3.066	
第5径間	6.670	3.269	
第6径間	6.087	3.100	

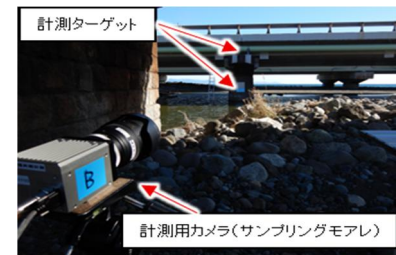
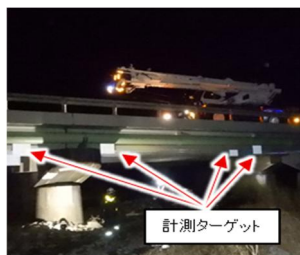
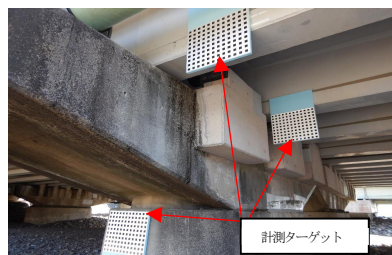
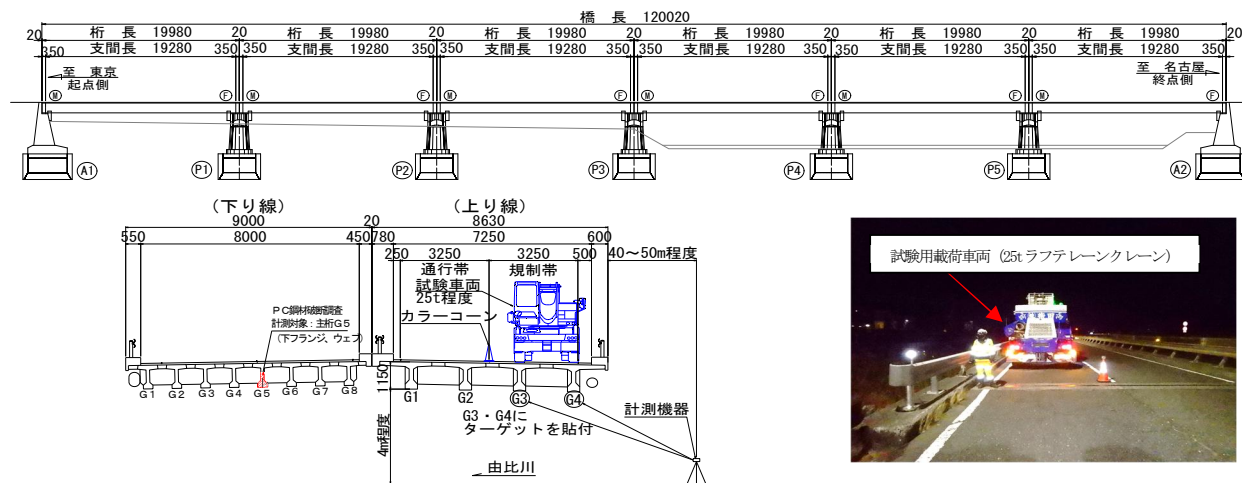


図-8 載荷試験の計測状況

表-2 由比川橋（上り）耐荷性能の評価

試験前に定義する潜在的リスク		評価方法	現在の評価
断面補修繰り返しによるダメージ累積	過去4回＋今後8回と予測	載荷試験	(今までと同じやり方で今後も)懸念なし
PCシステムの健全性	20年後塩分濃度(PC位置)	塩分浸透予測	(今後、軽微な補修は必要だが)懸念なし
	PC鋼線の腐食状態	載荷試験	(直接的に確認されないが)懸念なし
	PCシース内充填状況	載荷試験	(直接的に確認されないが)懸念なし
	有効プレストレス	載荷試験	(直接的に確認されないが)懸念なし

表-3 第2径間G5桁のPC破断調査結果

径間	主桁	検査箇所		検査数	結果	
2	G5	下流側	A	ウェブ	2	破断波形なし
			B	ハンチ	2	破断波形なし
			C	下フランジ側面	2	破断波形なし
			D	下フランジ下面	2	破断波形なし
		上流側	E	下フランジ下面	2	破断波形なし
			F	下フランジ側面	2	破断波形なし
			G	ハンチ	2	破断波形なし
			H	ウェブ	2	破断波形なし
総計				16	破断波形なし	

5. 個別診断カルテの整備

前述の通り、橋梁毎の健全度評価や維持管理シナリオは、実際の維持管理において積極的に活用してこそ、その真価が発揮されるものである。これまで取り組んできた一連の評価や検討結果を将来にわたり確実に引き継ぎ、現場の維持管理実務に円滑に活かせるよう、個別診断カルテを作成した（図-10）。なお、対策の要否については判断基準が必ずしも明確でない場合や必要な情報が十分に整備されていない場合もあることから、以下の方針に基づいてカルテの内容を整理した。

- ① 過去から現在に至るまでに、塩害特定点検にてC区分判定を受けた橋梁については、原則として「要対策」として扱う。これは、断面修復を実施したとしても内在塩分は除去できないことから、リスク管理の観点で注意喚起を行うためである。
- ② 今後の具体的な対応方針については、備考欄に簡潔に記載する。
- ③ 内在塩分量が高い橋梁については、鋼材腐食の進行状況を確認するため、追加の調査の必要性を備考欄に記載する。

- ④ PC鋼材位置における塩化物含有量が閾値を超過した橋梁については、その事実を明記するとともに、必要となる対策を付記する。

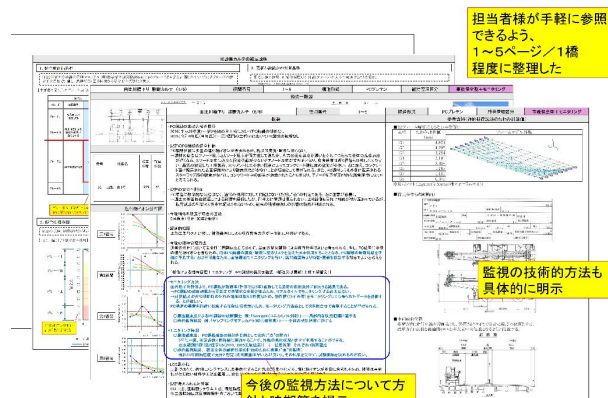


図-10 個別診断カルテ

6. まとめ

本稿では、国道1号沿岸部に位置する対象橋梁28橋について、過去の点検記録および補修・補強履歴を整理し、健全度を定量的に評価できるよう点数化した上で、将来のグレード予測に基づく維持管理シナリオを判定した。

これにより、各橋梁の対策優先順位が明確となり、今後の修繕計画策定に資する整理が可能となった。

さらに、更新型グループに分類された橋梁に対しては、LCCの優劣だけでは十分な判断材料とはならない点を踏まえ、現橋の耐荷力を載荷試験等により直接的かつ定量的に把握し、補修による延命の妥当性および架替えの必要性に関する検討を行った。

これらの結果は、橋梁の現況把握のみならず、将来的なリスク評価の精度向上にも有効であることを示した。

以上より、今回用いた評価手法および維持管理シナリオは、塩害影響下にある高齢橋梁群の維持管理において、合理的な意思決定を支援する有用な枠組みであると考えられる。今後は、定期点検の結果と連携させることで、維持管理のさらなる高度化および橋梁の長寿命化に寄与することが期待される。

謝辞：本稿を作成するにあたり、情報提供や助言等多大なご協力を頂きました大日本ダイヤコンサルタント（株）並びに関係者の皆様に感謝いたします。

参考文献

- 1) 国土交通省道路局国道・防災課：コンクリート橋の塩害に関する特定点検要領（案），2015年3月
- 2) 橋梁塩害対策検討委員会：塩害橋梁維持管理マニュアル（案），2008年4月