

塩害に対する PC 道路橋の維持管理 と設計へのフィードバック

木村 嘉富*1・田中 良樹*2

最近の道路橋の維持管理における課題のうち、維持管理に大きな影響を与える塩害に着目して、下部構造の塩害事例と凍結防止剤散布に起因する塩害事例を紹介するとともに、設計へのフィードバックに向けて今後検討すべき事項を示した。また、(独)土木研究所構造物メンテナンス研究センターが沖縄県と協力して取り組んでいる「沖縄県離島架橋 100 年耐久性検証プロジェクト」の検討の方向性について紹介する。

キーワード：塩害、かぶり、腐食発生限界塩化物イオン濃度、下部構造、凍結防止剤、排水

1. はじめに

1970 年代後半頃(昭和 50 年代)から、沿岸部に架かる多くのプレストレストコンクリート(PC)道路橋に、飛来塩分に起因した塩害による早期劣化が見られるようになった¹⁾。PC 主桁に橋軸方向の大きなひび割れが見られる顕著な塩害劣化は、季節風による飛来塩分量が多い北海道、東北、北陸の日本海沿岸部および台風により多量の飛来塩分量が観測される沖縄県で多く見られた。これらの地域では、たとえばポストテンション PC 桁の場合、沿岸部から 100 m 以内で、竣工からわずか 10～15 年で塩害が生じていた。このような塩害劣化に関する実態調査の結果をふまえて、1984 年に、道路橋の塩害対策指針(案)(以下、指針案)が旧建設省より通達された。2000 年の実態調査では、明らかなかぶり不足の事例を除き、指針案に基づく PC 橋に、塩害劣化は見られなかった²⁾。2002 年の道路橋示方書(道示)の改訂において、指針案の骨子の一つであった塩害対策地域に応じたかぶり規定が道示に反映されるとともに、設計年数 100 年に対応したかぶりの増加やエポキシ樹脂塗装鉄筋の併用など、二重の対策が盛り込まれた。指針案で示された塩害対策と道示改訂におけるアップグレードによって、新設 PC 道路橋の飛来塩分による早期塩害劣化に対する懸念は払拭された。

一方、指針案の通達以前に建設され、塩害劣化がすでに生じていた既設 PC 橋は、補修・補強を施しても、わずか

数年の後に再劣化が生じる場合が多く²⁾、今日も維持管理の大きな負担となっている。その負担が大きいため架け換えに至る事例もある。

撤去される橋を見るなかで、1980 年代の実態調査ではほとんど見られなかった下部構造の塩害劣化が見られることがある^{3,4)}。上部構造とともにこれらの下部構造も撤去されることが多いので、現時点では大きな問題になっていない。しかし、指針案以降の橋では、上部構造の塩害対策が充実したのに対して、下部構造の塩害対策は実質的な変化がほとんどなかったため、下部構造の塩害劣化が先行する事例が増加することが懸念される。

これまで、国内の道路橋では飛来塩分による塩害が顕著であったが、近年、凍結防止剤散布に起因する塩害が顕在化してきている^{2,5)}。1990 年代にスパイクタイヤの使用が禁止されて以降、一般道においても凍結防止剤の散布量が増加しており、塩害に対する予防措置を講じる必要がある。

本文では、最近の維持管理における課題のうち、維持管理に大きな影響を与える塩害に着目して、下部構造の塩害事例と凍結防止剤散布に起因する塩害事例を紹介するとともに、設計へのフィードバックに向けて今後検討すべき事項を示す。また、(独)土木研究所構造物メンテナンス研究センター(CAESAR)が沖縄県と協力して取り組んでいる「沖縄県離島架橋 100 年耐久性検証プロジェクト」⁶⁾(以下、100 年プロジェクト)の検討の方向性について述べる。

2. 維持管理における課題

2.1 下部構造の塩害

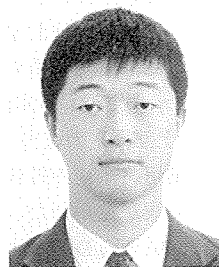
(1) 既設橋の下部構造のかぶり

PC 上部構造の方が、コンクリートの水セメント比(W/C)が小さく、塩化物イオンが浸透しにくいにもかかわらず、指針案通達以前の道路橋では、PC 上部構造の方が下部構造よりも早期に劣化した。その理由の一つは、かぶりの違いである。既設橋の下部構造のかぶりは、水中や土中に置かれる部分があるために 70～80 mm 程度とされており(1980 年に制定された道示下部構造編では最小かぶり 70 mm とされた)、塩化物の浸透を抑制する意味でのかぶりとしては上部構造に比べて余裕があることが多かった。



*1 Yoshitomi KIMURA

(独)土木研究所 構造物メンテナンス研究センター 上席研究員



*2 Yoshiki TANAKA

(独)土木研究所 構造物メンテナンス研究センター 主任研究員

指針案で示されたかぶりは最大でも 70 mm であり、下部構造において、指針案による実質的な変更はほとんどなかった。なお、現行道下部構造編では、沿岸部の厳しい塩分環境で 90 mm 以上のかぶりが必要とされる。

(2) 既往の調査事例

上部構造の著しい塩害劣化のため、道路橋の塩害対策検討の契機となった旧暮坪陸橋は、供用後約 10 年目ですでに PC 桁に錆汁が見られ、33 年目に架け換えとなった²⁾。その P 3 橋脚について調査を行った結果、鉄筋の腐食は施工時のものと思われるごく軽微なものであった(写真-1)³⁾。コンクリートのコア圧縮強度は 57 N/mm²、中性化なし、帯鉄筋のかぶりが 150 mm (北面) ~ 220 mm (南面)、鉄筋位置の塩化物イオン濃度は 0.9 kg/m³ であった。南北のかぶりの違いは施工精度の程度を表しているが、それにもかかわらず、今日の基準と比較しても十分なかぶりが確保されていた。コア圧縮強度が高く、W/C が比較的小さかったと推定されるにも関わらず、深さ 70 mm の位置でのコンクリート中の塩化物イオン濃度が 5.5 kg/m³ に達していたことから、かぶりの余裕が塩害防止に大きく貢献していたことが分かる。



写真-1 旧暮坪陸橋 P 3 橋脚北面の鉄筋³⁾

写真-2 は、日本海沿岸部に架設された PC 橋の橋台である。上部構造の著しい塩害により竣工後 34 年で架け換えられる際に行った、はつり調査の状況である。コンクリートのコア圧縮強度は 16 N/mm²、中性化深さ 8 ~ 30 mm (材料不均質のため)、かぶり 110 mm で、鉄筋位置の塩化物イオン濃度は 2.3 kg/m³ であった³⁾。腐食の程度は一部に断面欠損を伴う腐食が見られたが(塩分測定位置では軽度の腐食

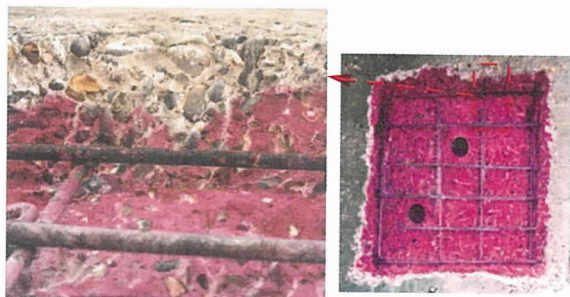


写真-2 撤去される橋台の鉄筋腐食状況³⁾

のみ)、腐食膨張によるコンクリートのひび割れは見られなかった。

写真-3 は、日本海沿岸部に架設された他の PC 橋の橋脚である。この橋も上部構造の著しい塩害により撤去された。同写真は竣工後 35 年目(供用終了後)の陸側のひび割れを示す⁴⁾。コンクリートのコア圧縮強度は 28 N/mm²、中性化深さ 11 mm、かぶり 80 mm で、鉄筋位置の塩化物イオン濃度は 9 kg/m³ であった。コア採取時に鉄筋の腐食が見られ、鉄筋位置で浮きが生じ、内部に錆汁が広がっていた。

以上の既往の調査より、塩分環境、暴露期間がほぼ同程度で、いずれも上部構造の塩害により撤去された 3 橋の下部構造では、コア圧縮強度やかぶりの程度がそれぞれ異なり、鉄筋の腐食の程度も大きく異なっていた。これらの例では、腐食の程度に関して、W/C (コア圧縮強度から推定される概略値) の影響よりもかぶり厚の影響が印象に残った。



写真-3 撤去される橋脚の鉄筋腐食状況⁴⁾

(3) 撤去橋脚を用いた鉄筋腐食調査

指針案以降、塩害に関する研究が盛んに実施され、塩害の発生機構がある程度明らかにされている今日、塩害対策におけるかぶりの重要性は、鉄筋位置の塩化物イオン濃度を一定期間内に腐食発生限界値以下に抑制するという観点から、定量的に評価したうえで、説明できる状況にある。しかし、かぶりの重要性のもう一つの視点として、上部構造と下部構造のかぶりの違いのように、かぶりが大きく異なる場合に、単に塩化物イオンの到達時間の違いだけでなく、酸素供給量の違いによる腐食発生限界値の違いが生じる可能性も考えられるが、その実態は必ずしも明確でない。

この点について検討するため、沿岸部から撤去された橋脚を用いて、下部構造の鉄筋腐食調査を実施している。写真-4 に示す橋脚も日本海沿岸部に架設された PC 橋の橋脚であり、上部構造の塩害により竣工後 34 年目に撤去された。写真は供用終了後の外観である。橋脚柱部に腐食による浮きやはく離が見られた。撤去に際して、図中の破線部を入手して、主鉄筋 D 25、40 本、帯鉄筋 D 16、41 本を橋脚側面の四方八方からコア抜きにより取り出し、鉄筋周囲のコンクリート中の塩化物イオン濃度、かぶり、鉄筋の腐食状況について調査を行った。図-1 に、それらの結果を示す。



写真-4 撤去直前の橋脚の損傷状況と撤去後のブロック

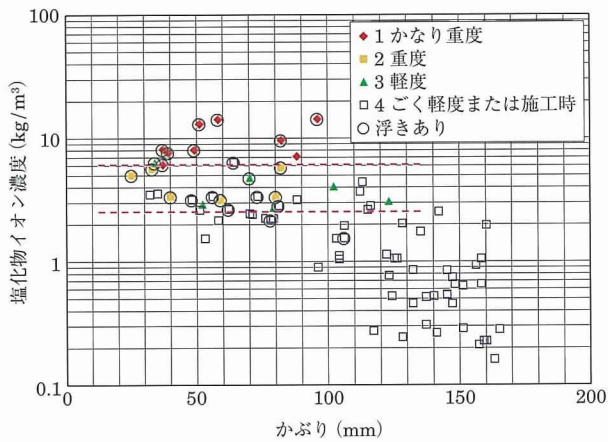


図-1 撤去橋脚のコア抜き調査結果 (鉄筋周囲の塩化物イオン濃度、かぶりと鉄筋の腐食状況の関係)

図中、個々の記号に黒丸を重ねたものは、コア採取した箇所に浮きが生じていたことを示す。写真-3の橋脚と同様に (図-2)、外見のひび割れが軽微であっても、内部で鉄筋に沿った、鉄筋の腐食膨張による浮きが生じていた。塩化物イオン濃度 (全塩分) は、鉄筋の前後 26 mm (主鉄筋は 30 mm) のコンクリートを切り出して測定した。かぶりは、採取したコアの側面で測定した。鉄筋の腐食程度は、写真-5に例示するとおり、かなり重度、重度、軽度、ごく軽度 (施工時のものと考えられるものを含む) の4段階に分類した。また、図-3に、海側および陸側の塩化物イ

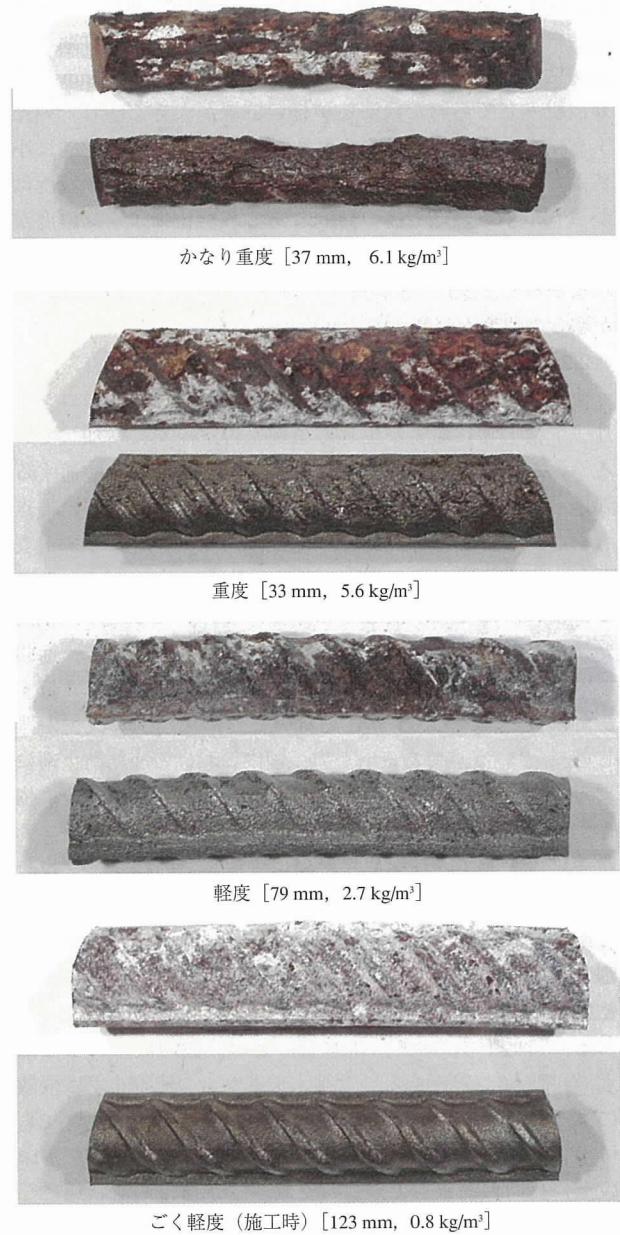


写真-5 鉄筋の腐食程度 (いずれも配力筋, D16)

注) それぞれ上が除錆前、下が除錆後、[]内は例示した鉄筋の実測かぶりと鉄筋周囲の塩化物イオン濃度を参考として示す。

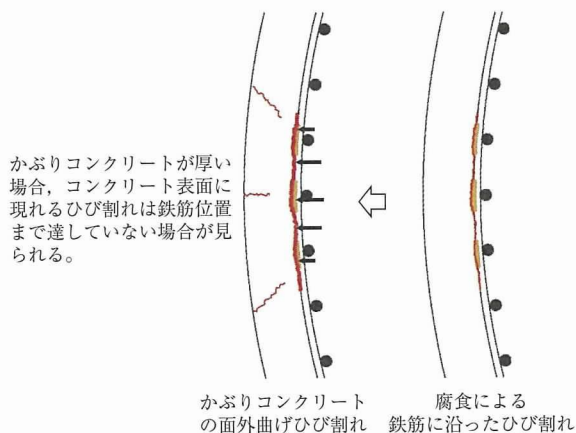


図-2 橋脚の鉄筋腐食による浮き、ひび割れ (模式図) 4)

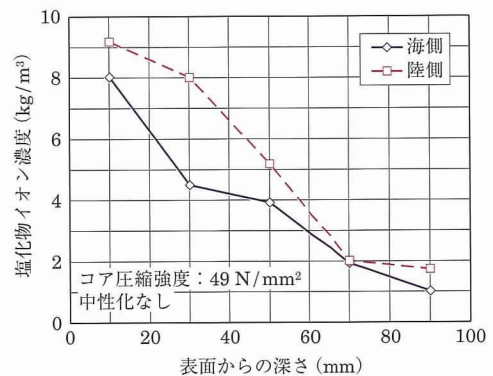


図-3 撤去橋脚の塩化物イオン濃度分布

オン濃度分布の測定結果を示す。この橋脚の場合、コンクリート中への塩化物イオンの浸透は、海側、陸側で顕著な差が見られなかった。帯鉄筋のかぶりは25～151 mmであり、組み立てられた鉄筋と型枠の位置が大ききずれしていたようである。はく離が見られた面は、かぶりが相対的に小さかった部分であった。当然ながら、塩化物イオン濃度はかぶりが小さいほど高い傾向にある。塩化物イオン濃度が2.5 kg/m³以下では外来塩分によると考えられる腐食は見られなかった。2.5～6 kg/m³の範囲では、かぶりが大きい方が腐食の程度が軽微である傾向が見られる。

2.2 凍結防止剤による塩害

凍結防止剤に由来する塩化物によって、道路橋のコンクリート構造物に塩害が生じる事例報告が徐々に増加している⁷⁾。これらの事例には、飛来塩分による塩害と共通する課題も含まれているが、凍結防止剤による塩害特有の視点もある。ここでいう共通の課題とは、「a) コンクリート表面上に塩水が来ても、直ちに鉄筋の腐食やコンクリートのひび割れ、はく離が生じるわけではない。このため、早期発見が遅れ、気付いたときには損傷が著しく、補修、補強を困難にする。b) 鋼材の腐食は、構造物の耐荷力に及ぼす影響が大きく、とくにPC鋼材の腐食は抜本的な改善が難しい。」という点である。一方、国内における凍結防止剤による塩害特有の課題は、その多くが防水と排水の処理に依存するところが大きいことである。

塩化物が散布され構造物に到達するまでの経路は、複数ある(図-4)。一つは、散布された塩化物が雨水に混入して流下する場合であり、排水の過程で、舗装の目地やひび割れからの浸入、アスファルト舗装そのものを貫通することによる浸入(ひび割れ等損傷がない場合、透水性は時間とともに低下する)⁸⁾、排水管などの設備の破損による漏水(写真-6、7)、あるいは排水末端からの流下または飛散によって、コンクリート構造物に塩水が接触する(写真-8)。排水管が箱桁内に配置されている場合、漏水によって下床版上に長期に滞水して、コンクリートが塩水浸漬状態になる場合がある。また、伸縮装置が非排水型でない場合あるいは非排水型であっても防水機能が劣化した場合、路面の塩水が桁端部や下部構造に容易に流下する。

もう一つは、路面の塩化物を含む滞水が車の走行や除雪作業によって飛散する場合である。地覆や壁高欄だけでな



写真-6 塩化ビニル製の排水管が折れてPC主桁に排水がかかる状態⁸⁾



写真-7 箱桁内での配管からの漏水



写真-8 季節風により排水が主桁にかかり腐食した事例

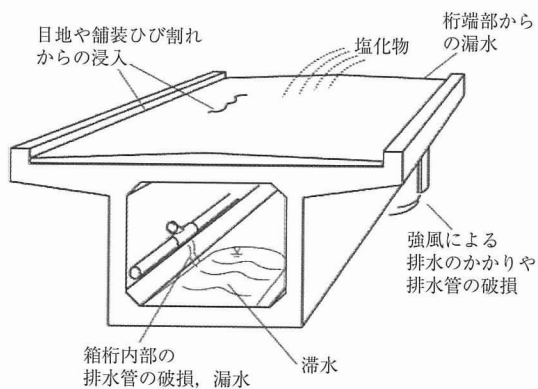


図-4 散布された塩化物のPC構造物への浸入経路

く、多量に散布する道路を跨ぐオーバークリップの下部構造も注意が必要である。

1960年頃までの橋は、建設当時に凍結防止剤散布の概念がなかったため、その対策が考慮されていない。伸縮装置が非排水型でないことがその典型例である(非排水型の積極的な導入は1980年代後半頃から)。既設橋において、舗装基層打換えの際に防水層を設置したり、伸縮装置を取り換える際に非排水型に変更することは近年よく見かけるようになったが、最適な排水管の再配置、箱桁内面の滞水しやすい箇所の防水と排水など、橋全体の防水、排水についてリフォームを検討する必要がある。また、点検などにおいて、配管の損傷や漏水が発見された際に、応急処置ができるように準備しておく必要がある。点検の頻度を考慮す

ると、配水管の継手部付近など、漏水が生じやすい箇所には、万一漏水が発生しても直ちに塩分浸透が開始しないように、継手の周囲のコンクリートを防水するなどの二重の対策を行う必要がある。

3. 設計へのフィードバックに向けて

3.1 かぶりの重要性

指針案以前に沿岸部の厳しい塩分環境に建設された橋のこれまでの傾向として、上部構造で10～15年程度で塩害による錆汁やひび割れが見られ始めるのに対して、下部構造では、30～40年程度で顕在化している。前述のとおり、道路橋の下部構造が上部構造よりも塩害に対する耐久性が高かったのは、かぶりの違いが大きい(図-5)。2.1で例示したように、下部構造の塩害劣化は、個々の構造物の中で、かぶり小さい箇所(施工誤差や施工不良に起因する)から発生することが多い。コンクリートのW/Cが小さいほど、塩分浸透は遅く、塩害に対する耐久性は高い傾向にある。しかし、一般的な下部構造で用いられるコンクリートはW/Cが50%以上のものが多く、この範囲ではW/C

規定	1984年(指針案)		2002年(道示改訂)
	上部30mm 下部70mm*	上部70mm 下部70mm	上部70mm+塗装鉄筋等 下部90mm+塗装鉄筋等
上部構造	かぶり規定どおり 10～15年で塩害顕在化 30年程度で架換え	かぶり規定どおり 劣化の兆候なし または軽微	かぶり規定どおり
下部構造	かぶり70～80mm程度 30～40年で塩害顕在化		かぶり規定どおり

維持管理において注意が必要
*) 1980年以前はコンクリート標準示方書による

図-5 既設コンクリート橋のかぶりと塩害劣化のイメージ (塩害対策地域A, B, 海上部および海岸線から100mまでの範囲)

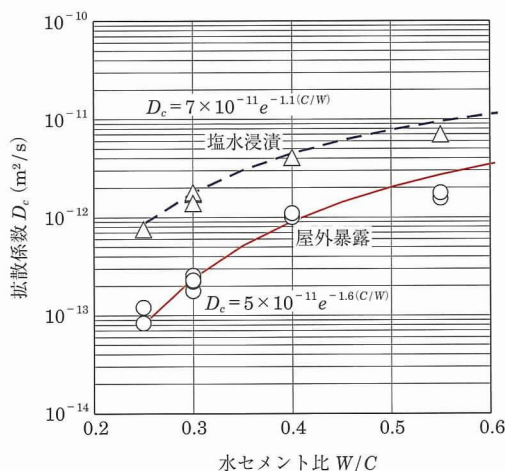


図-6 コンクリートのW/Cと拡散係数⁹⁾

を小さくすることによる効果が必ずしも顕著でない(図-6)。下部構造の塩害に対する耐久性向上を考える場合、耐久性の面からW/Cが小さいにこしたことはないが、温度ひび割れの発生を抑制しつつW/Cを小さくすることの難しさを考えると、よほど敷地の制限が厳しい場合でないかぎり、まず最小かぶりよりも数10mm程度の余裕のあるかぶりを確保することを検討し、必要に応じてW/Cを小さくすることが、適切であることが多いと考えられる。

3.2 防水と排水

凍結防止剤を使用する可能性がある新設橋は、床版防水、排水装置、非排水型伸縮装置などによって、防水と排水に配慮されている。しかし、これらの設備自体の強度設計や耐久性設計は必ずしも十分に行われていない場合がある。たとえば、排水管の強度設計は、排水、土砂の重量、温度や地震による伸縮が考慮されているが¹⁰⁾、設置場所によっては風の影響で破損しないように配慮する必要がある。排水管の末端が主桁に近接している場合、冬季の季節風や台風時における強風によって、思わぬ角度で排水が飛散することがあるので(写真-8)、流末の処理にも風に対する配慮が必要である。また、非排水型の伸縮装置であっても、冬季の積雪がタイヤによって押し込まれるなどして、ウレタンなどの充てん部分が早期に損傷することがある。これらの設備類に関して、日常では認識しにくい状況も含めて実態を調査して、設備の材料や設計方法の改善を図る必要がある。

4. 100年プロジェクトにおけるCAESARの課題

沖縄県では、1979年以降に建設された、多くの離島架橋の長寿命化を実現していく必要がある。海洋環境であることから、塩害対策が長寿命化の決め手であることは間違いない。とくに、沖縄の離島架橋は、比較的浅瀬に多数のコンクリート橋脚を建設したものが多く(写真-9)。CAESARでは、100年プロジェクトの一環として、沿岸部や海上部における実構造物の塩分付着状況や塩分浸透状況を調査することとしている(調査期間2009～2013年度)。図-5に示した背景やこれらの調査結果をふまえて、塩害に対する予防保全、効率的な補修・補強の優先順位付けを検討する。また、海上部における橋脚については、耐震補強も含めた効率的な塩害対策工法を検討する必要がある。

5. おわりに

道路橋の下部構造の塩害事例および凍結防止剤に起因した塩害事例を紹介し、下部構造におけるかぶり確保の重要性および凍結防止剤に対して防水、排水を改善していく必要があることを述べた。これらの改善に向けた検討は、CAESARだけでなく、道路管理者や学、民それぞれの調査、検討と合わせて推進する必要がある。本文が、これからの塩害対策に関する議論の契機となり、道路橋の維持管理を改善するために役立つことを望む。



写真 - 9 離島架橋の橋脚群 (上：池間大橋，下：来間大橋)

謝 辞

国土交通省東北地方整備局および北陸地方整備局の関係事務所，出張所の方々をはじめ，本文で紹介した調査にご協力いただいた関係各位に感謝いたします。

参考文献

1) 建設省土木研究所，プレストレスト・コンクリート建設業協会：
ミニマムメンテナンス PC 橋の開発に関する共同研究報告書 (Ⅱ)
—コンクリート道路橋の必要かぶりに関する検討—，共同研究報

告書第 258 号，2000.12

2) 西川和廣，河野広隆ほか：コンクリート橋のライフサイクルコストに関する調査研究—コンクリート橋の損傷状況と維持管理費の実態調査—，土木研究所資料第 3811 号，2001.3
3) 国土交通省土木研究所，日本構造物診断技術協会：コンクリート構造物の鉄筋腐食診断技術に関する共同研究報告書—実構造物に対する適用結果—，共同研究報告書第 269 号，2001.3
4) 河野広隆，渡辺博志，田中良樹：コンクリートのひび割れ部の塩分浸透，土木研究所資料第 3950 号，2004.11
5) 融雪剤によるコンクリート構造物の劣化に関する研究委員会報告，日本コンクリート工学協会，1999.11
6) 宮田弘和：「沖縄県離島架橋 100 年耐久性検証プロジェクト」に関する協力協定を締結，土木技術資料，p.42，2009.6
7) 例えば，長谷俊彦，野島昭二，竈本武弘：これからの維持管理について—高速道路の PC 橋における保全技術—，プレストレストコンクリート，Vol.51, No.2, pp.93-99, 2009
8) 村越潤，田中良樹：既設道路橋コンクリート床版の耐久性向上に関する研究—既設床版の塩分浸透状況に関する実態調査—，土木研究所資料第 4160 号，2010.1
9) 田中良樹，藤田学，河野広隆，渡辺博志：高強度コンクリートの塩分浸透抵抗性，コンクリート工学年次論文集，23-2, pp.517-522, 2001.7
10) 道路土工指針，排水工指針，(社)日本道路協会，1987

【2010 年 1 月 18 日受付】



刊行物案内

第38回 PC 技術講習会テキスト

PC 技術の新たな適用と展開

平成22年 2 月

定 価 6,000 円／送料 500 円

会員特価 5,000 円／送料 500 円

社団法人 プレストレストコンクリート技術協会