

# 東北発 PC 道路橋の長寿命化を目指して

岩城 一郎\*

本報告では、東北地方におけるコンクリート構造物の現状を示したうえで、著者がこれまで調査研究を進めてきた PC 道路橋の代表的な劣化事例として、日本海沿岸において著しい塩害を受けたポステン PC 桁、および凍結防止剤散布下において塩害と凍害の複合劣化を受けたプレキャスト PC 桁についてダイジェストで紹介する。次いで、この地でこうした問題が再発しないよう、新たに建設される復興インフラをはじめとするコンクリート構造物の長寿命化を目指した取組みについて解説する。最後に、東北地方におけるもっとも深刻な問題として、凍結防止剤散布下におけるコンクリート床版をあげ、この種の部材では凍害、塩害、ASR が促進されるうえ、交通作用による疲労の影響を受けることを指摘し、この問題を解決するためのプロジェクトの概要を紹介する。

キーワード：PC 道路橋、凍結防止剤、塩害、凍害、ASR、疲労、コンクリート床版

## 1. 東北地方におけるコンクリート構造物の現状

東北地方は緑豊かな美しい自然に囲まれている一方で、急峻な地形、積雪寒冷地、太平洋と日本海に面しているといった地象・気象条件により、コンクリート構造物の耐久性にとっては厳しい環境にあるといえる。実際、この地のコンクリート構造物は、日本海沿岸における塩害、福島県浜通りを除く東北全域で見られる凍害、最近では凍結防止剤の作用による複合劣化等が顕在化している。このような背景の下、東北地方におけるコンクリート構造物の耐久性向上検討委員会（委員長：三浦 尚東北大学名誉教授）が設置され、東北地方のコンクリート構造物固有の劣化現象に対する設計・施工上の対策を明示することを目的に、東北地方におけるコンクリート構造物設計・施工ガイドライン（案）<sup>1)</sup>が策定された。このような状況のもと、2011年3月11日に東北地方太平洋沖地震が発生し、周知のとおり東北地方太平洋沿岸の多くの社会インフラが大津波により流出した。これを機に、復興により新たに建設されるコンクリート構造物は長寿命化させるべきとの機運が高まり、現在他の地方に先駆けた種々の取組みが進められている。こうした取組みを意味のあるものとするためには、この地におけるコンクリート構造物の劣化事例を詳細に分析

し、その機構を明らかにしたうえで設計・施工・維持管理に反映させる必要がある。次章以降に、著者がこれまで調査研究を進めてきた PC 道路橋の代表的な劣化事例として、日本海沿岸において著しい塩害を受けたポステン PC 桁と凍結防止剤散布下において塩害と凍害の複合劣化を受けたプレキャスト PC 桁について紹介する。

## 2. 日本海沿岸における塩害 PC 桁

調査対象橋梁は青森県鯉ヶ沢町の国道 101 号に架かる新赤石大橋である。橋梁諸元を表 - 1 に記載する。なお本橋に関する調査研究内容の詳細についてはたとえば参考文献 2) を参照されたい。本橋は、1976 年に竣工以来、冬期に北西から吹き付ける季節風による飛来塩分の影響で塩害が進行し、度重なる補修・補強にも関わらず、劣化の進行を止めることが難しいと管理者（青森県）が判断し、2008 年に撤去、その後架替えに至ったものである。

表 - 1 調査対象橋梁諸元

橋名	新赤石大橋（しんあかいしおおはし）
橋梁形式	5 径間 ポステンション単純 PC T 桁橋
路線名	国道 101 号
位置	青森県西津軽郡鯉ヶ沢町大字赤石町
橋長	163.000 m
支間長	5@31.840 m
幅員	11.100 m（車道有効幅員 7.500 m）
橋格	1 等橋（TL-20）
竣工年月	1976 年 1 月
適用示方書	昭和 47 年道路橋示方書

本橋は 5 径間 PC ポステン単純 PCT 桁橋であるが、その劣化の特徴の一つに隣り合う第 2 径間と第 3 径間で劣化の状況が大きく異なり、第 2 径間は劣化が著しく、外ケーブル補強を行っていたのに対し、第 3 径間は比較的健全であり、外ケーブル補強を行っていない点にある。その原因については当時の施工状況等が不明なため残念ながら解明できていない。写真 - 1 に本橋の劣化状況（第 2 径間）



\* Ichiro IWAKI

日本大学  
工学部 教授



写真 - 1 本橋の劣化状況

を示す。図より、塩害特有のさび汁と、鋼材に沿った腐食ひび割れが発生しており、コンクリートのはく落も多数見られる。しかしながら、こうした劣化が橋梁の構造性能に及ぼす影響が不明だったため、载荷試験を行うこととした。すなわち、250 kN に調整したダンプトラック 6 台（合計約 1 500 kN）を第 2 径間および第 3 径間におおの積載し、その各位置における変位を計測するとともに、第 2 径間の外ケーブル補強の効果を調べるため、無载荷の状態で外ケーブルの緊張を解除し、上部工の自重（約 3 200k N）による変位を調べるというものである。結果を表 - 2 および表 - 3 に示す。表 - 2 より、外ケーブル補強有りの第 2 径間と無しの第 3 径間で、中央変位がほぼ同じであることが分かる。一方、第 2 径間の外ケーブルを除荷することにより上部工自重のみで約 19.1 mm の変位が生じており、これを等価剛性に換算すると、外ケーブルの補強により橋梁の剛性の約 3 割を負担していたことが明らかになった。したがって、第 2 径間は構造性能に顕著な影響を及ぼすまでに塩害が進行しており、外ケーブル補強により構造性能が確保されていたことが判明した。

表 - 2 载荷試験結果

第 2 径間の载荷時のたわみ（外ケーブル補強あり） (mm)				
支点 A	L/4	中央	3L/4	支点 B
0.5	8.8	12.0	8.6	0.3
第 3 径間の载荷時のたわみ（外ケーブル補強なし） (mm)				
支点 A	L/4	中央	3L/4	支点 B
0.3	8.7	11.8	8.1	0.3

表 - 3 外ケーブルの補強効果の確認

外ケーブルの解放により生じた第 2 径間のたわみ (mm)				
支点 A	L/4	中央	3L/4	支点 B
0.2	13.8	19.1	14.2	0.4

本橋の解体・撤去に伴い、桁の一部を著者の所属する日本大学工学部に搬入し、コンクリートおよび鋼材の詳細調査を行った。図 - 1 は第 2 径間から採取したいくつかの桁のウェブを貫通するように採取したコアの塩化物イオン

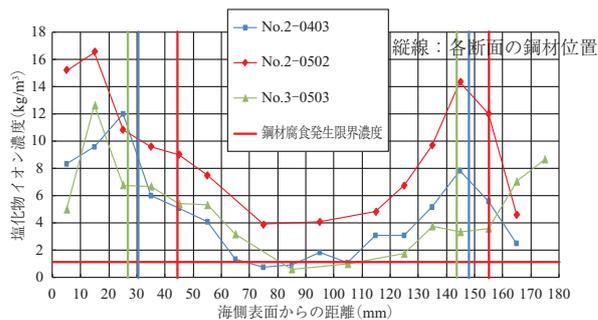


図 - 1 コンクリート（ウェブ）内の塩化物イオン濃度分布

濃度分布を示したものである。図より、ウェブ両側では中性化の影響で塩化物イオン濃度が低下しているものの、内部にはきわめて高濃度の塩化物イオンが浸透していることがわかる。図中の縦線は各桁の鋼材位置を示しているが、何れもその位置において腐食発生限界濃度を大きく上回る塩化物イオンが検出された。

本研究の特徴は、撤去桁のコンクリートをはつり出し、内部の鋼材の腐食状況を詳細に観察した点にある（写真 - 2）。上の写真は全体像、下の写真は桁断面における鋼材の腐食状況である。写真より、支間中央では 10 本のシース（シース内にはφ7 mm の PC 鋼線が 12 本配置）が上下 5 本ずつ配置されていたが、このうち腐食が顕著なのは両側と下段（とくに両側の下段）であり、上段の中央 3 本



写真 - 2 桁内の鋼材腐食状況

はシースを含めほぼ健全であることが分かる。また、写真ではむしろ海側より山側の鋼材の方が腐食しているように見えるが、この原因は塩化物イオン濃度分布とかぶりの関係で説明することができる。すなわち、解体時にこのブロック（第2径間 0502ブロック）のかぶりを調査したところ、鉄筋かごが山側へ10 mmほどずれていたことが判明し、海側のかぶりが約45 mm、山側のかぶりが約25 mmとなっていた。図-1より、このブロックの鋼材位置での塩化物イオン濃度を見ると、海側で約9 kg/m<sup>3</sup>、山側で約12 kg/m<sup>3</sup>と明らかに山側の方が高い。このように、塩害によるPC鋼材の腐食状況は、単に環境作用だけでなく、施工上の不具合にも大きく影響することが明らかになった。

次に解体した桁ブロックよりランダムにPC鋼材を採取し、約500 mmに切断した後、その腐食減量を測定するとともに、引張試験（つかみ長170 mm、伸び計の測長50 mm）を実施し、その機械的性質を評価した。このうち最大荷重、最大変位と腐食減量率との関係を図-2に示す。ここで縦軸は腐食していない健全なPC鋼材の最大荷重、あるいは最大変位に対する各鋼材の計測値を比で表したものである。なお、同図には東北地方日本海沿岸において塩害により架替えを余儀なくされた他のPC橋の測定結果も合わせて示す。図より、最大荷重と腐食減量率との関係は負の高い相関を示しており、他の橋梁により測定した結果もほぼ同一線上に乗っていることが分かる。一方、最大変位と腐食減量率との関係はばらつきが多いものの、最大荷重とは異なり、腐食減量率の増加に伴い、最初に急激に低下し、その後緩やかに推移する傾向が認められた。こう

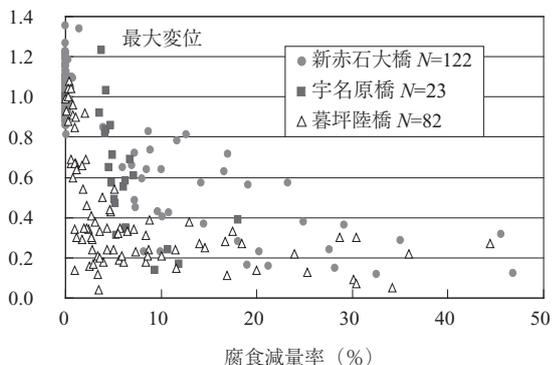
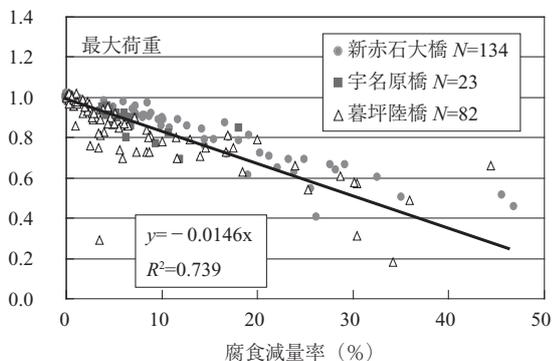


図-2 PC鋼材の腐食減量率と機械的性質との関係

した結果は今後、塩害PC橋の構造性能を評価するうえで貴重なデータに成り得ると思われる。

### 3. 凍結防止剤散布下におけるプレキャストPC桁の複合劣化

調査対象橋梁は秋田県仙北市の国道46号に架かる湖山橋である。橋梁諸元を表-4に記載する。なお本橋に関する調査研究内容の詳細については参考文献3)を参照されたい。この地は積雪寒冷地に属し、直轄国道という性質上、冬期に本橋を含むその前後の区間で40 ton/km/年という大量の凍結防止剤が散布される。また図-3に示す一般図、および写真-3に示す全体像より、本橋には平面線形に曲率がついていることから、凍結防止剤含みの水は

表-4 調査対象橋梁諸元

橋名	湖山橋（ござんばし）
橋梁形式	14径間 プレテンション単純PCホロースラブ桁橋
路線名	国道46号
位置	秋田県仙北市田沢湖町生保内地内
橋長	229.60 m
支間長	14@15.80
幅員	9.000 m
橋格	1等橋（TL-20）
竣工年月	1975年
適用示方書	昭和47年道路橋示方書

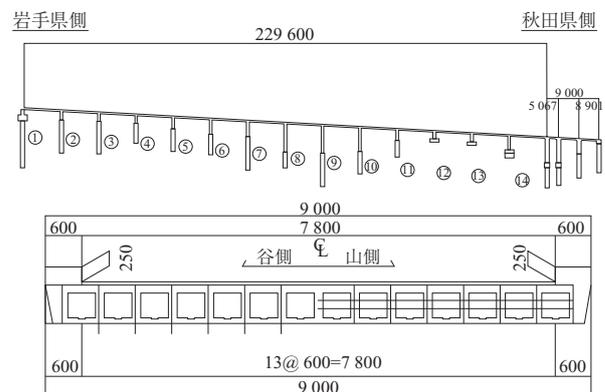


図-3 湖山橋の一般図（上：側面図、下：断面図）



写真-3 湖山橋解体前の全体像

横断勾配に沿って谷側に集水されることになる。そのため、図 - 3 中の上部工断面図において、もっとも谷側に位置する G1 桁中空内に凍結防止剤含みの水が湛水し、2009 年の点検時には写真 - 4 に示すとおり、著しい塩害により鋼材腐食が進行するとともに下フランジのコンクリートがほぼ喪失する結果となった。なお、G2 から山側にある桁はほぼ健全な状態であることが確認されている。このような状況下で、G1 桁上には直接活荷重は作用しないものの、劣化の進行を止める、あるいは修復することが困難と判断され、解体撤去に至った。図 - 4 は撤去桁より試料を採取し計測した下フランジ上面から深さ方向の塩化物イオン濃度分布である。図より、下フランジ上側の塩化物イオン濃度がきわめて高く、下方に向かって減少していることから、本桁の塩化物イオンは中空内に湛水した塩水が下フランジ上面から徐々に流下したものと推察される。しかしながら本橋のコンクリートのはく落箇所を観察すると塩害特有の塊状のはく落というよりはスケーリングに近い層状の剥離を示していたことが判明したため、弘前大学上原子晶久准教授（当時、同助教）の協力を得て、反射電

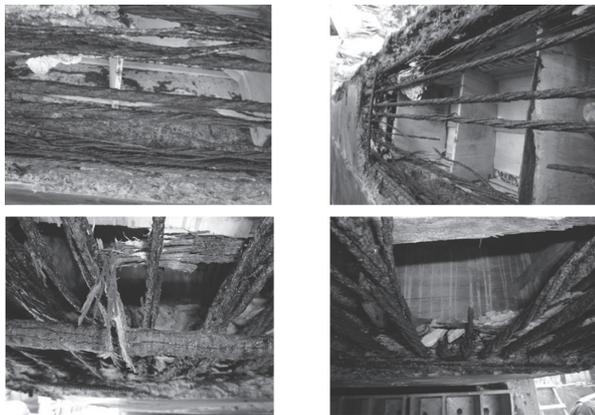


写真 - 4 G1 桁下フランジ下面の鋼材腐食状況

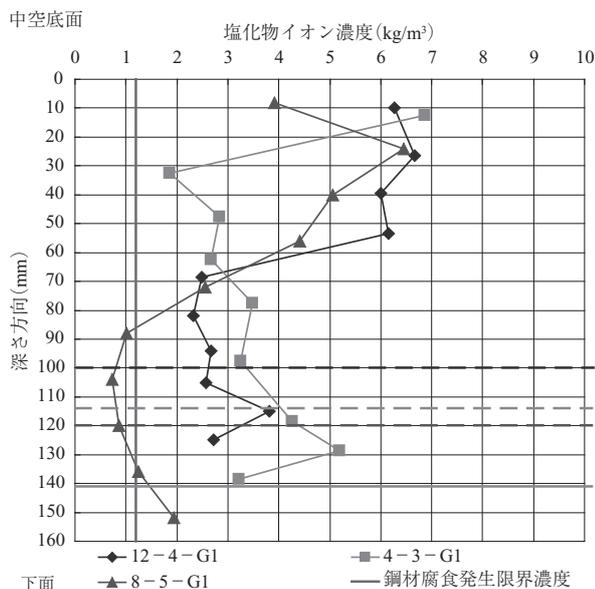


図 - 4 下フランジの塩化物イオン濃度分布

子組成像 (Comp 像) によるコンクリート内の気泡調査を行った。その結果、コンクリート中にはほとんどエントレインドエアが連行されていないこと、コンクリートに凍害特有の微細なひび割れが多数確認された。以上より、本劣化は塩害のみならず塩分環境下における凍害との複合劣化であることが示唆された。そこで、こうしたきわめて深刻な劣化に至る現象を実験室内で再現することを試みた。本桁の状況を整理すると、1) プレストレストコンクリートとしての設計基準強度 (50 MPa) はほぼ満足していたため、水セメント比は適切であること、2) 空気量はきわめて少なくエントレインドエアがほとんど含まれていない状態であること、3) 製造時には蒸気養生を行っていたこと、4) 供用後中空内に塩水が湛水し、それが徐々に流下したため、コンクリート中には高濃度の塩化物イオンが蓄積されていること、5) 凍結防止剤散布下で凍結融解の繰返し作用を受けていたことなどがあげられる。以上の点を再現した供試体を作製し、JIS A 1148 の凍結融解試験を実施した。ただし、試験溶液は通常の真水の代わりに、凍結防止剤散布下を想定し、3% NaCl 水溶液を使用した。結果を写真 - 5 に示す。写真より、適切にエントレインドエアが連行された PC 仕様では、300 サイクル終了時においてもきわめて健全な耐凍害性を示すのに対し、本橋を再現した供試体ではわずか 30 サイクルで原形を留めないほ



写真 - 5 凍結融解試験結果  
(上：標準的な PC 仕様，下：対象橋仕様)

どの著しい劣化を示す結果となった。このことから、凍結防止剤が散布される環境において内部に塩分が蓄積された状態で凍結融解作用を受けると、PC桁のように比較的耐久性が高いとされる部材であっても適切にエントレインドエアが連行されていないと耐凍害性が著しく低下するため、十分な対策を施すことが必要であることが明らかになった。

なお、これらの調査研究はいずれも解体撤去を余儀なくされたPC道路橋に対し、撤去桁を実験室に搬入し、詳細調査を行ったものである。これに対し、今後も供用を続けるPC道路橋の詳細調査を行う場合には、当然のことながら、非破壊試験、微破壊試験により劣化状況の把握と機構の解明、さらには構造性能の評価を行う必要がある。著者らは現在、東北地方日本海沿岸における供用中のPC道路橋に対するこの種の詳細調査方法についても研究を進めており、近く成果を公表する予定である。

#### 4. 復興コンクリート構造物の長寿命化を目指して

PC構造物はRC構造物に比べ、一般に水セメント比が低く、PC鋼材により積極的に部材の力学的性質を改善しているため、潜在的には耐久性に優れた構造形式と考えられる。一方、本報告で示したとおり、東北地方日本海沿岸や凍結防止剤が大量散布される環境では著しい劣化を示し、供用後30年程度で架替えを余儀なくされるものがあることもまた事実である。したがって、東北地方に構築されるPC構造物においてはその環境作用を適切に評価し、設計耐用期間にわたり十分な耐久性を確保できるよう、設計・施工・維持管理を行う必要がある。それは現在、国土交通省東北地方整備局のもと、急ピッチで施工が進められている復興道路および復興支援道路においても然りである。

このような復興インフラの整備にあたっては、高度経済成長期よりも迅速に、阪神淡路大震災よりも広域に、ひと・もの・かねの制約下で長寿命化を果たす必要がある。すなわち、高度経済成長期のインフラ整備は1960年代から70年代の約20年で成し遂げたのに対し、復興インフラの整備は今後約5年のうちに完了する必要がある。また、阪神淡路大震災の被害は神戸市周辺に限定されていたのに対し、東日本大震災の被害は、北海道から東北、関東にまで及んでおり、津波によって流出した膨大なインフラを再構築する必要がある。さらに、現地では復興に従事する労働者、重機、建設材料、とくにコンクリート用骨材の枯渇が深刻な問題となっている。しかしながら、インフラの老朽化問題が顕在化しつつある昨今においては、復興インフラの初期欠陥や早期劣化は許されない状況にある。

このような背景のもと、国土交通省東北地方整備局をはじめとする官、大学研究者らによる学、建設業・コンサルタント・生コン工業組合らによる産は、官学産の連携により、知恵を寄せ合い、復興インフラの長寿命化を図る取組みを進めている。その根底には「強度＝耐久性」という固定観念からの脱却がある。まず、東北地方整備局ではこれ

までに収集した橋梁点検データを精査し、橋梁の早期劣化に至る主因を、凍結防止剤を含む水の作用と捉え、構造物に極力水を作用させない構造形式や構造細目を採用する方針を打ち出した。また、厳しい寒冷地では、現行のJISで規定されている空気量(4.5±1.5%)の下限值(3.0%)では十分な耐凍害性を確保することができないと判断し、空気量の下限値を引き上げることとし、実際の生コンやプレキャストPC桁でその実効性を検証している。以下にその取組み例を示す。

一つは東北地方整備局東北技術事務所と宮城県生コンクリート工業組合の間で進められている共同研究である。研究内容の詳細は参考文献4)を参照されたい。ここでは、目標空気量を6.0%としたレディーミクストコンクリートの製造の可否と、空気量および養生方法がコンクリートの諸性質に及ぼす影響、さらには、W/C45%、空気量6.0%コンクリートのポンプ圧送性と筒先での品質などについて検討した。その結果、1)目標空気量6.0%のコンクリートを生コン工場において実機で製造可能であること、2)本実験の範囲では、空気量を1%増加させると、材齢28日標準養生供試体の圧縮強度が1.5MPa程度低下するため、このことを考慮した配合設計を行う必要があること、3)標準養生、封かん養生に対し、早期に気中養生を行った場合、圧縮強度の低下が著しく、また、空気量を6.0%としても、顕著なスケーリングが認められたため、厳に早期の気中養生を避ける必要があること、4)空気量を6.0%とすることにより、3%NaCl溶液下では若干のスケーリングが認められるものの、十分な養生を行うことで、顕著な耐凍害性が得られること、5)水セメント比を45%とし、空気量を6.0%とすることにより、スケーリング抵抗性の顕著な改善効果が見られること、6)水セメント比45%、空気量6.0%のコンクリートのポンプ圧送性と、筒先での品質について検討を行った結果、いずれも問題とならず、この種のコンクリートを生コン工場で製造し、現場で施工することが十分可能であることなどを明らかにした。

一方、プレストレスト・コンクリート建設業協会(PC建協)東北支部は、八戸工業大学(阿波 稔教授)、日本大学工学部(著者)らと連携し、工場にて蒸気養生を行い製作されるプレキャストPC桁を対象に空気量と耐凍害性に関する各種調査を実施した。その結果、プレキャストPC桁は元来水セメント比が低いため、空気量を4.5%から6.0%程度とすることによりきわめて優れた耐凍害性を確保することが可能であることを明らかにした。なお、本研究成果については参考文献5)に詳述されているとともに、本特集号においても別途報告されているため、参照されたい。

これらの取組みと連動し、大学の研究者は、厳しい制約下においてコンクリート構造物を長寿命化する対策として、実績のある既存のシステムと新たな品質評価システムの融合による構造物の品質/性能確保や、既存の枠にとられない新技術の導入および技術の統合・総合化を提案している。前者は横浜国立大学の細田 暁准教授らが中心と

なり、山口県で開発・活用されている施工状況把握チェックシート（表 - 5）を用い、施工者と発注者が共通認識のもと、施工の基本事項を遵守し、目視評価や各種表層品質評価により出来上がった構造物の性能を評価しようとしている。

表 - 5 施工状況把握チェックシートの一例

事務所名	工事名		工区
構造物名	部位		リフト
受注者	確認者		
配合	確認日時		
打込み開始時刻	予定	実績	打込み開始時気温
打込み終了時刻	予定	実績	天候
			打込み量 (m <sup>3</sup> )
			リフト高 (m)
施工段階	チェック項目		
準備	運搬装置・打込み設備は汚れているか。		記述 確認
	型枠面は湿らせているか。		-
	型枠内部に、木屑や結束線等の異物はないか。		-
	かぶり内に結束線はないか。		-
	硬化したコンクリートの表面のレイタス等を取り除き、ぬらしているか。		-
	コンクリート打込み作業員 <sup>※</sup> に余裕を持たせているか。		-
	予備のバイブレータを準備しているか。		-
	発電機のトラブルがないよう、事前にチェックをしているか。		-
運搬	練り混ぜてから打ち終わるまでの時間は適切であるか。		-
打込み	ポンプや配管内面の潤滑性を確保するため、先送りモルタルの圧送等の処置を施しているか。		-
	鉄筋や型枠は乱れていないか。		-
	横移動が必要となる適切な位置に、コンクリートを垂直に降ろしているか。		-
	コンクリートは、打込みが完了するまで連続して打ち込んでいるか。		-
	コンクリートの表面が水平になるように打ち込んでいるか。		-
	一層の高さは、50 cm 以下としているか。		-
	2層以上に分けて打ち込む場合は、上層のコンクリートの打込みは、下層のコンクリートが固まり始める前に行っているか。		-
	ポンプ配管等の吐出口から打込み面までの高さは、1.5 m 以下としているか。		-
	表面にブリーディングがある場合には、これを取り除いてからコンクリートを打ち込んでいるか。		-
締固め	バイブレータを下層のコンクリートに10 cm 程度挿入しているか。		-
	バイブレータを鉛直に挿入し、挿入間隔は50 cm 以下としているか。		-
	締固め作業中に、バイブレータを鉄筋等に接触させていないか。		-
	バイブレータでコンクリートを横移動させていないか。		-
	バイブレータは、穴が残らないように徐々に引き抜いているか。		-
養生	硬化を始めるまでに乾燥するおそれがある場合は、シートなどで日よけや風よけを設けているか。		-
	コンクリートの露出面を湿潤状態に保っているか。		-
	湿潤状態を保つ期間は適切であるか。		-
	型枠および支保工の取外しは、コンクリートが必要な強度に達した後であるか。		-
要改善事項等			

※ コンクリート打込み作業員…コンクリートの打込み・締固め作業時の人員のうち、直接作業に携わらない者（監理・主任技術者やポンプ車運転手等）を除いた人員

一方、東京大学の石田哲也教授は、現地発生材の品質が低くても構造形状等を工夫することにより性能を保証する台形CSGダム（CSG：Cemented Sand and Gravelの略）をアナロジーに、低品質の骨材であっても出来上がったコンクリート構造物の性能を満足するような設計（材料・配合・構造）、施工、維持管理方法の導入を提案している。具体的には、1）材料上の工夫として、膨張材やフライアッシュ、防錆鋼材の有効利用など、2）配合上の工夫として、施工・耐久性確保を狙った配合設計（粉体量確保、十分なエントレインドエア導入）など、3）設計上の工夫として、構造部材の性能に応じた材料の適材適所活用、かぶりの十分な確保など、4）施工上の工夫として、十分な養生期間の確保、品質向上をはかる新しい養生技術の開発など、5）技術マネジメント上の工夫として、JIS外品を活用する戦略や、性能評価型設計施工システムのフル活用などがあげられる。

東北地方のコンクリート構造物の高耐久化に向けて、現状では、耐凍害性に対しては、産官学の意識が高まり、目標空気量（とこれに伴う下限値）の増加等具体的な方策も具現化しつつある。また、塩害に対しても東北地方整備局において、防錆鋼材の積極利用に対する考えが打ち出され

るなど、改善に向けた取組みが進められつつある。一方、ASRに対しては未だ東北地方における認識は浅く、その一因として、東北地方においてはこれまでASRの多くを凍害と判断していたことがあげられる。現在、ASRに関しては、先にあげた東北地方整備局東北技術事務所と宮城県生コンクリート工業組合との共同研究、さらには著者らの研究により、凍結防止剤散布下を想定した試験方法（SSW：参考文献1）参照）の実施と、この試験結果に基づくASR対策の提案に関する検討が進められており、成果がまとまり次第公表する予定である。さらに、こうした東北における動きを一層ダイナミックなものへと推進する組織として、土木学会コンクリート委員会に「コンクリート構造物の品質確保小委員会」（委員長：田村隆弘徳山工業高等専門学校教授）が設置され、精力的な活動を展開している。以上については参考文献6）、7）に詳述されているため参照されたい。

### 5. 実物大鋼主桁上コンクリート床版の高耐久化プロジェクト

著者は今後、東北地方のような積雪寒冷地の道路構造物において、凍結防止剤散布下におけるコンクリート床版の複合劣化がもっとも深刻かつ顕在化すると予想している。この問題の特徴として、1）1990年代初頭のスパイクタイヤ禁止の法制化を受けて以降、凍結防止剤の散布量が急増しているが、高度経済成長期に建設された道路橋床版はこの作用を想定していないこと、2）本格散布から20年程度しか経っていないため、まだ多くの床版は潜伏期にあり、今後劣化が顕在化すると予想されること、3）凍結防止剤としてNaClが散布され、それが床版内部に浸透すると、塩害による鋼材腐食、凍害によるスケール、アルカリシリカ反応等が促進し、さらに交通作用の繰返しによる疲労との複合劣化となること、4）凍結防止剤は沖繩等一部の温暖な地域を除き散布されており、飛来塩分の影響を受ける構造物のようにその分布が沿岸域に限定されるものではなく、寒冷地全体に広く分布することから、対象橋梁数が膨大になることなどがあげられる。

この種の問題に対し、たとえば著者らの研究8）により、凍結防止剤散布下においては、コンクリート床版の塩害、凍害、ASRと疲労による複合作用が床版内の水平ひび割れや砂利化を誘発し（図 - 5）、早期劣化を引き起こすことが明らかにされている。また、その対策としてコンクリート上面の緻密性を高めつつ、ひび割れを抑制し、十分な量のエントレインドエアを連行すること、さらにはフライアッシュや高炉スラグ微粉末を使用することで、床版上面からの塩分の浸透を抑制し、耐凍害性を向上させつつ、ASRを抑制することが重要であると考えられる。これに加え、現場におけるコンクリート床版の問題は鋼主桁上の拘束による乾燥収縮等のひび割れや、施工性に起因する床版上面の緻密性に依存することが明らかにされている。こうした問題を解決し、ライフサイクルにわたる性能評価に基づく高耐久コンクリート床版を開発するには、現場の状況を再現した実物大のモデルにより、その施工性

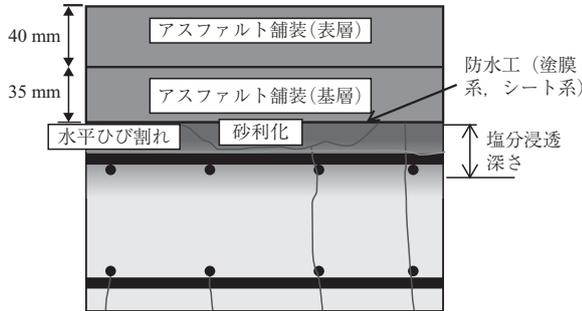


図 - 5 凍結防止剤散布下における RC 床版の劣化機構

や、実環境下における膨張収縮挙動、さらには長期耐久性や耐疲労性に関する性能評価を行い、すべての要求性能を満足する高耐久コンクリート床版を開発することが求められる。以上の背景より、本研究では、民間企業の協力を得て、キャンパス内に実物大の鋼主桁上コンクリート床版を再現し(写真 - 6)、設計(材料・配合・構造)、施工上の工夫を行ったうえで各段階における性能評価を行い、すべての要求性能を満足するものを開発し、復興道路をはじめとする現場に実装するプロジェクトを立ち上げた。



写真 - 6 実物大鋼主桁上コンクリート床版の全体像

このプロジェクトでは、実際の橋と同じ構造を想定し、2本の鋼主桁上に6種類のRC床版を作製する。これらは、①現在の基準に従い作製されたもの(標準)、②標準に比べ、コンクリートの緻密性が劣り、空気量の少ないもの(低品質)、③標準に比べ、コンクリートの緻密性に優れ、空気量の多いもの(高品質)、④高品質なものにフライアッシュを加え、コンクリートをさらに緻密にしたもの、⑤標準に対し、養生方法を工夫したもの、⑥標準に対し、施工方法を工夫したものである。表 - 6に各床版の主な仕様を記載する。これらの供試体は、1年間自然環境に暴露され、その間にコンクリートのさまざまな性質(たとえ

表 - 6 各床版の主な仕様

	床版の種類	W/C (%)	空気量 (%)	養生方法
No.1	国交省標準仕様	55	45	湿布養生 7 日
No.2	低品質仕様	65	3.0	湿布養生 7 日
No.3	高耐久仕様 (膨張材)	45	6.0	湿布養生 7 日
No.4	最上級仕様 (膨張材 + FA)	45	6.0	湿布養生 7 日 + 上面灌水封緘養生 84 日
No.5	標準仕様 - 封緘養生案	55	4.5	湿布養生 7 日 + 上面灌水封緘養生 84 日
No.6	標準仕様 - 機械仕上げ案	55	4.5	湿布養生 7 日

ば、収縮膨張挙動、緻密性、剛性等)を計測する。1年後にはコアを採取し、大型環境試験装置を用いて各種耐久性試験(塩害、凍害等)を実施する。また、輪荷重走行試験機を用いて耐疲労性も評価する。さらにこれらの実験データを入力値とし、東京大学前川・石田研究室の協力を得てマルチスケール解析モデルを用いた、再現解析を行うとともに、100年にわたる長期耐久性シミュレーションを行う。以上の計測・実験・解析により得られた結果に基づき、凍結防止剤散布下においても、塩害、凍害、ASRに対する十分な耐久性を有し、かつ耐疲労性に優れたコンクリート床版を開発し、復興インフラをはじめとする現場に実装する予定である。プロジェクトの全体構想を図 - 6に示す。1月現在、本プロジェクトは施工後約6ヵ月が経過し、これらの床版上面の緻密性や膨張収縮挙動とこれに伴うひび割れ発生状況等に有意な差が表れ始めている。なお、本プロジェクトは5年計画で進めており、現在はRC床版を対象としているが、将来的にはPC床版も視野に検討を進めたいと考えている。

## 6. ま と め

以上、東北地方におけるPC構造物の劣化の現状、復興コンクリート構造物の長寿命化に向けた取組み、さらには凍結防止剤散布下における高耐久コンクリート床版の実現を目指したプロジェクトの概要について紹介してきた。以下にこれらの検討を通して、東北地方のような寒冷地においてPC道路橋を長寿命化させる際の留意点について整理する。

- (1) 東北地方はコンクリート構造物にとって厳しい環境にあり、日本海沿岸の塩害PC道路橋や凍結防止剤が散布されるPC道路橋では供用後わずか30年程度で架替えに至る事例が散見される。よってこの地に建設されるPC構造物は、設計耐用期間内に想定される作用を適切に評価し、構造物の性能評価に基づく設計・施工・維持管理を進める必要がある。
- (2) 凍結防止剤散布下においては、塩害、凍害、ASRが促進し、さらに疲労の影響を受けるため、道路構造物にとってもっとも過酷な環境といえる。このうち、凍害、塩害に対しては、W/C 45%以下、目標空気量 6.0% (下限 4.5%) のコンクリートと、防錆鋼材を使用することにより、耐久性の向上が見込まれる。一方、ASRに対しては、従来の試験方法で無害と判定されても有害な膨

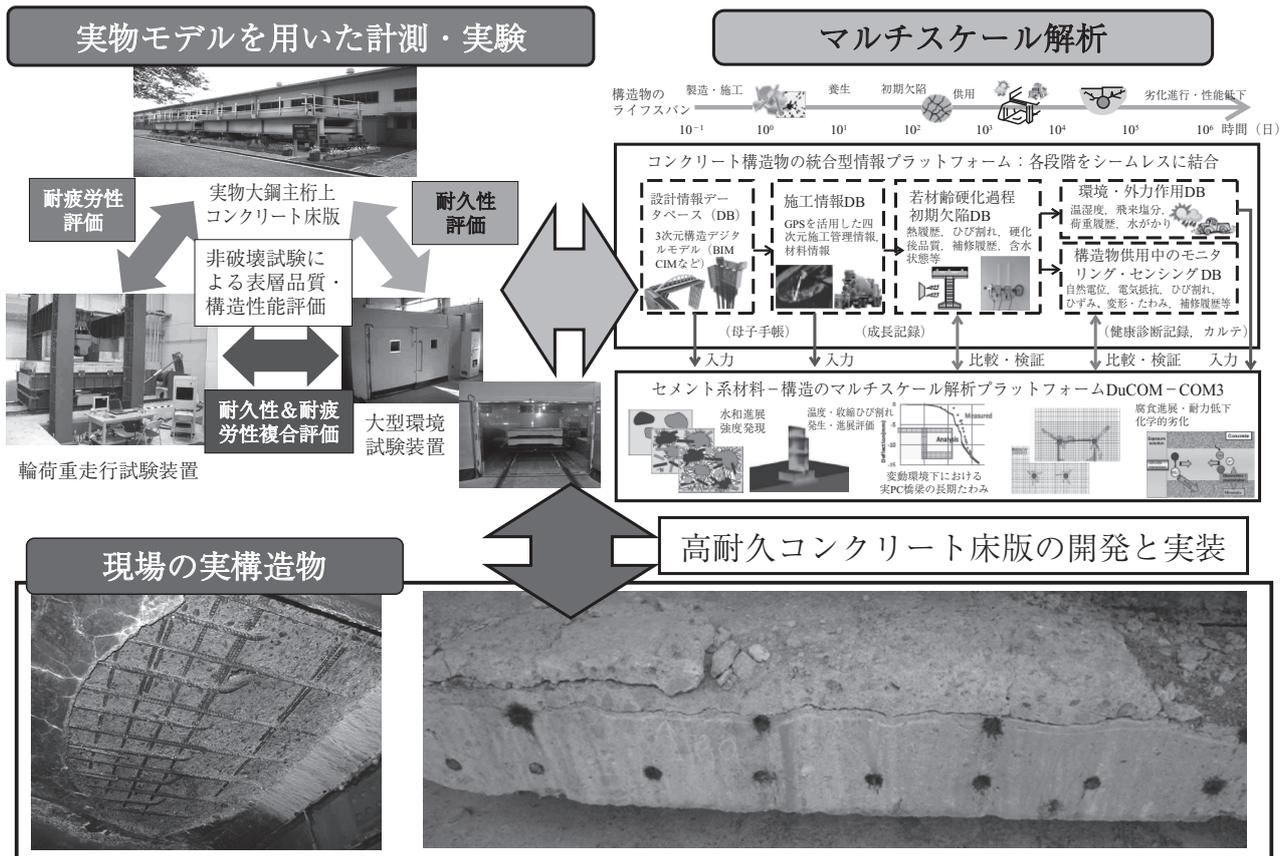


図 - 6 プロジェクトの全体構想

張を引き起こす恐れがあるため、このことを考慮した試験方法 (SSW) により膨張性の評価を行う必要がある。また、フライアッシュの使用は (3成分系であればさらに) ASR 抵抗性の向上に有効である。

- (3) 凍結防止剤散布のような厳しい環境下では、一つの劣化に対して複数の対策により効果を期待する多重防護の考え方を適用すべきと思われる。今後、その効果について定量的な評価を行う予定である。

こうした取組みを東北地方において積極的に実践すれば、仕様規定型から性能評価型へ、有事 (震災復興) から標準へ、東北から国内外へといったさまざまなブレイクスルーが生まれ、わが国の土木技術が他国に先んじてステップアップする好機になりえると思われる。本研究成果が PC に関する技術力向上の一助となれば幸いである。

参考文献

- 1) 国土交通省東北地方整備局東北技術事務所：東北地方におけるコンクリート構造物設計・施工ガイドライン (案), 2009
- 2) 岩城一郎, 上原子晶久, 子田康弘, 内藤英樹, 皆川 浩, 鈴木

- 基行：著しい塩害を受けた道路橋 PC 桁内部のコンクリートおよび鋼材の物性評価, 土木学会論文集 E, Vol.66, No4, pp.413-432, 2010.11
- 3) 岩城一郎, 子田康弘, 大越雅城, 上原子晶久, 鈴木基行：凍結防止剤により劣化したプレテンションホロスラブ桁橋の詳細調査とその劣化機構の解明, 土木学会論文集 E2, Vol.69, No.1, pp.53-66, 2013.1
- 4) 高橋正夫, 小林健一, 岩城一郎, 三浦 尚：空気量がコンクリートの諸性質に及ぼす影響 - 空気量 6.0 % 生コンの出荷に向けて -, コンクリートテクノ, Vol.32, No.10, pp.12-17, 2013
- 5) 北野勇一, 池田正行, 岩城一郎, 阿波 稔：プレキャスト PC 桁における空気量と耐凍害性に関する調査, プレストレストコンクリート工学会第 23 回シンポジウム論文集, pp.627-632, 2014.10
- 6) 日経コンストラクション：「新設コンクリート革命」11月21日号, 2014
- 7) コンクリート工学会：コンクリート工学, 復興と五輪に貢献するコンクリート, Vol.53, No.1, 2015
- 8) 前島 拓, 子田康弘, 土屋智史, 岩城一郎：塩害による鉄筋腐食が道路橋 RC 床版の耐疲労性に及ぼす影響, 土木学会論文集 E2, Vol.70, No.2, pp.208-225, 2014

【2015年1月13日受付】