

論文 北陸山間地域における道路橋 RC 床版の複合劣化の実態調査と対策の検討

河尻 留奈*1・深田 宰史*2・石川 裕夏*3・鳥居 和之*4

要旨：北陸山間地域の地方道では RC 床版の土砂化や陥没が多く発生しており、凍結防止剤の散布下での塩害およびアルカリシリカ反応(ASR)の発生が懸念されていた。本研究では、北陸地方(石川県および福井県)の地方道路橋の RC 床版の劣化状況の実態把握を目的にして、RC 床版から採取したコアにより塩分浸透量と ASR 潜在膨張性を調べるとともに、塩害、ASR さらに凍害の発生状況との関係を検討した。その結果、RC 床版内部にまで塩分が浸透し、RC 床版の鋼材腐食とコンクリート中の ASR が促進されるとともに、福井県内の一部の橋梁ではさらに凍害が加わった複合劣化の形態を確認できた。

キーワード：RC 床版、凍結防止剤、塩害、ASR、凍害、複合劣化

1. はじめに

北陸地方では、アルカリシリカ反応性を有する安山岩や流紋岩などを含む骨材が長年にわたりコンクリートに使用されてきたことから、全地域に ASR が発生している。特に、凍結防止剤(主に NaCl)を含む路面水が鉄筋コンクリート床版(RC 床版)に浸透すると、断面が薄い RC 床版内部の鋼材腐食や ASR を助長し、それがポットホールや土砂化、陥没などの原因の一つになっていることが予測された。北陸地方の高速道路橋 RC 床版の劣化調査では、RC 床版のひび割れから路面水が内部にまで浸透し、塩害と ASR による複合劣化が実際に発生していることが確認されている¹⁾。一方、北陸地方の白山麓に位置する地方道(国道 157 号および国道 158 号)の橋梁は、平野部に位置する北陸自動車道よりも自然環境条件が厳しい寒冷かつ豪雪地帯にあり、写真-1 に示すように、RC 床版の土砂化や陥没などのさらに深刻な劣化が発生していることが確認されている²⁾。国道 158 号の九頭竜湖周辺の一部の橋梁では、RC 床版の陥没事故が発生したために、臨時的迂回路を設けて、現場打ちコンクリートによる RC 床版打替えが実施されている。この際に撤去された RC 床版切断面を詳細に観察すると、写真-2 に示すように、上筋と下筋の間に ASR による多数の水平ひび割れが RC 床版の中央部に観察され、ASR 発生による RC 床版の耐荷力と剛性の低下による影響が確認できた。国道 157 号および国道 158 号のこれらの橋梁は、手取川や九頭竜川に沿った狭隘な地形にあり、迂回路を確保できないことから、これまで大規模な補修や補強、更新が適用できず、対処療法的な対策(断面修復と路面改修)が繰り返されてきた経緯があった。このため、北陸山間地域に位置する橋梁の RC 床版の維持管理では、まず塩害と ASR、さらに凍害による劣化状況の実態を正確に把握して、RC 床版の耐荷性および耐久性の評価に基づいて、合理的かつ経済的な

補修、補強さらに更新までの一連の対策を早急に決定することが必要であった^{3) 4)}。

そこで本研究では、北陸地方(石川県および福井県)の山越え



写真-1 凍結防止剤が散布された道路橋の路面損傷
(国道 158 号, H 橋)

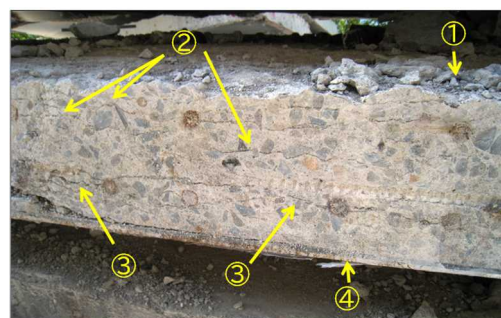


写真-2 RC 床版の切断面観察(国道 158 号, H 橋)

- ① 表面の土砂化とコンクリートの剥離
- ② ASR による微細ひび割れの発生
- ③ 鋼材腐食による水平ひび割れの発生
- ④ 接着鋼板の浮きとアンカーの抜け落ち

*1 金沢大学大学院 自然科学研究科環境デザイン学専攻 博士後期課程 (正会員)

*2 金沢大学 理工研究域地域社会基盤学専攻 教授 博士(工学) (正会員)

*3 福井宇部生コンクリート(株) 常務取締役 (正会員)

*4 中日本ハイウェイ・エンジニアリング名古屋(株) 本社 テクニカルアドバイザー 工博 (フェロー会員)

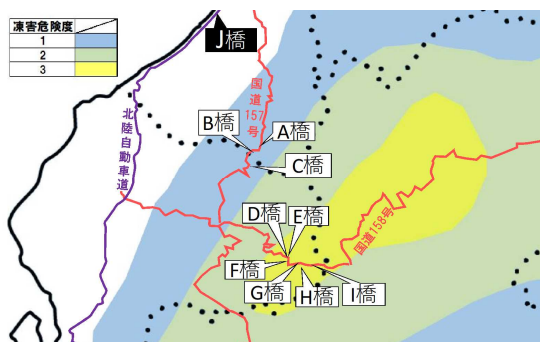


図-1 対象橋梁の位置と凍害危険度⁵⁾の関係

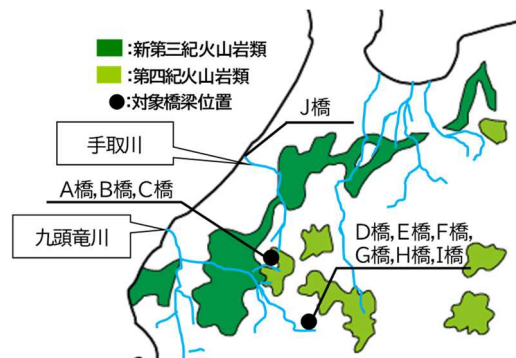
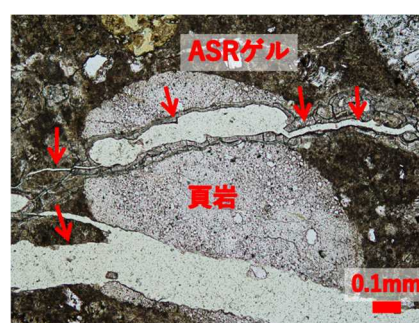
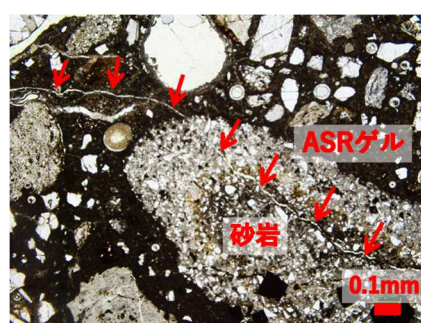


図-2 北陸地方の火山岩類分布⁶⁾と対象橋梁の位置



(a) 安山岩(砂利)の ASR ゲルとひび割れ (b) 砂岩(砂)の ASR ゲルとひび割れ (c) 頁岩(砂)の ASR ゲルとひび割れ

写真-3 RC 床版から採取したコアによる偏光顕微鏡観察(単ニコル, 国道 157 号, A 橋)⁴⁾

の地方道路橋 RC 床版の劣化状況の実態把握を目的にして、RC 床版から採取したコアにより塩分浸透量と ASR 潜在膨脹性を調べるとともに、塩害と ASR、凍害の発生状況の関係を検討した。さらに、地方道路橋 RC 床版の調査・診断と合理的かつ経済的な対策について提案した。

2. 対象構造物の概要

2.1 橋梁の構造諸元

対象構造物は、国道 157 号および国道 158 号の道路橋 RC 床版である。図-1 に橋梁の位置図を示す。橋梁の構造は、主に 4 本鋼主桁の単純合成鈑桁橋であり、A～C 橋は 1970 年代、D～I 橋は 1960 年代に竣工され、九頭竜ダムおよび手取川ダムの完成後に県に移管替えされた。設計は昭和 39 年の道路橋示方書に基づいており、床版厚は 170mm または 180mm が採用されているが、C 橋は昭和 48 年の道路橋示方書に準拠し、220mm が採用されている。また、コンクリートは現地の生コン工場およびダム工事プラントから出荷され、RC 床版の設計基準強度は 21 N/mm^2 または 24 N/mm^2 であり、普通ポルトランドセメントが使用されている。なお、国道 157 号の九頭竜湖周辺の橋梁 RC 床版の多くには、鋼板接着による補強が平成年代に実施されている。ここで、J 橋は高速道路に架設される橋梁(1970 年代に竣工、PC 箱桁橋、RC 床版の設計基準強度 24 N/mm^2)であり、後述する潜在膨脹性の評価と比較を行っている。

2.2 橋梁の自然環境条件

対象橋梁は、北陸地方の山間部(標高 500～680m)に位置

することから、北陸地方の中でも豪雪かつ寒冷地帯であり、冬期には凍結防止剤が多く散布されている。図-1 に示すように、凍害危険度⁵⁾は A～C 橋が「1」、D～I 橋が「3」に該当し、国道 157 号よりも国道 158 号がより厳しい凍害環境下にある。両路線は石川県および福井県の第 1 次または第 2 次緊急輸送道路に指定されている。また、平成 27 年度センサスによる交通量(小型車+大型車)および大型車混入率は、国道 157 号が 1,200 台および 12%程度で、国道 158 号が 1,700 台および 28%程度であった。これより交通荷重による疲労が直接的な劣化原因となる橋梁には該当しない。

図-2 に北陸地方に分布する火山岩・火砕岩類と対象橋梁の位置を示す。北陸地方の山間部では安山岩(急速膨脹性岩石)と流紋岩および流紋岩質溶結凝灰岩(遅延膨脹性岩石)による ASR が広く発生している。特に、北陸地方の白山麓から流れる九頭竜川や手取川上流域の河川には新生代第 4 紀以後の、比較的新しい火山岩や火砕岩が混入しているのが特徴である⁶⁾。写真-3 に偏光顕微鏡により観察した安山岩粒子から放射状に発生するひび割れと膨脹性の ASR ゲルの形態を示す。この安山岩粒子は反応性の高いクリストバライトやトリディマイトを含むものがあるので、安山岩粒子のペシマム混合率とその ASR 反応性との関係に注意が必要である。この他に、恐竜化石で有名な中生代白亜紀(手取層群)の砂岩や頁岩も含まれており、特に砂粒子の中でそれらの反応による ASR の痕跡を確認できる。なお、J 橋は手取川河口に位置する橋梁であり、コンクリート用骨材は手取川下流域で採取された砂利、砂が使用された。手取川



(a) 床版パネルによる劣化の相違



(b) 同一床版パネル内の湿潤部と乾燥部の相違

写真-4 RC床版下面の劣化状況(国道157号, B橋)

下流域の砂利や砂には安山岩や流紋岩などが含まれるが、当該地域にASRが発生している構造物は比較的少ない。

橋梁RC床版の劣化状況の一例を写真-4に示す。RC床版の下面には漏水跡とともにひび割れとASRゲルの滲出が顕著に観察された。山間地域の橋梁は縦断勾配が急で、曲線橋も多くあり、同一のRC床版でも路面水の浸透状況の相違によりASR発生の有無とその劣化状況が大きく相違していた。このため、RC床版調査においては、RC床版下面の観察結果に基づいて、「漏水部」と「乾燥部」とに区別して調査記録を整理することにした。また、中性化に関しては、A橋とC橋の中性化深さ(JIS A 1152)の測定結果を表-1に示す。路面水の影響を受ける床版上面よりも乾燥に晒される床版下面の方が中性化深さは大きい傾向であった。しかし、RC床版の乾燥部でも鋼材からの錆汁発生や打音によるコンクリートの浮きなどの異常音は確認されず、中性化による鋼材腐食の影響はほとんどないものと考えられた。

3. 橋梁RC床版の詳細調査の概要

RC床版の劣化状況の実態把握のため、試験を実施した。今回対象とした橋梁では予算などの関係で、同一の調査項目が実施されていないため、取得できたデータを使用して比較を行っている。

3.1 コンクリートの塩分量の測定

A橋とC橋において、RC床版下面に損傷が見られず、乾燥している「乾燥部」と、漏水やASRゲルが生じている「湿潤部」から貫通コア(直径55mmまたは直径100mm)を採取して、全塩化物イオン濃度(JIS A 1154)を測定した。同時に、一部の橋梁ではコンクリートのはつり調査より鋼材の腐食状況を調べた。

3.2 コンクリートの圧縮強度および静弾性係数の測定

橋梁RC床版上面または下面から、直径55mmの貫通コアを厚さ方向で採取し、コンクリートの圧縮強度および静弾性係数試験(JIS A 1108)を実施した。

3.3 コンクリートのアルカリシリカ反応性の評価

(1) 促進膨張量試験

コンクリートのASR発生の有無および潜在膨張性を調べ

表-1 RC床版から採取したコアの中性化深さ
(国道157号, A橋およびC橋)

橋梁	試料名	RC床版の測定箇所	中性化深さ	
			平均 (mm)	最大 (mm)
A橋	乾燥部	上面	1.1	5.7
		下面	13.1	33.6
A橋	湿潤部	上面	2.0	4.4
		下面	15.0	23.2
C橋	乾燥部	上面	0.0	0.0
		下面	10.9	15.5
C橋	湿潤部	上面	0.0	0.0
		下面	0.0	0.0

るために、RC床版上面から採取したコア(直径55mm, 長さ150mm)を用いて促進膨張量試験を実施した。促進膨張量試験は、A橋およびB橋についてはNaOH溶液浸漬法(通称カナダ法, 温度80℃の1N・NaOH溶液に浸漬)を実施した。また、C橋については、乾燥部および湿潤部からコアを採取し、飽和NaCl溶液浸漬法(通称デンマーク法, 温度50℃の飽和NaCl溶液に浸漬)を実施した。これは、凍結防止剤(NaCl)の浸透による膨張率の影響を調べることを目的としており、乾燥部および湿潤部から3本ずつコアを採取して比較した。なお、カナダ法とデンマーク法とではアルカリ溶液への暴露環境条件が異なり、カナダ法の方がデンマーク法より厳しい試験条件となる。

(2) 岩種構成率の測定

コアの側面展開図より直径5mm以上の粗骨材を対象にして、岩種判定結果に基づいてそれぞれの岩石の面積を算出し、国道157号のA橋および国道158号のI橋について岩種構成率(%)を求めた。

4. 詳細調査の結果と考察

4.1 コンクリートへの塩化物イオン浸透量

図-3にA橋およびC橋のRC床版の塩化物イオン濃度分布を示す。RC床版の乾燥部と比較して湿潤部の塩化物イオン濃度が高く、コンクリート内部にまで塩化物イオンが浸透していることが確認された。また、乾燥部では表面側

から内部にかけてほぼ一定の値で推移しているのに対して、湿潤部ではばらつきが大きいことも確認された。同一の RC 床版でもコアの採取位置によって塩化物イオン濃度の分布が大きく異なることから、山間地域の橋梁調査では採取位置の選定は非常に重要であった。また、打替えを実施した RC 床版のコンクリートを除去した際の鉄筋の腐食状況を写真-5 に示す。車両の走行位置(タイヤ位置)に鉄筋の腐食が確認され、他の橋梁の RC 床版においても、舗装や RC 床版のひび割れから浸透した塩化物イオンにより、上側鉄筋の腐食が発生していることが推察された。

4.2 コンクリートの圧縮強度および静弾性係数

RC 床版から採取したコアの圧縮強度と静弾性係数/圧縮強度比の関係を図-4 に示す。この図は、測定点が健全なコンクリートを示す曲線から原点に近づくほど ASR による劣化が進行していることを示す⁸⁾。RC 床版の多くのコアは健全なコンクリートを示す曲線から大きく離れ、また設計基準強度を下回るものもあり、コンクリートの ASR 劣化度が大きいと判断できた。その傾向は、乾燥部よりも湿潤部でより顕著であった。さらに、RC 床版からのコアには、層状の微細ひび割れや内部断裂が観察されたことから判断して、ASR によりコンクリートの脆弱化がかなり進行していることが推察できた。なお、凍害危険度「3」の国道 158 号のコアは凍害危険度「1」の国道 157 号のコアよりもコンクリートの静弾性係数/圧縮強度比が小さくなると予想されたが、その傾向は明確には認められなかった。また、国道 158 号は国道 157 号より竣工が 10 年程度早い、竣工年による違いも確認できなかった。

4.3 コンクリートの ASR の有無と潜在膨張性

コアの促進膨張量試験(NaOH 溶液浸漬法)の結果を図-5 に示す。表-2 に示す著者らの最近の研究⁹⁾によるコアの NaOH 溶液浸漬法の評価基準値(案)に従うと、A 橋の 14 日での膨張率は「潜在膨張性は極めて小さい」と評価された。また、B 橋は 0.20%を上回り、「潜在膨張性あり」と判定され、40 数年が経過したコンクリートでも ASR が今後も継続するものと推察された。手取川の河口に位置する高速道路橋 J 橋の膨張率が緩やかに増進しているのに対して、A 橋および B 橋は急激に増加しているのが特徴であった。A 橋および B 橋は手取川ダムの上流部に位置し、同じ手取川産骨材の中でも白山

表-2 コアの NaOH 溶液浸漬法における評価基準値(案)⁹⁾

膨張率(14日) ^{※1, 2}	表記	潜在膨張性の判定
0.05%未満	潜在膨張性：なし	構造物の現在および将来の維持管理にて、ASR は問題とならない(潜在膨張性なし)。
0.05%以上 0.10%未満	潜在膨張性：極小	反応性岩石が少ないまたはほとんど無い(潜在膨張性は極めて小さい)。
0.10%以上 0.20%未満	潜在膨張性：小	反応性岩石を少量含有するが、遅延膨張性骨材の膨張挙動を示す。ASR はほぼ収束している(潜在膨張性は小さい)。
0.20%以上	潜在膨張性：大	反応性岩石を多く含有しており、とくに、0.4%以上は ASR 膨張が継続する。急速膨張性骨材の膨張挙動を示す(潜在膨張性は大きい)。

※1 ASTM C1260 の判定結果と対応させたもの。

※2 0.05%未満は「非 ASR」と扱う。それ以外は「認 ASR」とする。

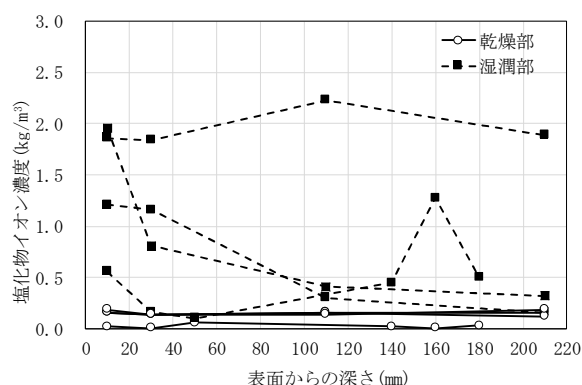


図-3 RC床版の塩化物イオン濃度分布
(国道 157 号, A 橋および C 橋)



写真-5 RC床版の車両走行位置での上側鉄筋の腐食状況
(国道 157 号, B 橋)

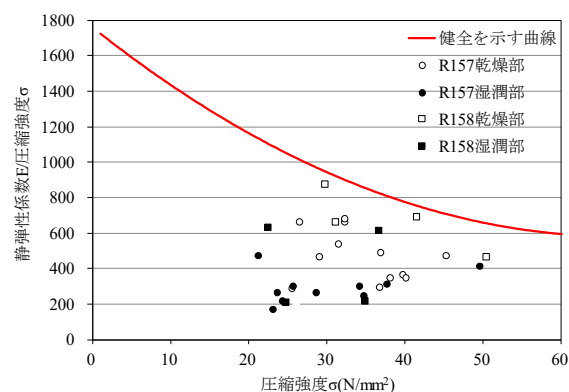


図-4 圧縮強度と静弾性係数/圧縮強度の関係

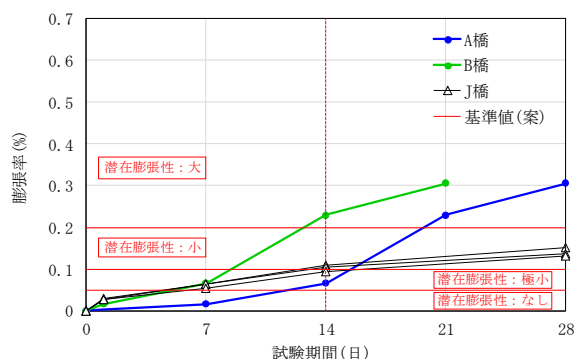


図-5 RC床版の促進膨張量試験の結果
(国道 157 号, A 橋および B 橋, NaOH 溶液浸漬法)

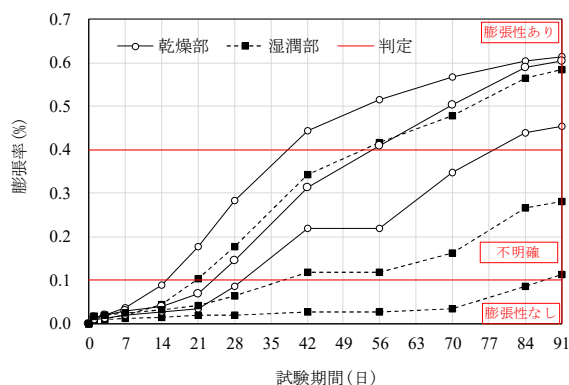


図-6 RC床版の促進膨張量試験の結果
(国道157号, C橋, 飽和NaCl溶液浸漬法)



写真-6 親柱に発生したASRおよび凍害による
ひび割れと表面剥離(国道158号)

表-3 RC床版の使用骨材(川砂利)の岩種構成率(国道157号A橋および国道158号I橋)

単位: %

橋梁	安山岩	流紋岩	流紋岩 質溶結 凝灰岩	花崗岩	閃緑岩	砂岩	頁岩	泥岩	礫岩
A橋(国道157号)	7.2	19.9	19.3	28.9	0.7	10.7	2.7	10.5	0.0
I橋(国道158号)	6.6	33.5	8.1	9.0	0.0	15.6	5.9	0.0	21.2

周辺の上流域には反応性の高い安山岩や流紋岩が混入しているのに対して、手取川下流域ではそれらの岩種がかなり少なく、反応性も小さいものに変化している¹⁰⁾ことが関係していると考えられる。このように、白山を起源とする北陸地方の河川では上流域から下流域になるに従い反応性の岩種の量が次第に少なくなり、ASRに対してより安定な岩種構成率になる傾向が認められた。

コアの飽和NaCl溶液浸漬法の結果を図-6に示す。飽和NaCl溶液浸漬法は浸漬後91日での膨張率で、0.1%未満を「膨張性なし」、0.1%以上0.4%未満を「不明確」、0.4%以上を「膨張性あり」と判定した。これによると、乾燥部のコアは「潜在膨張性あり」と判断された。また、乾燥部は湿潤部より膨張率が高い傾向になった。これは、湿潤部はNaClを含む路面水の供給によりASRがすでに進行し、50年以上経過した現在までにASR膨張能力が低下したことによるものと考えられる。このことから、飽和NaCl溶液に浸漬させる本試験法は、凍結防止剤を散布する環境下を模擬した試験法として適切であるといえる。その一方で、両試験法ではコア採取位置と凍結防止剤の浸透状況との関係によってコアの膨張挙動が大きく相違することにも注意する必要がある。

表-3にA橋(国道157号)とI橋(国道158号)の岩種構成率を示す。床版コンクリートに使用された骨材は、国道157号が手取川上流域、国道158号が九頭竜川上流域で採取されたものである。粗骨材の岩種構成率は類似しており、安山岩の含有比率も同程度であることから、両路線で使用された骨材(河川産の砂利および砂)のアルカリシリカ反応性は同程度であると考えられた。

5. 道路橋RC床版の調査診断と今後の維持管理

北陸地方の地方道の橋梁RC床版では、交通荷重による疲労と中性化による鋼材腐食は発生していないものと判断された。したがって、凍結防止剤を含む路面水の浸透による塩害とASR、さらには凍害による複合劣化が橋梁路面のポットホールやひび割れ、さらにRC床版の土砂化や陥没の発生原因であると判断できた。

RC床版の調査方法に関しては、橋梁の縦断・横断勾配や路面の変状(凹凸)などの関係で、路面水が集中的に流下する箇所があり、コアを採取する際には、アスファルト路面とRC床版下面の劣化状況より適切な位置を決定することが重要であった。また、昭和50年代に実施した金沢大学の現地調査より、当時のRC床版には橋軸直角方向に乾燥収縮によるひび割れがすでに発生していたことも判明している。これらの要因が影響して、橋梁の塩分浸透量のばらつきが同一の床版パネル内でも大きくなり、コアによる各種試験結果にもその相違が表れていた。このため、現地調査より路面水の浸透状況を的確に予測して、試料採取位置を決定することがより重要である。今回のように、ASR発生が予測される橋梁RC床版では劣化が発生している箇所(湿潤部)と健全な箇所(乾燥部)とを区別して、それぞれから貫通コアを採取し、両者の結果を比較検討することが調査・診断において望ましいと考えられる。また、写真-6に示すように、山間地域での凍害による劣化発生状況の判断に関しては、道路橋の縁石や親柱に着目して観察することにより、ASRによる微細ひび割れがコンクリートのスケリングによる剥離に発達する劣化過程を明確にすることができた。

一方、これらの橋梁RC床版は再劣化と路面の補修(断面

修復)を繰り返しており、今後も劣化が急速に進行すると予想されることから、50年以上が経過した現在では更新による抜本的な対策が必要になっている。現在、国道158号では、中部縦貫自動車道の完成までの5年までを想定した一時的な対策として、橋梁の交通荷重および速度制限の実施と、舗装の陥没事故防止のための橋面荷重分散機能の向上による対策が検討されている。これらの橋梁での合成鋼板桁の構造を考慮し、迂回路の設置が難しい河川に沿った区間では、夏季に当該路線を一時的に通行止めにすることを管理者が判断したうえで、高耐久・高強度プレキャスト(PCa)床版による取替えを検討することが恒久的な対策として妥当であると考えている。この際には、橋台および橋脚などの下部工のASRや塩害、さらに凍害による劣化をまず補修し、その後RC床版撤去時の鋼板桁の主桁を補強し、橋梁の構造耐力を確保することが前提となる。なお、北陸地方では、ASRおよび塩害対策としてのフライアッシュコンクリートを使用したPCa床版による取替えの実績¹⁾がすでに高速道路橋などであるので、施工期間の短縮を目的にして、PCa床版の標準使用による山間地域での施工の合理化対策の確立が期待されている。

6. まとめ

北陸地方における凍結防止剤散布下での地方道路橋RC床版の調査より、塩害とASR、さらに凍害が加わった複合劣化が進行していた。本研究で得られた主要な結果をまとめると以下のとおりである。

- (1) 対象橋梁の地域は凍害危険度が「1」または「3」に該当した。また、RC床版のコンクリートには主に安山岩粒子によるASRが発生していた。
- (2) RC床版の乾燥部と比較して湿潤部の塩化物イオン濃度が高く、RC床版内部にまで塩化物イオンが浸透していた。また、打替えを実施したRC床版の上側鉄筋に腐食が確認された。
- (3) RC床版から採取したコアの圧縮強度と静弾性係数/圧縮強度の関係より、RC床版の多くのコアは健全なコンクリートを示す曲線から大きく離れており、コンクリートのASRと凍害による脆弱化が進行していた。
- (4) コアの促進膨張試験の結果より、採取したコアは「潜在膨張性あり」の判定となり、乾燥部は湿潤部より膨張率が高い傾向になった。これは、湿潤部はNaClを含む路面水の供給によりASRがすでに進行し、40年以上経過した現在までにASR膨張能力が低下したことによるものであった。
- (5) 対象橋梁のRC床版は、更新による抜本的な対策が必要であり、当該路線を一時的に通行止めにし、PCa床版への取替えを検討することが望ましいと考えられた。この際に、橋台および橋脚をまず補修し、鋼桁の補強により構造耐力を確保することが必要であった。さらに、

高耐久・高強度のPCa床版の標準使用化が期待された。

謝辞

本研究の実施に当たり、福井県、石川県土木部並びに建設コンサルタント会社の皆様方より多大なご協力を頂きました。この場を借りて深く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 河尻留奈, 橋本啓汰, 深田宰史, 青山敏幸, 鳥居和之: 積雪寒冷地における高速道路橋コンクリート床版の劣化調査と電気防食工法による延命化対策, 土木学会インフラメンテナンス実践研究論文集, pp.134-143, 2022
- 2) 石川裕夏, 久保善司, 横山広, 出口一也: 凍結防止剤がコンクリート構造物に及ぼす影響に関する実態調査, コンクリート工学年次論文集, Vol.34, No.1, pp.766-771, 2012
- 3) 橋吉宏: 既設床版における技術, 橋梁と基礎, Vol.54, pp.27-30, 2020
- 4) 野村昌弘, 安藤陽子, 広野真一, 津田誠, 鳥居和之: 積雪寒冷地における鋼橋 RC 床版の骨材劣化の特徴, コンクリート構造物の補修, 補強, アップグレード論文報告集, 第18巻, pp.421-426, 2018
- 5) 日本建築学会: 建築工事標準仕様書・同解説 JASS5 鉄筋コンクリート工事 2018, 2018
- 6) 鳥居和之, 野村昌弘, 参納千夏男, 広野真一: 中部地方における反応性骨材の岩石・地質学的調査とフライアッシュコンクリートの地域実装, コンクリート工学, Vol.59, No.4, pp.321-328, 2021
- 7) 野村昌弘: 北陸地方におけるコンクリート用骨材のアルカリシリカ反応性の評価に関する研究, 金沢大学学位請求論文, pp.91-112, 2007
- 8) 小林一輔, 森弥広, 野村健二: 圧縮載荷試験によるアルカリ骨材反応の診断方法, 土木学会論文集, No.460, pp.151-154, 1993
- 9) 河尻留奈, 稲葉尚文, 可計皓規, 石川裕一, 鳥居和之: コンクリート構造物から採取したコアのアルカリシリカ反応性と潜在膨張性の評価に関する研究, コンクリート構造物の補修, 補強, アップグレード論文報告集, 第21巻, pp.520-525, 2021
- 10) 鳥居和之, 麻田正弘, 石井浩司: 金沢大学 SIP コンクリート橋の早期劣化機構の解明と材料・構造性能評価に基づくトータルマネジメントの開発 研究成果報告書—北陸地方におけるASR問題の解決を目指して—, 2016
- 11) 鳥居和之, 深田宰史, 浦修造: フライアッシュコンクリートを使用した高耐久プレキャスト PC 床版の開発と社会実装, プレストレストコンクリート, Vol.59, No.2, p.96-103, 2017