

論文 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

石川 裕夏*1・久保 善司*2・横山 広*3・出口 一也*4

要旨：北陸地方では凍結防止剤の影響によるコンクリート構造物の劣化が進行しており、凍結防止剤による複合劣化も指摘されている。本研究では、凍結防止剤がコンクリート構造物の劣化の進行に及ぼす影響を検証する目的で橋梁の実態調査を行った。その結果、凍結防止剤が散布されている橋梁の方が散布されていない橋梁に比べて、劣化の損傷程度や損傷割合が大きいことが示された。また、凍結防止剤が凍害によるスケールリングを助長している傾向があることやアルカリ骨材反応を促進していることも確認され、凍結防止剤が複合劣化に及ぼす影響についても示唆された。

キーワード：凍結防止剤, 塩害, 複合劣化, アルカリ骨材反応, 凍害, 北陸地方

1. はじめに

北陸地方は日本海に面した急峻な地形特性を有し、特に、冬期における日本海側からの強い季節風や降雪、山間部における厳しい低温下環境は塩害や凍害等を引き起こす要因となり、コンクリート構造物にとってきわめて厳しい劣化環境下にある。これに加えて、この地域は安山岩などの火山岩で構成される地質特性を広く有しており、アルカリ骨材反応も顕著である。このため、コンクリート構造物の劣化被害の数およびその程度も他の地域よりも深刻な状況にある。さらに、凍結防止剤による影響も顕在化してきており、適切な維持管理を行うことを目的とした凍結防止剤によるコンクリート構造物への塩分浸透性状^{1),2)}や複合劣化に関する報告がされている³⁾。

本研究では、本地域におけるコンクリート構造物の劣化の要因の一つとして凍結防止剤に着目し、本地域の橋梁の実態調査を行い、凍結防止剤がコンクリート構造物の劣化の進行に及ぼす影響を検証することとした。

2. 目視を中心とした実態調査

2.1 実態調査の概要

実態調査の対象とした橋梁は、北陸地方山間部のダム湖周辺に架橋された道路橋である。この地区は、北陸の中でも豪雪地帯として知られ、冬期に車両通行止めの規制が行われる道路と冬期も供用される道路に区分される。冬期も供用される道路では、凍結防止剤の散布が常時行われている。これら冬期に凍結防止剤が散布されている橋梁と車両通行止めの規制がとられて凍結防止剤が散布されていない橋梁の劣化状況を比較することで凍結防止剤の散布の影響の有無を検証することとした。

凍結防止剤が散布されている橋梁として調査対象と

した橋梁は、図-1 に示すとおり、ダム湖右岸に架橋された橋梁 18 橋 34 径間 (A～R 橋)、凍結防止剤が散布されていない橋梁として調査対象とした橋梁は、ダム湖左岸に架設された 3 橋 5 径間 (s～u 橋) である。これらの橋梁は、いずれもダムが建設された 1960 年代のほぼ同時期に架設されているほか、いずれの橋梁もダム工用の現地コンクリートプラントからコンクリートが供給された可能性が高く、使用されたコンクリートの材料特性も概ね同様といえる。したがって、凍結防止剤以外の要因は同様のものと扱うことができるため、両者の橋梁調査を行い、比較検討することで凍結防止剤散布の影響のみを検討することが可能であると判断した。



図-1 調査対象とした橋梁の位置図

2.2 調査対象とした橋梁の概要

(1) 凍結防止剤が散布される橋梁の現況条件

凍結防止剤の散布量の推移を図-2 に、これらの橋梁の現況条件を表-1 に示す。凍結防止剤が散布される橋

*1 福井宇部生コンクリート (株) 常務取締役 工修 (正会員)

*2 金沢大学 理工学域環境デザイン学類 准教授 工博 (正会員)

*3 (株) 国土開発センター技術開発研究所 設計事業部構造部 首席技師 (正会員)

*4 福井県 土木部道路保全課 主査 (正会員)

梁が架橋されている道路は日本海沿岸部と内陸を結ぶ主要幹線道路であることからネットワーク特性が強く、冬期には凍結防止剤が常時散布される。本道路での凍結防止剤の散布量は、単位面積散布量 1.36~3.31kg/m²/年、区間平均散布量 23~51g/m²/回で推移している。

(2) 凍結防止剤が散布されていない橋梁の現況条件

凍結防止剤が散布されていない橋梁の現況条件を表-2 に示す。凍結防止剤が散布されていない橋梁が架橋されている道路はダム湖と内陸集落を結ぶ道路で冬期間は通行止めが行われる道路である。交通量はきわめて少なく、凍結防止剤が散布される上述の橋梁と比較して大型車の通行もほとんどない。

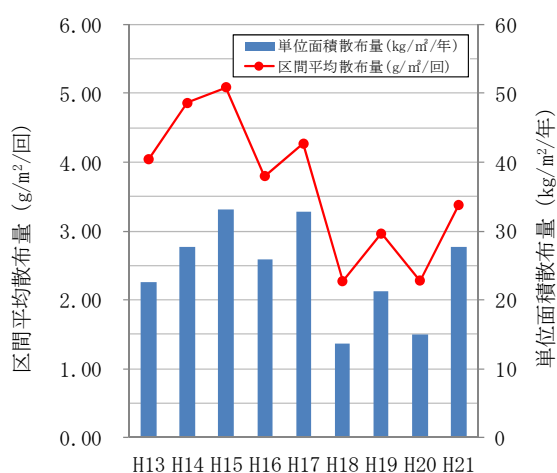


図-2 凍結防止剤の散布量の推移

表-1 凍結防止剤が散布されている橋梁の現況条件

橋梁・径間数	18 橋 34 径間
建設時期	1961~1967 年
架橋標高	H=480~570m 付近
凍結防止剤の散布状況 (平成 13~21 年の平均値)	2.44kg/m ² /年 (37g/m ² /回)
現況交通量 (平成 17 年交通センサス)	1772 台/日 (大型混入率 35.1%)

表-2 凍結防止剤が散布されていない橋梁の現況条件

橋梁・径間数	3 橋 5 径間
建設時期	1967 年
架橋標高	H=560~600m 付近
凍結防止剤の散布状況	散布なし (冬期間通行止め)
現況交通量 (平成 17 年交通センサス)	125 台/日 (大型混入率 12.8%)

2.3 調査方法

(1) 調査部位

調査部位については、コンクリート部材のみに着目し、

上部工(床版)と下部工(橋台・橋脚)に分けて調査を行うことにした。ただし、表-1、表-2 に示すとおり、凍結防止剤が散布されている橋梁と凍結防止剤が散布されない橋梁で交通量が大きく異なることから、上部工(床版)については、交通荷重の影響を受けにくい床版張出部、下部工(橋台・橋脚)については、同様に橋台および橋脚の端部(梁端部)の劣化程度の比較検証を行うことにした。

(2) 調査方法

劣化程度の調査については、表-3 に示す橋梁定期点検要領(案)⁴⁾の基準に準じて分類を行った。

なお、今回の分類については、調査部位ごとに表-3 で示される損傷が1箇所でも存在すればカウントすることとし、調査部位単位で同じ損傷が複数箇所存在する場合は、そのうちの最も大きな損傷程度で1カウントとすることで劣化程度の割合を整理した。

表-3 損傷状況と損傷程度の分類表

損傷名	a	b	c	d	e
ひびわれ (最大幅/最小間隔)	無	小/小	小/大 中/小	中/大 大/小	大/大
剥離・鉄筋露出	無	-	剥離	腐食軽微	著しく腐食
漏水・遊離石灰	無	-	漏水	遊離石灰	著しい
抜け落ち	無	-	-	-	有
コンクリート補強材の損傷	無	-	一部剥離	-	著しい剥離
床版ひびわれ (ひび割れ間隔)	1 方向 1.0m 以上	1 方向 0.5m 以上	2 方向 0.5m 程度	2 方向 0.2m 以上	2 方向 0.2m 以下
うき	無	-	-	-	有
路面の凹凸	無	-	20 mm ≥ 段差	-	20 mm ≤ 段差
舗装の異常	無	-	-	-	ひび割れ ≥ 5 mm 浮き・ポットホール
変形・欠損	無	-	一部欠損	-	著しく欠損

2.4 目視調査の結果と比較検証

(1) 上部工(床版張出部)

凍結防止剤が散布されている橋梁上部工(床版張出部)の調査結果を図-3 に、凍結防止剤が散布されていない橋梁上部工(床版張出部)の調査結果を図-4 に示す。

凍結防止剤が散布されている橋梁では、「剥離・鉄筋露出」、「漏水・遊離石灰」に関して、損傷程度が最も大きい「損傷程度 e」が一部で見られるほか、凍結防止剤が散布されていない橋梁では生じていない「うき」、「変形・欠損」の劣化が生じた橋梁も一部で見受けられた。凍結防止剤が散布されている橋梁で生じた「変形・欠損(損傷程度 e)」の状況を写真-1 に示す。凍結防止剤が浸透し、鉄筋腐食が大きく進行した結果、かぶりコンクリートが剥落し、欠損を生じたものと考えられる。

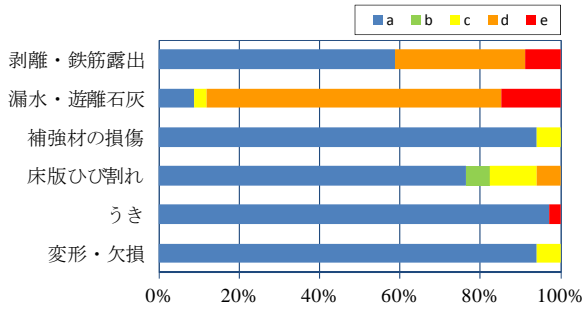


図-3 凍結防止剤が散布されている橋梁の劣化割合
上部工(床版張出部)の調査結果

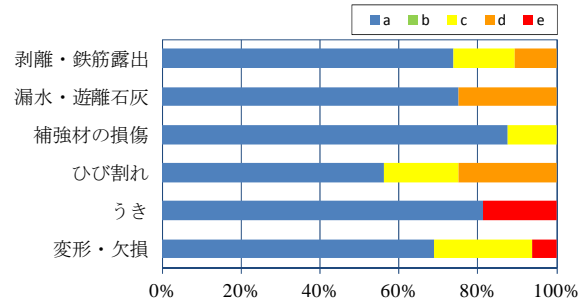


図-5 凍結防止剤が散布されている橋梁の劣化割合
下部工(橋脚梁端部)の調査結果

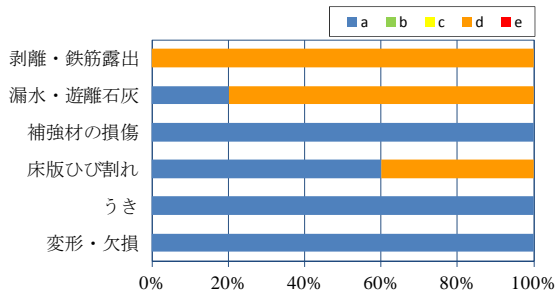


図-4 凍結防止剤が散布されていない橋梁の劣化割合
上部工(床版張出部)の調査結果

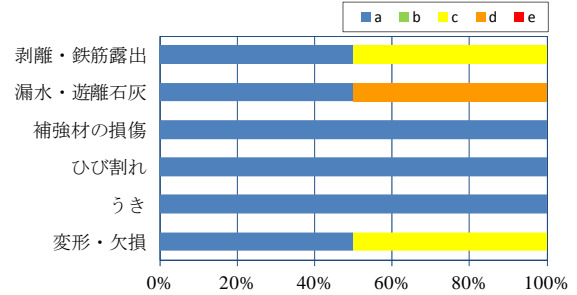


図-6 凍結防止剤が散布されていない橋梁の劣化割合
下部工(橋脚梁端部)の調査結果



写真-1 変形・欠損の状況 (I橋)

(2) 下部工(橋脚梁端部)

凍結防止剤が散布されている橋梁下部工(橋脚梁端部)の調査結果を図-5に、凍結防止剤が散布されていない橋梁下部工(橋脚梁端部)の調査結果を図-6に示す。

凍結防止剤が散布されている橋梁のみで、「ひび割れ」や「うき」、「補強材の損傷」がみられ、劣化の損傷程度も大きい。また、凍結防止剤が散布されている橋梁では、「変形・欠損」に関して、損傷程度が最も大きい「損傷程度e」が一部で認められた。

(3) 下部工(橋台端部)

凍結防止剤が散布されている橋梁下部工(橋台端部)の調査結果を図-7に、凍結防止剤が散布されていない橋梁下部工(橋台端部)の調査結果を図-8に示す。

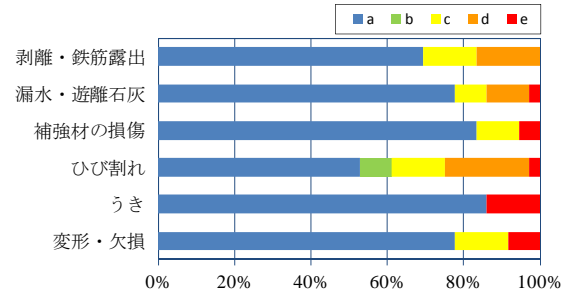


図-7 凍結防止剤が散布されている橋梁の劣化割合
下部工(橋台端部)の調査結果

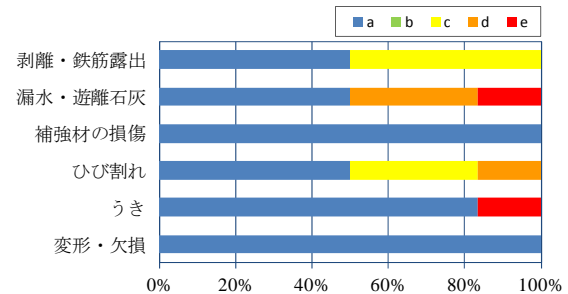


図-8 凍結防止剤が散布されていない橋梁の劣化割合
下部工(橋台端部)の調査結果

凍結防止剤が散布されている橋梁のみで、「補強材の損傷」や「変形・欠損」がみられ、全体として劣化の損傷程度も大きい。写真-2に、凍結防止剤が散布されてい

る橋梁で生じた「剥離・鉄筋露出（損傷程度 d）」の状況を示す。



写真-2 剥離・鉄筋露出の状況 (E橋)

2.5 目視調査による比較検証のまとめ

目視調査の比較検証の結果、凍結防止剤の散布が行われている橋梁の方が全体として劣化の損傷程度や損傷割合が大きいたことが確認された。

上部工の床版張出部においては、凍結防止剤の散布が行われている橋梁のみで「損傷程度 e」の損傷が最も大きい判定結果が得られ、さらには、凍結防止剤が散布されていない橋梁では見られない「うき」や「変形・欠損」が生じていることも確認された。下部工の橋脚梁端部・橋台端部についても、凍結防止剤の散布が行われている橋梁で、特に「ひび割れ」、「うき」、「変形・欠損」の損傷程度や損傷割合が大きいた結果となった。したがって、凍結防止剤散布の有無によって損傷程度や損傷割合が大きく異なり、その影響は極めて大きいものと考えられる。特に、損傷程度の大きな段階に至るものもあるため、凍結防止剤の影響を受けやすい部位等箇所の点検を強化するなどの対策を行うとともに、その進行速度を適切に把握し、維持管理を行うことが重要と考えられる。

3. 凍結防止剤が散布されている橋梁の詳細調査

3.1 詳細調査の概要

目視調査の結果、凍結防止剤の散布が行われている橋梁の方が劣化の進行が大きいたことが確認された。しかしながら、凍結防止剤が及ぼす影響範囲や影響程度については目視調査のみでは限界があり、十分には明らかにすることができなかった。

そこで、凍結防止剤が散布されている橋梁の劣化の詳細な状況や凍結防止剤の影響をより詳細に検討するため、凍結防止剤が散布され、損傷の程度が比較的大きい橋梁を対象に詳細調査も行った。詳細調査では、上部工を中心に、より詳細な外観目視調査のほか、圧縮強度および静弾性係数、塩化物イオン含有量などの試験を行った。

3.2 詳細調査を行った橋梁の概要

詳細調査の対象となった橋梁の位置図を図-9に、橋梁の概要を表-4に示す。対象とした橋梁は、図-1にも示したC橋、E橋、F橋、J橋、M橋である。

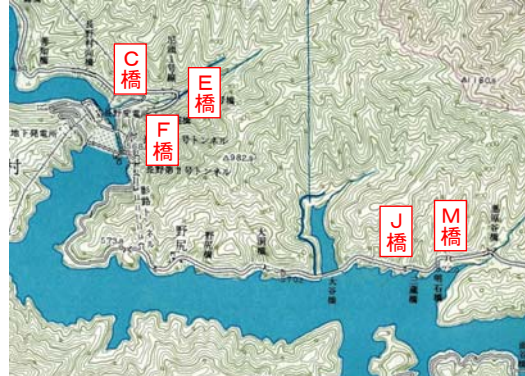


図-9 詳細調査の対象橋梁位置図

表-4 詳細調査の対象橋梁の概要

橋梁名	架橋年次	橋長 (径間長)	橋種・構造
C橋	1966年	46.10m (15.65+30.45m)	RCT桁+単純活荷重合成鉄桁 逆T式橋台・ラーメン橋脚
E橋	1966年	20.60m (20.6m)	単純活荷重合成鉄桁 逆T式橋台
F橋	1966年	60.80m (30.40+30.40m)	単純活荷重合成鉄桁(2連) 逆T式橋台・ラーメン橋脚
J橋	1966年	64.70m (36.10+28.60m)	単純活荷重合成鉄桁(2連) 逆T式橋台・ラーメン橋脚
M橋	1967年	38.90m (21.95+16.95m)	単純活荷重合成鉄桁(2連) 重力式橋台・T型橋脚

3.3 詳細調査の結果

(1) 外観目視調査

近接目視およびアスファルト舗装の状況などを加えて外観目視調査を行った。調査対象となった部位ごとの劣化の特徴を以下に示す。

いずれの橋梁でも床版上面のアスファルト舗装で多くのポットホールが発生が認められた(写真-3参照)。また、ポットホールが生じた下部の床版コンクリートにおいては、砂利化⁵⁾などによって脆弱化していた。砂利化の原因については明らかにされていないものの、凍結防止剤が散布される床版での発生事例もあり、凍結防止剤を伴う水分供給および力学作用(疲労作用)の複合的な原因によるものと推察される。

床版下面部で鋼板接着工が行われた補強材の一部で、錆による腐食やパネルのうきが生じていた。張出下面部を中心に剥離や剥落、遊離石灰の析出が見られ、一部で鉄筋の露出が生じていた。橋台端部を中心に亀甲状のひび割れが生じ、コンクリートの剥離、剥落、さらには凍害によると推察されるスケーリングも認められた。対象とした橋梁においては、外観的な損傷が複雑であり、劣

化原因の特定も容易ではなかった。その原因として、塩害および凍害に加えて、アルカリ骨材反応などが同時に発生している可能性が高いことが考えられる。



写真-3 舗装面に生じたポットホール（E橋）

(2) 圧縮強度および静弾性係数試験

各橋梁の床版における圧縮強度試験および静弾性係数試験の結果を図-10に示す。

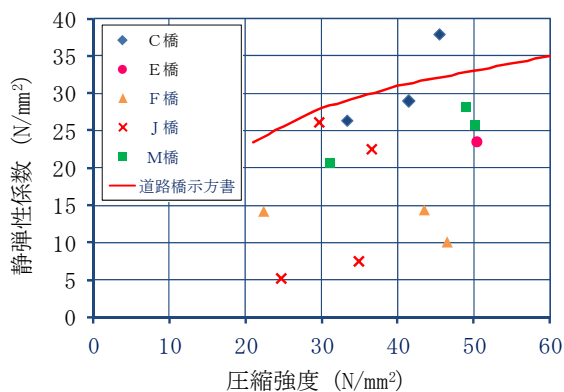


図-10 圧縮強度と静弾性係数の関係

圧縮強度試験の結果は、ほぼ全てで設計基準強度を満たす結果であった。ただし、これらの圧縮強度試験は、コア抜きが可能な個所で採取した供試体の試験結果であり、砂利化が生じてコア抜きが行えないような個所では、圧縮強度が著しく低下している可能性も考えられる。

静弾性係数については、全ての橋梁で圧縮強度に対して低い値を示し、道路橋示方書に示される設計値よりも大きく低下している橋梁が多数確認された。静弾性係数の低下からは、アルカリ骨材反応が生じている可能性が高いものと考えられる。

また、写真-4に示すように、採取したコアの多くで水平ひび割れが生じていた。これは、アルカリ骨材反応によって、鉄筋拘束のない厚さ方向への膨張で生じた水平ひび割れの影響と考えられる⁶⁾。



写真-4 採取したコアの水平ひび割れの状況

(3) 塩化物イオン含有量試験

各橋梁の床版における塩化物イオン含有量試験の結果を図-11に示す。

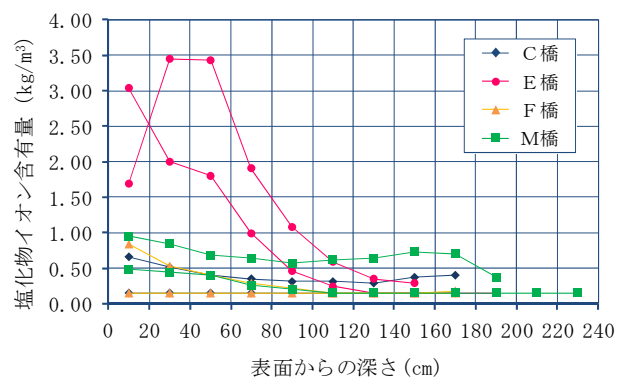


図-11 塩化物イオン含有量の分布

塩化物イオン含有量試験の結果は、E橋以外はすべて鉄筋部で塩化物イオン含有量 1.2kg/m³以下（鋼材腐食発生限界濃度以下）であった。E橋については、鉄筋部で塩化物イオン含有量 1.80kg/m³、3.45kg/m³と鋼材腐食発生限界濃度を超過しているが、現段階で鉄筋腐食の顕著な傾向は見られない。E橋のみが突出して塩化物イオン含有量が大きくなっているのは、曲率半径の小さい曲線橋で、かつ前後の道路縦断勾配が大きいことから凍結防止剤の散布量を増やしていることが推察されることや曲線橋で支持桁の不等沈下等の影響でひび割れが他橋よりも進行し、塩分の浸透が多くなったことなどが考えられる。

(4) 電子顕微鏡観察 (SEM 観察および EDS 分析)

採取されたコア観察から、すべての橋梁の試料で骨材の周りに白色析出物が確認された。これらの白色析出物は電子顕微鏡観察 (SEM 観察および EDS 分析) の結果、アルカリ骨材反応により生成されたゲル (アルカリ-カルシウム-シリカ型) であることが確認された。

3.4 凍結防止剤の影響

圧縮強度に対する静弾性係数の低下、水平ひび割れが多く生じたコアの状況、電子顕微鏡観察 (SEM 観察および

び EDS 分析) による調査の結果から、今回対象とした橋梁の床版コンクリートで生じている劣化は、アルカリ骨材反応によるものと考えられる。さらに、これ以外の劣化の影響として、外観目視により確認された凍害によるスケーリングなども一部受けていた。

一方、凍結防止剤の影響を直接的に示す塩化物イオン含有量については、E 橋以外のすべての橋梁で、鉄筋部における塩化物イオン含有量は 1.2kg/m^3 以下（鋼材腐食発生限界濃度以下）であった。鉄筋部で鋼材腐食発生限界濃度を超過している E 橋についても、現段階で鉄筋腐食などの顕著な傾向は見られなかった。したがって、これらの橋梁における凍結防止剤による直接的な影響は、現段階でそれほど顕著ではないと考えられる。したがって、今回の調査対象とした橋梁においては、凍結防止剤によってアルカリ骨材反応が促進され、それらの進行によってコンクリート床版の劣化が進行したものと考えられる。

他方、2.目視を中心とした調査において、凍結防止剤散布の有無を比較調査した結果からは、凍結防止剤が散布されている橋梁の方が劣化の頻度や程度が大きい傾向が認められ、アルカリ骨材反応以外の劣化についても劣化を助長しているものと考えられる。詳細調査にあわせて行った外観目視調査でも、凍結防止剤が散布されている橋梁で凍害によるスケーリングが特に地覆コンクリート部で進行していた（写真-5 参照）。アルカリ骨材反応による劣化の進行についても、凍結防止剤が散布されている橋梁の方が全体としてひび割れ密度が大きく、ひび割れ幅も大きいことが確認された（写真-6 参照）。したがって、凍結防止剤の散布は複合劣化を助長させる要因となっているものと考えられる。



写真-5 凍害によるスケーリングの劣化程度の違い
(左：凍結防止剤散布橋梁 右：非散布橋梁)



写真-6 アルカリ骨材反応による劣化程度の違い
(左：凍結防止剤散布橋梁 右：非散布橋梁)

また、アルカリ骨材反応や凍害などで生じたひび割れ部から凍結防止剤による塩分がコンクリート内部に直接浸透し、鉄筋の腐食やアルカリ骨材反応を加速させてコンクリート全体の劣化を促進している可能性も考えられた。

4. まとめ

- (1) 目視調査の結果、凍結防止剤の散布が行われている橋梁の方が、全体として劣化の損傷程度や損傷割合が大きいことが確認された。凍結防止剤の散布の有無によって劣化の発生時期とその進行が大きく異なり、その影響はきわめて大きいものと考えられる。
- (2) 詳細調査の結果、今回対象とした橋梁の床版コンクリートで生じている劣化は、アルカリ骨材反応によるものであった。凍結防止剤によってアルカリ骨材反応が促進された結果、コンクリート床版の劣化が進行したものと考えられる。また、地覆コンクリート部を中心に、凍結防止剤が凍害によるスケーリングを助長している事例も確認された。
- (3) 今回の調査の結果、凍結防止剤を起因とする損傷程度の大きな橋梁が確認されたほか、凍結防止剤による複合劣化の可能性も示唆された。凍結防止剤の影響を受けやすい部位などの点検を強化するなどの対策を講じるとともに、その進行速度を適切に把握し、維持管理を行うことが重要であるものと考えられる。

参考文献

- 1) 本荘清司, 中野将宏, 藤原規雄, 葛目和弘, 牧博則: 凍結防止剤によって塩害劣化した鋼橋 RC 床版の詳細調査, 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, Vol.10, pp. 51-56, 2010
- 2) 石川裕一, 青山實伸, 倉戸伸浩, 西尾守広: 劣化した道路鋼橋 RC 床版の凍結防止剤による塩分浸透特性, コンクリート工学年次論文集, Vol.32, No.2, pp. 1393-1398, 2010
- 3) 横山広ほか: 凍結防止剤の影響を受けた構造物の実態調査, 平成 19 年度土木学会中部支部研究発表会講演概要集, pp.423-424, 2008.3
- 4) 国土交通省: 橋梁定期点検要領 (案), 2004.3
- 5) 森寛晃, 久我龍一郎, 小川彰一, 久保善司: 劣化した RC 床版から採取した砂利化試料の分析について, 第 65 回セメント技術大会講演要旨, pp.296-297, 2011
- 6) 久保善司, 佐古崇, 川崎文義, 横山広: 床版部材の ASR 膨張挙動と FRP シート貼付けによる膨張抑制, コンクリート年次論文集, Vol.31, No.1, pp. 1243-1248, 2009.