

報告

凍害・ASRによる複合劣化が生じたRC床版の調査事例

角間恒*, 佐藤孝司**, 渡邊晋也***, 谷倉泉****

*博(工), (国研)土木研究所 寒地土木研究所 (〒062-8602 札幌市豊平区平岸1条3丁目1-34)

**(国研)土木研究所 寒地土木研究所 (〒062-8602 札幌市豊平区平岸1条3丁目1-34)

***博(工), (一社)施工技術総合研究所 (〒0417-0801 静岡県富士市大淵3154)

****工修, (一社)施工技術総合研究所 (〒0417-0801 静岡県富士市大淵3154)

北海道における道路橋 RC 床版では、疲労に加え、凍害が耐久性低下の主要因とされているが、近年では、アルカリシリカ反応（以下、ASR）も加えた凍害・ASR・疲労による複合劣化の事例が報告されるようになってきた。本報では、北海道内で46年間供用された凍害・ASR・疲労の3要因による複合劣化が疑われる道路橋 RC 床版について、劣化損傷状況や要因の把握を目的として実施した非破壊・微破壊試験、採取コアによる力学特性試験およびASRの反応性診断を実施した結果について報告する。

キーワード：RC床版，複合劣化，積雪寒冷地

1. はじめに

積雪寒冷地にあるコンクリート構造物では、疲労に加え、凍害が主たる劣化要因であり、道路橋 RC 床版（以下、床版）においては、上面への水の浸入に起因するコンクリートの砂利化や層状ひび割れが顕在化している。一方、北海道には安山岩などのクリストパライトを含む反応性の高い骨材が広く分布し、橋梁の各部位において凍害とアルカリシリカ反応（以下、ASR）を含む複合劣化事例が報告されるようになってきている。

本報では、北海道内で46年間供用された凍害・ASR・疲労の3要因による複合劣化が疑われる床版（写真-1）について、劣化損傷の状況や要因を把握するため、撤去床版を対象に、非破壊・微破壊試験および採取コアによる圧縮・静弾性係数試験を行った結果を報告する。

2. 調査概要

2.1 橋梁の概要

調査を実施した橋梁の設置環境および橋梁構造を表-1に示す。対象橋梁は、図-1のようなRC床版を有する橋長34mの単純合成鋼桁橋（2径間3主桁）の曲線橋であり、凍害危険度が3の地域に位置し、平成22年の道路交通センサスによる大型車交通量は192台/日（上下合計）である。都市部の重交通路線と比較して大型車交通量は少ないものの、積雪寒冷地特有の凍結融解作用を受ける橋梁と言える。また、文献2によると、凍害とASRの複合劣化の可能性のある地域に属する。過去に橋



写真-1 床版下面の状況

表-1 橋梁の設置環境および構造の概要

交差物件	河川
設置環境	積雪寒冷地（凍害危険度3）
大型車交通量	192台/日（上下合計）
上部工形式	2径間単純合成鋼桁橋 橋長：34.00m 幅員：8.20m
架設年次	昭和46年
適用基準	昭和39年鋼道路橋設計示方書
補修履歴	平成7年 橋体高欄塗替 平成17年 地覆補修，高欄補修 耐震補強

梁の各種補修が行われているが、床版の補修は実施されていない。なお、橋面防水層は未設置である。

写真-1は、現地踏査時に撮影した床版下面の状況であり、中間床版の下面には白色析出物を伴う亀甲状のひび割れおよび部分的な湿潤箇所が見られ、床版に発生するASRの特徴的な変状を呈していると考えられる。

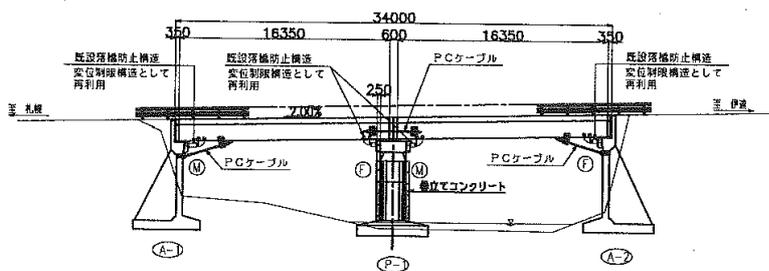


図-1 橋梁一般図

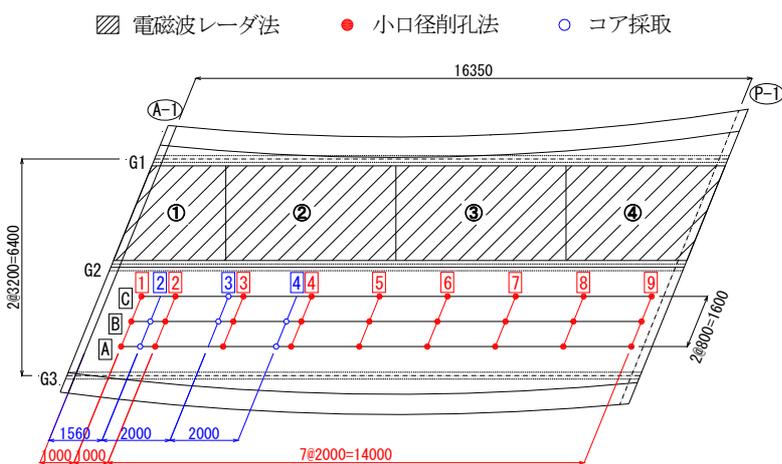
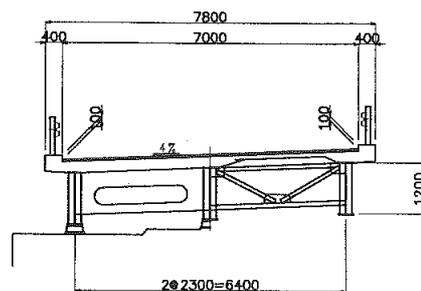


図-2 調査箇所



写真-2 電磁波レーダ法による調査状況



写真-3 Single-i 工法による調査状況

2.2 調査内容

床版の劣化状態および要因を把握するために各種調査を行った。調査は、第1径間を対象に、撤去床版の目視調査、電磁波レーダ法および小口径削孔法による内部欠陥の調査、コンクリート試験片を対象としたゲルフルオレッセンス法によるASRの反応性の診断および採取コアによる圧縮・静弾性係数試験を実施した。

(1) 撤去床版およびコアの目視観察

本調査では、床版内部の劣化状況の把握を目的に、床版撤去工における切断面の観察および採取したコアの目視観察を行った。

(2) 電磁波レーダ法による内部欠陥の調査

積雪寒冷地の床版では、床版上面におけるコンクリートの砂利化が広く進行し、床版コンクリートの陥没を招く。床版上面の劣化・損傷は、舗装表面からの目視による検出が困難であることから、より迅速かつ広範囲に脆弱部の範囲や深さを調査することが求められる。本調査では、図-2の斜線で示すG1-G2桁間の車線について、床版上面の劣化・損傷状況の把握を目的に、電磁波レーダ法による内部欠陥の調査を行った(写真-2)。なお、調査には、ニチレキ(株)が開発した「床版キャッチャー」

3)を使用した。

(3) 小口径削孔法による内部欠陥の調査

床版の凍害やASRには、床版内部で層状のひび割れが進展する特徴がある。本調査では、床版内部におけるひび割れの発生状況を把握するため、「Single i 工法」⁴⁾を用いた小口径削孔法による内部観察を行った(写真-3)。

調査箇所を図-2に示す。橋軸直角方向に3列(A~C)、橋軸方向に9列(1~9)の側線を設定した。

(4) 採取コアによる圧縮・静弾性係数試験

撤去床版から採取したコンクリートコア(φ100mm)により圧縮・静弾性係数試験を実施した。コアの採取位置は図-2に示す6箇所であり、小口径削孔法による調査箇所の近傍から採取し、内部観察の結果とコンクリートの力学的特性を比較できるようにした。なお、後述するように、本床版には調整コンクリートと推察される層が確認されており、これを切断・除去して試験に供した。

(5) ゲルフルオレッセンス法によるASRの反応性診断

撤去床版から採取したコンクリート片に対し、ゲルフルオレッセンス法によるASRの反応性の診断⁵⁾を実施した。試験片の採取位置は伸縮装置部の近傍とし、ハンマー打撃により破砕した際の破断面を観察した。

3. 調査結果

3.1 撤去床版およびコアの目視調査

写真-4 に、撤去床版における切断面の状況の例を示す。切断面においては、床版コンクリートと舗装との間に品質が異なるコンクリート層が見られた。点検調査等によると床版補修の履歴がないことから、中間のコンクリート層は調整コンクリートと推察される。床版コンクリートにおいては、調整コンクリートとの境界部から下側鉄筋の範囲まで水平方向のひび割れが見られ、特に上側鉄筋の上方においてその密度は高くなる。切断面を観察する限りでは、粗骨材の割れも見られたが、水平方向のひび割れの多くは、粗骨材の界面を進展するものであった。調整コンクリートにおいては、舗装との境界での砂利化が広範囲わたり発生していた。

写真-5 に、伸縮装置近傍から採取したコアの状況を示す。舗装、調整コンクリート、床版コンクリートに分離した状態であった。床版コンクリートには、概ね全断面にわたって粗骨材の割れや粗骨材界面のはく離が見られる。

3.2 電磁波レーダ法による内部欠陥の調査

図-3 に、電磁波レーダ法による調査結果として、かぶりコンクリートについて内部欠陥の有無を分析した結果を示す。図において、赤色の枠で示した箇所が、電磁波の不連続な反射（異常反射）が確認された箇所であり、コンクリートの砂利化や鉄筋上方での床版コンクリートの水平ひび割れ、滞水を表していると推察される。図を見る限りにおいては、本床版ではコンクリートの劣化が全面ではなく部分的に生じているものと考えられる。なお、現時点で舗装の開削を行っておらず、調査結果の精度については、今後の検証が必要である。

3.3 小口径削孔法による内部欠陥の調査

写真-6 に、小口径削孔法による調査結果の例として、調査箇所B列における内部の側視撮影画像を示す。また、表-2 は、調査結果の概要であり、表中の数字はひび割れあるいは砂利化の検出位置（舗装表面からの深さ）を意味する。

まず、走行方向への調査位置に着目すると、滞水が生じやすい端部（伸縮装置）においてコンクリートのひび



写真-4 撤去床版側面の状況

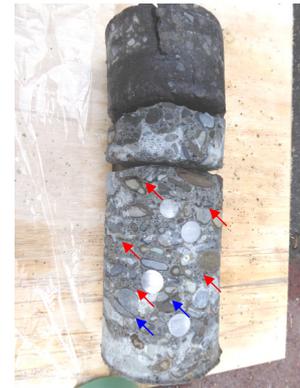


写真-5 採取コアの状況

← ひび割れ ← 骨材の割れ

割れや砂利化が発生し、1-C、2-C、9-B においては深さ方向の複数の位置で水平ひび割れが発生していることが確認された。一方、走行直角方向への計測位置に着目すると、本床版では横断勾配 4%が設置され、C 列において滞水が生じやすく内部欠陥が発生しやすい条件と予想されたが、明確な差異は見られず、A、B、C 列ともにひび割れあるいは砂利化が生じていた。

3.4 圧縮・静弾性係数試験

図-4 は、採取コアに関する静弾性係数と圧縮強度の関係であり、図中の実線は、土木学会コンクリート標準示方書（以下、示方書）における同関係を示す。図より、採取位置 3-B および 4-B においては、試験結果が示方書での関係と概ね一致し、コンクリートが健全であると判断できる。一方、その他のコアでは、健全全部に対して圧縮強度が低下し、また示方書と比較して静弾性係数が著

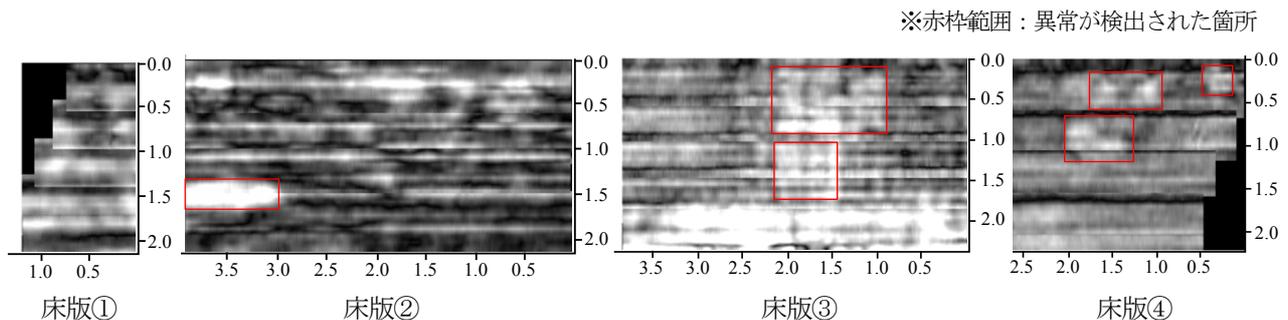


図-3 電磁波レーダ法による内部欠陥調査結果

表-2 小口径削孔法による内部欠陥調査結果の概要

		1	2	3	4	5	6	7	8	9
A	砂利化	48, 98	35, 102	—	—	—	42	15	35	40
	ひび割れ	—	—	—	—	—	—	88	85	—
B	砂利化	64	—	—	—	—	—	42	—	56
	ひび割れ	112	124	—	—	124	—	106	—	115, 129
C	砂利化	81	62	—	—	—	—	—	—	61
	ひび割れ	127, 152	113, 122	—	—	—	100	99	92	—

※数字はひび割れ・砂利化の検出位置（舗装上面からの距離，単位：mm），「—」は検出なしを意味する。

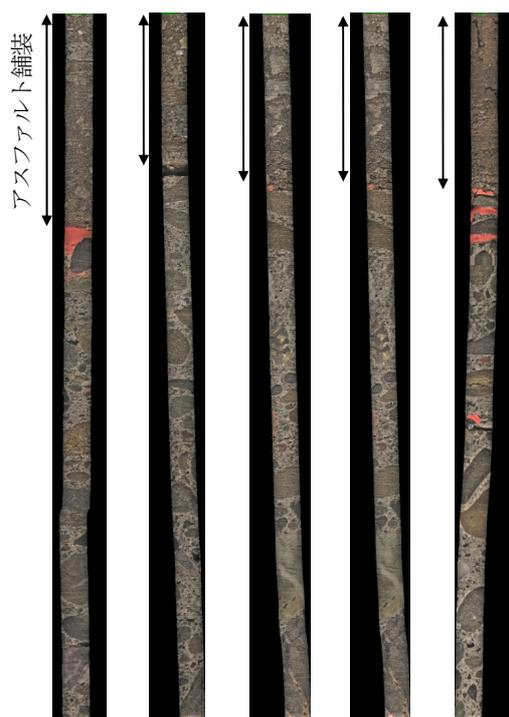


写真-6 小口径削孔法による内部欠陥調査の結果
（左から 1-B, 3-B, 5-B, 7-B, 9-B）

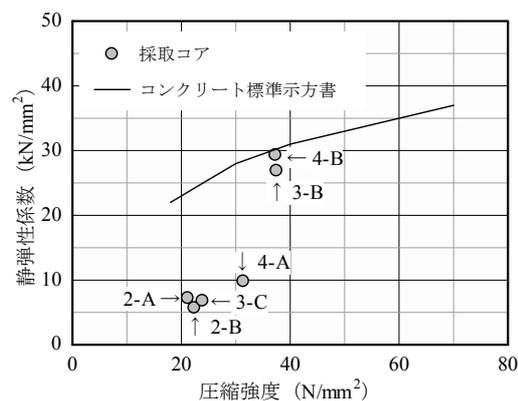
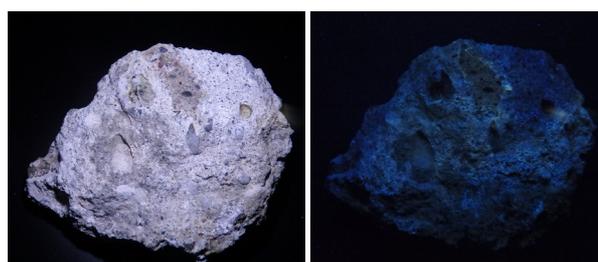


図-4 採取コアの力学的特性



(a) 白色灯下 (b) 紫外線灯下
写真-7 発光状況写真

しく低下しており、凍害あるいはASRによる内部欠陥の影響を受けているものと考えられる。

3.5 ゲルフルオレッセンス法によるASRの反応性診断

写真-7に、ゲルフルオレッセンス法によるASRの反応性診断における発光状況を示す。写真では、程度は弱いものの、骨材の周辺における発光が見られ、ASRによる反応性有と診断される。

4. おわりに

本報告では、凍害、ASR、疲労による複合劣化が疑われるRC床版について、劣化損傷状況や要因を把握するために実施した基礎的調査の結果を報告した。本橋梁は既に架替えに至っているが、著者らは撤去床版を入手する機会を得た。今後は、撤去床版を使用して詳細な調査および載荷試験を実施する予定である。

参考文献

- 1) 長谷川寿夫, 藤原忠司: コンクリート構造物の耐久性シリーズ 凍害, 技報堂出版, 1988.
- 2) 日本コンクリート工学協会: 複合劣化コンクリート構造物の評価と維持管理計画研究委員会 報告書, 2001.
- 3) 永塚竜也, 近藤成則: RC床版上面の損傷と路面のひび割れ, 土木学会第70回年次学術講演会講演概要集, CS10-007, 2015.
- 4) 渡邊晋也, 谷倉泉, 佐藤智: コンクリート床版内部に発生した水平ひび割れの微破壊調査方法, 土木学会第70回年次学術講演会講演概要集, CS10-006, 2015.
- 5) 参納千夏男, 丸山達也, 山戸博晃, 鳥居和之: ゲルフルオレッセンス法によるASR簡易診断手法の開発, コンクリート工学年次論文集, Vol.35, No.1, pp.973-978, 2013.

(2016年7月18日受付)