

平成24年度

一般国道275号志寸川橋の床版陥没について —防水層を含めた床版の劣化損傷状況の調査—

(独) 土木研究所 寒地土木研究所 寒地構造チーム ○澤松 俊寿
(独) 土木研究所 寒地土木研究所 寒地構造チーム 岡田 慎哉
札幌開発建設部滝川道路事務所 山崎 達哉

供用開始から46年が経過した積雪寒冷地の道路橋RC床版に対して劣化損傷状況を確認するために舗装上面からの非破壊調査、床版防水層の目視調査および引張接着試験、床版切断面の観察等の各種調査を実施した。床版防水層については、地覆近傍において防水層の接着強度が極めて低い傾向にあったことから、特に確実な管理のもとに防水層を設置する必要があることがわかった。また、床版の切断面において上面の砂利化の他に、多数の水平方向のひび割れが認められる部分があった。本RC床版においては層状剥離の発生、層状剥離の進展・増加、かぶりコンクリートの砂利化の順に劣化損傷が進展したものと考えられる。

キーワード：維持管理、RC床版、床版防水、積雪寒冷地

1. はじめに

平成24年5月29日に一般国道275号志寸川橋においてRC床版の陥没が発生した¹⁾。陥没発生後の即座の交通規制、復旧作業により第3者被害はなく、翌日には交通開放された。

道路橋のRC床版は、輪荷重を直接受けるために損傷の発生しやすい部材であり、その劣化損傷の主たる要因は輪荷重の繰り返しによる疲労とされている²⁾。

一方で近年、積雪寒冷地においては、都市部の路線と比較して交通量が少ないにも関わらず、床版コンクリート上面部の劣化損傷が散見され、陥没に至った事例も数件が認められる。これらは、寒冷地特有の気象条件や環境条件に起因する凍害すなわち凍結融解と、輪荷重の繰り返しによって生じる複合劣化と考えられ、この現象は道路の規格に関係なく北海道の全域に及ぶ兆候さえ呈していることが調査結果³⁾より確認されている。また既往の実験によると、凍害等により床版上面が劣化したと想定して上面のかぶりコンクリートを1cm程度でも薄くした場合には、有効床版厚の減少により床版の疲労耐久性が著しく低下することが示されている⁴⁾。

1950年代後半から1970年代初めの高度経済成長期に建設された膨大な数の道路橋の床版を始めとして、今後、多数の部位に凍害と疲労による劣化損傷の発生が予想されることから効率的・効果的な維持管理を実施していくことが望まれる。そのためには、凍害と疲労による劣化損傷の特性を考慮した維持管理手法として、劣化損傷の調査手法、残存寿命の評価手法、補修方法等を確立する必要がある。本研究では、これらの維持管理手法を確立していくための基礎資料を得ることを目的に、平成24年

9月から行われている志寸川橋の床版全面打ち換えの際に、RC床版の劣化損傷状況等について各種調査を実施した。そのうち、本報では床版防水層、床版コンクリートの損傷状況、舗装上面からの非破壊調査の結果の一部について報告する。なお、志寸川橋の橋梁諸元や床版陥没の発生状況等については文献¹⁾を参照されたい。

2. 積雪寒冷地のRC床版に関する維持管理技術と本調査の目的

(1) 床版上面コンクリート劣化部の点検手法

前述のとおり積雪寒冷地のRC床版では、床版上面のコンクリートが脆弱化する損傷形態を示す傾向にある。床版の維持管理計画の策定や補修範囲を判断するためには、舗装上面から橋面全体にわたって床版の健全度を把握する必要がある。点検手法としては叩き点検が一般的であるが、より迅速かつ広範囲に床版上面コンクリートの脆弱化部分の範囲や深さを調査する新たな手法も望まれる。また、床版コンクリートの補修時においても、脆弱化したコンクリートを確実に除去したことを管理する調査手法も必要である。

本調査では、床版の損傷状況の把握および調査手法の適用範囲等を検討するために、現状において一般的な手法である叩き点検と、交通規制を必要としない電磁波を用いた手法による調査を実施した。

(2) 積雪寒冷地におけるRC床版の劣化損傷メカニズム

維持管理においては、床版の調査結果を踏まえ疲労寿命を評価し、残存供用年数を考慮した補修計画を策定す

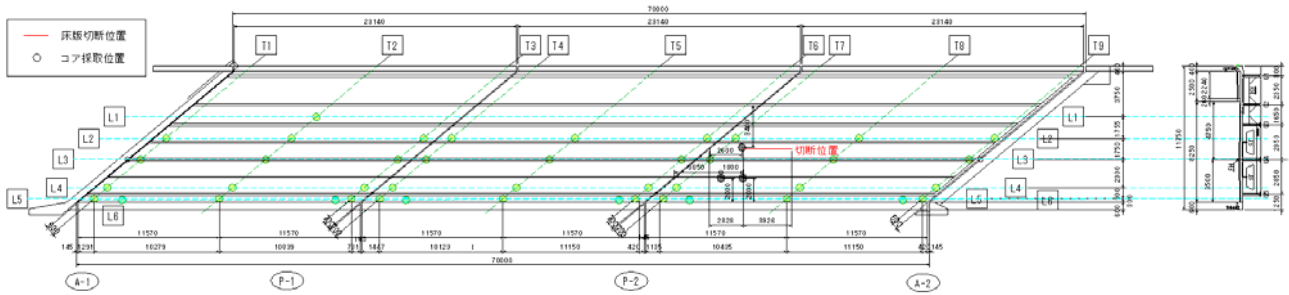


図-1 舗装、防水層、コンクリートコアの採取位置および床版の切断位置



(a) 叩き点検 (b) 電磁波を用いた調査

図-2 舗装上面からの非破壊調査

表-1 舗装上面からの非破壊調査手法の概要

	叩き点検	電磁波を用いた調査
概要	・ハンマーの打撃音により異常部を検出	・電磁波により異常部を検出 ・車両牽引式で 60 km/h で走行しながら調査可能
交通規制	・必要	・不要
その他	・簡便で多くの実績 ・時間と労力が大	・データの解釈に熟練技術が必要

る必要がある。積雪寒冷地におけるRC床版の疲労寿命の評価は、凍害と疲労による床版の劣化損傷メカニズムを踏まえた手法に基づく必要がある。

本調査では、床版の劣化損傷形態を把握するために床版切断面の観察を実施した。

(3) 床版内部への水の浸入抑制

床版内部へ水が浸入すると床版の疲労耐久性が著しく低下²⁾し、積雪寒冷地では凍害の誘因にもなる。志寸川橋では床版内部への水の浸入抑制として平成19年に床版防水層（以下、「防水層」という。）が設置されている。

本調査では施工から約5年が経過した防水層の健全性を確認するために橋面全体の系統的な位置に対して引張接着試験を実施した。

3. 調査の方法

(1) 舗装上面からの床版の非破壊調査

Toshikazu Sawamatsu、Shin-ya Okada、Tatsuya Yamazaki

表-2 舗装、防水層、コンクリートコアの採取位置

方向	測線	概要	輪荷重の影響	水の影響
橋軸方向	L1	歩道近傍	小	大
	L2	輪荷重の車輪間	小	中位
	L3	センターラインCL	小	小
	L4	輪荷重走行帯	大	中位
	L5	地覆近傍	小	大
	L6	排水マス近傍	小	大
橋軸直角	T1, T4, T7	伸縮装置近傍 (A1側)	大	大
橋軸直角	T2, T5, T8	支間中央	小	小
橋軸方向	T3, T6, T9	伸縮装置近傍 (A2側)	大	大

床版の損傷状態の把握、および調査手法の適用性の検討を目的として舗装上面からの非破壊調査を実施した。調査は従来から一般的に用いられている叩き点検（図-2 (a)）と、電磁波を用いた調査⁵⁾（図-2(b)）の2つの手法による。調査手法の概要を表-1に示す。叩き点検は陥没発生部周辺を含む約40×6mの範囲において35×35cmの格子に対して実施し、電磁波を用いた手法は橋面全面について実施した。

(2) 防水層の目視調査

舗装を撤去した状態で防水層および排水設備の状況を目視により確認した。志寸川橋は平成19年に車道部に防水層が設置されており、その種類は地覆端部および車歩道境界から幅50cmの範囲がウレタン吹付け防水層、その他の部分がアスファルト加熱型塗膜防水層である。

(3) 防水層の引張接着試験

防水層とコンクリートおよび舗装との接着性を確認するために、舗装、防水層、床版コンクリートからなるコアを採取し引張接着試験を実施した。コアの直径は100mmとし、図-1に示す位置について45本のコアを採取した。コアの採取位置は表-2のような橋軸方向および橋軸直角方向の測線において系統的に決定している。試験方法は道路橋床版防水便覧⁶⁾に準拠し、23℃に温度調整した室内において試験を実施した。

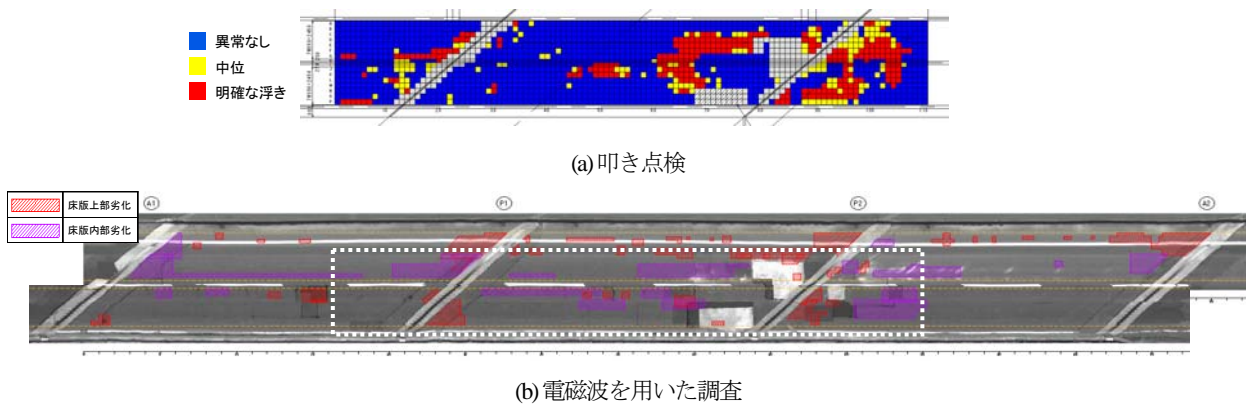


図-3 舗装上面からの非破壊調査結果



図-4 防水層の状況

(4) 床版断面の観察

床版の損傷状況を確認するために、現地から撤去された床版を切断し切断面の目視調査を実施した。図-1 に示すG4桁と縦桁 (ST) の間について約4mにわたって橋軸方向に床版を切断した。切断の位置は舗装上面の損傷状況や舗装補修跡、床版下面のひび割れやエフロレッセンスの滲出状況を総合的に考慮し、床版コンクリートの健全部および劣化損傷部を含む範囲とした。

4. 調査の結果

(1) 舗装上面からの床版の非破壊調査の結果

舗装上面からの床版の非破壊調査の結果を図-3 に示す。叩き点検では調査結果を明確な異音が認められる部分 (赤：明確な浮き)、健全な打音が認められる部分 (青：健全) および両者の中間の部分 (黄：中位) に分類した。また、電磁波を用いた手法では上側鉄筋よりも上方の範囲、すなわちかぶりコンクリートにおいて電磁波に異常な反射が認められる範囲 (床版上部劣化)、上

側鉄筋よりも下方の範囲において電磁波に異常な反射が認められる範囲 (床版内部劣化) に分類した。

叩き点検、電磁波を用いた調査ともに、伸縮装置周辺等で床版の異常を判定する結果となっている。今後は、現地から切り出した床版の損傷状況の観察結果等と叩き点検、電磁波を用いた手法それぞれの結果を対比して、各手法の適用範囲について検討する予定である。

(2) 防水層の目視調査の結果

舗装撤去後の防水層の状況の一例を図-4 に示す。図-4 (a)は地覆および伸縮装置の近傍 (上り線側) であるが、舗装、舗装と防水層の接着シート、防水層 (ウレタン) および床版コンクリートが互いに全く付着しておらず、床版上面コンクリートが湿潤している状態であった。また、伸縮装置から約2mに位置する排水マス周辺では、舗装と接着シートの上に厚さ1cm程度の土砂が堆積しており、付着が確保されない状態で長期間にわたり水が通過していたものと考えられる。図-4 (b)は車歩道境界近傍 (下り線側) の状況である。排水マス周辺の防水層が付着消失してめくれあがっていた。また、防水層が歩道

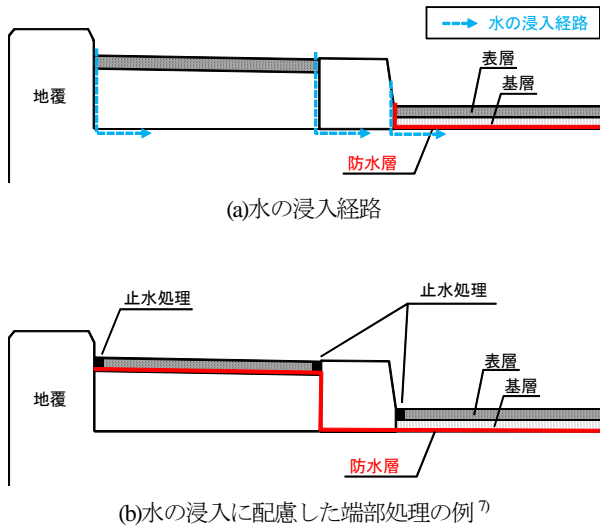


図-5 地覆部の防水層の端部処理

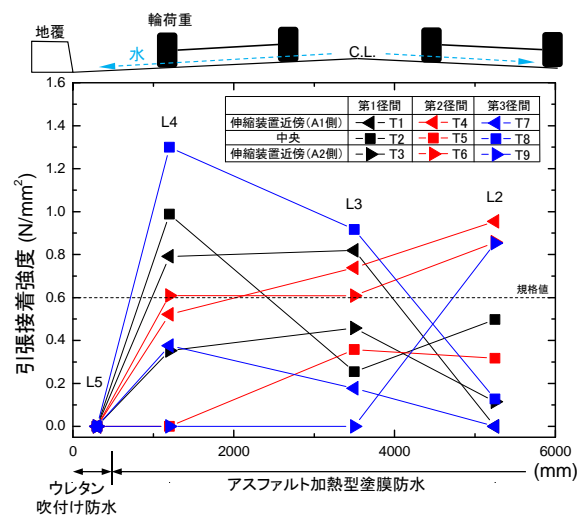


図-6 引張接着強度の橋軸直角方向の分布

表-3 規格値を基準とした引張接着強度の頻度

	ウレタン吹付け防水			アスファルト加熱型塗膜防水				合計	
	排水マス近傍 (L6測線)	地覆近傍 (L5測線)	小計	輪荷重走行帯 (L4測線)	CL (L3測線)	車輪間 (L2測線)	歩道近傍 (L1測線)		小計
総数	6	9	15	9	11	10	1	31	46
規格値以上 ($\sigma \geq 0.6 \text{ N/mm}^2$)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	4 (44.4%)	4 (36.4%)	3 (30.0%)	0 (0%)	11 (35.5%)	11 (23.9%)
規格値未満 ($\sigma < 0.6 \text{ N/mm}^2$)	6 (100%)	9 (100%)	15 (100%)	5 (55.6%)	7 (63.6%)	7 (70.0%)	1 (100%)	19 (64.5%)	35 (76.1%)
$\sigma = 0 \text{ N/mm}^2$	6 (100%)	9 (100%)	15 (100%)	2 (22.2%)	1 (9.1%)	3 (30.0%)	0 (0%)	6 (20.0%)	21 (45.7%)

σ : 引張接着強度、規格値(23°C): 0.6 N/mm^2 、()内は総数に対する百分率

の縁石に立ち上げて設置されていたが、防水層と縁石に隙間が認められ、水の防水層下側への浸入経路となっていた。これは縁石同士の突合せ位置で顕著であった。図-5 (a) は車歩道境界付近での水の浸入経路を模式的に示したものである。防水層立ち上げ部と縁石の間以外にも、縁石および地覆の境界も水の浸入経路となった可能性がある。歩道部において水の浸入を抑制するためには、防水層を縁石で立ち上げるのではなく、図-5 (b)のような端部処理を講じる必要がある。

(3) 防水層の引張接着試験の結果

図-6 は橋軸直角方向 (T1~T9) の引張接着強度の分布であり、道路橋床版防水便覧⁹⁾における規格値である 0.6 N/mm^2 を破線で併記している。また、表-3 は規格値を基準とした引張接着強度の頻度の一覧である。試験を実施した46箇所のうち76.1%が規格値未満、45.7%が引張接着強度ゼロであった。また、橋軸直角方向の位置 (橋軸方向測線L2~L6) に着目すると、地覆近傍 (L5) および排水マス近傍 (L6) の100%が引張接着強度ゼロであり防水層の機能が全く保持されていない状態である。

本橋の床版陥没は地覆近傍で発生しており、地覆側からの水の浸入が影響した可能性がある。地覆近傍は水が集まりやすいことから特に防水層が確実に機能していることが求められる部位であり、地覆近傍においては入念な管理のもとに防水層の施工を実施する必要がある。輪荷重走行帯 (L4) では55.6%、センターライン (以下、「CL」という。) (L3) では63.6%、車輪間 (L2) では70.0%が規格値未満であり、図-6 からみられるとおり輪荷重走行帯において引張接着強度がやや高い傾向も認められる。これは、輪荷重の繰返し走行により舗装が転圧されたことが、付着強度が増加する方向に作用したことが要因として考えられる。

図-7 は橋面に対する引張接着強度のコンター図であり、暖色が規格値 0.6 N/mm^2 以上、寒色が規格値未満の範囲を示している。規格値以上の範囲、すなわち暖色の範囲は主に第1径間上り線A1側、第2径間下り線P-1およびP-2側、第3径間上り線支間中央付近で局所的に分布している。床版陥没が発生した第2径間上り線P-2側の地覆近傍においては、引張接着強度ゼロを含めて規格値未満の範囲となっている。

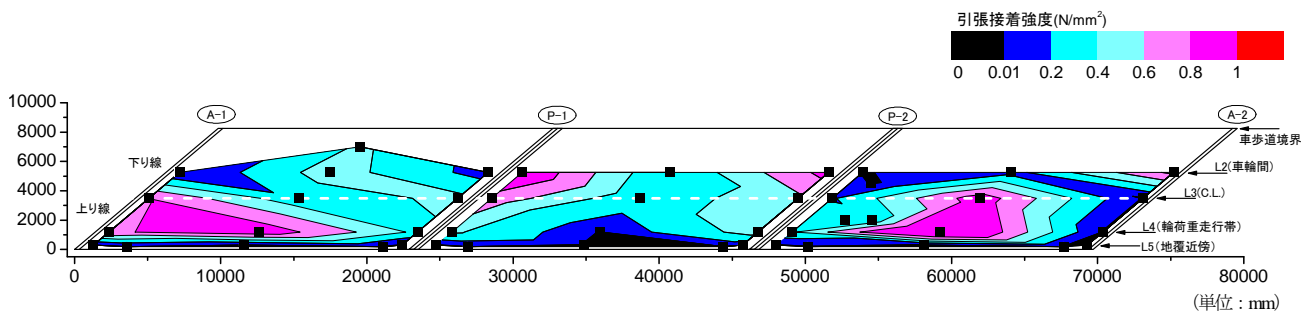


図-7 引張接着強度のコンター図

防水層の性能は、防水層施工時の床版上面の下地処理や気温⁹⁾等、供用中の輪荷重に影響を受ける。さらに積雪寒冷地においては凍結融解の繰り返しにより防水層の接着性が低下する⁹⁾ことも実験的に確認されている。今後はこれらの要因を踏まえて防水層の機能低下要因に関する分析を進める。

(4) 床版断面の観察の結果

図-8は床版切断面の状況である。図-8 (a)は切断面の全景であるが、写真右側部分にはコンクリートにはひび割れ等は発生しておらず健全である。一方で写真の左側、すなわち伸縮装置 (P-2) へ向かうにつれてコンクリートに損傷が生じており、左側の範囲では上部のコンクリートが砂利化している。図-8 (b)～(d)は図-8 (a)に赤の破線で示した部分を拡大したものである。C部 (図-8 (d)) では、上側のかぶりコンクリート部分に水平方向のひび割れが発生して層状に剥離した状態 (以後、「層状剥離」という。) であった。さらに、CからBへ向かうにつれて層状剥離の数が増加し、B部 (図-8 (c)) でかぶりコンクリート程度の厚さの範囲において多数の層状剥離が発生している。その間隔は概ね粗骨材の最大寸法程度であった。さらにB部からC部へ向かうと上縁付近において粗骨材とモルタル分が分離しコンクリートが砂利化している。A部 (図-8 (b)) では床版コンクリート天端から深さ5cm程度が砂利化した状態であり、下側鉄筋程度の範囲にまで層状剥離が発生していた。

図-8に示した床版の劣化損傷は、図-8 (a)の写真左側を起点として右側へ向かって劣化損傷が進展していったと考えられる。劣化損傷の起点となった写真の左側には伸縮装置が位置している。ここで、切断箇所が位置する車線は写真の左から右に向かって車両が走行する。伸縮装置近傍は伸縮装置の段差に起因して衝撃的に輪荷重が作用することに加えて雨水や融雪水が滞水しやすい箇所であり、劣化損傷の要因となった可能性がある。このことから床版の長期耐久性の確保には、床版内部への水の浸入を排除するための床版防水層の重要性が強調される。

床版切断面の調査結果を踏まえると、本RC床版の劣化損傷は図-9に示すような段階を経て進展するものと推

定される。

①健全な状態

凍結融解および輪荷重の繰り返し作用を受けるが、床版に損傷は発生していない状態である。

②層状剥離の発生

床版断面の上方、主にかぶりコンクリート付近においてコンクリートに層状剥離が発生する。

③層状剥離の進展・増加

層状剥離が水平方向へ進展するとともに、上側鉄筋より下方の範囲を含めて新たな層状剥離が発生する。

④砂利化の発生

層状剥離が増加し高さ方向の間隔が一定の値に達すると、それ以上に新たな層状剥離は発生しない。このときの間隔はコンクリートの粗骨材の最大寸法程度と考えられる。そして、床版コンクリートの上縁側において層状剥離によりスライス化されたコンクリートの粗骨材とモルタル分が分離し砂利化が発生する。この段階では、上述のとおり有効床版厚さが減少することで、疲労耐久性が著しく低下していると考えられる。

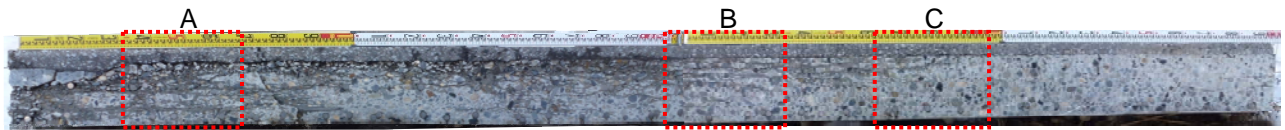
本論文では積雪寒冷地において46年間供用された道路橋RC床版の損傷状況を把握することを目的としており、層状剥離が発生するメカニズム等について明らかとなっていない。また、層状剥離と床版の耐荷性、疲労耐久性の関係、劣化損傷プロセスやメカニズムの解明を実施する必要がある。層状剥離は、著しい疲労耐久性低下の引き金となるコンクリートの砂利化の前段で発生すると考えられる。そのため、実橋の床版の健全度を評価するにあたっては層状剥離の有無やその程度を調査できる手法を確立することが重要であると考えられる。

4. まとめ

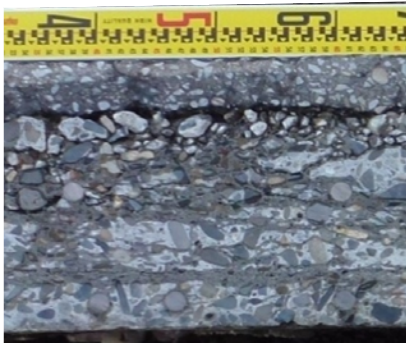
本調査のまとめを以下に示す。

(1) 舗装上面からの非破壊調査

- ・ 叩き点検、電磁波を用いた調査ともに、伸縮装置周辺等で床版の異常を判定する結果となった。今後は、現地から切り出した床版の損傷状況の観察結果等と



(a)切断面の全景



(b)Aの範囲の拡大



(c)Bの範囲の拡大



(d)Cの範囲の拡大

図-8 床版切断面の状況

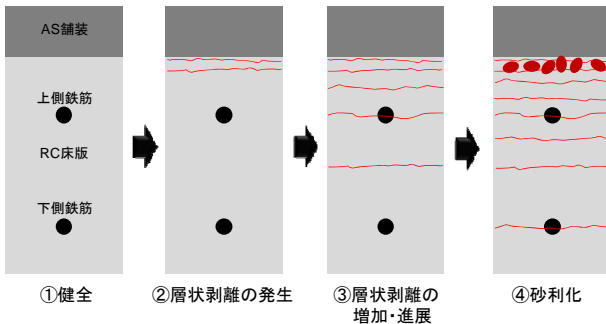


図-9 調査結果から推定される損傷形態と進展過程

叩き点検、電磁波を用いた手法の各々の結果を対比して、各手法の適用範囲等を検討する予定である。

(2) 防水層の劣化損傷状況

- ・ 地覆近傍および排水マス近傍の100%が引張接着強度ゼロであった。地覆近傍は水が集まるために、特に確実な管理のもとに防水層を設置する必要がある。
- ・ 歩道の縁石と防水層立ち上げ部の間に隙間が認められ、水の浸入経路となっていた。このことは、縁石ではなく地覆で防水層を立ち上げる必要があることを示している。

(3) RC床版の劣化損傷状況

- ・ RC床版の切断面において、床版上面付近のコンクリートの砂利化だけでなく水平方向のひび割れ、すなわち層状剥離が多数認められた。
- ・ 切断した範囲内においては伸縮装置に近い部分ほど劣化損傷の程度が大きく、伸縮装置の段差による輪荷重の衝撃や滞水の影響が劣化損傷の起点となった可能性がある。

- ・ 本RC床版の劣化損傷は、層状剥離の発生、層状剥離の進展・増加、かぶりコンクリートの砂利化の順で進展していると考えられる。
- ・ 今後は床版コンクリートの材料試験等により劣化損傷要因を検討するとともに、層状剥離の発生メカニズムの解明や、層状剥離と疲労耐久性の関係について検討を行っていく予定である。

参考文献

- 1) 國松博一、山谷直孝、澤松俊寿：一般国道275号志寸川橋の床版陥没について—陥没の発生から復旧まで—、第56回北海道開発技術研究発表会、2013。（投稿中）
- 2) 松井繁之：道路橋床版 設計・施工と維持管理、森北出版株式会社、pp.47-61、2007.
- 3) 三田村浩、佐藤京、本田幸一、松井繁之：道路橋 RC 床版上面の凍害劣化と疲労寿命への影響、構造工学論文集 Vol.55A、pp.1420-1431、2009.3
- 4) 三田村浩、佐藤京、西弘明、渡辺忠朋：積雪寒冷地における既設 RC 床版の延命化手法について、構造工学論文集、Vol.56A、pp.1239-1248、2010.3
- 5) 本庄清司、藤原規雄、葛目和宏、牧博則：凍結防止剤による塩害で劣化した鋼橋 RC 床版の詳細調査、第11回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11巻、pp.529-536、2011.10
- 6) 日本道路協会：道路橋床版防水便覧、2007.3
- 7) 北海道土木技術会鋼道路橋研究委員会：北海道における鋼道路橋の設計および施工指針【第1編】設計・施工編、2012.1、pp.3-101
- 8) 澤松俊寿、三田村浩、西弘明、松井繁之：積雪寒冷地における床版防水の性能低下要因に関する一考察、第7回道路橋床版シンポジウム論文報告集、pp.219-224、2012.6
- 9) 澤松俊寿、三田村浩、松井繁之：舗装・防水層・床版からなる構造体の凍結融解抵抗性に関する一検討、土木学会第67回年次学術講演会講演概要集、pp.1183-1184、2012.9