

道路橋コンクリート床版の土砂化対策 に関する調査研究

令和2年3月

国土交通省 道路局 国道・技術課
国土技術政策総合研究所
東北地方整備局
北陸地方整備局
中部地方整備局
九州地方整備局
北海道開発局
国立研究開発法人 土木研究所

Copyright © (2020) by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Chief Executive of P.W.R.I.

この報告書は、国立研究開発法人土木研究所理事長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、国立研究開発法人土木研究所理事長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

道路橋コンクリート床版の土砂化対策 に関する調査研究

国土交通省 道路局 国道・技術課
国土技術政策総合研究所
東北地方整備局
北陸地方整備局
中部地方整備局
九州地方整備局
北海道開発局
国立研究開発法人 土木研究所

要旨

道路橋のコンクリート床版の損傷形態は、疲労が多くを占めていたが、凍結防止剤の使用増加に伴う鉄筋腐食や、コンクリートの水平ひび割れ、床版上面コンクリートの土砂化など、近年、多様化している。特に、コンクリートの土砂化は複数の症状が見られ、劣化機構、損傷過程を含めて不明な点が多い。また、補修後、比較的早期に再劣化する事例が見られ、調査方法、補修方法の改善が喫緊の課題である。本調査研究は、国土交通省国土技術研究会の指定課題（平成30年度～令和元年度）として、調査、補修方法の確立に向けて、床版土砂化の現状把握、情報共有を図ることを目的に実施した。本資料は、それらの内容を参加機関ごとに論文報告集の形式でとりまとめたものである。

キーワード：床版，土砂化，アスファルト舗装，塩化物，電磁波レーダ，補修，補強

目 次

1. はじめに	1
2. コンクリート床版の多様化する損傷形態	2
3. 地整等の現状と取組み	5
東北地方のコンクリート床版の土砂化対策	7
東北地方整備局 岩渕賢一, 田口秀美	
橋梁の床版非破壊調査について	13
北陸地方整備局 櫻井直樹, 三浦義則	
中部における床版土砂化の現状と取組み	17
中部地方整備局 田中勝, 大崎義保	
大分 210 号 境橋床版打換え工事報告	23
九州地方整備局 船井敏勝, 中村真一郎	
道路橋コンクリート床版の土砂化について－北海道の国道における事例－	27
北海道開発局 加藤一之, 在田尚宏, 谷口雄紀, 佐藤弘大	
4. 研究機関の取組み	35
道路橋コンクリート床版の土砂化中間層と補修時の除去範囲に関する検討	37
CAESAR 上仙靖, 田中良樹, 山本健太郎	
北海道における RC 床版の土砂化の発生傾向	41
寒地構造チーム 中村拓郎, 角間恒, 守田稷人, 葛西聡, 西弘明	
橋面舗装の防水性に関する調査と今後の対策	47
舗装チーム 寺田剛, 渡邊真一, 藪雅行	
電磁波レーダによる床版土砂化の予防保全に関する取組み	53
CAESAR 野田翼, 松本直土, 石田雅博	
電磁波レーダによる橋梁床版の記録の特徴	59
地質・地盤研究グループ物理探査担当 尾西恭亮, 小林貴幸	
謝辞	65
本調査研究の参加者一覧	66
付録 1 平成 30 年度指定課題配布資料	69
付録 2 令和元年度指定課題配布資料	125

1. はじめに

道路橋のコンクリート床版の損傷形態は、これまで疲労が多くを占めていたが、凍結防止剤の使用増加に伴う鉄筋腐食事例、コンクリートに多数の水平ひび割れが生じる事例、アスファルト舗装下で床版上面コンクリートに土砂化が生じる事例など、近年、多様化している。特に、コンクリートの土砂化は複数の症状が見られ、原因として路面からの塩水の浸入が疑われるが、劣化機構、損傷過程を含めて不明な点が多い。また、補修後、比較的早期に再劣化する事例が見られ、調査方法、補修方法の改善が喫緊の課題である。

しかしながら、不明な点が多いがゆえに、土砂化の状態把握や原因究明のために、どのような情報が必要であるかも明確でない。土砂化はアスファルト舗装下の床版上面の損傷であることから、外観での直接的な発見ができず、また、交通規制を伴うことから補修に際して調査も併せて行うほどの十分な時間が確保できないことが多いと想定される。これらの点からも、土砂化に関する情報が不足している状況にある。こうした背景から、国土交通省国土技術研究会の指定課題「道路橋コンクリート床版の土砂化対策に関する調査研究（平成30年度～令和元年度）」は、調査、補修方法の確立に向けて、床版土砂化の現状把握、情報共有を図ることを目的に、国土交通省の各地方整備局、北海道開発局（以下、地整等）、及び関連する研究機関に参加を呼びかけ、参加機関を募る形で立ち上げた。

今日の国土技術研究会の指定課題は、年1回、国土交通本省で開催されており、本指定課題については、平成30年11月2日と令和元年11月8日に2回開催した。1年目は、各地整等道路管理者から床版土砂化の現状について報告し、現場のさまざまな情報を共有した。2年目は、地整等の担当者を主なパネリストとしてパネルディスカッションを行った。研究機関から土砂化対策に向けた技術上の課題、改善に向けた取り組み状況、あるいはこれまでの検討の成果を報告した後、主として現場の視点から討議を実施した。

コンクリート床版の適切な土砂化対策を早期に確立するためには、参加機関だけでなく、産学官の多くの方々にも情報の共有を図ることが有益と考え、本指定課題の主要な内容を報告書としてとりまとめることとした。本資料では、コンクリート床版の多様化する損傷形態について2章で概説するとともに、コンクリート床版の土砂化対策について、各機関での取り組みを論文報告集の形式でまとめた内容を3～4章に集約した。また、参考として巻末に指定課題の配布資料を添付した。

2. コンクリート床版の多様化する損傷形態

2.1 これまでの劣化—疲労

国内の道路橋鉄筋コンクリート床版(RC床版)においては、これまで、大型車の輪荷重の繰返し走行による疲労が主たる劣化損傷と考えられてきた。RC床版の疲労については、一般にひび割れの発生・進展、さらに進行すると最終的には床版コンクリートの抜け落ち、路面の陥没という過程をたどる。写真-2.1に、RC床版の疲労損傷の例を示す。コンクリート床版の疲労は、抜け落ちまでの損傷過程において、床版下面に橋軸直角方向のひび割れ、格子状のひび割れ、角欠けや漏水などが見られることから、床版下面の状態は道路橋の定期点検におけるコンクリート床版の主要な点検項目にされている。床版のコンクリートに水が浸透すると、RC床版の疲労寿命が極端に短くなることが知られており、実験によれば寿命は約1/300まで低下するとも言われている¹⁾。これは、例えば、ある荷重条件下で20~30年の寿命であったRC床版が、水の浸透によって、計算上はわずか1箇月程度で抜け落ちに至ることを意味する。このような急激な劣化の進行は、その兆候の発見や補修・補強を容易でないものとしている。そのため、新設橋では、アスファルト舗装(As舗装)と床版の間に防水層を設置することが義務付けられている。

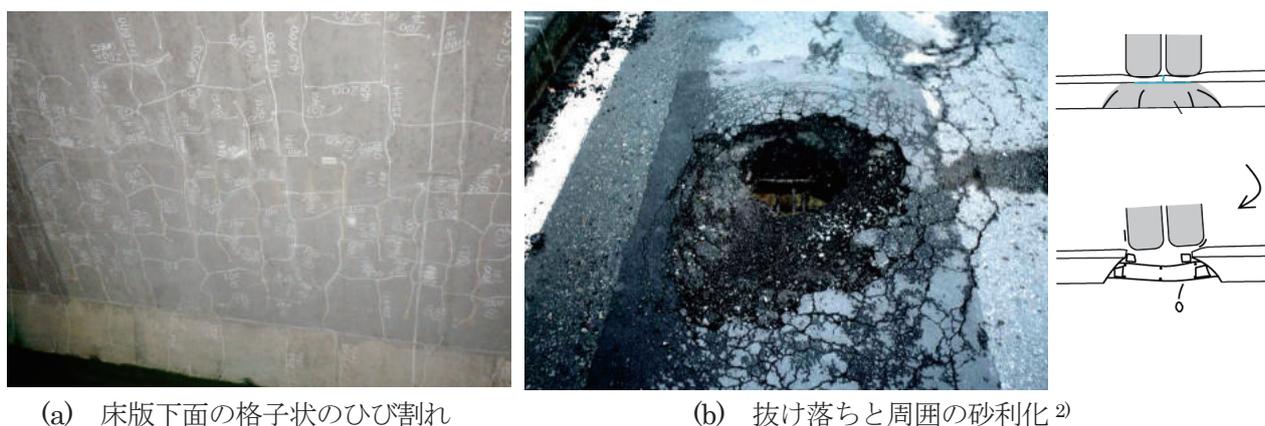


写真-2.1 RC床版の疲労損傷

2.2 近年の劣化—塩害、土砂化

近年では、疲労の影響だけでなく、路面からの水あるいは凍結防止剤の散布による塩化物を含む水がRC床版に浸入して、コンクリート中の鉄筋を腐食させる塩害や、コンクリートの凍害、あるいはアルカリ骨材反応(ASR)といった材料の劣化が複合的に関係していると考えられる損傷事例が見られており、劣化形態が多様化してきている。

写真-2.2に、RC床版の路面からの塩水によると考えられる鉄筋の腐食事例を示す。橋面のAs舗装を剥がした際に、コンクリートの浮きが認められたことから、かぶりコンクリートを除去したところ、腐食による鉄筋の断面欠損が見られた。また、RC床版に打継目や何らかの要因により生じた貫通ひび割れがある場合、路面から舗装下に浸入した塩水は、打継目や貫通ひび割れを通じて、さらに床版下面に到達する。写真-2.3

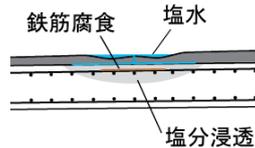


写真-2.2 RC床版上面の鉄筋の腐食事例
(車輪走行位置付近の路面の舗装、かぶりを除去した状態)³⁾

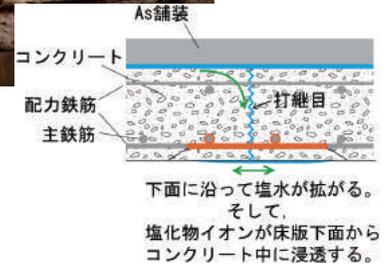
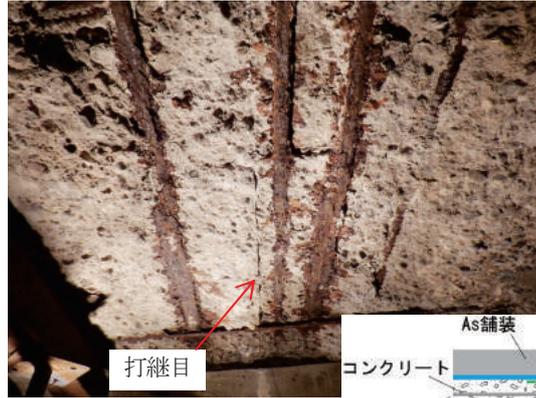


写真-2.3 打継目付近における RC床版下面の鉄筋の腐食 (床版下面のかぶりを除去した状態)

は、打継目からの漏水により生じたと考えられる鉄筋腐食の事例(はつり後の状況)である。床版下面のコンクリートの浮きが生じていたため、補修前の調査でそのかぶりがはつり落とされた。

疲労で抜け落ちた孔の周囲のコンクリートは、写真-2.1(b)に示すように、粗骨材と硬化セメントペーストが分離して砂利化している¹⁾。一方、写真-2.4は、車輪走行位置ではなく、センターライン付近のAs舗装の打継目に沿って、橋の長手方向、広範囲に、床版上面のコンクリートが土砂化していた(土砂化と砂利化の違いについては後述)。また、写真-2.5の例では、舗装を剥いただけでは一見コンクリートの表面が見えているが、その部分はハンマーなどの工具でさほど力を要せずに、中の鉄筋が露出するまで掘れてしまった。舗装打換えの際に舗装を除去しただけでは、劣化が一見、顕著でないように見えるため、劣化に気付かずそのままにされ、その後の舗装の早期損傷をもたらす可能性がある。なお、いずれの事例も、その付近の鉄筋は必ずしも著しく腐食しているわけではなかった。

写真-2.1(b)のように、砂利化の状態になっているのは、抜け落ちが発見されるまでに雨水により微粒分が洗い流されていたことが想定される。一方、抜け落ち前に発見された土砂化は、砂利だけでなく、土粒子が混じった、まさに土砂の状態にある。砂利化と土砂化は、それぞれ見たままの表現であるとともに、従来の疲労に伴う砂利化とは異なる劣化機構による症状であり得ることから、本調査研究では土砂化と表現している。

道路に用いられる凍結防止剤は、一般に塩化物系であり、散布されると路面の水に混入して塩水となって流下する。路面からの水が床版内に浸入する部位では、冬季から雪解けまでの間に塩水が流れ込むこととなり、前述のように、RC床版の各部分で塩害が発生するおそれがある。凍害、ASRはともに、含水率が高いコンクリートにおいてその劣化の程度が顕著となる傾向がある。特に、塩水が供給される場合に、凍害の進行が著しく促進される^{4),5)}。また、塩化ナトリウムが散布される場合には、ASRが促進されることが懸念される⁵⁾。

RC 床版の疲労耐久性を低下させる点において、水の浸入だけでもその影響が大きいですが、塩害あるいはコンクリートの土砂化が車輪走行位置付近で生じると、さらに疲労現象を促進させると考えられる。



写真-2.4 舗装打継目付近下の床版コンクリートの土砂化
(舗装を剥がしたところ)



(a) 舗装を剥がしたところ



(b) 図 a のコンクリート部を工具で掘るところ

写真-2.5 床版上面付近が脆くなったコンクリート

参考文献

- 1) 阪神高速道路公団, 阪神高速道路管理技術センター: 道路橋 RC 床版のひび割れ損傷と耐久性, 1991.12.
- 2) 国土交通省道路局国道課, 土木研究所, 東北, 関東, 北陸, 九州各地方整備局, 沖縄総合事務局: コンクリート橋のライフサイクルコストに関する調査研究—コンクリート橋の損傷状況と維持管理費の実態調査—, 土木研究所資料, 第 3811 号, 2001.3.
- 3) 村越潤, 田中良樹: 道路橋鉄筋コンクリート床版の劣化形態の多様化と防水対策, 土木施工, Vol. 55, No. 6, pp. 68-71, 2014.6.
- 4) 大和竹史, 江本幸雄, 添田政司: 塩化物を含むコンクリートの凍結融解抵抗性, セメント技術年報, Vol. 39, pp. 126-129, 1985.
- 5) 融雪剤によるコンクリート構造物の劣化研究委員会報告書・論文集, 日本コンクリート工学協会, 1999.11.

3. 地整等の現状と取組み

本章では、平成30年度の指定課題で発表した内容を中心に、地整等でそれぞれまとめた報告を掲載する。

東北地方のコンクリート床版の土砂化対策

岩淵 賢一¹・田口 秀美²

¹ 東北地方整備局 道路部 道路構造保全官（〒980-8602 宮城県仙台市青葉区本町3-3-1）

² 東北地方整備局 道路部 前道路構造保全官（〒980-8602 宮城県仙台市青葉区本町3-3-1）

鉄筋コンクリート床版の劣化については、疲労や水分・塩分の供給等複合的な要因が報告されているが、床版の土砂化のメカニズムについては、未だに解明されていない部分が多く、床版の補修にあたっては、効果的な手法が確立されていない状況である。

このような中で、平成25年4月に東北地方整備局管内の国道7号「きみまち大橋」で床版の抜け落ち事象が発生、この教訓は「東北地方における道路橋の維持・補修の手引き（案）」に反映され、路面からの土砂の噴き出しや舗装ひびわれが発生した場合、早期に舗装開削調査を実施すること、定期点検での「舗装の異常e判定」は、床版の土砂化が進行している橋梁という危機感を持ち、必ず詳細調査を実施して床版の状態を確認し所見を残すことが重要であること、詳細調査では防水機能や水の浸入経路を調査し原因排除に努め、応急対策や恒久対策を検討する方針としている。

キーワード 鉄筋コンクリート床版，土砂化対策，再劣化，防水機能，止水対策，補修方法

1. はじめに

鉄筋コンクリート床版（以下「床版」という。）は、舗装を介して車両の走行荷重を支えているため、疲労による損傷が生じやすい。また、昭和48年道路橋示方書・同解説よりも前の基準で設計された橋梁では、床版厚が薄く鉄筋量が少ない傾向があり、疲労耐久性が低いものが多い。

近年、大型車の交通量が増大していること、冬期の凍結抑制剤の散布量が増加していることから、これらに起因する損傷が数多く発生している。

床版の損傷により大規模な補修を行うことは、交通規制など現道交通に多大な影響を及ぼすため、床版特有の損傷を的確に把握し、重大な損傷を未然に防ぐことが重要である。

2. 床版の劣化

床版の劣化要因としては、主に大型車の輪荷重による疲労や地域の環境条件による損傷、水分の供給及びこれらの複合的な劣化が考えられている。走行荷重による繰り返し荷重（疲労）は、水分の供給により劣化が加速的に進行することが知られている。また、地域の環境条件による損傷は、積雪寒冷地域などでのコンクリートの凍結融解や、海岸線など飛来塩分が多い地域での塩害、アルカリシリカ反応などが考えられる。

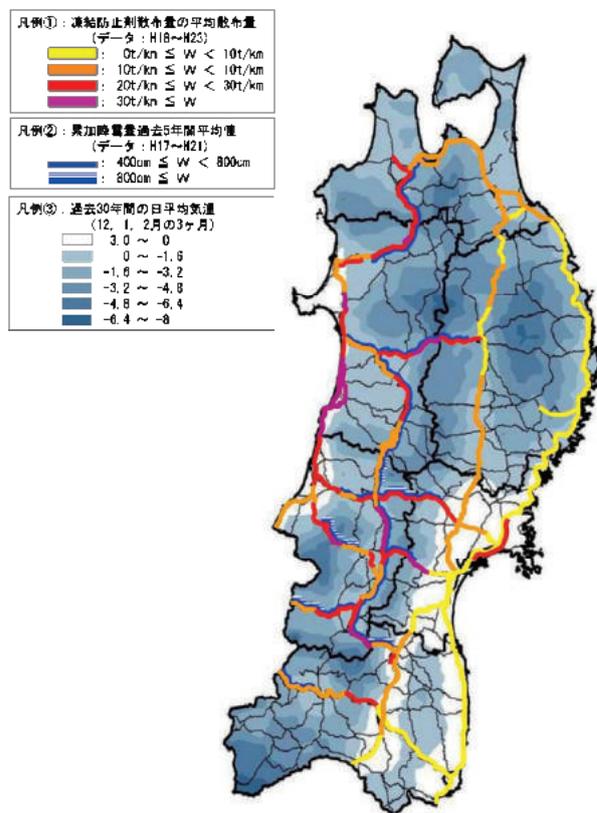


図-1 東北地方における凍結抑制剤の散布量

H29年時点の鋼構管理橋梁数（RC床版）：810橋

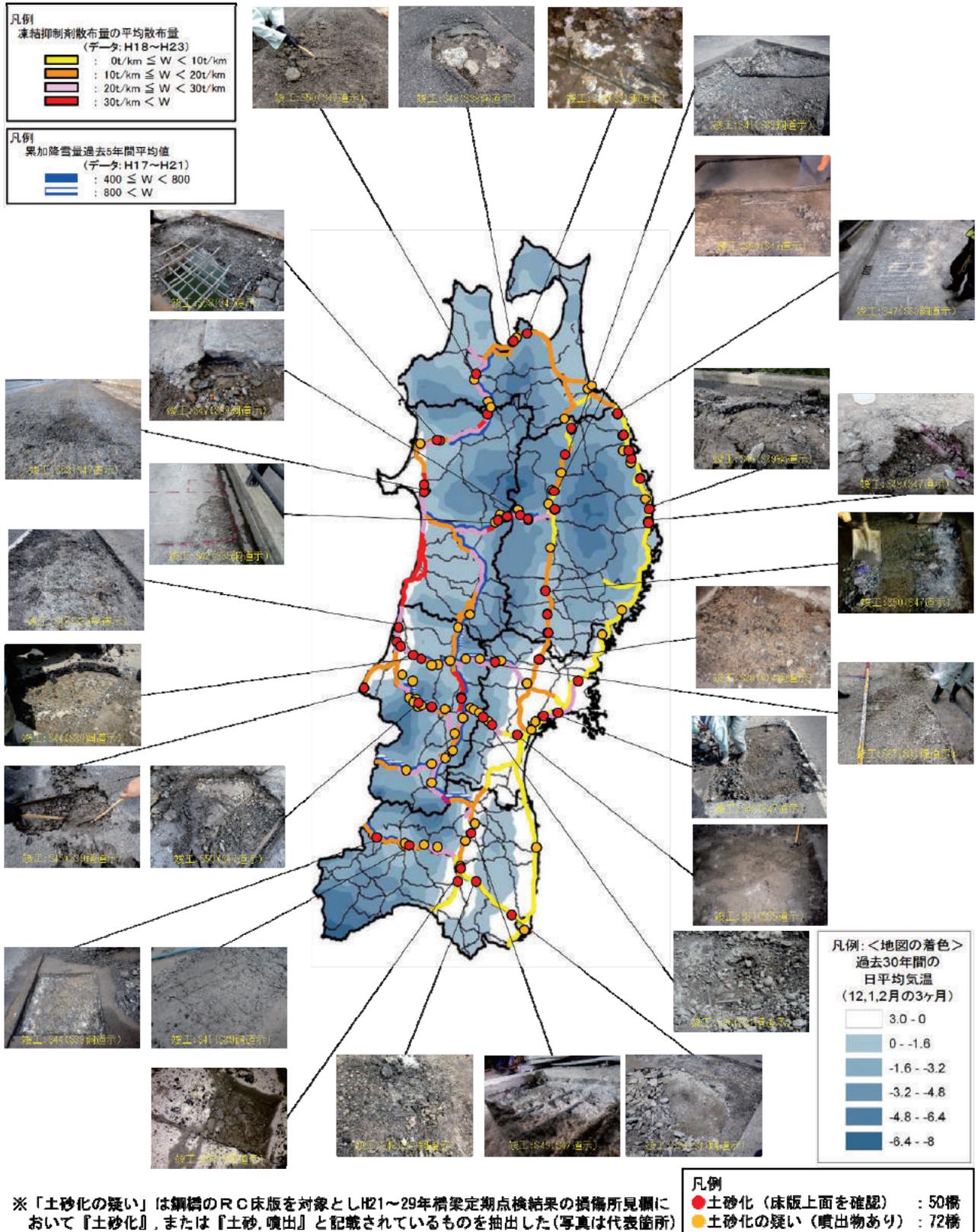


図-2 東北地方における床版土砂化の発生状況

東北地方では凍結抑制剤を散布することが多いことから(図-1)、これらの影響が加わる複合劣化により、床版の損傷(図-2、図-3)が加速すると考えられている。

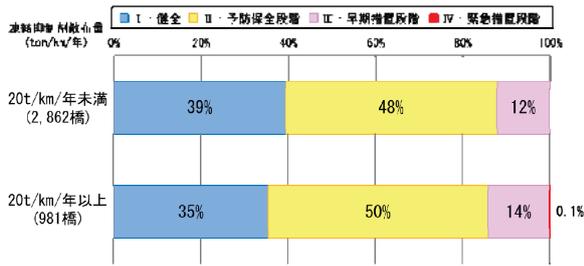


図-3 東北地方における凍結抑制剤の散布量と橋の健全性

3. 床版の土砂化に対する取り組み

(1) 床版抜け落ちからの教訓

床版の土砂化については、これまでも多数確認されていたが、効果的な補修ルールが確立されていない状況であった。

平成25年4月に国道7号「きみまち大橋」の床版抜け落ちが発生(写真-1)、同時期に複数の橋梁で床版の土砂化が確認されたため、床版の緊急点検を実施している。

その後、事故未然防止ルールが定められるなど、この年が東北地方整備局の本格的な床版保全の取り組みのはじまりとなっている。

国道7号「きみまち大橋」は、床版抜け落ちの約1年前から舗装ひびわれが発生しパッチングを実施している。

その後、再度舗装ひびわれが発生したため、床版表面の断面修復を実施したが、早期の再劣化により再度舗装ひびわれが発生するなど、何度も「舗装の異常」が出現し、抜け落ちに至っている。

この教訓は、その後の「東北地方における道路橋の維持・補修の手引き(案) H29.8版」(以下「手引き」という。)に反映され、路面からの土砂の噴き出しや舗装ひびわれが発生した場合、早期に舗装開削調査をする必要があるなどの初期対応ルールや補修方針を確立した(図-4)。

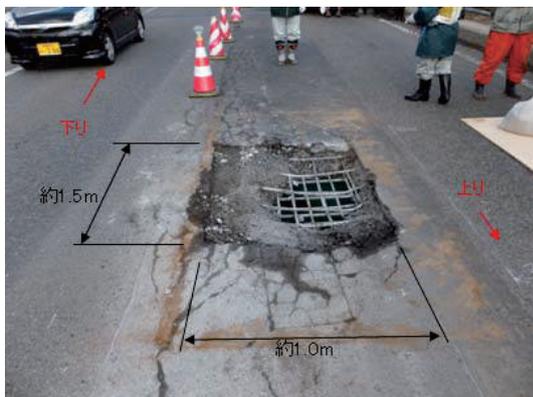


写真-1 国道7号 きみまち大橋の床版抜け落ち

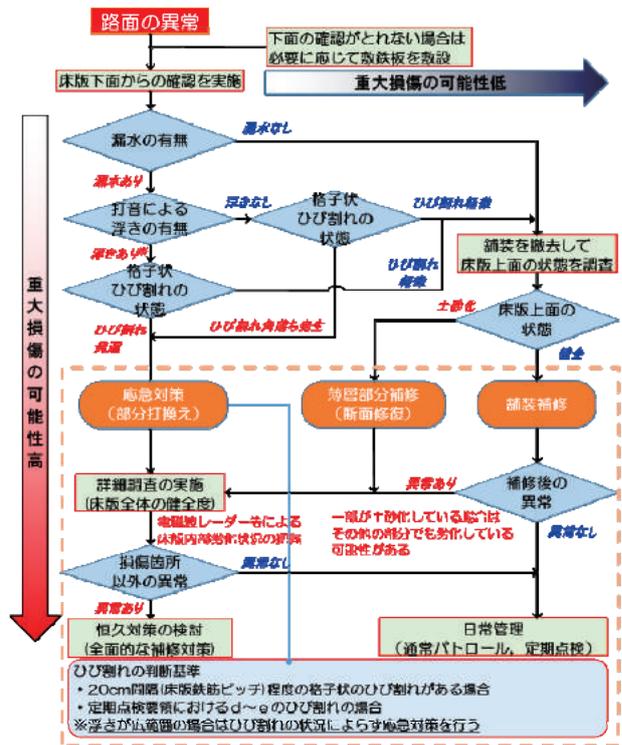


図-4 路面異常時の確認フロー

(2) 床版上面の劣化

床版上面の変状として、舗装変状部から雨水が浸透し、床版上面コンクリートが劣化する事例が見られる。舗装ひびわれ(クモの巣状)やポットホールとして舗装面に現れるのが一般的である。

床版劣化・陥没の兆候は、舗装(路面)の異常と関連するため、日常の道路巡回(パトロール)などで舗装の状況(土砂の噴出、舗装のひびわれ、舗装のポットホール・うき)を確認するとともに、析出する水の色にも留意する必要がある。

なお、この損傷は建設年次に関係なく生じているため、床版厚が厚い場合であっても床版上面コンクリートが劣化する可能性がある。



写真-2 床版上面(橋梁上の舗装)の異常

(3) 床版下面の劣化

床版下面に現れるひびわれ等の損傷は、大型車両の繰り返し走行による疲労劣化が支配的であるが、積雪寒冷地域である東北地方においては、凍害や塩害（凍結抑制剤の散布）により土砂化が助長され、漏水や遊離石灰を伴っているケースがある。

舗装の異常が確認された場合には、床版下面の目視調査により、漏水の有無やひびわれの性状（格子状、角落ちの有無）や遊離石灰及び錆汁等に着目し、状態を確認する必要がある。



a) 漏水・遊離石灰 b) 格子状のひび割れ
写真-3 床版下面の異常

(4) 補修箇所の再劣化

床版補修時のマイクロクラックの発生や、脆弱コンクリートの撤去不足などによる補修箇所の再劣化事例が散見される。また、炭素繊維などの床版下面の補修においては、上面からの水分遮断を実施しないまま下面の補修を行い、橋面水の漏水・滞水等から床版コンクリートの劣化を進行させてしてしまう事例がある。

このため補修済みの橋梁においても、水分の遮断が行われているか留意する必要がある（図-5、図-6）。

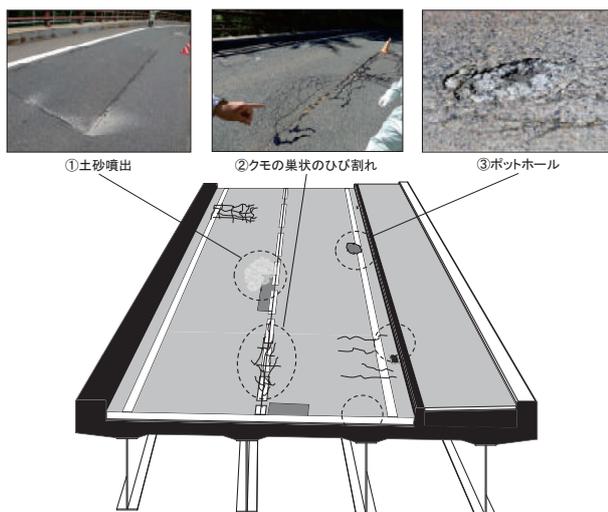


図-5 橋梁上の舗装の異常（イメージ図）

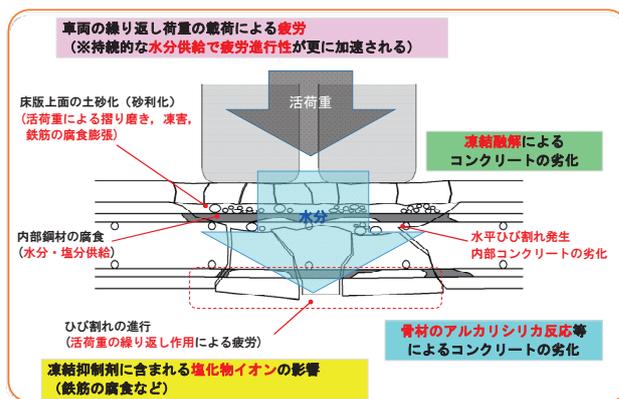


図-6 床版の劣化要因の概念図（推定）

4. 土砂化対策のこれからの課題

(1) 舗装開削調査

舗装に異常が現れた場合、床版上面の状態を確認するために舗装を開削すると、脆弱部の状態は様々である。

脆弱状態を分類すると（写真-4）、a)粘性のある泥状化、b)細かく破碎された碎石状、c)水平ひびわれ状のブロック状剥離、d)コンクリートは健全であるが表面が薄く剥離・肌荒れ状など、このほか舗装自体が劣化している場合もあり多様な状態が散見される。

これは、劣化の進行順序・原因（浸入水、疲労、凍害、ASR、塩害）など劣化症状の違いが影響していると考えられ、劣化の進行メカニズムの解明が望まれる。

舗装開削範囲については、これら脆弱状態の違いのほか、劣化範囲の広がりや深さについては舗装開削によって始めて得る情報であり、あらかじめ想定できないことが多い。

一般的には、土砂の噴き出し箇所を含め路面からの打音点検等により開削範囲を決定しているが、劣化が予想以上に広範囲に進行している場合が多く（写真-5）、手引きでは開削範囲に余裕を持たせることや、既設防水層との重ね合わせを考慮した開削幅としている。

また、土砂化が確認された場合は、そのほかでも潜在的に異常箇所が存在している可能性が高いとして、床版全体の健全性を確認することを提唱している。

(2) 水抜き（滞水）対策

水の浸入口は、舗装の継目や地覆端等と想定できるが、防水層下面への浸入経路は明確となっていないことが多い。一番深刻な症状は、浸入した水の排水先が無く滞水している場合であり、水抜き方法（滞水対策）が課題となっている。

平成16年から平成28年までに建設した239橋で防水工の耐久性を調査したところ、54%で漏水・遊離石灰が確

認められ、うち8割以上は10年以内に漏水が発生していた。

このように防水層や止水材については、性能低下があることを認識する必要がある。

これらの浸入水は、防水層上面では舗装（基層）の骨材剥離などの損傷（写真6）や、防水層下面では床版劣化や再劣化（写真7）を助長させる原因となっており、手引きでは補修部分の防水層と舗装継目等の止水対策の細部構造を具体化している。

ただし、有効な水抜き対策（滞水対策）については具体化されておらず、今後検討が必要である。

また、床版下面に炭素繊維補強がある場合は、防水層下に潜り込んだ浸入水が抜けなことがあるため、長期にわたって、滞水・湿潤状態にあると考えられることから、排水方法について検討する必要がある。

(3) 補修の方法

舗装の開削調査で土砂化が確認された場合、これまで脆弱部分を除去して断面修復する方法が多く取り入れられていたが、この方法では十分な効果が得られていなかった。

局所的な補修を行った後に補修箇所が再劣化するケース、または補修隣接部から劣化が現れるケースが散見されることから、床版補修の基本方針は、当該範囲を「全厚打換」することとしている（図7）。

ただし「全厚打換」を行うまでの期間が長期化することも考慮し、応急復旧の位置付けとして手引きでは、コンクリート補修深さは床版上面鉄筋下2cm以上とし端部を薄くしないことや、既設床版に対して衝撃の少ない取り壊し工法を採用し、接着剤の使用や補修材に繊維混入を標準としている（図8）。

表層を補修する深さや範囲については、劣化部分を確実に除去することが望ましいが、実態は目視や打音・触診により決定している。

5. 定期点検の実態と課題

東北地方整備局管内の定期点検（H26～H30）で、鋼道路橋（溝橋除く）の潜在的な床版土砂化の評価を確認したところ、床版の対策区分（図9）では、B判定（状況に応じて補修を行う必要あり）や、C1判定（予防保全段階）の2区分が多く、このうちB判定の内訳では約5割が床版土砂化、または土砂化の疑いのある舗装のひびわれ「舗装の異常e判定」を保有している。

路面の対策区分（図10）では、M判定（維持工事に対応する必要あり）が大半を占め、このうち約7割が「舗装の異常e判定」を保有していることが分かる。



写真4 床版上面の脆弱状態の種類
(上段: 路面、下段: 床版上面)



写真5 舗装異常箇所（ポットホール）と開削後の脆弱部の違い

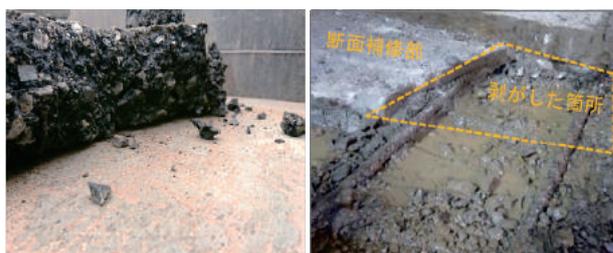


写真6 舗装の骨材剥離

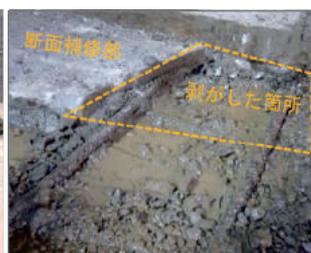


写真7 補修箇所の再劣化

以上から、点検結果の「部材毎の対策区分」では、床版や舗装はひとつの部材の評価となり、スポット的で小規模な舗装ひびわれや土砂化は低評価となり易く、軽視されやすい損傷であることに注意したい。「きみまち大橋」も、直前点検では床版B判定、路面M判定であったが、路面の局所的損傷が急速に劣化進行している。

このように、潜在化する床版の土砂化については、路上からの目視点検や定期点検結果から判別が難しい損傷であり、今後は点検記録の工夫や可視化を意識する必要がある。

対応としては、定期点検での「舗装の異常e判定」は床版上面の土砂化が進行している橋梁という危機感を持ち、外観目視での評価ではなく、必ず詳細調査を実施して床版の状態を正しく評価すること、調査が実施できない場合は、判定区分S1（詳細調査の必要あり）として早期確認の必要性和所見を残すことである。

また、詳細調査については、床版コンクリートだけでなく、防水機能の状態や舗装混合物の状態、さらには水の浸入経路も調査し、原因排除に努める必要がある。

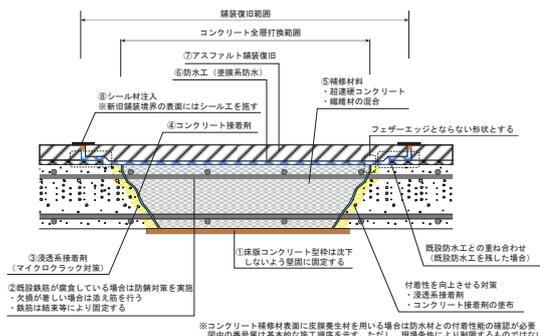


図-7 部分打換（全層打換）による補修方法

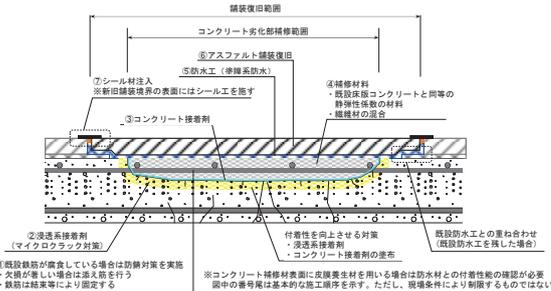


図-8 薄層補修（表面断面修復）による補修方法

6. おわりに

本年度、床版の新設対応については、東北地方の自然環境や供用環境に適した耐久性のある床版を目指して「東北地方におけるRC床版の耐久性確保の手引き(案)」を作成したところである。

一方、保全面では「東北地方における道路橋の維持・補修の手引き(案)」作成以降、床版土砂化対策は一步前進したところであるが、原因排除としての滞水調査や排水対策検討など解決すべき課題もある。

補修方法や止水対策等について効果検証を行い、確実な床版保全を目指していきたいと考えている。

参考文献

- 1) 東北地方整備局：東北地方における道路橋の維持・補修の手引き(案)2017.8
- 2) 東北地方整備局：設計施工マニュアル(案) [道路橋編] 2016.3
- 3) 東北地方整備局：東北地方におけるRC床版の耐久性確保の手引き(案)2019.6
- 4) 東北地方整備局：道路メンテナンス年報 [平成 26~30 年度点検結果] 2019.11

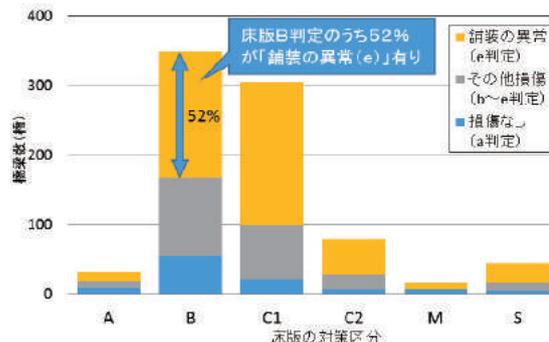


図-9 床版の対策区分の内訳（舗装損傷程度）

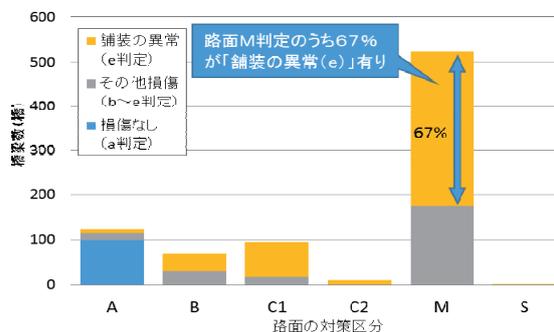


図-10 路面の対策区分の内訳（舗装損傷程度）

表-1 対策区分の凡例（橋梁定期点検要領）

判定区分	判定の内容
A	損傷が認められないか、損傷が軽微で補修を行う必要がない。
B	状況に応じて補修を行う必要がある。
C1	予防保全の観点から、速やかに補修等を行う必要がある。
C2	橋梁構造の安全性の観点から、速やかに補修を行う必要がある。
M	維持工事で対応する必要がある。
S	(S1)詳細調査の必要がある。(S2)追跡調査の必要がある。

橋梁の床版非破壊調査について

櫻井 直樹¹・三浦 義則²

¹北陸地方整備局 道路部 道路構造保全官 (〒950-0088 新潟県新潟市中央区美咲町1-1-1)

²北陸地方整備局 道路部 前道路構造保全官 (〒950-0088 新潟県新潟市中央区美咲町1-1-1)

〒950-8801 新潟県新潟市中央区美咲町1-1-1

近年、道路橋の鉄筋コンクリート(以下RCと略す)床版は、交通量の増加や車両の大型化等に伴い、コンクリート部材の抜け落ちや砂利化等の損傷が問題となっている。舗装下の損傷は直接目視できないため非破壊調査が必要となるが、各種の調査方法についての特徴や精度が整理されていないのが現状である。このことから、非破壊調査手法の活用に向けて、各調査方法を整理した上で、実用化されている非破壊調査を実橋で精度検証し、特徴や精度を取りまとめた。

キーワード 床版, 非破壊調査, 電磁波レーダー法, 赤外線サーモグラフィー法, 音波計測法

1. はじめに

道路橋のRC床版の劣化要因は、大型車両の輪荷重の繰り返し作用による疲労劣化が主たる要因とされ、それに加え床版に生じたひびわれに雨水が浸入すると疲労耐久性が著しく損なわれると言われている。また、積雪寒冷地における道路橋RC床版は、凍害や凍結防止剤の散布による塩害との複合劣化が生じるなど、温暖な地域のものに比べ、さらに過酷な環境条件下に置かれている。

橋梁点検では、床版下面及び路面の損傷状況を把握し、損傷の有無を確認しているが、直接、確認できない床版上面の砂利化などを適切に把握することが、近年求められている。そのため、各現場で非破壊調査の活用が図られてきているが、各種の非破壊調査方法について整理されていないのが現状である。

以上のことから、非破壊調査等の活用に向けて、調査方法の整理を行い、実橋にて4手法の非破壊調査を行い、特徴精度をとりまとめた。

2. 調査内容

(1) 非破壊調査技術の整理

現在、開発中もしくは実績がある非破壊調査技術について調査し、その概要を整理した。非破壊調査技術は、調査に用いる原理により以下のとおり調査方法に分類され、この内、開発及び試験段階である調査方法を除き、稼働実績などを勘案し、比較的適用性が期待できると考えられる調査手法を表-1にとりまとめた。

- 1)電磁波レーダーを利用する方法
- 2)赤外線サーモグラフィーを利用する方法
- 3)音波を利用する方法
- 4)超音波を利用する方法
- 5)打音を利用する方法
- 6)X線を利用する方法

表-1 非破壊調査一覧表

		施工性							実績	技術的課題
		作業性	交通規制要否	天候(適用条件)			計測			
				作業方式	晴	雨	雪	調査適用規模		
車両搭載型	電磁波レーダー法	自走式の調査専用車による計測 速度40~60km/hで計測可能	否	○	△	△	大・中	○	○	・路面に滞水がある場合は感度が低下 ・路面の凹凸による感度が低下 ・鋼部材等の伝導体では床版内部の調査不可
	赤外線サーモグラフィー法	調査専用車による赤外線計測 計測可能速度100km/h	否	○	×	×	大・中	○	△	・路面温度が0℃未満、60℃以上は避ける。 ・日向、日陰などの極端な温度差が生じている場合には判別が困難な場合がある。
手押し型	電磁波レーダー法	手押し式レーダー機器による計測	要	○	△	△	小	◎	○	・路面に滞水がある場合は感度が低下 ・路面の凹凸による感度が低下 ・鋼部材等の伝導体では床版内部の調査不可
	音波法	手押し式打音測定車による音波計測	要	○	×	△	小	◎	△	・路面が荒れている、凸凹等は、異音として反応する場合があるため、困難となる。 ・路面が湿潤状態の場合は、異音として反応する可能性がある。

(2) 試験調査

a) 目的・試験調査フロー

試験調査は、各非破壊調査の特徴や精度を把握するため、一般国道7号「明神第3橋」において、図-1に示す調査フローにて舗装撤去前の非破壊調査、舗装撤去後の目視・打音調査を実施し、その結果を比較し各非破壊調査の特徴や精度を検証した。実施した非破壊調査は表-2のとおりであり、手押し型は交通規制を実施した上で、車両搭載型は交通規制を実施せず調査を実施した。

b) 対象橋梁諸元

本橋梁の諸元を下記に示す。なお、本橋は図-2の横断面図が示すとおり、建設当時より2度拡幅が実施されている。

- 橋 種：単純合成鈹桁橋
- 橋 格：一等橋 (TL-20)
- 橋 長：31.93m
- 幅 員：0.6m+3.50m+3.00m +3.00m +0.6m
=10.7m
- 竣 工：昭和41年 (供用後53年経過)
- 適用基準：昭和31年 鋼道路橋示方書

c) 対象橋梁の損傷状況

2014年度の橋梁点検当時、舗装面に損傷は見られなかったが、写真-1に示すとおり点検以降、舗装の部分補修を実施した形跡、砂利化による泥水が発生しており、本橋梁では、床版上面の損傷が進行している状況であった。なお、舗装面の白い細線は非破壊調査時 (音波計測法) の罫書き線である。

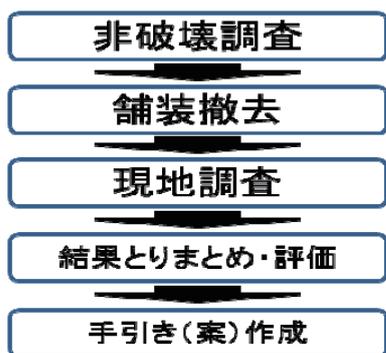


図-1 試験調査フロー

表-2 試験調査に用いた調査法

<p>1) 車両搭載型</p> <ul style="list-style-type: none"> ①電磁波レーダー法1 ②電磁波レーダー法2 <p>※上記①②は電磁波レーダーを用いた技術のうち異なる調査会社のもの。</p> <ul style="list-style-type: none"> ③赤外線サーモグラフィー法 <p>2) 手押し型</p> <ul style="list-style-type: none"> ④音波計測法

d) 非破壊調査結果

各非破壊調査の結果を表-3に示す。各非破壊調査方法により検出した損傷位置に違いがあることが分かった。

e) 舗装撤去後の現地調査結果

舗装撤去範囲の床版上面をハンマーで打音しながら、目視点検を実施し、記録した。確認された主な損傷写真を写真-2～5に示す。また、図-3に損傷図を示す。なお、床版が欠損した箇所には、過去にアスファルト合材で補修がなされている状況であった。

【損傷の特徴】

- ・損傷は砂利化、うき、鉄筋露出に大別される。
- ・既設橋に損傷 (砂利化) が集中している。
- ・伸縮装置周辺で砂利化や鉄筋露出がある。
- ・拡幅部の床版は損傷が少ない。

3. 調査結果

(1) 検証方針

現地にて確認された損傷に対して、非破壊調査の有効性を検証するため、表-4に示す定義的中率、見逃し率、空振り率ならびに未計測率を算出し、調査方法毎の特徴・特色を把握した。なお、集計方法は表-5に示す3案として、集計方法の違いについても把握することとした。また、現地で確認された損傷を大別すると、砂利化、うき、鉄筋露出の3種類であることから、非破壊調査での損傷区分も踏まえて、各損傷種類に対しても集計し、調査方法毎の特色を整理した。なお、精度算出においてはメッシュ (25cm×25cm) を基に計算を行った。

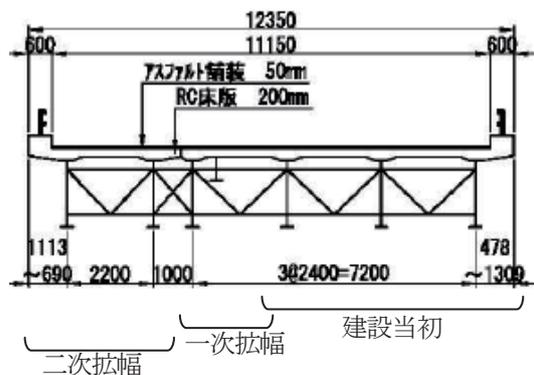


図-2 橋梁断面図



写真-1 舗装撤去前

表-3 非破壊調査結果

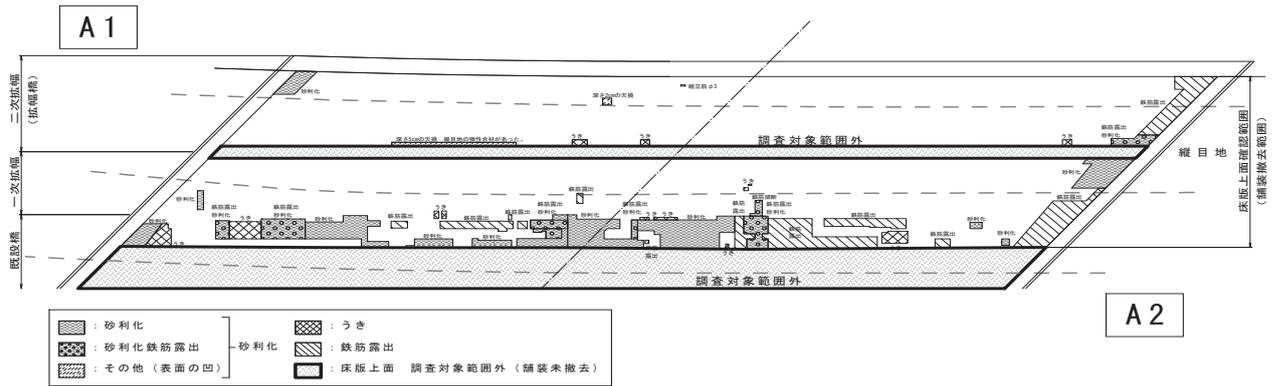
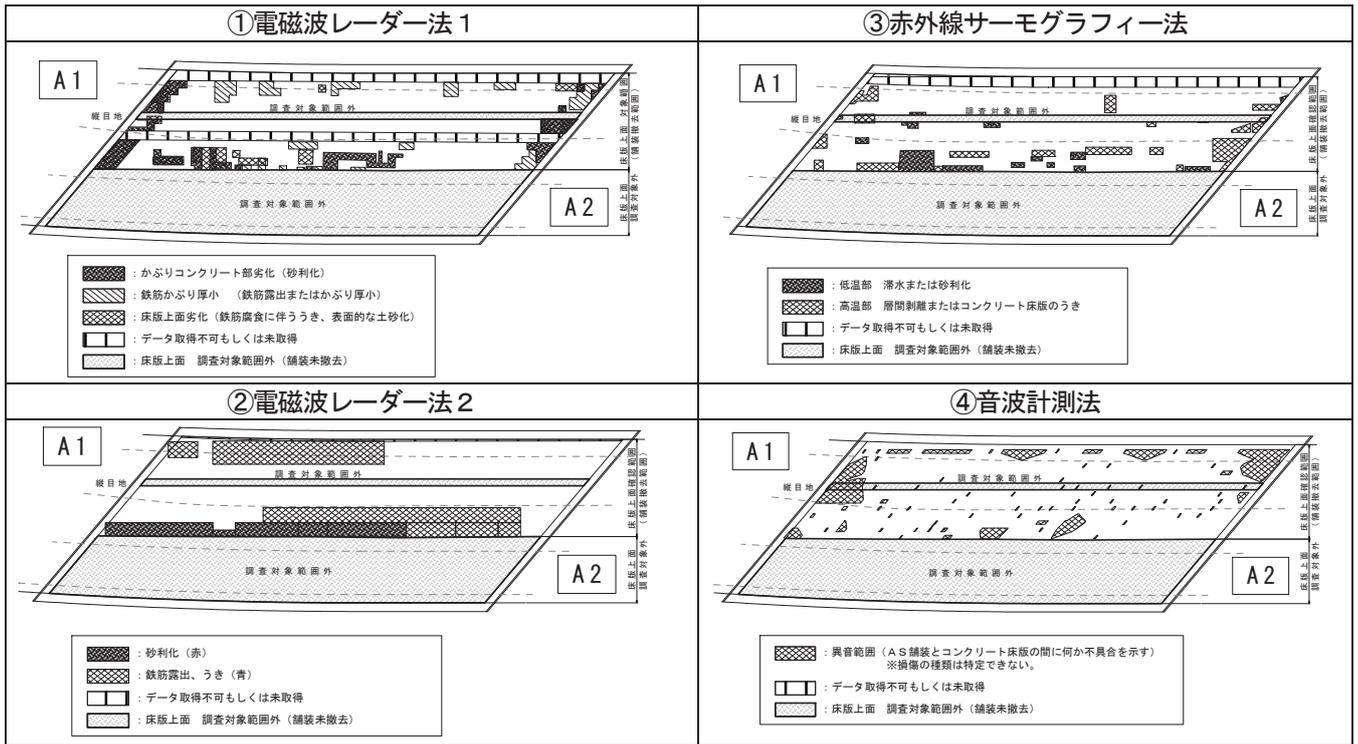


表4 的中率等の用語の定義

	現地調査	非破壊調査	内容	重ね合せ図凡例
的中(あり)	あり	あり	非破壊調査で損傷を検出し、実際に損傷があった箇所	的中(あり)
的中(なし)	なし	なし	非破壊調査で損傷を検出せず、実際に損傷がなかった箇所	的中(なし)
見逃し	あり	なし	非破壊調査では検出できなかったが、実際に損傷があった箇所	見逃し
空振り	なし	あり	非破壊調査では損傷があると評価したが、実際には損傷がなかった箇所	空振り
未計測未取得	可	不可	非破壊調査ではデータの取得ができなかったもしくはしなかった箇所	データ未取得

表5 集計方法3案

	集計内容	計算法
集計方法1	“損傷なし”も評価した判定	全メッシュ個数に対する損傷メッシュ個数の割合
集計方法2	“損傷あり”のみ着目した判定1	非破壊調査“損傷あり”に着目して算出したケース・的中、空振りの合計が100% 見逃しは現地調査(損傷あり)をベースに算出
集計方法3	“損傷あり”のみ着目した判定2	現地調査“損傷あり”に着目して算出したケース・的中、見逃しの合計が100% 空振りは非破壊調査(損傷あり)をベースに算出



写真2 砂利化(鉄筋露出)



写真3 砂利化

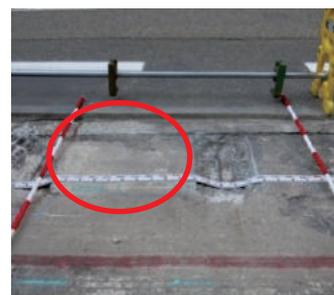


写真4 うき



写真5 鉄筋露出

(2) 検証結果

今回、1橋での調査を実施したが、的中率等は表-6に示したとおりである。なお、補修工事に重要なことは、全体的な損傷の広がり、特に重要な砂利化の把握である事から「損傷(区分なし)」と「砂利化」の2点について集計を実施した。

(3) 考察

実橋における試験調査から、傾向や特徴を以下に述べる。

a) 集計方法について

- 集計方法1は的中率に“なし”を含むため、的中率が70～80%程度算出される結果となった。

このことから、集計方法1は、調査面積に対して多くの損傷がある場合に適するものと期待される。

- 集計方法2と3では、集計方法1と比較して的中率が下がる傾向がある。

集計方法2では非破壊調査結果の推定損傷範囲内における精度、また、修正方法3では実損傷範囲における精度を評価する場合に採用するなど使い分けに配慮する必要がある。

b) 非破壊調査方法について

- 2種類の電磁波レーダー法による非破壊調査で概ね50%以上の的中率精度が得られ、他方法と比較して高い的中率を示した。

- 電磁波レーダー法2では、集計方法2で、的中率(30%程度)が小さいが、集計方法3では70%程度と大きくなっている。これは、図-4から分かるように、

表-6 精度検証結果

非破壊調査方法	パターン	集計方法1		集計方法2		集計方法3	
		損傷区分					
		区分無し	砂利化	区分無し	砂利化	区分無し	砂利化
電磁波レーダー法 1, 2	的中	70%	80%	40%	40%	60%	60%
	見逃し	10%	5%	—	—	40%	40%
	空振り	20%	10%	60%	60%	—	—
赤外線サーモグラフィ法	的中	70%	80%	30%	30%	30%	20%
	見逃し	10%	10%	—	—	70%	80%
	空振り	10%	5%	70%	70%	—	—
音波計測法	的中	80%	—	20%	—	20%	—
	見逃し	10%	—	—	—	80%	—
	空振り	10%	—	80%	—	—	—

注1) 数値は四捨五入で10%単位で表示

注2) 電磁波レーダー法は1と2の平均で評価



図-4 現地調査と非破壊調査の重ね合わせ図(損傷区分無し)

非破壊調査で推定損傷範囲が広く取られていることが影響したものと考えられる。

- 赤外線サーモグラフィ法は集計方法1では70～80%と高く実用性が確認でき、表-3 ③と図-3の比較から損傷範囲の傾向も概ね一致し、スクリーニングに有効であると考えられる。だが、集計方法2, 3では課題が残る結果であった。

- 音波計測法は、集計方法1では80%と高く実用性が確認できたが、表-3 ④と図-3の比較及び表-6から分かるように、集計方法2, 3及び実損傷範囲の分布傾向等では課題が残る結果であった。

なお、調査参加者からの意見として、前日の降雨、過去の補修跡、道路線形による位置ずれなどが的中率に影響を及ぼした可能性を指摘されている。

また、1橋のみの結果であるため、損傷程度や舗装状態の影響により精度が左右されることから調査手法毎の精度の良否については判断できない。

e) 損傷の種類について

- 「砂利化」は「損傷(区分なし)」に対して比較的中率が高いが、鉄筋露出と、うきはいずれの調査方法も区別が難しい。

- 音波計測法は、現時点では損傷の区別はできない。

(4) まとめ

- 今回の調査は1橋のみであり、普遍的な精度までの報告には至っていないが、各調査方法とも、「損傷無し」を含めて評価した場合では有効性が認められた。しかし、実損傷箇所の分布状況(位置や範囲)の特定においては課題が残っている。今後の更なる技術開発が期待される場所である。

- 「砂利化」に対しては、「損傷(区分なし)」と比べ比較的中率が高く、砂利化対策を主とした床版補修工事における断面修復範囲を判断する上での有効性が期待できる。

- 鉄筋露出やうきの区別はいずれの調査方法も難しく、技術革新や経験の蓄積により、将来、判別が可能になることが期待される。

4. あとがき

床版非破壊調査法による調査、診断、評価に資することを目的とするため、調査計画や現地作業、診断・評価における留意点を取りまとめた。

今後は、個々の橋梁の損傷状況、環境条件、交通状況などを踏まえた現地での活用や新技術情報を収集の上、適宜見直しを図りたい。

中部における床版土砂化の現状と取組み

田中 勝¹・大崎 義保²

¹中部地方整備局 飯田国道事務所 管理第二課 (〒395-0024 長野県飯田市東栄町3350)

²中部地方整備局 高山国道事務所 計画課 (〒506-0055 岐阜県高山市下岡本町7-425)

飯田国道事務所が管理する国道153号は、標高1,000mを超える山岳部を通過する路線である。中部地方整備局で最も高標高部を通過する路線であり、冬季にはマイナス10℃台かつ凍結防止剤散布量も多い過酷な環境条件にさらされている。本稿では、当事務所の点検等において確認された床版の土砂化事例と、床版劣化に対する取組みとして調査・施工の観点から事例紹介を行う。

キーワード 床版土砂化, 高標高部, 再劣化

1. はじめに

飯田国道事務所は長野県南部に位置し、木曾地域の国道19号、下伊那地域の国道153号及び474号の3路線を管理している。国道153号については、中京圏と長野県下伊那地方を結ぶ物流の重要な大動脈である。また、近隣に代替路がなく、長野県南部地域と飯田市の救急医療施設を結ぶ、地域の社会経済を支える重要な路線である。

国道153号は中部地方整備局管内で最も高い地点を通過する路線であり、治部坂峠付近では標高1,000mを超える(最高1,187m)。冬季にはマイナス15℃近くになることや、凍結防止剤の散布などの影響により、これまでに道路橋コンクリート床版の土砂化が多数確認されている。

本稿では、国道153号のコンクリート床版の土砂化事例の報告と、床版劣化に対する調査や施工に関する取組み事例について紹介する。

2. 国道153号の特徴

(1) 路線・環境特性

国道153号は愛知県名古屋市から長野県塩尻市までの延長216kmの路線である。このうち、飯田国道事務所では愛知県境から飯田市までの約50kmを管理しており、77橋の車道橋が架橋されている。管理区間は起伏の大きい山間部であり、下記の特性を有している。

- ・標高1,000mを超える峠(治部坂峠)を有し、峠前後は長い急坂(7.0%)とカーブが連続する。
- ・高標高部における路面温度は、年間最高48.7℃に対し最低はマイナス14.9℃である。最低気温が氷点下になる期間が約6ヶ月と、1年のうち半分は床版内部で水分が凍結融解を繰り返している(図-2)。
- ・上記の理由から、凍結防止剤を11月～4月の間散布しており、その散布量は年間約17t/kmである。
- ・交通量はおよそ2,000台/日(うち大型車240台/日)である。



図-1 国道153号位置図

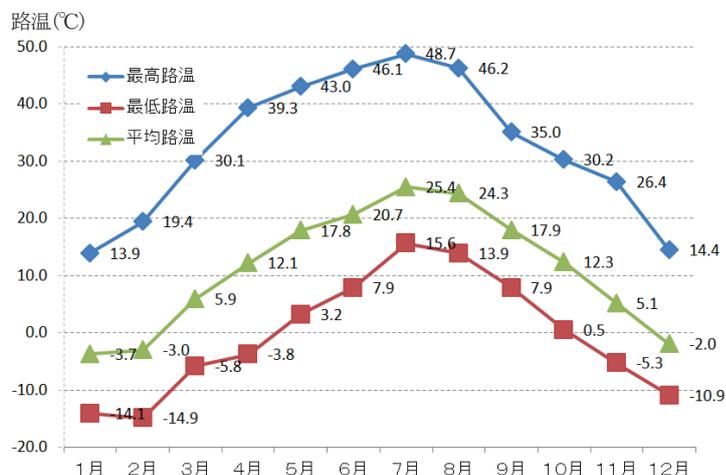


図-2 国道153号高標高部(治部坂峠 標高1,187m)の路面温度

(2) 損傷特性

飯田国道管内では、定期点検結果におけるⅢ判定の橋梁のうち、約59%がコンクリート床版の劣化（漏水・遊離石灰、床版ひび割れ）によるものである。これは、中部地方整備局管内でも突出しており、都市部で大型車交通量の多い路線を持つ事務所より、床版損傷割合が高い（図-3）。



図-3 中部管内事務所のⅢ判定の橋梁（径間）のうち、コンクリート床版がC2評価の割合（中部地整管内1,530径間）

特に国道153号では、床版の劣化が確認される橋梁の多くは、標高600m以上の区間において集中している（図-4）。なお、当区間は国道153号の一次改築において治部坂工区として最も早く整備された区間であり、昭和43年に工事着手、昭和51年に供用を開始し、現在で約40年以上が経過している。

また、当路線で過去5年間（平成25年度～平成29年度）に床版補修工事を行った35橋のうち、約7割の橋梁で床版の土砂化を確認している。

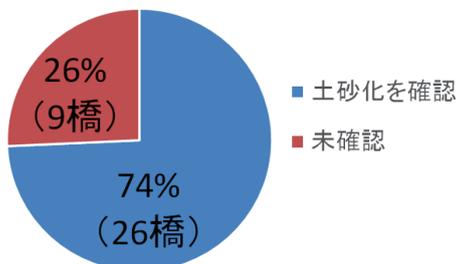


図-5 補修工事において土砂化が確認された橋梁（期間：H25～H29、床版補修橋梁：35橋）

3. 国道153号の土砂化事例

本章では、過去の点検等において確認された、国道153号の床版の土砂化について、3事例を紹介する。いずれの事例においても、ポットホール等の舗装の変状や漏水・遊離石灰を伴う二方向ひび割れの急速な進展が確認されている。

(1) 第二恩田橋

a) 橋梁諸元

第二恩田橋は、昭和53年に竣工した、橋長39.9m、幅員9.75m、鋼単純非合成鈹桁橋で4主桁にRC床版（床版厚19cm）を有する橋梁である。

b) 損傷概要

平成23年度の定期点検において、床版支間部に漏水・遊離石灰を伴う2方向ひび割れを確認した。舗装打ち換え工事の際に当該箇所の床版上面の土砂化を確認しており、不健全なコンクリートをはつる作業の際に、床版下面まで抜け落ちが生じた（写真-1）。床版の抜け落ちは一部であったが、当該箇所の路面は過去にポットホールの補修をしており、舗装ひび割れ部から雨水が床版に浸透したものと推定された。



写真-1 土砂化による床版の抜け落ち状況（第二恩田橋）

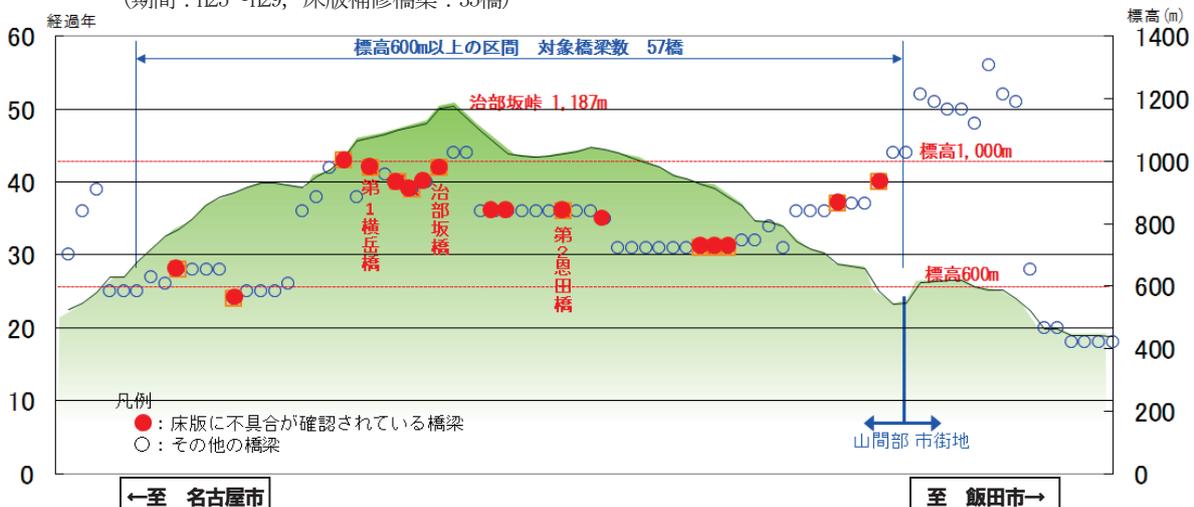


図-4 道路施設の竣工後経過年数と標高の位置関係

(2) 治部坂橋

a) 橋梁諸元

治部坂橋は、昭和47年に竣工した、橋長25.0m、幅員8.0m、鋼単純非合成鉄桁橋で3主桁にRC床版（床版厚21cm）を有する橋梁である。

b) 損傷概要

補修履歴として、平成22年度に床版上面の断面修復および橋面防水を実施していた。なお、床版の補修方法は、舗装切削後、床版の劣化コンクリートをブレーカーにて除去し、超早強コンクリートにて復旧した。床版上面には床版排水（スラブドレーン）、床版防水、橋面用アスファルト舗装（改質アスファルトⅢ型-W）を施工しており、今日でもスタンダードな補修工法である。

しかし、4年経過後の平成26年度には、橋面舗装部に亀甲状のひび割れや白濁物の流出が発生した。床版下面を確認したところ、湿潤状態で2方向ひび割れが卓越するうえ、ひび割れ部からエフロレッセンスが目視で確認できる状態であった（写真-2）。



写真-2 床版打替対策後の床版下面の損傷状況（治部坂橋）

上記の損傷状況から、緊急的に舗装を撤去し床版上面を確認したところ、コンクリートの土砂化が確認された（写真-3）。床版の応急復旧として、劣化コンクリートを除去し、超早強コンクリートにて即日復旧して経過観察とした。しかしながら、一冬越した平成27年度初春に、応急復旧した箇所から橋面にエフロレッセンスが噴出したり、他の橋面上の部位も異常が確認された（写真-4）ため、本復旧として床版打ち換えを実施した。

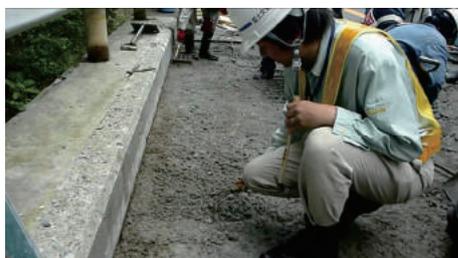


写真-3 緊急開削により床版土砂化を確認（治部坂橋）

床版打ち換えに先立ち、路面切削後の床版上面の目視調査とウォータージェット工法による試掘により、床版コンクリート内部の状況確認を行った。確認された床版の損傷状況は下記の通りである。



写真-4 舗装面に生じた変状（治部坂橋）

- ・試掘したほぼ全ての床版コンクリートに、層状のひび割れが確認された。また、応急復旧にて床版断面修復したコンクリートと既設コンクリートの断面に隙間が生じており、一体化が図られていない状況であった（写真-5,6）。
- ・高圧水がひび割れなどの脆弱部に浸透したことで、既設床版が深くえぐれた箇所が確認され、床版厚21cmのうち17cmまで土砂化が進展していた（写真-7）。
- ・舗装継ぎ目部、伸縮装置周辺部、地覆・排水柵周辺部において顕著に土砂化が確認された（写真-8）。



写真-5 舗装撤去後の床版状況（治部坂橋）



写真-6 床版上の層状のひび割れ（治部坂橋）



写真-7 土砂化深さ（治部坂橋）

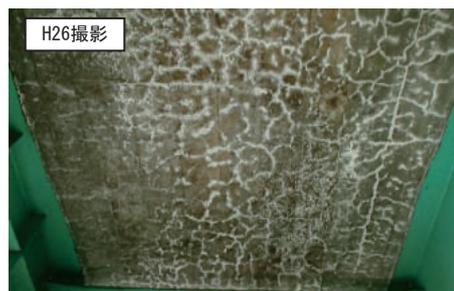


写真-10 床版下面の損傷状況（第一横岳橋）



写真-8 土砂化状況（治部坂橋）

(3) 第一横岳橋

a) 橋梁諸元

第一横岳橋は、昭和47年に竣工した、橋長126.9m、幅員7.00m、鋼単純非合成鈹桁橋と3径間連続合成鈹桁橋で3主桁にRC床版（床版厚20cm）を有する橋梁である。

b) 損傷概要

平成26年の雨天時に、橋面舗装の補修跡から泥状の噴出が認められた。橋梁上面の損傷状況は、セメントペースト状の土砂が補修箇所から流出しており、部分的な舗装の浮きが確認されている状態であった（写真-9）。

当該箇所の床版下面の状況は、2方向のひび割れの他、水の滲み出し・遊離石灰が析出し、遊離石灰については落下して地面に散乱しているものもあった。また、過去の定期点検と比較して、ひび割れが急速に進展していた（写真-10）。



写真-11 土砂化状況（第一横岳橋）



写真-9 舗装面に生じた変状（第一横岳橋）

4. 床版劣化に対する取り組み事例

(1) 調査

a) コンクリート床版内部診断（非破壊調査）

当事務所では、国道153号の橋梁のうち、床版土砂化が懸念される山間部の橋梁を対象に、平成26年度と平成29年度に非破壊調査技術の一つである高速・高解像度三次元地中レーダ技術による調査を実施している。これは、床版土砂化が懸念される橋梁が複数存在する中、交通規制や舗装の取壊しを行うことなく、路線全体の劣化状況を把握するために有効である。

不可視箇所を把握するための調査であり、劣化の評価精度の向上などの課題はあるが、目視調査やその他点検結果と合わせ、補修計画を検討する上での基礎データとして活用している。

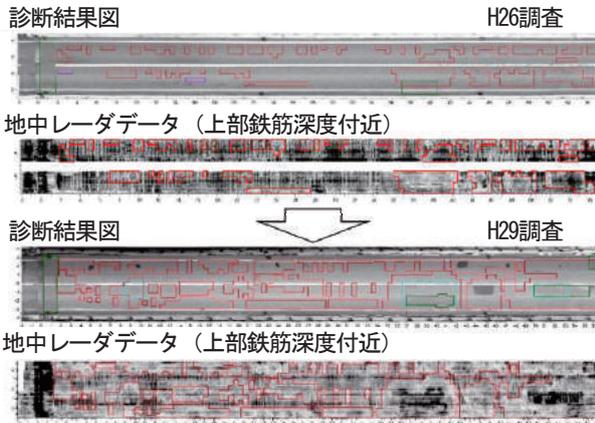


図-6 コンクリート床版内部診断結果（画像比較）

b) コア採取による詳細調査

コンクリート床版内部診断で土砂化が疑われた22橋で、劣化原因を探るため、コア採取による詳細調査を実施した。全ての橋梁で反応性珪物（隠微晶質石英を含むチャート等）が使用されており、塩化物イオン濃度も高い数値を示した。これより、当事務所の床版劣化要因として塩害・凍害の複合劣化が考えられ、将来的にASR（アルカリ骨材反応）が生じる疑いがあることが判明した。

・塩化物イオン濃度試験

凍結防止剤による塩化物イオンの浸透状況を確認するため、床版上面からコアを採取し、塩化物イオン濃度を測定した。試験結果より、腐食発生限界濃度（ 1.2kg/m^3 ）を超過する橋梁を17橋確認した。塩化物イオンは深い深度まで浸透しており、上側鉄筋付近のみならず、床版厚の中心付近においても高濃度の塩化物イオンが確認され、塩化物イオン浸入によりASRや凍害が促進されていると考えられた（図-7）。

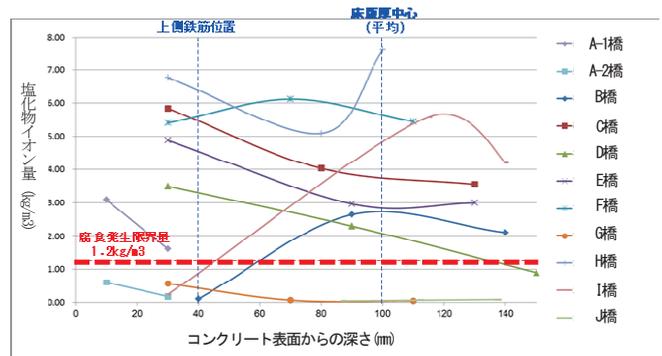


図-7(a) 塩化物イオン濃度試験結果（高標高区間）

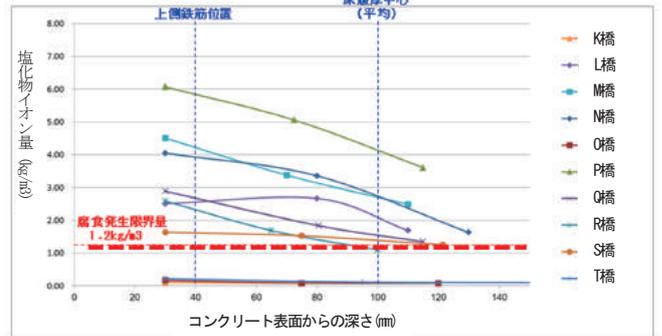


図-7(b) 塩化物イオン濃度試験結果（その他区間）

・ASR試験

床版ひび割れの発生状況や架橋年代からASRの発生が考えられたため、コア観察、岩種判定によりASRの可能性を判断した。試験結果ではASRの痕跡は認められなかったが、いずれの橋梁も反応性珪物（隠微晶質石英を含むチャート等）が確認され、将来的に反応を示す可能性があると考えられた（写真-12）。

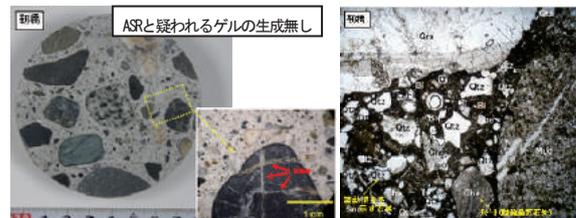


写真-12 ASR試験結果（代表）

(2) 施工

当路線における床版補修工事では、再劣化抑制に力点をおき、以下の対策を施している。

a) 劣化コンクリートの撤去

床版取り壊しは、ブレーカーを用いるとはつり時の振動・衝撃が健全なコンクリートにマイクロクラックを発生させ、強度低下や新規に用いる断面修復材との付着性低下を引き起こすことが研究結果で報告されている。

ブレーカーはつりによる再劣化を避けるためウォータージェットを採用している。なお、はつり深さを均一に調整するため、コリジョンジェット工法を採用している。

b) 耐凍害性に配慮したコンクリート配合の採用

治部坂峠周辺の橋梁では、凍害によるポップアウトやスケーリングが多数生じていることから、コンクリート標準示方書を参考に、耐凍害性の高いコンクリート配合を採用している。配合は、水セメント比45%以下、空気量を6%以上として、コンクリート内部水の凍結膨張圧を緩和させるものとした（表-1）。

表-1 耐凍害性コンクリート配合 (24-8-25H)

目的	項目	配合条件	配合
耐凍害性向上	水セメント比	45%以下	42.5%
	空気量	6%以下	7.5%(±1.5%)
	混和材	AE減水剤	高性能AE減水剤
ひび割れ抵抗性向上	膨張材	-	T社 石灰系膨張材
	繊維補強材	-	PVA短繊維(3.0kg/m ³)
	天端ひび割れ抑制	-	溶接金網設置

c) 橋面防水工の仕様、橋面排水処理の工夫

床版を打ち換える場合の橋面防水材料は、高性能防水としてウレタン樹脂系（NEXCOグレードIIの要求性能を満足）を採用している。

また、桁端部の橋面水が滞水しやすい箇所は、伸縮装置と排水柵までの間に後打ちコンクリートを設置し、床版面に滞水しないように構造改善を行った（写真-13）。



写真-13 伸縮装置周辺部の床版滞水防止対策

d) 新旧コンクリートの一体性確保対策

既設コンクリートを残存させ新設コンクリートを継ぎ足す場合は、新旧コンクリートの付着性を向上させるため、打ち継ぎ部に差し筋アンカー、接着剤を塗布する他、溶接金網を敷設した（図-8）。

また、塩害を受けたコンクリートに新たなコンクリートを継ぎ足すと、境界面でマクロセル腐食現象による鉄

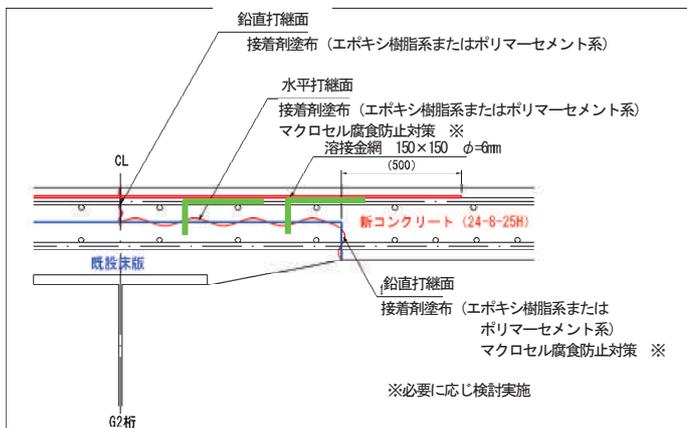


図-8 新旧コンクリートの一体性確保対策

筋腐食が懸念されるため、防止対策として亜硝酸リチウムを既設コンクリートに散布・浸透させた。

e) その他構造細目の工夫

スラブドレーンの排水管は鋼製フレキシブル管が一般的に使用されている。しかし、凍結による破損事例もあることから、樹脂製フレキシブル管を用いるなど、床版内の水分を排出する機能が失われないように、スラブドレーンの耐久性を向上させている（写真-14）。



写真-14 スラブドレーンの耐久性向上策

5. おわりに

従来、道路橋のコンクリート床版に生じる損傷の多くは、大型車両による輪荷重の繰り返し作用に起因した疲労劣化であるとされていた。しかし、当事務所の管理橋梁においては、積雪寒冷地域と高標高地特有の床版上面コンクリートの土砂化が多数生じている。

床版の土砂化については、劣化機構、損傷過程を含め不明な点も多いが、当事務所における損傷事例・補修事例と、その後の劣化状況を蓄積し、今後も土木研究所等と連携を図りながら、検討を進めてまいりたい。

大分 210 号 境橋床版打換え工事報告

船井 敏勝¹・中村 真一郎²

¹九州地方整備局 大分河川国道事務所 (〒870-0820 大分市西大道 1-1-71)

²九州地方整備局 大分河川国道事務所 道路管理第二課 (〒870-0820 大分市西大道 1-1-71)

大分河川国道事務所管内における道路橋コンクリート床版の土砂化について、調査から対策工事までの事例を紹介する。また、床版コンクリートの滞水条件や細骨材の塩分含有量等の現地条件から土砂化の原因と過程を推察して紹介する。

キーワード 鉄筋コンクリート床版, 土砂化メカニズム, コンクリート片落下, 緊急対策, 床版更新

1. はじめに

2013年の道路法改正により道路施設に対する維持管理の気運が一層高まり、点検と補修によって、利用者の安全と災害時の緊急輸送路が確保されている。しかし、国内約73万橋の約25%が建設後50年を超えており、多数の橋梁に何れかの劣化・損傷が報告されている。

ここでは、国道210号で供用中の境橋(図-1)に生じた床版コンクリートの土砂化について、調査と緊急対策および恒久対策の取組みを報告する。

- ・橋 長：橋長=226.8m(幅員9.5m)
- ・形 式：鋼単純鈹桁+鋼3径間連続非合成箱桁
- ・竣 工：1973年(昭和48年)
- ・交通量：8460台/日, 大型車混入率17.2%
※2017年センサスより
- ・冬季の凍結防止剤散布量：5.6t/km
※2014~2016年実績の平均値

2. 床版の損傷状況と緊急対策

境橋は2011年の点検で床版下面に劣化(写真-1)が確認されたため、橋面防水工および炭素繊維補強を実施することとし、まず2012年に橋面防水層の敷設工事を行った。工事中の路面切削で床版コンクリート上面に広範囲の土砂化(写真-2)が確認され、更なる進行に備えて調査を行い、土砂化した箇所の断面を修復した後、境橋全面に防水層を敷設して、最初の工事を終了した。

維補強を実施することとし、まず2012年に橋面防水層の敷設工事を行った。工事中の路面切削で床版コンクリート上面に広範囲の土砂化(写真-2)が確認され、更なる進行に備えて調査を行い、土砂化した箇所の断面を修復した後、境橋全面に防水層を敷設して、最初の工事を終了した。



写真-1 床版下面の遊離石灰



写真-2 土砂化した床版

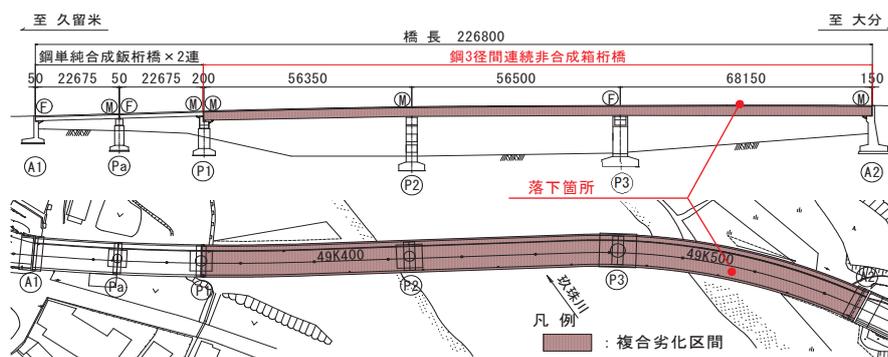
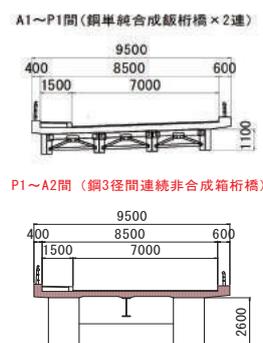


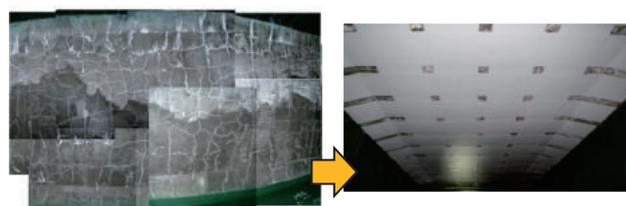
図-1 境橋(橋梁一般図)



しかし、次の炭素繊維補強工事に着手する直前に床版下面からコンクリート片（写真-3）が落下したため、剥落箇所の緊急対策（橋面防水層の補修、床版下面への炭素繊維補強：写真-4）を施した後、境橋全体に同対策を展開した。



(a) 床版下面の落下部位 (b) 落下したコンクリート片
写真-3 コンクリート片の落下



(a) 床版下面の損傷状況 (b) 炭素繊維補強
写真-4 応急対策

3. 損傷の原因とメカニズム

(1) 原因1：歩道部からの水の浸入

建設当時、歩道部の間詰材には間隙の多い粒調砕石が用いられていた。2013年の調査によると歩道部から橋面防水層の下に雨水が浸入し、床版内部への浸透水により鉄筋の腐食が発生していた（図-2、写真-5）。

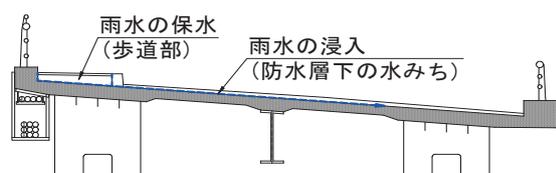


図-2 雨水の浸透経路



(a) 防水層下の水染み (b) 床版鉄筋の錆
写真-5 土砂化した床版内部の状況

(2) 原因2：床版コンクリートの品質

2013年に実施したコンクリート塩分濃度は1.5

～3.0kg/m³で、腐食発生限界濃度（1.2kg/m³）を大きく超過し、床版の上面と下面で同程度の値が検出された（図-3）。土砂化した骨材から貝殻が混在する海砂が確認され、凍結防止剤と相まって高い塩分濃度が検出されたものと推察された。

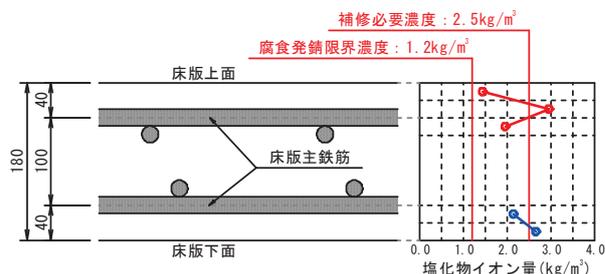


図-3 床版深さ方向の塩化物イオン量

(3) 原因3：大型車の通行と床版厚さ

建設当時の道路橋示方書（1967年）では床版厚は18cmとなり、現行示方書では21cmが必要である。本路線は大型車の通行が多く、床版厚さ不足も損傷の一因と考えられる。

(4) 損傷のメカニズム

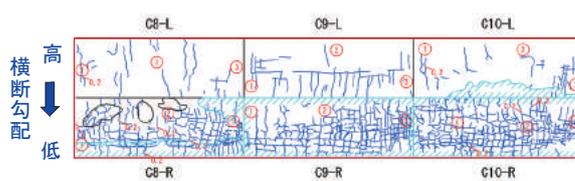
今回の損傷は、横断勾配の高い歩道側から車道部の防水層下に水が浸入し、塩分により腐食し易い環境下の鉄筋が発錆したものと考えられる。発錆した鉄筋は膨張し、床版上側鉄筋のかぶりにひび割れが生じ、水の浸透、発錆・膨張、ひび割れの繰り返しにより床版コンクリートの土砂化が広範囲に進行した。

また、ASRと思われる析出物も確認され、複合劣化による損傷の急激な進展により床版下面の抜け落ちに至る結果となったと考えられる（図-4および図-5）。



(a) 2005.2 調査時

約9年で進行



(b) 2014.12 調査時

図-4 床版下面損傷の進行

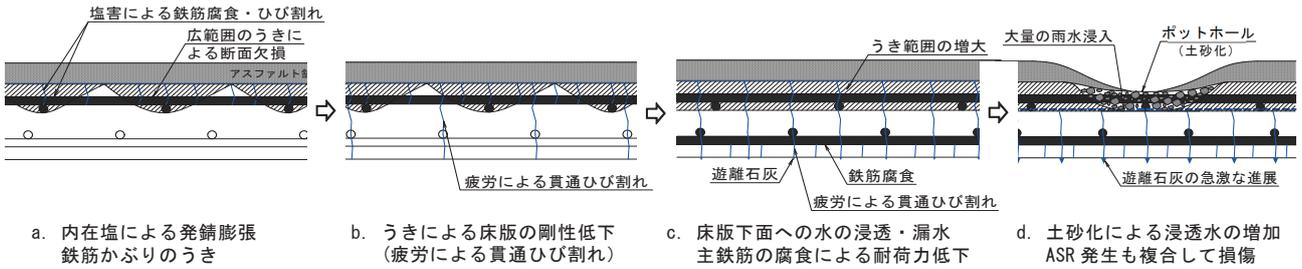


図-5 損傷過程 (メカニズム)

4. 恒久対策

4.1 対策工の選定

今回の損傷を踏まえ、「コンクリート標準示方書 維持管理編」を参考として対策工を検討した。

対策工は、①補修工法案、②補強工法案、③床版更新工法案について経済性、工期・工程、品質、既設桁（橋梁の改造）、現道交通、耐用年数の6項目について検討した。

検討の結果、品質と耐用年数（維持・補修の軽減を図り、床版を健全な状態に戻して耐用年数を確保できる事）と、施工性（工事中の現道交通を確保するため片側交互通行で施工できる事）に重要度を置いて「床版更新工法案（プレキャスト床版）」を採用した（表-1）。

① 補修工法案

既設床版の損傷部を撤去し、コンクリートで修復して今後も修繕しながら使用する案

② 補強工法案

既設床版の損傷部を撤去して修復し、床版下面を炭素繊維シートや鋼板で補強する案

③ 床版更新工法案

土砂化により損傷が著しい既設床版を撤去し、新しい床版に取り換える案

さらに選定した床版更新工法案について、次ページに示す2次比較（表-2）を行った。

比較案のうち、第2案の鋼合成サンドイッチ床版は床版上下面の鋼板を主部材とする鋼床版構造である。そのため、既設床版と同じ厚さ18cmで現行の道路橋示方書と同等の耐力が確保できることや、工事中也片側交互通行で走行する車両の交通振動が、現場で打設充填する高流動コンクリートに影響しないことから本工法を採用した。

表-1 対策工の1次比較選定

対策案	補修工法案	補強工法案	床版更新工法案
対策工法	床版上面断面修復工・橋面防水工	炭素繊維接着工 (or 鋼板接着工)	プレキャスト床版
床版部概略図			
経済性	工事費 小 ◎	工事費 中 ○	工事費 大 △
工期	150日程度 ◎	200日程度 ◎	400日程度 ○
品質 (目標性能水準)	現状維持または対策実施以降の低下速度を低減させる △	現状維持または対策実施以降の低下速度を低減させる △	初期性能以上のレベルにまで性能を回復させる ◎
床版の構造性	現行道示の床版厚が確保できない △	現行道示の床版厚が確保できない △	現行道示と同等の耐力が確保できる ◎
現場条件	現道交通規制(片側交互通行)が必要 ○	現道交通規制(片側交互通行)が必要 ○	現道交通規制(片側交互通行)が必要 ○
耐用年数 (安全性)	耐用年数は2年~3年が想定される(点検強化の実施が条件) △	耐用年数は5年~10年が想定される(点検強化の実施が条件) △	耐用年数は50年~100年が想定される(適切な維持管理が条件) ◎
評価	短期的な対策で採用済み (漏水が止まっていないため、耐用年数は更に短くなる可能性がある)		推奨案

表-2 プレキャスト床版の工法選定（2次比較：最終選定）

	第1案 プレキャスト合成床版(非溶接タイプ)	第2案 鋼合成サンドイッチ床版	第3案 プレキャストPC床版	
構造図				
工法概要	・床版下面鋼板とコンクリートとをずれ止めにより合成させたプレキャスト床版である。	・上下鋼板を工場で特殊ボルトで連結し、現場にて高流動コンクリート充填し合成させたハーフプレキャスト合成床版である。	・橋軸直角方向は工場にてプレストレスを導入し、橋軸方向は現場架設後にプレストレスを導入して一体化させる床版である。	
構造的性	・部材の接合に溶接を使用しておらず、疲労耐久性、耐荷性に優れた構造である。 ・下鋼板が全方向に有効に働くため、形状が複雑な橋梁についても適用が可能である。	・部材の接合に溶接を使用しておらず、疲労耐久性、耐荷性に優れた構造である。 ・上下鋼板が全方向に有効に働くため、形状が複雑な橋梁についても適用が可能である。	・2方向にプレストレスを導入することで、コンクリートにひび割れが生じないため耐久性に優れた構造である。	
本橋への適用性	曲線に対して	○	◎	△
	施工性及び品質確保	△	○	△
	概算工期	○	○	△
	概算工費	△	◎	○
維持管理	○	○	◎	
総合評価	△	○＜推奨案＞	△	

※概算工費は、第2案を1.00とした場合の比率を示す

4.2 床版打替え工事

工事中の迂回路が確保できない本橋は、車道2車線のうち1車線を施工ヤードとし、片側交互通行で現道交通を確保した。歩行者に対しては仮設歩道を設けて施工した（写真-6～8，図-6）。



写真-6 工事状況(全体)

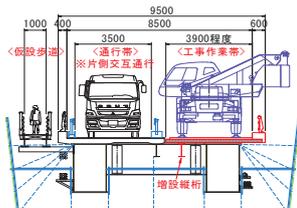


図-6 工事概要



写真-9 完成 (2018.8.27)



写真-7 既設床版の撤去



写真-8 床版設置

この床版打替え工事は2018年に完了し、供用している（写真-9）。

5. おわりに

境橋の床版コンクリートは、水の浸透などにより土砂化が加速度的に進行したものと考えられる。床版下面に損傷が確認された場合は、ひび割れ深さ（貫通の有無、遊離石灰の析出）やコンクリートの品質（塩化物イオン濃度、ASR等）について調査と試験を行い、劣化の原因と進展、損傷範囲を把握して適切な橋梁補修を行うことが重要である。今後も土木研究所と連携を図り、他の直轄事例を踏まえて橋梁の長寿命化に努めてまいりたい。

道路橋コンクリート床版の土砂化について —北海道の国道における事例—

加藤 一之¹・在田 尚宏¹・谷口 雄紀¹・佐藤 弘大²

¹北海道開発局 建設部 道路維持課 (〒060-8511 札幌市北区北8条西2丁目)

²北海道開発局 旭川開発建設部 道路設計管理官付 (〒078-8513 旭川市宮前1条3丁目3-15)

北海道はとりわけ、「凍害」「塩害」など構造物にとって厳しい環境を備えた地域である。平成26年から30年までの5年間で実施した橋梁点検の結果では「床版」を主とする損傷はわずかであるが、定期点検や道路巡回で発見された舗装の異状は毎年発生しており、その原因の一つとして、床版コンクリートの土砂化がある。

本報告では床版コンクリートの土砂化が進行していた、国道12号旭川市神居古潭大橋の補修事例を紹介する。

キーワード 積雪寒冷地域、凍害、塩害、床版の土砂化、複合防水

1. 道路管理概要

(1) 北海道開発局の道路施設等

北海道開発局では北海道にある一般国道46路線と道東道の一部の延べ6,786km(平成30年度末時点)を管理している。

(2) 北海道の地域性

積雪・寒冷地域においては、「凍害」によるコンクリートの損傷が問題となる。とりわけ、北海道は冬期の平均気温が低いことから、凍害による損傷を受けやすい環境にある。また、北海道は海に囲まれており、特に日本海側は海水飛沫や飛来塩分の強い地域が多く、その影響を受けている。実際、これまでにコンクリート桁に「塩害」が発生している例も見られた。(図-1参照)

このように、北海道は「凍害」「塩害」など構造物にとって厳しい環境を備えた地域である。

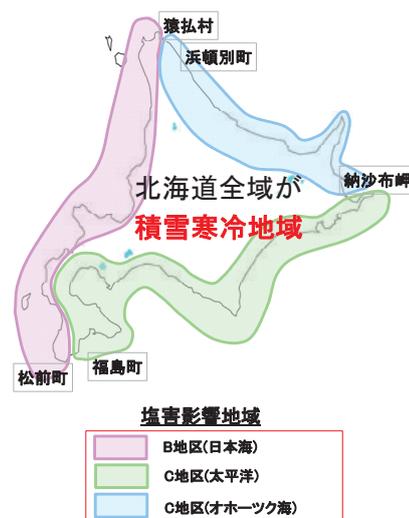


図-1 塩害影響地域

2. 橋梁点検概要

(1) 橋梁点検対象施設

北海道開発局では4,276の橋梁(平成30年度末時点)を管理しており、橋梁の種類は鋼橋が44%、PCが34%、RCが19%となっている(図-2参照)。管理する全ての橋梁を橋梁定期点検要領¹⁾に基づき点検、診断を行っている。平成26年度に点検要領が改正され、近接目視による点検が原則となり平成26年から平成30年度までの5年間で全ての橋梁の点検が一巡した。

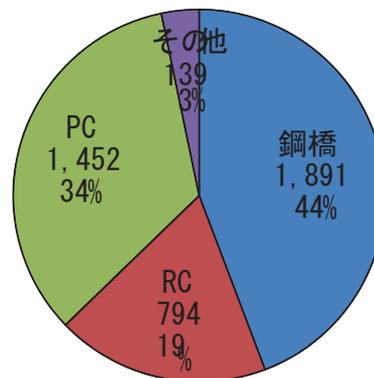


図-2 橋梁の種類

(2) 損傷の発生傾向

平成26年から平成30年にまでの5年間で実施した点検における、主要部材の損傷の発生状況を図-3に示す。平成26～30年度の点検結果における主要部材のC, S判定の発生傾向では、進行した損傷の種類は「腐食」が全体の約80%を占めている。部材では、「主桁・横桁・縦桁」で99%を占め、特に桁端部の発生が著しく、「床版」が主となる異状の発生は全体の1%程度である。

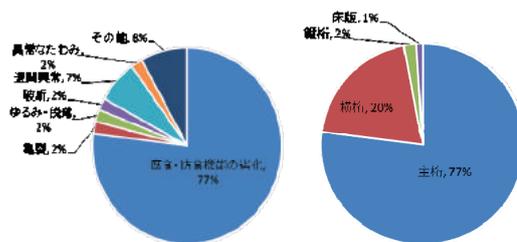


図-3 損傷（主要部材）の発生状況

3. 舗装路面異状の発生状況

(1) 舗装路面の異状発生状況

点検結果における床版の損傷発生率は低いところであるが、定期点検や道路巡回で発見された舗装の異状は毎年発生している。平成25～29年度の過去5年間では、211橋（毎年平均40橋程度）で舗装の異状が毎年発生している。

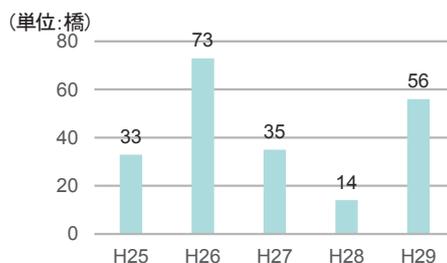


図-4 舗装開削調査数

図-4は過去5年間の舗装開削調査を行った結果であるが、平成26年度及び平成29年度は、前年度の冬期における舗装路面の損傷進行（凍結融解）により、発生数が増加したものと考えられる。

(2) 舗装路面異状による舗装開削調査の状況

過去5年間に実施した、舗装開削調査の対象橋梁では、1960～1970年代（橋齢40～58歳）で多く見られたが、1980～2000年代（橋齢18～39歳）も一定の調査数を占めていた（表-1参照）。調査を実施した中には、床版防水工の実施履歴がある橋梁も含まれており、再劣化の可能性も考えられる。

表-1 舗装開削調査を実施した橋齢及び床版防水工の有無

架設年	開削調査実施数	防水あり	防水なし	不明
1950年代	15 橋	5	10	0
1960年代	55 橋	19	33	3
1970年代	59 橋	19	34	6
1980年代	32 橋	10	19	3
1990年代	30 橋	16	12	2
2000年代以降	20 橋	17	2	1
合計	211 橋	86	110	15

(3) 舗装開削調査の発生箇所

過去5年間で実施した舗装開削調査箇所を表-2に示す。舗装路面の異状発生は全道的に分布しているが、主に道央（札幌・小樽・室蘭）及び旭川、帯広の各開発建設部に集中していた。

表-2 舗装開削調査を実施した開発建設部別・路線別数

	札幌	函館	小樽	旭川	室蘭	釧路	帯広	網走	留萌	稚内	路線合計
国道5号	0	10	3	-	-	-	-	-	-	-	13
国道12号	11	-	-	1	-	-	-	-	-	-	12
国道36号	3	-	-	-	2	-	-	-	-	-	5
国道37号	3	0	-	4	2	-	-	-	-	-	9
国道38号	3	-	-	-	-	0	1	-	-	-	4
国道39号	-	-	-	3	-	-	-	1	-	-	4
国道40号	-	-	-	2	-	-	-	-	3	1	6
国道44号	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	1
国道227号	-	0	-	-	-	-	-	-	-	-	0
国道228号	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	1
国道229号	-	0	9	-	-	-	-	-	-	-	9
国道230号	2	0	1	-	0	-	-	-	-	-	3
国道231号	7	0	-	-	-	-	-	-	2	-	9
国道232号	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	3
国道233号	10	-	-	-	-	-	-	-	0	-	10
国道234号	0	-	-	-	0	-	-	-	-	-	0
国道235号	-	-	-	6	-	-	-	-	-	-	6
国道236号	-	-	-	-	2	-	2	-	-	-	4
国道237号	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	2
国道238号	-	-	-	-	-	-	-	1	-	0	1
国道239号	-	-	-	0	-	-	-	0	0	-	0
国道240号	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	0
国道241号	-	-	-	-	-	0	1	-	-	-	1
国道242号	-	-	-	-	-	-	5	1	-	-	6
国道243号	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	0
国道244号	-	-	-	-	-	0	-	1	-	-	1
国道272号	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	2
国道273号	-	-	-	5	-	-	2	1	-	-	8
国道274号	9	-	-	-	16	1	2	-	-	-	28
国道275号	7	-	-	-	-	-	-	-	-	1	8
国道276号	2	-	3	-	1	-	-	-	-	-	6
国道277号	-	0	-	-	-	-	-	-	-	-	0
国道278号	-	0	-	-	-	-	-	-	-	-	0
国道279号	-	0	-	-	-	-	-	-	-	-	0
国道333号	-	-	-	0	-	-	-	2	-	-	2
国道334号	-	-	-	-	-	0	-	1	-	-	1
国道335号	9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9
国道336号	-	-	-	0	-	-	4	-	-	-	4
国道337号	8	-	0	-	-	-	-	-	-	-	8
国道391号	-	-	-	-	0	-	-	0	-	-	0
国道392号	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	2
国道393号	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	2
国道450号	-	-	-	2	-	-	-	0	-	-	2
国道451号	9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9
国道452号	9	-	-	0	-	-	-	-	-	-	9
国道453号	2	-	-	0	-	-	-	-	-	-	2
新直轄	-	-	-	-	0	-	-	0	-	-	0
合計	82	11	19	27	31	7	17	8	8	2	211

4. 舗装開削による床版調査

舗装開削調査の結果は、大きく下記の4つの状況が確認された。

- a) 舗装の変状（もしくはならしコンクリートの変状）のみで、床版面に異状が無い。（分類1）
- b) 床版の土砂化が進行しているが、鉄筋位置には達していない。（分類2）
- c) 鉄筋位置まで土砂化が達しているが、鉄筋の錆・断面減少等は見られない。（分類3）
- d) 鉄筋位置に土砂化が達しており、鉄筋の錆・断面欠損等が進行している。（分類4）

分類別の発生状況は図-5の通りである。

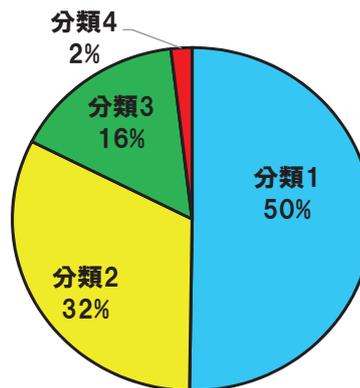


図-5 分類別発生状況

5. 床版土砂化における調査

床版の土砂化における調査は、以下の項目について実施した。調査項目については、コンクリート標準示方書（維持管理編）を参考にした。

(1) 現地調査

- a) 降雨後の床版下面目視調査（貫通ひび割れ、漏水有無）（写真-1参照）
- b) 土砂化範囲（床版内部への影響、橋梁全体における発生範囲）
- c) 床版防水工の有無確認
- d) コンクリートコア採取
- e) コア削孔内部の状況確認

(2) 室内試験（コア採取）

- a) 圧縮強度試験
- b) 静弾性係数試験
- c) 中性化深さ試験（写真-2参照）
- d) （必要に応じて）塩化物イオン含有量試験

(3) 現地調査において併用した機械

- a) 棒状スキャナー
小規模の削孔で床版表面を調査する。
- b) マイクロ波による劣化部調査
開削せずに劣化状態を把握する。
- c) 赤外線サーモグラフィ
降雨後の温度差から、うきを調査する。



写真-1 降雨後の床版下面目視調査



写真-2 中性化深さ試験

6. 近年の土砂化橋梁における補修事例

北海道開発局管内の橋梁で、床版コンクリートの土砂化が進行していた事例として、国道12号旭川市神居古潭大橋の事例を紹介する。

(1) 神居古潭大橋の概要

神居古潭大橋のある国道12号は札幌市と旭川市を結ぶ主要な路線である。神居古潭大橋は架設が昭和54年、橋長161.5mの4径間の非合成鉄桁橋である（図-6参照）。

近年の定期点検は、平成24及び29年に行った。

(1) 舗装路面変状の発生

平成27年度に著しい路面変状が発生したため、調査を実施したところ、床版下面に2方向のひび割れや遊離石灰の滲出が見られた（図-7参照）。

(2) 過去の定期点検

神居古潭大橋の過去の点検結果では、いずれの点検時も、床版の下面へのひび割れや、遊離石灰の記述はあったものの、劣化は急速ではなく、徐々に進行していたものと考えられる。

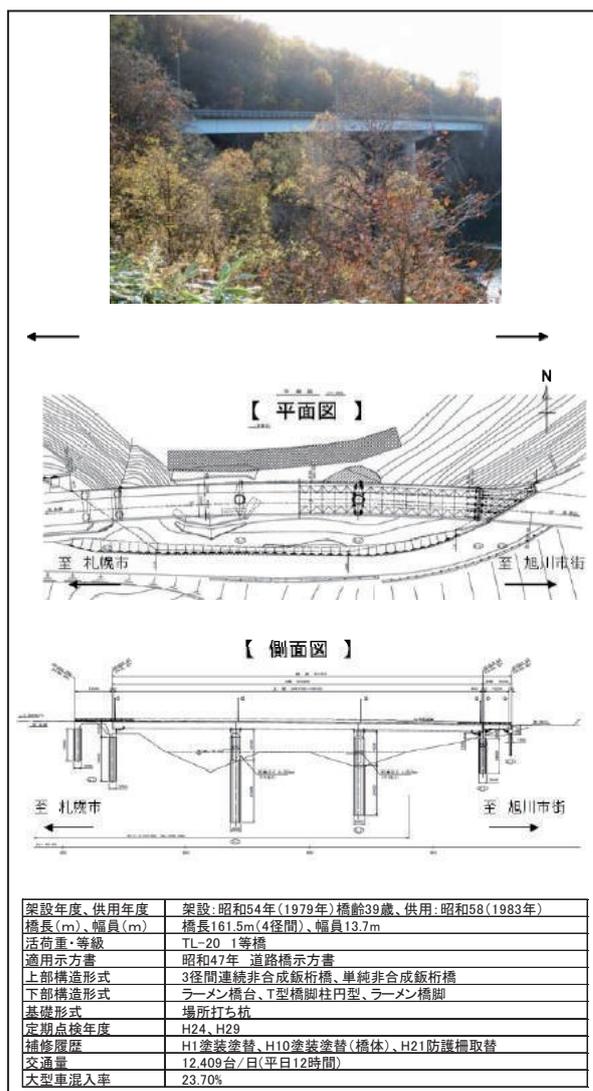


図-6 神居古潭大橋の概要



図-7 舗装路面変状の発生状況

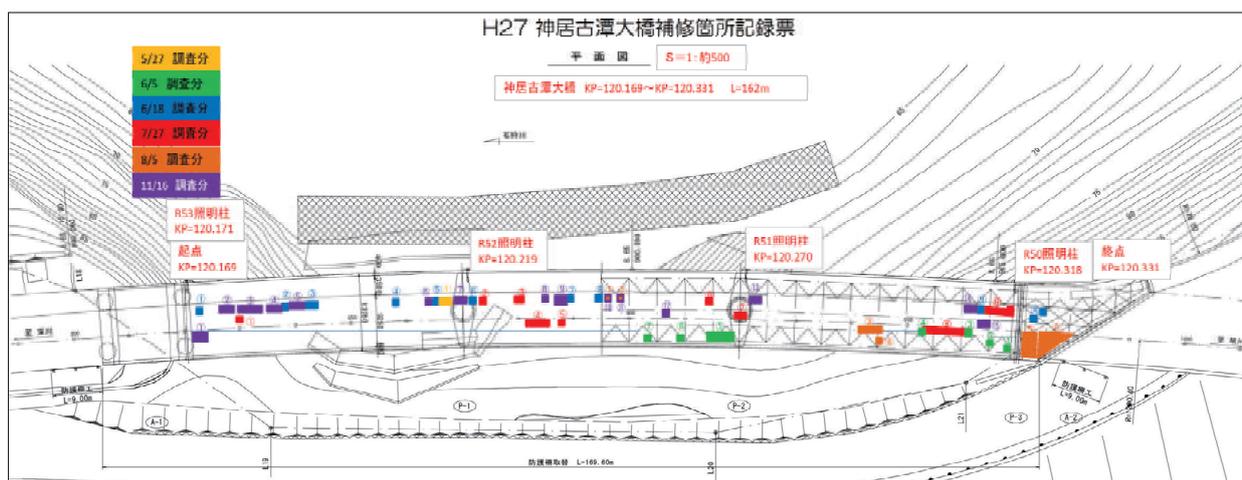


図-8 補修箇所記録票

(3) 平成27年度における舗装補修の状況

平成27年度は、5月に最初の損傷が認められてから、立て続けに損傷が発生し、損傷箇所には滞水もみられ径間を問わずに同様の状況となったことから、その都度舗装補修を実施した。(図-8, 写真-3参照)



写真-3 舗装補修跡



写真-4 開削による確認

(4) 神居古潭大橋における舗装開削調査

損傷箇所が多数見られたことから、神居古潭大橋においては以下の項目について舗装開削調査を実施した(写真-4, 5, 6, 7参照)。

(現地調査)

- a) 舗装開削調査の追加
- b) 床版下面の詳細目視調査
- c) はつり調査
- d) コア採取
- e) コア内部スキャナー
- f) 非破壊試験(電磁波調査)
- (室内試験 等)
- g) 圧縮強度試験
- h) 静弾性係数試験
- i) 中性化深さ試験
- j) 微細ひび割れ試験
- k) 床版疲労耐久性の照査

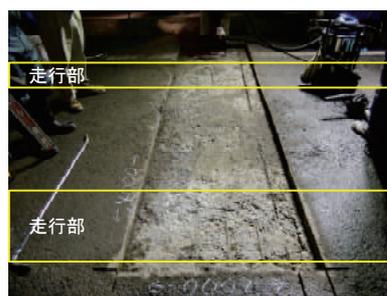


写真-5 各箇所毎の舗装厚・砂利化深さの確認

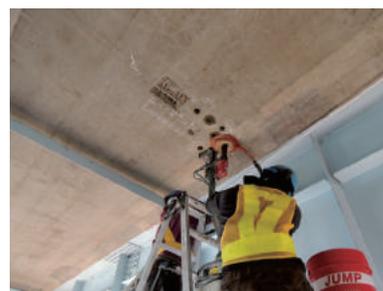


写真-6 コア削孔

なお、舗装開削調査の結果、当該橋梁では車道部における床版防水層は確認されなかった。また、断面減少に至る鉄筋の腐食は殆ど無かった。当該路線においては、凍結防止剤の散布も行っているが、確認した損傷の状況から塩害の影響は見られないため、塩害に関する調査は実施していない。



写真-7 はつり調査

表-3 補修工法の検討結果

損傷	部位	変状の分類	補修工法	備考
砂利化	床版 上面	『複合劣化』 収縮性ひび割れ【初期欠陥】 凍害・疲労【経年劣化】	床版防水工(複合防水工) 断面修復工(WJ+超速硬Co)	床版上面において鋼材の腐食は生じていないが、凍結防止剤の影響により塩分量が比較的多く、今後腐食が進む恐れがあるため、複合防水により腐食の劣化因子である水の浸入を防止して予防保全を行う。
ひび割れ エフロレッセンス	床版 下面	『複合劣化』 収縮性ひび割れ【初期欠陥】 凍害・疲労【経年劣化】	ひび割れ補修工(注入、充填)	ひび割れ幅0.20mmを超える有害なひび割れについては注入・充填工法により補修する。
	橋台 橋脚	収縮性ひび割れ【初期欠陥】 凍害【経年劣化】	ひび割れ補修工(注入、充填)	ひび割れ幅0.20mmを超える有害なひび割れについては注入工法により補修する。
剥離・剥落 鉄筋露出	床版	凍害【経年劣化】	断面修復工法 (人力はつり+ポリマーセメントモルタル)	脆弱部を撤去し、ポリマーセメントモルタルにて断面修復を行う。
	橋台			
	橋脚			
漏水	伸縮 装置	ゴムの破断【経年劣化】	伸縮装置取替(防水機能に優れる材料)	漏水対策であるため、排水機能に優れる伸縮装置を採用する。

(5) 舗装開削調査の結果

劣化過程、劣化状況と各種調査結果から、変状の分類・劣化度評価・健全度評価を実施した。

床版の土砂化については、床版上面ではひび割れからの水の浸入により凍結融解の繰り返し及び輪荷重の影響による疲労が生じており、ひび割れと凍害などによる複合劣化とし、劣化度は加速期に入っていると評価した。

床版の下面では、上面と同様であるが、劣化度としては進展期であり、補修を実施しなければ今後、損傷が加速期に進展する恐れがあると評価した。

なお、劣化度の評価にあたってはコンクリート標準示方書(維持管理編)²⁾を参考としている。

また、床版疲労耐久性の照査により、現橋の耐力の低下には至っていない結果となった。

(6) 補修工法の選定

調査結果等から、表-3に示す工法を選定した。工法の選定については、経済性を考慮しつつ、耐久性や施工性にも配慮し、今後の維持管理性も踏まえながら決定した。

本橋は床版の劣化が激しいこと、札幌市と旭川市を結ぶ重要路線であること、交通量が非常に多いことから、極力大規模な交通規制を伴う補修を回避すべく、通常の床版防水機能を向上させた「複合防水工」を採用することとした。

床版土砂化については、ウォータージェットはつりによる劣化部の除去及び複合防水を採用した。

(7) 補修工事の実施範囲

現地補修工事に着手し、舗装の全面切削後、発注者、工事受注者との立会により、開削調査を実施していない部分の床版のうき等について、点検ハンマーで確認した。

(写真-8, 9, 10参照)

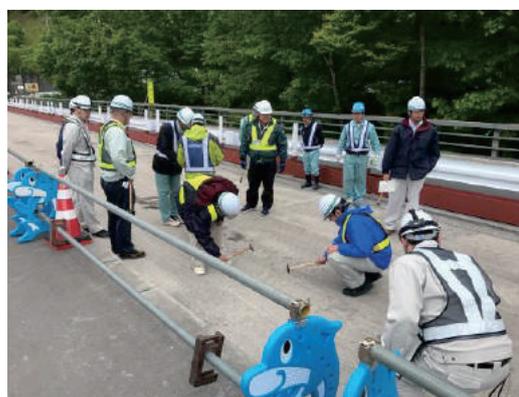


写真-8 現地立会(発注者・受注者)による確認



写真-9 現地切削後の状況



写真-10 鉄筋の露出

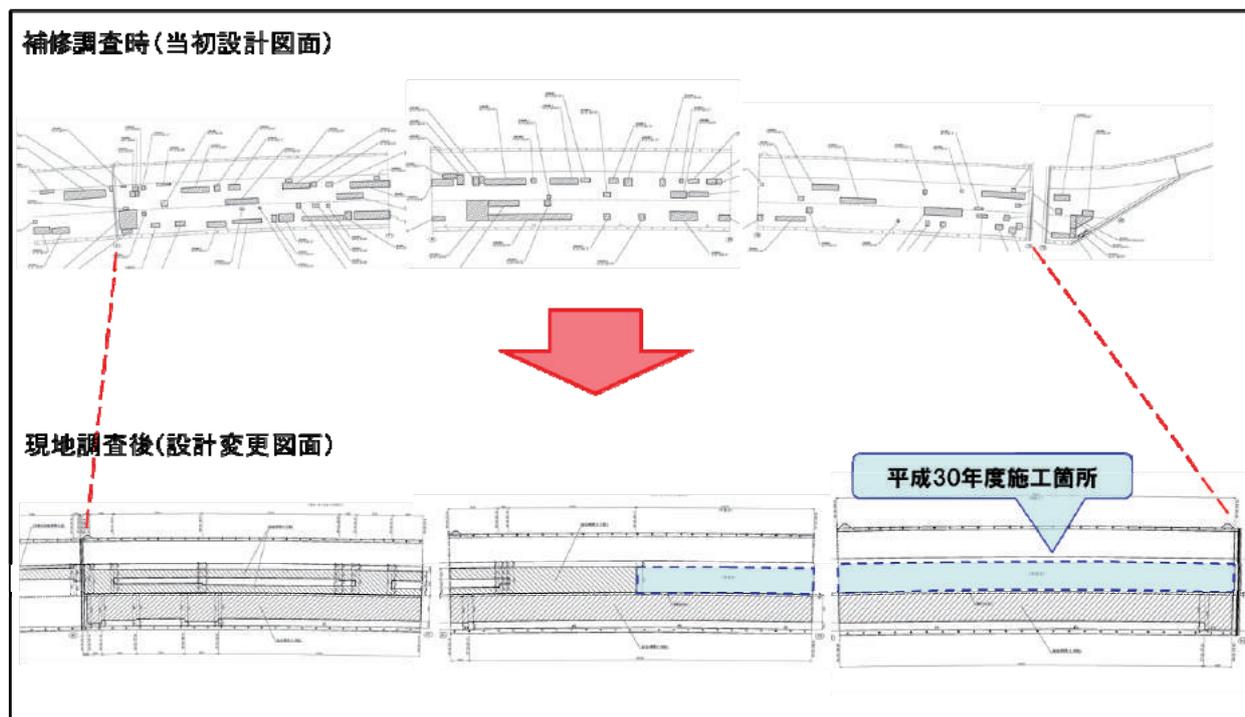


図-9 現地調査による補修範囲の変更 (平成29年度施工分)



写真-11 WJはつり状況



写真-12 水抜きパイプの追加設置

確認の結果、床版コンクリートに多数の浮き、剥離・鉄筋露出が見られ、損傷が進行していたことから、当初予定していた補修範囲を拡大することとした。

当初、補修調査により決定した補修範囲と、実際に平成29年度に補修工事を行った後の変更図が図-9である。不安定な部位を残さないため、補修範囲は設計時より大幅に拡大する結果となった。



写真-13 浸透系防水施工

(8) 補修工事の実施状況

床版コンクリートをウォータージェットにより全面的にはつり、鉄筋下面に骨材径を確保した上で、床版コンクリートを打設した。床版への滞水をなくすため、床版端部には水抜きパイプを追加設置し、複合防水として、浸透系防水と塗膜系防水を施工している。(写真-11, 12, 13, 14参照)



写真-14 塗膜系防水施工

7. おわりに

北海道開発局が管理する橋梁は、1950年代に始まる高度経済成長期を中心に大量に建設された。これら道路橋の多くは建設後40年以上が経過し、急速に高齢化が進む状況にある。

本報告の神居古潭大橋の床版の土砂化もそのうちのひとつであり、今後北海道内で同様の事例は多々発生することが懸念される。

集中的な損傷の発生は多額の修繕・架替費用が必要となることから、定期点検による橋梁の状態の把握及び予防的な修繕等を着実に進め、ライフサイクルコストの削減を図り、重要な道路ネットワークの安全性・信頼性を確保することはもちろんのこと、土砂化などの損傷に対して適切な修繕を行っていくことが必要である。

参考文献

- 1) 国土交通省道路局国道・技術課：橋梁定期点検要領
- 2) 土木学会：コンクリート標準示方書[維持管理編]

4. 研究機関の取組み

本章では、令和元年度の指定課題で提供した話題を中心に、各研究機関でまとめた報告を掲載する。なお、当日話題提供していない機関においては、それぞれの取組み状況を報告にまとめた。

道路橋コンクリート床版の土砂化中間層と補修時の除去範囲に関する検討

上仙 靖¹・田中 良樹¹・山本 健太郎¹

¹(国研)土木研究所 構造物メンテナンス研究センター (〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6)

舗装下で床版上面のコンクリートが土砂化する事例が見られるが、発生位置や症状が必ずしも一様でなく、劣化の過程や機構も複数ある可能性がある。また、明らかに土砂化した部分の周囲には一見健全そうに見える中間的な劣化部分が存在することが想定される。これらの劣化は一旦補修しても、早期に再劣化、再補修を繰り返す傾向が見られ、土砂化中間層の残存がその一要因として考えられる。本文では、床版土砂化に複数の損傷形態があることを示すとともに、土砂化周囲のコンクリートの劣化状況を調査した結果及びそれに基づく補修に際して除去すべき土砂化の中間層について報告する。

キーワード 静弾性係数、付加ひずみ、水平ひび割れ、微細ひび割れ、塩化物

1. はじめに

道路橋の鉄筋コンクリート床版（以下、床版）に、近年、コンクリートの水平ひび割れや土砂化といった劣化が見られ、維持管理の負担となっている¹⁾。床版の損傷は通行の安全に直接影響し易い一方で、その補修には交通規制が必要となることから、床版特有の維持管理の難しさがある。それに加えて、橋面アスファルト舗装（以下、As舗装という）下の床版上面で進行する土砂化は、路面からの水の浸入が影響することから、一旦症状が出始めると、劣化部位に滞水して、劣化の進行を加速させる傾向にある。また、補修しても、早期に再劣化する事例が見られる。本文では、床版土砂化に複数の損傷形態があることを示すとともに、土砂化周囲のコンクリートの劣化状況を調査した結果及びそれに基づく補修に際して除去すべき土砂化の中間層について報告する。

2. 床版の土砂化

床版上面のコンクリートの土砂化とは、As舗装下でコンクリートの骨材と硬化セメントペーストが分離している状態をいう。そのとき、硬化セメントペーストは脆く崩れやすい状態または既に崩れて粒の状態である²⁾。図-1の事例では、舗装を剥がしたところ橋面の広範囲に土砂化が広がっていた。図-2の事例は、他の橋における路肩部の土砂化の事例を示す³⁾。曲線橋で片勾配の低い側の路肩部を示している。この図では排水口が見られるが、排水口の有無に関係なく橋軸方向に地覆に沿って土

砂化が見られた。図-3の事例では、センターラインに沿ったAs舗装打換え時にできた打継目付近で、コンクリートがまさに土砂の状態になっていた。この土砂化部では塩化物イオンの浸入が認められ、鉄筋が腐食するよ



(a) 舗装を剥がして清掃したところ



(b) 拡大 (図aの逆方向から撮影)

図-1 橋面の広範囲に見られた土砂化の事例 (U橋)



図-2 地覆、排水口付近の土砂化の事例 (Ka橋)



(a) 橋面アスファルト舗装を全面剥がした状況¹⁾



(b) 舗装を剥がす直前の状況、ただし撮影方向は逆向き

図-3 舗装打継目付近の土砂化の事例 (Ki橋)

りも速くコンクリートが劣化していた。また図-4の事例では、As舗装を剥いだだけでは一見普通のコンクリートのように見えても、ハンマー等を用いて手で簡単に鉄筋の下まで掘れてしまう状態になっていた¹⁾。その橋では、粗骨材の割れが認められなかったが、図-3の事例では後述するように水平ひび割れに沿って粗骨材の割れが見られ、劣化の要因に粗骨材の割れが関わる場合とそうでない場合があることが想定される。図-5は、床版上面の補修時に防水層の下でコンクリートの土砂化が見られた事例である。この場合、防水層の端部や継目の処理が疑われるほか、防水層設置前に既にコンクリートがある程度劣化していた、すなわち前回補修時に後述する土砂化の中間層が残存していたことも想定される。図-6は、As舗装の部分補修の打継目付近で、軽微な土砂化が認められた事例である。以上の例のように、土砂化の発生位置は、橋面のほぼ全面に見られる場合、あるいは主としてAs舗装の打継目付近や地覆付近の路肩部に見られ



(a) 舗装を剥がした状況¹⁾



(b) 鉄筋が露出するまで工具で掘れる状態

図-4 伸縮装置付近、車輪走行位置の土砂化の事例 (S橋)



図-5 防水層下の土砂化の事例 (T橋)

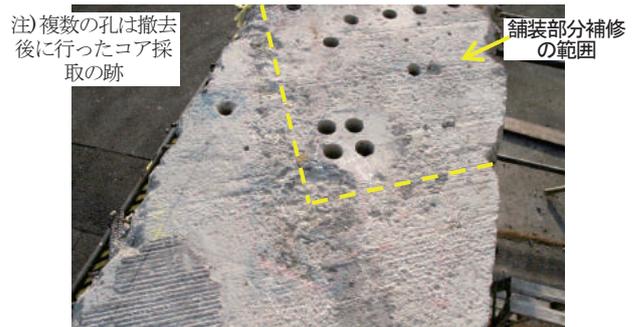


図-6 舗装の部分補修境界付近における土砂化の兆候 (Ka橋)
(舗装打継目は舗装路面写真から推定した概略の位置)

る場合もあり、車輪走行位置直下に限らない。このことから、疲労以外にも土砂化の要因があると考えられる。

3. 土砂化の中間層

これまで床版上面の劣化抑制のため、補修の材料や工法の見直しが試されているが、土砂化した床版の補修箇

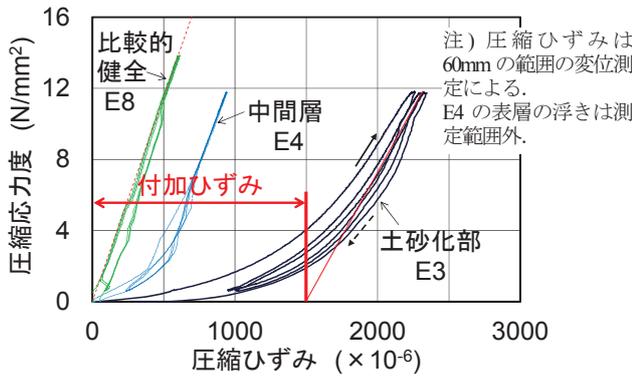


図-7 土砂化部とその周辺のコンクリートの応力-ひずみ関係
(コアE8は比較的健全な部位から採取)

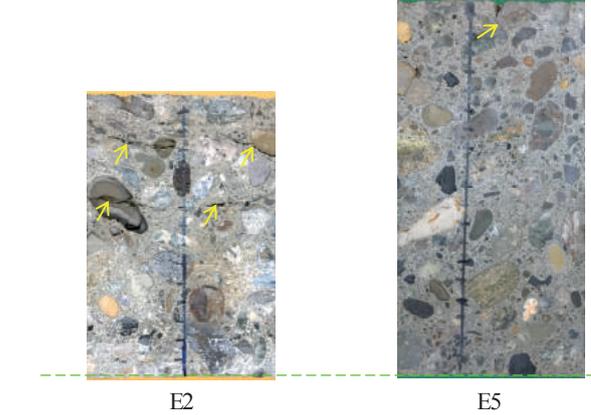
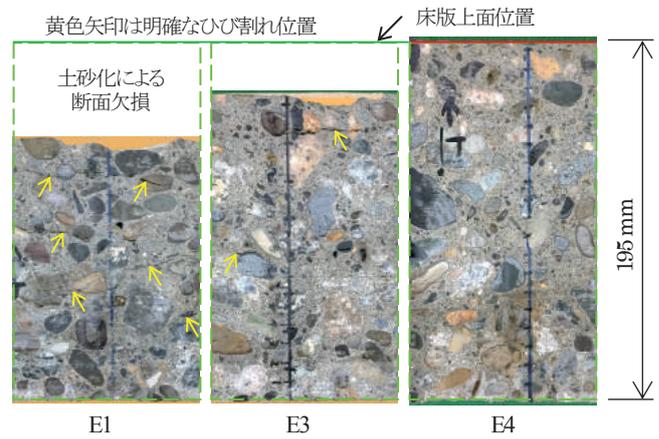


図-9 土砂化部とその周辺のコンクリートの状況 (Ki橋)
(コア側面, 展開図のうち100mmの範囲を表示)

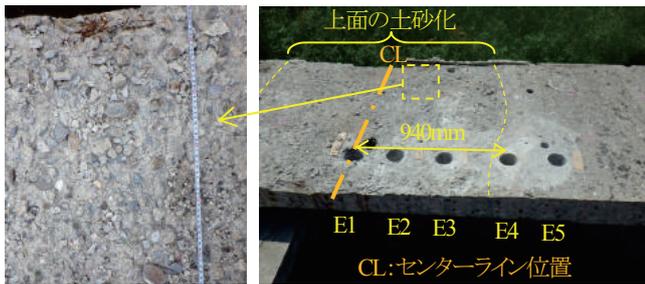


図-8 土砂化の事例とコア削孔位置 (Ki橋)

所で再劣化が生じる理由としては、劣化部位の除去が必ずしも適切に行われていない可能性があることも想定しておく必要がある。土砂化した部分の周囲には、土砂化に至っていないが健全な状態でもない中間的な部分、中間層が存在すると考えられる。一般に、舗装を剥いで明らかに土砂化している範囲（土砂化部）だけでなく、その周囲で打音で浮きが認められる範囲も、補修の際に除去されると考えられる。しかし、打音では判別できない部位でも、劣化の兆候と思われる変状が認められる。図-7に、土砂化部周辺から採取したコンクリートコアの応力-ひずみ関係を測定した結果を、比較的健全なコアの結果とともに示す。また図-8, 9に、これらのコアの削孔位置と側面の外観を示す。土砂化部直下のコアE1～E3は、明確な水平ひび割れが見られ、荷重初期に大きいひずみが発生した（以下、付加ひずみという）²⁾。付加ひずみは、As舗装の支持地盤としての性能が低下していることを意味する。また、ごく表面の浮きを除き、打音では内部の変状がわからなかった部位のコアE4でも、E3よりは軽微であるが付加ひずみが認められた（図-7, E4）。ただし、土砂化部周辺のコアE4の側面には、明確なひび割れが見られなかった。

図-10に、図-9に示したφ100mmのコアについて行った、蛍光エポキシ樹脂含浸による微細ひび割れの観察結果を示す。これによると、コアE4にも、微細なひび割れが認められた。また、土砂化部直下のコアE1～E3には、明確に見られたひび割れだけでなく、一見ひび割れがない部分にも多数の微細ひび割れが生じていた。

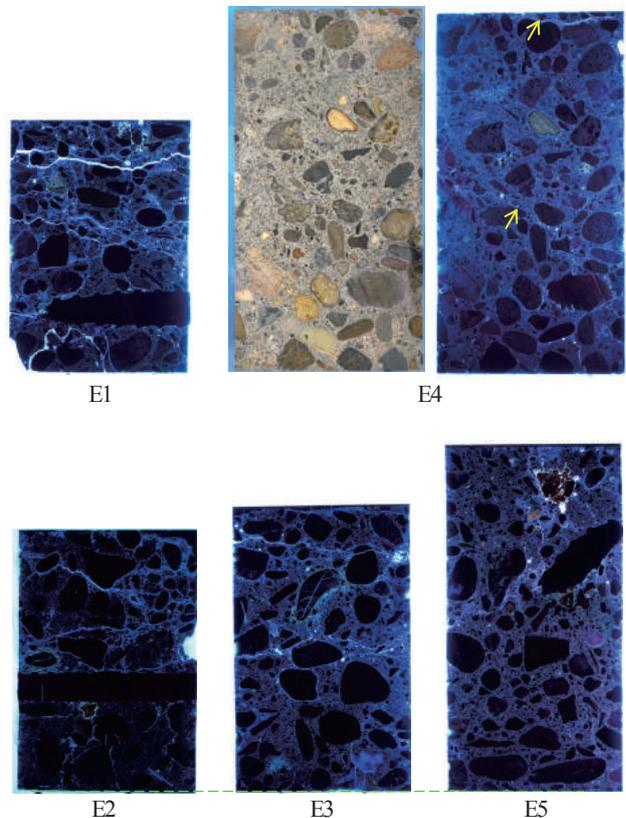
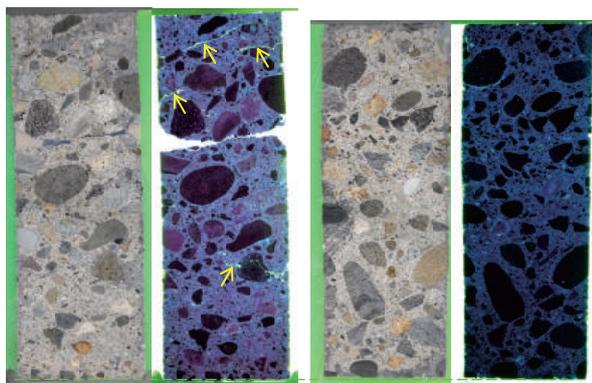


図-10 コア切断面の微細ひび割れの観察 (Ki橋)
(ブラックライト下での撮影, E4左図は室内照明下)

別の道路橋床版³⁾において、土砂化には至っていないが、センターライン付近で比較的広範囲にコンクリート上面の浮きが認められた。その浮きのある箇所と周囲の比較的健全と思われる箇所からそれぞれコアを採取して、微細ひび割れを観察した。その結果を図-11に示す。また、図-12にそれぞれの近くで測定したコンクリート中の塩化物イオン濃度分布を示す。大きい割れは、鉄筋の腐食によることも想定されるが、それ以外に見られる複数の微細ひび割れは、粗骨材の割れに沿ったものが含まれ、コンクリートの材料劣化に起因する可能性がある。土砂化に及ぼす塩化物の影響は、土砂化後に浸入した塩化物イオンとの区別が難しい場合があるが、これまでの調査の範囲では、水平ひび割れや土砂化の発生が塩化物イオンの浸入と何らかの関係があると推測している^{2),3)}。

これまでの調査結果を踏まえて、図-13に、床版の土砂化中間層と補修範囲の概念図を示す。中間層が認識されていない状態では、補修の際に中間層が除去されずに残存する可能性があると考えられる。再劣化しにくい適切な補修方法、適切な橋面防水の確立に向けて、土砂化の中間層を意識して、劣化部位の除去範囲を設定する必要がある。図-13に示した除去範囲は、さらに調査を進めて精査する必要がある。



(a) コア17-E4, 浮きあり (b) コア17-E3, 浮きなし

図-11 コア切断面の微細ひび割れの観察 (Ka橋)
(左は室内照明, 右はブラックライト下でそれぞれ撮影)

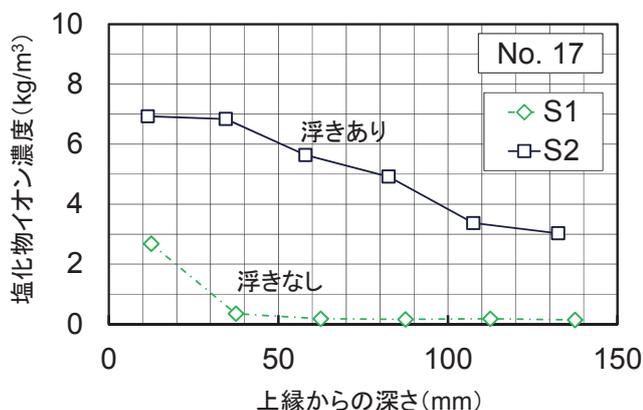


図-12 床版コンクリート中の塩化物イオン濃度分布 (Ka橋)

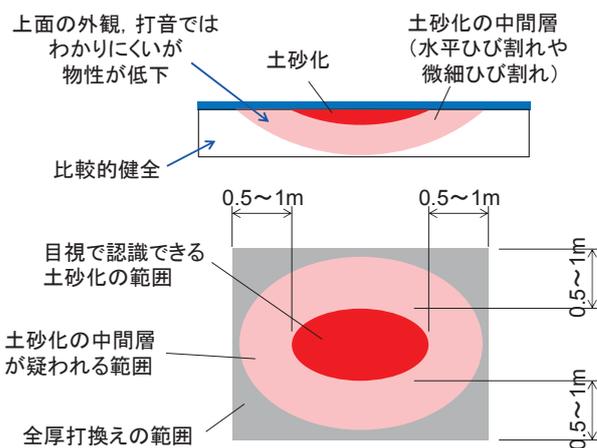


図-13 土砂化中間層の概念図 (上: 側面図) と補修範囲の概念図 (下: 平面図)

4. おわりに一解決に向けた課題一

図-13に示した床版コンクリートの全厚打換えは、再劣化防止のために重要であるが、足場設置や工法の工夫が必要となり、工費や交通規制の期間にも少なからず影響する。現場におけるこれらの負担をできるだけ軽減するため、全厚打換えを容易にするための技術開発や、全厚補修の必要性について関係者の理解を得るための配慮が必要である。

床版の水平ひび割れや土砂化の原因については、別途調査を行っている。これまでの事例では、土砂化部で塩化物イオン濃度が高くなっており、塩化物によるコンクリートの劣化促進が疑われる^{2),3)}。一般道においても凍結防止剤の散布量が増加していることから、これらの劣化対策を早期に進め、劣化の急増を未然に抑制する必要がある。

なお、本文は、土木技術資料⁴⁾に掲載した記事に加筆修正したものであることを付記しておく。

謝辞: Ka橋の撤去床版及び図-5の事例は、平成28年度に実施した「RC 床版上面の劣化に関する調査」の一環として提供していただいた。また、国土交通省国土技術研究会の指定課題を通じて、参加していただいた地方整備局等に、床版の現地調査及び部材の提供に協力していただいた。この場を借りて関係各位に感謝いたします。

参考文献

- 1) 村越潤, 田中良樹: 道路橋 RC 床版の劣化形態の多様化と防水対策, 土木施工, 55-6, pp.68-71, 2014.6.
- 2) 田中良樹, 玉越隆史, 村井啓太, 藤本圭太郎: 道路橋コンクリート床版の土砂化部周辺の変状に関する調査, コンクリート工学年次論文集, 40-2, pp.1315-1320, 2018.7.
- 3) 山本健太郎, 田中良樹, 上仙靖: 道路橋コンクリート床版の土砂化中間層に関する調査, 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. 19, pp. 531-536, 2019.10.
- 4) 田中良樹, 上仙靖: 道路橋コンクリート床版の土砂化に関する調査～土砂化中間層とその適切な除去範囲～, 土木技術資料, 61-7, pp.53-54, 2019.

北海道におけるRC床版の土砂化の発生傾向

中村 拓郎¹・角間 恒²・守田 稷人¹・葛西 聡¹・西 弘明¹

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

² 国土交通省北海道開発局 釧路開発建設部 (〒085-8551 北海道釧路市幸町10-3)
(前 (国研) 土木研究所 寒地土木研究所)

土砂化が発生しやすい橋梁や床版部位の特徴を明らかにするために、北海道の道路橋RC床版において舗装切削調査が行われた121橋 (182箇所) を対象に、土砂化の発生と橋梁諸元や供用環境、舗装切削位置との関連性を整理した。その結果、建設後50年以上が経過した橋梁では、舗装切削調査箇所の半数以上で土砂化が発生していることを明らかにした。また、凍害危険度等の供用環境と土砂化の発生には明確な関連性が認められず、北海道内全域で土砂化が発生することを確認した。さらに、平面線形の違いや防水工の有無と土砂化の発生割合との関連性や、橋軸方向や橋軸直角方向において土砂化が発生しやすい位置を示した。

キーワード RC床版, 土砂化, 舗装切削調査, 橋梁諸元, 供用環境, 北海道

1. はじめに

北海道における道路橋RC床版 (以下、床版) では、車両走行による輪荷重に加えて、凍結融解や塩分浸透、アルカリシリカ反応等の複合作用を受ける場合があり¹⁾、床版上面に土砂化が発生し、最終的には抜け落ちに至る事例が報告されている²⁾。既設床版の劣化・損傷状況については、外観目視や材料試験から健全度評価や劣化機構の検討が行われてきたが³⁾、こうした検討の多くは個別の橋梁に対する知見にとどまる場合が多く、土砂化が発生している橋梁や床版部位の特徴に関する体系的な整理には至っていない。

本調査では、北海道において土砂化が発生しやすい橋梁や床版部位の特徴を明らかにすることを目的に、北海道開発局が管理する鋼鈹桁橋を上部構造とするRC床版形式の道路橋を対象に、橋梁諸元、供用環境、舗装切削位置に着目した土砂化の発生傾向の分析を行った。

2. 調査概要

(1) 対象橋梁

本調査では、平成25～29年度の橋梁診断業務および平成21～29年度の補修設計業務の報告書から舗装切削調査が行われた121橋を抽出し、舗装切削による床版上面の目視調査が行われた全182箇所を整理、分析の対象とした。なお、補修設計業務で行われた舗装切削調査については、本調査の範囲で収集できた報告書を対象としており、全数を対象としたものではない。

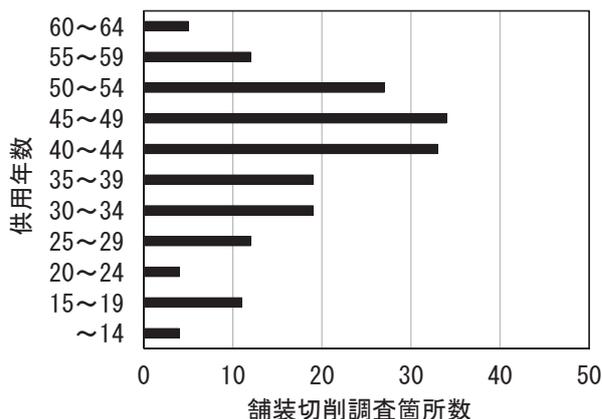


図-1 供用年数別の舗装切削調査箇所数

供用年数別舗装切削調査箇所数を図-1に示す。調査箇所数は供用年数とともに増加し、その大部分は建設後30～54年が経過した橋梁であり、供用年数が40～54年の橋梁での調査箇所数は全体の52%を占めている。

(2) 調査項目

舗装切削調査における床版上面の状態は、土砂化ありとなしに分類した。なお、原則として収集した資料の記載を踏襲し、土砂化と明記されている状態を土砂化ありとし、それ以外は土砂化なしとした。

本調査における橋梁諸元と供用環境に関する調査項目を表-1にまとめる。橋梁諸元および供用環境は、収集した資料の記載事項から各項目を抽出し、資料に未記載の場合は不明として整理した。供用環境における凍害危険度については、長谷川らが提案した5段階の凍害危険

表-1 調査項目

種別	項目
橋梁諸元	竣工年, 上部工形式, 適用示方書, 橋長, 平面線形, 斜角, 縦断勾配, 横断勾配, 床版厚, 床版支間, 桁本数, 車線数, 防水工, 舗装種類, 舗装厚他
供用環境	最高気温, 最低気温, 日照時間, 大型車交通量, 塩害地域区分, 凍害危険度, 凍結防止剤散布量, 反応性骨材が含まれる可能性他

表-2 舗装切削位置の分類

方向	項目	選択肢
縦断	位置	図-2(a)参照
横断	桁配置	図-2(b)参照
	路面配置	図-2(c)参照
	輪荷重走行位置	図-2(c)参照
	横断勾配	上側, 下側, その他
	支間当たりの走行車輪数	0輪, 1輪, 1~2輪, 2輪

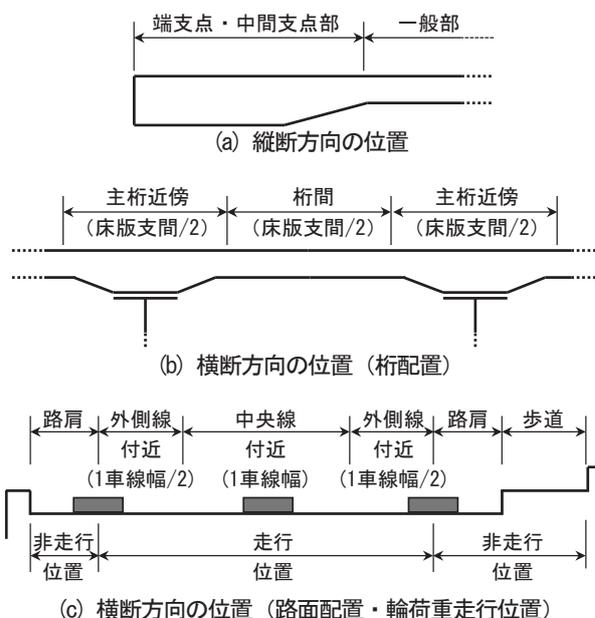


図-2 舗装切削位置の分類方法

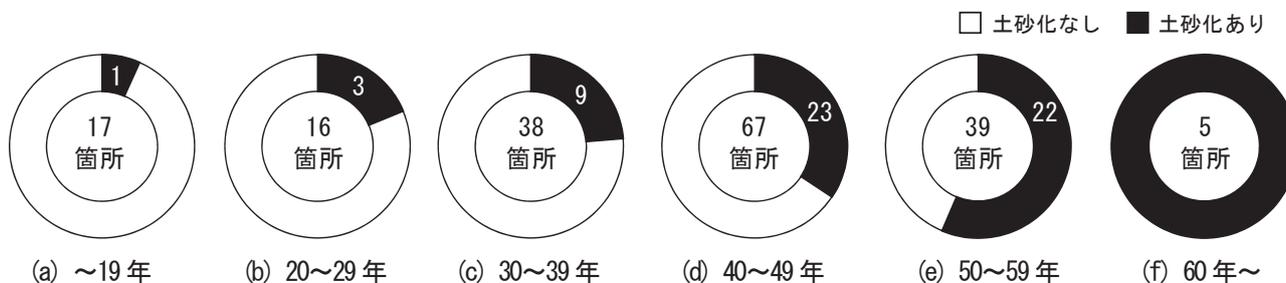


図-3 供用年数別の土砂化の発生数

度の分布図⁴⁾から各調査箇所⁵⁾の凍害危険度を判別した。凍結防止剤散布量は、収集した報告書に明記されていない場合には、平成26年度の路線毎の平均的な散布量とした。反応性骨材が含まれる可能性については、建設省総合技術開発プロジェクトにて作成されたアルカリシリカ反応性骨材分布図⁹⁾から各調査箇所がいずれの岩体の分布に位置するかを判別した。

舗装切削調査が行われた床版部位は、表-2に示す項目と選択肢に基づいて、橋軸方向である縦断方向および橋軸直角方向である横断方向の調査位置を整理した。縦断方向は、図-2(a)に示すように、床版打ち下ろし範囲までの端支点または中間支点部と、それ以外の一般部に分類した。横断方向の桁配置、路面配置、輪荷重走行位置については図-2(b)(c)に示す分類とした。また、横断勾配は、片勾配の上側、片勾配または拌み勾配の下側、その他の3種類とし、床版支間当たりの走行車輪数は、0輪, 1輪, 1~2輪, 2輪とした。

3. 調査結果

(1) 供用年数別の土砂化の発生状況

供用年数別の土砂化の発生数を図-3に示す。調査対

象とした182箇所のうち35%の63箇所⁶⁾で床版上面に土砂化が確認されている。なお、供用年数が20年未満の橋梁においても17箇所⁷⁾で舗装切削調査が行われており、そのうち1箇所⁸⁾で土砂化の発生と示されていた。建設後20年以上が経過した橋梁における土砂化の発生割合は、供用年数が20~29年で19%、30~39年で24%、40~49年で34%、50~59年で56%、60年以上で100%となっており、供用年数が増加するほど舗装切削調査箇所における土砂化の発生割合が増加する傾向を示した。本調査の結果、建設後50年以上が経過した橋梁では、舗装切削調査箇所の半数以上で土砂化が発生していることが明らかになった。

(2) 供用環境の違いによる土砂化の発生状況

a) 大型車交通量

昼間12時間の大型車交通量と土砂化の発生数の関係を図-4に示す。大型車交通量が多いほど舗装切削調査の箇所数が増えるような傾向は認められなかった。大型車交通量が少ない場所においても土砂化は確認されており、北海道の床版における土砂化の発生には、重荷重交通による疲労以外の要因が影響することが示唆された。

b) 凍害危険度

凍害危険度別の土砂化の発生数を図-5に示す。北海

道開発局が管理する全橋梁に対する凍害危険度別の割合は、凍害危険度2～5の橋梁がそれぞれ20～25%程度であり、本調査で対象とした調査箇所も概ね同様の分布となった。また、凍害危険度別の土砂化の発生割合は、凍害危険度5, 4, 3, 2で、それぞれ36%, 43%, 39%, 27%となり、凍害危険度が高くなることで土砂化の発生数や発生割合が増加するような傾向は認められなかった。

c) 凍結防止剤散布量

凍結防止剤散布量と土砂化の発生数の関係を図-6に示す。凍結防止剤の散布量が多い橋梁で土砂化が発生しやすくなるような傾向は認められない。路面に散布した凍結防止剤の床版内への浸透については、舗装や防水層の状態に依存するところも大きく、凍結防止剤の散布量のみで土砂化の発生しやすさを推し量ることは難しいと考えられる。

d) 反応性骨材が含まれる可能性

アルカリシリカ反応性骨材分布に基づく岩体の区分別の土砂化の発生数を図-7に示す。反応性の岩石が高率で含まれるおそれのある岩体で29%、反応性の岩石を含むおそれがある岩体では31%、反応性試験の対象としなかった岩体では42%となり、岩体の区分と土砂化の発生割合に明確な関係性は認められなかった。

(3) 供用環境の違いによる土砂化の発生状況

a) 平面線形

橋梁の平面線形別の土砂化の発生数を図-8に示す。平面線形は、直橋、斜橋、曲線橋、斜角を有する曲線橋(図中の斜+曲)として分類している。直橋での土砂化の発生割合が36%であることに対して、斜角を有する斜橋では土砂化の発生割合が41%となり、斜橋における土砂化の発生割合がやや大きくなる傾向を示した。また、曲線橋の場合にも、斜角を有する場合で38%となり、斜角がない場合の20%に対して土砂化の発生割合がや大きくなっている。

斜橋および斜角を有する曲線橋における斜角と土砂化の発生数の関係を図-9に示す。なお、斜角については、日本高速道路の設計要領⁹⁾において、斜角が90° から70° までは主鋼材は斜角方向に配置し、70° 以下の時には主鋼材は主桁に直角方向に配置することを原則としていることを参考に、80° 以上、79° ~70° , 70° 未満に分類している。舗装切削調査箇所数は斜角が小さい橋梁で多くっており、切削調査箇所での土砂化の発生割合も79° 以下で大きくなる傾向となった。

曲線半径別の土砂化の発生数を図-10に示す。曲線橋の曲線半径は、日本橋梁建設協会の技術資料⁷⁾において、少数鉸桁橋の一般的な適用範囲として曲線半径700m以上が推奨されていることから、700mを区切りとし、直橋および斜橋については無限大として分類した。曲線半径が700m未満の曲線橋において、舗装切削調査箇所数や土砂化の発生数が大きくなる傾向が認められるが、曲

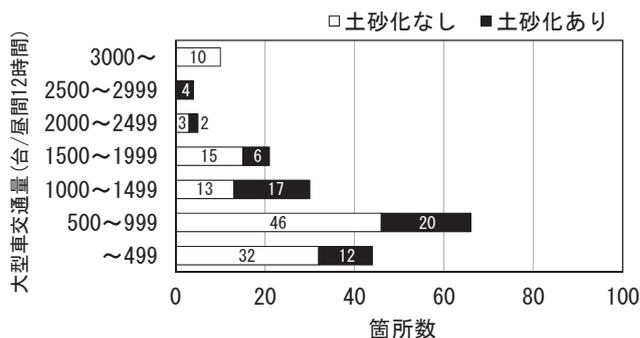
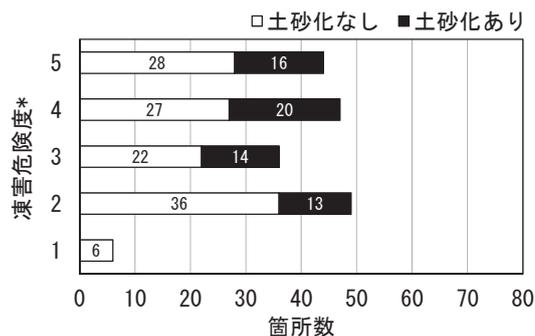


図-4 大型車交通量と土砂化の発生数



* 凍害危険度と凍害の予想程度の関係
5: 極めて大きい, 4: 大きい, 3: やや大きい,
2: 軽微, 1: ごく軽微

図-5 凍害危険度別の土砂化の発生数

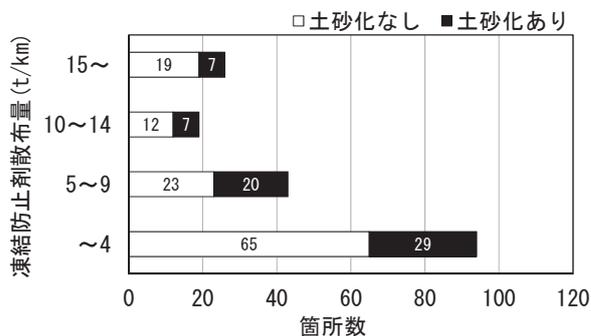
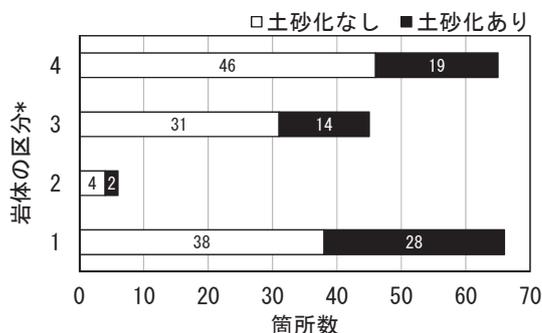


図-6 凍結防止剤散布量別の土砂化の発生数



* 岩体の区分
4: 反応性のある岩石が高率で含まれるおそれのある岩体
3: 反応性のある岩石を含むおそれのある岩体
2: 反応性のある岩石をほとんど含まない岩体
1: 反応性試験の対象としなかった岩体

図-7 岩体の区分別の土砂化の発生数

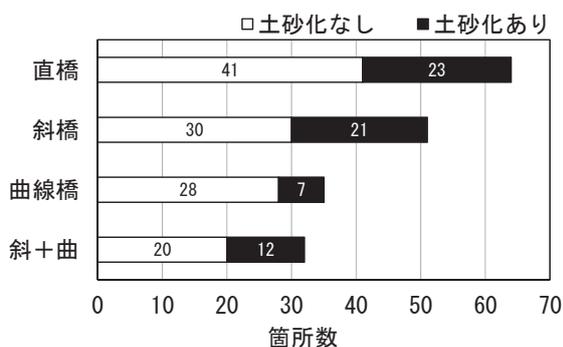


図-8 平面線形別の土砂化の発生数

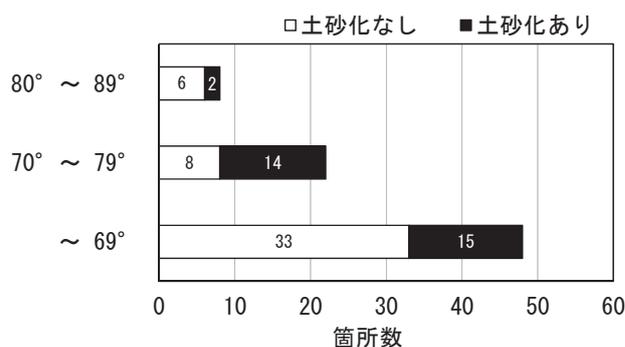


図-9 斜角と土砂化の発生数

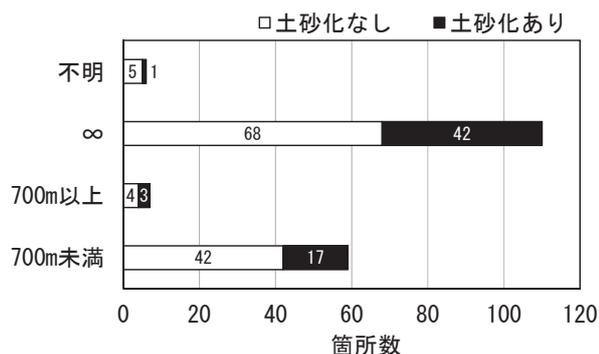


図-10 曲線半径別の土砂化の発生数

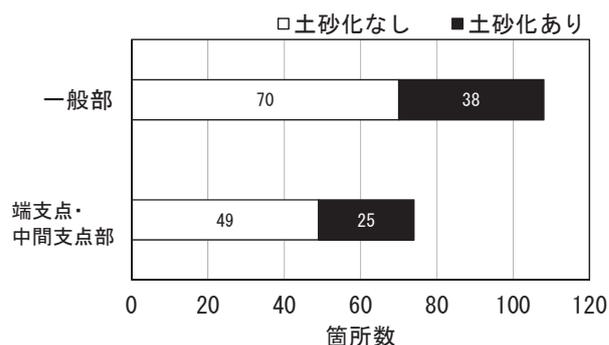


図-11 縦断方向の調査位置別の土砂化の発生数

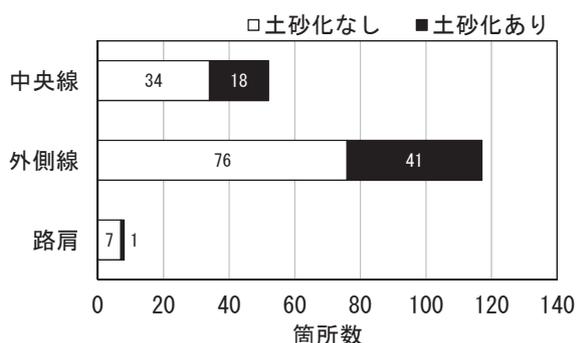


図-12 路面配置別の土砂化の発生数

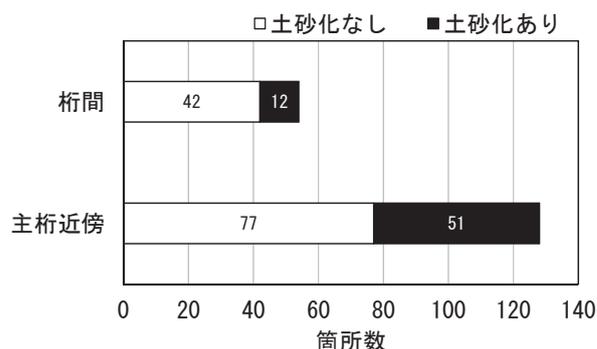


図-13 桁配置別の土砂化の発生数

線半径が700m以上の曲線橋の調査箇所数が少ないことも考慮すると、本調査の範囲においては、曲線半径と土砂化の発生状況に明確な関連性を示せてはいない。

b) 縦断方向位置

橋軸方向である縦断方向の調査位置別の土砂化の発生数を図-11に示す。支点部に設置される伸縮装置の近傍では、大型車が段差部を通過するとき衝撃力が作用すること、伸縮装置が縦断勾配の下側になる場合には滞水の影響も顕著になることから、一般部に比べて床版の劣化が早期に生じる可能性があると考えられている。しかしながら、一般部においても端支点および中間支点部付近と同数以上の舗装切削調査が行われており、土砂化についても同程度の割合で発生していることが明らかになった。

c) 横断方向位置

橋軸直角方向である横断方向の路面配置別の土砂化の

発生数を図-12に示す。舗装切削調査は、外側線、中央線付近で多く行われており、土砂化の発生割合に大きな違いは認められないが、土砂化の発生数は外側線付近が41箇所であり、中央線付近の18箇所となっている。

桁配置と土砂化の発生数の関係を図-13に示す。舗装切削調査は、主桁近傍で多く行われており、土砂化の発生割合も桁間に比べて大きくなった。これは、主桁上に発生する負の曲げモーメントによる舗装および床版上面のひび割れ、あるいは、ジベルやスラブ止め等による主桁拘束により発生する初期の乾燥収縮ひび割れ等によって、床版内に水が浸入しやすい状態が形成されることが要因となっていると考えられる。

d) 輪荷重走行位置

輪荷重走行位置および床版支間当たりの走行車輪数別の土砂化の発生数を図-14、図-15に示す。舗装切削調査は、輪荷重走行位置で行われている場合が大半を占め

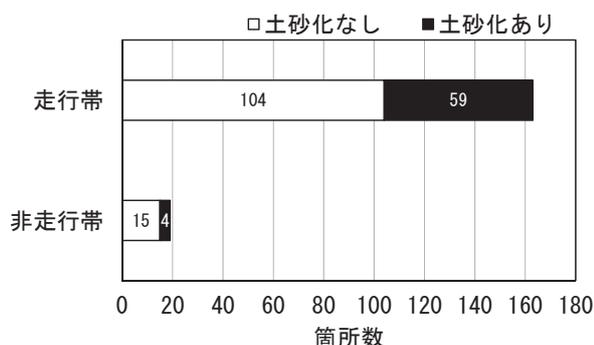


図-14 輪荷重走行位置別の土砂化の発生数

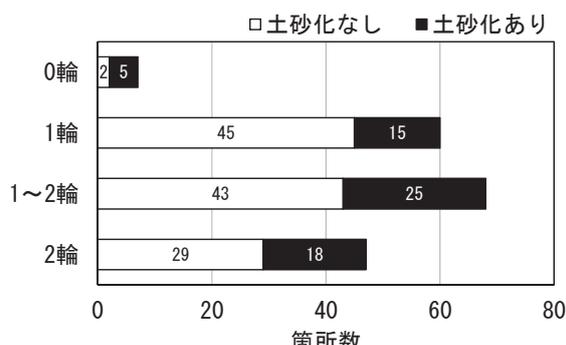


図-15 車輪数別の土砂化の発生数

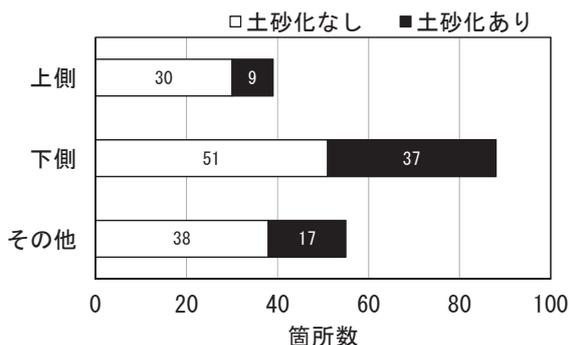


図-16 横断勾配位置と土砂化の発生数

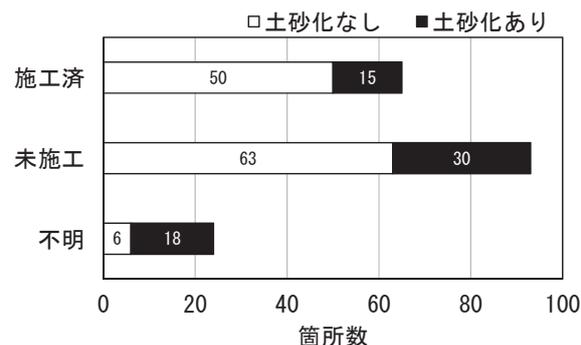


図-17 防水工の有無と土砂化の発生数

ており、床版上面の土砂化についても、本研究で土砂化ありとした箇所の94%は輪荷重走行位置となった。また、輪荷重走行位置における車輪数と土砂化の発生割合については、1輪の場合が25%であることに對して、1~2輪、2輪の場合では、37%、38%となり、土砂化の発生割合がやや大きくなる傾向を示した。

e) 横断勾配

横断勾配と土砂化の発生数を図-16に示す。降水の排出先となる横断勾配の下側で、舗装切削調査箇所数と土砂化の発生割合が大きくなっていることがわかる。また、上側、その他においても、舗装目地との位置関係等から床版上に水が供給されやすい箇所となっている場合もあり、そうした箇所は土砂化の発生しやすさに関与していると考えられる。

f) 防水工の有無

防水工の有無と土砂化の発生数を図-17に示す。防水工が未施工の床版では舗装切削調査数が大きくなっていることがわかる。また、土砂化の発生割合についても、施工済みの床版で23%、未施工の床版で32%となっており、防水工が未施工の床版では土砂化の発生割合も大きくなることを確認できた。

4. 北海道内における土砂化の発生傾向

本調査における整理項目と土砂化の発生傾向を表-3にまとめる。建設後50年以上の橋梁では、舗装の変状と床版上面の土砂化の関連性が極めて高く、点検・調査時

表-3 各整理項目と土砂化の発生傾向

整理項目		土砂化の発生傾向
供用年数		建設後 50 年以上で半数以上
供用環境	凍害危険度	明確な関連性なし
	凍結防止剤	明確な関連性なし
	反応性骨材	明確な関連性なし
舗装切削位置	平面線形	斜角を有する場合に割合が大
	縦断方向	端支点・中間支点でも発生
	桁配置	主桁近傍で割合が大
	横断勾配	下側で割合が大
防水工		未施工の場合に割合が大

に舗装に変状が認められる場合には、その直下で床版の土砂化が発生していることを想定する必要がある。また、凍害危険度が低い地域、凍結防止剤散布量が比較的少ない地域、反応性のある岩石をほとんど含まない岩体に属する地域においても土砂化は確認されていることから、診断時には、北海道のほぼ全域で土砂化が発生する可能性を疑い、その劣化・損傷機構を適切に考慮する必要がある。

材料劣化が著しく進行したコンクリート構造物に対しては、環境作用に着目して劣化要因の調査および健全度の評価が行われる傾向にあるが、本調査の結果から、斜角や桁配置、横断勾配における位置も土砂化の発生割合に関与することが示唆された。これらは、舗装のうきやひび割れ、床版上面のひび割れといった材料劣化の要因となる水の浸入経路の発生しやすさと関連することから、床版の点検・調査、健全度や性能評価においては、こう

した構造的な条件にも着目することが重要になると考えられる。

5. おわりに

本調査では、北海道において土砂化が発生した橋梁や床版部位の特徴を明らかにすることを目的に、北海道内の121橋で実施された182箇所の舗装切削調査を分析した。本調査で得られた知見を以下にまとめる。

- (1) 供用年数の増加とともに舗装切削箇所は増加する傾向にあり、切削箇所での土砂化の発生割合も大きくなることを明らかにした。特に、建設後50年以上が経過した橋梁では、切削箇所の半数以上で床版上面に土砂化が発生していた。
- (2) 凍害危険度、凍結防止剤散布量、反応性骨材に関する岩体分布と土砂化の発生状況に明確な関連性は認められなかった。診断時には、北海道のほぼ全域で土砂化が発生する可能性を疑い、材料試験等によって、その劣化・損傷機構を適切に考慮する必要がある。
- (3) 斜角を有する橋梁では、土砂化の発生割合が大きくなる傾向を示した。一方、曲線半径と土砂化の発生状況には明確な関連性は認められなかった。
- (4) 橋軸方向（縦断方向）では、端支点および中間支点部においても一般部と同程度の割合で土砂化が生じていた。また、橋軸直角方向（横断方向）では、外側線と中央線付近、主桁近傍にて土砂化の発生割合が大きくなることを確認した。
- (5) 横断勾配の下側において土砂化が発生しやすくなることを確認した。また、防水工が施工済みの床版の方が土砂化の発生割合は小さくなった。

本調査の結果は、舗装の部分切削部での目視調査結果を基にした限られた事例数に対する整理結果ではあるものの、舗装や防水層によって上面が覆われている床版で発生する土砂化を点検・調査する場合には、材料劣化の要因となる水の浸入経路の発生しやすさと関連する諸元に着目することが重要になることを示した。

今後、本調査で対象とした項目以外の他の諸条件や鋼鈹桁以外を上部構造とする橋梁にも分析範囲を広げる等して収集事例の充実を図り、床版の土砂化発生に及ぼす諸条件の影響度を明確にしていきたい。

謝辞：本調査の実施にあたり、国土交通省北海道開発局には資料提供をはじめとして、多大なるご協力を賜りました。ここに付記し、感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 角間 恒, 佐藤孝司, 渡邊晋也, 谷倉 泉: 凍害・ASRによる複合劣化が生じた RC 床版の調査事例、第九回道路橋床版シンポジウム論文報告集, pp.37-40, 2016.
- 2) 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 (平成 24 年度) 北海道開発技術研究発表会, 維 21, 2013.
- 3) 田中良樹, 石田雅博, 村越 潤: 道路橋における凍結融解と ASR の影響を受けたコンクリートの劣化調査, 土木学会論文誌 E2, Vol.72, No.3, pp.214-233, 2016.
- 4) 長谷川寿夫: コンクリートの凍害危険度算出と水セメント比限界値の提案, セメント技術年報 XXIX, pp.248-253, 1975.
- 5) 建設省: 建設省総合技術開発プロジェクト コンクリートの耐久性向上技術の開発報告書<第二編>, pp.277-278, 1988.
- 6) 東日本高速道路株式会社, 中日本高速道路株式会社, 西日本高速道路株式会社: 設計要領 第二集 橋梁建設編, pp.2-20, 2016.
- 7) 日本橋梁建設協会: 新しい鋼橋の誕生 II 改訂版, p.1, 2004.

橋面舗装の防水性に関する調査と今後の対策

寺田 剛¹・渡邊 真一¹・藪 雅行¹

¹ (国研) 土木研究所 道路技術研究グループ舗装チーム (〒305-8516 茨城県つくば市南原 1-6)

近年、道路橋鉄筋コンクリート床版の土砂化が顕在化し大きな問題となっている。土砂化の主要因は、床版への雨水や塩分の浸入と考えられており、土砂化の発生・進行を防ぐためには、橋面舗装の防水性を高める必要がある。そこで、土木研究所では床版への水の浸入経路を明らかにすることを目的とした橋面舗装の防水性に関する実態調査を行うとともに、新たな橋面舗装による防水対策を提案した。

キーワード 橋面舗装, 床版土砂化, 床版防水, グースアスファルト混合物

1. はじめに

近年、道路橋鉄筋コンクリート床版（以下、RC床版）に発生する損傷として「土砂化」が大きな問題となっている。ここで、土砂化とは、コンクリートの骨材とセメントペーストが分離している状態を指し、この結果コンクリートは脆く崩れやすくなる。土砂化が進行すると、床版の抜け落ち等の重大な事象に至るケースも見られている¹⁾。

土砂化の原因としては、湿潤状態にある床版上での繰り返し交通荷重による疲労、凍結融解による凍害、凍結防止剤散布による塩害、ASR等による複合劣化等が考えられるが、いずれも床版への水分の浸入が発生、促進に影響を及ぼしている^{2),3)}。

そのため、土砂化の発生、促進を防ぐためには、水の浸入経路に対応した橋面舗装の防水対策が重要である。

そこで、床版への水の浸入経路を明らかにすることを目的に、供用中の道路橋橋面舗装の防水性に関する実態調査を行った^{4),5)}。

本稿では、限定的ではあるが、上記の調査結果より得られた RC 床版への水の浸入に関する知見を報告するとともに、橋面舗装による防水対策を提案する。

2. 橋面舗装の実態調査

(1) 調査対象橋梁の概要

東北・北陸地方の 5 橋を対象に、橋面舗装の防水

性に関する実態調査を行った。調査を実施した順に A 橋～E 橋とし、橋梁の諸元を表-1 に、位置図を図-1 に示す。橋梁の建設年度は、いずれも 1970 年頃と古く、設計時に適用された道路橋示方書では、床版防水層の設置が義務付けられていない。なお、A, B, C 橋は、後年の補修時に床版防水層が敷設されている。さらに、アスファルト舗装部は 2 層構成が現在では標準となっているが、C, D, E 橋は厚さ 6 cm のアスファルト舗装 1 層構成であった。

表-1 調査対象橋梁の諸元

橋梁	所在地	建設年度	形式	橋長	車道幅員	橋面舗装構成	
						舗装	防水層
A	秋田県にかほ市	不明	3径間連続鉄桁橋	90m	11m	細粒度G 4cm 粗粒度 4cm	シート防水
B	新潟県糸魚川市	1975年	PCボス騰ンT桁橋	30.6m	8m	密粒度 5cm 密粒度 6cm	塗膜防水
C	新潟県村上市	1972年	ランガーアーチ橋	120m	6.5m	密粒度 6cm	シート防水
D	富山県富山市	1969年	逆T式橋台RC柱橋脚	88m	7.5m	密粒度 6cm	なし
E	富山県富山市	1972年	ボス騰ンT桁ランガー橋	426m	9m	密粒度 6cm	なし

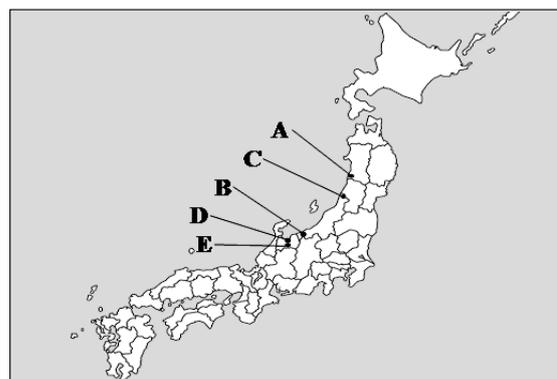


図-1 対象橋梁位置図

(2) 調査内容

各橋梁にて実施した調査項目を表-2に示す。C, D, E 橋については、舗装路面および、舗装切削後の床版上面の損傷状態について目視調査を行った。

また、A 橋から E 橋までの全ての橋梁において、舗装コアの採取を行った。コアの採取位置は、水の侵入のない健全部と、水の侵入経路となりうる箇所とした。コアの採取位置のイメージは、図-2に示すとおりである。健全部としては、ひび割れ等の損傷がない①非車輪通過部 (BWP)、②車輪通過部 (OWP, IWP)、水の侵入経路となりうる箇所としては、③歩道側 (地覆側) 端部、④伸縮装置近傍、⑤施工打継目部、⑥ひび割れ近傍・直上とした。コア採取後、室内にてコアの密度試験および加圧透水試験を実施し、採取位置①～⑥ごとの試験結果の比較を行った。

また、C, D 橋については、コア採取時の舗装と床版の付着状況および、開孔部への水の侵入の有無について目視観察を行った。

表-2 調査項目

調査項目	A橋	B橋	C橋	D橋	E橋
目視調査	舗装路面	-	-	○	○
	床版上面	-	-	○	○(部分)
	床版下面	-	-	-	○
舗装コア採取	開孔部観察	-	-	○	○
	密度試験	○	○	○	○
	加圧透水試験	○	○	○	○

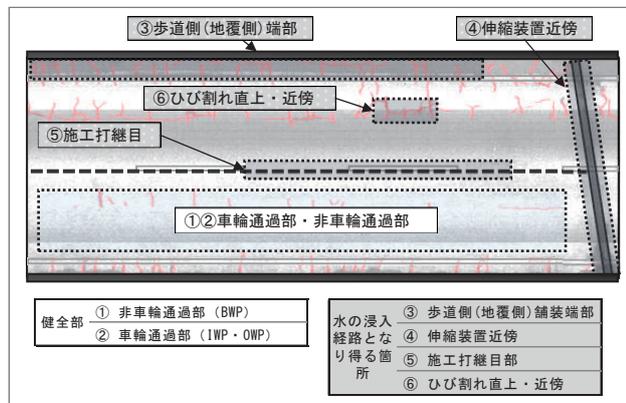


図-2 舗装コア採取位置イメージ図

(3) 調査結果

a) 目視調査結果

C, D, E 橋における舗装路面および舗装切削後の床版上面の様子をそれぞれ写真-1、写真-2、写真-3に示す。

C 橋については、調査の4年前に舗装の切削オーバーレイを実施していたため、舗装路面に大きなひび割れやわだち掘れといった損傷は見られなかったが、施工打継目部や微細なひび割れから泥水の噴出が見られた。また、舗装切削時において、舗装と歩



写真-1 C 橋 目視調査結果



写真-2 D 橋 目視調査結果



写真-3 E 橋 目視調査結果

車道ブロックの接着不良、防水層の剥がれや劣化、床版の湿潤状態が見られた。特に、歩道側端部においては、歩道側ブロックの下面から水の浸入が見られ、近傍の床版上面が湿潤状態となっていた。舗装切削後の床版上面は土砂化進行箇所が多数存在し、鉄筋が露出している箇所も見られた。

D 橋については、舗装路面に線状ひび割れが多く見られた。D 橋では、地覆側端部1か所、施工打継目部2か所にて、部分的に舗装の切削を行い床版上面の調査を行った。切削を行った3か所の床版上面は、いずれも、土砂化等の損傷は見られず、概ね健全な状態であったが、地覆側端部については床版の滞水、湿潤、変色等が見られた。

E 橋については、舗装路面の施工打継目沿いに格子状の大きなひび割れが多数見られ、歩道側端部のひび割れからは一部、泥水が噴出している箇所もあった。アスファルト舗装と床版上面の間に防水層は設置されていなかったが、舗装切削時、層間は概ね良好に付着していた。床版上面については、歩道側端部における歩道側ブロック下面から水の浸入が確

認められ、近傍の床版は滞水・湿潤状態となっていたが、その他の場所では土砂化等の大きな損傷もなく、概ね健全な状態であった。

b) コア開孔部観察の結果

D, E 橋の調査時には、コア削孔時の開孔部の観察を行い、舗装と床版の付着および開孔部への水の浸入の有無を確認した。コア開孔部の目視観察の結果を表-3 および写真-4 に示す。表-3 中の付着は、コア採取時に、舗装と床版が付着しているものを良、全く付着していないものを不良とした。また、表-3 中の破壊面は、コア採取時に、どこの層界面で剥離または破壊したか示したものである。

非車輪通過部については、D 橋, E 橋とも舗装と床版上面が良好に付着しており、開孔部への浸水も見られなかった。

歩道（地覆）側端部、伸縮装置近傍については、舗装と床版と接着強度が小さく、写真-4 に示すようにコア開孔部への水の浸入が見られた。

施工打継目部については、D 橋では良好な接着、E 橋では接着不良であったが、2 橋とも水の浸入が見られた。

ひび割れ部については、2 橋とも接着は良好であった。D 橋のひび割れは路面から底面まで貫通して

表-3 開孔部目視調査結果

採取位置	D橋			E橋			
	付着	破壊面	水の浸入	付着	破壊面	水の浸入	
非車輪通過部	1	良	AS層-床版界面	無	良	床版表面部	無
	2	良	AS層-床版界面	無	良	床版表面部	無
	3	-	-	-	良	床版表面部	無
歩道側(地覆側)端部	1	不良	AS層-床版界面	有	不良	AS層-床版界面	有
	2	不良	AS層-床版界面	有	不良	AS層-床版界面	有
	3	-	-	-	不良	AS層-床版界面	有
施工打継目部	1	良	AS層-床版界面	有	不良	AS層-床版界面	有
	2	良	AS層材料	有	不良	AS層-床版界面	有
	3	-	-	-	不良	AS層-床版界面	有
伸縮装置近傍	1	-	-	-	不良	AS層-床版界面	有
	2	-	-	-	不良	AS層-床版界面	有
	3	-	-	-	不良	AS層-床版界面	有
ひび割れ	直上	良	AS層材料	無	良	AS層	有
	2	-	-	-	良	AS層-床版界面	有
	近傍	-	-	-	良	床版表面部	有



写真-4 コア開孔部における浸水状況

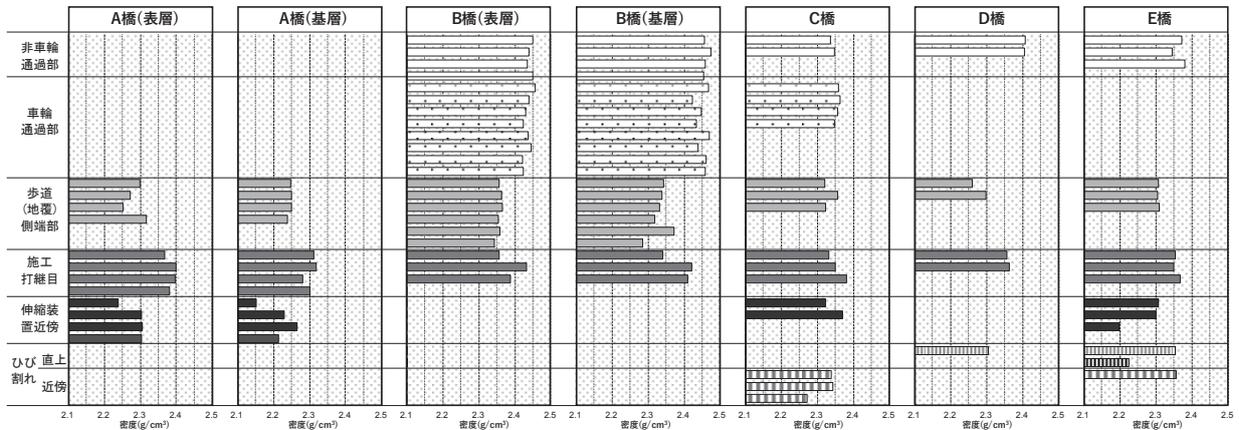


図-3 採取コアの密度試験結果

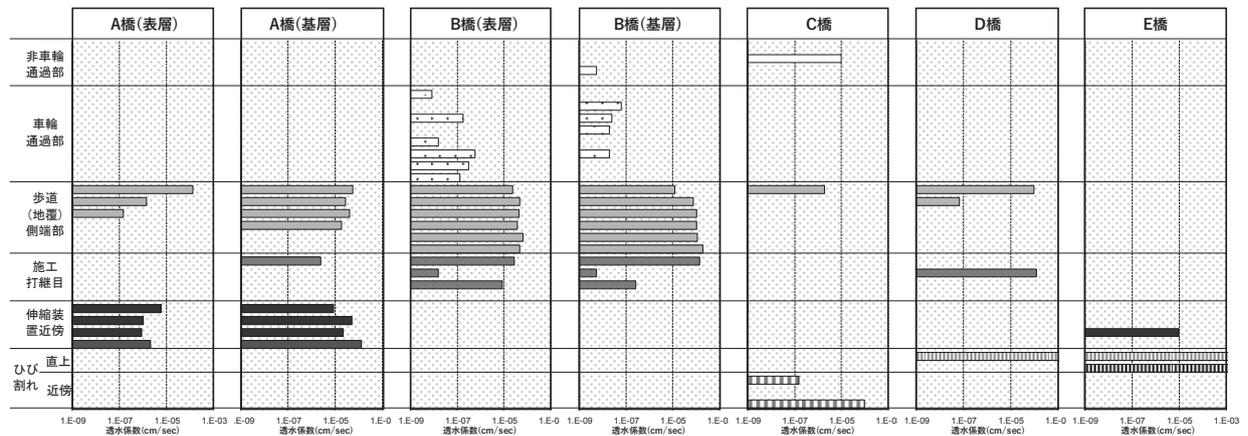


図-4 採取コアの加圧透水試験結果

おらず水の浸入も見られなかったのに対し、E 橋でのひび割れは舗装路面から底面まで貫通しており、水の浸入が見られた。

c) コアの室内試験結果

A, B, C, D, E 橋で採取した舗装コアの密度試験および、加圧透水試験の結果をそれぞれ図-3、図-4に示す。

図-3の密度試験の結果より、歩道側（地覆側）端部および伸縮装置近傍のものは、他の採取位置のものに比べ密度が小さい傾向が見られる。B, D 橋については、施工打継目部も密度が相対的に小さい。

図-4の加圧透水試験の結果より、非車輪通過部および車輪通過部のコアは、概ね透水係数が 10^{-7} cm/sec 以下という結果になっている。水利構造物用アスファルトの基準が 10^{-7} cm/sec 以下であることから、これらの舗装コアはほぼ不透水であるといえる。A, B 橋については、密度が相対的に小さくなっていった歩道側端部等のコアの透水係数が $10^{-7} \sim 10^{-4}$ cm/sec 程度と高くなっている。舗装が2層構造になっており、空隙率の高い粗粒度アスファルト混合物を使用しているA橋の基層は、表層に比べて透水係数がやや高い傾向を示している。ひび割れ直上のものについては 2.5×10^{-3} cm/sec 程度もしくは、ひび割れからの透水により測定不可という結果であった。

(4) 調査結果のまとめと考察

本調査結果のまとめおよび考察は、以下のとおりである。

- ・ 舗装路面と床版上面の損傷状況の關係に着目すると、C 橋では、舗装路面に土砂が噴出している箇所にて、床版の土砂化が見られたが、D, E 橋では、床版の土砂化等がなく、舗装の損傷状態と床版上面の損傷状態との相関はほぼ見られなかった。
- ・ 歩道側端部から水の浸入が見られたC橋では、舗装端部の目地材や床版防水層が劣化、剥離した状態であり、床版の湿潤、土砂化が見られた。
- ・ コア開孔部の目視観察の結果、歩道（地覆）・伸縮装置近傍では水の浸入が見られたことから、これらの構造物と舗装端部との界面は水の浸入経路になっていた。
- ・ 舗装のひび割れが、表面から底面まで貫通したものは、床版面への水の浸入経路になっていた。
- ・ 舗装体については、ひび割れ等のない健全部はほぼ不透水であった。一方、舗装端部については、密度がやや小さく、透水係数が相対的に高くなる傾向が見られる。これは、アスファルト舗装敷設時における端部の締固め不足が原因と考えられる。

- ・ 基層に粗粒度アスファルト混合物を適用している橋面舗装は透水係数が高く、水密性の高い基層用混合物の適用が望ましいと考えられる。

3. 新たな橋面防水用舗装材料の開発

(1) 開発グースアスファルト混合物の概要

橋面舗装における防水材料としては塗膜系床版防水層やシート系防水層等の床版防水層の設置、または、水密性の高いグースアスファルト混合物（以下、グース）舗装の敷設があげられる。

グースは、天然アスファルトをバインダの原料としたアスファルト混合物で、水密性やたわみ追従性が高く、床版防水性能を有するアスファルト混合物層を構築するものである。

グースは、鋼床版における基層用混合物として適用されているが、一般的に RC 床版へは適用されない。これは、グースが一般的なアスファルト混合物に比べ、高温で敷設されることから、RC 床版に適用した場合、コンクリート中の水蒸気が気化して舗装を剥離、膨張させるブリスタリングの発生が懸念されるためである。また、グースは他のアスファルト混合物に比べ、耐流動性に劣り、天然アスファルト由来の臭気が発生するといった問題もある。

近年、天然アスファルトに代わる原料を用いることで、上記の問題を改善した新しいグースの開発および、コンクリート床版への適用が進められている⁶⁾。土木研究所では、床版防水層に代わる新たな橋面防水用舗装材料として、表-4に示す2種類のRC床版用グースを開発した（以下、開発グース）⁷⁾。開発グースの材料物性は、従来用いられているグースの目標値を全て満足するとともに、耐流動性、臭気、ブリスタリングの要因となる施工温度等の改善が図られるように、これらの性状については従来グースの目標値と同等以上になるよう設定した。開発グースはいずれも、バインダの原料として、天然アスファルトに替わる材料を用いている。

2. で示した調査の結果、水分の浸入が見られた橋梁では、床版防水層の剥れや、劣化が生じていた。

表-4 開発グースの性状

項目	従来グース	開発グース		備考
		グースA	グースB	
バインダ主原料	天然アスファルト	石油生成物	ポリマー改質AS	
臭気レベル	600程度	400程度	150程度	
舗設時温度(℃)	約240	230-210	180-190	
リュエル流動性(秒)	3~20	10~20	3~20	※ 施工性
材料物性	貫入量(mm)	1~6	1~4	※ 高温安定性
	動的安定度(回/mm)	300以上	1000以上	※ 耐流動性
	曲げ破壊ひずみ(10 ³)	8以上	8以上	※ 可撓性

また、アスファルト層舗設時においても、重機の通過等によって床版防水層を損傷する場合がある。一方、グースは床版防水層に比べ剛性があり、損傷に対する耐久性も高いと考えられる。さらに、床版防水層の設置を必要とせず、工期の短縮や建設コストの抑制も期待される。これらの点から、開発グースの適用により、従来に比べ、より効果の高い防水性を確保することが可能と考えられる。

(2) 試験施工

a) 試験施工の概要

土木研究所舗装走行実験場内の模擬コンクリート床版上に開発グースの実物大試験舗装を構築し、施工性、材料の性状の確認、および荷重車による促進载荷にて耐久性試験を実施した。

b) 施工状況

開発グースは、特殊な機械を必要としないので、従来のグースと同じ機械編成にて施工を行った。施工時は、材料の温度、施工時流動性（コンシステンシー）、臭気の測定、敷均し後は水密性の確認を行った（写真-5～写真-8）。

開発グースは、従来グースよりも 30~40℃低い温度にて敷均しを行ったが、十分な流動性が得られ、施工性、臭気、施工後の水密性も問題なく良好な結果が得られた⁷⁾。



写真-5 開発グース施工状況



写真-6 温度・流動性測定状況



写真-7 臭気測定状況



写真-8 水密性確認状況

c) 耐久性試験結果

施工完了後、促進载荷試験を実施し、ひび割れやわだち掘れに対する耐久性の確認を行った。

図-5 に 50 万輪（49kN 輪荷重換算）通過までのわだち掘れ量の推移を示す。50 万輪通過時点でのわだち掘れ量は、グース A およびグース B とともに 5 mm 程度

であった。また、ひび割れも発生しておらず、50 万輪までは優れた耐流動性、耐久性が確認された。

本耐久性試験は、今後も継続し、より長期的な耐久性を確認していく予定である。

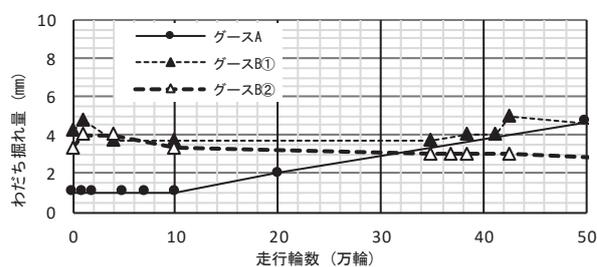


図-5 耐久性試験結果（わだち掘れ量の推移）

4. 橋面舗装の防水対策案

2. の調査結果から分かった水の浸入経路を基に、橋面舗装の(1) 新設・修繕時、(2) 点検・診断時のそれぞれについて、防水対策を提案する。

(1) 新設・修繕時の対策案

新設・修繕時における、防水対策案のイメージを図-6 に示す。防水対策案として水密性・耐久性の高い舗装の適用と、水密性・耐久性の高い目地材の適用が有効であると考えている。

水密性の高い基層用混合物の適用については、3. にて述べた RC 床版用グースの適用が考えられる。

また、今回の調査結果より、舗装端部と構造物の界面は、主要な水の浸入経路であることが分かった。建設年度の古い橋梁の橋面舗装においては、舗装端部の目地材が未設置の場合や、目地材が設置されていても、経年劣化により所定の性能を発揮していないものが散見された。このことから、目地材については水密性および耐久性の高い適切な材料を選定し設置する必要があると考える。

また、今回調査を行った橋面舗装の施工打継目については、目地材設置等の防水対策は見られなかった。施工打継目についても、水の浸入経路であるこ

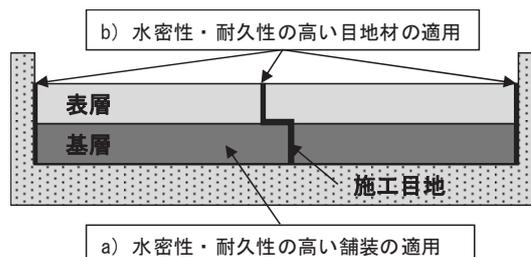


図-6 新設・修繕時の防水対策イメージ

とが想定されることから、舗装端部と同様に水密性および耐久性の高い目地材の設置が必要と考える。

(2) 点検・補修時の対策

点検・補修時の防水対策のイメージを図-7に示す。今回の調査の結果、舗装を貫通したひび割れは水の浸入経路であることが分かった。従って、水の浸入を防止するためには、橋面舗装のひび割れの発生・進行を抑制するための措置を適切に実施することが求められる。これらを効果的に行うためには、ひび割れの状況と舗装の遮水性との関係を明確にし、橋面舗装の管理手法を構築していくことが必要と考える。

また維持工法についても、水密性の確保および、ひび割れ進行の抑制に効果的な工法を選定する必要があり、これらの適切な評価方法が必要と考える。

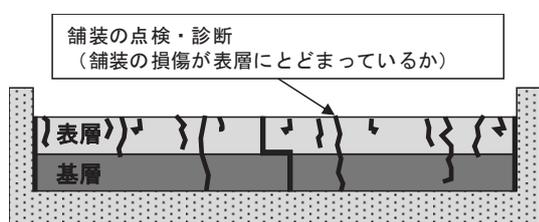


図-7 点検・診断時の防水対策イメージ

5. まとめ

(1) 橋面舗装の実態調査に関するまとめ

- ・ 水の浸入経路は、舗装端部と歩道・地覆・伸縮装置といった構造物の界面、施工打継目部、舗装の貫通ひび割れであることが分かった。
- ・ 舗装路面に泥水の噴出等が見られる場合、床版上面の土砂化といった損傷の発生が考えられる。
- ・ 舗装端部からの床版への水の浸入により、床版防水層の剥離、劣化が生じる。
- ・ 舗装端部等にて施工時の締固め不足により、密度の低下と遮水性の低下が生じる。

(2) 新たな床版防水用橋面舗装材に関するまとめ

- ・ 従来のグースの原料である天然アスファルトに替わる材料を原料とし、従来グースの問題を改善した RC 床版用グースを開発した。
- ・ 開発グースを用いた実大試験舗装を構築し、優れた施工性、材料性状を確認し、促進載荷試験にて 50 万輪までの高い耐久性を確認した。

(3) 今後の防水対策案に関するまとめ

- ・ 新設・補修時、床版防水層に代わり、基層部に水密性・耐久性の高い RC 床版用グースアスファルト混合物を適用する。
- ・ 新設・補修時、舗装端部および、施工打継目に、水密性・耐久性の高い目地材を適用する。
- ・ 点検・補修時の管理方法について、土砂化防止の観点から、ひび割れ状況と遮水性の関係を考慮した橋面舗装の管理手法の構築が必要と考える。
- ・ 補修時において、遮水性や耐久性を考慮した維持工法を選定する。

(4) おわりに

今回の調査は、橋面舗装の実態や床版土砂化の要因を網羅的に調査したものではないため、今後も、同様の調査やヒアリング等を行い、知見を増やしていくとともに、防水対策案を実施するための、具体策や性能評価法の立案、試験施工の実施を行っていく予定である。なお、グースの開発は、大成ロテック(株)、東亜道路工業(株)、日本道路(株)、(株)NIPPO との共同研究「未利用アスファルト材料を用いた床版舗装の適用性に関する共同研究」の一環として行ったものである。

謝辞：本調査は、東北地方整備局、北陸地方整備局および富山県富山市関係各位の協力を得て実施した。ここに感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 赤平勝也, 佐々木博臣, 菊地淳: 複合劣化による鉄筋コンクリート床版の抜け落ち損傷事例について, 第八回道路橋床版シンポジウム論文報告集, pp.37-40, 2014
- 2) 藤原英之: 道路橋コンクリート床版の「土砂化」に関する調査報告, J-BEC レポート 2014, Vol.10, pp.11-17, 2014
- 3) 村越潤, 田中良樹: 道路橋 RC 床版の劣化形態の多様化と防水対策, 土木施工, Vol.55, No.6, 2014.6
- 4) 寺田剛, 渡邊真一, 藪雅行: 床版損傷が発生した橋面舗装の実態調査, 土木学会論文集 E1(舗装工学), Vol.75, No.2, pp.I_201-I_207, 2019
- 5) 渡邊真一, 寺田剛, 藪雅行, 宇津徳浩, 杉谷真司: 橋面舗装の遮水性に関する現地調査結果, 第 33 回日本道路会議, 2019
- 6) 田中敏弘, 鎌田修, 丸山陽: 床版防水性能を有する橋面舗装の開発, 土木学会論文集 E1(舗装工学), Vol.72, No.3, pp.I_69-I_75, 2016
- 7) 寺田剛, 渡邊真一, 藪雅行: 新しい橋面舗装材料の開発へ向けた取組み, 土木技術資料, Vol.61, No.7, 2019

電磁波レーダによる床版土砂化の予防保全 に関する取り組み

野田翼¹・松本直士¹・石田雅博¹

¹国立研究開発法人 土木研究所 構造物メンテナンス研究センター（〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6）

RC床版では、輪荷重による疲労に加えて、凍結融解や凍結防止剤散布による塩分浸透等の複合作用によって、土砂化が発生し、最終的には抜け落ちに至る場合がある。膨大な量の道路橋を効率的に維持管理するためには、劣化が生じる前に潜在的な劣化箇所をスクリーニングし、重点的に点検していくことが必要である。その中で、床版の劣化を著しく進行させる滞水を検出することが有効と考えられる。本研究では、電磁波レーダ法に着目し、床版上の滞水検出手法を検討するために実橋における計測を実施した。その結果、舗装とRC床版の境界面の反射波の信号強度を抽出し、RC床版上面の滞水を検知する手法を確認した。

キーワード 非破壊試験, 電磁波レーダ, RC床版, 土砂化, 予防保全

1. はじめに

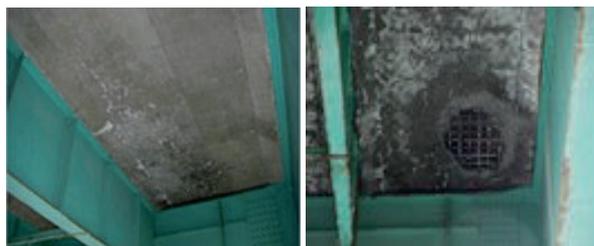
RC床版では、車両走行時の輪荷重による疲労に加えて、凍結融解や凍結防止剤散布による塩分浸透、骨材のアルカリ骨材反応等の複合作用によって、床版上面の土砂化が発生し、最終的には抜け落ちに至る場合がある。

道路橋定期点検要領¹⁾では、橋長 2.0m 以上の道路橋において、5年に1回を基本とする近接目視点検が義務化されている。定期点検での既設床版の劣化・損傷状況の点検は、床版下面からの外観目視および舗装面のひび割れの点検によるもので実施されている。しかし、輪荷重による疲労、材料劣化等による床版土砂化の要因と定期点検における舗装のポットホールや床版下面のひび割れおよび漏水痕などの外観変状との相関が明確でなく現状の目視点検では、床版下面の抜け落ちのリスクが存在する。また、床版の設計基準では、建設省道路局長通達(S42)以降、最小床版厚および配力鉄筋量の見直しによる疲労損傷への対策が実施²⁾されているが、平成5年のスパイクタイヤ規制以降、凍結防止剤の散布量が増加しており³⁾、塩分を含んだ水が床版へ浸入することにより、床版下面に変状が発生していなくても、床版上面が土砂化している事例が発生している。写真-1は、供用後10年経過後の舗装開削後の状況である。また、写真-2に5年前の定期点検時には損傷度判定が低く、対策不要と判定されていた箇所が、

数年後に床版下面の抜け落ちが発生した事例を示す。このように床版の土砂化は、損傷の進行が速いことが特徴である。これらは、路面からの水が床版上面に浸入し、疲労を著しく促進する^{4),5)}だけでなく、凍害、塩害、アルカリ骨材反応などのコンクリートの劣化を誘発する可能性が高くなる⁶⁾ことが原因と推定される。



写真-1 舗装開削後の土砂化が進行した事例



(a) 5年前の定期点検時 (b) 床版下面の抜け落ち時
写真-2 床版下面の抜け落ち事例

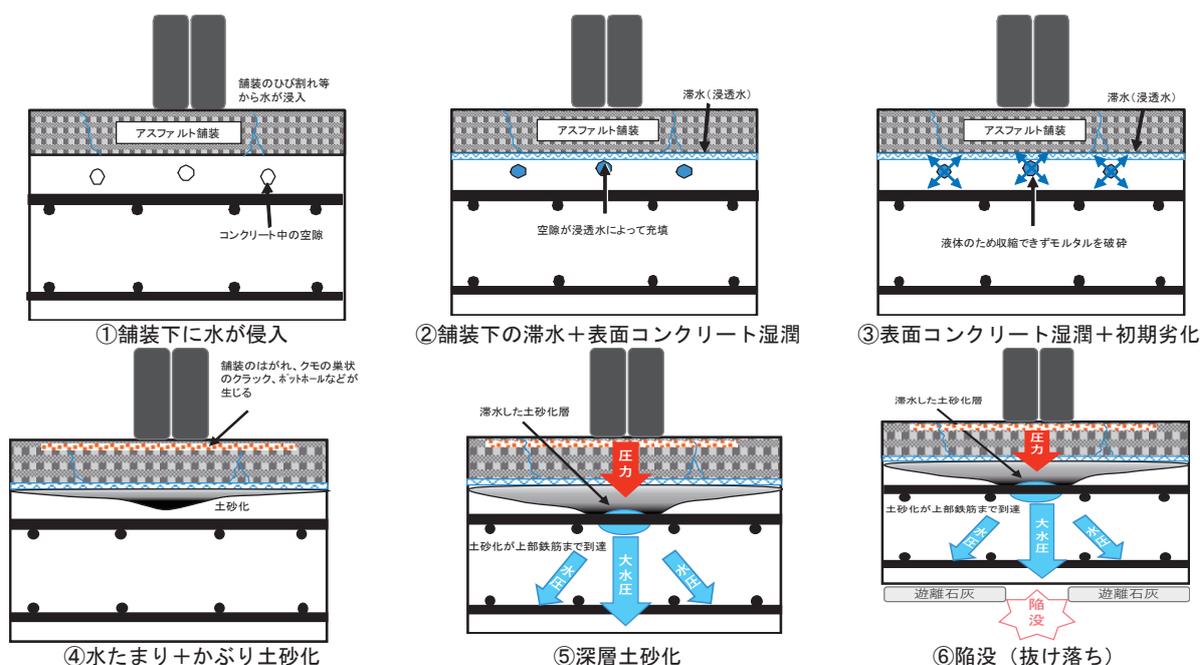


図-1 土砂化(輪荷重による)メカニズム

床版上面の滞水に関しては、舗装や床版の変状からその有無を推測することは可能であるが、多くの場合には変状箇所の舗装を開削して初めて確認され、この時点で既に床版の性能が著しく低下していることもある。また、変状箇所の舗装開削により局所的な滞水を確認することは可能であっても、滞水箇所を面的に把握することはできず、潜在的な劣化箇所を特定することは困難である。道路橋の調査は、劣化が生じた時点でその要因や健全性を評価するために行われるが、膨大な量の道路橋を効率的に維持管理するためには、劣化が生じる前に潜在的な劣化箇所をスクリーニングし、日常点検や定期点検において重点的に点検していくことが必要である。その中で、床版の劣化を著しく進行させる滞水を検出することが有効になると考えられ、滞水箇所が検出できれば排水および遮水を行う予防保全措置が実施できる。そこで本研究では、非破壊技術の一つである電磁波レーダにより床版上面の滞水について検知する手法の検討を実施した。

2. 床版の予防保全について

(1) 床版の劣化状態の定義

本研究における想定される床版の劣化状態の定義を図-1に示す状態①～⑥の劣化段階で定義する。床版では、図-1の車両走行時の輪荷重による疲労に加えて、凍結融解や凍結防止剤散布による塩分浸透、骨材のアルカリシリカ反応等の複合作用によって、床版上面の土砂化が発生し、最終的には抜け落ちに至る場合がある。

- 状態① 舗装下に水が浸入**
降雨後に舗装の施工目地や伸縮装置・地覆境界、舗装のひび割れ等から床版上面に水が浸入する。
- 状態② 舗装下の滞水+表面コンクリート湿潤**
排水不良により路面からの浸入水があると、床版上面の滞水および床版上面が湿潤状態になり、細孔空隙が水分で満たされる状態。排水不良により、路面水が適切に排水されないと、飽和状態が続き、次の状態に進みやすくなる。
- 状態③ 表面コンクリート湿潤+初期劣化**
輪荷重により、充填された細孔空隙中の水圧により周囲のモルタルが破砕され、土砂化が始まる。床版の表面的な劣化や水平ひび割れが発生する。
- 状態④ 水たまり+かぶり土砂化**
床版上面に土砂化した層が広がる。舗装面に舗装の剥がれ、ポットホール、蜘蛛の巣状クラック等の損傷が顕在化する。
- 状態⑤ 深層土砂化**
水平ひび割れにより脆弱化した層が床版厚の半分程度まで広がり、床版上面鉄筋位置まで及ぶ。また、滞水層があると、輪荷重により大きな水圧が生じ、床版上面に土砂化した層が広がる。
- 状態⑥ 陥没(抜け落ち)**
床版下面に遊離石灰が広範囲に噴出する。土砂化した床版の直下では、突然の陥没の可能性はある。

(2) 床版の予防保全に関する診断

床版の予防保全に関する措置が、状態③までの状態で実施できれば効率的なメンテナンスサイクルが実施できると考えられる。状態⑤での床版の補修作業では、土砂化箇所をウォータージェットにより除去する必要がある(写真-3)。また、架橋地点での条件によっては、大規模な仮設足場や長期間の交通規制を実施する必要がある(写真-4)、補修期間やコストが増大する傾向にある。



写真-3 ウォータージェットによるはつり作業

床版の予防保全には劣化の主要因である舗装下の滞水箇所の早期検知を行い、浸入経路を診断し、排水・遮水等の予防保全措置を実施することが重要である。このため、電磁波レーダによる床版上面の滞水箇所の検知が可能であれば床版の予防保全診断が可能であると判断した。



写真-4 大規模な仮設足場の設置事例

3. 電磁波レーダによる水分検知の検討

(1) 橋梁床版における電磁波レーダの適用

電磁波レーダ法によるコンクリートの非破壊検査は適用部材に対する制約が比較的少なく、測定も他の検査方法より速く簡単である。しかし、各種境界面や異なる物質等からの雑信号が目標物からの信号と混合されてしまうため、解析に専門的な知識と経験が要求される。特に橋梁床版部のように、舗装とコンクリート床版の各層別構成材料(媒質)が異なる場合は、各媒質の電気的性質の差により電磁波の位相速度と反射および透過特性等が一層複雑に変化する。そのため、電磁波の基本伝搬特性を事前に整理して検討する必要があると考えられる。

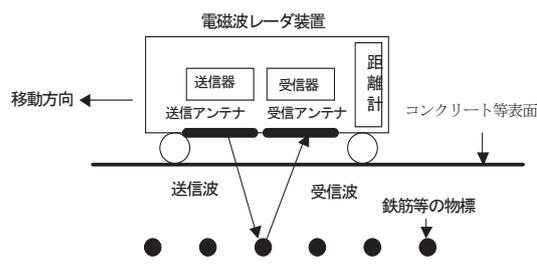


図-2 測定原理の概略図

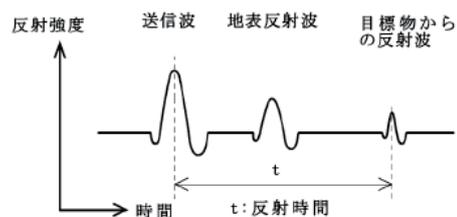


図-3 送信波と反射波

(2) 電磁波レーダ法

電磁波レーダ法は、電磁波が金属以外の媒質を透過し、透過した媒質と異なる比誘電率を持つ媒質の境界で反射する性質を利用し、物質内部を非破壊で探査する手法である⁷⁾。

探査原理は、図-2、図-3に示すように、電磁波を媒質中に送信器から放射(以下、送信波)し、反射した電磁波(以下、反射波)を受信アンテナで受信し、反射波が返ってくるまでの時間から深さ方向の位置を推定するものである。平面的な位置は、距離計を内蔵した装置を移動させることにより、位置情報を得ることができる。

電磁波の速度は、真空中の速度が基準となり各媒質に対する固有の速度Vで伝わる。各媒質内での伝播速度は、各媒質の固有の電気的定数である比誘電率に依り、式(1)の速度で進む。

$$V = C_0 / \sqrt{\epsilon_r} \quad (1)$$

ここで、V: 媒質中の電波の伝播速度 (m/s)
 C_0 : 真空中での電波の伝播速度 ($=3 \times 10^8$ m/s)
 ϵ_r : 媒質の比誘電率

また、比誘電率の異なる境界面で電磁波が反射する原理を利用すると、境界面までの深さdは、比誘電率 ϵ_r および反射時間tを用いて式(2)から求められる。

$$d = \frac{1}{2} \times V \times t = \frac{1}{2} \times \frac{C_0}{\sqrt{\epsilon_r}} \times t \quad (2)$$

ここで、 d ：境界面までの深さ (m)
 t ：反射時間 (s)

(3) 電磁波の反射

電磁波が媒質の異なる境界面に達すると、その境界面で一部反射し、残りは透過する。境界面に電磁波が垂直に入射する場合、この反射と透過の割合は境界面で接する二つの媒体の比誘電率によって決まり、式(3)により反射強度 R を表すことができる⁸⁾。上層の比誘電率が下層と比較し高い場合は、電磁波の反射強度のピーク値がプラス方向になり、上層に比誘電率が下層と比較し低い場合は、反射強度のピーク値がマイナス方向になる。

$$R = \frac{\sqrt{\epsilon_{r1}} - \sqrt{\epsilon_{r2}}}{\sqrt{\epsilon_{r1}} + \sqrt{\epsilon_{r2}}} \quad (3)$$

ここで、 ϵ_{r1} ：上層の比誘電率、
 ϵ_{r2} ：下層の比誘電率

(4) 比誘電率

媒質固有の比誘電率は、媒質によって大きく異なる。表-1に比誘電率の概略値を示す⁹⁾。表-1に示す媒質の反射波の伝播速度は金属が一番早く、水、コンクリート、アスファルト、空気の順になる。また、コンクリートの比誘電率は、含水状態で大きく変化する。

4. 電磁波レーダによる調査

(1) 調査橋梁

調査を実施した調査対象橋梁の概要を表-2に示す。調査橋梁は、標高が高く、積雪寒冷地に位置する橋梁であり、冬季期間は路面の凍結防止のため、凍結防止剤を散布している橋梁である。床版下面には、ひび割れや遊離石灰の析出が確認されている。

(2) 電磁波レーダによる測定

本研究における電磁波レーダには、写真-5、表-3に示す車載式電磁波レーダを使用し、自然交通流での走行の下、電磁波レーダ信号を取得した。電磁波レーダは、3D-Rader社製のマルチチャンネルのステップ周波数レーダである。このシステムでは、40km/h程度で走行しながら約1.5m幅の計測が可能である。計測ピッチは、橋軸および橋軸

表-1 比誘電率の概略値

材 料	比誘電率
空気	1
水	81
アスファルト	2~4 (乾燥状態) 6~12 (湿潤状態)
コンクリート	4~10 (乾燥状態) 10~20 (湿潤状態)
鋼材	∞

表-2 調査対象橋梁概要

上部構造形式	単純非合成鉄桁橋
橋長	20.0m
全幅員	11.25m
有効幅員	10.25m
活荷重	TL-20
供用開始	1978年
適用示方書	昭和47年
昼間12時間交通量	2,268台
大型混入率	19.9%



写真-5 車載式電磁波レーダ

表-3 測定システムの概要

項目	仕様	性能
測定速度	推奨 40km/h	80km/h
距離測定	車速信号取得	精度±0.3%以内
電磁波	マルチステップ周波数方式	200MHz~3GHz
	アンテナ幅 1.8m	有効測定幅員 1.5m
	チャンネル数 21	走行方向 7.5cm 間隔 走行直角方向 7.5cm 間隔 深さ方向 1.0cm 間隔

直角方法に 7.5cm/scan でデータを取得できる。電磁波レーダのサンプリングレートは 256 レートで深度方向に 0.34(ns)毎にサンプルを取得している。写真-6に路面画像、図-4に舗装と床版上面との境界面での電磁波レーダの計測平面図を示す。

測定結果を図化した場合、画像のコンターは、

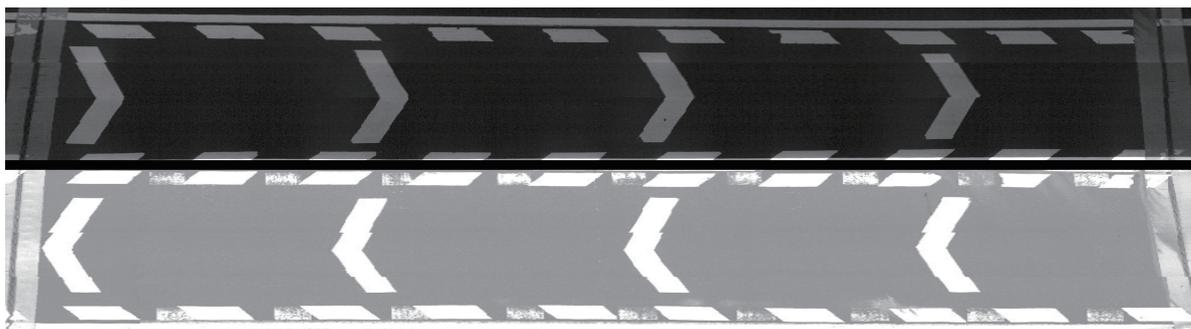


写真-6 路面画像

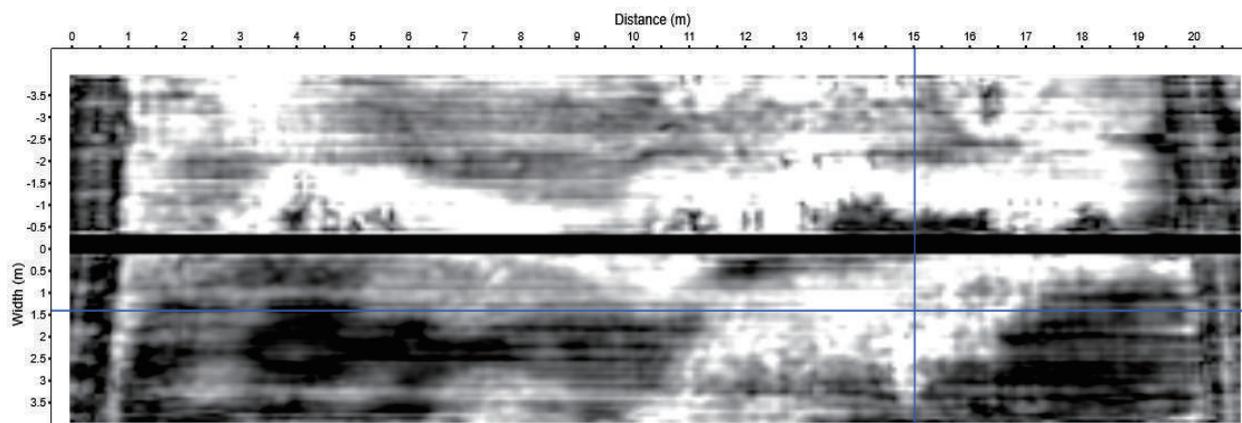


図-4 電磁波レーダ計測結果 (床版上面平面図)



写真-7 開削後オルソ画像

中分測

	0	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	700	750	800	850	900	950	1000	1050	1100	1150	1200	1250	1300	1350	1400	1450	1500	1550	1600	1650	1700	1750	1800	1850	1900	1950
50	170	160	833	282	265	213	212	360	140	484	536	521	251	462	520	555	521	298	276	532	578	600	579	887	841	598	723	521	535	708	628	877	688	860	298	820	317	571	530	
100	310	437	521	184	223	657	176	207	194	183	286	599	601	828	851	783	762	267	263	139	520	521	524	384	214	257	588	545	333	181	785	521	822	539	537	282	518	651	817	
150	325	325	192	184	220	235	430	131	156	297	333	242	308	398	875	186	107	198	164	244	269	150	122	264	213	900	475	206	536	218	639	838	868	302	101	238	141	155	157	
200	120	158	99	178	80	157	159	175	151	105	90	129	113	146	111	107	107	128	151	90	152	150	201	870	834	452	520	247	536	149	273	166	162	201	208	181	171	148	212	
250	167	196	124	45	138	135	104	123	125	123	139	108	108	62	84	152	104	158	105	88	136	180	189	176	726	586	532	698	904	183	187	178	170	156	185	166	129	145	198	
300	216	206	144	193	135	147	206	109	148	137	116	146	150	146	117	100	76	63	75	112	132	126	226	531	537	571	564	715	915	763	171	171	132	145	150	143	132	152	599	
350	226	184	133	162	208	222	234	135	198	193	194	177	135	223	250	197	141	158	187	231	74	205	171	438	915	753	301	665	600	202	110	163	231	72	145	132	240	210	169	
400	363	110	238	259	224	209	354	322	241	132	123	179	242	160	224	176	211	187	187	211	172	188	283	261	805	286	258	256	831	235	241	189	304	199	250	163	329	167	522	
450	147	245	256	217	247	219	184	240	174	247	135	180	192	123	189	207	201	209	103	158	165	132	140	175	278	266	202	142	160	143	181	231	165	225	67	138	229	113	149	
500	534	537	688	520	378	93	525	525	644	521	339	347	238	542	248	598	538	535	554	532	236	524	683	629	685	492	233	535	532	321	160	283	522	522	609	298	644	719	489	

地覆測

図-5 床版上面の水分計計測結果

振幅が大きい場合は白色、小さい場合は黒色側に階調で表示される。これは、床版に水が浸入し、コンクリートが湿潤状態になりコンクリートの比誘電率が大きくなったこと、もしくは床版上面に滞水層として水が存在したことが考えられる。

(3) 舗装開削調査

舗装開削は、横断勾配が低い側の片車線にて実施した。舗装開削時は、乾式カッターとバックホウを用いて水を使わずに舗装開削を行った。

橋梁架橋地点の最寄りアメダスを確認すると舗装開削前の1週間降水の記録がなく、舗装路面が乾燥状態で実施した。写真-7に舗装開削後の状況を示す。青色マーキング箇所は、土砂化が確認された箇所、赤色マーキング箇所は、床版面のうきが確認された箇所を示している。

(4) 電気抵抗式水分計による水分量計測

床版上面の水分の確認を行うために、舗装開削後に50cm×50cm間隔毎に電気抵抗式水分計を用いて床版上面の水分量を計測した。図-5に計測結果を示す。

電気抵抗式水分計は、コンクリート表面の水分状態の変化を電気抵抗値が大きい場合に最小表示10(約820GΩ)、小さい場合に最大表示990(約10kΩ)の数値に換算して表示するカウントモードに設定して測定を実施した。

また、床版上面のコンクリート水分状態とカウント値との関係について、次に示す3段階に区分した。¹⁰⁾

- ① 健全部 (カウント値 10~230)
- ② 湿潤部 (カウント値 231~520)
- ③ 滞水部 (カウント値 521~990)

水分計の計測結果、床版健全部においてカウント値が10~230の範囲であったのに対して、地覆の端部・舗装施工目地・伸縮装置設置部付近および土砂化部で水分量が多くなる傾向が確認できた。

6. まとめ

本研究では、RC床版の非破壊調査技術の一つである電磁波レーダ法に着目し、橋面上の滞水検出手法としての適用可能性を検討するために実橋における電磁波レーダによる計測と床版上面の水分計による水分量測定を実施した。その結果、床版上面の水分量の分布があることを確認した。ま

た、舗装とコンクリート床版の境界面の反射波の信号強度を抽出することにより、床版上面における滞水を検知することが可能であることを確認した。今後、追加調査により本手法の適用性や精度を検証していく予定である。

謝 辞

本研究は、平成30年度から実施している「AIを活用した道路橋メンテナンスの効率化に関する共同研究」の成果の一部である。また、研究の実施にあたり、中部地方整備局飯田国道事務所には、多大なるご協力をいただきました。ここに謝意を記します。

7. 参考文献

- 1) 国土交通省 道路局：道路橋定期点検要領，2019.2
- 2) 国土交通省 国土技術政策総合研究所：道路橋床版の疲労耐久性評価に関する研究，国土技術政策総合研究所資料，第472号，pp.5-6，2008
- 3) 国土交通省 国土技術政策総合研究所：凍結防止剤散布と沿道環境，国土技術政策総合研究所資料，第412号，pp.6-32，2007
- 4) 松井繁之：移動荷重を受ける道路橋 RC 床版の疲労強度と水の影響について，コンクリート工学年次論文報告書，Vol.9，No.2，pp.627-632，1987
- 5) 阪神高速道路公団，阪神高速道路管理技術センター：道路橋 RC 床版のひび割れ損傷と耐久性，1991.12
- 6) 融雪剤によるコンクリート構造物の劣化研究委員会報告書・論文集，日本コンクリート工学協会，1999.11
- 7) 小林一輔編，魚本健人，加藤潔，広野進：コンクリート構造物の非破壊検査，森北出版株式会社，pp.78-104，1990.5
- 8) 朴錫均，魚本健人：レーダ法による多層コンクリート床版の非破壊検査のシミュレーション解析，土木学会論文集，No.538，V-31，pp.95-104，1996.5
- 9) 物理探査学会：物理探査ハンドブック，手法編，1998，第7章，p404
- 10) 谷倉泉，榎園正義，後藤昭彦：床版防水工における水分計の適用性に関する研究，構造工学論文集 Vol.59A，pp.1112-1123，2013.3

電磁波レーダによる橋梁床版の記録の特徴

尾西恭亮¹・小林貴幸¹

¹土木研究所 地質・地盤研究グループ 物理探査担当 (〒305-8516 茨城県つくば市南原1番地6)

近年、橋梁床版の土砂化等による劣化域の調査に対し、電磁波レーダ（地中レーダ、GPR = Ground-Penetrating Radar）の適用が進められている。GPRは一般に空洞や埋設管の調査に用いられている地下探査装置で、橋梁床版は従来の主要対象物より浅部域が調査対象となる。このため、記録の取得、解析、そして記録の解釈（診断）に際して特有の課題が存在する。本稿ではGPRの基本的な特徴を整理し、橋梁床版の記録の捉え方と注意点を確認する。また、空洞調査用の装置を床版調査に適用する際の注意点の共有を図る。さらに、GPR技術の効果的な活用方法について考察する。

キーワード 電磁波レーダ, 地中レーダ, GPR, 橋梁床版, 水分率

1. はじめに

橋梁床版の土砂化は舗装下で進行することから、非破壊手法による調査が求められている。土砂化を生じさせる原因のひとつに水分の影響があると指摘されている。滞水域を検出できる非破壊調査手法のひとつに電磁波レーダ（地中レーダ、GPR = Ground-Penetrating Radar）がある。

GPRは埋設管や空洞の調査で広く用いられている。浅部の地下構造や遺跡の調査にも用いられている。空間的に連続した記録を得られるため、地中部を可視化することができる。しかし、調査対象を直接計測する測定手法に比べると分解能は低く、内部構造を明瞭に識別できるわけではない。開削をせずに非破壊で地中や構造物の内部の情報を得られる点に、道具としての価値がある。

コンクリートの亀裂検知に用いられる超音波探傷が音響インピーダンスの相違を検出するのにに対し、GPRは主に誘電率の相違を捉える。

電場の中に誘電体が置かれると分極を生じる。誘電率は分極の大きさを決める物性値である。誘電率の大きい誘電体を用いるとコンデンサーの電気容量が増す。真空の誘電率との比（比誘電率）は、空気（1）に対し、コンクリートが数倍（例えば約6¹⁾）、さらに水が十倍程度（約81）の値を示す。境界面における物質の比誘電率の平方根の比が垂直入射時の反射率 R に相当する（式1）。ここで、 ϵ_1 が入射側の比誘電率、 ϵ_2 が反射側の比誘電率を指す。また、導電率の低い媒質中では式2の近似式が成立し、空気中で光速 c である伝播速度 v が、比誘電率 ϵ_r の平方根に逆比例して低下する。

$$R = \frac{\sqrt{\epsilon_1} - \sqrt{\epsilon_2}}{\sqrt{\epsilon_1} + \sqrt{\epsilon_2}} \quad (1)$$

$$v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad (2)$$

このため、高い比誘電率を有する水分が存在すると、反射波が生じ、伝播速度が低下する。反射波は反射イベントや振幅値の増幅として捉えられる。また、伝播速度の低下は、位相変化として検出できる。伝播経路または経路長の差がわかれば、伝播速度の値を推定することもできる。

2. 装置

(1) アンテナの種類

アンテナはボウタイ型がよく用いられる（図-1）。研究段階では様々な種類のアンテナが試験されているが、汎用製品では他にホーンアンテナや単純なダイポールアンテナなどの一部に限られる。アンテナの形状の相違はアンテナ近傍の電磁波の伝播特性に大きな差異を生じる。床版というアンテナ近傍の対象を調査する際には、用いる装置の特性に合わせて調査や解析の方法を調整する必要が生じる。

ボウタイ型は蝶ネクタイ型の平面形状で、蝶ネクタイを引っ張る方向にはあまり電磁波が放射されない指向性を有する。通常は送信アンテナと受信アンテナを、蝶ネクタイを平行に並べる方向に配置して強い電磁波を観測できるようにする。送受信アンテナを前後に並べた方向

(電磁波が広範囲に拡がる方向) にアンテナを走査して連続記録を得ることにより、斜め下方から回折して地上に戻ってきた電磁波を強く観測できるようにする。空間的な連続記録を得ることにより、低い S/N (信号とノイズの比) の記録でも解釈の信頼性を高められる。

また、電磁波は横波であり、蝶ネクタイを引っ張る方向に強く振れて伝播する。このため、鉄筋を検出する場合は、鉄筋と同じ方向にアンテナを配置しないと検出感度が低下する。

また、ボウタイ型は全周の長さがおよそ空気中の特性波長と考えると分かりやすい。波長は床版中では、2/5～1/3 程度と短縮される。アンテナの全周長が 30cm の場合に、特性周波数は 1GHz で、床版中の波長は約 10～12cm となる。分解能は期待されているほど高くない。

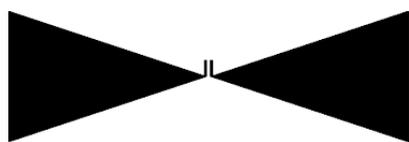


図-1 ボウタイアンテナ

(2) 放射方法の相違

電磁波の放射方式は、パルス式とステップ周波数式で大別される。人工地震で考えると、パルス式はダイナミイト震源に相当するのに対し、ステップ周波数式では小さな定常波振動を周波数を変えて繰り返し送信する。パルス式はアンテナの形状が放射波形を決定するため、アンテナの設計に技術を要する。古くはステップ周波数式の記録取得速度が遅く問題であったが、現在ではこの短所は改善された。

ステップ周波数式は、単一のアンテナを用いても、希望する周波数の電磁波を出力できるため、より広帯域化できる点が有利となる。ただし、ステップ周波数式は逆フーリエ変換により実波形に戻す際に、サイドローブがパルス式より残存する。このため、より詳細な分析や強反射イベントに近接したイベントの解析を行う場合にはパルス式の方が有利である。

(3) チャンネル数の相違

ひと組みの送信アンテナと受信アンテナを備えた、一回の測定で一地点の記録のみを得られる装置 (シングルチャンネル GPR) に対し、複数の送受信アンテナを備えた装置をマルチチャンネル GPR と呼ぶ。マルチチャンネル GPR は一台が数千万円と高価になるが、車両牽引型または車載型では交通規制をせずに空洞検知が可能となり普及が進んだ。

マルチチャンネル GPR は深度約 1.5m までの空洞調査が行える様に、500～800MHz 程度の中位の周波数帯域に

特性を有する設計の装置が多い。このため、普及製品では橋梁床版用にはやや周波数が低い。ただし、ステップ周波数式では卓越周波数を変えることができるため、適用性を向上させることができる。パルス式では周波数特性を変えるために、寸法の異なるアンテナを用意する必要がある。

近年は、車載型だけでなく、アンテナを手押しカートに載せたカート式のマルチチャンネル GPR の製品も多くなってきた。手押し式は、アンテナ面が地表に接しているため、S/N が良く、詳細調査に適している。床版の詳細調査では重要な幹線である橋梁区間の車線規制が必要となることから、調査時間の短縮が必要であり、マルチチャンネル化による時短性能はカート式の場合でも重要となる。カート式では、高周波アンテナを備えた製品も複数存在する。

(4) アンテナ面の位置

アンテナ面は地表に接していた方が S/N が良くなる。しかし、車両走行では地上高 9 cm 以上と規定されているため、アンテナ面を空中に浮かせる必要が生じる。アンテナ面を空中に浮かせても地中伝播波が十分な特性を保持したアンテナをエアカップルド (air-coupled) アンテナと呼ぶ。車載型はすべてこのエアカップルド型となる。一方、アンテナ面が地表に接するアンテナはグラウンドカップルド (ground-coupled) と呼ばれる。エアカップルド型でも、ホーンアンテナは地表での反射を抑制し、S/N の向上を図ることができる。一方、多くの製品が採用しているボウタイアンテナによるエアカップルド型では強い多重反射が生じる。この場合、床版上面の反射イベントと直接波や多重反射のイベントとの識別は技術力を要する。これに対し、グラウンドカップルド型を用いた場合の S/N の品質の維持は容易となる。グラウンドカップルドアンテナによる詳細調査が有効な点のひとつは高い S/N である。

(5) 周波数

GPR はパルス信号の応答で非破壊調査を行う。S/N の向上にはパルス特性を良くする必要があり、広帯域性が求められ、4 倍以上の周波数成分を含んでいる (300～1200MHz など)。パルス波形の波長付近のエネルギーの高い周波数を卓越周波数と呼ぶが、卓越周波数よりも低い周波数や高い周波数の応答を実際には含んでいる。このため、GPR 使用時には周囲に妨害電波を出さない様に注意する必要がある。

周波数が高いと波長が短くなり分解能が向上するが、探査深度が低下する。構造物の鉄筋検知用に 1.5～2 GHz 程度の高周波アンテナが普及しているが、探査深度は 30～40 cm 程度であり、空洞等の検知には向いていない。

橋梁床版は、舗装厚が薄いと 5 cm 程度で、上部鉄筋のかぶり厚は 1~5 cm 程度であり、高分解能の性能が求められる。さらに、下部鉄筋まででも一般的に 20~25 cm の深度しかない。以上の条件から、床版調査用には周波数はできるだけ高い方がよい。しかし、車載型では空洞等の一般的な用途にも用いることができる汎用型でないと普及が進まないこと、また、カート型でもマルチチャンネルでは高周波仕様の製品の普及台数は少ないことから、現時点では卓越周波数がやや低い装置の活用を基本とする必要がある。

3. 記録

(1) 電磁波の伝播

送信アンテナから射出された電磁波が、受信アンテナに到達するのに、幾つかの主要な伝播経路が存在する。橋梁床版はアンテナ近傍の記録であるため、記録上の受信波形がどのような伝播経路に因る波動か捉えておく必要がある。直接波、直達波、地表反射波、地中反射波、空中多重反射波の 5 つを特徴的な伝播経路として図-2 に整理する。

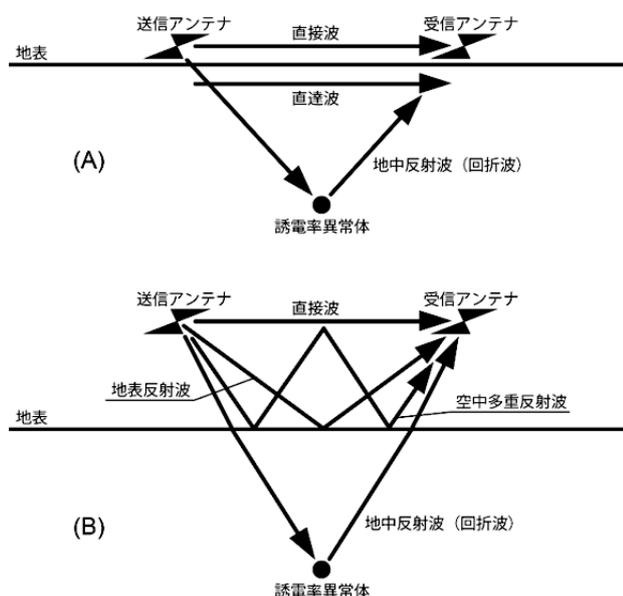


図-2 GPR の代表的な伝播経路

アンテナ面が地表に接している場合 (A) は、直接波だけが光速で、他は媒質中の速度となる。直接波と直達波は経路がほぼ同じであるが、アンテナ間距離により 1 波長程度ずれて連続した波に見えることが多い。

アンテナ面が地表から浮いている場合 (B) は、アンテナの高さにより直達波は小さくなる。その代わりに、地表における反射波が生じる。特に空中での多重反射波は調査対象のイベントと重なり、S/N を低下させる。

橋梁床版の場合は、波長により、床版上面の反射イベントが、直達波や地表反射波と重なる場合があり、注意を要する。

送信波形は、装置により異なる。典型的な波形は、図-3 のように中心がゼロで前後に正負のピークがある。そして、およそ 2 波長程度の振動が存在している。理論的な分解能の説明通りに、点対象物では半波長程度の距離が離れば物体の識別ができて、上下変化の少ない水平層のイベントの分離は 1.5 波長程度離れていないと難しい場合がある。アンテナ面が地表から浮いている場合、アンテナと地表との間の多重反射は強い水平な波形として現れる。多重反射を抑制処理した際に、回折波形である空洞の調査には影響が少なくても、水平なイベントも扱う床版の調査には信号成分も抑制されていないか注意が必要となる。

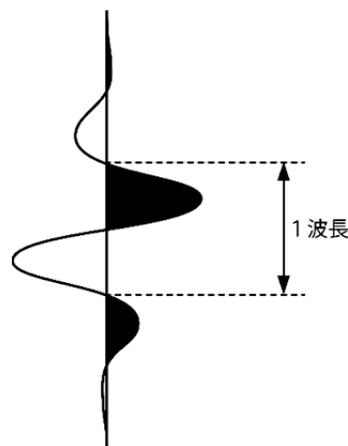


図-3 典型的な送信波形

(2) プロファイル記録

送受信アンテナの間隔が一定の状態、アンテナの位置を直線上で移動させ、一定の距離間隔で取得した記録群をプロファイル記録と呼ぶ。横軸は距離で、縦軸は電磁波が伝播し対象から反射して戻ってくるまでの時間 (往復走時) となる。伝播速度が推定できれば縦軸は深度として読み替えることができる。

プロファイル記録の解析では、少なくともゼロ時刻を調整する。可能であればゼロオフセット処理を行う。波動伝播を直線と仮定した場合に、幾何計算により、送受信アンテナ間の距離 (オフセット距離) をゼロとし、あたかも中間点から送受信した記録に変換できる。アンテナ面が浮いている場合には地表に設置していた場合の記録に変換することもできる。ゼロオフセット処理には各媒質中の電磁波の伝播速度の情報が必要となり、厳密な適用は簡単ではないが、極めて浅部を探索対象とする床版調査では、実際と仮定している伝播経路の相違が大きく、結果への影響が大きいため適用が望まれる。なお、ゼロ時刻を振幅のピークに合わせる場合とゼロに合わせ

る場合で、記録の解釈のポイントが変わるため注意する。

空中の多重反射波を除去するために、バックグラウンドドリム（background removal）処理を適用する。この際、ノイズ抑制のために周波数フィルタを適用する。さらに、波動のトレンド（大きなうねり）をゼロに調整するためのディワウ（dewow）処理、振幅補償、トレース間バランス調整等を検討する。橋梁床版調査のためには、デコンボリューションやマイグレーションは必ずしも必要ではない。一方、振幅を評価したい場合に時間方向にイベントが分離されていればヒルベルト変換の適用を検討する。

図4に橋梁のプロファイル記録例を示す。卓越周波数は約800MHzのカート式のアンテナを用いた。図中のAが床版上面の反射でBが鉄筋の反射である。直接波と直達波は含まれていない。図中のCの区間のイベントからの反射応答の走時が遅れていることがわかる。

走時の遅れには幾つかの原因が考えられる。表面の起伏や修復施工等による舗装厚の相違、オーバーレイによる舗装材質の相違、舗装の水分率の相違、床版の水分率の相違、鉄筋のかぶり厚の相違など、様々な要因が考えられる。重要なことは、GPRの単純な記録断面からだけでは、走時遅れの要因の判別ができない点である。他の参照情報が記録解釈の確度向上に必要となる。

また、床版上面や鉄筋の反射波の走時遅れを別個に分析するなど、新たな解析方法の開発により、要因の特定を進めることもできる。直接波と直達波、直接波と地表反射波は重なることが多い。これらの地表域のイベントと浅部の地中反射波が重なると走時遅れの要因の判別が困難になる。詳細な分析を適用する場合は、高周波アンテナやカート式の記録を用いる必要がある。

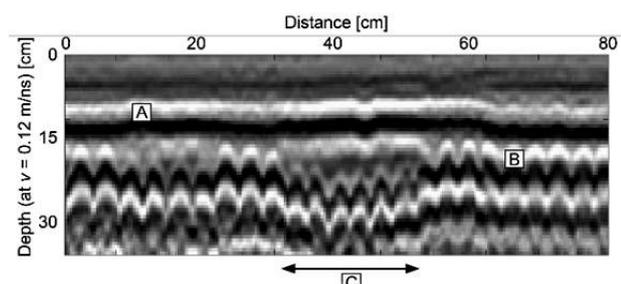


図4 橋梁のプロファイル記録例

(3) タイムスライス記録

プロファイル記録の縦軸は時間である。同走時の記録を水平方向に集めた記録をタイムスライス記録という。複数のプロファイル記録が平行して得られている場合、タイムスライス記録は2次元分布となる。速度分布を推定できた場合は、深度スライス断面として扱うこともできるが、一律の速度で変換した場合はタイムスライス断面と相違がない。

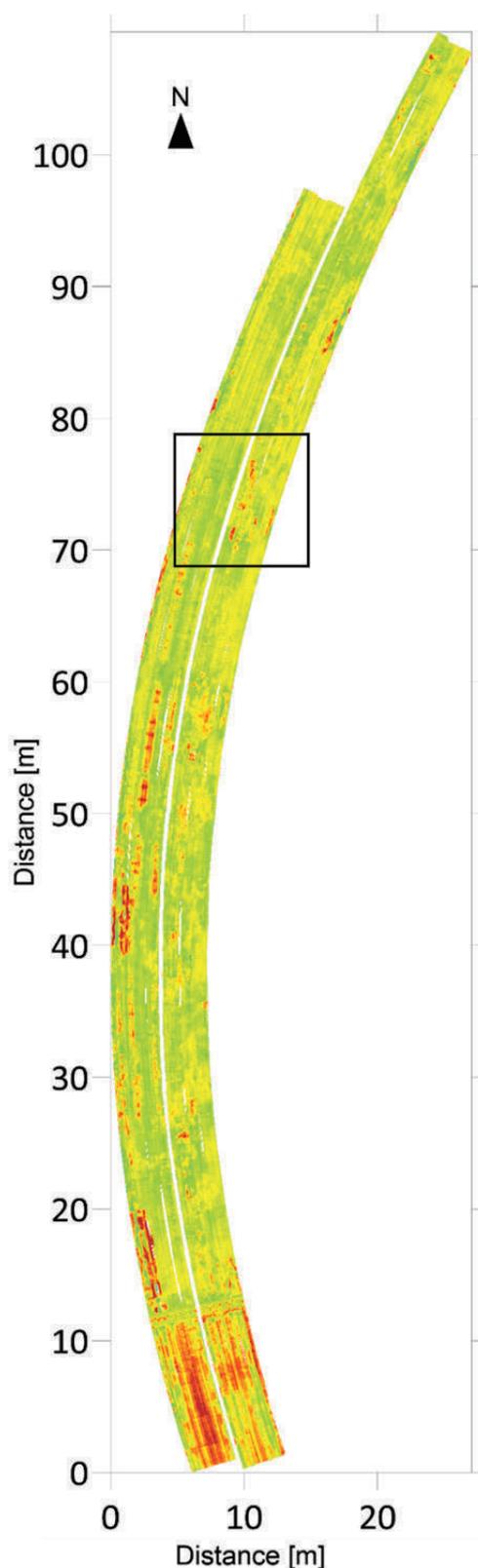


図5 タイムスライス断面例（2車線曲線橋の例、一部未調査部あり）

図5に橋梁におけるタイムスライス断面例を示す。色合いは相当する物性値はないが視認性を高める効果がある。カーブを有する橋梁ではGPRの走査地点の決定がイメージングに必要となる。これには、移動距離計と測位

計の2つを組み合わせる方法が有効であり、近年の技術更新が顕著な分野なため各社の技術争点のひとつとなっている。

図-6に図-5の黒枠の箇所の拡大図を示す。図-6は上部鉄筋深度付近の記録を示している。ただし、主筋はGPRが捉えているが、配力筋は捉えられておらず、車両走行方向の筋はノイズである。GPRは車両走行方向に走査し、主筋を検出し易い方向にアンテナが配置されている。全ての鉄筋の視認性を高めたい場合は、走査方向を変えた記録も取得するか、ポウタイアンテナを2方向に配置した装置が複数開発されているので、これを利用する。

ノイズの筋はアンテナ個体間の特性の相違に起因する。この筋が浅部域の記録で認められないマルチチャンネルGPRはなく、現状のGPRの性能があまり高くないことを示しており、高度な波動解析理論に基づいた解析の適用には限界がある。多数の記録を扱うことでS/Nを改善し、記録の信頼性を高める効果のある解析技術を用いることが現実的である。

同一装置であっても、送受信システムの特性は時間や場所而变化する。アンテナ個体間の記録の調整には、ゼロ時刻や波形の調整等の解析処理を全ての記録で個別に行った方がよいが、実務の中では十分な作業時間は得られない。空洞調査と同様に、橋梁調査でも、記録量が膨大なマルチチャンネルGPRでは、自動処理技術の開発が手法の高精度化をもたらすと考えられる。

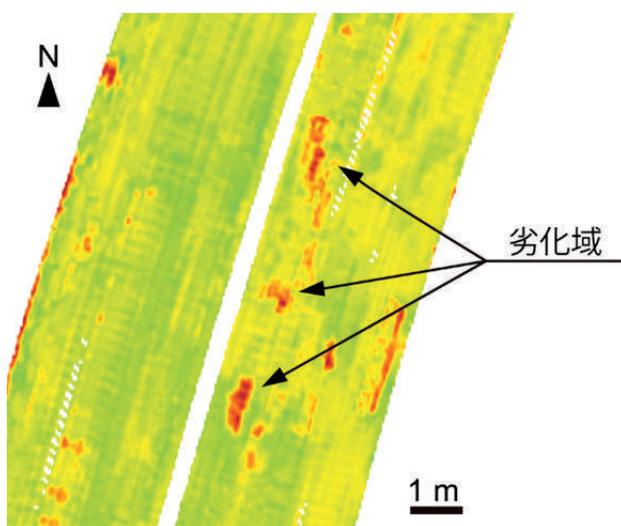


図-6 振幅異常域

図-6の異常領域は、周囲と反射振幅が異なるか、伝播速度が異なることにより同深度からの反射波が異なる走時で観測されている(位相ずれ)。位相ずれか否かの判断はプロファイル断面を参考にする。また、位相ずれを生じている領域が地表の検査結果等との比較で整合がある場合に、オーバーレイ、舗装表面の凹凸、亀裂による雨

水浸透の影響等との診断が行える。診断の判断は、GPRの探査や解析の技術者だけでなく、床版を熟知した専門家を含めて、複合的な診断が行えると良い。なお、図中の劣化域は開削により検証している。

(4) 水分の検知

GPRの帯域の電磁波は誘電率の相違で反射し、伝播速度が変化すると述べた。橋梁の構成物質のうち、誘電率は水が極端に大きく、良導体の鉄筋に続いて水に対する感度が高い。高周波のアンテナを用いると安定して床版上面の反射が捉えられる²⁾が、普及が進むマルチチャンネルGPRの周波数帯域では鉄筋の反射の方が確実に捉えられる。鉄筋の反射波の伝播経路上に水分の高い領域が存在することによる走時遅れを捉えることで、水分の検知が行える。また、土砂化を引き起こす要因となる滞水が生じていた場合、鉄筋まで到達するエネルギーが小さくなり、鉄筋の反射波の振幅により滞水域を捉えられる場合があるが、振幅は他の要因でも影響を受けるので注意が必要となる。

滞水域が一部の領域に限定され、舗装厚等が一定である場合、一部の探査記録の位相が周囲よりずれるという現象に注目することにより、異常域を特定することができる。しかし、位相ずれは滞水以外にもアンテナ面と舗装面との距離の差や、舗装の種類、舗装厚など様々な事象が原因となる可能性がある。

床版上面の反射イベントの位相差は主に舗装の状態の相違があることを示しており、上部鉄筋の反射イベントの位相差は舗装と床版上部の影響を含むため、上部鉄筋と床版上面の2つの反射イベントの位相差を評価するという方法がある。

また、水分は検出感度が高いため、乾燥や降水により状態が変化した前後を比較することにより、滞水状態の変化域を抽出する方法がある。

さらに、位相ずれには様々な要因が想定され、複合的な診断が必要と述べたが、床版上部域の伝播速度の値を解析により推定できれば、有力な診断材料となる。伝播速度の推定方法には、送受信点間隔を変化させた記録を用いた方法(速度解析)が古くから用いられている。しかし、床版上面はアンテナ面からの距離が近く、速度解析手法の適用は高い技術課題が存在する。

なお、波長程度の大きさの領域で回折現象が生じることからGPRでは数ミリの空隙の薄層は検知し難い。水平の亀裂は水が入り誘電率の差が大きくなると検知できるようになるが、縦の亀裂は回折波が上方にあまり戻って来ないため難しい。アスファルトもコンクリートも多孔質媒体であるため、亀裂から供給された水分が内部に浸潤し、誘電率の高い領域が形成されると、走時差が生じて異常域として検出できる。

4. 活用方法

普及が進んでいる中程度の周波数帯域のアンテナを搭載した車載型 GPR で定期的な測定を行い、車線規制が可能な際に必要に応じて、カート式で精密な調査³⁾を行うことが現実的な運用と考えられる。

中程度の周波数の場合は、アンテナ近傍の波動と床版上面の反射波が重なる場合がある。このため、鉄筋のイベントを追跡する方が有力となる。高周波の場合は、床版上面のイベントを明瞭に分離して扱うことができる。

舗装に亀裂が存在している箇所や、舗装の上面に起伏がある場合は、床版の劣化域である場合もある。タイムスライス断面の振幅の異常の原因が、舗装の亀裂による滞水や凹凸であった場合でも、床版の劣化域と整合する場合もある。したがって、重要なのは、単純に振幅の異常点をマッピングするだけでなく、異常点の原因を考察することである。亀裂の有無や起伏など、既知の情報は解析や解釈を行う者に提供し、異常の理由をできる限り判別する。

GPR の記録の取得と解析と解釈（診断）は別工程である。アンテナの固有特性や探査時の気候条件など、記録取得時の情報が解析に活かせる場面は多く、作業者の分離による品質低下が生ずる要素もある。一方、追加情報や再調査記録が得られた場合の再解析や複数の異なる観点からの解析や解釈を行うことにより、品質向上が見込める要素もある。

対象を直接計測する測定手法と異なり、非破壊調査の一部は、空間的な存在確率を変化させる効果があるに過ぎず、明解な結果が得られない場合がある。そのため、手法の利用方法を変えた方がよい場合がある。

どんなに正答率が低くても、致命的欠陥のある箇所を逃さない解釈結果が求められるのか、確実性が高い箇所だけの箇所が求められるのか、利用目的が示されると適した解析手法を適用できる。

新たな情報が入手された場合は、周辺事実と測定結果が整合するように解析や解釈をやり直す。GPR の取得記録は事実であるが、そこから導き出される解析結果や診断結果は、多くの可能性のひとつに過ぎない。ひとつの断面は結果のほんの一部に過ぎない。開削後に診断結果と合わなくても、合うような結果が導き出されるか解析方法を再検討し、導き出させる場合は次回の機会にその知見に基づいて手法を適用すれば、改善を図ることができる。

また、管理者の経験から劣化が進んでいると推定される箇所がある場合、そこに劣化域があるとする診断が出せる結果が導けるか検討を試みる。GPR の解析を多方面

から行い、どのように解析しても異常が検知されない場合と、いろいろ検討すると異常箇所として診断できる解析結果を導けるという場合がある。この多方面から分析した解析結果を元に、管理者が劣化の可能性を判断するという利用の仕方もある。

5. まとめ

GPR の基本的な特徴と GPR を用いた橋梁床版調査における調査や解析について整理した。床版調査には高周波の GPR が適している。しかし、普及が進んでいる中程度の周波数のマルチチャンネル GPR の利用が現実的である。この時、床版上面のイベントはアンテナ近傍の波動と重なる可能性があるため、上部鉄筋の回折波を解析対象とすると解析結果の品質が安定する。マルチチャンネル GPR の同走時の記録を集めたタイムスライス断面を用いて、異常域の検出が行える。しかし、タイムスライス断面の異常域は床版の滞水以外にも様々な要因が考えられる。プロファイル記録、および、橋梁の状態に関する情報を併用し、振幅異常の原因の判別を試みることが重要である。GPR を有効に利用するには、記録の取得、解析、および、解釈（診断）に際し、橋梁の他の情報を参考にする。診断は橋梁の専門家も行い、多方面からの検討や再解析を行うなど、記録の利用方法を改善すると、さらに有効に活用できる。

謝辞：記録の取得に際し、地方整備局ならびに土木研究所構造物メンテナンス研究センターの支援を受けました。特に野田翼氏および松本直士氏にお世話になりました。また、原稿の修正で田中良樹氏にお世話になりました。

参考文献

- 1) Daout, B., Sallin, M. and Wipf, H. : Measurement of complex permittivity of large concrete samples with an open-ended coaxial line - Progress in Electromagnetics Research Symposium, Note 65, 13 pp., 2014.
- 2) Amos, W., Evgeniy, T. and Anderson, N. : Bridge deck assessment using ground penetrating radar (GPR) - Proceedings of the 22nd Symposium on the Application of Geophysics to Engineering and Environmental Problems, Society of Exploration Geophysicists, Vol.2, pp.652-668, 2009.
- 3) Diamanti, N., Annan, A. P. and Redman, J. D. : Concrete bridge deck deterioration assessment using ground penetrating radar (GPR) - Journal of Environmental and Engineering Geophysics, Vol.22, No.2, pp.121-132, 2017.

謝辞

現地調査や撤去床版の提供及び資料提供にご協力していただいた方々をはじめ、本調査研究に関連してご協力いただいた関係各位に感謝いたします。

本調査研究の参加者一覧

(平成 30 年度)

国土交通省	道路局	国道・技術課 課長補佐	和田 圭仙
	国土技術政策総合研究所	橋梁研究室長	白戸 真大
		橋梁研究室 研究員	高橋 慶
		道路基盤研究室長	渡邊 一弘
		道路基盤研究室 主任研究官	桑原 正明
	東北地方整備局	道路構造保全官	田口 秀美
		東北技術事務所 専門官	大友 哲
	北陸地方整備局	道路構造保全官	三浦 義則
		北陸技術事務所 副所長	樋口 淳一
	中部地方整備局	道路保全企画官	西村 栄司
		道路構造保全官	竹内 秋広
		道路構造保全官	中川 晋吾
		飯田国道事務所 道路管理第二課長	大崎 義保
		飯田国道事務所 道路管理第二課	高岡 紗恵
		飯田国道事務所 道路管理第二課	宮本 百花
	九州地方整備局	道路保全企画官	浅井 博海
		道路管理課長	田口 敬二
		大分河川国道事務所日田維持出張所係長	酒井 大吾
	北海道開発局	道路維持課 開発専門職	佐藤 弘大
		道路維持課 保全係長	在田 尚宏
国立研究開発法人土木研究所		舗装チーム 上席研究員	藪 雅行
		舗装チーム 総括主任研究員	寺田 剛
		実装技術チーム 上席研究員	齋藤 清志
		地質・地盤研究 G 物理探査担当特任研究員	稲崎 富士
		地質・地盤研究 G 物理探査担当主任研究員	尾西 恭亮
	寒地土木研究所	寒地構造チーム 上席研究員	西 弘明
		寒地構造チーム 主任研究員	角間 恒
	CAESAR	上席研究員	石田 雅博
		上席研究員	上仙 靖
		主任研究員	田中 良樹
		研究員	森本 敏弘
		交流研究員	山本 健太郎
		交流研究員	樋口 祐治
	iMaRRC	上席研究員	古賀 裕久

(令和元年度)

国土交通省	道路局	国道・技術課 課長補佐	岡田 太賀雄
	国土技術政策総合研究所	橋梁研究室長	白戸 真大
		道路基盤研究室長	渡邊 一弘
		道路基盤研究室 主任研究官	桑原 正明
	東北地方整備局	道路構造保全官	岩渕 賢一*
	北陸地方整備局	道路構造保全官	櫻井 直樹*
		道路工事課 課長補佐	中田 光
		北陸技術事務所 維持管理技術課長	武田 達也
	中部地方整備局	道路保全企画官	石垣 政彦*
		中部道路メンテナンスセンター 技術課長	加藤 隆雄
	九州地方整備局	道路保全企画官	田口 敬二
		道路構造保全官	井本 真樹男
		大分河川国道事務所 総括保全対策官	船井 敏勝*
		同事務所 道路管理第2課専門官	中村 真一郎
	北海道開発局	道路維持課 保全係長	加藤 一之*
		道路維持課 保全係	谷口 雄紀
国立研究開発法人土木研究所		舗装チーム 上席研究員	藪 雅行*
		舗装チーム 総括主任研究員	寺田 剛
		舗装チーム 交流研究員	渡邊 真一
		実装技術チーム 上席研究員	齋藤 清志
		地質・地盤研究グループ 主任研究員	尾西 恭亮
		地質・地盤研究グループ 交流研究員	小林 貴幸
	寒地土木研究所	寒地構造チーム 上席研究員	葛西 聡
		寒地構造チーム 研究員	中村 拓郎
	CAESAR	上席研究員	石田 雅博
		上席研究員	上仙 靖*
		総括主任研究員	田中 良樹
		研究員	野田 翼
		交流研究員	松本 直士
	iMaRRC	上席研究員	古賀 裕久
		研究員	川島 陽子

*: パネリスト

付録 1 平成 30 年度指定課題配布資料

平成30年度 国土交通省 国土技術研究会 指定課題

道路橋コンクリート床版の土砂化対策に関する調査研究
配布資料

平成30年11月2日

国土交通省共用会議室

国土交通省 道路局 国道・技術課
国土技術政策総合研究所
東北地方整備局
北陸地方整備局
中部地方整備局
九州地方整備局
北海道開発局
国立研究開発法人 土木研究所

概要

道路橋のコンクリート床版の主たる損傷形態は疲労であったが、凍結防止剤の使用増加に伴う鉄筋腐食事例、コンクリートに多数の水平ひび割れが生じる事例、アスファルト舗装下で床版上面コンクリートに土砂化が生じる事例など、近年、道路橋の床版の損傷形態が多様化している。特に、コンクリートの土砂化は複数の症状が見られ、原因として路面からの塩水の浸入が疑われるが、劣化機構、損傷過程を含めて不明な点が多い。また、補修されても、比較的早期に再劣化する事例が見られ、調査方法、補修方法の改善が喫緊の課題である。

11/2 プログラム

- | | | |
|--|-----------------|-------|
| ■全体説明 | 土研 CAESAR 上席研究員 | 上仙 靖 |
| ■近年の土砂化の現状、事例報告 | | |
| 東北地整の事例 | 道路構造保全官 | 田口 秀美 |
| 北陸地整の事例 | 道路構造保全官 | 三浦 義則 |
| 中部地整の事例 | 飯田国道事務所課長 | 大崎 義保 |
| 九州地整の事例 | 大分河川国道事務所出張所係長 | 酒井 大吾 |
| 北海道開発局の事例 | 道路維持課 開発専門職 | 佐藤 弘大 |
| ■質疑 | | |
| ■研究機関の取組み状況
(国総研基盤, 舗装 T, CAESAR, 寒地構造 T, 物理探査) | | |
| ■今後の調査について | | |
| ■まとめ | 土研 CAESAR 主任研究員 | 田中 良樹 |

道路橋のRC床版の主たる損傷形態

従来は

疲労



鉄筋腐食

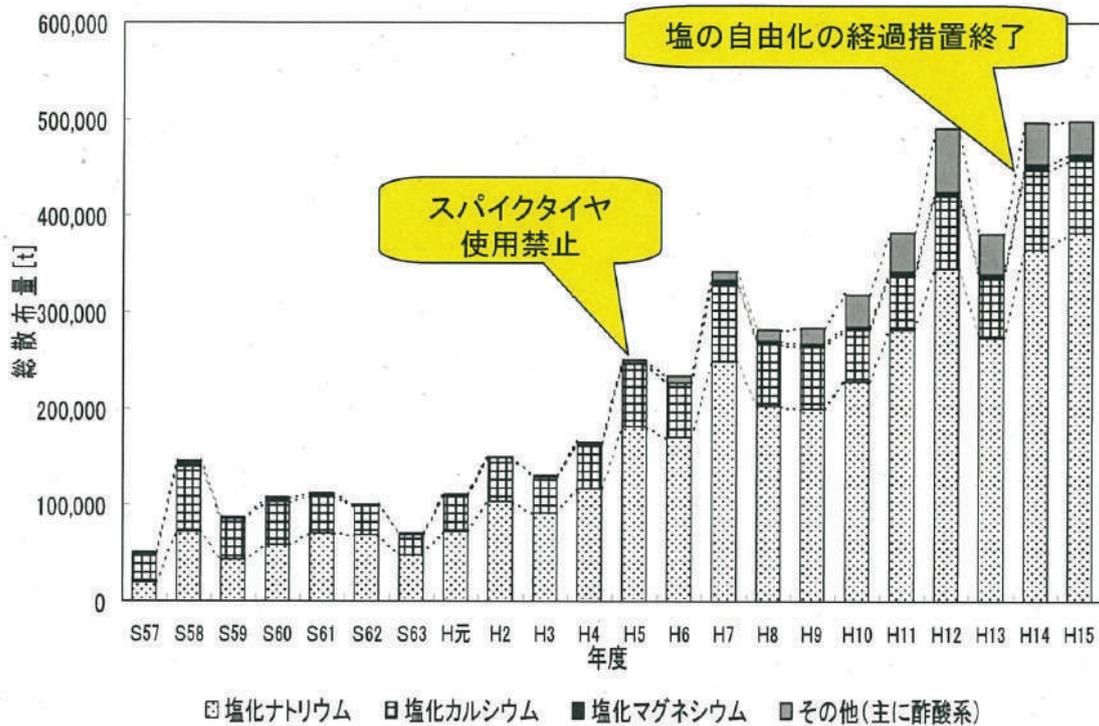
近年は

水平ひび割れ

土砂化



凍結防止剤の使用増加



国総研資料412号, 2007.7

土砂化

複数の症状あり, 走行位置に限らない



舗装全面をはがした状態



舗装を剥ぐと一見
コンクリートに見える



叩くとぼろぼろに

鉄筋露出するまで

土砂化の課題

原因として路面からの塩水の浸入が疑われる。

劣化機構, 損傷過程を含めて不明な点が多い。

補修されても, 比較的早期に再劣化する事例が見られ,
路面補修, 規制の繰返しが懸念される。

本日の目的

管理者, 研究機関, それぞれ問題意識あり

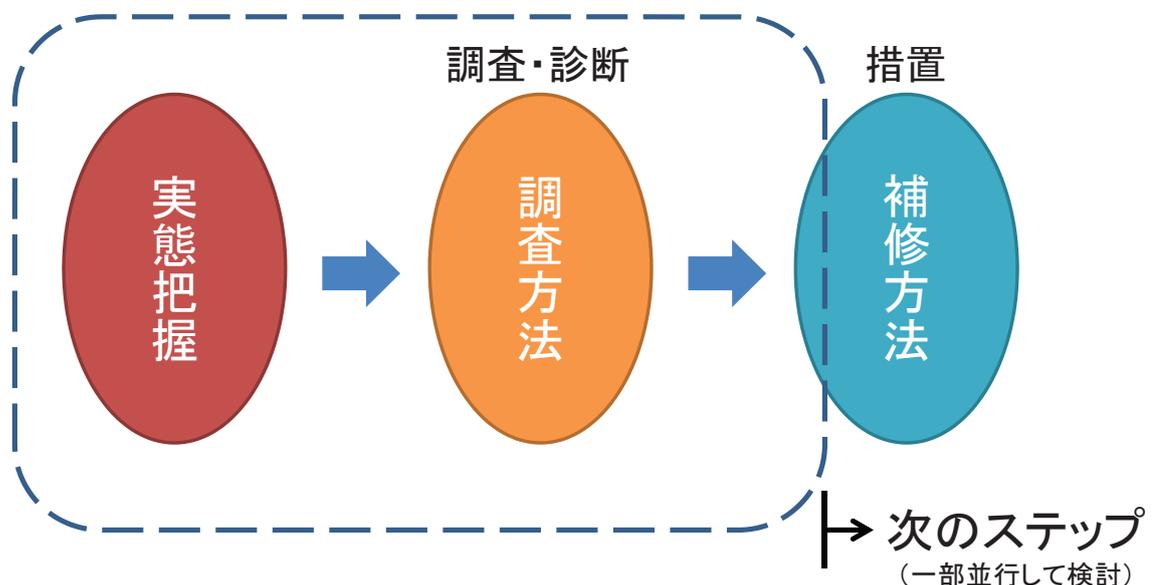
情報共有を図る

例えば

事例は増加傾向か
どのような症状を土砂化といっているか
現場における問題意識は
現場でどのように対応しているか
誰が何を解決しようとしているか(研究)

調査研究の目標

土砂化の実態を把握して,
調査方法(案)を提示する。



東北地方のコンクリート床版の土砂化対策について

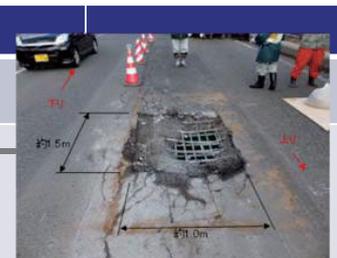
- 床版土砂化に対する取り組み
- コンクリート床版の課題
- (参考)コンクリート床版の不具合事例

0

東北地整の床版土砂化に対する取り組み

■ 床版土砂化に対する取り組み経緯

年	月	床版関係の事象・取り組み
		…… 以前から床版土砂化あり。 ただし統一された点検・補修ルールなし
H25	4	きみまち大橋床版抜け落ち(第三者被害) 注意喚起(橋面監視)
		酒田高架橋など立て続けに4橋の床版土砂化確認 注意喚起(下面補強の滞水)
	5	床版緊急点検
		対象床版損傷度c以上: 344橋 ウチ路面異常あり: 83橋(24%) ウチ土砂化: 33橋(10%)
	7	■(保全)路面異常時の点検・応急復旧方法を通知 本格的危機管理
H26	3	□(新設)主桁配置について通知(軌跡を考慮した桁配置、斜角規定)
H27	12	□(新設)Co構造物品質確保の手引き(施工段階の初期欠陥、緻密性等)
	5	下部工・函渠・擁壁編
	10	トンネル覆工編
		RC床版編(SIP)
H28	3	□(新設)設計施工マニュアル(橋梁編)改訂(Co配合, 排水, 桁配置等)
H29	8	■(保全)道路橋の維持・補修の手引き作成(補修・防水工施工方法等)



1

課題① 補修方法の改善

【補修面】

- 有効な補修方法の選定が困難
- 補修範囲の特定など有効な調査方法

【調査面】

- 路面上からの簡易な調査方法

課題② 水の遮断・水の抜き方

【舗装】

- 防水層面の滞水防止。侵入水の速やかな抜き方
- 抵抗性の高いバインダーの選定

【防水工】

- 防水層下に潜り込んだ侵入水の速やかな抜き方
- 床版下面補強(炭素繊維)がある場合の水の抜き方

【凍結防止剤】

- 「塩化ナトリウム」にかわる新たな凍結抑制剤の使用

東北地方の課題 ①補修方法の改善【補修面】

【補修の現状】

- 補修箇所でも早期に再劣化の傾向。また補修範囲が妥当でなかったのか、補修箇所の隣接部からの劣化も顕著に見られる。

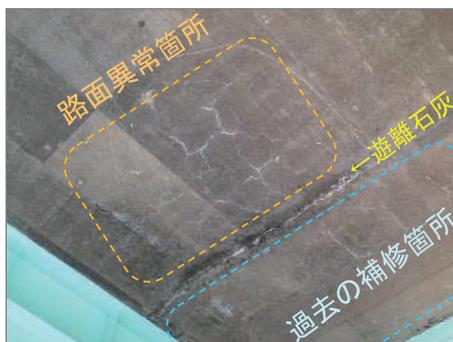


写真-3. 補修箇所の下面（過去の補修隣接部で劣化）



写真-4. 過去の補修隣接部の劣化

写真-1上. 路面As舗装のひび割れ
2下. 舗装撤去後の床版

※写真-1～3: R7新堅田橋（青森市）
※写真4: R4小繫跨線橋（二戸市）

【補修の課題】

- 有効な補修方法の選定が困難。（補修技術の確立、技術者レベル）
- 補修範囲の特定など有効な調査方法

【調査の現状】

- 観察する時期で劣化症状に違いがあり、床版劣化の進行メカニズムは不明確。劣化の進行順序・原因(浸入水,疲労,凍害,ASR,塩害)など不確定が多い。
- 劣化状況や劣化範囲は、舗装を剥がしてみないとわからない。叩き点検では労力・時間を要すること。再劣化も多く、調査方法・補修方法に改善が必要。



写真-1. 路面As舗装の補修痕から土砂噴出し



写真-2. 舗装ポットホール箇所以外でも広く土砂化が進行



写真-3. 舗装と一緒にコンクリートが剥がれた舗装裏面

※R13 神町跨線橋(東根市) H30.10.17

【調査の課題】

- 路面上からの簡易な調査方法
(劣化進行メカニズムの解明と有効な調査・補修方法)

4

【舗装の現状】

- 橋面舗装の劣化は、一般部舗装と違った劣化の症状(ひび割れ・流動)
- 施工目地等からの浸入水と輪荷重の影響で、タイヤ走行位置に舗装の異常。
- 防水層効果がある反面、防水層面に滞水。水の抜け方が悪い状況下では、アスファルト下面から水による劣化(骨材剥離)と防水機能の低下が見られる。



写真-1. 第1車線は右タイヤ部に路面ひび割れ
第2車線は右タイヤ部にひび割れ・流動



写真-2. 舗装と防水面の間に滞水。
床版はまだ健全。



写真-3. アスファルト劣化断面(骨材剥離)

※R4 日本橋(郡山市) 橋面舗装は施工後約20年経過

【舗装の課題】

- 防水層面の滞水防止。侵入水の速やかな抜き方
(水の侵入経路、回り込み方は不明。シームレスな舗装構造も必要)
- 抵抗性の高いバインダーの選定

5

【防水の現状】

- 防水層下に潜り込んだ侵入水は抜けない傾向。長期にわたって滞水・湿潤状態と考えられる。(排水不良)
- 床版下面に炭素繊維補強がある場合は床版上面(又はコンクリート内)の滞水量が多い傾向にある。(長期にわたって密閉状態の可能性もあり)



写真-1. 路面As舗装から土砂噴出し



写真-2. 床版下面(炭素繊維貼り付け)



写真-3. 床版上面の滞水・土砂化

※写真1~3 R4金ヶ崎大橋(奥州市)

【防水上の課題】

- 防水層下に潜り込んだ侵入水の速やかな抜き方
- 床版下面補強(炭素繊維補強)がある場合の水の抜き方

6

【凍結防止剤散布の現状】

- 東北地方の9割が積雪寒冷地。全線で「塩化ナトリウム」の散布。
- 凍結防止剤「塩化ナトリウム」の散布量が床版劣化度に影響。

凍結抑制剤の散布量の違いによる部材毎損傷率

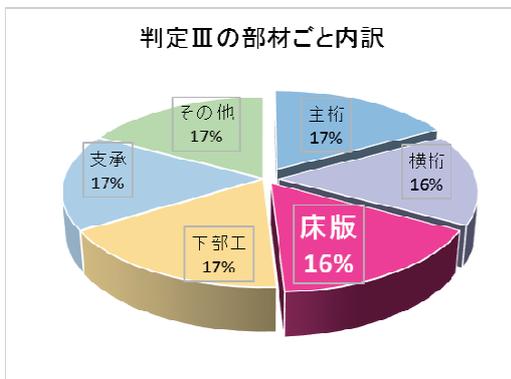


図-1. 20t未満/km/年

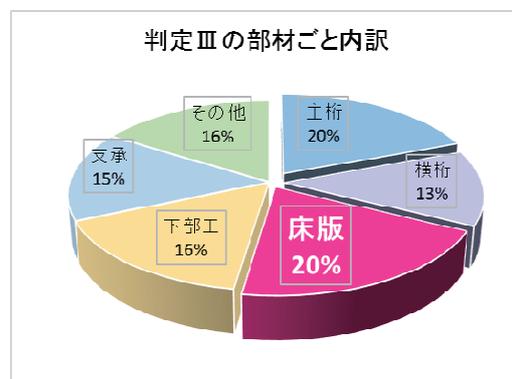


図-2. 20t以上/km/年

※図-1~2. 東北地整直轄全体の損傷比率Ⅲの割合 (H26~H29点検結果)

【凍結防止剤散布の課題】

- 「塩化ナトリウム」にかわる新たな凍結防止剤の使用

7

(参考)

➢凍結防止剤「塩化ナトリウム」散布は、橋全体の健全性に大きく影響。

凍結防止剤散布量の影響

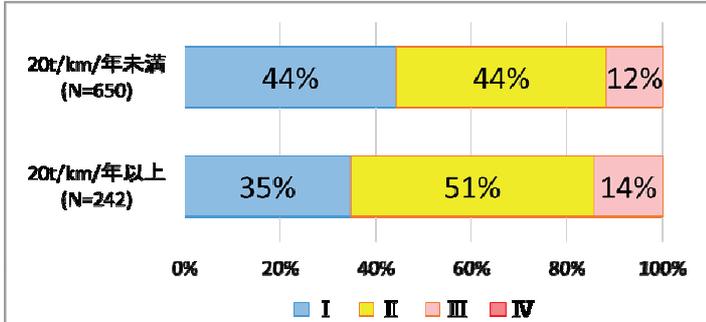


図-1. 散布量20t未満と20t以上の比較

※図-1. 東北地整(直轄) 橋梁の健全度の比較

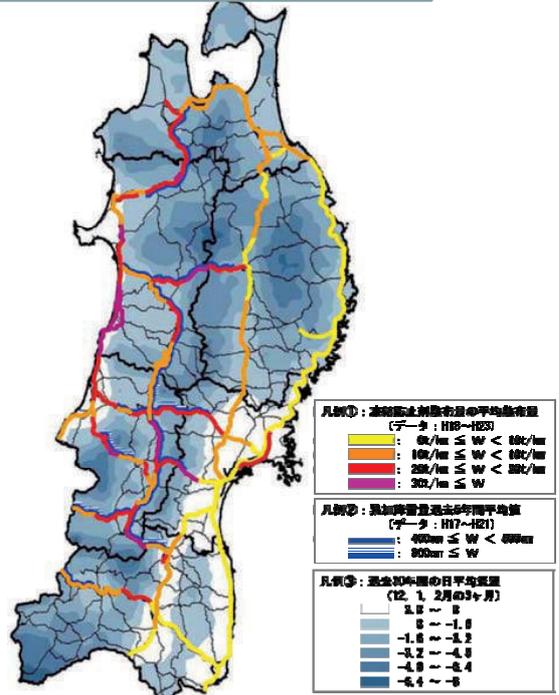


図-2. 冬期間の日平均気温と凍結防止剤散布量の分布

コンクリート床版の不具合事例①【補修隣接部の劣化】

■国道7号 青森県弘前市【新堅田橋】 H25調査事例



写真-1. 路面As舗装



写真-3. 舗装異常個所の直下(横断方向ひび割れ・遊離石灰) 補修境界から遊離石灰。



写真-2. 路面As舗装(近接) 土砂を含んだ噴き出し



写真-4. (舗装撤去後)土砂化の深さは上面鉄筋まで達していない

コンクリート床版の不具合事例②【下面補強橋の劣化】

東北地方整備局

■国道47号 宮城県大崎市鳴子【沙坂橋】 H25調査事例



写真-1. 舗装補修時に舗装版撤去で広範囲の土砂化を確認



写真-2. 土砂化は上面鉄筋まで達する



写真-3. 床版下面はH18年に全面炭素繊維貼り付け（床版は確認不可）



写真-4. 床版コンクリートコア採取は劣化のためコア形状として採取できず

10

コンクリート床版の不具合事例③【補修部の再劣化】

東北地方整備局

■国道4号 岩手県奥州市水沢区【金ヶ崎大橋】 H26調査事例



写真-1. 過去に床版上面補修した路面As舗装に土砂混じりの噴き出し



写真-2. 床版下面は炭素繊維貼り付け。観察窓からひび割れと白い析出物。



写真-3. 過去の床版上面補修箇所は浮き、周辺では土砂化

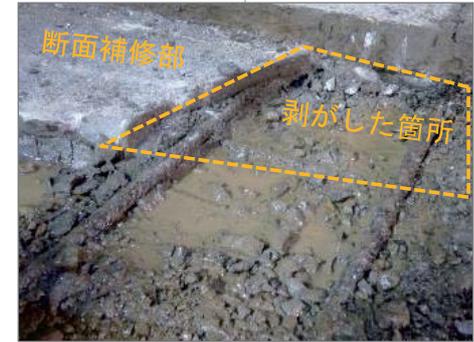


写真-4. 補修材料は容易に剥がせる状態。既設床版と良好な付着といえない。

11

コンクリート床版の土砂化事例④【排水不良】

東北地方整備局

■国道4号 岩手県一戸町【小繫跨線橋】 H24調査事例



写真-1. 白い噴き出し。過去に全面的舗装・防水施工。下面是グレーチング床版。



写真-3. 更新時に横断方向に排水パイプ設置後、ひび割れのため撤去。防水の不連続あり

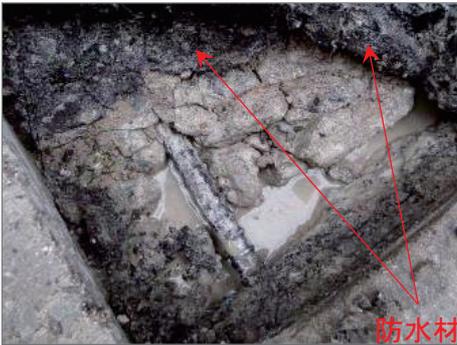


写真-2. 防水シートは容易に剥がせる状態。床版劣化（割れ）は上面鉄筋の深さ

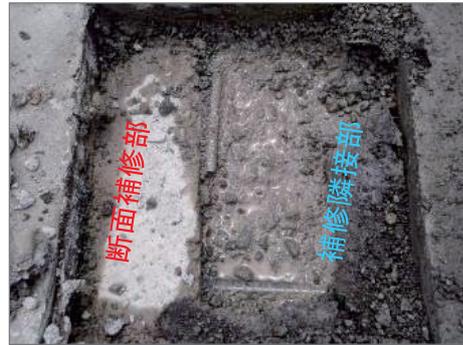


写真-4. 床版上面補修隣接部で土砂化

12

コンクリート床版の不具合事例④【排水不良】

東北地方整備局

■国道45号 宮城県気仙沼市【鹿折高架橋】 H30調査事例



写真-1. 路面As舗装に網目状の無数のひび割れ・補修痕（主に走行位置）



写真-3. 防水工とコンクリート面境界から水のにじみ出し。右：アスファルトの骨材剥離。



写真-2. 上面は調整コンクリート。浮き等なく健全。ただし湿潤状態。



写真-4. PCポステンT桁の間詰め床版の一部に漏水・遊離石灰

13

■国道4号 福島県郡山市【日本橋】 H30調査事例



写真-1. 右タイヤ位置の舗装にひび割れ・変形流動

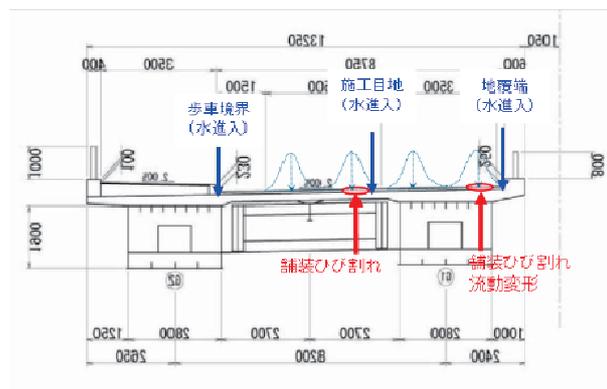


図-1. 水侵入経路と舗装ひび割れ等位置関係

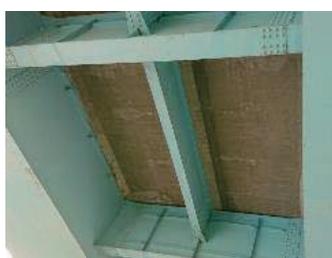


写真-2. 一部の床版で橋軸直角方向のひび割れ・漏水確認



写真-3. 4. 床版面に異常なし。アスファルトは劣化（骨材剥離・もろい。約20年経過）

橋梁の床版非破壊調査と土砂化事例について

北陸地方整備局

1. 床版非破壊調査

国土交通省

- 床版上面の土砂化や抜け落ちなどの損傷が発生し、**床版の補修工事**が実施されている。
- 橋梁点検では、床版下面及び路面の損傷の有無までを確認。
- 直接、確認できない**床版上面の土砂化などを適切に把握**することが、補修範囲の決定、適切な補修設計につながる。

- 橋面舗装を全面もしくは部分的に取り壊し、調査するのは大がかりである。
- そこで、非破壊調査の活用が図られてきているが、**各種ある非破壊調査方法**について整理されていないのが現状である

- 非破壊調査等の活用に向けて、調査方法の整理
- 実橋にて4手法の非破壊調査を実施



「床版非破壊調査の手引き(案)」として取りまとめた。
(現時点では北陸地整内での取扱い資料)

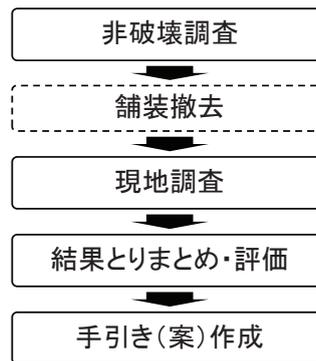
1. 床版非破壊調査

□試験調査

- 調査目的
各非破壊調査の特徴や精度を把握
- 対象橋梁
一般国道7号「明神第3橋」
- 実施した非破壊調査方法

- 1) 車両搭載型
 - ①電磁波レーダー法1
 - ②電磁波レーダー法2
 - ③赤外線サーモグラフィ法
- 2) 手押し型
 - ④音波計測法

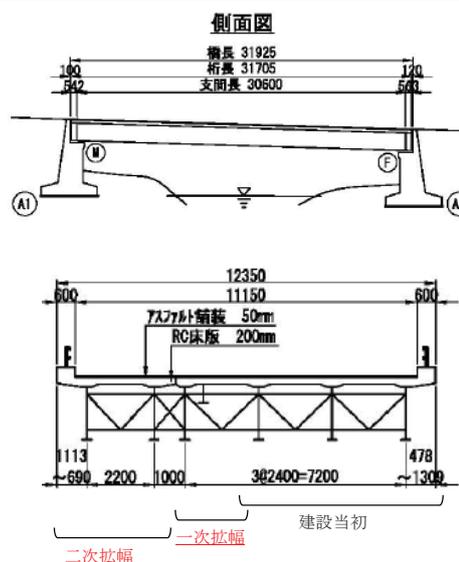
車両搭載型は交通規制を実施せずに、手押し型は交通規制を実施した上で調査を実施した。



1. 床版非破壊調査

□対象橋梁諸元

- 橋 種: 単純合成鉄桁橋
- 橋 格: 一等橋(TL-20)
- 橋 長: 31.93m
- 幅 員: 0.6m + 3.50m + 3.00m + 3.00m
+ 0.6m = 10.7m
- 竣 工: 昭和41年(供用後49年経過(調査時))
- 適用基準: 昭和31年 鋼道路橋示方書



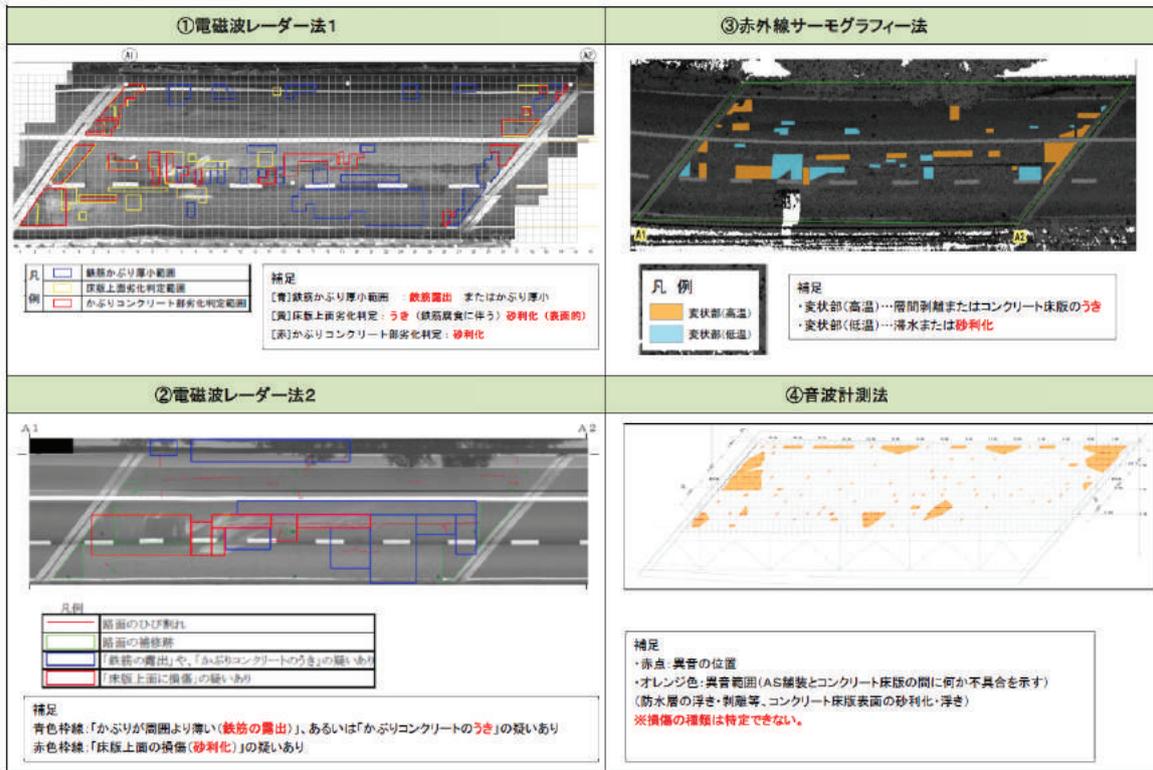
【特徴】

- 建設当時より2度拡幅が実施されている。
- 点検で路面に土砂化が疑われる泥水が発生していた。



1. 床版非破壊調査

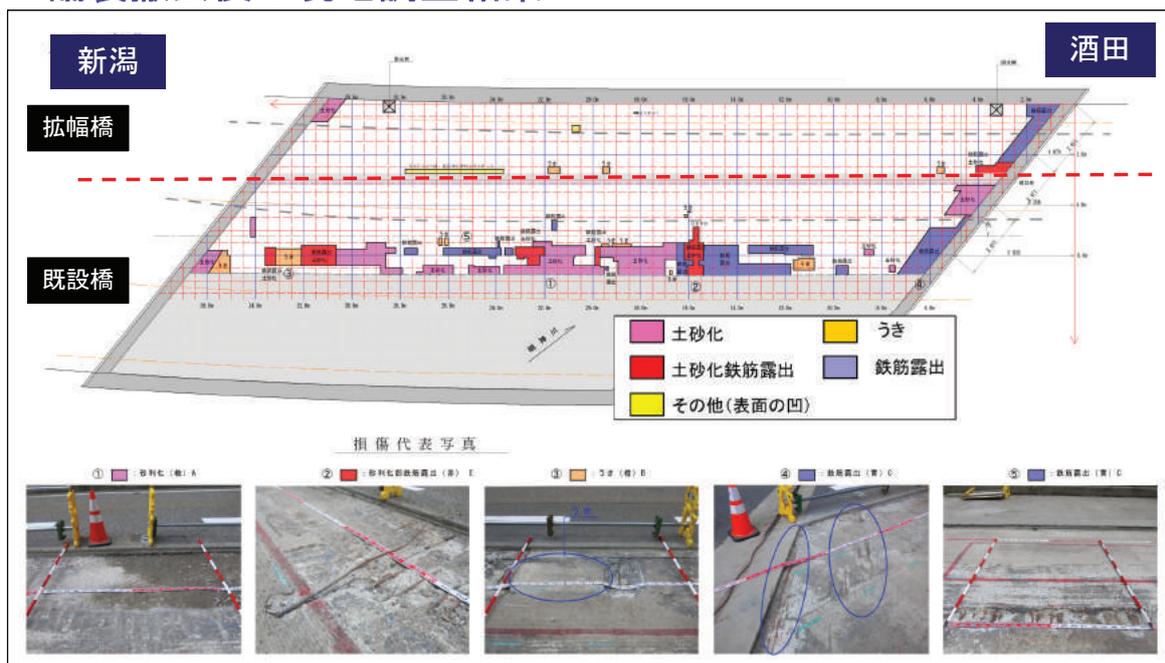
□非破壊調査結果



5

1. 床版非破壊調査

□舗装撤去後の現地調査結果



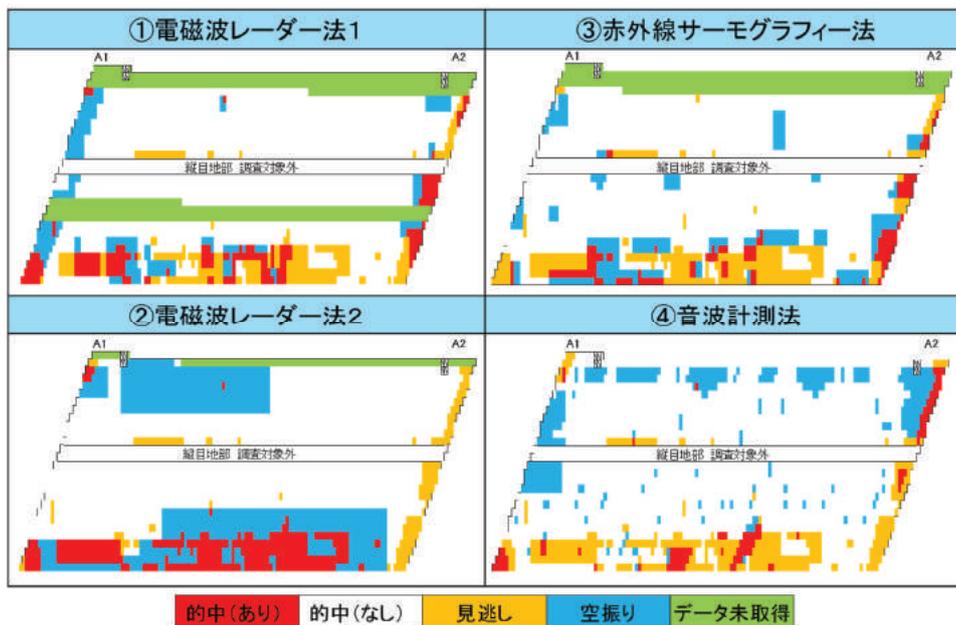
- 【損傷の特徴】損傷を土砂化、うき、鉄筋露出に大別
- ・既設橋に損傷（土砂化）が集中している。
 - ・伸縮装置周辺で土砂化や鉄筋露出がある。

6

1. 床版非破壊調査

□ 検証方針

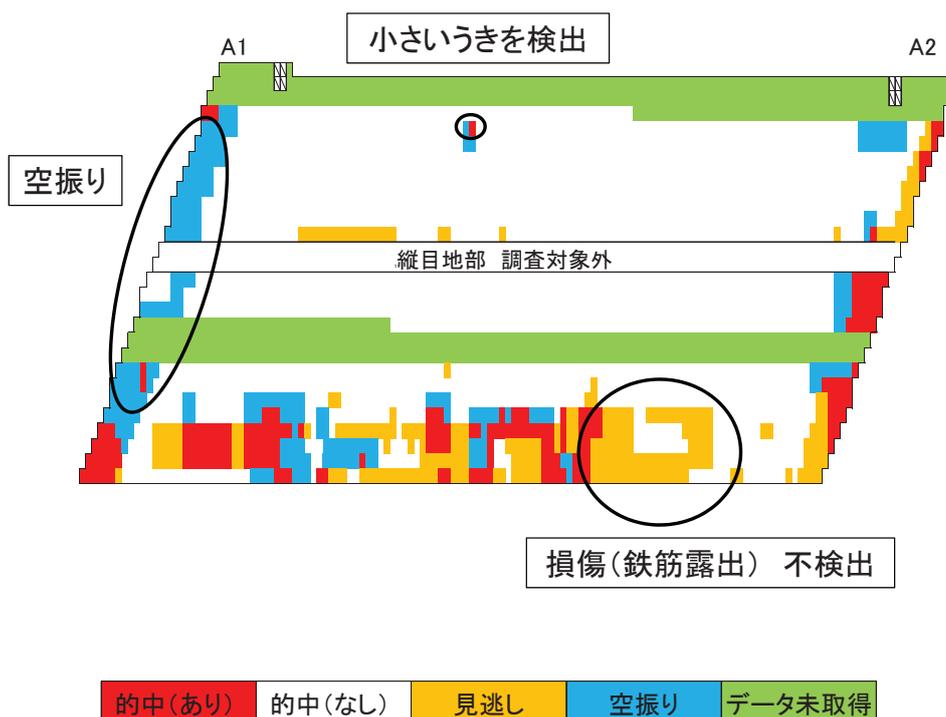
- ・現地にて確認された損傷に対して非破壊調査結果をメッシュサイズ25cm×25cmで重ね合わせて、的中、見逃し、空振りについて整理。



7

1. 床版非破壊調査

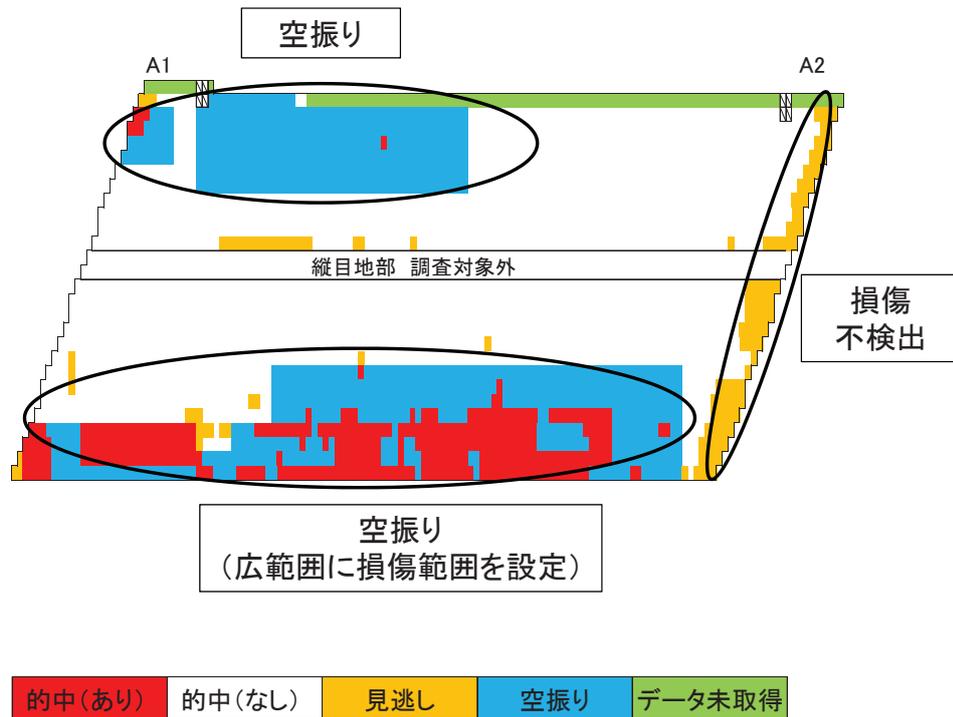
■ 電磁波レーダー法1 調査結果



8

1. 床版非破壊調査

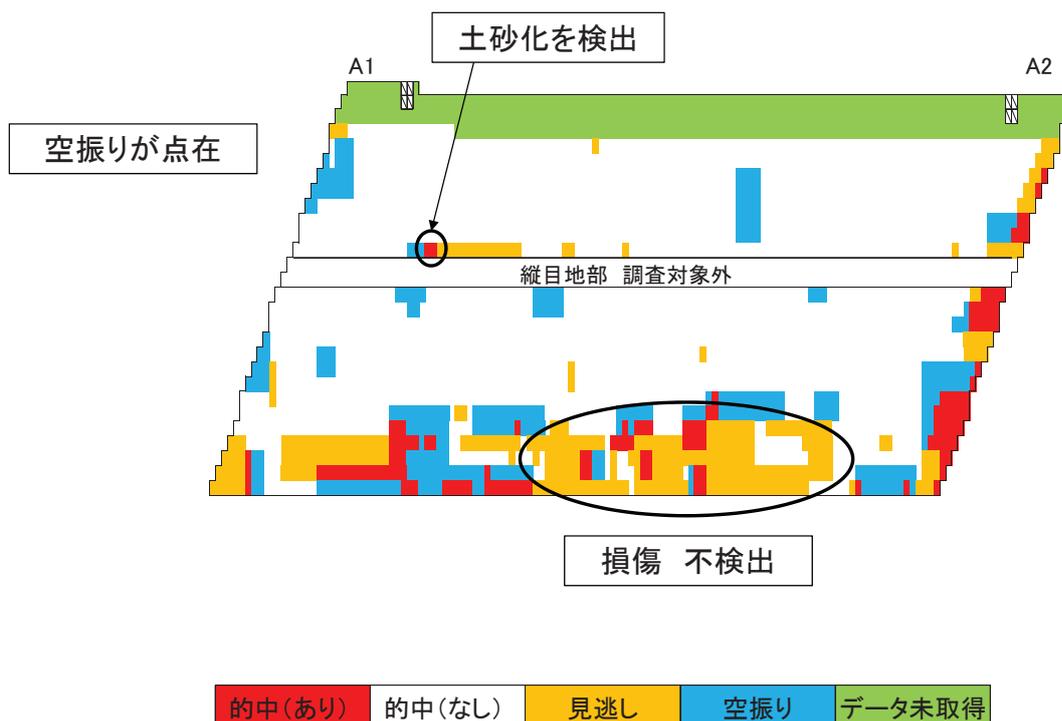
■電磁波レーダー法2 調査結果



9

1. 床版非破壊調査

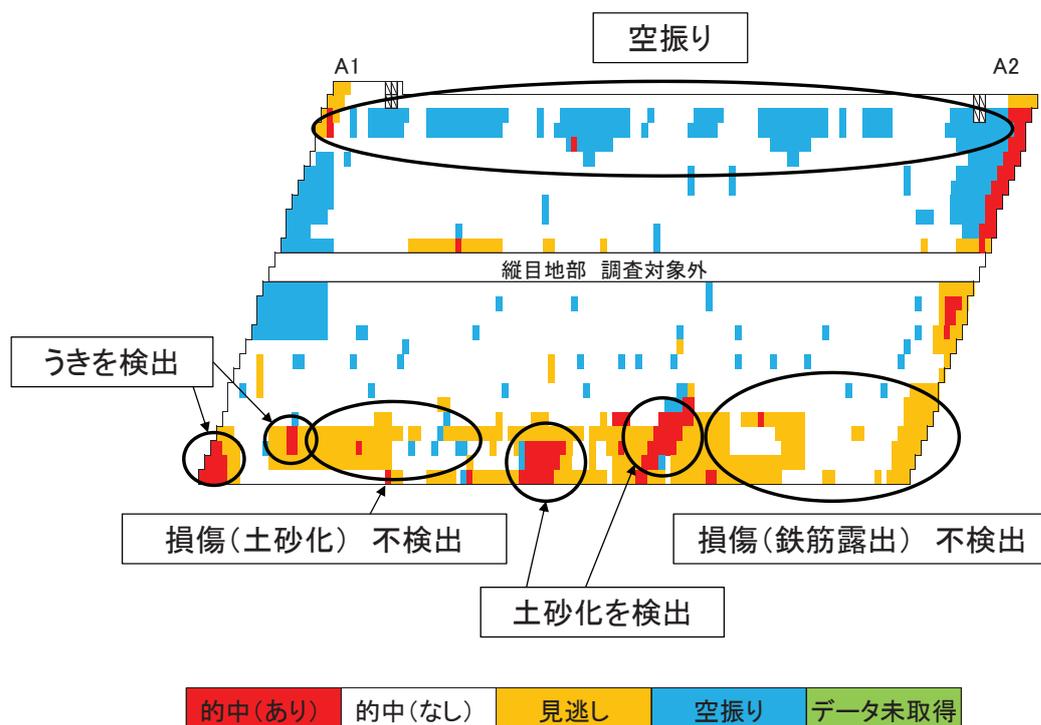
■赤外線サーモグラフィー法 調査結果



10

1. 床版非破壊調査

■音波計測法 調査結果



11

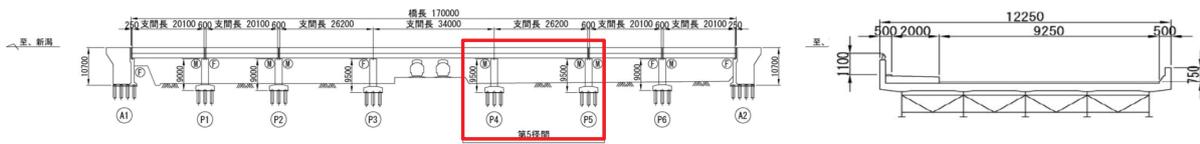
1. 床版非破壊調査

□まとめと今後の課題

1. 今回の調査は1橋のみであり、普遍的な精度までの報告には至っていないが、各調査方法とも、実損傷箇所の分布状況(位置や範囲)の特定においては課題が残っている。今後の更なる技術開発が期待される。
2. 土砂化に対しては、床版補修工事における断面修復範囲を判断する上での有効性が期待できる。
3. 各調査方法のデータ取得日が違い、気象条件(前日の雨の影響)が一致していない中での評価であったため、条件を同一にする必要がある。

12

2. 土砂化調査事例－1



【橋梁概要】

- ・完成年 1989年
- ・設計基準 昭和55年道路橋示方書
- ・橋梁形式 3径間連続非合成鈹桁 (3～5径間)
- ・交通量 27,174台/12h (大型車混入率 17.6%)



■点検 2017年



舗装の損傷状況(第5径間)



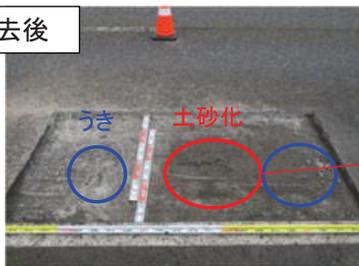
床版下面

- ・床版に遊離石灰(つらら状で湿潤状態)を伴う二方向のひびわれ(幅0.1mm)が見られる。
- ・前回点検(2009)と比較して遊離石灰はつらら状に進行しており、湿潤状態である。
- ・床版ひびわれに大きな進行は見られない。

13

2. 土砂化調査事例－1

舗装撤去後



はつり取った舗装 (防水層なし)

脆弱部はつり後



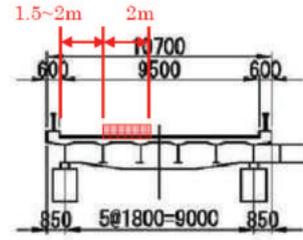
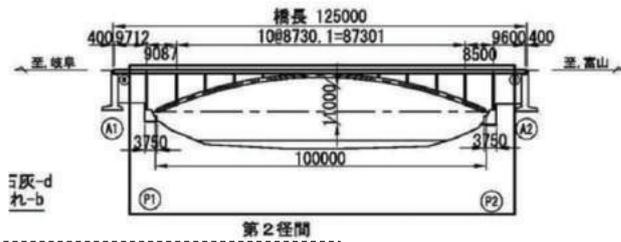
鉄筋露出

床版上面の調査結果

- 舗装クラックから泥水が析出していた箇所は土砂化が見られた。土砂化していた箇所は、脆弱なコンクリートをはつると内部は濡れていた。
- その他に「うき」も確認。
- 土砂化していた範囲、「うき」がみられた範囲いずれも橋軸直角方向の床版主鉄筋の腐食を確認。鉄筋のかぶり厚が20mm程度と小さい。

14

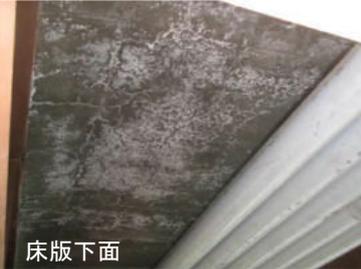
2. 土砂化調査事例-2



【橋梁概要】

- ・完成年 1981年
- ・設計基準 昭和47年道路橋示方書
- ・橋梁形式 3径間連続鋼アーチ
- ・交通量 11, 173台/12h (大型車混入率10.3%)

■点検 2016年



床版下面

- ・床版に遊離石灰を伴う二方向ひびわれ。
- ・前回点検(2011)の点検調書と比較して、ひびわれに進行が見られ、新たに遊離石灰の析出が見られる。

国道41号 新巻津橋

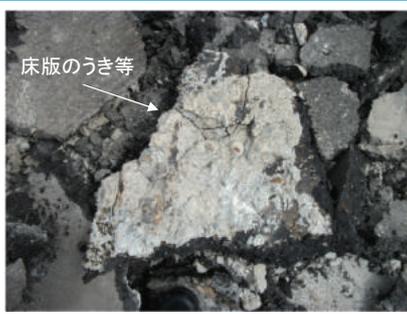
床版下面のひび割れは進行する事が出来ませんが、土砂噴出しているため切開調査を推奨します。

舗装の損傷状況

2. 土砂化調査事例-2

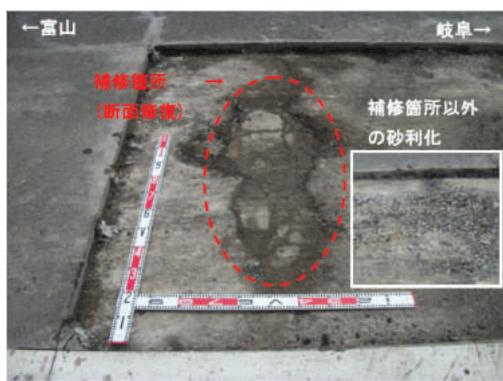


舗装のひびわれと土砂噴出跡



床版のうき等

舗装塊の裏面(床版上面のうきが付着)



床版上面のうき(断面補修再劣化)



主鉄筋

土砂化やうきを除去した床版上面

床版上面の調査結果

- 3年前の断面修復材にうきが生じ、再劣化。
- 主鉄筋方向に約1.5m×幅0.5mのうきが橋軸方向に1~2m間隔で発生
- 鉄筋が腐食し、鉄筋の節がなくなる程度の減肉。

高標高部の道路橋における床版土砂化の現状

中部地方整備局 飯田国道事務所

平成30年11月



Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism

高標高部の道路橋における床版土砂化の現状

1

1. 国道153号の特徴

- ・中京圏と長野県下伊那地方を結ぶエネルギー輸送路。
- ・近隣に代替路がなく、長野県南部地域と飯田市の救急医療施設を結ぶ重要路線。

→地域の社会経済を支える重要な路線。

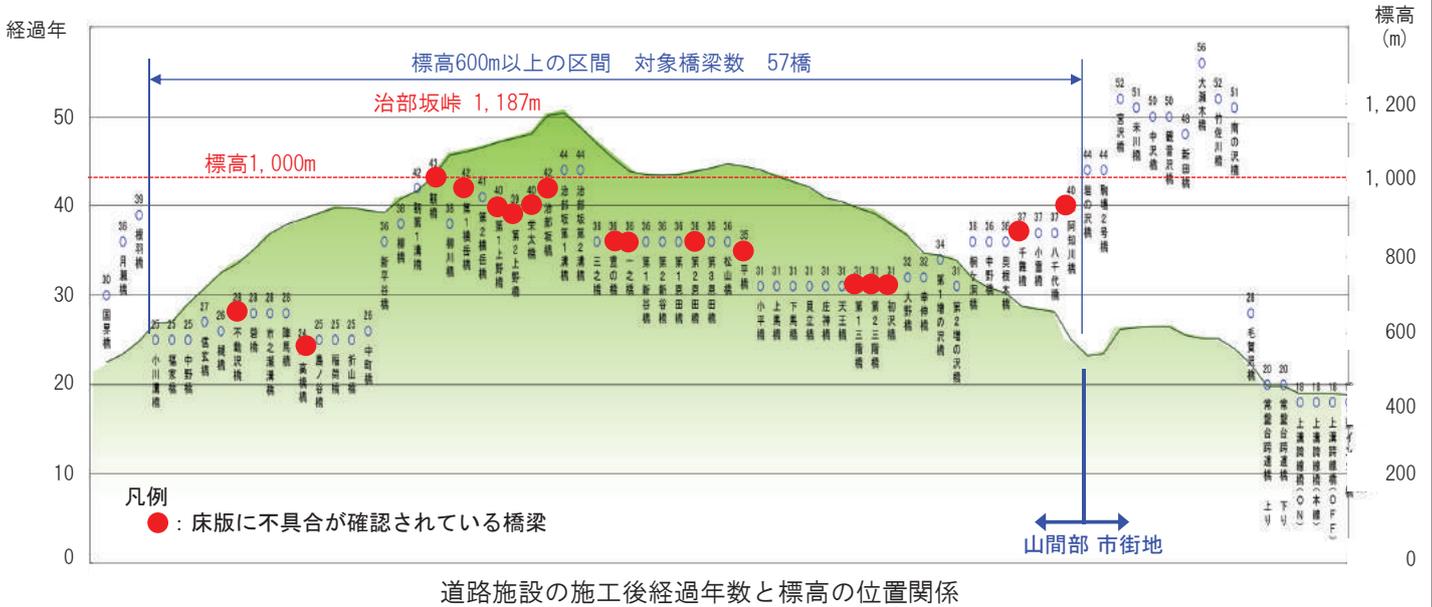


高標高部の道路橋における床版土砂化の現状

1. 国道153号の特徴

- ・標高は1,000mを超える場所もあり、凍結防止剤を年間約17t/km散布する路線。
※中部地方整備局管内で最も高標高部を通過する路線。(最高1,187m)
※国道153号の橋梁77橋のうち、床版劣化判定の多い道路橋は標高600m以上に集中
- ・交通量は、およそ2,000台/日(うち大型車 240台/日)

→床版が損傷している箇所は、標高が高く、交通量が非常に少ない区間。

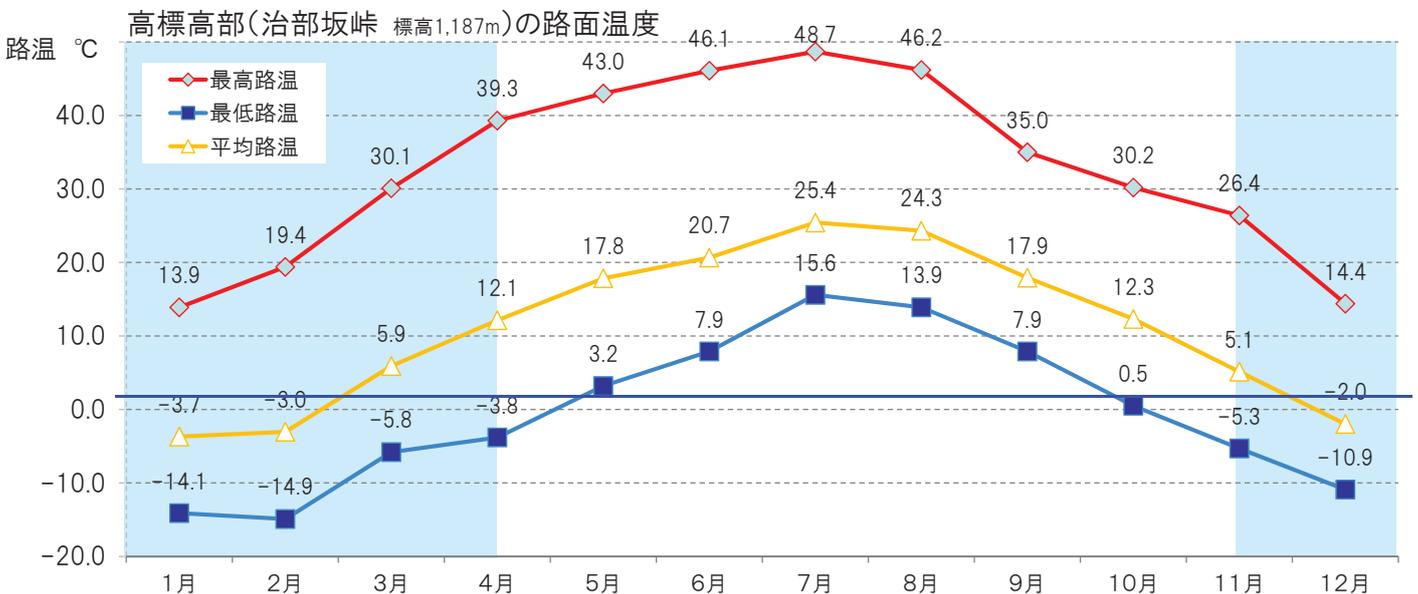


高標高部の道路橋における床版土砂化の現状

1. 国道153号の特徴

- 国道153号の高標高部では
- ・路面温度は年間最高は48℃、年間最低は-14.9℃。非常に厳しい気象環境。
 - ・最低気温が氷点下になる期間は6ヶ月

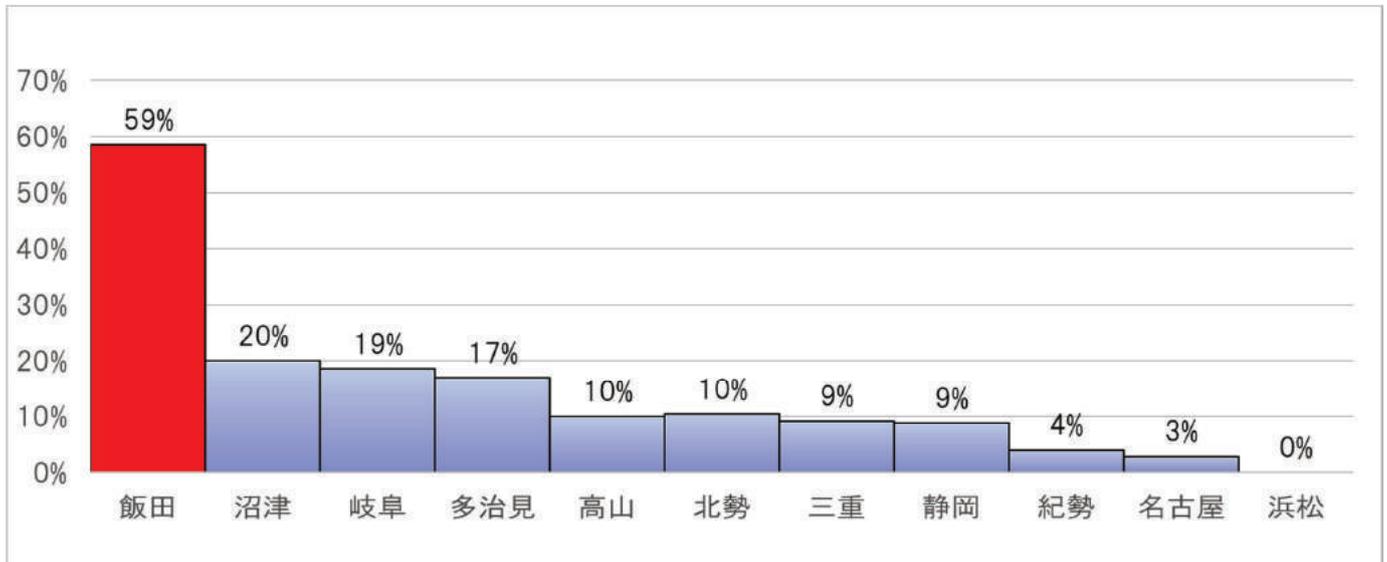
→高標高部では、1年のうち半分は床版内部で水分が凍結融解を繰り返している。



2. 国道153号の道路橋損傷の特徴

・床版の「漏水・遊離石灰」「床版ひび割れ」は中部地整管内でも突出して発生割合が高い。

→都市部で交通量の多い路線を持つ事務所より、床版損傷が多い。



Ⅲ 判定の橋梁(径間)のうち、コンクリート床版がC2評価の割合 n=1,530径間

中部地方整備局 橋梁定期点検結果より 点検期間H27～H29

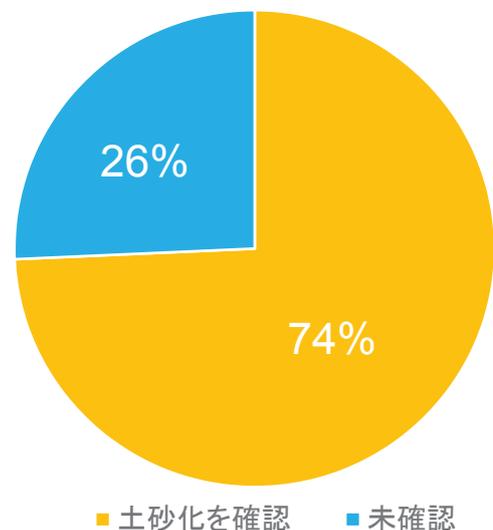
2. 国道153号の道路橋損傷の特徴

・過去5年間の床版補修のうち、7割の橋で床版の土砂化を確認。

→高標高部の橋では床版のほぼ全てで土砂化が進展している可能性。



およそ7割の工事で床版が土砂化。



期間 H25～H29(5年間) 床版補修橋梁 35橋

3. 国道153号の土砂化事例

・第二恩田橋（床版土砂化による抜け落ち発生）

橋長:39.9m 橋種:単純非合成鋼桁橋 床版厚:19cm 竣工年:1978年 最新補修年:H27



平成27年度に補修を実施

3. 国道153号の土砂化事例

・第二恩田橋（床版土砂化による抜け落ち発生）

橋長:39.9m 橋種:単純非合成鋼桁橋 床版厚:19cm 竣工年:1978年 最新補修年:H27



3. 国道153号の土砂化事例

・第二恩田橋（床版土砂化による抜け落ち発生）

橋長:39.9m 橋種:単純非合成鉄桁橋 床版厚:19cm 竣工年:1978年 最新補修年:H27



3. 国道153号の土砂化事例

・治部坂橋（進行性の速い床版ひびわれ、床版土砂化、再劣化）

橋長:25.0m 橋種:単純非合成鉄桁橋 床版厚:21cm 竣工年:1972年 最新補修年:H28



H21に床版劣化を確認。翌年補修工事を実施するも、4年後の点検で床版が再劣化。亀甲状のひび割れと土砂化が発生



舗装面に生じた変状

舗装撤去後の床版状況

3. 国道153号の土砂化事例

・治部坂橋(進行性の速い床版ひびわれ、床版土砂化、再劣化)

橋長:25.0m 橋種:単純非合成鉄桁橋 床版厚:21cm 竣工年:1972年 最新補修年:H28



床版上の層状のひび割れ



雨水が滞りし床版が劣化

伸縮装置周辺の床版土砂化



床版厚21cmのうち17cmまで土砂化が進展



舗装の継ぎ目(センターライン)での床版土砂化



地覆の舗装目地から浸水し湿潤

地覆・排水柵周辺の床版土砂化



地覆付け根部分は土砂化

平成27年度に再補修を実施

3. 国道153号の土砂化事例

・治部坂橋(進行性の速い床版ひびわれ、床版土砂化、再劣化)

橋長:25.0m 橋種:単純非合成鉄桁橋 床版厚:21cm 竣工年:1972年 最新補修年:H28



3. 国道153号の土砂化事例

・第一横岳橋(進行性の速い床版ひびわれ、床版土砂化)

橋長:96.0m 橋種:単純非合成箱桁橋 床版厚:20cm 竣工年:1973年 最新補修年:H29

H22撮影

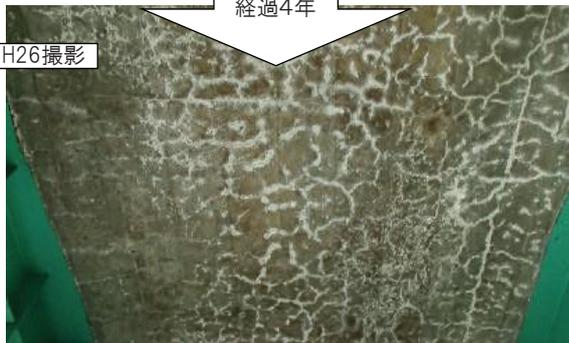


はつり前の路面状況



経過4年

H26撮影



床版上面土砂化



平成29年度に補修を実施

3. 国道153号の土砂化事例

・第一横岳橋(進行性の速い床版ひびわれ、床版土砂化)

橋長:96.0m 橋種:単純非合成箱桁橋 床版厚:20cm 竣工年:1973年 最新補修年:H29

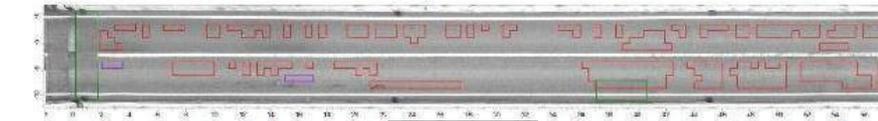


4. 国道153号 床版劣化に対する取り組み事例(調査)

■コンクリート床版内部診断(非破壊検査:スケルカ)

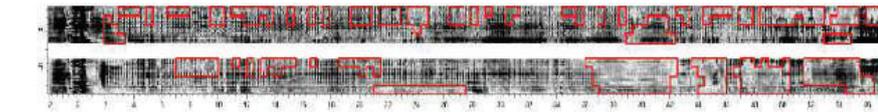
- ・H26とH29に調査を実施
- ・橋毎に画像を比較し、土砂化の進行を分析。路線全体で土砂化の進展状況を可視化。

診断結果図

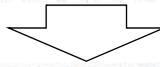


スケルカデータ(上部鉄筋深度付近)

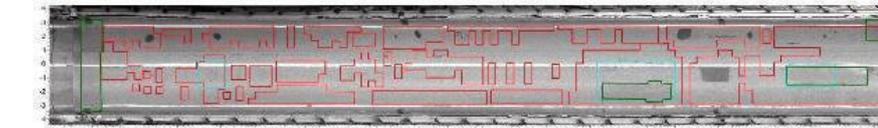
H26調査



診断結果図

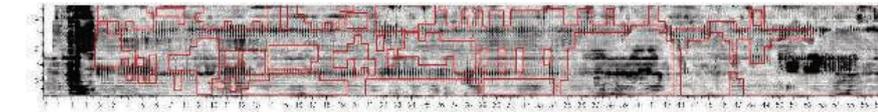


土砂化範囲



スケルカデータ(上部鉄筋深度付近)

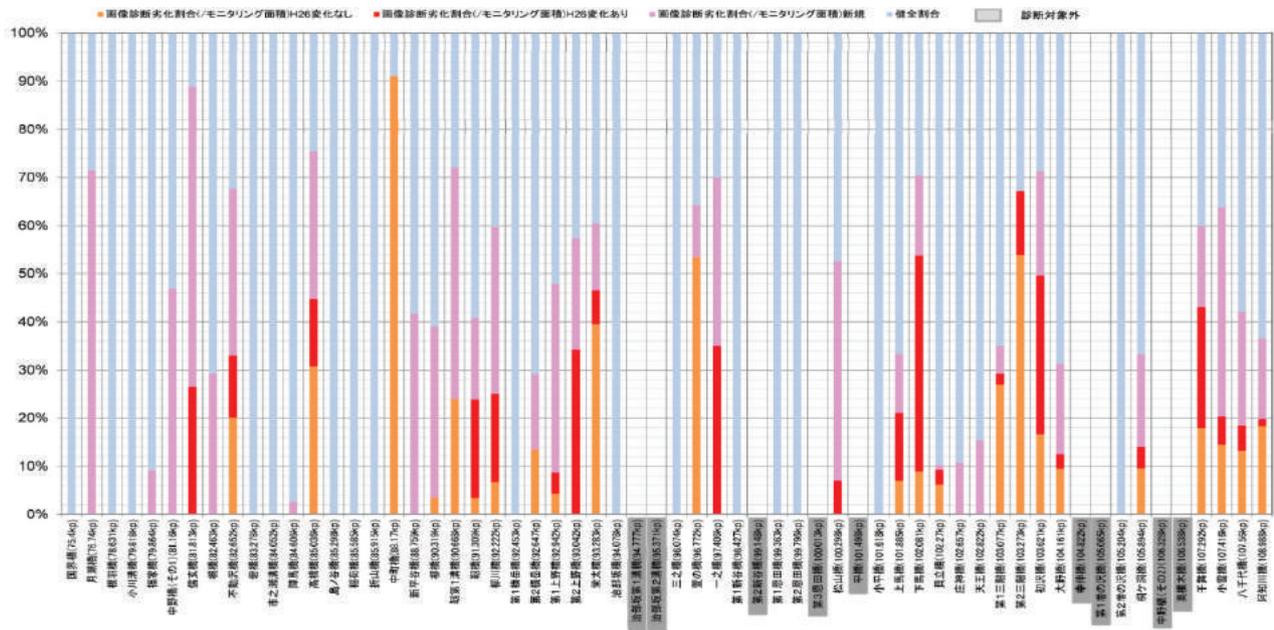
H29調査



4. 国道153号 床版劣化に対する取り組み事例(調査)

■コンクリート床版内部診断(非破壊検査:スケルカ)

- ・H26とH29に調査を実施
- ・橋毎に画像を比較し、土砂化の進行を分析。路線全体で土砂化の進展状況を可視化。



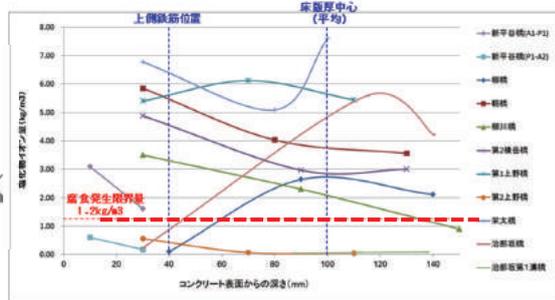
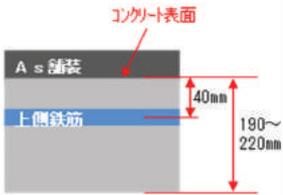
画像診断劣化割合 ■がH26と比較し、新たに土砂化が疑われた床版面積の割合

4. 国道153号 床版劣化に対する取り組み事例(調査)

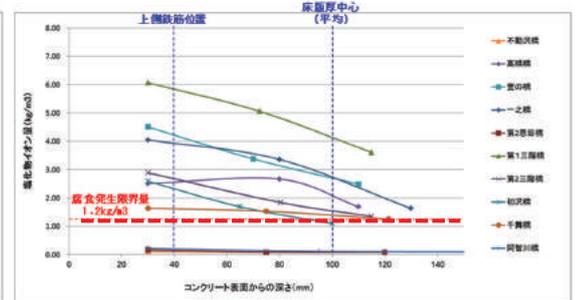
■コア採取による詳細調査

○塩化物イオン濃度試験

- ・塩化物イオン濃度試験を22橋(コンクリート床版内部診断で候補抽出)で実施。
- ・腐食発生限界濃度(1.2kg/m³)を超過する橋を17橋確認。



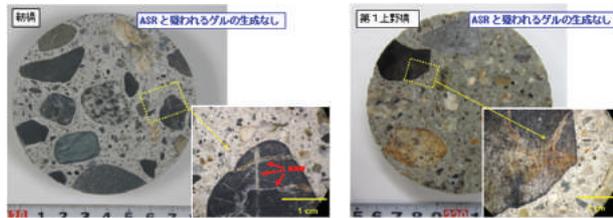
高標高区間(標高1,000m付近)



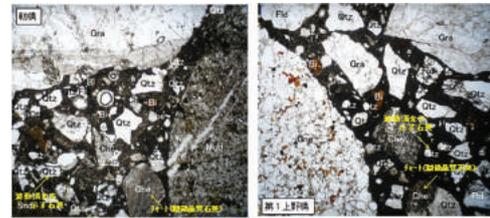
その他区間

○ASR試験

- ・調査した22橋ですべて、反応性珪物を確認した。
(隠微晶質石英を含むチャート、変成作用を受けた石英片岩や珪質片岩等)
- ・現段階でASRの痕跡は認められなかったが将来的に反応を示す可能性がある。



・コア観察



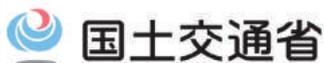
・偏光顕微鏡観察

○コンクリートコアによる圧縮強度試験、静弾性係数試験

・床版中央部は設計基準強度、標準値を下回る箇所を確認。(治部坂橋)

国道210号 さかいばし 境橋 における土砂化について

国土交通省 九州地方整備局
大分河川国道事務所
日田国道維持出張所
酒井 大吾



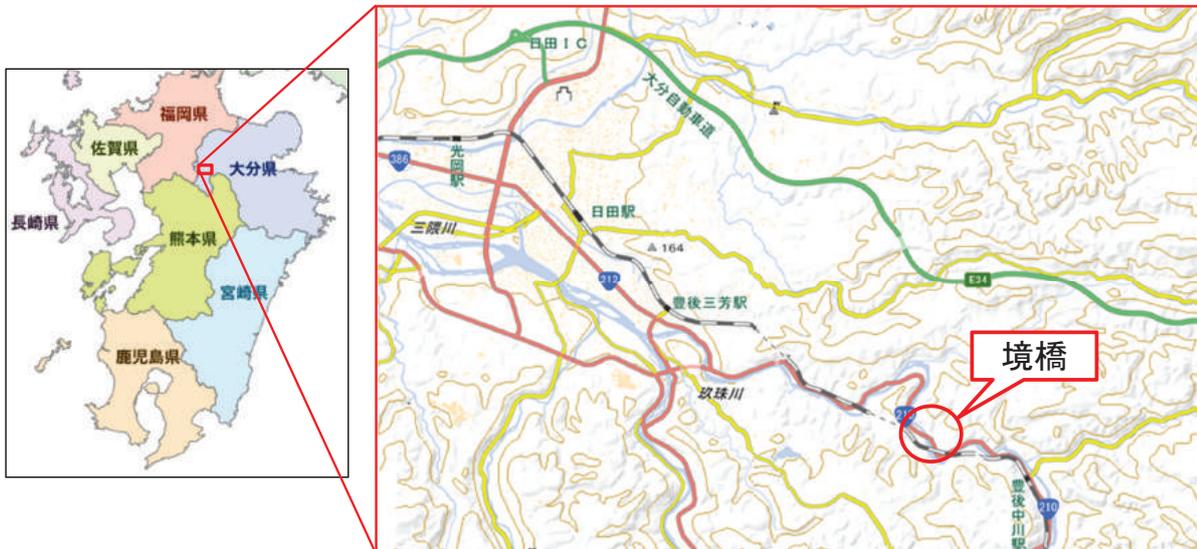
Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism

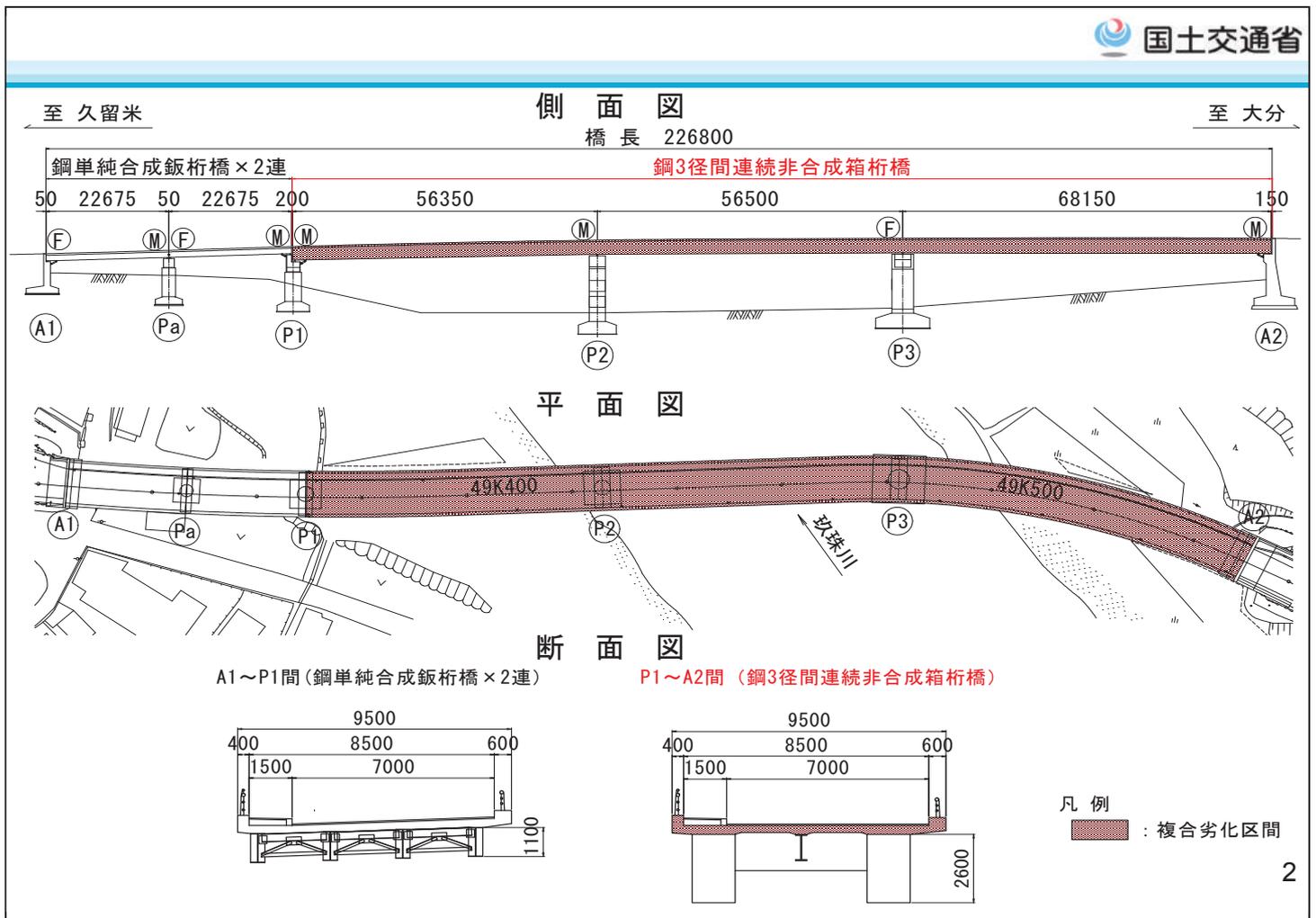
1. 概要



【境橋（さかいばし）】

- 1) 架橋位置：大分県日田市天瀬町^{おなごはた}女子畑^{まばる}～馬原(国道210号)
- 2) 架設年次：昭和48年(1973年)
- 3) 橋長：226.8m
- 4) 幅員：9.5m(全幅員)
- 5) 上部工形式：鋼単純合成鈹桁橋2連+鋼3径間連続非合成箱桁橋
- 6) 適用示方書：昭和47年 道路橋示方書





2. 当初劣化状況

- ①. 当初、床版下面の遊離石灰が急激に進展し、剥落・鉄筋露出等が発見された。

ひび割れ、遊離石灰



剥落、鉄筋露出



- ②. 橋面からの漏水を止めるために、橋面防水工の補修工事を行おうと切削した結果、床版上面が土砂化していたことが判明。

土砂化



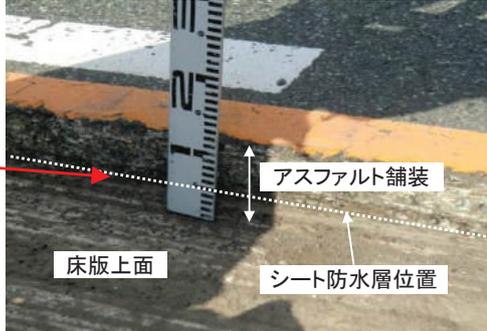
土砂化、鉄筋露出



(1) 床版上面の調査結果

- ・ 既設床版には防水層が確認されたが、**防水層の下**を通して**水が浸入**。
⇒水の供給源は、マウントアップ構造の**歩道部**と推定された。
- ・ 床版コンクリート内部への水の浸入や全体的に鉄筋腐食が見られた。

防水層よりも下にアスファルト層(弱層)があった



防水層よりも下のアスファルト層(弱層)から水染みが見られた



床版コンクリート内部に水の浸入(水溜り)が見られた

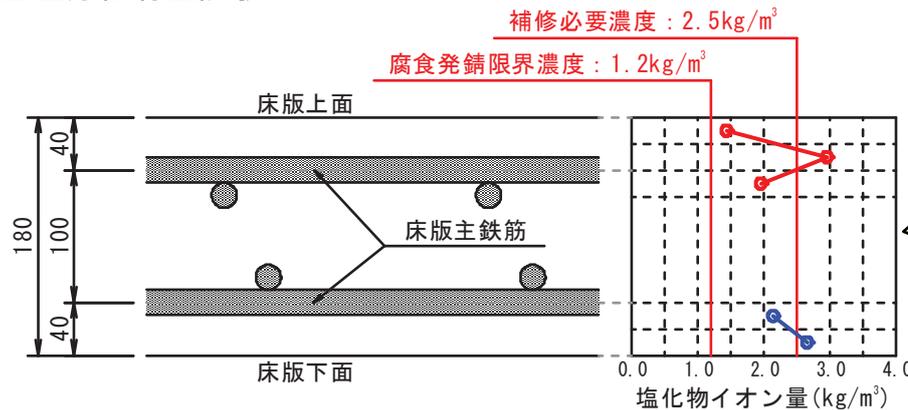


土砂化部以外のはつり箇所についても、鉄筋に腐食が見られた



(2) コンクリート品質試験結果

■ 塩分含有量試験



鉄筋位置における全塩化物イオン量による判定

劣化度	鉄筋位置での全塩化物イオン量	鋼材の腐食性
特	-	-
高	2.5kg/m ³ 以上	大
中	1.2kg/m ³ 以上、かつ2.5kg/m ³ 未満	やや大
低	0.3kg/m ³ を超えて、かつ1.2kg/m ³ 未満	軽微
無	0.3kg/m ³ 以下	なし

床版コンクリート内部の方が塩化物含有量の腐食発錆限界濃度(1.2kg/m³)を大きく超過しており、さらに、細骨材にわずかに貝殻片を含んでいることから、**海砂使用による内在塩**であると推定された

■ ASR試験（偏光顕微鏡観察）

試料	岩石種	ASR 進行段階 →					劣化度評価
		i	ii	iii	iv	v	
		骨材	セメントペースト	骨材	セメントペースト		
		反応	ゲルの滲み・取り巻き	ひび割れ	ひび割れ	気泡	
		リム		ゲル充填	ゲル充填	ゲル充填	
はつり殻(小)	粗骨材	安山岩	○	○	○		1~2
	細骨材	安山岩	◎	○	+		1
		安山岩溶結凝灰岩	◎	○	+		1
		デイサイト	◎	○	+		1
		デイサイト溶結凝灰岩	◎	○	+		1
総合評価							1~2

顕微鏡観察による評価

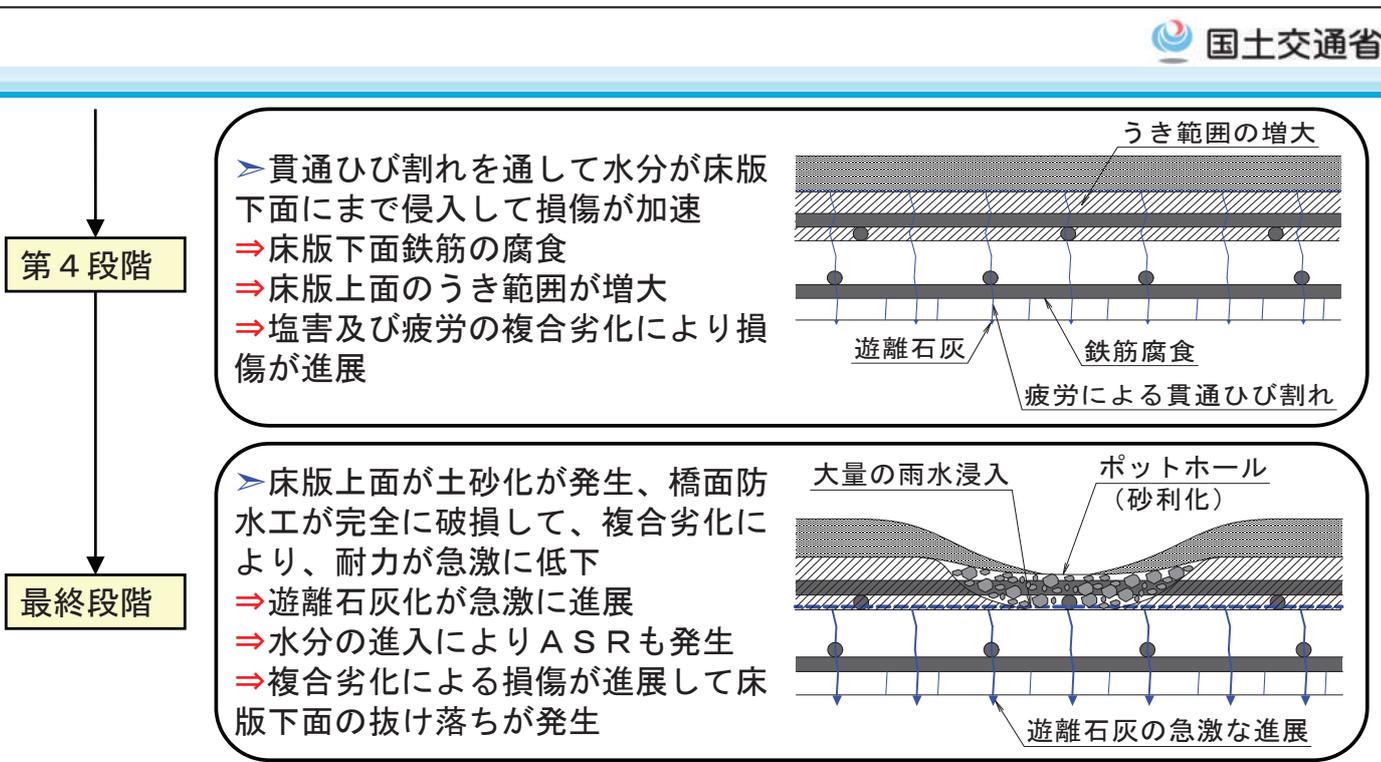
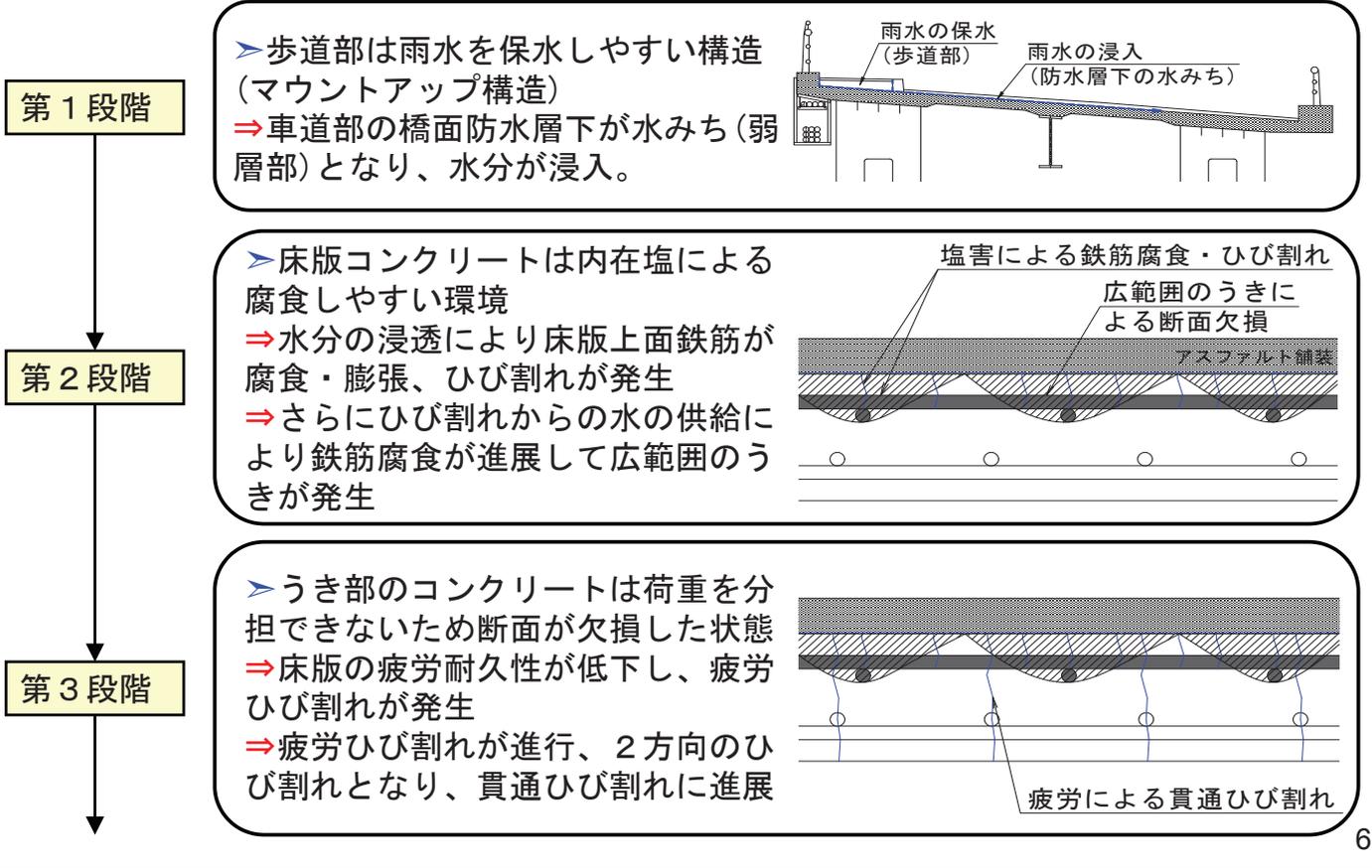
ASRの程度：◎ 顕著；○ あり；+ 痕跡程度

劣化度の評価：1 軽微(潜伏期に相当)；2 中程度(進展期・加速期に相当)；3 顕著(加速期・劣化期に相当)

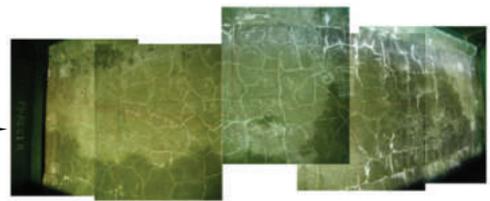
ASRの初期反応が認められ、劣化度としては「潜伏期～進展期」と判断

現場で酸に溶けないASRゲルとみられる物質も確認





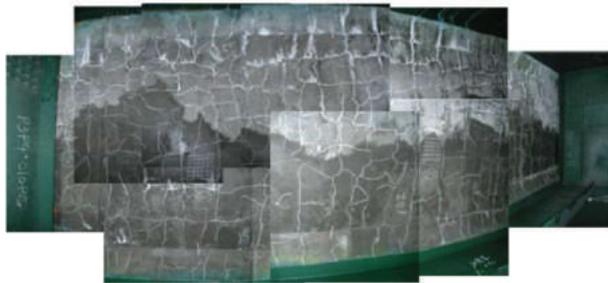
H23. 11調査時



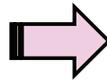
H26. 12調査時

4. 応急対策の対応

① 応急対策として、橋面防水工（全面）及び**炭素繊維補強（一部）**を実施。



床版下面の損傷状況



炭素繊維補強

② 応急対策実施後も、定期的に床版の追跡調査を実施。（1回/月）

→ 追跡調査結果、**漏水**や**土砂流出**、**遊離石灰**、**ひび割れ**、**うき**等が進展

→ **床版下面全面**に『炭素繊維補強』を追加実施（恒久対策までの管理水準確保）



炭素繊維補強部からの漏水



炭素繊維補強部からの土砂流出

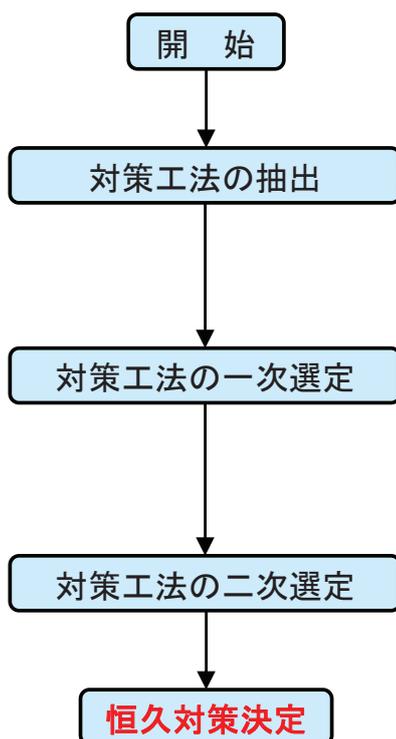


広範囲に見られた遊離石灰

8

5. 恒久対策の検討フローと対策工法

(1) 検討フロー



➢ 「コンクリート標準示方書維持管理編」を参考に対策案を抽出

工法分類	対策案	耐用年数	現道交通規制	検討結果	
補修工法	第1案 床版上面断面修復工+橋面防水工	2~3年	片側交互規制		
	第2案 炭素繊維接着工 (or 鋼板接着工)	5~10年	片側交互規制		
	第3案 現場打ち床版 t=180mm (打替え工法)	40~50年	仮橋による迂回		
補強工法	第4案 現場打ち床版 t=210mm (打替え工法)	50~100年	仮橋による迂回		
	第5案 プレキャスト床版 (打替え工法)	プレキャスト合成床版	50~100年	片側交互規制	
		鋼合成サンドイッチ床版	50~100年	片側交互規制	
その他	第6案 架替え (上下部工)	100年以上	仮橋による迂回		

➢ 一次選定では、現場条件やLCC及び長寿命化の観点から床版上面断面修復工、炭素繊維接着工、現場打ち床版、プレキャスト床版、架替工の比較を行った。

工法分類	対策案	耐用年数	現道交通規制	検討結果	
補修工法	第1案 床版上面断面修復工+橋面防水工	2~3年	片側交互規制	×長期耐久性が不足 (応急対策で採用済み)	
	第2案 炭素繊維接着工 (or 鋼板接着工)	5~10年	片側交互規制	×仮橋は不可	
	第3案 現場打ち床版 t=180mm (打替え工法)	40~50年	仮橋による迂回	×仮橋は不可	
補強工法	第4案 現場打ち床版 t=210mm (打替え工法)	50~100年	仮橋による迂回	×仮橋は不可	
	第5案 プレキャスト床版 (打替え工法)	プレキャスト合成床版	50~100年	片側交互規制	
		鋼合成サンドイッチ床版	50~100年	片側交互規制	
その他	第6案 架替え (上下部工)	100年以上	仮橋による迂回	×仮橋は不可	

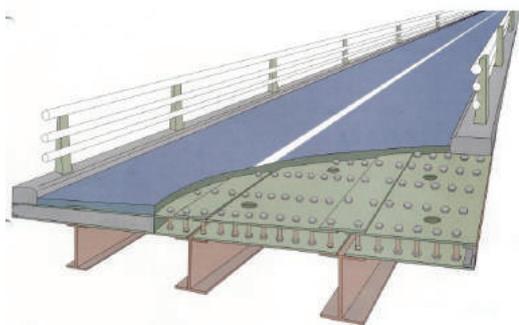
➢ 二次選定では、選択したプレキャスト床版タイプを比較した結果、**鋼合成サンドイッチ床版**に決定した。

工法分類	対策案	耐用年数	現道交通規制	検討結果	
補修工法	第1案 床版上面断面修復工+橋面防水工	2~3年	片側交互規制	×長期耐久性が不足 (応急対策で採用済み)	
	第2案 炭素繊維接着工 (or 鋼板接着工)	5~10年	片側交互規制	×仮橋は不可	
	第3案 現場打ち床版 t=180mm (打替え工法)	40~50年	仮橋による迂回	×仮橋は不可	
補強工法	第4案 現場打ち床版 t=210mm (打替え工法)	50~100年	仮橋による迂回	×仮橋は不可	
	第5案 プレキャスト床版 (打替え工法)	プレキャスト合成床版	50~100年	片側交互規制	経済性・構造性・施工性で劣る
		鋼合成サンドイッチ床版	50~100年	片側交互規制	採用案
その他	第6案 架替え (上下部工)	100年以上	仮橋による迂回	×仮橋は不可	

9

(2) 恒久対策工法

鋼合成サンドイッチ床版



工法概要	・上下鋼板を工場で特殊ボルトで連結し、現場にて高流動コンクリートを充填し合成させたハーフプレキャスト合成床版。
構造的性	・部材の接合に溶接を使用しておらず、疲労耐久性、耐荷性に優れた構造。 ・上下鋼板が全方向に有効に働くため、形状が複雑な橋梁についても適用が可能。
曲線部	・上下鋼板は全方向に有効に働くため、パネルは曲線に沿って製作(台形・平行四辺形)することができる。
施工性及び品質確保	・曲線なりにパネルを工場製作し、現場で添接する構造であり、パネル内にコンクリートが充填されれば、交通振動の影響はほぼない。 ・パネルが軽量であるため、施工性に優れる。
維持管理	・主要部材である鋼板が床版下面に露出しており、防食処理が必要である。

10

6. 恒久対策状況写真

【既設床版撤去状況】



(カッター切断状況)



(ワイヤーソー切断状況)



(ジャッキアップ・撤去状況)

【新設床版設置状況】



(パネル設置状況)



(高流動コンクリート打設状況)



(施工完了)

11

道路橋コンクリート床版の土砂化について (北海道の国道における事例)

北海道開発局
平成30年11月2日



Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism

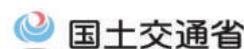
「世界の北海道」を目指して
—北海道総合開発計画—

北海道開発局ホームページへはこちらから。



1

北海道の概要



「世界の北海道」を目指して
—北海道総合開発計画—

○北海道開発局の道路施設等 (H30.3.31)

(道路延長) L=6,786km

- ・ 橋梁 N=4,276橋
- ・ トンネル N=273箇所
- ・ シェッド N=189箇所
- ・ 大型カルバート N=437橋
- ・ 横断歩道橋 N=109箇所
- ・ 門型標識等 N=1,187箇所



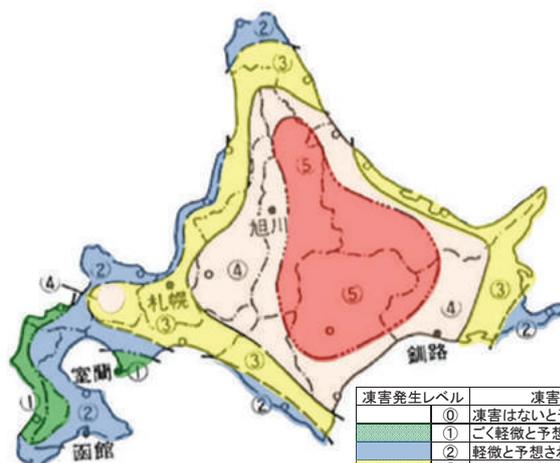
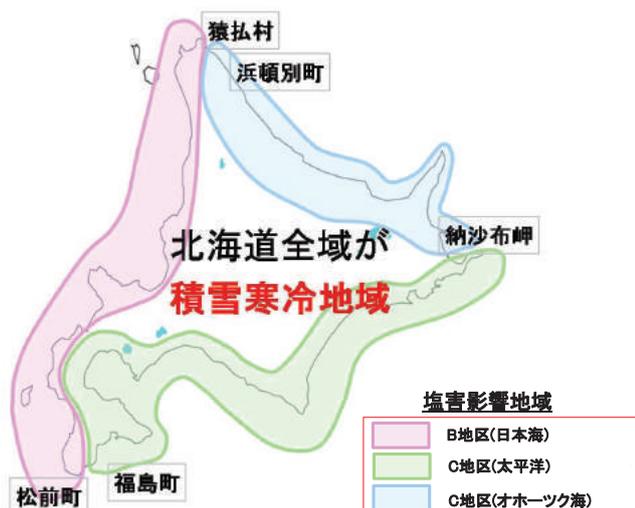
冬の気象(橋梁)



橋梁の雪底処理

○地域性

全域が積雪・寒冷地域、海に囲まれていることから、「凍害」「塩害」など構造物にとって厳しい環境を備えた地域である。



※(一財)橋梁調査会資料より引用

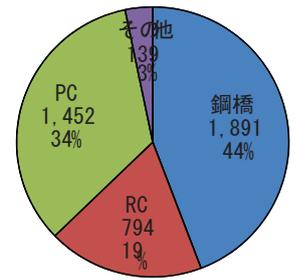
2

橋梁点検概要

○橋梁定期点検は、年間で約850橋を実施
[北海道開発局が管理橋種] 鋼橋:44%、RC:19%、PC:34%、その他:3%

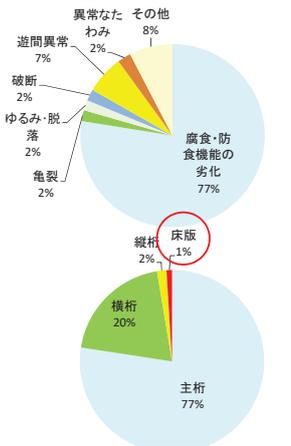
○平成26~29年度の点検結果における主要部材のC, S判定の発生傾向では、
・進行した損傷の種類は「腐食」が全体の約80%を占める
・部材では「主桁・横桁」で99%を占め、桁端部の発生が著しい
・「床版」の発生は全体の1%

○進行性の損傷原因を有する部位については、橋梁全体及び橋種別に見ても、「塩害」「凍害」が多くを占めている。

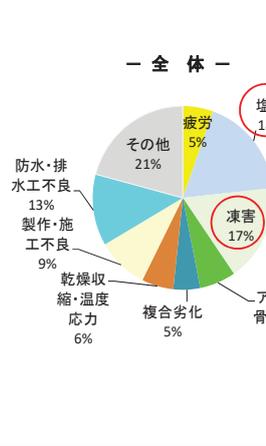


橋種別(管理数)

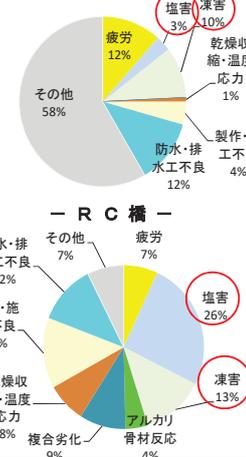
損傷(主要部材)の発生状況



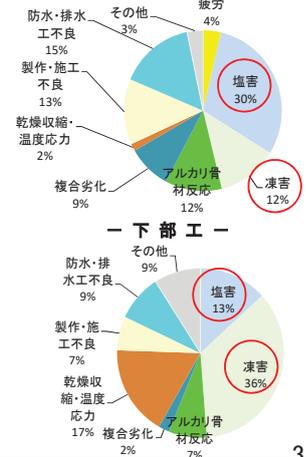
C判定損傷の原因別内訳



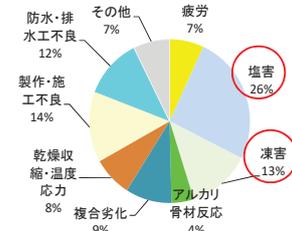
— 鋼橋 —



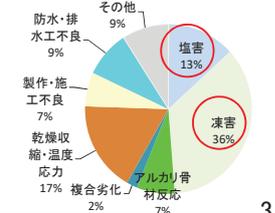
— PC橋 —



— RC橋 —



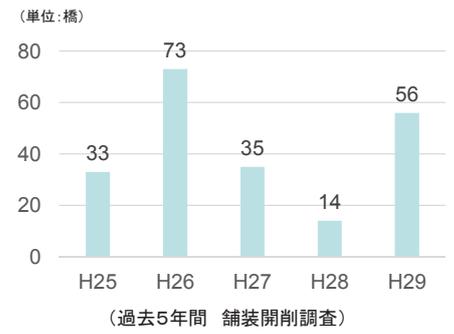
— 下部工 —



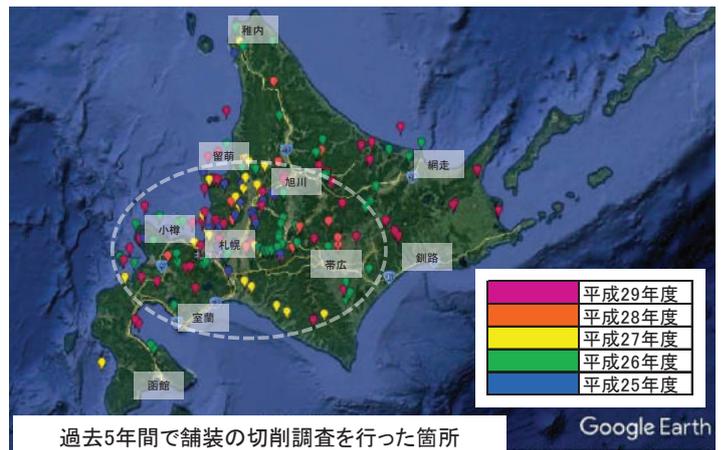
舗装路面異状の発生状況

○舗装路面の異状発生状況

- ・点検結果における床版の損傷発生率は低いところであるが、定期点検や道路巡回で発見された舗装の異状は毎年発生している
- ・過去5年間では、211橋で舗装の異状が発生(平均40橋程度)
- ・平成26年度及びH29年度は、前年度の冬期における舗装路面の損傷進行(凍結融解)により、発生数が増加したものと考えられる。
- ・過去5年間における、舗装路面の異状発生は全道的に分布しているが、主に道央(札幌・小樽・室蘭)及び旭川、帯広地方に集中していた



北海道開発局
各開発建設部の所在地



過去5年間で舗装の切削調査を行った箇所

舗装路面異状の発生状況

○ 舗装路面異状による床版開削調査の状況

- ・過去5年間に実施した、舗装開削調査の対象橋梁では、1960～1970年代(橋齢40～58歳)で多く見られたが、1980～2000年代(橋齢18～39歳)も一定の調査数を占める。
- ・調査を実施した中には、床版防水工の実施履歴がある橋梁も含まれており、再劣化の可能性も考えられる。

(過去5年間) 舗装開削調査を実施した橋齢及び床版防水工の有無

架設年	開削調査実施数	防水あり	防水なし	不明
1950年代	15 橋	5	10	0
1960年代	55 橋	19	33	3
1970年代	59 橋	19	34	6
1980年代	32 橋	10	19	3
1990年代	30 橋	16	12	2
2000年代以降	20 橋	17	2	1
合計	211 橋	86	110	15

○ 調査の発生地域

- ・過去5年間で舗装開削調査が多く(15件以上)実施された地域は「札幌・小樽・旭川・室蘭・帯広」の5開発建設部。
- ・国道16路線で、調査が多く(6件以上)実施されている。

(過去5年間) 舗装開削調査を行った開発建設部別・路線別実施数

	札幌	小樽	旭川	室蘭	帯広	網走	留萌	管内	路線合計
国道5号	0	10	3	1	1	1	1	1	18
国道12号	11	1	1	1	1	1	1	1	18
国道36号	3	1	1	1	1	1	1	1	10
国道37号	1	1	1	1	1	1	1	1	8
国道38号	3	0	1	1	1	1	1	1	10
国道39号	1	1	1	1	1	1	1	1	8
国道40号	1	1	1	1	1	1	1	1	8
国道44号	1	1	1	1	1	1	1	1	8
国道227号	1	1	1	1	1	1	1	1	8
国道228号	1	1	1	1	1	1	1	1	8
国道229号	2	0	1	1	1	1	1	1	10
国道231号	2	0	1	1	1	1	1	1	10
国道232号	1	1	1	1	1	1	1	1	8
国道233号	10	1	1	1	1	1	1	1	18
国道234号	0	1	1	1	1	1	1	1	8
国道235号	1	1	1	1	1	1	1	1	8
国道236号	1	1	1	1	1	1	1	1	8
国道237号	1	1	1	1	1	1	1	1	8
国道238号	1	1	1	1	1	1	1	1	8
国道239号	1	1	1	1	1	1	1	1	8
国道240号	1	1	1	1	1	1	1	1	8
国道241号	1	1	1	1	1	1	1	1	8
国道242号	1	1	1	1	1	1	1	1	8
国道243号	1	1	1	1	1	1	1	1	8
国道244号	1	1	1	1	1	1	1	1	8
国道272号	1	1	1	1	1	1	1	1	8
国道273号	1	1	1	1	1	1	1	1	8
国道274号	5	1	1	1	1	1	1	1	13
国道275号	1	1	1	1	1	1	1	1	8
国道276号	2	1	1	1	1	1	1	1	10
国道277号	1	1	1	1	1	1	1	1	8
国道278号	1	1	1	1	1	1	1	1	8
国道279号	1	1	1	1	1	1	1	1	8
国道280号	1	1	1	1	1	1	1	1	8
国道333号	1	1	1	1	1	1	1	1	8
国道334号	1	1	1	1	1	1	1	1	8
国道335号	1	1	1	1	1	1	1	1	8
国道336号	1	1	1	1	1	1	1	1	8
国道337号	8	1	1	1	1	1	1	1	15
国道391号	1	1	1	1	1	1	1	1	8
国道392号	1	1	1	1	1	1	1	1	8
国道393号	1	1	1	1	1	1	1	1	8
国道450号	1	1	1	1	1	1	1	1	8
国道451号	1	1	1	1	1	1	1	1	8
国道452号	1	1	1	1	1	1	1	1	8
国道453号	1	1	1	1	1	1	1	1	8
新道線	1	1	1	1	1	1	1	1	8
合計	82	11	18	27	31	7	17	8	211

○ 路線の特性

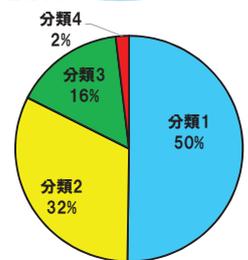
- ・国道5号、12号、38号 ⇒ 交通量多
- ・国道229号、231号、235号 ⇒ 海岸沿線
- ・国道233号 ⇒ 高規格道路(排水性舗装)
- ・国道274号 ⇒ 交通量、大型車混入多(日勝峠)
- ・国道337号 ⇒ 大型車混入多
- ・その他路線では、大きな特性は無いが、交通量が少なく、舗装補修等の優先度が低い路線が目立つ(4百番台など)

舗装開削による床版調査

○ 舗装開削調査の状況

- ・舗装開削調査の結果では、大きく4つの状況が確認された

- 【分類①】 舗装の変状(もしくはならしコンクリートの変状)のみで、床版面に異状がない
- 【分類②】 床版の土砂化が進行しているが、鉄筋位置には達していない
- 【分類③】 鉄筋位置まで土砂化が達しているが、鉄筋の錆・断面現象等は見られない
- 【分類④】 鉄筋位置に土砂化が達しており、鉄筋の錆・断面欠損等が進行している



(分類別発生状況)

【分類①】



床版上面

【分類②】



【分類③】



【分類④】



床版下面



※グレーチング床版



※グレーチング床版

床版土砂化における調査

「世界の北海道」を目指して
—北海道総合開発計画—

床版の土砂化における調査は、以下の項目について実施

○現地調査

- ・降雨後の床版下面目視調査（貫通ひび割れ、漏水有無）
- ・土砂化範囲（床版内部への影響、橋梁全体における発生範囲）
- ・床版防水工の有無確認
- ・コンクリートコア採取
- ・コア削孔内部の状況確認



（降雨後の床版下面目視調査）

○室内試験（コア採取）

- ・圧縮強度試験
- ・静弾性係数試験
- ・中性化深さ試験
- ・塩化物イオン含有量試験（※必要に応じて）



（中性化深さ試験）

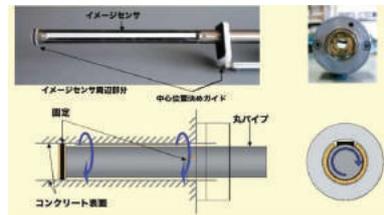
調査においては、各種機械による調査も併用

○現地調査との併用

- ・棒状スキャナー
（小規模の削孔で床版表面を調査）

（非破壊試験）

- ・マイクロ波による劣化部調査
（開削せずに劣化状態を把握）
- ・赤外線サーモグラフィ
（降雨後の温度差から、うきを調査）



（棒状スキャナー）



※マイクロ波による劣化部調査
NETIS新技術情報提供システム
「スケルカ」より

（※調査項目については、コンクリート標準示方書（維持管理編）を参考に実施）

近年の土砂化橋梁（補修事例）

「世界の北海道」を目指して
—北海道総合開発計画—

かむい こたん おおはし

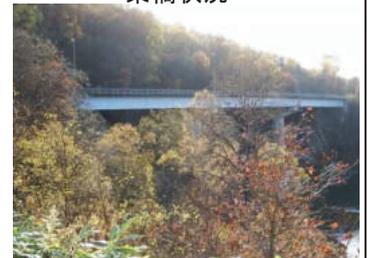
国道12号 旭川市 神居古潭大橋

架設年度、供用年度	架設：昭和54年（1979年）橋齢39歳、供用：昭和58（1983年）
橋長（m）、幅員（m）	橋長161.5m（4径間）、幅員13.7m
活荷重・等級	TL-20 1等橋
適用示方書	昭和47年 道路橋示方書
上部構造形式	3径間連続非合成版桁橋、単純非合成版桁橋
下部構造形式	ラーメン橋台、T型橋脚柱円型、ラーメン橋脚
基礎形式	場所打ち杭
定期点検年度	H24、H29
補修履歴	H11塗装塗替、H10塗装塗替（橋体）、H21防護柵取替
交通量	12,409台/日（平日12時間）
大型車混入率	23.70%

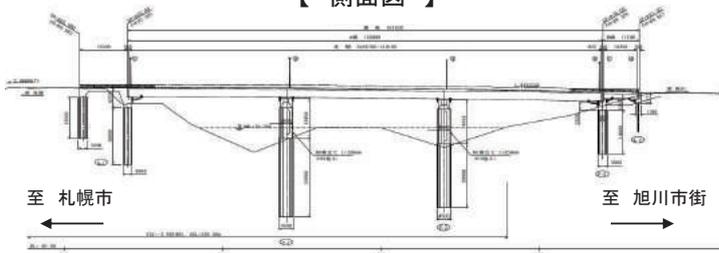


架橋位置

架橋状況



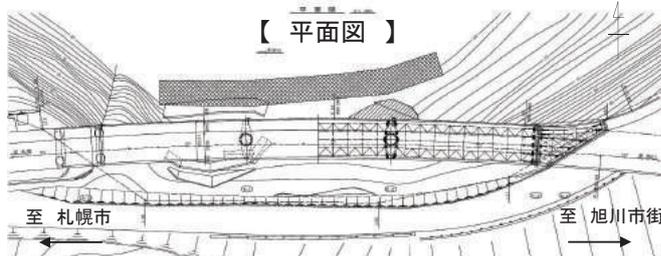
【側面図】



至 札幌市

至 旭川市街

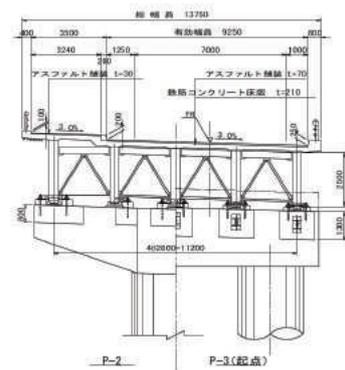
【平面図】



至 札幌市

至 旭川市街

【断面図】



近年の土砂化橋梁(補修事例)

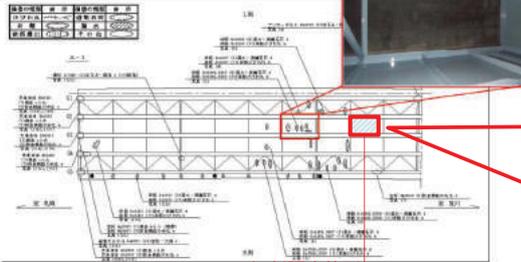
【 舗装路面変状の状況 】

○国道12号 神居古潭大橋では、平成27年度に著しい路面変状が発生したため、舗装開削調査を実施。

【 橋梁定期点検の状況 】

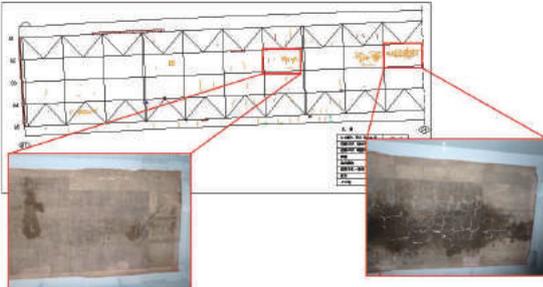
○舗装異状の発生箇所は、直近の定期点検である平成24年度においても、変状が確認されていない箇所であった。
○各年度毎の定期点検(H12,H19,H24)における舗装及び床版に関する損傷の見解においては、いずれも限定的なものが多く、進行性については遅いと判断。(状況に応じて補修)。

H24定期点検



H27調査時

(上記箇所の著しい進行はないが、他箇所で加進的に損傷が進行している)



舗装補修後の再劣化



2方向ひび割れや遊離石灰の滲出が見られる

※H24定期点検時の床版損傷図(損傷記録無し)

近年の土砂化橋梁(参考:点検調書)

H12定期点検調書

名称	橋名	一般国道の12号	管轄	点検年度	点検月日
名称	神居古潭大橋				
所在地	道 釧路市神居古潭	区 釧路区	道 釧路	道 釧路	道 釧路
概要	<p>この橋は、1954年に建設された鋼橋である。橋長約1.2km、幅員約12m、橋脚はコンクリート製である。橋上には、歩道、自転車道、自動車道が設けられている。</p> <p>点検結果</p> <p>1. 橋脚: 橋脚はコンクリート製で、表面にクラックや剥離が見られる。橋脚の基礎は、地盤沈下による変位が見られる。</p> <p>2. 橋梁: 橋梁は鋼製で、橋脚との接合部に腐食や剥離が見られる。橋梁の断面は、コンクリート製である。橋梁の表面は、コンクリート製で、表面にクラックや剥離が見られる。</p> <p>3. 橋面: 橋面はコンクリート製で、表面にクラックや剥離が見られる。橋面の排水設備は、正常に動作している。</p> <p>4. 橋脚: 橋脚はコンクリート製で、表面にクラックや剥離が見られる。橋脚の基礎は、地盤沈下による変位が見られる。</p>				

H19定期点検調書

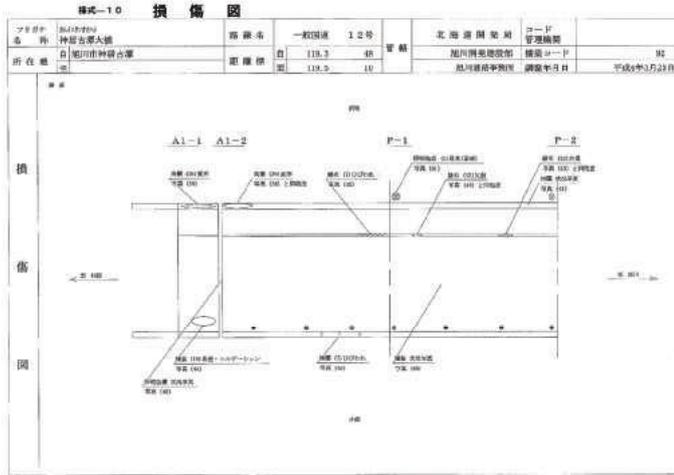
名称	橋名	一般国道の12号	管轄	点検年度	点検月日
名称	神居古潭大橋				
所在地	道 釧路市神居古潭	区 釧路区	道 釧路	道 釧路	道 釧路
概要	<p>この橋は、1954年に建設された鋼橋である。橋長約1.2km、幅員約12m、橋脚はコンクリート製である。橋上には、歩道、自転車道、自動車道が設けられている。</p> <p>点検結果</p> <p>1. 橋脚: 橋脚はコンクリート製で、表面にクラックや剥離が見られる。橋脚の基礎は、地盤沈下による変位が見られる。</p> <p>2. 橋梁: 橋梁は鋼製で、橋脚との接合部に腐食や剥離が見られる。橋梁の断面は、コンクリート製である。橋梁の表面は、コンクリート製で、表面にクラックや剥離が見られる。</p> <p>3. 橋面: 橋面はコンクリート製で、表面にクラックや剥離が見られる。橋面の排水設備は、正常に動作している。</p> <p>4. 橋脚: 橋脚はコンクリート製で、表面にクラックや剥離が見られる。橋脚の基礎は、地盤沈下による変位が見られる。</p>				

H24定期点検調書

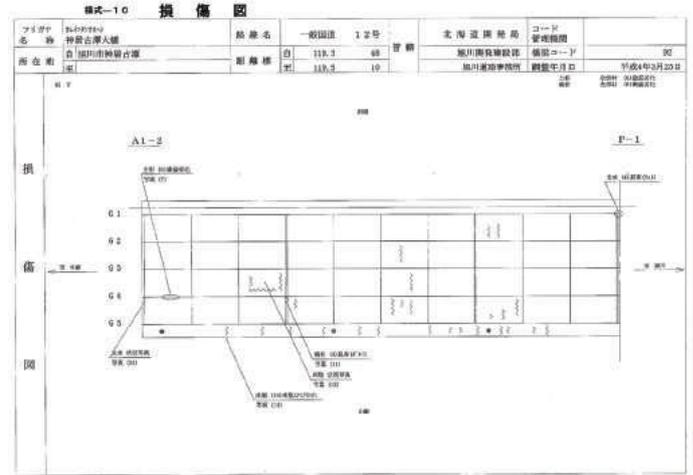
点検調書(その1) 橋梁の諸元と総合検査結果	橋名	一般国道12号	管轄	点検年度	点検月日
橋名	神居古潭大橋				
所在地	道 釧路市神居古潭	区 釧路区	道 釧路	道 釧路	道 釧路
概要	<p>この橋は、1954年に建設された鋼橋である。橋長約1.2km、幅員約12m、橋脚はコンクリート製である。橋上には、歩道、自転車道、自動車道が設けられている。</p> <p>点検結果</p> <p>1. 橋脚: 橋脚はコンクリート製で、表面にクラックや剥離が見られる。橋脚の基礎は、地盤沈下による変位が見られる。</p> <p>2. 橋梁: 橋梁は鋼製で、橋脚との接合部に腐食や剥離が見られる。橋梁の断面は、コンクリート製である。橋梁の表面は、コンクリート製で、表面にクラックや剥離が見られる。</p> <p>3. 橋面: 橋面はコンクリート製で、表面にクラックや剥離が見られる。橋面の排水設備は、正常に動作している。</p> <p>4. 橋脚: 橋脚はコンクリート製で、表面にクラックや剥離が見られる。橋脚の基礎は、地盤沈下による変位が見られる。</p>				

H12定期点検調書(代表:第1径間)

損傷図(路面)

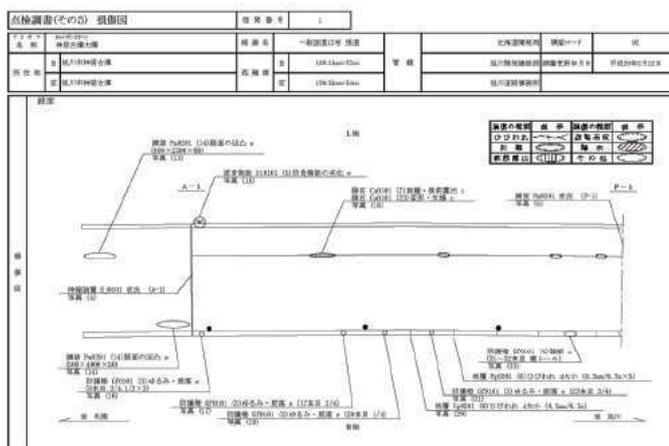


損傷図(床版下面)

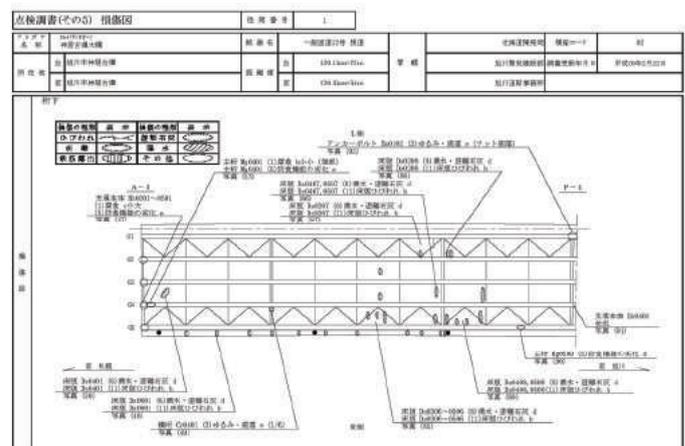


H19定期点検調書(代表:第1径間)

損傷図(路面)

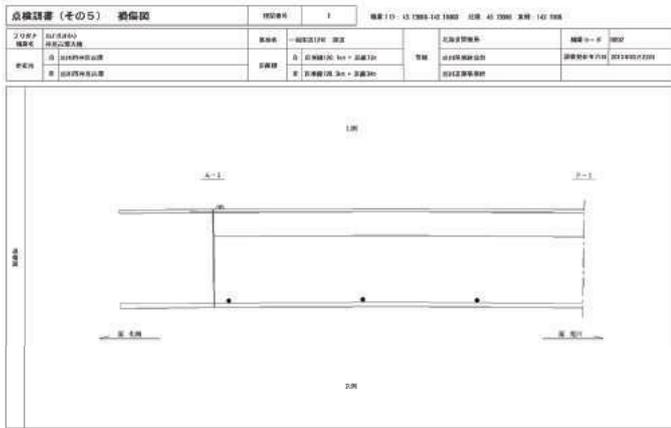


損傷図(床版下面)

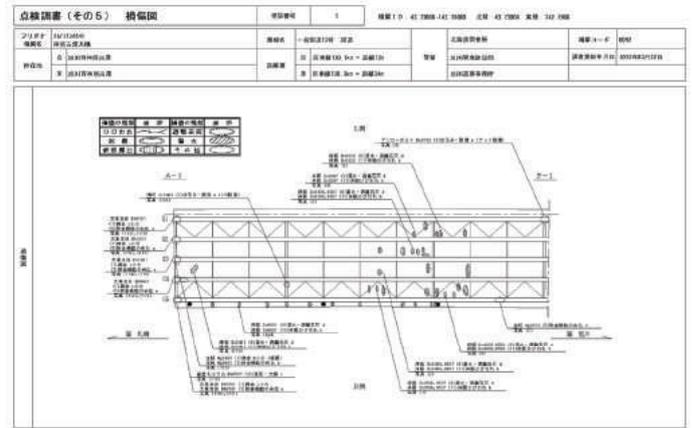


H24定期点検調書(代表:第1径間)

損傷図(路面)



損傷図(床版下面)



【平成27年度における舗装補修の状況】

- 開削調査後も各径間において、新たな損傷が発生。
- 損傷箇所では、滞水も多く見られる。
- すべての径間において、同様の状況がみられる。
- 舗装路面のいずれの損傷も、定期点検により確認された床版下面の損傷位置以外で、急速に進行。



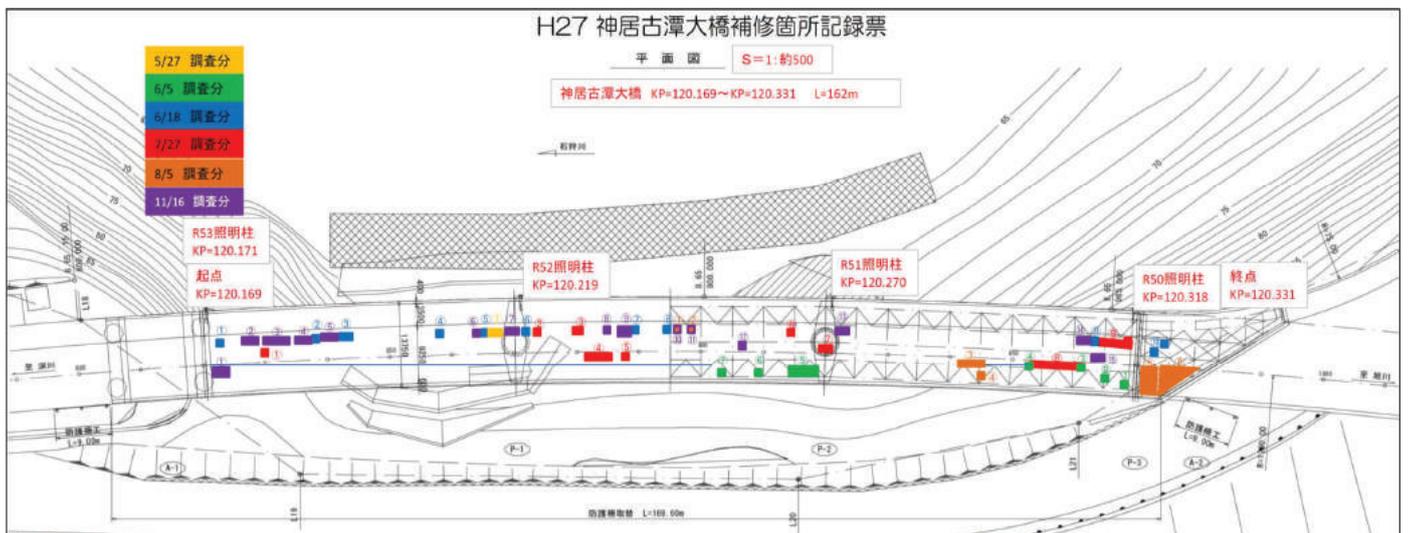
舗装補修跡



開削による確認



舗装厚確認

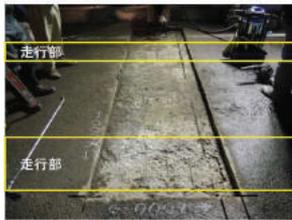


近年の土砂化橋梁(補修事例)

【 調査の内容 】

以上のことから、国道12号 神居古潭大橋においては、以下の項目について調査を実施
(現地調査)

- 舗装開削調査の追加
- 床版下面の詳細目視調査
- はつり調査
- コア採取
- コア内部スキャナー
- 非破壊試験(電磁波調査)



各箇所毎の舗装厚・砂利化深さの確認



床版下面の詳細近接目視・打音(漏水、角落ち等確認)、車両通行時のひび割れ挙動の確認。



コンクリートコア削孔



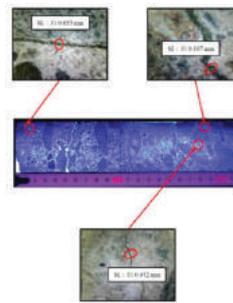
はつり調査

(室内試験 等)

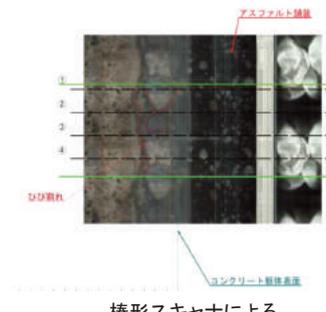
- 圧縮強度試験
- 静弾性係数試験
- 中性化深さ試験
- 微細ひび割れ試験
- 床版疲労耐久性の照査



中性化深さ試験



コンクリートコア削孔



棒形スキャナによる内部ひび割れ撮影

近年の土砂化橋梁(補修事例)

【 調査の結果 】

- 劣化過程・劣化状況と各種調査結果から、変状の分類・劣化度評価・健全度評価を実施。
- この結果を踏まえ、補修工法を選定
- 床版疲労耐久性の照査においては、現橋の耐力の低下には至っていない結果となった。
(※コンクリート標準示方書(維持管理編)を参考に実施)

損傷	部位	考察	変状の分類	劣化度評価	健全度評価
床版砂利化	床版上面	乾燥収縮によるひび割れから水が浸入し、凍結融解の繰り返しおよび輪荷重の影響による疲労が影響していると考えられる。	『複合劣化』 収縮性ひび割れ【初期損傷】 凍害・疲労【経年劣化】	加速期 (鋼材腐食無し・剥落等有り)	補修が必要 (劣化因子の除去)
ひび割れ エフロレッセンス	床版下面	乾燥収縮によるひび割れから水が浸入し、凍結融解の繰り返しおよび輪荷重の影響による疲労が影響していると考えられる。	『複合劣化』 収縮性ひび割れ【初期損傷】 凍害・疲労【経年劣化】	進展期 (鋼材腐食無し・剥落等無し)	補修が必要 (加速的に損傷が進行する御されがある)
	橋台 橋脚	乾燥収縮によるひび割れから水が浸入し、凍結融解の繰り返しにより進展していると考えられる。	収縮性ひび割れ【初期損傷】 凍害【経年劣化】	進展期 (鋼材腐食無し・剥落等無し)	補修が必要 (進行の予防処置)
剥離・剥落 鉄筋露出	床版 橋台 橋脚	凍結融解の繰り返しによる凍害により損傷していると考えられる。	凍害【経年劣化】	加速期 (鋼材腐食無し・剥落等有り)	補修が必要 (劣化因子の除去)
漏水	伸縮装置	止水装置の劣化による漏水と考えられる。	ゴムの破断【経年劣化】	-	補修が必要

変状の分類		劣化の種類	劣化度	対策の種類
室内試験実施	上部工	中性化	進展期	不要
	下部工			
外観変状	上部工	凍害	加速期	必要
	下部工			

近年の土砂化橋梁(補修事例)

(参考)凍害、中性化における劣化過程と標準的な対策

表 5.5-3 (*) 劣化過程と標準的な対策 (凍害)

	状態Ⅰ (潜伏期)	状態Ⅱ (進展期)	状態Ⅲ (加速期)	状態Ⅳ (劣化期)
点検強化	予防的に実施される対策	標準的な対策	場合によっては考えられる対策	
補修	予防的に実施される対策	標準的な対策	標準的な対策 (力学性能回復含む)	場合によっては考えられる対策 (力学性能回復含む)
補強	力学的性能を初期の性能より向上させる場合	力学的性能を初期の性能より向上させる場合	力学的性能を初期の性能より向上させる場合	力学的性能を初期の性能より向上させる場合
供用制限		場合によっては考えられる対策	標準的な対策	標準的な対策

表 5.5-5 (*) 劣化過程と標準的な対策 (中性化)

	状態Ⅰ-1 (潜伏期)	状態Ⅰ-2 (進展期)	状態Ⅱ-1 (加速期前期)	状態Ⅱ-2 (加速期後期)	状態Ⅲ (劣化期)
点検強化	予防的に実施される対策	場合によっては考えられる対策	標準的な対策	標準的な対策	
補修	予防的に実施される対策	場合によっては考えられる対策	標準的な対策	標準的な対策 (力学性能回復を含む)	
補強	力学的性能を初期の性能より向上させる場合	力学的性能を初期の性能より向上させる場合	力学的性能を初期の性能より向上させる場合	力学的性能を初期の性能より向上させる場合	
機能向上	外観上のグレート以外の基準により実施される対策	外観上のグレート以外の基準により実施される対策	外観上のグレート以外の基準により実施される対策	外観上のグレート以外の基準により実施される対策	
供用制限				標準的な対策	
解体撤去					

※検討根拠

本橋における凍害劣化を受けている変状の発生状況は一部において、剥離・剥落、鉄筋露出が生じている。凍害による損傷が一部であること、凍害深さが、橋梁の耐荷重・剛性の低下を招くレベルには至っていないと考えられるが、一部で剥離・剥落が生じていることから「加速期」と評価する。

これらのことから、本橋に対する対策の種別については、上記表に示した凍害劣化の加速期に対する標準的な対策である「補修」にて建設時の性能へ回復する事が必要であると考えられる。

本線の鋼材の腐食度については「グレードⅠ」であり、所定の中性化残りは概ね確保されている為、「潜伏期」と評価し、上記表を参考に不要であると考えられる。なお、一部で鉄筋露出等が生じている箇所については「進展期」と評価する。

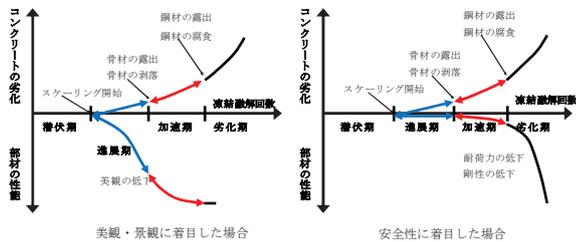


図 5.5-1 (*) 凍害劣化の劣化進行概念図

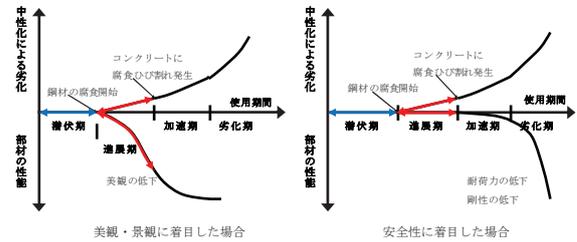
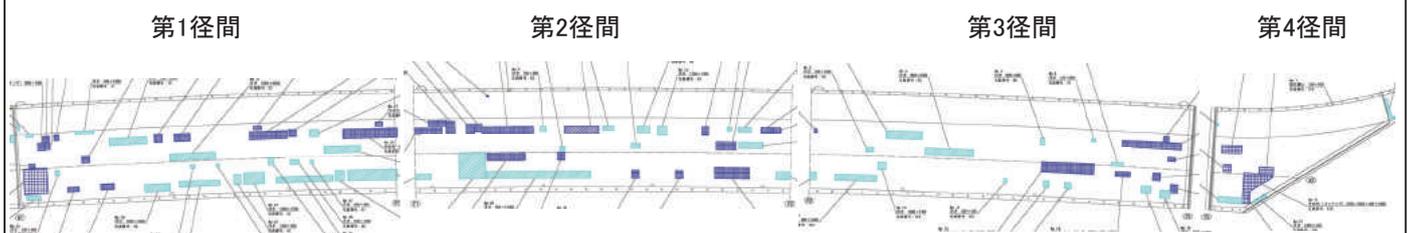


図 5.5-2 (*) 中性化の劣化進行概念図

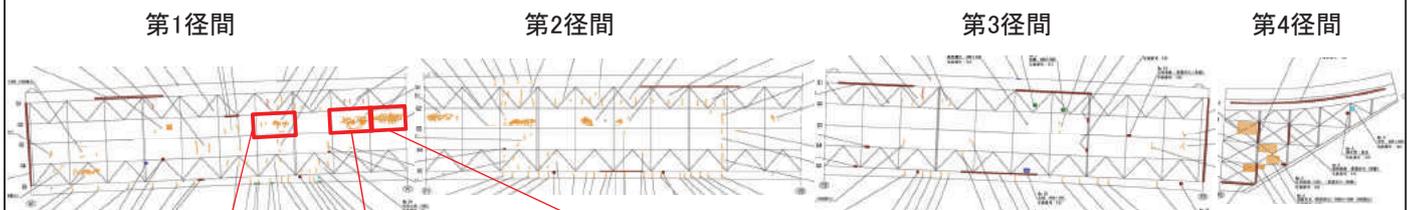
近年の土砂化橋梁(補修事例)

(参考)H27補修設計業務による路面及び床版下面損傷の確認結果

H27損傷図(路面)



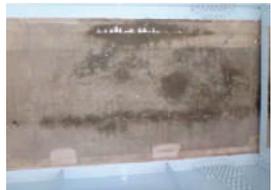
H27損傷図(床版下面)



H24より進行



H27新規損傷



H27新規損傷



近年の土砂化橋梁(補修事例)

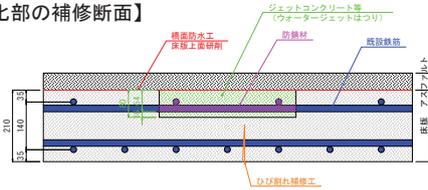
○補修方法の選定

- ・調査結果等から右表に示す工法を選定
- ・工法の選定については経済性を考慮しつつ、耐久性や施工性にも配慮し、決定
- ・また、今後の維持管理性を考慮する

【補修工法の検討結果】

損傷	部位	変状の分類	補修工法	備考
砂利化	床版上面	『複合劣化』 収縮性ひび割れ【初期劣化】 凍害・疲労【経年劣化】	床版防水工(複合防水工) 断面修復工(WJ・ジェットコン)	床版上面において鋼材の腐食は生じていないが、凍結防止材の影響により塩分量が比較的多く、今後腐食が進む恐れがあるため、複合防水により腐食の劣化因子である水の浸入を防止して予防保全を行う。
	ひび割れ エフロレッセンス	『複合劣化』 収縮性ひび割れ【初期劣化】 凍害・疲労【経年劣化】	ひび割れ補修工(注入、充填)	ひび割れ幅0.20mmを超える有害なひび割れについては注入・充填工法により補修する。
剥離・剥落 鉄筋露出	床版	『複合劣化』 凍害【経年劣化】	断面修復工法 (人力はつり・ポリマーセメントモルタル)	脆弱部を撤去し、ポリマーセメントモルタルにて断面修復を行う。
	橋台			
	橋脚			
漏水	伸縮装置	ゴムの破断【経年劣化】	伸縮装置取替(防水機能に優れる材料)	漏水対策であるため、排水機能に優れる伸縮装置を採用する。

【劣化部の補修断面】



○複合防水の採用

本橋は床版の劣化が激しいこと、重要路線であること、交通量が非常に多いことから、極力大規模な交通規制を伴う補修を回避すべく、通常の床版防水機能を向上させた「複合防水工」を採用することとした。

「道路橋床版防水便覧」JP67より

6.3.4 その他の床版防水層

その他の床版防水層としては、複数の防水材料を組み合わせて用いる複合防水工法が挙げられる。

例えば、浸透系材料を活用した複合防水工法は、床版コンクリートに浸透系材料(アクリル樹脂系、エポキシ樹脂系、メタクリル樹脂系などをベースにした低粘度の樹脂)を浸透させ、床版自体に防水機能を与え、さらにその上から、塗膜系防水層(アスファルト加熱型)を塗布する工法である。実績のある塗膜系防水層(アスファルト加熱型)と施工性がほぼ同じであることから注目され、技術開発が進められている床版防水である。

(1) 複合防水工とは

積雪寒冷地における橋梁床版の損傷原因として、特に凍害による床版上面のスレーキングや路面凍結防止剤散布による塩害損傷などが考えられる。

よって、凍害の劣化因子である水の浸入を防ぐことが最重要課題であり、従来の床版防水工では、北海道の厳しい環境下では防水機能が不十分であることから、より防水効果の高い浸透系材料を活用した複合防水工(道路橋床版防水便覧(19.3)の採用が望ましい)。

複合防水工とは、床版の上面にクラック含浸透性と防水性を有した浸透系樹脂材料による防水材(浸透系防水材料)を塗布し、さらに従来型の防水材料(塗膜系・シート系・吹付式)を塗布した複合防水システムである。複合防水工の主な特徴を以下に示す。

- コンクリート表面を改質することで凍結融解繰り返しと防水性を高めている。
- コンクリート床版上面に発生している微細なクラックに含浸し、クラックを補修できる。
- 1段が従来型防水材料であるため、従来と同じ工程でアスファルト舗装の敷設が可能である。

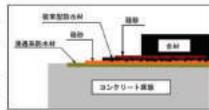


図-1 複合防水工概要図

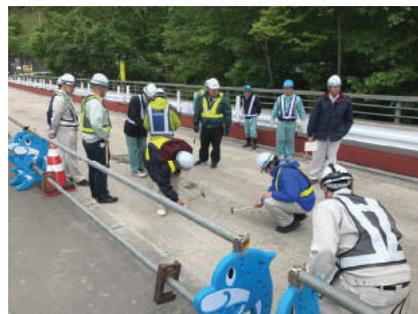
近年の土砂化橋梁(補修事例)

- 路面切削後、調査業務における補修範囲と現地の損傷状況について再確認
- 発注者、工事受注者により、床版面の浮き等について点検ハンマーで打音
- 確認の結果、当初予定していた補修範囲を拡大(損傷の進行)することとした

現地切削後の状況



現地立会(発注者・受注者)による確認



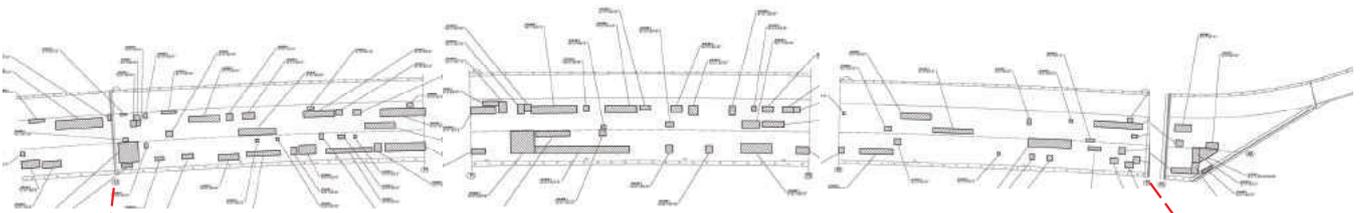
鉄筋の露出



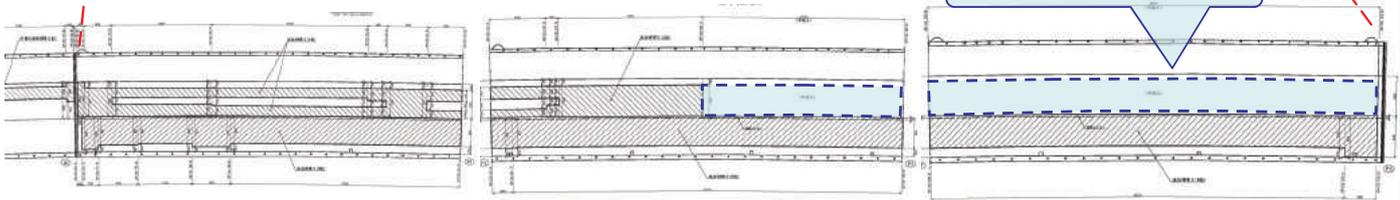
近年の土砂化橋梁(補修事例)

○工事発注後、現地調査による補修範囲の変更

補修調査時(当初設計図面)



現地調査後(設計変更図面)



近年の土砂化橋梁(補修事例)

○工事実施状況

コンクリートはつり状況(WJ)



床版コンクリート打設完了



水抜きパイプの追加設置



浸透系防水施工



塗膜系防水施工



舗装完了



研究機関の取組み

国総研	道路基盤研究室	橋梁DBに基づく舗装損傷の要因等の分析
土研	{ 舗装チーム CAESAR	橋面舗装の打換え技術 土砂化中間層の判定, 除去
	{ 物理探査チーム CAESAR	舗装上からの土砂化探査 水早期検知前提の補修工法
	{ 寒地構造チーム	土砂化した床版の性能評価 と補修設計

直轄道路橋定期点検DBをもとに、床版の損傷と舗装の損傷の突き合わせを行う。

- 橋梁上の舗装にあるべき性能について研究課題として取り組み開始
- H30年度は、RC床版を対象に、直轄道路橋点検DB上の床版診断結果と上面の舗装の診断結果の関係について整理
- そのうち、例えば供用後早期にRC床版の損傷が発見された橋梁等を抽出し、過去の道路橋点検データ(詳細版)を分析し、着目すべき舗装の損傷進行過程を抽出

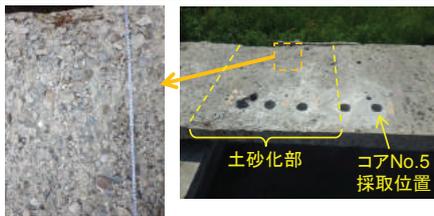
床版防水に配慮した橋面舗装の打換え技術に関する研究

土研舗装T, CAESAR

- 問題認識 : RC床版上面でコンクリートの土砂化が発生, 部分補修しても早期に再劣化
その予防保全, 事後保全の改善が必要
水, 塩水の浸入が大きく影響, 舗装打継目付近等の橋面防水の改善が重要
- 達成目標 : ① 打継目, 目地部を含む現状の橋面舗装の遮水性と影響因子の解明(舗装)
② 床版上面部コンクリートの損傷度判定方法の提案(CAESAR)
③ 防水に配慮した橋面舗装の打換え技術の提案(舗装, CAESAR)



- 成果の活用方針 :
コンクリートの除去範囲判定方法, 舗装打換え技術ともに舗装, 床版防水関連の便覧等に反映

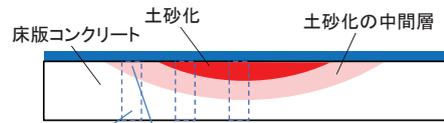


土砂化したRC床版からのコア採取



深さごとの弾性係数の測定

位置を変えてコア削孔、深さごとのEc測定



K橋の調査事例

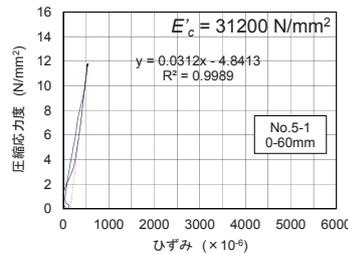
■ 研究の成果

・土砂化部周辺に、明確な土砂化に至っていないが舗装支持層としての機能低下が懸念される中間的な劣化部分(土砂化の中間層)が存在すること、中間層の特徴として弾性係数が低下すること等の新たな知見を得た。

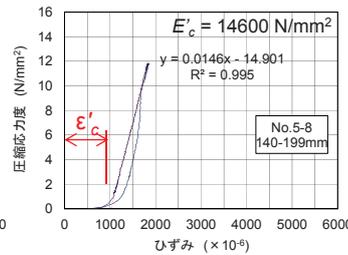
土砂化していた撤去床版からコアを採取して、鉛直方向の深さごとの弾性係数 E_c 等の物性を測定した。その結果、外見上、健全なコンクリートコアであっても、 E_c の著しい低下や一般に発生することのない付加ひずみ ϵ'_c が見られた(右図)。

■ 今後の 研究方針

・中間層の性状と関係があると考えられるコンクリートの微細ひび割れの発生頻度と弾性係数等の機械的性質の低下との関係を把握。中間層と健全なコンクリートとの判別がもっとも容易な方法を機械的性質の観点から検討。



比較的健全な事例



E_c の低下、 ϵ'_c 発生



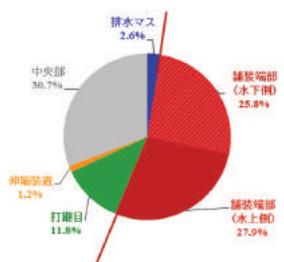
見た目は健全なコア

■ アウトプット 舗装全面打換え時の留意点

- ・中間層の定義、指標の提示
- ・中間層の範囲の判定方法 (舗装全面打換え時における、上面劣化した床版コンクリートの除去すべき範囲の判定)

1) 床版劣化に及ぼす舗装の損傷の影響要因の分析結果

24橋のRC床版劣化調査から床版損傷に及ぼす橋面舗装の損傷位置を整理し、床版劣化に及ぼす舗装の損傷の影響要因を分析した。



床版が損傷(ひび割れ、漏水、遊離石灰、浮き、剥離、鉄筋露出)している橋面舗装の損傷位置との関係を調べた結果、舗装端部で最も多く発生、次に打継目が多かった。

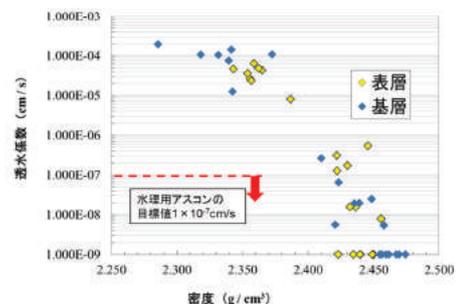
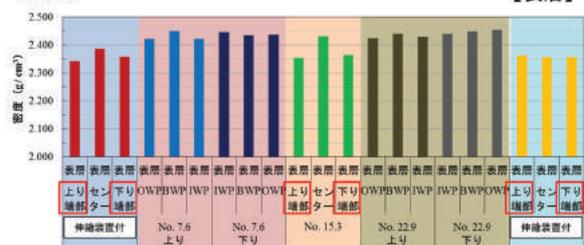
舗装の端部、伸縮装置付近、施工目地等は透水性が高いため雨水が浸入し、床版が損傷した可能性が高い

【今後検討すべき舗装技術】

- ・打継ぎ部や端部の防水性能に着目した打替え技術の提案
- ・床版損傷への影響を考慮した管理手法の提案(橋面舗装の管理目標、予防的工法を含む補修工法の提案)

2) 舗装採取コアからの影響要因分析結果

床版損傷に及ぼす雨水の浸入経路を確認するため、橋面舗装の施工位置(OWP、IWP、BWP、施工継ぎ目、伸縮装置脇、端部等)が違う表層のコアを採取して、密度、透水性を試験し、透水の可能性について確認した。



伸縮装置付近や端部で密度が低く、密度が低い箇所は、透水係数も高く雨水が透しやすい(特に基層では顕著)

背景・目的

床版の土砂化は、外観から検知することが難しい一方、突如、床版の抜け落ちに至るなどのリスクが存在している。これは、舗装下の状態及び劣化を促進する要因である水の有無の確認が難しいことや、劣化現象が複合して進行することなどから、点検・診断や、適切なタイミングでの措置を行うことが難しいためである。

本研究では、床版の土砂化に対して、電磁波レーダー等の調査結果や外観状態、環境条件などの各種情報と、内部の劣化状態との相関を分析することで、内部変状と相関の高い重点点検項目を把握し、定期点検時に簡易な非破壊技術にて劣化を早期に検出できるようにするなど、多様な情報を活用した総合的な診断手法の確立を目指す。また、予防保全の効果を最大限発揮できる劣化初期に有効な対策についても検討する。



土砂化した床版（左）と舗装の抜け落ち（右）

研究における達成目標(案)

①水の検知を軸とした早期検出技術の確立

- 既存の非破壊検査技術（電磁波レーダー等）を活用した床版の土砂化や水の早期検出について検出の可否や精度について検証。
- 現状、各社が独自に解析や処理等を施している床版内部の計測技術について、検出精度等の要求性能やデータ形式等の標準仕様を提案。（共同研究参画各社の要素技術を参考にして要求性能等を検討）

②内部劣化状態の推定・措置方法決定に資する重点点検項目の把握

- 床版内部の土砂化/滞水状況と外観状態・環境条件等との相関性分析。
- 維持管理上把握しておくべき内部劣化段階の整理。
- 上記を踏まえた診断の信頼性を向上させる重点点検項目およびその調査方法の提案。

③水の早期検知を前提とした新たな床版補修工法の提案

- 非破壊検査技術により床版内部の水を早期に検出できることを前提とした、新たな措置法の提案。
- 効率的な維持管理のための、内部の劣化段階に応じた補修工法・方針の提案。

研究体制

- 土研CAESAR
 - ・ 研究とりまとめ
 - ・ 床版の管理上必要とされる電磁波レーダーの検出精度検討
 - ・ 早期検出を前提とした措置法の検討
 - 土研物理探査T
 - ・ 電磁波レーダー技術の性能評価
 - 共同研究者（物理探査事業者・建設コンサル等）
 - ・ 電磁波レーダー等の非破壊検査技術の提供
 - ・ 床版土砂化の点検・診断に係るノウハウの提供等
- ※共同研究者は公募により決定する。

RC床版の凍害・複合劣化のメンテナンス技術に関する研究(寒地土木研究所・寒地構造T)

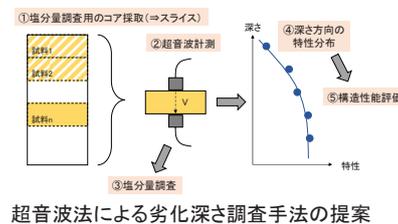
研究目的・内容

①劣化損傷に応じた性能評価手法の開発

- 床版・舗装補修・更新箇所の**現地開削(追跡)調査**
- 現地調査結果や模擬損傷試験体等を用いた床版・舗装の劣化損傷の**要因、各因子の影響度等の分析**
- 切出床版、模擬損傷床版による**疲労耐久性確認試験**
- 小型床版供試体による複合劣化損傷の**進展過程**、劣化損傷に応じた性能の**確認試験**
- 既往技術を活用した**性能(健全度)評価手法**の検討



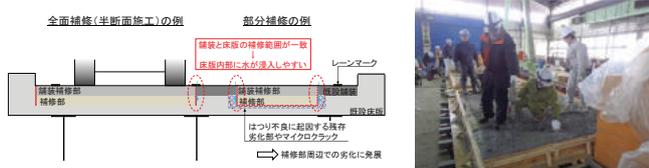
開削調査事例の収集 ⇒ 土砂化発生傾向の分析
撤去床版(凍害・ASR)による各種試験 ⇒ 性能評価、評価手法の開発



超音波法による劣化深さ調査手法の提案

②劣化損傷に応じた対策手法の開発

- 模擬損傷床版による**補修・補強性能確認試験**
- 模擬舗装補修供試体による**補修法の性能確認試験**
- 試験施工等を踏まえた**設計法、施工法等**の検討



既存資料調査や実規模施工試験等に基づく上面補修工事に共通する課題整理

まとめ

- 管理者, 研究機関, それぞれ問題意識あり, 取組みはさまざま
- 現場では, 当然ながら対策まで実施
調査方法, 補修方法ともに, 現状では優劣不明
経過観察, 効果確認が必要
- 複数の形態の土砂化あり
進行の速い事例を含む

来年度に向けて

- 原因が塩水の浸入なら, 劣化は増加する可能性あり
- 予防保全に向けた技術が必要
再劣化させないためには何が必要か
例えば
劣化部位を残さない
床版の補修工法の適切な選定, 工法の改善
舗装, 防水層の打継目, 目地の改善
路面排水の改善
- 調査仕様(案)の作成, 試行(いずれも要調整)
調査仕様(案)について検討
類似の現場の調査, 補修がある場合に試行

関係者名簿

道路局	国道・技術課 補佐	和田 圭仙
国総研	橋梁研究室長	白戸 真大×
	橋梁研究室 研究員	高橋 慶
	道路基盤研究室長	渡邊 一弘
	道路基盤研究室 主任研究官	桑原 正明
東北地方整備局	道路構造保全官	田口 秀美○
	東北技術事務所 専門官	大友 哲
北陸地方整備局	道路構造保全官	三浦 義則○
	北陸技術事務所 副所長	樋口 淳一×
中部地方整備局	道路保全企画官	西村 栄司
	道路構造保全官	竹内 秋広
	道路構造保全官	中川 晋吾×
	飯田国道事務所 道路管理第二課長	大崎 義保○
	飯田国道事務所 道路管理第二課	高岡 紗恵*
	飯田国道事務所 道路管理第二課	宮本 百花*
九州地方整備局	道路保全企画官	浅井 博海×
	道路管理課長	田口 敬二×
	大分河川国道事務所日田維持出張所係長	酒井 大吾○
北海道開発局	道路維持課 開発専門職	佐藤 弘大○
	道路維持課 保全係長	在田 尚宏
土木研究所	舗装チーム 上席研究員	藪 雅行
	舗装チーム 主任研究員	寺田 剛
	実装技術チーム 上席研究員	齋藤 清志
	地質・地盤研究グループ 特任研究員	稲崎 富士
	地質・地盤研究グループ 主任研究員	尾西 恭亮
寒地土研	寒地構造チーム 上席研究員	西 弘明×
	寒地構造チーム 主任研究員	角間 恒×
土研 iMaRRC	上席研究員	古賀 裕久
土研 CAESAR	上席研究員	石田 雅博
	研究員	森本 敏弘
	上席研究員	上仙 靖※
	主任研究員	田中 良樹※

○：発表者 ×：11/2 欠席 *：オブザーバー ※：司会，概要説明等

付録 2 令和元年度指定課題配布資料

令和元年度 国土交通省 国土技術研究会 指定課題

道路橋コンクリート床版の土砂化対策に関する調査研究

配布資料

令和元年 11 月 8 日

国土交通省共用会議室

国土交通省 道路局 国道・技術課
国土技術政策総合研究所
東北地方整備局
北陸地方整備局
中部地方整備局
九州地方整備局
北海道開発局
国立研究開発法人 土木研究所

概要

道路橋のコンクリート床版の主たる損傷形態は疲労であったが、凍結防止剤の使用増加に伴う鉄筋腐食事例、コンクリートに多数の水平ひび割れが生じる事例、アスファルト舗装下で床版上面コンクリートに土砂化が生じる事例など、近年、道路橋の床版の損傷形態が多様化している。特に、コンクリートの土砂化は複数の症状が見られ、原因として路面からの塩水の浸入が疑われるが、劣化機構、損傷過程を含めて不明な点が多い。また、補修されても、比較的早期に再劣化する事例が見られ、調査方法、補修方法の改善が喫緊の課題である。本指定課題では、このような床版土砂化について、道路管理者、研究機関の情報共有を効率的に行い、現場の課題の改善を促進することを目的とする。

1年目（平成30年度）各地整等道路管理者側から土砂化の現状について報告

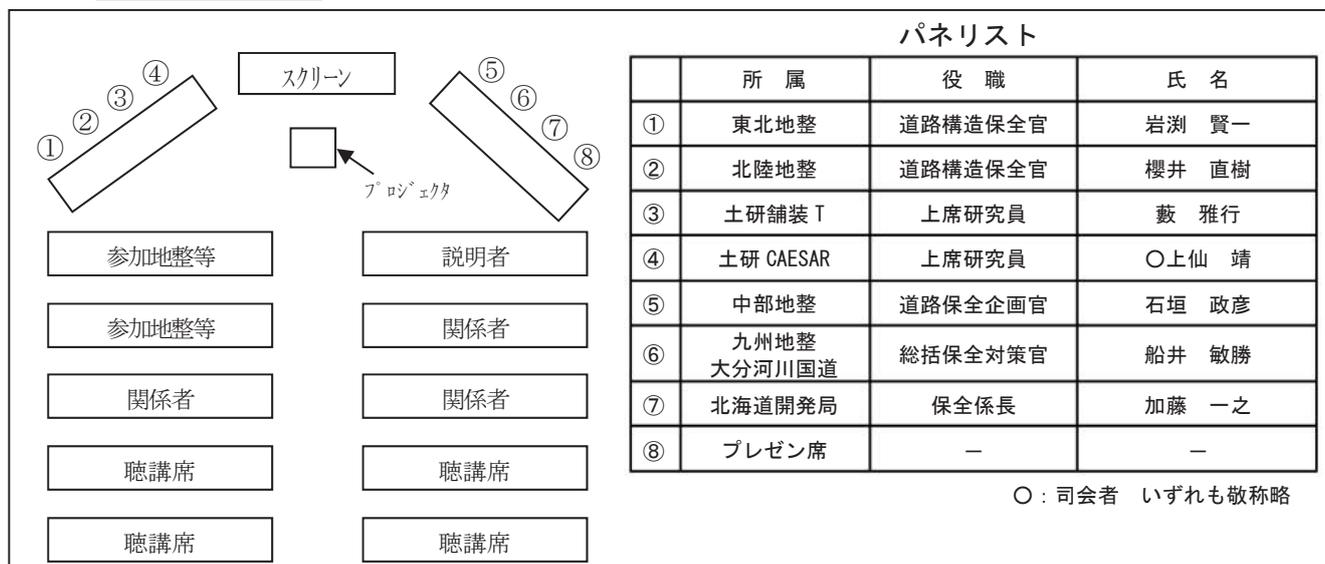
2年目（令和元年度）研究機関側から技術上の課題、改善に向けた取組み状況、これまでの成果等を報告

11/8 プログラム

00-03分	概要説明	CAESAR 上席研究員	上仙 靖
03-35	床版土砂化の調査研究の現状（各説明4分、パネリスト討議4分）		
	1) 土砂化中間層の判定、除去	CAESAR 総括主任研究員	田中 良樹
	2) 橋面舗装の防水性に関する調査と今後の対策	舗装チーム 総括主任研究員	寺田 剛
	3) 電磁波レーダによる床版土砂化の予防保全に関する取り組み	CAESAR 研究員	野田 翼
	4) 電磁波レーダによる床版調査の探査・解析技術の要点	地質・地盤研究グループ 主任研究員	尾西 恭亮
35-38	全体討議		
38-40	今後の予定	CAESAR 上席研究員	上仙 靖

※所属はいずれも土木研究所

会場レイアウト



土砂化中間層の判定と除去

1

RC床版の劣化事例



除去前の橋面舗装



管理者資料より

3

撤去床版調査



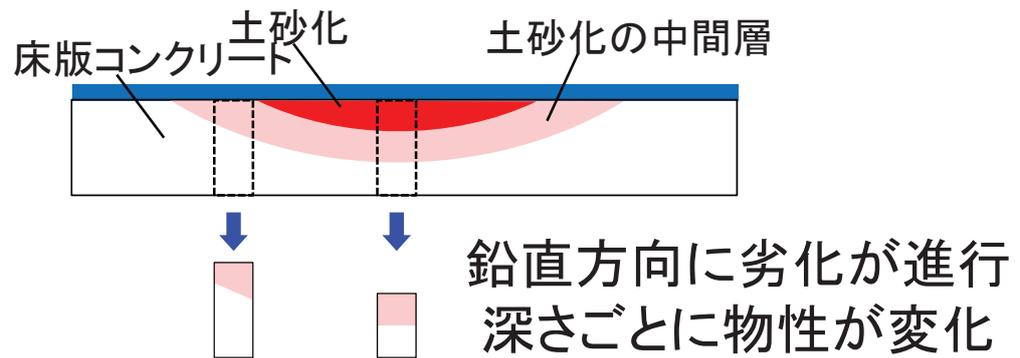
4

背景と目的

土砂化部の補修範囲をどうするか
劣化部位を残さない

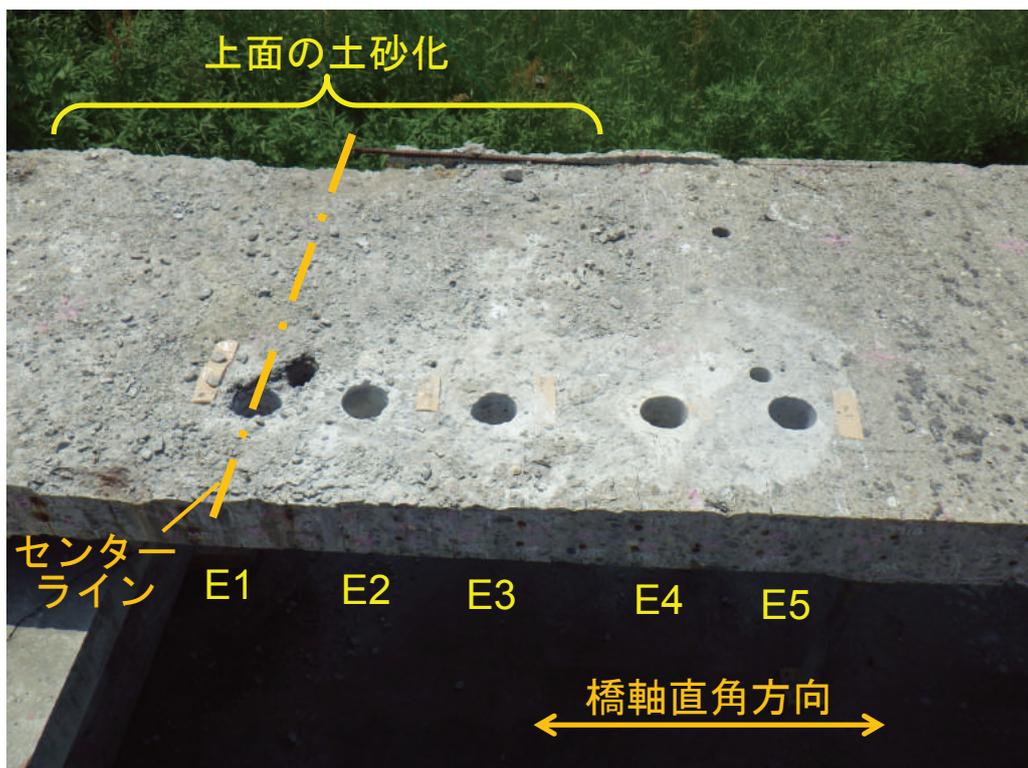
土砂化の中間層

土砂化の周辺はどうなっているか



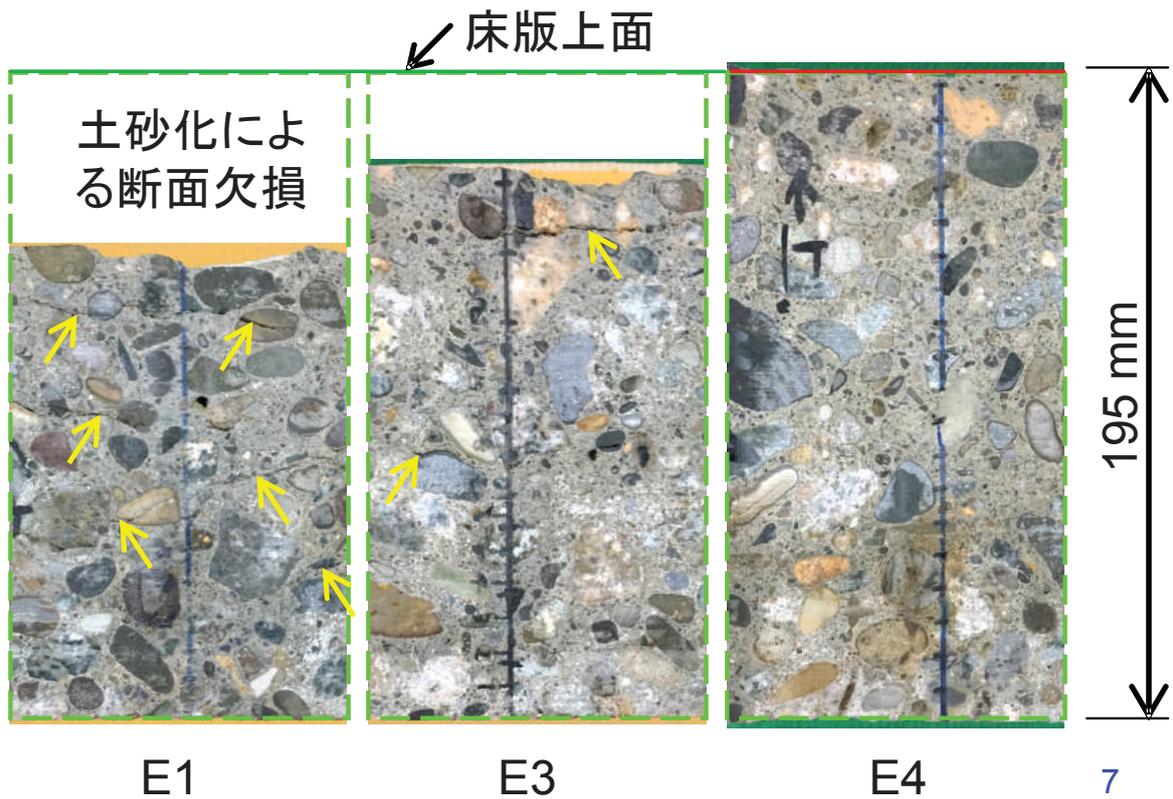
5

土砂化中心から健全部に亘ってコア抜き

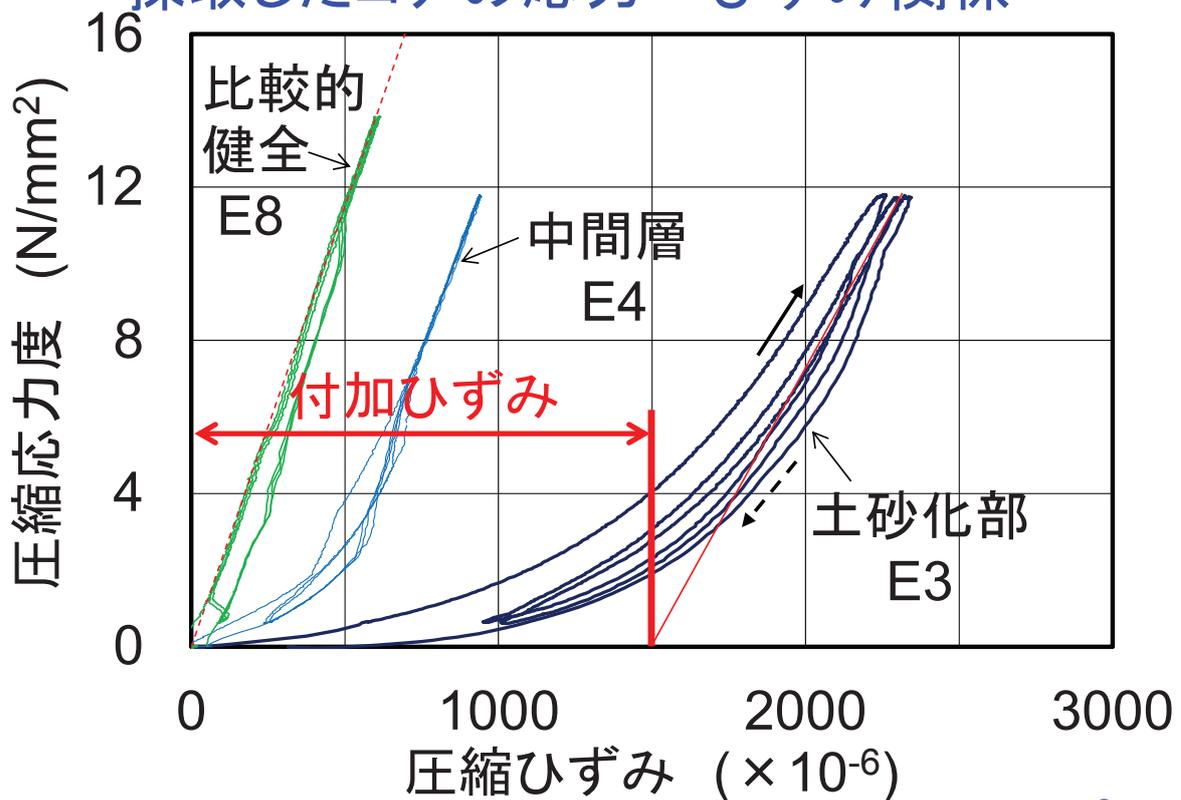


6

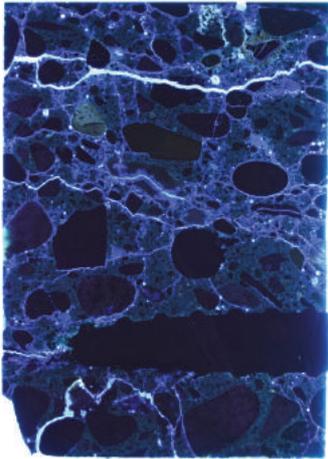
コア側面（展開図のうち100mmの範囲を表示）



採取したコアの応力-ひずみ関係



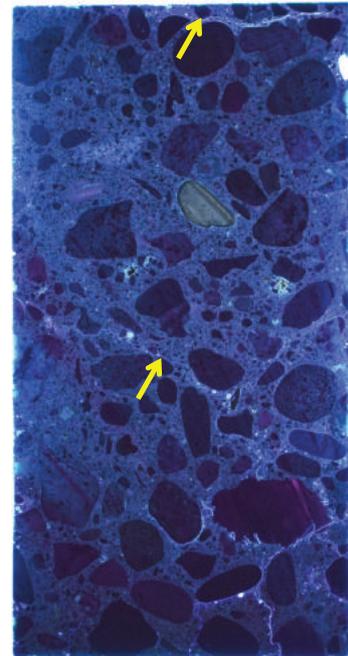
コア切断面の微細ひび割れ観察



コアE1

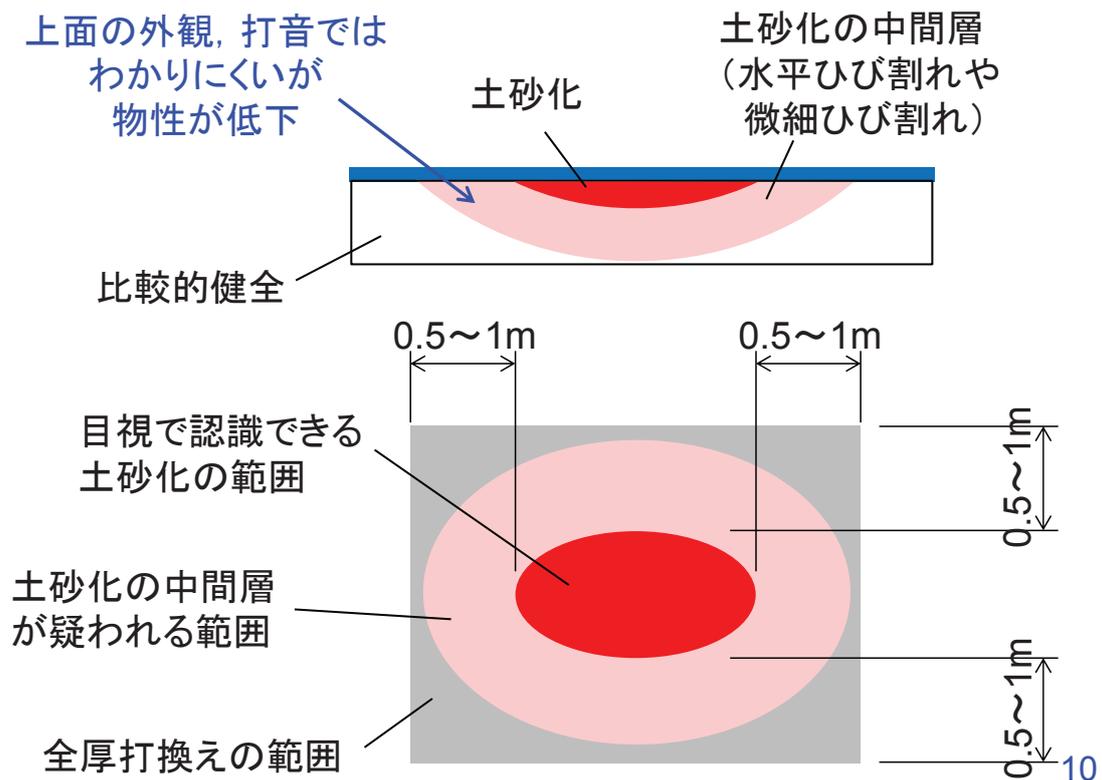


コアE4



9

土砂化中間層の適切な除去



まとめ

土砂化の中間層

—叩いても分からない場合あり

—再劣化抑制のため

適切な除去範囲の設定

11

参考文献

- 1) 田中良樹, 玉越隆史, 村井啓太, 藤本圭太郎: 道路橋コンクリート床版の土砂化部周辺の変状に関する調査, コンクリート工学年次論文集, 40-2, pp. 1315-1320, 2018.7.
- 2) 田中良樹, 上仙靖: 道路橋コンクリート床版の土砂化に関する調査～土砂化中間層とその適切な除去範囲～, 土木技術資料, 61-7, pp. 53-54, 2019.7.
- 3) 山本健太郎, 田中良樹, 上仙靖: 道路橋コンクリート床版の土砂化中間層の特徴/特性に関する調査, 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, 19, pp. 531-536, 2019.10.

12

橋面舗装の防水性に関する調査と今後の対策

土木研究所 道路技術研究グループ舗装チーム

はじめに

2

背景

床版
土砂化

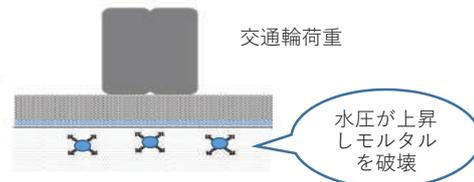
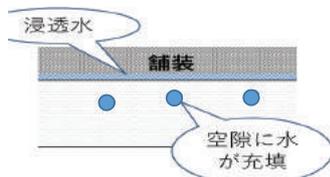


床版の
抜落ち



- 近年、道路橋鉄筋コンクリート床版の**土砂化**が顕在化。床版の抜け落ち等に至るケースも散見
- 土砂化部の補修後に早期に再劣化する傾向

床版土砂化
メカニズム
(仮説)



- 土砂化の原因として以下の要因が考えられる。
 - 床版に浸透した水分によるモルタルの破壊
 - 塩害、凍害、ASR等の複合劣化

▶ **路面からの雨水・凍結防止剤の浸入**が多大な影響

橋面舗装の遮水性が重要

⇒ 橋面舗装の実態調査による**水分の浸入経路の解明**

⇒ 水分の浸入経路を考慮した**橋面防水工法・維持管理方法**の提案

対象橋梁



・RC床版の損傷が顕在化、進行している道路橋の橋面舗装の損傷状況について実態調査を実施。
 ・東北・北陸地方の5橋について、舗装路面・床版上面の目視調査および、採取したアスファルト舗装コアの目視調査と性状試験を実施。

所在地	建設年度	通用示方書	形式	橋長	車道幅員	橋面舗装構成		
						表層	基層	防水層
① 秋田県にかほ市			3径間連続鉄桁橋	90m	11m	細粒度 G 4cm	粗粒度 4cm	シート防水
② 新潟県糸魚川市			PCボス騰T桁橋	30.6m	8m	密粒度 5cm	密粒度 6cm	塗膜防水
③ 新潟県村上市	1972年	1964年	ランガアー子橋	120m		密粒度 6cm	-	シート防水
④ 富山県富山市	1969年	1964年	逆T式橋台RC柱橋脚	88m		密粒度 6cm	-	なし
⑤ 富山県富山市	1972年	1964年	ボス騰T桁ランガアー橋	426m		密粒度 6cm	-	なし

調査内容

①舗装路面の目視調査



- ・ひび割れ等の損傷状況
- ・目地部等の接着状況

②コア削孔部の目視調査



- ・舗装と床版の接着状況
- ・水の浸入の有無

③切削後の床版上面の目視調査



- ・土砂化の有無
- ・舗装損傷箇所との関係

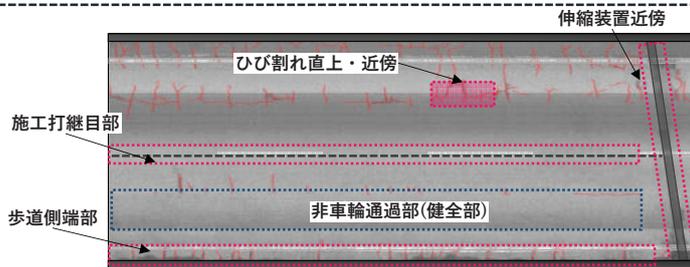
④切取コアを用いた室内試験



- ・密度、空隙率の測定
- ・加圧透水試験

舗装コア削孔・採取箇所

- ・健全部：
 - ①車道 BWP (非車輪通過部)
- ・水の浸入経路と考えられる箇所：
 - ②施工打継目部
 - ③歩道側端部
 - ④伸縮装置近傍
 - ⑤ひび割れ直上



調査結果

①舗装路面の目視調査



- ・施工打継目、端部、ひび割れ等から泥水の噴出
- ・目地部の開き

②コア削孔部の目視調査



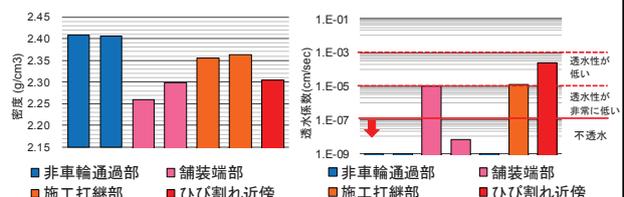
- ・施工打継目、端部、ひび割れ貫通部等にて、接着不良・水の浸入

③切削後の床版上面の目視調査



- ・水の浸入が見られた舗装端部等での床版層の土砂化や、床版防水層の剥離を確認

④切取コアを用いた室内試験



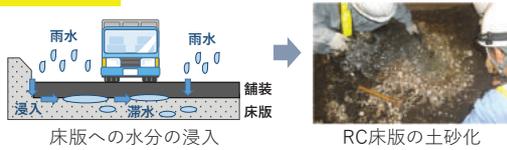
- ・施工打継目、端部等においてやや密度の低い傾向
- ・施工打継目、端部等において一部 10^{-5} cm/s程度の透水性

調査結果のまとめ

- ・一部の橋梁にてアスファルト舗装の歩道側端部や施工打継目の密度が小さく、透水性がやや高くなる傾向が見られる。透水性係数は $\sim 10^{-5}$ cm/s程度であり、**舗装体からの透水が主要な水の浸入経路とはいえない。**
- ・コア削孔部の目視調査の結果、**舗装端部(歩道・地覆・伸縮装置側)、施工打継目部、ひび割れ部から水の浸入**が確認された。このことから上記箇所が水の浸入経路となっていると考えられる。⇒上記箇所への対策が必要。

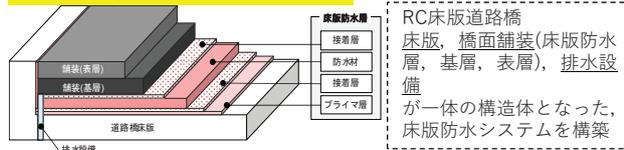
RC床版用グースアスファルト混合物の開発

背景



- 近年、道路橋RC床版における床版の土砂化に起因する損傷が見られる。
- 雨水・塩分等の浸入を防ぐ遮水性に優れた橋面舗装材料の開発が課題

従来の橋面舗装材料



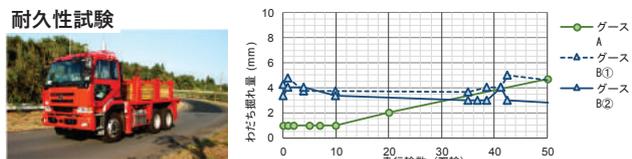
- 遮水性を有する主な橋面舗装材料
- 床版防水層：塗膜系防水層、シート系防水層、成型目地材
 - 遮水性を有する舗装：グースアスファルト混合物(鋼床版用)
- ⇒グースアスファルト混合物を改良しRC床版への適用を検討

開発した橋面舗装材料

グースの種類	従来グース	開発グース		
		グースA	グースB	
バインダ原料	天然アスファルト	石油生成物	ポリマー改質AS	
バインダ原料イメージ				
臭気レベル	600程度	400程度	150程度	
舗装時温度(℃)	約240	230-210	180-190	
施工性	リアルタイム性(秒)	3~20	10~20	3~20
高温安定性	貫入量(mm)	1~6	1~4	1~6
耐凍融性	単位実定度(回/mm)	300以上	1000以上	600以上
可とう性	曲げ破壊ひずみ(%)	8以上	8以上	8以上

- 天然ASを用いた従来のグースの問題点(原料の入手・臭気・製造温度・耐久性)を新たなバインダ原料を用いることで改良したグースAS混合物を開発。

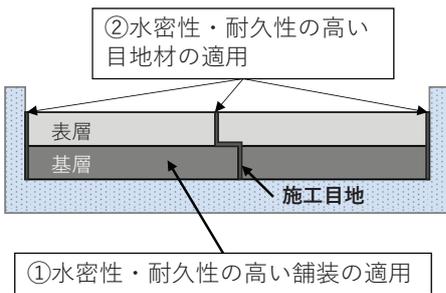
試験施工



- 試験施工にて、開発グースを用いた実物大試験舗装を構築。
- 優れた施工性・材料物性・耐久性を確認。
- 今後は、耐久性の確認と現場への適用に向けた改良を継続。

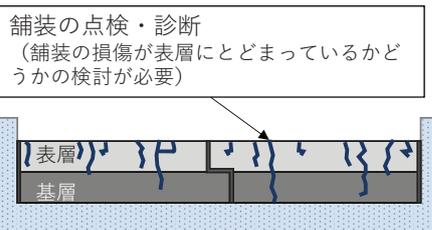
今後の対策案

新設・修繕時



取り組み	対策案
①水密性・耐久性の高い目地材の適用	○ RC床版用グースアスファルト混合物
②水密性・耐久性の高い目地材の適用	○ 室内試験による水密性・耐久性の高い目地材の提案 例) 塗膜系防水+L型成型目地材

点検・診断時



取り組み	対策案
舗装の点検	【現状】○点検要領(直轄版)における修繕の目安はひび割れ率40% (特に橋面舗装など舗装構造に応じた規定なし) ↓ 【提案】橋面舗装の管理手法・基準の提案 例1) 修繕措置を実施するひび割れ率の軽減 例2) ひび割れ深さを確認し床版まで貫通していたら修繕措置を実施 例3) ひび割れがひどくならないうちに表面処理など予防的補修を実施

背景・現状

- ◆RC床版の土砂化は、輪荷重による疲労、水の浸入、材料劣化等の要因と、定期点検等における舗装のひび割れや床版下面の漏水跡など外観変状との相関が明確でなく、現状の目視点検では抜け落ち等のリスクが存在。
- ◆スパイクタイヤ禁止(H3)以降、凍結防止剤の散布量が増加。
- ◆床版下面に変状が発生していなくても、床版上面の土砂化事例有り。



5年前の定期点検時



床版下面の抜け落ち

下からの点検では予防保全は難しい！！

1

背景・現状

技術開発ニーズ

- 定期点検時に簡易な非破壊技術を用い、内部変状と相関の高い点検項目を重点的に把握し、劣化を早期に検出。(多様な情報を活用した総合的な診断)
- 予防保全の効果を最大限発揮できる、劣化初期に有効な対策の実施。



電磁波レーダー(車載式・手押しカート式)

達成したい管理手法

✓水の検知を軸とした早期検出技術の確立

電磁波レーダー等の技術を活用し、床版内部の滞水や土砂化について検出の可否や精度を実フィールドを用いて検証し、維持管理上把握しておくべき検出精度の要求性能等の標準仕様を提案。また、教師データの整備とAIによる自動化・大規模化についての実証を実施。

✓内部劣化状態の推定・措置方法決定に資する重点点検項目の把握

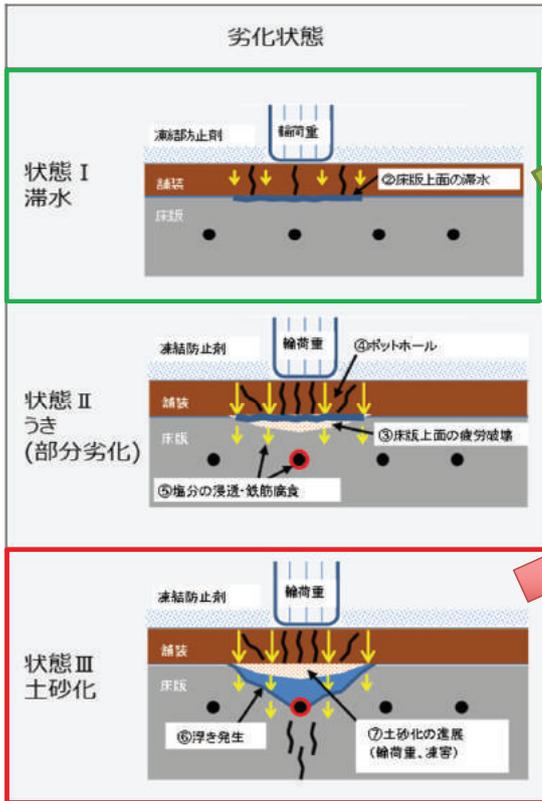
床版内部の土砂化/滞水状況と外観状態・環境条件等との相関分析を行い、維持管理上把握しておくべき内部劣化段階を整理。スクリーニング(走行計測)調査、詳細調査などの各段階において取得すべき重点点検項目を設定。

✓水の早期検知を前提とした新たな床版補修工法の提案

非破壊検査技術により床版内部の水を早期に検出できることを前提とした、新たな措置法の提案。また、効率的な維持管理のための、内部の劣化段階に応じた補修工法・方針の提案。

2

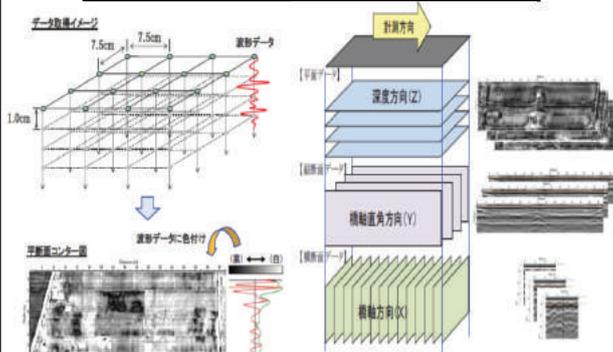
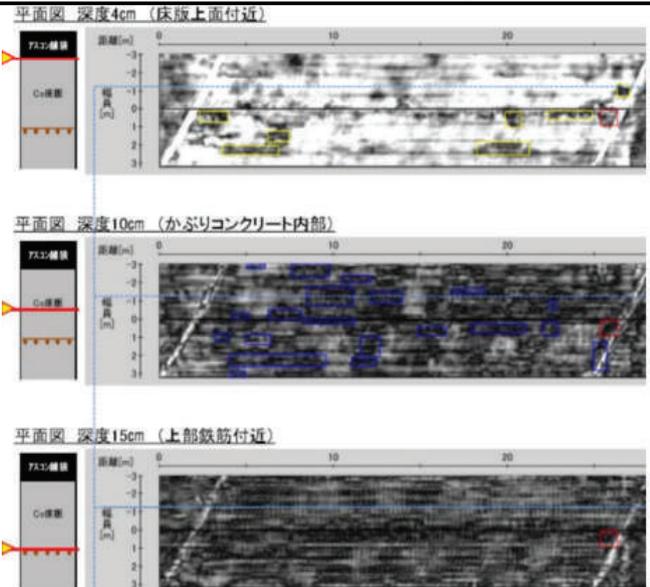
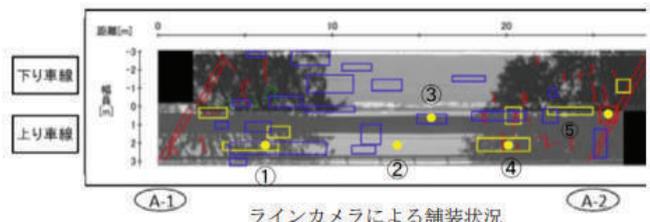
◆RC床版土砂化補修対策 **コスト大** (数億円の事例も)



◆劣化初期段階で水を検知した場合の
予防保全措置**コスト小**

- ・床版上面の水の浸入経路の遮断
- ・床版上面の水の排出

床版の土砂化が進行した状態



3)電磁波レーダによる床版土砂化の予防保全に関する取り組み

土研 CAESAR 野田

✓ 直轄の道路管理者より提供された現場フィールドにおいて電磁波レーダ等による調査を実施。
(東北地整、九州地整、中部地整、北海道開発局)

◆平成30年度国土交通省国土技術研究会指定課題
「道路橋コンクリート床版の土砂化対策に関する調査研究」

■参加機関

東北地整、北陸地整、中部地整、九州地整、北海道開発局、国総研、土研

◆共同研究者

・富山市 ・茨城県

現場フィールドの提供

R1年度実施予定橋梁(R1.10現在)

	管理者	車載式電磁波レーダ実施橋梁数	開削調査	詳細調査	実施日	
H30	富山市	15橋	5橋	5橋	2019/1/15	
R1	九州地方整備局 大分河川国道事務所 日田国道維持出張所	15橋	1橋	1橋	2019/4/1	
	東北地方整備局 新庄河川国道事務所 新庄国道維持出張所	1橋	未定	1橋	2019/5/21	
	東北地方整備局 青森河川国道事務所 弘前国道維持出張所	1橋	未定	1橋	2019/6/1	
	中部地方整備局 飯田国道事務所 飯田国道維持出張所	2橋	1橋	1橋	2019/9/10	
	北海道開発局 旭川開発建設部 土別道路事務所	1橋	1橋	1橋	2019/10/9	
	北海道開発局 室蘭開発建設部 苫小牧道路事務所	2橋	2橋	2橋	2019/10/15,16	
	茨城県	16橋	1~2橋	1~2橋	2019/12月頃~	
	富山市	1橋	1橋	1橋	2019/11月頃~	
	総計		53橋	10~11橋	13~14橋	—



- ①車載式電磁波レーダによる調査
- ②カート式電磁波レーダによる詳細調査
- ③カート式電磁波レーダによる詳細調査
- ④ハンディ式電磁波レーダによる詳細調査

5

3)電磁波レーダによる床版土砂化の予防保全に関する取り組み

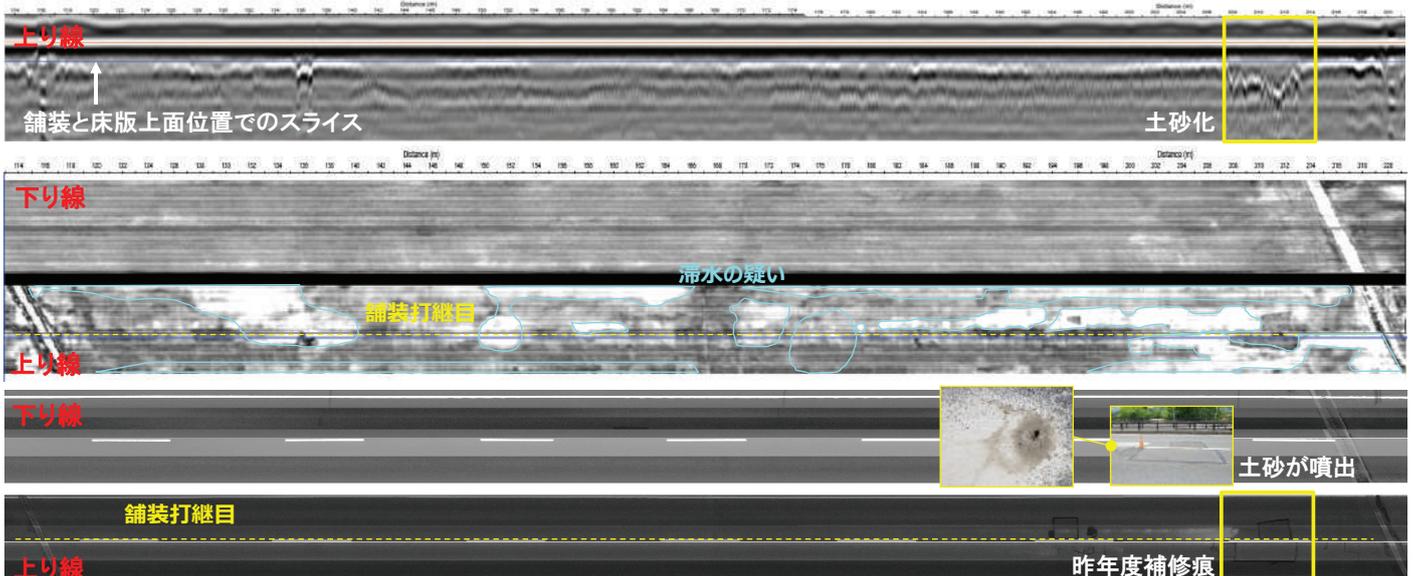
土研 CAESAR 野田

・比較的供用年度が新しい橋梁と劣化が進行した橋梁にて電磁波レーダによる測定を実施

A橋(上)1980年供用

H23年:橋面防水工・床版下面をシート補強

A橋(下)2012年供用



6



- ・調査日10月1日(9/21に降雨を観測してから降水なし)
- ・カッターおよびバックホウにより舗装部撤去(水の使用なし)
- ・舗装撤去完了後、床版水分計(電気抵抗値式)にて床版上面の水分量を計測
- ・舗装打ち継ぎ目および地覆端部にて水分量が大きくなっていることを確認

⇒電磁波レーダ一計測判定の「教師データ」として活用



舗装打ち継ぎ部(カウント値669)



地覆端部(カウント値614)

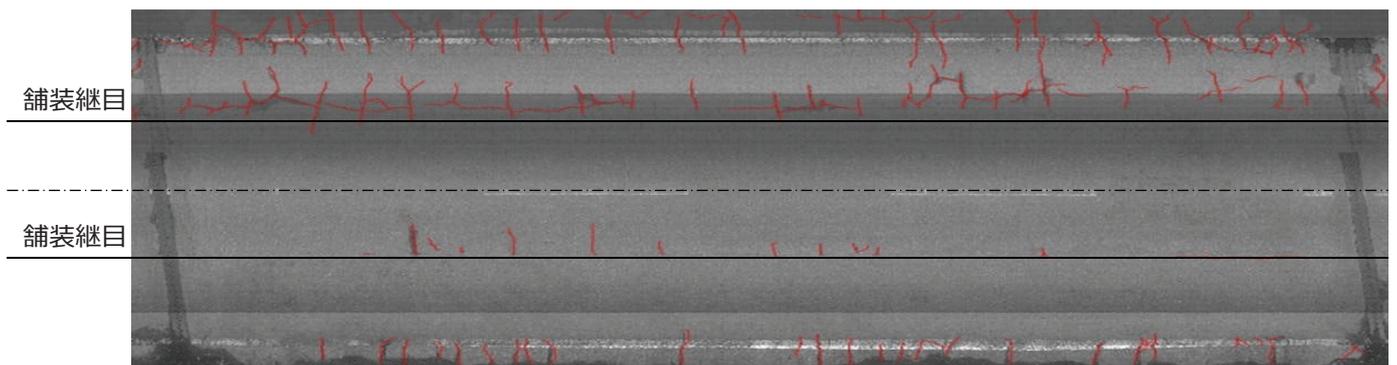


健全部(カウント値139)

コンクリート表面の水分状態	カウント値の目安										
① 絶乾状態	10	55									
② 乾燥状態		60	132								
③ 表面乾燥状態			137	230							
④ 滞湿状態				285	306	520					
⑤ 滞水状態						521	744				
	電気抵抗式水分計(カウント値)										

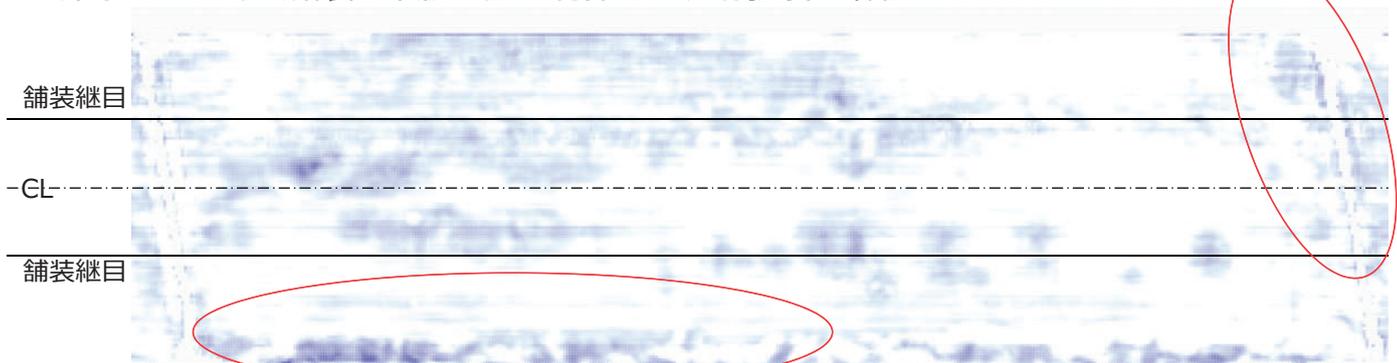
コンクリート水分状態と水分計カウント値との関係

◆各媒体の比誘電率に着目し、波形の反射強度の特徴別に床版上面の状態を分類することで 定量的に評価が可能(検討中事項)



滞水コンター図(舗装と床版上面の境界での反射強度に着目)

伸縮装置まわりに滞水?



地覆端部から水が侵入?

- 電磁波レーダによる水の検知方法の検討及び水の早期検知を前提とした新たな床版補修工法の提案の実証および効果の検証を行いたいと考えています。
- 今後も現場実証をご協力いただければ幸いです。

4) 電磁波レーダによる床版調査の探査・解析技術の要点 ～特に利用者に向けて～

土木研究所 地質・地盤研究グループ 物理探査担当

- 本日の3つのスライド:
 - 電磁波レーダの非教科書的特徴
 - スライス断面の異常域とは何か
 - 床版調査の記録の注意点
 - まとめ

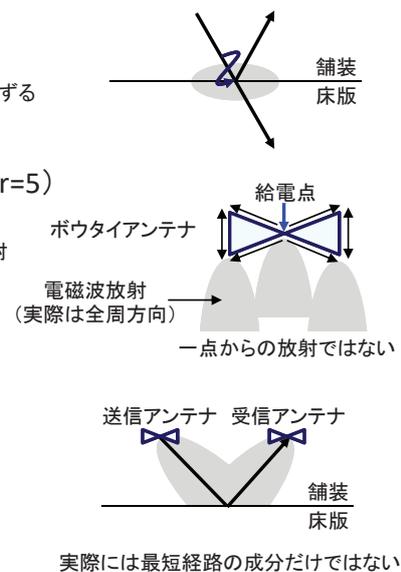


※ お断り:利用者向けの資料としており、一部の記載を簡略化しています
(厳密には正確でない記載を含みます)

1

電磁波レーダの非教科書的特徴

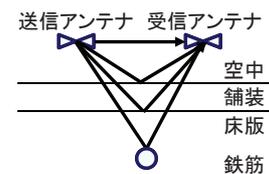
- 見ているもの:
 - 誘電率 → **金属, 空洞, 水分**, 物質の違い(水分の違い)
- 再現性は高いが注意が必要:
 - 同一の装置と設定で再現性が確保
 - 連続稼働によるドリフトや再起動による初動タイミングの遅延も生ずる
- 一般的な印象よりも高くない解像度:
 - およそ波長13cm(周波数1GHz, コンクリート $\epsilon_r=5$)
 - 境界面でなく, **こぶし大**の領域を見ている
 - 開口幅1mm程度の乾燥亀裂は検出できないが湿潤亀裂では反射
- 直線放射でない:
 - アンテナ近傍の応答
 - 理論的解析が一部適応不可
 - **経験的解析**が優勢
 - 現状では仕方が無い
- 探査装置の**設定**と適用した**解析**手法の確認:
 - 探査仕様だけでなく
 - 調査品質が現れるところ
 - 調査目的を真に満たすには独自の探査・解析仕様が必要
 - 解析の理想:アンテナ近傍解+反射法処理技術



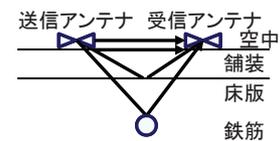
2

スライス断面の異常域とは何か

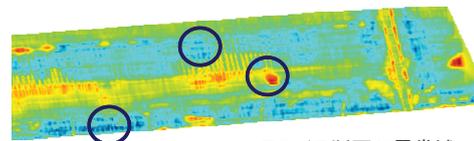
- 電磁波レーダの応答
 - 反射波が重なる。多重反射も生じる。
- 垂直断面と水平スライス断面
- マルチチャンネルレーダ(複数の送受信アンテナを装備)のすじ
 - アンテナ特性の違いを「装置の設定や解析」により解消できていない
現在の技術では完全なる解消は困難
- 水平スライス断面における周囲と異なる反射振幅
 - 走時遅れ
 - 反射率の相違
 - どちらによる現象か(そして処理は適切か)
 - 原因は何か:滞水、舗装厚、起伏、鉄筋深度、材質の相違etc. 土砂化?(間接的?)
- 解析により異常域の範囲は調整できる
 - 振幅調整、出力走時、色合い



車両牽引型



手押し型



スライス断面の異常域

3

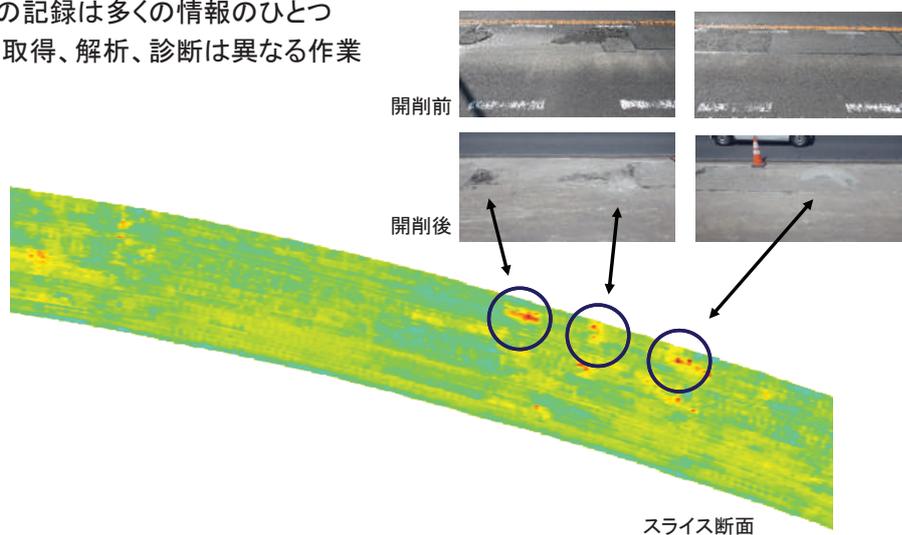
床版調査の記録の注意点

- 10cm程度の浅部域は電磁波レーダにとって難しい領域
 - 波形が重なる。直接波や表面反射波の振幅が大きい。
 - 記録を整える基本処理の影響が大きい
 - マルチチャンネルレーダの異なるアンテナ間の応答の相違が目立つ
 - すじが目立つ(床版調査時には空洞調査時より努力を求めてよい)
- 適切な周波数帯域は空洞調査よりも高い
 - 数GHz(床版) : 数百MHz(空洞)
- 車両牽引型は空中の多重反射が課題のひとつ
 - 地上高9cm以上(道路運送車両の保安基準)
 - 空中の多重反射を背景除去処理で抑制 → 床版の反射信号も抑制される
- ボウタイアンテナは検出しやすい鉄筋の方向がある
 - 格子状の鉄筋の検出は特殊な設計のアンテナか調査方法が必要
- 電磁波レーダ以外の情報を組み合わせることが重要
 - 追加の情報の入手 → 再解析の実施も検討

4

まとめ

- 探査・解析技術の要点(利用者)
- 探査装置の設定と解析手法の確認
 - こぶし大の目で床版をどう捉えようとしているのか
- 異常域(走時/振幅)を土砂化域と判定する理由の確認
- 総合判断・再解析・2次解析の検討
 - レーダの記録は多くの情報のひとつ
 - 記録の取得、解析、診断は異なる作業



関係者名簿

道路局	国道・技術課 課長補佐	岡田 太賀雄	
国総研	橋梁研究室長	白戸 真大	
	橋梁研究室 主任研究官	市川 幸治	○
	橋梁研究室 主任研究官	中尾 勝	○
	道路基盤研究室長	渡邊 一弘	×
	道路基盤研究室 主任研究官	桑原 正明	×
東北地方整備局	道路構造保全官	岩渕 賢一	○*
北陸地方整備局	道路構造保全官	櫻井 直樹	○*
	道路工事課 課長補佐	中田 光	○
	北陸技術事務所 維持管理技術課長	武田 達也	○
中部地方整備局	道路保全企画官	石垣 政彦	○*
	中部道路メンテナンスセンター 技術課長	加藤 隆雄	○
九州地方整備局	道路保全企画官	田口 敬二	×
	道路構造保全官	井本 真樹男	○
	大分河川国道事務所 総括保全対策官	船井 敏勝	○*
	同事務所 道路管理第2課専門官	中村 真一郎	○
北海道開発局	道路維持課 保全係長	加藤 一之	○*
	道路維持課 保全係	谷口 雄紀	○
土木研究所	舗装チーム 上席研究員	藪 雅行	○*
	舗装チーム 主任研究員	寺田 剛	○※
	実装技術チーム 上席研究員	齋藤 清志	×
	地質・地盤研究グループ 主任研究員	尾西 恭亮	○※
	地質・地盤研究グループ 交流研究員	小林 貴幸	○
寒地土研	寒地構造チーム 上席研究員	葛西 聡	×
	寒地構造チーム 研究員	中村 拓郎	×
iMaRRC	上席研究員	古賀 裕久	○
	研究員	川島 陽子	○
CAESAR	上席研究員	石田 雅博	×
	研究員	野田 翼	○※
	交流研究員	松本 直士	○
	上席研究員	上仙 靖	○*※
	総括主任研究員	田中 良樹	○※

○：出席 ×：欠席 *：パネリスト ※：司会，説明者

土木研究所資料
TECHNICAL NOTE of PWRI
No. 4398 March 2020

編集・発行 ©国立研究開発法人土木研究所

本資料の転載・複写の問い合わせは

国立研究開発法人土木研究所 企画部 業務課
〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6 電話029-879-6754