

北海道における道路橋 RC 床版の土砂化発生傾向の整理

Analysis of a tendency of slab deterioration in Hokkaido

(国研)土木研究所 寒地土木研究所 正会員 角間 恒 (Ko Kakuma)
(国研)土木研究所 寒地土木研究所 ○正会員 白戸義孝 (Yoshitaka Shiroto)
(国研)土木研究所 寒地土木研究所 正会員 西 弘明 (Hiroaki Nishi)
北海道大学 学生員 松田有加 (Yuka Matsuda)
北海道大学大学院 正会員 松本高志 (Takashi Matsumoto)

1. はじめに

道路橋 RC 床版（以下、床版）の劣化は、複数の要因が複合して作用することで発生している場合が多い。北海道においては、凍害等に起因する上面の土砂化と輪荷重走行との複合作用により抜け落ちに至ることもある¹⁾。

膨大な量の床版を効率的に点検・調査するためには劣化損傷箇所のスクリーニングが不可欠であるが、土砂化に関しては、北海道内全域で発生していることが報告されている²⁾ものの、その発生傾向は必ずしも明確になっていない。これは、既往の調査事例のほとんどが、外観調査や材料試験に基づく個々の橋梁での劣化状況調査に留まっており、土砂化が発生している橋梁や床版部位の特徴を統一的に整理できていないことに原因があると考えられる。

そこで本研究では、北海道における床版上面の土砂化発生傾向を把握するため、北海道内の国道橋において舗装切削による床版上面の目視調査が行われた事例を収集し、環境条件および構造条件の観点から土砂化が発生しやすい条件を整理した。

2. 整理方法

2.1 対象データ

本検討では、北海道開発局が管理する道路橋のうち、RC 床版を床版形式とする鋼板桁橋を上部構造とし、かつ、平成 21～28 年度に舗装損傷箇所に対して部分切削による床版上面の劣化状況調査が行われた橋梁を対象とした。以降では、平成 29 年 4～9 月の間に収集できた 58 橋分の調査結果を基に土砂化の発生傾向を整理する。

2.2 整理項目

土砂化発生傾向の整理に際し、まず対象とする 58 橋に関して、表-1 を基に橋梁諸元や供用環境を整理した。

次に、「該当橋梁のどの箇所で調査が行われているか」を分類するため、表-2 から選択する方法により、調査が実施された縦横断方向の位置や輪荷重走行位置との関係性等を整理した。なお、同一橋梁内において調査箇所の特徴が類似する複数箇所でも調査が行われている場合には、土砂化が最も進行している 1 箇所のみを抽出した。この結果、最終的には舗装切削 72 箇所に関するデータにより整理を行うことになった。

最後に、72 箇所における床版上面の状況を土砂化の有無に分類した。分類に当たっては、収集した資料にある記載を踏襲することを基本とした。

表-1 橋梁諸元および供用環境に関する整理項目

種類	項目例
橋梁諸元	竣工年、上部工形式、交差物件、適用示方書、床版厚、主桁本数、主桁間隔、斜角、曲線半径、縦断勾配、横断勾配
供用環境	気象条件、大型車交通量、塩害地域区分、凍結防止剤散布量、凍害危険度、コンクリートに反応性骨材が含まれる可能性

表-2 調査箇所に関する整理項目

方向	項目	選択肢
縦断方向	位置	伸縮装置・中間支点部、その他
横断方向	位置	中央線、車道外側線、路肩、その他
	輪荷重走行位置	走行位置、非走行位置
	横断勾配	上側、下側、その他
	床版支間当たりの走行車輪数	0 輪、1 輪、1～2 輪、2 輪

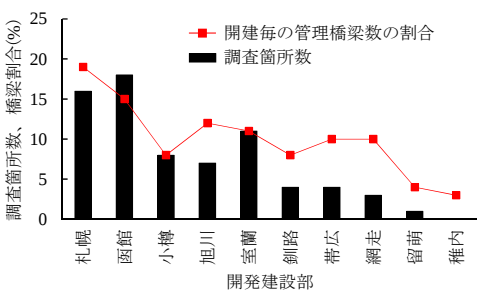


図-1 開発建設部別の調査箇所数

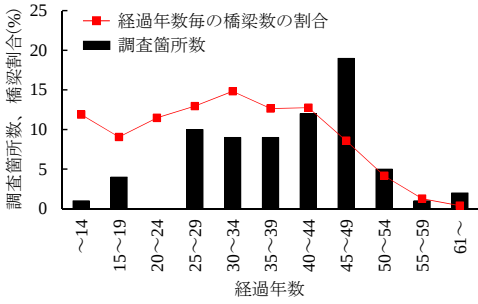


図-2 経過年数別の調査箇所数

2.3 対象データの概要

図-1 には、上記の 72 箇所を、該当橋梁を管理する開発建設部（以下、開建）別に分類した結果を、各開建の管理橋梁数の割合とともに示している。図より、対象

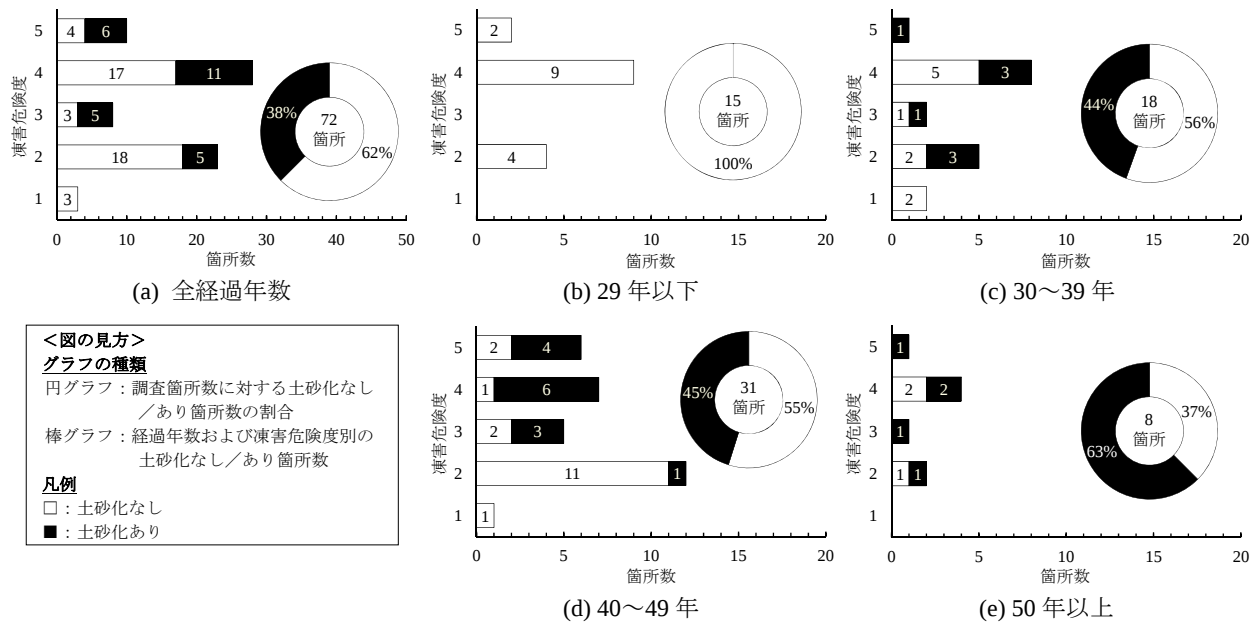


図-3 経過年数および凍害危険度の影響

とするデータは札幌開建、函館開建、室蘭開建で多く、地域毎のデータ数にはやや偏りがある。

図-2 は、竣工から調査時までの経過年数別に調査箇所数を集計した結果である。図中には、本検討で対象とした調査期間（平成 21～28 年度）の大半である、平成 25 年 4 月における北海道開発局の全管理橋梁数を経過年数別に整理した結果も示している。経過年数別に調査箇所数を見ると、調査の大半は 25～49 年が経過した橋梁で実施されており、その中でも 45～49 年が経過した橋梁での調査が全体の 30%と最も多かった。

3. 土砂化発生状況

以下には、土砂化発生状況を整理した結果の一部を説明する。

3.1 経過年数による整理

図-3 の円グラフに、調査箇所数に対する土砂化発生箇所の割合（以下、土砂化発生割合）を経過年数別に整理した結果を示す。経過年数 29 年以下の橋梁においては、調査を実施した全 15 箇所の中に土砂化が発生していた箇所は見られなかった。また、30 年以上が経過した橋梁における土砂化発生割合は、30～39 年で 44%、40～49 年で 45%、50 年以上で 63%と、経過年数が増加するにつれて調査箇所において土砂化が発生している割合が増加する。これらのことより、サンプル数のごく限られている中での整理ではあるが、経過年数 30 年以上の橋梁において舗装損傷が見られる場合には、その直下で土砂化が発生している可能性を想定した点検・調査が不可欠であり、一方で、経過年数 30 年未満の橋梁においては、舗装損傷が生じている場合であっても、その時点で耐荷性能が著しく低下するような土砂化の発生を想定した点検・調査が必要になる可能性は低いと言える。

3.2 環境条件による整理

(1) 凍害危険度

地域毎の凍害の発生しやすさを表す指標に凍害危険度³⁾があり、コンクリート構造物の健全度評価において参

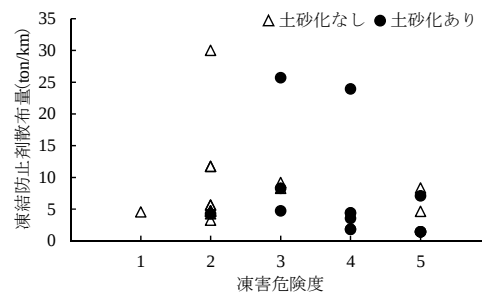


図-4 凍結防止剤散布量の影響

照されることが多い。図-3 の棒グラフには、経過年数別に集計した土砂化発生箇所数を、さらに凍害危険度別に整理した結果を示す。土砂化発生事例のある経過年数 30 年以上に着目すると、経過年数 40～49 年における凍害危険度 2 の地域での土砂化発生割合がやや低くなっている以外、凍害危険度が高くなることで土砂化発生箇所数や土砂化発生割合が極端に増加するような傾向は見られていない。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橋梁割合は、凍害危険度 1 の橋梁が全体の 10%に満たないのを除き、凍害危険度 2～5 の橋梁がそれぞれ 20～25%程度であり母数に偏りがないことから、凍害危険度と土砂化の発生しやすさは必ずしも関連していないと言える。これは、土砂化の発生および進行が舗装や防水層といった床版上に設置される材料の劣化損傷の影響を強く受けることや、床版上面の土砂化が凍害だけでなく単に滞水条件での輪荷重走行によっても生じることに起因する。

以上より、床版の点検・調査を行う際には、凍害危険度によらず北海道のほぼ全域で様に土砂化が発生している可能性があると考えられる必要がある。

(2) 凍結防止剤散布量

寒冷地において冬季に散布する凍結防止剤は、コンクリートの凍害やアルカリシリカ反応を促進する。そこで、土砂化発生状況と凍結防止剤散布量との関係を把握するため、調査箇所数の多い経過年数 40～49 年の橋梁に着

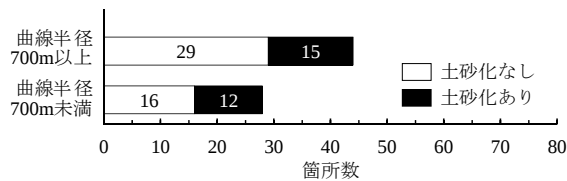


図-5 曲線半径の影響

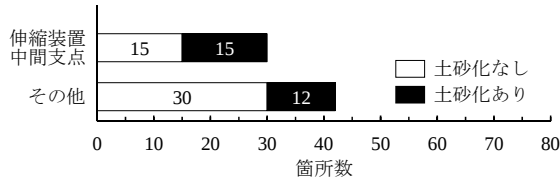


図-6 縦断方向位置の影響

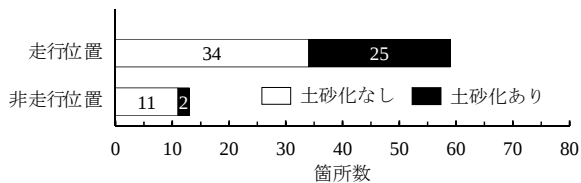


図-7 輪荷重走行位置の影響

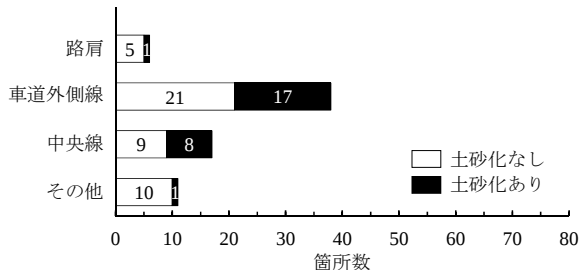


図-8 横断方向位置の影響

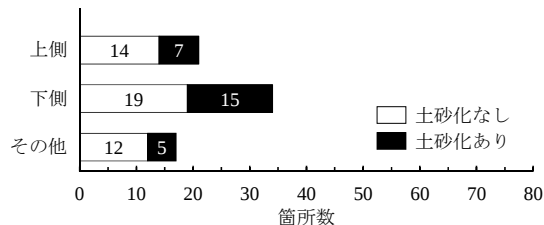


図-9 横断勾配に対する位置の影響

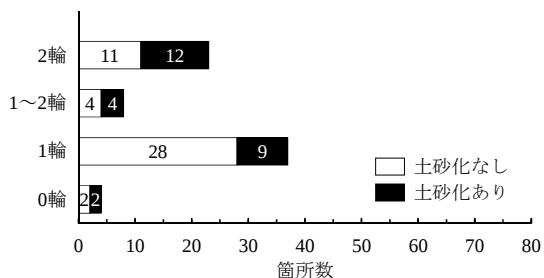


図-10 床版支間当たりの走行車輪数の影響

目し、土砂化発生の有無別に凍結防止剤散布量と凍害危険度との関係を整理した結果を図-4 に示す。ここで使用した凍結防止剤散布量は、平成 26 年度における路線毎の平均的な散布量であり、各橋梁での実散布量を表すものではない。

図より、経過年数および凍害危険度が同程度であっても調査箇所によって土砂化の発生状況が異なり、凍結防止剤散布量が多い橋梁で土砂化が発生しやすくなるよう

な傾向は見出せない。これは、前述の凍害危険度に関しても言えたことであるが、路面に散布した凍結防止剤が床版内に侵入するかどうかは舗装や防水層の状態に依存するところが大きく、単に散布量のみでは土砂化発生への影響度を推し量ることはできないものと考えられる。

3.3 構造条件に関する整理

(1) 道路線形

土砂化発生状況と構造条件の関係として、始めに曲線半径の影響に着目した。図-5 には、曲線半径 700m を閾値として土砂化発生状況を整理した結果を示す。図より、曲率半径 700m 以上と 700m 未満とで土砂化の発生箇所数は同程度であり、また、土砂化発生割合に関しては 700m 未満の場合に 40%程度と大きくなる傾向がある。北海道開発局が管理する橋梁に占める曲線半径 700m 未満の橋梁の割合が 20%程度であることを考慮すると、上記の結果からは、曲率半径が小さい橋梁では土砂化の危険度が高くなっている可能性があることを示す。この要因として、曲率半径が小さいことによるねじりモーメントや水平せん断力の増大が、舗装および床版の劣化損傷を引き起こし、その結果として水密性の低下を招いていることが挙げられる。

(2) 縦断方向の位置

図-6 に、縦断方向の位置別に土砂化発生箇所数を整理した結果を示す。一般的に、伸縮装置の近傍は大型車が段差部を通過するときに衝撃力が作用し、さらに伸縮装置が縦断勾配の下側になる場合には滞水の影響が顕著になることから、床版の劣化が早期に生じる箇所とされる。一方で、本整理における土砂化発生箇所は、伸縮装置あるいは中間支点部で 15 箇所、その他で 12 箇所となっており、伸縮装置付近に限らず縦断方向全体にわたって土砂化が発生している結果であった。

(3) 横断方向の位置

図-7 および 8 は、輪荷重走行位置別および横断方向の位置別に土砂化発生箇所数を整理した結果である。図より、本整理で確認された土砂化のうち 90%以上が輪荷重走行位置に集中して発生しており、横断方向の位置別では車道外側線付近が 17 箇所と最も多く、次いで多いのが中央線付近の 8 箇所であった。また、図-9 には、横断勾配に対する位置に着目して土砂化発生箇所数を整理した結果を示しており、降水の排出先となる横断勾配の下側で土砂化が発生しやすいことがわかる。

本整理において、全ての土砂化発生箇所（27 箇所）の半数以上の 15 箇所が「輪荷重走行位置」および「横断勾配下側」の両者に当てはまっており、この結果は、滞水が生じやすい輪荷重走行位置で土砂化が発生しやすいことを示している。また、本整理では、横断勾配に対する位置を整理するとき、中央線付近を「上側」または「その他」に分類したが、実際には舗装目地との位置関係から床版上に水が供給されやすい箇所になる。したがって、「滞水の影響を受けるか否か」の観点で整理すると、輪荷重走行と水の組合せによって土砂化が発生しやすいことがより明確になることが推察される。

(4) 輪荷重走行位置と主桁配置

図-10 に、床版支間当たりの走行車輪数別に土砂化

表-3 土砂化発生状況のまとめ

整理項目		土砂化発生状況	土砂化発生への影響度
経過年数		竣工後 30 年以上が経過した橋梁において発生している	大
環境条件	凍害危険度	凍害危険度によらず発生している	小
	凍結防止剤散布量	土砂化発生状況との間に関係性は見られない	小
構造条件	曲線半径	曲率半径が小さい橋梁で発生しやすい	大
	縦断方向位置	縦断方向の位置によらず発生している	小
	横断方向位置	滞水および輪荷重の作用を同時に受ける箇所、同一床版支間内に左右 2 輪が走行する主桁・走行車線配置となる橋梁で発生しやすい	大

発生箇所数を整理した結果を示しており、土砂化発生箇所数および土砂化発生割合から、床版支間当たりの走行車輪数が 2 輪となる箇所でも多くの土砂化が発生していることがわかる。さらに、そのうちのほとんどは、3 主桁からなる鋼鈑桁橋において同一床版支間内の主桁近傍に左右 2 輪が走行する主桁・走行車線配置の橋梁で起きていた。過去に報告されている床版抜け落ち事例の中に、同様の条件で発生しているものは多く^{3) 4)}、「3 主桁かつ同一支間内に左右 2 輪が走行する」条件は、床版の土砂化のみならず、抜け落ちにも進展しやすい条件であると言える。上記の主桁および車線の配置において土砂化が発生しやすい要因としては、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、主桁拘束（ジベルやスラブ止めによる拘束）により発生する初期の乾燥収縮ひび割れ等に起因し、床版内に水が浸入しやすい状態が形成されていることが挙げられる。また、床版の抜け落ちに関しては、主桁近傍を走行することでせん断力が卓越すること、主桁近傍では支間中央部と比較して配筋鉄筋量が減じられていること⁵⁾、ハンチ部での鉄筋曲げ上げ⁵⁾により断面急変部となっていること等の要因が推察される。

3.4 整理結果のまとめ

上記において土砂化発生状況を整理した結果をまとめると表-3 のようになり、床版上面の土砂化が構造的要因の影響を強く受けて発生していることが示唆される結果となった。

凍害やアルカリシリカ反応、塩害といった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、環境条件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が強い。一方で、本整理の結果は、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、材料劣化の発生しやすさと関連する環境条件もさることながら、材料劣化の要因となる水の浸入経路（舗装のうきやひび割れ、床版上面のひび割れ）の発生しやすさと関連する構造条件に着目することがより重要になることを示していると考えられる。

4. おわりに

本研究では、北海道内における RC 床版の土砂化発生状況を整理した。その結果、得られた知見を以下にまとめる。

- 1) 対象とした 58 橋 72 箇所に対する土砂化調査事例において、竣工後の経過年数が 30 年未満の橋梁で土砂

化が発生している事例は見られなかった。

- 2) コンクリートの凍害の発生しやすさと関連のある凍害危険度および凍結防止剤散布量に関しては、土砂化発生状況との間に一定の傾向を見出すことができなかった。
- 3) 構造条件に着目すると、滞水と輪荷重走行の影響を同時に受ける場合に加え、曲線半径が小さい橋梁や床版支間当たりに左右 2 輪が走行する主桁配置となる橋梁において土砂化事例が多いことがわかった。
- 4) 上記より、床版上面の土砂化を効率的に点検・調査するためには、構造条件に着目することがより重要になることを示した。

最後に、本研究は、舗装の部分切削部での目視調査結果を基に、極限られた事例に対し土砂化発生状況を整理した結果である。今後は、本整理で対象とした項目以外の他の環境および構造条件はもちろんのこと、鋼鈑桁以外を上部構造とする橋梁にも分析範囲を広げるなどしてデータの充実を図ることで、土砂化発生に及ぼす各種条件の影響度を明確にしていきたい。さらに、その結果を基に、床版の点検・調査時における着目点を体系的に整理することを目指す。

謝辞

本研究の実施にあたり、北海道開発局には多大なるご協力いただきました。ここに付記し、感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 國松博一、山谷直孝、澤松俊寿：一般国道 275 号志寸川橋の床版陥没について一陥没の発生から復旧まで一、国土交通省北海道開発局第 56 回（平成 24 年度）北海道開発技術研究発表会、2013.
- 2) 小野貴之：積雪寒冷地における既設橋梁 RC 床版の疲労耐久性に関する実験的研究、2009.
- 3) 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.
- 4) 菊地智宏、神康英、木下正俊：一般国道 237 号振内橋の損傷と対策について、国土交通省北海道開発局第 58 回（平成 26 年度）北海道開発技術研究発表会、2015.
- 5) 例えば、日本道路協会：道路橋示方書、1972.