

論文 北海道における道路橋 RC 床版の土砂化に関する傾向分析

中村 拓郎*1・角間 恒*2・西 弘明*3

要旨：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、RC 床版において舗装切削による床版上面の目視照査が行われた 121 橋（182 箇所）を対象に、橋梁諸元や供用環境と土砂化の関連性を整理した。その結果、建設後 50 年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，積雪寒冷地

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もある¹⁾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³⁾。しかしながら、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。一方、橋長 2.0m 以上の道路橋では、5 年に 1 回を基本とする近接目視点検が義務化されてから 5 年が経過しようとしており、国内のほぼすべての道路橋の実態が明らかになることが期待される。今後、こうした膨大な点検結果の有効な活用方法や、それに基づいた点検・調査方法の見直しについても検討を進める必要がある。

国土交通省北海道開発局（以下、北海道開発局）では、約 4200 橋の管理橋梁のうち、毎年約 800 橋を対象とした定期点検が行われている⁴⁾。定期点検で舗装にひび割

れやうき等の変状が認められた橋梁では、舗装切削による床版上面の目視調査（以下、舗装切削調査）が行われる場合があり、舗装切削調査箇所の直下で床版上面のスケリングや土砂化の発生等が報告されている。

本研究では、北海道において土砂化が発生している橋梁や床版部位の特徴を明らかにすることを目的に、北海道内の国道橋で舗装切削調査が行われた事例を収集・整理するとともに、橋梁諸元、供用環境、舗装切削位置に着目して土砂化の発生傾向を分析した。

2. 調査概要

2.1 対象橋梁

対象橋梁は、北海道開発局が管理する鋼鉄桁橋を上部構造とする RC 床版形式の道路橋とし、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橋梁を抽出した。なお、補修設計業務で行われた舗装切削調査については、本研究の範囲で収集できた報告書を対象としている。

調査対象とした橋梁の位置と開発建設部別の調査箇所

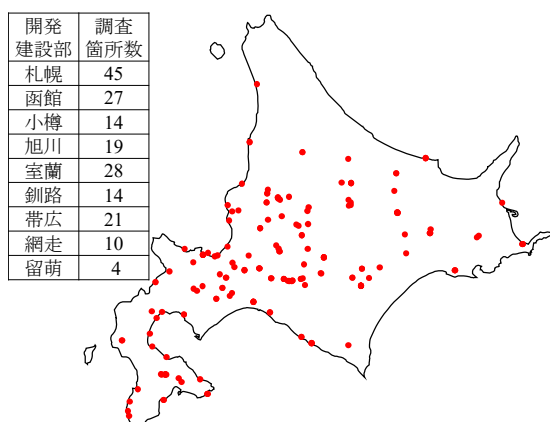


図-1 調査対象の橋梁位置と調査箇所数

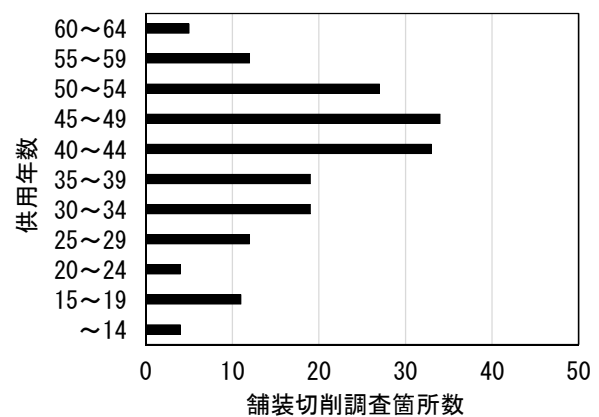


図-2 供用年数別の調査箇所数

*1 （国研）土木研究所寒地土木研究所 研究員 博（工）（正会員）

*2 （国研）土木研究所寒地土木研究所 主任研究員 博（工）（正会員）

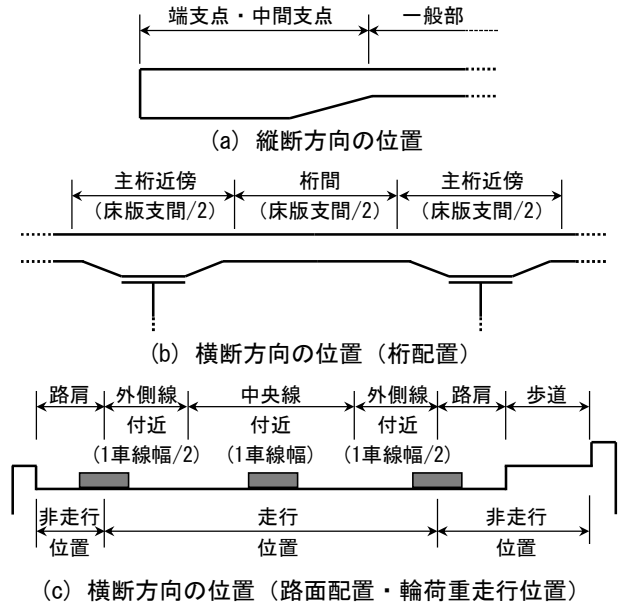
*3 （国研）土木研究所寒地土木研究所 上席研究員 博（工）（正会員）

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－3(a) 参照
横断	桁配置	図－3(b) 参照
	路面配置	図－3(c) 参照
	輪荷重走行位置	図－3(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



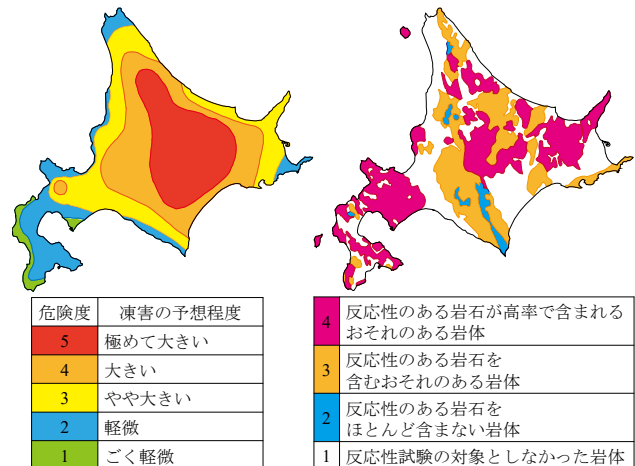
図－3 舗装切削位置の分類方法

所数を図－1 に示す。本研究では，前述の報告書に記載されている 121 橋における 182 箇所の舗装切削調査箇所を整理，分析の対象とした。調査対象の舗装切削調査が行われた橋梁は，道央と道南に位置する橋梁が多くなっており，調査箇所数は札幌開発建設部の 45 箇所が最も多く，次いで室蘭開発建設部の 28 箇所，函館開発建設部の 27 箇所となっている。

供用年数別の舗装掘削調査箇所数を図－2 に示す。調査箇所数は，供用年数とともに増加する傾向を示した。また，調査対象とした橋梁の大部分は建設後 30～55 年が経過した橋梁であり，その中でも供用年数が 40～55 年の橋梁での調査箇所数が全体の 52%を占めている。

2.2 調査項目

調査項目の一覧を表－1 に示す。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，長谷川らが外気温上の凍結融解作用の強さに日射などの影響と含水程度を考慮して提案した 5 段階の凍害危険度の分布図⁹⁾から図－4 を再描画し，対象橋梁の緯度と経度から各調査箇所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⁾から図－5 を再描画し，凍害危険度と同様に，橋梁の緯度と経度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。なお，岩体は，反応性試験の対象としなかった岩体（新第三紀よりも新しい堆積岩類），反応性のある岩石をほとんど含まない岩体（深成岩類，漸新世よりも古い火



図－4 凍害危険度の分布

図－5 岩体の分布

山岩類)，岩型によっては反応性のある岩石を含むおそれのある岩体（古第三紀よりも古い堆積岩類），反応性のある岩石が高率で含まれるおそれのある岩体（中新世よりも新しい火山岩類）の 4 種類である。

舗装切削調査が行われた床版部位について，表－2 に示す項目と選択肢に基づいて，橋軸方向である縦横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－3(a)に示すように，床版打ち下ろし範囲（床版支間の 1/2）までの端支点または中間支点と，それ以外の一般部に分類した。横断方向の桁配置，路線配置，輪荷重走行位置については図－3(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。

舗装切削調査における床版上面の状態は，原則として

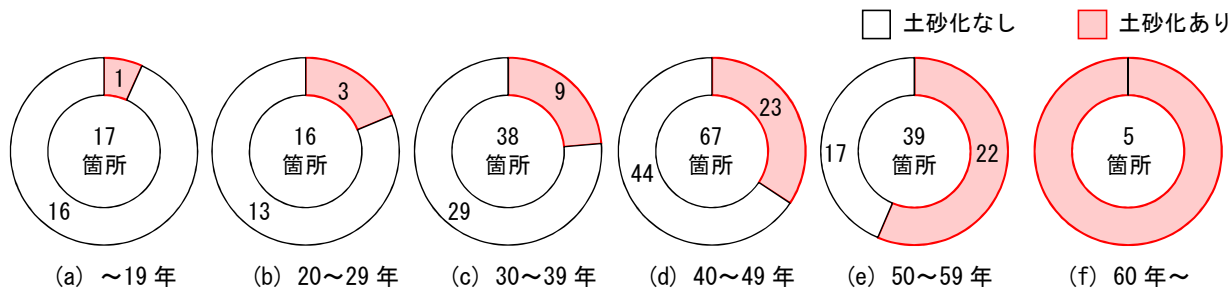


図-6 供用年数別の土砂化の発生数

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、それ以外を土砂化なしとして分類した。

3. 調査結果

3.1 供用年数別の土砂化の発生状況

調査対象とした 182 箇所のうち 35% の 63 箇所で床版上面に土砂化が発生していた。供用年数別の土砂化の発生数を図-6 に示す。供用年数が 20 年未満の橋梁においても 17 箇所で舗装切削調査が行われ、1 箇所で土砂化が確認されている。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。特に、建設後 50 年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た。

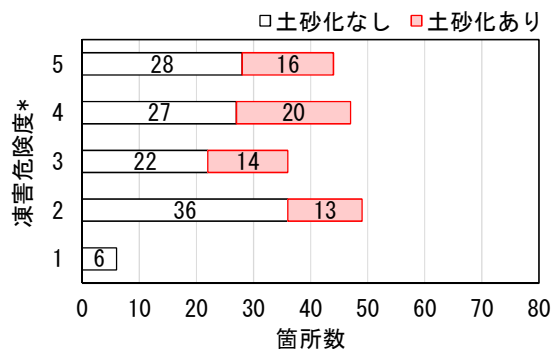
3.2 供用環境の違いによる土砂化の発生状況

(1) 凍害危険度

凍害危険度別の土砂化の発生数を図-7 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% 程度となっており、本研究で対象とした調査箇所数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% となっており、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極端に増加するような傾向は認められなかった。

(2) 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-8 に示す。凍害危険度と同様に、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かった。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が大きく、凍結防止剤の散布量のみでは土砂化発生への影響度を推し量ることが難しいと考えられる。



* 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-7 凍害危険度別の土砂化の発生数

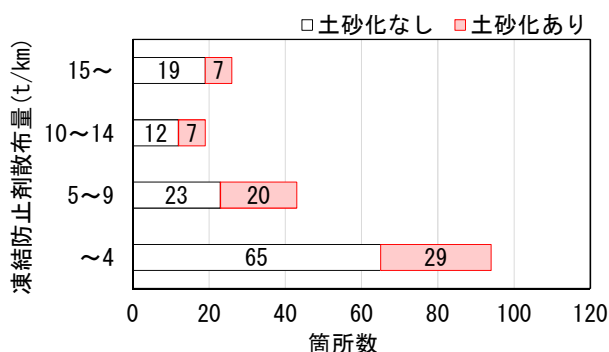
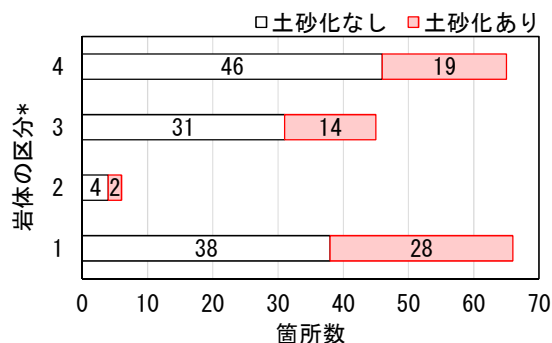


図-8 凍結防止剤散布量別の土砂化の発生数



* 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-9 岩体の区分別の土砂化の発生数

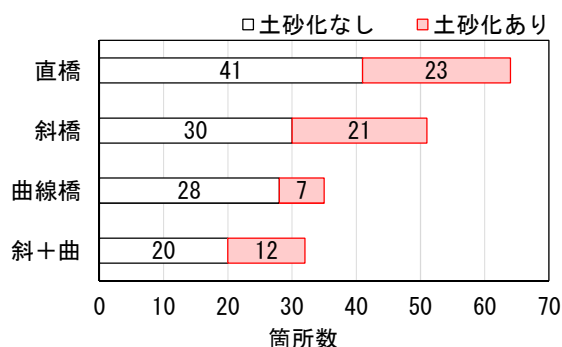


図-10 平面線形別の土砂化の発生数

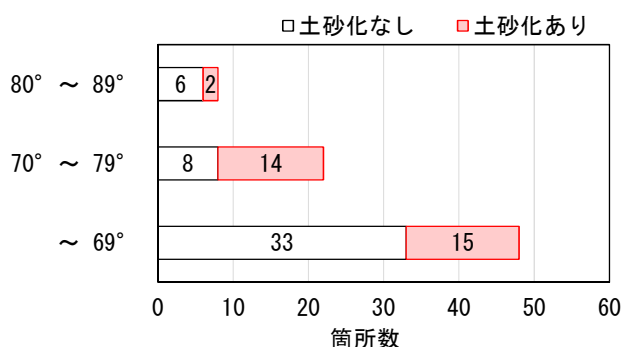


図-11 斜角と土砂化の発生数

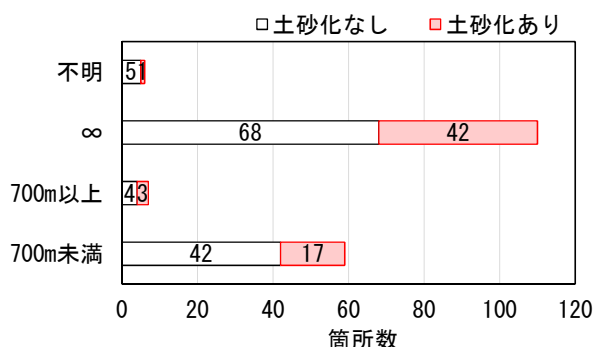


図-12 曲線半径別の土砂化の発生数

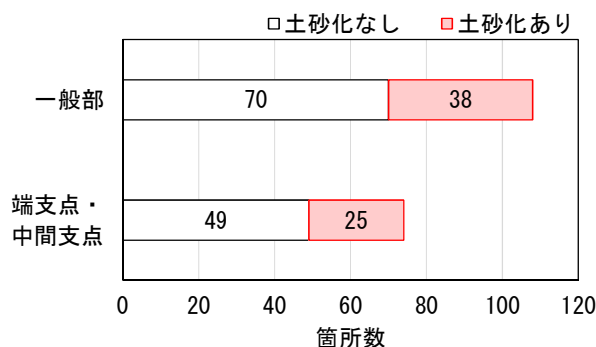


図-13 縦断方向の調査位置別の土砂化の発生数

(3) 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-9に示す。反応性の岩石を高率で含む岩体で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。

3.3 舗装切削調査位置と土砂化の発生状況

(1) 平面線形

橋梁の平面線形別の土砂化の発生数を図-10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-11に示す。なお、斜角については、日本高速道路の設計要領⁷⁾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を示した。

曲線半径別の土砂化の発生数を図-12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⁸⁾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、本研究の範囲においては、曲線半径と土砂化の発生状況に明確な関連性を示すことができなかった。

(2) 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-13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に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確認された。

(3) 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-14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、土砂化の発生数も外側線

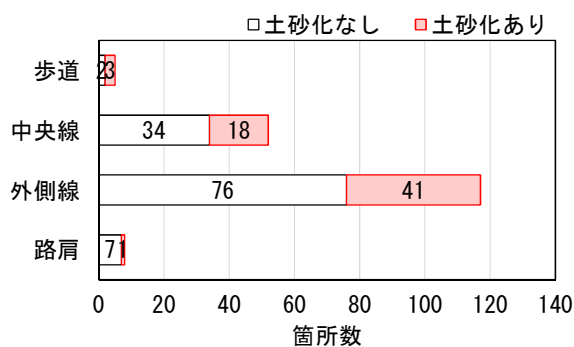


図-14 路面配置別の土砂化の発生数

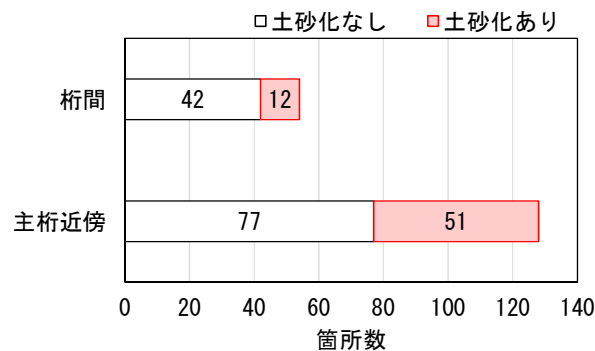


図-15 桁配置別の土砂化の発生数

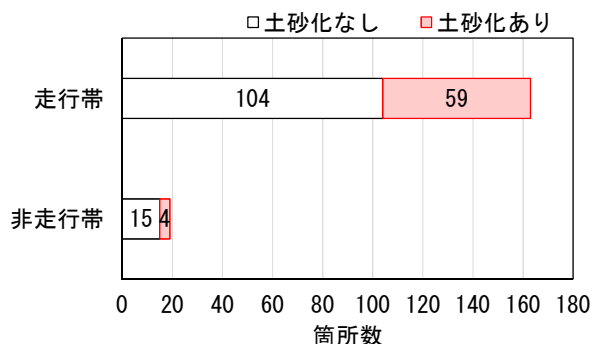


図-16 輪荷重走行位置別の土砂化の発生数

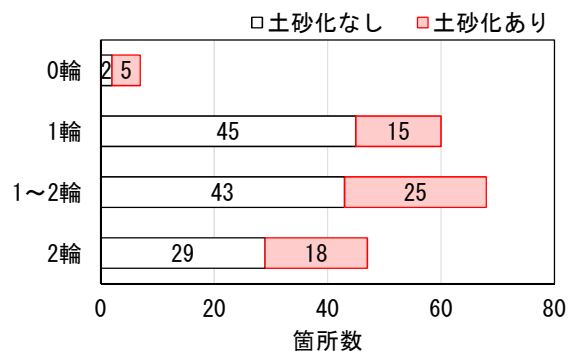


図-17 車輪数別の土砂化の発生数

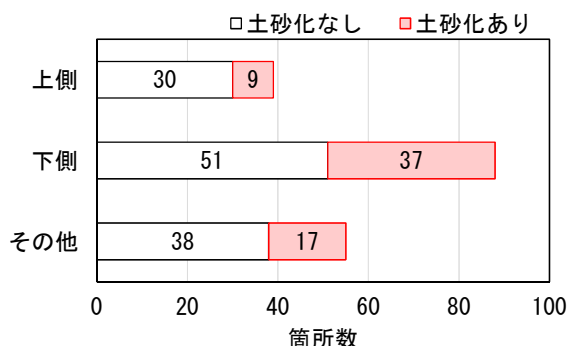


図-18 横断勾配位置と土砂化の発生数

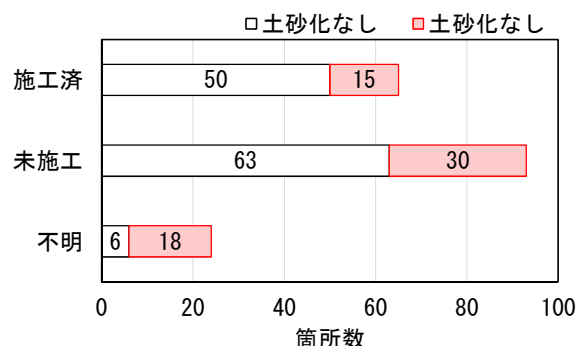


図-19 防水工の有無と土砂化の発生数

付近が 41 箇所と最も多く、次いで多いのが中央線付近の 18 箇所となった。桁配置と土砂化の発生割合の関係を図-15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。

(4) 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-16、図-17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。

(5) 横断勾配

横断勾配と土砂化の発生数を図-18に示す。降水の排出先となる横断勾配の下側で、舗装掘削調査箇所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寄与していると考えられる。

(6) 防水工の有無

防水工の有無と土砂化の発生数を図-19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

表－3 各整理項目と土砂化の発生傾向

整理項目		土砂化の発生割合
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	関連性なし
	凍結防止剤	関連性なし
	反応性骨材	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

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が確認できた。

3.4 北海道内における土砂化の発生傾向

本研究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小さい地域、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。本研究では、土砂化と劣化機構の関連性の特定は行っていないが、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。一方、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、斜角や桁配置、勾配における位置も土砂化の発生割合に寄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。

4. まとめ

本研究では、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。本研究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関連性は認められなかった。

- (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、端支点と中間支点においても一般部と同程度の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。

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多大なるご協力をいただきました。ここに付記し、感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 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.37-40，2016.11
- 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，2013.2
- 3) 例えば，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，土木学会論文集 E2，Vol.72，No.3，pp.214-233，2016.7
- 4) 国土交通省北海道開発局：橋梁長寿命化修繕計画（案），pp.2-11，2017.12
- 5) 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.248-253，1975.12
- 6) 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.277-278，1988.11
- 7) 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，p.2-20，2016.8
- 8) 日本橋梁建設協会：新しい鋼橋の誕生 II 改訂版，p.1，2004