

論文 定期点検データに基づく道路橋RC床版の土砂化に影響を与える要因の分析

七尾 雄作*1・小沢 拓弥*2・古賀 裕久*3・中村 英佑*4

要旨：道路橋RC床版の土砂化メカニズムの解明に向けて、RC床版を有する鋼鈑桁橋を対象として、全国の定期点検データを収集し、RC床版の土砂化の発生状況および土砂化に影響を与える要因を分析した。RC床版の土砂化は、積雪寒冷地以外でも全国的に発生していることを確認した。また、土砂化の発生に対して、冬季最低気温が0℃以下の供用環境では凍害や凍結防止剤の散布による塩害の影響が大きく、レディーミクストコンクリートの品質規格と相互に影響して土砂化の要因となる。冬季最低気温が0℃より高い供用環境では疲労の影響が大きく、床版の疲労耐久性と相互に影響して土砂化の要因となる。

キーワード：土砂化, 道路橋RC床版, 定期点検, 傾向分析

1. はじめに

道路橋の鉄筋コンクリート床版(以下、RC床版)では、床版上面の土砂化が問題となっており、橋の健全度を低下させる原因となっている。RC床版の土砂化は、舗装下の床版上面から劣化が発生・進行するため、床版下面からの近接目視を基本とする定期点検では早期発見が困難な損傷である。定期点検時に床版下面に明確な変状が確認されない場合でも、RC床版の土砂化を起因とした抜け落ちの事例も報告されている¹⁾。このため、RC床版の土砂化に対しては、適切なタイミングかつ適切な方法により予防保全的対策を実施することが求められているが、土砂化の劣化メカニズム、損傷過程のいずれも解明されていない部分が多い。

RC床版における土砂化の事例の中には、輪荷重の繰返し載荷による疲労だけでなく、凍結融解の繰返し作用や凍結防止剤の散布の影響を受けた結果、凍害や塩害、ASRの複合的な劣化によって土砂化が発生した事例も報告されている²⁾。また、架橋地点に着目すると、RC床版の土砂化は積雪寒冷地で多く報告されていたが、近年では積雪寒冷地以外の凍結融解の繰返し作用や凍結防止剤の散布の影響を受ける可能性が低い地域でも確認されている³⁾。RC床版の土砂化は複合的な劣化によって発生すると考えられるが、地域や路線の特性によっても劣化メカニズムが異なる可能性がある。

RC床版の土砂化の劣化メカニズムについては、供用中に土砂化が発生して撤去されたRC床版を対象として、土砂化した箇所と比較的健全な箇所からコアを採取して、採取箇所や深さに応じたコンクリートの物性の違いを調査するなどの検討が行われている⁴⁾。しかし、これらの

検討は橋梁ごとの個別の調査に留まっており、全国的な傾向の体系的な整理には至っていない。また、近年の積雪寒冷地以外の地域における土砂化の事例を踏まえると、全国的な土砂化の発生状況を把握する必要もある。

本研究では、RC床版の土砂化の劣化メカニズムの解明に向けて、RC床版を有する鋼鈑桁橋を対象として、全国の定期点検データを収集し、RC床版の土砂化の発生状況および土砂化に影響を与える要因を検討した。

2. 分析方法

2.1 対象橋梁

本分析では、上部構造が鋼鈑桁形式の橋梁を対象とした。鋼鈑桁橋は、地域特性によらず全国的に見られる形式であり、RC床版を有する橋梁の中で最も橋梁数が多い。対象橋梁の抽出にあたっては、全国道路施設点検データベース⁵⁾(以下、点検DB)を使用し、国土交通省が管理する橋梁からRC床版を有する鋼鈑桁橋6386橋を抽出し、定期点検データを収集した。なお、歩道橋、側道橋などの輪荷重の影響を受けない橋梁については、分析対象から除いた。

2.2 土砂化が生じているかの判定方法

対象橋梁の2018～2022年度の点検調書において、総合検査結果に土砂化の記載がある橋梁は土砂化の疑いがある橋梁と判定した。しかし、総合検査結果だけでは土砂化の疑いがある橋梁を網羅的に抽出することができなかった。これは、橋梁定期点検要領⁶⁾が土砂化の有無を判定して記録する様式ではないためである。よって、本分析では、橋単位の健全性がⅢの橋梁については、点検調書の記載内容で以下の5項目のいずれかが該当した場

*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 交流研究員(正会員)

*2 (国立研究開発法人)土木研究所 先端材料資源研究センター 研究員(正会員)

*3 (国立研究開発法人)土木研究所 先端材料資源研究センター 上席研究員 博(工)(正会員)

*4 (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 上席研究員 博(工)

表－1 着目した要因および分析指標

種別	分析指標	着目した要因		関連する劣化
橋梁諸元	供用年数	適用基準	適用基準別のRC床版の設計法	疲労
			床版防水の規定	疲労, 凍害, 塩害
		コンクリート品質	1978: AEコンクリートの標準化による耐凍害性の向上	凍害
			1986: 塩化物総量規制による塩害対策	塩害
供用環境	大型車交通量	路線の特性	輪荷重の繰り返し載荷	疲労
	冬季最低気温	架橋地点の気候	凍結融解の繰り返し作用	凍害
			凍結防止剤の散布	塩害

合に土砂化の疑いがある橋梁と判定した。

- 1) 舗装を開削し、土砂化が確認されている。
- 2) 舗装を開削し、床版上面のスケーリング、浮きが確認されている。
- 3) 舗装や床版下面の損傷状況より土砂化の可能性があると診断されている。
- 4) 舗装に白色析出物や土砂噴出の発生が記録されている。
- 5) 過去に土砂化が発生し、床版上面の補修を行ったことが確認されている。

RC 床版の土砂化を確認するためには、舗装を開削して床版上面を目視で確認する必要があるが、定期点検時に舗装を開削し床版上面の目視点検を行う事例は少数である。よって、本分析では、舗装や床版下面の損傷状況より土砂化の可能性があると診断された橋梁や、舗装に白色析出物や土砂噴出の発生が記録されている橋梁も土砂化の疑いがある橋梁と判定した。図-1 に白色析出物の事例、図-2 に土砂噴出の事例を示す。白色析出物や土砂噴出などの舗装の損傷は、損傷箇所の直下で土砂化が発生していた事例が多く報告されていることから⁷⁾、これらの損傷が生じている橋梁については、土砂化の疑いがある橋梁に含めた。

また、過去に土砂化が発生し、床版上面の補修を行った橋梁についても、橋梁諸元や供用環境から土砂化に影響を与える要因を分析することが可能であるため、土砂化の疑いがある橋梁に含めた。

2.3 分析指標

表－1 に本分析において着目した要因および分析指標を示す。橋梁諸元では、各橋梁の建設年によって適用基準やコンクリートの品質規格が異なることに着目し、供用年数を指標にした。

適用基準別のRC 床版の設計法の変遷を表－2 に示す。表中の適用基準は道路橋示方書（以下、道示）あるいは通達の制定・改定年（S：昭和，H：平成，数値は年次）である。鉄筋の許容応力度、配力鉄筋量、最小床版厚などは、S53 通達で現在と同様の規定に改訂されており、これ以前は疲労耐久性が低い仕様となっている。床版防

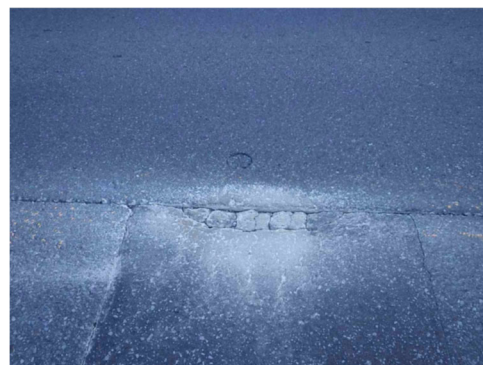


図-1 白色析出物の事例



図-2 土砂噴出の事例

表－2 RC 床版の設計法の変遷

供用年数	適用基準	鉄筋の許容応力度 (kgf/cm ²)	配力鉄筋量	最小床版厚	床版防水
～67	S31	SR24 1,400	主鉄筋の25%以上	14cm	規定無し
～59	S39	SD30			
～56	S42	1,800			
～55	S43	SD30 1,400	主鉄筋の70%以上	3L+11 ≥ 16cm	必要に応じて設置
～52	S46				
～50	S48				
～45	S53				
～43	S55	SD30 1,400 (余裕200)	設計用断面力を規定	$k_1 \cdot k_2 \cdot d_0$ $d_0=3L+11$ ≥ 16cm	設置を原則化
～33	H2				
～29	H6				
～27	H8				
～21	H14				

水に着目すると、H14 道示以前は設置が原則化されていないため、これ以前の橋梁は橋面水や塩化物イオンが床版コンクリート内部に浸透しやすい。また、水張り条件下での RC 床版の輪荷重走行試験では、乾燥条件下と比較して疲労寿命が低下するとされているため⁸⁾、床版防水の有無は疲労耐久性にも影響する。コンクリートの品質規格については、AE コンクリートの標準化により耐凍害性が向上したこと、塩化物総量規制により塩害対策が行われたことに着目した。

一方、供用環境では、路線の特性や架橋地点の気候によって、輪荷重が繰返し載荷される頻度、凍結防止剤の散布による塩化物イオンの浸透量、凍結融解が繰返し作用する回数が異なることに着目し、大型車交通量、冬季最低気温（過去 30 年の 1 月の最低気温の平年値）を指標にした。凍結防止剤の散布量に対しては直接的な評価を行わないが、東北地方における調査で凍結防止剤が大量散布される区間は冬季の温度が低い地域などに限定されることが確認されていることから⁹⁾、本分析では、冬季最低気温が低い橋梁では凍結防止剤散布の影響が大きいとみなした。架橋地点の冬季最低気温は、国土数値情報の平年値メッシュデータ¹⁰⁾（全国の過去 30 年間の観測地から 1km メッシュごとの平年値を推定、算出したもの）と点検 DB より入手した対象橋梁の位置情報を GIS で関連付けることにより設定した。

3. 土砂化の発生状況の収集結果

3.1 全国の土砂化発生状況

図-3 に全国の土砂化発生状況を示す。本分析で対象とした全国の RC 床版を有する鋼鈑桁橋 6386 橋のうち、土砂化の疑いがある橋梁は 502 橋であり、土砂化発生率（土砂化の疑いがある橋梁数/対象橋梁数）は 8%であることが確認された。

図-4 に橋梁定期点検要領に基づく橋単位の健全性別の土砂化発生状況を示す。橋単位の健全性が I，II，III の橋梁で、土砂化の疑いがある橋梁数は、それぞれ 16 橋、89 橋、397 橋であり、土砂化発生率は、それぞれ 1%、3%、28%であった。このうち、橋単位の健全性が I，II の橋梁では、過去に土砂化が発生し、床版上面の補修を行った橋梁が多く見られた。橋単位の健全性が IV の橋梁は対象橋梁数が 2 橋であり、土砂化の疑いがある橋梁は確認されなかった。

3.2 地域別の土砂化発生状況

図-5 に地域別の土砂化発生状況を示す。本分析で対象とした橋梁のうち、土砂化の疑いがある橋梁は全国的に確認された。また、従来から土砂化の事例が報告されている積雪寒冷地の北海道地方、東北地方、北陸地方では、土砂化発生率が高いことが確認された。一方、積雪寒冷

地以外では、土砂化発生率は低い傾向が認められたが、これらの地方でも土砂化が発生していることが確認された。以上のことから、RC 床版の土砂化は全国的に発生しており、積雪寒冷地以外でも土砂化が発生する可能性が高い地域が局地的に存在していることが分かった。

4. 土砂化に影響を与える要因の分析結果

4.1 供用年数の影響

図-6 に供用年数別の橋梁数および土砂化発生率を示す。土砂化の疑いありとなしを含む本分析で対象とした橋梁の合計数は、供用年数が長いほど増加する傾向にあり、土砂化の疑いがある橋梁数にも同様の傾向が認められた。供用年数 10 年以下の橋梁においては、土砂化の疑いがある橋梁は確認されなかった。供用年数 10 年経過

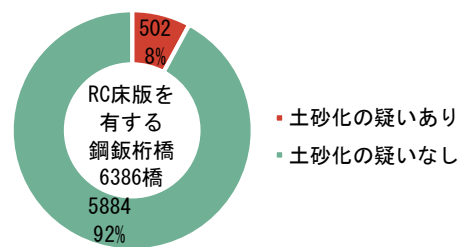


図-3 全国の土砂化発生状況

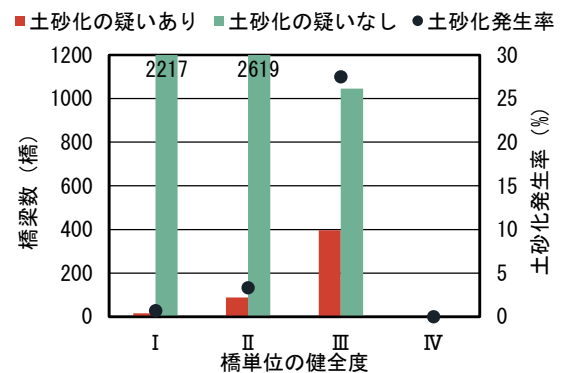


図-4 橋単位の健全性別の土砂化発生状況

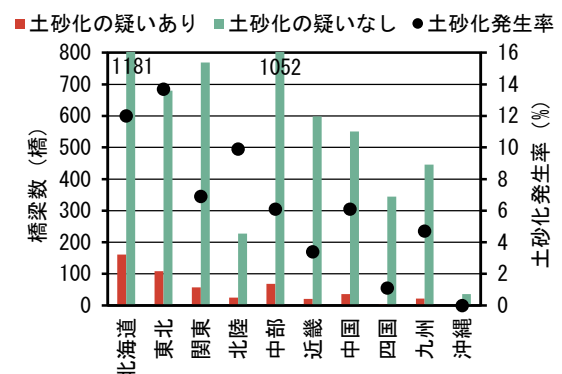


図-5 地域別の土砂化発生状況

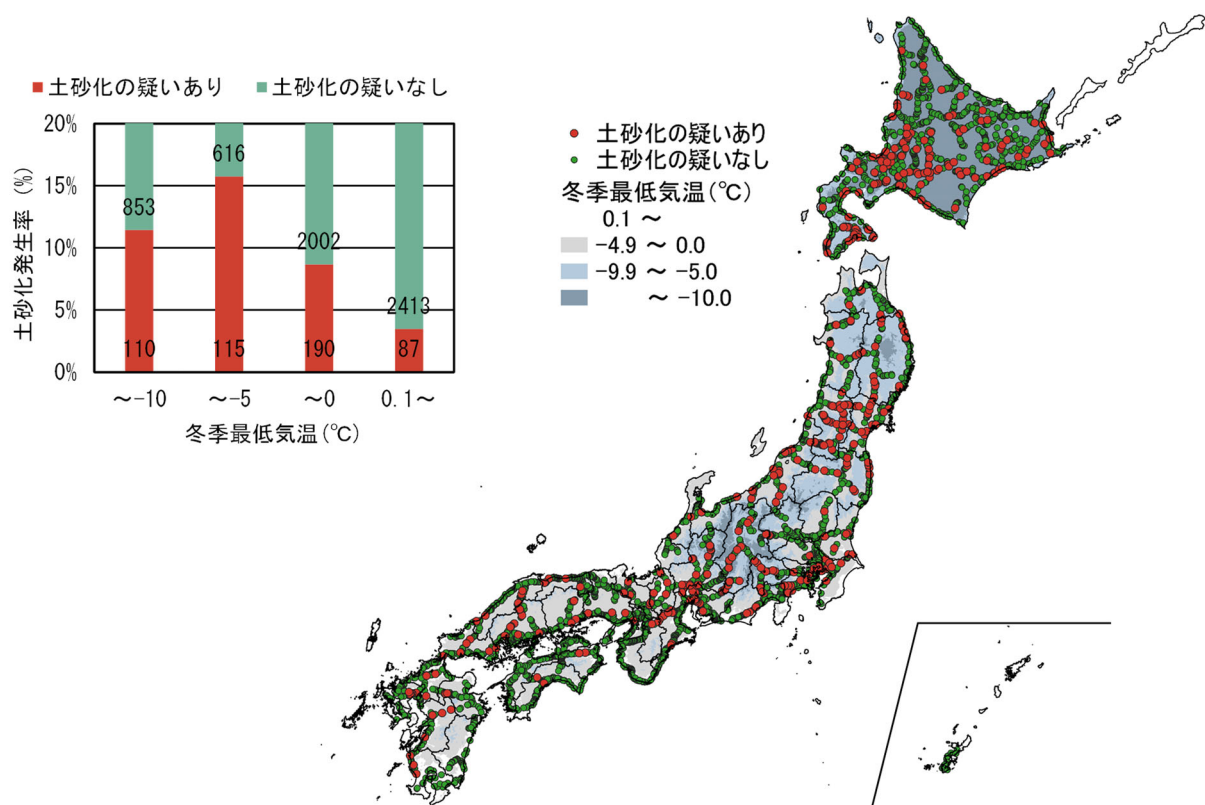


図-7 冬季最低気温別の橋梁分布

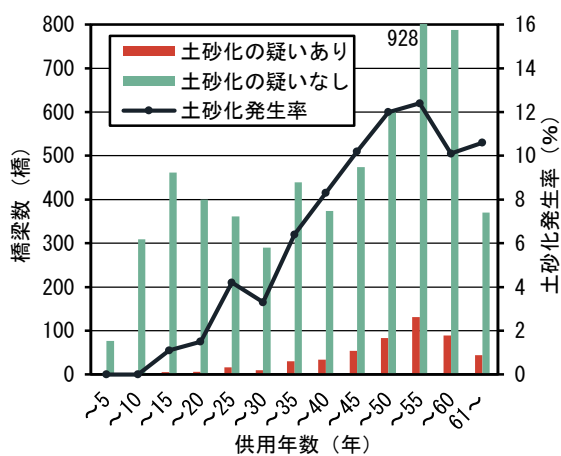


図-6 供用年数別の橋梁数および土砂化発生率

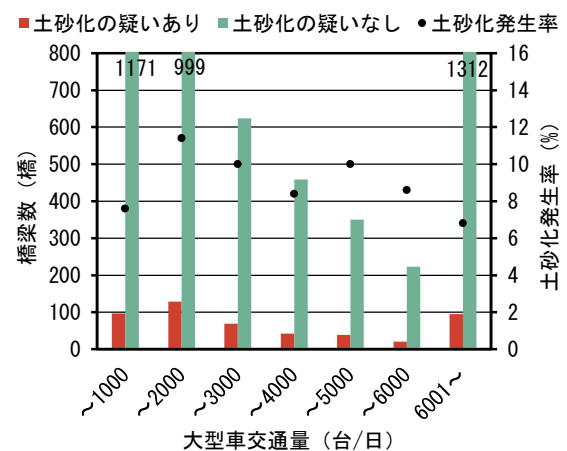


図-8 大型車交通量別の橋梁数および土砂化発生率

後から土砂化の疑いがある橋梁が確認されはじめ、供用年数 51~55 年で土砂化の疑いがある橋梁数と土砂化発生率がともに最も高くなった。一方、供用年数 55 年以降においては、土砂化の疑いがある橋梁数が減少する傾向にあったが、土砂化発生率は供用年数 40 年以下の橋梁と比較して高くなった。

4.2 冬季最低気温の影響

図-7 に冬季最低気温別の橋梁の分布を示す。地図上の濃淡は冬季最低気温を示し、色の濃い地域ほど冬季最低気温が低い。地図上では、土砂化の疑いの有無を区別して、分析対象の橋梁を架橋地点にプロットした。左上の

土砂化発生率と冬季最低気温のグラフに着目すると、冬季最低気温が 0℃以下の供用環境では、土砂化発生率が増加する傾向が認められた。

地図上の橋梁の分布に着目すると、土砂化の疑いがある橋梁は、地域的に集中して分布しており、特定の路線で連続する傾向が認められた。例えば、図-5 において土砂化発生率が高かった東北地方の内陸部の路線では、連続した 28 橋中の 10 橋で土砂化が発生し、冬季最低気温は -10~-5℃であった。一方で、土砂化の疑いがある橋梁が確認されなかった近畿地方の沿岸部の路線では、大部分で冬季最低気温が 0℃より高い。

4.3 大型車交通量の影響

図-8 に大型車交通量別の橋梁数および土砂化発生率を示す。ここで大型車交通量の階級は、道路橋の劣化要因を分析した既往文献¹¹⁾を参考に設定した。また、点検調書に交通量の記載がない橋梁は分析の対象から除外した。大型車交通量と土砂化発生率には明確な相関性を確認できなかった。

5. 考察

5.1 供用年数と冬季最低気温による相互の影響

凍結融解の繰返し作用や凍結防止剤の散布は、RC 床版の土砂化に与える影響が特に大きく、凍害や塩害に起因する土砂化の要因となると考えられる。図-9 に供用年数、冬季最低気温、土砂化発生率（数値と円の大きさで表示）の関係を示す。図中には供用年数に応じた適用基準やレディーミクストコンクリートの規格の改正も示した。供用年数が 40 年よりも長く、冬季最低気温が 0℃以下の供用環境では、特に土砂化発生率が高い傾向が認められた。これらの橋梁の適用基準では床版防水の設置が原則化されていない。レディーミクストコンクリートの規格に着目すると、1978 年の AE コンクリート標準化および 1986 年の塩分総量規制以前に供用が開始されている橋梁が多くを占める。凍結融解の繰返し作用や凍結防止剤散布の影響を長期間受けるとともに、コンクリート品質の影響も受けたと考えられる。また、床版防水が設置されていない場合、輪荷重の繰返し载荷による疲労で床版上面にひび割れなどの損傷が発生すると、RC 床版内部への橋面水や塩化物イオンの浸透が進行しやすくなるため、複合的な劣化により土砂化が発生する可能性もあると考えられる。

5.2 冬季最低気温が高い地域における土砂化の要因

冬季最低気温が比較的高い供用環境においては、輪荷重の繰返し载荷の影響が大きいと考えられる。図-10 に大型車交通量、冬季最低気温、土砂化発生率（数値と円の大きさで表示）の関係を示す。なお、点検調書に交通量の記載がない橋梁は分析の対象から除外した。冬季最低気温が 0℃より高い供用環境では、大型車交通量が増加すると土砂化発生率も増加する傾向が認められた。一方、冬季最低気温が 0℃以下の供用環境では、大型車交通量と土砂化発生率の増加傾向が必ずしも対応していない。以上のことから、冬季最低気温が 0℃より高い供用環境では、輪荷重の繰返し载荷の影響が大きい、冬季最低気温が 0℃以下の供用環境では、凍結融解の繰返し作用や凍結防止剤散布の影響が大きいことが分かった。

また、輪荷重の繰返し载荷は RC 床版の疲労耐久性と相互に影響すると考えられる。図-11 に冬季最低気温が 0℃よりも高い供用環境での供用年数、大型車交通量、土

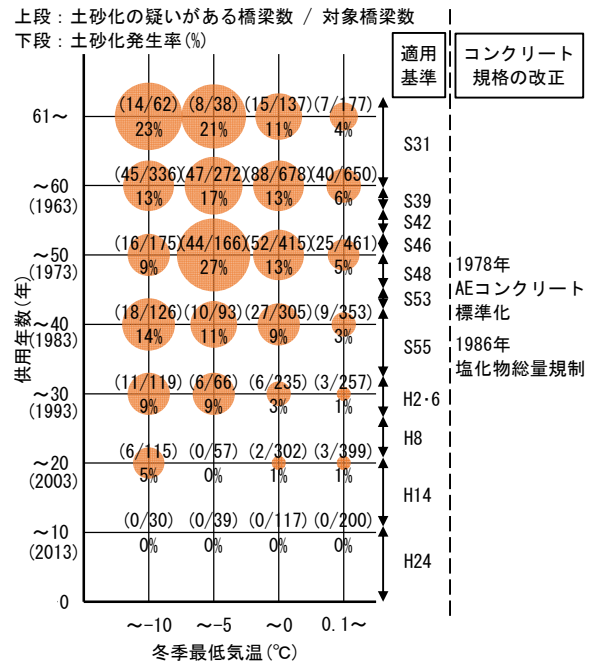


図-9 供用年数、冬季最低気温、土砂化発生率の関係

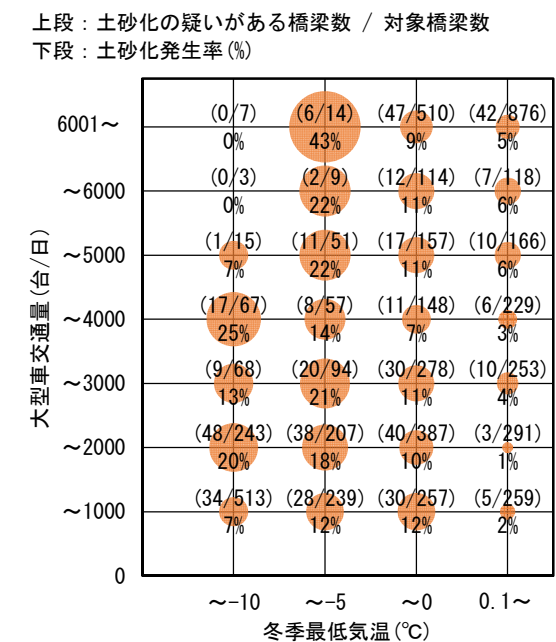


図-10 大型車交通量、冬季最低気温、土砂化発生率の関係

砂化発生率（数値と円の大きさで表示）の関係を示す。供用年数に対応する適用基準に着目すると、疲労耐久性が低い S53 調達以前の基準を適用した橋梁で大型車交通量が多い橋梁ほど土砂化発生率が高い傾向が認められた。疲労劣化は、積雪寒冷地以外の地域で局地的に土砂化発生率が高い地域が存在する要因の一つになると考えられる。一方、これらの条件に該当しない橋梁においても土砂化の疑いがある橋梁が確認された。点検調書を確認し

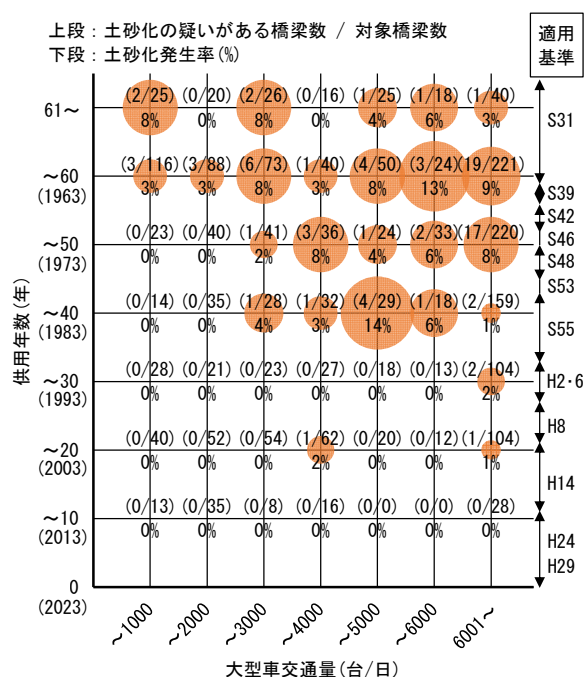


図-11 冬季最低気温が0℃よりも高い供用環境での
供用年数、大型車交通量、土砂化発生率の関係

たところ、一部の橋梁では地覆などに ASR が疑われる損傷が発生し、床版も反応性骨材が含まれるコンクリートが使用された可能性があることから、ASR に起因して土砂化が発生した可能性があると考えられる。

6. まとめ

本稿では、全国的な RC 床版の土砂化の発生状況および土砂化に影響を与える要因を明らかにすることを目的に、全国の橋梁定期点検データを収集し、分析を行った。分析結果から、以下の知見を得た。

- 1) RC 床版の土砂化は全国的に発生しており、積雪寒冷地以外でも発生していることが確認された。
- 2) 土砂化の疑いがある橋梁は、供用年数が 10 年経過後から確認されはじめ、供用年数が 51～55 年で土砂化の疑いがある橋梁数と土砂化発生率がともに最も高い。
- 3) RC 床版の土砂化に与える影響は、特に凍結融解の繰返し作用による凍害や凍結防止剤の散布による塩害が大きく、1978 年の AE コンクリート標準化や 1986 年の塩分総量規制などのレディーミクストコンクリートの規格改正以前に供用が開始された橋梁では、土砂化発生率が高い。
- 4) 土砂化の発生に対して、冬季最低気温が 0℃以下の供用環境では、凍結融解の繰返し作用や凍結防止剤の散布の影響が大きい、冬季最低気温が 0℃より高い供用環境では、輪荷重の繰返し载荷の影響が大きい。

- 5) 冬季最低気温が 0℃より高い供用環境においては、疲労耐久性が低い S53 通達以前の基準を適用した橋梁で大型車交通量が多い橋梁ほど土砂化発生率が高い傾向が認められることから、輪荷重の繰返し载荷による疲労は RC 床版の疲労耐久性と相互に影響して土砂化の要因となる。

参考文献

- 1) 国土交通省、(国研) 土木研究所：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，土木研究所資料，第 4398 号，https://thesis.pwri.go.jp/files/doken_shiryou_4398_00.pdf（閲覧日：2024 年 12 月 26 日）
- 2) 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
- 3) 久保田晃平，山本和正，上角弘樹：電磁波レーダーによる橋梁床版上面の非破壊調査について，第 71 回中国地方技術研究会，<https://www.cgr.mlit.go.jp/tyokugai/71/d1/02.pdf>（閲覧日：2024 年 12 月 26 日）
- 4) 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周辺の変状に関する調査，コンクリート工学年次論文集，Vol.40，No.2，p p.1315-1320，2018
- 5) 全国道路施設点検データベース：<https://road-structures-db.mlit.go.jp/>（閲覧日：2024 年 3 月 4 日）
- 6) 国土交通省道路局国道・技術課：橋梁定期点検要領，https://www.mlit.go.jp/road/sisaku/yobohozen/tenken/yobo3_1_6.pdf（閲覧日：2024 年 12 月 26 日）
- 7) 国土交通省東北地方整備局道路部：東北地方における RC 床版の耐久性確保の手引き（案），[https://www.thr.mlit.go.jp/road/sesaku/tebiki/R4/tebiki\(RC\)_2023.pdf](https://www.thr.mlit.go.jp/road/sesaku/tebiki/R4/tebiki(RC)_2023.pdf)（閲覧日：2024 年 12 月 26 日）
- 8) 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集，9-2，pp.627-632，1987
- 9) 国土交通省東北地方整備局：東北地方における凍害対策に関する参考資料（案），https://www.thr.mlit.go.jp/road/sesaku/tebiki/frostdamage_2021%20.pdf（2024 年 12 月 26 日）
- 10) 国土数値情報平年値メッシュデータ：https://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-G02-v3_0.html（閲覧日：2024 年 3 月 6 日）
- 11) 子田康弘，坂井拓矢，岩城一郎：東北地方における橋梁点検データを利用した道路橋の劣化要因の分析，コンクリート工学年次論文集，Vol.34，No.2，pp.144 7-1452，2012