

道路橋床版の耐荷性能評価をふまえた補修検討について

北陸地方整備局 長岡国道事務所 長谷部 佑太

1. はじめに

わが国には橋梁が約73万橋あり、10年後には橋梁全体の約6割が建設後50年を経過し、老朽化が進行することから、的確な補修検討のために損傷状況を高い精度で把握することが重要になる。特に道路橋床版は、輪荷重による疲労破壊や塩害などによる材料劣化が併発した複合劣化が発生している。それらの損傷は、床版上面の土砂化に進展し、さらに土砂化が進行することで耐荷性能の低下、床版抜け落ちに至るなど管理上大きな問題となっている。しかしながら、床版の土砂化や耐荷性能の評価は外観のみで判断することは難しく、従来はハツリ調査や静的載荷試験など時間や費用を要するものだった。

そこで床版の補修設計にあたり、床版電磁波レーダーやSIVE（衝撃荷重載荷試験）など、時間や費用を抑えられる非破壊調査により、床版上面の損傷状況や現状の耐荷性能を評価し、適切な補修方法を検討した。

本稿では、長岡国道事務所管内での調査によって得られた知見および調査結果を活用した補修検討について報告する。

2. 調査概要

2.1 対象橋梁と調査内容

対象橋梁は、国道8号長岡大橋（長岡市）と国道17号新境橋（南魚沼郡湯沢町）とする。長岡大橋は1970年供用開始で現在まで53年が経過しており、3径間および4径間連続の非合成鋼桁橋が組み合わされた17径間の橋長1078.2mの橋梁である。新境橋は1990年供用開始で現在まで33年が経過しており、橋長62.5mの単純鋼非合成箱桁橋である。長岡大橋と新境橋では、床版下面に漏水・遊離石灰を伴う二方向のひび割れ（写真-1）が生じており、重車両の繰り返し走行による疲労と橋面防水の劣化による損傷が生じていることから、過年度の橋梁定期点検においていずれもC2判定とされている。

長岡大橋では、舗装ひび割れが生じており（写真-1）、これらの損傷が確認出来る箇所では、床版土砂化が進展していると推測できるが、さらに舗装表面に変状が表れていない土砂化を把握するため、床版上面の損傷



写真-1 長岡大橋の損傷状況（左：床版下面 右：舗装表面）

状況を電磁波レーダーで調査を行った。また、定期点検より床版下面に二方向ひび割れが確認された床版と比較的健全な床版を比較対象にSIVEを使用し、耐荷性能を評価することで、床版の健全度を確認した。

2.2 床版電磁波レーダー

電磁波には、材質の異なる層で反射する性質がある。このような特徴に基づき床版電磁波レーダー（写真-2）を用いて、一般交通の中で走行しながら路面に電磁波（周波数200MHz～3GHz）を発信し、反射信号を受信することで、床版上面の損傷状況やその範囲を調査することができる。受信した波形データをコンター画像に変換し（図-1）、床版上面の土砂化や滞水など損傷状況を評価することで土砂化の進行度により3つのグループに分類を行った（表-1）。

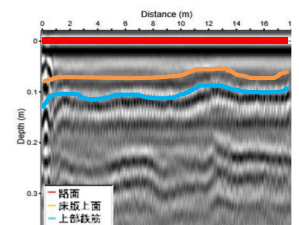


写真-2 測定車（電磁波レーダー）

図-1 コンター画像

表-1 土砂化の評価基準

区分	推定される損傷
グループ1	健全
グループ2	乾燥状態の浅い土砂化、乾燥状態の舗装剥離など
グループ3	滞水状態の土砂化、乾燥状態の深い土砂化

2.3 SIVE（衝撃荷重載荷試験）

SIVEは衝撃加振機（写真-3）を用いて、橋面上から床版に衝撃荷重を3回以上与え、橋面上に設置した加速度計から得られる値を積分処理することで変位を取得し、理論値と比較することで床版の耐荷性能を評価する。耐荷性能の評価は、①計測したたわみ量と、弾性解析による理論値との比較による評価と（表-2）¹⁾、②曲率に着目し、たわみの曲率から得られる見かけ上のヤング係数と理論値を比較する評価（表-3）²⁾の2つから判断する。

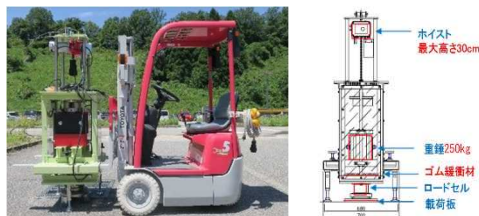


写真-3 SIVE (衝撃荷重載荷試験) 衝撃加振機

表-2 弾性解析の評価基準

区分	ヤング係数(ヤング係数比)	備考
健全	$E_c=21.5\text{ kN/mm}^2$ (n=8)	コンクリートの圧縮強度は 24 N/mm^2
使用限界	$E_c=13.3\text{ kN/mm}^2$ (n=15)	道路橋床版で使用限界といわれる鉄筋コンクリート断面計算で用いられるヤング係数
終局	$E_c=6.67\text{ kN/mm}^2$ (n=30)	往研究に上り終局に近い損傷状態となるヤング係数

表-3 見かけのヤング係数と劣化度の関係

区分	見かけのヤング係数 (kN/mm ²)	定義
健全	21.5 以上	道路橋の機能に支障が生じていない状態
予防保全段階	21.5 未満 13.3 以上	道路橋の機能に支障が生じていないが、橋梁保全の観点から措置を講ずることが望ましい状態
早期措置段階	13.3 未満 6.67 以上	道路橋の機能に支障が生じる可能性があり、早期に措置を講ずべき状態
緊急措置段階	6.67 未満	道路橋の機能に支障が生じている。または生じる可能性が著しく高く、緊急に措置を講ずべき状態。

3. 調査結果

3.1 床版電磁波レーダーによる結果

床版電磁波レーダーの調査結果と過年度の点検で確認された橋面及び床版下面に生じる損傷図、過年度の補修履歴を重ねた結果を示す(図-2)。調査結果を過年度の補修履歴や定期点検の結果と比較することで、床版土砂化や進行程度の確認をした。長岡大橋は、H24年度に床版部分打換え、R2年度に舗装打換えや橋面防水を実施している。H24年度に長岡大橋で補修した箇所がR3定期点検時では、補修箇所の近傍に漏水などが確認できることから、何らかの劣化が生じていると推測できる。

長岡大橋では、R3年度の定期点検で、析出物を伴う舗装の異常が確認されている。析出物の発生は床版上面の劣化が進行していると推測できることから、路面損傷状況と電磁波レーダーによる床版上面の比較を行うと、路面に析出物が確認された12箇所のうち4箇所はグループ2またはグループ3(表-1)の判定となった。析出物が確認された箇所では床版上面の土砂化が顕著に進行していると考えられ、電磁波レーダーで検出されない箇所では初期段階の土砂化と推測される。

床版上面の調査結果に定期点検で把握された床版下面の損傷状況を加えて考察した結果、H28定期点検で一方向ひび割れだった箇所がR3定期点検では遊離石灰を伴う二方向ひび割れに進行しており、グループ3と判定した箇所では、床版下面にひび割れや遊離石灰等が確認されることから、貫通ひび割れが発生していると推測できる。他方、橋面に析出物を伴う舗装の異常

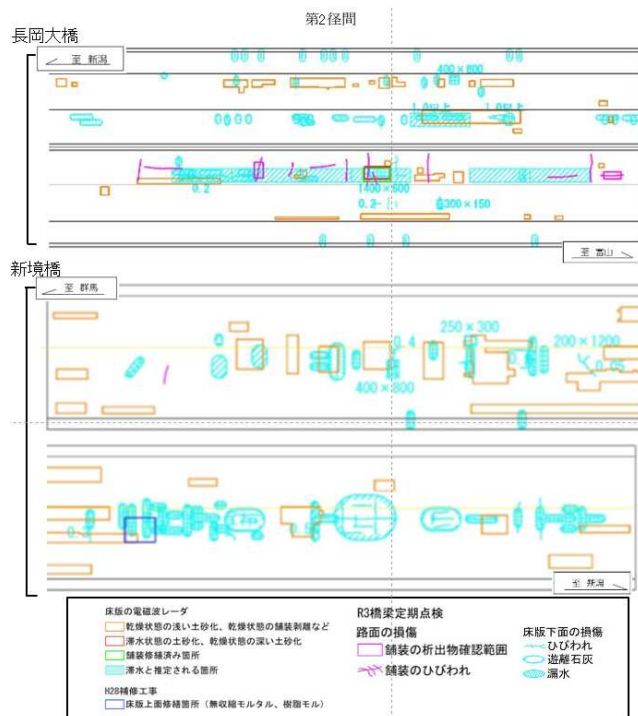


図-2 調査結果(上:長岡大橋 下:新境橋)

が生じていても、床版下面には損傷が生じていない箇所も確認されたため、土砂化の深さや貫通ひび割れの有無が影響していると推察できる。

新境橋では、H28年度に舗装打換えと床版部分補修を実施している。新境橋でも長岡大橋と同様に、電磁波レーダーにより抽出された箇所の近傍で、ひび割れや遊離石灰が生じていることから貫通ひび割れが発生していると推測できる箇所が複数確認された。

3.2 SIVE (衝撃荷重載荷試験)による結果

電磁波レーダーと定期点検により対象橋梁の床版上面の土砂化分布や床版下面の損傷状況を調査したが、それだけでは床版の耐荷性能を評価できないため、SIVEにより耐荷性能を評価した。長岡大橋は主桁と縦桁と横桁で囲われた範囲を1パネルとして調査した(写真-4)。調査対象は劣化が進行する第10径間の下り線のC2パネルを基本に、比較的健全な第11径間のB判定パネルの計9パネルとした。第10径間のうちひび割れ幅が「土木工事施工管理基準及び規格値」³⁾における対策目標値として設定されている「0.2mm」を超え1.5mmのひび割れが発生している床版0308と、比較的健全な第11径間より床版0301の調査結果を示す(図-3)。新境橋では、箱桁に挟まれる床版と箱桁上で近接目視が不可能な床版を対象に計16パネル調査し、定期点検よりひび割れ幅が0.2mmを超えている2パネルの結果を示す(図-4)。

長岡大橋の弾性解析による評価では、調査した9パネルのうち、外観変状では比較的健全な第11径間の床版0301のみが健全な状態を超過したが、ひび割れ状態には至っていない。見かけのヤング係数による評価では、床版0301は18.34kN/mm²となり、健全な状態と設定している21.5kN/mm²(表-3)を下回った。以上より、耐荷性能は概ね問題ないことが確認できた。

新境橋の弾性解析による評価では、床版0207(図-4)のみ計測値がひび割れ状態を超過したが、劣化状態には至っていない。見かけのヤング係数の評価では、床版0207でひび割れ状態の13.3kN/mm²(表-3)を下回り、早期措置段階と評価した。弾性解析による評価で健全な状態と判断した床版0209の見かけのヤング係数は21.21kN/mm²であり、予防保全段階と評価した。

以上より、SIVEによる調査によって定期点検による外観変状調査でC2判定とされた床版の耐荷性能は概ね問題ないことが確認できた。しかしながら長岡大橋では、比較的健全と考えていた床版で耐荷性能の低下が確認されたことから、定期点検による外観変状のみで床版の健全度を評価して、対策工法を検討することは適切ではないと考えられる。

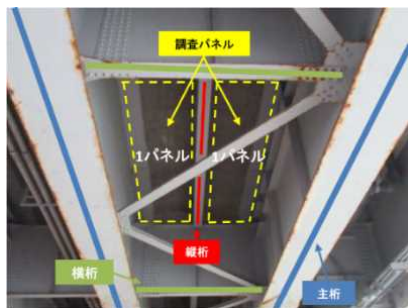


写真-4 長岡大橋 床版下面のイメージ

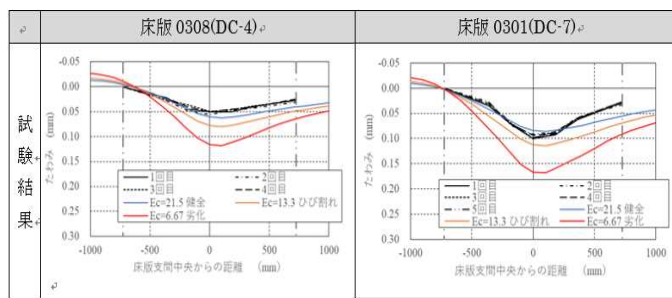


図-3 長岡大橋(左：床版 0308 右：床版 0301)

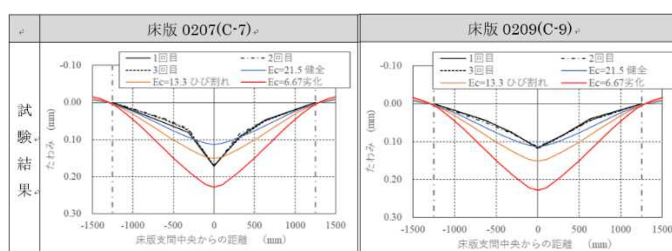


図-4 新境橋(左：床版 0207 右：床版 0209)

4. 補修方針の検討

従来では、床版にC2判定となるような、ひび割れや漏水、遊離石灰などの損傷が確認された箇所では、耐荷性能低下の懸念から床版打換えが提案された。本稿における調査結果では、損傷が確認された箇所でも耐荷性能は概ね問題ないことを確認することで、時間や費用を抑え適切な床版の補修方法を検討した。

4. 1 床版上面の補修

土砂化が生じた床版に雨水などが供給されると急速に局所的な耐荷性能が低下することから、電磁波レーダーによる判定でグループ3(表-1)に該当し、床版下面に漏水や遊離石灰を伴うひび割れが生じている場合は部分全層打換えを行い、それ以外に該当する箇所と析出物が確認された箇所では床版上面補修を行うこととした。また補修箇所は部分的であり、補修箇所としない箇所で防水層の処理が異なる状況となり、再劣化の原因となるため、橋面全体の防水層を検討した(図-5)。

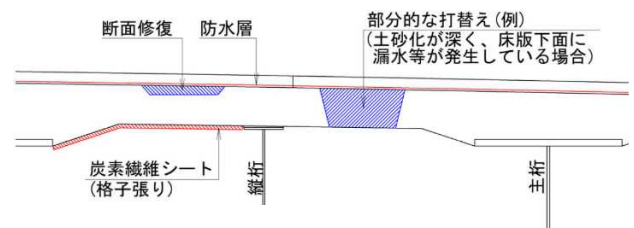


図-5 補修イメージ

4. 2 床版下面の補修

SIVEの調査結果より、対象橋梁の耐荷力は現時点で概ね問題ないことが確認されたが、定期点検の結果ではC2判定とされていることから、「道路橋床版の維持管理マニュアル2020」⁴⁾より、早期措置段階の前半に相当すると考えられる。したがって、対象橋梁では、性能回復を基本とし、損傷の進行した箇所では性能強化を検討した。性能回復は、劣化因子による損傷が発生しているが耐荷力への影響が小さい状態での対策とし、性能強化は、耐荷力が低下しており放置すると床版抜け落ちなどに進行する状態での対策であると「道路橋床版の維持管理マニュアル2020」⁴⁾では定めている。

対象橋梁の劣化進行度から補修方法の検討を行った。長岡大橋は1964年鋼道路橋設計示方書に基づくため床版厚は現行基準と比較して不足している。1988年に縦桁増設されたことで、床版の応力度は許容応力度に収まっているものの、床版の折り曲げ鉄筋を無視する場合は許容応力度を超過する。新境橋でも床版厚が不足

しており、さらに床版の応力度は許容応力度を超過していることから、疲労破壊しやすいと考えられる。対象橋梁の床版ひび割れからは錆汁が確認されており、電磁波レーダーおよび過年度点検の床版下面の損傷状況を鑑みると貫通ひび割れが発生していることから、塩化物イオンと水が床版内部にまで到達していると考えられる。以上より、床版の耐荷力は概ね健全の判定であるが、疲労や塩害による複合劣化が生じている可能性があることから、床版の維持管理では防水層を用いて水の供給を断つことが必須であり、その上で性能回復や性能強化による対策が重要となる。

性能回復では、床版上面の補修検討で記載した断面修復工と橋面防水工を実施することとした。性能強化では、耐荷力を補強する下面増厚や鋼板接着、炭素繊維シート接着が対策の候補となるが、下面増厚および鋼板接着を適用すると床版から水が抜けずに内部に滞水する可能性があり、またコンクリート下面の目視点検が不可能になることから、水の逃げ道を確保できる炭素繊維シート接着を採用する。

定期点検では1径間単位で床版の健全度を評価しており、パネル単位でのC1およびC2判定を抽出できないことから、定期点検の損傷図とSIVEの調査結果を基に炭素繊維シート工法を採用する対策パネルを選定した。定期点検の損傷図は維持管理の基礎的データとして活用することを想定しており、健全度に影響を及ぼしている損傷はスケッチされている。このため、損傷図を基にパネルを選定する方針とした。抽出条件はSIVEにより耐荷性能の低下が確認されたパネルを含めひび割れ(e, d, c)を基本として、損傷の進行程度も考慮した。以上より、長岡大橋では880パネル中265パネルを選定したが、H28定期点検からR3定期点検までの劣化進行を踏まえると、施工時点でさらに損傷が進行している可能性があることから、施工時に損傷状況を再度確認し、追加で対策の必要なパネルがないか照査する必要がある。新境橋では、12パネル中10パネルを選定したが、施工には橋梁全体に吊足場が必要となるため、予防保全を目的として12パネル全てを対策パネルとした。

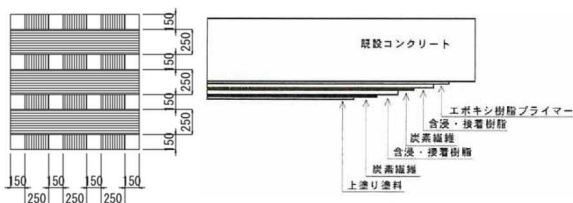


図-6 炭素繊維シート補強工 イメージ

5. まとめ

本稿では、床版電磁波レーダーやSIVE(衝撃荷重載荷試験)を実施することで、床版上面の損傷状況の把握や耐荷性能を評価し、合理的な補修方法の検討を行った。以下に得られた知見を示す。

- 1) 電磁波レーダーによる床版上面の調査結果で土砂化が発生していると評価された箇所では、定期点検時には損傷が確認されていない箇所もあることから、舗装表面に変状が表れていない土砂化の把握に本調査は有効である。
- 2) SIVEにより、定期点検で外観上の損傷状況が小さいと判定された箇所でも耐荷性能が低下している場合があるため、補修設計では詳細調査より耐荷性能を評価した上で対策工法を検討することが重要である。
- 3) 床版の健全度を評価した上で、床版上面の土砂化が進行している箇所は部分全層打換えとし、耐荷力が確保されている箇所では、上面補修と床版下面では炭素繊維シート補強を選定した。床版の状態に合わせた補修方法を検討することで、長寿命化と費用を抑えた対策が可能になる。

以上より、従来では時間や費用を要する調査が必要であった不可視部分の損傷把握や健全度評価を電磁波レーダーとSIVEの結果から総合的に判断し、橋梁全体を適切に補修検討できた。

本報告が今後の同種の調査・補修検討の参考になれば幸いである。

謝辞：本論文を作成するにあたり、ご指導ご協力いただいた関係者の皆様に感謝申し上げます。

6. 参考文献

- 1) 横山広, 門寺将志, Trung Le Hoang Tran, Nga Thu Nguyen, 榎谷浩: 道路橋床版耐荷性能評価への衝撃荷重載荷試験の適用に関する研究, 構造工学論文集, Vol.65A, pp548, 2019
- 2) 横山広, 牧祐之, 角間恒, 深田幸史, 榎谷浩: 道路橋床版の曲率を用いた劣化度評価に関する研究, 構造工学論文集, Vol.64A, pp553, 2018
- 3) 国土交通省, 土木工事施工管理基準及び規格値, 2013
- 4) 土木学会: 道路橋床版に維持管理マニュアル, 2020