

床版端部の劣化推定と補修に関する一提案

The proposition about deteriorating estimation and the repair of the bridge floor slabs edge

(株)砂子組土木部 ○正員 井元 俊介 (Syunsuke Imoto)
(株)砂子組土木部 非正員 山本 寛子 (Hiroko Yamamoto)
(株)砂子組土木部 正員 古川 大輔 (Daisuke Furukawa)
(株)砂子組土木部 正員 長谷川 雅樹 (Masaki Hasegawa)
(株)砂子組土木部 正員 田尻 太郎 (Taro Tajiri)

1. はじめに

道路橋の床版は死荷重による発生応力に比べ、活荷重による発生応力の割合が大きい部材であり、劣化の主要因は大型車両の輪荷重の繰り返し作用による疲労とされ、それに加えて床版に発生したひび割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されている¹⁾。

特に道路橋の床版端部は伸縮継手との間に滞水しやすく、車両の衝撃荷重を直接受けるため、床版上面が脆弱化する場合が見られ、一般的な補修方法としては脆弱部の断面補修となるが、補修材料によっては、再劣化する例も少なくない。

このような背景から、効率的な維持管理の手法を確立していくための基礎資料を得ることを目的に、過年度の橋梁点検で床版上面が砂利化しているとされた美唄橋について、平成 28 年に実施された床版端部打ち換え、床版全面防水層敷設の際に、劣化要因を推定した上での補修に関する提案を報告する。

2. 対象橋梁の現状

(1) 対象橋梁概要

図-1、図-2、写真-1 に対象とした橋梁を示す。本橋は一般国道 12 号に掛かる、1967 年に架橋された橋長 71.10m の 3 径間連続非合成 I 桁橋であり、床版は 1985 年に I 型鋼格子床版へ打ち換えられた橋梁である。床版は打ち換え後、30 年が経過しており設計活荷重は TL-20 である。



写真-1 橋梁側面全景

(2) 点検結果概要および、施工時打音検査結果

過年度の橋梁点検²⁾では舗装上面の異常から、橋面全体を電磁波レーダー法による非破壊試験を実施し(図-3)、異常信号が確認された箇所を微破壊試験(写真-2)により、床版の状態と劣化深さを確認している。

また、本橋は床版防水工が未設置の橋梁で床版下面に遊離石灰の滲出が確認された(写真-2)ことにより、床版防水工の敷設が必要となり、舗装全面を除去することになったので床版全面の打音試験を実施し、劣化状況を確認した。本橋の劣化状況は次の通りとなる。

- ・非破壊試験による A2 側床版端部上面に異常信号が確認された。
- ・異常信号が確認された箇所を 50cm×50cm の微破壊試験を実施した結果、床版上面の砂利化が認められ、その深さは 5cm であった。
- ・鋼板で覆われている床版下面からは遊離石灰の滲出が確認された。
- ・床版上面の打音試験では A2 側床版端部で劣化が確認された。
- ・床版上面劣化部のはつり後の打音試験で健全性が確認された。

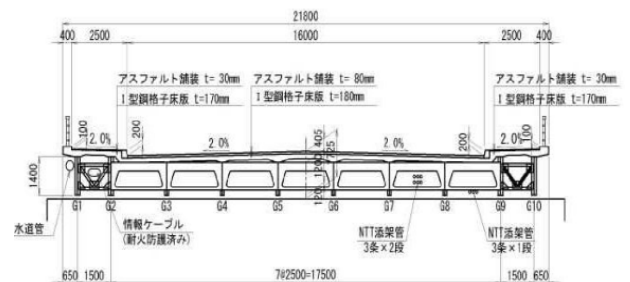


図-1 橋梁断面図

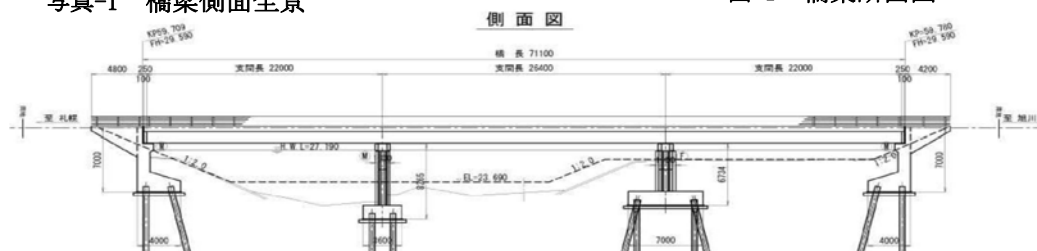


図-2 橋梁側面図

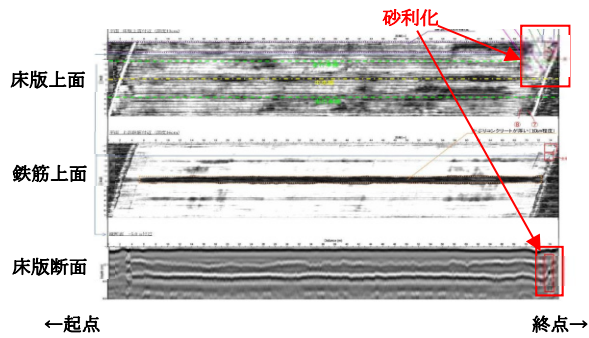


図-3 電磁波レーダー解析結果



a) 微破壊試験状況(砂利化) b) 床版下面(遊離石灰滲出)

写真-2 劣化箇所

3. 劣化要因の推定

(1) 劣化要因の仮定

道路橋の床版の劣化要因として大別して初期欠陥・力学作用・環境作用が挙げられる。本橋の劣化箇所は床版端部であるという所見から力学作用および、環境作用の可能性について測定、解析を実施した。

(2) 固有振動解析結果

固有振動解析は、1主桁のみ取り出し3次元フレーム解析によって行った。図-4にモデル図、図-5にモード図、表-1に結果を示す。主桁は全て鋼製I型断面で当初設計による寸法を用い、床版は厚200mmで桁間隔の有効幅を仮定した。床版と主桁の節点は、剛体要素で同一変位としている。鋼材は $E=210000 \text{ N/mm}^2$ 、 $\nu=0.3$ 、床版コンクリートは $E=25000 \text{ N/mm}^2$ 、 $\nu=1/6$ である。



図-4 固有解析モデル図

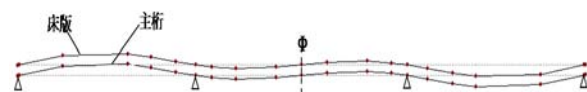


図-5 固有モード図

表-1 固有周期結果一覧表

次数	周期	振動数	円振動数
	T	f	ω
1	0.430	2.326	14.615
2	0.275	3.642	22.884
3	0.211	4.749	29.841
4	0.170	5.875	36.916
5	0.112	8.944	56.195

(3) 輪荷重載荷時の床版端部の変位量結果

変位量の測定は、図-6に示すように支承を挟んだ位置にレーザ変位計を設置し床版端部の車両通行時の変位を動的に測定する。併せて、通行車両のビデオ撮影を行う(写真-3)。計測は上り車線、下り車線について実施し、各々5時間程度の計測を行う。

変位量は5時間程度測定したデータから、変位の大きかったデータ5車両程度を抽出し、床版の傾斜角と主桁ピックアップ量を測定した。

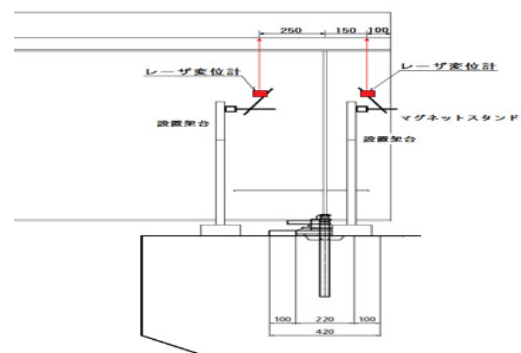


図-6 計測器具配置図



写真-3 大型車両通行状況

表-2 主桁変位量結果一覧表

A1橋台側	最大角度(°)	変位(mm)	A2橋台側	最大角度(°)	変位(mm)
1	0.086	0.85	1	0.067	0.44
2	0.069	0.72	2	0.059	0.40
3	0.070	0.71	3	0.052	0.37
4	0.067	0.69	4	0.053	0.38
5	0.060	0.70	5	0.055	0.38

(4) 架橋位置からの環境作用

本橋は空知郡美瑛市にあり、図-7にある凍害危険度の区分図³⁾によると、凍害危険度4の凍害は大きいと予想される位置に架橋されている。加えて床版端部は滞水しやすい箇所である。

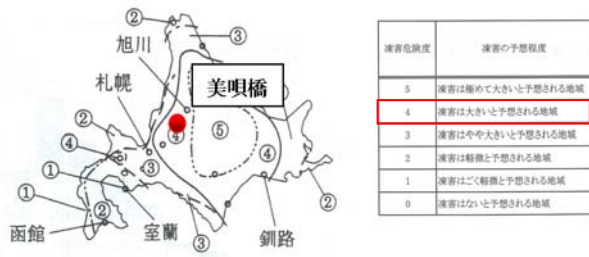


図-7 凍害危険度の区分図

(5)劣化要因の推定

本橋の劣化要因となりうる事象について検証した結果を下記に示す。

- ・橋梁固有の振動解析結果では2次モードで3.6Hzとなり、構造系に問題がないと判断できる。
- ・輪荷重による桁変位はA1側で最大0.85mm、A2側で最大0.44mmとなった。平成22年のセンサスでは、当該路線の大型車両交通量は1800台/日であることから、比較的影響が大きいと判断できる。
- ・架橋位置は凍害危険度の高い地域であり、劣化範囲は伸縮継手に隣接し、雨水など滞水しやすい箇所であった。

このことから、本橋の床版上面の劣化した要因は繰り返し輪荷重によって、床版上面にひび割れが発生し、その後、凍害による複合劣化と推定できる。

4. 補修方法

(1)補修対象範囲および、補修工法について

補修範囲は前述した劣化要因且つ、床版の剛度を均一にする目的から、図-8に示した劣化箇所を含めた床版端部全幅が適切であると考え、補修工法については、一般的な断面補修工法とし、断面補修材料は劣化要因を加味した上で再劣化を起こさせない材料と考え、後述する超緻密高強度繊維補強コンクリートを補修材料として選定した。

補修断面について図-8に示したとおり健全部では超緻密高強度繊維補強コンクリートでの施工厚さ2cmとし、劣化部では脆弱部である5cmを全て除去した上で、廉価な3cmの超速硬コンクリートとのハイブリット構造とした。



図-8 補修範囲平面及び、断面図

(2)超緻密高強度繊維補強コンクリートの材料特性
選定した補修材料はEUで補修・補強を目的に開発されたものを日本のコンクリート構造物に適用するため、日本の材料を用いて配合設計が構築されたものである⁴⁾。表-3にその物性値を示す。これらから当該橋梁の補修材料として適用の妥当性を次に示す。また今回は併せて、ラベリング試験を実施し輪荷重に対する耐久性も担保できることを確認したので報告する。

- ・早期に高強度を発現ができ、即日交通解放が可能。
- ・施工厚さ2cmに対し凍害+輪荷重走行試験を実施済み。
- ・薄層施工でも緻密性が高く鋼繊維の架橋効果が大きく初期拘束ひび割れを抑制可能。
- ・極めて緻密な材料で酸素と水分を遮断するため、耐凍害性に極めて優れる。
- ・供試体によるラベリング試験を実施した結果、極めて良好な値を示した(図-9)(表-4)。

表-3 超緻密高強度繊維補強コンクリート材料

項目	特性値	備考
圧縮強度 ※1	130 N/mm ² 以上	1日で100 N/mm ² 以上
引張強度 ※2	13 N/mm ²	ひび割れ発生強度10N/mm ²
曲げ強度 ※2	35 N/mm ²	試験JIS A 1171(材齢28日)
ヤング係数	3.5×10 ⁴ N/mm ²	材齢28日
フロー値 ※3	270mm~320mm	試験JIS R 5201 モルタルフロー
付着強度 ※4	2.1 N/mm ²	試験JIS A 1171(材齢28日)
長さ変化率 ※5	収縮128×10 ⁻⁶	試験JIS A 6202(材齢28日)
塩化物イオン浸透深さ ※6	0mm	試験JIS A 1171(材齢28日)
中性化深さ ※7	0mm	試験JIS A 1171(材齢28日)
透気係数 ※8	0.001×10 ⁻¹⁶ m ² 以下	透気係数試験(トレント法)

試験温度	-10℃
養生時間	4hr
車輪回転数	200回/min
供試体回転数	66往復/min
チェーン種別	サイドチェーン
測定方法	レーザー法
測定間隔	1cm間隔 16測点

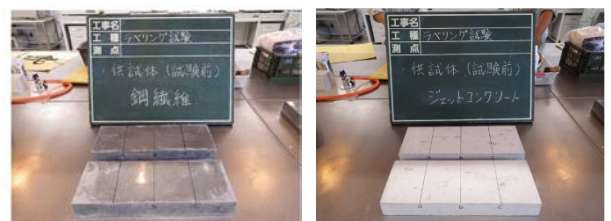


図-9 ラベリング試験概要 (上)試験仕様 (下)供試体

表-4 ラベリング試験結果

	超緻密高強度繊維補強コンクリート		超速硬コンクリート	
	供試体①	供試体②	供試体①	供試体②
平均すりへり量 (cm ²)	0.07	0.05	0.16	0.15

5. 補修事後の評価方法

施工後の状況を写真-3に示す。

事後評価としては、供試体での一軸圧縮試験と打音試験による方法を採用した。

一軸圧縮試験結果はそれぞれ $\sigma_{\tau}=113.0\text{N/mm}^2$, $\sigma_{28}=155.0\text{N/mm}^2$ となり所定の基準値を満足するに至った。

打音試験については、過去の論文によれば、打音試験による打撃音をマイクロフォンで集録しFFT解析により周波数特性を分析することにより定量的な評価の可能性があるとされている。その場合、劣化損傷を受けているコンクリート床版では、卓越した周波数が 2.0kHz 以下となることが示されている⁵⁾。

本橋の劣化箇所において補修事前、事後の打音試験による解析結果を図-10に示す。卓越した周波数は補修前では 1.6kHz、補修後では 2.2kHz となり、補修後は健全と判断できる。



写真-3 補修後状況 (A1側)

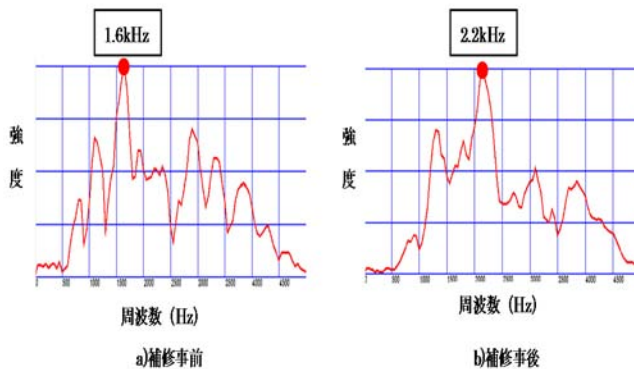


図-10 補修事前・事後の打音試験解析結果

6. まとめ

床版上面に劣化が確認された本橋について、劣化要因の推定を行い、再劣化しない補修工法および、補修材料を選定した妥当性の検証をした。結果を以下にまとめる。

- 1) 床版上面の劣化範囲は、床版端部であった。
- 2) 橋梁固有の振動解析結果では2次モードで3.6Hzとなり、構造系に問題がないと判断できる。
- 3) 輪荷重による桁変位はA1側で最大0.85mm、A2側で最大0.44mmとなった。平成22年のセンサスでは、当該路線の大型車両交通量は1800台/日であることから、比較的影響が大きいと判断できる。
- 4) 劣化範囲は伸縮継手に隣接し、雨水など滞水しやすい

箇所であった。

- 5) 劣化要因は上記3), 4)の状況から繰り返し輪荷重による床版上面にひび割れが発生し、その後、凍害による複合劣化と推定できる。
- 6) 補修範囲は脆弱部を全て除去すると同時に床版剛度を均一にする目的で床版端部全幅とした。
- 7) 補修工法は断面補修工法とし、脆弱部深さが5cmと比較的薄いことから、補修材料は緻密な材料を選定した。
- 8) 補修材料は劣化要因および、補修箇所を考慮すると超緻密高強度繊維補強コンクリートは適切であったと判断できる。

本橋は床版端部上面に劣化が確認された橋梁であり、その構造的な特徴や環境条件から劣化要因を推定した上での適切な補修工法および、補修材料を選定したことは妥当であったと考える。

しかし、今後も経過観察は必要であり、床版端部に着目した定期的な橋梁点検が必要である。

また、今回補修材料として選定した超緻密高強度繊維補強コンクリートは他の補修箇所や新設構造物に適用性が高く、特に北海道のような積雪地域での凍害に対しては非常にメリットが大きいと考える。

参考文献

- 1) 小野貴之, 三田村浩, 林川俊郎, 松井繁之: 積雪寒冷地におけるRC床版の疲労耐久性向上について 構造工学論文集, Vol. 55A, 2009
- 2) 北海道開発局札幌開発建設部岩見沢道路事務所, パブリックコンサルタント株式会社: 平成27年度一般国道12号美瑛市奔美唄橋補修外一連業務報告書, 平成28年2月
- 3) 長谷川寿夫ほか: コンクリート構造物の耐久性シリーズ/凍害, 技報堂出版, 1988
- 4) 松井繁之著: 道路橋床版の長寿命化技術, 森北出版株式会社, 2016
- 5) 橋本勝文, 福山智子, 金智子, 牛渡裕二, 佐光正和, 大塚祐太: 劣化模擬供試体の打音検査における音響データの基礎解析 平成27年度土木学会北海道支部論文報告集, 第72号