

報告

上面増厚後に再劣化した RC 床版に対する補修効果の継続性に関する検討

福井拓也*, 神田利之**, 鈴木 真***, 松井隆行****, 東山浩士*****

* (株) ケミカル工事, 技術部 (〒658-0024 神戸市東灘区魚崎浜町 5-5)

** 博 (工), (株) ケミカル工事, 技術部 (〒658-0024 神戸市東灘区魚崎浜町 5-5)

*** 博 (工), 西日本高速道路エンジニアリング 関西 (株), 構造技術部 (〒567-0032 大阪府茨木市西駅前 5-26)

**** 西日本高速道路 (株), 関西支社, 保全サービス事業部 (〒567-0871 大阪府茨木市岩倉町 1-13)

***** 博 (工), 近畿大学, 理工学部社会環境工学科教授 (〒577-8502 東大阪市小若江 3-4-1)

道路橋 RC 床版の補強工法として床版上面増厚工法が採用されている。しかし、既設床版および増厚コンクリートの境界部に雨水等が浸入し、再劣化に至った事例が多数報告されている。このような上面増厚を施した RC 床版に対し、筆者らは劣化の進行を抑制することを目的とした補修工法の開発を進めてきた。再劣化が顕在化したために本補修工法を適用し、約 5 年が経過した RC 床版がある。筆者らは補修効果の継続性を確認するために、衝撃弾性波法による計測を行った。本稿においてその結果を報告する。

キーワード: RC 床版, 上面増厚工法, 水平ひび割れ, インパクトエコー法

1. はじめに

鋼橋 RC 床版の補強工法として床版上面増厚工法が多数採用されている。しかし、補強後、通行車両による輪荷重の繰返し载荷により、既設床版と増厚床版コンクリートの境界部に水平ひび割れ（以下、水平ひび割れ）が発生する場合がある。当該水平ひび割れ内に雨水等が浸入すれば、RC 床版の劣化がさらに進行する危険性がある（以下、再劣化）。写真-1 に、床版取替えを行なった際に切断撤去された RC 床版の一例を示す。著者らはこのような再劣化した RC 床版を対象に、既設床版および増厚コンクリートを再一体化する補修工法の開発を継続して行ってきた¹⁾。

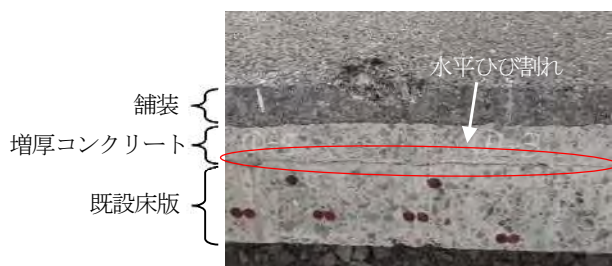


写真-1 水平ひび割れの一例

本補修工法は、①床版下面から施工を行うことにより交通規制を行う必要がない（床版上面からの施工も可能）、②水平ひび割れ部の洗浄機器として、図-1 に示すウォータージェットノズルを改良したスピジェットノズル

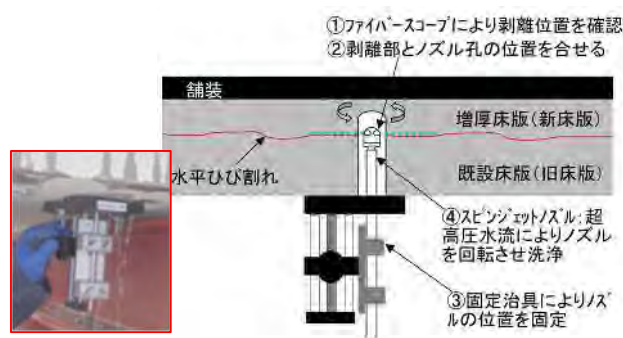


図-1 洗浄作業要領

を採用して洗浄効果を向上させ、③充填材を注入して所要の接着性能を確保するという特徴を有する。

過去の研究成果を踏まえ、本補修工法はすでに実橋に対して適用を開始している。関西地方に位置する高速道路橋の RC 床版に対して、本補修工法による補修を施してから約 5 年が経過した²⁾。筆者らは本橋に対する補修効果の持続性を確認するために、非破壊検査法による計測を行うこととした。

2. 補修工事の概要

2.1 補修前の状況および作業手順

本補修工法を適用した鋼桁橋（1974 供用）の現況を写真-2 に示す。本橋は鋼 7 主桁橋であり、床版は 2.5m の支間長を有する。当該 RC 床版の劣化に伴い上面増厚工法を適用したが、写真-3 に示すように漏水等の再劣化

が顕在化してしまった。特に再劣化が顕在化していた範囲（252.8m²）に対して、2019年に本補修工法の適用による延命化を図った。なお、上面増厚後の床版厚は既設床版が200mm、増厚コンクリートが50mmであった。

本補修工法の施工手順を記す。まず床版下面より鉄筋探査を実施し削孔間隔500mmで千鳥配置となるよう電動ドリル（φ32mm）にて削孔を行った。次に超高压水発生装置（水圧240Mpa、水量38ℓ/min）を使用したウォータージェット工法にて水平ひび割れ内の洗浄を行った。洗浄作業の状況を写真-4に示す。洗浄作業時の注水時間



写真-2 対象橋梁



写真-3 変状部の状況 写真-4 施工(洗浄)状況

は、1箇所当たり1分30秒以上、圧搾空気の出30秒程度以上とし、隣接する排出孔から排出される水の濁度により洗浄の是非を確認した。最後にエポキシ樹脂を足踏みポンプにて注入圧力0.3MPa以下で注入した。なお、床版内部の水平ひび割れを正確に特定することは困難なため、安全側になるように注入面積:253m²を水平ひび割れ率100%とした。注入状況は洗浄と同じく隣接する全排出孔からの樹脂の流出により確認した。

2.2 補修後の状況

本補修工法による施工後の床版の状況を写真-5に示す。なお写真-5は2024年3月に撮影したものである。本補修を施した範囲に対し外観目視調査を行ったところ、2019年に見られた漏水は全く発生しておらず、変状が進



写真-5 施工後の状況

行したような痕跡を確認することはできなかった。また打音調査の結果、浮き音も確認されなかった。

3. 現地計測

3.1 計測概要

計測にはインパクトエコー法を適用し、床版下面から実施した。本計測に使用した機器を写真-6に示す。弾性波は鋼球による打撃を加え発生させた。直径3.2mm～19.7mmの鋼球にスプリングロッドを取り付けたものを10種類用意し、鋼球ごとに手動による打撃を行ってデータを収集した。受信は打撃点から50mm離れた位置に1MHzまでの周波数範囲においてほぼフラットな応答特性を有するコニカル型高感度変位センサを設置して行った。加速度計で受信した信号は、サンプリング間隔1μs、サンプリング数10,000点の時刻歴応答波形として波形収集装置に記録した。計測状況を写真-7に示す。

計測は本補修工法を適用した15パネルのうち、計測可能な9パネルに対して実施した。計測点は縦横方向に1m間隔とし全135箇所とした。計測点位置図を図-2に示す。なお図中の横線は主桁、縦線は横桁位置を示す。

コニカル型高感度変位センサ

鋼球



(a) 波形収集装置



(b) 入出力装置

写真-6 計測装置

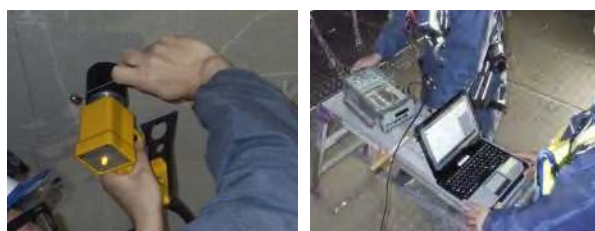


写真-7 計測状況

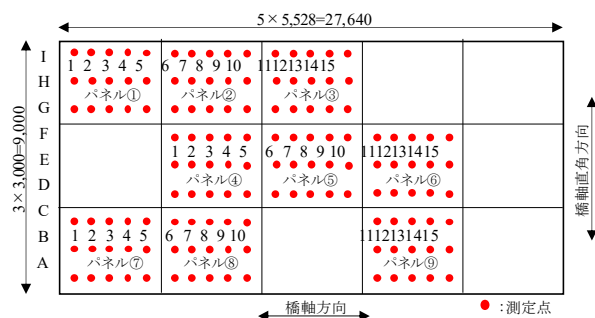


図-2 計測点位置図

3.2 計測結果

受信された時系列波形から高速フーリエ変換 (FFT) により周波数分布を求め、得られたスペクトル上に認められる周波数ピークの値を読み取ることで、水平ひび割れの深さを推定した。

弾性波をコンクリート表面から入力した場合、コンクリートが健全であれば表面と裏面との間で弾性波の応答を繰り返す。一方、コンクリート内部に欠陥が生じている場合は、欠陥部からの応答が生じるため健全部とは異なった位置で卓越したピークが現れる。一般に弾性波伝播速度 V_c は式(1)で表すことができる。測定対象物までの深さを t とすると、弾性波伝播速度 V_c とその境界からの反射波による卓越した周波数との関係は式(2)で表すことができる。

$$V_c = 2Tf \quad (1)$$

$$t = V_c / 2f \quad (2)$$

ここで、 V_c : コンクリート中の縦波伝播速度 (m/s), T : 部材厚さ (mm), f : 境界面における縦波の反射波の周波数 (kHz), t : 測定対象物までの深さ (mm) である。

コンクリートの弾性波伝播速度を以下の手順により算出した。RC 床版下面の比較的変状がない健全と思われる部位において、インパクトエコー法による測定を行い、得られた受信波形に対して FFT を行い、周波数スペクトルを算出した。その後、周波数スペクトル上でピークを判読し、その値と床版厚から速度を算出し、コンクリートの弾性波伝播速度 2655m/s を得た。

算定した周波数スペクトルはピーク周波数に着目して、表-1 に示すような分類を行った。分類した周波数スペクトルの一例を図-3 に、計測点ごとに周波数スペクトルの分類結果を図-4 に示す。

分類Iは部材厚 (増厚コンクリート天端) 位置に周波数ピークが見られ、現状においても既設床版と増厚コンクリートが一体化しており、健全であると判断することが

表-1 計測波形の分類

分類	ピーク周波数の数	内 容
I	1	200mm ≤ t 部材厚位置でピーク周波数がある
II	1	150mm ≤ t < 200mm ピーク周波数が分類Iに対し高周波側にある
III	1or0	t < 150mm ピーク周波数が分類IIに対し高周波側にある
IV	2	分類I+II (200mm ≤ t, 150mm ≤ t < 200mm) 部材厚位置および150mm ≤ t ≤ 200mmにピーク周波数あり
V	2	分類I+III (200mm ≤ t, t < 150mm) 部材厚位置およびt < 150mmにピーク周波数あり
VI	2	分類II+III (150mm ≤ t < 200mm, t < 150mm) 150mm ≤ t ≤ 200mmおよびt < 150mmにピーク周波数あり

※ t: 検出厚さ

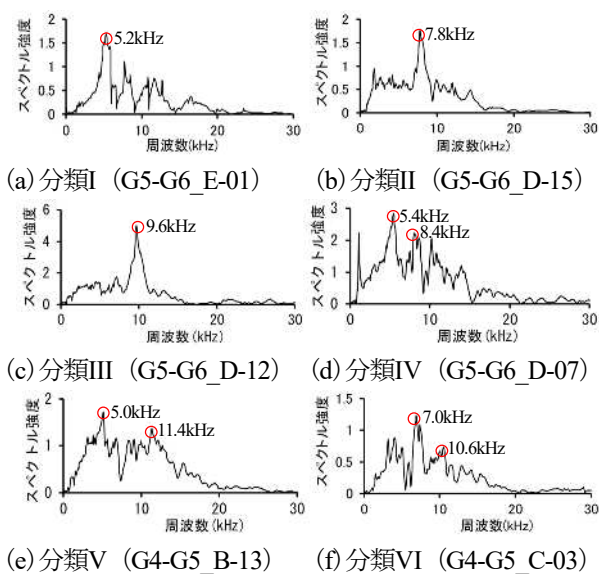


図-3 分類ごとの周波数分布の一例

できる。分類IIは既設床版および増厚コンクリートの境界部に周波数ピークが見られ、当該部位において水平ひび割れが発生している可能性がある。分類IIIは既設床版内に何らかの変状が発生している可能性が考えられる。ただし先述したように浮き音は確認できなかった。分類

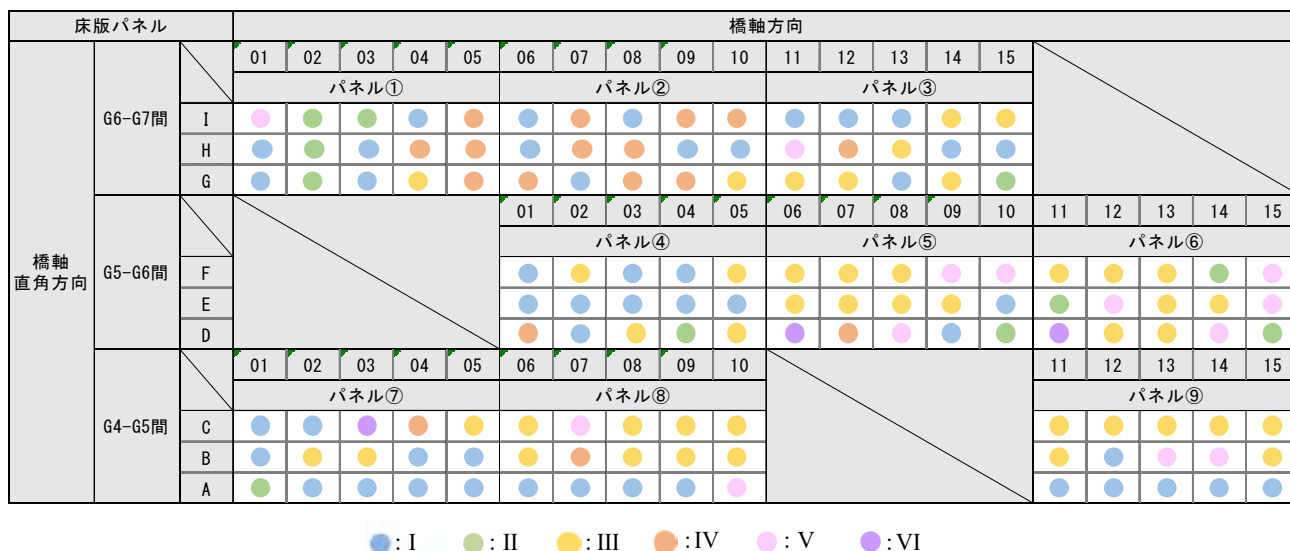


図-4 計測結果

IV～VIはピーク周波数が2箇所あり、分類IVおよび分類Vは健全か否かを断定することができず、分類IVは既設床版および増厚コンクリートの境界部に、分類Vは既設床版内に水平ひび割れが発生している可能性を否定できない。分類VIについては、健全ではない可能性が高いと言える。

4. 考 察

図-4 に示す分類結果の比率を図-5 に示す。図-5 より健全と推定される分類Iは全計測点の35%に留まっていることがわかる。また水平ひび割れが残存していた、もしくは施工後に充填材がはく離した可能性があるとして推測される分類IIおよび分類VIは10%程度となっている。分類III（33%）については、計測データから既設床版内の下段鉄筋位置に水平ひび割れの発生が想定されるが、上段鉄筋位置にも同様に発生していることが否めない。しかし、外観目視および打音調査結果に異状が認められないことから、変状が発生しているとしても軽微であり、鉄筋位置に水平ひび割れが発生している可能性は小さいと推測される。

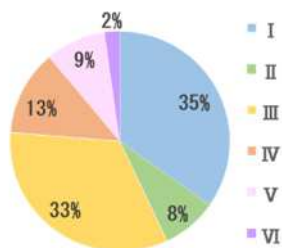
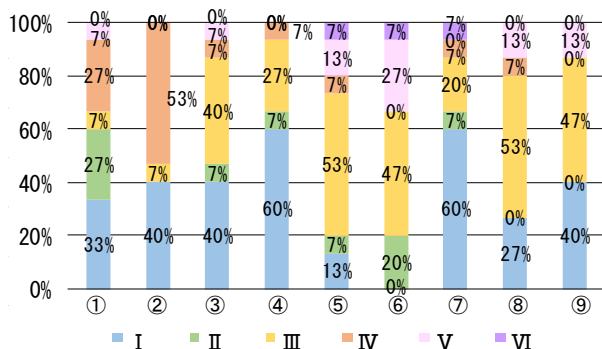


図-5 分類の比率（全体）

なお本計測は境界部の水平ひび割れの検出を目的としており、上下段鉄筋位置に発生している水平ひび割れについては着目していない。

パネル毎の比率を図-6 に示す。図-4 および図-6 を見てみると、パネル①の一部において、分類IIが計測されていることから水平ひび割れの発生が懸念される。パネル⑤および⑥において分類Iの比率(それぞれ13%, 0%)



※ 図中の①～⑨はパネル番号を示す。

図-6 分類の比率（パネル毎）

が比較的小さく、他のパネルは分類Iが分散するように検出されていることがわかる。先述したように水平ひび割れは、外観目視では変状が確認できないこと、充填材が部分的にはく離する可能性が小さいと推測されることからパネル①～③、④および⑦～⑨には、分類III、IVおよびVが混在しているが、既設床版および増厚コンクリートの境界部は健全であると考えることができる。よって安全側の評価としてパネル⑤および⑥を除く、分類I、分類III、分類IV、分類Vを健全であると仮定し比率の合計を算定すると71.1%となる。

神田らの研究³⁾によると、充填材が水平ひび割れ内に圧入された全面積に対して、確実に増厚コンクリートおよび既設床版を接着する面積（以下、接着面積）が60%以上あれば、検討対象としたRC床版の疲労寿命が40年（生存確率50%）確保できるとの見解がある。先述のように本補修工法を適用してから5年が経過した後も接着面積が70%近く確保されていると推測されることから、本補修工法の疲労に対する効果は現状においても確保されていると言える。

5. まとめ

本計測結果から得た知見を以下に記す。

- ① 本補修工法を適用して5年が経過したRC床版において、漏水等の変状は確認されなかった。
- ② インパクトエコー法による非破壊調査の結果、充填材の接着面積は70%以上が確保されていると推測される。
- ③ 上記より本補修工法を適用すれば、疲労耐久性が向上すると考えることができる。

謝辞

本論文を取りまとめるあたり、ご協力いただいた(株)CORE 技術研究所の波多野雄士氏に心より謝意を表します。

参考文献

- 1) 神田利之, 鈴木 真, 緒方辰男, 松井繁之: 上面増厚工法施工後に劣化したRC床版の補修工法に関する開発, 日本コンクリート工学会年次論文集, Vol. 36, No.2, pp.1225-1230, 2014.7.
- 2) 中島一輝, 真有祥太, 鈴木 真, 高野晃佑, 岩澤秀光, 神田利之: 鉄道営業線上における高速道路橋梁のRC床版下面からの補修施工, 第75回土木学会年次学術講演会講演概要集, pp.CS8-19-20, 2020.9.
- 3) 神田利之, 鈴木 真, 樺山好幸, 東山浩士: 上面増厚工法施工後に劣化したRC床版に対する再補修工法の耐疲労性に関する検討, 日本コンクリート工学会年次論文集, Vol. 39, No.1, pp.1741-1746, 2017.7. (2024年7月12日受付)