

UHPFRC 上面補修による RC 床版の延命効果に関する疲労解析

Fatigue analysis on the life extension effects of RC bridge deck slab with UHPFRC overlay repair

北海道大学工学部

北海道大学大学院工学研究院

北海道大学大学院工学研究院

○学生員 小田島 安隆 (Yasutaka Odajima)

正員 鄧 朋儒 (Pengru Deng)

正員 松本 高志 (Takashi Matsumoto)

1. はじめに

積雪寒冷地域の既設 RC 床版では凍害劣化による床版コンクリート表面部の劣化損傷が進行している。こうした現状から寒冷地に適した低コストで長寿命となる床版上面補修工法の確立が社会的に重要になってきている¹⁾。その解決策として本研究において注目したのは複合材料である超高性能繊維補強コンクリート(UHPFRC)である。UHPFRC は高い圧縮強度(150-250MPa)だけではなく優れた引張強度(8MPa 以上)をあわせ持ち、緻密な材料構造を有しているため遮塩性や遮水性が、道路橋 RC 床版防水工の省略も考えられる。これらの特徴により、床版補修において UHPFRC を用いることで床版の長寿命化が期待できる。

本研究では輪荷重走行を受ける RC 床版について有限要素法による疲労解析を行い、この損傷した RC 床版に UHPFRC 上面補修を行って再び疲労解析を行う。疲労解析から得られる中央変位の推移や最大主ひずみを検討して、未補修の RC 床版との違いを比較することで、UHPFRC 上面補修による効果を解析的に検討することを目的とする。

2. 解析概要

2.1 モデル

UHPFRC による上面補修の効果を調べるために、RC 床版モデルを有限要素解析ソフト (Marc/Mentat) を用いて作成した。材料特性について、コンクリート、鉄筋、UHPFRC のヤング率はそれぞれ 21.7GPa、200GPa、35GPa としている。またコンクリートの圧縮強度は 32.4MPa、鉄筋の降伏強度は 345MPa、UHPFRC の圧縮強度は 175MPa としている。本研究で使用した RC 床版モデルは、2002 年の道路橋示方書²⁾に準拠して設計されており、寸法、鉄筋配置は図-1 の通りである。

2.2 疲労解析手順

解析は対称性により 1/2 の RC 床版モデルを作成し実

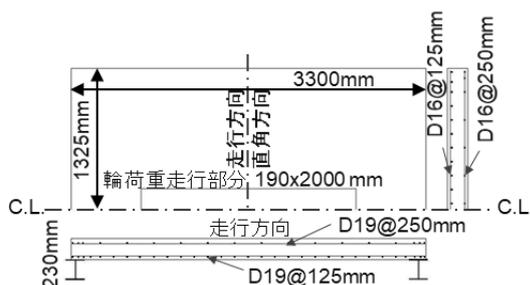


図-1 RC 床版寸法と鉄筋配置

施する。1/2 の解析モデルを図-2 に示す。最初の荷重ケースでは、RC 床版の中心部の 4 要素に輪荷重をかける。次にこれらの要素の荷重を除荷し、走行方向に隣接する要素に等間隔で同時に荷重を載荷する。これを繰り返すことで 1 走行回の輪荷重走行が完了し、ひび割れ要素が発生・進展する。走行回数を増加させると、ひび割れに伝達応力が発生するとともに劣化が進んで新たなひび割れ要素が発生する。この架橋応力劣化の概念³⁾をひび割れ要素に適用することで、走行回数の増加に伴って RC 床版全体の剛性が低下していくものとしている。

2.3 輪荷重走行

輪荷重走行では、まず損傷した RC 床版を再現するために 150kN から輪荷重を開始し、180kN、210kN、240kN と段階的な輪荷重走行載荷を行った。この載荷により損傷を受けた厚さ 230mm の床版を補修前床版とした。次にこの補修前床版に対して床版の補修の再現のために上部 40mm、下部 20mm 部分の除去を行い、上面に補修層として UHPFRC を 20mm 増厚して厚さを 190mm としたものを補修後床版とした。このとき、同様の補修前床版に対して上部 20mm、下部 20mm 部分を除去し厚さ 190mm としたものを未補修床版とした。その後、この補修後床版、未補修床版に 120kN から輪荷重を開始し、130kN、150kN、160kN、200kN と段階的に荷重を増加させる。図-3 に輪荷重走行載荷プログラムを示す。

3. 解析結果

3.1 補修前床版

図-4 に補修前床版における輪荷重走行回数と中央変位の関係について解析結果と実験結果を示す。このグラフから、解析結果と実験結果が中央変位について近い挙動を示していることから架橋応力劣化を用いた FEM モデルの疲労解析は概ね実験を再現していると考えられる。図-6 に補修前床版の走行回数の増加によるひび割れ要素の進展を示す。図-6 の結果では補修前床版モデルにおい

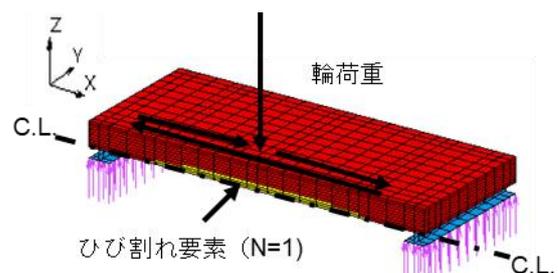


図-2 解析モデル(1/2)

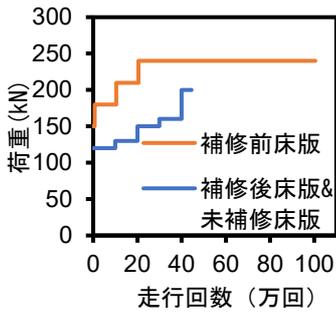


図-3 輪荷重走行載荷プログラム

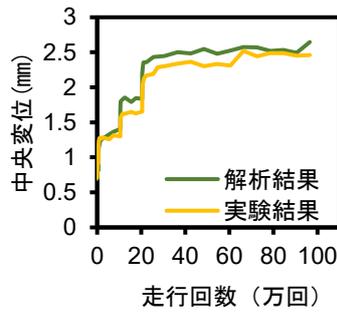


図-4 補修前床版の走行回数と中央変位

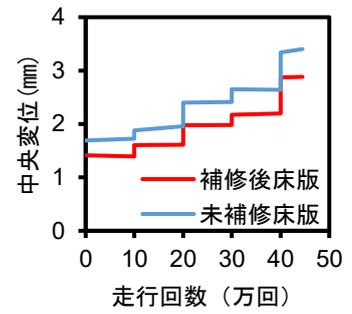


図-5 補修後床版と未補修床版の走行回数と中央変位

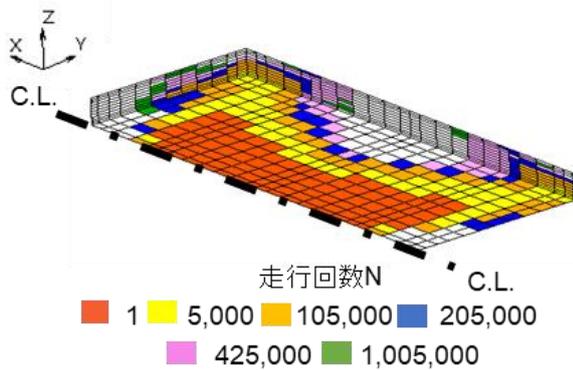


図-6 補修前床版のひび割れ要素の分布図

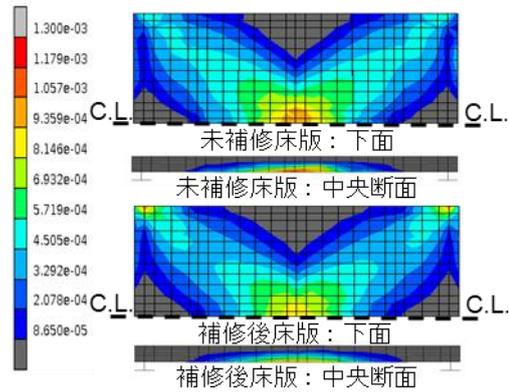


図-7 損傷後床版の最大主ひずみ (N=445,000)

て、輪荷重走行の影響により初期段階である1回目の走行で走行範囲に沿って下面にひび割れが生じ、その後5,000回目までは四隅の方向に向かってひび割れの進展が見られた。その後は下面のひび割れから床版の厚さ方向にひび割れが進展し、最終的に下面からのひび割れは上面に達した。

3.2 補修後床版

図-5に補修後床版と未補修床版における中央変位の比較を示す。図-5より補修後床版における変位は未補修床版における変位に比べて小さい値が得られていることから、補修後床版は未補修床版より曲げ変形が小さくなっていることが分かり、この傾向はすべての荷重段階で見られた。この結果から UHPFRC 補修層は補修直後から荷重回数の増加に関わらず曲げ変形に対して一定の抑制効果があることがわかる。図-7に示す床版下面の最大主ひずみ分布についても未補修床版と補修後床版の間で違いが確認できる。未補修床版で見られる床版中心部からひび割れ分布に従って広がる最大主ひずみ分布の値が補修後床版では軽減されており、ひび割れが存在している状態でも上部補修により下面の変形を抑制できることが分かった。このときひずみ全体の大まかな分布に顕著な違いは見られなかったことから、床版変形の概形に変化はなく、変形の程度が変化していると考えられる。

4. まとめ

本研究では架橋応力劣化の概念を組み込んだ有限要素法による RC 床版モデルを作成し疲労解析を行った。補

修前床版に輪荷重走行による疲労損傷を与えた後に、上下面層を除去して UHPFRC による上面補修を施した RC 床版モデルを未補修の場合と比較した。

解析結果より、UHPFRC による床版上面の補修は補修直後から輪荷重の走行回数に関わらず常に曲げ変形を抑えられることが分かり、最大主ひずみ分布からも変形の程度が軽減されていることが確認できた。

今後の課題として UHPFRC 上面補修の疲労解析を実験データと比較することや、補修層の厚さを変えた場合、養生に伴う材料特性変化の効果について検討することが挙げられる。

謝辞

鹿島学術振興財団による助成及び実験データを頂いた J-ティフコム施工協会に謝意を示す。

参考文献

- 1) 三田村浩・赤代恵司・松本高志・松井繁之：上面補修した RC 床版の耐疲労性に関する実験的研究，構造工学論文集，Vol. 58A，pp. 1166-1177，2012。
- 2) 公益社団法人日本道路協会：道路橋示方書・同解説Ⅲコンクリート橋・コンクリート部材編，丸善出版，2002。
- 3) Zhang, J., Stang, H. and Li, V.C. : Fatigue life predication of fiber reinforced concrete under flexural load, International Journal of Fatigue, Vol. 21, No. 10, pp. 1033-1049, 1999.