

RC 床版補修における UHPFRC 上面補修厚さの影響に関する疲労解析

Fatigue analysis on the effects of UHPFRC overlay thickness in RC bridge slab 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 西川 英晴 (Hideharu Nishikawa)
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橋梁 RC 床版では凍害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。それゆえ、低コストで長寿命となる補修を行うことが求められている。RC 床版補修の方法の一つとして、超高性能繊維補強コンクリート(UHPFRC)による上面補修があげられる。UHPFRC は高い圧縮強度(150-250MPa)と引張強度(8MPa 以上)を併せ持ち、緻密な材料構造を有しているため、遮塩性や遮水性にも優れている。また、鋼短繊維を一様に分散させることにより、ひび割れに対する抵抗性と靱性が高い材料でもある¹⁾。

しかしながら、RC 床版補修における UHPFRC 上面補修の層厚の違いによる疲労挙動への影響は明らかになっていない。これまでの RC 床版補修では 25mm 程度の層厚で施工されてきているが、実験及び解析的研究²⁾では層厚 20mm のみが検討されているところである。

本研究の目的は、補修層厚の異なる 3 ケースについて補修 RC 床版の輪荷重疲労解析を行い、中央変位の推移や最大主ひずみを比較することによって、UHPFRC 上面補修における層厚の補修 RC 床版疲労挙動への影響を検討することである。

2. 解析概要

2.1 解析モデル

本研究では有限要素解析ソフト MSC Marc を用いて疲労解析を行った。RC 床版は 2002 年(平成 14 年)の道路橋示方書³⁾に準拠して設計された。解析モデルは対称性により 1/2 の RC 床版とした。図-1 に解析モデルの寸法及び鉄筋配置を示す。表-1 にコンクリート、鉄筋、UHPFRC それぞれの材料特性の値を示す。図-2 に解析モデルを示す。輪荷重走行は、輪荷重を RC 床版の中心部を始点として走行方向の要素に対して逐次載荷させることで再現した。輪荷重が 1 往復し、走行部分のすべての要素に載荷され再度始点に載荷されることで 1 走行回とする。図中の番号は載荷順を示す。変位拘束条件として、1/2 の RC 床版モデルとしたため、センターラインである断面には Y 方向の変位を拘束した。床版は I 型鋼で支持し、一方の I 型鋼は Z 方向、もう一方の I 型鋼は X・Z 方向の変位をそれぞれ拘束する。

2.2 疲労解析

疲労解析は、以下の手順で行う。

- 1) 1 走行回の輪荷重を載荷させる。
- 2) 1)により増加したひび割れ要素を次の段階の疲労解析モデルに反映する。
- 3) 走行回数の増加によるひび割れ要素の架橋応力劣化を適用した上で、2)で得られたモデルに次の 1 走行回の輪荷重を載荷させる。
- 4) 1)から 3)までの手順を床版が破壊するか輪荷重走行載荷プログラムが終わるまで繰り返す。

補修前床版では、180kN、210kN、240kN と段階的に荷重を増加させる。その後、損傷した RC 床版の上部 20mm、下部 20mm を除去する。さらに、床版の上部を 10mm、20mm、30mm 除去し、それぞれに同じ厚さの UHPFRC で上面補修し解析した。この 3 つの補修後床版では、120kN から載荷を開始し、130kN、150kN、160kN、200kN と段階的に荷重を増加させる。図-3 に補修後床版の輪荷重走行載荷プログラムを示す。

補修前床版では、180kN、210kN、240kN と段階的に荷重を増加させる。その後、損傷した RC 床版の上部 20mm、下部 20mm を除去する。さらに、床版の上部を 10mm、20mm、30mm 除去し、それぞれに同じ厚さの UHPFRC で上面補修し解析した。この 3 つの補修後床版では、120kN から載荷を開始し、130kN、150kN、160kN、200kN と段階的に荷重を増加させる。図-3 に補修後床版の輪荷重走行載荷プログラムを示す。

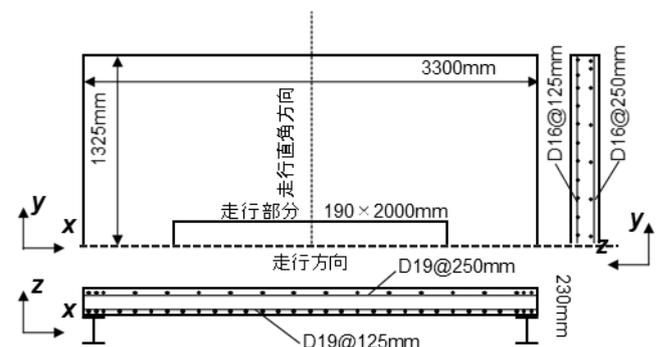


図-1 RC 床版寸法と鉄筋配置

表-1 材料特性

	コンクリート	鉄筋	UHPFRC
ヤング率 (GPa)	21.7	200	35
圧縮強度 (MPa)	32.4	-	175
降伏強度 (MPa)	-	345	-

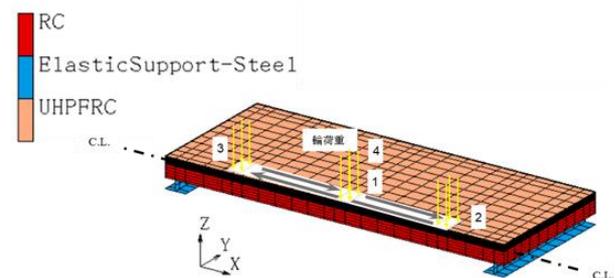


図-2 1/2 の RC 床版モデル

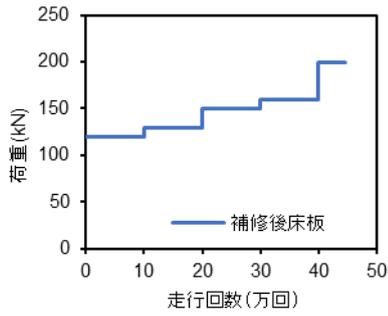


図-3 荷重プログラム

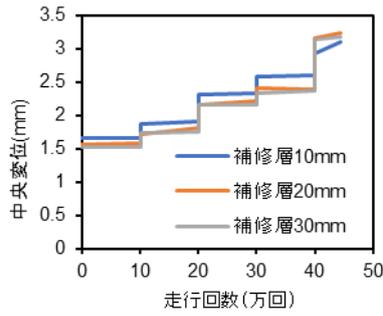


図-4 走行回数と中央変位

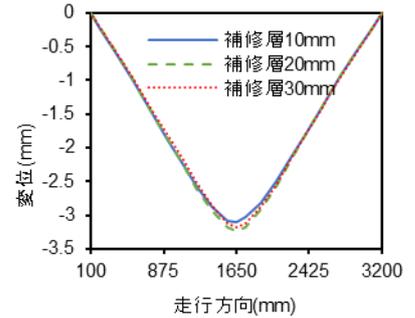


図-5 44.5万回時走行方向変位分布

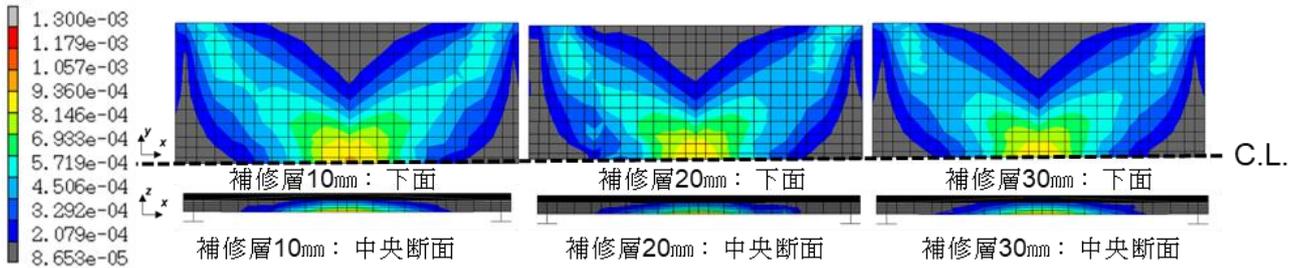


図-6 輪荷重 160kN、走行回数 40 万回の床版下面最大主ひずみ分布

3. 解析結果

図-4 に、補修層の厚さごとの走行回数と中央変位の関係を示す。輪荷重 160kN で走行回数 40 万回の解析結果より補修層 30mm の床版が最も曲げ変形が小さくなっていることが分かる。この傾向は走行回数 40 万回までの荷重段階でみられ、補修層の厚さが増すほど曲げ変形が小さくなるということが分かる。この結果から、UHPFRC 補修層の厚さの増加に伴い、輪荷重 160kN で走行回数 40 万回までの荷重段階で曲げ変形に対して抑制効果があるとと言える。

図-5 に荷重プログラム終了時の走行方向の補修層の厚さごとの床版変位を示す。走行回数 44.5 万目の荷重時に床版は終局状態に至り、この時の補修層の厚さによる床版全体の変形の程度の差は小さいことが分かる。このことから、曲げ変形の抑制には一定の効果があるものの、補修層の厚さの増加による床版の変形量に与える影響は小さいと言える。

図-6 に床版下面の最大主ひずみ分布を示す。走行回数 40 万回の床版下面における最大主ひずみ分布についても補修層の厚さによって違いがみられた。ひび割れが発生する主ひずみは $86.5(\mu)$ である。床版下面の中心部の最大主ひずみは補修層の厚さが 10mm の床版が $958(\mu)$ 、20mm の床版が $929(\mu)$ 、30mm の床版が $895(\mu)$ となった。10mm の RC 床版の最大主ひずみが、最も大きく、補修層の厚さが増すごとに最大主ひずみは小さくなってゆき、補修層の厚さが 30mm の RC 床版の最大主ひずみが最も小さくなっている。

4. まとめ

本研究では有限要素法により、RC 床版の疲労解析を行った。輪荷重走行により疲労損傷を与えた RC 床版の上下面層を除去して、補修層の厚さが 10mm、20mm、30mm の UHPFRC 上面補修を施したモデルを作成し、それぞれの解析結果の比較を行った。

補修層の厚さの増加に伴い、輪荷重 160kN で走行回数 40 万回までは曲げ変形を抑えられることが分かったが、床版全体の変形の程度の差は小さかった。最大主ひずみ分布からは床版全体で顕著な変化はみられなかった。

今後の課題として、層厚ごとの疲労寿命と疲労挙動を検討するためには、走行回数をさらに増加させ解析を続ける必要がある。

謝辞

本研究は鹿島学術振興財団国際共同研究援助金により行われた。ここに謝意を示す。

参考文献

- 1) J-ティフコム施工協会：パンフレット「J-THIFCOM 超緻密高強度繊維補強コンクリート」。
- 2) 小田島安隆，鄧朋儒，松本高志：UHPFRC 上面補修による RC 床版の延命効果に関する疲労解析，北海道大学，2020。
- 3) 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。