

UHPFRC を用いた RC 床版上面補強効果の解析的検討

Analytical study on the effect of UHPFRC overlay reinforcement on an RC slab

北海道大学工学部環境社会工学科 ○学生員 大滝渚美 (Nami Otaki)
北海道大学大学院工学研究院 正会員 松本高志 (Takashi Matsumoto)
北海道大学大学院工学研究院 フェロー 林川俊郎 (Toshiro Hayashikawa)
北海道大学大学院工学研究院 正会員 何 興文 (Xingwen He)

1. はじめに

道路橋の RC 床版は、交通荷重を直接受ける部材であり、既存の多くの橋梁において疲労損傷が問題となっている。積雪寒冷地である北海道の橋梁においては、積雪が日照により融雪水となり RC 床版上面部に滞水する。この滞水が凍結融解作用を受け、RC 床版上面にスケーリングや砂利化などの劣化現象を発生させる¹⁾。そのため、積雪寒冷地の既設床版を守るためには、床版上面の劣化状況に着目した補修対策も重要である。そこで、RC 床版上面の損傷部を除去し、耐久性の高い補修材で断面修復する工法が考えられる。

防水工の種類としては、塗膜系やシート系、浸透型樹脂材料による浸透系防水材などがある。また、超高性能繊維補強コンクリート(以下、UHPFRC)による防水工が研究開発されており、RC 床版の表層に UHPFRC 層を設けることで、防水性を付与しつつ荷重と環境の作用に対して耐久性を向上させることが検討されている。したがって、UHPFRC 層による上面の補強効果を検討することは重要であると考えられる。

そこで本論文では、有限要素解析を用いて、RC 床版と上面の一部を UHPFRC 層に置き換えた RC 床版とを変位と剛性について比較し、UHPFRC 層による床版上面の補強効果を検討することを目的とする。

2. RC 床版の有限要素解析

本研究では、既往の研究²⁾で引用されている RC 床版の静的載荷実験を参考にして有限要素解析を行い、RC 床版に対する UHPFRC による上面補強効果を検討する。また、材料の構成則を示すことを目的とした単位要素を用いた解析も行う。

2.1 解析対象

供試体の寸法は、橋軸直角方向 2,800mm×橋軸方向 3,700mm×厚さ 160mm としている。支持条件は、2 辺単純支持および H 形鋼による 2 辺弾性支持である。載荷点は、橋軸直角方向中央部における弾性支持部から 900mm の位置とする。また、表-1 に配筋条件を示す。

表-2 に解析ケースを示す。RC 床版を対象とした解析ケースおよび RC 床版の一部を UHPFRC に置き換えた解析ケースの名称をそれぞれ、RC および RC-UHPFRC とする。RC 床版の一部を UHPFRC に置き換えた場合では、RC 床版の上面 10mm を UHPFRC とする。

表-1 配筋条件

種別	位置	鉄筋径	鉄筋比
橋軸直角方向	上面	φ16	0.0114
	下面	φ16	0.0200
橋軸方向	上面	φ13	0.0180
	下面	φ13	0.0180

表-2 解析ケース

名称	床版厚	床版寸法
RC	160 mm	橋軸直角方向 2800 mm 橋軸方向 3700 mm
RC-UHPFRC	UHPFRC 部 : 10mm RC 部 : 150mm	

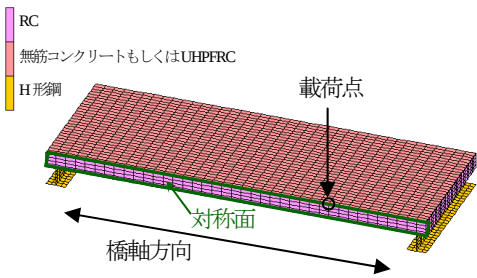


図-1 有限要素モデル

2.2 有限要素モデルと解析条件

本研究では、汎用非線形有限要素解析プログラムである MSC.Marc を用いて解析を行う。

図-1 に有限要素モデルを示す。寸法は実験供試体と同様とし、橋軸方向を対称面とした 3 次元 1/2 モデルとする。床版部分は 8 節点ソリッド要素によってモデル化し、コンクリートと鉄筋の構成則を重ね合わせた RC 要素を適用する。弾性支持の H 形鋼は 4 節点シェル要素で弾性体としてモデル化し、弾性係数 200GPa、ポアソン比 0.3 を与える。荷重は、荷重制御により、270kN まで漸増させて作用させる。

床版は厚さ方向に 5 分割する。最上層 10mm を無筋コンクリートもしくは UHPFRC 要素とし、以下 150mm を 4 層に等分割して RC 要素とする。

2.3 材料の構成則

鉄筋、コンクリート、および UHPFRC³⁾の材料特性を表-3 に示す。コンクリートは分散ひび割れモデルとし、鉄筋の構成則を重

ね合わせることで RC 要素としている。RC 要素内には、平均的に鉄筋が配置されていると仮定し、鉄筋比によりそれを考慮する。

コンクリートの構成則は、岡村・前川モデル⁴⁾を採用している。このモデルではコンクリートの平均応力-平均ひずみ関係をモデル化している。圧縮応力下では、ひび割れ後のコンクリートの圧縮剛性の低下をひび割れ直角方向引張ひずみの関数により低減している。ひび割れ面におけるせん断応力の伝達機構については、ひび割れが分散して存在する要素の平均的なせん断剛性を平均ひずみで表現する。また引張応力下において、コンクリートはひび割れ強度に達するまで線形弾性体と仮定する。

以下では、コンクリートおよび UHPFRC の構成則を示すために、8 節点ソリッドの単位要素に荷重制御により圧縮の荷重を作用させ、コンクリートおよび UHPFRC の圧縮下の応力-ひずみ関係を算出する。

3. 解析結果と考察

3.1 単位要素の解析

図-2 にコンクリートと UHPFRC の圧縮応力-圧縮ひずみ関係を示す。図では、コンクリートと UHPFRC の圧縮強度も合わせて示している。UHPFRC の方が明確に高い圧縮応力を示し、両解析ともに圧縮強度に達することで終局に至っている。結果として、コンクリートと UHPFRC の両方の場合において、解析結果と構成則から得られる結果は一致している。

3.2 床版の解析

図-3 に RC および RC-UHPFRC の載荷点位置床版下面における荷重-変位関係を示す。結果として、RC-UHPFRC の方が載荷初期から大きい剛性を示し、UHPFRC による床版の補強効果が見てとれる。

RC と RC-UHPFRC における 0kN から約 100kN 時の結果から算出された接線剛性はそれぞれ、158kN/mm と 181kN/mm である。また、約 200kN から 270kN 時の結果から算出された接線剛性はそれぞれ、102kN/mm と 123kN/mm となった。

RC と RC-UHPFRC の 270kN 時の変位はそれぞれ、2.27mm と 1.80mm であり、RC-UHPFRC の変位は RC のそれに対して約 20%小さくなった。

以上より、RC 床版の一部を UHPFRC に置き換えることで荷重-変位関係における接線剛性が大きくなり、それによって変位も小さくなることが示された。

4. まとめ

本論文では、RC 床版上面の一部を UHPFRC 層に置き換えた場合の補強効果を有限要素解析により検討した。

コンクリートと UHPFRC の単位要素に圧縮荷重を作用させた解析では、解析結果と構成則から得られる結果は一致し、UHPFRC の方が高い圧縮応力を示すことを確認した。

RC 床版および一部を UHPFRC に置き換えた RC 床版の静的載荷を対象とした有限要素解析では、後者の方が大きい接線剛性を示す結果となり、解析で検討した最大荷重時における変位は、前者よりも明確に小さくなることを確認した。

表-3 材料特性

種別	鉄筋	コンクリート	UHPFRC
弾性係数 (GPa)	180	24.0	47.0
ポアソン比	0.3	0.2	0.2
降伏応力 (MPa)	235	—	—
圧縮強度 (MPa)	—	39.9	185
引張強度 (MPa)	—	2.69 ($=0.23 f_c^{2/3}$)	14.0

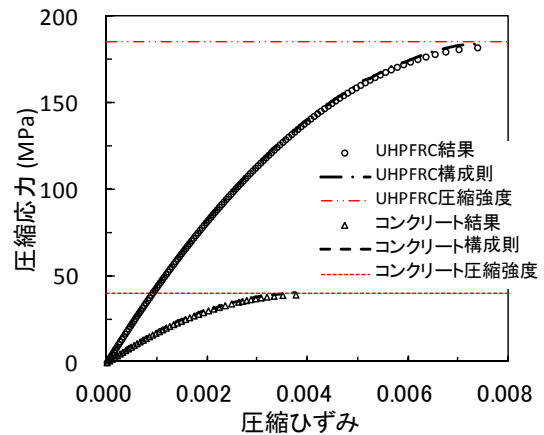


図-2 圧縮応力-圧縮ひずみ関係

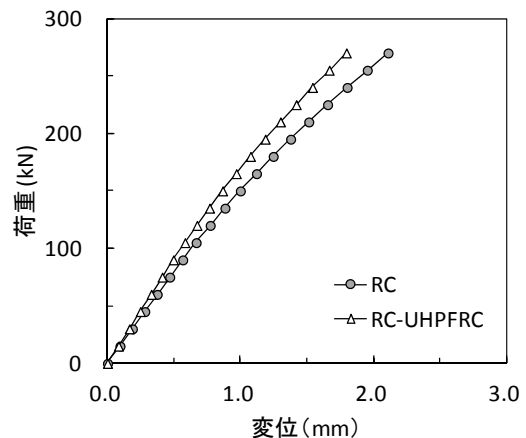


図-3 載荷点位置における荷重-変位関係

参考文献

- 1) 三田村浩, 佐藤京, 西弘明, 渡辺忠朋: 積雪寒冷地における既設 RC 床版の延命手法について, 土木学会北海道支部論文報告集, Vol. 56A, 2010.
- 2) 加保勇介: 鉄筋付着特性の RC 床版疲労劣化への影響に関する解析的研究, 北海道大学大学院工学院, 修士論文, 2012.
- 3) E. Brühwiler and E. Denarié: Rehabilitation of concrete structures using Ultra-High Performance Fibre Reinforced Concrete, UHPC-2008, 2008.
- 4) 岡村甫, 前川宏一: 鉄筋コンクリートの非線形解析と構成則, 技報堂出版, 1991.