

UHPFRC による上面補修 RC 床版の押抜きせん断試験の有限要素解析

Finite element analysis on the punching shear test of an RC 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
(一財) 災害科学研究所

○学生員 ヘーン チークーン (Chikhoeung Heng)

正 員 松本 高志 (Takashi Matsumoto)

正 員 三田村 浩 (Hiroshi Mitamura)

1. はじめに

積雪寒冷地における道路橋 RC 床版は、塩害、凍結融解、ASR、及びこれらの複合によると考えられる土砂化により床版表面に劣化が多く発生している。昭和 39 年道路橋示方書（以下、S39 道示）によって作られた RC 床版は疲労荷重の作用による損傷に対して対策が必要とされているが、上記の環境作用による劣化に対しても対策が必要とされている。

その対策の一つとして、UHPFRC（超高性能繊維補強コンクリート）を上面補修層として打設する工法が提案されている。UHPFRC は 130MPa 以上の高い圧縮強度と 9MPa 以上の引張強度を有しており、遮水性・遮塩性を有するため環境作用に対する抵抗も期待できる。これにより防水工を不要とする補修工法が提案されている。

さらには、S39 道示の RC 床版に UHPFRC 上面補修を行った後に、平成 29 年道路橋示方書（以下、H29 道示）に基づく RC 床版と同等以上の耐荷力があれば、UHPFRC 上面補修後の RC 床版も 100 年の耐久性を持つ補強工法であることを期待できる。

本研究では、非線形有限要素解析により、S39 道示の RC 床版を UHPFRC 上面補修した後に、静的荷重を載荷させ、載荷荷重-載荷点変位の関係およびひび割れ分布を用いて床版の押抜きせん断破壊挙動と耐荷力について検討する。そして、H29 道示及び S39 道示の RC 床版と比較することで、UHPFRC による補強効果を評価する。

2. 非線形有限要素解析

2.1 解析モデル

本研究では、非線形有限要素解析の MSC/Marc を用いた。解析モデルは、J-ティフコム技術研究会が令和 4 年度に実施した UHPFRC 補修 RC 床版の押抜きせん断試験の供試体を対象にした。解析モデルは、H29 道示の RC 床版（以下、RC29）、S39 道示の RC 床版（以下、RC39）、UHPFRC 上面補修された S39 道示の RC 床版（以下、URC39）とした。RC29 は床版の厚さが 200mm、コンクリートの設計強度が 24MPa である。RC39 は床版の厚さが 160mm、コンクリートの設計強度が 21MPa である。URC39 は、RC39 の上面を 20mm 切削して UHPFRC で補修したモデルである。RC29 の鉄筋配置を図-1 に示す。

2.2 解析方法

解析モデルは、床版の載荷条件、支持条件、形状寸法の対称性があるため、図-2 に示すように 1/4 モデルとし

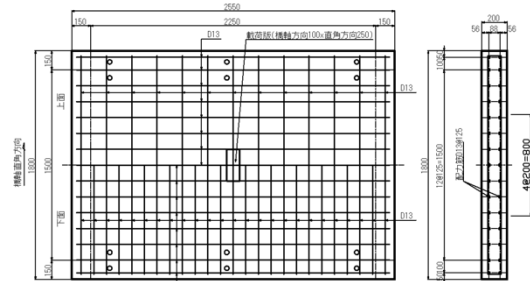


図-1 RC29 の寸法と鉄筋配置

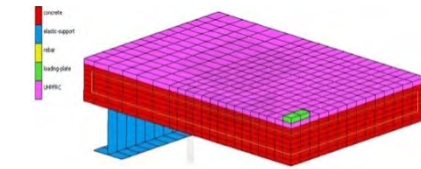


図-2 1/4 解析モデル (URC39)

た。要素の寸法は、載荷面積を考慮し、載荷点近傍で 50mm×62.5mm×20mm とした。床版及び載荷板は 8 節点ソリッド要素、弾性支持は 4 節点シェル要素、鉄筋は線要素とした。ひび割れモデルは分散モデルを用い、鉄筋のモデル化は埋込み型モデルを採用してコンクリートと完全付着とした。支持では、橋軸方向に弾性支持の H 形鋼を 2 辺に配置し、橋軸直角方向に 2 辺単純支持とした。コンクリートの圧縮応力-ひずみ関係は、前川が提案した一軸圧縮応力-ひずみ関係（図-3）を採用した¹⁾。引張応力-ひずみ関係は、引張強度までを線形とし、その後 1/10 の勾配で軟化するとした。鉄筋の応力-ひずみ関係は、図-4 に示すように降伏点以降は初期勾配の 1/100 で硬化するモデルを用いた。UHPFRC の構成則では、ひび割れの発生前は応力-ひずみが線形関係にあり、ひび割れの発生後は複数微細ひび割れ型繊維補強セメント複合材料 (HPFRCC) 設計・施工指針²⁾ に従い、図-5 に示すような UHPFRC の一軸応力-ひずみ関係を採用した。材料特性について、RC29 のコンクリート、RC39 のコンクリート、UHPFRC は、実圧縮強度がそれぞれ、25.1MPa、23MPa、165.3MPa であり、ヤング率が 21.2GPa、20.8GPa、39.7GPa とした。なお、コンクリートのヤング率は計算式による値である。鉄筋は SD345 でありヤング率を 200GPa とした。

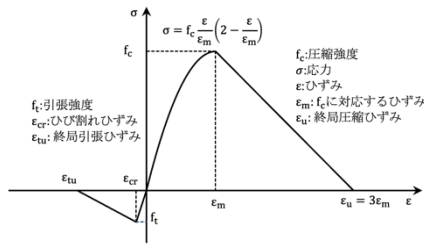


図-3 コンクリートの応力-ひずみ関係

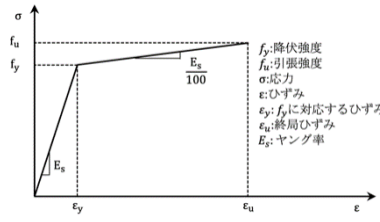


図-4 鉄筋の応力-ひずみ関係

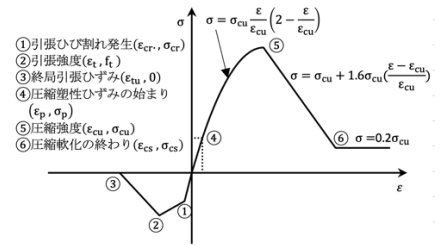


図-5 UHPFRC の応力-ひずみ関係

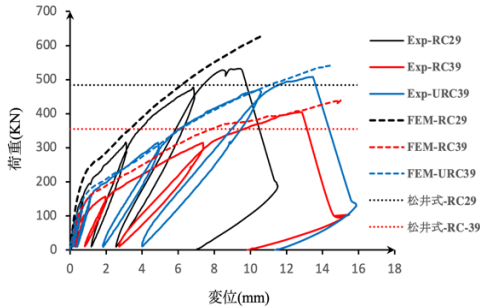


図-6 荷重-載荷点変位関係

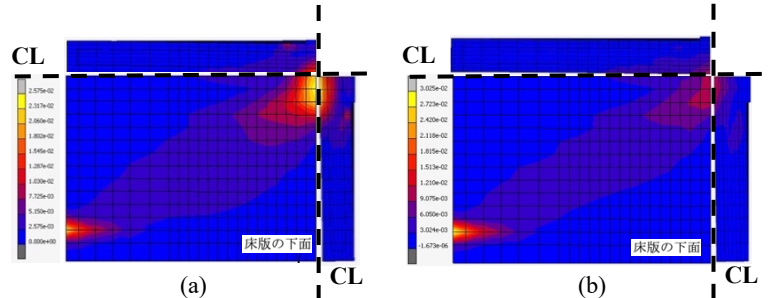


図-7 RC39 の最大荷重時のひび割れ最大主ひずみ分布: (a) RC39, (b)URC39

3. 解析結果

3.1 荷重-載荷点変位関係

図-6は、試験及び解析による荷重-載荷点変位関係と松井が提案した押し抜き耐荷力の算定式³⁾により算出された押し抜きせん断耐荷力の値を示す。図-6により、解析結果は実験結果と近い挙動を示している。全ての荷重-載荷点変位関係において、荷重は変位が0.2mm程度まで大きな勾配で増加したが、その後、勾配が大幅に低下していることが分かる。これは解析結果のひび割れ最大主ひずみ分布を見ると、床版の下面にひび割れが発生し始めた時であり、そのひび割れによる剛性の低下が原因であると考えられる。

補修後であるURC39は、補修前であるRC39に比べて最大荷重が25%程度も向上している。また、ひび割れ後の剛性に着目すると、URC39はRC39より大きく向上していることからUHPFRCの上面補修は、床版下面の変形を抑える効果があると考えられる。しかし、URC39をRC29と比較すると、床版厚の違いによりRC29のひび割れ後剛性が明らかに大きい。最大荷重においてURC39はRC29の90-95%程度に達したが、RC29の実験値を上回るには至らなかった。

3.2 ひび割れ最大主ひずみ分布

解析結果よりひび割れが載荷点近傍の下面から発生し、支持の方に広がっていき、その後載荷板にも向けて斜めに進行しており、最終的に押し抜きせん断破壊性状を示していることが確認された。図-7は、RC39の最大荷重時におけるRC39およびURC39のひび割れ最大主ひずみ分布を示す。図-7によると、載荷点近傍において最大荷重時のRC39のひび割れがURC39より顕著であることが分かる。また、RC39の場合はひび割れが床版の上面に至ったが、URC39では床版上面の層であるUHPFRCにはひび割れが生じていないことが認められる。これはUHPFRCの高い剛性と強度により曲げ変形が抑えられたため、コンクリートのひび割れの進行が遅くなったと考えられる。

4. まとめ

本研究は、非線形有限要素解析を用い、S39道示とH29道示のRC床版、そしてUHPFRC上面補修されたS39道示のRC床版の押し抜きせん断解析を行い、それらの比較によりUHPFRCの補強効果を検討した。本研究で得られた結果をまとめると以下ようになる。

- (1) UHPFRCで上面補修されたS39道示のRC床版は、ひび割れ後剛性が向上することが分かり、ひび割れ最大主ひずみ分布からひずみが低減されることも確認できた。また、押し抜きせん断耐荷力が大幅に向上されることが分かった。
- (2) S39道示に基づくRC床版をUHPFRC上面補修した後は、H29道示のRC床版と厚さの差が40mmもあるものの、H29道示のRC床版の最大荷重の90-95%までも達することが確認された。

今後は、UHPFRCの補修厚さを増加させて、UHPFRC上面補修されるS39道示のRC床版が、H29道示のRC床版と同等以上の耐荷力を得られる補修厚さを検討することが挙げられる。

謝辞

実験データを頂いた(一財)災害科学研究所J-ティフコム技術研究会に謝意を示す。

参考文献

- 1) Maekawa, K., Okamura, H. and Pimanmas, A.: Non-Linear Mechanics of Reinforced Concrete, CRC Press, Florida, USA, 2014.
- 2) 六郷恵哲, 横田弘, 坂田昇, 閑田徹志: 複数微細ひび割れ型繊維補強セメント複合材料 (HPFRCC) 設計・施工指針 (案), 土木学会論文集, Vol. 45, No. 3, 2007.
- 3) 松井繁之: 移動荷重を受ける道路橋RC床版の疲労強度と水の影響について, コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 9, No. 2, pp. 627-632, 1987.