# UHPFRC により補強した U リブ鋼床版の自然環境状態での輪荷重走行試験

中日本高速道路㈱(名古屋大学) 正会員 〇服部雅史 名古屋大学 フェロー 舘石和雄,正会員 判治剛,正会員 清水優

## 1. はじめに

鋼床版のUリブとデッキプレートの溶接部において,溶接ルートを起点としてデッキへ進展する疲労き裂が報告されている. このき裂は走行安全上対策が急務なき裂である.その対策として,き裂処理(e.g.ストップホール,溶接補修)を施した上で鋼 繊維補強コンクリート(以下,SFRC)敷設により補強する方法が提案されている<sup>1)</sup>.また,き裂長などの条件によってはSFRC 敷設のみでき裂進展を抑制でき<sup>2)</sup>,き裂処理を省略し,より合理的に維持管理できる可能性がある.筆者らはこのき裂を小さ い段階で発見し,その寸法を推定する方法を提案しており<sup>3)</sup>,それと適切な敷設材を組み合わせた対策の確立が望まれる.

文献 2)より,き裂先端の応力は敷設材の弾性係数が高いほど低減されると考えられる. SFRC より弾性係数が高く,現場施工が実現可能な材料として超高性能繊維補強セメント系複合材料(以下,UHPFRC)が開発されつつある<sup>4)</sup>. そこで,UHPFRC 敷設により鋼床版を補強する方法の効果検証と問題点抽出を目的に,より実交通荷重に近い負荷を与えられる輪荷重走行試験を実施している.本稿では,その試験のうち,自然環境状態での試験結果を報告する.

#### 2. 検討概要

試験体を図1に示す. 寸法は SFRC 敷設の検討 <sup>5)</sup>を参考に決定した. U リブとデッキの溶接は, サイズが 6mm 以上を, 溶込み深さがUリブ厚の75%以上を目標とした. 輪荷重の載荷範囲に横リブ(D-D)断面), 主桁垂直補剛材(B-B, F-F)断面), 現場添接部(E-E)断面)を配置している. 支持条件は図1の黄色ハッチの6箇所を剛な支持桁により固定した.

輪荷重走行試験機には、タンデム軸(軸間隔 1.4m)のダブルタイヤが 3m の範囲を毎分 6 往復するものを使用した. 載荷 範囲は図1に青色ハッチで示している. 荷重は 25t 車を想定してダブルタイヤ 1 対あたり 50kN に衝撃係数 1.4 を考慮して、 70kN とした. この試験機は屋外に設置されているため、自然環境状態での試験と称している.

はじめに、補強がない状態で 31.5 万往復(1 往復 4 回載荷の範囲は 70kN, 126 万回) 走行し、図 1 赤丸で示した位置に 2 つのき裂を導入した. き裂寸法はデッキ上面からの超音波探傷により Crack1 が深さ *a*=8.5mm, 長さ *l*=105mm, Crack2 が *a*=10.9mm, *l*=110mm と推定された. その後, き裂処理を施さずに UHPFRC を 40mm 厚でデッキ上面に屋外ヤードで敷設し, その場で自然養生した. UHPFRC の施工目地を C-C 断面に設けた. デッキと UHPFRC の界面には SFRC 敷設で実績のあ る接着剤を用いた. デッキの現場添接部は, 事前検討で UHPFRC の収縮ひび割れが確認されたため, その対策として施工

前に樹脂モルタルで滑らかに仕上げた. UHPFRC の試験開始 時の弾性係数は 44.1kN/mm<sup>2</sup> であり,上面には目視できる収縮 ひび割れはなかった.敷設後に同じ荷重条件で 25.5 万往復(1 往復4回載荷の範囲は 102 万回)載荷した.

次章で示す解析結果は、Abaqus 6.14を用い、ソリッド要素で 試験体をモデル化し、弾性解析から求めたものである. 各材料 の弾性係数 *E* とポアソン比 *v* は、鋼材は *E*=206 kN/mm<sup>2</sup>, *v*=0.3, UHPFRC は *E*=45 kN/mm<sup>2</sup>, *v*=0.2, 接着剤は *E*=2 kN/mm<sup>2</sup>, *v*=0.2 とし、比較用の SFRC は *E*=33 kN/mm<sup>2</sup>, *v*=0.2 とした.「接 着無」では接着剤の弾性係数を *E*=0.01 kN/mm<sup>2</sup> と仮定した.

### 3. 検討結果

U リブスパン中央(B-B 断面)のデッキ下面の橋直方向応力 分布を図2 に示す.補強前に比べ,補強後のデッキの応力は 大幅に改善されている.「接着無」より,「接着有」の解析に近い

2530 475 150 640 640 475 B-B-横リブ 550 550 475 150 640 640 475 18 ┈╍╫┼╬╼╋<u>┍</u> 20 AJ rt A 1375 ŝ Crack2 Crackl ₽ NB ВД 主桁垂直 D-D 補剛材 C<sub>A</sub> ΝC 施工目地 <u>g</u>vD <u>8</u>D E<sub>1</sub>主桁垂直 470 VE Uリブ詳細 補剛材 319.4 F\_ ΛF -1 80 1往復 構りブ 図1 試験体,載荷範囲,余き裂位置

キーワード 鋼床版,疲労き裂,UHPFRC,補強,輪荷重走行試験

連絡先 〒460-0003 愛知県名古屋市中区錦 2-18-19 TEL052-222-1243

試験結果であるため、デッキと UHPFRC は適切に合成されたと考えられる. 応力分布に UHPFRC と SFRC との明確な差はみられない.

1-57

Crack1,2の近傍の D-D 断面のデッキ下面の溶接止端から5mmの橋直方向応力範囲 Δσ<sub>ref</sub>と載荷回数 N との関係を図3に示す.補強前はき裂進展に伴う応力の低下がみられた.UHPFRC 敷設後102万回載荷したが,その間に応力の変化は見られないことから,き裂の更なる進展や,デッキとの付着切れはないものと推測される.

図2より解析モデルは妥当と判断し、FEM により実験と同じ走行位 置に1対のダブルタイヤ荷重が影響線載荷した場合のUリブスパン 中央(B-B 断面)のき裂先端の応力拡大係数範囲(モード I) ΔK1 を 求めた. き裂は文献 6)を参考に、半楕円、鉛直面に対して傾き 15°、 き裂アスペクト比 a/l=1/65 とし, a=1, 2, …, 11mm の計 11 ケースとし た. なお,き裂の閉口は考慮していない. K1 はき裂面に沿ったき裂先 端からの距離 r=0.3, 0.4, …, 1.0mm の 8 点の開口変位 u から変位 外挿法により求めた. 各点はき裂先端応力の特異性支配域(塑性域 を除き,  $u \propto r^{1/2}$ の領域)であること, この方法で求めた  $K_l$  は Newman-Rajuの式<sup>7</sup>による計算値と5%以内の誤差であることは別途 確認している.  $\Delta K_l \geq a$  の関係を JSSC の下限界応力拡大係数範囲 (最安全)<sup>8</sup> *AK*<sup>th</sup> と合わせて図 4 に示す.「接着有」では UHPFRC と SFRC には差がほとんどないが  $a \leq 6$ mm の場合に UHPFRC は  $\Delta K_1$ をより小さくできる.本検討の荷重条件では、a≦5mm で ΔK<sub>th</sub>を下回 るため, き裂が 5mm 以下の段階で敷設すればき裂処理を省略しても き裂は停滞する可能性がある.「接着無」では全てのケースで UHPFRC が SFRC より ΔK1 を低減できる.界面の接着剤の長期耐久 性に関して不明な部分もある点を踏まえ、き裂をなるべく小さい段階 で発見して、き裂処理を省略して対策する維持管理シナリオとすれ ば、UHPFRCはSFRCより効果的な補強材と考えられる.

最後に、UHPFRC上面のひび割れを図5に示す.横リブや主桁垂 直補剛材などUHPFRC上面に引張応力が生じる箇所(負曲げ部分) を中心に載荷範囲全面にひび割れが生じた.図3より、その状態でも 補強効果に変化はみられないが、UHPFRC 自体の耐久性、特に雨 水との相互作用の影響を確認する必要があると思われる.一方で、 現場添接部や施工目地に目立った変状は確認できなかった.

## 4. まとめと今後の予定

対策の効果検証と問題点抽出のため自然環境状態での輪荷重走 行試験を実施した. UHPFRC 上面にひび割れが生じるものの,補強 効果は持続することを確認した. 今後は,水張状態の輪荷重走行試 験と,試験後のき裂の進展の有無を確認する予定である.



**参考文献** 1) 例えば、土木学会:鋼構造シリーズ 19 鋼床版の疲労、2010. /2) 村越ら:デッキ進展き裂を有する鋼床版に対する SFRC 舗装のき裂進展 抑制効果、土木学会論文集 A1,, Vol.75, No.2, 2019. /3) 服部ら:鋼床版 Uリブ・デッキプレート溶接部の内在き裂に対するフェーズドアレイ超音波探傷 の測定精度、土木学会論文集 A1,, Vol.74, No.3, 2018. /4) 渡邊ら:UHPFRC による道路床版打替え・補強工法に向けた実大施工試験, PC 工学会第 28 回シンポジウム論文集, 2019. /5) 小野ら:既設鋼床版の疲労性状と鋼繊維補強コンクリート敷設工法による疲労強度改善効果に関する研究、土木学 会論文集 A, Vol.65, No.2, 2009. /6) Kainuma et al., Experimental investigation for structural parameter effects on fatigue behavior of rib-to-deck welded joints in orthotropic steel decks, Eng. Fail. Anal., 2017. /7) Newman et al., Stress-intensity factor equations for cracks in three-dimentional finite bodies subjected tension and bending loads, NASA Tech. Memo., 85793, 1984. /8) 日本鋼構造協会:鋼構造物の疲労設計指針・同解説, 2012