

超高性能繊維補強セメント系複合材料による床版上面増厚の補強効果に関する検討

(株)大林組 正会員 ○佐々木 一成 青木 峻二 富井 孝喜 大場 誠道

1. はじめに

鋼橋の RC 床版の劣化に対する補修・補強方法のひとつとして、鋼繊維補強コンクリート(SFRC)による上面増厚工法が採用されている。SFRC は粗骨材を含んでおり、50～60mm 程度で増厚されている。そのため、床版重量増による桁の補強や路面の擦り付けが必要であり、施工目地からの水の侵入や SFRC 層の剥離などの再劣化も課題となっている。そこで、近年、SFRC と比べて高強度・高靱性かつ緻密で物質移動抵抗性に優れた超高性能繊維補強セメント系複合材料(UHPFRC)により床版厚さを大きく増加させることなく補強する工法が開発されている¹⁾。UHPFRC は一般的に粗骨材を含まず、混入している鋼繊維の長さは 15mm 程度以下であるため、30mm 程度の厚さであっても増厚施工が可能である。また、緻密で繊維によりひび割れ幅の拡大を抑制することができることから、床版コンクリートへの水や塩化物の侵入抑制、土砂化防止が期待されている。

そこで、本検討では鋼橋の RC 床版を対象とし、UHPFRC を用いて上面増厚した床版の疲労耐久性を検証するため、増厚した床版の輪荷重走行試験を実施した。

2. 実験方法

(1) 試験体

試験体の概要を図 1 に示す。配筋は既往の実験²⁾を参考とし、試験体寸法は長さ 4.5m、幅 2.8m とした。

使用した材料の諸元を表 1 に示す。床版は設計基準強度 24N/mm² の普通コンクリートとした。増厚に使用した UHPFRC は、鋼繊維を 2.0vol.% 混入し、材齢 28 日で圧縮強度 130N/mm² を満足する材料である¹⁾。

増厚する前に厚さ 220mm の RC 床版に輪荷重 250kN 走行回数 10 万回の予備载荷を実施した。予備载荷後の床版下面のひび割れ密度は 14.7m/m² であった。その後、床版上面を厚さ 10mm で切削し、ショットブラストにより研掃した。研掃後、コンクリート表面は水を噴霧することにより湿潤状態を保ちながら UHPFRC を 25mm の厚さで増厚した。増厚後の床版の厚さは 235mm となる。

UHPFRC 増厚層には、既往の研究²⁾を参考に幅 500mm の軌道から 100mm 離れた位置に軌道平行方向の施工目地を設けた。UHPFRC は軌道側を先に施工し、翌日に残りの部分を施工して打ち継いだ。施工目地は三角形の高さ 50mm、間隔 50mm の鋸歯形状とし、先打ちした UHPFRC の打継面

は打込み後 2 時間で脱型し、高圧水で細骨材および鋼繊維が表面に出る状態とした。

(2) 载荷方法および計測方法

増厚前の予備载荷および増厚後の本载荷は同一の試験機、支持条件とし、幅 500mm の鉄輪を試験体の中心から前後 1.5m(全長 3.0m)の区間、往復させた。試験体長辺は支間 2.5m で単純支持し、短辺は H 形鋼材(H300×300)の弾性梁により支持した(図 1)。

载荷荷重と走行回数の関係を図 2 に示す。本载荷では乾燥状態で 250kN×10 万回を载荷した後、表面を水性ペンキで着色した水を張った状態でさらに 250kN×10 万回の载荷を実施した。その後、载荷荷重を 300kN とし、床版から漏水が観察された時点で水張を終了し、载荷は継続した。

床版の鉛直変位を図 1 に示す位置で計測した。計測時は輪荷重を床版中央で停止させ、静的に载荷、計測した。計測した時期は図 2 のとおりである。

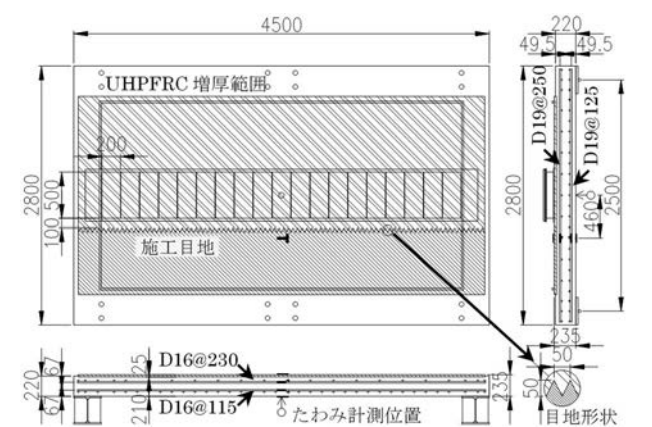


図 1 試験体および計測位置 (mm)

表 1 使用材料の諸元 (コンクリート, UHPFRC)

	圧縮強度 (N/mm ²)	割裂ひび割れ 発生強度 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	静弾性係数 (kN/mm ²)
(予)コンクリート	31.1	2.89	-	26.6
(本)コンクリート	34.7	2.69	-	26.9
UHPFRC(先)	160	9.37	10.9	47.2
UHPFRC(後)	165	9.08	10.6	46.3

※ (予):予備载荷時, (本):本载荷時, (先):先打ち, (後):後打ちを示す。

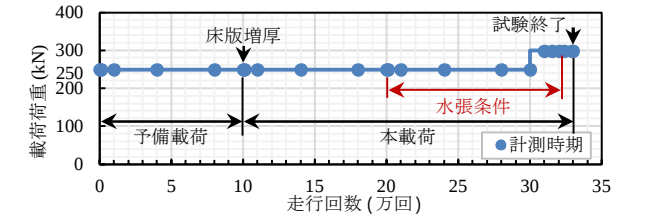


図 2 载荷ステップおよび計測時期

キーワード 上面増厚, UHPFRC, 押抜きせん断, 輪荷重走行試験
連絡先 〒204-8558 東京都清瀬市下清戸 4-640 (株)大林組 技術研究所 構造技術研究部

3. 実験結果

実験におけるたわみー走行回数関係を図3に、実験終了後の床版上面および断面のひび割れの状況を図4および写真1に示す。総たわみは各ステップにおける荷重載荷時の値、残留たわみは荷重を載荷していない時の値、活荷重たわみは総たわみから残留たわみを減じた値で各載荷荷重における弾性変化分を示している。本載荷開始時の残留たわみは予備載荷終了時の残留たわみとしている。換算走行回数は、基準輪荷重を250kNとしS-N曲線の傾きの逆数の絶対値は松井³⁾が提案する12.7を適用して求めた。

図3のように、増厚後、活荷重たわみは小さくなり、増加量も小さくなった。水張をした20万回以降においても増加量に大きな変化は見られなかった。換算走行回数54万回の漏水発生時点で押抜きせん断によるひび割れが発生し、たわみは急増した。

試験終了後の試験体切断面を観察すると、押抜きせん断による斜めひび割れが観察された。床版中央では斜めひび割れがUHPFRC層を貫通していた。UHPFRC界面に水張水による赤い着色やコンクリートが擦り磨かれたときに発生する泥濁物は見られず、UHPFRCにひび割れが発生した時点でコンクリート部分にはせん断ひび割れが入っており、ひび割れを伝って下面まで漏水が発生したものと考えられる。UHPFRCのひび割れ貫通位置が施工目地付近であるが、鋸歯形状に沿った目開きではなく、押抜きせん断ひび割れの到達したことにより、ひび割れたものと考えられる。

押し抜きせん断破壊した範囲においてUHPFRC層とコンクリートの界面剥離が見られた。押抜きせん断破壊した範囲の外側では健全な状態で付着していた。また、押抜きせん断破壊した範囲内では上筋に沿った水平ひび割れも観察された。

増厚された床版の押抜きせん断耐力を評価するため、松井³⁾が提案するRC床版の押抜きせん断耐力算定式により増厚前の厚さ220mmの床版のせん断耐力を計算した。

載荷荷重 $P=250\text{kN}$ とした載荷荷重せん断強度比と換算走行回数の関係を図5に示す。コンクリート部分に水の侵入がない乾燥状態を前提とした場合、松井³⁾が提案するRC床版のS-N曲線と実験値はほぼ同等であり、増厚による押抜きせん断に対する明確な補強効果は認められなかった。ただし、水張状態が考慮された式では破壊までの走行回数が乾燥状態と比較して約1/15に低下すると計算され、水張条件で走行した24.3万回分の走行回数を15倍して換算すると、押抜きせん断破壊するまでの走行回数は約400万回となる。水の影響を考慮すればRC床版と比べて破壊までの走行回数は大幅に改善することになり、UHPFRCの防水性能が大きく寄与しているといえる。

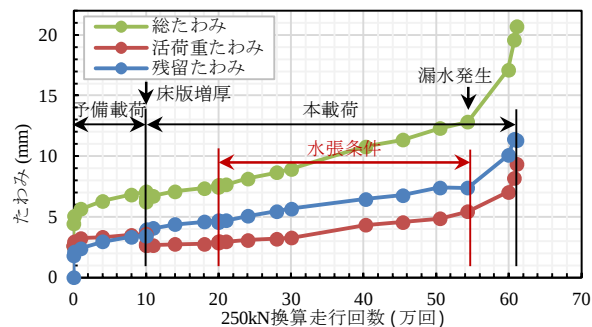


図3 たわみー走行回数関係

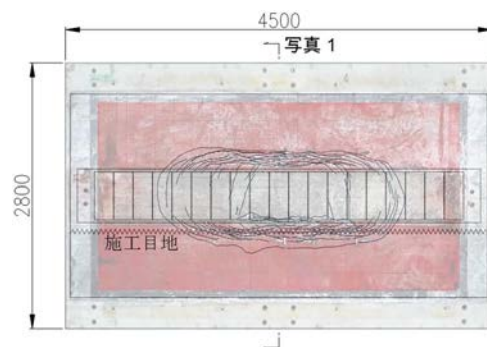


図4 床版上面 UHPFRC のひび割れ

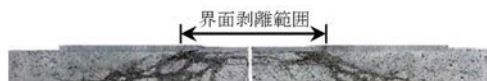


写真1 床版断面のひび割れ状況

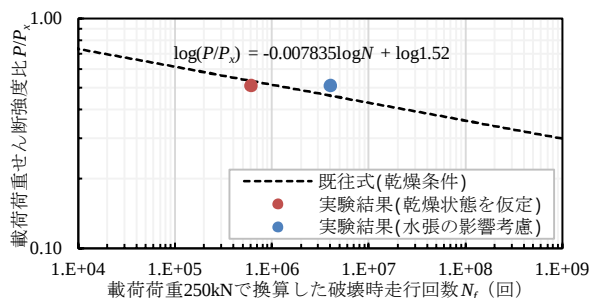


図5 S-N 関係における実験結果

4. まとめ

UHPFRCにより上面増厚した床版の疲労耐久性を検討するため、輪荷重走行試験を実施し、以下のことを確認した。

- ・ 下層コンクリートが先行してせん断破壊を生じる。
- ・ 下層コンクリートのせん断ひび割れ進展に伴い、UHPFRC層とコンクリートの界面にひび割れが生じる。
- ・ UHPFRCにより上面増厚した床版は漏水に対する抵抗性が高い。

参考文献

- 1) 富井孝喜ほか：床版上面増厚工法用超速硬型超高性能繊維補強コンクリートの配合設定，令和4年度土木学会全国大会第77回年次学術講演会，V-234，2022
- 2) 長谷俊彦ほか：上面増厚床版における施工目地部の劣化再現実験，コンクリート工学年次論文集，Vol.32，No.2，pp.1345-1350，2010
- 3) 松井繁之：道路橋床版 設計・施工と維持管理，森北出版，2007