

UFCによる鋼鉄道橋のバックルプレート上面補修について

西日本旅客鉄道(株) 正会員 ○福本 守

(一社)日本建設機械施工協会 施工技術総合研究所 正会員 橋本 雅行

(一財)災害科学研究所 J-ティフコム研究会 正会員 三田村 浩

神戸大学 正会員 橋本 国太郎

1. はじめに バックルプレート(以下, BP)を有する鋼鉄道橋では, BPの取付け部においてき裂が発生することがある(図-1)。これまで著者らは, 列車荷重載荷に伴う取付け部の局所的な面外曲げだけではなく, BP上面の腐食がき裂の主因であることを明らかにしたり, これを踏まえると, き裂が発生したBPに対してその上面で対策を施すことで, 上面の腐食の抑制およびBP取付け部の応力低減を図ることが合理的である。

著者らは上記の着想から, 遮水効果があり, 取付け部に生じる面外曲げを負担できる材料として超高強度繊維補強コンクリート(以下, UFC)に着目し, 既設保護工上においてBPのき裂をまたぐ形でUFCを増し厚する方法(以下, 本工法)を考案した(図-2, 図-3)。本工法では, 線路内作業時間が短い(増し厚作業としては1時間以下), 道床の最小厚などの制約条件があるため, 作業時間や出来形などの施工性を検証する必要がある。また, 早強性や繰返し列車荷重に対する耐荷性および遮水性, BPの応力低減効果などの材料性能を検証する必要がある。

本研究では, 本工法に用いるUFCとして, 現場での施工や養生が可能で早強性もあるとされるJ-THIFCOM²⁾を用いることとし, 下路形式の実大桁試験体³⁾を用いた施工性確認試験および載荷試験を行い, 上記の検証を行った。

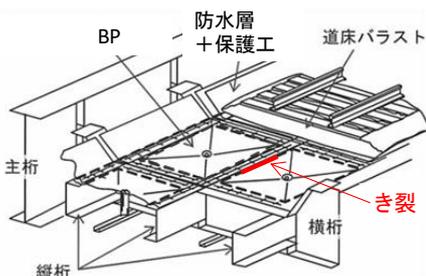


図-1 BP桁(下路形式)の構造概要および取付け部に沿ったき裂の事例

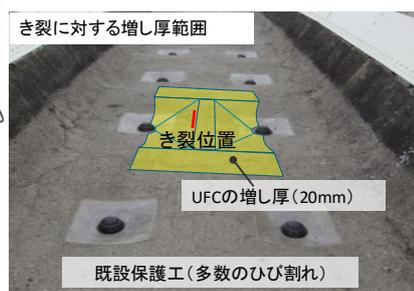


図-2 上面補修(本工法)のイメージ

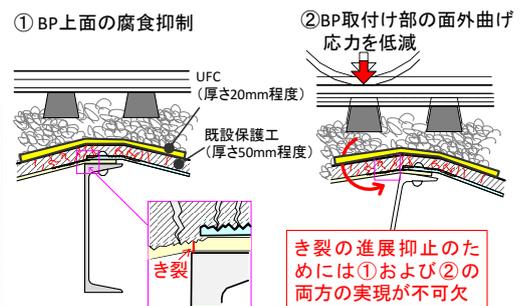
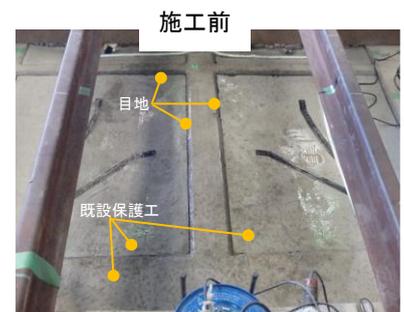


図-3 本工法に期待する効果

2. 施工性の検証 試験に先立ち, BP上にて既設保護工を模擬した普通コンクリートを打設した。既設保護工には, 実橋のひび割れ性状¹⁾を考慮し, 取付け部に沿ってひび割れを模擬した目地を設けた。本工法の施工範囲は, 図-2のように, き裂が生じやすいBPの中央縦桁沿いの取付け部周辺(約1.7m×1.3m)とし, UFCの厚さは20mmを目標とした。

試験の結果, 作業員4人体制での施工面の清掃, 材料の練混ぜ, 運搬, および敷き均しに要した時間は計23分で, JR西日本管内の大半のBP桁が存在する線区において, 上記作業に充てられる約1時間に比べ, 十分短かった。

本工法の施工前後の状況を図-4に示す。表面仕上げ状態は良くないが, 表面にひび割れは認められなかった。一方で, 厚さは一定ではなく, 特に着目する面外曲げ引張応力が大きい中央縦桁上では最小7mmと薄く, 逆にBPの中央付近では50mm程度あった。この原因として, 本配合では硬化速度が速く, 敷き均し時間を十分確保できなかったことが考えられる。3.で後述する載荷試験は, この良好ではない仕上がり状態で行った。なお, 本試験後に配合を再検討し, 同様の試験を行ったところ, 出来形, 所要時間も良好な結果であった。



※バラストとまくらぎを一時撤去して施工

図-4 施工前後の状況

キーワード バックルプレート, 鋼鉄道橋, 上面補修, UFC, き裂, 腐食

連絡先 〒532-0011 大阪市淀川区西中島5-4-20 中央ビル2F 西日本旅客鉄道(株) 構造技術室 鋼構造 TEL 06-6305-6958

3. 材料性能の検証

(1) **早強性** 2. で用いた UFC に対して圧縮強度試験を行った。UFC の養生時間（練り混ぜ水の注水からの経過時間）と圧縮強度の関係を表-1 に示す。本工法では、注水後約 3 時間程度で列車が通過することを想定しているが、表-1 に示すとおり、注水後 1 時間で 24N/mm^2 であり、普通コンクリートと同等の圧縮強度を発現しており、早強性が十分にあると判断した。

(2) **耐荷性およびBP 応力低減効果** 2. で本工法を適用した実大桁試験体³⁾に対して繰返し載荷試験を行った（図-5）。載荷は、養生約 9 時間（圧縮強度 38N/mm^2 以上）で開始し、強度が発現する過程で行った（200 万回時の圧縮強度は 110N/mm^2 以上）。載荷位置は、BP の中央縦桁沿いの取付け部の応力が最大となる位置とした。荷重範囲は、M 荷重の 1 軸分（100% 乗車、衝撃含む）を考慮し、1 レールあたり $5\sim 80\text{kN}$ とした。また、繰返し載荷前、および 50 万回ごとに最大活荷重の E 荷重（衝撃含む）として 1 レールあたり 125kN を静載荷した。

UFC 上面では繰返し載荷前の静載荷（図中の 0 万回）で、やや大きなひずみ変化が生じ、 260μ 程度の引張の残留ひずみが生じた（図-6）。また、50 万回程度以下において引張の残留ひずみが増加し、最小荷重時で 600μ 程度に達した（図-7）。これらは、表-1 のように硬化過程で載荷したことで、目に見えない程度のひび割れが発生したためと考えられる。一方で、50 万回程度以降は引張残留ひずみが増加する傾向はなく（図-7）、また、50 万回以降の E 荷重の静載荷では、各段階とも繰返し載荷前の約 1/2 の 170μ 程度の弾性挙動を呈した（図-6）。

BP 取付け部の応力については、本工法を適用することで、中央縦桁フランジ縁から 4mm 位置では 50% 以上の応力低減効果が確認できた（図-8）。

(3) **遮水性** 繰返し載荷試験後に、UFC 上面から散水試験を実施した。散水は、BP4 辺の模擬き裂と既設保護工の目地を設けたパネル II の直上で、UFC の上面を木枠で囲み、その枠内で行った。枠内に数十分間滞水させた状態で、パネル II の下面から漏水が生じないか目視確認した結果、図-7 で示したように引張残留ひずみが生じた状況でも漏水は一切生じず、UFC が十分な遮水性を保持していることが確認できた。

4. まとめ 実大桁試験体を用いた施工性確認試験および載荷試験の結果、本工法の施工性は問題なく、また、BP に生じたき裂の進展抑制対策として適用できることがわかった。今後は実橋において本工法の効果を検証することを考えている。

参考文献

- 1) 福本守ほか：鋼鉄道橋のバックルプレートにおけるき裂の原因と部位別の発生傾向，土木学会論文集 A1, Vol.74, No.2, pp.261-279, 2018.8.
- 2) J-ティフコム施工協会：J-THIFCOM パンフレット，<http://j-thifcom.com/doc/J-ThifcomPanf.pdf>，（参照 2019.3.）
- 3) 福本守ほか：き裂を有するバックルプレートの耐荷性状と簡易な補修方法の開発，構造工学論文集，Vol.65A, pp.492-505, 2019.3.

表-1 UFC の養生時間と圧縮強度 (N/mm^2) の関係

| 1 時間 | 2 時間 | 6 時間 | 1 日 | 7 日 | 21 日 |
|------|------|------|-----|-----|------|
| 24 | 29 | 38 | 71 | 110 | 115 |

※表中の時間は練り混ぜ水の注水後からの経過時間を表す。

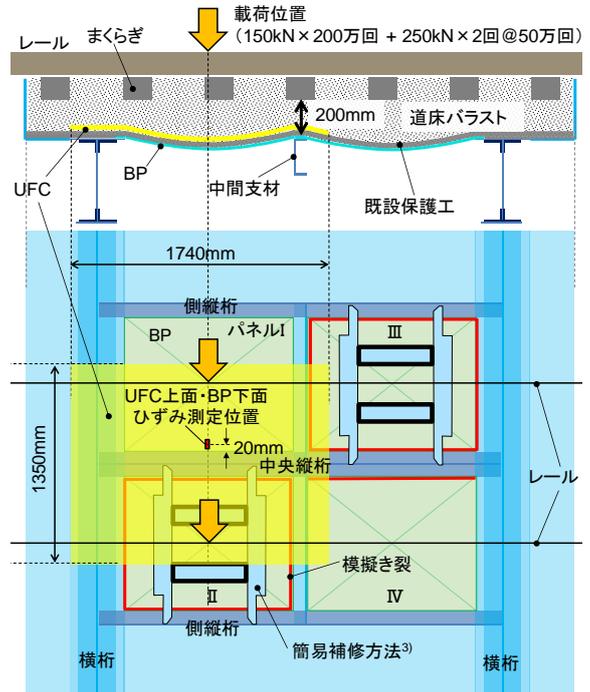


図-5 載荷試験の概要と測定位置

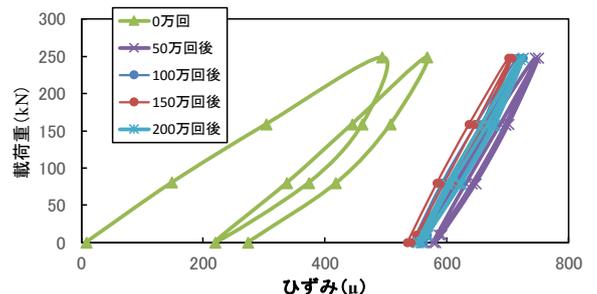


図-6 250kN 静載荷における載荷重-UFC ひずみ関係

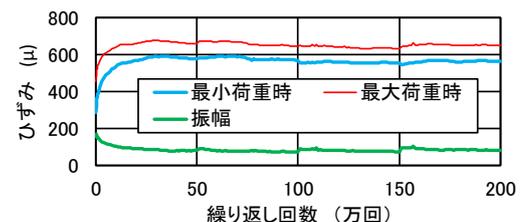
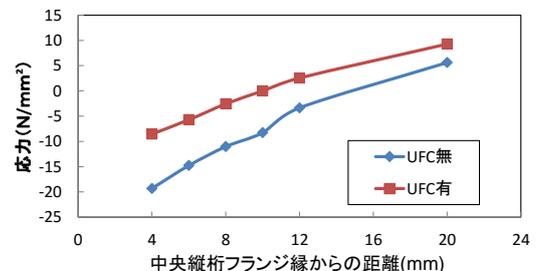


図-7 150kN 繰返し載荷における UFC ひずみの推移



※中央縦桁フランジ縁から 20mm 位置だけでなく、4~12mm 位置 (2mm ピッチ) も BP 下面の応力を測定

図-8 本工法適用前後における BP 取付け部近傍応力