付着性能を改善した CFRP ロッドを埋設補強した張出し RC 床版の輪荷重走行試験

三菱ケミカルインフラテック株式会社　正会員　○長谷川　泰聰
山口大学大学院　学生会員　下瀬　恒大
山口大学大学院　正会員　吉武　勇

1．はじめに

本研究は橋梁の張出し RC 床版を対象とし，補強材として炭素繊維ロッド（CFRP ロッド）を床版上面表層に配置した Near Surface Mounted（NSM）補強工法について検討を行った．CFRP 補強材（ロッド・プレート）を用いた NSM 補強の場合，強固な接着力を有することから既設コンクリートとの一体化はエポキシ樹脂による接着が一般的である．しかしながらエポキシ樹脂を使用した場合，樹脂の硬化に数日の養生が必要となり交通規制期間が長くなるといった課題がある．そこで筆者らはエポキシ樹脂による接着固定を行わなくても充分な付着性能が確保できるよう，1.5～4.5mm 厚に GFRP プリプレグシートを巻付け硬化させることで突起加工を施した CFRP ロッドを 4 時間程度で硬化する超早強ポリマーセメントモルタル（PCM）内に埋設する工法を開発した．これまで補強した RC はりの載荷試験等により曲げ耐力・曲げ疲労耐久性を調査してきた[1]．本研究では張出し RC 床版の輪荷重走行試験により実構造物へ適用した際の疲労耐久性を調べた．

2．使用材料および試験概要

輪荷重走行試験に使用した材料一覧を**表-1** に示す．コンクリート強度は材齢 28 日で圧縮強度 30MPa，ヤング係数 32GPa 程度となった．CFRP ロッドを埋設するモルタルは短時間で強度発現する超早強ポリマーセメントモルタル（太平洋マテリアル製 ゴムラテモルタル）を使用した．材齢 28 日におけるモルタルのヤング係数は 30GPa 程度であり，既設のコンクリートのヤング係数と同程度である．補強する CFRP ロッドは鉄筋の応力緩和効果が高く，張出し床版の変形を抑制できることから鉄筋の 2 倍以上のヤング係数（440GPa）を有する高弾性タイプ（8φ）を使用した．

試験体概要と載荷試験状況を**図-1**，**図-2** に示す．試験体寸法は，幅 3050mm，長さ 4500mm，厚さ 160mm とし，端部は 150mm 高さの H 鋼と 13mm 径の PC 鋼棒で固定を行った．張出部支点は固定端から 1600mm とし，50mm 直径の鋼製のローラーでピン支持とした．輪荷重は 2 輪のゴムタイヤ（**図-2**）で張出支点部から 1000mm の位置を試験

表-1　使用材料

	公称径 (mm)	断面積 (mm^2)	強度 (MPa)	ヤング係数 (GPa)
ｺﾝｸﾘｰﾄ	---	---	29.5*a	32.45
ﾓﾙﾀﾙ	---	---	55.9*a	30.84
鉄筋	13	126.7	406*b	206
CFRP ﾛｯﾄﾞ	8	50.3	1386*c	440

ここに　*a:圧縮強度　*b:降伏点　*c:引張強度

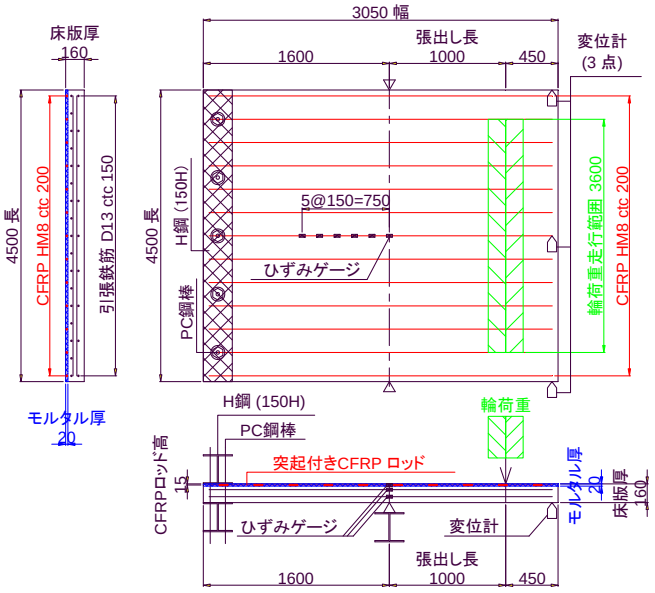

図-1　試験体概要

図-2　輪荷重走行試験状況

キーワード　輪荷重走行試験，床版，押抜きせん断破壊，CFRP ロッド，NSM，付着
連絡先　〒103-0021　東京都中央区日本橋本石町 1-2-2　TEL　03-3279-3089

© Japan Society of Civil Engineers

体長手方向に 3600mm の範囲を往復走行した．

輪荷重は 100 万回までは 60kN で走行を行い，その後 70kN で 12 万回，80kN で破壊するまで（計 4.34 万回）の走行を行った．本研究では段階的に荷重を漸増させる載荷方法を行ったが，線形マイナー則と式(1)を用いて 60kN を基準荷重とした場合の走行回数に換算すると**表-2** となる．なお初期荷重 60kN は補強前の RC 床版における主鉄筋降伏荷重の約 1.3 倍に相当する荷重（補強後 RC 床版で計算上の鉄筋応力度が 210MPa 程度の荷重）である．

$$n_{eq} = \sum \left(\frac{P_i}{60}\right)^{1/0.07835} \cdot n_i \qquad (1)$$

ここにn_{eq}：等価換算回数，n_i：P_i荷重での載荷回数

表-2　換算走行回数

荷重 (kN)	走行回数 (回)	換算走行回数 (回)	換算累加走行回数 (回)
60	1,000,000	1,000,000	1,000,000
70	120,000	858,300	1,858,300
80	43,400	1,706,527	3,564,827

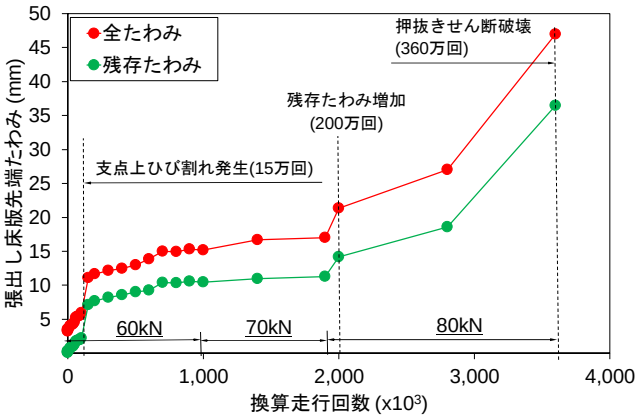

図-3　走行回数－たわみ関係

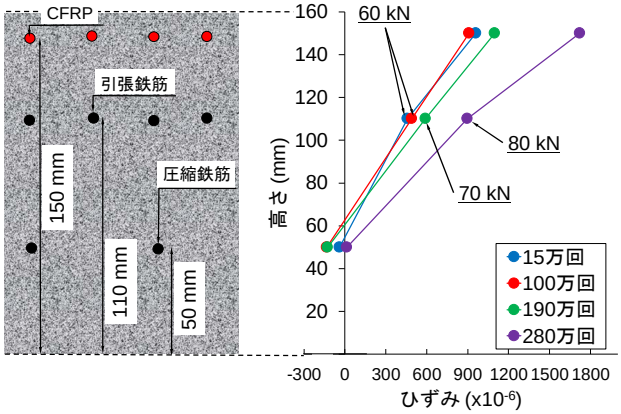

図-4　載荷回数による繊ひずみの推移

3．試験結果

走行回数-張出し床版先端変位の関係を**図-3** に示す．なお，横軸の走行回数は式(1)により 60kN 荷重での走行に換算した等価走行回数を示している．グラフ中の全たわみは張出し床版先端中央部に所定の荷重を載荷した際のたわみであり，残存たわみは除荷時のたわみを示している．15 万回で張出支点上に橋軸方向にひび割れが発生し，たわみが大きく増加したが，その後 185 万回までたわみが漸増する結果となった．100 万回載荷時に載荷荷重を 70kN に増加させた際でも，たわみに大きな変化はみられなかったが，185 万回載荷時に 80kN に荷重を増加させたところ，185 万回から 200 万回の間にたわみが大きく増加する結果となった．さらに，300 万回以降は加速度的にたわみが増加し，340～360 万回時に輪荷重走行位置で床版が下方向に抜け出る押抜きせん断で破壊に至った．

走行回数毎の繊ひずみの推移を**図-4** に示す．すべての走行回数において断面高さ方向の繊ひずみ分布は概ね線形分布となり，CFRP ロッドの抜け出しは発生していない．このことから，本研究で実施した突起加工を施した CFRP ロッドは輪荷重作用下においても充分な付着性能を有していることが分かった．

4．まとめ

本研究で得られた結果を以下に示す．

- 床版厚が薄く，作用荷重が大きい場合，張出し RC 床版においても輪荷重走行下では押抜きせん断破壊する可能性がある．
- 付着性能を改善した CFRP ロッドで補強した張出し床版は，補強前の RC 床版の鉄筋降伏荷重の 1.3 倍の荷重作用下（補強後 RC 床版で鉄筋応力 210MPa 程度）においても 300 万回走行以上の疲労耐久性を示す．
- 断面高さ方向の繊ひずみは 280 万回走行時においても概ね直線分布を示し，CFRP ロッドのすべり，抜け出しは発生しなかったことから，充分な付着性能が確認できた．

参考文献

1) Yoshitake I., Hasegawa H. and Shimose K. (2020), Monotonic and Cyclic Loading Tests of Reinforced Concrete Beam Strengthened with Bond-Improved Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP) Rods of Ultra-High Modulus, *Engineering Structures*, Vol.206, 110175.

© Japan Society of Civil Engineers