

CFRP ケーブルのコンクリートに対する付着挙動に関する実験的研究

茨城大学大学院理工学研究科 学生会員 ○孫 暁荷
茨城大学工学部 正会員 呉 智深
茨城大学工学部 正会員 岩下 健太郎
日鉄コンポジット株式会社 正会員 小林 朗

1. はじめに

鉄筋コンクリート（RC）構造物の表面に掘削した溝に連続繊維複合材（Fiber Reinforced Polymers; FRP）を埋め込む補強技術をプレストレストコンクリート（PC）構造に高度化することを目的とした，緊張 FRP の埋め込み補強技術が考案されており，著者らは緊張 FRP より線（ケーブル）の埋め込み接着による RC 梁に対する曲げ補強効果を検討してきた¹⁾．本研究では，緊張 FRP 埋め込み補強梁の荷重試験における終局破壊モードであった FRP の剥離破壊に注目し，FRP ケーブルの付着挙動を，埋め込み材をパラメータとした両引きせん断試験により，実験的に検討した．

2. 材料特性と試験方法

まず，本研究で使用する FRP ケーブルには，最高レベルの耐腐食性や比強度，比剛性を有し，疲労・クリープ耐久性にも優れる炭素繊維 FRP (CFRP) を用いた．引張特性と CFRP ケーブルの外観をそれぞれ表 1 と図 1 に示す．また，試験パラメータとして以下に示す埋め込み材を考慮した．まず，粘度が高く，桁下など上向きの作業も可能となるエポキシパテ，次に，エポキシ材より剛性が高くポリマーとセメントの中間の物性を有するため，付着強さの向上に期待できるポリマーセメント，そして粘度が非常に低く，溝周辺をシールしたうえでの注入方法も適用できることから，施工性の向上に期待できる高流動エポキシ樹脂を選択した（物

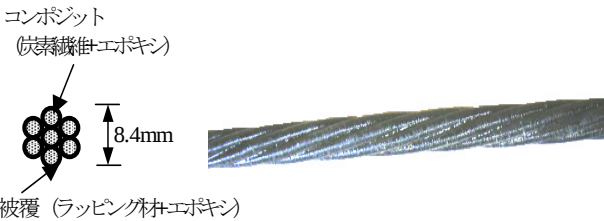


図 1 CFRP ケーブルの外観と諸源

表 1 CFRP ケーブル，コンクリートの特性

材料	特性	特性値
コンクリート	圧縮強度	30.6 (Mpa)
	ヤング率	27.7 (Gpa)
CFRP ケーブル	公称断面積	42.78 (mm ²)
	直径	8.4 (mm)
	ヤング率	94.9 (Gpa)
	引張強度	2084 (Mpa)

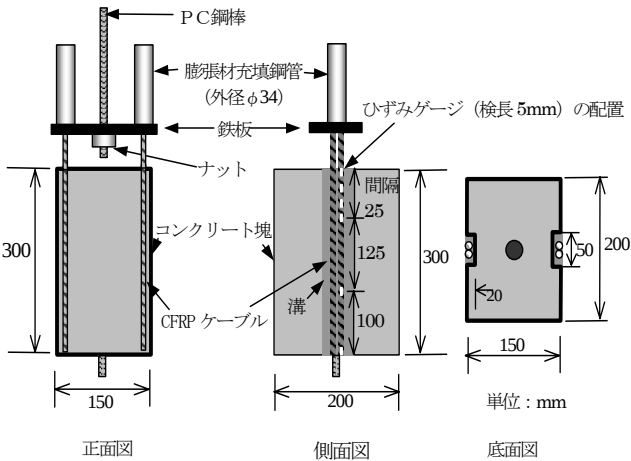


図 2 両引きせん断付着試験の概要

性値を表 2 に示す)．次に，両引きせん断試験体は，図 2 に示すように幅 200mm，高さ 150mm，そして長さ 300mm の矩形コンクリート塊（コンクリートの物性値も表 1 に示す）に，試験装置に接続するためのφ24 鋼ボルトを埋め込み，CFRP ケーブルを両側面の溝に埋め込んだ形状である．埋め込み材を充填する前にダイヤモンドサンダーで溝表面を削り，エポキシプライマーを 0.5kg/m² の基準量で塗布することで溝内の表面処理を行った．一方，FRP を無傷で引っ張るために FRP の片方の端部を差し込んだ鋼管に膨張セメントを充填し，CFRP ケーブルを定着し，これらの鋼管と接続したφ24 鋼ボルトを引っ張ることで CFRP ケーブルに引張応力を発生させる構造とした（図 2 参照）．試験は変位制御

表 2 本研究で使用した埋め込み材の物性値

材料	特性	特性値
エポキシパテ	引張強度	51.9(MPa)
	弾性係数	3.43(GPa)
ポリマーセメント	モルタルフロー値	165(mm)
	圧縮強度 (7日)	30.4(MPa)
	曲げ強度 (7日)	7.3(MPa)
高流動エポキシ樹脂	圧縮強度 (7日)	64(MPa)
	弾性係数 (7日)	4.6(GPa)
	粘度	4,000mpa・s

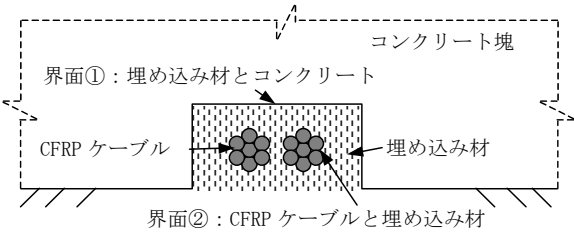


図 3 両引きせん断試験供試体の断面図

の 500kN 万能試験機を用い、1mm/min の速度で実施した。ここで、計測項目は荷重、変位、そして CFRP ケーブルのひずみ（片側 6 本のひずみゲージによる）とした。また、試験体数は埋め込み材ごとに 3 体とした。

3. 試験結果

今回の実験で得られた CFRP ひずみと FRP 引張方向側のコンクリート端からの距離の関係における一例を図 4 に示す。相対変位量は CFRP の分布ひずみを埋め込み距離に関して積分した値とした。荷重と相対変位の関係を図 5 に示す。ポリマーセメントを用いた場合には、エポキシ樹脂を用いた場合より剛性は高くなったが、低荷重レベルにおいて引き抜け始めるため、剛性が急激に低下するうえ、最大荷重も低い値であった。また、引き抜けは CFRP ケーブルとポリマーセメントの界面（図 3 内界面②）で生じていた。よって、ポリマーセメントはコンクリートに物性が近く、CFRP ケーブルとの付着性が他の界面に比べて劣ることがわかった。次に、エポキシパテを用いた場合は、エポキシパテとコンクリートの界面（図 3 内界面①）やコンクリートの浅い層で剥離が生じたことが観察されており、エポキシパテは FRP に用いるエポキシ樹脂と類似した物性であるため、FRP との接着より、物性の異なるコンクリートとの界面で剥離が生じたことがわかる。そして、高流動エポキシ樹脂を用いた場合はコンクリートの深い層で剥離が生じており、高流動エポキシ樹脂は CFRP ケーブルのみでなく、コンクリートとの良好

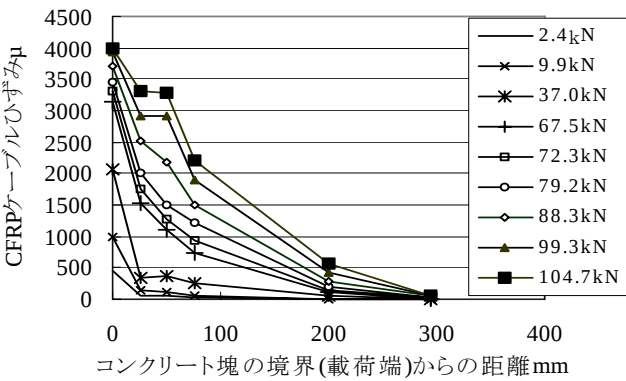


図 4 CFRP ケーブルひずみ分布

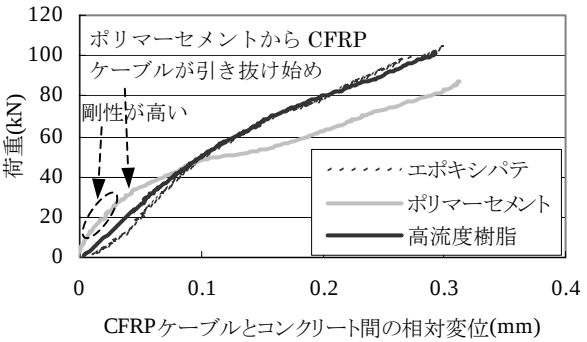


図 5 各供試体の荷重－相対変位曲線

な接着が得られることが示唆された。ただし、剛性や最大荷重はエポキシパテの場合と同程度であることから、エポキシパテを用いた場合にも、かなりの付着強さが得られていたことが実験的に明確となった。

4. おわりに

- 1) ポリマーセメントを用いることで接着界面の剛性は向上したが、FRP との物性の大きな違いにより低荷重レベルから FRP が引き抜け始めるため、その後の剛性や最大荷重はエポキシ材を用いた場合より低い値となった。
- 2) エポキシパテを用いた場合には、剥離がコンクリートとの界面やコンクリートの浅い層で生じたが、高流動エポキシ樹脂を用いた場合にはコンクリートの深い層で生じた。ただし、両者の剛性や最大荷重は同程度であることから、エポキシパテを用いた場合にもかなりの付着強さが得られることが実験的に明確となった。

参考文献

1) Z.S. Wu, K. Iwashita, and X.H. Sun: Structural Performance of RC Beams Strengthened with Prestressed Near Surface Mounted CFRP Tendons, ACI Convention in Denver, Colorado, USA, 2006

2) 連続繊維シートを用いたコンクリート構造物の補修補強指針, コンクリートライブラリ 101, 土木学会, 2000