

先貼り FRP シートによる FRP 緊張接着端部付着強さの向上効果の検討

名城大学 学生会員 早川 鋭, 伊東 誉正, 正会員 岩下 健太郎

1. 背景, 目的

現在我が国で橋齢 50 年以上の橋は 6% あり, 20 年後には 47% となる。これらの既設の橋梁は経年劣化、交通量増加により補強が必要となっており, 維持管理の重要性が高まっている。そして, 既設の RC, PC 構造物に対しての低コストかつ構造物にやさしく, 持続性のある補強技術の開発が急務である。著者らは現在主流となっている外ケーブル工法の発展形として緊張・補強材に長期耐久性や耐候性に優れる CFRP ケーブルを採用し, コンクリート表面に溝を掘り, 埋め込むことで全面付着を確保し, 優れた補強技術を開発してきた¹⁾。本研究では比較的安価なバサルト(玄武岩)繊維複合材(以下 BFRP と呼称)をコンクリート表面に直接接着することで, 低価格で既設構造物への負担を軽減し, 補強層を可視化してモニタリング性を高めた補強技術を開発することが目的である。

2. 研究概要

BFRP ロッドを緊張材に用い, コンクリートに緊張接着する際, 接着端部にせん断応力が集中するため, 導入緊張レベルを高めるためには鋼製治具などで定着したり, せん断応力を低減したりする方法を開発する必要がある。その一つとして, 本研究では, 緊張接着端部となる箇所には厚み 0.1mm 程度の BFRP シート²⁾を接着しておき, 接着面積を広げることでせん断応力の省力化を図る方法について検討する。導入緊張力とひずみ分布から算出されるせん断応力分布の関係を明らかにし, 先張り BFRP シート接着による接着端面面積の拡大による付着強さの向上効果を検討する。

3. BFRP シートの付着強さ向上効果の検証試験

3・1 試験体の製作 試験体は, 100mm×150mm の断面で, 長さ 600mm の寸法で, 内部に 4 本の D6 鉄筋を配置して, 緊張力を導入してもひび割れが生じないように最低限の剛性を確保したものである(図 1)。まず, コンクリートの表面を削って骨材を露出させ, 接着界面を均すために試験体表面にエポキシプライマー(硬化前粘性 3000mPa・s 程度)を塗布する。12 時間経過後, 100mm 幅の先貼り BFRP シート(厚さ 0.166mm)をエポキシ樹脂(硬化前粘性 700mPa・s 程度)で接着した。さらに 12 時間経過後, ひずみゲージを 15mm 間隔で接着し, その上に緊張させた BFRP ロッド(直径 10mm, 繊維含有率 $V_f=50\%$)を高さ 20mm, 幅 50mm, 長さ 600mm の長方形に成形したエポキシ樹脂で接着した。

3・2 実験手順 鋼製の反力フレームの両端に油圧ジャッキとロードセルを設置した緊張装置(図 2)を

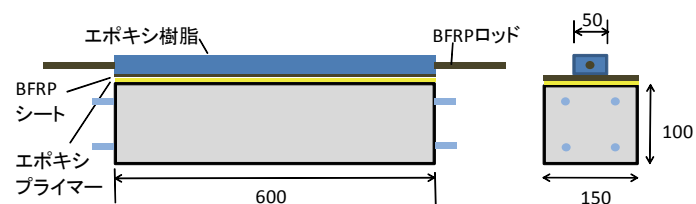


図 1 試験体の詳細 (単位: mm)

作製した。BFRP ロッドの両端部は鋼製チューブに通し, 膨張セメントを注入して固定して反力を取る形式にした。BFRP ロッドを緊張させ, 試験体にエポキシ樹脂で緊張接着させる。この時の緊張力は 25kN (破断荷重の 32%) に設定した。導入した緊張力を徐々に解放し, 荷重をロードセルで測定しながら, 緊張力解放時のひずみ分布をデータロガーで測定し, 緊張力が完全に導入されるまで計測を続けた。

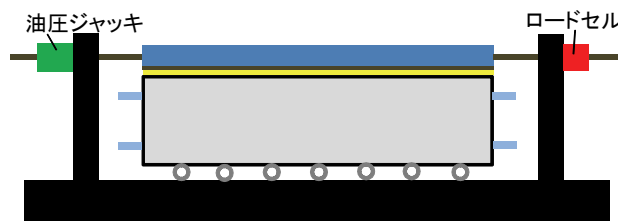


図 2 緊張装置

4. 実験結果と考察

接着界面の目視観察において, 先貼り BFRP シートを貼っていない試験体では荷重が約 13kN になったあたりから端部に剥離が生じ始めたのに対し, 事前に先貼り BFRP シートを接着した試験体では端部に剥離は生じなかった。

一方, 測定されたひずみ分布データからコンクリート構造物の補強技術研究委員会報告書に示されている式(1)³⁾を用いてせん断応力を算出した。

$$\tau_y = \frac{\Delta \varepsilon_F \cdot E_{frp} \cdot A_F}{S_g \cdot b} \quad (1)$$

ここで τ_y : 最大付着応力 (N/mm²), $\Delta \varepsilon_F$: 最大荷重時のひずみ増加区間におけるひずみゲージ値の差, E_{frp} : 補強繊維の引張弾性率 (N/mm²), A_F : 補強繊維の断面積 (mm²), S_g : ひずみ増加区間のひずみゲージの貼り付け間隔である。なお, 算出に際して用いた各数値を表 1 と図 3 に示す。

表1 応力計算の所要データ

エポキシ樹脂の引張弾性率 E_{ep} (kN/mm ²)	4.6	
バサルト繊維の引張弾性率 E_{BF} (kN/mm ²)	91	
BFRP ロッドの 断面 積 A_{frp} (mm ²)	バサルト繊維分 A_{frpBF}	39.25
	エポキシ樹脂分 A_{frpep}	39.25
エポキシ樹脂の断面 積 A_{ep} (mm ²)	921.5	
BFRP シートの断面 積 A_{BFS} (mm ²)	16.6	
ゲージ取り付け間隔 S_g (mm)	15	
補強繊維の幅 b (mm)	先貼りシート無 : 50 先貼りシート有 : 100	

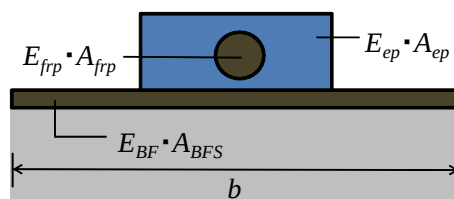


図3 補強繊維の断面図

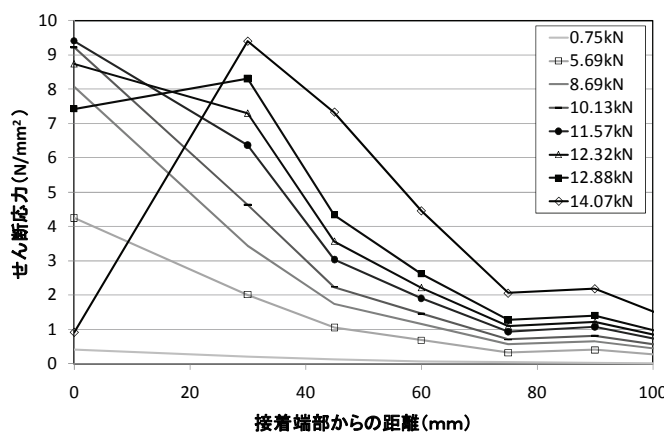


図4 セン断応力分布図（先貼り BFRP シート無し）

図4は式(1)で先貼りBFRPシートを貼らなかった試験体のひずみ分布データの値から、各計測場所におけるせん断応力を算出し、グラフ化したものである。最大せん断応力が 9kN/mm^2 を超えたあたりから接着端部近傍にせん断応力が横ばいになっている個所があり、剥離が生じ始めていると考えられる。

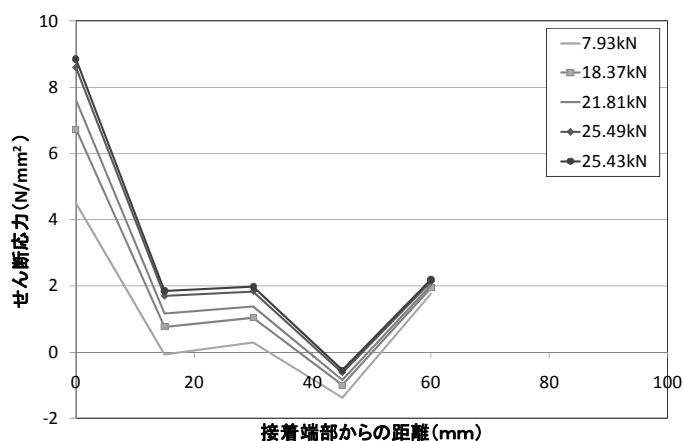


図5 セン断応力分布図（先貼り BFRP シート有り）

一方、図5には事前に先貼りBFRPシートを接着した場合のせん断応力分布を示す。なお、実験中に接着端部から75mm, 90mmの位置に設置したひずみゲージが損傷し、データを取得できなかった。先貼りBFRPシートを接着しなかったケースでは図4から13kN以降明らかに剥離が確認できるのに対し、先貼りBFRPシートを接着したケースでは、図5からも剥離が生じていないことが確認できた。また荷重25.43kNでも最大せん断応力は 8.86kN/mm^2 であり、先貼りBFRPシートを貼らなかった試験体では最大せん断応力 9.41kN/mm^2 発生時に荷重は11.57kNであることから、先貼りBFRPシートを接着したことにより接着端部の最大せん断応力を約1/2に制御できることが実験的に示された。よって、先貼りBFRPシート接着により、接着端部の面積を増加させ、せん断応力を低減させることができることが確認された。そして、先貼りBFRPシートと分割緊張法を合わせて採用し、さらに端部への応力集中を軽減することで、今後より大きな緊張力導入に期待できる。

5. まとめ

FRPの緊張接着端部において先貼りFRPシートにより接着面積を広げることにより、接着端部のせん断応力を低減できることが実験的に示された。

謝辞

バサルト繊維複合ロッド材は中国 GBF 社よりご提供いただいた。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- (1) 呉 智深, 岩下健太郎, 孫 曉荷, 小林 朗: FRP ケーブルの埋め込み緊張補強技術の確立, 構造工学論文集, 土木学会, Vol.56A, pp.630-643, 2010.3
- (2) 土木学会: 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ー101, 2000.7
- (3) 日本コンクリート工学協会: コンクリート構造物の補強技術研究委員会報告書, 2003.7