

先貼 BFRP シートを設置したコンクリートに対する BFRP ロッドの付着強さの評価

名城大学 正会員 ○岩下 健太郎

株式会社富士ピー・エス 正会員 八木 洋介

株式会社富士ピー・エス 正会員 吉田 光秀

1. はじめに

バサルト繊維複合ロッド材 (BFRP ロッド) を緊張状態でコンクリート表面に接着する補強技術の開発が進められている。この技術においては、導入緊張力が集中する接着端部における、BFRP ロッドの付着強さを向上させることが重要であり、面状のバサルト繊維複合シート材 (BFRP シート) をコンクリートに事前に接着することにより、BFRP ロッドの付着強さの向上を図っているが、既提案の評価式の適用性については検証されていない。本研究では、新たに両引き付着試験を行い、既提案の評価式の適用性を検証した。

2. 実験方法

コンクリートライブラリー101 (土木学会編), 「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」²⁾に掲載されている試験方法 (JSCE-E543-2001) に示されている, 100mm×100mm×300mm 供試体を2つ付け合わせた形状の供試体を作製し, その両側面に BFRP ロッドを接着した。供試体の詳細な寸法を図-1 に示す。BFRP ロッドの接着前に, コンクリートとの接着面積の拡張を目的として, 事前に BFRP シート (先貼シートと呼称) を接着した。また, BFRP ロッド側面の接着面積の拡張と接着層の座屈防止を目的として, ポリマーセメントモルタルにより BFRP ロッド側面を補強した。

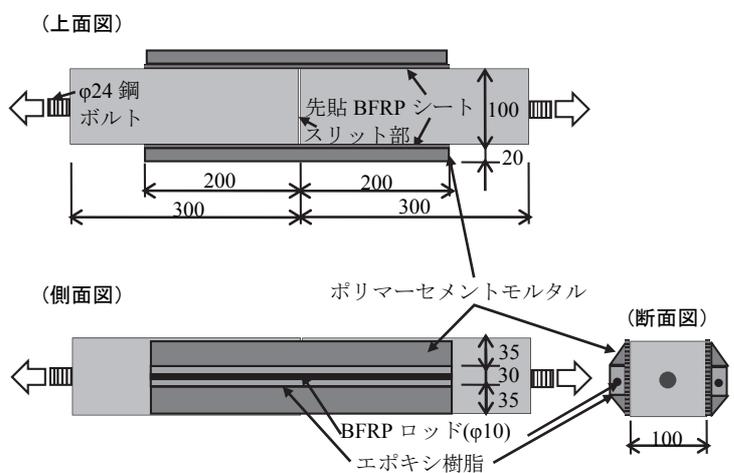


図-1 両引き付着試験供試体の詳細寸法

両引き付着試験は 350kN センターホールジャッキと鋼製フレームより成る引張試験装置により, 荷重速度 5kN/min で行った。試験における計測項目は, 200kN センターホールロードセルによる荷重と, スリット部から 5mm の位置から 15mm 毎に設置した, 検長 5mm のひずみゲージによるひずみとした。接着面の表面処理としては, ダイヤモンドサンダーによる研磨, およびエタノールを浸み込ませたウェスによる洗浄を行った。その後, プライマーを 400g/m² の割合で塗布し, 12 時間経過後にポリマーセメントモルタル, さらに 6 時間経過後に BFRP ロッドの接着を行った。そして, 3 日間常温で静置したうえで, 両引き付着試験を行った。

3. 実験結果

両引き付着試験において, 荷重増加とともに, 図-2 に示すようにスリット部周辺に卓越したひずみが生じ, 増加した。荷重増加中には剥離音はなく, 写真-1 に示すようにコンクリートのかぶり箇所において生じた剥離は, 荷重が 66.2kN に達したときに脆性的に生じた。この最大荷重を BFRP ロッドの断面積で (エポキシ樹脂部分にバサルト繊維との引張弾性係数の比を考慮して) 除することで, BFRP ロッドの最大引張応力を算出すると 543N/mm² となる。

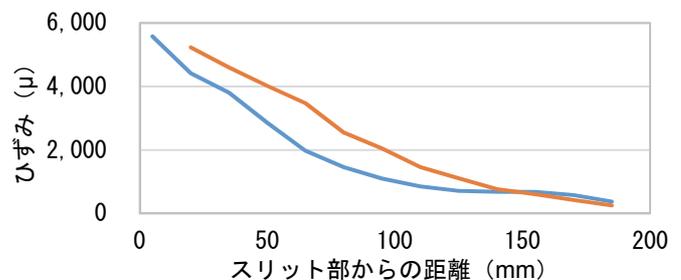


図-2 剥離直前における BFRP ロッドのひずみ分布

キーワード BFRP ロッド, コンクリート, 両引き付着試験, 界面剥離破壊エネルギー

連絡先 〒468-8502 愛知県名古屋市天白区塩釜口 1-501 名城大学理工学部社会基盤デザイン工学科 TEL 052-838-1151



写真-1 剥離後の様子

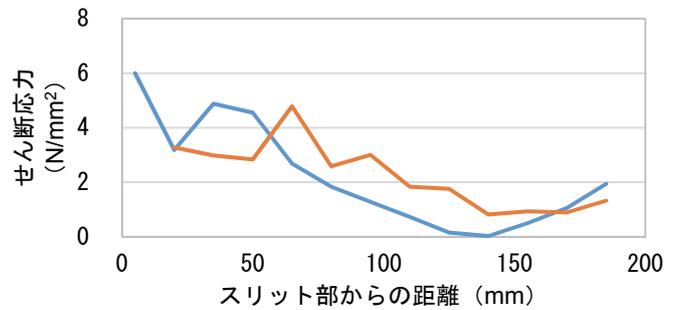


図-3 剥離直前におけるせん断応力分布

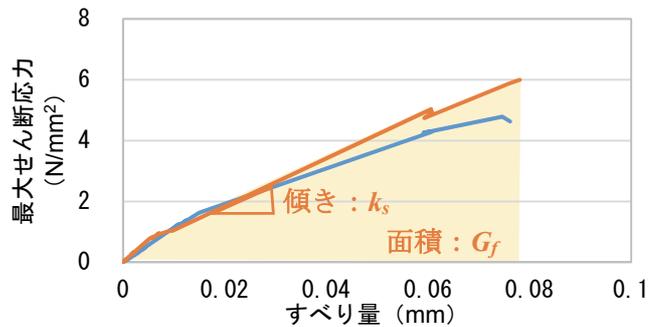


図-4 最大せん断応力とすべり量の関係

図-2 に示したひずみ分布からせん断応力を算出し、その分布を図-3 に示す。写真-1 に示すように、剥離は付け合わせた供試体の一方でのみ生じたため、その剥離が生じた供試体の両面の BFRP ロッドに生じたひずみ分布を示した。また、図-2 に示したひずみ分布から、ひずみ差に BFRP ロッドと先貼 BFRP シートの引張弾性係数、および、エポキシ樹脂部分に引張弾性係数比を考慮して換算した断面積を乗じて、荷重レベル毎にすべり量を算出した。最大せん断応力とすべり量の関係を図-4 に示す。その傾きは接着界面のせん断剛性 (k_s) とされており、最小二乗法により線形近似した場合に、それぞれ 78N/mm, 66N/mm である。さらに、これらのラインとすべり量軸に囲まれた箇所の面積は、付着強さの指標として知られる剥離破壊エネルギー (G_f) を意味するとされている。算出すると、剥離した 2 つの面で、それぞれ 0.94N/mm, 0.83N/mm であった。

4. 既提案の評価式の適用性の検証

これまでの研究¹⁾において、両引き付着試験により接着端部に生じるせん断応力の評価式を、式(1)～式(3)に示すように提案した。

$$\sigma_p < \frac{\tanh(\beta_1 x)}{k_1} \sqrt{\frac{2G_f E_f b_f}{A_{ff} + n_{fa}(A_{fa} + A_a)}} \quad (1), \quad n_{fa} = \frac{E_a}{E_f} \quad (2), \quad \beta_1 = \sqrt{\frac{k_s}{E_f t_f}} \quad (3)$$

ここで、 σ_p : 導入可能緊張応力 (N/mm²), k_1 : 安全係数 (ここでは 1.0), E_f : BFRP の弾性係数 (90,000 N/mm²), b_f : BFRP の幅 (100 mm), A_{ff} : BFRP ロッドに含まれるバサルト繊維の断面積 (51 mm²), A_{fa} : BFRP ロッドに含まれる樹脂の断面積 (27.5 mm²), A_a : BFRP ロッド周囲にある樹脂の断面積 (574.5 mm²), E_a : 樹脂の引張弾性係数 (1500 N/mm²), t_f : $A_{ff} + n_{fa}(A_{fa} + A_a)$ を b_f で除して求めた BFRP の換算厚さ (0.61 mm) である。

実験結果から、 k_s に 66N/mm, G_f に 0.83N/mm をそれぞれ入力して σ_p の最小値を算出すると、495N/mm² となる。この値と両引き付着試験において剥離が生じるときの BFRP ロッドの引張応力 (=543N/mm², 引張強度 (メーカー値の 28.6%)) は同義であるが、両者は同程度であった。よって、先貼 BFRP シートを設置したコンクリートに対する、BFRP ロッドの付着強さは、既提案の評価式を用いて評価できることが示唆された。

5. まとめ

両引き付着試験により先貼 BFRP シートを設置したコンクリートに対する、BFRP ロッドの付着強さを評価した結果、既提案の評価式を用いて評価できることを示唆する知見が得られた。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 24760352 の助成を受けて実施されたものである。

参考文献

- 1) 岩下健太郎他, 緊張状態で接着された BFRP ロッドの接着端部に集中するせん断応力の評価, プレストレストコンクリート工学会, 第 23 回シンポジウム論文集, pp.583-588, 2014.10
- 2) 土木学会編, コンクリートライブラリー101, 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, 2000