

FRP シートーコンクリート間のせん断応力分布と剥離の関係に関する研究

名城大学 学生会員 ○相原 崇秀, 藤井 裕太

名城大学 正会員 岩下 健太郎

1. 目的

FRP シート接着補強技術において, FRP シートの剥離は補強効果の損失につながる重要な問題である。剥離はコンクリート表層部において, そのせん断強度を超えると発生するため, 剥離範囲を検出する上で, コンクリート表層部に生じるせん断応力分布を精度よく把握することが重要である。しかし, 指針¹⁾に示される実験案ではせん断応力の伝達範囲は 50mm 程度のため, 同実験案¹⁾にあるひずみゲージ設置間隔 20mm では十分にせん断応力分布を検出できない。そこで, ひずみゲージを既往の研究より短い 10mm 間隔で設置し, せん断応力分布をより詳細に把握することで, 剥離範囲の検出精度向上を図った。

2. 実験方法

100mm×100mm の矩形断面で全長 400mm のコンクリートに $\phi 24$ mm 鋼ボルトを埋め込んだ両引き付着供試体を作製した。詳細寸法を図-1 に示す。中央部にスリットを入れ, 同箇所

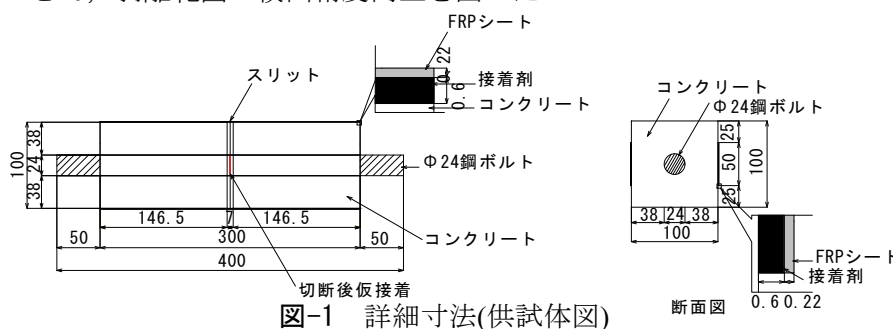


図-1 詳細寸法(供試体図)

で鋼ボルトを予め切断することでひび割れを発生させる構造とした。コンクリートの設計基準強度 f_{ck} は 15N/mm^2 とした。また, 脱型後 28 日間の水中養生を行った。供試体の表面処理は, ダイヤモンドサンダーによるコンクリート表面の削り取り, エタノールを含ませた布で拭き取り, 0.25kg/m^2 相当量のエポキシプライマー塗布する手順により行われた。その後, 6 時間程度経過後, 0.5 kg/m^2 /層相当量の常温硬化型エポキシ樹脂を用いて幅 100mm, 全長 300mm の FRP シートをコンクリートブロック両側面に接着し, 補強材としては, アラミド繊維シートとバサルト繊維シート (以降 AFRP シート, BFRP シートと呼称する) を使用した。各種 FRP シート表面に, 長手方向 10mm 間隔でひずみゲージ(27 箇所/体), 供試体両側面(FRP シート未接着面)の中央部分(スリット部)にまたがるように π 型変位計(2 箇所/体)を設置した。鋼ボルトの両端を試験装置に接続し, 油圧ジャッキにて 5kN 毎に 25kN まで設定した荷重載荷とゼロ荷重に除荷することを 10 回繰り返した。試験は室温環境で行い, その温度は $26\pm 1^\circ\text{C}$ であった。

3. 簡易算定, 実験結果および考察

各荷重における FRP シートひずみとひずみ測定位置の関係を図-2 に示す。FRP シートひずみはひび割れ箇所で最大であり, 両端に向かって小さくなる山型の分布となっている。次に, JCI 報告書²⁾に示される式(1)よりせん断応力を算出し, その分布を図-3 に示す。

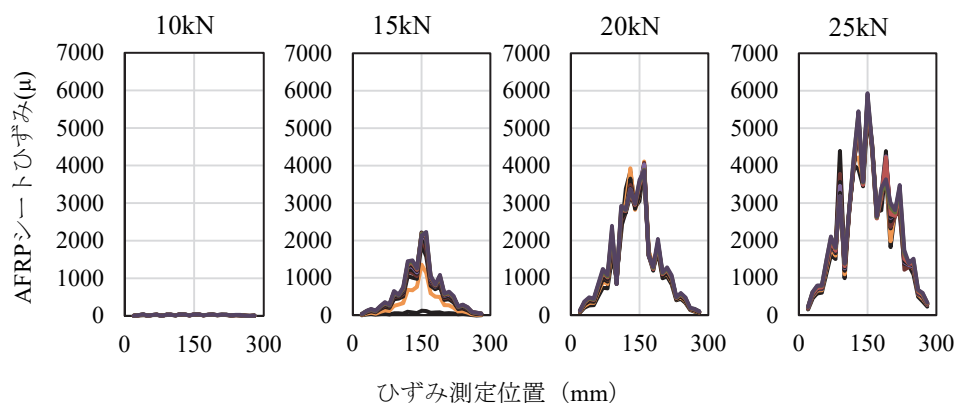


図-2 ひずみ分布 (AFRP シート供試体)

$$\tau_f = \Delta \varepsilon_f E_f t_f / S_g \quad (1)$$

ここで、 τ_f はせん断応力 (N/mm^2), $\Delta \varepsilon_f$ は隣り合うひずみゲージ値の差, E_f は FRP シートのヤング係数 (N/mm^2), t_f は FRP シートの厚さ (mm), そして S_g はひずみゲージの設置間隔 (mm) である。

また、コンクリートのせん断強度を圧縮強度から推定する式として、伊東、坂口らの研究³⁾において示される式(2)を用いて算定した。

$$\tau_{ur}/f'_c = -0.00246f'_c + 0.252 \quad (2)$$

ここで、 τ_{ur} はコンクリートせん断強度, f'_c はコンクリートの圧縮強度である。

圧縮試験により得られた圧縮強度を入力することでせん断強度を算出して、AFRP 供試

体で 3.38N/mm^2 , BFRP 供試体で 3.61N/mm^2 であり、図-3、図-4 に赤破線で示した。ひび割れ発生前においてせん断応力はほぼゼロであるが、ひび割れ発生後はひび割れ近傍においてせん断応力が卓越した。そのせん断応力がコンクリートのせん断強度を超えると、30mm～40mm 程度外側の箇所におけるせん断応力が局所的に増加した。その後はせん断応力の増加と 30mm～40mm 程度外側の箇所におけるせん断応力の局所的な増加を繰り返した。また、打音検査により FRP シートの剥離状況を確認したところ、コンクリートのせん断強度を超えた箇所までの範囲に剥離が検出された。なお、Wu ら⁴⁾の提案式(3)より算出されるせん断応力の有効伝達長 L_e は AFRP 供試体において 70mm, BFRP 供試体において 76mm であり、実験における伝達長と類似した値となった。

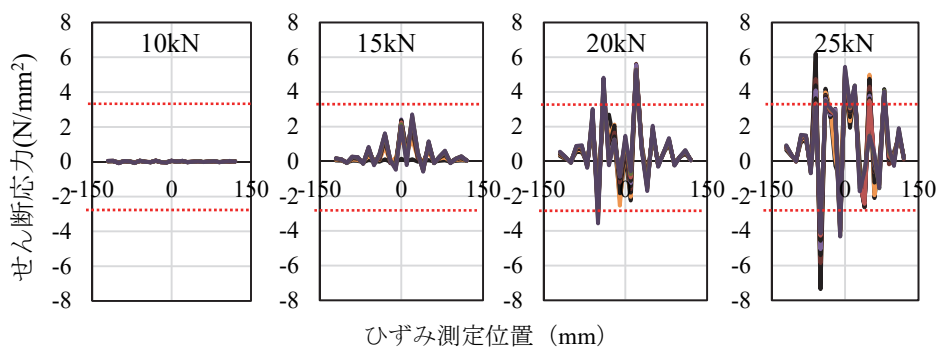


図-3 せん断応力分布 (AFRP シート供試体)

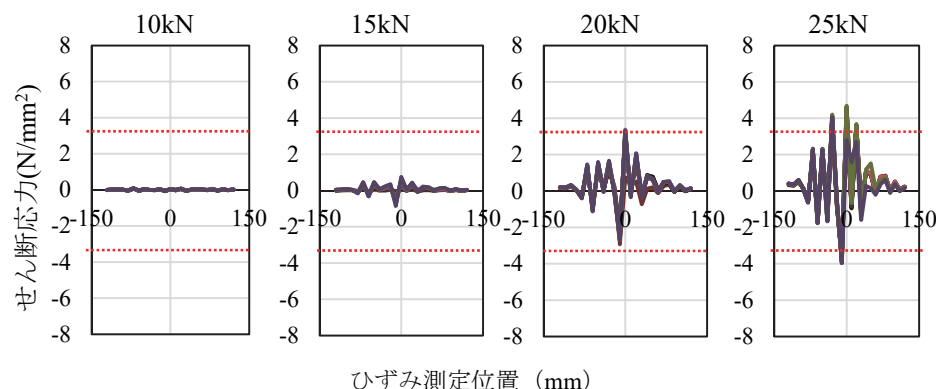


図-4 せん断応力分布 (BFRP シート供試体)

$$L_e = 0.649 \sqrt{E_f t_f} / f'^{0.095} \quad (3)$$

以上から、ひび割れ近傍のせん断応力がコンクリートのせん断強度を超えると、有効伝達長に相当する位置付近まで剥離し、そこを起点としてせん断応力の増加と剥離進展が段階的に進行していく傾向が見られた。

4. まとめ

本研究の結果において、ひずみゲージを既往の研究より小さい 10mm 間隔で設置することで、より詳細にせん断応力分布を把握でき、FRP シートの段階的な剥離が検出される傾向が見られた。

参考文献

- 1) 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
- 2) 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
- 3) 伊東茂富, 坂口治郎:組合せ応力状態におけるコンクリートの強度について, 建設省土木研究所報告, 100 号の 7, 1958
- 4) Wu,Z.S.,Niu,H.D., Prediction of crack-induced debonding failure in R/C structures flexurally strengthened with externally bonded FRP composites, JSCE Journal of Materials, Concrete Structures and Pavements, Vol.63,No.4,pp.620-639,2007