

## FRP-コンクリート接着界面のクリープに関する実験的研究

茨城大学 学生会員 ○佐々木 健  
 茨城大学 正会員 呉 智深  
 茨城大学 正会員 岩下 健太郎

### 1. はじめに

現在、コンクリート構造物に対し、連続繊維複合材（FRP）を接着することで補修・補強する技術が鋼板を接着する技術に代替して主流になってきた。FRP 接着技術においてはFRP の剥離は重要な破壊モードであり、剥離破壊メカニズムに関する多くの研究<sup>1)他多数</sup>が行われてきた。そしてFRP の接着による補強効果の評価及び設計手法は大部分で確立されている。しかし、長時間のクリープ荷重や繰返し荷重の負荷による接着界面の強度低下に関してはほとんど検討されていないのが現状である。特に接着樹脂は分子配列上、クリープ変形が大きいことが指摘されており、FRP 接着技術における接着界面のクリープ性状の早急な解明が期待されている。本研究では、接着界面の引張クリープ挙動を明らかにするために、初歩的ではあるが、負荷する荷重レベルを考慮した連続繊維シート-コンクリート接着界面のクリープ試験を行った。

### 2. FRP 接着技術における付着強さの評価技術

接着界面の付着強度を定量的に評価する指標として界面剥離破壊エネルギー $G_f$ がある。界面剥離破壊エネルギーとは界面剥離が生じるのに必要な単位面積あたりのエネルギーのことであり、コンクリートに接着されたFRP を引っ張ることで接着界面にせん断力を生じさせる引張せん断試験（図-1）を行い、取得した値などを式（1）に代入することにより算出できる。土木学会では静的荷重下での $G_f$ の実用レベルにおける標準値を0.5N/mmとしている。

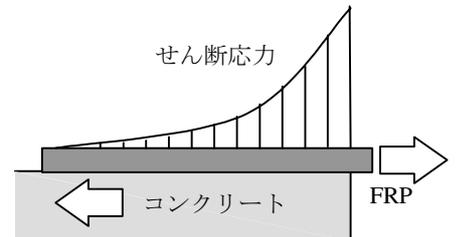


図-1 FRP-コンクリート接着界面の引張せん断試験

$$G_f = \frac{P_{max}^2}{8b^2 E_f t} \dots \dots (1)$$

$G_f$  : 界面剥離破壊エネルギー(N/mm)  
 $P_{max}$  : 最大荷重(N)  
 $b$  : FRP の幅(mm)  
 $E_f$  : FRP の弾性率(N/mm<sup>2</sup>)  
 $t$  : FRP の厚さ(mm)

### 3. FRP-コンクリート接着界面の変形について

連続繊維補強コンクリートの構成材料はコンクリート、プライマー、FRPであり、それぞれの弾性率を $E_c$ 、 $E_p$ 、 $E_f$ とするとその関係は $(E_p < E_c < E_f) = (3 < 30 < 230 \text{ GPa})$ となる。コンクリートに接着したFRPシートを静的に引っ張った場合、接着樹脂の強度はコンクリート強度よりも高いため、コンクリート層で剥離することがほとんどである。一方、低レベルの荷重を長期に負荷する場合、図-2に示すような構成材料の弾性率の違いによる変形量の差が界面に負担を与え、剛性及びせん断強度が低下することにより、接着樹脂層で剥離破壊が生じる可能性が高くなると考えられる。



図-2 FRP-コンクリート接着界面

### 4. FRP-コンクリート接着界面のクリープ試験

FRP とコンクリートの接着界面のクリープ特性を明らかにするために土木学会の指針<sup>2)</sup>の両引きせん断付着試験（案）に示されている供試体を作製し、定荷重を負荷する、FRP-コンクリート付着クリープ試験を1000時間を基準として行った。測定項目は荷重、変位量、FRPシートのひずみである。供試体の詳細及びひずみゲージの配置を図-3に、クリープ荷重レベルの一覧を表-1に示す。

表-1 クリープ荷重レベルの一覧

供試体名	荷重	剥離荷重比	破断強度比
付着クリープ1	23.0kN	82%	46.1%
付着クリープ2	16.8kN	60%	33.7%
付着クリープ3	14.0kN	50%	28.0%
付着クリープ4	9.8kN	35%	19.6%

(基準静的付着強度：28kN)

キーワード 連続繊維複合材 (FRP)、接着界面、付着、クリープ

連絡先 〒316-8511 茨城県日立市中成沢町 4-12-1 TEL 0294-38-5247 FAX 0294-38-5268

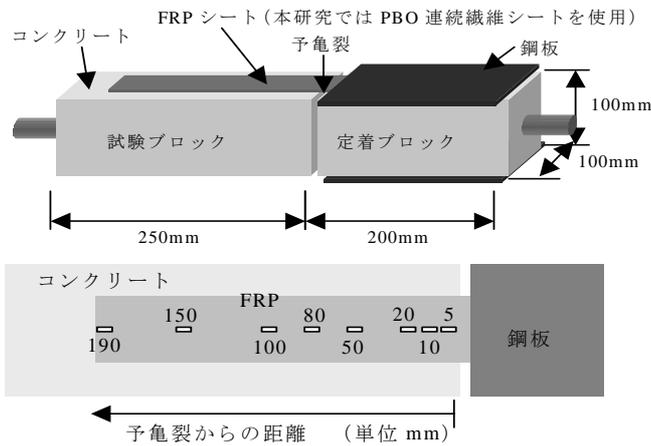


図-3 供試体詳細およびひずみゲージの配置

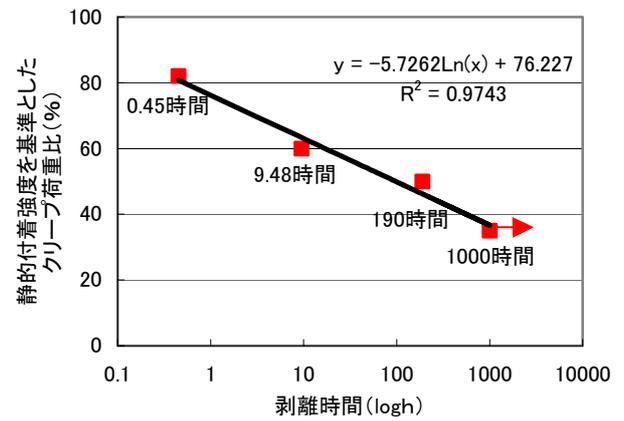


図-4 クリープ破壊時間曲線



(a) 23kN クリープ試験剥離後 (b) 16.8kN クリープ試験剥離後 (c) 14kN クリープ試験剥離後

図-5 クリープ荷重レベルごとにおける FRP 剥離後の状況

5. 試験結果及び考察

クリープ荷重が作用すると予亀裂の近傍からシート端部へと徐々に剥離が進展していく様子が観察できた。試験結果から破壊時間と荷重比の関係を片対数グラフ上で直線近似すると、1000 時間に到達できるようなクリープ荷重比は大よそ 35%であることが示唆された (図-4)。以上のクリープ試験における荷重から算出される、界面剥離破壊エネルギー $G_f$ は土木学会の指針<sup>2)</sup>に示される静的強度の標準値に対して、非常に小さく、クリープ荷重により接着界面の強さが低下することが実験的に明確となった (図-6)。また、図-5(a)~(c)より、荷重レベルが高いほどコンクリート層内で破壊している部分の面積が広く、荷重レベルが低いほど接着樹脂層内で破壊している面積が広い様子が観察できる。よって、3で説明した長時間のクリープ荷重負荷により剥離界面がコンクリート層内から接着樹脂層内へ変わるメカニズムが実験的に検証された。今後、さらに実験データの蓄積が期待される。

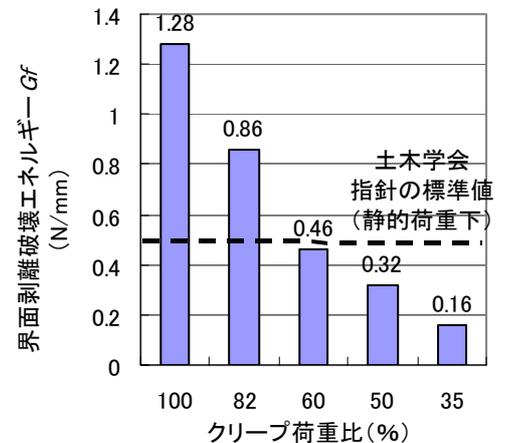


図-6 各荷重比における 界面剥離破壊エネルギー

6. 結論

試験結果から 1000 時間に到達できるような荷重比は約 35%程度であることが示唆された。また、低レベルの荷重を長期に負荷した場合、破壊は接着樹脂層内で生じやすくなるメカニズムを考案し、実験的に検証した。

参考文献

1) 吉澤弘之, 呉 智深, 袁 鴻, 金久保利之 (2000): 連続繊維シートとコンクリートの付着挙動に関する検討, 土木学会論文集, No.662, V-49, pp105~119, 2000  
 2) 土木学会 (2000. 7): 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設計指針, コンクリートライブラリー101