

組紐状 GFRP ロッドの材料特性に関する考察

西松建設株式会社 フェロー会員 ○小林 正典
西松建設株式会社 正会員 椎名 貴快

1. はじめに

組紐状に編んだガラス繊維束に樹脂を含浸して成形した連続繊維補強材(以下、組紐状 GFRP ロッド)(図-1)をコンクリート仮設構造物の鉄筋代替材として利用することを検討している。本論では、組紐状 GFRP ロッドの材料試験(引張試験、付着強度試験)の結果について、他繊維(アラミド繊維、炭素繊維)を用いた組紐状ロッド^{1)~3)}や異形棒鋼と比較して報告する。

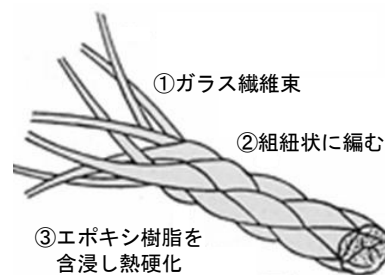


図-1 組紐状ロッド概念図

2. 試験概要

表-1 に本試験に用いたロッドの諸元を示す。ロッド径は3種類で、一般的に使用されている異形棒鋼(D10~13)と同程度の断面寸法を有するロッドを選定した。ガラス繊維自体の比重は約 2.8 と小さいため、ロッド重量は同径鉄筋の 30%以下と軽量である。

表-1 組紐状 GFRP ロッド諸元

呼び名	糸断面積 $D_f(\text{mm}^2)$	公称径 $D(\text{mm})$	断面積 $A(\text{mm}^2)$	重量 $w(\text{g/m})$
FG 9	43.7	9.2	66	136
FG11	58.2	10.5	86	179
FG13	79.3	12.6	124	260

(1) 引張試験

引張試験は土木学会基準(JSCE-E 531-2010)に準拠して実施した。試験ロッドは両端部を樹脂充填式定着具(管径 36mm, 長さ 250mm)で固定し、試験区間長 40D 以上を確保した(図-2)。試験には 2000kN 万能試験機を使用し、可動梁と固定梁に端部定着具を固定しておこなった。

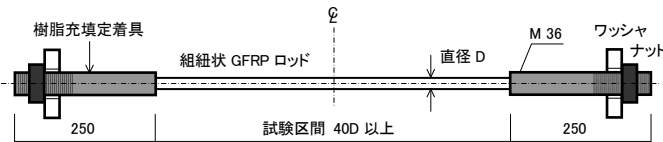


図-2 引張試験片

(2) 付着強度試験

付着強度試験は土木学会基準(JSCE-E 539-2007)に準拠して引抜き試験により実施した。本試験では径の大きい FG13 のみ試験した。供試体は一边 100mm の立方体で、付着長はロッド径の 4 倍(= $\phi 12.6 \times 4$)とし、らせん鉄筋(直径 $\phi 6\text{mm}$)を配置して割裂破壊を防止した(図-3)。コンクリートは 24-10-20N を使用し、供試体数は 3 体である。

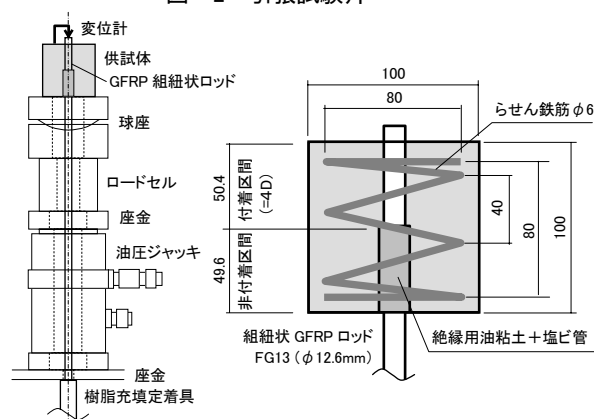


図-3 付着強度供試体

3. 試験結果

引張試験および付着強度試験の結果を以下に示す。なおロッド断面当りの繊維体積混入率(V_f)は 0.6~0.7 の範囲にあり、各ロッド径で使用繊維に係わらず概ね等しい。引張試験の結果は、全試験片の平均値から 3σ を減じた値(保証値)で整理した。

(1) 引張強度

図-4 に(保証)引張強度の値をロッド径ごとに示す。

同図より、ロッド径の違いによらず、アラミド繊維(以下、FA)と炭素繊維(以下、FC)は $1,000\text{N/mm}^2$ 以上の高強度で概ね等しい値であった。一方、ガラス繊維(以下、FG)の値は $680\sim 695\text{N/mm}^2$ で、FA や FC の約 60%に相当し、一般的な異形棒鋼 SD345 の降伏強度に対して約 2 倍の強度を有していた。なお、破壊形態は鉄筋のような塑性域のない脆性的な破断であった。

(2) ヤング係数

図-5 にヤング係数の試験結果を示す。なお当該値は荷重-ひ

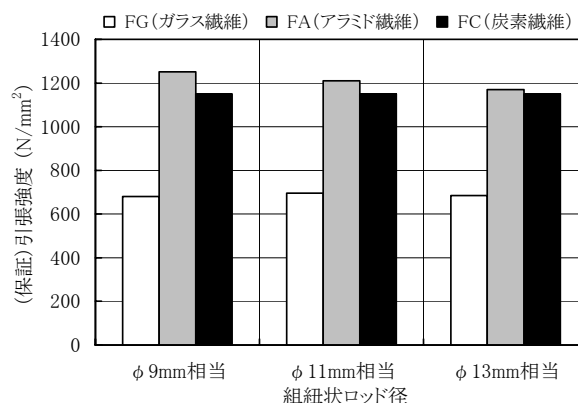


図-4 引張強度

キーワード 連続繊維補強材, 組紐状, ガラス繊維, 引張強度, 付着強度

連絡先 〒105-8401 東京都港区虎ノ門 1-20-10 西松建設(株) TEL. 03-3502-0247

ずみ曲線から最大引張荷重の20%と60%の値を用いて算出しており、全てのロッド径で同じ値であった。

同図より、FGの値は45kN/mm²で、FAの約70%、FCの約35%に相当する値であった。またこの値は異形棒鋼の約4分の1であり、剛性が極めて小さい低弾性ロッドであった。

(3) 終局ひずみ

図-6に終局ひずみの試験結果を示す。終局ひずみの値は最大引張荷重に対応するひずみである。

同図より、全ての繊維で1~2%範囲の値となり、FGの値は1.2%以上で、異形棒鋼の15分の1程度の脆性材であった。

(4) 付着特性

図-7にFG13の付着応力度 f_b と自由端すべり量 S との関係を示す。試験時のコンクリート圧縮強度 f'_c は26.4N/mm²であった。

同図より、いずれの供試体も付着応力度の値が2N/mm²付近からすべりを生じ、その後は緩やかに増加し、13~14N/mm²あたりで応力を保持したまますべり量のみが増大する傾向を示した。

① 初期付着応力度

図-8に微小すべり領域における S (すべり量)/ D (ロッド径)と f_b/f'_c との関係を示す。ここで異形棒鋼でのすべり量0.002D($S/D=0.002$)発生時における付着強度は f'_c の0.28倍⁴⁾⁵⁾(許容付着応力度の1.5倍)と想定される。

同図より、FG13は $S/D=0.002$ (すべり量0.025mm)の時、 f_b/f'_c の値が0.28と同等以上で、付着応力度 f_b は3体平均2.67N/mm²であった。この結果は、表-2に示した各基準での異形棒鋼のコンクリート付着強度($f'_c=26.4$ N/mm²の時)と同程度である。

以上より、FG13の微小すべり発生時における初期付着応力度は異形棒鋼相当の性能を有していると考えられる。

② 最大付着応力度

図-9に、すべり量0.25mm時の付着応力度および最大付着応力度の値を $f'_c=30$ N/mm²換算値で、他繊維と比較して示す。

同図より、FGはロッド径 $\phi 12.6$ mmのみのデータであるが、FAやFCと概ね同等の値であった。またFAやFCはロッド径が大きいほど付着応力が低下傾向にあるため、FGにおいてもロッド径と付着応力との間に同様の関係が成り立つと推測される。

4. まとめ

本試験で得られた組紐状GFRPロッドの材料特性を以下に示す。

- ・他の繊維(アラミド繊維、炭素繊維)と比べて、引張強度が約60%、ヤング係数は35~70%相当と小さいが、伸び性能は同等であった。
- ・一般的な異形棒鋼と比較して、高強度・低弾性で伸び性の小さい脆性ロッドの特徴を有していた。
- ・微小すべり領域での初期付着応力度は異形棒鋼相当であった。

謝辞：本試験の実施に御協力を戴いたファイベックス(株)に謝意を表す。

参考文献

- 1) ファイベックス(株)HP：<http://www.fibex.co.jp/seihin/fibrarod.html>
- 2) 岡本 直他：アラミド繊維による組紐状棒材の基本的特性、コンクリート工学年次論文報告集, vol.10-2, pp.659-664, 1988.
- 3) NOMST 組紐状CFRPロッド材料特性試験報告書, H12年3月.
- 4) 土木学会：コンクリート標準示方書【設計編】、2007年制定.
- 5) 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説(コンクリート構造物)、H16年4月.
- 6) 日本道路協会：道路橋示方書(I 共通編・III コンクリート橋編)・同解説、平成14年3月.

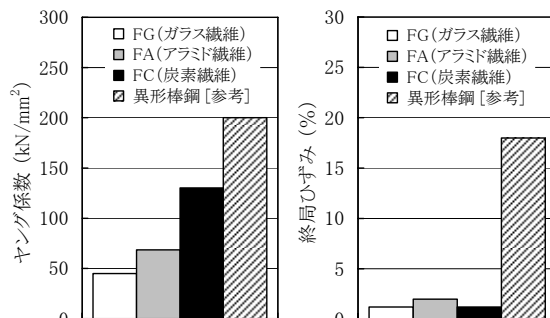


図-5 ヤング係数

図-6 終局ひずみ

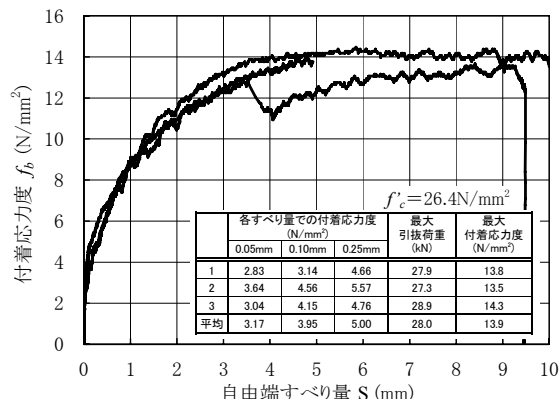


図-7 付着応力度と自由端すべり量との関係

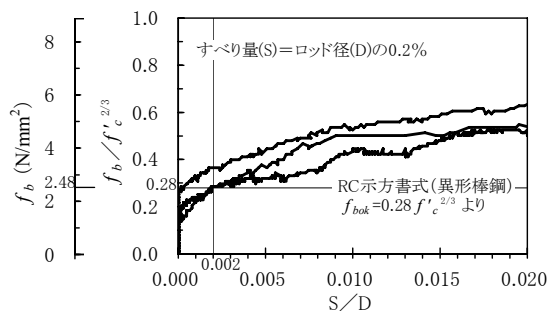


図-8 S/D と f_b/f'_c との関係

表-2 異形棒鋼のコンクリート付着強度

	付着強度 f_{bk}	許容付着応力度
コンクリート標準示方書 ⁴⁾	2.48 N/mm ²	—
鉄道構造物等設計標準・同解説 ⁵⁾	2.48 N/mm ²	—
道路橋示方書 ⁶⁾	—	1.68 N/mm ²

$f'_c=26.4$ N/mm², $f_{bk}=0.28f'_c$ (ただし, $f_{bk} \leq 4.2$)

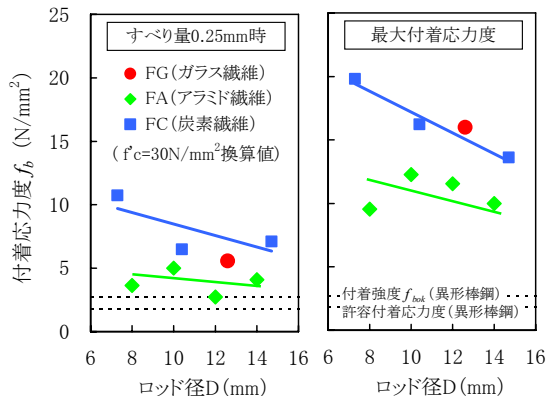


図-9 付着応力度とロッド径との関係