

東京製綱㈱ 研究所 正会員 榎本 剛  
 東京製綱㈱ 研究所 山藤 紀彦

1. はじめに

CFRPロッドは、軽量かつ高強度で耐食性に優れ、リラクゼーション特性、引張疲労特性も良好<sup>1) 2)</sup>であり、振動減衰性も良い<sup>3)</sup>ことから、プレストレストコンクリートの緊張材の中でも特に、コンクリート部材の外側に緊張材を配置する外ケーブル構造への適用が期待されている。したがって、一方向強化複合材であるFRPロッドの、サドルなどにより曲げられる変向部分での引張強度を明確にしておくことは重要である。しかし、FRPロッドを曲げた状態で引っ張ったときの挙動についての報告はあまり見られない。<sup>4)</sup>

本研究では、より線型のCFRPロッド（CFRPストランドと称す）について、曲げ半径、曲げ角度と引張強度の関係および、CFRPストランドと変向サドル間に設けた緩衝材の効果について検討したので報告する。

2. 実験概要

(1) 実験方法

実験は図1に示すように、CFRPストランドの固定側と引張側間に設けた変向サドルによって、所定の曲げ半径および曲げ角度で曲げながら引っ張り、CFRPストランドの破断強度と破断位置を測定した。曲げ半径Rは300、200、150mmの3種類について、見かけの曲げ角度 $\alpha$ は5、10、15、25、30°の5種類について実験を行った。さらに、変向サドルと接触する部分のCFRPストランドにポリエチレン管（PE管と称す）を被せた場合のCFRPストランドの破断強度を測定した。

(2) 供試体

実験に用いたCFRPストランドの基本的特性を表1に示す。CFRPストランドの長さは4.5mで、その両端末に樹脂充填型の定着体を取付けた。また、FRPロッドと変向サドル間の緩衝材には肉厚約2.5mmのポリエチレン管を使用した。

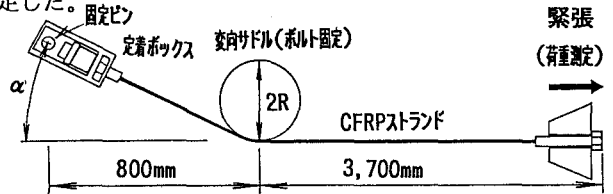


図1 実験方法

表1 CFRPストランドの基本的特性

基本的特性				断面図
構成	1x7	引張強度	212 kgf/mm <sup>2</sup>	ストランド径: 2r (12.5mm)
公称径	12.5 mm	切断荷重	16,100 kgf	
よりピッチ	151 mm	引張弾性係数	14,200 kgf/mm <sup>2</sup>	
公称断面積	76.0 mm <sup>2</sup>	曲げ剛性	5,800 kg·cm <sup>2</sup>	
単位重量	154 g/m	切断伸び	1.6 %	

3. 実験結果および考察

(1) 曲げ角度と破断強度の関係

曲げ半径をR/r (r: CFRPストランドの半径) = 32, 48とした場合の、曲げ角度 $\alpha$ と破断強度の関係を図2の(a)および(b)に示した。なお、強度低下率とは、実験での破断強度が材料強度(212kgf/mm<sup>2</sup>)に対して何パーセント低下したかを言う。

曲げ半径がいずれの場合も、曲げ角度 0~5° までは、強度低下率は10%に満たない。しかし、曲げ角度が 5~15° 前後で引張破断強度が急激に低下する。15° 付近を越えてからは、比較的、強度低下の度合いが小さくなる傾向が見られた。強度低下率(n=3平均値)は、R/r=32の場合が、 $\alpha=15^\circ$  で33%、 $\alpha=30^\circ$  で36%であり、R/r=48の場合が、 $\alpha=15^\circ$  で22%、 $\alpha=30^\circ$  で26%であった。過去に、筆者らが行った実験<sup>4)</sup>のデータも、R/r=40の場合、 $\alpha=180^\circ$  で36%であり、傾向は一致している。また、破断位置は、5° の場合を除き全てサドルによる変向部分であり、その破断面は、通常の引張破壊より繊維界面剥離が著しい。

ケーブルを曲げた状態で引っ張ったときに、見かけの引張強度が低下するのは、ケーブルの緊張荷重による軸方向の引張応力の他に、曲げによりケーブル断面内に生じる応力と、変向サドルから受ける接触圧力に

より生じる応力が同時に作用しているからである。<sup>5)</sup>

本実験から、曲げによる応力は、CFRPストランドがサドル面に十分に添う（ $\alpha = 15^\circ$  前後）までは増加し、その後は曲率 $1/R$ により決まると考えられる。また、接触圧力による応力は、接触面積とケーブルの引張方向に依存していると推察される。

(2) CFRPストランドと変向サドルの接触圧力に対する緩衝材の効果

$R/r=48$ で、 $\alpha=5, 15, 30^\circ$ において、変向サドルと接触する部分のCFRPストランドに、PE管を被せた場合の破断強度を図2の(b)に $\Delta$ でプロットした。PE管のない場合と比較して、 $\alpha=5\sim 30^\circ$ の間で、全体的に破断強度が $10\sim 20\text{kgf/mm}^2$ 上昇した。実験後のPE管の内面には、より線の凹凸が圧痕としてはっきりと残っていた。

これらのことから、CFRPストランドの凸部分に集中する接触圧力を緩衝材等で緩和することは、強度低下を小さくするうえで効果があると考えられる。

(3) 曲げ半径と破断強度の関係

引張破断強度を曲げ半径 $R/r$ との関係で整理すると、図3のようになる。 $R/r$ が大きいほど強度の低下率が小さいという傾向が見られる。曲げ角度が $15^\circ$ および $30^\circ$ の場合で、 $R/r$ を24から48に大きくすると、平均破断強度は約 $30\text{kgf/mm}^2$ 上昇した。ただし、曲げ角度が $5^\circ$ では、曲げによる応力の影響が大きく現れていないためか、 $R/r$ の影響は見られなかった。

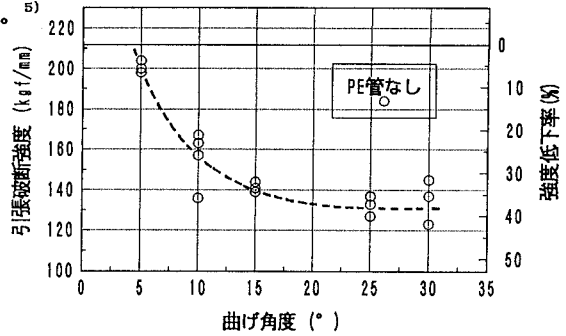
4. まとめ

- (1) 曲げ角度が約 $5^\circ$ を越えると引張強度は急激に低下するが、 $15^\circ$ 付近を越えると低下傾向は小さくなる。
- (2) 曲げ半径を大きくすることで、引張強度の低下を軽減できる。
- (3) CFRPストランドと変向サドルの間に緩衝材を設けることは、強度低下の軽減に効果がある。

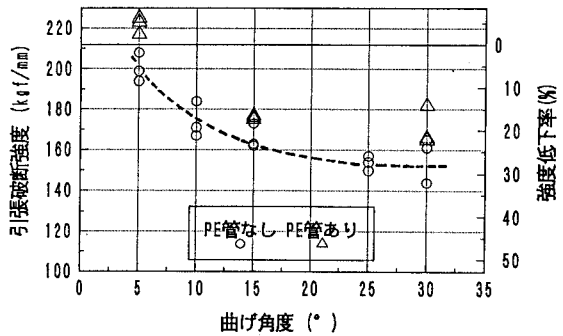
以上の研究結果を基に、今後さらに、曲げ部分について詳しい解析を行い、ストランドの構成・素線径の異なるものでも実験を行うと共に、外ケーブル構造の緊張材としての適用方法を検討していく予定である。

最後に、本研究にあたり懇切なご指導を戴いた埼玉大学工学部 陸好宏史助教授およびショーボンド建設(株) 吉田弘氏に深く感謝の意を表します。

【参考文献】 1)伊東、丸山、榎木：より線型CFRPロッドのリラクゼーション特性、土木学会第45回年講V、1990。 2)榎木、白鳥：炭素繊維複合材料ケーブルの引張疲労特性、土木学会第45回年講V、1990。 3)大久保、大塚、榎木：新素材鋼張橋ケーブルの力学挙動に関する基礎的考察、土木学会第45回年講VI、1990。 4)林田、加藤、榎木：FRP緊張材のソースに関する研究、日本建築学会大会観覧集C、1990。 5)ワイヤロープ便覧編集委員会：ワイヤロープ便覧、1967。



(a) 曲げ半径: $R/r=32$ ( $R=200\text{mm}$ )の場合



(b) 曲げ半径: $R/r=48$ ( $R=300\text{mm}$ )の場合

図2 曲げ角度と引張破断荷重の関係

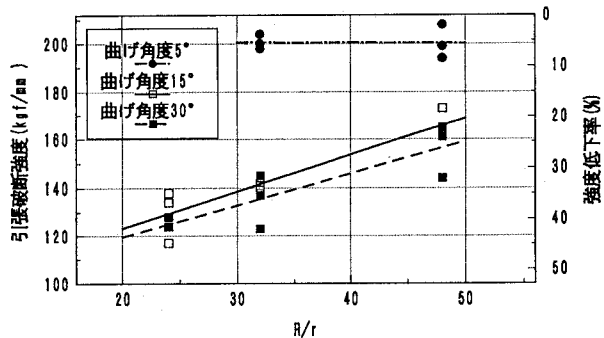


図3 曲げ半径と引張破断荷重の関係