

熱可塑性 CFRP の鉄筋代替利用に関する実験的研究 ～その1 半円形フックの引抜き試験～

鹿島建設(株) 正会員 ○大窪一正
東京工業大学 フェロー 二羽淳一郎

東京工業大学 学生会員 桑鶴龍也

1. はじめに

繊維補強プラスチック（以下、FRP）は、腐食しにくい高耐食な材料であり、鉄筋の代替としてコンクリート内部の補強材として用いることで、メンテナンスフリーな鉄筋コンクリート（以下、RC）構造物を実現できる可能性がある。さらに、FRPは高強度、軽量といった特徴も有しており、鉄筋と比較して補強材の重量を大幅に軽減することにより、RC構造物の施工性を向上させる効果も期待できる。しかし、現在、一般的に用いられている熱硬化性樹脂を用いたFRPは、加熱成型後は曲げ加工などを行うことができず作業性が低いことや、材料費が高額になることが課題であった。これに対して、近年開発が進む熱可塑性樹脂を用いたFRP材料¹⁾は、工場で成型された後でも加熱することによって一時的に柔らかくなり、曲げ加工することが可能な材料である。このため、工場で大量に製作された長尺の材料から、設計に合わせて切断・曲げ加工を施して使用することができ、作業性の向上やコスト低減が期待される。



図-1 TP-CFRPの外観

本研究では、熱可塑性樹脂を用いた炭素繊維強化プラスチック（Thermo-Plastic Carbon Fiber Reinforced Plastic：以下、TP-CFRP）をコンクリート内部の補強材として使用することを想定して、同材料を用いた半円形フックの引抜き試験を行い、コンクリートへの定着性能を確認した。

2. TP-CFRPの引張試験

半円形フックの引抜き試験に先立ち、母材として使用するTP-CFRPの基本的な引張特性を把握するため、引張試験を実施した。使用した材料は、7本の素線をより合わせた断面積 42.1mm^2 のTP-CFRP（図-1）であり、直径約 0.7mm のロール状にして運搬・保管される。ロールから切り出した材料は曲げ癖がついた状態となっているため、 95°C に設定した恒温槽で加熱した後、直線状に矯正して試験体を製作した。試験体の全長は $1,100\text{mm}$ で、両端に外径 27mm 、長さ 240mm の鋼管を接着剤で固定し、変位計を用いて検長 500mm での材料軸方向の伸びを計測しながら、3本の試験体に対して引張試験を実施した。

試験により得られた応力-ひずみ関係を図-2に示す。なお、荷重初期の計測データにおいて、変位計取付治具の緩みによるものと思われる不安定な挙動が見られたため、図-2は、引張応力 $=100\text{N/mm}^2$ に相当する引張力を作用させた時点から整理している。図より、応力-ひずみ関係は完全な線形ではなく、徐々に勾配が大きくなっていく（剛性が増大している）様子が確認できる。これは、引張応力が大きくなるにつれて、より線が絞られ、各素線が直線状に近づいていることによるものと考えられる。本試験より得られた引張強度および材料軸方向の弾性係数は、それぞれ平均で $2,081\text{N/mm}^2$ 、 96.5kN/mm^2 であった。

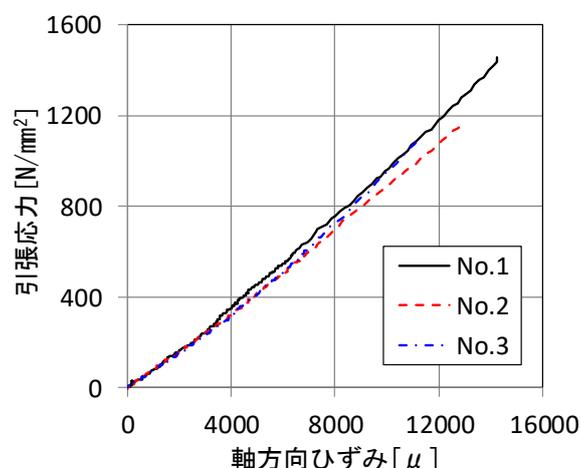


図-2 引張試験結果（応力-ひずみ関係）

3. 半円形フックの引抜き試験

TP-CFRP製半円形フックの定着性能を確認するため、コンクリートブロックからの引抜き試験を実施した。

キーワード：熱可塑性樹脂、CFRP、半円形フック、定着、曲げ内半径

連絡先：〒182-0036 東京都調布市飛田給 2-19-1 鹿島建設(株)技術研究所 TEL 042-489-6708

試験ケース一覧を表-1に、試験体概要を図-3に示す。全長950mmのTP-CFRPを恒温槽で加熱して直線状に矯正した後、片端に所定の曲げ内半径で曲げ加工を施し、半円形フックを成形した。他端には、外径27mm、長さ240mmの鋼管を接着剤で固定した。一辺300mmの立方体状のコンクリートブロック内部にTP-CFRP製半円形フックを埋設し、1,000kN万能試験機を用いて引抜き試験を行った。なお、コンクリートの割裂破壊やコーン破壊を防止するため、コンクリートブロックはSD345 D10鉄筋を用いて補強している(図-3)。

引抜き試験結果を表-1に示す。4.7φ-1~3、7.0φ-1~2の各試験体では、コンクリートブロック内部のフックの曲げ始点付近で素線が破断した(図-4)。4.7φ-1~3の破壊時引張応力(引抜き耐力)の平均は1,755 N/mm²で、引張試験により確認された母材引張強度の84.3%であった。コンクリートブロック外部において破断が生じた7.0φ-3、9.3φ-1の破壊時引張応力は母材の引張強度と同等程度であったことから、これらの試験体では、半円形フックによって母材の引張強度相当の定着力が確保されていたと評価できる。なお、曲げ内半径を9.3φとしたケースも、他のケースと同様に3体の試験体で試験を行ったが、残りの2体については母材引張強度よりも著しく低い引張応力で、コンクリートブロック外部での破断が生じた。これは、試験体の製作誤差による局所的な曲げ応力の作用などが原因と考えられるため除外した。

4. まとめ

熱可塑性樹脂を用いたCFRPをコンクリート内部の補強材として用いることを想定し、半円形フックの定着性能を確認した。その結果、曲げ内半径を4.7φとしたケースでの引抜き耐力は、母材引張強度の84.3%であった。曲げ内半径を7.0φ、9.3φとした試験体の一部では、母材引張強度に対して十分な強度で定着されていたことが確認された。

謝辞

本研究は、東日本高速道路(株)による技術研究助成を受けて実施した。ここに謝意を表する。

参考文献

- 1) 寺田幸平：炭素繊維強化熱可塑性プラスチックー現状，応用分野および課題ー，精密工学会誌，Vol. 81，No.6，pp. 485-488，2015。

表-1 半円形フックの引抜き試験ケースおよび結果一覧

試験体名	曲げ内半径 r (mm) *1	補強鉄筋 寸法 a (mm)	破壊 モード*2	破壊時引張 応力(N/mm ²)
4.7φ-1	37.2 (4.7φ)	120	A	1,720
4.7φ-2			A	1,755
4.7φ-3			A	1,789
7.0φ-1	55.8 (7.0φ)	180	A	1,800
7.0φ-2			A	1,774
7.0φ-3			B	1,938
9.3φ-1	74.4 (9.3φ)	240	B	1,912

*1 φ：TP-CFRP断面の直径(=8.0mm)

*2 A：フック始点での破断

B：コンクリートブロック外部での破断

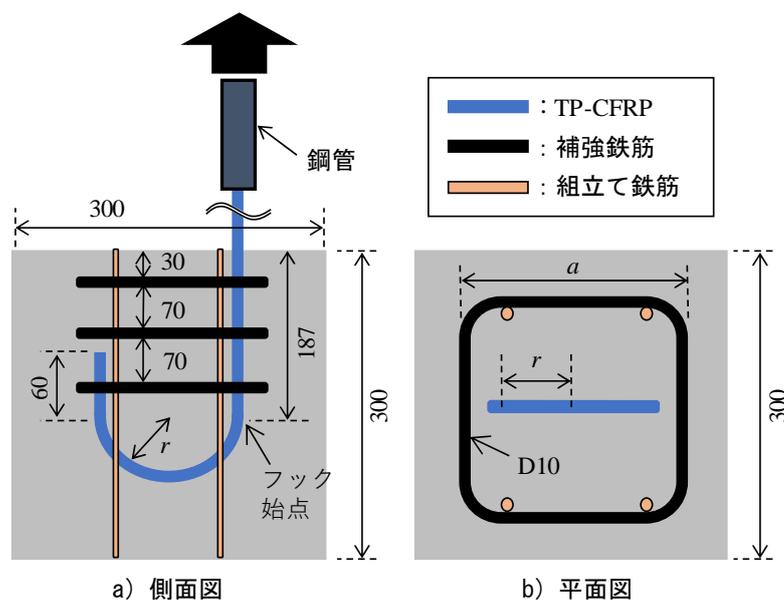


図-3 半円形フックの引抜き試験体概要(単位：mm)



図-4 半円形フック始点付近での破断状況