

内部拘束力を付加した CFRP の材料特性

九州大学 学生会員 ○玉男木 良平 九州大学大学院 フェロー 太田 俊昭
 九州大学大学院 正会員 徐 聖卓 九州大学大学院 学生会員 RudyDjamaluddin
 西松建設株式会社 正会員 原田 耕司 九州大学大学院 正会員 山口 浩平

1. はじめに

著者らはこれまでに UCAS(Uni-directional Carbon-fiber Assembly System)工法の提案・研究を行ってきた。この工法は、インターネットを活用して、設計から施工までをオンライン化できるため、時間短縮やコストの削減がなされ、さらには省力化・省資源化がはかれることや、環境に配慮した施工が行えるなどの利点がある。

UCAS 工法は本来非硬化型連続繊維補強材を対象としていたが、炭素繊維素線をそのまま補強材に使用するためコンクリートとの付着が弱い、全断面が有効にはたらず十分な強度が得られないなどの欠点があった。そのため今回は、内部拘束力を付加した硬化型連続炭素繊維補強材（以下 Super-CFRP）を作製し、そのコンクリート構造物への適用を検討した。まず、Super-CFRP 断面の顕微鏡観察を行い、市販の CFRP との比較を行った。次に、コンクリート補強材として必要な物性値を得るために引張試験を行った。

2. 製作手順

図-1 に Super-CFRP 製作手順を示す。まず、エポキシ樹脂を塗布した炭素繊維を自動配筋ロボットにより一定張力(軸方向緊張力)でアンカーに巻きつけ、軸方向繊維を作製した(a)。次に、炭素繊維を周方向(らせん状)に巻きつけることで一本化した(b)。最後に、通电により炭素繊維を発熱させ約 70℃でエポキシ樹脂を硬化させ、軸方向緊張力を解放して、軸方向にはプレストレスの効果を、周方向には内部拘束圧の効果を得た(c)。本工法は通电により樹脂を硬化させるため、大規模な設備を必要としないといった利点がある。表-1 に炭素繊維の物性値を示す。

3. 顕微鏡観察

顕微鏡による断面の観察および周方向緊張力をパラメータとした繊維混入率の測定を行った。写真-1 に Super-CFRP および同じ炭素繊維で作製された市販の CFRP の断面の観察写真を示す。白い箇所が炭素繊維、グレー部分が樹脂、黒色が空隙を表している。これより、顕微鏡で見る限り、Super-CFRP は市販の CFRP と比べて空隙が少なく、炭素繊維間にエポキシ樹脂がよく浸透しているといえる。これは、従来の CFRP より低温でエポキシ樹脂を硬化させるため、熱による気泡の発生が少ないためと考えられる。

表-2 に繊維混入率を示す。繊維混入

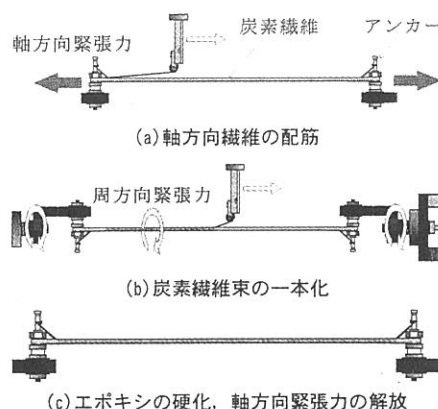
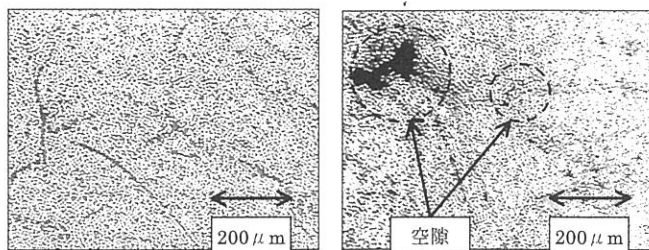


図-1 Super-CFRP 製作手順

表-1 炭素繊維の物性値

種類	断面積 (mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (N/mm ²)
Torayca T700S(12K)	0.46	4.80×10^3	2.30×10^5



(a) Super-CFRP

(b) 市販の CFRP

写真-1 観察写真

率は直線法¹⁾により測定した。一般に CFRP の繊維混入率は 50～60% が最適とされているが、今回の結果はそれを満たしている。また、周方向緊張力の増加により中央のエポキシ樹脂が全断面に拡散したため、繊維混入率が減少したと考えられる。

4. 引張試験

4.1 供試体および試験方法

表-3 に供試体種類、図-2 に供試体概略図を示す。炭素繊維の巻き数をパラメータとし、20 巻き、40 巻き、60 巻きの 3 タイプの供試体を作製した。連続炭素繊維は局部的なせん断に弱いため、载荷には鋼製のスリーブを用いた。両端をスリーブに挿入し、膨張材を充填することで一体化させた。なお、20 巻きの供試体は端部を切断し母材を直接スリーブに挿入した。

引張試験は「連続繊維補強材の引張試験方法(案)(JSCE-E531-1995)」²⁾に準じて行い、供試体中央点のひずみおよび载荷荷重を測定した。

4.2 試験結果および考察

写真-2 に破断部状況を示す。いずれの供試体でも CFRP の端部で破断が起こった。同部は剛性の急激な変化点であり応力集中が発生したためと考えられる。

図-3 に応力-ひずみ曲線を示す。いずれの供試体とも、応力とひずみの関係はほぼ線形であるといえる。表-4 に各タイプの供試体の最大強度、引張強度およびヤング係数の平均値を示す。これらにより、巻き数による引張強度の変化は大きく見られず、炭素繊維の公称引張強度の 50% 程度であることがわかった。また、ヤング係数は理論値とよく一致しており、一般的な CFRP のヤング係数 ($1.30 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$) と同程度である。

破断ひずみは 1.5～1.7% であったが、これは鉄筋に比べて非常に小さいため、大きな変形やじん性を必要とする部材に適用する場合には安全率を大きくするなどの注意が必要と考えられる。

5. まとめ

- (1) Super-CFRP は市販の CFRP と比べ空隙が少ない。周方向緊張力の増加により繊維混入率が減少した。
- (2) 引張強度の巻き数による変化は大きく見られず、炭素繊維の公称強度の 50% 程度である。またヤング係数は理論値とよく一致しており、一般的な CFRP と同程度である。

謝辞

顕微鏡観察において防衛大学の本山助手にご支援とご助言をいただきました。ここに記して謝辞を表します。

参考文献

- 1) Leif A. Carlsson, R. Byron Pipes : Experimental Characterization of Advanced Composite Materials pp.49-52, 1987 年
- 2) 連続炭素繊維補強材を用いたコンクリート構造物の設計・施工指針(案), 1996 年 9 月

表-2 繊維混入率(Super-CFRP)

Type	緊張力(N)		供試体数	繊維混入率(%)
	軸方向	周方向		
A	50	50	2	62.5
B	50	150		50.7

表-3 供試体種類

巻き数	断面積(平均)(mm ²)	供試体数
20	32.9	20
40	61.5	3
60	88.7	3

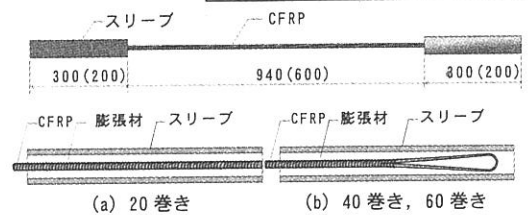


図-2 供試体概略図 * ()内は 20 巻きの寸法

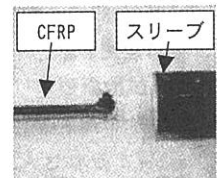


写真-2 破断部状況

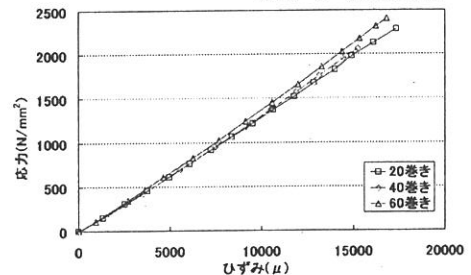


図-3 応力-ひずみ曲線

表-4 実験結果

巻き数	最大荷重(kN)	引張強度($\times 10^3 \text{ N/mm}^2$)	引張強度/公称強度(%)	ヤング係数($\times 10^5 \text{ N/mm}^2$)
20	76.5	2.32	48.3	1.46(1.30)
40	144.8	2.14	44.6	1.36(1.39)
60	230.1	2.45	51.0	1.44(1.44)

* ()内は理論値