

16. 内部拘束力を付加した CFRP ロッドの力学特性に関する実験的研究

玉男木 良平

1. 目的

著者らはこれまでに非硬化型炭素繊維ケーブル（以下、UCCF）の提案，研究を行ってきた。その結果，UCCF は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性が悪く，また全断面が有効にはたらかず十分な強度が得られないなどの欠点が明らかになった。これらの問題を解決するために，著者らは，自動配筋ロボットを用い，内部拘束圧の概念を取り入れた新しい硬化型炭素繊維（以下，UCAS ロッド）を提案した。しかし，UCAS ロッドの力学特性などに関する研究は行われていなかった。

そこで，本論文では UCAS ロッドのコンクリート構造物への適用性の検討を行った。具体的には，まず，引張試験によりコンクリート構造物の補強材として用いる際に必要な物性値を得た。次に，異形加工を施した UCAS ロッドの付着試験により，コンクリートと UCAS ロッドとの付着特性を把握した。さらに，UCAS ロッドは土木・建築分野のみならず，航空・宇宙分野への応用も視野に入れられているため，ねじり試験を行い，航空・宇宙分野におけるねじりを受けるケースでの力学特性を検討した。

2. 内容

表-1 炭素繊維および繊維結合材の物性値

2.1 UCAS ロッドの作成方法

UCAS ロッドは表-1 に示す炭素繊維および繊維結合材を用い，自動配筋ロボットを用いて図-1 に示す手順で作製した。顕微鏡観察より求めた UCAS ロッドの繊維混入率は 50~60% であり，市販品 CFRP と同程度であった。

材料	製品名	引張強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (N/mm ²)	断面積 (mm ²)
炭素繊維	東レ Torayca T700S 12K	4.80 × 10 ³	2.35 × 10 ⁵	0.46
繊維結合材	東レ TS プライマー	60.6	3.4 × 10 ³	

2.2 母材および U 型アンカーの引張特性

(1)母材引張試験：引張試験は軸方向繊維の束数をパラメータとして，40 束，80 束，120 束の 3 タイプの供試体について行った。表-2 に実験結果，引張強度と炭素繊維の公称強度の比，ヤング係数の理論値を示す。ヤング係数の理論値は複合側より求めた。これより，UCAS ロッドの引張強度は，炭素繊維の公称強度の約 50% を有していることがわかった。また，ヤング係数は理論値と良く一致しており，UCAS ロッドのヤング係数も複合側を適用できることがわかった。保証耐力は，鉄筋 SD295 に換算すれば 40 束で D19，80 束で D25，120 束で D32 に相当することが明らかになった。また，いずれの供試体も応力-ひずみ関係は直線的な挙動を示し，弾性体として破断した。

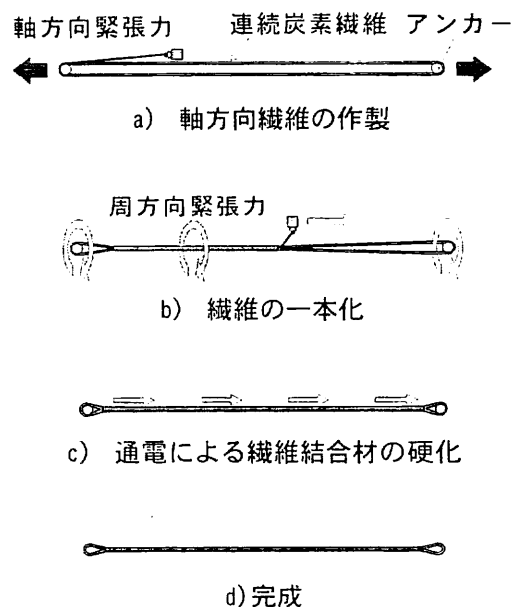


図-1 UCAS ロッド作成手順

表-2 引張試験結果

試験ケース	最大荷重 (kN)	引張強度 (N/mm ²)	引張強度 公称強度	ヤング係数 (× 10 ⁵ N/mm ²)		①/②	保証耐力 (kN)
				①実験値	②理論値		
40束	76.5	2324	48.3%	1.46	1.30	1.06	70.1
80束	144.8	2355	49.1%	1.36	1.39	0.98	138.5
120束	230.1	2593	54.0%	1.44	1.44	1.00	223.8

(2)U型アンカー引張試験：写真-1にU型アンカーの形状を示す。軸方向繊維の束数は40束で作製した。U型アンカーの最大耐力は平均52.3kNであり、40束UCASロッドの平均最大荷重(76.5kN)の68.4%であった。

2.3 異形加工を施したUCASロッドの付着特性

表-3にUCASロッドの作製条件を示す。試験ケースは付着強度に影響を及ぼすと考えられる節の間隔と節間の凹凸の有無をパラメータとした。また、比較のために市販品CFRPロッドおよび異形鉄筋について同様に試験を行った。供試体数は各3体である。

表-4に試験結果を示す。これより、UCASロッドは、鉄筋と比較して同等またはそれ以上のコンクリートとの付着強度を有しており、コンクリートとの付着特性に問題がないことがわかった。また、節間に凹凸を作製することにより、付着応力度が増加する傾向を示した。なお、UCASロッドは市販品CFRPロッドに比べ、若干付着応力度が低い結果となった。

2.4 ねじり試験

供試体は、軸方向および周方向の緊張力をパラメータとして作製した。供試体の両端を固定し、周方向繊維の巻き付け方向と同方向にねじりを加えた。

表-5に試験結果を示す。最大トルク、ねじり剛性ともにType-Bが最も大きく、続いてType-A、Type-Cの順になっている。今回の条件の範囲ではトルクおよびねじり剛性を向上するためには、軸方向緊張力より周方向緊張力を増加させる方が良いことがわかった。

3. 結論

UCASロッドの引張試験、付着試験、ねじり試験を行い、以下のような所見を得た。

- (1)コンクリートの補強材として用いる際の引張特性値を求め、鉄筋SD295に換算すれば、40束でD19、80束でD25、120束でD32に相当することがわかった。
- (2)U型アンカーの最大耐力は52.3kNであり、40束UCASロッドの母材の最大荷重(76.5kN)と比較して、その68.4%を有していることを確認した。
- (3)鉄筋と比較して同等またはそれ以上のコンクリートとの付着強度を有しており、コンクリートとの付着特性に問題が無いことがわかった。
- (4)最大トルクおよびねじり剛性を向上するためには、軸方向緊張力より周方向緊張力を増加させる方が良いことがわかった。

以上より、今回の検討範囲では、UCASロッドは十分コンクリート構造物の補強材として適用できるといえる。なお、今後の検討課題としては、繰り返し荷重を受けるコンクリート構造物に使用する際の疲労特性の把握、PC構造物におけるリラクゼーションの測定、継ぎ手構造に用いる際に必要なコンクリート内で結合したU型アンカーの耐力の測定などが挙げられる。

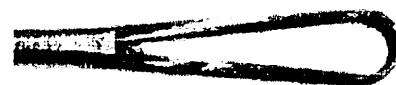


写真-1 U型アンカー形状

表-3 UCASロッド作製条件

ケース名	節の間隔 (mm)	周長 (mm)	供試体数	節間の凹凸
S-20	20	21.7	3	有
S-30	30			
S-40	40			
N-20	20			無

表-4 付着試験結果

補強材	UCASロッド				市販品CFRP	異形鉄筋	
	ケース名	S-20	S-30	S-40	N-20	C	R
付着応力度 (N/mm ²)		11.6	11.8	12.8	9.65	14.8	9.76

表-5 ねじり試験結果

Type	緊張力 (N)		最大トルク (N・m)	ねじり剛性 (N・m ² /rad)
	軸方向	周方向		
Type-A	49	49	31.7	3.63
Type-B	49	147	33.4	3.83
Type-C	147	147	29.9	3.14