

## Super-CFRP ロッドを用いた RC はりの曲げ挙動に関する検討

(株)福山コンサルタント 正会員 ○渡邊 弘史 (株)福山コンサルタント 非会員 野上 和彦  
 日本管洗工業(株) 非会員 小林 理人 東京鉄鋼(株) 正会員 越路 正人  
 (株)太平洋コンサルタント 非会員 柳川 貴光 (一財)橋梁調査会 正会員 山口 浩平

### 1. はじめに

著者らは「Super-CFRP ロッド」(以下、SCF ロッド)と呼ばれる、連続炭素繊維を自動配筋ロボットによりロッド上に束ね、熱硬化型樹脂により硬化した材料を開発した。この SCF ロッドをコンクリート構造物の内部鉄筋と置き換える「Super-CFRP 工法」(以下、SCF 工法)を開発中である<sup>1)</sup>。SCF 工法では、炭素繊維を内部鉄筋と置き換えるため、鉄筋の腐食によるコンクリート構造物の早期劣化が生じることは無い。また、かぶり厚さを薄くすることが出来るため、軽量化が図られる等、様々な利点があると考えられる。しかし、SCF ロッドは炭素繊維を束ねたものであるため、脆性破壊を呈する、熱に弱い等の問題点がある。そのため現段階では SCF 工法の適用範囲は限定的なものとなると考える。

本研究では、SCF ロッドを RC はりの引張補強筋として配置した、RC はりの曲げ試験および FEM 解析を実施した。

### 2. 供試体

はり供試体に用いた SCF ロッドの材料特性を表-1 に示す。なお、表中の「保証値」とは、引張強度および付着強度の最大値と最小値を除いた、残り 3 本の平均値から標準偏差の 3 倍を引いた値である。また、RC はりのコンクリート設計基準強度は 24N/mm<sup>2</sup>、異形鉄筋は SD345 を使用した。

はり供試体の設計荷重および種類を表-2 および図-1 に示す。ここに、表-2 の SCF ロッド破断荷重は、SCF ロッドのひずみが、表-1 の 1/3 引張強度に達した時の荷重である。同じく、コンクリート圧壊荷重は、コンクリートの曲げ圧縮破断荷重であり、はりの終局時には SCF ロッドは破断しないと設計した。引張力が作用する側に SCF ロッド 20 巻を 3 本配置し、圧縮側に D22 を 3 本、せん断補強筋は D13 を 100mm 間隔で配置した。

供試体は 4 種類作製した。TYPE-0 は、継手を有しない SCF ロッドを引張補強筋として配置した基準試験体である。TYPE-S-300 は、SCF ロッドとコンクリートの付着強度から算出される重ね継手長さ式<sup>2)</sup>を用いて算出した重ね継手長さ 300mm を有する U 型アンカーなしの試験体である。ただし、既往の研究<sup>3)</sup>によると、一般的な CF ロッドとコンクリートの付着特性に基づく重ね継手長を有する RC はりが曲げを受けた場合、CF ロッドは鉄筋と同様の扱いができず、その継手性能が劣ることが報告されている。そこで、TYPE-U-300 として、TYPE-S-300 の重ね継手長さ部分に U 型アンカーを含ませ、U 型アンカーで定着力が確保し得る重ね継手を併用した試験体である。TYPE-U-150 は重ね継手による継手性能を

満足しない継手長を 150mm として、主に U 型アンカーで定着力を確保した試験体である。

表-1 材料特性値

項目	単位	設計値	備考
巻き数	—	20 巻	—
公称径	mm	6.00	—
公称断面積	mm <sup>2</sup>	30.2	—
引張強度	N/mm <sup>2</sup>	2227	保証値
1/3 引張強度	N/mm <sup>2</sup>	740	許容引張応力度
付着強度	N/mm <sup>2</sup>	11.4	保証値
1/3 付着強度	N/mm <sup>2</sup>	3.80	許容付着応力度
破断時ひずみ	$\epsilon_t$	15910	保証値から再計算
弾性係数	N/mm <sup>2</sup>	$1.40 \times 10^5$	保証値から再計算

表-2 RC はり供試体の設計荷重

項目	単位	荷重
ひびわれ荷重	kN	27.9
SCF ロッド許容引張強度時荷重	kN	45.0
SCF ロッド破断荷重	kN	120
コンクリート圧壊荷重	kN	120

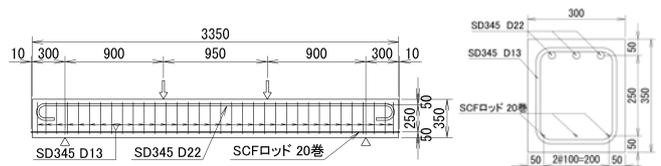


図-1 はり供試体 (TYPE-0) (左:側面図, 右:断面図)

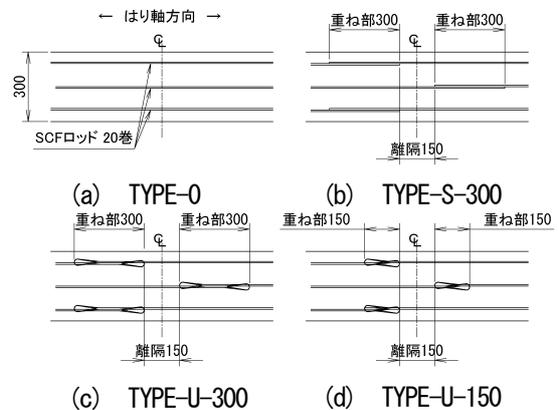


図-2 はり供試体の継手部詳細

キーワード Super-SCFRP ロッド, RC はり, FEM 解析  
 連絡先 〒802-0072 北九州市小倉北区片野新町 1-11-4 (株)福山コンサルタント TEL : 093-931-0211

3. 結果および考察

試験結果を表-3に示す。なお、表中の解析値とは、FEM解析により求められた値を示す。TYPE-0とTYPE-U-300の最大荷重は設計値を超過したが、他の2体は設計値の50~60%程度で破壊した。図-3に荷重-スパン中央変位関係を示す。全ての試験体は荷重40kN程度で荷重が一時低下し、この時に曲げひび割れが発生した。また、FEM解析で再現した結果も同図に示している。図より精度よく再現されていることが認められる。

TYPE-0とTYPE-U-300の最大荷重は同程度であり、中央部変位は約40mmに達した。U型アンカーを用いたTYPE-U-300は、TYPE-0と同様の挙動を示したことから、十分な継手性能を有することがわかった。これはU型アンカー内のコンクリートのくさび効果により定着力が確保されたことを示唆している。

TYPE-S-300、TYPE-U-150は荷重60-80kNで荷重が増加することなく、中央部変位が増加していき、ひび割れの開口幅が増大したため、試験を終了させた。これは、既往の研究<sup>3)</sup>と同様の傾向を示し、引張補強筋であるSCFロッドが引張力を負担できなくなったためであり、SCFロッドの継手性能が不十分でSCFロッドが引き抜けたことを示唆している。また、両タイプを比較すると、U型アンカーが配置されていても継手長150mmでは不十分となる結果となった。このことより、必要な定着長にU型アンカーを含ませることで、十分な継手性能を発揮することがわかった。

次に、はりの上縁コンクリートの荷重-ひずみ関係を図-4のマイナス側に、SCFロッドの荷重-ひずみ関係を同図のプラス側に示す。いずれの試験体も荷重40kN付近での曲げひび割れ発生時にコンクリートが負担する引張力が解放され、SCFロッドに応力が伝達されたため、SCFロッドの引張ひずみが増加しているのがわかる。また、TYPE-0とTYPE-U-300のSCFロッドの最大ひずみは同程度であった。全試験体の中で最も大きいひずみを示したのは、TYPE-0の10640 $\mu$ であった。しかし、ロッドの設計上の破断ひずみ15910 $\mu$ を超えていないことから、SCFロッドが破断していないことが推察される。TYPE-S-300およびTYPE-U-150の最大荷重時のひずみは引張側が4000 $\mu$ 程度、圧縮側は1500 $\mu$ 程度ととも小さいことから、SCFロッドが破断していないことおよびはり上縁のコンクリートは圧縮破壊していないと推察される。

表-3 最大荷重

供試体	最大荷重(kN)				破壊モード
	設計値	実測値	実測値/設計値	解析値	
TYPE-0	120	126	1.05	119	コンクリート圧壊
TYPE-S-300		73.1	0.61	—	ロッド引き抜け
TYPE-U-300		126	1.05	116	コンクリート圧壊
TYPE-U-150		60.7	0.51	—	ロッド引き抜け

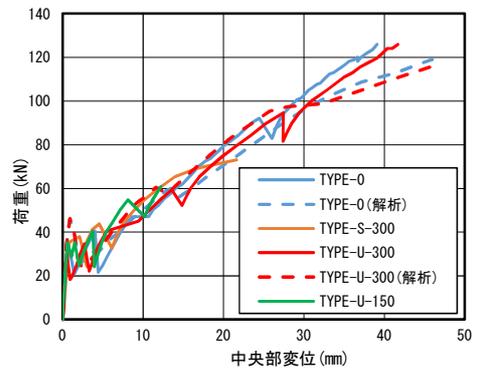


図-3 荷重-中央部変位関係

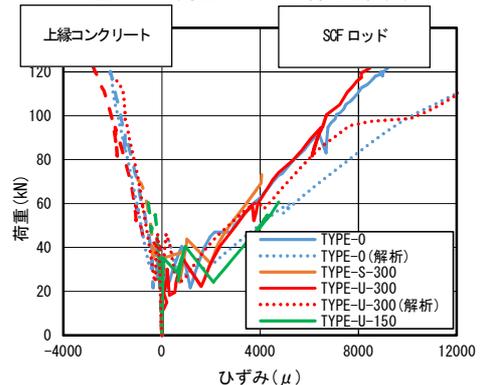


図-4 荷重-ひずみ関係

4. まとめ

- 1) TYPE-0 および TYPE-U-300 は設計値を満足した。SCFロッドを引張補強筋として配置した供試体は現行のRC理論で設計可能である。
- 2) U型アンカーによる機械式継手と重ね継手を併用することで、変形能および耐荷挙動は継手なしのタイプと同等であり、十分な継手性能を有することがわかった。これはU型アンカー内のコンクリートのくさび効果により定着力が確保されたことを示唆している。
- 3) FEM解析で用いたモデルは試験値を精度よく再現できた。このことより、解析モデルの妥当性が確認された。今後は同モデルを用いてU型アンカーのくさび効果について検討を進める予定である。

謝辞

本研究は、「Super-CFRP 推進研究会」の工法開発研究テーマの一環として実施しました。研究を実施するに当たり、Super-CFRP 推進研究会の方々および当時九州大学大学院生 甘宇君にも多大なご協力を頂きました。この場をお借りして御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 山口浩平, 日野伸一, 太田俊昭: CFRPロッドの引張特性とPCはりへの適用性に関する実験的研究, コンクリート工学年次論文集, vol.29, pp1465-1470, 2007.7
- 2) 土木学会: コンクリート標準示方書【設計編】, 2013.3
- 3) 椎名貴快, 伊藤忠彦, 潮田和司, 松野繁宏: 鉄筋との重ね継手を有するCFRPコンクリートはりの曲げ挙動, コンクリート工学年次論文集, Vol.22, pp.253-258, 2000.7