

## 非硬化型 CF ケーブル材の PC ケーブル材への適用

九州大学大学院 正会員 ○ 山口浩平  
九州大学大学院 太田俊昭  
西松建設(株) 原田耕司

### 1. はじめに

市販されているプレストレス用の炭素繊維(以下、CF と略称する)ケーブル材は、熱硬化工程などを必要とするため PC 鋼線に比べて著しく高コストであり、そのことが普及の妨げとなっている。しかし、今回提案する CF ケーブルは、それらの工程を必要としない非硬化型もしくは部分硬化型であるため、従来のものに比べて大幅なコストダウンが図られる可能性がある。

新ケーブルの特徴は、熱硬化工程を行わない非硬化型であり、直径7ミクロンの極細の炭素繊維素材を、自動配筋ロボットを用いて<sup>1), 2)</sup>、そのまま一定張力で複数本平行に束ねた集合材である。長さ1.5mの引張試験体(断面積0.184cm<sup>2</sup>)を複数作製し一連の引張試験を行った結果、引張強度が公称引張強度(CF フィラメント1本あたりの約3割の1676N/mm<sup>2</sup>)を有し、ばらつきの小さい、実用化条件をクリアーできる信頼性の高いケーブルであることを実証した。

### 2. 非硬化型 CF ケーブルの力学性状

CF は、直径が約7ミクロンの連続フィラメントを12Kや70K(K=1,000本)に束ねた集合材である。写真-1は12Kをロール上に巻きつけた製品である。この集合材の引張強度は、初期ゆるみなどにより公称引張強度(通常3500~500N/mm<sup>2</sup>)の10~20%である。このため通常、C.F.の集合材を先ずプリプレグ(未硬化樹脂を含浸)し、次いで120~150°Cで熱硬化させて公称引張強度の70%強の安定強度を得ている。反面、この工程が硬化型CFを元の非硬化型CFのコストの5倍以上と高価にし、建設分野における普及の障害となっている。

ところで、通常のコンクリート補強材の必要引張強度レベルは、高々公称引張強度の10%の400N/mm<sup>2</sup>程度である。しかも、コンクリートは、集合材に一定の拘束力(付着やアンカー効果)を有するため、非硬化CFの引張強度はさらに高められる。したがって、引張強度の低下を勘案しても、非硬化型CFはコスト面において硬化型CFに比べて格段に有利である。

### 3. UCAS 工法

筆者らは、前述の非硬化型CFをコンクリート部材に用いる工法をUCAS(Unresin Carbon-fiber Assembly Systems)工法と名付けている。本工法はIT時代における環境適合型建設システムの一手法と考えられ、その

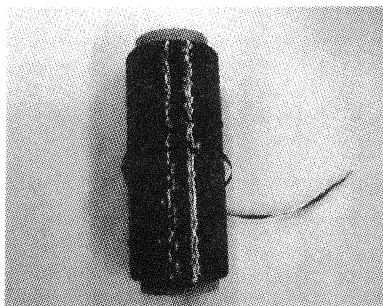


写真-1: 炭素繊維

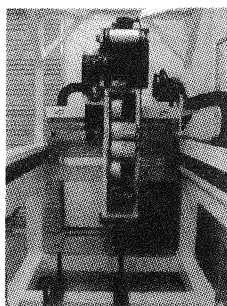


写真-2: 自動配筋ロボット

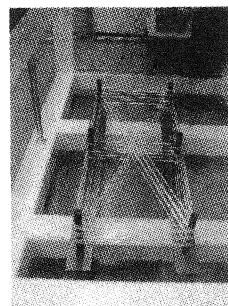


写真-3: 配筋例

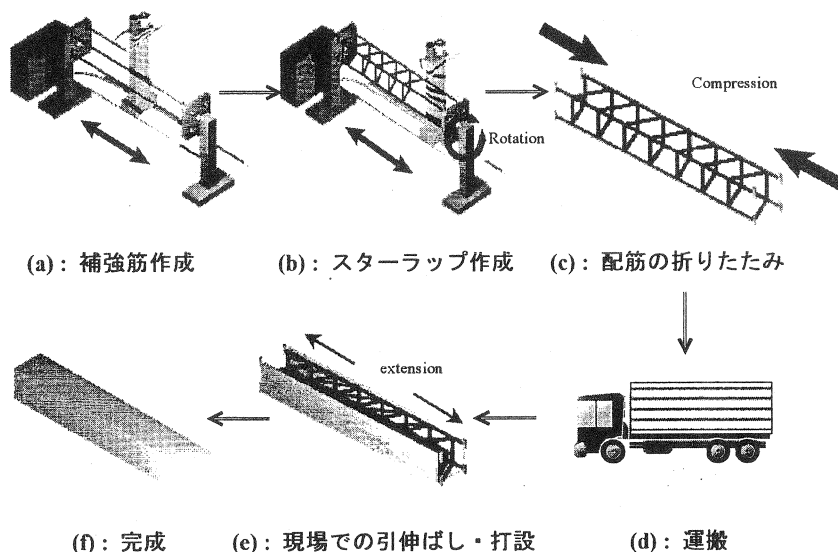


図-1: 自動配筋ロボットと UCAS 工法を用いた建設システム

概要を図-1 に示す。

同図(a), (b)のような自動配筋ロボットを用い、デジタル化した設計図面により、設計通りの配筋システムを製作する。写真-2, 3は、九州大学 知能機械工学の鬼鞍教授らと共同で開発した自動配筋ロボットである。CF ケーブルをコンクリート部材の補強材として用いる場合、CF ケーブル同士の交点や定着端部はスポット的にエポキシ樹脂などで接着させる。配筋構造は元々フレキシブルなため、同図(c)のようにコンパクトに縮小することができる。この軽量、コンパクトで設計情報を付加された製品は、最適ルートで、Just in time に安く配送できる(同図(d))。次に、型枠の中で引伸ばした状態で(同図(e))、流動の良いコンクリートを打設し完成となる(同図(f))。このため、現場の配筋工、ガス圧接工、継手工などの熟練工が大幅に省力化できる。また、軽量であるため、クレーンなどの重機使用量を大幅に節減でき、施工の安全性と効率性が向上する。このような設計(標準化、ユニット化した最適組合せ配筋システム設計法)と施工のオンライン化は、現場サイドでの設計変更も迅速に対応でき、性能管理・データ管理が容易となると考えられる。

#### 4. CF ケーブルの引張試験

##### 4.1 試験体よび試験方法

非硬化型 CF ケーブルは、前述の通り製作段階のたるみや燃りによりその引張強度はその公称引張強度に比べ著しく低下する傾向がある。そこで、そのケーブルの PC ケーブル材への適用を目的として、自動配筋ロボットを用いて一定張力の管理の基で製作された一定の径を有する試験体の引張試験と行い、その力学特性および自動配筋ロボットの性能確認を行った<sup>3)</sup>。

表-1 は CF と試験体の諸元を示している。図-2 は試験体の形状を示しており、全長 1500mm、非硬化であ

表-1: CF および試験体の諸元

引張強度 [N/mm <sup>2</sup> ]	ヤング係数 [N/mm <sup>2</sup> ]	密度 [g/cm <sup>3</sup> ]	断面積 [mm <sup>2</sup> /Tow]*	巻き数 [Tows]	総フィラメント数	全長 [mm]	試験部長 (非硬化部) [mm]
4800	2.3x10 <sup>5</sup>	1.76	0.46	20	480000	1500	1100

\* 1Tow = 12K = 12000 filaments

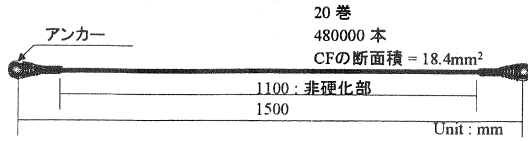


図-2：試験体の形状

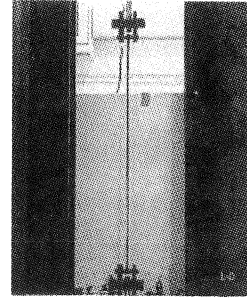


写真-4：試験状況

る試験部長 1100mm, 両端部に鋼製のアンカーを設置し, 自動配筋ロボットにより両端部アンカーに 12K の CF を 20 往復巻き付け, 端部の応力集中による破壊を防止するため両端部 200mm はエポキシ樹脂で硬化させた. なお, 試験体数は全 20 体である.

試験方法は, 土木学会 コンクリートライブラリー88 「連続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)」の「連続繊維補強材の引張試験方法(案) (JSCE-E531-1995)」に準じて行った. 写真-4 に試験状況を示しているが, 両端部アンカーはテンションバーを介して試験装置に設置され, その上部に荷重計を設置し, CF ケーブルの伸び量は 2 基の変位計および試験体中央部に貼付したひずみゲージにより測定した. なお, 載荷速度は 0.1kN/sec である.

#### 4.2 試験結果および考察

図-3 に全試験体の荷重 - 伸び関係を示している. 同図より破断にいたるまでほぼ直線で線形挙動を示しており, 破断直前にわずかな引張剛性低下が見受けられる. また, 全試験体ともほぼ同様の挙動であり, 自動配筋ロボットの製作再現性は十分な精度を有していることが確認された. なお, 同図中の伸び量は変位計によるものであるが, ひずみゲージ値もほぼ同様の伸び量を示していた.

図-4 は各試験体の最大引張強度 (= 破断荷重 / CF の総断面積) を示している. グラフ上部の数値は公称引張強度に対する最大引張強度の比である. 全試験体の中で最大のものは No.18 の 39.1% に対し, 最小のものは No.6 の 28.7% と小さい値であるが, それは試験時に若干の偏心載荷状態となり端部アンカー近傍で破壊し

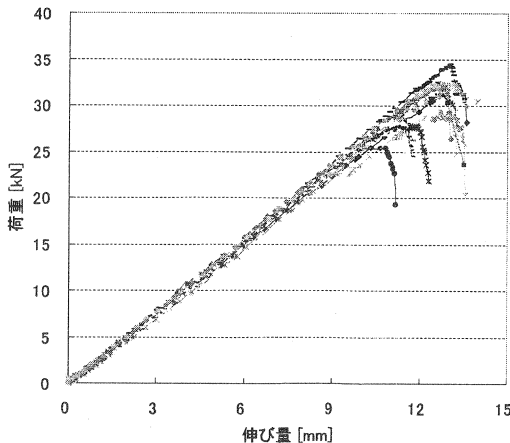


図-3：荷重 - 伸び関係

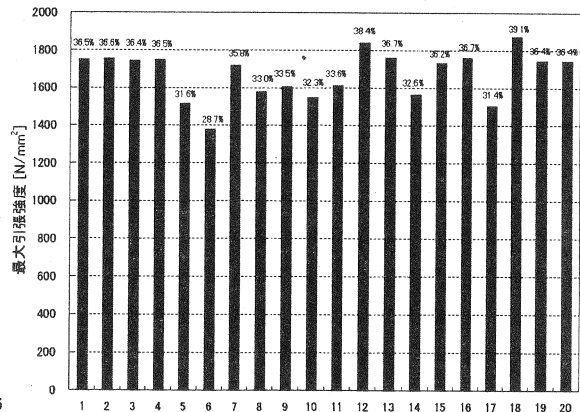


図-4：各試験体の最大引張強度

表-2: 全試験体の平均値

破断荷重 [kN]	30.9
最大引張強度 [ $\text{N}/\text{mm}^2$ ]	1676 (34.9%)
ヤング係数 [ $\text{N}/\text{mm}^2$ ]	$2.03 \times 10^5$ (88.3%)
最大ひずみ [%]	0.83
保証引張強度 [ $\text{N}/\text{mm}^2$ ]	1295 (27.0%)

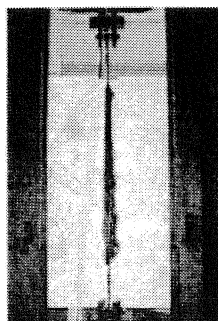


写真-5: 破断後の状況

たためと考えられる。

表-2 は全試験体の平均値であり、破断荷重、最大引張強度、ヤング係数、最大ひずみ、保証引張強度を示している。同表中の括弧内の数値は公称値との比であり、最大引張強度は 34.9%、保証引張強度は 27.0%と非硬化型 CF ケーブルとしては高いレベルであることが確認された。通常、太径の CF ケーブルであれば、ヤング係数の低下が懸念されるが、本試験結果では公称値( $2.45 \times 10^5 \text{ N}/\text{mm}^2$ )とほぼ同値であった。

写真-5 は破断後の状況であり、CF フィラメント 1 本 1 本が非硬化部全長に渡り別々の箇所破断しているため、外見上、試験体が 2 つに分断されることはなく、同写真のように繊維が毛羽立つ傾向が見られた。

## 5. まとめ

本研究では、非硬化型 CF ケーブル材の PC ケーブル材への適用を目的として、同ケーブルの製作方法および引張強度、ヤング係数などの力学特性を明らかにするために引張試験を行った。得られた結果は以下のようにならまとめられる。

- (1) 自動配筋ロボットにより一定張力の管理の基で製作(巻き付け)された CF ケーブルは、従来の方法と比べてたるみや撚りによる強度低下が大幅に改善され、高強度で良好な製作再現性を有する CF ケーブルであることが確認された。
- (2) CF ケーブルの荷重 - 伸び関係は、荷重初期段階のたるみによる剛性低下もなく、CF フィラメントと同様に破断直前までほぼ線形であることがわかった。
- (3) CF ケーブルの公称引張強度に対する最大引張強度の比は 30.9%、同様にその保証引張強度の比は 27.0%、さらに集合材とすることによるヤング係数の低下もなく、非硬化型 CF ケーブルとしては高いレベルであり、コンクリート部材へ用いる CF ケーブルとして十分に満足される強度を有していることがわかった。

## 参考文献

- 1) 新社会基盤技術の開発研究, 平成 12 年度研究成果報告書, 九州大学大学院工学研究院, 2001 年 3 月
- 2) 太田俊昭: IT 時代におけるコンクリート構造物の新しいコンセプトとそのライフサイクルアセスメント, 土木学会誌, Vol.86, 2001 年 3 月
- 3) Toshiaki OHTA, Kohei YAMAGUCHI and Keitaro SAMIZO: Fundamental Studies on Mechanical Properties of UCCF for UCAS Method, 26<sup>th</sup> Conference on Our World in Concrete & Structures, Singapore, August 2001