

## 高強度繊維補強コンクリートの引張軟化特性

(株) IHI 基盤技術研究所 正会員 ○増田 紅音  
 (株) IHI 基盤技術研究所 正会員 塩永 亮介  
 (株) IHI 基盤技術研究所 正会員 山口 隆一

### 1. はじめに

近年、国内外において、高強度かつ高靱性といった優れた性能を有する高強度繊維補強コンクリートの技術開発が進められ、橋梁を中心とした実工事への適用実績も増加してきている。このうち、圧縮強度が  $150 \text{ N/mm}^2$  以上かつ所定の引張強度を有した超高強度繊維補強コンクリート (UFC) に対してはすでに指針化され<sup>1)</sup>、材料特性もモデル化されているが、この範囲に属さないコンクリートに対しては、材料性能が未だ明確には把握されていない。

そこで本研究では、圧縮強度が  $100 \text{ N/mm}^2$  前後となる高性能繊維補強コンクリートを対象に、日本コンクリート工学協会 (以下 JCI) が規定している試験を実施し、水粉体比および鋼繊維混入率がその引張軟化曲線に及ぼす影響を把握した。

### 2. 実験概要

#### 2. 1 材料特性

本研究で基準とした高強度繊維コンクリートは、目標強度を  $100 \text{ N/mm}^2$  とし、鋼繊維混入率を  $1.0 \text{ vol.}\%$  のものとした。鋼繊維は、長さ  $30 \text{ mm}$ 、径  $0.6 \text{ mm}$  で両端がフック形状となるものを用いている。また、本コンクリートは現場でのポンプ施工なども可能とさせるため、シリカヒュームの添加量や細骨材率を適度に調整し、練り上がり時のスランプが  $20 \text{ cm}$  前後、かつ材料の分離抵抗性に優れた配合としている。

#### 2. 2 実験方法

本研究では、JCI が定める「切欠きはりをを用いた繊維補強コンクリートの荷重-変位曲線試験 (JCI-S-002)」に準拠し  $100 \times 100 \times 400 \text{ mm}$  の角柱試験体を用いた三点曲げ試験を実施した。上記の試験によって得られた荷重-開口変位関係を、同じく JCI で定める多直線近似法による逆解析法 (JCI-S-001 付属書) によってその材料の引張軟化曲線 (結合応力-仮想ひび割れ幅関係) を算出した。さらに、仮想ひび割れ幅  $2 \text{ mm}$  までの引張軟化曲線下の面積を「有効破壊エネルギー」として算出し、実験パラメータごとの影響を評価した。また、曲げ試験と同時に  $\phi 100 \times 200 \text{ mm}$  の試験体も作成し、材齢  $7 \cdot 28$  日の圧縮強度を測定した。

#### 2. 3 実験ケース

表-1 実験ケース

本研究の実験ケースを表-1 に示す。鋼繊維混入率を  $1.0 \text{ vol.}\%$  一定のまま水粉体比を  $27$ 、 $33$ 、 $42\%$  と変化させた 3 ケース (CS シリーズ) と、水粉体比を  $27\%$  で一定のまま鋼繊維混入率を  $0$ 、 $0.5$ 、 $1.0 \text{ vol.}\%$  と変化させた 3 ケース (CF シリーズ) を実施した。なお、CS-2、CS-3 で使用したシリカヒュームは  $\text{SiO}_2$  純度が高く、ブレン値も比較的大きな高品質のものを使用した。CF シリーズには標準品質のものを使用した。

ケース名	目標強度 ( $\text{N/mm}^2$ )	水粉体比 (%)	鋼繊維混入率 ( $\text{vol.}\%$ )	シリカヒューム種別
CS-1	60	42.0	1.0	未使用
CS-2	80	33.0		高品質
CS-3	100	27.0		
CF-1	100	27.0	0	標準品質
CF-2			0.5	
CF-3			1.0	

### 3. 実験・解析結果及び考察

#### 3. 1 圧縮強度

圧縮強度試験結果を図-1、図-2 に示す。CS シリーズでは水粉体比の影響が顕著であった一方、CF シリーズでは、鋼繊維混入率によらず強度はほぼ一定であった。また、水粉体比と鋼繊維混入率を同条件とした CS-3 と CF-3 でおよそ  $10 \text{ N/mm}^2$  の差が生じたのは、シリカヒュームの品質による影響と考えられる。

キーワード 高強度、鋼繊維補強、コンクリート、引張軟化特性

連絡先 〒235-8501 神奈川県横浜市磯子区新中原町1番地 (株) IHI 基盤技術研究所 TEL 045-759-2864

### 3. 2 荷重-開口変位関係

曲げ試験から得られた荷重-開口変位曲線を図-3、図-4に示す。CSシリーズの結果より、水粉体比の差によって初期のひび割れ荷重にそれほど差は生じなかったものの、CS-2 および CS-3 ではひび割れ発生後も荷重は増加する傾向となった。CFシリーズの結果でも、鋼繊維混入率の違いによる初期ひび割れ荷重の差は見られなかった。しかし、鋼繊維未混入のCF-1では初期ひび割れ発生後、開口変位が1mm以前で破壊に至ったのに対し、鋼繊維を混入したケースでは荷重がすぐに低下せず、鋼繊維混入率の違いによっても大きく挙動が異なることを確認した。

### 3. 3 引張軟化曲線

曲げ試験結果の逆解析により算出した引張軟化曲線（結合応力-仮想ひび割れ幅関係）を図-5、図-6に示す。CSシリーズではひび割れ発生後、緩やかに結合応力が低下しながらひび割れが進展し、圧縮強度の高いケースほど高いレベルの結合応力値を示した。CFシリーズでは、CF-1はひび割れ発生後、急激に結合応力が低下し脆性的な破壊挙動を示したのに対し、CF-3では、ひび割れ発生後に結合応力が大きく落ち込むものの、その後ひび割れ幅の増加に伴い一旦向上し、その後緩やかに減少した。

上記の逆解析結果から求めた有効破壊エネルギーを図-7、図-8に示す。収束演算の関係でひび割れ幅2mmまでの引張軟化曲線が得られないケースについては、最後の3点を平均した傾きを考慮して算出した。CSシリーズの結果より、有効破壊エネルギーは圧縮強度にほぼ比例して増加した。これは、水粉体比の低下により鋼繊維を囲むセメントマトリックスの強度が増加したことで、鋼繊維の引き出しに対する抵抗力が増したためと考えられる。またCFシリーズの結果より、有効破壊エネルギーは鋼繊維未混入のケースではわずかに0.3N/mmであったのに対し、0.5 vol.%では2.6N/mm、1.0vol.%では3.9N/mmと、鋼繊維混入率の増加に従って対数関数的に増加した。

### 4. まとめ

本研究で得られた成果を以下にまとめる。

- ・水粉体比の低減とともに圧縮強度は増加し、その圧縮強度にほぼ比例して有効破壊エネルギーが増加した。
- ・鋼繊維混入率の増加に伴う引張軟化曲線の変化を把握し、その結果から有効破壊エネルギーが鋼繊維混入率の増加に従って対数関数的に増加することを見出した。

参考文献 1) 土木学会：超高強度繊維補強コンクリートの設計・施工指針（案）、2004

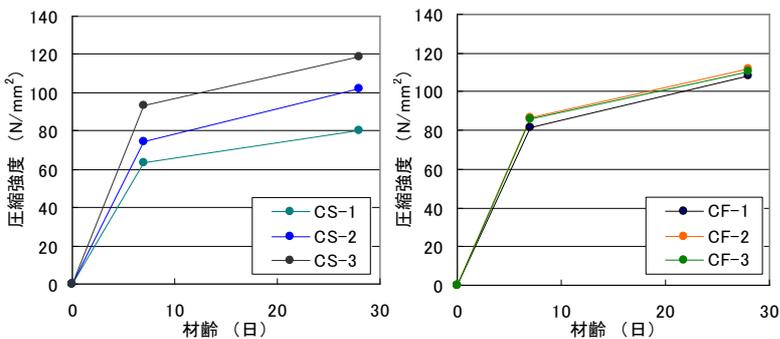


図-1 圧縮強度 (CS シリーズ)

図-2 圧縮強度 (CF シリーズ)

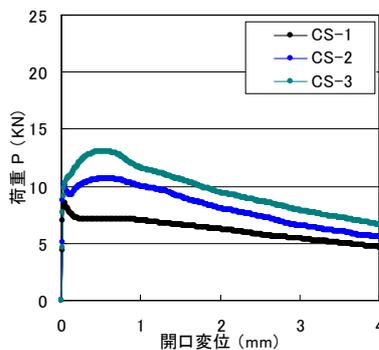


図-3 曲げ試験結果 (CS シリーズ)

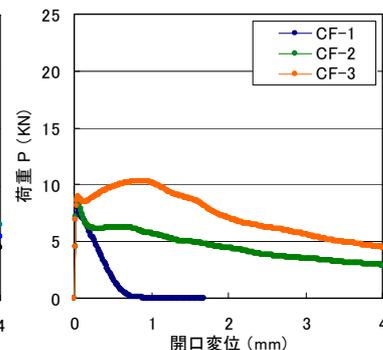


図-4 曲げ試験結果 (CF シリーズ)

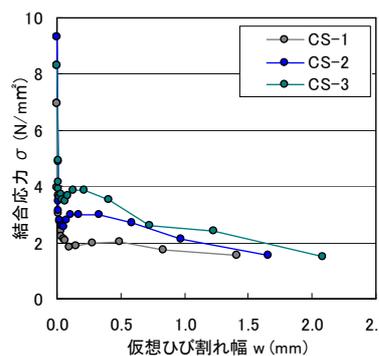


図-5 引張軟化曲線 (CS シリーズ)

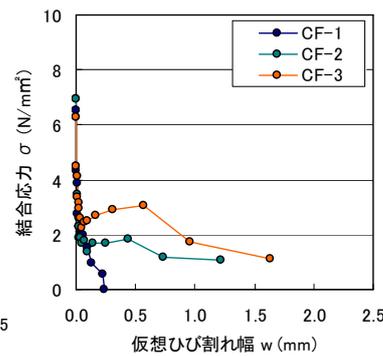


図-6 引張軟化曲線 (CF シリーズ)

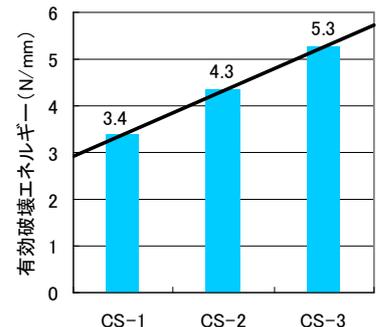


図-7 有効破壊エネルギー (CS シリーズ)

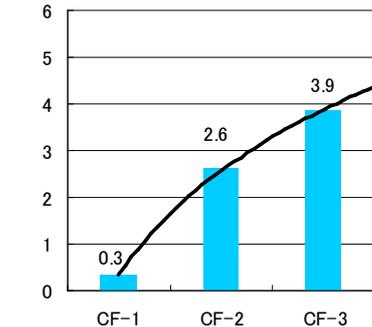


図-8 有効破壊エネルギー (CF シリーズ)