

設計基準強度 80N/mm² 級の高強度 SFRC の材料強度特性

大成建設(株) 技術センター 社会基盤技術研究部 材工研究室 正会員 ○村田 裕志 川端 康平 畑 明仁

1. はじめに

土木分野において、SFRC（鋼繊維補強コンクリート）で実績が多いものは、設計基準強度が 24～60N/mm² 程度（実強度 30～75N/mm² 程度）のもの^{例え 1)}や、設計基準強度 180N/mm²（実強度 200N/mm² 程度）を有する UFC（超高強度繊維補強コンクリート）²⁾となっており、二極化した傾向にある。その中間の圧縮強度領域となる設計基準強度 80～100N/mm² 程度の高強度 SFRC に関しては、低コスト化の余地があるものの、引張軟化特性、つまり鋼繊維が引張力に対して抵抗する効果を明確に考慮した設計基準は整備されておらず、実績も極めて少ない³⁾。また従来は、後述する材料の構成からコストが高くなる傾向にあった。そこで、低コストを実現する設計基準強度 80N/mm² 級（実強度 100N/mm² 程度）の SFRC について、基本的な強度特性を得るために各種材料強度試験を実施した。

2. 材料の選定

設計基準強度を 80N/mm² としたのは、(1)セメント以外の混和材を用いない配合で達成できる設計基準強度であるため、(2)前記の理由から一般的なプラントで製造が可能のため、の 2 つの理由から低コスト化を実現するためである。従来、設計基準強度を 80N/mm² とするためには、文献 3)のようにシリカフューム等の混和材を使用することが一般的であり、高コストとなる傾向であった。しかし、近年の建築分野においては、中庸熟セメントを用いて混和材を用いない配合で設計基準強度 80N/mm² を達成する実績が多数ある⁴⁾。そこで、本研究では中庸熟セメントを用いることとし、生コンクリート製造工場の実績から単位水量 170kg/m³ で W/C=25%程度の配合をベースに実強度 100N/mm² 程度の SFRC の材料開発をすることとした。

鋼繊維についても、従来は UFC に用いられるような細径で高強度な製品が使用されることが多く高コスト化の要因となっていた。そのため、低コストで構造性能に与える引張じん性（引張軟化曲線）を発揮できるものを選定することとし、直径 0.75mm、繊維長 60mm（アスペクト比 80）、規格引張強度 1800N/mm² のものを使用した（写真-1）。鋼繊維の混入率は 0.0、0.5、1.0vol.%の 3 水準とした。

3. 実験項目

表-1 に示す項目について、各種材料強度試験を実施した。養生方法については材齢 28 日まで標準養生とした。圧縮強度試験の試験体寸法を 2 水準としたのは、繊維長が 40mm を超えるために試験体寸法の差で有意な強度差が生じるか確認するためである。寸法は土木学会基準(JSCE-G-551)に準拠する φ150mm と、JIS に準拠する φ100mm とした。これらの試験では同時にヤング係数も得るためにひずみも測定した。

破壊エネルギー試験は JCI 基準⁵⁾に準じ、切欠きはりの 3 点曲げ試験を実施し、得られた荷重－変位曲線に対して逆解析をすることで引張軟化曲線を求めた。繊維長が 40mm を超えているため、試験体寸法は 150×150×530mm とした。

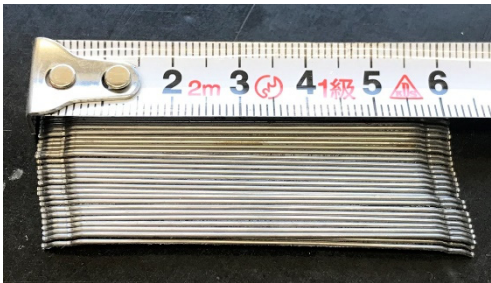


写真-1 用いた鋼繊維

表-1 材料試験の項目

試験項目	鋼繊維の混入率 (Vol.%)	
	0.0	0.5, 1.0
圧縮強度試験※ (φ100×200mm)	○	○
圧縮強度試験※ (φ150×300mm)	○	○
割裂引張強度試験 (φ150×200mm)	○	○
破壊エネルギー試験 (150×150×530mm)	—	○

※同時にヤング係数も計測

キーワード SFRC, 鋼繊維, 高強度コンクリート, 引張軟化曲線

連絡先 〒245-0051 横浜市戸塚区名瀬町 344-1 大成建設(株) 技術センター TEL 045-814-7231

4. 実験結果

圧縮強度の試験結果を図-1 に示す。材齢 28 日での圧縮強度は 100～110N/mm² となった。鋼繊維の混入量による圧縮強度への影響は特に見られなかった。また、試験体の寸法による有意な差は見られなかった。今回のような SFRC においては、圧縮強度試験をφ100 の試験体で実施しても問題ないものと判断できる。

ヤング係数の試験結果を図-2 に示す。こちらも、鋼繊維の混入量による影響は見られなかった。試験体寸法による差については、φ100mm の方が高くなる傾向となった。しかし、これはプレーンコンクリートである 0.0% においても現れている。通常、プレーンコンクリートであればヤング係数の測定はφ100mm の試験体で実施される。今回の結果ではφ100mm とφ150mm の差分は鋼繊維の混入量によらず同程度であるため、今回のような SFRC のヤング係数の測定もφ100 の試験体で実施して良いものと考えられる。参考として、コンクリート標準示方書によって算出した圧縮強度 80N/mm² でのヤング係数 (=38000N/mm²) も図-2 中に示している。実験値はこの値を満足する結果となった。

割裂引張強度の試験結果を図-3 に示す。鋼繊維の混入量が増加するのに従い、割裂引張強度は増加する傾向となった。混入した鋼繊維が、ミクロなひび割れの開口や進展を抑制したためと考えられる。コンクリート標準示方書による 80N/mm² での引張強度計算値 (=4.27N/mm²) はすべて満足する結果となった。

JCI 基準に従った逆解析を実施して得られた引張軟化曲線を図-4 に示す。比較として、UFC 指針の引張軟化曲線も合わせて図示している。これより、開発した SFRC は繊維混入量 0.5%, 1.0% のいずれも非常にじん性に優れた材料であることが分かる。特に、大変位まで引張応力を保持する性能に優れている。これは繊維長が 60mm と比較的長いことが影響しているものと考えられる。ひび割れ幅 10mm までの破壊エネルギー（曲線の面積）を算出すると 0.5% で 23.4N/mm, 1.0% で 32.0N/mm であり、UFC 指針での特性値 (21.1N/mm) や平均値 (27.1N/mm) に匹敵するじん性であることが分かった。

5. まとめ

設計基準強度 80N/mm² 級の低コストな SFRC を開発し、この材料について圧縮強度、割裂引張強度、引張軟化特性を得るために各試験を実施した。その結果、材齢 4 週での圧縮強度は 100～110N/mm² 程度であり、圧縮強度・ヤング係数はφ100×200mm の試験体で実施可能であることを確認した。割裂引張強度は 4.5～5.5N/mm² 程度であった。引張軟化特性については、UFC に匹敵するような引張じん性を示した。

参考文献

- 1) 土木学会：「繊維補強鉄筋コンクリート製セグメントの設計・製作技術」に関する技術評価，技術推進ライブラリー No.6, 2010.
- 2) 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)，コンクリートライブラリーNo.113, 2004.
- 3) 緒方辰男，大城荘司，永元直樹，三加崇：超高耐久橋梁の開発と施工，コンクリート工学，Vol.54, No.4, 2016.
- 4) 津平公彦，永田洋一，安田真弓，坂本欣吾：性能評価を受けた高強度コンクリートについて ―最近の生コン工場単独申請案件に見る傾向―，GBRC, Vol.44, No.1, pp.29-38, 2019.
- 5) コンクリート工学会：切欠きはりを有いた繊維補強コンクリートの荷重－変位曲線試験方法 JCI-S-002-2003.
- 6) 土木学会：2017 年制定コンクリート標準示方書 [設計編]，2018.

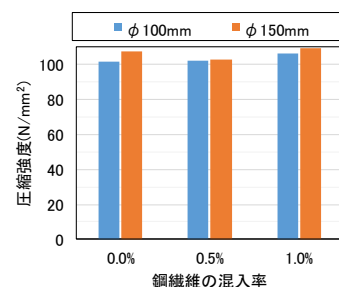


図-1 圧縮強度結果

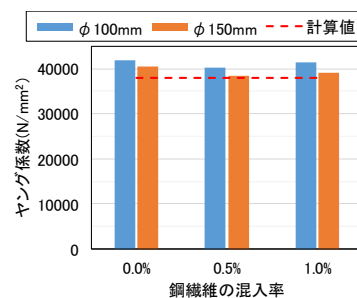


図-2 ヤング係数結果

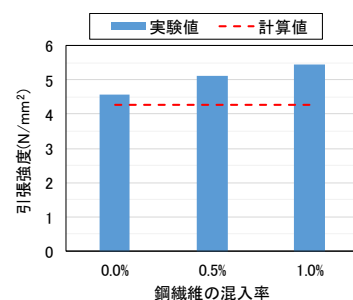


図-3 割裂引張強度結果

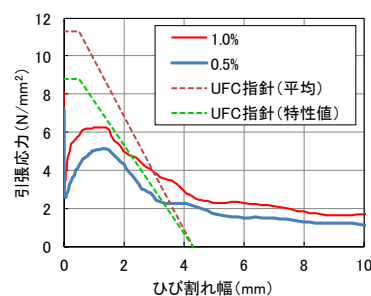


図-4 得られた引張軟化曲線