

鋼繊維を混入した超高強度コンクリートの力学特性と破壊力学特性

大成建設 生産技術開発部 正会員 ○川口 哲生
 大成建設 生産技術開発部 正会員 武田 均
 大成建設 生産技術開発部 正会員 島崎 利孝

1. はじめに

粗骨材を混入した繊維補強コンクリートの超高強度化は、コンクリートの粘性が高くなり繊維混入により流動性が低下するため実現が難しいとされてきた。そこで、筆者らは新規に開発した超高強度コンクリート用結合材を用いて、100N/mm²級の繊維補強コンクリートの力学特性について検討を行ってきた¹⁾。本研究では140N/mm²級の繊維補強コンクリートの力学特性についても検討を行い、曲げ強度と曲げじん性に対し高い補強効果を発揮したコンクリート配合の破壊力学特性(破壊エネルギー、引張軟化曲線)について検討を行った。

2. 実験概要

2.1 使用材料と配合条件

表-1 に使用材料を示す。結合材は新規に開発した超高強度コンクリート用結合材、鋼繊維は市販されているフック形状のものを用いた。コンクリートの示方配合を表-2 に示す。流動性を確保しつつ、水結合材比を18%、細骨材率を60%とした。また、施工性を考慮してスランプフロー(JIS A 1150)が800±100mmとなるように高性能減水剤の添加量を設定した。さらに、所定のスランプフローを確保しつつファイバーボールが形成されないように、繊維混入率は1.0vol.%と1.5vol.%とした。

2.2 コンクリートの練混ぜ方法と強度試験方法

コンクリートの練混ぜは、螺旋アーム式二軸強制練りミキサー(公称容量60リットル)を用いた。供試体は材齢1日で脱型し20℃の水中養生を行い、材齢7日と材齢28日で試験を行った。圧縮強度は、φ100×200mmの供試体を用いてJSCE-G 551に準拠して計測した。また、ひび割れ発生強度は、φ100×110mmの供試体を用いて割裂引張試験(JIS A 1113)を行い、マトリクスにひび割れが発生する強度とした。曲げ強度と曲げじん性係数は100×100×400mmの角柱供試体を用いてJSCE-G 552に準拠して計測した。破壊エネルギーは、「JCI-S-002-2003:切り欠きはりを用いた繊維コンクリートの荷重-変位曲線試験方法」に従い算出し引張軟化曲線はJCIより配布されている逆解析プログラム²⁾を用いて算出した。

3 実験結果と考察

3.1 力学特性

(1) 圧縮強度とひび割れ発生強度

表-3 に示す様に、材齢7日の圧縮強度は103~109N/mm²の範囲でほぼ一定となった。また、材齢28日では129~138N/mm²の範囲で概ね一定となっており、鋼繊維の混入は圧縮強度に大きな影響を及ぼしていないことがわかる。次に、ひび割れ発生強度は、材齢7日では、鋼繊維の混入によらず、ほぼ一定の値となったものの、材齢28日のSF2では、1.0vol.%で8.25N/mm²、1.5vol.%で9.45N/mm²となっており、繊維混入率の増大に伴い、ひび割れ発生強度が増大した。

表-1 使用材料

種類	記号	各材料の種類および物性
水	W	水道水
結合材	B	超高強度コンクリート用結合材 密度3.02g/cm ³ , デイ・シイ社製
細骨材	S	川砂, 表乾密度:2.63, 粗粒率:1.12
粗骨材	G	川砂利, 最大骨材寸法:15mm 表乾密度2.66, 粗粒率:6.18
高性能減水剤	SP	ポリカルボン酸エーテル系化合物
鋼繊維	SF1	フック型:端部3回折曲げ 繊維長:30mm, 繊維径:0.62mm 引張強度:1270N/mm ²
	SF2	フック型:端部2回折曲げ 繊維長:35mm, 繊維径:0.55mm 引張強度:1850N/mm ²

表-2 コンクリートの示方配合

W/B (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)				
		W	B	S	G	SP
18	60	190	1118	693	462	13.4

キーワード 超高強度コンクリート, 鋼繊維補強, 曲げ強度, 曲げじん性係数力学特性

連絡先 〒245-0051 横浜市戸塚区名瀬町 344-1 大成建設 技術センター TEL045-814-7219

表-3 試験結果一覧

繊維種類	繊維混入率 (vol.%)	スランプロー (mm)	材齢 7 日					材齢 28 日				
			圧縮強度 (N/mm ²)	ひび割れ発生強度 (N/mm ²)	曲げ強度 (N/mm ²)	曲げじん性係数 (N/mm)	破壊エネルギー (N/mm)	圧縮強度 (N/mm ²)	ひび割れ発生強度 (N/mm ²)	曲げ強度 (N/mm ²)	曲げじん性係数 (N/mm)	破壊エネルギー (N/mm)
繊維無し	0.0	805	106	7.54	8.61	0.26	—	137	8.04	12.0	0.3	—
SF1	1.0	810	103	7.41	9.69	8.13	—	124	7.23	11.3	9.5	—
	2.0	780	103	7.41	13.2	10.7	—	129	6.90	13.8	11.0	—
SF2	1.0	795	108	7.55	16.8	13.0	—	134	8.25	19.0	14.3	—
	1.5	740	109	7.56	21.5	16.7	26.6	138	9.45	23.3	18.6	28.8

(2) 曲げ強度と曲げじん性係数

曲げ強度の計測後、試験体の破断面について、鋼繊維は概ね均一に分散していることと鋼繊維は破断していないことを目視により確認した。図-1 に各水準における曲げ強度を示すが、繊維混入率の増大に伴って曲げ強度が増加した。また、SF1 を混入したケースよりも SF2 を混入したケースの方が高い曲げ強度を発揮することがわかった。図-2 に示す様に SF1 よりも SF2 の方が、曲げじん性係数が向上することがわかった。これらの結果は SF1 よりも SF2 の方が鋼繊維の引張強度が高く、ペースト部との付着に優れているためと考えられる。また、SF2 を 1.5vol.%混入したケースが最も高い補強効果を発揮することがわかった。

(3) 破壊力学特性

曲げ強度と曲げ靱性係数に対して、補強効果が最も高かった SF2 (1.5vol%)の配合の破壊力学特性について検討を行った。表-3 に示すように、破壊エネルギーは材齢 7 日で 26.6 N/mm、材齢 28 日で 28.8 N/mm となった。既存の繊維補強コンクリートの中で優れた引張抵抗力を有するとされる超高強度繊維補強コンクリート³⁾の破壊エネルギーは、超高強度繊維補強コンクリートの設計・施工指針(案)(以下、UFC 指針(案)³⁾では、27.1N/mm として良いとされている。そのため、本結果は概ね同程度の破壊エネルギーであることがわかった。図-3 に引張軟化曲線を示すが、材齢 7 日の引張軟化曲線の最大引張応力は 11.0N/mm²、材齢 28 日の最大引張応力は 13.9N/mm² となった。また、UFC 指針(案)に規定されている UFC の引張軟化曲線(特性値)を大きく上回っていることがわかった。

4. まとめ

新規に開発した高強度コンクリート用結合材を用いた繊維補強コンクリートの力学特性と破壊力学特性を把握した。本検討の範囲内では、SF2 を 1.5vol%混入することで、曲げ強度と曲げじん性係数が最も大きく向上することがわかった。

参考文献 1) 川口ほか: 鋼繊維を混入した超高強度コンクリートの力学特性, 土木学会全国大会第 74 回年次学術講演会概要集, V-118, 2019.9., 2) http://www.jci-net.or.jp/jci/study/jci_standard/kitsutaka_dl.html, 3) 菊田孝恒, 三橋博三: 繊維補強コンクリートの用語の定義と各種繊維補強材料, コンクリート工学, Vol.50.No.5, 2012.5, 4) 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, 2004.9.

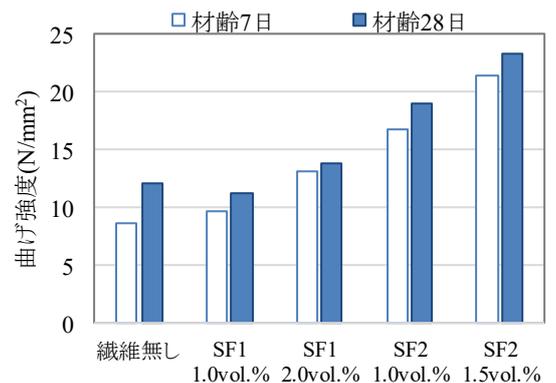


図-1 各水準における曲げ強度

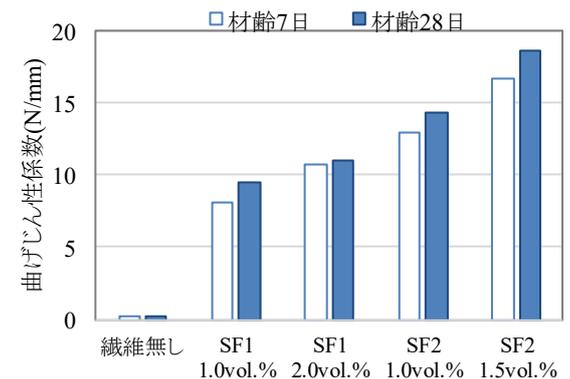


図-2 各水準における曲げじん性係数

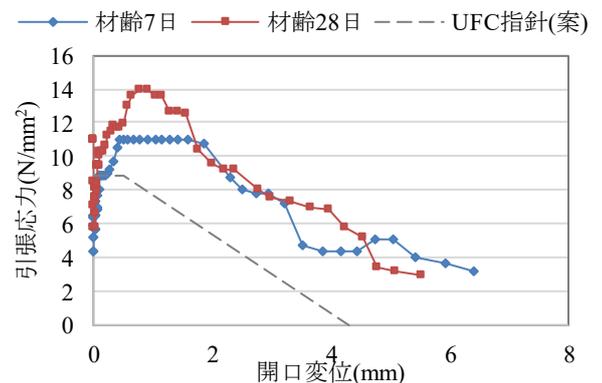


図-3 引張軟化曲線 (SF2, 混入率 1.5vol.%)