

鋼繊維を混入した超高強度コンクリートの流動性と力学特性の検討

大成建設(株) 技術センター 正会員 ○島崎 利孝 川口 哲生 武田 均

1. はじめに

粗骨材を混入した超高強度コンクリートは、粘性が高く、鋼繊維を混入した場合、大きく流動性が低下する。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、鋼繊維混入率 1.5%の超高強度域の繊維補強コンクリートについて報告している。

本稿では、さらに改良した結合材を用い、両端のフック形状および長さが異なる鋼繊維を 3 種類選定し、鋼繊維種類がコンクリートのフレッシュ性状に与える影響、繊維の分離性状およびコンクリートの力学特性に関して検討を行った。

2. 実験概要

2.1. 配合と鋼繊維の諸特性

表-1 に使用材料、表-2 に示方配合を示す。SP 量は $B \times 1.4\%$ に固定した。表-3 に鋼繊維の諸特性を示す。鋼繊維は両端部のフック形状等が異なる 3 種類を使用した。写真-1 に 3L-35 の繊維形状を示す。繊維混入率は 1.75%を上限として検討した。

2.2. 練混ぜおよび繊維の分離に関する試験

コンクリートの練混ぜには螺旋アーム式二軸強制練りミキサー(公称容量 60L)を使用し、練上がり時にスランプフローを計測した。

コンクリートの配合および鋼繊維の形状による繊維の分離性状を評価するため、繊維混入率 1.75%のケースを対象として、下記手順で繊維分離指数を求めた。

- ① 練上がり後のコンクリートを $\phi 150 \times H300\text{mm}$ の鋼製円柱型枠に打ち込み、振動テーブル(47.5Hz)上で 30s 加振した。
- ② 鋼製円柱容器の上部下部から 2L ずつ試料を取りし、繊維の洗い出しを実施した。
- ③ 繊維分離指数(SI)を、(1)式にて評価した(下部の鋼繊維質量が大きい時、SIは正で示される。).

$$SI = (S_2 - S_1) / (S_1 + S_2) \times 100(\%) \tag{1}$$

ここで、 S_1 :上部 2L 中の鋼繊維質量

S_2 :下部 2L 中の鋼繊維質量

表-1 使用材料

種類	記号	仕様
水	W	上水道水
結合材	B	超高強度コンクリート用結合材
細骨材	S	川砂, 表乾密度:2.63, 粗粒率:1.12
粗骨材	G	川砂利, 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

表-2 示方配合

粗骨材最大寸法 (mm)	W/B (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m³)				
			W	B	S	G	SP
15	18	50	177	983	639	644	13.8

表-3 鋼繊維の諸特性

名称	フック形状	長さ (mm)	直径 (mm)	引張強度 (N/mm²)
3L-35	3 回折り返し	35	0.55	1850
3L-60	3 回折り返し	60	0.75	1800
4L-60	4 回折り返し	60	0.90	2300

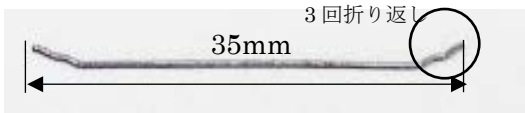


写真-1 3L-35 繊維

2.3. 力学特性の取得

力学特性として、材齢 28 日における圧縮強度、ひび割れ発生強度、曲げ強度、曲げタフネスを求めた(いずれも $n=3$)。ひび割れ発生強度は割裂引張試験においてマトリクスにひび割れが発生する強度とした。供試体は材齢 1 日で脱型し、材齢 28 日まで 20℃水中環境下で養生した。供試体の寸法は、圧縮強度試験では $\phi 100 \times 200\text{mm}$ 、割裂引張試験では $\phi 100 \times 110\text{mm}$ (繊維長 60mm のケースは $\phi 150 \times 160\text{mm}$)、曲げ強度およびタフネス試験では $100 \times 100 \times 400\text{mm}$ (繊維長 60mm のケースは $150 \times 150 \times 530\text{mm}$)を用いた。

3. 実験結果

3.1. 繊維混入量がスランプフローに与える影響

図-1 に繊維種類ごとのスランプフローと繊維混入率の関係を示す。繊維を混入しなかった際のスランプフローに対して、繊維混入率が 1.00%では各繊維でスランプフローが低下する傾向は確認されず、4L-60 は繊維混入率 1.75%においてもスランプフローは低下しなかつ

キーワード 鋼繊維形状, 超高強度コンクリート, 繊維分離抵抗性, 曲げタフネス

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生産技術開発部 TEL090-4914-1642

表-4 結果一覧

検討 ケー ス	鋼繊維		スラン プ フロー (mm)	空気量 (%)	繊維分離指数 SI (%)	圧縮強度 (N/mm ²) JSCE-G551	ひび割れ発生強 度(N/mm ²) JIS A 1113	曲げ強度 (N/mm ²) JSCE-G 552	曲げ靱性係数 (N/mm ²) JSCE-G 552
	名称	混入率 (%)							
3L-1	3L-35	1.00	584	9.2	-	95	6.9	15.5	11.6
3L-2	3L-35	1.75	493	9.8	4.16	91	7.4	17.0	13.4
3L-3	3L-60	1.00	595	8.6	-	105	5.6	17.4	13.7
3L-4	3L-60	1.75	357	3.5	1.67	118	7.4	21.8	16.6
4L-1	4L-60	1.00	554	9.4	-	96	6.2	12.1	9.5
4L-2	4L-60	1.75	571	7.2	3.19	101	5.5	12.9	10.1
N	-	-	570	6.3	-	106	7.8	13.3	0.7

た。一方で、3L-35、3L-60 では繊維混入率が 1.75% のとき、それぞれスランプフローが 78mm、213mm と大きく低下した。この結果から、繊維を 1.00% より多く混入する際、特に端部 3 回折り返しの鋼繊維を使用する場合には目標フローに応じてベースコンクリートのフローを事前に検討・調整する必要があると考えられる。

3.2. 繊維分離指数

表-4 の結果よりいずれのケースも繊維分離指数は 5% 以内であり、繊維形状による大きな変化は確認されなかった。テーブルパイプの性能が多少異なるものの、既往の研究²⁾では鋼繊維の繊維分離指数が 30% 程度で目視の材料分離を確認しているため、繊維分離指数が 5% 以内であることは、繊維のマトリクスからの分離はほとんどないものと考えられる。施工時にはバイブレータを使用しても良好な性状で打設することが可能になると期待される。

3.3. 圧縮強度、ひび割れ発生強度

表-4 の結果より圧縮強度はすべてのケースで 90N/mm² 以上となった。ひび割れ発生強度は 5.5～7.8N/mm² となった。本検討では空気量の調整は行わなかった。空気量のばらつきが各ケースの強度発現に影響していると考えられる。

3.4. 曲げ強度、曲げ靱性係数

図-2 に各ケースの曲げ応力-たわみ関係を示す。試験体寸法が 100×100×400mm と 150×150×530mm でグラフを分けて表わしている。曲げ応力は、曲げタフネス試験で得られた荷重を(2)式により変換したものである。

$$f_b = PL/bh^2 \quad (2)$$

ここで、 f_b : 曲げ応力(N/mm²)、P: 荷重(N)、L: 載荷スパン(mm)、b: 破壊断面幅(mm)、h: 破壊断面高さ(mm)

繊維混入率 1.00%、1.75% とともに 3L-60 が最も高い曲げ応力、曲げ靱性係数を示し、ついで、3L-35、4L-60 となっている。

4L-60 は、3L-60 および 3L-35 以上の引張強度を有し、

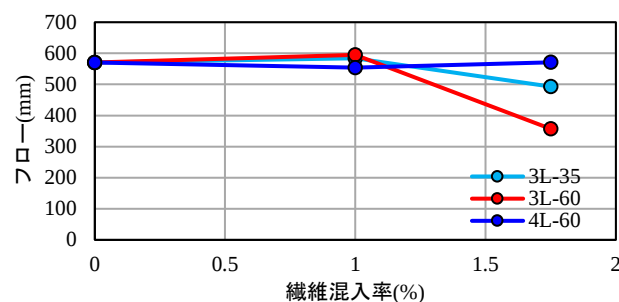


図-1 スランプフローと繊維混入率の関係

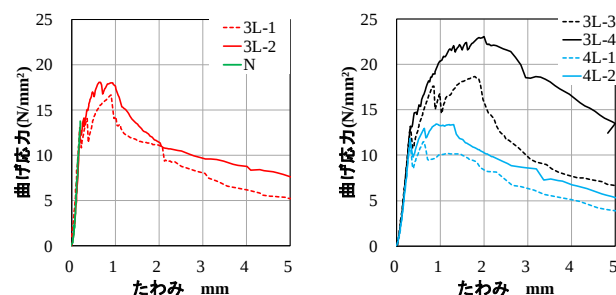


図-2 曲げ応力-たわみ関係

端部の折り返しが多いにも関わらず曲げ靱性係数は小さかった。このことから、端部のフック形状は 3 回折り返しが 100N/mm² 級の超高強度コンクリートでは有効に作用すると考えられる。また、繊維混入率が 1.00% から 1.75% に増加したことによる曲げ靱性係数の増加量は 2 割程度であり、使用用途を考慮した最適な繊維混入率の選定がのぞましいといえる。

4. まとめ

本研究の範囲内において、100N/mm² 級の超高強度コンクリートに鋼繊維を 1.75% 混入したところ、繊維の分離はなく、フローは 350～600mm を記録した。繊維混入率が 1% の場合では繊維投入前からのフローの低下は確認されなかった。両端 3 回折り返しの繊維を用いると曲げ靱性係数が大きく向上した。

参考文献

- 1) 川口ら: 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, 土木学会第 75 回年次学術講演会概要集, V-257, 2020, 9
- 2) 栗田ら: ECL 工法の一次覆工を対象とした高流動鋼繊維補強コンクリートのフレッシュ性状に関する基礎的研究, 土木学会論文集 No767/V-64, 177-184, 2004. 8