

微小鋼繊維補強コンクリートの強度特性

Strength properties of concrete reinforced with micro steel fiber

北海道大学大学院
社会基盤工学専攻
呉工業高等専門学校
環境都市工学科

北海道大学大学院
社会基盤工学専攻
呉工業高等専門学校
環境都市工学科

○学生員 市橋哲之(Tetsuyuki Ichihashi)
助手 工博 正会員 堀口至(Itaru Horiguchi)
教授 工博 正会員 佐伯昇(Noboru Saeki)
教授 工博 正会員 竹村和夫(Kazuo Takemura)

1. はじめに

コンクリート材料の分野における大きな課題は「引張強度を高めること」である。それはコンクリートの最大の弱点が、圧縮強度と比較して引張強度が低く、脆性的な破壊を生じるからである。この目標を達成する方法として繊維補強コンクリートが考えられたといっても過言ではない。

通常コンクリートに混入される長さ 30mm 程度の短繊維量は、施工性を考慮して体積当たり最大 2.0%程度とされている。2.0%より高い繊維混入率の場合、繊維どうしが絡み合いファイバーボールになりやすく、繊維が均一に分散されずに強度が低下すると言われている。

しかし近年、その設定を大きく上回る繊維混入率の繊維補強セメント系材料に関する研究が盛んである。微小鋼繊維、ポリエチレン繊維等を多量(2.0~7.0%)に混入した ECC (Engineered Cementitious Composite)がそれにあたる。マトリクスがモルタルであることや、繊維の長さが短いことから繊維混入率を高くすることが可能であり、その結果通常の繊維補強と比較しても、さらに高い靱性能力を付与することが可能である。

コンクリートは粗骨材を含むため、モルタルに比べ繊維混入が可能な部分が制限される。それにより、2.0%以上の高い繊維混入率をコンクリートに適用している例は見られない。しかし微小鋼繊維はその長さゆえコンクリート中においても繊維同士の絡み合いを回避することが可能であり、高い混入率の鋼繊維補強コンクリートの作製が可能と思われる。

そこで本研究では長さが 6mm の微小鋼繊維をコンクリートに適用し、混入率を 0~3.0%の範囲で変化させ、その強度特性について検討した。

2. 実験概要

2. 1 供試体概要

コンクリートの配合表を表-1 に示す。本研究にはセメントは普通ポルトランドセメント、細骨材には川砂 (比重:2.7)、粗骨材には川砂利 (比重 2.77、最大粒径 20mm) を用いた。混和剤はプレーンコンクリート(以下 PC)には AE 剤、繊維補強コンクリートには繊維の分散を良好にする為にポリカルボン酸系の高性能減水剤を用い、空気量調節の為に消泡剤と高性能減水材用の AE 剤を用いた。消泡剤はセメント量の 0.4%混入した。繊維は長さ 6mm

の鋼繊維(SF6 (断面積: 0.1×0.1mm、アスペクト比: 53、引張強度: 920Mpa、形状: 平滑)を用いた。

コンクリートの練り混ぜには強制練りミキサを用いた。JCI-SF1「実験室における繊維補強コンクリートの作り方」に基づいて行った。まず細骨材と粗骨材のみを 30 秒間練り混ぜ、次にセメントと混和剤を混ぜた水を投入して 1 分 30 秒間練り混ぜマトリックスとなるコンクリートを最初に練り混ぜた。繊維の投入はミキサを回転させながら行い、繊維投入が完全に終了した後更に 1 分間の練り混ぜを行った。

供試体を作製は JCI-SF2「繊維補強コンクリートの強度及びタフネス試験用供試体の作り方」に基づいて行った。締固めにはバイブレーターを使い、打設から約 24 時間後に脱型を行い、水温 20℃の養生槽で 27 日間の水養生を行った。

表-1 配合表

種類	混入率(%)	W/C (%)	s/a (%)	W (kg/m³)	SP (C*%)	AE 剤 (C*%)	
PC	0	50	45	164	0	0.44	
SC0.5	0.5		60		0.6		
SC1.0	1.0					0.8	
SC2.0	2.0						1.2
SC3.0	3.0						

2. 2 圧縮・引張強度試験方法

圧縮・引張強度試験用供試体はφ100×200mm の円柱供試体を用いた。圧縮強度試験は JCI-SF5「繊維補強コンクリートの圧縮強度及び圧縮タフネス試験方法」、引張試験は JIS A1113「コンクリートの引張強度試験方法」に基づいて行った。供試体は全ての配合において 3 本作製し、その平均値を各配合の圧縮・引張強度として用いた。

2. 3 曲げ強度試験方法

曲げ強度試験は JCI-SF4「繊維補強コンクリートの曲げ強度及び曲げタフネス試験方法」に基づいて 3 等分点曲げ強度試験を行った。供試体は 100×100×400mm の角柱供試体を用いた。曲げ強度試験用供試体には養生期間終了後、ダイヤモンドカッターを用い、供試体中央部に深さ 30mm、幅 5mm の切り欠きを入れた。荷重は供試

体に衝撃を与えないように一定の変位速度（0.2mm / min）で加えた。変位計測は供試体中央部の変位を変位計によって、切り欠きの開口変位はクリップゲージによってそれぞれ測定した。

3. 実験結果及び考察

3. 1 圧縮・引張強度試験結果

図-1 に圧縮・引張強度試験結果を示す。試験値には3体の供試体の平均値を用いた。試験結果より圧縮・引張強度共に繊維混入率の増加に伴う強度増進が見られた。

圧縮強度においては全体的に強度増進はなされているが、混入率 3.0%で最も大きく PC に対して約 1.4 倍になった。引張強度に同様の傾向が見られ、混入率 3.0%においては PC の 2 倍以上と最も大きな増進が見られた。

全体として圧縮強度と比較して引張強度の方がより大きな増進が見られた。一般にコンクリート中の繊維は圧縮特性よりも引張特性に対する補強効果が大きいことから、同様に微小鋼繊維を用いた場合もその補強効果が現れたためである。

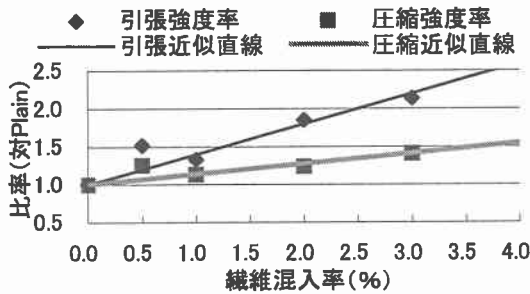


図-1 圧縮・引張強度比と繊維混入率の関係

3. 2 曲げ試験結果

図-2 に荷重－垂直変位曲線、図-3 に荷重－開口変位曲線を示す。両図とも繊維混入率の増加に伴い最大荷重は増大傾向を示している。

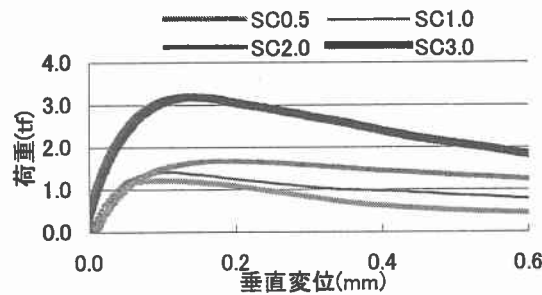


図-2 荷重－垂直変位曲線

図-4 に曲げ・ひび割れ発生強度比率を示す。試験値は3体の供試体の平均値を用いた。混入率 2.0%までは直線的に増加するが、混入率 3.0%における曲げ強度は実に PC の 3 倍以上、混入率 2.0%と比較しても約 2 倍の値を示している。本研究で使用した SF6 では、30mm 等の繊維を使用した同一混入率の繊維補強コンクリートに比べ繊維混入本数は明らかに多くなり、モルタル部分に多量

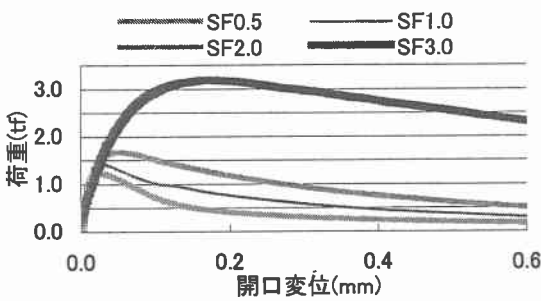


図-3 荷重－開口変位曲線

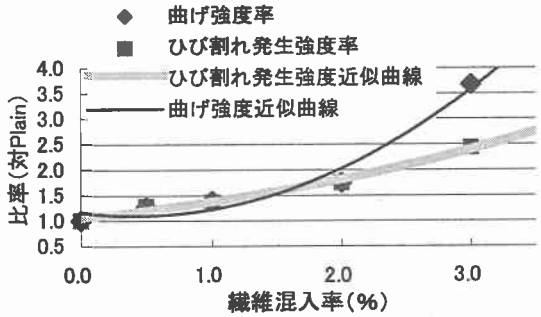


図-4 曲げ・ひび割れ発生強度比率と繊維混入率の関係

の微小繊維が混入される。これによってマイクロクラックに対して大きなひび割れ抵抗性を持つ事が Rossi ら¹⁾により報告されている。本研究でも同様の効果が見られ、マイクロクラックの発生が抑制された結果、曲げ強度・ひび割れ発生強度の増進につながったと考えられる。

また、曲げ強度は混入率 3.0%における飛躍的な強度増進が見られる結果となったが、2 次関数による曲線近似が最も高い相関を示した。現段階ではその後の強度増進が、2 次関数的に増加をするという結論に達してしまうのは疑問が残る。今後の研究で更に高い混入率を設定して検討を行う必要がある。

4. まとめ

長さ 6mm の微小鋼繊維 (SF6) をコンクリートに適用し、その混入率を 0～3.0%の範囲で変化させその強度特性を検討したところ以下の事が明らかとなった。

- (1)SF6 を 0%～3.0%の範囲で混入させたコンクリートの圧縮・引張強度は繊維混入率の増加に伴い増加する傾向にある。最大混入率の 3.0%において、PC に対し圧縮強度は 1.4 倍、引張強度は 2 倍となった。
- (2)曲げ強度は繊維混入率の増加に伴い増大する傾向を示し、繊維混入率 2.0%から 3.0%では特に著しい強度増進が見られた。最大混入率の 3.0%において、PC に対しひび割れ発生強度は 2.4 倍、曲げ強度は 3.7 倍になった。

参考文献

1) P.Rossi, P.Acker and Y.Malier: Effect of steel fibers at two different stages: the material and the structure, Materials and Structures, Vol.20, No.120. 1987, pp.436-439