

鉄筋を有する高強度繊維補強コンクリート部材の両引き試験

(株) IHI 正会員 ○塩永 亮介

(株) IHI 正会員 今村 紅音

1. はじめに

高強度繊維補強コンクリート（以下、HSFRC）は、圧縮強度 70 N/mm^2 程度の高強度コンクリートに鋼繊維（長さ 30 mm ，径 0.6 mm ）を混入し，組織の緻密化による高強度，高耐久化とともに，ひび割れ発生後の高い靱性を発揮できる材料である。著者らはこれまでこの材料の力学的特性の把握を進める^{1),2)}とともに，現場打ち施工を前提としてポンプ圧送性に関する実験的検討を進めてきた^{3),4)}。さらに，この材料の特性を活かして実構造物への適用を視野に入れた場合，RC 部材として引張や曲げに対する耐荷性能やひび割れ挙動を明確にする必要がある。そこで本論文では，鉄筋を有する HSFRC 部材の両引き試験を実施し，鋼繊維の混入が部材の耐荷力やひび割れ性状に与える影響を実験的に把握した。

2. 実験概要

図 1 に両引き試験で用いた試験体概略図を示す。コンクリート断面 $100 \times 100 \text{ mm}$ の中心に異形鉄筋 D19 (SD345) を埋め込み，鉄筋比 2.87% の断面を対象とした。両端の鉄筋露出部での降伏を避けるために鉄筋 D19 は両端でねじふし鉄筋 D22 とガス圧接し，これに軸引張力を与えた。試験体全長 1200 mm の内，端部補強領域を除いた 950 mm を有効測定長とし，この間の相対変位を計測するとともに，両側面には 100 mm 長のパイ型変位計を連結して貼り付け個々のひび割れ幅を計測した。

表 1 に HSFRC の配合特性を示す。材齢 28 日の目標強度 70 N/mm^2 を達成するため水結合材比を 33% とし，混和材にシリカ系微粉末および膨張材を添加している。

鋼繊維は，長さ 30 mm ，径 0.6 mm の両端フック付のものを最大 $1.0 \text{ vol.}\%$ (80 kg/m^3) で混入した。また，練り上がり時のスランプは $20 \pm 2.0 \text{ cm}$ となるよう高性能減水剤で調整している。

表 2 に実験ケースと強度試験結果を示す。鋼繊維の混入率を 0 ， 0.5 ， $1.0 \text{ vol.}\%$ とした 3 配合について両引き試験体を 3 体ずつ作製し，その平均値で評価した。また，同バッチで作製した管理供試体の強度試験では，材齢 28 日の圧縮強度および割裂強度は鋼繊維混入率によらずほぼ同等であったが，切欠きはりの曲げ試験 (JCI-S-002) で得られた有効破壊エネルギーは，鋼繊維混入率の増加に伴い大きく上昇した。

3. 実験結果と評価

3.1. 部材の変形とテンションスティフニング

図 2 に両引き試験で得られた引張荷重と部材の平均ひずみの関係を示す。さらに鉄筋 D19 単体に軸引張を与えた際の荷重-ひずみ関係も併せて示す。鋼繊維混入率の増加に伴い，ひび割れ発生荷重および部材降伏時の最大荷重とも増加した。また，ひび割れ発生後の同荷重における各ケースの平均ひずみを比較すると，

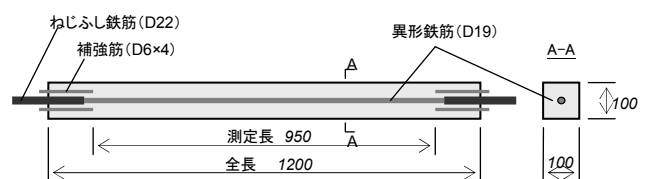


図 1 両引き試験体 概略図 (単位:mm)

表 1 高強度繊維補強コンクリートの配合特性

目標強度	骨材の最大径	水粉体比	細骨材率	鋼繊維の種類
[N/mm^2]	[mm]	[%]	[%]	長さ/径 [mm]
70	20	33	60	30/0.6

表 2 実験ケースと強度特性

ケース名	鋼繊維混入率 [vol. %]	圧縮強度 [N/mm^2]	割裂強度 [N/mm^2]	破壊エネルギー [N/mm]
C70-00	0	96	5.5	0.17
C70-05	0.5	99	5.0	1.9
C70-10	1.0	100	6.1	3.1

キーワード：高強度繊維補強コンクリート，両引き試験，テンションスティフニング，ひび割れ幅

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

鋼繊維混入率の高いケースほど平均ひずみが小さく、部材の変形が抑えられた。このひび割れ後のテンションスティフニング効果について比較するため、図3に鉄筋の負担荷重分を差し引いて算出したコンクリートの平均応力ー平均ひずみ関係を示す。鋼繊維 1.0vol.%混入で、平均応力の最大値が40%程度向上するとともに、ひずみ増加による平均応力の低下も少ない。これより、鋼繊維混入率の増加に伴い、テンションスティフニング効果が向上することを確認した。

3.2. ひび割れ間隔とひび割れ幅

試験体に発生したひび割れについて、図4に各ケースの平均ひび割れ幅および最大ひび割れ幅の推移を示す。ここで平均ひび割れは、ひび割れが目視で確認された箇所のパイ型変位計で得られた変位を平均して算出したもの、また最大ひび割れ幅は、部材降伏時にひび割れ幅が最大であったひび割れのみの変位を抽出したものである。また表4に、部材降伏前の平均ひずみが 2000×10^{-6} の際のひび割れ本数と平均間隔も示した。

これらの結果から、ひび割れ本数は鋼繊維混入率にかかわらず9本前後であり、これから算出される平均ひび割れ間隔もいずれも 120mm 程度であった。つまり、鋼繊維の増加によってひび割れの分散性に変化はなかった。一方、図4をもとにひび割れ幅で比較した場合、鋼繊維の混入によって、最大および平均ひび割れ幅とも抑えられており、このひび割れ部に存在する鋼繊維の架橋効果によるものと考えられる。ただ、その抑制効果は C70-05 と C70-10 のケースで大きな差はなく、未混入の C70-00 に対して約 3~4 割のひび割れ幅の低減であった。

4. まとめ

- (1) 鋼繊維混入率の増加によって、部材のひび割れ発生荷重および降伏荷重が増加し、テンションスティフニングも向上した。
- (2) 鋼繊維の混入によって、ひび割れ分散性に変化はなかったものの、平均ひび割れ幅および最大ひび割れ幅とも未混入の場合と比較して 3~4 割低減した。

参考文献

1) 増田，塩永，山口：高強度繊維補強コンクリートの引張軟化特性，土木学会第 63 回年次学術講演会講演概要集，V-258，pp515-516，2008.9

2) 増田，塩永，山口：膨張材が高強度繊維補強コンクリートの力学的特性に及ぼす影響，土木学会第 64 回年次学術講演会講演概要集，V-324，pp645-646，2009.9

3) 山口，塩永，増田：高強度鋼繊維補強コンクリートのポンプ圧送実験，土木学会第 63 回年次学術講演会講演概要集，V-319，pp637-638，2008.9

4) 塩永，上田，小川ほか：都市高速における高強度鋼繊維補強コンクリートのポンプ施工，土木学会第 64 回年次学術講演会講演概要集，V-320，pp637-638，2009.9

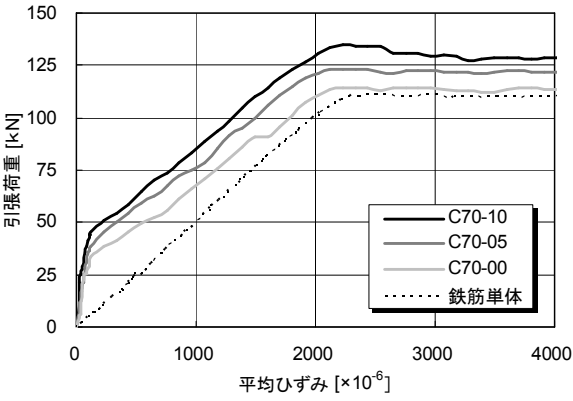


図2 引張荷重ー平均ひずみ関係

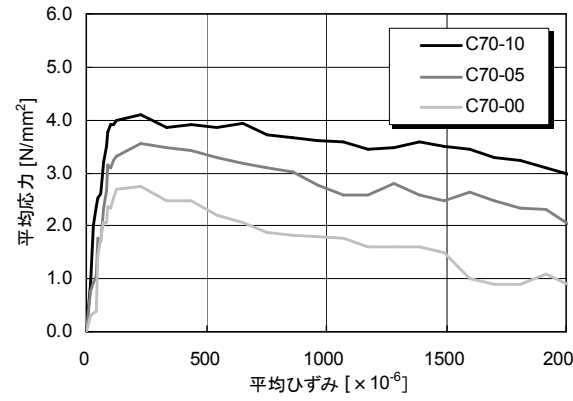


図3 コンクリートの平均応力ー平均ひずみ関係

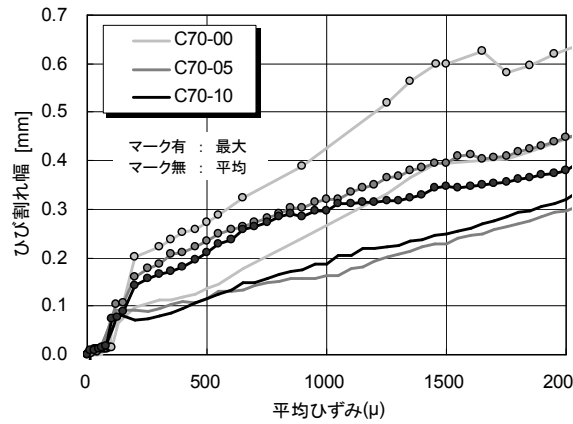


図4 平均ひび割れ幅と最大ひび割れ幅

表3 ひび割れ本数とひび割れ幅(平均ひずみ 0.2%時)

ケース名	ひび割れ 本数 [本]	ひび割れ 間隔 [mm]	平均ひび 割れ幅 [mm]	最大ひび 割れ幅 [mm]
C70-00	8.6	125.0	0.45	0.64
C70-05	9.0	114.5	0.29	0.45
C70-10	9.3	118.5	0.32	0.38