

鋼繊維補強 RC はりの曲げ・せん断破壊挙動に関する研究

長崎大学大学院 学生会員 ○ 御舟 研二 長崎大学大学院 学生会員 板井 達志
 長崎大学 正会員 出水 享 長崎大学 正会員 松田 浩

1. はじめに

鋼繊維補強コンクリートの力学的特徴として、ひび割れ発生後も引張力を受け持つことや、鋼繊維がひび割れ幅を低減することが挙げられる。しかし、せん断破壊に関してのメカニズムは十分に明らかにされておらず、まだ検討の余地が残されている。

そこで本研究は、鋼繊維のせん断補強効果を明らかにすることを目的とし、鋼繊維混入率、せん断スパン比を変化させ、スパン長 1.6m の RC はりの曲げ載荷試験を行い、鋼繊維混入率、せん断スパン比が鋼繊維補強 RC はりの破壊形態、ひび割れ角度、せん断耐力に及ぼす影響について検討した。また、非線形 FE 解析を行い、せん断スパン比、鋼繊維混入率に関する実験値と解析値の比較、検討も行った。

2. 試験概要

鋼繊維混入率が 0, 1.0, 1.5% の試験体を作製し、せん断スパン有効高さ比(以下、せん断スパン比)を 3.26, 2.38, 1.5 と変化させ 4 点曲げ載荷試験を実施した。スパン中央、および支点部に変位計を設置して試験体のたわみを計測し、デジタル画像相関法(以下 DICM)により、試験体表面のひずみ値を計測して、ひずみ分布図を取得した。また、荷重の急激な低下の原因となった斜めひび割れが主鉄筋と交わる点と斜めひび割れの最終進展先端位置の点を結ぶ直線の水平軸に対する角度をひび割れ角度として試験終了後の試験体より計測した。

試験体寸法を図-1 に示す。鉄筋は曲げ破壊を防止するために D19 を 3 本引張側に配置し、引張鉄筋比 $P_t=2.73\%$ の過鉄筋配筋とした。試験体の有効高さを $d=210\text{mm}$ 、幅を 150mm とし、せん断スパン a を 315mm , 500mm , 685mm と変化させた。本試験では長さ 30mm 、直径 0.62mm の角形断面を持つ両端フック型の鋼繊維を用いた。使用したコンクリートの配合を表-1 に示す。配合には普通ポルトランドセメントを使用した。

3. 試験結果

3.1 せん断耐力に関する評価

せん断耐力-鋼繊維混入率の関係を図-2 に、試験体緒元および実験結果を表-2 に示す。表-2 の左に表記するよう□, △, ○は $a/d=3.26, 2.38, 1.5$ であり、白を 0%, 黒を 1.0%, 橙を 1.5% 混入率としている。図-2 の結果より、 $a/d=2.38, 3.26$ である試験体は、鋼繊維混入率の増加とともに耐力の増加が確認できるが、 $a/d=1.5$ の試験体については混入率の増加による耐力の上昇は見られない。これはせん断スパン比が小さくなるにつれて試験体の破壊モードが斜め引張破壊からせん断圧縮破壊に移行したためと考えられる。次に、せん断耐力-ひび割れ角度の関係を図-3 に示す。図-3 の結果より、同じ Group 内でひび割れ角度が小さいほど耐力が大きくなっていることが確認できる。

表-1 配合表

単位: kg/m^3

混入率	セメント	細骨材	粗骨材	水	鋼繊維	AE減水剤
0%	377.3	712.0	937.7	170.7	0.0	3.0
1.0%	377.3	700.9	923.0	170.7	78.5	3.0
1.5%	377.3	695.3	915.7	170.7	117.8	3.0

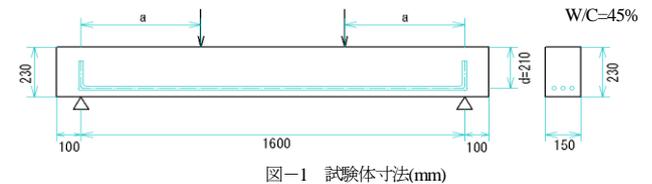


図-1 試験体寸法(mm)

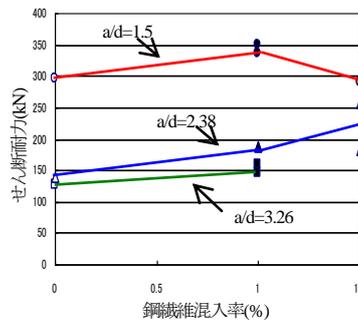


図-2 せん断耐力-鋼繊維混入率の関係

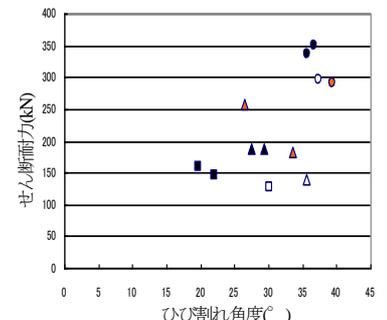


図-3 せん断耐力-ひび割れ角度の関係

表-2 試験体緒元および実験結果

タイプ	Group	a/d	鋼繊維混入率 (%)	圧縮強度 (N/mm^2)	引張強度 (N/mm^2)	せん断耐力 (kN)	ひび割れ角度 ($^\circ$)
a/d	1	3.26	0	48.8	3.1	126.0	30.3
1.5 (○)			1.0	45.3	4.3	158.2	19.7
2.38 (△)			1.0	41.7	4.2	145.9	22.1
3.26 (□)	2	2.38	0	37.2	2.5	139.6	35.6
▲			1.0	42.6	4.5	188.5	27.5
▲			1.0	34.2	3.8	188.2	29.4
鋼繊維	3	1.5	1.5	40.8	5.3	257.4	26.5
▲			1.0	39.1	5.0	182.7	33.5
○			0	42.8	2.7	296.5	37.4
0%=白	3	1.5	1.0	46.6	4.9	348.7	36.8
1.0%=黒			1.0	44.9	4.3	335.7	35.7
1.5%=橙			1.5	38.2	5.0	290.6	39.4

キーワード: 鋼繊維, せん断耐力, 非線形 FE 解析

住所: 長崎県長崎市文教町 1-14 長崎大学大学院工学研究科総合工学専攻 電話・FAX: 095-819-2590

4. 非線形 FE 解析

4.1 解析概要

鋼繊維補強 RC はりの非線形挙動を解析的にシミュレートすることを目的として、非線形有限要素解析を行った。解析モデルは、コンクリートと載荷板、支持板は、要素寸法 23×25mm の 4 節点四辺形アイソパラメトリック平面応力要素、鉄筋には埋込鉄筋要素(Bar タイプ)を使用した。コンクリートと載荷板、支持板は完全結合としている。コンクリート構成則について、圧縮構成則は、実験結果から得られた圧縮強度 f_c を用い混入率 0% ではコンクリート標準示方書(以下、示方書)、混入率 1.0% では鋼繊維補強鉄筋コンクリート柱部材の設計指針(案)(以下、指針案)に基づいて定式化し、以後は初期弾性係数の 0.05 倍で $0.2f_c$ まで線形軟化するモデルとした。引張構成則については引張応力が引張強度に達するまでの範囲については直線とし、その勾配は圧縮側の応力-ひずみ曲線の初期弾性係数と同一とした。引張軟化曲線には混入率 0% では示方書のモデル、混入率 1.0% では指針案のモデルを使用し、要素の等価長さ l_{eq} を用いてひび割れ幅 w をひずみに変換した。ここで等価長さ l_{eq} は $\sqrt{2A}$ (A は要素の面積)とした。鉄筋とコンクリートは完全付着とし、鉄筋の構成則は降伏点以降の勾配を零とした完全弾塑性モデルを用いた。

4.2 せん断スパン比に関する解析結果

a/d が異なった各 Group の荷重-変位曲線と最大主応力、最大主ひずみ、ひび割れのコンター図、破壊状況を図-4 に示す。解析に使用したモデルは、鋼繊維混入率 1.0% 試験体とした。図-4 より、 a/d を変化したときいずれの場合もひび割れ発生から定常状態の剛性は、実験結果と解析結果でよく一致している。また、最大主ひずみは a/d が小さくなるに伴い、載荷点下の中立軸付近に主ひずみが集中していることが確認できる。これは解析において、せん断破壊現象をシミュレートできることを示唆するものである。ひび割れ分布図においても、斜めひび割れの発生が確認できる。一方、最大耐力に関してはまだ現状までのところ実験結果と精度よくシミュレートできていない。これは、鋼繊維補強コンクリートの圧縮破壊領域、あるいは引張破壊領域の構成則を改善することによって対処できると考える。

4.3 鋼繊維混入率に関する解析結果

鋼繊維混入率 0%, 1.0% 試験体の実験値の荷重-変位曲線を図-5 に、解析値の荷重-変位曲線を図-6 に示す。実験結果から鋼繊維混入により耐力の上昇を確認できる。これは解析結果からも同じような傾向が確認できる。このことから鋼繊維混入の有無は引張構成則を変化させることで再現できると考えられる。

5. まとめ

本試験では、曲げ載荷試験から、せん断耐力の上昇など鋼繊維混入による補強効果を確認できた。また、同じせん断スパン比内でひび割れ角度が小さいほど耐力は大きくなった。非線形 FE 解析から解析値と実験値の結果より、鋼繊維補強コンクリートの圧縮破壊領域、引張破壊領域の構成

則を改善し、精度よくシミュレートするために今後、更なる検討が必要と考える。

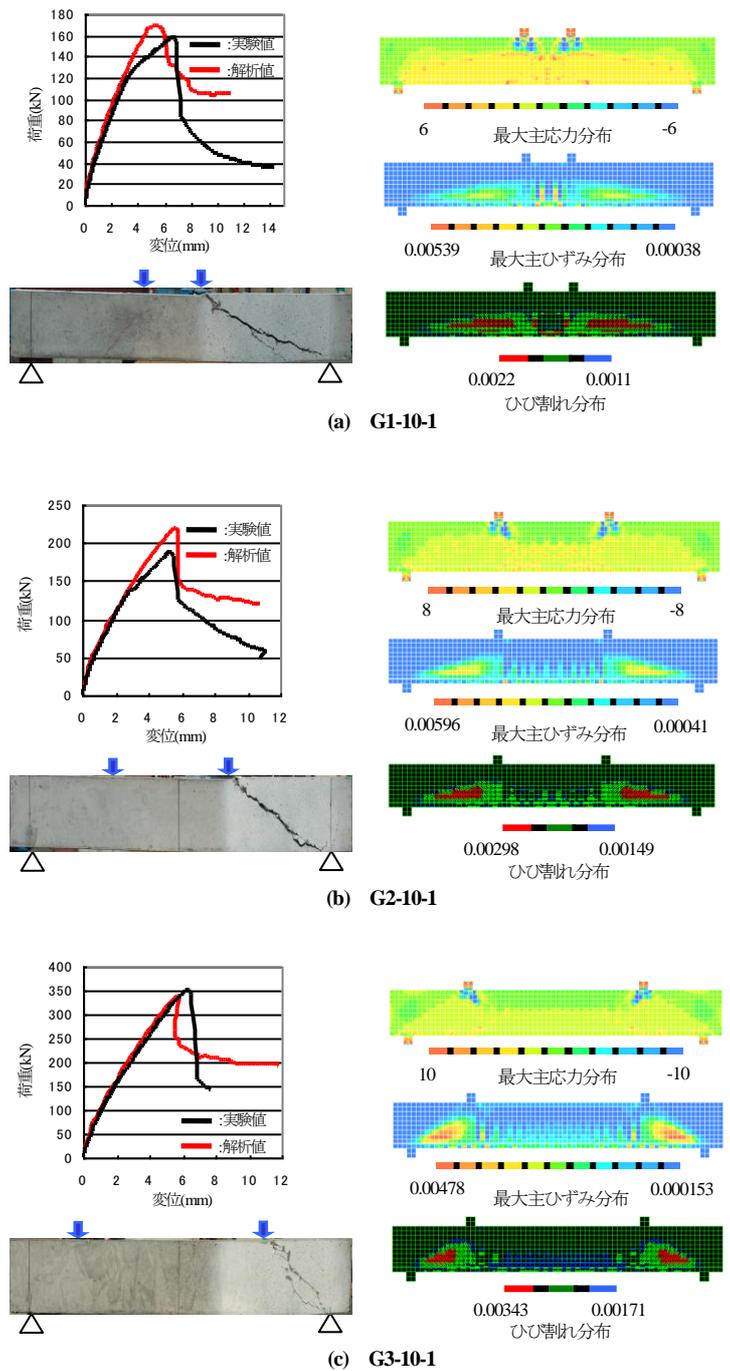


図-4 各 Group の荷重-変位曲線とコンター図と破壊状況

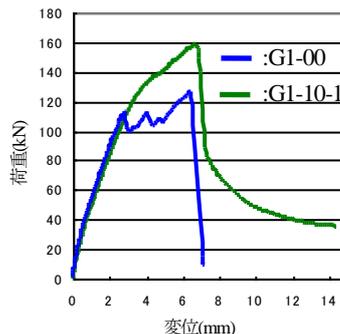


図-5 荷重-変位曲線(実験)

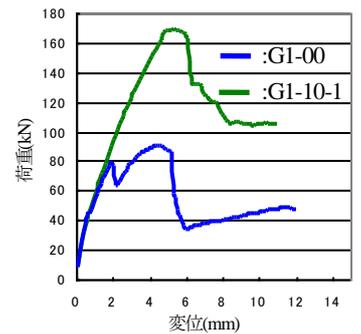


図-6 荷重-変位曲線(解析)