

マトリックス強度が異なる各種鋼繊維補強コンクリートの曲げ破壊性状

岐阜大学 学生会員 ○荒川 健 尾崎公則

岐阜大学 正会員 栗原哲彦 鎌田敏郎 六郷恵哲

1. はじめに

短繊維補強コンクリートは繊維の補強効果により、ひび割れ発生後も荷重が急激に下がることなく変形が増大し、普通コンクリートよりも高靱性・高強度が期待できる材料である。しかしながら、その性能は繊維混入率や繊維自身の特性のみだけではなく、マトリックス強度などとの組み合わせによって様々に異なってくる。よって、このコンクリートを構造物に用いるためには、設計において使用材料の選定および配合を決める上で、その性能に与える様々な要因の影響を明らかにしておくことが重要である。また、靱性に優れた繊維補強コンクリートの性能評価については、従来から用いられてきた強度特性に加え、破壊エネルギーや引張軟化曲線などの破壊力学パラメータが有効であると考えられる¹⁾。

そこで本研究では、市販されている3種類の鋼繊維を対象として、マトリックス強度を変化させた曲げ供試体をそれぞれ作製し、マトリックス強度と繊維形状が鋼繊維補強コンクリートの性能に与える影響について主に破壊力学パラメータを指標として検討した。

2. 実験および解析概要

図-1に示すような形状の異なる3種類の鋼繊維を対象とし、繊維混入率を1%、水セメント比を30%、50%、60%とした鋼繊維補強コンクリートは供試体〔寸法：幅10×高さ20×長さ70（スパン60）cm〕を作製した。コンクリートの示方配合を表-1に示す。載荷方法は3等分点曲げ載荷とし、荷重および載荷点変位を計測した。

供試体中央に仮想ひび割れモデルを組み込んだ多直線近似法²⁾を用いて、実験で得られた荷重-変位曲線の平均曲線からそれぞれ引張軟化曲線を推定した。解析に用いた弾性係数は、圧縮強度試験時の実測値とした。

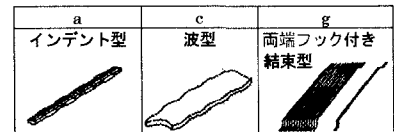


図-1 鋼繊維の形状

表-1 コンクリートの示方配合

シリーズ	W/C (%)	単位量(kg/m ³)					Ad. (kg/m ³)
		W	C	S	G	F	
a60	60	184.2	307	1049	755	78.5	3.99
c60							4.30
g60							2.46
a50	50	184.2	378	931	755	78.5	4.20
c50							4.20
g50							4.20
a30	30	184.2	612	855	617	78.5	3.99
c30							4.30
g30							2.46

Ad.: 高性能 AE 減水剤

3. 実験および解析結果

試験時材齢における強度試験結果を表-2に示す。解析により推定された引張軟化曲線を図-2に示す。各シリーズの引張軟化曲線から得られた破壊エネルギー（ここでは便宜上、ひび割れ幅1.5mmまでの引張軟化曲線下の面積として表す）を表-3に示す。また、それぞれの水セメント比においてaシリーズに対する各シリーズの破壊エネルギー比および曲げ強度比を併せて表-3に示す。表に示すようにいずれの水セメント比においても曲げ強度比に大きなばらつきはなく、混

表-2 強度試験結果

シリーズ	強度(MPa)			弾性係数 (GPa)
	圧縮	引張	曲げ	
a60	35.3	3.51	4.80	27.9
c60	33.5	3.21	4.92	25.2
g60	27.6	2.41	3.79	22.9
a50	52.2	4.60	6.34	30.3
c50	49.2	4.40	6.28	29.8
g50	48.6	4.04	5.81	30.9
a30	66.5	5.34	8.95	30.9
c30	62.7	5.23	8.08	30.1
g30	60.5	4.94	7.75	28.8

入した繊維の種類による影響は、明確には認められなかった。破壊エネルギーについても水セメント比を60%および50%としたシリーズでは、曲げ強度と同様な傾向を示している。しかしながら、マトリックス強度を

高めた水セメント比 30%のシリーズでは、a、g シリーズに比べて c シリーズの破壊エネルギーは小さい値となり明確な差が生じた。推定された引張軟化曲線についても、ほぼ同一形状の曲線となった水セメント比 60%、50%の場合に対して、水セメント比 30%の場合では、その形状が同一ではなく、a、g シリーズに比べ c シリーズでは、ひび割れ幅の拡大に伴う応力低下の度合いが大きく、曲線形状に差が生じた。その要因として、繊維の形状による繊維とコンクリートとの付着性状の違いが挙げられる。

コンクリートの靱性に及ぼす繊維混入による効果は、繊維混入率、繊維長さ等のほかにマトリックス強度との組み合わせにより様々に異なってくる。また、コンクリートは高強度になるにしたがって脆性的な破壊挙動を示す傾向にあるため、鋼繊維を混入し靱性を高めることは有効である。さらに、本研究の結果から、繊維混入による靱性改善の効果は、マトリックスが高強度になるほど繊維形状に依存することが明らかとなった。なお、本研究の範囲ではマトリックス強度が高い繊維補強コンクリートを作製する場合、波形形状の c シリーズを使用するよりもインデント型の a シリーズもしくは両端フック型の g シリーズの使用が有効であった。

表-3 曲げ強度比および破壊エネルギー比

シリーズ	破壊エネルギー*1 (N/mm)	破壊エネルギー比	曲げ強度比*2
a60	1.72	1.00	1.00
c60	1.69	0.98	1.14
g60	1.54	0.90	0.98
a50	2.47	1.00	1.00
c50	2.15	0.87	1.00
g50	2.17	0.88	0.92
a30	3.01	1.00	1.00
c30	2.06	0.68	0.99
g30	2.97	0.99	0.95

* 破壊エネルギー比、曲げ強度比の値は、それぞれの水セメント比における a シリーズの値を 1 としたもの

* 1 ひび割れ幅 1.5mm までの引張軟化曲線下の面積

* 2 はり供試体 (10×20×70cm) の曲げ試験から求めたもの

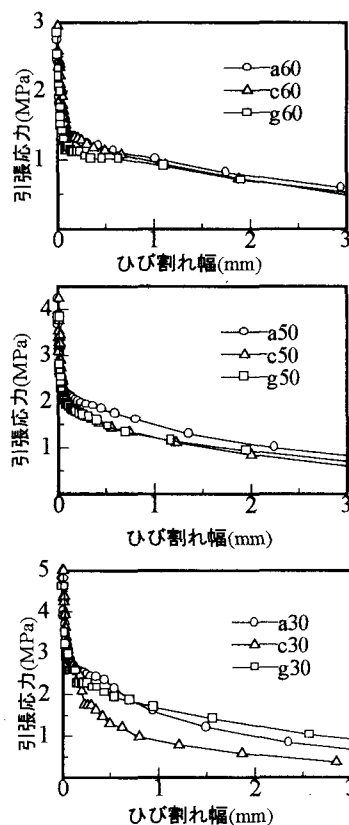


図-2 引張軟化曲線

4. まとめ

本研究の範囲内において得られた知見を以下に示す。

(1) 各種鋼繊維補強コンクリートの性能評価において、強度特性に大きな差がない場合でも、引張軟化曲線や破壊エネルギーには差が生じることが明らかとなった。これより、強度だけでなく破壊の性状をも比較する場合には、鋼繊維補強コンクリートの性能評価に引張軟化曲線や破壊エネルギーなどの破壊力学パラメータを用いることの有効性が確認された。

(2) 繊維混入による靱性改善の効果は、マトリックスが高強度になると繊維形状に依存することが明らかとなった。

参考文献

- 1) 日本コンクリート工学協会：破壊力学の応用研究委員会報告書、1993.10.
- 2) 六郷恵哲、内田裕市ほか：多直線近似法による引張軟化曲線の推定と短繊維補強コンクリートの曲げ破壊性状、土木学会論文集、No.532/V-30、119-129、1996.2