

鋼繊維補強コンクリートの曲げ強度の寸法依存性

岐阜大学工学部（正会員）六郷恵哲 内田裕市 小柳 治
岐阜大学工学部（学生員）加藤英徳 水町 実○栗原哲彦

1. はじめに

コンクリートの曲げ強度には、供試体の寸法の増加にともなって見かけの強度が低下するいわゆる寸法効果が存在する。この寸法効果を定量的に説明するには、引張軟化特性を取り入れたコンクリートの破壊力学的手法が有用である。本研究では、鋼繊維補強コンクリートを対象にし、曲げ強度や変形特性に及ぼす供試体寸法の影響について実験および解析により検討する。

2. 実験方法および解析方法

インデント付きストレート鋼繊維（ $\phi 0.6 \times 30\text{mm}$ ）を容積比で1%混入した鋼繊維補強コンクリートにより、はり高さを5cm、10cm、20cm、40cmと変化させた正方形断面供試体（以下F5、F10、F20、F40と呼ぶ）を作製した。載荷方法は3等分点載荷とし、載荷スパンははり高さの3倍とし、両支点ともローラー支持とした。今回の実験では、最大耐力後に脆性的な破壊を生じないように、必要に応じて載荷と除荷を繰り返しながら荷重-変位曲線を計測した。

解析には、供試体中央に仮想ひびわれモデルを組み込んだ有限要素法を用いた。引張軟化曲線には、普通コンクリートには適合性がよいとされている1/4モデルと実験結果をうまく再現できるモデル（後述）とを用いた。解析に用いた材料特性は、強度試験により得た圧縮強度 $f_c = 390\text{kgf/cm}^2$ 、引張強度 $f_t = 31.0\text{kgf/cm}^2$ 、破壊エネルギー $GF = 3.5\text{kgf/cm}$ 、弾性係数 $E_c = 3.2 \times 10^5\text{kgf/cm}^2$ を使用した。

3. 実験および解析結果

図-1～3にF10、F20、F40の供試体の実験および解析から得られた荷重-変位曲線を示す。表-1は、荷重および曲げ強度の実験値を示す。F20とF40の荷重-変位曲線においては、ピーク荷重が2つ見られた。そこで、各ピーク荷重を P_1 、 P_2 として、その荷重から求まる曲げ強度 σ_{b1} 、 σ_{b2} を表中に示した。F20の場合には第1ピーク P_1 より P_2 の方が小さくなった。一方、寸法の大きいF40の場合は P_2 の方が大きくなった。実験と1/4モデルを使用した解析より得られる荷重-変位曲線を比較した場合、解析による最大荷重が実験によるものに比べて30%以上大きくなり、実験値を再現できなかった。また、1/4モデルを使用した場合、2つのピーク荷重は現れなかった。そこで実験結果をうまく再現できるような引張軟化曲線モデルを得るために、試行錯誤の結果、図-4に示す引張軟化曲線を得た。以下この引張軟化曲線をモデルⅠと呼ぶ。モデルⅠの初期勾配は、1/4モデルのそれに比べて非常に小さく、点Aまでは、普通コンクリートにほぼ近い勾配であり、点A以降から鋼繊維補強コンクリート特有の引張軟化曲線の形状になる。モデルⅠを用いて解析より得た荷重-変位曲線を前掲の図-1～3に示す。モデルⅠを用いることで解析結果は実験結果とほぼ一致した。

表-1 実験値および解析値

供試体寸法(cm) 幅×高さ×スパン および 供試体名	実験値				解析値(モデルⅠを使用)					
	荷重 (tonf)		曲げ強度 (kgf/cm ²)		荷重 (tonf)		曲げ強度 (kgf/cm ²)		開口変位 (cm)	
	P_1	P_2	σ_{b1}	σ_{b2}	P_1	P_2	σ_{b1}	σ_{b2}	cod_1	cod_2
5×5×15(F5)	0.52	-	60.3	-	0.48	-	58.1	-	0.0023	-
10×10×30(F10)	1.75	-	51.5	-	1.72	-	51.6	-	0.0050	-
20×20×60(F20)	6.49	5.91	47.7	43.5	6.18	6.01	46.4	45.1	0.0073	0.0566
40×40×120(F40)	23.92	25.32	45.0	47.4	22.03	23.09	41.3	43.3	0.0084	0.0609

表-1の解析値には、モデルⅠを使用した場合の P_1 、 P_2 、 σ_{b1} 、 σ_{b2} および荷重が P_1 、 P_2 の時の供試体下縁のひびわれ幅 cod_1 、 cod_2 を示す。 cod_1 は、図-4の引張軟化曲線の点Aより小さく、 cod_2 は、点Bより大きくなった。これは、荷重 P_1 は点Aまでの引張軟化曲線の形状の影響を受け、また、荷重 P_2 は点B以降のひびわれ幅までの引張軟化曲線の形状の影響を受けることを意味する。したがって、 $P_1 > P_2$ となるような供試体（F5、F10、F20）では、鋼繊維補強コンクリートの材料特性が最大荷重に対して十分生かされていないと考えられ、逆に、 $P_1 < P_2$ となる供試体（F40）の場合、点B以降の引張軟化曲線の影響を受けるので最大荷重に対して鋼繊維の効果が現れていると考えられる。なお、鋼繊維補強コンクリートの曲げ強度を $f_r = \max(\sigma_{b1}, \sigma_{b2})$ と定義した場合、実験および解析ともに寸法の増大にともない曲げ強度が減少する寸法依存性が存在した。

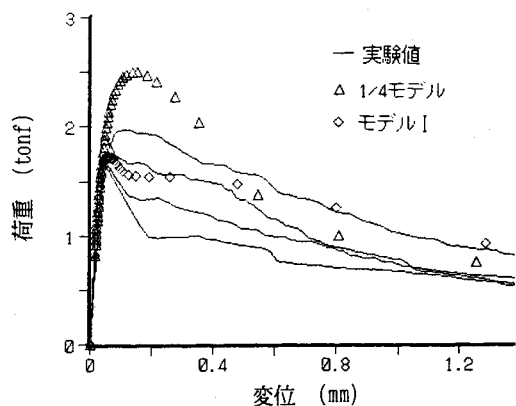


図-1 荷重-変位曲線 (F10)

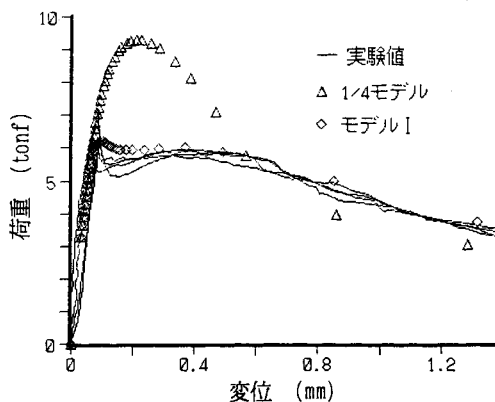


図-2 荷重-変位曲線 (F20)

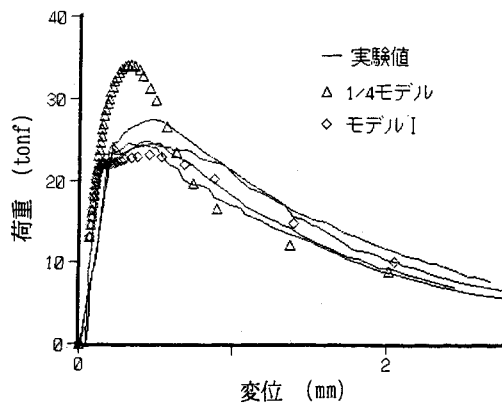


図-3 荷重-変位曲線 (F40)

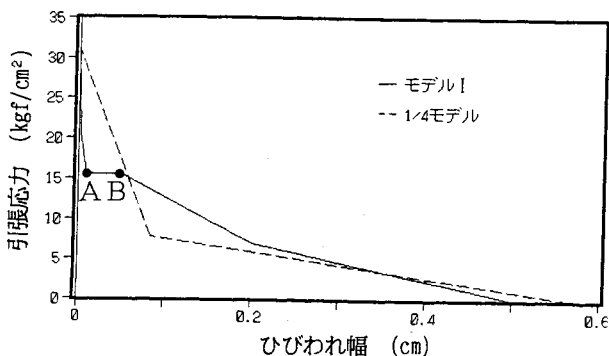


図-4 引張軟化曲線のモデル

4. まとめ

鋼繊維補強コンクリートはりの3等分点曲げ試験を行い、曲げ強度および変形特性の寸法依存性について検討した。今回使用した鋼繊維補強コンクリートでは、はり高さ20cm、40cmの供試体において2つのピーク荷重が得られた。実験から得られた荷重-変位曲線を1/4モデルでは、再現できなかった。また、再現できるような引張軟化曲線（モデルⅠ）は、1/4モデルと初期勾配が非常に異なった。実験および解析から鋼繊維補強コンクリートにおいても普通コンクリートと同様に曲げ強度の寸法依存性が存在することが明らかになった。