

岐阜大学大学院 学生員 ○栗原哲彦

岐阜大学工学部 正会員 六郷恵哲 内田裕市 小柳 洽

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。強度の寸法依存性について検討するには、引張軟化特性を組み込んだコンクリートの破壊力学的手法が有効である。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の寸法依存性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(φ0.6×30mm)を容積比で1%混入した鋼繊維補強コンクリートにより供試体を作製した。供試体は、はり高さを5cm、10cm、20cm、40cmと変化させた正方形断面のはり供試体(以下S5、S10、S20、S40と呼ぶ)とした。載荷方法は3等分点載荷とし、打設方向に直角に載荷した。供試体長は原則としてはり高さの4倍とし、載荷スパンははり高さの3倍とした。

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。解析に用いた材料特性は、試験により得た圧縮強度 $f_c=390\text{kgf/cm}^2$ 、引張強度 $f_t=31.1\text{kgf/cm}^2$ 、破壊エネルギー $G_F=3.5\text{kgf/cm}$ 、弾性係数 $E_c=3.2 \times 10^5\text{kgf/cm}^2$ とした。また、解析に用いた引張軟化曲線については後述する。

3. 実験結果および解析結果

図-1~3に、実験から得られたS10、S20およびS40の荷重-変位曲線を示す。S20およびS40の荷重-変位曲線において、2つのピーク荷重が存在した。その各ピーク荷重を $P_1$ 、 $P_2$ とし、表-1に示す。表には、 $P_1$ 、 $P_2$ から求めた曲げ強度 $\sigma_{b1}$ 、 $\sigma_{b2}$ も示す。S20の場合は、 $P_1 > P_2$ となったが、逆に、S40の場合は、 $P_1 < P_2$ となった。解析に用いる引張軟化曲線は、筆者ら<sup>1)</sup>が提案する新J積分法により実験から求め、曲げ供試体の荷重-変位曲線をよりよく再現できるように修正を行った。その結果、図-4に示すような5直線で表される引張軟化曲線が得られた。以下、この引張軟化曲線をモデルIと呼ぶ。モデルIを用いた解析より得られた荷重-変位曲線を前掲の図-1~3に示す。これらの図から、モデルIを用いた解析結果はいずれの寸法の供試体の実験結果とも比較的良好に一致していることが確認できる。

モデルIによる解析値を表-1に示す。解析値には、ピーク荷重 $P_1$ 、 $P_2$ のほか、曲げ強度 $\sigma_{b1}$ 、 $\sigma_{b2}$ およびピーク荷重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に示すモデルIの点A(ひびわれ幅0.1mm)より小さく、 $cod_2$ は、点Aより大きくなった。これは、荷重 $P_1$ は $cod_1$ までの引張軟化曲線の形状の影響を受け、荷重 $P_2$ は $cod_2$ までの引張軟化曲線の形状の影響を受けることを意味している。また、モデルIは、

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)					
	ピーク荷重 (tonf)		曲げ強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )		ピーク荷重 (tonf)		曲げ強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )		ピーク荷重時の ひびわれ幅(mm)	
	$P_1$	$P_2$	$\sigma_{b1}$	$\sigma_{b2}$	$P_1$	$P_2$	$\sigma_{b1}$	$\sigma_{b2}$	$cod_1$	$cod_2$
5×5×15(S5)	0.52	-	60.3	-	0.48	-	58.1	-	0.023	-
10×10×30(S10)	1.75	-	51.5	-	1.72	-	51.6	-	0.050	-
20×20×60(S20)	6.49	5.91	47.7	43.5	6.19	6.01	46.4	45.1	0.073	0.566
40×40×120(S40)	24.10	25.32	45.0	47.4	22.03	23.12	41.3	43.3	0.084	0.609

点Aまでは、普通コンクリートに比較的近い勾配であり、点A以降から鋼繊維補強コンクリート特有の形状になることより、荷重 $P_1$ に対しては鋼繊維の補強効果が発揮されていないと考えられ、逆に、荷重 $P_2$ に対しては鋼繊維の補強効果が現れていると考えられる。したがって、荷重 $P_1$ から求めた曲げ強度 $\sigma_{b1}$ は、マトリックスが示す曲げ強度であり、荷重 $P_2$ から求めた曲げ強度 $\sigma_{b2}$ は、鋼繊維の補強効果が発揮された後の曲げ強度と考えられる。

実験および解析より得られた曲げ強度とはり高さの関係を図-5に示す。鋼繊維補強コンクリートの曲げ強度を $f_t = \max(\sigma_{b1}, \sigma_{b2})$ と定義した場合、実験および解析とも、はり高さの増大ともない曲げ強度が減少する寸法依存性が認められたが、はり高さが20cmから40cmに増加すると、鋼繊維の補強効果により $f_t = \sigma_{b2}$ となるため、曲げ強度の低下の度合は小さくなった。

#### 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。実験および解析より得られた結果を以下にまとめる。

(1) 今回実験した鋼繊維補強コンクリートでは、はり高さ20cm、40cmの供試体の荷重-変位曲線に2つのピーク荷重が得られた。

(2) 実験から得られた荷重-変位曲線を再現できるように修正を行った引張軟化曲線（モデルI）を示した。このモデルは、通常のコンクリート用のモデル（1/4モデル）とは形状が非常に異なった。

(3) 実験および解析とも、鋼繊維補強コンクリートの曲げ強度に寸法依存性が認められた。今回の実験で用いた鋼繊維補強コンクリートでは、はり高さが20cmから40cmに増加した場合の曲げ強度の低下の度合は小さくなった。

参考文献 1) 内田裕市・六郷恵哲・小柳 治：曲げ試験に基づく引張軟化曲線の推定と計測、土木学会論文集、No. 426、V-14、pp. 203-212、1991年2月。

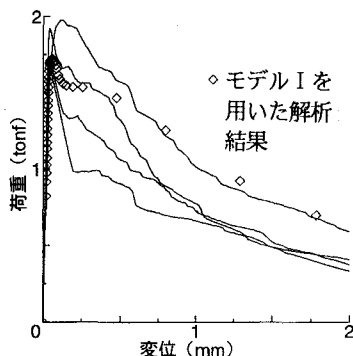


図-1 荷重-変位曲線 (S10)

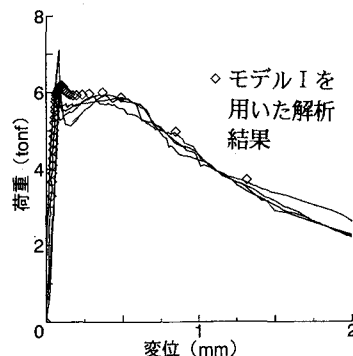


図-2 荷重-変位曲線 (S20)

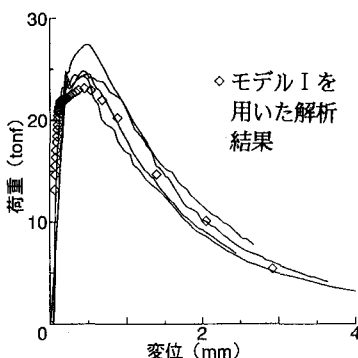


図-3 荷重-変位曲線 (S40)

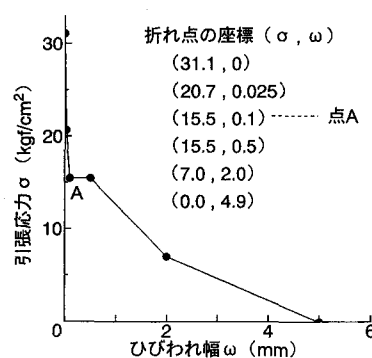


図-4 引張軟化曲線（モデルI）

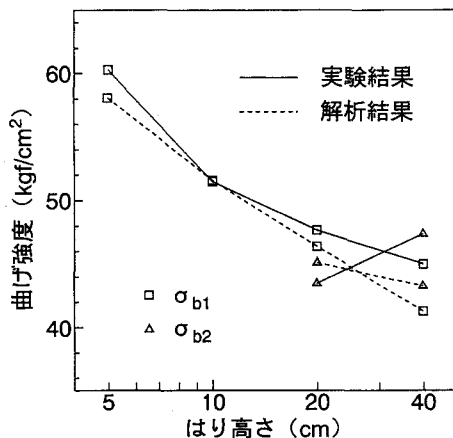


図-5 曲げ強度とはり高さの関係