

岐阜大学大学院 学生員 ○加藤英徳  
 岐阜大学工学部 正会員 内田裕市 六郷恵哲  
 岐阜大学工学部 正会員 小柳 治

### 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。この寸法効果を説明するには、引張軟化特性を取入れたコンクリートの破壊力学が有用である。本研究では、破壊力学的手法を用いた数値解析を行い、その解析結果に基づいて、寸法効果を含んだ曲げ強度の推定式を提案する。

### 2. 解析方法と算定式

解析には、仮想ひびわれモデルを用いた有限要素法を用いた。供試体は、3等分点荷重を受けるはり供試体であり、その要素分割図を図-1に示す。引張軟化曲線として、種々のモデルが提案されており、その形状は曲げ強度に影響を与える因子の一つとして考えられるが、過去の研究[1]により、その影響の差はわずかなので、本研究では図-2に示す1/4モデル(折れ点の応力を引張強度 $f_t$ の1/4とした2直線モデル)を用いた。乾燥収縮などの初期応力は、はり高さが大きくなるにつれて曲げ強度に大きな影響を与えるとされているが、本研究では、対象とする供試体には初期応力は存在しないものとして解析を行った。曲げ強度 $f_r$ は、最大曲げモーメントを断面係数で除した値である。

はり供試体の高さ $d$ 、コンクリートの引張強度 $f_t$ 、破壊エネルギー $G_F$ 、弾性係数 $E_c$ をパラメータとして数値解析を行った結果、曲げ強度 $f_r$ と引張強度 $f_t$ の比 $f_r/f_t$ は、供試体高さ $d$ と特性長さ $l_{ch}(=E_c G_F/f_t^2)$ の比 $d/l_{ch}$ の関数として表されることがわかった。そこで、解析結果をもとに、曲げ強度の推定式として次式を提案する。

$$\frac{f_r}{f_t} = 1 + \frac{1}{0.85 + 0.45(d/l_{ch})} \quad \text{ただし、} d/l_{ch} \geq 0.1 \quad (1)$$

式(1)は、簡単な形の式で表現することを考慮して、いろいろな式の形を検討した後、最小自乗法により係数を求めたものである。なお、本研究では $d/l_{ch}$ が0.1以下の範囲での解析は行っていないので上記のような適用範囲を加えたが、通常のコンクリートおよび通常の供試体あるいは構造部材の寸法を対象とした場合には、この適用範囲を超えることはまずないと考えられる。通常のコンクリートでは、 $l_{ch}$ は30cm程度であり、 $d/l_{ch}=0.1$ となるのは $d$ が3cm程度の場合である。

### 3. 実験結果との比較

式(1)より、どの程度の精度で、曲げ強度を推定できるかを検討するために、寸法を変化させたはり供試体による荷重試験を行った。供試体の断面は正方形であり、供試体高さ $d$ を5通り(5, 10, 20, 30, 40cm)に変化させた。供試体長は、高さの約4倍とした。コンクリートの配合はすべて同一(最大粗骨材寸法:15mm、水セメント比:54.1%)とした。できる限り乾燥収縮が生じないように、試験直前まで湿布養生した。荷重方法は、3等分点荷重とし、荷重スパンを供試体高さの3倍として、打設方向に直角に荷重した。支点における拘束の影響を取り除くために片方をローラー支持とした。なお、試験時のコンクリートの圧縮強度(供試体: $\phi 10 \times 20$ cm)、弾性係数および割裂引張強度( $\phi 15 \times 15$ cm)は、それぞれ、336kgf/cm<sup>2</sup>、 $2.8 \times 10^5$ kgf/cm<sup>2</sup>、28.5kgf/cm<sup>2</sup>であった。曲げ強度の実験値と式(1)による推定値とを表-1に示す。曲げ強度の実験値は、自重による曲げモー

メントを加えた最大作用曲げモーメントを断面係数で除した値の平均値である。図-3には縦軸を1軸引張強度 $f_t$ に対する曲げ強度 $f_r$ の比率として、横軸を特性長さ $l_{on}$ に対する供試体高さ $d$ の比率として、実験結果および式(1)による推定曲線を示してある。破壊エネルギー $G_F$ については、試験を行っていないので、普通コンクリートを想定して $G_F=0.10\text{kgf/cm}$ とした。供試体高さが10cm以上の場合には、式(1)により推定された曲げ強度は、実験結果によく一致している。したがって、通常のコンクリートの曲げ強度の寸法効果を式(1)で表すことができる。

4. まとめ

コンクリートの曲げ強度の寸法効果に関して破壊力学的な手法により検討した。仮想ひびわれモデルを用いた数値解析の結果にもとづき、寸法効果を含んだ曲げ強度の推定式として、供試体高さ、引張強度、および特性長さをパラメータとする簡単な式を提案した。本研究で提案した式による曲げ強度の推定値は、供試体高さを10cmから40cmに変化させた供試体から得られた実験値とよく一致した。

今回提案した推定式にコンクリートの断面形状（円形、正方形等）の影響を反映させるとともに、普通コンクリート以外の各種コンクリートに対しても適用できるよう今後さらに検討する予定である。

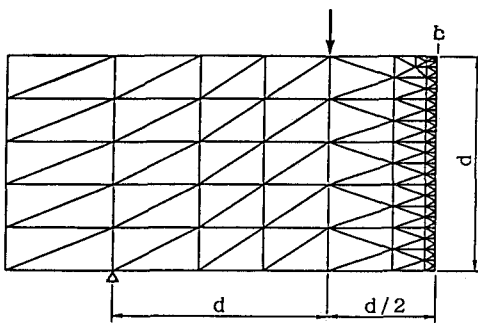


図-1 曲げ供試体の要素分割図

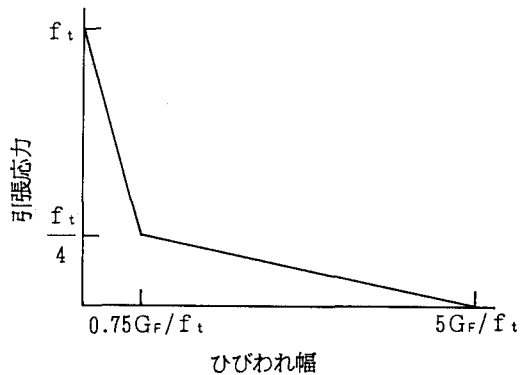


図-2 引張軟化曲線の1/4モデル

表-1 曲げ強度の実験値と推定値

供試体断面 (正方形)と 載荷スパン (cm)	供試 体数	曲げ強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )	
		実験値	推定値
5×5×15	8	44.4	47.5
10×10×30	8	41.2	41.7
20×20×60	5	37.3	36.7
30×30×90	4	35.3	34.5
40×40×120	4	33.6	32.2

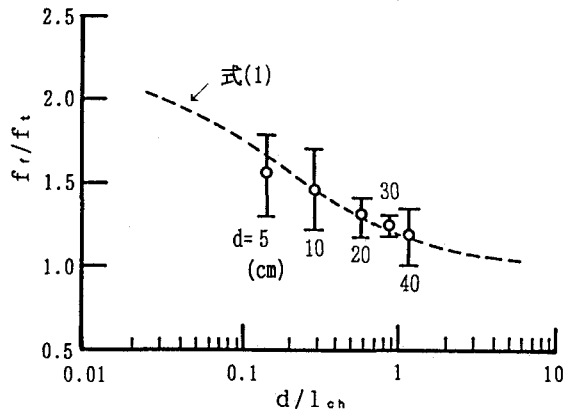


図-3 曲げ強度の実験値と推定曲線

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、第426号/V-14、pp.203-212、1991