

曲げ強度寸法効果のパラメトリックスタディー

名古屋大学大学院 学生員 日高 重徳
名古屋大学工学部 正会員 二羽淳一郎

1. はじめに

コンクリート構造物の破壊がひびわれの進展に支配される問題に対して、破壊力学の考え方をを用いた解析が有効であると考えられる。コンクリートはりの曲げ強度には、様々な因子が影響を及ぼすと考えられることから、それらについてのパラメトリックな検討を行った。本研究では、仮想ひびわれモデルと非線形ロッド要素を用いて、曲げ強度の寸法効果を解析的に評価し、これに影響するパラメーターとその効果について検討することにより、コンクリートはり曲げ強度の寸法効果式の提案を試みた。

2. 解析方法

コンクリートはりは2次元平面応力状態と仮定し、図-1に示すような要素分割を行った。3等分点载荷を受ける厚さ1cmのはりのスパン中央に、仮想ひびわれを設け、その位置に33本のロッド要素を配置した。ロッド要素は単位長さ($L=1\text{cm}$)とし、引張軟化曲線には1/4モデルを用いている。コンクリートは弾性体で4節点アイソパラメトリック要素を用い、初期応力や自重は考慮していない。

解析は表-1に示すように、曲げ強度に影響を与えるパラメーターとしてコンクリートの弾性係数 E_c 、引張強度 f_t 、破壊エネルギー G_f を取り上げ、はりの高さ h を変えて解析を行った。解析したはり合計216体である。

3. 解析結果

上記の解析により得られたコンクリートはりの曲げ強度 f_b と引張強度 f_t の比を、はりの高さ h とコンクリートの特性長さ ℓ_{ch} の比と対比した。(図-2)

ここで、この結果をよく表す式として、以下のようなものが挙げられる。これは図-2中に、実線で示したものである。

$$\frac{f_b}{f_t} = 1 + 1.75 \exp \left(- \left(\frac{\log(h/\ell_{ch}) + 3}{2} \right)^2 \right) \quad (1)$$

ただし、 $h/\ell_{ch} \geq 0.001$ である。

これをより単純な式で表すために、図-3のように両対数にとり、直線回帰した。

$$\frac{f_b}{f_t} = 1.16 \left(\frac{h}{\ell_{ch}} \right)^{-\frac{1}{6}} \quad (2)$$

なお、寸法効果を考慮すべき範囲として、ここで対象としている2点载荷はりの引張縁での応力が引張強度に達した際に、はりに蓄えられるひずみエネルギーが破壊に要するエネルギーより大きくなる範囲、つまり $h/\ell_{ch} \leq 3.6$ を対象として回帰式を求めた[1]。

4. 寸法効果式について

コンクリートはりの曲げ強度の寸法効果式で一般によく知られているものに、CEB-FIP MC90[2]の式、内田らの式[3]がある。

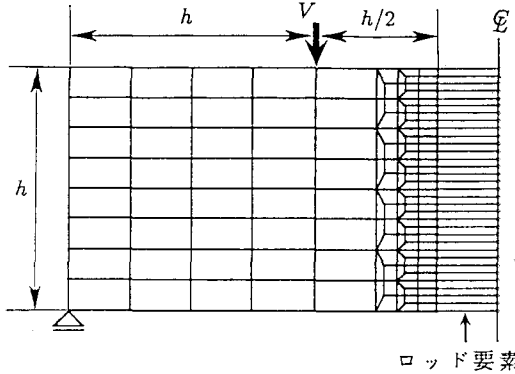


図-1 解析に用いた要素分割

表-1 各パラメーターに用いた数値

はりの高さ $h(\text{cm})$	1, 5, 10, 30, 50, 100, 300, 500
弾性係数 $E_c(\text{kgf/cm}^2)$	2.0×10^5 , 3.0×10^5 , 4.0×10^5
引張強度 $f_t(\text{kgf/cm}^2)$	10, 30, 50
破壊エネルギー $G_f(\text{kgf/cm})$	0.05, 0.1, 0.3

$$\frac{f_b}{f_t} = \frac{1 + 1.5 \left(\frac{h}{h_0}\right)^{0.7}}{1.5 \left(\frac{h}{h_0}\right)^{0.7}}, \quad h_0 = 10(\text{cm}) \quad (3)$$

$$\frac{f_b}{f_t} = 1 + \frac{1}{0.85 + 4.5 \left(\frac{h}{\ell_{ch}}\right)}, \quad \left(\frac{h}{\ell_{ch}}\right) \geq 0.1 \quad (4)$$

ただし ℓ_{ch} はコンクリートの特性長さで、 $\ell_{ch} = E_c G_f / f_t^2$ である。

式(3)は、はりの高さのみを考慮した非常に簡単な式である。また、式(4)は、特性長さを用いてかなり精度よく表されたものである。曲げ強度を評価するのに、はりの高さだけでは不十分である[1]。しかしながらコンクリートの特性長さ ℓ_{ch} は、親切的な尺度という観点からは、必ずしも適切なものではないと考えられる。したがってここでは、特性長さの代わりにコンクリートの圧縮強度を用いて、 f_b/f_t を評価することを試みた。

特性長さに用いられるコンクリートの弾性係数、引張強度、破壊エネルギーを以下のようにコンクリートの圧縮強度で表す[4][2]。

$$f_t = 0.58 f_c'^{\frac{2}{3}} \quad (\text{kgf/cm}^2) \quad (5)$$

$$E_c = 40000 f_c'^{\frac{1}{3}} \quad (\text{kgf/cm}^2) \quad (6)$$

$$G_f = 0.0012 f_c'^{0.7} \quad (\text{kgf/cm}) \quad (7)$$

ただし、骨材最大粒径を $d_{max} = 16(\text{mm})$ とした。

以上から、

$$\ell_{ch} = 143 f_c'^{-0.3} (\text{cm}) ; f_c' : \text{kgf/cm}^2 \quad (8)$$

となる。これを式(2)に代入すると、

$$\frac{f_b}{f_t} = 2.66 h^{-\frac{1}{6}} f_c'^{-\frac{1}{20}}, \quad \frac{f_b}{f_t} \geq 1.0 ; h : \text{cm} \quad (9)$$

となる。

式(9)を式(3)および式(4)と比較するため、代表的な値として $f_c' = 300 (\text{kgf/cm}^2)$ と置き、これらを図4に示した。この図から、式(9)が十分な精度を有していることがわかる。なお、特性長さ ℓ_{ch} は式(5)～(7)を用いて表した。

5. まとめ

本研究では、コンクリートはりの曲げ強度に影響する種々のパラメーターについて解析的な検討を行った結果、はりの高さとコンクリートの圧縮強度を用いて、曲げ強度の寸法効果式の提案ができた。

参考文献

- [1] 二羽淳一郎：非線形ロッド要素を用いたコンクリートはりの曲げ強度寸法効果解析、コンクリート工学年次論文報告集, Vol.15, No.2, pp.75 ~ 80, 1993
- [2] CEB-FIP MODEL CODE 1990, Bulletin d'information, No.203, 1991
- [3] 内田裕市、六郷恵哲、小柳治：コンクリートの曲げ強度の寸法効果に関する破壊力学的検討、土木学会論文集, No.442, V-16, pp.101 ~ 107, 1992.2
- [4] 岡村甫：コンクリート構造の限界状態設計法[第2版], 共立出版, pp.15 ~ 24, 1978

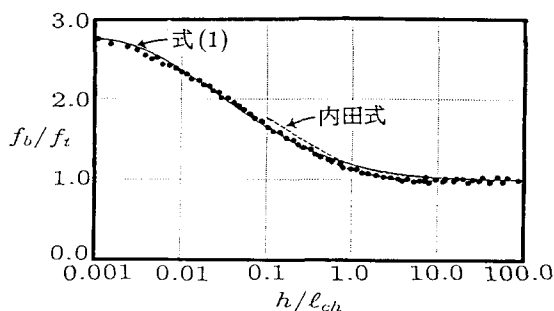


図-2 解析結果

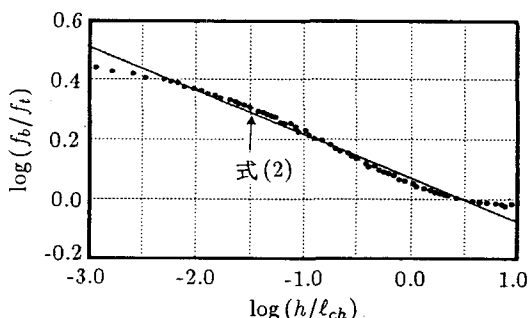


図-3 解析結果

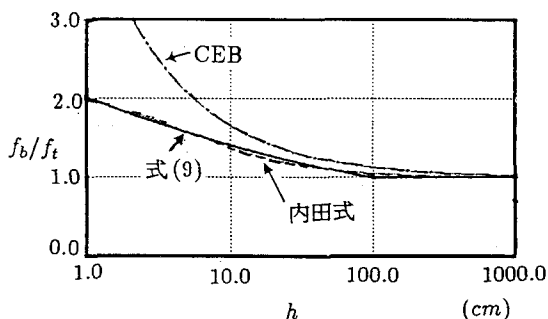


図-4 寸法効果式の比較