

はり要素によるコンクリートはりの引張軟化解析

琉球大学 学生員 波 平 伸

琉球大学 正会員 伊良波 繁雄

琉球大学 正会員 具 志 幸昌

琉球大学 正会員 和仁屋 晴謙

1.はじめに

有限要素法でコンクリートのひびわれを解析する際、平面要素を用いて引張軟化の解析を行う方法は厳密であるが、計算コストがかかるという問題点がある。はり部材が曲げや軸力を受ける場合は、平面要素の代わりにトラス要素やはり要素のような一次元要素を用いることができれば、計算コストや入力データの作成の大きな軽減になる。このために筆者らはトラス要素やはり要素を用いて、コンクリートの引張軟化を考慮した解析を行う方法を提案した¹⁾。本論文は提案したはり要素を用いて、『破壊力学の応用研究委員会報告集』の共通試験体の内、普通コンクリートはりと鋼繊維補強コンクリートはりの曲げ試験の解析を行い他の解析手法や実験値との比較を行った。

2.弾塑性剛性行列の誘導

はり要素のポテンシャルエネルギーの原理は U_C をひずみエネルギー、 V を外力によるポテンシャルエネルギーとし、図-1に示す座標系で x 軸方向の応力を σ_x 、ひずみを ϵ_x とすると次式のように表すことができる。

$$\Pi = U_C + V \quad (1)$$

$$U_C = \sum_{i=1}^n \iiint_{V_i} \frac{1}{2} \sigma_x \epsilon_x dx dy dz \quad (2)$$

平面保持の仮定をすれば1個の要素についてひずみエネルギー U_e は次のように表される。

$$U_e = \frac{1}{2} \iiint_V E \left(\frac{\partial u}{\partial x} - \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} y \right)^2 dx dy \quad (3)$$

式(3)から剛性方程式を求めるために、変位 u は一次式、 v は三次式を仮定し、ヤング率 E は図-1のようにはりを高さ方向に層分割し、その層の接線剛性を用いて剛性方程式を求める。このとき、 j 番目の層のヤング率を E_j とすると、 E_j は次のようになる。

$$\text{弾性状態} \quad E_j = E$$

$$\text{引張軟化} \quad E_j = \frac{C_{n1} E L}{E + C_{n1} L}$$

$$E_j = \frac{C_{n2} E L}{E + C_{n2} L}$$

圧縮応力の場合は、 E_j として図-4に示すモデル化した接線剛性 $E_{c1}, E_{c2}, E_{c3}, E_{c4}$ を用いる。増分法としては山田の方法(R_{min} 法)を用いて計算を行った。

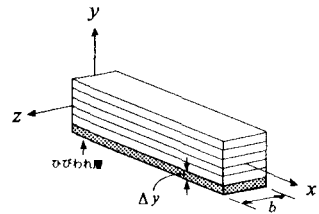


図-1 はり要素の座標系

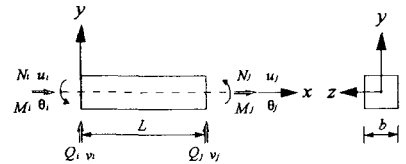


図-2 はり要素

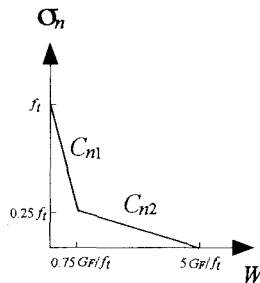


図-3 引張軟化曲線

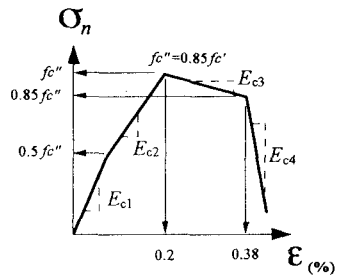


図-4 コンクリートの応力-ひずみ曲線

3. 解析結果の検証

解析結果は、共通試験体の内、普通コンクリートはり、鋼繊維補強コンクリートはりから各々一体系づつ示す。解析は対称性を利用して図-5に示すように要素分割（自由度=12）し、はり高方向に100層分割を行った。普通コンクリートを解析する際には、引張軟化曲線として図-3の1/4モデルを使用し、鋼繊維補強コンクリートの場合は、与えられた多直線モデルを二直線モデルで近似し引張強度の1/4、1/5に折れ点があるモデルに簡略化した引張軟化曲線を用いた（図-6）。共通試験体のうち図-7に#2の普通コンクリートはり（ $h=200\text{mm}$ ）の荷重－変位曲線および最大荷重、破壊時のひびわれ図、図-8に#4の鋼繊維補強コンクリートはり（ $h=100\text{mm}$ ）の荷重－変位曲線および最大荷重、破壊時のひびわれ図（1/5モデル）を示す。鋼繊維補強コンクリートの場合は内田らの解析結果（平面要素）との比較である。なお、ひびわれは要素1のみに生じると仮定して解析を行った。

図-7、図-8の荷重－変位曲線を見ると、本解析値は内田らの解析結果や実験結果との一致は良好である。鋼繊維補強コンクリートの解析においては、共通解析で与えられた多直線モデルを1/5モデルで近似する方がより適切であることがわかる。これは1/5モデルの方が多直線モデルの形状に近いために、最大荷重以降の挙動を良く表すものと思われる。なお、他の共通試験体についても、本論文で示した解析結果とほとんど同じように良好な結果を得ることができた。

4. まとめ

はり要素を用いた本解析は、平面要素を使用した内田らの解析結果や実験結果に良好に一致した。すなわち、本解析法で用いた要素数はわずか3個であり、入力データおよび計算コストの面で利点があることがわかった。

【参考文献】

- [1]伊良波繁雄：はり要素による引張軟化の解析的研究、コンクリート工学年次論文 報告集、Vol4, No2, pp897~902, 1992.6

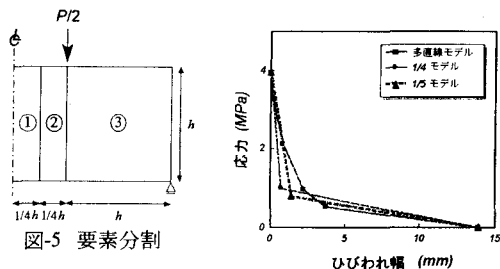


図-6 引張軟化曲線（鋼繊維）

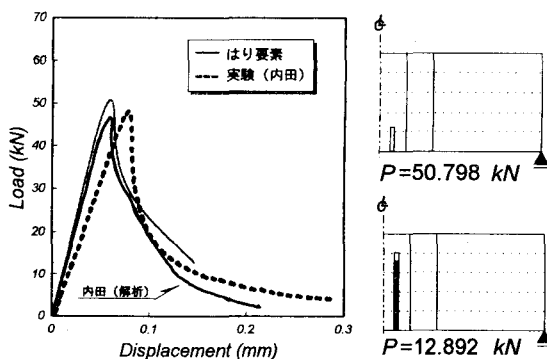


図-7 荷重－変位曲線、ひびわれ図(#2)

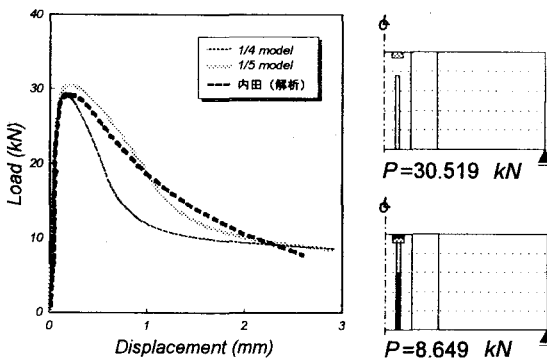


図-8 荷重－変位曲線、ひびわれ図(#4)

- ：引張軟化曲線の第一勾配(C_{m1})に達した層
- ：引張軟化曲線の第二勾配(C_{m2})に達した層
- ▨：圧縮側接線勾配 E_{c2} に達した層
- ▤：圧縮側接線勾配 E_{c3} に達した層
- ▥：圧縮側接線勾配 E_{c4} に達した層