

せん断変形を考慮したはり要素によるコンクリートの引張軟化解析法

(有) ホープ設計 正会員 波 平 伸
 琉球大学工学部 正会員 伊良波 繁雄
 琉球大学工学部 正会員 和仁屋 晴謹
 琉球大学工学部 学生員 當 山 潤

1. はじめに

近年、コンクリート工学の分野では、有限要素法による非線形解析の精度を高めるため、破壊力学を考慮にいれた解析的研究が数多く行われるようになった。筆者らは、曲げや軸力を受ける部材に対してはり要素を用いたコンクリートの引張軟化解析法を提案し、平面要素に比較して計算コストや入力データ面での優位性を示した[1]。本論文は、提案したはり要素の精度を高めるため、藤谷の示したせん断変形を考慮したはりの変位関数[2]を付加し荷重増分法を用いてコンクリートの引張軟化解析を行った。

2. 解析方法

図-1の座標系で、 x 方向の変位を U 、 z 方向の変位を W とし、せん断変形による軸方向付加変位を W_s とすると、せん断変形を考慮したはり要素の変位関数は次式のようにになる。

$$\left. \begin{aligned} U &= u \\ W &= w - xu' + W_s \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

x, z 軸のみ考慮すると、ひずみエネルギーは次式のようにになる。

$$U = \frac{1}{2} \iint (\sigma_x \epsilon_x + \tau_{xz} \gamma_{xz}) dx dy dz - \frac{1}{2} \iint \left[E \left(w' - xu'' + \frac{\partial W_s}{\partial z} \right)^2 + G \left(\frac{\partial W_s}{\partial x} \right)^2 \right] dx dy dz \quad (2)$$

弾塑性剛性方程式を求めるため、はり理論でよく用いられているように式(2)において w を1次式、 u を3次式で仮定し、補正変位 W_s を次式のように1次式で仮定した。

$$\left. \begin{aligned} W_s &= a_1 W_{L1} + a_2 W_{L2} + a_3 W_{R1} + a_4 W_{R2} \\ a_1 &= \left(1 - \frac{x_1}{h} \right) \cdot \left(1 - \frac{z}{\ell} \right), \quad a_2 = \frac{x_1}{h} \cdot \left(1 - \frac{z}{\ell} \right) \\ a_3 &= \left(1 - \frac{x_1}{h} \right) \cdot \frac{z}{\ell}, \quad a_4 = \frac{x_1}{h} \cdot \frac{z}{\ell} \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

ここで、

h : せん断補正要素の高さ、 x_1 : せん断補正要素の局所座標、

ℓ : はり要素長さ、 $W_{R1}, W_{R2}, W_{L1}, W_{L2}$: せん断補正要素の材軸

方向変位である。

普通コンクリートの引張軟化曲線として図-3に示す六郷らの提案した1/4モデルを使用し、各増分段階における j 番目層のヤング率を E_j とすると、 E_j は次のようになる。

$$\begin{aligned} \text{弾性状態} \quad E_j &= E \\ \text{引張軟化} \quad E_j &= \frac{C_{n1} E L}{E + C_{n1} L} \quad (0 < W < W_1) \\ E_j &= \frac{C_{n2} E L}{E + C_{n2} L} \quad (W_1 < W < W_2) \end{aligned}$$

せん断弾性係数 G は、図-3においてひびわれ幅が W_2

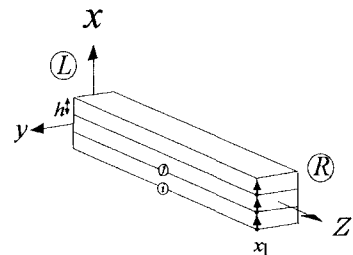


図-1 はり要素の座標系

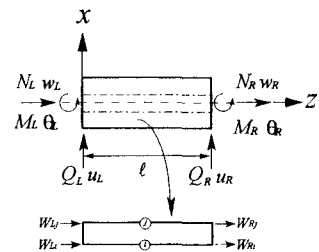


図-2 せん断補正要素

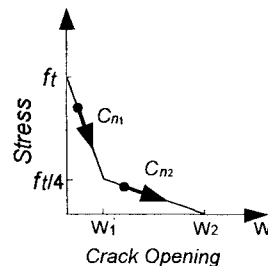


図-3 引張軟化曲線

より大きい時はゼロとし、 W_2 より小さい時や、圧縮破壊が生じている時の G は、弾性体と同じ値を用いた。

3. 解析結果の検証

JCIより提案された共通解析の内、普通コンクリートはりの解析を行った〔3〕。解析では、はり高方向にせん断補正要素を10分割し、さらに、1個のせん断補正要素に対し10層分割を行った。実験では試験体の中央変位を求めているため、解析においては、3次式で仮定したはりのx軸方向変位関数から中央変位を求めた。

図-5に#2普通コンクリートはりのせん断補正要素による解析(SCE)、せん断変形を考慮にいていないはり要素による解析(BE)、内田らによる実験結果、内田らによる平面三角形要素による解析比較を示す。図-5より明らかのように、せん断補正要素による解析の方が、通常のはり要素による解析に比較して実験結果に対し良好な結果を得ることができる。これは、スパンに対しはり高の高い試験体であるので、せん断力の影響によるものと思われる。また、内田らによる平面三角形要素の解析と比較すると、本解析のほうが初期勾配において良好な結果を得ることができた。せん断補正要素によって解析した#2普通コンクリートはりのひびわれ図を図-6に、Peak時、破壊時における垂直応力分布曲線を図-7に示す。

内田らは、対称性を利用し試験体の左半分をモデル化し解析を行っているが、それでも平面三角形要素数は151個である。しかも、ひびわれはスパン中央のみ1本に生じるとしている。それに対し、本解析は要素数9個で、ひびわれの発生・進展・消滅をシミュレーションすることができる。

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同様に良好な結果を得ることができた。

4. 結論

1)通常のはり要素にせん断変形を考慮するための軸方向補正変位項 W_2 を付加し、曲げを受けコンクリートはりの引張軟化解析を行った結果、本解析方法は通常のはり要素と比較し精度の向上が見られた。また、破壊の進行によるひびわれの発生・進展・消滅のシミュレーションを解析的に示した。

2)平面三角形要素を用いた内田らの解析と比較すると、本解析方法は一次元要素を使用しているため、少ない要素数で曲げを受けコンクリートはりの引張軟化解析を行うことができ、入力データの作成及び、計算コストの面で有利である。

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，14-2,pp.897-902,1992.6
- [2]藤谷義信：薄肉はり構造解析，培風館
- [3]日本コンクリート工学協会：破壊力学の応用研究委員会報告書

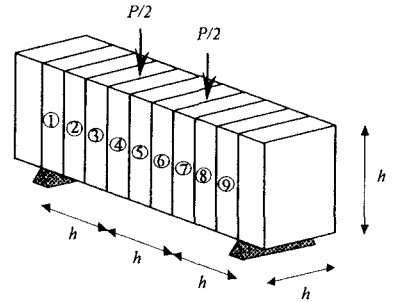


図-4 要素分割

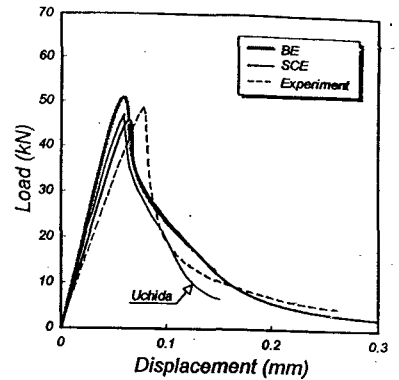


図-5 荷重-変位曲線

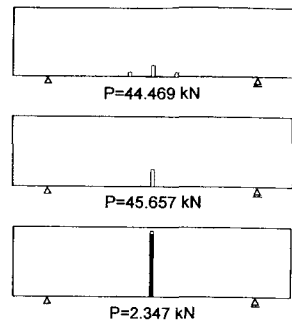


図-6 ひびわれ図

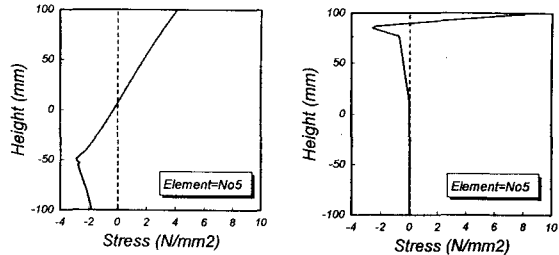


図-7 垂直応力曲線 (peak時、破壊時)