

コンクリートはりの引張破壊における増分解析法

琉球大学工学部 学生員○富山潤
 琉球大学工学部 正 員 伊良波繁雄
 琉球大学工学部 正 員 和仁屋晴謙
 琉球大学工学部 上江洲司

1. はじめに

有限要素法のひびわれ解析で、最大荷重点付近およびそれ以降を増分解析法で計算するとき数値解析上不安定になりやすい。引張軟化を増分法で計算するときの方法として弧長増分法または R_{min} 法等を用いた解析方法がある。 R_{min} を用いた解析は要素数が少ないときは、少ない増分回数で精度よく解を求めることが可能であるが、はり要素による断面分割法を用いた解析では要素数が多くなると、最大荷重点以降において、各断面で引張軟化の進行、除荷等が至る所で起こると数値解が安定して得られない事がある。

前回の研究^[1]の解析結果より運動方程式(減衰無視)を用いた増分解析法で、スナップバックの問題が解けることを明らかにした。そこで、今回はコンクリートはりに断面分割法を用い、運動方程式(減衰無視)を適用して引張破壊による複数ひび割れ問題へのシミュレーションの可能性を検討した。

2. 解析方法

1) 引張軟化

コンクリートはりの有限要素解析は、はり高方向に層分割するファイバーモデルを用いて計算をした。引張破壊域が進行するにつれて剛性が変化するため、分割した層の n 番目のヤング率は次式を用いた。

図-1に普通コンクリートの引張軟化曲線(1/4モデル)を示す。

$$\begin{aligned} \text{弾性状態} \quad E_n &= E & (\text{コンクリートのヤング率}) \\ \text{引張軟化} \quad E_n &= \frac{C_{n1}EL}{(E+C_{n1}L)} & (\text{引張軟化曲線の第一勾配時}) \\ E_n &= \frac{C_{n2}EL}{(E+C_{n2}L)} & (\text{引張軟化曲線の第二勾配時}) \end{aligned}$$

ここで、 E : ヤング率、 C_{n1} 、 C_{n2} : 引張軟化曲線の勾配、 L : 要素長

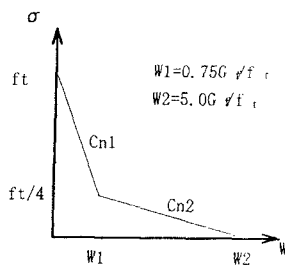


図-1 引張軟化曲線

2) 運動方程式

(1)に示す増分型の運動方程式を用いて引張破壊の解析を行う。

$$[M]\{\Delta \ddot{U}\} + [C]\{\Delta \dot{U}\} + [K]\{\Delta U\} = \{\Delta P\} \quad (1)$$

ここで、 Δ は増分記号、 U は変位、 $\dot{U}$ は速度、 $\ddot{U}$ は加速、 $[M]$ は質量マトリックス
 $[K]$ は全体剛性マトリックス、 $[C]$ は減衰マトリックス、 $\{P\}$ は外力である。

式(1)に(2)、(3)を代入すると式(4)が得られる。

$$\begin{aligned} \{\Delta \ddot{U}\} &= -3\{\ddot{U}\} - \frac{6}{\Delta t}\{\dot{U}\} + \frac{6}{(\Delta t)^2}\{U\} \quad (2) \\ \{\Delta \dot{U}\} &= -\frac{\Delta t}{2}\{\ddot{U}\} - 3\{\dot{U}\} + \frac{3}{\Delta t}\{U\} \quad (3) \\ \left[[K] + \frac{3}{\Delta t}[C] + \frac{6}{(\Delta t)^2}[M] \right] \{\Delta U\} &= \{\Delta P\} + 3[M]\left\{ \ddot{U} + \frac{2}{\Delta t}\dot{U} \right\} + [C]\left\{ 3\dot{U} + \frac{\Delta t}{2}\ddot{U} \right\} \quad (4) \end{aligned}$$

3. 数値解析例

1) JCIにより提案された共通解析のうち、普通コンクリートはり、鋼繊維補強コンクリートはりの解析を行った^[2]。解析は要素を50層分割し強制変位を加え载荷している。

2) 無筋コンクリートはりの解析 (1/4モデル)

図-3に普通コンクリートはり(#2)の動的解析と内田らによる実験結果および平面三角形要素による解析^[2]の比較を示す。また、ひび割れはスパン中央のみ1本生じるとしている。最大荷重は内田らの解析、実験より少し高めとなっているが、最大荷重後の軌跡は、実験値との一致が良好である。

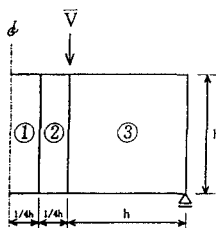


図-2 要素分割

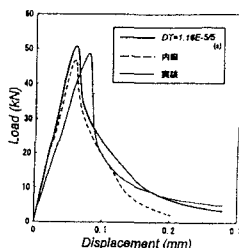


図-3 荷重-変位曲線 (#2)

3) 鋼繊維補強コンクリートはりの解析 (1/5モデル)

図-6に鋼繊維補強コンクリートはり(#4)の動的解析と内田らによる実験結果および平面三角形要素による解析結果^[2]を示す。図-3、図-6、より普通コンクリートよりも鋼繊維補強コンクリートはりは、最大荷重後の载荷の低下が緩やかであることがわかる。

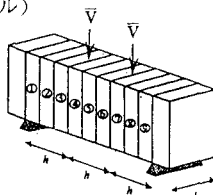


図-4 要素分割

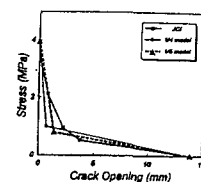


図-5 鋼繊維補強コンクリートの引張軟化曲線モデル

引張軟化曲線の1/5モデルを仮定したはり要素による解析では、最大荷重は内田らの解析、実験値の上限より少し高めとなっているが最大荷重後の軌跡は、内田らの解析、実験値との一致が良好である。

内田らの解析は対称性を利用し試験体の左半分を151個の平面要素に分割しており、しかも、ひび割れはスパン中央のみ1本生じるとしている。それに対し、本解析は要素数は9個で、ひび割れの発生・進展・消滅をシミュレーションする事ができる。

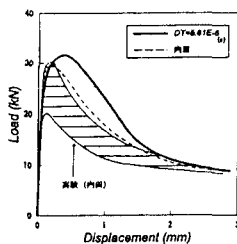


図-6 荷重-変位曲線 (#4)

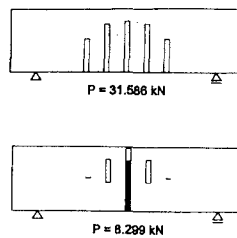


図-7 ひび割れ図 (#4)

4. 結び

運動方程式を用いて増分解析をすることで、コンクリートはりの引張破壊解析およびそれに伴って生じる複数ひび割れ問題のシミュレーションが可能であることが明らかになった。

参考文献

- [1] 伊良波繁雄、八代章、城間克巳、富山潤：無筋コンクリート柱の直接引張破壊における増分解析、土木学会西武支部研究発表会 pp.706-707、1995.3
- [2] 破壊力学の応用研究委員会報告書：日本コンクリート工学協会、1993.10