要素長さ依存性を解消したコンクリートの構成モデルと圧縮破壊エネルギーに関する一考察

中部大学	正員	水野英二	市川工務店	正員	関	直樹
中部大学	正員	松村寿男	三重大学	正員	畑中重光	

1. はじめに

ひずみ軟化型構成モデルの欠点は,分割数(要素長さ)の違いが RC 構造部材のポストピーク挙動 FEM 解析結果に大きく影響することにある.文献 1)にもあるように,異なる長さの要素に対して同じ軟化曲線 を用いるとポストピーク領域にて様々な解析結果が得られることになり,何らかの使用条件を付けない限り ユニークな解を与える構成モデルとしては不十分である.それゆえ,本研究では横拘束を受けるコンクリートの圧縮破壊エネルギーについて考察し,RC 柱のポストピーク有限要素解析に適用可能なコンクリートの 構成モデルについて論ずる.

2.最適限界ひずみと要素長さとの関係

本節では,文献 1)で採り挙げた普通強度材料ならびに高強度材料から成る鉄筋コンクリート(RC)柱の4供試体(柱部材長:2,250 mm,部材断面:450 mm×450 mm,せん断スパン比:5)に対する一方向載荷(プッシュオーバー)解析結果を基に,コンクリートのひずみ軟化型構成モデルに採り入れるべき「最適限界ひずみ」の評価式を設定する.なお,RC供試体(H,HA,HB,およびN供試体)の詳細については文献1)を参照されたい.

2.1 最適限界ひずみ

図 - 1 にコンクリートのひずみ軟化型構成モデルを示す.図中にて,コンクリートの応力がゼロとなる軟 化域でのひずみを本論文では限界ひずみ _fと称する.文献 1)では,RC 供試体のポストピーク解析に用い るべき「最適な限界ひずみ」を定量的に評価するために,図 - 2 に示すようにRC 供試体を柱軸方向に 5,10, 15,20,25 均等分割し,一定軸力(累加軸圧縮耐力の 12%~14%)下で柱頂点に横方向変位を与えることに よるプッシュオーバー解析を実施した.解析モデルの概要を図 - 3 に示す.なお,解析手法ははり理論に基 づいたファイバーモデル¹⁾であり,汎用有限要素法プログラム FEAP にエレメントサブルーチンとして組 み込まれている.また,鉄筋の構成モデルには筆者らの修正二曲面モデル¹⁾を採用した.

文献 1)では,ポストピーク解析曲線が繰り返し実験結果の包絡曲線と最も良く一致する場合の限界ひず みを最適限界ひずみとして設定した.4供試体の各均等分割モデル(図-2に示す 5,10,15,20,25分割モデ ル)に対する解析結果より評価された最適限界ひずみの値を,それぞれ 印, 印, 印,および 印にて 図-4 に示す.ここで,横軸は分割数,縦軸は最適限界ひずみ値である.さらに,各供試体の 10 分割にお ける最適限界ひずみを基準として,縦軸に最適限界ひずみ比をプロットした結果を図-5に示す.



キーワード: RC柱, 圧縮破壊エネルギー, ひずみ軟化型モデル, 最適限界ひずみ, ポストピーク挙動, 要素長さ 連絡先 〒487-8501 春日井市松本町1200 中部大学工学部土木工学科 TEL:0568-51-9542 FAX:0568-51-1495

2.2 最適限界ひずみの定式化

図 - 4 に示す,要素分割数 10 における最適限界ひずみ _{f10} を考察するための指標として次式を考える.

$$\alpha = \frac{\varepsilon_{f10} - \varepsilon_{c0}^{p}}{\varepsilon_{c0}^{p}} \left(\frac{f_{c}}{\rho_{a}\sigma_{sy}} \right)^{\beta}$$
(1)

ここで, _{co}はピーク圧縮強度時における軸ひずみ, _aは 面積帯筋比(%)である.4 供試体の解析データに対する回 帰分析より, = 2.564 および = 0.778 を得た.よって, _{to}は次式によって与えられる.

$$\varepsilon_{f10} = \varepsilon_{co}^{p} \left[\alpha (\rho_a m)^{\beta} + 1 \right]$$
⁽²⁾

ここで,m は強度比(帯鉄筋降伏強度 $_{sy}$ /コンクリートー 軸圧縮強度 f_{c})である.さらに,図-5に示す限界ひずみ比 (分割数 10にて最適限界ひずみ比=1)と分割数(分割長: l_{elm})との関係を最小二乗法により二次曲線近似で求めると, 限界ひずみ $_{f}$ を次式のように定めることができる.

$$\varepsilon_{f} = \varepsilon_{co}^{p} \left[\alpha \left(\rho_{a} m \right)^{\beta} + 1 \right] \left(\frac{\gamma}{l_{elm}^{2}} + \frac{\delta}{l_{elm}} + \lambda \right)$$
(3)

ここで, = -54.22 cm^2 , = 23.18 cm, = 7.675×10^{-2} である.なお,面積帯鉄筋比 $_a$ は%表示であることに注意されたい.本解析のRC供試体のせん断スパン比は5であるが,

*am*が1.65%~4.77%の範囲にある曲げ卓越型のRC柱に 対しては式(3)が適用できる可能性がある.式(3)を用い て最適限界ひずみを計算した結果を図-4に実線で示す. 2.3 横拘束を受けるコンクリートの圧縮破壊エネルギー

文献 2)によれば,一要素あたりに吸収されるプレーンコ ンクリートの圧縮破壊エネルギーは一定であるとして,異な る要素長さに対してコンクリートの応力零時でのひずみ(本 論文で定義する最適限界ひずみ)を決定し,これを有限要素



図-6 圧縮破壊エネルギー

解析に用いることを提案している.式(3)による最適限界ひずみおよび図-6 で定義する圧縮破壊エネル ギーG_{fc}を基に文献2)の概念を考察すると,本研究で対象とした RC 供試体に対しては,分割要素長さ l_{elm} がおよそ15 cm~45 cmの範囲にて圧縮破壊エネルギー一定則は成り立っていると考えられる.

3.まとめ

以上,4 供試体の実験データおよび解析結果に基づいて最適限界ひずみ式および圧縮破壊エネルギーを検討したが,本研究で対象とした実験供試体のパラメータρ_am (式(3)中)が1.65 %~4.77 %の範囲での考察結果である.今後は,パラメータρ_am が大きな値の実験結果も踏まえて提案式を検討すべきであろう.

謝辞:本研究を遂行するにあたり,中部大学総合工学研究所補助金(第6部門B)およびハイテクリサーチ研究費(文部科学省)を受けたことを付記し,ここに謝意を表します. 参考文献

¹⁾水野英二,神戸篤士,畑中重光:各種構成モデルを用いた RC 構造部材の繰り返し変形挙動解析,コンクリート工学年次論文報告集,Vol.23-3, pp.19-24,2001.

²⁾ Nakamura H. and Higai T. : Compressive Fracture Energy and Fracture Zone Length of Concrete, Modeling of Inelastic Behavior of RC Structures under Seismic Loads, Edited by P. B. Shing and T. Tanabe, ASCE, pp.471-487, 2001.