

コンファインドコンクリートの拘束効果に関する三次元 FEM 解析

中部大学 正会員 水野英二
 三重大学 森本康介
 三重大学 正会員 畑中重光

1. はじめに

筆者らは、これまでにコンクリートの圧縮軟化型構成モデルを開発し[1][2][3]、コンクリート充填鋼管柱およびコンファインドコンクリートの3次元有限要素解析に応用してきた[4][5]。これまでの研究では、コンクリート要素と鉄筋要素が節点を共有している（完全付着である）ため、横補強筋とコンクリートの滑りが考慮できず、コンクリートは、高い拘束力を受ける。そのため、平均軸応力-平均軸ひずみ関係としてかなり延性的な解析結果が得られている。本研究では、横補強筋とコンクリートとの境界面の影響を考慮するために、付着要素[4]をコンファインドコンクリートの解析へ導入し、等価拘束圧[1][2]という指標から横補強筋による拘束効果を定量的に考察する。

2. 解析手法

(1) 解析対象：解析対象とした試験体を図-1に示す。試験体の形状・材料に関する諸量を表-1に示す。実験に用いられた試験体[6]では、鉄筋の上下部にコンクリートが存在するが（かぶり厚はゼロ）、本解析では、鉄筋に囲まれたコア部分のコンクリートのみを対象として解析を行った。

(2) 要素分割図：有限要素解析に用いた試験体の要素分割図を図-2に示す。また、解析モデルは、軸対称・上下対称を仮定し、試験体の1/8部分(図-1の斜線部)とした。

(3) 境界条件： $X=0, Y=0, Z=0$ 平面でそれぞれ X, Y, Z 方向を固定した。端部は無拘束とした。

(4) 解析プログラム：本研究では、8 節点アイソパラメトリック三次元ソリッド要素[7]を組み込んだ有限要素プログラム FEAP[8]を使用する。コンクリートのひずみ軟化領域まで解析するため、試験体（高さ H ）の上部に $2.5 \times 10^{-5} H$ （0.005% 軸ひずみに相当）を与える変位制御とした。

(5) 構成モデル：コンクリート部分には筆者らのひずみ軟化型モデル[3]を採用し、鉄筋部分には von Mises モデルを用いた。付着要素は弾性体と仮定し、厚さはそれ自体が解析結果に影響を与えないように極力薄くし、文献[4]の場合と同様、鉄筋幅の $1/200$ の厚さとした。コンクリート、鉄筋および付着要素の位置関係を図-3に示す。付着要素の材料定数(E_i, ν_i : ヤング率及びポアソン比)は、鉄筋の材料定数(E_s, ν_s)を基準とし

表-1 解析に用いるコンファインドコンクリートの形状・材料データ

D (mm)	H (mm)	S (mm)	Pv (%)	σ_{sy} (MPa)	σ_{ly} (MPa)	Es (GPa)	ν_s	fc' (MPa)	Ec (GPa)	ν_c
94	100	50	0.62	297	0.92	210	0.3	30.3	28.6	0.2

D: 試験体幅 H: 試験体高さ S: ピッチ Pv: 横補強筋の体積比 σ_{sy} : 横補強筋の降伏応力
 σ_{ly} : 円形の場合の計算拘束圧($\sigma_{ly} = Pv/2 \cdot \sigma_{sy}/100$) Es: 横補強筋のヤング率
 ν_s : 横補強筋のポアソン比 fc': コンクリートの一軸圧縮強度 Ec: コンクリートのヤング率
 ν_c : コンクリートのポアソン比

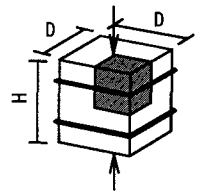


図-1 試験体(全体図)

表-2 付着要素の形状・材料データ

	E_i (GPa)	ν_i	E_i/E_s ν_i/ν_s	t_i (mm)	t_s (mm)
ケース1	付着要素なし(完全付着)				
ケース2	42	0.06	1/5	0.01	1.87
ケース3	21	0.03	1/10		
ケース4	4.2	0.006	1/50		
ケース5	2.1	0.003	1/100		

E_i : 付着要素のヤング率 ν_i : 付着要素のポアソン比
 E_s : 鉄筋のヤング率 ν_s : 鉄筋のポアソン比
 t_i : 付着要素の幅($t_i = t_s/200$) t_s : 鉄筋の幅

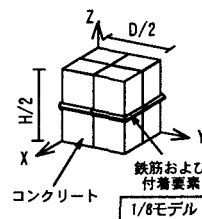


図-2 要素分割図

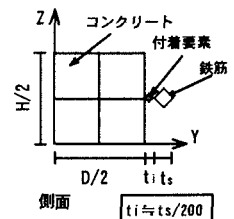


図-3 付着要素の位置

て、表-2に示す値を用いる。

3. 解析結果

平均軸応力-平均軸ひずみ関係を、図-4に示す。比較のため、実験値[6] (図中のシンボル) とプレーンコンクリートの平均軸応力-平均軸ひずみ関係も併せて示しておく。プレーンコンクリートの最大応力までは、どのケースもほぼ同様の挙動を示す。プレーンコンクリートの最大応力以降は、付着要素の材料パラメータ (ヤング係数 E_i 、ポアソン比 ν_i) が小さいほど、コンファインドコンクリート試験体の最大応力が下がる傾向がある。また、これらの図より、付着要素の材料パラメータを変化させることにより、実験値を再現できると考えられる。

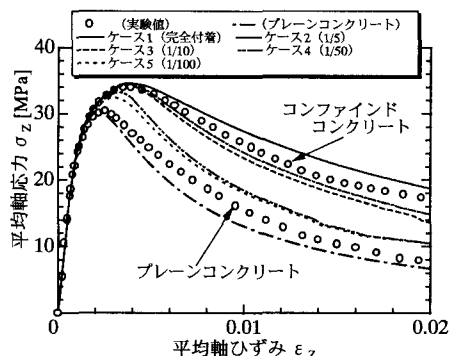


図-4 平均軸応力-平均軸ひずみ関係

次に損傷度および等価拘束圧の進展について考える。ここでは、ケース2 (付着強度 1/5) を取り上げる。図-5に示す切断面での各ガウス点毎の損傷度および等価拘束圧の進展を、図-6、図-7に示す。損傷度とは、現時点での強度パラメータ F_p と、その最大値 η_1 の比 (F_p/η_1) で定義される。また、損傷度の進展図中の点「・」は、そのガウス点が軟化領域にあることを示している。図-7 a)によると、鉄筋で2辺を拘束された隅角部には、初期の時点から強い拘束圧 (平均軸ひずみ $\epsilon_z = 0.1\%$ の時点で 0.5MPa) が作用している。このため、鉄筋付近の損傷が、初期の時点から他の部分よりも遅れて進行していることが図-6 a) より分かる。一方、図-7 b)に示す隅角部から離れた領域においては、初期の時点では拘束圧にほとんど差はなく、破壊が進むに従って徐々に拘束圧が全体に加わっていくのが分かる。このため、図には示していないが、切断面(d)における損傷は全体で一様に進展していく。

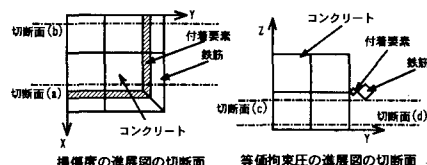


図-5 損傷度・等価拘束圧の進展図の切断面

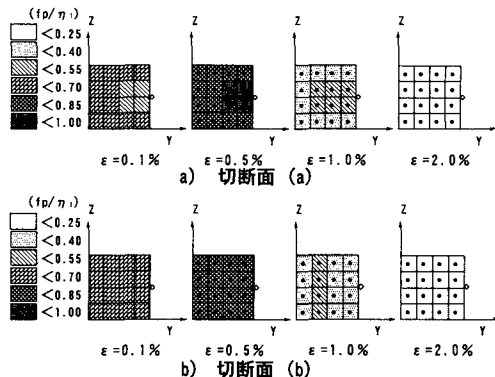


図-6 損傷度の進展 (ケース2: 付着剛性 1/5)

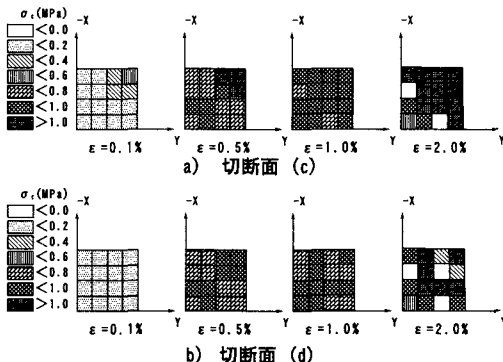


図-7 等価拘束圧の進展 (ケース2: 付着剛性 1/5)

4. まとめ

等価拘束圧の分布から、鉄筋で2辺を拘束される隅角部が大きな拘束力を受け、その隅角部から離れる程拘束力が小さくなることが確認された。

謝辞: 本研究費の一部は、文部省ハイテクリサーチ構想による研究費 (中部大学)、および平成 9・10 年度文部省科研費・基盤研究 B(2)(研究代表者: 谷川恭雄 名古屋大学大学院教授) によったことを付記する。

参考文献

- 水野英二・畑中重光: 塑性理論によるコンクリートの圧縮軟化特性のモデル化, コンクリート工学論文集, Vol.2(2), 1991, pp.85-95.
- 水野英二・畑中重光: 塑性理論によるコンクリートの経路依存型圧縮軟化特性のモデル化, コンクリート工学論文集, Vol.3(2), 1992, pp.1-13.
- 柴麻紀・前田欣昌・畑中重光・水野英二: ひずみ軟化を考慮したコンクリート構成モデルの開発, コンクリート工学年次論文集, Vol.18(2), 1996, pp.401-406.
- 前田欣昌・畑中重光・水野英二: ひずみ軟化型コンクリート構成モデルを用いたコンクリート充填鋼管柱の三次元有限要素解析, コンクリート工学年次論文集, Vol.18(2), 1996, pp.407-412.
- 小宮敏明・前田欣昌・畑中重光・水野英二: ひずみ軟化型コンクリート構成モデルを用いたコンファインドコンクリートの三次元有限要素解析, コンクリート工学論文集, Vol.8(2), 1996, pp.389-394.
- 小阪義夫・谷川恭雄・畑中重光: 構成モデルに基づく各種拘束コンクリートの圧縮特性の統一評価, コンクリート工学年次講演会論文集, Vol.8, 1986, pp.365-368.
- Chen, W.F. and Mizuno, E.: Nonlinear Analysis in Soil Mechanics, Elsevier, 1990, 661pp.
- Zienkiewicz, O.C.: The Finite Element Method, Third Ed., (吉識・山田監訳: マトリックス有限要素法), 培風館, 1984, pp.672-796.