

I - A10 付着要素を導入したコンファインドコンクリートの三次元有限要素解析

名古屋大学 正会員 水野 英二
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[1][2][3]を開発し、コンファインドコンクリートへの応用を行ってきた。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および界面の劣化が考慮できず、高い拘束効果を受け、そのため平均軸応力-平均軸ひずみ関係がかなり延性的になっている。本研究では、横補強筋とコンクリート間の相互作用を考慮するために、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、そのパラメトリックスタディーを行う。

2. 解析手法

- i) 解析対象： 解析対象とした試験体を図-1に示す。なお、解析は試験体の1/8部分（図中の斜線部）にて行った。試験体の形状・材料に関する各諸量を表-1に示す。実験に用いられた試験体[5]では、鉄筋の上下部にもコンクリートが存在するが、本解析では、鉄筋で囲まれたコア部分のコンクリートのみを考慮して解析を行った。付着要素には弾性体を用い、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]の場合と同様の鉄筋幅の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-2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)を基準として、表-2に示す値を用いる。
- ii) 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-3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部分とした。
- iii) 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。
- iv) 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[6]を組み込んだ有限要素プログラムFEAP[7]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 5×10^{-5} （0.01%軸ひずみに相当）を与える変位制御とした。
- v) 構成モデル： コンクリート部分には、筆者らのコンクリート軟化モデル[3]を採用し、鉄筋部分には von Misesモデルを用いた。

表-1 付着要素の導入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)	E_s (GPa)	ν_s	f_c' (MPa)	E_c (GPa)	ν_c
No.1	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($\sigma_{LY} = Pv / 2 \cdot \sigma_{sy} / 100$) E_s : 横補強筋のヤング率 ν_s : 横補強筋のポアソン比 f_c' : コンクリートの一軸圧縮強度 E_c : 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

表-2 付着要素の形状・材料データ

	E_i (GPa)	ν_i	$E_i/E_s \quad \nu_i/\nu_s$	t_i (mm)	t_s (mm)
ケース1	付着要素なし（完全付着）				
ケース2	21	0.03	1/10	0.01	1.87
ケース3	2.1	0.003	1/100		
ケース4	0.42	0.0006	1/500		
ケース5	0.21	0.0003	1/1000		

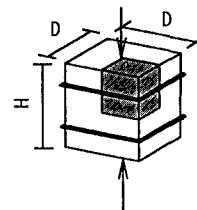
 E_i : 付着要素のヤング率 ν_i : 付着要素のポアソン比 E_s : 鉄筋のヤング率 ν_s : 鉄筋のポアソン比 t_i : 付着要素の幅($t_i \approx t_s/200$) t_s : 鉄筋の幅

図-1 試験体（全体図）

キーワード：コンファインドコンクリート 付着要素 三次元有限要素解析 ひずみ軟化型構成モデル 拘束効果
 連絡先 〒464-01 名古屋市千種区不老町 名古屋大学大学院工学研究科土木工学専攻 (TEL:052-789-4485; FAX:052-789-3738)
 連絡先 〒514 三重県津市上浜町1515 三重大学工学部建築学科 (TEL:059-231-9449; FAX:059-231-9452)

3. 解析結果

各種付着強度を用いた場合の試験体の軸応力-軸ひずみ関係の解析結果(ケース1~ケース5)を、それぞれ図-4に示す。参考のため、実験値[5](図中のシンボル)とプレーンコンクリートの軸応力-軸ひずみ関係(一点鎖線)も併せて示しておく。なお、図中の軸応力の値は、解析モデルの最上面での節点力の軸方向成分の総和を最上面の面積で割ったものである。

プレーンコンクリートの最大応力付近までは、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。ひずみ軟化域では、どのケースもほぼ同様の軸応力 σ_z -軸ひずみ ε_z 関係の傾きが得られた。また、解析結果より、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。

ここで、各ケースの軸ひずみに対する平均等価拘束圧の変動を考察してみる。平均等価拘束圧とは全ガウス点の等価拘束圧[2]の総和をガウス点の個数で割った平均値である。平均軸ひずみ $\varepsilon_z = 0.1\%$, 1.0% , 2.0% の時点および最大応力の時点での平均等価拘束圧を円形コンファインドコンクリートの計算側圧 σ_{LX} [5]で除した値と軸ひずみの関係を、図-5に示す。付着要素の材料パラメータが、小さいほど、鉄筋からの拘束圧が遅れて作用する。特に、最大応力時点の拘束圧(図中の黒塗りのシンボル)は、各ケースでかなりの差が生じる。しかし、 $\varepsilon_z = 2.0\%$ の時点では、どのケースもほぼ同様の拘束圧が作用している。このため、各ケースにより、最大応力は変化するが、 1.0% 以降の軸応力 σ_z -軸ひずみ ε_z 関係の傾きは、ほぼ同様になったと考えられる。図-4によればケース3~ケース5の付着要素を用いれば実験値をほぼ再現することが可能である。

4. まとめ

本研究より、 $1/100 \sim 1/1000$ 程度の強度の付着要素を用いれば実験値を再現できることが分かった。

謝辞：本研究に際しご助力を得た沼田茂己君(旭化成工業(株))および森本康己君(三重大学大学院)に感謝します。また、本研究費の一部は文部省科研費一般(c)(畑中・水野)によったことを付記する。

参考文献：

- [1]水野英二・畑中重光：コンクリート工学論文集，Vol.2(2)，1991，pp.85-95.
- [2]水野英二・畑中重光：コンクリート工学論文集，Vol.3(2)，1992，pp.1-13.
- [3]柴麻紀ら：コンクリート工学年次論文報告集，Vol.18(2)，1996，pp.401-406.
- [4]前田欣昌：名古屋大学工学部土木工学科平成7年度修士論文
- [5]小坂義夫ら：コンクリート工学年次講演会論文集，Vol.8，1986，pp.365-368.
- [6]Chen, W.F. and Mizuno, E.: Nonlinear Analysis in Soil Mechanics, Elsevier, 1990, 661pp.
- [7]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.

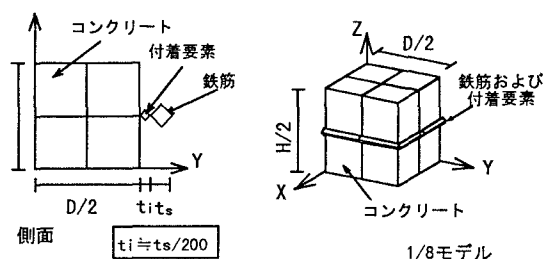


図-2 付着要素の位置関係

図-3 要素分割図

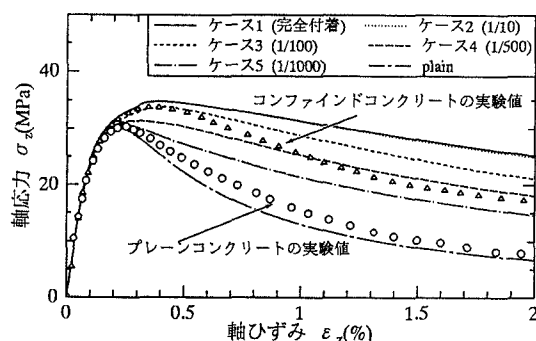


図-4 解析結果

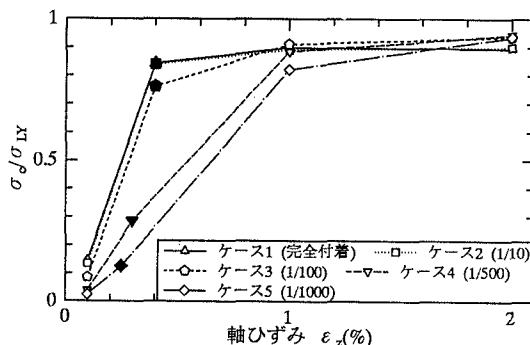


図-5 等価拘束圧の変動