

各種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

名古屋大学 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、これまでにひずみ軟化型コンクリート構成モデル[1][2][3]を開発し、コンファインドコンクリートおよびコンクリート充填鋼管柱の三次元有限要素法解析[4][5]に応用してきた。

本研究では、コンファインドコンクリートの三次元有限要素解析を通して、筆者らのひずみ軟化型構成モデルおよび他のコンクリート構成モデルによる数値解析結果の比較を行う。なお、本研究で比較の対象としたコンクリート構成モデルは、筆者らのひずみ軟化型構成モデルの他に、非線形弾性構成モデルとしての Ottosen モデル、弾塑性理論に基づく弾-完全塑性型 Drucker-Prager モデル（関連流れ則）、前川らの弾塑性破壊モデル、そしてエンドクロニックモデル、の計5モデルである。

2. 本研究における解析手法

(1) 解析対象

他の構成モデルによる解析結果[6]との比較を行うため、文献[6]と同様の解析条件を設定した。試験体の材料・形状に関する各諸量を表-1および表-2に示す。また、本解析ではコンクリートと鉄筋間の付着は無視し、コンクリートと鉄筋の変位は同一であるとした（節点を共有する）。

(2) 要素分割図

有限要素解析に用いた試験体のコンクリート部分の要素分割は、すべてのケースにおいて $4 \times 4 \times 12$ （縦×横×高さ）とした。要素分割例を図-1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。

表-1 コンファインドコンクリートの材料データ^[6]

f_c' (MPa)	E_c (GPa)	ν_c	σ_{sy} (MPa)	E_s (GPa)	ν_s
30	25	0.2	350	200	0.3

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
 σ_{sy} : 鋼材の降伏応力, E_s : 鋼材のヤング率, ν_s : 鋼材のポアソン比

(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

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、試験体の上部に 100μ (0.01%) 相当の軸ひずみを与える変位制御とした。

(5) 解析における構成モデル

コンクリート部分には、筆者らのひずみ軟化型構成モデルを採用し、鉄筋部分には von Mises 型の弾-完全塑性型モデルを用いた。

3. 解析結果

ひずみ軟化型コンクリート構成モデルと他のコンクリート構成モデルの平均軸応力-平均軸ひずみ関係の解析結果の一例 (CASE0 及び CASE1) を、それぞれ図-2および図-3に示す。

図-2は、CASE0(プレーンコンクリート)についての解析結果を比較したものである。図から明らかなように、Drucker-Prager モデルでは、材料特性としての弾完全塑性状態、他の4種類のモデル

表-2 解析ケース^[6]

解析ケース	横拘束鋼材	横拘束鋼材材料 (体積鋼材比)	鉄筋間隔 S/D	断面形状
Case0	なし	0 %	—	正方形
Case1	鉄筋	3 %	0.2	正方形
Case2	鉄筋	3 %	0.5	正方形
Case3	鉄筋	3 %	1.2	正方形
Case4	鉄筋	3 %	0.2	円形
Case5	鉄筋	6 %	0.2	正方形
Case6	鉄板	3 %	—	円形

S: ピッチ D: 試験体幅

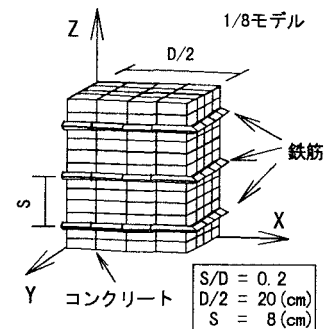


図-1 コンファインドコンクリートの要素分割図例 (S/D=0.2)

では、ひずみ硬化域およびひずみ軟化域の挙動を再現している。また、筆者らのひずみ軟化型コンクリート構成モデルによるひずみ軟化域の挙動は、Drucker-Prager モデルを除く他の 3 種類に比べて比較的延性的であることがわかる。

図-3 は、CASE1 (S/D=0.2) についての解析結果を比較したものである。Drucker-Prager モデルは、平均軸応力が 70 [MPa] 以上まで上昇しており非現実的な値をとっていることがわかる。Ottosen モデルは、平均軸応力のピーク値が 37 [MPa] と、やや低めの値となっている。また、ひずみ軟化領域においては、かなり脆性的な挙動を示している。前川モデル (トラス要素) は、5 種類のモデルによる解析結果の中で最も平均軸応力のピーク値が低く、その後のひずみ軟化領域での挙動については、解析値は示されていない [6]。一方、横補強筋部分にビーム要素を用いた前川モデル (ビーム要素) では、平均軸応力のピーク値は、Ottosen モデルと同程度であるが、ひずみ軟化領域の挙動は延性的となっている。なお、前川モデル (ビーム要素) は、Case1 の条件に類似した実験結果を用いた検証により、実験値と高い適合性を示しており [6]、Case1 の解析条件においても、実験値に比較的近い結果を与えていると推測される。ひずみ軟化型構成モデルおよびエンドクロニックモデルによる解析結果は、前川モデル (ビーム要素) に比べて高めの平均軸応力-平均軸ひずみ関係を示している。両モデルとも挙動はかなり延性的となっており、定性的な傾向は一致している。

6. まとめ

本研究で行ったコンファインドコンクリートの有限要素解析結果より、以下のことが分かった。

- 1) 弾塑性理論に基づく弾-完全塑性型 Drucker-Prager モデル (関連流れ則) を用いるとコンファインドコンクリートの最大耐力を大幅に過大評価する危険性がある [6]。
- 2) 本構成モデルを用いた解析結果は、他の構成モデルのうち、エンドクロニックモデルを用いた場合とほぼ同様の平均軸応力-平均軸ひずみ関係を示した。

謝辞

本研究費の一部は、平成 9 年度文部省科研費一般研究 (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：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。
- [2] 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。
- [3] 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。
- [4] 水野英二・沼田茂己・畑中重光：部材耐力に及ぼすコンクリートの軟化挙動の影響に関する FEM 解析，コンクリート工学年次論文集，Vol. 19 (2)，1997，pp. 471-476。
- [5] 水野英二・畑中重光：コンクリートのひずみ軟化型構成モデルの開発とコンファインドコンクリートの三次元有限要素解析，土木学会論文集，No. 571/V-36，1997. 8，pp. 186-197。
- [6] 構成モデル小委員会 (301) 成果報告書，土木学会コンクリート委員会，コンクリート技術シリーズ，1997，pp. 101-111。
- [7] Chen, W. F. and Mizuno, E. : Nonlinear Analysis in Soil Mechanics, Elsevier, 1990, pp. 1-661。
- [8] 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。

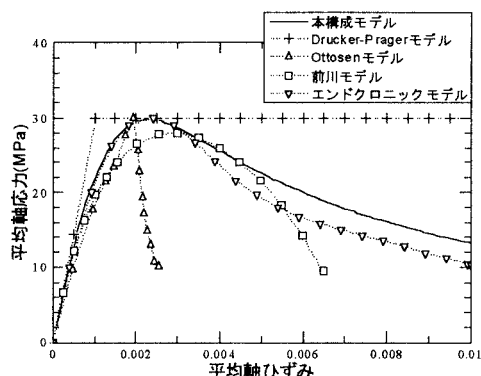


図-2 他の構成モデルとの比較 (Case0)

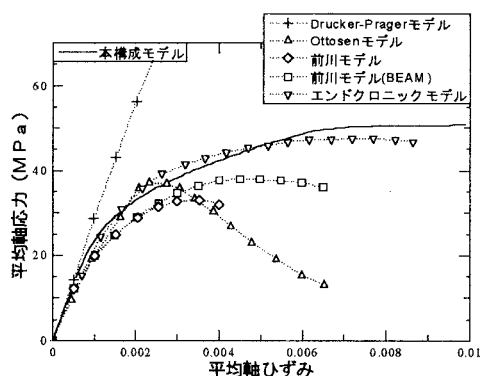


図-3 他の各構成モデルとの比較 (Case1)