

ひずみ軟化型材料の弾塑性構成則に関する一考察

大阪市立大学大学院 ○学生会員 倉本 亘
大阪市立大学大学院 正会員 鬼頭 宏明
大林組 正会員 中岡 健一
大阪市立大学大学院 正会員 大内 一

1. はじめに

コンクリートに一軸圧縮を加えると最大応力到達後、図-1 の破線で示す応力-ひずみ曲線が得られる。帯鉄筋などにより側方膨張を拘束すると一点鎖線で示すように最大応力後の軟化の程度が緩和され、圧縮靱性が改善される。このひずみ軟化域におけるコンクリートの挙動が正確にモデル化できれば、鉄筋コンクリート部材の最大荷重後の挙動が追跡でき、帯鉄筋の補強効果を明らかにすることができる。

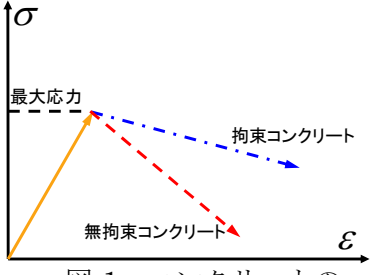


図-1 コンクリートの圧縮応力-ひずみ曲線

慣用の等価一軸の概念や応力空間で定式化されたコンクリートの構成則では、ひずみ軟化域における挙動を十分に表現することが難しい。一方、ひずみ空間で定義された塑性増分理論を用いることでその定式化が可能になる。

本研究では、文献¹⁾で提案されたモデルを有限要素法へ組み込み、その汎用性および応力-ひずみ曲線の再現性の確認、そしてパラメトリックスタディを行った。さらに既往の一軸圧縮実験結果²⁾を利用し、圧縮強度に応じて変化する応力-ひずみ曲線の挙動を検討した。

2. 手法

応力空間で定義された载荷基準を式(1)～(3)に示す。図-2、3 はそれぞれ応力空間とひずみ空間の概念図である。応力空間でひずみ硬化、軟化を定義すると、式(2)、(3)のように同一の式で異なる状態を包括するため载荷、中立、除荷状態の判定が困難になる。一方、ひずみ空間で定義された载荷基準を式(4)～(6)に示す。ひずみ空間でそれらを定義すると、载荷、中立、除荷状態を無理なく表現することができる。

- $df > 0$: 载荷(硬化) ... (1)
- $df < 0$: 载荷(軟化), 除荷(弾性回復) ... (2)
- $df = 0$: 载荷(完全塑性), 中立 ... (3)
- $dF > 0$: 载荷(硬化, 軟化, 完全塑性) ... (4)
- $dF < 0$: 除荷(弾性回復) ... (5)
- $dF = 0$: 中立 ... (6)

よって、本研究ではひずみ空間で定義された塑性増分理論を用いてモデル化を進めた。

3. 使用した解析モデル

式(7)は本研究で用いた载荷関数 F ¹⁾である。式(8)～(10)はこのモデルに用いられているパラメータである。

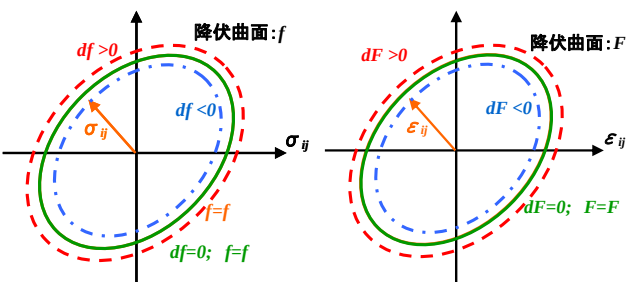


図-2 応力空間 図-3 ひずみ空間

表-1 パラメータ

$\eta_1: f_p - W_p/P_a$ 曲線における f_p の最大値	165
m : 载荷曲面の程度を表すパラメータ	0
a : 静水圧軸上での引張方向への移動量	$0.31f'_c$
P : 近似曲線の傾き	0.099
l : 近似曲線の切片	0.867
W_{ppeak}^0 : 拘束圧 $\sigma_c=0$ の時の塑性仕事量	0.345
$\gamma_1: f_p - W_p/P_a$ 曲線の軟化域に関するパラメータ	0.1021
$\gamma_2: f_p - W_p/P_a$ 曲線の軟化域に関するパラメータ	2.41
備考	f'_c : 一軸圧縮強度

$$F = (\overline{AI_1} + a)^3 - \left[27 + f_p \left(P_a / \overline{AI_1} + a \right)^m \right] \times \left[(\overline{AI_1} + a)^3 / 27 - (\overline{AI_1} + a) \overline{BJ_2} / 3 + \overline{CJ_3} \right] \quad \dots(7)$$
$$f_p = \alpha \exp(-\beta W_p) (W_p / P_a) \quad \dots(8)$$
$$\alpha = \eta_1 (e P_a / W_{ppeak}), \quad \beta = 1 / \gamma W_{ppeak}, \quad \gamma = \gamma_1 \sigma_1 + \gamma_2 \quad \dots(9-a,b,c)$$
$$W_{ppeak} = P(\sigma_c / P_a)^l P_a + W_{ppeak}^0 \quad \dots(10)$$

key word : コンクリート材料, ひずみ空間, 弾塑性有限要素解析, 一軸圧縮

連絡先 〒558-8585 大阪市住吉区杉本 3-3-138 大阪市立大学大学院工学研究科都市系専攻 TEL/FAX : 06-6605-2723

表-1 は各パラメータの値で、 f_p が軟化域の傾きを支配するパラメータである。また、図-4 は載荷関数 F を図化したものである。この関数に基づく構成則に従う 8 節点 6 面体 1 要素モデルで、ひずみ増分制御型の弾塑性有限要素解析を行った。

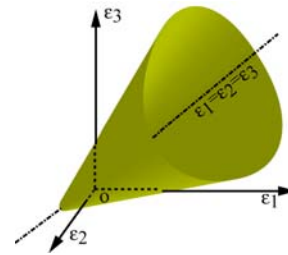


図-4
ひずみ空間での
載荷関数

4. 数値解析例

本研究は一軸圧縮実験を対象としているので、パラメトリックスタディは拘束圧 σ_c に関連するパラメータを除いて行った。その結果を図-5、図-6 および図-7 に、既往実験結果と比較したものを図-8 に示す。

図-5 より、一軸圧縮強度の増加に伴って最大応力値が増加するとともに、その後の脆性的に応力が減少することが認められた。また図-6 より最大応力値の増減は η_1 に依存することが、図-7 より軟化域の傾きは、 W_{peak}^0 に依存することが認められた。さらに、パラメトリックスタディより $\eta_1=160$ 、 $W_{peak}^0=0.02$ として図-8 に示すように既往実験結果との比較を行った。その結果、本研究での解析モデルはコンクリートの軟化挙動を良好に評価できることがわかった。

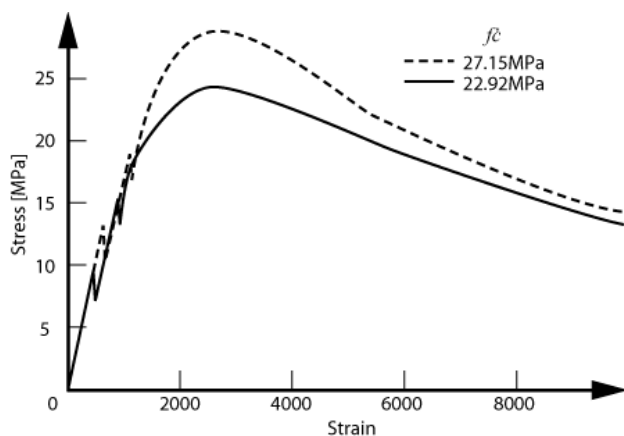


図-5 一軸圧縮強度(f_c)による比較

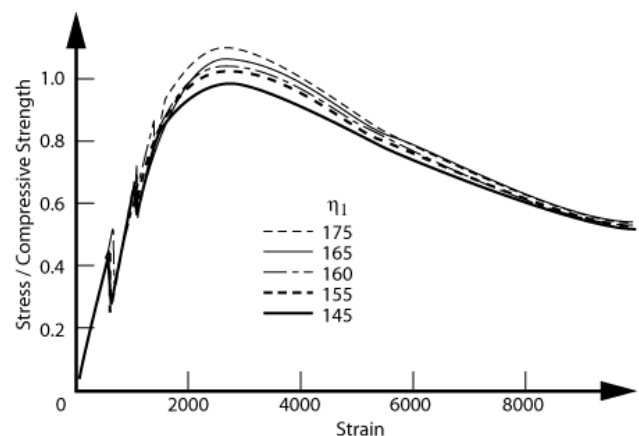


図-6 η_1 による比較

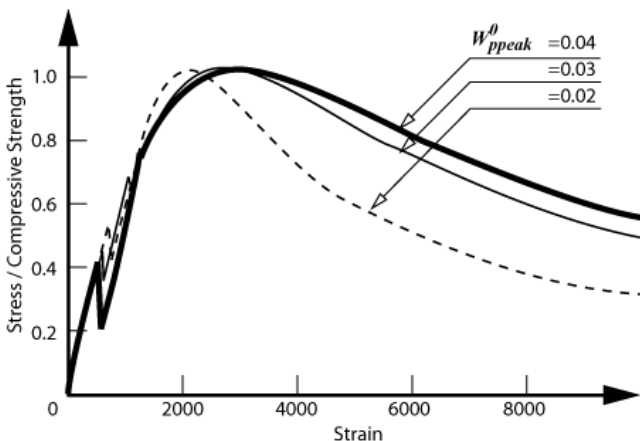


図-7 W_{peak}^0 による比較

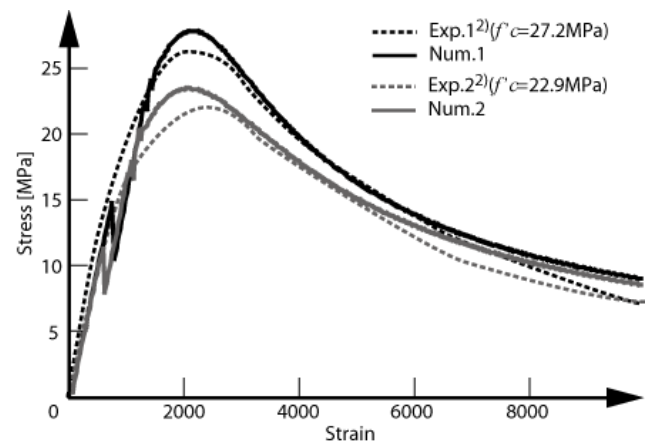


図-8 既往実験結果²⁾との比較

5. まとめ

- ・パラメトリックスタディにより圧縮強度と各パラメータの影響度合いを把握することができた。
- ・既往実験結果との比較検討を行なうことで、本モデルの汎用性および再現性を認めることができた。
- ・本研究での解析モデルはコンクリートのひずみ軟化挙動を良好に評価できることがわかった。

【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, No.2, pp.85-95, 1991 2) P. R. Barnard: Researches into the complete stress-strain curve for concrete, Magazine of Concrete Research, Vol.16, No.49, pp.203-210, 1964