

拘束を受けるコンクリートの応力-ひずみ曲線の定式化

中部大学 ○志知昌人 中部大学 正員 伊藤 睦 中部大学 正員 水野英二

1. まえがき

本研究では、塑性理論に基づいたひずみ軟化型構成モデル¹⁾により数値解析的に求めた、三軸圧縮下でのコンクリートの応力-ひずみ曲線の定式化を試みた。ここでは、一定拘束圧 (0 MPa~30 MPa) 下にて圧縮強度が 20 MPa~70 MPa の範囲にあるコンクリートを対象とした。応力-ひずみ曲線の定式化にあたっては、上昇域では修正 Iyenger 式²⁾、下降域では Ahmad 式²⁾を使用し、それら式中のパラメータの同定を行った。さらに、既往のコンファインドコンクリートに対する応力-ひずみ式²⁾との比較・考察を通して、本提案式の意義について検証した。

2. 拘束を受ける応力-ひずみ曲線の定式化

2.1 応力-ひずみ曲線の定式化

本研究では、水野らによるひずみ軟化型構成モデル¹⁾を用いた。解析ケースとして、コンクリートの強度 f_c' を 6 水準、拘束圧 σ_L を 19 水準、計 114 ケースの解析を行った (表-1 参照)。コンクリートの弾性係数については、日本建築学会の鉄筋コンクリート構造計算基準による関係式を用いて算定した。

図-1 に示すような応力-ひずみ曲線に対して、上昇域では Iyenger 式、下降域では Ahmad 式を基本として、これらの式を修正することにより、各式に含まれるパラメータの同定を試みた。

(1) 上昇域での定式化

Iyenger 式を修正し、次式 (3) を採用した。

$$y = \frac{\alpha \cdot x + (a + 2 \cdot b - 1) \cdot x^2}{1 + (b + \alpha - 2) \cdot x + a \cdot x^2 + b \cdot x^3} \quad (1)$$

ここで、 y は圧縮強度比 σ / σ_f (σ : 軸応力, σ_f : 最大圧縮強度), x はピークひずみ比 $\varepsilon / \varepsilon_c^p$ (ε : 軸ひずみ, ε_c^p : ピークひずみ), また、 α は E_i / E_{sec} (E_i : 初期接線弾性係数, E_{sec} : ピーク点での割線弾性係数) である。一例として、式 (1) を用いて回帰分析を実施した結果、同定された各パラメータ値の変動を図-2 に示す。

(2) 下降域での定式化

Ahmad 式を基本とし、式中に含まれるパラメータについて検討した。

$$y = \frac{c \cdot x + (d - 1) \cdot x^2}{1 + (c - 2) \cdot x + d \cdot x^2} \quad (2)$$

上昇域と同様に、式 (2) を用いて、回帰分析を実施し、下降域におけるパラメータの同定を試みた。一例として、同定された各パラメータ値の変動を、図-3 に示す。

表-1 解析ケース

コンクリート強度 f_c' (MPa)	弾性係数 E_i (MPa)	ポアソン比 ν	拘束圧 σ_L (MPa)
20	22,384	0.2	0.0, 0.2, 0.4,
30	27,415		0.6, 0.8, 1.0,
40	31,656		1.5, 2.0, 2.5,
50	35,392		3.0, 3.5, 4.0,
60	38,771		10.0, 15.0,
70	41,877		20.0, 30.0

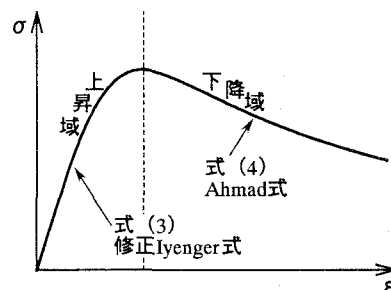


図-1 応力-ひずみ曲線に用いる式

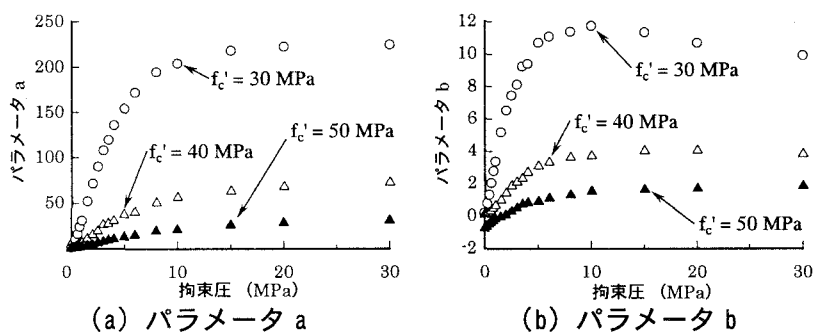


図-2 上昇域でのパラメータ

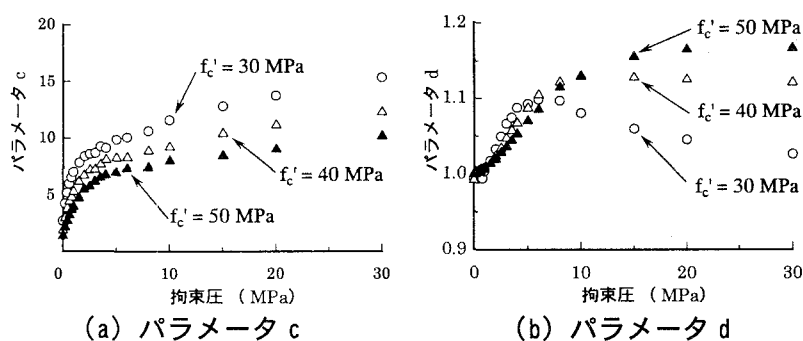


図-3 下降域でのパラメータ

2.2 最大圧縮強度と最大圧縮強度時のひずみの定式化

本節では、各拘束圧に対する最大圧縮強度と最大圧縮強度時のひずみ（ピークひずみ）の定式化を行う。回帰分析より得られた、最大圧縮強度 σ_f とピークひずみ ε_c^p との関係式を以下に示す。

$$\sigma_f = f_c' + g \cdot (\sigma_L)^h \quad (3)$$

$$\varepsilon_c^p = \varepsilon_0 + i \cdot (\sigma_L)^j + m \cdot (\sigma_L)^n \quad (4)$$

さらに、式 (3) および (4) 中の各パラメータは表-2 に示す式で表現することができる。コンファインドコンクリートならびに一定拘束圧下でのコンクリートの応力-ひずみに関する既往の研究結果との比較の一例として、コンクリート強度 f_c' が 30 MPa の場合に対する「最大圧縮強度と拘束圧」および「ピークひずみと拘束圧」の関係をそれぞれ図-4 および図-5 に示す。ここで、図中の小池・畑中式は高さ/幅比 (H/D) が 1 の円柱コンクリート供試体を対象とした実験データに基づいており、一方、Mander 式は H/D が 2 の円柱コンファインドコンクリート供試体を対象とした実験データに基づいている。図-4 および図-5 に示す結果を基に、本提案式と小池・畑中式ならびに Mander 式とを比較すると、本提案式は小池・畑中式よりかなり小さな値を、Mander 式より多少大きめの値を与えることが分かる。

表-2 ピーク点パラメータ式

最大圧縮強度 σ_f (MPa)	$g = 6.080 \cdot (f_c')^{0.05922}$
	$h = -0.3832 + (f_c')^{0.04893}$
ピークひずみ ε_c^p	$\varepsilon_0 = -0.02042 \cdot (f_c')^{0.06371} + 3.286 \times 10^{-5} \cdot f_c' + 0.02663$
	$i = -5.124 \times 10^{-4} \cdot (f_c' - 20)^{0.3405} + 0.01738$
	$j = -4.003 \times 10^{-4} \cdot (f_c' - 20)^{1.3980} + 0.4494$
	$m = -9.901 \times 10^{-4} \cdot (f_c' - 20)^{0.3210} - 0.01144$
	$n = 1.417 \cdot (f_c')^{0.09556} - 1.599$

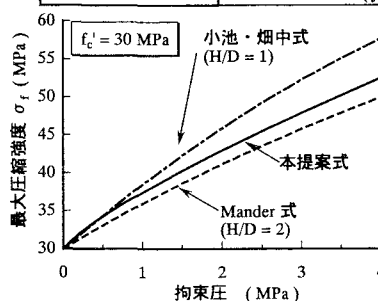


図-4 各提案式との比較
(最大圧縮強度)

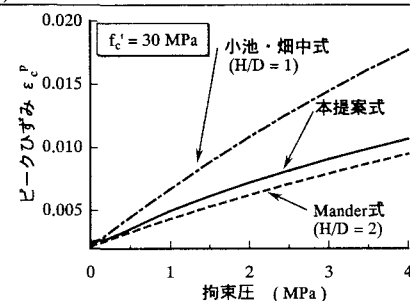


図-5 各提案式との比較
(ピークひずみ)

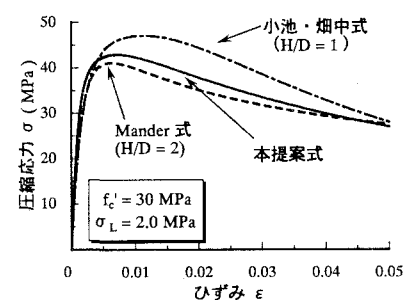


図-6 応力-ひずみ曲線の比較
($\sigma_L = 2.0$ MPa)

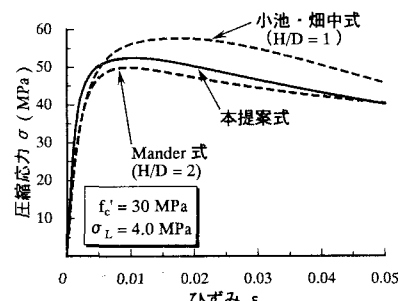


図-7 応力-ひずみ曲線の比較
($\sigma_L = 4.0$ MPa)

3. 既往の応力-ひずみ曲線との比較と考察

一例として、拘束圧が 2.0 MPa および 4.0 MPa、コンクリートの圧縮強度が 30 MPa の場合に対する応力-ひずみ曲線の比較を図-6 ならびに図-7 に示す。本提案式と Mander 式の応力-ひずみ曲線を比較すると、最大圧縮強度ならびにピークひずみに多少の差が見られるが、応力-ひずみ曲線については概ね類似した傾向がある。一方、本提案式と小池・畑中式の応力-ひずみ曲線とを比較すると、拘束圧の増加に伴いポストピーク領域で圧縮応力に有意な差が出ることが分かる。

4. まとめ

本研究では、一定拘束圧下でのコンクリートの応力-ひずみ曲線を定式化した。本提案式と Mander 式の応力-ひずみ曲線は類似した傾向があることが分かった。解析ケースとして、コンクリートの圧縮強度を 20 MPa ~ 70 MPa ならびに拘束圧を 0 MPa ~ 30 MPa と設定しているため、幅広い範囲でコンクリートの応力-ひずみ曲線を表現することができるようになった。今後は、他の研究者によるコンファインドコンクリートの応力-ひずみ曲線などと比較・考察し、本提案式の有効性を検討する必要がある。

謝辞

本研究は、平成 16 年度土木学会中部支部調査研究委員会ワークショップ助成金ならびに日本私立学校振興・共済事業団の学術研究振興資金により行ったことを記し、ここに謝意を表す。

参考文献

- 1) 水野英二, 畑中重光: 三軸圧縮下のコンクリートのひずみ軟化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, pp. 185-197, 1997. 8.
- 2) 畑中重光, 服部広巳, 吉田徳雄, 谷川恭雄: コンファインド高強度コンクリートの圧縮靱性とその評価, コンクリート構造物の靱性と配筋方法に関するシンポジウム論文集, pp. 3-15, 1990. 5.