三軸圧縮下におけるコンクリートの応力—ひずみ関係の定式化

中部大学 学員 〇志知昌人 中部大学 正員 伊藤 睦 中部大学 正員 水野英二

1. はじめに

拘束を受けるコンクリートの圧縮特性は横拘束状態に応じて強度と靱性が大きく改善されることが一般的 に知られており、このような三軸圧縮下のコンクリートの応力–ひずみ関係を明らかにすることは、部材の 耐力や変形性能を評価する上で有益である.よって本研究では、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て、ひずみ軟化型構成モデル¹⁾により求 めた、三軸圧縮下におけるコンクリートの応力–ひずみ関係の定式化を試みた.

2. 拘束を受ける応カーひずみ関係の定式化

2.1 応力-ひずみ関係の定式化

本研究では、図-1 示すような応力-ひずみ関係に対して、上昇 域では Iyenger 式²⁾、下降域では Ahmad 式²⁾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.

ひずみ軟化型構成モデルを用いた解析ケースとしては, **表**-1 に 示すように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. 10 MPa 以上の拘束圧が一般に 作用するケースは希であるが,コンクリート構造物の解析では局所 的に大きな拘束圧が作用する場合も考えられるため,本研究では拘 束圧 σ_L を30 MPa のレベルまで考慮した.

(1) 上昇域での定式化

Iyenger 式を修正し、次式 (1) を採用した. $q \cdot x + (q + 2 \cdot b - 1) \cdot x^2$

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

ここで、y は圧縮強度比 σ / σ_f (σ : 圧縮応力, σ_f : 最大圧縮強度), x はピーク軸ひずみ比 ϵ $/ \epsilon_c^p$ (ϵ : ひずみ, ϵ_c^p : 最大圧縮強度時のひ ずみ), また, α は E_i / E_{sec} (E_i : 弾性係数, E_{sec} : ピーク点での割線弾性係数) である. 式 (1) を 用いて回帰分析を実施した結果, 同定されたパラ メータ (a および b) 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.

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



表-1 解析ケース

コンクリート	弾性係数	拘束圧	
強度 f _c '(MPa)	E _i (MPa)	$\sigma_{ m L}$ (MPa)	
20	22, 384	0. 0, 0. 2, 0. 4, 0. 6,	
30	27, 415	0. 8, 1. 0, 1. 5, 2. 0,	
40	31, 656	2. 5, 3. 0, 3. 5, 4. 0,	
50	35, 392	5.0, 6.0, 8.0,	
60	38, 771	10.0, 15.0,	
70	41,877	20. 0, 30. 0	



式(2)を用いて回帰分析を実施した結果、同定されたパラメータ(cおよびd)値の変動を図-3に示す.

2.2 最大圧縮強度と最大圧縮強度時のひずみの定式化

本研究では、最大圧縮強度と拘束圧の関係およびピーク軸ひずみと拘束圧の関係をそれぞれ次式(3)お

キーワード 応力-ひずみ関係,コンファインドコンクリート,定式化,ひずみ軟化型構成モデル 連絡先 〒478-8501 愛知県春日井市松本町1200 中部大学工学部都市建設工学科 TEL 0568-51-9542

よび式(4)により仮定した.

$$\sigma_{f} = f_{c}' + g \cdot (\sigma_{L})^{h}$$
(3)
 $\varepsilon_{c}^{p} = \varepsilon_{0} + i \cdot \sigma_{L} + j \cdot (\sigma_{L})^{m}$ (4)
ここで, g, h, i, j, m および ε_{0} はパラメー
タである.特に, ε_{0} は拘束圧が 0 MPa (プレ

表 2	式 (3)	および式	(4)	中のパラメ	ータ表示式
10 4		0000	(7 /		ノエハム

最大圧縮強度	$g = 6.080 \cdot (f_c')^{0.05922}$	
σ _f (MPa)	$h = -0.3832 + (f_c')^{0.04893}$	
	$\varepsilon_0 = -0.02042 \cdot (f_c')^{0.06371} + 3.286 \times 10^{-5} \cdot f_c' + 0.02663$	
ピークひずみ	$i = -0.0005973 \cdot (f_c' - 20)^{0.35} + 0.0419$	
εc ^p	$j = -0.0005241 \cdot (f_c' - 20)^{0.3636} - 0.03668$	
	$m = -0.006259 \cdot (f_c' - 20)^{0.3544} + 1.028$	

ーンコンクリート)時の最大応力に対する軸ひずみ(ピーク軸ひずみ)である.式(3)および式(4)を用いてそれぞれ回帰分析を行い、一軸圧縮強度 f_c 'ごとに各パラメータを決定した.さらに、各パラメータと 一軸圧縮強度 f_c 'との関係についても回帰分析を行い、それらパラメータを表-2 に示すような一軸圧縮強度 f_c 'の関数として表現した.

3. 既往の応カーひずみ式との比較・検討

一例として,供試体の高さ幅比が1の円柱供試体を用いた三軸圧縮実験 結果³⁾と本提案式および既往の提案式による応力-ひずみ曲線とを比較し た.低拘束圧および高拘束圧の場合に対する比較結果をそれぞれ図-4 お よび図-5 に示す.低拘束圧の場合,星限ら⁴⁾の式,Mander ら⁵⁾の式お よび本提案式は最大圧縮応力ならびにピーク軸ひずみにて良い一致を示し ている(図-4 参照).また,中塚ら⁶⁾の式は最大圧縮応力を小さめの値 を予測する傾向にある.一方,下降域を比較すると,星限らの式および中 塚らの式では下降勾配が急となっている.これは,破壊領域が局所化する 供試体(供試体の高さ幅比 = 2)の実験結果を基に両式が定式化されてい ることに起因する.次に,高拘束圧の場合,星限らの式は最大圧縮応力を 大きめに,一方,Mander らの式は小さめに予測する傾向にある(図-5 参照).また,両式ともピーク軸ひずみは大きく予測する傾向にあり,低 拘束圧の場合に比べ精度は劣る.それに対し,本提案式は既往の式に比べ, 最大圧縮応力・ピーク軸ひずみを比較的良く予測していると思われる.

4. まとめ

- ひずみ軟化型構成モデルによる解析結果より一定拘束下(0 MPa ~ 30 MPa)にて圧縮強度が 20 MPa ~ 70 MPa の範囲にあるコンクリートの応力-ひずみ関係を定式化した.
- 2) 拘束圧が 0.8 MPa ~ 5.5 MPa, 圧縮強度が 34.5 MPa ~ 70.5 MPa の範囲の実験結果に対し,本提案式と 既往の提案式での再現性を比較した結果,本提案式ならびに Mander らの式がこれらの範囲で応力–ひず み関係を比較的に精度良く予測することが分かった.
- 3) 一方, 星隈らの式および中塚らの式では, 供試体内部で生ずる破壊の局所化の影響が出ていると思われ, ポストピークでの変形性能を過小評価する傾向にあることが分かった.

謝辞:本研究は、日本私立学校振興・共済事業団の学術研究振興資金ならびに平成 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.
- 3) 畑中重光,服部宏己,吉田徳雄,谷川恭雄:低側圧軸圧縮下の高強度コンクリートの塑性変形挙動,コンクリート工学年 次論文報告集, Vol.12, No2, pp.719-724, 1990.6
- 4) 星隈順一,川島一彦,長屋和宏:鉄筋コンクリート橋脚の地震時保有水平耐力の照査に用いるコンクリート応力–ひずみ 関係,土木学会論文集, No. 520/V-28, pp. 1-11, 1995. 8
- 5) Mander J. B., Priestley, M. J. N. and Park, R. : Theoretical Stress Strain Model for Confined Concrete, Jour. Of St. Eng. Proc. of ASCE, Vol. 114, No. 8, pp. 1804 1826, Aug. 1988.
- 6) 中塚佶, 阪井由尚, 中川裕史: コンファインドコンクリートの強度・変形特性推定式-コンファインドコンクリートの強度・変形特性に関する研究(その 2), 日本建築学会構造系論文集, 第 505 号, pp.93-99, 1998.3

80 fc'=34.5MPa, σ_L=1.0MPa ©実験結果 ©実験結果 (で) (ローン・ (ロー)) (ローン・ (ロー)) (ローン・ (ロー)) (ロー)) (ローン・ (ロー)) (ロー))





