

V-56

圧縮破壊エネルギーを介した コンファインド高強度コンクリートの平均化応力-ひずみ関係

東北大学大学院 学生会員 ○ 崔 松涛
東北大学大学院 正会員 秋山 充良
前田製管(株) 正会員 前田 直己
東北大学大学院 フェロー 鈴木 基行

1. はじめに

著者らは、コンクリート圧縮強度 120N/mm^2 、横拘束筋降伏強度 1400N/mm^2 までを用いた RC 角柱および RC 円柱の一軸圧縮実験を行い、その圧縮破壊特性を解明してきた^{1),2)}。既に RC 角柱を対象とした、コンファインドコンクリートの平均化応力-ひずみ関係を提案しており、それは、構成材料の強度に関わらず実験結果を良好に再現できること、および圧縮破壊エネルギーを介していることから、ひずみの平均化長さ(圧縮変位の計測値)によらず使用できること、などを報告している¹⁾。

本稿では、参考文献1)の手法をもとにすることで、普通強度から高強度構成材料まで用いた RC 角柱および RC 円柱に統一的に適用可能なコンファインドコンクリートの平均化応力-ひずみ関係を提案するものである。

2. 分析対象とした実験概要

著者らがこれまでに行ってきた実験供試体諸元の一覧を表-1に示す^{1),2)}。供試体諸元は、高さ750mm、一辺250mmの正方形断面を有する RC 角柱(66体)と、高さ900mm、直径300mmの円形断面を有する RC 円柱(33体)である。実験因子は、コンクリート圧縮強度 σ_c 、横拘束筋体積比 ρ_s 、横拘束筋降伏強度 f_{sy} 、および横拘束筋拘束形状である。

既に建築分野において、高強度構成材料を用いた部材実験は多数報告されているが、本実験供試体は、土木構造物、特に RC 橋脚の横拘束筋量を反映し、 ρ_s が2.0%以下と小さいこと、および、ひずみゲージを貼り付した異形角型アクリル棒を用いて部材軸方向のひずみ分布を実測し、破壊の局所化領域が定量化されている点の特徴である。表-1の供試体の圧縮破壊性状や、各実験因子のコンファインド効果に及ぼす影響は参考文献1),2)に示している。

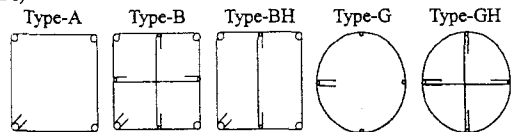
3. 圧縮破壊エネルギーの定量化

構成材料の強度、断面形状を含む横構造筋拘束形状の違い、および、ひずみの平均化長さ(圧縮変位の計測値)に関わらず統一的適用可能なコンファインドコンクリートの平均化応力-ひずみ関係を提案するため、まず、参考文献1)で定義した有効横拘束圧 p_e (式(1))を用いて、圧縮破壊エネルギー $G_{f,c}$ の回帰式を作成する。 p_e は、横拘束筋拘束形状、および高強度構成材料を用いた RC 柱では、横拘束筋が降伏しないことを考慮した指標である。なお、式(1)にある $f_{f,c}$ は、最大荷重時の横拘束筋ひずみの値を基に得られた式(2)から算定する。圧縮破壊エネルギーは、参考文献1)と同じく、破壊領域単位面積あたりの吸収エネルギー((荷重-全長変位関係で囲まれた面積)/(コアコンクリート断面積))で定義した。得られた $G_{f,c}$ の回帰式を式(3)に示し、回帰式と実験値の対応を図-1に示した。

表-1 供試体諸元の一覧(全99体)

σ_c (N/mm ²)	ρ_s (%)	f_{sy} (N/mm ²)	拘束形状 ^{注1)}
46.3	0.0	—	無拘束
84.8	0.32~0.51	317,1028,1288	Type-A
128	0.96~1.01	317,1288	Type-A
	1.92	1288	Type-A
39.2	0.0	—	無拘束
80.0	0.55~0.58	379,1420	Type-A, B
116	0.80~1.20	379,1420	Type-A, B, BH
	2.05~2.16	379,1420	Type-A, B
34.1	0.0	—	無拘束
65.3	0.54~0.57	1413	Type-G, GH
121,116	0.91~0.97	975,1413	Type-G, GH
	1.81~2.05	404,975,1413	Type-G, GH

注1)



$$p_e = k_e \rho_w f_{s,c} \quad (1)$$

$$f_{s,c} = E_s \left\{ 0.45 \varepsilon_{c0} + 2.75 \left(\frac{k_e p_w}{\sigma_{c0}} \right)^{0.8} \right\} \leq f_{sy} \quad (2)$$

$$\frac{G_{f,c}}{G_{f0}} = 1 + 85.5 \left(\frac{k_a^2 p_e}{\sigma_{c0}} \right) \quad (3)$$

$$k_a = 1 + k_e \frac{f_{sy} - f_{s,c}}{f_{sy}} \quad (4)$$

ここに、 E_s ：横拘束筋の弾性係数、 $\sigma_{c0}, \varepsilon_{c0}$ ：無拘束供試体の圧縮強度および圧縮強度発現時のひずみ、 k_e ：Mander ら³⁾の有効拘束係数、 ρ_w ：横拘束面積比、 G_{f0} ：無拘束供試体の圧縮破壊エネルギーである¹⁾。

4. 平均化応力-ひずみ関係の提案

有効横拘束圧を用いてコンファインドコンクリートの圧縮強度 σ_{cc} 、圧縮強度発現時のひずみ ε_{cc} を回帰分析し、式(5)、(6)を得た。圧縮軟化挙動は、 $G_{f,c}$ を介した式(7)により、応力が圧縮強度の50%にまで低下した時のひずみ ε_{50} を求め、これをCusson and Paultre のモデル⁴⁾に代入することで表現した。

$$\frac{\sigma_{cc}}{\sigma_{c0}} = 1 + 4.8 \left(\frac{p_e}{\sigma_{c0}} \right) \quad (5)$$

$$\varepsilon_{cc} = \varepsilon_{c0} + 0.8 \left(\frac{p_e}{\sigma_{c0}} \right) \quad (6)$$

$$\varepsilon_{50} = \varepsilon_{cc} + \frac{2}{3} \left(\frac{2G_{f,c}}{\sigma_{cc} L_m} - \frac{\sigma_{cc}}{E_c} \right) \quad (7)$$

図-2 に提案したコンファインドコンクリートの平均化応力-ひずみ関係と実験結果との比較の一例を示す。

実験値は、異形角型アクリル棒により得られた軸方向ひずみ分布において、圧縮強度発現後に、ひずみが増加する領域(破壊領域)長さ L_p から得られた平均化応力-ひずみ関係であり、また、この L_p を式(7)に代入したものが提案モデルによる計算値である。提案した平均化応力-ひずみ関係は、構成材料の強度、横拘束筋拘束形状、および、ひずみの平均化長さに関わらず、実験結果を良好に再現している。

5. まとめ

提案した平均化応力-ひずみ関係は、高い汎用性を有するものであり、実験結果と良く整合することを確認した。今後は、角柱と円柱における横拘束メカニズムの解明とそれを反映した提案モデルの修正、および、曲げを受ける部材の挙動予測への提案式の適用性を検討する予定である。

参考文献 1)秋山充良ら：普通強度から高強度までの構成材料を用いた RC 柱の一軸圧縮実験と圧縮破壊エネルギーを介したコンファインドコンクリートの平均化応力-ひずみ関係，土木学会論文集，(2005 年 5 月号掲載，印刷中)。2)阿部論史，前田直己，鈴木基行：普通強度から高強度までの構成材料を用いた RC 円柱の一軸圧縮実験，土木学会東北支部技術研究発表会，2005。3)Mander, J.B., Priestley, M.J.N. and Park, R. : Theoretical Stress-Strain Model For Confined Concrete, Journal of Structural Engineering, Vol.114, No.8, pp.1804-1826, 1988. 4)Cusson, D. and Paultre, P. : Stress-Strain Model for Confined High-Strength Concrete, Journal of Structural Engineering, ASCE, Vol.121, No.3, pp.468-477, 1995。

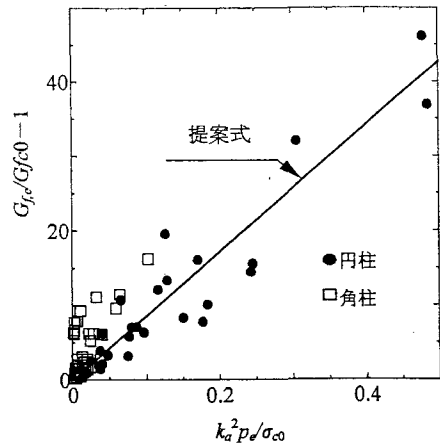


図-1 圧縮破壊エネルギー回帰分析

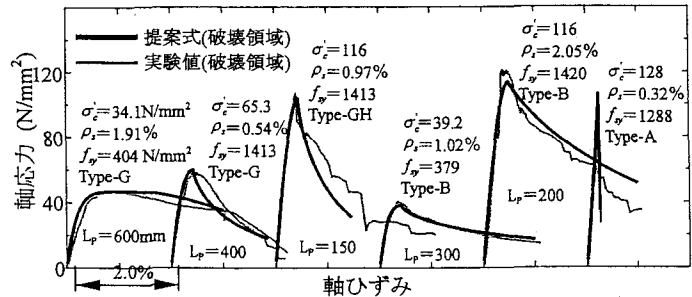


図-2 応力-ひずみ関係の比較