

コンクリート圧縮強度 120N/mm²と横拘束筋降伏強度 1400N/mm²までを用いた コンファインドコンクリートの平均化応力-ひずみ関係の定式化

東北大学大学院 学生員 ○佐々木敏幸

東北大学大学院 正会員 秋山充良

東北大学大学院 フェロー 鈴木基行

東北大学大学院 学生員 崔 松濤

東北大学大学院 学生員 阿部諭史

前田製管(株) 正会員 前田直己

1. はじめに

著者らは、構成材料の強度に関わらず適用可能なコンファインドコンクリートの平均化応力-ひずみ関係の構築を目的として、コンクリート圧縮強度 120N/mm²、横拘束筋降伏強度 1400N/mm²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再現可能であり、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(圧縮変位の計測長)によらず適用可能であること、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、構成材料の強度、断面形状によらず統一的使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。

2. 実験概要

著者らがこれまでにやってきた一軸圧縮実験に用いた供試体の諸元を表-1に示す^{1), 2)}。供試体形状は、高さ 750mm、一辺 250mm の正方形断面を有する角柱供試体(66 体)と、高さ 900mm、直径 300mm の円形断面を有する円柱供試体(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。本研究では、ひずみゲージを 5cm 間隔に貼付した異形角型アクリル棒を供試体中心部に設置することにより、部材軸方向のひずみ分布を測定している。なお、表-1に示す供試体の圧縮破壊性状や各実験因子が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

コンファインドコンクリートの圧縮破壊エネルギー G_{fc} は、参考文献 1)と同様に、破壊領域単位面積あたりの吸収エネルギー((荷重-全長変位曲線で囲まれた面積)/(コアコンクリート断面積))で定義した。得られた G_{fc} を式(1)に示す p'_e を用いて回帰式を作成する。式(1)中の $k_{e,v}$ は、圧縮力作用下の RC 柱で生じる断面内、および高さ方向のアーチ作用を考慮した係数で、円形断面に対しては式(2)で、矩形断面に対しては式(3)で与えられる。得られた G_{fc} の回帰式を式(4)に示し、回帰式と実験値の比較を図-1に示す。

$$p'_e = k_{e,v} \rho_w f_{sy} \quad (1)$$

$$k_{e,v} = \frac{2s' - 10s'd_s + 15d_s^2}{15d_s^2(1 - \rho_{cc})} \quad (2)$$

表-1 供試体諸元の一覧(全 99 体)^{1), 2)}

σ'_c (N/mm ²)	ρ_s (%)	f_{sy} (N/mm ²)	拘束形状 ^{注)}
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, 112	0.91~0.97	975,1413	Type-G,GH
	1.81~2.05	404,975,1413	Type-G,GH

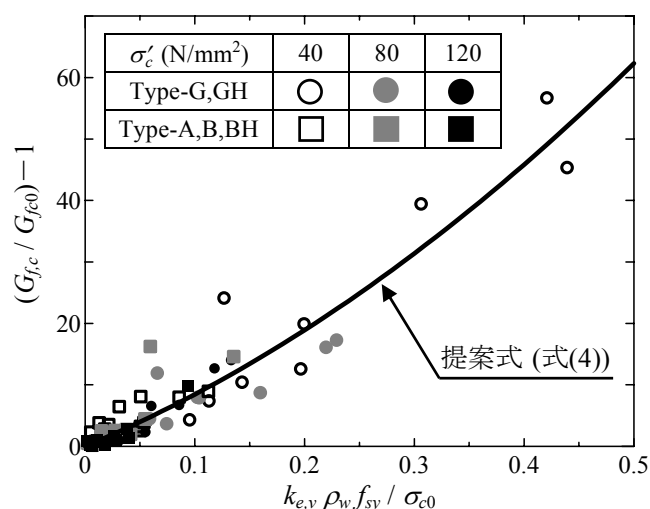
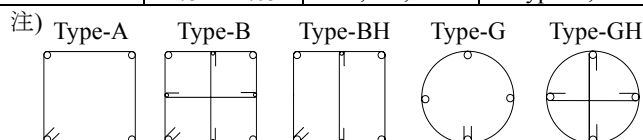


図-1 式(4)と実験値の比較

Key Words : 高強度コンクリート, 高強度鉄筋, 圧縮破壊エネルギー, コンファインドコンクリート

連絡先 : 〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-06 TEL : 022(795)7449 FAX : 022(795)7448

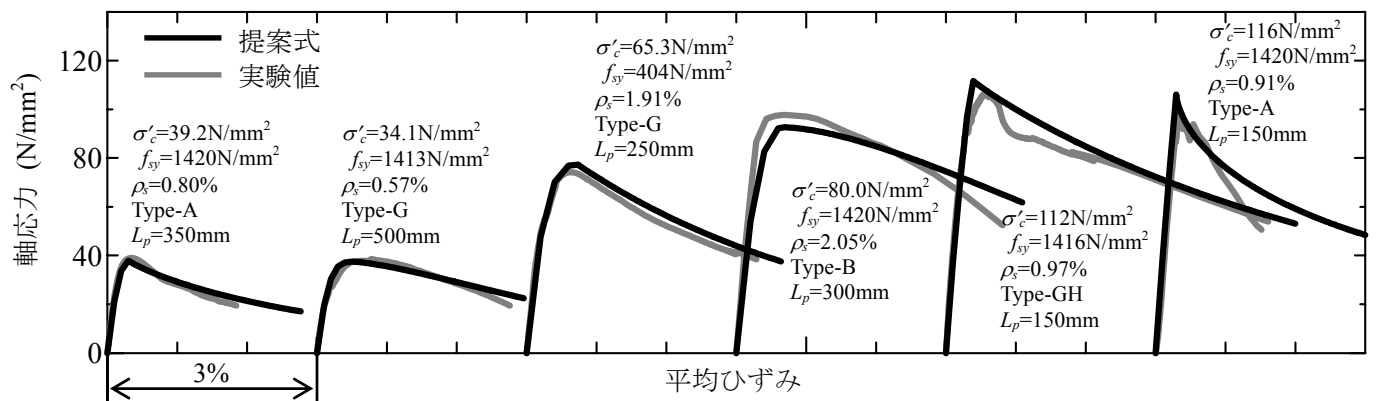


図-2 破壊領域の平均化応力-ひずみ関係の比較

$$k_{e,v} = \frac{\{2s'^2 - 5(b_c + d_c)s' + 15b_c d_c\}}{15b_c d_c(1 - \rho_{cc})} \left(1 - \sum \frac{(w'_i)^2}{6b_c d_c}\right) \quad (3)$$

$$G_{f,c} = G_{f,c0} \left\{1 + 100(p'_e / \sigma_{c0})^2 + 75(p'_e / \sigma_{c0})\right\} \quad (4)$$

ここに、 ρ_w ：横拘束筋面積比、 s' ：横拘束筋間の純間隔、 d_s ：コアコンクリートの直径、 b_c, d_c ：最外周にある横拘束筋の断面幅および断面高さ方向の間隔、 w'_i ：隣接する軸方向鉄筋間の純間隔、 ρ_{cc} ：コアコンクリート断面積に対する軸方向鉄筋比、 $G_{f,c0}$ ：無拘束供試体の圧縮破壊エネルギー、 σ_{c0} ：無拘束供試体の圧縮強度である。

4. 平均化応力-ひずみ関係の定式化

参考文献 1) で定義した有効拘束圧 p_e (式(5)) 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(7)、(8)を得た。 p_e は、高強度材料を用いた RC 柱では、圧縮強度発現時に横拘束筋が降伏しないことを考慮した指標であり、式(5)中の $f_{s,c}$ は圧縮強度発現時の横拘束筋作用応力で、圧縮強度発現時の横拘束筋ひずみの値を基に得られた式(6)から算定する。また、平均化応力-ひずみ関係の圧縮軟化挙動は、圧縮破壊エネルギー $G_{f,c}$ を介した式(9)により、圧縮強度発現後に応力が 50% 低下した時のひずみ ε_{50} を求め、これを Cusson and Paultre のモデル³⁾に代入することで表現した。

$$p_e = k_{e,v} \rho_w f_{s,c} \quad (5)$$

$$f_{s,c} = E_s \left\{0.45\varepsilon_{c0} + 6.4(k_{e,v} \rho_w / \sigma_{c0})^{0.88}\right\} \quad (6)$$

$$\sigma_{cc} = \sigma_{c0} \left\{1 + 2.28(p_e / \sigma_{c0})^{0.65}\right\} \quad (7)$$

$$\varepsilon_{cc} = \varepsilon_{c0} + 0.0766(p_e / \sigma_{c0}) \quad (8)$$

$$\varepsilon_{50} = \varepsilon_{cc} + \frac{2}{3} \left(\frac{2G_{f,c}}{\sigma_{cc} L_m} - \frac{\sigma_{cc}}{E_c} \right) \quad (9)$$

ここに、 E_s ：横拘束筋の弾性係数、 ε_{c0} ：無拘束供試体の圧縮強度発現時のひずみ、 L_m ：圧縮変位の計測長、 E_c ：コンクリートの弾性係数である。

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の比較を示す。実験値は異形角型アクリル棒により測定さ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)から得られた平均化応力-ひずみ関係であり、破壊領域長さ L_p を式(9)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

提案したコンファインドコンクリートの平均化応力-ひずみ関係は、構成材料の強度(コンクリート圧縮強度 34.1~128N/mm²、横拘束筋降伏強度 317~1420N/mm²)、横拘束筋拘束形状(Type-A, B, BH, G, GH)、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可能であることが確認された。

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) 阿部諭史，秋山充良，鈴木基行，前田直己，佐々木敏幸，崔松涛，渡邊正俊：高強度構成材料を用いた RC 円柱の一軸圧縮実験とコンファインド効果の考察，土木学会第 60 回年次学術講演会，2005。
- 3) 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.