

コンクリート圧縮強度 120N/mm^2 と横拘束筋降伏強度 1400N/mm^2 までを対象としたコンファインドコンクリートの応力－ひずみ関係

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 洪 起男
 (株) 安部工業所 正会員 鈴木 将 前田製管 (株) 正会員 前田直己

1. はじめに

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/mm^2 、横拘束筋降伏強度 1400N/mm^2 までを用いた RC 柱の一軸圧縮実験を行った。一軸圧縮実験の際には、5cm 毎にひずみゲージを貼付した異形角型アクリル棒を断面中央位置に埋め込むことで、部材軸方向のひずみ分布を測定した¹⁾。そして、圧縮破壊エネルギーをコンファインド効果に關係する因子を用いて回帰分析し、それを定量化することで、エネルギー基準によるコンファインドコンクリートの応力－ひずみ関係を提案した。

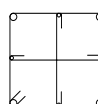
2. 実験概要

実験供試体諸元の一覧を表-1に示す。本研究で用いる全ての供試体は、高さ750mm、一辺250mmの正方形断面を有する。破壊が柱脚部と試験機との拘束部付近に集中することを避けるため、供試体上下端75mmの範囲では横拘束筋を密に配筋している。実験因子は、コンクリート圧縮強度 σ_{ck} ($39.2 \sim 116\text{N/mm}^2$)、横拘束筋体積比 ρ_s ($0.55 \sim 2.16\%$)、横拘束筋降伏強度 σ_{sy} ($379, 1420\text{N/mm}^2$)、および横拘束筋拘束形状 (Type-A, Type-B) である。

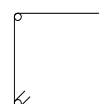
表-1 供試体諸元の一覧 (全36体)

$\sigma_{ck}(\text{N/mm}^2)$	$\rho_s(\%)$	$\sigma_{sy}(\text{N/mm}^2)$	拘束形状 ^{注1)}
39.2 80.0 116	0.0	—	無拘束
	0.55~	379	Type-A
	0.58	1420	Type-A, B
	0.80~	379	Type-A
	1.20	1420	Type-A, B
	2.05~	379	Type-A
	2.16	1420	Type-A, B

注1)



拘束形状 Type-A



拘束形状 Type-B

荷重は、10MN 大型荷重試験装置により行った。荷重荷重方法は、変位制御による静的単調荷重であり、圧縮軟化挙動測定のため、予想最大荷重の80%程度を境に荷重速度を落としている。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⁾に示している。

3. 圧縮破壊エネルギーの定量化

一軸圧縮実験より、(i) 横拘束を受けるコンクリートでは、ひずみが急増する領域 (局所化領域) と除荷される領域の他に、ひずみが大きく増減しない遷移域が存在すること、(ii) コンクリート圧縮強度や横拘束筋降伏強度が大きい場合、圧縮強度時に横拘束筋は降伏せず、普通強度 RC 柱で行われるような横拘束筋降伏強度を用いたコンファインド効果の評価ができないこと、などが明らかとなった。本研究では、供試体全体の応力－変位関係と局所化領域のひずみ値の積分から求めた応力－変位関係の比較から、異形角型アクリル棒に貼付したひずみゲージの値が圧縮強度時ひずみの2倍以上に達する領域を局所化領域 L_P と定義した。そして、コンファインドコンクリートの圧縮強度後、応力が50%低下するまでの応力－変位曲線下の面積で圧縮破壊エネルギー G_{fcc} を定義し、 G_{fcc} は、圧縮強度時に横拘束筋に作用する実際の応力 $f_{s,c}$ (式(1))を用いた有効拘束圧 p_e (式(2))²⁾により回帰分析した。 G_{fcc} の回帰式を式(3)に示し、式(3)と実験より得られた圧縮破壊エネルギーの関係を図-1に示す。

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

連絡先: 〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉06 TEL: 022(217)7449 FAX: 022(217)7448

$$f_{s,c} = E_s \left\{ 0.45\varepsilon_{c0} + 0.73 \left(\frac{k_e \rho_w}{\sigma_{c0}} \right)^{0.7} \right\} \quad (1)$$

$$p_e = k_e \rho_w f_{s,c} \quad (2)$$

$$G_{fcc}/\sigma_{c0} = G_{fc0}/\sigma_{c0} + 401(p_e/\sigma_{c0}) \quad (3)$$

ここに、 E_s ：横拘束筋の弾性係数、 σ_{c0} 、 ε_{c0} ：無拘束供試体の圧縮強度および圧縮強度時のひずみ、 k_e ：Manderら³⁾の有効横拘束係数、 ρ_w ：横拘束筋面積比、 G_{fc0} ：無拘束供試体の圧縮破壊エネルギー。

4. 応力－ひずみ関係の定式化

有効拘束圧 p_e を用いてコンファインドコンクリートの圧縮強度 σ_{cc} 、圧縮強度時のひずみ ε_{cc} を回帰分析した結果、式(4)および式(5)を得た。

$$\sigma_{cc}/\sigma_{c0} = 1.0 + 1.3(p_e/\sigma_{c0})^{0.43} \quad (4)$$

$$\varepsilon_{cc} = \varepsilon_{c0} + 0.023(p_e/\sigma_{c0})^{0.63} \quad (5)$$

圧縮軟化挙動は、圧縮破壊エネルギーとひずみの平均化長さ L_{elm} で決定される勾配を有する一次直線で表現する。この場合、応力が圧縮強度の50%まで低下した時点のひずみ ε_{50} は、式(6)で与えられる⁴⁾。

$$\varepsilon_{50} = \frac{4}{3} \frac{G_{fcc}/L_{elm}}{\sigma_{cc}} + \varepsilon_{cc} - \frac{2\sigma_{cc}}{3E_c} \quad (6)$$

図-2に、提案したコンファインドコンクリートの応力－ひずみ関係と実験結果との比較の一例を示す。図-2の左図は、 L_{elm} を実験供試体高さ750mmとした場合であり、

右図は L_{elm} を前記した局所化領域長さ L_P とした場合である。なお、図-2において、最大応力点 (σ_{cc} 、 ε_{cc}) までの応力－ひずみ関係には、Fafitis and Shah のモデル⁵⁾を使用している。図-2に示されるように、提案した応力－ひずみ関係は、コンクリート圧縮強度や横拘束筋降伏強度の大きさ、また横拘束筋拘束形状に関わらず実験結果を良く再現した。さらに、圧縮破壊エネルギーを用いることにより、ひずみの平均化長さに依存することなく、コンファインドコンクリートの応力－ひずみ関係を求めることができる。

5. まとめ

提案したコンファインドコンクリートの応力－ひずみ関係は、(i) 構成材料の強度 (コンクリート圧縮強度 (39.2～116N/mm²), 横拘束筋降伏強度 (379, 1420N/mm²)), (ii) 横拘束筋拘束形状 (Type-A, Type-B), (iii) ひずみの平均化長さ、に関わらず適用可能であることが確認された。今後は、円形を含む他の拘束形状や断面幅に対する高さの比を変化させた RC 柱の一軸圧縮実験を行い、その結果を式(1)～(6)に反映させることで、より汎用的なコンファインドコンクリートの応力－ひずみ関係を提案する予定である。

参考文献 1) 秋山充良, 鈴木将, 鈴木基行, 洪起男, 佐々木敏幸, 前田直己: 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 RC 柱の一軸圧縮実験, 土木学会第 59 回年次学術講演会, 2004. 2) 秋山充良, 洪起男, 佐藤成禎, 鈴木将, 前田直己, 鈴木基行: 一軸圧縮を受ける高強度 RC 柱における横拘束筋の拘束効果と応力－ひずみ関係の定式化に関する実験的研究, 土木学会論文集, No.753/V-62, pp.137-151, 2004. 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) 平野貴規, 中村光, 斎藤成彦, 檜貝勇: 一軸圧縮を受ける拘束コンクリートの破壊性状の推定, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.24, No.2, pp.145-150, 2004. 5) Fafitis, A. and Shah, S.P.: Lateral Reinforcement for High-Strength Concrete Columns, High-Strength Concrete, SP-87, ACI, Detroit, Mich., pp.231-232, 1985.

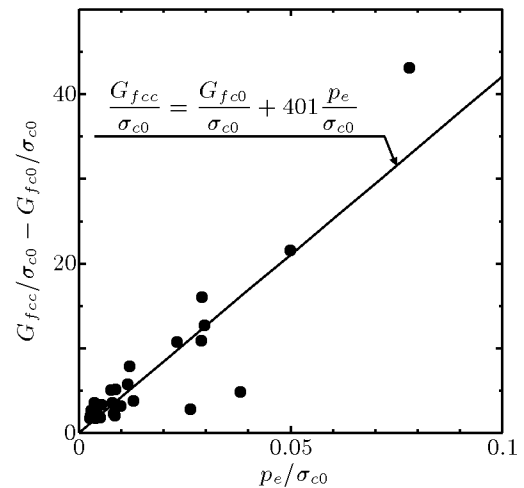


図-1 圧縮破壊エネルギーと p_e の関係

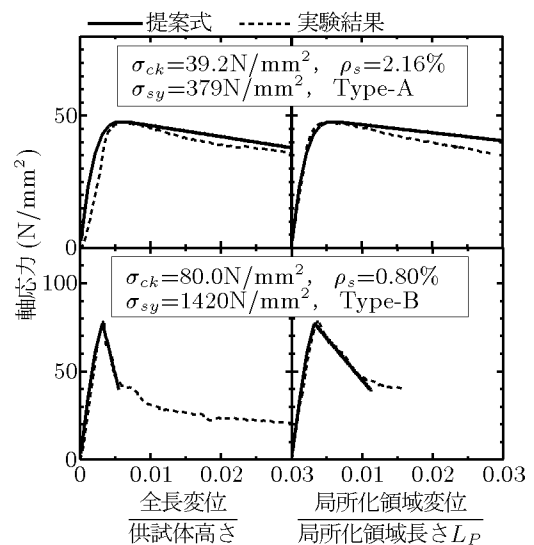


図-2 提案式と実験結果の比較