

北海道大学大学院工学研究科	学生員	石川徹也
北海道大学工学部土木工学科	学生員	大原祥治
北海道大学大学院工学研究科	フェロー	大沼博志
北海道大学大学院工学研究科	正会員	出雲健司

1. はじめに

鋼繊維補強コンクリートのように、拘束効果のあるコンクリートの力学的挙動は多軸応力状態の観点より論ずることが可能である。本研究では、3 方向から独立した荷重を作用させることができる純 3 軸圧縮試験機を用いて、任意の応力径路に対する鋼繊維補強高強度コンクリートの終局強度およびひずみを求め、その破壊包絡線の表示式を算定した。さらに増分型歪弾性モデルを用いて解析を行い、解析結果と実験結果の比較から、提案した破壊包絡線の表示式が多軸応力状態を考慮した破壊基準として適用可能かを評価した。

2. 実験の概要

実験には普通ポルトランドセメントを使用した。細骨材および粗骨材は、それぞれ海砂および最大粗骨材寸法 10mm の玉砂利を使用し、比重はそれぞれ 2.67 および 2.65 であった。コンクリートの配合はスランプ値が 15.0cm、水セメント比が 27.0%，細骨材率が 44.5%とし、混和剤は高性能 AE 減水剤を使用した。鋼繊維は長さ 9mm のものをコンクリート容積の 1.0%混入した。供試体寸法は 10×10×10cm の立方体を用いた。材齢 28 日におけるφ10×20cm の円柱供試体の一軸圧縮強度は 81.4N/mm²であった。試験機は各主応力方向の荷重を独立させて任意に与えることができる純 3 軸圧縮試験機(各方向の最大容量：2000kN)を使用した。

3 軸圧縮試験には Rendulic 応力面試験と偏差応力面試験を採用した。Rendulic 応力面試験の载荷方法は、側圧を一定保持しながら軸圧を増加させる側圧一定試験と、軸圧を一定保持しながら側圧を増加させる軸圧一定試験の 2 通りあり

$$\frac{\tau_{oc}}{\sigma_c} = -0.0442 + 0.8664 \left(\frac{\sigma_{oct}}{\sigma_c} \right) - 0.138 \left(\frac{\sigma_{oct}}{\sigma_c} \right)^2 \quad (1)$$

$$\frac{\tau_{oc}}{\sigma_c} = 0.0634 + 1.355 \left(\frac{\sigma_{oct}}{\sigma_c} \right) - 0.3689 \left(\frac{\sigma_{oct}}{\sigma_c} \right)^2 \quad (2)$$

$$\tau_{oc}(\theta) = \frac{2\tau_{oc}(\tau_{oc}^2 - \tau_{oc}^2)\cos\theta + \tau_{oc}(2\tau_{oc} - \tau_{oc})\sqrt{4(\tau_{oc}^2 - \tau_{oc}^2)\cos^2\theta + 5\tau_{oc}^2 - 4\tau_{oc}\tau_{oc}}}{4(\tau_{oc}^2 - \tau_{oc}^2)\cos^2\theta + (\tau_{oc} - 2\tau_{oc})^2} \quad (3)$$

$$\frac{\gamma_{oc}}{\varepsilon_{cu}} = 3.9534 + 0.109 \left(\frac{\varepsilon_{oct}}{\varepsilon_{cu}} \right) \quad (4)$$

$$\frac{\gamma_{oc}}{\varepsilon_{cu}} = 3.6885 + 2.1315 \left(\frac{\varepsilon_{oct}}{\varepsilon_{cu}} \right) \quad (5)$$

$$\gamma_{oc}(\theta) = \frac{2\gamma_{oc}(\gamma_{oc}^2 - \gamma_{oc}^2)\cos\theta + \gamma_{oc}(2\gamma_{oc} - \gamma_{oc})\sqrt{4(\gamma_{oc}^2 - \gamma_{oc}^2)\cos^2\theta + 5\gamma_{oc}^2 - 4\gamma_{oc}\gamma_{oc}}}{4(\gamma_{oc}^2 - \gamma_{oc}^2)\cos^2\theta + (\gamma_{oc} - 2\gamma_{oc})^2} \quad (6)$$

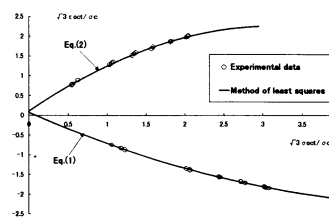


図-1 終局強度包絡線 (Rendulic 応力面上)

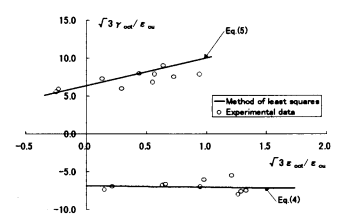


図-3 終局ひずみ包絡線 (Rendulic 応力面上)

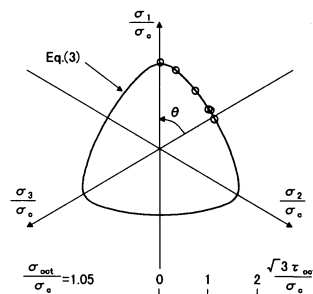


図-2 終局強度包絡線 (偏差応力面上)

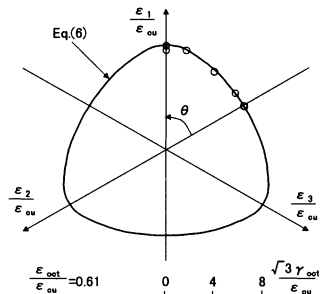


図-4 終局ひずみ包絡線 (偏差応力面上)

キーワード：鋼繊維補強高強度コンクリート，三軸圧縮応力，破壊包絡線，増分型歪弾性モデル

連絡先：〒060-8628 北海道札幌市北区北 13 条西 8 丁目

TEL：011-706-7276 FAX：011-706-7275

る。偏差応力面試験の载荷方法は、まず静水圧軸に沿ってあらかじめ定めた八面体直応力 70.0N/mm^2 を加え、その後この八面体直応力を一定保持しながら、3 主応力を任意の割合で変化させ、偏差応力面上で破壊に至らせるものである。

3. 実験結果および解析結果

Rendulic 応力面上および偏差応力面上の終局強度およびひずみの実験結果と破壊包絡線を図-1~4 に示す。図中のプロット点は鋼繊維補強高強度コンクリートの実験値、実線は八面体応力および八面体ひずみを用い、最小自乗法によって導いた破壊包絡線であり、式(1)~(6)で表される。ただし、式(3)および(6)は 5 パラメータモデルの表示式を採用した。図から明らかなように、Rendulic 応力面上および偏差応力面上の終局強度および終局ひずみは提案した破壊包絡線と良く一致していることがわかる。したがって、応力およびひずみ空間内における、鋼繊維補強高強度コンクリートの任意の終局強度および終局ひずみは、式(1)~(6)を組み合わせることにより算定できると考える。

側圧一定試験と軸圧一定試験より得られた応力-ひずみ曲線を図-5 および図-6 に示す。図中の凡例は拘束応力を示している。拘束応力の増加に伴いコンクリート内部のマイクロクラックの成長が抑制され、コンクリートの性質が脆性から延性へと変化していることが良くわかる。

偏差応力面試験で任意の応力径路に沿って载荷して得られた実験結果(点線)と増分型歪弾性モデルを用いて得られた解析結果(実線)との比較を図-7 に示す。解析は増分型歪弾性モデルに式(1)~(6)の表示式を組み合わせることにより行った。図より、任意の応力径路に沿った鋼繊維補強高強度コンクリートの応力-ひずみ非線形挙動は、増分型歪弾性モデルを用いて算定できることが示された。また、式(1)~(6)の破壊包絡線の表示式は、3 次元の構造物に対し非線形解析する場合、多軸応力状態を考慮した終局強度および終局ひずみ基準として適用可能であると考ええる。

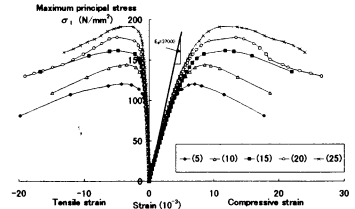


図-5 応力-ひずみ曲線
(側圧一定)

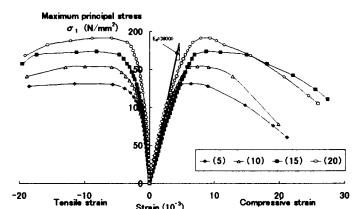


図-6 応力-ひずみ曲線
(軸圧一定)

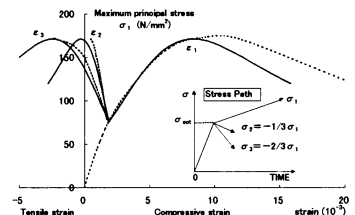


図-7 解析結果
(偏差応力面試験)

4. まとめ

本研究から、以下の結論が得られた。

- (1) 鋼繊維補強高強度コンクリートの Rendulic 応力面上および偏差応力面上における終局強度および終局ひずみは、提案した破壊包絡線の表示式を用いて算定可能であることが示唆された。
- (2) 提案した破壊包絡線の表示式は 3 次元の構造物に対し非線形解析する場合、多軸応力状態を考慮した終局強度およびひずみ基準として適用可能であることが示された。

参考文献

- 1) 石川徹也ほか：三軸圧縮応力を受ける高強度コンクリートの力学的特性および解析的検討，セメント・コンクリート論文集，No.53，pp.642-649，1999
- 2) D.Darwin et al：Nonlinear Biaxial Law for Concrete，ASCE EM Division，pp.229-241，1977
- 3) I.P.Saenz：Discussion of "Equation of the Stress-Strain Curve of Concrete" by P.Desayi and Krishanan，ACI Journal，vol.61，No.9，pp.1229-1235，1964