

V-47 コーベルのせん断耐力に対する軟化せん断要素モデルの適用性

日本大学大学院 学生員 ○阿左美浩嗣

日本大学工学部 正会員 原 忠勝

1. はじめに

近年、諸外国においてコンクリートの構成則に関する研究が進み、RC部材などにひずみ軟化を考慮した構成則を適用して解析する研究が進められている。

本研究は、RC部材のせん断要素のつり合いモデルにひずみ軟化を考慮した構成則を適用（以下、軟化せん断要素モデルと称す。）し、コーベルのせん断耐力を評価すると同時に、その適用性を検討するものである。

2. 軟化せん断要素モデルを用いた解析

解析に用いた軟化せん断要素モデルは、MauとHsu [1] の概念を図-1に示すようなコーベルに適用したものである。本解析は、コーベル内の圧縮およびせん断応力を受けるせん断要素のつり合いにより、せん断応力すなわちせん断耐力を評価するものである。

解析に先立って、せん断要素内に存在する有効圧縮応力 p とせん断応力 V/bd の比と、せん断スパンと高さの比 a/h の間には、ディープビームに用いられていると同様の関係（図-2）がコーベルにも適用できると仮定した。これより、せん断要素内の有効せん断応力 v （式-1）より、有効圧縮応力 p と有効せん断応力 v の関係（式-2）を得る。

$$v = \frac{V}{b \cdot d} \quad \text{----- (1)}$$

$$p = K \cdot v \quad \text{----- (2)}$$

次に、鉄筋コンクリート要素の応力状態は、図-3に示すようにコンクリートと鉄筋がそれぞれ負担する応力の重ね合わせで表現される。ここで、RC要素の応力状態とせん断要素の応力状態が等しいと仮定することにより応力の釣合方程式（式-3）を、またひずみが一様に分布していると仮定するとモールのひずみ円からひずみの適合条件式（式-4）を得ることができる。

$$f_x = f_2 \cos^2 \theta + f_1 \sin^2 \theta + \rho x \cdot f_{sx} = 0 \quad \text{---- (3 a)}$$

$$f_y = f_2 \sin^2 \theta + f_1 \cos^2 \theta + \rho x \cdot f_{sy} = -p \quad \text{---- (3 b)}$$

$$\tau_{xy} = (f_2 - f_1) \sin \theta \cos \theta = -v \quad \text{---- (3 c)}$$

$$\varepsilon_x = \varepsilon_2 \cos^2 \theta + \varepsilon_1 \sin^2 \theta \quad \text{---- (4 a)}$$

$$\varepsilon_y = \varepsilon_2 \sin^2 \theta + \varepsilon_1 \cos^2 \theta \quad \text{---- (4 b)}$$

$$\gamma_{xy} = 2(\varepsilon_2 - \varepsilon_1) \sin \theta \cos \theta \quad \text{---- (4 c)}$$

主圧縮応力 f_2 および主引張応力 f_1 の決定に際しては、VecchioとCollins [2] [3] により提案されたひずみ軟化を考慮した構成則を適用した（図-4）（式-5, 6, 7）。

本解析に用いる式は、ゼロから単調増加する圧縮ひずみ ε_2 に

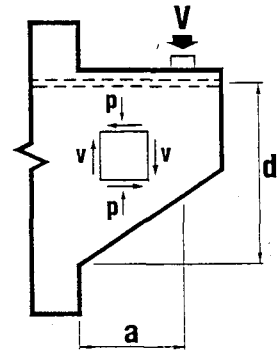


図-1 コーベルに対する応力状態の仮定

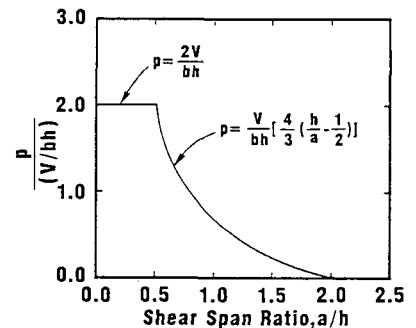


図-2 有効圧縮応力の評価

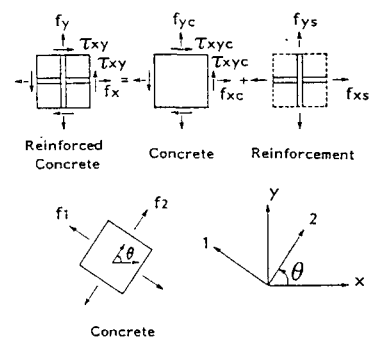
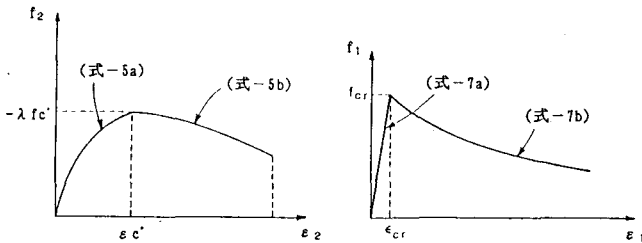


図-3 RC要素の応力状態

支配される。よって、初めに主ひずみ ($\varepsilon_1, \varepsilon_2$) を仮定し、繰返し計算を行うことによって最大せん断耐力を得るものである。図-5 に計算手順をフローチャートにして示す。

$$\begin{aligned} \varepsilon_2 &\leq \varepsilon_{c'} & f_2 &= \lambda f'_c \cdot [2 (\varepsilon_2 / \lambda \cdot \varepsilon_{c'}) - (\varepsilon_2 / \lambda \cdot \varepsilon_{c'})^2] & \text{--- (5 a)} \\ \varepsilon_2 &> \varepsilon_{c'} & f_2 &= -\lambda f'_c \cdot [1 - (\frac{\varepsilon_2 / \varepsilon_{c'} - \lambda}{2 - \lambda})^2] & \text{--- (5 b)} \\ & & \lambda &= 1 / (0.7 - \varepsilon_1 / \varepsilon_2)^{0.5} & \text{--- (6)} \\ \varepsilon_1 &\leq \varepsilon_{cr} & f_1 &= E_c \cdot \varepsilon_1 & \text{--- (7 a)} \\ \varepsilon_1 &> \varepsilon_{cr} & f_1 &= \frac{f_{cr}}{1 + \sqrt{500 (\varepsilon_1 - \varepsilon_{cr})}} & \text{--- (7 b)} \\ f_1 (\varepsilon_y < \varepsilon_{xy}) &= \frac{f_2 (K \sin \theta \cos \theta - \sin^2 \theta) - \rho_y E_s \varepsilon_y}{K \sin \theta \cos \theta + \cos^2 \theta} & \text{--- (8 a)} \\ f_1 (\varepsilon_y \geq \varepsilon_{xy}) &= \frac{f_2 (K \sin \theta \cos \theta - \sin^2 \theta) - \rho_y f_{yy}}{K \sin \theta \cos \theta + \cos^2 \theta} & \text{--- (8 b)} \\ \cos^2 \theta (\varepsilon_x < \varepsilon_{xy}) &= \frac{f_1 + \rho_x E_s \varepsilon_x}{f_1 - f_2 + \rho_x E_s (\varepsilon_2 - \varepsilon_1)} & \text{--- (9 a)} \\ \cos^2 \theta (\varepsilon_x \geq \varepsilon_{xy}) &= \frac{f_1 + \rho_x f_{xy}}{f_1 - f_2} & \text{--- (9 b)} \end{aligned}$$



(a) 圧縮応力とひずみの関係 (b) 引張応力とひずみの関係

図-4 コンクリートの応力ひずみ関係

3. 解析結果と実験結果の比較

コーベルに対する本解析モデルの適用性を検討するために、1981年に原ら [4] が行ったコーベルの実験結果 (計18体) を用いて比較を行った。図-6 に示すように、本解析モデルにおける計算値は、 a/d が大きくなる ($a/d \geq 0.5$) とせん断耐力を過大に評価する傾向が見られた。

4. まとめ

本研究はMauとHsuによって提案された、軟化せん断要素モデルをコーベルに用い、その適用性を検討したものである。本来、MauとHsuの提案するこの解析モデルは、ディープビームに軸方向筋および配力鉄筋が配置されている場合のみに適用するものである。本解析を腹部に鉛直または水平方向の鉄筋を有しないコーベルに用いた場合、 a/d の小さい領域 ($a/d=0.3$) ではある程度の精度が得られた。しかし、 a/d が大きくなる ($a/d \geq 0.5$) とせん断耐力を過大に評価する結果となり、 $a/d \leq 1.0$ という条件下でのコーベルへの適用性はまだ不十分であると言える。

【参考文献】

- 1) Mau, S. T., and Hsu, T. T. C.: Shear Strength Prediction for Deep Beams with Web Reinforcement, ACI Journal, Vol. 84, No. 6, pp. 513-523, Nov.-Dec. 1987
- 2) Vecchio, F., and Collins, M. P.: Stress-Strain Characteristics of Reinforced Concrete in Pure Shear, Final Report, IABSE (Delft, 1981), pp. 211-225
- 3) Vecchio, F. J., and Collins, M. P.: The Modified Compression-Field Theory for Reinforced Concrete Elements Subjected to Shear, ACI Journal, Vol. 83, No. 2, pp. 219-231, Mar. Apr. 1986
- 4) 原忠勝, 北田勇輔: a/d の小さいRC片持部材のせん断破壊に関する実験検討, 第5回コンクリート工学年次論文報告集, pp. 353-365, 1983

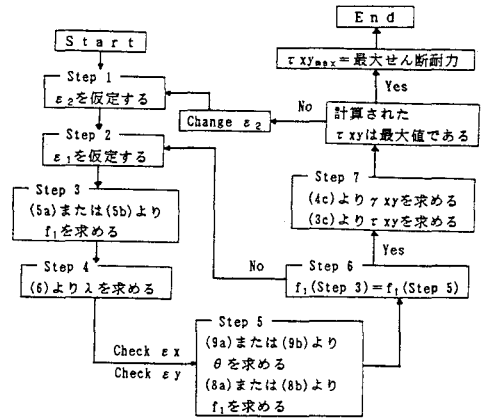


図-5 解析のフローチャート

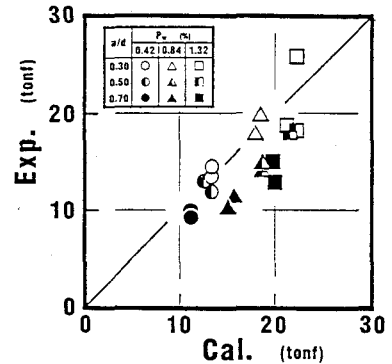


図-6 解析結果と実験結果の比較