

繰返し大変形を受ける RC 単柱の圧縮ストラット角度に関する考察

*武蔵工業大学 学生会員 ○白子 将則
 *武蔵工業大学 正会員 吉川 弘道
 **東急建設(株) 正会員 服部 尚道

1. はじめに

繰返し大変形を受ける RC 単柱において、コンクリート負担分のせん断強度が低下することが知られている¹⁾。一般に、コンクリート負担分のせん断耐力は、作用せん断力からせん断補強筋負担分や軸力負担分を差し引いて評価される。ここで、せん断補強筋負担分の算定には、圧縮ストラット角度を $\theta = 45^\circ$ とした塑性トラス理論が用いられているが、既往の実験的成果から必ずしも $\theta = 45^\circ$ にならないことが指摘されている¹⁾。そこで、既往の実験結果を用い、圧縮ストラット角度の推定方法について検証した。

2. 圧縮ストラット角度の推定方法

本論では、圧縮ストラット角度を実験結果から推定する方法として Mohr の応力円、ひずみ円から求められる応力場主角 (θ_σ) とひずみ場主角 (θ_ε)、理論的な推定方法として Kim & Mander 式²⁾から求められる角度 (θ_{KM}) を用いることとした。以下に、算定方法を示す。

(1) 応力場主角、ひずみ場主角

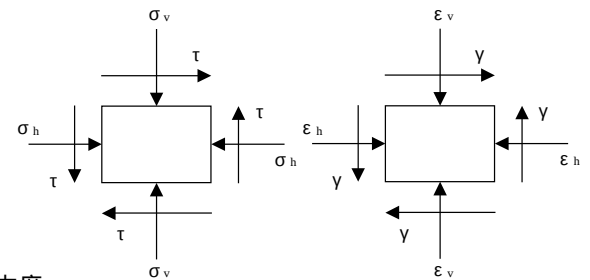
応力場主角、ひずみ場主角の算定式を式(1)、(2)に、微小要素における応力成分、ひずみ成分の概略図を図-1 に示す。ここで、 ε_v 、 ε_h 、 γ は変位計で計測した実験値、 σ_v は作用軸圧縮応力度、 σ_h は常時 0 とする。

$$\tan 2\theta_\sigma = \frac{2\tau}{\sigma_v - \sigma_h} \dots (1)$$

θ_σ : 応力場主角 σ_v : 作用軸圧縮応力度
 τ : せん断応力 σ_h : 横方向応力

$$\tan 2\theta_\varepsilon = \frac{\gamma}{\varepsilon_v - \varepsilon_h} \dots (2)$$

θ_ε : ひずみ場主角 ε_v : 軸方向ひずみ
 γ : せん断ひずみ ε_h : 横方向ひずみ



(1) 応力成分 (2) ひずみ成分

図-1 応力場、ひずみ場の概略図

(2) Kim & Mander における提案式²⁾

弾性梁理論から導かれた式(3)は、圧縮ストラット角度 θ_{KM} が一義的に求まるものである。ただし、軸力の影響は考慮されていない。

$$\theta_{KM} = \tan^{-1} \left(\frac{\rho_v n + \zeta \frac{\rho_v A_v}{\rho_t A_g}}{1 + \rho_v n} \right)^{\frac{1}{4}} \dots (3)$$

θ_{KM} : 圧縮ストラット角度 n : 弾性係数比
 ρ_v : 帯鉄筋比 E_c : コンクリートの弾性係数 (N/mm^2)
 ρ_t : 主鉄筋比 E_s : 鉄筋の弾性係数 (N/mm^2)
 A_g : 柱の全断面積 (mm^2) ζ : 柱の固定条件(両端固定 :0.5704, 片側固定 :1.5704)
 A_v : せん断面積 (mm^2)

表-1 試験体諸元³⁾

試験体	柱断面 (mm ²)	せん断スパン長 (mm)	有効高さ (mm)	曲げせん断 耐力比	繰返し回数	軸圧縮 応力度	軸方向鉄筋			帯鉄筋			コンクリート	
						鉄筋比	降伏強度	ヤング率	鉄筋比	降伏強度	ヤング率	圧縮強度	ヤング率	
						(MPa)	ρ (%)	f_{sy} (MPa)	E_s (MPa)	ρ_v (%)	f_{wy} (MPa)	E_w (MPa)	f_c (MPa)	E_c (MPa)
S12-1-3	320 × 320	1200	296	1.2	3 回	1	2.5	387	1.86×10^5	0.06	267	1.83×10^5	19.6	2.16×10^4
S12-3-3				3		23.8							2.27×10^4	
S15-0-3				0		23.1							2.20×10^4	
S15-1-3				1		19.6							2.16×10^4	
S15-3-3				10 回	3	23.5				2.38×10^4				
S15-1-10					1	23.3				2.12×10^4				
S15-3-10					3	24.7				2.39×10^4				

キーワード: 圧縮ストラット角度, コンクリート負担分のせん断強度, せん断強度低下

連絡先 *〒158-8557 東京都世田谷区玉堤 1-28-1 TEL:03-3703-3111(内線:3241) FAX:03-5707-2125

**〒150-8340 東京都渋谷区渋谷 1-16-14 渋谷地下鉄ビル TEL:03-5466-5280(内線:3384) FAX:03-3797-7547

3. 圧縮ストラット角度の検証

圧縮ストラット角度の実測値として計測した目視角 (θ_{exp}) , Mohr の応力円, ひずみ円から求められる応力場主角 (θ_{σ}) とひずみ場主角 (θ_{ε}) は, 曲げ降伏後にせん断破壊した既往の実験結果³⁾を用いた. 試験体諸元を表-1 に示す.

(1) 終局時における圧縮ストラット角度

表-2 に終局時の圧縮ストラット角度を示す. Kim & Mander 式から求められる角度 θ_{KM} は目視角 θ_{exp} とほぼ同様な値を示している. ただし, Kim & Mander 式が軸力を考慮できないことから, 軸力の影響を考慮した更なる検討が必要である.

(2) 初期～終局時における圧縮ストラット角度の変遷

図-2 に S12-1-3 試験体を例に初期～終局時における圧縮ストラット角度の変化を示す. ここで, θ_{exp} については斜めひび割れが発生し 45°より低下した角度のみ示した. θ_{σ} は荷重に依存しているため, 荷重の増加とともに角度も増加し, θ_{exp} とは挙動が異なっている. 一方, θ_{ε} は水平変位の増加に伴い圧縮ストラット角度が低下し, 概ね θ_{exp} と同様の傾向を示すことが確認できた. したがって, 初期から終局時における圧縮ストラット角度の変遷を目視以外の方法で追跡するには, ひずみ場主角 θ_{ε} を用いれば良いと考えられる.

表-2 終局時の圧縮ストラット角度の比較

試験体名	目視角 θ_{exp}	理論値 θ_{KM}	応力場 θ_{σ}	ひずみ場 θ_{ε}
S12-1-3	24°	24.8°	33°	31°
S12-3-3	21°	24.8°	11°	35°
S15-0-3	34°	32.5°	45°	17°
S15-1-3	31°	32.6°	26°	29°
S15-3-3	28°	32.5°	16°	30°
S15-1-10	38°	32.6°	21°	32°
S15-3-10	24°	32.5°	19°	36°

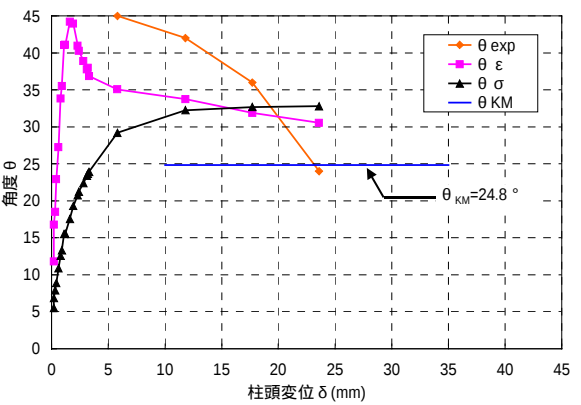


図-2 初期～終局時における角度 θ

4. コンクリート負担分のせん断強度低下への適用性

図-3 に S12-3-3 試験体を例にせん断劣化係数 ζ ($=V_c / V_{co}$) と応答変位塑性率 μ との関係を示す. ここで, 圧縮ストラット角度 θ にはひずみ場主角 θ_{ε} を例に用い, 図には Priestley らの提案式¹⁾も併記した. その結果, 目視角 θ_{exp} と Mohr のひずみ円から求められるひずみ場主角 θ_{ε} は応答塑性率 $\mu=2$ よりせん断劣化係数 ζ が減少する同様な挙動を示し, Priestley らの提案式とも同様な傾向となった.

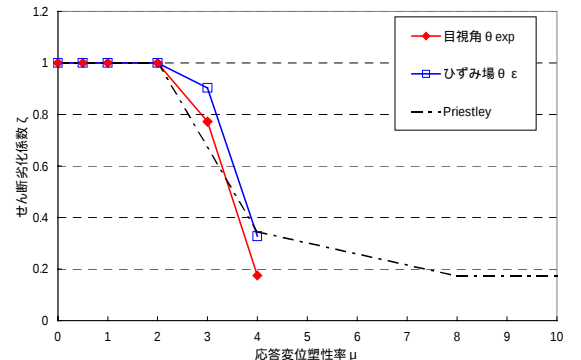


図-3 $\zeta - \mu$ 関係 (S12-3-3)

5. まとめ

圧縮ストラット角度について, 既往の実験結果 (目視角: θ_{exp}) に対し, 推定角度 (応力場主角: θ_{σ} , ひずみ場主角 θ_{ε} , Kim & Mander 式: θ_{KM}) の適用性について検証した. その結果, 既往の実験範囲において Mohr のひずみ円から求められるひずみ場主角 θ_{ε} を用いた場合, 変形に伴う圧縮ストラット角度の変遷を評価することができ, さらに, コンクリート負担分のせん断強度低下への適用性があることを確認した. 一方, 終局時には Kim & Mander 式 θ_{KM} を用いれば, 目視角 θ_{exp} との適合性は良いが, 軸力の影響が考慮できないことから, 今後新たな推定方法の検討を行う必要がある.

【参考文献】

1) M. J. N. Priestley, F. Seible, and G. M. Calvi : SEISMIC DESIGN AND RETROFIT OF BRIDGES, A Wiley-Interscience Publication, 1996
2) J. B. Mander, J. H. Kim, and A. Dutta. “ Shear-Flexure Interaction Seismic Analysis and Design” JCI Seminar on Post-Peak Behavior of RC Structures Subjected to Seismic Loads-Recent Advances and challenges on Analysis and Design-, Volume1, pp173-187, 1999
3) 大江 亮二: 繰返し大変形を受ける鉄筋コンクリート単柱のせん断強度劣化と靱性評価, 平成 12 年度 武蔵工業大学修士学位論文