

圧縮ストラット角度の算出によるせん断耐力の検討

構造材料工学研究室 岡 正壽
指導教員 吉川 弘道

1.はじめに

鉄筋コンクリート(RC)構造物のせん断耐力は、修正トラス理論により、トラス作用による抵抗成分 V_s と、それ以外のコンクリート負担分 V_c の合算によって表現される。 V_s は、圧縮ストラット角度により算出され、これを精度良く評価することが重要である。また、 V_c は、繰返し作用により劣化することが判明されている。そこで、本学の耐震実験結果を用いて、圧縮ストラット角度を導き出し、 V_s を算出した。この値を用いて V_c を算出し、さらに、 V_c の劣化に着目し、曲率靱性率 μ で評価、検討した。また各種耐力式によるせん断耐力のシミュレーションを行い、実験値と比較した。

2.各種算出式

せん断耐力は修正トラス理論により、式(1)のように、さらに、せん断補強筋の負担分 V_s は式(2)のように表される。

$$V_u = V_s + V_c \quad (1) \quad V_s = \frac{A_w \sigma_{wy} z \cot \theta}{s} \quad (2)$$

式(2)の V_s の算出に用いる圧縮ストラット角度は、Kim & Mander らの提案式(式(3))²⁾、応力場、ひずみ場主角(式(4))の3つの算出式を用いて算出した。式(4)はMohrの応力円、ひずみ円より算定されている。

$$\theta_{kim} = \tan^{-1} \left(\frac{p_v n + \xi \frac{p_v A_v}{p_t A_g}}{1 + p_v n} \right)^{\frac{1}{4}} \quad (3)$$

$$\tan 2\theta_\epsilon = \frac{\gamma}{\epsilon_v - \epsilon_h} \quad \tan 2\theta_\sigma = \frac{2\gamma}{\sigma_v - \sigma_h} \quad (4)$$

3.実験概要

本学で実施された、各種条件の異なる、高さ1200mm、断面320mm×320mmのRC単柱7体を対象試験体とし、本研究のせん断耐力の評価を行った。諸元は表1に示す。

せん断補強筋負担分 V_s は、式(3)、(4)の圧縮ストラット角度を使用し、このときの応力 σ_{ws} は、式(5)のようにひずみゲージの値から算出した。式(5)の σ_{ws} は、最大ひずみ量 ϵ_{ws}^{max} を代表断面とし、全ての断面を代表断面と同様と考え算出した。但し、せん断補強筋降伏後は、 σ_{ws} の代わりに f_{wy} を用いた。

$$\sigma_{ws} = E_s \cdot \epsilon_{ws}^{max} \begin{pmatrix} 0 & \epsilon_{ws}^{max} & \epsilon_{wy} \end{pmatrix} \quad (5)$$

$$= f_{wy} \begin{pmatrix} \epsilon_{wy} & \epsilon_{ws}^{max} \end{pmatrix}$$

コンクリート負担分 V_c は、作用せん断力 P から、せん断補強筋負担分 V_p 、軸方向圧縮力の影響 V_p を差し引くことにより算出した。

$$V_c = P - V_s - V_p \quad (6)$$

また、算出された V_c を最大値 $V_{c,max}$ で正規化することによって、せん断劣化係数を同定し、劣化程度の定量評価を行った。

- V_u : せん断耐力
- V_s : 帯鉄筋負担分のせん断耐力
- V_c : コンクリート負担分のせん断耐力
- A_w : せん断補強筋断面積
- s : 帯鉄筋の配筋間隔
- σ_{wy} : せん断補強筋応力
- z : 有効高さ
- Kim: Kim&Manderらの提案式から算出したストラット角度
- θ : ひずみ場主角から算出したストラット角度
- θ : 応力場主角から算出したストラット角度
- n : 弾性係数比
- ξ : 柱の構造形式による係数
- P_v : せん断補強筋比
- P_t : 主鉄筋比
- A_v : 柱のせん断面積
- A_g : 柱の全断面積
- ϵ_v : せん断ひずみ
- ϵ_h : 軸方向ひずみ
- γ : せん断応力
- γ : 軸方向応力
- ϵ_v : せん断ひずみ
- ϵ_h : 軸方向ひずみ

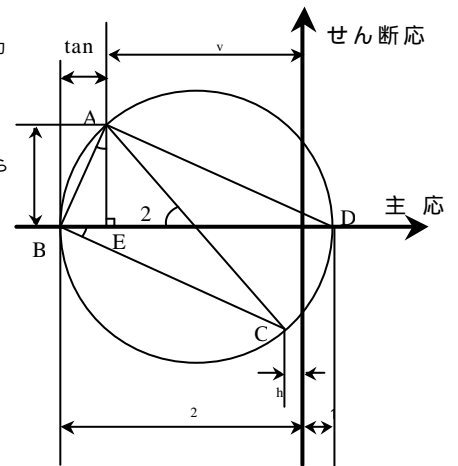


図1. Mohrの応力円

表1. 試験体諸元

試験体	曲げせん断耐力比	軸力	繰返し回数	軸方向鉄筋		せん断補強筋	
				鉄筋比	降伏強度	鉄筋比	降伏強度
S12-1-3	1.2	1(Mpa)	3回	2.5(%)	387(MPa)	0.06(%)	267(MPa)
S12-3-3		3(Mpa)					
S15-0-3	0(Mpa)						
S15-1-3	1(Mpa)						
S15-3-3	3(Mpa)						
S15-1-10	1(Mpa)	10回					
S15-3-10	3(Mpa)						

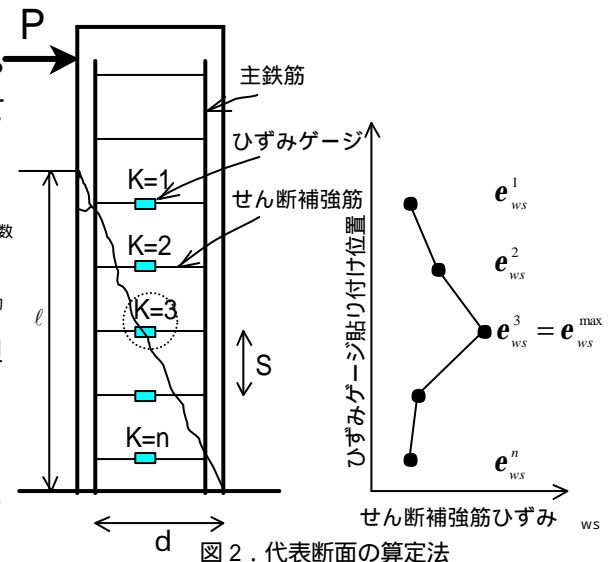


図2. 代表断面の算定法

4. 実験結果

4.1. 圧縮ストラット角度

式(3),(4)で算出された終局時の圧縮ストラット角度を,表2に示す.これより, Kim & Mander らの提案式から求められた角度が,実験値に最も近い妥当な値となった.しかし,軸力の影響が考慮されていないため,これによる比較が出来ない.応力場主角より求められた角度は,実験値と同様に軸力の増加に伴い,減少傾向があることが分かった.実測角度は,平均すると 31.1° となり,トラス理論よりも,これらの式より算出された角度の方が実験値に近い値となっている.せん断耐力評価時に使用される角度はこれらの式を使用するほうが良いと考えられる.

4.2. シミュレーションによる実験結果の比較検討

各種耐力式から,土木学会コンクリート標準示方書と ACI Code Provision の2つを取上げた.まず土木学会コンクリート標準示方書の鉄筋比の変化による, s_c の傾向を図3に表した.力学的鉄筋比 $\rho_w f_{wy}$ の増加に伴い,帯鉄筋のせん断応力 s_c は増加傾向にあり,圧縮ストラット角度が小さいほうが, s_c が大きな値となった.さらに,実験結果と比較をすると,トラス理論よりも Kim & Mander らの提案式の方に近似していることが分かる.次に,図4に軸力の変化によるコンクリートせん断応力 c_c の傾向を表した.両耐力式は近似していて,軸力の増加により c_c が増加傾向にあることが確認される.応力の算出には,以下の式を使用した.

$$s_c = V_s / b_w d \quad c_c = V_c / b_w d \quad (7)$$

4.3. せん断耐力劣化

表2の値から,せん断耐力の算出を行い,コンクリート負担分 V_c の劣化を検討した.図5に,実測角によるせん断劣化曲線を,図6には, S15-0-3 の劣化曲線を示した.図5,6により, $\mu = 3$ 前後から劣化傾向を示していることが確認され, Priestley の劣化曲線とほぼ同様な劣化傾向が示された.つまり μ は靱性率 μ に依存していることが分かる.

終局時の劣化係数 μ を見ると, $\mu = 0 \sim 0.3$ となっている.つまり最大耐力の半分以下まで劣化することが確認された.

5. まとめ

圧縮ストラット角度は, Kim & Mander らの提案式より求められた角度が,最も近似した値となった.軸力の影響を考慮する事が出来れば,さらに良い角度が算出されることが考えられる.

シミュレーションにより,鉄筋比,軸力の増加により応力も増加傾向にあることが分かり,これからも, Kim & Mander らの提案式はトラス理論よりも近似した値を取ることが確認された.

コンクリートによるせん断耐力 V_c は靱性率 μ に依存しており, $\mu = 3$ から劣化が確認でき, Priestley の劣化曲線と同様の傾向を示した.

参考文献

- 1) 武蔵工業大学 コンクリート工学研究室: 小型試験体による RC 柱の耐震実験 実験報告書 1998
- 2) 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 武蔵工業大学修士学位論文 2000, 3

表2. 終局時の圧縮ストラット角度

	実測角	Kim&Mander	応力場	ひずみ場
S12-1-3	26.6	23.3	32.8	30.5
S12-3-3	21.4	23.3	10.8	34.8
S15-0-3	37.8	29.5	45.0	17.4
S15-1-3	34.2	29.5	26.6	28.6
S15-3-3	31.2	29.4	16.1	31.2
S15-1-10	42.0	29.5	21.7	32.3
S15-3-10	24.5	29.4	19.8	36.8

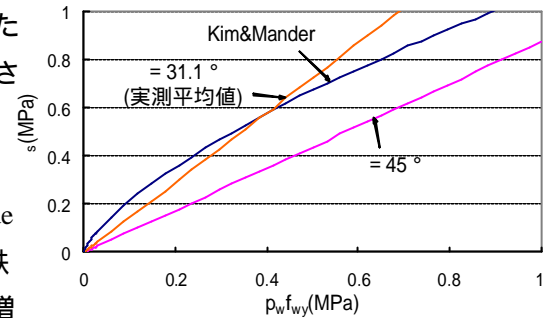


図3. 鉄筋比による応力変化の図

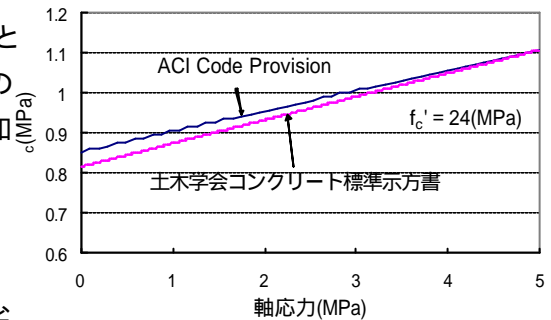


図4. 軸力による応力変化の図

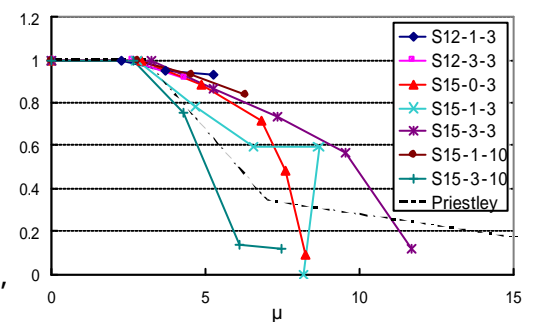


図5. せん断劣化曲線(実測角)

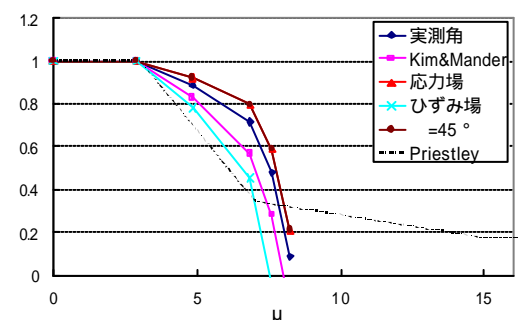


図6. せん断劣化曲線(S15-0-3)