

# 繰返し荷重を受ける RC 単柱のせん断劣化過程と靱性評価

学生氏名 新田和宏

指導教員 吉川弘道

## 1. はじめに

RC 単柱が繰返し荷重を受けると、コンクリート負担分  $V_c$  が低下し、せん断破壊あるいは曲げ降伏後のせん断破壊に至ることが知られている<sup>1)</sup>。このような脆性的な破壊を回避するため、RC 単柱の塑性変形性能を適切に評価する必要がある。しかし、塑性トラス理論や修正トラス理論には繰返し荷重による劣化は考慮されていない。よって本論では、せん断劣化過程を追従することにより、Priestley らの提案手法や Kim&Mander らの提案手法を用い、繰返し荷重が作用する RC 単柱のせん断劣化現象について検討した。

## 2. せん断耐力評価式

RC 構造物のせん断耐力を評価する際、塑性トラス理論が出発点となる。これは、ひび割れを有する圧縮部材のコンクリート、圧縮ストラット(斜めひび割れに沿った圧縮材)、引張鉄筋、せん断補強筋をトラスモデルに近似し、せん断補強筋負担分  $V_s$  とコンクリート負担分  $V_c$  を評価するものである。

塑性トラス理論(式 1 参照)とは、せん断補強筋負担分  $V_s$  のみの評価によるものであるが、実際の構造物が保有するせん断耐力を過小評価していることが確認され、現在ではせん断補強筋負担分  $V_s$  にコンクリート負担分  $V_c$  を累加した修正トラス理論(式 2 参照)が用いられることが多い。

$$V_s = \frac{A_w f_{wy} z \cot \theta}{s} \quad (1) \quad \begin{array}{l} A_w (\text{mm}^2); \text{せん断補強筋の断面積} \quad f_{wy} (\text{N/mm}^2); \text{せん断補強筋作用応力} \\ z (\text{mm}); \text{せん断有効高さ} \quad \theta (\text{度}); \text{圧縮ストラット角度} \quad s (\text{mm}); \text{せん断補強筋のピッチ間隔} \end{array}$$

$$V_u = V_s + V_c \quad (2) \quad \begin{array}{l} V_s: \text{せん断補強筋負担分} (\text{kN}) \quad V_c: \text{コンクリート負担分} (\text{kN}) \end{array}$$

## 3. 繰返し荷重による劣化を考慮したせん断耐力評価式

Priestley らの提案する劣化曲線は主鉄筋降伏前を無損傷とし、せん断耐力の低下を定量的に与えるもので、本論ではこれを基に修正トラス理論との累加式としてせん断耐力劣化を考慮する<sup>2)</sup>。繰返しに伴うせん断耐力の低下がコンクリート負担分  $V_c$  に起因するものとして、その初期値を  $V_{c0}$ 、劣化過程の耐力を  $V_{ck}$  として考える。そして、コンクリート負担分  $V_c$  の劣化過程のせん断耐力  $V_{ck}$  を初期値  $V_{c0}$  で記述して式 3 のように表す。

$$V_{ck} = \zeta V_{c0} \quad (3)$$

はせん断劣化係数であり初期値  $V_{c0}$  からの低減率を表している(0  $\leq \zeta < 1$ )。よって  $\zeta = 1$  の初期値から繰返し荷重を受けると徐々に低下する。本論では Priestley らの繰返しに伴うせん断耐力劣化式は式 4 のように表す。

$$V_{uk} = V_s + \zeta V_{c0} \quad (4)$$

## 4. Priestley らの提案に基づくせん断耐力劣化曲線の算定

正負交番荷重された RC 単柱を対象に載荷過程におけるせん断耐力劣化と靱性評価を検討し、繰返し荷重を受けるせん断劣化過程の評価を試みた。

### 4.1 靱性率の定義

靱性評価を行う際、変位靱性率(式 5、図 1 参照)で評価を行う。これは構造物全体としての応答を表すもので、構造物全体としての安全な塑性変位のレベルを決定する際に重要である。

変位靱性率:  $\mu_\delta = \delta / \delta_y$  (5) ただし、 $\delta = \delta_y + \delta_p$   $\delta_y$ : 降伏変位  $\delta_p$ : 塑性変位

### 4.2 既往の実験における検討

本大学で実施された正負交番された RC 単柱の対象試験体を表 1 に示す。

表 1 対象試験体

試験体名	断面幅	断面高さ	有効高さ	曲げせん断 耐力比	軸圧縮応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	繰返し回数	圧縮ストラット角度	
	b (mm)	h (mm)	d (mm)				=一定	=実測角
S10C	320	320	296	1.0	0	3	45°	22.0°
S12 1 3				1.2	1			26.6°
S12 3 3				1.2	3			21.4°
S15 0 3				1.5	0			37.8°
S15 1 3				1.5	1			34.2°
S15 3 3				1.5	3			31.2°

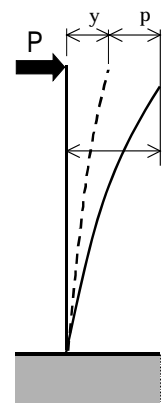


図 1 柱頭変位

Key words ;RC 単柱, せん断耐力式, せん断耐力劣化曲線, 靱性率

### 5. 変位靱性率での評価結果と考察

図2に、パラメータを曲げせん断耐力比として、せん断劣化係数と変位靱性率  $\mu$  の関係を示し、Priestley らの提案したせん断耐力劣化曲線を併記した。なお圧縮ストラット角度は  $45^\circ$  の一定値と実測角の2パターンでの比較とした。ここで、実測角は終局時における角度を目視によって観察した。

図2より、S12試験体はS15試験体に比べ急激な耐力低下に至ることが確認できる。これはS12試験体のせん断補強筋量が少ないために、コンクリートの拘束効果が発揮できず、繰返し荷重に伴うせん断ひび割れの抑制が十分ではなかったと考えられる。よって繰返し荷重時ではせん断耐力を十分に確保するために、せん断補強筋を密に配筋することが必要である。また、角度を  $45^\circ$  の一定値とした場合より実測角を用いた方が Priestly らの劣化曲線に近づき、安全側の評価となった。さらに変位靱性率が最大塑性率  $\mu=2$  まで増加し、それ以降減少することから Priestly らの劣化曲線をほぼ妥当に評価している。

### 6. Kim & Mander の提案手法に基づく低減係数 $\lambda_f$ の算定<sup>3)</sup>

せん断耐力のコンクリート負担分  $V_c$  は主鉄筋降伏後、引張側のコンクリートが負担できないと仮定している。しかし実際には、まだコンクリートの効果が残っているため、このせん断耐力の劣化過程をコンクリート負担分  $V_c$  に考慮する手段として低減係数  $\lambda_f$  を採用する。この低減係数  $\lambda_f$  は式6で与えられる。ただし変数は  $M_{max}$  のみとし、 $\lambda$  は固定値とした。

$$\lambda_f = \frac{M_y}{M_{max}} - \frac{\Lambda}{2} \tan \alpha \tan \theta \quad (6)$$

$M_y$ : 部材の降伏モーメント     $M_{max}$ : 部材の最大モーメント  
 $\Lambda$ : 支持条件 ( $\Lambda=1$  一端固定, 片持ち梁,  $\Lambda=2$  両端固定)  
 $\alpha$ :  $D'/L$   $D'$  はかぶりを除く部分の幅,  $L$  は部材長)     $\theta$ : 圧縮ストラット角度

### 7. 低減係数曲線の評価結果と考察

低減係数  $\lambda_f$  と部材靱性率  $\mu$  の関係を図3に、最大作用せん断力点 ( $P_{max}$ ) と  $\lambda_f$  の関係を図4に示した。なお図3はパラメータを軸圧縮応力とした。図3より軸圧縮応力が強く作用している S12-3-3 が S12-1-3 に比べて靱性率に乏しいことが確認できる。また、軸圧縮応力の増加に伴い  $P_{max}$  時における低減係数  $\lambda_f$  の値も増加している(図4参照)。一般的に軸圧縮力が大きくなると曲げ耐力の増加率がせん断耐力の増加率を上回り、耐力比が小さくなる<sup>4)</sup>。これは、RC 部材の剛性が増し、変形性能が低下するためであると推察される。

また、表1より軸圧縮力が作用すると角度が小さくなることが確認できる。先に述べた軸圧縮応力が増加すると劣化係数  $\lambda_f$  も増加する傾向は圧縮ストラット角度が式6に含まれているためである。

### 8. まとめ

- ・ 変位靱性率評価では  $45^\circ$  の一定値とした場合より実測角を用いた方が、Priestly らの劣化曲線に近づき、安全側の評価をしている。
- ・ Kim&Mander らの低減係数  $\lambda_f$  は軸圧縮応力と相関性がある。

#### 【参考文献】

- 1) 渡辺博志 河野広隆; 正負交番荷重が作用する RC 部材のせん断強度低下機構の検討, 土木学会論文集 No. 613/V 42,85-102, 1999. 2
- 2) 小林真樹; 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の評価に関する研究, 平成 14 年度武蔵工業大学修士学位論文
- 3) John B.Mander, Jang Hoon Kim, and Aninday Dutta; Shear-Flexure Interaction Seismic Analysis and Design, p369-377, ASCE, Included by 1999, 9
- 4) 池谷和之; 繰返し荷重をうける鉄筋コンクリート柱の力学的挙動に関する実験的研究, 平成 10 年度武蔵工業大学修士学位論文

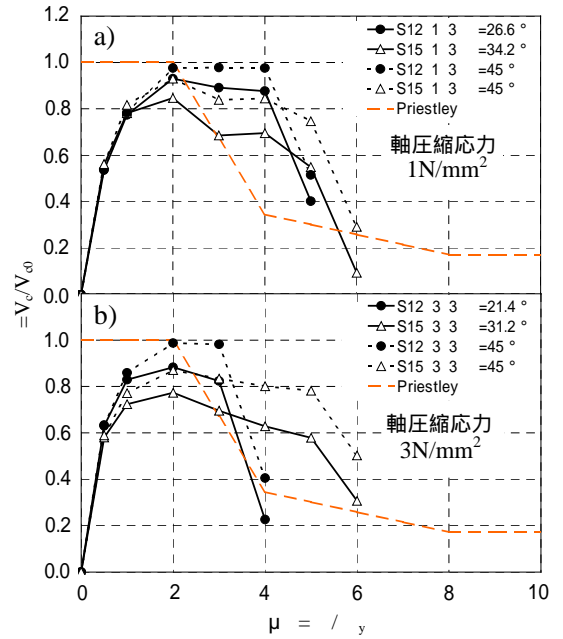


図2 曲げせん断耐力比による比較

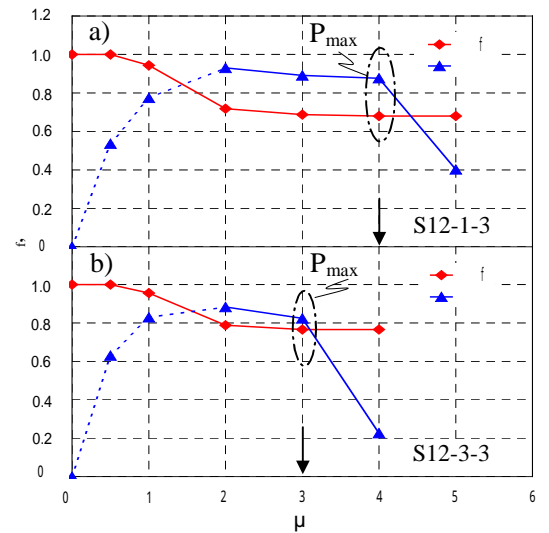


図3  $\lambda_f$   $\mu$  関係

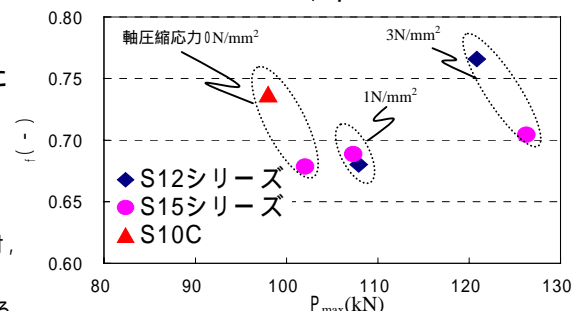


図4  $\lambda_f$   $P_{max}$  関係