



## 第46話 RC柱のせん断破壊 No.1

RC柱の崩壊モードには主に曲げ破壊とせん断破壊がある。特にせん断破壊は建物にとって深刻なダメージとなることが多く、通常は曲げ破壊が先行するように設計される。今回は、RC柱がどのような過程で崩壊に至るか、そのためには如何なる数値解析モデルが必要かについて紹介する。さらに簡単なモデルを用いて数値解析し、クリアスパンの変化による崩壊過程の違いを分析する。

最初に、一般によく用いられるRC柱の部材モデルを紹介する。図1に示される柱のモデルは、両端にファイバー要素が配置され、また、中央にはせん断破壊を考慮した剛塑性バネが付加されており、他は弾性部材である。次に、各要素の弾塑性履歴を示す。これらの履歴特性は多くの実験結果を踏まえた値を用いており、数値解析では良く用いられる。

せん断破壊を考慮した剛塑性バネの履歴特性は、図2に示すように原点指向型モデルが用いられる。この履歴特性の代表値は次式で示される。

せん断第1剛性（初期剛性）

$$K_1 = \frac{GA}{1.2 \cdot l}$$

せん断第2剛性（せん断ひび割れ後剛性）  $K_2 = b_1 \cdot K_1$ ;  $ex: b_1 = 0.1$

せん断第3剛性（せん断強終局強度後剛性）  $K_3 = b_2 \cdot K_1$ ;  $ex: b_2 = -0.05$

ひび割れせん断強度  $Q_{c1} = (1/2) \cdot Q_y$

残存せん断耐力  $Q_u = 0.3 \cdot Q_y$

次に、コンクリートの履歴と鉄筋の履歴は図3及び4に示される。曲げ終局強度  $M_y$  は軸力の大きさによって次の3種に分類される。

1)  $N_{max} \geq N > 0.4bDF_c$  のとき、

$$M_y = (0.8a_t \cdot \sigma_y \cdot D + 0.12b \cdot D^2 \cdot F_c) \left( \frac{N_{max} - N}{N_{max} - 0.4b \cdot D \cdot F_c} \right)$$

2)  $0.4bDF_c \geq N \geq 0$  のとき、

$$M_y = 0.8a_t \cdot \sigma_y \cdot D + 0.5N \cdot D \cdot \left( 1 - \frac{N}{b \cdot D \cdot F_c} \right)$$

3)  $0 > N \geq N_{min}$  のとき、

$$M_y = 0.8a_t \cdot \sigma_y \cdot D + 0.4N \cdot D$$

ここで、 $N_{max}$  と  $N_{min}$  は軸力のみが加わった際の圧縮側と引張側の耐力であり、次式で与えられる。

$$N_{max} = b \cdot D \cdot F_c + a_g \cdot \sigma_y; \quad N_{min} = -a_g \cdot \sigma_y$$

また、上で用いた記号は以下の意味である。

$F_c$  : 設計基準強度（コンクリート圧縮強度  $\sigma_B$ ）  $[N/mm^2]$

$a_t$  : 引張側主筋断面積  $[mm^2]$

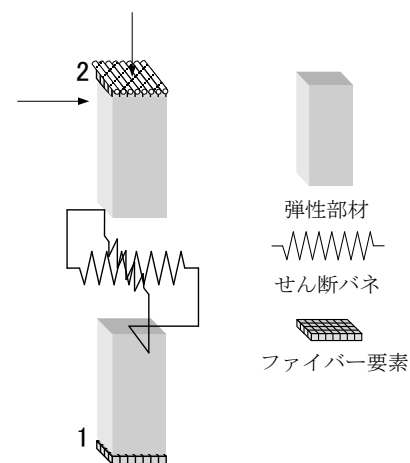


図1 RC柱の解析モデル

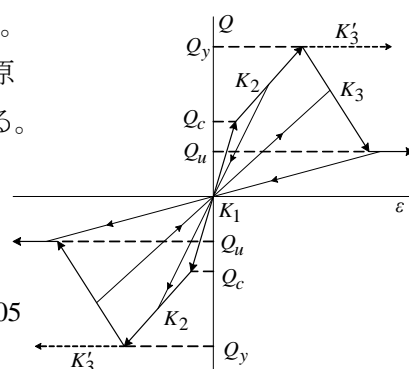


図2 せん断バネの履歴特性

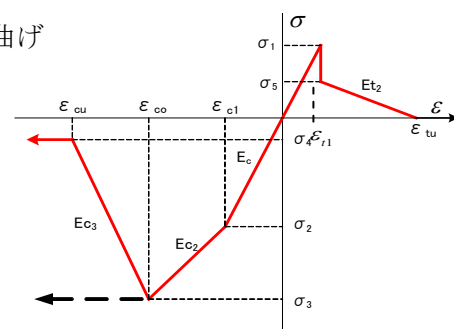


図3 コンクリートの履歴特性

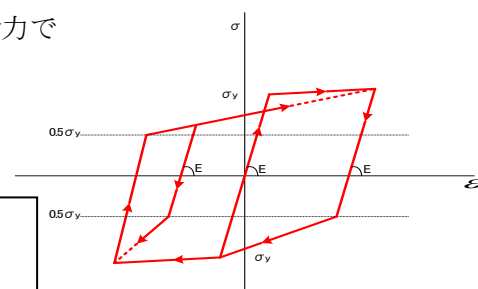


図4 鉄筋の履歴特性

$a_g$  : 主筋全断面積 [mm<sup>2</sup>];  $\sigma_y$  : 鉄筋の降伏点強度 [N/mm<sup>2</sup>]  
 $D$  : 柱断面せい  $b$  : 柱断面幅 [mm]

柱のせん断終局強度  $Q_y$  として、以下に示す平均側の値と安全側の値となる修正大野・荒川式を用いる (単位を N、mm とした実験式)。どちらを選択するかは、使用者が選択することになる。下式で用いた記号は以下の意味である。

$$Q_y = \left\{ \frac{0.068 p_t^{0.23} (F_c + 18)}{M / (Qd) + 0.12} + 0.85 \sqrt{p_w \sigma_{wy}} + 0.1 \sigma_0 \right\} \cdot bj \quad \text{平均側の値}$$

$$Q_y = \left\{ \frac{0.053 p_t^{0.23} (F_c + 18)}{M / (Qd) + 0.12} + 0.85 \sqrt{p_w \sigma_{wy}} + 0.1 \sigma_0 \right\} \cdot bj \quad \text{安全側の値}$$

$p_t$  : 引張鉄筋比 [%]  
 $F_c$  : 設計基準強度 (コンクリートの圧縮強度) [N/mm<sup>2</sup>]  
 $M / (Qd)$  : せん断スパン比 ただし、 $1 \leq M / (Qd) \leq 3$   
 $d$  : 柱の有効せい [mm]  
 $p_w$  : あばら筋 (せん断補強筋) 比 (小数)  
 $\sigma_{wy}$  : あばら筋 (せん断補強筋) の降伏点強度 [N/mm<sup>2</sup>]  
 $\sigma_0$  : 平均軸方向応力度 =  $N / bD$  [N/mm<sup>2</sup>] で  $0.4F_c$  以下としているので  $N > 0.4bDF_c$  では、利用できないことに注意をしなければならない。  
 $b$  : はり幅 [mm];  $j$  : 応力中心間距離  $0.8D$

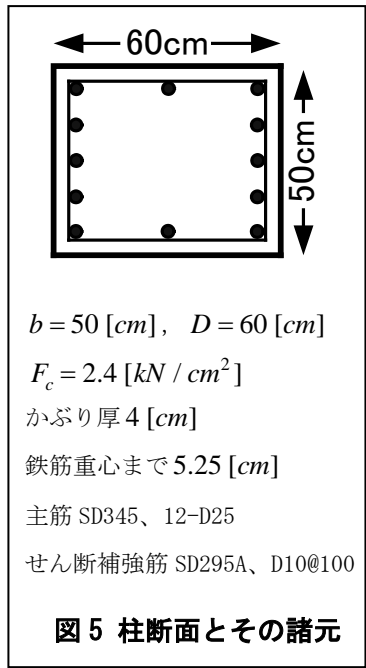


図 5 柱断面とその諸元

なお、 $M$  と  $Q$  は設計時応力を基本とするが、地震時の  $M$  と  $Q$  の分布を想定し、「内法長さ / 2d」を設定する。

解析モデルの下端は固定境界、上端は曲げ拘束され、水平方向変位と鉛直方向変位は自由とする。柱の断面はその諸元と共に図 5 に示される。荷重はモデル上端に鉛直荷重と水平荷重を加える。鉛直荷重は軸力  $P_V = 637kN$  とする。

図 6 は、クリアスパンを 5cm ずつ変化させ、計算した  $Q_{my}$  と安全側  $Q_y$  の値を示す。クリアスパン 245cm 以下で、柱がせん断破壊することが分かる。この値以上では曲げ破壊が先行し、その後、鉄筋の第 2 勾配などによってせん断力が増加し、その結果、せん断終局強度に達すると、せん断破壊が生じる。この破壊モードは曲げせん断破壊と呼ばれる。一方、せん断終局強度に達しない場合は曲げ破壊となる。

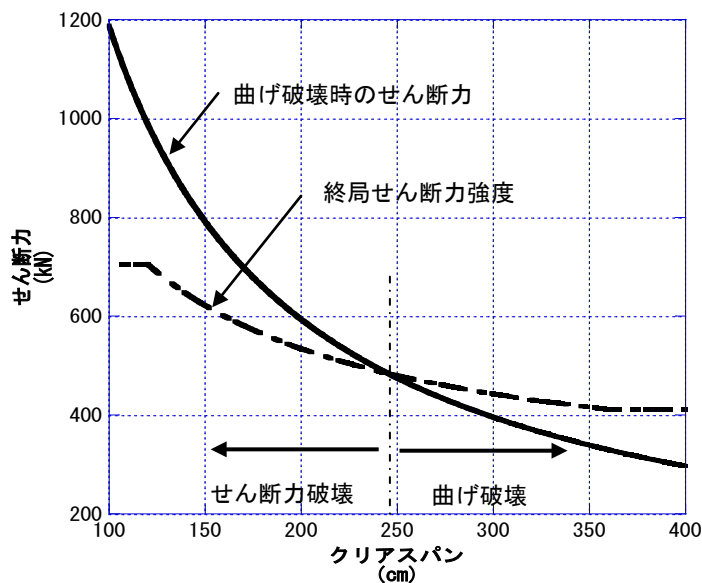


図 6 クリアスパンに対するせん断終局強度