

# 曲げ破壊型 RC 柱部材の塑性変形性能の基本的研究

～ 柱基部における塑性ヒンジ長と座屈長について～

学生氏名 齊藤 徳  
指導教員 吉川 弘道

## 1.はじめに

従来の耐震設計法で設計された鉄筋コンクリート(以下 RC)橋脚は、阪神大震災により甚大な被害を受け交通機能の停止をもたらした。そこで地震時の RC 橋脚の挙動を正確に把握することがさらに必要となった。一般的に RC 橋脚は、危険なせん断破壊を回避するために帯鉄筋等を増やし、せん断破壊耐力を上げる必要がある(曲げ破壊)。曲げ破壊型では主鉄筋降伏後に柱基部に塑性ヒンジが形成され、終局時には座屈やかぶりコンクリートの剥離現象などが起きる。しかし曲げ破壊型の塑性ヒンジや座屈の挙動は未解明な部分が多いのが現状<sup>1)</sup>であるため、本研究では本研究室における実験結果を用いて主鉄筋降伏後の曲率の挙動や塑性ヒンジ、座屈現象に着目し検討した。

## 2.塑性ヒンジ長<sup>1)</sup>

塑性ヒンジは安定的な曲げ破壊型に生起させるための重要な要素であり、主鉄筋が降伏すると柱基部に形成される。塑性ヒンジ領域における塑性曲率分布や塑性ヒンジ長は、RC 橋脚の塑性変形性能を評価する上で重要である。終局時における塑性ヒンジ領域を塑性ヒンジ長とし、塑性ヒンジ長の算出には塑性ヒンジ領域内の曲率分布から矩形ブロックモデル化したものと、より正確な挙動を把握するために考案された三角形ブロックモデル化されたものを用いた(図 1 参照)。曲率は変形分離法により算出した。

### 1) 矩形ブロックモデルの場合

$$\delta = \delta_y + (\phi - \phi_y) \cdot L_{p1} \cdot \left( L - \frac{L_{p1}}{2} \right)$$

$\delta$ : 載荷点における水平変位(mm)  
 $\delta_y = \delta_{yo}$ : 弾性解析による初期降伏変位(mm)  
 $\phi$ : 載荷点時における基部断面における曲率( $mm^{-1}$ )  
 $\phi_y = \phi_{yo}$ : 弾性解析による初期降伏曲率( $mm^{-1}$ )

### 2) 三角形ブロックモデルの場合

$$\delta = \delta_y + (\phi - \phi_y) \cdot \frac{L_{p2}}{2} \cdot \left( L - \frac{L_{p2}}{3} \right)$$

$L$ : 橋脚基部から載荷点までの高さ(mm)  
 $L_{p1}$ : 矩形ブロックモデルの塑性ヒンジ長(mm)  
 $L_{p2}$ : 三角形ブロックモデルの塑性ヒンジ長(mm)

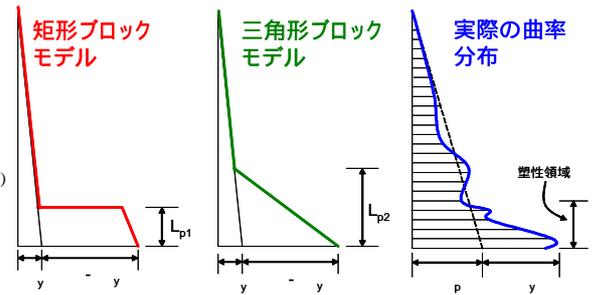


図 1 各モデルと曲率の比較

## 3.変形分離法による曲率の算出

試験体に取り付けた、鉛直方向における圧縮側と引張側の変位計の計測値を用いて、変形分離法により曲率を算出することが可能である(図 2 参照)。以下に曲率の算定式を示す。

$$\phi = (\Delta h_r - \Delta h_c) / (L \cdot h)$$

$\Delta h_c$ : 鉛直方向における圧縮力による変形(mm)  
 $\Delta h_r$ : 鉛直方向における引張力による変形(mm)  
 $L$ : 水平方向の長さ(mm)  
 $h$ : 鉛直方向の長さ(mm)

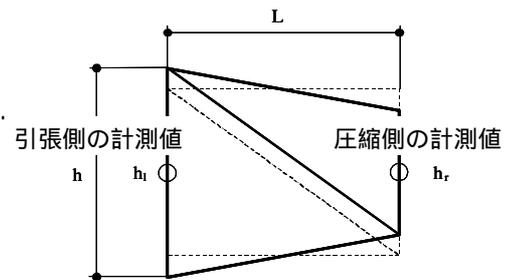


図 2 曲率の算出

## 4.座屈長<sup>2)</sup>

座屈は軸方向鉄筋の耐力が低下し、急激に曲がることを表わし(図 3 参照)、曲げ破壊時に起こる現象である。座屈長は軸方向鉄筋のはらみだし部分を意味し、簡易的な手法を用いて算出した。また既往の研究より柱基部におけるかぶりコンクリートの剥離領域は軸方向鉄筋の座屈によって決定することが確認されている。

$$L_{cr} = 8.5 \sigma_{sy}^{1/5} \beta_n^{-1/3} \phi$$

$$\beta_n = K_{sc} / s$$

$$K_{sc} = K_s + K_c = \frac{384 E_0 I_h}{nd^3} + k_0 c_0 s$$

$L_{cr}$ : 軸方向鉄筋の座屈長  
 $\sigma_{sy}$ : 軸方向鉄筋の降伏応力 ( $N/mm^2$ )  
 $\beta_n$ : 等分布バネ定数 ( $N/mm^2$ )  
 $\phi$ : 軸方向鉄筋径 (mm)  
 $n$ : 軸方向鉄筋の本数 (6本)  
 $d$ : 断面長 (320mm)  
 $E_0$ : 帯鉄筋の弾性係数 ( $N/mm^2$ )  
 $I_h$ : 帯鉄筋の断面 2次モーメント ( $mm^4$ )  
 $k_0$ : バネ定数の基準値,  $0.01(N/mm^2)$ とした  
 $c_0$ : 軸方向鉄筋の純かぶり (mm)  
 $s$ : 帯鉄筋間隔 (mm)

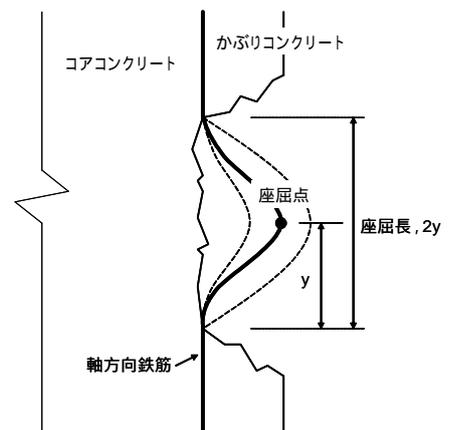


図 3 座屈長の定義

## 6. 解析結果及び考察

### 6.1 曲率分布と塑性ヒンジ長

本研究室における小型 RC 単柱の実験結果報告書<sup>3)</sup>を用いて曲率分布を算出し、また主鉄筋降伏後に柱基部に形成される塑性ヒンジについて検討した。表 1 に試験体諸元を掲載した。まず、主鉄筋降伏後の曲率の挙動は非線形で基部に近づく程、また終局に向かう程大きくなることが確認できた(図 4 参照)。このことから基部にひび割れなどの損傷が集中することが推測される。

また、従来の矩形ブロックモデルと新たな三角形ブロックモデルにより算出される塑性ヒンジ長を比較すると、三角形ブロックモデルにより算出された塑性ヒンジ長は矩形ブロックモデルにより算出された塑性ヒンジ長の約 2 倍の値を取ることが確認できた。さらに各ブロックモデルと終局時における曲率の挙動を比較すると三角形ブロックモデルの方がより一致していることが確認できるが、微小な誤差は実験における変位計の間隔が広いことによるものと推測される(図 5 参照)。

### 6.2 塑性ヒンジ長と座屈長

一方、矩形ブロックモデルにより算出された塑性ヒンジ長は曲げ破壊型である S20 試験体のかぶりコンクリート剥離領域長と概ね一致している(図 6 参照)。既往の研究により柱基部に生じる損傷の領域の長さが塑性ヒンジ長と近似すること、柱基部におけるかぶりコンクリートが剥離する損傷領域は軸方向鉄筋の座屈によって決定する傾向があることが確認されている。つまり塑性ヒンジ長、曲率の挙動、座屈長に大きな関連があるといえる。

そこで、塑性ヒンジ長と座屈長の相関性について検討した(図 7 参照)。図 7 より塑性ヒンジ長にはばらつきが生じるが、座屈長においては大きなばらつきが生じないことが確認できた。本研究では軸方向鉄筋比が一定であるためこのような結果になったと考えられる。しかし、既往の実験では 69% ~ 156% のばらつきが生じ、本研究では 79% ~ 135% と、既往の実験結果内であることから十分に相関性があるといえる。このことから今後塑性ヒンジ長の算出に座屈長も考慮することでより正確な塑性ヒンジ長を得ることができると考えられる。

## 7. まとめ

塑性ヒンジ領域内における曲率分布と塑性ヒンジ長は新たな三角形ブロックモデルを用いることでより正確な挙動を把握することができる。また塑性ヒンジ長は座屈長と十分な相関性があることが分かった。

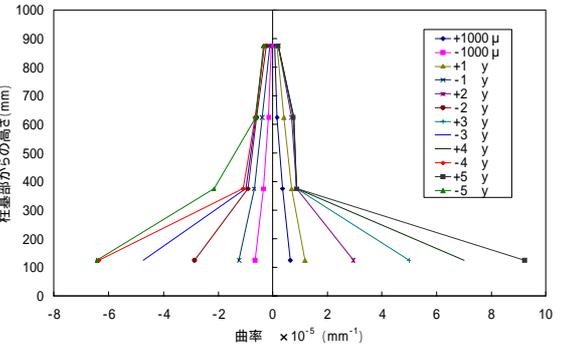


図 4 曲率分布(S15-1-3)

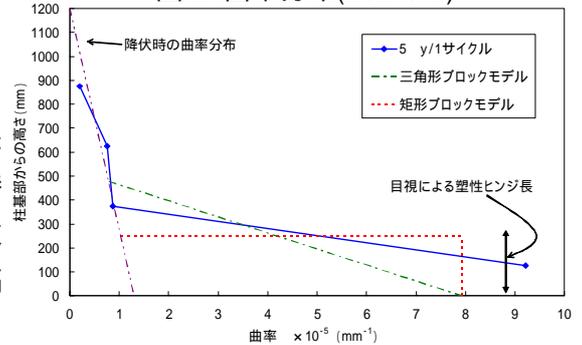


図 5 曲率分布とモデル化の比較(S15-1-3)



図 6 矩形モデルの特徴(S20-0-3)

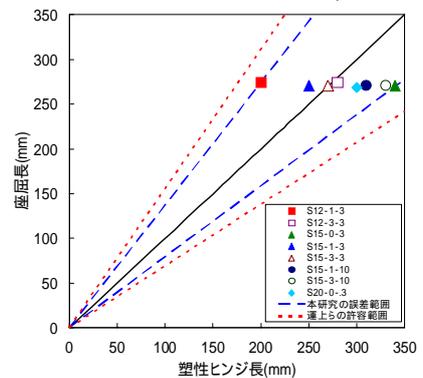


図 7 塑性ヒンジ長と座屈長の相関性

表 1 試験体諸元一覧

試験体名	断面形状 (mm)	せん断スパン長 (mm)	曲げせん断 耐力比	軸力 (kN)	繰返し回数 (回)	コンクリート 圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	軸方向鉄筋		帯鉄筋		帯鉄筋間隔 (mm)			
							鉄筋比 (%)	降伏強度 (N/mm <sup>2</sup> )	鉄筋比 (%)	降伏強度 (N/mm <sup>2</sup> )				
S12-1-3	320 × 320	1200	1.2	100	3	20	2.5	295	0.17	295	135			
S12-3-3				300		24								
S15-0-3				0		24								
S15-1-3			100	20										
S15-3-3			300	24										
S15-1-10			100	24										
S15-3-10			300	25										
S20-0-3			0	29	10	25						0.44	235	45

### 【参考文献】

- 1) 皇隈順一:鉄筋コンクリート橋脚の塑性曲率分布と塑性ヒンジ長, 構造工学論文集 Vol.46A(2000.3)
- 2) 蓮上茂樹:軸方向鉄筋の座屈解析による塑性ヒンジ長に関する研究, 土木学会論文集 No.682.2001.7
- 3) 武蔵工業大学:平成 9 年及び 10 年度 小型試験体による RC 単柱の実験報告書