

# RC 柱部材の変形性能評価

- 柱基部における軸方向鉄筋ひずみと曲率の影響 -

学生氏名 牧原 成樹

指導教員 吉川 弘道

## 1. はじめに

鉄筋コンクリート(以下, RC)柱部材は, 大規模な地震発生時に安定した耐力を保持し, 脆性的なせん断破壊を回避することが重要である. 曲げ破壊型 RC 柱部材は, 帯鉄筋を密に配筋することで耐力や耐震性能を向上させるだけでなく部材降伏後も変形性能を十分に保持できる. 一般的に変形性能とは, 曲げ変形量, せん断変形量, 軸方向鉄筋の伸び出しによる回転変位量で表される. 特に軸方向鉄筋の伸び出しに起因する水平変位は靱性設計に基づく耐震性能評価や部材の変形に大きな影響をあたえる<sup>1)</sup>. また RC 柱部材の塑性変形は, 塑性ヒンジ領域の断面に生じる変位であり, 塑性曲率によって影響する. よって本研究では, 躯体の変形量と軸方向鉄筋伸び出しによる回転変位で表される剛体変位の割合を示し, 塑性領域における帯鉄筋比が曲率に及ぼす影響について検討を行った.

## 2. RC 柱部材の変形挙動

地震時における RC 柱部材の変形は, ひび割れ, 柱基部による軸方向鉄筋の伸び出しなどにより複雑な非線形挙動を示す. ここで, RC 柱部材の変形量は, 躯体の変形量である曲げ変形量  $\delta_{flex}$ , せん断変形量  $\delta_{shr}$  と, 剛体の変形量である軸方向鉄筋伸び出しによる回転変位量  $\delta_{slip}$  の総和で求められる. 以下に各変位量の算出式を示す.

$$\delta = \delta_{flex} + \delta_{shr} + \delta_{slip}$$

$\phi(x)$ :  $x$ における曲率  
 $\gamma(x)$ :  $x$ におけるせん断ひずみ  
 $x$ : 部材軸方向の距離 (mm)  
 $\theta$ : 回転角  
 $L$ : せん断スパン長 (mm)  
 $\Delta$ : 軸方向鉄筋の伸び出し量 (mm)  
 $d$ : 有効高さ (mm)  
 $x_n$ : 圧縮縁からの中立軸位置 (mm)

・曲げ変形量:  $\delta_{flex} = \int_{柱高さ} \phi(x) x dx$

・せん断変形量:  $\delta_{shr} = \int_{柱高さ} \gamma(x) dx$

・軸方向鉄筋伸び出しによる回転変位:  $\delta_{slip} = \theta_{slip} \cdot L = \frac{\Delta}{d - x_n} \cdot L$

## 3. 軸方向鉄筋ひずみを考慮する伸び出し量の影響<sup>2)</sup>

RC 柱部材が大変形を生じる場合, 柱基部の軸方向鉄筋が降伏し伸び出す現象が起こる. この伸び出しによる変位は軸方向鉄筋伸び出しによる回転変位量といい, 剛体の変位量を示す. 以下に, 算出式として柱基部での軸方向鉄筋ひずみを考慮した近藤らの式を示し, 式から算出された解析結果と本学で行った実験結果<sup>3)</sup>を比較した. 本学の実験における伸び出し量は, 軸方向鉄筋ひずみと定着長で囲まれる面積とした.

$$l_1 = \frac{(\varepsilon_k - \varepsilon_y)}{b}$$

$$\delta = \varepsilon_k \int_0^l e^{ax} dx$$

$$\delta = \varepsilon_k l_1 + \varepsilon_y \int_0^{l_1} e^{ax} dx$$

$$\delta = \varepsilon_k l_1 + \frac{(\varepsilon_k + \varepsilon_y)(l_1 - l_2)}{2} \cdot \varepsilon_y \int_0^{l_1} e^{ax} dx$$

$l_1$ : 柱基部(フーチング上面)から変曲点までの距離 (mm)  
 $\varepsilon_k$ : 柱基部での軸方向鉄筋ひずみ  
 $\varepsilon_y$ : 軸方向鉄筋の降伏ひずみ  
 $b$ : 鉄筋径による補正係数で, 引抜き実験データの回帰より次式で表される  
 $b = -6.93\phi + 389.9$   
 $\phi$ : 鉄筋径 (mm)  
 $l_2$ : 柱基部(フーチング上面)からフーチング上面鉄筋までの距離 (mm)  
 $l$ : 鉄筋の定着長 (mm)  
 $a$ : 鉄筋径による補正係数で, 実験データの回帰により次式で表される  
 $a = 1.44 \times 10^{-4} \phi - 0.73 \times 10^{-2}$

表 1 試験体諸元

試験体	断面(mm)	せん断スパン比	軸方向鉄筋径	帯鉄筋径	帯鉄筋間隔(mm)	曲げせん断耐力比	軸応力(N/mm <sup>2</sup> )	繰り返し回数	
S10C	320 × 320	4.05	D13	6	330	1.0	-	3	
S12-1-3				D4	45	1.5	1.0	1.0	3
S12-3-3							3.0	3	
S15-0-3				D4	45	1.5	-	-	3
S15-1-3							1.0	3	
S15-1-10							1.0	10	
S15-3-3							3.0	3	
S15-3-10							3.0	10	
S20C				D6		2.0	-	3	

Key Words: RC 柱部材, 変形性能, 軸方向鉄筋伸び出しによる剛体変位, 塑性ヒンジ領域

#### 4. 解析結果および考察

表 1 に試験体諸元, 図 1 に軸方向鉄筋ひずみ分布図, 図 2 に実験結果より求められた伸び出し量  $s$  と近藤らの式による解析結果  $s_p$  を示した.  $s$  と  $s_p$  を比較すると S10C では伸び出し量が概ね半分となった. S20C は, ほぼ双方とも変化が見られず一定した値を示した. この原因として近藤らの式は柱基部での軸方向鉄筋ひずみが大きいと, 鉄筋とコンクリートの付着を考慮していないため正確に推定されないと考えられる. また図 3 に実験より求められた全変位量に対する躯体と伸び出し量から算出した剛体の変位量の割合を示した. S10C は全変位量に対して剛体の割合が大きい. しかし, S20C は, 全変位量が増加しているにもかかわらず剛体の変位量がほぼ一定の値を示していることが確認できた. S20C では, 躯体の割合が非常に大きいので靱性の高い曲げ破壊型であることが推測でき, S10C は S20C に対して躯体の変位量が小さく, 靱性率の低い曲げ降伏後のせん断破壊型であると推測できる. ここで実験の破壊形態と比較すると同様な結果となった. ここで終局の定義として荷重が降伏時の値を再び示した点を終局点とした.

#### 5. 塑性ヒンジ領域内の帯鉄筋比の影響

本学の実験結果と終局曲率算定式を用いて終局変位時における塑性ヒンジ区間の曲率と帯鉄筋比の関係を示した. 以下に終局曲率算定式として, 石橋らによる実験式<sup>4)</sup>(式 1), 一般的な終局曲率の式<sup>5)</sup>(式 2)を用いて比較した. 図 4 に解析結果を示す.

- ・石橋らによる算定式 :  $\phi p_u = 0.00005L_n(p_w) + 0.00018$  (1)
- ・一般的な算定式 :  $\phi_u = \frac{\epsilon_{cu}}{C_u}$  (2)

$\phi p_u$ : 終局変位時における塑性ヒンジ区間の平均曲率 (1/mm)  
 $p_w$ : 帯鉄筋比 (%)  
 $L_n$ :  $\log_e$   
 $\epsilon_{cu}$ : 終局圧縮ひずみ  
 $C_u$ : 中立軸位置 (mm)

実験結果と石橋らによる算定式を比較すると双方ともほぼ近似した結果となった. また, 実験結果から軸心力や繰返し回数の違いにより平均曲率は大きく変動することが確認できた. 石橋らによる算定式はせん断スパン比が 3.19 の実験結果を用いているが, 本学で用いられたせん断スパン比 4.05 でも妥当に評価できるといえる. 一般的な算定式は, 終局曲率の下限値の境界線を示しており, 安全側を評価できる式であることを示している. これより石橋らによる算定式では本学の実験結果の平均値を精度よく表記していることが確認できた.

#### 6. まとめ

- ・伸び出し量に関して, 軸方向鉄筋のひずみが小さい場合, 近藤らの式の妥当性が確認できた. また剛体変位の影響が小さいと靱性に富んだ曲げ破壊を引き起こすことが推測される.
- ・塑性ヒンジ領域内の終局曲率算定式で用いられた石橋らによる算定式は, 実験結果の平均値を精度よく表記していることが確認できたと考えられる.

#### 【参考文献】

- [1] 星隈 順一, 長屋 和宏, 運上 茂樹: 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年 3月)
- [2] 近藤益央, 運上茂樹: 鉄筋コンクリート橋脚における軸方向鉄筋の伸び出し量に関する研究, 第 3 回地震時保有耐力法に基づく橋梁の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集, 1999年 12月
- [3] 武蔵工業大学, 構造材料工学研究室: 平成 10 年度, 小型試験体による RC 単柱の実験報告書
- [4] 石橋忠良, 津吉毅, 小林薫, 吉田徹, 海原卓也: 大変形領域の交番載荷を受ける RC 脚柱の変形性能算定に関する研究, 土木学会論文集 No. 711/V-56, pp45-57, 2002.8
- [5] 例えは, Priestley, M.J.N., Seible, Fand Calvi, G.M.: Seismic Design and Retrofit of Bridges, A Wiley-Interscience Publication, 1996

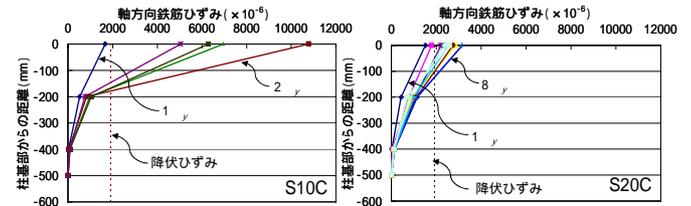


図 1 軸方向鉄筋ひずみ

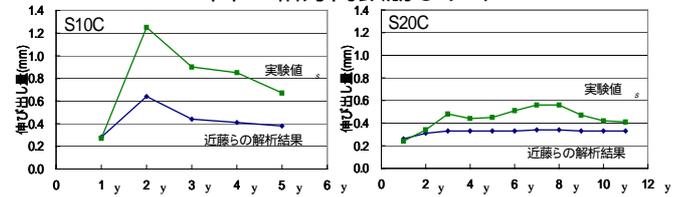


図 2 伸び出し量の算出結果

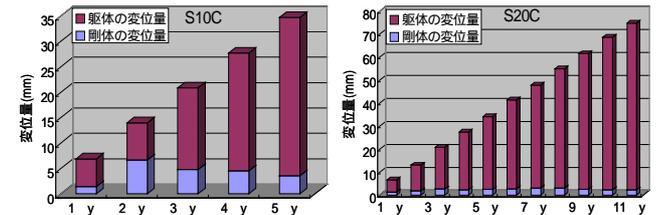


図 3 変位量の割合

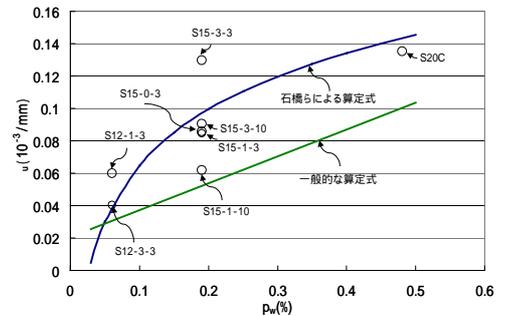


図 4  $\phi$  と  $p_w$  の関係図