

RC 柱基部における塑性ヒンジ長と塑性曲率に関する検討

武蔵工業大学 学生員 ○ 牧原 成樹
武蔵工業大学 学生員 白子 将則
武蔵工業大学 正会員 吉川 弘道

1. はじめに

地震時における鉄筋コンクリート（以下 RC）柱部材は、複雑な非線形挙動を示すため靱性率や終局変位を精度よく把握することが望ましい。ここで正負交番などの繰返し荷重下に安定して耐力を保持できる塑性ヒンジ領域を考慮することは、RC 柱部材の靱性評価を行う際に重要であると考えられる。

本論では、ファイバーモデルと既往の実験データ、終局曲率算定式を用いて終局変位時の塑性ヒンジ区間の曲率と帯鉄筋比の関係について比較・検討した。

2. 塑性ヒンジ長の定義

正負交番繰返し载荷の影響より塑性ヒンジ領域に発生する曲率分布を塑性曲率分布という。また柱部材での曲率分布に対して塑性曲率分布は、非線形かつ基部に近づくにつれて広がっている（図1を参照）。ここで、塑性ヒンジ長は、塑性領域を簡易的に表記することにより表される塑性曲率の領域の長さで定義される。また、柱部材に生じる水平変位の算出のみに便宜的に算出されるものであって、この塑性ヒンジ長の区間にしか塑性曲率が生じないということではない¹⁾と定義されている。（図中の記号、 ϕ_y ：降伏曲率、 ϕ_p ：塑性曲率、 L_p ：塑性ヒンジ長）

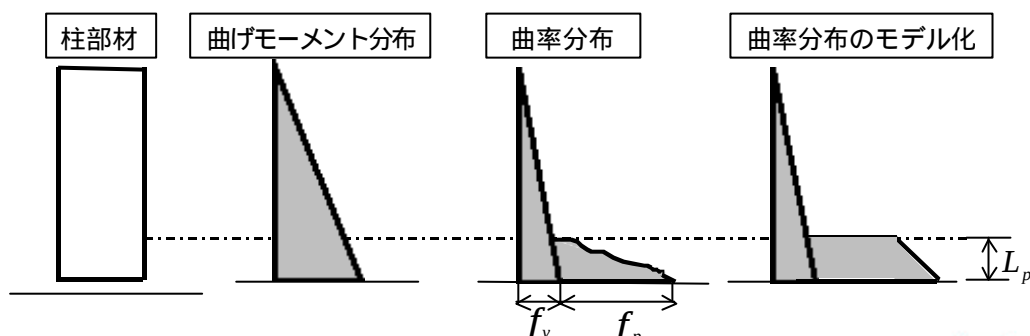


図1 塑性ヒンジ長の考え方

3. 解析概要

塑性ヒンジ領域内の曲率と帯鉄筋比の関係を示すために、既往の実験結果と石橋らによる実験結果から算出された式(1)²⁾、一般に用いられている終局曲率の式(2)³⁾を用いて比較した。以下に各式を示した。

$$f_{p_u} = 0.00005 L_n (p_w) + 0.00018 \quad \dots (1)$$

$$f_u = \frac{e_{cu}}{C_u} \quad \dots \quad \theta$$

f_{p_u} ：終局変位時の塑性ヒンジ
区間の平均曲率(1/mm)

p_w ：帯鉄筋比(%)

L_n ：log_e

e_{cu} ：終局圧縮ひずみ

C_u ：中立軸位置

また既往の実験で用いた試験体の諸元を表1、試験体図の一例を図2に示した。

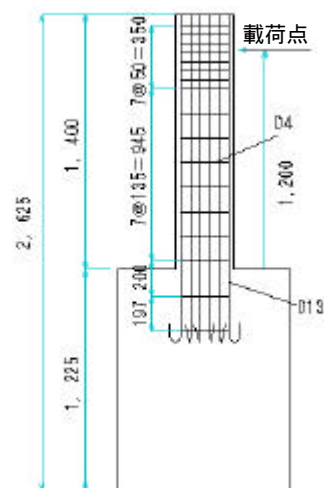


図2 試験体図一例

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	軸力比(N/mm ²)	繰返し回数
S12-1-3	320 × 320	4.05	D13	D4	135	1.2	1.0	3
S12-3-3							3.0	3
S15-0-3							-	3
S15-1-3							1.0	3
S15-1-10				45		1.5	1.0	10
S15-3-3							3.0	3
S15-3-10							3.0	10
S20-0-3				D6		2.0	-	3

Key Word：RC 柱部材，塑性ヒンジ長，平均塑性曲率，終局変位

連絡先：〒158-8557 東京都世田谷区玉堤 1-28-1 武蔵工業大学 都市基盤工学科 構造材料工学研究室

TEL 03-3703-3111(内線:3441)FAX:03-5707-2125

4. 解析結果

表 2 に既往の実験結果，図 3 に既往の実験結果と式(1)，式(2)から算出された曲率 ϕ_u と帯鉄筋比 p_w の関係を示した．

式(1)，式(2)は，塑性ヒンジ領域内の帯鉄筋比が増すと曲率も増加することを示している．式(1)は，せん断スパン比を 3.19 とした実験結果から得られている．既往の実験は，せん断スパン比を 4.05 と設定しているが図 3 よりほぼ近似した結果となっていることが確認できた．

軸応力を比較すると，式(1)は軸応力が 0.98N/mm^2 の試験体の結果を用いている．S20-0-3，S15-0-3 は軸応力を与えていないが，比較的近い値を示していることが確認できた．ここで軸応力に関しては，ばらつきがあり相関関係が確認できなかった．また，漸増载荷を増すと逆に平均曲率が減少していることも確認できた．S12-1-3 は S12-3-3 よりも平均曲率の値が大きくなっている．この原因として S12-1-3 が曲げ降伏後，早い段階でせん断破壊を誘発したためだと考えられる．以上のことより，式(2)は終局曲率の下限值を与えており，既往の実験結果は安全側の値を示していることが確認できた．一方式(1)では，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．

5. 数値シミュレーション

ファイバーモデルを用いて，塑性ヒンジ領域の帯鉄筋比をパラメータとし塑性ヒンジ長と終局変位の影響を比較した．対象試験体を，断面 $320 \times 320(\text{mm})$ ，せん断スパン比 4.05，軸方向鉄筋を D13，帯鉄筋を D4 とし解析を行った．また塑性ヒンジ長を $0.5d$ ， $1.0d$ ， $1.5d$ ， $2.0d$ と設定しそのときの終局変位を示した．

図 4 より，塑性ヒンジ長，帯鉄筋比の増加とともに靱性率の値が大きくなっていることが確認できた．またグラフの傾きも同様に大きくなっていることがいえる．

6. まとめ

既往の実験結果と式(1)を比較するとほぼ近似した結果となり，軸応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．また式(1)はせん断スパン比が 3.19 以上でも妥当に評価できることがわかった．式(2)は，終局曲率の下限值を与えており既往の実験結果は安全側の値を示していることが確認でき，式(1)で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．

数値シミュレーションより，塑性ヒンジ長，帯鉄筋比の増加とともに靱性率の値も増し，傾きも同様に増加していることが確認できた．

表 2 既往の実験結果

試験体	S12-1-3	S12-3-3	S15-1-3	S15-3-3	S15-1-10	S15-3-10	S15-0-3	S20-0-3
帯鉄筋比(%)	0.06		0.19					
終局時の曲率 $\times 10^{-3}$ (1/mm)	0.060	0.040	0.085	0.130	0.062	0.091	0.086	0.135

【1】土木学会：コンクリート構造物の耐震性能照査技術 - 現状と将来展望 - ，コンクリート技術シリーズ

【2】石橋忠良，津吉毅，小林薫，吉田徹，海原卓也：大変形領域の交番载荷を受ける 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

【3】例えば，Priestley，M.J.N.，Seible，F.and Calvi，G.M.：Seismic Design and Retrofit of Bridges，A Wiley-Interscience Publication，1996

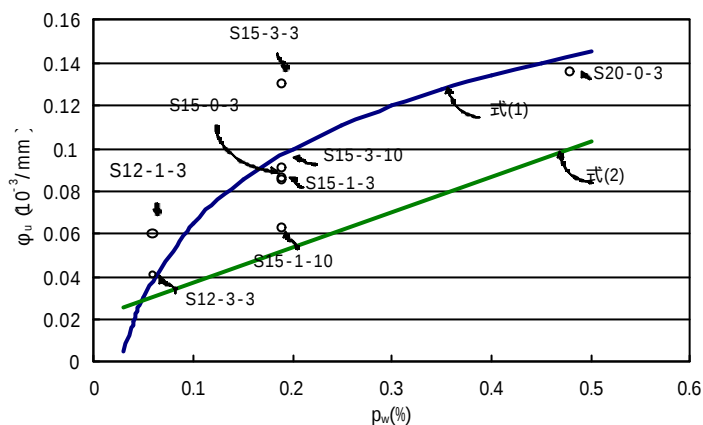


図 3 ϕ_u と p_w の関係図

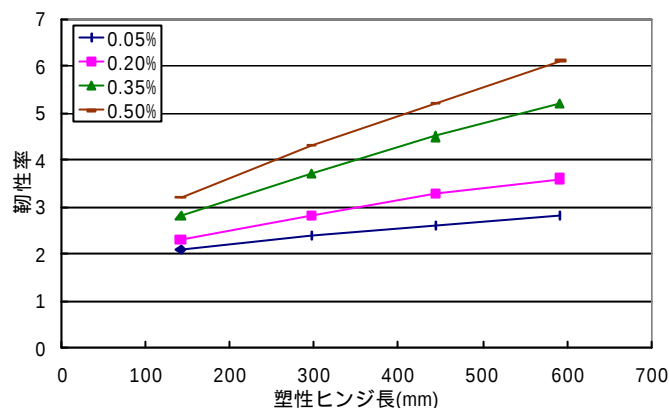


図 4 塑性ヒンジ長と帯鉄筋比の関係