

RC 造腰壁・垂れ壁付短柱の耐震性能に関する大変形繰返し加力実験 (その 1: 実験概要と結果)

正会員 松井 健太郎^{*1} 正会員 澤口 祐樹^{*1}
同 瀧澤 正明^{*2} 同 小室 達也^{*3}
同 広沢 雅也^{*4}

二次壁 腰壁・垂れ壁付短柱 帯筋比
部分スリット 偏心接合 柱有効内法高さ

1. はじめに

本報告では、一般の既存建築物で多く存在するにも拘らず技術資料の少ない偏心二次壁付柱に着目し、(高さ/幅)比の比較的小さい両側腰壁・垂れ壁付短柱の大変形下に至るまでの挙動に関する実験結果を報告する。また、柱と壁際に部分スリットを設けた場合の短柱の脆性挙動改善効果を確認し、耐震診断の第 2 種構造要素の判定資料を提供する。なお、本報(その 1)では実験概要と共に、諸限界荷重の実験値と既往の評価式との比較検討を示し、次報(その 2,3,4)で実験結果の詳細を報告する。

2. 実験概要

2.1 試験体概要

試験体は、中低層 RC 造学校校舎の 1 階北側架構にある両側腰壁・垂れ壁付柱を想定し、大きさは実大の約 1/2.5 とした。試験体数は 10 体で、表-1 に試験体パラメータ概要、図-1 に試験体詳細図を示す。柱及び腰壁・垂れ壁の配筋は、柱せん断補強筋以外は共通である。

変動要因は、柱と壁の偏心接合の有無、帯筋比 p_w 、部分スリットの有無およびスリットの深さ(t_d)で、

偏心有り(No.1,2,3,4,5,6)、偏心無し(No.7,8,9,10)の 2 種類、帯筋比(帯筋間隔 x の相違)は 期を想定した $p_w=0.10\%$ と 期を想定した $p_w=0.26\%$ の 2 種類、スリットの有無及び、深さ($t_d=25\text{mm}$, 37.5mm)を変動させた 3 種類とした。なお、鉄筋とコンクリートの材料特性は表-2,3 に示す。

2.2 実験方法

加力装置は、パンタグラフによって上下スタブを拘束状態とし水平方向の平行移動を保持する蛇腹式柱実験装置を用い、軸力 169.5kN ($\sigma_0=2.94\text{N/mm}^2$)の一定軸力下で、水平アクチュエーターによる多数回正負繰返し水平静加力を行った²⁾。なお、上下スタブの相対水平変位を測定し、柱高さで除した値を層間部材角 R とした。

加力は、図-2 のように終局強度の約 70%を目安に荷重約 80kN まで正負方向に荷重制御で 1 サイクル行い、それ以降は変位制御に切り替え、部材角 $R=1/400 \sim 1/10$ の繰返し加力を原則とした。最終的には鉛直方向に柱が崩れるまで水平加力を続ける加力計画とした。但し、軸力保持能力喪失時に備えて鉛直変形が 30mm 以上になった段階で加力が強制終了するようにしている。

表-1 試験体一覧

No.	試験体記号	変動要因		
		帯筋間隔 (帯筋比: p_w) mm	スリット 幅(t_s)×深さ(t_d) mm	偏心 接合
1	01C10EW-	100 ($p_w=0.10\%$)	15×25	有
2	02C10EWS1/2			
3	03C10EWS3/4			
4	04C04EW-	40 ($p_w=0.26\%$)	15×25	有
5	05C04EWS1/2			
6	06C04EWS3/4			
7	07C10CW-	100 ($p_w=0.10\%$)	15×25	無
8	08C10CWS1/2			
9	09C04CW-			
10	10C04CWS1/2	40 ($p_w=0.26\%$)	15×25	無

表-2 鉄筋の材料特性

呼び径 (規格)	降伏強度 σ_y (N/mm ²)	降伏歪み ϵ_y (%)	引張強度 σ_t (N/mm ²)	伸び率 (%)
D10	383.1	0.22	534.1	16.3
4 ^{*1}	285.0	0.12	331.1	18.2

表-3 コンクリートの材料特性

試験体No.	圧縮強度 σ_c (N/mm ²)	ヤング係数 ²⁾ E_c (N/mm ²)
No.01~06	26.6	2.55×10^4
No.7~10	26.9	2.57×10^4

注) *1: 焼き鈍しを行っている。
*2: 文献 1) により計算している。

【共通要因】

柱断面: $b_c \times D_c=240\text{mm} \times 240\text{mm}$ (b_c : 柱幅, D_c : 柱せい)
柱主筋比: $p_g=1.24\%$ (10-D10), クリアスパン比: $1.5(=h_0/D_c)$
引張鉄筋比: $p_t=0.49\%$ (4-D10), 柱内法高さ: $h_0=360\text{mm}$
壁厚: $t_w=50\text{mm}$, 二次壁付柱全長: $L_w=1200\text{mm}$
腰壁高さ: $H_{sw}=400\text{mm}$, 垂れ壁高さ: $H_{vw}=240\text{mm}$
腰壁・垂れ壁縦筋比: 4 @100(補強筋比: $p_s=0.26\%$)
軸方向力: $N=169.5\text{kN}$ ($\sigma_0=N/(b_c \cdot D_c)=2.94\text{N/mm}^2$)
柱軸力比: $=-0.11(=N/(b_c \cdot D_c \cdot \sigma_c))$

【試験体の記号】例)

01 C10 EW -
: 通し番号 No.01~10
: 帯筋間隔 C10($p_w=0.10\%$, $x=100\text{mm}$), C04($p_w=0.26\%$, $x=40\text{mm}$)
: 偏心接合有無 EW(偏心有り), CW(偏心無し)
: 部分スリット有無 - (スリット無し), S1/2($t_s=25\text{mm}$), S3/4($t_s=37.5\text{mm}$)

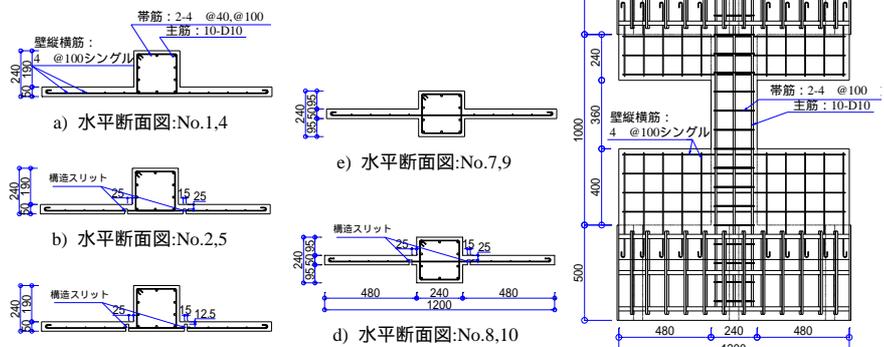


図-1 試験体断面及び配筋図

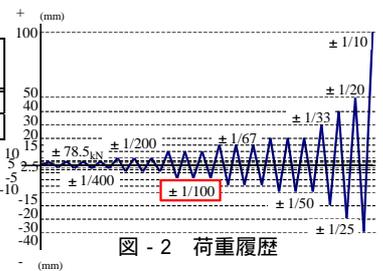


図-2 荷重履歴

【配筋図一例: No.1, 2, 3, 7, 8】

Experimental Study on Seismic Performance of Reinforced Concrete Columns with Spandrel-and Hanging-Walls under Large Deformation
Part1: A Research Background and an Experiment Outline

Kentaro MATUI, Yuuki SAWAGUTI, Masaaki TAKIZAWA, Tatsuya KOMURO, Masaya HIROSAWA

3. 実験結果

表-4 に試験体 10 体のひび割れ荷重, 最大耐力の実験結果一覧と実験値と終局強度計算値の比を示す。なお, 詳しい実験結果は次報(その 2,3,4)で報告する。耐力決定要因は, スリットが無い試験体では柱主筋が降伏せずせん断破壊が先行し, スリットが有る試験体では壁破壊後に柱端部の曲げ降伏となっている。また, 腰壁・垂れ壁付柱の終局強度や破壊モードは, 柱の有効内法高さ h_{0e} の設定により評価できると思われる。ここでは, h_{0e} を 壁フェイス位置からの長さ(360mm), 既往の提案³⁾(520mm), 独立柱の高さ(1000mm)について実験値と計算値を比較した。以下に明らかになった事を記す。

- 1) (高さ/幅)比が小さい腰壁・垂れ壁付短柱の耐力, 変形や破壊性状は, 部分スリット, 帯筋比や偏心接合により影響を受けることが分かった。特に, 構造スリットを付加するとその影響が大きく, 最大耐力は低下するものの, 靱性に優れている結果になった。
- 2) スリット無しで偏心接合していない場合(No.7,9)は, h_{0e} を とした場合の実験値と計算値が最も精度が良い。また, 計算値から推測される破壊モードは共にせん断

破壊となり, 実験結果と一致している。

- 3) スリット有りで偏心接合していない場合(No.8,10)は, 腰壁や垂れ壁を無視して h_{0e} を とした場合の実/計が 1.08~1.28 となり, やや実験値の方が大きな値となった。また, 破壊モードも計算ではせん断型となり, 適切に評価できていない。これは部分スリットであるため, この影響を考慮する必要がある。
- 4) 腰壁・垂れ壁が偏心して付加されると, 最大耐力は約 25%前後低下し, 実/計でも実験と同様な傾向になった。振り応力によるせん断耐力低下が大きいことが分かる。一方, スリットを設けると実験では最大耐力は, 約 10%程度低下し, なお, 実験の耐力決定要因は全て柱端部の曲げせん断破壊となった。

(参考文献)

- 1) 日本建築学会: 鉄筋コンクリート構造計算規準同解説 - 許容応力度設計法 -, 2000 年 4 月
- 2) 赤井, 瀧澤, 小室, 広沢: RC 造そで壁付柱の耐震性能に関する大変形加力実験(その 1: 実験概要と結果), 日本建築学会大会 学術講演梗概集, pp183~184, 2003 年 9 月
- 3) (社)建築研究振興協会, (中)構造調査コンサルティング協会, 横浜市建築設計協同組合: 既存建築物の耐震診断・耐震補強設計マニュアル 2003 年版, 2003 年 8 月

表 - 4 実験結果一覧

No.	試験体記号	初期剛性 ¹ K _e (kN/mm)		ひび割れ強度						最大耐力 iQ _m (kN)	終局強度計算値 ⁵						変位 ⁷			破壊モード ⁸
				曲げ ² Q _{mc} (kN)		曲げせん断 ³ Q _{BSC} (kN)		せん断 ⁴ Q _{SC} (kN)			曲げ _{cv} Q _{mm} (kN)			せん断 _{cw} Q _{su} (kN)			R _{Qmax}	R _{ou}	μ _{ou}	
				実	実/計	実	実/計	実	実/計		360 _{mm}	520 _{mm}	1000 _{mm}	360 _{mm}	520 _{mm}	1000 _{mm}				
1	01C10EW -	158.0	0.21	78.1	0.89	-	-	120.9	0.84	120.9	0.47	0.68	1.31	0.63	0.81	1.26	3.94	5.00	1.27	DT
2	02C10EWS1/2	174.7	0.24	72.2	0.83	98.7	0.41	-	-	106.6	0.42	0.60	1.16	0.55	0.72	1.11	4.97	17.18	3.46	CBS CS
3	03C10EWS3/4	391.9	0.53	72.7	0.83	73.3	0.31	-	-	85.2	0.33	0.48	0.92	0.44	0.57	0.89	9.93	13.80	1.39	CBS CS
4	04C04EW -	271.2	0.37	72.8	0.83	-	-	109.3	0.76	116.7	0.46	0.66	1.27	0.57	0.73	1.08	4.79	6.95	1.45	DT
5	05C04EWS1/2	404.0	0.55	67.9	0.78	101.0	0.42	81.4	0.57	107.9	0.42	0.61	1.17	0.53	0.67	1.00	4.95	40.55	8.19	CBS CS
6	06C04EWS3/4	67.8	0.09	66.5	0.76	86.9	0.36	84.6	0.59	89.7	0.35	0.51	0.97	0.44	0.56	0.83	4.44	33.42	7.53	CBS CS
7	07C10W -	666.9	0.90	78.9	0.90	-	-	154.8	1.07	154.8	0.60	0.87	1.68	0.80	1.04	1.60	5.45	10.03	1.84	DT
8	08C10CWS1/2	763.6	1.03	68.1	0.78	108.7	0.45	75.4	0.52	116.2	0.45	0.65	1.26	0.60	0.78	1.20	8.15	11.12	1.36	CB CS
9	0904CW -	93.4	0.13	67.7	0.77	129.7	0.54	131.6	0.91	161.8	0.63	0.91	1.75	0.78	1.00	1.49	7.31	14.95	2.05	WC CS
10	10C04CWS1/2	151.0	0.20	76.7	0.87	114.6	0.48	71.4	0.49	118.0	0.46	0.66	1.28	0.57	0.73	1.08	5.13	18.81	3.67	CB CS

注) 実: 実験値 (正加力時), 実/計: 実験値 ÷ 計算値 (計算値と式中の記号の詳細はそれぞれの文献を参照)

- : 計測時にひび割れが不明確で, 計測できなかった場合, iQ_m: 最大耐力

1 初期剛性(K_e): $k_e = \frac{Q}{c + \frac{Q}{B}} = \frac{12E_c \cdot I_c}{h_0^3} + \frac{G_c \cdot A_c}{\kappa \cdot h_0}$

2 曲げひび割れ(Q_{BC}): $M_{BC} = 1.8\sqrt{F_c} \cdot Z_e + N \cdot Z_e / A_c \rightarrow Q_{BC} = \frac{2 \times M_{BC}}{h_0}$

3 曲げせん断ひび割れ(Q_{BSC}): $Q_{BSC} = 0.265b \cdot d \cdot \sqrt{F_c} + M_{BC} / (M/Q - d/2)$

4 せん断ひび割れ(Q_{SC}): $Q_{SC} = 0.97\sqrt{F_c} \cdot bD(1 + \frac{0}{c} F_t)^{0.41} \cdot (M/Q \cdot D)^{-0.63}$

5 終局強度評価式

・ 曲げ終局強度(cQ_{mm}): $M_u = 0.5a_g \cdot \sigma_y \cdot g \cdot D_c + 0.5 \cdot N \cdot D_c \left(1 - \frac{N}{b \cdot D \cdot \sigma_B}\right) \rightarrow cQ_{mm} = \frac{2 \times M_u}{h_{0e}}$

・ せん断終局強度(cQ_{su}): $cQ_{su} = \left\{ \frac{0.12k_u k_p (180 + \frac{B}{b})}{M/(Q \cdot d) + 0.12} + 2.7\sqrt{p_w \cdot \sigma_{wy}} \right\} b \cdot j + 0.1N$

6 文献 3) により, 腰壁・垂れ壁端から柱せいの 1/3 の長さを h_0 に加えて, $h_{0e} = h_0 + 2 \times D_c/3$ とする。

7 R_m: 最大耐力時水平撓み, Q_{max} × 10³ / 柱の材長 (m は最大耐力時の水平撓み, 柱の材長は 1000mm)

R_{ou}: 限界耐力時水平撓み, ou × 10³ / 柱の材長 (ou は同一変形下での荷重サイクルの内, 第 1 サイクルでの最大荷重が 80% 未満に塑性率 μ_{ou}: ou / m 低下した時の限界水平撓み)

8 破壊モード: 耐力決定要因 靱性決定要因

DT: 対角線せん断破壊 CBS: 曲げせん断破壊 CS: 柱せん断破壊 CB: 柱曲げ破壊 WC: 壁圧壊

*1 工学院大学大学院修士課程

*2 (株) 桂設計・修士(工学)

*3 東京理科大学理工学部建築学科助手・博士(工博)

*4 工学院大学工学部建築学科教授・工博

*1 Graduate School, Kogakuin Univ.

*2 KATURA SEKKEI INC., M.eng

*3 Research Associate, Tokyo Univ. of Science, Dr.Eng

*4 Professor, Kogakuin Univ., Dr.Eng