

論文 破壊モードを変化させた場合の袖壁付 RC 柱の曲げせん断性状に関する実験的研究

澤井 謙彰^{*1}・磯 雅人^{*2}・田尻 清太郎^{*3}

要旨：本研究は、袖壁付き RC 柱の構造性能を曲げせん断実験により明らかにしたものである。試験体の要因は、柱の帯筋比、袖壁横筋比の 2 要因である。とくに本研究では、袖壁を無視した独立柱としての破壊モードと袖壁付き RC 柱としての破壊モードの組み合わせが与える袖壁付き RC 柱の構造性能への影響について実験的に確認した。試験体は計 4 体である。実験の結果、破壊モードの組み合わせにより、袖壁付き RC 柱の破壊性状、変形性状、耐力が大きく異なることが示された。また、最大耐力の実験値と既往のせん断終局強度式および曲げ終局強度式との比較が示され、各評価式の適合性を示した。

キーワード：袖壁付き RC 柱、破壊モード、せん断終局耐力、曲げ終局耐力

1. はじめに

1968 年十勝沖地震で袖壁、腰壁あるいは垂れ壁といった非構造壁の影響と思われる構造被害が報告された。以来、二次壁付き部材の挙動および構造性能を把握することの必要性が高まり、それらに関する研究が始まった。しかし、袖壁付き RC 柱に関する研究は、RC 柱や RC 梁に比較して極めて少なく、その構造性能は不明な点が多く残されている。また、2007 年 8 月「2007 年版 建築物の構造関係技術基準解説書」¹⁾ では袖壁付き RC 柱の許容耐力式があらたに示されたが、その耐力式についても今後、十分精査する必要がある。

ところで、袖壁付き RC 柱は、袖壁が付加することにより柱の剛性増加をもたらすため、せん断力がそこに集中し、脆性的なせん断破壊を招くばかりでなく、被害をそこに集中させ建物全体の耐震性能を著しく低下させる可能性がある。以上ことから、現在の構造設計および施工においては、柱と袖壁の間にスリットを設けるなどして、柱の短柱化を防止し、設計時のモデルを明確にする手法がとられている。

しかし、スリットを設けることで施工の複雑化や施工コストの増大、耐火、止水についての配慮などが必要となり、問題点も多い。また、1995 年に発生した兵庫県南部地震においては、二次壁にスリットを設けるなどの配慮がなされないために地震被害を受けた建物も見られたと同時に、スリットを設けたことにより変形が大きくなり修復が不可能なほどの多大の損傷・被害を受けた事例も一方で報告された。

ところで袖壁付き RC 柱の構造性能評価が可能であれば施工上の諸問題を解決できるだけでなく、積極的に

袖壁付き RC 柱を耐震要素として利用することが可能となる。そこで本研究では、袖壁付き RC 柱の曲げせん断実験により、その構造性能（破壊性状、変形性状、耐力）を明らかにすることを大きな目的とした。とくに本研究で着目した点は、袖壁部分を無視して独立柱として評価した時の破壊モードと袖壁付き RC 柱として評価した時の破壊モードの組み合わせにより、その構造性能がどのように変化するかを明らかにすることを目的とした。

2. 実験概要

2.1 試験体

表-1 に試験体一覧、表-2 に使用材料の力学的特性、図-1 に試験体配筋図、表-3 に実験結果および計算結果一覧、表-4 に袖壁付き RC 柱における設定破壊モードと計算式による破壊モードの適合性一覧を示す。

共通要因は、柱断面 $b \times D = 300\text{mm} \times 300\text{mm}$ 、内法長さ $h_0 = 900\text{mm}$ 、せん断スパン比 $a/D = 1.5$ 、主筋 12-D16(SD295A)、コンクリート設計基準強度 $F_c = 24\text{N/mm}^2$ とした。軸力は $N = (1/6) \cdot F_c \cdot b \cdot D = 360\text{kN}$ の一定軸力とした。また、袖壁の出幅は左右均等とし $1D = 300\text{mm}$ 、袖壁厚さ $t = 50\text{mm}$ 、柱に対する袖壁の取り付け位置は、柱断面の芯に袖壁を設けるものとした。変動要因は、独立柱として評価した場合の破壊モードと袖壁付き RC 柱として評価した場合の破壊モードを変化させるために、柱の帯筋比、袖壁の壁横筋比の 2 要因とした。柱の帯筋比は、 $p_w = 0.21, 0.68\%$ の 2 水準、袖壁の壁横筋比を $p_{st} = 0.32, 1.28\%$ の 2 水準とした。各試験体の破壊モードの組み合わせを以下に示す。

・No.1 RC-(R1D+L1D)-C-SS (以下、No.1 SS)

*1 福井大学大学院 工学研究科建築建設工学専攻 (正会員)

*2 福井大学大学院 工学研究科建築建設工学専攻 講師 博士 (工学) (正会員)

*3 独立行政法人建築研究所 構造研究グループ 研究員 博士 (工学) (正会員)

表-1 試験体一覧

No.	試験体名	柱-帯筋		袖壁-壁横筋		設定破壊モード	
		補強筋比 ρ_w (ρ_{wy}) (%)	仕様	補強筋比 ρ_w (%)	仕様	柱	袖壁付柱
1	RC-(R1D+L1D)-C-SS	0.21, (0.26)* ¹	D6(SD295A)@100	0.32	D6(SD295A)@200	せん断	せん断
2	RC-(R1D+L1D)-C-FS	0.68, (0.73)* ¹	D10(SD295A)@70	0.32	D6(SD295A)@200	曲げ	せん断
3	RC-(R1D+L1D)-C-FF	0.68, (0.88)* ¹	D10(SD295A)@70	1.28	D6(SD295A)@50	曲げ	曲げ
4	RC-(R1D+L1D)-C-SF	0.21, (0.42)* ¹	D6(SD295A)@100	1.28	D6(SD295A)@50	せん断	曲げ

※1: 壁横筋を帯筋として考慮した場合の柱の補強筋比

■ 試験体記号の説明 ■
 RC-(R1D+L1D)-C-SS
 1 2 3 4
 1. 実験対象
 RC: RC試験体
 2. 袖壁の出幅
 R1D+L1D: 柱の左右に付く袖壁の出幅(D: 柱せい)

■ 共通要因 ■
 柱断面: $b \times D = 300\text{mm} \times 300\text{mm}$
 せん断スパン比: $a/D = 1.5$
 主筋: 12-D16(SD295A)

3. 袖壁の位置
 C: 中央袖壁
 4. 設定破壊モード
 SS: 柱, 袖壁ともにせん断破壊
 FS: 柱は曲げ破壊, 袖壁はせん断破壊
 FF: 柱, 袖壁ともに曲げ破壊
 SF: 柱はせん断破壊, 袖壁は曲げ破壊

設計基準強度: $F_c = 24 (\text{N/mm}^2)$
 軸力: $N = (1/8) \cdot F_c \cdot b \cdot D = 360 (\text{kN})$

独立柱として評価した場合の破壊モードと袖壁付き RC 柱として評価した場合の破壊モードが両者ともに、せん断破壊先行型となる試験体。

・No.2 RC-(R1D+L1D)-C-FS (以下, No.2 FS)

独立柱として評価した場合の破壊モードが曲げ破壊先行型, 袖壁付き RC 柱として評価した場合の破壊モードがせん断破壊先行型となる試験体。

・No.3 RC-(R1D+L1D)-C-FF (以下, No.3 FF)

独立柱として評価した場合の破壊モードと袖壁付き RC 柱として評価した場合の破壊モードが両者ともに、曲げ破壊先行型となる試験体。

・No.4 RC-(R1D+L1D)-C-SF (以下, No.4 SF)

独立柱として評価した場合の破壊モードがせん断破壊先行型, 袖壁付き RC 柱として評価した場合の破壊モードが曲げ破壊先行型となる試験体。

以上, 試験体総数は計4体である。

以下, 本研究で耐力の検討に使用した計算式を以下に示す。柱の終局強度式は「2007年版 建築物の構造関係技術基準解説書」による式(1), 式(2)の技術基準式

¹⁾ を, せん断終局強度式は, 式(3)のA法 (非靱性) 式

²⁾ を使用した。袖壁付き RC 柱の曲げ終局強度式は,

式(4), 式(5)の技術基準式¹⁾, 式(6), 式(7)の精算式³⁾,

式(8), 式(9)の累加式⁴⁾ を使用し, 曲げ許容耐力 (長期,

短期) は文献 1) より平面保持を仮定して, 袖壁端部のコンクリートが許容圧縮応力度に達する条件のもと算出した。次に袖壁付き RC 柱のせん断終局強度式は, 式

(10)の技術基準式¹⁾, 式(11)の益尾式⁴⁾, 式(12)の磯式⁵⁾, 式(13)のせん断許容耐力式 (長期, 短期)¹⁾ を示す。

$$Q_{mu} = M_u / a \quad (1)$$

ここに, a はせん断スパン

$0 \leq N \leq 0.4b \cdot D \cdot F_c$ のとき

$$M_u = 0.8a_1 \cdot \sigma_y \cdot D + 0.5N \cdot D \left(1 - \frac{N}{b \cdot D \cdot F_c} \right) \quad (2)$$

表-2 使用材料の力学的特性

鉄筋の種類	鉄筋の種類	降伏点 (N/mm^2)	引張強度 (N/mm^2)	降伏ひずみ度 (μ)	ヤング係数 $\times 10^4 (\text{N/mm}^2)$
主筋	D16(SD295A)	348	499	1890	1.84
帯筋(No.2,3), 壁横筋(端部)	D10(SD295A)	366	500	2070	1.82
帯筋(No.1,4), 壁横筋(壁端部)	D6(SD295A)	349	523	3960	1.81
コンクリート	試験体	圧縮強度 (N/mm^2)	引張強度 (N/mm^2)	ポアソン比	ヤング係数 $\times 10^4 (\text{N/mm}^2)$
材料(養生)	32~41日(全軸)	38.0	2.63	0.176	3.19

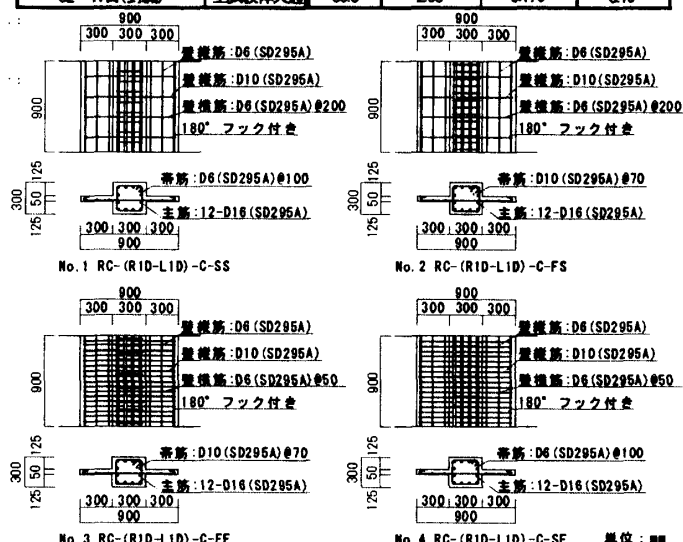


図-1 試験体配筋図

記号は文献 1) 参照のこと。

$$Q_{mu} = b \cdot j_c \cdot p_w \cdot \sigma_{wy} \cdot \cot \phi + \tan \theta (1 - \beta) b \cdot D \cdot v \cdot \sigma_s / 2 \quad (3)$$

記号は文献 2) 参照のこと。

$$Q_{mu} = M_u / a \quad (4)$$

$$M_u = (0.9 + \beta) a_1 \cdot \sigma_y \cdot D + 0.5N \cdot D \left\{ 1 + 2\beta - \frac{N}{b \cdot D \cdot F_c} \left(1 + \frac{a_1 \cdot \sigma_y}{N} \right)^2 \right\} \quad (5)$$

記号は文献 1) 参照のこと。

表-3 実験結果および計算結果一覧

No.	試験体名	実験結果			計算結果/(実験値/計算値)															設定破壊モード
		最大耐力 (kN) Q _{max}	破壊モード ^{※1} 内部抵抗 ひび割れ		柱のみ					袖壁付きRC柱					せん断耐力 (kN)					
					Q _{max} ^{※1}	Q _{max} ^{※1}	Q _{max} ^{※1}	Q _{max} ^{※1}	Q _{max} ^{※1}	Q _{max} ^{※1}	Q _{max} ^{※1}	Q _{max} ^{※1}	Q _{max} ^{※1}	Q _{max} ^{※1}	Q _{max} ^{※1}	Q _{max} ^{※1}	Q _{max} ^{※1}			
1	RC-(R1D+L1D)-C-SS	383 -389	SS	SS	254 (1.53)	202, 219 ^{※2} (1.93), (1.78) ^{※2}	617 (0.63)	549 (0.71)	466 (0.84)	205 (1.90)	241 (1.62)	284 (1.37)	545 (0.71)	445 (0.87)	75 (5.19)	112 (3.48)	SS			
2	RC-(R1D+L1D)-C-FS	434 -425	FS	SS	254 (1.71)	359, 377 ^{※2} (1.21), (1.15) ^{※2}	617 (0.70)	549 (0.76)	466 (0.93)	205 (2.12)	241 (1.80)	340 (1.28)	501 (0.73)	527 (0.82)	110 (3.95)	164 (2.65)	FS			
3	RC-(R1D+L1D)-C-FF	518 -504	FF	FF	254 (2.04)	359, 429 ^{※2} (1.44), (1.21) ^{※2}	617 (0.84)	549 (1.11)	466 (2.53)	205 (2.15)	241 (2.15)	353 (1.47)	591 (0.88)	630 (0.82)	168 (3.08)	249 (2.08)	FF			
4	RC-(R1D+L1D)-C-SF	501 -505	FF	SF	254 (1.99)	202, 269 ^{※2} (2.50), (1.88) ^{※2}	617 (0.82)	549 (0.92)	466 (1.08)	205 (2.47)	241 (2.10)	305 (1.66)	545 (0.93)	548 (0.92)	133 (3.80)	197 (2.57)	SF			

()内の数字は実験値/計算値による比較値を示す。
※1: 計算に使用した式を以下に示す。
Q_{max}: 技術基準式¹⁾ Q_{max}: 技術基準式¹⁾ Q_{max}: 曲げ許容耐力(長期)¹⁾⁽⁸⁾ Q_{max}: 技術基準式¹⁾ Q_{max}: せん断許容耐力(長期)¹⁾
Q_{max}: A法²⁾ Q_{max}: 精算式³⁾ Q_{max}: 曲げ許容耐力(短期)¹⁾⁽⁸⁾ Q_{max}: 益尾式⁴⁾ Q_{max}: せん断許容耐力(短期)¹⁾
Q_{max}: 累加式⁵⁾ Q_{max}: 繰式⁵⁾

※2: 柱部分の壁横筋を帯筋として換算して計算した結果を示す。
※3: 破壊モードの「内部抵抗」は、内部抵抗(主筋、帯筋、壁横筋のひずみ性状)から破壊モードを判定したものである。
破壊モードの「ひび割れ」は、ひび割れ性状から破壊モードを判定したものである。

$$Q_{max} = M_{ax} / a$$

ここに、aはせん断スパン

$$M_{ax} = (g_1 + \beta_c) a_i \sigma_y D + 1 + 0.5(\beta_c + \beta_i) \Sigma a_{wi} \sigma_{wi} D + 0.5N \cdot D(1 + 2\beta_c) - \frac{0.5}{\alpha \cdot b \cdot F_c} \{N + (1 - \gamma) a_i \sigma_y\} \quad (7)$$

記号は文献3) 参照のこと。

$$Q_{max} = M_{ax} / a$$

ここに、aはせん断スパン

$N_2 < N \leq N_3$ のとき

$$M_{ax} = 0.8a_i \sigma_y D$$

$$+ 0.5(N + a_i \sigma_y - N_m) D \left\{ 1 - \frac{(N + a_i \sigma_y - N_m)}{(b \cdot D \cdot F_c)} \right\} + M_m \quad (9)$$

記号は文献4) 参照のこと。

$$Q_{ax1} = \left\{ \frac{0.053 p_w^{0.28} (F_c + 18)}{M / (Q \cdot d_i) + 0.12} + 0.85 \sqrt{p_w \cdot \sigma_w} \right\} b \cdot j_c + 0.1N \quad (10)$$

記号は文献1) 参照のこと。

$$Q_{ax2} = b \cdot j_c \cdot v_i \cdot p_w \cdot \sigma_w + \tan \theta (1 - \beta_c) A_{ar} \cdot v_c \cdot \sigma_B / 2 \quad (11)$$

記号は文献4) 参照のこと。

$$Q_{ax3} = v_i \cdot \left\{ p_m \cdot \sigma_w \left(\frac{j_c}{j_i} \right) + p_m \cdot \sigma_w \left(\frac{j_w}{j_i} \right) \right\} b \cdot j_c + \tan \theta (1 - \beta) \alpha \cdot b \cdot l_w \cdot v_c \cdot \sigma_B / 2 \quad (12)$$

記号は文献5) 参照のこと。

$$Q_{ax4(s)} = \Sigma Q_w + Q_c = p_m \cdot f_i \cdot l_w (l_i + l_j) + b \cdot j_c \{ \alpha \cdot f_i + 0.5 \cdot f_i (p_w - 0.002) \} \quad (13)$$

記号は文献1) 参照のこと。

なお、本研究では帯筋と壁横筋のみを変化させることで4種類の破壊モードが得られるように設計を行った。

なお、袖壁付きRC柱で比較的に精度良く終局強度を評価する式で曲げについて2式、せん断について2式による組合せについて計算値と破壊モードの適合性につ

表-4 袖壁付きRC柱における設定破壊モードと計算式による破壊モードの適合性一覧

No.	試験体名	袖壁付きRC柱				
		曲げ耐力式		精算式		累加式
		せん断耐力式	益尾式	繰式	繰式	
1	RC-(R1D+L1D)-C-SS	O(S)	O(S)	O(S)	x(F)	O(S)
2	RC-(R1D+L1D)-C-FS	x(F)	O(S)	x(F)	x(F)	x(F)
3	RC-(R1D+L1D)-C-FF	O(F)	O(F)	O(F)	O(F)	O(F)
4	RC-(R1D+L1D)-C-SF	x(S)	x(S)	x(S)	O(F)	O(F)

計算式による値が設定破壊モードに適合の場合○、不適合の場合×
 ()内の文字は計算上想定される破壊モード

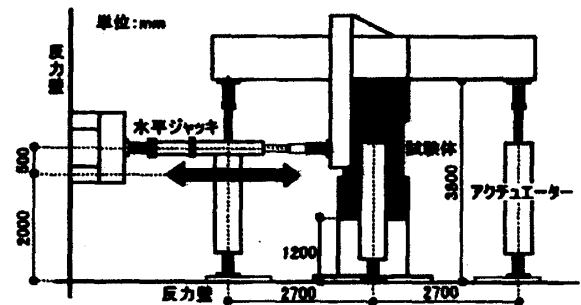
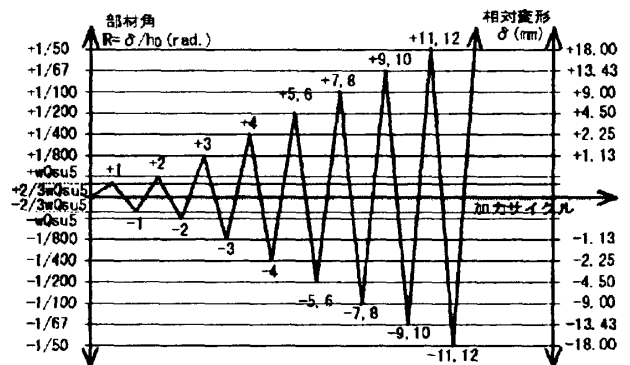


図-2 加力装置



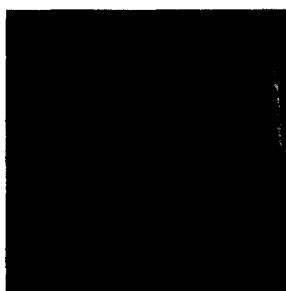
No.	試験体名	Q_{ax5} (kN)
1	RC-(R1D+L1D)-C-SS	112
2	RC-(R1D+L1D)-C-FS	164
3	RC-(R1D+L1D)-C-FF	249
4	RC-(R1D+L1D)-C-SF	197

図-3 加力プログラム

いてすべてが不適合とならないように設計を行った。破壊モードの設定に使用した評価式は、独立柱として評価する場合の曲げ終局強度式には、式(1)、式(2)による技術基準式¹⁾を、せん断終局強度式は、式(3)によるA法(非靱性)式²⁾を用いて判定した。一方、袖壁付きRC柱として評価する場合の曲げ終局強度式には、式(6)、式



No. 1 RC-(R1D-L1D)-C-SS
R=+1/200 (rad.)



No. 2 RC-(R1D-L1D)-C-FS
R=+1/200 (rad.)



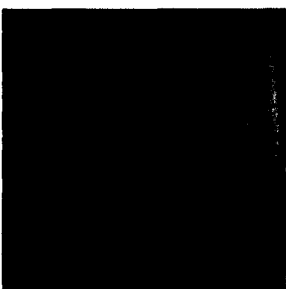
No. 3 RC-(R1D-L1D)-C-FF
R=+1/100 (rad.)



No. 4 RC-(R1D-L1D)-C-SF
R=+1/100 (rad.)

写真-1 最大耐力を含むサイクル時のひび割れ状況

R=1/200(rad.)以降耐力の低下が著しいため実験終了につきR=1/50(rad.)時の写真無し。



No. 1 RC-(R1D-L1D)-C-SS



No. 2 RC-(R1D-L1D)-C-FS



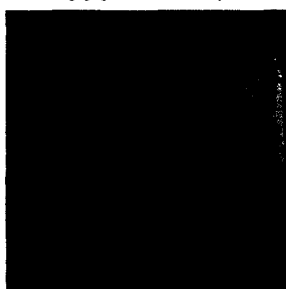
No. 3 RC-(R1D-L1D)-C-FF

No. 4 RC-(R1D-L1D)-C-SF

写真-2 R=+1/50 (rad.) 時のひび割れ状況



No. 1 RC-(R1D-L1D)-C-SS
R=+1/100 (rad.)



No. 2 RC-(R1D-L1D)-C-FS
R=+1/50 (rad.)



No. 3 RC-(R1D-L1D)-C-FF
R=+1/33 (rad.)



No. 4 RC-(R1D-L1D)-C-SF
R=+1/25 (rad.)

写真-3 最終破壊状況

(7)による精算式³⁾、式(8)、式(9)による累加式⁴⁾を用い、せん断終局強度式は、式(11)による益尾式⁴⁾、式(12)による磯式⁵⁾を用いて判定した。独立柱として評価する場合の計算式による破壊モードは、壁横筋を帯筋として換算して計算した値ではNo. 4試験体が設定破壊モードに対して逆の破壊モード(曲げ破壊)となる。一方、壁横筋を無視して柱のせん断補強筋を帯筋のみで計算した場合には、全ての試験体が設定した破壊モードとなる。袖壁付きRC柱として評価する場合の計算式による破壊モードと設定破壊モードとの適合性を表-4に示す。○が適合、×が不適合である。これより設定破壊モードと計算値による破壊モードとの適合性に欠ける試験体がある。とくに、No.2試験体は設定破壊モードに対して計算式による破壊モードが大きく異なっている。

2.2 加力方法

図-2に加力装置、図-3に加力プログラムを示す。加力は、建研式加力により行い、正負交番漸増繰返し載荷とした。軸力は鉛直方向の4台のアクチュエーター

により一定軸力($N=(1/6) \cdot F_c \cdot b \cdot D=360\text{kN}$)を与え、水平力は水平方向の2台の油圧ジャッキにより与えた。加力プログラムは、 ± 2 サイクルまでは荷重制御とし、 ± 1 サイクル目は $2/3 wQ_{\text{sus}}$ 、 ± 2 サイクル目は wQ_{sus} とした。その後は、部材角で制御し、 $1/800(\text{rad.})$ 、 $1/400(\text{rad.})$ を各1サイクル、 $1/200(\text{rad.})$ 、 $1/100(\text{rad.})$ 、 $1/67(\text{rad.})$ 、 $1/50(\text{rad.})$ を各2サイクル行うことを原則とした。その後は耐力が最大耐力の80%まで低下するところまで押し切ることとした。また、せん断破壊して途中のサイクルで脆性的に耐力が低下した場合は、その時点で加力を終了した。

3. 実験結果

3.1 破壊性状

写真-1に最大耐力を含むサイクル時のひび割れ状況を、写真-2に $+1/50(\text{rad.})$ 時のひび割れ状況を、写真-3に最終破壊状況を示す。試験体のひび割れ発生順序は、袖壁の引張側より曲げひび割れが最初に発生する。その後のひび割れ発生順序は試験体により多少異なる

が、おおむね柱の曲げひび割れ、袖壁のせん断ひび割れ、柱のせん断ひび割れの順にひび割れが発生した。

短期許容せん断力時のひび割れ状況は、写真には示していないが袖壁の引張側端部に曲げひび割れが生じる程度であり、損傷は軽微なものであった。

内部抵抗から判断される破壊モードの定義を以下に示す。独立柱の破壊モードは、主筋に対して帯筋が先行して降伏する場合をせん断破壊型、帯筋に対して主筋が先行して降伏する場合を曲げ破壊型とした。袖壁付き RC 柱の破壊モードは、主筋が壁横筋に先行して降伏する場合をせん断破壊型、壁横筋に対して主筋が先行して降伏する場合を曲げ破壊型とした。なお、袖壁端部の壁縦筋上下端に関しては、すべての試験体において早い段階で降伏する現象が見られた。

内部抵抗から判断される破壊モードは、No.1 SS, No.2 FS, No.3 FF に関しては設定破壊モードと同様の結果となった。一方、No.4 SF の独立柱としての破壊モードは、主筋の降伏が先行し曲げ破壊型となり、設定破壊モードと異なる結果となった。

次に、ひび割れ性状により判断される破壊モードの定義を以下に示す。独立柱としては柱端部の曲げひび割れに対してせん断ひび割れが進展、口開く性状を示す場合をせん断破壊型、曲げひび割れが進展する場合を曲げ破壊型とした。袖壁付き RC 柱としては袖壁端部の曲げひび割れおよび圧壊に対してせん断ひび割れが進展、口開く性状を示す場合をせん断破壊型、袖壁端部の曲げひび割れおよび圧壊が進展する場合を曲げ破壊型とした。

No.1 SS, No.3 FF, No.4 SF では設定破壊モードと同じ結果を示した。No.2 FS に関しては袖壁付き RC 柱としては設定破壊モードと同じ結果を示したが、独立柱としての破壊モードは、せん断破壊型に近い性状を示し、設定破壊モードと異なる性状を示した。

以上、内部のひずみ度および外部からのひび割れによる破壊性状より、独立柱では一部、また袖壁付き RC 柱としてはすべての試験体について計画時に設定した破壊モードを実現で

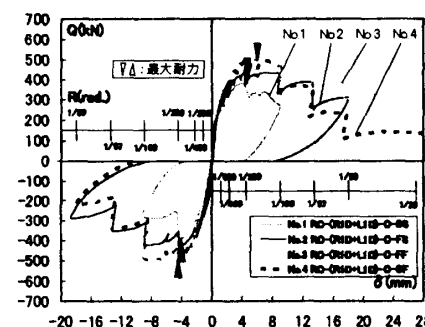


図-4 Q- δ 包絡線の比較

きたと考えられる。

3.2 変形性状

図-4 に Q- δ 包絡線の比較、図-5 にせん断力(Q)ー相対変位(δ)関係図を示す。

図-4 より弾性剛性は、配筋の違いによる影響は認められずほぼ同等であった。せん断ひび割れ発生後の剛性は、袖壁付き RC 柱の設定破壊モードをせん断破壊とした No.1 SS, No.2 FS に比較して、破壊モードを曲げ破壊とした No.3 FF, No.4 SF は剛性が高くなる傾向が認められた。最大耐力後の変形性状は、全ての試験体で、変形の増加とともに耐力を徐々に低下させる性状を示す。

以下、図-5 より各試験体の最大耐力後の性状を詳細に示す。No.1 SS は、耐力の低下が急激であり脆性的な変形性状を示した。No.2 FS は、 $R=1/100(\text{rad})$ までは耐力を維持し、その後は緩やかに耐力を低下させる。その後の耐力は、技術基準式(式(1)、式(2))による柱の曲げ終局強度 Q_{mu} に近づく傾向が認められた。No.3 FF は、緩やかに耐力を低下させる。その後の耐力は、技術基準式による柱の曲げ終局強度 Q_{mu} を上回る耐力を維持しており、最もエネルギー吸収能力が優れた試験体となっている。No.4 SF は、耐力を低下させ、その低下の割合は、No.2 FS, No.3 FF に比較して大きい。また、技術基準式による柱の曲げ終局強度 Q_{mu} を $R=1/67(\text{rad})$ 以降下回り、ややエネルギー吸収能力が乏しい性状となっている。耐力低下の割合は、No.1 SS が最も大きく、No.3 FF が最も小さい。また、独立柱としての設定破壊モードを曲げ破壊とした No.2 FS, No.3 FF は、せん断破壊とした No.1 SS, No.4 SF に比較して緩やかに低下する傾向を示した。

同図中に短期許容せん断力のラインを示している。短期許容せん断力は、Q- δ 曲線上の曲げひび割れ発生荷重

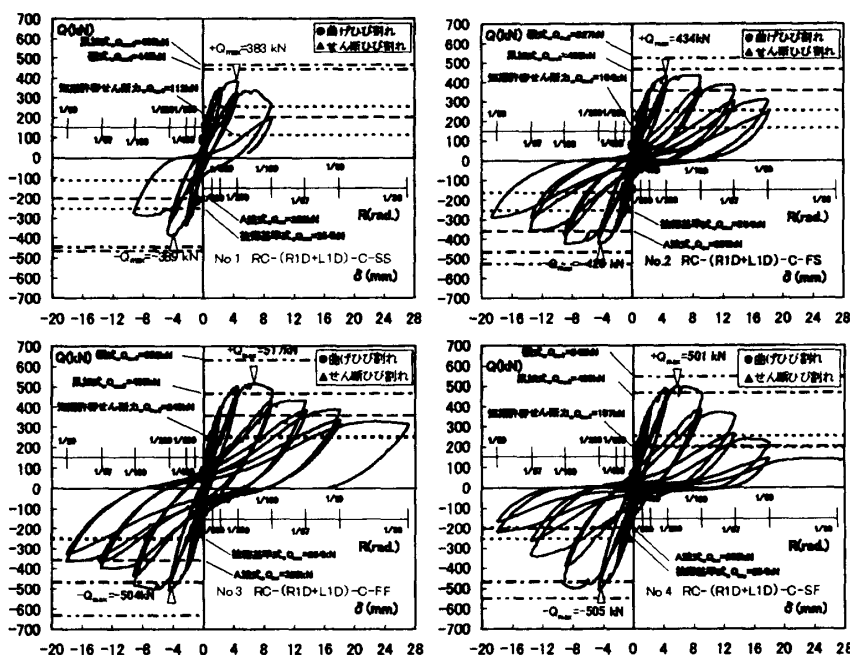


図-5 せん断力(Q)ー相対変位(δ)関係図

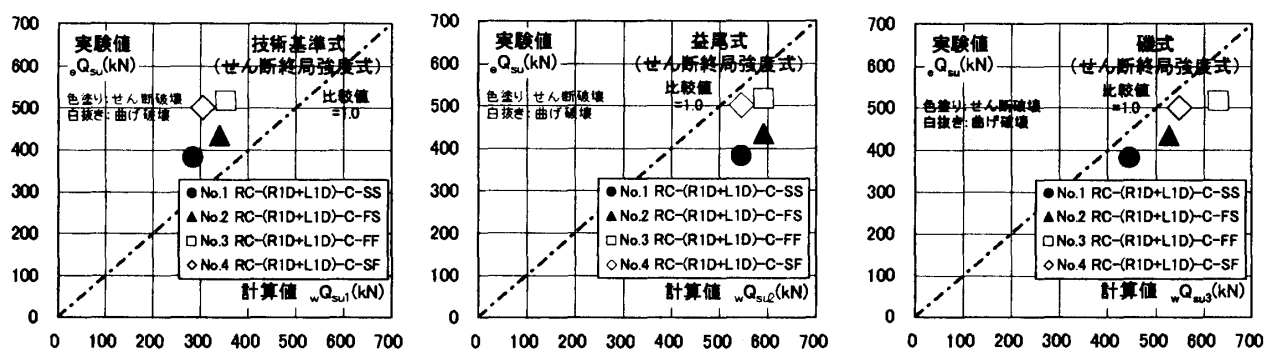


図-6 最大耐力実験値と既往のせん断終局強度式による計算値との比較

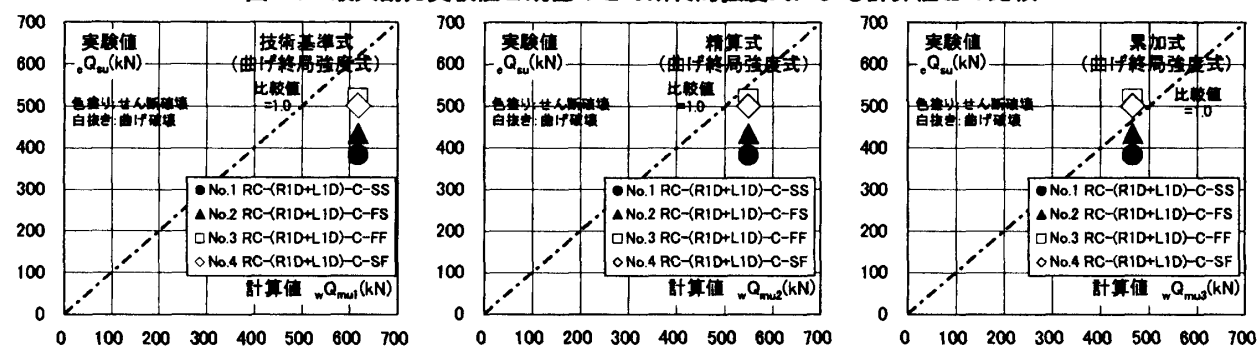


図-7 最大耐力実験値と既往の曲げ終局強度式による計算値との比較

とせん断ひび割れ発生荷重のおおむね間にあり、弾性的な挙動を示す領域にあるといえる。

3.3 袖壁付き RC 柱の終局耐力

図-6 に最大耐力実験値と既往のせん断終局強度式による計算値との比較を、図-7 に最大耐力実験値と既往の曲げ終局強度式による計算値との比較を示す。色塗りの試験体は袖壁付き RC 柱として破壊がせん断破壊と判定した試験体であり、白抜きは曲げ破壊と判定した試験体である。図-6 は、色塗りの試験体の実験値と計算値との比較を行うもので、白抜きの試験体は参考として見て頂きたい。同様に、図-7 は、白抜きの試験体の実験値と計算値との比較を行うもので、色塗り試験体は参考として見て頂きたい。

図-6 より、せん断破壊を示した色塗り試験体の実験値を各せん断終局強度式で除した比較値は、技術基準式では 1.28~1.37、益尾式では 0.71~0.73、磯式では 0.82~0.87 であり、技術基準式では安全側に、益尾式、磯式では危険側に評価される結果となった。

図-7 より、曲げ破壊を示した白抜き試験体の比較値は、技術基準式では 0.82~0.84、精算式では 0.92~0.94、累加式では 1.08~1.11 であり、技術基準式では危険側に、精算式、累加式では実験値を概ね評価できる傾向を示した。

4. まとめ

袖壁を無視した独立柱としての破壊モードと袖壁付き RC 柱としての破壊モードの組み合わせにより、袖壁付き RC 柱の破壊性状、変形状、耐力が大きく異なる

ことを示した。また、最大耐力の実験値と既往のせん断終局強度式および曲げ終局強度式による計算値との比較が示され、各評価式の適合性を示した。

謝辞

平成 19 年度福井大学磯研究室卒業研究生：上田有香さん、市原聡君、鈴木康平君、ラハマンマハブブル君、独立行政法人建築研究所構造研究グループ：飯場正紀氏、福山洋氏、諏訪田晴彦氏、向井智久氏に多大な協力を頂きました。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 建築物の構造関係技術基準解説書編集委員会：2007 年版 建築物の構造関係技術基準解説書，全国官報販売協同組合，pp.641~646，2007.8
- 2) (社) 日本建築学会：鉄筋コンクリート造の建物の終局強度型耐震設計指針・同解説，pp.106~116，1990.11
- 3) (社) 日本建築学会：鉄筋コンクリート終局強度設計に関する資料，pp.56~58，1987.9
- 4) 益尾潔，神野靖夫：袖壁貫通型アンカーを用いた柱のみの CFRP シート巻き付け工法による袖壁付き RC 柱の補強効果，日本建築学会構造系論文集，No.536，pp.121~128，2000.10
- 5) 磯雅人，松崎育弘，園部泰寿ほか：連続繊維シートによりせん断補強された袖壁付き RC 柱のせん断終局耐力評価，日本建築学会構造系論文集，No.542，pp.147~154，2001.4
- 6) (社) 日本建築学会：鉄筋コンクリート構造 計算規準・同解説 一許容応力度設計法一，1999.11