

鉄筋コンクリート造片側袖壁付き柱の耐力および変形挙動

－壁厚が薄い場合－

久徳 琢磨・徳広 育夫
(受理 平成元年5月31日)

STRENGTH AND DEFORMATION BEHAVIORS OF REINFORCED CONCRETE COLUMNS WITH WING WALL IN ONE SIDE

Takuma, KYUTOKU and Ikuo, TOKUHIRO

The equations of the ultimate strength for a column with wing walls in both sides which have been generally used, are not always estimated with accuracy, as compared to the ultimate strength for rectangular columns, because of the complicated section of the column.

Moreover, those equations have been applied to columns with wing wall in one side. The sections of the columns with wing walls in both sides are symmetric, whereas those columns with in one side are unsymmetric.

Accordingly, it is assumed that these two types of columns are different in failure patterns and deformation behaviors. The object of this paper is to investigate the strength and deformation behaviors of the four types of concrete columns with wing wall in one side, and to present a satisfactory equation of the ultimate strength for the columns with wing wall in one side.

1. 序

両側袖壁付き柱の曲げ終局強度、及びせん断終局強度推定式は、長方形柱の終局強度推定式に比べ強度に及ぼす因子が多いため精度が悪い。また、片側のみに袖壁の付いた柱の終局強度は、この種の実験が極めて少ないため上記両側袖壁付き柱の終局強度推定式を準用している。両側袖壁付き柱のように対称断面を有する部材の柱頭および柱脚の曲げ終局強度は同一であるのに対し、片側袖壁付き柱のような非対称断面部材では、柱頭および柱脚の曲げ終局強度は異なる。このことから、片側袖壁付き柱の破壊性状および変形挙動は、両側袖壁付き柱部材とは相違があると考えられる。片側袖壁付き柱についての既往の実験では、柱部材全体を試験体としているため、すなわち柱の中央部に反曲点が生じるような加力方法であるため、加力方向の相違による部材の耐力、及び変形性状の相違はほとんど表面には表れてきていない。したがって、本研究では、この種の非対称部材の耐力、及び変形性状を抽出する

ため柱部分の下半分を取り出し、片持ちばり形式による加力実験を行った。

2. 実験概要

2-1. 試験体

試験体形状は、実際の建物の約1/3のスケールを想定している。

本実験では壁厚が薄い場合の破壊および変形性状を明らかにする目的から、各試験体の壁厚 t と柱幅 b との比を $t/b=1/4$ とした。また、部材の終局強度に及ぼすせん断スパン比および壁筋比の影響を検討するため、壁の張り出し長さを柱せいと同一および柱せいの2倍を有する場合を設定し、おのおの場合について壁筋比を変えて試験体を製作した。したがって、実験に際し採用したパラメータは、壁の張り出し長さ比、および壁筋比の2種である。

試験体の種類を表-1に示す。また、試験体の形状・寸法および配筋の一例を図-1(a)、(b)に示す。同表中において、試験体名は $CW-\beta-Pw-Ps$ で表して

表-1 試験体の種類

試験体名	CW-2-64-85	CW-2-64-42	CW-1-64-85	CW-1-64-42	
柱幅 b (cm)	20				
柱せい D (cm)	20				
壁厚 t (cm)	5				
壁長さ ℓ_w (cm)	40	40	20	20	
柱	主筋	4-D13 (Pt=0.64%)			
	帯筋	D6 @50 (Pw=0.64%)			
壁	壁筋	D6 @75	D6 @150	D6 @75	D6 @150
	Ps (%)	0.85	0.42	0.85	0.42

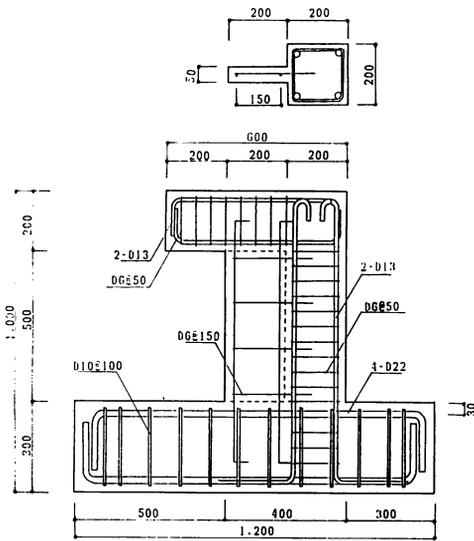


図-1 (a) 試験体の形状・寸法及び配筋 (CW-1-64-85, CW-1-64-42)

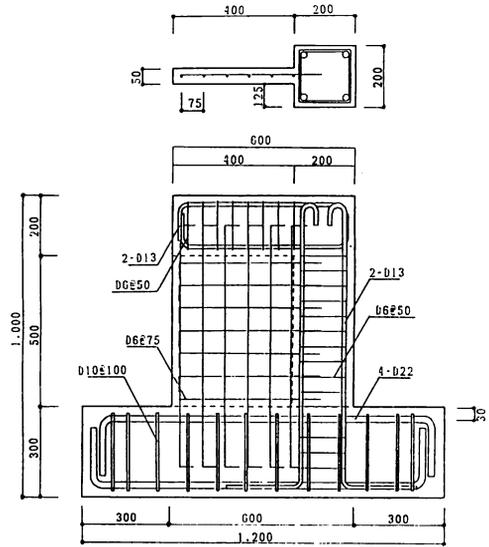


図-1 (b) 試験体の形状・寸法及び配筋 (CW-2-64-85, CW-2-64-42)

おり, CW は壁付き柱を表し, β は壁の張り出し長さ ℓ_w と柱せい D との比, Pw は帯筋比, および Ps は壁筋比を表している。なお, Pw, Ps の各数値は百分率で表した場合の小数点以下 2 桁の数字で示している。

試験体のはり, および柱断面の寸法および配筋は同一とした。

2-2. 材料の性質

コンクリートは, 砕石・砂を用いた普通コンクリートであり, 下記の設計条件により発注したレデーミクスコンクリートを使用した。

[設計条件]

- ・コンクリートの種類: 標準品 (普通ポルトランドセメント)

- ・設計基準強度 : 180kg/cm²

- ・所要スランプ : 21cm

- ・粗骨材の最大寸法: 13cm

コンクリート打設時にテストピース (直径10cm, 高さ20cm) を各試験体について 5 本ずつ計20本採取し, 試験体と同一条件で空中養生した。

実験を行う前に各試験体ごとに採取したテストピース (5本) の圧縮試験を行った。

柱および壁に使用した鉄筋は, SD30の D6 (帯筋および壁筋に使用) と D13 (柱主筋に使用) の 2 種類である。

コンクリートの圧縮試験結果と鉄筋の引張試験結果を表-2 に示す。

表-2 材料の性質

コンクリート		σ_B (kg/cm ²)
CW-2-64-85		192
CW-2-64-42		191
CW-1-64-85		196
CW-1-64-42		217
鉄筋		
種類	σ_y (kg/cm ²)	σ_{max} (kg/cm ²)
D 6	3,732	5,156
D 13	3,513	4,647

2-3. 加力方法

加力装置の概要を図-2に示す。試験体は、基礎部分を反力フレームにPC鋼棒で締めつけ固定している。

水平加力は、柱頭変位を基礎上端から加力点までの距離で割った部材角で制御する正負交番繰り返し加力である。柱軸力は、柱が靱性を保持するための限界として示されている値¹⁾近傍 $N/(bD\sigma_B) = 1/3$ を目安とし、各試験体とも同一の23ton ($N/bD = 57.5 \text{ kg/cm}^2$) である。軸力は、実験中一定値を保つように制御を行った。加力サイクルを図-3に示す。

2-4. 測定方法

荷重は、ロードセルにより検出した。また、水平および鉛直変位は図-4(a), (b)に示す位置で変位計を

用いて測定した。変位計4および5、ならびに変位計6および7は、各高さ位置での部材の回転角を測定するために設けた。また、図-5(a), (b)に示す位置で柱の主筋、帯筋、および縦壁筋の歪をW.S.G.を用いて測定した。

3. 実験結果

3-1. 水平荷重—変形関係およびびびり割れ性状

実験より得られた荷重—変形曲線を図-6(a)~(d)に示す。また、最大耐力時および最終的なびびり割れ状況を図-7(a), (b)に示す。

図-6から分かるように、各試験体とも加力方向の相違による耐力の差が顕著である。一方、変形増加による耐力の低下は、負加力時ではほとんど見られず安定しているが、正加力時では最大耐力後急激に耐力の

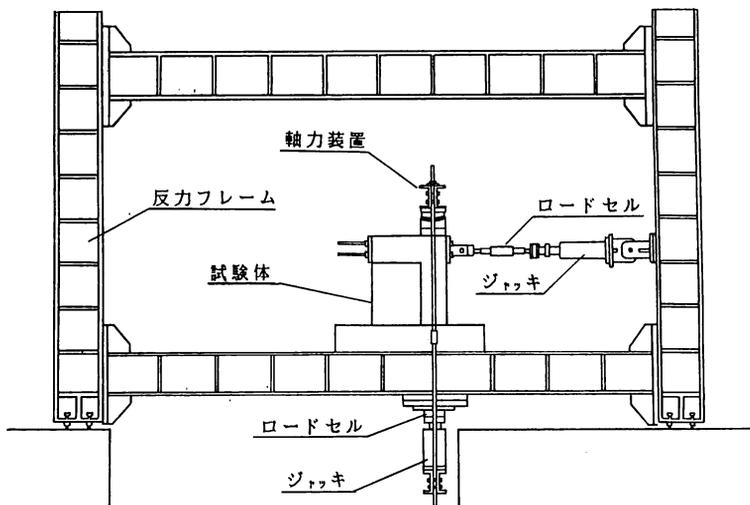


図-2 加力装置

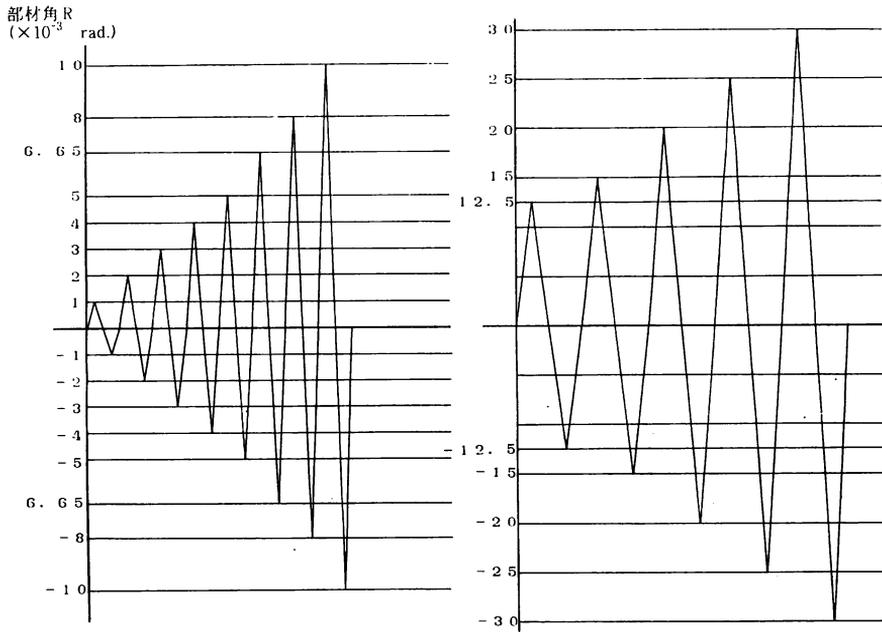


図-3 加力サイクル

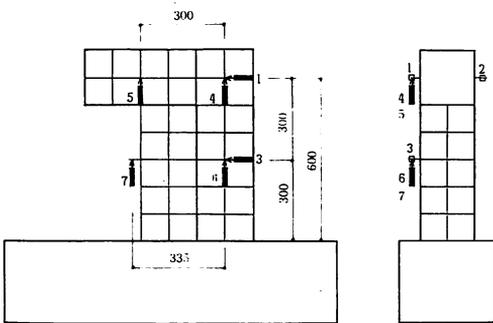


図-4 (a) 水平および鉛直変位測定位置
(CW-1-64-85, CW-1-64-42)

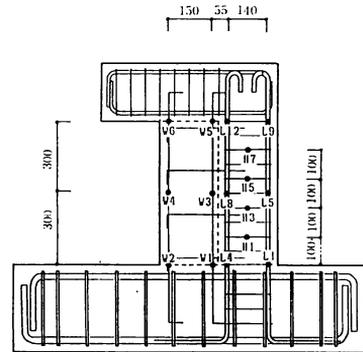


図-5 (a) 鉄筋の歪測定位置
(CW-1-64-85, CW-1-64-42)

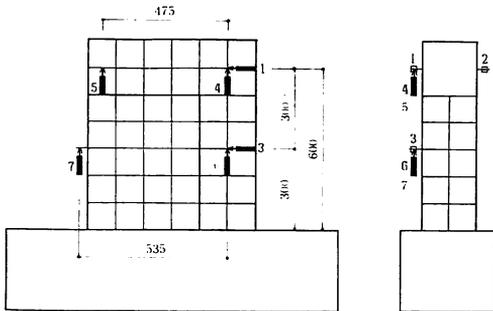


図-4 (b) 水平および鉛直変位測定位置
(CW-2-64-85, CW-2-64-42)

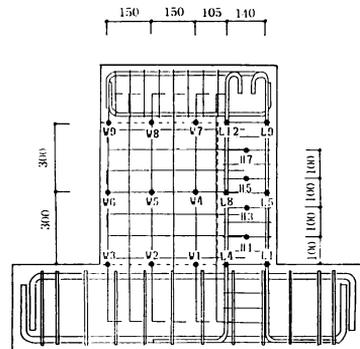


図-5 (b) 鉄筋の歪測定位置
(CW-2-64-85, CW-2-64-42)

低下が生じている。耐力の低下の割合は、壁の張り出し長さの大きなCW-2-64-85およびCW-2-64-42で顕著である。図-7に示すように、各試験体とも柱には軸力を保持しえなくなる程の顕著なせん断ひび割れは発生しなかったため、CW-2-64-85およびCW-2-64-42試験体では最大耐力後には壁のスリップ

破壊が進み、最終的に壁側の柱脚にもコンクリートの圧縮破壊を生じながら耐力が低下していき、またCW-1-64-85およびCW-1-64-42試験体では最大耐力後には柱脚部のコンクリートの圧縮破壊が壁外端から柱側へ進展していき耐力が低下していった。変位増加に伴う耐力低下は次第に緩慢になり最終的な耐力は負

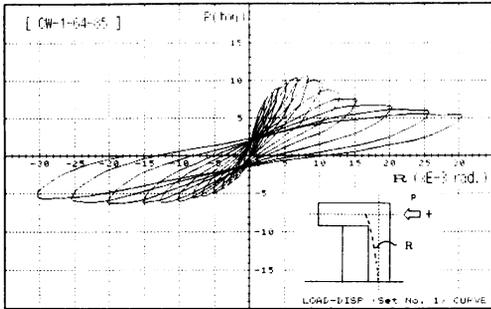


図-6 (a) 水平荷重-変形曲線(CW-1-64-85)

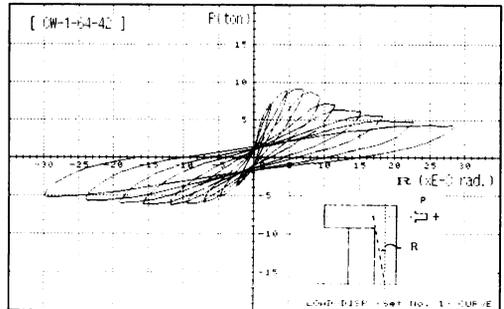


図-6 (b) 水平荷重-変形曲線(CW-1-64-42)

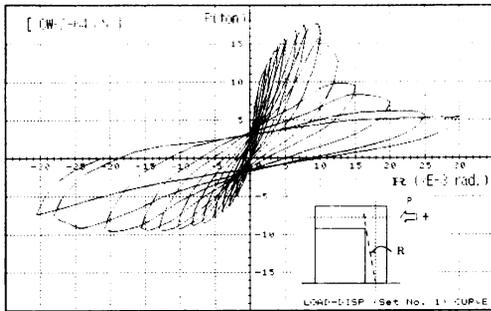


図-6 (c) 水平荷重-変形曲線(CW-2-64-85)

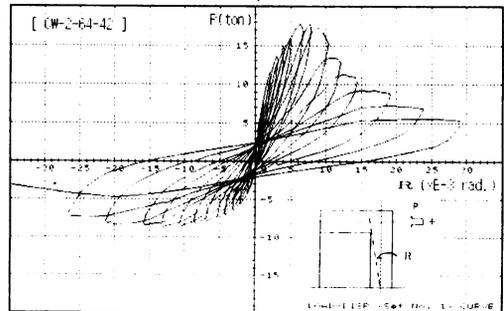


図-6 (d) 水平荷重-変形曲線(CW-2-64-42)

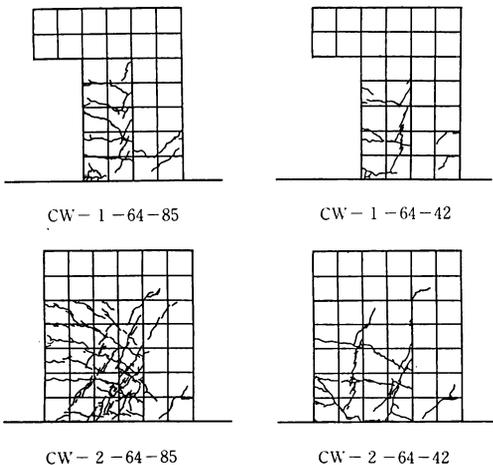


図-7 (a) 最大耐力時のひび割れ状況

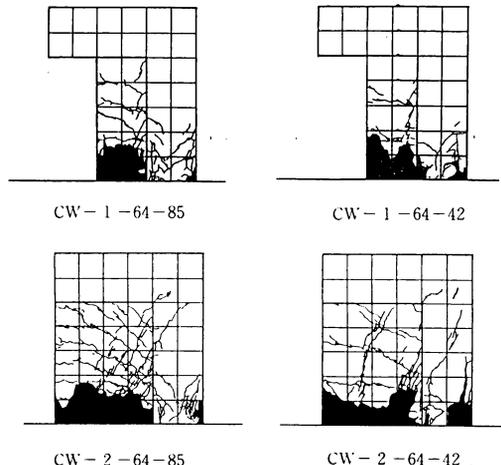


図-7 (b) 最終的なひび割れ状況

加力時の耐力に近接して来ている。

ひび割れ発生状況を概説すると以下ようになる。

CW-2-64-85, CW-2-64-42の試験体では, 第1サイクル $R = \pm 1.0 \times 10^{-3}$ rad.の時に壁に初ひび割れが発生した。正加力時ではせん断ひび割れであったが, 負加力時では曲げひび割れであった。最大耐力後, 正加力時では柱脚部近傍の壁板がせん断スリップ破壊をおこし耐力低下を生じていったが, 負加力時では曲げによる柱脚部コンクリートの圧縮破壊により終局に至った。

CW-1-64-85, CW-1-64-42の試験体では, 負加力時 $R = -1 \times 10^{-3}$ rad.の時に壁に曲げひび割れが発生したが, せん断ひび割れが発生したのは正加力時 $R = 3 \times 10^{-3}$ rad.の時であった。最大耐力後, 正負両加力において曲げによる壁板および柱脚部コンクリートの圧縮破壊により耐力低下が生じ終局に至った。

また, ひび割れ間隔は, $P_s = 0.85\%$ では狭く, $P_s = 0.42\%$ では広い。

4. 検 討

4-1. 壁筋比の影響

CW-2-64-85, CW-2-64-42の試験体では, 正加力(壁が圧縮側)時には最大耐力の相違はみられないが, 負加力(壁が引張側)時にはCW-2-64-85の方が最大耐力が若干高い。これは, 正加力時ではコンクリートブレースの圧縮破壊により最大耐力に達したため, 両試験体間において壁筋比による耐力の違いが現れなかったものであろう。それに対し, 負加力時には壁筋は引張側になるため, 壁筋比 $P_s = 0.85\%$ (縦壁筋は6本)と $P_s = 0.42\%$ (縦壁筋は3本)との差による曲げ抵抗との差によって耐力の相違が現れている。

CW-1-64-85, CW-1-64-42の試験体では, 上記試験体とは逆に, 負加力時にはCW-1-64-85の方が最大耐力が高い。これは, 両試験体とも壁および柱脚部コンクリートの曲げによる圧縮破壊で最大耐力に達したため, 正加力時には壁筋が曲げ圧縮筋として有効に作用したためであろう。一方, 負加力時では, 壁筋は引張として作用するが, $P_s = 0.85\%$ (縦壁筋は3本)と $P_s = 0.42\%$ (縦壁筋は2本)との差が少ないため, また壁の張り出し長さも少ないので曲げ抵抗も効果的に作用しなかったために両試験体間での耐力の相違が現れなかったのであろう。

4-2. 終局耐力

袖壁付き柱の終局強度を求める既往の式は以下に示す(1), (2)式である。これらの式は, 袖壁付き柱の断面を全せい(柱せい+壁張り出し長さ)が同一で, かつ全断面積が同一の等価な長方形断面に置き換えて使用するものである。したがって, これらの式では袖壁付き柱の破壊は壁および柱が一体となって同時に生じるものと考えているものである。

しかし, 柱に壁が付いた場合, 特に壁が圧縮側になる場合にはせん断力のほとんどが壁板に負担されているため, 壁板の破壊が部材全体の破壊より先行したときには壁部の耐力は部材全体の耐力に大きく影響を与えるであろう。したがって, 本報では壁が圧縮側になる場合の袖壁付き柱の終局強度を柱の曲げ終局強度と壁とせん断終局強度との累加によって求め, その計算値と実験値との検討も行った。なお, 壁のせん断終局強度は, 壁板がスリップ破壊する場合の算定式を使用した。

終局耐力算定に用いた式を以下に示す。

[袖壁付き柱の曲げ終局強度]

$$Q_{bu} = M_u/h$$

$$M_u = (0.9 + \beta) a_t \sigma_y D$$

$$+ 0.5ND \left\{ 1 + 2\beta - \frac{N}{b_e D \sigma_B} \left(1 + \frac{a_t \sigma_y}{N} \right)^2 \right\} \quad \dots\dots(1)$$

[袖壁付き柱のせん断終局強度]

$$Q_{su} = \left\{ \frac{0.053p_t^{0.22}(180 + \sigma_B)}{M/Qd_e + 0.12} + 2.7\sqrt{P_{we}\sigma_{wy}} \right\} b_{eje} + 0.1N \quad \dots\dots(2)$$

[柱のみの曲げ終局強度]

$$M_u = 0.8a_t \sigma_y D + 0.5ND \{ 1 - N/(bD\sigma_B) \} \quad \dots\dots(3)$$

[壁のせん断終局強度]

$$Q_{uws} = (2.4\sqrt{\sigma_B} + 3400P_s) t \cdot l_w \quad (4)$$

ここに, 記号については文献2), 3)を参照。

実験値と計算値との比較を表-3に示す。実験値と実際の破壊形式に対応する計算値とを比較すると, 以下ようになる。

[CW-2-64-85, CW-2-64-42]

壁がせん断スリップ破壊した正加力時では, 計算値 Q_{su} は実験値より1~2割程高い値(平均値1.14)を示している。また, 壁が引張側になる負加力時では, 計算値 Q_{bu} は実験値より3~4割程低い値(平均値

表-3 実験値と計算値との比較 (単位: ton)

試験体名	加力	Q_{exp}	Q_{bu}	Q_{bu}/Q_{exp}	Q_{su}	Q_{su}/Q_{exp}	Q_{uws}	Q_{uws}/Q_{exp}
CW-1-64-85	正側	10.5	16.2	1.54	10.7	1.02	12.0	1.15
	負側	6.2	5.7	0.92	6.8	1.10	—	—
CW-1-64-42	正側	9.2	16.3	1.77	11.2	1.22	10.8	1.17
	負側	6.2	5.8	0.94	6.2	1.00	—	—
CW-2-64-85	正側	17.8	27.1	1.52	20.6	1.16	18.1	1.02
	負側	9.7	5.7	0.59	7.3	0.75	—	—
CW-2-64-42	正側	17.9	27.1	1.51	19.9	1.11	15.2	0.85
	負側	8.6	5.7	0.66	6.6	0.77	—	—

* Q_{exp} = 実験値 Q_{bu} = 曲げ終局強度式から求めた計算値 Q_{su} = セン断終局強度計算値 Q_{uws} = 柱と壁の強度を累加して求めた値

0.63) を示している。

[CW-1-64-85, CW-1-64-42]

壁が圧縮側になる正加力時では、計算値 Q_{bu} は実験値より 5～8 割程高い値 (平均値 1.66) を示している。一方、負加力時では計算値 Q_{bu} と実験値との対応は良い (平均値 0.93)。

このことから分かるように、壁が圧縮になる場合には、壁の張り出し長さが少ない程計算による終局強度は誤差が大きくなっている。それに対し、壁が引張側になる場合には、壁の張り出し長さが大きいほど誤差が大きくなっている。

これは、上式が断面を長方形に置き換えているため、壁が圧縮側になる場合には壁の張り出しが少ないほど圧縮域のストレスブロックを過大に評価するためである。また、壁筋の影響を無視しているため、壁が引張側になる場合には壁筋による抵抗モーメントを壁の張り出し長さが大きくなるほど過小評価することになるためである。

また、柱の強度と壁の強度を累加して求めた計算値 Q_{uws} と実験値とを比較すると、CW-1-64-85 および CW-1-64-42 試験体では、計算値と実験値との比の平均は 1.16 であり、CW-2-64-85 および CW-2-64-42 試験体ではその平均は 0.94 である。

壁が圧縮側になる場合、上述した既往の式(1)、(2)を用いて算定した値に比べ、柱の強度と壁の強度の累加式による計算値の方が精度が改善されている。ただし、

壁の張り出し長さが少ない試験体では、いまだ精度は良くない。この理由として、これらの試験体では曲げによる壁部および柱コンクリートの圧縮破壊で終局に至ったため、累加式による強度算定で仮定した「壁はスリップ破壊」という条件に合致しなかったことが考えられる。

5. 結 び

片側に薄い ($t/b=1/4$) 袖壁の付いた柱について、セン断スパン比および壁筋比をパラメータとし片持ちばり形式により実験を行った。その結果、壁筋はわずかだが部材の耐力に影響を与えていることが分かった。また、壁が圧縮側になる場合の終局強度は、柱の強度と壁の強度とを累加して求めた値の方が既往の強度式を用いて求めた値に比べ精度が改善されることが分かった。

[文献]

- 1) 池田昭男：“鉄筋コンクリート柱の塑性率および軸圧縮力の限界値について”，日本建築学会大会学術講演梗概集，昭和43年10月，pp.769～770。
- 2) 日本建築学会：“建築耐震設計における保有耐力と変形性能”，昭和56年8月，pp.162～163。
- 3) 日本建築学会：“鉄筋コンクリート構造設計規準・同解説”，1988，pp.638。