

[144] 耐震構造目地を設けた鉄筋コンクリート腰壁付柱の 水平加力実験

正会員 大久保 全 陸 (九州芸術工科大学芸術工学部)
 正会員 ○塩 屋 晋 一 (九州芸術工科大学芸術工学部)
 朝 長 孝 (竹中工務店九州支店設計部)
 正会員 東 端 泰 夫 (竹中工務店技術研究所)

1. まえがき

一般のRC・SRC造建築には、構造計算時にその取り扱いが困難な小壁体、いわゆる雑壁がかなり多い。雑壁が、架構面内に取りつくと、応力集中を生じさせたり、建物全体の偏心率や剛性率に悪影響を及ぼしたりすることが少なくないため、これらの対策として、骨組と雑壁との間にスリット、または、ノンスリット型の耐震構造目地を設けることがある。しかしながら、断面欠損部を設ける、ノンスリット型の場合には、その形状・寸法・位置等と構造性能との関係について不明な点が多い。

本報告は、形状の異なる耐震構造目地を設けた腰壁付き柱の水平加力実験を行い主として力学的特性及び破壊性状等について結果の検討を行ったものである。

2. 試験体概要

今回、実験の対象とした試験体の形状、寸法、配筋詳細を図1に示す。試験体の柱は、腰壁が柱の変形を完全拘束する場合、 $Q_{bu} > Q_{su}$ (Q_{bu} :曲げ耐力、 Q_{su} :せん断耐力)、腰壁を無視した場合 $Q_{bu} < Q_{su}$ となる様に設計した。各試験体名と腰壁と柱の接合部の詳細を表1に示す。

試験体CS、CT、CLに設けた構造目地(断面欠損部)を以後各々、CS型、CT型、CL型構造目地と呼ぶ。CS型、CT型の目地部分は木製の角材を、CL型の目地部分については外径35cmの塩ビパイプをそれぞれ型枠に固定して作製し実験中は、すべて除去した。各構造目地の残存最小長さと壁厚の比は、約0.52でほぼ等しくし、柱幅の約1/6.4とした。

尚、構造目地近傍の腰壁横筋は、試験体C0、CLでは、腰壁横筋を柱内部まで延して定着(40d)し腰壁表面に断面欠損部を設けた試験体CS、CTでは、柱内部を通し配筋したさし筋と壁横筋を腰壁内で重ね継手(40d)によって連結させた。

表2に、コンクリート及び鉄筋の材料試験結果を示す。コンクリートは、砕石(10mm)の普通コンクリートである。

3. 実験概要

実験には、建研式加力装置を使用し、柱全長を基準とした部材角の変形制御で正負交番載荷を行った。柱の軸力は、 $N = 25\text{ton}$ ($\sigma = 40\text{kg/cm}^2$)とした。

測定は、上下スタブ間の水平変形のほか、柱と腰壁との付け根の挙動、主筋、帯筋及び横筋等の各部の歪みを測定した。

4. 実験結果

4.1 破壊性状と荷重変形挙動

図2に各試験体の水平力、層間変位関係、図3に最大荷重時 ($R=1/100$)のひび割れ状況を示す。

終局に至るまでの各試験体の破壊経過を各変形レベルご

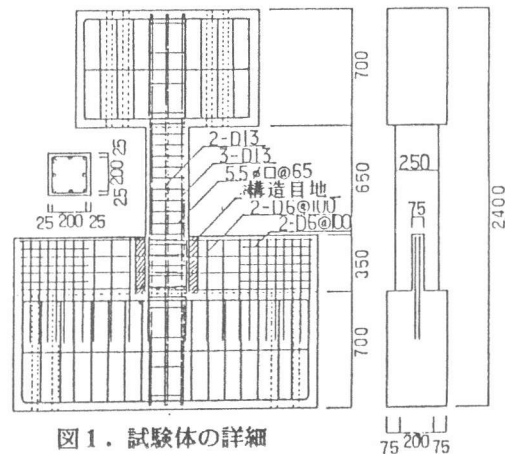


図1. 試験体の詳細

表1. 構造目地詳細

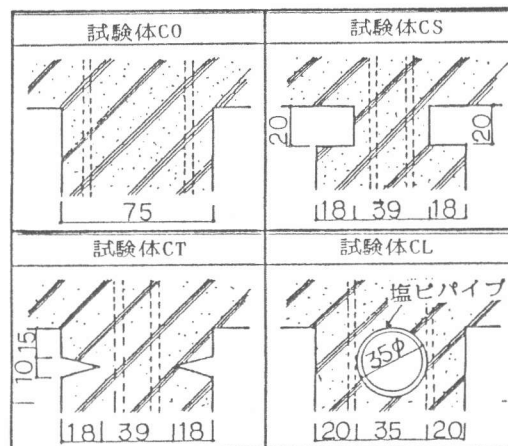


表2. 使用材料の性質

コンクリート	F_c (kg/cm ²)	$c\epsilon_B$ (%)	E_c (kg/cm ²)	F_{sp} (kg/cm ²)
	27.6	0.21	2.48×10^5	23.86
鉄筋	D13	$s\sigma_y$ (t/cm ²)	σ_{max} (t/cm ²)	5.89
	D6			5.81
	5.5φ			3.74
	4φ			3.95

とに要約すると以下の通りである。

1) $R \approx 1/200$: この変形レベルにおいては、構造目地の有無又は目地形状の相違にかかわらず、ひび割れ性状にはあまり差がみられず、柱頭には曲げせん断又はせん断ひび割れが発生し、柱脚部（腰壁上端から柱脚まで）にも曲げせん断ひび割れと多数の曲げひび割れが生じた。

2) $R \approx 1/100$: 部材として最大耐力を示す変形レベルであり、この変形レベルに至るまでの処女載荷時（+4サイクル）に注目すると、CO試験体は、柱にそれまでのサイクルでは生じていなかったせん断ひび割れがやや柱頭寄りに突然発生し、せん断破壊に至った。CS試験体は一旦は柱頭及び腰壁上端で引張鉄筋が曲げ降伏し構造目地部もわずかに圧壊したが、この変形レベルで繰返し加力を行なうと付着割裂破壊モードに変わり耐力低下を生じた。CT試験体は、±4サイクルの

$R \approx 1/130$ で柱頭の引張側主筋がほぼ降伏歪に達したが、同時に多数の付着割裂ひび割れが、柱頭から腰壁上端の間に発生し付着割裂モードに変わった。CL試験体は、 $R \approx 1/170$ で腰壁上端ライト管位置の圧壊が始まり、 $R \approx 1/100$ では柱頭、柱脚が曲げ降伏し、ライト管位置上部の目地は完全に圧壊した。また、繰返し加力による耐力低下も他に比べてわずかであった。

3) $R \approx 1/50$: CL試験体も曲げ破壊モードから付着割裂破壊モードに変わり、構造目地を設けた3体の破壊性状の差は、あまりなくなった。

4.2 初期剛性

表3に実験値と計算値を比較して示す。4体の実験値は、CT試験体が他の3体に比べ約25%程、高い値となっているが、ほぼ同程度の剛性であり、構造目地の存在及び目地形式の相違の影響は、顕著に表われていない。実験値とFEM計算値を比較すると、実験値が30%程度低い、これは構造目地部に生じていた収縮ひび割れの影響が大きいものと思われる。

4.3 終局強度の検討

表4に耐力の実験値と計算値を比較して示す。計算に用いた式は、曲げ強度が学会式、せん断終局強度は広沢修正荒川式、付着割裂強度は広沢式であり、いずれも、柱脚の危険断面位置は腰壁上端と仮定した時の値である。

5 構造目地部を含む腰壁の水平拘束挙動の検討

平石等は、柱と腰壁との付け根の歪み分布とコンクリートの応力・歪み関係の2つの仮定を用いて、腰壁付き柱が水平力を受ける時の腰壁の拘束力を求め、柱に作用するせん断力との比から、

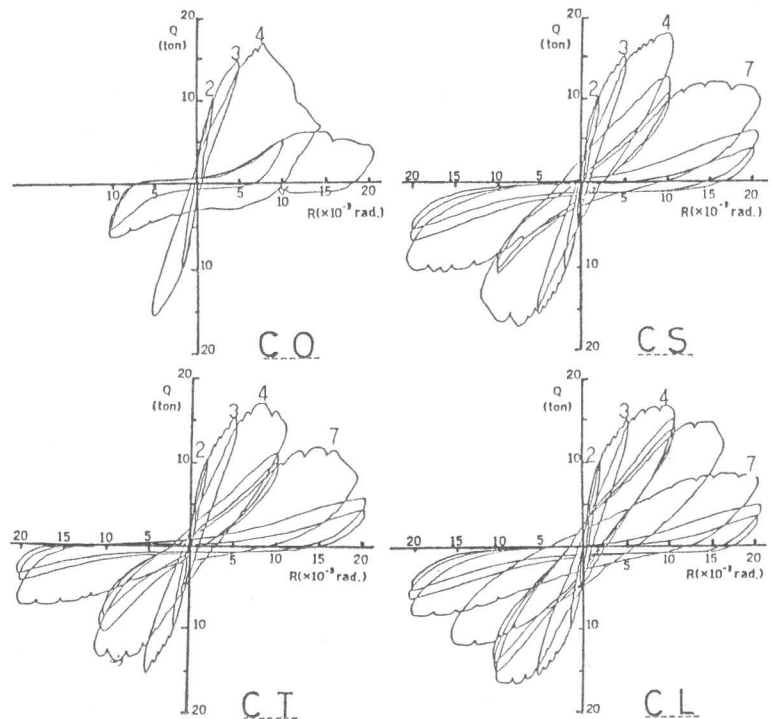


図2. 各試験体の荷重変形曲線

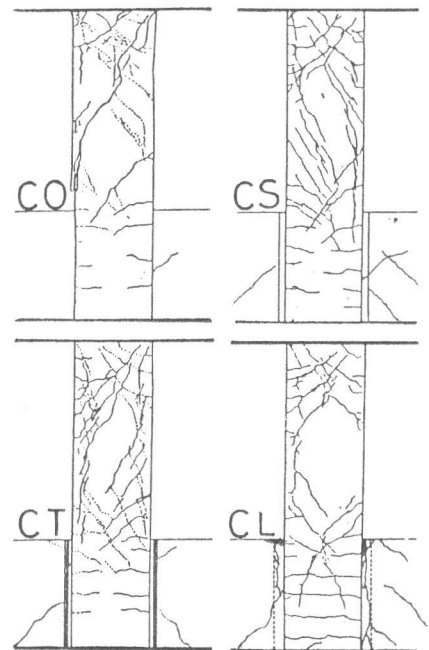


図3. 最大荷重時のひび割れ状況

表3. 初期剛性

試験体	初期剛性 (t/cm)		
	実験値	FEM	計算値
CO	92.0	122.5	250 109 83.3
CS	94.1	121.7	
CT	117.1	—	
CL	93.0	—	

計算値の上段は、 $h = h_0$
中段は、 $h' = h_0 + D$ 、
下段は、 $h' = h$
 h' : 柱可撓長さ
 h_0 : 柱内法長さ
 D : 柱せい

構造目地部の有効性について検討している

表4. 最大耐力の実験値と計算値

以下では、柱主筋に貼付した歪みゲージの測定値を基にして、柱頭から柱脚までの間の曲げモーメント分布を推定し、その結果から腰壁の拘束挙動を検討する。

5. 1 歪の測定値から逆算した柱断面内の抵抗モーメント

鉄筋コンクリート柱の塑性曲げ理論における通常の仮定と同様に、断面内の歪と応力の分布を図4の様に仮定する。

ここで、実験では、引張鉄筋と圧縮鉄筋の歪を測定してるので、これを応力度に変換すると図中の、 T_s と C_s は既知となる。また、作用軸力 N も実験測定値で既知である。従って、材軸方向の断面力の釣り合いから、圧縮側コンクリートの合力 C_c が決定できるので、 C_c の作用位置を決めれば、断面の抵抗モーメントも算出することができる。以下の検討では、応力・鉄筋の歪関係を歪硬化を無視したバイリニア型に仮定し、また、柱中心位置の主筋については、直接歪を測定してないので、平面保持の仮定から定まる値をその位置の鉄筋の歪と仮定して、断面の抵抗モーメントを推定する事とする。尚、ここで検討の主眼は、最大荷重に至るまでの間にあるので、柱と腰壁とのつけ根には、縦びび割れが生じて柱と腰壁は分離した状態にあり、腰壁は、柱の水平変形は拘束するが、柱の軸力と抵抗モーメントには関係しないものと考えることとする。

5. 2 腰壁の水平拘束力

本実験では、柱主筋には柱頭から柱脚にかけて計5カ所に歪ゲージが貼り付けてあり、それぞれの位置において、上記の方法によって断面の抵抗モーメントを求めることができる。その抵抗モーメントを図5に示す様に、 $M_1 \sim M_5$ とする。

図中の $M_{03} \sim M_{05}$ は、 M_1 と M_2 を結んだ直線を柱脚まで延長したもので、腰壁上端から柱脚までの間の見掛けの曲げモーメントである。この見かけの曲げモーメント($M_{03} \sim M_{05}$)から歪測定値を基にして求めた柱の抵抗モーメント($M_3 \sim M_5$)を減じて得られる($M_3' \sim M_5'$)が、腰壁の水平拘束力によって生じたものと考えることとする。

腰壁の水平拘束力は、その分布形状を決めれば求めることができる。本来、腰壁の水平拘束力の分布は、腰壁と柱との付け根における適合条件を満たす形で仮定されるべきものであるが、ここでは、簡単のために図5に示す様に集中力分布($P_1 \sim P_3$)と階段形分布($\sigma_1 \sim \sigma_3$)を仮定し、各試験体の腰壁の水平拘束合力 ΣP を求めて見た。その結果を材の荷重変形曲線の包絡線と比較して、図7に示す。

試験体	柱曲げ歪荷重 (t)		最大荷重時 (t)		終局強度計算値 (t)			破壊モード
	柱頭	柱脚	P(max)	R(rad)	Q _{bu1}	Q _{su}	Q _{bmx}	
CO	—	—	16.7	1/124	17.2	17.1 (mean)	18.9	S
CS	16.0	17.8	17.8	1/97		14.4 (min)		M→BO
CT	17.0	—	17.0	1/130			BO	
CL	16.0	16.3	16.3	1/97			M→BO	

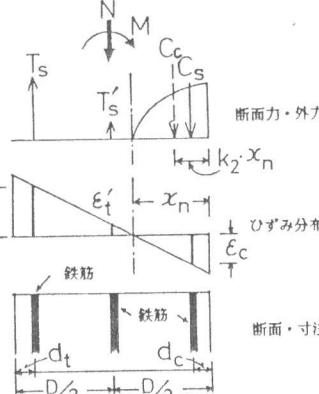


図4. 柱の抵抗モーメント

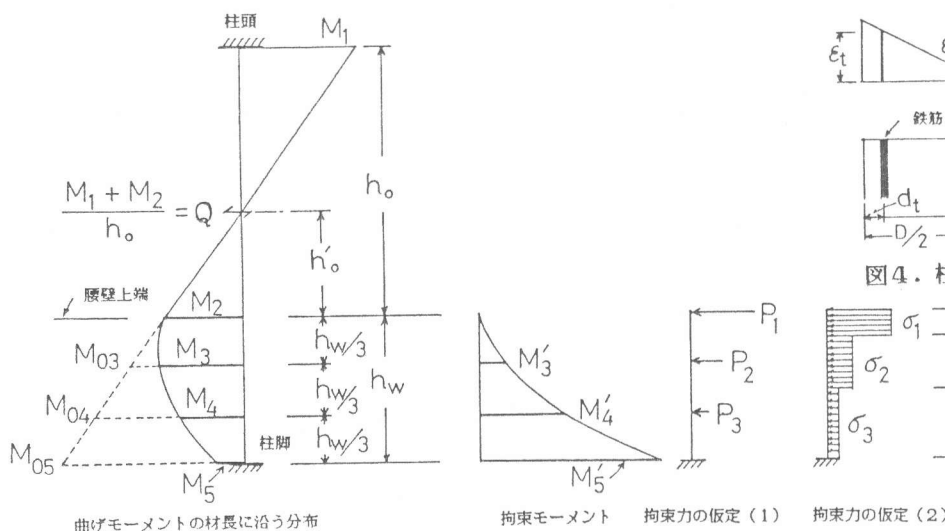


図5. 腰壁近傍の柱の曲げモーメント分布

なお、図中の---は腰壁拘束力の分布を集中分布形とした時の拘束合力 ΣP 、-x-x-は階段分布に仮定した時の拘束合力 $\Sigma P'$ である。

これより以下のことが説明できる。

1) 図中の破線は、柱頭と腰壁上端の抵抗モーメント $M1, M2$ を用いて、柱のせん断力 Q を求めた結果であり、 Q と実際の作用水平荷重 P （図中の実線）とは、C0型の場合を除くと他の3体は良く一致している。C0型の Q が作用荷重 P より低くなっている原因は、1箇所につき2枚貼り付けた鉄筋歪ゲージのうちの1枚が測定不能で、残りの1枚だけで鉄筋応力を決定したためと思われる。

2) C0, CS, CTの腰壁の水平拘束力は、作用荷重に比例して増加し、水平拘束力低下の現象を生じないまま、柱の破壊が先行したのに対して、CLは、 $R \approx 1/100$ の時、腰壁の水平拘束力が、かなり低下している。このことはCS・CT型構造目地が殆ど圧壊しなかったのに対して、CL型構造目地 $R \approx 1/100$ で完全圧壊した実験結果と一致している。

3) 同図中の右側に挿入した図は、平石等の方法と同様に目地部の歪分布を3次式に仮定して、腰壁の水平拘束力を求めたものであり、横軸は腰壁上端の歪である。この計算では、目地部コンクリートの応力・歪関係を e 関数に仮定しているが、CLの目地部については図6のように仮定している。この方法による耐力と左側の腰壁拘束合力 ΣP を比較するとC0型では破壊せずCLで目地部が完全圧壊した結果も定性的に説明できる。

6. 結び

腰壁と柱の接合部に断面欠損部を設けた腰壁付き柱について実験を行ない検討した結果、

1) CL型の場合には、目地部の圧壊が極めて顕著に起こり、これにより柱のせん断破壊は防止され $R \approx 1/60$ までは曲げ破壊モードを保ちえた。

2) 柱主筋の歪測定値に基づいて求めた腰壁拘束力と構造目地部の耐力推定値との比較によってCL型で目地部の破壊が顕著であったこと及びC0型でせん断破壊先行となった実験結果が定性的に説明できた。

参考文献

- 1) 広沢雅也 : 昭和50年日本建築学会大会学術講演梗概集 P.P.1125
- 2) 平石久広, 他: 第6回JCI年次講演論文集 1984年 P.P. 449

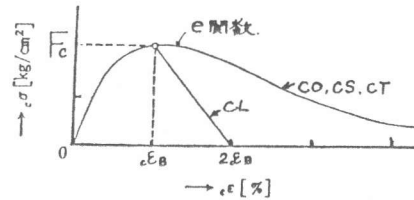


図6 コンクリート（目地部）の応力・歪関係

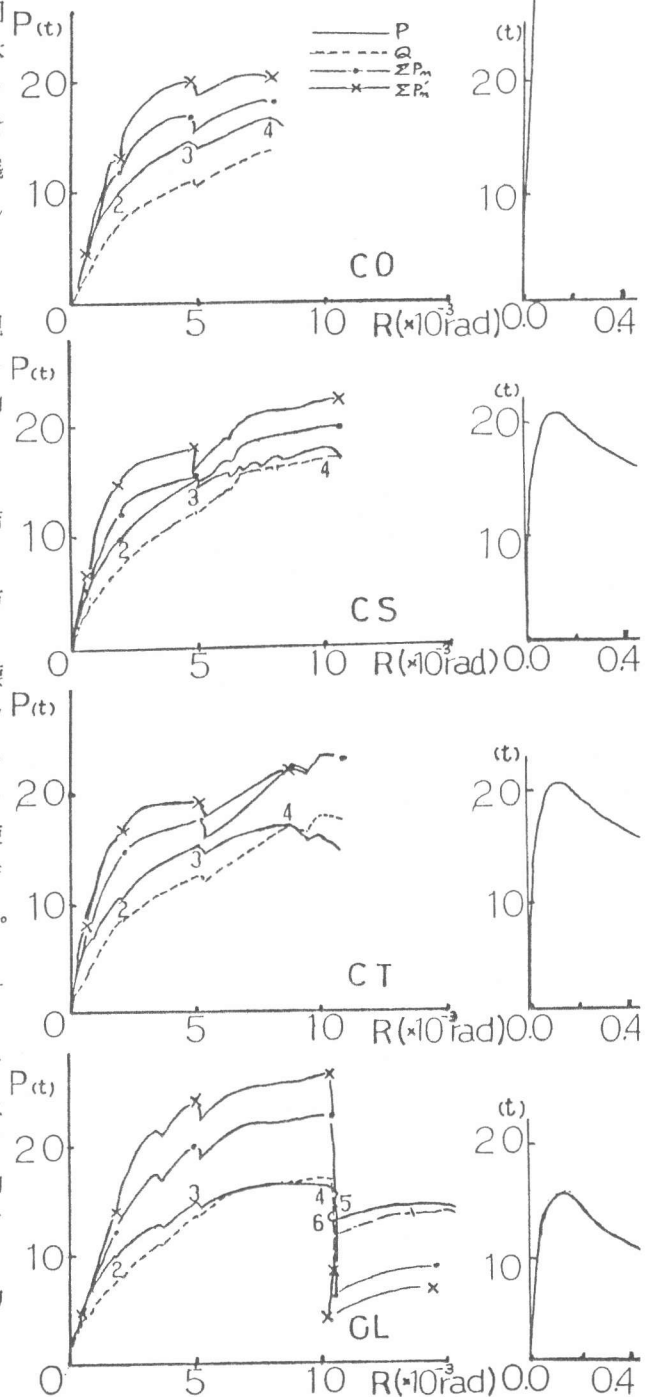


図7. 腰壁拘束力と作用水平せん断力