

# [179] 耐震構造目地を設けた腰壁付はり・柱十字形試験体の加力実験

正会員 大久保 全 陸 (九州芸術工科大学芸術工学部)  
 正会員 〇塩 屋 晋 一 (九州芸術工科大学芸術工学部)  
 山口 育 夫 (竹中工務店技術研究所)

## 1. まえがき

雑壁を有する鉄筋コンクリート造建物を設計する際、雑壁を骨組から切り離したり、また、骨組に接する雑壁の部分に断面欠損を生じさせる耐震構造目地を設けたりして雑壁の骨組に及ぼす影響を無視または軽減する方法がある。しかしながら、壁部分に断面欠損を設ける耐震構造目地については、その形状・寸法・位置等と構造性能との関係については不明な点が多く、研究もわずかである。

本報告は、柱と腰壁の境界に設ける種々の耐震構造目地が、はり・柱及び腰壁に及ぼす力学的影響を検討するために行ったはり・柱十字形試験体の破壊実験結果をまとめたものである。

## 2. 試験体概要

試験体は、学校建築や病院建築で見られるような鉄筋コンクリート造建物の腰壁付フレームを想定し実大の約1/2.4にモデル化した。図1に腰壁付試験体の基本形状と配筋状況を示す。同図中の腰壁のハッチした部分に図2～7に示す各種構造目地を設けた。各試験体名とその特徴を表1に示す。

試験体の配筋設計は、No.2の試験体で腰壁付きはりの曲げ降伏が先行する様にし、他の試験体についてもこれと同じ配筋を行った。なお、柱の主筋は高張力鋼(PC鋼棒13φ)を用いて曲げ補強した。目地部の腰壁横筋については、No.7では壁横筋を配筋していないが他の目地の場合には腰壁横筋を柱内に40d定着した。

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、粗骨材10mmの生コンを用いた。

柱主筋13φ及び帯筋・肋筋・腰壁縦筋に用いたD6の降伏点強度は、残留ひずみ0.2%に相当する値である。

## 3. 実験概要

加力装置を図8に示す。加力は図10のように柱の上下端が左右に移動しない状態で、左右のはり先端のたわみδBLとδBRを等しく保ちながらを行った。

表1 試験体名と目地部詳細

試験体名	目地の種類	目地部詳細	目地形状
No.1	腰壁なし	比較用の基本形、はり曲げ降伏	
No.2	腰壁付き	収縮きつた勝負目地のみ、比較用の基本形勝負目地部を除く残存壁率=7.9%	
No.3	円形空洞	φ3.8mm・壁筋4φダブル・ストレート配筋 残存率=2.8%	
No.4	円形空洞	φ2.2mm・壁筋4φダブル・ストレート配筋 残存率=4.9%	
No.5	円形空洞	φ3.8mm・壁筋4φダブル・X型配筋 残存率=2.8%	
No.6	一面せん断	せん断面積率=2.8% 目地部許容変形 R=1/37.5 壁筋4φシングル・折り曲げ	
No.7	一面せん断	せん断面積率=2.8% 壁筋なし 目地部許容変形 R=1/19	
No.8	圧縮せん断	せん断面積率=4.9% 残存率=2.8% 壁筋4φシングル・ストレート	

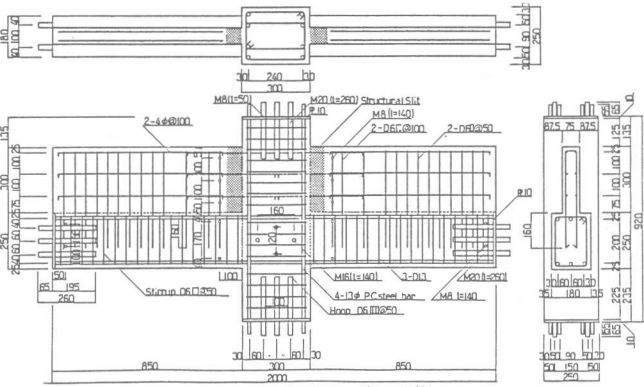


図1 試験体の形状・寸法・配筋

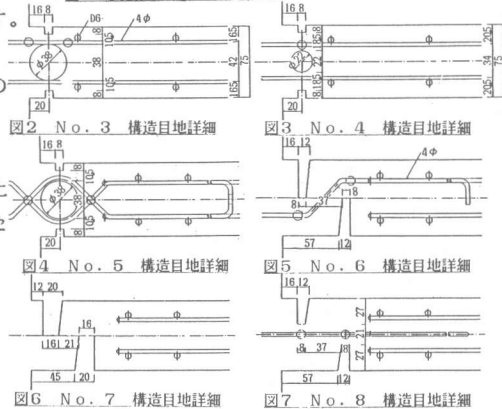


図2 No.3 構造目地詳細

図3 No.4 構造目地詳細

図4 No.5 構造目地詳細

図5 No.6 構造目地詳細

図6 No.7 構造目地詳細

図7 No.8 構造目地詳細

表2 使用材料の性質

CONCRETE	Fc(kg/cm <sup>2</sup> )	cEB(%)	Fsp(kg/cm <sup>2</sup> )	Ec(kg/cm <sup>2</sup> )
	283.3	0.25	24.5	2.29×10 <sup>5</sup>
STEEL BARS	13φ*	18220	18820	2.06×10 <sup>6</sup>
	D13	3500	5050	1.81×10 <sup>6</sup>
	D6	3820	5580	1.79×10 <sup>6</sup>
	4φ	3920	4210	1.99×10 <sup>6</sup>

\*柱主筋には高張力鋼を使用した。

この加力方法は、図11の様にはり先端の加力点が上下に移動せず、柱頭が水平変形する場合の応力・変形状態と等価であり、同図中の式で柱とはりの性状が含まれた層間変位、層せん断力に変換することができる。柱の軸力は、 $N = 15\text{ton}$  ( $N/bD = 20\text{kg}/\text{cm}^2$ ) とし、実験中の軸力の変動は補正しなかった。

測定は、図9に示す様に变形測定用ホルダーを接合部パネルに取り付け、柱・はりの曲げせん断変形等を測定した。

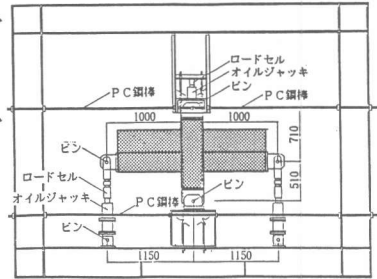


図8 加力装置

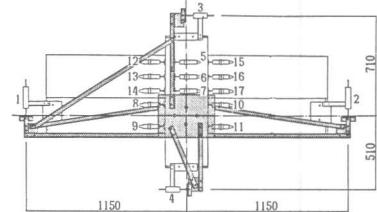


図9 変形測定方法

#### 4. 実験結果

##### 4.1 各試験体の破壊経過概要

図12～図19に各試験体の層せん断力・層間変形関係を、また、図20～図27に実験最終時のひび割れ状況をそれぞれ示す。

腰壁なしのNo.1は、実験計画時に予想された通り、はりの引張鉄筋曲げ降伏 ( $R = 1/140$ ) によって耐力が決定し、大変形に至っても安定した耐力を保持していたが、繰り返し加力時のループ形状でピンチ現象が顕著になった。

構造目地を設けないNo.2 (腰壁付) は、図13に見られるように、腰壁圧壊開始と左右はり主筋の曲げ降伏がほぼ同変形レベル ( $R = 1/170$ ) で起こって試験体の耐力が決定している。腰壁圧壊進展により耐力低下が生じたのは、比較的大きな変形レベル ( $R = 1/46$ ) である。この点に関しては、試験体のはり主筋降伏形に設計されていること、及び腰壁縦筋に用いた

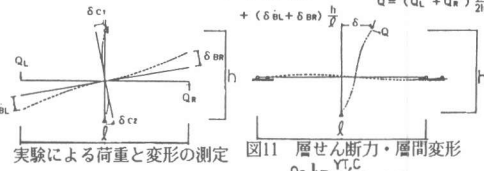


図10 実験による荷重と変形の測定

図11 層せん断力・層間変形

形筋によって腰壁コンクリートが拘束されたこと等によるものと考えられる。

円形空洞目地のNo.3～No.5は、図14～図16に見られる様に3体の破壊経過はほぼ同じであり、また、構造目地なしのNo.2 (腰壁付) とも一致していた。

しかし、構造目地の大小や腰壁横筋の配筋方法の違い等によって、目地部残存コンクリート厚の小さいものほど、また、同じ残存コンクリート厚の場合には腰壁横筋を 形に配筋したもののほど、腰壁圧壊開始時及び圧壊進展時の変形レベルが小さく、また、柱へのせん断力も小さくなっている。

一面せん断型目地のNo.6, No.7の2体間には目地寸法と配筋方法の違いがあるが、2体ともほぼ同様な破壊経過を示し、腰壁目地部の一面せん断破壊が極めて早期に小荷重レベルで起り、腰壁の存在が骨組の保有耐力に

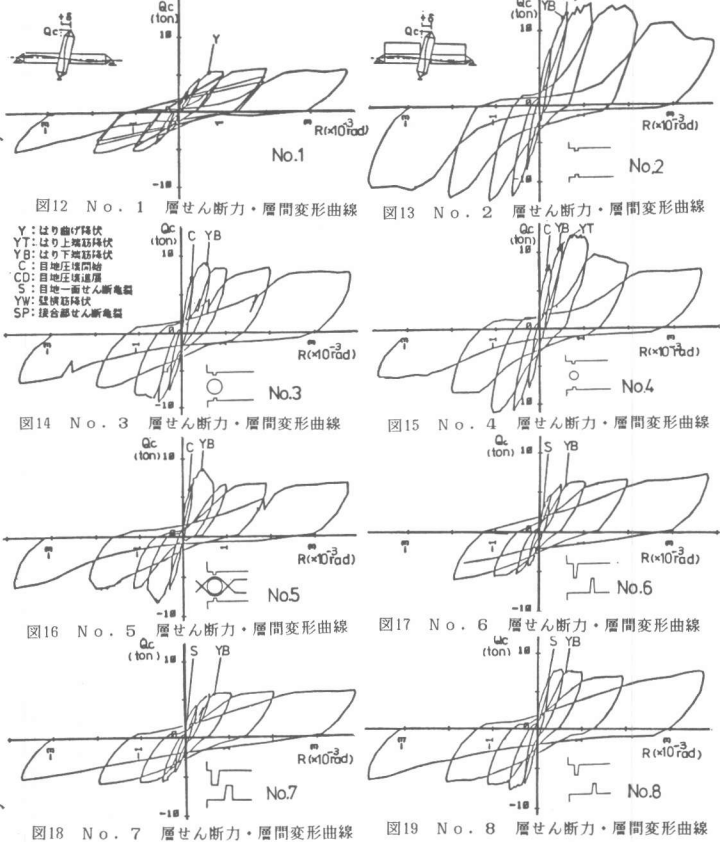


図12 No. 1 層せん断力・層間変形曲線

図13 No. 2 層せん断力・層間変形曲線

図14 No. 3 層せん断力・層間変形曲線

図15 No. 4 層せん断力・層間変形曲線

図16 No. 5 層せん断力・層間変形曲線

図17 No. 6 層せん断力・層間変形曲線

図18 No. 7 層せん断力・層間変形曲線

図19 No. 8 層せん断力・層間変形曲線

殆ど関係しないはり降伏形のきれいな復元力特性を示している。腰壁横筋を柱に定着したNo.6では、腰壁横筋の効果によって、腰壁なしのNo.1より約9%降伏耐力が増加している点など若干の違いは見られるが、2体ともはり降伏時の耐力及び変形は、No.1試験体とほぼ同等である。

なお、No.6では、大変形域（ $R=1/30$ 以降）で目地部が閉塞して腰壁に圧縮力伝達が起こりはじめ、これによって荷重が増加する現象が現れているが、この時の変形は、市之瀬等が腰壁完全縁切りの実験で示した変形推定法による値とほぼ一致している。

圧縮せん断型目地のNo.8では、耐力が一面せん断型目地のNo.6及びNo.7より高まるが、目地部内せん断破壊後、急激な耐力低下は見られず良好な復元力特性を示している。

なお、この試験体は、目地部の圧縮力伝達部分の厚さが見かけ上No.3, No.5と同じであるが、この試験体の最大耐力は、No.3より約13%低く目地形状の違いによる影響が結果に現れている。

#### 4.2 構造目地を有する腰壁付はりの変形及び耐力の検討

##### 4.2.1 初期剛性

表3に各試験体の左右はりの初期剛性の実験値と計算値を示す。

計算値1はせん断変形を考慮したはり理論で、計算値2はFEM

により求めた。ただし、計算値1の（）内の値と計算値2では鉄筋を無視した。目地部の厚さと幅に関しては計算値1では、円形空洞目地の場合、厚さは最小実断面、幅は直径と同じ長さとし、また、一面せん断型目地の場合には、目地部には壁筋もコンクリートもないものとして求めた。計算値2では、厚さは目地部圧縮剛性が等価になるようにFEMで求め、その値を用いた。その等価圧縮剛性壁厚比を表4に示す。

実験値は、左はり（腰壁引張）では、No.2を除くとあまり目地の形状・寸法の違いによる差はないが、右はり（腰壁圧縮）では、腰壁の抵抗断面の大きさが影響している。計算値1と実験値を比較すると、No.2はほぼ一致しているが、他の右はりの実験値は、計算値の約60%と小さく、目地部の壁筋とコンクリートを無視して求めた値に近い。

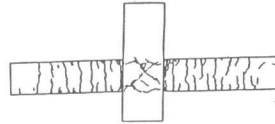


図20 No.1 最終ひび割れ状況

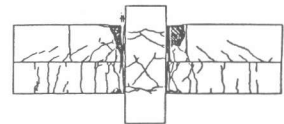


図21 No.2(構造目地なし) 最終ひび割れ状況



図22 No.3(円形空洞目地) 最終ひび割れ状況

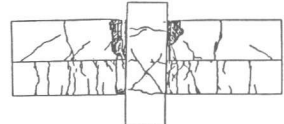


図23 No.4(円形空洞目地) 最終ひび割れ状況

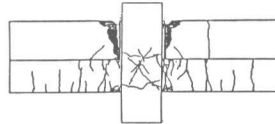


図24 No.5(円形空洞目地) 最終ひび割れ状況

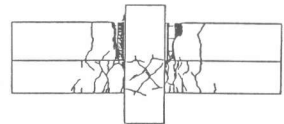


図25 No.6(一面せん断型目地) 最終ひび割れ状況

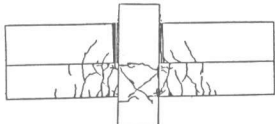


図26 No.7(一面せん断型目地) 最終ひび割れ状況

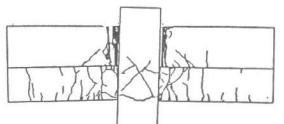


図27 No.8(圧縮せん断型目地) 最終ひび割れ状況

表4 初期剛性計算に用いた壁厚比

	No.3	No.4	No.5	No.6	No.7	No.8
計算値1	0.28	0.49	0.29	0.00	0.00	0.28
計算値2 FEM	0.49	0.66	0.49	0.15	0.12	0.28

表3 剛性及び強度の実験値と計算値

試験体名		初期剛性 (t/cm)			目地部破壊開始		降伏荷重				最大耐力				e-関数法による最大耐力 (t)		Q <sub>R</sub> 算式	
		実験値	計算値1	計算値2	P (t)	δ (mm)	降伏上端筋降伏 P (t)	δ (mm)	降伏下端筋降伏 P (t)	δ (mm)	壁圧側 P (t)	δ (mm)	壁引側 P (t)	δ (mm)	壁圧側	壁引側	壁圧側	壁引側
No.1	右はり	14.9	19.3 (15.4)	20.05	—	—	—	—	2.77	3.0	3.14	20.5	-2.71	-20.4	2.82	2.82	2.7	2.70
	左はり	12.8			—	—	—	—	-2.73	-7.1	2.98	20.1	-2.98	-18.1				
	右はり	91.7	96.5 (92.2)	72.49	8.90	5.0	-1.91	-0.9	8.67	4.7	10.14	10.0	-4.01	-10.1				
No.2	左はり	66.7			-8.84	-5.1	2.43	1.3	-8.84	-5.1	-9.18	-10.0	4.03	10.3				
	右はり	36.9	86.5 (80.3)	68.14	4.34	2.1	—	—	6.13	5.7	6.17	4.6	-3.93	-18.4	6.01	3.96	—	3.60
	左はり	21.9			-4.33	-1.6	2.76	2.4	6.75	5.1	-6.75	-5.1	4.10	20.1				
No.4	右はり	76.0	93.7 (87.2)	70.30	6.00	2.5	-0.85	-0.2	8.08	4.6	8.99	7.0	-3.91	-14.1	7.78	3.96	—	3.60
	左はり	49.2			-5.79	-2.5	2.43	1.9	-7.99	-5.0	-7.99	-5.0	4.00	15.0				
	右はり	50.9	86.5 (80.3)	68.14	4.37	1.9	—	—	6.45	4.6	6.45	4.6	-3.06	-20.3				
No.5	左はり	36.3			-4.26	-1.8	—	—	-6.05	-4.5	-6.05	-4.5	3.48	40.0				
	右はり	40.3	52.1	55.45	2.20	0.9	-2.68	-10.4	3.41	7.1	3.43	8.7	-3.25	-20.4	4.51	3.39	—	3.39
	左はり	22.9			-2.18	-1.2	3.22	8.7	-2.70	-6.1	-3.13	-5.1	3.67	20.3				
No.6	右はり	39.5	52.1	52.82	1.34	0.5	—	—	3.21	6.1	3.33	7.0	-2.94	-20.1	3.98	2.82	—	2.70
	左はり	24.0			-2.04	-1.3	—	—	-3.04	-6.0	-3.28	-5.0	3.00	20.0				
	右はり	69.1	80.2 (74.3)	63.31	4.92	2.5	4.48	2.1	4.71	8.2	5.32	4.7	-3.29	-10.1				
No.8	左はり	42.5	52.1		-4.25	-1.9	2.16	2.3	-4.17	-10.0	-5.06	-3.0	3.39	20.2				

### 4.2.3 終局耐力

各試験体の左右りの最大耐力の実験値と計算値を表3に示す。また、図28（円形空洞目地）及び図29（一面せん断型目地）に腰壁圧縮側はりの荷重・変形曲線の正側包絡線を示す。

実験の壁圧縮側耐力は、No.2が最も高く、次にNo.4がNo.2の約90%と高い。圧縮抵抗断面の等しいNo.3, No.5, No.8では、No.3とNo.5はほぼ等しく、No.8はこれらより約20%低い。No.3とNo.5について最大耐力以降の耐力に注目すると、図28に見られるようにNo.5の方がNo.3より低く、壁横筋を $\times$ 形に配筋した効果が確認できる。

一面せん断型のNo.6とNo.7は、最大耐力には差はあまり無く、No.1（腰壁なし）を約7%上回っている程度である。

図31にe関数法により求めた腰壁付はりの抵抗モーメントと曲率の関係を示す。この際、各目地部の圧縮特性を図30に示す様に仮定した。目地部の圧縮抵抗断面厚は、一面せん断型目地で目地部の一面せん断長さとした他は、最小実断面厚とした。

なお、No.5, No.6の腰壁横筋については、折り曲げ配筋であることを考慮し、抵抗しないものとした。

図31中の○, □の記号は、それぞれ目地部の破壊開始時、はり主筋下端筋の降伏開始時の計算値であるが、目地部の破壊は、図30の $\epsilon_B$ で、主筋の降伏は表2の $s\epsilon_y$ で判断した。また、●, ■は○, □に対応する実験値である。

実験値と計算値の対応を観ると、終局抵抗モーメントはNo.8で計算値がやや高い値となっているが、他の試験体については、ほぼ一致している。特に円形空洞目地のNo.3~No.5の場合には、Type I で求めた計算値が実験値に近い。

これは、円形空洞目地部のコンクリートのはく落が、繰返し加力により促進され易いことが一因として考えられる。

目地部の破壊開始時の抵抗モーメントは、実験値が計算値よりもかなり低いものとなっているが、これは、e関数法で求める際は断面で仮定した歪分布（平面保持）に問題があると考えられる。

### 5. むすび

腰壁端部に各種構造目地を設けたはり・柱十字型試験体の実験結果を検討の結果、

- 1) 構造目地の応力伝達形式が圧縮力伝達形式の場合には目地部の圧壊進展によって耐力低下を示す復元力特性となるのが一般的であるが、目地部の形状・寸法・配筋方法によって耐力・変形を調節できる可能性があること
- 2) 構造目地の応力伝達形式が一面せん断型の場合には、かなり早期に破壊を生じさせ、骨組の復元力特性に腰壁の影響を反映させない設計方法の確立の可能性があること
- 3) 構造目地を有す腰壁付はりの曲げ終局強度は、構造目地の強度特性を適切にモデル化することより、既往の計算方法で求めることが出来ること、等を確認した。

【文献】 1) 川島, 平石, 羽本: 第6回コンクリート工学年次講演会論文集  
2) 市之瀬, 青山: コンクリート工学, No.82.7  
3) 武藤 清: 耐震設計シリーズ2  
4) 大久保, 塩屋, 山本: 日本建築学会九州支部研究報告, 第29号

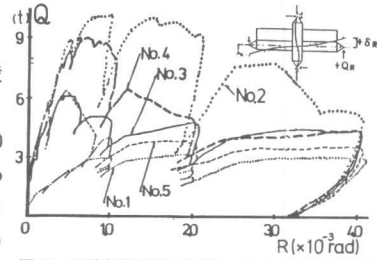


図28 円形空洞目地試験体の右はりの正側包絡線

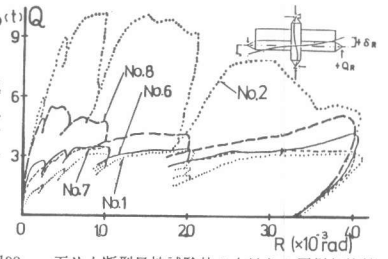


図29 一面せん断型目地試験体の右はりの正側包絡線

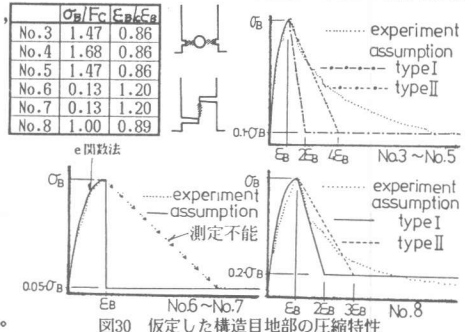


図30 仮定した構造目地部の圧縮特性

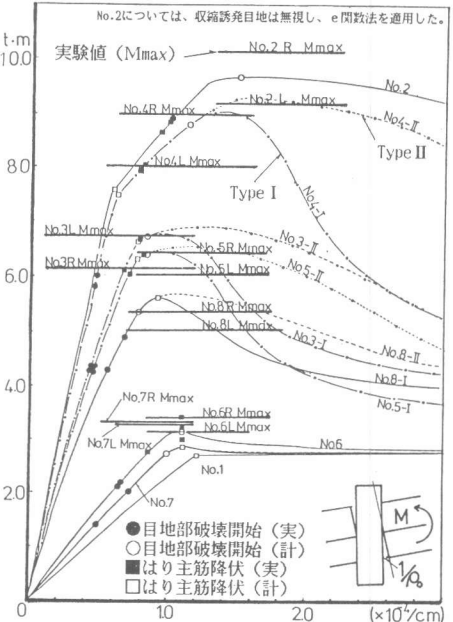


図31 腰壁付はりの抵抗モーメントと曲率