

# S 造と SRC 造の建物の柱脚の実験的研究 (その 6)

—埋込型の隅柱柱脚の比較実験—

高橋 泰彦 武田 寿一  
小島 克朗 木村 耕三

## An Experimental Investigation of Column Bases of Steel Reinforced Concrete Structure (Part 6)

—Tests of Embedded Corner Column Bases—

Yasuhiko Takahashi Toshikazu Takeda  
Yoshiro Kobatake Kozo Kimura

### Abstract

This paper describes the results of model tests on embedded column bases located at the corners of buildings and containing no orthogonal footing beams. The tests were performed to grasp the general behaviors of corner column bases and to investigate a number of kinds of reinforcement bases.

As a result, it was found that main reinforcing bars in footing beams took a large part of stress transfer of the base and that their anchoring methods influenced the properties of bases. Methods of welding main bars to column steels and extending footing beams outside the building to obtain enough development length of main bars, and horizontal U-type arrangement of main bars surrounding columns were suitable for reinforcement to obtain good bases.

### 概 要

建物外周のコーナー部に位置する隅柱柱脚を想定し、直交方向の基礎ばりを含まない埋込型柱脚の模型実験を行なった。この実験では、隅柱柱脚の一般的な挙動を把握するとともに、柱脚の配筋法を検討することを目的とした。

その結果、応力の伝達に大きな役割を果たす基礎ばり主筋の定着法が柱脚の性状を左右し、主筋を柱鉄骨に直接溶接する方法、基礎ばりを建物の外部方向に延長して主筋の定着長を十分に確保する方法、および、主筋が柱の回りを取り囲むように水平U字型に配筋する方法によってすぐれた挙動を示す柱脚が得られることがわかった。

### 1. 序

埋込型柱脚の実用化をはかるために、中柱や側柱に適用した種々の模型実験を行ない、報告<sup>1)</sup>してきた。

今までの検討結果から、柱脚の性状には柱が埋込まれている基礎ばり自体が影響を与えていることはもちろん、直交方向の基礎ばりが柱脚まわりの単なる拘束として働くだけでなく、応力の伝達や耐力などに大きな役割を果たしていることがわかってきた。したがって、直交方向基礎ばりが片側にしか取付かない建物外周のコーナー部に位置する隅柱の柱脚は、中柱や側柱柱脚より劣った挙動を示すことが予想されるようになった。

そこで、隅柱柱脚を対象として、一般的な性状を調査すること、基礎ばり主筋の定着法を主体として柱脚の配筋方法を検討すること、ホール・イン工法<sup>2)</sup>で施工した柱脚の性状変化を調べることを、を目的として、模型実験を実施した。なお、今回は直交方向の基礎ばりを完全に除去した柱脚の試験体としたので、実際の隅柱柱脚よりさらに条件の悪い状態での実験と言える。

### 2. 試験体

試験体は建物のコーナー部の柱とその柱脚、および、基礎ばりを水平荷重時の反曲点位置から切り出したL字型のモデルである。図-1に形状、寸法を示すように、

直交方向基礎ばりを含んでいないが、端部には柱型をつけて、その中に基礎ばり主筋を定着するとともに、直交ばりの主筋の一部を補強筋として入れた。試験体は実物をおよそ1/3に縮小した大きさで、基礎ばりは23cm×60cmのRC断面、柱は $\phi$ H-250×100×9×19、柱型は40cm×45cmを標準とした。配筋リストと配筋詳細は表一、図一の通りである。なお、全試験体とも柱脚の破壊より柱の降伏が先行するように設計した。

試験体は5体で、C6MO, C6EO, C6RO, C6UO, C6HO-G、と名付けた。各々の相違点は主に基礎ばり主筋の定着法であり、ホール・イン工法で製作したもの(末尾に「G」表示)も1体加えた。名称の頭文字「C」は隅柱柱脚を、2番目の「6」は柱鉄骨が60cm埋込まれ、はり底面まで貫通していることを、また、4番目の「O」は柱がH型断面であることを示している。これらは柱脚の実験の全シリーズ<sup>1)</sup>で共通の意味をもっている。今回に固有な3番目の文字の意味を説明し、試験体の区別を述べる。「M」(C6MO)は標準的な柱脚であり、基礎ばりの上端主筋と下端主筋がつながった垂直U字型定着法を採用した。「E」(C6EO)は基礎ばりを建物の外部方向へ延長し、主筋の定着長を十分に確保したものである。「R」(C6RO)は主筋の半数(2-D25)を柱のフラ

ンジに溶接した形式である。「U」(C6UO)では、はり主筋が柱鉄骨を取囲むように水平U字型定着となっている。図一のように柱型のフープは省略した。「H」(C6HO-G)はフープ量をふやした柱脚で、今回はホール・イン工法で製作している。

なお、試験体に使用した材料の特性を表一2に示す。

### 3. 加力方法と測定方法

加力方法は図一の通りで、柱脚の基礎ばり下端でピン支持し、基礎ばり端部をローラー支持した状態で柱頭にジャッキで水平力を加えた。この方法では、柱の底部に設けた杭でせん断力を処理する構造の柱脚の応力を再

C6MO, C6HO-G

※は0.2% off-set法による

	コンクリート		鋼板		鉄筋			
	先打ち	後打ち	R.19	R.9	D25	D16	D13	D10
降伏応力度 (t/cm <sup>2</sup> )	—	—	3.41	3.75	3.61	4.62*	3.60	4.01
最大強度 (t/cm <sup>2</sup> )	0.210	0.210	5.76	5.44	5.90	7.43	5.22	5.64
伸び率 (%)	—	—	25.4	24.4	17.9	10.1	18.7	17.8

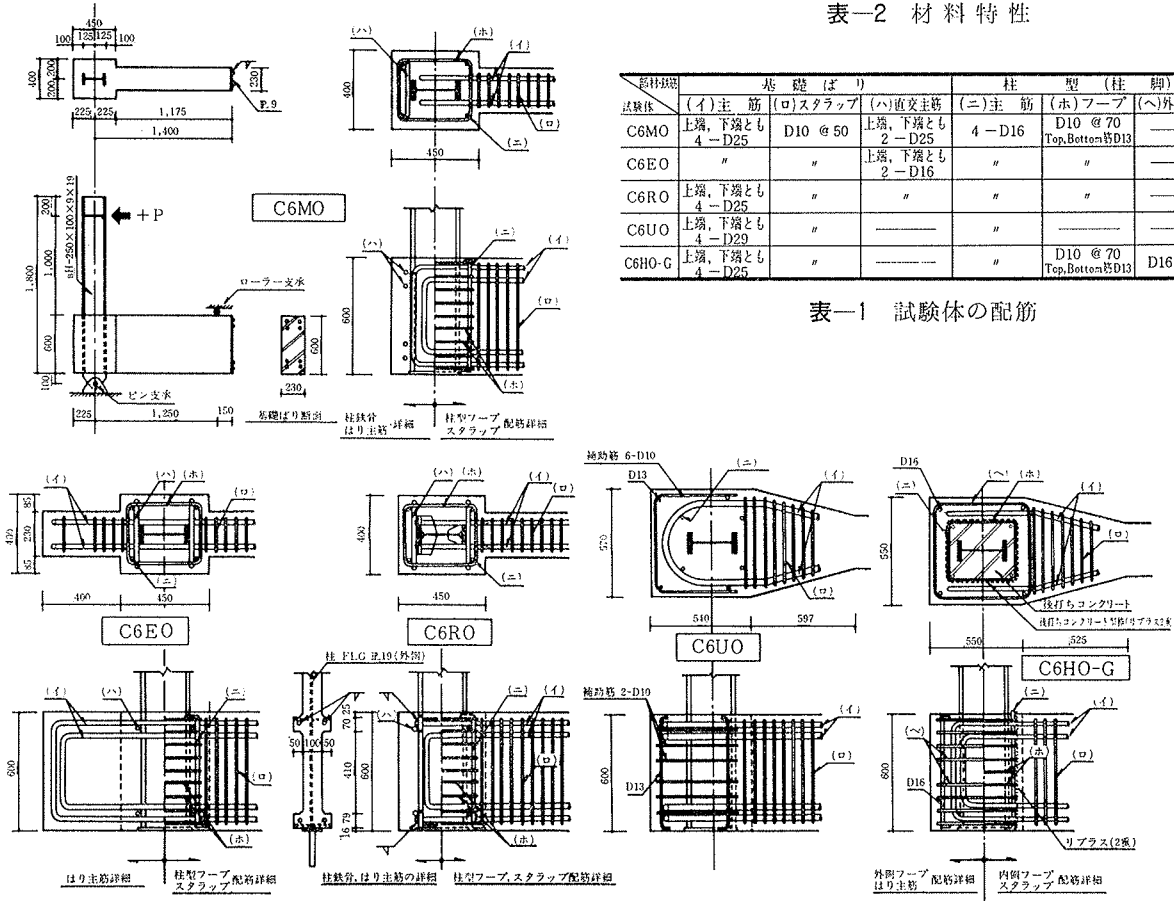
C6EO, C6RO, C6UO

	コンクリート		鋼板		鉄筋			
	先打ち	後打ち	R.19	R.9	D29	D25	D16	D13
降伏応力度 (t/cm <sup>2</sup> )	—	—	3.49	3.37	3.74	3.70	4.62*	4.20
最大強度 (t/cm <sup>2</sup> )	0.265	—	5.07	5.52	5.80	5.76	7.43	5.94
伸び率 (%)	—	—	29.1	26.9	18.4	19.3	10.1	17.3

表一2 材料特性

筋材規格	基礎ばり		柱型(柱脚)			
	(イ)主筋	(ロ)スタップ	(ハ)直交主筋	(ニ)主筋	(ホ)フープ	(ヘ)外周フープ
C6MO	上端、下端とも 4-D25	D10 @ 50	上端、下端とも 2-D25	4-D16	D10 @ 70 Top,Bottom	D13
C6EO	"	"	上端、下端とも 2-D16	"	"	"
C6RO	上端、下端とも 4-D25	"	"	"	"	"
C6UO	上端、下端とも 4-D25	"	"	"	"	"
C6HO-G	上端、下端とも 4-D25	"	"	"	D10 @ 70 Top,Bottom	D16 @ 80

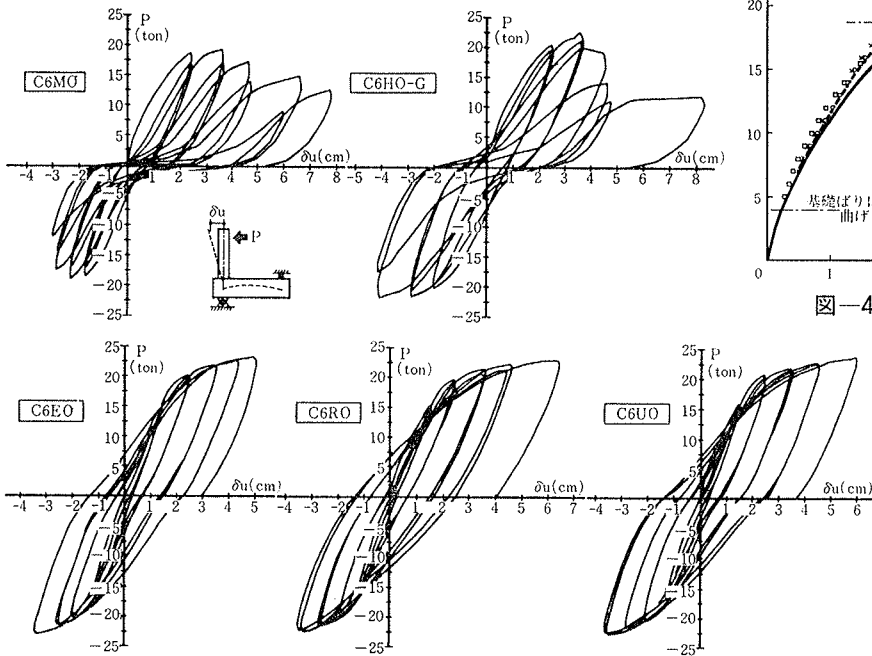
表一1 試験体の配筋



図一1 試験体の形状と柱脚の配筋詳細

現している。加力は正、負荷重の漸増繰り返しとし、図一1の+Pの方向、すなわち、基礎ばり上端面に引張力が生じる状態を正加力、その反対を負加力とした。変形は柱頭の加力位置で測った全体変形(δu)で制御しながら、正荷重≧負荷重、になるようにして、図一2の形式の変則両振り加力を行なった。

なお、全体の変形は柱脚の柱型の中心と、基礎ばりの



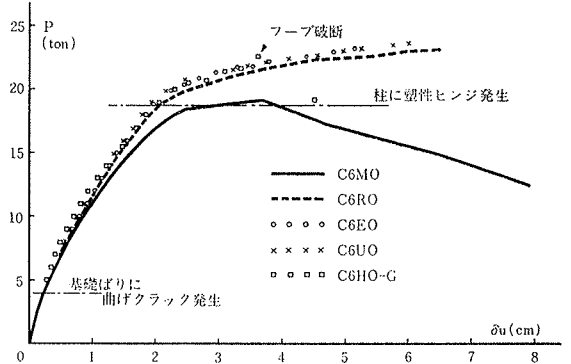
図一3 荷重—変形曲線

端部を不動点とした治具によって測定した。

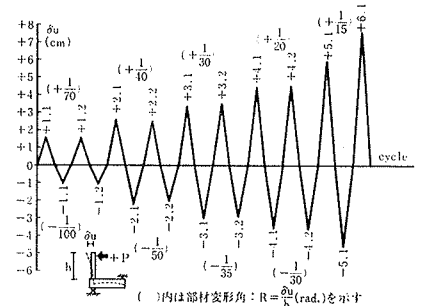
#### 4. 実験結果と考察

##### 4.1. 実験結果

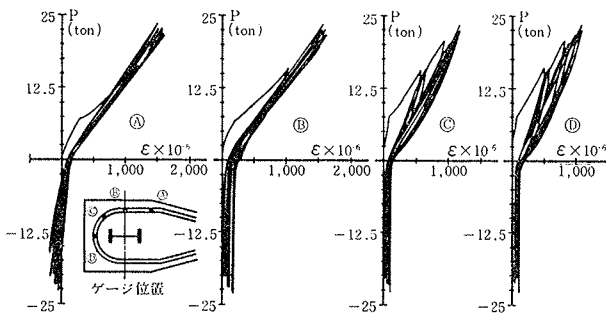
荷重(P)と全体変形(δu)の関係を図一3に、その包



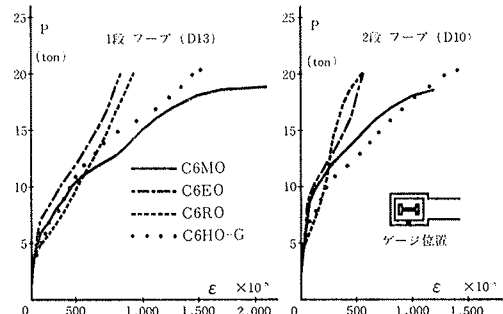
図一4 荷重—変形曲線(包絡線)



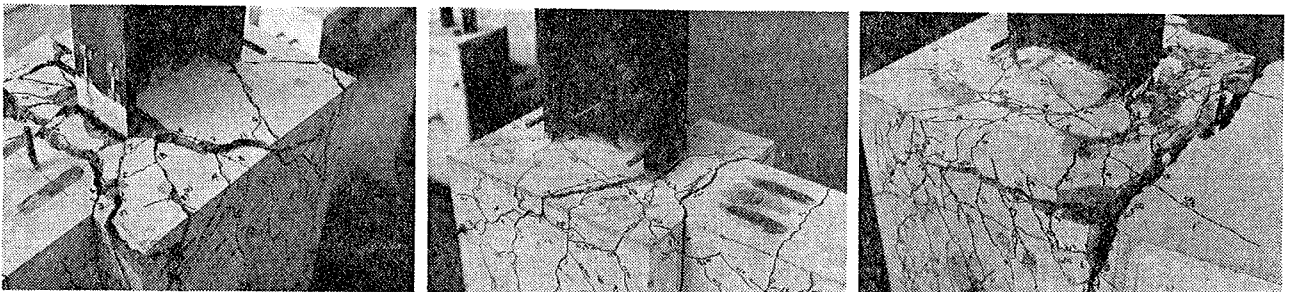
図一2 加力スケジュール



図一5 荷重—歪曲線(C6UO)



図一6 荷重—歪曲線(フープ)



(イ) C6MO

(ロ) C6RO

(ハ) C6HO-G

写真一1 破壊状況

絡線を図-4に、荷重と歪(ε)の関係を図-5, 6に、実験結果と計算値を比較して表-3に、代表的な破壊状況を写真-1に示す。また、すでに提案<sup>1)</sup>している側柱柱脚の破壊パターンと応力伝達モデルを、図-7, 8として再録した。

4.2. 変形と破壊経過

前報<sup>1)</sup>でも述べたように、柱脚の変形性状は大別して、(I)基礎ばりに曲げクラックが発生するまでの弾性的挙動、(II)柱脚にクラックが発生して鉄筋が応力伝達に加担し始め、剛性低下を示す挙動、(III)柱に塑性ヒンジが発生し、変形増加の挙動、の3段階に分けられる。

図-4のように、(I)段階では全試験体の挙動は一致するが、(II)段階以後、差が生じている。しかし、C6RO, C6EO, C6UOは(II), (III)でもほぼ同じ変形量を示し、すぐれた変形性状を有している。

C6HO-Gも(III)のP=22.5 tonまでは上記3体と等しい良好な性状を示すが、以後、急激な耐力低下が起こり、劣化が著しい。この荷重でフープ筋の曲げ加工部が破断し、柱脚のコンクリートの破壊へつながっている。C6MOは(II)段階のP=10 tonあたりから剛性が低下し始め、(III)の柱の塑性化に到らないまま、P=19.2 tonの最大荷重を示した後、負勾配のP-δu曲線となった。写真-1のように、柱脚の破壊が顕著であった。

明らかに、C6RO, C6EO, C6UOの性状が良く、C6MOが劣っている。また、C6HO-Gはその中間に位置すると考えられる。

なお、表-3のごとく、はりの曲げ、せん断クラック

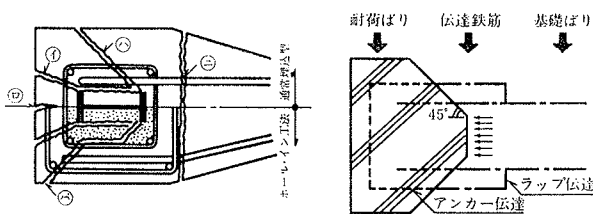


図-7 破壊パターン

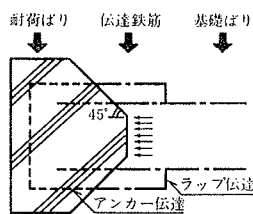


図-8 応力伝達モデル

の発生はほぼ計算で予想できたが、パネル部のクラック発生荷重にはバラツキがみられ、計算値と多少相違していた。

4.3. 履歴性状

図-3のように、C6ROのループは完全紡錘型ですぐれた履歴性状を示している。C6EOとC6UOの性状はほぼ等しく、ともに安定した紡錘型の履歴となっているが、ループの中央部にごくわずかのくびれが見られる。この点、C6ROより少々劣るとも言えるが、三者ともエネルギー吸収性の良い柱脚である。C6MOは逆S字型の履歴を示し、性状は良くない。C6HO-Gは鉄筋破断が起きた+3.2サイクルまでは紡錘型を示し、それ以後はスリップ型に移行し、耐力も著しく低下している。

したがって、C6RO, C6EO, C6UO, C6HO-G, C6MOの順に性状が悪くなっている。

4.4. 破壊性状

前報<sup>1)</sup>までの結果によれば、側柱柱脚には図-7の①②③の破壊パターンがある。ただし、ホール・イン工法の場合、②は③となる。

今回の実験結果は表-3に併記している。C6RO, C6EO, C6UOでは柱脚コンクリートの破損は少なく、④クラックが多少目立つ程度であり、①②は微細クラックにすぎない状態であった。これらでは柱の完全塑性化によって変形が増加し、加力を中止している。

一方、C6MOでは柱の降伏があまり進行しない段階で柱脚のコンクリートに破壊が生じ、荷重低下を示した。柱脚の破壊状況を観察すると、図-9のようなはく離現象がみられた。すなわち、④クラックが柱脚の深さ方向に浸透せず、主筋やフープの位置で水平に向きをかえ、繰り返し加力にともなう柱フランジの拔出しと沈下によって、水平クラックが徐々に伸展し、コンクリート表面がはく離したと考えられる。写真-1でも明らかに、程度の差はあれ、C6EO以外のすべての試験体でこの傾向が確認でき、直交方向基礎ばりなどの周囲からの拘束がない隅柱柱脚に特有な破壊パターンと言える。

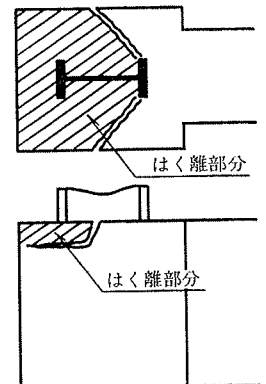


図-9 破壊パターン(隅柱柱脚)

項目	計算耐力 (ton)										実験確認耐力 (ton), 破壊状況			
	柱耐力 降伏	型枠 ヒンジ	曲げ クラック	せん断 クラック	曲げ 降伏	せん断 クラック	せん断 降伏	柱脚耐力 ④破壊 パターン	①破壊 パターン	はり曲げ クラック	はりせん断 クラック	パネル部 クラック	最大荷重	実験終了時 破壊状況
C6MO	15.8	18.4	3.8	8.8	24.2	13.8	36.1	28.0	30.5	3	10	18	19.2	柱脚コンクリート表面のはがれ はり主筋の定着部の付着破壊 はり端曲げクラック幅の拡大
C6RO	16.2	18.8	4.1	9.5	24.8	17.1	38.4	—	33.4	3	10	20	23.3	柱降伏、はり主筋の一部降伏 柱脚コンクリート表面のはがれ少々
C6EO	16.2	18.8	4.1	9.5	24.8	17.1	38.4	—	33.4	3	9	22	23.5	柱降伏 はり主筋の一部降伏
C6UO	16.2	18.8	4.1	9.5	31.1	23.4	34.0	44.5	30.5	4	12	—	23.7	柱降伏 柱脚コンクリート表面のはがれ少々
C6HO-G	15.8	18.4	3.8	8.8	24.2	18.0	67.2	31.2	31.8	6	12	14	22.5	フープ破断、柱脚コンクリート表面 のはがれ、はり主筋定着部の付着 破壊、はり端曲げクラック幅の拡大

表-3 耐力・破壊状況の一覧表

このはく離現象ははり主筋の定着部の付着効果を消失させて、拔出しを起こさせるだけでなく、繰り返し加力の影響も加わり、図一七を想定した計算値(表一三参照)より耐力を低下させることになる。試験体の中で最も定着長の小さいC6MOに荷重低下、スリップループが顕著にあらわれたことがこれで説明できる。

また、C6HO-Gでは柱の降伏後、フープの破断により急激な荷重低下が生じた。表一二のようにフープの材質に問題があることも事実であるが、この試験体では④クラックによって、はり主筋の伝達鉄筋(図一八参照)としての役割が低下し、フープがその代役を果たしている。したがって、フープが破断すると伝達鉄筋が減少するだけでなく、周囲の拘束が解除される。さらに、その過程で柱脚コンクリートの表面がはく離し、定着効果の減少により主筋が拔出し、⑤クラック幅の拡大につながったと推定できる。フープの増加や補強筋の挿入が必要である。

#### 4.5. 応力伝達機構

図一八を参考にして、各試験体の応力伝達を検討する。図一八のモデルは、柱からの支圧力を耐荷ばりと名付けた柱脚前面のコンクリート部分がはり作用で支持し、次に伝達鉄筋が耐荷ばりの反力を基礎ばりへ伝えるという応力の流れを示している。

C6MOでは上で述べた経路をそのまま通って応力が伝わってゆく。したがって、コンクリート表面のはく離により伝達鉄筋の効果が低下すると性状が悪化するのとは当然である。C6EOでは建物の外部方向へ延長した基礎ばり全体が耐荷ばりになるので、耐荷ばりの剛性、耐力とも高い。しかも、耐荷ばりへの主筋の定着長は十分に確保されているので、柱脚の挙動は良い。

C6ROでは主筋と柱が溶接されているので、耐荷ばりの助けを借りることなく、柱の応力が直接はり主筋に伝わってゆく。力の伝達経路は短く、最良の伝達法と言える。C6UOでは耐荷ばりに加わった支圧力がはり内部を圧縮応力として伝わり、水平U字型に定着された主筋にリングテンションとして入ってゆく。応力は円滑に流れ、主筋の拔出しも同時に防止されている。なお、図一五は定着部で測定した歪である。④③②①と徐々に減少の傾向がみられるが、全長にわたりかなり大きな引張力が分布している。

C6HO-Gでは耐荷ばりの形状によって、はり主筋が伝達鉄筋として有効に働かず、二重に巻いたフープがその役割を果たしている。したがって、耐荷ばりの支持間隔が他の4体より多少長く、①クラックが多数発生した。

図一六はフープ側面の歪である。主筋が伝達鉄筋として働くC6EO、C6ROでは歪は小さく、フープが伝達鉄筋となっているC6HO-G、C6MOでは大きな歪を示した。主筋の定着法でフープの効き方が相違することを裏付けている。

以上のことより、はり主筋の定着が確実ならば柱脚の破壊は起こりにくく、また、起こったとしても性状の劣化には直接つながらない、ことがわかった。

#### 5. まとめ

埋込型の隅柱柱脚の実験結果をまとめる。

(1) 基礎ばり主筋を柱に溶接した形式(C6RO)、基礎ばりを建物の外部方向へ延長した形式(C6EO)、および、主筋を柱の回りに水平U字型に定着した形式(C6UO)の柱脚の挙動がすぐれ、通常の形式(C6MO)には多少問題が認められた。ホール・イン工法の柱脚(C6HO-G)はフープの破断により挙動の劣化を示し、全体的には両者の中間的な性状となった。

(2) はり主筋が確実に定着された柱脚ほど良い性状となることが裏付けるように、応力伝達は図一八のモデルで説明できる。しかし、ホール・イン工法では主筋の効きが良くないことになり、フープや水平U字型の補強筋などを十分に入れる必要がある。

(3) 柱脚のコンクリート表面のはく離が原因で、はり主筋の定着効果が消滅し、早期の性状劣化や耐力低下につながるという独特の破壊パターンが観察された。

#### 参考文献

- 1) 武田, 小島, 高橋, 木村: S造とSRC造の建物の柱脚の実験的研究(その1)~(その5), 大林組技術研究所報; No. 21, No. 25, No. 26, No. 28, No. 30; (1980), (1982)~(1985); pp. 14~18, pp. 31~35, pp. 51~55, pp. 44~48, pp. 56~60
- 2) 高木, 武田, 高橋, 他: S造およびSRC造の柱脚埋込工法, 建築技術 No. 386, (1983.10), pp. 73~78