

合理的なSRC造非埋込型柱脚の開発 (その1) 構法選定のための構造実験

青 田 晃 治 岩 岡 信 一
成 瀬 忠 山 本 憲一郎^{*1}
渡 邊 朋 之

要 旨

兵庫県南部地震以後、変動軸力を受ける鉄骨鉄筋コンクリート（SRC）造柱脚は、鉄骨を基礎梁等に埋込むことになっている。本研究は変動軸力を受けても安全な非埋込型柱脚を開発し、SRC造建物の工期短縮、コスト低減に寄与することを目的としている。考案した構法は、安価でかつ省力化が図れ、鉄骨に作用する軸力、曲げを基礎梁等に十分に伝えられるように、鉄骨ベースプレートに開けたルーズホールに接続鉄筋を貫通させる構法とした。考案した構法の試験体2体および接続鉄筋の有効性確認のための試験体、比較のための埋込型試験体の計4体について、変動軸力下での曲げせん断実験を行なった。実験の結果、埋込・非埋込の違いによる柱全体の破壊性状、初期剛性、曲げ耐力、軸剛性に差は見られなかった。また、柱の曲率分布も埋込・非埋込で差が見られず、上下対称の分布となっていることから、曲げ性能についても埋込・非埋込での差はなかった。

考案した非埋込型柱脚構法は埋込型と同等の構造性能を有することが確認できた。

キーワード SRC／柱脚／非埋込／接続鉄筋／軸剛性／曲げ耐力／曲率

目 次

- | | |
|----------|----------|
| 1. はじめに | 4. まとめ |
| 2. 構法の考案 | 5. 今後の課題 |
| 3. 構造実験 | |

DEVELOPMENT OF RATIONAL BARE TYPE SRC COLUMN BASE (Part 1) THE EXPERIMENT TO SELECT STANDARD METHOD

Koji AOTA Shin-ichi IWAOKA
Tadashi NARUSE Ken-ichiro YAMAMOTO
Tomoyuki WATANABE

Synopsis:

The purpose of this research is developing bare type column base that is safe under varying axial force, and contributing to shortening the time for construction and reduction of cost. The experiment under varying axial force was conducted by four specimens.

As a result of the experiment, it turns out that there is no difference about the quality of destruction, the initial stiffness, the flexural strength, and the axial stiffness between embedded type and bare type. It has confirmed that the structural performance of bare type column base method is equivalent to that of an embedded type column base.

* 1 本店 建築設計部 構造設計G

1. はじめに

兵庫県南部地震での鉄骨鉄筋コンクリート造（SRC）建物は、非埋込柱脚鉄骨のアンカーボルトの破壊による被害が多く見られた。そのため、緊急的な措置として変動軸力を受ける柱脚部の鉄骨を非埋込形式とすることが原則的に禁止され、日本建築センターの「建築物の構造規定」等に提示された。従って、現状のSRC造柱脚の鉄骨は手間をかけて基礎梁等に埋め込む必要が生じており、工期増、コスト増の原因となっている。

本研究は変動軸力を受けても安全なSRC造の非埋込型柱脚構法を考案し、とすることで、SRC造建物の工期短縮、コスト低減に寄与することを目的としている。本報ではアンカーボルト形式とは異なり、安価かつ省力化の図れる非埋込型柱脚構法を考案し、構法選定のために行った変動軸力下での構造性能実験について報告する。

2. 構法の考案

構法の考案に際しては鉄骨柱に作用する軸力、曲げなどをできる限り基礎梁等へ伝えられる構法を優先して採用した。採用した構法は鉄骨ベースプレートにルーズホールを設け、そこに接続鉄筋を貫通させて鉄骨の引張力等を伝達させる構法である。

3. 構造実験

3.1 実験概要

(1) 試験体

試験体設計に際して想定した建物は、耐震壁付ラーメン構造の中高層集合住宅であり、検討対象部分はラーメン方向外周柱の1階柱脚部分である。これら外周柱は45度方向の外力が作用した場合に高引張力、高圧縮力と同時に水平力が作用することが予想され、SRC造柱脚と

しては最も厳しい応力状態になる。柱脚の鉄筋はベースプレート下の鉄筋コンクリート断面での鋼材量が柱頭の鋼材量とほぼ同じになるように配筋した。ベースプレートを通させた接続鉄筋以外はRC部分に主筋として配筋した。ベースプレート貫通型はさらに接続鉄筋の定着方法を直線定着と機械式定着の2種類とした。

試験体数は4体で、縮尺は約1/2である。No.1は比較用の埋込型柱脚で、No.2、No.3は考案した非埋込型柱脚である。また、No.4は接続鉄筋の有効性の確認のために全ての鉄筋をRC部分に配筋した試験体である。

【No.1 試験体】現在推奨されている埋め込み型の柱脚構法の試験体であり、鉄筋、鉄骨ともに上下スタブ内に埋め込まれている。考案した構法との比較対象となる。

【No.2試験体】考案した非埋込型柱脚構法の試験体である。柱鉄骨が負担する耐力を、接続鉄筋6-D19（定着長32.8d）、およびRC部分に配筋した鉄筋10-D13（定着長71.1d、No.3とNo.4も同じ）によって、ベースプレート下に伝達せようとする構法である。接続鉄筋は直線定着とし、コンクリートを拘束して定着力を上げるために、柱内法高さの半分の位置までコ字型のせん断補強筋（2-D6）を鉄骨ウェブを貫通させて配筋している。

【No.3試験体】柱の断面はNo.2試験体と同様である。No.2との相違点は、接続鉄筋6-D19の定着を、プレート付ナットを用いた機械式定着（定着長20.5d）としている点と、コ字型のせん断補強筋を用いないで、鉄骨柱脚部にバンドプレート（50x4.5）を使用している点である。

【No.4 試験体】接続鉄筋の有効性を確認するための試験体である。鉄筋量はNo.2、No.3試験体と同じであるが、柱脚の鉄筋（6-D19、10-D13）を全てRC部分に配筋した。なおこれらの鉄筋の定着長さは付着割裂破壊を起こさない長さとした。

全試験体の柱の断面設計は、鉄骨および鉄筋コンクリート部分のせん断破壊および付着割裂破壊が生じず、柱脚部での曲げ破壊となるようにしている。

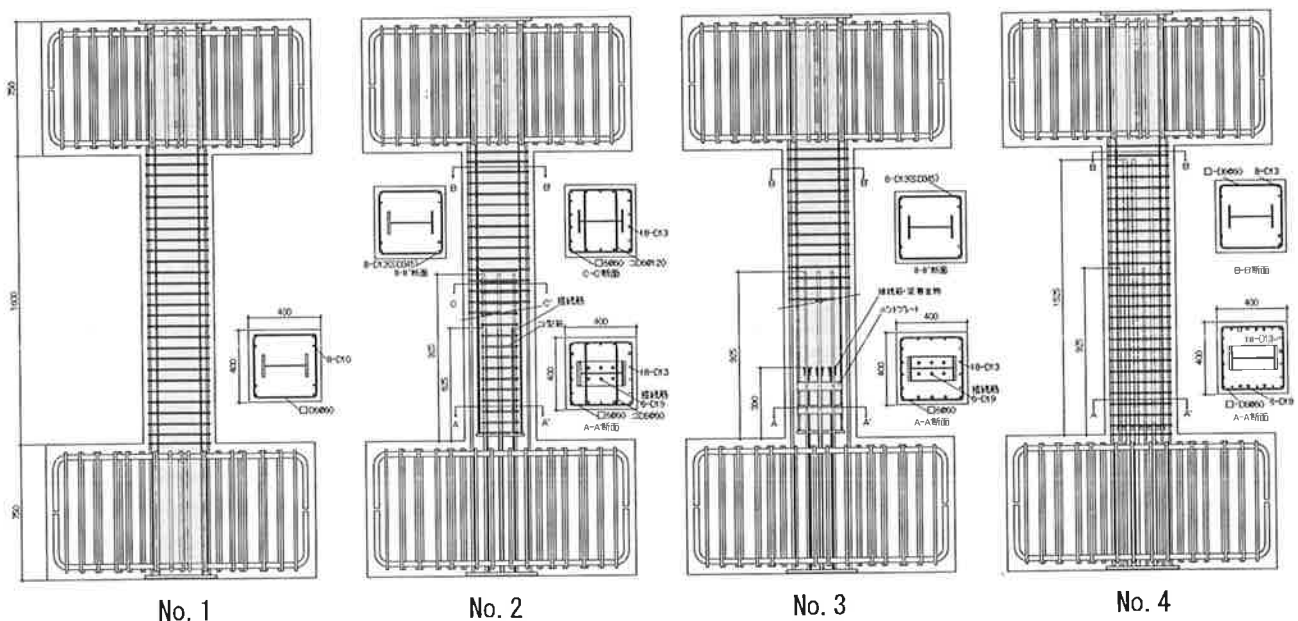


図-1 試験体

表-1 試験体諸元

試験体	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4
接統筋定着方法	-	直筋定着	機械式定着	直筋定着
コンクリート強度	29.4N/mm ²	30.5N/mm ²	34.1N/mm ²	28.8N/mm ²
柱断面	40cm×40cm			
柱内のり高さ	160cm			
主筋	柱頭部	8-D10 (SD345)	8-D13 (SD345)	
	柱脚部	8-D10 (SD345)	18-D13 (SD345) 6-D19 (SD345)	
せん断補強筋	4-D6@60 (SHD685)			
コ型補強筋	-	D6@60 (SHD685)	-	-
鉄骨	柱頭部	H-250*125*6*9 (SM490)		
	柱脚部	H-250*125*6*9 (SM490)	-	-
鉄筋断面積	柱頭部	5.7 cm ²	10.16 cm ²	
	柱脚部	5.7 cm ²	40.08 cm ²	
鉄骨断面積	36.97 cm ²			
載荷軸力 (kN)	長期	630 (0.10cNu)		
	引張	-1180 (0.74tNy)	-1180 (0.76tNy)	
	圧縮		2160 (0.34cNu)	
引張軸耐力 (kN)	降伏 tNy	-1590	-1540	
	終局 tNu	-2140	-2300	
圧縮軸耐力 cNu (kN)		6280	6290	6860
				6030

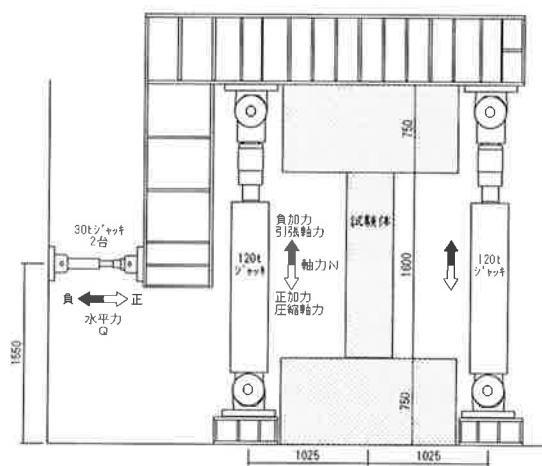


図-2 加力装置

表-1 に試験体諸元、表-2 に材料の機械的性質を示す。

(2) 加力方法

図-2 に加力装置を示す。水平力は柱中央部に作用させ、柱に逆対称モーメントが生じる機構とした。軸力は左右の縦方向油圧ジャッキによる変動軸力とし、上下スタブの平行を保つように左右の縦変位も同時に制御した。図-3 に示すように、長期軸力を $N_0=630\text{kN}$ ($N/N_0=0.1$) とし、最大圧縮軸力を $N_{\max}=2160\text{kN}$ 、最大引張軸力を $N_{\min}=-1180\text{kN}$ とした。また、軸力の変動区間は変動軸力比 $N/Q=13.3$ として水平力 (Q) に比例させて加力した。図-4 に加力サイクルを示す。

(3) 計測方法

図-5 に変位の計測位置を、図-6 に主なひずみ計測位置を示す。変位計測は柱部材の層間変形、柱軸方向を8区間に区切った区間軸変形、上下スタブ間を計測した柱軸変形、柱脚部鉄骨ベースプレートの水平変位・回転、柱脚部のコンクリート面の水平変位について行った。ひずみ計測は柱主筋、接統鉄筋、せん断補強筋、鉄骨フランジ、ウェブ、ベースプレート、バンドプレートについて行った。

表-2 使用材料の機械的性質

鋼材				
鋼材・鉄筋 (材質)	使用部位	降伏点 σ_{sy} (N/mm ²)	引張強度 σ_{su} (N/mm ²)	伸び (%)
PL-4.5 (SS400)	ハットPL	320	446	36.3
PL-6 (SM490)	ウェブ	394	538	24.6
PL-9 (SM490)	フランジ	396	532	25.5
PL-16 (SM490)	ベースPL	384	548	25.7
D6 (SHD685)	ブーパ筋	707*	938	10.0
D13 (SD345)	主筋・接統筋	383	557	22.7
D19 (SD345)	BP部接統筋	382	599	22.6

*0.2%オフセット耐力

コンクリート				
試験体	圧縮強度 σ_B (N/mm ²)	ヤング係数 E_c ($\times 10^5 \text{N/mm}^2$)	ポアソン比 ν	割裂強度 σ_t (N/mm ²)
No.1	29.4	0.23	0.21	2.5
No.2	30.5	0.24	0.21	2.6
No.3	34.1	0.23	0.19	2.3
No.4	28.8	0.25	0.21	2.8

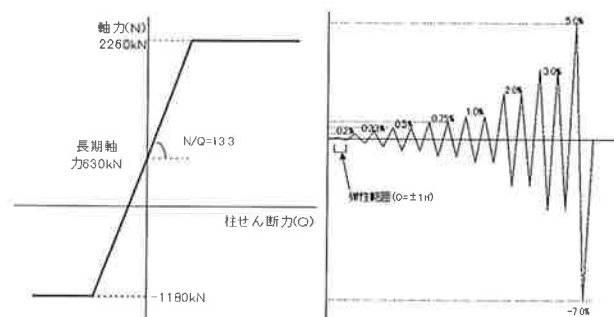


図-3 変動軸力のルール 図-4 加力サイクル

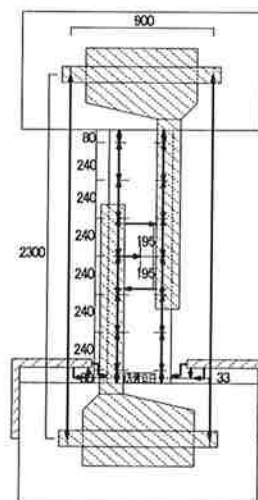


図-5 変位計測

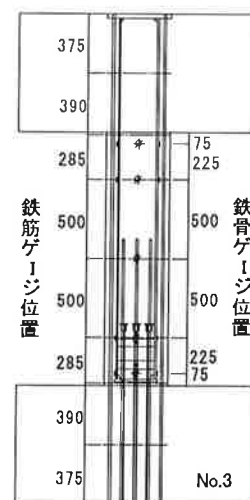


図-6 歪計測

3.2 実験結果

(1) 破壊状況

図-7 に各試験体の曲げモーメント $M(\text{kN}\cdot\text{m})$ —層間変形角 $R(\%)$ 関係、図-8 に $R=\pm 2.0\%$ 時のひび割れ状況を、表-3 に実験結果一覧を示す。破壊性状は No.1, No.2, No.3 試験体は曲げ破壊、No.4 試験体は曲げ破壊後の付着割裂破壊であった。

負加力（引張軸力下）では各試験体とも $R=-0.2\%$ のサイクル時に柱頭柱脚部分に曲げひび割れが生じ、その後は変形・引張軸力が大きくなるに従い、柱全体に一樣に引張ひび割れが生じた。 $R=-0.5\%$ までに、主筋、接統鉄

筋ともに引張降伏した。正載荷（圧縮軸力下）では、 $R=+0.5\%$ のサイクルで曲げひび割れが生じ、 $R=+3.0\%$ 以降には柱頭柱脚部分にコンクリートの圧壊が生じた。 $R=+3.0\%$ 以降、柱頭柱脚部分から $0.25D \sim 0.5D$ の範囲で、主筋の座屈が顕著になり、No.2, No.3, No.4 試験体では、主筋の座屈に伴って、せん断補強筋の破断が生じた。

No.1 試験体の曲げひび割れ本数は、他の3試験体より少なく、最大耐力時における柱頭柱脚部分のコンクリートの破壊も他の試験体に比べて小さかった。 $R=-3.0\%$ お

よび $R=-7.0\%$ のサイクルの負載荷時に、柱頭柱脚部分の引張側鉄筋が全数破断し、その後は耐力上昇しなかった。

No.2, No.3 試験体はほぼ同様な破壊性状を示した。加力後の観察から、いずれも柱脚ベースプレート位置から、引張によるコーン状の斜めひび割れが観察された。No.3 試験体は柱脚部の側面（加力方向に平行な面）のコンクリートがやや膨らんでいたのに対し、No.2 試験体は膨らみは少なかった。これは側面から補強したコ型補強筋の効果と考えられる。なお、主筋の破断は生じなかった。

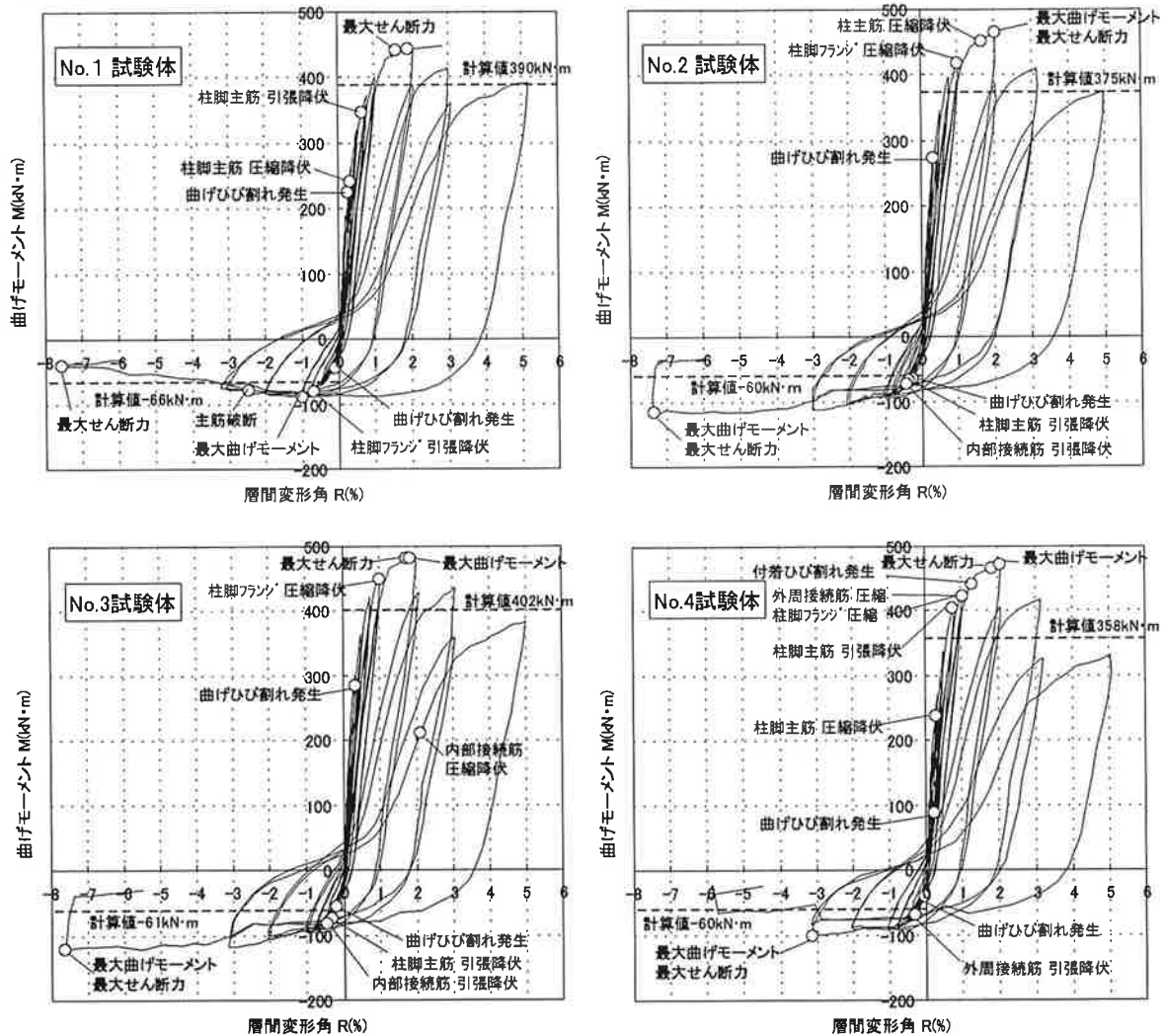


図-7 曲げモーメント M (kN·m) - 層間変形角 R (%) 関係

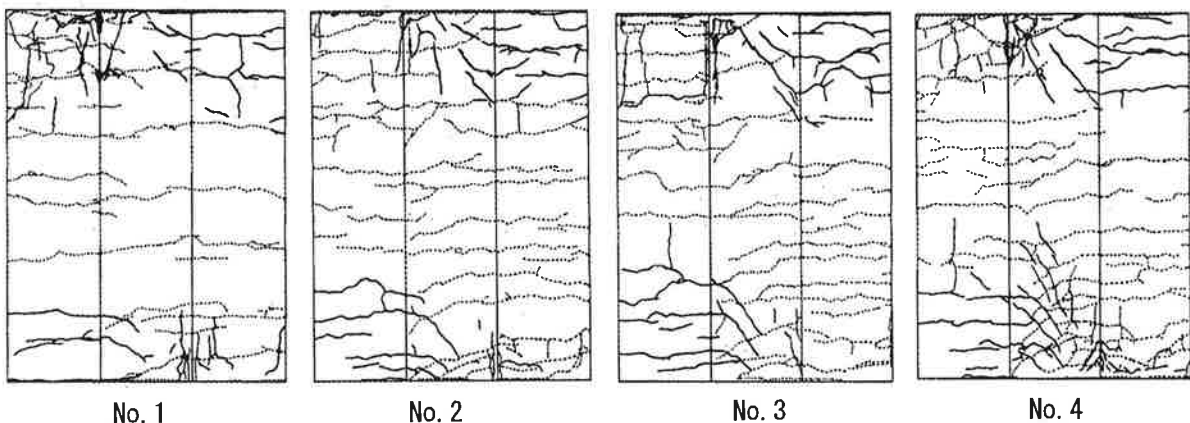


図-8 $R = \pm 2.0\%$ 時のひび割れ状況

表-3 実験結果一覧

現象	No. 1			No. 2			No. 3			No. 4		
	R (%)	Q (kN)	N (kN)	R (%)	Q (kN)	N (kN)	R (%)	Q (kN)	N (kN)	R (%)	Q (kN)	N (kN)
曲げひび割れ発生(正)	0.27	274	2154	0.34	335	2148	0.33	349	2153	0.22	109	56
(負)	-0.11	-55	-103	-0.27	-83	-554	-0.19	-70	-310	-0.05	-52	-82
1) 計算値	-	228	2157	-	229	2157	-	231	2157	-	228	2157
柱脚主筋 圧縮降伏	0.33	295	2152	1.66	517	2138	-	-	-	0.28	291	2141
引張降伏	0.66	420	2145	-0.36	-88	-742	-0.33	-96	-658	0.77	489	2156
接統筋 圧縮降伏	-	-	-	-	-	-	2.10	220	2153	1.03	506	2145
引張降伏	-	-	-	-0.45	-96	-832	-0.44	-106	-808	-0.32	-89	-575
柱脚フランジ 圧縮降伏	-	-	-	0.99	501	2165	1.00	540	2152	1.03	506	2145
引張降伏	-0.72	-105	-796	-	-	-	-	-	-	-	-	-
最大せん断力 (正)	1.60	517	2160	2.02	537	2167	1.76	564	2157	1.81	545	2112
(負)	-7.58	-139	-1149	-7.38	-232	-1166	-7.63	-240	-1155	-3.12	-162	-1151
最大曲げモーメント	R (%)	M (kN・m)	N (kN)	R (%)	M (kN・m)	N (kN)	R (%)	M (kN・m)	N (kN)	R (%)	M (kN・m)	N (kN)
実験値 (正)	1.93	444	2158	2.02	465	2167	1.86	482	2157	2.06	471	2163
(負)	-1.00	-89	-969	-7.38	-117	-1166	-7.63	-121	-1155	-3.12	-100	-1151
2) 計算値 (正)	-	390	-	-	375	-	-	402	-	-	358	-
(負)	-	-66	-	-	-60	-	-	-61	-	-	-60	-
実験値/計算値 (正)	1.14			1.24			1.20			1.32		
(負)	1.35			1.94			2.00			1.67		

1) 曲げひび割れ発生 計算値

: $Q_c = 2Mc/h$ $Mc = 0.56\sqrt{\sigma_B \cdot Z_e + ND/6}$

2) 最大曲げモーメント計算値

: $\bar{\sigma}$ -スプレッド下の断面における、平面保持仮定による計算値

No.4 試験体は $R=+2.0\%$ のサイクル時に側面の鉄筋に添って、付着ひび割れが生じた。その後、変形が進むに従い、部材全長にわたって付着割裂が進展し、側面のかぶりコンクリートがほぼ全面にわたって剥落した。負荷荷の $R=-3.0\%$ 以降、付着破壊が原因と見られる耐力低下を生じ、その後の耐力の上昇はなかった。なお、主筋の破断は生じなかった。

(2) 初期剛性

図-9 に正載荷時の柱の初期剛性と弾性剛性の計算値を示す。弾性剛性の計算は鉄骨、鉄筋を無視し、コンクリートのみの材料定数と断面2次モーメントを用いた。また、せん断変形に対する形状係数は $\kappa=1.2$ として計算した。試験体間での初期剛性の違いは無く、計算値とも概ね一致している。

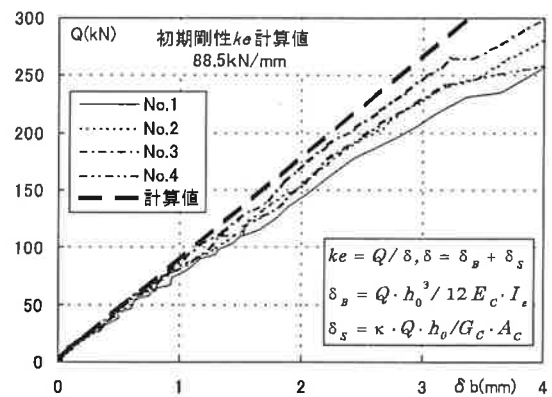


図-9 初期剛性

(3) 柱脚の軸変形および曲げ変形

ここでは実験結果をもとに、考案した非埋込型柱脚の軸変形および曲げ変形について考察する。

図-10 に層間変形角 R -軸変形量 δv 関係を、図-11 に負載荷時の柱の区間軸変形率の分布を示す。図-10 中の点線は各サイクルピーク時の軸力に対する軸変形量の計算値であり、圧縮軸力時は鋼材とコンクリート、引張

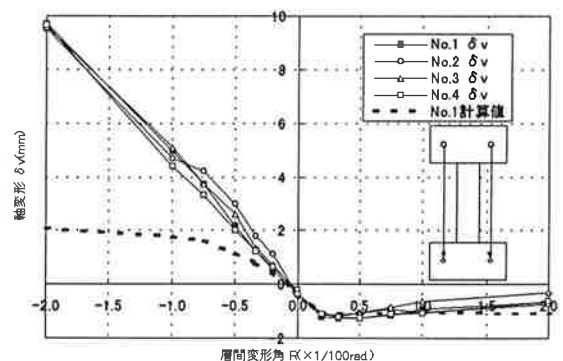


図-10 層間変形角 R -軸変形量 δv 関係

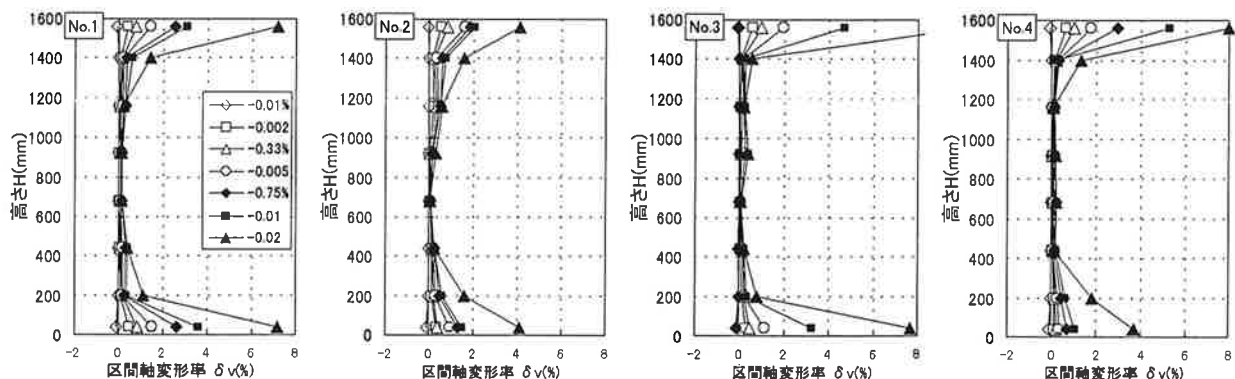


図-11 柱の区間軸変形率の分布 (負載荷時)

軸力時は鋼材のみの弾性軸変形量を No.1 試験体について算定したものである。圧縮軸力時は計算値と実験値は概ね一致している。また、引張軸力時は $R=0.33\%$ あたりから計算値を大きく上回っているが、これは繰返し曲げによる鋼材の塑性歪の累積によるものと思われる。図-11の軸変形率分布で、No.4 試験体の $R=-2.0\%$ の軸変形が柱脚部の2段目の区間まで広がっているが、他の試験体では柱頭柱脚が対称な変形率分布をしており、埋込・非埋込を比較しても分布に大きな差は見られない。

図-12 に層間変形角 R —ベースプレート回転角 θ_{bp} 関係を、図-13 に鉄骨フランジの歪を応力に換算して求めた負荷荷時の鉄骨の負担モーメント分布を、図-14 に柱の区間変位から求めた負荷荷時の曲率分布を示す。なお、柱頭柱脚部の曲率分布は2区間の計測値を1区間として計算して示している。図-13の歪の応力換算には弾塑性の繰返しを考慮し、材料の軟化域にはバウシinger効果も考慮した。No.2, No.3 試験体のベースプレートの回

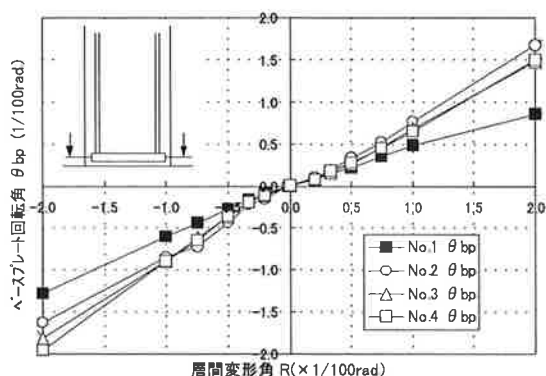


図-12 層間変形角 R —ベースプレート回転角 θ_{bp} 関係

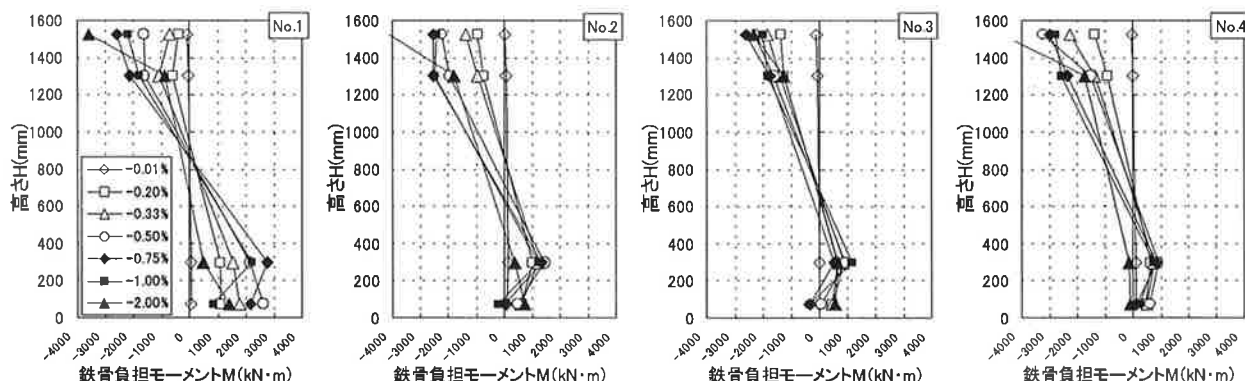


図-13 鉄骨の負担モーメント分布（負荷荷時）

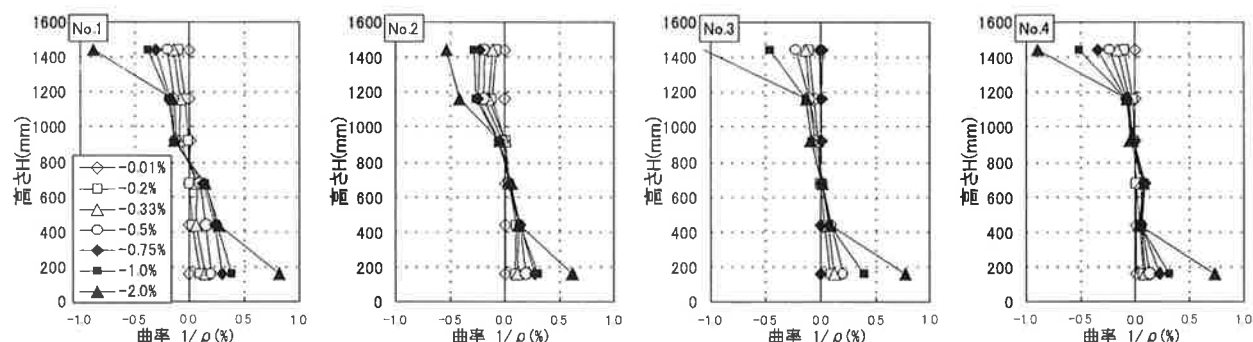


図-14 区間曲率分布（負荷荷時）

転角は埋込型の No.1 試験体に対して $R=2.0\%$ 時に 1.7～1.9 倍、 $R=-2.0\%$ 時に 1.3～1.4 倍の回転角となっている。また、図-13において No.1 に比べ他の試験体は柱脚部での負担モーメントが小さいが、図-14の柱全体の曲率分布では埋込・非埋込の違いは見られず、ほぼ逆対称の曲率分布を保っていることから、非埋込柱脚は接続鉄筋および RC 部分の鉄筋により埋込型柱脚と同等の曲げ性能を有していると考えられる。

4. まとめ

考案した非埋込型 S R C 柱脚構法について変動軸力下での曲げせん断実験を行ない、以下のことがわかった。

- ・ 非埋込型の柱脚部を鉄骨と同量の接続鉄筋で補強した場合、高引張軸力下でも復元力特性、破壊性状、軸性能、曲げ性能ともに埋込型柱脚と同等の構造性能を確保できる。
- ・ 今回考案した接続鉄筋をベースプレートに貫通させる非埋込柱脚は、いずれも構造性能の面では実用的である。なお、接続鉄筋の定着方法に関しては施工性、コストの比較から、No.2の構法が優位と考えられる。

5. 今後の課題

今後は性能を確認した構法に対して、柱頭の鉄量に比べ、柱脚の鉄量を減じた場合においても、高引張軸力下でも十分な靱性がある事を確認し、設計時の軸力制限等を明確にする必要がある。