



# 変動軸力を受ける露出型柱脚の履歴特性を考慮した骨組の弾塑性解析

嶋村, 洋子  
三谷, 勲  
藤永, 隆  
田中, 秀宣  
大谷, 泰弘

---

**(Citation)**

神戸大学都市安全研究センター研究報告, 9:261-271

**(Issue Date)**

2005-03

**(Resource Type)**

departmental bulletin paper

**(Version)**

Version of Record

**(JaLCOI)**

<https://doi.org/10.24546/00422541>

**(URL)**

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/00422541>



# 変動軸力を受ける露出型柱脚の履歴特性を 考慮した骨組の弾塑性解析

Elastic-Plastic Analysis of the Steel Frame with Exposed-Type Column Base Subjected to Variable Axial  
Load and Horizontal Force

嶋村 洋子<sup>1)</sup>

Yoko Shimamura

藤永 隆<sup>3)</sup>

Takashi Fujinaga

大谷恭弘<sup>5)</sup>

Yasuhiro Ohtani

三谷 勲<sup>2)</sup>

Isao Mitani

田中 秀宣<sup>4)</sup>

Hidenori Tanaka

概要: 変動軸力を受ける露出型柱脚をモデル化した1層2スパンの鉄骨骨組に, 水平力を作用させた場合の弾塑性挙動について検討するため, 塑性関節法による弾塑性解析を適用し, 骨組の弾塑性挙動を追跡した。解析結果を実験結果と比較し, その構造特性について論じた。

キーワード: 塑性関節法, 骨組解析, 荷重変形関係 鉄骨骨組, マトリックス解析, 反曲点高比

## 1. はじめに

1995年, 阪神淡路大震災が発生し, 建築物に多大なる被害をもたらした。その中でも, 露出型柱脚の被害は顕著であり, その被害の多くは, アンカーボルトの伸びや破断によるものであった。阪神淡路大震災は直下型の地震であり, 建築物への地震動入力は上下動が大きかったとされており, 柱脚部に想定以上の大きな引抜き力や, 転倒モーメントによって大きく変動する軸力が作用した為であると考えられている。また, 阪神淡路大震災以前は, 露出型柱脚を設計する際, 柱脚をピンと仮定して設計されていたために, 想定以上の曲げモーメントが柱脚部に作用し, 大きな被害に至ったものと考えられている。

阪神淡路大震災以前は, 埋込型・根巻型の研究が多く行われていた。また, 露出型柱脚の基本的構造的構造性能に関する研究<sup>1)-6)</sup>や, 多層骨組における損傷集中の研究も行われている<sup>1), 7), 8)</sup>。しかし, 変動軸力による柱脚の降伏曲げ耐力への影響を論じた研究は皆無である。

阪神淡路大震災以後, 露出型柱脚に関しては, 曲げ耐力, 回転剛性および復元力特性等の構造性能に関して, 多くの研究が行われるようになってきている<sup>9)-11)</sup>。圧縮または引張における一定軸力下の柱脚の要素実験が多く行われ<sup>12)-15)</sup>, 露出型柱脚の曲げ耐力と回転剛性に軸力が大きく影響することが指摘されている。また, 変動

軸力下における研究もいくつかあり<sup>16)-20)</sup>、文献 18)では、実験的研究で、変動軸力により露出型柱脚の曲げ耐力や回転剛性が変化することが指摘されている。

骨組に変動水平力が作用すると、梁せん断力により柱軸力が変動する。特に、側柱においては柱軸力の変動幅は大きくなる。多層骨組では、各層に生じる梁せん断力が累積する為、下層において柱軸力の変動が大きくなる。引張側に変動した場合は、柱脚の曲げ耐力は低下し、アンカーボルトが塑性化し易くなる。また、繰返し水平力により、アンカーボルトに大きな残留塑性変形が蓄積し、柱脚の固定度が低下して、反曲点位置が下がり、第 1 層の層耐力が低下するとともに復元力特性も著しく劣化する。したがって、露出型柱脚の復元力特性が上部構造の弾塑性性状に及ぼす影響を把握することは重要である。文献 21)では、柱脚の復元力特性の違いが上部構造の弾塑性性状に及ぼす影響を把握することを目的として、柱脚形式の異なる 1 層 2 スパン骨組の正負交番繰返し載荷実験を行っている。

柱脚の形式を考慮した骨組の解析においては、実験結果を基に数式化した弾塑性バネを材端に設置したものがほとんどであり、変動軸力を受ける柱脚の挙動が鋼構造骨組の構造性能に与える影響に関する研究は、まだ少ない<sup>20)</sup>。

本論文は、文献 21)における骨組試験体のうち、露出型柱脚アンカーボルト降伏骨組試験体について変動軸力を考慮し、塑性関節法により弾塑性解析を行い、骨組の履歴弾塑性挙動を求めた。

塑性関節法は、部材応力が部材断面耐力に達するたびに塑性ヒンジの発生を追跡を行いながら計算を進める増分解法で、構造物の最大耐力、崩壊時の変形量のみならず、剛性・強度の劣化過程、エネルギー吸収能力、崩壊に至るまでのメカニズムの形成過程等、骨組の崩壊過程に関する情報が得られ、構造物の全体挙動を押さえる上で非常に有効な手法である。ただし塑性化領域を 1 点に集約するため、塑性域の広がりや考慮した場合と比較して、挙動追跡に誤差が生じる傾向がある。しかし、本論では骨組挙動の全体傾向をおさえることが目的であるために、本解析法を用いた。

## 2. 解析

### (1) 解析計画

#### a) 骨組解析モデル

図 1 に解析モデルを示す。これは、図 2 に示す文献 21) で実験を行った露出型柱脚アンカーボルト降伏型試験体をモデル化したものである。柱長さを、コンクリート天端から加力点までの 1.35m、スパンの幅を 1.0m とした。1 層 2 スパン骨組とし、鉄骨は線材置換している。また、図 3 の太線で示すように剛域部を定めた。解析に用いる材の基本定数を表 1 に示す。図 1 中、部材番号を 1~5 で、節点番号を①~⑥で示す。同図中に示すように、節点②と節点④に実験と同じくそれぞれ 195kN の一定鉛直荷重を加える。載荷は変位制御で繰り返すものとし、図 4 に示す載荷プログラムに従って節点②に水平変位を与える。層間変形角は、図 1 中、節点②の変位を 1.35m で除したものである。

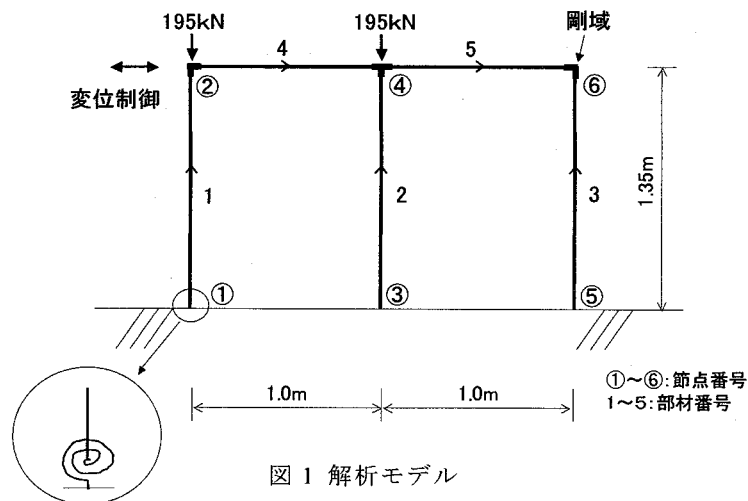
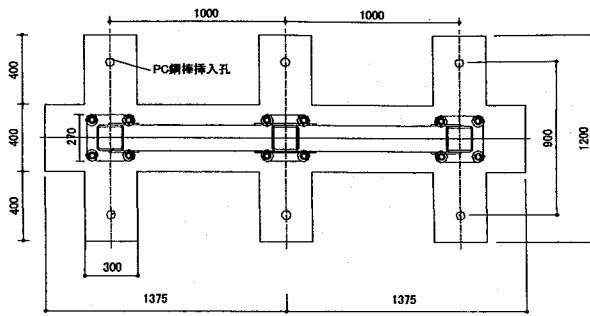
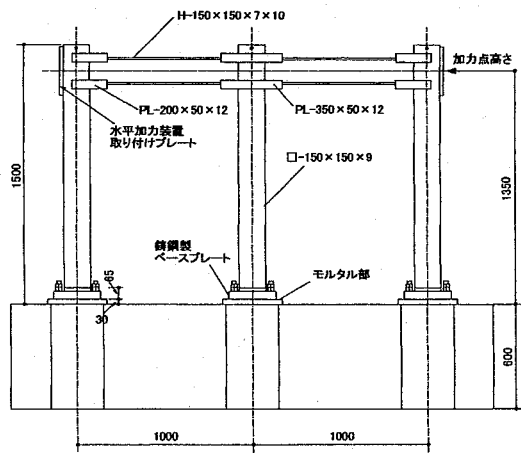


図 1 解析モデル



(a)平面



(b)立面

図2 試験体立面及び平面

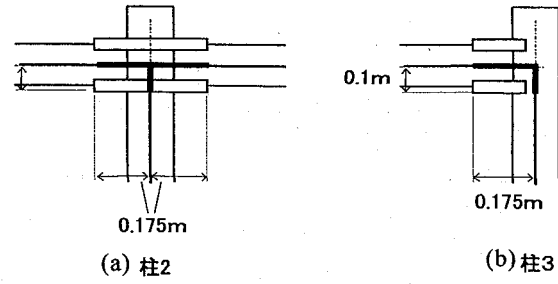


図3 剛域部モデル

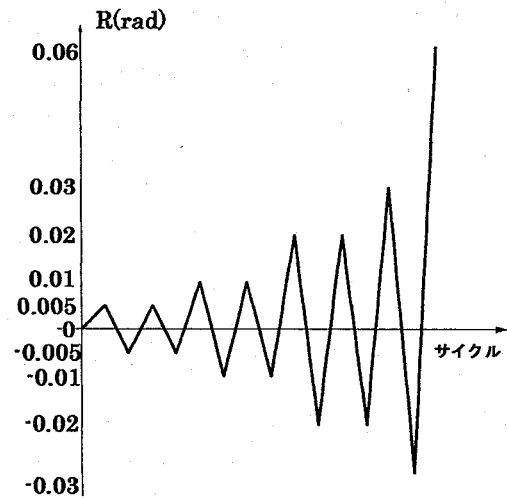


図4 荷重プログラム

表1 部材基本定数

	$A$ (mm <sup>2</sup> )	$E$ (N/mm <sup>2</sup> )	$I$ (mm <sup>4</sup> )	$Z$ (mm <sup>3</sup> )	$Z_p$ (mm <sup>3</sup> )	$\sigma_y$ (N/mm <sup>2</sup> )	$M_p$ (kNm)
柱	4,705	198,000	$1,530 \times 10^4$	$203 \times 10^3$	$227 \times 10^3$	288	65.4
梁	3,684	200,000	$1,520 \times 10^4$	$205 \times 10^3$	$247 \times 10^3$	383	94.8

$A$ : 断面積,  $E$ : ヤング係数,  $I$ : 断面2次モーメント,  $Z$ : 断面係数  
 $Z_p$ : 塑性断面係数,  $\sigma_y$ : 降伏応力,  $M_p$ : 全塑性モーメント

骨組の解析仮定を以下に示す。

- ① 上部構造の鉄骨部は、線材に置換する。
- ② 柱脚は、図5に示す露出型柱脚の復元力特性有する回転ばねからなる。
- ③ 接合部の剛域部は、図3に示す通りとする。
- ④ 塑性ヒンジは軸力を考慮した全塑性モーメントに到達した箇所(本解析では全て部材端)に発生し、1点に集約する。
- ⑤ 部材断面において、全塑性モーメント  $M_p$  に達した後は、曲率が無制限に増加するものとする。
- ⑥ せん断変形は考慮しない。
- ⑦ 材の座屈は考慮しない。

b) 柱脚モーメント-回転角関係のモデル化

図5に示す柱脚バネモデルは以下の仮定の下で得られたものである。

- ① ベースプレートは剛であり、敷モルタルの影響は無視する。
- ② 引張側アンカーボルトが全て軸部降伏モーメントに達した時に柱脚部が降伏し、塑性ヒンジができる。
- ③ 図5, a-e間は、完全に剛である。
- ④ 柱脚部が弾性域にある時、(2)式で表す弾性剛性 ${}_cK_b$ を有する。
- ⑤ 柱脚部の曲げ耐力は(1)式に表す通りとし、軸力によって変化する。
- ⑥ a-d間ではベースプレート-アンカーボルト間に摩擦は発生しない。

以下に図5の復元力特性および本解析への適用について略記する。

柱脚は、図5に示す露出型柱脚の復元力特性有する回転ばね部分とする。(1)および(2)式は一定軸力下の実験で得られた評価式であるが、変動軸力下の $N$ に対して適用する。露出型柱脚の降伏耐力を(1)式、弾性剛性を(2)式により算定する<sup>18)</sup>。本論では、 $M_a$ :柱の短期許容モーメント=44.4kNm,  $N_L$ :一定鉛直力(柱1と柱2は195kN, 柱3は0kN)を代入し、弾性剛性は一定とした。柱1・柱2の柱脚弾性剛性は10890kNm, 柱3は7304kNである。

図5において、a-e間は、ベースプレートが離間しない領域であり、この領域の限界曲げ抵抗 $M_N$ は(3)式で与えられる<sup>22)</sup>。同図において、復元力特性の経路は、 $0 \rightarrow a \rightarrow b \rightarrow c \rightarrow d \rightarrow a \rightarrow e \rightarrow f \rightarrow g \rightarrow h \rightarrow e \rightarrow a \rightarrow d \rightarrow c$ となる。なお、 $b \rightarrow c$ 間、 $f \rightarrow g$ 間は、軸力の変動に伴い、正あるいは負の勾配となる。

$${}_cM_{by} = T_u \cdot d_t + \frac{D(N + T_u)}{2} \left( 1 - \frac{N + T_u}{N_u} \right) \quad \dots(1)$$

$${}_cK_b = \frac{E \cdot A_b \cdot d_t^2}{L} \left( 1 + \frac{d_c}{d_t} \right) \left( 1 + \frac{N_L \cdot d_c}{M_a - N_L \cdot d_c} \right) \quad \dots(2)$$

$$M_N = Nd_c \text{ (ただし、} N < 0 \text{ (引張) の場合は、} M_N = 0 \text{)} \quad \dots(3)$$

ここに、 $D$ :ベースプレート外形寸法(270mm)  $T_u$ :曲げ引張側のアンカーボルト軸部降伏引張耐力  
 $N$ :柱軸力(圧縮が正)  $N_L$ :一定鉛直力  $d_t$ :ベースプレート中心-アンカーボルト図心間距離(105mm)  
 $d_c$ :ベースプレート中心-コンクリート(圧縮中心)間距離(柱せいの1/2と仮定)(図6参照)  
 $N_u = 0.85 F_c D^2$   $F_c$ :コンクリート圧縮強度  $L$ :アンカーボルト定着長さ  $A_b$ :アンカーボルト軸部断面積  
 $M_a$ :柱の短期許容モーメント  $E$ :ヤング係数

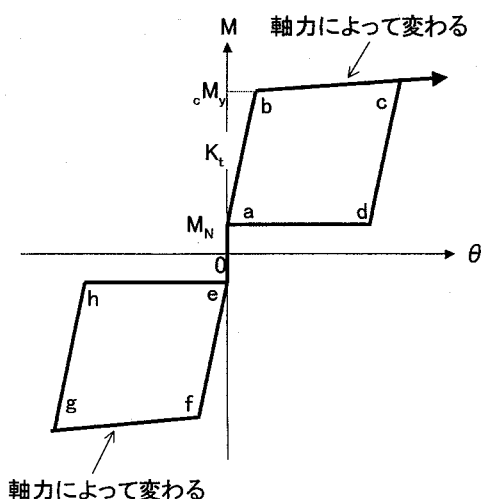


図5 露出型柱脚復元力特性モデル

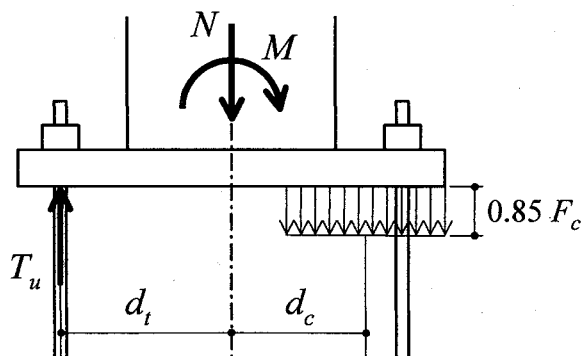


図6 露出型柱脚の力の釣合

(2) 解析方法<sup>22)</sup>

図9に示す本解析のフローチャートに沿い、変位制御で解析を行った。

a) 剛性マトリックス

(4)式に、本解析で用いた各部材の剛性マトリックスを示す。

$$K = \begin{bmatrix} \frac{EA}{L} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{12EI}{L^3} \frac{4k_1k_2 + k_1 + k_2}{2k} & -\frac{6EI}{L^2} \frac{2k_1k_2 + k_2}{k} \\ 0 & -\frac{6EI}{L^2} \frac{2k_1k_2 + k_2}{k} & \frac{4EI}{L} \frac{4k_1k_2(1 + \gamma/2) + 3k_2}{2k} \end{bmatrix} \quad \dots(4)$$

ここに、 $E$ :部材の弾性係数  $I$ :部材の断面二次モーメント  $L$ :部材長さ  
 $\gamma$ :せん断変形の曲げ変形に対する割合  
 (せん断を考慮しない時は、 $\gamma=0$ 。)

$$\text{ただし、} k = 2(k_1 + 1)(k_2 + 1) - 1/2 + \gamma(4k_1k_2 + k_1 + k_2)$$

これは、材端に図7に示すような、剛性の低い部分を持つ部材を考えたものである。AB・CD間は長さがなく、モーメントに対する回転剛性がそれぞれ $4EI k_1/L$ 、 $4EI k_2/L$ である。本解析では、梁や柱上端は完全剛としているので、弾性域では(4)式において $k_i \rightarrow \infty$ である。また、部材端応力が全塑性モーメントを上回った後は、その部材端にはヒンジが形成され、 $k_i = 0$ となる。図7のAB部分は図8に示すようにA端が固定で、B側の荷重を同図中のように表すとB側の変位ベクトルは、次のように表される。

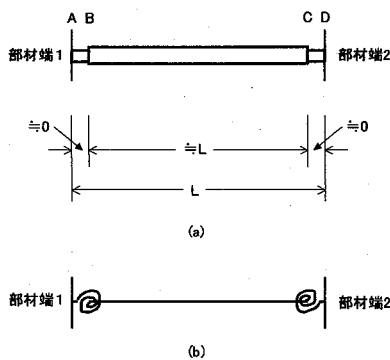


図7 材端に半剛部分をもつ部材

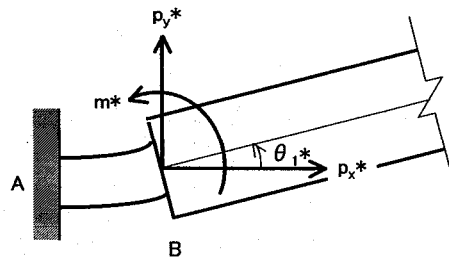


図8 半剛部分の変形

$$\begin{bmatrix} \delta_{x1}^* \\ \delta_{y1}^* \\ \theta_1^* \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & L/4EI k_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p_x^* \\ p_y^* \\ m^* \end{bmatrix} \quad \dots(5)$$

(5)式より $\theta_1^* = L/4EI k_1 \cdot m^*$ が成り立つので、柱脚の弾性剛性を $K_b$ とすると、

$$K_b = \frac{m^*}{\theta_1^*} = \frac{4EI k_1}{L} \quad \dots(6)$$

となるので、 $K_b$ に柱脚弾性剛性を代入すると、 $k_i$ が求まる。

b) 降伏前の変動軸力の取り扱い

柱の下端においては(1)式の $N$ に各ステップの軸力を代入してステップ毎に全塑性モーメントを求める。他の部材端においては、部材端応力より $M_{pc}$ が大きくなった時、ヒンジが発生したものとする。

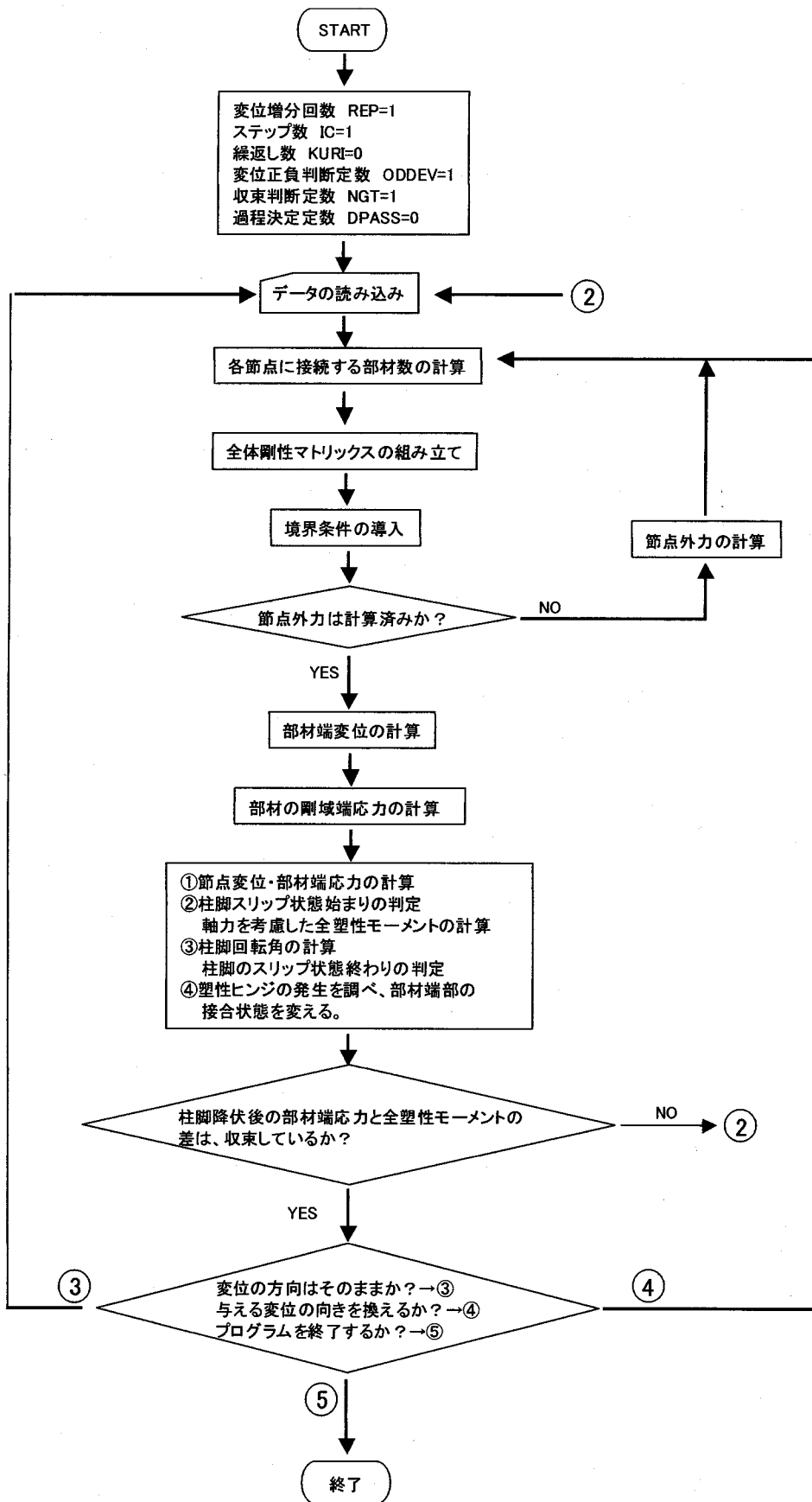


図9 弾塑性解析フローチャート

$$\frac{N}{N_Y} \leq \frac{A_w}{2A} \text{ の時} \quad M_{Pc} = M_P \quad \dots(7(a))$$

$$\frac{N}{N_Y} > \frac{A_w}{2A} \text{ の時} \quad M_{Pc} = 1.14 \left( 1 - \frac{N}{N_Y} \right) M_P \quad \dots(7(b))$$

ここに、 $N_Y$ :鋼材降伏軸方向力  $A_w$ :鋼材ウェブ面積  $A$ :鋼材断面積  
 $M_P$ :軸力がゼロの時の全塑性モーメント

### c) 柱脚部降伏後の変動軸力の取り扱い

変動軸力下での全塑性モーメントを求める必要があるが、この計算は試錯・収束計算である。以下に試錯手順を略記する。

図 10 は、柱脚部の収束計算の手順を示したものである。同図は、柱脚部降伏時の復元力特性の一部を示したものである。i ステップにおいて、ある柱脚部の部材端応力(モーメント)が  $WPM(3,*)_i$  であるとする。そこに  $DK(*)$  の剛性を与えて  $WPM(3,*)_i$  が得られ、この時軸力  $WPM(1,*)_i$  から得られた全塑性モーメントが  $ULTM(1,*)_{i+1-1}$  であるとする。そこで、

$$|ULTM(1,*)_{i+1-1} - WPM(3,*)_{i+1-1}| \doteq 0 \quad \dots(8)$$

が成り立つ時、収束したとみなす。(8)式をみたさない時は柱脚部の剛性  $DK(*)_{i+1}$  を仮定し直し、収束解が得られまで試錯計算を行う。この試錯計算は各柱脚について行い、全ての柱脚部が収束した場合に次のステップに進む。

## (3) 解析結果

### a) 荷重－変形関係

荷重－層間変形角関係に関する解析結果と実験結果<sup>21)</sup>の比較を図 11 に示し、最大荷重、骨組初期剛性の比較を表 2 に示す。図 11 中、実線が解析値、点線が実験値である。表 2 中、骨組初期剛性は、荷重－層間変形角の包絡線を描き、正側・負側ともに原点に最も近い点と、荷重が最大荷重値の 2/3 の値の点を結んだ割線剛性とした。

最大荷重値は、正側で実験値は解析値の 1.02 倍、負側で 1.07 倍(表 2 参照)となっており、よく一致していることがわかる。しかし、図 11 からわかるように、解析値より実験値の方が、ループの面積が小さい。

表 2 より骨組初期剛性を比較してみると、正側で実験値は解析値の 0.94 倍、負側で 0.76 倍と、解析値の方が、初期剛性が大きい。初期剛性が大きい原因の一つとして、柱脚以外の部材端を完全剛としていることがあげられる。実際は完全剛にはならないが、柱脚部以外の部材端が弾性範囲にて無限大の剛性を持つと仮定して解析を行ったため、実際よりも骨組の剛性が上がり、実験よりも復元力特性が描くループが大きくなったものと考えられる。

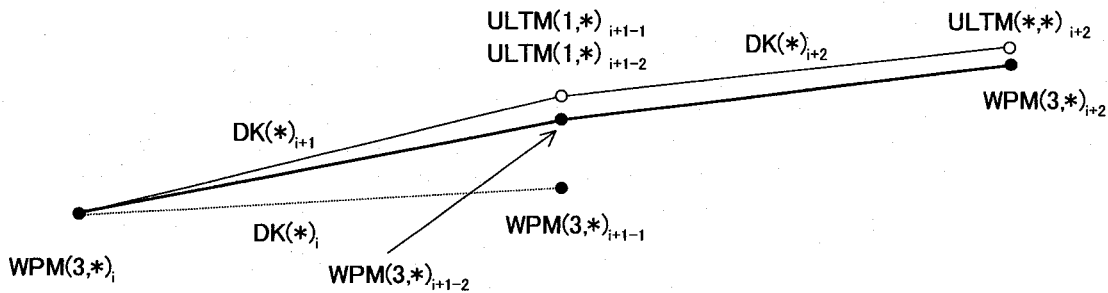


図 10 柱脚部の収束計算の手順

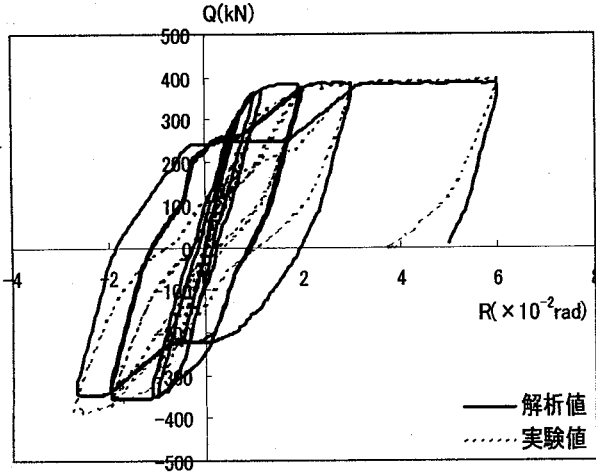


図 11 荷重－層間変形角関係

表 2 最大荷重値・骨組初期剛性の比較

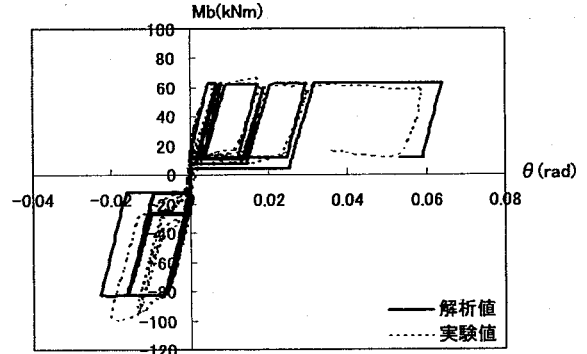
	最大荷重値(kN)		骨組初期剛性(kN/rad)	
	正側	負側	正側	負側
解析値	386.7	-353.3	42500	45918
実験値	395.1	-379	39889	34775

また、鋼材は、一度ある方向に塑性変形を受けた後、逆方向の荷重を受けると同じ方向に荷重を受けた場合より小さい応力で塑性化するが、解析では、このバウシinger効果による影響を考慮していないことも、一つの原因と考えられる。

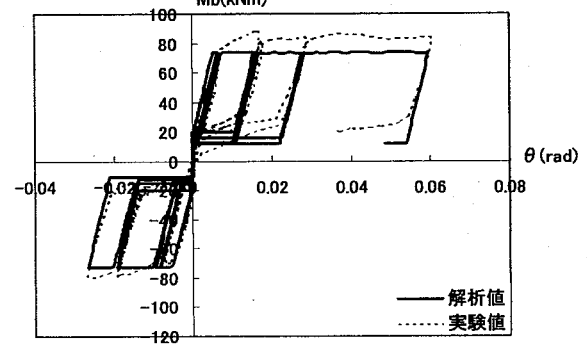
b) 柱脚モーメント－回転角関係

図 12 に柱脚モーメント( $M_b$ )－回転角( $\theta$ )関係を示す。図中、実線が解析値、点線が実験値である。解析では、柱脚部が全塑性モーメントに達した後も軸力による全塑性モーメントの変動を考慮しているが、本骨組解析では、部材端の降伏時期にあまり差がでず層間変形角が小さいうちに崩壊機構に達してしまうこと、及び全部材ともひずみ硬化を考慮していないため塑性崩壊機構形成後は骨組の剛性が0となることから、軸力が変動せず全塑性モーメントは変化しない。各部材のひずみ硬化を考慮した場合、あるいは塑性関節形成時期に差があるような多層多スパン骨組では、柱脚部が全塑性モーメント到達した後も、軸力変動により全塑性モーメントが変動するものと考えられる。

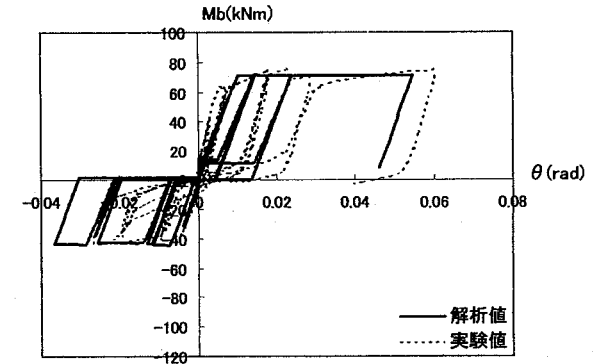
柱 1 の復元力特性は、正側においてよく対応している。負側は、前述したように、解析において、軸力が変化しないためモーメントが変化しない。柱 1 負側は、軸力が+400kN程度まで増加するため、解析においてひずみ硬化を考慮すれば、全塑性モーメントが増加する。剛性が高くなれば、それに伴い回転角も抑制される。柱 2 の復元力特性は、正側・負側において、よく対応している。柱 3 の復元力特性は、負側の変形が小さい部分において、全塑性モーメント到達後の引張軸力増加による全塑性モーメントの低下がみられる。柱 3 は、正側の回転角は解析値が実験値より小さく、負側の回転角は実験値が解析値より小さい。正側においては、実験では+0.01radまで変形させるサイクルにおいて、柱脚部が降伏し柱脚回転がでているが、解析ではでていない。このため、最大回転角は小さくなっている。負側においては、解析ではベースプレートスリップ時の剛性は0にしているが、実際は完全にゼロとはならないため、回転角が抑制されているものと考えられる。



(a) 柱 1



(b) 柱 2

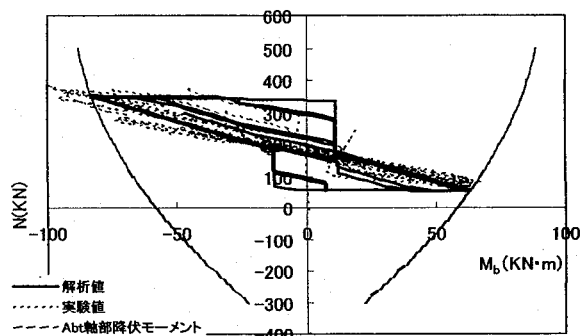


(c) 柱 3

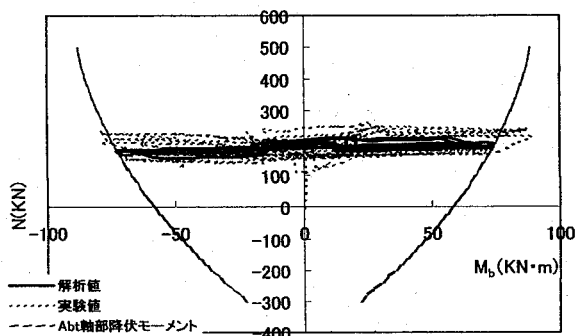
図 12 柱脚曲げモーメント－回転角関係 (続き)

表 3 軸力比較

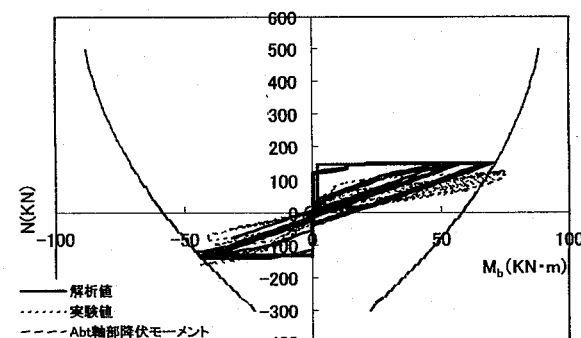
	解析値		実験値	
	最大軸力 (kN)	最小軸力 (kN)	最大軸力 (kN)	最小軸力 (kN)
R-B-1	387.6	53.1	353.3	52.2
R-B-2	256.9	151.8	271.5	111.9
R-B-3	123.6	-160.4	150.9	-142.5



(a) 柱 1

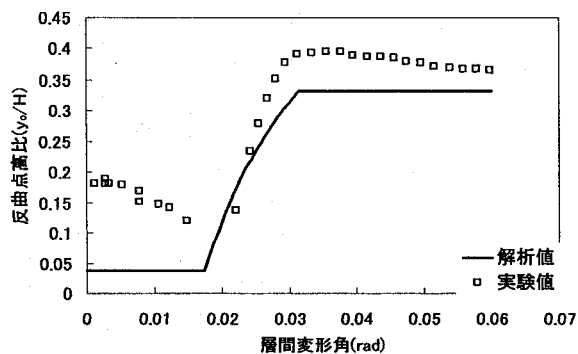


(b) 柱 2

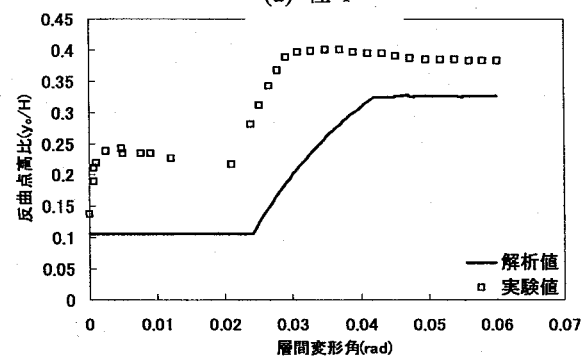


(c) 柱 3

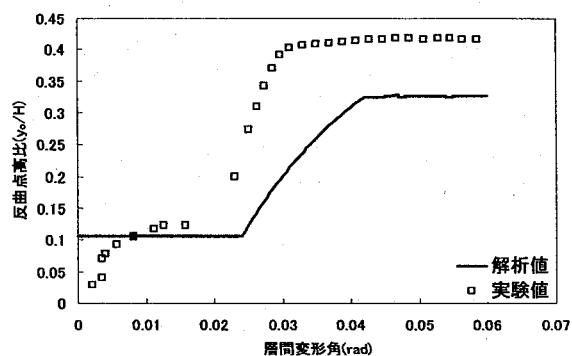
図 13 柱軸力ー柱脚モーメント関係



(a) 柱 1



(b) 柱 2



(c) 柱 3

図 14 反曲点高比

c) 柱軸力ー柱脚曲げモーメント関係

図 13 に柱軸力 (N)ー柱脚曲げモーメント関係 ( $M_b$ ) を示す。また、表 3 に解析値と実験値の最大・最小軸力の比較を示す。図 13 より、どの柱も実験値と解析値の傾向がよく一致している。

柱2は、中柱であるために軸力変動が小さく、傾向はよく一致している。表3より、軸力の変動は実験値より解析値の方が小さいことがわかる。これは、実験においては手動で調整したため、一定軸力には誤差があるためである。柱3も柱1同様、モーメントが変化せず軸力のみが増加・減少している部分があるが、その他の傾向はよく一致している。

#### d) 反曲点高比

図14に最終サイクルの反曲点高比を示す。反曲点高比は、コンクリート天端から反曲点までの高さ( $y_0$ )を加力点高さ(H)で割ったものである。図中、細線が解析値、白抜きの点が実験値である。どの柱も、傾向はよく一致している。

柱1と柱2は、解析値よりも実験値の方が大きい。これは、柱頭の剛域を梁心から100mm下とし、剛域端にヒンジ形成をしている為、可撓長さが短くなり、反曲点高比が下がるものと考えられる。また、 $0\sim 0.02\text{rad}$ 付近までに、実験値は軸力の影響がみられるが(文献21参照)、解析値はa-d, e-h間において(図5参照)柱脚の剛性を0にしていることから、軸力の変動の影響を受けない。柱3は、 $0.02\text{rad}$ 付近までほぼ一致している。R-B-3でも柱頭部が剛域端のため、反曲点が下がり実験値が大きくなる。

### 3. まとめ

露出型柱脚を半剛接部にモデル化した1層2スパンの骨組について、塑性関節法(hinge-by-hinge method)による弾塑性解析を適用し、繰返し载荷の変位増分解析を行い、軸力変動のもとでの骨組挙動の追究を行った。以下の知見を得た。

- 1) 弾性剛性と軸力による変動を考慮した全塑性モーメントで規定される復元力特性を柱脚部に与えることによって、本手法により、変動軸力を受ける露出型柱脚を有する鉄骨骨組履歴挙動の追跡を行うことができる。
- 2) 水平荷重-層間変形角関係において、骨組の最大耐力はよく評価しているが、接合部を完全剛としていること、バウジンガー効果を考慮していないこと等から、解析値で得られるループの面積は実験値より大きくなる。
- 3) 柱脚部曲げモーメント-回転角関係において、解析値は実験値をよく追跡している。

#### 参考文献

- 1) 秋山宏:鉄骨柱脚の耐震設計 技報堂出版 1985.3
- 2) 増田貴志:鉄骨柱脚の力学的性状に関する実験的研究(その1.曲げモーメントを受ける柱脚の変形挙動) 日本建築学会構造系論文報告集 pp11-22 1980.11
- 3) 増田貴志, 九谷和秀, 斎木憲二:鉄骨柱脚の力学的性状に関する実験的研究(その2.偏心圧縮力を受ける柱脚の変形挙動) 日本建築学会構造系論文報告集 pp61-70 1981.6
- 4) 増田貴志, 九谷和秀, 斎木憲二:鉄骨柱脚の力学的性状に関する実験的研究(その3.偏心圧縮力を受ける柱脚の応力伝達機構) 日本建築学会構造系論文報告集 pp24-33 1981.10
- 5) 秋山宏, 黒沢稔, 和国信之, 西村功:鋼構造露出型柱脚の強度と変形 日本建築学会構造系論文報告集 pp46-54 1984.8
- 6) 九谷和秀, 増田貴志:鉄骨構造露出形式柱脚部の終局耐力に関する実験的研究 日本建築学会構造系論文報告集 pp39-49 1992.3
- 7) 秋山宏, 大井謙一:混合型の復元力特性をもつせん断方阿多層骨組の損傷集中特性 日本建築学会構造系論文報告集 pp31-38 1981.5
- 8) 秋山宏:地震時における鋼構造ラーメン骨組の損傷分布則 日本建築学会構造系論文報告集 pp53-59 1992.3
- 9) 山久保博司, 角屋治克, 渡辺亨, 鈴木正裕, 萩野毅, 染矢友英:露出柱脚の力学性状に関する実験的研究-高張力鋼アンカーボルトを用いた柱脚の実大実験(その1) 日本建築学会大会学術講演梗概集 C-1 分冊 pp513-514 1998.9
- 10) 横山真一, 渡辺亨, 角屋治克, 鈴木正裕, 菅野哲也, 萩野毅, 染谷友英, 井田淳司, 金井眞:露出柱脚の力学的性状に関する実験的研究-高張力アンカーボルトを用いた柱脚の実大実験(その2~その3)- 日本建築学会大会学術講演梗概集 C-1 分冊 pp761-764 2000.9

- 11) 三谷勲, 田中秀宣, 伊藤倫夫, 大谷泰弘, 松井千秋, 山田展敬, 大谷泰弘, 李涛, 堺純一, 平川茂:アンボ  
ンド型アンカーボルトを用いた露出型柱脚の構造性能(その1~その5) 日本建築学会大会学術講演梗概集  
C-1 分冊 pp621-630 1999.9
- 12) 田中剛, 田淵基嗣, 金柱妍:引張軸力を受ける露出柱脚の弾塑性挙動に関する研究(その1~その2) 日  
本建築学会大会学術講演梗概集 C-1 分冊 pp633-636 1999.9
- 13) 川畑雄司, 吉住孝志, 松井千秋:鉄骨露出柱脚の復元力特性に関する研究—その1 弾性回転剛性—  
日本建築学会大会学術講演梗概集 C-1 分冊 pp643-644 1999.9
- 14) 吉住孝志, 松井千秋:鉄骨露出柱脚の復元力特性に関する研究—その2 アンカーボルトの性能要求と復  
元力特性の解析— 日本建築学会大会学術講演梗概集 C-1 分冊 pp645-646 1999.9
- 15) 横山眞一, 角屋治克, 鈴木正裕, 菅野哲也:定軸力化(圧縮力及び引張力)における露出柱脚の力学的性  
状に関する実験的研究 (その1) 日本建築学会大会学術講演梗概集 C-1 分冊 pp765-766 2002.8
- 16) 土井信, 金澤寛, 玉井宏章, 近藤一夫, 花井正実, 北川良和, 藤波健剛:変動軸力の影響を考慮した露出  
型柱脚の弾塑性解析 (その2~その3) 日本建築学会大会学術講演梗概集 C-1 分冊 pp767-770 2002.8
- 17) 宗宮由典, 福知保長, 陳文慶:変動軸力を受ける露出型鉄骨柱脚の弾塑性挙動及び耐力評価に関する実  
験的研究 日本建築学会構造系論文報告集 pp137-143 2002.12
- 18) 田中秀宣, 亀元靖彦, 三谷勲, 藤永隆, 伊藤倫夫:変動軸力を受ける露出型柱脚の曲げ挙動と復元力特性  
鋼構造論文集 Vol.10 No.39 pp39-49 2003.9
- 19) 玉井宏章:変動軸力と繰り返し曲げを受ける露出型柱脚の載荷実験—変動軸力下の半剛接特性— 日本  
建築学会鋼構造論文集 No.567 pp.149-156 2003.5
- 20) 玉井宏章:変動軸力の影響を考慮した露出柱脚付骨組の弾塑性解析法 日本建築学会構造系論文報告  
集 pp127-135 2003.9
- 21) 三谷勲, 嶋村洋子, 田中秀宣, 大谷恭弘, 藤永隆:柱脚の復元力特性が鋼構造骨組の弾塑性性状に与え  
る影響に関する実験的研究 神戸大学都市安全研究センター研究報告 第8号 pp253-267 2004.3
- 22) 青山博之, 上村智彦:マトリックス法による構造解析 培風館 1988.2.25

筆者:1)嶋村 洋子, 自然科学研究科建設学専攻博士前期課程;2) 三谷 勲, 工学部建設学科, 教授;3) 藤  
永 隆, 工学部建設学科, 助手;4) 田中秀宣、日立機材(株), 自然科学研究科システム機能科学専攻博士後期  
課程 5)大谷恭弘, 工学部建設学科, 助教授

# **Elastic-Plastic Analysis of the Steel Frame with Exposed-type Column Base Subjected to Variable Axial Load and Horizontal Force**

Yoko Shimamura,  
Takashi Fujinaga,  
Yasuhiro Ohtani

Isao Mitani  
Hidenori Tanaka

## **Abstract**

The elasto-plastic behavior of the one story and two spans steel frame with exposed-type column base was analyzed. The analysis method is hinge-by-hinge method, and considered the hysteresis of exposed-type column base.