

鉄骨露出柱脚のノンスリップ型復元力特性モデル

高松 隆夫*・玉井 宏章**・山西 央朗***

(平成16年9月10日受理)

Models of non-slip-type restoring force characteristics for steel exposed column base

Takao TAKAMATSU, Hiroyuki TAMAI and Teruaki YAMANISHI

(Received Sep. 10, 2004)

Abstract

Generally, an exposed column base consists of anchor bolts and an elastic thick base plate. Restoring force characteristics of the column base are observed to be slip-type due to a gap between a nut of the anchor bolt and the base plate, caused by the plastic elongation of the anchor bolt. A new technique for improving the slip-type behavior has been proposed by the authors. This exposed column base with wedge devices shows non-slip-type restoring force characteristics instead of slip-type ones. In this paper, models of the new restoring force characteristics are proposed and compared with experimental results. The following conclusions are drawn.

- 1) The models of restoring force characteristics for new exposed column bases under monotonic loading can be calculated from the bending resistance of all anchor bolts.
- 2) The models of cyclic characteristics for the exposed column bases can be shown as non-slip-type ones, which are build-up-from-origin-type and are formulated by use of the models under monotonic loading.
- 3) Because the models of the characteristics for the column bases with wedge devices can be simply predicted, they can be easily applied to seismic response analysis.

Key Words: Exposed column base, Anchor-bolt-yield-type, Restoring force characteristics, Non-slip-type

1. はじめに

アンカーボルト降伏先行型露出柱脚の復元力特性はスリップ型になることはよく知られている^{1,2)}。このスリップ現象はアンカーボルトの塑性伸びによるナットとベースプレートとの間隙に起因する。スリップ現象を改善するために、著者等はこの間隙を埋めるデバイスを考案すると共にその載荷実験を実施して復元力特性を改善しうることを報

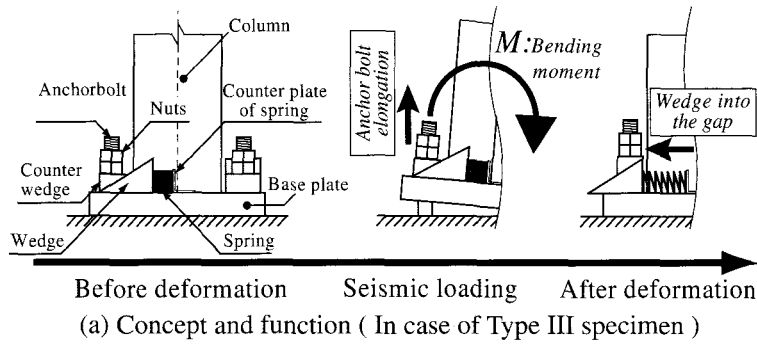
告している²⁻⁷⁾。デバイスを設置した露出柱脚（以後、ノンスリップ型露出柱脚と呼ぶ。）の復元力特性はスリップ型ではなく、再載荷時に常に原点から荷重上昇するノンスリップ型すなわち原点立上り型となる。

このノンスリップ型露出柱脚は在来型露出柱脚と比較して以下のような利点を有している。1) アンカーボルト降伏後においてもナットとベースプレートとの間に間隙が発生しないために柱脚に緩みが起こらない。2) 引張側アン

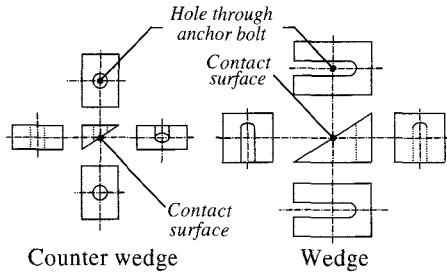
* 広島工業大学工学部建設工学科教授

** 広島工業大学工学部建設工学科助教授

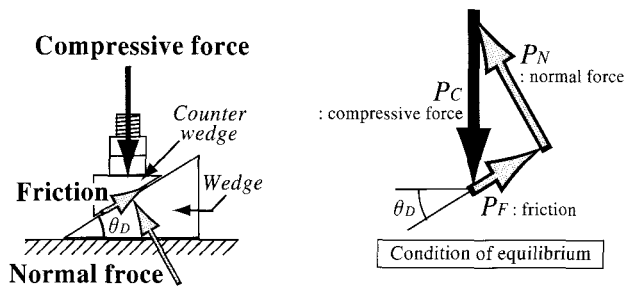
*** 広島工業大学大学院工学研究科土木工学専攻大学院生



(a) Concept and function (In case of Type III specimen)



(b) Shape of Counter wedge and Wedge



(c) Mechanism of device

Fig. 1 Non-slip-type exposed column base

カーボルトが初期降伏する程度の変位振幅での水平振動でアンカーボルトは塑性エネルギー吸収能力を発揮できるので、巨大地震のみでなく中小地震におけるエネルギー吸収ダンパーとしての性能も有している。3) このデバイスは既存露出柱脚に簡単に設置できるので、柱脚の耐震改修工法の1つとして用いることができる。

著者等は、いくつかのノンスリップ型露出柱脚の繰返し載荷実験を行い、実験結果を検討しそれぞれの柱脚に対する復元力特性モデルを提案している³⁻⁴⁾。実験においては、露出柱脚はアンカーボルト降伏先行型として、ベースプレートおよび柱部材は降伏しないと仮定すると共に、基礎コンクリートおよびベースモルタルも破壊しないと仮定して鋼製基礎を使用している。いままでに提案した復元力特性モデルはそれぞれの露出柱脚の実験結果を良好に近似できるのであったが、統一的な考え方に基づくものでなかった。

こうした背景から、本論文においては、統一的に定式化できるノンスリップ型露出柱脚の復元力特性モデルを提案する。次いで、いままで実施した載荷実験により得られた

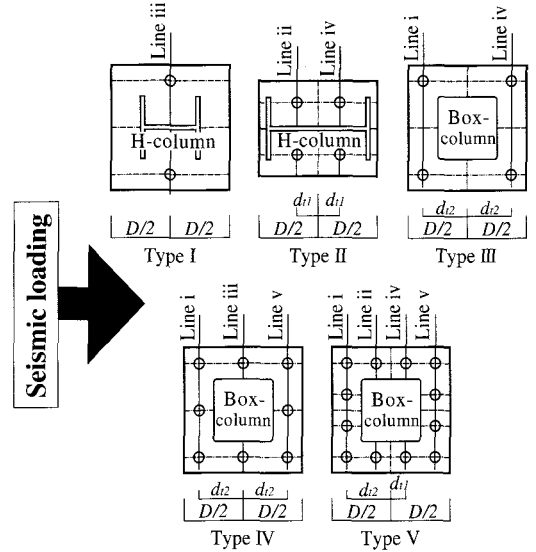


Fig. 2 Details of column base model

実験結果との比較検討により提案する復元力特性モデルの有効性を検証する。

2. ノンスリップ型露出柱脚

2.1 ノンスリップ型露出柱脚の機構²⁻⁴⁾

在来型露出柱脚では、アンカーボルトに塑性伸びが生じるとナットとベースプレートとの間に間隙が発生し、ベースプレートがナットに圧着するまではアンカーボルトに引張力は起こらず柱脚としての曲げ抵抗は生じない。このことが、復元力特性におけるスリップ現象の原因である。

著者等が提案しているノンスリップ型露出柱脚では、ベースプレートとナットとの間にデバイスを設置するのみでこのスリップ現象を防止できる。このデバイスは、楔、楔受け、ばねおよびばね受けから構成されている。在来型露出柱脚と同様に、アンカーボルトに塑性伸びが生じるとナットとベースプレートとの間に間隙が発生するが、この間隙にはばねの力により楔を貫入させることで間隙を消滅させる。柱脚に曲げモーメントが作用すると、楔、楔受けおよびベースプレートが一体となってナットを押し上げることによりアンカーボルトに引張力が作用して曲げ抵抗する。この結果として、ノンスリップ型露出柱脚においてはスリップ現象を生じること無く、柱脚に曲げモーメントが作用すると同時にアンカーボルトに引張力が作用するので、復元力特性は原点立上り型となる。Fig. 1 (a), (b)にノンスリップ型露出柱脚の概念図、および楔と楔受けの形状図を示す。

2.1 デバイス

デバイスがナットとベースプレートからの圧縮力に抵抗するには、楔と楔受けが圧着して楔が貫入方向と逆向きに

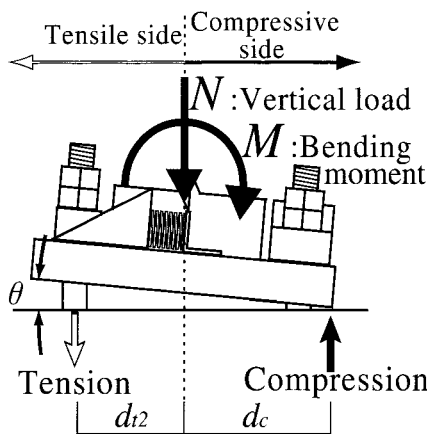


Fig. 3 Resistance mechanism of exposed column base under seismic loading (In case of Type III specimen)

移動してはならない。Fig. 1(c)に示すように、楔と楔受けの間で静止摩擦力が作用して力の釣合条件を満足している。ただし、実際には楔とベースプレートの間にも摩擦抵抗が生じている。しかしながら、ベースプレート表面処理の管理が難しいこと等の理由によりこの摩擦抵抗を考慮しないものとする。

デバイスの摩擦係数 μ と、デバイスの貫入部角度 θ_D との関係を以下に導出する⁸⁾。

まず、静止摩擦力 P_F は次式で表される。

$$P_F = P_N \cdot \mu \quad \dots (1)$$

ここに、 P_N : 摩擦面に垂直に働く抵抗力である。

また、Fig. 1(c)に示すように、静止摩擦力が成立している場合、次式が成り立つ。

$$P_F = P_C \cdot \sin \theta_D \quad \dots (2)$$

$$P_N = P_C \cdot \cos \theta_D \quad \dots (3)$$

ここに、 P_C : ナットとベースプレートからの圧縮力である。

(1)式より

$$\mu = \frac{P_F}{P_N}$$

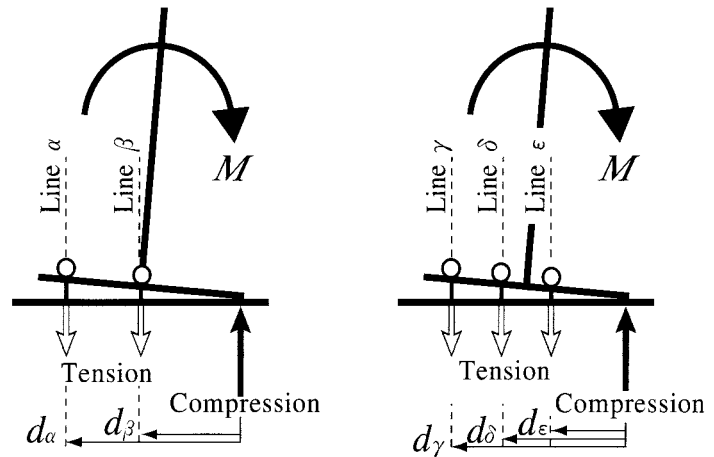
となり、(2)、(3)式を代入して、

$$\mu = \frac{P_C \cdot \sin \theta_D}{P_C \cdot \cos \theta_D} = \tan \theta_D$$

よって

$$\theta_D = \tan^{-1} \mu \quad \dots (4)$$

となる。これは、摩擦係数 μ に対する、デバイス貫入部角度 θ_D の最大値を示す式である。よって、式(4)より得



(a) Two anchor bolt lines

(b) Three anchor bolt lines

Fig. 4 Definition of anchor bolt lines

られる値より低い角度であれば、楔は楔受けとの静止摩擦力により貫入方向と逆向きに移動することはない。

ところで、著者等が提案しているデバイスには、貫入量に限度があり、最大貫入量に到達すると在来型露出柱脚と同様のスリップ現象を起こす。 θ_D が増大して最大貫入量に対する最大許容間隙量が増大することが望ましい。そこで、摩擦係数 μ を増大させるショットブラスト加工や発錆処理等を施すことにより、 θ_D を増大させることができる。楔と楔受けには摩擦係数を増大させる表面処理を施している。

3. 復元力特性モデルの定式化

ノンスリップ型復元力特性モデルの定式化に当たって、Fig. 2に示す一般的なアンカーボルト配列された柱脚を対象とする。鉛直荷重の有無、単調あるいは繰返し水平載荷をパラメーターとする。耐荷機構をFig. 3に示す。

3.1 仮定

以下の仮定に基づいて復元力特性モデルの定式化を行う。

- i) 柱脚の降伏要素をアンカーボルトに限定し、柱部材、ベースプレート、基礎コンクリート、およびベースモルタルは弾性範囲に止まるとする。従って、露出柱脚の降伏耐力および弾性回転剛性はアンカーボルトの配置、寸法および材料特性を用いて求められる。
- ii) 圧縮合力点位置を、ベースプレート端部とする。更に、ベースプレート回転中心も同じ位置の端部とする。圧縮側最外列アンカーボルト (Fig. 2に示す、Line v) も僅かに曲げ抵抗する。しかしながら、他

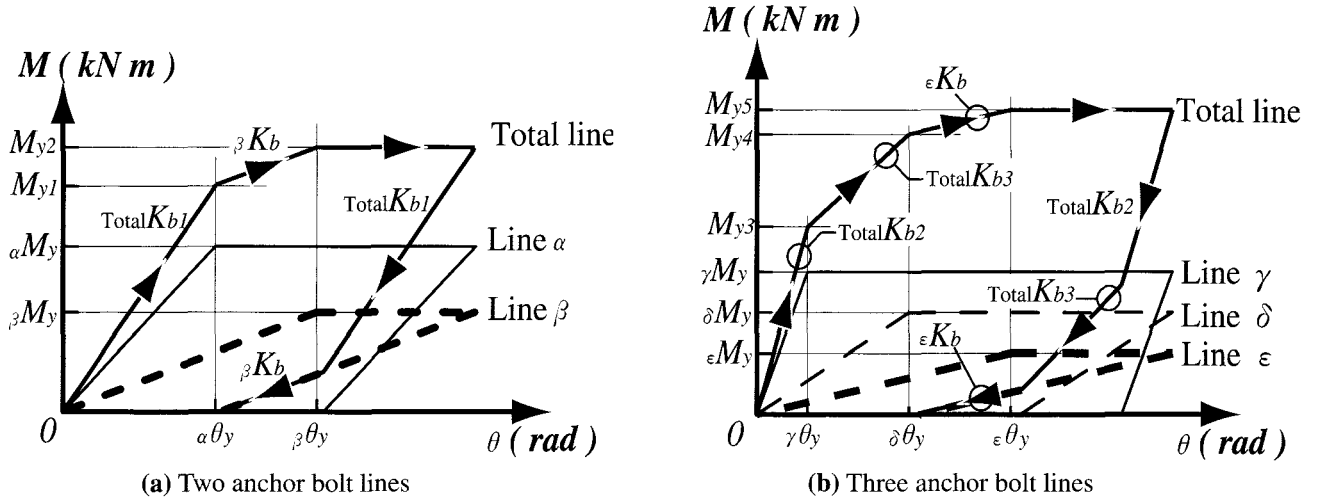


Fig. 5 Details of restoring force characteristics for some anchor bolt lines

の列のアンカーボルトと比較して曲げ抵抗力が微小なので考慮しないものとする。

本論文では、降伏要素をアンカーボルトに限定しているために、圧縮合力点位置をベースプレート端部としている。しかしながら、実際の露出柱脚においては、柱部材やベースプレートの塑性変形およびコンクリート破壊を考慮する必要がある。既往の研究において、これらの影響を考慮した圧縮合力点位置として、柱フランジ外縁¹⁾あるいは柱フランジ外縁とベースプレート端部との中央点⁹⁾が提案されている。

iii) アンカーボルトの材料特性として完全弾塑性体モデルを用いる。実際のアンカーボルトは歪硬化により降伏後も耐力上昇する。そのために、実験結果との比較において復元力特性モデルは低目の近似値となる。

iv) 著者等が提案しているデバイスは、理想的に機能するものとする。すなわち、ベースプレートとナットとの間に空隙が発生すると同時に楔が貫入してアンカーボルトに引張力が作用してスリップ現象を起こさないと仮定する。

3.2 曲げ降伏耐力

任意列のアンカーボルトが降伏したときの曲げ耐力 M_y は、次式により求められる。また、この式は曲げ抵抗するアンカーボルトが一列である場合の柱脚の降伏耐力式でもある。

$$M_y = n \cdot abA \cdot ab\sigma_y \cdot d \quad \dots (5)$$

ここに、 n : アンカーボルト本数, abA : アンカーボルト軸部断面積, $ab\sigma_y$: アンカーボルト降伏点, d : 圧縮合力点位置からアンカーボルト中心までの距離である。

曲げ抵抗するアンカーボルトが二列である場合には、Fig. 4(a) に示すように引張側最外列を Line α 、もう一列を Line β とする。この場合、復元力特性は Fig. 5(a) に示すように Line α と Line β のアンカーボルトの曲げ抵抗を累加した曲線として求められる。Line α のアンカーボルト降伏時の耐力 M_{y1} と、Line β のアンカーボルト降伏時の耐力 M_{y2} は次式により求められる。

$$M_{y1} = \alpha M_y + \left(\frac{d_\beta}{d_\alpha}\right) \cdot \beta M_y \quad \dots (6)$$

$$M_{y2} = \alpha M_y + \beta M_y \quad \dots (7)$$

ここに、 αM_y : Line α のアンカーボルトの降伏耐力, βM_y : Line β のアンカーボルトの降伏耐力, d_α : 圧縮合力点位置から Line α のアンカーボルト中心までの距離, d_β : 圧縮合力点位置から Line β アンカーボルト中心までの距離である。

曲げ抵抗するアンカーボルトが三列である場合には、Fig. 4(b) に示すように引張側最外列を Line γ 、中間列を Line δ 、そして圧縮合力点に最も近い列を Line ϵ とする。この場合、復元力特性は Fig. 5(b) に示すように Line γ 、Line δ 、そして Line ϵ のアンカーボルトの曲げ抵抗を累加した曲線として求められる。Line γ のアンカーボルト降伏時の耐力 M_{y3} 、Line δ のアンカーボルト降伏時の耐力 M_{y4} 、そして Line ϵ のアンカーボルト降伏時の耐力 M_{y5} は次式により求められる。

$$M_{y3} = \gamma M_y + \left(\frac{d_\delta}{d_\gamma}\right) \cdot \delta M_y + \left(\frac{d_\epsilon}{d_\gamma}\right) \cdot \epsilon M_y \quad \dots (8)$$

$$M_{y4} = \gamma M_y + \delta M_y + \left(\frac{d_\epsilon}{d_\gamma}\right) \cdot \epsilon M_y \quad \dots (9)$$

$$M_{y5} = \gamma M_y + \delta M_y + \epsilon M_y \quad \dots (10)$$

ここに、 γM_y : Line γ のアンカーボルトの降伏耐力, δM_y :

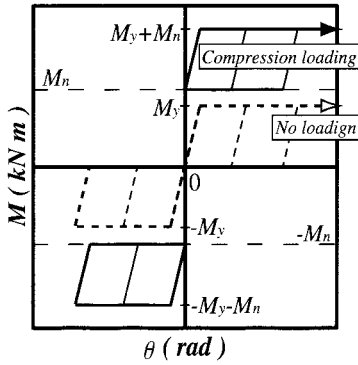


Fig. 6 Models of restoring force characteristics under axial compression (In case of Type III)

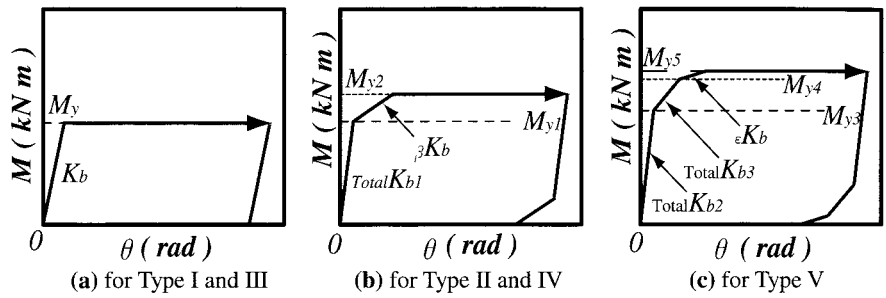


Fig. 7 Models of restoring force characteristics under monotonic loading

Line δ のアンカーボルトの降伏耐力, ϵM_y ; Line ϵ のアンカーボルトの降伏耐力, d_v : 圧縮合力点位置から Line γ のアンカーボルト中心までの距離, d_δ : 圧縮合力点位置から Line δ のアンカーボルト中心までの距離, d_ϵ : 圧縮合力点位置から Line ϵ のアンカーボルト中心までの距離である。

3.3 軸力による曲げ抵抗

軸圧縮力 N に起因する曲げ抵抗 M_n は次式により求められる。

$$M_n = N \cdot d_c \quad \dots (11)$$

ここに, d_c : 圧縮合力点位置から柱図心までの距離である。

3.4 弾性回転剛性

任意列のアンカーボルトの弾性伸びから求められる弾性回転剛性 K_b は次式により表される。

$$K_b = \frac{abE \cdot n \cdot abA \cdot d^2}{R \cdot abl} \quad \dots (12)$$

ここに, abE : アンカーボルトのヤング率, R : 基礎とベースプレートの弾性変形を考慮した係数 ($R = 2$), abl : アンカーボルトの有効長さである。

3.5 復元力特性モデル

既報^{2~4)}で提案したノンスリップ型復元力特性モデルを拡張して, 軸圧縮力の有無によるモデルの差異, 単調載荷時および繰返し載荷時の復元力特性モデルを提案する。

○ 軸圧縮力による曲げ抵抗増加の考慮

軸圧縮力による曲げ抵抗を付加した復元力特性モデルを Fig. 6 に示す。軸圧縮力が無い場合には, アンカーボルトの曲げ抵抗のみで耐力が決定される。軸圧縮力がある場合は, アンカーボルトの曲げ抵抗と式(11)より求められる軸圧縮力による曲げ抵抗 M_n を足し合わせた耐力となる。

ただし, 累加した値が柱部材やベースプレートの曲げ降伏耐力を超過した場合には, 柱脚としての曲げ耐力はこれらの降伏耐力の最小値となる。

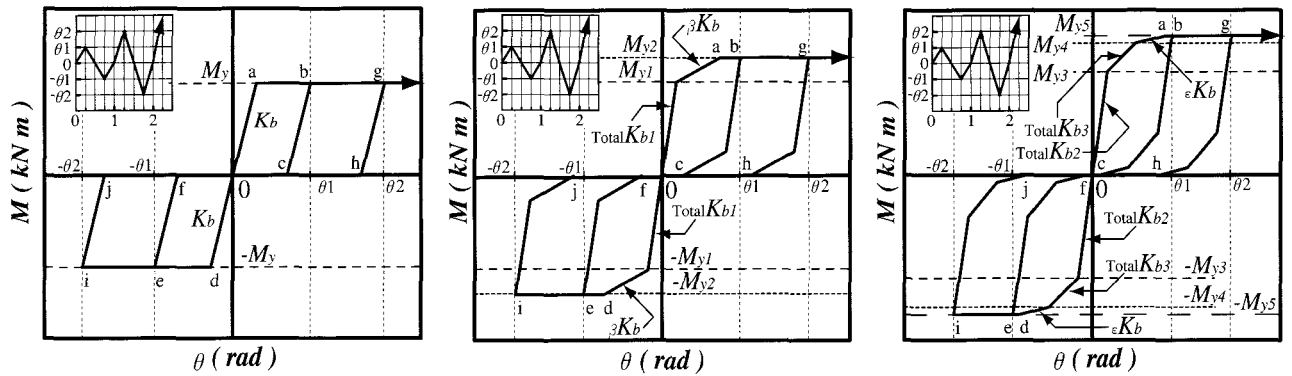
○ 単調載荷時の復元力特性モデル

単調載荷時においては, Line V のアンカーボルトを除く全てのアンカーボルトが曲げ抵抗する。

Type I と Type III では, 単調載荷時に曲げ抵抗するアンカーボルトが一行である。降伏耐力は, 式(5)により求められる。降伏耐力 M_y に達するまでは, 式(12)により求められる弾性回転剛性 K_b で荷重が上昇する。 M_y 以後は, 耐力 M_y を保持したまま回転角が増加する。なお, 除荷する際は耐力が 0 になるまで弾性回転剛性 K_b で荷重が減少する。復元力特性モデルは Fig. 7 (a) に示される。

Type II と Type IV では, 単調載荷時に曲げ抵抗するアンカーボルトが二列である。力の釣合状態は Fig. 4 (a) に示され, 各アンカーボルト列の降伏耐力は式(6), (7)により求められる。なお, Type II では α : Line ii, β : Line iv であり, Type IV では α : Line i, β : Line iii である。Line α のアンカーボルトが降伏する時の曲げ耐力 M_{y1} までは, Line α および Line β のアンカーボルトの弾性回転剛性を足し合わせた $TotalK_{b1}$ で荷重が上昇する。 M_{y1} から Line β のアンカーボルトが降伏する時の耐力 M_{y2} までは, Line β のアンカーボルトの弾性回転剛性 βK_b で荷重が上昇する。 M_{y2} 以後は, 耐力 M_{y2} を保持したまま回転角が増加する。なお, 除荷する際の剛性変化の順序は, 載荷時と同様となり, 除荷時曲線は載荷時のものを180度回転させた形となる。詳細な復元力特性モデル計算法は Fig. 5 (a) に, 単調載荷時復元力特性モデルは Fig. 7 (b) に示される。

Type V では, 曲げ抵抗するアンカーボルトが三列である。力の釣合状態は Fig. 4 (b) に示され, 各アンカーボルト列の降伏耐力は, 式(8), (9), (10)により求められる。なお, γ : Line i, δ : Line ii, ϵ : Line iv である。Line γ のアンカー



(a) for Type I and III (b) for Type II and IV (c) for Type V

Route : 0 → a → b → c → 0 → d → e → f → 0 → a → g → h → 0 → d → i → j → 0 → a → g → ...

Fig. 8 Models of restoring force characteristics for non slip type exposed column base under cyclic loading

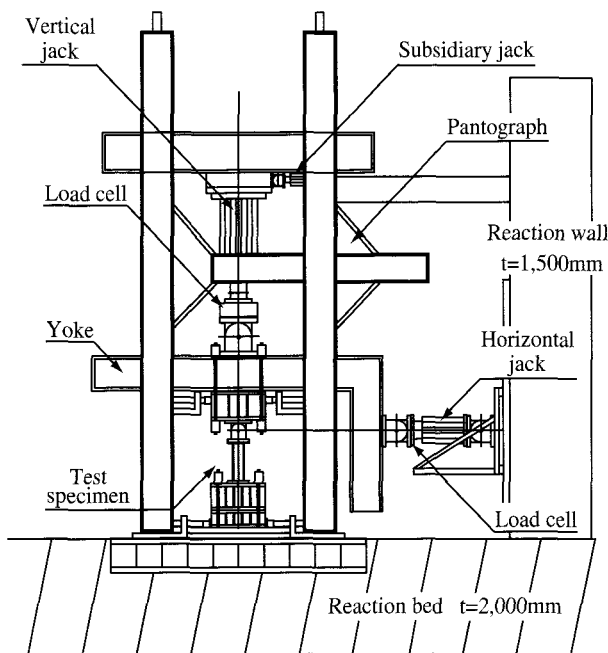


Fig. 9 Loading apparatus

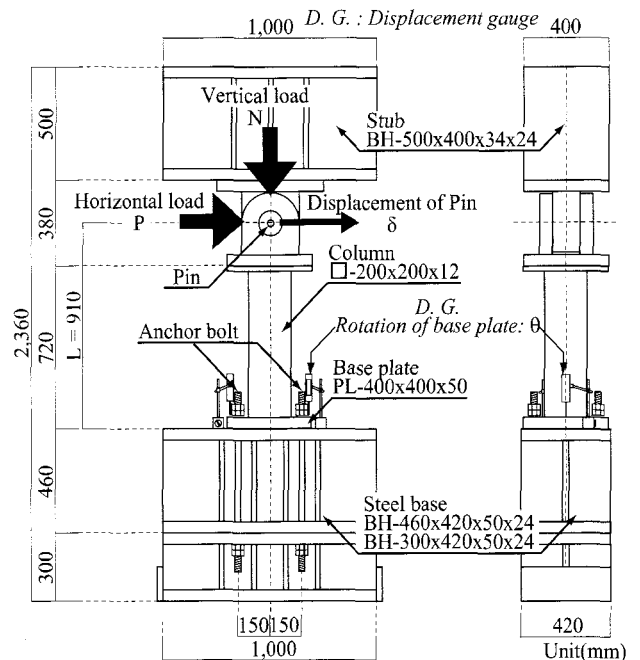


Fig. 10 Test specimen setup (In case of Experiment III)

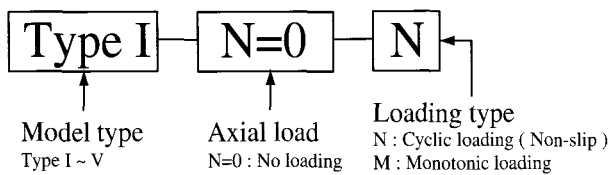


Fig. 11 Example of test code

ボルトが降伏する時の曲げ耐力 M_{y3} までは、Line γ 、Line δ および Line ϵ のアンカーボルトの弾性回転剛性を足し合わせた $TotalK_{b2}$ で荷重は上昇する。 M_{y3} から Line δ のアンカーボルトが降伏する時の耐力 M_{y4} までは、Line δ および Line ϵ のアンカーボルトの弾性回転剛性を足し合わせた $TotalK_{b3}$ で荷重は上昇する。 M_{y4} から Line ϵ のアンカーボルトが降伏する時の曲げ耐力 M_{y5} までは、Line ϵ のアンカーボルトの弾性回転剛性 ϵK_b で荷重は上昇する。

M_{y5} 以後は、耐力 M_{y5} を保持したまま回転角は増加する。なお、除荷時曲線は載荷時のものを180度回転させた形となる。詳細な復元力特性モデル計算法は Fig. 5(b)に、単調載荷時復元力特性モデルは Fig. 7(c)に示される。

○ 繰返し載荷時の復元力特性モデル

ノンスリップ型の繰返し載荷において、アンカーボルトの塑性伸びによりナットとベースプレートとの間に間隙が生じると、楔が貫入して間隙を埋める。そのため、アンカーボルトは常に曲げによる引張力に抵抗でき、正負いずれの載荷方向においてもスリップ現象は起こらない。Line V のアンカーボルト列を除く全てのアンカーボルトが常に曲げ抵抗するものとする。モデルの載荷方式は、正負交番漸増繰返し載荷とする。また、各図の左上に、縦軸を柱脚回転角、横軸をサイクル数とした載荷方式を示している。

Type I と Type III では、曲げ抵抗するアンカーボルト

Table 1 Mechanical properties and main dimensions of specimens for Experiment I

Used model : Type I	Column		Base plate	Anchor bolt	Spring	Figure ; Unit (mm)
	Flange	Web				
Material	SS400	SS400	SS400	SNR400B	Maximum strength : 116.6 (N) Spring constant : 1.86 (N/mm)	
E (kN / mm^2)	205	205	205	205		
σ_y (N / mm^2)	308	330	254	294		
Main dimensions	H-200x200x8x12	400x400x50	$\phi = 27.5$ (mm)	Spring diameter : 45.0 (mm)		
			$abA = 595$ (mm^2)	Diameter : 3.0 (mm)		
			$abl = 560$ (mm)	Spring length : 100 (mm)		
			$abl = 600$ (mm) (used device)	Maximum elongation : 62.6 (mm)		

Table 2 Mechanical properties and main dimensions of specimens for Experiment II

Used model : Type II	Column		Base plate	Anchor bolt	Spring	Figure ; Unit (mm)
	Flange	Web				
Material	-	-	-	ABR-400	Maximum strength : 110.7 (N) Spring constant : 1.76 (N/mm)	
E (kN / mm^2)	205	205	-	205		
σ_y (N / mm^2)	293	326	-	291		
Main dimensions	H-346x174x6x9	380x230x19	$\phi = 18.4$ (mm)	Spring diameter : 32.0 (mm)		
			$abA = 266$ (mm^2)	Diameter : 2.6 (mm)		
			$abl = 475$ (mm)	Spring length : 110 (mm)		
			$abl = 500$ (mm) (used device)	Maximum elongation : 62.8 (mm)		

Table 3 Mechanical properties and main dimensions of specimens for Experiment III

Used model : Type III	Column	Base plate	Anchor bolt	Spring	Figure ; Unit (mm)
	Material				
E (kN / mm^2)	205	205	205		
σ_y (N / mm^2)	374	261	289		
Main dimensions	Box-200x200x12	400x400x50	$\phi = 27.5$ (mm)	Spring diameter : 45.0 (mm)	
			$abA = 595$ (mm^2)	Diameter : 3.0 (mm)	
			$abl = 560$ (mm)	Spring length : 100 (mm)	
			$abl = 600$ (mm) (used device)	Maximum elongation : 62.6 (mm)	

E : Young's modulus σ_y : Yield stress ϕ : Diameter of shank abA : Gross area abl : Effective length

が一列である。デバイスを有するので履歴則は常に単調載荷時のもので表される。降伏耐力は式(5)により求められる。降伏耐力 M_y に達するまでは、式(12)により求められる弾性回転剛性 K_b で荷重が上昇する。 M_y 以後は、耐力 M_y を保持したまま回転角が増加する。復元力特性モデルを Fig. 8(a)に示す。

Type II と Type IV では、曲げ抵抗するアンカーボルトが二列である。復元力特性モデルは、いずれの載荷サイクルにおいても Fig. 5(a)により求められる。各アンカーボルト列の降伏耐力は式(6), (7)により求められる。復元力特性モデルは Fig. 8(b)に示す。なお、Type II は α : Line ii, β : Line iv であり、Type IV は α : Line i, β : Line iii である。

Type V では、曲げ抵抗するアンカーボルトが三列である。復元力特性モデルは、いずれの載荷サイクルにおいても Fig. 5(b)により求められる。各アンカーボルト列の降伏

耐力は式(8), (9), (10)により求められる。なお、 γ : Line i, δ : Line ii, ε : Line iv である。復元力特性モデルを Fig. 8(c)に示す。

いずれのアンカーボルト配列された柱脚においても、いずれの載荷時の履歴性状も単調載荷時のものと同一である。そのため、ノンスリップ型の復元力特性モデルは簡単に求められる。

4. 実験結果との比較および考察

著者等が行った露出柱脚載荷実験により得られた結果と、本論文で提案している復元力特性モデルとの比較検討を行う。

4.1 実験概要

本載荷実験に用いた二軸載荷装置を Fig. 9 に示す。また、試験体設置状況を Fig. 10 に示す。各実験において、

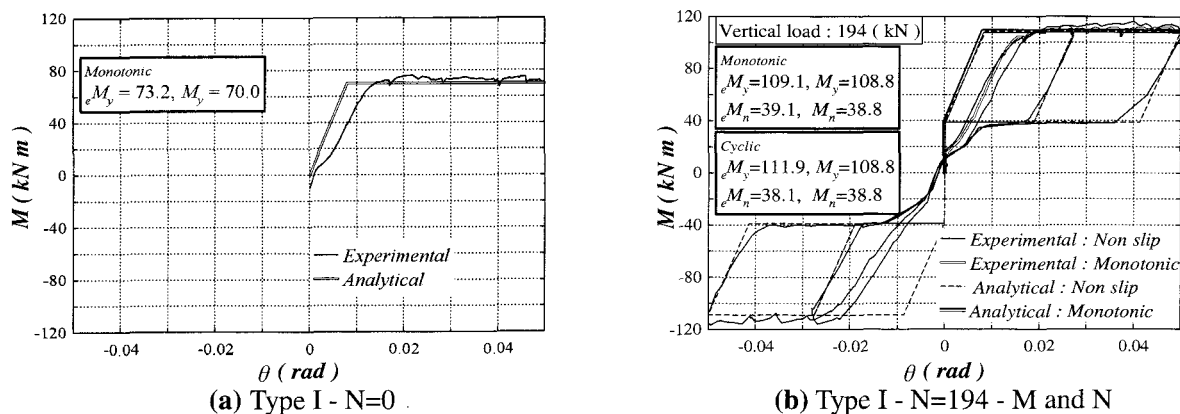


Fig. 12 Restoring force characteristics for Experiment I

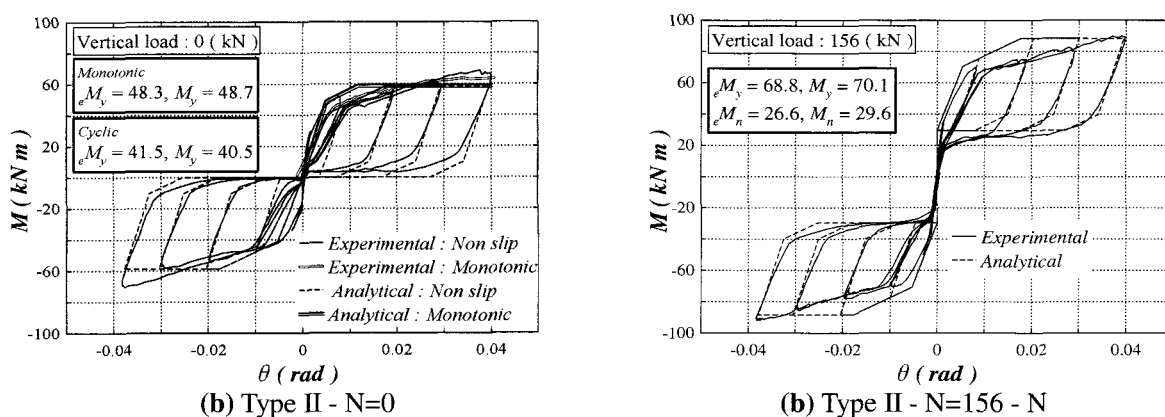


Fig. 13 Restoring force characteristics for Experiment II

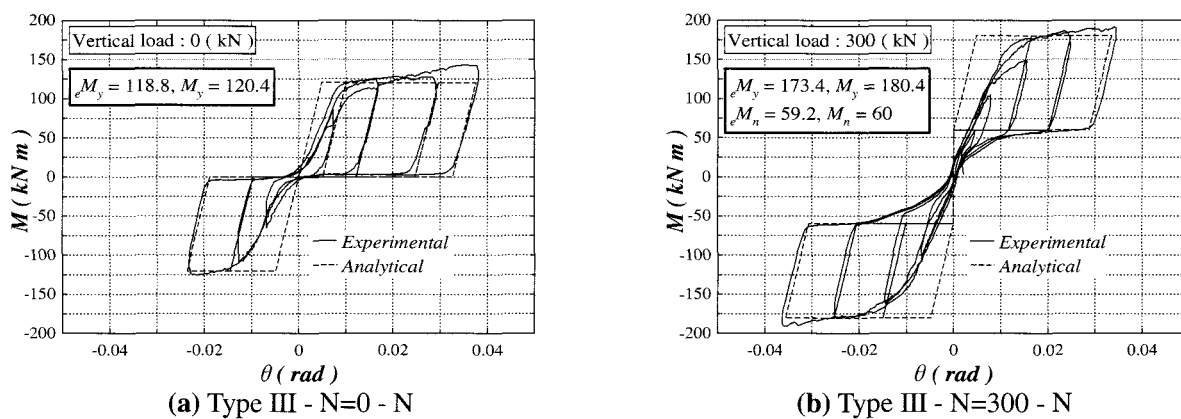


Fig. 14 Restoring force characteristics for Experiment III

鉛直荷重（鉛直荷重は柱部材の降伏軸力の10%を一定圧縮力として荷重）の有無，単調あるいは繰返し水平荷重をパラメーターとした。また，降伏要素をアンカーボルトに限定するために，柱部材には実験終了まで降伏しない断面性能を有するものを採用，基礎には弾性体と見なせる鋼製基礎を用いてベースモルタルや基礎コンクリートの破壊は発生しないものとした。アンカーボルトには，伸び能力の高い転造ねじアンカーボルトを用いた。

4.2 試験体

試験体名称を Fig. 11 に示す。各試験体の条件を Table 1 から Table 3 に示す。Experiment I の実験^{3,6)} では Type I に該当する試験体，Experiment II の実験⁷⁾ では Type II に該当する試験体，そして，Experiment III の実験^{3,5)} では Type III に該当する試験体を用いて荷重実験を行った。なお，Experiment II の実験で用いた試験体は，実際の屋内運動場柱脚として使用されていたものである。

Table 4 Calculated and Observed bending resistance

Test code	M_y (kN m)	M_y (kN m)	M_y / M_y	M_n (kN m)	M_n (kN m)	M_n / M_n
Type I - N=0 - M	73.2	70.0	1.05	-	-	-
Type I - N=194 - M	109.1	108.8	1.00	39.1	38.8	1.01
Type I - N=194 - C	111.9	108.8	1.03	38.1	38.8	0.98
Type II - N=0 - M	48.3	48.7	0.99	-	-	-
Type II - N=0 - C	41.5	40.5	1.02	-	-	-
Type II - N=156 - C	68.8	70.1	0.98	26.6	29.6	0.90
Type III - N=0 - C	118.8	120.4	0.99	-	-	-
Type III - N=300 - C	173.4	180.4	0.96	59.2	60	0.99

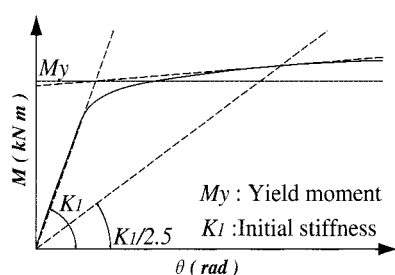


Fig. 15 General yield point method

4.3 復元力特性の比較

各実験で得られた復元力特性を Fig. 12 から Fig. 14 に示す。実験値の柱脚曲げモーメントは、水平載荷荷重 P に柱長さ L を乗じた値に、軸方向力 N による付加曲げモーメントを加えた値である。柱脚回転角は、ベースプレートに設置した変位計より求めた回転角 θ である。復元力特性および Table 4 には、実験より得られた M_y : Fig. 15 に示す General yield point method により求められた降伏耐力、ただし、Experiment I と Experiment III においては正方向載荷時の値を、Experiment II においては負方向載荷時の値、および M_n : 曲げ抵抗、理論式より求められた M_y : 曲げ降伏耐力、および M_n : 軸力による曲げ抵抗である。

Fig. 12 (Experiment I) において、復元力特性モデルは降伏耐力や軸圧縮力による曲げ抵抗を良好に推定でき、実験結果にはほぼ良好に対応している。繰返し載荷時においては、スリップ現象が生じることなく、原点より荷重が上昇するノンスリップ型復元力特性を示している。しかしながら、処女載荷時において、復元力特性モデルと実験結果とは多少の差異が生じている。これは、アンカーボルトに初期張力を与えることなく処女載荷を行ったために、楔と楔受けやベースプレートとの間に存在する僅かな隙間が存在するためと考えられる。

Fig. 13 (Experiment II) においては、復元力特性モデルは降伏耐力や軸圧縮力による曲げ抵抗を良好に推定でき、実験結果に良好に対応している。単調載荷時においては、圧縮側のアンカーボルトの曲げ抵抗も累加した復元力特性モデルは実験結果を良好に再現している。繰返し載荷

時においては、荷重が原点から上昇するノンスリップ型復元力特性を示す。軸力がない場合には、復元力特性モデルは実験結果をほぼ良好に推定している。軸力がある場合には、実験結果は復元力特性モデルより低目の値を示している。これは、ベースプレートが薄いために、軸圧縮力による圧縮合力増加に対してベースプレート端部が塑性変形を起こした為である。さらに、ベースプレート変形のために楔が滑らかに隙間に貫入できなかったことも考えられる。

Fig. 14 (Experiment III) においては、復元力特性モデルは降伏耐力や軸圧縮力による曲げ抵抗をほぼ良好に再現でき、実験結果にはほぼ良好に対応している。繰返し載荷時においては、ノンスリップ型復元力特性を示す。処女載荷時における復元力特性モデルと実験結果との差異は、Experiment I と同様に、アンカーボルトに初期張力を与えていなかったことによる試験体の初期不整の影響であると考えられる。

5. ま と め

アンカーボルト降伏先行型露出柱脚について、著者等の提案するデバイスをも有するもの（ノンスリップ型）の復元力特性モデルを定式化すると共に、既往の実験結果との比較・検討を行い、提案モデルの精度を検証した。得られた知見は、以下のように要約できる。

- 1) ノンスリップ型復元力特性モデルは、単調載荷時においては、全てのアンカーボルトの曲げ抵抗を累加して求められる。ただし、圧縮側最外列アンカーボルトの曲げ抵抗は小さいために無視できる。
- 2) 繰返し載荷時においては、スリップ型ではなくて原点立上り型復元力特性モデルとなる。単調載荷時復元力特性モデルを用いて簡単に定式化できる。
- 3) 提案した復元力特性モデルは、既往の実験結果と良好に対応した。ただし、ベースプレートが若干塑性化する場合には、楔が滑らかに隙間に貫入できなかったため、復元力特性モデルは実験結果に比べて高い耐力を示した。

今後は、ノンスリップ型露出柱脚が鋼構造建築物の耐震性能向上にどの程度寄与するかを検討するために、地震応答解析を行いスリップ型復元力特性を有する在来露出柱脚の応答結果との比較を行う予定である。

謝 辞

研究助成をしていただいた古川技術振興財団に対して深く感謝いたします。

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) 高松隆夫，銅木弘和，中村慎太郎：鉄骨露出型柱脚の復元力特性に関する研究，鋼構造年次論文報告集，第10巻，pp.499-506，2002.11.
- 3) 高松隆夫，銅木弘和，中村慎太郎：改良型復元力特性を有する鉄骨露出柱脚に関する研究，鋼構造年次論文報告集，第11巻，pp.563-570，2003.11.
- 4) 高松隆夫，銅木弘和，中村慎太郎：露出型柱脚の復元力特性に関する実験的研究（その3），日本建築学会大会学術講演梗概集（関東），pp.953-958，2001.9.
- 5) 高松隆夫，銅木弘和，中村慎太郎：改良型復元力特性を有する露出柱脚に関する研究（その3：転造ねじアンカーボルトを用いた場合），日本建築学会大会学術講演梗概集（北陸），pp.787-788，2002.8.
- 6) 高松隆夫，銅木弘和，中村慎太郎：ピン形式露出柱脚の復元力特性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（東海），pp.705-706，2003.9.
- 7) 高松隆夫，玉井宏章，尾熊政男，石原節夫，山西央朗，松尾 彰：露出柱脚の耐震補強に関する実験的研究，日本建築学会大会学術講演梗概集（北海道），pp.731-732，2004.8.
- 8) 玉井宏章，高松隆夫，松尾 彰，小持明宏，金澤寛：ノンコンプレッションプレースの耐震性向上について（その1：実験方法と楔形状），日本建築学会大会学術講演梗概集（北海道），pp.889-890，2004.8.
- 9) 田中淳夫，増田功司，元田 徹：アンカーボルト降伏先行型露出柱脚に関する研究，鋼構造論文集，第6巻，第24号，pp.103-109，1999.12.