

転造ねじアンカーボルトを用いた 改良型復元力特性を有する露出柱脚に関する研究

高松 隆夫*・中村 慎太郎**

(平成14年9月12日受理)

A Study on Exposed-Type Column Bases with Improved Restoring Force Characteristics by Use of Rolled Thread Anchor Bolts

Takao TAKAMATSU and Shintarou NAKAMURA

(Received Sep. 12, 2002)

Abstract

The restoring force characteristics of the usual exposed-type column bases are shown to be the slip-type ones, and the plastic deformation of the column bases is due to monotonic tensile deformation of the anchor bolts. The experiments of the column bases with the device, which filled up the gap between the nut and the base plate, were carried out. The restoring force characteristics of these specimens were shown to be of improved slip-type.

Key Words: exposed-type column bases, rolled thread anchor bolts, restoring force characteristics, plastic deformation

1. はじめに

鉄骨骨組において第一層の強度が多層に比較して低い場合には第一層に損傷集中を起こすことから、柱脚に十分なエネルギー吸収が期待されることになる。しかし、露出柱脚の復元力特性はスリップ型となり、柱脚に大きなエネルギー吸収を期待すると大きな層間変形角が生じることになる。スリップ現象はアンカーボルトの伸びによるベースプレートとナットとの間にできる遊びによって生じることより、この遊びをなくすことでスリップ現象を改善することができる。そのため、著者等はこれまでに、スリップ型と比較して層間変形角が小さく、同等のエネルギー吸収が期待できる露出柱脚として、実験途中にナットを締め直し、ベースプレートとナットとの間にできる遊びをなくす方法で実験を行い、安定した復元力特性を得ることができた^{1),2)}。しかし、実際の構造物でナットを締め直すことは不可能であるため、これに代わる装置が必要となる。

また、著者等はこれまで、兵庫県南部地震において露出柱脚の被害が多かった、ねじ部破断を防ぐため丸鋼を切削加工し、ねじ部断面を軸部断面よりも大きくした拡径ねじアンカーボルトを用いてきた。しかし、これは市販されているものではなく、製作にはコストもかかり実用には不可能と考えられる。

そこで本論文においては市販されている転造ねじアンカーボルトを使用した実験を行うことで、考案した装置の有効性と転造ねじアンカーボルトの有効性を併せて検討する事を目的とする。

2. 実 験

2.1. 実験概要

本論文では従来の露出柱脚、すなわち復元力特性がスリップ型を示すアンカーボルト降伏先行型、スリップ現象を改善できるプレート滑り込みアンカーボルト降伏先行型の2Type について力学的特性を把握するための実験を行う。

* 広島工業大学工学部建設工学科

** 広島工業大学大学院工学研究科土木工学専攻

ただし、本実験では、アンカーボルトの変形状に注目しているため、鉄骨基礎を使用することにより、ベースモルタルや基礎コンクリートの破壊を無視できる完全弾性体基礎を持つ柱脚と考えることにする。

2.2. 載荷方法

本実験では、図1に示す鉛直、水平二方向に加力できる二軸載荷装置を使用する。鉛直油圧ジャッキにより所定の軸力を載荷し、水平油圧ジャッキによる正負交番繰返し水平載荷を行う。アンカーボルト降伏先行型は柱脚部の回転角が0.1 (rad) に達すると実験を終了とし、プレート滑り込みアンカーボルト降伏先行型試験体は柱脚部の回転角が0.05 (rad) に達すると実験を終了とする。軸力は 0kN と軸力比0.09にあたる 300kN とする。

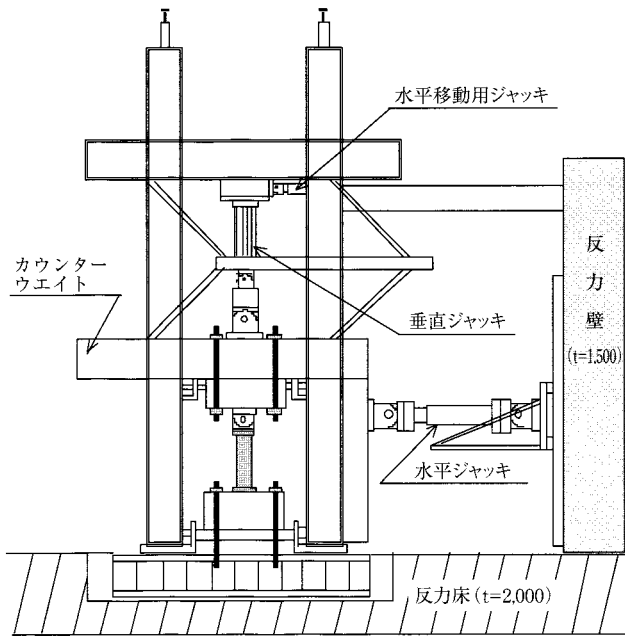


図1 二軸載荷装置

2.3. 試験体

本実験で使用する試験体の形状、アンカーボルトの形状、そしてベースプレートの形状を図2、3、4に示す。また、使用鋼材の機械的性質及び、試験体リストと各部主要寸法をそれぞれ表1、2に示す。試験体としては Type-AB がアンカーボルト降伏先行型試験体で軸力 0 (kN) と 300 (kN) の2体、Type-PS がプレート滑り込みアンカーボルト降伏先行型試験体で軸力 0 (kN) と 300 (kN) の2体で計4体である。各試験体の名称の説明を図5に示す。また、柱には冷間成形角形鋼管を使用し、アンカーボルトは日本鋼構造協会規格の転造ねじアンカーボルトを使用する。これまで使用されてきた切削ねじアンカーボルトは丸鋼に切削加工を施してねじ部を製作するもので、ねじ部断

面が軸部断面より小さくなり、軸部全体の伸び能力が低下してしまう。しかし、この転造ねじアンカーボルトは軸断面積に対するねじ部有効断面積の比は、公称約95%であり、通常10%程度の伸び能力が確保されている³⁾。

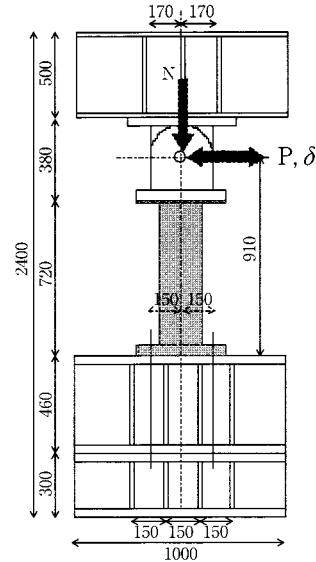


図2 試験体形状

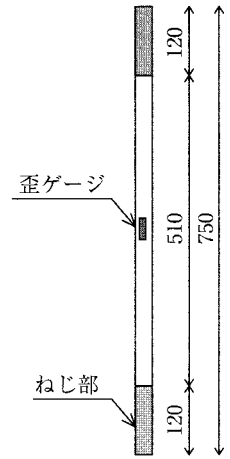


図3 アンカーボルト形状

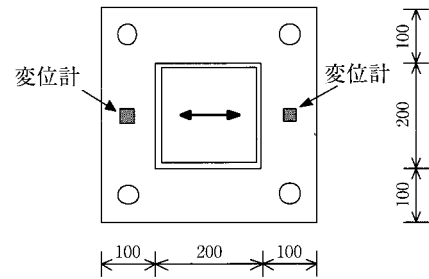


図4 ベースプレート形状

表1 使用鋼材の機械的性質

使用箇所	材質	E (N/mm ²)	σ_y (N/mm ²)	σ_u (N/mm ²)	降伏比 (%)	伸び (%)
アンカーボルト	SNR400B	205000	289	428	68	43
ベースプレート	SS400	205000	266	422	63	37
柱	STKR400	205000	382	448	85	35

表2 試験体寸法

柱	ベースプレート	アンカーボルト		
		軸部径 (mm)	軸部断面積 (mm ²)	軸部長さ (mm)
200×200×12	400×400×50	27.5	594	510

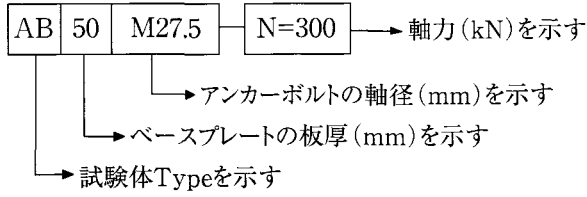


図5 試験体名称説明

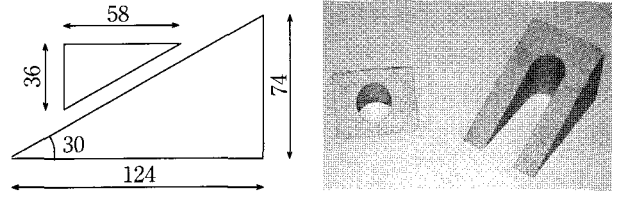


図7 楔・楔受け詳細図

2.4. 楔装置

本実験で使用する楔装置を図6に示す。ナットとベースプレートの間に楔を挟み込み、常にバネで押し込むことで、アンカーボルトが伸ばされることによってできた遊びをなくす方法でスリップ現象を緩和する。バネは市販されている圧縮コイルバネを使用し、その機械的性質を表3に、楔の寸法を図7に示す。また、試験体に取り付けた写真を図8,9に示す。楔と楔受けには摩擦係数を増加させるためにショットプラスト加工を施す。

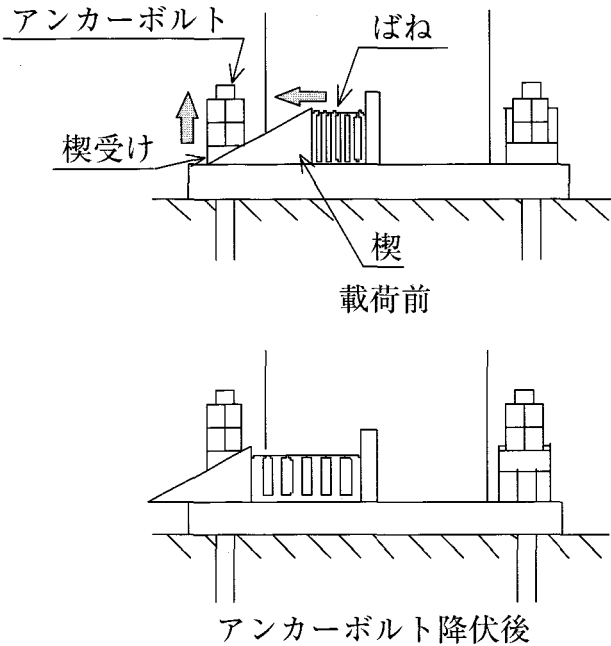


図6 楔装置図

表3 ばねの機械的性質

外径 (mm)	線径 (mm)	自由長さ (mm)	最大たわみ (mm)	最大荷重 (N)	ばね定数 (N/mm)
45	3.0	100.0	62.6	116.62	1.863

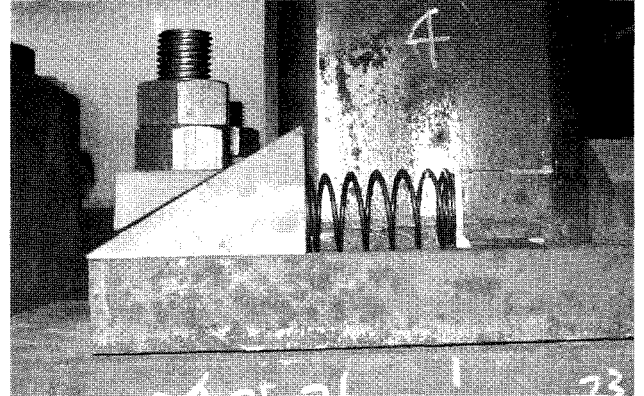


図8 楔装置取り付け状態その1

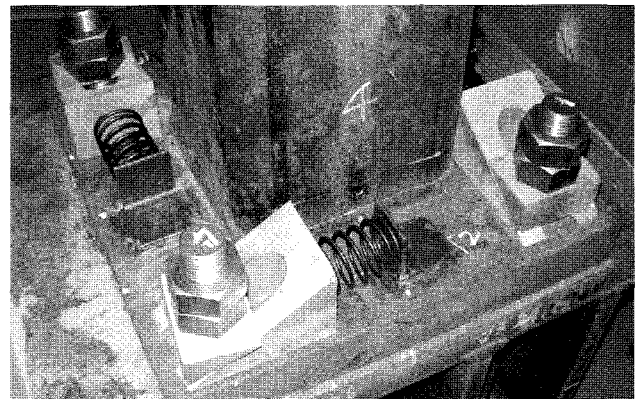


図9 楔装置取り付け状態その2

3. 実験結果と考察

3.1. P- δ 関係

各試験体の P- δ 関係を図10に示す。縦軸は試験体に加える水平荷重 P, 横軸は試験体上端部の変位 δ である。表4には実験より得られた, P_{MAX} : 最大荷重, ${}_{AB}P_Y$: アンカーボルト降伏荷重, $P_{MAX}/{}_{AB}P_Y$, δ_{MAX} : 試験体上端部の最大変位, Δ_b : 実験後に測定したアンカーボルト軸部

表4 実験結果

試験体名称	P_{MAX} (kN)	${}_{AB}P_Y$ (kN)	$P_{MAX}/{}_{AB}P_Y$	Δ_b (mm)	δ_{MAX} (mm)	Δ_b/δ_{MAX}
AB50M27.5-N=0	183.80	139.90	1.31	30.05	103.17	0.29
AB50M27.5-N=300	212.80	191.60	1.11	28.50	104.41	0.27
PS50M27.5-N=0	154.19	132.00	1.17	14.00	40.52	0.35
PS50M27.5-N=300	196.39	186.29	1.05	12.80	42.56	0.30

伸び量, Δ_b / δ_{MAX} を示す。

Type-AB の履歴曲線はアンカーボルトが軸方向に伸びるスリップ型となった。Type-PS では楔をバネにより押込むことにより遊びを埋めた結果, Type-AB のようなスリップ現象は緩和されアンカーボルト塑性化後も $\delta = 0$ から荷重が上がる履歴曲線を描いた。PS50M27.5-N=0 では $\delta = -40\text{mm}$ の状態でベースプレートにずれが生じ, また PS50M27.5-N=300 では $\delta = \pm 40$ が終了した時点でばねが伸びきってしまい, 実験終了とした。

Type-AB と Type-PS の Δ_b / δ_{MAX} を比較してみると, AB50M27.5-N=0 が 0.29, AB50M27.5-N=300 が 0.27,

PS50M27.5-N=0 が 0.35, PS50M27.5-N=300 が 0.30 となり Type-AB に比べ Type-PS の方が軸部塑性化による依存度が高くなった。これは Type-PS が楔の押込みによって履歴特性のスリップが緩和されアンカーボルトで効率よくエネルギー吸収が行われたためといえる。

3.2. M- θ 関係

各試験体の M- θ 関係を図11に示す。縦軸は水平載荷荷重に柱長を掛けた値に, 軸力による付加曲げを加えた柱脚部に作用するモーメント M, 横軸はベースプレートに取り付けた変位計により求めた柱脚部の回転角 θ である。モ

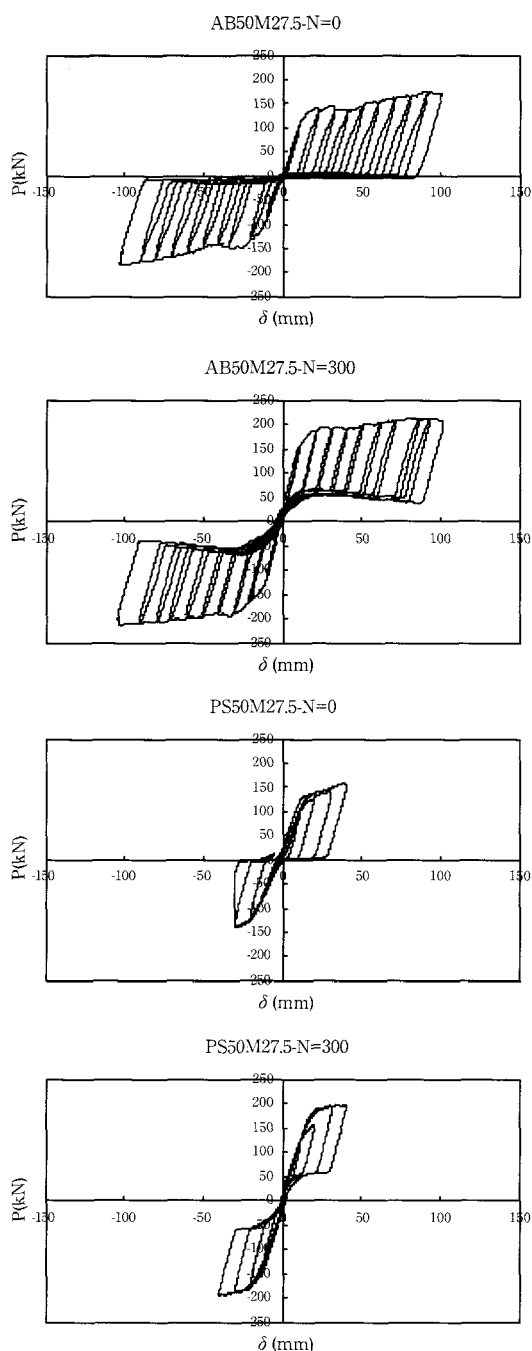


図10 P- δ 関係

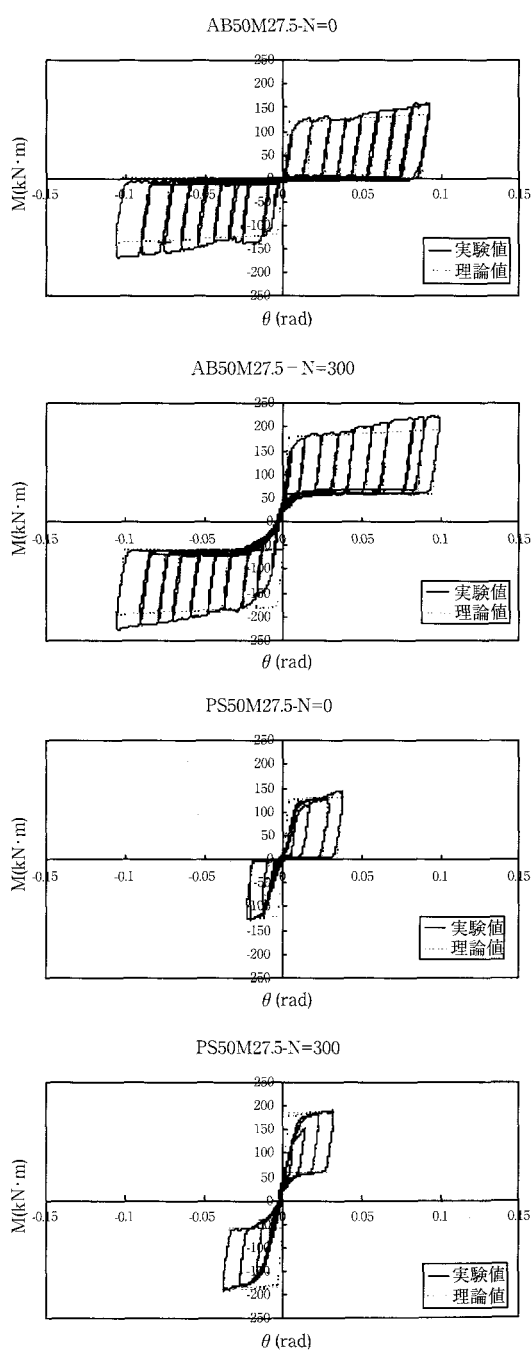


図11 M- θ 関係

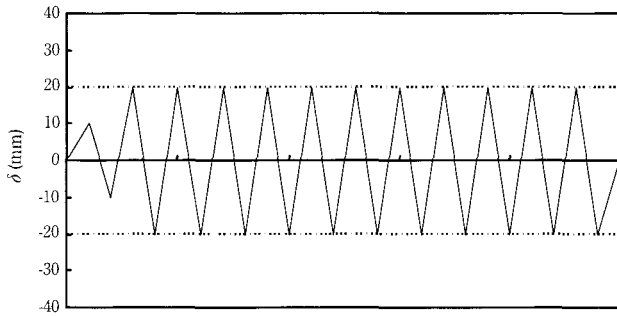


図12 PS50M27.5-N=0 荷荷方法

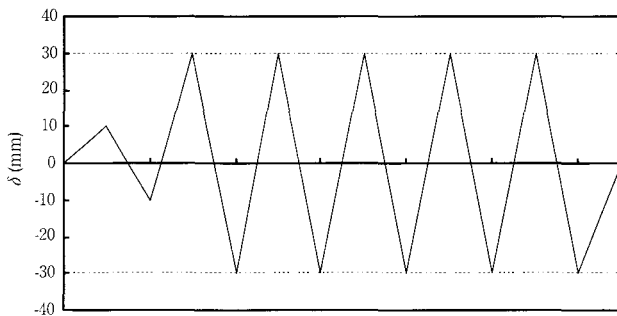


図13 PS50M27.5-N=300 荷荷方法

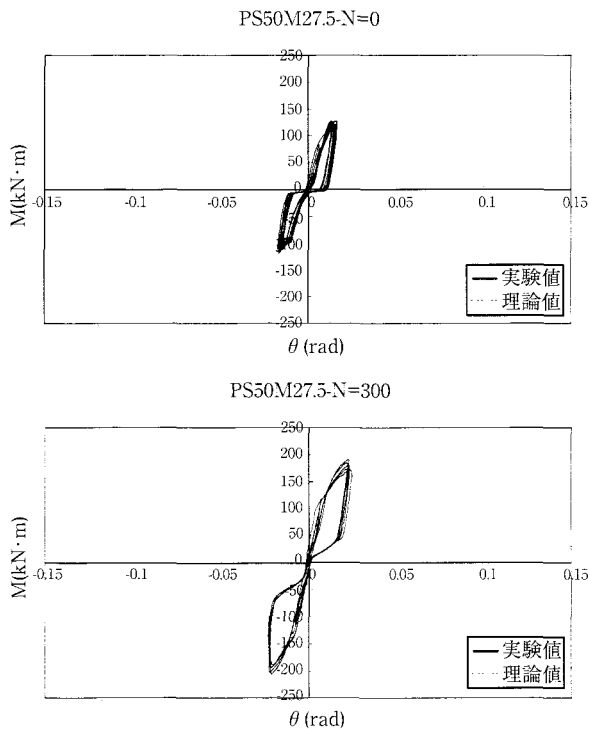


図14 M- θ 関係

モデル化した復元力特性も併せて示す^{2), 4), 5)}。

履歴曲線は P- δ 関係と同様に Type-AB がスリップ型になり、Type-PS はアンカーボルトの塑性化後も $\theta = 0$ (rad) からモーメントが増加する履歴曲線を描いた。復元力特性においてスリップ現象を改善することができ、効率良くエネルギー吸収を行っているといえる。

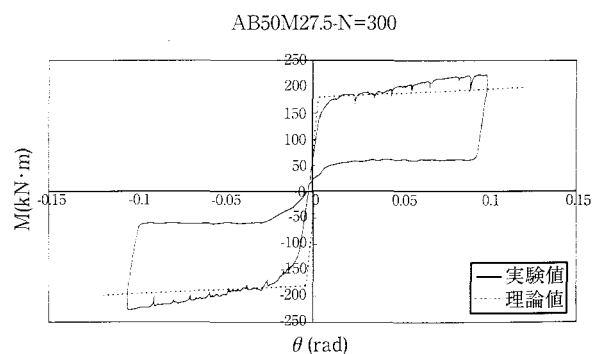
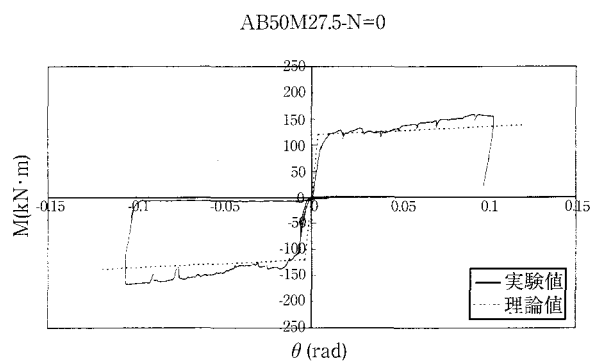
モデル化した復元力特性との比較において、Type-AB では柱脚部に作用するモーメント M は理論値より実験値がわずかに上回ったが、両者は比較的良い対応をしているといえる。Type-PS では、楔の初期状態での遊びにより多少の誤差は生じたものの、両者は比較的良い対応をしているといえる。

次に PS50M27.5-N=0 で水平荷荷方法を図12でおこなった場合、PS50M27.5-N=300 で水平荷荷方法を図13で行った場合の結果の M- θ 関係を図14に示す。

PS50M27.5-N=0 では水平変位 $\delta = \pm 20$ で11サイクル、PS50M27.5-N=300 では水平変位 $\delta = \pm 30$ で5サイクル荷荷したが、両者とも同じ経路をたどる曲線となった。このことより、スリップ現象が緩和されていることが確認できる。それぞれの層間変形角は 1/50, 1/30で、実際の地震で構造物が受けるものより大きなものであるが、それでも十分にエネルギー吸収を行えるといえる。

3.3. 骨格曲線

それぞれの骨格曲線を図15に示す。ここで、Type-PS は図12, 13の荷荷方法で行った試験体とする。モーメントの値は Type-AB の方が高くなるが、これは耐荷機構の違いによるものと考えられる²⁾。エネルギー吸収をみると、Type-AB の方が多い様に見えるが、アンカーボルトの伸び量は Type-AB が約 6%で、Type-PS が 3~4%程度であり、Type-AB はエネルギー吸収させると、回転角が増大するが Type-PS は同じ回転角でアンカーボルト破断までエネルギー吸収を行うことができる。実験は途中で終



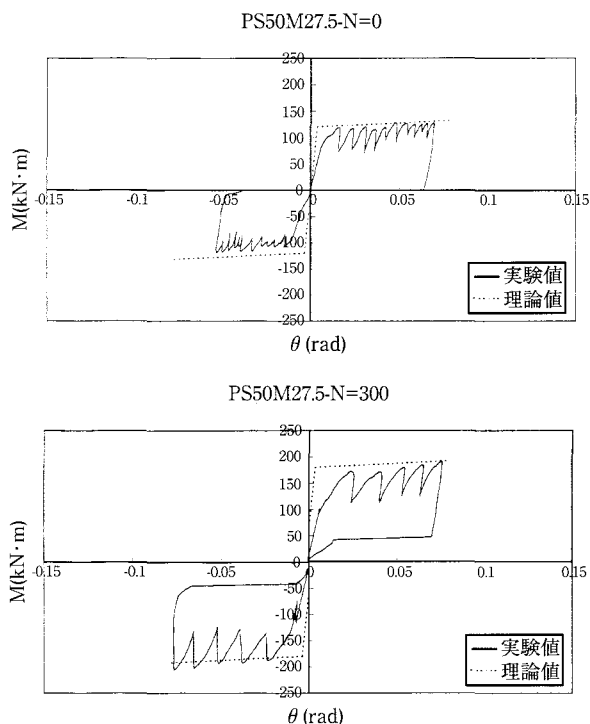


図15 骨格曲線

了しているが Type-PS のほうが Type-AB に比べ小さい回転角でより多くのエネルギー吸収を行うことができるといえる。

4. ま と め

スリップ型復元力特性を緩和できる露出柱脚を提案するために転造ねじアンカーボルトを用いて繰返し載荷実験を行った。その結果次のようなことが言える。

1. 転造ねじアンカーボルトを使用したアンカーボルト降伏先行型の実験では復元力特性はスリップ型を示す。
2. 転造ねじアンカーボルトと考案した装置を用いたプレート滑り込みアンカーボルト降伏先行型の実験では復元力特性はスリップ現象が緩和された改良型復元力特性を示す。
3. 考案した装置は静的実験ではスリップ現象を緩和することはできるが、実用化を考えた場合に実際の地震動に対応できるような動的実験に関する研究が必要である。
4. 実験で使用した楔では遊びを埋めるのに限界があるため、今後は楔の角度、バネの長さ等の検討も必要である。

文 献

- 1) 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, 鋼構造年次論文報告集第9巻, pp.415-422, (2001)
- 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, 投稿中, (2002)
- 3) 社団法人日本鋼構造協会: 建築構造用転造ねじアンカーボルト・ナット・座金のセット, (2000)
- 4) 秋山 宏: 鉄骨柱脚の耐震設計, 技報堂出版, (1985)
- 5) 秋山 宏, 山田 哲, 高橋 誠, 桂 大輔, 木村克次, 矢幡秀介: 露出型柱脚の実大振動台実験, 日本建築学会構造系論文集, 第514号, pp.185-192, (1998)