

## アンカーフレーム杭方式による鋼脚柱定着部の繰り返し载荷実験

Experiment on Cyclic Behavior of Steel Column to Base Connections with Double Anchor Beams.

後藤芳顕<sup>1</sup>・日比幸一<sup>2</sup>・上條崇<sup>3</sup>・藤原英之<sup>4</sup>・小畑誠<sup>5</sup><sup>1</sup>正会員 工博 名古屋工業大学教授 工学部社会開発工学科 (〒466 名古屋市昭和区御器所町)<sup>2</sup>正会員 工修 (株)大林組 神戸支店 (〒650 神戸市中央区西町35番地)<sup>3</sup>学生員 名古屋工業大学大学院 工学部社会開発工学科 (〒466 名古屋市昭和区御器所町)<sup>4</sup>正会員 トピー工業(株) 鹿沼製造所 (〒322 鹿沼市さつき町13-1)<sup>5</sup>正会員 Ph.D 名古屋工業大学助教授 工学部社会開発工学科 (〒466 名古屋市昭和区御器所町)

The cyclic behavior of steel column-to-base connections with double anchor beams were experimentally investigated in comparison with that under monotonic loading. An experiment was performed on one-fifth scale model. The result showed that the load-carrying capacity of the column base deteriorates due to the cyclic fracture of the concrete under the base plate. Further, it was confirmed by experiment that the proposed constitutive model reasonably expresses the monotonic behavior of the column base. In order to express the cyclic behavior, the deterioration mainly due to the cyclic fracture of concrete should be properly accounted for in the constitutive model.

**Key words:** column base, cyclic loading, seismic design, steel structure

## 1. まえがき

鋼脚柱のコンクリートフーチングへの定着部は異種材料の接合部でその荷重伝達機構が複雑であるため、強度、変形等の挙動特性については必ずしも十分に明らかにされていないのが現状である。著者らは現在新しい構造を含めて、定着部の力学特性について検討を続けている。1)~4) ここでは、定着部を含めた鋼脚柱の耐震設計法を確立するための基礎資料を得ることを目的として、アンカーフレーム杭方式による定着部の繰り返し荷重下の力学特性(復元力特性)について検討する。まず、定着部の変形挙動を表現する力学モデル(復元力モデル)の検討を行う。つぎに定着部の約1/5の模型を対象に、一定軸力下で定着部モーメントの単調载荷実験ならびに繰り返し载荷実験を行うことで、単調载荷時と繰り返し载荷時の力学特性の差異を実験的に明らかにするとともに、先に提示した力学モデルについて検証する。

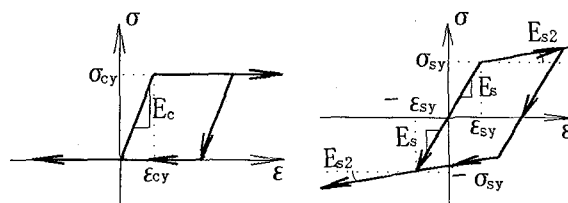
## 2. 杭方式による定着部のモデル化

## (1)モデル化における仮定

杭方式による脚定着部の構成要素としては、アンカーボルト、ベースプレート、アンカービームならびにコンクリートフーチング等があるが、定着部の力学モデルを設定する上で、以下のような仮定を導入する。

- i) ベースプレートは剛体とする。また、ベースプレート中心は、水平方向には変位しない。
  - ii) アンカーボルトならびにフーチングは図1に示すようなBilinear型の応力-ひずみ関係を有する鉛直方向の一軸要素(ばね要素)とする。
  - iii) アンカービームは剛体として初期設置位置で固定されており、载荷にともない変位も変形もしないものとする。ただし、下アンカービームは引抜き力、上アンカービームは圧縮力のみに抵抗するものとする。また、フーチングのひび割れ進展に伴う変位は無視する。
- 定着部が変形すると、ベースプレートとコンクリートフーチング上面の間、ベースプレートとアンカーボルト上部ナットの間それぞれ離間が生ずる可能性がある。これらの挙動も定着部の力学モデルの定式化において考慮する。

以上のような仮定のもとにモデル化したアンカーフレーム杭方式の定着部を図2に示す。なお、アンカーフ



a. フーチングコンクリートの応力-ひずみ関係      b. アンカーボルトの応力-ひずみ関係

図1 材料の応力-ひずみ関係

レーム杭方式の設計においてはベースプレートに対するコンクリートフーチングの支圧による抵抗を無視しているが、実際の挙動ではこれを考慮すべきであることが実験<sup>4)</sup>で確認されているので、ここではモデル化においてコンクリートの支圧の影響を含める。

(2)既存の実験結果<sup>4)</sup>との比較

提示した定着部の力学モデルの妥当性を確認するために、まず、アンカーフレーム杭方式の定着部に関する既存の単調載荷実験結果との比較を行った。

既存の実験で使用された供試体の形状寸法および載荷状況を図3に示す。この供試体は一般的な実構造に対し約1/3の縮尺を持っており、幅2.7m長さ3.3m厚さ1.1mのコンクリートフーチングにφ51mmのアンカーボルトを直径900mmの円周上に等間隔で22本配置している。このとき、引張り力を受ける場合のアンカーボルト有効長となる上ベースプレートから下アンカービーム下端までの長さは1314mmである。また、圧縮力を受ける場合のアンカーボルト有効長である下ベースプレートから上アンカービーム上端までの長さは140mmである。

載荷方法としては図3bに示すように、フーチングは単純支持とし、脚柱には軸力を載荷せずに、水平力のみ作用させている。この水平力は、縁端部アンカーボルトの作用応力が許容応力度となる水平力70tf（定着部モーメント $M=252\text{tfm}$ ）で10サイクルの繰り返し載荷を荷重制御で実施し、その後は変位制御により単調に載荷し破壊に至らしめている。

定着部の力学モデルに用いる諸元と材料定数を図4に示している。ベース部の有効断面としては、リブ補強されている下ベースプレート外径から内径までとしている。

定着部のモーメント $M$ とベースプレートとフーチングコンクリートの相対回転角 $\theta$ の関係について、実験と解析結果を比較する形で図5に示す。水平力70tf（定着部モーメント $M=252\text{tfm}$ ）レベルでの力学モデルによる定着部の剛性はほぼ実験結果と一致している。なお、実験で載荷した70tfレベルの繰り返し荷重下では、本力学モデルではアンカーボルトならびにコンクリートいずれにも塑性化は生じず、実験のような履歴曲線は描かない。実験でのこのような挙動はアンカーボルトの付着破壊やすべり、コンクリートフーチングの局部的なひび割れに起因していると考えられる。70tfより荷重を増加させた場合の $M-\theta$ 曲線については、相対回転角に関する解析値が実験値よりやや低めにでている。これは、アンカーボルトの材料特性値として、0.2%耐力のみ既知であるので、解析ではひずみ硬化を無視し完全弾塑性体として扱っていることによると考えられる。

3. 橋脚柱定着部の繰り返し載荷実験

(1)実験の概要

本実験は、コンクリートフーチングへの定着方法とし

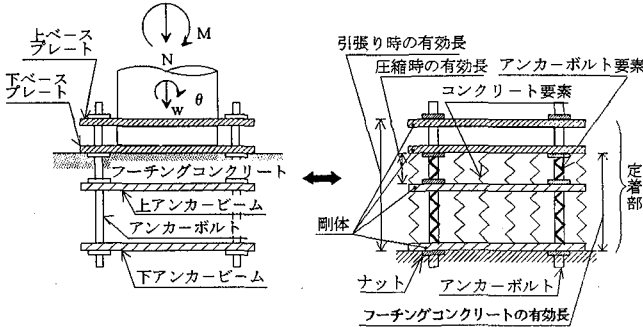


図2 アンカーフレーム杭方式のモデル化

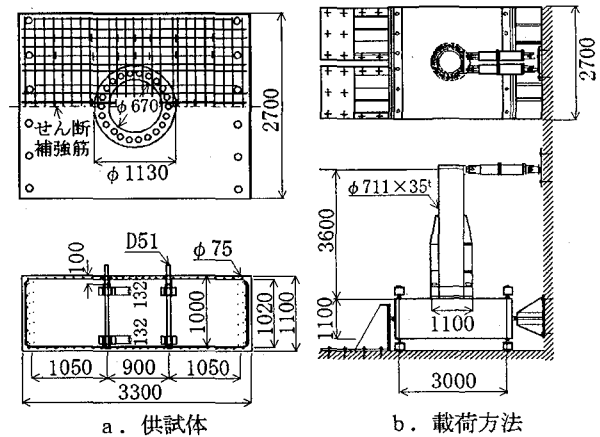


図3 アンカーフレーム杭方式の載荷実験

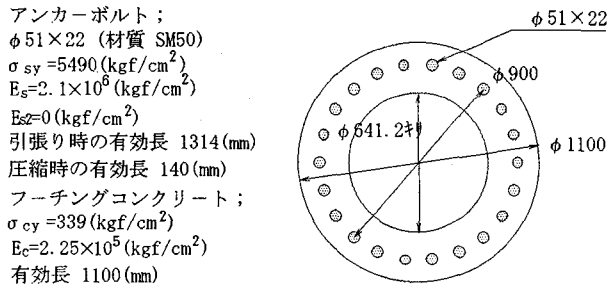


図4 アンカーフレーム杭方式の力学モデルの寸法諸元と材料定数

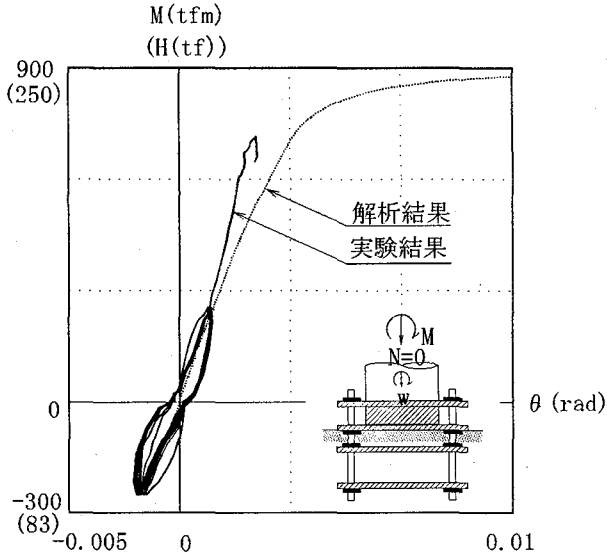


図5 アンカーフレーム杭方式の定着部の $M-\theta$ 関係

て最も一般的に用いられているアンカーフレーム杭方式による鋼脚柱定着部を対象としている。ここでは円形断面鋼脚柱定着部の実構造に対し約1/5の縮尺率を持つ供試体を用い、これに一定圧縮軸力とともに繰り返し曲げモーメントを載荷させたときの力学挙動を単調載荷時の挙動と比較することにより検討する。なお、縮尺1/5の供試体を用いた理由としては、水平力のみならず軸力を鋼脚柱に作用させる載荷装置の制約からである。

(2) 供試体

代表的な構造として、幅員19m、支間約45mの3径間連続RC床版箱桁を約11mの高さで支持する鋼製橋脚定着部の構造寸法を約1/5にすることにより供試体の主要寸法、すなわちアンカーボルト径、アンカーボルト埋め込み長、ベースプレート直径、アンカーフレーム高さ、フーチング寸法および円形鋼脚柱直径を決定した。なお、アンカーボルト本数については、縮尺モデルの構造上の制約から実構造に比べ少なくなっている。次に設計荷重として、図6のようなモデルを考え、圧縮側縁端アンカーボルトの応力が許容応力度となる定着部の許容限界曲げモーメントおよび軸力をアンカーフレーム杭方式の設計法（首都高速道路公団<sup>6)</sup>,名古屋高速道路公社<sup>7)</sup>）により算出し、この荷重値に対して定着部を設計した。

コンクリートフーチングについては、低荷重下の曲げモーメントによるフーチングの曲げ破壊を避けるためにテストバットに直接設置する方法を採用した、このため、フーチング曲げ鉄筋に関しては実質的な設計は行わず、最小鉄筋量をもとに配筋した。具体的な曲げ鉄筋比としては、フーチングの載荷方向下面に0.2%、上面にはその1/3を、また載荷直角方向には上面、下面ともに各スパン方向曲げ鉄筋比の1/4の値を用いた。フーチングコンクリートの設計基準強度は、縁端アンカーボルトが引張りにより降伏する時に、フーチングの引き抜きせん断による崩壊が生ずるよう設定した。<sup>7)</sup> 以上の設計条件をまとめて表1に示す。また、設計された供試体として、コンクリートフーチングを図7に、上アンカービームを図8に示す。なお下アンカービームも同じ形状、寸法である。実験においては、アンカーボルトへの軸方向作用力の明確化を計るため、図7に示すように脚柱ベース部を支持するためのナット下面に厚さ約10mmの発泡スチロール板を敷き、ナット下面からのコンクリートへの押し込み力の散逸を防止している。ベース下モルタルは橋脚柱ベース部下面とフーチング上面との間に充填するもので橋脚柱を設置し所定の精度を得た後に施工した。また、アンカービーム内モルタルは主にその部分の剛性保持と防錆処理のためのものでアンカーフレーム設置時に打ち込んだ。供試体に用いた各材料の強度をまとめて表2に示す。ここで、アンカービーム、ベースプレートの降伏応力( $\sigma_{sy}$ )については2節で示した定着部のモデルに直接関与しないので公称値を示している。

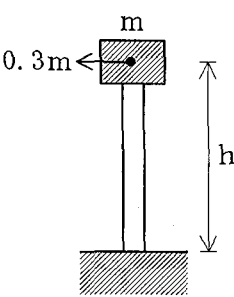


図6 鋼脚柱モデル

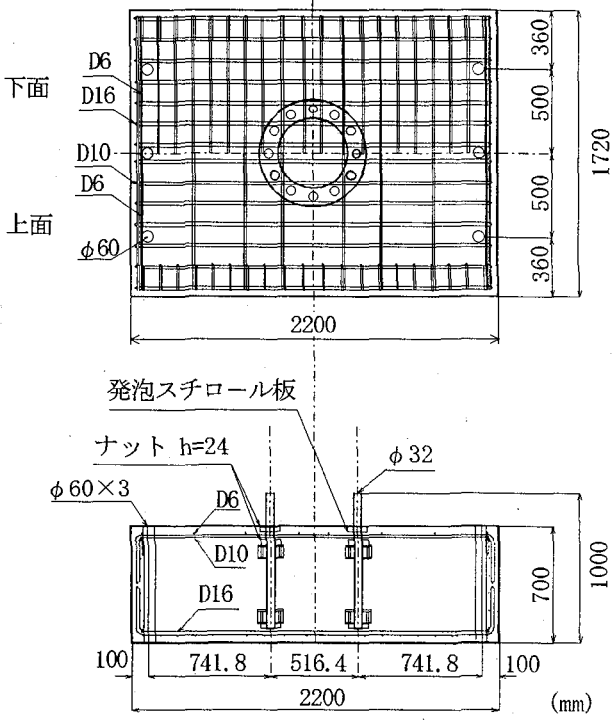


図7 コンクリートフーチング

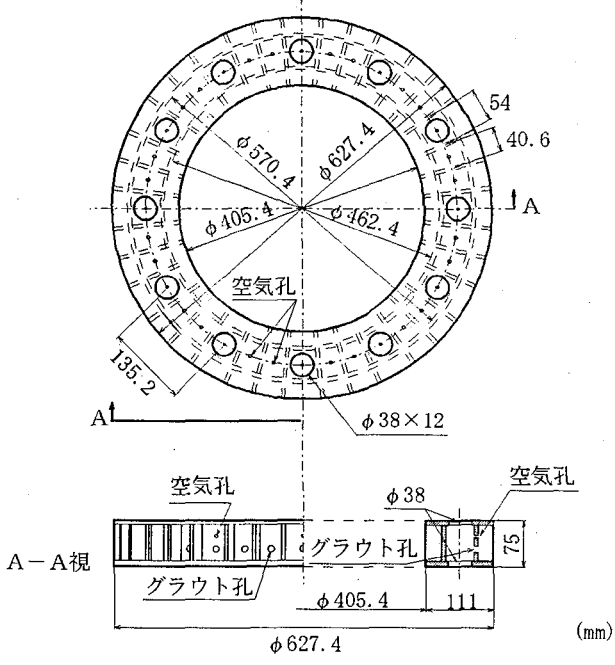


図8 上下アンカービーム

(3) 載荷方法

供試体の載荷方法は図9に示すように、上部構造からの荷重として死荷重に相当する鉛直荷重Vと地震荷重による水平荷重Hを鋼製脚柱に見なした鋼管を介し定着部に作用させる方法とする。図中に記載している鉛直荷重Vの値は、先に述べた設計荷重の考え方にに基づき設定する。鉛直荷重Vは死荷重を想定しているため一定値としている。本実験では供試体は計2体(供試体A,B)使用し、単調載荷、繰り返し載荷の2つの方法についての載荷実験を行った。各載荷実験の荷重、変位の制御方法および計測方法については以下に記す通りである。

表1 設計条件

設計荷重	図2のモデルにおいて縁端アンカーボルトの圧縮応力度がSM490相当材の許容応力度( $\sigma_{sa} = 1900 \text{ kgf/cm}^2$ )となる曲げモーメント及び軸力
コンクリートの設計基準強度	$\sigma_{ck} = 160 \text{ kgf/cm}^2$
アンカーボルト	S45CN ( $\phi 32 \times 12$ 本) 許容応力度: $\sigma_{sa} = 2100 \text{ kgf/cm}^2$
鋼脚柱	円形断面鋼脚柱 $\phi 406.4 \times 12.7 \times 1550^1$ (mm) STK50 約1/5模型相当
アンカービーム	SM490 ( $\sigma_{sa} = 1900 \text{ kgf/cm}^2$ )
ベースプレート	SM490 ( $\sigma_{sa} = 1900 \text{ kgf/cm}^2$ )
鉄筋	SD295 ( $\sigma_{sa} = 1800 \text{ kgf/cm}^2$ )
フーチングコンクリート	2200×1720×700 (mm)

$\sigma_{ck}$ : 設計基準強度,  $\sigma_{sa}$ : 許容応力度

表2 材料定数

供試体A (単調載荷)

アンカーボルト	$\sigma_{sy} = 6677.7 \text{ kgf/cm}^2$
アンカービーム	$\sigma_{sy} = 3200 \text{ kgf/cm}^2 *$
ベースプレート	$\sigma_{sy} = 3200 \text{ kgf/cm}^2 *$
フーチングコンクリート	$\sigma_{ck} = 213 \text{ kgf/cm}^2$
ベース下モルタル	$\sigma_{ck} = 495 \text{ kgf/cm}^2$
アンカービーム内モルタル	$\sigma_{ck} = 626 \text{ kgf/cm}^2$

供試体B (繰り返し載荷)

アンカーボルト	$\sigma_{sy} = 6677.7 \text{ kgf/cm}^2$
アンカービーム	$\sigma_{sy} = 3200 \text{ kgf/cm}^2 *$
ベースプレート	$\sigma_{sy} = 3200 \text{ kgf/cm}^2 *$
フーチングコンクリート	$\sigma_{ck} = 206 \text{ kgf/cm}^2$
ベース下モルタル	$\sigma_{ck} = 582 \text{ kgf/cm}^2$
アンカービーム内モルタル	$\sigma_{ck} = 702 \text{ kgf/cm}^2$

$\sigma_{sy}$ : 降伏応力度,  $\sigma_{ck}$ : 圧縮強度, \*公称値

なお、脚柱の軸力は圧縮を正、水平荷重はアクチュエータがピストンを押し出す方向の荷重を正としている。また、鉛直荷重により生ずる定着部の2次モーメントはアクチュエータの変位を考慮することで補正している。

a) 単調載荷実験 (供試体A)

単調載荷実験では2種類の実験を行った。一つは設計荷重内で軸力の影響を検討するための実験であり、いま一つは単調載荷による耐荷力実験である。

① 軸力の影響を検討するための設計荷重内での載荷実験  
3種の軸力(V=0,10,20tf)のもとで水平力Hを0~+10.5tfの範囲で単調載荷する。

② 単調載荷による耐荷力実験

軸力をV=35tfに固定し荷重制御でH=0~+20tfまで載荷し、その後は3mmづつ変位制御で単調載荷を行う。

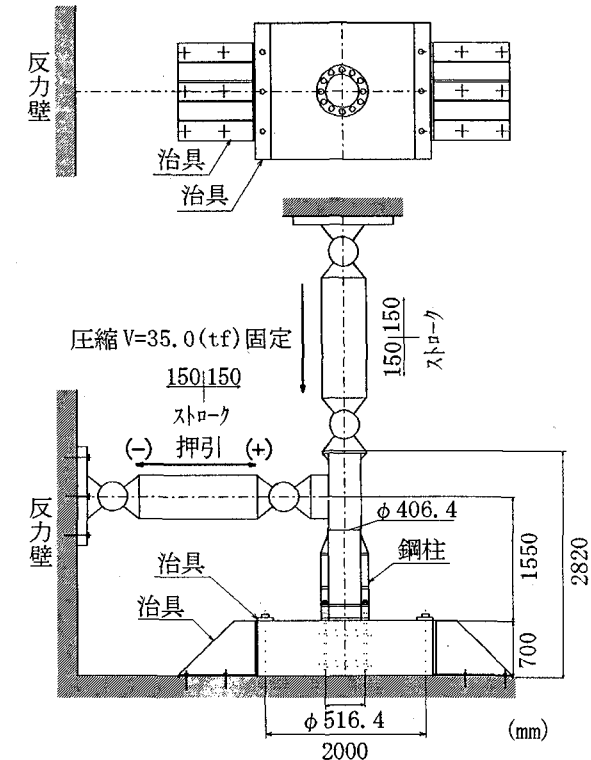


図9 供試体の載荷方法

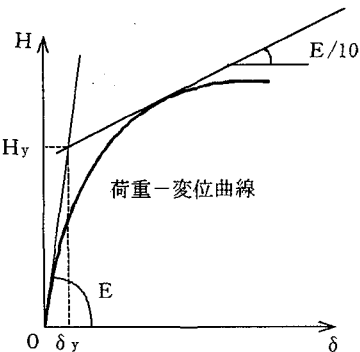


図10 ECCSによる $\delta_y$ の決定方法

b)繰り返し載荷実験 (供試体B)

単調載荷試験の結果をもとにECCSの規定<sup>8)</sup>による基準変位量 $\delta_y$ を用いて(図10)、繰り返し載荷の振幅を決定する。載荷方法としては、まず軸力を所定の値 $V=35tf$ (設計値)まで増加させる。その後、

- 1)  $-\delta_y/4 \leftrightarrow +\delta_y/4$ の振幅で1回繰り返す。
- 2)  $-\delta_y/3 \leftrightarrow +\delta_y/3$ の振幅で1回繰り返す。
- 3)  $-\delta_y/2 \leftrightarrow +\delta_y/2$ の振幅で1回繰り返す。
- 4)  $-\delta_y \leftrightarrow +\delta_y$ の振幅で1回繰り返す。
- 5)  $-n\delta_y \leftrightarrow +n\delta_y$ の振幅で3回繰り返す。 $(n=1,2,\dots)$

という具合に振幅を変位制御で漸増させ破壊するまで載荷を続ける。

(4)実験結果

a)単調載荷実験

①軸力が定着部の挙動に与える影響

脚柱からの軸力が定着部の挙動に与える影響を確認する目的で4種類の軸圧縮力の作用下で、水平荷重を設計荷重まで単調に載荷したときの定着部モーメントと相対回転角の関係(M- $\theta$ 関係)を力学モデルによる解析結果と比較する形で図11に示す。ここで定着部の相対回転角とはフーチング上面と上ベースプレート間の相対回転角を意味している。図11より、一般に鉛直荷重を増加させると、定着部の相対回転剛性が増加している。これは鉛直圧縮荷重が大きいほど、下ベースプレートがフーチングと離間しにくくなるため、この傾向は、力学モデルによる解析結果でもよく表されている。

②耐荷性状

単調載荷時の耐荷力実験結果として破壊までの定着部のM- $\theta$ 関係を図12に、定着部モーメント各レベルでのアンカーボルト軸力分布の推移を図13に、定着部モーメントと引張り側縁端部アンカーボルト軸ひずみの関係を解析値と比較する形で図14にそれぞれ示す。

まず、図12と図13をもとに耐荷性状を見ると、約 $H=50tf$ ( $M=84.8tfm$ )でコンクリートフーチングに引き抜きせん断破壊(コーン破壊)が発生しても、軸力が作用しない場合と異なり、荷重が上昇し、最終的にはナットの滑りが生じた後にアンカーボルトが破断し、荷重が急激に減少する。また図13より軸圧縮力が作用しているにもかかわらず、アンカーボルトの軸力は引張り側が大きく、杭方式の設計計算法から得られる結果と逆になっている。これは、実構造においては、ベースプレート下にモルタルが充填されているため、圧縮部分ではかなりの圧縮力がベースプレートから直接フーチングに伝達されることに起因していると考えられる。また、アンカーボルトの塑性化が進んでいる定着部モーメント $M=66.1tfm$ レベルにおいても、定着部はまだ安定した挙動を示している。なお、ベースプレート下の充填モルタルにより圧縮力が伝達されることは、文献4)においても同様に確認されている。

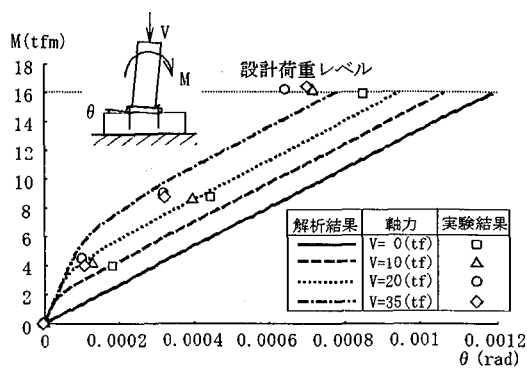


図11 鉛直方向荷重が定着部に与える影響

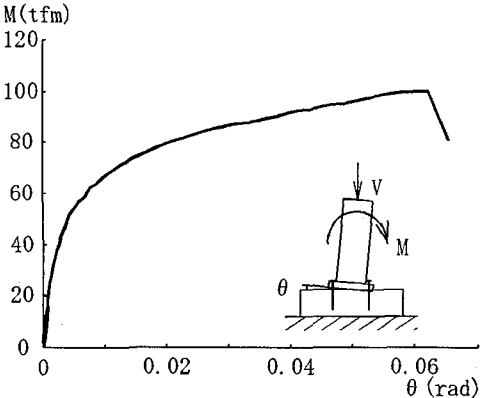


図12 定着部モーメントとベースプレートの回転角

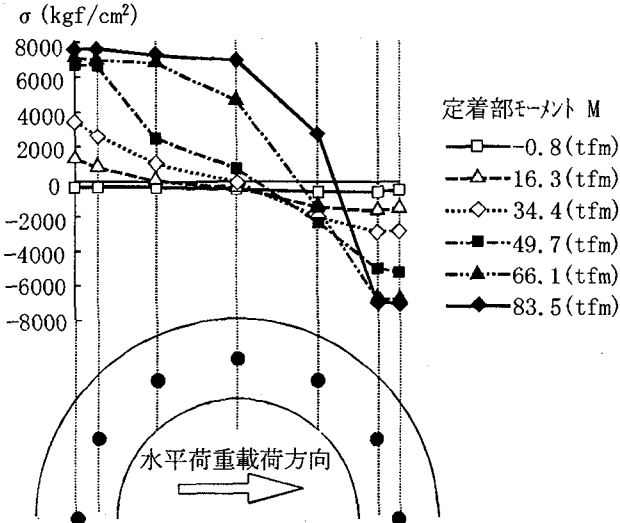


図13 アンカーボルトの応力分布(単調載荷)

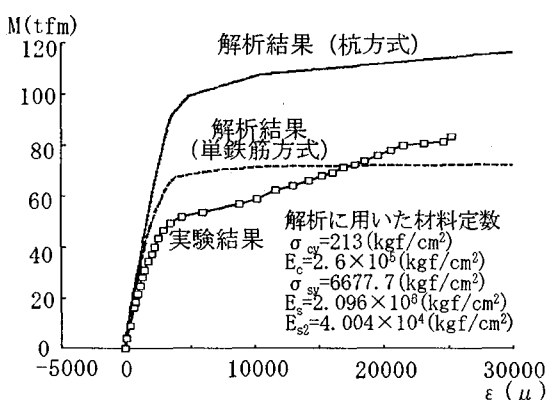


図14 定着部モーメントと引張り側アンカーボルトのひずみの関係(単調載荷)

図14には実験値に加えて定着部を2節で示したアンカーフレーム杭方式の力学モデルを用いて解析した結果および、参考として圧縮側のアンカーボルトの関与を無視したアンカーフレーム単鉄筋方式の力学モデルによる解析結果を示した。図14より実験による定着部モーメントと引張り側アンカーボルトのひずみの関係は、はじめはアンカーフレーム単鉄筋方式のモデルに近い挙動を示すが、モーメントが増加すると剛性が上昇し杭方式のモデルに近づく。載荷初期段階で、定着部がアンカーフレーム単鉄筋方式と同様の挙動を示す理由としては、グラウトされたベース下モルタルの効果により、下ベースプレートとアンカーボルト上部ナットが接触せず、アンカーボルトに圧縮力が十分伝達しないことによると考えられる。載荷荷重が増加すると、ベース下モルタルの破壊が進み、下ベースプレートとナットの接触が確保され、定着部の挙動は杭方式のモデルによる結果に近づく。なお、杭方式のモデルでは一般に実験結果より強度を高め評価しているが、これはモデル化において、フーチングコンクリートの曲げ、およびせん断破壊が考慮されていないことによると考えられる。

b) 繰り返し載荷実験

繰り返し載荷実験で得られた定着部のM- $\theta$ 関係を図15に、定着部モーメントと両縁端部アンカーボルトの軸ひずみの関係を図16に示す。また、図17には、各繰り返し振幅でのフーチングのひび割れの進展状況を示している。なお、アンカーボルトの軸ひずみについてはアンカーボルトの破断のかなり前の $\delta = 6\delta_y$ において歪ゲージが損傷したためにその後の計測は不可能になった。図15から、杭方式のアンカーボルトは圧縮にも抵抗する構造になっているものの、定着部モーメントが増大するとアンカーボルトの塑性化で生ずる残留変形によりアンカーフレーム単鉄筋方式と同様のスリップ型の復元力特性を示すようになる。実験中のひび割れの観察によると、繰り返し載荷ではフーチングのひび割れは、単調載荷の場合に比べ、図17に示すように脚柱基部周辺に多く発生し、特に、ベース下モルタル及びフーチングの圧壊により耐力が決定される。これは図16からわかるようにアンカーボルトの耐力がいまだ低下していない変位振幅において定着部の耐力が低下することからも理解できよう。そして、単調載荷時と同様にアンカーボルトの破断により荷重が急激に低下する。なお、図15、16から、変位振幅が増大すると定着部は正負の振幅において非対称な変形をするようになるが、これは主としてベース下モルタルの非対称な崩壊に起因している。

M- $\theta$ 関係における繰り返しによる影響を検討するために、図12の単調載荷実験から得られたM- $\theta$ 関係と図15の繰り返し載荷実験によるM- $\theta$ 関係の3サイクル目の包絡線との比較を図18に示す。図中には単調載荷時と、繰り返し載荷時の定着部最大モーメントが設計モーメントに対して持つ安全率も示した。図18におい

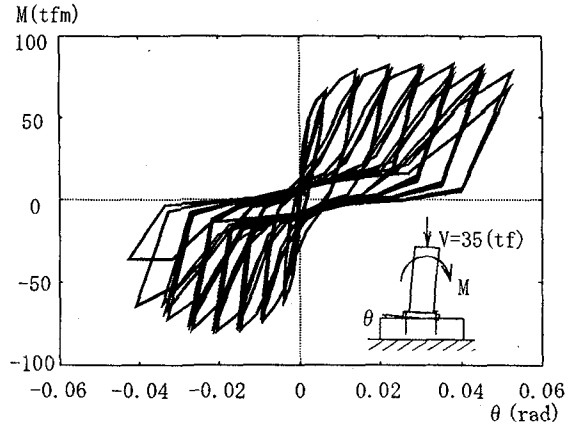


図15 繰り返し荷重下の定着部モーメントとベースプレートの回転角

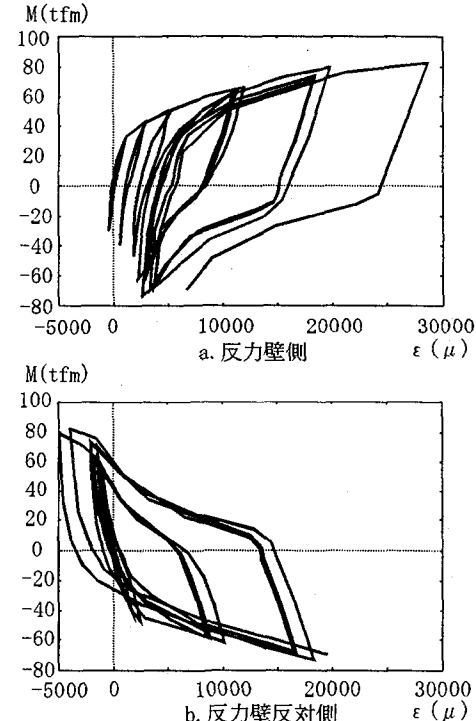
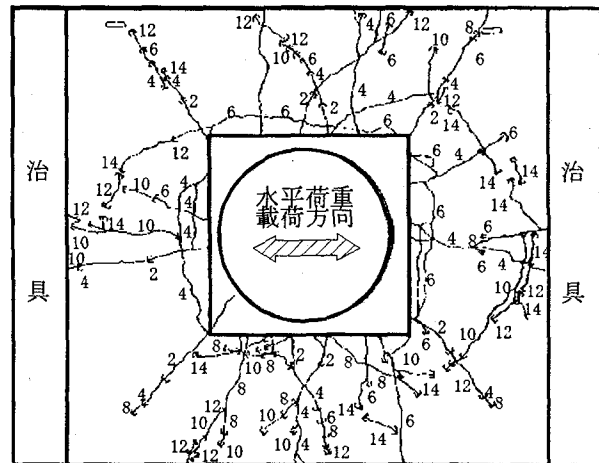


図16 縁端部アンカーボルトの定着部モーメントと軸ひずみの関係



数字はひび割れ発生時の水平荷重載荷点の水平変位が弾性限界水平変位  $\delta_y$  の何倍であることを示す。  
図17 フーチングコンクリートのひび割れ状況

設計荷重の約4倍までの定着部モーメントに対して調載荷と繰り返し載荷による $M-\theta$ 関係の間に目立った差異は認められないが、それ以降は剛性、耐力が単調載荷時に比べ大きく低下していく。繰り返しによる劣化は主にベースプレート下モルタルおよびフーチングの圧壊に起因している。このような、ベースプレート下モルタルおよびフーチングコンクリートの繰り返し圧縮による劣化挙動は図1のコンクリートの構成則のモデル化では考慮していないので、2節で提示したモデルでは $M-\theta$ 関係における劣化挙動を表すことができない。今後、この点について定着部モデルの改良を行う必要があるといえる。

#### 4. まとめ

杭方式による鋼脚柱定着部の力学モデルの検討とともに、繰り返し荷重下の挙動を明らかにするために鋼脚柱定着部の単調載荷ならびに繰り返し載荷実験を実施した。その結果以下の点が明らかとなった。

- (1)ここで提示した定着部のモデルは、単調載荷ならびに、ベース下モルタルやフーチングコンクリートが繰り返しにより劣化しない範囲において妥当なモデルであることが実験との比較により明かとなった。
- (2)少なくとも設計荷重レベルでは定着部の軸圧縮力が増加すると下ベースプレートがフーチングと離間しにくくなるので、その剛性は向上する。
- (3)定着部に軸圧縮力が作用する場合においても、アンカーボルトの軸力は圧縮側より引張り側が大きく、杭方式の設計計算法と逆の結果となっている。これは、実構造ではベースプレート下にモルタルが充填されるため圧縮力のかなりの部分がベースプレートからフーチングに伝達されることに起因している。
- (4)杭方式のアンカーボルトは圧縮にも抵抗する構造になっているものの、定着部のモーメントが増大するとアンカーボルトの塑性化で生ずる残留変形によりアンカー部はスリップ型の復元力特性を示すようになる。
- (5)繰り返し載荷を受ける場合、定着部はベース下のモルタルならびにフーチングコンクリートが圧壊し、耐力、剛性が大きく低下する。このような挙動を定着部モデルで表すためには、モルタルならびにコンクリートの繰り返しによる劣化を応力ひずみ関係において考慮する必要がある。

以上、杭方式の定着部の繰り返し荷重下の力学特性に関する基礎資料を得ることができた。今後は上記資料をもとに繰り返しによる劣化を考慮した定着部の復元力モデルの検討を行い、さらにこれを解析で考慮することで定

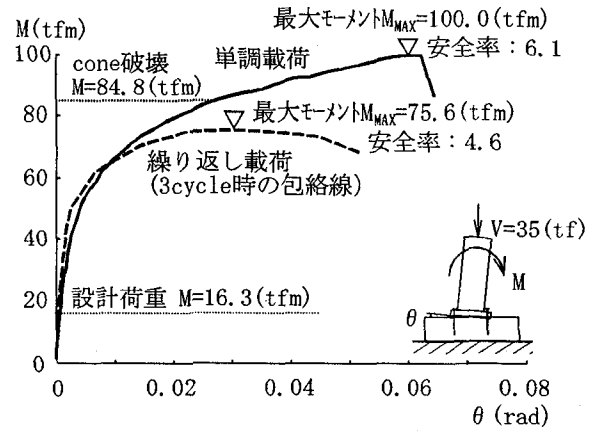


図18 定着部モーメントとベースプレートの回転角

着部を含めた鋼脚柱のより合理的な耐震設計法の提示を行いたい。

#### 謝辞

本実験を実施するにあたり、トピー工業（株）鉄鋼事業部ならびに第一技術研究所の方々に多大なご援助をいただいた。また、本研究の一部は土木学会新技術小委員会の援助も受けたことを記して謝意を表する。

#### 参考文献

- 1)前野裕文, 後藤芳顕, 小畑誠, 松浦聖: スタッドを取り付けた太径異形棒鋼の付着特性, 土木学会論文集, 第441号/I-18, pp87-96, 1992年
- 2)前野裕文, 後藤芳顕, 小畑誠, 松浦聖: 引き抜き力を受ける付着型アンカーボルトの定着部の破壊機構に関する研究, 土木学会論文集, 第441号/I-18, pp185-192, 1992
- 3)Goto, Y., Obata, M., Maeno, H., and Kobayashi, Y.: A New Bond-Type Anchorage System for Steel Piers, The Third Pacific Structural Steel Conference, pp.971-978, Tokyo, 1992
- 4)前野裕文, 後藤芳顕, 小畑誠, 小林洋一: 付着型アンカーボルトを用いた鋼脚柱定着部の耐荷力実験, 構造工学論文集, Vol.39A, pp1321-1334, 1993
- 5)Goto, Y., Obata, M., Maeno, H., and Kobayashi, Y.: Failure Mechanism of a New Bond-Type Anchor Bolt subject to Tension, Journal of Structural Engineering, ASCE, vol.119, No.4, pp1168-1186
- 6)首都高速道路公団: 鋼構造物設計基準, 1992
- 7)名古屋高速道路公社: 鋼構造物設計基準, 1984
- 8)ECCS: Recommended Testing Procedure for Assessing The Behaviour of Structural Steel Elements under Cyclic Loads, 1986

(1994年9月14日受付)