

鋼管杭杭頭部の応力伝達機構に関する実験的研究

Experimental study on mechanism of stress propagation in the top of steel pipe piles

長谷川明*, 塩井幸武**, 木村 亮***, 松田秀高****

* 工博 八戸工業大学教授 土木工学科 (〒031 八戸市妙字大開88-1)

** 工博 八戸工業大学教授 構造工学研究所 (〒031 八戸市妙字大開88-1)

*** 工博 京都大学工学部助教授 交通土木工学教室 (〒606 京都市左京区吉田本町)

**** 八戸工業大学大学院工学研究科土木工学専攻 (〒031 八戸市妙字大開88-1)

Steel pipe pile group is general foundation used for large structure. It has been widely used for foundation because of the superior properties in bearing capacity, ductility and easy operation at site. It is important to make mechanism of stress propagation in the top of steel pipe piles clear. When the strength of the foundation would be improved by the packing concrete, it would be more important than now. In this paper, the results of loading tests of group pile foundation models in large scale are described.

key words: steel pipe pile, stress propagation, foundation

1. はじめに

鋼管杭基礎は支持力, 変形性能, 施工性などに優れた特性を持つ基礎工法で, 幅広い分野にわたって長く利用されており, 大型基礎などに使用される一般的な工法である. 近年土木建築の構造物の設計方法が許容応力度法から限界状態設計法への移行しつつあることから杭の終局限界状態の検討が必要となっている. また, 兵庫県南部地震におけるいくつかの壊滅的な被災例から鋼構造物の決定的な損壊を防ぐためには座屈があったとしても終局限界状態で形状を保持することが求められている. この要求を満たすためには, 構造物および基礎に大きなせん断耐力と変形性能を付与することが必要とされている.

一方, 大きな水平力の作用による杭頭のモーメントを緩和するのに杭頭回転バネの存在がある. 杭頭回転バネは杭自体の弾性とフーチングの弾性が杭頭のモーメントに対して回転バネとして機能するものである. 杭頭回転バネは杭頭モーメントをフーチング自体に伝達して成り立つものである. 杭頭モーメントのフーチング内への伝達機構を明らかにするためには杭からの応力の流れを究明しなければならない. それに対し, 杭頭部とフーチング間の応力がかかるように伝達されるかについての研究は余り行われていない. そこで, 鋼管杭杭頭部とフーチング間の応力伝達メカニズム把握するため, フーチング内に

埋め込まれた杭頭部およびその周囲に設けたフーチング筋にひずみゲージを貼付し, 繰り返し水平荷重試験を行い, 応力の挙動を観察する実験が行われた.

本論文では, その実験概要と実験結果について報告する.

2. 実験方法

実験装置は写真-1に示すようなセットアップとし, 載荷は変位制御で繰り返し水平載荷試験を実施した. ここでは, 実験装置, 試験体, 実験方法および計測について述べる.

(1) 実験装置

装置の左側は鉄骨組の反力フレームで, 右側は鋼管が4本組となった試験体である. その鋼管の上下をコンクリートフーチングで固定している. 試験体には鉛直荷重をかけるためにセンターホールジャッキとSEEケーブルが取り付けられている. また反力フレームと試験体の間には水平荷重をかけるために両動ジャッキを取り付けた.

(2) 使用した試験体

試験体は, 図-1に示すように杭径 $D=216.3\text{mm}$, 板厚 $t=4.5\text{mm}$, 杭長 $L=2600\text{mm}$ (フーチング埋込部 $300\text{mm} \times 2+2000\text{mm}$)のSTK400構造用鋼管4本を, 上下のコン

クリートフーチングで固定されたもので構成されている。上部フーチング杭頭部の鉄筋配置状況を図-2に示す。鋼管内に全長にわたってコンクリートを充填した。4本の鋼管の配置は、1辺が500mmとなる正方形の頂点となるように設置した。フーチングおよび中詰めコンクリートは、コンクリート強度試験によれば、28日強度で407Kgf/cm²であった。

(3) 実験方法

実験方法は、最初にセンターホールジャッキとSEEケーブルによって上部フーチングに一定の軸力60tfをかけた。これを維持したまま、試験体の上部フーチングの対角線の方に水平荷重を載荷した。載荷はコンクリートを充填しない鋼管杭の計算上の降伏変位 δy (5.26mm)を基準にして、図-3に示すように、 δy 、 $2\delta y$ 、 $3\delta y$ 、 $5\delta y$ 、 $8\delta y$ 、 $10\delta y$ 、および $15\delta y$ の変位を生じる荷重を正負交番で繰り返し3回ずつとして、それぞれの試験体に適用した。試験の最後では $50\delta y$ に相当する変位まで一方向載荷を行った。

載荷速度は、繰り返しループ毎に載荷速度を変えて行った。降伏変位 δy と $2\delta y$ では載荷速度0.05mm/min、 $3\delta y$ と $5\delta y$ では載荷速度0.1mm/min、 $8\delta y$ 、 $10\delta y$ 載荷速度では0.2mm/min、 $15\delta y$ と一方向載荷では載荷速度0.4mm/minでそれぞれ行った。

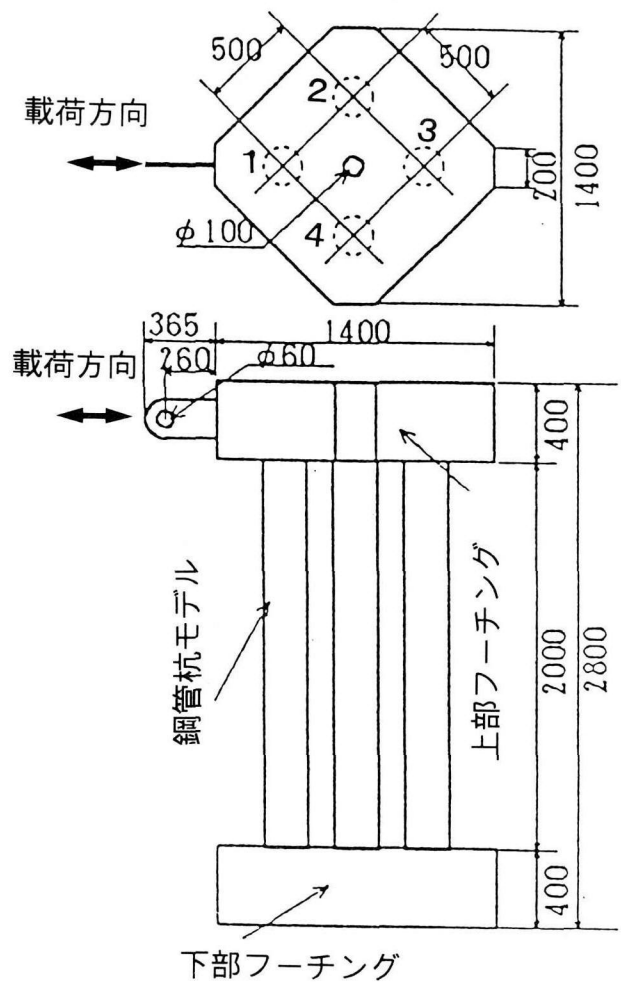


図-1 試験体

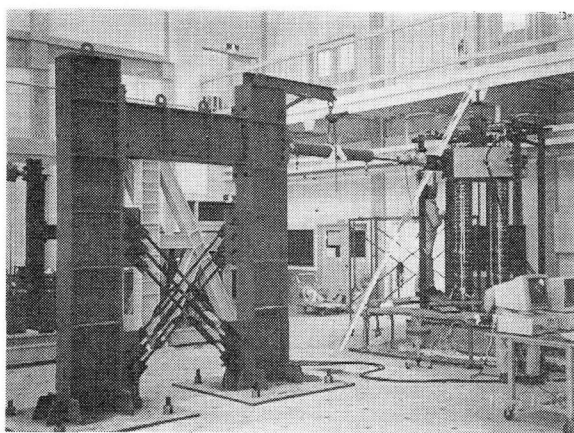


写真-1 実験装置

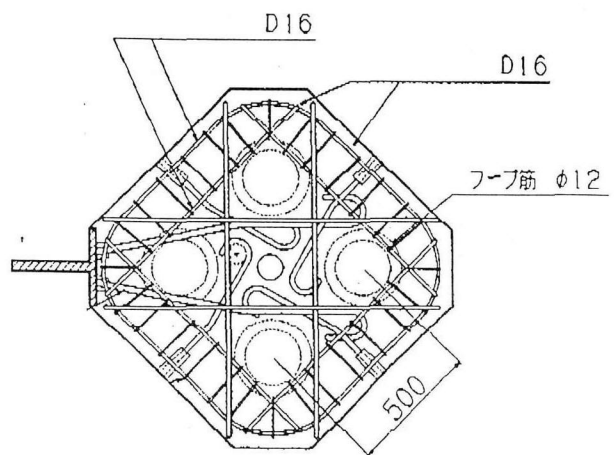


図-2 上部フーチング杭頭部の鉄筋配置状況

(4) 計測

荷重, 変位, 傾斜およびひずみを計測した。荷重は水平, 鉛直の2点, 変位は上部フーチングの水平4点, 上部フーチングの鉛直4点の計8点, 傾斜は上下フーチングコンクリートの上部の2点で計測した。ひずみは, 4本の鋼管杭に1軸塑性ゲージを16点, 3軸塑性ゲージを48点を, 図-4のように張り付け, それぞれ計測した。また, フーチングに埋め込まれている鋼管にも2軸ゲージを48点, フープ筋には配筋ゲージを48点, 組立鉄筋には主筋ゲージを32点を図-5のように張り付けた。

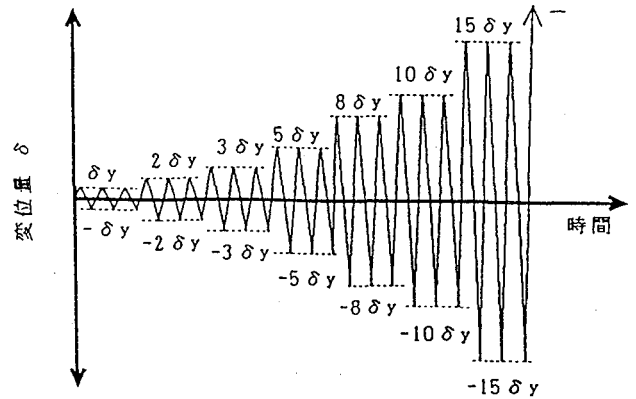


図-3 荷重経路

3. 実験結果

(1) 鋼管全体のひずみ状況

鋼管表面の上部フーチングから下部フーチングまでの鉛直ひずみの状況を図-6, 7に示した。

図-6は杭1の載荷側のひずみゲージで, これより, 下部フーチング上面から2400~2000mm部分の上部フーチングでは, ひずみが引張側に片寄っている。2000~1000mm部分の鋼管上部では, 3つのひずみゲージとも左右対称の値となっている。また, 1950mm地点より下がるにつれてひずみは小さくなっていき, 1350mm地点ではひずみはほとんど0に近い値となっている。すなわち, この点では曲げモーメントがほぼ0であるといえる。1000~0mm部分にあたる埋込部の鋼管の下部では, 3つのひずみゲージとも鋼管上部と似たように, ほぼ左右対称の値となっている。また, 1350mm地点より下がるにつれてひずみは大きくなっていき, 50mmの地点ではひずみは最大である。つまり曲げモーメントは下部フーチングに近いほど大きい値となっていることがわかる。0~-400mmの部分にあたる下部フーチングでは, 全体的にひずみが小さい値となっている。下部フーチングに入ると急激にひずみは低下し, フーチング外の鋼管に発生しているひずみと逆符号のひずみが発生しており, 中に入るほど大きい値となっている。これは, 曲げモーメントが下部フーチング内で逆転していることを示す。

また, 杭3の非載荷側のひずみ状況を図-7に示す。得られた結果は図-6と反対になっており, 同様な結果が得られた。

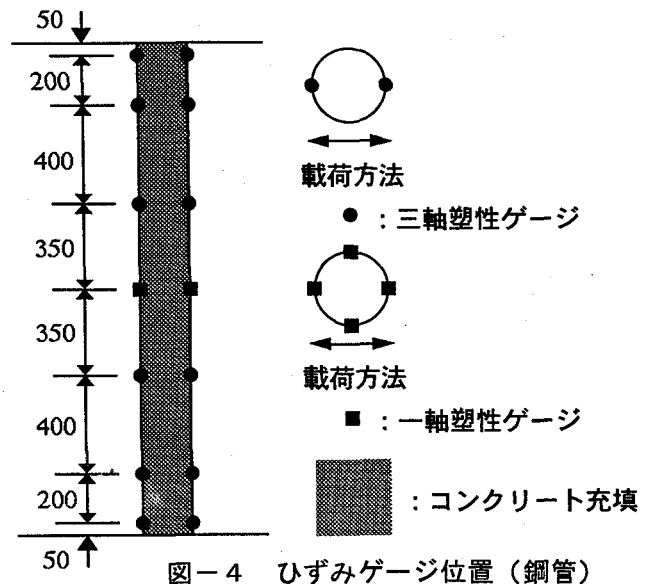


図-4 ひずみゲージ位置 (鋼管)

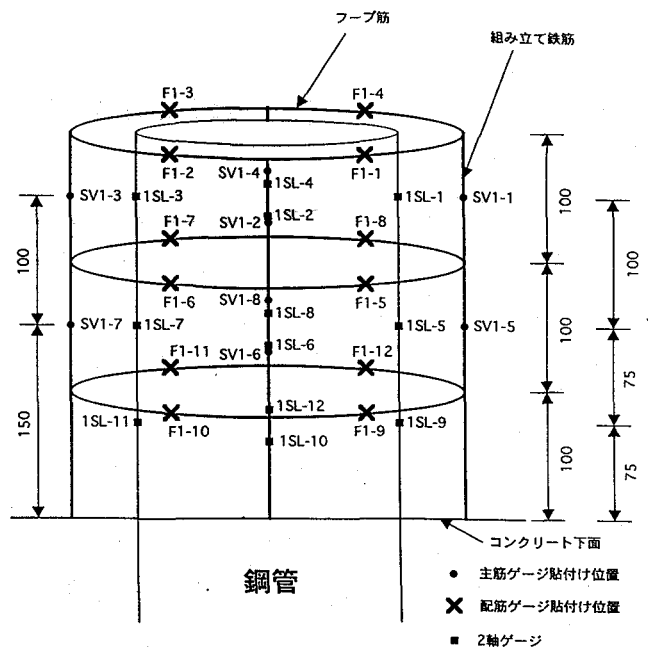
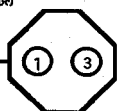
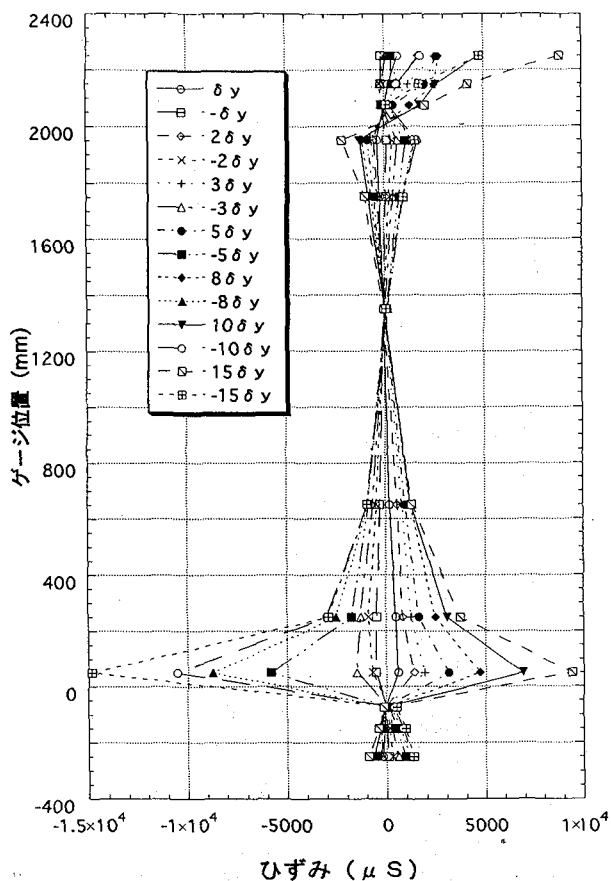


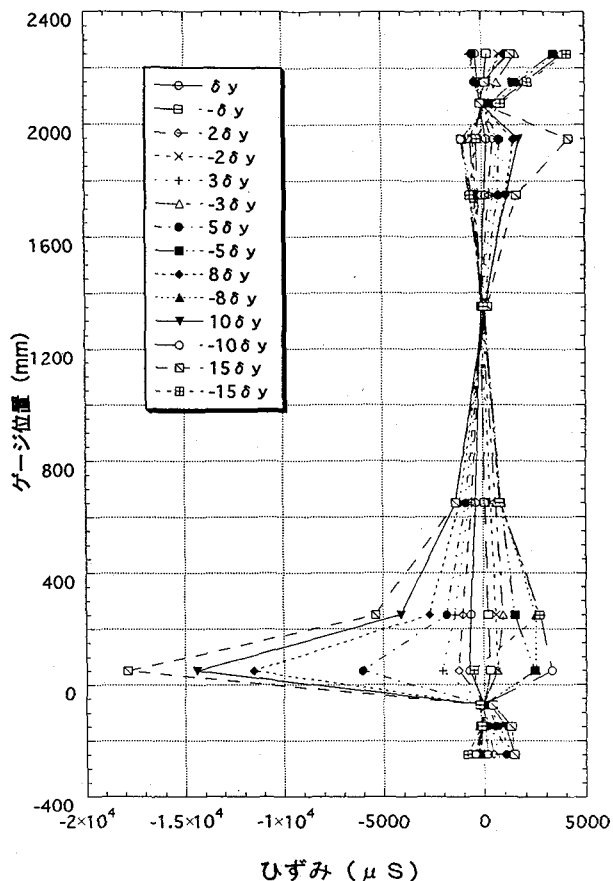
図-5 ひずみゲージ位置 (フーチング)

ひずみゲージ番号は下部フーチングの場合
図左側が載荷側

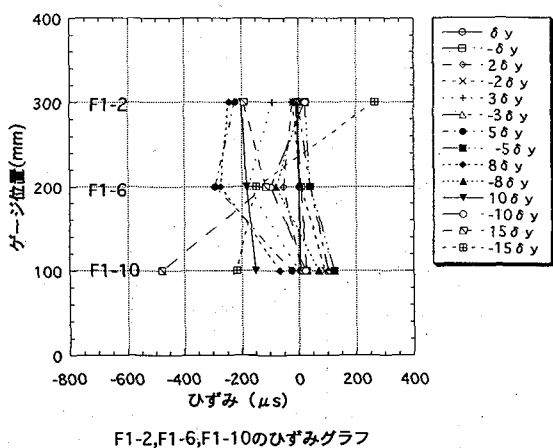




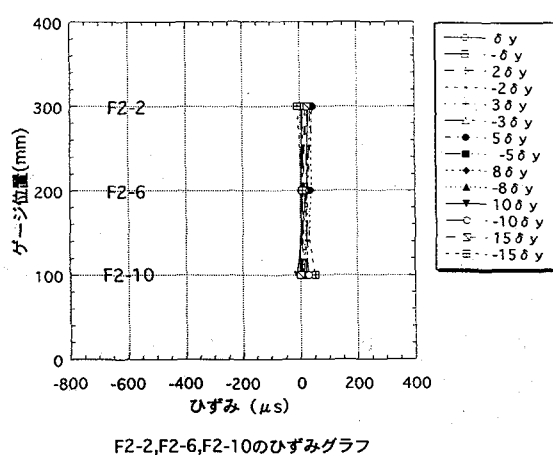
図ー6 鋼管①の載荷側鉛直ひずみ分布状況
ゲージ位置は下部フーチング上面からの距離



図ー7 鋼管③の非載荷側鉛直ひずみ分布状況
ゲージ位置は下部フーチング上面からの距離



図ー8 フーチ筋のひずみ状況（下部フーチング）
ゲージ位置は下部フーチング上面からの距離
ゲージ番号は図ー5 参照



図ー9 フーチ筋のひずみ状況（上部フーチング）
ゲージ位置は上部フーチング下面からの距離
ゲージ番号F2-2, F2-6, F2-10は図ー5 のそれぞれF1-2, F1-6, F1-10に対応する。

(2) フーチング内のフープ筋のひずみ状況

フープ筋のひずみ状況については、図-5に示すひずみゲージの内、鉛直方向上にあるものを一つにまとめて図-8と9に示した。そのうち、図-8の下部フーチング側のフープ筋では、ひずみは3箇所ともひずみが平均的に発生していた。このように下部フーチング側のフープ筋には、全体的にひずみが発生しており、フープ筋の役割が果たされているといえる。逆に上部フーチング側のフープ筋は、図-9のように、ひずみはほとんど発生していなかった。これは、上部フーチングが载荷に応じて回転したため大きな曲げ応力が発生しなかったこと、および鋼管軸方向には大きいひずみが発生しているものの水平方向にはひずみは小さいことによるものと考えられる。

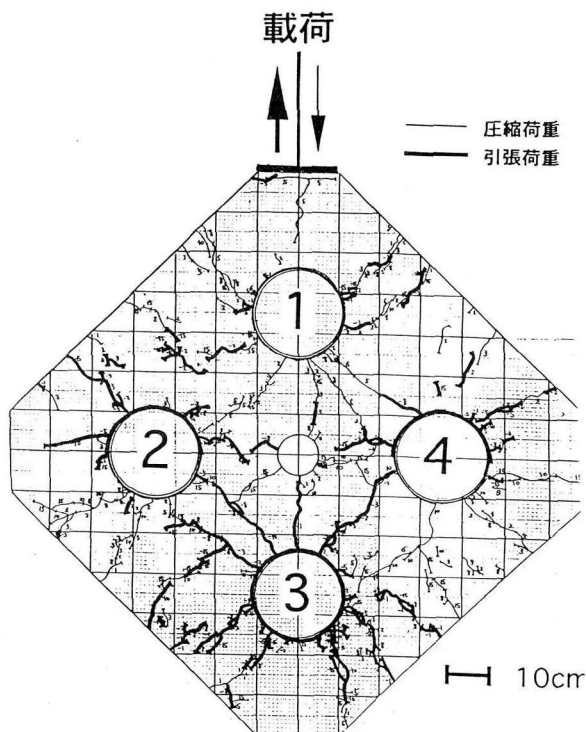


図-10 上部フーチングの下面の亀裂発生状況

(3) 上部フーチング下面コンクリートの亀裂状況

上部フーチング下面の亀裂発生状況は、各降伏変位に到達した時に調査が行われた。

図-10は、上部フーチングの下面の亀裂発生状況を描いたものである。 δy の時点でフーチングにわずかな亀裂が発生している。また、降伏変位の繰り返しの影響により鋼管杭と上部フーチングの接合部は $2\delta y$ から $-10\delta y$ の間で徐々に離れ始めた。全体的に $\pm 10\delta y$ までには、鋼管とフーチングとの間にすき間が見られ始め、フーチングのひび割れもその頃より多く見られ始めた。これは降伏変位の繰り返しによる影響と考えられる。

(4) 鋼管杭の中詰めコンクリートの破壊状況

中詰めコンクリートの状況を調査するため、実験終了後ほぼ水平変位を強制的に戻し、鋼管の一部を

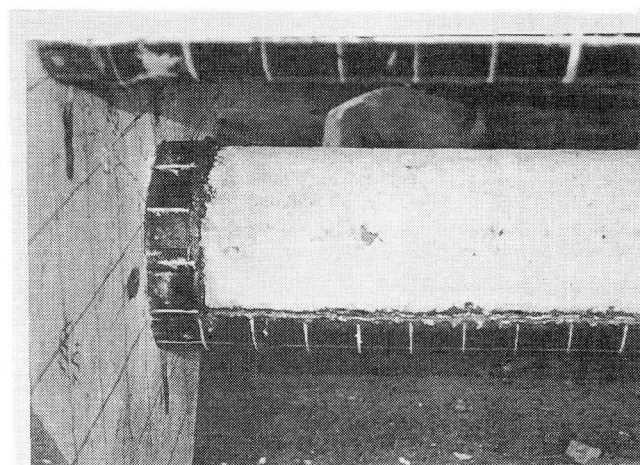


写真-2 中詰めコンクリートの破壊状況
左側が上部フーチング

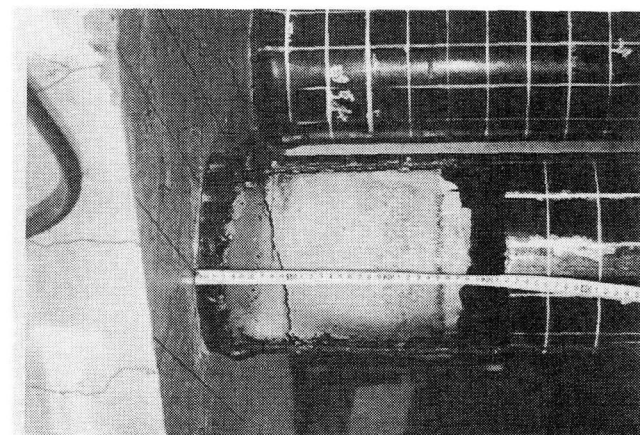


写真-3 中詰めコンクリートの破壊状況
1D中詰めの場合、左側が上部フーチング

はぎとって中詰めコンクリートの破壊状況を調べた。これを写真-2に示す。試験体の中詰めコンクリートには大きな亀裂は見つからなかった。参考までに中詰めコンクリートが鋼管径だけの場合の破壊状況を写真-3に示す。中詰めが少ない場合には大きな亀裂が発生していることがわかる。

4. 結論

本実験は、鋼管杭基礎の繰り返し水平載荷試験を行い、杭頭部の鋼管とフーチングの応力伝達メカニズムを調査したものである。得られた結果をまとめると次のようになる。

- (1) フーチングや底盤内のひずみ状況からフーチング内の鋼管やフープ筋にはひずみが発生していることがわかった。
- (2) 鋼管杭杭頭からフーチング内の鋼管の部分では、フーチング内にはいると急激にひずみが増加し、その符号は逆になっている。

(3) フーチング内に深く入るにつれてひずみは増大していることが判明した。

(4) フープ筋、特に下部フーチングのフープ筋にはひずみが発生しており、応力伝達の機能を果たしていることが示された。このことから、フープ筋はフーチングが回転しないとき、特に有効であると考えられる。

謝辞

本研究を行うにあたり、八戸工業大学工学部建築工学科の毛呂眞助教授、鋼管杭協会には、多大なる御協力を頂きました。ここに各位に対して深く感謝を申し上げます。

参考文献

- 1) 松田秀高、塩井幸武、長谷川明：鋼管杭の中詰めコンクリートの機能に関する考察、土木学会第51回年次学術講演会講演概要、pp. 782-783, 1996. 9
(1996年9月6日受付)