中間土地盤における杭の水平載荷実験

東京電力株式会社		杉山達也	
東電設計株式会社		間瀬辰也	井原和弘
株式会社竹中工務店	正会員	金田一広	薮下直人
株式会社竹中土木	正会員	○野口達也	

1. はじめに

粘着力と内部摩擦角をもつ中間土地盤における単杭および群杭(3×3)の地盤反力を明らかにするため、 模型杭を用いた静的水平載荷実験を行った。ここでは、実験概要および実験結果を示す<sup>1)</sup>。

## 2. 水平載荷実験の概要

実験は 1G 場における大型土槽(平面形: 2.5m×2.5m)を用いた。杭径 60.5mm、管厚 3.2mm、杭長 1.5m の鋼管(STK400)を用い杭先端はピン接合とした。フーチング底面の抵抗を除去するため地盤地表面とフーチング底面の間隔は 20mm とした。すべての杭に載荷前方、後方の深度方向 10 カ所にひずみゲージを貼り付

けた。フーチング各所に変位計を設置し、水平・回転変位を計 測した。載荷は杭頭の単調水平載荷とし、油圧ジャッキを手動 で操作して 60mm を 1 時間程度で載荷した。実験は、同一土槽 内に単杭と群杭(9本、2.5D)を図 1 に示すように設置して、 単杭、群杭の順に静的水平載荷試験を行った。



3. 中間土地盤の作製

中間土地盤の作製は、重量比として山形珪砂(6号):カオリ ン:セメント=50:45:5とし、含水比55%で混合し土槽に打 設した。土槽打設1週間後にボーリングによるコアサンプリン グを行い、強度・剛性確認用の試料を採取した。単杭および群 杭試験日に合わせてコアサンプリング試料から一軸圧縮、超音 波速度試験および非排水三軸圧縮試験を行った。その結果を表 1および表2にそれぞれ示す。単杭・群杭試験では一軸圧縮・ 超音波試験は平均で94~103kN/m<sup>2</sup>、175m/secとなりほぼ均質 な地盤を作製できた。非排水三軸圧縮試験の結果、内部摩擦角 φに比べ粘着力cの影響が大きな地盤であることが確認された。

4. 実験結果

a) 杭頭荷重—杭頭変位関係

杭頭の荷重—変位関係について単杭と群杭それぞれの試験結 果を図2に示す。図中には単杭の杭頭荷重を9倍(群杭の本数) した結果も示した。変位の小さいところでは単杭の9倍程度と なっているが、変位が進むにつれ倍率は5倍程度まで減少し、 水平耐力の群杭効果が見られた。杭位置により地盤反力の発生 傾向が異なるためと考えられる。

図1 模型杭の配置状況

表	1	一軸圧縮、	超音波速度試験結果	Ł
~ `				

		1		-	
採取深度		一軸圧縮強度 q <sub>u</sub> (kN/m <sup>2</sup> )		超音波速度 Vs (m/s)	
採取区間	地表面 -(m)	単杭	群杭	単杭	群杭
土槽上部	0.00~0.32	84.8	83.5	158	155
土槽中部	$0.43 \sim 0.76$	116.3	115.3	196	197
土槽下部	0.76~1.32	110.0	83.9	173	173
平均		103.7	94.2	176	175

表 2 非排水三軸圧縮試験結果

	採取深度		非排水三軸圧縮試験			
			全応力		有効応力	
試験日	採取区間	地表面 -(m)	粘着力 c (kN/m <sup>2</sup> )	内部摩擦角  (°)	粘着力 c' (kN/m <sup>2</sup> )	内部摩擦角
単杭	土槽中部	$0.49 \sim 0.82$	39.4	7.4	35.0	11.2
<b>群</b> 柿	十槽中部	0 49~0 82	31.0	13.2	19.5	24.0



b) 杭の曲率分布

杭のひずみから求めた杭の曲率分布を載荷荷重ごとに図3に示す。曲率が0となる点に着目すると、単杭

キーワード:中間土 水平載荷試験 大型土槽実験 地盤反力 杭基礎 連絡先:〒270-1395 千葉県印西市大塚1-5-1 (株)竹中土木 技術・生産本部(技術研究所) TEL 0476-47-4639 は荷重が増加しても一定であったが、群杭は前方杭(杭8)から後方杭(杭2)になるほど荷重が増加すると下 部に移動した。後方杭になるほど杭前面地盤の塑性化が進行し、地盤の剛性が低下したためと考えられる。



## c) 杭の地盤反力

ひずみ分布から曲率を算定しそれに EI(=4.88×10<sup>10</sup>N・mm<sup>2</sup>)を乗じて曲げモーメントを求めた。ひずみが 2000  $\mu$  以下(弾性限界)のものについて曲げモーメント分布を 5 次関数で近似して、それを微分して地盤反力 を求めた。また曲率分布を 5 次関数で近似し、杭先端変位が 0、杭頭変位が実験データと合うように 2 回積 分して水平変位を求めた。図 4 に単杭試験体、群杭試験体それぞれの近似関数を積分して求めた深度ごとの 地盤反力と水平変位の関係を示す。群杭試験体は中央の杭を対象とした。また、ここでは中間土地盤を建築 基礎構造設計指針 <sup>2</sup>にある粘性土として整理した。Bromsの極限地盤反力は、 $p=9c_{\rm h}$  (kN/m<sup>2</sup>)となる。

ここで p は極限地盤反力(kN/m<sup>2</sup>)、単杭 c<sub>u</sub>: 39.4kPa、群杭 c<sub>u</sub>: 31.0kPa である。単杭試験体の場合は粘 性土地盤のように深度によらず一定という結果が得られ、杭頭変位 12mm 程度の範囲において、GL-0.3m 以浅が Broms の極限地盤反力を超えることから、杭頭変位 50mm 時では Broms の極限地盤反力を大きく上 回ることが想定される。群杭試験体の場合は、載荷前方杭(杭 8)は単杭試験体同様に深度によらず一定の傾向

が見られ、杭頭変位 10mm 程度の範囲において Broms の極限地盤反力に 漸近していくが、図 2 の杭頭荷重-変位関係をみると最大水平耐力の 50% 程度の地盤反力を示していると考えられることから、極限地盤反力は Broms の極限地盤反力を大きく上回ると考えられる。また、中間杭(杭 5)、 後方杭(杭 2)では浅い深度になる方の地盤反力が、より小さくなる傾向が見 られた。前方杭によって地盤が影響を受ける事により後方杭の地盤反力は 小さくなり、その影響は深度が浅い方が顕著に表れていると言える。

也盤反力(kN/m ^ 2)

12 -3

300

250

200

150

100

50





300

250

200

150

100

50

<sub>水平変位(mm)</sub> / 群杭試験体(杭 8)

也盤反力(kN/m^2)

-3

 (8)
 群杭試験体(杭 5)
 群板

 図 4
 地盤反力一水平変位関係図と Broms の極限地盤反力

2 水平変位(mm) 地盤反力(kN/m~2)

12 -3

中間土地盤(cとqのある地盤)を用い、単杭および群杭の地盤反力に着目した水平載荷試験を実施した。 今回作製した中間土地盤の極限地盤反力は、粘性土地盤でのBromsの極限地盤反力を大きく上回ることが考 えられる。本論では杭体線形範囲内での地盤反力の評価のため、今後杭体非線形の領域での地盤反力の評価 を行い、極限地盤反力を明らかにしたい。

(参考文献) 1) 杉山他: 杭基礎の耐震設計法に関する実験的研究-その1 実験の全体概要, -その2 実験結果, -その3 極限地盤反力に対する考察, -その4 群杭効果に対する考察 日本建築学会大会(北海道)学術講演会, 2013 2): 日本建築学会: 建築基礎構造設計指針, 2001