

## 【ノート】

## 横方向群杭効果に関する模型実験

AN EXPERIMENTAL STUDY ON THE LATERAL  
RESISTANCE OF PILE-GROUPS

小坪 清真\*・高西 照彦\*\*・河島 正治\*\*\*

By Seima KOTSUBO, Teruhiko TAKANISHI and Masaharu KAWASHIMA

## 1. ま え が き

著者らは前論<sup>1)</sup>において、横方向群杭効果を求める弾性理論式を導き、玉置ら<sup>2)</sup>および Prakash ら<sup>3)</sup>の実験結果と著者らの理論値とを対比して、著者らの理論の有用性を示した。

玉置らおよび Prakash らの実験においては、いずれも杭頭の変位が比較的大きく、杭周辺地盤がすでに非線型的挙動を示す領域においてその実験が行われている。著者らの理論の妥当性を確かめるためには、その理論値を杭および周辺地盤の変形が線型領域内にある場合においてなされた実験結果と対比することが望ましい。そこで著者らは砂地盤を用いて、以下に述べるような実験を行って、線型と考えられる領域内における理論値と実験値とを比較して、二、三の結果を得たので報告をする。

## 2. 実験装置および実験概要

実験は図-1に示すような装置を用いて行った。振動台上にのせた1.5m×2.5m×1m(深さ)の鋼製箱の中に深さ60cmまで乾燥砂を入れて、模型杭を建て込み、杭頭に水平荷重を加えてそのときの水平荷重と杭の水平変位および上下変位を計測した。

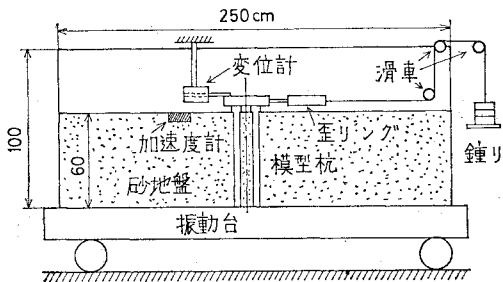


図-1 実験装置

\* 正会員 工博 九州大学教授 工学部土木工学科  
 \*\* 正会員 九州工業大学助教授 開発土木工学科  
 \*\*\* 正会員 工修 三重県土木部道路建設課

実験は、杭頭を完全回転拘束の状態にして、2, 4, 9本杭の3通りの場合について、それぞれ杭間隔をいろいろ変えて杭頭荷重-杭頭水平変位曲線および杭頭上下変位曲線を求めた。

## (1) 模型杭および頂板

模型杭としてはベークライトチューブを用いた。杭頭の鋼製頂板の剛性に比べてこの模型杭の曲げ剛性は非常に小さいので、実験に際しては杭頭回転拘束の条件がほぼ完全に満足される。

杭の形状は円形で、外径12mm、肉厚2mm、長さ60cmである。また、曲げ剛性は $1.45 \times 10^4 \text{ kg} \cdot \text{cm}^2$ である。杭の表面には、地盤との間にすべりが生じないように膠で細砂が付着させてある。

頂板は15cm×15cm×2.3cm(厚さ)の鋼製板で、所定の杭間隔を示す位置にボルト穴があげてある。模型杭は図-2に示すような剛製のカップリングによって頂板に完全固定されている。

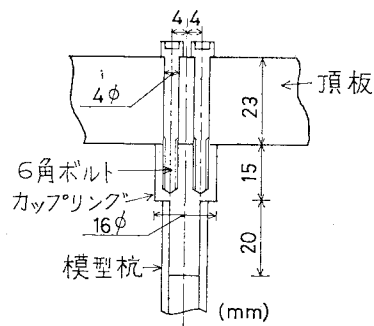


図-2 模型杭の頭部

## (2) 実験地盤

実験地盤は各実験を通じていつも同質同一の地盤でなければならない。本実験ではおのおのの実験に際して比較的容易に同質同一の状態に調整しやすいことを考慮して、地盤材料として乾燥砂を用いた。実験に用いた乾燥砂の粒径加積曲線を図-3に示す。模型地盤のせん断弾

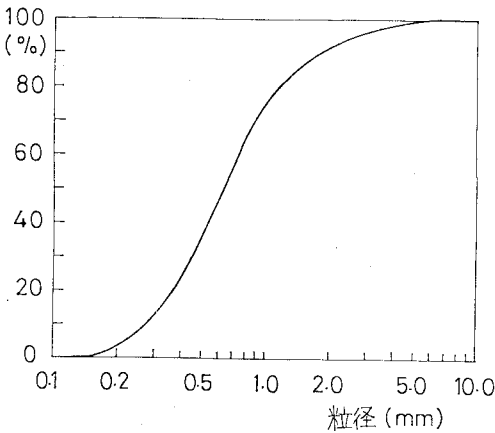


図-3 模型砂地盤の粒径加積曲線

性定数は模型砂地盤の振動試験を行って定めた。その結果、せん断弾性定数  $G=20 \text{ kg/cm}^2$  であった。なお、乾燥砂の単位体積重量は  $1.50 \times 10^{-3} \text{ kg/cm}^3$  である。

(3) 実験方法

模型杭を所定の杭配置で頂板に取付けた後、鋼製箱の中央部の砂地盤の砂を取り除き、鋼製箱の底部に頂板が水平になるように模型杭を設置する。杭と杭との間に砂がきちんとはいるように注意して、軽く締め固めながら、60 cm の深さまで砂を埋め戻す。

模型杭はただ鋼製箱の底部にそのまま置かれただけであるから、理論解析におけるように杭下端がヒンジであるという条件は厳密には満足されていない。しかし、Chang の式によって検討した結果、杭の第1不動点は大きく見積っても地表面下 8 cm であるから、杭下端の固定条件の相違が模型杭の水平変位に与える影響はほとんど無視してよいと考えられる。また、理論解析結果によれば、杭長が 40 cm を越えれば杭先端での変形曲線の接線の勾配はほとんど 0 とみなしてよい。

さて、上述のようにして模型杭を実験地盤に建て込んだ後、地表面の加速度を 500 gal (一定) として、10 Hz で 10 分間加振して締め固める。頂板にひずみリングを取付けた後さらに 2 分間加振する。頂板が水平に保たれていることを確認した後、図-1 に示す荷重装置によって次々におもりを増加していき、杭頭水平荷重は図-1 に示すひずみリングに貼付したひずみゲージを用いて、杭頭水平変位は差動トランス型変位計を用いて測定し、両者を電磁オシログラフに記録した。

杭頭水平荷重は、周辺地盤の変形が線型範囲にあるとみなしてよい最大の杭頭水平変位 (約 0.06 mm) までの間で 4, 5 個の測定値が得られるように選んだ。

実験は同一の杭配置について 3 回行い、それぞれ荷重-水平変位曲線からその勾配を求めて、3 者の平均をと

り、一つの杭配置に対する荷重と変位の比を得た。各杭配置に対する荷重-水平変位曲線を 図-4 (a), (b), (c) に示す。図中  $l/d$  は杭間隔と杭径の比である。また、図中の実線はそれぞれ実験値に最もよく合うように引かれた直線であり、点線、一点鎖線および二点鎖線は理論値を示す直線である。

測定値には多少のばらつきがあるが、この種の実験としては各場合に対する測定値がそれぞれ原点を通る直線

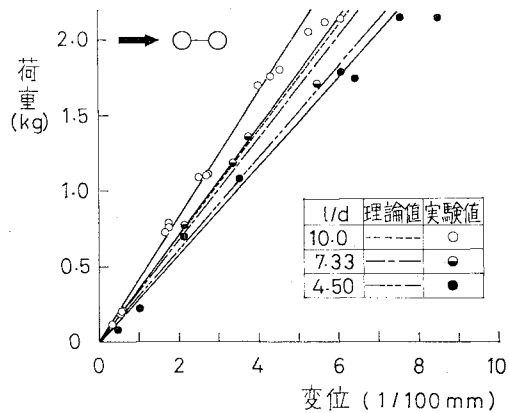


図-4 (a) 荷重-変位曲線 (2本杭)

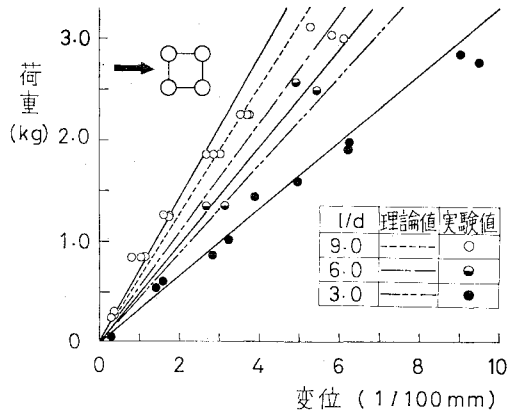


図-4 (b) 荷重-変位曲線 (4本杭)

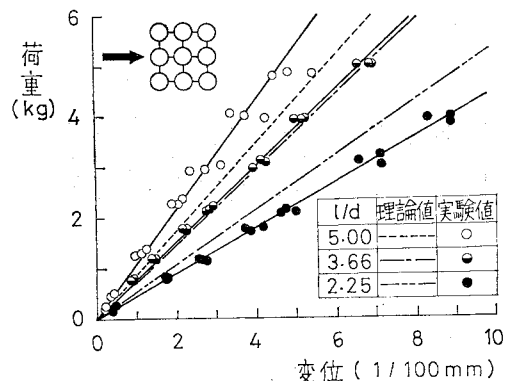


図-4 (c) 荷重-変位曲線 (9本杭)

上に比較的よくのっているといってもよいであろう。

### 3. 実験結果ならびに考察

本論における群杭効果  $e_n$  は次式の定義式を採用した。

$$e_n = \frac{Q_n}{nQ_1} \dots\dots\dots(1)$$

ここに、 $n$  は杭本数、 $Q_1$ 、 $Q_n$  はそれぞれ単杭および群杭に単位の変位を生じさせるのに必要な杭頭水平荷重である。

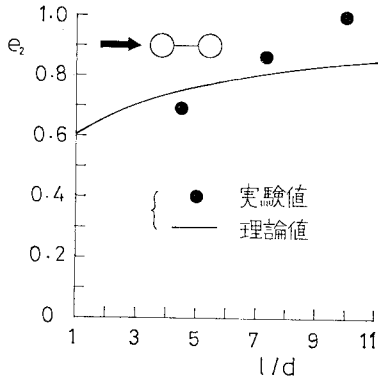


図-5 群杭効果 (2本杭)

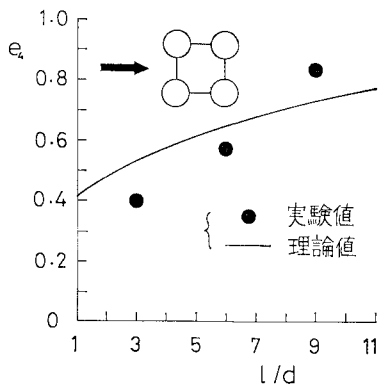


図-6 群杭効果 (4本杭)

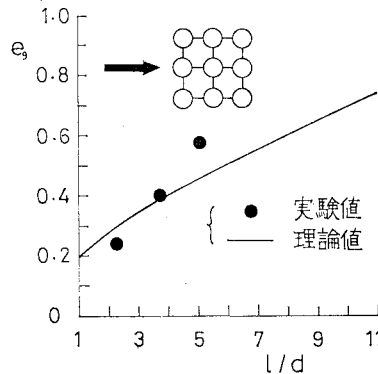


図-7 群杭効果 (9本杭)

$Q_1$  を実験的に求めるには、単杭について、その杭頭の回転を拘束した状態のまま杭頭に水平荷重を加えて、杭頭の水平変位を測定しなければならない。したがって、 $Q_1$  を定義通りに実験的に厳密に求めることは困難であるので、本論においては2本杭について、両杭の間隔をできるだけ大きくとって、杭並び方向に水平荷重を加えて  $Q_2$  を求め

$$Q_1 = \frac{Q_2}{2} \dots\dots\dots(2)$$

によって  $Q_1$  を定めた。本論では両杭の間隔  $l$  と杭径  $d$  との比は  $l/d=10$  を採用した。それは、 $l/d \geq 10$  であれば2本杭の場合に対する群杭効果  $e_2$  は  $e_2=1$  とみなせる、すなわち片方の杭の変位による地盤の変形が他方の杭の変形にほとんど影響をおよぼさないと考えてよいからである。

2本杭 (杭並び方向加力)、4本杭、9本杭に対する実験結果を 図-5, 6, 7 に示す。●印は実験値であり、実線は著者らの理論値である。いずれの場合も理論値と実験値とは比較的よく一致している。

一般に  $l/d$  が大きくなると、群杭効果  $e_n$  の理論値は実験値よりも小さくなるという傾向は、前論の場合と同様である。しかし、前論における 図-8, 9 を参照すれば、 $l/d$  が大きいところでは、杭周辺地盤の変位がすでに非線型領域にはいっている玉置らの実験値と著者らの実験値とを比較すれば、著者らの実験値の方がより理論値に近いことがわかる。

模型杭の頂板に水平力を加えると、一般に着力点に近い方の杭頭は沈下し、遠い方の杭頭は浮上る。図-1 に

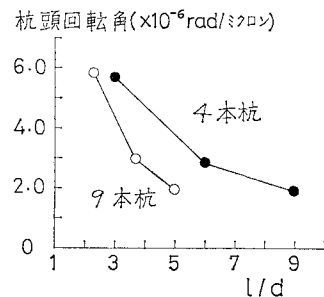


図-8 一定の水平変位 (1 ミクロン) に対する杭頭回転角

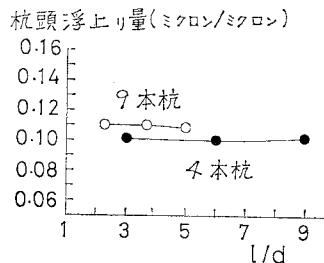


図-9 単位の水平変位による杭頭の浮上り量

示す実験装置において、頂板の4隅にそれぞれ差動トランス型変位計（最大ストローク 0.25 mm）を設置して杭頭の上下変位を測定した。

水平荷重と杭頭の水平変位および上下変位との関係は、実験の範囲内ではよく一直線上にのっていた。

4本杭および9本杭に対する実験結果を図-8, 9に示す。図-8は横軸に杭間隔と杭径との比  $l/d$  をとり、縦軸には一定の水平変位（1マイクロン）に対する模型杭の杭頭の回転角の大きさをとって結果を表示してある。杭間隔が大きくなるに従って一定の水平変位に対する杭頭回転角は急速に減少していることがわかる。

図-9は  $l/d$  と単位の水平変位に対する模型杭の一番

外側の杭の杭頭の浮上り量の大きさとの関係を示したものである。同図から単位の水平変位に対する各模型杭の一番外側の杭の杭頭の浮上り量の大きさは  $l/d$  に関係なくほぼ一定で水平変位の約  $1/10$  であることがわかる。

#### 参考文献

- 1) 小坪清貞・高西照彦：横方向群杭効果の理論的考察，土木学会論文報告集 No. 241, 1975-9.
- 2) 玉置 脩・三橋晃司・今井常雄：水平抵抗における群杭効果の研究，土木学会論文報告集 No. 192, 1971-8.
- 3) Prakash S. and D. Saran: Behaviour of laterally loaded piles in cohesive soil, Proc. 3rd. Asian Regional Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, 1967.

(1975.9.30・受付)