

群グイの水平抵抗に関する研究

齋藤 二郎
崎本 純治

Study on Lateral Resistance of Group Piles

Jiro Saito
Junji Sakimoto

Abstract

Although the behaviors of single piles subjected to lateral loads have been clarified by many studies based on both theoretical considerations and experiments, group pile behaviors have not yet been clearly understood. Therefore, the authors performed lateral load tests on field model group piles in order to clarify group pile behaviors, especially group effect. The model group piles used in these tests consisted of 9 piles, 60.5 mm diameter, arranged in a square pattern with each pile top fixed with reinforced concrete. Spaces were left open between footings and ground so that base shear would not occur. Tests of three cases, pile spacings of 2.5 D, 5 D and 10 D (D: pile diameter), were carried out. The test ground was virgin soil of Kanto loam. As a result of the tests, it was found that group effect is most remarkable in the case of pile spacing of 2.5 D, while almost no effect was seen in the case of pile spacing of 10 D. The efficiencies of group piles in the cases of spacings of 10 D, 5 D and 2.5 D were 0.9, 0.6 and 0.4, respectively. Sharing of load by each pile in a group is a maximum at front corner piles and a minimum at the center pile.

概要

水平力を受ける単グイの挙動に関しては、理論的、実験的にかなり解明されているが、群グイの挙動に関しては、殆んど明確にされていない。そこで、野外模型群グイによる水平載荷試験を実施し、群グイの挙動、とくに群グイ効果について調べた。試験に用いた群グイ試験体は、 $\phi 60.5$ mm の鋼管9本を正方形配置したもので、クイ頭はコンクリートフーチングで固定している。また、フーチングと地盤の間にはすきまを設け摩擦力が生じないようにしている。クイ間隔は2.5D, 5D, 10D (D: クイ直径) の3ケースとした。実験地盤は自然堆積関東ロームである。実験の結果、群グイ効果はクイ間隔の狭い2.5Dの場合が一番顕著で $e=0.4$ 、クイ間隔5Dで $e=0.6$ 、クイ間隔の広い10Dになると $e=0.9$ とほとんど現われないことがわかった。また、群グイ各クイの分担荷重は前列端部グイが最大で、中心グイが最小であることなどが明らかになった。

1. まえがき

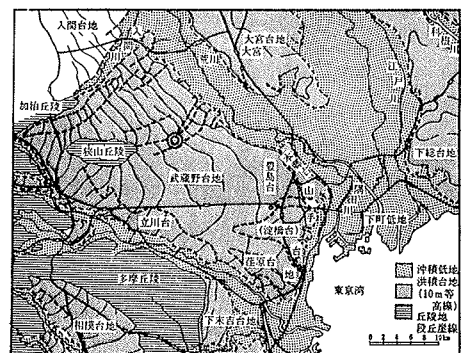
群グイの水平抵抗を算定する際、群グイ効果、つまり群グイの効率低下が問題となる。この群グイ効果は地盤の種類、クイ間隔、クイ本数、固定度などによって変化するとされ、いくつか算定式も提案されているがいまだに決定的なものはない。本研究は、群グイ効果に影響するこれらのファクターのうちクイ間隔に着目し、野外における模型群グイの水平載荷試験を行なって、クイ間隔の違いによる群グイ効果の差異、群グイ中の各クイの挙動の差異、クイ間の地盤あるいは周辺地盤の挙動の差異を調べたものである。試験結果が群グイ効果の実用的な

算定手法の確立のための一助となれば幸いである。

2. 試験概要

2.1. 試験地盤

本試験の実施場所である当社技術研究所は東京都清瀬市下清戸地内に所在して



図一 試験地付近の地形区分

おり、図一1において武蔵野台地に属し(図中◎印)、地盤は主として関東ローム層(GL-0.5m~GL-7m)と段丘砂レキ層によって構成されている。試験は表層部の腐植物を含んだ層を1m 取除いた自然堆積の関東ローム層を対象に行なった。試験地盤の土質試験結果を図一2に示す。なお、一軸圧縮試験における破壊ひずみは2%程度であり、地下水位はGL-15m 前後である。

深 度 (m)	柱 状 図	単位体積重量 γ (kg/cm ³)		含水比 w (%)		一軸圧縮強度 q_u (kg/cm ²)		変形係数 E (kg/cm ²)					
		1,1	1,2	110	120	1	2	一軸		LLP			
								150	200	20	40		
-1.0													
-2.0													

図一2 土質試験結果

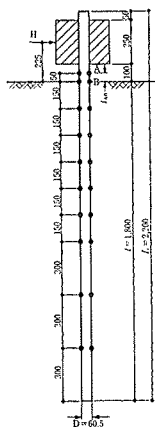
2.2. 試験体

模型ゲイは、地盤の固さとクイの剛性ならびに施工性を考慮して表一1に示す諸元の鋼管を使用した。

材 質	クイ径 (mm)	肉厚 (mm)	クイ長 (mm)	弾性係数 (kg/cm ²)	断面積 (cm ²)	断面2次モーメント (cm ⁴)
一般構造用炭素鋼管(STK41)	D=60.5	t=2.3	L=2,200	E=2.1×10 ⁴	A=4.21	I=17.8334

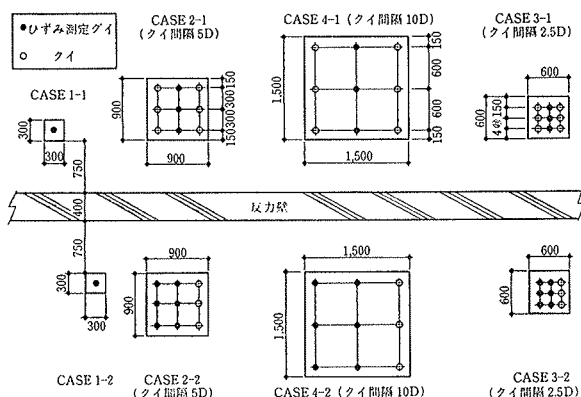
表一1 模型ゲイの諸元

本試験では各クイの挙動を明らかにするためクイのひずみを測定した。ひずみの測定にはひずみゲージを使用した。図一3にひずみ測定位置を示す。ひずみゲージはアラルダイトで厚くコーティングして打設時の衝撃による破損と水の浸入による絶縁抵抗の劣化を防ぐようにした。コーティングによるクイ剛性の増加はキャリブレーション試験結果によると4%以下を示し無視した。



図一3 ひずみ測定位置

試験体として単ゲイ2体、群ゲイ6体を作成した。同一条件の試験体が2体あるのは、試験の信頼性を確認するためである。図一4に試験体の配置を示す。図中の黒丸印はひずみ測定ゲイを示す。群ゲイはクイ本数9本の正方形配置とし、クイ頭部を厚さ25cmのRCフーチングで結合してクイ頭固定とした。クイ間隔は2.5D, 5D, 10Dの3ケースとした。クイの地盤への根入長 l はクイが半無限長のクイとみなせる条件、 $\beta l > 3$ を満足するように $l=180$ cmとした。クイの打込みは真矢打ち方式によった。試験後に試験体を取り出して調べた結果、打込みの鉛直精度は1/100以内に納まっており良好であったことが確認された。

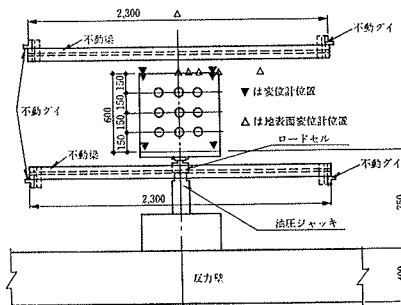


図一4 試験体の配置

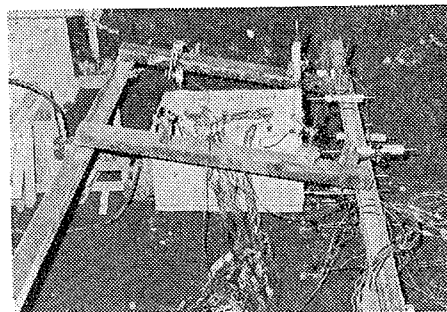
2.3. 試験方法および試験装置

加力は急速多サイクル方式とした。荷重保持時間は処女荷重時、履歴荷重時とも1~2分とした。図一5に載荷試験装置と計測器の配置を示す(各試験ケースを代表してクイ間隔2.5Dについて示した)。

加力高さ(地上からフーチング中央点までの距離)は22.5cmである。フーチングに加力した水平力をすべてクイに作用させるためフーチングと地盤の間にすきまを設けてベースシアーを切った。載荷試験状況を写真一1に示す。



図一5 載荷試験装置図



写真一1 載荷試験状況

3. 試験結果とその考察

3.1. 水平変位

図一6は単ゲイ、群ゲイの水平荷重(処女荷重)とフーチング水平変位(フーチング中央点変位)を両対数表

示したものである。なお以後ことわらないかぎりフーチング水平変位はフーチング中央点の水平変位を示す。単グイに関しては Case 1-1 と Case 1-2 で多少変位性状が異なっているがこれは Case 1-2 の試験体位置で若干土質に差があったのが原因と思われる。しかし群グイに関しては同一条件での 2 体の試験結果は良い対応を示しており、試験地盤の均一性が確認された。

同一荷重に対する群グイのフーチング水平変位はクイ間隔が狭くなるにしたがい大きくなっている。つまりクイ間隔 10 D で最小、2.5 D で最大を示した。

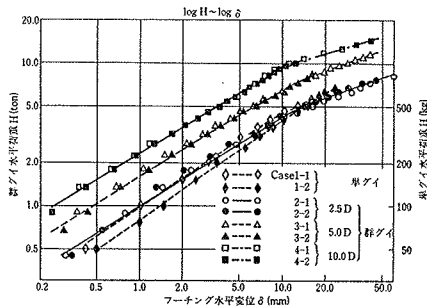


図-6 荷重-フーチング水平変位

3.2. 曲げモーメント

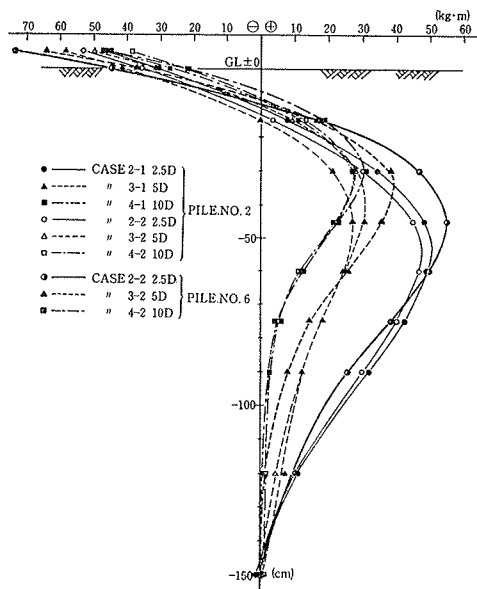


図-7 曲げモーメント分布

図-7 は各々のフーチングに水平力 3,600 kg (クイ 1 本当りの平均荷重 400 kg) が作用したときの No. 2 グイ, No. 6 グイの曲げモーメント分布を示す。ここに No. 2 グイ, No. 6 グイとは図-8 に示す

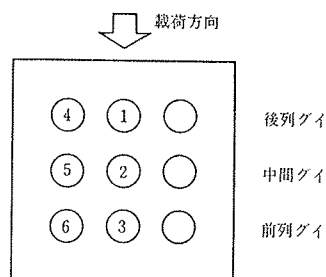


図-8 クイ番号

ようにそれぞれ中心グイ, 前列端部グイのことである。地中部最大曲げモーメントとクイ頭部曲げモーメントはいずれもクイ間隔が 10 D, 5 D, 2.5 D と狭くなるにしたがって大きくなっている。また地中部最大曲げモーメント, クイ頭部曲げモーメントとも前列端部グイが大きく, 中心グイが小さい。しかしこの傾向はクイ間隔の広い 10 D ではあまりみられず, 前列端部グイと中心グイの曲げモーメントにほとんど差がない。地中部最大曲げモーメント発生位置はクイ間隔が狭くなるにしたがって深くなっている。

3.3. 地盤反力

図-9 はクイの水平抵抗に大きく寄与する地表面付近

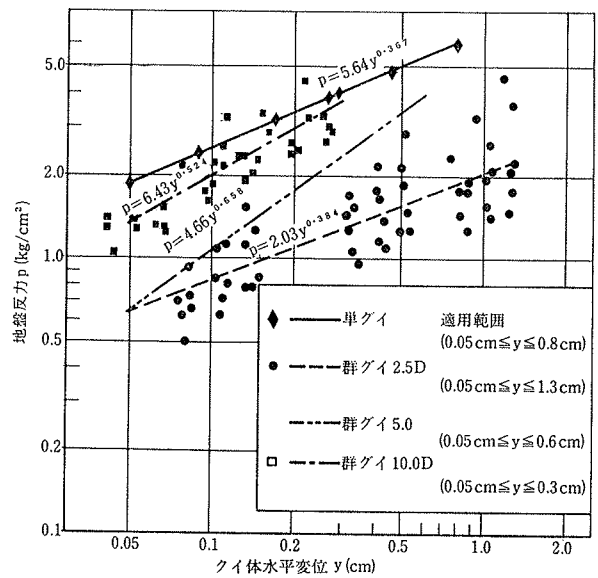


図-9 地盤反力とクイ体水平変位

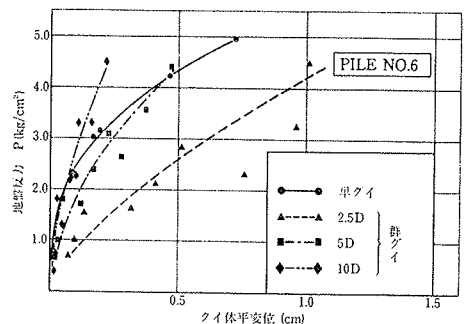
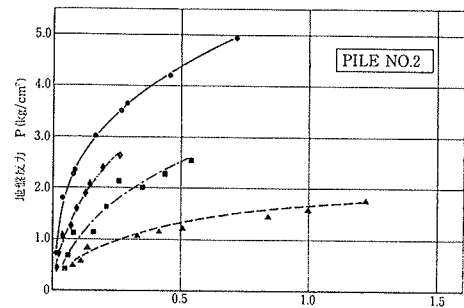


図-10 No. 2 グイ, No. 6 グイの地盤反力とクイ体水平変位

(試験地盤面から -10 cm, -20 cm, -30 cm) における地盤反力とクイ体水平変位の関係を両対数表示したものである。同一変位に対する地盤反力は単グイが一番大きく、群グイのクイ間隔 10 D がそれとほぼ同じ大きさを示し、5 D, 2.5 D とクイ間隔が狭くなるにしたがって小さくなる傾向が認められた。これは群グイ各クイの相互干渉による影響がクイ間隔の狭いものに大きく現われるためと思われる。図-10に No. 2 グイと No. 6 グイの地盤反力とクイ体水平変位の関係を示す。中心グイである No. 2 グイの地盤反力はクイ間隔の広い 10 D においても単グイの地盤反力の 8 割程度で少なからず群グイとしての影響がみられる。これに対し前列端部グイである No. 6 グイの地盤反力はクイ間隔 5 D でも単グイとほぼ等しく群グイによる低減効果がみられない。以上のことから群グイ各クイに作用する地盤反力がクイ間隔だけでなく、クイ位置によっても相違することがわかる。またクイ間隔 2.5 D における No. 2 グイの地盤反力はクイ体水平変位の増大にもかかわらず変化していない。これは群グイ各クイの相互干渉がこの条件のとき最大となり、地盤が塑性化したためと思われる。

3.4. 横方向地盤反力係数

図-11に Y. L. Chang の式を用いて逆算した横方向地盤反力係数 (以後K値と呼ぶ) とフーチング水平変位との関係を示した。ここで群グイのK値の算定に際してはクイ頭拘束条件は完全固定とし、荷重はクイ1本当りに作用する平均荷重としている。単グイ、群グイ各ケースともK値は水平変位が大きくなるにしたがって減少し、水平変位が 0.1 cm 以上の領域ではほぼ対数比例的に減少している。K値とクイ間隔の間隔は同一変位に対してクイ間隔 10 D のK値が最大で、クイ間隔が 5 D, 2.5 D と狭くなるにしたがってK値は小さくなっている。K値を単グイと群グイについて比較すると群グイのK値は単

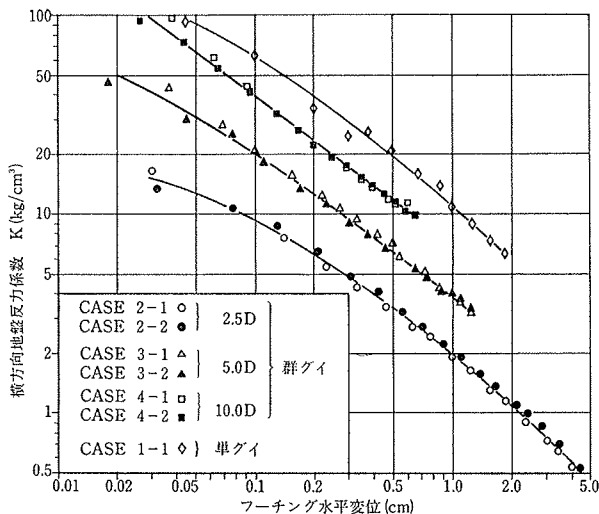


図-11 横方向地盤反力係数とフーチング水平変位

グイのK値よりも小さくなっている。群グイの中で最大の値を示すクイ間隔 10 D で単グイの 6~8 割, クイ間隔 5 D で 3~4 割, 最もクイ間隔の狭い 2.5 D では 2 割程度に減少している。以上の結果からクイ頭自由の単グイ試験から求めたK値をクイ頭固定の群グイに適用する場合は、クイ間隔に応じたK値の低減を考えなければならないことがわかる。

3.5. 群グイ各クイの分担荷重

群グイ各クイの分担荷重の大きさをわかりやすく表現するために各クイの分担荷重比を次式により算定した。

$$i \text{ グイの分担荷重比 } G_i = \frac{S_i}{\sum S_i} / n$$

ここに、 S_i : i グイのクイ頭せん断力

$$S_i = (M_A - M_B) / l_{AB}, \text{ (図-3 参照)}$$

n : クイ本数, 本試験では $n=9$

図-12に群グイ各クイの分担荷重比とフーチング水平変位との関係を示す。分担荷重比は各クイ間隔に共通して前列端部グイである No. 6 グイが 1.2~1.3 と大きく、中心グイである No. 2 グイが 0.8 と小さくなっている。これは各クイの相互干渉による影響が No. 6 グイの位置で小さく、No. 2 グイの位置で大きいことに起因する。No. 2 グイはクイ間隔の広い 10 D においても 分担荷重比が 0.8 を示し、位置的に他グイの干渉を受けやすいことがわかる。クイ位置と分担荷重比の関係についてみると後列グイの No. 1 グイと No. 4 グイの分担荷重比は水平変位の増加に伴い小さくなる傾向を示し、前列グイの No. 3 グイと No. 6 グイは逆に水平変位の増加に伴い大きくなる傾向を示す。中間グイの No. 2 グイと No. 5 グ

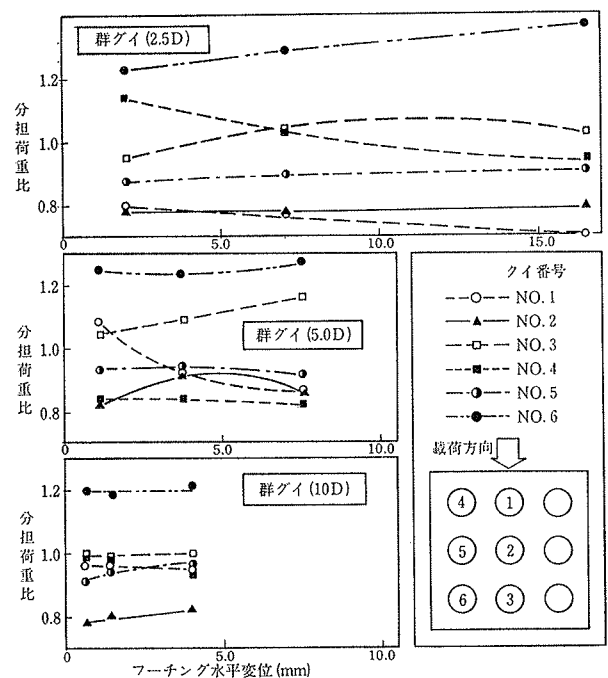


図-12 分担荷重比とフーチング水平変位

イはクイの水平変位の変化にほとんど関係なく一定の分担荷重比を示した。

3.6. 群グイ効果

群グイ効率すなわち群グイ効果 e を以下に示す一般的な算定式によって求めた。

$$\begin{aligned}
 \text{群グイ効果 } e_P &= \frac{\text{群グイの支持力}}{(\text{単グイの支持力} \times \text{群グイのクイ本数})} \\
 \text{群グイ効果 } e_D &= \frac{\text{一定荷重に対する単グイの変位}}{(\text{一定荷重} \times \text{クイの本数}) \text{に対する群グイの変位}}
 \end{aligned}$$

ここに、単グイはクイ頭自由の結果を Y. L. Chang の式によりクイ頭固定に変換したものをを用い、単グイ、群グイの支持力は一定変位に対する荷重をとった。なお一定変位として $\delta=2\text{mm}$, 5mm を与え、一定荷重として $P=200\text{ kg}$, 400 kg を用いた。図-13に群グイ効果 e_P , e_D とクイ間隔 λ をクイ径 D で除した λ/D の関係をしめす。群グイ効果 e_P , e_D はクイ間隔が狭くなるにしたがって小さくなる傾向にある。すなわち群グイの影響はクイ間隔が狭くなるほど顕著に現われる傾向を示した。クイ間隔 $10D$, $5D$, $2.5D$ に対して e_P は 0.9 , 0.6 , 0.4 , e_D は $0.7 \sim 0.9$, 0.4 , 0.2 である。

以上に示した群グイ効果はクイ頭の回転が拘束された条件で算定されたものであるが、実際の群グイには“ロッキング現象”が生じる。そこで回転に基づく固定度³⁾を考慮した群グイ効果 e_D' の算定を行なった。結果を図-13に示す。固定度を考慮した群グイ効果 e_D' は固定度を考慮していない群グイ効果 e_D に比べてクイ間隔 $10D$ ではほとんど差がないが、クイ間隔が狭くなった $5D$, $2.5D$ では明らかな差が認められる。各種算定法による各クイ間隔の群グイ効果 e について調べたが、以下に群グイ周辺地盤の挙動に基づく群グイ効果の検討を行なった。図-14は前列グイのクイ中心から $2.5D$ 離れた位置における載荷直角方向の地表面水平変位分布を示す。なお、この変位分布は地表面におけるクイ体水平変位を各

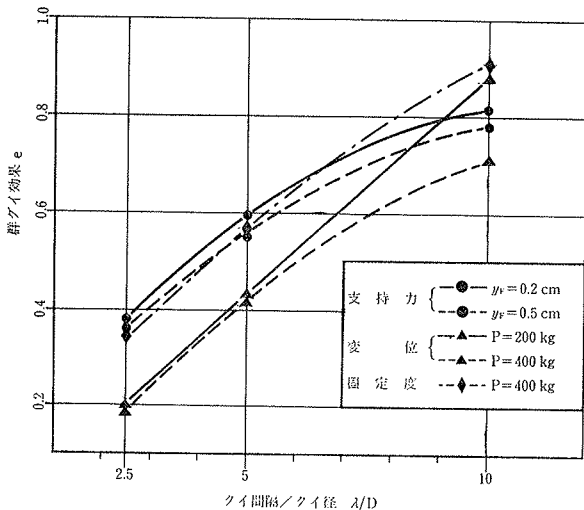


図-13 群グイ効果とクイ間隔

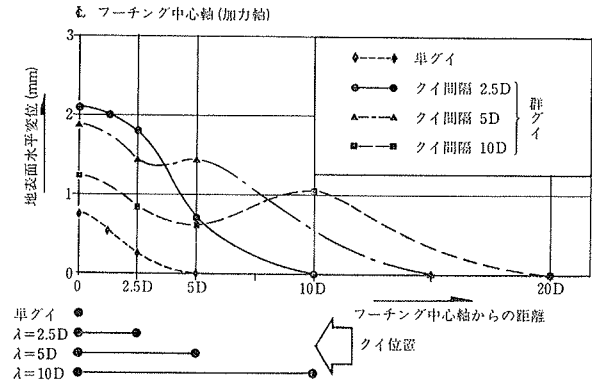


図-14 地表面変位分布

試験ケースとも 5 mm として求めたものである。フーチング中心軸における地表面水平変位はクイ間隔の狭い、 $2.5D$ が最大となり、クイ間隔 $5D$, $10D$, 単グイの順に小さくなっている。地表面水平変位は群グイ各クイの相互干渉が顕著になるほど大きく現われるため、クイ間隔が狭いものほど群グイによる影響を大きく受けていることがわかる。地表面変位分布は、クイ間隔 $2.5D$ の場合、単グイと類似した変位分布を示す。つまり各クイとクイにはさまれた地盤が一体となり、あたかも群グイ全体が1本のクイとして挙動しているような分布を示す。クイ間隔 $10D$ の場合、各クイ位置で変位が大きく、各クイの中間位置で変位が小さくなるような分布を示し、各クイが単グイ的に挙動しているのがわかる。クイ間隔 $5D$ の場合はクイ間隔 $10D$ と $2.5D$ の中間的な傾向をしめしている。

4. あとがき

関東ローム層において、長柱条件を満たすクイ間隔 $10D$, $5D$, $2.5D$ の群グイ（クイ本数9本の正方形配置）と単グイについて水平加力試験を行なった結果以下ことが判明した。

(1) クイ間隔の狭いものほど群グイ効果は顕著に現われ、クイ間隔 $10D$, $5D$, $2.5D$ のそれぞれに対し、群グイ効果 e は 0.9 , 0.6 , 0.4 を示した。

(2) 群グイ各クイの分担荷重と地盤反力はいずれも前列端部グイが最大で、中心グイが最小を示した。また、クイ間隔の変化に対して各クイの分担荷重にはあまり差が認められないが、地盤反力はクイ間隔が狭いものほど小さくなっている。

参考文献

- 宮本, 沢口: 群グイの横抵抗に対するクイ間隔の影響(第一報), 港湾技術研究所報告, Vol. 10, No. 4, (1971. 12)
- 西田, 他: 群杭の水平抵抗分担率と群杭効果に関する実験, 金沢大学工学部紀要, Vol. 7, No. 1, (1973. 2)
- 玉置, 他: 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)