

金沢大学工学部 正 員 西田 義親
 同 学生員 ○ 北 哲郎
 同 学生員 山本 善行
 大林組 北川 伸衛

1. まえがき

群杭の水平支持力に関する研究は、玉置・今井氏を初め多くの研究がなされているが、群杭の効果とくに間隔くい本数との関係を明らかにしてゆく上で、群杭中の各杭の荷重分担率の特性は特に重要な要素であると思われる。しかし、この分担率に関する特性は、今の所まだ明確にはされていないので、我々は小規模ながら群杭中の各杭の水平抵抗を測定し、杭間隔、杭本数と結びつけて分担率の特性を明らかにしようと試みたものである。その結果をここに報告する。

2. 実験装置並びに実験手法

(A) 図-1-2は実験装置の概略を示したものである。

杭固定穴の最小中心間隔距離は12mmで、本実験で使

した模型杭(径=φ6mm, 根入れ長16.5cm, $EW=0.0451$)の2倍であり、杭固定板の下部、側面はローラーで支持されている。砂地盤の締め固めは、 $D_{60}/D_{10}=2.72$, $\gamma=1.601\text{t/m}^3$ のものを3層に分けて、6.8kgの円盤を約60cm

の高さから各層49回ずつ自然落下させて締め固め、平均相

対密度 $D_r=0.781$ のものを使用した。また15mm変位時の水平抵抗をもって砂箱中の各位置による強度のバラツキを検討した結果、平均値 $P_{0H=15\text{mm}}=8.8\text{kg}$ 、標準偏差0.7kgとなりかなりのバラツキが見られた。なお、くい頭の固定度は載荷試験より、ほぼ完全固定とみなすことができた。

本実験内容は大別して図-2に示すようにA Group, B Groupの2種類に分けられる。

(B) 分担率測定法(図-2参照)

本実験が主眼を置いた分担率については、地表面上の杭部の曲げモーメントが直線分布する故、ひずみを測定し次式を用いて杭頭せん断力から各杭の水平抵抗力(Q_i)、並びに分担率(S_i)を算出したのである。

$$Q_i(\text{せん断力}) = \frac{dM}{dx} = \frac{M_A - M_B}{l} = \frac{(E_A - E_B)EW}{l} = P_i(\text{水平支持力}) \quad (1)$$

$$S_i(\text{分担率}) = \frac{Q_i}{Q_n} = \frac{Q_i}{Q_1 + Q_2 + \dots + Q_i + \dots + Q_n} \quad (2)$$

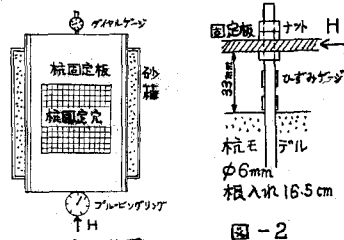


図-1 実験装置

図-2

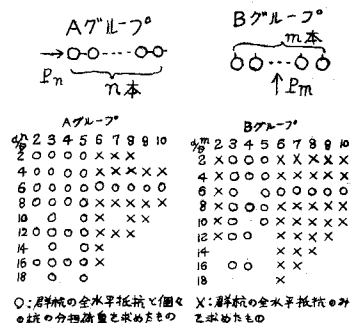
○: 群杭の全水平抵抗と個々の杭の分担量を求めるための
×: 群杭の全水平抵抗のみを求めたもの

図-3

(1)式によって各杭の水平抵抗力を算出し、フルーベングから測定した全水平抵抗力(P_n)と比較して描いた荷重-変位曲線が図-4である。 P_n と Q_n は大体よく一致していることがわかる。変位が5mm付近

を越える荷重には、杭自体の降伏が見られたので、その場合は、あらかじめ載荷試験より得た $M-\varepsilon$ 図から M_A, M_B を読み取り、同様にして (1) 式から Q_i を求めたのであるが、多少誤差が出てきたものと思う。しかし、杭自体が降伏しない範囲の水平変位内での P_n と Q_n との誤差は、他のほとんどのデータについても約 8% 以内に押えることができたので、我々の初期の目的はほぼ達成できたものと思う。

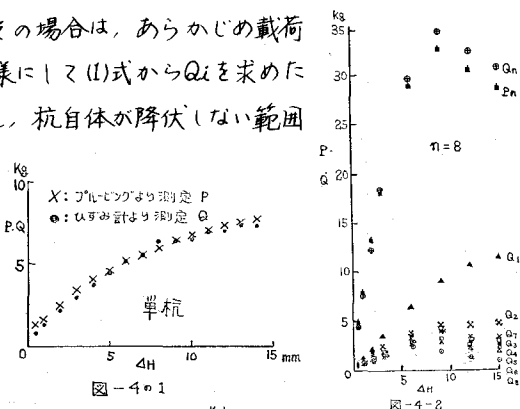


図-4-1

3. 群杭 A Group の実験結果と考察

図-5 に群杭の全水平抵抗力と杭間隔 (d/D) との間係を示したがこれによると、杭間隔が 10~12 倍あたりから群杭の相互干渉の影響が小さくなってゆくのがわかり、本数が増した場合にも同様な事が観察される。

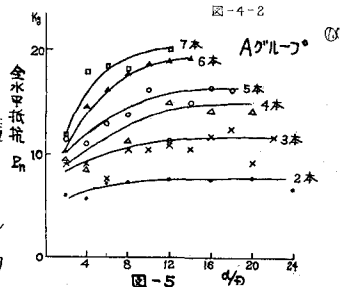


図-5

荷重の進行と共に、群杭中の各杭の水平抵抗の変化は、図-4 で 3 示したが、A Group に於ては、常に先頭の杭が負担する水平抵抗が大きくなり、変位の進行と共に、やがて最後方の杭から順に水平抵抗が減少してゆく現象がみられた。これは各杭の破壊領域の進行とあいまって、前杭とにはさまれた後杭前面の砂地盤が、前杭による主働破壊、後方による受働砂壊によって次第に強度を失い、水平支持力が減少するものと解釈される。それ故、この現象は杭間隔が小さいほど顕著にみられた。

図-6 は、杭間隔 4 倍に於ける変位の進行と分担率の変化を示したものであるが、 ΔH が 2~6 mm 間では分担率には余り変化が見られないことがわかる。変位がこれを越えるころから分担率に大きな変化が見られるのは上に述べたように、後方の杭から順に水平抵抗が減少してくるからである。故に、分担率は後方杭の水平抵抗が減少する以前はほぼ同程度の割合で進行してゆくことが観察されたので、杭間隔、杭本数と分担率との特性を明らかにするため水平変位 $\Delta H = 3$ mm に於ける各杭水平抵抗力を基準としてデータをまとめることにした。これらの結果を図-7, 8 に示す。

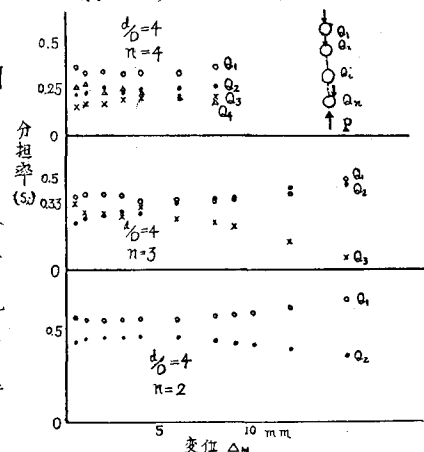


図-6

さて、 $n=2$ 本に於て、最小杭間隔 $d/D=2$ 倍の時の分担率 (S_i) は、先頭杭が全水平抵抗の約 65%、後方杭が約 35% 程度を負担していることがわかり、 d/D が大きくなるに従ってこれらの値は均等に近づき、 $d/D=10\sim12$ 以後では先頭杭が約 55%、後方杭が約 45% の一定値に収束している事が観察される。即ち、A Group に於ては、杭間隔が 10~12 倍位まで、群杭の相互干渉の影響が大きい範囲とわけられる。これは図-5 で示したことが分担率の方からみても証明されたものと思われる。

本数 n が 3 本、4 本、5 本では、先頭杭、中間杭、最後方杭の分担率はこの図からは、約 $S_1=44\%$, $S_2=32\%$, $S_3=24\%$ ($n=3$), $S_1=32\%$, $S_2=23\%$, $S_3=24\%$, $S_4=18\%$ ($n=4$), $S_1=29\%$, $S_2=20\%$

%、 $S_3=20\%$ 、 $S_4=18\%$ 、 $S_5=15\%$ ($n=5$) 位ずつ負担しており、先端杭は常に最大の水平抵抗力を示し、逆に最後方杭は最小の水平抵抗力を示しているのがわかる。中間杭では分担率はさほどの差異がみとめられず同程度の抵抗を示しているものと思われる。これも又、杭間隔が10~12倍に近づくにつれ均等な抵抗を示すようになり、分担率はどの杭も $100/n\%$ に収束してゆくことがうなずける。

図-8は、今群杭効果に影響を及ぼすと見られる杭間隔 $d/D=6$ 倍時における、先端からい番目の杭の分担率を本数と共にプロットしたものであるが、各群杭グループの傾きに注目すると、 n が大体7本位以上になると、どの杭も分担率にはほとんど差異がみられなくなる。即ち、A Groupのような配列の場合本数が増えると各杭とも均等な水平支持力が得られることが予想され、分担率に差異がみられるのは $n=6$ 本位までであることが考察される。

図-9は、 $d/D=6$ 倍の場合の単杭の支持力に対する群杭中の各杭の水平支持力の割合を各点表わしたものである。なお、全水平抵抗値の中で特にバラツキの大きいデータは一部図-5、8を用いて、修正した値で示した。

これらの値は杭間隔によっても変化するのであるが、紙面の都合上省略することにした。しかし、図-9の値がもつ意味は極めて重要と思われる、今後さらに明確にすることによって、単杭と比較した場合の各杭の支持力を推定することが可能と思われる。

4. 群杭 B Group の実験結果と考察

B Groupの荷重分担率に関しては、今回の実験からは、砂地盤の位置による強度のバラツキ等から全般的な傾向を得ることができなかつたので、ここでは群杭の全水平抵抗の結果と共に特に明確に観察された現象並びに結果を、3報告することにした。

B Groupの全水平支持力は、図-5、10からわかるように、一般にA Groupのものより大きい。又、杭間隔はA Groupと違って大体8~10倍位で、群杭の相互干渉の影響が小さくなることが観察さ

水平変位 $\Delta_H=3\text{mm}$ での群杭中の各杭の荷重分担率

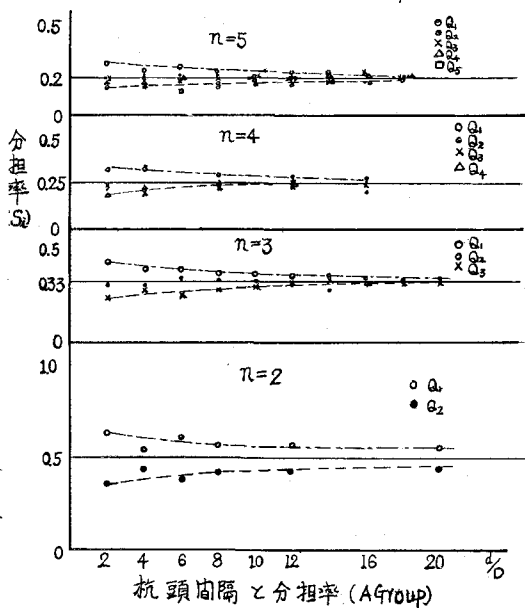


図-7

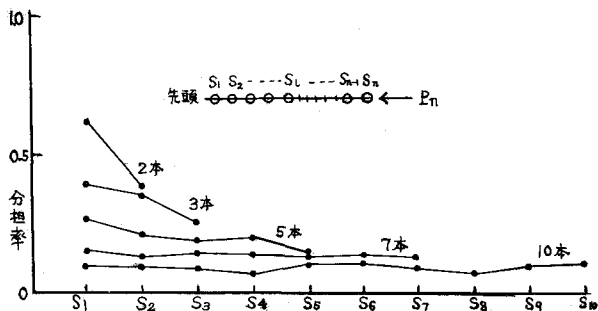


図-8

本数	Aグループ群杭 $d/D=6$ $\Delta H=3\text{mm}$									
	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5	S_6	S_7	S_8	S_9	S_{10}
2	106	65								
3	99	86	62							
4										
5	88	70	62	65	42					
6	76	66	62	71	66	56				
7	67	53	67	60	67	60	53			
8	84	62	52	53	47	43	52	43		
9	66	66	47	47	62	42	42	47	53	
10	56	56	49	33	63	61	49	40	56	(63)

単杭の水平抵抗力を100とした場合の群杭中の各杭の水平抵抗力の割合(%)

図-9

れた。(図-10参照)

一般に B Group の荷重-杭頭変位の関係は、 $m=2$ 本を除いた多数本では 全々の場合に図-12に代表される特性が見られた。これによると $d/D=2$ 倍の時の最終支持力は、 $d/D=6 \sim 8$ 倍位にした時に示す最終支持力と同程度のものが得られることが観察された。この理由として、 $d/D=2$ 倍の時は杭と土が一体となって一種の壁体のような挙動を示すものと考えられる。実際我々は実験後の観察で杭体前面に大きな土塊の盛り上がりを生じているのを観察することができた。分担率の方からみると、図-11に示すように、最初のうちは中央杭より両端杭の方がより大きい抵抗を示しており、やがて土塊の圧縮とすべり面の発生に伴ってこの値が逆転していることからもうなすけると思う。

図-13は、次式で定義した群杭効率 e をプロットしたものである。

$$e = \frac{H_m}{m \times H_1} \times 100$$

H_1 : 単杭水平支持力

H_m : 群杭全水平支持力

5. あとがき

以上、A Group (荷重方向に配列) では、群杭の相互干渉の影響が大きい杭間隔並びに6本以内の本数に於て、各杭の水平支持力分担率に大きな差異がみとめられることがわかり、その

大体の傾向を得ることができたと思う。今回の実験は小規模実験であり、一様な砂地盤を得ることができなかった理由等から、分担率を中心とした実験式による定量化は避けることにした。しかし、群杭効果、低減率、あるいはK値等の問題を考えるにあたって、分担率は重要な要素と思われるので、今回明確にできなかった B Group (荷重方向に垂直に配列) や正方形群杭についても、今後検討してゆく所存である。

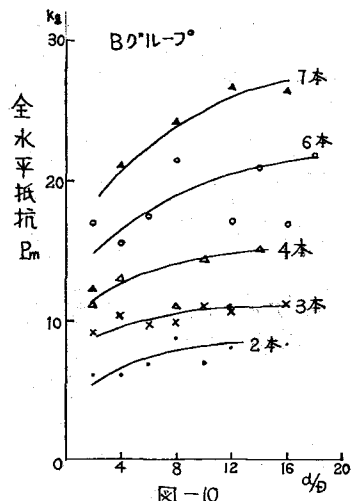


図-10

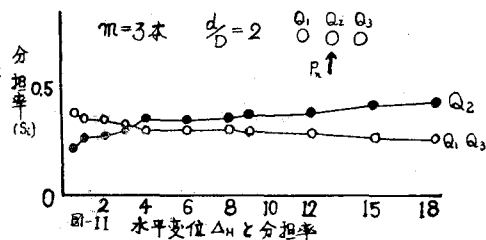


図-11 水平変位 ΔH と分担率

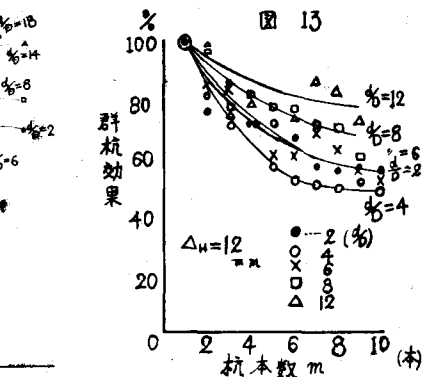
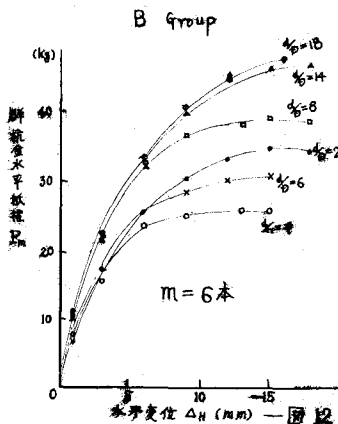


図-13