

氏名(本籍)	林 公 重 (広島県)
学位の種類	工 学 博 士
学位記番号	工 第 1 5 6 号
学位授与年月日	昭和 4 7 年 3 月 6 日
学位授与の要件	学位規則第 5 条第 2 項該当
最終学歴	昭和 1 6 年 1 2 月 新居浜高等工業学校採鉱科卒業
学位論文題目	杭先抵抗を考慮した摩擦杭の支持力に関する研究
	(主査)
論文審査委員	教授 河上 房義 教授 多谷 虎男 教授 後藤 幸正 教授 佐武 正雄

論 文 内 容 要 旨

第 1 章 緒 論

摩擦杭の支持力に関する研究は、かなり古くから行われ、杭の支持力を推定する多くの静力学的あるいは動力学的公式が発表されている。

近年、土質工学の進歩と共に杭の支持力は静力学的に考察されるべきであると考えられるようになり、従来の静力学的公式は逐次研究改良されているが、なお信頼性に乏しいことは周知のことである。

今、この摩擦杭について考察されるべき点と、それらに関する従来の主なる研究について考えてみると

1. 杭先抵抗については、Prandtlに始まるTerzaghi, Meyerhofらは杭先の角度を無視して、平面と仮定し、平板載荷試験の場合と全く同じように、杭先にKurdjumoff効果として

知られる弾性平衡状態の土楔が付着するものとして、その影響を論じており、現在一般的に信頼されている。

しかし杭は多くの場合、角度のある杭先が人為的に取り付けられているから当然その杭先角度の影響について考察されるべきである。

特に、最近の杭打ち工法において多くの場合、杭先を軟弱地盤中の砂、砂礫層のような比較的強固な地盤に貫入させて打ち止めるが、地震時など杭周抵抗が減少して地上構造物の荷重が主に杭先にかかり、また、地下水の汲み上げなどのため、杭周に負の摩擦力が働き、杭先にかかる荷重が著増して地上構造物に被害を及ぼすなど杭先についての研究は、最も重要視されるべきものと考え、この点全く研究されていない。

ただ、Meyerhofが筆者と大体同一時期に大体同一内容の研究結果をパリーの土質基礎国際会議(1961年)において発表しているにすぎない(筆者は1960年、中四国支部土木学会で実験の中間報告・1961年、年次学術講演会で実験結果を報告・1961年、中四国支部土木学会でその理論を報告し、これらを纏めて、後に発表した)。

2. 杭先と杭筒の接続部の影響については全く研究されていない。

3. 杭周抵抗については、かなり多くの研究があり、その殆んどは「杭の周面摩擦力は杭の根入れ深さに比例する」と言う考えを取り入れておるが、Gizenskiは「杭先抵抗の作用する場合、杭側面の摩擦力分布は深さに比例せず、ある深さまで増加し、以後杭先に向って減少する」と述べ、Florentinらは「杭先の土の破壊条件が杭側面の摩擦力分布に影響する」と述べているように、杭の周面摩擦力の分布を直線と考えることは一考を要するが、杭先の土の破壊条件が明らかにされていない。

4. 杭の寸法効果については、殆んど研究されていないようである。

したがって、この研究においては杭先抵抗が作用する摩擦杭の支持力に大きな影響を及ぼすと考えられ、また殆んど研寄されていない、

(1): 摩擦杭の杭先の形状が支持力に及ぼす影響(第2章)

(2): 摩擦杭の寸法および根入深さが支持力に及ぼす影響(第3章)

に重点をおき、静力学的研究を行った。

第2章

Bierbaumer 公式 $\{ P = \frac{2Q}{\pi r} \left(\frac{1}{r + D \tan \alpha} \right) \}$ および

Dörr 公式 $\{ Q = (\pi r^2 DK_p + \pi r \frac{r}{\sin \lambda} C') + (\frac{1}{2} r D^2 L_c K \mu + L_c DC') \}$ に考察を加え

(§1)、杭先の形状の影響(§2)を考慮して次式を導いた。

$$Q_0 = \left\{ ArDK_p + \pi r \frac{r}{\sin \lambda} \sigma' \right\} + \left\{ \frac{1}{2}(D-l_0)^2 L_c K \mu + L_c DC' \right\} \dots \dots (1)$$

(ただし $A = \pi r^2 \frac{1 + \frac{\pi}{2} + 2\lambda + \cot \lambda}{1 + \frac{3}{2}\pi}$)

(1)式を実証するため図1のような実験を行ったが、図1に基づく実験をモデル化した場合、地盤はシリンダにより拘束されるため、(1)式の粘着力が小さい場合(2)式のように考えられる。

$$Q_0 = ArDK_p + rD(h-l_0)L_c K_0 \mu$$

$$\frac{ArDL_c K_0 \mu \cot \lambda}{\pi(r+l_0 \tan \alpha)} \dots \dots (2)$$

この(2)式の大体の傾向を知るため、第3項の干渉項を省略して微分し、上の内部摩擦角(ϕ)と杭周の摩擦関数(μ)との関係を調べると、表1のようになる。表1に示す杭先角度(2λ)のとき支持力は最小で、この(2λ)を中心にして、 Q_0 は 2λ の小さい場合また、大きい場合共に大きくなる。この(1)、(2)式は、今までの通念、すなわち先端の尖ったものは貫入し易いという考えを覆すものである。しかし、常に

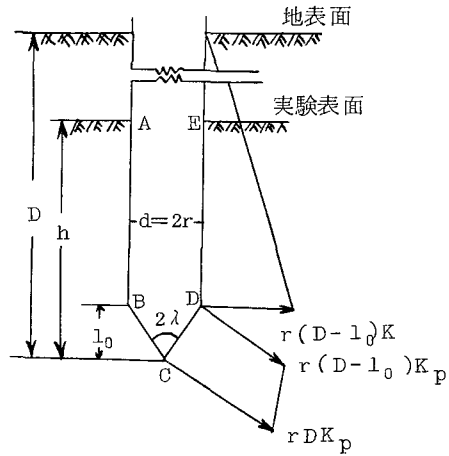


図1 Dörr型公式の土圧分布

この現象が生じるわけではなく、ある条件の基においては今までの通念以外の現象が存在することを明示するものである。この実験結果の一例を示すと図2・3のごとくである。

その他、本章の実験において、次のことが明らかになった。

杭を打ち込むとき、杭先は杭先直下の土を締固めるが、その締固めの状態は図4に示すように、杭先の形状差により相違する。

表1 最小支持力を示す(2λ)

杭先において締固められた土は、杭先と杭筒の接続部で攪乱されるが、杭先の形状の差により、攪乱状態が変わり、密度増加の状態が変わる。その密度増加率の状態は図5に示すごとくである。

その中、最小密度増加率を示す位置は、杭先角度の小さいとき、杭先と杭筒の接続部で、杭先角度が大きくなるに従って、杭筒上部に移行し、杭先角度が小さくなるに従って、密度増加率は大きくなる。

また、杭先周辺の単位杭周抵抗は、杭先

ϕ	$K_p \mu$	0.1	0.2	0.3	0.4	備 備
10°	1.4	50°0'				空欄は2λが小さくなるに従って支持力が小さくなることを示す。
15°	1.7	61°5'	19°30'			
20°	2.0	66°2'	36°4'			
22°	2.2	71°50'	51°3'	21°0'		
25°	2.5	74°1'	57°10'	34°40'		
30°	3.0	78°5'	67°30'	55°0'	40°20'	
35°	3.7	83°0'	75°20'	68°10'	59°5'	
40°	4.6	84°10'	78°2'	72°20'	66°20'	
45°	5.8	86°30'	83°0'	79°30'	76°30'	

角度が小さい程大きく，図3に示すように一般に $(\frac{1}{\sin \lambda} - c) \text{Kg/cm}^2$ で表わされる。

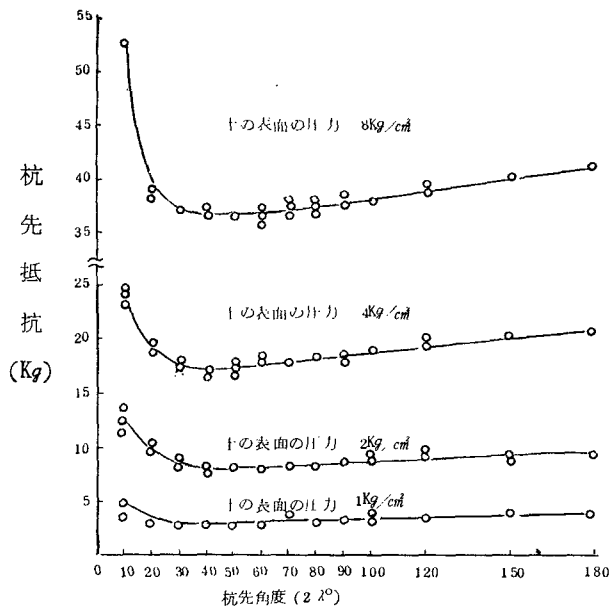


図2 杭径10mm
の杭先抵抗

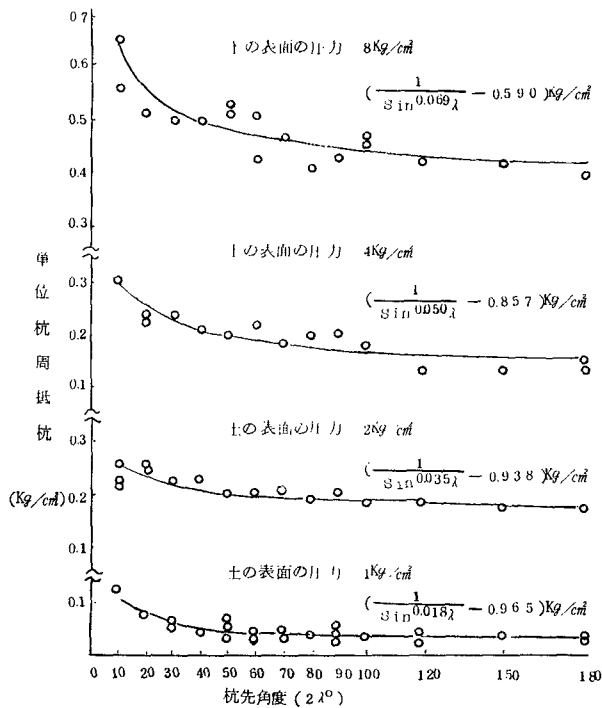


図3 杭径10mm
の単位杭周抵抗

第3章

第2章において求めた理論と実験とはかなり良い傾向を示すが、詳細に検討すると(1)、(2)式には、なお杭の寸法の影響を考慮する必要があることが認められるので更に、杭先の形状が異なる。7.5.9 10.1.6, 15.2.2 mmの中型模型杭の実験を行い考察を加えた結果、杭の直径と杭先抵抗係数 ($\tan \varphi' / \tan \varphi = n$)、杭周抵抗係数 ($\tan \varphi' / \tan \varphi = m$) との間には図6に示すような関係があり、

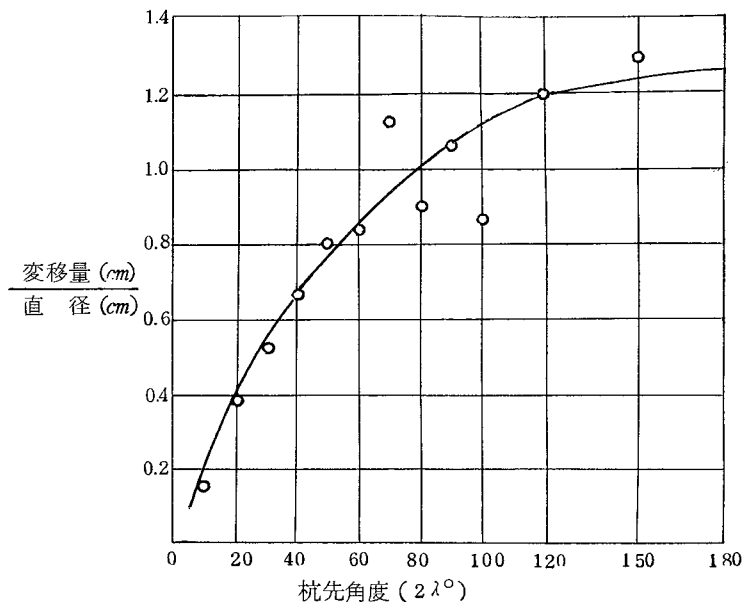


図4 2λキ180°のときの杭先直下の砂粒子の変位

○：各種杭先部表面における周辺土の密度の最高増加率

●：杭先と杭筒の接続部により周辺土が破壊されたときの密度の最低増加率

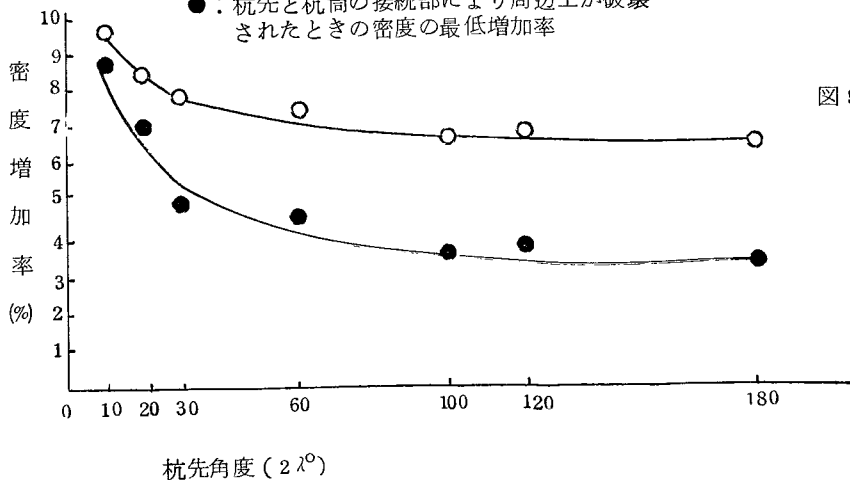


図5 実験範囲内における密度の増加率

杭先抵抗に関する K_p は、杭の直径が 40 mm 以下の場合

$$K_p e^{\pi \{ 121.90 \times (2r)^{-2.3} + 0.86 \} \tan \varphi} = K_p e^{\pi n \tan \varphi},$$

杭の直径が 40 mm 以上の場合

$$K_p e^{\pi \{ 0.91 \times 10^{-4} (2r - 40) + 0.88 \} \tan \varphi} = K_p e^{\pi n \tan \varphi}$$

杭周抵抗に関する K は、杭の直径が 40 mm 以下の場合 $1 + \{ 177.33 \times (2r)^{-2} + 0.27 \} \tan \varphi = K'$,

杭の直径が 40 mm 以上の場合 $1 + \{ 0.95 \times 10^{-3} (2r - 40) + 0.38 \} \tan \varphi = K'$

となり、(1)式は粘着力のない場合(3)式、粘着力のある場合(4)式として表わされる。

$$Q_c = A r D K_p e^{\pi n \tan \varphi} + \frac{1}{2} r (D - l_0)^2 L_c K' \mu \dots \dots \dots (3)$$

$$Q_c = (A r D K_p e^{\pi n \tan \varphi} + \frac{\pi l_0^2 \tan^2 \lambda}{\sin \lambda} C') + (\frac{1}{2} r (D - l_0)^2 L_c K' \mu + L_c D C') \dots \dots \dots (4)$$

この(3)、(4)式が杭の形状および、寸法を考慮した摩擦杭の支持力式であり、実用に供し得るものと考えられる。(3)、(4)式によれば、模型実験から実際の杭の支持力、杭先抵抗、杭周抵抗を類推することができ、

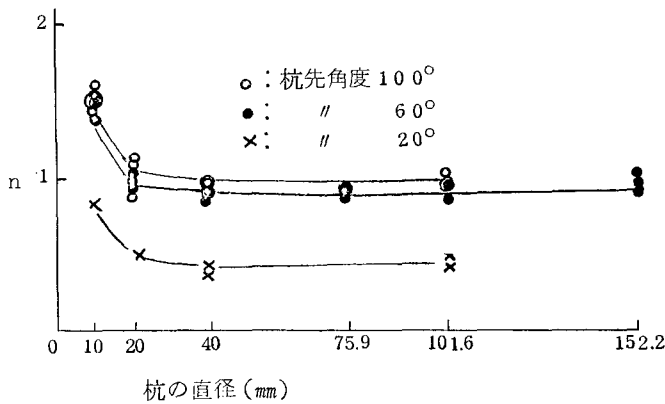
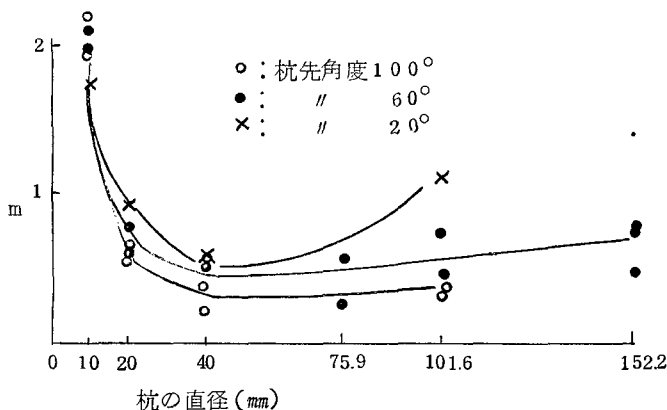


図6 杭先抵抗係数 (n) と杭径との関係



杭周抵抗係数 (m) と杭径との関係

相似則の問題を考える必要はないが、杭の直径が40 mm以下では実際の杭の支持力、杭先抵抗、杭周抵抗を類推することがむづかしい。したがって、杭の模型実験は直径を40 mm以上とすることが望ましい。

第4章

第2章、第3章における実験には更に、形状の異った杭の杭打ちによる土中応力の状態について検討する必要がある。

したがって、杭先の形状の異った直径40 mmの模型杭および砂層、粘土層（ベントナイトを用う）砂層と粘土層との互層の3種類の模型地盤を用いて実験を行った。その実験結果を単杭においてはK.Szechy, 群杭においてはBierbaumer式と比較検討したが、杭先の形状が異った場合の土中応力については、他に研究されたものがなく、今後なお研究を重ねる必要があるものとする。

第5章、第6章

第3章において求めた(3)、(4)式は今まで静力学的支持力公式に考慮されていなかった杭の形状、寸法を考慮したもので、実用上十分な精度があると考えられるので(3)、(4)式を杭先抵抗を考慮した摩擦杭の実用的支持力式として提案する。この提案式の適用性を調べるため、既往の杭打ち試験結果を用いて、著名なTerzaghi, Dörr, Patton, Meyerhof, Dunham公式（土木工学ハンドブックによる）と比較検討した。

この結果、提案式(3)、(4)式の適用性は他の式に比べ、かなり良好であり、実用に供し得るものと考えられる。

この研究成果は基礎工学に貢献しうるものとする。

審 査 結 果 の 要 旨

摩擦杭は、杭と地盤との摩擦を利用して構造物の荷重を支持する機能を有し、他の基礎構造に較べて施工が急速かつ容易にできるという利点はあるが、支持力推定の信頼度が低く、水平荷重に対する抵抗も小さいなどのため、重要構造物の基礎として用いるには問題があった。しかし近來、構造の改良と施工方法の進歩に伴い、基礎構造としての重要度を増しつつある。摩擦杭の支持力は、動力学的方法または静力学的方法によって算定されているが、いずれも正確とはいえない。著者は杭先抵抗を考慮に入れた摩擦杭の支持機構を明らかにし、これに基づきこの種の杭の支持力を求める信頼性の高い方法を確立するための研究を進めてきた。本論文は、その研究成果をとりまとめたもので、緒論および本文6章から成る。

緒論では研究の意義と目的について述べている。第1章では、既往の研究の総括ならびに著者の行った杭材料と各種の土との間の摩擦力に関する基礎的実験の結果について述べている。

第2章では、摩擦杭の貫入による杭周辺の土の攪乱と密度変化に及ぼす杭先の形状の影響を模型杭を用いて研究し、さらに杭先抵抗と杭周抵抗とを分離して測定できる構造の模型杭を用いた実験により、地盤の粘性と密度の差異を考慮した支持力と杭先形状との関係を明らかにし、これらに基づいて従来用いられていた静力学的支持力式の修正を試みた。

第3章では、摩擦杭の支持力、すなわち杭先および杭周の抵抗に及ぼす杭の寸法比の影響を、寸法比を異にし、構造を同じくする多種類の杭を用いた一連の実験によって明らかにし、直径40mm以上の模型杭を用いて得た成果は、長さに関する相似を考慮するだけで、一般の実物杭に適用できることを示した。さらに根入深さと支持力の関係についても研究し、従来の支持力についての考え方が妥当であることを確かめた。

第4章では、粘性地盤、非粘性地盤、粘性土と非粘性土の互層から成る地盤内に数種の杭を貫入させた場合の杭先形状に応じた地盤内の応力分布について研究し、その分布の土質や杭先および杭周抵抗による影響を明らかにした。また、これら単独杭の周囲の土中の応力分布を基にして、群杭として用いる場合の杭間隔の基準を示している。

第5章では、杭先の形状・寸法など従来考慮されていなかった要素を考慮に入れた摩擦杭の支持力式を提案し、これを20数例の杭の支持力試験の結果と比較し、著者の提案した式の信頼度は現用の諸式よりはるかに高いことを示した。第6章は結論である。

以上要するに本論文は、従来不明の点が多かった杭先抵抗をも考慮した摩擦杭の支持機構についていくつかの新しい知見を加え、これらに基づいて実用上十分信頼性のある支持力の算定方法を提示したもので、土木工学に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として合格と認める。