

杭の支持力, 先端抵抗, 引抜抵抗におよぼす 杭先の影響に関する模型実験的研究

THE INFLUENCE OF THE PILE-POINT ANGLE ON THE BEARING CAPACITY, POINT RESISTANCE AND PULLING RESISTANCE OF MODEL PILES

林 公 重*
By Kimishige Hayashi

要 旨 この報告は杭先角度の異なった模型の摩擦杭を打込んだ場合の杭周辺の土の密度変化の状態を, その土の通気度の変化の状態によって測り, その密度変化が杭の引抜抵抗, 先端抵抗および支持力におよぼす影響について, 杭先と杭筒を分離しうる二重管式の模型杭により実験を行ない, その結果について述べたものである。

その結果は杭打ちの際の杭先, 杭筒および杭先と杭筒の接続部における杭周辺の土の密度の変化の状態, またその密度変化が杭の支持力に与える影響について明らかにすることができた。

1. 緒 言

杭を打込む場合, 杭先は土をその周辺に排除して貫入するが, 排除された土は周辺に滞積し周辺の土の密度は変化する。杭先角度が変われば当然杭周辺に排除される土の状態が変わり滞積の状態も変わり密度もそれに応じて変化するものと考えられる。もちろん, これらの変化は杭打ちが衝撃的, 静的あるいは振動的に行なわれるなどの相違によっても左右されるが, この研究では衝撃や振動によらず杭頭に荷重を載せ静的に近い状態で杭を土中に圧入した場合の杭先角度の差異による杭先周辺の土の密度変化の状態を模型実験によって求め, さらにその密度の変化が杭の先端抵抗, 引抜抵抗, 支持力におよぼす影響を知るために根入れ深さを考慮して, 杭先と杭筒を分離しうる二重管式の模型杭を用いて行なった実験である。

2. 実 験

1. 杭先の形状が杭周辺の地盤の密度変化におよぼす影響について

a) 実験器材 この実験に使用したおもな器材はつぎのとおりである。

杭および杭先角度: 杭は長さ 60 cm, 直径 60 mm の軟鋼製パイプで杭先角度は 10°, 20°, 30°, 60°, 100°, 120°, 180° の 7 種。

試料土および容器: 実験には山口県豊浦産 標準砂 と

MS-Dオイル {植物性油脂 (アマニ油, 桐油など) に硬化速進剤 (ナフテン酸コバルト) を混入したもの} を 50 : 1 に混合したものを直径 36 cm, 深さ 60 cm の厚紙製円筒形の容器充填。

通気度測定器および試験片保持器⁹⁾: 通気度測定器は写真-1 に示すように (写真中の H が試験片保持器) で, その原理は図-1 に示すように, まず試験片保持器

写真-1 通気度測定装置

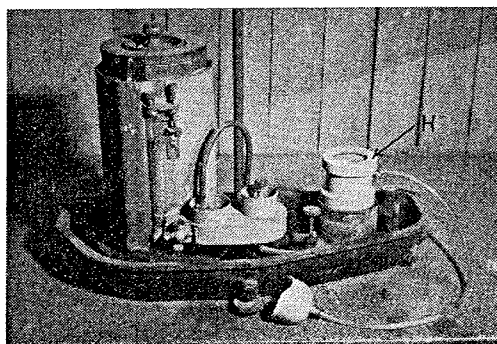
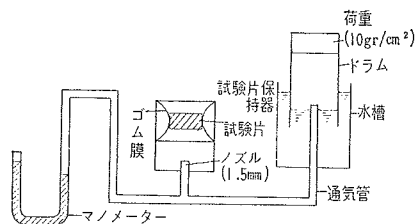


図-1 通気度測定の原理



のゴム膜間に試験片をそう入し一端から空気を送入して, ゴム膜を膨張させ保持させる。つぎにこの器の他端を通気度測定器のノズル上に固定し (実際には固定する部分の外側に水銀を入れ空気の漏洩を防ぐ) ドラム中の空気 (2000 cc) が試験片を透過する時間および, その時のマンメーターの読みを取り次式により通気度を求める。

$$P = \frac{V \cdot h}{p \cdot t \cdot a}$$

ただし P : 通気度, V : 通気量 (2000 cc), h : 試験片厚 (cm), p : 圧力 (g/cm^2), t : 時間 (min), a : 試験片

* 正員 広島大学工学部土木工学科

の断面積 (cm²)。

b) 実験方法

① 試験片の作製：試料土には MS-D オイルを混合した標準砂を使用した。MS-D オイルの混合試料は非常に流動性が良く、かつ凝固しやすく通気度の測定には好適である。

通気度測定のための試験片は下記の要領で作製した。まず標準砂に前述の MS-D オイルを加え混練機で均質に練りあわせたのち、容器にゆるく高さ約 53 cm 入れ、その中央に、ある杭先角度を持った杭を静的に近い状態で予定根入れ深さまで圧入して加圧力を除き数日間放置して写真-2 のように完全に凝固させたのち、杭を引抜き、これを図-2 のように裁断して写真-3 のような試

写真-2 通気度測定試料および杭

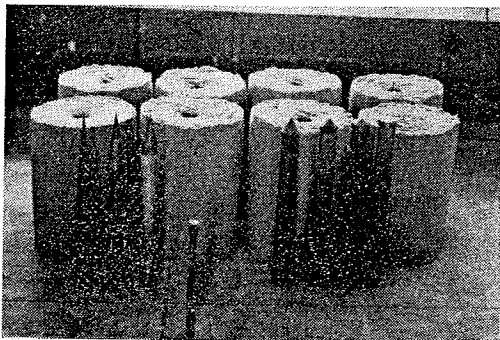


写真-3 作製した通気度測定用試験片の各種

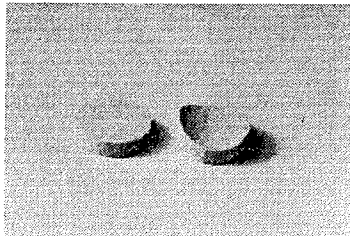
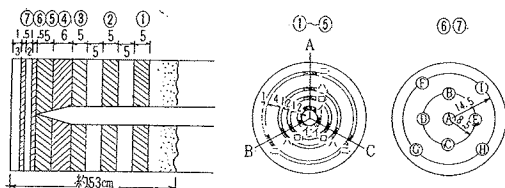


図-2 試料裁断の一例

斜線部および A~① 部において試験片採取



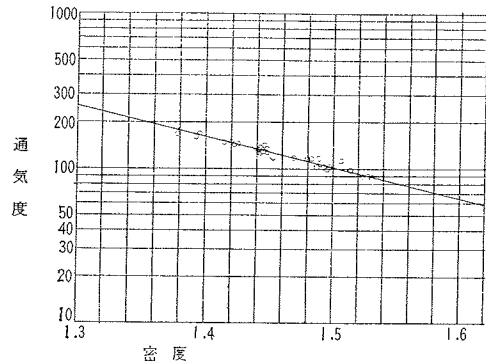
験片を作った。採取した試験片数は1個の試料から約76個ですべて直径約40mm、厚さ約10mmに作り、これらの正確な寸法はマイクロメーターを用いて測った。

別に基準試料として杭を打込まないまま凝固させた同形の試料を1個作り、これを裁断して90個の前記試験片と同形同寸の試験片を作りすべての基準とした。

② 通気度と密度の関係：通気度と密度の関係を調べるため試験片と同じ試料の一定量(150gr)を鉄製パイプ(内径50mm、高さ110mm)の容器に取り、これをサ

ンドランマー(鑄物砂の締りめ装置として普通用いられるもので重錘重量8kg、落下高5cm)で突き回数を覚えて突き固めた試料(本実験ではサンドランマーを静かに載せた状態、1回、2回、3回、5回、10回および20回たたいた試料)各5個ずつを作り、これを前記のように凝固させたのち、この試料に対して前述した通気度および密度を測定した。通気度と密度の関係は図-3に示すようである。

図-3 通気度と密度との関係



この実験結果は半対数グラフで直線を示し近似的に下記のよう表わされる。

$$\log P = 5 - 2 \frac{r}{r_w} \dots \dots \dots (1)$$

ただし P: 通気度, r: 密度 (gr/cm³), r_w: 4°C の水の密度 (gr/cm³)。

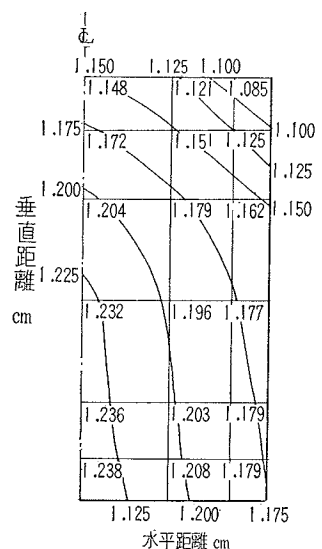
c) 実験結果 基準試験片の通気度を測定し、これから求めた基準試料の密度分布の状態は図-4 のようである。

図-4 基準試料の等密度線

これを基にして杭先角度の異なった前記7種の杭を打込んだ各試料の各断面における杭周表面および杭軸より8.5cm、14.5cmの位置の試験片各70余個の通気度を測定し、密度を求め密度比増加率を示すと図-5~11のようである。

ここで密度比増加率とは $\{(A/B) - 1\} \times 100$ (%)で示されるものである。

ただし、Aはある種



の杭先角度を持った杭を打込んだ試料のある水平断面の同一半径の位置から採取した試験片の平均密度。Bは杭を打込まない基準試料の同一水平断面の同一半径の位置

図-5 杭先角度 10° の密度比増加率曲線

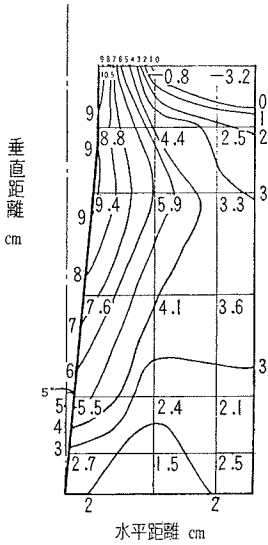


図-6 杭先角度 20° の密度比増加率曲線

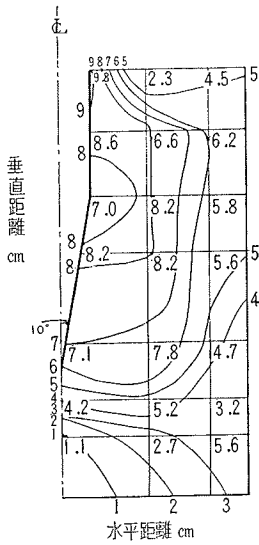


図-7 杭先角度 30° の密度比増加率曲線

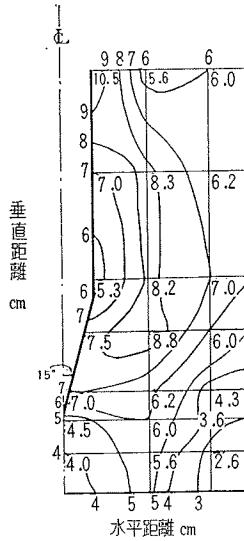


図-8 杭先角度 60° の密度比増加率曲線

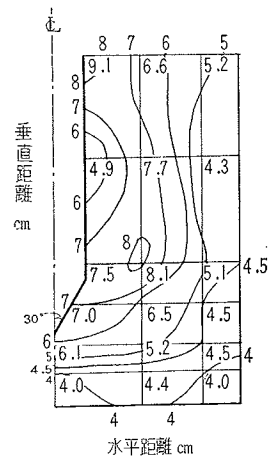


図-9 杭先角度 100° の密度比増加率曲線

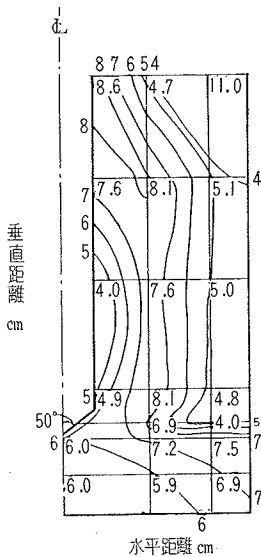


図-10 杭先角度 120° の密度比増加率曲線

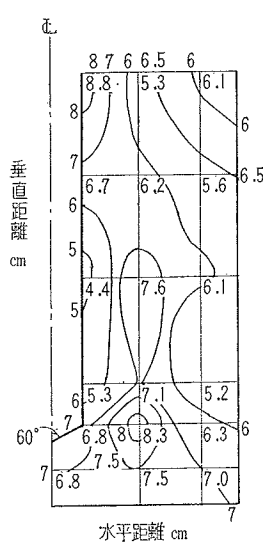
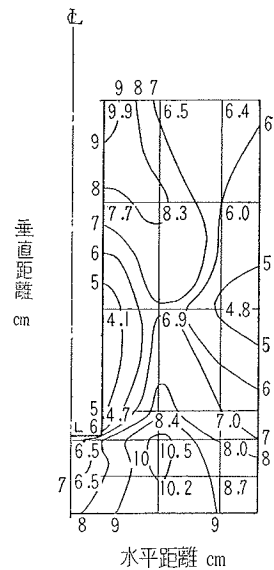


図-11 杭先角度 180° の密度比増加率曲線



から採取した試験片の平均密度である。

図-5~11 に示す密度比の増加状態は杭周表面部が杭先角度の影響を最も顕著に表わしており杭軸より 8.5 cm, 14.5 cm の位置における密度比の増加状態も、その影響を受けていることを示しているが容器により周囲を拘束されているための影響が加味されているものと思われる、また試料表面付近においては杭周の土が杭軸方向に引込まれる⁷⁾ため同心円状の割れ目を生じ密度比増加率は減少している。特に顕著に、その状態を示している例は図-5 の試料表面部で中心軸より水平距離 8.5 cm, 14.5 cm における密度比増加率は負を示している。

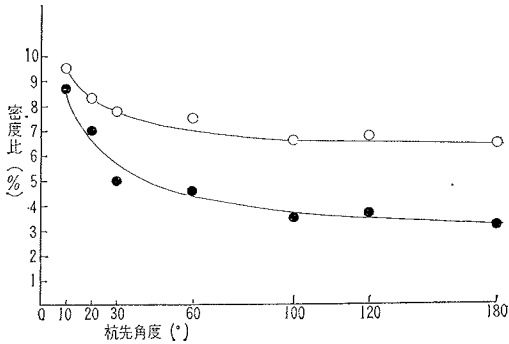
いまこれらの実験結果を杭先部、不連続部、杭筒部、杭先直下の各部分についてみると、杭が貫入する場合

① 杭先部においては、土は徐々に側方へ圧縮され杭先周辺の土の密度は徐々に高くなっている(例えば図-5 の杭先角度 10° の場合の杭先部にみられるように密度比増加率は杭先先端約 2% から約 9% へ徐々に増大している)。これは杭先角度が 10~60° の杭先部が比較的最長の場合において顕著に現われ、杭先角度が 100~180° になると、この現象はみられない。

② 杭先と杭周の接続部すなわち不連続部においては、その周辺の土は密度比増加率が小さい。これは①に

において述べたように杭先において側方に圧縮され密度が高くなった土が不連続部で破壊攪乱されて小さくなり、**図-12**に示すように杭先角度の差によりかなりの相違がみられる。

図-12 各種の杭先により圧縮された周辺土の密度比増加状態および不連続部による周辺土の被破壊状態
 実験範囲内における
 ○各種杭先周面における周辺土の密度比の最高増加率
 ●不連続部により周辺土が破壊された時の密度比の最低増加率



③ 杭筒部においては周辺の土は前記のように一度破壊され密度比増加率が小さくなるが杭の貫入とともに杭周の密度比増加率はすべて徐々に大きくなっている。

不連続部による破壊時の杭筒の最小密度比増加率は**図-12**にみられるように杭先と杭筒の不連続差により異なり、杭先角度の小さい場合大きく、杭先角度が大きくなるにしたがって小さくなり、最小密度比増加率の生ずる位置も**図-5~11**にみられるように杭先角度が大きくなるにしたがって不連続部から次第に上方へ移行している。ただ試料の表面近くでは前述したように杭周の土が杭軸方向に引き込まれるため杭周面より離れた 8.5 cm, 14.5 cm の位置では同心円状の割れ目を生じ逆に密度比増加率は小さくなっている。

④ 杭先直下においては、周辺の土は**図-5~11**にみられるように密度比増加率は、おおむね杭先角度が小さい場合小さく、杭先角度が大きくなるにしたがって増大し、杭先からの距離が大きくなるにつれて減少するが杭先角度の小さい場合、杭先付近から減少状態に入り、杭先角度の大きい場合、杭先の至近距離では、むしろ大きくなる傾向がみられる。

(2) 杭先および杭筒が支持力におよぼす影響について

(1) の実験結果から杭先の形状の相違により杭周辺の地盤の密度が変化することは明らかになったが、このような地盤の密度の変化が杭の支持力におよぼす影響と、杭先および杭筒が、それぞれ杭の支持力にいかにか寄与するかについて知るために杭先と杭筒を分離しうる二重管式模型杭を用いて実験を行なった。

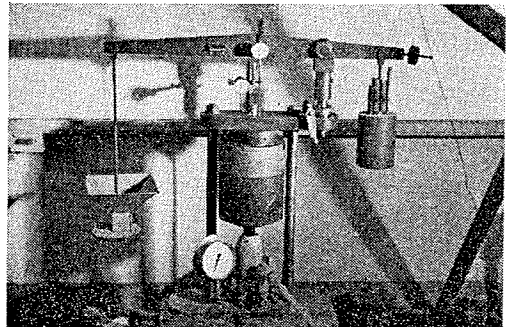
a) 実験装置および方法 実験装置及び実験方法^{5),10)}

の概要はつぎのようである。

この実験は杭先および杭筒を分離しうる二重管の模型杭を用い、杭先角度を各種に変えた場合の先端抵抗、引抜抵抗と支持力の関係を測定したものである。

使用した杭は外管直径 10 mm, 内管に杭先を直結した二重管の模型杭で杭先角度は 10~100° 間は 10° 刻み、100° 以上は 120°, 150°, 180° の計 13 種である。支持力測定装置は**写真-4**に示すように、また引抜き装置は**写真-4**の装置の外側に 10 cm 角材の木わくを組み滑車を用いた。

写真-4 支持力, 先端抵抗, 引抜抵抗測定装置



実験方法は根入れ深さを考慮してシリンダー内の土⁵⁾を 1,2,4,8 kg/cm² に加圧し、この状態の土に対して前記各種の杭を打込み、根入れ深さをすべて同一にしておのおの支持力,先端抵抗,引抜抵抗を測定した。またシリンダー内の土を 1,2,4,8 kg/cm² に加圧した時の内部土圧,内部摩擦角を測定し,粒度分析などを行なった。

b) 実験結果 前記 13 種の杭をおのおの加圧状態を

図-13 先端抵抗値

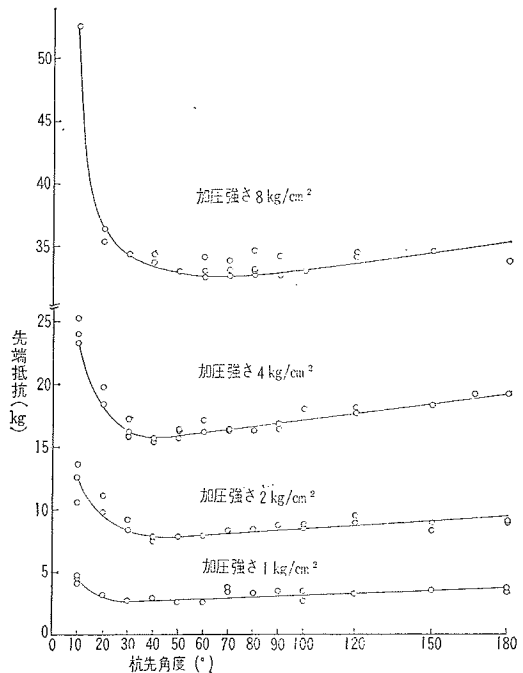


図-14 杭筒部単位引抜抵抗値

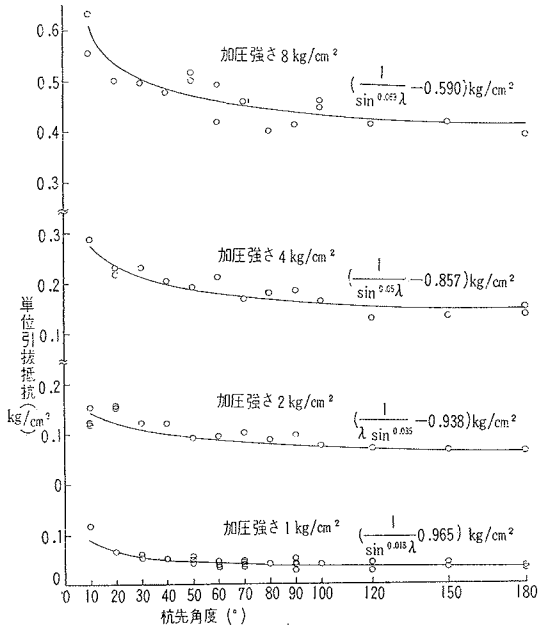
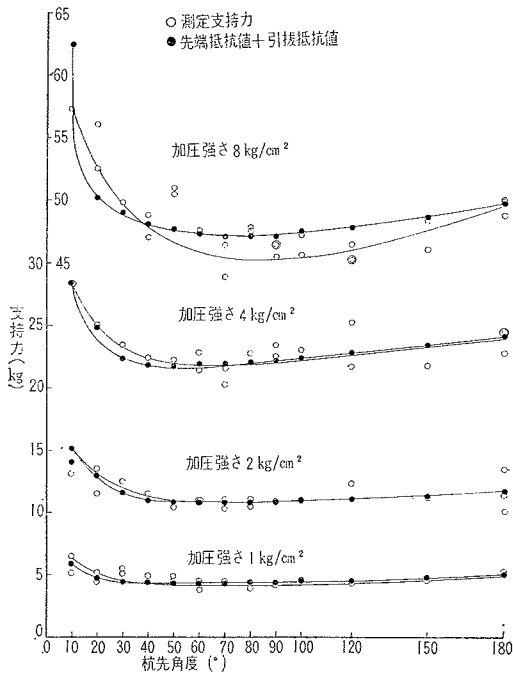


図-15 杭先角度と支持力の関係



前記4段階に変えた土中に打込み, それらの先端抵抗, 引抜抵抗, 支持力を測定した結果は図-13, 14, 15に示すようである。

① 先端抵抗: 図-13および表-1に示すように最低先端抵抗値を示す杭先角度は加圧力が1 kg/cm²から8 kg/cm²に移行するにしたがって30°程度から70°程度に移行し, 先端抵抗値は30~70°程度を最低として杭先角度が小さくなるにしたがい急激に増加し, 杭先角度が大

表-1 杭の先端抵抗値

加圧力 kg/cm²	最小杭先角度と先端抵抗値		最大杭先角度と先端抵抗値		最小先端抵抗値と杭先角度	
	杭先角度 °	先端抵抗値 kg	杭先角度 °	先端抵抗値 kg	先端抵抗値 kg	杭先角度 °
1	10°	4.5	180	3.5	2.5	30~60
2	10°	12.5	180	9.0	7.5	40~60
4	10°	24	180	19	15.5	40~50
8	10°	51	180	35	32.5	50~70

きくなるにしたがい徐々に増加している。

② 引抜抵抗: 図-14および表-2に示すように引抜抵抗値は各加圧段階のいずれの場合においても杭先角度が小さくなるほど大きな値を示している。

表-2 杭の引抜抵抗値

加圧力 kg/cm²	最小杭先角度と引抜抵抗値		最大杭先角度と引抜抵抗値	
	杭先角度 °	引抜抵抗値 kg/cm²	杭先角度 °	引抜抵抗値 kg/cm²
1	10	0.08	180	0.03
2	10	0.14	180	0.06
4	10	0.27	180	0.14
8	10	0.60	180	0.40

③ 支持力: 図-15および表-3の最低支持力を示す杭先角度は加圧力が1 kg/cm²から8 kg/cm²に移行するにしたがって50°程度から90°程度に移行し, 支持力は杭先角度50~90°程度を最低にして杭先角度が小さくなるにしたがって急激に増加し, 杭先角度が大きくなるにしたがって徐々に増加している。また図-15に示す支持力曲線のうち, 一つは測定支持力で他は引抜抵抗値と先端抵抗値の和を示したものであるが先端抵抗値と引抜抵抗値の和が測定支持力に近い値を示していることは各測定方法に大きな誤りのないことを示し, 先端抵抗値および引抜抵抗値は大体正しい値に近いものと考えられる。

表-3 杭の支持力

加圧力 kg/cm²	最小杭先角度と支持力		最大杭先角度と支持力		最小支持力と杭先角度	
	杭先角度 °	支持力 kg	杭先角度 °	支持力 kg	支持力 kg	杭先角度 °
1	10	6	180	5	4	50~70
2	10	14	180	11	10	50~70
4	10	28	180	23	21	50~70
8	10	57	180	49	45	70~90

3. 考察

(1), (2)の実験結果から, これらの間には下記のような関係があるものと考えられる。

a) 先端抵抗について 図-13に示すように先端抵抗値は杭先角度が小さい場合また大きい場合ともに大きくなっているが, 杭先角度の小さい場合, 杭先の表面積が広く, かつ, 鋭いため杭の貫入とともに杭先により周辺の土は図-5~8の杭先部にみられるように徐々に側方へ圧縮されて密度が増加し, 全体的には図-13の先端抵抗値にみられるような大きな値を示す結果となり, 杭先角度が大きい場合, 杭先の表面積は杭先角度の小さい杭にくらべて小さいが図-5~11の杭先直下にみられる

ように、杭先角度 10° の場合杭先直下の密度比増加率は 2% 程度であるが杭先角度 180° の場合の密度比増加率は 6~7% 程度となり、杭先による土の締め固め作用により杭先直下に密度の高い土塊を形成する結果と考えられる。すなわち 図-16 に示すように根入れ深さの浅い場合、 H なる深さの土の

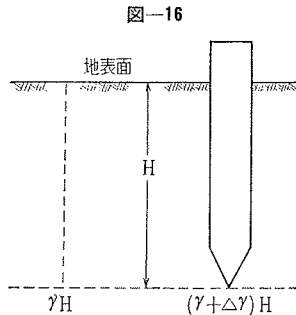


図-16

密度を r とした場合、ある種の杭先角度の杭を打込めば前述したように r は $(r + \Delta r)$ となり杭先角度の差により Δr が変化がするものと考えられる。このような杭先角度の相違による杭先直下の土の密度の変化の状態は、先に発表した杭先付近の土の変位状態⁵⁾ からも説明しうるものとする。

b) 引抜抵抗について 引抜抵抗は杭筒部のみを引き抜いた時の抵抗で一定の根入れ深さの杭においては杭先角度の小さい場合杭筒部は短く、杭先角度が大きい場合杭筒部は長い。したがって(2)における実験は一定根入れ深さであるから杭先角度の変化により杭筒部の長さは種々変化する。また(1)における杭周面の密度比の増加状態は杭先角度の変化とともに種々変化し、杭先角度 10° の場合の杭周面の密度比の増加率は 8.8~10.5% で、杭先角度 180° の場合の杭周面の密度比増加率は 4.1~9.9% である。この密度比増加の変化が 図-14 のように引抜抵抗は杭先角度が小さくなるにしたがって大きな値を示す原因であり、これは杭先の角度の影響と考えるはかなく、杭先角度の小さい場合 3. の a) において述べたように杭先において増加した土の密度が不連続部において、ある程度乱されるが杭先と杭筒の不連続の差が小さいため破壊が小さく(図-12)、杭筒部において周辺の土はただちに杭筒摩擦力により杭軸方向に引き込まれ⁷⁾ 杭周辺の土の密度が増大し摩擦力が著増する。

また杭先角度が大きい場合、不連続の差が大きいため周辺土の破壊が大きく(図-12)密度は杭先角度の小さい場合にくらべかなり小さくなる。そのため杭先角度の小さい杭と同一貫入量では杭周辺の土の密度が杭先角度の小さい場合より小さく、摩擦力が小さくなる。

すなわち杭先角度の差により杭周辺に生ずる土の圧縮圏に密度の差が生ずる結果が 図-14 の結果をもたらすものと考えられる。

いま杭先角度を 2λ として各加圧強さにおける実験値に適用する数式を求めると 図中 に示すようになり一般的には単位面積当りの引抜強さ (p) は次のように表わしうるのではないかと考える。

$$p = \left(\frac{1}{\sin^n \lambda} - c \right) \text{kg/cm}^2 \dots \dots \dots (2)$$

ただし、 c は杭先角度 180° における単位引抜強さを示す。

c) 杭先角度と支持力の関係について 図-15 に示す支持力は、いずれも杭先角度が小さい場合また大きい場合ともに大きく、その中間において小さくなっているが杭先角度の小さい場合は 3. の b) において述べたように不連続部による破壊が小さいため杭周摩擦力により杭先で密度の高くなった周辺土がただちに杭軸方向に引き込まれ、一層密度が高くなり杭筒の摩擦力が著増した結果であり、杭先角度の大きい場合は 3. の b) において述べたように不連続部による破壊が大きいため杭筒部の土の密度が小さくなり摩擦力は杭先角度の小さい杭にくらべ小さいが、3. の a) において述べたように杭先直下の土の密度が増加し杭先直下に密度の高い土塊をつくる結果ではないかと考えられる。

著者は先に杭先角度を考慮した場合の杭の支持力について発表⁶⁾ したが、その結論は、

$$Q = A r H K_p + \frac{1}{2} L r (H - l_0)^2 K \mu - \frac{A L r (H - l_0)^2 K \mu}{\pi (H \tan \alpha + r) (l_0 \tan \alpha + r)} \dots \dots (3)$$

となり実測支持力によく一致している。

ただし、 Q : 支持力(kg), $A = \pi r^2 \frac{1 + 2\lambda + (\pi/2) + \cot \lambda}{1 + (2/3)\pi}$, 2λ : 杭先角度(°), L : 杭の周長(cm), H : 杭の根入れ深さ(cm), μ : 杭と土の摩擦係数, ϕ : 土の内部摩擦角, r : 杭の半径(cm), l_0 : 杭先の長さ(cm), α : 摩擦力が杭軸となす角(30°), r : 土の単位重量(gr/cm^3), $K_p = \tan^2 \{ (\pi/4) + (\phi/2) \}$ 。

このうち第1項が先端抵抗、第2項が杭周抵抗、第3項がその補正項に相当するが第2項と式(2)を置換した場合、前式はつぎのようになる。

$$Q = A r H K_p + \left(\frac{1}{\sin^n \lambda} - c \right) (H - l_0) L - \frac{\{ 4 A r (H - l_0) (1/\sin^n \lambda) - c \}}{\pi (H \tan \alpha + r) (l_0 \tan \alpha + r)} \dots \dots (4)$$

式(4)より得られる値は測定支持力とはなはだしい不一致を示す。すなわち先端抵抗 $A r H K_p$ が測定値より小さいことを示している。いまこの結果をもたらす大きな原因の一つとして考えられることは杭が貫入する際、杭先による締め固め効果としての杭先直下の土の密度変化、すなわち(1)の実験結果 c) の ④ にみられるような杭先角度の差異による締め固め効果(杭先角度 10° の場合、杭先直下の土の密度比の増加は約 2% であるが杭先角度 180° の場合の密度比の増加は約 6~7% であり、杭先角度の小さい場合、密度比増加率はただちに減少するが杭先角度の大きい場合、ある程度の距離までは、むしろ密

度比が大きくなり杭先直下に密度の高い土塊を作る)が式(4)に考慮されていないことである。換言すれば 図-16において rH は, ある種の杭先角度の杭を打込んだ場合 $(r+4r)H$ となるべきが rH としてのみ存在し $4rH$ が考慮されていない。しかも $4r$ は杭先角度の差により変化し, これを測定することがむずかしい。いま実測値から式(3)-式(4)の値を考えた場合, この値が $4r$ の変化による値であるべきものと考えられ式(3)-式(4)の値を求めると 図-17 のようになる。

図-17

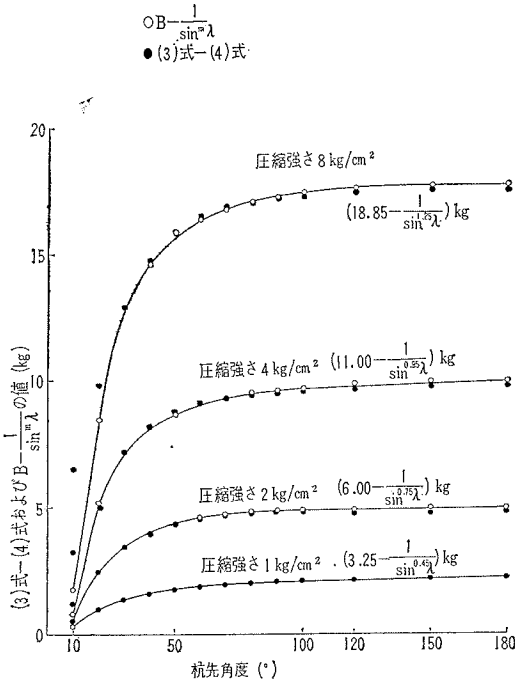


図-17の各曲線に相当する数式は図中に示すように一般的にはつぎのように表わしうるのではないかと考える。

$$\text{式(3)-式(4)} = \left(B - \frac{1}{\sin^m \lambda} \right) \text{ kg} \dots\dots\dots (5)$$

ただし, B は杭先角度 180° における値。

したがって式(4)に式(5)を付加すると下記のようになり実測値によく一致する。

$$Q = Ar HK_p + \left(B - \frac{1}{\sin^m \lambda} \right) + \left(\frac{1}{\sin^n \lambda} - c \right) (H - l_0) L - \frac{4Ar(H-l_0) \left\{ \left(\frac{1}{\sin^n \lambda} \right) - c \right\}}{(H \tan \alpha + r)(l_0 \tan \alpha + r)} \dots\dots\dots (6)$$

ただし, この場合 $Ar HK_p + \left(B - \frac{1}{\sin^m \lambda} \right)$ が先端抵抗で $\left(\frac{1}{\sin^n \lambda} - c \right) (H - l_0) L$ が引抜抵抗である。

4. 結 論

この報告においては杭先角度の異なった杭を圧入した場合の杭周辺の土の密度変化の状態を通気度を測定する

ことにより求め, その密度変化が先端抵抗, 引抜抵抗, 支持力におよぼす影響を模型杭を用い実験を行なったがその結果を要約すると

① 杭打ち時, 杭の先端部においては杭先角度の差異により土の破壊形態が異なり, 杭先角度が大きくなるにしたがい破壊帯も大きくなる。換言すれば破壊形態は不連続部の不連続差に大きく作用され杭周の摩擦力に影響を与える。すなわち

同一根入れ深さの時, 杭の貫入により先端抵抗は

① 杭先角度が小さい場合: 杭先周辺の土は杭先により側方へ圧縮され杭先周辺に濃い圧縮圏を作り先端抵抗は増大する。

② 杭先角度が大きい場合: 杭先周辺の土は, 杭先による締め固め作用により杭先直下に密度の高い土塊を作り, このため先端抵抗は増大する。

杭の周面摩擦は

③ 杭先角度が小さい場合: 杭先と杭筒の不連続差が小さいため, 杭先で側方へ圧縮され密度が高くなった土の破壊が小さく, そのため杭筒部において比較的高い密度の土が杭周の摩擦力により杭軸方向へ引き込まれ杭周の密度が一層増加して摩擦力が大きくなる。

④ 杭先角度が大きい場合: 杭先と杭筒の不連続差が大きいため杭先周辺の土が杭先で側方へ圧縮される程度が杭先角度の小さい杭にくらべ小さく破壊は大きい。そのため杭筒部において杭先角度の小さい杭にくらべ密度の小さい土が杭周の摩擦力により杭軸方向へ引き込まれ杭周の密度は徐々に増加するが杭先角度の小さい杭の杭周の密度にくらべかなり小さい。これらの事項は実験式においては, ①, ②は $Ar HK_p + \{ B - (1/\sin^m \lambda) \}$ で, ③は $\{ (1/\sin^n \lambda) - c \} (H - l_0) L$ で表わされる。

⑤ 支持力は杭先角度の小さい場合, ①, ③が, また杭先角度の大きい場合, ②, ④が同時に作用して大きくなるが実験の結果から考察して杭先角度の大きい場合は④が大きく影響する。

⑥ 実験式(6)は実測値に良く一致するが本実験においては杭材にドリルロッドを使用したため類似の摩擦面を有する材料に対しては適合するものと考えるが摩擦面の異なった場合は $\{ (1/\sin^n \lambda) - c \}$ および $\{ B - (1/\sin^m \lambda) \}$ の n, c, B, m をさらに吟味する必要がある。

⑦ 長大な杭においては本実験結果から考察して杭の周面摩擦が非常に大きくなるため杭先の角度はあまり問題とならず, 短杭においては, かなりの考慮を払う必要がある。

⑧ 通気度による密度の測定はかなり正確な結果を得るが通気度は当然粒形に左右されることが考えられる。Ash と Lissel⁴⁾ 共同による通気度の実験によると, 丸味のある砂と角ばった砂 (40 mesh, 70 mesh について) では前者が締め固め効果が大きいという結果を出している

が、通気度を土質工学の研究に利用することは、かなり期待できるのではないかと考える。

最後にご指導を載いた 東北大学 教授 河上房義博士に深く感謝の意を表す。

参 考 文 献

- 1) Mayerhof, G.G. : The ultimate bearing capacity of foundation (Geotechnique Vol. II, 1950-1)
- 2) Terzaghi, K. : Theoretical soil mechanics (New York, 1943)
- 3) Troy, E.C. : How much venting power must green sand molds passes (Foundry, Dec. 1946, p. 82)
- 4) Briggs, C.W. : The metallurgy of steel casting (Steel molding sands and cores, 1950)
- 5) Hayashi, K. : Experimental research of influences

of the pile-point angle on bearing capacity and pulling strength (Memoirs of the faculty of engineering, Hiroshima University, No. 1, 1962)

- 6) Hayashi, K. : On the bearing capacity of the pile taken account of the pile-point angle (Memoirs of the faculty of engineering, Hiroshima University, No. 1, 1962)
- 7) 林 公重 : 杭の周辺摩擦による砂粒子の変化について 広島大学工学部研究報告, Vol. 5, 昭. 31.7
- 8) 林 公重 : 第 17 回年次学術講演会講演概要
- 9) 林 公重 : 二重管式 (杭先および杭筒分離方法) 模型杭に依る杭先角度の異った場合の Point resistance と Skin friction について. 広島大学工学部 研究報告 Vol. 12, 昭 38.8
- 10) 林 公重 : 第 16 回年次学術講演会講演概要

(1963. 11. 11・受付)