

N-3 節杭の支持力

九州産業大学工学部 正員 石 堂 勉

1. はじめに 杭基礎の支持力に関する研究調査は莫大な数にのぼり、我々はその中の一部の考え方を実用公式として利用しているが、利用法のいかんによっては大きな誤差を生ずることがある。節杭においては、それらの公式を流用するのが普通であつて、もし円筒杭と力学的機構に差があれば、ますます誤差を大きくすることになる。従来の実績から節杭の特徴としては、節間に砂利、碎石を充填するので、摩擦力、打込抵抗などが大きいといわれており、実施面では実物載荷試験によつて調整することもあるまいかである。しかしそれらの性質と支持機構あるいは公式に用いる係数の取り方については、必ずしも明らかではない。ここでは六角形断面の節杭と円筒杭の模型を用いて、室内土槽の造成砂地盤で載荷試験を行つた結果に基づき、節杭の支持力について検討したものである。

2. 実験

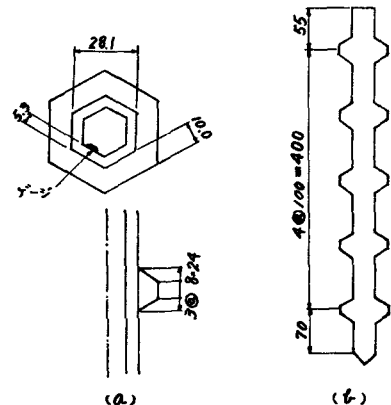
2.1. (模型杭) 節杭は図-1に示すようなものである。材料にパラグラスを利用し、ゲージ用接着剤で接着した中空のもので、内面にストレーンゲージをはり、軸力測定に用いた。節は節間 $=10\text{cm}$ 、 $\phi=1\text{cm}$ のものととし、比較のために抗軸と等しく節間隔を変えた杭をも用いた。また同じ寸法の2つ割り杭を造り、土槽の透明板を造り、載荷中の杭周辺土粒子の移動状況観測に利用した。円筒杭は節杭の節部の断面積とほぼ等しいものと考え、市販のスチールパイプから $\phi=4.86\text{cm}$ のものを選んで加工した。

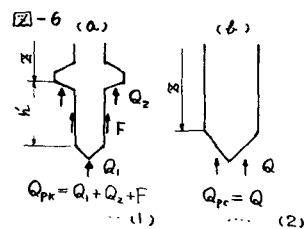
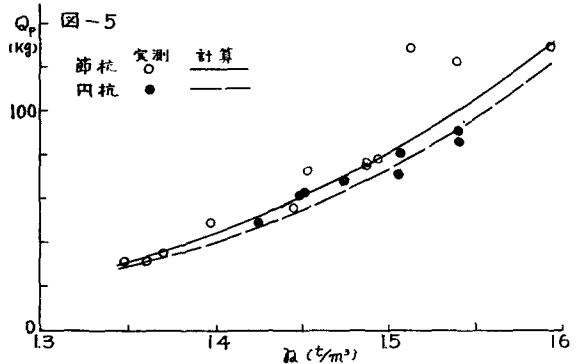
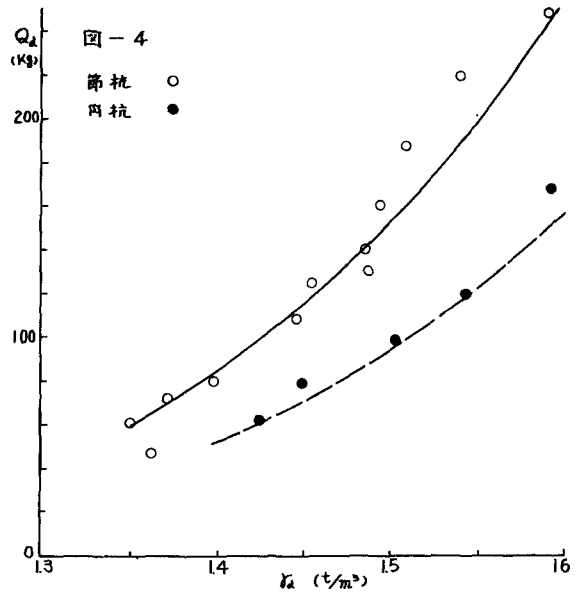
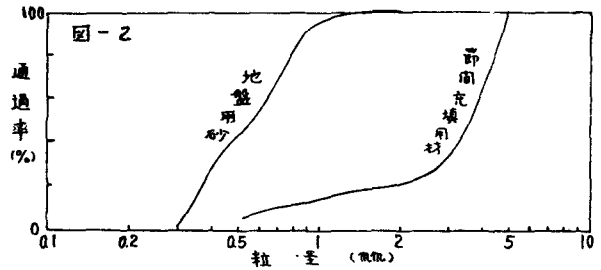
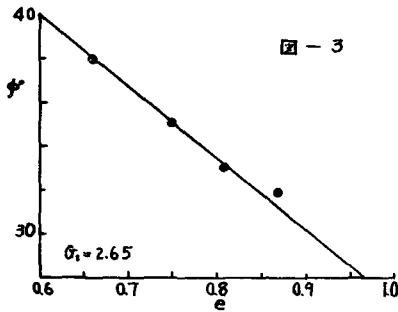
2.2. (土槽) $500\times 1000\times 2100$ の鋼板製で一面はパラグラスによる透明板とし、上部には1:5の比をもつレバー装置をつけ、散弾荷重により載荷されるようにした。

2.3. (使用材料) 地盤用の砂は福岡三宮の海砂で、粒徑および自然乾燥砂の三軸圧縮試験結果は図-2、図-3に示す。節杭での節間充填材料としては、 $D_{max}\leq 4.75\text{mm}$ の碎石を用いた。

2.4. (実験方法) 砂地盤の造成は、含水比 $w=0.5\sim 4\%$ 程度で、 $\gamma_s=1.40, 1.45, 1.50, 1.55, 1.60\text{ t/m}^3$ とし、仕上げ厚 10cm となるようにまき出して木製ダンパーで締め固めた。杭の打込みは、 $W=2\text{kg}$ 、 $H=30\text{cm}$ を標準とし、ガイドに沿わせ小型奥矢で打込んだ。節杭にあける碎石の充填は、地表面で杭周辺に盛上げ、打込みによる自然締固めとした。載荷試験は載荷回数を5段階以上とし、1段階当り30分の定荷重法を用いた。円筒杭では別に引抜き試験を行ない、その結果と近似的に周面抵抗をみなすことにした。また2つ割り杭を用いて碎石の充填状況を観測すると同時に、暗所に於いてカメラの絞りを開放に保ち、ストロボを数回発光させ載荷時の土粒子の動きを連続撮映し、支持機構判明の一助とした。

図-1





3. 実験結果および考察
 3.1. 極限支持力(Q_u) 節杭および円筒杭の Q_u を e について整理すると図-4の通りである。地表面からの貫入深さは、円筒杭で40^{cm} 節杭は最先端節までを40^{cm}とした。図からも分かるように節杭の値は円筒杭の値よりも常に大きい。杭の断面積、貫入深さはほぼ等しいことから、 Q_u の値は単に杭の寸法のみによるものではないことが分る。

3.2. 先端抵抗(Q_p) Q_p と e の関係を図-5に示す。平均的には節杭の値が円筒杭の値より大きい。これには次のことが考えられる。先端の形状は図-6に示す通りであり、それぞれの値は(1),(2)式で表わすことができる。いま Q_p をMayerhofの式

$$Q_p = A \cdot r \cdot \sum N_f \quad \dots (3)$$

を用い、近似的に節部と円筒杭の断面積が等しいとすれば、両杭の Q_p の差は

$$\Delta Q_p = r K N_f A + r \left(\alpha + \frac{1}{2} \right) K \tan \delta \cdot \pi \cdot h \quad \dots (4)$$

で示される。ただし杭の支持地盤への貫入はないものと考えて $\beta = 0$ のときの複合支持力係数 N_f を用いる。(3)式を基にして得

られた(1),(2)式の値は図-5に計算値として示している。これらは実測値とよく一致し、計算値が妥当なものであることを表わしている。結局 Q_u の差は(4)式となり、面積比1.05倍を加味しても、図-4に表われた Q_u の差にはほぼかゝらばならない。したがって極限支持力の差の大部分は 周面抵抗の差にあることが分る。(4)式中の $K \tan \delta$ については後述する。

3.3. 周面抵抗 (Q_2) についての考え方 円筒杭に關する周面抵抗の研究は多くしかも非常にむずかしい問題を含んでいる。それらの中で砂地盤における Q_2 の値を例えは

$$Q_2 = \int r z K_s \mu \cdot U dz \dots\dots\dots (5)$$

r : 土の単位重量, z : 地表面からの深さ, K_s : 土圧係数
 μ : 摩擦係数, U : 杭周長

で表わすことができる。しかし円筒杭と節杭では周面の形状が異なるので、円筒杭にはそのまま用いることも、節杭に常に (5) 式が適用できるとは限らない。すなわち同一地盤で節杭の極限状態を考えると、いま (h/a) が小さければ、杭は木ネジを引き抜くときと同じように、節部と等しい断面をもつ円筒状すべりを起し、一方 (h/a) が大きければ、節には応力集中によつて先端抵抗的な働きを生じ、杭軸の摩擦抵抗と合成され (h/a) が無限大となれば杭軸抵抗となり、(5) 式が適用される。すなわち (h/a) の大きさによつて支持機構が異なり Q_2 は (6), (7) 式のいずれかの型式で表わすことができる。

$$Q_{21} = A_1 \cdot f_d + A_2 \cdot f_1 = A_1 \sum_{i=1}^n r z_i N_g + \frac{r l^2}{2} U K_s \mu \dots\dots (6)$$

$$Q_{22} = A_2 \cdot f_2 = \frac{r l^2}{2} U K_s \tan \phi \dots\dots\dots (7)$$

A : 節の断面積, z_i : 各節の地中深さ, U : 杭軸周長, U : 節の周長, ϕ : 土の摩擦角,
 n : 地中における節数, N_g : 複合支持力係数

これらの境界となる又は単に $Q_{21} = Q_{22}$ とおくことではなく、節の荷重によるすべり線を考えることが必要である。いま節に荷重がかかり地盤が破壊する場合 フーチングの支持力論と同様に考えれば、

図-7 (a) に示す節端の A 点と極点 $P = \overline{AB}$ を始線とする対数らせん状にすべるものとする。いま

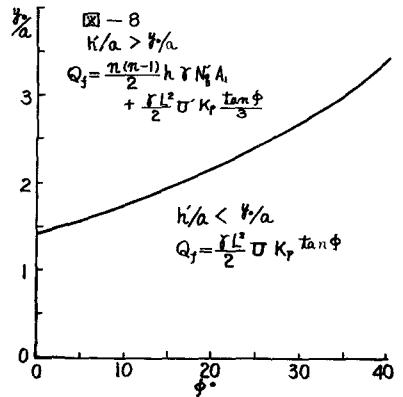
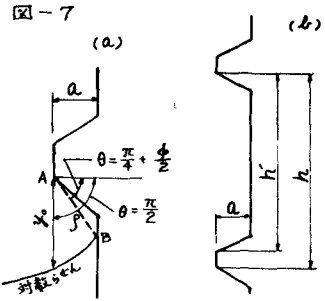
$$y = p \cdot \exp \{ (\theta - \pi/4 + \phi/2) \tan \phi \} \quad \text{ただし } p = a / \cos (\pi/4 + \phi/2) \dots\dots\dots (8)$$

とおけば、節端 A における鉛直面での値 y_0 は $\theta = \pi/2$ を代入して

$$y_0 = \frac{a \cdot \exp \{ (\pi/4 - \phi/2) \tan \phi \}}{\cos (\pi/4 + \phi/2)} \quad \therefore \quad \frac{y_0}{a} = \frac{\exp \{ (\pi/4 - \phi/2) \tan \phi \}}{\cos (\pi/4 + \phi/2)} \dots\dots\dots (9)$$

が得られ y_0/a は摩擦角のみの関数となる。この y_0/a の値と上述の節巾 a と節間隔 h の比 h/a を比べ、 $h/a < y_0/a$ であれば、下段の節をすべり線が切ることになる、節の抵抗は互に影響を受ける。逆に $h/a > y_0/a$ のときは、節の抵抗が充分に發揮されて Q_2 としては (6) 式の型と考えることができる。いま (9) 式を ϕ について求めれば図-8 のようになり、自然地盤の常識的範囲では $y_0/a < 4$ と考えられる。しかしすべり面の破壊域の影響や節の純間隔を加味すべきであり、また上載圧力比が小さい場合とが、節の地表面からの深さによつても節の荷重分担率は異なってくることを考えられる。

3.4. 模型杭の実測値 Q_2 Q_2 の実測結果は図-9 に示す。節杭ではストレインゲージによる載荷時の値で、円筒杭は引抜き抵抗値とプロットしたものである。いまかりに両杭とも (5) 式によるものと



すれば(10)式が得られ、実験値にもよく
 K が求まる。いま K_0 は H.O. Ireland の実験値
 の傾向を参考にし、変位土圧係数 K_p を用
 い、 $\tan \delta$ はすべり面の発生位置によつて
 異なる値であるから $\tan \delta = \beta \tan \phi$ とおけ
 ば、理論的には(11)式が得られる。

$$K = K_0 \tan \delta = 2 Q_0 / r L^2 U \dots (10)$$

$$K = \beta \cdot K_p \tan \phi \dots (11)$$

いま(10),(11)式を求めて比較すると図-10

の通りで、円筒杭では $\beta \approx 1/3$ 、節杭では

$\beta = 0.6 \sim 1.4$ となる。節杭すべりが円筒状とすれ

ば、せん断は土中で起り $\tan \delta$ の値は $\tan \phi$ 以内で

あり、 $\beta > 1$ となることは不合理である。また普

通の杭の載荷試験結果では、周面抵抗は先端抵抗

よりも早く降伏し、上載圧とは比例的でないこと

が知られているが、節杭の測定結果では、ほとん

どの場合において比例的に増加する。これらのこ

とは節杭の周面抵抗が(5)式の型式ではないこと

の現象と考えられる。ここで前節の考えを適用す

れば模型杭は $h/a \approx 9 > 8/a$ ($2 \leq \phi < 40^\circ$)

となり(6)式の型式が考えられ、上述の傾向と一致する。結局こ

の模型杭による実験結果から Q_0 の式として

$$\text{節杭} \quad Q_0 = \frac{\pi(a-u)}{2} h \cdot r N_0 \cdot A_1 + \frac{r L^2}{2} U \cdot K_p \cdot \frac{\tan \phi}{3} \dots (12)$$

$$\text{円筒杭} \quad Q_0 = \frac{r L^2}{2} U \cdot K_p \cdot \frac{\tan \phi}{3} \dots (13)$$

が得られる。上式の計算値は図-9に示す。

また同一地盤条件において、模型杭の h/a を変えた場合の支

持力を測定した結果、実験値は上述の考えに基づいて計算され

る値とよく一致し、その妥当性と裏付けることが出来る。

4. むすび 節杭の特長は周面抵抗の大きいことにあるが

それは h/a 、 ϕ によつて異なり、 $\phi < 40^\circ$ の砂地盤では $h/a > 4$ であれば Q_0 は(12)で求めることと

なり、したがって周面抵抗を主とした使用法の場合は円筒杭にくらべて非常に有利である。

最後に本実験に御協力いただいた三信基礎工業、本吉野間口用義、岡部雅二、若生前島幸三、浅野

勝己の皆さんに感謝致します。

参考文献 西田義親：杭基礎に関する文献集録(1960)、青木、竹山：コンクリートパイプハンドブ

ック、Ireland, H.O.: Pulling tests on piles in sand. Proc. 4th Int. Conf. S.M.F.E., 最上、瀧、山口：土質力学、

