

IV-14

節 杭 の 支 持 力 (第2報)

九州産業大学工学部 正員 石 堂 稔

1. はじめに この節杭とは、杭幹(全長 $=d$)のある間隔(h)ごとに、巾(a)の棚状の突出部(節)を設けた形状の杭である。一般に節部の平均巾($2a+d$)が RC杭などの均一断面の杭巾と等しく、貫入長さが等しければ、支持力は前者が後者より数割以上は大きくなることが多い。節杭の支持力算定の近似的な方法として、節部の中と等しい均一断面杭とみなして得られ^る値を適当に補正する方法がある。実際に節杭で生ずる抵抗が同様の機構に基づくものであれば、節周のすべり面は土中にあり、土と杭の間の抵抗にくらべて大きくなるであろう。例えば円柱杭の支持力の構成が、(先端抵抗) $\div$ (周面抵抗) $=2:1$ であり、(土のせん断抵抗) $\div$ (土と杭の間の抵抗) $=1:1$ と仮定すれば、節杭の支持力は円柱杭の値の $(x+y)/(x+1)$ 倍になる。しかし節杭の支持力が常にそのような機構によつて発揮されるか否かの確証はない。先に筆者が砂地盤に対して行なった室内模型実験の結果では、上記の支持力の比率は $(x+y)/(x+1)$ よりかなり大きな値を示し、支持力増加の要因としてはむしろ節の支持作用によると考^ええ方が妥当であることを示した。いずれにしても、節の働きは節杭の支持力を左右する大きな役割をもっている。ここでは (h/a) の大ききの異なる模型杭を用いて、土槽中の砂地盤で行なつた実測例によつて、節杭の支持機構を検討したものである。

2. 支持機構について 均一断面の杭の場合、極限支持力(Q_d)は一般に先端抵抗(Q_p)と周面抵抗(Q_s)の和で表わされ

$$Q_d = Q_p + Q_s \quad (1)$$

と表わされることが出来る。 Q_p の計算には Meyerhof^の あるいは Terzaghi^の 式を用いれば、砂地盤では

$$Q_p = (\beta \cdot B \cdot \gamma N_r + \gamma L N_q) A \quad (2)$$

$$= \gamma L N_q' \quad (2')$$

で求められる。また Q_s の値は同く砂地盤では

$$Q_s = \frac{1}{2} \gamma L^2 k \mu U \quad (3)$$

によつて求められる。ただし

γ : 土の単位重量, B : 杭径, L : 杭の根入長,
 A : 杭断面積, U : 杭周長, β : 形状係数,
 k : 土圧係数, μ : 摩擦係数, N_r, N_q, N_q' : 支持力係数

節杭の場合、先端抵抗は(2)式の形を適用できるが、周面抵抗に関しては次の考へによつて判断する。

第一段階としては、杭幹表面の摩擦抵抗(Q_{s1})

(これは純粋の杭周面抵抗)と節の支持抵抗(Q_{s2})とからなり

$$Q_s = Q_{s1} + Q_{s2} \quad (4)$$

で表わされるとする。ただし Q_{s1}, Q_{s2} はそれぞれ(2),(3)式の形で求められる。(4)式では純粋の杭周面抵抗は Q_s の一部であり、円柱杭などにあつる周面抵抗とは異なつた性質のものであり、節杭の Q_{s2} は周辺抵抗といえよう。

しかし Q_{s2} が(4)式の形をとるならば、節の間隔が十分大きなときであり、もしある限度より小さな間隔であれば、節の外周を軸方向に結んだ土中にすべり面を生じ、一種の押板抵抗が生ずる。この場合節間の土は杭と一体となつて動き、節の支持作用は発揮されなくなる。したがつて Q_{s2} の値としては、(3)式の形をとり、 U =(節の外周長)、 $\mu = \tan \phi$ と考へることが出来る。このように Q_{s2} の値が(4)式から(3)式に変わる境界条件としては、

次のことが考へられる。

一つには前報でも示したように、節が下方へ移動すれば、支持力理論で考えられているように、節の下地盤に上のクサビと対数ラセン状のすべり面を生ずる。一方その節の上側では、節が上から離れる方向へ移動するので、原理的には半無限体の圧縮の場合に空洞を生じた状態と等しく、二次元的に考えれば、トンネルクラウンなどで考えられるような平衡アーチを形成すると仮定する。これらについては、プラスチックの二次元模型を用いて、砂および鉛散弾の移動状況と写真観測した結果、その傾向を把握することができた。

しかもこの状態は各節について同様であるから、上下の節の間には対数ラセンゾーンと平衡アーチゾーンが共存する。両ゾーンが互に干渉しないだけの十分な間隔があれば、節は完全な支持作用を発揮し、干渉するとは、両曲面は形成不可能となり、節間の土は杭と共に移動する。その限界節間隔(y_0)は、図-1(a)のように丁度それらが接したときの距離の和で表わされる。

対数ラセンについては図-2(a)から

$$\frac{y}{a} = \frac{\exp\left\{\left(\theta - \left(\frac{\pi}{2} + \frac{\alpha}{2}\right)\right) \tan \phi\right\}}{\cos\left(\frac{\pi}{2} + \frac{\alpha}{2}\right)} \quad (5)$$

で示す水、中の周数で与えられる。また図-2(b)

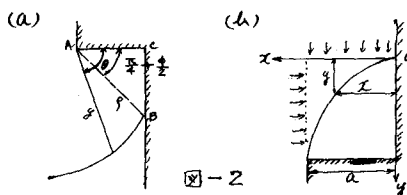


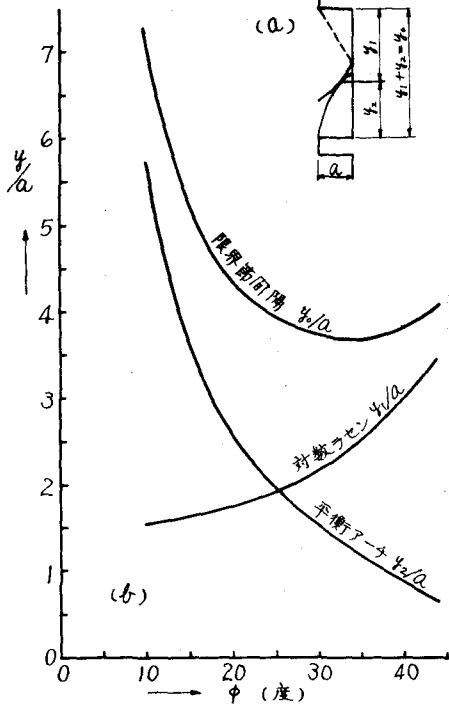
図-2

のような平衡アーチについては、プロトジメコノフによる自然平衡アーチ理論を応用すれば、

$$\frac{y}{a} = \left(\frac{x}{a}\right)^2 \frac{1}{\tan \phi} \quad (6)$$

が得られる。(5),(6)式から(y/a)を求めると図-1(b)のようになる。 $25^\circ \leq \phi \leq 40^\circ$ の範囲で最も小さくなる。理論上 $y/a = 3.7 \sim 3.9$ である。また ϕ が小さくなればアーチゾーンの影響が大きくなる

図-1



なると同時に、せん断抵抗が小さくなるのでアーチ形成そのものが実際には不可能に近いが、あるいはアーチ頂部での杭群摩擦力などの影響によって、理論上の限界節間隔では多少低くなるものと考えられる。しかし一応の基準として、限界節間隔と純間隔の関係から、節杭の周面抵抗は

$$h/a > y_0/a \quad \text{のときは (4) 式の形}$$

$$h/a < y_0/a \quad \text{のときは (3) 式の形}$$

で表わすことができる。

3. 実験結果および考察

模型杭はアクリル合成樹脂板を加工したもので、 $d = 3\text{mm}$ 、 $a = 1\text{cm}$ を一定とし、 $h/a = 5, 7.5, 10, 15$ の4種類を用いた。たゞし長さ h/a に応じ多少異なる。砂地盤は上層中に $\rho_s = 1.45, 1.50, 1.55, 1.60 \text{ g/cm}^3$ の密度につめ、各密度に対して各杭の載荷試験と定貫入法で行なった。打込み時の定

填材の補給は別に待たず、
打撃による自然締固めとした
もので、全体が同一材料から
なっている。

図-3,4は h/a および γ_a の
異なるときの状態における
軸力分布曲線の例を示した。
図中では、 Q_f の計算値は(4)
式による値を実線、(3)式に
よる値を破線で示した。た
し計算上の定数として

$$(4) \dots \mu = \frac{1}{3} \tan \phi, K_L = K_T$$

$$(3) \dots \mu = \tan \phi, K_L = K_T$$

を用いた。図の資料に限定し

て考えると、 $h/a=5, \gamma_a=1.50\%/\text{cm}$

の実測値だけは(3)式による計算値とよ
く一致し、その他の場合はすべて(4)式
の計算値の傾向と一致している。すなわち
前者の場合は筒状すべりを起しているの
に対し、後者では節の支持作用が発揮さ
れていることになる。また特に $h/a=5$
で明らかなのは、密度の大小によつて
支持機構が異なる。したがって抗の諸元
が一定であっても常に同じ機構で支持力
が得られるとは限らない。同じ機構であ
れば、 h/a の小さい方が有利であり、筒
状すべりを起さない範囲(すなわち h/a
 $> \gamma_a/a$)で h/a を小さくすれば、根入長
さをかなり低減できることがよく分る。
逆に $h/a < \gamma_a/a$ となるようなときは、同

一根入長さ中に節数をいくら増しても、支持力の
増加をはかることはできない。したがってその地
盤の相対密度または内部摩擦角に応じた最適節間
隔が存在するといえる。その一つの基準として
 γ_a/a が考えられる。

図-1(4)によって限界節間隔比 γ_a/a を求める

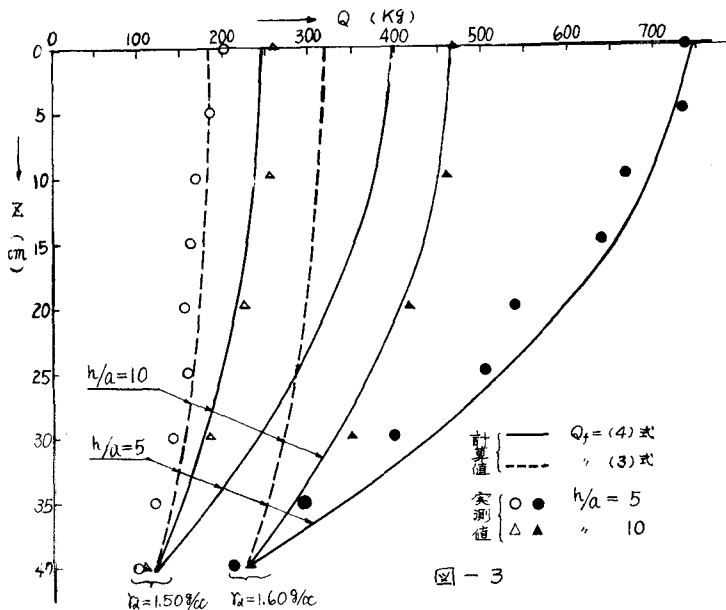


図-3

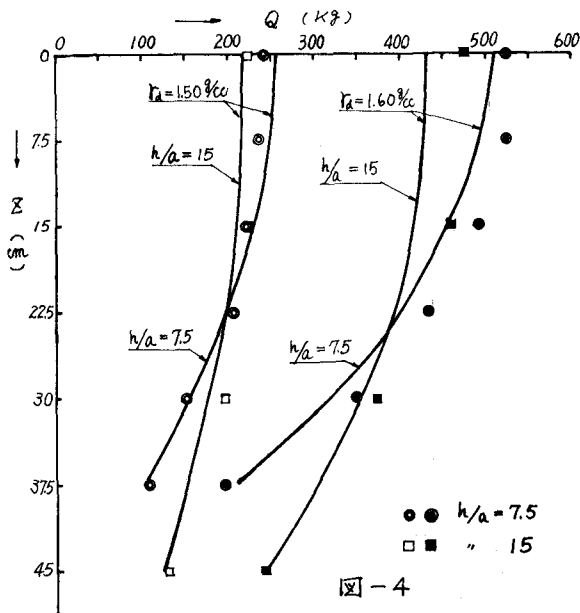


図-4

〔使用砂〕

福島県相馬砂

$$G_s = 2.65 \quad D_{10} = 1.35 \text{ mm} \quad D_{50} = 2.02 \text{ mm} \quad C_u = 1.56$$

$$\gamma_{a \text{ min}} = 1.35 \text{ \%}/\text{cm} \quad \gamma_{a \text{ max}} = 1.73 \text{ \%}/\text{cm}$$

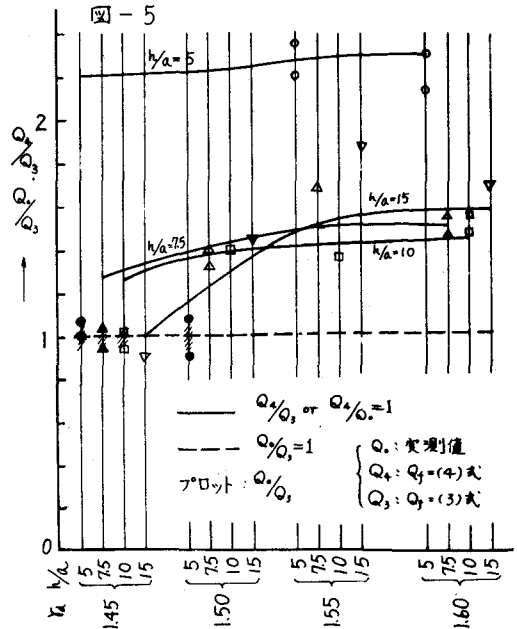
$$\gamma_a (\text{g}/\text{cm}^3) \quad 1.45 \quad 1.50 \quad 1.55 \quad 1.60$$

$$\phi (\text{度}) \quad 31.5 \quad 37.0 \quad 39.0 \quad 41.0$$

と、 $\gamma_a = 1.45 \sim 1.60 \text{ g/cm}^3$ ($\phi = 31.5^\circ \sim 40^\circ$) の範囲では、 $\gamma_0/a = 3.7 \sim 3.9$ が得られ、模型杭の節節間隔比にくらべて常に $h/a > \gamma_0/a$ となっている。ゆえに Q_3 の値は理論上 (4) 式が全ての模型杭に適用される。

図-5は $Q_3 = (3)$ 式としたときの極限支持力に対する、その他の場合 ($Q_3 = (4)$ 式の時、実測値) の極限支持力の比を表わしたものである。実測値の比が実線に近いときは、 Q_3 は節の支持抵抗によるものであり、破線に近ければ筒状すべり抵抗からなることを示す。図の結果では、ハッチをつけた部分が後者に当り、他の場合は全て前者の傾向と一致している。筒状すべりを起した部分では、理論値と合わないことになるが、これは前述のように相対密度が小さいとその、アーチの不安定さにもとづくものと考えられる。また同程度の h/γ_0 の比をもつときでも、相対密度が大きい場合は、

そのような現象はみられない。そして節が支持作用をする場合は、筒状すべりをするとともにくらべて、支持力としてははるかに大きく、有利である。



4. 結論 以上のように、砂地盤における節杭の支持力は、節間隔と節中の比および地盤の内摩擦角の組合わせによって定まる。すなわち

- (a) $h/a > \gamma_0/a$ h/a が十分大きいとき、……… $Q_3 =$ 節の支持抵抗
- (b) $h/a > \gamma_0/a$ h/a が小さく、 ϕ が小さい……… $Q_3 =$ 節断に等しい筒状すべり抵抗
- (c) $h/a < \gamma_0/a$ h/a ; ϕ に関係は …… $Q =$ “

として、 $Q_d = Q_p + Q_3$ から支持力が得られる。実測結果は理論値とよい一致を示し、それらを検証することができる。また節の支持作用が発揮される場合は、使用法が摩擦杭的であっても、むしろ特殊な支持杭と考えることができる。ただしアーチの安定度の問題があり、安全率のとり方には十分な配慮が必要であろう。

終りに実験に助力頂いた本学野間口明義、岡部順二、学生中島要男、広瀬信夫の諸君に謝意を表す。

参考文献 飯吉精一：基礎とすい道の編制

土質工学会：土質工学ハンドブック

最上源一、山口：土質力学

石堂：節杭の支持力；42年度、土木学会西部支部研究発表会