

組杭の横抵抗について

開発局札幌開発建設部 竹下 淳

1. 緒 論

鋼管杭、場所打コンクリート杭等の長尺杭工法の発達に伴ない、軟弱地盤上の構造物基礎として杭基礎が脚光を浴びるようになったが、これらを用いる場合は、従来の鉛直支持のみを目的とした基礎杭から脱脚して、横方向力に対しても有効な完全な基礎構造としての性格が要求されなければならない。横方向力に対する杭の性質は、土の性質に支配されるため、極めて複雑な様相を呈するものであり、更に実際には全体の杭が1体となつて、いわゆる組杭として仿らくことになるので、現在のところ非常に不明解な状況である。本論文は、組杭の基本的性質を明らかにする目的で図-1に示すような2, 3の型式の組杭について、その横抵抗を検討したものである。

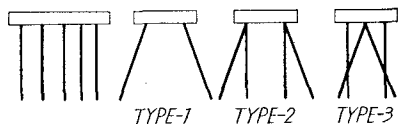


図-1

組杭の構造解析にあたって考慮すべき要素の中でも、特に重要な単杭の性質自体が上述したように極めて不明解であるため、複雑な構造解析を行なってもその結果は正確なものとはいひ難いわけであるが、本論文においては、組杭の基本的性質を調べる目的からいって他の条件にはなるべく忠実に解析し、不明解な点は単杭の性質に集約することによって傾向的な判断を誤まらないように努めた。以上のような見地から、解析上設けた仮定は次のとおりであり、概ね実際と合致され得るものと考えられる。

- (i) フーチングは完全に剛である。
- (ii) 杭頭はフーチングに剛結されている。
- (iii) 杭頭は杭軸方向および横方向(変位および回転)に弾性常数を有し、各杭の弾性常数は

すべて等しい。

(iv) 杭の弾性的挙動は弾性床上の半無限長梁として説明できる。

(iv) の仮定に基づいて杭頭の横方向弾性定数を求めるに当り、相対剛性係数 1), 2) を導入すれば

$$\left. \begin{aligned} \delta_h &= \lambda_h \frac{T^3}{EI} & \phi_h &= \mu_h \frac{T^2}{EI} \\ \delta_m &= \lambda_m \frac{T^2}{EI} & \phi_m &= \mu_m \frac{T}{EI} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

ここで(図-2 参照)

δ_h : 単位の杭軸直角方向力が杭頭に作用した場合の杭軸直角方向変位

ϕ_h : 単位の杭軸直角方向力が杭頭に作用した場合の杭頭の撓み角

δ_m : 単位の転倒モーメントが杭頭に作用した場合の杭軸直角方向変位

ϕ_m : 単位の転倒モーメントが杭頭に作用した場合の杭頭の撓み角

EI : 杭の曲げ剛性

$\lambda_h, \mu_h, \lambda_m, \mu_m$: 定数(上の反力係数が深さに関して一定の場合の単杭では、それぞれ $\sqrt{2}, 1, 1, \sqrt{2}$ となる)

T : 相対剛性係数(同上の場合 $T = \sqrt{EI/K}$ K : 杭の総巾に対する土の反力係数)

T を長さの尺度として用いることによって組杭について一般数値解を求めることができるので、この方法によって2, 3の型式の組杭について、その横方向荷重に対する性質を検討する。検討にあたって取りあげた要素は次のとおりである。

- (i) 杭の配置、間隔、($B = b \cdot T$)
- (ii) 斜杭の角度 α
- (iii) $\kappa (= k_h/k_v)$ (k_h は杭頭横方向ばね定数 ($1/\delta_h = EI/\lambda_h T^3$) k_v : 杭頭軸方向ばね定数)

なお、特にことわらない限り土の横方向反力係数は深さに関係せず一定であると仮定して検討を進める。

2. 鉛直杭のみよりなる組杭の配置

図-3に示すように鉛直組杭に E なる偏心を持った水平力が作用した場合のフーチングの変位 δ 、回転角 ϕ 、杭反力

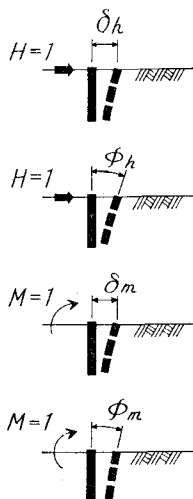


図-2

V_i および杭頭曲げモーメント M_i は次式で示される。

$$\left. \begin{aligned} \delta &= \frac{H}{N} \cdot \frac{T^3}{\sqrt{2} EI} \cdot \left(1 + \frac{1 + \sqrt{2} e}{1 + j}\right) \\ \phi &= \frac{H}{N} \cdot \frac{T^2}{EI} \cdot \frac{1 + \sqrt{2} e}{1 + j} \\ V_i &= \frac{H}{N} \cdot \frac{1}{\sqrt{2} \kappa} \cdot \frac{1 + \sqrt{2} e}{1 + j} x_i \\ M_i &= -\frac{H}{N} \cdot \frac{T}{\sqrt{2}} \left(1 - \frac{1 + \sqrt{2} e}{1 + j}\right) \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

ここで $j = \frac{J/T^3}{N\kappa}$; J : 杭群の重心の廻りの 2 次モーメント $\sum X_i^2$

$x_i = X_i/T$; X_i : 杭群の重心から i 番目の杭までの距離

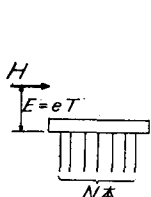


図-3

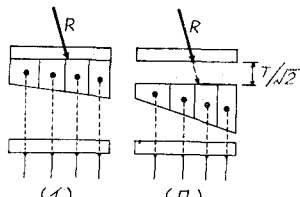


図-4

橋台の場合のように組杭に対する上載荷重が一定している場合は、反力梯形を等面積に分割して、その重心位置に杭を配置するのが慣例である。〔図-4 (a)〕

この方法は、杭頭とフーチングとがヒンジ結合になっている場合は、各杭に対する反力を均等化させることができるが、杭頭とフーチングが剛結の場合は、杭頭に発生する負の曲げモーメントのために反力が前趾側の杭に片寄りフーチングに回転を生ずるので、フーチングそのものの水平変位量も増大し、更に回転による変位も加算されることとなる。このような場合は、図-4 (b) のように合力 R をフーチング下面より $T/\sqrt{2}$ だけ延長した所で反力梯形を求め、その分割重心位置に杭を配置すれば、各杭の反力は均等となり、フーチングには回転を生ぜず、水平移動に対する杭頭の剛結効果も充分発揮できる。

3. 2本の斜杭よりなる組杭 (TYPE-1)

図-5 のような組杭について α , b , κ を変えた場合の性質について検討を行なう。

図-6 はフーチングに水平力を作用させた時のフーチングの水平変位を上端自由の単杭の場合の水平変位量との比較で示したものである。

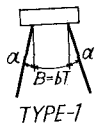


図-5

この中で b が負の値をとることは斜杭が交差することを意味する。直杭の場合は当然ながら正負に関係なくグラフは $b = 0$ に対して対称な形を示す。この図から次のことが説明できる。

(i) 斜杭の効果は b が小な場合、又は κ が小な場合顕著

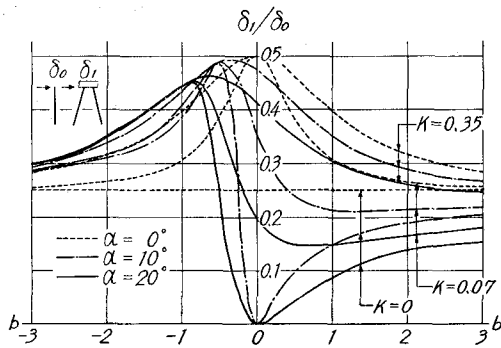


図-6

であるが、反対の場合は大差ない。

(ii) $b = 0$ ということは杭の軸方向変位を無視した場合、および鉛直杭の場合は特別な意味を持つが、それ以外の場合は杭の配置上の 1 case に過ぎない。

(iii) 一般に水平抵抗は $b = 0$ とするより、或る程度 b を持たせた方が強くなる。

図-7 は $\kappa = 0.07$ の場合について、この組斜杭の λ_m , μ_m

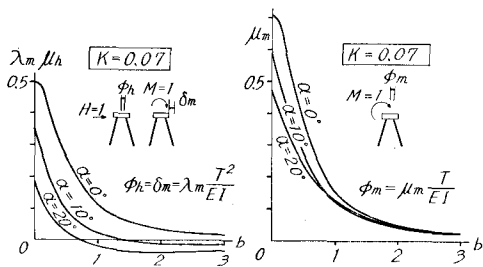


図-7

および μ_m (1 の定義に準ずる) を図示したものであるが、これから斜杭が転倒モーメント或いは回転に対しても有利なことが知られる。

図-8 は $\kappa = 0.07$ の場合について組斜杭の杭反力を図示

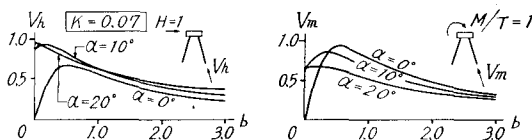


図-8

したものであるが、軸直角方向力に対しては斜杭の場合の反力が大きい、転倒モーメントに対しては斜杭が有利となる。

図-9 は $\kappa = 0.07$ の場合について横荷重によって杭頭に発生する曲げモーメントを示したものであるが、この結果水平力によって発生する曲げモーメントの絶対値は、斜杭の方が少ないが、転倒モーメントによるものは、斜杭の方が大きくなっている。しかし、通常水平力と転倒モーメント

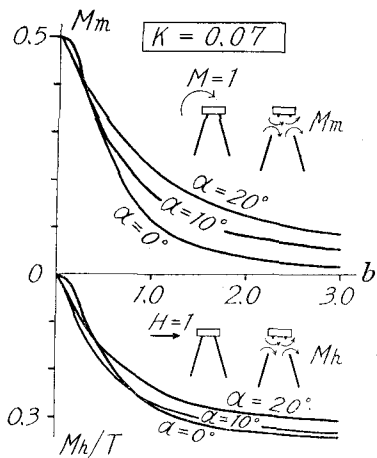


図-9

トは複合して杭頭に作用し、水平力によって杭頭に発生する負の曲げモーメントを転倒モーメントによるもので打ち消す方向に傾くという形をとることが多いから、このような外力に対しては、斜杭の場合の方が杭頭曲げモーメントは小さくなるわけで、依然として斜杭の有利性は動かし難い。従って、組斜杭は転倒モーメントに対しては変位や回転が少なく、然も反力が少なくなるので特に有利であることが分る。

図-10 は $\alpha = 15^\circ$ 場合について、この組杭の λ_h (1 の定

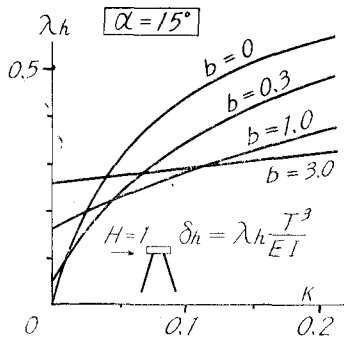


図-10

義に準ずる) に対する k_v の影響を調べたものであるが、杭の軸方向変位を無視して $k_v = \infty$ とした場合、即ち $\kappa = 0$ とした場合は、特に b の小さい範囲において水平抵抗に対する過大評価となる恐れがある。

図-11 は $\alpha = 15^\circ$ $b = 0$ の場合について λ'_h ($\delta_h = \lambda'_h/k_v$) に対する k_h の影響を調べたものであるが、杭の横抵抗を無視して $k_h = 0$ とした場合、即ち $\kappa = 0$ と考えた場合は、斜角が $10^\circ \sim 15^\circ$ の場合特に水平抵抗に対して非常に不利な評価となる。

図-12 は $\alpha = 15^\circ$ の場合水平力による杭反力に対する κ の影響を示したものであるが、 $\kappa = 0$ 即ち、杭の軸方向変

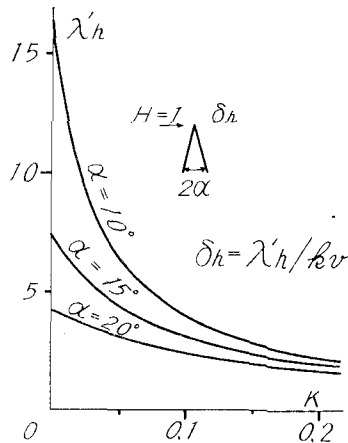


図-11

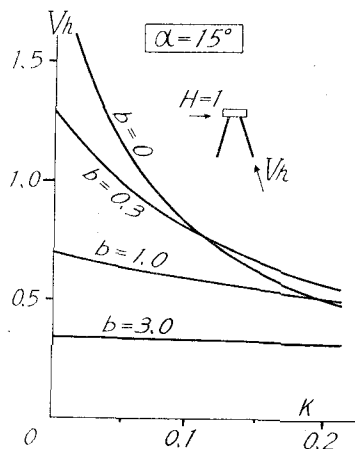


図-12

位や横抵抗を無視すると b が小な場合反力が非常に大きくなって不利となるが、 b が大となれば大差はなくなる。

4. 2本の斜杭と2本の直杭からなる組杭

図-14 は $\kappa = 0.07$ $\alpha = 10^\circ$ の場合について 図-13 に示すような2種類の組杭と、3 に示した TYPE-1 の組杭についてフーチング下面より上に $E = eT$

なる偏心を持った水平力による水平力作用点の水平変位 δ_e および杭反力 V を示したものである。TYPE-1 については他との比較の都合上2組用いた場合の結果を示し TYPE-2, TYPE-3

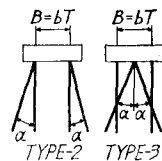


図-13

の杭反力は、斜杭と直杭のうち大なるものを示した。この結果、横方向支持効果は2本の斜杭と2本の直杭よりなる組杭は何れも2本の斜杭からなる組杭 (TYPE-1) に劣ることがわかり、更に杭反力においても TYPE-1 が有利であることが知られる。図-15 は $\alpha = 20^\circ$ $e/b = 1$ の場合について κ を変化させて前図と同様の検討を行なったが、結論

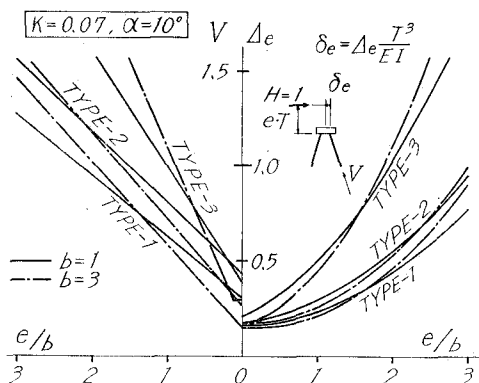


図-14

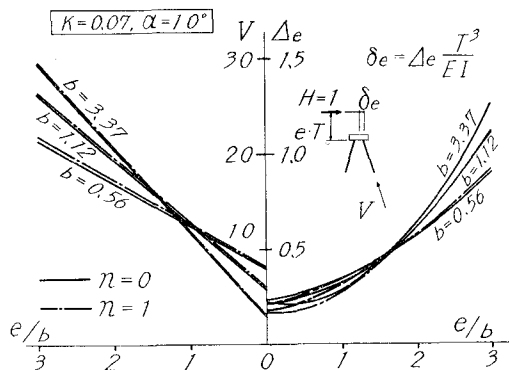


図-16

は同様である。この結論は常識的な推測に相反するもののようであるが、 k_h , k_v を考慮することによって引出されるものである。このように k_h のみならず k_v が組杭の横方向支持効果に著しい影響を与えるわけであるから組杭の横荷重に対する実験結果を利用するに

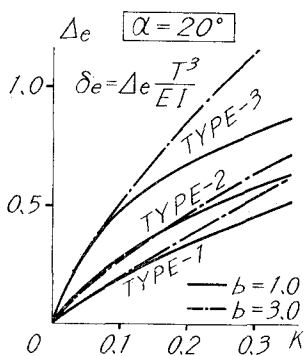


図-15

あたり、通常これらの実験が押し込みに対しては k_v の非常に大きな範囲で行なわれ、更に純粋の引抜力が作用する状態で行なわれることを考慮すれば、 k_v 、更には組杭の横方向支持効果の評価に際して特に注意が必要ながことが知られる。

5. 土反力係数 K が深さの関数の場合

前節迄の考察は緒論で述べたように、土の反力係数が深さに関係なく一定の場合、即ち

$$K = kx^n \quad [x \text{ は深さを示す}]$$

と表わし、 $n=0$ とした場合について行なったものである。実際の土では一般的には K は深さの関数と考えられるわけであるが、1例として $n=0$ の場合と $n=1$ 即ち、土の反力係数が深さに比例すると考えられる場合との差について検討してみる。

図-16 は杭頭の水平バネ定数 k_h が等しい場合に、土の反力係数の分布を $n=0$ と考えた場合と $n=1$ と考えた場合について 図-14 において検討したと同様な検討を行なったものであるが、両者の間の差は極めて小さい。また、図-17 は同様な場合の杭頭曲げモーメントを比較したものであるが同様な結果を示している。

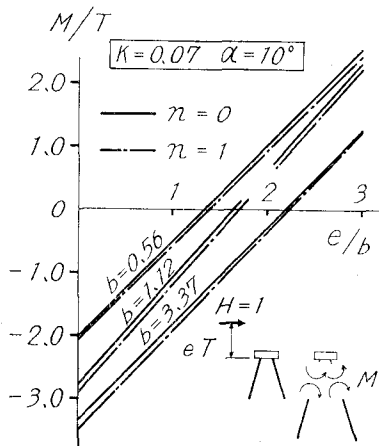


図-17

なお、図-16, 17 において $n=0$ の場合と $n=1$ の場合を単純に比較できるように、 T の値は $n=0$ と仮定して求めたものを $n=1$ の場合にも共通に用いた。

以上の検討により、土の反力係数の分布が一様でない場合でも特に著しい変化がない限り、杭頭バネ定数の評価さえ誤まらなければ、それを一定と仮定して計算しても結果は大差ないということができるようである。

6. むすび

組杭の基本的性質を検討するに当り、寸法の尺度として相対剛性係数 T を導入することによって各種組杭の一般的数値解を求め比較検討したものであるが、冒頭に述べたように、この解析の基本となる単杭の性質自体に不明確な点が多いため、多少の問題点が残るわけで、単杭の性質の評価特に組杭の要素としての性質の評価が今後の問題点として研究が期待される。

しかし、本資料中別論文にも発表されているように基本的にはここで採用した仮定に基づいた計算方法が、実験値とかなりよく一致することも実証されており、前節迄に導いたいくつかの結論も概ね正しい傾向を示しているものと

考えてよいようである。今後幾多の実験結果により本論に対する読者諸賢の御批判を頂ければ幸甚の到りである。

参 考 文 献

- (1) Matlock, H. and Reese, L. C. : Generalized Solution for Laterally Loaded Piles; Proc. ASCE Vol. 86,

No. SM 5, Oct. 1960

- (2) 竹下淳： 横荷重をうけるクイに関する2,3の考察；
土木学会北海道支部 技術資料第18号
(3) 小坂久基： 組抗解法の実験的照査について； 土木学会北海道支部 技術資料第20号