

4. 杭先端角度の異った摩擦杭の Point Resistance と Skin Friction についての一考察

広島大学 林 公重

本報告は第19周年次学術講演会に発表した続編である。

前記講演会に発表した要旨：支持力は杭先端角度を考慮した場合、次の如く考へられる。

$$Q = A\delta HK_p + \frac{1}{2}L\delta(H-l_0)^2KM - \frac{AL\delta(H-l_0)^2KM}{\pi(l_0 \tan \alpha + r)(H \tan \alpha + r)} \quad \text{---(1)}^{(3)}$$

(1)式は図-1に示す如き実験条件下においては次の如くである。

$$Q = A\delta HK_p + L\delta H(k-l_0)KM - \frac{AL\delta HKM \cot \alpha}{\pi(l_0 \tan \alpha + r)} \quad \text{---(2)}$$

図-1

但し Q ：支持力、 A ： $\pi r^2 \frac{1+\frac{2\lambda}{\pi} + \frac{\pi}{2} + \cot \alpha}{1+\frac{\pi}{2}}$ 、
 δ ：土の単位重 (g/cm³)、 H ：杭の根入深さ (cm)、
 K_p ： $\tan^2(\frac{\pi}{2} + \frac{\alpha}{2})$ 、 K ： $1 + \tan^2 \alpha$ 、 L ： $2\pi r$ 、
 k ：実験杭長 (cm)、 l_0 ：杭先長 (cm)、 α ：杭先端角度、
 M ：摩擦係数、 α ：杭と土の摩擦角 (30°)、
 α ：土の内部摩擦角、 r ：杭の半径 (cm)。

上式は模型杭 (直径10mm) による支持力の実験結果には比較的良く一致するが point resistance, skin friction 個々についてはかなりの相違があるので、実験値は一応正しい値に近いものと考え、式中の point resistance, skin friction と実験値が出来るだけ近似するための一考察を行ったものである。その結果は次式で表わされる。

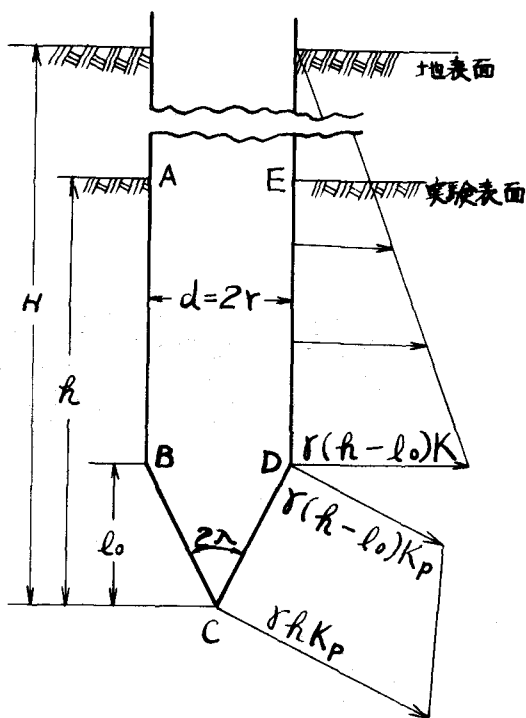
$$Q = \alpha(1 + \frac{\pi}{2} + 2\lambda + \cot \alpha) + \beta S_f + \gamma \quad \text{---(3)}$$

但し $\alpha = \frac{\pi r^2}{1 + \frac{\pi}{2}} \delta HK_p$ 、 $\beta = KM\delta H$ 、 S_f ：杭の円筒部表面積、 γ ：杭先端杭頭の影響による定数。

α, β, γ は次表の如くなり

図-2, 3, 4のXfp曲線にて示す如くかなり良い結果を得たが更に杭径20mm, 40mmの実験を行った結果尚満足出来る状態ではないので更に考察を加へたものが本報告である。

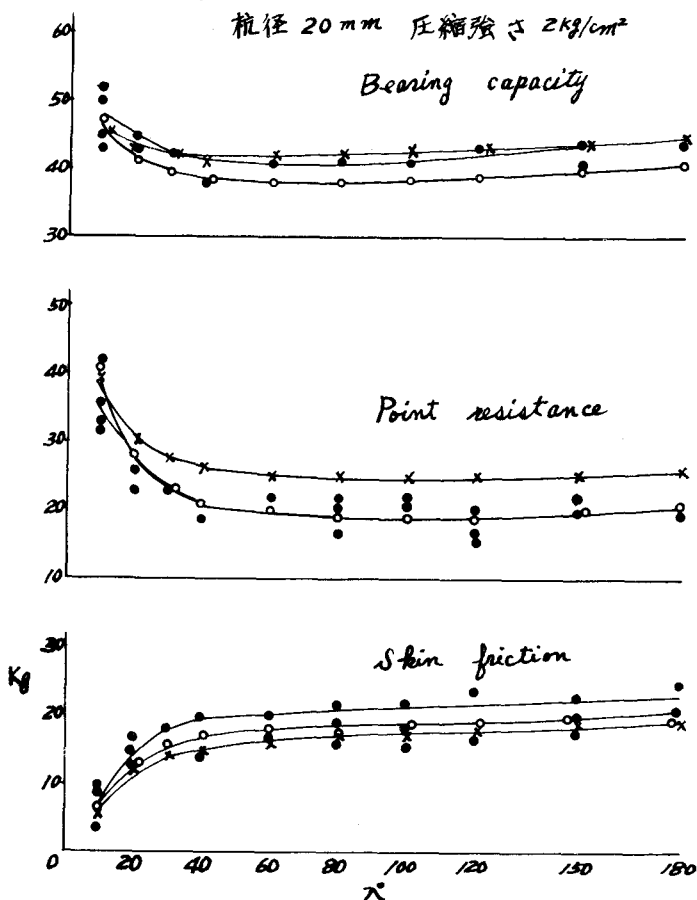
即ち、これらの種の直径の異なる模型杭の支持力は(2)或は(3)式の何れを用いても比較的良く一致するが point resistance, skin friction 個々に於いては杭径が大きくなると(3)式を用いても実験値に近似し難くなる。従つてこの原因を探究すると βS_f を skin friction と仮定するため point resistance は $\alpha(1 + \frac{\pi}{2} + 2\lambda + \cot \alpha) + \gamma$ となり point resistance は実験値より稍、大きく、skin friction は実



加圧強さ kg/cm^2	α	β	γ
1	0.3921	0.0601	2.1892
2	0.6773	0.1121	3.6082
4	1.5450	0.2110	6.8180
8	2.7026	0.3269	14.7676

図 - 3

杭径 20 mm 圧縮強さ 2Kg/cm²



的な式に纏める必要がある。

Point resistance の場合、補正項は(9)式の如く纏め得たので skin friction の場合も同様に考へ纏めると

$$2\pi r(\delta H)K\mu h + k_f(2r-a) = 2\pi t(\delta H)K\mu(h + \Delta h) \quad \text{----- (10)}$$

(Δh は補正項)

となる事を期待され、以下この Δh を定めてみると表の如くである。

杭径 r_{mm}	$k_f(2r-a)$	h cm	$\Delta h/r$
10	0	11	0
20	7	16.4	0.21
40	21	27.9	0.20

実験の誤差を考慮、 $\Delta h/r$ は 0.2 とみなしてよいように思われる。

この定数も δ とおくと (10) 式は $(1+\delta)2\pi r(\delta H)K\mu h$ となる。

次に 2λ を 180° の場合 $= (1+\delta)2\pi t(\delta H)K\mu(h-l_0)$ としても

実験値との誤差は小さい。従つて実験的な式としては $(1+\delta)2\pi t(\delta H)K\mu(h-l_0)$ が skin friction と考へてよい。

斯く考へると (1) 式は $\frac{1}{2}LK\mu\delta(H-l_0)^2$ の代りに $\frac{1}{2}(1+\delta)LK\mu\delta(H-l_0)^2$ となる。従つて (1) 式は次の如き半理論式に書き替へられる。

$$Q = \left(\frac{1+\frac{3}{2}\pi+2\lambda+\cot\lambda}{1+\frac{3}{2}\pi} + \Delta p \right) (\delta H) K_p \pi r^2 + \frac{1}{2}(1+\delta)LK\mu\delta(H-l_0)^2 \quad \text{----- (11)}$$

次に実際上に役立てるため上式を実験の特殊事情に因襲しないような理論式に書き代えと

$$Q = \pi r^2 (\delta H) K_p / (1+\frac{3}{2}\pi)$$

であるから (9) 式は

$$\pi r^2 (\delta H) K_p \left\{ \frac{1+\frac{3}{2}\pi+2\lambda+\cot\lambda}{1+\frac{3}{2}\pi} + \Delta p \right\} \quad \text{----- (9)}$$

の形になる。この Δp は $k_p r^2$ からくる寄与分である。

使用した杭径の大小により δH の値が異つたので、前記3種類の杭の実験値から Δp を求めると $\Delta p \approx 0.5$ となり、 δ は λ によらないものとして考へておるから、この Δp は λ によらない定数と考へられる。

skin friction の補正量

$k_f(2r-a)$ は λ に関係ないから $2\lambda = 180^\circ$ の場合も考へておけばよい。

さて、実験で得られた skin friction (8) 式は

$$\text{Skin friction} = 2\pi r(\delta H)K\mu h + k_f(2r-a)$$

の形であるが、これを理論

験値より稍、小さく表われる傾向がある。従つて γ を更に吟味し、杭先及び杭周の影響によるものに再分離する必要があるものと考へられる。その一方法として次の如く考へてみた。

γ は(3)式では杭先角度入に關係しないものと考へておるから、 γ の成分で杭先に關する要素は πr^2 に比例し、杭周に關する要素は $2\pi r$ に比例すると云ふ實しき利用出来ない。今杭先に關する係数を k_p 、杭周に關する係数を k_f と假定し

$$\gamma = k_p r^2 + k_f r \quad \text{----- (4)}$$

とおき杭径20mm, 40mmの γ を求めると、それぞれ $\gamma = 13, 38$ (kg) となつたから(4)式中の k_p, k_f は次式から求められた。

杭径20mmの場合

$$k_p r^2 + k_f r = 13 \quad \text{----- (5)}$$

$$4k_p r^2 + 2k_f r = 38 \quad \text{----- (6)}$$

(5), (6)式から $k_p = 6, k_f = 7$ となり杭径10mm, 20mm, 40mmの γ のpoint resistance及びskin frictionは次表の如くになる。

これらの値と(3)式のpoint resistance及びskin frictionにそれぞれ加へると、杭径20mmの場合とは良く一致するが杭径10mmの場合 $\gamma = 5$ となり可成り相違し杭径40mmの場合は幾らかの相違が認められた。

従つて改めて、先づ $k_f r$ の満足すべき補正值 Δ_f を実験値から求めると

$\Delta_f = \frac{1}{2}(2r - a)$ (但し $a = 1$ cm) の形で表わされた。

従つて、より正確な關係式として(4)式の代りに $\gamma = k_p r^2 + k(2r - a) \quad \text{----- (2')}$

を假定する事ゝ出来た。

今 Δ_f は $k = k_f = 7, a = 1$ (cm)とおくと $\Delta_f = 0, 7, 21$ となる。

次に(2')式の k_p は杭径10mm, 20mm, 40mmの場合 $k_p = 6$ を適用すると $k_p r^2 = 1.5, 6, 24$ となり実験の誤差を考へると妥当な値と考へられる。

以上の結果、実験的な支持力式として

支持力 = Point Resistance + Skin Friction

と考へれば $\text{Point Resistance} = d \left(1 + \frac{\pi}{2} + 2\lambda + \cot \lambda \right) + k_p r^2 \quad \text{----- (7)}$

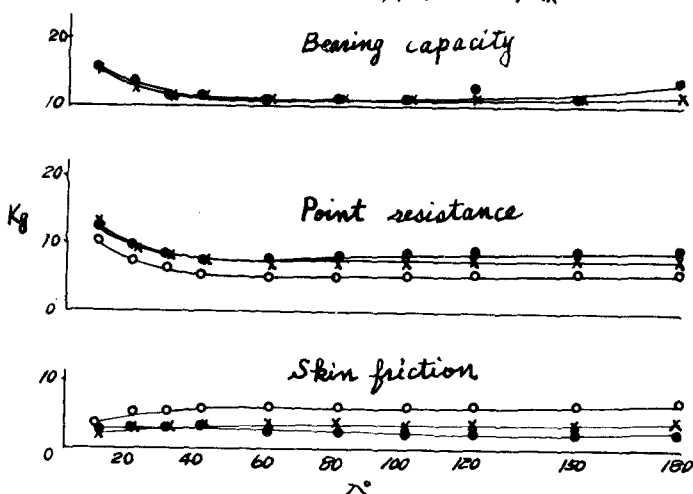
$\text{Skin Friction} = \beta S_f + k_f (2r - a) \quad \text{----- (8)}$

但し $k_p = 6, k_f = 7, a = 1$ cm

となる。

図 - 2

杭径10mm 圧縮強さ 2 kg/cm^2



• : 実測値

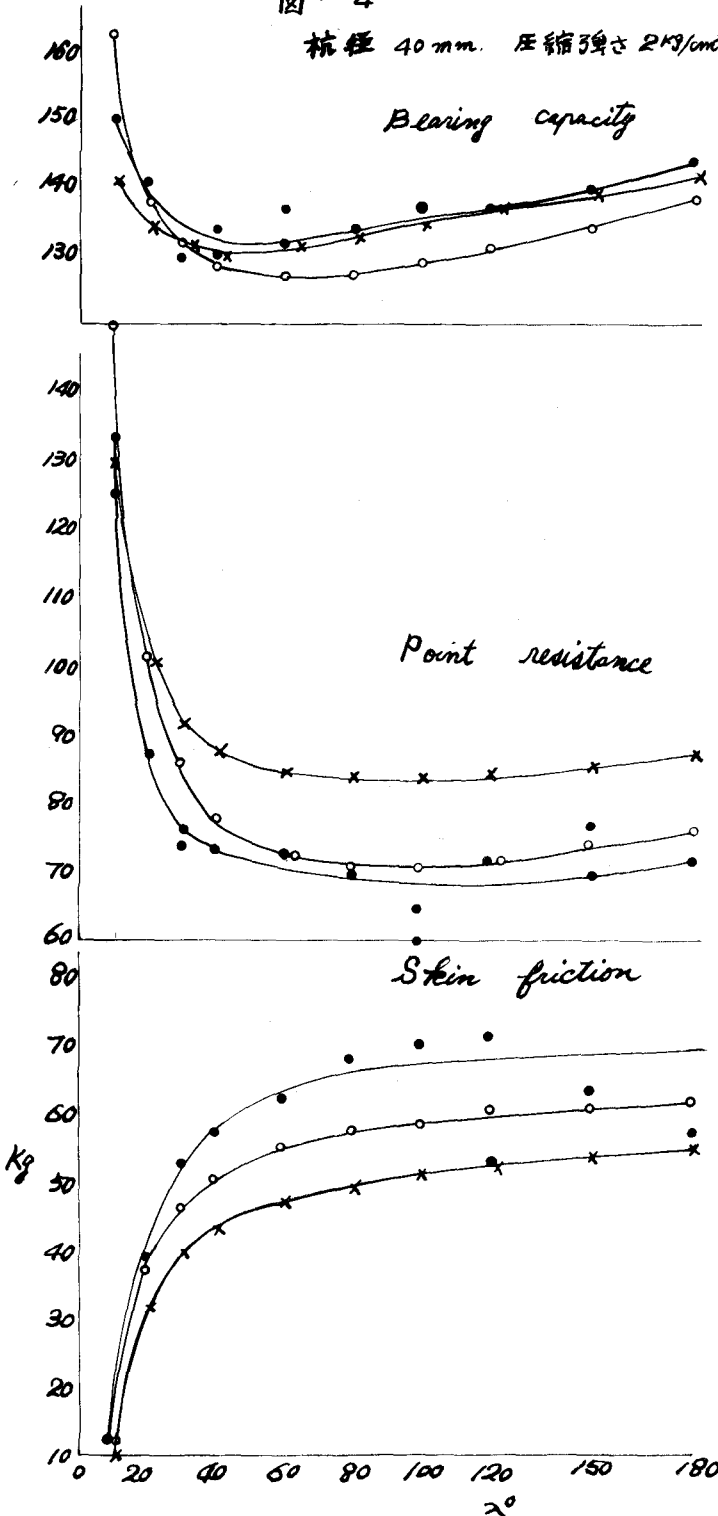
x : $d \left(1 + \frac{\pi}{2} + 2\lambda + \cot \lambda \right) + \beta S_f + \gamma$

o : $(A + \Delta_p)(\gamma H) K_p \pi r^2 + \frac{1}{4}(1 + \beta) \angle K_u \gamma (H - l_z)^2$

γ kg	k_p kg	k_f kg
3.0	1.5	3.5
13.0	6.0	7.0
38.0	24.0	14.0

図 - 4

杭径 40 mm. 圧縮強さ 243/cm²



この第1項が point resistance, 第2項が skin friction で $\Delta p = 0.5, \delta = 0.2$ である。

只この場合杭径 10mm, 20mm, 40mm に於て (1) 式が (3) 式より部分的に誤差が大きくなる場合もあるが、これは実験誤差と見做すより仕方がない。

また (1) 式は各計算結果からみて (2) 次式の如く表わすべきと考へられる。

$$Q = \left(\frac{1 + \frac{1}{2} + 2\lambda + \cot \lambda}{1 + \frac{1}{2} \pi} + \Delta p \right) \times \delta H K_p \pi r^2 + \frac{1}{4} (1 + \delta) L K H \gamma \times (H - \delta)^2 \text{----- (2)}$$

(2) 式からみると第1項の Δp は参考文献 (2) にみられる如く、杭の侵入により杭先に於いて土が締め固められる影響を示し、第2項の δ は杭の侵入により杭周に土の圧縮圏が出来たための影響を示してゐるものと考へられる。

換言すれば、杭が侵入した場合、周辺の土は密度が変化して δ が $\delta(H + \delta)$ の如くになり杭周の δ が杭打ち込み前に比べ δ だけ増加した事になり、見掛け上 δ だけ杭径が大きくなったとも考へられる。

参考文献

- (1) 第19回年次学術講演会概要 林 公重
- (2) 土木学会論文集 105号 杭の支持力、先端抵抗、摩擦抵抗による杭先の影響に関する模型実験的研究
- (3) 広島大学工学部政文紀要 杭先角変を考慮した場合の杭の支持力について
- (4) 其の他、