

## 斜め単杭の水平抵抗について

立命館大学理工学部  
立命館大学理工学部

正員 勝見 雅  
正員 ○西本 安範

1. まえがき 杭の打ち込み角度の正負およびその大きさにより杭の水平抵抗はかなり異なると言われている。<sup>1)~3)</sup>この方面の研究に対し、久保氏らは杭軸に沿つて直交座標をとった場合の地盤反力 $\alpha$ と深さ $x$ およびたわみ $y$ との間には $\alpha = Kxy^{0.5}$ の関係が成り立ち、 $K$ を打ち込み角度によつて補正させれば、斜め単杭の水平抵抗も直杭の水平抵抗とまったく同様な方法で取り扱えるとしている。<sup>3)</sup>一斉、著者らも直杭に対しては、すでに $\alpha - y$ 曲線を2つの折れ線と考へて導いた理論式が模型実験結果と比較的よく対応していることなどを見出した。<sup>4)~6)</sup>そこで今回は乾燥砂地盤において斜角度を数段階に変化させた斜め単杭の水平抵抗に関する模型実験を行ない、主として、直杭で導いた著者らの理論式に含まれる地盤反力の諸定数などに注目し検討を加えたので、その結果を報告する。

2. 理論式の誘導 図-1に示すように、地盤に $\theta$ の角度をなして打ち込まれた杭の水平抵抗に関する基礎方程式はつぎのようになる。<sup>4)~6)</sup>

$$\text{塑性域} (x \leq x_p) : EI \frac{d^4 y_1}{dx^4} + b p_f x_1^n = 0 \quad \text{----- (1)}$$

$$\text{弾性域} (x > x_p) : EI \frac{d^4 y_2}{dx^4} + b k y_2 = 0 \quad \text{----- (2)}$$

式(1), (2)を杭頭自由で杭が地上に突出していない場合の境界条件と接続条件のもとに解き、それぞれ $x_1, x_2$ について2回微分

図-1. 弾、塑性域と地盤反力  
(-EI)を掛ければつぎのような曲げモーメントを与える式が得られる。

$$M_1 = \frac{b p_f}{(n+1)(n+2)} x_1^{n+2} - H \cos \theta x_1 \quad \text{----- (3)}, \quad M_2 = -e^{-\beta x_2} \left[ (H \cos \theta x_p - \frac{b p_f}{(n+1)(n+2)} x_p^{n+2}) \cos \beta x_2 \right.$$

$$\left. + \left\{ \frac{1}{\beta} (H \cos \theta - \frac{b p_f}{n+1} x_p^{n+1}) + (H \cos \theta x_p - \frac{b p_f}{(n+1)(n+2)} x_p^{n+2}) \right\} \sin \beta x_2 \right] \quad \text{----- (4)}$$

ここに、 $\beta = \sqrt[4]{bk/4EI}$ で、塑性域の深さ $x_p$ は次式を満足する解として与えられる。

$$\frac{b p_f \beta}{(n+1)(n+2)} x_p^{n+2} + \frac{b p_f}{n+1} x_p^{n+1} + \frac{b p_f}{2\beta} x_p^n - \beta H \cos \theta x_p - H \cos \theta = 0 \quad \text{----- (5)}$$

3. 模型実験と計算結果 模型杭は奥行幅1cm、作用幅3cmのメタアクリル酸樹脂製を使用し、模型地盤としては乾燥砂を70×100×60cmの砂槽内に入れ、MDV-300型起振機にて十分締固めたものを用いた。実験の実施に際しては、模型杭を $\theta = -15^\circ, -10^\circ, 0^\circ, +10^\circ, +15^\circ$ の5段階にセットし、各水平荷重段階ごとに杭頭の水平変位と曲げひずみなどを測定した。図-2、図-3はその結果の一例を示したものである。図-2には、15度にセットされたout-batten杭( $\theta = +15^\circ$ )の曲げひずみの実験結果と著者らの理論式における地盤反力を $\alpha_H = 0.054x$  ( $\text{kg/cm}^2$ )、 $k = 8$  ( $\text{kg/cm}^2$ )として求めた計算結果を画いたものであるが、

同図の理論曲線は各荷重とも実測値とよく対応しており、out-batten 杭に関しては、斜角度の増加につれ地盤定数  $n$  は 1 に近づくものと考えられる。また、図-3 は同一水平荷重 ( $H=12$  kg) における曲げひずみの実測結果と同図に示されている地盤定数を用いて行なった理論計算結果を画いたものであるが、理論曲線は地盤反力定数  $k$  を  $k=8$  kg/cm と一定にして計算されているにもかかわらず実測値と比較的よく対応しているといえよう。また、最大曲げモーメントが塑性域において生ずる場合にはその位置とその値は式(3)よりそれぞれつぎのような簡単な式で与えられる。

$$[X]_{H_{max}} = \sqrt{\frac{nH}{bP_f}} \cdot \frac{nH}{n+2} \cdot \frac{H \cos \theta}{\sqrt{\frac{nH}{bP_f}}} \quad (6)$$

表-1 は式(6)を用いて行なった最大曲げひずみの計算結果と実測結果を表示したものである。図-2、図-3、表-1 より斜め単杭の水平抵抗に関しては、上記理論式に含まれる地盤定数  $n$ 、 $k$  のうち  $n$  のみを斜角度に応じて補正すれば直杭の場合と同様な取り扱いができるものと思われる。なお、詳細については講演時に報告する。

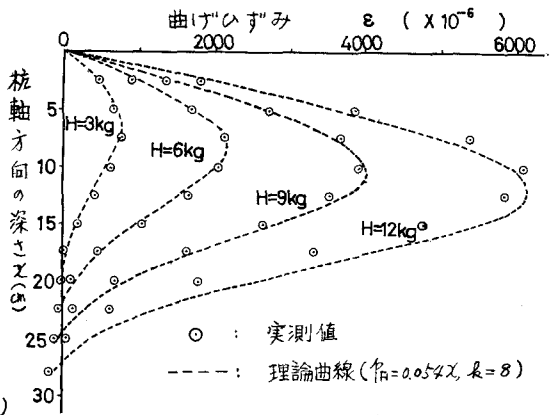
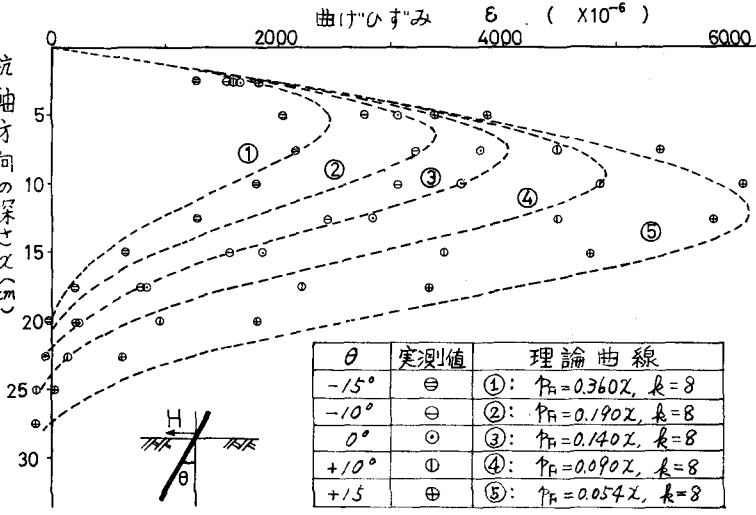


図-2. 曲げひずみの実測結果と理論曲線の一例 ( $\theta=71.4^\circ$ )



| $\theta$    | 実測値       | 理論曲線               |
|-------------|-----------|--------------------|
| $-15^\circ$ | $\ominus$ | ①: $n=0.360x, k=8$ |
| $-10^\circ$ | $\ominus$ | ②: $n=0.190x, k=8$ |
| $0^\circ$   | $\odot$   | ③: $n=0.140x, k=8$ |
| $+10^\circ$ | $\oplus$  | ④: $n=0.090x, k=8$ |
| $+15^\circ$ | $\oplus$  | ⑤: $n=0.054x, k=8$ |

図-3. 曲げひずみの実測結果と理論曲線の一例 ( $H=12$  kg)

表-1. 最大曲げひずみの実測結果と式(6)より求めた計算結果 ( $\times 10^{-6}$ )

| 水平力<br>H<br>(kg) | $\theta = -15^\circ$ |                       | $\theta = -10^\circ$ |                       | $\theta = 0^\circ$ |                                         | $\theta = +10^\circ$ |                       | $\theta = +15^\circ$ |                       |
|------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|--------------------|-----------------------------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|
|                  | 実測値                  | 理論値<br>( $n=0.360x$ ) | 実測値                  | 理論値<br>( $n=0.190x$ ) | 実測値                | 理論値<br>( $n=0.140x$ )<br>( $n=0.042x$ ) | 実測値                  | 理論値<br>( $n=0.090x$ ) | 実測値                  | 理論値<br>( $n=0.054x$ ) |
| 3                | 350                  | 300                   | 440                  | 430                   | 620                | 500 620                                 | 580                  | 610                   | 780                  | 770                   |
| 6                | 940                  | 840                   | 1260                 | 1210                  | 1550               | 1430 1570                               | 1780                 | 1740                  | 2180                 | 2180                  |
| 9                | 1530                 | 1550                  | 2200                 | 2230                  | 2700               | 2620 2690                               | 3220                 | 3190                  | 3980                 | 4000                  |
| 12               | 2220                 | 2390                  | 3300                 | 3380                  | 3930               | 4030 3950                               | 4880                 | 4910                  | 6160                 | 6160                  |

- 1) 松尾春雄: 杭の横支持力試験(第1報),(第2報), 内務省土木試験所報告, No. 42, 1938. 2, No. 46, 1939. 7.
- 2) 久保浩一: 杭の横抵抗に関する実験的研究(No. 3), 運輸技術研究所報告, 1962. 3.
- 3) 立石哲郎, 吉村元宏: 長尺斜杭の打込試験および水平載荷試験, 第6回港湾工事報告会議講演概要, 1960. 9.
- 4) 勝見雅, 西本安範: 杭の水平抵抗に関する2, 3の考察, 昭和35年度土木学会関西支部講演会概要, 昭. 43. 5.
- 5) 勝見雅, 西本安範: 杭の水平抵抗に関する2, 3の考察, 第23回土木学会中沢学術講演会概要, 昭. 43. 10.
- 6) 勝見雅, 西本安範: 杭の水平抵抗に関する2, 3の考察, 立命館大学理工学研究所紀要, 第17号, 昭. 43. 12.