

III-2 杭の水平抵抗に関する2, 3の考察(第3報)

立命館大学理工学部 勝見 雅

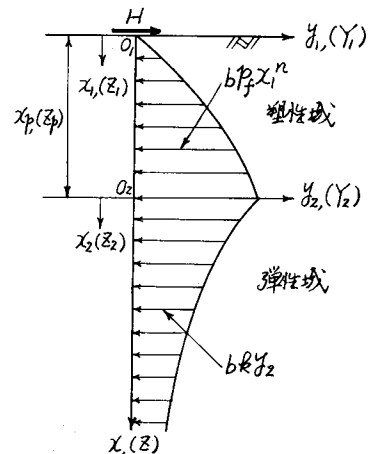
1. まえがき

著者はすでに、水平力を受ける杭の周辺地盤は荷重の増大に伴ない地表面から次第に降伏状態に達するものと考え、地盤の反力について塑性域と弾性域を重ね合わせた理論式を誘導した。この場合塑性域での地盤反力は深さ方向に $b\beta_f x^n$ (b : 杭幅, β_f : 降伏地盤反力係数, n : 地盤反力分布指数) のごとく変化させたものとして導いた。さらに乾燥砂ならびに粘土地盤における模型実験を行なった結果、乾燥砂地盤においては上記 n を 2.0, 粘土地盤では 0.5 ~ 1.0 とすれば、かかる理論式による計算結果は実験結果とかなりよい対応を示すことなどを報告した¹⁾。

そこで今回は、すでに導いた理論式は簡単ではないので、一般性をもたせるために無次元表示を行ない、塑性域の深さ、最大曲げモーメント、最大曲げモーメントを生ずる深さ、地中部における曲げモーメントの第1零点および杭頭の水平変位などに注目した数値計算を行ない、その結果を図表にとりまとめたのでそれらを報告する。

2. 理論式の誘導

理論式の誘導に関してはすでに報告¹⁾したが、今回は式の各項を無次元表示しているので、その点に注目して述べる。杭頭に水平力を受ける杭の周辺地盤が水平力の増大に伴ない地表面から次第に降伏状態に達するものと考えれば、地盤反力の分布は図-1に示すごとく、塑性域、弾性域においてそれぞれ $b\beta_f x_1^n$, $b\beta_2 y_2$ となる。したがって両域における杭の挙動に関する基礎方程式は、 EI : 杭の曲げ剛性, b : 杭の作用幅, β_f : 降伏地盤反力係数, n : 地盤反力分布指数, β_2 : 地盤反力係数とし、さらに $\beta_1 = \sqrt[n+3]{b\beta_f/EI}$, $\beta_2 = \sqrt[4]{b\beta_2/4EI}$, $z_1 = \beta_1 x_1$, $z_2 = \beta_2 x_2$, $y_1 = \beta_1 y_1$, $y_2 = \beta_2 y_2$ などと置くことによりつぎのようになる。



$$\text{塑性域} (z \leq z_p) : \frac{d^4 y_1}{dz_1^4} + z_1^n = 0 \quad \text{---- (1) 図-1 弾, 塑性域と地盤反力}$$

$$\text{弾性域} (z > z_p) : \frac{d^4 y_2}{dz_2^4} + 4y_2 = 0 \quad \text{---- (2)}$$

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、 $\beta = \beta_2/\beta_1$, $Q = H/EI\beta_1^2$ (H : 杭頭に作用する水平力) とすれば次式が得られる。

$$y_1 = -\frac{1}{(n+1)(n+2)(n+3)(n+4)} z_1^{n+4} + \frac{1}{6} Q z_1^3 + \frac{1}{2\beta^2} \left[\left(\frac{1}{n+1} z_p^{n+1} - Q \right) + 2\beta \left\{ \frac{1}{(n+1)(n+2)} z_p^{n+2} - Q z_p \right\} \right] z_1 + \left\{ \frac{1}{(n+1)(n+2)(n+3)} z_p^{n+3} - \frac{1}{2} Q z_p^2 \right\} z_1 - \frac{1}{2\beta^3} \left[\left(\frac{1}{n+1} z_p^{n+1} - Q \right) (\beta z_p + 1) - \beta \left\{ \frac{1}{(n+1)(n+2)} z_p^{n+2} - Q z_p \right\} (2\beta z_p + 1) \right] - \frac{1}{(n+1)(n+2)(n+4)} z_p^{n+4} + \frac{1}{3} Q z_p^3 \quad \text{---- (3)}$$

$$Y_2 = \frac{1}{z\beta} e^{-z_2} \left\{ \left[\left(Q - \frac{1}{n+1} z_p^{n+1} \right) + \beta \left(Qz_p - \frac{1}{(n+1)(n+2)} z_p^{n+2} \right) \right] \cos z_2 + \beta \left\{ \frac{1}{(n+1)(n+2)} z_p^{n+2} - Qz_p \right\} \sin z_2 \right\} \quad \text{---- (4)}$$

ここに z_p は塑性域の深さ x_p に β_1 をかけたもの、すなわち $z_p = \beta_1 x_p$ を表わし、その値は $(Y_1)_{z_1=z_p} = \beta_2 p_f (z_p/\beta_1)^n / k$ あるいは $(Y_2)_{z_2=0} = \beta_2 p_f (z_p/\beta_1)^n / k$ の関係より次式を満足する解として与えられる。

$$\frac{\beta}{(n+1)(n+2)} z_p^{n+2} + \frac{1}{n+1} z_p^{n+1} + \frac{1}{z\beta} z_p^n - \beta Q z_p - Q = 0 \quad \text{----- (5)}$$

ついで式(3), (4)よりそれぞれ塑性域、弾性域において生ずる曲げモーメント M_1, M_2 はつぎの式より求めることができる。

$$-\frac{M_1}{EI\beta_1} = \frac{d^2 Y_1}{dz_1^2} = -\frac{1}{(n+1)(n+2)} z_1^{n+2} + Q z_1 \quad \text{----- (6)}$$

$$-\frac{M_2}{EI\beta_2} = \frac{d^2 Y_2}{dz_2^2} = -\frac{1}{\beta^2} e^{-z_2} \left\{ \beta \left\{ \frac{1}{(n+1)(n+2)} z_p^{n+2} - Qz_p \right\} \cos z_2 + \left[\left(Q - \frac{1}{n+1} z_p^{n+1} \right) + \beta \left(Qz_p - \frac{1}{(n+1)(n+2)} z_p^{n+2} \right) \right] \sin z_2 \right\} \quad \text{---- (7)}$$

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、その深さとその値は式(6)よりそれぞれつぎのような簡単な式で与えられる。

$$\left(\frac{z_1}{\beta_1} \right)_{M_{max}} = [x_1]_{M_{max}} = \left\{ \frac{(n+1)H}{b p_f} \right\}^{\frac{1}{n+1}} \quad \text{----- (8)}$$

$$[M_1]_{max} = -\frac{n+1}{n+2} H \left\{ \frac{(n+1)H}{b p_f} \right\}^{\frac{1}{n+1}} \quad \text{----- (9)}$$

3. 計算図表

2. で導いた式はかなり複雑であるので、このままの形では設計計算用として使用することは困難であると思われる。そこで簡単に使用できる計算図表を作成することを目的として計算を行なったのでここではその結果について述べる。従来の実験結果から乾燥砂地盤においては $n=2.0^{11)}$ 、粘土地盤では $0.5 \sim 1.0^{12)}$ 程度の値であることをみいだしたので、ここでは一応 $n=2.0$ と 1.0 の2つの場合についてのみ計算を行なった。図-2~6はかかる目的で行なった計算結果をまとめた図表である。

まず、あらかじめ β_1, β_2, β , および Q を計算しておく。図-2は式(5)より求めた計算図表であり、 β と Q から塑性域の深さ x_p に β_1 をかけた値、すなわち $z_p = \beta_1 x_p$ を求めるための図表である。ついで図-3, 4, 5, 6は式(3), (4), (6), (7) などより計算した結果であり、 β と図-2より求めた z_p からそれぞれ最大曲げモーメント M_{max} 、最大曲げモーメントを生ずる深さ $x_{M_{max}}$ 、地中における曲げモーメントの第1零点 l_{M1} 、および抗頭の水平変位 y_0 などを求めるための図表である。同図中図-3, 4において塑性域と画いた領域に入った場合には同図にも書かれてあるごとく、式(9), (8)からそれぞれ最大曲げモーメントおよびその深さを計算すればよい。さらに図-5, 6をみるとパラメーターとして画いた β の値は大きくなればある線に漸近することがわかる。また図-4, 5は $n=1.0$ と 2.0 の場合でまったく等しい計算結果が得られたことから、最大曲げモーメントを生ずる深さと地中における曲げモーメントの第1零点は n の値に関係なく同じ図表が使用できるものと考えられる。

4. むすび

以上のごとく、水平力を受ける杭の周辺地盤が荷重の増大に伴ない地表面から次第に降伏状態に達するものと考えたいわゆる複合地盤反力法³⁾としての計算図表を作成することができた。しかしながら実地盤における地盤反力、とくにこの場合の降伏地盤反力 p_F を深さ方向に測定した資料が得られなかったので、図-2~6に画いた数値の範囲が適切なものであるかどうか疑問に思われる。また今回は杭頭自由で杭が地上に突出してこない場合についての図表であるので、それ以外のものについても検討する予定である。なお計算には京都大学大型電子計算機FACOM 230-60を使用した。

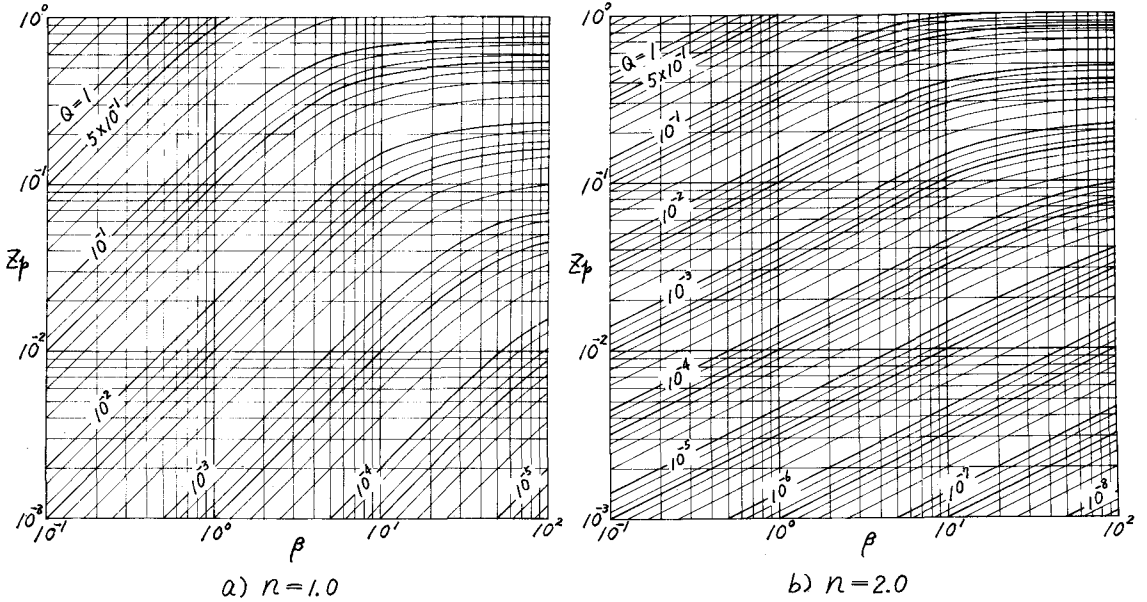


図-2 塑性域の深さを求める計算図表

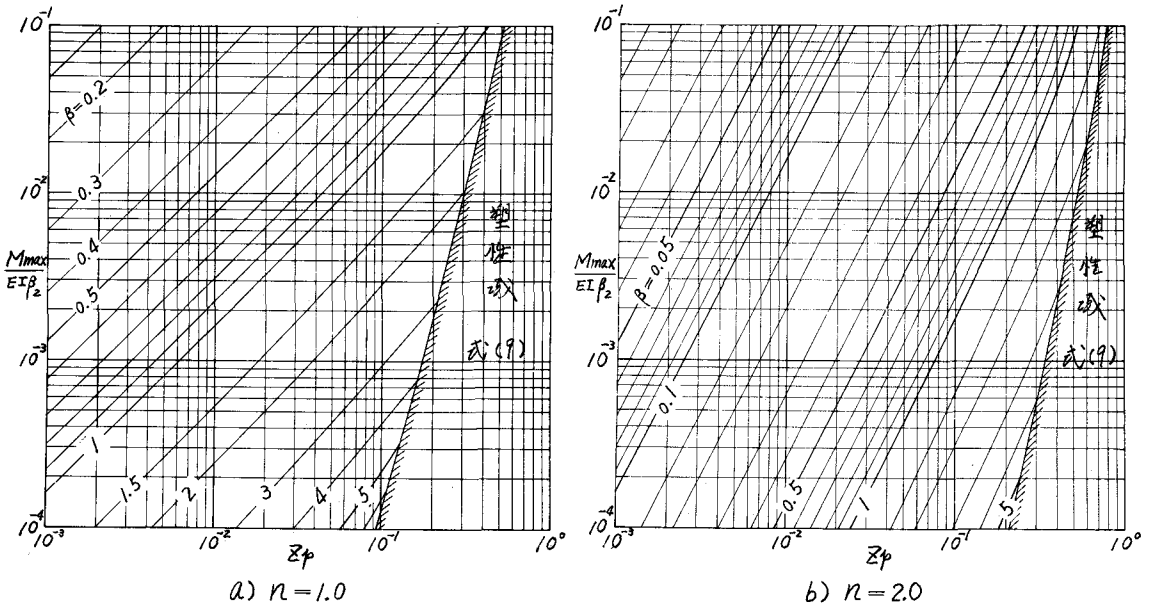


図-3 最大曲げモーメントを求める計算図表

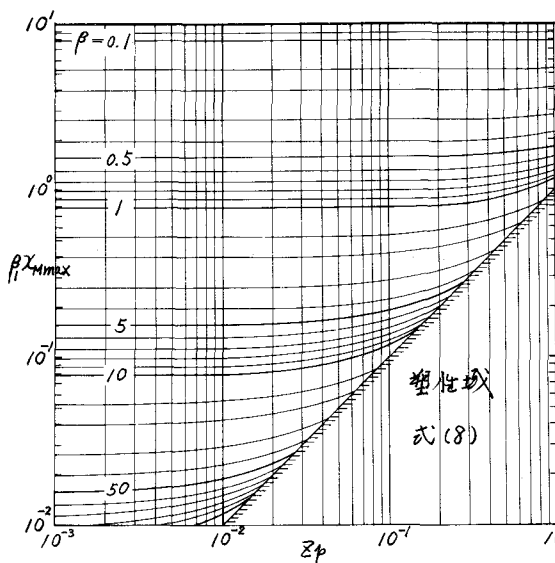


図-4 最大曲げモーメントを生ずる深さを求める計算図表

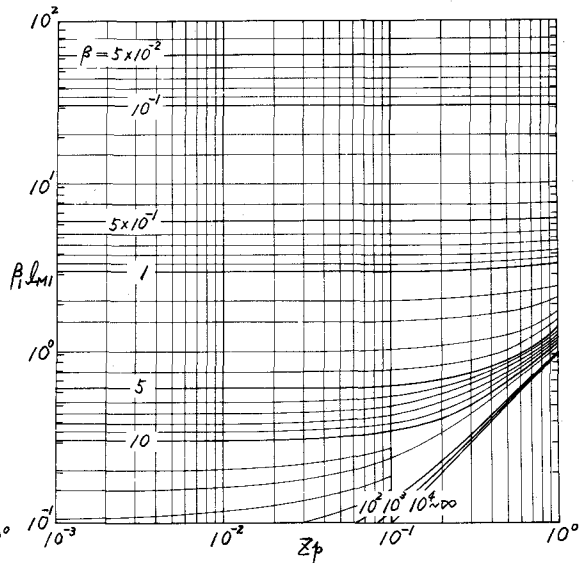
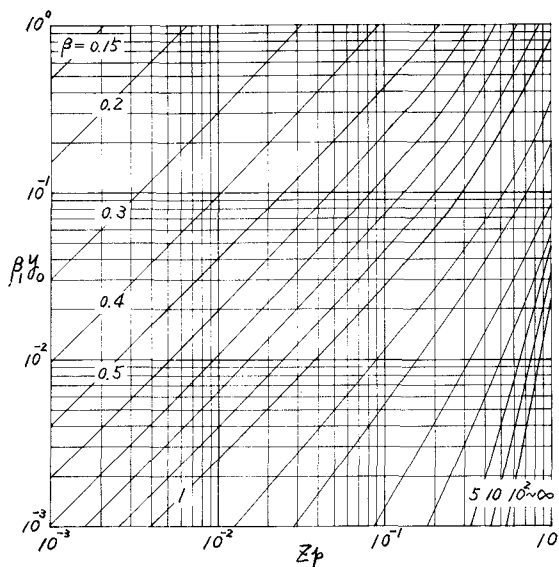
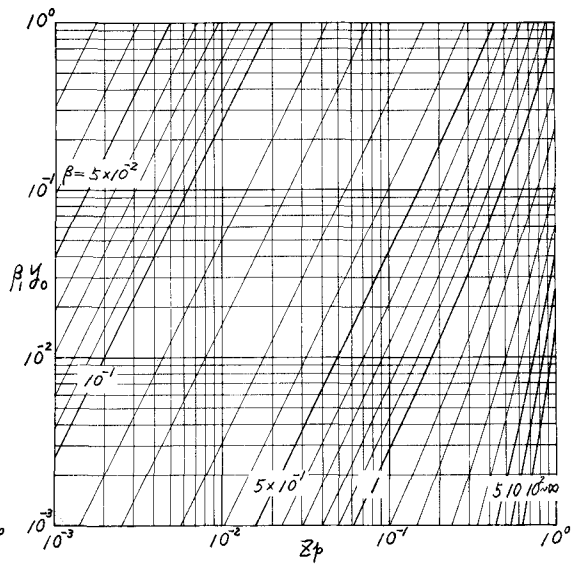


図-5 地中部における曲げモーメントの零点を求める計算図表



a) $n=1.0$



b) $n=2.0$

図-6 杭頭の水平変位を求める計算図表

参考文献

- 1) 勝見雅・西本安範：杭の水平抵抗に関する2,3の考察，昭和43年度土木学会関西支部年次学術講演会講演要録，Ⅲ-20，pp.Ⅲ-20-1~2，昭43.5.
- 2) 勝見雅・西本安範：杭の水平抵抗に関する2,3の考察(第2報)，土木学会第23回年次学術講演会講演要録，Ⅲ-79，pp.209~210，昭43.10.
- 3) 土質工学会：鋼ゲイ，土質基礎工学ライブラリー6，pp.61~64，昭44.9.