

杭の水平抵抗に関する2, 3の考察

立命館大学理工学部 正員 勝見 雅

立命館大学理工学部 正員 ○西本 安範

1. まえがき 杭の水平抵抗に関しては、地盤を弾性体とした Chang の式に比べれば、地盤の非弾性的性質を考慮した篠原・久保式¹⁾が実測値とよく対応しているといわれている。これらは図-1に示すごとく ϕ - y 曲線を Chang の式では直線とし、篠原・久保式では荷重が初期の段階から曲線と考えたものである。これに対し筆者らは ϕ - y 曲線を近似的に2つの折れ線と考え、さらに地盤反力係数 k を深さに関係なく一定とし、降伏状態に達する反力 P_0 を深さ方向に変化させた場合の理論式を誘導し、模型実験的な検討を加えて2, 3の考察を試みた。その結果、筆者らの理論式も実測値と比較的よく対応していることなどを見出した。

2 理論式の誘導 水平力を受ける杭の周辺地盤は、荷重の増

大にともない地表面から次第に降伏状態に達するものと考えられる。かかる場合の地盤反力の分布は図-2に示すごとく、塑性域、弾性域においてそれぞれ、 $bP_f x^n$ 、 bky_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つぎのようになる。

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

$$\text{弾性域 } (x > x_p): EI \frac{d^4 y_2}{dx^4} + bky_2 = 0 \quad \text{----- (2)}$$

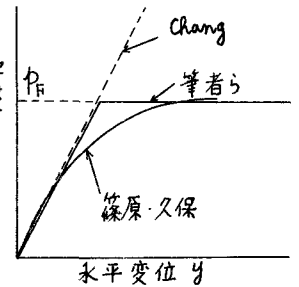


図-1 地盤反力と水平変位曲線

ここに、 EI : 杭の曲げ剛性、 b : 杭の作用幅、 k : 地盤反力係数。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けば、次式が得られる。

$$y_1 = \frac{1}{EI} \left\{ -\frac{bP_f x_1^{n+4}}{(n+1)(n+2)(n+3)(n+4)} + \frac{HX_1^3}{6} + \frac{1}{2\beta^2} \left\{ 2\beta \left(\frac{bP_f x_p^{n+2}}{(n+1)(n+2)} - Hx_p \right) - \left(H - \frac{bP_f x_1^{n+1}}{n+1} \right) \right\} x_1 + \left\{ \frac{bP_f x_p^{n+3}}{(n+1)(n+2)(n+3)} - \frac{HX_p^2}{2} \right\} x_1 + \frac{1}{2\beta^3} \left\{ \left(H - \frac{bP_f x_p^{n+1}}{n+1} \right) (1+\beta x_p) - \beta \left(\frac{bP_f x_p^{n+2}}{(n+1)(n+2)} - Hx_p \right) (1+2\beta x_p) - \frac{bP_f x_p^{n+4}}{(n+1)(n+2)(n+4)} + \frac{HX_p^3}{3} \right\} \right\} \quad \text{----- (3)}$$

$$y_2 = \frac{e^{-\beta x_2}}{2\beta^3 EI} \left\{ \left\{ \left(H - \frac{bP_f}{n+1} x_p^{n+1} \right) + \beta \left(Hx_p - \frac{bP_f}{(n+1)(n+2)} x_p^{n+2} \right) \right\} \cos \beta x_2 + \beta \left(\frac{bP_f}{(n+1)(n+2)} x_p^{n+2} - Hx_p \right) \sin \beta x_2 \right\} \quad \text{----- (4)}$$

ここに、 H は水平力、 $\beta = \sqrt[4]{bk/4EI}$ 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。

$$\frac{bP_f \beta}{(n+1)(n+2)} x_p^{n+2} + \frac{bP_f}{n+1} x_p^{n+1} + \frac{2EI\beta^3 P_f}{k} x_p^n - \beta Hx_p - H = 0 \quad \text{--- (5)}$$

また、式(3)(4)をそれぞれ x_1, x_2 について2回微分し $(-EI)$ 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。

$$M_1 = \frac{bP_f}{(n+1)(n+2)} x_1^{n+2} - Hx_1 \quad \text{----- (6)}$$

$$M_2 = -e^{-\beta x_2} \left\{ \left(Hx_p - \frac{bP_f}{(n+1)(n+2)} x_p^{n+2} \right) \cos \beta x_2 + \left\{ \frac{1}{\beta} \left(H - \frac{bP_f}{n+1} x_p^{n+1} \right) + \left(Hx_p - \frac{bP_f}{(n+1)(n+2)} x_p^{n+2} \right) \right\} \sin \beta x_2 \right\} \quad \text{--- (7)}$$

3. 模型実験と計算結果 図-3は模型実験装置の概略を示したものである。模型杭は奥行

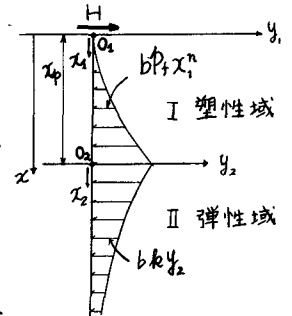
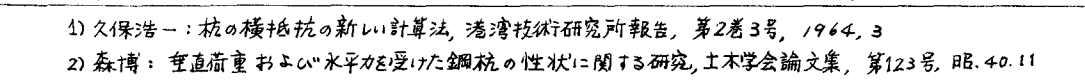
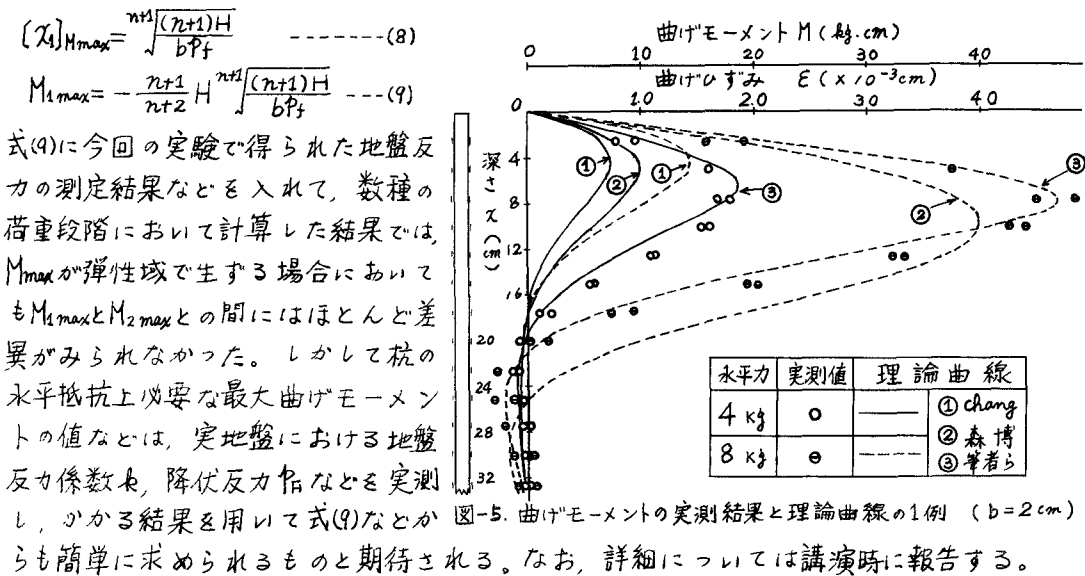
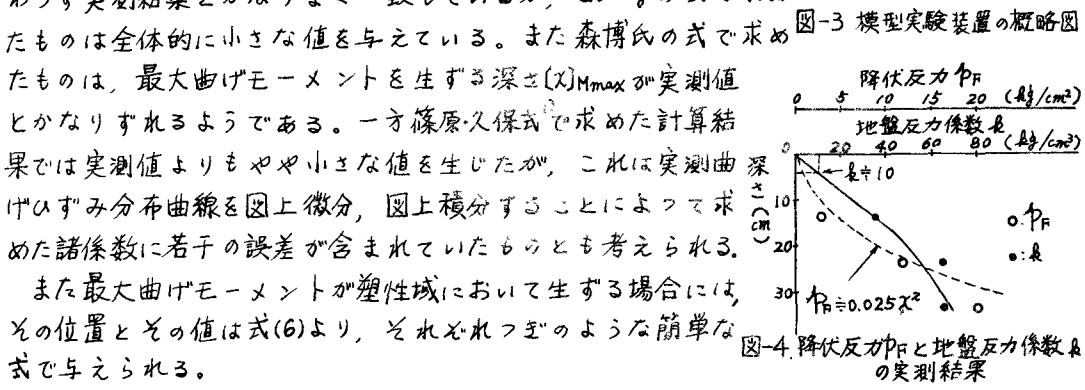


図-2 弾・塑性域と地盤反力

幅1cm, 杭長75cmで, 杭の作用幅が2, 3, 4cmのメタクリル酸樹脂製3本を使用し, 模型地盤としては乾燥砂を50×100×80cmの砂槽内に入れ, MDV-300型起振機にて十分締め固めたものを用いた。模型地盤の地盤反力を測定した結果は図-4に示す通りで, $k=10 \text{ kg/cm}^3$ (深さ4cm), $p_f \approx 0.025x^2 \text{ kg/cm}^2$ であった。実験の実施に際しては各水平荷重段階ごとに, 杭頭の水平変位と図-5の左端に画いた杭体に貼付した抵抗線ひずみ計により, 杭の曲げひずみなどを測定した。図-6はその結果の一例を示したものであり, 筆者らの理論曲線とChangの式, さらに筆者らの理論式において, 降伏状態に達する反力 p_f (0.4 kg/cm^2)を深さに関係なく一定とした森博氏の式²⁾などの計算結果をも一括して示したものである。同図によると筆者らの理論曲線は, 弾性域での地盤反力係数を一定としているにもかかわらず実測結果とかなりよく一致しているが, Changの式で求めたものは全体的に小さな値を与えている。また森博氏の式で求めたものは, 最大曲げモーメントを生ずる深さ $(x)_{M_{max}}$ が実測値とかなりずれるようである。一方篠原久保氏の式¹⁾で求めた計算結果では実測値よりもやや小さな値を生じたが, これは実測曲げひずみ分布曲線を図上微分, 図上積分することによって求めた諸係数に若干の誤差が含まれていたものとも考えられる。



水平力	実測値	理論曲線
4 kg	○	— ① Chang
8 kg	●	- - - ② 森博
		- · - ③ 筆者ら

1) 久保浩一: 杭の横抵抗の新しい計算法, 港湾技術研究所報告, 第2巻3号, 1964, 3
 2) 森博: 垂直荷重および水平力を受けた鋼杭の性状に関する研究, 土木学会論文集, 第123号, 昭.40.11