

III-348

水平力を受ける短杭の差分法による解析

筑波大学構造工学系 正員 山田 恭 央
同 沢 口 正 俊

1. はじめに

水平力を受ける杭の挙動を解析する際、地盤の非線形性を考慮した、久保らによる港研方式¹⁾が広く利用されている。しかし、港研方式は本来長杭を対象としており、短杭に対してはおおよその補正曲線が与えられているのみである。そこで、港研方式と同一の非線形地盤について、短杭の水平載荷時の挙動を差分法により解析し図表にまとめるとともに、フリクションリボンを用いた模型短杭の地盤反力測定結果²⁾と比較してみた。

2. 差分法による解析

本研究では、杭を等断面の弾性体と仮定し、軸力を無視して得られる4階の微分方程式、

$$EI \cdot d^4 y / dx^4 + B \cdot p(x, y) = 0$$

を差分法により解いている。上式で、 E 、 I 、 B はそれぞれ杭のヤング率、断面2次モーメントおよび幅で、 x 軸は鉛直方向、 y 軸は水平方向にとっている。また、単位面積当りに作用する地盤反力 $p(x, y)$ は、S型地盤では、 $k_s \cdot x \cdot y^{0.5}$ 、C型地盤では、 $k_c \cdot y^{0.5}$ により与えられるとしている。

差分式の定式化については文献³⁾などに詳しいのでここでは省略するが、杭を n 個の要素に等分し、両端に2つずつの仮想点を設け、杭の実質部 $(n+1)$ 点における4階の微分方程式、杭の両端での境界条件4式、計 $(n+5)$ 式を中央差分表示し、 y に関する非線形連立方程式を導いている。これを解くには、Gleser法による逐次近似解法が優れていると指摘されているが³⁾、収束性に問題があるので、本研究では $t = y^{0.5}$ により変数変換し、Newton法を適用して非線形連立方程式の逐次近似解を得ている。当初、Gleser法にNewton法を適用することを試みたが、長杭の計算時の発散傾向を改良できず、 $t = y^{0.5}$ の変数変換を採用している。これにより、Gleser法と比較して計算時間が2/3程度となった。なお、杭の上部のみ変形する極端な長杭の場合には、自動的に中途の点を固定点とした計算に切り替え、当初の分割数で十分な精度が確保できるようにしており、短杭から長杭まで統一的な解析が可能となっている。

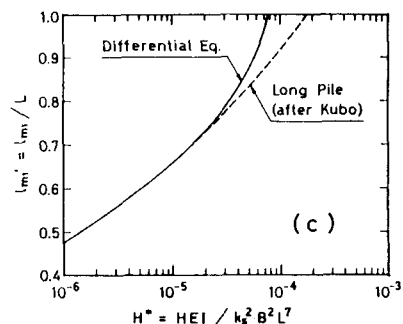
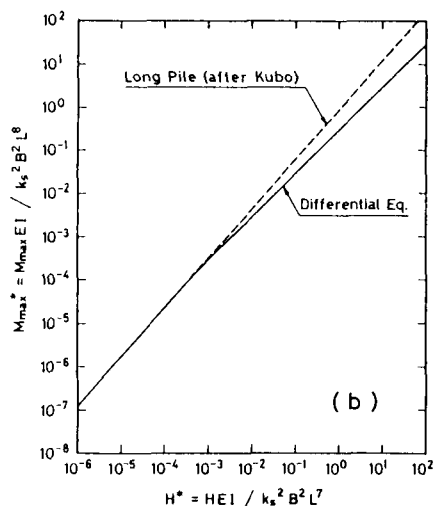
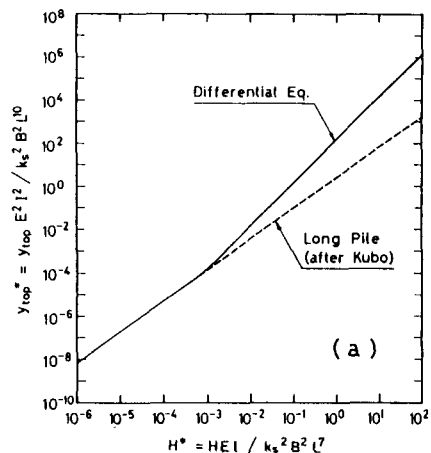


図.1 杭頭自由、S型地盤での短杭の挙動

3. 港研方式による長杭の挙動との比較

杭頭自由と固定の2条件、S型地盤とC型地盤の2条件の組合せ、計4ケースにつき地表面載荷時の解析を行ったが、紙面の都合上図.1に杭頭自由、S型地盤の結果のみ示している。なお、計算はPC9801VM2のMS-DOS上で作動するBasic Compilerを用い、要素分割数を128として行っている。図.1(a)-(c)は、それぞれ杭頭変位 y_{t00} 、最大モーメント M_{max} 、モーメント第1ゼロ点 l_{m1} と杭頭荷重の関係を無次元化してプロットしたものである。通例、無次元量には、 $y_{t00}' = y_{t00}/L$ 、 $l_{m1}' = l_{m1}/L$ 、 $H' = HL^2/EI$ 、 $M_{max}' = M_{max}L/EI$ 、 $\beta_s = k_s BL^{4.5}/EI$ を用いる(ただし、 L = 杭長)が、 y_{t00}' 、 H' 、 M_{max}' 、をさらに $\beta_s^{0.2}$ で除した y_{t00}^* 、 M_{max}^* 、 H^* を用いれば図1のように一義的に表示できる。図.1では、 $H^* > 10^{-5}$ 以上になると、短杭としての挙動を示すことがうかがえるが、この値は(c)図から解るように、長杭として解析できる限界の根入れ比 $E_r = L/l_{m1}$ の値1.5にほぼ一致している。他のケースでも、根入れ比1.5程度以下は短杭として解析する必要があることが示された。

4. 杭面反力測定試験の解析

図.2は、密な砂地盤に埋設した剛性杭 ($L=50\text{cm}$, $EI=660,000\text{kgf cm}^2$) の杭面反力をフリクションリボンを用いて測定した模型試験の結果²⁾と、差分法による解析値を比較したものである。なお、地盤反力係数は、杭頭変位が実測値と一致するように定めている。図には、線形地盤を仮定した解析結果も表示しているが、非線形と仮定した方がより適切と言えよう。また、杭を剛体として解析した場合にも、図.2とほぼ同一の地盤反力分布が得られた。

5. むすび

差分法を用いて、非線形地盤における水平力を受ける短杭の挙動を解析し、結果を無次元化した形で図表にまとめてみた。これにより、長杭に対する解析法の適用限界、短杭と長杭の挙動の相違が明らかになった。

6. 参考文献

- 1) 運輸省港湾局(1976): 港湾施設設計指針(案) 第1部第5編 基礎
- 2) 沢口正俊・山田恭央(1987): 水平力を受けた剛性杭の杭面反力測定、第22回土質工学研究発表会
- 3) 横山幸満(1977): くい構造物の計算法と計算例、山海堂

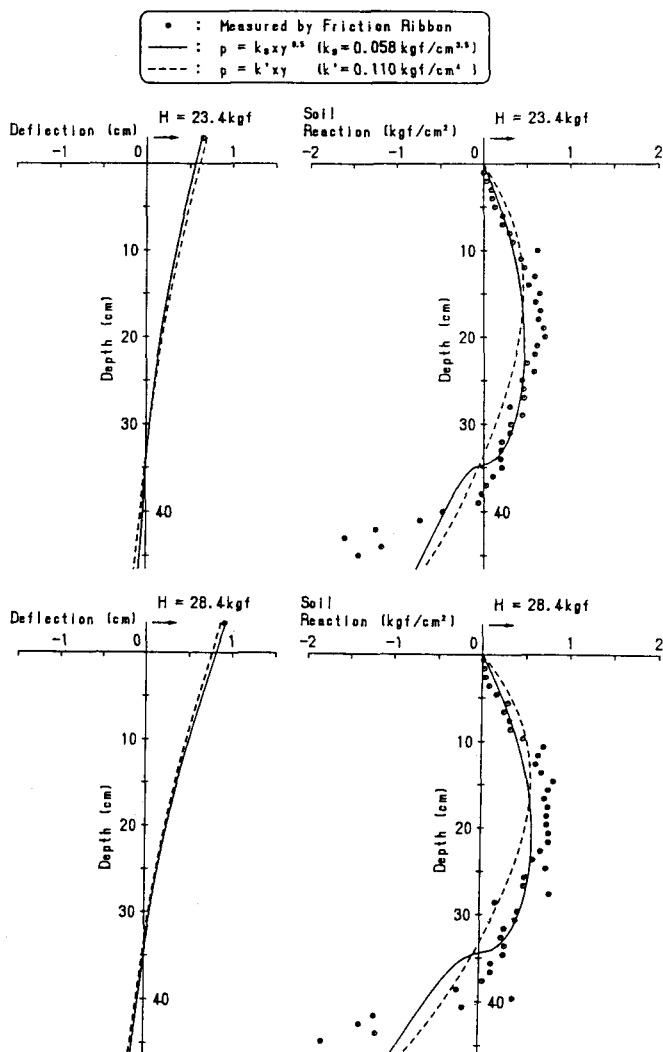


図.2 模型杭の地盤反力測定試験結果との比較