

III-387

杭と地盤のすべりを考慮した群杭の沈下解析

日本工業大学 正会員 桑原文夫

□はじめに

鉛直荷重をうける群杭の沈下挙動と荷重伝達機構について検討した。杭と地盤との間のすべりを許した境界要素法(ミンドリン解にもとづく弾性解析)を用いて、極限状態に至るまでの応力分布および沈下量の変化を追跡した。模型群杭に関して報告された既往の実験結果と本解析結果とは比較的良好一致した。

□解析方法

Interaction Factorを導入した群杭の沈下解析は簡便であるが、杭に働く地盤反力が不明である。そこで、ここでは杭の各要素に働く地盤反力を未知数にして境界要素法の適用を試みた。本方法はMattes and Poulos(1969)²⁾の単杭に対する解法をそのまま群杭に拡張したものである。

杭と地盤の間のすべりは次の方法により考慮にいった。まず弾性解析の結果、杭～地盤間の応力があらかじめ決めた限界値 τ_a に達すると、そこですべりまたは降伏がおこる。すべりが発生したのちも境界面では限界応力 τ_a を保持し、それによる地盤内変形は弾性論に従う。境界応力を限定することによって生じる余剰の力は、収れん計算によって他の要素に分配される。

解析方法は弾性範囲についての報告³⁾に詳しいので、ここでは簡単に述べる。図1に今回解析例としてとりあげた群杭の形状を示した。長さ L 、直径 d 、ヤング係数 E_p の円形断面杭が正方形配置されている。地盤はヤング係数 E_s 、ポアソン比 ν_s の均一弾性体とする。剛な基礎スラブが地表面に接するパイルドラフトと地表面から離れた自立群杭の二種類を扱った。以下では $N=3 \times 3$ の9本群杭、 $L/d=25$ 、杭間隔 $s/d=5$ 、 $E_p/E_s=1000$ 、 $\nu_s=0.5$ の場合の結果を示している。要素分割は杭の長さ方向に10等分、杭底面は1要素、基礎スラブは一辺の長さが杭径に等しい正方形要素とした。杭周面と地盤の間の周面抵抗力 τ_a は c_u (非排水せん断強度)に等しく、極限支持力度は杭底面で $9c_u$ 、地表面の基礎スラブで $6c_u$ と仮定した。

□結果と考察

図2は極限状態に至るまでの荷重～沈下曲線である。パイルドラフト、自立群杭および基礎スラブのみについての荷重(横軸)はパイルドラフトの極限荷重で、単杭についてはそれ自身の極限値で割ってある。沈下量 W (縦軸)も杭径と地盤の弾性定数で無次元化してある。杭と地盤の間で部分的にすべりが生じても、地盤そのものは依然弾性体として扱っているの、極限状態に至るまでの沈下量は少ない。かりに $E_s/\tau_a=1000$ と仮定すると、単杭は杭径の0.8%、パイルドラフトは杭径の9%の沈

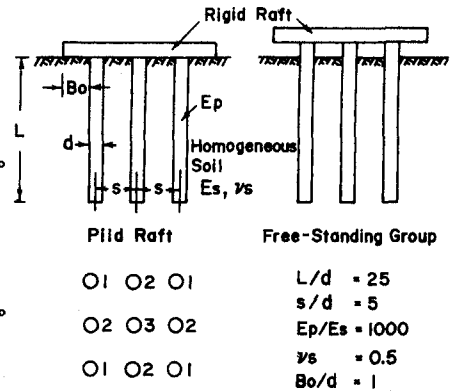


図1 解析した群杭モデル

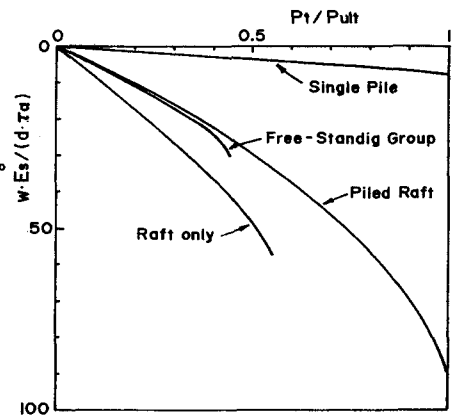


図2 荷重～沈下曲線

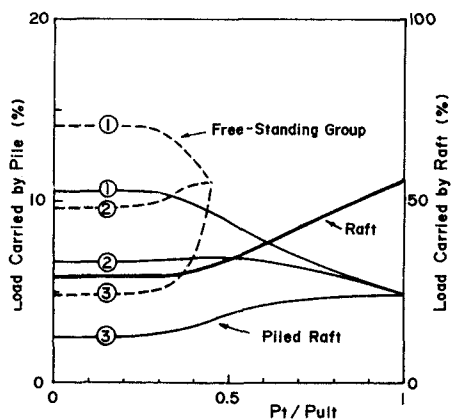


図3 杭の荷重分担率

下で極限值に至る。ここでとりあげた形状の群杭の場合、自立群杭とパイルドラフトの沈下剛性はあまり差がなく、基礎スラブのみの場合は70%の沈下増である。いずれも、群杭中の杭の平均荷重を受ける単杭の沈下剛性よりはるかに小さい。

図3は荷重の増加とともに変化する群杭中の各杭および基礎スラブの荷重分担割合を示したものである。杭～地盤間のすべりが発生する前の弾性域では、隅杭と中心杭との分担荷重に大きな差があるが、すべり域の増大とともに荷重は均一化していく。また、パイルドラフトでは基礎スラブの分担荷重は次第に増加していく。

自立群杭もパイルドラフトも大体同じ全荷重ですべりが発生するが、自立群杭の場合は最初のすべりが生じてから極限状態に至るまでの荷重増加は少ない。これは低荷重においても杭周囲のせん断応力は深さに関してほぼ一様に分布するので、どの深さでもほぼ同時に限界応力に達するのであろう。

図4は各の群杭の極限荷重の30, 50, 80%の荷重時におけるすべり域を図示したものである。パイルドラフトでは極限荷重の30%において隅杭の先端からすべりが発生し、上方と内部にすべり域は拡大していく。極限荷重の50%のときに基礎スラブの隅角部で地盤に降伏が始まり、80%時にはオーバーハング部分全体に広がっている。その場合でも杭に囲まれた内部の基礎スラブに面した土はまだ未降伏である。

□模型実験との比較

Whitaker(1957)⁴⁾はロンドン粘土中に設置した直径1/8インチの模型群杭の載荷試験をおこなっている。図5の破線は杭数 $N=5 \times 5$, $L/d=24$, $s/d=2$ の自立群杭の各杭頭荷重の変化をプロットしたものである(P_{ult} =全体の極限荷重, P_t =全杭頭荷重, P_i =各杭頭荷重)。同図の実線は本解析でこの実験をシミュレートした結果である。実験値は最終的に隅杭に大きな荷重が働いている点や、低荷重で中心杭が理論値より大きいという差異は見られるが、全体的な荷重分担の変化はよく再現できている。

Wiesner and Brown(1978)⁵⁾はカオリン粘土を用い、杭径9.6mm, 杭長249mmの9本群杭(パイルドラフト)の模型実験をおこなった。図6は全荷重と沈下の関係を示したものである。基礎スラブは完全に剛ではなく、隅角部と中心で不等沈下が生じている。図中の破線は剛な基礎スラブを仮定した本解析結果であり、排水・非排水条件とも実験値の平均値付近に位置している。

□参考文献 1) Poulos H.G.(1968): Analysis of the Settlement of Pile Groups, Geot.,18,449-471. 2) Mattes N.S. and Poulos H.G.(1969): Settlement of Single Compressible Pile, J.S.M.F.D., ASCE, SM1,189-207. 3) Kuwabara F.(1989): An Elastic Analysis for Piled Raft Foundations in a Homogeneous Soil, Soils and Fndns.,29,Nol. 4) Whitaker T.(1957): Experiments with Model Piles in Groups, Geot.,7,147-167. 5) Wiesner T.J. and Brown P.T.(1978): Laboratory Tests on Model Piled Raft Foundations, Civ. Eng. Res. Rep. No.R318, Univ. of Sydney, Aust

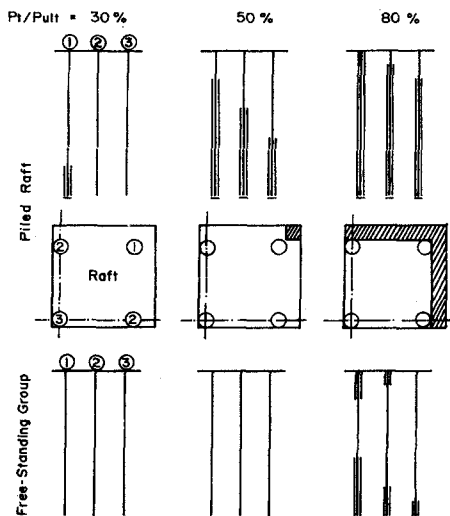


図4 すべり（降伏）域の発達

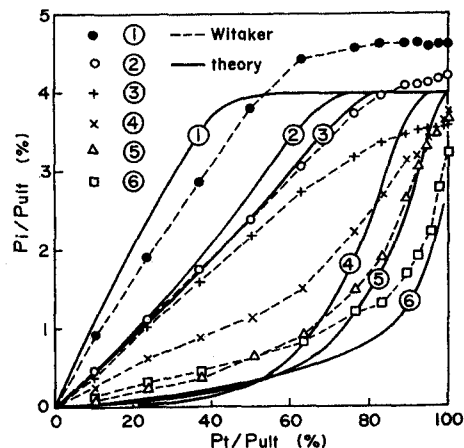


図5 Whitakerの模型実験との比較

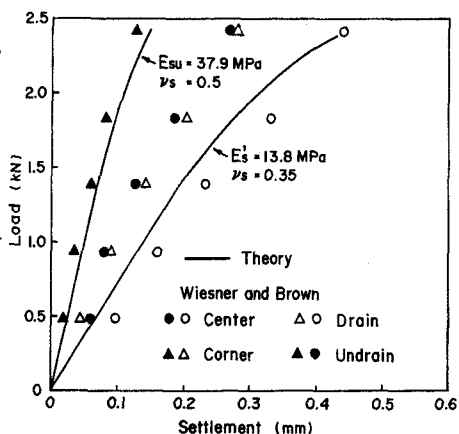


図6 Wiesnerらの模型実験との比較