

地盤沈下が作用する群杭基礎の弾塑性ハイブリッド解析

正会員 ○土屋 勉*1 会員外 惣藏潤一*3
同 永井 宏*2 同 高石麻友子*4

2. 構造 - 4. 基礎構造
群杭, 負の摩擦力, 混合解析

1. はじめに

基礎と地盤の相互作用問題を解析する場合, 上部構造や基礎の構造部材に平板要素や梁要素で構成した有限要素法を採用し, これらと地盤を介する応力伝播に Mindlin 解を適用して, 両者を結合するハイブリッド解析法(例えば1)が比較的多く試みられている. しかし, 杭と地盤間のすべり現象や地盤材料の非線形性が強い問題においては, 弾塑性型のハイブリッド解析法は地盤を介する相互作用を過大に評価するという欠点がある. この問題に対して, 著者等は杭近傍地盤と一般地盤に領域分けをした弾塑性型のハイブリッド解析法²⁾を提案している.

本報告では, 軟弱地盤に建設された杭基礎構造物が地下水位低下による地盤沈下を受ける場合には, 杭と地盤の間に大きなすべりが発生することに着目して, これらを考慮した弾塑性型のハイブリッド解析法を構築する. 次に, 従来の FEM³⁾による解析結果と比較して適用性を検証した後, 群杭基礎の諸因子の影響について検討する.

2. 解析法

2.1 弾塑性解析モデル

本報告では, 図-1に示す従来のハイブリッド解析法¹⁾を拡張させた弾塑性解析法を構築した. すなわち, 図-2に示すように, 地盤を (a) 杭周面(あるいはラフト)近傍地盤, (b) 杭先端近傍地盤, (c) 一般地盤とに領域分けをした上で, 図-3に示すように (a) および (b) 領域の鉛直方向のみ弾塑性型の荷重伝達バネを導入して, それぞれ杭周面と地盤間のすべりおよび杭先端部の局所的な貫入を表現する. (c) 領域においては, 荷重伝達バネ端部の一般地盤節点を介して, 従来と同様に地盤を表現する変位影響マトリックス中の対角成分に Mindlin 解の積分式によるウインクラーバネを, 非対角成分に Mindlin 解に基づく相互作用バネを用いる. なお, 杭近傍地盤の厚さは小さいものとして, プログラム上では水平変位を表現する杭節点と一般地盤節点は同一とした.

2.2 荷重項としての地盤沈下の取り扱い

本報告では, 地盤沈下が発生した杭の沈下・応力性状を解析するにあたり, 地盤沈下を荷重に変換して計算させる以下の手法を用いている.

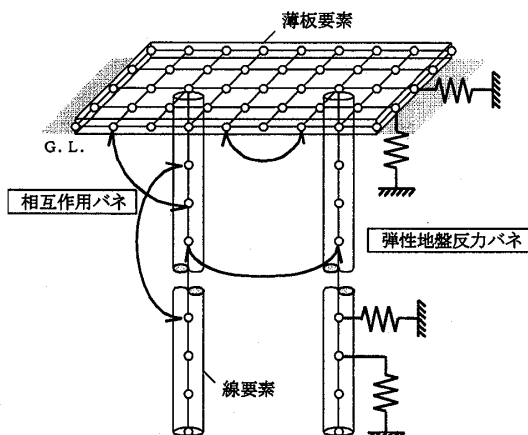


図-1 ハイブリッドモデル

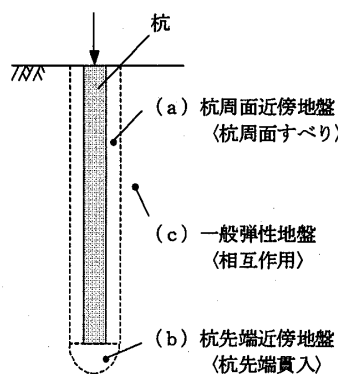


図-2 地盤の概念図

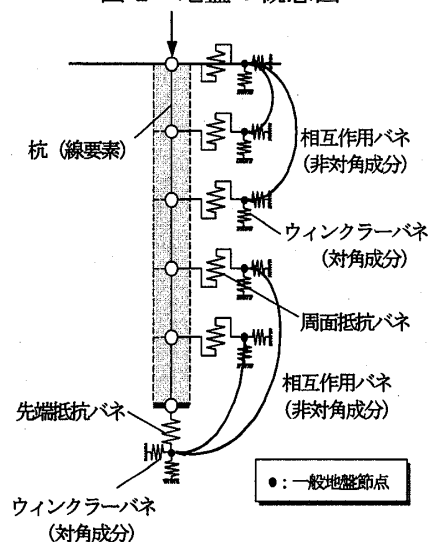


図-3 地盤のモデル化

A Nonlinear Hybrid Analysis for Pile Groups due to Negative Skin Friction.

TSUCHIYA Tsutomu et al.

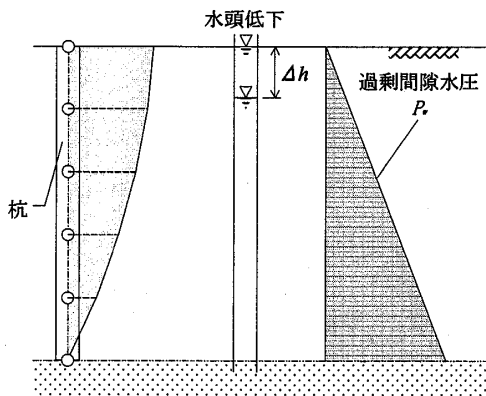


図-4 水頭低下による地盤沈下

図-4に示すように、杭先端直下の支持地盤である砂礫層が水頭低下すると、杭周囲の地盤には三角形分布の過剰間隙水圧が発生して、その消散による沈下{S}は深さ方向に二次式の分布となる。この沈下量{S}に相当する荷重{F}は、杭が配置される一般地盤節点で{F}=[K]・{S}として計算できる。ここで、地盤の剛性マトリックス[K]は、一般地盤を表現した変位影響マトリックスの逆マトリックスである。

3. 解析法の適用性

3.1 検討モデル

図-5に比較に用いた解析モデルの形状を示す。建物は2×8スパン(12m×48m)で3層の立体骨組で構成される比較的細長い形状である。FEMでは上部構造を柱梁のラーメン架構としているが、本解析では厚さ0.49mの薄板要素でモデル化した。建物の中央部、辺部、隅角部で柱下にそれぞれ4本、2本、1本の杭を配したが、群杭となることによる相互作用を無視して、杭本数に比例した鉛直および曲げ剛性を有するものと仮定した。地下水位低下は $\Delta h=10\text{m}$ であり、その時の地表面の最終沈下量は1.2mである。

図-6は杭近傍地盤のバネ係数であり、杭周面が最大抵抗力に達するときの杭と地盤の相対的なすべり量 W_{slf} を3cm、杭先端部が極限支持力状態になるときの先端貫入量 W_{bf} を杭径の10%と仮定した。杭周面摩擦力の最大値は $f=0.3\sigma'$ (σ' :鉛直方向の有効応力度)である。杭先端バネ係数は $245\text{MN}/\text{m}^3$ であって、N値15~25程度の中位の相対密度を有する砂に支持される杭を想定している。

3.2 FEM³⁾との比較

図-7は終局時における中央断面(A~E断面)の沈下分布であるが、地盤および建物共に中央部Aよりも端部Eで大きい(∩)型となる。地盤と建物の沈下差(杭頭抜け上がり量)は自然地盤沈下量に対して35~55%であり、本解析値はFEMの値と概ね近似する。なお、本解析におけるA~E間の建物の相

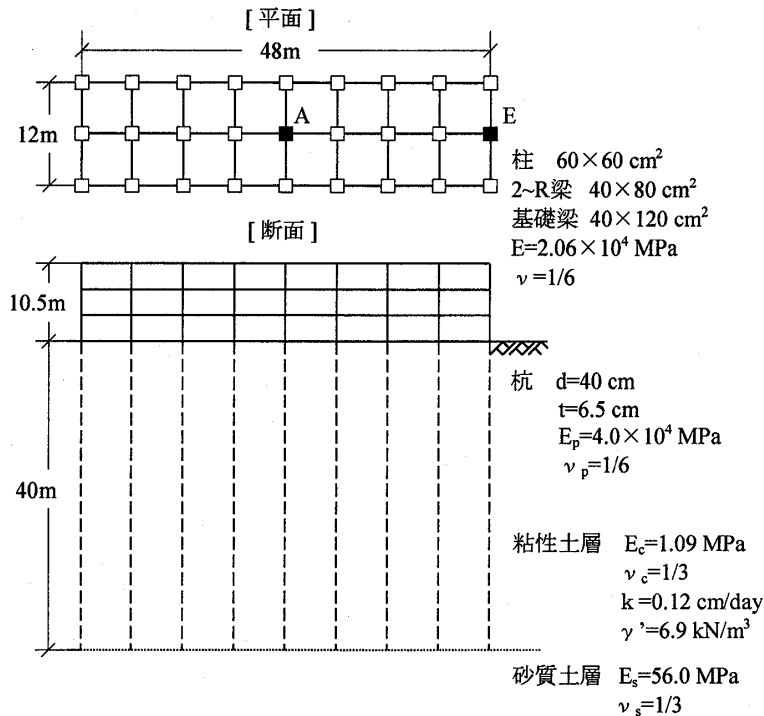


図-5 建物と地盤の諸元

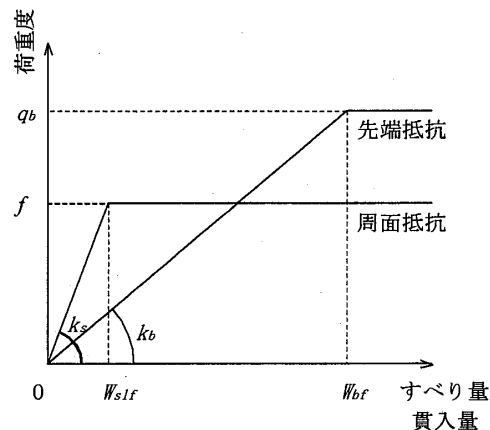


図-6 荷重伝達バネ

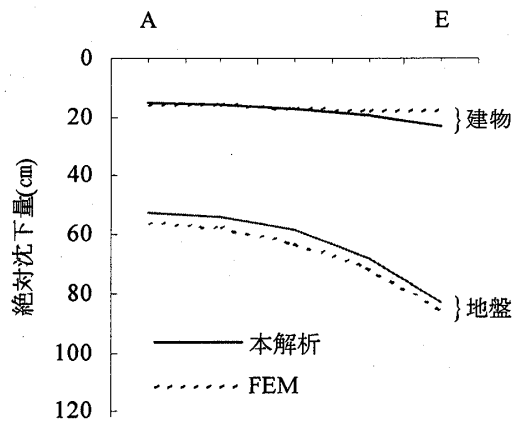


図-7 建物と地盤の沈下分布 (A~E断面, 終局時)

対沈下量がFEMのそれより大きいのは、主として建物モデルの違いによる剛性の違い(本解析:ラフトのみを薄板, FEM: 3層の立体ラーメン)と考えられる。

図-8は終局時における中央部Aと端部Eにおける杭体の軸力分布である。上部構造の剛性の影響によって、建物中央部の杭頭部には圧縮力、建物端部には引張り力が付加される。本解析における中立点軸力がFEMの値よりも幾分大きいものの、全体的な深さ方向の分布傾向は近似している。

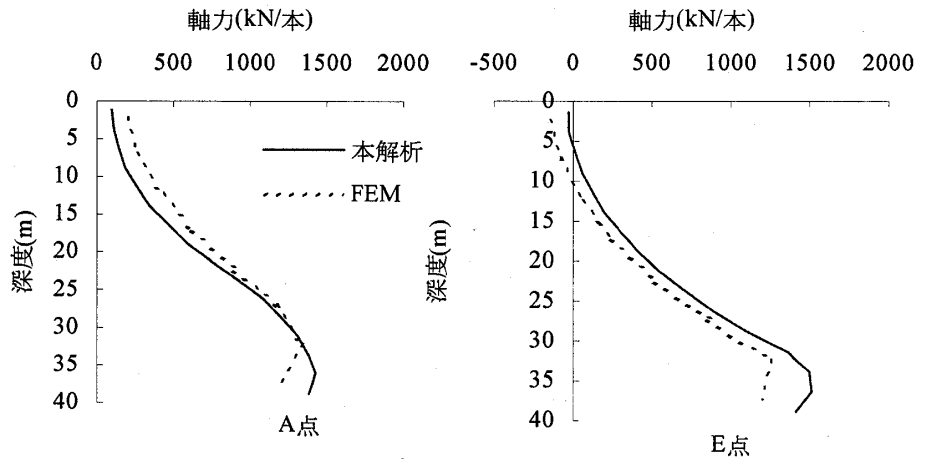


図-8 軸力分布 (終局時)

4. 群杭諸因子の影響

4.1 検討モデル

図-9は本報告の解析モデルであり、N値20の砂質土層に支持される不完全支持杭である。杭近傍地盤のバネ係数は、杭周面の最大抵抗力度を $f=0.3\sigma'_v$ 、 f に達するときの杭と地盤の相対的なすべり量 W_{slf} を0.1cm、また杭先端部の極限支持力度を $q_b=300 \cdot N$ (kN/m²)、 q_b の状態になるときの先端貫入量 W_{bf} を杭径の10%と仮定した。

地盤沈下のモデルは、支持層である砂質土層の水頭低下によって地盤沈下が進行する場合を想定しており、1mの地盤沈下(粘性土層の圧縮量)に相当する荷重を100stepに分けて杭に作用させた。

基礎の因子がパイルド・ラフトの挙動に及ぼす影響を検討するため、杭本数の平方根 \sqrt{n} 、杭間隔比 s/d およびパイルキャップの有無を表-1のように変化させて解析を行った。太枠の部分为标准モデルとし、ある因子を検討する場合にはその他の因子は標準モデルの値をとるものとする。

4.2 杭間隔の影響

図-10は杭頭沈下量および中立点軸力に関する群杭効果について示したものである。ここで、群杭効果とは単杭の解析値に対する群杭のその比である。それによると杭間隔が狭くなるほど低減され、 $s/d=2.5$ では杭頭沈下量で約85%、中立点軸力で約70%程度になっている。次に、図10-(b)で中立点軸力について基礎構造設計指針⁴⁾の群杭効果 β と比較する。

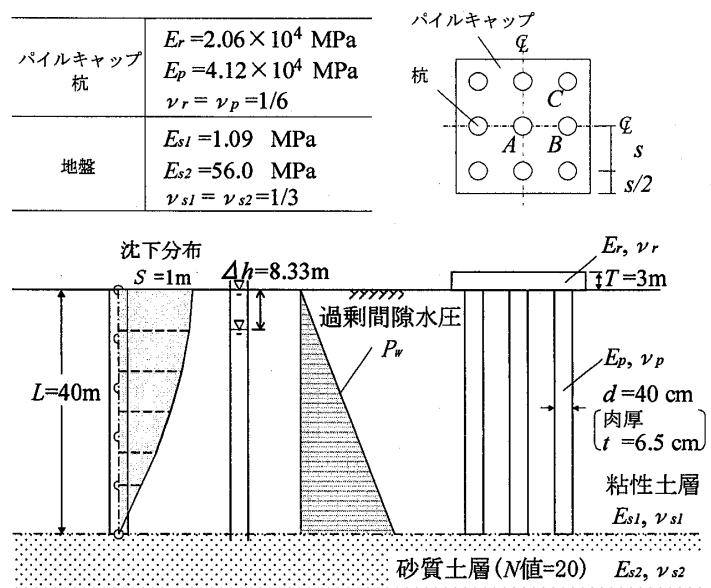


図-9 解析モデル

表-1 検討した因子

\sqrt{n}	1	2	3	4	5
s/d	2.5	5	10	-	-
パイルキャップ	無し	有り	-	-	-

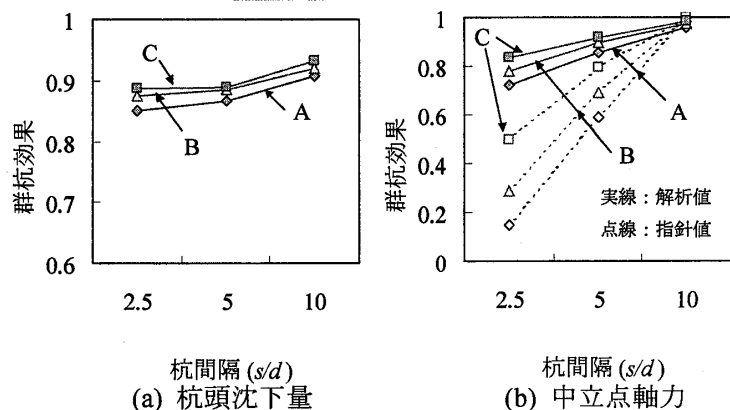


図-10 杭間隔による群杭効果

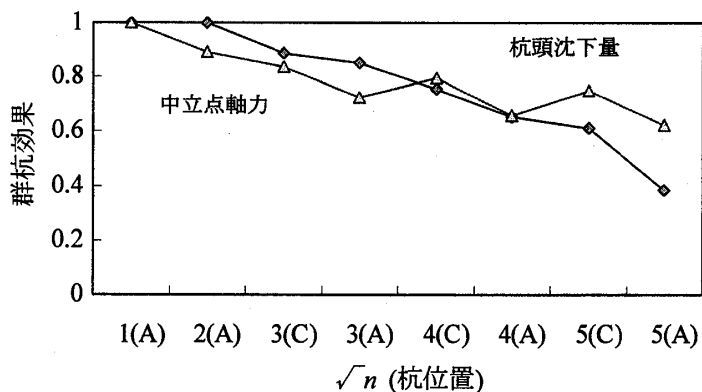


図-11 杭本数による群杭効果

基礎指針は単杭に作用する NF を置換した負担面積と群杭の配置に応じた負担面積の関係から求める方式であるが、杭間隔が狭いほど指針値は過大に評価していることが分る。

4. 3 杭本数の影響

図-11は、 \sqrt{n} を変化させたときの杭頭沈下量および中立点軸力の群杭効果を示している。杭本数の増加に伴い、隣接杭間の相互作用が大きくなり、特に中央部 A 杭では群杭効果が顕著に表れる。 $\sqrt{n}=5$ の群杭では沈下量は約 40%、中立点軸力は約 60%になっている。

4. 4 パイルキャップの影響

図-12に杭の沈下量分布および軸力分布を示す。それによると、パイルキャップが無い場合には沈下量は中央部>辺部>隅角部となるが、パイルキャップがある場合は平面位置による各杭の沈下量は平均化される。この結果、隅角杭では杭頭部に引張力が付加されるが、中央部ではこれと逆に杭頭部に圧縮力が付加される。

5. おわりに

本報告では、杭支持された建物が地盤沈下を受ける場合を対象とした弾塑性ハイブリッド解析法を提示した。本解析法は時間経過に伴う過剰間隙水圧の消散過程を直接考慮したものではないが、地盤沈下分布を入力すれば比較的簡単に計算できるので、種々のケースに応用可能と考えられる。

群杭の諸元を種々変化させた解析結果は、以下のようにまとめられる。

- ①. 杭頭沈下量や中立点軸力が減少するという群杭効果は、杭間隔が狭く、杭本数が多いほど顕著である。
- ②. パイルキャップの存在によって各杭の沈下量は平均化されるが、建物中央部および建物端部の杭頭部には、それぞれ圧縮力および引張力が付加される。

参考文献

- 1) 土屋 勉, 永井 宏: 鉛直荷重を受けるパイルドラフトの応力・変形に関する解析的研究, 構造工学論文集, Vol. 47B, pp. 375-380, 2001. 3.
- 2) 日光秀和, 土屋 勉, 永井 宏: 鉛直荷重を受けるパイルドラフトの弾塑性ハイブリッド解析, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 653-654, 2002. 8.
- 3) 土屋 勉, 岸田 了: ネガティブフリクションを受ける建築構造物の沈下過程解析, 日本建築学会構造系論文報告集, No. 416, pp. 135-143, 1990. 10.

*1 室蘭工業大学 教授・工博

*2 舞鶴工業高等専門学校 助手・博士(工学)

*3 清水建設(株)

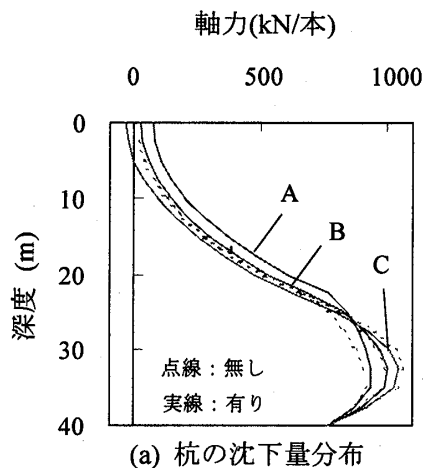
*4 (株) タナチョー

Professor, Muroran Inst. of Tech., Dr.Eng.

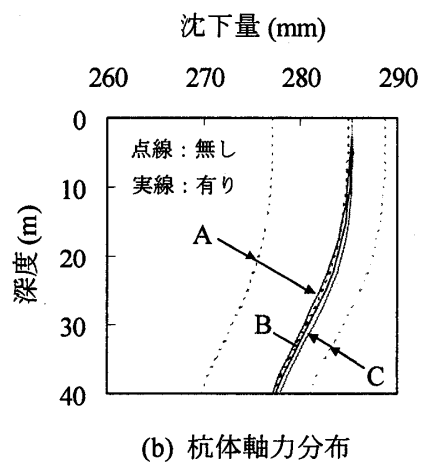
Research Associate, Maizuru National College of Tech., Dr.Eng.

Shimizu Corporation, M.Eng.

TANACHO Co.



(a) 杭の沈下量分布



(b) 杭体軸力分布

図-12 パイルキャップの有無による影響