

杭と地反力を併用した複合基礎における杭に集中する地反力の解析的研究

長岡工業高等専門学科 学生員 ○岩崎 広幸
 長岡工業高等専門学校 正会員 尾上 篤生

1. はじめに

杭の支持力と地盤の支持力(地反力)を併用した複合基礎の有用性が指摘されており、直接基礎と摩擦杭を併用した、パイルド・ラフト基礎が適用される事例も数多く見られるようになった。ところが、パイルド・ラフト基礎の多くは、主として不同沈下の低減を目的として摩擦杭を併用したものであり、支持杭の反力を併用した複合基礎は確立していないようである。筆者らは、杭の反力を支持力として利用することを目的とし、支持杭と地反力を併用した複合構造の開発を提案している¹⁾。しかしながら、構造物が軟弱地盤に建設される場合、地反力を利用することで杭周辺の地盤は圧密沈下を生ずるため、その際杭体周面に発生するネガティブフリクションが問題となる。本報では、単杭の杭-地盤系モデルについて地盤の応力状態及び杭軸力の変化を FEM によって解析し、既存のネガティブフリクション算定方法と比較検討を行った結果について報告する。

2. 構造概要

通常の杭基礎と、支持杭と地反力を併用した複合基礎の概観を図-1 に示す。構造物の耐用期間中、地盤は圧密沈下を生ずるため、地反力を常時発揮させるには、支持杭に荷重分担する一方で基礎スラブが地表面に追従できる構造としなければならない。この点については、摩擦力によって杭頭に一定量の荷重を負担させながら基礎スラブが地表面に追従する機能を持った、「杭頭反力調整装置」を既に開発している。

3. 解析方法

基礎中央部における円柱形の杭-地盤系を想定し、2次元の軸対象 FEM によって解析を行った。杭の軸力に影響を及ぼす地盤の広さを調査するため、地盤半径(R)の異なる6つのモデルを扱った。図-2 は地盤半径の最も大きい、側方境界が11mの解析メッシュである。支持杭は半径 $r=0.3\text{m}$ の鋼管杭とし、支持層に2mの埋め込まれている。杭周辺の地盤は厚さ20mの粘性土層とし、支持層は軟弱層以下の10mとしている。これらの構成は各モデルで共通である。各要素の構成式は鋼管杭と支持層に弾性モデル、粘性土層には弾塑性(修正カムクレイ)モデルを適用した。ただし、地表面より上部は基礎スラブを模した弾性板に覆われている。また、杭と地盤の相対すべりを検討するため、粘性土層と杭の境界面には Bi-Linear 型のジョイント要素を導入した。支持層と粘性土層の物性値は表-1の通りである。なお、ジョイント要素の降伏基準は土の破壊基準に等しいと仮定し、支持杭には鋼材の一般的な材料物性を用いた。

表-1 材料物性

(a) 支持層(弾性)	
弾性係数 E [MPa]	100
ポアソン比 ν	0.35
単位体積重量 γ [kN/m ³]	20
(b) 粘性土層(修正Cam-Clay)	
初期弾性係数 E_0 [MPa]	10
ポアソン比 ν	0.35
粘着力 C [kPa]	15.0
圧縮指数 λ	0.3
膨潤指数 κ	0.0375
限界状態パラメータ M	1.42
単位体積重量 γ [kN/m ³]	18
圧密状態	正規

解析は杭と周辺地盤の双方に荷重を載荷し、圧密挙動が終了するまで行った(4000日)。杭周辺地盤に載荷する等分布荷重(w)は25~100kPaの4種類に設定し、杭頭の集中荷重(P)は全解析ケースとも1000kNとした。

4. 解析結果

(1) 地盤の影響範囲

図-3 に杭の最大軸力値と地盤半径の関係をプロットした。地盤が広いほど最大軸力値は大きい。半径7m以上ではほとんど違いがなく、高々数%程度の差である。つまり半径7m、杭径との比にして約23以上離れた地盤は杭軸力にほとんど影響を及ぼさない。

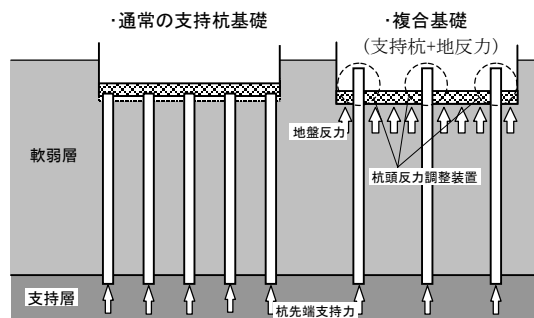
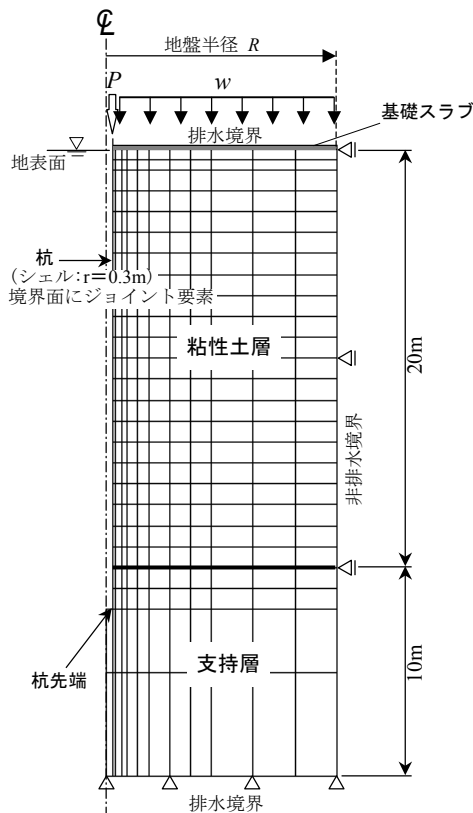


図-1 構造の概要

図-2 解析メッシュ($R=11\text{m}$)

キーワード：複合基礎、支持杭、ネガティブフリクション、FEM

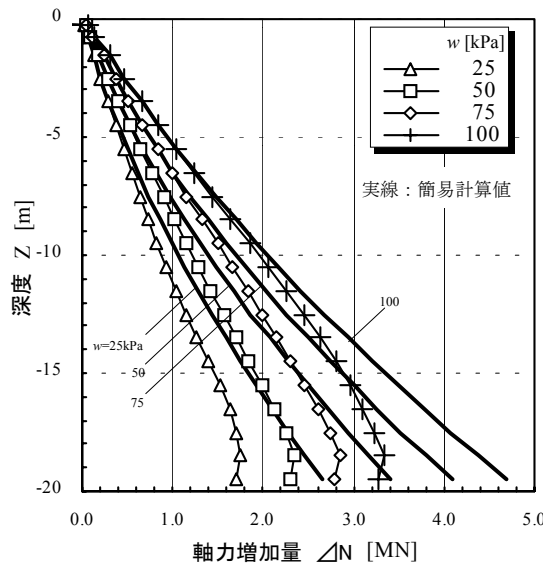
連絡先：〒940-8532 新潟県長岡市西片貝町 888 長岡工業高等専門学校・環境都市工学科 TEL/FAX 0258-34-9439

(2) 建築学会基礎構造設計基準に基づく簡易算定値²⁾との比較

図-4に軸力増加量の深度分布を示す。FEM解析の結果は側方境界の最も広い $R=11\text{m}$ のケースについてプロットした。標記設計基準に基づく簡易計算値は実線で示している。FEM解析の結果は、地表面からある程度の深度まで手計算の算定値に一致しているが、それより深では小さくなっている。これは、図-5に示した摩擦力分布から分かるように、地中深部では杭周面の摩擦力が降伏基準に達しないためである。杭と地盤の境界面が降伏基準に達している深度を比較すると、荷重強度が大きいほど深い。そのため、荷重強度の大きいケースは軸力増加量が比較的深部の地中まで簡易計算値に一致している。

一方、周面摩擦力の分布では、降伏基準に達している部分では荷重強度相応のフリクションが働いているものの、それより深い、降伏基準に達していない部分

では差が小さく、深度 $Z=-15\text{m}$ より深い位置では荷重強度によらず同程度の摩擦力分布となっていることも分かる。支持層の N 値を50とすると、中立軸は文献²⁾によれば深度 $Z=-19\text{m}$ となるが、FEM解析で軸力増大量が最大となった深度 $Z=-18\text{m}$ について、簡易計算値に対する比率をみると(図-6)、荷重強度が大きいケースでやや大きい、 $0.72\sim 0.77$ と

図-4 軸力増加量($R=11\text{m}$)

ほぼ同等の値となっている。これは、荷重強度の大きいケースでは、杭の軸力が大きく増大される一方で杭の沈下量も大きくなり、地中深部における地盤と杭の相対変位量が小さくなるためである。同図に併記した $R=3\text{m}$ のケースでは、地反力の荷重強度に依存する傾向が見られるが、これは軸力の増大量が絶対的に小さいためと考えられる。

5. まとめ

単杭の杭-地盤系モデルについて、FEMにより応力状態を解析した結果、杭軸力に影響を及ぼす範囲は杭径との比にして23程度を考慮すればよいことが分かった。また、深部の地盤は杭との相対変位量が小さく、杭の摩擦力が降伏値に達しないため、既存の算定方法では過大評価となることが示された。本検討では、簡易計算値に対し、7~8割程度となる結果が得られた。ただし、地盤の強度が低い場合では、地盤と杭との境界面の降伏が深部まで及ぶことが予想されるため、別途検討が必要となろう。なお、FEMの解析結果では、圧密進行に伴う粘性土層の側圧係数増大が見られたが、簡易計算値の算定には解析から得られたその側圧係数を用いている。

参考文献

- 1) Kazutaka NAKAYAMA, Takayosi SAKURAI, Yutaka FUJITA, Kiyosi ISHII, Atsuo ONOUE and Kazuhiro YAMAZAKI, "FULL-SCALE TESTING OF DEVELOPPED HYBRID FOUNDATION" International Conference, 2001: A Geo-Odyssey, Virginia Tech, USA, pp.359-369
- 2) 日本建築学会：建築基礎構造設計指針，日本建築学会，pp290，1991

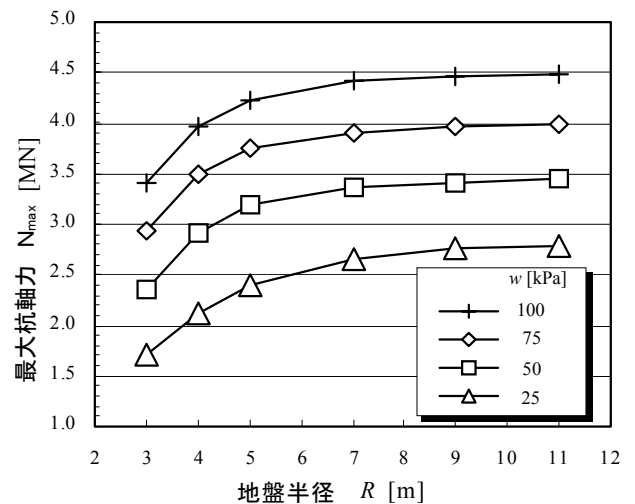


図-3 地盤半径と最大軸力値の関係

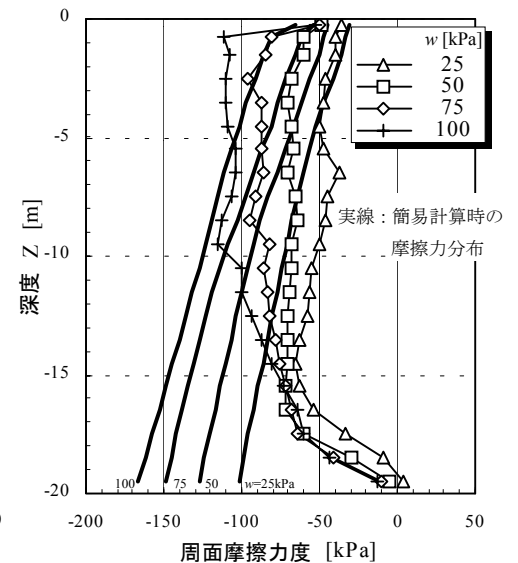
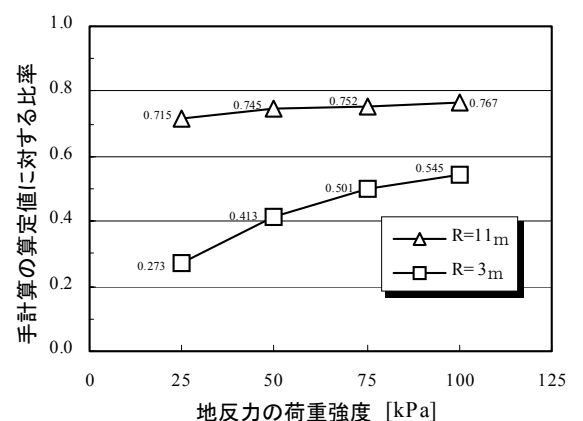
図-5 周面摩擦力分布($R=11\text{m}$)

図-6 簡易計算値に対する比率