

# 軟弱粘性土地盤における杭の極限水平抵抗力の数值解析

長岡技術科学大学環境建設系 環境防災研究室 09100381 朝妻 涼

## 1. はじめに

兵庫県南部地震以前に建設された杭基礎は現在行われているような地盤の深度方向の変位分布を考慮した設計や、地盤と構造物の相互作用を考慮した動的解析で照査することが行われていない場合が多い。そのため、原設計で上部構造の設計震度荷重に対して水平地盤反力を期待している深度で深において、杭に生じる発生断面力が非常に厳しくなるケースがあり、地震後の杭の支持性能を検討する際の課題となることがある。

この極限水平地盤反力に関する研究は、砂質土の液化化による側方流動に対するものが主流であり、粘性土に焦点を当てて実験と解析両面から検討されたものは見当たらないため本稿では模型実験と数值解析で実験の再現性を確かめ、さらに実地盤に近い条件で群杭効果の影響を数值解析により求めた。

## 2. 模型実験結果

中部電力では円柱状の杭を粘性土地盤に設置して、2次元状態を保つように杭を側方へ移動させ抵抗力を調べる実験と地盤の要素試験を行った。実験結果として地盤反力度-変位関係を示す。地盤反力度は計器で計測した荷重を杭の投影面積で除した値としている。地盤反力度-変位関係は、ピーク強度の2/3あたりの地盤反力度までは線形的な挙動だが、ピーク強度以降は限界状態的な挙動となっている。ピーク強度に達するのは杭径の10%程度の変位時である。図1にその画像解析結果(載荷開始から載荷終了までの始点と終点のベクトル)を示す。地盤が背面側に回り込む様子が見られ、その影響範囲は杭表面から2D(D:杭径)程度である。模型実験の側方抵抗力は約12cとなった。

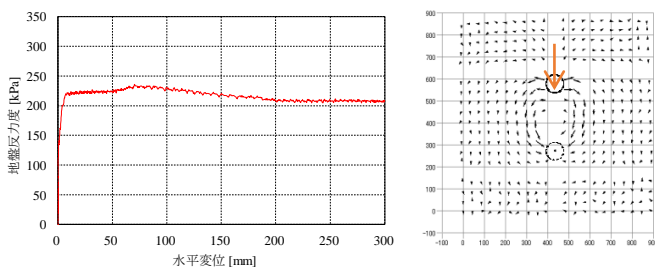


図-1 左:地盤反力度-変位関係 右:画像解析結果

(中部電力との共同研究より)

## 3.1 杭の側方抵抗力

中部電力で行われた実験を参考にした数值解析を実施する。その再現性を確認するため基本ケースとして、境界条件は周面固定境界であり、荷重は杭部分に分布荷重として図の下向きに作用させた。地盤の強度は、 $c=100\text{kPa}$ とし、杭の強度は破壊を起こさないよう十分大きな値を入力した。図2の左に等価ひずみ速度分布と変形図(変位速度に任意の時間を乗じたもの)、杭周辺に大きな等価ひずみ速度が発生しており、杭の進行方向の地盤が押し出され、杭周辺の地盤が杭を回るように杭後方に移動していることがわかり、模型実験の結果を再現することができた。数值解析から得られた側方抵抗力の値は模型実験とBromsが示す側方抵抗力に近い値となった。

## 3.2 杭周辺地盤の強度低下の考慮

また杭打設時に周辺粘性土地盤を乱すことによって生じる粘性土地盤の強度低下を念頭に、杭径の10,20,30,40,50%の範囲に対して強度cを低減(健全な状態の強度に対して10~80%)したケースについて計算した。いずれの強度低下のケースにおいても、強度低下範囲が杭径の30%を超えると、その後の極限地盤反力度の低下程度は小さい。

## 3.3 地盤の引張強度の考慮

応力の第一不変量I1に応じて引張強度を変化させる範囲においても等価ひずみが発生しない解析を行った。引張強度低下を導入すると、極限地盤反力度は大幅に低下し、非排水せん断強度の4倍程度しか発揮されなくなる。破壊モードも、杭周辺地盤の非排水せん断強度を落とした場合のような剛体運動領域を含むモードとなる。

## 4.1 杭周面地盤のすり抜け効果の検討

3.1では模型実験の再現するための解析条件で数值解析を行った。ここでは実地盤中の挙動を再現するために解析条件を変更する。地盤側に分布荷重を与え、境界条件は地盤の上面とした面を鉛直方向に固定し、杭底面を鉛直水平型向に固定し、数值解析を実施した。解析の結果極限支持力は3.1で行ったものと同様の結果を得ることができた。

## 4.2 列杭の検討

解析条件は 4.1 で行った地盤側に分布荷重を与える条件で極限支持力ならびに破壊形態を 2 本の杭に対して地盤の挙動が並列方向、千鳥(斜め)方向、縦方向の 3 パターンについて数値解析を行った。図-3 に杭間距離 2.5D, 3.5D, 6.0D と変更した数値解析で得られた解析結果を示す。また、D は杭の直径としている。杭間距離が狭い場合、隣り合う杭間における地盤中のせん断領域が重ね合わさった破壊となり、更に杭間距離が狭くなると、剛体変形域が小さくなる傾向が見られた。対して、杭間距離が広い場合、両杭において単杭と同様の結果となった。図-4 にそれぞれの側方抵抗力の値を示す。

## 4.3 複数杭の影響に関する検討

図-4 より 4D 以下の場合には群杭効果を考慮する必要があると考え、それぞれのグラフの傾きを補正值としての群杭の補正值を単杭の解析結果に乘じることで群杭効果を考慮する。複数の群杭の特性をもつ解析モデルについて数値解析を行い計算結果と値の比較を行う。

Case2 はほぼ計算結果が一致したが、Case1 では数値解析の結果よりも低い値となった。Case1 では並列杭の並びの影響が強くて出ている結果となったため縦列の杭の影響が少なく過剰に補正がかかったと考えられる。Case1 の補正係数から縦列の補正係数を抜いた補正值は解析の結果とほぼ一致した。

## 9. ブロック群杭の検討

隣接した 2 本の杭に対して砂地盤のような杭の回りこみを検討した。地盤モデルは 4.2 の列杭とは異なり 2 本の杭に焦点を当てる。杭間距離は 1.0D, 0.5D とした。解析の結果杭間距離を狭めても地盤は杭間をすり抜ける変化が現れ、砂地盤のような隣接した 2 本の杭を一本の大きな見立てる効果は粘性土では見られないと考えられる。

## 10. 結論

- (1) 模型杭周辺設置した標点から、杭周辺地盤の回り込みやすり抜け変形(地盤の塑性化)を観察できた。数値実験結果からも模型実験と *Broms* の結果と同様の側方抵抗力が得られ、地盤の塑性化範囲(約 2.0D)についても同様であった。
- (2) 各列杭の側方抵抗力は、杭中心間隔を 4.0D 離せば、単杭と同等の値となる。杭間距離が短くなるにつれ、杭周辺の変形領域が小さくなる傾向にある。

- (3) 地盤中に複数本の杭(杭間距離 2.5D)の数値解析の結果に対して列杭から得られた群杭効果を考慮し補正計算を行いほぼ近い値を示した。

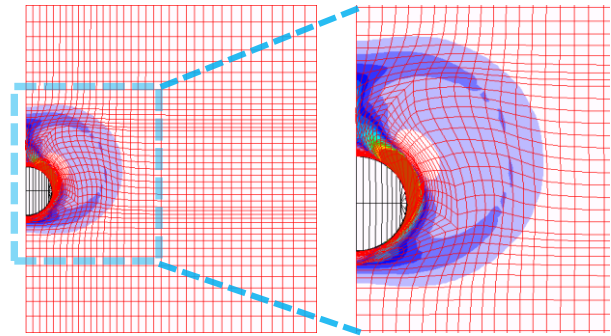


図-2 杭周辺のひずみ分布+変形図(右:拡大図)

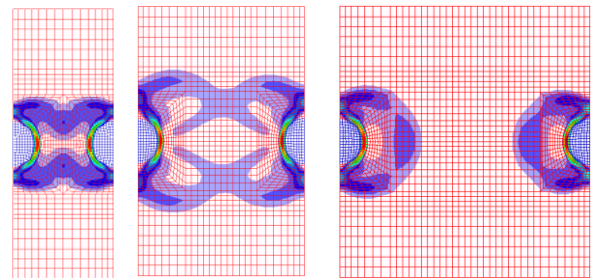


図-3 縦列配置の解析結果(左 2.5D 中央 3.5D 右 6D)

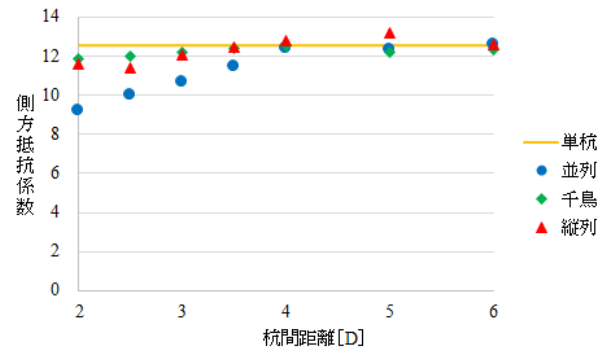
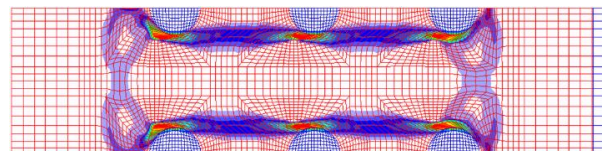
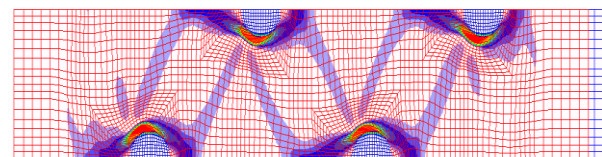


図-4 各列杭の側方抵抗力のまとめ



(Case5-1) 並列+縦列



(Case5-2) 千鳥+縦列

図-5 複数杭モデルの解析結果