

基礎杭の地盤反力特性に関する解析的検討

株式会社 CPC 正会員 ○西 剛整
株式会社 CPC 正会員 カク ショウケイ

1. はじめに

基礎杭の構造解析において、一般的には地盤ばねで支持するモデル化が行われる。一方、解析技術の発達に伴い、地盤や地形の条件が複雑な場合など、地盤と構造物及び基礎杭を同時にモデル化する FEM 解析等の適用が適切と判断されることもある。本論文は、地盤及び基礎杭をモデル化した立体 FEM 解析に基づき、解析上の基礎杭のモデル化と群杭による地盤反力の変化を検討したものである。

2. 杭のモデル化について

FEM 解析により基礎杭をモデル化する場合、一般的にはこれを梁要素でモデル化する。ただし、二次元 FEM 解析で杭を梁要素としてモデル化する場合、杭の形状は考慮されずにモデル奥行き方向に一樣な板としてモデル化されることになる。杭に水平力を与えると杭間の地盤に食い込みが生じ、周辺地盤と異なる挙動を示すと考えられるが、二次元 FEM 解析上の梁要素は上記の通り一樣な板であり地盤への食い込みは生じない。このため、杭と地盤間を地盤ばねで接合して、ばね変位として食い込みを考慮する等のモデル化の工夫が求められる。一方、三次元 FEM 解析であれば食い込みは考慮されるが、梁要素は見かけ上断面積を有していないことから、食い込みを過大に表現することが考えられる。この挙動を確認するために、図-1 に示す三次元モデルを用いて単調載荷を行う解析を実施した。

解析モデルを図-1 に示す。杭は肉厚 16mm、 ϕ 1500mm の鋼管杭を想定する。図-1 では地層が区分されているが、ここでは簡単のために地盤物性値はせん断弾性波速度 $V_s=200\text{m/s}$ （質量は 0）の一樣モデルを想定した。地盤は R-O モデルで非線形特性を考慮した。基礎杭は、図-2 に示すように 16mm の厚さの板要素を用いて円筒モデルとしたもの、及び同じ断面剛性を有する梁としてモデル化したものを用いた。解析では、基礎杭とフーチングをモデル化しており、これらに質量を与え（それぞれ単位体積重量 $\gamma=77\text{kN/m}^3$ 及び 24.5kN/m^3 ）て地盤の質量を 0 として静的震度を段階的に作用させた。これにより、慣性力は杭とフーチングのみの作用することになり、モデル毎の作用力に差は生じない。

解析の結果として、フーチング上部の変位と作用震度の関係を示した。杭を梁でモデル化したものに比較して板でモデル化したものは、同じ作用震度下での変位が 1/2 程度であることがわかる。これは断面積を有さな

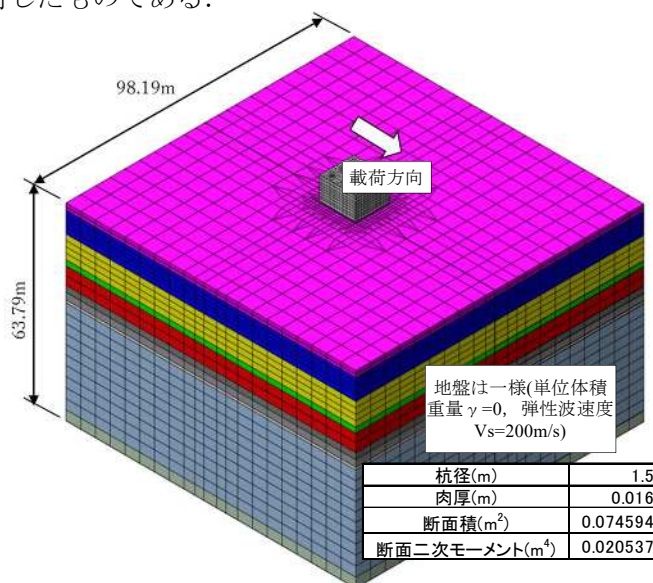


図-1 解析モデル

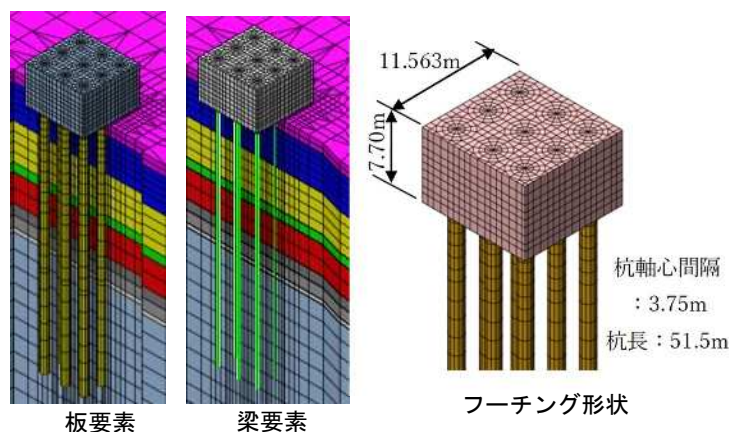


図-2 基礎杭のモデル化

キーワード 三次元 FEM 解析, 杭基礎, 地盤反力

連絡先 〒169-0075 東京都新宿区高田馬場 4-40-11 ユニゾ高田馬場看山ビル
(株式会社) CPC 東京支社 TEL03-5337-4061

い梁モデルが、実際以上に地盤に食い込むためであると考えられる。このため、杭基礎を梁でモデル化すると地盤反力を過小評価することになる。

3. 群杭について

道路橋示方書・同解説(日本道路協会 平成 29 年版, IV 下部構造編 p.265)には、杭中心間隔 L が杭径 D に対して $2.5D$ 以上であれば単杭の水平方向地盤反力係数をそのまま用いてよいことが示されている。一方、鉄道構造物等設計標準・同解説 基礎構造物(鉄道総合技術研究所編, 平成 24 年版, p.265)では、杭間隔係数 $d=L/D$ が 5.0 を超える場合、群杭を考慮しなくてもよいとされている。そこで、群杭の影響を確認するために、解析的な検討を行った。解析モデルを図-4 に示す。地盤条件の設定は図-1 と同様である。ただし、境界条件の影響をできるだけ排除するために、解析モデル幅は 500m 以上とした。杭の配置は 7×8 列とし、7 列側の配置ピッチを $L/D=2.0, 2.5, 3.0, 4.0$ とした。その直交方向側の配置ピッチもそれに合わせて変えている。

杭基礎は図-2 と同様の板要素とした。杭と地盤間はすべり・剥離を考慮したジョイント要素を設置し、フーチングと地盤間は両者の摩擦を無視した。杭-地盤間ジョイントの摩擦係数は 0.6 を仮定した。

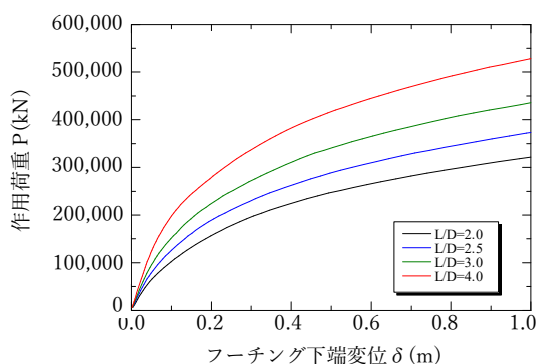


図-5 作用荷重と変位の関係

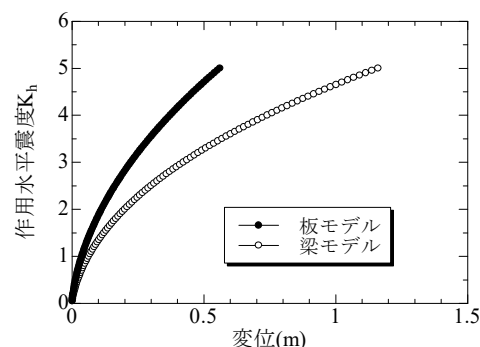


図-3 作用震度とフーチング変位の関係

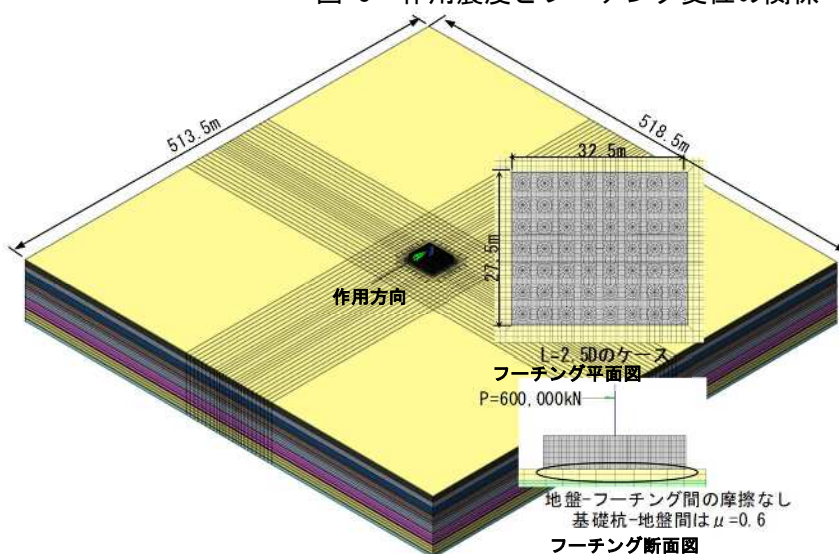


図-4 群杭の解析モデル例

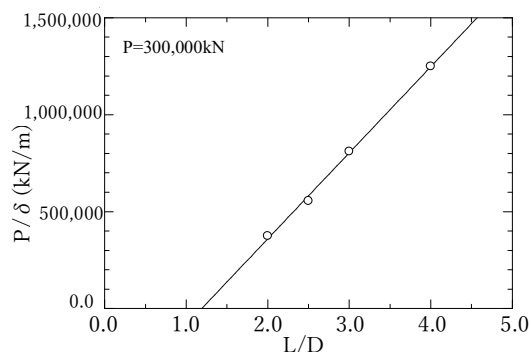


図-6 P/δ と L/D の関係

ここで、杭ピッチを変化させるとフーチングサイズが変化する。したがって、図-1 のモデルのような水平震度による作用ではフーチング形状毎に作用力が異なることになる。このため、図-4 に示すようにフーチング中央部に剛な梁を設置し、これに水平荷重を最大 $600,000\text{kN}$ まで段階的に作用させた。

解析結果として、 L/D をパラメータとして作用荷重 P とフーチング下端の変位 δ の関係を図-5 に示す。 L/D が大きいほど変位に対する作用荷重は大きくなる。作用荷重 $P=300,000\text{kN}$ の条件で、地盤反力に相当する P/δ と L/D の関係を示したものが図-6 である。両者の関係はほぼ直線的であり、解析上は L/D が 2.5 を超えても地盤反力は変化する結果となった。

4. まとめ

杭のモデル化と群杭による地盤反力の変化についての解析的な検討の結果、三次元 FEM 解析で杭を梁要素でモデル化すると地盤反力を過小評価することや、解析の範囲で P/δ は L/D に対して直線的に変化し、比較的 L/D が大きな範囲でも群杭の影響はあることなどがわかった。