

建設発生土を利活用した複合杭基礎構造の引抜き特性

芝浦工業大学大学院 (学)○竹本隆一・(学)中尾晃揮・(正)稲積真哉
 株式会社日新 (一)荒尾公三・(一)小枝健太
 兼松サステック株式会社 (正)水谷羊介・(一)松尾好史
 株式会社トーメック (正)宍戸賢一

1. はじめに

鉄塔や電波塔などの構造物は、風の力を大きく受けるため、それらの構造物の杭基礎は水平方向の揺れによって発生する引抜き力に耐える必要がある。また、杭基礎を建設する際には、地盤内の土が外に排出されるため、建設発生土が生じる。その建設発生土だが、令和2年1月に国土交通省から発表された、建設副産物実態調査結果¹⁾によると、建設発生物の再資源化・縮減率が97.2%に対して、建設発生土の有効利用率は、79.8%であった。発表された結果を基に、現場内利用率を算出すると、54.3%である。この現状を踏まえると建設発生土を、発生した現場内で利用することが求められる。

本研究では、引抜き力により耐えられる複合杭基礎構造を開発する中で、建設発生土を利活用することを目的とする。複合杭の開発に当たって、引抜き力に着目した。今まで杭が地盤内に押し込まれる際の杭の挙動や、杭基礎の構造に関する研究は行われているが、杭の引抜き力に関する研究は少ない。

本研究で開発する杭は、まず、地盤を掘削した部分に、ケーシングを設置し、そのケーシングの内側に、拡底翼付きの杭を打設する。その後、地盤を掘削した際に発生した建設発生土を、ケーシング内に埋め戻すことで、図-1のようなケーシングと中の杭と建設発生土で大きな1つの杭を形成することを目的とする。この複合杭基礎を開発するために、ケーシング径と中の杭径、拡底翼径を変化させて引抜き力が一番大きくなる比を、3次元弾塑性のFEM解析により、引抜き力を算出・比較する方法で評価する。拡底翼とは本来、杭底につけることで先端支持力の増大を期待するものであるが、本研究では、拡底翼上部に載る土によって引抜き力の増加を目指す。また、ケーシングとは、杭の周りにつける鋼製の筒状のものであり、設置することで杭と中の土の一体化により、引抜き力の増加を図る。

2. 3次元弾塑性 FEM 解析

FEM (Finite Element Method) 法は、変形が大きく、弾塑性 (非線形) 挙動を示す場合に厳密解を得ることが難しいため、近似解を得る方が得策である場合に、近似解を得るための有力な手段である。連続体である地盤を細かく分割して、その細かく分割した各々の要素について応力や変位を求めて、解析対象全体の近似解を求める。弾塑性解析とは、物体の全変形を弾性成分と塑性成分に分離して、作用する力の増分に対応した変形の増分を求める手続きを総称したものである。

3. 解析条件とパラメータ

解析対象地盤は1辺6.0mの立方体であり、複合杭の解析モデルを図-2に示す。表-1にはN値20を元に算出した地盤のパラメータを示す。土の材料モデルはモールクーロンに設定した。N値20とした根拠は、本研究で開発する杭基礎は、鉄塔や電波塔向けの基礎であるため、比較的固い地盤を想定しているためである。杭はコンクリート、ケーシングは鋼を想定してそれらのパラメータは表-2に示す。

境界条件としては仮想的な板を設置した。「仮想板厚係数」とは、杭の周囲に境界部として仮想の板を設けたときの、その板の厚さに対する係数である。その仮想的な板と周辺地盤の界面強度に対して影響する値を「強度低減係数」といい、境界条件に関してこの2つの値を用いた (表-3 参照)。強度低減係数が1の場合、境界部の強度が落ちない設定となる。つまり、杭とその周りの地盤に発生する摩擦が同じ力で永久に発生し続けたまま、杭が引き抜かれ続ける解析となる。

解析内容として、地盤内に設置した複合杭の杭頭面に杭長に当たる2.0mを強制的に引き抜くような変位を与えて、杭を地盤深度方向とは逆の向きに引き抜く解析を行った。2.0m引き抜く中で0.1mまで引き抜いた時点での引抜き力を結果として出力する。

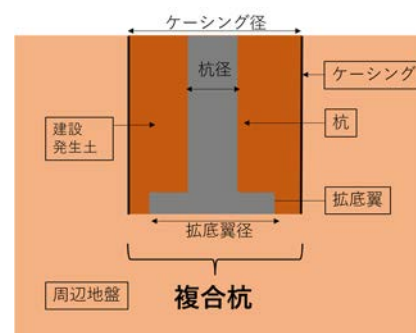


図-1. 複合杭イメージ図

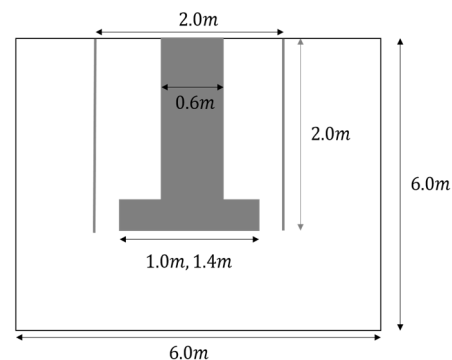


図-2. 解析モデル

キーワード：複合基礎 引抜き抵抗 建設発生土

連絡先：〒135-8548 東京都江東区豊洲3丁目7-5 (TEL : 03-5859-8360 ; FAX : 03-5859-8401)

本研究では、杭長は 2.0m、拡底翼径は 1.0m、周辺につけるケーシング径は 2.0m の値を固定値として、杭径を変化させて解析を行った結果から、適切な杭径を検討する。拡底翼径 1.0m に対して杭径を 0.2~0.8m と変化させた 4 つの結果で比較する。

4. 解析結果と考察

杭径を 0.2~0.8m と変化させた場合の引抜き力の解析結果を表-4 および図-3 に示す。

表-4 より、拡底翼径が同じ場合、杭径を変化させても引抜き力に大きな差は出ないことが確認できた。これは周辺地盤とケーシングの土の物性値が同じ条件であるため一概に断定できないが、引抜き力は杭径よりも拡底翼径に依存すると考えられる。

図-3 では、鉛直方向の杭と地盤の変位を表すコンター図であり、拡底翼径 1.0m に対して、杭径 0.2m、0.4m、0.6m、0.8m の杭で比較する。杭は 0.1m 引き抜かれておりその部分は赤色で示されている。ケーシング内の建設発生土で、同じ変位量を示している部分は杭径 0.6m のモデルが一番多いことが確認できる。拡底翼径と杭径の大きさの差が大きいほど、拡底翼上部に載る土が多くなり、引抜き力が増加することが予測されるが、結果として、引抜き力に大きな差は出なかった。つまり、複合杭において、杭径よりも拡底翼径が引抜き力に影響を与えると考えられる。

更に、ケーシング内の建設発生土の挙動に着目した結果、杭周辺のより広範囲の建設発生土に影響を与えることで、ケーシング内で一体化が図れ、大きな複合杭を形成しているのは杭径 0.6m のモデルである。しかし、重要な引抜き力は他の形状と比較しても差が生まれなかった。これは、杭径 0.6m の方は影響範囲が広く引抜き力が大きいと考えられるが、杭径 0.8m のでは杭に発生する周面摩擦力が大きいため、結果として引抜き力が同程度になったと考える。また、杭と同じ量引き抜かれている土の量に関して、杭径 0.2m と 0.8m のモデルでは、杭径 0.4m、0.6m のモデルと比較して、ケーシング内の影響範囲が小さいことが分かる。これは、複合杭のモデルを考える中で、拡底翼径と杭径の差が小さすぎる、または大きすぎるモデルではケーシング内の建設発生土の一体化が図りにくくなると考えられる。

5. おわりに

本研究で得られた成果を以下に示す。

- (1) 杭径を変化させても大きな変化はなく、拡底翼径に引抜き力は大きく依存する。
- (2) 拡底翼径と杭径の差が小さすぎる、もしくは大きすぎないモデルが、より多くのケーシング内の建設発生土に影響を及ぼすことが確認でき、これは大きなケーシング内で一体化する複合杭の形成において、重要なメカニズムであると考ええる。

本研究では、ケーシングと中に詰める建設発生土の一体化の効果により、大きな引抜き力を出す複合杭基礎を開発することを目的としている。

今後の課題として、今回の解析では、杭径と拡底翼径に着目して解析を行ったが、本来ケーシング内の建設発生土は、埋め戻し時の転圧が困難であり、周辺地盤の強度特性と異なることが想定されるため、ケーシング内の物性値を変更した解析をする必要がある。また、

参考文献

- 1) 国土交通省：平成 30 年度建設副産物実態調査結果【参考資料】，総合政策局公共事業企画調整課，pp. 1-10 2018.

表-1. 解析に用いた地盤パラメータ

単位体積重量(kN/m^3)	20
ヤング係数(kN/m^2)	260×10^3
ポアソン比	0.35
粘着力(kN/m^2)	0
内部摩擦角($^\circ$)	35

表-2. 解析に用いた杭・ケーシングパラメータ

	杭	ケーシング
単位体積重量(kN/m^3)	23	77
ヤング係数(kN/m^2)	2.0×10^8	2.1×10^6

表-3. 解析に用いた境界部パラメータ

仮想板厚係数	0.1
強度低減係数	0.6667

表-4. 杭の引抜き力に結果

杭径(m)	引抜き力(kN)
0.2	413.8
0.4	395.7
0.6	415.6
0.8	415.7

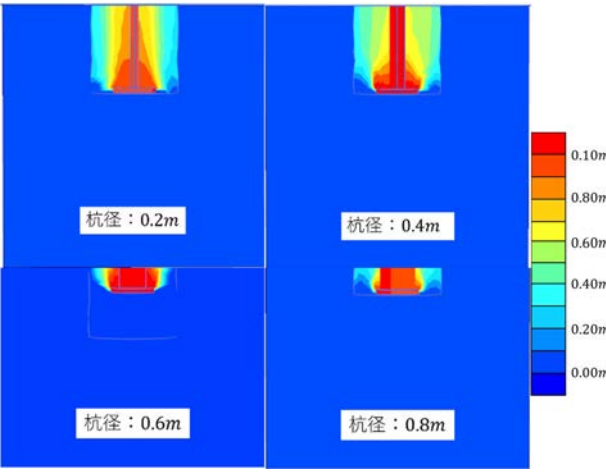


図-3. 0.1m 引抜き時鉛直変位のコンター図