

ポスター発表 | 第III部門

2025年9月11日(木) 10:40 ~ 12:00 Ae (熊本城ホール)

地盤と構造物①

座長：寺本 俊太郎 (摂南大学)

[11AM2-Ae-14] 建設発生土を活用した羽根付き鋼管複合杭の引抜き抵抗特性の実験と再現解析

*森田 航平¹、竹本 隆一¹、荒尾 公三²、小枝 健太²、水谷 羊介³、松尾 好史弘³、穴戸 賢一⁴、中尾 晃揮⁵、稲積 真哉⁵ (1. 芝浦工業大学大学院、2. (株)日新、3. 兼松サステック(株)、4. (株)トーマック、5. 芝浦工業大学)

キーワード：複合杭基礎、建設発生土、引抜き特性

鉄塔や電波塔などの構造物は風荷重を大きく受けるため、それらを支える杭基礎には水平方向の揺れにより発生する引抜き力への高い耐久性が求められる。本研究では、建設発生土の有効活用を目的に、新たな複合杭基礎構造を提案し、その引抜き特性を模型試験と再現解析を用いて評価した。結果から、引抜き力にはせん断力と摩擦力のような異なる力が働いている可能性が示唆された。また、模型試験と再現解析において、同様の傾向が確認された。これはこれまでの実験結果の信頼性を裏付けるものであり、手法の妥当性を評価する重要な成果となった。

建設発生土を活用した羽根付き鋼管複合杭の引抜き抵抗特性の実験と再現解析

芝浦工業大学大学院
(株)日新
兼松サステック(株)
(株)トーメック
芝浦工業大学

○(学)森田航平・(学)竹本隆一
荒尾公三・小枝健太
(正)水谷羊介・松尾好史弘
(正)穴戸賢一
(正)中尾晃揮・(正)稲積真哉

1. はじめに

鉄塔や電波塔などの構造物は風荷重を受けるため、杭基礎には水平方向の揺れにより発生する引抜き力への高い耐久性が求められる。また、建設副産物実態調査結果によると、建設発生土の有効利用率は79.8%、現場内利用率は54.3%である¹⁾。本研究では建設発生土の有効活用を目的に、新たな複合杭基礎構造を提案し、特にその引抜き特性に着目した。

従来の杭基礎工法では掘削した地盤に鋼製部材を用いて土留めを行い、孔内で鉄筋を組み立て、コンクリートを打設して杭を形成する。本研究では、新たなアプローチとして掘削後の孔壁崩壊を防ぐために設置した円形鋼製部材(ライナープレート)を地盤内に残存させ、鋼製部材内部に羽根付き鋼管杭を挿入し、杭と鋼製部材の間に建設発生土を埋め戻すことで、複合杭を形成する手法を採用した。(図-1 参照)

本研究では、模型実験を用いて複合杭の引抜き抵抗力を評価し、実験結果の妥当性を確認するために再現解析を実施した。

2. 模型試験による引抜き抵抗特性の評価

2.1 試験概要

試験では、開発した複合杭を模擬した羽根付き鋼管杭(以下、鋼管杭)と鋼製部材を使用し、引張試験機を用いて鋼管杭の引抜き試験を行った。拡底翼径と引抜き力の関係を明らかにすることを目的として、複数のモデル・条件で引抜き力を比較した。

2.2 試験装置および条件

試験には縦290 mm、横390 mm、高さ190 mmの水槽を使用し、締め固めた土に鋼管杭と鋼製部材を設置した。鋼製部材の仕様は内径80 mm、外径84 mm、高さ80 mmで、拡底翼径を32, 40, 48, 56, 64 mmの5種類に設定した。鋼製部材の外の土密度は15 kN/m³とし、以下の5つのケースに分類した。Case1: 鋼製部材に凹凸がなく、内外ともに密度15 kN/m³, Case2: 鋼製部材に凹凸があり、内外ともに密度15 kN/m³, Case3: 鋼製部材に凹凸がなく、内側密度12 kN/m³, 外側密度15 kN/m³, Case4: 鋼製部材に凹凸があり、内側密度12 kN/m³, 外側密度15 kN/m³, Case5: 鋼製部材を設けず、密度15 kN/m³である。Case5のみ、鋼製部材を設置せずに鋼管杭のみを引き抜く実験を実施した。

2.3 試験手順

試験手順は以下の通りである。設定した密度に基づき、水槽・鋼管杭・鋼製部材の体積から、層ごとに投入する土量を算定する。

鋼製部材の内外を1層(高さ20 mm)ずつ締め固める作業を5回繰り返す。

引き抜き速度を、20 mm/sに設定し、鋼管杭を全長(80 mm)引き抜き、引抜き力と変位量を計測する。

2.4 試験結果および考察

図-3に拡底翼径と引抜き力の最大値の関係を示す。鋼製部材を設置していないCase5では拡底翼径に比例して引抜き力が増加する傾向が確認できた。ここで、Case1とCase5において地盤の密度が同一の条件下で単体杭の場合

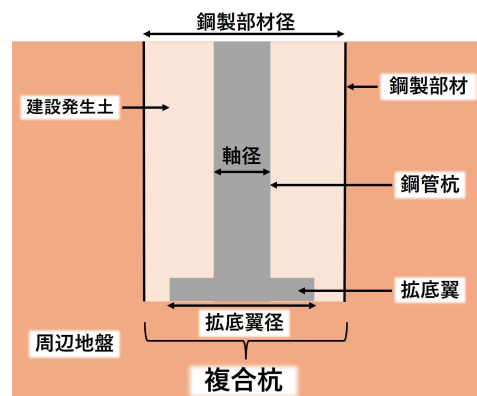


図-1 複合杭 詳細図

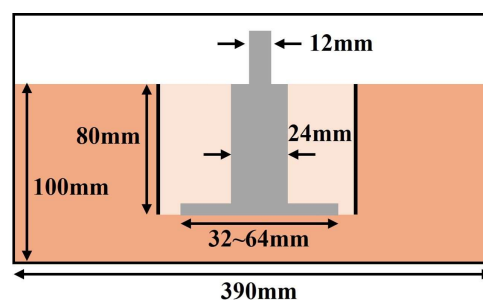


図-2 模型実験 断面図

キーワード 複合杭基礎, 建設発生土, 引抜き特性

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)

と複合杭を設置した場合を比較すると、拡底翼径 32 mm のモデル以外では単体杭の方が複合杭よりも引抜き力が高いことが判る。これは、単体杭の場合鋼製部材による仕切りがないため、せん断破壊面が増加し、複合杭と比較して広範囲でせん断破壊を起こしながら引き抜かれたためと考える。しかし、32 mm と 64 mm については同程度の値を示した。拡底翼径 32 mm のモデルでは拡底翼径が小さいため、単体杭と複合杭でせん断破壊の範囲が同程度であったことが考えられる。拡底翼径 64 mm のモデルでは、鋼製部材があることでせん断破壊の領域が限られた状況であるが、持ち上げた鋼製部材内の土と鋼製部材間での摩擦力が引抜き力に影響したと考えられる。また、凹凸のない鋼製部材 (Case1 および Case3) に比べて凹凸のある鋼製部材 (Case2 および Case4) は引抜き力が大きく、ライナープレートの凹凸構造が引抜き抵抗向上に有効であることが示された。以上の結果から、鋼製部材に凹凸を設けることで複合杭の引抜き抵抗を向上させる可能性が示唆された。

3. 模型試験の再現解析

3.1 試験目的および概要

実験で得られた結果の信頼性を評価するために Case1 および Case3 において、三次元弾塑性有限要素法解析を用いて、模型実験の再現解析を行い、実験結果との比較を行った。

有限要素法 (FEM) は、特に弾塑性挙動や大変形を伴う問題など、厳密解の導出が困難な場合に有効な近似解を提供する解析手法である。本手法では、連続体である地盤を細分化し、各要素について応力や変位を計算することで、解析対象全体の挙動を近似的に求める。

3.2 解析条件

解析対象地盤はすべての寸法を模型実験と同じにした。各実験のパラメータを表-1 および表-2 に示す。

3.3 解析結果

図-4 に示すとおり、FEM による解析結果は、拡底翼径の増大に伴って引抜き力が増加するという実験結果と概ね良好な一致を示した。これは、拡底翼径の増加により杭周辺地盤に作用するせん断抵抗が増大することを意味しており、FEM 解析における地盤と杭の相互作用が実験における挙動を適切に再現していることを示唆する。

4. おわりに

本研究の成果を以下に示す。

- (1) 拡底翼径が大きいモデルでは摩擦力のような異なる要因が引抜き力に影響した可能性が示唆された。
- (2) 鋼製部材に凹凸が存在する場合引抜き抵抗が増加することが確認された。この結果、複合杭にライナープレートのような凹凸を有する部材を使用することが引抜き抵抗の向上に有効であることが示された。
- (3) 模型試験と再現解析において、拡底翼径と引抜き力の関係について同様の傾向が確認された。これは、これまでの実験結果の信頼性を裏付けるものであり、手法の妥当性を評価する重要な成果である。

今後は鋼製部材内に詰める土の種類や、粒度分布が異なるものを用いることで、引抜き抵抗値の向上を目指す。また、設計基準に基づく引抜き抵抗力を算出し適切な複合杭基礎モデルの設計指針を確立する。

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，pp1-10，2018。

表-1 地盤パラメータ (Case1)

	周辺地盤	建設発生土
単位体積重量 (kN/m ³)	15	15
弾性係数 (kN/m ²)	2.64×10 ⁴	2.64×10 ⁴
粘着力 (kN/m ²)	1.25	1.25
内部摩擦角 (°)	19.4	19.4

表-2 地盤パラメータ (Case3)

	周辺地盤	建設発生土
単位体積重量 (kN/m ³)	15	12
弾性係数 (kN/m ²)	4.19×10 ⁴	2.11×10 ⁴
粘着力 (kN/m ²)	1.25	1.25
内部摩擦角 (°)	21.32	19.4

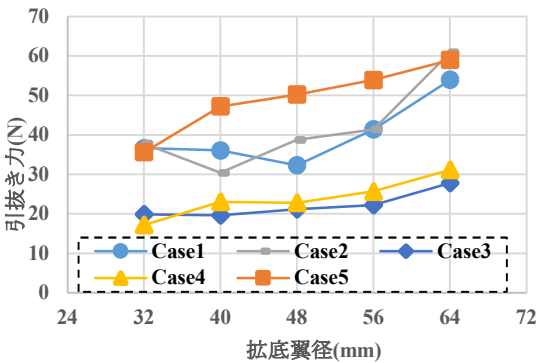


図-3 拡底翼径-引抜き力 結果まとめ(実験)

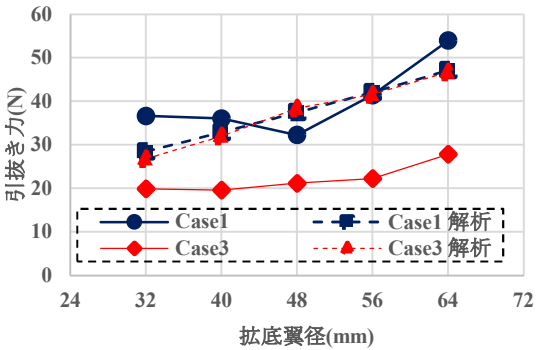


図-4 拡底翼径-引抜き力 解析比較結果まとめ