

洪積台地におけるソイルセメント羽根付き鋼管杭の引抜き抵抗について

正会員 溝口栄二郎 *
正会員 伊藤 大輔 **
正会員 久世 直哉 ***

洪積台地 交番鉛直載荷試験 引抜き抵抗力
周面摩擦 サクシオン

1. はじめに

都市部や狭隘地での施工実績が多いソイルセメント羽根付き鋼管杭は、中低層建築物だけでなく、基礎に引抜き力が作用する鉄塔や既設建物の外付け耐震補強にも適用事例が広がってきた。今回、洪積台地における当該杭の引抜き抵抗力特性を把握する目的で鉛直交番載荷試験を実施したので報告する。

2. 試験方法

(1) 試験体

試験体は、機械式深層混合処理工法によるソイルセメントコラム中に先端部および軸部からせん状羽根を有する羽根付き鋼管を回転埋設したものである。その仕様を表 1 に示す。なお、品質確認用コラムから採取したボーリングコアの平均強度は 1.71N/mm^2 であった。

(2) 地盤条件

試験地は茨城県つくば市の洪積台地である。地盤は、埋土の下方に N 値 2~3 のロームと凝灰質粘土が GL-2.9m まで、次に一部細砂の薄層を挟んで N 値 1~7 の粘性土が GL-6.8m まで、さらに N 値 5~23 の砂層が堆積している。地下水位は GL-3.0m 付近である。土質柱状図と試験体の位置関係を図 1 に示す。なお、図中には原位置土の力学試験結果を併せて示す。

表 1 試験体の仕様

杭本体径 (mm)	羽根径 (mm)	コラム径 (mm)	板厚 (mm)	鋼管長 (m)	先端深度 (GL-m)
267.4	700	1,000	12.7	7.0	6.0

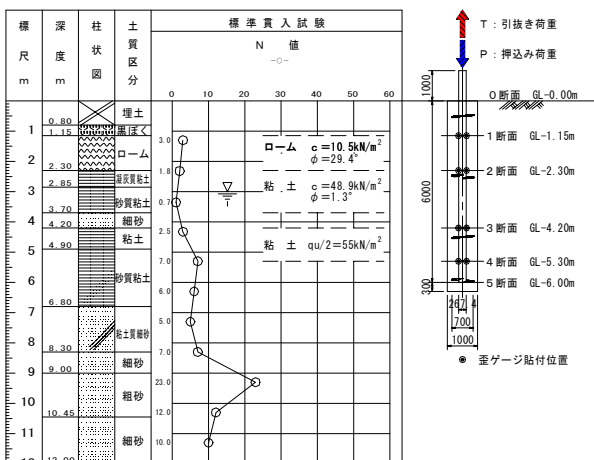


図 1 土質柱状図と試験体の位置関係

(3) 鉛直交番載荷試験方法

1) 試験基準 鉛直交番載荷試験は、地盤工学会基準「杭の鉛直載荷試験方法・同解説」(平成 14 年 5 月)に準拠して実施した。

2) 載荷計画 荷重は初期荷重を 300kN とし、計画最大交番荷重は算定式による許容設計支持力¹⁾の 3 倍を上回るように押込み 1,300kN、引抜き-700kN と設定した。ここで、引抜き抵抗力が極限に至らない場合は、単調載荷方式で追載荷し極限に至らしめることとした。

3) 計測内容 荷重はロードセルで管理し、杭頭と杭先端の鉛直変位は 100 分の 1mm の変位計で計測した。また、伝達荷重の深度分布を知るため羽根付き鋼管の 1~4 断面に各々 2 枚の歪みゲージを貼付した。

4) 掘起し調査 鉛直交番載荷試験の終了後、試験体の周辺地盤をバックホウにより掘削した。さらに、コラム周囲に付着した土砂をケレン棒により丁寧に削ぎ落とし、試験体や周辺地盤の状態を観察した。掘起し深度は GL-3m までとした。

3. 試験結果

(1) 荷重-変位量関係

杭頭および杭先端における荷重-変位量関係を図 2 に示す。押込み方向の荷重-変位曲線は、押込み荷重 1,100kN まで弾性的な挙動を示し明確な降伏点は見られない。計画最大交番荷重 1,300kN 時においても杭頭変位は 4.88mm (0.007D) と微小であり、極限には至っていない。一方、引抜き方向の荷重-変位曲線は、計画最大交番荷重-700kN まで弾性的な挙動を示し、杭頭変位量-12.01mm で最大引抜き抵抗力-1,100kN を発揮している。

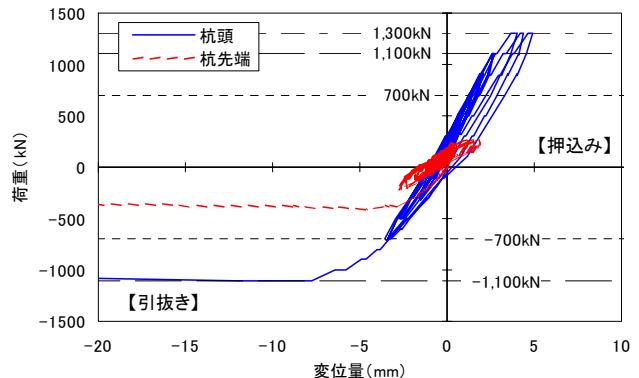


図 2 荷重-変位量関係

(2) 軸力分布と周面摩擦力度

軸力分布を図3に、周面摩擦力度と相対変位の関係を図4に示す。ここで、軸力Nは鋼管軸部の断面積A_oにヤング係数E_sと軸歪みεを乗じて算出した。周面摩擦力度は、コラム周面と地盤の境界面に発揮されると仮定して算出した。

押し込みと引抜き時の軸力分布(図3)の形状は明らかに異なっており、引抜きの方が全体に伝達軸力が大きくなっている。荷重レベル±1,100kNで4断面(GL-5.3m)の伝達軸力を比較すると、押し込み261kNに対して引抜き-385kNと1.5倍程度大きい値を示している。

摩擦力度(図4)を比較すると、特に土被りの小さいGL-2.3m以浅において引抜き摩擦力度が押し込みより小さく軟化現象が観察される。一方、GL-2.3m以深の引抜き摩擦力度は押し込み摩擦力度と同様に载荷とともに増加傾向を示しており大きな差異はない。

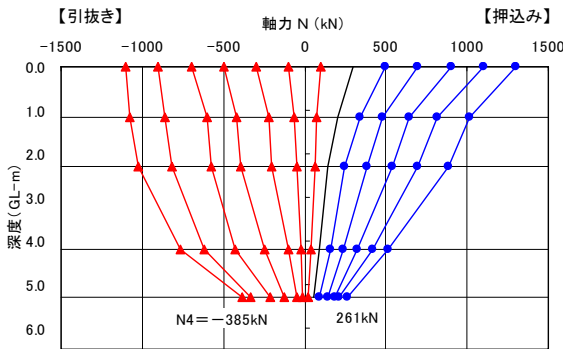


図3 軸力分布

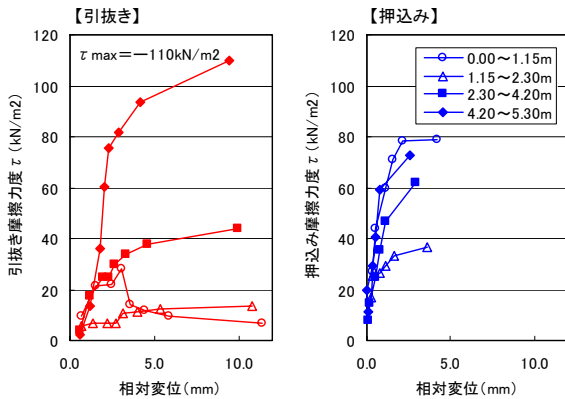


図4 周面摩擦力度-相対変位

(3) 掘起し調査

掘起し状況と観察記録を図5に示す。地表面には試験体を中心としたマウンド状の盛り上がりが観察された。また、表層からGL-0.8m区間の埋土層にはコーン状破壊の痕跡が観察されたが、それ以深の周辺地盤やコラムとの境界面にはクラックは観察されなかった。

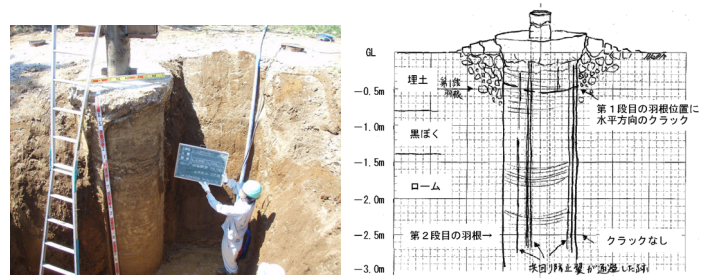


図5 掘起し状況と観察記録

4. 考察

(1) 引抜き摩擦力度

浅い領域の引抜き摩擦力度が小さい値を示す原因としては、引抜きに伴う地表面のマウンド上の盛り上がりやコーン状破壊による有効上載圧σ'vの減少と、正負交番荷重が作用することによる周辺地盤内の歪みの蓄積とせん断強度の低下が考えられる。

(2) サクション効果

杭先端部に引抜き力が作用すると、図6に示すように引抜き摩擦力τφLc'のほか、コラム直下に真空領域が形成されサクション効果による浮上り抵抗力が発揮されると考えられる。

ここで、引抜き摩擦力度τ=-110kN/m²、コラム周長をφ=3.14m、摩擦考慮区間長をLc'=1.0m、サクション効果をPs=100kN/m²(大気圧)×Ac(=0.785m²)とすると、τφLc'+Ps=-424kNとなり4断面(GL-5.3m)における伝達軸力N₄=-385kNと略一致する。

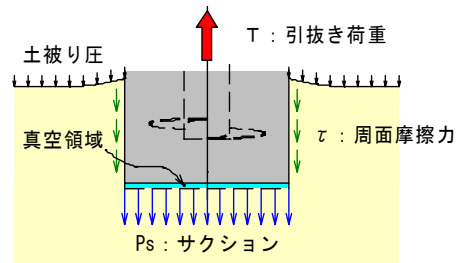


図6 サクション効果の概念図

5. 結論

- 1) 当該杭の交番鉛直载荷試験による最大引抜き抵抗力は-1,100kNであり、算定式による許容引抜き抵抗力の3倍である-700kNを大きく上回った。
- 2) 浅い領域の引抜き摩擦力度の評価に際しては、有効上載圧σ'vの減少と交番荷重の影響を受け、押し込み摩擦力度を大きく下回ること十分に留意する必要がある。

<参考文献>

- 1) ベターリビング: ATT コラム工法における引抜き方向の許容支持力、2009年1月23日

* 株式会社テクノックス
 ** 旭化成建材株式会社
 *** ベターリビングつくば建築試験研究センター

* Tenox Corporatin.
 ** ASAHI KASEI Construction Materials Corp.
 *** Tsukuba Building Research and Testing Laboratory,
 Center for Better Living