

5. 軟弱地盤における杭の引抜き抵抗性状と予測

Predictions and Performance of Uplift Piles in Soft Ground

山下 清 (やました きよし)

㈱竹中工務店技術研究所 副所長

1. はじめに

中国上海の同済大学 Maosong Huang 教授による Keynote Lecture 5 は、2 日目の13時30分～14時15分に行われた。講演の冒頭に、建設中の上海タワー（アンテナを含む高さ632 m）の紹介があった。上海では他にも、2010年の万博のために建設された直径130 m、深さ34 mの地下変電所（図一1）や、地下鉄と高速鉄道、リニア（Maglev）が乗り入れる虹橋（Hongqiao）空港地下駅などが建設されている。このような大規模な地下構造物の建設に際しては、二つの問題があると述べた。一つは、掘削時の地盤変位が近接する既存建物基礎に及ぼす有害な影響であり、もう一つは、地下変電所のように大きな浮力が作用する場合に用いる杭の引抜き抵抗力の評価、および大規模な掘削を伴うときの杭の引抜き抵抗力の低下の問題である。本講演は後者に関するもので、上海で引抜き抵抗用に使われている拡底杭と施工後に周面にグラウトを注入して摩擦力を増加させる杭（周面グラウト杭）との挙動比較についても触れている。

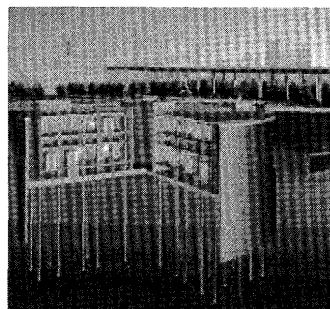
2. 講演の要点

2.1 拡底杭の極限引抜き抵抗

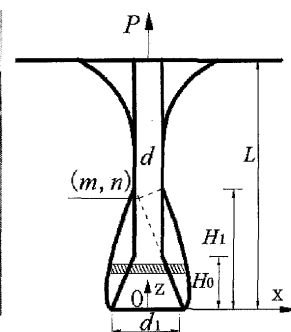
拡底した杭が引抜き力を受けるとき、杭が短い場合は杭先端部から地表に達する逆コーン形の全般せん断破壊、長い場合は拡底部の近傍で局所せん断破壊が生じるとされている。拡底杭の極限引抜き抵抗力を杭長によらず統一的に評価するために、杭長と軸径の比を5～20に変えて弾塑性 FEM 解析を行い、杭近傍における土の塑性領域の分布から、図一2に示すような拡底部に楕円、軸部には指数関数を用いた破壊曲面を仮定した極限平衡法を提案した。また、その妥当性を実杭の引抜き荷重試験結果9例により検証している。

2.2 周面にグラウトした杭の引抜き荷重～変位関係

周面グラウト杭の引抜き荷重～変位関係の予測には、荷重伝達法を用いた。周面摩擦力～杭と土の相対変位関係（ $\tau-w$ 曲線）には、周面にグラウトした実杭（長さ50.4 m、径0.7 m）の荷重試験から得た9深度における $\tau-w$ 曲線とともに、杭・グラウト・土の境界面を模擬した大型の直接せん断試験（長さ60 cm、幅40 cm）から求めた $\tau-w$ 曲線を用いた。これらの $\tau-w$ 曲線を、極限周面摩擦 τ_{ult} と対応する相対変位 w_{ult} により $\tau/\tau_{ult} \sim w/w_{ult}$ として正規化し、双曲線で近似する手法を提案



図一1 地下変電所



図一2 破壊メカニズム

した。また、この方法により実杭の引抜き試験結果をほぼシミュレートできることを確認した。

2.3 深い掘削に伴う杭の引抜き抵抗力の低下

深さ34 mの地下変電所のプロジェクトでは、掘削に伴う杭周囲地盤の応力解放による極限引抜き抵抗力の低下を調べるため、(1)で述べた極限平衡法において破壊面上の応力減少を Mindlin 解で算定する評価法を提案し、この評価法と掘削前に実施した拡底杭と周面グラウト杭の荷重試験結果（長さ82 m掘削部を二重管によりフリクションカット、径0.8 m）を用いて極限引抜き抵抗力の低下率を推定した。掘削の範囲が引抜き抵抗力の低下率に及ぼす影響も調べるため、掘削無し、掘削半径 $R=32.5$ m, 65 m（実プロジェクト相当）、全領域掘削の四つの条件の下で、極限平衡法とともに FEM 解析を行い、杭の引抜き抵抗力を比較した。両者の解析結果はほぼ一致し、これより地下変電所プロジェクトにおける極限引抜き抵抗力の低下率は、20～25%と推定された。

2.4 杭の引抜き抵抗に関する遠心模型実験

掘削による引抜き抵抗力の低下については、遠心模型実験による検討も行った。模型杭は長さ300 mm、軸径10 mmの直杭と拡底杭（拡底径20 mm）で、80 gの遠心場で引抜き試験を実施した。掘削範囲は直径300 mm、深さ130 mmで、掘削は地盤作成時に行った。結果として、掘削による極限引抜き抵抗力の低下率は10%弱と比較的小さいことが判明した。

日本では近年、軸径が2 mを超える場所打ちコンクリート拡底杭が引抜き力に抵抗するために使われているが、掘削の影響を考慮した引抜き抵抗力の研究は見当たらず、本講演内容は実務の上で参考になろう。

(原稿受理 2011.6.15)