

テーパーを有するモノパイルの基礎的研究 (その2 コーン貫入試験によるテーパー部の周面摩擦力の推定)

りんかい日産建設株式会社 正会員 ○山田 浩司 正会員 新谷 聡
東京都市大学 正会員 末政 直晃 正会員 伊藤 和也 正会員 田中 剛

1. はじめに

近年、化石燃料や原子力エネルギーの代替として再生可能エネルギーとして洋上風力発電が注目されている。現在、国内外で施工されている洋上風力発電施設の基礎は、モノパイル式基礎¹⁾が最も多く採用されている。しかしながら、占用期間後の杭の完全撤去や事業の低コスト化、CO₂ 排出量の削減を考慮し、杭径が杭先端に向けて徐々に小さくなるテーパーモノパイルに着目した。現在、テーパー杭の支持力特性等の研究は数多く行われているが明確な設計法については提案されていない。そこで本報告では、模型テーパー杭を用いた鉛直貫入実験および同模型地盤にコーン貫入試験を実施し、両者の関係からテーパー部の周面摩擦力の推定を行った結果について述べる。

2. テーパー部周面摩擦力の推定

設計法の考え方の1つとしてコーン貫入試験（以下 CPT と呼ぶ）の結果からテーパー杭のテーパー部周面摩擦力の推定を行った。テーパー杭の特性である押広げ効果²⁾からテーパー杭の鉛直支持力にはテーパー部に作用する周面摩擦力が大きな割合を占めると考えられる。そこで CPT と杭のテーパー部に作用する鉛直応力は等しいと仮定し、周面摩擦力推定を行った。またここでは先端支持力とストレート部に作用する周面摩擦力を無視している。まず CPT 先端抵抗値を応力に換算すると、

$$q_c = \frac{Q}{A_c} \dots \dots (1)$$

となる。ここで q_c はコーン先端応力(N/m²)、 q は CPT 先端抵抗値(N)、 A_c は CPT 断面積(m²)である。ここからさらに鉛直方向に作用する応力を取り出すと

$$\sigma_v = \sigma_N \sin \theta_{CPT} + \sigma_N \cos \theta_{CPT} \tan \delta_{CPT} \dots \dots (2)$$

となる。ここで σ_v は単位周面積あたりに作用する応力の鉛直方向成分(N/m²)、 θ_{CPT} は CPT のテーパー角(°)、 δ_{CPT} は CPT 表面と土との摩擦角(°)である。次に CPT の投影面積とテーパー杭テーパー部の投影面積が異なることから、テーパー部の単位面積に対応する水平面の面積比を算出する。ここで(2)式を $\sin \theta$ で除すと

$$\sigma_p = \frac{\sigma_v}{\sin \theta} = \sigma_N \left(1 + \frac{\tan \delta}{\tan \theta}\right) \dots \dots (3)$$

となる。テーパー杭テーパー部に作用する直応力と CPT 先端に作用する直応力が等しいとすると、

$$\delta F = k \sigma_p \delta A_p \dots \dots (4)$$

ここで δF は深度ごとのテーパー部に作用する周面摩擦力(N)、 δA_p は深度方向に輪切りにしたテーパー杭の投影面積(m²)、 k はテーパー面に作用する直応力が CPT と異なることに関する補正係数とする。 δF を深度ごと足し合わせることでテーパー部周面摩擦力の算出を行った。事前に実施した一面せん断試験結果より、CPT の摩擦角 δ_{CPT}

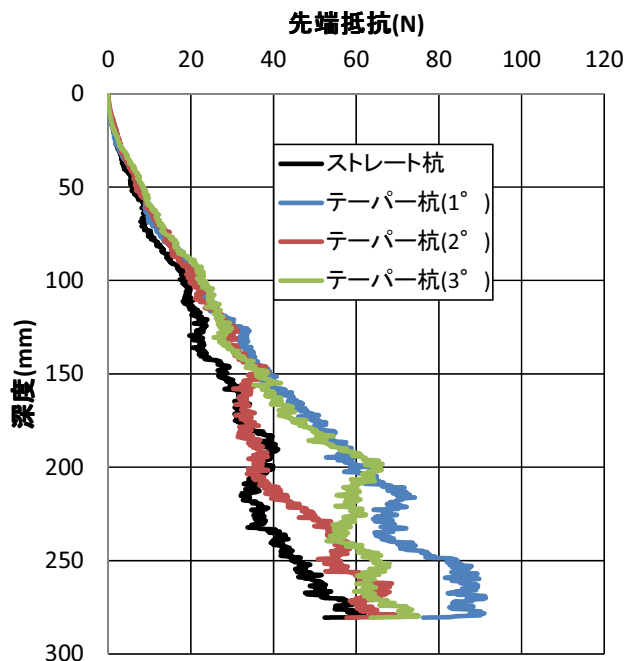


図1 CPT 結果

キーワード 洋上風力、テーパー杭、支持力特性、コーン貫入試験

連絡先 〒105-0014 東京都港区芝 2-3-8(臨海ビル) TEL 03(5476)1705

は 25.1° , サンドブラストされたテーパー杭の摩擦角 δ_{tp} は 27.7° として算出を行った。

3. 算出結果

図1にCPT結果³⁾を示す。このCPT結果を用いてそれぞれ算出を行った。図2から図4にテーパー角 1° から 3° の算出結果をそれぞれ示す。なお、図中に示す実験値は、その1で示した実験結果である。また、杭の鉛直載荷実験は350mmまで実施しているが、CPTは280mmの貫入となっているためテーパー杭の先端が280mm位置までの範囲内で算出した。算出時に用いた補正係数 k は、テーパー角 1° では0.414, 2° の際は0.519, 3° 場合は0.605とすることで実験値と算出結果が概ね一致する結果となった。(2)式より分かるようにテーパー角がパラメータであることからテーパー長によらず補正係数 k はテーパー角で決まることがわかる。すなわちテーパー角が大きくなるにつれて補正係数 k は1に近付くことが分かる。これはCPTのテーパー角が 30° であることから杭のテーパー角が大きくなほどCPTの形状に近付くためであると考えられる。さらにこの補正係数 k は押広げ量の割合、つまり拡径比に依存すると考えられる。CPTは先端部が鋭角になっているが、テーパー杭については先端径が0でないため、CPTと比較するとテーパー杭はテーパー部の拡径比が小さく、押広げ量の割合も少ないと考えられる。つまり地盤から作用する圧力の低減率がこの係数 k に含まれていると考えられる。

6. まとめ

テーパー部周面摩擦力推定についてはテーパー角ごとの補正係数 k によりテーパー長によらず実験結果と概ね一致する結果となった。今回の算出結果からCPT先端抵抗値よりテーパー杭のテーパー部周面摩擦力推定は可能であると考えられる。

謝辞

本研究は、環境省地球環境局、「CO₂排出削減対策強化誘導型技術開発・実証事業」の委託事業に基づき実施しております。関係者の方々に感謝の意を表します。

参考文献

- 1)環境省, 平成22年度 再生可能エネルギー導入ポテンシャル調査報告書
- 2)安福ら「地盤の圧縮性を考慮したテーパー状押し広げ杭の鉛直支持力の評価」, 第49回地盤工学シンポジウム, p133-140, 2004. 11
- 3)新谷ら「テーパーを有するモノパイルの基礎的研究(その1 鉛直載荷, 水平載荷実験)」, 2019 土木学会全国大会 第74回年次学術講演会 2019, 9 投稿中

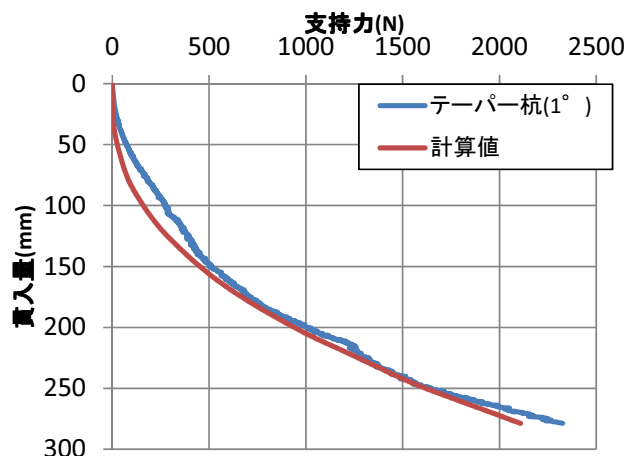


図2 テーパー杭(1°)算出結果

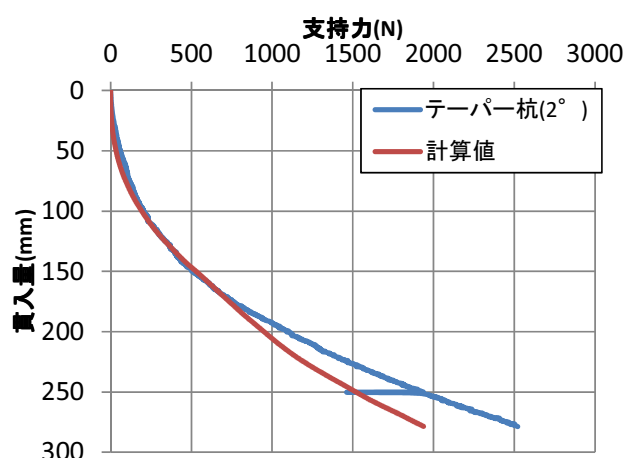


図3 テーパー杭(2°)算出結果

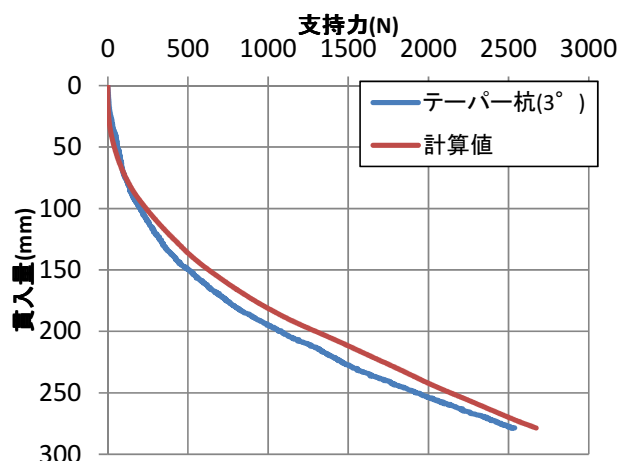


図4 テーパー杭(3°)算出結果