

テーパ形状を有する杭の周面摩擦力とその算定法

九州大学大学院 学○北林 弘明 F 落合 英俊 正 安福 規之
正 大嶺 聖 正 中島 通夫

1. はじめに

杭の鉛直支持力は実用的見地から一般に沈下量が杭径の 10%の時の荷重を極限支持力とみなして評価される。この時、周面摩擦力は過去の多くの原位置載荷試験によれば、全支持力の 70～80%の割合を負担しており、沈下量が 1～2%でピーク強度に達し、その後の抵抗力増加は殆どない。また、先端支持力は支持力の発現に大きな沈下量を必要とし、一般には明瞭なピーク値を示さない。一方、テーパ付き杭はその構造的な特徴から、周面摩擦力を増加させることができると考えられている。しかし、その支持力メカニズムについての検討は十分になされていないのが現状であろう。本研究では、効率よく支持力を増加させることのできるテーパ付き杭の周面摩擦力の合理的な算定法について提案していき、実験結果との比較により、本提案手法の適用性について考察する。

2. テーパー付き杭の支持力試験結果

今回、テーパ付き杭の支持力試験を行った。その荷重－沈下曲線を図 1 に示す。この結果より、テーパ角 $\beta=0^\circ$ の時は比較的変形の小さい初期段階において支持力の発現があり、その後は一定に収束していく。一方、 $\beta=5, 10, 15^\circ$ と増加させた場合、支持力の初期勾配は $\beta=0^\circ$ の結果と同程度であるが、その後は支持力が増大し、支持力改善効果が見うけられる。

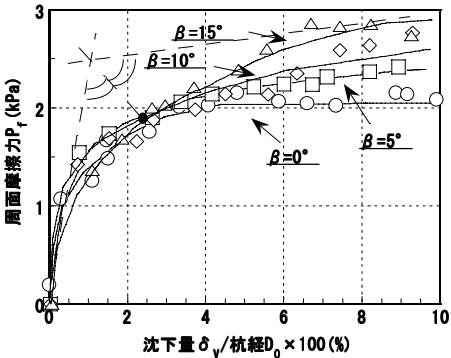


図1. 周面摩擦力－沈下曲線

3. 周面摩擦力の算定法

3. 1. 直杭における周面摩擦力の算定法

図 2 のように、直杭は杭側面に対して平行なせん断応力のみ力の増分が生じる。ここでは簡単のために、杭の幾何学的形状に起因した杭側面に対して垂直な方向に働く水平応力の変化はないものとする。つまり、テーパ角の違いに着目すると、図 3 のように荷重 P が増加したとしても、杭に加わる水平応力は初期の水平応力のままであり、せん断すべりが生じる杭近傍の地盤要素において、主応力軸が回転するのみであるとする。そうすると、この時のモール円上での応力経路は τ 軸に対して平行になる。

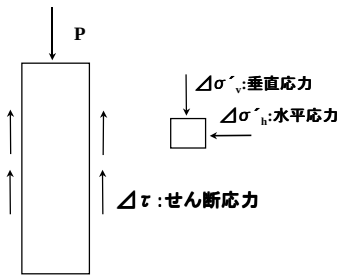


図2. 直杭の側面に働く力の成分

従って、この時周面摩擦力は以下のように表わせる。

$$\tau = \sigma_3' \tan \phi'_\delta = \sigma_h' \tan \phi'_\delta = K \sigma_v' \tan \phi'_\delta \quad (1)$$

ここで、 ϕ'_δ : アルミ棒地盤の内部摩擦角、 K : 水平有効土圧係数である。

3. 2. テーパー付き杭における周面摩擦力の算定法

一方、テーパ付き杭は図 4 に示すように、杭側面に対して水平なせん断応力と垂直な垂直応力が生じる。本研究における実験 1)において、すべり線が杭側面において形成されているこ

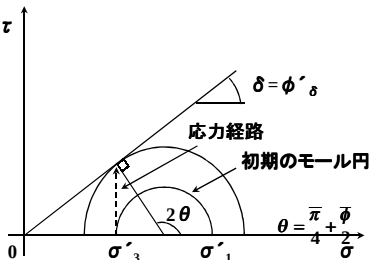


図3. $\beta=0^\circ$ の時のモールの応力円

とから、すべりの生じる際の応力経路は図5に示すように、せん断応力と垂直応力の増分がなす一定の線上を辿ることが考えられる。従って、この直線とモールの応力円が交わる交点がテーパー付き杭の側面に作用するせん断応力とみることができる。この直線の傾きは、テーパー角 β によって幾何学的に、

$$\tan\left(\frac{\pi}{2} - \alpha\beta\right) = \frac{1}{\tan \alpha\beta} \quad (2)$$

と表される。ただし、 α は主応力の回転とテーパー角との関係を表現するための補正定数である。

従って、直線の方程式は

$$\tau = \frac{1}{\tan \alpha\beta} \sigma - \frac{\sigma_3}{\tan \alpha\beta} \quad (3)$$

となる。

ここで、 $\tau = \sigma \tan \phi$ とモールの応力円は接しているので、この直線と(3)の直線の交点がすなわち、求めるせん断応力となる。従って、これらを連立させると、

$$\tau = \tan \phi (1 + \tan \phi \tan \alpha\beta) \sigma_3 = \tan \phi (1 + \tan \phi \tan \alpha\beta) K \sigma'_v$$

が得られる。ここで、 $\beta = 0^\circ$ とすると、直杭における周面摩擦力と同様な結果が得られることが分かる。

4. 周面摩擦算定法の妥当性

本論文において提案した算定法の妥当性を検討するため、理論値と実験値を比較した。その結果が図6である。なお、テーパー角 β の効果を、以下に示す周面摩擦力比によって検討した。

$$\text{周面摩擦力比} = \frac{\text{各}\beta\text{における周面摩擦力 } P_f}{\text{テーパー角 } \beta = 0^\circ \text{の時の周面摩擦力 } P_{f(\beta=0^\circ)}}$$

ここで、実験値について、各 β における周面摩擦力 P_f は図1に示すように直線と曲線の交点を周面摩擦力として評価した。図6より、実験値と理論値の間に若干の違いはあるものの、補正定数 α を増加させた時、 $\alpha=3$ 程度で実験値と比較的良好な対応にあることが分かる。また、テーパー付き杭はテーパー角の増加に伴って、支持力が改善されていることも理解できる。今回、理論値における補正定数 α を3と定義したが、その根拠や意味に関しては地盤特性と関連づけて、今後の課題としたい。

5. まとめ

得られた結果をまとめると、以下の様である。

- 1) 周面摩擦力比はテーパー角の増加に伴って増加する傾向にあり、支持力特性の改善に寄与する。
- 2) 本研究では、杭の幾何学的形状にのみ着目して、比較的簡単な周面摩擦力の算定法として、杭近傍の地盤要素の主応力の回転とテーパー角を結びつける定数を導入することで、支持力の算定を試みた。その結果、 $\alpha=3$ 程度であれば、実験値と比較的良好な対応にあることが分かった。

参考文献

- 1) 北林ら：2次元積層体モデルによるテーパー付き杭の鉛直支持力特性、土木学会西部支部研究発表講演概要集、pp.A432～A433、2001.3.

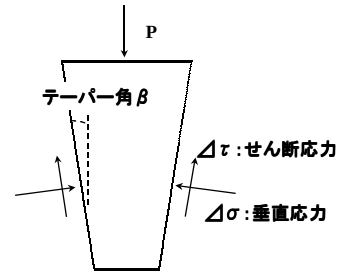


図4. テーパー杭($\beta > 0^\circ$)の側面に働く力の成分

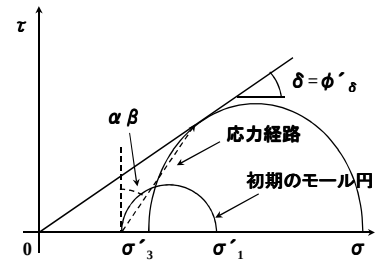


図5. $\beta > 0^\circ$ の時のモールの応力円

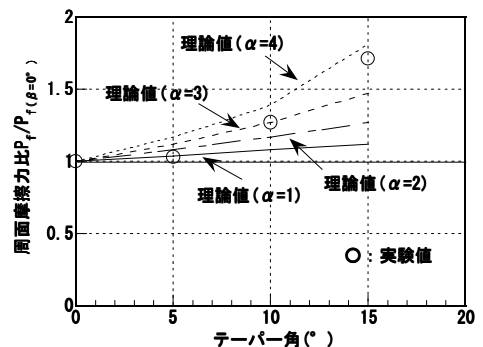


図6. 周面摩擦力比に着目した実験値と理論値の比較