

杭の負の摩擦力に関する基礎的研究

神戸大学工学部	谷本喜一
神戸大学工学部	田中泰雄
神戸大学大学院	○ 谷口 勝
神戸大学工学部	加藤正司

1. まえがき

軟弱地盤上に構造物を建設する場合、構造物の沈下防止のために杭基礎が一般に用いられる。このような場合、杭基礎の問題の一つとして、杭に作用する負の摩擦力(以下NFと呼ぶ)がある。臨海地域の大規模な人工島のように厚い軟弱海底粘土層の上に建設された地盤については、杭のNFを考慮することはとくに重要である。そこで本研究では、杭の模型実験を含む一連の実験を実施し、その結果からNFの推定法の一つである有効応力法の適用性、および、これまであまり究明されていないNFの経時変化について検討を行なった。

2. 有効応力法によるNFの予測法について

まず、有効応力法によるNFの予測法、NFの経時変化の予測法について略述する。Bjerrum⁽¹⁾らは、土の有効応力概念に基づき、以下に示す関係を用いてNFを予測している。

$$\tau = K_0 \sigma'_v \tan \phi'_d \quad \text{----- (1)}$$

ここで、 K_0 は静止土圧係数、 ϕ'_d は杭と土との摩擦角である。

したがって、NFにより杭に作用する軸力(F)は、次式で表わすことができる。

$$F = \int_0^L \pi D K_0 \sigma'_v \tan \phi'_d dz \quad \text{----- (2)}$$

ここで、 D は杭の直径、 L は粘土層内の杭の長さである。NFの経時変化を予測するには、粘土層内の過剰間隙水圧の消散を考慮に入れる必要がある。したがって、(2)式に $\sigma'_v = \sigma'_v - u$ 、 $\sigma'_v = \gamma z + q$ (q は盛土による載荷圧)の関係を代入し、式を変形すると次式が得られる。

$$F = \pi D K_0 \tan \phi'_d \left\{ \gamma L^2 / 2 + qL \right\} - \pi D K_0 \tan \phi'_d \int_0^L u dz \quad \text{----- (3)}$$

さらに、平均的なせん断応力を求めるために、上式を杭の周面積 $A_0 = \pi LD$ でわり、変形すると次式が得られる。

$$F/A_0 = K_0 \tan \phi'_d \left\{ \gamma L / 2 + q \left(1 - \int_0^L u dz / qL \right) \right\} \quad \text{----- (4)}$$

(4)式の右辺の第一項は一定値となるが、第二項は間隙水圧の消散によって増加するので平均せん断応力は時間的に増加する。また、初期過剰間隙水圧は載荷圧 q に等しいため、第二項の $(1 - \int_0^L u dz / qL)$ は一次圧密理論における平均圧密度に対応している。したがって(4)式より、粘土層の平均圧密速度とNFの経時変化は一致することがわかる。

3. 模型実験

実験に用いた試料は、六甲アイランド附近の海底から採取した沖積粘土である。粘土の w_L および I_p はそれぞれ約120%、85%であった。模型実験には含水比が液性限界の約2倍になるように海水を加えて粘土を練り返し、スラリー状の試料を用意した。模型実験装置の

概略を図-1に示す。模型杭には $\phi 20\text{mm}$ 鋼棒を使用しており、上端で荷重計により軸力を測定した。粘土層は両面排水である。粘土層は初期高さ約 150mm から圧密され、圧密中の間隙水圧変化は粘土層の下端から 20mm 、 35mm 、 55mm の3つの点で測定している。

4. 実験結果および考察

杭の軸力と粘土層の沈下量および間隙水圧の経時変化の一例を図-2(a)(b)に示す。図-2(a)に示すように、粘土層の圧密沈下と軸力変化はよく対応しており、また、間隙水圧がほぼ消散する頃には、圧密沈下および杭の軸力の変化率も減少している。以上のことより、本文中の式(4)に示す有効応力法からNFの経時変化を予測することは、妥当であると考えられる。しかし、詳細にNFの経時変化を予測するには、今後、究明すべき点があると思われる。例えば、過剰間隙水圧が消散した後にもNFに多少の変化が見られることなどである。

図-3に圧密終了時に計測された平均せん断応力(τ)と鉛直応力(σ_v)の関係を示す。 τ と σ_v の関係はほぼ直線で近似され、 $K_0 \tan \phi = 0.156$ の値が得られた。また、同一試料について実施した三軸試験および K_0 圧密試験から $\phi = 34^\circ$ と $K_0 = 0.5$ が得られた。この値を用いて算定される τ と σ_v の関数と、非排水せん断強度から算定される τ と σ_v の関係を同図に示した。この図より粘土のせん断強度から推定した τ は過大となる。 $K_0 \tan \phi = 0.156$ に $K_0 = 0.5$ を代入すると、 $\phi = 17^\circ$ が得られ、 ϕ は粘土の摩擦角のほぼ $1/2$ の値となることが判明した。

5. まとめ

杭の模型実験より、NFの経時変化は、有効応力法によりほぼ推定できると考えられる。また、NFの大きさを推定するのに必要な杭と土との摩擦角 ϕ の値は、試料の内部摩擦角 ϕ の約 $1/2$ であった。

参考文献

- Bjerrum, L. and Johannessen, I. J. (1965) "Measurement of the compression of a steel pile to rock due to settlement of the surrounding clay," Proc. 6th. Int. Conf. SMFE, Vol. 2, pp. 261-264

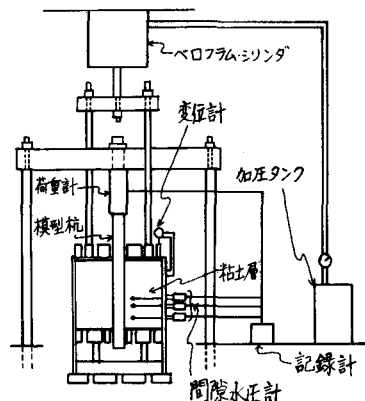


図-1 模型実験装置

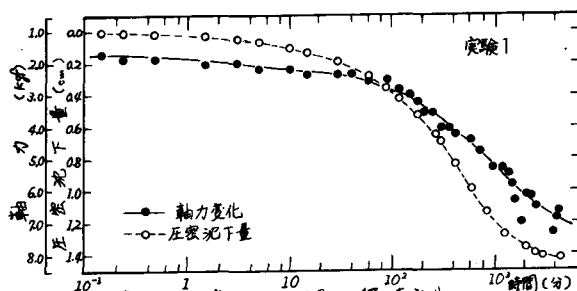


図-2(a) 軸力、沈下量の経時変化

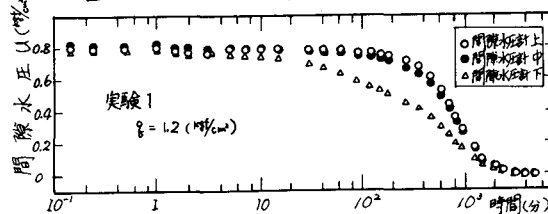


図-2(b) 間隙水圧の経時変化

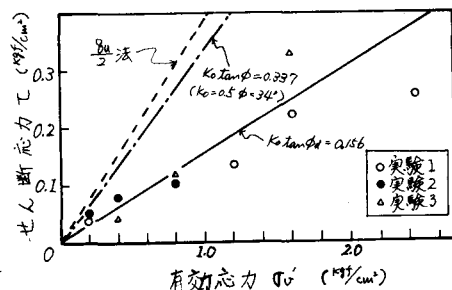


図-3 σ_v' - τ 関係