

鳥取大学大学院 〇 貴谷 暢夫
鳥取大学工学部 勝見 雅
鳥取大学工学部 岩成 敬介

1. まえがき

現在までに、土質工学会鋼ゲイ委員会や国鉄などにおいて多くの実物杭を用いたネガティブフリクションの現場観測が行なわれ有益な成果が得られている。しかし、地盤の不均一性や要期間にわたる現場測定にともなう困難さのため、その結果にかなりの差異が認められ、地盤条件を均一にした模型実験の必要性が認められる。本研究においては、実験土槽内の軟弱粘土地盤中に埋め込んだ模型杭を用いて単杭に作用するネガティブフリクションの発生機構をあきらかにしようとするものであり、有効応力による算定法の有用性が確かめられた。

2. 実験の概要

実験は図-1に示した実験土槽($\phi=795\text{mm}$)を用い、これに模型杭をガイドを通して鉛直にたてた後、繰り返した粘土を打ち込み面排水させて行なった。使用した粘土は市販の9号粘土であり、比重2.58、塑性限界39.9%、液性限界105.4%、塑性指数65.5%の物理定数を有する。これを液性限界を超える含水比で練りまぜ約50日養生させた。打ち込み時の平均含水比は152.5%であり、単位体積重量は1.31 g/cm^3 であった。模型杭は外径45mm、肉厚2mmのアクリル製パイプであり、その表面には摩擦係数を大きくするためブラックテープを巻きつけた。実験土槽は鋼製円筒のもので、内壁には粘土地盤との摩擦を減少させるためペンキを塗り、その上にグリースを塗った。図-1に示すように、模型杭は下部排水層と土槽底板を貫ぬいたガイドを通して下部排水層での杭周面摩擦を除去した。模型杭は、杭先端をロードセルで受けた杭Aと、杭先端とロードセルの間にバネ定数の異なるバネ($k=0.71\text{kg}/\text{mm}$, $1.58\text{kg}/\text{mm}$)を介した杭B、Cの計3本で実験した。測定項目は杭先端反力、杭頭沈下量、層沈下量、間げき水圧、鉛直土圧、側方土圧、地盤内温度などである。しかし、杭A、Bに関する結果は思わしくなかったため、今回は杭Cのみにして以下考察を加えることにする。

3. 実験結果および考察

実験期間中の地盤の各深さと杭頭の沈下状況は図-2,3のようである。両者はほぼ同様な傾向を示して増加し、しだいに一定値に落ち着いており、密接な関係にあることがわかる。

杭周面摩擦応力を推定するために、圧密リング($\phi=6\text{cm}$)に粘土を入れ小型模型杭をたてた後、実験土槽内の圧密圧力に相当する各荷重で圧密してから小型模型杭を2mm/minの速度で引き抜く、引抜き試験を行なった。その結果、杭周面摩擦応力のせん断面は杭周辺粘土間にあることがわかった。そこで、粘土のせん断強度をベーンせん断試験によって求め、圧密圧力とせん断応力 τ_0 の関係を図-4に示し、同図から次の実験式を

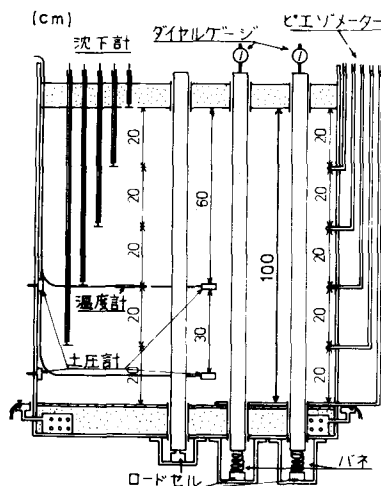


図-1 実験装置

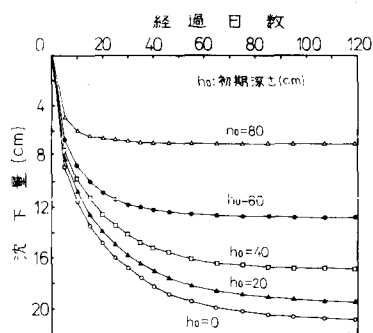


図-2 地盤沈下量

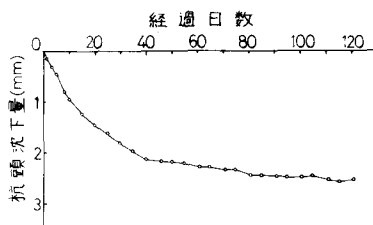


図-3 杭頭沈下量

得た。 $\tau_a = 0.174P + 3.471$ (g/cm^2) — (1)

この τ_a が杭周面摩擦応力であると推定される。また、ベーンせん断試験結果より変位とせん断応力の関係を求めたところ、変位が約2mm前後で最大せん断応力が発生しており、ネガティブフリクションは杭周辺のせん断面において2mm程度のずれを生じさせるような杭と地盤との相対変位があった時最大値に達すると推定される。

杭周面に働くネガティブフリクションの深さ方向の分布を調べるため、実験土槽中の鉛直有効応力 σ_v を次式によって求めた。

$$\sigma_v = \sigma - u \quad \text{— (2)}, \quad \sigma = \gamma_s \cdot h - (\gamma_s - \gamma_w) \cdot \delta \quad \text{— (3)}$$

ここで、 σ は土かぶり圧、 γ_s は初期単位体積重量、 h は σ_v を求める地点の初期深さ、 δ は地表面沈下量、 γ_w と u はそれぞれ σ_v を求める地点の沈下量と間げき水圧である。このようにして求めた鉛直有効応力 σ_v は圧密圧力 P と等しいとにおいて、式(1)から τ_a の深さ方向の分布を求めたのが図-5である。同図に示すように、 τ_a の分布は最初長方形分布を示すが時間の経過と共に圧密の早く進行する地盤下層部の τ_a から徐々に増大していき、最終的には台形分布に近づいて行くことがわかる。

次に、杭先端反力を求める。杭と地盤の相対変位を調べると、中立点は地盤底面上約1cmにあるので、便宜上杭先端沈下量0cmの支持杭として考察することにする。そうすれば、この時の杭先端反力 F_k は次式により求まる。

$$F_k = U \int_0^{l_0} \tau_a(h) dh \quad \text{— (4)}$$

ここで、 U は杭の周長、 l_0 は粘土地盤の初期厚さ、 δ はその時点における表面沈下量、 $\tau_a(h)$ は深さ h における周面摩擦応力である。上式に式(1),(2),(3)によ、て求めた τ_a を代入して杭先端反力を計算する。つまり図-5の τ_a 分布を積分し周長をかけたものであるが、計算値は図-6の破線で示すような短時変化を、実線で書いた実測値とよく一致している。このことから、以上のようなネガティブフリクションの算定法は適当であると考えられる。また、先に述べたような圧密過程中の τ_a 分布の形状変化もこれからある程度裏証されたと考える。

最後に、有効応力に基づくBjerrumの方法による検討を加える。Bjerrumの方法は有効応力に基づく次式を提案しており、 $K \tan \phi'_a$ の値として0.2をあげている。

$$\tau_a = \sigma'_v \cdot K \tan \phi'_a \quad \text{— (5)}$$

本研究においては、深さ方向について平均した平均有効応力 $\bar{\sigma}'_v$ と、実測した杭先端反力を粘土層中の杭表面積で割、て求めた平均せん断応力 $\bar{\tau}_a$ を比較してみた。結果は図-7に示すように $K \tan \phi'_a = 0.3$ となった。他の研究結果では、鋼ゲイを展全の0.2~0.35、高橋・沢口の0.24~0.30、柴田・関口の0.15等と多少のばらつきはある。しかし、簡単な式のわりには比較的良好一致を示すことが認められる。

現在、群杭も含めた大型土槽を用いた実験を計画中である。

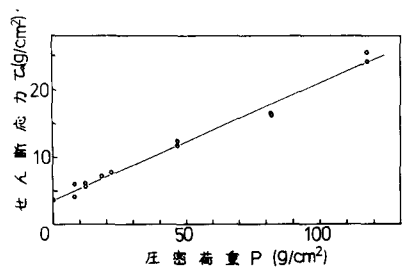


図-4 $\tau_a \sim P$

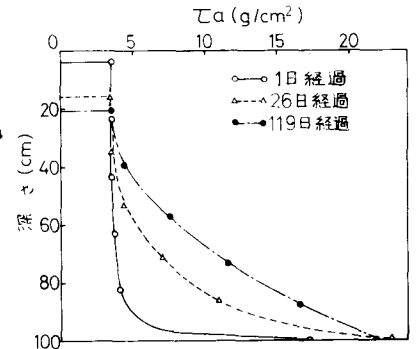


図-5 τ_a の分布

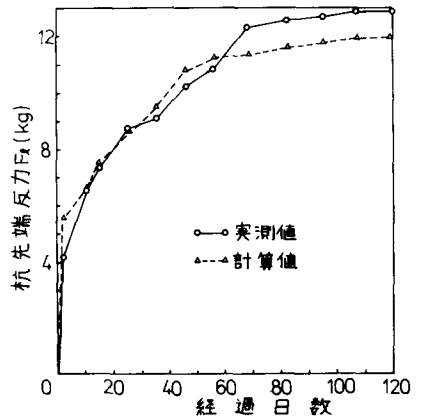


図-6 杭先端反力

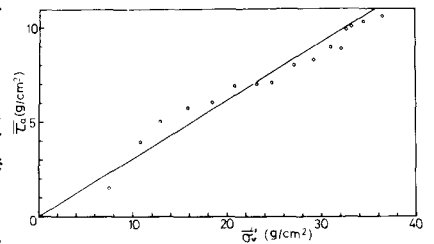


図-7 $\bar{\tau}_a \sim \bar{\sigma}'_v$