

Ⅲ - B25

斜面法肩に存在する単杭の p - y 関係に関する実験的研究

東京工業大学 学生会員 岡本道孝 正会員 神田政幸
同上 正会員 岡村未対 正会員 竹村次朗

1. はじめに

斜面法肩に存在する杭基礎の設計では、平地盤上の杭に用いる地盤反力係数を低減させることによって取り扱うのが一般的である¹⁾²⁾。また最近の構造物の設計法においては限界状態設計法の導入が時代の趨勢となりつつあり、これに伴って基礎構造物においても線形と見なせる比較的小さな変位から非線形性が卓越する大変位領域までの杭の挙動の正確な評価が要求されるようになった³⁾。しかしながら、斜面上の杭基礎の地盤反力-水平変位関係(p - y 関係)については平地盤のそれと比較してより小さな変位から地盤の塑性化による非線形性が卓越し、初期地盤反力係数および極限地盤反力の深さ方向の変化も平地盤とは異なったものとなる。そこで本研究では砂斜面法肩に存在する単杭を対象とし、深さ方向の p - y 関係を直接求めることが可能な分割杭を用いた遠心載荷実験を実施し、杭の p - y 関係に与える斜面勾配および深さの影響を調べた。

2. 実験方法

Fig. 1 に示すように直径 $D=10\text{mm}$ 、長さ $L=260\text{mm}$ の杭を 20mm 毎に 13 等分した分割杭に載荷ロットを取り付け、所定の位置にセットした後、豊浦砂を用いて空中落下法にて相対密度 $D_r=85\%$ の模型平地盤を作成する。その後、杭頭から $1.0D$ 離れた場所に斜面高さ $H=120\text{mm}$ 、斜面勾配 $1:2.2$, $1:2.0$, $1:1.5$ の斜面を吸引器により形成した。この模型斜面に対して $50G$ の遠心加速度場にて各載荷ロットを剛結した載荷板に、連動した 2 つの電動ジャッキを用いて水平変位を与えることにより分割杭の水平載荷実験を実施した。その際、各分割杭に作用する地盤反力はロッドに貼付したひずみゲージで、載荷時の水平変位は載荷板に取り付けた L.V.D.T. で計測した。なお、斜面との比較として平地盤についても載荷実験を行った。

3. 実験結果および考察

平地盤内に設置された各深さ毎の分割杭の p - y 関係を Fig. 2 に、斜面角 $1:2.0$ を Fig. 3 にそれぞれ破線で示す。ただし、縦軸は地盤反力 p を杭径 D と nG の遠心加速度場での模型地盤の単位体積重量 γ で、横軸は杭の水平変位 y を杭径 D でそれぞれ無次元化してある。平地盤および斜面ともに載荷初期部では水平変位に対して地盤反力が直線的に増加する領域が存在し、その後の変位の増加とともに地盤反力の増加割合は低下する。特に地表面近くの浅い部分では、より深い部分の地盤反力-変位関係と比較して小さな変位で地盤の非線形性が現れ、杭径 D の 10% 程度の変位で地盤反力は一定値を示すようになる。この傾向は斜面の場合さらに顕著になり、同変位の地盤反力は平地盤のそれと比較して小さくなっている。

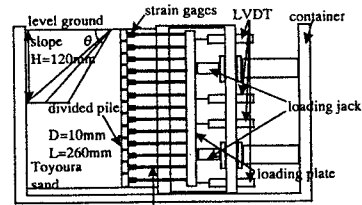
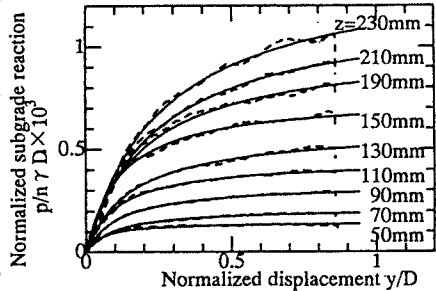
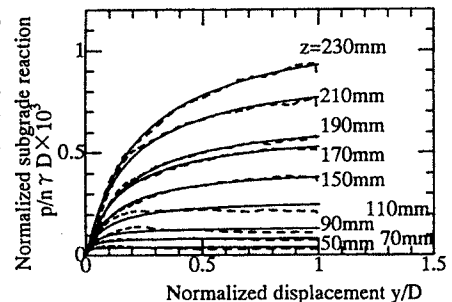


Fig.1 実験システム

Fig.2 平地盤の単杭の p - y 関係Fig.3 杭の p - y 関係(斜面角 $1:2.0$)

Michitaka OKAMOTO(Tokyo Institute of Technology), Masayuki KOUDA(ditto), Mitsu OKAMURA(ditto),
Jiro TAKEMURA(ditto)

A study on p - y curves of pile in a sandy slope

これらの曲線の形状を参考に $p-y$ 関係を以下に示すような双曲線モデルで近似した。

$$\frac{p(z, y)}{n\gamma D} = \frac{\frac{k_h(z)}{n\gamma} \cdot \left(\frac{y}{D}\right)}{1 + \left(\frac{k_h(z)}{n\gamma} / \frac{p_{\max}(z)}{n\gamma D}\right) \cdot \left(\frac{y}{D}\right)}$$

ここで、 $k_h(z)/n\gamma$ は地盤反力-変位関係の初期部の傾き即ち初期地盤反力係数 $k_h(z)$ を $n\gamma$ で無次元化したものであり、これは実験値を用い、極限地盤反力である $p_{\max}(z)/n\gamma D$ を最小自乗法により求めた。この結果は図中に実線で示してあるが、双曲線で両者を比較的良好に近似できることがわかる。しかしながら、斜面法肩では地盤反力はピークを示した後に低下することから、正確には斜面法肩近くの杭の $p-y$ 関係を表現しているとは言えない。次に上記より得られた各斜面毎の地盤反力係数および極限地盤反力の深さ方向の分布をそれぞれ Fig. 4 および Fig. 5 に示す。いずれも $n\gamma$ および $n\gamma D$ でそれぞれ無次元化してある。これより地盤反力係数、極限地盤反力とも、多少のばらつきはあるものの深さと共に増加し、一方斜面勾配の増加と共に減少する。これより斜面近傍の杭の地盤反力係数および極限地盤反力は深さが増加するとともに平地盤のそれらに漸近し、斜面角 1:2.2, 1:2.0, 1:1.5 の順に平地盤のそれに近づくことがわかる。特に地盤反力係数についてはかなり浅いところで漸近し、1:2.2 の初期地盤反力係数では無次元化した深さ z/D が約 15 でほぼ平地盤のものとも一致している。Fig. 6 に斜面の初期地盤反力係数 $k_h(z)_{\text{slope}}$ を平地盤の初期地盤反力係数 $k_h(z)_{\text{level}}$ で除した初期地盤反力係数の低減率 μ と深さとの関係を、同様に Fig. 7 に斜面角 θ の極限地盤反力 $p_{\max}(z)_{\text{slope}}$ を平地盤の極限地盤反力 $p_{\max}(z)_{\text{level}}$ で除した極限地盤反力の低減率 λ と深さの関係を示す。これより地盤反力係数についてはすべてのケースで緩やかに水平地盤の地盤反力係数に漸近するのに対して、極限地盤反力については斜面法肩の前後で大きく低減率が変動するところがある。このように斜面の法肩に設置された単杭の極限地盤反力係数は法肩の位置および斜面角に大きく依存するのに対して、地盤反力係数は斜面角の影響は深さの影響と比較して小さいと推察できると言える。

【参考文献】

- 1) 日本道路協会：道路橋仕方書・同解説，IV 下部構造編，1980
- 2) 日本道路公団：設計要領，第二集，1990
- 3) F.KUWABARA et al.: Towards Limit State Design Standards for Pile Foundations, Proc. of Int. Symp. on Limit State Design in Geotech. Eng. Inst., Copenhagen/Denmark, Vol.2/3, pp.523-532, 1993

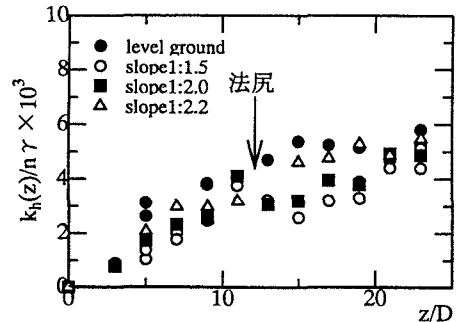


Fig.4 初期地盤反力係数の深さ方向の分布

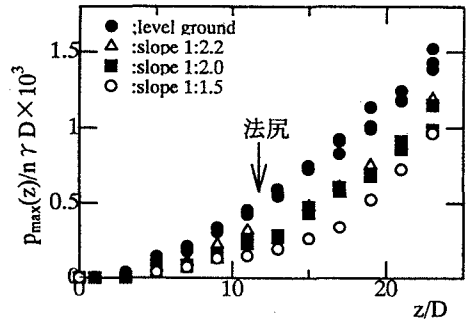


Fig.5 極限地盤反力の深さ方向の分布

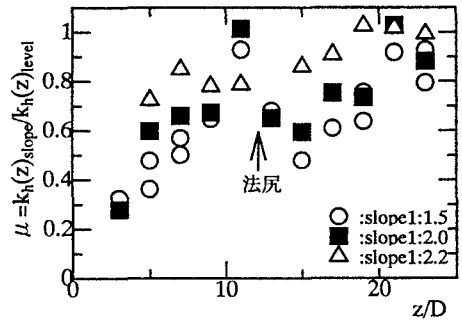


Fig.6 地盤反力係数の低減率分布

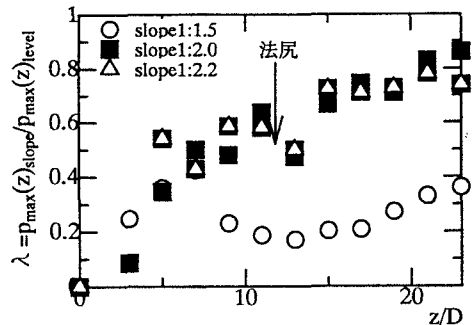


Fig.7 極限地盤反力の低減率分布