

斜杭の引抜き抵抗力の解析における地盤反力の検討

Consideration of Subgrade Reaction on Pullout Resistance Analysis of Batter Piles

木全 卓*・○井上 卓**・工藤庸介*

Takashi KIMATA*, Takashi INOUE**, Yousuke KUDO*

1: はじめに: これまで、省資源化とコスト低減という視点から温室用基礎としての斜杭の有用性を検討するために様々な模型実験を行って基本的な力学特性を検討してきた。その結果、斜杭は垂直杭(以下、直杭)よりも大きな引抜き抵抗力を発揮し温室用基礎として非常に有用であることがわかっている¹⁾。しかし、実際に様々な条件下で基礎を設計するには引抜きのメカニズムをモデル化し抵抗力を予測する必要がある。そこで、本研究は既存の斜面上の深礎杭モデル²⁾を取り上げ模型実験の結果を基に斜杭基礎への適用を試みた。

2: 斜面上の深礎杭理論: 斜面上の深礎杭理論とは傾斜地盤上に設けられた杭が水平方向に荷重を受けるとき、荷重を受ける地盤は最初は直杭の水平抵抗のようにすべて弾性域と考えられるが、変位が増大するに従ってFig.1のように上から逐次塑性域に変化すると考えるモデルである。このとき、深礎杭は斜面の影響を考慮したバネ支点で支えられた連続梁として取り扱い、地盤反力係数(バネ定数)は水平地盤での値を $\alpha =$ 杭径に対する斜面からまでの水平被りの比(ただし、 $\alpha_{max}=10$)を使用して式(1)で補正して求める。

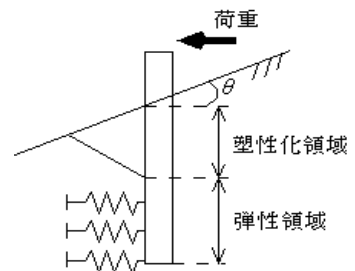


Fig.1 斜面上の深礎杭モデル

$$\left. \begin{aligned} k_h &= 0 & (0 \leq \alpha < 0.5) \\ k_h &= (0.3 \log_{10} \alpha + 0.7) k_o & (0.5 \leq \alpha < 10) \\ k_h &= k_o & (10 \leq \alpha) \\ k_o &= a E_o D^{-\frac{3}{4}} \end{aligned} \right\} (1)$$

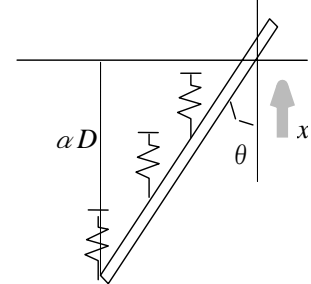


Fig.2 斜杭モデルの概要

k_h : 斜面を考慮した水平方向地盤反力係数(N/m³)、 k_o : 通常の水方向地盤反力係数(N/m³)、 a : 補正係数(供試体による一軸圧縮試験を用いたとき=1.2) D : 杭径(m) E_o : 地盤の変形係数。

そして、地盤の塑性破壊を考慮し、その部分の抵抗バネ定数を 0 とした弾性床の上の梁として解析する。

3: 解析の概要: 本研究ではこの理論を模型実験に対してFig.2のようにあてはめて解析した。つまり、斜面を回転させ水平にし、直杭を斜杭に見立て、土被り厚さを地表面から杭までの垂直距離とした。杭長 200mmで 直径 10mmの模型杭(縮尺 1/5)を対象とするため、バネは杭に沿って 25mmごとに設置し、バネ番号は地表面に近いものから 1,2,3...nとしている。この時バネ番号 nにおける杭から地盤の距離 αD (m)は、式(2)となる。

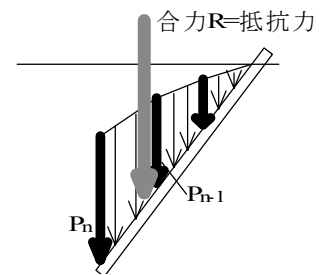


Fig.3 地盤反力

$$\alpha D = 0.025n \cos \theta \quad (2)$$

*大阪府立大学大学院生命環境科学研究科 Grad. Sch. of Life and Envir. Sci., Osaka Pref. Univ.

**大阪府立大学大学院農学生命科学研究科 Grad. Sch. of Agric. and Biologic. Sci., Osaka Pref. Univ.

キーワード: 斜杭基礎, 数値解析, 地盤反力

ここで、 θ : 傾斜角($^\circ$) (Fig.2 および Fig.5 の θ)。よって、任意のバネでの地盤反力 $P(N/m^2)$ は式(3)で表される。

$$P_{(x)} = k_o x \quad (3)$$

ここで x : 引抜き変位(m)である。地盤の降伏は Broms によると無限長地盤中での極限水平抵抗力 Q が $9C_u$ である³⁾ことからバネが式(4)の抵抗力を発揮したときとみなし、それ以降の抵抗力は一定とした。

$$\left. \begin{aligned} Q &= 9C_u \left(\frac{\alpha}{10} \right) D \quad (0 \leq \alpha \leq 10) \\ Q &= 9C_u D \quad (10 < \alpha) \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

C_u : 地盤の非排水せん断強さ(N/m^2)。そして、引抜き変位 x のときの各バネの地盤反力を計算し、Fig.3 のように変分布荷重として合力を計算すると、杭一本当りの引抜き抵抗力 $R(N)$ は式(5)になる。

$$R = \frac{0.025 \sin \theta (P_n + 2P_{n-1} + \dots + 2P_1)}{2} D \quad (5)$$

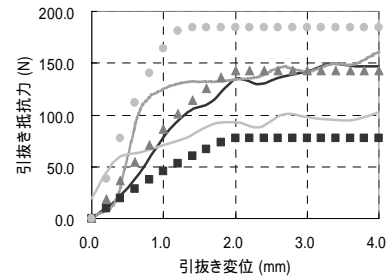
4: 結果と考察 : それぞれの杭長での Table 1 に示したパラメータで行った解析値と実験値の比較をそれぞれ Fig.4 (a) (b) に示す。Fig.4 (a) の杭長 200mm では、傾斜角 15° は傾斜角が小さく周面摩擦の影響が大きいことから実験値が大きくなり、傾斜角 30° では地盤反力と周面摩擦力のバランスが解析モデルとバネ反力の式によく合致しており、傾斜角 45° については地盤が破壊して、地盤反力が得られず抵抗力が減少したために低くなった。Fig.4 (b) の杭長 300mm においてはどの傾斜角もおおむね解析値は実験値に近い値をとっている。また、一番抵抗力が強い傾斜角も 45° と解析値は実験結果と合致している。ここで Fig.5 のような根入れ深さ H と杭径 D の比 ($=H/D$) の値をとるとおおむね $H/D=15$ を超えると解析の傾向に似ることもわかった (Table 2)。これは杭長を伸ばすほど Fig.6 より地盤反力係数の大きいバネが増えることになり、地盤反力の影響が大きくなり実際の現象が解析モデルに近くなるのが原因であると考えられる。

5: 結論 : 本研究では、①土被りに応じて地盤反力係数を低減する手法は斜杭のモデルにも適用可能である。②無限とみなせる土被りでは Broms³⁾ の極限地盤反力の適用可能性がある。③根入れ深さ H と杭径 D の比 ($=H/D$) がおおむね 15 以上であれば、この地盤反力係数を用いたこのモデルは解析値とよく似た傾向を出す。という点が明らかになった。従って、斜面上の深礎杭理論は斜杭の引抜き抵抗力の解析に適用可能であると結論付けられる。今後はさらに解析結果の精度を高めるべく、地盤反力係数および、極限地盤反力の逓減法を吟味する必要がある。

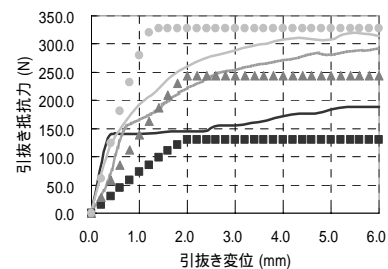
参考文献 : 1) 木全卓・武藤秀治・井上卓(2004) : 杭長の違いによる斜杭の引抜き特性の考察, 第 61 回研究発表会講演要旨集, 農業土木学会京都支部, pp.186-187. 2) 田原賢二・大川征治・森山好幸(1985) : 斜面上深礎基礎の設計法について, 基礎工, 第 13 巻, 第 11 号, pp.18-26. 3) Bengt B. Broms(1964) : Lateral Resistance of Piles in Cohesive Soils, *Journal of the Soil Mech and Found Div., Proc of A. S. C. E.*, No.90 (SM2), pp.27-63.

Table 1 解析に用いたパラメータ

一軸圧縮強さ50%時ひずみ $\epsilon_{50}(\%)$	0.82
一軸圧縮強さ50% $q_{50}(=C_u)$ (N/m^2)	1.122E+04
変形係数 E_{50} (N/m^2)	1.37E+06



(a) 杭長 200mm



(b) 杭長 300mm

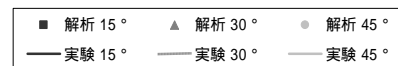


Fig.4 解析結果と実験値

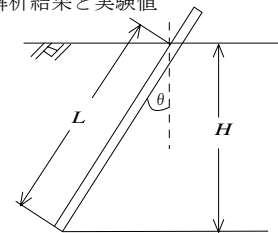


Fig.5 根入れ長さ
と根入れ深さ

Table 2 H/D の値

	15°	30°	45°
200	19.32	17.32	14.14
300	28.98	25.98	21.21

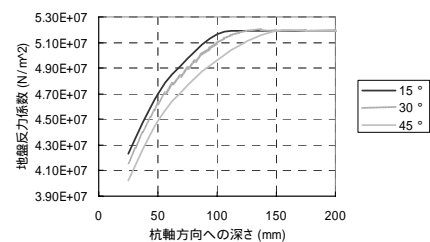


Fig.6 地盤反力係数