ひずみくさびモデルによる単杭の水平載荷挙動の評価

群馬大学　学生会員　○芦澤　拓八
元群馬大学　奈良　祥孝
群馬大学　正会員　蔡　飛

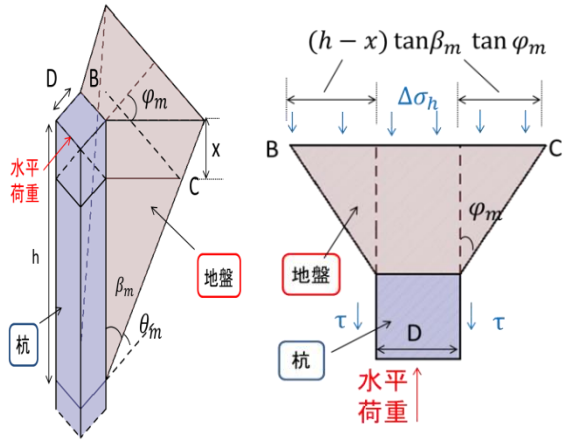
1. 目的

一般に基礎杭は、鉛直荷重を支えるために使われているが、風、波浪、地すべり、地震などによる水平荷重を受けることがある。杭の水平荷重と水平変位の関係は本来非線形なものであるが、現在は主に近似的に線形として扱われている。

本研究では、ひずみくさびモデルを用いて非線形を考慮した砂質地盤内の単杭における水平方向の荷重と変位の関係を求める方法を提案する事を目的とする。

2. ひずみくさびモデル

杭が水平荷重を受ける事により、図 1 に示すようにくさびの範囲内の地盤に変形が生じる。



「立面図」　「上面図」

図 1　ひずみくさびモデル

図 2「杭断面」で示すように任意点までの深さをx_i、杭頭の水平変位量をy_0、杭の変位量が最初に 0 となる点までの深さをx_0とし、杭の変形した面積と、y_0と h でつくる三角形の面積が等しくなるように h が繰り返し計算で求められる。

また、くさび内のひずみは式(1)より求めることができる。

$$y_i=(h-x_i)\delta=(h-x_i)\varepsilon/\Psi_s \quad (\Psi_s=1.78) \tag{1}$$

更に、任意点での荷重を式(2)で与える。

$$p_i=\Delta\sigma_{hi}B_iC_iS_1+2\tau_iDS_2 \tag{2}$$

ここに正方形杭においては $S_1=S_2=1$、円杭において $S_1=0.75$、$S_2=0.5$ となる。

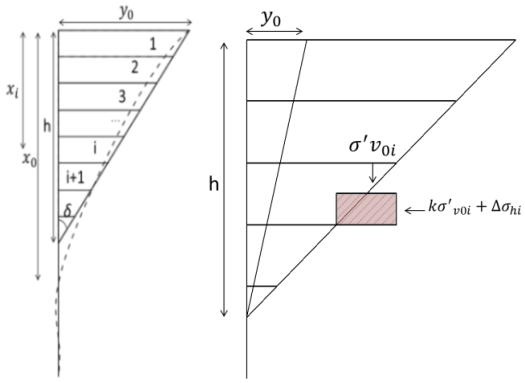
また、$\Delta\sigma_{hi}$、τ_iは図 1、2 を参照されたい。図 2 に示すように土中の微小要素における応力-ひずみ関係は双曲線とし、式(3)で与えられる。

$$\sigma_h=\frac{\varepsilon}{\frac{1}{E_0}+\frac{0.9\varepsilon}{(\sigma_1-\sigma_3)f}} \tag{3}$$

杭周面に作用するせん断力は次のように与える。

$$\tau_i=k\sigma'_{v0i}2\tan\varphi_m \tag{4}$$

またφ_mは、$\frac{\Delta\sigma_h}{\Delta\sigma_{hf}}=\frac{\sin\varphi_m/(1-\sin\varphi_m)}{\sin\varphi/(1-\sin\varphi)}$の関係を使用して求められる。ここに$\varphi$は、道路橋示方書より$N_1$(有効上載圧 $100kN/m^2$相当に換算した N 値)を使用し求められる。($\Delta\sigma_{hf}$は破壊時の$\Delta\sigma_h$を示す)



「杭断面」　「地盤の応力ひずみ関係」

図 2　層の切り方

3. 計算事例

以下に、文献に報告されている砂地盤の単杭の水平載荷試験結果との比較を行う。ひずみくさびモデルを用いて実験結果との比較を行い、ひずみくさびモデルの精度を検討する。

Reese al(1994)が報告した事例は、杭径 0.61m、杭長 21m、曲げ剛性 167168kN*m^2 の鋼管杭を用いた。地盤条

キーワード　ひずみくさびモデル，単杭，水平載荷実験
連絡先　〒376-0052　群馬県桐生市天神町 1 丁目 5-1　群馬大学　理工学部

件を表 1 に示す。

また、今回の事例では定地点が海岸沿いであり地下水位が地表面に近く、今回は地下水位を地表面から 0m とする。

	内部摩擦角 [deg]	有効単位重量 [kN/m^3]	相対密度[%]	地盤反力係数 nh[MN/m^3]	層厚[m]
地層1(細砂)	37.7	10.3	77	37.5	6
地層2(細砂)	38.8	10.3	86	44	15

表 1　地盤の物性値

表 1 での nh は、くさびより下の地盤反力係数であり、図 3 に示すような経験式を使用し、相対密度より求められる。

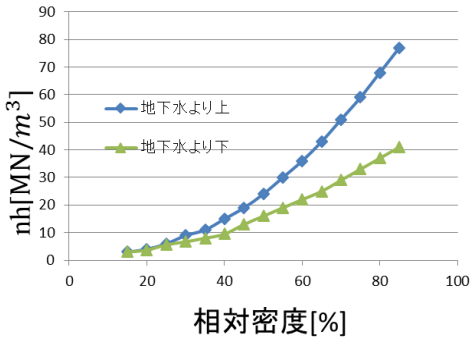
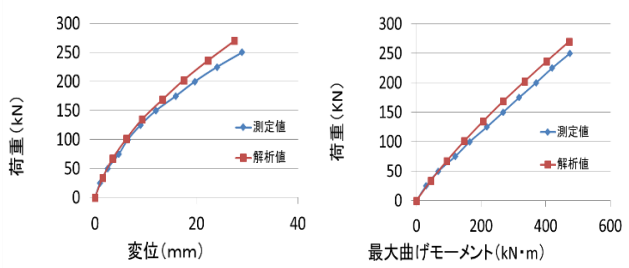


図 3　nh と相対密度の関係（Reese,1994）

図 4 に、Reese の事例における水平荷重-杭頭変位および水平荷重-最大曲げモーメントの解析結果を示す。図 4 より杭頭変位、最大曲げモーメントともに測定値と解析値は大きく違わないとわかる。

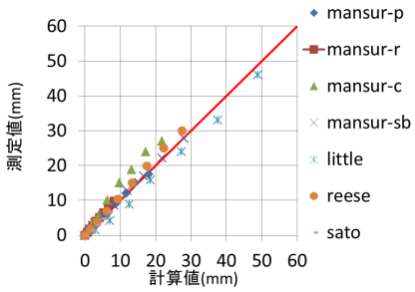


「杭頭変位」　「最大曲げモーメント」

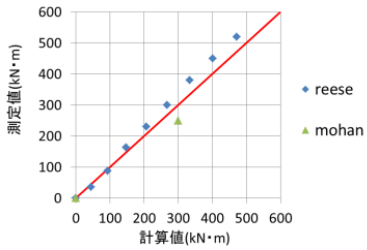
図 4　Reese(1994)と解析値の関係

次に Mohan(鋼管杭)、Little(鋼管杭)、Mansur.SB(既製コンクリート杭)、Mansur.P(鉄筋コンクリート杭)、Mansur.C(既製コンクリート杭)、Mansur.R(場所打ちコンクリート杭)、佐藤(場所打ちコンクリート杭)の 7 個の事例についても同様に計算し、Reese の事例とともに結果をまとめて図 5 に示す。図 5 では直線を 100%（計算値と測定値が一致）として表している。解析結果と測定値の誤差が大きくなるほどこの直線から離れていく。

図 5 よりひずみくさびモデルにより求められた杭頭変位及び最大曲げモーメントは、実測値に比べて±25%以内に収まる事がわかる。



「杭頭変位」



「最大曲げモーメント」

図 5　解析結果のまとめ

4.　結論

本研究では、砂質地盤内の単杭の水平載荷実験を評価するためのひずみくさびモデルを提案した。

全 8 事例の水平載荷挙動における水平荷重-杭頭変位及び最大曲げモーメントの解析値と測定値は大きく違わないと言え、その差は 25%以下である。これは、計算の単純化のためにいくつかの経験式を用いたことが理由として挙げられる。

5.　参考文献

1) Reese LC etal Analysis of laterally loaded piles insand.In:Proceedings of 6th offshore technology conference, Houston, Texas,Paper No.2080;1974 p.473-83

2) Mohan D, Shrivastava SP. Nonlinear behavior of single vertical pile under lateral loads.In:Proceedings of the 3rd annual offshore technology conference, Houston, Texas,vol.2.Houston,Texas;1971.p.667-86.

3)Little RL Briaud JL. Full scale cyclis lateral load tests on six single piles in sand.Final report,Miscellaneous Paper,GL-88-27;1988

4) Mansur CI, alizadeh M. Soil and foundation investigation report, rush island plant Prepared by McLelland Engineers Inc.;1971.

5）社団法人日本道路協会,道路橋示方書・同解説　V耐震設計編 p94 平成 8 年 12 月 19 日改訂版第 1 刷