

III-505

水平荷重を受ける群杭基礎の簡易設計法に関する一提案

関西電力株式会社 正会員 中島 寿
 (株) ニュージェック 正会員 ○竹澤請一郎
 (株) 建設企画コンサルタント 正会員 上本 秀之

1. はじめに

燃料タンク基礎のような大規模で密な杭配置の群杭基礎が地震力のような水平荷重を受ける場合、各杭と杭間地盤の応力干渉効果によって、単杭の集合体と大きく挙動が異なることが知られているが、干渉効果の計算が複雑なことから簡易に群杭の効果を評価することが困難であった。筆者等は、杭の干渉効果を杭間および周辺地盤の塑性化の面からとらえることを考え、模型実験および簡易設計法の検討を行ってきた。

2. 群杭模型実験

これまで杭本数18本程度の群杭模型基礎の水平載荷実験を実施して、杭と周辺地盤の挙動をみてきた^{1), 2)}。その結果、①杭に曲げ降伏が生じるかそれに近いレベル以上の荷重では、荷重に応じたある深さの塑性域が生じ、杭と杭間地盤は一体となって剛塑性体を形成している。すなわち、図-1のように、ある深さまでの杭と杭間地盤は仮想剛体としてとらえられ、これに対し、極限状態の受働土圧・底面せん断抵抗・主働土圧が作用する。②また、塑性域の深さ h_e と杭体の変位・断面力の変化点の関係では、図-2に示すように $l_m \leq h_e < l_o$ (ここに、 l_m :杭体のせん断力 Q の第一ゼロ点すなわち曲げモーメント M の極大点の深さ、 l_o :変位の第一不動点の深さ)にあるが、模型実験ではほとんど $h_e = l_m$ の関係にちかひが見い出された。③群杭基礎の荷重～変位関係は両対数グラフ上でかなり大きい変位まで含め一本の直線にのる。これらの結果は、少なくとも通常の設計でありうる杭間隔比 $L/d=5$ (L :杭間隔、 d :杭径)程度までは適用できる。

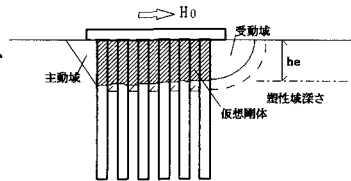


図-1 塑性域深さと仮想剛体

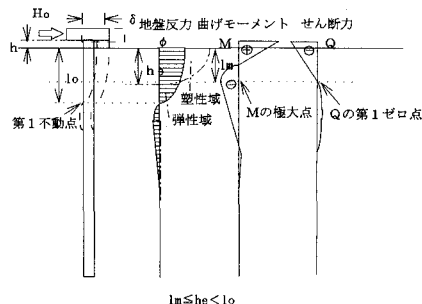


図-2 塑性域深さと杭体変位断面力の変化点

3. 群杭効果を考慮した簡易設計法

極限地盤反力による設計法は、単杭についてBroms(1964, 1965)の方法があるが杭の変位は求められない。また、群杭については、杭間地盤の塑性領域を杭のみかけの突出長として扱う宮本・沢口(1971)の方法があり、変位を計算することができるが、群杭効果には荷重依存性は考慮されない。

本簡易法は、群杭基礎における水平方向の塑性つりあいと杭体の断面力の変化点が等価な弾性床土上の梁理論とのハイブリッド法によって群杭基礎の変位および杭体断面力を設計する一つの試みである。図-3に、そのフローを示す。

まず、杭に曲げ降伏が生じるかそれに近い1～複数の水平荷重 H をえらび、水平方向のつりあいから地盤の塑性域のつりあい深さ h_e をもとめる。杭からのせん断反力は以下に示すようにゼロとする。次に、杭体の断面力の変化点の深さ l_m が等価となるように、式(1)から換算地盤反力係数 k_e を求め、弾性床土上の梁として変位を計算する。

$$l_m = (1/\beta) \cdot \tan^{-1}(1/\beta \cdot h) \quad (1)$$

ただし、杭頭固定の場合であり、 $\beta = 4\sqrt{(k_e \cdot d / 4 \cdot E \cdot I)}$

模型実験では、杭体の断面力の変化点 $Q=0$ (M の極大点)の深さ l_m と塑性域の深さ h_e とは等しいので、その面での杭からのせん断反力はないとする。深さ h_e までの杭と杭間地盤を仮想剛体とし、これに対する抵抗土塊の取り方は図-4に示すようにとる。 a , b , c は受働域とし、前方斜めの広がり角度は土の摩擦角 ϕ にとる。 d は主働域とし s は底面のせん断抵抗面である。

次いで、これらの荷重と変位の値を荷重～変位特性($H = a \cdot \delta^n$)に代入

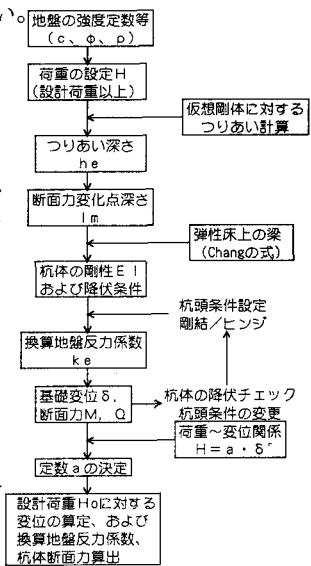


図-3 群杭基礎の計算フロー

するかまたは回帰させて定数 a を決定し、実際の設計荷重 H_0 に対する変位 δ_0 を求める（図-5）。指数 n は現位置での単杭の載荷実験によるか既往の実験式（通常0.5）から決定する。なお、設計荷重と変位からこれに対応する地盤反力係数が決まり、また杭体変位・断面力も求められる。

この方法では、換算地盤反力係数 k_e は、地盤の変形係数によらずに物理定数（ c 、 ϕ 、 ρ ）に基づいて求められ、群杭効果を含んでいる。また、 k_e は荷重に依存し、荷重の増加とともに低下するとともに、同じ地盤であっても、地下水位が高くなれば低下する。

4. 模型実験による検証

本簡易法による模型実験データとの比較を示す。表-1は模型杭の緒元であり、地盤材料は別報^{1), 2)}のとおりであり、強度定数は三軸試験より $\phi=40^\circ$ 、 $c=0$ である。

図-6および図-7は、それぞれ、本簡易法で計算された荷重～変位関係および換算地盤反力係数 k_e を用いて求めた曲げモーメント分布であり、概ね実験結果と対応している。

5. おわりに

水平荷重を受ける大規模で密な杭配置の群杭基礎に対して、杭間および周辺地盤の塑性化に着目した簡易で有効な設計法を試論として提案した。

杭間地盤に生じるせん断抵抗面の深さおよび形状は同じ荷重であっても杭位置によって変化する。ここでは、平均的な深さで評価してきているが、各杭位置での塑性域の深さを評価できれば、杭毎の換算地盤反力係数が決まる可能性があり、塑性域の深さと杭体の断面力の変化点の関係も含め、さらに検討していきたい。

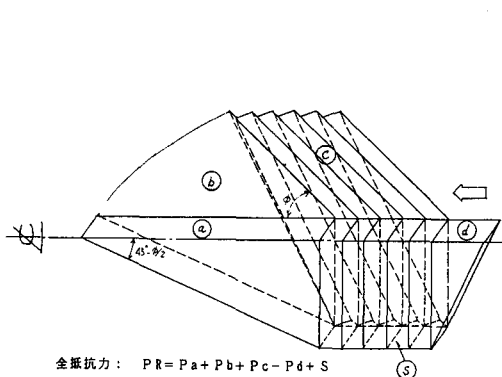


図-4 抵抗土壌の取り方

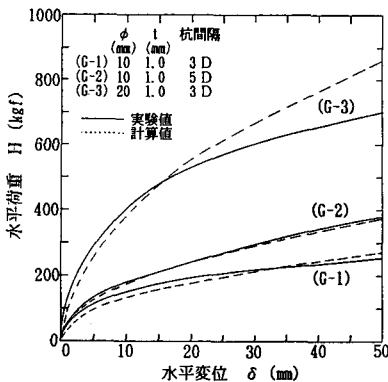


図-6 荷重～変位関係の比較

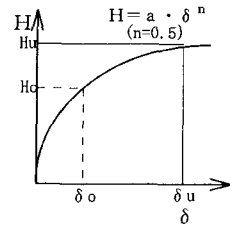


図-5 荷重～変位関係式図

表-1 模型杭の諸量

ケース	G-1	G-2	G-3
杭 材	アルミ		
杭配列	6×3 (対称)		
杭径d(cm)	1.0	1.0	2.0
板厚t(mm)	1.0		
剛性EI(kgf・cm ²)	0.200×10 ⁵		1.71×10 ⁵
降伏My(kgf・cm)	43.0		270.0
杭間隔L(cm)	3d	5d	3d

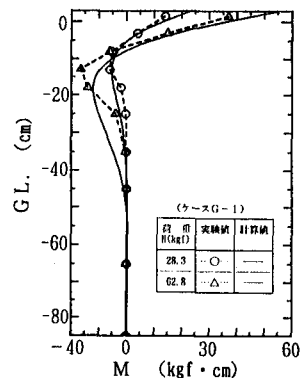


図-7 曲げモーメント分布の比較

参考文献：1)白方他：群杭の水平抵抗と地盤の崩壊形状に関する模型実験（その1）、第27回土質工学研究発表会、pp. 1601-1602、1992 2)中島他：群杭の水平抵抗と地盤の変位に関する模型実験（その2）、土木学会大49回年次学術講演会