

群杭基礎側方地盤反力を支配するパラメータ

東京大学生産技術研究所 学生会員 ○丸山 大介

東京大学生産技術研究所 正会員 小長井 一男

1. はじめに

道路橋示方書では、杭はその側面で、深さ方向に離散的な地盤バネ $k_H D$ で支えられているものとしている。しかし、これは単杭として評価されるものであり、杭間隔／杭径比(L/D)が 2.5 を下回らない限り、積極的に考慮しなくてよいとされてきた。しかし、小長井らは、この群杭効果は、 L/D が 2.5 を超える場合でも無視できず、むしろ「群杭+これに囲まれる土」を一体としてみた方が解析解とよい一致を見ることを示している。しかし、これはあくまでひずみが小さく、等価線形化法で解析できる場合に限定されている。

そこで本発表では、さらに大きな変形を示す場合に、群杭側方地盤の地盤反力を合理的に表現する手法について、野外での模型杭載荷試験の結果を基に検討を加える。

2. 簡便な表現へのシナリオ

地盤の内部で杭が動的な変形を受ける場合、2つの異なる状況が想定される。(1)地震時に地盤全体が変形し、群杭がこれに追従する場合(2)上部構造物がその慣性力で杭頭のフーチングを揺る場合である。ここでは(2)を念頭に置いて検討する。

このとき、杭頭部に水平変位を与えると、図1に示すように杭のある深さ L_a より上部のみが大きくたわむ変形パターンが現れる。この L_a (Active Pile Length)は、杭が地盤に比べて相対的に堅いほど大きくなる。従って、杭の曲げ剛性 EI と地盤の堅さを示す $k_H D$ の比に依存することが推測される。すなわち

$$L_a \propto L_0 = \frac{1}{\beta} = \sqrt[4]{\frac{EI}{k_H D}}$$

β は、道路橋示方書における特性値である。この L_a は、ひずみの小さい状況のみならず、地盤に破壊領域が形成される場合でも、その体積に影響するものと考えられる。つまり、 L_a を用いて、地盤の反力が統一的に記述できる可能性がある。しかし、この値は単杭のパラメータである。

実際には、杭とそれを囲む地盤とは一体として変形することが考えられる。そこで、式1における杭の変形を、一本の直立な等価杭に置き換え、剛性を評価し、この値を代わりに用いることにする。そこで、特に変形の大きい状況において、次の2つのシナリオが推測される。

(1) 地盤反力が終局耐力に達したとき、それは受動破壊域の重量に比例すると考えられる。これは、土の密度

を ρ_s とすると、 $\rho_s g L_0^2 R_0$ に比例すると考えられる

(図1)。 R_0 は等価杭の半径である。

(2) 群杭側面の地盤反力が終局耐力に達した状態でも、群杭そのものは L_a 以下の部分を土に固定された片持ち梁のように変形に抵抗する。この状態での杭頭フーチング部での剛性を k_{pile} とする。

3. 実験による検討

(1) 実験概要

ここで検討に用いるデータは、鉄道総合技術研究所で行われた杭基礎交番載荷試験から得られたものである。杭の諸元は表1に示すとおりである。この地盤に、2×2、2×3、3×3の3つの群杭が取り付けられている。また杭間距離はどれもおよそ $3D$ である。載荷は変位制御で行われ、杭頭変位が最大で 64mm のところまで行われた。

(2) 実験結果

3×3の群杭の深さ方向の変形状況を、異なる載荷段階で調べると約 1.8m より浅い部分で、杭が顕著に変形している状況がわかる。この変形を杭頭部分の変位で正規化すると、図2に示すとおりになり、変形が大きく進行しても、杭変形が顕著に現れる深さに大きな変化がみられない。これは結果として L_a が載荷の初期段階時点でおおむね決定づけられている様子を示すものである。この杭頭における荷重・変位曲線を図3に示す。この曲線は変位が 0.02m を越えると、ほぼ一定の勾配に収斂する。図中には併せて $L_a = 1.8$ m と仮定し、 L_a 以深が地中に固定された片持ち梁上の群杭単独の剛性 k_{pile} も併せて示している。この曲線の勾配は k_{pile} の勾配に漸近するような変形を見せてお

キーワード 地盤の非線形性、Active Pile Length、等価単杭、荷重・変位曲線

東京大学生産技術研究所(〒153-8505 東京都目黒区駒場 4-6-1、TEL 03-5452-6142 FAX03-5452-6151)

り、シナリオ(2)の設定が適切であったことを示しているものと考えられる。

この曲線から群杭単独の反力を差し引いたものを土の終局耐力 $F_{residual}$ とする。この値を、異なる配置の群杭に対して $F_{residual}$ を求め、それぞれに対応する $L_0^2 R_0$ との関係を調べると、両者の相関は極めて高く、一連の実験では $F_{residual} = 18.8 \rho_s g L_0^2 R_0$ と表現できる。これはシナリオ(1)が妥当であることを示している。図4は、この終局反力 $F_{residual}$ などを用いて地盤反力と変形量をそれぞれ無次元化し、3つのケースを1つの図にまとめたものである。これらの結果はおおむね一致し、これは、杭頭の荷重・変位曲線を無次元化したパラメータで統一的に表現できる可能性を示すものととらえられる。

4. まとめ

本発表では、群杭を等価な直立梁とみなし、この側方地盤の反力を合理的かつ簡便に表す手法について述べた。更にこの手法で地盤反力分布を求めていくこともできる。しかし、今後より多くの試験結果を収集し、これらの結果に整合したモデルを構築していくことが必要である。

参考文献

- 1) 日本道路協会:道路橋示方書・同解説(IV下部構造編)、丸善、東京、1999
- 2) Konagai,K:Shaking Table Test Allowing Interpretation of Damage to Structure in terms of Energy Influx and Efflux through Soil-Structure Interface, Report of Research Project, 1999 Grant-in-Aid for Scientific Research, No. 10450174, Ministry of Education, Science, Sports and Culture, March 2000.
- 3) Konagai, K., A. Raquib and D. Maruyama: Simple Expression of the Dynamic Stiffness of Grouped Piles in Sway Motion, International Jour., Earthquake Engineering, 4(3), 355-376, 2000.

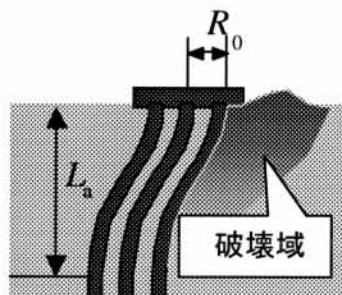


図1: 杭の変形と地盤の破壊域

外径(mm)	厚さ(mm)	杭長(m)	弾性係数(kgf/cm ²)
101.6	3.2	2.25	2.1×10^6

表1: 杭の諸元

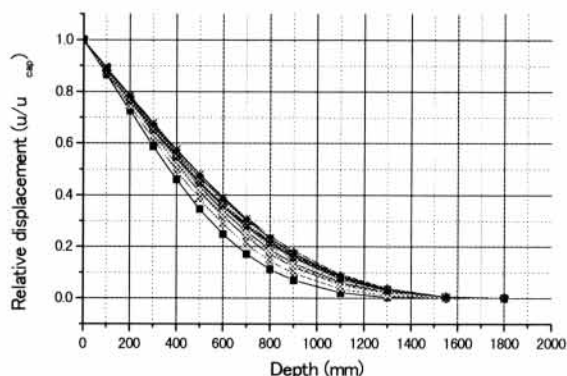


図2: 杭の変形モード

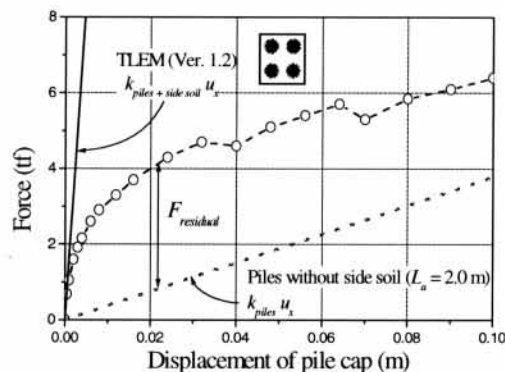


図3: 杭頭の荷重・変位曲線

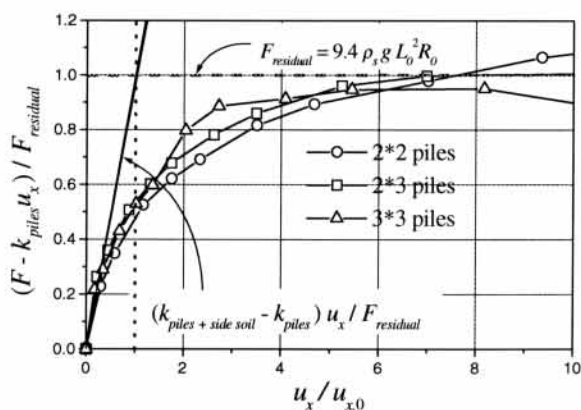


図4: 無次元化した杭頭の荷重・変位曲線