

## 水平力を受ける小径スパイラル杭の不確実性を考慮した群杭効果

中央大学大学院 学生会員 ○大西 奈穂 中央大学 学生会員 山村 菜月  
 中央大学大学院 学生会員 木梨 優太 中央大学 正会員 西岡 英俊

## 1. 研究背景

スパイラル杭は平板をねじり加工した小規模な杭で、人力による回転貫入で施工が可能という特徴がある。この特徴から、鉄道のホームドア基礎<sup>1)</sup>等の小規模構造物の建設において、スパイラル杭を多数打設した群杭基礎の適用が期待されている。

通常の円柱状の杭を群杭構造とする場合については、施工上・設計上の観点から杭中心間隔の最小値を $2.5D$  ( $D$ : 杭径)程度とするのが実務では一般的であり、軟弱な地盤条件では基礎の抵抗力を確保するために杭の追加や杭径の拡大が必要となるためにフーチング寸法が地上設備等の配置に必要な最小寸法よりも大きくなる場合がある(図-1(a))。しかし、ホームドア基礎等の狭隘な現場では、図-1(b)のように杭中心間隔を $2.5D$ よりも狭くして杭本数を増やす、または杭径を大きくする方が、基礎全体として合理的・経済的な設計となる可能性がある。そこで本研究では、水平載荷試験を実施しスパイラル杭の特に過密配置条件における群杭効果の特性を把握する。

## 2. 実験概要

本研究で用いたスパイラル杭の模型を写真-1に示す。スパイラル部はリン青銅製で幅20mm、板厚2mm、長さ400mmの平板を4回転ねじったものであり、別途曲げ試験を行ったところ曲げ剛性 $EI=2214.4\text{kN}\cdot\text{mm}^2$ であった。模型地盤は、乾燥豊浦標準砂を横1000mm、奥行き400mmの土槽の中に多重ふるいを用いた空中落下法で相対密度90%程度となるように高さ600mmまで投入して作製した。

載荷は図-2に示すように、杭をフーチングで連結して地表面から50mmの高さで電動アクチュエータによって、約 $0.02\text{mm/s}$ の速度で一方向に押す構造とし、荷重計及びレーザー変位計によって載荷荷重と載荷点の水平変位を計測した。

スパイラル杭の施工(貫入)方法は、写真-2に示すように、杭を高さ方向に3点で固定しながら貫入することでブレを極力排除した。また、杭材が通過する位置を固定するスリットを有する過回転防止プレートを施工治具の最下部に取り付けることで、余計な回転をせず杭のピッチ通りの4回転で貫入している。

実験ケースは、杭間隔 $L$ と杭幅 $D$ の比を主たるパラメータとした図-3に示す一列群杭の杭配置とした。なお、同一幅のフーチング内に杭を打設することを想定して、 $L/D$ に応じて杭本数 $n$ も変化させた。各杭配置で5回ずつ実験を行った。

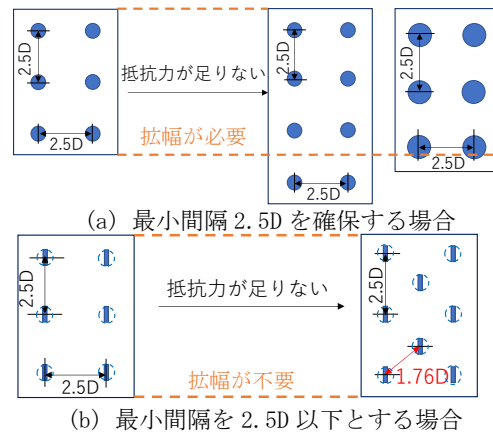


図-1 抵抗力が不足する場合の対応イメージ

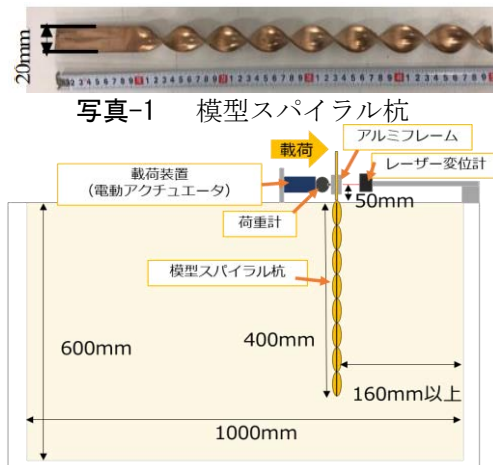


図-2 試験土槽および載荷装置の概要

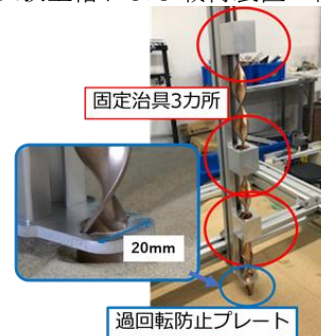


写真-2 スパイラル杭の施工方法

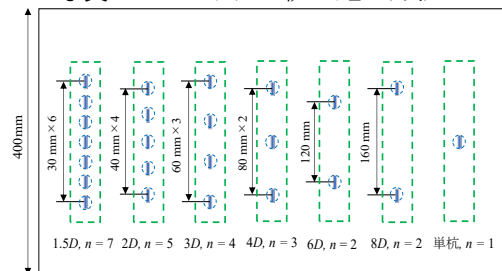


図-3 実験ケースの杭配置

キーワード スパイラル杭, 水平載荷試験, 群杭効果

連絡先 〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27 中央大学理工学部都市環境学科 基礎・地下構造研究室 TEL: 03-3817-1804

### 3. 実験結果

載荷点における荷重～変位関係を図-4に示す。縦軸は全荷重を杭本数で除して杭1本当たりの抵抗力としている。また、このグラフは各杭配置で5回分のデータを、変位0.5mmピッチで抵抗力を平均し、プロットしたものを示している。図-4より、杭間隔が狭くなるにつれて杭一本当たりの抵抗力が低下していく傾向が確認できる。

### 4. 群杭効果の考察

今回の実験で得られた杭間隔  $L/D$  と群杭効果  $e$  (平均) の関係を図-5に示す。本研究では0.5mm(載荷初期)、2mm(杭径の10%)、5mm、7.5mm変位時で群杭効果を評価した。縦軸の値は、同一変位時のそれぞれ群杭の抵抗力を単杭の抵抗力の平均値で除した値とした。また、図-5には式(1)に示す玉置ら<sup>2)</sup>の杭頭自由の場合の杭間隔と群杭効果の関係式も紫実線で図示している。

$$e = 0.6(L/D)^{0.3} = 0.6542(L/D)^{0.3} \quad (\text{ただし, } 4.125 > (L/D) > 1.125) \quad (1)$$

ここに、 $e$  は群杭効果、 $L$  は杭間隔、 $D$  は杭径である。

なお、玉置らの式は、円柱状の杭で単杭と群杭での水平載荷試験を実施し、変位の比較から群杭効果を求めることで提案された実験式である。そのため、谷ら<sup>3)</sup>の研究を参考にスパイラル杭の投影面積を考慮して杭幅  $D$  の75%を有効径  $D'$  とし、これを玉置らの式の杭径として扱うこととした。さらに図-5には、 $L \leq 4D$  の範囲(玉置らの式で群杭効果が生じるとされる実験条件の範囲)での実験結果の近似式を記している。図-5より、載荷が進み、変位が大きくなるに従い群杭効果  $e$  の値は低下し、玉置らの式の値に近づいていく傾向が確認できる。

次に図-6に各変位時における群杭効果  $e$  の変動係数を示す。杭間隔が狭く杭本数の多いケースにおいて、変動係数が単杭よりも最大2倍程度大きくなっていることが分かる。

そこで、図-7に変動係数  $V$  を考慮して低減を行った群杭効果  $e'$  を示す。縦軸は杭間隔毎の群杭の  $1-V_g$  の値を単杭の  $1-V_s$  の値で除して算出した係数を図-5で示した群杭効果  $e$  に乗じた値としている。変動係数の違いも考慮することで、一部で玉置らの式の値を僅かに下回る部分も見られるが、特に過密群杭として活用が期待される  $L = 1.5D$  や  $L = 2D$  での値は、玉置らの式と同等もしくは上回っていることがわかる。

### 5. まとめ

同一幅のフーチング内でスパイラル杭を過密多数配置した場合の群杭効果は、杭間隔が小さい場合にはばらつきが大きくなることが確認された。これらのばらつきの影響を考慮した設計法として、玉置らの式(ただし、杭幅の75%の有効径で評価)の値を用いて基礎全体の抵抗特性を評価することを提案する。

### 参考文献

- 1) 大塚克也, 猪八重由之, 小田勇一, 野中隆博, 津島史人, 梅原悟, 前原聡: スパイラル杭と高強度繊維補強床版を用いたホームドア基礎構造の現場適用, 令和2年度土木学会全国大会第75回年次学術講演会, VI-186, 2020.
- 2) 玉置脩, 三橋晃司, 今井常雄: 水平抵抗における群杭効果の研究, 土木学会論文報告集, Vol.192, pp79-89, 1971.
- 3) 谷陽介, 永田誠, 黒川貴大, Amarbayar Jugdernamjil, 安福規之, 石蔵良平: 砂地盤におけるスパイラル杭の水平載荷実験について, 第55回地盤工学研究発表会, 21-9-2-03, 2020.

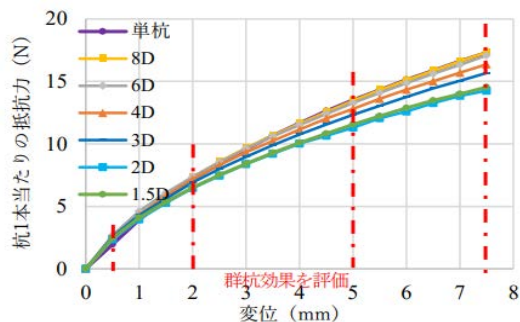


図-4 杭頭での荷重～変位関係

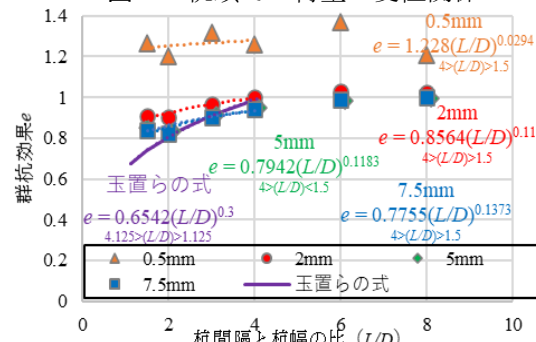


図-5 各変位時での群杭効果  $e$  の平均比較

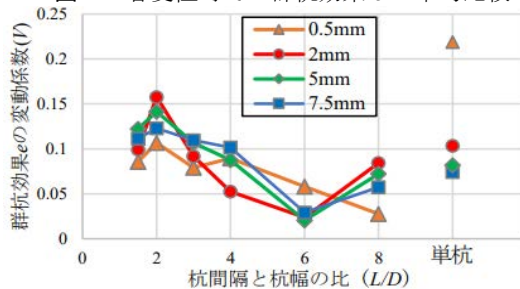


図-6 群杭効果  $e$  の変動係数

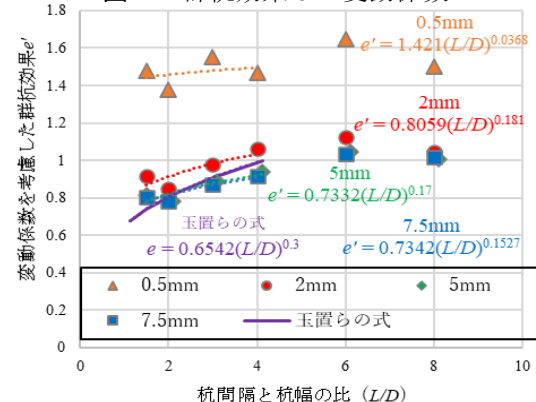


図-7 変動係数を考慮した群杭効果  $e'$