

## 水平繰返し荷重下における砂中に設置されたスパイラル杭の水平抵抗挙動

九州大学大学院 学〇王 麒凱 正 AMARBAYAR JUGDERNAMJIL

九州大学大学院 F 安福 規之 正 石蔵 良平 正 ALOWAISY ADEL

ヒノデホールディングス株式会社 正 黒川 貴大 無 井手 裕太 無 永田 誠

## 1. はじめに

近年、無排土や低コスト、工期短縮などの打ち込み杭の長所を生かしながら、施工に伴う騒音や振動の発生ならびに環境負荷の低減が期待される「鋳物から成るスパイラル状の杭」が開発されている。筆者らは、乾燥地における大型の太陽光発電パネルを支えるための杭形式として、この「スパイラル状杭」の可能性について地盤工学的視点から検討を進めている<sup>1)</sup>。具体的には、現地における風荷重を想定したスパイラル杭の水平抵抗特性をパイプ状や平板状の杭と対比させながら調べてきている。スパイラル状の杭を利用することで、環境への負荷を抑え、地盤を乱すことのないように施工することが期待されている。

本研究では、砂地盤の相対密度と水平載荷速度に着目して、スパイラル杭を用いた繰返し水平載荷実験を実施し、杭頭荷重-変位関係等を考察した。

## 2. 実験概要

**2-1. 実験装置** 本実験に使用した実験装置は図1に示す通り、砂地盤タンク、載荷装置、模型杭、変位計、ロードセルから構成されている。砂地盤タンクは、内径750mm、深さ500mmの円筒形であり、地盤材料には表1に示す熊本珪砂7号を使用した。バケツを使って地盤タンク内に砂を投入後、指定の深さまでランマーによる締固めを行い、相対密度が90%、60%の砂地盤を作成した。模型杭は図2に示す通り、鋼製のスパイラル杭とプレート杭である。スパイラル杭はプレート杭を長軸まわりに

捻り加工をする簡単な棒材で、載荷装置との取付け部とスパイラル部(216mm)で構成されている。模型杭の縮尺は、実大杭の材料と地盤タンクの高さを考慮して設定した。模型杭と実大杭のパラメータを表2に示す。なお、相似則として、 $(I_m \cdot E_m)/(I_p \cdot E_p) = 1/F^{4.5}$ の式<sup>2)</sup>を満たしている( $I_m, I_p$ : 模型/実大杭の断面2次モーメント、 $E_m, E_p$ : 模型/実大杭のヤング率、 $F$ : 縮尺)。また、図2に赤線で示すように、スパイラル杭のピッチと幅が定義される。先行実験<sup>3)</sup>からスパイラル杭のピッチ・幅比は4.5の場合優れた引抜き抵抗力と鉛直支持力が得られることがわかっている。そのため、本実験はピッチ・幅比4.5のスパイラル模型杭を用いた。

**2-2. 実験ケースおよび実験方法** 表3に実験ケースの一覧を、以下に実験手順を示す。

① 杭頭回転自由という条件で載荷装置先端に模型杭を取り付ける。②  $Dr=90\%$ 、 $60\%$ を目標に模型地盤を作製

する。③ 地盤表面に位置で計測された杭変位を用いてシリンダーを変位制御し、杭径の20%である3.2mmまでの変位振幅で杭頭に対して50サイクル正負交番載荷する。これは、Broms(1964)の理論<sup>4)</sup>より、杭径20%の変位が杭の弾性限界として評価されることを参照した。載荷速度は、0.21mm/sと0.64mm/sに設定する。これは水平方向における杭の変位周期Tが概ね60sと20sであることを意味する。実験では模型杭の水平変位と杭頭荷重を測定する。

## 3. 実験結果と考察

図3に杭頭荷重と地盤表面での杭変位関係を示す。図3より、スパイラル杭、プレート杭と共に、繰返し回数がキーワード スパイラル杭、水平抵抗、繰返し荷重、相対密度、載荷速度

連絡先 〒819-0395 福岡県福岡市西区元岡744番地・ウエスト2号館1108-2号室 TEL:092-802-3378

表1 熊本珪砂7号の物性

土粒子比重 $G_s$	2.62
最大乾燥密度 $\rho_{dmax}$	1.58g/cm <sup>3</sup>
最小乾燥密度 $\rho_{dmin}$	1.21g/cm <sup>3</sup>
内部摩擦角	38°(Dr=80%)

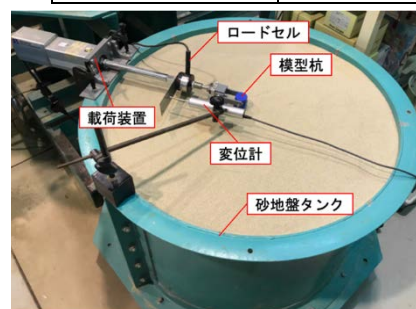


図1 実験装置

表2 模型杭と実大杭のパラメータ

	模型杭	実大杭
材料	鋼	鋳鉄
$EI(kN \cdot m^2)$	0.20	6476.34
長さ $L(m)$	0.216	3
幅 $B(m)$	0.016	0.22
肉厚 $T(m)$	0.003	0.04
縮尺 $F$	1	10

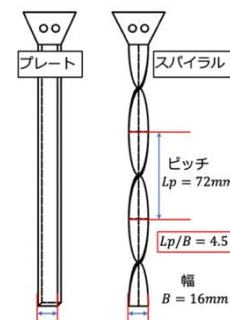


図2 模型杭

表3 実験ケース (計8回)

杭名称	地盤相対密度	載荷速度
スパイラル	90%   60%	0.21mm/s   0.64mm/s
プレート	90%   60%	0.21mm/s   0.64mm/s

増加することにより、杭頭荷重-杭水平変位の履歴に差が見られ、繰返し荷重によって地盤抵抗が変化していることが示唆される。スパイラル杭とプレート杭を比較すると、いずれのケースにおいても同変位でスパイラル杭の杭頭荷重はプレート杭よりも大きい。プレート杭を捻り加工してスパイラル形状を試作することで、繰返し水平荷重に対する杭反力が増加することが明らかになった。図4に平均杭頭荷重と繰返し回数関係を示す。ここで、

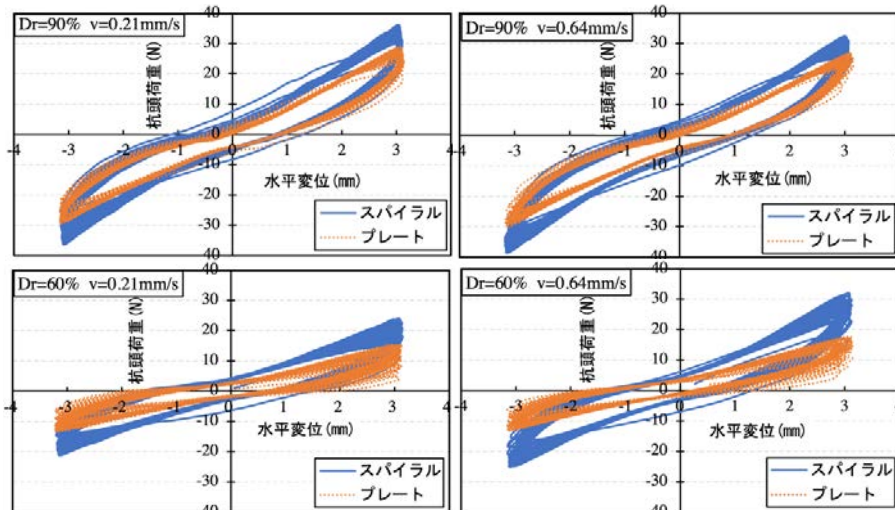


図3 杭頭荷重-水平変位関係

平均杭頭荷重は各繰返し回数の正負最大変位における杭頭荷重の平均値とする。図4より、スパイラル杭とプレート杭の杭頭荷重は、地盤相対密度、繰返し回数、載荷速度の増加と共に増加することがわかった。図5は異なる載荷速度  $v$  と相対密度  $Dr$  における  $Dr$  および  $v$  の増加による杭頭荷重の増加率を示す。ここで、 $Dr$  および  $v$  の増加による杭頭荷重の増加率 =  $(\sum_{i=1}^n \frac{F_i' - F_i}{F_i}) / n \times 100(\%)$  ( $F_i$ :  $Dr/v$  変化前の杭頭荷重、 $F_i'$ :  $Dr/v$  変化後の杭頭荷重、 $n$ : 繰返し回数) と定義される。スパイラル杭とプレート杭を比較すると、

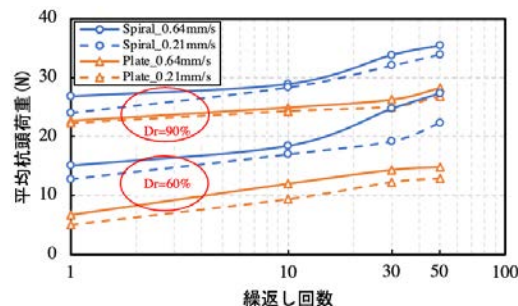


図4 平均杭頭荷重-繰返し回数関係

図5(a)よりいずれの載荷速度においても地盤相対密度の違いによる杭頭荷重への影響は、プレート杭よりスパイラル杭のほうが小さい。図5(b)より、密な砂地盤に比べ、ゆるい砂地盤におけるスパイラル杭およびプレート杭の杭頭荷重は載荷速度による影響を受けやすい傾向が認められる。また、スパイラル杭とプレート杭を比較すると、同じ地盤相対密度で載荷速度による影響はほとんど差がないと言える。

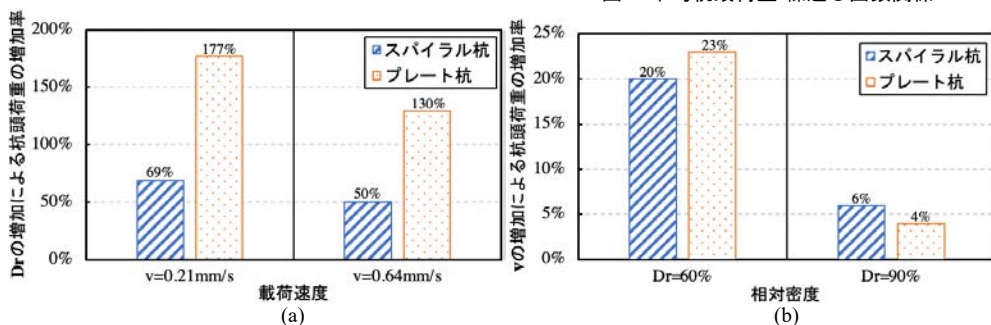


図5 異なる載荷速度  $v$  と相対密度  $Dr$  における  $Dr$  および  $v$  の増加による杭頭荷重の増加率

#### 4. おわりに

本実験では、砂地盤の相対密度と水平載荷速度に着目して、スパイラル杭とプレート杭の繰返し水平載荷挙動を比較検討した。その結果、以下の知見が得られた。

- 1) プレート杭を捻り加工してスパイラル形状にすることで、繰返し水平荷重に対する杭反力が増加する。
- 2) スパイラル杭とプレート杭の杭頭荷重は、砂地盤の相対密度、繰返し回数、載荷速度の増加と共に増加する。
- 3) 相対密度の違いによる杭頭荷重への影響は、プレート杭よりスパイラル杭のほうが小さい。
- 4) 密な砂地盤 ( $Dr=90\%$ ) に比べ、ゆるい砂地盤 ( $Dr=60\%$ ) におけるスパイラル杭およびプレート杭の杭頭荷重は載荷速度による影響を受けやすい傾向が見られる。

#### 参考文献

- 1) Jugdernamjil A., Yasufuku N., Tsamba T., (2021). Ultimate Lateral Capacity of Rigid Spiral Pile under Monotonic Loading in Dense Sandy Soil. The 31st International Ocean and Polar Engineering Conference, I-21-2162.
- 2) Wood, D. M., Crewe, A., & Taylor, C. (2002). Shaking table testing of geotechnical models. Int. J. Phys. Model. Geo-tech: 2(1). 1-13.
- 3) Wang K., Tani Y., Yasufuku N., Ishikura R., Fujimoto H., Nagata M., (2019). Bearing capacity characteristics of spiral pile in sandy ground focused on pitch-width ratio. In: The 54th Geotechnical Research Presentation, No.0627.
- 4) Broms, B. (1964). Lateral Resistance of Piles in Cohesionless Soil. J.S.M.F.D., ASCE, 90, 123-156.