

個別要素法によるマイクロパイルの周面摩擦挙動と支持機構の検討

東北大学 学 ○金子友美 正 加村晃良 フ 風間基樹
ヒロセ補強土株式会社 非 疋田信晴 非 田中秀幸

1. 研究背景と目的

複数本のマイクロパイルを列状に鉛直打設する地山補強土工や基礎補強の設計において、その打設間隔の主な決定要因は、ヤング係数比に応じた等価断面の応力度となっている。一方、列状に配置した杭が地盤と一体的に挙動するとみなせる。打設間隔は明確な基準がなく、設計者の判断に委ねられている現状である。しかし、加村ら¹⁾によると、打設間隔によっては、地盤-杭系の力学挙動の一体性が異なることや、杭の先端支持力と周面摩擦力の分担割合が異なることが指摘されている。さらに、段野ら²⁾によると群杭効果によるパイルドラフト基礎の支持性能が変化するため、設計上の閾値の重要性も指摘されている。そこで、本研究では、鉛直に杭を打設した地盤挙動の変化や支持機構を検討する。3次元個別要素法(以下、DEM)を用いて、打設間隔に着目し、杭の引抜きと押込みにの数値実験を行った。

2. 解析の概要

本研究で用いた DEM モデルは、図-1 および表-1 に示すとおりであり、モデル境界においては、粒子間の力学表現と同様の物性を与えた。マイクロパイルは、セメントミルクと異形鉄筋のヤング係数比に応じた等価断面換算によって物性を設定した。また、本モデルでは、セメントミルクが周辺の間隙へ染み出して周辺粒子と杭が一体的に挙動することを意図した条件を設定した。具体的には、粒子の座標が設定した有効距離以内の場合に、杭-粒子間で見かけの粘着力を有効にする粘着力モデルを採用した。(図-1 における黄色の粒子)解析手順は、①杭に相当する空間を空けた状態で、無重力状態で粒子をランダムパッキングする、②粒子と杭モデルに重力を与え、平衡状態まで解析する、③粒子と杭に物性パラメータを設定する、④杭に荷重を載荷する、とした。解析ケースは、杭間隔を変化させて、杭頭が自由なケースと杭頭部を RC 床版でキャッピングしたケースに対して引抜き試験と押込み試験を行った。転がり摩擦係数や粘着力モデルに関するパラメータは、内部摩擦角との対応に基づき決定した。地盤を構成する粒子は、単一球形粒子とした。

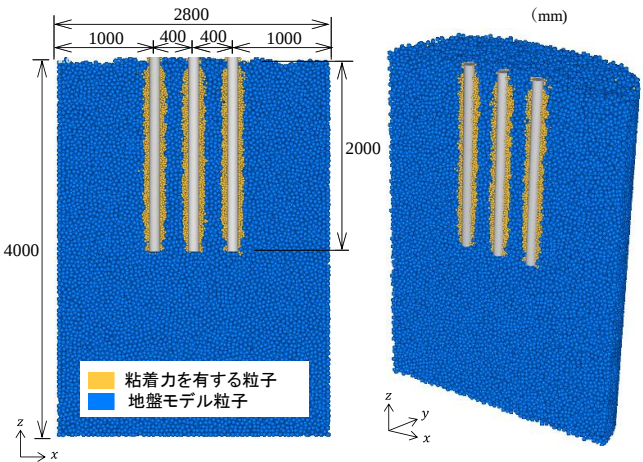


図-1 3次元DEMによる解析モデルの概要

表-1 解析パラメータ一覧

地盤			
粒子の単位体積重量	γ_{particle}	(kN/m ³)	27.7
転がり摩擦係数	r	(-)	0.35
内部摩擦角	φ	(°)	30.0
初期間隙比	e_{in}	(-)	0.30
単位体積重量	γ	(kN/m ³)	16.7
ヤング係数	E_{particle}	(N/m ²)	1.0×10^7
杭			
単位体積重量	γ_{pile}	(kN/m ³)	22.9
ヤング係数	E_{pile}	(N/m ²)	1.20×10^{11}
粘着力有効距離	δ_{adh}	(m)	0.01
粘着係数	f_{adh}	(-)	10

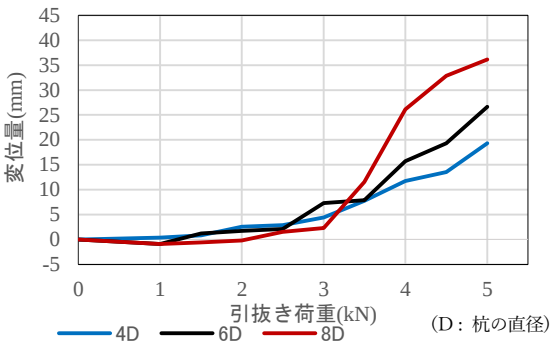


図-2 引抜き試験による杭頭鉛直変位量

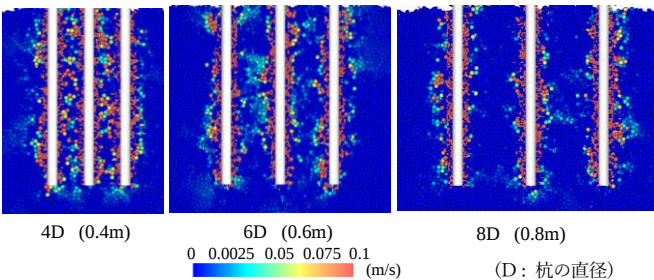


図-3 引抜き試験によるz方向の速度分布

Key Word：補強土工法，個別要素法，マイクロパイル

〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-06， 東北大学工学部 建築社会環境工学科 地盤工学分野

3. 解析結果および考察

図-2 に引抜き試験による杭頭鉛直変位量を示す。杭間隔に関わらず、荷重 3～3.5kN 付近で極限周面摩擦力に達し、急激に引抜かれている。その後の変位量はなだらかな増加傾向を示すが、引抜き抵抗が異なっている。また、図-3 に z 方向速度分布を示す。杭間隔が狭くなるほど、杭の引抜きによって杭間の土粒子も一体的に移動していることがわかる。一方、杭間隔 8D の時は、杭間の土粒子は移動しておらず単杭の引抜き挙動になることがわかる。

次に、図-4 に杭の押込み試験による杭頭鉛直変位量を示す。杭間隔に関わらず、1kN 付近から変位量が増加し始める。一方、4D、6D に対して、8D の最終的な変位量は約 1.5 倍となり、引抜きと同様に有意な差が見られる。

押込み荷重は周面摩擦力と先端支持力に分担されることから、杭間隔に応じた周面摩擦力の分担傾向より支持機構を検討する。図-4 から杭頭鉛直変位量の傾向が安定している 20mm の押込み荷重の分担比に着目した。図-5 に、中央杭における周面摩擦力と先端支持力の分担比を示す。杭間隔が疎になるほど、周面摩擦力の分担比が小さい。さらに、杭頭を厚さ 30 cm の RC 床版でキャッピングした杭の押し込みによる支持力の分担比を図-6 に示す。このケースでは、RC 床版への地盤の反力分担が生じる。図-5 と同様に周面摩擦力の分担比が大きい。以上の結果を踏まえると、支持力に対して周面摩擦力の分担が大きい場合、周面摩擦力を適切に評価する必要がある。

図-7 に杭頭をキャッピングしたモデルにおける法線方向の接触力分布 (G. L. -1m) 断面を示す。4D や 6D のケースにおいて、杭間の粒子にアーチのような分布が見られる。この杭間粒子のアーチ作用によって接触力が増加することで杭-粒子間の摩擦力がより発揮されたものと解釈できる。これは、図-6 において杭間隔が密になるほど、周面摩擦力の分担比が増加していることに対応していることがわかる。

4. まとめ

杭間隔に着目した支持機構について以下の事が明らかになった。

- 杭間隔には、支持機構として一体的に挙動するかどうかの閾値が存在する。本研究の事例では、6D 以下は群杭、8D 以上は単杭として挙動した。
- 鉛直に打設した杭の支持機構は、周面摩擦力の分担比が 7 割程度占めているため、設計においては周面摩擦力の評価が重要であると考えられる。

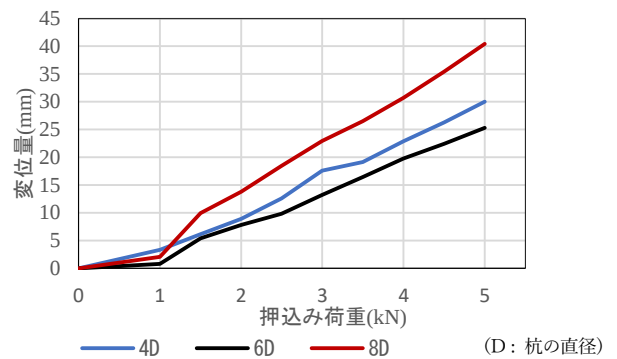


図-4 押込み試験による杭頭鉛直変位量

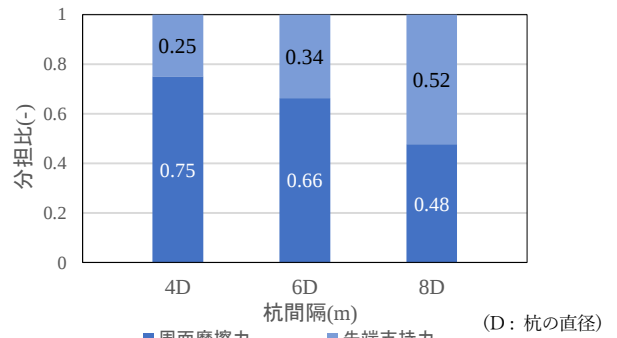


図-5 杭頭鉛直変位量 20mm における支持力に対する周面摩擦力と先端支持力の分担比（中央杭）

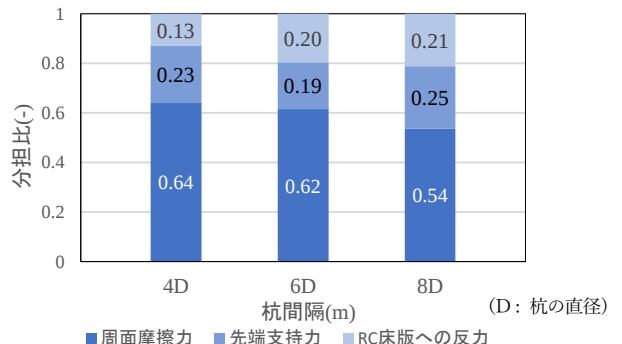


図-6 杭頭鉛直変位量 20mm における支持力に対する周面摩擦力と先端支持力、RC 床版の分担比（中央杭）

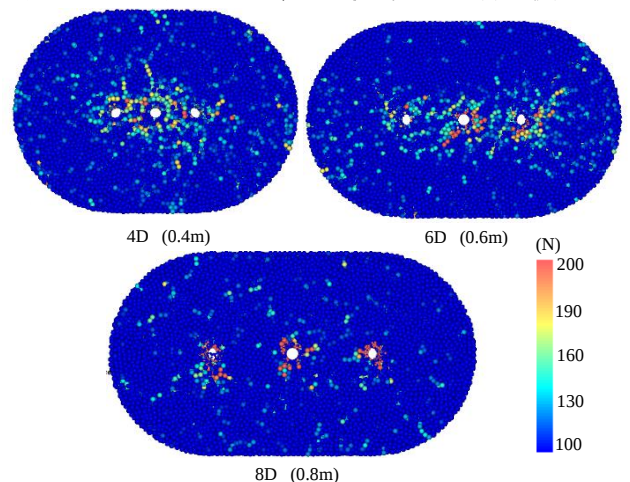


図-7 杭頭をキャッピングしたモデルにおける法線方向の接触力分布の断面図 (G. L. -1 m)

参考文献

- 1) 加村晃良, 風間基樹, 河井正, 金鍾官, 熊田哲規, 足田信晴, 小西成治 (2018): 縦打ち補強土工法を適用した実大試験盛土の力学挙動と補強効果. 地盤工学ジャーナル, 13 (4), 249-267.
- 2) 段野孝一郎, 磯部公一, 木村亮 (2008): 杭基礎の先端支持力および沈下量に対する群杭効果の考察. 地盤工学ジャーナル, 3 (1), 73-83.