

鋼管矢板基礎の鉛直支持力における中打ち杭の影響に関する遠心模型実験
Effect of Inner Piles on the Vertical Bearing Capacity of Steel Pipe Sheet Pile Foundations
 through geotechnical centrifuge tests

○加藤 龍一・澤村 康生
 ○Ryuichi KATO, Yasuo SAWAMURA

The steel pipe sheet pile (SPSP) foundation is a unique foundation type widely used for bridges in Japan. Due to Japan's frequent earthquakes, previous studies have mainly focused on the horizontal bearing capacity. However, the mechanism governing the vertical bearing capacity remains insufficiently understood, and the current design specifications rely bold, often empirical, assumptions. Therefore, establishing a rational evaluation method for vertical bearing capacity is an urgent necessity. We conducted 50G centrifugal model tests and gained important insights. The present design specifications, which assume an equivalent tip bearing capacity per unit area and use empirical formulas for skin friction, may overestimate the vertical capacity in dense pile arrangements. The results strongly emphasize the need to establish a rational design guideline that incorporates the pile group effect for accurate vertical bearing capacity evaluation.

1. はじめに

鋼管矢板基礎は橋梁基礎に多く用いられる日本独自の基礎形式であり、地震の多い日本の風土から主に水平耐力や継手機構についての研究が行われてきた。例えば¹⁾しかし、鉛直支持力機構については、未だに以下に示す問題を抱えている。

1. 内周面摩擦力を見込む領域は井筒の規模のみから決められるが、これは実験や計算により確かめられたものではない。
2. 先端支持力は単杭の先端支持力度に先端面積をかける形で算出され、群杭効果は考慮されていない。
3. 中打ち杭の打設密度の影響が考慮されていない。

設計指針²⁾は大胆な仮定に基づいており、鉛直支持力の合理的な評価は喫緊の課題である。

2. 実験手法

本研究では上述の設計上の不確実性を解消するため Fig.1 に示す実験土槽を用いて 50G 場での鉛直载荷試験を行った。本稿では中打ち杭の打設密度が全体および個々の支持力特性に与える影響を評価することを目的とした実験について述べる。鉛直支持力に及ぼす中打ち杭の効果と群杭効果の影響を明確にするため、以下の実験ケースを設定した。各ケースについて、中打ち杭の先端断面積

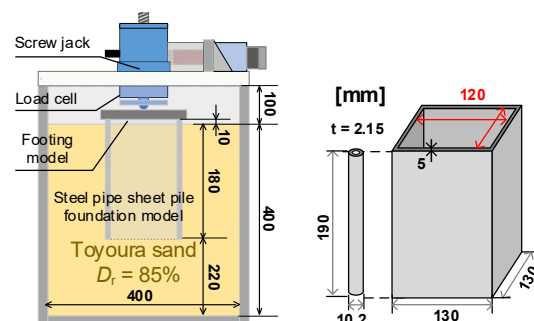


Fig.1 Machine set

Fig.2 Pile model and steel pipe sheet pile

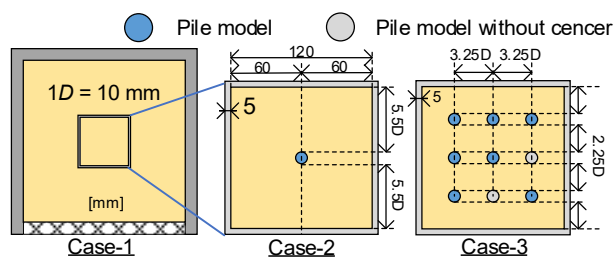


Fig.3 Pile layout for Case-2 and Case-3

を基準として算出した杭本数を併記している。

Fig.2 に実験模型を、Fig.3 にその配置を示す。

1. Case-1 (30.6 本) : 鋼管矢板のみ。鋼管矢板のみの支持力特性の基準とする。
2. Case-2 (31.6 本) : 中打ち杭を低密度に配置（鋼管矢板—中打ち杭中心間隔 $6.25 D$ ）し、中打ち杭の影響が比較的生じにくい状況を模擬する。
3. Case-3 (39.6 本) : 中打ち杭を高密度に配置

(鋼管矢板一中打ち杭間 3 D, 中打ち杭間 3.25 D) しており, 実際の施工 (杭中心間隔 2.5 D) に近い状態を模擬する。

また, 中打ち杭の挙動を評価する際の参考として, 単杭についての載荷も行った。

3. 実験結果

4 ケースの遠心模型実験の結果を Fig.4~7 に示す。Fig.4 は荷重変位関係 (左図) と鋼管杭 1 本あたりの荷重変位関係 (右図) である。Fig.5 に鋼管矢板部の支持力 (左図) と中打ち杭の支持力 (右図) を示す。中打ち杭により基礎全体の支持力が増加する効果は確認されたものの, 特に実際の施工に近い高密度打設 (Case-3) では, 鋼管矢板および中打ち杭 1 本あたりの支持力が低下していることが確認された。

Fig. 6 に鋼管杭 1 本あたりの先端支持力, Fig. 7 に鋼管矢板部および中打ち杭の支持力に占める周面摩擦力の割合を示す。先端支持力の差が比較的小さいことから, 中打ち杭の支持力の低下 (Fig. 5 右図) は主に周面摩擦力の顕著な減少に起因していると考えられ, Case-2 の中打ち杭の周面摩擦力では単杭の周面摩擦力の 5 割程度, Case-3 の中打ち杭では単杭の 4 割程度にとどまった。設計指針においては, 中打ち杭の周面摩擦力は先端から鋼管矢板井筒の短辺長の範囲のみ見込むこととして

いる¹⁾が, この実験結果は実験条件から見込まれる周面摩擦力を大きく下回る。さらに Case-3 では先端支持力においても単杭の先端支持力から約 3 割減少の減少が見られた。(Fig.6) この支持力低下は, 中打ち杭が近接したことによる群杭効果によって引き起こされたと考えられる。

4. まとめ

一連の実験結果から, 特に実際の施工に近い中打ち杭の打設密度では先端支持力が大きく減少し, 周面摩擦力が設計上の影響面積の増加に反して減少する結果が得られた。現在の設計指針²⁾が仮定する, 単位先端面積あたりの先端支持力は単杭と同等, すなわち群杭効果を見捨てるという前提や周面摩擦力の算定方法が実際の支持機構と大きく乖離している可能性を示唆しており, 群杭効果等を考慮した合理的な設計指針の必要性が強く示唆される。

- 1) Peng, J. and Miyazaki, Y.: Experimental study on unique interactions in steel pipe sheet piles under lateral load: joint, pipe, and soil, *Acta Geotechnica*, 2025. <https://doi.org/10.1007/s11440-025-02536-8>
- 2) 公益社団法人 日本道路協会：道路橋示方書・同解説IV 下部構造編, 2017

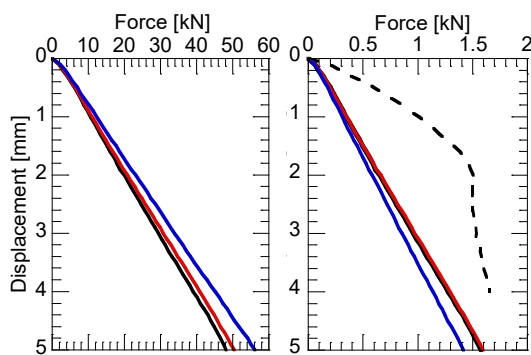


Fig.4 Load-displacement relationship (left) and load-displacement relationship per pile (right)

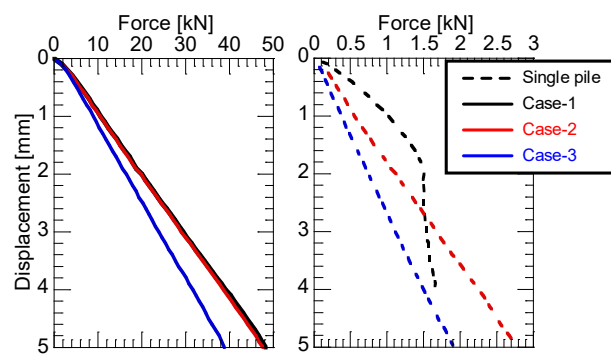


Fig.5 Bearing capacity of steel pipe sheet piles (left) and bearing capacity of internal pile (right)

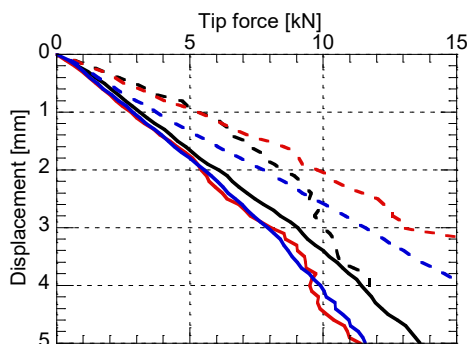


Fig.6 Tip load per pile for steel pipe sheet pile and internal pile

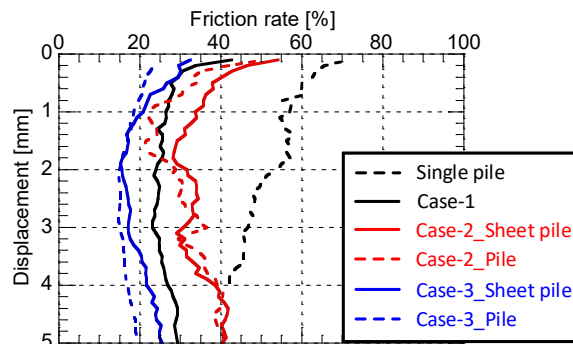


Fig.7 Percentage of lateral friction force