

網状鉄筋挿入工の設置条件の違いが鉛直耐荷性能に与える影響に関する実験的検討

立命館大学大学院理工学研究科 ○細江勇介・鈴木大愛
立命館大学理工学部 藤本将光・里深好文・原田紹臣
ヒロセ補強土株式会社 小西成治・芦田智至

1. はじめに

日本は山地が国土の大部分を占めており、豪雨時には土砂災害が発生しやすい地形条件を有している。このため、斜面安定化技術の高度化は重要な課題である。

特に、近年では施工性・経済性・環境性に優れた鉄筋を地盤内に挿入する地山補強土工法が広く用いられている。その一つである網状鉄筋挿入工法（ルートパイル工法）は、地盤と補強材を一体化させることで高い補強効果を発揮するが、設計指針が十分に確立されていないという課題がある。

本研究では、杭の挿入形態、打設形態、杭間隔に着目し、鉛直荷重条件下における補強効果の違いを室内模型実験により検討した。

2. 実験概要

本研究では、室内土槽（幅 250mm×奥行 370mm×高さ 200mm）を用いた模型実験を実施した。地盤材料には含水比 10%の真砂土を使用した。モデル杭は直径 4mm、地中長 100mm とし、以下の条件を組み合わせた 24 ケースと杭を打設しないケースをあわせた全 25 ケースの実験を行った(図-1, 図-2, 表-1)。

- 挿入形態：Type1 (90°), Type2 (片側 90°, 片側 70°), Type3 (両側 70°)
- 打設形態：平行型, 千鳥型
- 杭間隔：4d, 6d, 8d, 10d (d: 杭直径)

鉛直荷重試験機により荷重を付加し、荷重および鉛直変位を計測した。

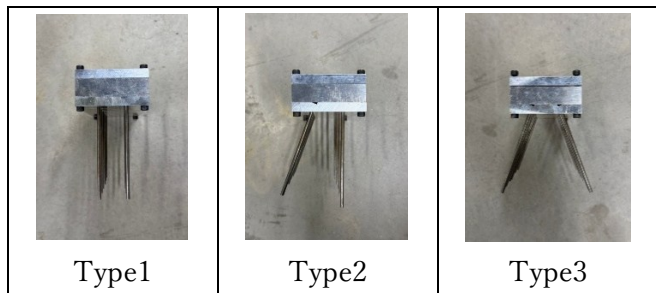


図-1 杭の挿入形態

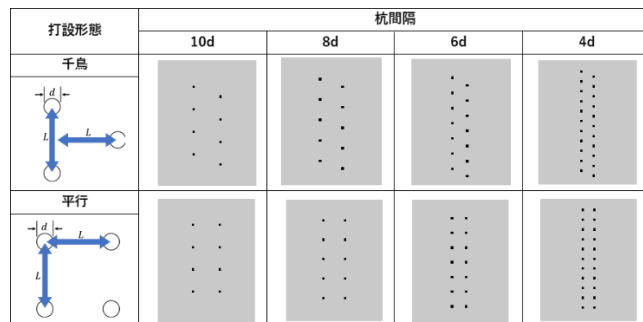


図-2 杭の打設形態と杭間隔

表-1 実験ケース

	実験条件				実験条件		
	挿入形態	打設形態	杭間隔		挿入形態	打設形態	杭間隔
①	Type1	平行	10d	⑬	Type1	平行	6d
②	Type1	千鳥	10d	⑭	Type1	千鳥	6d
③	Type2	平行	10d	⑮	Type2	平行	6d
④	Type2	千鳥	10d	⑯	Type2	千鳥	6d
⑤	Type3	平行	10d	⑰	Type3	平行	6d
⑥	Type3	千鳥	10d	⑱	Type3	千鳥	6d
⑦	Type1	平行	8d	⑲	Type1	平行	4d
⑧	Type1	千鳥	8d	⑳	Type1	千鳥	4d
⑨	Type2	平行	8d	㉑	Type2	平行	4d
⑩	Type2	千鳥	8d	㉒	Type2	千鳥	4d
⑪	Type3	平行	8d	㉓	Type3	平行	4d
⑫	Type3	千鳥	8d	㉔	Type3	千鳥	4d
				㉕			杭なし

3. 実験結果および考察

3.1 実験結果

ケース①～㉕の最大荷重と最大変位を図-3 に示す。

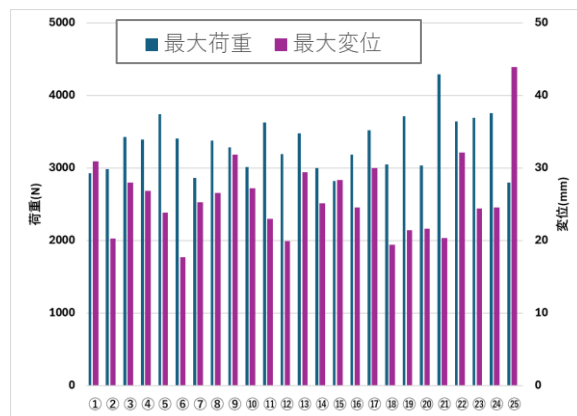


図-3 鉛直荷重と変位の実験結果

ケース㉕の杭なしの場合の最大荷重は 2799N, 最大

変位は 44mm であった。杭のあるケース①～④の平均の最大荷重 3350N、最大変位 25mm に対し、杭なしのケース⑤の最大荷重は約 84%、最大変位は約 1.76 倍であった。

3.2 挿入形態の影響

杭の挿入形態による違いを確認するために、図-1 の Type ごとに分類し、最大荷重と最大変位の平均値の比較を行った(図-4)。最大荷重の平均値は、Type3>Type2>Type1>杭なしの順となり、Type3 が最も高い補強効果を発揮した。これは杭の傾斜により群杭下部の拘束領域(最低面部)が拡大し、土塊が一体化して抵抗力が増加したためと考えられる。一方、最大変位は杭なし>Type2>Type1>Type3 となり、Type3 が最も変化を抑制した。

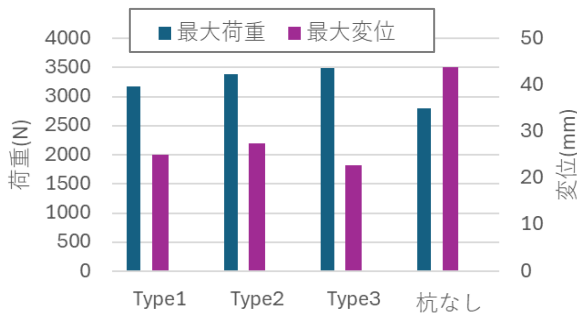


図-4 平均値の比較 (挿入形態)

3.3 打設形態の影響

杭の打設形態による違いを確認するために、平行型、千鳥型に分類し、最大荷重と最大変位の平均値の比較を行った(図-5)。最大荷重の平均値は、平行型>千鳥型>杭なしとなった。この要因として、平行型では杭が正対に配置されていることで、杭列間の地盤が強く拘束されているのに対し、千鳥型では杭が互い違いに配置されるため、地盤全体としての一体的な拘束領域が形成されにくいことが考えられる。

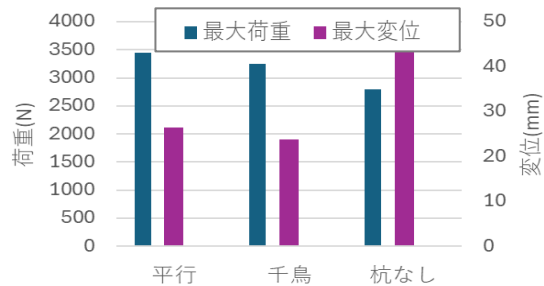


図-5 平均値の比較 (打設形態)

3.4 杭間隔の影響

杭間隔による違いを確認するために、杭間隔ごとに分類し、最大荷重と最大変位の平均値の比較を行った(図-6)。最大荷重の平均値は、4d>10d>8d>6d>杭なしとなり、4d が最も高い補強効果を発揮した。杭間隔が 10d, 8d, 6d の条件では、杭群としての一体的な挙動が十分に発現しておらず、杭間隔を狭めることによって杭打設時の地盤の乱れや応力集中の影響が顕在化したことが考えられる。一方、杭間隔が 4d の条件では、杭間隔が十分狭くなり、杭間の土が強く拘束されることで最大荷重が大きくなったと考えられる。

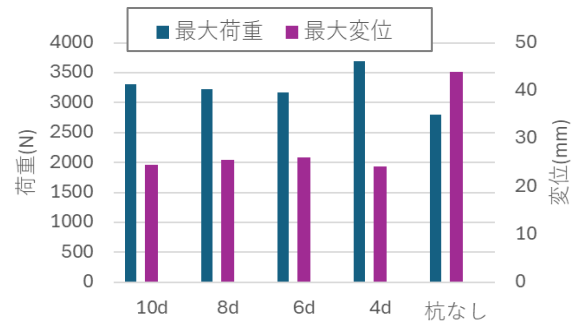


図-6 平均値の比較 (杭間隔)

4. 結論

本研究では、網状鉄筋挿入工法における杭の挿入形態、打設形態および杭間隔が補強効果に与える影響について室内実験により検討した。その結果、挿入形態は Type3、打設形態は平行型、杭間隔は 4d の条件において高い補強効果を発揮することが示唆された。また、杭を設置することで支持力が向上し、本工法の有効性が確認された。

一方で、本実験は人力による载荷や模型条件で実施しているため、再現性やスケール効果に課題が残る。今後は载荷条件の精度向上に加え、実施工条件を考慮した検討や多様な地盤条件での検証を行う必要がある。

5. 参考文献

- ・ヒロセ補強土株式会社 HP：EP ルートパイル/EP ルートパイルとは？ 2026 年 4 月。(<https://www.hirosehokyoedo.com/guide/eprootpole.html>)