

網状鉄筋挿入工（E. P. ルートパイル工）の高度化に関する基礎的な研究

○藤本 将光, 原田 紹臣, 深川 良一（立命館大学理工学部）
奥田 悠太（清水建設株式会社）
小西 成治, 疋田 信晴（ヒロセ株式会社）

1. はじめに

これまで、山間部において地山の掘削および盛土工事を伴う多くの道路が建設されてきた。その際、用地や施工上の制約より、一般的なアンカー工、鉄筋による斜面安定化や補強土工による盛土の安定化等により対策が講じられてきた。これらの鉄筋補強による地山の安定化については、これまで多くの研究が報告^{例え、¹⁾}されており、施工実績も多い。特に、鉄筋を用いた地山や盛土の安定化（補強）において、膨張性グラウトの活用により地山との密着性を高めた網状鉄筋挿入工法（E.P. ルートパイル工法、以降“ルートパイル工”）は、施工性や作業サイクルの短縮化より、今後の更なる現場への採用が期待される²⁾。

ルートパイル工は欧州（イタリア）で提案されて国内に導入されて以降、本工法の機能や効果について実験により議論されてきた³⁾。また、近年に発生した地震（例えば、2016年 熊本地震）において、耐震性能についても確認されている。一方、圧縮補強として用いる網状的に配置された群杭として効果が期待されるルートパイル工は、一般的な斜面安定化における鉄筋挿入工と比べて、合理化や更なる高度化（例えば、土質条件を考慮した杭間隔や杭設置角度など）が望まれる。また、現在の設計手法⁴⁾においては、地盤強度（内部摩擦角や粘着力）以外の土質条件（例えば、粒度特性）については考慮されておらず、併せて土質条件の違いが鉄筋による網状的に配置された群杭効果⁵⁾に与える影響に関して、更なる理解が必要であると考えられる。

本研究では、ルートパイル工の設計等における更なる高度化を図るため、まず、室内実験により杭間隔や杭設置角度、土質条件の違いが補強効果に与える影響について把握することを目的とする。なお、本稿では初期実験として実施した水平力による補強効果について報告する。

2. 水平力に対する網状鉄筋挿入工の補強効果

杭間隔や杭の設置角度の違いが網状鉄筋挿入工の群杭としての地山補強効果（水平力）に与える影響について把握するために実施する室内荷重載荷実験の概要を以降に示す。

2.1. 実験条件

本実験で用いた実験装置の概要を図-1 に示し、図-1 に示されるとおり、水槽内に土砂（ $W=250\text{mm}$, $L=370\text{mm}$, $H=220\text{mm}$ ）を敷き詰めて、その土層内に鉄製で作成された供試体（杭および杭頭：フェーシング）を配置している。地盤内の杭（鉄棒）の径および長さは $\phi=6\text{mm}$, $l_4=100\text{mm}$ とし、杭の設置角 θ_1 はそれぞれ変化させている（ $\theta_1=70, 90, 110$ 度）。なお、本検討では簡単のため、地盤内の杭と土砂との密着性については期待しない場合を想定し、鉄棒の表面は粗度等の加工はしないで、そのままの状態で使用している。また、杭の配置については、単杭と群杭の違いや杭間隔の違いが補強効果に与える影響について把握するため、図-2 に示す平面配置（ $l_1=20$, $l_2=40\text{mm}$ ）でそれぞれ比較している。そして、図-1 および図-2 に示されるとおり、配置された供試体の側部から一定の力で水平荷重 P を載荷し、限界状態（最大抵抗力 f ）までにおける荷重の変化に

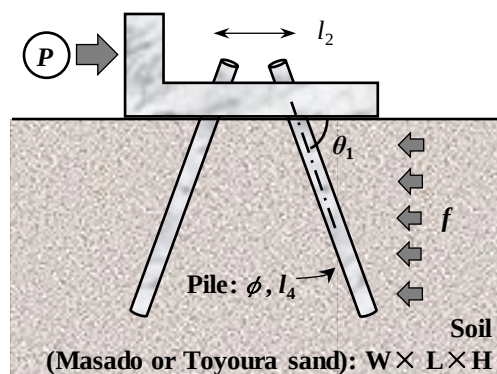


図-1 実験に用いた実験装置の概要

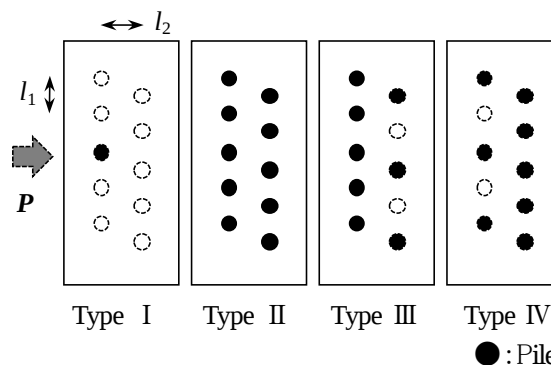


図-2 杭頭（フェーシング部）における各杭平面配置の概要

ついて、荷重計により連続的に計測している。使用する土砂については、信楽産真砂土および標準豊浦砂の2種とし、それぞれ土質強度が最も期待できる条件（表-1）で水槽内に締め固めている。なお、一面せん断試験結果によると、各土砂の最大せん断応力については傾向的に殆ど差が確認されておらず、最大の垂直応力においてのみ、真砂土の結果の一部がバラツキに伴って高いせん断応力が確認された。

表-1 土質条件

	Masado	Toyoura sand
Water content (%)	10	15
Dry density (g/cm ³)	1.60	1.54
Wet density (g/cm ³)	1.72	1.77

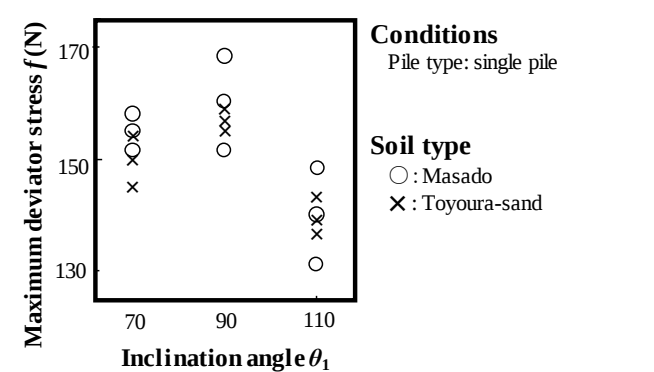


図-3 単杭配置における杭設置角の違いが最大抵抗力に与える影響

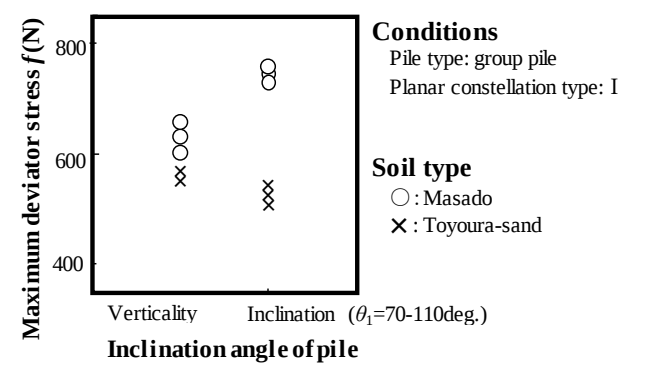


図-4 群杭配置における杭設置角の違いが最大抵抗力に与える影響

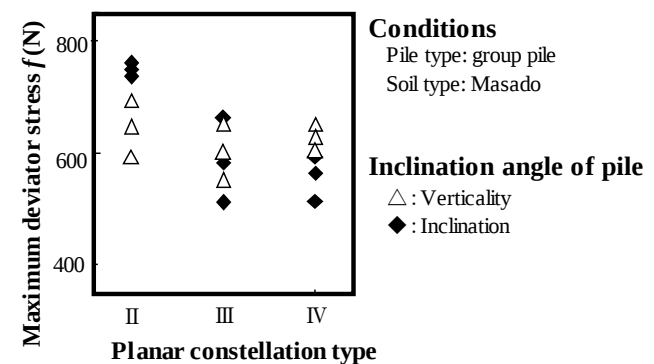


図-5 群杭配置における杭間隔の違いが最大抵抗力に与える影響

2.2. 実験結果

単杭における杭の設置角度や土質の違いと最大抵抗力との関係に関する実験結果について図-3に示す。図-3に示されるとおり、垂直および荷重反対方向（ $\theta_1=90, 70$ 度）に傾斜させた場合には殆ど違いが確認されなかった（約5%程度）。ただし、荷重方向に傾斜させた場合（ $\theta_1=110$ 度）においては、補強効果の一部が低下した（約15%程度）。この要因としては、供試体（フェーシング部）が水平荷重および杭部の抵抗により発生する転倒モーメント（フェーシング部底面における地盤からの反発力）の違いによるものと考えられる。なお、土質の違いによる補強効果の影響に関して、一般的に知られている粒度分布の違いが実験結果に与える影響⁶⁾を受け、真砂土の結果において一部バラツキが確認されたが、顕著な土質の違いによる影響は確認されなかった。

群杭における杭の設置角度や土質の違いと最大抵抗力との関係に関する実験結果について図-4に示す。図-4に示されるとおり、単杭の傾向とは異なり、真砂土の補強効果（最大抵抗力）が豊浦砂と比較して顕著に向上していることが確認された。なお、群杭の場合においては、面的に地盤からの抵抗力を受けることができるため、一面せん断試験から得られている真砂土のバラツキ内での最大せん断応力の影響を受けたものと考えられる。なお、杭間隔（図-2）や土質の違いと最大抵抗力との関係を図-5に示す。図-5にも示されるとおり、真砂土での荷重方向前後に傾斜（ $\theta_1=70-110$ 度）させて密に配置した場合においては、垂直応力に比べて補強効果が高くなることが確認された。なお、土質条件の違いにより、補強効果や地盤内での破壊機構が異なることが確認されたため、今後、更なる検討が望まれる。

参考文献

- 龍岡文夫・三木五三郎・松尾恵一・児玉秀文：鉄筋により補強された砂地盤の支持力特性Ⅰ，東京大学生産研究，Vol. 33-10，pp.21-24，1981.
- 三木五三郎・坂下五男・児玉秀文：網状ルートパイル（R.R.P）工法の日本における実施例，土と基礎，Vol. 31-9，pp.35-40，1983.
- Lizzi, F. : Root Piles as soil reinforcement for foundation problems, *Ecole Nationale des Ponts et Chausses*, p.15, 1991.
- ヒロセ株式会社：ERP 工法設計マニュアル（案），2005.
- 富沢孝一・森康夫・菊池実：群杭効果に関する水平載荷試験結果，寒地土木研究所，Vol.A-11，pp.73-80，1984.
- 風間基樹・加賀屋俊和・柳澤栄司：まさ土の液状化抵抗の特殊性，土木学会論文集，Vol. 645／III33-50，pp.153-166，2000.