

令和 3 年 5 月 5 日現在

機関番号：14301

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2019～2020

課題番号：19K23535

研究課題名(和文) 柔な壁面における土圧と補強材引抜き抵抗力のつり合いの実験的解明

研究課題名(英文) Experimental study on equilibrium of earth pressure acting on segmental wall facing and resistance force of reinforcement

研究代表者

宮崎 祐輔 (Miyazaki, Yuusuke)

京都大学・工学研究科・助教

研究者番号：10847320

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,200,000円

研究成果の概要(和文)：多分割壁面を有する補強土壁の一要素に着目して、その引き抜き過程における壁面土圧について、計測困難な水平土圧ではなく鉛直土圧の問題に置換して解明することを目的とした。本研究は遠心力載荷装置を用いた模型実験により実施し、降下床上に乾燥豊浦砂で作製された模型地盤を作製し、さらに、降下床に補強材を敷設した。降下過程における降下床の鉛直土圧分布を調べた結果、補強材が敷設された場合、降下過程において、補強材を敷設しない場合と比べて地盤内のゆるみ領域の進展を抑制し、ある引き抜き変位量までは、降下床に一定の鉛直土圧を伝達しつづけることを確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の学術的意義は、補強土壁を構成する補強材および壁面材の一要素に対して、壁面材の引き抜き変位量に応じて作用する壁面土圧分布の変化を捉えたことにある。本実験結果は、多分割壁面を有する補強土壁全体系の壁面土圧について、変位レベルに応じた土圧分布を解明する一助となる。また本実験成果は、経験的に設計された既設構造物の変形性状から構造物の力学的な健全度を評価する際、壁面材の引き抜き変位量に応じて、補強材が設計時点で期待した力学的役割を発揮しているか否かを判断する際に役立てる可能性がある。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study was to clarify the earth pressure acting the wall facing under its pulling-out stage in reinforced soil wall by replacing the issue of the lateral earth pressure which is difficult to measure with the issue of the vertical earth pressure. The present study was conducted by centrifugal experiments. The lowering panel method attached with the reinforcer was applied to this study. The model ground was made by compacted dry toyoura sand. As a result, the reinforcer prevented expansion of the ground loosening zone compared with that in the test case without reinforcer. Additionally, under lowering stage, the vertical pressure acting on the lowering panel attached with reinforcer remained constant until a certain pulling-out displacement of lowering panel although test case without reinforcer exhibited brittle increase of the vertical earth pressure.

研究分野：地盤工学

キーワード：遠心模型実験 補強材の引抜き試験 壁面土圧 補強材周りの土圧 降下床装置 帯鋼補強土壁 静的載荷試験

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

### 1. 研究開始当初の背景

補強土壁とは、盛土内に敷設した補強材の引抜き抵抗力と、壁面材に作用する土圧とのつり合いにより鉛直な勾配を有する盛土を構築する工法である<sup>1)</sup>。本工法は必要な用地が狭く済むため、経済性に優れる。また、東北地方太平洋沖地震の被災調査<sup>2)</sup>により、その耐震性の高さが知られている。しかし、補強土壁の原理である、壁面土圧と補強材抵抗力のつり合いは未解明な部分が多く、設計では仮想的なつり合いを考慮している(図1)。

剛体壁面の変形挙動と作用土圧の関係は実験的に解明されているが、柔な変形挙動と作用土圧の関係、補強材と壁面土圧の関係が未解明なため、両者の力学的つり合いは正確に解明されていない。山口<sup>3)</sup>は、剛体壁面の変位により背面に生じる地盤のひずみが不均一となるため、壁面の変位挙動と壁面土圧が相関することを指摘している(図2)。剛体壁面は線形な変形挙動を示すが、多分割型壁面は非線形な変形挙動を示すため、その壁面土圧を計測的に解明することが困難である。さらに、補強材の引抜き抵抗力は僅かに壁面が変形することで発現する。この実態に基づくつり合いが不明瞭なため、力学状態を適切に評価できない。

こうした背景の中、「柔に壁面が変形する時、壁面土圧と補強材の引抜き抵抗力はどのように釣り合っているのか」ということは、多分割壁面を有する補強土壁の補強メカニズムを理解するために重要な基礎課題といえる。この問題を、本研究では、計測困難な水平土圧ではなく鉛直土圧の問題に置換してこれを解く。その手法として降下床実験を用いる。本手法はトンネル土圧の問題<sup>4)</sup>に用いられ、乾燥砂を箱に詰め底版の一部を降下させる実験手法である。本研究は、補強土壁の局所的な変形を、鉛直方向の変位に見立てて、作用土圧を測定し易くし、補強材抵抗力と壁面土圧の関係を解明しようとするものである。

### 2. 研究の目的

本研究の目的は、補強材の引抜き変位量に応じた補強材の引抜き抵抗力と壁面土圧の関係を、計測が困難な水平土圧の問題を鉛直土圧の問題に置き換えて、補強土壁の一要素に着目することで実験的に解明することである。

### 3. 研究の方法

#### (1) 実験機構

本研究において、終局状態に至るまでの単一の分割壁面モデルにおける補強材の引抜き抵抗力と壁面土圧の関係を明らかにする。図3に実験の概念と機構を示す。図に示すように、補強土壁の局所的な変形に着目し、壁面土圧と補強材引抜き抵抗力の関係を鉛直方向に置換する。分割壁面一要素のみを移動床とし、鉛直下向きに移動させることで、補強材の引抜きを模擬した。

#### (2) 実験条件

図4に実験模型の概略図を示す。本実験は、実構造物の自重応力状態を考慮するため遠心場において実施し、その際、模型地盤は粘着力や粒径の影響が少ない理想的な条件とした。実験には、

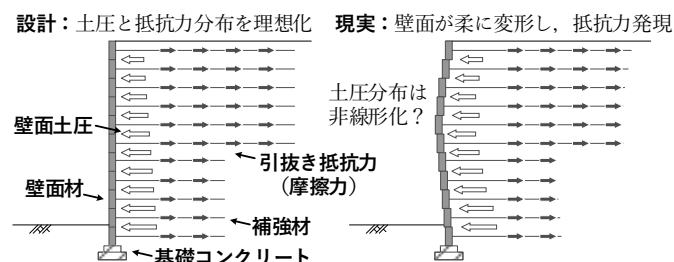


図1 補強土壁の概要<sup>1)</sup>: 設計ではつり合いを単純化

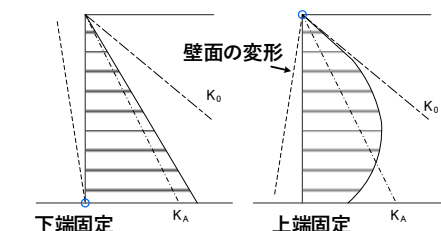


図2 壁面挙動と土圧分布形状<sup>3)</sup>

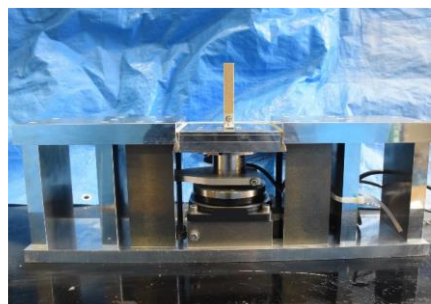
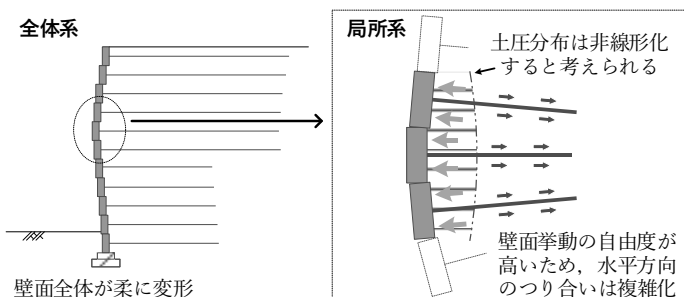


図3 実験の概念と機構: 水平から鉛直方向のつり合いに置換し、降下床によりモデル化

京都大学防災研究所所有の遠心力载荷装置を用いた。地盤材料には粒径変化の小さい乾燥豊浦砂を用いる。模型地盤は、気中落下法により相対密度 80%の密な地盤とした。補強材については、所定の大きさにカットしたアルミ製ブロック周面に、両面テープを介して、乾燥豊浦砂を付着させることで作製した。これにより、周辺地盤と補強材の周りの摩擦力を期待した。実験では、図に示すように、中央の壁面材のみ降下する。そのため、中央の壁面材と両側の壁面材の間に、互いにテフロンシート面が接触するようにした。また、壁面材の正面と背面には、砂漏れ防止のためのスポンジテープを貼付した。その、スポンジテープの表面には、摩擦を軽減するよう、さらに、テフロンシートを貼付した。補強材の引抜き変位速度は、周辺地盤に急激な変形をもたらさないよう、2 mm/min とした。

### (3) 計測項目と実験ケース

計測項目は、中央の壁面材における 4 点の鉛直土圧および両側の架台における鉛直土圧 2 点、ジャッキに備わるロードセルにより計測される引抜き抵抗荷重である。実験ケースは補強材の敷設の有無により 2 ケースとした。

## 4. 研究成果

### (1) 補強材引抜き時における荷重変位関係

実験ケースは、補強材を敷設したケースを Case-1 とし、補強材を敷設しないケースを Case-2 とした。図 5 に、遠心加速度 50 G 到達後における、補強材の引抜き過程における荷重変位関係を示す。図中縦軸の荷重値は、降下床に備わるロードセルにより計測し、ケースごとの最大荷重により正規化した値である。横軸の変位量は、降下床の板厚 300 mm により、引抜き変位量を正規化した値である。図より、いずれのケースも引抜き過程において初期値から減少してピークを迎え、転じて、増大する挙動を示した。Case-1 のピークは、やや Case-2 より遅れた。この理由は、Case-1 において敷設された補強材が摩擦抵抗を發揮し、Case-2 より引抜き抵抗メカニズムが複雑化し、荷重変位関係のピークが Case-2 よりなだらかになったためと考えられる。

### (2) 地盤のゆるみ状態と初期応力の関係

写真 2 に、実験前後の模型の状態を示す。Case-1 と Case-2 の地盤内のゆるみ領域の違いを調べるため、図 6 に示す通り、Case-1 の実験後の画像を基準に Case-2 の画像と比較して、画像解析ソフト Geo-PIV<sup>9)</sup>により、偏差ひずみを算出した。図より、Case-1 では、全体的に Case-2 より小さな偏差ひずみが小さくなる傾向を示し、画像中心から 135° 方向で偏差ひずみの偏りが生じたことがわかる。Case-2 は、地盤内のゆるみ領域がアーチ状に展開した。ケース間で共通して、初

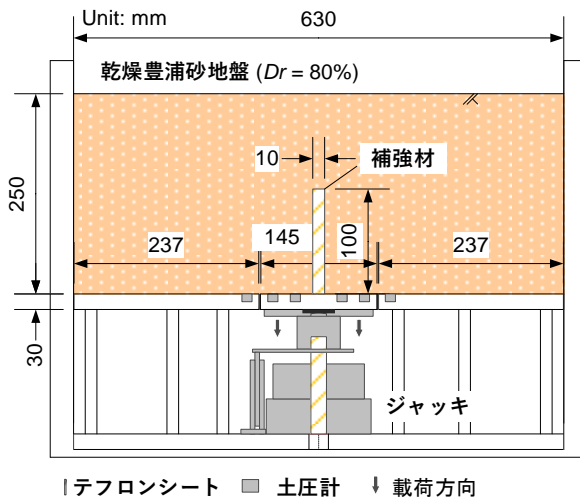


図 4 実験模型の概略図

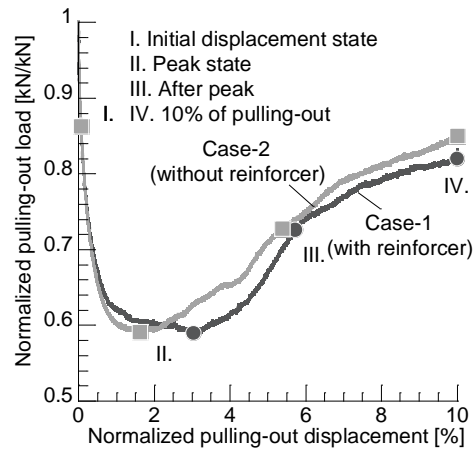


図 5 荷重変位関係

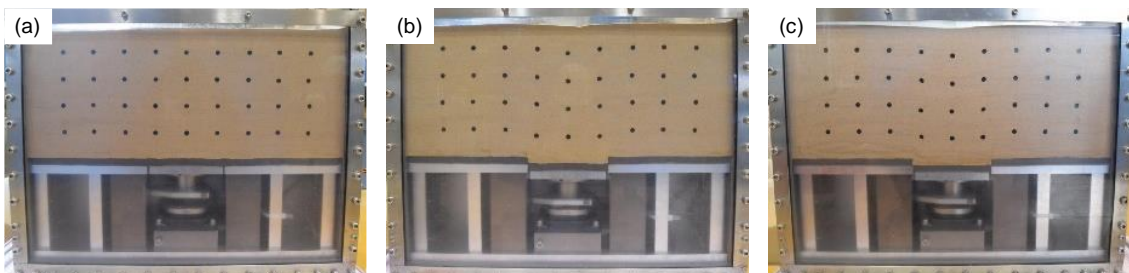


写真 2 : (a) 模型の完成状態, (b) Case-1 実験後, (c) Case-2 実験後

期の鉛直土圧が中央で小さくなる傾向を示す。Case-1 では、鉛直土圧が図中左側で大きくなり、偏差ひずみの傾向と一致する。Case-2 では、概ね図中左右で対象な鉛直土圧分布となった。また、補強材がある場合と比べて、中央の鉛直土圧とそれ以外の土圧の差が大きい。このように、画像解析により確認した地盤内のゆるみ領域と、鉛直土圧分布の関係の傾向が良く一致した。

### (3) 補強材の引抜き変位量と鉛直土圧分布の関係

図 8 に、降下床の移動過程における鉛直土圧の推移を示す。図中の I.~IV.は、図 5 と対応し、I. 初期変位状態、II. 荷重変位関係におけるピーク状態、III. ピーク後、IV. 10%変位時、となる。ケース間で共通して、降下床の移動過程において降下床でない領域の鉛直土圧が増大した。Case-1 では、ステージ I.~III.まで、補強材周辺の鉛直土圧の増減は、50 G 到達時の初期値と比較して、補強材近傍では一定であり、それより離れた位置では減少する傾向を示した。ステージ IV.では、補強材近傍は増加に転じた。Case-2 では、Case-1 と異なり、50 G 到達時の初期値と比較して、ステージ I.~IV.で同様の増減傾向を示し、その傾向が変化することはなかった。

これは、補強材がない場合、地盤のゆるみ領域の拡大に伴い、ゆるみ領域の土圧が、そのまま、降下床に伝達するためと考えられ、既往の降下床実験の傾向と一致する<sup>4)</sup>。一方で、補強材が敷設された場合、地盤内のゆるみ領域の進展を抑制し、あるゆるみ領域までは、補強材とその近傍地盤が一体的に挙動し、降下床に一定の土圧を伝達しつづけたためと考えられる。この現象が生じる壁面の鉛直変位量の閾値が存在するが、地盤のゆるみ領域は降下床の幅と補強材の寸法とも相関することが推察される。そのため、これを確認するためには、遠心場において引抜き過程における地盤内のゆるみ領域、偏差ひずみの大きさ、鉛直土圧分布の推移を、降下床の幅および補強材の長さの関係からより詳細に調べる必要があり、今後の課題である。

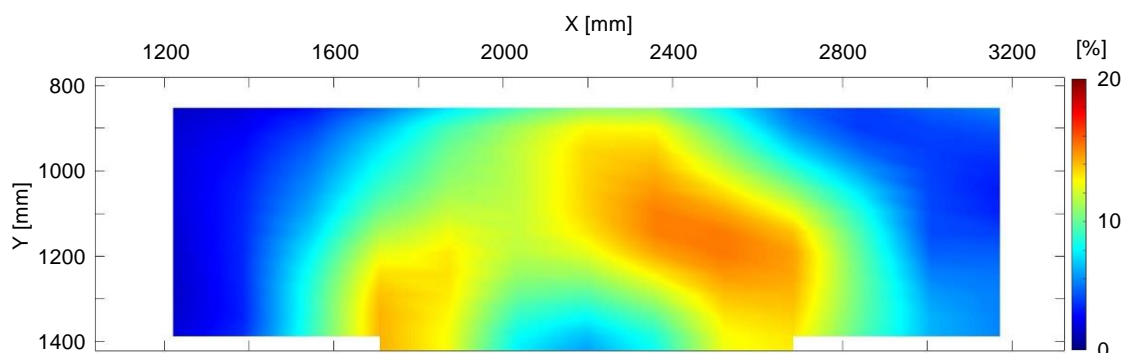


図 6 偏差ひずみ分布：Case-1 の実験後（写真 2 (b)）から Case-2（写真 2 (c)）の実験後の状態を比較。Case-1 では偏差ひずみの偏りが画像中心から 135° 方向で大きく、Case-2 では地盤内のゆるみ領域がアーチ状に展開した。

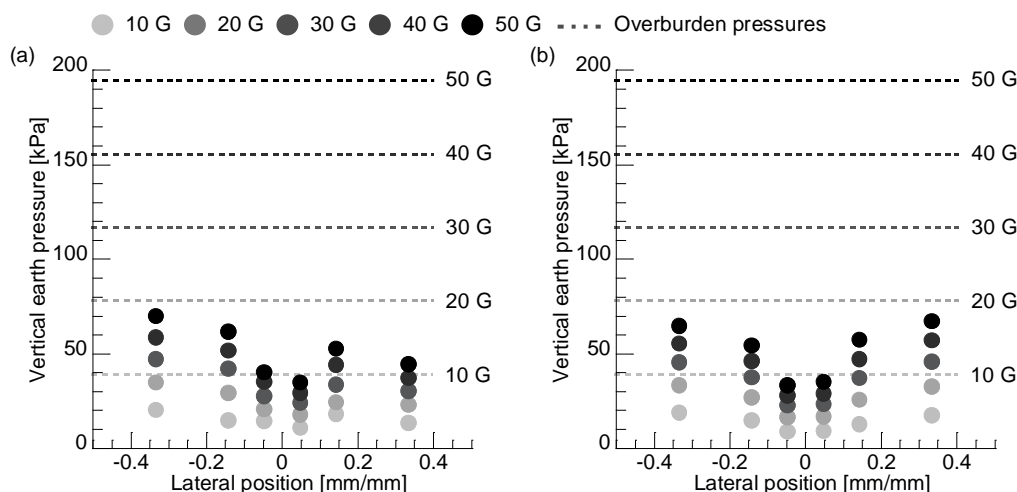


図 7 遠心力の増大に伴う初期鉛直土圧の形成過程：ケース間で共通して、初期の鉛直土圧が中央で小さくなる傾向を示す。(a) Case-1 では、鉛直土圧が図中左側で大きくなり、偏差ひずみの傾向と一致する。(b) Case-2 では、概ね図中左右で対象な鉛直土圧分布となった。また、補強材がある場合と比べて、中央の鉛直土圧とそれ以外の土圧の差が大きい。

<引用文献>

- 1) 一般財団法人 土木研究センター:補強土 (テールアルメ) 壁工法設計・施工マニュアル 第4回改訂版, 2014.
- 2) Kuwano et al.: Performance of reinforced soil walls during the 2011 Tohoku earthquake, Geosynthetics International, 2014.
- 3) 山口 柏樹:土質力学 (講義と演習), 技報堂出版, 1984.
- 4) 村山, 松岡:砂質土中のトンネル土圧に関する基礎的研究, 土木学会論文報告集, 1971.
- 5) Stanier et al.: Improved image-based deformation measurement for geotechnical applications, Canadian Geotechnical Journal, Vol.53, No.5, pp.727-739, 2016.

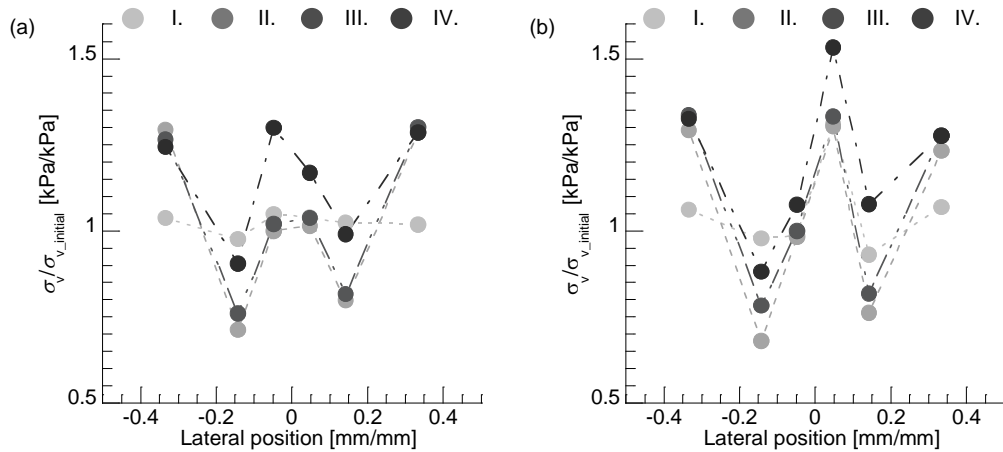


図8 降下床の移動過程における鉛直土圧の推移 (図中の I ~ IV.は, 図5 と対応 ): ケース間で共通して, 降下床の移動過程において降下床でない領域の鉛直土圧が増大した. (a) Case-1 では, ステージ I. ~ III.まで, 補強材周辺の鉛直土圧の増減は, 50 G 到達時の初期値と比較して, 補強材近傍では一定であり, それより離れた位置では減少する傾向を示した. ステージ IV.では, 補強材近傍は増加に転じた. (b) Case-2 では, Case-1 と異なり, 50 G 到達時の初期値と比較して, ステージ I. ~ IV.で同様の増減傾向を示し, その傾向が変化することはなかった.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 宮崎祐輔
2. 発表標題 補強材の引抜き変位量と剛な分割壁面に作用する鉛直土圧に着目した遠心模型実験
3. 学会等名 令和2年度全国大会 第75回年次学術講演会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------