土との相互作用を考慮した繰り返し応力下におけるジオグリッドの累積変位に関する検討

Characterizing the Accumulated Displacement of Geogrid under the Cyclic Pullout Loading Considering the Interaction with Soil

飯澤 神音

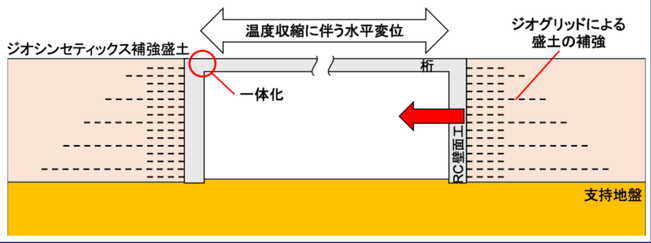
(2024年度 卒業論文概要)

東京大学　工学部　社会基盤学科　土質・地盤研究室

研究の背景

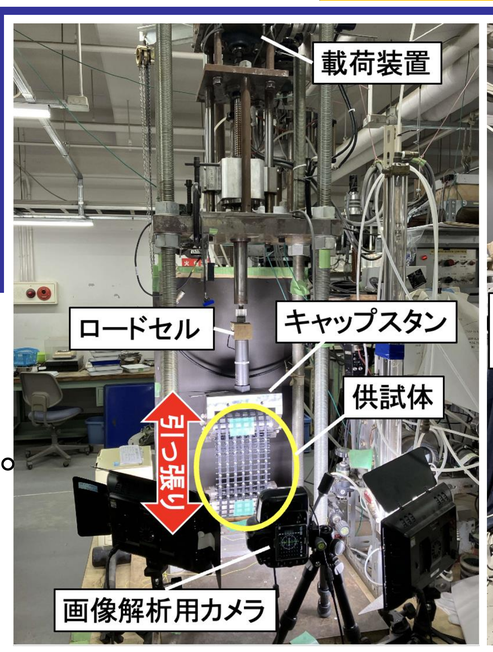
ジオシンセティックス補強土(GRS)構造物は、優れた耐震性から**鉄道構造物を中心に広く普及**しているが、その適用範囲は徐々に広がり、2016年に開業した北海道新幹線では**GRS一体橋梁**が初めて実供用された。このGRS一体橋梁(右下図)は桁と壁面工が一体化し、背面盛土がGRSで補強されている橋梁で、構造・地盤工学的に有利である一方、**桁の温度収縮**が背面盛土に直接伝わるため、繰り返し応力下におけるジオグリッドの挙動についての知見が求められる。繰り返し応力下のジオグリッドでは引き抜き変位が累積していくこと、特にジオグリッドの剛性が低いとその傾向が顕著であることがすでに分かっているが、その原因は明らかにはされていない。

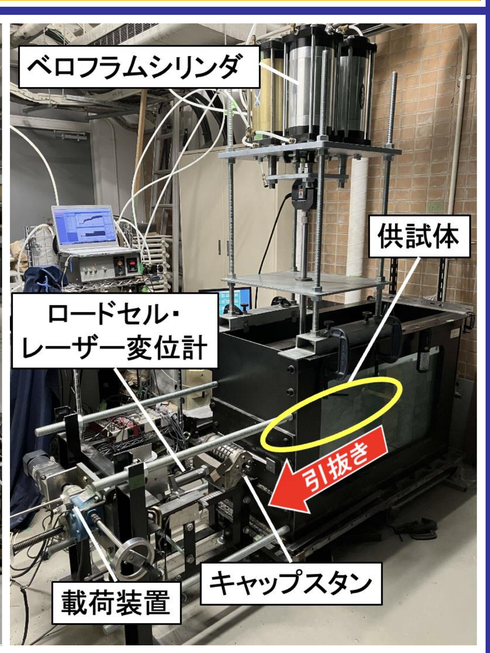
本研究では、剛性の異なる2種類のジオグリッドに対して**気中引張試験**及び**土中引抜試験**を行い、繰り返し応力下におけるジオグリッドの変位の累積性について調べた。



←東日本大震災で被害を受けたハイペ沢橋梁の復旧で採用されたGRS一体橋梁

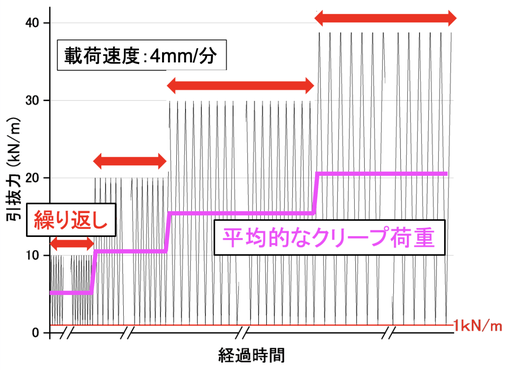
試験の様子→
(気中引張試験(左)と土中引抜試験(右))





実験方法

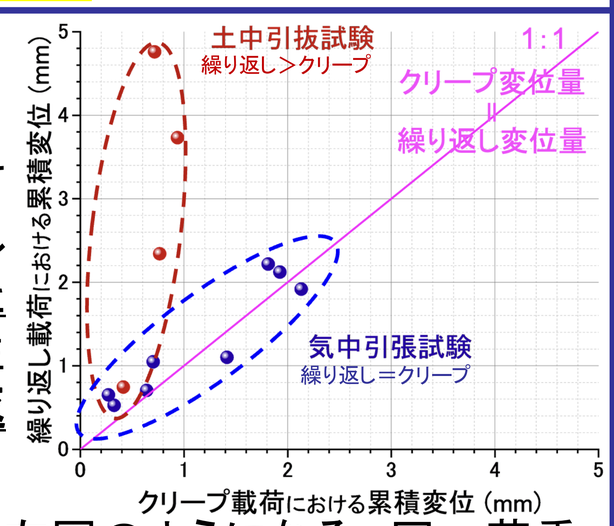
気中引張試験では、写真左のような装置を用いて試験を行なった。ジオグリッドに対して鉛直に引張応力を作用させ、画像解析によりひずみを計測した。また土中引抜試験では、模型地盤に供試体を埋設し、上から一定の上載圧を作用させた上で引抜応力を作用させた。このとき作用する**引張力の到達深さ**を測定するため、供試体にはひずみゲージを複数取り付けている。

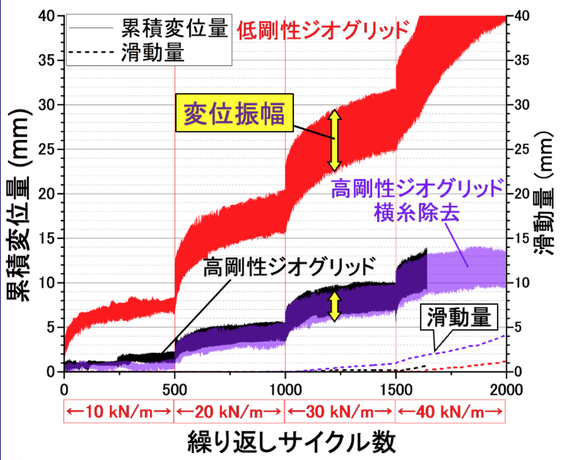


気中引張試験と土中引抜試験の両方で、同等の載荷パターンによる試験を行なった。繰り返し載荷試験では、500サイクルごとに段階的に荷重レベルを上げていった。クリープ載荷では繰り返し載荷の結果と比較するため、繰り返し載荷でかかったのと同じ時間だけその間平均的にかかっていた荷重を作用させ続けることにより行なった。繰り返し土中引抜試験では**高剛性ジオグリッド**、横糸部材を4分の3に除去した**高剛性ジオグリッド(横糸除去)**、**低剛性ジオグリッド**の3ケースで行い、気中試験やクリープ試験は高剛性・低剛性で各1ケースずつ行なった。

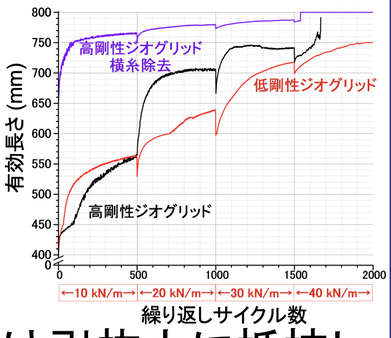
結果と考察

繰り返し載荷及びクリープ載荷のいずれにおいても、変位の累積が見られた。それらを比較すると右図のようになる。気中引張試験では2つの載荷パターンで発生した累積変位量がほぼ等しいことから、**気中の繰り返し載荷で発生した変位の累積は**、同一時間、平均的に作用していた引張力による**クリープ現象に起因**していると言える。一方、土中においては繰り返し載荷で発生した累積変位量がクリープ載荷で発生した累積変位量を大きく上回っているため、**土中の繰り返し載荷で発生した変位の累積は土とジオグリッドとの相互作用に由来**していると言える。

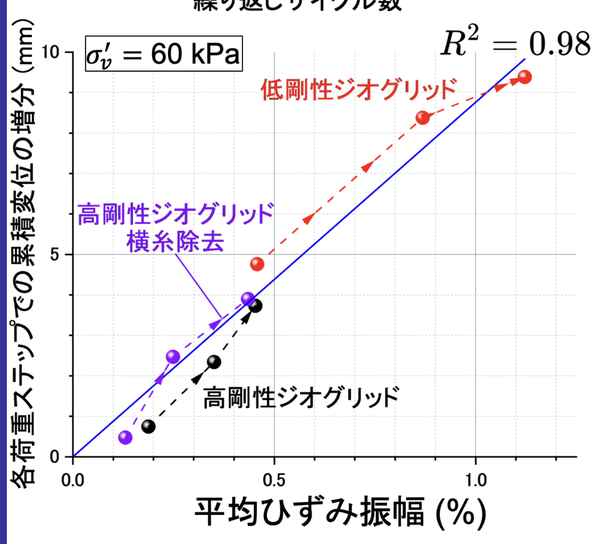




土中での繰り返し載荷試験で発生した累積変位量及び滑動量は左図のようになる。同一荷重レベルで比較すると、**剛性の低いジオグリッドの方が累積変位量が大きい**ことがわかる。横糸を除去し形状を変化させた場合では、累積変位はあまり変化しない一方で、ジオグリッド全体が滑動しやすくなっていた。また、載荷時と除荷時の変位量の差である**変位振幅**についても、同じく**剛性が低いほど大きい**ことが分かる。



繰り返し載荷中のジオグリッドでは、引張力の到達深さも変化している。載荷点での引抜力の5%以上の引張力が作用している部分の長さを有効長さと定義すると、有効長さの変化は右図のようになる。繰り返し載荷に伴う**有効長さの変化**の仕方は**ジオグリッドの剛性・形状によって異なる**ことが分かる。



平均ひずみ振幅＝変位振幅/有効長さ として定義すると、平均ひずみ振幅は引抜力に抵抗している部分のジオグリッドが平均的にどれだけ伸縮しているかを示す。この平均ひずみ振幅と変位の累積性との関係は左図のようになり、ほぼ一直線上に位置することが分かった。

繰り返し応力下における変位の累積性は、ジオグリッドの剛性・形状によらず平均ひずみ振幅とほぼ線形に相関していることが分かった。そのため、実務設計において繰り返し荷重における変位の累積を抑えるためには、**強度が同じであっても剛性の高いジオグリッドを適用**し、**平均ひずみ振幅を小さくする**ことが重要であると言える。

今後、ジオグリッドの変位が累積する**メカニズム**を詳細に検討する予定である。

Characterizing pullout stiffness of geogrid considering the interaction with soil

(土との相互作用を考慮したジオグリッドの引抜剛性に関する検討)

東京大学 THE UNIVERSITY OF TOKYO

Kameri Charan

(Outline of Doctoral Thesis, March 2024)

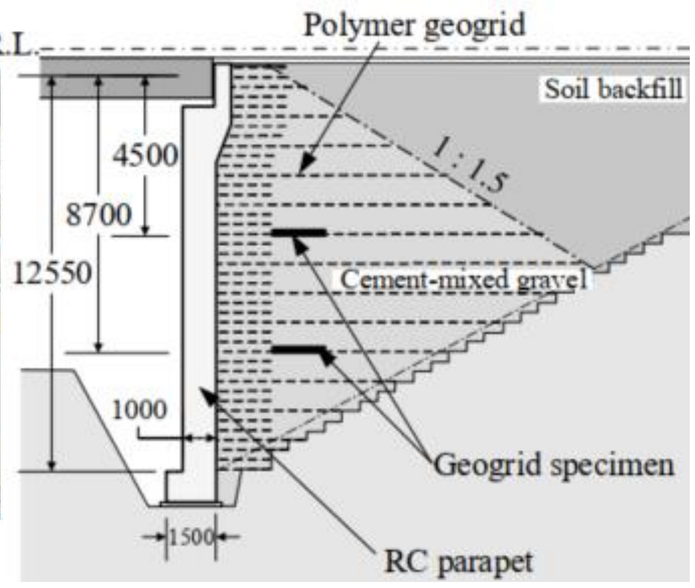
Department of Civil Engineering, The University of Tokyo, Japan

THE UNIVERSITY OF TOKYO GEOTECHNICAL ENGINEERING LAB.

Research Introduction

In the Geosynthetic reinforced soil structures (GRS structures) design, the in-isolation stiffness (*E*) is used rather than the actual stiffness, which is pullout stiffness (*J*). considering the soil's contribution. This is due to the complexity of understanding the characteristics of pullout stiffness (*J*). compared to the in-isolation stiffness (*E*). Which causes the underestimation.

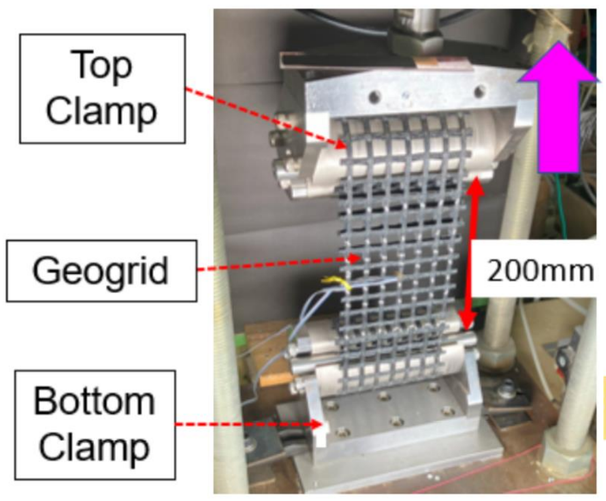
GRS Integral Bridge at Genshu for Kyushu Shinkansen, 2018

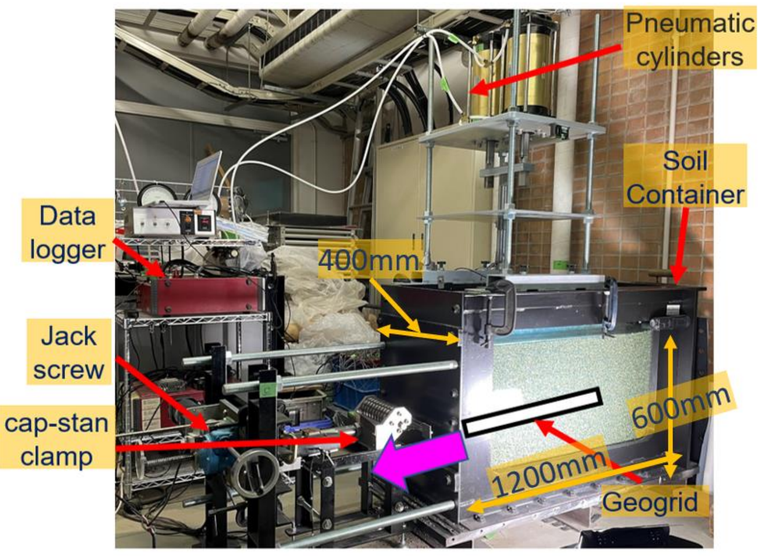


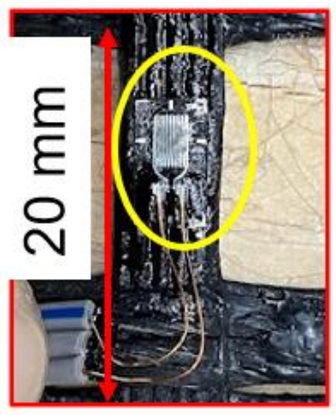
GRS bridge abutment

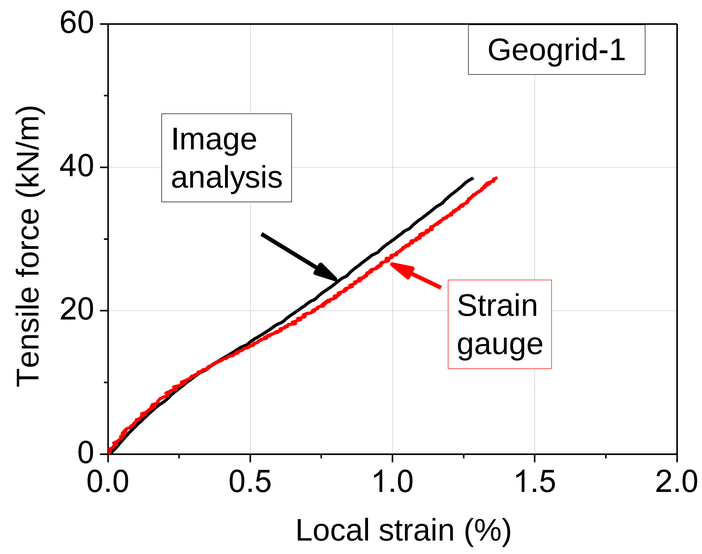
Testing apparatus and methodology

To understand the characteristics of the pullout stiffness, the in-isolation experiments and pullout experiments were performed at a similar displacement rate and similar loading path. The technique with the strain gauge was developed to understand the interface in detail.





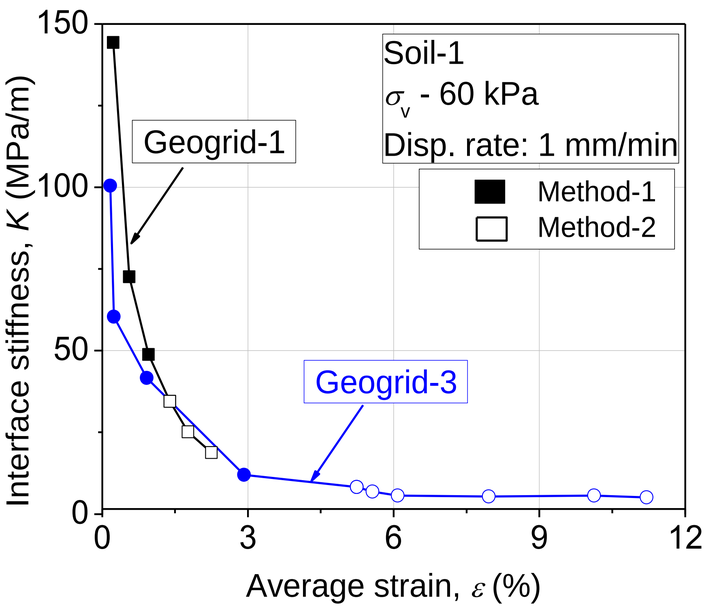




Characteristics of interface stiffness (*K*)

- The ***K*** was successfully evaluated in a novel way using tensile force distribution data and Tatusoka's model.

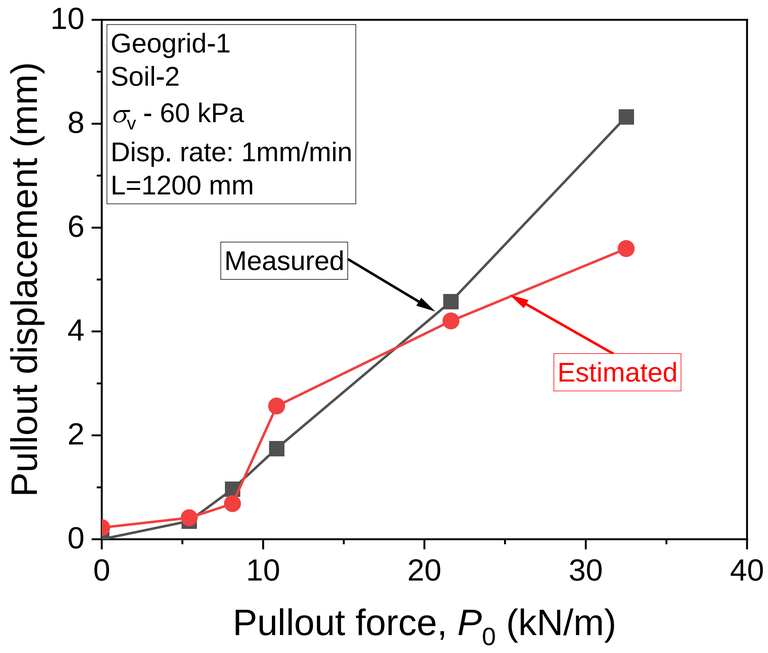
$$J = \frac{P_0}{s_0} = \sqrt{K \cdot E} \cdot \frac{[\exp(2L/\alpha) - 1]}{[\exp(2L/\alpha) + 1]}$$



- ✓ The soil confinement positively influenced pullout stiffness. This is due to the surrounding soil, which generates interface shear stiffness.
- ✓ The evaluated ***K*** exhibited a decreasing trend with strain. ***K*** rapidly decreases at small strains and becomes an almost unique line.

Pullout displacement prediction

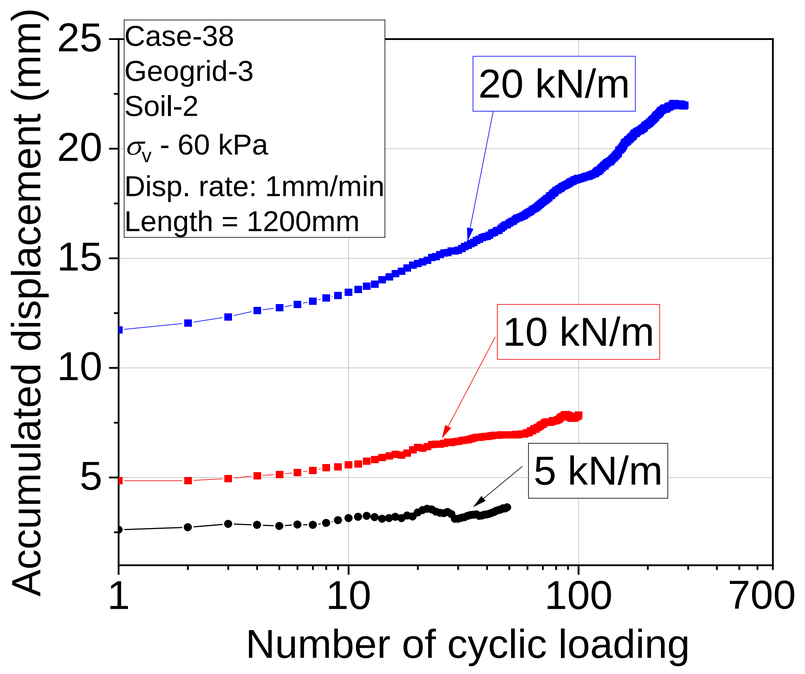
- The pullout displacement prediction model was developed based on the theoretical model and the experimental results.



- ✓ The ***J*** is significantly high at the small strains since ***E*** and ***K*** are both high at the small strains. However, at large strains, ***J*** shows the residual behaviour as ***K*** decreases to the residual stage, and only ***E*** may influence ***J***

Influence of cyclic loading

- To address the response of the Japanese GRS integral bridge for the seasonal temperature variations, the pullout tests were conducted under cyclic loading.



- ✓ Under the influence of cyclic loading, the geogrid in the air doesn't show the displacement accumulation as it shows while inserted in the soil.
- ✓ The accumulated displacements are high in the softer geogrid; therefore, a stiffer geogrid with suitable soils is recommended for GRS structures.

ジオシンセティックス補強土擁壁の鉛直繰り返し載荷に対する変形特性に関する研究

Deformation characteristics of Geosynthetic-Reinforced Soil Wall under Vertical Cyclic Loading

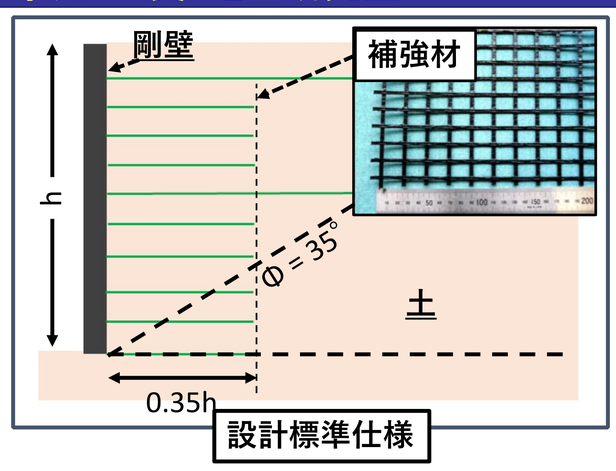
宇高　亘
（2021年度 修士論文概要）
東京大学大学院工学系研究科社会基盤専攻　土質・地盤研究室

背景

補強土擁壁に関する研究が本格化したのは約30年前。現在の設計指針は経験的あるいは実証実験に基づき定められており、大地震による許容変形量が小さい構造物 (鉄道等) への適用を目標に開発された。

現在の状況

要求性能・施工条件が多様化。(例：L2地震動が作用しない条件、良質ではない土の適用など)



設計標準仕様

剛壁面を有する補強土擁壁
施工件数推移

多様化する要求性能・ニーズに応じた**合理的な設計・施工法**を確立するため，

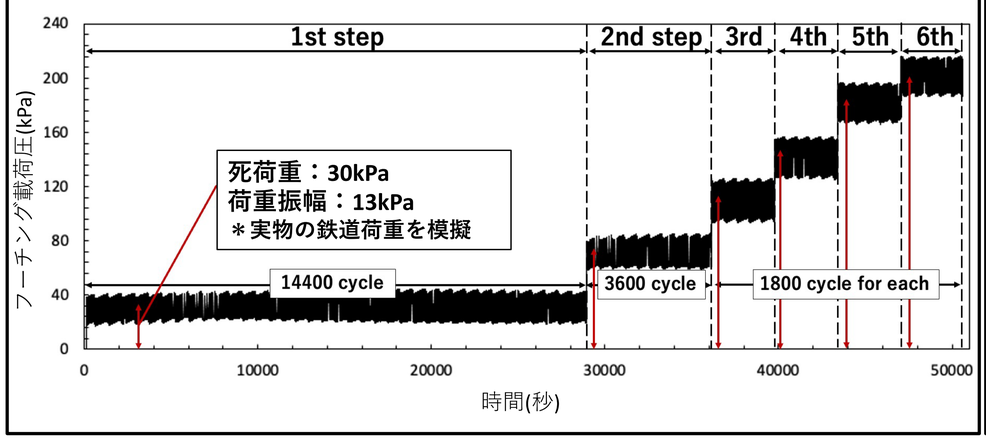
補強土擁壁の安定性，変形性能を再評価

実験概要

1/6スケールの模型鉛直繰り返し載荷実験を15ケース実施。

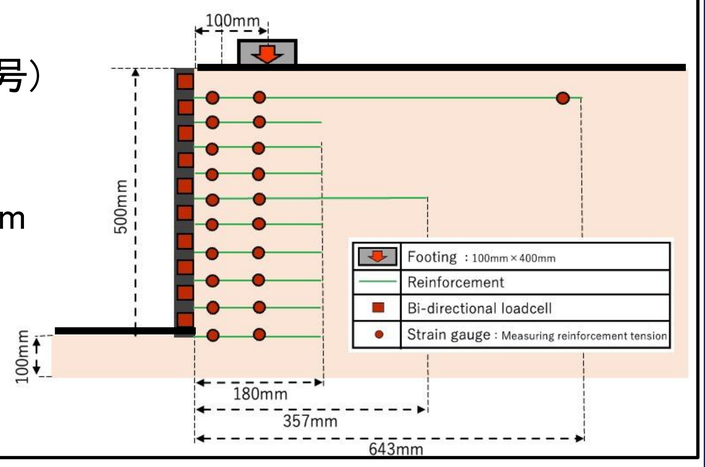
擁壁における直応力・せん断応力、補強材における引張力、擁壁・フーチング変位を計測。

鉛直繰り返し載荷波形

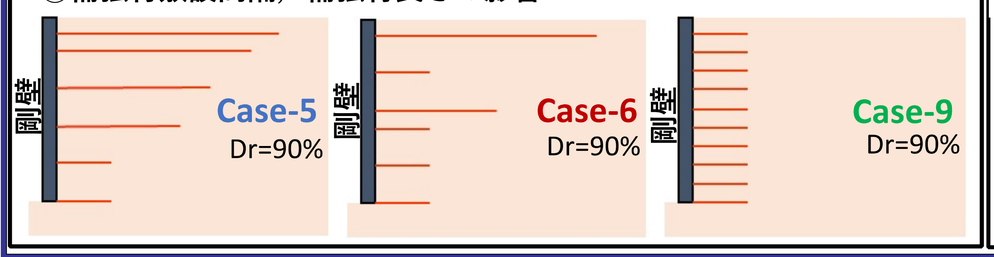


基準ケース(鉄道標準仕様)：Case-4

①地盤模型(乾燥珪砂7号)
：相対密度90%
②載荷位置
：擁壁から50mm～150mm
③総載荷時間
：14時間
④総載荷回数
：25200 回

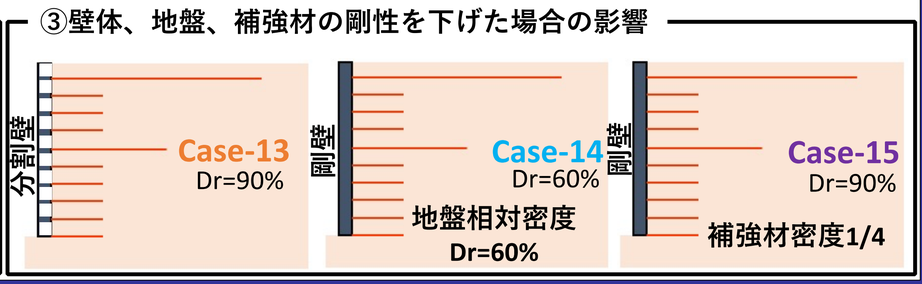


①補強材敷設間隔，補強材長さの影響



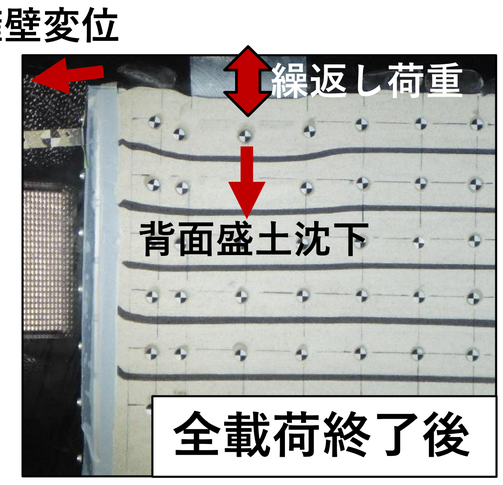
②壁体の固定度の影響

③壁体、地盤、補強材の剛性を下げた場合の影響



実験結果

擁壁変位



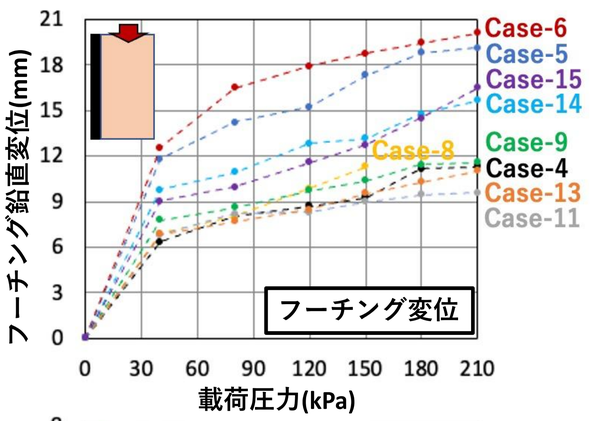
繰り返し載荷による地盤の変形

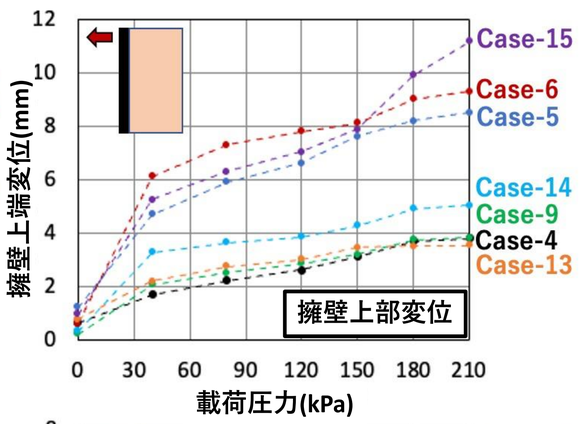
全ケースの傾向
擁壁変位が小さい時、土圧合力、補強材張力が大。

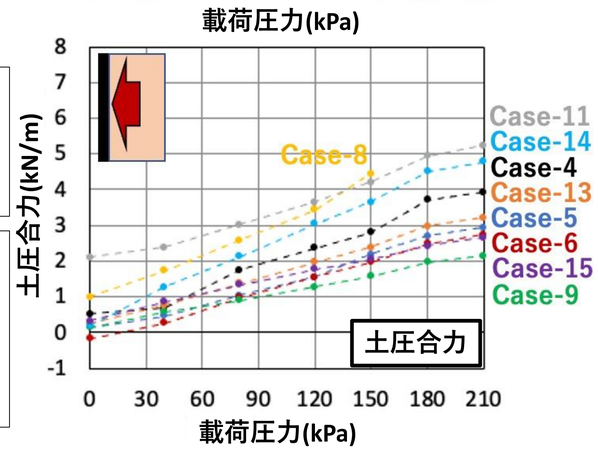
鉛直繰り返し載荷の結果、Case4が最も高い性能を示した。
しかし、振動実験ではCase5が最も高い性能を発揮。

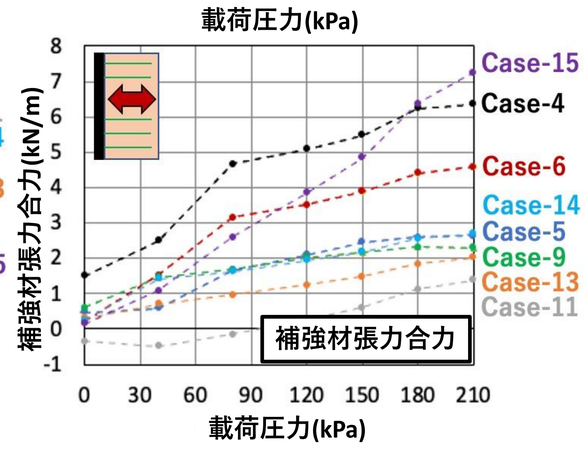
フーチング鉛直変位増加傾向
補強材の敷設間隔、総長さに依存しており、標準仕様補強材配置が最も高い性能。

補強材の効果
Case-8よりもCase-4の方がフーチング変位小。補強材張力が有効に発揮された事で、補強領域全体の拘束圧が高まったと解釈。

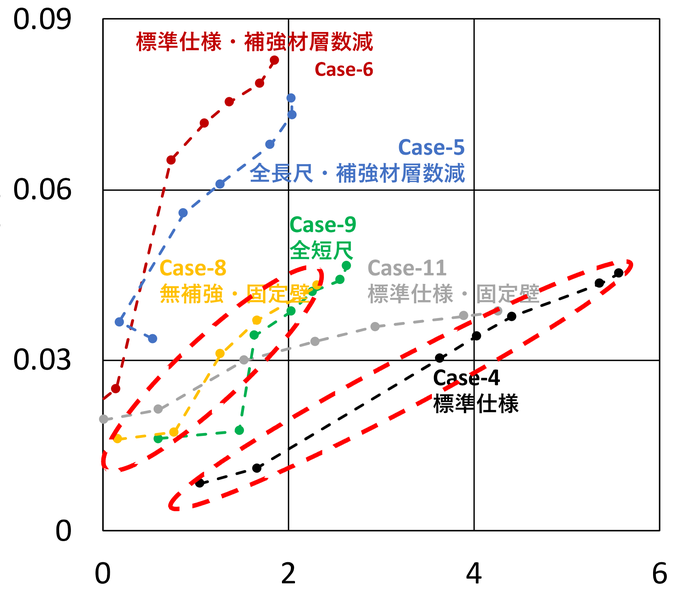








拘束圧～鉛直ひずみ関係



なお，拘束圧(kN/m)=土圧合力+補強材張力合力
鉛直ひずみ=フーチング鉛直沈下量/225mmである
＊225mmは画像解析結果より算出

全ケースで共通し、高い拘束圧を示した場合、鉛直ひずみは小さい値を取る事を確認。

結論

- **鉛直支持性能**は土圧・補強材張力によって補強土体**影響範囲**に作用する**拘束圧**が大きな影響を及ぼしている。
- **長尺補強材**が耐震性能(外的安定)性能向上に寄与しており、**載荷点近傍の補強材敷設層数**が鉛直支持特性に寄与している。
- 本研究結果より構造の合理化を提案可。(例：**L2地震動**が作用しない場合、長尺補強材減，壁体の簡素化が可能)