

令和5年度

長岡技術科学大学環境社会基盤工学課程

課題研究論文要旨

地盤材料の引張強度の評価方法に関する研究

環境防災研究室	原澤	由展
指導教員	福元	豊
	大塚	悟

# 第1章 序論

## 1.1 研究背景・目的

近年，地震等の自然災害が激甚化しており，その被害や対策が大きな社会問題となっている現状である．以下の図-1のように，地盤材料は，地震や風化に伴って亀裂が発生することがあり，図のように，土壌のひび割れが進展すると，透水係数が大幅に増加し，水の浸透が促進されるため，廃棄物封じ込め構造物の破壊につながる．<sup>1)</sup>

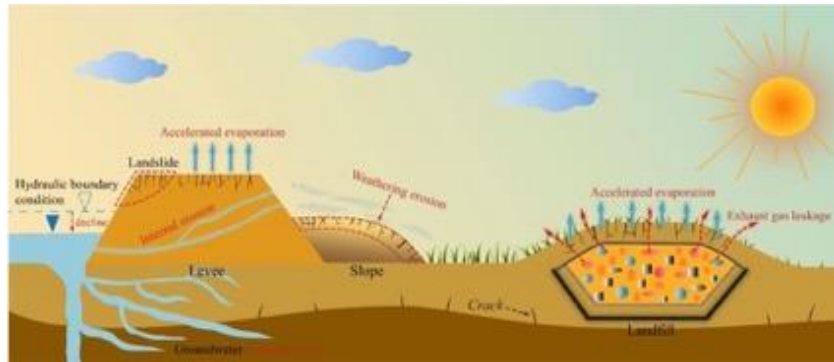


図-1 ひび割れによる様々な影響<sup>1)</sup>

土のひび割れの存在は，粘性土の工学的特性に大きな影響を及ぼし，地盤工学的，地質学的，環境的な面で大きな問題を引き起こす可能性がある．そこで，土のひび割れの潜在的なメカニズムを理解することは，土構造物の潜在的な損傷を評価する上で不可欠である．さらに前提として，その土のひび割れを生じさせる引張強度を測定，評価することが重要となってくると言える．<sup>1)</sup>

以下の図-2の左からそれぞれ，地盤材料における引張試験機，コンクリートにおける引張試験機である．既往の地盤材料における引張試験機では，枠に十分に充填しづらいことに加え，摩擦による影響がある．コンクリートでは供試体の上下端部をガッチリ掴むが，地盤材料にそれを当てはめると端部が破壊されてしまうため，応用することができない．また，コンクリートや岩石では10の6乗 $N^{2)3)$ ，締め固め土は10の5乗 $N$ と引張強度が違うため，新しい機構が必要と考えた．そこで，本研究ではメンブレンで供試体を覆うことで，一部に力を加えずに均等に力をかけ，面的に掴む方法を用いて引張試験を行うこととした．

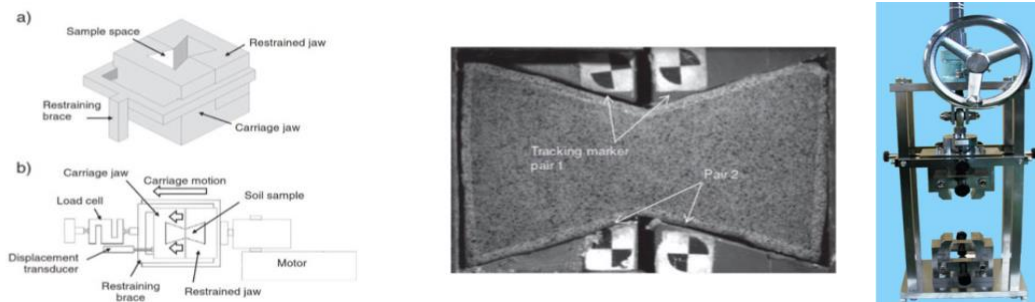


図-2 既往の引張試験器<sup>4)5)</sup>

本研究室では、割裂引張試験と3点曲げ試験の間接引張試験によって、地盤に亀裂が生じている際の引張強度を間接的に求めている。それに加えて、今年度から直接引張試験も行い3つの試験から得られる引張強度を総合的に評価するという大目標が掲げられた。地盤材料はコンクリートや鋼材と違い引張試験対象を固定することが困難であり、今まで直接引張試験はごくわずかしが行われてこなかった。

そこで本研究では、真空圧を用いて地盤材料を固定する方法での直接引張試験方法が可能かどうか、そこから得られる試験結果を得ること、諸条件の定義を目的として行った。

## 第2章 引張試験方法

### 2.1 試験方法及び条件

以下で直接引張試験の試験条件について記す。

#### 2.1.1 使用試料

青粘土、笠岡粘土、不攪乱試料(秋田市の深さ2.00~2.90mで採取された暗灰色の粘土)を使用した。

#### 2.1.2 試験装置

以下の図-3に試験装置の概要図を示す。図-3のように、三軸試験器に供試体を設置し、上下にメンブレンを装着した後真空圧を生じさせて引張方向に载荷するものである。この時、供試体上下に覆わせるメンブレンは2.5cmずつとした。

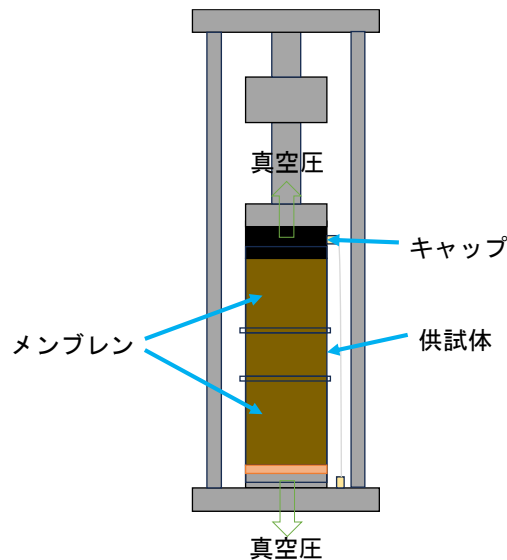


図-3 試験装置の概要図

#### 2.1.3 供試体作成方法

高さ120mm、直径50mmのモールドに試料を入れ、1層300回で突き固めを行い、高さ約80mm、直径50mmの供試体を作成した。この際に上部一方向からの突き固めではなく、所定の突き固め回数の半数ごとに試料の上下を反転させることで、上下で突き固め具合にばらつきが生じ

ることを抑えるように工夫した。これを上下突き固めと呼ぶこととする。以下の図-4 に使用したモールドと作成した供試体を示す。

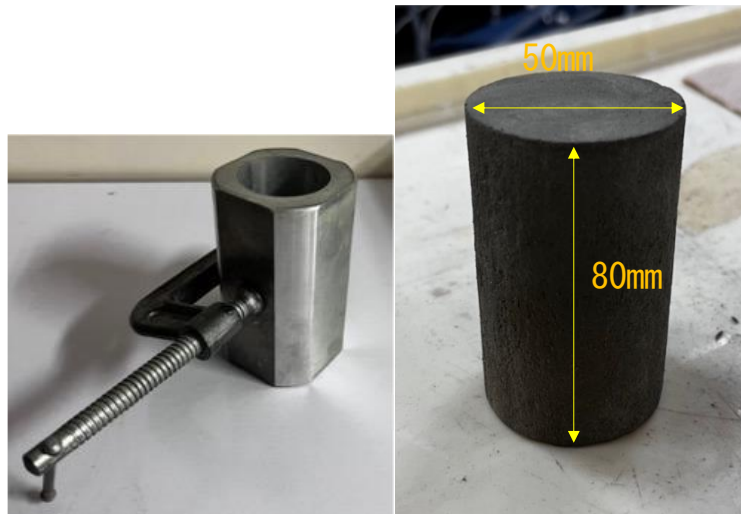


図-4 モールドと供試体

また、圧密による供試体作成も行った。以下の図-11に示す装置を用いて笠岡粘土を突き固めではなく圧密によって供試体作成を行った。圧密完了後に、直径 50mm、高さ 100mm に整形した。

圧密による供試体作成では、大きく 4 日間に分けて実験を行う。

1 日目は、スラリーを作成した。笠岡粘土 1600g、蒸留水 1500g をバット内で混ぜ合わせ、粘土と水を馴染ませるために、約 1 日放置した。

2 日目は、以下の図-13 のように、真空ボウルと真空ポンプ、トラップと接続し、真空ボウル内を真空状態にしてスラリーのエア抜きを行った。この時、荷重を 8 つの段階に分けて、1 時間おきに載荷した。

3 日目は、ベロフラムシリンダーによる載荷を行った。これは、2 日目のおもりによる載荷に継続して行うもので、上圧を 1 時間ごとに 50kPa ずつ加えていき、最終的に 5 時間目には上圧 250kPa、下圧 50kPa、差圧 200kPa とするものである。

4 日目は、試料取り出しと整形、引張試験を行う。試料取り出しでは、モールドを寸胴から取り出してモールド内の水を捨てる。その後、油圧ジャッキで試料を持ち上げて取り出すものである。その後ワイヤーソーやトリマー等を用いて整形を行なった。

#### 2.1.4 供試体接着の方法

供試体接着とは、キャップを供試体上部に圧縮側に 3~10N の荷重を加えることで、キャップと供試体上部の間に隙間が生じていない状態を作り出すものである。

#### 2.1.5 真空圧の掛け方の検討

供試体接着をする場合、真空圧が大きくとも隙間が長じていないため破壊が生じないと予想される。青粘土の場合、経験からメーター上で 20Pa 周辺が試験を行える境界であると考えた。

笠岡粘土で、真空圧を 20kPa かけたが不十分であった。そこで、30kPa まで真空圧を大きくして実験を試みた。

圧密によって作成したい供試体では、60kPaで行った。これは、真空圧が不十分であることを防止するためである。

### 2.1.6 荷重方法

2.1.2 試験装置で示した実験装置を  $1.67 \times 10^{-5} \text{m/s}$  の速さで引張り側、即ち除荷方向に荷重させた。

## 2.2 試験手順

### 2.2.1 失敗例の場合

2.1 試験条件の 2.1.4 の供試体接着の工程を除く、2.1.3 から 2.1.6 までを順序通りに実施して行った。

### 2.2.2 青粘土, 笠岡粘土, 圧密, 不攪乱試料

2.1 試験条件の 2.1.3 から 2.1.6 までを順序通りに実施して行った。

## 第3章 実験結果

### 3.1 失敗例

#### 3.1.1 青粘土

以下の図-5 に青粘土を使用して供試体接着を行わなかった場合の実験結果を示す。

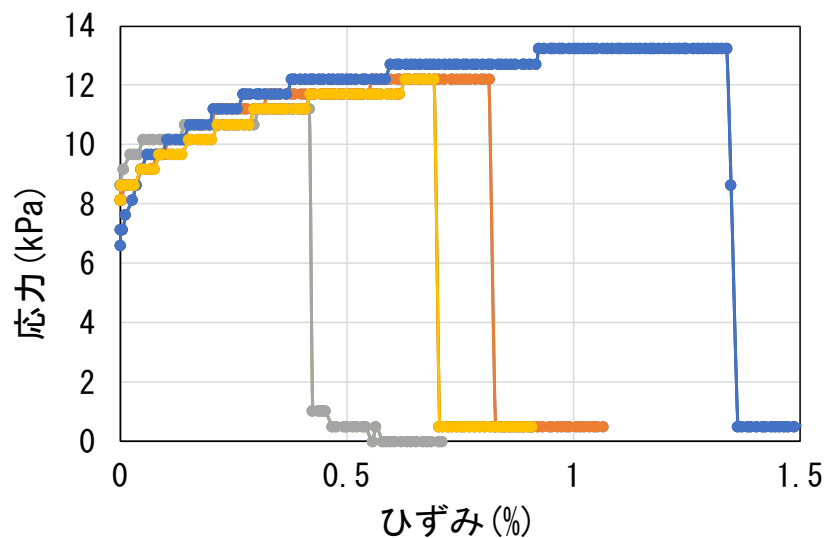


図-5 青粘土 (失敗) のまとめ

図-5 から平均引張強度は 12.2kPa と算出された。しかし、ひずみにばらつきが大きく、既往の一軸圧縮試験などのグラフと比較してもピーク点が確認できず不適切であると言える。

### 3.1.2 笠岡粘土

以下の図-6 に試料に笠岡粘土を使用して供試体接着を行わなかった場合の実験結果を示す。

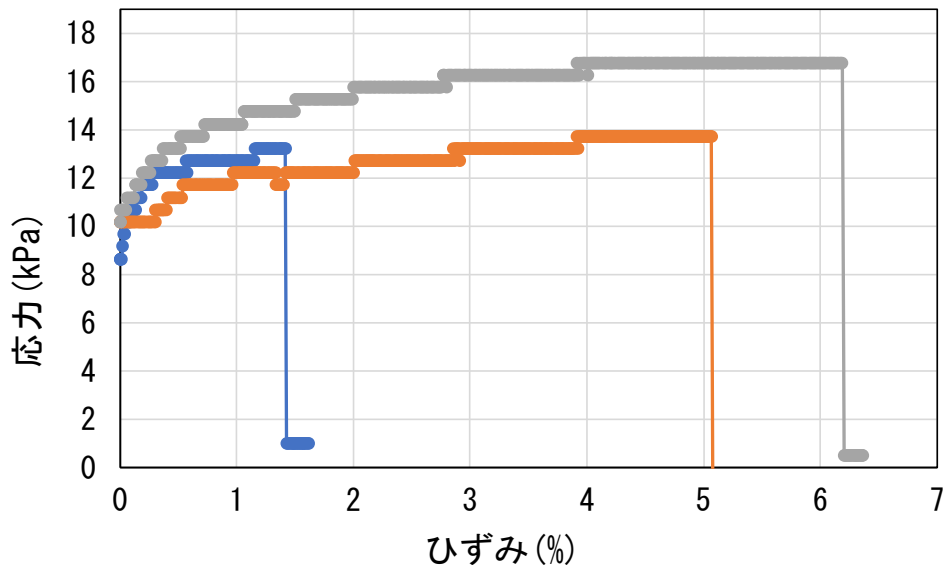


図-6 笠岡粘土 (失敗) のまとめ

図-6 から平均引張強度は 14.6kPa と算出された。しかし、ひずみにばらつきが大きく、既往の一軸圧縮試験などのグラフと比較してもピーク点が確認できず不適切であると言える。

## 3.2 注意点

3.1.1 及び 3.1.2 の結果から、笠岡粘土と青粘土は両者とも供試体接着をしない場合は破壊時のひずみのばらつきが大きく、上に凸の曲線を描いてはいるが、既往の一軸圧縮試験などのグラフと比較してもピーク点が不明瞭であり、適切な実験とは言えない。

そこで、実験の様子を撮影した動画を視聴していると、実験装置のキャップと供試体上部の隙間が時間の経過とともに拡大していることがわかった。三軸圧縮試験では、供試体の設置時に実験装置のキャップと供試体上部の隙間を無くすために、3~10N の圧縮力をあらかじめ作用させる方法である、供試体接着という方法が一般的に用いられているため、本研究でも今後は、実験を行う際には供試体接着を行うことを必須として、後述している実験結果は全て供試体接着をしているものである。

## 3.3 締め固め

以下に締め固めによって作成した、青粘土と笠岡粘土の結果を述べる。

### 3.3.1 青粘土

以下の図-7 に青粘土の実験結果を示す。

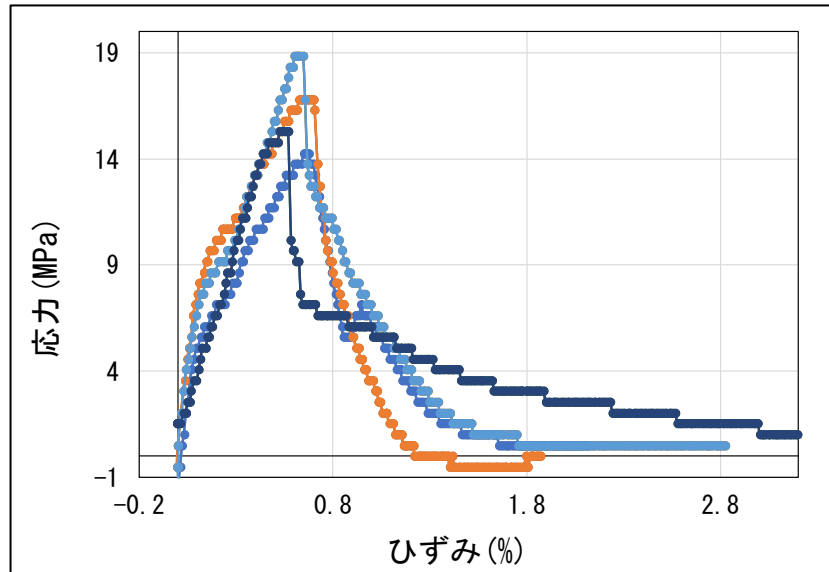


図-7 青粘土のまとめ

図-7 から平均引張強度は 16.3kPa が得られた。また、供試体接着を実施しなかったときの失敗例と比べてピーク時のひずみが小さくなっていることがわかる。また、既往の一軸圧縮試験などのグラフのように、途中まで線形的でその後に非線形的に遷移していることが読み取れる。

### 3.4.1 笠岡粘土

以下の図-8 に供試体接着を実施した時の笠岡粘土のグラフを示す。

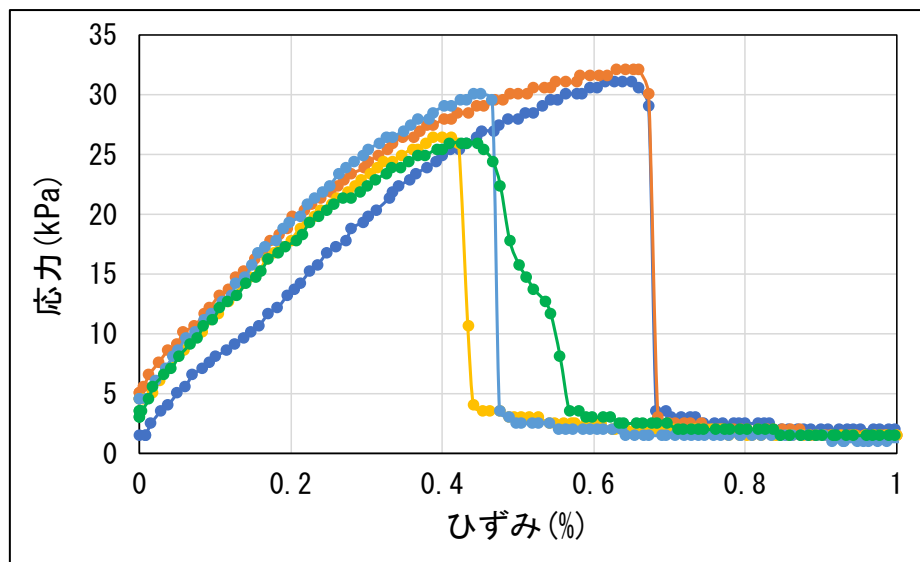


図-8 笠岡粘土のまとめ

図-8 から平均引張強度は 29.9kPa が得られた。また、供試体接着を実施しなかったときの失敗例と比べてピーク時のひずみが小さくなっていることがわかる。また、既往の一軸圧縮試験などのグラフのように、途中まで線形的でその後に非線形的な挙動に遷移していることが読み取れる。

### 3.4 圧密

以下の図-9 に笠岡粘土を圧密によって作成した結果を示す。

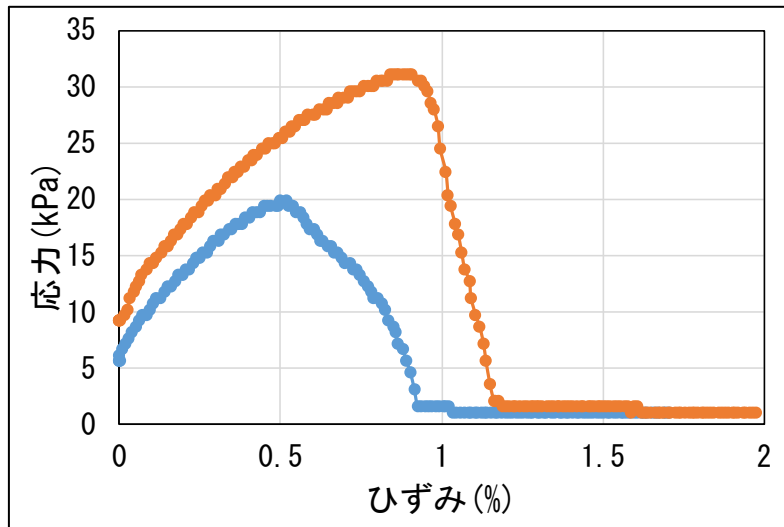


図-9 圧密のまとめ

図-9 から、引張強度は 31.1kPa と得られた。また、どちらのグラフも既往の一軸圧縮試験などのグラフのように、途中まで線形的でその後に非線形的な挙動に遷移していることが読み取れる。

### 3.5 不攪乱試料

以下の図-10 に不攪乱試料の実験結果を示す。

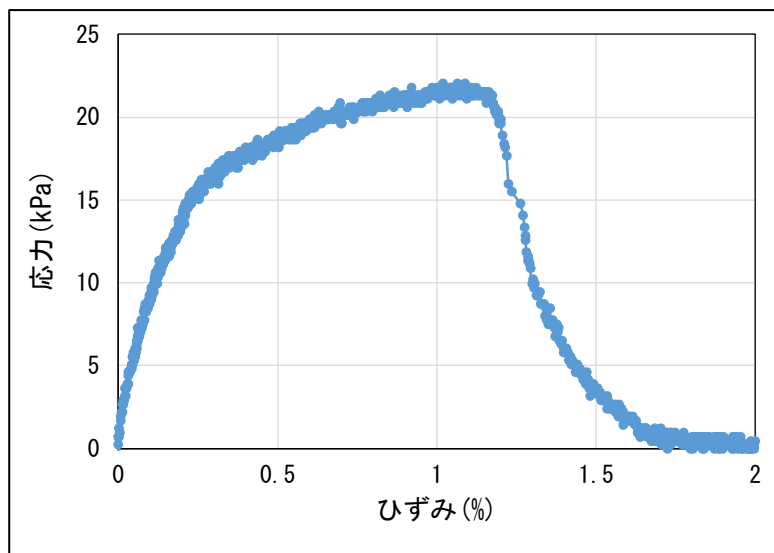


図-10 不攪乱試料

図-10 から平均引張強度は 22.1kPa が得られた。また、既往の一軸圧縮試験などのグラフのように、途中まで線形的でその後に非線形的な挙動に遷移していることが読み取れる。加えて、前述の青粘土や笠岡粘土と比較して、グラフの傾きの変化が大きいことも読み取れる。



## 第4章 結論と課題

本研究では、新しい機構による真空圧を用いた地盤材料の直接引張試験を行った。本研究で使用した青粘土と笠岡粘土の両方において、有意義な結果が得られたと言える。

第3章の結果から、締固めよりも圧密で作成した供試体の方が、ピーク点が遅く出ていることがわかる。また、同じ笠岡粘土を使用していても締固めと圧密ではグラフの傾きやピーク点が違い、圧密の方が緩やかなグラフになっている。不攪乱試料は強度が小さいものの、傾きが変わってから破壊までの時間が他の供試体と比べて長いことがわかった。締固め(青粘土)は全体的に引張強度もひずみも小さいことがわかった。

第3章の結果から、真空圧で引張る機構で実験が可能であることを確認することができた。その結果から、笠岡粘土の方が青粘土よりも大きい引張強度を示すことがわかった。笠岡粘土においては、締固めよりも圧密によって作成した供試体の方が大きい引張強度を示すことがわかった。また、供試体の大きさ、メンブレンの長さ、実験方法などの諸条件を定義することができた。さらに、締固めによって作成した供試体においては、そのデータが十分に収集できたと言える。

よって、本研究の目的である、真空圧を用いて地盤材料を固定する方法での直接引張試験方法が可能かどうか、そこから得られる試験結果を得ること、諸条件の定義を達成できた。

今後の課題として、圧密・不攪乱試料のデータの収集を行なっていくこと、実地盤から採取した不攪乱試料を使用して引張試験を行うこと、メンブレンの長さを変化させた場合の実験結果の変化を調査する等を挙げる。

## 参考文献

- 1) Xu, Jin-Jian, et al. "Investigation on desiccation cracking behavior of clayey soils with a perspective of fracture mechanics: a review." *Journal of Soils and Sediments* (2021): 1-30.
- 2) 安達優. "コンクリートの引張特性及び試験方法と簡易直接引張試験の開発." *寒地土木研究所月報= Monthly report/Civil Engineering Research Institute for Cold Region* 670 (2009): 33-38.
- 3) 福井勝則, 金豊年, and 大久保誠介. "一軸引張荷重下での岩石の完全応力-歪曲線." *資源と素材* 111.1 (1995): 25-29.
- 4) Stirling, Ross A., et al. "Tensile behaviour of unsaturated compacted clay soils—A direct assessment method." *Applied clay science* 112 (2015): 123-133.
- 5) 一軸直接引張試験装置,  
<http://www.tesco-co.jp/product-information/concrete-product1-1.html>, 2023/11/28