

第Ⅲ部門

曲げ試験による不飽和土の引張強度の妥当性に関する研究

京都大学大学院
京都大学大学院
京都大学大学院

学生員 ○藤谷 咲希
正会員 澤田 茉伊
フェロー 三村 衛

1. はじめに

不飽和土はサクシオンに起因した土粒子間力による見かけのせん断・引張強度を有するため、低拘束圧となる地盤浅部の不飽和土に関しては、せん断破壊だけでなく引張破壊についても考慮する必要がある。しかし、土の引張強度の評価は技術的難易度が高く、方法が確立されていないのが現状である。本研究では、締固め土を対象とした引張挙動の評価手法の研究を目的とし、試験方法が比較的簡便な曲げ試験を実施し、その適用性と妥当性の検証を行う。

2. 実験方法

本研究では、砂質土を実験試料として用いる。物理量を表1に示す。

供試体は、妥当性の検証のため既往研究¹⁾と同様の作製方法を適用し、200 mm×50 mm×20 mmの直方体型とした。締固め度は82.04%としている。供試体の締固めが終わった後、温度20℃、相対湿度60%RHに設定した恒温恒湿槽内にいれ、乾燥させた。乾燥時間を変えることで試験時の供試体含水比を変化させている。また、供試体の初期含水比は液性限界と塑性限界の間に位置するように調整した。

表1 物理量	
物理量	
細粒分含有率	37.61%
乾燥密度	1.37 g/cm ³
土粒子密度	2.64 g/cm ³
最大乾燥密度	1.67 g/cm ³
間隙比	1.38
内部摩擦角	25°
液性限界	37.50%
塑性限界	23.10%
最適含水比	21.04%
塑性指数	14.40
収縮限界	25.15%

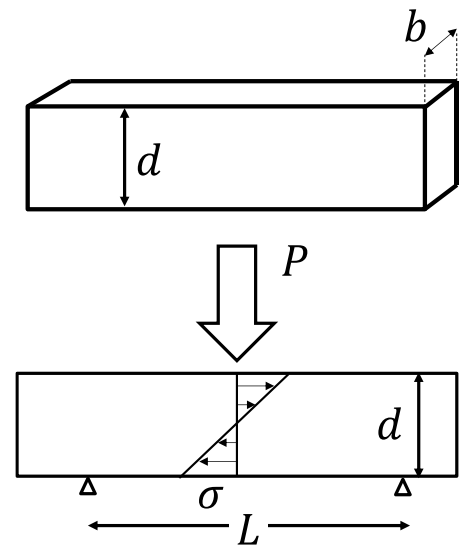


図1 曲げ試験の概略図

曲げ試験は、供試体を線形弾性体であると仮定(例えば²⁾)して式(1)から引張強度を算出している。ただし、 σ :引張強度、 P :载荷重、 d :供試体の厚み、 L :支点間距離、 I :供試体の断面二次モーメントである。

$$\sigma = -\frac{PLd}{8I} \quad (1)$$

また、载荷速度は1 mm/min、支点間距離 L は120 mmとなっており、特に载荷速度は既往研究¹⁾³⁾で行った直接引張試験、一軸圧縮試験のものと揃えている。曲げ試験の概略図を図1に示す。

3. 測定結果と妥当性の検証

以上の試験で得られた引張強度の妥当性を検証するために、同一試料を用いた既往研究の直接引張試験¹⁾と一軸圧縮試験³⁾の結果を用いた。モール・クーロンの応力円(図2)を引張側に延長すると、一軸圧縮強度 q_u と引張強度 σ_t の最大値には式(2)の関係がある。

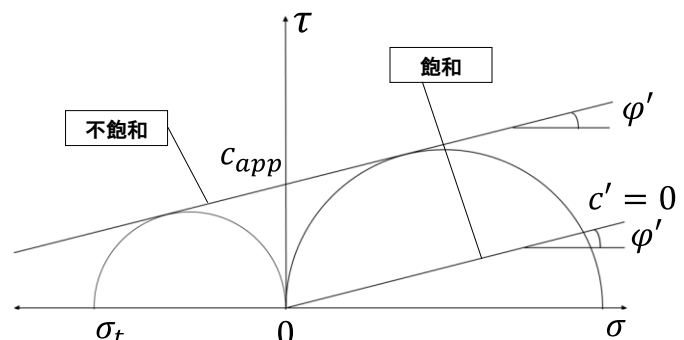


図2 モール・クーロンの応力円

Saki FUJITANI, Mai SAWADA, Mamoru MIMURA

fujitani.saki.62c@st.kyoto-u.ac.jp

$$\sigma_t = q_u \times \frac{1 - \sin \varphi'}{1 + \sin \varphi'} \quad (2)$$

式(2)から得られた引張強度の最大値と、直接引張試験の結果を用いて曲げ試験の妥当性を検証する。なお、直接引張試験は特定の構成式を仮定していない点で、正確に引張応力を評価できる²⁾ため、妥当性の検証の際は直接引張試験の結果を真値として考察をする。

図3に曲げ試験の結果と一軸圧縮強度から推定した最大の引張強度、直接引張試験の結果を縦軸に引張強度、横軸を含水比としてプロットしたものを示す。直接引張試験の結果は3点を除いて一軸圧縮強度から推定した引張強度よりも小さくなっているが、曲げ試験の結果は推定値よりも大きな値となっていることがわかる。

セメント改良土を対象とした既往の曲げ試験と解析によると、荷重をかけ始めた直後、応力は線形に分布するが、より変形が進むと供試体内部での応力分布が非線形になり、供試体底面での引張強度は内部で計測される最大引張強度よりも小さくなる²⁾。したがって、破壊時においても線形弾性体が維持されていると仮定して引張強度を評価すると、過大評価になる。曲げ試験の結果と直接引張試験の結果から得られた含水比と引張強度の近似式を用いて、曲げ試験により算出される引張強度と、直接引張試験により得られる引張強度の比を求め、含水比で整理する(図4)。含水比が高くなるほどその過大評価の程度がおおよそ2.9倍から5.1倍まで増している。延性的な性質が卓越する高含水比時には、曲げ試験の過大評価の程度が増しているのだと考えることができる。

以上の結果から、本研究で用いた試料に曲げ試験を適用して引張強度を算出すると、過大評価となることが分かった。また、含水比が高くなるほど供試体の延性的性質が卓越し、線形弾性体を仮定している曲げ試験の引張強度の評価式を用いると、過大評価の程度が増し、適切に評価できないことが分かった。

4. 結論

本研究では、締固め土を対象とした引張挙動の評価手法の研究を目的として、試験方法が比較的簡便な曲げ試験を実施し、その適用性と妥当性の検証を行った。線形弾性体を仮定して曲げ試験から引張強度を算出すると過大評価となり、またその程度は供試体の含水比が高くなるほど高まることが分かった。これは、含水比が高くなることで供試体の延性的破壊が卓越することに起因すると考えられる。

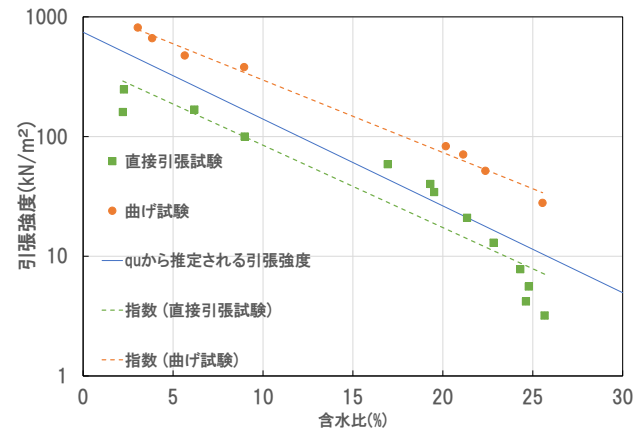


図3 曲げ試験の妥当性検証

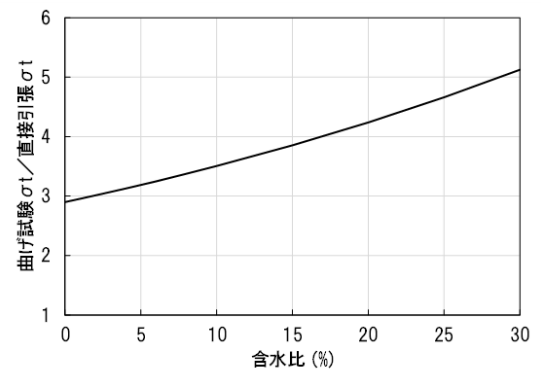


図4 曲げ試験の結果と直接引張試験の結果の比

参考文献：1) 吉川和秀，澤田茉伊，三村衛：乾燥過程の力学挙動に対する初期含水比と乾燥速度の影響，2020. 2) Namikawa, T. and Koseki, J.: Evaluation of tensile strength of cement-treated and based on several types of laboratory tests, *Soils and Foundations*, Vol. 47, No. 4, pp.657-674, Japanese Geotechnical Society, 2007. 3) 角裕介，澤田茉伊，三村衛：乾燥過程における土の力学特性と亀裂の発生メカニズムに関する研究，2019.