

三軸試験及び一面せん断試験による石膏改良砂の力学特性の評価

名城大学大学院 学生会員 ○児玉 直哉
元名城大学学生 馬淵 恵弥
名城大学 正会員 小高 猛司

1. はじめに

産業廃棄物として大量に排出される廃石膏ボードなどから再生される半水石膏は、軟弱地盤の固化材や改質剤として有効活用が期待されている¹⁾。一方、盛土の固化材の主材として用いる場合には、長期的な強度低下や再泥化の懸念もある¹⁾。本報では、半水石膏を固化材の主材として使用する場合を想定し、三軸試験と一面せん断試験により、石膏改良砂の力学特性について、特に浸透時にも着目して検討する。

2. 試験の概要

本研究では、三河珪砂 8 号と半水石膏($\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$) (市販の焼石膏の粉末) を所定の質量比で混合した石膏改良砂を用いて供試体を作製し、三軸試験 (UU 試験, $\overline{\text{CU}}$ 試験, 吸水軟化試験) と一面せん断試験を実施した。現場では細粒分を多く含む細粒土での使用が想定されるが、本研究では改良前後の浸透時の改良効果に着目するために、母材として砂質土を用いた。半水石膏は、水を加えると水和反応を起こし二水石膏に変化するが、その際に短時間で硬化するという性質を有している。三軸試験では直径 50mm, 高さ 100mm, 一面せん断試験では、直径 60mm, 厚さ 20mm の円柱供試体を、相対密度 60%で作製し、拘束圧 50, 100, 150kPa など所定の拘束圧で試験を実施した。供試体は、所定の形状の供試体完成時に相対密度 60%になる分量の珪砂 8 号の乾燥質量を基本として、石膏混合比 10%および 5%の供試体では、質量比でそれぞれ 10%および 5%の粉末半水石膏に置き換えた。乾燥状態で珪砂を半水石膏を攪拌混合した後に、含水比 10%となる蒸留水を加水して、ムラがなくなるように再びよく攪拌混合した。その後、石膏の固化が進む前に手早く鋼製の 2 つ割モールドにて、加水した試料を全て用いて所定の形状となるように締め固めて供試体を作製した。

UU 試験は石膏による固化作用を評価するために実施し、石膏混合率 10%の供試体を基本として、養生日数によるせん断強度の違いについて検討し、その後十分に固化作用が発現する養生 7 日間における石膏混合率 5%の供試体の試験も実施した。一方、 $\overline{\text{CU}}$ 試験, 吸水軟化試験は、一旦気中で固化した石膏改良砂が水浸によって飽和した状態のせん断特性の評価をするために実施した。一面せん断試験は、石膏混合率 10%の供試体を使用し、せん断箱で 7 日間の養生後にせん断を行うケースと、7 日間の養生後に、7 日間水浸した後に試験を行う 2 ケースの試験を実施し、せん断強度の比較を行った。

3. 試験結果と考察

図 1 に石膏混合率 10%の供試体の UU 試験結果を示す。(a)はモールドで締め固めて 1 日経過してから脱型し、試験した結果である。大きな粘着力が発生しているが、明確な拘束圧依存性があり、 ϕ が 30 度程度見られる。(b)～(d)は作製 1 日後にモールドから脱型した供試体をそのまま気中養生した供試体の結果である。明らかな拘束圧依存性は読み取りづらく、まずは c 材として $\phi_0=0$ を仮定した非排水せん断強さ c_u を評価する。図中には、3 つの拘束圧での c_u の単純な平均値を示した。まず、注目すべきは、気中養生 7 日間にして、固化作用の効果が非常に大きく現れており、総じて c_u が大きい。一方、時間変化に着目すれば、(b)の養生 7 日間の試験結果が最も c_u が大きく、その後養生日数が経過するにつれて、 c_u が低下している。図中には、仮に ϕ が 30 度と仮定した場合の粘着力 c を示した。

石膏混合率 10%の供試体では、養生 7 日間で固化作用が十分に発現したことから、石膏混合率 5%の UU 試験は養生 7 日間の供試体のみで実施した。図 2 にその結果を示す。図 1(b)の石膏混合率 10%の結果と比べて、明確な拘

キーワード 石膏, 地盤改良, 固化材, 三軸試験, 一面せん断試験

連絡先 〒468-8502 名古屋市天白区塩釜口 1-501 名城大学理工学部 TEL:052-838-2347

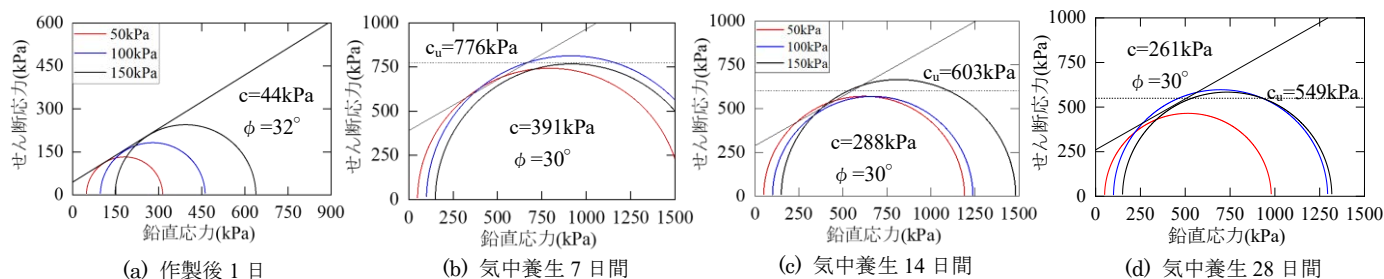


図1 UU試験結果(石膏混合率10%)

束圧依存性が見られるとともに、粘着力も大幅に小さい。図1および2のUU試験結果より、石膏混合による固化作用によって、粘着力が大幅に増加し、さらに石膏混合率が高い場合には、c材として大きな非排水せん断強さを期待できると考えられる。一方、石膏混合率がそれほど高くない場合や固化が十分に進んでいない場合には、 ϕ 材としての性質が残っている。

$\overline{CU}$ 試験は、気中養生7日間の石膏混合率5%と10%の供試体を用いて実施した。比較のため、無改良(混合率0%)の珪砂8号のみの試験も行った。図3~5に $\overline{CU}$ 試験結果を示す。石膏混合率が高いほど、有効応力経路が鉛直に立ち上がる弾性挙動が卓越し、応力~ひずみ関係においてもせん断初期に高い剛性を発揮する。特に、石膏混合率10%においては、応力~ひずみ関係を見ると、剛塑性的な力学挙動を呈している。変相点で整理したモールの応力円において粘着力 c' は0となり、 ϕ' は混合率0%で28°、5%で31°、10%で38°となり、石膏混合率が高いほど大きくなった。しかし、水浸することによって、乾燥時のUU試験で発現した粘着力は評価できず、 ϕ 材として評価すべきものであることが示された。

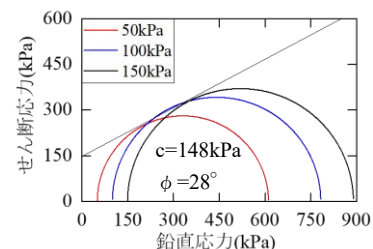


図2 UU試験結果(石膏混合率5%, 気中養生7日間)

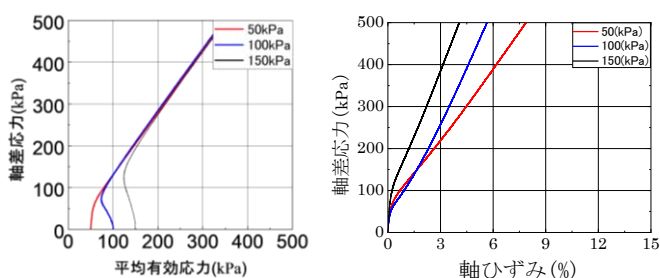
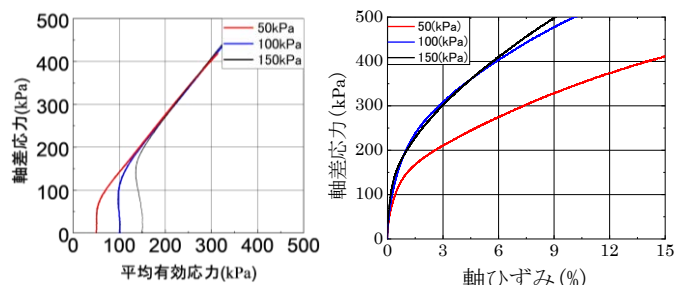
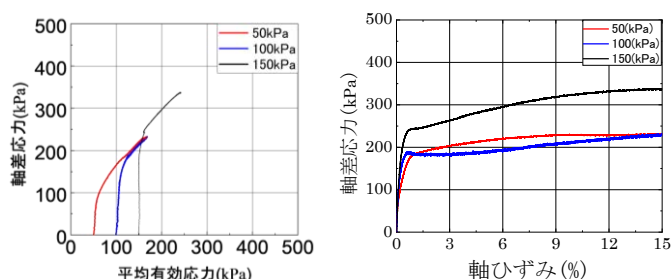
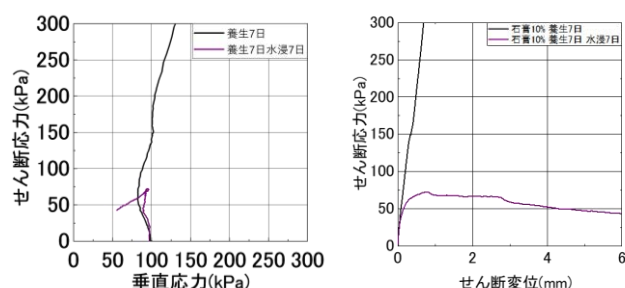
図3 $\overline{CU}$ 試験結果(石膏混合率0%)図4 $\overline{CU}$ 試験結果(石膏混合率5%)図5 $\overline{CU}$ 試験結果(石膏混合率10%)

図6 一面せん断試験結果(石膏混合率10%)

図6は一面せん断試験結果である。水浸していない供試体は試験機の荷重計測限界に達してしまった。しかし、水浸供試体はせん断応力75kPa程度でピーク値に達し、その後せん断応力が低下した。以上から、石膏改良砂は水浸しなければ高いせん断強度が得られるのに対し、水浸すると急激にせん断強度は低下することが一面せん断試験からも示された。これは、本報で示した一連の三軸試験の結果とも整合している。

盛土材の改良材の母材として石膏を用いる場合には、c材として固化効果を長期にわたり期待するべきではなく、締固め管理を十分に行う必要がある。

参考文献: 1) (国研) 国立環境研究所 資源循環・廃棄物研究センター: 再生石膏粉の有効利用ガイドライン (第一版), 2019.