セメント混合砂の引張強度の測定方法の検討

長岡技術科学大学　○LAOLUE CHERXIONG
飯塚啓人，高田晋
岡山大学　福元　豊
石川工業高等専門学校　新保泰輝

１はじめ

地震や豪雨等により地盤に発生する亀裂は構造物の安全性を低下させる影響を与える．そこで，今まで粘土を用いた地盤の引張亀裂を評価してきた低引張強度に対応した直接引張試験法の適用範囲をさらに拡大するために，本研究ではセメント添加した砂を用いた実験方法を新たに確立する．砂にセメントを添加することで，原位置試料を模擬した土試料を作成する．真空圧を利用して供試体端部を掴み，引張試験で土試料の引張強度を測定し，砂地盤の引張亀裂進展を評価する．さらに，砂を用いた実験で得られた実験結果から，今まで粘土を用いた実験で見られる亀裂進展特性との違いを考察した．

２． 試験概要

2.1 供試体作成方法

本研究の供試体は右の図１のようなものを用いた．供試体の中央部と両端部の材料の種類・重量が異なっている．中央部においては，供試体に用いる材料は，東北硅砂，早強セメント及び水を用いた．早強セメントは，砂の重量に対する含有率に応じて 1.5%を設定した．また、水の添加量は供試体の作業性と水和反応される重量を考慮して，含水比 w=0.5%とした．供試体端部においては，用いた材料は笠岡粘土，早強セメント及び水を用いた．早強セメントは粘土の重量に対する含有率に応じて 1.5%を設定した．水の添加量は供試体の端部を強め，成型できるように水 20%とした．供試体の作製は，中央部の材料としては砂にセメントを混合し，その後，水を加えて繰り混ぜた．両端部の材料としては粘土にセメントを混合し，その後，水を加えて繰り混ぜた．供試体の寸法は，直径 50mm，高さ 80mm とし，低強度になるように 3 層に分けて，模型実験での地盤作製作業と同様にモールド内に突き固めた．その後，室温 20°Cの恒温室にて，できるだけ水分の蒸発を防ぐため，供試体をラップフィルムで覆い，3 日間の養生を行った．

図１　セメント混合砂の供試体

2.2 実験方法

本研究の実験機械は図 2 に表している．本研究の試験機は三軸圧縮試験装置のキャップ及びペデスタル部分に真空発生機構を加えたものである．供試体の両端をメンブレンで覆い，真空圧を作用させることで，供試体の両端部が固定できる．試験手順は，供試体をペデスタルの上に置かれているポーラスストーンに置く．供試体の上表面がキャップに付着するように，キャップを供試体の上表面に近づけ，圧縮側に 6N の荷重をかけるまでキャップを下げる．その後，供試体の上下表面から 20mm ずつメンブレンを覆い，真空圧載荷を 40kPa と設定した。引張力載荷は軸速度 0.04mm/min で、引張試験を行う．

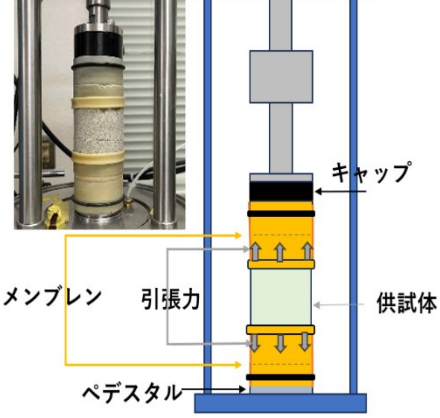

図 2　実験装置

3 試験結果

3.1 セメント混合砂の供試体

セメント混合砂の供試体の様子と引張強度のグラフを右の図 3 に表している．一個目と二個目のピーク強度はそれぞれ 20.56kPa, 20.78kPa であり，平均ピーク強度が 20.67kPa となった．ピーク強度 20kPa 程度の軸ひずみはほぼ 0.1%であった．真空圧を調節してから、ピーク強度時点までに軸応力と軸ひずみの関係はほぼ直線であり，ピーク強度時点の直後に軸応力が垂直にゼロの近くに下がったと分かった．しかし，一個目のグラフから見ると，ピーク強度時点の直後に少し傾いて下がったと見えた．それは供試体が少し傾くことで，断面に軸応力の分布バランスが良くないと考えられる．このことから，セメント混合砂の供試体は原位置試料に近くなり，砂地盤の亀裂進展をセメント混合砂により評価できる可能性がある．

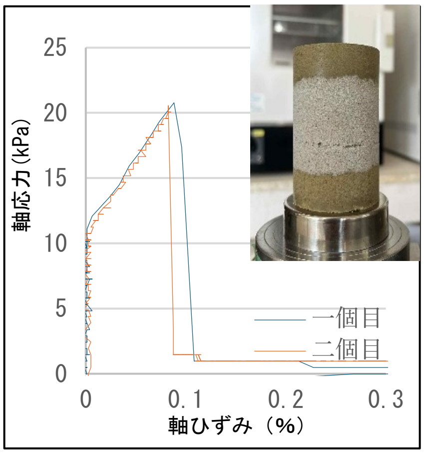

図 3　セメント混合砂の結果

3.2 粘土とセメント混合砂の供試体の比較

図 4 に粘土を用いた供試体とセメント混合砂の供試体の試験結果を示している．粘土を用いた供試体の試験結果は，6 つのグラフを挙げている．引張強度の平均は 35.2kPa，範囲は 29.7～43.0kPa となった．ピーク強度時の軸ひずみの平均は 0.32%であり，範囲は 0.23%～0.49%であった．セメント混合砂と粘土の比較のために，できるだけほぼ同じピーク強度のケースを選ぶ．だから，粘土の A ケースを考察する．A ケースのグラフにより，ピーク強度は 31.07kPa であり，ピーク強度時に軸ひずみが 0.23%であった．ピーク強度時点の後に強度がゼロの近くに徐々に減ったという特徴であった．セメント混合砂の結果としては，ピーク強度が 32.59kPa であり，ピーク強度時点の直後に強度がゼロの近くにほぼ垂直に急に下がったという特徴であった．ピーク強度時の軸ひずみは 0.15%であり，粘土の A ケースより 1.5 倍程度低かったと分かった．このことから，粘土地盤は砂地盤より 1.5 倍程度柔軟に変形できることを模型した土試料で実験的に測定できた．

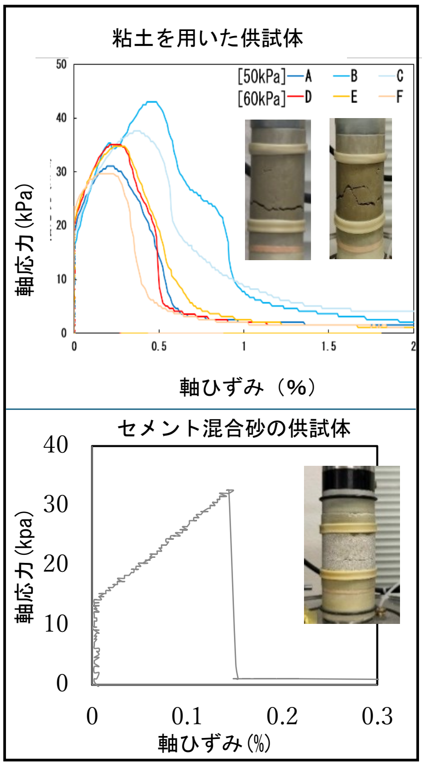

図 4 粘土とセメント混合砂の比較

4 まとめ

本研究では、真空圧を利用した低引張強度材料の直接引張試験を実施した．セメント混合砂を用いた原位置試料を模したサンプルを作成した．引張強度のピーク時点の直後は強度がほぼ垂直に急な下がりという特徴であった．断面に引張応力の分布バランスが良くないと，ピーク強度時点の直後に少し傾いて下がったという進行が存在している．粘土とセメント混合砂の土試料はピーク強度が同じ程度において軸ひずみの差異が 1.5 倍と実験的に測定できた．

５参考文献

1)Xu, J. J., Tang, C. S., Cheng, Q., Xu, Q. L., Inyang, H. I., Lin, Z. Y., & Shi, B. Investigation on desiccation cracking behavior of clayey soils with a perspective of fracture mechanics: a review. Journal of Soils and Sediments, 1-30. (2022).

2)福原涼斗，堀越晟冶，原澤由展，福元　豊，高田　晋，Le Ngoc Bao，中西　晃，柳浦良行，新保泰輝：土のような脆弱固体材料に対する新しい直接引張試験方法の提案，地盤工学研究発表会，Vol.59，[23-5-2-08]，2023