

セメント添加した砂の引張破壊特性の実験的観察

地盤工学研究室 修士2年 LAOLUE CHERXIONG

指導教員 豊田 浩史

福元 豊

1. はじめ

近年では、地震や集中豪雨の発生に伴い、土石流、地滑り、崖崩れといった土砂災害が頻発するとともに被害の深刻化が進み、社会的に大きな課題となっている。本研究グループでは、粘土を対象の材料とした直接引張試験の検討を行ってきた¹⁾。

これを踏まえ、これまでに提案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、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用いた実験方法を新たに確立した。試験実施可能な供試体の条件とセメント添加量の影響を検討した。また、セメント添加した砂と粘土との引張亀裂進展の比較検討を行った。

2. 砂供試体を対象とした引張試験の概要

2.1 試験手順

本研究の実験機械は図 2.1 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DESTAL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DESTAL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、真空圧載荷を適切に設定し、設定された載荷速度 0.04mm/min で引張試験を行った。

2.2 供試体作成方法

採用された供試体の作成方法を以下に記載されている。

①端部に処理なし：図 2.2 に示し、東北珪砂、早強セメントおよび水を用いたものである。含水比 $w=5\%$ とし、砂とセメントを混合後、水を加えて練り混ぜた。モールド内に 3 層で突き固め、20°C 恒温室でラップ養生し 3 日間静置した²⁾。

②端部にゴム処理：図 2.3 に示し、作成方法は端部に処理なし供試体と同様で、作成後に端部へシリコンゴムを塗布した。

③端部に粘土処理：端部に粘土処理は図 2.4 に示し、中央部は端部に処理なし供試体と同様で省略する。端部は笠岡粘土に早強セメント数%と水 20%を加えて作製し、突き固め方法も端部に処理なし供試体と同様とした。

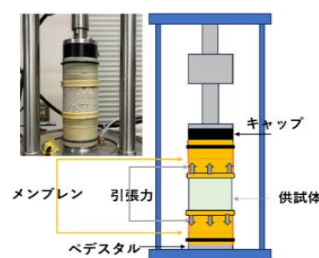


図 2.1 実験機構



図 2.2 端部に処理なし



図 2.3 端部にゴム処理



図 2.4 端部に粘土処理

3. 検討事項

1) 供試体の検討

端部に処理なし，端部にゴム処理，端部に粘土処理の3種類の供試体を用いて引張亀裂進展の評価可能な条件を検討した。

2) セメント添加量の影響

セメント添加量 0.8%，1.0%，1.5%，1.6%の条件で検討し，引張亀裂進展の評価可能な範囲を調べた。

3) 圧縮強度の測定

セメント添加した砂の力学特性を多角的に評価するために圧縮試験を実施した圧縮強度を直接測定した。

4) 粘土との比較

地盤の引張亀裂進展特性は材料特性に依存するため，砂地盤と粘土地盤を比較した。セメント添加量 1.5%条件で検討した。

4. 試験結果

4.1 供試体の検討

供試体を検討した結果と実験画像を図 4.1 に示す。端部に処理なし供試体はセメント 1.0%で添加した砂供試体である。最大真空圧力は 1.5kPa，引張開始後の最大軸応力も約 3kPaにとどまった。砂の間隙が大きく空気漏れが生じ，端部固定が不十分となり，引張亀裂の評価は困難と分かった。端部にゴム処理供試体は端部の上下から 10mm にシリコンゴムを塗布し，セメント 1.5%とした。軸応力は 16kPa まで上昇後 7kPa に低下し，以降増加しなかった。ゴムと砂の境界で破壊し端部固定が失われ，引張亀裂の評価は困難であったと分かった。端部に粘土処理供試体はセメント 1.3%添加で，端部の上下から 20mm 程度を粘土処理して空気漏れを防いだ。引張試験で中央部砂に亀裂が発生し応力ピーク 19.47kPa を示し，応力-ひずみの関係は直線的で，砂地盤の引張亀裂進展を評価できる可能性がある。

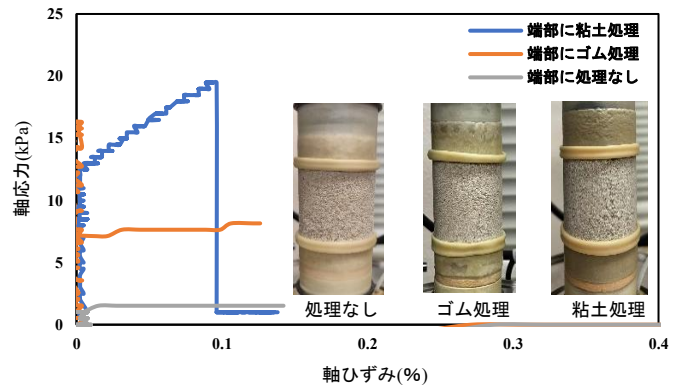


図 4.1 供試体の検討結果

4.2 セメント添加量の影響

図 4.2 により，供試体 A1 はセメント添加量 0.8%の砂供試体で最大軸応力 5.99kPa で，中央砂部で亀裂が発生したが，非強度が低く，砂地盤の引張亀裂進展の評価は困難であった。供試体 A4 は 1.6%で最大 21.83kPa を示したが，粘土と砂の境界部で破壊が生じ，中央砂部の強度は測定できず，亀裂進展評価も困難であった。供試体 A2、A3 (1.0%、1.5%) は最大応力 12.98kPa、32.59kPa で砂部に亀裂が生じ，応力-ひずみ関係は直線的で弾性的挙動を示し，引張強度を安定に測定できることが確認された。

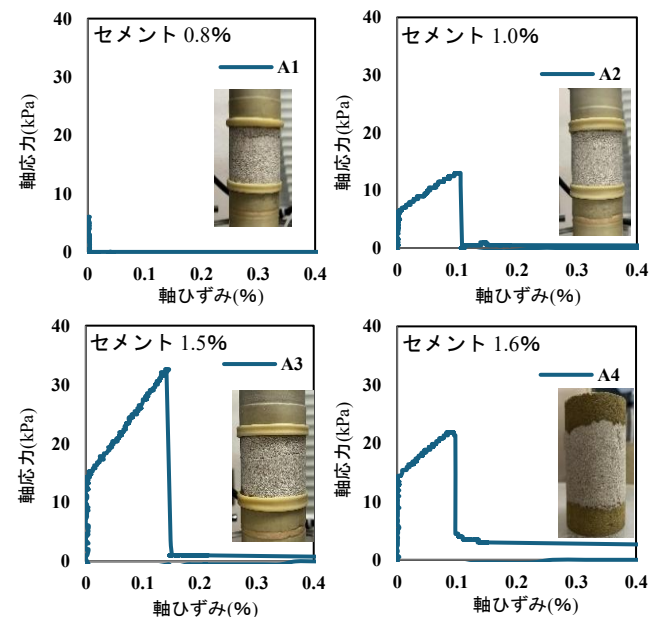


図 4.2 セメント添加量の影響

4.3 圧縮強度と引張強度の関係

図 4.3 により、セメント添加量 1.5%の供試体 M1, M2, M3, M4 の引張強度は 32.79kPa, 29.37kPa, 32.59kPa, 34.75kPa であり、平均値 32.38kPa となり、中央部砂で亀裂が発生したことで、砂の引張強度を測定できた。一方、圧縮強度試験では、端部に処理なし供試体 K1, K2, K3 の圧縮強度は 140.79kPa, 109.73kPa, 109.26kPa であり、平均値 119.93kPa となった。これにより、セメント添加砂の圧縮強度は引張強度の約 3.7 倍であることが確認され、引張及び圧縮特性の差異を実験的に評価できた。

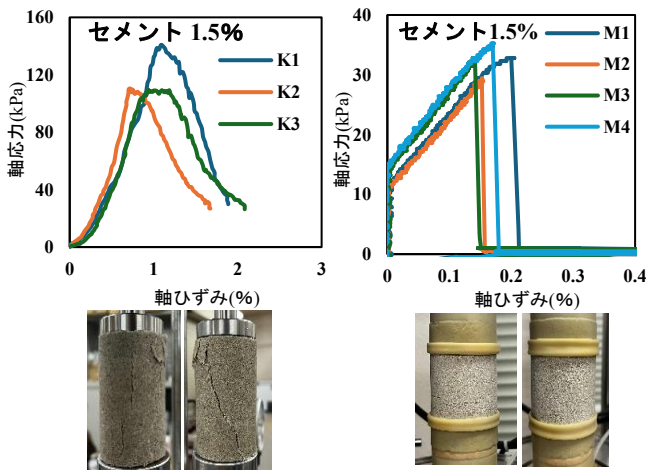


図 4.3 圧縮強度と引張強度の関係

4.4 粘土との比較

同程度の引張強度 30kPa で比較した結果 図 4.4 により、粘土供試体の応力-ひずみ関係はピークまで曲線状を示し、ピーク後も緩やかに減少するため延性的破壊特性が確認された。一方、セメント添加砂供試体は同程度の引張強度を示すが、ピークまで直線的で弾性的挙動を示し、ピーク直後に急激に軸応力が低下し、亀裂発生開始点に対応することが確認された。

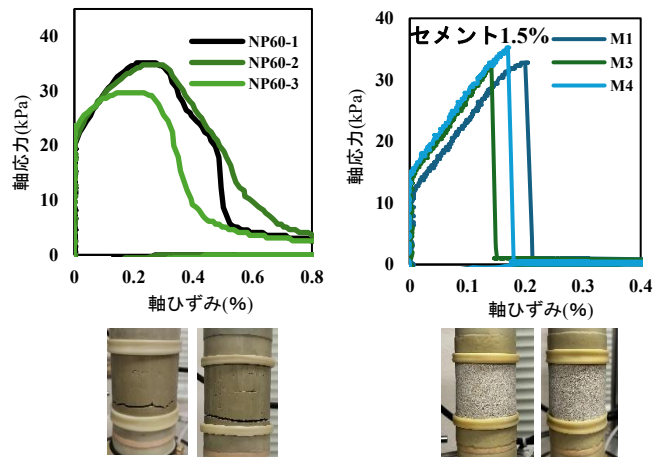


図 4.4 粘土とセメント添加砂の比較

5. まとめ

端部に粘土処理供試体は、砂地盤の引張亀裂進展を評価できる可能性が確認された。セメント添加量 1.0~1.5%の範囲では 30kPa 程度までの引張強度を測定でき、砂の亀裂進展を評価できる可能性がある。圧縮強度は約 3.7 倍の引張強度と測定できた。また、粘土は延性的破壊を示す一方、セメント添加砂は弾性的挙動後に急激な破壊に至る脆性的特性が確認された。

参考文献

- 1) 福原涼斗, 堀越晟治, 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.
- 2) 池本宏文, 野本将太, 豊田浩史, 高田晋: 模型実験に用いる薬液注入効果を模擬した地盤材料に関する検討, 土木学会第 79 回年次学術講演会講演概要集, III-443, 2024