

セメンテーションによって保持された超高間隙構造土の非排水せん断特性

東京大学生産研究所 学生会員 ○佐藤 樹
 東京大学生産研究所 フェロー会員 桑野 玲子

1. はじめに

日本には火山由来の高間隙構造を有する土が各地に分布し、斜面災害の起因層になっている。過去の大規模な土砂災害の例では、長野県西部地震によって発生した緩い軽石層をすべり面とする御嶽崩れ、熊本地震による南阿蘇村の軽石層起因の緩斜面災害、台風による集中豪雨によって相対密度が負になるような状態で自然に存在した火山砂層が起因層となって崩壊した伊豆大島の斜面災害、セメンテーションを持つ緩い非塑性火山灰質土を起因層として傾斜が 1~2° 程度の緩斜面で土砂が長距離流動した宮城岩手内陸地震での事例など、多くの事例が挙げられる。本研究では、セメンテーションや破砕性を持つ高間隙粒子によって低密度を保ち堆積した火山灰質土を、超高間隙構造という特性に注目して人工的に再現することを試み、そのせん断特性を調べた。なお、佐藤ら (2017) にて同種材料の排水せん断特性を報告している。ここでは非排水せん断特性を報告する。

2. 超高間隙構造人工試料の作成法および 試料の特性

表 1 火山灰質土の特性^{2)~6)}

表 1 は過去の文献^{2)~6)}で報告された火山灰質土の特性である。高間隙骨格を保つ要因として、セメンテーションによって粒子間の骨格が保持されている場合と、土粒子自体に空隙があり高間隙であるケースがあげられる。これらの特殊土は粘性が小さいものや非塑性であるものが多い。本研究では、セメンテーション効果によって粒子間の固結が保たれているような超高間隙構造土を非塑性細粒土とセメントにより人工的に再現した。

	関東ローム	しらす	まさ土	みがき砂	スコリア
セメンテーション	○	○	△	○	○
粒子破砕性	×	○	○	○	○
密度	小	小	小	小	小
間隙比	3.38	1.68	1.11	1.12	1.23
粘性	中	小	小	非塑性	非塑性

表 2 人工供試体の配合

タイプ	質量比 DL clay:セメント:水	設計間隙比
A	85:15:25	2.1
B	90:10:25	2.1
C	85:15:25	2.7

表 3 供試体の物性値

タイプ	土粒子密度 ρ_s (g/cm ³)	乾燥密度 ρ_d (g/cm ³)	間隙比 e
A	2.69	0.89	2.02
B	2.66	0.89	1.99
C	2.69	0.75	2.61
DL clay	2.65	1.03	1.58

試料は非塑性シルトである DL clay と普通ポルトランドセメントを用いて 3 種類作成した。表 2 に示すような質量比で水・セメントを混合し、プラスチックモールド (直径 50 mm、高さ 100mm) の体積から目標間隙比を達成できるようにモールドに入れる土の量を計算し、サクションを利用して土をゆっくりと降り積もらせるように詰めていった。必要量の 80% の質量を流し込むように入れた後モールドに軽く衝撃を与えてモールドの内側高さ 82~83 mm 程度のところまで土の表面を下げ、その後残り 20% の土をいれて、はみ出た土が収まるように平らな板を用いて土をモールドに押し込んだ。作成した供試体は一定温度の湿潤環境下で 7 日間養生して取り出した。人工供試体の土粒子密度、乾燥密度、間隙比は表 3 のようになった。A タイプの供試体の写真および SEM 画像を図 1 に示す。なお、砂の最小密度試験と同様の方法で作成した緩詰め DL clay 供試体の間隙比は 1.6 程度であった。

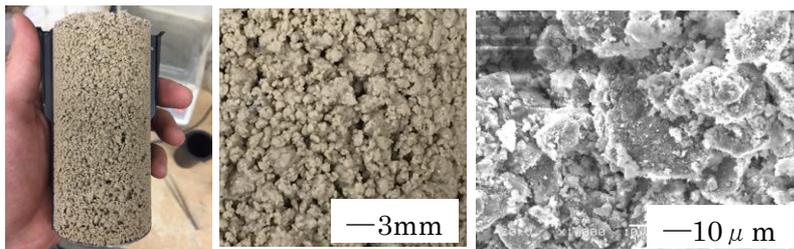


図 1 人工供試体表面の写真と SEM 画像

キーワード セメンテーション, 高間隙構造土, 火山灰質土, 人工土, CU 試験

連絡先 〒153-8505 東京都目黒区駒場 4-6-1 東京大学生産技術研究所 TEL 03-5452-6843

3. 圧縮および非排水せん断特性

A~C タイプの人工供試体および緩詰め DL-clay に対して、50~400kPa の範囲で等方圧密~排水せん断試験を実施し、さらに A タイプにおいて 50kPa~250kPa の範囲で非排水せん断試験も実施した。圧密終了時の体積ひずみを、拘束圧に対してプロットしたグラフが図2である。タイプ A と B では、拘束圧 100~200kPa あたりで傾向が変化しているが、C タイプや DL-clay では拘束圧による傾きの変化はない。

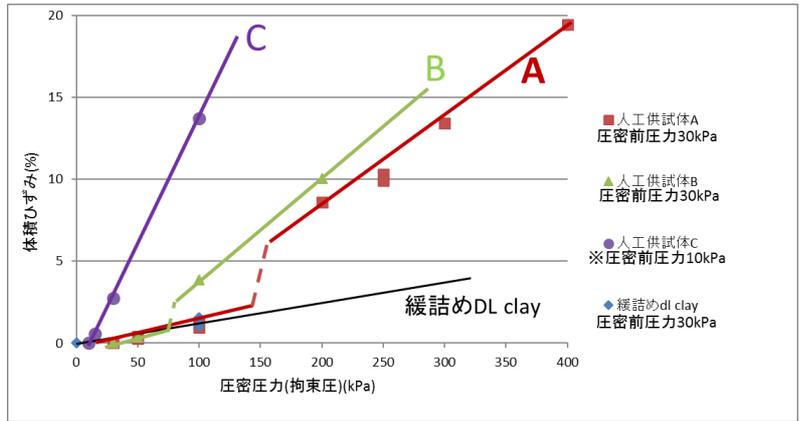


図2 人工供試体表面の写真と SEM 画像

A, B タイプでは低拘束圧域ではセメンテーションにより構造を保っていたものの、等方拘束圧の作用によりセメンテーションが壊れ、100~200kPa 以上の領域では高い圧縮性を示したものと思われる。DL-clay 供試体ではセメンテーションの損傷がないため拘束圧の変化による圧縮性の変化は見られない。C タイプでは 100kPa 以下の拘束圧でもセメンテーションが壊れ構造を保持できず、高い圧縮性を示したと考えられる。

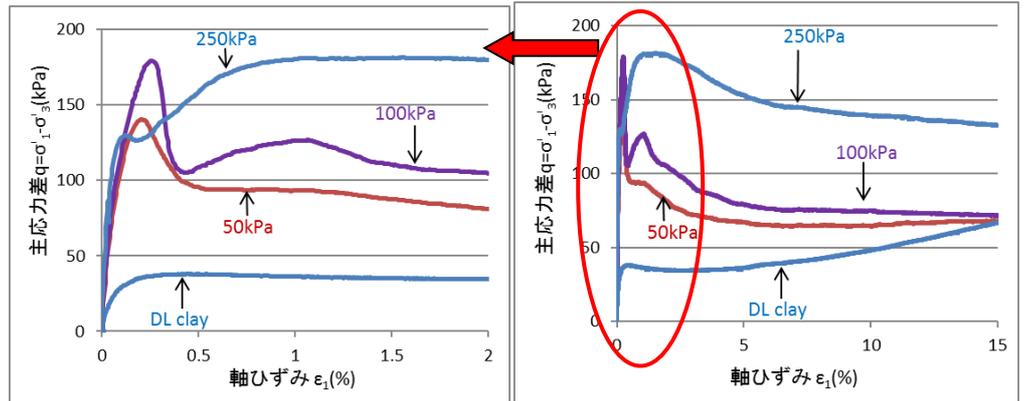
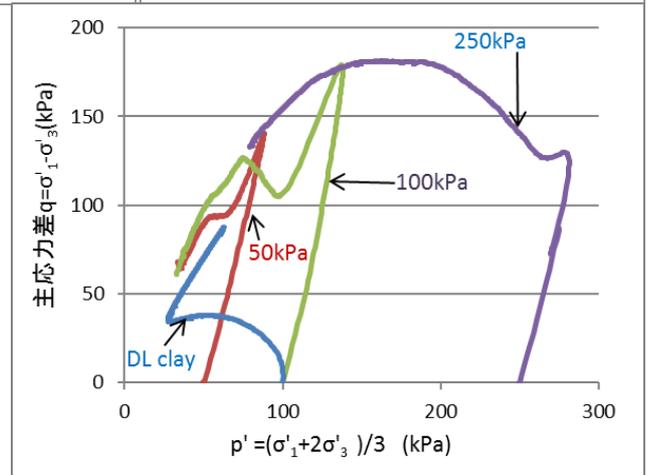


図3にタイプ A 供試体の CU 試験結果を示す。応力-ひずみ関係では、セメンテーションが保持されていると考えられる拘束圧 50kPa, 100kPa では軸ひずみ 0.1%程度でピークを示し部分的なひずみ軟化挙動が見られる。低ひずみ領域を超えると、ひずみが進行しても主応力差が増加せず、一定となることが観察された。有効応力履歴から、せん断開始後初期は弾性体に近い挙動を示し、主応力差が最初のピークを超えるとセメンテーションの損傷が進み構造が壊れることによって負のダイレイタンス傾向が表れて過剰間隙水圧の上昇および有効応力の減少が顕著となった。その後再び主応力差が一時的に上昇するものの破壊線に沿って再び減少し、軸ひずみレベルが 10%を超えると平均主応力、主応力差共に一定となった。



4. まとめ

火山由来の土によくみられる高間隙構造土を人工的に再現し非排水せん断特性を調べた。セメンテーションの損傷が等方圧密時にも起こりうること、損傷の有無によりせん断特性が異なるが、非排水条件ではせん断開始時の超高空隙構造が体積一定条件で保持され、最終的に一定応力下でせん断が進行する状態に陥る事がわかった。

参考文献

1) 佐藤樹・桑野玲子. セメンテーションによって保持された超高間隙構造土のせん断特性: 第 52 回地盤工学研究発表会
 2) 規之秀一・兵動 正幸・安福村田. 風化度に着目した乱さないまさ土の圧縮・せん断特性: 土木学会論文集 第 382 号/III-1, 1987.
 3) 敏行部治・前田 良刀・大内 正敏・萩原日下. 不攪乱スコリアの強度・変形特性と攪乱の影響: 土木学会論文集 No. 439/III-17, pp. 69 ~78., 1991.
 4) 靖史俊傑・諸戸楊. 不攪乱火山灰質粘性土のセメンテーション効果に起因したせん断強さ: 土木学会論文集 No. 617/III-46, 175-189., 1999.
 5) 啓孝尚・澁谷西岡. 3 種類のローカルソイルの工学的特性とそれらの工学的利用: 地盤工学会誌, 65-1 (708), 2017.
 6) S MiuraYagiK. Mechanical behavior and particle crushing of volcanic coarse-grained soils in Japan : Characterisation and Engineering Properties of Natural Soils p1169-1204, 2003.