

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 15 日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24560596

研究課題名(和文) サンプルングによる乱れを受けた自然地盤試料の変形・強度特性の合理的補正法の開発

研究課題名(英文) Correcting method for the influence of soil sampling disturbance on deformation and strength characteristics of natural soils

研究代表者

福田 文彦 (Fukuda, Fumihiko)

北海道大学・工学(系)研究科(研究院)・助教

研究者番号：80241355

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,200,000円

研究成果の概要(和文)：地盤の特性を評価する際、地盤から各種サンプルング法によって採取された試料を用いて室内試験を行い、地盤の特性の評価が行われている。しかし地盤から試料を採取する際には試料が地盤内で受けていた応力が解放され、また試料採取の際に加えられるいわゆる乱れのため、採取された試料の特性は、その試料が地盤の中にあるときの特性と異なってしまふことが多い。この応力解放と乱れの影響は、土粒子間に固結力のはたらいていない試料よりも、はたらいている試料の方がより深刻であるとされている。そこでこの研究では実験的な手法によって粒子間に固結力のはたらいている試料におよぼす応力解放とサンプルングの影響について研究した。

研究成果の概要(英文)：It is widely recognized that mechanical characteristics of the soil samples taken from the grounds with soil sampling technique involving stress-release and mechanical disturbance usually have different characteristics from the samples being in in-situ state. It is also believed that the influence of the soil sampling (stress release and disturbance) is more severe to soil samples with cementation than the samples without cementation. This research mainly investigates the influence of the soil sampling on the mechanical characteristics of the soil sample with the cementation effect.

研究分野：地盤工学

キーワード：サンプルング 乱れ 応力解放 セメンテーション

1. 研究開始当初の背景

自然地盤の様々な物性を評価するために、地盤から試料のサンプリングが行われる。しかしサンプリングには試料が地盤の中で受けていた応力の解放や力学的な乱れを伴うため、サンプリングにより得られた試料の物性は、サンプリング前とは異なるのが普通である。

応力解放や乱れが試料の物性におよぼす影響を調べるための多数の研究が行われている。例えば Skempton らは応力解放のみが生じるサンプリングのシミュレーションを行い、応力解放が試料の特性におよぼす影響を実験的に検討している。

Baligh らは地盤へのサンプリングチューブの貫入に伴う試料の乱れを Strain Path Method と呼ばれる方法で解析し、サンプリングチューブ貫入の際に試料が受けるひずみ履歴を明らかにした。また三軸試験と明らかにしたひずみ履歴を用いて、サンプリングに伴う乱れと応力解放のシミュレーション実験を行い、乱れと応力解放が試料の特性におよぼす影響について実験的に検討している。

Bejruum は応力解放や乱れを受けて試料の変形や強度特性が変化してしまった試料の特性を回復するための方法として、再圧密法を提案している。再圧密法はサンプリングにより採取された試料を、原位置で受けていた有効土被り圧と同じ圧力で K_0 再圧密する方法である。

Ladd は応力解放や乱れを受けてしまった試料の特性を回復するための別法として SHANSEP 法を提案している。この方法は試料を原位置で受けていた有効土被り以上の圧力で K_0 圧密を行って試料の乱れを除去した後、原位置における過圧密比と同じ過圧密比になるまで除荷する方法である。

自然地盤試料の中にはセメンテーションあるいは構造と言われる土粒子間に固着力をもつ試料も存在する。そしてひとたび破壊されてしまった土粒子間の固着は容易には元に戻らないために、セメンテーションを有する試料は、サンプリングに伴う乱れの影響をより強く受けるとともに、再圧縮法や SHANSEP 法などの手法もあまり有効ではないことが推察される。しかしながらセメンテーションを有する試料におよぼす応力解放や乱れの影響や、再圧縮法・SHANSEP 法の適用性に関する研究は必ずしも十分ではない。

2. 研究の目的

本研究ではセメントを添加することによってセメンテーションを人工的に再現した粘

土を試料とし、三軸試験器を用いてサンプリングのシミュレーション実験を行い、サンプリングに伴う応力解放と乱れがセメンテーションを有する粘土の特性に与える影響を明らかにするとともに、これらの試料に対する再圧密法の適用性を調べ、また室内試験結果から試料の实地盤における変形・強度特性を推定する方法の開発を行う。

3. 研究の方法

この研究ではセメンテーションを有した粘土の力学的特性におよぼす応力解放と乱れの影響を明らかにするためにセメントを添加した再構成試料を作成し、定ひずみ速度圧密試験(CRS 試験)、一軸試験、三軸試験を行った。

実験に用いた試料はセメントを添加した予圧密笠岡粘土である。添加するセメント量は粘土に対して重量比 1%、予圧密圧力は 100kPa、予圧密期間は 7 日間である。また試料の液性限界は 73%、塑性指数は 41 である。

セメントの強度発現が時間に依存することから、セメントを添加した笠岡粘土は予圧密を始めてから実験に供されるまでの時間に応じて特性が変化することが予想される。そのため本研究では予圧密を始めてから実験に供されるまでの時間と圧密特性やせん断特性の関係を把握するための実験を行っている。この報告書では予圧密開始から実験に供されるまでの時間を試料の養生時間と呼ぶ。

(1) 定ひずみ速度圧密試験

セメントを添加した笠岡粘土と添加しない笠岡粘土の CRS 試験を行いセメントの添加によってセメンテーションを有する試料に特徴的な圧密挙動が再現できることを確認した。具体的にはセメントの添加によって有効上載圧が同じ点における間隙比が増加することを確認した。また養生時間の異なるセメントを添加した笠岡粘土の CRS 試験を実施し、養生時間の増加に伴って同じ有効上載圧に対する間隙比が増加することを確認した。

(2) 一軸圧縮試験

セメントを添加した笠岡粘土と添加しない笠岡粘土の一軸圧縮試験を行い、セメントの添加によってセメンテーションを有する試料に特徴的なせん断挙動が再現できることを確認した。具体的にはセメントの添加によって初期剛性とピーク強度がともに増加することを確認した。また養生時間の異なるセメント添加笠岡粘土試料の一軸圧縮試験を行い、養生時間の増加とともにピーク強度が増加することを確認した。

(3) 三軸試験

セメンテーションを有する粘土におよぼす応力解放と乱れの影響を明らかにするとともに、これらの粘土に対する再圧密法 / SHANSEP 法の適用性を調べるために、セメントを添加した笠岡粘土の三軸試験を行った。三軸試験は以下の4つの実験シリーズから構成される。第1の実験シリーズは、試料の養生時間と圧密圧力が試験結果におよぼす影響を調べるための試験である。第2の実験シリーズは、サンプリングに伴う応力解放と乱れがセメンテーションを有する粘土の力学特性におよぼす影響を明らかにする試験である。第3の実験シリーズは、セメンテーションを有する粘土に対する再圧密法の有効性を調べるための実験である。そして第4の実験シリーズは、セメンテーションを有する粘土に対する SHANSEP 法の有効性を調べるための実験である。これらの実験シリーズにおいて応力解放の影響を調べるための実験は Skempton らのシミュレーション実験にならったものであり、乱れと応力解放の影響を調べるための実験は Baligh らの研究にならったものである。

第1実験シリーズ 三軸試験結果におよぼす試料の養生時間と圧密圧力の影響を調べるための実験

本シリーズの実験は K0 圧密非排水せん断試験である。先に述べたとおり、試料の予圧密圧力が 100kPa であるのに対し、このシリーズの K0 圧密過程の圧密圧力(上載圧)は 100kPa と 200kPa である。

この実験シリーズから得られた実験結果は圧密圧力 100kPa と 200kPa で大きく異なっている。圧密圧力 100kPa の実験については養生時間の増加に伴って非排水せん断強度が増加した。また、強度が異なることから明らかなように、養生時間によって異なる軸差応力～軸ひずみ関係が得られる。それに対して圧密圧力 200kPa の実験については、養生時間に関わらず、非排水せん断強度はほぼ一定であった。また軸差応力～軸ひずみ関係についても養生時間の影響がほとんど認められない。

第2実験シリーズ サンプリングに伴う応力解放と乱れがセメンテーションを有する粘土の力学特性におよぼす影響を明らかにするシミュレーション実験

本シリーズは PS, DS, TRUE の三つの試験から構成される。PS 試験は Skempton の実験にならった応力解放のシミュレーション試験, DS 試験は Baligh の実験にならったサンプリングチューブの貫入にともなう乱れと応力解放のシミュレーション実験である。また TRUE 試験は K0 圧密非排水せん断試験

である。

PS 試験は三つの載荷ステージで構成される。すなわち K0 圧密, 非排水条件かつ側圧一定条件のもとでの軸差応力の除荷, 非排水せん断である。K0 圧密過程はサンプリング前の試料を再現するためのものである。応力解放過程はサンプリング後に応力が解放された試料を再現するためのものである。そして非排水せん断はサンプリング後に行われる一軸圧縮試験あるいは UU 試験に相当する。

DS 試験も三つの載荷ステージで構成される。すなわち, K0 圧密, 乱れと応力解放, 非排水せん断である。K0 圧密過程はサンプリング前の試料を再現するためのものである。乱れと応力解放は、チューブサンプリングの際に生じる乱れと応力解放のシミュレーションである。この過程ではまず非排水かつ側圧一定条件のもとで試料にサンプリングチューブの貫入にともなう乱れに相当するひずみ履歴を与え、次に軸差応力の解放を行う。

TRUE 試験は K0 圧密非排水せん断試験である。この試験のせん断過程から得られる変形・強度特性は、応力解放や乱れをまったく受けていない試料の変形・強度特性に相当する。

PS, DS, TRUE の各試験とも, K0 圧密過程の圧密圧力(上載圧)は 200kPa である。PS, DS, TRUE の各試験とも, 試料の養生時間はそれぞれ異なる。しかし第1シリーズの実験結果にもとづき、養生時間の影響については無視できるものとしている。

PS, DS, TRUE 試験から得られたピーク強度は, TRUE が最も高く、次いで応力解放のみをシミュレートした PS、そして乱れと応力解放の両方をシミュレートした DS が最も低い。また軸差応力～軸ひずみ関係も、各試験でそれぞれ異なっている。

第3実験シリーズ セメンテーションを有する粘土に対する再圧密法の有効性を調べるための実験

サンプリングにより採取されたセメンテーションを有する粘土に対する再圧密法の有効性を調べるために次の二つの試験を実施した。最初の試験は応力解放のみを受けた試料に対する再圧縮法の有効性を調べるための試験である (PS-RC 試験)。この試験では K0 圧密と応力解放の後に、再び K0 圧密を行い、最後に非排水せん断を実施する。K0 圧密の圧密圧力は先にも述べたとおり 200kPa であり, K0 再圧密の圧密圧力もまた 200kPa である。第2の試験は乱れと応力解放を受けた試料に対する再圧縮法の有効性を調べるための試験である (DS-RC 試験)。この試験

では K0 圧密後の試料に乱れと応力解放を与えた後に K0 再圧密を行い、最後に非排水せん断を実施する。この試験の K0 圧密と K0 再圧密の圧密圧力ともに 200kPa である。

PS-RC 試験, DS-RC 試験と, 第 2 実験シリーズの TRUE 試験の実験結果を比較することにより, セメンテーションを有する試料に対する再圧縮法の有効性について調べた。実験結果は次の通りである。

PS-RC 試験の非排水せん断過程のピーク強度は, TRUE 試験のピーク強度よりも大きい。また DS-RC 試験のピーク強度は PS-RC 試験から得られるピーク強度よりも更に大きい。

PS-RC, DS-RC, TRUE 試験のピーク強度が一致しないことから明らかとなり, 各試験の主応力差 - 軸ひずみ関係はそれぞれ異なる。

また PS-RC, DS-RC, TRUE 試験の主応力差 - 平均有効主応力平面上における有効応力経路については PS-RC 試験と TRUE 試験の間では大きな違いは認められない。しかし DS-RC 試験と TRUE 試験の有効応力経路はかなり大きな違いが認められる。

第 4 実験シリーズ セメンテーションを有する粘土に対する SHANSEP 法の有効性を調べる実験

サンプリングにより採取されたセメンテーションを有する粘土に対する SHANSEP 法の有効性を調べるために二つの試験を行った。最初の試験は応力解放のみを受けた試料に対する SHANSEP 法の有効性を調べるための試験である (PS-SH 試験)。この試験では, K0 圧密と応力解放の後に, 再び K0 圧密を行い, 最後に非排水せん断を実施する。K0 圧密の圧密圧力は 200kPa であり, K0 再圧密の圧密圧力は K0 圧密の圧密圧力の 2 倍である 400kPa である。二つめの試験は乱れと応力解放を受けた試料に対する SHANSEP 法の有効性を調べるための試験である (DS-SH 試験)。この試験では, 試料に乱れと応力解放を与えた後, K0 再圧密を行い, 最後に非排水せん断を実施する。K0 圧密の圧密圧力は 200kPa, K0 再圧密の圧密圧力は PS-SH 試験の再圧密圧力と同じ 400kPa である。

再圧密圧力で正規化した PS-SH 試験のピーク強度は, 圧密圧力で正規化した TRUE 試験のピーク強度よりも小さい。また再圧密圧力で正規化した DS-SH 試験のピーク強度は, 圧密圧力で正規化した TRUE 試験のピーク強度とほぼ一致する。

再圧密圧力で正規化した DS-SH 試験の軸差

応力 - 軸ひずみの関係は, 圧密圧力で正規化した TRUE 試験の軸差応力 - 軸ひずみ関係とほぼ一致している。

再圧密圧力で正規化した PS-SH 試験の主応力差 - 平均有効主応力平面上における有効応力経路および再圧密圧力で正規化した DS-SH 試験の有効応力経路と, 圧密圧力で正規化した TRUE 試験の有効応力経路との間に大きな違いは認められなかった。

4. 研究成果

(1) サンプリングに伴う応力解放や乱れによってセメンテーションを有する粘土の強度特性や変形特性が変化することを確認した。

(2) セメンテーションを有する粘土に対して再圧密法を適用しても原位置と同じ強度特性や変形特性を得ることはできない。

(3) 乱れと応力解放を受けた試料に限れば, セメンテーションを有する粘土に対して SHANSEP 法を適用することにより, 原位置とおおよそ同じ強度特性や変形特性を得ることができる可能性がある。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表](計 3 件)

福田 文彦, 小宮 耕介, 寺本 崇宏, 構造を持った粘土のサンプリングに伴う乱れの研究, 第 49 回地盤工学研究発表会, 2014, 249 - 250, 査読なし

小宮 耕介, 福田 文彦, サンプリングにともなう試料の乱れと各種再圧密法の有効性に関する研究, 土木学会第 67 回年次学術講演会講演概要集, 2013, 29 - 30, 査読なし

灌本 興, 福田 文彦, セメント添加粘土の圧密特性におよぼすセメント量と養生期間の影響, 地盤工学会北海道支部技術報告集, 第 53 号, 2013, 77 - 80, 査読なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者 福田 文彦

(FUKUDA FUMIHIKO)

北海道大学大学院・工学研究院・助教

研究者番号: 80241355