

セメント添加・カルシウム溶脱による軟弱粘性土供試体の作製

名古屋大学 ○中井健太郎, 古市実希, 野田利弘

1. はじめに

沖積平野は、第4紀の沖積世に堆積した未固結の層（沖積層）から構成されるが、緩い砂質土や高含水比な有機質土・泥炭、鋭敏な粘土・シルトで構成され、軟弱な状態で堆積していることが多い。これら軟弱地盤では砂質土の液状化や粘性土の圧密沈下など、地盤工学的問題が生じやすい。しかし、国土の狭い日本では必然的に軟弱地盤上に構造物を建設し、生活を営むことが必要となる。種々の地盤工学的課題に対処するためには、自然堆積状態にある土の力学特性を正確に把握することが重要だが、堆積時のばらつき、サンプリング時の乱れや採取コストなどの制約から、自然堆積時と同じ状態で同質な供試体を数多く準備することは難しい。一般的には実験室で作成した再構成試料を用いて室内試験を実施することが多いが、再構成試料の場合、自然堆積過程において長い年月をかけて発達した年代効果の影響が考慮できず、自然堆積土が示す複雑な力学挙動とは異なることが知られている。本報では、年代効果として「セメンテーション作用」と「溶脱作用」に着目し、少量のセメントを添加した粘性土供試体を硝酸アンモニウム水溶液に浸漬してカルシウム溶脱させ、軟弱粘性土供試体の作製を試みた。

2. 供試体作製方法

本研究における供試体作成手順は以下の通りである。

- 1) 含水比が112%（液性限界の2倍）のスラリー状の粘性土試料に、乾燥質量比で5%のセメント（早強ポルトランドセメント）を添加し、10分間しっかりと攪拌する。
- 2) 攪拌後、振動を与えて空気を抜きながら、試料をプラスチックモールドに投入する。
- 3) ブリーディング水をヘラで取り除き、表面を平らに整えて2週間水中養生させる。
- 4) 供試体をモールドから取り出し、1.0mol/lの硝酸アンモニウム水溶液に1週間浸漬する。

3. 物理特性の変化

粘土母材、母材にセメント添加して養生した「セメント添加試料」、セメント添加試料をカルシウム溶脱させた「溶脱試料」を用いた物理試験結果を表1と図1に示す。セメント添加によって液性限界・塑性限界とともに塑性指数も増加し、セメント添加によって水を多く保持できる性質に変化したことがわかる。なお、供試体含水比がかなり異なるが、供試体作製方法の違いに起因する（母材は予備圧密しているのに対して、セメント添加試料はモールド投入したのみで荷重履歴をかけていない）。粒度を見ると、セメント添加によって細粒分が若干減少してい

表1 セメント添加・溶脱に伴う物性の変化

	粘土母材	セメント 添加試料	溶脱試料
土粒子密度 ρ_s (g/cm ³)	2.71	2.69	2.72
液性限界 w_L (%)	56.3	100.4	92.6
塑性限界 w_p (%)	24.4	44.1	30.0
塑性指数 I_p	31.9	56.3	62.6
供試体含水比 w_n (%)	40.2	99.9	104.9
液性指数 I_L	0.50	0.99	1.20

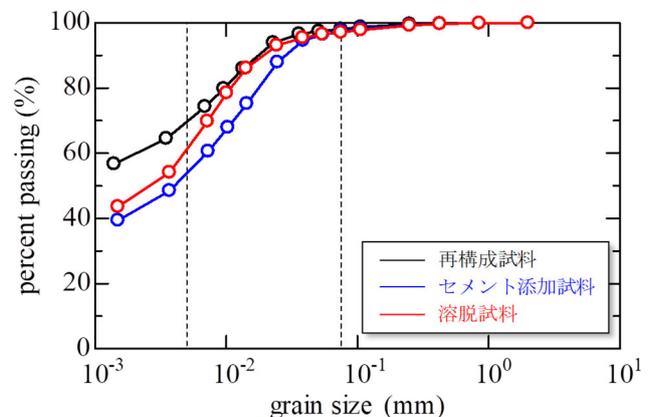


図1 セメント添加・溶脱に伴う粒度分布の変化

軟弱粘性土, セメント添加, カルシウム溶脱, 年代効果, 構造

るが、これはセメントによる団粒化だと考えられる。次に、セメント添加試料をカルシウム溶脱した影響を見ていく。溶脱によって液性限界、塑性限界は少し減少するが、塑性指数は増加しており、高い保水性を維持している。供試体含水比が増加し、液性指数は1.0を超える高含水比状態にある。粒度を見ると、溶脱によって細粒分が若干増加する。これは、セメントによる団粒化が解きほぐされたこと、溶脱によって細粒分が供試体外へ析出したためだと考えられる。

4. せん断特性の変化

図2に非排水三軸圧縮試験結果を示す。いずれも300kPaで等方圧密した後、50kPaまで等方除荷して過圧密状態とした。軸ひずみ速度0.0075%/min一定で非排水せん断した。有効応力パスを見ると、再構成試料は、塑性膨張を伴う硬化挙動(p' 増加を伴う q の増加)を示しながら限界状態に達する典型的な過圧密粘土の非排水せん断挙動を示す。セメント添加供試体は、ピーク強度が大きくなり、ピーク後に q は減少に転じるが、応力-ひずみ曲線はガタついて脆性的な変形を示す。実際、せん断中の供試体の様子を観察すると、軸ひずみ3~5%で供試体に明確なクラック/せん断面が入る。一方、溶脱試料は、せん断面が入ることなく樽型に変形し、滑らかな応力-ひずみ曲線を描く。また、有効応力パスを見ると、塑性膨張を伴う硬化挙動(p' 増加を伴う q の増加)の後に、塑性圧縮を伴う軟化挙動(p' 減少を伴う q の減少)に転じており、軟弱粘性土に特徴的な「巻き返し挙動」を示す。

図3にセメント添加試料と溶脱試料のSEM画像を示す。セメント添加試料を見ると、土粒子間に扁平で細長い水酸化カルシウムの結晶が確認できる。一方、溶脱試料を見ると、この水酸化カルシウムの結晶が溶出して存在しない。水酸化カルシウム結晶が土粒子間の嵩張った構造を形成したが、溶脱によって結晶が溶出することで、土粒子間の結合力が低下し、せん断挙動におけるひずみ軟化挙動や圧縮挙動における高い圧縮性(圧縮挙動については別報1)を参照)を生じさせたと考えられる。

図3にセメント添加試料と溶脱試料のSEM画像を示す。セメント添加試料を見ると、土粒子間に扁平で細長い水酸化カルシウムの結晶が確認できる。一方、溶脱試料を見ると、この水酸化カルシウムの結晶が溶出して存在しない。水酸化カルシウム結晶が土粒子間の嵩張った構造を形成したが、溶脱によって結晶が溶出することで、土粒子間の結合力が低下し、せん断挙動におけるひずみ軟化挙動や圧縮挙動における高い圧縮性(圧縮挙動については別報1)を参照)を生じさせたと考えられる。

4. おわりに

本報では、年代効果として「セメンテーション作用」と「溶脱作用」に着目し、少量のセメントを添加した粘性土供試体を硝酸アンモニウム水溶液に浸漬してカルシウム溶脱させ、軟弱粘性土供試体の作製を試みた。その結果、液性指数が1.0を超える高含水比状態の供試体を作製することができた。また同試料は、軟弱粘性土に特徴的なせん断挙動におけるひずみ軟化挙動、圧縮挙動における嵩張りと高い圧縮性¹⁾を示すことを確認し、人工的に自然堆積軟弱粘性土と類似した供試体を作製することに成功した。

参考文献

1) 中井健太郎, 古市実希, 野田利弘, セメント添加・カルシウム溶脱によって人工的に年代効果を付加した粘土供試体の力学挙動, 第57回地盤工学研究発表会概要集, 投稿中。

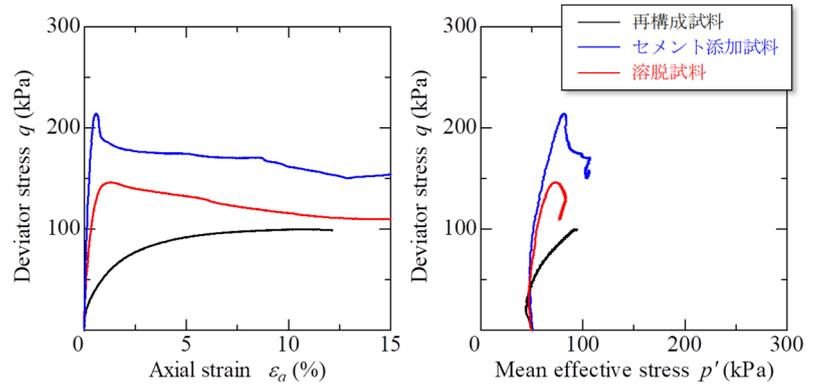


図2 セメント添加・溶脱に伴う非排水せん断挙動の変化

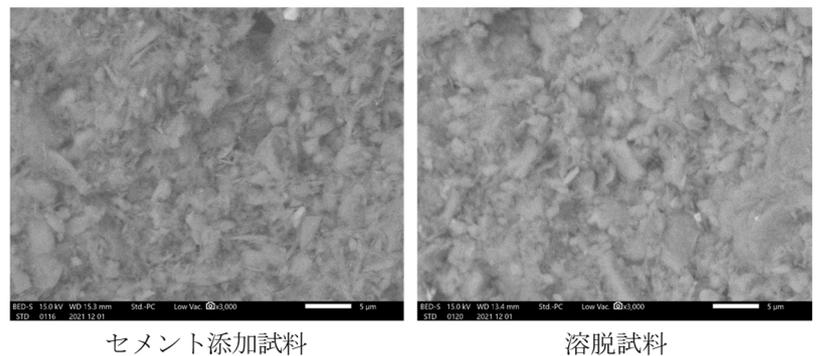


図3 セメント添加試料・溶脱試料のSEM画像