

III-100

物理化学的要因が飽和粘性土の圧密挙動に及ぼす影響について

早稲田大学理工学部土木工学科 正会員 ○ 赤 木 寛 一

1. まえがき

飽和粘性土の圧密現象が土粒子の骨格構造の状態やそれに関わる間隙水中の陽イオンの種類や濃度、温度などの各種の物理化学的要因の影響を受けることはよく知られている。しかしながら、その影響に対する評価は未だ定性的なものにとどまっており、合理的な飽和粘性土の圧密理論を構成するためには熱力学などの物理化学に関する知識に基づいたアプローチが不可欠であると言える。¹⁾

さきに、近藤ら²⁾は交流電圧の負荷に起因する飽和粘性土の圧密挙動を実験的に調査し、飽和粘性土の圧密機構について興味深い考察を加えている。飽和粘性土に交流電圧を負荷した場合に土粒子自体の電気伝導率は小さいので、電気伝導は土粒子以外の間隙流体部分を介して行われることになる。粘土粒子は一般に固定層と拡散イオン層からなる電気二重層を有しているので、間隙流体を介しての電気伝導は間隙流体に含まれる各種陽イオン電荷による電気伝導と土粒子界面に存在する電気二重層における表面伝導によって行われることが指摘されている。³⁾ したがって、交流電圧負荷に伴う飽和粘性土の電気伝導現象の変化は間隙流体中のイオン電荷及び土粒子界面の電気二重層の荷電状態の変化を反映することになる。間隙流体及び電気二重層の荷電状態は土粒子間の相互作用力と密接な関係をもつので、交流電圧を負荷することにより物理化学的要因の主要なファクターである土粒子間の相互作用力を含めた骨格の構造状態が飽和粘性土の圧密挙動に及ぼす影響を調査することができると考えられる。

本報告はその第一歩として間隙流体中に異なる陽イオンを含む飽和粘性土に交流電圧を作用させた場合の圧密挙動を調査し、交流電場における圧密挙動の特徴とそのメカニズムについて基礎的な考察を加えたものである。

2. 実験の概要

実験には東京、大田区の現場より採取した沖積粘性土を以下のように繰り返し再圧密したものを用いた。採取した試料に1mol/lのNaCl溶液を加えて、ほぼその液性限界の2倍に相当する含水状態で十分に繰り返し練り返した粘土スラリーをモールド内で圧密圧力を載荷し脱水圧密させる。この操作を4回繰り返し練り返したものを再度繰り返し、モールド内で段階的に圧密圧力を載荷し最終的に0.8 (kgf/cm²)で圧密したものから供試体を切り出して準備した。なお、比較のために1mol/lのNaCl溶液のかわりに0.5mol/lのCaCl₂溶液を用いて繰り返し練り返したものも準備した。NaCl溶液で処理した試料(以下、Na粘土)及びCaCl₂溶液で処理した試料(以下、Ca粘土)の基本的性質は表1のとおりであり、試験前の供試体の飽和度はいずれも100%であった。

また、図1は実験に用いた圧密容器の概要であり、供試体上下のポーラスメタルを電極として供試体に交流電圧を負荷できるようになっており圧密リングと圧密容器の一部は絶縁体で作られている。

実験手順は以下のとおりである。前述のようにして準備した供試体を圧密容器にセットした後段階的に圧密圧力を載荷し、最終的に圧密圧力1.6 (kgf/cm²)で3t_E法により一次圧密終了を確認した。その後周波数50Hzの交流電圧を負荷し、この時の供試体の経時的な沈下挙動を観測した。供試体を流れる電流が増加するにつれて供試体が著しく発熱するため、冷却水を供試体上部に循環させたが発熱を抑えられないので、供試体下部にとりつけた熱電対により実測された供試体温度が30℃～70℃の範囲内になるように交流電圧は断続的に負荷した。交流電圧の大きさはそれぞれ10, 20, 30(V)の3とおりであり、排水条件は両面排水とした。

なお、一部の試験については交流電圧負荷による圧密履歴(電圧:15(V)、片面排水)を受けた粘土の再圧密特性を調査するためにひずみ速度0.02(%/min.)の定ひずみ速度圧密試験を実施した。

表1 試料の基本的性質

名 称	Na粘土	Ca粘土
土粒子の比重 G _s	2.65	
陽イオン交換容量 (meq/100g)	32.83	
液性限界 w _L	72.6	71.6
塑性指数 I _p	35.3	34.8
初期含水比 w ₀ (%)	61.4±2.0	57.7±1.0
初期間隙比 e ₀	1.55±0.04	1.46±0.02
圧縮指数 C _c	0.488	0.468

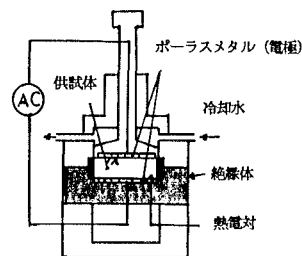


図1 圧密容器の概要

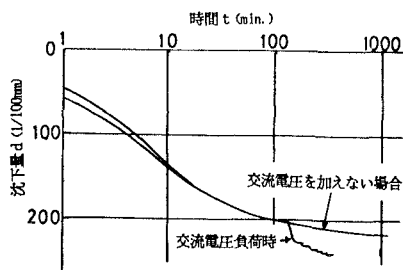


図2 時間～沈下量曲線の比較 (Na粘土, 10(V))

3. 交流電場における飽和粘性土の圧密挙動の特徴

図2はNa粘土について圧密圧力 $1.6(\text{kgf}/\text{cm}^2)$ における一次圧密終了後、 $10(\text{V})$ の交流電圧を7回繰返し負荷したときの時間～沈下量曲線を交流電圧を負荷しない場合と比較したものである。交流電圧の負荷という外部からのエネルギーの供給があるため熱力学システムとしては開放型になるので、交流電圧を負荷しない場合と直接に比較することは適切ではないが交流電圧負荷によって著しい沈下の発生することがよくわかる。

図3はこのときの1回目の交流電圧負荷に伴う供試体の沈下量と温度及び電流の経時的な変化状況を示したものである。交流電圧負荷に伴う間隙流体中のイオン電荷による電気伝導及び土粒子界面の電気二重層における表面伝導に起因する電流の増加に伴って、供試体の温度、沈下量がともに増大し、供試体の温度が 70°C に達して交流電圧を切った直後に大きな沈下が発生した。この現象は他の実験においても観測されたが、供試体内部の温度勾配が交流電圧を切ったときに最大になるので間隙水の流れが促進されることによるもの大きいと思われる。また、負荷される交流電圧の大きさが大きいほど供試体の温度上昇が大きくなるので、間隙流体自身の熱膨張に起因すると思われる供試体の膨張現象が交流電圧負荷直後に観測された。

図4は交流電圧を7回繰返し負荷した後に供試体に生じる残留沈下ひずみと電圧の大きさの関係をNa粘土とCa粘土別に示したものである。間隙流体中の陽イオンが一価で土粒子の電気二重層の厚さが大きいと推定されるNa粘土の方が同一の交流電圧を負荷した場合にCa粘土よりも大きな沈下ひずみが生じている。交流電圧負荷によってその荷電状態が変化する土粒子の電気二重層の厚さが違うので、その結果として生じる土粒子骨格構造の変化に対応する沈下ひずみに違いが出ているものと考えることができる。

図5はNa粘土を用いて圧密圧力 $1.6(\text{kgf}/\text{cm}^2)$ で一次圧密終了時まで圧密した供試体とその後交流電圧 $15(\text{V})$ で沈下を生じさせた供試体のそれぞれについてひずみ速度 $0.02(\%/min.)$ で定ひずみ速度圧密試験を行った場合の圧縮曲線を比較したものである。交流電圧による圧密履歴を受けた供試体は圧密降伏応力が増大し、疑似過圧密状態になっていることがわかる。

4. まとめ

本報告は間隙流体中に異なる陽イオンを含む飽和粘性土に交流電圧を作用させた場合の圧密挙動の特徴とそのメカニズムについて基礎的な考察を加えたものである。主な実験結果を列挙すると以下のとおりである。

- (1) 交流電圧を飽和粘性土に負荷することによって、圧密沈下が著しく促進される。
- (2) 交流電圧を切った直後に温度勾配に起因すると思われる大きな沈下が生じる。
- (3) 土粒子の電気二重層の厚さが大きいと推定されるNa粘土の方が、同一の電圧を負荷した場合にCa粘土よりも大きな沈下ひずみが生じる。
- (4) 交流電圧による圧密履歴を受けた飽和粘性土は圧密降伏応力が増大し、疑似過圧密状態になっている。

今回用いた実験装置では、熱量の出入り等の熱力学的境界条件が不明であるので熱力学に基づく考察を加えることができないが、交流電圧を用いた実験手法は間隙流体中のイオン電荷及び土粒子の電気二重層の荷電状態を変化させるのに有効な方法であると言える。

最後に、実験及びデータ整理を担当した学生の相田、中畑両君に感謝する。

(参考文献)

- 1) 山内・松原・安原：講座「土の物理化学と土質工学への応用」13. 講座を終わるに当たって、土と基礎、Vol. 34, No. 6, p. 67～68, 1986
- 2) Kondo, T and Tsuchida, T: Experimental study on consolidation of marine clays in alternating electric current field, SOILS AND FOUNDATIONS, Vol. 28, No. 4, p. 38～46, 1988
- 3) 森：土の電気伝導について、土木学会誌、Vol. 34, No. 11, p. 13～17, 1952

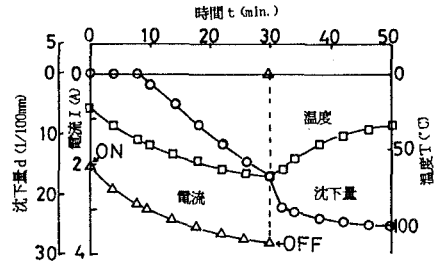


図3 交流電圧負荷に伴う経時的な変化状況 (Na粘土, $10(\text{V})$)

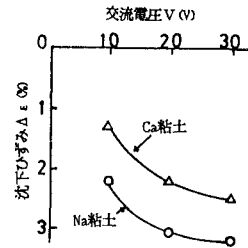


図4 残留沈下ひずみと電圧の関係

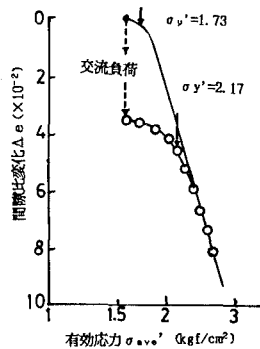


図5 交流電圧による圧密履歴の影響