

粘土の微視的構造と力学特性に及ぼす温度および時間効果

広島大学 正会員 森脇武夫
 広島大学 学生会員 ○平林岳樹

1. はじめに

粘土を人工的に高温再圧密することによって、時間効果を有する自然堆積粘土の力学特性を再現できることは多くの研究によって明らかにされている。しかし、時間効果は現在の力学理論では未解明な点が多く、巨視的挙動である力学特性の類似からだけでは、時間効果が再現されたとはいえない。そこで、本研究では不攪乱試料、実験室内で作成した室温試料と高温再圧密試料の SEM 写真から得た白黒濃度情報をスペクトル解析し、微視的構造を定量的に判別することにより高温再圧密による粒子構造の変化を明らかにする。また、あわせて力学試験も行い、粒子構造との関連性を検討する。

2. 試料作成方法

山口県岩国飛行場建設予定地より採取した通称「岩国粘土」($\omega_L=97.2\%$, $I_P=51.1$, $G_S=2.666$)を使用した。シンウォールチューブからできるだけ乱さないようにして取り出したものをそのまま不攪乱試料とした。試験後それを練り返し、人工海水により液性限界の2倍のスラリー状にして24時間の自重圧密を行い、その後 $0.05 \rightarrow 0.2 \rightarrow 0.7 \rightarrow 1.2 \text{ kgf/cm}^2$ の鉛直圧密応力で各段階 24 時間で段階的に圧密するが、 1.2 kgf/cm^2 では3t法により圧密終了時間を決定した。自重圧密開始時から圧密終了時まで 70°C に保たれたものを高温再圧密試料（高温試料）、 20°C に保たれたものを室温再圧密試料（室温試料）とした。

3. 力学試験結果と考察

各試料の標準圧密試験結果を図-1、図-2に示す。図-1の $e-\log p$ 曲線において、不攪乱試料と高温試料は圧密降伏応力直後に右上部へ飛び出した形になっていることがわかる。図-2を見ると不攪乱試料および高温試料は圧密降伏応力を過ぎた付近で C_c が極大となり、 $e-\log p$ 曲線は正規圧密領域において下に凸の曲線になっている。室温試料では若干の C_c の低下は見られるが、他の試料に比べると C_c は一定であり、正規圧密領域で $e-\log p$ 曲線は直線的である。

図-3は一軸圧縮試験による応力～ひずみ関係である。不攪乱試料および高温試料では応力に明瞭なピークがあり、室温試料のそれとは明らかに違っている。また、練り返した試料の応力～ひずみ関係はすべての試料において同じ値を取り、このことから練り返すことによって不攪乱試料の時間効果と高温再圧密による温度効果は失われることがわかる。一軸圧縮強度は不攪乱試料が室温、高温試料の2倍以上の値になっている。これは、不攪乱試料が長い年月をかけて圧密された為に二次圧密が進み、セメンテーションによって粒子間の結合力が増加したことが原因であると考えられる。

以上に述べた不攪乱試料の力学的性質は時間効果を有する自然堆積粘土特有のものである。高温試料は室温試料に比べて不攪乱試料に近い力学的挙動を示すことから、時間効果のある程度再現しているといえる。

4. 解析方法

走査型電子顕微鏡（SEM）を用いて撮影した粘土粒子構造の写真をスキャナーを通してコンピューターに

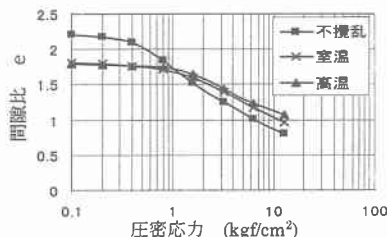


図-1 標準圧密試験の $e-\log p$ 曲線

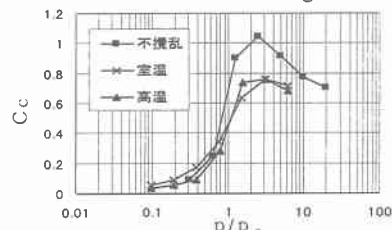


図-2 $e-\log p$ 曲線での C_c の変化

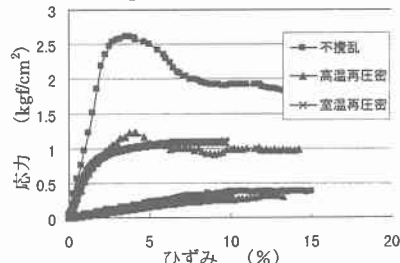


図-3 一軸圧縮応力～ひずみ関係

取り込み、画像解析ソフト(Mac Scope Ver.2.53 三谷商事株)で白黒化した画像の濃度分布を計測する。濃度の計測は、試料の鉛直断面、水平断面の SEM 画像上に直行する X 方向、Y 方向それぞれ 20 本の線分を引き、その線上の濃度分布を求める。なお、水平断面では X、Y 方向に特別な意味はないが、鉛直断面では X 方向が水平方向、Y 方向が鉛直方向を示している。求めた濃度分布をパワースペクトル解析することにより濃度スペクトル図が得られ、線分上でどの大きさの粒径が卓越しているのか知ることができる¹⁾。卓越する粒径は最も卓越する粒径(1 番値)と、次いで 2 番目に卓越するもの(2 番値)まで調べ、鉛直断面、水平断面、また X 方向、Y 方向についてそれらの結果をまとめ、比較、考察を行っていく。また 2 番値は、そのパワースペクトルが 1 番値のパワースペクトルの 1/3 以上である場合のみ採用した。言い換えると、2 番値のパワースペクトルが 1 番値に比べて極端に小さい場合には 2 番値は存在しない。

5. 解析結果と考察

図-4 にスペクトル解析により算出した 1 番値の検出個数を 5 μ m ごとの粒径の範囲に累積させて示している。鉛直断面において室温試料の卓越する粒径は、X 方向で 21~25 μ m で頻度が高いのに対して Y 方向では少なくなっている。6~10 μ m での頻度は両方向ともに高くなっているが、この粒径には ped から剥離した微小粘土粒子や粘土粒子表面の凹凸模様を検出したものが含まれていると考えられる為、傾向として X 方向に大きな粒径、Y 方向に小さな粒径が多く存在すると考えられる。また、粘土粒子は板状であることから室温試料の鉛直断面において粒子の方向に規則性があることがわかる。水平方向においては X 方向、Y 方向ともに 21~25 μ m を多く検出しており、これは板状粒子の平坦面の大きさだと考えられる。よって室温試料は板状粒子が水平に重なり合う構造であると推測される。

不攪乱試料および高温試料はすべての断面、方向によらず 6~10、21~25 μ m の粒径を多く検出している。これらは粒子の厚さ、平坦面の大きさと考えられるが、それ以外の粒径も多く検出しており、様々な大きさの粒子、様々な粒子の方向が存在することから不攪乱試料、高温試料はランダム構造に近いと考えられる。

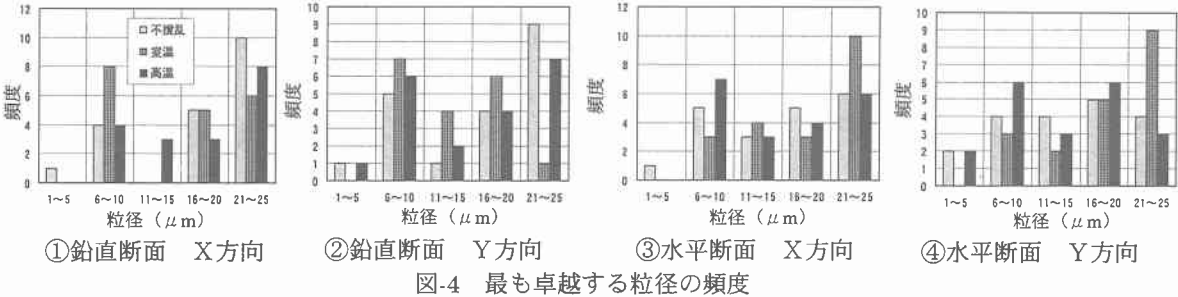


表-1 に 2 番値の存在する確率を示す。2 番値は、パワースペクトルが 1 番値のパワースペクトルの 1/3 以上である場合のみ採用するので、検出された粒径が一つの値に集中している場合は存在しにくい。配向構造は粒子の向きが一定であるため検出される粒径が集中する。これらのことから 2 番値の存在確率は配向性が強くなる程小さくとなると考えられ、表-1 の結果は前の考察内容を裏付けるものであるといえる。

6. おわりに

水平断面および鉛直断面において、直交する 2 つの方向による卓越する粒径の違いから、不攪乱粘土および高温再圧密粘土はランダム構造に近く、室温試料は配向構造に近いことを定量的に示すことができた。また、不攪乱試料と高温試料の力学特性が類似していることは力学試験から確かめることができ、巨視的挙動と微視的構造の両方面から温度効果と時間効果の類似性が示せた。

参考文献 1) 森脇・和田: 高温再圧密粘土の粒子構造と力学特性, 第 50 回土木学会中国支部 291-292, 1998

表-1 2 番値の存在確率 (%)

	鉛直断面		水平断面	
	X	Y	X	Y
不攪乱	83.3	70.0	85.0	94.7
室温	42.1	38.9	70.0	63.2
高温	95.0	90.0	65.0	90.0