

高温再圧密粘土の粒子構造と力学特性

広島大学 工学部 正会員 森脇 武夫
 広島大学 工学部 学生員 ○和田 陽子

1. はじめに

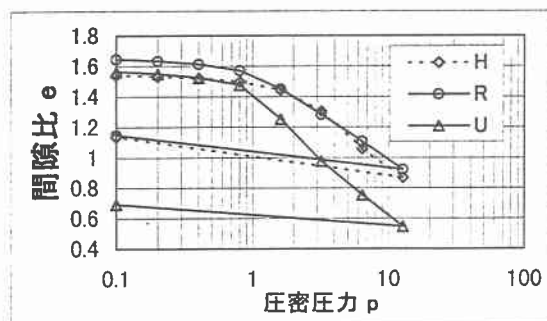
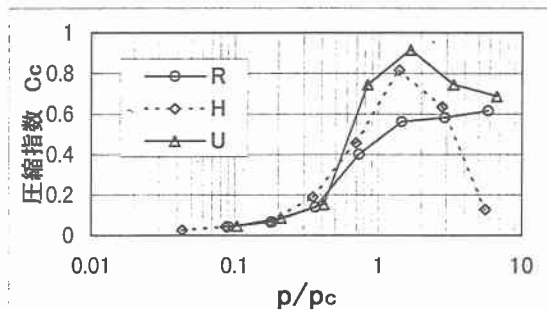
近年の研究で、自然地盤の粘土の力学特性と、再圧密して作製された粘土の力学特性が異なっていることが明らかにされるとともに、粘土を高温状態で圧密すると、自然粘土の持つ年代効果を実験室内で再現できることが提案された。この方法は、粘土の巨視的挙動に関しては、年代効果の再現性が認められているが、年代効果は現在の力学理論では未解明な点が多く、巨視的挙動からだけでは年代効果が再現されたとはいえない。そこで、本研究では高温再圧密による年代効果の再現性を、粘土の微視的構造の観点からも検討した。

2. 試料および再圧密方法

山口県柳井上関線単独道路改良工事に伴う地質調査で採取した通称「柳井粘土」($W_L=53.8\%$, $I_p=27.4\%$, $G_s=2.593$)を使用した。不攪乱試料(U試料)は、シンワールチューブからできるだけ乱さないように取り出したものであり、それを練り返し、圧密圧力 1.0kgf/cm^2 で一次元的に再圧密した後、 20°C で4日間養生したものを室温試料(R試料)とし、 70°C で4日間養生したものを高温試料(H試料)とした。

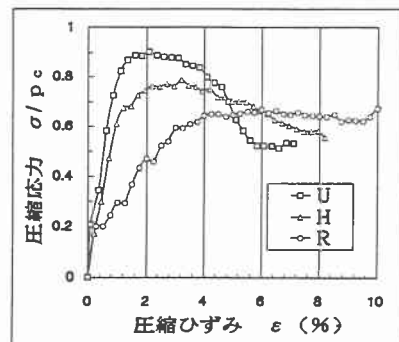
3. 力学試験結果と考察

図-1 は、標準圧密試験から得られた $e \sim \log p$ 曲線であり、不攪乱試料および高温試料では、それぞれの圧密降伏応力付近での飛び出し現象が見られる。室温試料の圧密降伏応力 (1.1kgf/cm^2) は、再圧密応力とほぼ等しいのに対し、高温試料の圧密降伏応力 (2.0kgf/cm^2) は再圧密応力より、約2倍も大きくなっている。図-2 は、圧密圧力の増加に伴う $e \sim \log p$ 曲線の傾き (C_c) の変化を示したものである。不攪乱試料および高温試料には、 C_c に明瞭なピークがあるのに対し、室温試料にはそのピークが見られない。このように、高温試料は圧密特性の面から見て、不攪乱試料をある程度再現していると言うことができる。

図-1 標準圧密試験における $e \sim \log p$ 曲線の比較図-2 標準圧密試験における圧縮指数 C_c の関係

一軸圧縮試験で得られた応力～ひずみ曲線を図-3 に示す。なお、この図の圧縮応力は前述した圧密降伏応力で正規化して示してある。これより、室温試料はひずみ硬化型であるが、高温試料と不攪乱試料はひずみ軟化型であることが分かる。高温試料の変形係数は、室温試料の変形係数より大きく、不攪乱試料の変形係数にかなり近づいていることがわかる。また、室温試料では明瞭な破壊ひずみが表れていないが、高温試料および不攪乱試料は共に、圧縮ひずみが2～3%で圧縮応力がピークに達している。

これらの結果より、高温試料の粒子構造は高温養生することにより、剛な構造になり、不攪乱試料の持つ年代効果が再現されたと考えられる。

図-3 一軸圧縮試験における
応力～ひずみ曲線

4. 画像解析方法

走査型電子顕微鏡で粘土試料の水平および鉛直断面の撮影を行う。撮影した写真をコンピューターに取り込み、画像解析ソフト（MacSCOPE. Ver.2.17（三谷商事(株)製））で画像解析を行う。解析方法は、水平および鉛直断面の顕微鏡写真上に、直交する X 方向と Y 方向の線を引き、その直線上の濃度を計測する。濃度は黒から白を 256 段階に分割して表示され、測定する直線上の 1pixel ごとの値が計測される。なお、水平断面においては特定の方向を意味していないが、鉛直断面においては X 方向を水平方向に、Y 方向を鉛直方向となるようにしてある。次に、計測した濃度分布の一次回帰直線が波の中心となるように波形変換を行い、図-4 のように、濃度分布曲線の波長が、粘土粒子の粒径の 2 倍にあたとみなし、パワースペクトル解析を行い、濃度に関するパワースペクトルと波数の関係を求める。

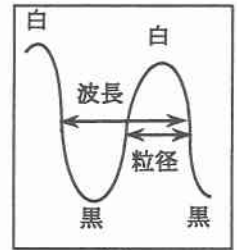


図-4

波長と粒径の関係

5. 画像解析結果と考察

図-5 に各断面の代表的な濃度スペクトルを示す。これより、高温試料の鉛直断面および水平断面では、X方向とY方向にほとんど差がなく、波数が 0.025 および 0.075 付近で濃度スペクトルのピークが現れている。波数から粒径を算出すると、粒径が $20\mu\text{m}$ と $6.6\mu\text{m}$ が卓越していることがわかる。柳井粘土粒子の平坦面の大きさは約 $25\mu\text{m}$ 、厚さは約 $4\mu\text{m}$ である。粘土粒子が傾いていることや、濃度計測を行った直線が必ずしも粘土粒子の中心を通っていないことを考慮すると、波数が 0.025 は粘土粒子の平坦面の大きさを表し、波数が 0.075 は粘土粒子の厚さを表していることがわかる。全く同じことが、不攪乱試料にも見られ、卓越する粒径として、粘土粒子の平坦面の大きさと、粘土粒子の厚さが表れている。

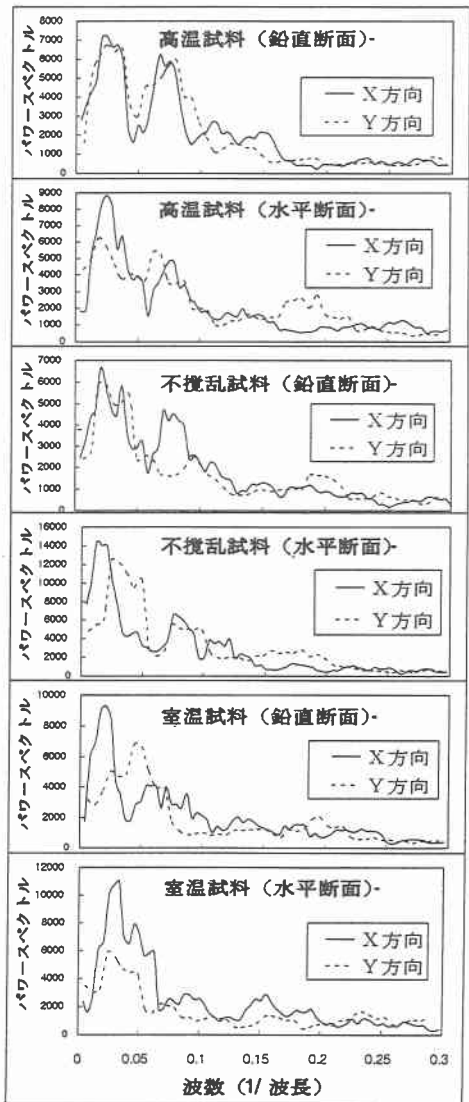


図-5 各断面の濃度スペクトル

室温試料の鉛直断面では、波数のピークがX方向では 0.025、Y方向では 0.05 と認められる。前者は粘土粒子の平坦面の大きさを表し、後者の波数 0.05 はおよそ $10\mu\text{m}$ に相当し、これは板状粒子が水平面と平行に積み重なって形成されたベッドの鉛直方向の厚さを表していると考えられる。また、室温試料の水平断面には、X方向およびY方向ともに波数が 0.025 にピークがあり、水平断面には粘土粒子の平坦面の大きさが表れている。

6. おわりに

室温試料は、切断面および方向による違いが見られ、水平方向に堆積した配向構造に近い構造になっていると考えられる。高温試料および不攪乱試料は、共に切断面および方向による違いが見られなかったことより、ランダム構造に近いと考えられるとともに、高温試料は、微視的構造が不攪乱試料と類似していることが明らかになった。

また、力学試験からも不攪乱試料と高温試料の力学特性が類似していることが確認でき、高温試料は、微視的および巨視的な面の両方から、不攪乱試料と類似していることが明らかになった。

なお、本研究は文部省科学研究費基盤研究 A(1)(代表：東畑郁生)とウエスコ土木技術振興基金の援助を受けた。