

高温圧密による粘土の微視的構造と工学的性質の変化

広島大学 正会員 森脇 武夫
広島大学 学生会員 ○古川 重幸

1. はじめに

高温環境下において再圧密することにより、年代効果を再現できることが明らかとなっている。また、自然界においても化学的地盤改良や高レベル放射性廃棄物の地中処分などにより高温環境下にさらされた地盤が増加している。そこで、本研究では再圧密時の温度と養生環境が粘土の諸特性にどのような影響を与えるか、粘土の微視的構造と工学的性質の変化から明らかにし、高温効果の影響を調べる。また、圧密圧力の増加に伴う粒子構造の変化を考察する。

2. 試料の作成方法

試料には、市販のカオリンを用いた。粉末状のカオリンに、初期含水比が液性限界の 2 倍($w=101\%$)、塩分濃度が 0.1N となるように塩化カルシウム溶液を加えスラリー状にし、再圧密セルを用いて圧密圧力 98kPa まで一次元圧密した。その際、室温試料として 20℃の環境下で再圧密した試料(R0)、圧密終了後 4 日間養生させた試料(R4)、高温試料として 70℃の環境下で再圧密した試料(H0)、圧密終了後 4 日間養生させた試料(H4)の圧密時の温度と養生環境の異なる試料を作成した。また、R0 条件でそれぞれ圧密圧力 1.0MPa (K10)、2.5MPa (K25)、5.0MPa (K50)まで一次元圧密した試料を作成し粒子構造を比較した。

3. 力学試験の結果と考察

圧密時の温度と養生期間がそれぞれ異なる R0, R4, H0, H4 の 4 種類の試料を用いて力学試験を行った。図-1 は標準圧密試験により得られた e - $\log p$ 曲線であり、図-2 は横軸に圧密圧力と圧密降伏応力の比を取り、縦軸に e - $\log p$ 曲線の傾き C_c を取ったものである。図-2 より、高温試料 H0, H4 は降伏応力後に C_c が極大値を示しており、正規圧密領域において e - $\log p$ 曲線は下に凸の曲線であることが分かる。一方、室温試料 R0, R4 は降伏応力後も C_c の低下はなくほぼ一定の値となっており、正規圧密領域において e - $\log p$ 曲線は直線であることが分かる。図-3 は、一軸圧縮試験より得られた応力 - ひずみ曲線である。この図より、室温よりも高温環境の方が、また養生期間を設けることにより強度が増加していることが分かる。これは、高温環境下においてセメンテーション作用が促進され、また養生期間において二次圧密が生じた結果であると思われる。以上の力学試験結果より、高温試料 H0, H4 において年代効果を有する自然粘土に特有の力学特性が見られ、高温圧密により年代効果のある程度再現できることが分かる。

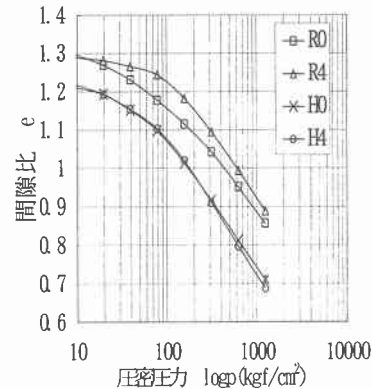


図-1 e - $\log p$ 曲線

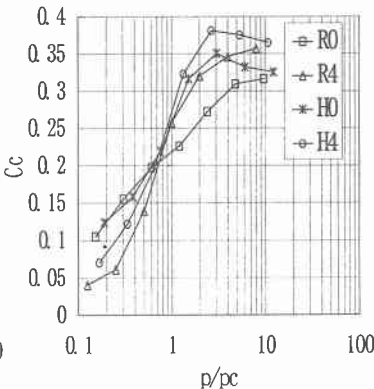


図-2 圧密圧力と C_c の関係

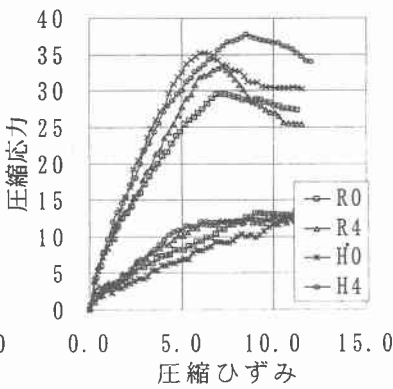


図-3 応力 - ひずみ関係

4. 粒子構造の解析方法

粘土試料の水平および鉛直断面を走査型電子顕微鏡を用いて撮影し、撮影した電子顕微鏡写真をコンピューターに取り込み、画像解析ソフト（MacSOOPE Ver.2.53 三谷商事(株)）を使用して粒子画像の濃度分布を測定し粒子構造の解析を行った。濃度分布の測定は、白黒化した電子顕微鏡写真に直交するX方向とY方向に数本の線を引き、線上の1pixelごとの値を濃度を黒から白に256段階に分割して測定する。なお、水平断面においては各方向は特定な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選んだ。次に、濃度分布を一種の波と見なして、濃度分布の一次回帰曲線が波の中心となるように波形変換を行い、スペクトル解析を行う。スペクトル解析によって得られたパワースペクトル図から、パワースペクトルが最も卓越する粒径（1番値）と、その次に卓越する粒径（2番値）を求めた。なお、2番値は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。

5. 解析結果と考察

解析は、それぞれ圧密環境の異なるR0、R4、H0、H4の4種類の試料（シリーズ1）と、それぞれ圧密圧力の異なるR0、K10、K25、K50の4種類の試料（シリーズ2）の計8種類の試料を用いた。図-4にシリーズ1の解析結果を示す。横軸に解析により算出された粒径を3μmごとの範囲で区分し、縦軸に1番値と2番値の頻度の和を示す。①、②の鉛直断面より、室温試料R0、R4ではX方向においてどちらも3～6、18～21μmで明確なピークがあり、この粒径は1つの板状粒子の水平方向の長さとして、板状粒子が積み重なって形成されたペッドの水平方向であると考えられ、またY方向では0～6μmに集中しておりこの粒径は板状粒子やペッドの厚さであると考えられ、粒子構造に規則性が見られる。一方、高温試料H0、H4ではX方向、Y方向とも様々な粒径がほぼ一様に検出され粒子構造に規則性は見られない。③、④の水平断面より、室温試料R0、R4ではX方向、Y方向とも明確なピークが存在しそれらの粒径は粒子の平坦面であると考えられ、鉛直断面と同様に規則性が見られる。高温試料H0、H4でも鉛直断面と同様に様々な粒径が検出されており様々な方向に粒子が堆積していると考えられる。図-5にシリーズ2の解析結果を示す。全体的に圧密圧力が增加すると共に、より明確なピークが表われている。これは、粒子構造に規則性があり、圧力増加によりその規則性がより顕著であることを表している。またそのピークを示す粒径が大きくなっていることから、粒子同士が重なり合い新たにペッドが形成されたことが伺える。

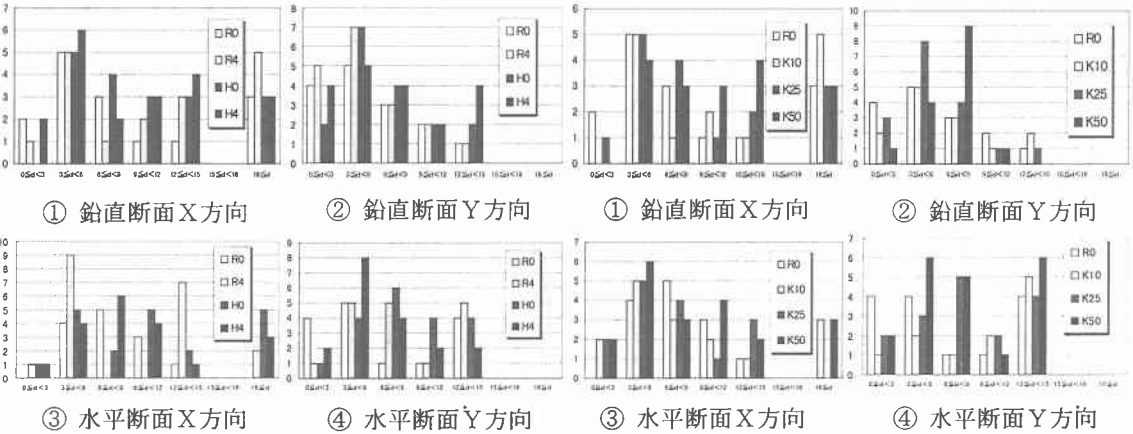


図-4 シリーズ1の解析結果

6. 結論

力学試験と粘土粒子の電子顕微鏡写真の画像解析より、高温圧密による粘土の工学的性質と微視的構造が変化することが確認された。すなわち、高温圧密された粘土の工学的性質は不攪乱自然粘土で観測される挙動と類似したものとなり、その微視的構造は室温圧密試料が配向構造であるのに対して、ランダム構造に近い構造となっていた。また、圧密圧力の増加に伴いペッドの大きさが増すことが分かった。