

粘土粒子の熱膨張率の測定とその精度評価

鳥取大学工学部 正会員 清水 正喜
鳥取大学大学院 学生会員 ○田中 淳

1. はじめに

正規圧密状態にある粘性土は加熱すると圧縮する(温度効果)。この性質を用いれば二次圧密によって生じる間隙比の減少を温度を上げることによって促進できる。著者らはある基準温度 T_0 の下で Δt 時間の二次圧密によって生じる圧縮量を、温度変化 $\Delta T (=T-T_0)$ によって生ぜしめるときの ΔT と Δt の関係を導き、数種類の粘土の実験結果を用いて例を示した。¹⁾ 一方、土の間隙比は定義より土粒子密度の関数であるからある温度下での間隙比を正しく算定するためには、その温度に対応した土粒子密度の値を用いなければならない。土粒子密度の温度依存性（即ち、土粒子の熱膨張率）を考慮したときの間隙比と温度の関係について実例を示した。²⁾ 本研究の目的は温度による土粒子密度の変化を実測し、その精度を評価することである。

2. 試料

前報³⁾と同様の試料(広島湾泥)を用いた。ただし、 $w_L=105.1$ (%), $w_P=46.2$ (%), $\rho_s=2.6801$ (g/cm³) である。土粒子の密度試験方法の精度を評価するためにステンレス鋼（高さ7.4cm、直径0.6cmの円柱）を用いた。

3. 土粒子の密度試験

通常の50mlピクノメーターを用いて土粒子密度を測定したが満足いく結果が得られなかった。そこで、容積100mlフラスコとガラス板を用いて土粒子密度試験を行った。実験は、以下の1～5の手順で行った。実験には3種類のフラスコを用いた。

1. フラスコに脱気水を入れ、温度を設定した恒温炉に入れる。
2. 気泡が入らないようにガラス板でふたをした後、フラスコを取り出し、Ma(フラスコ+ガラス板+水の質量)および温度Tを計る。
3. ふたを取り同じフラスコを恒温炉に入れ、設定温度を変え、Ma およびTを計る。この作業を何回か繰り返し、TとMaの関係を求める。(図1)
4. 土試料をフラスコに入れて、上記の2,3と同様の手順でMb(フラスコ+ガラス板+水+試料の質量)と温度Tの関係を求める。(図1)
5. 試料の炉乾燥質量Ms(質量)を計る。

MaとT、およびMbとTの関係を近似式で表わし(図1)、次式に代入し土粒子密度と温度の関係を求めた。

$$\rho_s(T) = \frac{Ms}{Ms + Ma - Mb} \times \rho_w(T) \quad (1)$$

図2は式(1)によって求めた $\rho_s(T)$ とTの関係である。ただし、 $T=T_0$ (=20℃)のときの密度 ρ_{s0} で正規化した。土粒子の質量保存則より、

$$\frac{\rho_s(T_0)}{\rho_s(T)} = \alpha_s(T - T_0) + 1 \quad (2)$$

の関係がある。ここに α_s は土粒子の体積熱膨張率である。図2の直線の傾きから土粒子の熱膨張率 $\alpha_s=1.7 \times 10^{-4} \sim 5.0 \times 10^{-4}$ と求まった(平均値は 3.34×10^{-4})。図3に、この方法で4種類のフラスコを用いて求めたステンレス鋼の結果を示す。熱膨張率 $\alpha=1.0 \times 10^{-4} \sim 9.0 \times 10^{-4}$ と求まった。

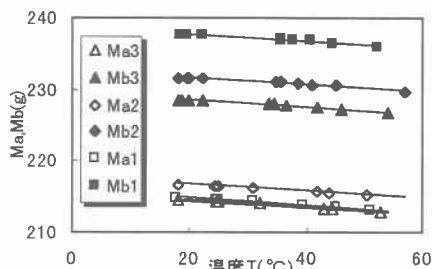


図1 温度TとMa、Mbの関係

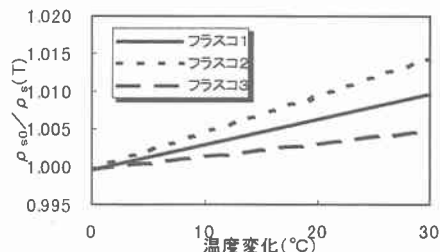


図2 広島湾泥の $\rho_{s0}/\rho_s(T)$ と温度変化の関係

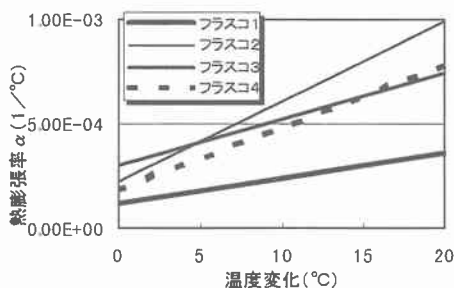


図3 ステンレス鋼の熱膨張率と温度変化の関係

4. ステンレス鋼の熱膨張率

上で述べた結果の精度を評価するために、熱膨張率のオーダーが既知であるステンレス鋼を用いて①土粒子密度試験と同じ方法②レーザー変位計を用いた線膨張率の測定③マイクロメーターを用いた線膨張率の測定を行った。

レーザー変位計を用いた方法では水を満たした恒温容器に円柱のステンレス鋼を容器底面と垂直になるように立てステンレス鋼の上部(水面よりわずかに上にある)の水温による膨張(または圧縮)量をレーザー変位計で測定し熱膨張率を求めた。その結果を図 4 に示す。図 4 から温度変化が 30℃～40℃の間では α は $1.0 \times 10^{-5} \sim 1.2 \times 10^{-5}$ と分かる。

マイクロメーターを用いた方法では水を満たした容器の中にステンレス鋼を入れ温度を上昇させ温度変化に対するステンレス鋼の軸方向の長さの変化量をマイクロメーター(以下 M.M と略す)を用いて求めた。測定には 4 本のステンレス鋼(M.M1～M.M4)を用いた。その結果を図 4 に示す。この図から約 20～40℃の温度変化で線膨張率は $1.0 \times 10^{-5} \sim 9.0 \times 10^{-5}$ の間であることが分かる。

参考までに理科年表⁴⁾に掲載されているステンレス鋼(18Cr, 8Ni)の線膨張率も図 4 にプロットした。体積膨張率は図 4 の線膨張率の 3 倍 4.38×10^{-5} (20℃)である。

5. 考察

土粒子密度試験方法と同様の方法で行ったステンレス鋼の熱膨張率 α の結果は 10^{-4} のオーダーでありその他の方法の結果 10^{-5} のオーダーに比べてほぼ 10 倍多く見積もっていることがわかる。つまり、土粒子の熱膨張率の結果も 10 倍程度過剰に見積もっている可能性がある。

温度を変えて行った圧密試験の結果を次式²⁾(3)で補正し、間隙比と温度の関係を図 5 に示した。補正なしは温度により土粒子密度は変化しない(土粒子の熱膨張率 $\alpha_s=0$)とした場合、補正 1 は土粒子の密度試験結果より熱膨張率 $\alpha_s=3.34 \times 10^{-4}$ とした場合、補正 2 は補正 1 の α_s を 1/10 にした場合($\alpha_s=3.34 \times 10^{-5} 1/^\circ\text{C}$)である。

$$\Delta e = \frac{1}{1 + \alpha_s \Delta T} \left\{ \frac{\Delta V}{V_s} - (1 + e) \alpha_s \Delta T \right\} \quad (3)$$

図 5 から土粒子の熱膨張率を考慮に入れると間隙比は減少することが分かる。土粒子の熱膨張率が 10 倍異なると間隙比に大きく影響することが分かる。

6. おわりに

土粒子の密度試験結果に影響した要因として、温度測定の正確性、温度を上昇させることにより溶存空気が気体となって含まれてしまうことなどが挙げられる。

参考文献

- 1) 清水正喜・神戸砂織 (1997) : 「加熱による粘性土の二次圧密促進の定量的評価」 土木学会第 52 回年次学術講演会講演概要集第 3 部(A)pp.326～327.
- 2) 清水(1997) : 温度変化を伴う一次元圧密試験の技術的問題、第 32 回地盤工学研究発表会 pp.375～376.
- 3) 清水正喜・藤原研也 (1998) : 「高塑性海成粘土の圧密における温度効果の定量的評価」 土木学会中国支部第 50 回研究発表会発表概要集第 3 部 pp.289～290.
- 4) 丸善株式会社 : 理科年表 国立天文台編 第 71 冊 pp.474.1998.

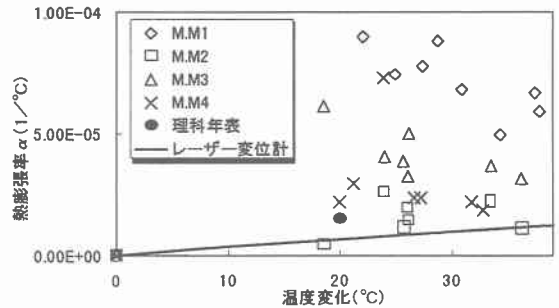


図 4 ステンレス鋼の熱膨張率と温度変化の関係 (基準温度を 20℃としている)

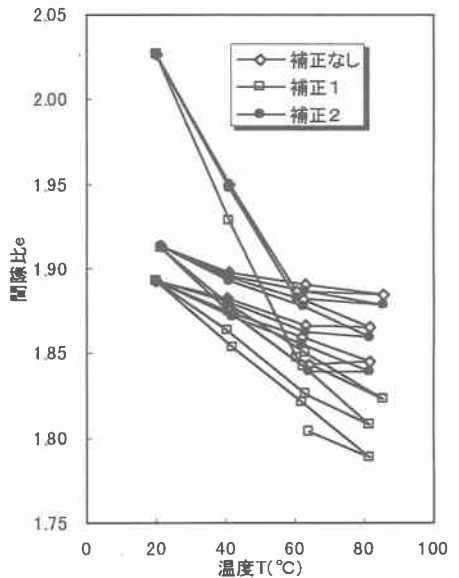


図 5 T v 試験の間隙比と温度の関係