

熱電対露点計による試料密度を考慮した土の保水性の評価

中部大学工学部 正会員○杉井 俊夫
中部大学工学部 正会員 山田 公夫
中部大学工学部 学生 大塚 光記

1. まえがき

土の保水性（水分特性曲線）は、土粒子の形状、粒径、粒度分布、間隙比、間隙径分布などに大きな影響を受けることは知られている¹⁾。特に土の保水性試験（pF 試験）自体に手間が掛かることから、間隙比、密度については測定が省略される場合が多い。このため、土の保水性（水分特性曲線）はサクションと含水比の関係で報告される場合が多い。砂に比べ、時間が掛かる粘性土については特にサクションによる体積変化が大きく重要となる。しかし、定常法である方法においては、高いサクションが発生するため、センサーの測定限界や時間が掛かる理由から、遠心法やサイクロメーター法が用いられる場合が多い。これらの方法において密度の計測については触れられていないため¹⁾、密度についての計測結果は報告されていない。本研究では、装置の形状や熱的条件を受けにくいサイクロメーター法と同一センサーを使った露点温度降下量を測定する「熱電対露点計（Thermocouple Dew Point Hygrometer）」を用いた測定を行い、さらに試料密度の計測をも実施する方法を提案、ここに報告する。

2. 試験の原理と方法

2.1 マトリックポテンシャルの計測

「サイクロメーター法」は乾湿球温度計の原理に基づく湿度計測から、これに対して「熱電対露点計法」は露点降下量をから化学ポテンシャルを求める方法である。両者の計測センサーは同一であり、両方を総称して Campbell らは「Thermocouple hygrometer」と呼んでいる。熱電対露点計法の原理の概要を以下に示す。

露点温度降下（ ΔT ）、熱起電力（ E ）及び水の化学ポテンシャル（ $\Delta \phi$ ）の関係は次式であらわされる。

$$E = \alpha \cdot \Delta T = \alpha \cdot T \cdot \Delta \phi / \lambda$$
 (1)

ここに、 α ：熱起電力の係数、 T ：絶対温度、 λ ：水の蒸発熱である。

実際には、図—1の密閉されたチャンバー内の温度と蒸気圧が平行した時に、チャンバー内の熱電対接合部を Peltier 効果により冷却し、結露させる。次いで冷却された熱電対に対して周囲から流入する熱量を、打ち消し合うよう冷却電流量を調節し、熱電対の温度変化は水分の蒸発もしくは凝縮のみによるという理想状態をつくりだす。熱電対は露点温度に収束することとなり、その降下温度（ ΔT ）を起電力（ E ）により測定する。得られる化学ポテンシャルは土中水に含まれる塩類などの影響大きく、浸透ポテンシャルを含むこととなる。そこで土中水の電気伝導率（ χ ）を計測し次式を使って浸透ポテンシャル（ $\Delta \phi_E$ ）を求め、化学ポテンシャル（ $\Delta \phi$ ）から浸透ポテンシャル差し引き、マトリックポテンシャル（サクション）を求める。

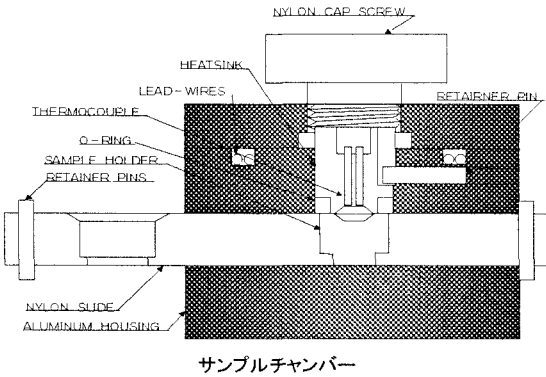


図-1 熱電対露点計(Wescow 社製)²⁾

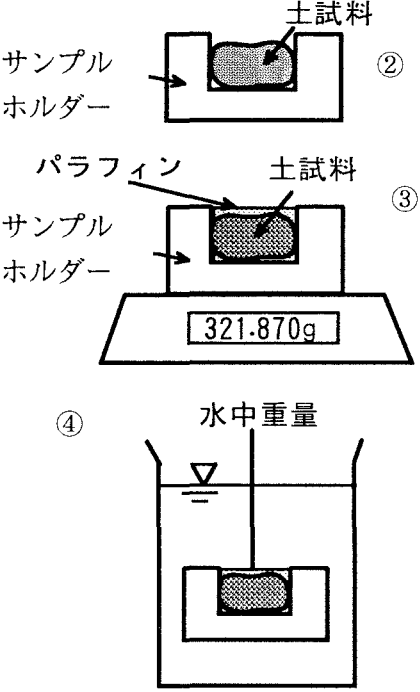


図-2 密度の計測

$$\phi_E = -0.36 \times \chi \quad (2)$$

ここに、 χ ：土中水の電気伝導度 (mS/m) である。

2.2 含水比測定

サンプルホルダーに充填される試料は 2g 程度であるため、サンプルホルダーに充填した試料の残部から含水比を計測する。

3.3 密度の計測

①あらかじめ、サンプルホルダーを取りだし、質量(m_H)、水中で体積(V_H)を求めておく。②化学ポテンシャル計測後、サンプルチャンバーから試料が入ったサンプルホルダーを取りだし、サンプルホルダー及び試料の質量(m_s)を計測する。③密度のわかっているパラフィン ($\rho_p = 0.802\text{g/cm}^3$ 、M.P=40~42℃) を塗布し固結後、全体試料の質量(m_{all})を求め、パラフィンの塗布量(m_p)を求める。④パラフィンでシールドしたサンプルホルダーの水中重量を計測、全体の体積 V_{all} を次式より算定する。(図-2参照)

$$V = V_{all} - V_H - m_p / \rho_P \quad (3)$$

3. 試験結果

今回、用いた試料は長良川シルト (WL=36.3%、WP=28.2%、Fc=50.6%) を水分量を変えて繰り返し、サンプルホルダーに締め固めた。熱電対露点計のキャリブレーションカーブを図-3に示す。NaCl の溶液を使って既知のサクシオンと電圧の関係求めたものである。温度の影響があるため、ここに示すのは化学ポテンシャル計測時 20℃ の場合の結果である。また、実験で得られた結果を図-4に示す。マトリックサクシオン 0.6kPa まで十分計測可能である。なお、0.03kPa 以下については、電圧値が一定とならず計測ができなかった。図-5は、体積含水率、サクシオン、乾燥密度の関係を示す。シルトの場合、密度変化が砂よりも大きく、密度が高くなるほどサクシオンの値が大きくなる傾向があることがわかる。

4. あとがき

今回、土の密度を考慮した熱電対露点計を用いた土の保水性を求める方法の提案を行った。現在、実験データを追加している段階であり、今後、土の保水性と密度との関係について検討していく予定である。

【参考文献】

- 1) 土質工学会編：土質試験の方法と解説，土質工学会，pp.89-101,1980.
- 2) 岩間英矩・石井和夫・古畑 哲：熱電対露点計による水分ポテンシャルの測定，土壤の物理性，第 44 号，pp.2-8，1981

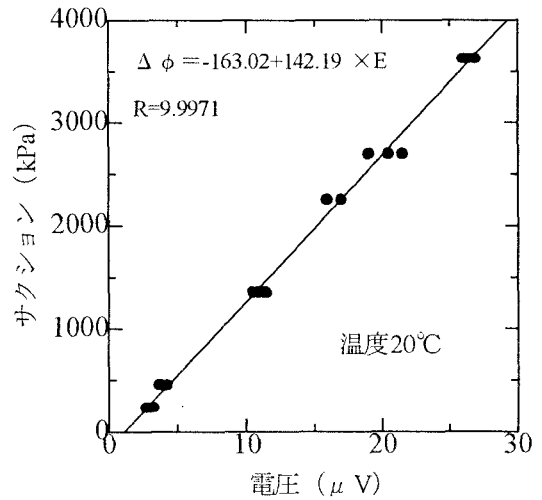


図-2 キャリブレーションカーブ

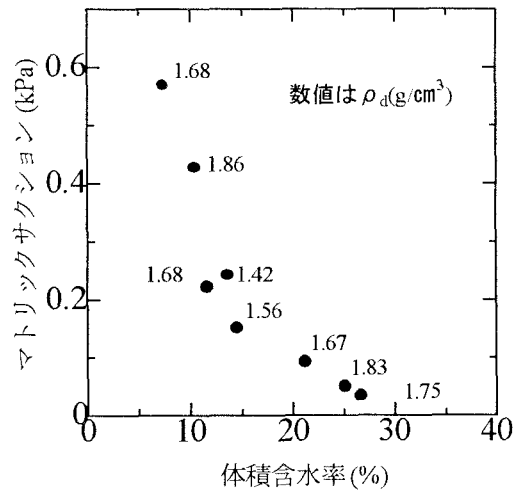


図-3 長良川シルトの水分特性曲線

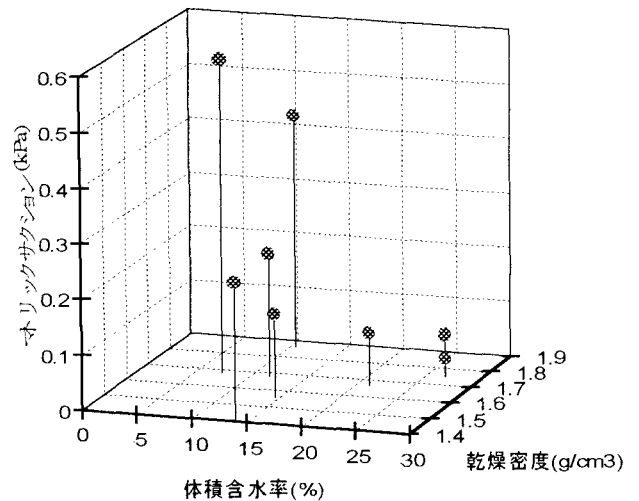


図-4 体積含水率～サクシオン～密度の関係