

熱伝導を利用した含水比測定法の検討

東京都市大学 学生会員 ○石垣拓也
東京都市大学 正会員 末政直晃

1. はじめに

近年、東京周辺などの住宅造成事業は利用度の低かった台地間の谷地が主な対象地になってきている。しかし、このような土地は腐植土層が厚く堆積していることが多く、圧密による不等沈下や盛土法面のすべり破壊等の事故が起こりやすい。圧密による沈下は、実地盤において地下水位面より深い位置にある土層が増加応力を受け、地下水（間隙水）を排水し、体積が減少することで地盤が沈下する現象である。腐植土層などの軟弱地盤ではこのような現象が発生しやすく、腐植土層の分布と性質の調査は急務である。腐植土や泥炭などは自然含水比が非常に高いという特徴がある。表-1に自然含水比の測定例を示す。含水比の違いにより土の工学的性質が異なってくるため、土の状態や沈下量の予測を行う上で含水比の測定は非常に重要となる。しかし、原位置で出来る信頼度の高い含水比測定法は未だ確立されていないのが現状である。

そこで本研究では、腐植土層の自然含水比が非常に高い数値を示すことに着目し、原位置で可能な含水比測定試験について検討した。即ち、銅板やアルミなどの熱伝導性の高い金属を媒体とし、含水比の違いによって温度変化や伝熱変化に及ぼす影響を調査し、その変化から原位置で可能な含水比測定法の検討と装置の開発を本研究の目的とする。本論では、含水比ごとに温度変化を測定するため熱源としてペルチェ素子を使用する。温度を測定する高精度デジタル出力付き温度サーミスタ型センサを熱伝導性の良い金属に取り付け試料土に装置を差し込み、ペルチェ素子で1点を加熱し、各含水比での温度変化の測定実験を行ったのでその結果を示す。

2. 含水比測定装置

2-1. ペルチェ素子

本試験では、熱源としてペルチェ素子を使用した。写真-1にペルチェ素子を示す。ペルチェ素子とは、2種類の金属の接合部に電流を流すと、片方の金属からもう片方へ熱が移動するというペルチェ効果を利用した板状の半導体素子のことである。図-1にペルチェ素子の基本構造を示す。P型とN型の熱電半導体を銅電極にはんだ付けした構造になっており、N型からP型へ直流電流を流すと、上の接合面から熱を吸収して下の接合面へ熱を運び、逆にP型から電流を流すと、熱は下から上へ流れる。つまり、放熱する側の面（排熱面）と吸熱する側の面ができる。このとき、エネルギーの保存則が成立し、吸熱量 Q_C とペルチェの消費電力 Q_{in} の和が放熱量 Q_H となる。本実験では電圧をかけることで一定の熱量を与えるヒーターの代わりとして、縦 $8\text{mm} \times$ 横 $8\text{mm} \times$ 厚さ 4mm 、最高温度 200°C に達する小型のペルチェ素子を使用した。

Keywords：含水比、熱伝導、温度変化

連絡先：〒158-8557 東京都世田谷区玉堤1-28-1 東京都市大学 TEL03-5707-2202 E-mail:g1018010@tcu.ac.jp

表-1 自然含水比の測定例¹⁾

土質名	地名	自然含水比(%)
沖積粘土	東京	50~80
洪積粘土	東京	30~60
関東ローム	関東	80~150
黒ぼく	九州	30~270
泥炭	石狩	115~1200

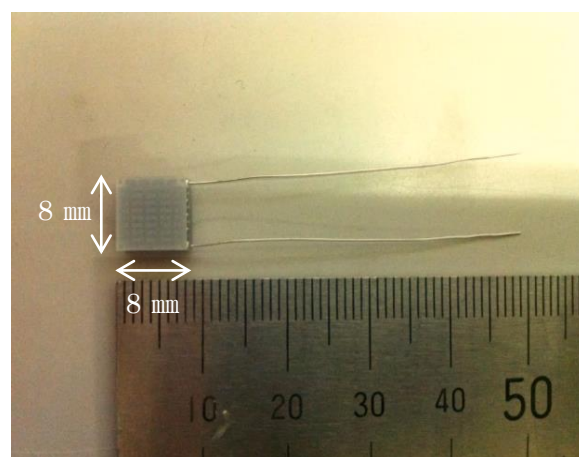


写真-1 ペルチェ素子

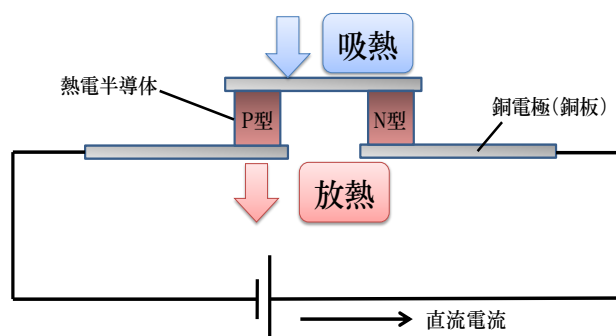


図-1 ペルチェ素子の基本構造

2-2. 測定装置作製

図-2に実験装置概要を示す。ペルチェ素子の発熱（排熱）面と吸熱面の温度変化を計測するため、サーミスタ型の小型センサを両面の2か所に設置した。ペルチェ素子の発熱部と吸熱部が互いの温度に影響されないよう、断熱板をペルチェ素子の形にくりぬき、銅板で挟み込む。このとき、隙間から空気や水が入らないように周囲を接着した。銅板はペルチェ素子の発熱、吸熱する面の素材と同じ熱伝導性の高い金属として、厚さ0.1mmのものを使用した。装置を採取した試料土の中に差し込み、センサの温度が周囲と同じ温度となった時点でペルチェ素子を加熱し、温度変化の測定を開始した。本試験では、測定時間を5分間とした。

3. 試験結果と考察

ここでは、関東ロームにおける各含水比での排熱面、吸熱面の温度経時変化の試験結果を示す。実験条件として、含水比設定の際に使用した水の温度は室温25℃と同じ温度に保ったものである。また、水を加える際に試料は脱気をせず、実際の土に近い不飽和な状態の試料土で実験を行った。

関東ロームにおける排熱面、吸熱面の温度経時変化の試験結果をそれぞれ図-3、図-4示す。両面とも、含水比によって温度変化に違いが見られる。排熱面においては、初期温度から50秒時付近まで温度の上昇率が高く、100秒を過ぎたあたりからゆるやかに上昇する傾向が見られた。また、含水比30%の状態が乾燥状態よりも初期温度が高くなっている。乾燥状態の試料よりも加えた水の温度が0.5℃程度高かったためだと考えられる。ただし、含水比30%、50%、100%時はそれぞれ含水比が高くなるにつれて初期の温度も低くなる傾向がみられた。吸熱面においては、約10秒間温度が下がり続け、その後、ゆるやかに上昇している。ペルチェ素子内部を熱が逆流したためと考えられる。そのため、吸熱面の温度上昇の挙動は排熱面での温度上昇時の熱挙動と連動している。

含水比推定の指標として温度指数を定義する。これは、初期温度とある時点でのそれぞれの温度差である。本試験では温度変化の乱れが少なかった排熱面での温度指数を定義した。測定開始から大きく温度変化が生じている30秒時付近から、35秒時までの5秒間において1秒ごとの温度と初期温度との温度差をグラフにプロットした。排熱面の温度指数と含水比との関係を図-5に示す。含水比の増加に伴って温度指標は低下することが分かる。温度指数のプロットした範囲から、各試料の含水比ごとに共通している温度指数の範囲を推定し、含水比を予測することが出来ると考えられる。

4. まとめ

本論では、実験装置の作製とその装置を使用して各含水比における温度変化の測定を行い、その結果を示した。結果として含水比ごとに温度上昇率に差が出ることが確認できた。しかし、初期温度などにばらつきが生じた。実験開始前における温度管理などの見直しが必要である。

また、大きな温度変化を与えてより明確な含水比推定を行う必要がある。装置に用いたペルチェ素子にかかる電圧負荷を大きくし、より短時間で大きな温度変化を与えるため、装置の改善を行う方針である。

《参考文献》

1) ペルチェ素子 <http://www.cqpub.co.jp/toragi/TRBN/trsample>

/2003/tr0311/0311toku.pdf 2) 土質工学会：土質試験の方法と解説 pp49-53

3) 土質工学会：土質試験の方法と解説 pp496-508 4) 出雲環境技術センターHP <http://izumo-kankyo.jp/soil02.html>

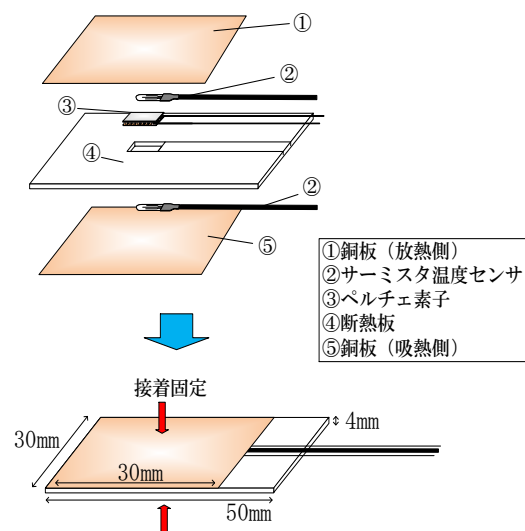


図-2 実験装置概要

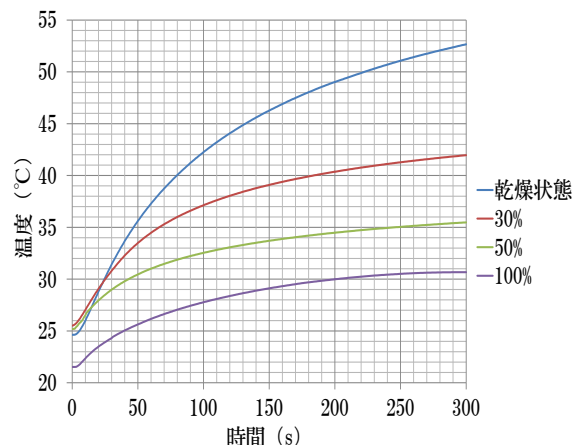


図-3 関東ローム 排熱面温度変化

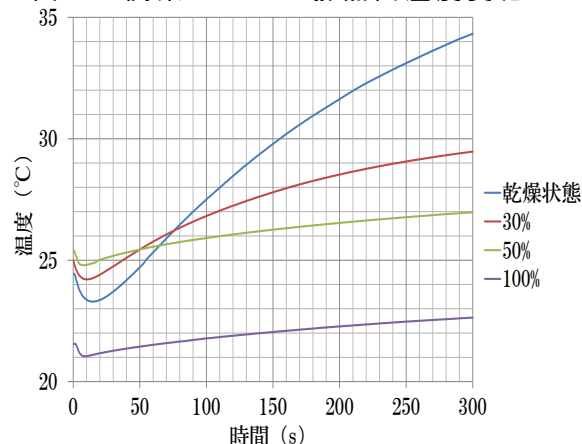


図-4 関東ローム 吸熱面温度変化

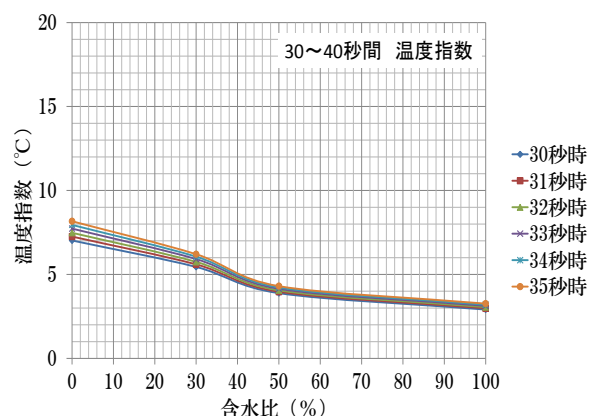


図-5 関東ローム 温度指数