

## 土の熱伝導特性とその測定方法について

法政大学 学生会員 ○岩永 晃輔  
 法政大学 学 部 生 中島 崇裕  
 法政大学 正 会 員 草深 守人  
 法政大学 正 会 員 橋本 保

### 1. 研究目的

近年，地球規模による環境問題が深刻化している．中でも地球の気温上昇や海面上昇などの気候変動は生態系にも影響を与え，農作物の不作化，草原地帯の砂漠化等が懸念されている．地球規模の環境問題とエネルギー政策は一体的関係にあり，広く様々な分野で再生可能な新エネルギーの開発とその利用効率の向上が急がれている．本研究では，土中の熱環境に着目し，エネルギー利用の効率化や生活圏における熱環境問題の改善などに必要な熱特性情報の一つである土中の熱伝導率の測定方法を検討する．さらに，土の熱特性がその構成要素である固相（土粒子），液相（間隙水），気相（空気）それぞれの熱特性とどのような関係にあるかを考察する．

### 2. 土の熱伝導率の測定方法

製作した測定装置の基本原理は，供試体を既知の熱伝導率からなる二つの標準板で挟む平板比較法である．ただし，ここでの試験装置は，混合物としての土の熱伝導を固相，液相，気相それぞれを伝わる熱に分解して測定できることを目標としている．写真1は開発した測定装置であり，外部セルとその内部に収納する内部セル（試料用モールド）の二重構造となっており，両セル内は真空～大気圧まで自由に選択できる．定常状態の設定は，標準板及び供試体の表面温度変化が，30分当たり1%以下になった時点をもって定常とした．本実験では，内部セル内に測定する試料土を締め，上下端部の標準板にはガラス板を使用する．土試料の上端境界面は80℃に，下端境界面は30℃の一定温度にそれぞれ保たれた．各ガラス板上下端面には熱電対が取り付けられており，土試料の上・下端境界面の温度を時系列的に測定できるようにしている（写真2）．また，内外セルの空間はそれぞれ真空または大気圧に保つことができる．



写真1 熱伝導率測定装置

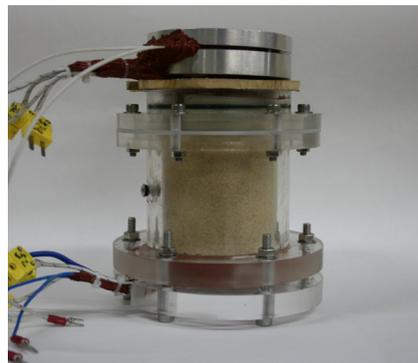


写真2 内部セル（試料モールド）

試験に用いる試料は，所定の含水比に調整した湿潤土，炉乾燥した豊浦標準砂とした．ただし，湿潤土については改良前の試験装置を用いていることから内外セル内は大気圧状態のみとし，乾燥土については，図1に示すように内部セル内を真空とする場合①と大気圧状態とする場合②（両者ともに外部セルは大気圧状態），及び内部セルと外部セルを大気圧状態とする場合③の3通りを実施した．試料土の目標空隙率は e=0.893（1層詰め），e=0.743（3層詰め），e=0.676（5層詰め），e=0.616（8層詰め）の4種類とした．なお，内部・外部セルを大気圧条件で実施した場合のみ，供試体上下端面の境界温度を逆転することによって熱流束の流れの向きを下向きと上向きの二方向で測定している．熱伝導率は下式に従って算出している．

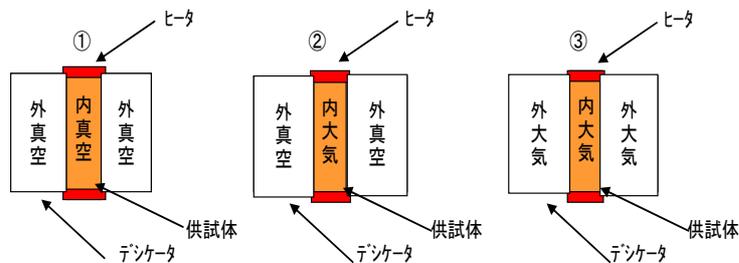


図1 乾燥土（豊浦標準砂）のセル内環境条件

$$\lambda = \lambda_g \frac{L T_A - T_0}{d T_B - T_A}$$

キーワード：土の熱伝導率，平板比較法，固相，気相，液相

連絡先 〒184-0002 東京都小金井市梶野町 3-7-2 法政大学工学研究科建設工学専攻 TEL：042-387-6291

ここで、 $\lambda$ は土の熱伝導率、 $\lambda_g$ はガラスの熱伝導率、 $L$ は試料土厚さ、 $d$ はガラス板の厚さ、 $T_A$ と $T_B$ はそれぞれ試料土の上・下端境界面温度、 $T_0$ はガラス板上端面（熱源）の温度である。

### 3. 実験結果と考察

表1は乾燥土の熱伝導率の測定結果を内外セル内が真空状態である実験条件と大気圧状態である実験条件で比較したものであり、間隙内空気による熱輸送の影響を示している。明らかに間隙内を大気圧状態とした場合の熱伝導率は、真空状態に比べ約10%程度高い値を示している。一方、本文には記載していないが、内部セルを大気圧とし、外部セルを真空とした図1②の熱伝導率が、外部セルを大気圧とした図1③（他の条件は同じ）の熱伝導率よりも低い値を示した。本来は、外部セル内を真空とした断

表1 乾燥土の固相系と固相・気相系の熱伝導率の相違

ケース No.	間隙比 e	乾燥密度 $\rho_d$ (g/cm <sup>3</sup> )	内・外部セル内	熱伝導率 $\lambda$ (W/mK)
1	0.853	1.43	真空①	1.34
2			大気圧③	1.43
3	0.710	1.55	真空①	1.39
4			大気圧③	1.51
5	0.677	1.58	真空①	1.46
6			大気圧③	1.56
7	0.636	1.62	真空①	1.48
8			大気圧③	1.59

熱効果の高い試験条件での熱伝導率が高いはずである。この矛盾の原因は、内・外セル内の圧力差によって試料上端のガラス板が浮き上がり、ガラス板と試料の接触が不完全になったことによるものと考えられる。したがって、今後は上部ガラス板を供試体に一定圧力で加圧する対策が不可欠と考える。この対策は、試料内部の応力状態、言い換えれば土粒子間の接触面積の変化が熱伝導率に与える効果を明らかにすることにも繋がると考えている。

### 4. 結論

平板比較法による定常法を基本原理として、固相、気相による熱輸送を互いに分離した土の熱伝導率測定装置を開発した。また、この装置を用いた乾燥土の熱伝導率を測定し、それらを比較・考察した結果、以下の示唆を得た。

- ① 本実験装置は安定して定常状態に到達（図2）することから、将来的には土の固相、気相、液相の熱輸送を分離した測定装置への発展につながると考える。
- ② 間隙内を大気圧状態とした場合の熱伝導率は、真空状態に比べ約10%高い値を示した。このことから粗粒土に対しては空気による熱輸送の影響は無視できないと考える。
- ③ 間隙内部を大気圧状態または真空状態とした両者の熱伝導率-間隙比関係はともに線形関係にあり、かつ両者は平行関係にある（図3）。
- ④ 外部セル内を真空に維持した状態で、内部セル内を大気圧状態とする熱伝導率の測定、一定有効応力状態での熱伝導率の測定を精度よく測定する装置への改良が重要である。

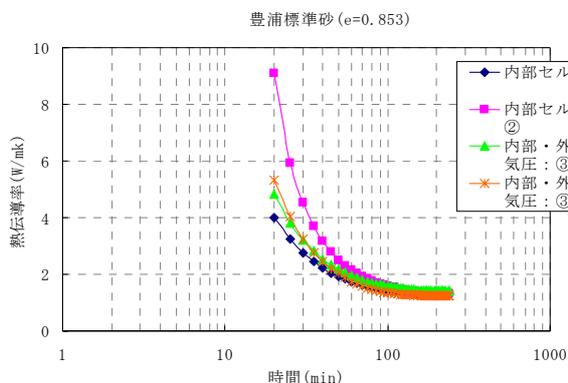


図2 熱伝導率の時間推移(e=0.853)

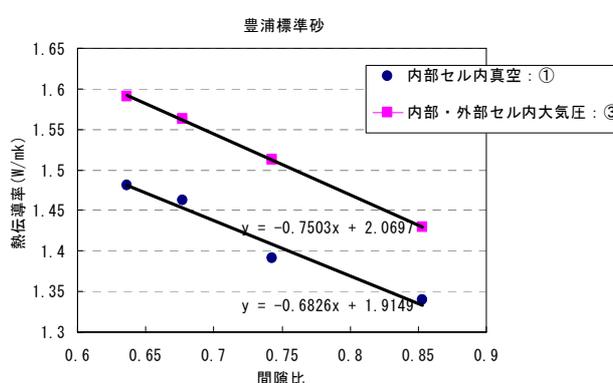


図3 豊浦標準砂の熱伝導率と間隙比の関係

### 5. あとがき

湿潤土の熱伝導率の測定結果については別の機会に譲るとして、本文では省略したが、含水比と熱伝導率の関係はほぼ線形関係にあり、かつ砂質土は粘性土よりも上昇率が大きい結果となったことを付記しておく。