

# 粒状物質における熱伝導率と比抵抗値の変化

Fluctuation of thermal conductivity and resistivity of spherical glass particles

山崎 祐樹\* 土谷富士夫\*\* 辻 修\*\* 宗岡 寿美\*\*

YAMAZAKI Yuuki\* TSUCHIYA Fujio\*\* TSUJI Osamu\*\* MUNEOKA Toshimi\*\*

## 1. はじめに

土中の水分および熱などの物質移動の研究は、北海道東部のように土の凍結が生じる寒冷少雪地帯では、農業の生産性を向上させるうえで必要不可欠な分野のひとつである。特に、土中の温度分布状況を把握するためには、土の熱的性質として熱伝導率が重要な因子となっている。しかし、土中での熱移動は、固体・液体および気体のそれぞれが熱を運ぶなど、極めて複雑な様相を示し、熱移動に伴う水分移動も発生することから、熱伝導率の測定や推定は複雑なものとなっている。今回の報告では、液相における伝導性の効果を明らかにするため、電気が液体のみを流れることに注目し、未凍結条件における粒状物質の熱伝導率測定値と電気比抵抗測定値とを比較し、含水比の違いによる変化を検討した。また、熱伝導率推定の Johansen 法の適応性について検討した。

## 2. 実験方法

### (1) 熱伝導率の測定

熱伝導率の測定には、粕淵の提案した双子型非定常プローブ法を使用した。これは、熱伝導率が既知な物質と未知な物質の温度変化の比から熱伝導率を算出する方法であり、土および湿った粒状物質の熱伝導率測定法としては、有効的な測定方法である。熱伝導率が既知な物質である比較標準試料には、濃度 1% の寒天ゲルを使用した。

測定試料には、粒状物質の標準試料として多くの利点がある、粒径の異なる 4 種類のガラスビーズを使用した (Table 1)。各試料とも、含水比を 0% (絶乾) から最大 25% までの 2.5% ごとに水分調整し、乾燥密度が一定になるように容量 100cc のプラスチック製容器に均一に充填した。

Table 1 測定試料一覧 Measure sample

測定試料名	平均粒径 (mm)	調整した 乾燥密度 (g/cm <sup>3</sup> )	土粒子 の密度	固相率 (%)	間隙率 (%)	熱伝導率 (W/m·K)
GB 7 3 3	0.053	1.4	2.502	53.9	46.1	0.894
GB 7 3 5	0.095			57.6	42.4	
GB 7 4 0	0.241			59.8	40.2	
GB 7 4 2	0.526	1.5		61.3	38.7	

### (2) 比抵抗値の測定

電気比抵抗値の測定には、電気探査比抵抗法の二極法電極配置を使用した。これは、測定試料に電流電極 C<sub>1</sub>、C<sub>2</sub> と電位電極 P<sub>1</sub>、P<sub>2</sub> をそれぞれ設置する。次に、測定装置によって C<sub>1</sub>、C<sub>2</sub> 間に一定の電流 I を流し、P<sub>1</sub>、P<sub>2</sub> 間の電位差 V を測定・解析することで比抵抗値が算出される方法であり、地盤工学分野の調査に広く用いられているものである。

\*財団法人 北海道農業近代化技術研究センター Foundation The Hokkaido Agricultural Modernization Technology Research Center \*\*帯広畜産大学 Obihiro University of Agriculture and Veterinary Medicine  
熱伝導率、土の熱的性質、比抵抗

### (3) Johansen モデルによる熱伝導率推定法

土の熱伝導率を推定するために、数多くの推定式が提案されているが、Johansen による熱伝導率の推定法が最も信頼性があるとされ、注目されている。この推定法は、石英という高い熱伝導率を持つ物質の含量、絶乾土の熱伝導率、飽和土の熱伝導率、さらに飽和度の簡単な関数として表現されるため、最も実用化しやすい推定方法である。

### 3. 実験結果と考察

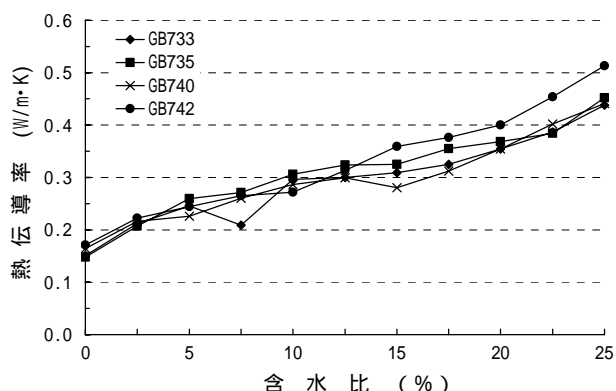
#### (1) 含水比の増加に伴う熱伝導率と比抵抗値の変化

熱伝導率は、各試料とも含水比の増加に伴い比例的に増加する傾向を示し、粒径の違いによる変化はみられなかった (Fig.1)。一方、比抵抗値は各試料とも含水比の増加に伴い減少する傾向を示し、粒径が最も大きな試料では、低水分状態において他の試料よりも高い値を示した (Fig.2)。このことは、粒径が大きな試料は間隙が大きいため、同一の水分状態では粒径の大きな試料ほど粒子表面の水膜が切れやすくなる。その結果、粒径の大きな試料中では、液体部分のみを流れる電気は流れにくくなり、比抵抗値が高い値を示したと考えられる。これに対して、熱伝導率に粒径の違いによる差がみられなかったのは、低水分状態では液体よりも固体における熱伝導の割合が大きく、水膜が不連続になっても熱伝導率に与える影響が少ないためと考えられる。

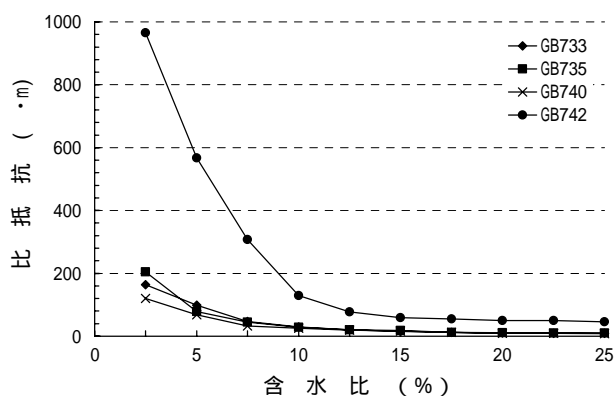
以上の結果から、熱伝導率は固体部分の熱伝導に強く影響されるが、ある水分量以上になると液体部分の熱伝導が関与してくることが推察された。

#### (2) 熱伝導率推定値との比較

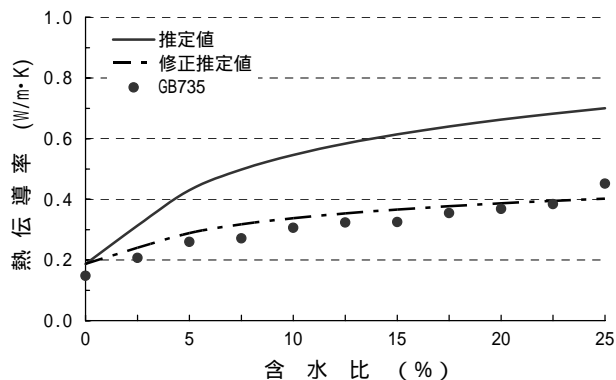
Johansen モデルによる熱伝導率推定値と測定値とを比較した。その結果、各試料とも推定値は測定値よりも全体的に高い値を示し、適応性は認められなかった。そこで、過去に北海道に分布する 22 種類の自然土より求められた Kersten 数の修正値に注目し、Johansen 推定式に挿入することで修正推定値を算出した。その結果、各試料とも測定値に近似する傾向を示し、モデルの修正による適応性が認められた (Fig.3)。



**Fig.1** 熱伝導率測定値の変化  
Fluctuation of measured values of thermal conductivity with different water content



**Fig.2** 比抵抗測定値の変化  
Fluctuation of measured values of resistivity with different water content



**Fig.3** 熱伝導率測定値と推定値 [GB735]  
Estimated and measured values of thermal conductivity with different water content