

三井建設(株)土木技術部研究室 正 田村富雄
 同 大阪支店 ○正 木村 昌
 同 土木技術部研究室 伊藤達男

1. ま え が き

最近、我々は凍結工法、低温地下タンク、原子力発電所などの工事において地盤の熱伝導率を知る必要に迫られ、種々の測定法を使って土の熱伝導率を測定した。その結果、Hot Wire 法が最も簡単で精度よく測定できることがわかった。

土の熱伝導率は、含水比や土粒子の種類、空気量などによって異なり簡単な理論式では解析しにくいものである。このような測定で得られる値は、いわゆる見掛けの熱伝導率にすぎないが、この見掛けの熱伝導率と土の物理的性質との間の相関々係の有無を調べたのが本研究である。

2. 測 定 理 論

一様な温度の等法無限媒体中に線熱源があり、 $t = 0$ から熱源単位長さ当り一定熱量 q の発熱が開始されると熱源からの距離 r の点の時刻 t における上昇温度は次式で表わされる。

$$\theta(r, t) = \int_{\frac{r^2}{4Kt}}^{\infty} e^{-u} \frac{du}{u} = -\frac{q}{4\pi\lambda} Ei\left(-\frac{r^2}{4Kt}\right) \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここに

θ : 上昇温度

r : 熱源からの距離

t : 加熱時間

q : 熱源単位長さ、単位時間当りの発熱量

λ : 試料の熱伝導率

K : 試料の温度伝導率

Ei : 指数積分

$r^2/4Kt$ が十分に小さければ (1)式はつぎで近似される。

$$\theta = \frac{q}{4\pi\lambda} \ln t + C \quad \dots\dots\dots (2)$$

ここで C は定数である。 $\frac{K}{4\pi\lambda}$ は $\theta \sim \ln t$ の実測のグラフより求めるので λ を求めることができる。この測定例を図-1に示す。

3. 測 定 装 置

3-1 プローブと電気回路

測定に使用したプローブを図-2に示す。このプローブを土の試料中に挿入して測定する。Aタイプは試料の直径が5 cm以上の粘性土に使用し、Bタイプは試料直径10 cm以上の砂質土、粘性土に使用した。

プローブの検定には、熱伝導率の測定された標準試料(シリコンゴム)を使用し、測定値が3%以内に収まったものを使用した。

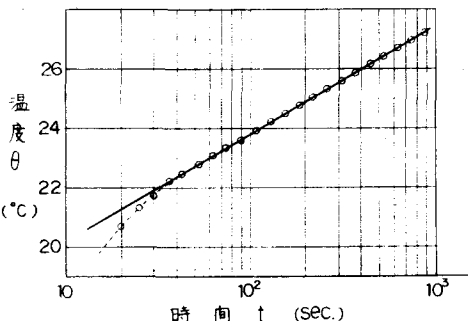


図-1 測定例

電気回路を図-3に示す。測定の際に蓄電池の電圧を一定に保つため、あらかじめヒーターと同じ抵抗値を有するバラスト抵抗に電流を流しておき、スイッチを切替えヒーターに電流を流す。ヒーターにかける電圧は1.0～3.0 V、電流は0.2～0.6 A程度である。

3-2 測定方法

o 密度と熱伝導率の関係

イ) 締固め試験による方法

J I S A 1 2 1 0 の締固め試験法に沿って試験を行いそれぞれの密度で熱伝導率を測定する。

ロ) 圧密試験による方法

図-3のような大型圧密装置により圧密試験を行い、それぞれの圧密度で熱伝導率を測定する。

ハ) 振動による方法

砂の場合J I S A 1 2 1 0 の締固めモールドに試料を入れ振動により密度を変え、それぞれの熱伝導率を測定した。

o 地下水の流速と熱伝導率の関係

図-4のような変水位透水試験機を改良した地下水流速測定装置を使用した。試料をアクリル円筒に充填した後、上部の貯水槽を上下して水位を変え、試料中を流れる水の速度を変える。その際の熱伝導率を測定した。

4. 試料の性質

表-1に試料の性質を示す。それぞれの試料の粒度分布を図-5に示す。

5. 測定結果とその考察

5-1 密度と熱伝導率の関係

図-6に締固め試験より求めた乾燥密度と熱伝導率の関係を示す。このように乾燥密度が大きくなると熱伝導率の増加が頭打ちの傾向を示し相関関係が薄れてくるが、この図を間ゲキ比と熱伝導率の関係に書き換えたのが図-7である。この図より間ゲキ比が20%変動するのに対し熱伝導率は161%増加しており、熱伝導率を測定することにより間ゲキ比を推定することの可能性を示唆している。

図-8に圧密試験より求めた乾燥密度と熱伝導率の関係を示す。上記の締固め試験の場合よりばらつきの少ない結果が得られた。締固め試験の場合には不飽和の為に空気の入混が避けられないので土粒子-水-空気の三相の割合の微妙な変化が

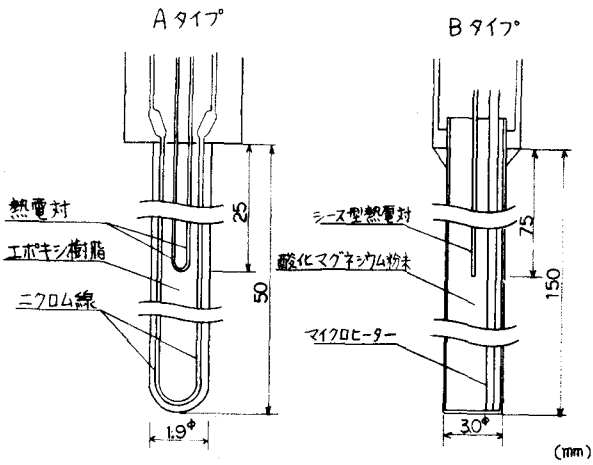


図-2 測定用プローブ

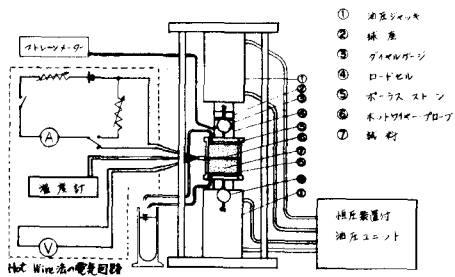


図-3 大型圧密試験装置

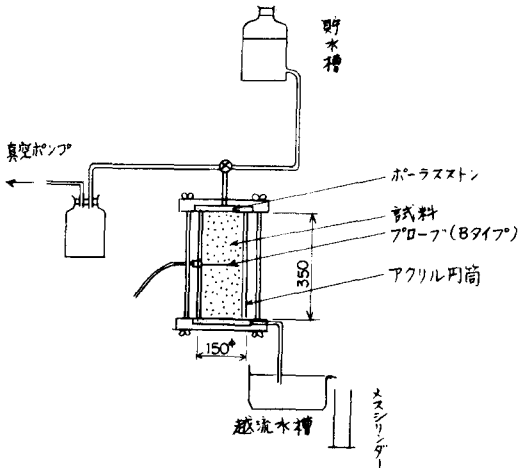


図-4 地下水流速測定装置

熱伝導率に影響したと考えられる。

乾燥砂の密度と熱伝導率の関を図-9に示す。これらも比較的良い相関関係があることがわかる。

5-2 地下水の流速と熱伝導率の関係

図-10に地下水の流速と熱伝導率の関係を示す。このように流速が約4.5倍変化するのに対し熱伝導率は3倍も変化する、微小な地下水の変動を測定することができる。

6. あとがき

以上の測定の結果、土の熱伝導率と密度、間ゲキ比、地下水の流速などの間に一意的な相関関係のあることが判明した。

この事は、逆に土の熱伝導率を知ることにより土の物理的性質を知ることができることを示唆するものである。今後、大型プローブを作製し、ボアホールを使用した地下検層や盛土の締固め状況の把握など現場での実測を進めていく予定である。最後にプローブの作製方法や資料提供に便宜を計っていただいた九州大学内野健一講師に謝意を表します。

参考文献

- 江淵藤彦、内野健一：線熱源法による岩石の熱伝導率の測定 九州鉱山学会誌 第37巻第1号
- H.S.Carslaw & J.C.Jaeger : Conduction of Heat in Solids, Clarendon Press (1959)
- J.H.Backwell: Can. J. Phys., Vol. 34 (1956)

表-1 試料の性質

測定法	締固め試験	圧密試験	地下水流速法
土質名	シルト	関東ローム	砂
産地	石川県七尾市	千葉県柏市	石川県七尾市
含水比(%)	29.1 ~ 48.3	55.0 ~ 108.3	—
乾燥密度(g/cc)	1.062 ~ 1.191	1.165 ~ 0.767	1.360 ~ 1.630

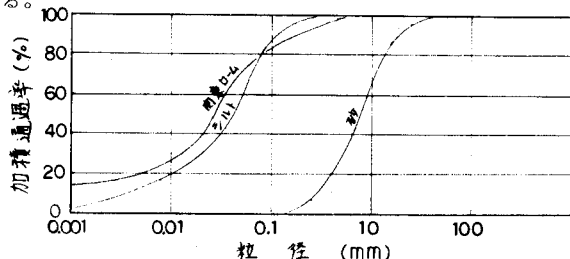


図-5 試料の粒度分布

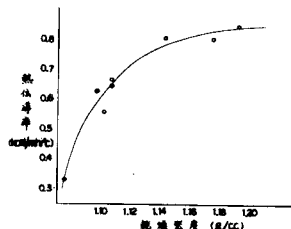


図-6 密度と熱伝導率の関係(締固め試験)

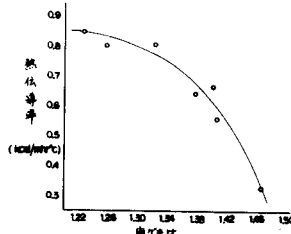


図-7 間ゲキ比と熱伝導率の関係(締固め試験)

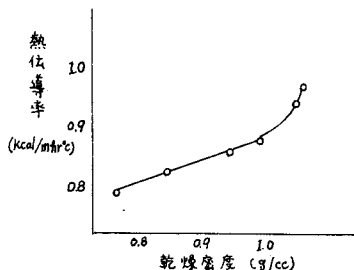


図-8 密度と熱伝導率(圧密試験)

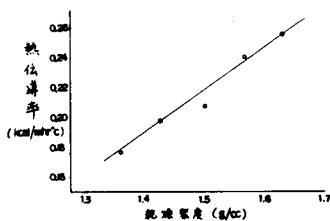


図-9 密度と熱伝導率(乾燥砂)

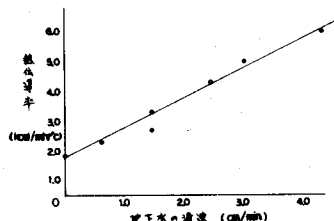


図-10 流速と熱伝導率の関係