

地中熱利用のための有明粘土の熱物性基礎研究

佐賀大学理工学部都市工学科
佐賀大学大学院工学系研究科
同

学○ 玉田 有実
小島 昌一
正 根上 武仁

1. はじめに

近年、注目されつつあるエネルギーの一つに地中熱がある。地中熱とは、地下約5～200mの地盤に存在する低温熱エネルギーである。地表深さ10mより深い地点の温度は大気の影響を受けにくく、年間を通してほぼ一定である。地中熱利用は、地表と地中の温度差をヒートポンプ等により熱エネルギーに変換し、冬期は地中から吸い上げた熱で暖房し、夏期は室内からの排熱を地中に放熱して冷房という形で利用することである。

本研究は、地表10～20mにほぼ粘性土が占める佐賀平野の有明粘土の熱特性の解析し、空調熱源として効果的な地中熱利用方法の検討を行うことを目的とする。本報では、地下水の流れが停止した状態を想定した飽和粘土の蓄熱・放熱実験により、有明粘土の熱伝導率を同定した結果を報告する。

2. 実験方法

2.1 実験概要

実験は室温20℃一定の実験室で実施した。室内実験であるが、より実際の状態に近づけるため、熱源を設置する中心からの距離が均一になるよう最大容量90Lのポリエチレン製円筒容器を用いた。この円筒容器に飽和状態の有明粘土を試料として充填し、温度測定用のT型熱電対を貼り付けたU字管を試料の中心に挿入する。そして水循環器内の加熱機器で温めた温水をU字管に循環させる。循環する温水の温度は40℃と、50℃の2パターンで行った。試料からの放熱を上面のみに限定するために、円筒容器底面と側面に断熱材を巻いた。円筒容器内の粘土試料には、地下水を想定し粘土表面より常に10cm上まで水を保ち実験を行った。試料内の温度分布が定常状態に達するまで温水を循環させた。放熱は、温水の循環を停止させて自然放熱を行う方法と、室温と同じ20℃の水を循環させて放熱を行う2パターンで実施した。図-1の通り、測定点は粘土試料中に16点設置し、この中の4点(9, 10, 11, 12)は循環を行うU字管の中間に設置する。図-5における同一点線上の4点は1本の熱電対にまとめ、それを熱電対群A, B, C, Dとする。熱電対群BとDは熱源からの距離が等しい。

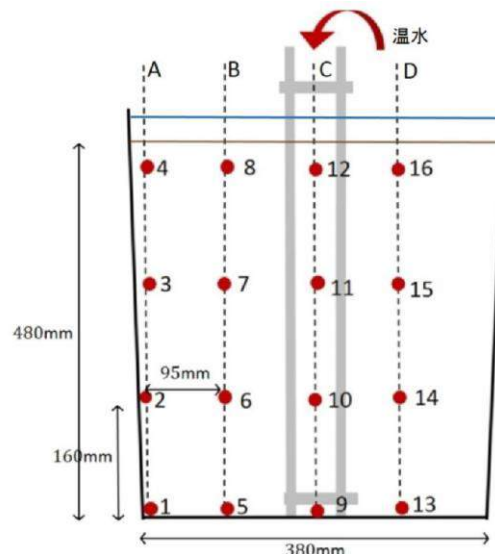


図-1 実験概要図と測定点

表-1 実験ケース

実験 No.	実験条件
1	40℃の温水で加熱 → 循環停止
2	40℃の温水で加熱 → 20℃の水循環
3	40℃の温水で加熱 → 循環停止
4	40℃の温水で加熱 → 20℃の水循環
5	50℃の温水で加熱 → 循環停止
6	50℃の温水で加熱 → 20℃の水循環

2.2 測定機器と試料

測定機器はデータロガー(GL220, GRAPHTEC 社)、T型熱電対(φ0.32mm)、実験装置は断熱材(グラスウール10K)、ポリエチレン製円筒容器(90L)、鉄製パイプ、水循環器(EYELA 社 CA-110)、温水機器(MASUDA 社 MC-10)等である。用いた試料は、佐賀県小城市芦刈町で採取した乱した状態の有明粘土(自然含水比142%)である¹⁾。

3. 測定結果

3.1 温度分布と経時変化

図-2, 3, 4に粘土試料の16点における温度の経時変化を示す。図-5に、熱源より対象位置に設置している熱電対群Bと熱電対群Dの測定点8点における温度変化を示す。この結果より、熱電対群Bと熱電対群Dは正しい位置で測定を行うことができたことが分かる。図-4より、熱電対群Dは測定点13, 14, 15, 16の順に温

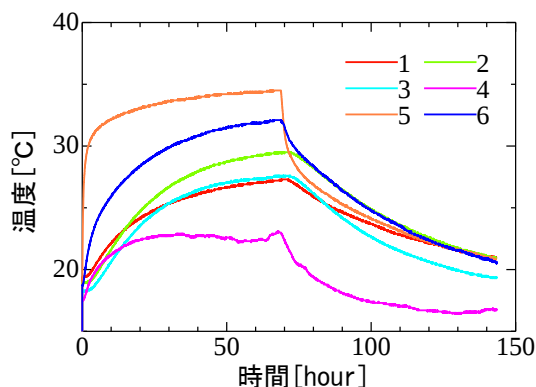


図-2 実験 3(測定点 1-6)の温度変化

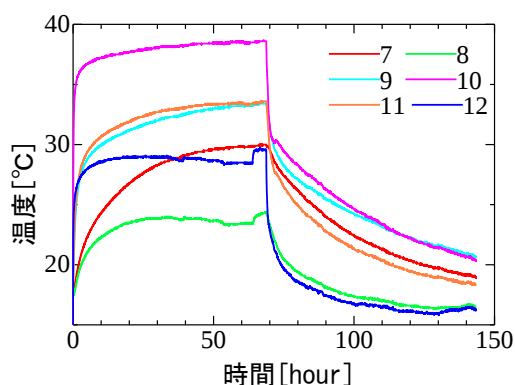


図-3 実験 3(測定点 7-12)の温度変化

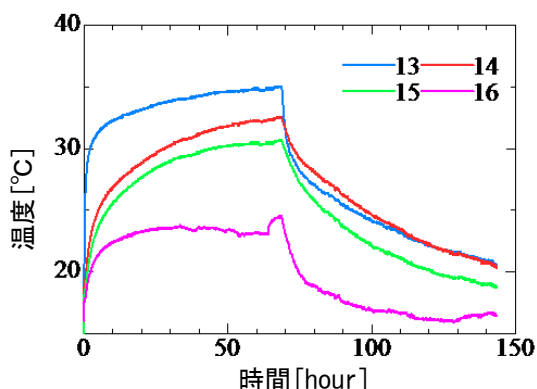


図-4 実験 3(測定点 13-16)の温度変化

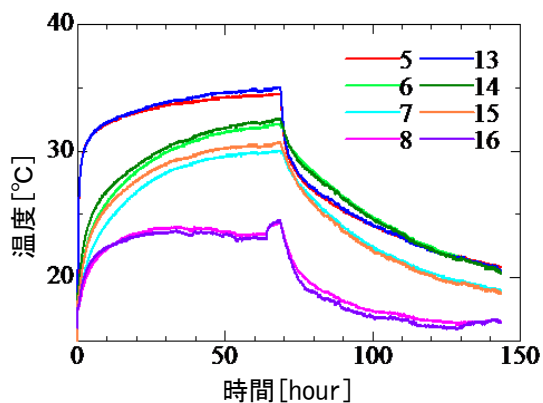


図-5 実験 3(5-8, 13-16)温度変化

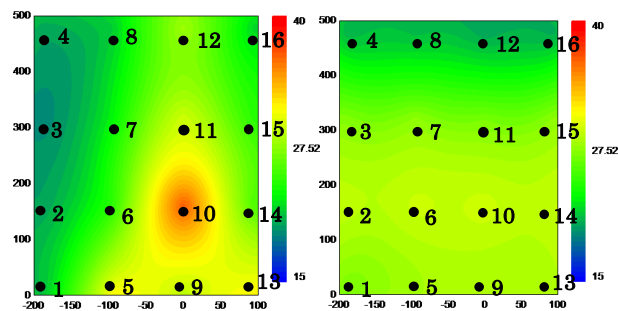


図-6 加熱後 6 時間の
温度分布 (実験 3)

図-7 放熱後 6 時間の
温度分布 (実験 3)

まった試料表面から遠い測定点がより温まりやすいことがわかる。

図-6, 図-7 に実験 3 における加熱後 6 時間の温度変化と自然放熱後 6 時間の温度分布を表す。図-6 より、測定点 10 が最も速く温まっていることがわかる。熱電対郡 C は U 字菅の間の測定点であるが、測定点 12 は他の熱電対郡 C の 3 点(測定点 11, 10, 9)より温まらなかった。これは表面からの放熱による影響と考えられ、他の粘土試料上面に近い測定点(測定点 4, 8, 16)も同様に考えられる。

3.2 熱伝導率の推定

十分に定常状態に達したときの温度に基づき、熱伝導率を推定する。対象試料を定常二次元円筒座標系 (r, z) とし、式(1)の基礎方程式を基に計算を行う。表-2 に計算条件(定常状態の測定点の温度)と熱伝導率推定結果を示す。

$$\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T}{\partial r} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} = 0 \quad (1)$$

実験 (加熱-放熱 温度)	各測定点の温度				表面 水温	熱伝 導率
	4	7	8	12		
1 (40)	22.7	29.6	24.1	25.0	23.0	2.191
2 (40-20)	22.9	30.2	25.5	25.2	24.3	20
3 (40)	22.9	30.0	24.3	29.6	23.2	0.9392
4 (40-20)	23.5	30.3	24.8	30.3	23.5	8.262
5 (50)	26.9	36.1	28.5	38.5	26.5	12.33
6 (50-20)	25.8	35.4	27.4	37.8	25.2	14.07

水温[°C], 熱伝導率[W/(m・K)]

4. まとめ

本実験での有明粘土の熱伝導率は 0.9~20 W/(m・K) で変動していた。実験 2 の結果を除き、温水温度 40°C より温水温度 50°C での実験における熱伝導率は大きくなった。

参考文献：1) 山之上ら、: 佐賀平野における地中熱利用のための土の熱物性基礎実験、平成 26 年度土木学会西部支部研究発表会講演集 CD-ROM、2015。