

温水浸透による飽和透水係数の変化と流量制御の試み

名城大学理工学部 正会員 原田守博, 学生員〇市川英治, 学生員 武市竜也
名古屋大学大学院 学生員 杉山陽一, 名古屋大学工学部 正会員 高木不折

1. はじめに

地下水は水温が年間を通じ安定しているという特長をもっている。そうした地下水を熱エネルギーと考え有効に利用する方策として、井戸注入による帯水層への熱エネルギー貯留システムA T E Sの検討が進められている。著者らは、A T E S導入の際の基本的な問題として、帯水層中の熱輸送機構の解明をめざした実験的研究を進めてきた。昨年度行った実験は、主として鉛直カラムに温水を浸透させ熱の拡散過程を計測するものであったが、流体温度の差異によって透水係数が変動し、流速が安定しないという問題が生じた。本研究では、この課題を克服すべく行った実験上の新しい試みについて報告するとともに、実験から得られた現象の諸特性に関して若干の考察を行った。

2. 実験の概要

本研究で行なった実験は、3種類のガラスビーズを充填した鉛直飽和カラム中に温水を浸透させ、埋設した温度センサーによって熱の拡散状況を計測するものである。温水は上方から動水勾配に従ってカラム内を流下する。カラムは内径10cmのステンレス管で、周辺には断熱材が施してある。温度センサーはK型熱電対であり、カラム側方よりビーズ層に挿入して、中心部分の流体温度を測定した。水温データはデータロガーを経てコンピュータに集録され、0.1度の精度で表示される。温水タンクにはコンピュータ制御されたパイプヒーターが設置され、温度は所定値に保持される。実験は、冷水タンク⑤から冷水をカラム中へ浸透させ、定常状態になったのを見計らって温水タンク

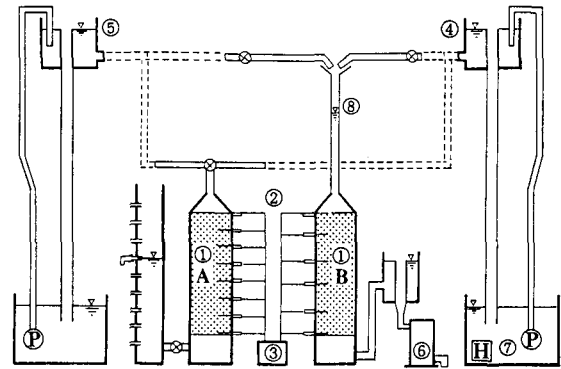


図-1 実験装置の模式図

- | | | |
|---------|----------|---------|
| ①ビーズカラム | ②温度センサー | ③データロガー |
| ④温水タンク | ⑤冷水タンク | ⑥面積流量計 |
| ⑦ヒーター | ⑧水頭調節パイプ | |

④に切り替え、温水を浸入させる。高水槽からカラムへの水供給方法として、昨年度は、カラムAのように一定の動水勾配で浸透させたが、ビーズ層の透水係数が温水浸透に伴い増大するために、浸透流速が時間的に増加し、定常状態を得ることができなかった。そこで今回は、カラムBの上部に細いパイプ⑧を立て、その水位を自由に変動させることによって、透水係数の変化による流量の変動を抑制することを試みた。

3. 流量の定常化

こうして流量制御を行った実験結果として、流量とパイプ内水位の時間的変化のデータ例を図-2に示す。この図は 粒径0.3mmのビーズで、冷水温度25.8℃、温水温度35.0℃の場合であり、●印が流量データ、○印がパイプ内水位の変化である。下図に記入された●印は、各センサー位置への温水フロント（50%温度）の到達時刻をもとに、理論式から計算した透水係数の時間的変化である。すなわち、透水係数は下図のように実験開始時から増加しつつあるけれども、パイプ内水位の緩やかな低下から推測されるように動水勾配が徐々に減少し続けることによって、結果として流量を時間的にほとんど横ばい状態にすることに成功している。こうした流量の定常化の工夫は、他の実験条件に対しても概ね良好な結果を生んでいる。

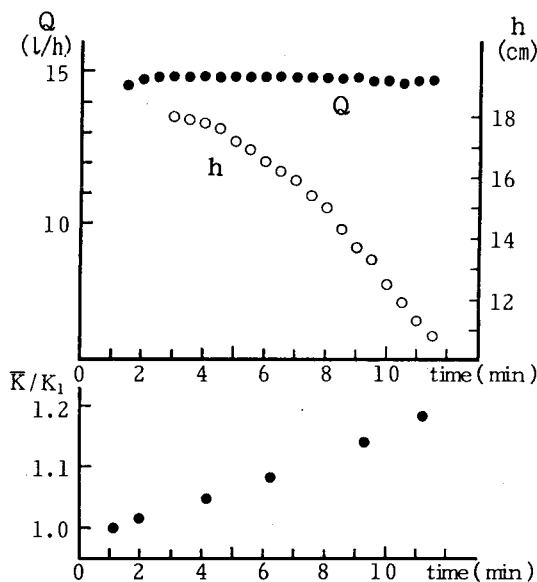


図-2 水頭調節パイプによる流量の定常化

4. 温度上昇曲線の非対称性

流量がほぼ定常な状況下において、各センサーでの温度上昇曲線は、立ち上がり部分に比べて平衡温度に漸近する部分が緩やかで、上昇曲線全体が非対称なものとなることが確認された。こうした上昇曲線の歪の原因を探るために、非対称性の尺度として、センサー温度 T が変化幅 ΔT の10%値から30%値に上昇するのに要した時間 t_{10-30} と、70%値から90%値への上昇に要した時間 t_{70-90} との比をとり (図-3 参照)、実験条件との関係を調べた。図-4 は温度上昇曲線の非対称性と Reynolds 数との係わりをみたものである。これによると、中ピーズと粗ピーズでは Re 数の増大に伴い非対称性が大きくなることが分かる。ちなみに動粘性係数の値は、 $6.86 \times 10^{-2} \sim 8.12 \times 10^{-2}$ [cm²/s] と非常に狭い範囲で変化しているので、この Re 数に対する変化は流速の変化によるものとみることができる。細ピーズに関しては、非対称性は広い範囲で分布しているが、流速が大きい場合のデータが得られなかったため、流速に関する傾向を調べることはできなかった。図-5 は、非対称性と粒径との関係を、限られた流速の値の場合について表したものである。これによれば、粒径が大きくなるほど非対称性が減少する傾向が伺える。

5. あとがき

温水浸透に伴う流速増大の問題は、この種の実験における最大の課題の一つといえるが、今回の工夫によって、ある程度解決することができた。温度上昇曲線の非対称性について、流速と粒径が及ぼす影響を検討し、定性的な傾向を得た。しかし、理論的にこの現象を解明するまでには至っておらず、今後、固相の温度上昇も考慮できる“二相系熱輸送モデル”を用いて解析を進め、非対称性の原因を解明したいと考えている。

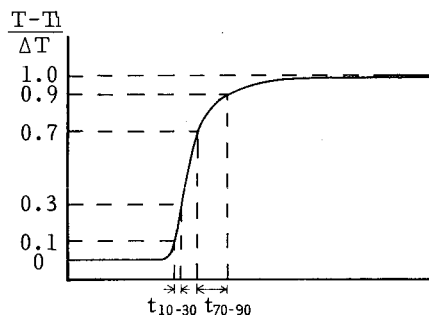


図-3 非対称性の尺度

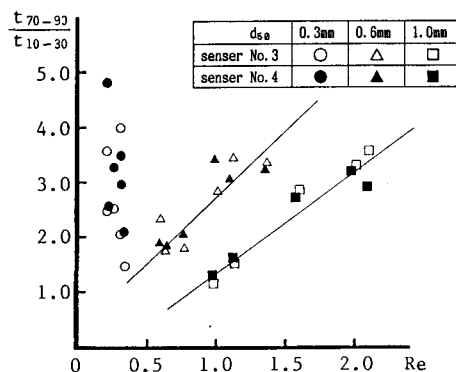


図-4 温度上昇曲線の非対称性と Reynolds 数との関係

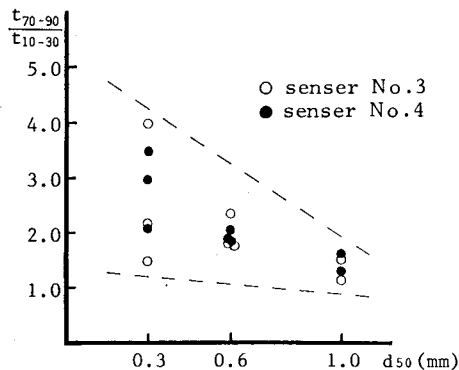


図-5 温度上昇曲線の非対称性と ピーズ粒径との関係
($7.2 < u < 8.5$ [$\times 10^{-2}$ cm/s])