

## 熱・水循環系統合モデルの構築 — 熱・流体移動の実験的検討 —

(株) 竹中工務店 正会員 ○稲葉 薫  
 東京大学 正会員 登坂 博行  
 (株) 竹中土木 正会員 平井 卓  
 東京大学 非会員 吉岡 真弓

## 1. 目的

著者らは、今後の流域水理の理解と評価の信頼性を向上する上で、水循環の追跡に加え、流域の熱循環の追跡が有用なものと考えている。近年は、河川水温や地下水温の計測も多数行われるようになり、温度情報を利用した水理場の同定に関する提案されている<sup>1)</sup>。また、地中熱の利用可能性<sup>2)</sup>、水（地下水）を利用した都市のヒートアイランド現象低減<sup>3)</sup>などの検討が行われている。

著者らは、地表気象条件、地形、植生・人工物、地下物性、表流水、地下水を考慮した水循環と熱循環の同時追跡のための広域3次元モデルを実現するための、地表および地下の熱および水循環が完全に連成された基本モデルの開発を行った<sup>4)</sup>。

開発された基本モデルの妥当性を検証するため、著者らは不飽和浸透・熱伝導試験により得られた水分量変化および温度変化観測データを用い、本手法によるシミュレーションとの比較検討を行っている。試験は不飽和帯中の鉛直下方への水の浸透および熱伝導を模擬したもので、浸透と熱伝導が共存する場の機構を詳細に検討すると同時に、実験結果と上記の基本モデルを用いた数値解析との比較により不飽和浸透および熱伝導プロセスについてモデルの妥当性を検証している。

本報では、実験の概要および実験結果の概要について報告する。

## 2. 熱・水循環系統合解析モデルの概要

地表から地下深部までの熱および水循環の物理モデルを構築するため、地表から地下深部の熱・水の流れを以下のように一般化して定式化した。

## (1) 地表流れ

河川・地表流動を地表勾配と水深勾配を考慮してスムーズな流れとして近似できるモデルとして拡散波近似モデルを採用した。この拡散波近似の流量の式は、ダルシー型の流れの式と同型にすることが可能である<sup>5)</sup>。

## (2) 地下流れ

地下飽和／不飽和帯中の水と空気の流れを考慮した一般化ダルシー流れにおけるフラックスで表現した。

## (3) 熱の流れ

熱の流れは、放射、顕熱輸送、潜熱輸送および降雨などの生産・圧入項に関する項目を除けば、流体移動に伴う移流と熱伝導により記述できる。

なお、多相状態においては各相温度が異なる状態も考えられるため、ここでは各相温度を独立して取り扱い、相ごとに熱伝導の式を設定している。各相の有効熱伝導率は直列・並列モデル<sup>6)</sup>を基に各相の体積比に応じて算出する。

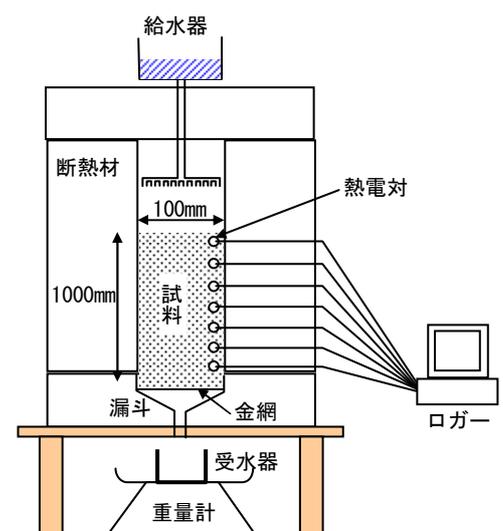


図1 試験装置概念図

キーワード 統合モデル, 熱循環系, 水循環系, 不飽和浸透, 熱伝導  
 連絡先 〒270-1395 印西市大塚 1-5-1 (株)竹中工務店技術研究所 稲葉 薫 TEL0476-47-1700

### 3. 不飽和浸透・熱伝導試験の概要

図1に試験装置の概念図を示す。外部の温度変化の影響を少なくするための断熱材で覆われた試料の上面に降水を模擬した給水器からの水の滴下を行い水を浸透させる。試料中に設置した熱電対により浸透中の試料内部の温度変化を観測すると同時に最下部に受水器および重量計を設置し出口流量の経時変化を併せて観測する。

試料は豊浦標準砂の均質試料、礫混じり砂の2種類で試験を行った。これら試料を用い、室温および試料温度とほぼ等温の水を滴下させた試験と、約40℃の温水を滴下させた試験を複数回を行い、試料の透水性を同定し、試料中の温度変化観測値と上述の基本モデルによる数値計算による温度変化予測結果とを比較することにより基本モデルの妥当性を検証した。

### 4. 試験結果

試験結果の一例を図2および図3に示す。ここに示す結果は15℃前後の試料中(豊浦標準砂均質試料)に約40℃の温水を2回滴下した試験の結果である。温水の滴下量はおよそ820cm<sup>3</sup>であり、この温水を約7.8m/sの速さで滴下させた。なお、2回目の滴下開始は1回目滴下開始から4時間7分後である。

図に示すように試料表面へ滴下させた水が最下部から流出する過程や、試料表面から深部への熱の伝導過程を示すデータが得られたと考えられる。

### 5. 基本モデルの妥当性評価

上記の試験結果と前述の基本モデルを用いた数値計算結果との比較による不飽和浸透・熱伝導プロセスにおける基本モデルの妥当性の検討に着手した。この詳細については講演にて報告する予定である。

### 6. まとめ

地表から地下深部までの熱・水循環を同時に追跡できるモデルの構築を目指し、新たな定式化とモデル化手法を構築した。このモデルにより、地表面から地下深部までの流体・熱移動および地表面熱輸送を同時にかつ適切に表現することができると考えられる。今後、流域水循環の定量的な評価のためには、種々の実験結果やフィールドデータによる定量的な検証が必要である。本モデルを用いたシミュレーション技術をさらに実用的なものとすることを目指し、引き続きこれらの定量的な評価・検討を行う予定である。

### 参考文献

- 1) 佐倉保夫：地下の熱的環境,地球環境科学概説(普及版),pp.71-78,朝倉書店,2005.
- 2) 内田洋平, 佐倉保夫, 谷口真人：日本の浅層地下温度場—新しい地下温度場の捉え方—, 日本地熱学会誌, Vol.23, No.3, pp.167-180, 日本地熱学会, 2001.
- 3) 吉岡真弓, 中川康一：地下水を利用したヒートアイランド現象の緩和に向けて—その3—, 日本地球惑星科学連合2006年大会予稿集CD-ROM, H211-P011, 日本地球惑星科学連合, 2006.
- 4) 稲葉薫, 登坂博行, 平井卓, 吉岡真弓：熱・水循環系統合モデルの構築—熱・流体移動の定式化と解析的検討—, 土木学会水工学論文集, Vol.51, 2007.
- 5) 登坂博行, 小島圭二, 三木章生, 千野剛司：地表流と地下水流を結合した3次元陸水シミュレーション手法開発, 地下水学会誌, Vol.38, No.4, pp.253-267, 1996.
- 6) 粕淵辰昭：土壌の熱伝導に関する研究, 農業技術研究所報告, B, 33, pp.1-54, 1982.

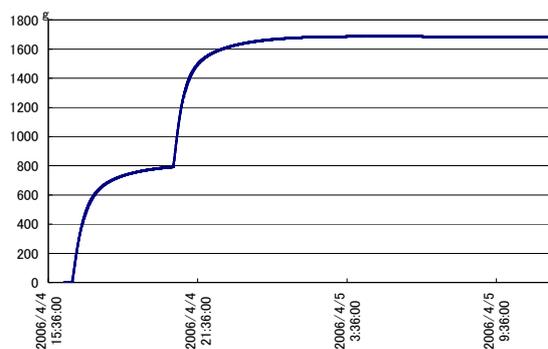


図2 出口流量の経時変化

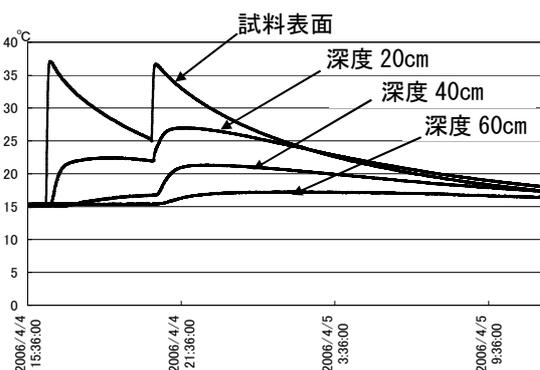


図3 試料中の温度変化