

## 斜面地下水中の圧力伝播機構に関する研究 Mechanism of water pressure propagation in the hillslope aquifer

○山崎琢平 井本博美 西村拓

○Takuhei Yamasaki, Hiromi Imoto and Taku Nishimura

### 1. はじめに

斜面水文過程において、表層土壌と不透水層の境目に生じる地下水飽和帯が、降雨時に斜面からの短期流出流量の増加に大きく寄与していることが報告されている<sup>1)</sup>。van Meerveld and McDonnell (2006)は約 50 m 長の斜面で降雨時の地下水位変動と斜面からの流出を観測し、降雨時には斜面の上流側から下流側に向けて順々に地下水位変動が生じ、ピーク水位の伝播速度が土中水の平均間隙流速に比べて 10 倍程度大きくなることを示した<sup>2)</sup>。斜面土壌中の速やかな水輸送や流出応答を説明するために、土壌パイプの存在、押し出し流、地下水の尾根効果といった様々な理論が提案されてきているが、ピーク水位の伝播速度と間隙流速に差が生じる原因について十分に明らかになってはいない。

### 2. 目的

本研究では、斜面飽和帯にみられるピーク水位の伝播現象を、地下水位の高さや降雨イベントの大小が与える影響に着目し、模型実験と数値解析によって明らかにすることを目的とする。

### 3. 模型実験

実験は、飽和帯を形成し定常状態にある斜面の上流端に、瞬間的な水の供給があった際の斜面地下水の応答を捉えることを目的に行った。

実験装置の概要を Fig.1 に示す。装置本体は長さ 210 cm、高さ 100 cm、幅 5 cm、勾配 15 度の斜面とし、上流側境界に給水用の貯水槽を、下流端に流出口を取り付けた。試料は豊浦砂を用い、乾燥密度  $1.46 \text{ g cm}^{-3}$  で充填した。

まず、貯水槽の水位を一定に保ち、流れが定常になるまで給水を行った。これを実験の初期条件とした。続いて貯水槽に水を瞬間的に供給し、貯水槽水位を上昇させた。これを以下イベントと称する。実験中は斜面の水圧変化をテンシオメータで、流出口からの流量を転倒マスで測定した。測定した水圧は測定高さを考慮して水位に、流量は 10 分間の移動平均をとった。

貯水槽水位の設定条件は、初期状態を作る際の定常貯水槽水位を 10, 20, 40 cm の 3 通り、イベント時の貯水槽水位変化を 5, 10, 15, 20, 30 cm の 5 通り、計 15 通りとした。

### 4. 数値解析

土中の 2 次元水移動解析プログラム HYDRUS-2D を用いて模型実験の再現を試みた。解析領域は模型実験と同じ形状、サイズとした。境界条件について、貯水槽の上側は給水を行うためにフラックス条件を与えた。また、下端の流出口部分には境界の水圧が正になっているときのみ流出する滲出条件(seepage face)を与え、その他は全てゼロフラックス境界条件とした。試料の水分・水移動特性関数には van Genuchten - Mualem モデルを採用した。

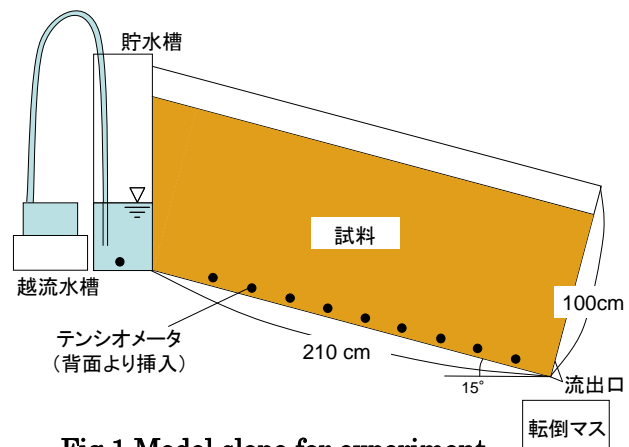


Fig.1 Model slope for experiment

東京大学大学院農学生命科学研究科 The University of Tokyo

キーワード：斜面地下水 水位変動 伝播速度

## 5. 結果と考察

Fig.2 に定常貯水槽水位 20 cm に設定した実験の初期状態の水面形を示す。斜面内には上に凸な水面が形成された。

Fig.3 に定常貯水槽水位を 20 cm, イベント時の貯水槽水位変化を 20 cm に設定した実験の斜面内の水位変動と流量変化を示す。実験開始直後から斜面全体で水位が上昇し, 流量も同時に増加し始めた。これは, 斜面の一部に生じた水位変動が飽和帯全体に影響を及ぼすことを示す。また, 水位のピークは斜面上流側から下流側へ伝わるように順々に生じ, 最下流の測定点の水位ピークとほぼ同じタイミングで流出口からの流量ピークが生じた。

貯水槽から水平距離 186 cm 地点の水位がピークを示すのに要した時間からピーク水位の伝播速度を計算すると, その値は土壌水の平均間隙流速に比べて 5 倍から 35 倍になった。豊浦砂は土壌の不均一性が小さく, 土壌パイプ等も存在しないと考えられるため, 押し出し流によって今回の実験で生じたピーク水位の伝播速度と平均間隙流速の差が説明されると考えられる。

実験条件は, 初期状態の水面が高いほど, イベント時に斜面内で水位変動が早く生じた。また, イベント時の貯水槽水位変化が大きいほど斜面内の水位変動も大きくなるが, その変動自体は遅くなる傾向が見られた。更に, 一度大きなイベントを経験した実験の後には, 同じ設定条件に対して水位変動が大きくなった。これは土壌のヒステリシスによると考えられる。

数値解析の結果を Fig.4 に示す。初期状態の水面は上に凸であるものの, 斜面内の水位を過大に予測した。イベント時には水位変動の振幅は定量的に再現することができたが, 下流側の水位変動に要する時間を過大に予測した。

## 6. まとめ

模型実験を行い, 斜面地下水に見られる速やかなピーク水位の伝播には押し出し流が重要な役割を担っていることが示唆された。ピーク水位の伝播を定量的に把握することが, 降雨時の斜面からの速い流出応答の理解に寄与すると考えられる。

## 参考文献

- 1) Tromp-van Meerveld, H.J. and J.J. McDonnell. 2006. *Water Resour. Res.* 42 W02410
- 2) Tromp-van Meerveld, H.J. and J.J. McDonnell. 2006. *Water Resour. Res.* 42 W02411

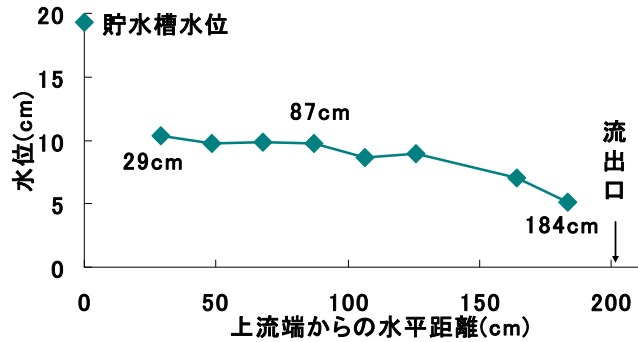


Fig.2 Initial condition

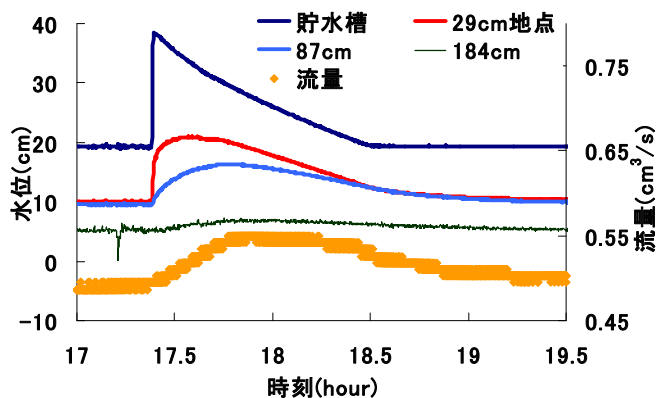


Fig.3 Ground water level fluctuation and flow rate during the event

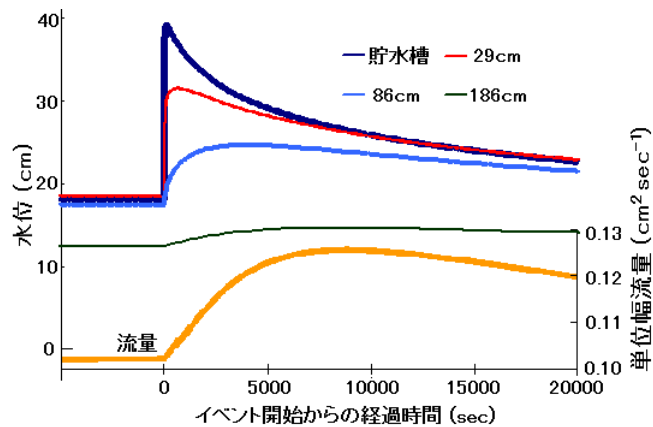


Fig.4 Numerical result reproducing model experiment in Fig.3