

# 土壌パイプが降雨流出応答に及ぼす影響

## The effect of soil pipes on the rainfall-runoff response

山崎 琢平, 井本 博美, 濱本 昌一郎, 西村 拓

東京大学 大学院農学生命科学研究科

**要旨(Abstract)** 土壌パイプの有無やその配置が降雨流出応答の時間変化に及ぼす影響を数値解析により検討した. 土壌パイプには土壌からの排水を促進し土槽内の水分量を低下させる機能があるものの, 下端流出量の時間変化には影響を与えないことが明らかになった.

テーマ: 土壌物理研究の最前線 Trend in Soil Physics

キーワード; 土壌パイプ マクロポア 降雨流出応答 数値解析

**Keywords**; soil pipes, macropores, rainfall-runoff response, numerical analysis

**1. はじめに** 土壌には生物活動や内部侵食による土壌パイプが存在し, 土中の水・物質移動に大きな影響を及ぼしている. 特に土壌-岩盤間に沿って形成される土壌パイプは, 下流への土中水移動を促進して, 降雨流出に大きく寄与することが現地観測結果から報告されており<sup>1), 2)</sup>, 実際に即した流出モデルを考える上で土壌パイプが降雨流出に及ぼす影響を定量的に評価する必要がある.

現地観測では土壌パイプの働きを詳細に調べることは難しいため, 土槽に人工パイプを埋め込んだ模型実験やそのモデル化が検討されてきた<sup>3), 4)</sup>. しかし, これまでの研究は定常流に対してのみ行われており, 降雨流出の特性として重要な流出の時間変化には触れられていない. また, 土壌パイプは土中に不連続に存在しているため<sup>5)</sup>, 連続性の違いが及ぼす影響も検討する必要がある.

本研究は土壌パイプが降雨流出応答に果たす役割を明らかにすることを目的とし, 数値解析によりマクロポアの有無とその配置が水分分布と降雨流出応答に与える影響を検討した.

**2. 数値解析** 数値解析には 2 次元土中水移動解析プログラム HYDRUS-2D (Šimůnek et al., 2003)を用いた.

解析領域は長さ 100 cm, 高さ 50 cm の長方形, 節点数 5151(101×51)とした(Fig.1). 境界条件は, 上部は降雨境界条件, 下流端(左端)は滲出条件, 他はゼロフラックス条件とした. 降雨境界には, 1 cm day<sup>-1</sup>の降雨で定常状態を作

った後, 2 cm day<sup>-1</sup>の降雨を 2 日間与え, その後 1 cm day<sup>-1</sup>の降雨に戻した.

土壌パイプの配置は Fig.2 に示す 4 条件とした.

- (1) 土壌パイプなし
- (2) 底全体に高さ 1.5 cm の土壌パイプ領域
- (3) (2)の両端 10 cm 部分が土壌
- (4) (3)の中央部 10 cm が土壌

対象土壌として典型的なローム土壌と, 土壌パイプとして透水係数が大きく空気侵入値が小さい仮想試料を想定した. 水分特性関数には vG-Mualem モデルを用いた. Tab.1 に試料のパラメータを示す. 尚, 土壌パイプを等価な土壌に置き換えて解析する手法は定常流においては検討されている<sup>4)</sup>.



Fig.1 解析領域

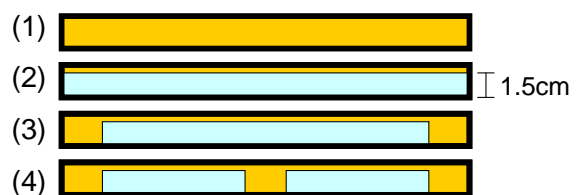


Fig.2 土壌パイプの配置条件 (水色部分)

Tab.1 水分特性パラメータ

	$\theta_s$	$\theta_r$	$\alpha$	$n$	$K_s$ (cm/s)	$l$
土壌	0.43	0.078	0.036	1.56	$2.9 \times 10^{-4}$	0.5
パイプ	1	0	0.1	5	$8.3 \times 10^{-3}$	0.5

**3. 結果** Fig.3~6 に土壌パイプ条件(1)~(4)までの定常状態における流速分布と飽和帯の位置を示す. 土壌パイプを持つ条件(2)~(4)は、(1)に比べて地下水面が低下し、土壌パイプが存在する部分は流れがパイプ部分に集中した. 土壌パイプが両端や中央で途切れている条件(3)と(4)では途切れた部分が流れを律速しているが、動水勾配を律速する部分に集中させて水面を低下させている. これらの結果は、土壌パイプは選択的な水みちとなって排水を促進し、水面を低下させる働きを持つが、これは一部が途切れていたとしてもある程度発揮されることを示す. 既往の研究<sup>3),4)</sup>は定圧境界条件で行われたものだが、降雨(フラックス条件)に対しても土壌パイプは排水促進機能を発揮する.

Fig.7 に4条件の下端流量の時間変化を示す. 流量変化は土壌パイプの配置による差がほとんどなく、降雨量変化直後から流量が増減し、次の定常状態に向かって変化した. 土壌パイプが水みちとして機能している状況であっても、流出応答には影響が無いことが示された. 今回の結果は、流出応答の遅れは飽和透水係数の大小に影響されず、鉛直不飽和流において生じるという現地観測からの指摘<sup>6)</sup>と一致する. 降雨流出において土壌パイプの働きをモデル化する場合、水輸送経路としての機能と流出応答早期化の機能を分けて考える必要がある.

**4. まとめ** 土壌パイプを埋設した土槽を用いて降雨流出を数値解析した結果、土壌パイプは選択的な水輸送経路としては機能するが、流出応答の時間変化には影響をしないことが示唆された. 今後、数値解析の妥当性を検証するために、模型実験と比較することが重要である.

参考文献

- 1) Graham et al., 2010, *J. of Hydrology* **393**, 65-76
- 2) Anderson et al., 2009, *Hydrol. Earth Syst. Sci.* **13**, 935-944
- 3) 内田ら, 1995, *日林論* **106**, 505-508
- 4) Kosugi et al., 2004, *Hydrol. Process.* **18**, 777-789
- 5) Noguchi et al., 1999, *SSSAJ* **63**, 1413-1423
- 6) Montgomery and Dietrich, 2002, *Water Resour. Res.* **38**(9) 1168, doi:1029/2001WR000822

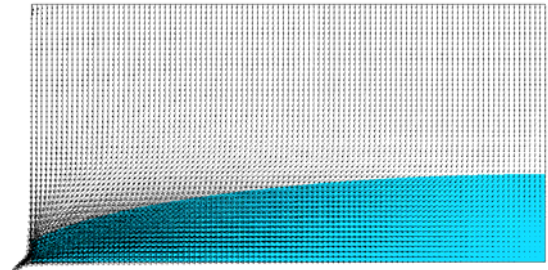


Fig.3 条件(1)の飽和帯と流速分布  
解析領域内の青は飽和帯、領域下のバー(緑)は土壌パイプの位置を示す

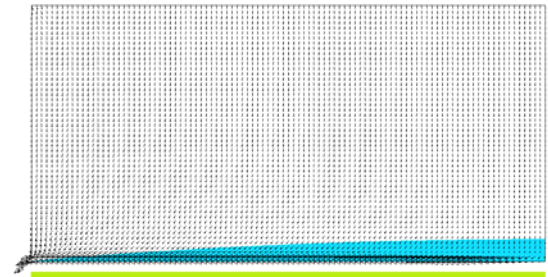


Fig.4 条件(2)の飽和帯と流速分布

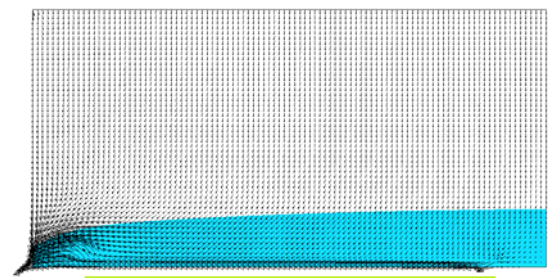


Fig.5 条件(3)の飽和帯と流速分布

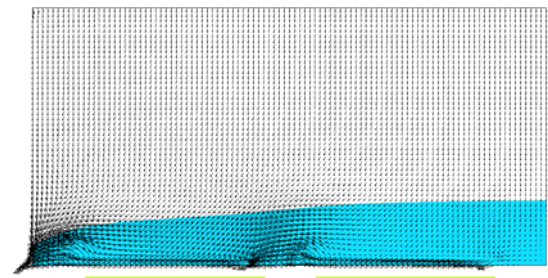


Fig.6 条件(4)の飽和帯と流速分布

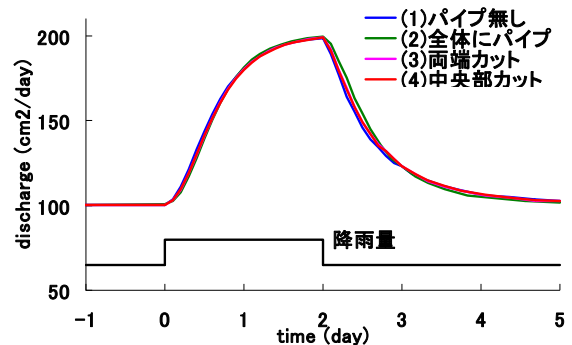


Fig.7 下流端滲出境界の流出量変化