土壌パイプが降雨流出応答に与える影響の実験的検討
Experiments on the Effects of Soil Pipe on Rainfall-Runoff Response

○山崎琢平　井本博美　濱本昌一郎　西村拓
○Yamasaki Takuhei, Imoto Hiromi, Hamamoto Shoichiro and Nishimura Taku

1. はじめに　土壌中には生物活動や内部侵食によって土壌パイプが不規則に形成され，土中の水・物質移動に大きな影響を及ぼしている．降雨流出過程においては土壌と岩盤の間に沿って形成される土壌パイプが重要とされ，下流への土中水移動を促進し，降雨流出に大きく寄与することが現地観測から報告されている(Graham et al., 2010; Anderson et al., 2009)．今後，現実に即した流出モデルを考えるためには土壌パイプが降雨流出に与える影響を定量化する必要がある．

自然斜面は流域内，流域間の不均一性が非常に大きいため，土壌パイプの働きを定量的に評価するには模型試験が有効である．過去にも人工パイプを埋設した土槽を用いた模型実験やそのモデル化を試みる数値解析が行われてきた(内田ら, 1995; Sidle et al., 1995; Kosugi et al., 2004)．しかし，過去の実験の多くは土槽の上下流端に水槽を接続して一定流量で水を供給する形式で，降雨中の非定常な流れが再現されていないほか，降雨流出で重要な流出の時間変化にもほとんど触れられていない．更に，土壌パイプは土中で複雑なネットワーク構造を持ち，不連続に存在していることから，土壌パイプの連続性や配置の違いが及ぼす影響を把握することも重要である．

本研究は土壌パイプが降雨流出応答に与える影響を明らかにすることを目的とし，その端緒として土壌パイプの有無や配置が降雨中の水分分布と流出応答に与える影響を実験的に検討した．

2. 模型実験　装置は長さ 60 cm，高さ 35 cm，幅 4 cm のアクリル槽を用いた(図 1)．下流端には底面から 5 cm 高さまで流出口を設け，その上部は土壌空気と大気の連続性を保つために 3 cm 間隔で穴を空け，ナイロンメッシュで覆った．

試料には豊浦砂を用い，含水比 3 %に調整した後，乾燥密度 1.45 g cm^{-3} で 30 cm 高さまで充填した．土壌パイプとして外径 9 mm，内径 7 mm のアクリルパイプを用い，側面に直径 3 mm の穴を互い違いに多数開け，周囲をナイロンメッシュで覆った．土壌パイプは土中における連続性を考慮し，土壌パイプを埋設しない NoPipe，土槽全体に埋設した AllPipe，流出口から 10～60 cm の区間に埋設した LongPipe，2 本のパイプを流出口から 10 ～30cm と 40～60 cm 区間にそれぞれ埋設した TwoPipes の 4 条件とし，いずれの条件においても底面から 2.5 cm の高さに埋設した．

降雨は，はじめ定常になるまで降雨強度一定の雨を与えた後，数時間強度を増加させ，その後はじめの降雨強度に戻し，その間の流出応答をみた．実験中は土槽内 12 点の土壌水圧，降雨強度及び下流端流出量を連続測定した．

3. 結果　図 2 に各条件の定常状態における水面形，及び各条件において実際に土壌パイプが埋設された箇所を示す．土壌パイプが埋設された部分では埋設されていない部分に比べて動水勾配が小さくなった．既往の研究でも土槽内の水面は土壌パイプを持たない部分で勾配が大きくなることが報告されており，本研究の降雨条件下において

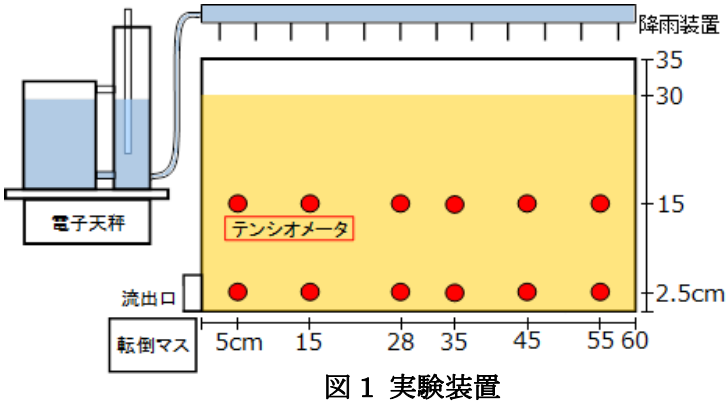

図 1 実験装置
Experimental setup

東京大学大学院農学生命科学研究科 Graduate School of Agricultural and Life Sciences, The University of Tokyo
キーワード：土壌パイプ，降雨流出応答

も土壌パイプは土壌内で透水性の高い通水路として機能した．各パイプ条件間の水位に大きな差がなかったのは，豊浦砂の透水性が高く土壌パイプ部分との差が小さかったためと考えられる．

図 3 に AllPipe 条件における降雨強度増加，減少時における土槽内各地点の水位変化を示す．降雨強度が変化すると同時に，土槽内の水位と下流端流出量の全てが応答した．この傾向は土壌パイプの有無，配置に関わらず生じていたことから，単純土槽においては降雨量変化による水圧の変化が上流，下流の区別なく全地点で同時に生じることが示唆された．既往の観測では降雨時に地点間で水位変化に時間差が生じたと報告されることがあるが(van Meerveld and McDonnell, 2006)，それをモデル化する際には地形の不均一性を考慮する必要がある．

4. おわりに　土壌パイプを埋設した土槽を用いて，降雨時に土壌パイプが水分分布と流出応答に及ぼす影響を検討した．既往の研究と同様に土壌パイプが埋設された部分では動水勾配が小さくなった．降雨強度が変化すると，土壌パイプの有無によらず土槽全体で同時に圧力変化が生じ，流量も変化した．各土壌パイプ条件間の土槽内応答の違いについて今後検討を進めていく．

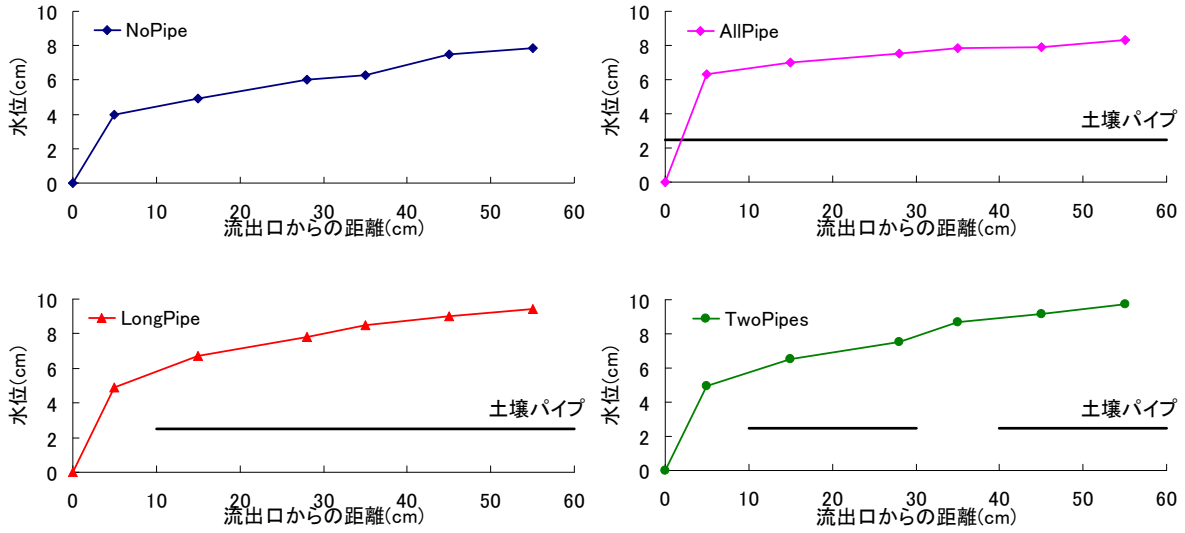

図 2 各土壌パイプ条件における定常状態の水面形，及び土壌パイプの埋設位置
Steady-state water table and position of buried soil pipes
降雨強度はそれぞれ NoPipe 81，AllPipe 82，LongPipe 76，TwoPipes 83 cm day^{-1}

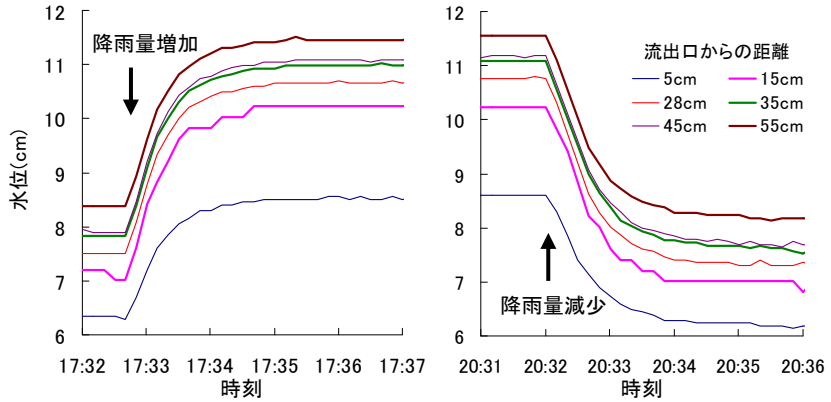

図 3 AllPipe における降雨量変化時の水位変化 Water level change during AllPipe experiment
降雨量増加前の水面は図 2 の AllPipe で，降雨強度は 82→123→77 cm day^{-1} の順に変化

参考文献 Graham et al., 2010, *J. of Hydrology*, **393**, 65-76; Anderson et al., 2009, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, **13**, 935-944; 内田ら, 1995, *日林論*, **106**, 505-508; Sidle et al., 1995, *J. of Hydrology*, **165**, 207-219; Kosugi et al., 2004, *Hydrol. Process.*, **18**, 777-789; van Meerveld and McDonnell, 2006, *Water Resour. Res.*, **42** W02411