

封入空気が土壌パイプ閉塞時の斜面の水移動に与える影響 Effect of entrapped air on water flow in hillslope during pipe clogging

○山崎琢平 濱本昌一郎 西村拓

○Yamasaki Takuhei, Hamamoto Shoichiro, and Nishimura Taku

1. はじめに 自然斜面には土壌パイプとよばれる数 m 長の粗間隙が斜面と平行に形成されることがある。この土壌パイプは、通常の降雨時には斜面からの排水を促進し地下水面を低く保つことで斜面を安定化させるが、一旦土壌パイプの出口が閉鎖すると地下水がパイプ出口に集中することで局部的に斜面崩壊を誘発する可能性が指摘されている(Uchida et al., 2001)。

土壌パイプの斜面崩壊への影響を明らかにするために、人工的に土壌パイプを埋設した斜面を用いた室内実験が行われてきた。特に、多田ら(2002)および Sharma(2015)は、土壌パイプの出口を実際に閉塞させ、その際の土壌水圧の変化と斜面崩壊を観察している。しかしながら、両者の実験は斜面の形状や土壌パイプの配置がほぼ同一であるにも関わらず、土壌パイプ閉塞時の地下水面の形状は大きく異なる。この原因は明らかにされておらず、パイプ閉塞時における斜面の流れの変化は十分に理解されてはいない。

本研究は、土壌パイプの閉塞時においてパイプ内部に残る空気に着目した。土壌中の空気は外気との連続性を失って孤立すると水の移動を阻害し、浸潤強度の低下や不安定な前線の形成を引き起こす(Wang et al., 1998)。土壌パイプは出口が閉塞すると土中に埋まった状態になるため、パイプ内部に残った空気の移動性はパイプ内部の流れの変化に影響すると予想される。そこで、大気との連続性が異なる 2 種類の土壌パイプに対し、パイプ出口を閉塞させた際の斜面の水移動の変化を観測する室内実験を行った。

2. 実験条件 土壌パイプは内径 7 mm、外径 10 mm、長さ 50 cm のアクリルパイプを用いた。側面に直径 3 mm の穴を 1.3 cm^2 の密度で開け、周りをナイロンメッシュで覆った。土壌パイプにはパイプ内部の水の有無を感知するために、上流端、中央、下流端の 3 箇所に電極を設置し、上流端に PVC チューブを接続し、パイプ内部の空気圧を測定した。

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、勾配は 20° とした(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と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。試料は豊浦砂を用い、含水比 3 % に調整した後、乾燥密度 1.43 g cm^{-3} で 30 cm 高さまで充填した。土壌パイプは底面から 2.5 cm 高さ、装置下流端から 1 cm はみ出すよう設置した。装置のアクリル厚が 1 cm のため、斜面内部のパイプ長は 48 cm となる。試料充填後、 200 mm h^{-1} の降雨を定常状態に達するまで与えた。定常状態を確認した後、土壌パイプの出口に内径の等しいバルブを取り付け、バルブを閉じることでパイプ出口の閉塞を再現した。実験中は土槽内 12 点の土壌水圧、下端からの流出量、パイプ内空気圧およびパイプ内の電極間電圧を測定した。

土壌パイプは 2 条件とした。ひとつはパイプ出口のみ大気と繋がった条件(出口連結条件)である。もうひとつは出口に加えて空気圧測定用の PVC チューブを介して地表と繋がった条件(マクロポア連結条件)である。これは鉛直方向に延びるマクロポアを想定している。

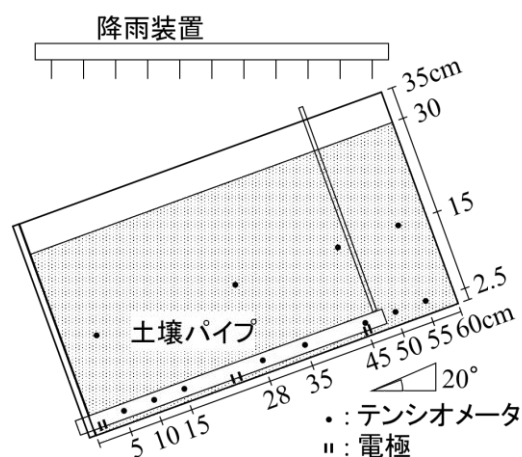


図 1 降雨実験装置

3. 結果と考察 図2に定常状態の地下水面を示す。パイプ出口の閉塞前は、土壌パイプ内の流れにより地下水面がパイプ位置に抑えられた。パイプ出口を通過した流量は降雨量の85%であり、このときパイプ出口では開水路流が形成されていた。また、パイプ内部の電極は下流側と中央の2箇所が反応しており、パイプ内には部分流が形成されていた。土壌パイプの高い集水性・排水性が発揮され、かつ排水能力には余裕があった。ただし、定常状態までの全流出量変化にはパイプの有無に違いがみられなかった。本実験の条件では土壌パイプは流出応答には関与していないと考えられる。

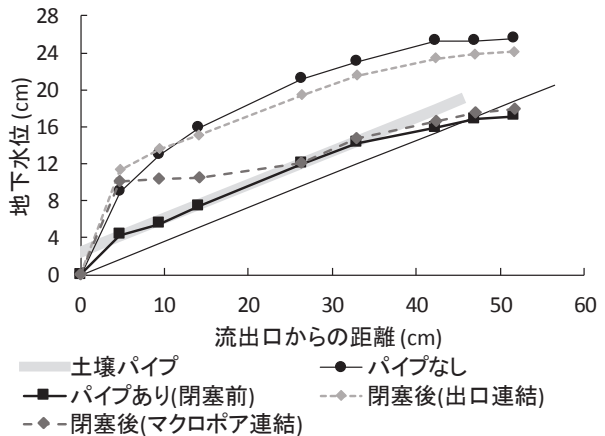


図2 パイプ閉塞前後の定常地下水面

図3にパイプ出口を閉塞してからのパイプ周囲3箇所の土壌水圧、パイプ内空気圧、およびパイプ内電極の応答を示す。パイプ出口のみで大気と繋がっていた出口連結条件(図3左)では、閉塞直後から空気圧および全地点の土壌水圧が同時に急上昇した。パイプ出口の閉鎖によってパイプ内部に残った空気が孤立し、この封入空気がパイプへの水の浸入を妨げたと考えられる。一方、マクロポア連結条件(図3右)では、土壌水圧の変化は下流側のみで生じ、滑らかに変化した。パイプ内部の電極は、下流端は閉鎖直後、中央は1分半後にそれぞれ値が増加した。これは電極を設置した地点のパイプ内水位が上昇したことを示唆している。マクロポア連結条件では出口閉塞後も空気の連続性が維持され、パイプへの水の浸入と空気の排出がスムーズに行われたといえる。パイプ閉塞後の定常状態(図2閉塞後)において、出口連結条件ではパイプなしとほぼ同様の地下水面が形成されたが、マクロポア連結条件は下流側のみ水位が上昇しほぼ水平となった。マクロポア連結条件では出口周辺に地下水を集中させるものの、土壌パイプの持つ高い透水性は維持された。

4. まとめ 土壌パイプ閉塞時における、斜面水移動の変化と空気封入の関係を明らかにするために室内実験を行った。土壌パイプは斜面の排水を促進し地下水位を低く保ったが、定常状態までの流出応答には寄与しなかった。土壌パイプ出口を閉塞した際には、パイプ内に残った空気と外気の連続性が重要で、パイプ内外の空気が繋がっているときのみ土壌パイプの高い透水性が維持された。

参考文献 Uchida et al. 2001. *Hydrol Process.* **15**: 2151-2174; 多田ら 2002. 砂防学会誌 **55**: 12-20; Sharma 2015. *Landslides* **12**: 345-353; Wang et al. 1998. *Water Resour. Res.* **34**: 213-222

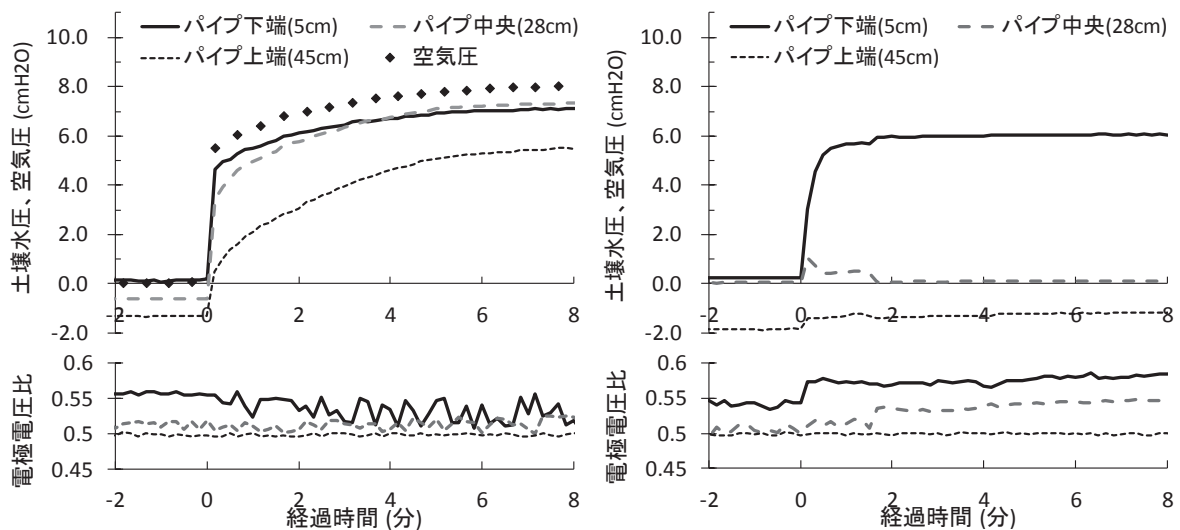


図3 パイプ閉塞後の土壌水圧、空気圧およびパイプ内電極電圧の変化
左：出口連結条件，右：マクロポア連結条件