

封入空気による崩壊に対する室内実験

筑波大学院・生命環境 ○関 英理香 恩田 裕一 岩上 翔 金 政錫
土木研 内田 太郎, 防災科研 酒井 直樹

1. はじめに

1999年広島豪雨災害など、表層崩壊は降雨ピーク時に発生し（矢入ほか，1973）深層崩壊は降雨ピークから遅れて発生することが特徴的である．しかし2003 年の水俣宝川内災害をはじめ，降雨ピーク時に発生する深層崩壊も存在する．Montgomery et al. (2002) は斜面崩壊の発生の遅れ時間が岩盤から土層中への水の流れが発生する時刻とほぼ一致することを述べており，降雨ピーク時に深層崩壊が発生するには排水システムを持つパイプが寄与している可能性がある．パイプが寄与する崩壊については，パイプ出口の閉塞が間隙水圧を上昇させ，斜面安定性を低下させることが実験やモデルによって示されている（多田ら2002，堤ら2005）．

一方，豪雨が生じると浸透水と土壌内の空気との置換作用が遅れることにより地表面付近に飽和層が形成され，飽和層と地下水面の間に形成される不飽和帯に空気が封入されることが示唆されており（丸井1991），Dixon and Linden（1972）では土層表層の飽和に伴う不飽和帯内の気圧の最大約3.5 kPaの増加が観測されている．パイプのような大孔隙には，地下水で満たされていない場合空気が存在する．パイプ内部に地下水が流入すると空気が押し出されるが，押しだされた空気が表層の飽和層により逃げられず，さらに地下水位上昇と飽和層が拡大した場合，空気が圧縮されて崩壊発生の原因となる可能性がある．

そこで本研究では大型土槽を用いて，降雨時の土層内に人工的に空気を注入する実験を行い，空気が斜面崩壊に及ぼす影響を明らかにすることを目的とした．

2. 方法

実験は独立行政法人防災科学技術研究所の大型降雨実験装置を使用して行った．実験土槽には，岩盤に見立てた空気層を傾斜変換部から 80 ～180 m の地点に設置し，その上に土層厚が 50 cm になるように砂質土壌を敷詰めた（図 1）．空気層内部には園芸パネルを敷き詰めてあり，土層の重みで潰れることがないようにした．

園芸パネルの上には不織布を被せ，空気層内部には空気と水のみが行き来できるようにした．斜面裏側から空気層内部まで VP13 の塩ビパイプを貫通させてあり，実験ではその穴を通してエアコンプレッサーから空気を注入した．降雨強度 50 mm/h の条件下で，実験土槽の流出量が一定になったことを確認してから，3 分間 250 L/min の空気を注入した．各実験において圧力水頭，空気層内部の気圧と大気圧，空気注入量を計測した．圧力水頭は，図 1 に示した位置に設置したテンシオメーターによって計測した．

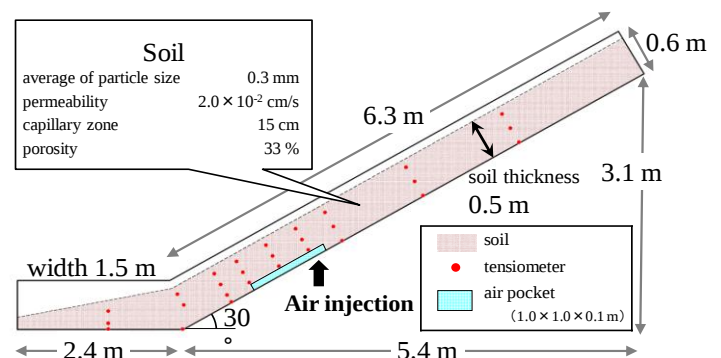


図 1 実験土槽模式図

発生した崩壊に対し，崩れ方を考慮し円弧安定解析（スライス法）を行った．式は

$$\sum_A^B \frac{cl + (W \cos \theta - ul - ih_w l \cos \theta) \tan \theta}{W \sin \theta}$$

を用いた．A が破壊面下端，B は破壊面上端，c は粘着力，l はスライスの破壊面に沿う方向の幅，W はスライスの重量，i は鉛直上向動水勾配， h_w はスライス中の飽和帯高さ， θ はスライスと鉛直方向とがなす角（図 4 参照），u は間隙水圧， ϕ はせん断抵抗角である．

3. 結果と考察

空気注入を開始すると、5 秒後に土層表面に亀裂が確認され、その1秒後に長さ約1.5 m最大深さ約20 cmの崩壊が発生した(図2)．空気注入時の圧力水頭と、空気層内圧から大気圧を引いた気圧を図3に示す．空気注入開始と同時に空気層内の圧力は3.5kPa上昇し、圧力水頭は注入開始から5秒後に上昇し始めた．また土壌内部の方が土壌表層より圧力水頭の変化が大きかった．同じ深度のテンシオメーターを比較すると、傾斜変換部から120 cm地点(空気層中心部)で最も大きい水頭の変化が観測された(図4a)．空気層が離れたテンシオメーターでは空気注入前後の圧力水頭の変化は見られなかった．

空気を注入することで、空気付近で上向きの動水勾配が観測された．鉛直上向方向の動水勾配は、空気層の真上で最大値0.7を記録した(図4b)．発生した崩壊に対して安定解析を行ったところ、斜面が不飽和の場合安全率は1.7となり、間隙水圧のみ考慮した場合1.2であった．しかし上向きの動水勾配の影響を考慮すると安全率は1以下となった．過去、新家ら(2003)は空気圧送による土層の破壊実験を行ったが、その際注入した空気量は約1 MPaであり、今回の実験の空気層内圧の変化値のおよそ300倍であるため、新家らの実験と同様に空気が直接土砂を動かしたとは考えにくく、崩壊の原因は動水勾配の変化である可能性が高い．今回は土層内に封入された空気を想定したが、空気が岩盤亀裂内で封入された場合、空気は土壌よりも抜けにくいいため、より少ない空気圧の変動でも深層崩壊の原因となる可能性がある．

4. 結論

この実験では、空気層内の空気が逃げようとする際、飽和した表層土壌の圧力水頭を変化させ、上向動水勾配を生じさせることが観測された．そして空気による動水勾配の増加がせん断応力を低下させ、斜面を不安定化させる可能性が示唆された．

参考文献

- 新家 憲,郭 桂芬,渋谷義樹 (2003) : Journal of Environmental Science Laboratory 10 pp,53-66, 丸井敦尚 (1991) : 地理学評論,64,A,3,145-166, 矢入憲二,諏訪兼位,増岡康男 (1973) : 矢入勝正編『昭和47年7月豪雨災害の調査と防災研究』,文部省科学研究費報告書,92-101, Montgomery, D. R., Dietrich, W. E. and Heffner, J. T. (2002) : Water Resources Research, 38-12, 10.1029/2002WR001429, 多田泰之,奥村 武信,久保田 哲也 (2002) : 砂防学会誌,55(3), 12-20, 堤 大三,宮寄 俊彦,藤田 正治, SIDLE Roy C. (2005) : 砂防学会誌 ,58(1), 20 -30. , R.M.Dixon ,D.R.Linden (1972) : SOIL SCI.SOC.AMER.PROC. VOL.36,948-953.

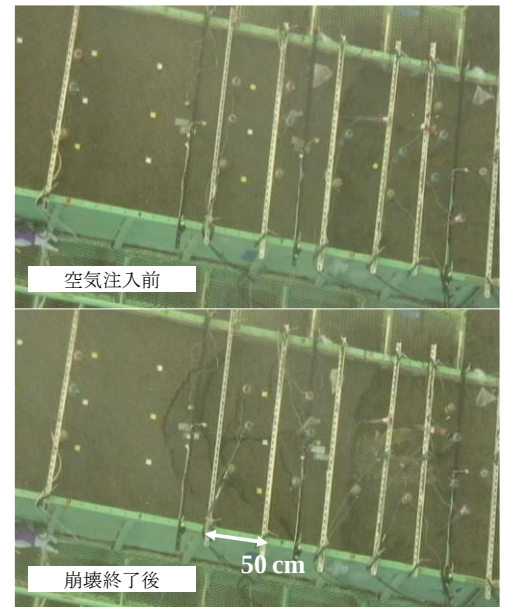


図2 崩壊前後の写真

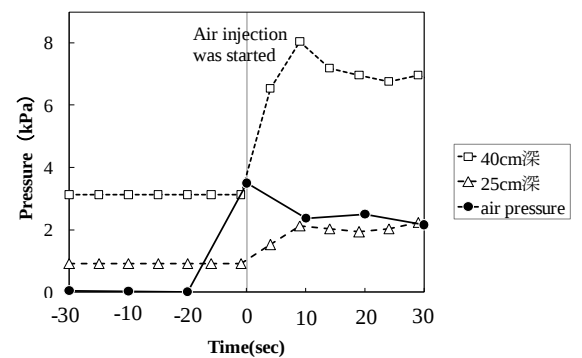


図3 空気層内圧と傾斜変換部から120 cm地点における圧力水頭

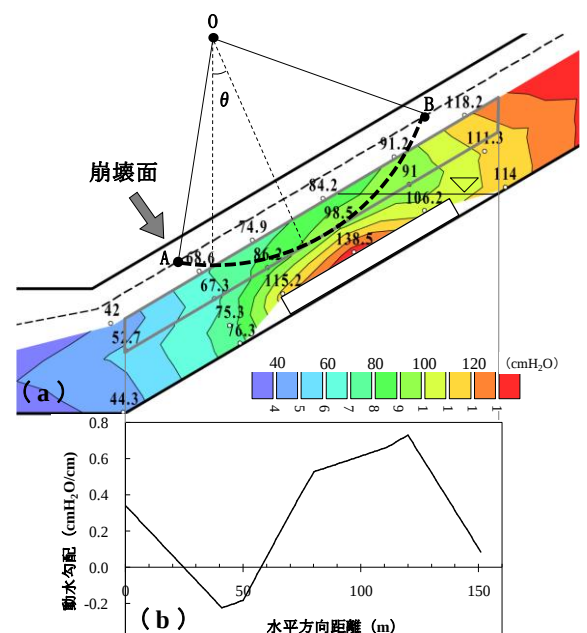


図4 (a) 空気注入5秒後の全水頭 (b) 土層10~25cm深の鉛直上向動水勾配