

パイプ構造をもつ人工斜面の降雨流出特性と土層安定性

京都大学大学院工学研究科
京都大学防災研究所

○宮寄俊彦
堤 大三・藤田正治

1. はじめに

自然の山地斜面の安定性を知るには土層の不均一性を評価する事が重要である。近年、その中の一つとして斜面中のパイプ構造が注目され、観測や実験などが行われてきている。観測により、水の輸送にパイプが大きな役割を果たしていることが報告され(例えば北原ら,1992)、また、実験によりパイプの閉塞あるいは出口が地表に無いパイプを含む斜面において、安全率が低下する事が確認されている(内田ら,1995、多田ら,2002)。これらの実験では、人工パイプとして多数の穴を開けた塩ビ管が用いられることが多い。また、斜面横断方向の水圧分布を無視し、二次元的に検討されている。本研究では、より自然状態に近い人工パイプを用いて実験を行い、また、斜面横断方向の水の動きも検討した。さらに、本実験では得られた結果をその後のモデルシミュレーションに適用する事を前提としている。

2. 方法

水路に、幅 50 cm、高さ 35 cm、長さ 500 cm となるよう、土層を水中に落下させる方法で土層を作成し、 20° に傾けた。土層上端は木板を用いて不透水となるようにし、土層下端はステンレスメッシュと不織布を用い、開放端条件となるようにした(図-1)。土層には6号珪砂を用い、土層の飽和透水係数 $k=2.1 \times 10^{-2}$ cm/sec であった。給水には人工降雨装置を用い降雨強度 82.1 mm/hr の雨を降らせた。

パイプは、従来の実験では塩ビ管に多数の穴を開け、その上から不織布を巻く方法がよく用いられている(内田ら,1995、多田ら,2002)が、本実験では水がパイプ-土層間でスムーズに交換できるよう、ステンレスメッシュを二重に巻いて固定し、その上から不織布を巻いたものを用いた(図-2)。用いたパイプの平均外径は 2.57 cm、Manning の粗度係数 $n=2.51 \times 10^{-2}$ となった。このパイプを Run1: パイプが土層中に無い場合、Run2: パイプが水路全長に渡ってある場合、Run3: パイプ出口が地表にない場合(パイプは下流端から 1 m 地点より上の区間に存在)の3つの場合に分けて埋設し、他の条件は同一にした。パイプを埋設する位置は、土層幅方向中央、土層底から 2.5 cm の位置に 1 本とした。計測項目としては、メスシリンダーとストップウォッチを用いて水路の下端で土層から出てくる流量(以下マトリクス流量)及びパイプから出てくる流量(以下パイプ流量)を、また、テンシオメーターを用いて水路底の間隙水圧(計 10 点)を計測した。なお、表面流の発生および表層の流動化を観察し記録した。

3. 結果と考察

3.1 下流端からの流量

図-3 に下流端流量を示す。初め、3 ケースともほぼ同様に、Matrix 流量が徐々に増加していき、開始 50 分頃に増加のペースが増した。間隙水圧計測の結果(3.2 参照)より、この時に地下水面が形成されたと思われる。Run1 ではその後も流量は増え続け、表面流及び表層の

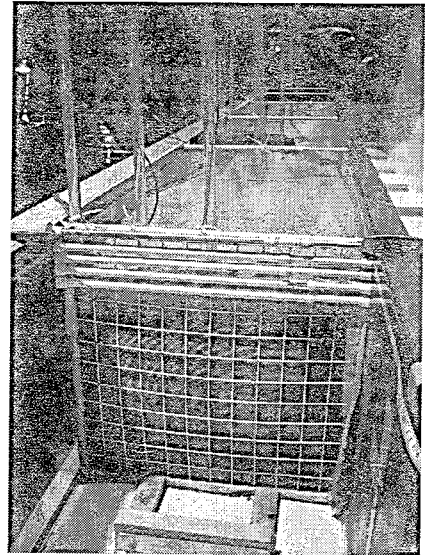


図-1 実験水路 (Run1 実験終了時)

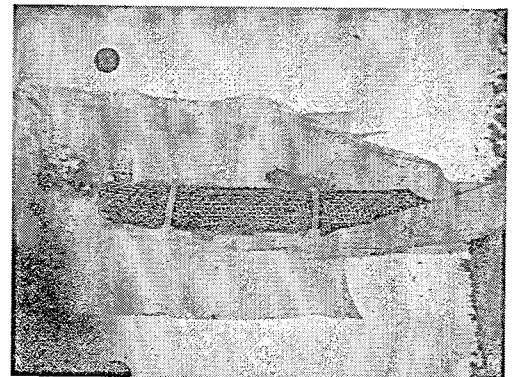


図-2 人工パイプ

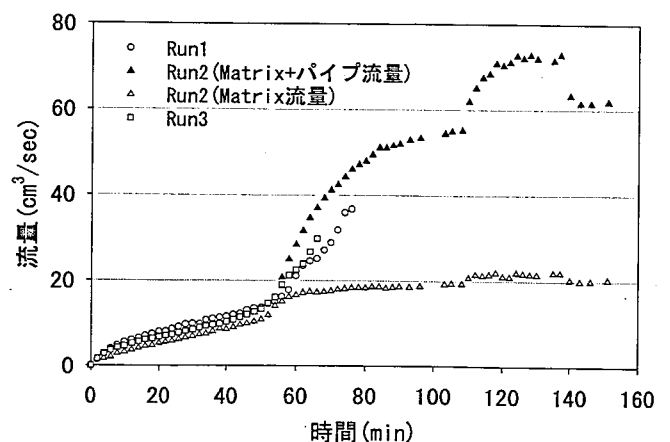


図-3 下流端からの流量

流動化が発生し、実験終了(開始 76 分)に至った。Run2 では開始 53 分からパイプ流が観測され始めた。その後、Matrix 流量は安定し、流量の増加はパイプ流によってまかなわれ、全流量で見れば Run1 よりも大きい割合で増加している。Run3 では流量が Run1 よりも速く増加し、表面流が発生、表層が流動化し、実験終了(開始 68 分)に至った。

3.2 土層底面の間隙水圧

図-4 に実験終了時の間隙水圧分布を示す。なお、水路長さ方向を x 軸とし、下流端が 0 cm、上流端が 500 cm である。流量と同じく、開始 50 分頃までは各 Run ともほぼ同様に圧力が上昇していった。その後、Run1 では下流端から 1~2 m 区間で間隙水圧が土層厚に相当する値 (35 cmH₂O) 近くまで上昇した。この部分は表面流及び流動化発生に対応している。また、水路横断方向の間隙水圧はほぼ一様の分布であった。Run2 では間隙水圧がパイプが存在する高さに相当する値 (2.5 cmH₂O) 付近で安定し、それ以上増加しなかった。水路横断方向の間隙水圧分布を見ると、パイプ流が発生した後はパイプに向かって凹型をしており、水がパイプに流入している様子が見てとれた。Run3 では下流端から 1 m のパイプが途切れる地点では、Run1 よりも早く間隙水圧が上昇し、間隙水圧が土層厚に相当する値 (35 cmH₂O) を超える値となった。この部分は Run1 と同様に表面流及び流動化発生に対応している。この部分の水路横断方向の間隙水圧分布はパイプから周辺の土層へ向かって低下する凸型をしており、パイプから水が流出している様子が見てとれた。逆に、下流端から 2.5 m より上流側では Run2 と同様に、パイプに向かって凹型をしており、この部分ではパイプが排水の効果を果たしている事が確認された。

3.3 表層の流動化

Run1 では、開始 65 分後頃に表面流が発生し、表層の流動化が $x = 170$ cm 部分から始まった。Run2 では、定常状態になり、流動化しなかった。Run3 では、開始 60 分後頃に $x = 100$ cm から表面流が発生し、流動化が始まった。 $x = 100$ cm はパイプが途切れる場所であり、パイプから土層への水の逆流が間隙水圧を上昇させ、土層を不安定化したことが明確に表れている。Run3 の実験終了時の様子を図-5 に示す。

表は各 Run についてまとめたものである。この結果より、地表に出口をもつパイプは、その排水能から斜面を安定化するが、逆に、地表に出口がないパイプは局所的な間隙水圧の上昇を招き、パイプが全くない場合よりも斜面は不安定となることが分かった。

4. まとめ

本実験から、地表に出口のあるパイプは斜面を安定させる効果があり、地表に出口のないパイプは地下水位を上昇させ斜面を不安定にする事が再確認された。これは既往の結果と一致する。また、斜面横断方向の水圧分布から、パイプ-土層間の水の流れが明確に確認された。さらに、より自然状態に近い人工パイプを用いたことから、シミュレーションモデルの検証にこれらの結果を用いることが可能であると考えられる。

参考文献

北原曜:森林土壌におけるパイプ流の特性,水文・水資源学会誌,Vol5,No.1,pp.15-25,1992. 内田太郎・小杉賢一朗・大手信人・水山高久:斜面土層内のパイプが地下水面形に及ぼす影響に関する実験的研究,日林論 106,pp.505-508,1995. 多田泰之・奥村武信・久保田哲也:パイプの存在が斜面崩壊に与える影響の実験的検討,砂防学会誌,Vol.55,No.3,pp.12-20,2002.

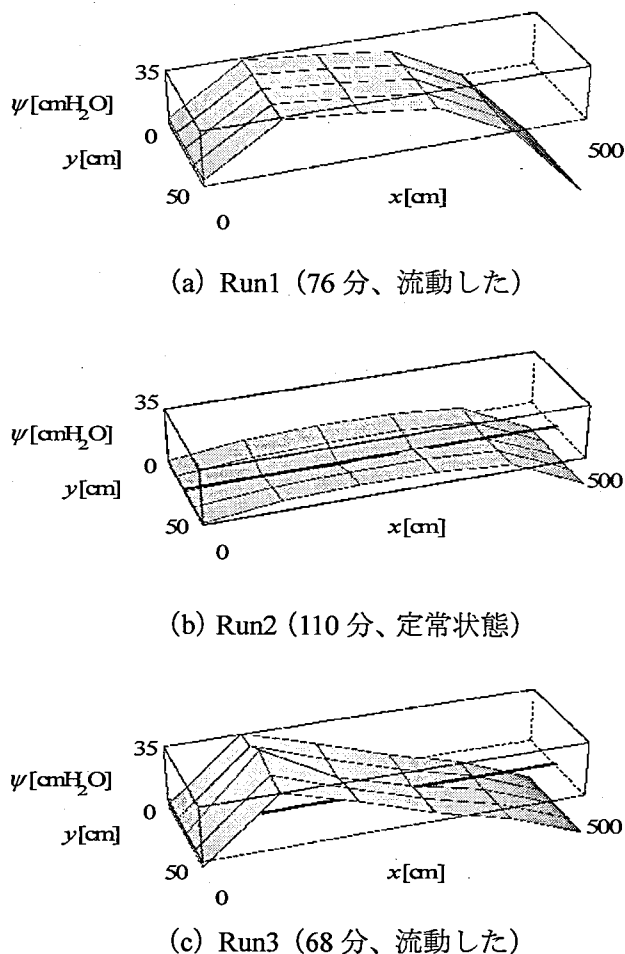


図-4 実験終了時の土層底間隙水圧分布

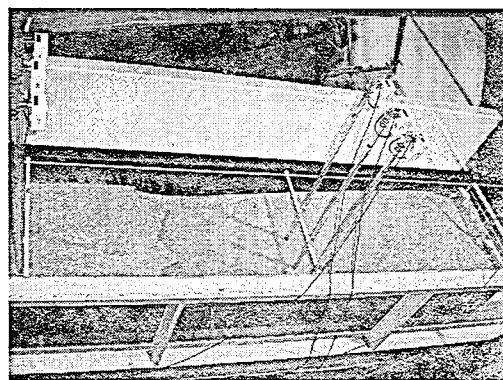


図-5 表層流動の様子 (Run3)

表 実験のまとめ

	Run1	Run2	Run3
継続時間	76分	152分	68分
降雨強度 (mm/hr)	82.1	82.1	82.1
流動化	65分に開始	発生せず	60分に開始
流動域 (下流端より)	0~267 cm	なし	0~150 cm