

高知大学農学部

○宮前 崇 平松 晋也

1. はじめに

浸透流解析と斜面安定解析とを組み合わせた崩壊発生予測手法より得られる崩壊発生時刻は、実際よりも遅れることが指摘されている。これは、決して一様とはいえない斜面の透水性や土質特性を一様としたことに原因があり、崩壊の発生場所だけではなく、崩壊発生時刻をも忠実に再現し、これによって得られる成果を活用して予知・予測問題へと展開していくためには、斜面の不均一性を考慮し得る崩壊モデルを用意する必要がある。本研究では斜面の不均一性を構成する「パイプ」、「樹木の根系」、「転石（礫）」、「亀裂」等の要素を『斜面の構造的欠陥』と定義し、これらの構造的欠陥の一つとして位置付けられる樹木根系（活性根、腐朽根）が土層内での雨水の挙動や斜面の安定性に及ぼす影響について、室内水路実験を行うことにより定量的に評価した。

2. 実験方法

実験装置は、図-1に示すように、給水用の定水位タンクと長さ100cm、幅15cm、深さ20cmのアクリル製水路、水路下端部からの流出量計測用の電子天秤とデータロガーにより構成されている。水路内の水面形を計測するため、水路下端部から5cm～95cm区間（斜距離）の水路側面には、10cm間隔で計9本のマノメータを設置した。実験水路内には15cmの厚さで豊浦標準砂と8号径砂を3:2の割合で配合した混合砂を水締めにより充填した。実験水路の上・下流部はフィルターで仕切られ、上流部には貯水タンクを、下流部には三角堰を設置し、実験水路と上・下流部の間の水移動が可能な構造となっている。実験水路内には、斜面方向に90cmの長さで、擬似活性根として直径10mmと18mmの木製円柱棒を、擬似腐朽根として直径10mmの木製円柱棒に内径6mmの穴を開けて上・下端部を0.075mmのプランクトンネットで覆ったものを、擬似パイプとして0.075mmのプランクトンネットで作成した直径10mmの円柱棒の中に平均粒径3mmのガラスピースを詰めたものをそれぞれ埋設した。実験水路内への給水は定水位タンクを用いて水路上流部の貯水タンクの水位が常に一定になるように調整し、貯水タンクの設定水位を10cm→7cm→4cmと3段階変化させた。また、実験開始時の初期水分状態を同一に保つため、微量定量ポンプを用いて常に0.3cc/sec与え続け、これを初期条件とした。実験ケースは、何も埋設しない場合と、擬似活性根の直径をφ10, 18mmと変化させた場合と直径10mmの擬似腐朽根・擬似パイプを埋設した場合について、水路勾配を15°, 20°, 25°と変化させた計15ケースである。

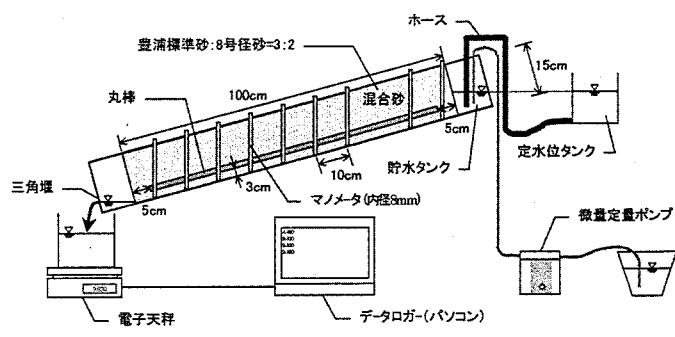


図-1 実験装置の概要

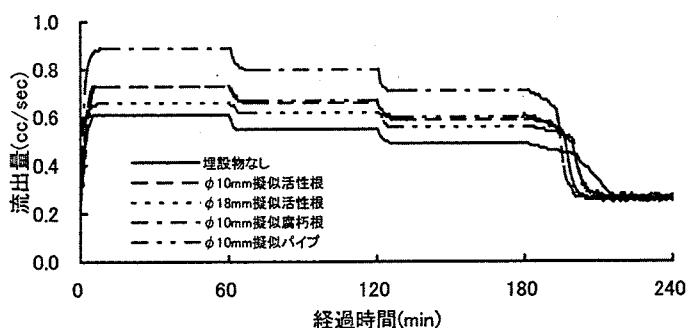


図-2 水路下流端からの流出量の経時変化(水路勾配:20°)

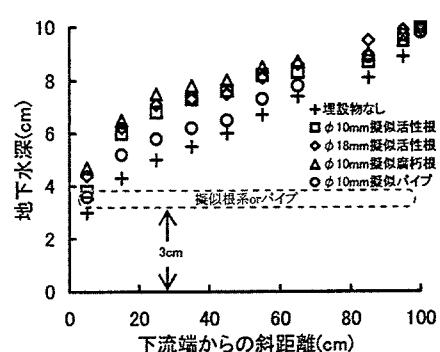
3. 実験結果

3.1 水路下流端からの流出量

水路勾配を20°とした場合を例として、水路下端部からの流出量の経時変化を図-2に示す。擬似根系やパイプを埋設した場合の流出量は、何も埋設しない場合よりも大きく、定常状態時の流出量の増加度合いは、擬似活性根で10～25%，擬似腐朽根で45～50%，擬似パイプで20～25%を示した。

3.2 水面形

水路勾配を20°とし、貯水タンクの設定水位を10cmとした場合の定常状態時の水面形の縦断形状を図-3に示す。擬似根系やパイプの埋設による地下水深の増加は、水路全体で認められる。この傾向は、埋設物の末端部である水路下流端から15cm～45cm地点の30cm区間（斜距離）でより顕著となっている。埋設物の設置にともなう地下水深の増加度合いは、擬似腐朽根の場合に最も大きく、次いで擬似活性根(φ=18mm)→擬似活性根(φ=10mm)→擬似パイプの順となっている。

図-3 定常状態時の水面形の縦断形状
(水路勾配:20°, 設定水位:10cm)

4. 考察

4.1 樹木根系やパイプが地下水流出量に及ぼす影響

貯水タンクの設定水位を 10cm とした場合を例として、定常状態時の流出量と水路勾配との関係をとりまとめたものを図-4 に示す。擬似根系やパイプを埋設することにより、流出量は 0.05 ~ 0.30cc/sec 増加している。埋設物別にみると、擬似腐朽根を埋設した場合の流出量が最も多く、埋設物なしに比べて 40%も増加し、次いで、擬似パイプを埋設した場合→擬似活性根を埋設した場合の順となっている。

何も埋設しなかった場合の総流出量を基準とし、擬似根系やパイプを埋設した場合の総流出量の増加量をとりまとめたものを図-5 に示す。総流出量は、擬似腐朽根を埋設した場合には水路勾配の増加とともに増加するのに対し、擬似活性根やパイプを埋設した場合には水路勾配に関わらず概ね一定値を示した。また、直径 : 10mm の擬似活性根を埋設した場合の総流出量が同径の擬似パイプを埋設した場合の値と概ね同値を示したという事実は注目に値する。

4.2 根系とパイプ周辺部の水理特性

水深 : h と単位幅当たりの流出量 : q との関係 : $h-q$ 関係は (1) 式により表される。ここに、 k 、 p : 流れの形態によって決まる定数であり、ベキ数 p は、流れの形態によってそれぞれ層流 : $p=1/3$ 、マニング : $p=3/5$ 、ダルシー : $p=1.0$ で表される。

$$h = k \cdot q^p \quad \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \quad (1)$$

さらに、定数 : k と勾配 : i との関係は、(2) 式で表され、この時のベキ数 : i は、流れの形態によってそれぞれ層流 : $i=-1/3$ 、マニング : $i=-3/10$ 、ダルシー（層流）: $i=-1.0$ 、ダルシー（乱流）: $i=-1/2$ である。

$$k = B \cdot i^p \quad \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \quad (2)$$

実験結果を基に、擬似根系やパイプ周辺部の流れの p と i の関係をとりまとめたものを図-6 に示す（図中、白抜きマーク）。ここで使用した流出量はマトリックス流量と埋設物周辺を流れる水量の合計値として計測された値である。そこで、埋設物周辺の局所的な流れの水理特性を明らかにするため、前述の擬似活性根や擬似腐朽根及び擬似パイプの流出量から何も埋設しない場合の値を差し引いた単位幅当たりの流出量と地下水深との値を基に得られた p と i の関係を図-6 中に併記した。以上の結果より、土層内に何も埋設しない場合の土層内部での水の流れの形態はダルシー則で、擬似活性根や擬似腐朽根周辺の流れはマニング則で、擬似パイプはマニング則に近いダルシー則で整理されることが確認された。

4.3 樹木の根系が斜面の安定性に及ぼす影響

水路勾配を 20° とし、貯水タンクの設定水位を 10cm とした場合を例として、擬似根系やパイプを埋設した場合と埋設しない場合の安全率の比率の縦断変化を図-7 に示す。擬似根系やパイプの埋設による安全率の低下は、水路全体で認められ、特に、擬似根系やパイプの下流部である水路下流端から 15cm ~ 45cm 地点の 30cm 区間（斜距離）でより顕著に認められる。同径 (10cm) の擬似活性根を埋設した場合よりも、擬似腐朽根を埋設した場合の安全率の低下度合いは大きく、逆に擬似パイプを埋設した場合の低下度合いは小さいことがわかる。

5. 総まとめ

山腹斜面でごく一般的にみられる樹木根系の存在が土層内での水移動に及ぼす影響を定量的に把握するため、室内水路実験を実施した。その結果、樹木根系やパイプが存在すると定常状態時の流出量は、存在しない場合よりも最大で 50%程度増加することがわかった。また、擬似活性根や擬似腐朽根周辺の水の流れはマニング則で、擬似パイプはマニング則に近いダルシー則でそれぞれ表されることが確認された。さらに、土層内に樹木根系が存在すると、斜面の安全率は最大で 10%程度低下することが明らかとなった。

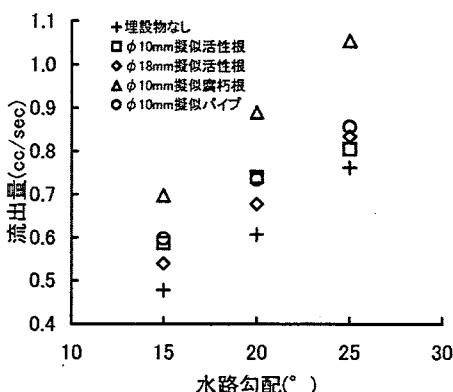


図-4 定常状態時の流出量(設定水位:10cm)

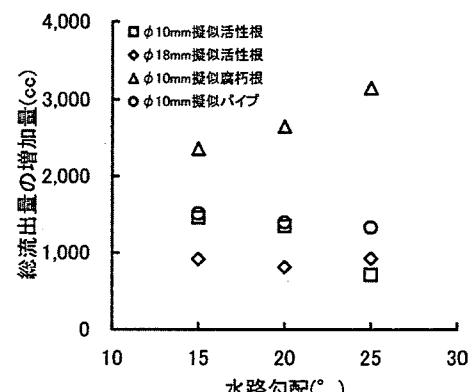


図-5 水路下端部からの総流出量の増加量

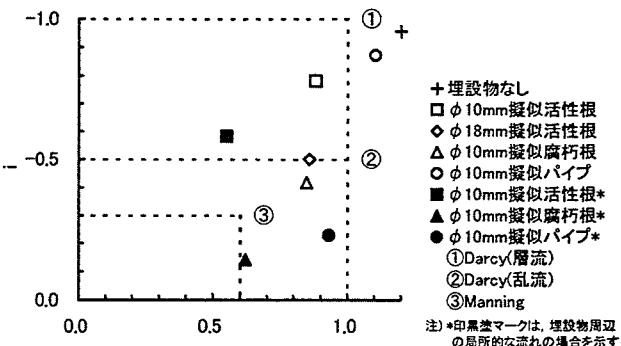


図-6 ベキ数 p と i で表した流れの形態

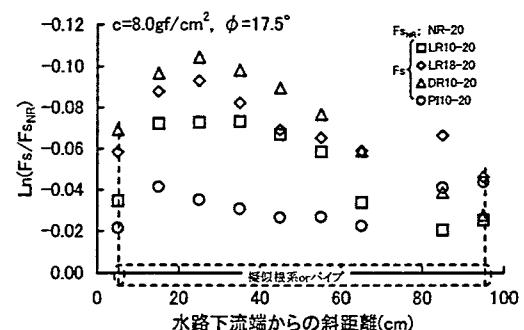


図-7 埋設物の有・無による安全率の比較
(水路勾配:20°, 設定水位:10cm)