

斜面土層内の水分移動に及ぼす樹木根系の影響

高知大学農学部
国土交通省四国山地砂防事務所

○宮前 崇 平松 晋也
岡本 敦 前川 美紀子

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、斜面の不均一性をも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（不均一性）』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）が崩壊発生の引金となる土層内での雨水の挙動に及ぼす影響について、現地散水実験結果を基に考察した。

2. 試験地概要及び実験方法

散水試験地は、愛媛県中央部を流れる重信川の上流右支川である井内川流域内の上宿野谷に設置した。散水区域は、地表面にクラックや倒木などの存在しない縦100cm×横140cmの長方形とした。散水区域の下流端は深度120cmまでトレンチ掘削（幅：140cm）し、散水区域の左・右側面には浸透水の湧出を防止するため防水コンクリートを充填した。散水装置は、塩化ビニルパイプに10cm間隔で1mmの穴をあけた散水部と、散水部へ水を供給するための給水タンク（50Lタンク）から構成される（図-1）。計測項目は、土層断面の樹木根系部（活性根・腐朽根）とマトリックス部からの側方流出量である。図-2に、土層断面に設置した採水装置の概要を示す。

A₀層とA層の境界面である深度5cm地点と、難透水層（K_s<10⁻⁵cm/sec）と判断される深度90cm付近より深層の深度110cm地点にそれぞれ金属製の樋を斜面方向に3cm程度差し込み、採水可能な構造とした。また、樹木根系（活性根・腐朽根）周辺からの流出量を計測するため、深度30、70、80、90、100cmの5深度部には、内径5.0cm×高さ5.1cmのステンレス製円柱（森林土壌採取用100ccサンプラー）を樹木根系を覆うように3cm程度差し込み採水可能な構造とした。また、同一深度のマトリックス部にも同様の採水装置を設置した。散水中は、メシリンダー及び転倒マス型雨量計（1転倒4cc）を用いて各採水部からの流出量を10～30分間隔で計測した。実験ケースは、散水強度を22、43、44、63、66、94、95mm/hrと種々変化させた計7ケースである。

3. 樹木根系の存在が雨水の流出に及ぼす影響

定常状態時における樹木根系部とマトリックス部からの流出量と散水強度との関係を図-3に示す。腐朽根周辺からの流出量はマトリックス部に対して7～450倍程度の値を示し、深度70cm地点の腐朽根周辺の流出量は散水強度に比例している。

マトリックス部からの単位断面あたりの流出量（以下、単位面積流出量と呼ぶ）が同一深度では根系の有・無にかかわらず同値を示すと仮定すると、樹木根系（活性根・腐朽根）の存在による斜面からの流出量の増加量（以下、活性根流量： Δq_L 及び腐朽根流量： Δq_D と呼び、総称として根系流量と定義する）は、根系部周辺からの流出量と同一深度のマトリックス部からの流出量を用いて（1）式により求められる。ただし（1）式中 Δq_R 、 Q_R 、 A_R は、活性根の場合には Δq_L 、 Q_L 、 A_L と、腐朽根の場合には Δq_D 、 Q_D 、 A_D とそれぞれ置き換えて使用した。

$$\Delta q_{QR} = \{ Q_R - Q_M \cdot (A - A_R) / A \} / n \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 Δq_{QR} ：定常状態時の根系一本あたりの根系流量（cc/min/本数）、 Q_R ：定常状態時の根系部周辺からの流出量（cc/min）、 Q_M ：定常状態時の同一深度のマトリックス部からの流出量（cc/min）、 A ：採水部の断面積（19.6cm²）、 A_R ：根系の断面積（cm²）、 n ：根系の本数（ここでは、 $n=1$ ）である。

（1）式より得られる根系流量と散水強度（供給水量： R （cc/min/cm²））との関係を示す図-4より、根系一本あたりの根系流量は供給水量に比例し、これらは（2）～（3）式を用いて近似可能となる。なお、図中には既往研究（熊沢・平松、2002）

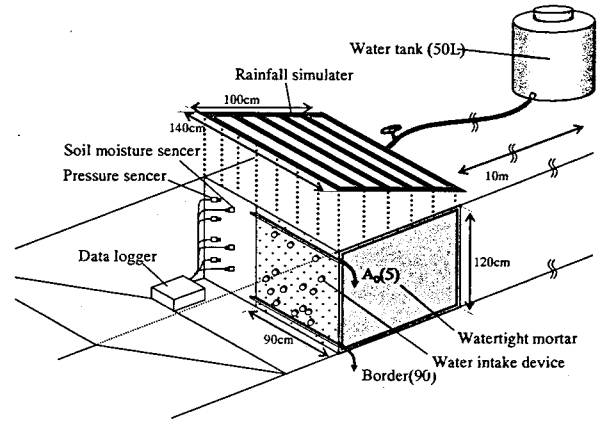


図-1 実験装置の概要

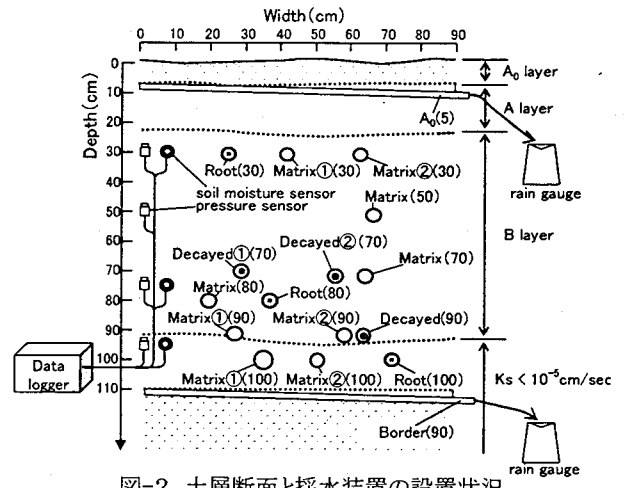


図-2 土層断面と採水装置の設置状況

による値を併記し、以下これらの値も本実験値と同様に扱った。

$$\Delta q_L = 7.272 \cdot R \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$\Delta q_{DC} = 99.953 \cdot R \quad \dots\dots\dots (3)$$

このように、樹木根系の存在は流出量を増加させる傾向にあり、特に、腐朽根流量は散水強度に対して鋭敏に反応する（活性根流量の14倍）という事実は注目に値する。（4）式は、説明変数に供給水量、腐朽根の出現深度及び腐朽根の断面円周長を使用した場合の腐朽根流量の推定式である。

$$\Delta q_{DC} = R^{2.230} \cdot Z^{2.078} \cdot S^{0.446} \cdot e^{15.535} \quad \dots\dots\dots (4)$$

ここに、 Δq_{DC} ：定常状態時の腐朽根流量 (cc/min/本数)、R：供給水量 (cc/min/cm²)、Z：出現深度 (cm)、S：断面円周長 (cm) である。

4. 定常状態時の流出量の再現

定常状態時における土層断面全体からの根系流量は、一本あたりの活性根流量： Δq_L に土層断面内に存在する活性根の本数を乗じることにより（5）式で求められる総活性根流量と、各腐朽根に対して（4）式を適用することにより得られる腐朽根流量とを合計することにより求められる。

$$\Sigma \Delta q_L = \Delta q_L \cdot n \quad \dots\dots\dots (5)$$

ここに、 $\Sigma \Delta q_L$ ：土層断面全体からの活性根流量 (cc/min)、 Δq_L ：一本あたりの活性根流量 (cc/min/本数)、n：活性根の本数である。なお、根系の本数及び諸元は、土層断面の観察結果より設定した。

一方、定常状態時における土層断面全体からのマトリックス部からの流出量は、散水強度毎の単位断面積流出量にマトリックス部の断面積を乗じることにより（6）式で求められる。単位断面積流出量は、マトリックス部の各採水深度（30, 50, 70, 80, 90, 100cm 深度）からの単位断面積流出量の平均値とし、供給水量を用いて（7）式で直線近似可能となる。

$$\Sigma q_M = q_M \cdot A_M \quad \dots\dots\dots (6)$$

$$q_M = 0.0802 \cdot R \quad \dots\dots\dots (7)$$

ここに、 Σq_M ：土層断面からのマトリックス部からの流出量 (cc/min)、 q_M ：散水強度毎のマトリックス部における単位断面積流出量 (cc/min/cm²)、 A_M ：マトリックス部の土層断面積（幅90cm×高さ85cm=7,650cm²）、R：供給水量 (cc/min/cm²) である。

以上より、定常状態時における土層断面全体からの流出量： ΣQ (cc/min) は、活性根流量： $\Sigma \Delta q_L$ 、腐朽根流量： Δq_{DC} 及びマトリックス部からの総流出量： Σq_M の合計値として（8）式で推定可能となる。

$$\Sigma Q = \Sigma \Delta q_L + \Delta q_{DC} + \Sigma q_M \quad \dots\dots\dots (8)$$

（8）式による流出量の再現結果を図-5に示す。なお、図中には $A_0(5)$ （図-2）からの流出量を除く土層断面全体からの実測流出量をも併記した。

（8）式による計算値は、実測値を良好に再現している。また根系流量とマトリックス部からの流出量との計算値を比較すると、根系部周辺の流出量は、マトリックス部と同程度以上を占め、散水強度の増加とともに土層断面全体の流出量に占める割合が大きくなることわかる。

5. まとめ

本研究では、樹木根系（活性根・腐朽根）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とともに、将来的には崩壊予測問題へと展開することを目的とし、現地斜面内で散水実験を実施した。その結果、降雨時には根系部周辺（特に、腐朽根周辺）に雨水が集中し、この根系部周辺への雨水の集中は散水強度の増加とともに助長されることが明らかになった。また、流出量の多い腐朽根周辺部からの定常状態時の流出量は散水強度（供給水量）、根系の出現深度及び断面円周長を用いて近似可能であり、この関係式を用いた再現計算値と実際の散水実験結果（実測値）とを比較すると、良好な再現精度が確認された。

引用文献：熊沢・平松（2002）：樹木根系の存在が森林土壌中の水分移動に与える影響、砂防学会誌、Vol. 55, No. 4, p. 12-22

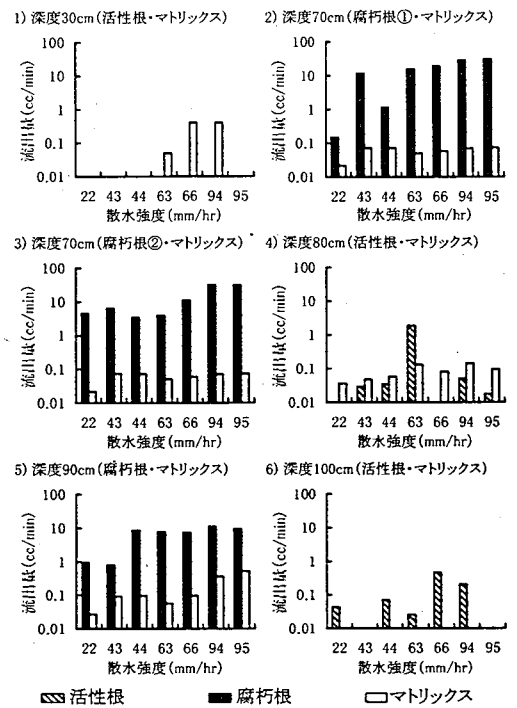


図-3 定常状態時の流出量

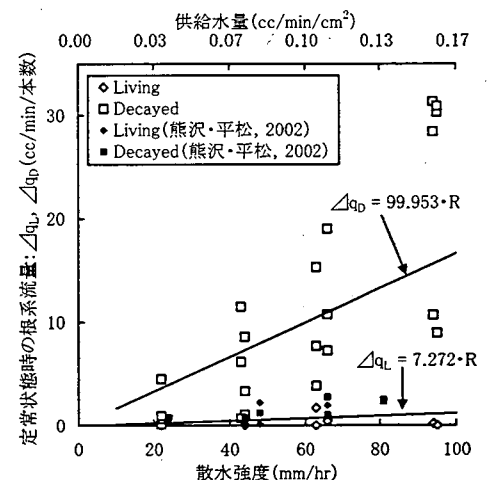


図-4 根系の存在による流出量の増加量と散水強度の関係（定常状態時）

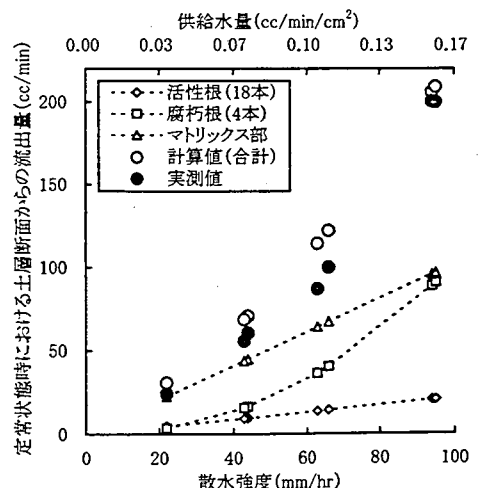


図-5 土層断面からの流出量の再現（定常状態時）