

樹木根系が斜面土層内での雨水の挙動に及ぼす影響

林野庁(前 高知大学大学院農学研究所) 信州大学農学部 国土交通省四国山地砂防事務所

○宮前 崇 平松 晋也 岩男 忠明・前川 美紀子

1 はじめに

従来の崩壊予測モデルによって得られる崩壊発生時刻は、実際の発生時刻よりも遅れることが指摘されている。これは、決して一概とはいえない斜面の透水性や土質特性を一概としたことに原因があり、崩壊の発生場所だけではなく、その発生時刻をも精度よく再現するためには、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、斜面の不均一性構成要素である「パイプ」、「樹木根系」、「転石」、「亀裂」等の内、森林土層内で一般的かつ多量に見られる「樹木根系(活性根・腐朽根)」に着目し、この要素が土層内部で生じる雨水の挙動に及ぼす影響を定量的に把握することを目的とした。

2 研究方法

本研究では、まず、現地斜面内において散水強度を制御した現地散水実験を行い、土層断面の根系部周辺とマトリックス部からの側方流出量を計測することにより、樹木根系(活性根、腐朽根)が崩壊発生時の引金となる土層内での雨水の挙動に及ぼす影響の定量的把握を試みた。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定した。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(図-1)。樹木根系(活性根・腐朽根)周辺及びマトリックス部からの流出量を計測するため、土層断面の5深度部に内径5.0cmのステンレス製円柱を樹木根系を覆うように3cm程度差し込み、流出量を計測した(図-2)。また、土層断面には、 A_0 層とA層の境界面である深度5cm地点($A_0(5)$)と難透水層($K_s < 10^{-5}$ cm/sec)と判断される深度90cm付近より深層の深度110cm地点(Border(90))にそれぞれ金属製の樋を斜面方向に3cm程度差し込むことにより土層断面からの流出量を自動計測した。

次に、同試験地において自然降雨に対しても同様の観測を行い(現地水文観測)、根系部周辺とマトリックス部からの流出量を通年観測(2002年11月8日~2004年10月21日)することにより、樹木根系周辺部への雨水の集中度合いを確認した。 $A_0(5)$ 、Border(90)及び腐朽根周辺からの流出量は1転倒4ccの転倒マスを用いて自動計測し、活性根周辺とマトリックス部からの流出量は1週間から1ヶ月間隔で手動計測した。

3 現地散水実験による樹木根系流量の推定式の構築

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)の存在による流出量の増加量(以下、活性根流量: Δq_L 及び腐朽根流量: Δq_B と呼び、総称として根系流量: Δq_R (cc/min/本数)と定義する)は、根系部周辺からの流出量: Q_R (cc/min)と同一深度のマトリックス部からの流出量: Q_M (cc/min)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_B 、 Q_B 、 A_B とそれぞれ置き換えて使用した。

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

ここに、 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は散水強度(供給水量: R (cc/min/cm²))と正の相関関係にあることが確認されたため、一本あたりの根系流量は(2)~(3)式を用いて近似可能となる。

$$\Delta q_L = 7.272 \cdot R \dots\dots\dots (2), \quad \Delta q_B = 99.953 \cdot R \dots\dots\dots (3)$$

このように、樹木根系の存在は流出量を増加させることになり、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。流出量の多い腐朽根流量についてより精度の高い流出量予測を行うために、説明変数に供給水量: R (cc/min/cm²)、腐朽根の出現深度: Z (cm)及び腐朽根の断面円周長: S (cm)を使用した場合の定常状態時

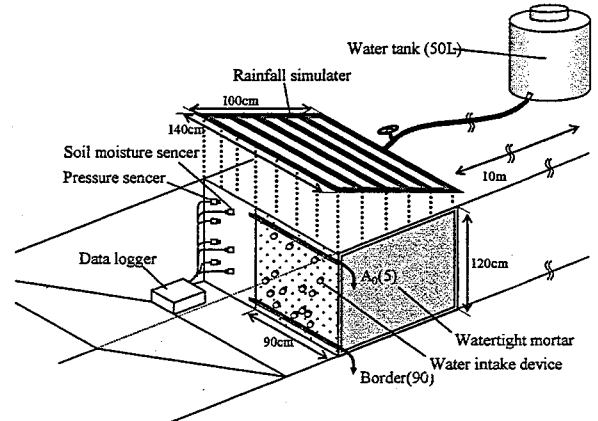


図-1 実験装置の概要

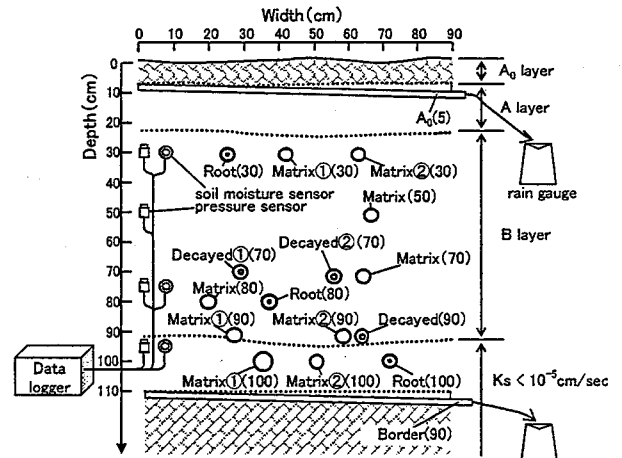


図-2 土層断面と採水装置の設置状況

の腐朽根流量： Δq_{dc} (cc/min/本数)の推定式を構築した((4)式)。

$$\Delta q_{dc} = 3.3 \times 10^6 \cdot R^{2.230} \cdot Z^{-2.078} \cdot S^{0.446} \dots\dots\dots (4)$$

4 現地水文観測(自然降雨)による土層内の雨水の挙動に及ぼす樹木根系の影響

4.1 観測結果

それぞれの計測期間内に得られた各採水部からの総流出量と降雨量(総降雨量, 最大時間雨量)との関係を示す図-3より, 活性根周辺と腐朽根周辺からの期間内総流出量は, マトリックス部と比較して1~3オーダー程度の増加が認められ, 根系部周辺への雨水の集中は降雨強度の増加とともに助長されることがわかる。

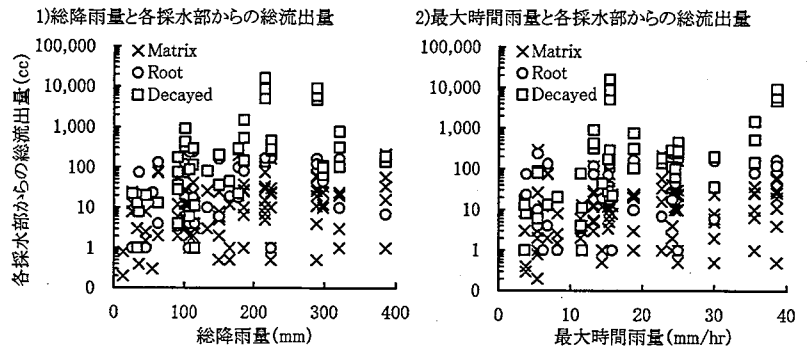


図-3 土層断面と採水装置の設置状況

4.2 土層断面全体からの総流出量の再現

土層断面全体からの総活性根流量： Q_L (cc/hr)は, 一本あたりの活性根流量((2)式)に土層断面内に存在する活性根の本数： n_L ($n_L=18$)を乗じることにより(5)式で求められる。土層断面全体からの総腐朽根流量： Q_{dc} (cc/hr)は, 各腐朽根(4本)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： Δq_{dc} の合計値として(6)式で求められる。

$$Q_L = \Delta q_L \cdot n_L \dots\dots (5), \quad Q_{dc} = \sum \Delta q_{dc} \dots\dots (6)$$

一方, 土層断面全体からのマトリックス部からの流出量(以下, 総マトリックス流量： Q_M (cc/hr)と呼ぶ)は, 供給水量： R を用いて(7)式で得られる単位断面積流出量： q_m (cc/min/cm²)にマトリックス部の断面積： A_M (幅90cm×高さ85cm=7,650cm²)を乗じることにより(8)式で求められる。

$$q_m = 0.0802 \cdot R \dots\dots (7), \quad Q_M = q_m \cdot A_M \dots\dots (8)$$

(2)式~(4)式と(7)式は定常状態時に対する推定式であるため, 同式を自然降雨に対して適用する場合, 土層内部での雨水浸透の遅れ時間を考慮する必要がある。このため, (9)式~(10)式に示すように遅れ係数(α)を加味することにより流出量を補正した。また, 各採水部からの最小流出量に対する降雨量を流出の限界降雨と仮定し, これを閾値として設定した。ここに, $Q_M(T)$, $Q_R(T)$:遅れ係数を加味した土層断面全体からの総マトリックス流量及び根系流量(cc/hr), $Q_L(T)$, $Q_{dc}(T)$:時刻Tの時間雨量に対してそれぞれ(5), (6), (8)式で求められる活性根流量(cc/hr), 腐朽根流量(cc/hr), 総マトリックス流量(cc/hr), α_1 , α_2 , α_R :遅れ係数である。遅れ係数は, 試行錯誤により $\alpha_1=0.3$, $\alpha_2=0.3$, $\alpha_R=0.2$ とした。

$$Q_M(T) = \alpha_2 \cdot Q_M(T-2) + \alpha_1 \cdot Q_M(T-1) + (1-\alpha_1-\alpha_2) \cdot Q_M(T) \dots\dots (9), \quad Q_R(T) = \alpha_R \cdot Q_R(T-1) + (1-\alpha_R) \cdot Q_R(T) \dots\dots (10)$$

以上より, 土層断面全体からの流出量： $\sum Q(T)$ (cc/hr)は, 活性根流量： $Q_L(T)$, 腐朽根流量： $Q_{dc}(T)$ 及び総マトリックス流量： $Q_M(T)$ の合計値として(11)式で推定可能となる。

$$\sum Q(T) = Q_L(T) + Q_{dc}(T) + Q_M(T) \dots\dots\dots (11)$$

(11)式を用いて土層断面全体からの流出量の再現を試みた結果の一例を図-4に示す。土層断面全体からの総流出量の計算値は実測値の傾向を捕らえ, 概ね良好に再現できた。しかし, 腐朽根からの流出量の計算値は実測値を下回る結果となった。この原因として, 散水実験により構築された推定式は奥行100cmと限られた区域での散水実験により構築されたものであり, 本研究で対象とした腐朽根が散水区域より斜面上流部まで伸張り, 斜面上流部での雨水が腐朽根周辺に集中することで速やかにトレンチ断面まで流下してきたことが考えられる。

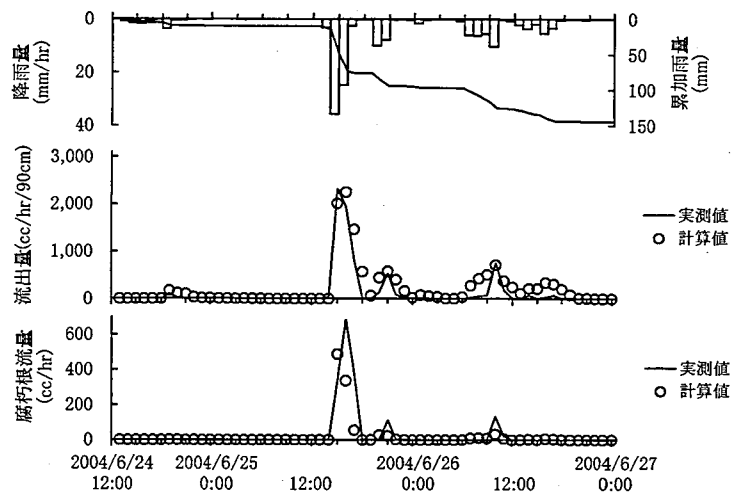


図-4 土層断面全体からの総流出量の再現

5 まとめ

現地斜面内で散水実験や水文観測を実施した結果, 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降雨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, 散水実験結果を基に構築した関係式を用いて自然降雨による土層断面からの流出量の再現を試みたところ, 概ね良好な再現精度が確認された。今後は, 樹木根系周辺部で生じる流れの水理特性を明らかにすることにより水理学的な観点から「根系流モデル」を再構築しモデルの再現精度を向上させるとともに, 同モデルと斜面安定解析モデルとを組み合わせることにより, 崩壊発生場所のみならず発生時刻の予測も可能となる『崩壊発生予測モデル』の構築へと研究を展開したい。