

1. はじめに

地表面に到達した雨水の移動の場である森林土壌中には、樹木根系やその腐朽、地中の小動物の活動や雨水の集中により形成される大小の孔隙(パイプ)、土層中に点在する転石(礫)、地震に起因したクラック等が多数存在し、土壌構造の不均一性が極めて大きいことが指摘されている。このため、土層内の水移動を正確に把握し水循環や崩壊発生予測問題へと展開していくためには、土壌の不均一性を解明する必要がある。本研究では、現地斜面内で人工降雨実験を実施し、斜面内の不均一性を構成する要素の一つである樹木根系(活性根、腐朽根)が土層内での水移動に及ぼす影響を明らかにするとともに、樹木の根系周辺での雨水の挙動の定量化を試みた。

2. 試験地の概要及び実験方法

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散水試験地を設定した(図-1)。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50cm×横50cmの平方区とした。散水区域の下流端は深度100cmまでトレンチ掘削(幅:50cm)し、散水区域の左・右側面には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5cm間隔で1.5mm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-2)。給水タンクは、散水部の7.0m上方(斜距離)に設置した。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と土壌水分吸引圧(深度25, 50, 75cm地点)である。図-3に、土層断面に設置した採水装置の概要を示す。土層断面には難透水層($K_s < 10^{-5}$ cm/sec)と判断される深度90cm地点と、 A_0 層とA層の境界面にあたる深度5cm地点にそれぞれ金属性の樋を斜面方向に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12, 20, 42, 70cmの4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。散水中はメスシリンダーを用いて各採水部(サンプラー)からの流出量を10分間隔で計測した。実験ケースは、散水強度を24, 44, 48, 66, 81mm/hと種々変化させた場合の計5ケースである。

3. 考察

3.1 樹木根系の存在が定常状態時の流出に及ぼす影響

定常状態時における単位断面積当たりの流出量(以下、単位面積流出量と呼ぶ)と散水強度の関係を図-4に示す。深度70cm地点の根系部周辺の単位面積流出量はマトリックス部の4~15倍の値を示し、その差は散水強度に比例して増加する。また、流出が確認された場合、深度20, 42cm地点の根系部周辺の単位面積流出量は、概ね一定値(1.1~1.3cc/min/cm²)を示している。

マトリックス部からの単位面積流出量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、樹木根系の存在による斜面からの流出量の増加量(以下、根系流量と呼ぶ)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。

$$\Delta Q = (Q_r - Q_m \cdot (A - A_0) / A) / n \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 ΔQ :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),

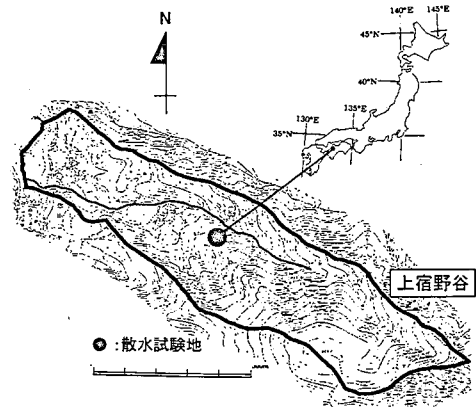


図-1 対象流域の位置

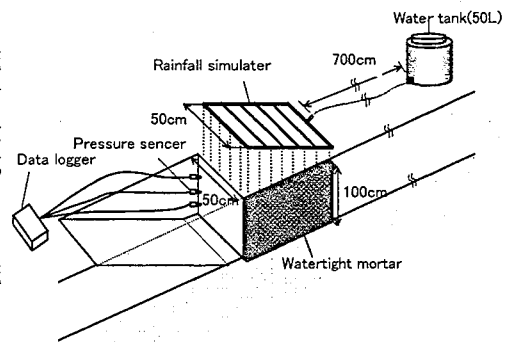


図-2 実験装置の概要

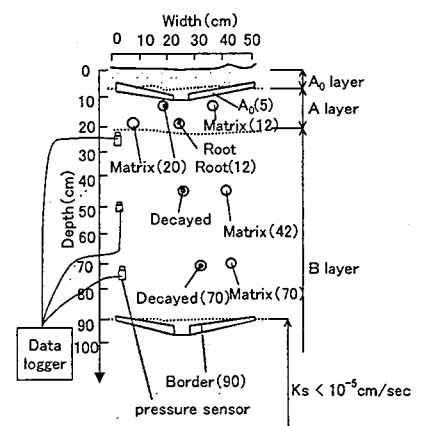


図-3 土層断面と採水装置の設置状況

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(サンプラー)の断面積(19.6cm²), A_R : 根系の断面積(cm²),
 n : 根系の本数である。

(1)式より得られる根系流量と散水強度との関係を示す図-5より, 根系一本あたりの根系流量は, 散水強度に比例することがわかる。なお, 図中には根系部周辺からの流出が確認されなかった場合の値は記載していない。根系一本あたりの根系流量は, 散水強度を用いて(2)式で直線近似可能となる(相関係数; $R=0.72$)。

$$\Delta Q = 22.4619 \cdot R - 0.6573 \dots\dots\dots(2)$$

ここに, ΔQ : 定常状態時の根系一本あたりの根系流量(cc/min/本数), R : 散水強度(cc/min/cm²)である。

3.2 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, 根系一本あたりの根系流量(ΔQ : (2)式)に土層断面内に存在する根系本数を乗じることにより(3)式で求められる。

$$\Sigma \Delta Q = \Delta Q \cdot n \dots\dots\dots(3)$$

ここに, $\Sigma \Delta Q$: 定常状態時の土層断面全体からの根系流量(cc/min), n : 土層断面内に存在する根系本数である。一方, 深度12, 20, 42, 70cm 地点における定常状態時のマトリックス部からの単位面積流出量の平均値は, 散水強度を用いて(4)式で直線近似可能となる(相関係数; $R=0.41$)。

$$q_M = 0.0261 \cdot R + 0.00036 \dots\dots\dots(4)$$

ここに, q_M : 定常状態時のマトリックス部からの平均化された単位面積流出量(cc/min/cm²), R : 散水強度(cc/min/cm²)である。土層断面全体のマトリックス部からの流出量は, マトリックス部の断面積を用いて(5)式より求められる。

$$\Sigma q_M = q_M \cdot A_M \dots\dots\dots(5)$$

ここに, Σq_M : 定常状態時の土層断面全体のマトリックス部からの流出量(cc/min), A_M : マトリックス部の断面積(幅50cm×高さ85cm=4,250cm²)である。また, 定常状態時の土層断面全体からの流出量: ΣQ (cc/min)は, マトリックス部と根系部周辺からの合計値として(6)式で求められる。

$$\Sigma Q = \Sigma q_M + \Sigma \Delta Q \dots\dots\dots(6)$$

ここで, (3)式中の根系本数: n は, 土層断面の観察結果より $n=18$ (直径3mm以上を抽出)と設定した。

(1)~(6)式による再現結果を図-6に示す。なお, 図中には A_0 (5)(図-3)からの流出量を除く土層断面全体の流出量の実測値を併記した。(6)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の計算値を比較すると, 根系流量は, マトリックス部に比べ散水強度の増加にともなう流出量の増加が顕著であり, 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からわかる。

4. 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, 根系部周辺に雨水が集中し(マトリックス部の4~15倍: 定常状態時), 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, 定常状態時の根系部周辺からの流出量は散水強度を用いて直線近似可能であり, この関係式を用いた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。

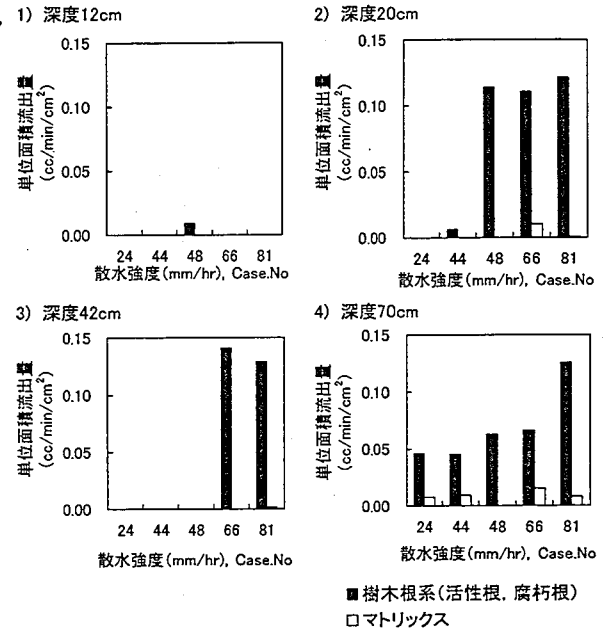


図-4 定常状態時の単位面積流出量

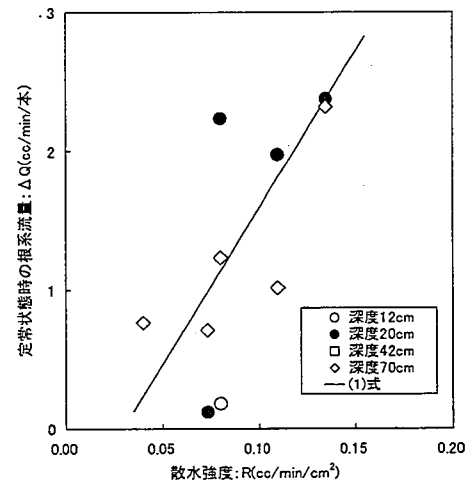


図-5 根系の存在による流出量の増加量と散水強度の関係(定常状態時)

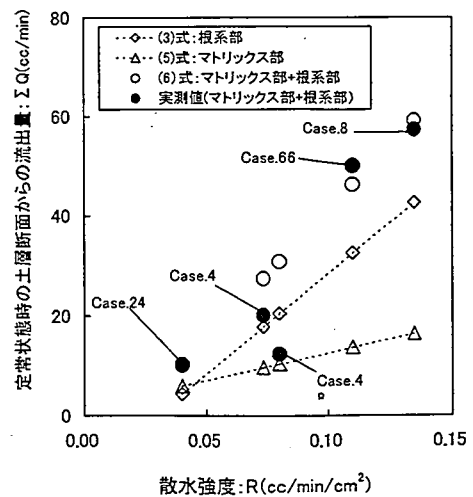


図-6 定常状態時の流出量の再現