

084 樹木根系が雨水の鉛直浸透に及ぼす影響に関する一考察

高知大学農学部 ○渡海 勇輝 平松 晋也

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）、土層中に点在する礫（転石）、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の予知・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、このような森林土壌の取り扱いに起因した水移動過程や崩壊予測問題に関する現状を踏まえ、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」等の要素の内、森林土壌内で最も一般的かつ多量に見られる「樹木の根系」に着目し、疑似根系を用いた室内鉛直浸透実験を実施することにより、樹木根系が雨水の鉛直浸透過程に及ぼす影響について定量的評価を試みた。

2. 鉛直浸透実験

実験装置は、図-1に示すように、内径20cm、高さ30cmの塩化ビニル製の円筒、散水装置、微量定量ポンプ、貯水タンク、流出量計測用の電子天秤及びデータロガー（パソコン）から構成される。供試体内には、豊浦標準砂と8号径砂を質量比3:2の割合で配合した砂を密度の差が生じないように注意しながら自由落下させて充填した（乾燥密度：1.479g/cm³）。微量定量ポンプを用いて供試体上部に散された雨水は、供試体内部を通過し、下端部に設置した三角堰の越流量として電子天秤により10秒間隔で自動計測される。実験ケースは、疑似根系の断面積と本数をそれぞれ変化させた場合に対して3パターンの降雨強度（10, 30, 60mm/hr）を与えた15ケースである。供試体内部に埋設する疑似根系としては、長さ30cmで直径1cmと1.8cmの木の棒にニスを塗布したものを使用した。

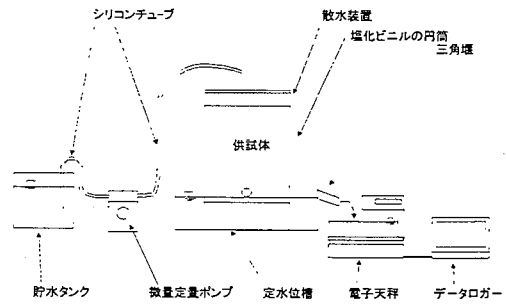


図-1 鉛直浸透実験の概要

降雨強度60mm/hrを与えた場合を例として、疑似根系の断面積と本数をそれぞれ変化させた場合の供試体下端部からの地下水流出量の経時変化を示す図

2及び図-3より、疑似根系の断面積（円周）や本数の増加とともに地下水流出開始時間や地下水流出量が定常状態に達するまでに要する時間が短縮されることがわかる。降雨強度30mm/hr, 10mm/hrにおいても同様の傾向が認められた。

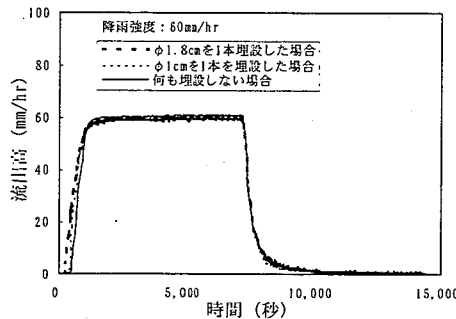


図-2 疑似根系の断面積を変化させた場合の地下水流出量の経時変化

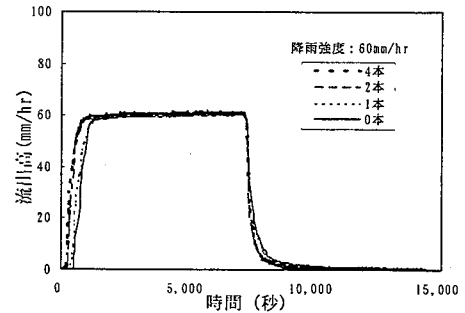


図-3 疑似根系の本数を変化させた場合の地下水流出量の経時変化

3. 考察

3.1 樹木根系が土層内の水移動に及ぼす影響

地下水流出開始時間と疑似根系の円周との関係を示す図-4より、疑似根系の円周の増加とともに地下水流出開始時間が短縮される傾向が認められる。この傾向は、降雨強度の減少とともに顕著に現れている。さらに、降雨強度と地下水流出開始時間との間にも強い負の相関関係が見られたため、「地下水流出開始時間：Ta(秒)」と「疑似根系の円周：S(cm)」及び「降雨強度：R(mm/hr)」との関係は、(1)式で表現可能となる。

$$Ta = e^{(-0.074 \cdot S + 9.145)} \cdot R^{-0.739} \dots \dots \dots (1)$$

(1)式による計算値と実測との関係を比較した図-5より、(1)式による再現精度は極めて高いことが確認される。

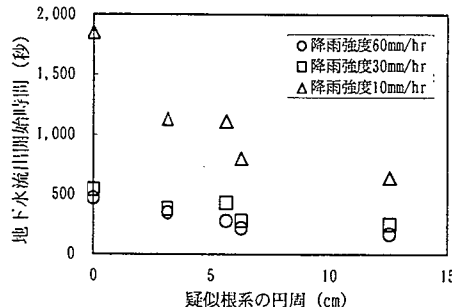


図-4 地下水流出開始時間と疑似根系の円周との関係

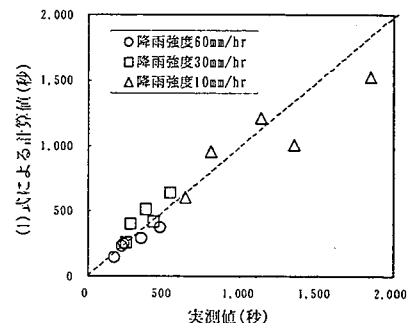


図-5 地下水流出開始時間の計算値と実測値との比較

3.2 樹木根系が地下水流出量に及ぼす影響

浸透量の増加量と疑似根系の円周との関係を図-6に示す。浸透量の増加量： ΔQ (cc)は、疑似根系を埋設した場合と埋設しない場合の供試体下端部からの地下水流出量の差の累加値として(2)式より算出した。

$$\Delta Q = \sum_{t=1}^{te} \left\{ \frac{Q_R(t) - Q_0(t)}{60 \times 60 \times 10^3} \right\} \times A \times 10 \dots\dots\dots (2)$$

ここに、 ΔQ ：浸透量の増加量(cc)、 $Q_R(t)$ ：疑似根系がある場合のt時の地下水流出高(mm/hr)、 $Q_0(t)$ ：疑似根系がない場合のt時の地下水流出高(mm/hr)、 te ：疑似根系がある場合と無い場合の供試体下端部からの地下水流出量の差がなくなるまでの時間、 A ：供試体の断面積(cm²)である。疑似根系の埋設に伴う浸透量の増加量は、疑似根系の円周の増加とともに増加し、この傾向は降雨強度の増加とともにより顕著になる。さらに、浸透量の増加量と降雨強度との間には、明瞭な正の相関関係が認められたため、「浸透量の増加量： ΔQ (cc)」は、「疑似根系の円周： S (cm)」と「降雨強度： R (mm/hr)」を用いて(3)式で表現可能となる(図-7)。

$$\Delta Q = S^{1.021} \cdot e^{(0.012 \cdot R + 2.066)} \dots\dots\dots (3)$$

3.3 根系周辺部での雨水の挙動の再現

降雨強度60mm/hrを与えた場合を例として、疑似根系を埋設した場合の供試体下端部からの地下水流出量から疑似根系を埋設しない場合の地下水流出量を差し引くことにより得られる疑似根系周辺部での雨水の挙動(ハイドログラフ)を図-8に示す。流出開始時間は、地下水流出開始時間： T_a と同じであり、(1)式により再現可能である。ピーク流量： Q_{max} (cc/sec)と疑似根系の円周や降雨強度との間には、それぞれ強い正の相関関係が見られ、「ピーク流量： Q_{max} (cc/sec)」は「疑似根系の円周： S (cm)」と「降雨強度： R (mm/hr)」を用いて、(4)式で表すことができる。(4)式による計算値と実測値との関係を示す図-9より、(4)式による高い再現性が確認される。

$$Q_{max} = S^{0.38} \cdot R^{0.729} \cdot e^{-4.915} \dots\dots\dots (4)$$

一方、「ピーク流量に達するまでに要する時間： T_p (秒)」と「流出停止時間： T_b (秒)」は、疑似根系の円周や断面積の影響を受けず、降雨強度に対応した値を示したため、「降雨強度： R (mm/hr)」を用いてそれぞれ(5)、(6)式で累乗近似可能となる。

$$T_p = 10757.5 \cdot R^{-0.8009} \dots\dots\dots (5)$$

$$T_b = 5631.8 \cdot R^{-0.4089} \dots\dots\dots (6)$$

(5)、(6)式による計算値と実測値との関係を示す図-10、11より、それぞれの計算値は実測値と概ね同値を示していることがわかる。

4. おわりに

本研究では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、室内鉛直浸透実験を実施した。その結果、樹木根系の存在が土層内での雨水の挙動に多大な影響を及ぼす(浸透速度や浸透量を増加させる)ことが明らかになった。しかし、これらの結果は、疑似根系に対して実験室内で得られた結果である。このため、今後、同様な結果が現地地で得られるかどうかを現地観測を行うことにより確認する必要があるものの、不均一性構成要素を考慮した崩壊発生モデルを構築し、これを用いて土砂災害危険度予測を行う上での一助となることが確信される。

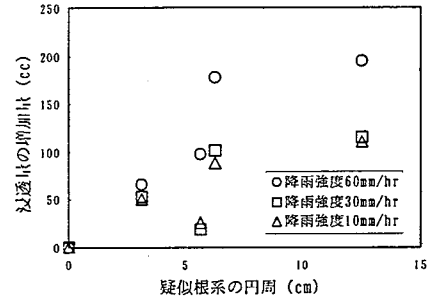


図-6 浸透量の増加量と疑似根系の円周との関係

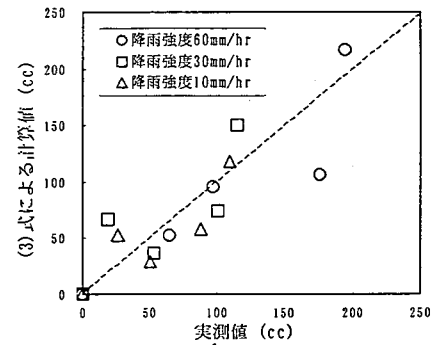


図-7 浸透量の増加量の計算値と実測値との比較

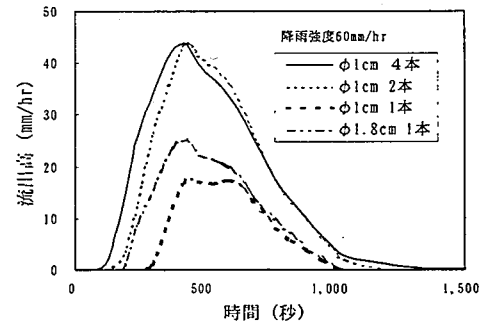


図-8 疑似根系周辺部の雨水の挙動

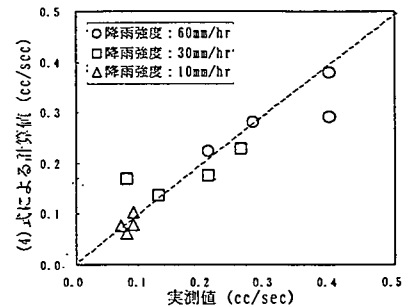


図-9 ピーク流量の計算値と実測値の比較

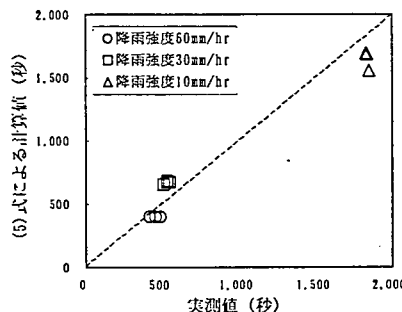


図-10 ピーク流量に達するまでに要する時間の計算値と実測値の比較

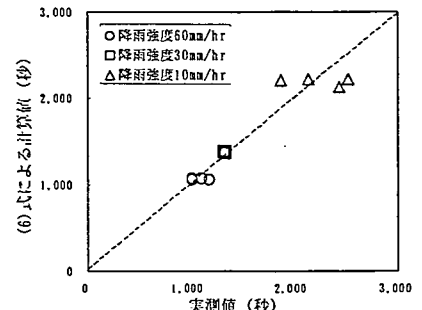


図-11 ハイドログラフの流出停止時間の計算値と実測値の比較