

II-57 山腹斜面における雨水流出経路に関する研究

(株)建設技術研究所 正 員○小原 裕博
名古屋大学工学部 正 員 松林宇一郎
名古屋大学工学部 正 員 高木 不折

1. はじめに

近年、環境問題に関連して水循環や物質循環の重要性が指摘されているが、そのためには流出水量を表すだけでなく雨水の流出経路を考慮し、水質の変化も再現できるようなモデルが必要であると考えられる。著者らは、こうした観点から図1の犬山流域（愛知県犬山市、流域面積6400m²）において山腹斜面系における種々の解析を行ってきた。その中で、牧らはRichardsの飽和・不飽和浸透式を用いた数値解析及び比電気伝導度や¹⁸Oを利用した水質解析を行ったが、その結果、飽和・不飽和浸透モデルでは、流域下流端でのハイドログラフを再現することはできるが、流出水の水質変化を再現できないことがわかった。その原因として、流出の経路は土壌マトリクス部の浸透流のみではなく何らかの局所的経路が存在することが考えられる。本研究では種々の水文観測および室内散水実験から、斜面の流出経路を検討し、その効果を考慮した斜面流出モデルを提案する。また、斜面モデルを用いた流出ハイドログラフの再現および水質変化の再現を通じてモデルの評価を行う。

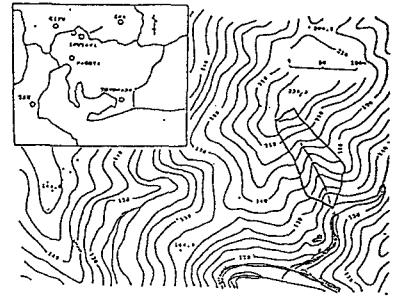


図1 犬山試験流域

2. 現地観測の概要

従来の解析ではいずれも降雨条件、土壌条件を一様として取り扱ってきた。しかし、現地で降雨時の斜面を観察すると、降雨は樹冠により樹幹流と樹冠通過降雨に分離される。樹幹流は根元付近に雨水を集中化させ主根付近の空隙が多い部分から浸透してゆく。そこでは従来考えていた不飽和浸透とは異なった水分移動が起きていると考えられる。この集中化による影響を考察するために、流域内の9本の木に集水器を取り付け流量計測を行った。同時に実際の斜面降水である樹冠通過降雨についても測定を行った。

また、浸透域である土壌内部には、樹冠による降水の分離による影響以外に、根茎・れき層・パイプといった局所的流れを起こす要因が存在していると思われる。これらの水の動きを知るために、斜面内6箇所にテンシオメータを埋設し土壌ポテンシャルの変化を測定した。特に、土壌についてはその特性を詳しく求めるために現地での散水試験を行い毛管ポテンシャル変化を測定するとともに山腹に設けたトレンチ断面の観察も行った。

3. 観測および実験結果と考察

雨水の分離：雨水流出は山腹斜面への降水から始まるが、これは、樹木の存在により樹幹流、樹冠通過降雨という性質の異なる着水形態に分けられる。図2はある樹木について降雨ごとの累加降雨量と累加集水量の関係を示したもので、降雨に関係なく累加降雨に対する累加樹幹流下量は一定と見ることができる。他の樹木についても同様の結果が得られたことから、個々の樹木について次式が得られる。

$$\int R_s = \alpha * \int R + \beta$$

$\int R_s$: 累加樹幹流量 (cm³), $\int R$: 累加林外降雨 (cm)

α : 集水面積 (cm²), β : 樹冠貯留量 (cm²)

ここで α , β については樹木の断面積にはほぼ比例するという観測結果が得られていることから、犬山流域全体の植生を調査することにより、上式を流域全体へ

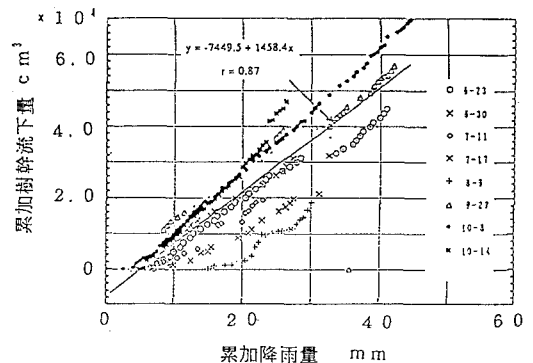


図2 累加降雨量と累加樹幹流下量の関係

拡張することができる。さらに、その結果を流域全体の降水の総量で除してやることにより流域全体での平均的な樹幹集中度（根元付近への供給の割合）が求められる。このように犬山流域について求めた結果、集中度は24%と試算された。

流路の推定およびモデル化：次に、土壌中の毛管ポテンシャルについて述べると、ポテンシャル変化の様子が幾つかのタイプに分類でき、水分移動はある特定の経路で起こっていると推測されたが、その機構を明らかにするまでには至らなかった。

一方、トレンチ断面の目視による観測からは幾つかの知見を得ることができた。その例として、図3に平成4年11月26日に同流域でおこなった散水実験時（総散水量30mm）の結果を示す。図中でトレンチ断面では濡れ前線のようなものは断面上部10～15cm以深では確認できず、出水地点は図中の細根周りのA点、マトリクス部のB点のみであったことから、土壌の層境界面や根茎・隙群において、局所的流れが発生することが確認された。また、より多量の散水を行った現地実験では、A、B点以外に基岩上部のC点から浸出が確認されており、基岩上面で飽和浸透流が形成される場合はそこから多量の流出があるものと推測される。以上のように、土中を降下中の水は、流れの向きが斜面方向へ強制的に変えられる場合のみ流出することから、土壌全体では鉛直方向への流れが卓越していると考えられる。

また室内実験において、隙層の局所流発生場としての効果はあまり大きくないこと、幹を伝って根元付近に供給された水分は、非常に強い流れであるため斜面方向への水分伝播はわずかでほとんどがそのまま鉛直方向の主根を伝わって土壌深部に到達することが実験的に確認された。

以上から、山腹斜面の流出経路として、土壌部を樹幹流を水分供給源とし局所的に降下する鉛直一次元浸透層と、樹冠通過降雨を供給源とする一般マトリクス部の遅い鉛直一次元浸透層とし、斜面方向の流れとして、基岩上面でのKinematic流を組み合わせることでモデル化できると考えられる。その概図を図4に示す。

4. 流量および水質変化の再現

図4に示した斜面流出モデルを用いて、平成元年6月28日の流出量および水質の変化を再現した結果を図4.1に示す。数値解析において、浸透流及びKinematic流のパラメータは過去の研究および実験から同定し、雨水の2層への分配率は樹幹流の集中度により与えた。水質変化については、トレーサー¹⁸Oの濃度変化をFickの拡散方程式を用いて計算した。図5に示した様に、牧の行った2次元不飽和浸透流解析では、水質変化が降雨強度の変化に支配されていたのに対し、本モデルを用いた場合は、初期部は一致していないものの、濃度拡散の降水に対する遅れが表現できた。このことから、本モデルの濃度解析への有用性が示唆できたと考えられる。

参考文献

牧 昌志：トレーサーの拡散解析による山腹斜面の雨水流出過程に関する研究、名古屋大学卒業論文

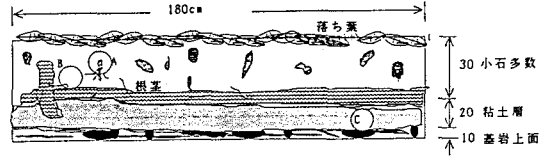


図3 観測トレンチ断面の概図

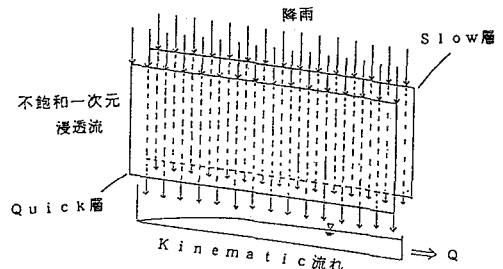


図4 斜面流出モデルの概図

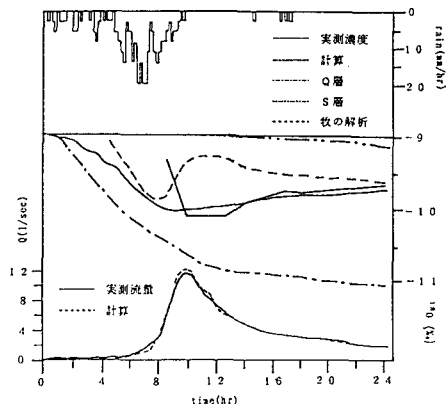


図5 流量及び水質変化解析結果