

II-221 浸透流出現象に及ぼす植生の効果に関する研究

建設技術研究所 正員 神田 慶

名古屋大学工学部 正員 松林宇一郎 高木不折

1. 本研究の目的と既往の研究

筆者らは愛知県犬山市にある名古屋大学地震観測所付近の犬山流域において、山腹斜面の流出の素過程を解明するため降雨・流量測定やトレーサ- $\delta^{18}\text{O}$ による成分分離等を行ってきた。その結果、本流域の流出特性として、①出水全般において流出するのはもともと流域にあった古水であること、②新水はハイドログラフのピーク前後に流出するだけで、降雨の大部分は古水をピストン流的に刺激・流出させる代わりに土層内に貯留されることがわかった。さらに、この現象が流出モデルにおいて正しく捉えられているかどうか、マーカ-追跡や濃度拡散解析を用いて「垂直不飽和浸透流+ $K \cdot W$ (基岩上)」と「2次元不飽和浸透流」の2種類のモデルを評価したところ、いずれのモデルも流量については再現されているが、新水が流出しない、もしくは流出する時刻がずれるなど水質面については実現象と一致しない事がわかった。

このことから現地の山腹斜面には、モデルの持つ流出機構以外に新水を流出させる要因があるものと考えられる。本研究では植生の効果に着目し、現地調査を行うことで雨水の流出経路を探り、流出モデルに組み込むことを目的とする。

2. 犬山流域の特徴

犬山流域の流域面積は 6400m^2 であり、その地形を図-1に示す。山腹斜面には、古生層のチャート・頁岩を主とする風化の進んだ基岩上を表土層が薄く覆っている(尾根 0.3m 河道付近 $1\sim 1.5\text{m}$)。植生については高さ $5\sim 10\text{m}$ のヤブツバキ・アラカシ等の広葉樹が密生している。

水文観測として、流域末端(図1の黒丸)における流量測定、自記雨量計による(林外)降雨、山腹斜面の林内で樹幹流・樹冠通過降雨の測定を行った。

3. 雨水流出の概況

流域に降った雨はまず樹木の樹冠によって樹幹流と樹冠通過降雨に分けられ、おのおの土層に点的・面的に供給される。観測の結果、全降雨のおよそ70%は樹冠通過降雨となることがわかった。土層に到達した後の雨水の挙動を探るため降雨時の観察及び散水実験を行ったところ、樹幹流については、①土層内においても主根を伝わりすばやく垂直浸透し基岩に達するもの、②根元付近にパイプがあればそこを通して側方流となるもの、③根元付近で土壤マトリックスに吸収されるものに分かれることが確認された。これに対し樹冠通過降雨は、まず土壤マトリックスを垂直浸透し①地表付近のパイプに捕捉されパイプ流となるもの、②土層内にはりめぐらされた 5mm 程度の細い根系や礫に捕捉され、その周囲で飽和に近い流れとなつて、根系・礫にそって側方に浸透するもの、③捕捉されずに土層内に貯留されるか、④そのまま垂直浸透し基岩に達した後、基岩表面もしくは割れ目を伝って無降雨時に流出するという現象が確認された。

以上より、山腹斜面には樹木の樹冠による降雨集水機能および土層内のパイプ・根系・礫による局所的な流れがあり、これによって雨水はすばやく流出するものと考えられる。

4. パイプ流を組み込んだ流出モデル

観測により得た情報を基礎にして雨水の流出過程を考慮した斜面流出モデルを提案する。本来ならば、現

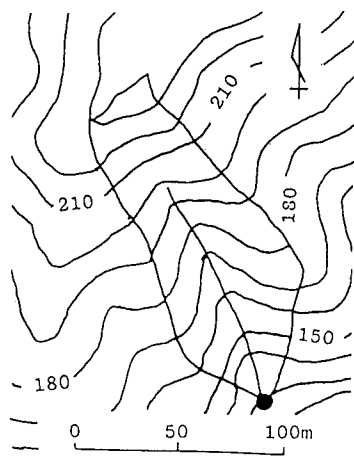


図-1 地形図

地の流出機構を全てモデルに組み込むべきだが、同定すべきパラメータが多くなり、また局所的浸透流の定量的な把握が困難である等の理由により樹木の幹から主根を伝わる垂直浸透のモデル化については今後の課題とし、今回はパイプ流を中心にモデルに組み込むことにする。具体的には、表層については根系・礫を伝わる側方流を考慮した2次元飽和・不飽和浸透流出モデルに、パイプ流を付加したモデルを、その下層は通常の2次元飽和・不飽和浸透流モデルを結合したモデルとした。基礎式は、(1)式で表される連続式と式中のフラックス q を表現する運動方程式からなるが、以下では表層・下層各々の運動方程式について説明する。

(1) パイプ流のモデル化

現地調査により犬山流域におけるパイプの特性として次の事が明らかになった。パイプの分布する深さは地表10cm前後であり、内径はおよそ2~3cm、構造としては黒色土化してよくしまつて湿った土が1cm程度の厚さでパイプ壁を構成し、パイプ長については各パイプまちまちで長くても2m程度であり、斜面の急な場所ほどパイプが長く発達し、パイプ網を形成していた。散水実験によると、樹幹流の一部はパイプを通りすばやく流下するが、その途中で壁面を通して土壌マトリックスへ分散してしまうことが分かった。一方樹冠通過降雨を想定した散水実験では、土壌マトリックスを鉛直浸透しパイプ部よりすばやく側方に流出した。このことからパイプ部と周囲の土壌マトリックスとの間には水分の移動がある事が確認された。

パイプを通る流れの運動方程式、パイプ網の空間分布、樹幹流からの雨水の供給量、土壌マトリックスとパイプ部との定量的な水分移動については、未だ不明な点が多いが、以上述べた観察を基礎にして、ここではパイプ流含んだ表層の流れのフラックスを平均的に取り扱い(2)式によって表現した。

(2) 地中浸透流のモデル化

パイプを含んだ表層の下に広がる土層内の不飽和水の挙動については不飽和に拡張されたダルシー則(3)式を用いた。現地の斜面において根系・礫の分布はきわめて複雑で詳細な調査が困難であったため、モデルでは根系・礫の効果は土層内で一様と考え、流下方向の透水係数は垂直方向の値を f 倍することで根系・礫を伝わる流れを表現した。試行錯誤的に実測ハイドログラフの波形、特に急激な立ち上がりを再現するように値を決定したところ $f=10$ となった。

5. 解析結果

以上のモデル化によって流出解析を行った結果を図-2に示す。計算流出波形は全体的にシャープさに欠けるが、ピークの大さき・発生時刻については再現できた。またパイプ流出成分(陰の部分)が新水と考えるとピーク時において新水成分が最大になりすぐに低減するというトレーサの解析で得られた結果を再現できることが分かった。

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} + \frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_z}{\partial z} = 0 \quad (1)$$

$$q_x = -(1 - F_p)k_s \frac{\partial \phi}{\partial x} + F_p \alpha S^m ; \quad q_z = -k_s \frac{\partial \phi}{\partial z} \quad (2)$$

$$q_x = -k_s \frac{\partial \phi}{\partial x} ; \quad q_z = -k_s \frac{\partial \phi}{\partial z} \quad (3)$$

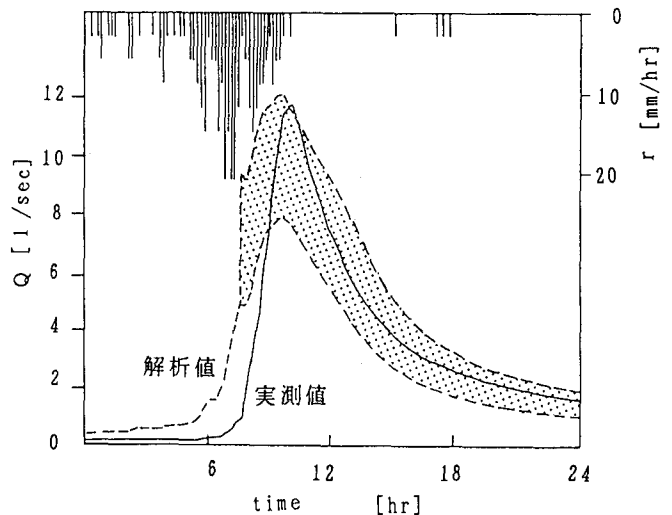


図-2 解析結果