

II-18

斜面特性が流出水の水質変化におよぼす影響について

山梨大学工学部 正員 坂本 康
山梨大学工学部 正員 竹内 邦良

1. はじめに

著者らは水質水文学の基礎研究として、実流域および実験斜面で流出水質変化の解析を行ってきた^{1,2)}。本報では、斜面流出についてさらに種々の条件で行なった実験結果について報告し、また数値シミュレーションでえられた水質変化と流れとの関係についても述べる。本報で流出水質に影響する斜面特性としてとりあげたのは、土質、溶質供給特性、層構造である。

2. 実験法

装置は前報^{1,2)}と同じもの(図1)であるが、材料土として透水性のよい赤玉土だけでなく、実流域の林の表層土、及び上層を赤玉土、下層を林の土にしたものも用いた。粒径はいづれも0.59-2.0mmにそろえた。水質対象としては各土にもともと含まれているNO₃⁻をとりあげた。二層にしたときは、下層は予めよく洗ってNO₃⁻のない状態にした。

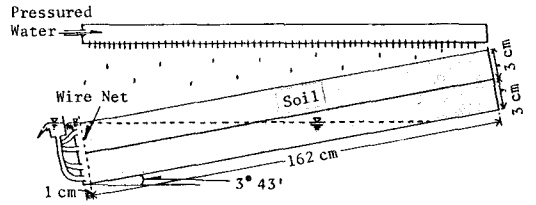


図1 実験装置

3. 数値シミュレーション法

数値シミュレーションでは、まずリチャーズの式を基本式とし、二次元非定常飽和-不飽和浸透流をFEM, FDMにより解析した。次に、その結果得られた流れに合わせて水粒子モデルを動かし、流出成分量変化、水質変化、溶質残存量変化をシミュレーションした。流出成分としては、降雨前に土中にあった高濃度の旧水(pre-event water)と、降雨により新たにもたらされた新水(event water)を考えた。本研究では、直接流出成分となるような早い浸透流のトレーサーとして水質を使うことを想定しているの、拡散・分散の影響は考慮しない。詳細は文献2)。

$$C \frac{\partial \phi}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial \phi}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k \frac{\partial \phi}{\partial y} \right) + q$$

C: 比容水量、 ϕ : h²I² 水頭
k: 透水係数。

4. 結果と考察

図2に実験によるNO₃⁻濃度変化を累加流出量に対して示す。赤玉土では流出開始初期において濃度変化が累加流量の指数関数でおおよそ表わされる。これは飽和度の高い土壌カラムからの定常浸透流水質にみられた関係と同じである。透水性が低い林の土ではこの関係がみられない。林の土では、地下水面上昇により飽和地表面が生じ、これにより表面流が発生して浸透流が希釈されるためと考えられる。二層ではこれらの中間であるが、やはり表面流が生じるため、上記の関係はない。また、降雨停止後はいずれも濃度の回復現象がみられるが、二層ではこの回復が少ない。

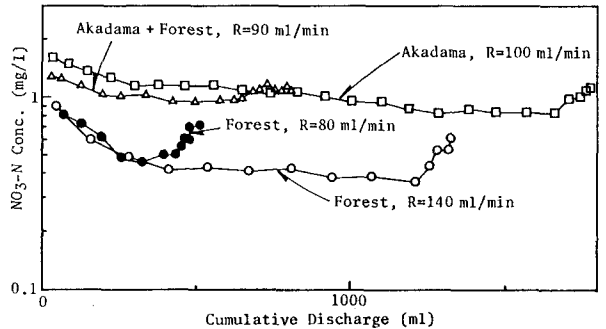


図2 斜面流出水のNO₃⁻濃度変化

次に、実験と数値シミュレーション結果の比較により、初期濃度減少率を特徴づける要因を考えた。図3に、実験によるNO₃⁻濃度減少線と新水濃度を0.0、旧水濃度を1.0として数値シミュレーションしたときの濃度減少線を示す。数値

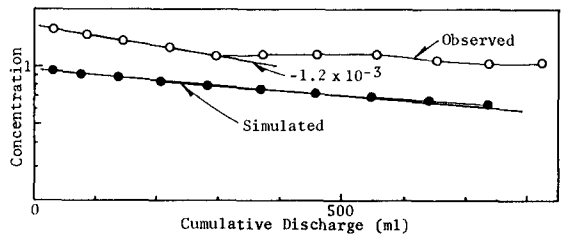


図3 実測及び計算濃度減少線

シミュレーション結果は、成分比率を変えず旧水濃度を一定と仮定した場合に可能な最大の傾きである。それでも傾きは実験結果より小さい。これは旧水も濃度変化するためと考えざるをえない。そこで、新・旧水共に下式のように溶質が残存濃度と浸透水濃度の差に比例して可逆的に移動すると仮定してシミュレーションした。
 $dC / dt = k (C_s - C)$ ここに、 C :浸透水濃度、 C_s :残存濃度、 k :供給定数。
 結果が図4である。これより、供給定数 0.01-0.1 により実験結果に合う減少線が再現できることが分かる。以上のように、濃度減少を特徴づける斜面特性として溶質供給特性がまず重要であるといえる。

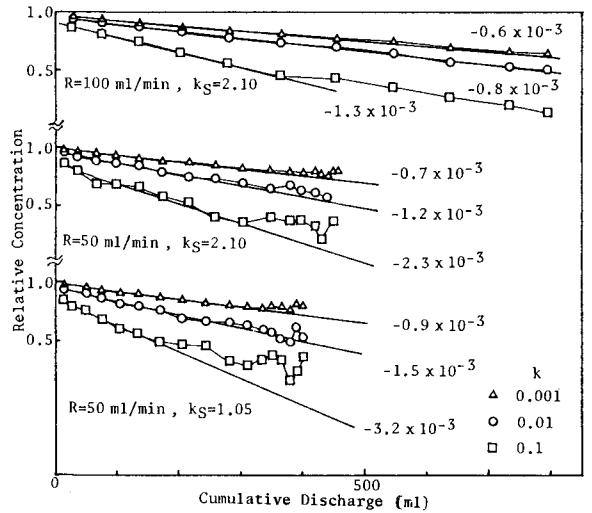


図4 濃度減少の降雨強度・透水係数による違い

透水係数、降雨強度の影響をみるために、これらを変えてシミュレーションした結果を図4に示す。これより、降雨強度、透水係数あるいは両者の比が同じでも濃度減少率は異なることがわかる。これは、浸透流のうちの新水・旧水の成分比が線形的には変わらないためといえる。

次に、降雨停止後の濃度回復の原因を考えるため、シミュレーションによりえられた降雨浸透水の動きを図5に、流出後の斜面内残存溶質分布を図6に示す。図より、降雨停止後は近くに降り上層を通過する低濃度水による希釈がなくなるため、遠くに降り下層を通過する滞留時間の長い水の寄与が現われて高濃度になることがわかる。二層の実験では降雨停止後の回復が少なかったが、これは下層に NO_3^- がないため、高濃度 NO_3^- の流出が抑えられるためと考えられる。実流域では上層のみが地表流になることも考えられ、このような層構造が流出水質を決定する重要な因子の一つになる。

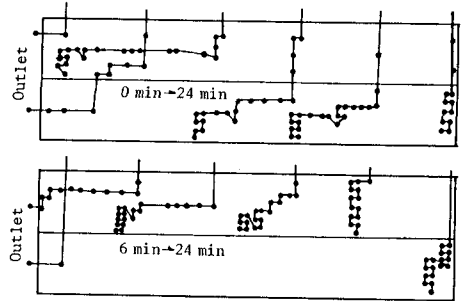


図5 降雨浸透水の動き

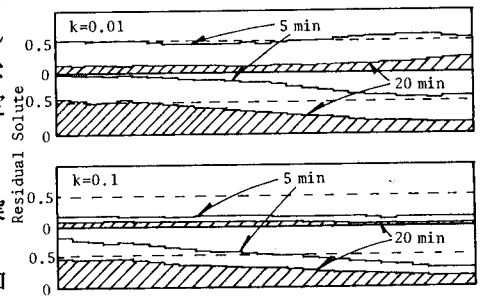


図6 残存溶質量

5. 結論

斜面流出水の水質変化と斜面特性の関係について、実験と数値シミュレーションにより以下の結論を得た。

1. 非定常二次元斜面浸透流の初期 NO_3^- 濃度減少は累加流量と関係づけられる。このことを使って、実流出を濃度により浸透流と表面流とに分離できる可能性がある。
2. NO_3^- の初期濃度減少率を説明するためには、新水、旧水とも濃度が変わる可逆型溶質移動を考える必要がある。
3. 数値シミュレーションによると、透水係数、降雨強度、および両者の比が一定でも濃度減少率は異なる。これは、新水・旧水の比率が線形的には変わらないためと考えられる。
4. 降雨停止後の濃度の回復は、遠くから低層を通して流出する高濃度水の寄与で説明できる。またそのとき層構造が重要となるが、実流域におけるその意義についてはさらに検討が必要である。

文献:

- 1)坂本・竹内:水質指標を用いた斜面からの流出機構の検討、第40回年講、pp.69-70、1985。
- 2)坂本・竹内:水質変化の数値解析による斜面流出機構の検討、第30回水講、pp.31-36、1986。