

山梨大学工学部 正員 竹内 邦良
水資源開発公団 正員 久納 誠

1. はじめに

都市化した地域、湛水域、著しく表層土壌層の薄い地域等を除いては、一般には降雨による Horton 流の表面流出は発生しないと言われており、通常降雨はいったん地中へ浸透し、地下水と合流するか、ないしは中間部分の透水性の低い層上の地下水として流出してくる。この流れは早い中間流出ないしは洪水のピーク流出の形成に寄与するという意味で直接流出と呼ばれる。本報ではこの直接流出成分を基底流出から分離することを試み、モデル計算と室内実験ならびに現地調査を行ない三者の比較によりモデルの妥当性を検討した。

2. Darcy 則にもとづく単層流域モデル

基本的仮定： 透水層は単層、傾斜一定、透水係数・有効空隙率は一定とし、不圧二次元飽和浸透流を成し、Darcy 則が適用できる準定常流とした。降雨が地表面から地下水面まで達するのに要する時間は無視した。地下水面における全水頭の値は、位置水頭にも管作用による負の圧力水頭を加えたものとした。この全水頭に関する Laplace の方程式を差分計算で解き、流れを求めた。

総流出量の算定： 透水層の出口付近では全水頭の変化が著しく、総流出量を出口付近の流速をもとに算定するのは不適当であるため、地下水面の上昇あるいは下降速度をもとに算定した。

地下水流出量の算定： もともと流域に地下水として溜っていた水が流出する地下水流出成分と、降雨のもたらしめた水が流出してくる直接流出成分との分離を行なうために、降雨開始と同時に旧地下水面と新地下水面を分離して追跡した。地下水流出量はこの旧地下水面以下より流出する成分である。

3. 室内実験の方法

実験装置： 図1における恒水位槽を鉛直方向に移動させ、降雨を発生させる密閉水槽に植えられた注射針にかかる水压を変化させて降雨強度を調節する。砂槽には粒径 0.84~2.00mm の砂を詰めた。

流出成分の分離実験： 砂槽の流出口を閉じ、0.1% NaCl 水溶液を砂層表面に水没するように満ちしておく。同時に3つの流出口を開け流出量が低減してから水道水の降雨を与えた。流出口より出てきた水の NaCl 濃度を電気伝導度によって測定し、次式により流出成分を分離した。

$$Q_g = \{ (C_T - C_D) / (C_g - C_D) \} \cdot Q_T \quad (1)$$

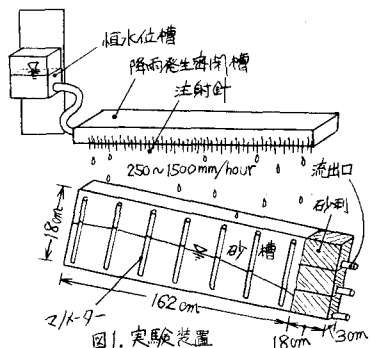
ここに、 Q は流量、 C はトレーサー濃度、添字 T, G, D はそれぞれ総流出、地下水流出、直接流出の各成分を表す。

4. 現地調査の方法

対象流域と降雨： 甲府市内を流れる笛吹川の支流相川を現地調査の対象とした。流域の大部分は山林で、面積 8.7 km²、標高 340~1280 m である。解析対象降雨は 1980 年 11 月 22 日 16 時~23 日 13 時までの総降雨量 40.3 mm の降雨とした。先行降雨は 9 日前に 3.0 mm の降雨があった。

雨量・流量観測と採水方法： 降雨量の観測は対象流域内にある自記雨量計によった。但し、採水は流域に近い山梨大学の校舎屋上で行なった。流量は、対象流域末端において H-A カーブならびに推定された河床勾配と粗度係数により等流と仮定して求めた。水位観測と河川水の採水を同時に行なった。

流出成分の分離方法： 降雨および河川水の採水は 3 時間毎に行ない、電気伝導度・トリチウム濃度を測定して求められたトレーサー濃度ならびに河川流量をもとに、式(1)によって流出成分を分離した。なお地下水流出



成分のトレーサー濃度は降雨開始直前の河川水の値を用いた。

5. 結果ならびに考察

モデル計算と室内実験によるハイドログラフ : 図2はモデル計算の結果を室内実験によって得られたハイドログラフならびに流出成分の分離結果と比べたものである。計算値と実験値は多少の時間遅れがある。この時間遅れはモデル計算では降雨が砂層表面から地下水面まで到達する時間を無視していることが原因と思われる。

モデル計算と室内実験による流出成分分離 : モデル計算では雨が降り始めると同時に流出成分の分離が起こるが、室内実験では体積にして約150cm³の遅れがある。このうち70cm³は流出口の粗い砂利の部分に留っていた塩水であると考えられる。なお計算値と比較して地下水成分が圧倒的に多くなっているのは、砂槽に塩水をいったん満たしてから排水して地下水面を形成したため、降雨が砂層表面から地下水面まで降下するあいだに土壌粒子間の毛细管隙に残っていた塩水を次々と押し流して来たからと考えられる。

現地調査による流出成分分離 : 図3は電気伝導度による相川の流出成分の分離を示す。地下水流成分についてもやはり上昇部分、ピーク、減衰部分があり、これは上述のモデル計算ならびに室内実験の結果と一致している。

モデル計算にもとづく直接流出の成分に関する特性 : 以下の3点があげられる。i) 降雨継続時間が同じなら、降雨強度の大きい方が地下水成分は少ない。ii) 総流出のピーク流量が同じなら、降雨継続時間の大きい方が地下水成分は少ない。iii) 斜面勾配が大きいと同じ(ピーク流量/基底流量)の値にするのに、高い降雨強度が必要である。従ってこのとき地下水成分は少ない。

6. あとがき

i) Darcy則にもとづく単層二次元流域モデルと室内における降雨実験ならびに現地調査において、地下水流出成分のハイドログラフの定性的形状に一致をみた。

ii) モデル計算に関してはより複雑な境界条件に対する計算方式を用いる必要がある。また室内実験ではトレーサーの選り入れ方に問題が残った。現地調査では残念ながらトリチウムの計測装置の不調のため、検討に耐えるデータが得られなかった。

最後に御協力いただいた東京都アイソトープ研究所の伊藤氏、山梨大学の萩原・砂田・中山の諸先生、ならびに55年度卒論生に謝意を表します。

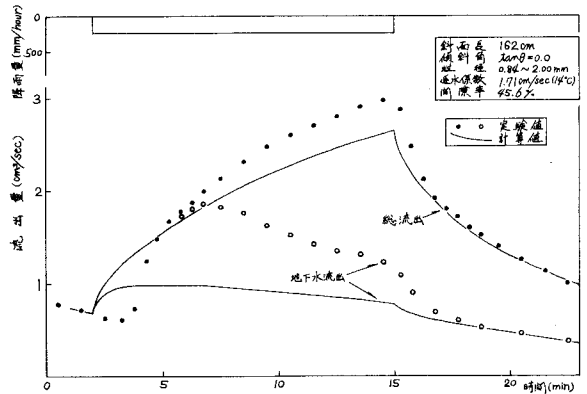


図2. モデル計算と室内実験による流出成分分離

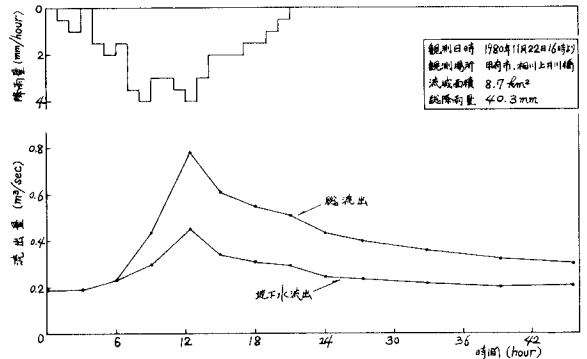


図3. 現地調査による流出成分分離 (電気伝導度)