

降雨流出におけるマクロポアの効果の研究

金沢大学工学部 正員 高瀬 信忠

同上 正員 宇治橋康行

金沢大学大学院 ○ 西村 克徳

1. はじめに

降雨から河川流出への変換過程の物理機構は、近年の精力的な研究により徐々に解明されつつある。しかしながら、河川流出の早い応答に対するマクロポア、毛管縁、および閉鎖空気存在とその果たす役割さらに流出成分とその流下経路の問題など未解明な部分も多く残されている。本研究の目的は、十分に制御された再現性の高い室内実験により、マクロポアの効果を中心とした降雨流出の物理機構の一般的かつ基礎的な部分を明らかにすることである。

2. 実験装置および実験条件

2.1 実験装置

実験は、直径20cm、高さ160cmの透明アクリル樹脂製鉛直カラムに砂を150cmまで充填し、上部より人工降雨装置により降雨を供給して行なった。降雨装置は注射針を直径20cmの円内に格子状に84本取り付け、一定水位に保った高水槽により水を供給して降雨を発生させた。降雨強度は、高水槽水位と注射針先端の水頭差を調整することによって任意に設定することができる。またカラム内にはサクシオン分布、および間隙空気圧の変化を知るために10個のテンションメータと5個のエアセンサーを設置し、さらに地下水面の応答を測定するためにピエゾメータを取り付けた。実験装置の概要とセンサーの取り付け位置を図-1に示す。

2.2 実験砂の特性

実験に用いたマトリックス部の砂の水分特性曲線を図-2に示す。土粒子比重、飽和透水係数、間隙比はそれぞれ2.66、 1.8×10^{-2} cm/sec、0.814であった。またマクロポアに用いた砂の土粒子比重、飽和透水係数、および間隙比はそれぞれ、2.62、 3.4×10^{-2} cm/sec、0.902であった。

2.3 実験方法

地下水面はカラム下端より17cmの高さに設定し、濃度0.01%の食塩水を降雨として十分長い時間供給し、降雨終了後4日間放置した状態を初期状態として、水道水を降雨として実験を行なった。実験はマクロポアのないケース (RUN-1) およびマクロポアのあるケース (RUN-2) の2ケースを行った。RUN-2のマクロポアはカラムの2.4%の面積である直径3.1cmのマクロポアをカラムの中心に作った。降雨の継続時間は各ケースとも150分とし、降雨強度はRUN-1では174mm/hr、RUN-2では173mm/hrであり、ほぼ同じ強度とした。圧力水頭、間隙空気圧、地下水位、および流出量は10分間隔で測定した。電気伝導度は流出水を10分間隔に採水し測定した。なお0.01%の食塩

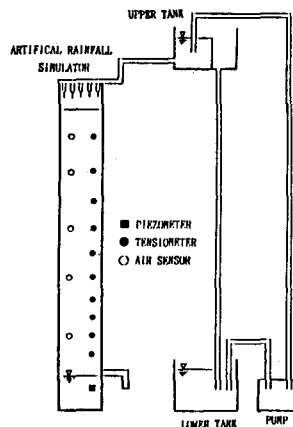


図-1 実験装置の概要

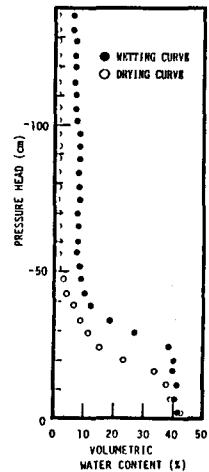


図-2 水分特性曲線

水および水道水の電気伝導度はそれぞれ0.72 mS/cm、0.20 mS/cmであった。

3 実験結果と考察

RUN-1、RUN-2における流出ハイドログラフを図-3に示す。また2ケースの実験における電気伝導度と流量の関係を図-4に示す。RUN-1では、流出は降雨開始後56分から始まり、8.0分後から急速に増加し始める。地下水面の上昇は、わずかに1 cm上であり、応答は100分から始まる。また、間隙空気圧の変化は最下部に設置したセンサーで実験開始から降雨終了の間で最大3.8 cmの空気圧が観測されただけであった。このことから実験開始後56分から地下水面の上昇する100分までの流出は、毛管縁部の含水状態の変化によりサクシヨンの均衡が崩れることにより発生したと考えられ、毛管縁が早い流出に大きく寄与していることがわかる。

流出が始まる時間はRUN-1の56分に対して、RUN-2では37分であり、流出量が急激に増加し始める時間は60分である。また地下水面の応答が始まるのはRUN-1で実験開始後100分に対し、RUN-2では60分である。電気伝導度の変化をみると、RUN-1では流出開始までゆっくり下がり流出がピークの時に急激に下がり、RUN-2では実験開始後早くから下がり始める。またRUN-2のほうが、流出量の増加にともなう電気伝導度の減少が大きく、流出量の減衰時には、変化が少なくなっている。このことからマクロポアが存在によって水分の降下が速くなることは明らかである。圧力水頭の降下はRUN-2のほうがRUN-1よりも早く起こり、またその変化も急激であった。この傾向は上部に設置したテンションメータでより顕著に現われた。これはマトリックスの降下浸透では発生しない局所的な水分移動が、マクロポアを通して発生し、その水分移動はマクロポア部分だけでなく周囲のマトリックス部分に伝搬することをしめしている。

電気伝導度は両ケースともに流量の減少に伴う回復が見られ、ヒステレシスのカーブを描いている。また、時間的な変化も両ケースでわずかな違いしかあらわれていない。水質情報としての電気伝導度からはマクロポアの存在やその効果を推しはかることはできないといえる。他の実験ケースや結果の詳細については講演時に述べる。

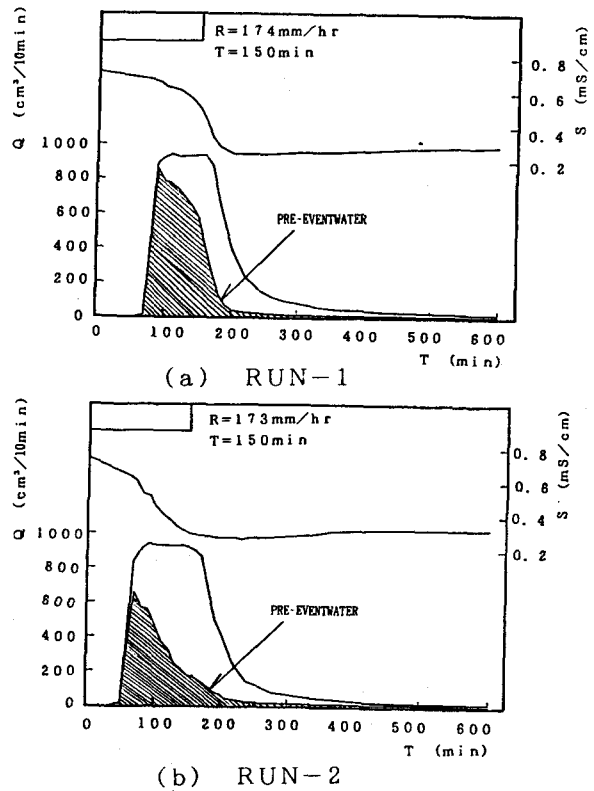


図-3 流出量と伝導度の時間変化

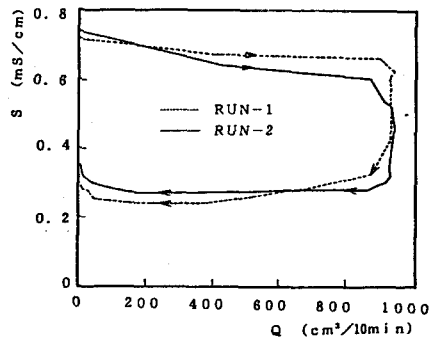


図-4 伝導度-流出量関係