

1. はじめに

従来から降雨-流出系の非線型性が指摘されてきたが、その殆どは観測降雨と全流出成分または必ずしも明確でない分離法に依る流出成分との関係に基づくものである。筆者は先に^{1,2)} lumped system の型式をもつ非線型流出モデルを提案し、非線型系の構造を順次異なる線型遅れ系への降雨の配分過程にあるとする考え方を示した。このとき、各遅れ系をそれぞれ流出の成分（表面流、早遅中間流、地下木流等）に対応させるのも現象の物理性を反映する一つの方法である。その場合、各成分系の入出力の線型性を吟味する必要があるが、実流域規模で各成分ごとの流出資料と得るのは困難である。

本報は上述の志趣を進めるオ1歩として、一様斜面についてこの小規模流出実験において流出成分の分離を試み、それらの系の線型性について検討したものである。実際には多段階と考えられる各成分ではあるが、ここでは、表面流と1層の浸透流だけの2成分について、kinematic wave理論を介して降雨入力の各系への配分を得て、lumped system のまま議論した。本実験は流出機構のより厳密な解明を主目的としたものではなく、上述のモデルの具体性を検証しながら、遅れ系として作用する浸透流成分の全降雨-全流出間の非線型性への寄与を抽出した形で検討しようとするものである。

2. 実験の概要

実験装置の概略は図-1に示すとおりである。降雨はできるだけ微粒を考慮したシャワーノズルで発生させ、斜面は一定こう配をもつ長さ $L=182\text{ cm}$ 、幅 $B=52\text{ cm}$ の規模である。斜面床には、i) アクリル平板、ii) 浸透性素材（厚さ 50 mm のウレタンマット）を張ったもの、iii) ii)の素材とほぼ同じ表面粗度を持つ厚さ 2 mm の同一素材を張ったものの3種を用いた。浸透性斜面の実験では表面流・浸透流2成分の流量(q_s, q_f)を観測した。降雨強度はシャワーノズルの性能から $20\sim 50\text{ mm/min}$ の範囲で発生させた。

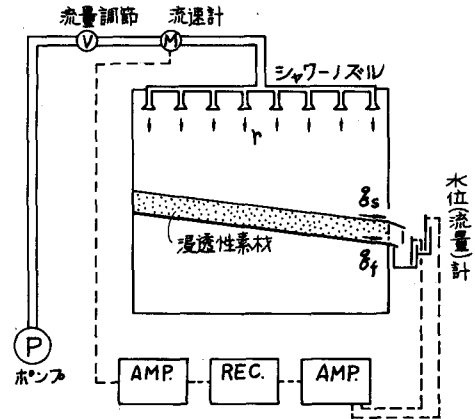


図-1 実験装置

3. 不浸透性斜面における実験

浸透を許さない実験として、まずアクリル板斜面での表面流出実験結果の一例は図-2(a)のようである。斜面こう配 $i=1/4.25$ （以下の例図も同じ）で、継続時間 $t_r=14\text{ sec}$ の一樣降雨強度 $r_0=29.0\text{ mm/min}$ の場合である。kinematic wave (k-w)理論に基づいて、 $q=af^m$ における m と f とを、 α の最適値を用いて流域末端hydrographを描くと同図中実線のようになり、理論曲線は観測値とよく再現する。ここで α はhydrographの立ち上り、減衰部で実験値により一致するよう次式から得られている。（ $t_c < t_r$ ）

$$\text{立ち上り部分で: } \alpha = L \cdot r_0^{1/m} / t_c^m$$

$$\text{減衰部分で: } L = q \cdot r_0^{-1} + \alpha^{1/m} \cdot g^{1-1/m} (t - t_r)$$

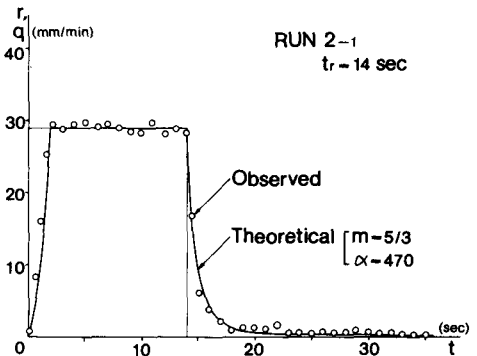


図-2(a) 不浸透性斜面からの流出1.

次に、成分分離実験の準備として、不浸透でかつ浸透性素材と同様な粗度を持つ斜面について実験し、表面流に関するk-w理論の妥当性を調べて、抵抗に関するパラメータ α を決定した。図-2(b)はその場合の実験結果および理論hydrographの例である。

4. 浸透性斜面における実験

1) 降雨の分離 図-2の結果から表面流についてはk-w理論と適用し得ることが判る。いま、lumped systemモデルとの対応と取り扱いの容易さから、浸透深度を距離方向に一樣と仮定すれば、表面流についてのk-w理論の基礎式は、

$$\frac{g_s^{\frac{1}{m}-1}}{m \alpha^{\frac{1}{m}}} \frac{\partial g_s}{\partial t} + \frac{\partial g_s}{\partial x} = r(t) - r_f(t) = r_s(t) \quad (1)$$

となる。ただし、 r 、 r_f 、 r_s はそれぞれ全降雨成分、浸透降雨成分および表面降雨成分である。ここでさらに、 α 、 m が不浸透性の場合と等しいと仮定し、 g_s と実験すれば r_s が求まり、 r の測定値と共に r_f も得る。

2) 結果 浸透層内の初期保水状態に関係しないよう予め定常一樣降雨と発生させたのち不規則な降雨を与えた。計器取付位置に伴う時間差を補正して、全成分 $r \sim g$ 、表面流成分 $r_s \sim g_s$ 、浸透流成分 $r_f \sim g_f$ を求めた。図-3、図-4はその流出hydrographの例である。一応、上記3種類の場合作いて入出力の線型性を調べたのが図-5のcoherenceである。 $r_s \sim g_s$ の場合は理論式のもつ非線型性に他ならないが、到達時間の $1/2$ 程度の時間スケールに対応する周波数領域で線型性が最も低下している。また、 g_s の測定精度に起因する $r_f \sim g_f$ の振動が生じているにも拘らず、短期流出では、全成分を対象とするよりも各成分ごとに扱う方が線型性が向上する傾向にあることも判る。

5. おわりに

浸透性斜面において、流出成分の分離を得て各成分の流出特性が調べられ、実験流出の例ではあるが、個別の成分では線型モデルの仮定が導入し易いことが得られた。他方実流域は斜面と河道により構成されている。この両者との関係など実流域への濃縮方法についてさらに検討する必要があると考えている。

最後に、本実験に協力された当時学生の相羽芽彦氏(日本国土開発)、小林邦之氏(横浜市)に深く感謝致します。また、本研究は文部省科学研究費(奨励研究(A)課題番号4753089)の補助を受けたことと訂記し、謝意を表します。

参考文献

- 1) 吉川 砂田・スエン: 洪水流量減衰曲線の特性と考慮した流出モデルに関する研究, 土木学会論文報告集, No. 283, 1977
- 2) 砂田: 実河川における流出の非線型性とモデル化について, 第24回土木学会年講, Ⅱ, 1979

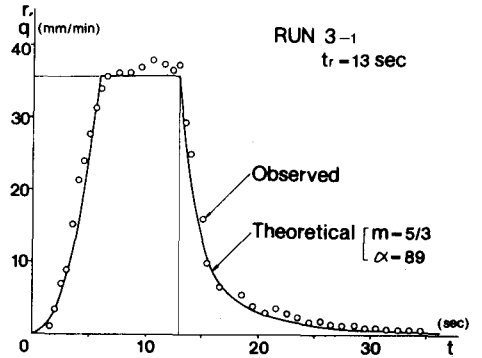


図-2(b) 不浸透性斜面からの流出2.

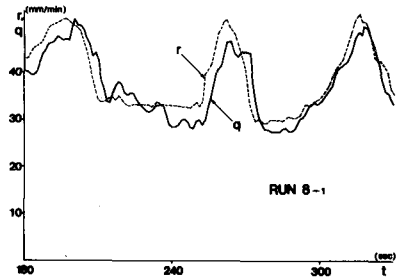


図-3 浸透性斜面からの流出(全成分)

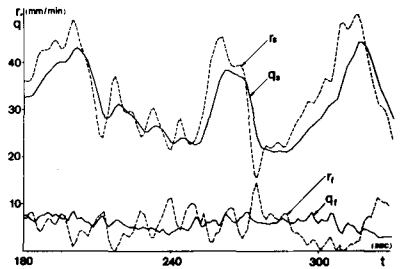


図-4 流出成分の分離

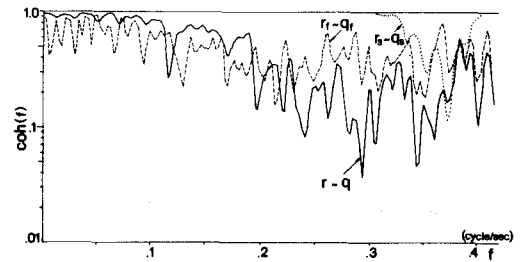


図-5 各成分入出力のcoherence