

東京工業大学

正会員 山田 正

同 上

正会員 日野 幹雄

同 上

学生員 藤田 光一

§1. はじめに 従来より降雨流出系に関しさまざまな観点からの解析が行われてきた。これに対し著者らは数年来確率過程的および物理的な側面からのアプローチを行ってきた。その結果降雨の分離則における非線型性が明らかになり⁽¹⁾、また時定数スベクトルによる流出過程の表現が可能となってきた。この様な現況に鑑み、本研究は小流域における降雨の流出過程を実験的に明らかにし、さらに雨水の土中への浸透過程を理論的に解析したものである。またここで得られた知見をもとに実流域における降雨流出過程が検討されている。

§2. 実験装置および結果: 本研究で用いられた小試験地の面積は $1.25 \times 1.25 \text{ m}^2$ であり関東ローム層の地山の上に厚さ25cm程度の人工の盛土(透水系数は $10 \frac{\text{cm}}{\text{min}}$ 程度)が載っており、その表面は芝が張りつけられている。また上記の試験地の斜面勾配は5/10であり、この表面に多数の注水口より散水が行なわれた。図1は本実験における雨水の流出過程を示す模式図である。この時雨水の運動形態には次の3種類の現象が観察された。①地表に降った雨水は不飽和の状態での鉛直に土中を浸透する。②地山の凸凹を水で満たした後、飽和状態での斜面方向横流れが発生する。③地山の中の下層へ雨水は飽和状態で鉛直に浸透する。上記の3つの運動形態はそれぞれその運動特性が異なるものであるが、§3においてそれらは総合され理論解析されている。図2はこの時得られた飽和浸透流のハイドログラフの1例である。図3は図2において見られるハイドログラフの立上がり時刻(流出の遅れ時間)と降雨強度との関係を示したものである。図4

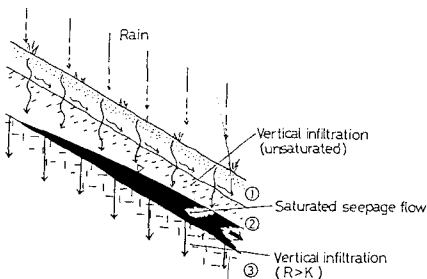


図1 試験地小流域における雨水流出の模式図

は初期損失高と降雨強度の関係を示すものであるが、この図より降雨強度にかかわらず降雨が約10mm累積されれば流出が開始していることがわかる。一般に流出の遅れは土中での雨水の鉛直浸透の速度と地山の凹部での貯留効果の2つによって規定されることが考えられるが、図4より本実験においては後者の効果が現れているものと思

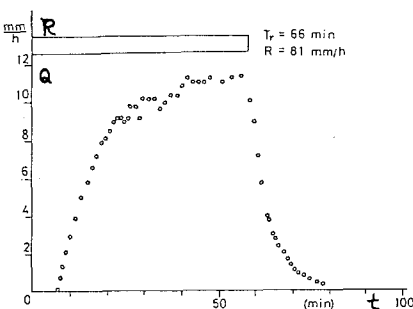


図2 ハイドログラフの1例

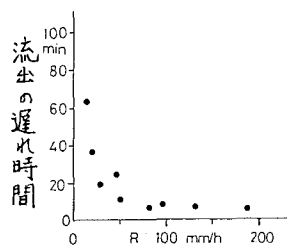


図3 降雨強度と流出の遅れ時間の関係

われる。図5は図2に示すハイドログラフの立上がり部に合理式を用いて算出した斜面方向流れの真の流速を求めたものであるが、この図よりほぼ一定値を

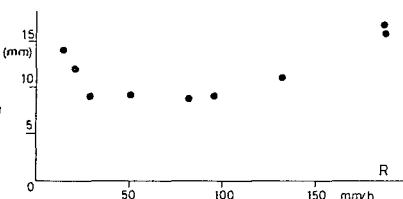


図4 降雨強度と初期損失高の関係

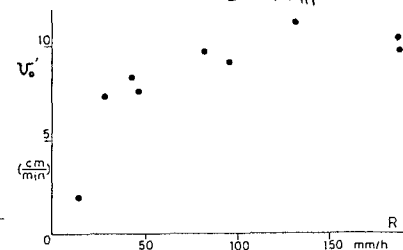


図5 降雨強度と斜面方向流速の関係

§3. 雨水の流出過程の理論解析: ここでは前記の3つの雨水の運動形態

のうち①の不飽和鉛直浸透に関して(1)式に示すワルートの水分拡散方程式⁽³⁾を用いることによりその流動特性を解析した。なお(1)式の各記号は慣用のものである。図6、図7は降雨強度が30 mm/hと60 mm/hの場合の土中のある深さの断面を通過する流量の時間変化を示すものであるが、この2図より土中深くなるにつれ降雨に対して流量の遅れが現われ、また降雨波形に対して流量波形は引き伸ばされていいるのがわかる。図6、7はこの流量ハイドログラフピーク流量の出現時刻におよぼす初期水分量、降雨強度Rの効果を示すものであるが、この2図よりピーク流量の移動速度は(2)式で近似できることを示している。(1)式中の θ_r は $K(\theta_r)=R$ 。すなわち流出現象における流量と降雨強度、初期水分量に関する非線形効果を

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left\{ D(\theta) \frac{\partial \theta}{\partial z} \right\} - \frac{dK(\theta)}{d\theta} \frac{\partial \theta}{\partial z} \quad \text{---(1)}$$

$$V_p \approx R / (\theta_r - \theta_i) \quad \text{---(2)}$$

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} + A \frac{\partial \theta}{\partial z} = B \frac{\partial^2 \theta}{\partial z^2} \quad \text{---(3)}$$

$$Q_p = \int_0^t k(t-\tau) r(\tau) d\tau \quad \text{---(4)}$$

を示している。次に小流域における降雨流出系を総合的にとらえるために(1)式の近似形である(3)式を用い、この解をかつて著者の1人が提案した斜面に沿う浸透流の解⁽⁴⁾のインプット $r(t)$ とみなして(4)式を計算した。ここに(4)式の $k(t)$ は斜面方向流れと横流入 $r(t)$ の応答関数であり、 Q_p が図1に示す黒く塗った部分からの流出量である。図10はこの時得られた流量ハイドログラフ $Q_p(t)$ と降雨強度の関係、図11はこの時の降雨 $R(t)$ と流出量 $Q_p(t)$ に関する応答関数一瞬間単位図である。これらの図はいずれも降雨強度によって変化しているが、特に図11より降雨強度の増大につれて瞬間単位図のピーク値を示す時刻は早くなっており、 $R(t)$ による非線形効果を示すものと考えられる。また得られた瞬間単位図は従来より提案されている木村・吉川⁽⁵⁾やDoodgeの流出関数と同じガンマ分布に似た形状を示していること興味深い。この解析により流出過程を支配するパラメータが明らかになった。

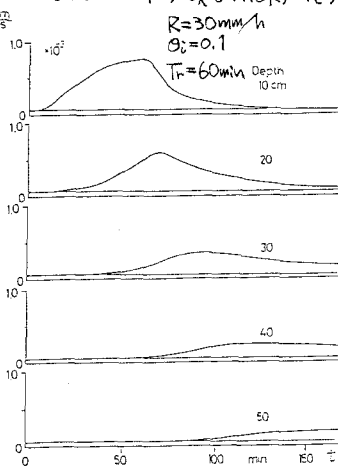


図6 土中の各深さにおける時間-流量曲線

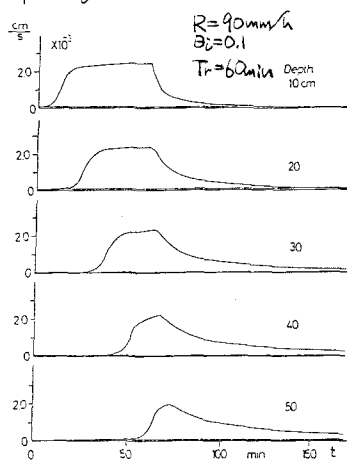


図7 土中の各深さにおける時間-流量曲線

図10は二の時得られた流量ハイドログラフ $Q_p(t)$ と降雨強度の関係、図11はこの時の降雨 $R(t)$ と流出量 $Q_p(t)$ に関する応答関数一瞬間単位図である。これらの図はいずれも降雨強度によって変化しているが、特に図11より降雨強度の増大につれて瞬間単位図のピーク値を示す時刻は早くなっており、 $R(t)$ による非線形効果を示すものと考えられる。また得られた瞬間単位図は従来より提案されている木村・吉川⁽⁵⁾やDoodgeの流出関数と同じガンマ分布に似た形状を示していること興味深い。この解析により流出過程を支配するパラメータが明らかになった。

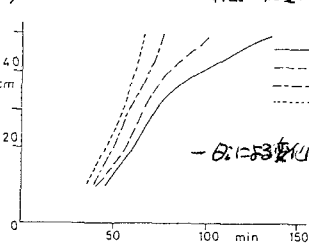


図8 各深さにおけるピーク流量の出現時刻

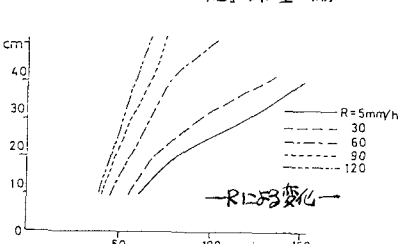


図9 各深さにおけるピーク流量の出現時刻

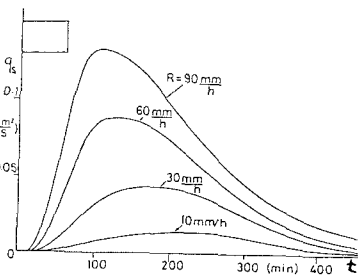


図10 (4)式によるハイドログラフ

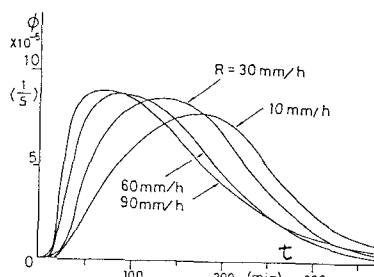


図11 応答関数 $k(t)$

[参考文献]

(1) 日野長谷部, 1980, 論文報告集, No.300, P43-56 (2) 山田, 1981, 論文報告集, No.306, P11-22

(3) 土壌物理学研究会編, 土の物理学 (4) 山田・吉川ほか, 1979, 東工大研究報告, No.25, 1-11 (5) 山田, 1981, 論文報告集, No.314