

(36) 山腹斜面小プロットカラの雨水流出について

岩手大農 太田岳史 京大農 福島義宏 鈴木雅一

1. はじめに 山地流域における降雨-流出系において、山腹斜面はハイドログラフの波形をハイドログラフの波形へと変換させる場である。山腹斜面での雨水の流出機構を明らかにする事は、洪水予測のみならず斜面崩壊・表面侵食・土砂移動現象に対する重要な課題である。ここでは、斜面小プロットにおける人工降雨実験の結果を報告する。

2. アロットハ装置と実験方法 葛西湖東部に位置し風化花崗岩より成る植生試験流域内に2つ的小プロットを選定した。プロット1は巾2.2m斜面長4.8m勾配3°平均土層厚30cm、プロット2は巾3m斜面長3m勾配3°(基岩ひびき)平均土層厚50cmである。実験装置は、幅6.5cm²注射針又は1mm径の穴を付した塩化ビニル製パイプを2本より成る散水部から、底ヘッドタンクからの水を散水する。また、底ヘッドタンクと散水部の間に可変流量計(シンジ3~30l/min)を用いて降雨強度を変化させた。散水部は、表面流と地中からの流出に分け100又は200cc/minマスによく2回定した。なお、両アロットとも斜面の基岩まで達しない。

3. 実験結果 3.1 流出率：ハイドログラフの一例を図-1に示す。また、ハイドログラフ発生時(初期)の流出率は表-1に示す通り、0.92~0.98であり雨水のほとんどが流出している。3.2 流出発生場所：アロット1では降雨強度の大きい時にのみ表面流が発生し、実験範囲内では斜面下端付近と土層へ薙いだ方に限らる。アロット2では一度も表面流は測定されなかった。また、地中からの流出は基岩上に形成された。

表-1 流出率

PLOT	N.o.	r(mm/hr)	q_s/r	Plot	N.o.	r(mm/hr)	q_s/r
1	1	17.4	0.946	2	3	46.8	0.923
1	2	6.0	0.955	2	4	66.6	0.961
1	3	9.0	0.952	2	5	93.6	0.988
1	4	77.4	0.979	2	6	56.8	0.970
2	1	26.4	0.955	2	7	77.6	0.959
2	2	26.4	0.960	2	8	40.2	0.949

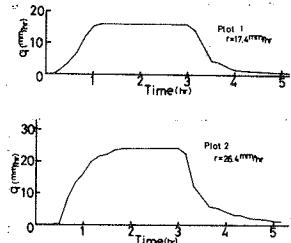
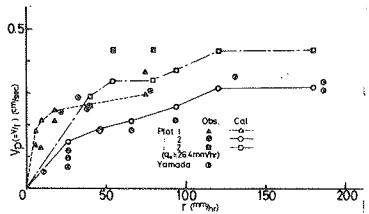


図-1 ハイドログラフ
アロット2は一度も表面流は測定されなかった。また、地中からの流出は基岩上に形成された。

3.3 ハイドログラフの減水 斜面アロット共に降雨停止直後より減水が始まる。図-2にアロット2のハイドログラフ減水部について降雨停止より10分、~30分、~1時間、~2時間、~4時間の減水係数 α の変化を示す。これによれば、 α は停止後10分間より後に急な減水が生じており、時間の経過につれて α の差が小さくなる。図-3に各時間ステップの α と降雨強度 r の関係を示す。初期30分間は α につれて α が増加するが、3h後は一定値となる事がわかる。

3.4 ハイドログラフの工具 図-4は、ハイドログラフが正常に発するままでの時間 t_p と $t_p = L/t_p$ (L :斜面長) $\alpha_p = \alpha/I$ (I :勾配)による α と t_p の関係を示す。山田らの結果も同様の操作後で示した。これによれば、各結果とも r の増加につれて α が増加する傾向にある。また、アロット2における初期流量 $q_s(26.4 \text{ mm}/\text{hr})$ からの実験 α の値は、自然状態からの α よりも大きい値を示し、初期流量により α は同じに対しても大きくなる事がわかる。

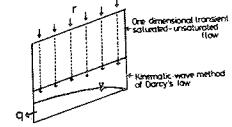
図-4 $r - \alpha$ 関係



2. 降雨強度が小さい実験²はハイドログラフの底部に近づくにつれて工具がゆるやかになる傾向が見られた。

4. 考察 4.1 流出の運動則：実験アロット²の空隙率は0.47~0.48であり、単位巾当たり流量 q と水深 h の間の関係式 $h = K \cdot q^{\beta}$ において、著者らの報告によれば $P = 1.0$ つまり飽和流に關してはダルシ-則が成立する範囲にある。しかし、ダルシ-則を用いたキネマティック・ウェーブによる流出解説結果は、ハイドログラフの上昇・減水部共に1-マルグラフに表示すると直線²表れており、 γ にも γ に關係なく一定値となる。しかし、3.3, 4²示した様に工具部において γ とともに増加し底部に近づくにつれて工具がゆるやかになる事、また減水部において γ も γ が拡張に小さくなる事等明らかに飽和ダルシ-流²へみ²説明されるらしい傾向がある。4.2 不飽和鉛直一次元浸透を用いた解説：一般にキネマティック・ウェーブによる流出解説²は、雨水への土中のへの浸透を考慮せねばならない。しかし、3.2²示した様に雨水は基岩上の飽和帶から流出するため、実際の山腹斜面²は飽和-不飽和二段え流が生じ²いると考えられる。ここでは、簡単のため不飽和域へ拡張されたダルシ-則による鉛直-一次元浸透(Richards)による降雨波形を変形した後ダルシ-則によるキネマティック・ウェーブ

法を用いて計算を行った。モデル構成は図-5に示す。土壤水交代特性は Klute の経験式 $\theta = \theta_s \frac{\cosh(\frac{\psi}{\alpha})^n - \frac{\theta_s - \theta_r}{\theta_s + \theta_r}}{\cosh(\frac{\psi}{\alpha})^n + \frac{\theta_s - \theta_r}{\theta_s + \theta_r}}$ 、 $C(\psi) = d\theta/d\psi$ 、 ψ : ハクション、 t : 時間、 Z : 深さ、 $K(\psi)$: 透水係数により降雨波形を変形した後ダルシ-則によるキネマティック・ウェーブ



不飽和状態²の透水係数は含水率によつて指数的に減少するとし $K = 10^{(a-\theta)/n} \cdot K_s$ 図-5 モデル構成 (K_s : 饱和透水係数、 n : r_1 に対する気乾状態²の透水係数のオーダーの低下)とした。計算に用いた値は $\theta_s = 0.5$ 、 $\theta_r = 0.05$ 、 $a = -0.2$ 、 $\alpha = -2.64$ 、 $n = 6$ 、 K_s は図-4を参考にし 0.3 cm/s (アロット1) 0.5 cm/s (アロット2) とした。境界条件は表面に降雨を与える。底面²は $\psi < 0$ の流出量0、 $\psi \geq 0$ の $q = 0$ として流出量を計算する。この解説結果の一例を図-6に、計算による作図は図-4に合わせて示す。図-6より、3.2²述べた傾向がほぼ再現される。立ち上がり開始へずれは、高算における初期水代の影響と考えられる。図-4においても、 γ とともに γ が増加する傾向、初期流量による γ の変化傾向も再現される。この様に、

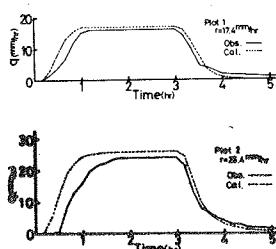


図-6 解説の結果

雨水の流出に対する工具への浸透によるハイドログラフの変形効果が重要と考えられる。なお、計算³によると、計算によって得られた。

5. まとめ 本実験により以下の知見を得た。1. 斜面からの流出は基岩上の飽和帯より生じ、今回発生した表面流は Return-flow²と考えられる。2. γ は降雨停止後10分以後に最大となり時間とともに γ によらず一定値をとる。3. γ は γ とともに増加し、初期水代によつて γ も変化する。4. 土への傾向は、工具への不飽和鉛直一次元浸透を考慮する事²ほぼ再現される。

参考文献 1) 山西正・日野幹雄・藤田光一「小試験地における雨水への流出機構に関する研究」第2回水理講演会論文集(1982) 2) 木田岳史・楳島義宏・武脇有恒「樹木空隙材料中の水の運動」第2回水理講演会論文集(1981) 3) 谷誠「一次元鉛直不飽和浸透による生じる水頭工具の特性」日本林学会誌(投稿中)