

III—5 山地流域における流れの水利機構について

京都大学工学部 正員 高棹琢馬

山地流域における流出現象を普遍的な立場から取り扱うためには、まず流れの水利的な機構を明らかにする必要がある。山地流域には一般に、樹草の腐敗過程にある透水性の比較的大きな厚さ数 cm 程度の表層が存在するが、この表層内の流れと表層表面を流れる表面流とはかなり密接な関係をもっていると考えられる。斜面上の水深の浅い流れについては、Horton, Izzard あるいは Palmer などの実験的研究があるが、その機構については関心がはられておらず、またその研究結果も統一されていない。本研究は、上述の機構が山地流出現象において基本的な役割を演ずると考えて、実験的な検討を行ったものである。

1. 実験の装置と方法；実験には京大防災研究所内の降雨施設を用いたが、本施設的一般図は図-1のようであって、スプリンクラーから人工的に雨を降らせるようになっている。その下に中 1 m、長さ 6 m、勾配 1 : 3.5 の斜面を土でつくり、その上をガラスワールで 1 cm 程度の厚さで覆って実山地斜面の状態に模擬させた。中間流出成分をも含む表面流出量の測定は斜面下流端で行い、三角堰を設けてある計量槽を用いた。このために計量槽側壁下部に突出させてあるマンメーター内の水位変化をカメラで読んで、三角堰からの流量に換算するという方法をとった。実験は降雨の強度と継続時間と種々に変化させて行ったが、降雨の強度は各実験中一定とした。斜面上の流れの要素は本実験の特殊性のため測定できなかったのが、実験の結果の解析にあたっては、予め仮説を立てておいて、実験資料によってその妥当性を検証していくという方法をとった。

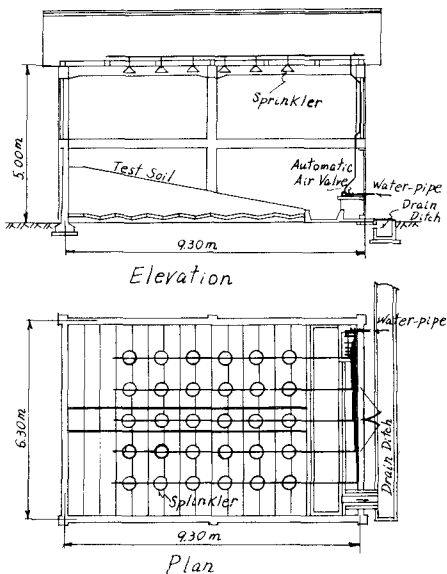


図-1 実験装置

2. 実験結果の解析；解析にあたってとくに留意したのは、表面流の抵抗則および表層内の流れと表面流との関連にもとづく中間流の発生機構と表面流発生域の変化過程である。まず表面流の基礎的な関係として、雨の持つ運動量の効果および慣性項を無視すると、特性曲線、
$$X = \left(\frac{1}{pK} \right) \int_0^t \left\{ (r + r_h)(t - \tau) / K \right\}^{1/p} dt + g_{01} \quad (1)$$
の上で
$$g = \left\{ (r + r_h)(t - \tau) / K \right\}^{1/p} + g_{01}, \text{ あるいは } g = (r + r_h)(X - 5) + g_{02} \quad (2)$$
が成立する。ここに、 X は斜面上流端からの距離、 t は時刻、 g は単位巾当りの流量、 r は降雨強度、 r_h は単位面積、単位時間当りの中間流出量、 5 、 τ は特性曲線の出発する場所的、時間的位置で、 g_{01} 、 g_{02} はその位置での境界および初期流量である。 p 、 K は抵抗則によってきまる値で、流れが Manning の抵抗則に従うとすると、

$$K = (n/\sqrt{\sin \theta})^{3/5}, \quad p = 3/5 \quad (3)$$

と表わされる。ここに、 n はManningの粗度係数、 $\sin \theta$ は斜面勾配である。表面流の発生域が変化する場合には、さらに δ を決める関係が必要である。そこで斜面上流端から表面流発生点までの距離を x_0 とすれば、表層への雨水の供給と散逸の条件から、降雨中には

$$x_0 = (1/a_1)(b + c/a_1 - ct + a_1 c e^{-a_1 t}) \quad (4)$$

となって、表面流発生域は増加していくが、次式で与えられる x_0 に至って変化しなくなる。

$$x_0 = b/a_1 \quad (5)$$

また降雨後には

$$x_0 = (1/a_2)[b + (L - b)]e^{-a_2(t - T)} \quad (6)$$

となって、表面流発生域は指数関数的に減少していく。ここに、 $a_1 = (r + r_h)/\lambda H$ 、 $a_2 = 2r_h/\lambda H$ 、 $b = (r_h L + r_0)/\lambda H$ 、 $c = \{(r/\tan \theta) - k r \sin \theta\}/H$ で、 L は斜面長、 r は表層からの流量、 λH は表層の間隙率と表層厚の積、 $\tan \theta$ は表層内水深の変化率、 k は浸透係数、 T は表面流消失時刻、 c は積分常数である。以上の関係を特性面上で説明したものが図-2で、表面流はハッチで囲まれた部分にだけ発生していることになり、また表面流への流入は降雨中には $(r + r_h)$ であって、降雨後にも時刻 T までは r_h の流入があると考えなければならぬ。(1)式から(6)式までの関係と実験資料から算出した r と $(\delta - \delta_0)$ との関係の一例を図-3に示すが、これは表面流に対してはManningの抵抗則がかなりの確かさで成立することを意味しており、Palmerの実験結果とほぼ一致する。解析結果から推定される n の値を用いて流量曲線を算出した一例を図-4にあるが、理論値は実験値ときわめてよく一致している。中間流出 r_h は主として λH によって支配され、本実験では $30 \sim 50 \text{ mm/hr}$ 程度と推定されるが、山地流域でもほぼこの程度と考えられるから、中間流出成分がかなり大きいとみなければならぬ。

本研究では、山地流域のように上述のような表層をもつ流れの場合では、表面流発生域の変化過程と中間流出を考慮しなければならず、また表面流はManningの抵抗則に従うと考え、このことを明らかにしたが、このことは従来の流出解析法の基礎となる降雨分離あるいは単位図法の適用問題に対して重要な示唆を与えてくれるものである。

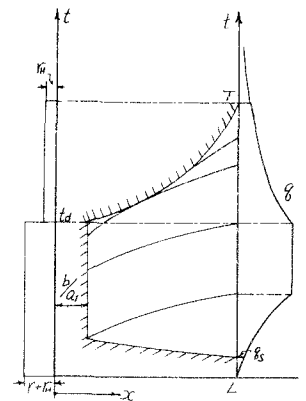


図-2 特性面上による流れの機構の説明図

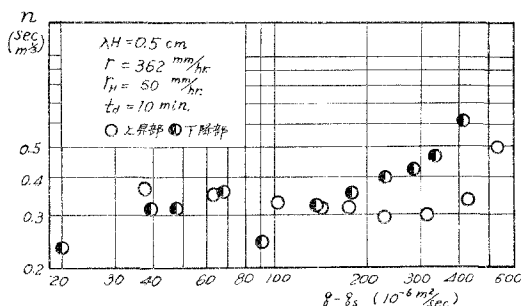


図-3 $\delta - \delta_0 \sim n$ 関係

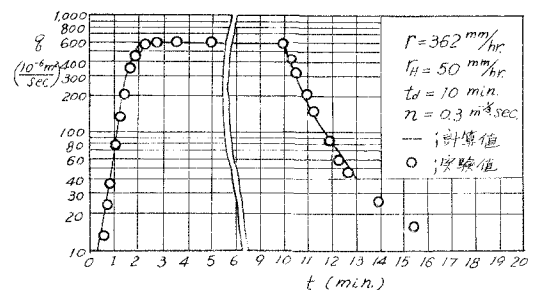


図-4 $q \sim t$ 曲線