

京都大学防災研究所 正員 石原安雄

雨水流出量の推定法には、配分図法、単位図法、流出関数法などが実用化されており、著者も雨水流出用演算器の試作に成功した。しかしながら、これらの方法を用いる場合に、その精度を向上し、合理的な推定を行うためには、まず第一に、降雨の損失および土中への浸透現象の実態を的確に把握することが肝要である。流域の平均浸透能に関する研究は、R.E. Horton 以来多数の人々によって研究されてきたが、その方法には、Horton型の浸透能曲線を仮定して流域の降雨量と流出量とから求めるものと、infiltrimeterや円筒状容器につめた土砂への浸透実験から推定しようとするものがある。これらの方法には種々の難点があるので、本研究は模型斜面における浸透実験を行い、流域の平均浸透能に関する基礎的知識をえようとしたものである。

1. 基礎的考察

雨水の土中への浸透現象は、いわゆる不飽和浸透と考えられる。いま、斜面に沿って下流方向に x 軸、それに垂直下向きに z 軸、斜面の傾斜角を θ とし、 ψ および p とそれぞれ水頭であらわした毛管ポテンシャルおよび圧力、 k と不飽和の透水係数とすると、浸透速度 V は、Darcyの法則を仮定すると、

$$V = -k \operatorname{grad}(\psi + p - z \cos \theta - x \sin \theta) \quad \text{----- (1)}$$

であらわされる。したがって、浸透能 f は次式で与えられる。

$$f = V_{z=0} = \left\{ -k \frac{\partial}{\partial z}(\psi + p) + k \cos \theta \right\}_{z=0} \quad \text{----- (2)}$$

すなわち浸透能は、 k, ψ, p および θ によって定まる。このうち、 k は、表面付近が毛管飽和に近い状態にあると考えられるので、土の種類によってほぼ一定値であるが、 $\left[\frac{\partial \psi}{\partial z} \right]_{z=0}$ 、 $\left[\frac{\partial p}{\partial z} \right]_{z=0}$ および θ は斜面の状態によって定まる。よって、浸透能は土の種類だけでなく、境界の条件によっても変化することがわかる。

2. 実験

図-1に示すような装置によって散水実験を行い、降雨量、表面流出量、浸透水流出量を測定した。図において、斜面の下端にある長さ28 cmの部分には、斜面が無限に続いている場合とできるだけ同じ条件をもたせるために付加した斜面であって、表面をグリキ板で覆って不透水性とし、雨を降らせなかった。降雨量は、100~120 mm/hrとし、平均粒径が0.21 mmの豊浦標準砂と、0.51 mmの長尾硅砂をそれぞれ10 cmの厚さに敷いた場合、およびこれらを二層にしておのおのの厚さが10 cmの場合の合計4種類の斜面について実験を行った。なお、表面は浸蝕防止のため、棉布と金鋼で

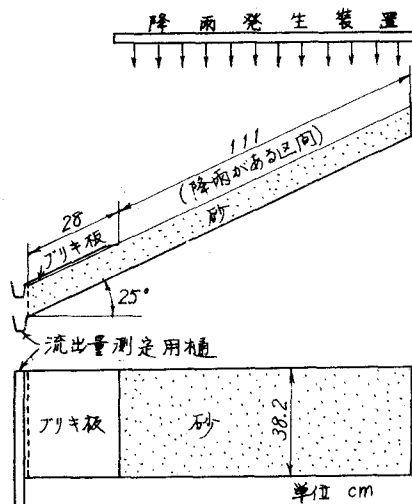


図-1 実験装置

保護した。実験は、はじめ乾燥砂の場合に一定強度の雨を降らせ、表面流出および浸透水流出が定常となった後降雨をとめ、約1日おいて再び雨を降らせ前と同じ実験を繰り返した。以下においては、前者を dry run、後者を wet run と呼ぶ。

3. 実験結果とその考察

図-2 は実験結果の一例を示したもので、表面流出および浸透水流出の両者共に wet run の方が早く流出を始め、早く定常状態に近づく。これらの結果を要約するとつぎのとおりである。

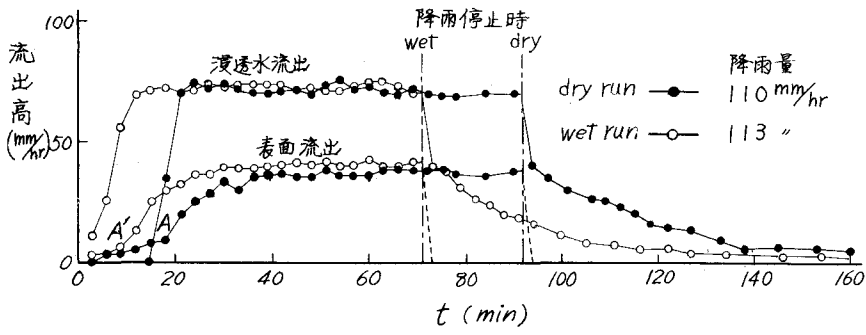


図-2 長尾砂砂(厚さ10 cm の場合)

(1)表面流出量曲線は、いずれの場合に対しても、図-2 のA、A'に示すような折線状となり、この時間頃から浸透水流出が急激に増加して、表面流出より早く一定値となる。また、この時間において砂が含有している水分を求めると、右表のようになって、含水量はほぼ一定である。このことは、河川流域における降雨の初期損失のうち、土層を湿润させるために失われる量が土の初期含水量と考慮するとほぼ一定値となることを示すものと考えられる。

記号	斜面の種類	厚さ	dry run	wet run
N	長尾砂砂一層	10 cm	25.0 mm	29.9 mm
T	豊浦砂一層	10	26.9	24.1
NT	長尾:上層, 豊浦:T層	20	55.6	50.4
TN	豊浦:上層, 長尾:T層	20	57.4	57.1

(2)上述の時間より後の表面流出は漸時増大してやがて一定値に近づくが、この期間において、特性曲線法を利用して斜面の平均浸透能を求めると、近似的に、

$$f = f_c + (f_0 - f_c) \exp(-\alpha t) \quad , \quad f_0: \text{初期浸透能}, f_c: \text{最終浸透能} \quad \text{----- (3)}$$

の Horton 型の浸透能曲線が成立する。時間のはかりはじめて、図-2 で説明した A または A' 点にとつて、 f_c 、 f_0 および α の値を示すと右表のようである。すなわち、 f_c は、一層の場合には、粒径の細かい豊浦砂の場合が小さいが、二層では、豊浦砂が上層にある場合が大である。このことは、(2)式において、砂中の空気が圧縮されにくいときは $\frac{dp}{dz}$ が小となり、浸透能を増大させることから説明できるだろう。 f_0 はいずれの場合にもほぼ同じ値となっているが、 α の値は、とくに二層で dry run の場合に小さく、雨水が浸透しやすいことを示している。

記号	f_c (mm/hr)	f_0 (mm/hr)	α (min ⁻¹)
N {	dry 71.7	102.7	0.118
	wet 71.7	106.2	0.124
T {	dry 34.9	110.9	0.122
	wet 34.9	112.4	0.099
NT {	dry 78.4	98.4	0.021
	wet 78.4	101.4	0.072
TN {	dry 95.5	113.5	0.026
	wet 95.5	107.5	0.155

(3)降雨停止後の浸透水流出は ほぼ指数的に減衰することが確認された。
 終りに、本研究に当り御懇篤な御指導を賜った石原教授および実験に助力して戴いた北井克彦君に感謝するとともに、文部省科学研究費による研究であることを付記する。