

京都大学防災研究所 正会員 芦田 和男
 同 同 〇奥村 武信
 京都大学大学院 学生員 田中 健二

1 概説 斜面浸食は、斜面勾配・土質・砂れきの粒度分布・地盤状態などの斜面条件と、それに加えられる降雨条件との相互関係によって支配されるが、この現象は複雑であって、浸食量を適確に算定式は未だ求められていない。しかしながら、WASH LOAD の生産源は主として裸地斜面の浸食によると言われており、この面から斜面浸食量の推定は極めて重要な問題であるとともに、最近における宅地造成などの開発による土砂流出の問題と関連して、その重要性は増大している。

筆者らは、以上の観点から、斜面の浸食量を水理学的に算定しようとする立場から研究を進めているが、そのためには、斜面上の流水の分布を詳細に追求しなければならないと考えている。とくに、斜面浸食過程との関連において流水の分布を調べるのが重要である。なぜならば、斜面上の流れが一樣に分布する場合と、ガリが形成されて流水の偏りが生じる場合とでは、浸食力にかなりの差があらわれ、それがまたガリの発達と密接な関係をもつからである。

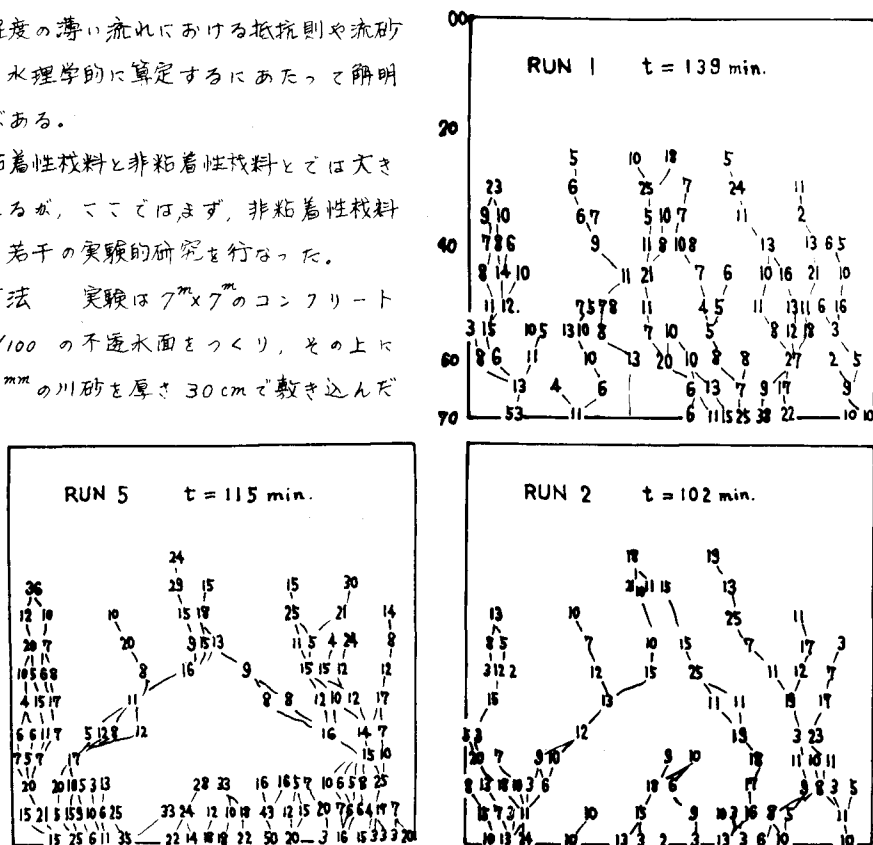
さらに、斜面上の流れに及ぼす降雨の影響、水深が砂粒子の大きさと同程度の薄い流れにおける抵抗則や流砂量式など、浸食量を水理学的に算定するにあたって解明すべき多くの問題がある。

上述した諸点は粘着性材料と非粘着性材料とでは大きく異なると考えられるが、ここではまず、非粘着性材料の場合を取り上げて若干の実験的研究を行なった。

2 実験装置と方法 実験は $7m \times 7m$ のコンフリート枠の中に、勾配 22/100 の不透水面をつくり、その上に平均粒度 $d_m = 1.45mm$ の川砂を厚さ 30cm で敷き込んだ斜面に、人工降雨

をよせて行なった。斜面の下流端は、コンフリートブロックでおさえた。斜面からの流出量の場所的、場所的变化を測定するために横断方向

図-1 流路の分布と流路中



に7区分して量水槽を設置し、またこれに対応する流出土砂量を測定するために、同様に集砂箱を設置した。実験はRUN-1からRUN-5の5個で、それぞれの時間雨量および継続時間は、64~77 mm および 108~120 min である。各RUNは、先のRUNによって形成された斜面をそのままにして、これに引続いて行なった。測定項目は、流路の位置と其中、流速などの斜面上の流れの状態の時間的場所的变化、流出量の時間的場所的变化および斜面の浸食量ならびに流出土砂量である。

3 流路の分布と流路中 図-1に流路の分布と流路中(図中の数字 cm)を示す。RUN-2から、中央部分に沖積扇状地とでもいふべき形態の堆積がおり、流水は両翼に集中している。また堆積部分の浸透水がSECTION 60で湧水しはじめる。このような堆積・湧出は斜面の下流端を不透透性の材料でおさえているための境界条件の影響であると考ええる。

さきに述べたように、流水の集中の程度が斜面の浸食過程を大きく左右するものと考えられる。流水の集中過程に関する理論的解析は今後に待つとして、ここでは実験的に検討しよう。筆者らは、流水の集中の程度をあらわす指標として、流水中(b)と斜面全中(B)との比をとり、その時間的場所的变化を調べた。その結果は図-2のとおりである。bとしてSHEET FLOWの部分を考えていないため

に、流水中は一見下流ほど増大しているが、実際はSEC. 40付近より上流ではSHEET FLOWが存在しており、図に示したものよりは広い。また、SEC. 55付近より下流で流路中がなくなっているのは、下流端の境界条件によるものと考えられる。こうした領域を除くと、b/Bの値は0.1~0.2に収束している。斜面長とともにこの値がどのように変化するかについては、さらに検討を要するが、さきの実験でもこれに近い値が得られている¹⁾ことは興味深い。

今後、ガリ密度およびその分布などが時間的場所的にどのように変化するかについて検討を進めたい。

4 斜面流の抵抗係数 斜面にはたらく浸食力を表す水理量としては摩擦速度 U_* が適当であるが、この値を計算するためには、降雨条件下での急勾配の薄層流の抵抗則についての検討が必要である。実験斜面で得た水理量から流れのレイノルズ数 Re と抵抗係数 f を計算し両者の関係を図-3に示した。測定値は誤差に基因するバラツキが大きい、かなり大きな f 値を与えていることは注目に値する。また Re 数の増加に伴う f 値の減少傾向を示しているし、降雨の影響によって降雨のない場合よりは f 値はかなり増大している。なお、この降雨による漸変流の抵抗係数については、WOODとBRATERが詳細な検討を行なっているが²⁾、彼等の実験範囲は、勾配が0~0.06の緩埡斜であり、 Re 数が25~

図-2 流路中の変化

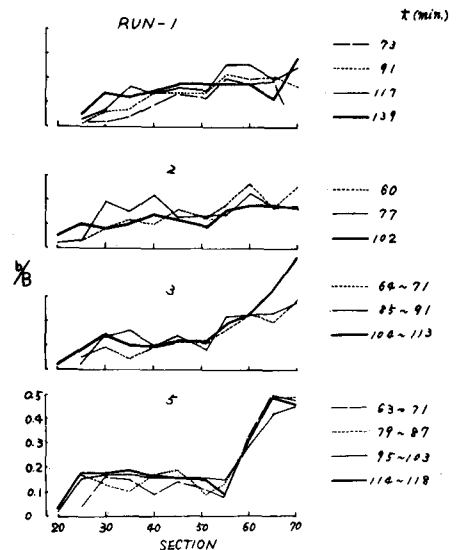
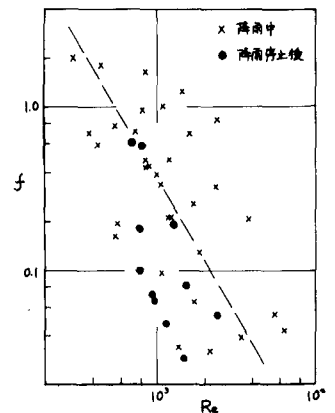


図-3 Re と f との関係



206 と層流領域にあるもので、そのまゝ筆者らが対象としているような流れに拡張できるか否かを検討することをも今後の課題としたい。さらに、水深にほぼ等しい粒径の流砂が存在したばあいには、流れの抵抗則がずいぶん異なるであろうことも考えられるので、この点を加味した検討も必要になるろう。

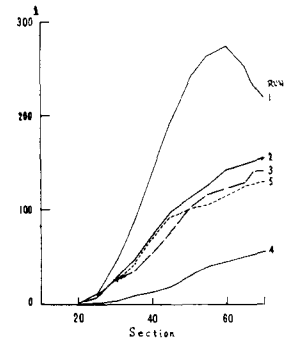
5 斜面浸食量と流出土砂量 斜面浸食量を考えるばあいには、まず浸食力に対して斜面をもつ抗力の問題となる。現実の斜面では、被覆とか土壌のもつ粘性とかさまざまな立地条件が関与してくるが、ここで取り扱っている非粘性物質のばあいには限界摩擦速度 U_{*c} で表わしうる。しかしながら、 U_{*c} に関する従来の研究成果を、急勾配で、かつ水深と粒径とが同程度の薄層流にそのまま適用することは困難である。このうち、 U_{*c} に対する勾配の影響は、簡単な考察から次式で表わしうる。¹⁾

$$\frac{U_{*c}(\theta)}{U_{*c}(0)} = \left\{ \cos \theta - \frac{r}{r-1} \cdot \frac{\sin \theta}{\tan \phi} \right\}^{1/2} \quad (1)$$

ここに $U_{*c}(\theta)$, $U_{*c}(0)$; それぞれ勾配 θ° および 0° の場合の限界摩擦速度, $\gamma = \sigma/\rho$, ϕ ; 砂の静止摩擦角

けれども、薄層流の場合における U_{*c} の問題については、今後詳細な検討が必要である。

つぎに、斜面浸食量を RUN 前後における斜面の横断測量から求め、各断面を通過した土砂量の形を示したのが図-4 である。これを見ると、境界条件の影響による増殖は、図-2 では SEC. 50 程度まであったのに対し、SEC. 60 までにしか、しかも RUN-1 でしかおこっていないことになるが、これは計算過程で砂の空隙率を地山でも増殖でも同じ値入 = 0.37 を使用したことによるものであって、実際にはかなりの大きさになる空隙率の差を考慮するならば、SEC. 50 ないし 55 から 70 に至る間の通過土砂量の増減は多少緩和されることになる。すなわち、RUN 2, 3, 4 において SEC. 50 ないし 55 から下流では通過土砂量の増加はなく、SEC. 50 ないし 55 を通過した土砂量と流出土砂量とはほぼ等しいと考えられる。一方、SEC. 50 ないし 55 より上流における流砂量は、斜面流下方向に単調な増加を示している。なお、この計算による斜面からの流出土砂量と実測値との間には、かなりのくちがいがあつたが、その原因についてはいまのところ判然としない。



斜面からの浸食土砂量あるいは流出土砂量は、流送可能な土砂量が十分に与えられる斜面では、斜面下流端における U_{*c} によって支配される。 U_{*c} と流砂量の関係については、すでに多くの流砂量公式が提案されているが、それらはいづれも、ここで扱おうとする流れとはま、大きく異なる条件のもとでの実験から得られたものであって、斜面の浸食問題にそのまま適用可能か否かは検討を要する。場合によっては、まったく新しい流砂量式が必要となる。ここでは、実験斜面における流出土砂量の実測値と流砂量式による計算値を比較して、既述流砂量式のこの問題に関する適合性について検討しよう。

さきに述べたように、斜面からの流出土砂量と SEC. 55 における流砂量とは大差がない。また SEC. 60 以下では浸透水の湧出による影響があり、この断面で流砂量の計算値を求めることはむづかしい。そこで SEC. 55 における水理量を用いて、芦田・道上の流砂量式(2)によって流砂量を算出し、斜

面下流端の採砂箱で得た流出土砂量と比較する。比較はRUN 2, 3, 5, 斜面の両端各2mについて行なう。

$$\Phi = \frac{q_0}{\sqrt{(0.9-1)gd_m^3}} = 17 \tau_{*c}^{1/2} \left(1 - \frac{\tau_{*c}}{\tau_*}\right) \left(1 - \frac{U_{*c}}{U_*}\right) \quad (2)$$

ここに、 q_0 : 単位中あたりの掃流砂量 ($\text{cm}^3/\text{sec}/\text{cm}$)

τ_{*c} : 有効掃流力の無次元表示量で、ここでは $\tau_{*c} = \tau_* = U_*^2/(0.9-1)gd_m$ とする。

SECTION 55 における表流水量はつぎの式で推定する。

$$Q = Q_0 - (P \cdot A + KWDI) \quad (3)$$

ここに、 Q_0 : 量水セキにおける流量, P : 降雨量, A : SEC.55 からセキまでの面積,

K : 砂の透水係数 = 0.045 cm/sec , W : 浸透水が斜面の平均傾斜方向に流れると考えると量水槽の中, D : 透水層の平均厚 = RUN 終了時の砂層の平均厚さ

I : 水頭勾配 = RUN 前後の斜面の平均勾配の平均である。

$$\text{さて, } f = 8(U_*^2/U^2) = 8gI(b/Q)^2 R^3 \quad (4)$$

であるから、 f をきめれば、径深 R を計算できる。 f の値としては、図-3 の破線で示す関係から求められるものと、平均的な値 0.4 を与える。また、 U_{*c} は岩堀式によって計算した値を式(1)で補正した。

以上の手順で計算した q_0 に、実測の流路中を乗じ、計算時長間にあいては $q_0 b$ は単調に増減していると仮定して時間積分した。

表-1 流砂量の比較

RUN	実測値	計 算 値	
		$f=0.4$	$f=\text{variable}$
2-0	110 ^g	339 ^g	713 ^g
3-0	94	225	1070
5-0	135	422	1010
2-7	144	303	893
3-7	160	196	708
5-7	145	277	664

結果は表-1 に示すように、計算値は実測値に比べてかなり大きいが、 $f=0.4$ の計算値は2~3倍程度である。なお、混合砂の影響が現われアーモアコートが形成されているかどうかについて、EGIAZAROFFの式により検討したところ、アーモアコートの形成限界の $U_*^2 =$

13.3 は本実験での U_*^2 とはるかに下まわっており、その影響はないものと考えられる。

この計算手順には種々の仮定が含まれているし、また f 値の精度もよくないことを考えると、この程度の相違はやむを得ず、むしろある程度の適合性をもつと言うべきかも知れない。しかし、流砂量算定の精度をさらに向上させることが必要であって、そのためには、斜面上の流れと、このような場合における流砂量式について、なお詳細な検討が必要である。

5 おおむね 以上は非粘着性材料で掃流力にみあうだけ十分な土砂の賦与がある砂斜面の浸食における基礎的な問題を考察したものであって、たとえこれらの問題が解明しつくされたとしても、現実の斜面へ直ちに適用できるものでなく、なお多くの要素が加わってくることは言うまでもないが、さしあたって、ここに摘出した問題の解明に努めたいと考えている。

参考

1) 芦田・奥村・田中, 斜面浸食に関する実験的研究; 47年度関西支部年次講演会講演集

2) D.C.Woo, E.F.Brater, Spatially varied flow from controlled rainfall;

J of A.S.C.E. 1962 HY-6.