

斜面侵食に関する実験的研究

京都大学防災研究所 正会員 芦田和男
京都大学防災研究所 正会員 奥村武信
京都大学大学院 学生会員 ○田中健二

本研究は、流水による斜面侵食過程を実験的に把握し、河道への土砂流出の予測に役立てようとするものである。実験に用いた斜面は京都大学防災研究所宇治川水理実験所にあるもので、斜面全体に一樣な降雨を発生させることができる。測定項目は、斜面上の流速・水深・水面幅、地下水位、下流への流出水量・流出土砂量、ならびに地形である。実験条件は表-1に示す。この実験では斜面構成材料として山土と川砂とを用いたが、前者は不透水層、後者は透水層であるとみなしている。

§ 実験結果 Case 1ではガリーはあまり発達せず回を重ねるごとに流砂量が減少し、地表の中央粒径は2.4mmになった。Case 2および3では、透水層のためにすべての現象が著しく非定常であった。図-1にハイドログラフを示す。図-2は流量と流出土砂量との関係であるが、積算値について比較しているためか、対応はよくない。図-3以下にCase 2での斜面流下方向への諸量の変化を示す。斜面上端から地下水浸出点までは降水がすべて浸透し、そこから下流は表面流量が増すとともに流路の集中がおこり、水深・流速が増加する。また、下流端にブロック壁を設けて浸透ならびに侵食を妨げているため、その影響がしだいに上流へ伝わっていく。Case 2および3ではガリーが著しく発達して掃流力が増加し、侵食を一層促進させている。

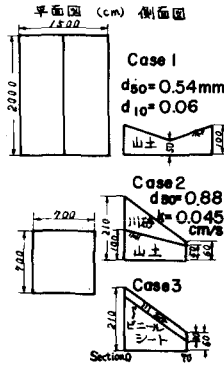


表-1 実験条件

Run	累計降雨時間 (hr)	流出土砂量 (kg)
1-1,2	0 - 5hr	470kg
1-4	8 - 11	210
1-8	20 - 23	90
1-10	29 - 41	248
1-12	65 - 89	191
2-1	0 - 2:15	295
2-2	2:15 - 4:00	188
2-3	4:00 - 6:00	206
2-4	6:00 - 8:15	378
2-5	8:15 - 10	437
3-1	0 - 1:20	723
3-2	1:20 - 2:10	307
3-3	2:10 - 3:25	438
3-4	3:25 - 4:35	450

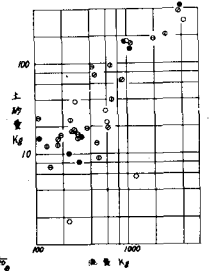
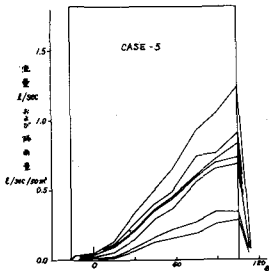


図-1

図-2

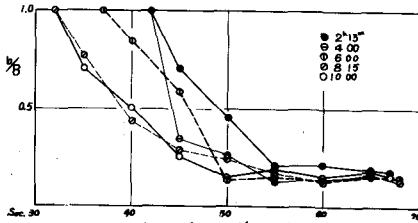


図-3 集中度

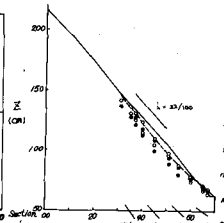


図-4

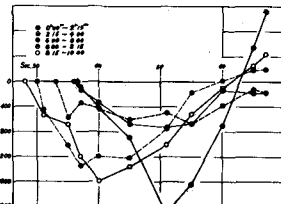


図-5 侵食量



図-6

表-2 水理量計算 (Run 2-5)

Section	測定時刻	流速	勾配	水深	水面幅	表面流量	地下水流量	水収支のずれ	u*
67	61分	24 cm/s	0.14	0.20cm	111cm	476 cm³/s	10 cm³/s	-100 cm³/s	5.23 cm/s
65	65	28	0.14	0.26	127	940	20	370	5.98
55	73	21	0.18	0.13	133	360	115	5	4.83
45	83	14	0.21	0.06	177	155	230	60	3.63
35	95	8	0.22	0.03	505	40	345	205	2.46

§ 考察 斜面侵食においては、急傾斜地であるために重力の作用が直接に効果をもつこと、流れが薄層であることや、雨滴の衝撃、浸透流などの影響で抵抗則が変化すること、流水の集中や分岐が著しいことなど、水理学的に解明しなければならない問題は多い。

まず、傾斜地における粒子の移動限界であるが、作用する力は右図のようになり、摩擦角を φ とすると次式が成り立つ。

$$D + W \sin \theta = (W \cos \theta - F - L) \tan \varphi$$

そこで、仮に D および L が掃流力に比例するものとする。

$$\frac{u_{nc}(\theta)}{u_{nc}(0)} = \left\{ \cos \theta - \frac{\gamma}{\gamma - 1} \cdot \frac{\sin \theta}{\tan \varphi} \right\}^{\frac{1}{2}}$$

となり、たとえば、 $\gamma = 2.65$ 、 $\tan \varphi = 1$ 、 $\theta = 13^\circ$ のとき、0.8であるが、これを実験砂に適用すると、平均粒径に対して、 $u_{nc} = 2.7 \text{ cm/s}$ となる。

つぎに流水の集中が斜面全幅の流砂量に及ぼす効果をみるために、たとえばRun 2-5と同じ流量のsheet flowに対して u_{nc} を計算すると、3.0 cm/s.となり、全粒径範囲の砂を輸送する能力をもたない。このことは、もしも時間の経過とともに侵食が停滞して、斜面が平衡状態になるとすれば、侵食の形態によって2つの異なった状態が出現することを暗示する。

1つは、表面の細粒分が流失してアーマーコートが形成されるものであり、たとえばCase 1に見られる。もう1つは、侵食によって地形が変化し、ガリーの幅や勾配の低下によって平衡に達するものである。図-3に見られるように、Case 2では下流部で、斜面全幅に対する水面幅の割合が0.15付近に収束し、その領域は時間とともに拡大している。一方、ガリーヘッドは後退し続けているが、つぎのような計算で、その限界をある程度は予測できよう。すなわち、仮に原斜面のままで現象が定常になったとすれば、地下水の浸出点は次式から求まる。

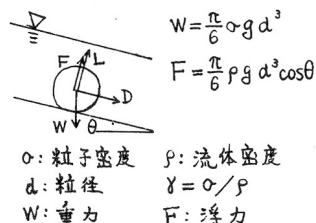
$$rx = \gamma = \nu H = \ell (\sin \theta - \frac{dH}{dx}) H$$

[ここに、 H : 地下水深
 x : 上端からの距離
 r : 降雨強度]

さらに興味のあるのは、抵抗係数が著しく大きいことである。右図はRun 3-3の結果であるが、 f は Re の増加に伴って急激に減少している。これは、斜面上の流れに対して、マンニングの抵抗則などを適用し難いことを表わしている。この問題については、今後、別に研究を進めていくが、雨滴・浸透流・勾配の影響などを系統的にみていく必要があろう。

最後に、本研究の目的とする土砂流出の予測を行なうためには、たとえば1つのガリーの集水面積など、ガリーの配置を予測することが必要であり、今後さらに実験を重ねていく予定である。

(写真上: Case 1)
(写真下: Case 3)



	浸出点 (m)		下流流量 (kg)	
	計算	実測	計算	実測
Case 2	2.3	3.0	1.83	1.48
Case 3	0.9	1.2	1.83	1.76

