

リル侵食に及ぼす各種要因の影響(I) 傾斜角と降雨強度

山口大学工学部 正員 藤原 輝男
山口大学農学部 藤田 則之
建設技術研究所 正員 星枝 伸和
福山コンサルタント 正員 ○山本 幸夫

1. まえがき 地表に雨が降ると、地盤の状態や降雨強度の変化により土壌侵食が発生するが、本論文においてはモデル斜面と模擬降雨発生装置を用いてリル侵食についての実験を行なった。リル侵食に及ぼす要因としてはいくつか考えられるが、本実験においては乾燥密度を 1.4 g/cm^3 と一定にして、斜面の傾斜角度、降雨強度を変化させて行なった。そして実験によって得られたデータを解析し流出土量予測式を見い出した。

2. 実験装置及び実験方法 模擬降雨装置：模擬降雨装置については、Fig.1に示される様な機構で地上約6mの位置に設置されており、その使用方法はまずバルブ①を開く事により給水レタンク(A)をオーバーフローさせる。次にバルブ②を全開にして降雨装置の注射針により雨滴を落下させる。この時バルブ④は全開しており、バルブ⑤は閉じている。またバルブ③は降雨容器⑥、⑦からの雨量が等しくなる様に調節する。バルブ②を開いた直後注射針からの雨滴が断続的であったのが数分後連続的になった時、バルブ④を同時に閉じ⑤を全開にする。

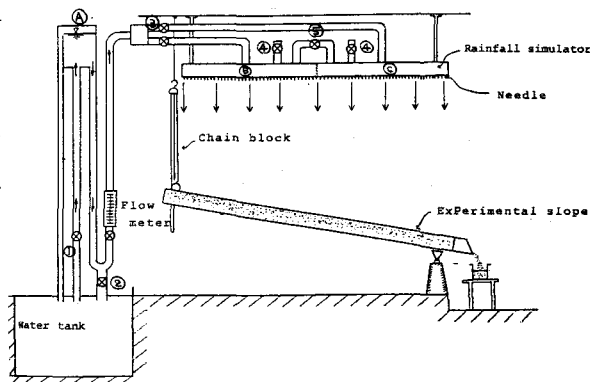


Fig.1 Experimental apparatus

実験方法：本実験において、試料を斜面にセットして乾燥密度 $\rho_d = 1.4 \text{ (g/cc)}$ になる様締め固めを行なった。締め固めが一様になるようにローラーで均一にする。最後にストレートエッジで整形を行なった。斜面に試料を充填した後、角度を 0° にしてシートをかぶせて実験を開始し模擬降雨発生装置により上記に記述した様に雨を降らせ、ラビッド降雨計により雨量を調節した。所定の降雨強度になった後シートをはがして斜面の角度を 0° から徐々に変えた。流出土、流出水を共に同じ容器に一分間収集し重量を測り、流速については比重となる様に調節したメタリアルコールを用いて3回の測定値を平均した。この様な操作を、斜面の土が侵食を受けてリルが発生し、それが発達して土壌槽の底が露出するまで行なった。

3. 結果及び考察 流出土量に及ぼす降雨強度 I と傾斜角度 α と表面水量 A_s との関係：リル発生前における、土層表面が一様に侵食される表面侵食状態において、流出土量に及ぼす影響としては降雨強度による侵食と表面水流による侵食ではほぼ同等の相関関係がある。降雨強度と傾斜角度と流出土量との相関関係を見ると、Fig.2,3からもわかる様に降雨強度と傾斜角度と流出土量とはほぼ同等の相関を示す。Fig.2,3はリルの深さが10cmになった時、つまりリル侵食限界からリル侵食の発生の過渡期になった時点での流出土量と降雨強度、傾斜角度の関係を示すもので個々の値に1対1に対応するものであり単なる流出土量と降雨強度、傾斜角度の傾向を表わすものではない。リルの発生して後は流れはリル内に集中する様になり、降雨強度、傾斜角度が流出土量に及ぼす影響の割合は減少し、表面

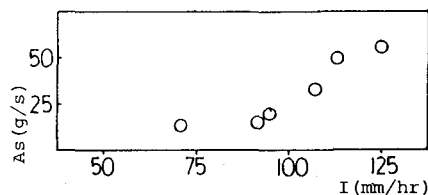


Fig.2 Relationship between A_s and I

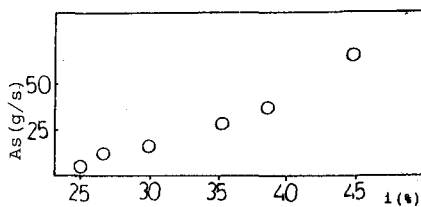


Fig.3 Relationship between A_s and α

水量による影響の割合が急激に増加した。降雨強度 90 mm/hr 、傾斜角度 45° の標準状態において、降雨強度との相関係数 0.29 に対して表面水量との相関係数は 0.90 と大きい相関を示した。

流出土量とリル侵食変量との関係：Fig. 4, 5に示す様にここでは、リル内の流速 V と、摩擦速度 $\sqrt{\tau_{0c}}$ を選んで比較してみた。Fig. 5に示す様に流出土量と摩擦速度との関係を見ると流出土量の増加に伴ない摩擦速度の割合も大きくなっていくのがわかる。しかしFig. 4の流出土量と流速との関係を見ると流出土量の増加に伴ない流速の増加の割合が大きくなるとは言えない。その事は、リル発生時において流出土量は少なく流速が速い事や、逆にリル侵食がさらに侵食への過移期において流速がおそくて流出土量が多い事から理解する事ができる。Fig. 4, 5においてデータのバラツキがみられるのはリルの発達段階において採取時間が一応してないためである。また原点付近においてデータが少ないのは表面侵食状態からリル侵食状態へ移る過移期状態の時のデータを採取していないからである。

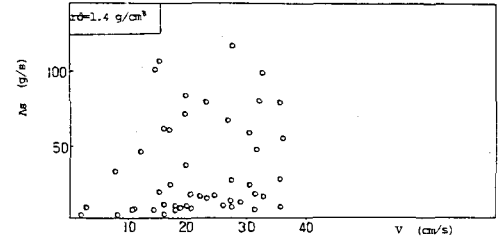
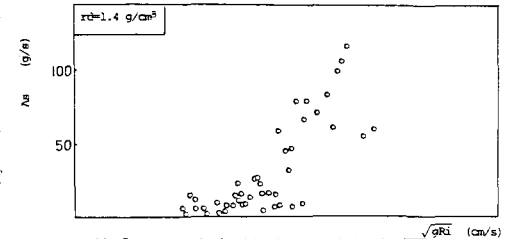


Fig. 4 Relationship between (As) and (V)

Fig. 5 Relationship between (As) and ($\sqrt{\tau_{0c}}$)

4. 結論 流出土量予測式：リル侵食における要因として考えられる要素を選んで解析を行なった。

$$\{g\} = \{g\}^0 \{d\}^0 \{I\}^0 \{V\}^0 \{R\}^0 \{L\}^0 \{V\}^0 \{P\}^0 \{R\}^0 \{S\}^0 \{L\}^0 \quad (1)$$

$$\left\{\frac{1}{\sqrt{\tau_{0c}}}\right\} = \left\{\frac{1}{\sqrt{\tau_{0c}}}\right\}^0 \left\{L\right\}^0 \left\{\frac{1}{\sqrt{\tau_{0c}}}\right\}^0 \left\{\frac{1}{\sqrt{\tau_{0c}}}\right\}^0 \left\{\frac{1}{\sqrt{\tau_{0c}}}\right\}^0 \left\{L\right\}^0 \left\{\frac{1}{\sqrt{\tau_{0c}}}\right\}^0 \left\{\frac{1}{\sqrt{\tau_{0c}}}\right\}^0 \left\{S\right\}^0 \left\{L\right\}^0 \quad (2)$$

$$\{g\} = \left\{\frac{1}{\sqrt{\tau_{0c}}}\right\}^0 \left\{\frac{1}{\sqrt{\tau_{0c}}}\right\}^0 \left\{\frac{1}{\sqrt{\tau_{0c}}}\right\}^0 \left\{\frac{1}{\sqrt{\tau_{0c}}}\right\}^0 \left\{\frac{1}{\sqrt{\tau_{0c}}}\right\}^0 \left\{L\right\}^0 \cdot S \cdot L \quad (3)$$

式(3)を解析し、より相関の高い無次元量を得るため操作を行なった結果次式が得られた。

$$g/\sqrt{\tau_{0c} d^3} = f\left(\frac{I}{\sqrt{\tau_{0c}}}, \frac{VR}{V}, \frac{8RL}{\sqrt{\tau_{0c}} d}, \frac{U_{cd}}{V}, \frac{L_{HII}}{d}, \frac{R}{d}, \frac{R}{\rho g}\right) \quad (4)$$

また本実験においては $R=1.4 \text{ (g/cm³)}$ なる一定値を用いた結果次の様になった。

$$g/\sqrt{\tau_{0c} d^3} = f\left(\frac{I}{\sqrt{\tau_{0c}}}, \frac{VR}{V}, \frac{8RL}{\sqrt{\tau_{0c}} d}, \frac{U_{cd}}{V}, \frac{L_{HII}}{d}\right) \quad (5)$$

式(5)において無次元量の関係式が求められたが、流砂量を予測するためにはリルが発生する以前に未知である変量の流速 V 、径深 R 、リルの長さ L_{HII} がその式に含まれているので予測が不可能である。そこで V 、 R 、 L_{HII} をリル発生前に知る事ができる変量の式で表わしておいて(5)式に代入する事により流出土量予測式としての意味がでてくる。そこで流速 V 、径深 R 、リルの長さ L_{HII} の表現式をデータより求めた。

$$V = f(I, R, P, d, V, g) \quad (6) \quad \text{式(2), (3)に } V, L_{HII}, R \text{ を代入する}$$

式(6)について次元解析を行なった結果次式を得た。

$$V/d = f\left(L, R/\rho g, I/d\right) \quad (7) \quad \bar{V} = 116 \times L^{0.449} \times I^{0.461} \times V^{-0.471} \quad (4)$$

$$\bar{V} = 0.214 \times L^{0.108} \times I^{0.461} \times V^{-2.341} \quad (5)$$

式(7)を最小自乗法を用いて計算を行なった結果次式を得た。

$$V/d = 1.188 \times (R/\rho g)^{0.331} \times (I/d)^{0.027} \quad (8) \quad \text{故に以上の結果を用いて流出土量予測式を}$$

$$V = 7.64 \times 10^3 \times L^{1.188} \times I^{0.027} \times V^{0.973} \quad (9) \quad \text{求める} \quad \text{と次の結果が得られた。}$$

同様にして

$$L_{HII} = 138 \times L^{0.306} \times I^{0.342} \times V^{-0.342} \quad (10) \quad g = 250 \times L^{3.449} \times I^{0.461} \times V^{-0.471} \quad (6)$$

$$R = 0.486 \times L^{0.322} \times I^{-0.091} \times V^{0.091} \quad (11) \quad g = 0.46 \times L^{0.108} \times I^{0.461} \times V^{-2.341} \quad (7)$$

最小自乗法により求めた、流出土量と無次元量との関係を次に示す

$$\bar{g} = \frac{g/\sqrt{\tau_{0c} d^3}}{10^{-3.030}} = 10^{-3.030} \times (VR/V)^{0.427} \times (L_{HII}/d)^{0.347} \times (8RL/\sqrt{\tau_{0c}} d - U_{cd}/\sqrt{\tau_{0c}} d)^{1.833} \times (U_{cd}/V)^{0.546} \times (I/\sqrt{\tau_{0c}})^{0.536} \quad (2)$$

$$\bar{g}_1 = \frac{g/\sqrt{\tau_{0c} d^3}}{10^{-5.723}} = 10^{-5.723} \times (VR/V)^{0.324} \times (L_{HII}/d)^{0.235} \times (8RL/\sqrt{\tau_{0c}} d - U_{cd}/\sqrt{\tau_{0c}} d)^{0.583} \times (U_{cd}/V)^{0.428} \times (I/\sqrt{\tau_{0c}})^{0.478} \quad (13)$$

(g : 単位幅当りの流出土量
 g_1 : 単位リル幅当りの流出土量)