模擬降雨による土壌侵食の水理的研究

山口大学工学部　正員　藤原　輝男
九州大学農学部　田熊　勝利
東京建設コンサルタント　正員　宮園　隆弘
山口大学工学部大学院　学生員　○中山　義一

1、まえがき

土壌侵食現象は、数多くの因子が関係し合って起こるため、単に降雨強度、斜面長、斜面傾斜などの個別の因子との関係を明らかにすることだけでは十分でない。　従って、土壌侵食現象に関係する数多くの因子をとりあげ、侵食量と各因子の間の関係を見い出すために、次元解析を行い、土壌侵食量を無次元表示した。　そして、模擬降雨、人工斜面を用いた室内実験データーから得られる無次元量についての解析を行った。

2、次元解析

土壌表面を流れる表面流は、過剰降雨によって生じるもので、土壌表面にリルが生じて流れの集中がおきないかぎりは、水深の小さい薄層流である。　その表面流において、模擬降雨下の土壌侵食は次のような変数に関係すると仮定した。

$$g_0 = f(V, R, I, \alpha, \ell, \nu, g, \rho, \alpha_d, i, s) \quad \cdots (1)$$

g_0：侵食土量	ν：水の動粘性係数
V：表面流速	g：重力加速度
R：径深	ρ：水の密度
I：降雨強度	α_d：土の乾燥密度
α：流出土の平均粒径	i：斜面傾斜
ℓ：斜面長	s：土の水中比重

(1)式より繰り返し変数をg, α, ρとして、

$$\pi_1 = \frac{g_0}{g\alpha^3}, \quad \pi_2 = \frac{g\alpha}{V^2}, \quad \pi_3 = \frac{g\alpha}{I^2}, \quad \pi_4 = \frac{\rho g}{\alpha_d}$$

$$\pi_5 = \frac{\alpha}{R}, \quad \pi_6 = \frac{\ell}{R}, \quad \pi_7 = \frac{g\alpha^3}{\nu^3}$$

なる無次元量を得、g_0の関数形として(2)式を得た。

$$\frac{g_0}{g\alpha^3} = f\left(\frac{I}{\sqrt{g\alpha}}, \frac{V}{\sqrt{g\alpha}}, \frac{\nu}{\sqrt{g\alpha}}, \frac{R}{\alpha}, \frac{\ell}{\alpha}, \frac{\rho g}{\alpha_d}, i, s\right) \quad \cdots (2)$$

それぞれの変数を操作して、周知の無次元量を求め、(2)式を書きかえると(3)式で表わせる。

$$\phi = f(Re_I, Re, \psi, \frac{\ell}{R}, \frac{\alpha}{R}) \quad \cdots (3)$$

ここで　$\phi = \frac{g_0}{\sqrt{s}g\alpha^2}$, $Re_I = \frac{I\alpha}{\nu}$

$\psi = \frac{gRi}{sg\alpha}$, $Re = \frac{VR}{\nu}$

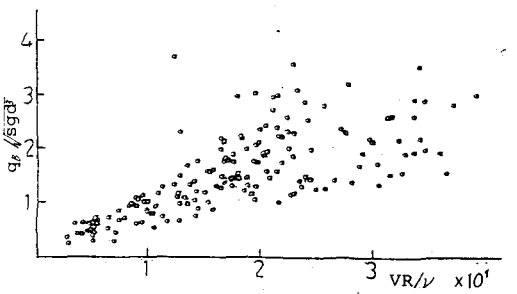

Fig.1　Relationship between ϕ and Re

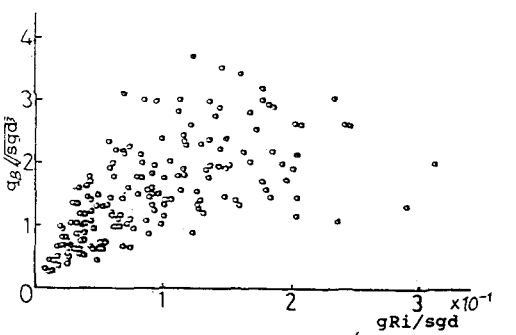

Fig.2　Relationship between ϕ and ψ

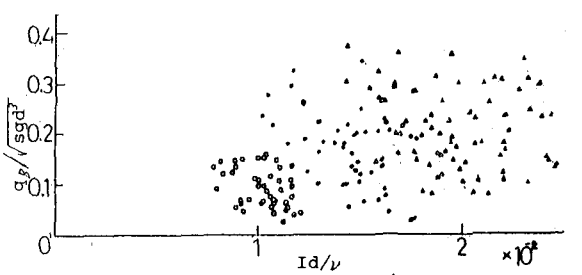

Fig.3　Relationship between ϕ and Re_I

3、実験及びに解析結果

模擬降雨及び、人工降雨を用い、$\delta\alpha$=1.4 g/cm³のもとで、I=45, 60, 75, 90 mm/hr, i=5～30 %, ℓ=2～5mとして、室内実験を行い、そのデーターについて無次元量解析を行った。 Fig.1～5は、ϕとレイノルズ数Re, 掃流力ψ, 降雨レイノルズ数Re_I, α/R, ℓ/Rとの関係をプロットしたものである。 それぞれの回帰式は、指数型となるものが最も相関が高く、次のようになった。

$$\phi = 1.41\times10^{-2}\cdot Re^{0.82} \qquad \phi = 0.629\cdot\psi^{0.59}$$
$$\phi = 0.20\cdot(\alpha/R)^{-0.25} \qquad \phi = 0.205\,(\ell/R)^{-0.57}$$
$$\phi = 3.68\cdot Re_I^{0.78} \qquad \text{——(4)}$$

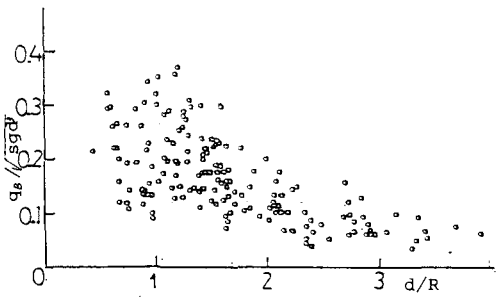

Fig.4 Relationship between ϕ and d/R

以上の結果より、すべての無次元量を含む侵食土量予測式を求めると、

$$\frac{q_B}{\sqrt{sg\alpha^3}} = 0.25\left(\frac{VR}{\nu}\right)^{0.52}\cdot\left(\frac{gRi}{sg\alpha}\right)^{0.27}\cdot\left(\frac{\alpha}{R}\right)^{0.45}\cdot\left(\frac{\ell}{R}\right)^{0.88\times10^{-2}}\cdot\left(\frac{I\alpha}{\nu}\right)^{0.22} \qquad \text{——(5)}$$

となり、g=980(cm/sec²), s=1.65を代入して

$$q_B = 5.25\,R^{0.64}\,\alpha^{1.71}\,I^{0.33}\,V^{0.52}\,\nu^{-0.25}\,i^{0.27}\,\ell^{0.88\times10^{-2}} \qquad \text{——(6)}$$

を得た。 また、V, Rについては

$$\frac{V\alpha}{\nu} = 240\cdot\left(\frac{I\alpha}{\nu}\right)^{0.65}\cdot\left(\frac{\ell}{\alpha}\right)^{0.95\times10^{-2}}\cdot i^{0.27} \qquad \text{——(7)}$$

$$\frac{R}{\alpha} = 1.28\cdot\left(\frac{I\alpha}{\nu}\right)^{0.11}\cdot\left(\frac{\ell}{\alpha}\right)^{0.35}\cdot i^{0.37} \qquad \text{——(8)}$$

を得るので、(7), (8)を(6)に代入して

$$q_B = 3.64\cdot\ell^{0.22}\,\alpha^{1.91}\,I^{0.63}\,\nu^{-0.63}\,i^{0.65} \qquad \text{——(9)}$$

となり、(9)式を模擬降雨、人工斜面における土壌侵食予測式とした。

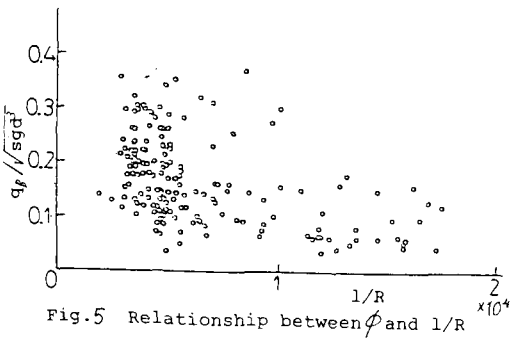

Fig.5 Relationship between ϕ and 1/R

4、考察

Fig.1, 2 の回帰曲線は原点を通ると思われ、侵食の起こらない限界レイノルズ数、限界掃流力を求めることはできないが、Fig.3によれば、$\alpha/R<0.5$ の領域では、表面流による土壌侵食が起こっておらず、この領域では、リル侵食が起こっていると考えられる。 Fig.6には、同室内実験でのリル侵食についての実験結果 ϕ-VR/ν を示したものである。 $\phi=0.4$, Re=50～200付近に空白部分があり、ここを境としてϕ-Re特性が変化しているのが認められる。 今後は、表面侵食からリル侵食への遷移領域についての水理的特性を明らかにしてゆくのが課題である。

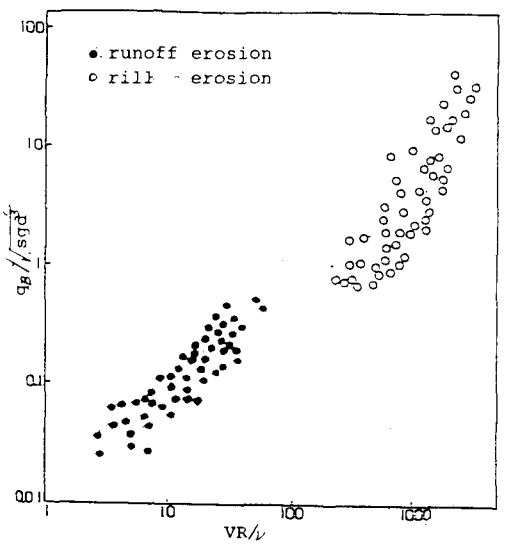

Fig.6 $q_B/\sqrt{sgd^3}$ - VR/ν