

盛土ノリ面の表面侵食に関する研究(Ⅱ)

一土砂の流出におよぼす雨滴衝撃の影響について一

愛媛大学農学部 井上 章二

1. はじめに

砂質土ノリ面においては、粒径が小さいほど侵食土砂量は多くなり²⁾、表面流が発生していない場合、土砂の流出は雨滴衝撃のくり返しによって生じると考えられる。その雨滴衝撃の作用を明らかにするため、一雨滴による土粒子の飛散実験を行い、飛散とノリ面侵食との関係について検討した。

2. 実験方法

雨滴は医療用の点滴装置を利用して発生させ、内径の異なる注射針を取り換えることにより、3種類の径の雨滴で実験を行った。雨滴を完全な球体とみなし、その重量より直径を算出し、60滴の平均をとって雨滴径を決定した。その値は 3.426 mm, 3.030 mm, 2.725 mmであった。また、雨滴は地上12 mの高さより落下するため、終末落下速度に達しているものと判断される。

供試土は愛媛県松前町、重信川河口付近の海岸砂であり、それをフルイ分けして5種類の粒径の異なる試料をもちいた。それぞれの試料は若干の粒径の広がりがあるが、その範囲が狭いこともあり、それぞれの中央値をとって均一粒径とみなした。その値は0.20 mm, 0.335 mm, 0.505 mm, 0.715 mm, 1.125 mmである。これを内径約5 cmの土壌採取円筒に充てんして水平に設置し、土壌面と同じ高さに水平面を作り飛散した粒子を計測できるようにした。

以上のように3種類の径の雨滴と5種類の径の砂、さらに砂は乾燥したものと飽和させたものをもち、それらの組合せと同一条件の反復により、計78回の飛散実験を行い、雨滴落下地点付近の土壌面変形状、飛散した粒子の個数および雨滴落下地点からの水平移動距離を計測した。

3. 結果と考察

1) 土壌面変形状

雨滴落下地点付近の土壌面変形状は、1/100 mm読みのカセットメーターで計測し、侵食孔の径、深さおよび侵食体積等を求めた。侵食孔は砂の粒径が大きくなるほど深さが増大する傾向を示すものの、侵食孔の径、侵食体積と砂の粒径および雨滴径との間に一定の傾向を見出すことはできなかった。一雨滴による飛散は、

力の作用時間が極めて短く、力の作用する範囲も狭い現象であるため、各実験での雨滴の落下位置付近の粒子の配列状態等によって、非常にバラツキの大きな確率的要素の高い現象であると考えられる。

2) 飛散粒子数

図-1は砂の粒径dと飛散粒子数Nとの関係を両対数でプロットしたものの一例である。図から明らかのように両者には非常に強い相関関係が認められる。ここで、回帰係数をaおよびbとし、 $N = a d^b$ とにおいて雨滴径および乾燥・飽和の条件別に回帰分析を行ったところ、いずれの条件においても $b \approx -3$ となった。すなわち飛散粒子数は粒径の約-3乗に比例するということになる。ところで、粒子を完全な球体と仮定すれば、飛散粒子1個の重量は粒径dの3乗に比例する。したがって、一雨滴による飛散粒子の全重量は砂の粒径とは無関係に一定ということになる。しかしながら、ノリ面侵食量は粒径が小さいほど多くなっており、この原因は以下のように考えることができる。

表-1は実験の回数を分母に、飛散の生じた回数を分子にとって表示したものであり、上段は乾燥状態、下段は飽和状態における実験について示してある。粒径0.505 mm以下の場合には、雨滴の落下に対して100%

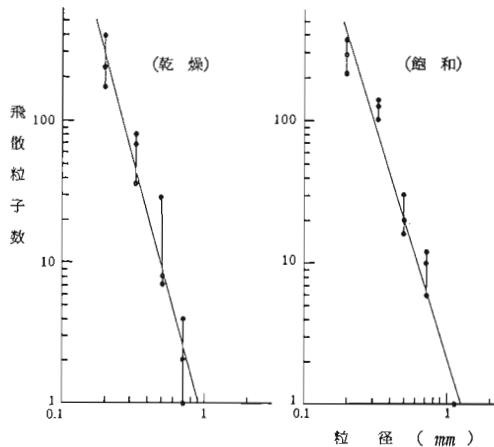


図-1 粒径と飛散粒子数との関係(雨滴径:3.030 mm)

表-1 実験回数と飛散生起回数

砂粒径 (mm)	雨 滴 径 (mm)		
	3.426	3.030	2.725
0.20	3/3	3/3	3/3
	2/2	3/3	2/2
0.335	3/3	3/3	3/3
	-	3/3	-
0.505	3/3	3/3	3/3
	2/2	3/3	2/2
0.715	4/7	3/3	1/2
	-	3/3	-
1.125	3/5	0/1	1/4
	1/4	3/3	1/2

飛散が生起しているのに対し、0.715 mm 以上になると飛散しない場合が生じ、確率的要素の高い現象となり、さらに粒径が大きくなると飛散が生起しなくなるようである。すなわち、ある大きさの雨滴に対して、飛散しうる粒子の大きさに限界があるということになる。換言すれば、ある大きさの粒子に対してそれを飛散させることができる最小の雨滴が存在するということである。その雨滴の径をここでは飛散限界雨滴径と呼ぶことにする。この飛散限界雨滴径は粒径が小さいほど小さな値となるのは明らかであるため、降雨強度、雨滴径分布が等しい連続降雨であっても実際に土砂の移動に関与するのは飛散限界雨滴径以上の成分であることから粒径が小さいほど飛散に関与する雨滴は多くなり、また雨滴衝撃も大きくなるので侵食量に差が生じてくるものと推察される。

3) 土壌の雨滴衝撃吸収

土粒子が飛散するかしないかは、飛散限界雨滴径さらにはノリ面侵食量との関連においても重要な問題となる。飛散しない場合は雨滴衝撃を土壌が吸収したと考えることができるので、以下でこの衝撃吸収について検討する。吸収機構としては、土壌孔隙の緩衝作用と土粒子間の摩擦による抵抗とが考えられるが、ここでは両者を合わせて吸収と定義する。

一雨滴のもつ運動量を P_0 、そのうち土壌面に伝達された成分を P 、実際に土壌面の変形・土粒子の飛散に消費された成分を P_s とすれば、

$$P = k_1 \cdot P_0 \quad \dots\dots\dots(1)$$

$$P_s = (1 - k_2) \cdot P \quad \dots\dots\dots(2)$$

と表わせる。ただし、 k_1 は一雨滴の運動量のうち土壌面に伝達された成分の割合であり、福桜¹⁾の実験では $k_1 = 0.68$ となっている。また、 k_2 は土壌に伝達された成分のうち土壌に吸収された成分の割合でありここでは吸収率と呼ぶことにする。吸収率 k_2 は、雨滴径 D 、水の密度 ρ 、土粒子径 d 、土粒子の真の密度 σ 、みかけの密度 σ' の関数と考えられるが、今回の実験では σ, ρ は一定であり、 σ' もほぼ一定値であったため、これらを定数とみなして次元解析すれば、

$$k_2 = \varphi(d/D) \quad \dots\dots\dots(3)$$

となる。この関数形は今のところ決定できないので、

$$k_2 = \alpha (d/D)^\beta \quad \text{とおき}(2)\text{式に代入し整理すると、}$$

$$(P - P_s) / P = \alpha (d/D)^\beta \quad \dots\dots\dots(4)$$

と書くことができる。

したがって、 P および P_s が求められれば最小二乗法により α, β を決定することができる。 P は(1)式より P_0 の値から計算でき、雨滴の落下速度を v とすれば、 P_0 は

$$P_0 = 1/6 \cdot \pi \cdot \rho \cdot D^3 \cdot v \quad \dots\dots\dots(5)$$

となり、また雨滴の終末落下速度 v_0 は、重力加速度を g 、空気の密度を ρ' 、抵抗係数を C_D とすれば、

$$v_0 = \sqrt{\frac{4 \cdot g \cdot \rho \cdot D^3}{3 \cdot C_D \cdot \rho'}} \quad \dots\dots\dots(6)$$

であるから、(6)式の v_0 を(5)式の v に代入し、さらに(1)式によって P_0 および P が求められることになる。

現在のところ土壌面の変形・土粒子の飛散については、その機構が十分に解明されていないため、 P_s を正確に求めることはできないので、ここでは実際に飛散した各粒子の質量 m_{si} と飛散距離 d_{si} をもちいて以下のように推定した。外力は飛散方向に水平にはたらし、その大きさは土粒子間の最大静止摩擦係数に等しいと仮定し、雨滴がなした仕事を W 、飛散粒子に作用した力を f_i 、最大静止摩擦係数を μ とすれば、

$$W = \sum f_i \cdot d_{si} \quad \dots\dots\dots(7)$$

$$f_i = \mu \cdot m_{si} \cdot g \quad \dots\dots\dots(8)$$

となる。また、 W は飛散に消費された運動エネルギーと考えられ、飛散粒子の総質量を m_s 、平均移動速度を v_a とすれば、 $v_a = \sqrt{2W/m_s}$ となるから、

$$P_s = m_s \cdot v_a = \sqrt{2W \cdot m_s} \quad \dots\dots\dots(9)$$

と表わされる。

以上のことから、今回の実験における d/D と k_2 との関係を示したのが図-2 である。計算にあたっては、 $\rho = 1.0 \text{ g/cm}^3, \rho' = 1.293 \times 10^{-3} \text{ g/cm}^3, C_D = 0.4, g = 980 \text{ cm/s}^2, \mu = 1.43$ (安息角より算出) の各定数値をもちいた。図からわかるように、土壌面に伝達された雨滴衝撃成分の90%以上が土壌に吸収されている。これは土壌によっても差があると思われるが、衝撃力の作用方向と粒子の移動方向とが異なることに起因していると推察される。また、本実験での α と β の値は乾燥、飽和の順に

$\alpha = 1.02, 1.03, \beta = 0.017, 0.021$ であった。

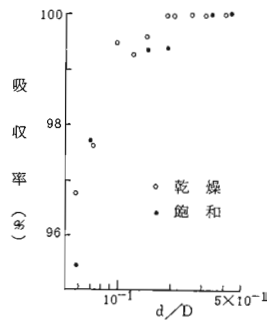


図-2 d/D と吸収率との関係

引用文献

- (1) 福桜盛一：農業土木論，101，26～32，1982
- (2) 井上章二：愛媛大演報 20，85～92，1983