

雨滴による土壌侵食に関する実験的研究

山口大学工学部 正 員 藤原 輝男
山口大学大学院 学生員 ○山本 晃
完山建設 完山 聖泰

1. まえがき

降雨による土壌侵食の現象は、雨滴の衝撃エネルギーによる土粒子の飛散と、その飛散された土粒子の表面流水による輸送の2つの過程に分けることができる。土壌表面に落下する水滴のもつエネルギーは、土粒子の飛散、土壌表面への打圧、土粒子の穿孔縁部への盛り上げの3つに消費されることが考えられる。本実験は、落下单滴の持つエネルギーのうち土粒子飛散に用いられるエネルギーの割合を求めるために行なったものである。

2. 実 験

2-1 装置： 写真-1に示すように、小容器に突き固めた豊浦標準砂の表面をワイヤーソーによって成形し、その真上1.5 mの高さにセットしたガラス製ノズルから水滴(直径5.46 mm)を落下させ、試料表面より飛び出す飛沫のうち横方向のものだけを撮影するため、アクリル製スリットを用い飛沫の軌跡の写真判定を行なった。なお水滴の落下速度は、J. Otis Law のグラフから5.15 m/secとした。

2-2 飛散エネルギーの算出： 個々の飛沫の質量を $m_1, m_2, \dots, m_n$, 速度を $u_1, u_2, \dots, u_n$ とすると全飛沫の持つエネルギー E は、

$$E = \frac{1}{2} (m_1 u_1^2 + m_2 u_2^2 + \dots + m_n u_n^2) = \frac{1}{2} M \bar{u}^2 \quad \text{---(1)}$$

ここで、 $M = m_1 + m_2 + \dots + m_n$, $\bar{u}^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n u_i^2$

図-1のような軌跡で飛散した飛沫の初速度 u_0 は次式で与えられる。

$$u_0 = \sqrt{gl / \sin 2\theta} \quad \text{---(2)}$$

写真-2は実際に撮影した飛沫の軌跡である。これより、雨滴の落下地点を

座標原点にとり、軌跡の仕意の2点を読み取ると軌跡の放物線の式 $y = ax^2 + bx$ が求まる。これによって、飛び出し角度は $\theta = \tan^{-1} \left| \frac{dy}{dx} \right|_{x=0} = \tan^{-1} b$ となり、飛散距離 l は $y = 0$ とおくことにより $l = -b/a$ で算出できる。これによって求めた飛び出し角度 θ 、飛散距離 l を(2)式に代入することによって、飛沫の初速度が得られる。質量 M については別実験を行い、平均飛散量を求めた。

3. 実験結果

3-1 乾燥密度 ρ_d と飛び出し角度 θ の関係

本実験は4種類の乾燥密度の砂について、それぞれ約60枚の写真から解析を行なった。2で述べた方法によって写真の軌跡から飛び出し角度を計算し、乾燥密度との関係を表わしたグラフが図-2である。各乾燥密度において飛び出し角度はかなりのバラツキを持っているが、

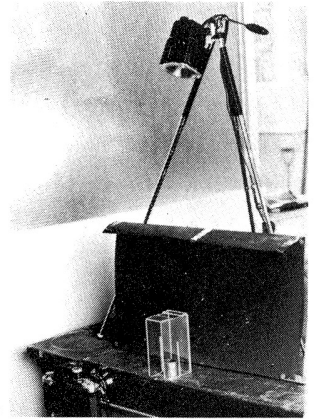


写真-1

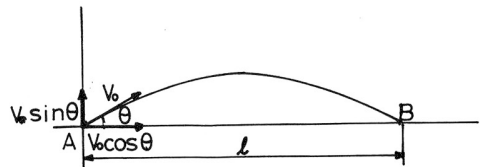


図-1. 飛沫の放物線

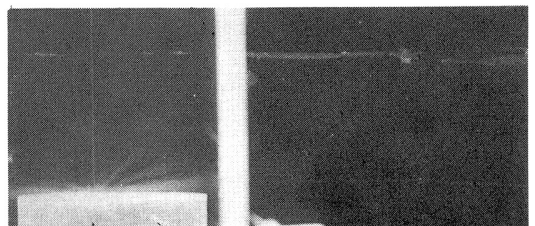


写真-2

ラフの傾向並びにその平均値をみると乾燥密度の増加に伴って飛出し角度は低くなっている。

3-2 乾燥密度 ρ_d と飛出し速度 v の関係

(2)式によって算出した飛出し速度と乾燥密度との関係を示したグラフが図-3である。これより飛沫の飛出し速度は砂の乾燥密度が変化してもほぼ一定の値をとる。つまり締固めの状態には左右されないという結果が得られた。

3-3 乾燥密度 ρ_d と飛沫の重量

乾燥密度 ρ_d に対するそれぞれの飛沫重量が図-4に示してあるが、 $\rho_d = 1.39 \text{ g/cm}^3$ の時に27.4 mgのピークをとりぬがそれ以上では急激に減少している。

3-4 乾燥密度 ρ_d と飛沫エネルギーの関係

実験に用いた水滴の重量は85.2 mgであり、これが砂面に落下する時の速度は5.15 m/sなので11,300 ergのエネルギーを持っている。飛沫の飛出し速度は v にかかわらずほぼ一定なので、飛沫のエネルギーを表わすグラフは飛沫の重量と同じ様相を示す。図-5は落下水滴の持つエネルギー E_d と飛沫のエネルギー E_s の割合を示したもので、飛沫が最大のエネルギーを持つ $\rho_d = 1.39 \text{ g/cm}^3$ の場合は $\rho_d = 1.48 \text{ g/cm}^3$ の場合の2倍以上となっているが、全体からみると水滴の持つエネルギーの2%~6%という僅な量であることが分かった。

4. 結 論

以上の事をまとめると次の3点となる。

- (1) 乾燥密度 ρ_d の増加に伴って飛沫の飛出し角度は小さくなる。
- (2) 飛沫の飛出し速度は乾燥密度 ρ_d に関係なくほぼ一定の値となり、飛沫のエネルギーはその重量に影響される。
- (3) 水滴の持つエネルギーは、その数パーセントのみが飛散のために用いられ、残りの大部分は土壌表面への打圧並びに穿孔外縁部への土粒子の盛り上げに消費されるものと思われる。

5. あとがき

水滴の衝撃エネルギーの土粒子飛散に消費される割合は予想以上に小さく数パーセントに過ぎないことが判明したが、土壌侵食におけるエネルギー消費のメカニズムを解明するためには、本実験で行なった飛散エネルギーの解析の他に、穿孔外縁部への盛り上げに消費されるエネルギー等を解明する必要があるが、これらの点を明らかにするための実験も行なっている。

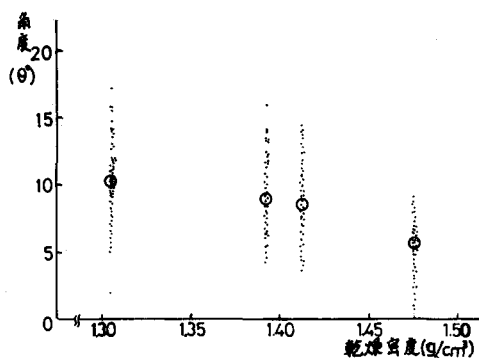


図-2. 乾燥密度～飛出し角度

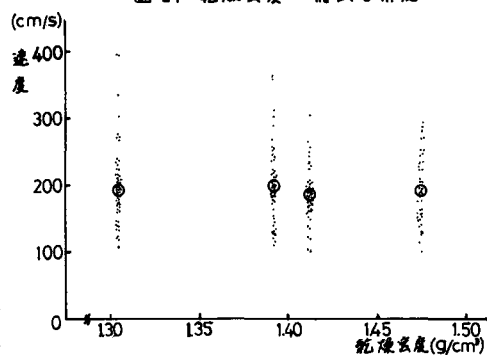


図-3. 乾燥密度～飛出し速度

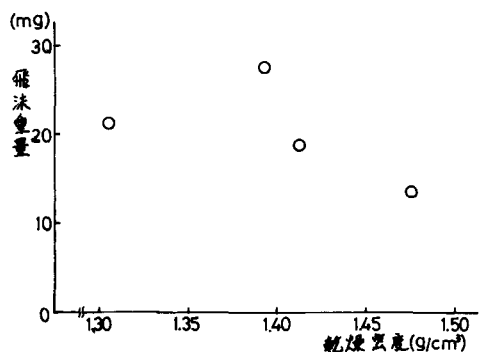


図-4. 乾燥密度～飛沫重量

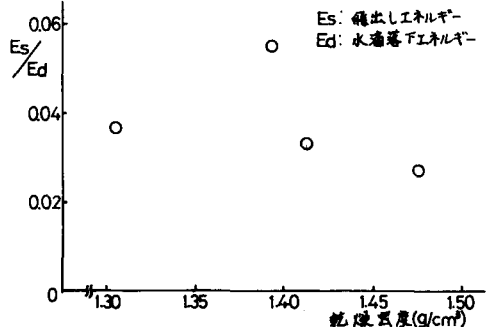


図-5. 乾燥密度～エネルギー比 E_s/E_d