

京都大学工学部 正 員 村上 正吾
 建設省 正 員 奥田 晃久
 京都大学大学院 学生員 新橋 秀樹

1. はじめに

本報告では、ある雨量強度に対して出現する裸地斜面の粗粒化状況が、その後の土砂流出量に及ぼす影響が大きいとの観点から、その影響因子として混合砂の粒度分布(幾何標準偏差 σ_g で代表)と斜面勾配の影響の検討のため人工降雨装置を用いた室内基礎実験を行うとともに、粗粒化現象と粒径別流砂量等についての数値シミュレーションを行った。

2. 実験概要

実験は、図1の様な実験装置を用いて行った。水路は長さ1.8(m)、幅0.3(m)の可変勾配水路である。実験時間はリルの形成がほとんど認められない程度の時間15分とした。下流端に採砂箱を設け、粒径別流砂量を測定するとともに降雨直後の表面の個数分布を求めた。また表面個数の計測には、接写レンズを装着したカメラを用いた。実験条件は降雨強度 $r=255(\text{mm/hr})$ 、 $\sigma_g=1.5$ 、3.0、斜面勾配 $i_b=0.05$ 、0.087、中央粒径 $d_{50}=0.0875(\text{cm})$ で行った。

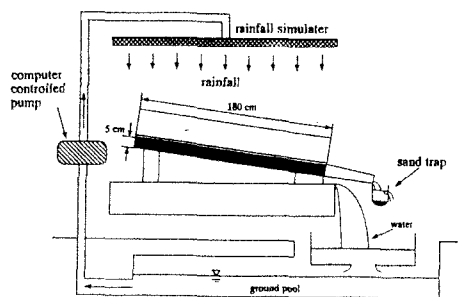


図1 実験水路

3. 数値計算について

非平衡流砂量式は、河床表層に占める粒径 d_i の砂粒の体積含有率を p_i 、そのクラスのpick-up rateを p_{si} 、そのstep lengthの確率密度関数を $f_{xi}(\xi)$ とすると

$$q_{Bi}(x) = \frac{A_3 d_i}{A_2} \int_0^x p_i(x-x') \cdot p_{si}(x-x') \int_{x-x'}^{\infty} f_{xi}(\xi) d\xi dx' \quad \dots (1)$$

ここで A_2 、 A_3 ：砂粒の2、3次元の形状係数である。またpick-up rate p_{si} は $p_{si}=p_{si}+p_{mi}$ と仮定した。 p_{si} ：流れによるpick-up rate(中川・辻本の粒径別pick-up rate推定式)、 p_{mi} ：雨滴衝撃によるpick-up rate)で、それぞれ次式であたえられる^{1,2)}。

$p_{si} \equiv p_{sf} \sqrt{d_i / \{(\sigma/\rho-1)g\}} = F_0 \tau_{ci} \{1 - (k_2 \tau_{ci} / \tau_{cm})\}^3$; $\tau_{ci} / \tau_{cm} = (d_i / d_m)^{-1} \dots (2)$ ここで、 τ_{ci} ：粒径別の無次元掃流力、 τ_{ci} 、 τ_{cm} ：粒径 d_i 及び平均粒径 d_m の砂の無次元限界掃流力($\tau_{cm}=0.05$)、 F_0 、 k_2 ：実験定数で粗砂の場合、 $F_0=0.03$ 、 $k_2=0.7$ である。 $p_{mi} = 1/7200 \cdot r / \sqrt{(\sigma/\rho-1)gd_i} \cdot (1-h_i/3)^4 \dots (3)$ 、また $h_i \equiv h/H_{max}$ で H_{max} は雨滴衝突時に形成される空気泡の径である。本検討では、表層、交換層、元河床の3層を考え、交換層と元河床の間には平野³⁾による粒径別連続式を若干変形した次式を適用する。

$$\theta_z \frac{\partial p_i}{\partial t} = A_1 d_i p_i (p_{di} - p_{si}) - A_1 p_{i0} \sum_{i=1}^N d_i (p_{di} - p_{si}) \quad \dots (4)$$

ここで $\theta_z=3d_{max}$ である。

4. 実験結果と計算結果

図2より σ_g が1.5では降雨開始直後(明確な表面流が形成される前)に雨滴衝撃によって、表面が粗粒化する現象が確認された。 σ_g が3.0では顕著な変化は確認されなかった。これは、広い粒度分布を持つ方が粗砂どうしの間隔が大きく、細粒子が形成する空隙が小さいため、表層粒子が第2層へ落ちにくいと考えられる。この現象は、その後の粗粒化現象を支配し、数値計算の初期条件を与えるという意味で重要と考えられる。

粒径別流砂量 q_{Bi} 及び表面個数分布に関する実験結果と計算結果は、図3に示す様に流砂量に関して、

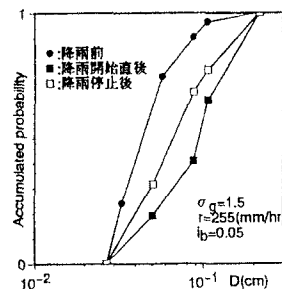


図2 表面砂粒個数分布

Shogo MURAKAMI, Akihisa OKUDA, Hideki SHINBASHI

計算値は実験値の傾向を説明している。

σ_g が小さいときは、降雨開始直後の粗粒化の影響が実験、数値計算ともに見られるものの、 σ_g が3.0ではその影響は見られず実験、数値計算ともに実験時間内ではほぼ一定の値をとっている点に粒度分布の広がりが見られる。これは、本実験で用いた粒径の範囲では、雨滴によるpick-up rate p_{wi} が粒径にあまり影響を受けないために、表層の状態に流砂量が左右されるものと思われる。今回は面状侵食を対象とし、リルが発生すると同時に実験を中止したので、斜面勾配が $i_b=0.087$ の時は計測時間が短くなったが、その範囲では斜面勾配の流砂量に関する効果は、実験・数値計算ともに量の増加以外は得られずほぼ一定の値をとった。

図4に表面個数の流下方向変化を示す。

実験結果と計算結果を比較すると、 σ_g が3.0の場合は良好な結果が得られたが、 σ_g が1.5の時は数値計算結果は実験結果より細粒化する傾向になった。これは先ほども述べた雨滴衝撃によるふるい分け作用が降雨中にも生じ、結果として計算結果より実験結果の方が粗粒化したと思われる。これは粒径別流砂量の実験結果で最も小さい粒径の流砂量が計算値よりかなり小さい傾向を示していることから理解できる。

5. 結び

本検討では、混合砂における粗粒化現象の実験値と雨滴衝撃の影響を加味したモデルの計算値を比較することにより、定性的にそれを説明できることがわかった。さらに正確なモデル構築のため、降雨衝撃によるふるい分け作用のモデル化の必要性であることを確認した。

参考文献

1)中川・辻本：移動床流れの水理、1987.、2)村上・辻本・中川・K.S.Makhanu：第40 回水工学論文集、1996.、3)平野：、土木学会論文集、第195号、pp.55-65、1971.

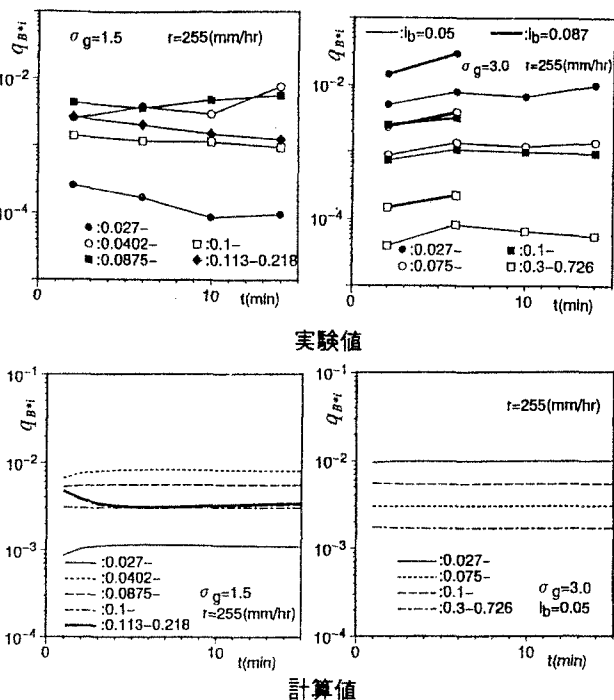


図3 粒径別流砂量

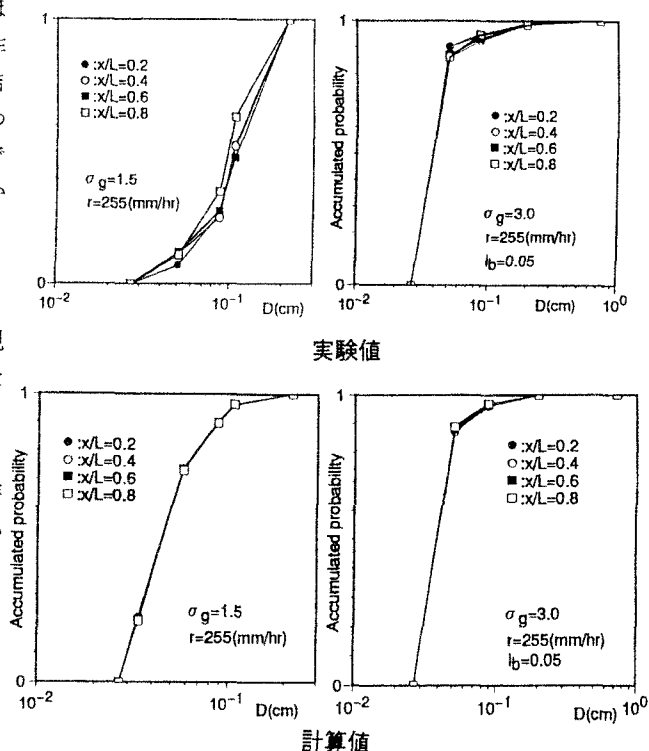


図4 表面個数の流下方向変化