

第II部門 圃場域における土壌流出モデルの開発

京都大学工学部	学生員	○	水越悠文
京都大学大学院工学研究科	正会員		市川 温
京都大学大学院工学研究科	正会員		堀 智晴
京都大学大学院工学研究科	正会員		椎葉充晴

1 はじめに 雨水による土壌浸食は世界各地で発生しており、深刻な環境問題を引き起こしている。これら土壌流出を防止、軽減するためには、その物理過程に基づく数値計算モデルを構成し、様々な降水に対するシミュレーションを実施して土壌流出を予測することが必要となる。しかし、土壌流出量は対象とする場所や周辺環境により大きく異なってくると考えられるため、土壌流出の正確なシミュレーションを行うには、対象となる領域の条件に応じた土壌流出モデルを開発する必要がある。本研究では、計算対象を圃場域とし、雨水挙動の物理過程を詳細に考慮した雨水流動モデルをベースとして、圃場域における土壌流出モデルを開発することを目的とする。具体的には、地表流モデルと地中流モデルを結合した雨水流動モデルに、土砂移動現象のモデルを組み込み、土壌の浸食及び流出を計算する土壌流出モデルを開発する。

2 土壌流出モデルの構成

2.1 雨水流動モデルの概要 本研究で構築する土壌流出モデルは、藤原^[1]の作成した、圃場における雨水流出過程を表すモデルに、土砂移動現象のモデルを付加することで構成される。

(1) 地表流モデル

地表流モデルは、連続式と運動量式を基に地表面における雨水の挙動を平面二次元流として計算している。地表面を格子状に区切り、各格子ごとの流量、水深を数値解析により求める。

(2) 地中流モデル

地中流モデルは、土中水の挙動を表す Richards 式に修正 Picard 法を適用し、離散化して数値計算する。また地中における水の横方向の動きは縦方向に比べて非常に鈍い。よって本モデルでは水の動きを鉛直一次元方向に限り、地表流との境界である地表から浸

透した雨水は鉛直方向にのみ伝播していくものとして考える。

2.2 土砂移動モデルの構築 土砂移動現象の基礎式として、下記の連続式を用いる。

$$\frac{\partial(Ch)}{\partial t} + \frac{\partial(CM)}{\partial x} + \frac{\partial(CN)}{\partial y} = e \quad (1)$$

h : 水深 [m]、 M, N : x, y 方向の流量フラックス、 C : 表面流中の浮遊土砂濃度 [kg/m^3]、 e : 単位時間、単位面積あたりに浸食される微細粒子(浸食量) [$\text{kg}/\text{m}^2/\text{sec}$] を表している。この式における流量及び水深は地表流モデルより求められる。一方、単位面積あたりの浸食量 e は、以下の式で表される^[2]。

$$e = \rho_s E (1 - \lambda_0) p_f \quad (2)$$

ここで ρ_s : 土(微細粒子)の密度 [kg/m^3]、 E : 浸食速度 [m/sec]、 λ_0 : 空隙率 [-]、 p_f : 微細粒子の重量混合比 [-] である。浸食速度 E は掃流力が大きい範囲では摩擦速度 u_* に比例するが^[3]、今回の研究では、表面流が発生すれば直ちに掃流力が十分に大きくなると考え、 E/u_* を定数として計算することとする。

また、地盤高 z [m] の変化量は、 $e, \rho_s, \lambda_0, p_f$ を用いて、

$$\frac{dz}{dt} = -E = -\frac{e}{\rho_s(1 - \lambda_0)p_f} \quad (3)$$

と表される。

3 土壌流出モデルの適用

3.1 適用条件 適用する領域は縦横 5m の圃場域とし、領域の一端からのみ雨水が流出して、他端においては雨水の流入、流出はないものとする。圃場の地形は図 1(CASE1)、図 3(CASE2) に示される 2 種類を用意し、起伏の数を変化させて土壌流出量の変化を調べる。流出端は図の $y = 0$ の辺である。

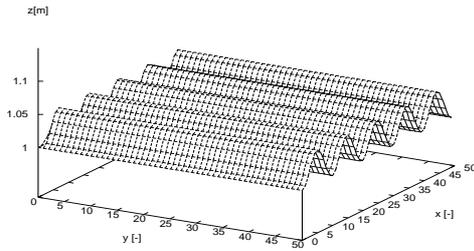


図 1 CASE1 の地形

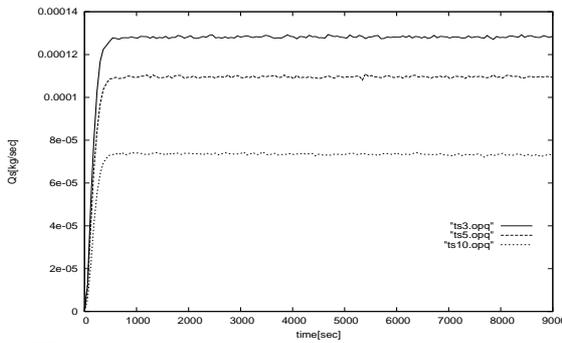


図 2 CASE1 単位時間あたりの土壌流出量

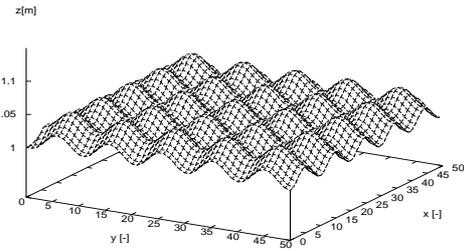


図 3 CASE2 の地形

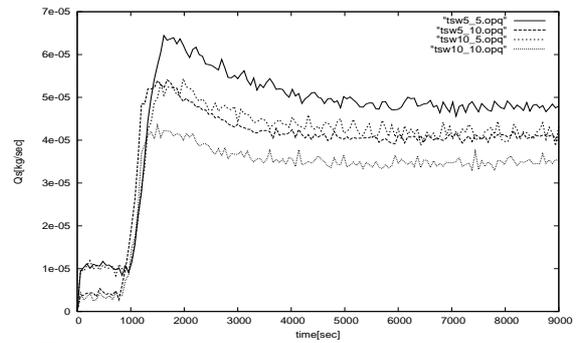


図 4 CASE2 単位時間あたりの土壌流出量

3.2 適用結果

(1) CASE1 の結果

CASE1 において起伏の数を 3,5,10 個として土壌流出量を計算した結果が図 2 で、起伏の数が少ないほど土壌流出量は大きくなった。また浸食された箇所を見てみると、谷部分の流出端に近い部分で最も浸食が大きく、山の頂上付近ではほとんど浸食が見られなかった。

(2) CASE2 の結果

CASE2 において x 方向、 y 方向の起伏の数を 5 個あるいは 10 個として、それらを組み合わせて 4 通りのパターンを計算する。その結果が図 4 で、CASE1 の場合と同じく起伏の数が少ないほど土壌流出量が大きくなった。また全般に CASE1 よりも土壌流出量は小さく、グラフの振幅が大きい。浸食された箇所は流出端に近い部分と山の側面部で、窪地部分や山の頂上では浸食がほとんど見られなかった。

4 まとめ 本研究では、雨水流動モデルに土砂移動現象をモデル化し組み込むことにより土壌流出モデルを作成した。そして作成した土壌流出モデルの仮想領域への適用し、起伏の間隔を変化させて雨水及び土壌の流出量と地盤の浸食量を計算した。それにより起伏が緩やかな斜面の方が土壌流出量が大きくなるという結果が得られた。また流出端に近い部分や地盤の斜面部分に浸食が多く見られた。

本研究の計算結果の問題点としては、地表流において斜面が急勾配な場合、流量を計算する手段として段落ち式^[4]を用いているが、この段落ち式が適用される斜面が非常に多かったことが挙げられる。そのため、斜面の緩急が土壌流出量にあまり寄与していないのではないかという懸念がある。この問題の対策としては、地表面の計算格子幅をより小さくすることや、急斜面には段落ち式の代りに別の式を用いることが有効と考えられる。またシミュレーションの結果のみではモデルの妥当性を判断するのは困難であるので、実際に実験を行う等によりデータを入力し、本モデルにより計算される値と比較、検討する必要があるといえる。

参考文献

- [1] 藤原 一樹：平面二次元地表流モデルと飽和不飽和地中流モデルの結合, 京都大学大学院地球環境学舎修士論文, 2004.
- [2] 芦田 和男、江頭 進治、金屋 敷 忠儀：斜面侵食による濁度物質の生産、流出機構に関する研究, 第 24 回水理講演会論文集, pp.135-141, 1980.
- [3] 芦田 和男、田中 健二：粘土分を含有する砂れき床の侵食と流砂機構に関する研究, 京都大学防災研究所年報, 第 17 号, B, pp.571-584, 1974.
- [4] 川池 健司：都市における氾濫解析法とその耐水性評価への応用に関する研究, 京都大学学位論文, pp.11-12, 2001.