

京都大学大学院 学生員 ○ 藤原一樹
 京都大学大学院 正員 市川 温
 京都大学大学院 正員 椎葉充晴

1 はじめに 沖縄地方では戦後から赤土流出問題が深刻化し、沖縄周辺海域の珊瑚礁等の水域生態系への悪影響、水質汚濁などの問題が発生している。そこで本研究では赤土流出モデルを構築し赤土流出問題の解決に貢献することを目指す。

赤土流出は流出形態に大きく依存する。筆者ら[1]は圃場容水量を考慮した表面流・中間流統合型 kinematic wave モデルを開発しているが、この流出モデルでは、基岩盤の上に透水性の高い表土層のつた地質構造を想定している。対象とする沖縄地方は、表土層の透水性が非常に小さいため、流出モデルが適用可能かは明らかではない。そこで、まず本流出モデルの沖縄地方への適用性を検証し、次にその流出モデルを用いて赤土流出モデルを構築した。

2 流出モデルの適用性に関する検討

2.1 流出モデル 本流出モデルは対象とする流域の山腹斜面を小斜面（以下では斜面素片と呼ぶ）の集合体として表現し地形データを作成する。次に各斜面素片に kinematic wave モデルを適用して、流域地形構造に即して上流側の斜面素片から下流側の斜面素片へと順に流出計算を行なうモデルである。ただし本モデルでは斜面流は斜面素片に一樣に流れるものとしている。計算条件の設定としては、山腹斜面の初期状態量、パラメタ、及び降雨データが必要となる。

2.2 大保川流域への適用と考察 本流出モデルを沖縄県北部に位置する大保川に適用した。適用したのは、1997.8.16~18の3日間である。パラメタについては文献[2]を参考にして、透水係数 $3.9 \times 10^{-5} [\text{m/sec}]$ 、空隙率 0.5、圃場容水量 0.4 とした。マンニングの粗度係数については参考となる値が得られなかったため、計算結果と観測値が比較的良好に一致する値を試行錯誤的に探し、0.6 とした。計算結果を図1に示す。

図1から、観測流量と計算結果に若干の差は認められるものの、激しい降雨の後すぐに流量が大きくな

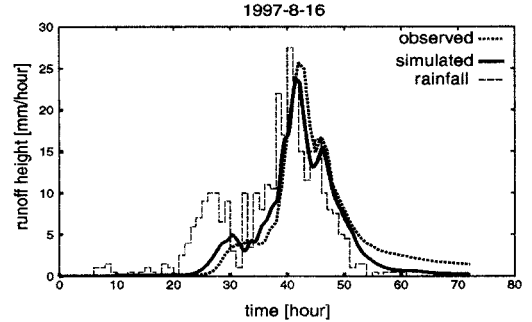


図1 観測流量と計算流量の比較(1997.8.16~18)
 るという沖縄独特の流量変化をよく再現することができ、本流出モデルが沖縄地方の流域にも充分適用可能であることを確認できた。

3 赤土流出モデル

3.1 基礎式 本研究では、芦田ら[3]が提案した侵食速度の概念に基づき赤土流出量を求めるモデルを作成する。基礎式は次のようになる。

$$\frac{\partial(CA)}{\partial t} + \frac{\partial(CQ)}{\partial x} = R_E \quad (1)$$

$$R_E = \rho_s E (1 - \lambda) p S \quad (2)$$

ただし、 C :浮遊土砂濃度 $[\text{kg/m}^3]$ 、 A :表面流の通水断面面積 $[\text{m}^2]$ 、 Q :表面流流量 $[\text{m}^3/\text{s}]$ 、 R_E :単位時間、単位長さ当りの侵食量 $[\text{kg/m/s}]$ 、 ρ_s :土(微細粒子)の密度 $[\text{kg/m}^3]$ 、 E :侵食速度 $[\text{m/s}]$ 、 λ :空隙率[-]、 p :粗粒子の重量混合比[-]、 S :表面流の潤辺 $[\text{m}]$ である。芦田らは、侵食速度 E は、掃流力が大きいとき摩擦速度 u^* を用いて E/u^* が一定としている。また u^* は次のように表せる。

$$u^* = \sqrt{gRI} \simeq \sqrt{ghI} \quad (3)$$

ただし、 g :重力加速度 $[\text{m/s}^2]$ 、 R :表面流の径深 $[\text{m}]$ 、 I :勾配[-]である。

3.2 計算方法 最上流端の斜面素片から流出モデルにより流量を算出し、その流量から表面流流量・通水断面・侵食速度・潤辺を求め、(1),(2)式から浮遊

土砂濃度を求める。斜面素片下流端での流量と浮遊土砂濃度に表面流流量をかけたものを足し合わせ、これらを上流端境界条件として次の斜面素片の赤土流出計算を行なう。これを最下端斜面素片まで順次流出計算を行なう。そして、河道に接する全ての斜面素片からの赤土流出量を足し合わせて、赤土流出量とする。

4 計算結果と考察 赤土流出モデルを、2と同様に1997.8.16～18の3日間、大保川流域に適用した。用いたパラメタは2で得たものと、 ρ_s を2750[kg/m³], E/u^* を 10^{-7} , 5×10^{-8} , 10^{-8} , p を1とした。 ρ_s, p については文献[2]を参考としたが、 E/u^* については値が得られなかったため幾通りも計算し、観測結果と比較的近い値であった3つを表示する。計算結果を図2に示す。

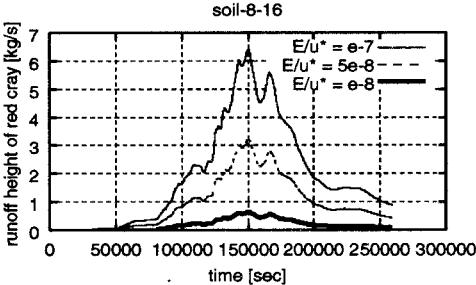


図2 計算結果・赤土流出量(1997.8.16～18)

表1 計算結果

日付	E/u^*	増水時	ピーク時	減水時
8/16	10^{-7}	140	68	150
8/16	5×10^{-8}	70	35	66
8/16	10^{-8}	14	7	12
観測値	-	18	36	52

また表1に浮遊土砂流量の観測値と計算結果を示す。単位は[mg/l]である。浮遊土砂流量は経時的に観測されているわけではなく、主だった出水の増水時、ピーク時、減少時に散発的に計測されているだけであった。そこで計算結果との比較も3時刻で行なった。

表1をみると特に目だって一致しているパターンはない。しかし、パラメタ E/u^* を 10^{-7} から 10^{-8} 以外の値にしてシミュレーション計算をして結果を比較してみると2オーダー以上の違いが認められた。したがって大保川流域における E/u^* の値は 10^{-7} から 10^{-8} の範囲であると考えられる。しかしこの比較は、観測された3時刻が明示されていなく、比較するにあたって正確性に欠けているといえる。

また結果が一致しなかった要因として、赤土流出モデルでは表面流が斜面素片上を一樣に流れるとしている点が考えられる。実際には、赤土流出はガリ(溝)を中心に発生している。したがって、ガリを考慮する必要があるといえる。その他の要因としては、 E/u^* の値が不適切であったと考えられる。本モデルでは表面流が発生すると掃流力が大きいとして E/u^* を一定としているが、表面流流量が小さいときには掃流力も小さいはずである。したがって掃流力が小さいときに E/u^* をどのように表すかということを考慮する必要がある。

5 結論 本研究ではまず、筆者らが開発してきた流出モデルの沖縄地方における適用性を確認した。そして、本流出モデルを基礎として赤土流出モデルを構成した。赤土流出モデルのパラメタである E/u^* の値は 10^{-7} から 10^{-8} の範囲であることがわかった。しかし、浮遊土砂濃度については正確に比較することができなく、結果はどれも目だって一致するものはいなかった。

今後の課題としては、まずモデルでガリを考慮することが考えられる。本モデルでは、表面流は斜面素片を一樣に流れていると考えている。しかし実際には、斜面中にガリが存在しており、ガリとその他の斜面で、侵食速度・通水断面積・表面流流量などが異なっていると考えらる。このような機構をモデルに取り入れていく必要がある。また、侵食速度についても再検討する必要がある。本モデルでは表面流が発生しているときは、掃流力が大きいとして、侵食速度と摩擦速度の比を一定としている。しかし、表面流流量が小さい場合には、掃流力が小さく、侵食速度と摩擦速度の比は変化する。このメカニズムもモデルに取り入れていく必要がある。

参考文献

- [1] 椎葉 充晴・立川 康人・市川 温・堀 智晴・田中 賢治: 圃場容水量・パイプ流を考慮した斜面流出計算モデルの開発, 京大防災年報, 第41号, B-2, pp.229-235, 1998.
- [2] 登川 伸・寺沢 四郎・沖縄県共和農建・農業技術研究所: 土壌の物理性, 第46号, pp2-11, 1982.
- [3] 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.135-151, 1980.