

数値解析に基づく出水時宮良川マングローブ水域の土砂収支特性の把握

東京工業大学大学院理工学研究科国際開発工学専攻 学生員 丸山綾子
東京理科大学理工学部土木工学科 正会員 二瓶泰雄

1. はじめに

熱帯・亜熱帯域の汽水域に分布するマングローブ水域は、様々な生物の生息場となるなど海と河川のバッファー域として重要な役割を果たしている。しかしながら、このような立地条件であるがゆえにマングローブ水域は海と陸の両面からの環境負荷に晒されやすい。特に、陸域環境負荷の代表例である農地からの赤土流出により、氾濫原 (swamp) に赤土が堆積して地盤高さが上昇し、最終的には氾濫原は海水が冠水せずに陸地化し、マングローブ植物が消滅する可能性がある。このためには、マングローブ水域における土砂輸送特性を知ることは必要であるが、赤土流出量が增大する出水時における研究事例は赤松ら¹⁾を除いて少なく、未解明な部分が多い。一方、著者らは赤土汚染が深刻化する石垣島宮良川マングローブ水域において1年以上にわたる土砂輸送量計測を実施しているが²⁾、観測データのみでは土砂動態を詳細に知ることには限界がある。本研究では、観測が行われている宮良川マングローブ水域における出水時の土砂輸送シミュレーションを実施し、底質沈降・巻上げ特性の空間分布やマングローブ水域全体の土砂収支特性を解明することを試みる。

2. 数値シミュレーションの概要

(1) 数値計算モデル

本計算では平面二次元場における流れと土砂輸送量を把握するために、基礎方程式系として水深平均された連続式、NS 方程式、浮遊土砂輸送方程式を用いる。平面座標系としては、山崎・二瓶³⁾が提案する、河道形状を簡易的に記述することが可能な水平 σ 座標系 (s^*, σ_h) を採用する。この場合、水深平均浮遊砂濃度 (SS) C の輸送方程式は、次の通りである。

$$\frac{\partial(HC)}{\partial t} + \frac{1}{1+N} \frac{\partial(HU_s^* C)}{\partial s^*} + \frac{1}{B} \frac{\partial(HU_n^* C)}{\partial \sigma_h} = \frac{1}{1+N} \frac{\partial}{\partial s^*} \left(\frac{A_H H}{1+N} \frac{\partial C}{\partial s^*} \right) + \frac{1}{B^2} \frac{\partial}{\partial \sigma_h} \left(A_H H \frac{\partial C}{\partial \sigma_h} \right) + P_k - D_p \quad (1)$$

ここで、 H は水深、 U_s^* と U_n^* は s^*, σ_h 方向水深平均流速、 B は川幅、 A_H は水平渦動粘性係数、 P_k は底質巻上げ項、 D_p は土砂沈降項である。このうち、底質巻上げ項 P_k は

$$P_k = aU^b \quad (2)$$

ここで a, b は係数である。べき指数 b については一般的な値 ($b=2.0$) とし、 a は観測値と計算値が一致するように与える。

(2) 計算条件

計算領域は図1に示す宮良川マングローブ水域とし、著者らの観測点 (Stn.1 と 3) を含む全長 2.4km とする。この上流端は Stn.1 と一致する。格子数は流下方向 24、横断方向 30 である。計算期間は台風 0515 号により出水イベントが生じた 2005 年 9 月 10 日 5 時から 12 日 9 時までとする。計算領域内の地盤高さに関しては、測量データがないため、便宜的に河道部 (creek) と swamp において -0.4, 0.7m (T.P.基準) と与えた。境界条件としては、上流端の水位と SS について Stn.1 の観測値を、海側の下流端では Stn.3 における水位観測値を与え、その他の条件については開放条件とする。

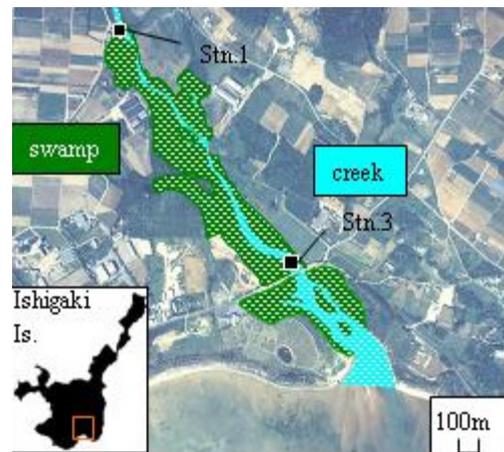


図1 計算領域

キーワード：マングローブ水域，土砂動態，赤土，水平座標系，出水

連絡先：郵便番号 152-8552 東京都目黒区大岡山 2-12-1 I4-9 TEL :03-5734-2768 FAX:03-5734-2768

3. 計算結果

(1) 計算結果の再現性

本計算モデルの妥当性を確認するために、Stn.3 における流量と累積 SS フラックスの時間変化について、計算結果と観測結果を比較した。ここでは、観測値を参考にして、 $a=2.5\text{g/m}^2/\text{s}$ としている。その結果、流量や累積 SS フラックスの計算結果は観測値と概ね一致しており、本モデルや係数 a の設定の妥当性が確認された。

(2) 流速及び SS の空間変化

出水時における流動・SS 濃度分布の空間変化を見るために、H.W.L. (9月11日2時)における流速ベクトルと SS コントアのスナップショットを図2に示す。これより、creek の流速レベルは、植生抵抗が存在する swamp よりも1オーダー程度大きく、また creek の幅と対応して creek の流速が変化している。さらに、creek の蛇行の影響を受けて、外岸向きの流向が卓越する傾向が見られる。SS 値についても creek の計算値の方が swamp での値より大きく、流速が遅い swamp において土砂沈降が顕著となっている様子が分かる。また、creek 内においても SS と流速レベルの大小は類似した傾向となっており、SS の動態に対して局所的な底質巻上げが大きな寄与を果たしていることが伺える。

(3) 出水時全体の土砂収支特性と土砂沈降量分布

出水時全体における土砂収支を図3に示す。ここでは、計算領域全体ではなく、Stn.1～Stn.3 までの区間における土砂収支を求めた結果である。この土砂輸送フラックスは上流側の流入、下流側での流出、creek における底質巻上げと沈降、swamp における沈降から構成されている。これより、今回の出水時を対象とした計算結果では、土砂流入量は 210t、流出量は 230t であり、流入量と流出量は等しくなく流出量の方が 20t 大きくなっている。また、swamp における土砂沈降量は 64t であり、流入量の約 3割と大量の土砂が swamp に堆積している。また、creek における正味の巻上げ量(巻上げフラックスから沈降フラックスを差し引いたもの)は 91t であり、これは流入量の約 43%に相当しており、swamp における堆積土砂には上流域で生産された赤土のみならず、creek における堆積土砂も含まれることが示唆され、二瓶・関²⁾と同じ見解が得られた。

Swamp 全体における土砂沈降特性を見るために、土砂沈降量を堆積厚さに換算した結果(空隙率 0.5, 土砂密度 2650kg/m^3)の空間分布を図4に示す。これより、全体的には上流域ほど、また、creek に近いほど土砂堆積厚は大きい。また、下流域では右岸側と左岸側の土砂堆積厚に差が見られるが、これは図2に示す河道部の蛇行に伴う流動特性と密接に関係している。これらの堆積速度は、わずか1降雨イベントで平均 1mm、最大 5mm となっている。マングローブ水域における年堆積速度は一般的に 0.5～1.5cm 前後⁴⁾であることを考慮すると、宮良川マングローブ水域の swamp における堆積速度は大きく、陸地化の進行の一端が裏付けられた。

参考文献

- 1) 赤松ら：土木学会論文集，No.768/ -68，pp.179-191，2004。
- 2) 二瓶・関：海岸工学論文集，Vol.53，pp.1086-1090，2006。
- 3) 山崎・二瓶：土木学会論文集，No.803/ -73，pp.69-80，2005。
- 4) Saadら：海岸工学論文集，Vol.45，pp.1246-1250，1998。

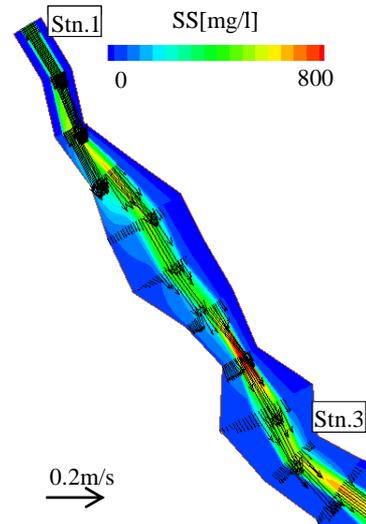


図2 流速ベクトルと SS コントアの瞬間像 (9月11日2時)

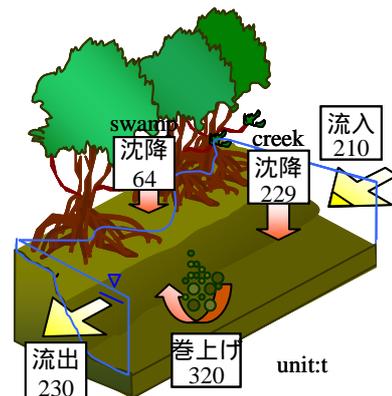


図3 マングローブ水域全体における土砂収支特性 (Stn.1～Stn.3 までの区間)

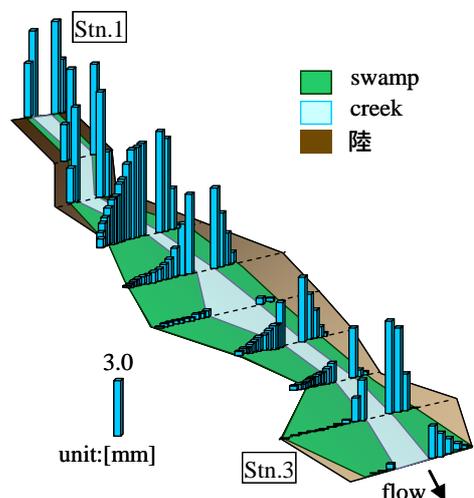


図4 全期間における土砂堆積厚 (swamp)