

水底斜面上を流下する土砂混濁流の自己加速条件と斜面浸食機構

早稲田大学理工学部 正会員 関根 正人
五洋建設株式会社 正会員 今林 敬晶
埼玉県 正会員 加藤 正良

1. はじめに

本研究では、大陸斜面に見られる海底渓谷の形成要因のひとつとされる「土砂混濁流(Turbidity Current)」が、水底斜面上で自己加速し、斜面を浸食していく機構を明らかにすることを目的として、数値実験を行った。

2. 解析の概要

本研究では、平面二次元の場合における土砂混濁流の流動とそれに伴う斜面浸食ならびに渓谷の形成過程を数値解析する。ここでは、基礎方程式である混濁流の連続式、運動方程式および土砂濃度の拡散方程式をそれぞれ流れの層厚にわたって積分した浅水方程式と、斜面上の土砂の連続式とを差分法により離散化して解くことにした。なお、本解析は大陸斜面上の海底渓谷の形成機構についての理解を深めることを視野に入れて行っているが、解析の簡略化のため、流れの上方に存在する大きな水深の海水を淡水に置き換えているほか、一様勾配の斜面を対象とし、その表層 h を被う構成材料として均一粒径のシルトを想定するなどの近似を行っている。支配方程式を以下に示す。

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial hu}{\partial x} + \frac{\partial hv}{\partial y} = e_w \sqrt{u^2 + v^2} \quad (1)$$

$$\frac{\partial hu}{\partial t} + \frac{\partial hu^2}{\partial x} + \frac{\partial huv}{\partial y} = -\frac{1}{2} Rg \frac{\partial ch^2}{\partial x} + Rchg \left(-\frac{\partial \eta}{\partial x} - \frac{\partial h}{\partial x} \right) - C_f \sqrt{u^2 + v^2} u + v_t \left(\frac{\partial^2 hu}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 hu}{\partial y^2} \right) \quad (2)$$

$$\frac{\partial hv}{\partial t} + \frac{\partial huv}{\partial x} + \frac{\partial hv^2}{\partial y} = -\frac{1}{2} Rg \frac{\partial ch^2}{\partial y} + Rchg \left(-\frac{\partial \eta}{\partial y} - \frac{\partial h}{\partial y} \right) - C_f \sqrt{u^2 + v^2} v + v_t \left(\frac{\partial^2 hv}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 hv}{\partial y^2} \right) \quad (3)$$

$$\frac{\partial ch}{\partial t} + \frac{\partial chu}{\partial x} + \frac{\partial chv}{\partial y} = w_0 (E_s - c_b) + \varepsilon \left(\frac{\partial^2 ch}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 ch}{\partial y^2} \right) \quad (4)$$

$$(1 - \lambda) \frac{\partial \eta}{\partial t} = w_0 (c_b - E_s) \quad (5)$$

ここに、 R は土砂の水中比重を、 e_w は水の連行係数¹⁾を、 E_s は土砂の斜面からの巻上げ速度を沈降速度 w_0 で除した無次元量²⁾を、 c_b は底面における土砂の体積濃度 c の値を表す。主な計算条件として、斜面勾配を 7/100、粒径を 2^{-7} mm とした。また、流れ場に関しては、斜面上流端における摩擦速度と沈降速度との比 u_* / w_0 をパラメータとして取り扱い、上流端では、流れが加速も減速もすることがなく、土砂が堆積も浸食も起こさない中立の状態にある流れであるとし、このような流れが斜面上端中央から半幅 1 m にわたって生じているものとした。

3. 結果と考察

図 1 には、 u_* / w_0 が 500, 600 および 700 における計算結果をまとめて示した。ここでは、流れが発生してから 1500 および 3000 秒後の斜面高 η の初期値からの変動量のコンター図と混濁流の主流速 u 、濃度 c 、界面高さ $\eta + h$ 、Richardson 数 R_i ならびに斜面変動速度 $w_0 (E_s - c_b)$ の流下方向変化とを示してある。本解析により、(1) u_* / w_0 が 500 以下では土砂はすべて堆積し、流れが消滅すること、(2) 500 以上 600 未満では、下流に向かって主流速 u が減少するため、わずかながら浸食が生じるものの斜面全体に大きな変化は見られない、(3) 600 を越えると自己加速する流れが発達し、結果として斜面が大規模に浸食され、その範囲が流下方向に拡大すること、などが理解された。

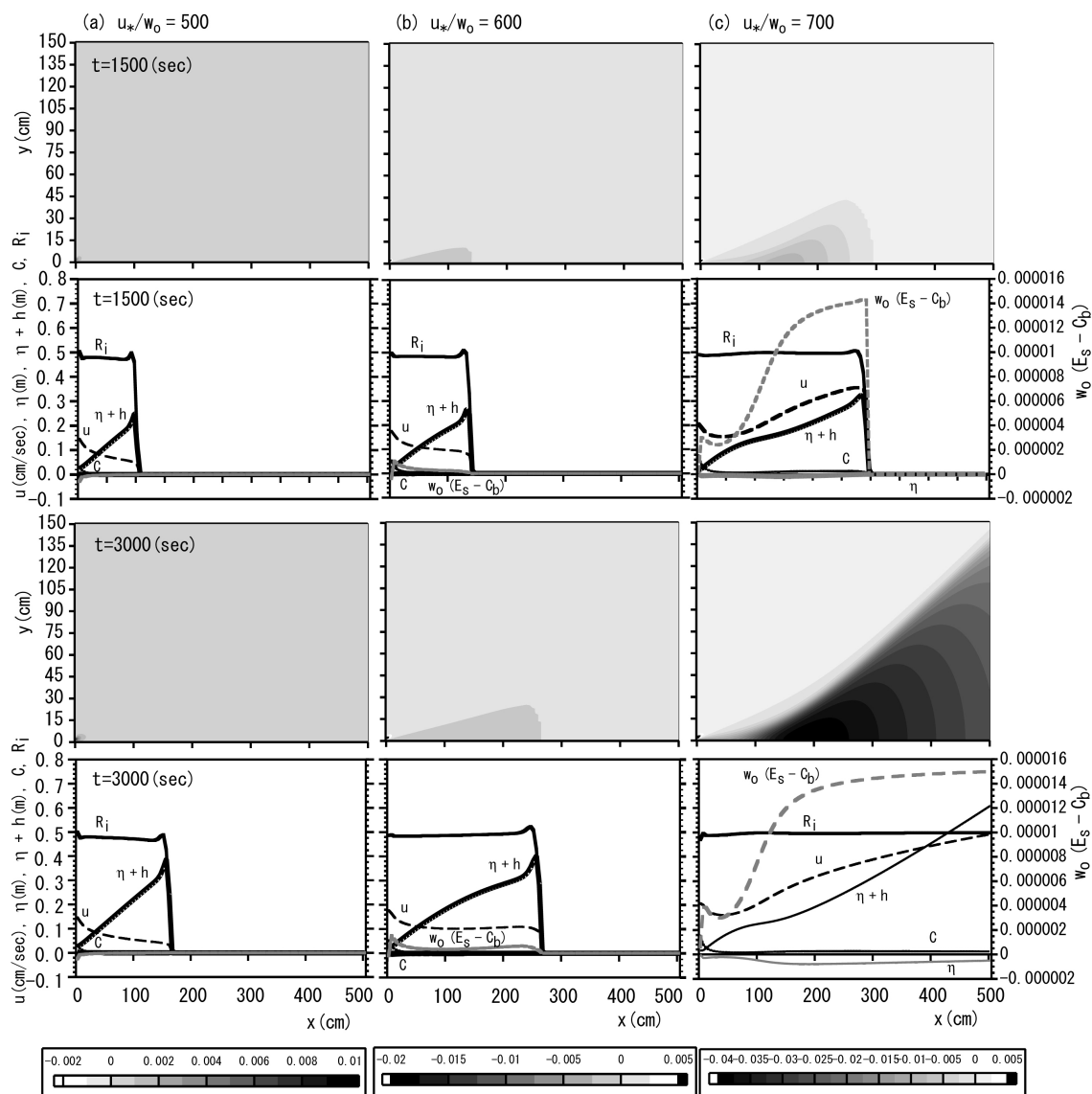


図 1 斜面変動量のコンター図ならびに土砂混濁流に関わる諸量の流下方向変化

また、斜面上に渓谷状の流路が刻まれるためには、流れが流下方向に自己加速し、斜面からの土砂の活発な巻き上げによって流れ自体の密度が増大していくことが必要であることがわかる。参考までに、粒径を同じシルトの範囲内で2倍の 2^{-6} mmとして同様の検討を行ったところ、前述の限界値は150～200であることがわかった。このことは限界摩擦速度が粒径によらずに一定となる可能性を示唆しており、これについては今後さらに検討を要する。

4. 結論

本研究では、数値解析モデルを用いて水底斜面上に自己加速する土砂混濁流が生じる条件について検討した。今後に残された課題は多く、たとえば、どのようなメカニズムによって上記の条件を満足する上流端での流れが引き起こされるのかについても考えていかなければならない。これを含めて、今後も検討していく予定である。

参考文献

- 1) Parker, G. and Fukushima, Y., and Pantin, H. M. : Self-accelerating turbidity currents, *Journal of Fluid Mechanics*, 171, 145-481, 1986.
- 2) Garcia, H. M. : Depositing and eroding sediment-driven flows: turbidity current, Ph.D Thesis, University of Minnesota, 1989.
- 3) 関根・長瀬: 海底渓谷の形成要因としての Turbidity Current に関する基礎的研究, 海岸工学論文集, 第43巻, 1041-1045, 1996.