

II-288

海底渓谷の形成要因としての Turbidity Current に関する一考察

早稲田大学理工学部 正会員 関根 正人
早稲田大学大学院 学生会員 長瀬 智彦

1. はじめに

海底に存在する様々な地形の中のひとつとして海底渓谷があるが、その成因については従来より数多くの説が提案されてはいるものの、未だはっきりとした結論は得られていない。これらの説の一つに、Turbidity Current による浸食作用によって海底渓谷が形成される、というものがある。本研究は、海底渓谷の成因としての Turbidity Current に注目し、数値解析により、その流れの特性に関する一考察を加えるとともに、これによる海底渓谷の形成機構の一端を明らかにすることを目的としている。

2. 数値解析の概要

本研究では、何らかの原因で大陸斜面に生じた高濃度の浮遊土砂が流下することにより、Turbidity Current が発生するものとして現象をモデル化した。なお、その発生原因については別途考察するものとし、ここでは取り扱わない。現象を支配する方程式は、水の運動方程式、連続方程式、および浮流砂の拡散方程式であり、これを浅水流近似することで変形したものをを用いることにした。また、流れの周囲を取り巻く流体を、解析の簡略化のため淡水として取り扱うこととし、海底形状の変化に対して流れが直ちに追従できるとした疑似定常の仮定を用いている。本研究ではまず、Turbidity Current の基本的な性質を把握するため、均一粒径土砂、一様勾配海底を対象とした1次元定常状態を想定した数値解析を行った。ここで使用した方程式を、式(1), (2), (3)に示す。

$$\frac{\partial}{\partial x}(\delta U') \int_0^1 F(\zeta) d\zeta = -Rg\delta C \frac{\partial \eta}{\partial x} - Rg \frac{\partial}{\partial x}(\delta' C) \int_0^1 G(\zeta) d\zeta - CU' \quad (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial x}(CU\delta) \int_0^1 F(\zeta) G(\zeta) d\zeta = Ws(\hat{E}_s - C_b) \quad (2)$$

$$\frac{\partial(\delta U)}{\partial x} = e_w U \quad (3)$$

ここに、 δ は流れの層厚、 U, C は流れの層厚方向の平均流速、濃度である。 g は重力加速度、 η は海底高であり、 R は土砂の水中比重である。 $\hat{E}_s$ は海底からの土砂粒子の無次元連行速度を表す。また e_w は、静水とTurbidity Current との境界面における流れへ水の連行を表す連行係数であり、 C_b は基準点濃度である。本研究では式(1), (2), (3)を4次のRUNGE-KUTTA法を用いて解いた。

3. 自己発達する Turbidity Current の発生条件

本研究では、海底が浸食を受け、海底渓谷が形成されるためには、海底に生じる Turbidity Current が自己発達しつつ加速していく必要があると考える。そこで、ここでは流れが自己発達の成長していく条件について検討する。具体的には、上流端での流れの厚さ δ_0 、流速 U_0 、および濃度 C_0 を、表1に示すように設定し、その条件下で土砂粒径 D および海底勾配 I をそれぞれ変化させて、流れが自己加速的に発達するか否かの条件を探った。検討結果を図1に示すが、この図より次のことがわかる。(1) δ_0 、 U_0 および C_0 のある値に対して、流れが自己加速的に発達する条件を満たす土砂粒径には上限値が、また海底勾配には下限値がそれぞれ存在する。(2)Case 2と5との比較、およびCase 3と4との比較により、濃度の違いが及ぼす影響は小さい。(3)Case 4と5との比較から、上流端流速の違いが及ぼす影響は大きく、粒径を一定として上流端流速を大きくした場合には、より小さい勾配でも流れが生じるようになり、勾配を一定として上流端流速を大きくした場合には、より大きい粒径でも流れが生じるようになることがわかる。ただし、これらは本研究で対象とした範囲内の定性的な考察であり、より広範かつ一般的な検討を行う必要があると考えられる。

4. Turbidity Current の特性

自己発達しつつ加速していく条件下における、Turbidity Current の流下特性について検討する。解析結果を

表1 計算条件

	δ_0 [m]	U_0 [m/sec]	C_0
Case1	0.03	0.117	2.84E-03
Case2	0.03	0.545	6.12E-02
Case3	0.03	0.253	1.32E-02
Case4	0.03	0.253	1.32E-03
Case5	0.03	0.545	1.32E-03

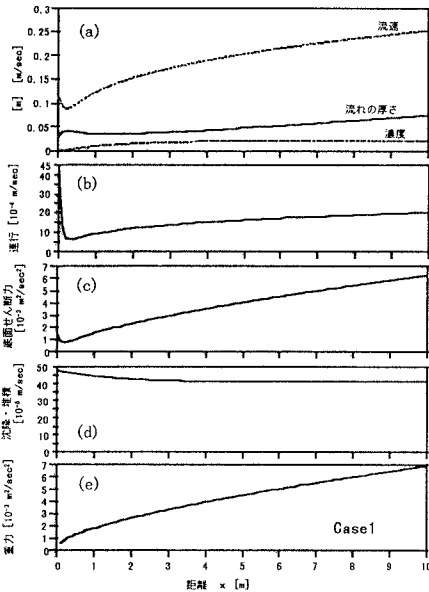


図2 Turbidity Currentの流下特性

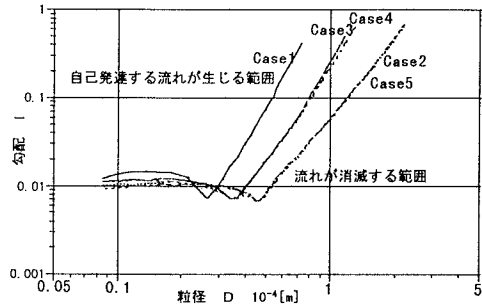


図1 自己発達する流れの発生条件

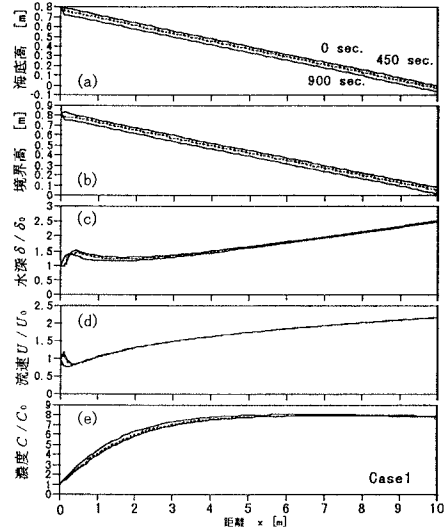


図3 海底変動計算

図2に示す。この図から、次のことがわかる。(1)静水からの連行量（式(3) 右辺）が増加し、それに伴い流れの層厚が増加する。(2)流速の増加に伴い、せん断力（式(1) 右辺 第3項）も増加することから海底の巻き上げ（式(2) 右辺）が生じ、濃度が上昇する。(3)これにより周囲の静水との密度差が大きくなることから、流れに作用する重力の影響（式(1) 右辺 第1,2項）がより大きくなり、流れは加速される。以上のプロセスが連続することにより、流れは流下するとともに自己加速し、発達していくものと考えられる。

5. 海底変動計算

最後に、海底面における土砂の体積保存の関係を表す式(4)をあわせて解くことで海底変動計算を行い、Turbidity Currentによる海底渓谷の形成に関わる1次元シミュレーションを試みた。その結果を図3に示す。この図より、Turbidity Currentが時間とともに海底を浸食していく様子が確認できる。また、一度生じた流れがある時間経過した後も消滅することなく、自己発達を続けながら流下していくことがわかる。

$$(1-\lambda) \frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial q_s}{\partial x} = 0 \quad q_s = \delta U C \quad (4)$$

6. おわりに

本研究では一次元定常状態における定性的な現象の把握を行った。今後は、Turbidity Currentの特性および海底渓谷形成機構に関するより詳細な特性を把握するため、解析モデルの精度向上および二次元モデルへの拡張を行うほか、水槽実験を行う予定である。

参考文献

- 1) 星野通平 岩淵義郎 青木斌：海洋科学基礎講座8 深海地質学，東海大学出版会，1970。
- 2) Garcia, Marcelo Horacio：Depositing and eroding sediment-driven flows, ph.D Thesis, Univ. of Minnesota, 1989。
- 3) Choi, Sung-uk and Garcia, Marcelo H.：Modeling of one-dimensional turbidity currents with a dissipative-Galerkin finite element method, *Journal of Hydraulic Research*, Vol.33, No.5, pp.623-648, 1995。