

II - 72

土石流による津波発生の数値モデルの提案

東北大学大学院 学生員 ○松本智裕

東北大学工学部 正 員 今村文彦

東北大学工学部 正 員 首藤伸夫

1. はじめに

地滑り等による土石流が、海域に突入することにより発生する津波は、頻度は低いものの歴史的にみても大きな被害をもたらしている。本研究では、二層流の支配方程式を用いて、従来の研究では考慮されなかった海域突入後の土石流の挙動を考慮した数値モデルを提案することを目的としている。ここでは、土石流、特にその先端部については、不確定な点が多くそれをどのように数値計算に取り込んでいくかが、主な問題点と考えられる。

2. 方法

2.1 支配方程式

静水圧分布を仮定すれば海水を上層、土石流を下層とした二層流の支配方程式¹⁾及び変数（図-1 参照）が以下のように与えられる

（連続の式）

$$\text{上層} \quad \frac{\partial M_1}{\partial x} + \frac{\partial(\eta_1 - \eta_2)}{\partial t} = 0 \quad (1)$$

$$\text{下層} \quad \frac{\partial M_2}{\partial x} + \frac{\partial \eta_2}{\partial t} = 0 \quad (2)$$

（運動方程式）

$$\text{上層} \quad \frac{\partial M_1}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{M_1^2}{D_1} \right) + g D_1 \frac{\partial \eta_1}{\partial x} = 0 \quad (3)$$

$$\text{下層} \quad \frac{\partial M_2}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{M_2^2}{D_2} \right) + g D_2 \left\{ \alpha \frac{\partial D_1}{\partial x} + \frac{\partial \eta_2}{\partial x} - \frac{\partial \eta_1}{\partial x} \right\} + BF + FD = 0 \quad (4)$$

※ FD は先端部のみで作用する

ここで、

添字の 1, 2 は上層（海水）・下層（土石流）を示す

BF：底面摩擦 FD：形状抵抗

h：水深 η_i ：静水面からの水位変化量

η_2 ：土石流の厚さ M：流量フラックス

α ：密度比（ $= \rho_1 / \rho_2$ ）

全水深 $D_1 = \eta_1 + h - \eta_2$ $D_2 = \eta_2$

2.2 海域突入前後の取り扱い

全域において二層流方程式を用いて計算するが、陸上では海水が存在しないため土石流が流下してくる時は、土石流のみの一層流として取り扱うこととする。図-2 に示すように海域突入の瞬間においては、①土石流が海水の下に潜り込み、それによって持ち上げられた海水が②の様に右方向に流れ落ちるものとして、この現象を再現する。

2.3 底面摩擦及び先端部での形状抵抗

(1) 底面摩擦

海水との界面摩擦は微小であると仮定し、土石流の底面摩擦のみを式④の BF のように考慮するものとする。定常流の場合には剪断力分布は陸上では、土石流の密度が $\rho_i = c_d \sigma + (1 - c_d) \rho_w$ より

$$BF = g \sin \theta \{ c_d \sigma + (1 - c_d) \rho_w \} \cdot D_2 \quad (5)$$

海域では、海水からの浮力を考慮して

$$BF = g \sin \theta \{ c_d \sigma + (1 - c_d) \rho_w - \rho_1 \} \cdot D_2 \quad (6)$$

で与えられる。ここで、

θ ：斜面の勾配 c_d ：流動中の砂礫濃度

σ ：砂礫の密度 ρ_w ：水の密度

(2) 形状抵抗

海水中で土石流の先端部は、海水からの抵抗を受けて図-3 の様になることが予想される。この時の形状抵抗は一般的に次式²⁾で与えられる値を用いる

$$FD = C_D \frac{1}{2} \rho_1 u^2 \delta_m \quad (7)$$

ここで、

C_D ：抗力係数（ $= 2.0$ ） δ_m ：先端部での最大高さ

u ：土石流先端部の海水に対する相対速度

式⑦の抵抗はごく先端部ではなくある範囲で作用すると考えられる。そこで数値計算においては、形状抵抗を先端部の最大高さ δ_m となる計算メッシュよりも前方のメッシュに与える。各形状抵抗は、土石流の各メッシュの水位差 dd を δ_m で割ったものを FD に乗じて分配する。（図-4 参照）

4. 計算結果

今回は、図-5 の一様勾配・境界土石流厚さ 1 m の 1 次元モデルについて数値計算を行った。計算メッシュは $DT=0.002s$ 、 $DX=0.1m$ とした。

結果は、図-6 に示す。 $t=1.8s$ 時は海域突入直前で陸上を土石流が流下してくる様子を示し、それ以後は、海域突入した土石流により発生した表面波（津波）と土石流を示している。 $t=2.2s$ 時では突入した土石流が、形状抵抗により海水に押し返されて先端部が盛り上がる結果が得られた。

しかし一方、 $t=2.6s$ 時の(a)の様なへこみが生じているが、これは上層の圧力勾配の影響を直接受けてしまうという静水圧分布の仮定を用いた鉛直方向積分の支配方程式の限界と考えられる。

また、 $t=2.6s$ までは土石流の先端と表面波の先端は同

じ位置のところにあるが、 $t=3.0s$ では(b)のように水深が大きくなってきたために土石流の流下速度よりも進行の速い自由波が生じ始めている。

5. おわりに

今回の研究では、1次元ではあるが土石流の海域突入により発生する津波を再現できる数値モデルを提案した。しかし、底面摩擦、形状抵抗などの諸パラメーターの見積もりにまだまだ問題が残る結果となってしまう。

た。今後は、これらの再検討と2次元への拡張、さらには実地形への適用を考えている。

参考文献

(1) Md.Monzur Alam Imteas : NUMERICAL MODEL FOR THE LONG WAVES IN THE TWO LAYERS , Asian Institute of Technology , PP.8~12,1994.
 (2) 玉井信行：密度流の水理、新体系土木工学、vol.22、p. 152、1980.

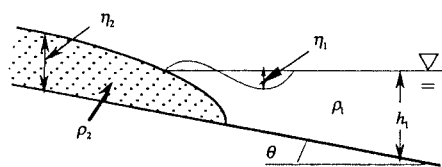


図-1 支配方程式中の変数

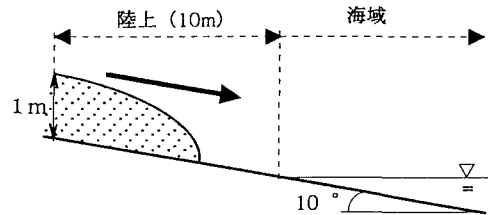


図-5 1次元海域突入数値モデル

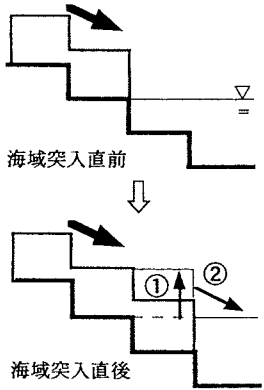


図-2 数値計算での海域突入前後の取り扱い

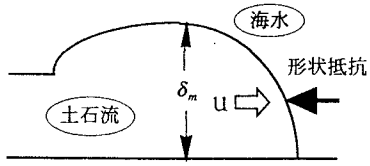


図-3 先端部の形状抵抗

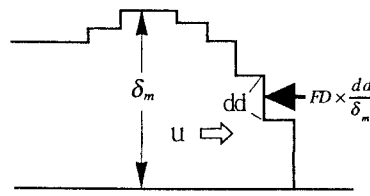


図-4 数値計算における形状抵抗の分配方法

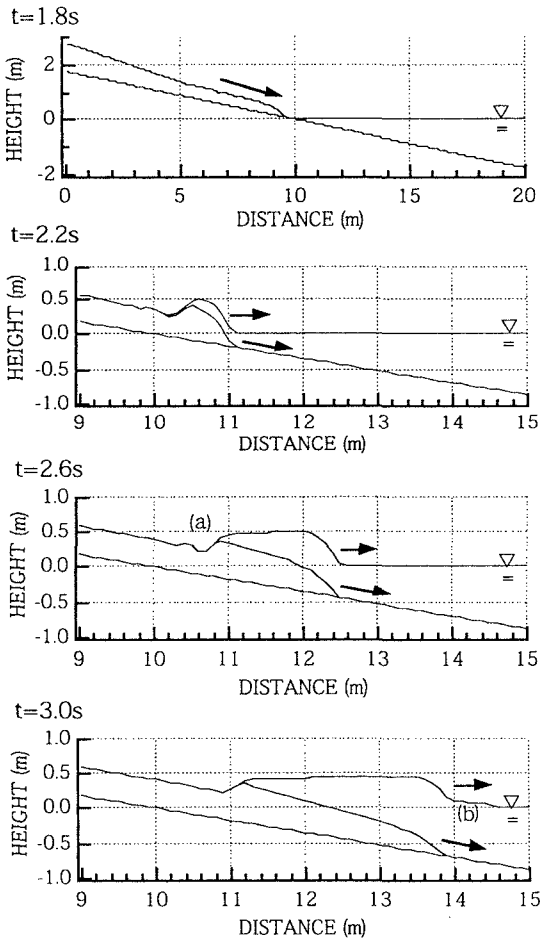


図-6 1次元モデルの計算結果
($t=2.2s, 2.6s, 3.0s$ は拡大図)