

II - 21

土石流による津波発生二層流モデル

東北大学工学部 学生員 松本 智裕
 同上 正会員 今村 文彦
 同上 正会員 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って発生する津波は、頻度は低いものの歴史的に見ても大きな被害をもたらしている。1791年眉山崩壊によって発生した津波は、有明海を伝播し対岸の肥後、天草を襲い5000名以上の犠牲者を出した。本研究では、二層流の支配方程式を用いて従来のモデル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、さらに、従来のモデルとの比較検討を行う。

2. 支配方程式

2.1 支配方程式

静水圧分布を仮定すれば海水（上層）、土石流（下層）の二層流の支配方程式及び変数は以下になる⁽¹⁾。
 （連続の式）

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

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

（運動方程式） ※FDは先端部のみで考慮する。

$$\text{上層} \quad \frac{\partial M_1}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{M_1^2}{D_1} \right) + gD_1 \frac{\partial \eta_1}{\partial x} - FD = 0 \quad (3)$$

$$\text{下層} \quad \frac{\partial M_2}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{M_2^2}{D_2} \right) + gD_2 \left\{ \alpha \frac{\partial D_1}{\partial x} + \frac{\partial \eta_2}{\partial x} - \frac{\partial h_1}{\partial x} \right\} + BF + FD = 0 \quad (4)$$

但し、添字の1,2は上層（海水）、下層（土石流）を示す。

BF: 底面摩擦+界面摩擦 FD: 形状抵抗 h: 水深

η_1 : 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 ρ : 密度 $\alpha = \left(\frac{\rho_1}{\rho_2} \right)$: 密度比

全水深 $D_1 = \eta_1 + h_1 - \eta_2$ $D_2 = \eta_2$

2.2 底面摩擦、界面摩擦、形状抵抗

・底面摩擦、界面摩擦は

$$BF = f_c \frac{|M|M}{D^2} \quad (f_c: \text{摩擦係数}) \text{ とする。} \quad (5)$$

陸上では $f_c = 0.035$ 、海中では浮力を考慮して $f_c = 0.015$ とした。

また、界面摩擦では $f_c = 0.025$ とした。

・海水中では土石流先端部は図-2のようになることが予想される、この時、先端部に作用する形状抵抗FDは次式で示される⁽²⁾

$$FD = \frac{1}{2} C_D \rho_1 u^2 \delta_m \quad (6)$$

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

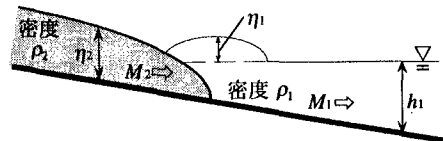


図-1 変数の説明



図-2 海水中での土石流先端

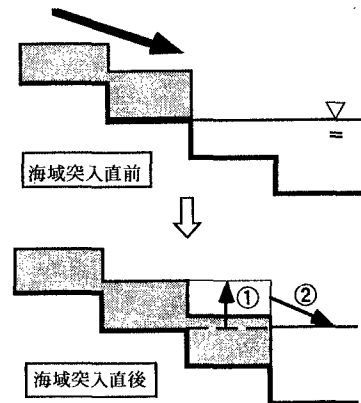


図-3 海域突入前後の取り扱い

3. 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のみの一層流として取り

keyword 土石流、津波、二層流

〒980-77 宮城県仙台市青葉区荒巻青葉東北大学工学部災害制御研究センター

☎ 022-217-7515

扱う。図-3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、それにより持ち上げられた海水が、次のステップでは、②土石流表面の勾配によって右方向に流れ落ちるものとして実現象を再現する。

4. 海域突入1次元モデル

今回は、図-4に示すように土石流の塊を陸上に置き、一様勾配 10° を流下後に海域突入するモデルについて数値計算を行った。尚、離散間隔は $DT=0.002s$ 、 $DX=0.1m$ とし、境界条件は、自由透過とした。土石流の密度は、砂礫と水の混合体と考え $\rho_2=1.83g/cm^3$ 、海水の密度は $\rho_1=1.03g/cm^3$ としている。

形状抵抗 FD は先程述べたように先端部全体で式(6)を作用させるが数値計算では、 FD を一箇所に作用させるのではなく各計算メッシュ毎の土石流の厚さの差に応じて分配した。

計算結果を図-5に示す。図-5は、計算開始より $t=3.0s, 4.0s$ 後のものである。 $t=3s$ に土石流により持ち上げられた海水が、 $t=4.0s$ では土石流の前方に流れ落ち、さらには、水深が深くなったことによって、土石流よりも速度の大きい表面波（津波）が、生じ始めている。また、 $t=4.0s$ では、形状抵抗により土石流先端部に盛り上がり形成され始めている。

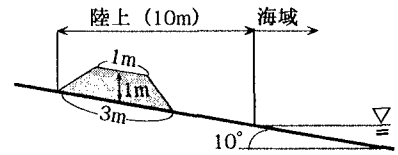


図-4 数値計算の初期条件

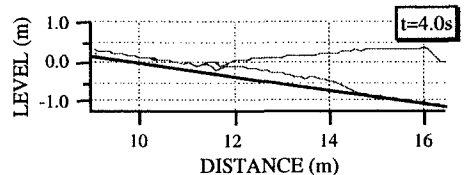
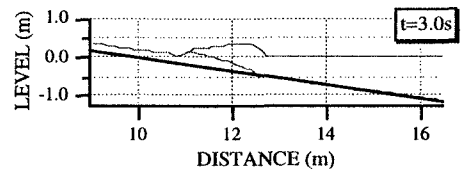


図-5 海域突入モデルの計算結果

5. 従来のモデルとの比較

図-6は、従来のモデル^{①)}との表面波形（津波）を $t=3.0 \sim 6.0s$ の1秒ごとに比較した結果である。従来のモデルとは陸上を流下してきた土石流の海岸線での流量時経列に ρ_2/ρ_1 を乗じて質量保存を満たすよう境界条件を与え津波の数値計算を行うモデルである。

結果をみると、波高に若干の差はあるものの進行速度などにおいてはほぼ一致している。ただし、従来モデルでは、境界条件を与える際に、密度比を乗じているために海域に流入する運動量は、今回のモデルよりも大きいことが分かった。また、二層流の支配方程式を用いた今回のモデルに比べて波形が、比較的単純であることも分かった。

6. 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二層流数値モデルを提案した。さらに、従来のモデルとの比較を行ったが、表面波（津波）の波高、進行速度ともにほぼ同じ値が得られた。今後は、このモデルの2次元拡張、実地形への適用などを検討中である。

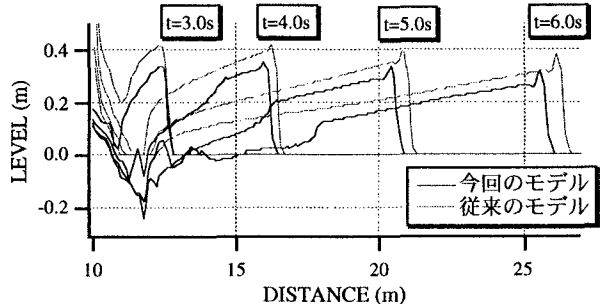


図-6 従来モデルとの表面波形の比較

参考文献

- (1) Md. Monzur Alam Imteas, Asian Institute of Technology, pp.8~12, 1994
- (2) 玉井信行：密度流の水利、新体系土木工学、vol.22、P.152、1980。
- (3) 中島貴也：地滑りにより発生する津波の数値シミュレーション、東北大学工学部卒業論文、1996