

土石流による津波発生モデルの開発

東北大学大学院 学生員 ○松本智裕
東北大学大学院 正 員 今村文彦
東北大学大学院 正 員 首藤伸夫

1. はじめに

地滑り及びそれに伴う土石流により発生する津波は、通常のような断層運動により引き起こされる津波に比べて頻度は低いものの、歴史的にみてもその規模・被害ともに大きなものがある。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、5,000名以上の死者を出した。しかし、未だ土石流による津波発生モデルは確立されたとは云えない。そこで本研究では、二層流の支配方程式を用いて、既往モデルでは無視されていた海域突入過程での土石流の挙動を考慮に入れた数値モデルを提案する。既往モデルの計算結果との比較検討、及び1741年渡島大島火山津波の北海道南西海岸での痕跡調査結果との比較を行う。

2. 二層流モデルの支配方程式

静水圧分布を仮定すれば上層（海水）、下層（土石流）の二層流モデルの支配方程式及び変数は以下のようになる。

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

$$\frac{\partial M_1}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{M_1^2}{D_1} \right) + g D_1 \frac{\partial \eta_1}{\partial x} + \frac{\tau_x}{\rho} + F D = 0 \quad (2)$$

$$\frac{\partial \eta_2}{\partial t} + \frac{\partial M_2}{\partial x} = 0 \quad (3)$$

$$\frac{\partial M_2}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{M_2^2}{D_2} \right) + g D_2 \left(\alpha \frac{\partial D_1}{\partial x} + \frac{\partial \eta_2}{\partial x} - \frac{\partial \eta_1}{\partial x} \right) + \frac{\tau_x}{\rho} - F D = 0 \quad (4)$$

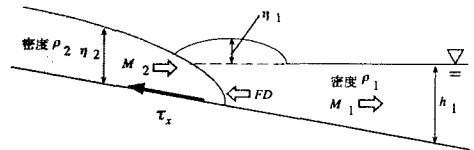


図-1 支配方程式の変数の説明

添字の1, 2はそれぞれ上層（海水）、下層（土石流）を示し、 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、 $\alpha = (\rho_1/\rho_2)$ ：密度比、 D ：全水深、 FD ：形状抵抗を示す。ただし、形状抵抗は土石流先端部のみで作用するものとする。式①③は連続の式、式②④は運動方程式を示す。底面摩擦には、Manning則を用いた。

3. 1741年渡島大島火山津波

1741年8月29日早朝、突然津波が北海道南西海岸を襲い、1,467人の死者を出した。この時に地震があったという確かな記録は残されていないし、火山活動を実際近くで目撃したという記録もない。ただ、津波と関連ありそうな活動として、現在の渡島大島の北側に、大きくえぐられた馬蹄形の崩壊地形が残されている。また、島の北側の海底には、当時の崩壊により生じたと思われる堆積物が現在も残っていることが確認されている。

4. 二層流モデルを用いた計算

図-2に今回の計算領域を示す。計算は、津波と土石流の二層流計算を行う小領域計算と、津波の伝播計算のみを行う大領域計算との2つを接続している。渡島大島の崩壊前地形と崩壊後地形の差 $0.47(\text{km}^3)$ を土石流の初期条件とした。

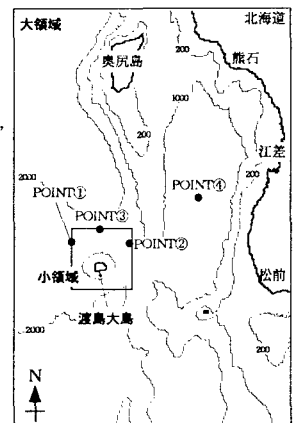


図-2 計算領域地図

表-1にそれぞれの計算条件を示す。

図-3に100秒後の小領域での計算結果を示す。土石流は、主に渡島大島北側に流下していく、島の南西側にも、流下しているが、この方向には溶岩堆積物が残っており、実現

表-1 計算条件

	時間格子間隔	空間格子間隔	メッシュ数
小領域計算	0.01秒	50m×50m	400×400
大領域計算	1秒	500m×500m	296×194

象と良好に対応していると考えられる。

また、土石流流下方向の影響により、津波も北方向に大きな波高を保ちつつ伝播していく。

5. 既往のモデルとの比較

従来手法では、土石流の流入時間変化を SIN 関数で表し、海岸線境界上で海域へ流し込んでいる。

この方法との比較を行った。ただし、従来手法での流入時間は 1 分（二層流計算から得られた値）とし、最大瞬間流量は、 $5235(\text{m}^3/\text{s}/\text{m})$ とした。

図-4 に、図-2 に示した 4 ポイントでの水位時系列を示す。

すべてのポイントにおいて、二層流モデルの方が第 1 波の波高が大きく、周期が若干短くなっている。第 1 波の到達時刻は、ほぼ同じ値になっている。

下層の土石流の形状の影響により、二層流モデルの方が複雑な波形になる。この影響は POINT④まで持続している。

小領域の西 POINT①、北 POINT③、東 POINT②で波形を見ると、SIN 入力モデルでは第 1 波の波形が余り変わらないのに比べ、二層流モデルでは POINT③で格別に大きな波高となる。二層流モデルでは、下層の土石流の流下方向の影響が上層の津波に現れたのであり、津波は北方向へ伝播しやすく、そちらへの指向性が強くなった。

6. 北海道南西海岸痕跡調査との比較

図-6 に痕跡調査結果と各モデルの計算結果の比較を示す。今回、痕跡調査を改めて行い、信頼度の高いもののみを比較に使っている。

計算結果と調査結果は、似たような空間分布をしているが、計算結果が全体として小さい。この一因は、今回の計算に用いた 500m という空間格子間隔の粗さにあると考えられる。

SIN 入力モデルに比べ、二層流モデルの方が調査結果に近い値になり、特に北部海岸で良好な一致を示している。これは前節でも述べたとおり、二層流モデルでは北への津波の指向性が強くなるということと対応している。

7. おわりに

二層流モデルを用いた津波発生モデルを提案した。既往のモデルに比べ、海域突入後の土石流の挙動が津波の指向性に大きな影響を与える。1741 年渡島大島火山津波の痕跡については、1997 年に改めて調査を実施し、精度が高められた。今回の計算は、空間格子間隔 500m と粗いものであったが、痕跡値との比較により、提案モデルの方が既往モデルに比べ、良く適合することが判った。

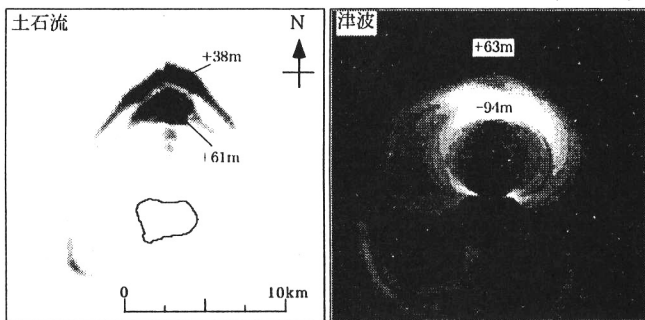


図-3 100 秒後の土石流と津波の計算結果

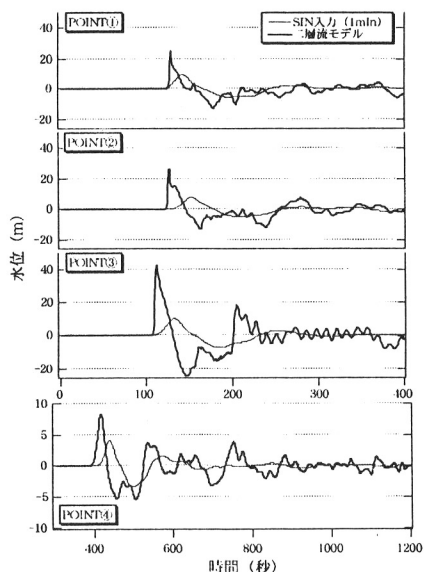


図-4 各 POINT での水位時系列の比較

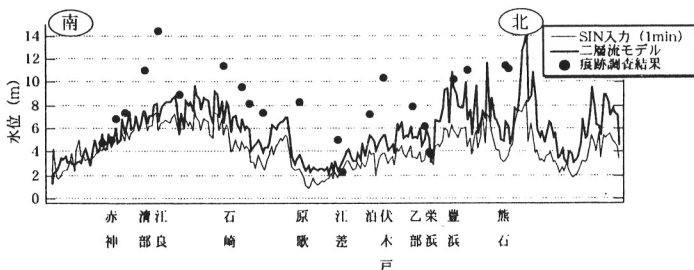


図-5 北海道南西岸での計算値と実測値の比較