

海底地滑りによる津波の発生・発達の数値解析

金沢大学 学生会員 ○山本 朗宜
 金沢大学 学生会員 上野 卓也
 石川県 四方 聖那
 金沢大学 正会員 由比 政年

1. はじめに

近年、世界各地で津波被害が頻発している。発生する津波の大部分は地震による海底変動が原因である。一方、海底地滑りや山体崩壊による津波は、発生頻度は低いものの、歴史的に見ても、規模・被害ともに大きい事例が記録されている。日本近海でも海底地滑りの痕跡が見られ、1771年には八重山地震津波によって、1792年には眉山大崩壊による津波によって大きな被害が出た。しかし、海底地震による津波と比べて、地滑りによる津波に関する研究例は少なく、未解明な部分も多い。

本研究では、海底地滑りによる津波の発生・伝達・遡上に対する一連の過程をシミュレートできる数値モデルを構築することを目的とする。開発されたモデルについて、既往の実験結果や数値結果と比較して、適用性を検証する。さらに、地滑りのパラメータを変化させて津波の発達特性の違いを明らかにする。

2. 数値計算モデル

数値モデルの基礎方程式として、非線形長波方程式を用いる。本研究では、質量と運動量の保存性および急勾配地形上での安定性を考慮し、Liang (2010) が提唱する水面変位を用いた表記法を採用する（ここでは断面2次元形を示す）。ソース項の第1項は、地滑りによる底面時間変動を正確に考慮できるように定義する。

$$\frac{\partial q}{\partial t} + \frac{\partial f}{\partial x} = s \quad (1.1)$$

ここで、 q は保存量、 f は x 方向の流束、 s はソース項であり、以下のように表される。

$$q = [\eta \quad q]^T, f = \left[q \quad uq + \frac{1}{2}(\eta^2 - 2\eta z_b) \right], s = \left[\frac{\partial z_b}{\partial t} \quad -g\eta \frac{\partial z_b}{\partial x} \right] \quad (1.2)$$

また、 η は水位、 $q (=uh)$ は x 方向の線流量、 u は平均流速、 $h (= \eta - z_b)$ は水深、 z_b は地盤高である。

段波津波先端の不連続面を考慮するため、ゴドゥノフ型有限体積法を MUSCL 法で解き、2 次の予測子・修正子法（ルンゲ・クッタ法）により時間発展させる。セル境界での値をセル中心の値から再構成する際には、安定性に優れる minmod 関数を勾配制限関数として用いた。また、数値流束計算のための近似リーマン解法として、HLLC (Harten-Lax-van Leer-Contact wave)法を用いた（上野ら、2016）。

3. 解析結果

数値モデルの検証として、まず、既往の水理実験との比較を行った。道上(1995)は、図-1 に示すように、長さ 4m の水槽の左端から、土塊を模擬した高さ 5.5cm の矩形体を平均速度 0.91m/s で水路底面に沿って水平に侵入させ、静水深 8.5cm の水面に形成される波の特性を検討するための模型実験を行った。実験と計算の比較結果の一例を図-2 に示す。図中の $t=0.5s$ において水位が最大値をとる位置に相違が見られるが、計算結果と実験結果は概ね良好に一致している。なお、 $t=0.5s$ において、本計算は、波の先端が若干早目に伝播する傾向があるが、同様の傾向は他の計算モデルにおいても見られた。

次に、橋本・壇(2008)の実験(図-3)を参考に、剛体と仮定した三角形の泥塊が、与えられた移動時間と移動速度によって斜面上を移動するようモデル化した計算を行った。速度の与え方は図-4 のような台形状とし、

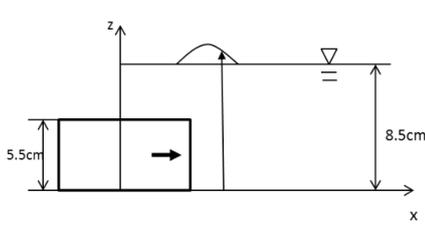


図-1 道上(1995)による実験の概要

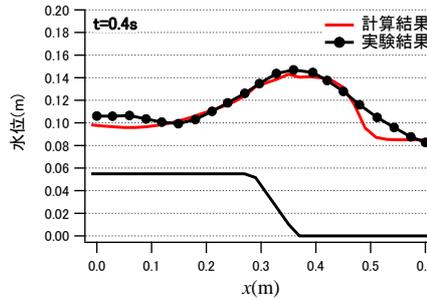


図-2 侵入土塊により発生した波浪の空間波形の比較

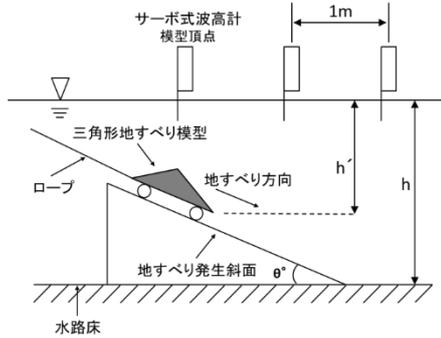
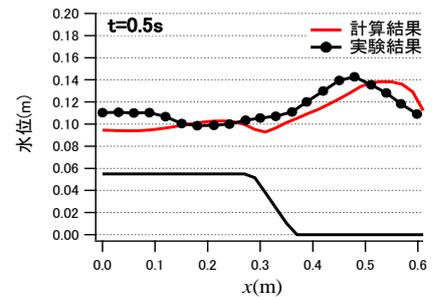


図-3 橋本・壇ら(2008)の実験の概要

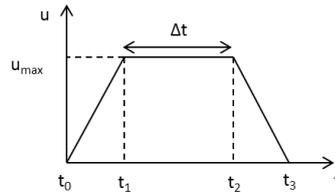


図-4 鉛直方向地滑り速度

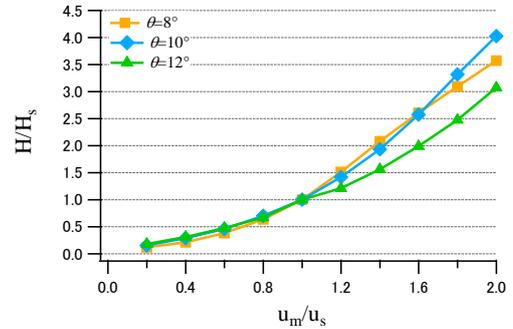


図-5 地滑り速度変化による最大津波波高 H の変化

橋本・壇 (2008)の実験の鉛直方向地滑り速度を参考に、図-4 中の u_{max} の値を変化させた。また、時刻 t_3 で三角形模型の先端が斜面と水平面の境界にきて停止するものとした。橋本・壇の実験(2008)における移動速度の最大値($t=6.0s$ のときの速度で、以下これを u_s とする)を 0.2 倍から 2 倍まで 0.2 倍ごとに变化させて、全領域での津波波高の最大値、 $x=0$ 地点(地滑り開始の中心地点)での津波波高(H_0)、最大遡上高(H_R)についてパラメータスタディを行った。その結果の例を図-5 に示す。計算は $\theta=8, 10, 12^\circ$ の 3 ケースを基本とし、必要に応じて追加計算を行った。地滑り速度が増加すると、最大津波波高は 2 次関数的に増加した。ただし、速度が大きくなると角度によって増幅の仕方に差が現れ、 $\theta=10^\circ$ が最も増幅率が大きく、 $\theta=12^\circ$ が小さくなる結果となった。

4. 終わりに

底面時間変動を考慮した非線形長波方程式を誘導し、有限体積法に基づく計算モデルを構築した。実験との比較では定性的・定量的に良好な一致が得られ、構築された数値モデルは地盤変動による波の発生について高い再現性を有することを確認した。土塊の移動速度や変形による最大津波波高、最大遡上高の変化等について現在計算を継続中であり、平面 2 次元計算の結果と併せて講演時に紹介する予定である。

謝辞：本研究は、平成 27 及び 28 年度受託研究「発電所施設の津波防災に関する基礎的研究」(北陸電力株式会社)の一環として行われた。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 上野卓也, 由比政年, 天方匡純, 榎田真也, 斎藤武久(2016): 四分木格子を適用した有限体積法に基づく数値モデルの構築と透過性防波柵周辺の津波浸水流解析への適用, 土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol. 72, No. 2, pp.I_25-I_30.
- 2) 道上正規(1995): 貯水池内での大崩壊に伴う水位変動について, ダム技術, No.105, pp.4-11.
- 3) 橋本貴之・檀和秀(2008): 地滑り形状を変化させた場合の海底地滑り津波に関する実験的研究, 土木学会第 63 回年次学術講演会概要集, 2-198, pp.395-396.