

## 退行性海底地滑りによる津波の発生・発達に関する基礎的研究

金沢大学 学生会員 ○山本 朗宜  
 金沢大学 正会員 木場 正信  
 金沢大学 学生会員 上野 卓也  
 金沢大学 正会員 由比 政年

### 1. はじめに

ノルウェー沖やハワイ周辺において、海底地滑りが過去に大規模な津波を誘起したことが推定されている。このような地滑りには多様な形態があり、組成、運動形態等に基づき多種の分類がなされている。津波の発生効率の観点からは、密度が高く比較的高速な Slide (並進すべり) 及び Slump (回転すべり) が評価対象となる場合が多い。特性としては、Slide は変形が小さく移動距離が大きい。一方 Slump は、移動距離は小さいものの、厚さが面積に対して比較的大きな変形を伴う。Lovholt et al. (2015)は、海底地滑りによる津波の性質は、主に地滑り体積、初期加速度、最大速度、及び、退行性地滑りによる分割放出により決定されるとしている。退行性地滑りとは、地滑りが斜面下部から始まり、支持を失った斜面上部が次々に滑り、滑落崖が上方に後退していくものである。北大西洋で発生した巨大海底地滑りである Storegga Slide は、地形・地質調査に基づき、退行性であることが明らかとなっている。本研究では、こうした退行性地滑りによる津波の発生について、体系的な数値解析を行い、その特性を検討する。

### 2. 数値計算モデル

数値モデルの基礎方程式として、海底地滑りによる地形変動を考慮した非線形長波方程式 (断面 2 次元) を用いた。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定義した。

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

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、 $\eta$  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。

数値スキームとして、急勾配波面周辺の数値的安定性・解析精度に優れるゴドゥノフ型有限体積法をベースとした高解像度スキームを適用した (由比ら, 2017)。

### 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。ここでは、断面 2 次元水槽左端から、土塊を模擬した矩形体を水路底面に沿って水平に侵入させ、水面に形成される波の特性を検討した模型実験 (道上, 1995) を比較対象とした。計算結果と実験結果の水面波形は概ね良好に一致し、数値モデルの適用性が検証された。

次に、海底地滑りに関係すると考えられるパラメータを検討した (表-1)。まず、地滑り面積については、世界でも  $100\text{km}^2$  を超える事例は少ないため、現実的には  $10\sim 20\text{km}^2$  であると推定される。体積は過去の事例から、面積に比例する場合 (Slide) と面積の 1.5 乗に比例する場合 (Slump) があることがわかっており、長さとの比は  $1\sim 2$  とみられる。また、発生水深は陸棚外縁から沖合と考えると約  $200\text{m}$  以深と考えられ、勾配は日本周辺においてはほとんどの領域で  $1^\circ$  未満であり、 $10^\circ$  を超える領域は少ない。地滑り速度に関しては、既往検討例から、水平速度  $10\sim 100\text{m/s}$  程度を想定した。

表-1 地滑り諸元の設定

Case	面積A (km <sup>2</sup> )	長さL(km) =幅*2	α	V=α・A <sup>1</sup>			V=α・A <sup>1.5</sup>		
				矩形			矩形		
				V (km <sup>3</sup> )	厚さT (km)	L/T	V (km <sup>3</sup> )	厚さT (km)	L/T
A-1	0.5	1.00	0.01	0.005	0.01	100.0	0.0035	0.01	141.4
A-2	1	1.41	0.01	0.01	0.01	141.4	0.01	0.01	141.4
A-3	10	4.47	0.01	0.1	0.01	447.2	0.3	0.03	141.4
A-4	20	6.32	0.01	0.2	0.01	632.5	0.9	0.04	141.4
B-1	0.5	1.00	0.02	0.01	0.02	50.0	0.0071	0.01	70.7
B-2	1	1.41	0.02	0.02	0.02	70.7	0.02	0.02	70.7
B-3	10	4.47	0.02	0.2	0.02	223.6	0.6	0.06	70.7
B-4	20	6.32	0.02	0.4	0.02	316.2	1.8	0.09	70.7
C-1	0.5	1.00	0.03	0.015	0.03	33.3	0.0106	0.02	47.1
C-2	1	1.41	0.03	0.03	0.03	47.1	0.03	0.03	47.1
C-3	10	4.47	0.03	0.3	0.03	149.1	0.9	0.09	47.1
C-4	20	6.32	0.03	0.6	0.03	210.8	2.7	0.13	47.1

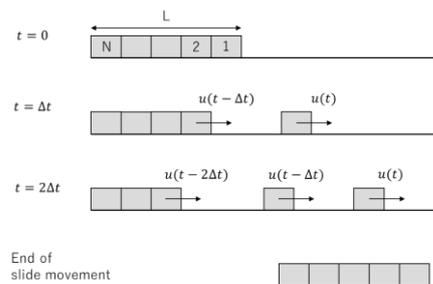


図-1 退行性地滑りの模式図

(Haugen, 2005 に基づく)

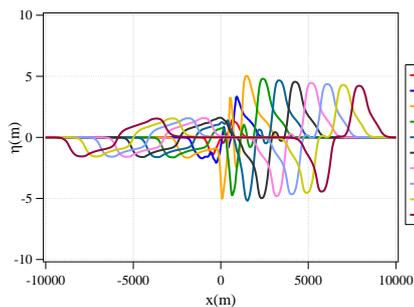


図-2 空間波形の計算例 (Δt=10s)

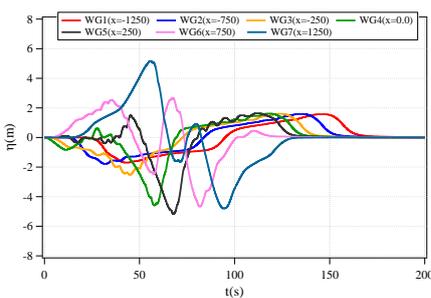


図-3 時刻歴波形の計算例 (Δt=10s)

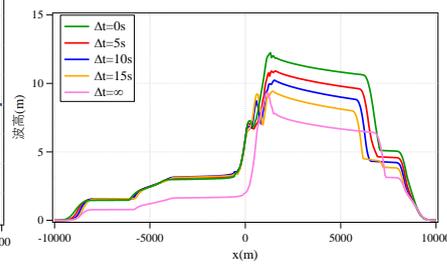


図-4 波高分布の計算例

表-1 の caseB-1 の条件を適用し、長さ L=1000m、厚さ T=20m の地滑りモデルを、底面に沿って移動させた際の計算例を図-2 から図-4 に示す。計算にあたっては、図-1 に示すように、複数の矩形ブロックから構成される地滑り体を x 軸正方向に時間間隔 Δt で分割放出した。発生水深は 200m とし、勾配を 0° (水平床)、水平最大速度を 20m/s と設定した。地滑りの開始、終了時刻はそれぞれ 0s, 200s であり、x 軸正方向への移動距離は 1000m である。図-2 は t=20~200s の 20s 毎の空間波形、図-3 は 7 地点 (x=-1250m, -750m, -250m, 0m, 250m, 750m, 1250m) における時刻歴波形である。地滑り方向 (x>0)、逆方向 (x<0) とともに、水面変位の振幅は上下ではほぼ等しい結果となった。また、図-4 は各条件での波高分布を表している。この例では、x>0 の領域で波高が大きく、Δt が大きくなるにつれて最大波高 (津波発生効率) が低下する形となっている。

#### 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対象に、有限体積法に基づく計算モデルを構築して、退行性地滑りによる津波の発生を解析することを試みた。土塊の放出間隔や移動速度、斜面勾配等による変化について現在計算を継続中であり、講演時に紹介する予定である。

謝辞：本研究は、平成 29 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) Haugen, K.B., F. Lovholt, C.B. Harbits(2005) : Fundamental mechanisms for tsunami generation by submarine mass flows in idealized geometries, Marine and Petroleum Geology, Vol. 22, pp.209-217.
- 2) Lovholt F, G. Pedersen and C.B. Harbits, S. Glimsdal, J. Kim(2015), On the characteristics of landslide tsunamis, Phil. Trans. R. Soc., A373.
- 3) 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.
- 4) 由比政年, 上野卓也, 山本朗宜(2017) : 海底地滑りによる津波の発生と地滑り土塊形状の関係に関する数値解析, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol. 73, No. 2, pp.I\_283-I\_288.