

海底地滑り諸元が津波の初期波形に及ぼす影響に関する基礎的研究

金沢大学 学生会員 ○中村 貴大
金沢大学 正会員 由比 政年

1. はじめに

海底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。また、海底地震の際に地滑りが併発することで、津波波高が局所的に増幅された事例も観測されており、地滑り津波の特性解明は沿岸防災の観点から重要である。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、初速加速度、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。また、由比ら（2019）は、矩形形状の地滑りを対象に、地滑り発生水深、土塊形状、移動速度・距離などを変化させた理論・数値解析を行い、津波波形や最大水位変動量と地滑り諸元との相関を明らかにした。本研究では、三角形形状の土塊を対象として海底地滑りによる津波の発生に地滑り形状や移動速度変化が及ぼす影響について体系的な解析を行い、その特性を検討する。

2. 解析の手法

(1) 津波初期波形の計算法

由比ら（2019）は、矩形形状の地滑りを対象に、線形長波理論に基づいて質量保存から津波初期波形を計算する手法を提示し、有限体積法による数値計算結果とよく一致した結果を得ている。本研究では、矩形群によって三角形形状の土塊を近似表現する。また、図-1 で示すパラメータ L_a , L_b , t_p , t_e に対して L_a/L_b 及び t_p/t_e の値を変えることによって地滑り形状及び土塊の移動速度パターンを変化させてその影響特性を検討する。

(2) 計算条件

日本周辺で想定される比較的小規模な海底地滑りを念頭に、土塊水平スケールは km オーダーとした。発生水深については、大陸棚～陸棚斜面の比較的浅い海域を想定した。斜面勾配は、多くの領域において 1 度未満であることから、計算領域を一樣水深に設定し、三角形形状の単一土塊が水平床上で滑動した場合の解析を行った（図-1、表-1）。Watts（1998）の知見に従い、土塊厚さは土塊長さの 0.01～0.04 倍程度とし、地滑りピーク速度の値を、Grilli and Watts（2005）による算定式を参考に設定した。本研究では検討の第一段階として、加減速中における加速度の時間変化は生じないものとした。座標系は、地滑り体の初期中心を $x = 0$ とし、地滑りの進行方向を正方向とした。矩形群で三角形形状を近似する際の分割数は 20 と設定した。

3. 解析結果

図-2 は数値計算により求められた、津波空間波形の時間変化の解析例である。土塊進行方向では押し波、逆方向では引き波が先行する。 $L_a=L_b/2$, $t_p=t_e/2$ の条件では、右進行波及び左進行波の押し波と引き波の波形は点対称的であり、振幅が等しくなる。また、この例では右進行波の振幅は左進行波よりも 3 倍以上大きい。

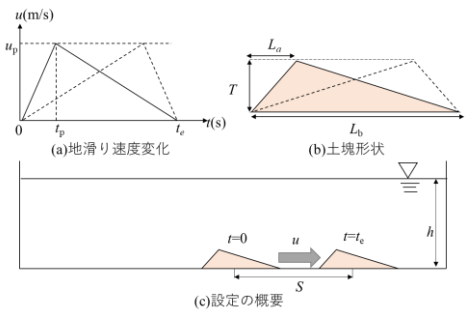


図-1 海底地滑り運動の設定

表-1 海底地滑り諸元の設定

地滑り諸元	解析対象範囲
発生水深 h (m)	50～400
土塊長さ L (m)	500～6000
土塊厚さ T (m)	10～60
地滑りピーク速度 u_p (m/s)	7～57
土塊移動距離 S (m)	1000～3000
土塊移動時間 t_e (s)	35～300

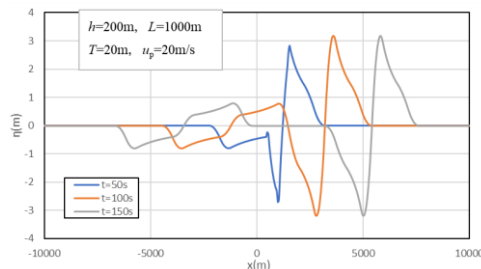


図-2 計算による空間波形の例

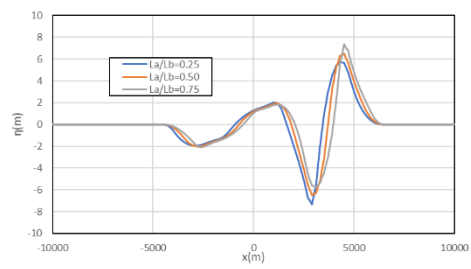
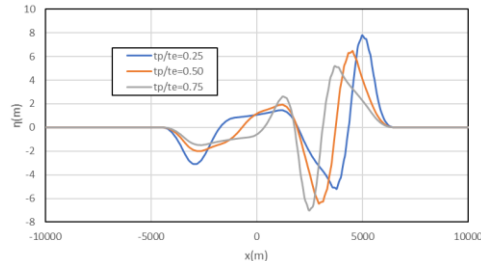
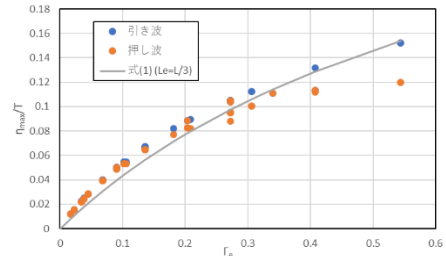
図-3 土塊の形状による波形の比較($t=t_e$)図-4 ピーク時刻による波形の比較($t=t_e$)

図-5 無次元パラメータによる整理

地滑り諸元の中から個々のパラメータを抽出して値を変化させ、波形の変化を解析した。土塊形状(L_a/L_b の値)を変化させた場合(図-3), L_a/L_b を大きくするにつれて右進行波の正のピークは大きくなり、負のピークは小さくなった。また、ピーク位置に関しては x 軸正方向へ移動した。しかし、これらの変化は比較的小さいという結果となった。ピーク時刻(t_p/t_e の値)を変化させた場合(図-4), t_p/t_e の値を大きくするにつれて右進行波の正のピーク値が小さくなり、負のピークが大きくなった。また、ピーク位置は x 軸負方向へ移動した。

由比ら (2019) らにより提示された、水平床上を剛体移動する矩形土塊により形成される津波の水面変位振幅に対する推定式を参考にして、三角形土塊に対する推定式を求めることを試みた。 x 軸負方向の進行波に対する推定式として、土塊長さ比較的短い場合、最大水面変位の大きさを以下のようにモデル化した。

$$\frac{\eta}{T} = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{1}{\sqrt{1 + 2\Gamma_e}} \right) = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{1}{\sqrt{1 + 2(a/g)(L_e/h)}} \right), \Gamma_e = \frac{a L_e}{g h} \quad (a = a_1: \text{引き波}, a = a_2: \text{押し波}) \quad (1)$$

ここで a は地滑り加速度, L_e は土塊の有効長さを表す。今回は $L_e = L/3$ とした。この推定式によって算出された値と一連の計算により得られた値と比較した結果を図-5 に示した。押し波・引き波ともにその最大水位変化は Γ_e パラメータで良く整理できた。また、推定式(1)と計算結果は概ね一致しているが、引き波については $\Gamma_e=2.5$ 付近を超えると推定式と計算値が離れる結果となった。

4. おわりに

本研究では三角形の土塊を対象にして地滑り津波の初期波形に関する解析を行った。押し波及び引き波の規模は無次元パラメータ Γ_e で良く整理でき、推定式と計算結果が概ね一致することを示した。

謝辞：本研究は令和2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) 土木学会原子力土木委員会津波評価小委員会(2016)：原子力発電所の津波評価技術，803p.
- 2) Lovholt, F, Pedersen, G., Harbitz, C.B., Glimsdal, S. and Kim, J. : On the characteristics of landslide tsunamis, *Philosophical Trans.Royal Society A*, Vol.373, 2015.
- 3) 由比政年, 山本朗宜, 木場正信, 上野卓也(2019)：海底地滑りによる津波の発生と地滑り諸元に関する理論解析, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol.75, No.2, pp.I_325-I_330.