

海底地すべり運動と励起される津波特性に関する模型実験

Model experiments on Submarine Landslide Movement and Excited Tsunami Characteristics

○畠実桜・岩井裕正・三村衛

○Mio HATA, Hiromasa IWAI, Mamoru MIMURA

Seafloor landslides generate tsunamis influenced by soil movement. Measurement of these factors is challenging. This study examines the link between kinematic parameters and tsunami characteristics. Model experiments on impermeable underwater slopes reveal correlations: the initial drawdown of a tsunami aligns with slip acceleration, while amplitude at slip arrest correlates with acceleration at the slip's end. Amplitude at slip cessation linearly relates to the acceleration at landslide velocity decrease. A power-law connection between kinetic energy change and tsunami energy suggests a constant relationship between soil mass and tsunami energy during the landslide. These findings enhance our understanding and risk assessment of seafloor landslide.(103 words).

1. はじめに

地震発生時、海底斜面で発生する地すべりが<sup>1)</sup>津波を誘発し、地震性の津波と相まって規模が増大することが指摘されている。<sup>2)</sup>特に土塊の移動速度や体積は、発生する津波規模に影響することがわかっている<sup>3)</sup>が、海底地すべりには、その観測の困難さにより未解明な要素が残されている。

そこで本研究では海底斜面を模擬した室内模型実験により、海底地すべりから津波の発生までの一連の現象を再現した。海底地すべり運動と引き起こされる水面変動の関係を見出すことを目的とする。特にすべり発生直後と土塊の停止時に観察された波の規模に着目して、検討を行った。

2. 模型実験概要及び実験条件

図1に本実験で用いた装置の概略図を示す。本研究では、アクリル土槽内に水平長さ1000mmの斜面模型を設置し、水中落下法により、相対密度 $Dr=40\%$ 、傾斜 $10^\circ$ 、層厚61mmの豊浦砂斜面を作成した。砂層内に難透水層としてビニールシート(長さ460mm、幅395mm、厚さ1mm)を挟み込み、この上の厚さ20mmの土塊がすべる。シートと豊浦砂の水中摩擦角は、およそ $21^\circ$ であった。外部に設置した定水位昇降装置と土槽内との水位差によって、斜面底面から水圧を与え、地すべりを発生させた。これに伴う水位変動を、高速度カメラ2台を用いて計測した。特に地すべり開始時および停止す

る瞬間の水位変動量に着目して検討を行った。

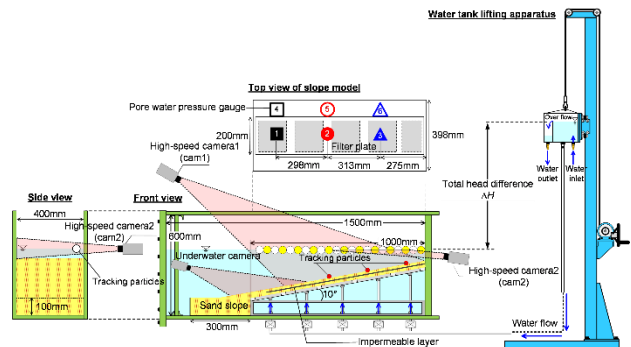


図1 実験装置概略図

3. 模型実験結果

図2左にCase-61-16hc-460-1の速度・変位時刻歴および水面変動の時刻歴を示す。上段が土塊速度と変位、下段が水面変動の時刻歴である。まず、速度に着目すると、ゆるやかにすべり始め初期ピーク速度はほぼ見られない。27秒付近から急加速し、斜面下端で停止した。最終変位691.69mmの大規模な地すべりとなった。地すべり開始時に発生する引き波である”初期ドロウダウン”は本ケースでは明確に観測できなかった。既往の研究<sup>4)5)</sup>において、波が顕著に観察されたのは初期平均加速度が

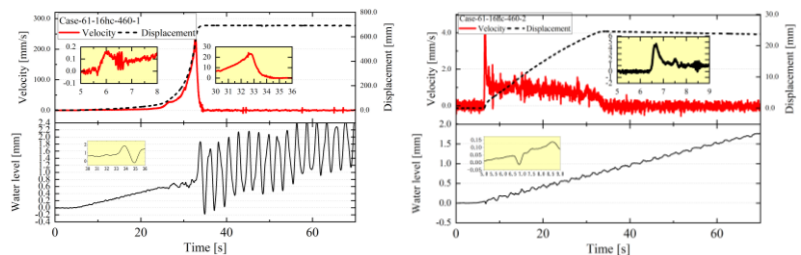


図2 速度・変位・水面変動の時刻歴 (左:Case-61-16hc-460-1 右: Case-61-16hc-460-2)

20~30mm/s<sup>2</sup>のケースであり,本ケースでは 4.88 mm/s<sup>2</sup> と比較的小さかったためと考えられる.次に,すべり停止時に着目する.土塊は,水平基礎地盤部分に到達したことにより急停止しており,このときの平均加速度は-139.79 mm/s<sup>2</sup> と絶対値が大きい.同時に水面にも大きな押し波が発生している.両振幅 H は 2.05mm であった.また,この波は土塊停止後も継続して観測されている.同様に,Case-61-16hc-460-2 の結果を図 2 右に示す.本ケースでは,すべり開始直後にピーク速度がみられ,その後 1.0 mm/s まで減速し,ほぼ速度一定の状態を経て緩やかに減速,停止した.最終的な地すべり変位は 24.57 mm と比較的小さい.本ケースでは,31 秒付近から土槽側壁近くでボイリングが観測されており,これにより過剰間隙水圧が消散し,土塊が減速したと考えられる.水位変動をみると,地すべり開始直後から波が発生し,計測終了まで継続した.このうち初期に着目する.ピーク速度に達するまでの平均加速度は 23.72 mm/s<sup>2</sup> と Case-61-16hc-460-1 に比べて大きく,0.0605mm の初期ドロウダウンが明確に観測された.一方で,土塊の停止による波は観測されなかった.これは緩やかな減速であったためと考えられる.

#### 4. 実験データ整理方法

既往の研究で,励起される津波振幅の大きさが地すべり土塊の質量と初期平均加速度に比例する可能性が示唆されていたが,本実験結果から,すべり初期と停止時の平均加速度と津波振幅が単純に比例関係でないことが明らかとなった.すべり初期と停止時の土塊運動の相違点は,特に大規模な地すべりに至るケースにおいて,指数関数的に加速し,停止直前に大きな速度に達するという点がある.したがって,土塊質量と加速度に加えて,その時の地すべり速度も考慮する必要があると考えられる.そこで本研究では,これらのパラメータを全て含む指標として,運動エネルギーの時間変化率を新たに提案する.運動エネルギーを  $E_k$  で表す.

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2 \quad (式 1)$$

$$\frac{dE_k}{dt} = mv \frac{dv}{dt} \quad (式 2)$$

本研究ではこの  $\frac{dv}{dt}$  を平均加速度  $a_0$  とする.併せて,津波振幅も波のエネルギーとして整理する.単位幅あたりの波の運動エネルギー  $\overline{E_{wk}}$  と位置エネルギー  $\overline{E_{wp}}$  を合わせた波の全エネルギーを  $\overline{E_w}$  とする.

$$\overline{E_w} = \frac{1}{8}\rho gH^2 \quad (式 3)$$

$\rho$ :水の密度, $g$ :重力加速度, $H$ :波高

初期ドロウダウン以降の波を正弦波と考え,初期ドロウダウン  $\eta_0$  を二倍した値,停止時の両振幅  $A_f$  を  $H$  とする.以上の値を用いて,すべり開始時,停止時に発生する津波エネルギーについて整理する.結果を図 3 に示す.なお,本稿で示した 2 ケースに加えて,既往の研究<sup>45)</sup>で得られた実験データも含めている.本実験結果は,図中の a)b)で示す.図 3 より,運動エネルギーの時間変化率と津波のエネルギーは,両対数グラフ上で概ね線形関係にあることが分かった.また,すべり初期・停止時間問わずほぼ同一直線上にあり,地すべり運動開始~停止で一貫した相関関係が存在していると考えられる.

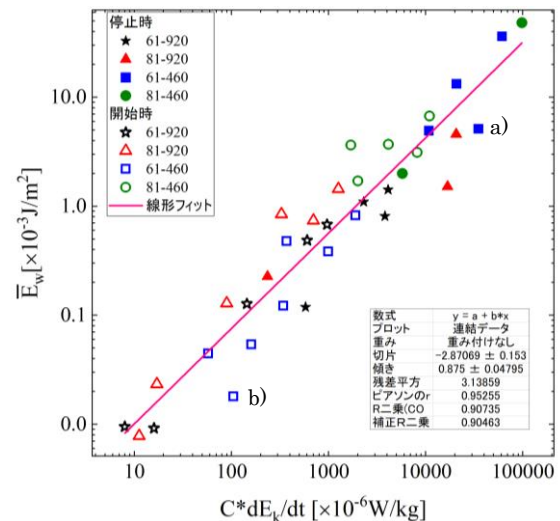


図 3 質量当たり  $E_k$  の時間変化率と津波のエネルギー

#### 5. まとめ

本研究では地すべり運動と津波規模の相関関係について検討することを目的として,海底地すべり模型実験を実施した.その結果,地すべり土塊の加速・減速時に顕著な水面変動が生じることが分かり,さらに運動エネルギーの時間変化率と津波のエネルギーの間には,両対数グラフ上で概ね線形関係が存在することが分かった.

#### 参考文献

1. 池原研:講座 すべりに伴う物質の移動と変形(5)海底地すべり.日本地すべり学会誌.Vol.41,No.5,pp.112-116,2005.
2. 川村喜一郎,金松敏也,山田泰広:海底地すべりと災害-これまでの研究成果と現状の問題点-.地質学雑誌.Vol.123, No.12, pp.999-1014, 2017.
3. 川村喜一郎:講座「海底地すべりと津波」1.講座をはじめにあって.地盤工学会誌.Vol.68,No.4,pp.29-30,2020.
4. 安井俊平,岩井裕正,木村真郷,張鋒:難透水層を有する海底斜面における地すべり運動に関する研究.土木学会論文集 A2(応用力学). Vol.76,No.2,2020.
5. 弘津 航太郎,岩井 裕正,安井 俊平,張 鋒:海底地すべりによって励起される津波特性の基礎的研究.中部地盤工学シンポジウム論文集(Web). Vol.33,pp.45-52,2021