

海底地すべり運動の初期加速度と励起される津波振幅との関係

名古屋工業大学
名古屋工業大学
名古屋工業大学
名古屋工業大学

学生会員
正会員
学生会員
正会員

○弘津
岩井
安井
張

航太郎
裕正
俊平
鋒

1. 序論

海底地すべりは地震動を伴わない津波を引き起こす危険性が指摘されている。すべり土塊の移動速度は津波規模に大きく関わるとされているが、その実測は困難である。そのため、既往の研究¹ではすべり土塊の幾何学的パラメータに着目したものが多く、移動速度などの運動学的パラメータと津波の関係に言及している研究事例は少ない。従って、地すべり運動と励起される津波の経時的な変化を計測することが求められている。

そこで本研究では、地盤材料を用いた模型実験を実施し、過剰間隙水圧の上昇により発生した地すべり運動とそれに伴う水位変動を観測した。本論文では、沿岸部における津波遡上高を決定づけるとされる²初期ドロウダウン(初期の水位低下量)を初期段階における土塊の加速度の発現機構と関連付けることで、地すべり発生から津波励起までのプロセスを検討した。

2. 海底地すべり模型実験概要

水中斜面に難透水層を有する地盤を形成し、併設した昇降装置により斜面底面から水圧を与えて地すべりを発生させる模型実験を実施した。発生した地すべりの変位と速度、及び地すべりに伴う水位変動を高速カメラで撮影し、PTV解析を実施することで計測した。

実験装置の概略図を図1に示す。実験装置及び試験方法については参考文献3で詳述している。引用文献に記載したものからの主な変更点を以下にまとめる。

- ・ 水圧計の追加：図1の斜面模型上面図のように、斜面奥行方向中央部の水圧計1~3に加え、側壁近傍の水圧計4~6を新設した。これにより、地盤底部における二次元的な水圧分布を把握することができる。
- ・ 水面計測標点の設置：地すべりに伴う水位変動を計測するために、端点を土槽壁面に固定したテグスに標点を通し水面に浮かべて設置した。PTV解析の実施にあたり、図1に示す法肩に設置した土塊計測標点の直上に位置する標点の動きより算出した。

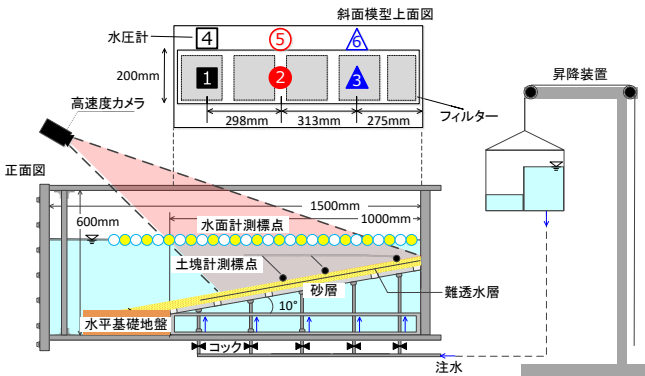


図1 実験装置概略図

地盤は水中落下法により形成した。地盤下部層は全ケースで40mmとし、厚さ1mmのビニールシートを下部層表面に設置し、さらにその上に20mmまたは40mmの砂を堆積させた。水圧を与えるための水位差の基準値 h_c は砂層の限界動水勾配から算出した。この値に任意の係数を乗じた値を実験ケースごとに設定した。

実施したケースを表1に示す。ケース名は左から順にCase-(全層厚)-(設定水位差)-(実施回数)を表している。表1には地すべりの最終変位、最大速度、すべり開始直後の最大速度である初期ピーク速度³、3.1で後述する過剰間隙水圧比の差、すべり開始時に記録された初期ドロウダウン、初期ピーク速度に至るまでの加速度である平均初期加速度を示した。

3. 海底地すべり模型実験結果及び考察

3.1 地すべり土塊の初期加速度に関する考察

まずは地すべり土塊の初期段階における運動について検討する。表1に示したように、Case-81-16hc-1とCase-81-16hc-3は水位差と全層厚が同条件であるが、平均初期加速度の大きさに差が見られた。そこで、初期ピーク速度が観測された時刻において図1に示した斜面

表1 実験結果一覧

ケース名	最終変位	最大速度	初期ピーク速度	過剰間隙水圧比の差	初期ドロウダウン	平均初期加速度
	S [mm]	v_{max} [mm/s]	v_{peak} [mm/s]	$\Delta u^w / \sigma'$ [kPa]	η_0 [mm]	$\overline{a_0}$ [mm/s ²]
Case-61-4hc-4	32.40	1.83	1.83	0.62	0.04	2.18
Case-61-8hc-3	390.28	69.61	14.15	0.51	0.32	21.28
Case-61-12hc-1	431.62	40.59	6.93	0.45	0.16	10.43
Case-61-12hc-2	446.38	70.67	4.76	0.74	—	1.68
Case-61-12hc-3	447.05	59.32	15.61	0.45	0.37	30.97
Case-81-6hc-2	62.73	1.88	1.46	0.68	0.07	2.93
Case-81-8hc-3	467.22	98.95	1.37	0.71	0.04	2.04
Case-81-10hc-3	43.47	7.36	7.36	0.45	0.42	11.11
Case-81-12hc-2	491.71	100.92	9.37	0.48	0.39	18.64
Case-81-16hc-1	139.71	16.88	3.34	0.57	0.16	6.70
Case-81-16hc-3	353.31	32.04	14.50	0.42	0.54	21.75

キーワード：海底地すべり 津波 地すべり加速度
連絡先：〒466-8555 愛知県名古屋市中昭和区御器所町 名古屋工業大学 16 号館 227 号室 TEL: 052-735-7525

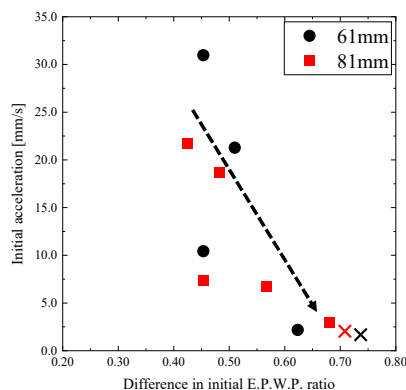


図2 過剰間隙水圧比の差と平均初期加速度関係

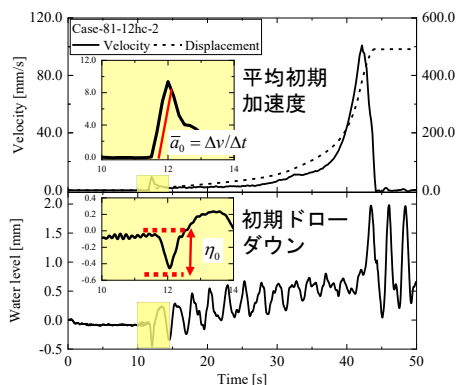


図3 Case-81-12hc-2の地すべり運動と水位変動の関係

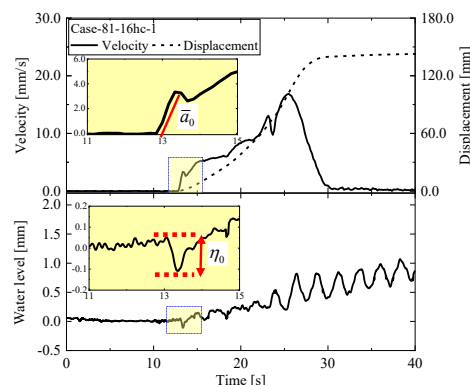


図4 Case-81-16hc-1の地すべり運動と水位変動の関係

底面の6箇所計測した過剰間隙水圧の値に着目し、式(1)に示した式を用いて考察を行う。

$$\Delta u^w / \sigma' = (u_{\max}^w - u_{\min}^w) / \sigma' \quad (1)$$

ここで、 $\Delta u^w / \sigma'$ ：過剰間隙水圧比の差、 $u_{\max}^w$ ：初期ピーク速度が観測された時刻での水圧計1~6の最大値、 $u_{\min}^w$ ：同時刻での水圧計の最小値、 σ' ：各層厚における上部層の有効上載圧である。過剰間隙水圧比の差を横軸に、平均初期加速度を縦軸にとったグラフを図2に示した。黒のプロットは全層厚61mm、赤のプロットは全層厚81mmのケースの結果を示している。ここで、×でプロットしたものは斜面形成時に微小なすべりが生じたケースを示しており、区別のためシンボルを変えている。図2より、過剰間隙水圧比の差が小さいほど、平均初期加速度が大きいことがわかる。すなわち、斜面全体に過剰間隙水圧が均等に分布することにより平均初期加速度が大きくなると考えられる。

3.2 海底地すべり性津波の振幅に関する考察

地すべりによって励起された波について検討を行う。表1に示したように実施した11ケースの内10ケースで初期ドロウダウンが確認された。明瞭な初期ドロウダウンが確認されなかったCase-61-12hc-2では初期ピーク速度は4.76mm/sであり顕著に小さいとはいえないが、平均初期加速度は1.68mm/s²で最小であり、緩やかにすべり出している。そこで、初期ドロウダウンの大きさに対しては、初期速度ではなく加速度が支配的な要因であることが考えられる。

図3、図4に表1中に網掛けで示した代表ケースの地すべり変位・速度及びそれに伴う水位変動の時刻歴を示した。図中にはすべり初期における速度・水位変動の拡大図も併せて示している。図3、図4において、それぞれの平均初期加速度が18.64mm/s²、6.70mm/s²に対して、初期ドロウダウンの大きさは0.39mm、0.16mmであり、初期加速度が大きいほど水位変動量も大きくなっている。全ケースについて両者の関係を、地すべり土塊層厚別にプロットした結果、及び得られた近似直線を図5に示す。平均初期加速度が0ならば水位変動は発生しないため、近似直線の切片は原点に固定している。得られた近似直線の決定係数は全層厚61mmでは0.99、81mmでは0.98であり強い相関が得られた。さらに得られた近似直線の勾配に着目すると、地すべり土塊の層厚が2倍になると直線の勾配も約2倍となっている。ここで、津波振幅予測式であるWatts式²を式(2)に示す。

$$\eta_{0,2D} = \frac{u_t^2}{a_0} (0.0574 - 0.0431 \sin \theta) \left(\frac{T}{b} \right) \left(\frac{b \sin \theta}{d} \right)^{1.25} (1 - e^{-2.2(\gamma-1)}) \quad (2)$$

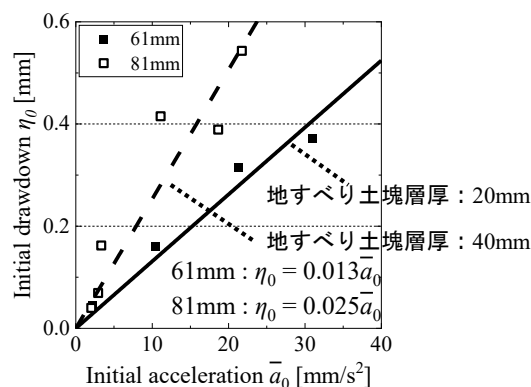


図5 平均初期加速度-初期ドロウダウン関係

ここで、 $\eta_{0,2D}$ ：津波特性振幅、 u_t ：終端速度、 a_0 ：初期加速度、 θ ：斜面傾斜、 T ：土塊の層厚、 b ：土塊の長さ、 d ：没水深、 γ ：土塊の比密度である。式(2)より、津波規模は地すべり土塊の層厚 T に線形比例することが示されており、得られた実験結果との整合性が確認された。

4. 結論

本研究では模型実験により、地すべり発生直後の移動土塊の運動及びそれに伴って発生する波について検討した。以下に得られた知見を示す。

- [1] 難透水層を有する水中斜面において、過剰間隙水圧の上昇により発生した地すべりが水位変動を引き起こすことが確認された。
- [2] すべり初期において過剰間隙水圧が斜面全体に均等に作用することで初期加速度は大きくなる。
- [3] すべりの初期加速度とすべり初期の水位低下量である初期ドロウダウンには線形関係があり、その勾配はすべり土塊層厚に比例することが示された。

参考文献

1. 橋本貴之、壇和秀：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、土木学会全国大会第63回年次学術講演概要集、仙台、pp.395-396、2008。
2. Watts, P., Grilli, S.T., Tappin, D.R. and Fryer, G.J.: Tsunami Generation by Submarine Mass Failure. II: Predictive Equations and Case studies, *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*, Vol.131, No.6, pp.298-310, 2005。
3. 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, pp.1_313-1_323, 2020。