C108

三角形断面地すべり模型による海底地すべり津波の可視化

檀 和秀 (明石工業高等専門学校)

Visualization of Tsunami Generated by Submarine Landslides Using the Triangular Cross Section Model

Kazuhide DAN

ABSTRACT

This paper investigates to what extent the landslides water depth, the velocity of submarine landslides and the landslide slope can change the size of tsunami generated by landslides according to the wave tank experiment using the triangular cross section model of submarine landslides when the volume of a submarine mass movement is constant. The streak lines are visualized by injecting the red ink at several fixed points into water continuously when the cross section model moves down along the slope. According these experimental results it is shown that there are the rising current sources and the tsunami wave height divided by the landslides water depth and landslides water depth divided by the uniform water depth and slope influence the tsunami wave height considerably.

Keywords: Submarine landslides, Tsunami, Triangular Cross Section Model

1. はじめに

津波の原因には海底地震、海底火山、地すべりなどがあげられる。この中でも海底地震がきっかけで海底地すべりが発生し、この影響で通常の津波被害よりはるかに大きな津波災害が発生する場合がある。1998年パプアニューギニア・西セベック州 Aitape 沖約 60km、深さ約 15km を震源とする $M=7.1$ の海底地震による津波は、通常想定する 2m 程度の津波波高に比べてはるかに大きい 10m を超える大きな津波を発生させた¹⁾。海底地すべりによる津波の大きさを予測するために、実験、深海地形を考慮した数値解析などの手法で解明が進んでいる。通常の津波模型実験も最初は箱型を仮定しており²⁾、それと同様に地すべり模型実験においても Harbitz (1992)、Ward (2001) は箱型のすべりを仮定している³⁾。今回、二等辺三角形型の地滑り模型を用いて津波波高を測定したところ、模型が斜面上をすべり始めてからしばらくして波高が急激に変化する現象が確認されたので、地滑り模型周辺の流れを観察して可視化を行った。

2. 海底地すべり津波

2.1 海底地すべりの事例

海底地すべりの規模に関しては、地すべりの発生する

深さは 0~6700m、幅は 1~数十 km、長さは数十~百 km、厚さは数 m~数百 m、体積は 10~数百 km^3 、面積は 15~23000 km^2 と範囲は広い³⁾。地すべり速度の例としては、雲仙眉山 (1792) の崩壊した土砂が陸上から有明海に突入した速度は約 60m/s と推定されている⁴⁾。またカナダ・ニューファウンドランド沖のグランドバンクス地震 (1929) では海底地すべりによる乱泥流は 6~25m/s の速度で 1700km 流れ下っている³⁾。多くの地すべりは 4° 以下で発生している³⁾。

2.2 海底地すべり津波の波高

海底地すべり津波の規模に関係する因子としては、地すべりの形状、地すべり速度 v_s 、体積 V 、地すべり斜面勾配 i 、地すべり発生水深 h_s などが考えられる。以下のように地すべり津波波高 H_t は表される。

$$H_t = \phi(\text{形状}, v_s, V, i, h_s, \dots) \quad (1)$$

3. 模型実験

3.1 実験装置

幅が 40cm、高さ 39.5cm の長方形断面水路を使用して、水路底面には 2 本のレールが敷かれてあり、地すべり模型の底につけた滑車により、レールの上をすべりやすくしている。Fig. 1 に示すように、水平水路部分と

斜路部分を作り、斜路の途中から糸で留めていた地すべり模型の糸をはなすことにより水平水路部分まですべり出させるようになっている。斜面傾斜角度 θ は 4° と 8° で実験を行った。

二等辺三角形地すべり模型の大きさは底辺 20cm、高さが 6cm (斜辺長 11.3cm) のアクリル製で中に砂を詰めている。重量は 3680g である。

3.2 実験方法

Table 1 のように、一様水深 h は 4 種類、地すべり水深 h'' は 6 種類に変化させている。地すべり模型をすべ

Fig. 1 Experimental apparatus

り開始点に固定しておき、水表面下から赤インクを連続的に注入する。赤インクがほぼ鉛直に水路底まで降下するのを確認して地すべり模型をすべらせる。赤インクの流脈は水路の真横方向から、一方おがくずによる水表面の可視化は上方からそれぞれビデオカメラで撮影している。

Table 1 Experimental parameters

θ	h [cm]	h'' [cm]	h''/h
8°	31.75	10.2~30	0.321~0.945
	26.75	10.2~25	0.381~0.935
	21.75	10.2~20	0.469~0.920
	16.75	10.2~16	0.609~0.955
4°	26.75	10.2~25	0.381~0.935
	21.75	10.2~20	0.469~0.920
	16.75	10.2~16	0.609~0.955

4. 実験結果

4.1 上昇流発生場所と可視化

地すべり模型が斜面上をすべり降りていく途中で、水面での波高の変化を調べてみると、 h''/h がある値近傍で波高は大きくなる⁶⁾。これは地すべり模型がすべる途中で発生させる波が重ね合わさり増幅される現象であろうと考えたが、そうではなくて上昇流が発生してその場所近傍での波高が大きく観測されるためであることがわかった。浅いところから深い場所へ正の圧力勾配場を地すべり模型はすべり落ちている。地すべり模型の背後にできる斜面に沿う流れも、大きな圧力によって向きを上方

に変えられる。この上昇流発生場所の水平位置 (基準座標点を 0 としている) x_C を実測してみると Table 2 のような結果になった。またこの位置を確認するために、水面におがくずを浮かべて水粒子の運動を可視化した結果が Fig. 2 である。

4.2 海底地すべり津波の波高

4.2.1 すべり模型真上での波形

地すべり模型がすべり始めた時点での水面変化の 1 例

Table 2 Rising current source

I [°]	h [cm]	Shore x_s [cm]	Model position x_M [cm]	h'' [cm]	Rizing current source x_C [cm]
8	26.85	-19.5	36.5	10.2	
			56.8	13	79.5
			66	14.5	93.5
			75.8	16	105.5
			85.5	17.5	121
			96.2	19	135
21.75	21.75	13.5	106.7	20.5	
			71.5	10.2	
			90	13	105
			101	14.5	125.5
			111.2	16	141
			120.8	17.5

Fig. 2 Visualized rising current source (Floating tracer method, $h=26.75$ cm, $h''=13$ cm, $\theta=8^\circ$)

を Fig. 3 に示す。模型が斜面上を降下すると、模型の体積移動により模型が元あった空間へ水が補給されることにより水面は低下する。元の模型の場所への水の移動は順次行われ、その結果模型の移動とともに水面低下も次々と移動することになる。

Fig. 3 Wave profile at the point PU1 (Fig.1)

Fig. 4 Wave profile over the triangular cross section model

Fig. 5 Wave profile at the point PU3 (Fig.1)

4.2.2 水平水路上での津波波高

Fig. 1 に示した水平水路上での波高計の記録結果の 1 例が Fig. 4 である。模型真上での水面は Fig. 4 のように模型の体積移動により水面低下することから始まるが、すべり開始点から離れるにつれて観測される波形は水面上昇から始まるようになる。Fig. 5 のように波高 H を決める。

このようにして計測された波高 H を地すべり水深 h' で除した波高地すべり水深比 H/h' と地すべり水深 h' を一様水深 h で除した相対地すべり水深 h''/h との関係を示したのが Fig. 5 と Fig. 6 である。

両図から相対地すべり水深 h''/h が大きくなるとともに波高地すべり水深比 H/h' の値が小さくなること

がわかる。また地すべり水深 h' が深くなると波高地すべり水

Fig. 6 Relationship between H/h' and h''/h ($\theta=8^\circ$)

Fig. 7 Relationship between H/h' and h''/h ($\theta=4^\circ$)

深比も小さくなることわかる。斜面角度別に見れば斜面角度が小さいほど波高地すべり水深比の値も小さいことがわかる。これらの図は三角形地すべりを仮定した結果であるのでこれをそのまま利用して現地海域での津波波高を推定することは難しいが参考資料にはなると考えられる。

4.3 赤インクによる鉛直断面内の可視化

赤インク注入各点での地すべり模型移動開始直後の赤インクの流脈はほぼ同様で、平行にある一定の距離移動し、水面からある深さまでの水の移動はほとんどない。すべり開始とほとんど同時に各点へ地すべり開始の影響が伝わっていると思われる。また水の移動が見られない水表面からの深さは、地すべり開始時の地すべり模型上の水深に関係していると思われる。

Fig. 8 Streak lines after the model starts moving when $t=t_0$ and $t=0$ when the ink tracer moves at first. ($t_0 < 0$) ($h=26.75\text{cm}$, $h''=10.2\text{cm}$, $x=152.5\text{cm}$)

(a) The model is at rest ($t=t_0$)

(b) 0.83 sec after the model starts moving ($t=0$)

(c) 1.5 sec after the model starts moving

Fig. 9 Streak lines after the model starts moving ($h=21.75\text{cm}$, $h''=10.2\text{cm}$, $x=122.5\text{cm}$)

すべり模型が赤インク注入点を通るまでは、Fig. 8のように水面より少し下の位置から水路底までほぼ平行

な水の移動がすべり開始と同時に現れる。この状態がそのまましばらく続き、模型がインク注入点を通る際、模型前方の水を押しよけると同時に、模型上方から水面まで水平方向に模型進行と逆方向の流れが生じている。その後模型が進んだあと、模型の進行方向の流れと逆方向の流れが交互に現れる。

Fig. 9 はビデオモニター画面内に地すべり模型とインクが写っている場合の状況である。(a)はまさに滑り出そうとする瞬間である。(b)は模型はすでにすべり出しているのであるが、インクは変化しない状態で、(c)はほぼ水平方向のインクの移動が見られる状態を示している。このように、地すべり模型とインクの移動は少しの時間のずれがある。

4.4 地すべり速度

斜面角度が 4° と 8° の場合に、地すべり模型が $h=21.75\text{cm}$ の水深で $h''=10.2\text{cm}$ の位置から滑り始めた場合の水平水路到達前のすべり速度は 4° で 10.15cm/s , 8° で 19.36cm/s と観測された。地すべり速度も地すべり津波波高に大きく影響するはずであり、実際の地すべり速度に近い状態を再現するために、地すべり模型を強制的に速くすべらせる、あるいはもっとゆっくりとすべらせるなどの工夫をして調べる必要がある。

5. おわりに

海底地すべり形状を二等辺三角形断面と仮定して、固定している糸を離れたあとは自由すべりという条件での海底地すべり津波模型実験を実施した。斜面勾配、地すべり水深、津波波高などを実測して関係を調べ、無次元量間関係として整理した。静止流体中を地すべり模型がすべることによる流れの状態を流脈法で調べ、上昇流の発生位置、地すべり模型近傍の水面変化を可視化計測した。

参考文献

- 1) 松山昌史：津波の発生に関する実験の過去と今後，月刊海洋，号外 No. 15 (1998)，pp. 84-88.
- 2) 今村文彦：パプアニューギニア・シッサノ津波の被害と発生メカニズムの謎，土木学会誌，Vol. 83 October (1998)，pp. 42-43.
- 3) Trifunac, M. D., Todorovska, M. I.: A note on differences in tsunami source parameters for submarine slides and earthquake, Soil Dynamics and Earthquake Engineering 22 (2002) pp. 143-155.
- 4) 池谷浩：火山災害，中公新書 (2003)，pp. 70-73.
- 5) Kenji Satake: Tsunami modeling from submarine landslides, ITS 2001 Proceedings, pp. 665-674.
- 6) 檀和秀，小林秀禎，萩原淳子：三角形断面地すべり模型による地すべり津波波高に関する実験的研究，明石高専研究紀要 No. 48 (2005)，pp. 45-49.