

## 崩落体に起因する津波の実験的検討

柿沼 太郎\*・中村 浩平\*\*・種田 哲也\*\*\*

## 1. 序 論

火山の噴火活動に起因する火山性津波<sup>1)</sup>や、地すべりにより生成される津波は、断層運動に伴う海底地震津波と比較して、発生頻度が極めて低く、未解明な点が多い。鹿児島県では、火山性津波に関して、1780年9月及び10月の鹿児島湾北部海底噴火津波、1781年鹿児島湾北部海底火山噴火津波及び1914年鹿児島湾桜島大噴火地震津波の4件の記録が残されている。また、1792年普賢岳の火山性地震と、それに伴う眉山の山体崩壊による津波により、死者1万人以上、流失家屋6千棟以上の甚大な被害が発生した<sup>2)</sup>。更に、1771年八重山地震津波では、先島諸島に残された津波石の状況から、海底地すべり等によって大きな津波が発生したと考えられている<sup>3)</sup>。

こうした津波の生成過程において、崩落体や斜面の条件が、生成される津波にどのような影響を与えるのかに関して、水理実験や数値解析によって調べられてきた<sup>4)~8)</sup>。しかしながら、地すべり、山体崩壊や、氷河崩落に伴う津波は、崩落体と水が相互に干渉した結果生じるため<sup>9)</sup>、その生成過程が複雑であり、不明な点が多い。

そこで、本研究では、現象を単純化し、一様勾配斜面を等速度で滑落する崩落体により津波が生成される過程を対象として水理実験を行ない、崩落体の突入速度や斜面勾配が、生成される津波の津波高さに与える影響を調べる。

## 2. 実験の概要

図1に示すような長さ4.0 m、高さ0.27 m、幅0.2 mの亚克力製の水槽の内部に、滑面に研磨された亚克力板で製作された取替え可能な斜面を設置した。斜面は、両側のゴム板により、水槽に固定される。

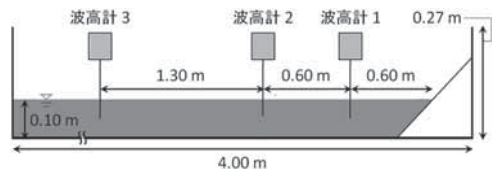


図1 津波生成実験用水槽

本研究では、図2に示すような、長さ20.0 cm、幅19.9 cmの2枚の亚克力板を接続した模型を崩落体モデルとして用いた。一方の亚克力板を斜面に接して置き、崩落体を斜面に沿って手動で滑らせる。

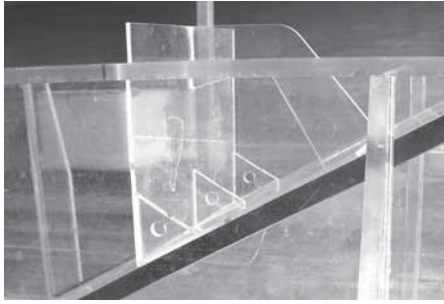
図2 崩落体モデル（それぞれ、左から順に、斜面勾配が $\beta = 60^\circ$ 、 $45^\circ$ 及び $30^\circ$ の場合の実験で用いる。）

図3に示すように、水を押し込む崩落体は、前面の亚克力板が鉛直となるよう設置した。すなわち、斜面勾配を $\beta = 30^\circ$ 、 $45^\circ$ 及び $60^\circ$ の3通りとし、それぞれの斜面勾配に対して、2枚の亚克力板のなす角度が $60^\circ$ 、 $45^\circ$ 及び $30^\circ$ である崩落体モデルを用いた。そして、斜面のない沖側の一様静水深域における

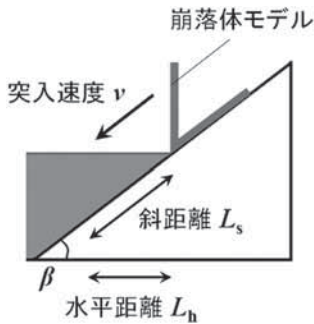
\*鹿児島大学学術研究院理工学域

\*\*薩摩川内市建設部

\*\*\*鹿児島大学大学院理工学研究技術部



(a) 斜面上の崩落体モデル



(b) 崩落体モデルの初期位置及び突入のパラメタ

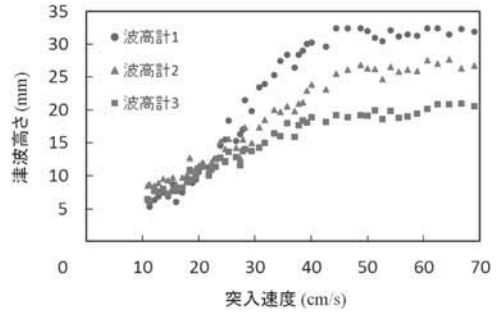
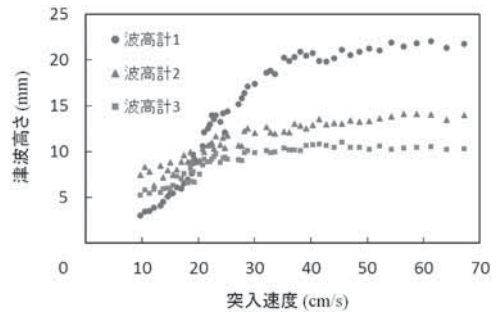
図 3 斜面上における崩落体モデルの初期位置及び突入のパラメタ

静水深を 0.1 m で一様とし、崩落体の前面の初期位置を静水時の汀線位置とした。

崩落体の突入状況をビデオ・カメラで撮影し、突入した時間と距離から、崩落体の突入速度を算出した。その際に、突入速度がほぼ一定である場合のみの結果を採用した。実験条件のパラメタは、崩落体を押し込む時間  $\tau$ 、水平距離  $L_h$ 、斜面に沿った斜距離  $L_s$ 、突入速度  $v = L_s / \tau$  及び最終的に斜面上から排除した水の体積  $V$  であり、パラメタの値が異なる各場合に対して、3 地点に設置した 3 台の容量式波高計を用いて水面変動を測定した。

### 3. 崩落体が底面に接するまで突入する場合に生成される津波の津波高さ

まず、図 1 に示す斜面の勾配を  $\beta = 30^\circ$  とした。図 4 に、崩落体が底面に接するまで突入する場合に生成される津波の、突入速度と

図 4 崩落体の突入速度と津波高さの関係 (斜面勾配は、 $\beta = 30^\circ$  である。)図 5 崩落体の突入速度と津波高さの関係 (斜面勾配は、 $\beta = 45^\circ$  である。)

津波高さの関係を示す。ここで、津波高さは、各地点における、最大水位の静水位からの高さとする。

次に、図 1 に示す斜面の勾配を  $\beta = 45^\circ$  とした。図 5 に、崩落体が底面に接するまで突入する場合に生成される津波の、突入速度と津波高さの関係を示す。

そして、図 1 に示す斜面の勾配を  $\beta = 60^\circ$  とした。図 6 に、崩落体が底面に接するまで突入する場合に生成される津波の、突入速度と津波高さの関係を示す。

図 4～図 6 に示したいずれの結果においても、突入速度  $v$  が約 20 cm/s より遅い場合には、津波の発生地点に最も近い波高計 1 における津波高さが、波源から遠くに位置する波高計 2 及び 3 における津波高さよりも低くなっている。これは、突入速度  $v$  が遅いと、津波が発達して津波高さが大きくなるまでに要する伝播距離が、長くなるためであると考えられ

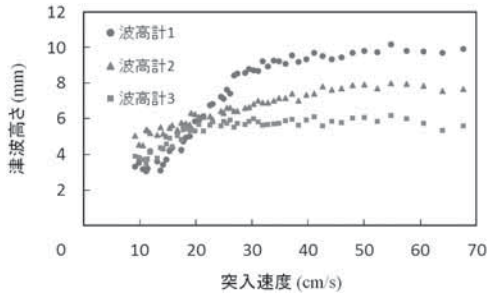


図6 崩落体の突入速度と津波高さの関係 (斜面勾配は、 $\beta = 60^\circ$  である。)

る。他方、いずれの斜面においても、突入速度  $v$  が約 20 cm/s より速い場合には、波高計 1 における津波高さが最も大きく、波源から最も遠くに位置する波高計 3 における津波高さが、津波の伝播に伴う低減により、最も低くなっている。

また、いずれの斜面においても、突入速度  $v$  が 40 cm/s 程度より速い場合に、津波高さが突入速度  $v$  に依存しにくくなっている。この場合、ビデオ・カメラの映像より、津波の生成過程において、波が前方に崩れるのが確認された。すなわち、突入速度が大きくなり、砕波が生じると、津波の造波効率が悪くなり、津波高さと突入速度の相関が悪くなると考えられる。

そして、図4～図6の結果を比較すると、斜面が緩勾配であるほど、等しい突入速度に対する津波高さが大きくなるのがわかる。図3に示す突入の水平距離  $L_h$  及び斜距離  $L_s$  は、図4、図5及び図6の各場合において、それぞれ、 $(L_h, L_s) = (17.3 \text{ cm}, 20.0 \text{ cm})$ ,  $(10.0 \text{ cm}, 14.1 \text{ cm})$  及び  $(5.8 \text{ cm}, 11.5 \text{ cm})$  であり、斜面が緩勾配であるほど、これら両者の距離が長い。また、崩落体が最終的に斜面上から排除した水の体積  $V$  は、図4、図5及び図6の各場合において、それぞれ、 $V = 1.72 \times 10^3 \text{ cm}^3$ ,  $9.95 \times 10^2 \text{ cm}^3$  及び  $5.74 \times 10^2 \text{ cm}^3$  となり、斜面が緩勾配であるほど大きい。このように、斜面が緩勾配であるほど、 $L_h$ ,  $L_s$  及び  $V$  が大きくなるため、等しい突入速度に対する津波高さが大きくなる。

#### 4. 崩落体が排除する斜面上の水の体積が等しい場合に生成される津波の津波高さ

図7に、崩落体が最終的に斜面上から排除する水の体積が  $V = 5.74 \times 10^2 \text{ cm}^3$  である場合の、波高計 1 の位置における津波高さを示す。ここで、図3に示す突入の水平距離  $L_h$  及び斜距離  $L_s$  は、斜面勾配が  $\beta = 30^\circ$ ,  $45^\circ$  及び  $60^\circ$  の各場合において、それぞれ、 $(L_h, L_s) = (10.0 \text{ cm}, 11.5 \text{ cm})$ ,  $(7.6 \text{ cm}, 10.7 \text{ cm})$  及び  $(5.8 \text{ cm}, 11.5 \text{ cm})$  である。

図7より、斜面が最も緩やかである  $\beta = 30^\circ$  の場合に、各突入速度に対する津波高さが最も大きくなるのがわかる。これは、 $\beta = 30^\circ$  の場合に、水平距離  $L_h$  が最も長く、崩落体が水を沖方向に押し込む効果が大きくなるためである。

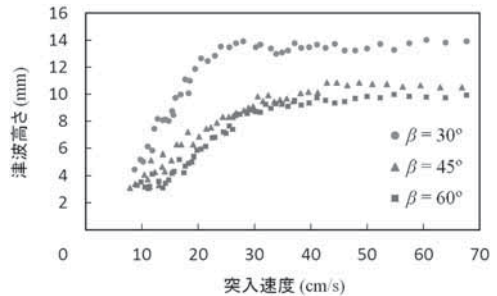


図7 崩落体の突入速度と図1に示す波高計1の位置における津波高さの関係 (崩落体が最終的に斜面上から排除した水の体積は、 $V = 5.74 \times 10^2 \text{ cm}^3$  である。)

#### 5. 結 論

一様勾配斜面を等速度で滑落する崩落体により津波が生成される過程を対象とした水理実験を行ない、崩落体の突入速度や斜面勾配が、生成される津波の津波高さに与える影響を調べた。

崩落体が、底面に接するまで、斜面上を滑り下りる場合に生成される津波では、対象としたいずれの斜面に対しても、突入速度が約 20 cm/s より遅い場合には、斜面に近い地

点における津波高さが、斜面から遠くに位置する地点における津波高さよりも低くなった。他方、突入速度が約 20 cm/s より速い場合には、津波の伝播に伴い津波高さが低減し、斜面から遠くに位置する地点における津波高さが低くなった。また、突入速度が 40 cm/s 程度より速い場合に、波が前方に崩れ、津波高さが突入速度に依存しにくくなった。更に、斜面が緩勾配であるほど、突入の水平距離及び斜距離、並びに、崩落体が最終的に斜面上から排除する水の体積が大きくなるため、等しい突入速度に対する津波高さが大きくなった。

一方、崩落体により、最終的に斜面上から排除される水の体積が、等しい場合に生成される津波では、斜面が緩やかであるほど、突入の水平距離が長いため、各突入速度に対する津波高さが大きくなった。

## 謝 辞

本研究を遂行するにあたり、文部科学省地(知)の拠点整備事業「火山と島嶼を有する鹿児島地域の地域再生プログラム」平成 29 年度地域志向教育研究経費の助成を受けた。ここに謝意を表す。

## 参考文献

- 1) 小林哲夫：噴火に伴う津波－鬼界カルデラのアカホヤ噴火を中心に－, 月刊地球, Vol. 37, No. 5, pp. 169-180, 2015.
- 2) 富樫宏由, 平山康志, 谷口祐治, 松本慎市: 1792 年有明海津波の再現性水理実験, 海岸工学論文集, 第 39 巻, pp. 221-225, 1992.
- 3) Goto, K., Miyagi, K., Kawamata, H. and Imamura, F.: Discrimination of boulders deposited by tsunamis and storm waves at Ishigaki Island, Japan, Marine Geol., Vol. 269, pp. 34-45, 2010.
- 4) Shigihara, Y., Goto, D., Imamura, F., Kitamura, Y., Matsubara, T., Takaoka, K. and Ban, K.: Hydraulic and numerical study on the generation of a subaqueous landslide-induced tsunami along the coast, Nat. Hazards., Vol. 39, pp. 159-177, 2006.
- 5) 重松孝昌, 河野哲也: 斜面上を運動する粒子群に誘起される流体運動に関する実験的研究, 海岸工学論文集, 第 53 巻, pp. 136-140, 2006.
- 6) 松原隆之, 関島正浩, 神田典昭, 今村文彦: 山体崩壊等に伴う津波の発生過程に関する実験的研究, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol. 67, No. 2, pp. I\_191-I\_195, 2011.
- 7) 後藤仁志, 五十里洋行, 松原隆之, 伊藤孝: 高精度粒子法に基づく固液二相流モデルによる山体崩壊津波の発生過程解析, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol. 67, No. 2, pp. I\_196-I\_200, 2011.
- 8) Kakinuma, T.: Tsunami generation due to a landslide or a submarine eruption, Tsunami (Ed. Mokhtari, M.), InTech, pp. 35-58, <http://www.intechopen.com/books/tsunami/tsunami-generation-due-to-a-landslide-or-a-submarine-eruption>, 2016.
- 9) 柿沼太郎: 津波地震によってもたらされるであろう幾つかの地変形態と形成される津波の数値解析, 津波工学研究報告, 第 23 号, pp. 69-86, 2006.