

1640年駒ヶ岳噴火による津波再現のための山体崩壊シミュレーション

東北大学 工学研究科

正会員 ○菅野 剛

東北大学 災害科学国際研究所

正会員 今村文彦

1. はじめに

北海道から東北地方太平洋沿岸には17世紀の津波堆積物が広く分布し、古文書や津波の再現解析等から、北海道東部地域は十勝・根室沖の地震、東北地方については1611年慶長奥州三陸地震が成因とされる。一方、北海道西部地域は、上記津波のほかに1640年駒ヶ岳噴火に伴う山体崩壊による津波の可能性も指摘され、現時点で特定に至っていない（図-1）。同津波堆積物の成因を特定するためには、駒ヶ岳噴火による津波の再現解析を精緻に行う必要があるが、土砂崩壊挙動から津波の発生・伝播過程を組み合わせた解析事例はない。

本稿では、水理実験等で適用性が検証された土砂崩壊モデル TITAN2D を用いた山体崩壊シミュレーション結果を報告する。

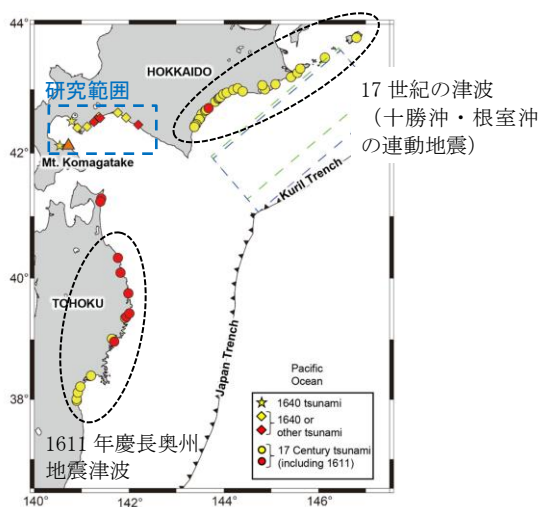


図-1 北海道から東北地方に分布する17世紀の津波堆積物 (Goto et al. (2021) ¹⁾ に一部加筆)

2. 1640年駒ヶ岳噴火による津波被害

1640年の噴火は有史以降、最大規模の噴火であり、噴火に伴う山体崩壊により発生した津波は、内浦湾沿岸に押し寄せ、700人以上の犠牲者を出した。噴火による崩壊土量は1.42~1.79km³ (気象庁 (2013) ²⁾、海域への土砂流入量は1.3~1.5km³ (中西・岡村 (2019) ³⁾ とされる。

3. TITAN2Dによる山体崩壊シミュレーション

山体崩壊シミュレーションは、アメリカのニューヨーク州立大学バッファロー校で開発された解析プログラム「TITAN2D」(GMFG (2005) ⁴⁾)を用いた。TITAN2Dは、山体崩壊により時々刻々と変化する崩壊土の位置及び厚さ等について、崩壊土の挙動を流体的挙動と見なしてシミュレーションするプログラムであり、土砂の斜面降下実験、1792年眉山崩壊による津波の再現シミュレーション (飯塚ほか (2017) ⁵⁾) で適用性が検証されている。解析手法について、山体崩壊は陸上斜面の一部が力学的な安定性を失いすべり面に沿って崩落する現象であることを踏まえ、TITAN2Dでは崩壊土の体積と同等な流動体 (パイル) を設定し、重力を駆動力とする運動方程式で解く。

連続式

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial hu}{\partial x} + \frac{\partial hv}{\partial y} = 0$$

運動方程式

$$\begin{aligned} \frac{\partial hu}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(hu^2 + \frac{1}{2} k_{ap} g_z h^2 \right) + \frac{\partial huv}{\partial t} \\ = g_z h - h k_{ap} \text{sign} \left(\frac{\partial u}{\partial y} \right) \frac{\partial h g_z}{\partial y} \text{sign} \varphi_{int} \\ - \frac{u}{\sqrt{u^2 + v^2}} \left[g_z h \left(1 + \frac{u^2}{r_x g_z} \right) \right] \tan \varphi_{bed} \end{aligned}$$

h : 層厚 r : 斜面の曲率半径 k_{ap} : 主働(受働)土圧係数
 u, v : 速度 g : 重力加速度 $\text{sign}(a)$: 実数 a の符号
 φ_{int} : 内部摩擦角 φ_{bed} : 底面摩擦角

4. 1640年駒ヶ岳の山体崩壊シミュレーション

(1) 検討ケース及び再現性の指標

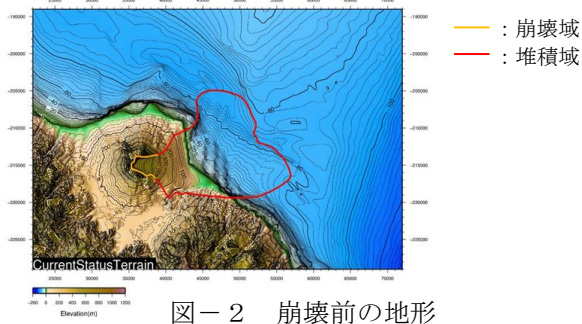
検討ケースは、上述した崩壊土量及び海域への土砂流入量の上限值及び下限値に相当する2ケースとした (表-1)。再現性の指標については、設定した海域への土砂流入量及び吉本ほか (2003) ⁶⁾ による海上音波探査調査に基づく土砂堆積範囲とした。

キーワード: 17世紀の津波堆積物, 1640年駒ヶ岳噴火, 山体崩壊シミュレーション, TITAN2D

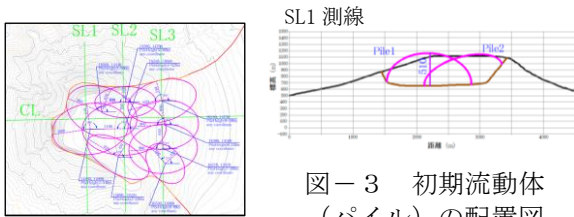
連絡先 〒980-0845 仙台市青葉区荒巻字青葉 468-1

表－1 検討ケース

	陸域の崩壊土量 (与条件)	海域への土砂流入量 (目標値)
ケース 1	1.7km ³	1.5km ³
ケース 2	1.5km ³	1.3km ³



図－2 崩壊前の地形



図－3 初期流動体
(パイル) の配置図

(2) 崩壊前の地形データの作成

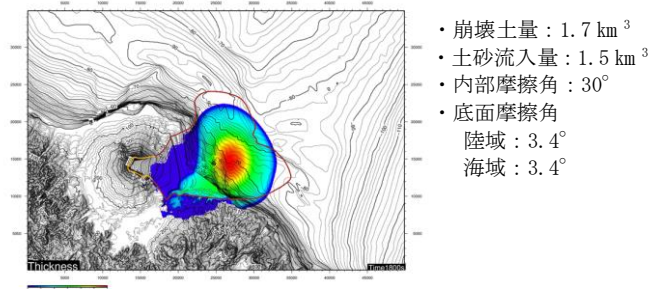
崩壊前の地形は、国土地理院の 10mDEM データ、日本水路協会の M7006 データを用いて、吉本ほか (2003)⁶⁾ による崩壊土の崩壊・堆積範囲、中西・岡村 (2019)³⁾ 等による崩壊前の汀線位置や陸域の地形に係る知見を参考に作成した。作成した崩壊前の地形及び TITAN2D に用いる初期流動体を図－2, 3 に示す。

(3) 山体崩壊シミュレーション

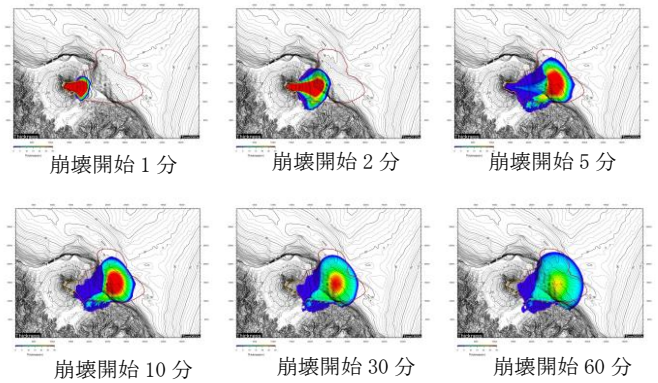
TITAN2D では、崩壊土の内部摩擦角、陸域・海域の底面摩擦角の設定が必要となる。内部摩擦角については、自然地盤における礫または砂質土の内部摩擦角の平均値 30° を基本として、25°～40° の範囲でパラメータスタディを実施した。底面摩擦角について、陸域は、吉本ほか (2003)⁶⁾ において最大落差と最大流走距離の関係から 3.4° (等価摩擦係数 0.06) としていることから、この値を用いた。海域については、陸域の底面摩擦角よりも小さくなることを踏まえ、3.4°～3.0° の範囲でパラメータスタディを実施した。シミュレーション時間は、崩壊 60 分後まで実施した。

(4) シミュレーション結果

各ケースともに再現性の指標を良好に再現できることを確認した。ケース 1 による海域の土砂堆積範囲の再現シミュレーション結果を図－4 に、土砂の崩壊挙動を図－5 に示す。



図－4 海域の土砂堆積範囲の再現性 (ケース 1)
(崩壊開始 30 分後の地形)



図－5 土砂の崩壊挙動 (ケース 1)

5. まとめ

1640 年駒ヶ岳噴火による津波再現のため、TITAN2D を用いて山体崩壊シミュレーションを実施し、海域の土砂流入量及び土砂堆積範囲を良好に再現できることを確認した。今後、本検討から得られた汀線位置における層厚及び流速を境界条件として、二層流モデルを用いた津波シミュレーションを実施し、津波堆積物の分布の再現性を確認する予定である。

参考文献

- 1) Goto, K., T. Ishizawa, Y. Ebina, F. Imamura, S. Sato, K. Udo, 2019: Ten years after the 2011 Tohoku-oki earthquake and tsunami: Geological and environmental effects and implications for disaster policy changes, Earth-Science Reviews 212.
- 2) 気象庁 (2013): 日本活火山総覧 (第 4 版)
- 3) 中西諒・岡村聡, 2019: 1640 年北海道駒ヶ岳噴火による津波堆積物の分布と津波規模の推定, 地質学雑誌, 125(12).
- 4) Geophysical Mass Flow Group (GMFG), 2005: TITAN2D User Guide, University at Buffalo.
- 5) 飯塚敬一・酒井信介・石原史隆・木村達人・谷智之・大島貴充・山下恭平, 2017: 土砂崩壊モデルと二層流モデルを用いた 1792 年眉山崩壊による津波の再現シミュレーション, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol. 73, No. 2.
- 6) 吉本充宏・古川竜太・七山太・西村裕一・仁科健二・内田康人・宝田晋治・高橋良・木下博久 (2003): 海域に流入した北海道駒ヶ岳火山 1640 年岩屑なだれ堆積物の分布と体積推定, 地質学雑誌, 109(10).