

土砂移動に対する軽石堆積物の密度変化の影響

神戸大学大学院海事科学研究科砂防理工学研究室 ○澤田 笙

神戸大学大学院海事科学研究科砂防理工学研究室 Christopher Gomez

東京大学大学院農学生命科学研究科森林科学専攻 堀田 紀文

北海道大学広域複合災害研究センター 厚井 高志

1 はじめに

1.1 研究背景

軽石は、高い空隙率で知られ、火山地域に広く分布している。軽石が含まれる場合、火山地域にない斜面でもラハールや土石流及び地すべりなどの被害は災害レベルに発展することが指摘されている(e.g. 緑川ら, 2020.)。砂防工学において、土石流の数値シミュレーションが広く使用されており、土石流の支配方程式の一つである江頭・伊藤による式は、河床勾配や流速、土砂濃度の平衡状態に基づいて、土石流の発達過程や減衰過程を追跡することができる(江頭・伊藤ら, 2004)。この方程式のパラメータの一つである砂礫密度 σ について、密度が変化しない物質を対象として、定数である 2.65 g/cm^3 が使用されることが多い(e.g. 江頭ら, 2004)。一方で、火山噴火が影響する地域を対象とした軽石のように、物質の密度が小さい ($<1.0 \text{ g/cm}^3$) または変数となる物質に対しては、の先行研究が限られている(ゴメス・片岡, 2017, 2018)。これは、土石流や地すべりといった土砂移動現象中における物質の役割が物性の観点から研究されていないことを示している。よって本研究では、沼沢火山より採取した軽石を使用して、軽石の低い乾燥密度と吸水による密度変化による、物質輸送における軽石の物性の役割について明らかにすることを目的としている。

1.2 沼沢火山

沼沢火山は福島県と新潟県の県境に位置し、標高 835m の火山である。沼沢火山の噴火に伴った火砕流が只見川を塞ぎ、長距離にわたる土石流を引き起こした。その土石流被害は、沼沢火山から地理的に大きく離れたところに位置している新潟平野まで到達し、その高低差は 390m、水平距離は $>150 \text{ km}$ 、よって H/L

は 0.0026 であった。そのため、軽石由来の災害イベントは発生源から $>150 \text{ km}$ まで拡大するリスクがあると考えられる(Kataoka *et al.*, 2008)。



Fig. 1 沼沢湖

2 使用サンプルと手法

本研究では、実験データから経験則的にシミュレーションによる可視化を行った。沼沢火山で採取した軽石サンプルを使用して反復実験を行い、各実験では 8 個のサンプルを使用した。また、微粒子の目詰まりを防ぐため、表面を取り除いた。まず、軽石を室温 (25°C) の水の中に沈めた。ここで、軽石表面と実験器具の接触を減らすため、テグス(直径 0.33 mm)を使用した。吸水による軽石の質量変化測定には、 $0.1 \text{ g HL-200i scale}$ を用い、1 サンプルあたり 10 秒おきに計 60 秒の計測を行った。その後、テグスを用いてサンプルを回転する水中に吊るし、回転速度は 488 rpm , 602 rpm (それぞれ流速では $0.085 \sim 0.22$, $0.083 \sim 0.24 \text{ m/s}$ に値する。(a test LS300-A Portable Current Meter を使用して測定した。)) とした。これは、流速のある水中において停止している軽石について理解することができる。流速による吸水の違いを比較するため、質量変化の測定は、静水時と同様の時間間隔で行った。また、吸水は拡散方程式に従うと考えられるため、これ

らの実験データを用いて、軽石の吸水 $A(t, x)$ [g]に関して定式化を行った。

$$A(t, x) = (k_1 x + k_2) \ln t + (k_3 x + k_4) \quad (1)$$

ここで、 t, x はそれぞれ時間[s]、サンプルの表面積[cm²]である。また、 k_1, k_2, k_3, k_4 は係数である。その後、初期質量 $m(0, x)$ に吸水量 $A(t, x)$ を足すことで質量変化 $m(t, x)$ に関する定式化を行った。

$$m(0, x) = \rho_0 \left(\alpha x^{\frac{3}{2}} + \beta \right) \quad (2)$$

$$m(t, x) = m(0, x) + A(t, x) \quad (3)$$

ここで、 ρ_0 : 乾燥密度[g/cm³]である。また、 α, β : 係数であり、(3)式は、密度の定義(4)式と体積 V [cm³]と表面積 x [cm²]の関係式(5)より導出した。

$$\rho_0 = \frac{m(0, x)}{V(x)} \quad (4)$$

$$V = \alpha x^{\frac{3}{2}} + \beta \quad (5)$$

最後に、密度の定義より、密度変化について定式化を行った((6)式)。

$$\rho(t, x) = \frac{m(t, x)}{V(x)} \quad (6)$$

2 結果

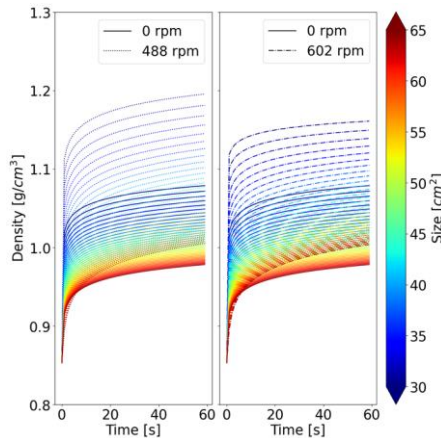


Fig. 2 Density variation (against time) at 0 rpm, 488 rpm, and 602 rpm

結果は、小さいサンプルほど密度は高くなることを示した(Fig. 2)。また、静水時と流速があるときでは、時間変化における密度変化の割合は流速ありのときに大きくなる傾向にあるが(0, 488, 602 rpm それぞれにおいて、65cm²のとき 0.97, 0.99, 0.98)、サンプルが小さいほど密度変化の割合は小さくなった(488, 602 rpm そ

れぞれにおいて、30 cm²のとき 1.20, 1.16)。

3 考察

軽石が小さいほど密度が大きくなったことから、大きさが小さいほど表面からより深層まで水が浸入するため、大きく密度が変化したと考えられる。また、流速あるときの方が時間変化における密度変化が大きくなったことから、水の流れによる圧力が軽石表面に加わるため、密度変化が大きくなったと考えられる。また、この密度変化は土石流の平衡勾配 θ_e に影響し、その値は先行研究と比較してかなり小さいものとなり(先行研究では 11°、本研究では-0.67° ~ -0.91°)、密度変化に合わせて変化を示した。このことから、軽石が含まれている場合、より小さい勾配でも土石流が発生する可能性があり、さらに土砂の再移動に影響し、ある斜面に対して、流速が変化すると再移動が始まる可能性が考えられる。このため、軽石を適用したモデルを適用するとともに、軽石が含まれている場合には、土石流だけでなく、様々な種類の土砂移動に適用できるように、土砂移動に対するアプローチ方法を考える必要がある。

4 参考文献

- Egashira, S. and Ito, T. (2004): Numerical Simulation of Debris Flow, Journal of Japan Society of Computational Fluid Dynamics, Vol. 12, No. 2, pp. 33-43 (in Japanese).
- Kataoka, K. Urabe, A. Manville, V. and Kajiyama, A. (2008): Breakout flood from an ignimbrite-dammed valley Numazawako eruption, northeast Japan, Geological Society of America Bulletin, v. 120, no. 9/10, p. 1233-1247
- Midorikawa, Y., Unno, T., Kamura, A., Sento, N. and Kazama M. (2020): Physical and mechanical properties of volcanic soils damaged in the 2018 Hokkaido Iburi eastern earthquake, Japanese Journal of JSCE A1, Vol. 76, No. 4, pp. 741-754. (in Japanese with English abstract).
- Gomez, C., Kataoka, K. (2017): The spatio-temporal control of pumice vesicularity on lahar disaster risks, Research Institute for Natural Hazards & Disaster Recovery, proceeding.
- Gomez, C., Kataoka, K. (2018): Differentiating Transport Mechanism of pumices in Hyperconcentrated-flows from Numazawa Volcano -Japan, JpGU 2018, proceedings.