

1792年眉山崩壊に関する研究

鳥取大学工学部 正員 道上 正規
鳥取大学工学部 正員 桧谷 治

鳥取大学工学部地域共同研究センター 正員 宮本 邦明
明生建設(株) 学生員○小島 隆行

1. はじめに

1792年長崎県島原半島の眉山崩壊に伴い発生した『島原大変肥後迷惑』と呼ばれている災害について従来より多くの研究が行われている。その中でも特に“津波”を研究の対象としているものが多く、ある程度の成果をあげている。しかし、この一連の災害の初期段階を支配している眉山崩壊そのものについての詳細な研究はほとんど行われていない。本研究は、これまであまり積極的に取り上げられなかった“眉山崩壊”に焦点を当てて、その崩壊土塊の運動過程の再現を昨年度の一次元計算¹⁾を二次元に拡張して行ったものである。

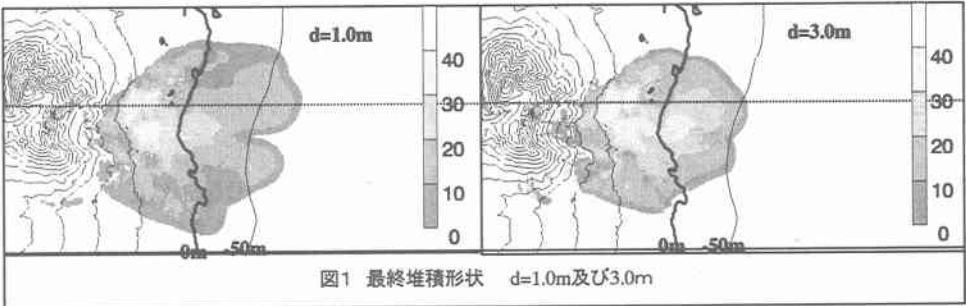
2. 眉山崩壊の2次元数値シミュレーション

計算方法は、道上らの提案する方法²⁾を用いている。計算領域は眉山及び海域を含む南北に5km、東西に10kmの範囲である。2次元の支配方程式、即ち、運動方程式、連続式は、慣用の記号を用いて、構成則に構成則に江頭・宮本³⁾らの研究成果を用いると

連続式 $\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0$ (1) 運動方程式 $\frac{\partial M}{\partial t} + \beta \frac{\partial uM}{\partial x} + \beta \frac{\partial vM}{\partial y} = -gh \frac{\partial H}{\partial x} - \frac{\tau_{ax}}{\rho_T} \quad \frac{\partial N}{\partial t} + \beta \frac{\partial uN}{\partial x} + \beta \frac{\partial vN}{\partial y} = -gh \frac{\partial H}{\partial y} - \frac{\tau_{ay}}{\rho_T}$ (2)

$\bar{\tau}_0 = \bar{\tau}_s + \bar{\tau}_d$ (3) $\bar{\tau}_s = \alpha(\sigma - \rho)ghC \cos \theta \tan \phi \frac{\bar{u}}{|\bar{u}|}$ (4) $\bar{\tau}_d = \rho f |\bar{u}| \bar{u} \quad f = \frac{25}{4} \left\{ k_f \frac{(1-C)^{3/5}}{C^{2/3}} + k_g \frac{\sigma}{\rho} (1-e^2) C \right\} \left(\frac{h}{d} \right)^2$ (5)

と表される。 α 、 k_f 、 k_g は定数で、 $k_f=0.25$ 、 $k_g=0.0828$ であり、 α は $\sigma/\rho=2.5$ 程度の通常の固相に砂礫を用いた固液混相流では $\alpha=0.9$ である。計算は、運動方程式と連続式をリーブフロッグ法で差分化して行った。



まず $\alpha=0.9$ として、内部摩擦角 $\phi=30^\circ \sim 35^\circ$ 、粒径 $d=0.5 \sim 5\text{m}$ 、流体の密度 $\rho=1.0 \sim 1.68$ 、砂礫の密度 $\sigma=2.5 \sim 2.7$ 、粒子濃度 $C=0.4 \sim 0.6$ の範囲で計算を行いこれらのパラメータの違いによる土塊の最終の堆積形状の違いについて検討した。

内部摩擦角 $\phi=30^\circ$ 、流体の密度 $\rho=1.68(\text{g/cm}^3)$ 、砂礫の密度 $\sigma=2.5(\text{g/cm}^3)$ 、粒子濃度 $C=0.4$ として粒径を変化させた結果を図1,2に示す。図1は粒径1.0m、3.0mのときの最終堆積状況を示している。この図から、粒径が小さくなると堆積範囲は広がる傾向にあることが分かる。図2は図1中の点線に沿う断面形状を粒径別に示したもので、粒径が小さくなるほど土塊に厚みがなくなり、それに伴って到達距離も伸びるという傾向にあることが示される。

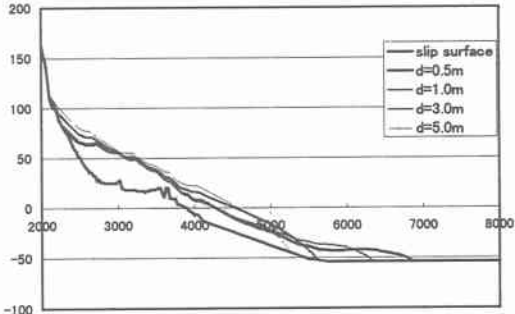


図2 粒径別断面図

次に、粒径を一定として各物性値を変化させた場合の堆積状況を比較検討する。ここでは流体の密度 ρ を変化させた場合について図3に例示する。図3より ρ が大きくなるほど、到達距離は大きくなり堆積範囲が広がる傾向にある。なお、計算条件は $d=3.0\text{m}$ で、 ϕ 、 σ 、 C は図1,2と同一の条件である。またその他のパラメータについては、砂礫の密度 σ が小さくなるほど、あるいは

内部摩擦角 ϕ が小さくなるほど、堆積範囲は広がる。粒子濃度 c を小さくしても同様の傾向となる。以上の結果から、 ρ 、 ϕ 、 σ 、 C の4つの物性値はともに主として堆積勾配に大きく影響を与え、その結果として到達距離と堆積範囲に影響を与える。以上整理すると、土塊の堆積厚に関しては粒径が、堆積勾配に関してはその他の物性値が大きく影響しており、その結果堆積範囲に差が生じることが明らかになった。これらの物理特性は、先に行われた一次元での解析結果¹⁾とも一致する。

なお土塊が海域へ突入するときの速度はいずれのケースの30~70m/sec程度で d 、 ϕ 、 σ 、 C が小さいほど、 ρ が大きいほど突入速度は大きくなる。

3. 現在の地形との比較・検討

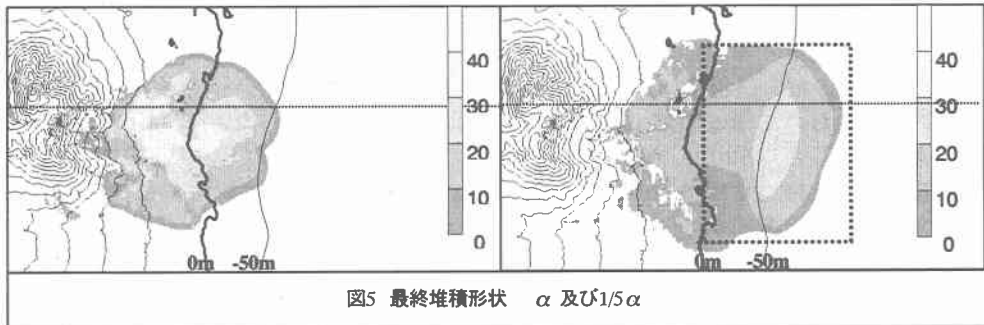


図5 最終堆積形状 α 及び $1/5\alpha$

今回行った計算条件では、陸地部分に多くの土塊が残り、現在の地形のと大きく異なる形状となった。Hsuが示したように、崩壊の規模が大きくなると摩擦係数が小さくなることが知られているが、眉山の場合も現状に近い計算結果を得るためには τ_s を小さくする必要がある。そこで式(3)の α を変えて計算を行った。計算条件は図1、2の $d=3.0$ mのケースと同じである。図5、6は α を $1/5$ にした場合の結果を $\alpha=0.9$ の場合と比較して示している。 α を $1/5$ 程度まで小さくすると、現在の地形とほぼ一致する。さらに、図5中の破線内の堆積土砂量が 1.3 億 m^3 となり、植村¹⁾による推定堆積土砂量が 1.5 億 m^3 ともほぼ一致する。

4. おわりに

本研究は、眉山崩壊の2次元数値解析を行ったものである。土塊の停止堆積勾配、堆積厚と、土塊の物性(ϕ , σ , ρ , d , c)との関係を明らかにした。また、眉山崩壊土塊の停止堆積を再現するには、静的応力(固体摩擦)を $1/5$ 程度まで小さく見積もる必要があることを示した。

参考文献

- 1) 植村 (1998) : 大規模土砂崩壊とそれに伴う津波に関する研究、鳥取大学修士論文
- 2) 江頭進治、宮本邦明、伊藤隆郭(1997) : 掃流砂量に関する力学的解釈、水工学論文集, vol. 41, pp.789-800
- 3) 福住真仁(1999) : 崩壊土塊の運動に関する2次元数値解析、土木学会中国支部研究発表会発表概要集
- 4) Hsu K.J.(1975):Catastrophic debris streams (Sturzstroms) generated by rockfalls, Geo. Soc. Of America Bull., vol.86, pp129-140

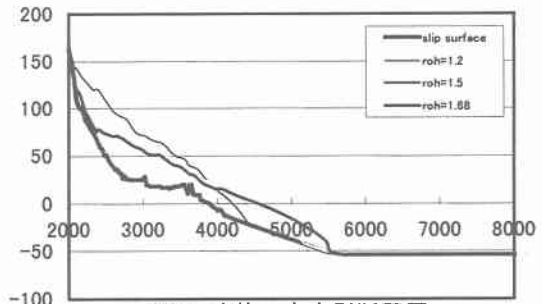


図3 流体の密度別断面図

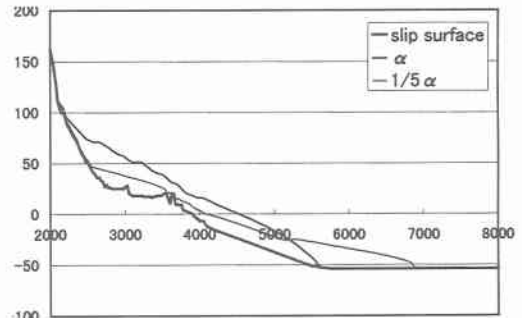


図6 最終堆積形状