

11 溶岩流対策工の海外事例紹介ーハワイ、イタリアおよびアイスランドの例ー

アジア航測株式会社

○河村 和夫

建設省土木研究所

水山 高久

栗原 淳一

1. はじめに

溶岩流は火山活動の中で一般的な現象であるが、火砕流、岩屑流や泥流等比べて著しく流下速度が遅いため、人的被害をもたらすことは非常に少ない。しかしながら、1983年の三宅島の溶岩流は集落（阿古地区）まで到達し、340棟以上の家屋を埋没させた。また、1986年の伊豆大島の溶岩流は一万余人の島民が全島避難するという異常事態をひき起こした。いずれの溶岩流災害とも1人の死傷者も出さなかったものの、莫大な経済的被害をもたらし、大きな社会問題となった。

日本では、発生する溶岩流の大半が粘性の大きい流紋岩・石英安山岩質であり、火口付近にとどまる場合が多いため、今まであまり本格的な溶岩流対策は講じられていないのが現状である。三宅島と伊豆大島の場合も実際の溶岩流対策は注水による溶岩流阻止の試みと避難というソフト対策だけであった。溶岩流災害を最小限にとどめ、人的被害だけでなく、家屋や構造物、農耕地等の経済的被害を軽減させるためには避難というソフト対策だけでなく、よりハードな対策が必要である。本発表では今まであまり詳細に知られていない海外の溶岩流対策の具体的な事例を収集することができたので、主としてハード対策について紹介するものである。

2. 溶岩流対策の方法

外国ではハワイ島やイタリア・シシリー島のように、粘性の小さい玄武岩質の溶岩を頻繁に流出させる地域があり、溶岩流対策も様々に検討されてきている。溶岩流対策としてはTank(1983)¹⁾やU.S. Army Corps of Engineers(1980)²⁾が述べているようにstructural（ハード）対策とnon-structural（ソフト）対策がある。これらの対策はU.S. Armyによると具体的に以下の方法にまとめられる。

- ① Water Cooling {注水}
- ② Aerial bombing {爆破}
- ③ Diversion Barriers or Levees (導流堤)
- ④ Evacuation {避難}
- ⑤ Relocation {移転}
- ⑥ Zoning / Lava Insurance (規制/溶岩保険)

①～③はハード対策、④～⑥はソフト対策である。このうち、今回はハード対策を中心にして海外事例を以下に紹介する。

3. 溶岩流対策

3.1 ハワイ島Hilo市の溶岩流制御²⁾

ハワイ島のMauna Loa 火山（標高4,169 m）は世界的に有名な活火山で1932年～1975年の間に35回もの噴火を繰り返している。噴出位置（図1）は山頂カルデラ、北東地溝、南西地溝に大別されるが、標高約3,500 mより低い位置で噴出する北東地溝の溶岩流は現在の地形に沿って同島最大の都市Hilo市（人口約5万人）方向に流れる傾向にある。そこで、市を守り、被害を軽減するために溶岩流ハード対策として以下の5つの計画案が提案された（図2）。

計画案A…標高約180mから約1,700m間に総延長約35kmの固定したbarriers（導流堤）をあらかじめ建設する。導流堤は高さ約9m、堤頂約6m、底部約46mまでで、予測される溶岩の流れ方向とは最大45°

で設置する。掘削流路は約 150m、標高約 180m 以下で流れを許す幅は約 610m とする。

計画案B…総延長約31kmの導流堤を標高約60mから約 1,100mの間であらかじめ建設する。

計画案C…溶岩流の前面を冷却して、流れを防いだり、そらせたりするためにHilo湾からポンプで海水を使用する。海水を標高約 240mの地点で使用するために取水ポンプ室をあらかじめ建設する。

計画案D…計画案Bと同じ路線設計に沿って導流堤と河川水による注水を併用する。あらかじめ建設する導流堤の高さは路線の上部約11kmで約6~9 m、下部約19kmで約3~4.6 mとする。

計画案E…危急で脅威のある溶岩流が発生した時だけ対処する。導流堤の路線設計は仮のものである。導流堤の長さは最大約14kmとし、高さ約4~5 m、堤頂幅約1.5~3 m程度とする。

それぞれの計画案を社会的、経済的および環境的な様々な項目について検討し、評価した。その結果計画案AおよびBは費用が高いこと、あらかじめ導流堤を建設するために溶岩流の流路や性質の変化に対応する柔軟性に欠けること、さらに環境、特に原生林に最も悪い影響を与えるため、計画案Cは海水による注水がHilo市の都市部に近く、この方法による溶岩流制御が成功しない危険性が最も高いため、また、計画案Dは最も費用が高つくことから、それぞれ採用されなかった。最終的に計画案Eが採用されたが費用が最も安く、また、あらかじめ導流堤を建設しないため実際に対策工が設置されるまで最も環境破壊が小さいという理由である。

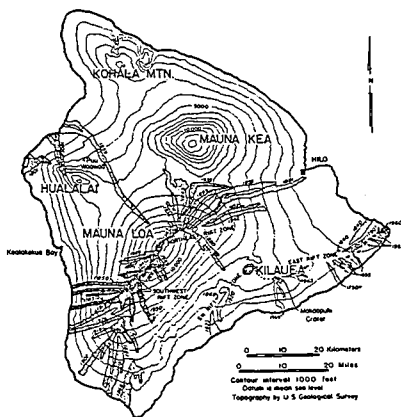


図1 VOLCANOES AND HISTORIC LAVA FLOWS ON THE ISLAND OF HAWAII
Taken from *Volcanoes in the Sea*, MacDonald and Abbott (Reference 22).

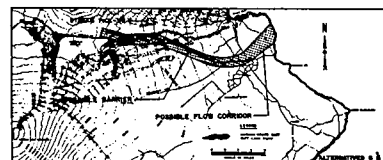
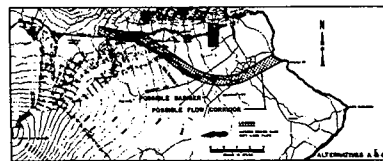


図2

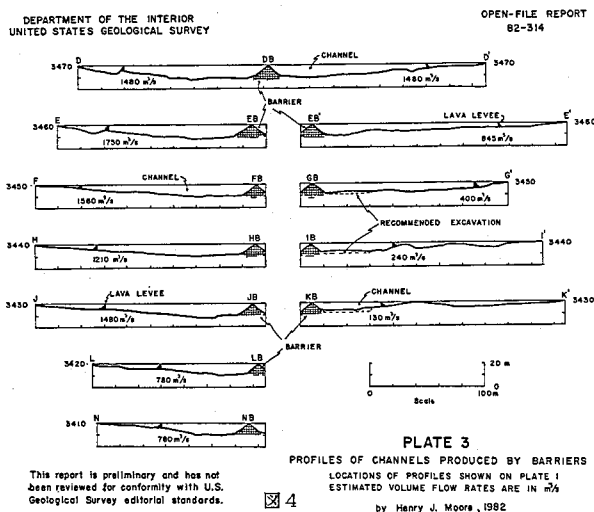
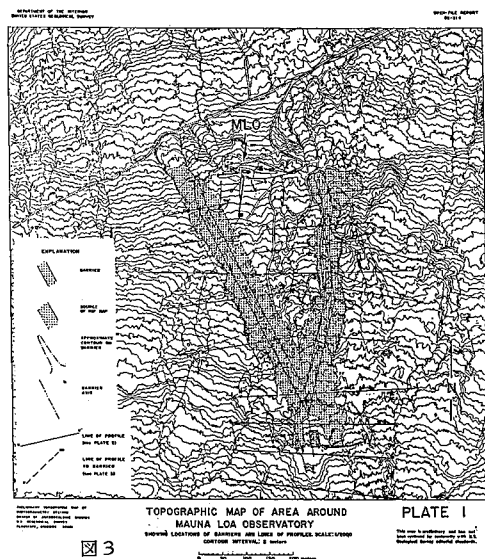
3.2 ハワイ島マウナロア観測所の溶岩流対策³⁾

Mauna Loa Observatory (マウナロア観測所、以下MLO)は、Mauna Loa 火山の北側斜面の標高約 3,400 m 付近のカルデラ縁から約 4.4km に位置している。斜面勾配は 7.4° である。Mauna Loa 火山は前述したように活発な火山活動を続けており、MLO が火山体の標高の高い位置に存在しているため、溶岩流による被害の危険性が高く、溶岩流対策が検討された。

提案された溶岩流導流堤はV字形で斜面下方にMLOを囲むように設計されている(図3)。また、小規模な初期導流堤をV字形の先にやや東よりに設置している。導流堤の建設においては流路に盛土だけでなく掘削によって深く、広い流路を作る。また、導流堤を作るための材料は周辺の岩石材(riprap)を使用する。

導流堤の設計諸元(図4)は①法面勾配、安息角の37~38° ②基底幅、20m ③高さ、7.7 m ④容積77m³ / m ⑤斜面の掘削深、少なくとも1.5 m (ブルドーザーによる) ⑥最終的起伏、9.2 m ⑦初期導流堤、V字形の軸より10m両側に設置、である。

提案した導流堤の防御能力を評価するために溶岩流をビンガム流体とみなし、速度と流量を計算した。その結果、導流堤の西側および東側で溶岩流のピークをそれぞれ 800m³ / sec、700m³ / sec 流下させる能力があるとし、歴史上のMauna Loa 火山の42溶岩流のうち5溶岩流を除き、十分な流量であった。したがって、大規模な溶岩流を除けば概ね防御することが可能であると結論された。



3.3 イタリア・シシリー島エトナ火山の溶岩流対策⁴⁾⁵⁾

イタリアのシシリー島にあるEtna火山(標高 3,390m)は世界でも有数の活火山である。1983年3月28日に噴火を開始し、アア溶岩が流出した。4月末までには溶岩は標高 2,300mの単一火口から南斜面へ約10³ m³ / sec で、流出を続け数100 万ドルの資産を既に破壊し、下流の村々を脅かすに到った。イタリア政府はこれに対処するために火山学者からなる委員会を設立し、実行可能計画案を提出した。溶岩流対策としては爆破(explosives)と導流堤(diversion barriers)が実施されることになった。

爆破の位置(図5)はMonte Vetore barrierから距離で 1,500m 上流の幅の狭い自然堤防であり、ここより下に人口溝が、迂回する溶岩流を流下させるために掘削された。この自然堤防をできるだけ薄くし、3列にわたって約60本の穴が計画されたが、爆薬を安全にセットするために穴を80℃以下に維持しなければならず、冷却するには、水を循環させるか、ドライアイスを入れる必要があった。最終的には 400kgの爆薬を挿入し、5月14日に爆発させた。少量の溶岩流は人口溝へ流下したが、堤防が冷却し

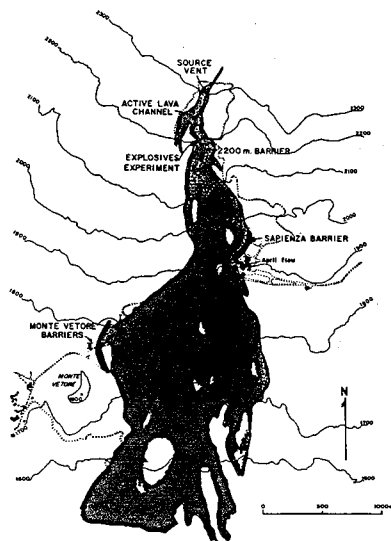


図5 Mount Etna area, showing the locations of features described in the article.

ていたということもあって、5月16日には停止した。しかしながら、一部の溶岩自体がブロックになって、溶岩流を南西部にそらすことが数日間可能になり、下流のSapienzaに導流堤を建設する余裕を与えた。

導流堤はMonte Vetoreにおいては5月1日に建設を開始した。内容は①約 100の主要機材② 100人以上の人の13時間/日労働③週7日稼働④ 80,000m³の容量見込みであったが、溶岩流は徐々に容積を増し、5月27日には当初の予定をオーバーし、導流堤の容量は 150,000m³ を越え、延長も 500m 以上となった。一方、Sapienzaにおいては、導流堤の建設を5月20日に開始した。導流堤は最終的に 120,000m³ に達し、長さは 300m 以上になった。なお、噴火は1983年8月6日に沈静した。

3. 4 アイスランド・ヘイマエイ島における注水による溶岩流対策^{6) 7) 8)}

注水による溶岩流の阻止はアイスランドのヘイマエイ (Heimaey) 島の成功で注目を浴びようになり、日本でも小規模であるが1983年の三宅島および1986年の伊豆大島において実施された。1973年のヘイマエイ島の噴火はこの島にとっては約 5,500年ぶりのものであった。噴火は溶岩の流出を主として、それにスコリア、火山灰を伴うものであった。この噴火によって、約 3,000の家が破壊されたほか、漁業関係の工場などに被害を与えた。溶岩流の注水作戦はこれらの被害の拡大を防ぐための対策であり、火山噴火災害史上に記録される画期的な成功例であると言われている。ヘイマエイ島の噴火は1973年1月23日に始まり7月初旬に終了した。注水作戦の概略は、①冷却面積、0.76km²、②運用ポンプ、43台(最多時)、③ホースパイプ総延長、約30km、④総注水量、620 × 10⁴ t、⑤最大注水量1200t/sec (4月上旬)であった。

4. おわりに

以上、海外における溶岩流ハード対策の具体的事例として、導流堤、爆破および注水について述べた。これらの結果を現実的に日本の諸火山にあてはめた場合のことを簡単に考察する。ハード対策の中では、導流堤と注水が最も現実的である。導流堤はハワイ島Hilo市の例のようにあらかじめ建設する対策と緊急対策(噴火時に建設)に分けられる。このうち、前者はMauna Loa 観測所のように保全対象が限定されない限り難しいと言える。例えば、伊豆大島の場合のように噴火口が多数存在すると、将来も噴火口が特定できないため、導流堤の路線設定が難しい。また、導流堤一般に言えることだが、火山体山麓の土地利用が進み過ぎると、溶岩流を流す流路、すなわち下流に保全対象の存在しない地域を見出だすのは必ずしも容易ではない。集落地区には、そのような地域をあらかじめ用意し、規制する処置が必要であろう。いずれにしても具体的な建設実行計画を複数作成しておくことが望ましい。また、注水は実際に噴火した場合の緊急対策であるが、Hilo市の例でも指摘されている様に、海岸に溶岩流がかなり近づいて初めて海水を使用できるので、それだけ溶岩阻止の成功率は小さくなる。さらに、溶岩流が噴火口から長時間にわたって供給され続けた場合、すなわち規模の大きい溶岩流に対して、どの程度注水が効果的かはまだ疑問が残るところである。

引用文献

- (1) Tank, R.W.: Environmental Geology, Oxford University Press, 1983 (2) U.S. Army Corps of Engineers: Lava Flow Control, Island of Hawaii, Review Report and Environmental Impact Statement, 1980 (3) Moore, H.J.: A Geologic Evaluation of Proposed Lava Diversion Barriers for the NOAA Mauna Loa Observatory, Mauna Loa Volcano, Hawaii, U.S. Department of the Interior Geological Survey, Open-File Report 82-314, 1982 (4) Lockwood, J.P. & R. Romano: Diversion of Lava During the 1983 Eruption of Mount Etna, Earthquake Information Bulletin, 17-4, P124-133, 1985 (5) 荒牧重雄: 火山の驚異, 福武書店, 1986 (6) Williams Jr. R.S. & J.G. Moore: Iceland Chills a Lava Flow, Geotimes, 18, P14-17, 1983 (7) 荒牧重雄, 中村一明: 注水による溶岩流阻止の試み—三宅島1983年噴火の例—, 火山第2集, 29, 特集号三宅島の噴火, P343-349, 1983 (8) 中村一明: 溶岩流の災害—アイスランド水冷却作戦—, 地理, 26-6, P71-77, 1981