# 火山砂防対策におけるリスク低減事例集

令和３年３月

国土交通省九州地方整備局
九　州　技　術　事　務　所
（九州防災・火山技術センター）

# まえがき

日本は活火山が 111 も存在するという世界でも有数の火山国です。そのため過去から否応なしに火山噴火に伴う災害に対峙させられてきました。

近年における火山噴火を振り返っても雲仙普賢岳 1990（平成 2 ）年噴火での火砕流による 44 名の犠牲者と後続する土石流による被害拡大、有珠山 2000（平成 12）年噴火での洞爺湖温泉街の壊滅的な被害、三宅島 2000（平成 12）年噴火での大量の火山ガス放出による全島避難、御嶽山 2014（平成 26）年噴火での死者行方不明 63 名、桜島は活発な火山活動を継続し土石流を頻発させています。

この様な火山噴火においては被害を極力防止・軽減することが地域住民や地方自治体から強く求められ、地域社会の安全・安心を取り戻すために国や都道府県が中心となって火山災害対策にあたることとなります。

そのような場合における最大の課題は『如何に安全に対策を実施できるか』であり、それが災害対策の効率性を左右するといっても過言ではありません。

本事例集は既往の顕著な火山噴火時における対策検討のための調査、工事実施時の安全対策や危険事例に学び、留意点や教訓とともに取りまとめたものです。

そのため本事例集の活用にあたっては、ⅰ） 実際の火山噴火時にはその時点の最新の材料、機械、工法、情報等の各要素技術の活用、ⅱ） 火山噴火時の火山現象と規模、現地条件等を総合的に勘案したリスク低減対策の検討が必要であるなどの点に留意頂きたいと思います。

対策効果や安全性の検証を全ての事例で実施したものではないため、事例の対策を講じることで万全というものではありません。単に本事例集に示した事例を真似るのではなく、各リスク低減事例の考え方を参考にしつつ、併せて最新・最適なリスク低減対策を検討することにより、火山噴火災害の防止・軽減に寄与できると考えます。

本事例集のとりまとめにあたっては実際に火山災害対策にあたられた関係機関の皆様から聞き取り調査のご協力を頂くとともに多くの有用な示唆を頂きました。

これらの皆様に心より御礼申し上げます。

国土交通省 九州地方整備局 九州技術事務所

# 目次

1. 基本事項 ..... 1

1.1. 本事例集で扱う火山噴火とリスク事例 ..... 1

1.2. 本事例集で扱うリスク低減対策 ..... 2

2. 火砕流 ..... 3

2.1. 火砕流がもたらすリスク ..... 3

2.2. 危険事例 ..... 4

2.3. リスク低減対策 ..... 7

2.4. リスク低減対策事例の詳細 ..... 9

2.5. その他のリスク低減対策 ..... 18

3. 噴石 ..... 20

3.1. 噴石がもたらすリスク ..... 20

3.2. 危険事例 ..... 21

3.3. リスク低減対策 1 ..... 28

3.4. リスク低減対策 2 ..... 31

3.5. リスク低減対策事例の詳細 ..... 32

4. 火山ガス ..... 36

4.1. 火山ガスがもたらすリスク ..... 36

4.2. 危険事例 ..... 37

4.3. リスク低減対策 ..... 42

4.4. リスク低減対策事例の詳細 ..... 42

5. 火山灰 ..... 49

5.1. 火山灰がもたらすリスク ..... 49

5.2. 危険事例 ..... 50

5.3. リスク低減対策 ..... 51

5.4. リスク低減対策事例の詳細 ..... 51

5.5. 教訓 ..... 52

6. 御嶽山噴火における緊急対応の事例 ..... 53

6.1. 噴火の概要 ..... 53

6.2. 国土交通省を含む関係機関の緊急対応の時系列対応 .....53
6.3. 御嶽山 2014 年噴火時の UAV による緊急調査 .....57
7. 溶岩ドームの崩壊に対するリスク低減事例 .....58
7.1. 眉山の山体崩壊 .....58
7.2. 溶岩ドームの安定性検討 .....59
7.3. 溶岩ドームの崩壊に対するリスク低減対策の概要 .....60
7.4. 危険事例 .....61
7.5. リスク低減対策事例の詳細 .....62
7.6. 溶岩ドーム崩壊のリスク低減対策の課題、留意事項 .....70
8. 火山噴火時のヘリコプター調査時の危険事例 .....71
8.1. 火山噴火時のヘリコプター調査のリスクと対策概要 .....71
8.2. 採用された背景 .....71
9. リスク低減対策の要点 .....74

# 1. 基本事項

## 1.1. 本事例集で扱う火山噴火とリスク事例

本事例集で取り扱う火山現象は、「火砕流」「噴石」「火山ガス」「火山灰」の 4 現象である。火山現象は多岐にわたるため、事例を選定するにあたり、火山砂防対策における危険性に関係する各現象の速度、温度、発生頻度を指標として評価することとした。表 1-1 では、火山現象の「速度」、「温度」、「発生頻度」の評価に加え「ヘリコプターや航空機に重大な影響を及ぼす」、「人体に致命的な影響を与える」ことに注目し、「リスク低減対策の検討上留意すべき現象」として表 1-1 の赤枠内の「火砕流」「噴石」「火山ガス」「火山灰」の 4 現象を検討対象とした。

表 1-1　主な火山現象の危険度評価

| 主な火山現象 | 現象の特性 | | | 危険度評価（速度、温度、頻度） |
|---|---|---|---|---|
| | 速度 | 温度 | 発生頻度 | |
| 火砕流 | 高速 | 高温 | 高～中 | 高 |
| 噴石 | 高速 | 高温 | 高～中 | 高 |
| 火山ガス | 低速（不可視） | 中～低温 | 高 | 高（有毒） |
| 火山灰 | 低速 | 中～低温 | 高 | 航空機に致命的 |
| 融雪型火山泥流 | 中～低速 | 中～低温 | 中～低 | 中 |
| 溶岩流 | 低速 | 高温 | 中～低 | 中 |
| 土石流・泥流 | 中～低速 | 中～低温 | 高 | 低～中 |
| 山体崩壊 | 高速 | 中～低温 | 低 | 低 |

注）火山によっては同じ現象を繰り返す場合がある。

また、本事例集では、実際の火山砂防対策でリスク低減対策が実行された表 1-2 の火山の事例を選定している。

表 1-2　事例を取り上げた火山

| 火山現象 | 事例を取り上げる火山 |
|---|---|
| 火砕流 | 雲仙岳 |
| 噴石 | 有珠山 |
| | 桜島 |
| 火山ガス | 三宅島 |
| 火山灰 | 雲仙岳 |

## 1.2. 本事例集で扱うリスク低減対策

### 火砕流

- 常時監視による避難体制の整備
- 避難用のシェルターの設置
- 熱風防護柵 ☞減災対策事例集で紹介

### 噴石

- 噴石見張り所の設置と爆発監視員による常時監視
- 仮設避難壕の設置
- バックプロテクターの装着
- 火山監視カメラによる爆発の監視
- 情報の集中管理

### 火山ガス

- 火山ガス検知器、防毒マスク携行による調査
- 火山ガス対策としての無人化施工
- ホテルシップ ☞減災対策事例集で紹介
- 脱硫装置付き宿舎 ☞減災対策事例集で紹介

### 火山灰

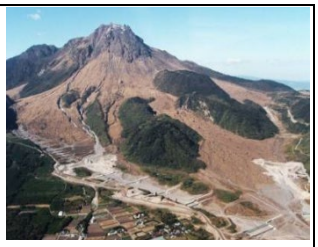
- ヘリコプターの火山灰対策

# 2. 火砕流

## 2.1. 火砕流がもたらすリスク

| | |
|---|---|
| 火砕流<br> | 火砕流は高温の火山灰や岩塊、空気や水蒸気が一体となって急速に山体を流下する現象。溶岩ドームの崩壊などにより発生し、大規模な場合は地形の起伏にかかわらず広範囲に広がり、通過域を焼失、埋没させる。流下速度は時速数十 km から数百 km、温度は数百℃にも達する。雲仙普賢岳噴火では 1991（平成 3）年 6 月 3 日に発生した火砕流により、死者行方不明者 43 名、179 棟の建物が被害を受けた。 |

### 雲仙岳（1990 年噴火）



**火山の概要**：雲仙岳は裾野まで含めると南北 25km の安山岩、デイサイトからなる成層火山である。 火山の西部は古期山体、中央部に東に開いた妙見カルデラがあり、その中に普賢岳等の最新期の溶岩ドーム群、さらに東には眉山溶岩ドームがある。

**近年の噴火活動と被害状況**：1990（平成 2）年 11 月 17 日に普賢岳山頂東側の地獄跡火口及び九十九島火口で水蒸気噴火が発生、1991（平成 3）年 5 月 20 日には地獄跡火口に溶岩ドームが出現し、次第に成長し、頻繁に火砕流が発生した。1991（平成 3）年 6 月 3 日の火砕流災害では、死者不明 43 人、建物 179 棟の被害を生じた。1991～95 年の溶岩噴出量 2 億 $m^3$、火砕流の発生回数は約 9400 回であった。

雲仙普賢岳で頻発した「火砕流」は、高温かつ高速で危険な現象であった。火砕流の熱風については構造物によるハード対策は困難で、住民の安全を確保するため災害対策基本法に基づく警戒区域が設定された。一方で、火山噴出物による土石流の頻発により被害が拡大したことから、警戒区域内でも有人による対策工事が行える仕組みの検討をおこない除石工事を実施した。

図 2-1 （左）中尾川の火砕流（1993（平成 5）年 6 月 21 日）
（右）中尾川の火砕流（1993（平成 5）年 6 月 24 日）[1]

[1]「雲仙・普賢岳噴火と火山噴火対策砂防事業」（H6.8）建設省河川局砂防部

## 2.2. 危険事例

雲仙普賢岳で発生した火砕流に対する危険事例を 2 事例示す。

### 2.2.1. 危険事例①

1991（平成 3）年 5 月 26 日に発生した長崎県の砂防堰堤除石工事中に発生した工事作業員が火傷をした事例がある。

- 5 月 26 日、日曜日の昼時に大きな崩落（今思うと火砕流）が発生。作業の続行か、それとも中止か、その判断を行うため火砕流の先端部を確認しに上流へ B さんと車で向かいました。当時は火砕流の意味も知りませんでした。
- 行き止まりの広場で 50m 程の谷底を覗き込みました。火砕流の到達状況は確認できず、現場へ戻ろうとした時、大きな火砕流が発生しました。
- みるみるうちに視界はなくなり、一寸先も闇のような状況に陥りました。手探りで小さな洞窟（直径 1～1.5m 奥行 1.5m 程度）を見つけ、そこへ 2 人で逃げ込み 20 秒ほどいたでしょうか、噴石が落ちる音がし、灰がバケツをひっくり返したように降ってきました。
- 耐え切れず B さんが穴を飛び出し、その後を追うように私も飛び出しました。
- それから 5 秒もしないうちに B さんの叫び声が聞こえました。息が出来ない、酸素が欲しい。
- とっさに穴を掘りました。腐葉土の周囲にいくらかの酸素が残されていました。
- 「穴を掘れー！」と叫びました。
- 背中が熱く、火がついたと思い上着を脱ごうとしましたが顔を上げられない、地上には酸素はない・・・。脳裏をかすめた家族両親そして会社に対する詫び・・・、
- それから神風と思われる風が吹きました。息が出来る、それでも視界はゼロ。這うようにその場を離れようとしている時またも風が吹きました。
- 視界が戻りました。そして驚きました。その 1m 先は最初に広場で覗き込んだ谷底だったのです。その後、助けに来た同僚と一緒に車で駆け下りました。
- 九死に一生を得たとは正にこのことであったと思います。

A さん

1991（平成 3）年 5 月 27 日当時の新聞記事の内容を次頁に示す。

襲う熱の黒煙!!「やられる」
（朝日新聞掲載記事（1991（平成 3）年 5 月 27 日）より抜粋）

- 小見出し①⇒「雲仙」ついに負傷者
- 小見出し②⇒物が焦げるにおい　恐怖にこわばる
- 小見出し③⇒火砕流情報届かず
- 小見出し④⇒砂防ダム除石現場　連絡の網に“盲点”
  - 工事作業員の U さんは、「生きた心地がしなかった」という。
  - 「逃げろ」ひきつったような叫び声を聞いた数秒後、地響きとともに、猛烈な熱気が襲ってきた。物が焦げるにおいが押し寄せ、周囲は黒煙になった・・・・・。
  - たちまち押し寄せた熱気と、真っ黒な空。とっさに「やられる」と感じて U さんら二人は左側の谷とは反対側の杉林に逃げ込み、かぶっていたヘルメットを両手で覆いながらしゃがみこんだ。
  - 火砕流の縁に巻き込まれて高熱の泥をかぶり、やけどを負いながら、何とか命からがら逃げ出せた。
  - 数分後に助けに来た他の会社作業員とともに車で下山している途中で初めて両腕がひりひり痛むことに気が付いた。
  - 両腕、肩や耳などに 1 ヶ月のやけどを負った。
  - 九死に一生を得たと思った。

図 2-2　新聞記事抜粋

### 2.2.2. 危険事例②

1991（平成３）年６月３日に発生した大火砕流に遭遇した作業員の事例である。

- 土石流を心配していて火砕流については全く頭にはありませんでした。
- 私（C さん）は 6 月 3 日大火砕流の時、水無川と赤松谷川の合流部付近で仕事をしていました。
- 前日の 6 月 2 日に雨が降っていたため、当日は赤松谷川から流下する可能性のある土石流の監視をしていました。
- 監視は赤松谷川の方を向いて行っていたため、水無川は山陰で見えていませんでした。避難用に車は下流に頭を向けて駐車していました。
- 気がついたら煙のようなものが水無川で舞っているのが見えたため、車に乗って 100m ほど避難しましたが、下流が土嚢で塞がれていたため U ターンして上流に戻り、川の反対側から再度下流方面に向かいました。
- 消防団が走って逃げていたため、列の後ろから 3 名を車に乗せて警察の詰所に 1 度寄りました。3 名はやけどを負っており、詰所ではけが人をどうすることもできなかったので地元の人も避難していたガソリンスタンドまで送りました。
- 最終的に、火砕流は私がいたところより 100m 上流で停止しました。
- 私以外の作業員は赤松谷川方面で作業に従事していました。火砕流が来た時には安全な方面に避難し、無事でした。

C さん

## 2.3. リスク低減対策

### 2.3.1. 対策の概要

「火砕流」は高温かつ高速で人にとって極めて危険な現象であり、『雲仙普賢岳噴火災害』では 1991（平成 3）年に、初めて居住地域において災害対策基本法第 43 条に基づく「警戒区域」が設定された。同災害では 1993（平成 5）年になり土石流被害が急速に拡大したため、水無川の国道 57 号上流の土石流の氾濫開始点にあたる区域において除石工事や鋼製矢板を用いた仮設導流堤建設の有人施工を実施した。

この区域は火砕流が到達する危険性がある「警戒区域」が設定されていたため、工事を行う作業員のリスク低減を図るため火砕流に対する「施工安全体制」を構築し除石工事や鋼製矢板を用いた仮設導流堤建設を有人で施工した。

火山砂防対策として警戒区域内において有人施工を行ったのは『雲仙普賢岳噴火災害』が日本で初となる。

「施工安全体制」は、下記のように行われ、「警戒区域」内の有人施工を行った。

① 災害派遣された自衛隊員が九州大学島原地震火山研究所に 24 時間体制で在駐し火砕流の発生を無線により情報提供していた仕組みを活用。
② 既往の火砕流到達実績を基に、到達実績範囲に一定の余裕を持たせた範囲を『計画熱風到達範囲』として設定。
③ 除石工事等の施工地点から『計画熱風到達範囲』外に余裕を持って避難できる箇所の工事を実施。
④ 施工地点からの避難には施工現場に避難専用の車両と運転手を配置し、火砕流の施工現場への到達時間内に余裕を持って避難ルートに沿って安全な場所まで避難。
⑤ 避難時に予期せぬトラブルがあっても火砕流に対し安全が確保できるシェルターを避難ルート沿いに 50m～100m間隔で設置し避難の仕組みに冗長性を持たせた。

### 2.3.2. 採用された背景

1991（平成 3）年に、火砕流が到達する危険性がある範囲に、住民の安全を確保するため、災害対策基本法に基づく警戒区域が設定された。

火砕流の熱風に対して構造物によるハード対策は困難である。『雲仙普賢岳噴火災害』では、災害発生直後から 1993（平成 5）年までは長崎県が火山砂防対策にあたったが警戒区域内での工事は実施されていない。

一方、1993（平成 5）年 4 月から建設省（当時）が火山砂防対策にあたることとなったが、膨大な量の火山噴出物を発生源とする土石流が頻発し、土石流被害が急に拡大したことから、警戒区域内においても、リスク低減策を構築することで有人での対策工事を行える仕組みを検討する必要があった。

### 2.3.3. リスク低減対策の留意点

Pont!

- **火砕流の到達時間に着目し警戒区域であっても安全に施工可能な範囲に限定して工事を実施した。**
- **工事地点からの避難時の予期せぬトラブルに備えて避難システムに冗長性を持たせた。**

避難体制は、災害派遣されていた自衛隊が九州大学 理学部附属 島原地震火山観測所（現国立大学法人 九州大学大学院理学研究院附属地震火山観測研究センター）（以下、九州大学地震火山観測研究センター）において 24 時間体制で地震計を監視し、火砕流が発生するたびに無線で経過時間、通過地点を情報発信する仕組みが活用された（写真 2-1）。

写真 2-1 自衛隊員の 24 時間体制での地震計監視による火砕流発生・流下状況の無線放送 [2]

[2]「雲仙・普賢岳噴火災害 20 周年記録集 雲仙・普賢岳噴火災害の記憶」島原市 市長公室・福祉保健部、平成 24 年 3 月

## 2.4. リスク低減対策事例の詳細

check

- **警戒区域内での施工安全体制の構築**するために、条件を決めた上でリスク低減対策を実施した。
- **常時監視**により、避難体制を整備した。
- 万が一の逃げ遅れに備えて、**避難用シェルターを設置**した。

### 2.4.1. 警戒区域の施工安全体制の構築

実際に、警戒区域内での施工安全体制を構築するために下記の方針が取られた。

**【 リスク低減対策の基本方針（①～⑥）】**

**① 火砕流発生の認知**

火砕流の発生は、山頂部に設置された地震計（九州大学地震火山観測研究センター管轄）の振れによって認知する。

**② 避難命令発令基準**

避難の発令時間内に停止が確認された火砕流を除く全ての火砕流に対して発令する。

**③ 人の避難能力は下記の通りと想定**

ⅰ）避難能力

歩行速度

$V \fallingdotseq 1.5m/s$

階段の歩行速度

水平　$V_h = 0.8m/s$

鉛直　$V_v = 0.4m/s$

ⅱ）避難開始時間 To≒60 秒（準備時間）（避難情報伝達を待って開始）

**④ シェルターの必要性**

人間の避難能力から類推した避難可能距離は避難時間を 2.5 分～3 分（避難開始時間 1 分を含む）とすると，次のとおりである。

平地の場合：約 130～180m

斜路又は階段の場合：約 70～100m

車両避難時におけるフェールセーフシステムとして緊急避難のためのシェルターを設置する。

**⑤ 車両の走行速度および車間距離は次のとおりとする**

走行速度

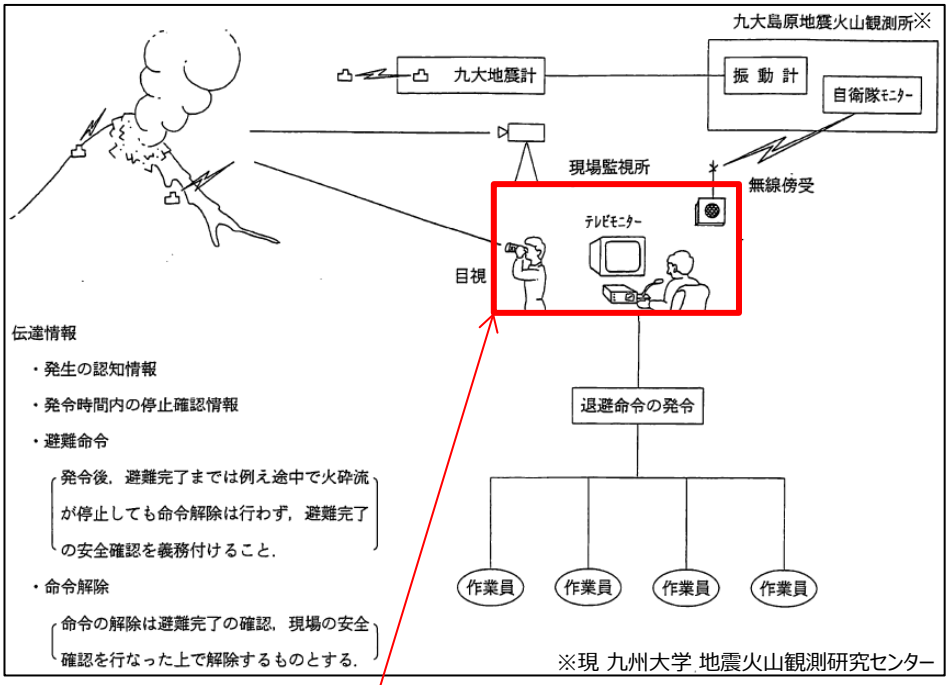
| | 避難用車輌 | ダンプトラック | 備　考 |
|---|---|---|---|
| 場　内 | 10km/h (2.7m/s) | 10km/h (2.7m/s) | 維持不良 |
| 工事用道路（幅員20m） | 30km/h (8.3m/s) | 30km/h (平時20km/h) | 路面維持良 |
| 市町村道 | 30km/h (8.3m/s) | 20km/h (5.5m/s) | 2車線未満 |
| 県道・国道 | 30km/h (8.3m/s) | 30km/h (8.3m/s) | 2車線以上 |

車間距離

| 走行速度 | 車間距離 |
|---|---|
| 30km/h | 150m |

### ⑥ 火砕流の監視体制と情報伝達

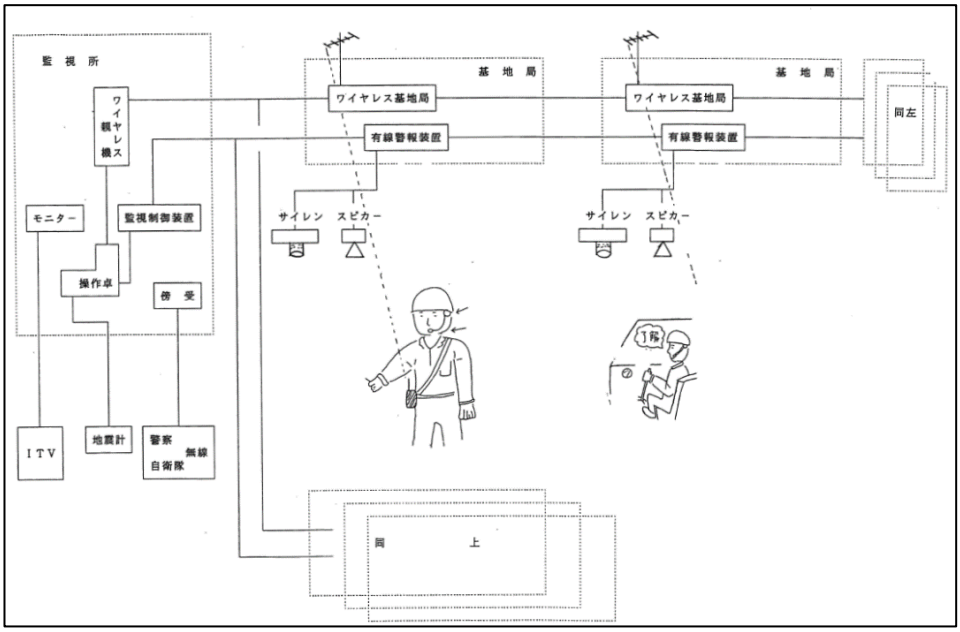
火砕流の監視体制及び情報伝達体制は次図の通りとした。



**現場監視所**

雲仙岳と火砕流が背後に見える

（雲仙復興事務所提供）



## 【 リスク低減対策の計画条件（①～⑤）】

**① 対象とする火砕流規模**

対象火砕流規模は 400 万$m^3$としてリスク低減対策を検討する。

これは雲仙普賢岳噴火で発生した最大規模である。

**② 火砕流の流下速度はメラピ型の速度の推定式を適用する**

本体部の流下速度

$$V = \alpha \cdot I^{\beta}$$

I：地形勾配

α，β：係数（α＝320，　β＝2.0）

雲仙普賢岳噴火における火砕流の速度は H3.6.19～H5.5.31 の間に発生した火砕流の到達地点と地震計の波形継続時間及びビデオによる観察結果から

$$V = 320 \cdot I^{2.0}$$　（メラピ型の式）

により推定する。

**③ 火砕流の到達距離**

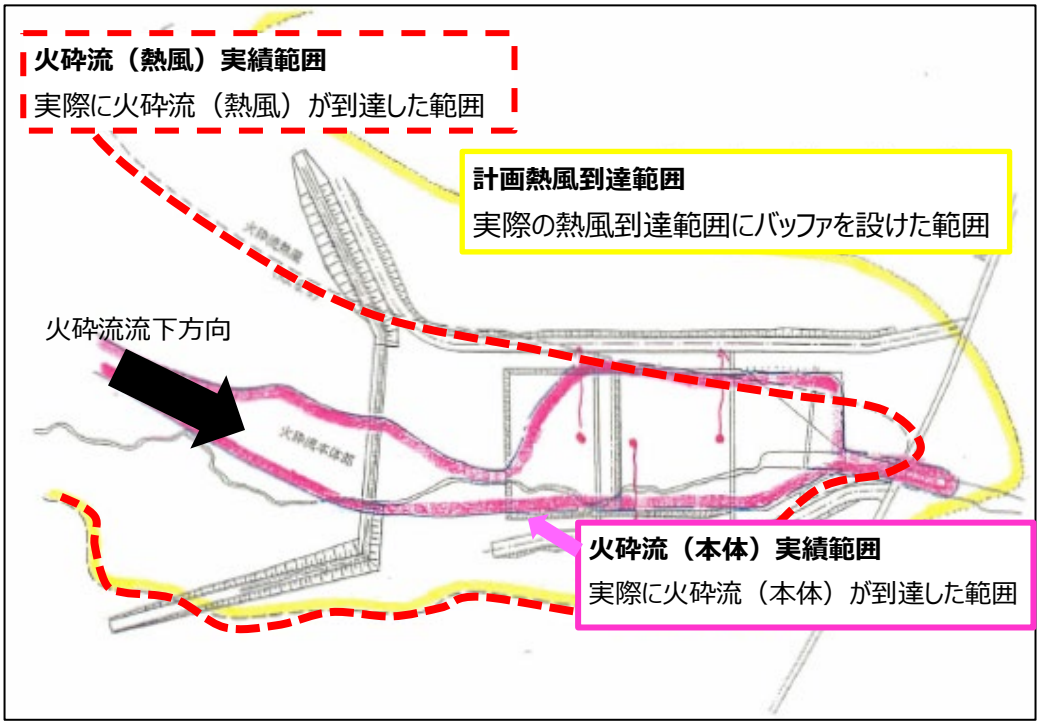
施工時の対象火砕流の到達距離は次の通りとする。

本体部：L＝5.8km

細粒分：本体部+0.9km

**④ 火砕流の計画熱風到達範囲の設定**

火砕流（熱風）実績範囲（下図赤破線---）に一定の余裕を持たせた範囲を、『計画熱風到達範囲』（下図黄色実線——）として設定する。



⑤ **警戒発令のタイミング**

i) 火砕流発生告知

発生時点（0～10 秒以内）にスピーカー、無線機により「火砕流発生！」と連呼

ii) 警戒予報（地震計：強振動継続時間 30 秒）

スピーカー、無線機により「避難準備！」と連呼

黄色回転灯：回転

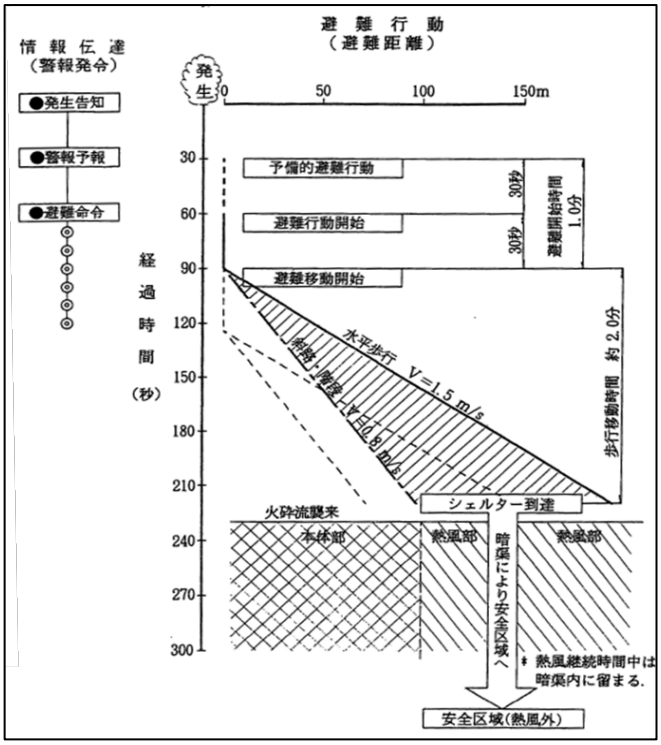
サイレン：間欠

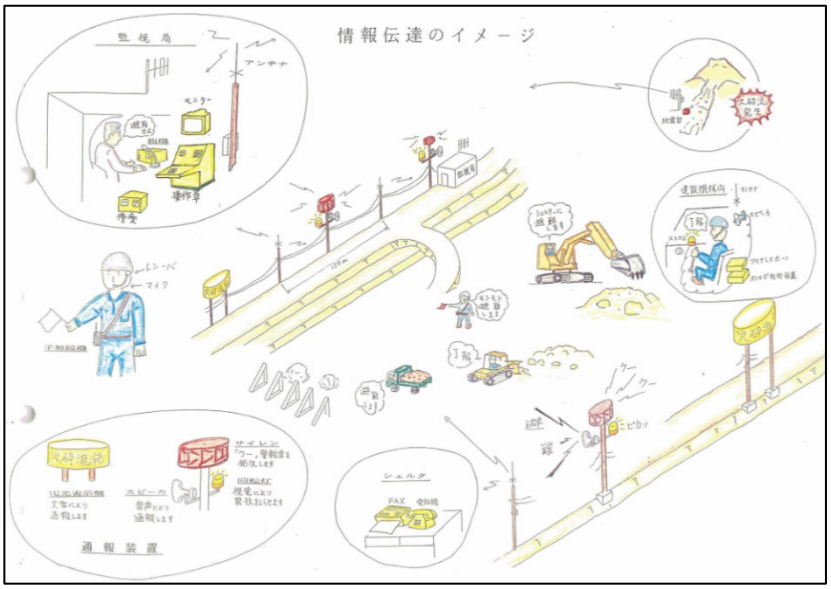
iii) 避難命令（地震計：強振動継続時間 30 秒）

スピーカー、無線機により「避難せよ！」と連呼

赤色回転灯：回転

サイレン：連続



### 2.4.2. 常時監視による避難体制の整備

火砕流に対し安全な地点に設けた監視所に二人の監視員が常駐し、溶岩ドーム及び火砕流の目視と CCD カメラにより監視をおこなった。また自衛隊による火砕流発生の通報を受けて、サイレン、フラッシュライト、携帯無線により即時に作業員に知らせる対応をとった。

有人施工現場に避難専用の車両と運転手を配置し、火砕流が施工現場に到達する前に避難ルートに沿って安全な場所まで避難できるようにした（図 2-3）。

その際、火砕流の到達時間を約 5 分と見積もって、工事関係者を既往最大の計画熱風到達範囲外に離脱させることができるように対策をとっている。

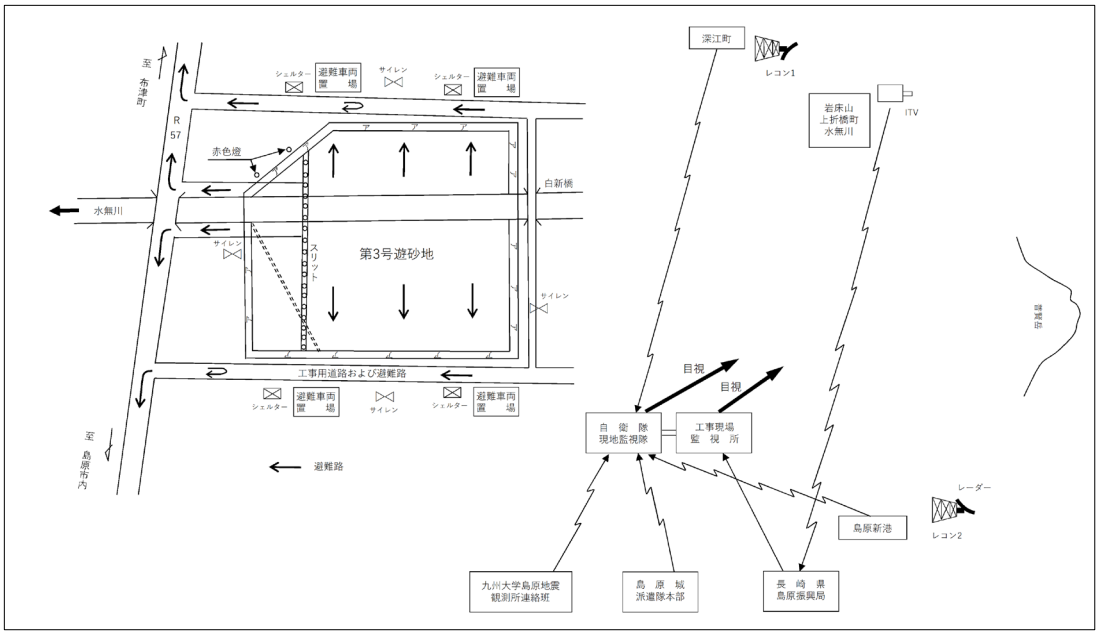



図 2-3 火砕流に対する避難体制（水無川 3 号遊砂地工事）

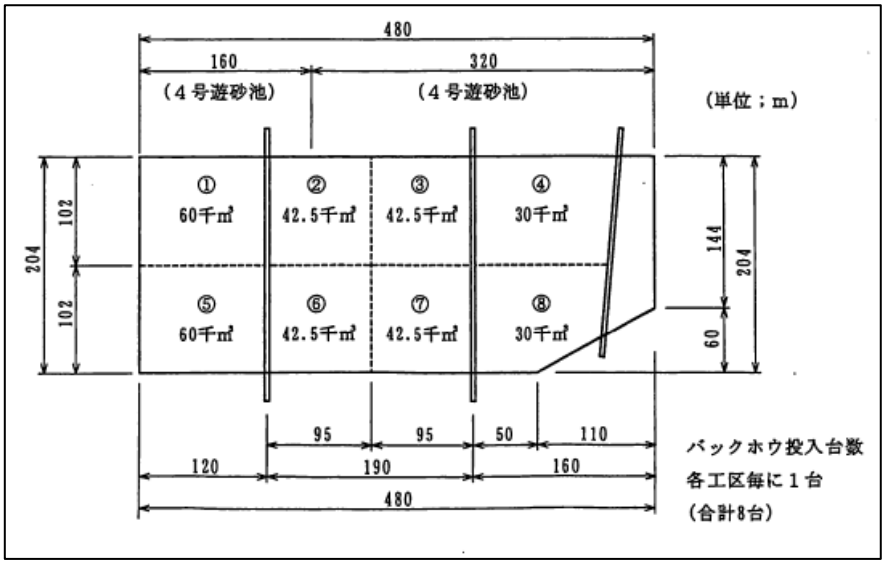
【3・4 号遊砂地の除石工事における避難シミュレーション例】

①火砕流到達時間

| | |
|---|---|
| 4 号遊砂地 | 4.0 分（240 秒） |
| 3 号遊砂地（上流部） | 4.5 分（270 秒） |
| 3 号遊砂地（下流部） | 5.0 分（300 秒） |

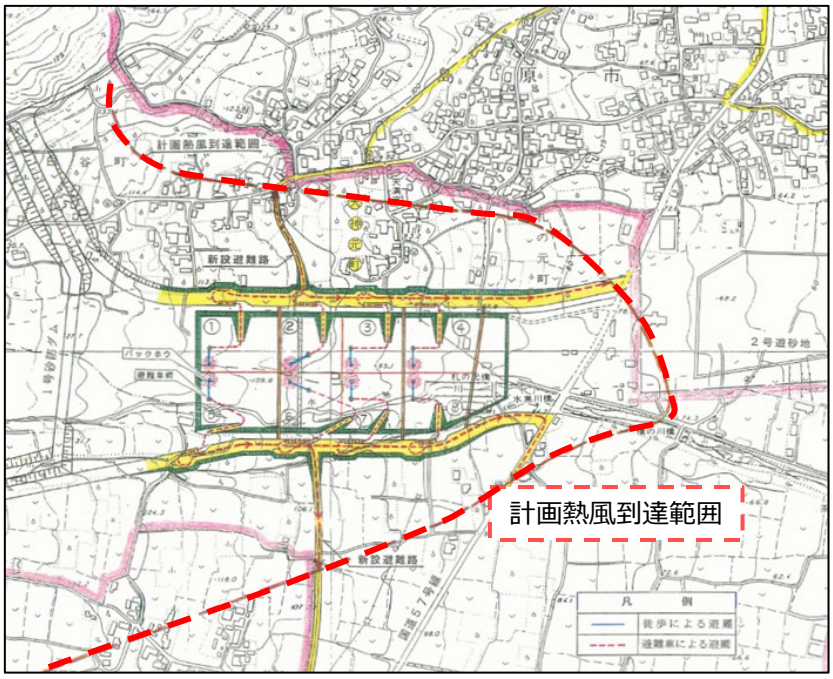
②工区分割

下図のように工区を分割した。




③工区ごとの避難ルート図

②で分割した工区ごとに避難ルート図を作成した。



④工区別避難所要時間の検討

工区別避難距離の検討結果をもとに、徒歩速度や避難車輌の速度を考慮して避難所要時間を算出した。例えば下記表の⑤工区の場合、新設避難路を使用しても間に合わず安全性の確保ができない結果となる。（⑤工区は作業しない）

| グループ | 工区分割 | 徒歩所要時間 | | 場内および搬入路所要時間 | | 主要避難路所要時間（m） | | | 所要時間合計 | 火砕流到達時間 | 安全度の判定 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 距離$\ell_1$(m) | 所要時間(秒) | 距離$\ell_2$(m) | 所要時間(秒) | ルート | 距離$\ell_3$(m) | 所要時間(秒) | (秒) 注) | (秒) | |
| 左岸グループ | ① | 30 | 20 | 180 | 65 | 国道57号方向 | 570 | 70 | 275 | 240 | × |
| | | | | | | 天神元町方向 | 250 | 30 | 235 | 240 | ○ |
| | ② | 30 | 20 | 170 | 60 | 国道57号方向 | 450 | 55 | 255 | 270 | ○ |
| | | | | | | 天神元町方向 | 170 | 20 | 220 | 270 | ○ |
| | ③ | 30 | 20 | 180 | 65 | 国道57号方向 | 350 | 45 | 250 | 270 | ○ |
| | ④ | 30 | 20 | 170 | 60 | 国道57号方向 | 280 | 35 | 235 | 300 | ○ |
| 右岸グループ | ⑤ | 30 | 20 | 220 | 80 | 国道57号方向 | 670 | 80 | 300 | 240 | × |
| | | | | | | 下大野木場方向 | 390 | 45 | 265 | 240 | × |
| | ⑥ | 30 | 20 | 230 | 85 | 国道57号方向 | 500 | 60 | 285 | 270 | × |
| | | | | | | | | | | 270 | ○ |
| | ⑦ | 30 | | | | | | | | 270 | ○ |
| | ⑧ | 30 | | | | | | | | 300 | ○ |
| 速度（m／s） | | 1.[illegible] | | | | | | | | — | — |

注）所要時間合計＝120＋($\ell_1$／1.5)＋($\ell_2$／2.7)＋($\ell_3$／8.3)

「安全度の判定」が×となり、安全性の確保ができない
＝作業しない、という結果となる。

### 2.4.3. 避難用のシェルターの設置

車両故障や万が一逃げ遅れが発生した場合に作業地点の近傍で避難ルート上に 50～100m間隔で、火砕流（熱風部）に対するシェルターを設置した（写真 2-2）。シェルターの構造は、コンクリートボックス 4 連を PC 網線により一体とし、入り口には耐火扉を設置したものである（図 2-4）。

その内部には、水、毛布、救急用薬品、懐中電灯、酸素ボンベ、無線機等が常備された（写真 2-3）。

内部温度上昇に対する検討によれば、熱風温度を 450 度と仮定した場合、コンクリート部は、60 分後に 4 度上昇、ドア部は 10.2 度の上昇となり、シェルター内の空気温度は、60 分後でもほとんど上昇しない、とされている。また、耐火扉を熱風の風下側に向けたり、シェルター自体を土砂で被覆することで熱伝搬を防いでいる。

写真 2-2 火砕流シェルター

酸欠に対する検討によれば、室内の空気消費については、成年男子 10 名が約 15 分とどまれる能力を持つとともに、酸素ボンベを用いれば、成年男子が約一時間ととどまることができる能力をもっている、とされている[3]。

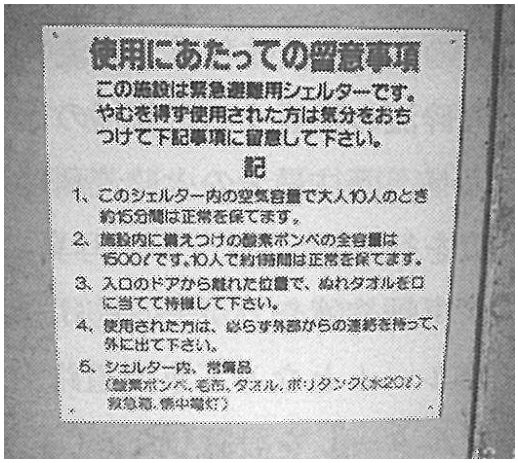


写真 2-3 [3]（左）シェルター内部に記載された留意事項
（右）シェルター内に常備された水、酸素ボンベ、救急用薬品

[3] 財団法人消防科学総合センター、「地域防災データ総覧 地震災害・火山災害編」

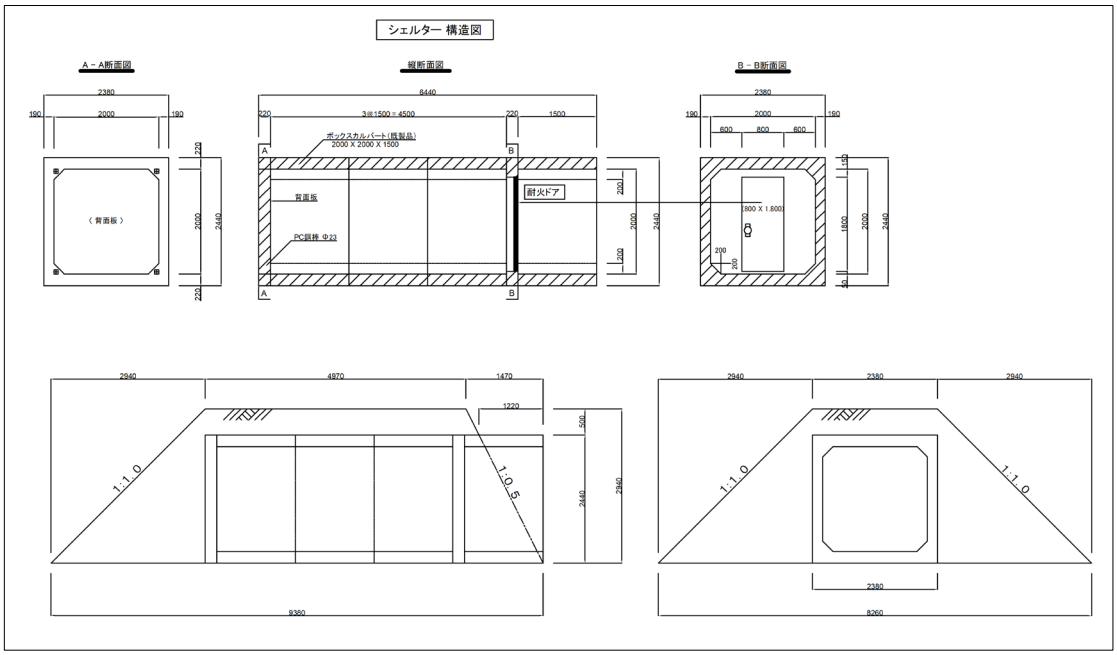



図 2-4　シェルターの構造図 [3] を改変

- 中尾川４号ダムの工事でシェルターに逃げ込んだことがありました。
- 指令所のメンバーは作業員全員が避難したことを確認し最後に避難することとしていました。
- 全員の確認が済んだ時にはすでに煙が周囲に回っていたため、車両での避難をあきらめ、指令所脇のシェルターに避難しました。
- シェルターから出るタイミングがわかりませんでした。無線等も入らなかった記憶があります。
- シェルターは中尾川で４基、水無川で５～６基を設置していました。

Ｆさん

## 2.5. その他のリスク低減対策

### 2.5.1. 熱風防護柵

長崎県は中の間川での砂防堰堤の有人工事の際、施工現場に迫るおそれがある火砕流に対し、現地作業のリスク低減対策として、堰堤施工地の上流に仮設構造物（第 1 フェンス）である鋼製の熱風防護柵を約 40m の区間に設置した（写真 2-4、写真 2-5）。本事例については、「火山地域における減災対策事例集」も参照されたい。

写真 2-4 熱風防護柵と砂防堰堤 [4]

写真 2-5 熱風防護柵と堰堤設置工事の状況 [4]

[4] 太田一也,雲仙普賢岳噴火災害時撮影写真に追記

## 2.5.2. 調査におけるリスク低減事例

1993（平成 5）年当時の警戒区域内等の調査にあたって次のような措置を取っていた。

- 現場の状況調査には自衛隊の火砕流の発生、経過時間の無線を受信できる小型受信機と緊急連絡用の携帯電話を必ず持って行きました。
- 熊本市内に中継局を設けて受信することで、無線機をより小型化でき受信不能エリアも解消できました。
- 小型受信機は十数台常備し現地に入る事務所や調査会社にも貸与し携帯を義務付けていました。
- 車から降りて徒歩で調査に向かう際には必ず車を避難する方向に駐車するとともに、キーはつけたままにしておき迅速に避難できるようにしていました。

事務所職員

水無川 C１方向
火砕流発生！
30 秒経過！

図 2-5　火砕流通過地点の到達基準と伝達の様子

# 3. 噴石

## 3.1. 噴石がもたらすリスク

| 噴石 | |
|---|---|
| | 噴石は噴火によって火口から吹き飛ばされる防災上警戒・注意すべき大きさの岩石である。数センチより大きいものは一般的に噴石と呼ばれることがある。気象庁では火口から風の影響を受けずに弾道を描いて飛散してくるものを「大きな噴石」、それよりも小さなものを「小さな噴石」と呼び分けている。2014（平成 26）年御嶽山噴火での犠牲者のほとんどが、噴石が頭や体に当たった事に起因して命を落としている。 |

### ① 有珠山（1977 年噴火、2000 年噴火）

**火山の概要**：有珠山は洞爺カルデラの南壁上に生じた成層火山と溶岩ドーム群で、直径約 1.8km の外輪山を持つ玄武岩－玄武岩質安山岩の成層火山と、その側火山及び 3 個のデイサイト溶岩ドーム(小有珠、大有珠、昭和新山)と多数の潜在ドームから構成される。

**近年の噴火活動と被害状況**：1977（昭和 52）年 8 月 7 日にプリニー式噴火を開始し、1978（昭和 53）年 10 月 27 日まで噴火活動を繰り返し、道路や建物、上下水道に深刻な被害を生じた。1978（昭和 53）年 10 月 16 日と 24 日には降雨による二次泥流が発生し、死者 2 名、行方不明者 1 名の被害を生じた。

2000（平成 12）年 3 月 31 日にマグマ水蒸気噴火が発生し、活動中に粘性の高いマグマが上昇して溶岩ドームや潜在ドームを形成した。噴火場所が北西山麓の一部居住地にかかっていたため、小規模噴火だったにも関わらず、道路や上下水道が寸断され、850 戸の家屋の被害を生じた。

### ② 桜島

**火山の概要**：姶良カルデラの南縁部に生じた安山岩～デイサイトの成層火山である。北岳、中岳、南岳の 3 峰と、権現山、鍋山、引ノ平などの側火山からなり、人口が密集する鹿児島市の市街地に近接している。

**近年の噴火活動と被害状況**：1914（大正 3）年の噴火前桜島は鹿児島湾内の火山島であったが、大正噴火で流出した溶岩により大隅半島と陸続きとなった。南岳山頂火口は 1955（昭和 30）年 10 月の爆発以来今日まで長期間にわたって活発な噴火活動を続けており、噴出物や爆発時の空振、二次災害としての土石流などにより各方面に被害を及ぼしている。南岳の東山腹 8 合目に位置する昭和火口は 2006（平成 18）年 6 月に 58 年ぶりとなる噴火活動を再開し、2008（平成 20）年以降活発な噴火活動が継続している。

## 3.2. 危険事例

### 3.2.1. 危険事例①

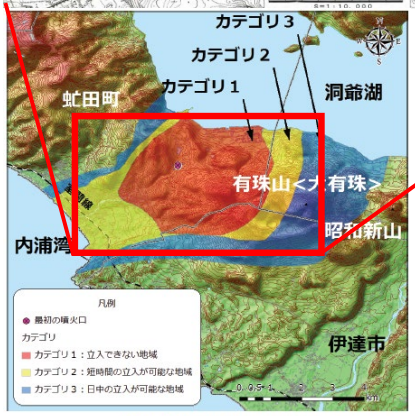
#### 調査中の噴石の危険事例（有珠山 2000 年噴火）

有珠山 2000（平成 12）年噴火では、現地の状況の把握と無人化施工による土砂除去が可能な堆積土砂の性状かを把握するため、砂防担当者が立ち入り規制区域内に自衛隊の装甲車に乗り込んで調査に向かった。装甲車から降りて徒歩で調査地点に行き調査者の 1 人が土砂の性状を調査中にふと顔を上げたところ、たまたま噴石が飛んできたのを他の調査者が目撃した。噴石は土砂の性状を調査している調査者のそばに落下したが、一歩間違えば重大事故につながりかねない危険事例であった。

- 2000（平成 12）年 5 月 31 日 14 時～15 時 30 分、立ち入り規制区域内にて施工機械の通行道路・通行橋梁調査、流出したこんぴら橋、流路工内の土砂堆積状況、自然由来のヒ素の確認のための土砂採取調査を実施しました。
- 調査員は D 先生、E さん、F さん、私（G さん）、施工業者：2 名、ほかに自衛隊数名でした。
- 装甲車で西山川近くまで行き、降車後、西山川沿いに徒歩で西山川を上流に上り流出したこんぴら橋付近まで調査しました。
- E さんの下流側にいた時、突然噴石が E さんのそばに落ちたのを目撃しました。
- 噴石は、下図★印地点（西山川左岸）に落下しました。金毘羅火口群の K-B 火口からの噴石だと思われました。

G さん

- 西山川、板谷川流域などの土砂移動堆積状況、市街地等の被害状況調査に立ち入り規制区域内に調査に入りました（下図参照）。
- 立ち入り制限地域までは車で向かい、その後は徒歩により西山川や板谷川の河川沿いを調査し、必要に応じて流域調査もしました。
- 降灰が思った以上に泥濘化しており、徒歩による移動に時間がかかりました。
- 「こんなところに入って調査しても良いのか…」と内心では思いました。
- しかし、「被害を最小限に抑えるためには、多少のリスクがある行動もやむを得ない」と思っていました。周りもそんな雰囲気でした。
- 東京も札幌も現地状況の情報は少なく、できれば情報を収集してほしい、という雰囲気を感じていました。そのため、調査に行かざるを得ないと思っていました。




| | 危険度および条件 | 立ち入り条件 |
|---|---|---|
| カテゴリー1 | 火砕サージや噴石の危険性の高い地域 | 全面的に立ち入り禁止 |
| カテゴリー2 | ヘリによる火山活動の監視1時間程度の短時間対象地域の限定 | 厳重な安全措置により立ち入り |
| カテゴリー3 | 万一の場合の避難体制火山活動の状況の把握必要な連絡・避難体制 | 厳重な安全措置により立ち入り |

平成12年有珠山噴火-火山砂防の緊急対応-，平成14年3月，北海道建設部 §P71のカテゴリー変化図から転記作図

有珠山 2000 年噴火は、上図のようにカテゴリ 1～3 まで設定された。[5]

現地調査に派遣された H さん

[5] 有珠山噴火における災害応急対策の意思決定構造に関する研究，関ほか，土木学会論文集，Vol.72，No，1，1-19，2016，p-3

### 3.2.2. 危険事例②（桜島その１）

- 桜島は姶良カルデラの南縁部に位置する成層火山で、北岳、中岳、南岳の 3 峰からなり、人口が密集する鹿児島市の市街地に近接している。
- 有史以降の桜島の山頂噴火は南岳に限られる。南岳山頂火口は 1955（昭和 30）年の爆発以来、今日まで長期間にわたって活発な噴火活動を継続しており、噴出物(火山ガス・火山灰・火山礫・噴石など)や爆発時の空振、二次災害としての土石流などにより各方面に被害を及ぼし続けている[6]。

【桜島における噴石の実績】

鹿児島地方気象台の遠望カメラ映像による噴石落下地点の計測によれば、昭和火口近傍に落下した噴石を除く水平距離で概ね 800m 以上、飛散した噴石については火口から 2km 以上になると噴石落下地点数は大きく減少する傾向にある(図 3-1)。

【桜島の火山砂防対策】

桜島における砂防事業は 1943（昭和 18）年度に県単事業として始められ、1972（昭和 47）年以降の火山活動の活発化に伴って頻発する土石流に対応するため、1976（昭和 51）年度には特に荒廃の著しい南岳山腹斜面の崩壊地を源頭部とする野尻川、春松川、持木川と東斜面を流下し上流部にボラ層を有する黒神川の 4 河川で建設省（当時）が直轄砂防事業に着手した。その後 2009（平成 21）年度までに 11 河川が直轄事業化され、現在鹿児島県の交付金事業と併せて土石流対策が進められている（図 3-2）。

[6] 気象庁 「桜島」
https://www.data.jma.go.jp/svd/vois/data/fukuoka/506_Sakurajima/506_inind.html
（2021 年 2 月 1 日））

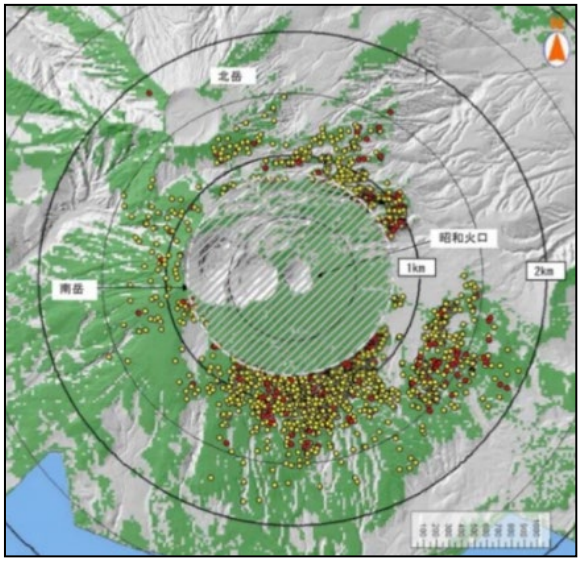



図 3-1 昭和火口からの噴石の落下地点 [7]

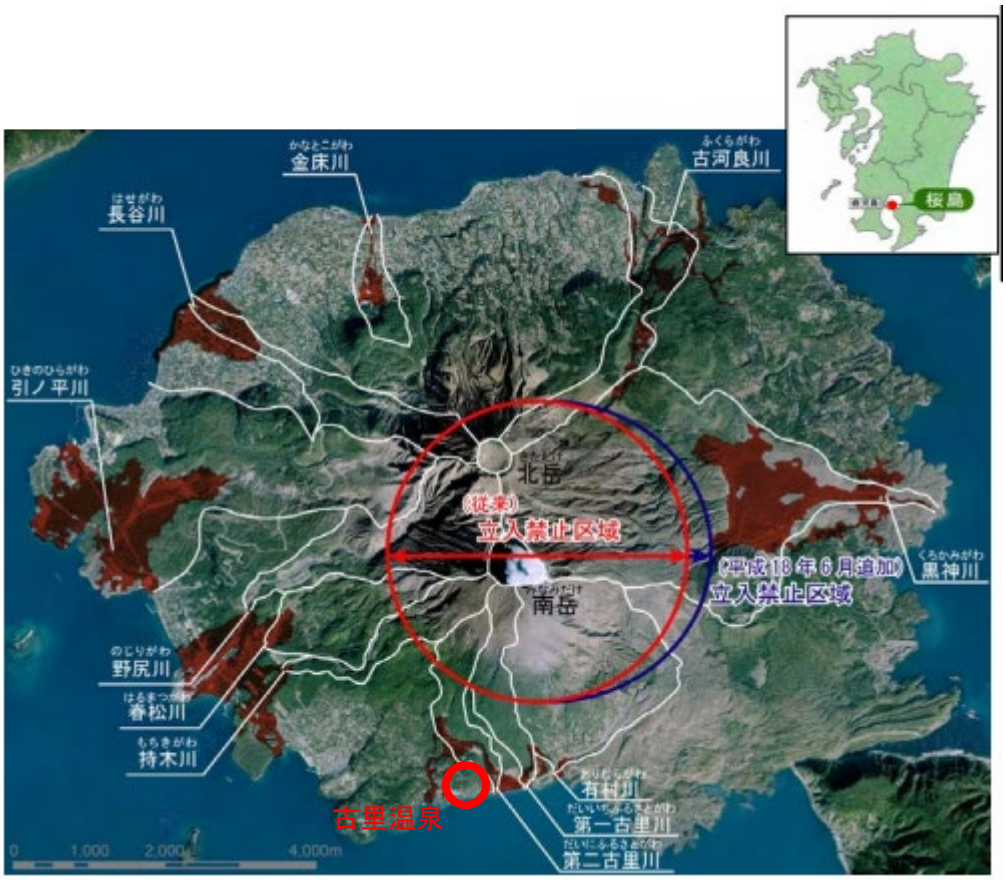



図 3-2 直轄砂防 11 河川と古里温泉位置図 [8]

---

[7] 気象庁 「第 129 回火山噴火予知連絡会」
http://27.121.95.132/jma/press/1406/03a/yochiren140603-2.pdf（2021 年 2 月 1 日）

[8] 平成 22 年度 第 3 回 九州地方整備局事業評価監視委員会 桜島砂防事業
http://www.qsr.mlit.go.jp/s_top/jigyo-hyoka/101101/siryou5-8（2021 年 2 月 1 日）

桜島の火山砂防対策の工事では常に噴石のリスクが存在する。その事例の一つとして、1986（昭和 61）年 11 月 23 日に直径約 2m、重さ約 5 トンの噴石が南岳火口から、標高差約 850m、距離約 3.2km 離れた古里温泉（図 3-2）へ落下し、ホテル 1 階の屋根を突き破り、地下室へ達した事例（写真 3-1）がある[9]。古里温泉の近くに位置する直轄火山砂防事業対象の河川として第一古里川、第二古里川があり砂防工事を今後実施することとされている。将来、同規模の噴石が砂防工事現場に飛来する可能性を考慮し、本事例は火山砂防対策における留意事項として認識する必要があるだろう。

写真 3-1　古里温泉へ落下し、ホテル 1 階の屋根を突き破り、地下室へ達した噴石[8]

なお、この噴石については元気象庁地震火山部長の宇平幸一氏が「桜島大正噴火 100 周年記念誌」（桜島大正噴火 100 周年事業実行委員会、2014（平成 26）年 1 月 12 日）の第 3 章大正噴火後の 100 年、第 2 節火山監視と防災情報（警報、情報）のコラムにおいて 1986（昭和 61）年 11 月 23 日 16 時 2 分の爆発的噴火で古里温泉に噴石が落下し負傷者が出た状況を詳細に記述している（図 3-3）。

この他、持木川上流への噴石事例もある（写真 3-2）。

写真 3-2　持木川上流への噴石事例[8, 10]

[9] 大隅河川国道事務所事業概要
http://www.qsr.mlit.go.jp/osumi/contents/jigyo/sand/history.html（2021 年 2 月 1 日）

[10] 桜島直轄火山砂防事業　p-6（桜島収集資料 No.17）

## コラム　古里温泉に噴石が落下した日の気象台の対応

前気象庁地震火山部長　宇平幸一

南岳山頂火口の活動が活発だった時期には、居住地域まで大きな噴石が飛ぶことがありました。例えば、昭和61(1986)年11月23日16時2分の爆発的噴火では、古里町の旅館に直径1m以上と推定される噴石が落下し6人が重軽傷を負いました。折しも、伊豆大島では2日前の21日に山腹噴火に移行し、溶岩流が居住地に迫って全島避難する事態となっていました。

この爆発的噴火は、宿直勤務を終えて自宅で大相撲秋場所の中継を見始めた時に発生しました。爆発音・空振とも大きかったのですが、天候が悪化しつつある中で噴煙高度は確認できませんでした。しばらくして、鹿児島中央警察署からの情報として古里温泉に噴石が落下し負傷者が出たので直ちに出動するよう連絡がありました。気象台の観測データをチェックし火山活動に大きな変化はないことを確認した上で情報の検討に入りました。臨時火山情報で警戒を呼びかけることも考えましたが、現実に負傷者が出ていること、噴石が飛びやすい状況が続いているおそれがあることから、当時の情報体系としては最上位の火山活動情報※を発表することにしました。

火山活動情報の発表は、鹿児島地方気象台として初めてのことであり、県庁などの伝達先の再確認や情報文の作成に時間を要し、18時15分に事実関係と今後の噴火への警戒を簡潔に伝える内容で発表しました。伊豆大島の活動との関連についての問い合わせがたくさん寄せられました。

翌日現場に出向き、噴石が平屋建てのホテルの鉄板の屋根と厚さ約15cmのコンクリートの床に直径約3mの穴を開け、地下の倉庫に達しているのを確認しました。また、ホテルの敷地にも噴石が直径約3.5m、深さ約1mの穴を開けており、露出した噴石に水をかけるとたちまち気化することも経験しました。18時には火山噴火予知連絡会の会長コメントを引用する形で、臨時火山情報を発表し、再度噴火に対する警戒を呼びかけました。

噴石落下時の様子

(※　危機感を伝えているとは言い難いこの情報名は、その後緊急火山情報に改められました。現在では噴火警報・噴火警戒レベルの導入により、情報と防災対応が密接に関連付けられています。)

図 3-3 コラム「古里温泉に噴石が落下した日の気象台の対応」[11]

[11]「桜島大正噴火100周年記念誌」 第3章第2節　火山監視と防災情報のコラムより

### 3.2.3. 危険事例③（桜島その２）

2020（令和 2）年 6 月 8 日夜、鹿児島地方気象台は桜島の南岳で同月 4 日午前 3 時ごろに発生した爆発的噴火で出たとみられる大きな噴石が、火口から約 3 km 離れた地点で確認されたと発表した。

6 月 4 日時点で大隅河川国道事務所が火口から約 3 km 以内で進めている砂防工事は 5 件あったが、場合によっては施工範囲に噴石が落下する可能性があっただろう。

図 3-4 2020（令和 2）年 6 月 4 日噴石落下地点
（鹿児島市東桜島支所総務市民課職員よりヒアリング）

| | |
|---|---|
| | 落下痕周辺で見つかった最大約 30cm の噴石の破片<br>=2020（令和 2）年 6 月 8 日、鹿児島市東桜島町<br>（写真：鹿児島市提供） |
| | クレーターの直径は約 6 m、深さは約 1.5～2 m 程度<br>（写真：鹿児島市提供） |

写真 3-3 （上）落下した噴石の破片、（下）噴石落下地点

## 3.3. リスク低減対策 1

### 3.3.1. 対策の概要

鹿児島地方気象台では、桜島噴火時の噴石の監視を 24 時間体制でおこなっている。

①監視体制について

常時（24 時間体制）で 2 名が監視にあたっている。

②噴石監視のタイミングについて

地震計により桜島の爆発地震（爆発に伴う地震）があった場合や、それまでと比べて大きな振動を描いたときにアラームが発せられるシステムとなっている。アラームの閾値の設定に関係することであるが、爆発でない噴火に伴う震動等の場合は報知されない時もある。アラームが発せられたと同時に観測を開始する。

i) 爆発基準

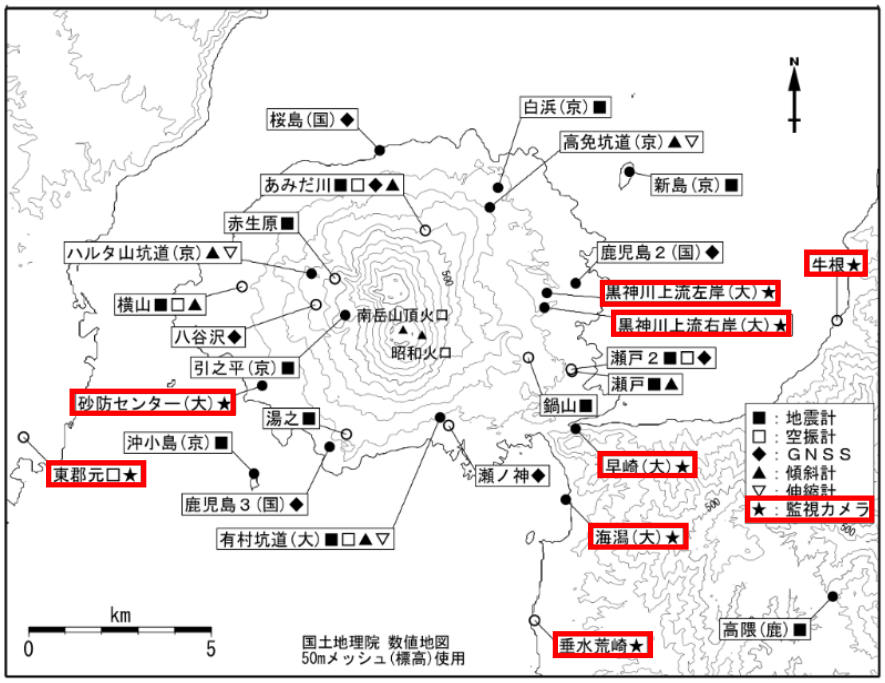
爆発音、体感空振、噴石の火口外への飛散、島内空振計で 10Pa や東郡元で 3Pa 以上

ii) 噴火基準

噴煙量中量以上（火口縁上 1000m 程度）を満たしそうなイベントが発生した場合、その都度確認し③の工程を行う。基準を満たした場合には、「噴火に関する火山観測報」等を発表する。もちろん状況によっては噴火速報、噴火警戒レベルを引上げる。

③ 監視の手順

- 鹿児島地方気象台は桜島から 10km 程度と目視できる距離にある。
  - i) 目視＋体感で噴煙、噴石飛散及び火砕流の有無等の状況、体感的な空振の強さ、爆発音などを観測する（イベントの規模観の把握）。
  - ii) 噴火の規模に応じて桜島周辺に設置されている 9 基の監視カメラ（重富観測点（図 3-5 北側範囲外）と図 3-5 赤枠で示す 8 基）により監視する。
- 噴煙の状況については、東郡元、牛根、海潟（大隅）、重富（大隅）（錦江湾北側のカメラ）あたりが主となる。噴煙が高く上がった場合には猪子石（平時は霧島山の監視カメラ）なども活用する。
- 大きな噴石飛散の把握には、海潟（大隅）、黒神川上流（右岸、左岸）、東郡元あたりの監視カメラが中心で、早崎（大隅）、荒崎、牛根等も活用する。
- 短時間ですべてのカメラを見るのは難しいため、2 ～ 3 つのカメラで噴石の飛散の相場観を得て、必要があればその他も見ることとなる。
- 監視カメラで把握できる噴石の大きさは、長径 1 m くらいと考えている。天候不良時などはカメラで状況が分からないため、震動観測の状況だけで爆発等を判断することもある。
- また、地殻変動の状況なども踏まえて極端に大きなイベントではないかという確認を行う。




小さな白丸（○）は気象庁、小さな黒丸（●）は気象庁以外の機関の観測点位置を示しています。
（国）：国土地理院、（大）：大隅河川国道事務所、（京）：京都大学、（鹿）：鹿児島大学、（防）：防災科学技術研究所

図 3-5 監視カメラ位置図

④ 常時監視員 2 名の作業

- 目視・体感観測
- 震動（地震、空振）の把握、地殻変動（収縮）の把握
- 監視カメラの確認（噴煙、噴石など）
- 即時作業ではないが、現地の状況をもっと詳しく知りたい場合には、電話での聞き取りなど

⑤ 発表について

④の作業により把握した状況に応じて、以下の発表を行う。

- 噴火に関する火山観測報
- 降灰予報（速報、詳細） ※作業自体は本庁
- 噴火速報
- 噴火警報

⑥ 監視カメラについて

- 高感度カメラであるので夜間でも赤く光っていることを確認できる。但し、雲がかかっていたり雨天の場合等の条件によっては監視できない場合がある。
- なお、噴煙については天候状況が悪くなければ、概ね昼と同じ観測が可能である。
- 全てではないが、噴石はむしろ夜間のほうが監視しやすく、飛散の軌跡が見えるときもあるし、着弾は赤く明瞭に見えることが多い。昼は山腹から土煙が上がる状況などから落下地点を判断する。

⑥ 飛散距離について

目視やカメラから一旦、概略の飛散距離を把握するが、最終的にはカメラ画像上で確認した噴石の落下地点を地形図にプロットして飛散距離を計測している。

### 3.3.2. リスク低減対策上の課題

鹿児島地方気象台による噴石監視についてリアルタイム性を確保することができても、実践的な砂防工事の安全管理体制の構築ができるわけではない。

なぜなら、噴石の飛散から落下までの時間は短く、噴石が到達する場所にいる現場作業員が、噴石の情報伝達から余裕をもって避難を完了するまでの時間の確保が難しいからである。

また、2020（令和 2）年 6 月 4 日の約 3 km 超地点への噴石落下を鹿児島地方気象台は監視・確認できず、地元住民からの情報を得て現地確認したうえで 4 日後の 8 日に噴石落下を発表していることから、現状の監視体制では噴石のすべてを確認することは現実的に難しいことが確認された [12]。

### 3.3.3. リスク低減対策の留意点

**気象台は砂防工事の安全管理のために監視・観測してはいない**

鹿児島地方気象台による噴石監視は噴石を含む包括的な火山現象（振動、噴煙など）の観測事項の一つで、最終的な目標は全観測情報を総合的に判断して「気象業務法に基づく火山情報（噴火速報等）」を発出することである。

砂防工事の安全管理に特化して監視・観測しているものではないことに留意が必要である。

### 3.3.4. 教訓

① 桜島の火山活動の活発性を考慮すると、将来とも噴火警戒レベル 3 での 3km 超えの噴石がありうるというリスクが継続するという認識に立つ必要がある。

② 桜島の砂防工事従事者や桜島の住民は、将来とも噴石のリスクと隣り合わせにいるということを常に認識しておかねばならない。

---

[12] NHK NEWS WEB 「「気象庁はとんでもない」学者激怒　桜島“火山弾”めぐる混乱」(2020 年 6 月 19 日 18 時 54 分)
https://www3.nhk.or.jp/news/html/20200619/k10012475181000.html（2021 年 2 月 1 日）

## 3.4. リスク低減対策 2

### 3.4.1. 対策の概要

火山砂防対策の工事実施時に噴石に対するリスク低減対策が必要な場合がある。国内における典型例として、桜島における工事実施時の噴石に対するリスク低減対策があげられる。よって、主として桜島の事例について整理した。

桜島における噴石に対するリスク低減対策としては、噴石見張り所の設置と爆発監視員による常時監視、仮設避難壕の設置、火山監視カメラによる爆発の監視、プロテクターや防護板の準備、情報の集中管理が実施されている。

### 3.4.2. 採用された背景

噴石へのリスク低減対策は、人体に対しての噴石の危険性が背景にある。大きな噴石は概ね20～30cm 以上の風の影響を受けずに弾道を描いて飛散し、避難までの時間的な猶予がほとんどなく生命に対する危険性が高く、小さな噴石は直径数 cm 程度の風の影響を受けて遠方まで流されて降る噴石で、火口付近では登山者等が死傷することがあるとされている。

そこで、いずれも工事関係者に重大な危険が及ぶ可能性があるため、噴石見張り所の設置と爆発監視員による常時監視、仮設避難壕の設置、火山監視カメラによる爆発の監視、プロテクターや防護板の準備等のリスク低減対策が実施されている。

### 3.4.3. リスク低減対策の留意点

**噴火発生時期と規模、到達距離の不確実性に留意する**

噴石へのリスク低減対策は、発生時刻を明確に特定することが困難である点、噴石の規模や到達距離が不確定である点に留意する必要がある。

鹿児島地方気象台では、気象業務法に基づく火山情報（噴火速報等）を発出するための観測データの一つとして、桜島の昭和火口等から放出された大きな噴石の落下地点を望遠カメラ映像によって計測している。火口から離れるに従い、噴石の落下地点の分布密度は減少する傾向にあるが、火口から同一距離であっても地形条件により噴石の落下地点の分布密度にばらつきが生じることに留意が必要である。

## 3.5. リスク低減対策事例の詳細

check

- **噴石見張り所の設置と爆発監視員による常時監視**により、作業員の安全確保体制をとっている。
- **仮設避難壕**を設置し、噴石の発生の通報があった場合作業員は退避する。
- **バックプロテクター**を装着し、予期せぬ噴石や避難中のリスク低減対策とする。
- **火山監視カメラにより爆発を監視**し、必要に応じて各工事現場に通報する。
- **情報は集中監視室で集中管理**され、工事従事者の安全確保に必要な情報を各工事現場と共有している。

### 3.5.1. 噴石見張り所の設置と爆発監視員による常時監視

各工事現場に噴石見張り所を設置し爆発監視員が常時監視（写真 3-4）し、発見した場合は即時無線により作業員に同報し仮設避難壕への退避などの安全確保体制をとっている。

写真 3-4　噴石見張り所、監視員の様子

### 3.5.2. 仮設避難壕の設置

爆発監視員から噴石の発生の通報があった場合、施工箇所近傍に設けられた仮設避難壕に避難する（写真 3-5）。

写真 3-5　仮設避難壕

### 3.5.3. バックプロテクターの装着

予期せぬ噴石の飛来や仮設避難壕に避難する間のリスク低減対策としてバックプロテクターを装着して作業を実施する（写真 3-6）。

写真 3-6　バックプロテクターの装着

### 3.5.4. 火山監視カメラによる爆発の監視

噴石は爆発とともに生じるため常時火山監視を行うことがリスク低減対策にとって重要である。

大隅河川国道事務所では、火山監視カメラにより常時監視し必要に応じて各工事現場に通報することとしている。桜島においては、爆発の監視・噴石の飛散・火砕流の流下の把握のため火山監視カメラを 9 基設置している（2021（令和 3）年 3 月現在）（写真 3-7）。

写真 3-7 （左）火山監視カメラ、（右）監視カメラによる画像の例

### 3.5.5. 情報の集中管理

噴石を含めて、雨量状況、降灰状況、土石流発生状況等のデータ及び画像情報は桜島国際火山砂防センターの集中監視室で集中管理され防災機能を発揮するとともに、工事従事者の安全確保に必要な情報を各工事現場と共有することとしている（写真 3-8）。

写真 3-8 桜島国際火山砂防センター 桜島土石流発生集中監視室

### 3.5.6. 教訓

- 有珠山 2000 年噴火の事例に見られるように、火口から数百 m しか離れていない地点の調査は噴石による危険性が高いので実施しない方針とすることが求められる。
- 桜島の事例では、現在のところ砂防工事における噴石による事故事例がない。これは現在までの噴石に対する種々のリスク低減対策が寄与した結果であるといえる。
- しかし 1986（昭和 61）年 11 月 23 日に直径約 2m、重さ約 5 トンの噴石が南岳火口から、標高差約 850m、距離約 3.2km 離れた古里温泉へ落下し、ホテル 1 階の屋根を突き破り、地下室へ達し 6 人が重軽傷を負った事例や、2020（令和 2）年 6 月 4 日の約 3 km 超地点の民家近くへの噴石落下事例を考慮すると、砂防工事従事者はもとより住民も常に噴石による危険と隣り合わせの状況にあることを心しておかねばならない。
- 引き続き、工事実施時の仮設避難壕、プロテクター、監視員の配置、のほか恒久的な避難壕の全島的整備、火山研究機関（京都大学）と連携した火山活動活発化時の情報共有と現地作業中止等の措置、山頂が視認できない時は工事中止等々の重層的なリスク低減対策をとることが求められる。

# 4. 火山ガス

## 4.1. 火山ガスがもたらすリスク

| | |
|---|---|
| 火山ガス<br> | 火山地域ではマグマに溶けている水蒸気や二酸化炭素のほか、毒性のある二酸化硫黄、硫化水素などの様々な成分が、気体となって放出されるため有人での災害対策の障害となる。また、硫化水素は砂防堰堤の堤体の材料となる鋼材の腐食を進行する原因となる。<br>三宅島の雄山 2000（平成 12）年噴火では数万トン/日の火山ガスが排出し全島避難の原因となった。 |

### 三宅島（1983 年噴火、2000 年噴火）

**火山の概要**：三宅島は直径 8km のほぼ円形の玄武岩～安山岩からなる成層火山で、中央部に直径約 3.5km のカルデラがあり、その内側には 2000（平成 12）年噴火により生じたカルデラがある。山腹には割れ目噴火による側火口が多く、海岸近くにはマグマ水蒸気爆発による爆裂火口が多数ある。

**近年の噴火活動と被害状況**：1983（昭和 58）年 10 月 3 日に南西山麓で割れ目噴火が発生し、溶岩流は主に 3 方向に流れ、西方に流れたものは阿古地区の住家を埋没し、海岸近くで止まった。これにより、住宅の埋没・焼失約 400 棟、山林耕地等に被害を生じたが、人的被害はなかった。

2000（平成 12）年 6 月に始まった噴火活動では、山頂噴火が発生するとともにカルデラを形成した。さらに高濃度の二酸化硫黄を含む火山ガスの大量放出が続き、全島民が島外での避難生活を余儀なくされた。2005（平成 17）年 2 月 1 日、4 年 5 ヶ月ぶりに避難指示が解除された。

## 4.2. 危険事例

### 4.2.1. 危険事例①

日本では火山ガスを原因とした事故により、最近 70 年間で 63 名の死亡事故が発生している。火山ガスに含まれる硫化水素（$H_2S$）、二酸化硫黄（$SO_2$）、二酸化炭素（$CO_2$）が事故の原因である。硫化水素による事故は、ほとんどが登山客やスキー客が火山の噴気地帯周辺の谷筋などに入り込んだ際に発生している。

表 4-1　1950 年以降に発生した火山ガスによる死亡事故

| 年月日 | 場所 | 事故内容 | 原因ガス |
|---|---|---|---|
| 1951年11月5日 | 箱根、湯ノ花沢 | 露天風呂で2名死亡 | $H_2S$ |
| 1952年3月27日 | 箱根、湯ノ花沢 | 浴室で1名死亡 | $H_2S$ |
| 1954年7月21日 | 立山、地獄谷 | 露天風呂で1名死亡 | $H_2S$ |
| 1958年7月26日 | 大雪山、御鉢平火口内 | 登山中火口内に侵入2名死亡 | $H_2S$ |
| 1961年4月23日 | 立山、地獄谷 | スキー客雪穴で1名死亡 | $H_2S$ |
| 1961年6月18日 | 大雪山、御鉢平火口内 | 登山中火口内に侵入2名死亡 | $H_2S$ |
| 1967年11月4日 | 立山、地獄谷 | キャンプ中2名死亡 | $H_2S$ |
| 1969年8月26日 | 鳴子温泉 | 浴室で1名死亡 | $H_2S$ |
| 1970年4月30日 | 立山、地獄谷 | 温泉作業員1名死亡 | $H_2S$ |
| 1971年12月27日 | 草津白根山振り子沢 | スキーヤー6名死亡 | $H_2S$ |
| 1972年10月2日 | 箱根、大涌谷 | 工事中2名死亡 | $H_2S$ |
| 1972年10月28日 | 那須岳、湯本 | 浴室で1名死亡 | $H_2S$ |
| 1972年11月25日 | 立山、地獄谷 | 温泉作業員1名死亡 | $H_2S$ |
| 1975年8月12日 | 立山、地獄谷 | 1名死亡 | $H_2S$ |
| 1976年8月4日 | 草津白根山、本白根 | 登山中沢で3名死亡 | $H_2S$ |
| 1980年12月20日 | 安達太良山、鉄山 | 雪洞で1名死亡 | $H_2S$ |
| 1985年7月22日 | 立山、地獄谷 | 湯留まりで1名死亡 | $H_2S$ |
| 1986年5月8日 | 秋田焼山　叫び沢 | 谷で1名死亡 | $H_2S$ |
| 1989年2月12日 | 阿蘇山、中岳 | 火口縁で観光客1名死亡 | $SO_2$ |
| 1989年8月26日 | 霧島、新湯 | 浴室で2名死亡 | $H_2S$ |
| 1989年9月1日 | 那須岳、湯本 | 温泉貯留槽内作業員3名死亡 | $H_2S$ |
| 1990年3月26日 | 阿蘇山、中岳 | 火口縁で観光客1名死亡 | $SO_2$ |
| 1990年4月18日 | 阿蘇山、中岳 | 火口縁で観光客1名死亡 | $SO_2$ |
| 1990年10月19日 | 阿蘇山、中岳 | 火口縁で観光客1名死亡 | $SO_2$ |
| 1994年5月29日 | 阿蘇山、中岳 | 火口縁で観光客1名死亡 | $SO_2$ |
| 1997年7月12日 | 八甲田山、田代平 | ガス穴で3名死亡 | $CO_2$ |
| 1997年9月15日 | 安達太良山、沼ノ平 | 登山中4名死亡 | $H_2S$ |
| 1997年11月23日 | 阿蘇山、中岳 | 火口縁で観光客2名死亡 | $SO_2$ |
| 2005年12月29日 | 秋田湯沢泥湯温泉 | 雪穴で観光客4名死亡 | $H_2S$ |
| 2010年6月20日 | 青森県酸ヶ湯温泉山中 | 山菜採り1名死亡 | $H_2S$ |
| 2013年6月11日 | 長崎県雲仙温泉 | 温泉タンク内作業員2名死亡 | $H_2S$ |
| 2013-14年 | 北海道オンネトー温泉 | 浴室で2名死亡 | $H_2S$ |
| 2014年 | 北海道登別温泉 | 温泉タンク内作業員2名死亡 | $H_2S$ |
| 2015年3月18日 | 秋田県乳頭温泉 | 源泉調整作業中3名死亡 | $H_2S$ |

（小坂ほか、1993、平林、2008を加筆修正）

硫化水素は非常に低濃度でも卵の腐ったような匂いを検知できるが、100ppm を超えるような高濃度では逆に臭覚麻痺が起きる。そのため硫化水素濃度が上昇しているにも関わらず高濃度の場所に立ち入ってしまう事態が起きる。二酸化炭素は無臭で人体に危険なほどの高濃度でも感知できない。

表 4-2 火山ガス成分の毒性 [13]

| ガス成分 | 臭気感じる濃度 | 致死濃度 | 許容濃度 |
|---|---|---|---|
| HF | ? | 600 ppm*1 | 3 ppm |
| HCl*2 | 1 ppm | 1,000 ppm | 5 ppm |
| $SO_2$*3 | 0.3~1 ppm | 500 ppm | 2 ppm |
| $H_2S$ | 0.06 ppm | 700 ppm | 10 ppm |
| $CO_2$*4 | 臭気無 | 40 % | 5,000 ppm |
| CO:*5 | 臭気無 | 1,500ppm | 50 ppm |

*1：モルモットによる吸入致死濃度
*2：10 ppm で粘膜が刺激される.
*3：30~40 ppm で呼吸困難となる・
*4：9 %で 5 分，10 %で 1 分間でも死亡した例もある.
10~15 %では数呼吸で昏睡状態になるとも言われている.
*5：1,500 ppm の環境下に 1 時間滞在で生命危険となる.

中毒を起こすような高濃度の火山ガスがたまりやすいのは、風が弱い条件下での谷地形やくぼ地の低い部分である。これは、硫化水素や二酸化炭素を含む低温の火山ガスの密度が空気より大きいことが原因である。密度の大きい低温の火山ガスは、風が弱い条件では空気とは混じりにくいため、水のように低いところを流れ高濃度のまま低い場所にとどまることがある。そのような場所では、火山ガスの濃度が急に増加する。硫化水素や二酸化炭素は匂いなどでは検知しにくいこともあり、知らずに突然高濃度のガスに遭遇し、瞬間的に意識不明に陥ることが起きる。

図 4-1 は、環境省が発行している環境省有毒な火山ガスから身を守るための手引きである。

[13]「火山ガス」平林 純一，地質工学 vol.13, pp16－22

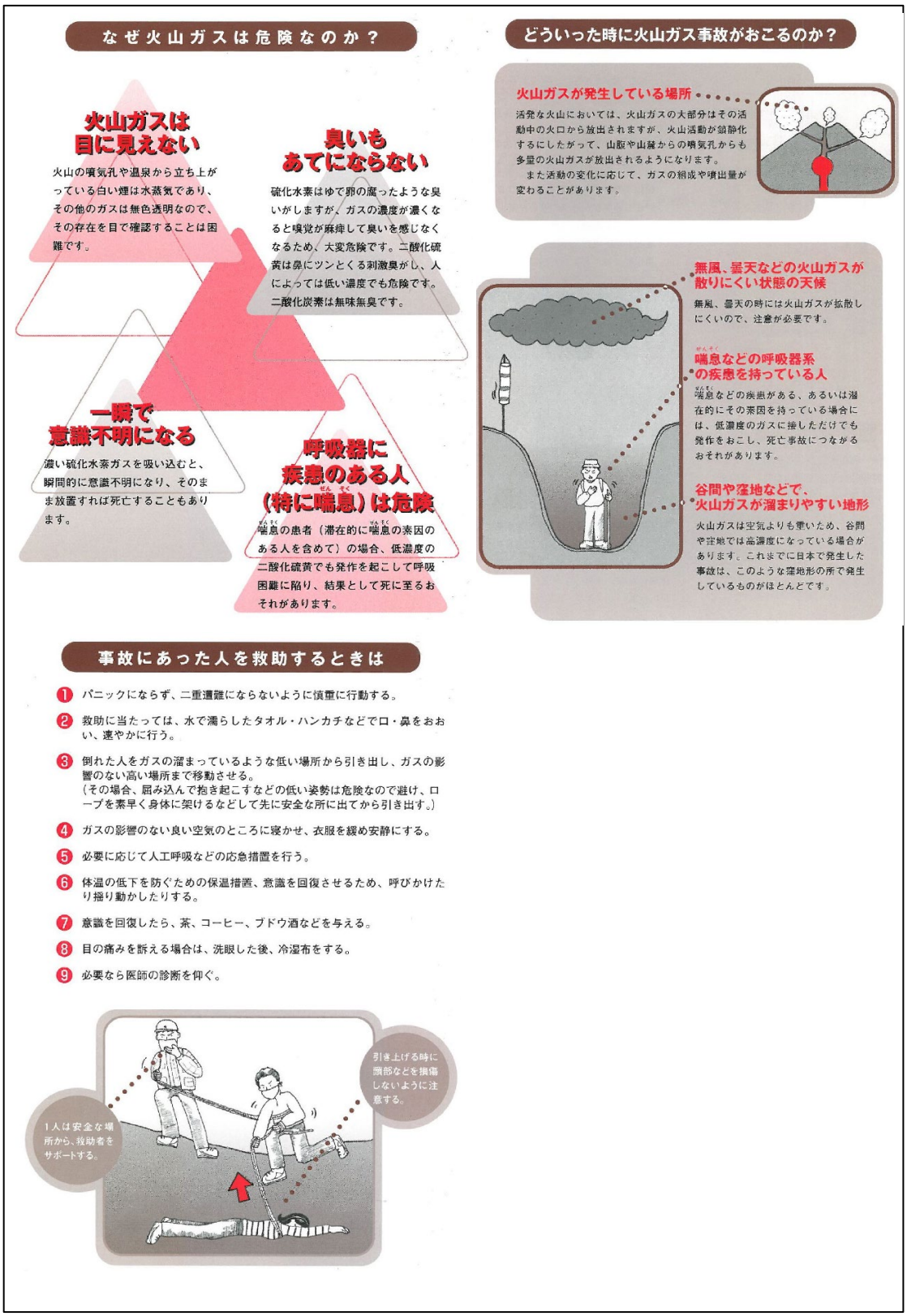



図 4-1 「火山ガス事故防止のために」[14]

[14] 環境省、「火山ガス事故防止のために　有毒な火山ガスから身を守るための手引き」

### 4.2.2. 危険事例②

三宅島噴火に対する緊急火山砂防基本計画策定を目的とした渓床不安定土砂量および土石流堆積量等の調査のために実施した現地調査で生じた危険事例である。

現地調査は、2001（平成 13）年 2 月から 2002（平成 14）年 12 月に行われた。

- 2001（平成 13）年に三宅島東側のとんび沢上流付近での調査中に、ガス検知器のアラームが突然鳴り出しました。
- 数値は二酸化硫黄で 7～8ppm ぐらいだったと記憶しています。あわててガスマスクを装着しました。
- その時はガスマスクを装着して渓流を移動したため、呼吸が苦しくなり気分が悪くなりました。
- ２ppm 以下であっても匂いがかなりきつく、いったん呼吸して体内に取り込んでしまうと咳き込んだり、口の中で金属臭がずっとしているため、気持ちが悪くなりました。
- 二酸化硫黄が高い数値となりガスマスクを装着したのは平成 13 年の三宅島東側のとんび沢上流付近での 1 回のみでしたが、風下の地域を車で通過した際に二酸化硫黄で 2 ppm 程度を測定することは数回あったと記憶しています。

### 4.2.3. 危険事例③

三宅島噴火にともなう火山灰を発生源とする泥流対策として三宅島の東部、三池地区の沢で根固め工事が実施された。三池地区の沢は島の東部にあたり有毒ガスの滞留が激しいため、無人化施工が適用された。

現場では、火山ガス濃度と工事中止基準は次の様に運用されていた。

○ガスなし：ブロック連結作業、吸出し防止シート張りは有人作業
　ブロック設置は、沢上から目視遠隔操作が可
○ガスあり：二酸化硫黄（$SO_2$）は 2ppm、硫化水素（$H_2S$）は 10ppm で有人作業は不可
　脱硫装置付の操作室から遠隔操作
○ガスあり：上記以上
　ガスマスクを装着し、直ちに避難
　避難時には災害対策本部から貸与された無線機で災害対策本部に連絡、退避人数等の状況を報告

この工事実施中に危険事例があった。

- 現地で突如有毒ガスが発生しました。ガス検知器のブザーが鳴り、少し頭がクラクラしながら、脱硫装置付操作室に駆け込みました。

## 4.3. リスク低減対策

### 4.3.1. 対策の概要

三宅島 2000（平成 12）年噴火の最大の特徴は世界に類例を見ない大量の火山ガスの放出にある。噴火後、この火山ガスにより全島民避難とされたなか、火山砂防対策検討のため「ガス検知器とガスマスク携行」による現地調査や、無人化施工機材による泥流対策施設の施工がおこなわれた。

### 4.3.2. 採用された背景

2000（平成 12）年 12 月に、三宅島島内の防災作業では、火山ガス対策として二酸化硫黄の濃度が 2ppm でガスマスクを着用した作業、5ppm で作業中止・退避が義務付けられた。火山砂防対策検討のための現地調査においては、「ガス検知器とガスマスク携行」により対応がおこなわれた。また、泥流対策の工事では、施工に当たって施工箇所内のくぼ地等の地形に起因する火山ガスの滞留が問題となった。こうした状況の中で、工事の遅延を防ぐため雲仙岳噴火で有効性が実証された無人化施工技術が採用された。

### 4.3.3. リスク低減対策の留意点

Pont!

- **火山ガスの性質を知り、対応するリスク低減対策資機材（吸収缶がガスの種類によって変わるなど）の扱い等ついて訓練が必要。**
- **ガスマスクを装着して急勾配の渓流や斜面を調査する場合、呼吸が苦しくなるため調査効率が低下することに留意する。**
- **無人化施工の操作室は火山ガスが空気より重いことを考慮し高標高の地点に設けることが望ましい。**
- **不測の事態における避難のため操作室脇に乗車可能人数分の車両の配置、キーのつけっぱなし等の措置に留意する。**

## 4.4. リスク低減対策事例の詳細

check

- **火山ガス検知器、防毒マスクを携行して調査**を実施した。
- 火山ガス対策としての**無人化施工**を実施した。

### 4.4.1. 火山ガス検知器、防毒マスク携行による調査

火山ガスは人体にとって危険なため全島民避難とされたなか、火山砂防対策検討のため「ガス検知器とガスマスク携行」による現地調査を行う必要があった。

東京都は三宅島の火山ガスに関して下記により有毒な火山ガスに対するリスク低減を図った（図 4-2）。

平成 12 年 12 月 8 日には、東京都災害対策本部及び政府非常災害対策本部は「三宅島島内作業等にかかる今後の進め方等について」を定め、島内作業の安全性をより高めるため、従来の火山対策の指針に、防毒マスクの装着による作業の遵守事項を新たに盛り込んだ。これにより、ガス濃度の高い場所(窪地など)での防災作業及び火山ガス等の観測時には、防毒マスク($SO_2$用)を装着することを義務付けた。

二酸化硫黄の濃度による作業基準は以下のとおりである。

**ア　2ppm 未満(防災作業者、火山観測者)**

防毒マスクを携帯して作業を行う。ガス濃度が基準値を超えた場合は防毒マスクを装着し、速やかにガス濃度の薄いところに退避する。なお、ガス濃度が高くなる窪地等では原則として作業禁止とする。

**イ　2ppm 以上 30ppm 未満(防災作業者、火山観測者)**

防毒マスクを装着して作業する。(なお、後にこの基準は 2ppm 以上 20ppm 未満に変更した。)

**ウ　30ppm 以上 50ppm 未満(火山ガス観測者のみ)**

防毒マスクを装着して作業する。なお、ガス濃度の高くなる窪地での作業については 50ppm 以上 100ppm 未満での作業条件による。

**エ　50ppm 以上 100ppm 未満(火山ガス観測者のみ)**

空気ボンベを装着して作業する。作業時間はボンベ装着後 20 分間とする。

図 4-2　二酸化硫黄の濃度による作業基準 [15]

[15]「平成12年（2000年）三宅島噴火災害誌」，平成19年3月，東京都，p-120

火山ガス検知器、防毒マスクの使用には次のような課題点、留意点が挙げられた。

- 火山ガスの危険が存在する中で車により避難できる地点（車の駐車地点）から離れてどこまでの範囲を調査すれば良いかの判断が難しいです。
- 調査範囲が広ければ広いほど調査精度が上がって良いですが、車の駐車地点から離れれば離れるほどガス濃度が上がった時に避難するのに時間を要してリスクが高まりました。
- ガス検知器は硫化水素用と二酸化硫黄用の２台を持参しましたが、うっかりすると（装備準備する者への伝達ミスなどで）どちらかを忘れそうになりました。
- 調査内容やガスマスクの種類にもよると思いますが、ガスマスクを装着しながらの調査は呼吸が苦しくなるためかなり大変と思います。マスクをつけたままハードな登高をすると苦しいですし、渓流など傾斜のある箇所を歩き回る調査は困難だと思います。

- 吸収缶がないとマスクだけでは役にたたないので初心者には説明が必要だと思います。
- 吸収缶が使用期限を過ぎていないか確認が必要です。
- 吸収缶のガス除毒能力は開封後、時間とともに落ちるので、帰りに必要な時間のことを考えて行動する必要があります。
- 頻繁に使用するものでも、さほど簡単に入手できるものでもないので、ガス検知器が古い場合はキャリブレーションするか買い換えが必要です。
- いざという時に速やかにガスマスクを装着できるよう、事前に訓練が必要です。

2021（令和 3）年 3 月現在、販売されている硫化水素ガスマスクおよび検知器の一例を示す（図 4-3、図 4-4）。掲載した他にも製造・販売されているものがあるので留意されたい。

| ■直結式　ガス濃度 0.1%以下 | ■直結式小型　ガス濃度 0.1%以下 |
|---|---|
| | |
| ■隔離式　ガス濃度 2.0%以下 | ■隔離式　ガス濃度 2.0%以下 |
| | |

図 4-3　硫化水素ガスマスクの例 [16]

図 4-4　硫化水素の検知器の例 [17]

[16] 画像提供：株式会社重松製作所

[17] 理研計器社カタログ（https://www.rikenkeiki.co.jp/products/detail/126（2021 年 2 月 1 日））

### 4.4.2. 火山ガス対策としての無人化施工

2001（平成 13）年 6 月当時、三宅島では、十数カ所の沢において泥流対策のための砂防ダム建設工事が着工された。三池地区の沢も下流域に民家が点在し、泥流被害が懸念されるため、当初から床固めブロックによる築堤が予定されていた。しかし、島内全域を覆う火山ガスにより工事着工が遅れた。このため、火山ガスの影響を受けにくい工法検討を行い、無人化施工を採用した（写真 4-1、図 4-5）。

写真 4-1　三池地区の無人化施工稼働状況 [18]

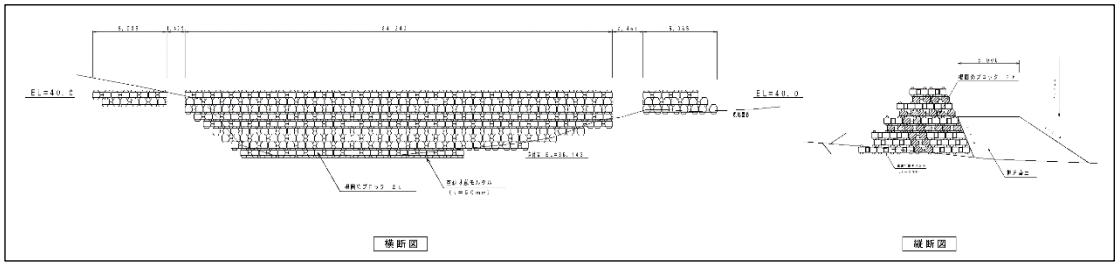



図 4-5　三池地区の沢横断および縦断図 [18]

無人化施工は、脱硫装置を備えた遠隔操作室よりラジコン操作により行った。無線式クローラダンプにより床固めブロックを運搬し、把持装置（回転クランプ）を装着した無線式バックホウにより荷卸しおよび据付を行った。ブロック製作は、施工ヤードから 1.45km 離れた製作ヤードにて行った。製作ヤードから施工ヤード下流 100mの乗換場までの運搬は、前述のクローラダンプを有人運転にて行い、そこから上流域については無人運転とした。

また、火山ガスが滞留することでブロック運搬ができない場合を想定し、築堤部下流にストックヤードを設置し、ブロック仮置きを行った。

[18]「 三宅島における無人化施工の導入事例とその期待効果」より

無人化施工の遠隔操作室の位置は、沢の中央部（標高の低いところ）がガスが滞留しやすく危険という考え方のもとで、施工ヤードの中で最も標高が高い位置に設置した（図 4-6、図 4-7）。

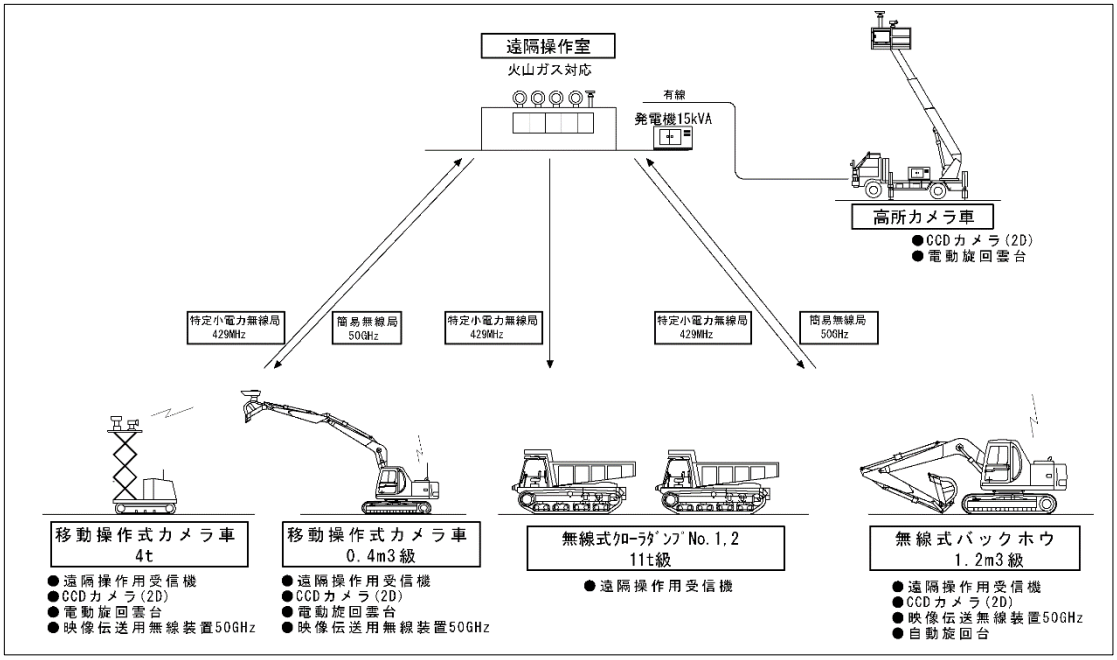



図 4-6 無線機械構成図 [18]

図 4-7 三池地区施工概要図 [18]

### 4.4.3. その他の対策事例

その他の対策事例として、「火山ガス調査」、「火山ガス対策（ホテルシップ）」、「火山ガス対策（渡船）」、「火山ガス対策（脱硫装置）」があるが、これら事例については、「火山地域における減災対策事例集」を参照されたい。

写真 4-2 ホテルシップ「かとれあ丸」全景 [19]

写真 4-3 三宅支庁舎屋上の脱硫装置

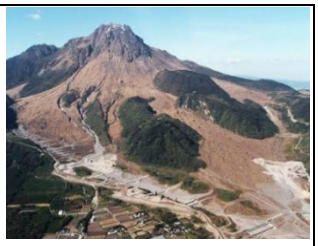
[19]「平成 12 年三宅島火山災害への取り組み－道路・海岸・砂防事業－」

# 5. 火山灰

## 5.1. 火山灰がもたらすリスク

| | |
|---|---|
| 火山灰<br> | 噴火により噴出した小さな固形物のうち直径 2mm 以下のものを火山灰といい、粒径が小さいほど火口から遠くまで風に流されて降下する。農作物被害、交通麻痺、家屋倒壊のほか、山麓斜面に堆積した火山噴出物は降雨によって土石流化する。また、空中を浮遊する火山灰は、飛行中の航空機の窓ガラスを傷つけたり、エンジンに吸い込まれて損傷させたりする危険がある。 |

### 雲仙岳（1990 年噴火）



**火山の概要**：雲仙岳は裾野まで含めると南北 25km の安山岩、デイサイトからなる成層火山である。 火山の西部は古期山体、中央部に東に開いた妙見カルデラがあり、その中に普賢岳等の最新期の溶岩ドーム群、さらに東には眉山溶岩ドームがある。

**近年の噴火活動と被害状況**：1990（平成 2）年 11 月 17 日に普賢岳山頂東側の地獄跡火口及び九十九島火口で水蒸気噴火が発生、1991（平成 3）年 5 月 20 日には地獄跡火口に溶岩ドームが出現し、次第に成長し、頻繁に火砕流が発生した。6 月 3 日の火砕流災害では、死者不明 43 人、建物 179 棟の被害を生じた。1991～95 年の溶岩噴出量 2 億 $m^3$、火砕流の発生回数は約 9400 回であった。

## 5.2. 危険事例

### 5.2.1. 危険事例①

雲仙岳では 1991（平成 3）年 6 月、火山灰の影響により報道関係者が搭乗した自衛隊のヘリコプターが飛行中のエンジン出力低下で緊急的に予防着陸した。原因は空気中の火山灰の吸い込みと考えられる。

写真 5-1　エンジン停止により南上木場に予防着陸したヘリコプター[20]
（上：V-107 の救出、下：V-107 を救出した CH-47（チヌーク））

[20]陸上自衛隊より提供

## 5.3. リスク低減対策

### 5.3.1. 対策の概要

空気中に高濃度の火山灰が浮遊する空域でのヘリコプター飛行にあたり、ヘリコプターメーカーはエンジンに火山灰の付着を防ぐフィルターを提案している。

### 5.3.2. 採用された背景

ヘリコプターのエンジンはタービンエンジンのものが多く、吸気口から火山灰を取り込んだ際にはエンジン停止に陥る場合や火山ガスによる金属腐食といったリスクが生ずる。

### 5.3.3. リスク低減対策の留意点

**火山上空を飛行する際の火山灰のもたらすリスクを共有する**

## 5.4. リスク低減対策事例の詳細

事例として宮崎県警ヘリ「ひむか」がエンジンに火山灰の付着を防ぐフィルターを装着したケースがある。2011（平成 23）年 3 月に配備された宮崎県警のヘリコプター「ひむか」は、2015（平成 27）年 11 月の定期点検でエンジン 2 基とも出力が低下していることが分かり交換した。エンジン内部を調べた結果「二酸化ケイ素」が付着したことが原因であることが分かった。風向によっては、宮崎にまで流れてくる桜島からの火山灰の影響があったと見られている。エンジン交換後、2016（平成 28）年 5 月から火山灰の飛散状況を確認しながら運用していたが、同年 12 月にエンジンに火山灰の付着を防ぐフィルターを装着し 2017（平成 29）年 3 月から運用を再開した。

また、噴火中のヘリコプター運航にあたっては、大気中の火山灰の濃度及びヘリポート等の地上に堆積した火山灰の巻き上げに留意する必要がある。

## 5.5. 教訓

- 噴火中のヘリコプター運航にあたっては、大気中の火山灰の濃度及びヘリポート等の地上に堆積した火山灰の巻き上げに留意する必要がある。
- 火山噴火時のヘリコプターの飛行は、危険を冒してまで噴火口直上や警戒区域内は実施しない。
- 調査機関職員がヘリコプターに搭乗し飛行経路をリクエストする場合は、ヘリコプター運航会社の「活火山飛行時の運航規定」等に従うことが求められる。
- 飛行前に予め、運航管理者と調査機関が対象火山上空のヘリコプター飛行のルールを取り決め、共有しておく必要がある。

ここで、参考としてヘリコプター運航会社の活火山運航ガイドラインの一例を次に示す。

（参考）【ヘリコプター運航会社の活火山運航ガイドラインより抜粋】

〇飛行前に火山・気象情報を入手し、空域の風上側を飛行

〇現場滞留時間を短時間で終了するように調整

〇雲や霧の影響で火山灰状況が把握できない場合は火山に近づかない

〇噴火中の火山付近の雨雲には火山灰が含まれるため近づかない

〇意図的な火山灰浮遊区域の飛行は禁止

〇降灰地域への着陸は原則として禁止

〇飛行中に火山ガスの臭気を感じたら直ちに離脱

〇飛行制限区域外でも危険を感じた場合には作業を中止

〇噴火火山周辺を飛行後は機体への火山灰付着を確認

# 6. 御嶽山噴火における緊急対応の事例

## 6.1. 噴火の概要

2014（平成 26）年 9 月 27 日 11 時 52 分頃水蒸気噴火が発生し、火砕流が北西側に約 1.5km、南西側に約 2km 流下した。火口周辺にいた多くの登山者が、噴石や火砕流に巻き込まれ、死者・行方不明者 63 名、負傷者 69 名の被害が発生した。この災害から、火山防災情報の伝達体制の強化、退避壕等避難施設の整備、そして登山者・旅行者の避難体制や日頃の啓発などの取組の重要性が再認識された。

**【多治見砂防国道事務所の緊急的な対応】**

ハード対策とソフト対策の実施タイミングは下記のとおりである。

1. ソフト対策は 2014（平成 26）年 9 月 27 日の噴火直後の 12：36 から開始。
2. 応急のソフト対策は 2014（平成 26）年 10 月 9 日のワイヤーセンサー設置完了を持って完了しており、２週間足らずという短期間で終了。
3. 応急のハード対策としてコンクリートブロック堰堤が噴火の 6 日後に着手。
4. コンクリートブロック堰堤（応急のハード対策）は１ヶ月足らずで完成。

以上、水蒸気噴火後、後続する火山現象なかったことが幸いしたことがあるが、全体としてソフト・ハード対策が短期間で実施されたと言える。

その要因は下記のことがあげられる。

① 『関係機関との連携』が効率的に行われたこと
② 『関係機関の役割分担』が適切に行われ各機関が懸命の対応を執ったこと
③ 『関係者による報告・連絡・相談』が緊密に行われ、多治見砂防国道事務所が中心となって頻繁に関係機関に出向き「顔」の見える関係を構築したこと
④ 火山噴火緊急減災対策計画検討において緊急時のブロック砂防堰堤建設地点等について検討済であったこと

これらは災害対応に共通する留意事項と考えられる。

さらに、

■迅速な国・県の連携：本災害では、発災翌日に長野県庁に「非常災害現地本部」を設置、国、県の連携体制が確立されたこと。

■火山専門家の協力：現地における捜索や救助活動の実施可否には、専門的知見に基づく判断が必要であるが、本災害では、火山専門家の現地対策本部等への参加や TV 会議により、その助言を得る体制が構築されたこと。

が被災者救助を含めた災害対応の効率化につながった。

## 6.2. 国土交通省を含む関係機関の緊急対応の時系列対応

国土交通省を含む関係機関の緊急対応を表 6-1 に整理した。

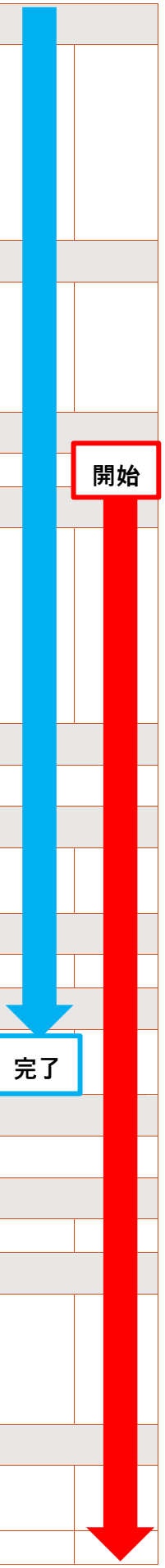
※以下、関係機関を下記のように呼ぶ。

・中部地方整備局→「整備局」　・多治見砂防国道事務所→「事務所」

表 6-1 御嶽山噴火における緊急対応の時系列

| 年月日 | 関係各機関（国交省本省を含む）の対応 | 整備局と事務所の対応 | 応急対策の時系列 ソフト対策 | 応急対策の時系列 ハード対策 |
|---|---|---|---|---|
| **2014（平成 26）年** | | | | |
| **9 月 27 日（土）** | | | | |
| **11:52 頃** | 噴火発生 | | | |
| **12:36** | 火口周辺情報<br>噴火警戒レベル 1→3：入山規制へ | **整備局**：警戒体制<br>**事務所**：<br>初動体制①整備局へ第一報、応援体制検討と招集<br>初動体制②土砂災害防止法に基づく対応開始 | 開始 | |
| **13:15** | **岐阜県**火山災害警戒本部設置 | | | |
| **14:10** | **長野県**災害対策本部格上げ設置 | | | |
| **14:20** | 岐阜県側入山規制（下呂市、高山市） | | | |
| **14:31** | **長野県知事**：自衛隊に災害派遣要請 | | | |
| **14:45** | | **整備局**：非常体制 | | |
| **15:20** | | **整備局**：防災ヘリ（まんなか号）での調査開始 | | |
| **16:00** | **国交省**：道路降灰除去を行う TEC-FORCE 班派遣 | | | |
| **16:40** | 関係省庁災害対策会議 | | | |
| **19:00** | 先遣チームを長野県庁に派遣 | | | |
| **19:28** | 関係省庁局長級会議<br>木曽町・王滝村に災害救助法適用<br>**気象庁**：機動調査隊を派遣 | | | |
| **9 月 28 日(日)** | | | | |
| **7:40** | 捜索のため入山開始<br>→ヘリで 26 人救助・心肺停止 4 人を搬送 | | | |
| **8:30** | | ヘリ調査（国総研、土研、本局） | | |
| **12:50** | **政府調査団　国交省**：土砂災害専門家派遣 | 午前 UAV による緊急調査準備開始 | | |
| **17:00** | 政府非常災害対策本部設置 | 午後～夜にかけて同上飛行計画検討 | | |
| **22:00** | **国交省**：土砂災害防止法にと基づく緊急調査に着手<br>**気象庁**：火山噴火予知連絡会拡大幹事会を開催 | UAV により 5 地区の降灰状況等の撮影開始<br>午後から撮影データの送信開始<br>全地区撮影完了 | | |
| **9 月 29 日(月)** | | | | |
| **6:10** | 捜索のため入山開始→心肺停止 4 人搬送 | | | |
| **14:00** | 火山ガスのため捜索中止 | | | |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **9 月 30 日** | | | | |
| | | 監視体制構築のための合同現地調査（砂防調査・電通の整備局職員＋関係業者で実施）<br>同日中に林野庁、長野県、木曽町、王滝村と連携内容の確認、対応方針決定 | | |
| **10 月 1 日** | | | | |
| | | 「御嶽山周辺地域における今後の降雨に対する土砂災害に関する注意事項」を長野県、岐阜県、木曽町、王滝村に情報提供 | | |
| **10 月 2 日** | | | | |
| | | コンクリートブロック堰堤着手 | | |
| **10 月 3 日** | | | | |
| | | 「御嶽山周辺地域における降灰後の土石流に関するシミュレーション計算結果について」を長野県、木曽町、王滝村に情報提供<br>各渓流に少なくとも 1 台の監視カメラ設置完了 | | |
| **10 月 5 日** | | | | |
| | 台風 18 号（濁沢で土石流発生） | | | |
| **10 月 6 日** | | | | |
| | | **国総研・土研・整備局**：現地調査 | | |
| **10 月 7 日** | | | | |
| | | ヘリ調査 | | |
| **10 月 9 日** | | | | |
| | | ワイヤーセンサー設置完了、湯川カメラ等運用開始 | | |
| **10 月 13 日** | | | | |
| | 台風 19 号（土石流発生なし） | | | |
| **10 月 14 日** | | | | |
| | | 地上調査 | | |
| **10 月 15 日** | | | | |
| | | ヘリ調査<br>コンクリートブロック堰堤（噴火後の安全対策として一部無人化施工により実施） | | |
| **10 月 17 日** | | | | |
| | 御嶽山噴火非常災害現地対策本部解散、不明者の捜索打ち切り | | | |
| **13:30** | | **整備局**：非常体制→警戒体制 | | |



| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **10 月 30 日** | | | | |
| | | コンクリートブロック堰堤工事完了<br>**整備局**：警戒体制→注意体制 | | 完了 |
| **11 月下旬以降** | | | | |
| | 火山性微動：観測されず 火山性地震：1 日あたり数回から十数回で推移 | | | |
| **12 月 10 日** | | | | |
| | | 濁川（他 3 箇所）においてワイヤーセンサーの撤去完了 | | |
| **2015（平成 27）年** | | | | |
| **1 月 19 日** | | | | |
| | 火口周辺情報更新：警戒が必要な範囲が火口から概ね 4km から 3km に縮小 | | | |
| **1 月 29 日** | | | | |
| | | **事務所**：山体・降灰・積雪の状況を監視するために御嶽山監視カメラ 2 機を岐阜県側日和田、濁河（濁沢）に増設 | | |
| **3 月** | | | | |
| | 火口周辺情報更新：警戒が必要な範囲が火口から概ね 3km から 2km に縮小 | | | |
| **6 月** | | | | |
| | 火口周辺情報更新：噴火警戒レベルがレベル 3（入山規制）→2（火口周辺規制）に引き下げ。警戒は必要な範囲は火口中心に 1km 範囲内とされた。 | | | |
| **6 月 29 日** | | | | |
| | 2014（平成 26）年 9 月 27 日御嶽山噴火後、翌 28 日から土砂災害防止法に基づく「緊急調査」実施したが、噴火警戒レベルの引き下げ、噴火活動の低下により重大な土砂災害が急迫している状況でないことから **2015（平成 27）年 6 月 29 日をもって土砂災害防止法に基づく「緊急調査」を終了**。同日、長野県知事に通知。 | | | |

【参考】

「噴火等の具体的で実践的な避難計画策定の手引き」内閣府，P131-132
「2014 年（平成 26 年） 御嶽山噴火による災害」内閣府，P- 1
「御嶽山の災害対応から学んだこと」樫野誠ら，中部地方整備局管内技術発表会
「平成 26 年 9 月御嶽山噴火による土砂災害に対する二次災害防止の取組」林真一郎ら，砂防学会誌，Vol.67，No.6，p.86-91，2005
「御嶽山における土砂災害防止法に基づく緊急調査終了について」平成 27 年 6 月 30 日中部地方整備局記者発表資料

## 6.3. 御嶽山 2014 年噴火時の UAV による緊急調査

御嶽山 2014（平成 26）年噴火時には、UAV を用いた緊急調査が実施された。山頂から半径 4km 以内は立ち入り制限区域となるなか、降灰堆積状況等の調査に UAV を使用した調査が行われた。

当時の緊急調査時に留意した点について、下記のものが挙げられた。

- 安全管理のため、ガス検知器、防塵マスクを携帯し、肉眼で火口から噴出する噴煙の色に変化がないか、火山活動の様子を注視しました。
- 噴煙の色に変化があった場合には火砕流の心配があるため、即避難できるよう心掛けました。
- UAV の離発着ポイントは、急な噴火活動の変化に備えて、作業を短時間で終えられるように、車でのアクセスの良さやなるべく複数の流域を撮影できる所を選定しました。

# 7. 溶岩ドームの崩壊に対するリスク低減事例

## 7.1. 眉山の山体崩壊

島原半島の中央に位置する雲仙岳は安山岩、デイサイトからなる成層火山である。その中に普賢岳等の最新期の溶岩ドーム群、その東側には眉山溶岩ドームが位置している。

その眉山は今からおよそ 230 年前の寛政 4 年 4 月 1 日（1792 年 5 月 21 日）普賀岳の噴火活動中に起きた地震によって山体崩壊を起こした（図 7-1）[21]。

崩壊により大量の土砂が有明海へ流れ込み、大きな津波を引き起こし有明海沿岸の住民のおよそ 1 万 5 千人の人々が亡くなった。

これは『島原大変肥後迷惑』として、日本の火山災害の歴史において最大の死者を出した大災害として記憶されている。

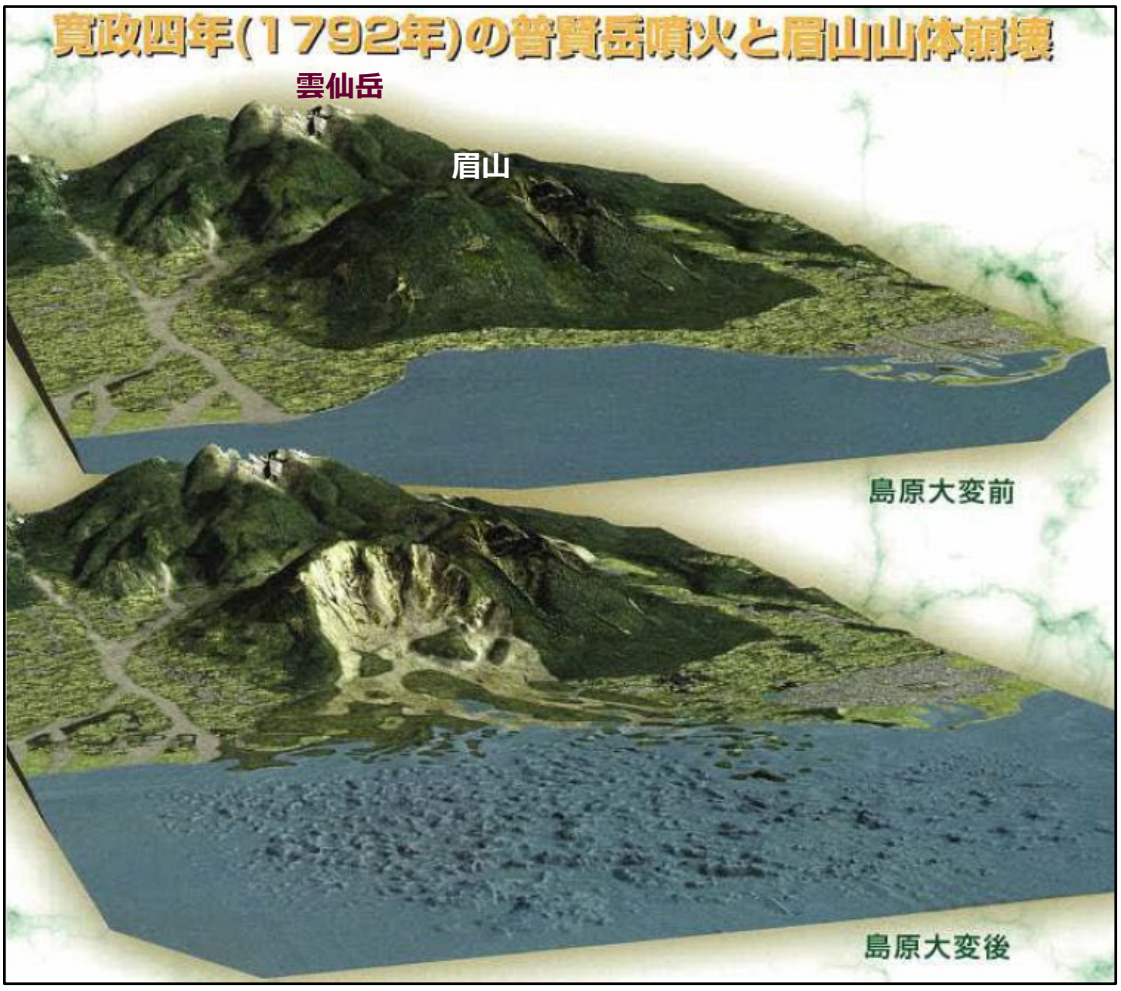



図 7-1　島原大変の前後のイメージ [21]

[21]「日本の歴史上最大の火山災害 島原大変，国土交通省 九州地方整備局 雲仙復興事務所」に加筆

## 7.2. 溶岩ドームの安定性検討

1792（寛政 4）年に山体崩壊を起こした眉山の背後に位置する雲仙・普賢岳は平成噴火により溶岩ドームを形成、山頂付近に不安定にかぶさった状態で存在している(図 7-2)。

溶岩ドームは平成 9（1997）年 3 月の観測開始から平成 30（2018）年 1 月までに、約 1.26m 水無川下流方向に移動しており、地震や大雨等が原因で崩壊する可能性が指摘されている。

そのため、雲仙復興事務所（以下、事務所）は溶岩ドームが崩壊した場合における影響について「雲仙普賢岳溶岩ドーム崩壊に関する危険度評価検討委員会」（以下、委員会）を設置し検討を進めた。

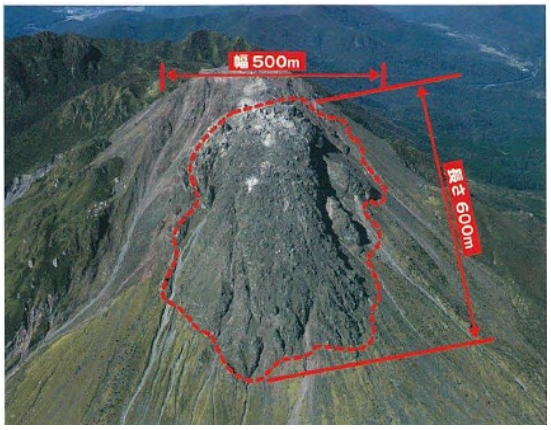



図 7-2　約 1 億 $m^3$ の岩の塊が山頂付近に不安定に存在 [22]

事務所は溶岩ドームの安定性について、溶岩ドームの亀裂の位置や応力の集中箇所、堆積物の境界部、噴火前の地山との境界部などから、崩壊パターンを検討し 5 つの想定ケース（図 7-3）について委員会に諮り、最も発生の可能性が高いケースはケース 3 と評価できるという結果が得られた。

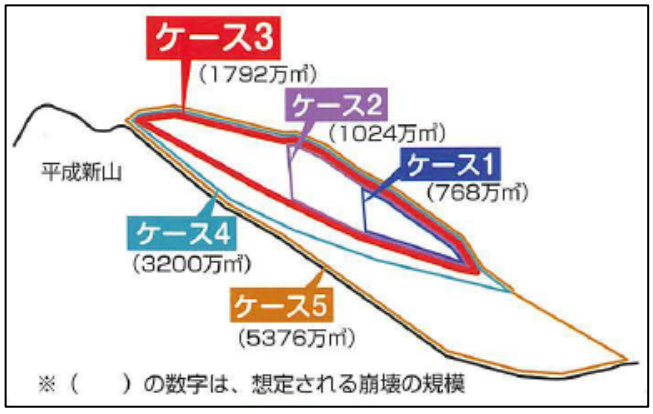



図 7-3　溶岩ドーム崩壊の 5 つのケース [22]

[22] 水無川 1 号・2 号砂防堰堤嵩上げ工事，国土交通省九州地方整備局雲仙復興事務所，平成 30 年 3 月

## 7.3. 溶岩ドームの崩壊に対するリスク低減対策の概要

事務所は委員会を設置して、溶岩ドームの崩壊の各ケースにつき崩壊の影響範囲を検討するとともにハード対策、ソフト対策を検討した。

### 【ハード対策の概要】

溶岩ドームの崩壊ケースのうち最も崩壊の可能性の高いケース（ケース３）については砂防施設を超えて土砂が居住地域に流出することが想定されるため、ハード対策として砂防堰堤の嵩上げを実施。

### 【ソフト対策の概要】

ケース３以上の規模の大きい崩壊ケースのシミュレーション結果では、嵩上げした砂防堰堤をさらに超えて居住地域に大きい影響が及ぶ結果が得られているため、溶岩ドーム全体の挙動を常時監視して規模の大きい崩壊ケースの前兆現象を捉えることを目的とした「ソフト対策」が実施されている。

ソフト対策としては監視カメラ、地震計、光波測距計、地上設置型合成開口レーダー等から溶岩ドームの変位等を常時観測し、溶岩ドームの挙動をリアルタイムに把握している。

### 【留意点】

**ハード対策の限界を超えるリスクを低減するためのソフト対策の実施**

構造物による対策である「ハード対策」には限界がある。何故ならハード対策の計画規模以上の現象が自然災害ではあり得るからである。その様な場合においても極力被害の防止・軽減を図るためには「ソフト対策」を並行して実施することが重要である。

## 7.4. 危険事例

2016（平成 28）年 11 月 2 日に平成新山に設置している振動センサーが反応し、平成新山北側の溶岩ドーム斜面の一部が崩落していることが確認された。原因は、幾層にも重なった溶岩ドーム端部の風化や緩みによるものと考えられている。

図 7-4　不安定な溶岩ドームの一部が崩落 [23]

11 月 2 日に溶岩ドームが崩壊し流下し落石が飛散した範囲内では調査等の作業が行われていなかったため人的被害は生じなかった。

---

[23] 令和 2 年度雲仙砂防事業の概要，国土交通省 九州地方整備局 雲仙復興事務所，Ver.2020/ 8/01

## 7.5. リスク低減対策事例の詳細

check

- **ハード対策**により、居住区に土砂が流下するリスクを低減した。
- **ハード対策の限界を超えるリスクに対してはソフト対策**として、監視・観測の実施とその情報を共有し、地域防災力の向上に向けた取り組みが行われている。

### 7.5.1. ハード対策によるリスク低減対策事例の詳細

溶岩ドームの崩壊パターンの５つの中で、発生の可能性が高いとみなせるケース３に備えるため、早期に計画可能で費用効果の高い水無川１号・２号砂防堰堤嵩上げ工事（4.5m嵩上げ）が実施された。流下してきた巨石の衝撃から堤防本体を守るとともに、景観に配慮するため、嵩上げした堤防の前後は盛土されている（図 7-5）。

図 7-5 水無川１号･2 号砂防堰堤の嵩上げ（4.5m）[24]

[24]水無川１号･2 号砂防堰堤嵩上げ工事，国土交通省九州地方整備局雲仙復興事務所，平成 30 年３月

砂防堰堤の嵩上げ工事については 2011（平成 23）年度から具体的な検討・計画が進められた。

表 7-1 砂防堰堤の嵩上げ工事の検討・計画 [24]

| | |
|---|---|
| 平成 23年 8月 | 雲仙普賢岳溶岩ドーム崩壊に関する危険度評価検討委員会において、危険性の高い外力を決定。 |
| 平成 25年 3月 | 雲仙・普賢岳溶岩ドーム崩壊に関する調査・観測及び対策検討委員会において、想定される崩壊規模や対応可能なハード対策規模（ケース３）を決定。 |
| 平成 26年 8月 | 雲仙・普賢岳溶岩ドーム崩壊対策構造検討会等において、溶岩ドームの崩壊規模を踏まえた対策施設の検討を行い、既設の砂防堰堤の袖部を嵩上げする計画を策定。 |
| 平成 27年 1月 | 水無川１号・２号砂防堰堤嵩上げ工事に着手。 |
| 平成 30年 3月 | 水無川１号・２号砂防堰堤嵩上げ工事完成。 |

砂防堰堤を 4.5m嵩上げするハード対策により、溶岩ドームの崩壊に伴って流下すると想定される土砂が居住地域に流出することを防止できる被害想定区域のイメージが公表された。

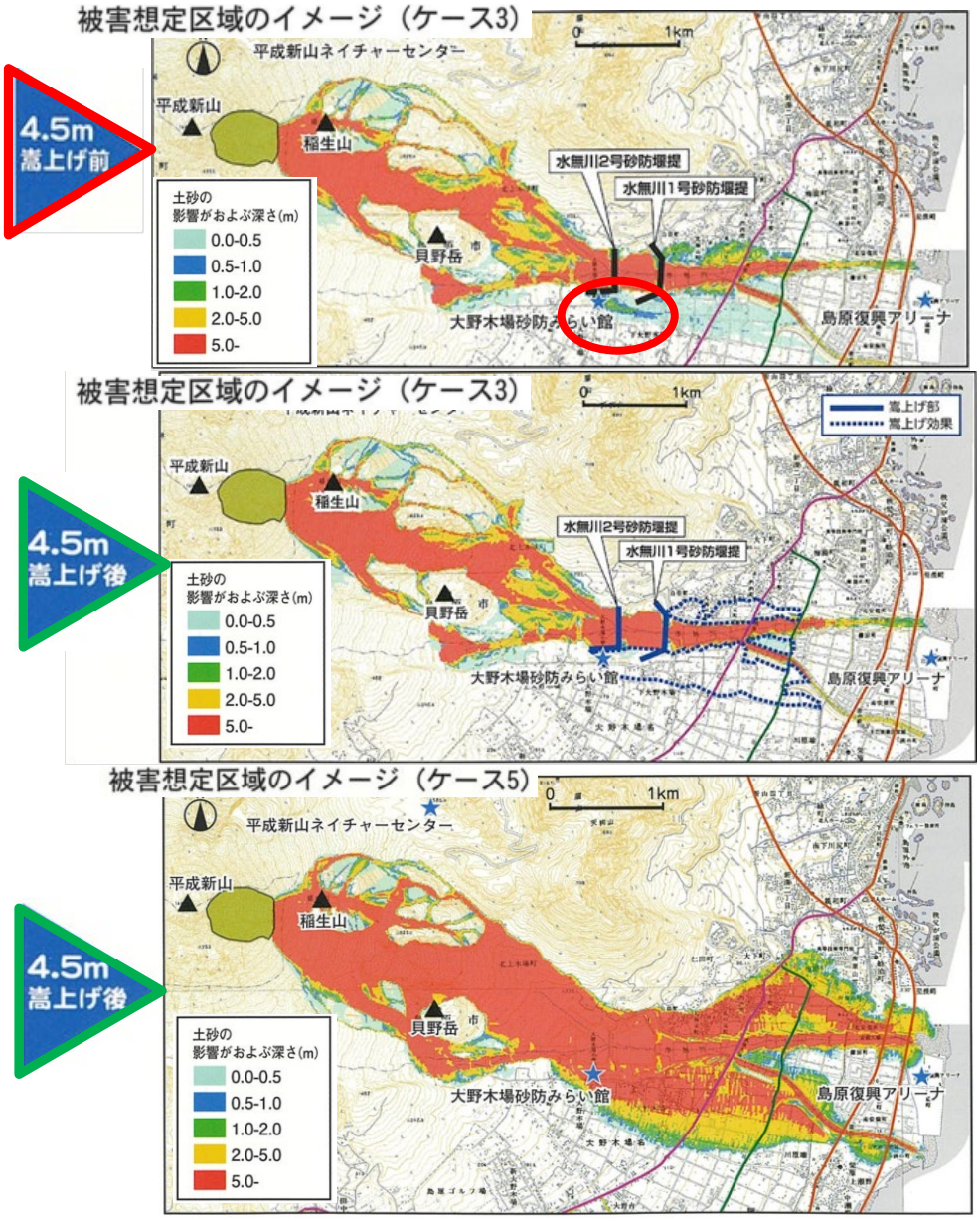



図 7-6 被害想定区域のイメージ [24]

ケース３で想定している規模であるケース４以上の溶岩ドームの崩壊に対しては、ハード対策による被害軽減に限界があることから様々なソフト対策が実施されている。

## 7.5.2. ソフト対策によるリスク低減対策事例の詳細

### 1）ソフト対策の位置づけ [25]

現在もなお、溶岩ドームの継続的な南東方向への移動、部分的な崩落が確認されており、今後溶岩ドーム崩壊の可能性が高いことが専門家からも示唆されている。
その為、崩壊ケースは、溶岩ドームの亀裂、溶岩ドームと火砕流堆積物との境界、火砕流堆積物と噴火前の地山との境界から崩壊することを想定し、５ケースが想定されている。

想定される崩壊ケースのうち、発生の可能性が高いとされるケース 1～3 は既に完成している砂防堰堤の嵩上げ(ハード対策)により土石流氾濫に対応する計画とされ、ケース 4～5 については、素早い避難行動による人的被害を最小化するソフト対策によることとされている。

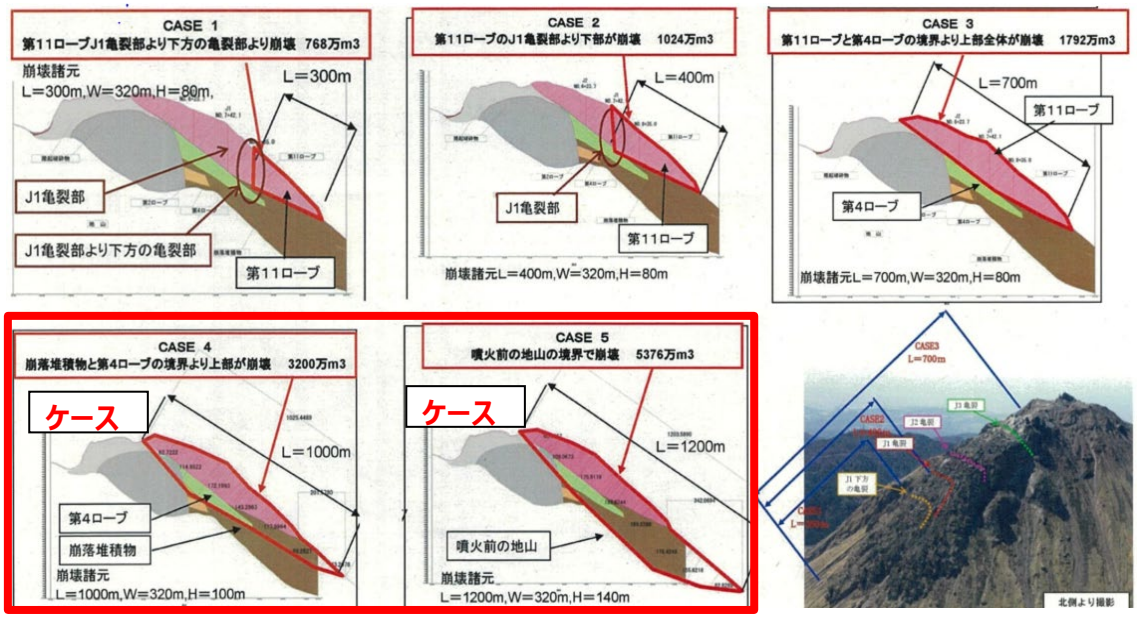


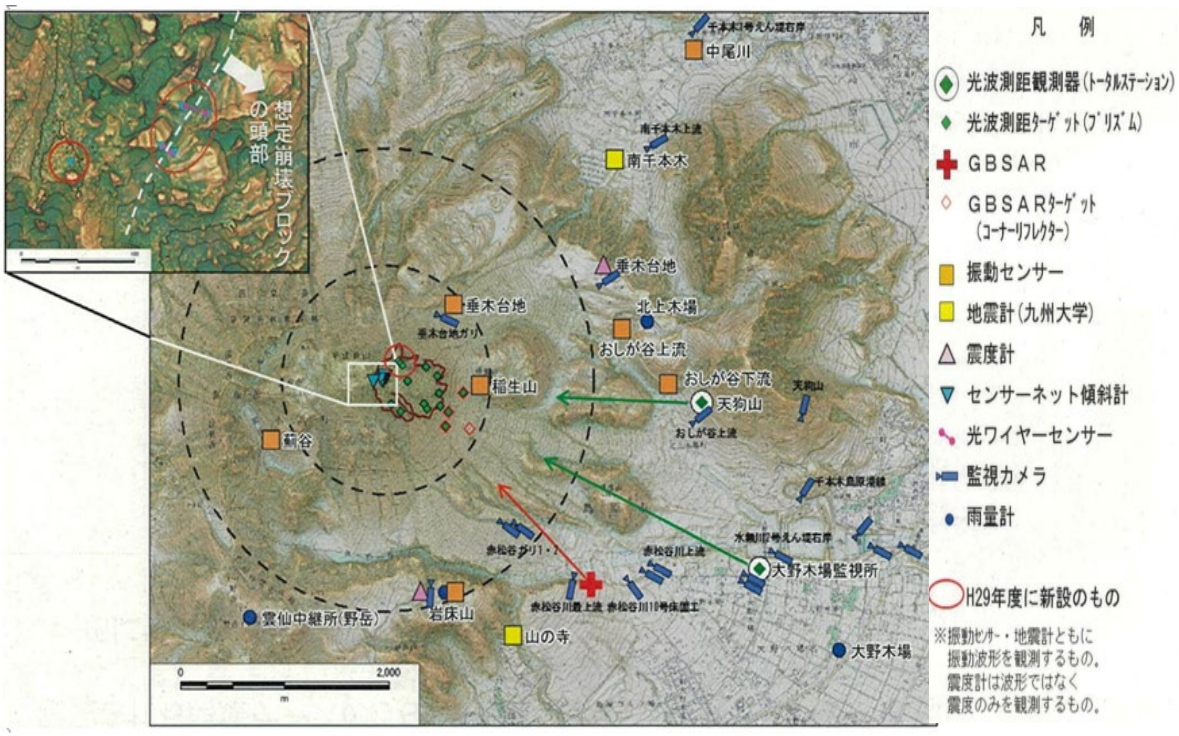

図 7-7 溶岩ドームの崩壊の想定ケース [25]

[25] 令和 2 年度 雲仙砂防事業の概要，国土交通省 九州地方整備局 雲仙復興事務所，Ver.2020/ 8/01

### 2）ソフト対策の監視・観測方法

溶岩ドーム崩壊の前兆をとらえて的確な避難の判断を行うために、監視・観測体制の検討・整備を進めるとともに溶岩ドームが監視・観測されている。

溶岩ドームの動きは、光波測距計(トータルステーション)、GBSAR(地上型合成開口レーダー)、振動センサー、GPS、監視カメラ、雨量計などを使って観測（図 7-8～図 7-9）、観測結果は、工事関係者の工事中止の判断材料の 1 つとなり、また、関係自治体への情報提供も行われている。




| 種類 | 光波測距 | GBSAR | 振動センサー | 震度計 |
|---|---|---|---|---|
| 目 的 | 溶岩ドームの変位を計測する | 溶岩ドームの変位を全天候で計測する | 地盤振動をリアルタイムに検知する | 地震の震度を計測する |

| センサーネット傾斜計 | 光ワイヤーセンサー | 雨量計 | その他の観測・測量 |
|---|---|---|---|
| 溶岩ドーム地表面の傾斜を計測する | 想定崩壊ブロック頭部の破断を検知する | 土砂移動の誘因としての雨量を計測する | 航空レーザ計測や現地測量により溶岩ドーム周辺の変位を計測する |

図 7-8　溶岩ドームの監視・観測方法 [25]

### 3）GB- SAR（地上型合成開口レーダー）、光波測量システム

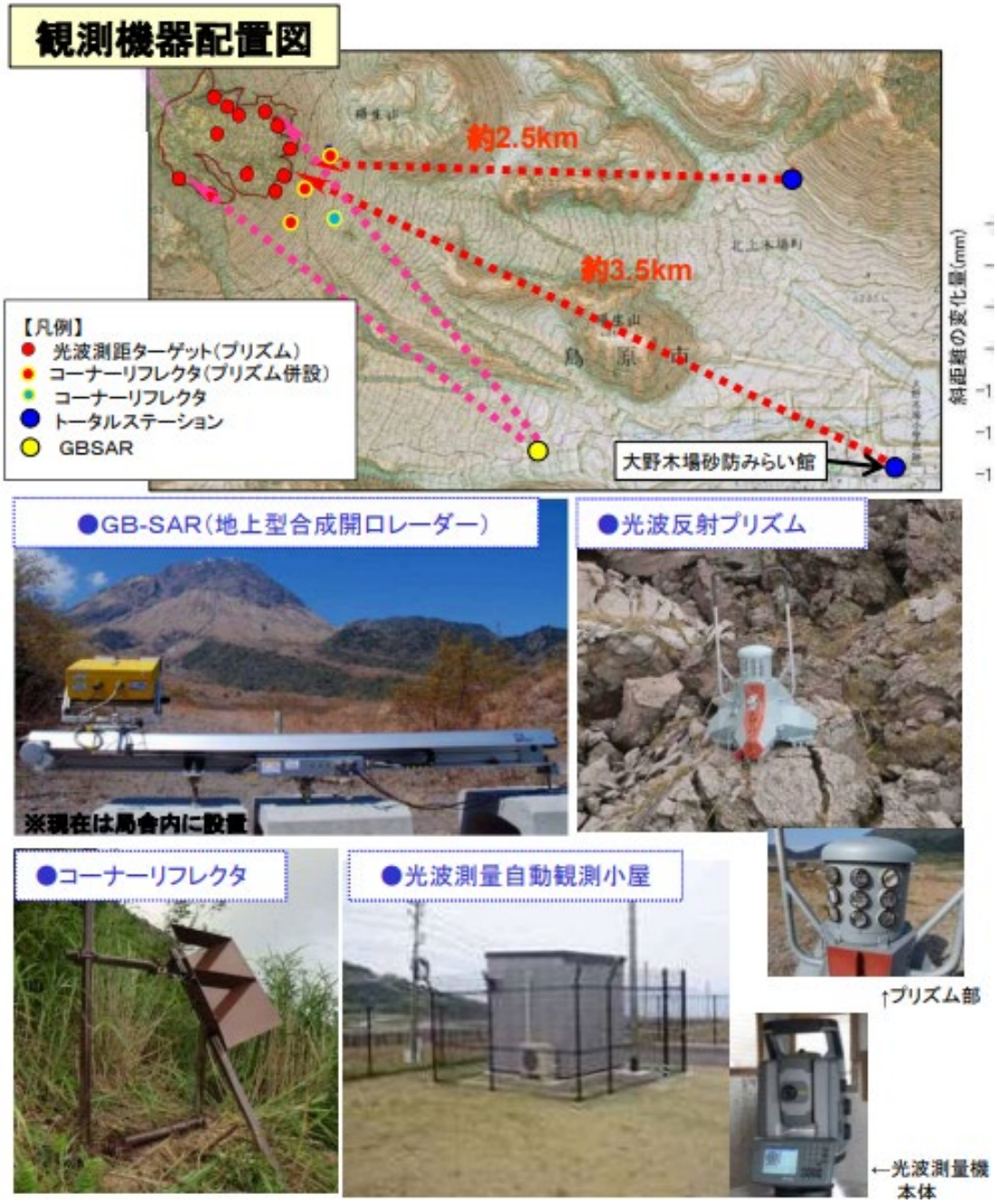



図 7-9 溶岩ドームの監視･観測体制 [25]

### 4）溶岩ドームの挙動

光反射プリズムによる観測結果の例を下記に示す。

1997（平成 9）年から 2020（令和 2）年 2 月末までの観測で、溶岩ドームは約 1.33m 移動している[25]。

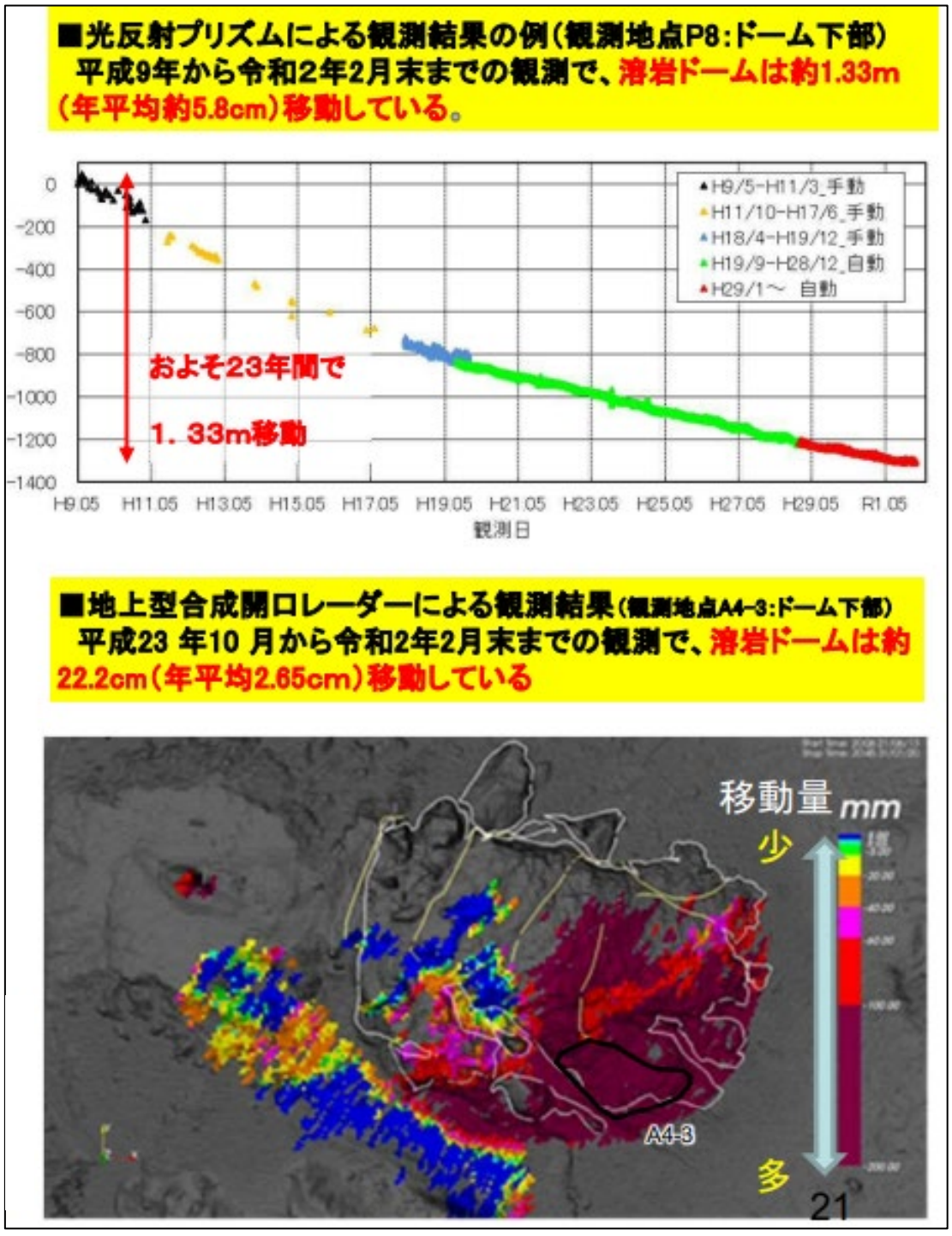



図 7-10 溶岩ドームの挙動[25]

### ５）溶岩ドームの監視基準

第 10 回雲仙・普賢岳溶岩ドーム崩壊ソフト対策検討委員会（2020（令和２）年２月）において、溶岩ドーム挙動の監視基準の見直しはなかった。

観測機器ごとに①即時対応基準値、②短期対応基準値、③長期対応基準値が設定されている。

表 7-2 溶岩ドーム挙動の監視基準 [25]

| 観測機器等 | 取得間隔 | 即時対応基準値 | 短期対応基準値 | 長期対応基準値 |
|---|---|---|---|---|
| 震度計 | リアルタイム | 垂木台地・岩床山のいずれかで下記を超過した場合。<br>①震度3（砂防工事従事者退避）<br>②震度4（市への危険情報(仮称)提供） | － | － |
| 振動センサー | リアルタイム | 稲生山・垂木台地・岩床山・薊谷のうち2箇所以上で下記を超過した場合。<br>①振動エネルギー指標値5以上<br>②40mkine以上の振動が30秒以上継続 | － | － |
| 光波測距 | 即時は1回/1h<br>短期・長期は<br>1回/1日 | 毎時観測データを用いて、「両方の監視局からの斜距離変化が－20mm/hを超過」が、2つ以上のプリズムについて成立した場合。 | 日平均データを用いて、100日間の回帰直線からの乖離が－4cmを超過、又は、2回（2日）連続して－2cmを超過した場合。 | 日平均データを用いて、<br>100日間の回帰直線の傾きが下記の値を超過した場合。<br>●P9: －0.45mm/日<br>●それ以外: －0.3mm/日<br>※天狗山-P5の組合せを除く。 |
| | | ※対象とするプリズムは、P1およびP3～P9の8つとする。（P2を除外。） | | |
| GBSAR | 即時は1回/7分<br>短期・長期は<br>1回／2日 | いずれか1つのブロックにおいて、1時間平均した変位速度が、2回以上連続して－4mm/hを超過した場合。 | いずれか1つのブロックにおいて、2日間の変位が－4.5mm/2日を超過した場合。 | いずれか1つのブロックにおいて、1年間の変位速度が－5cm/年を超過した場合。 |
| | | ※対象とするブロックは、Dome1, A4-3, M1, M2-4, M2-1to3の5つとする。 | | |
| 傾斜計 | 1回/1日 | －<br>（緊急時には計測時間間隔を短くして監視に活用する。） | No.2～No.5のいずれか1つで、XYZいずれかの1日間の傾斜変化が±1.0°/日を超過した場合。 | No.2～No.5のいずれか1つで、XYZいずれかの1年間の傾斜変化が±3.5°/年を超過した場合。 |
| ワイヤーセンサー | リアルタイム | 切断した場合。 | － | － |
| 雨量計 | 1回／1時間 | (連続雨量が200mmを超過したら各観測機器の基準超過状況をチェック) | | |

表 7-2 に示された基準値は

◆後も最適な監視体制への見直しのため、適宜、観測機器や基準値の再検討を行う予定。

◆火山活動や地震活動等の発生など、溶岩ドームの状況に大きな変化が生じた場合には、必要に応じて基準値の変更を検討。

とされている。

### 6）監視・観測情報の共有と地域防災力の向上

ソフト対策は一般に理解されやすい形で紹介されている。

**溶岩ドームを監視・観測しています**

溶岩ドーム崩壊の前兆をとらえて的確な避難の判断を行うために、
監視・観測体制の検討・整備を進めています。

| 光波測距計（12基） | 地上型合成開口レーダー（1基） | 振動センサー（7基） |
|---|---|---|
| 溶岩ドームの"点"の動きを測る | 溶岩ドームの"全体的"な動きを測る | 地震や崩壊等による地面の動きを測る |
| **監視カメラ（29基）** | **雨量計（25基）** | **その他の観測・測量** |
| 溶岩ドームや土石流を映像で監視する | 土砂移動のきっかけとなる雨量を測る | 航空レーザーや衛星、ワイヤーセンサーや傾斜計を使って溶岩ドームの動きを監視する |

図 7-11　溶岩ドームの挙動観測方法 [24]

溶岩ドームの観測情報は、自治体の防災担当職員及び住民へ情報配信され情報共有されている。

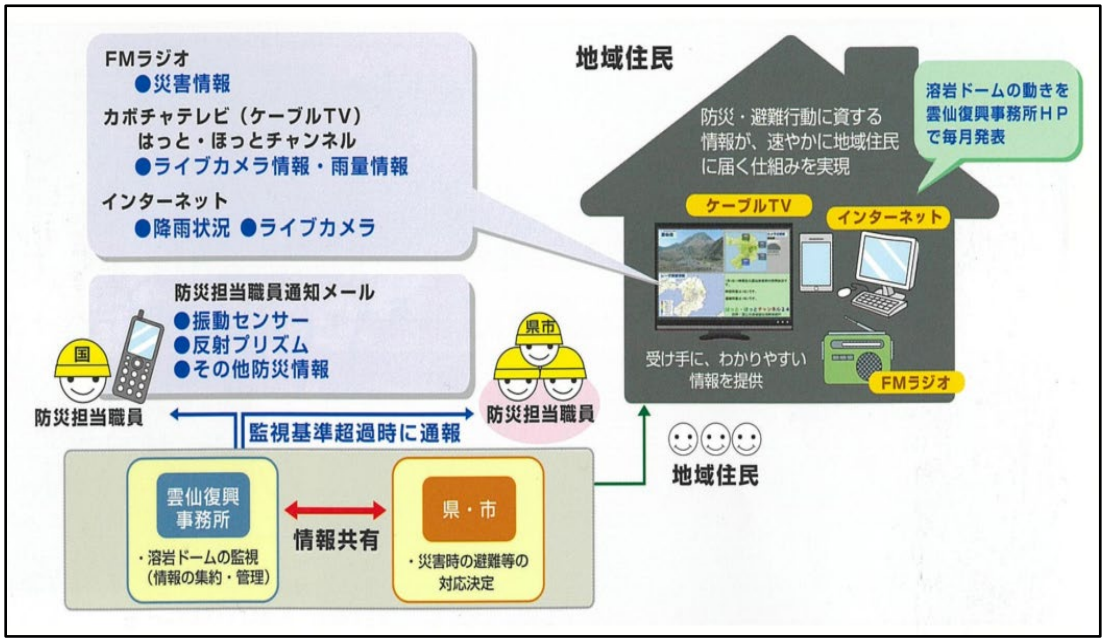



図 7-12　溶岩ドームの観測情報の共有 [24]

溶岩ドーム崩壊に備え行政や住民が共同で防災活動を行い地域の防災力向上を図られている。島原半島３市、長崎県、国土交通省の担当者からなる「雲仙・普賢岳溶岩ドーム崩壊ソフト対策会議」を中心に、地域防災力向上に向けた取組みが進められている。

また、消防、警察、地元住民等も参加した雲仙岳大規模土砂災害合同防災訓練、溶岩ドーム崩壊に備えた避難マップの作成や避難訓練等の防災活動も実施されている。

写真 7-1　溶岩ドーム崩壊に備えた地域防災力向上の取り組み [24]

## 7.6. 溶岩ドーム崩壊のリスク低減対策の課題、留意事項

**【溶岩ドーム崩壊のリスク低減対策の課題】**

① 対象現象（溶岩ドームの崩壊）自体が規模、発生時期等の不確実性を有していること。
② 観測機器類の強化をどこまで実現すれば良いのか評価が困難であり、最適配置計画の在り方が課題。

**【溶岩ドーム崩壊のリスク低減対策の留意事項】**

① 世界的にも類例をみない監視・観測体制により山体崩壊（溶岩ドームの崩壊）の予兆を把握する試みを行っているが、対象現象が不確実性を有しているため継続観測により経過観察していく必要があること。
② ハード対策には限界があることを地域住民やマスコミ等に繰り返し注意喚起していく必要があること。

# 8. 火山噴火時のヘリコプター調査時の危険事例

## 8.1. 火山噴火時のヘリコプター調査のリスクと対策概要

噴火活動時にヘリコプターで調査を行う場合には、飛行中の噴石の衝突、火山灰によるエンジン障害、火山ガスによる乗員の生命へ影響などのリスクが生じる。

有珠山 2000 年噴火時では地形計測のためのヘリコプター調査時に、①火山に関する有識者の同乗、②火山に関する有識者による地上観測、③調査ヘリコプターと地上観測の情報の共有を図って一回目のレーザー計測を行った。

## 8.2. 採用された背景

一回目のヘリコプターによるレーザー計測時に飛行したすぐ後ろで噴火が始まった。この噴火に同乗していた有識者が気付いたため、噴火を確認すると同時に機体を安全な場所へと離脱させた。

もう少し噴火発生地点上空を通り過ぎるのが遅かった場合、噴火そのものに巻き込まれる可能性があった。

そこで 2 回目では計測用のヘリコプターとは別に火山噴火活動を監視する「監視用ヘリコプター」を配備して計測を実施した。この「監視用ヘリコプター」には北海道大学の火山学者が同乗して噴火活動状況を監視した。

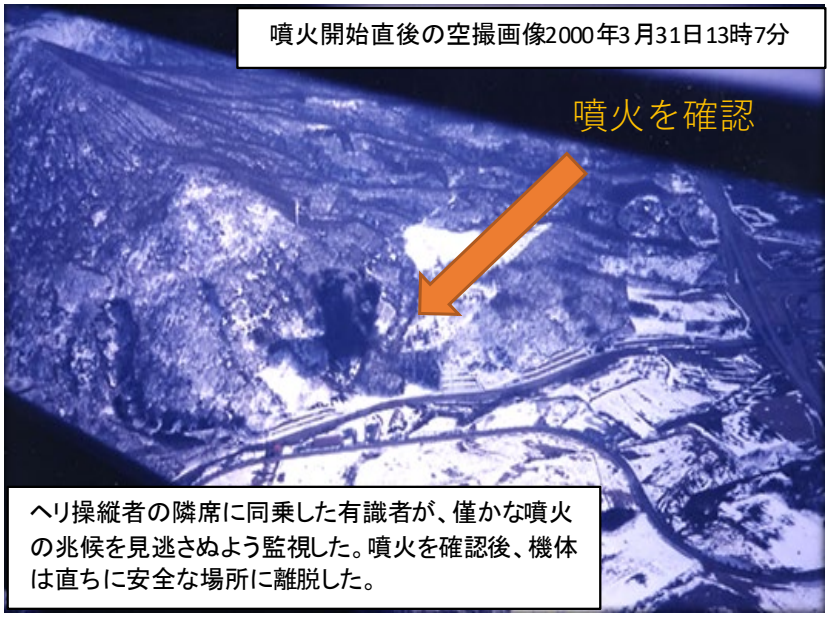



図 8-1　噴火確認直後の状況

「監視用ヘリコプター」の配備は、計測中のヘリコプターは後方活動状況が十分に確認できず、急激な噴煙上昇等に対応できない可能性があるリスクの低減を図るためである。

そこで、計測ヘリコプターと火山活動が同時に確認できる監視用ヘリコプターを上空に配置し、相互のやり取りは無線で実施した。

その結果、計測ヘリコプター後方の死角を他機の視点からより十分に補うことができ、リスク低減対策をより強固なものとできた。

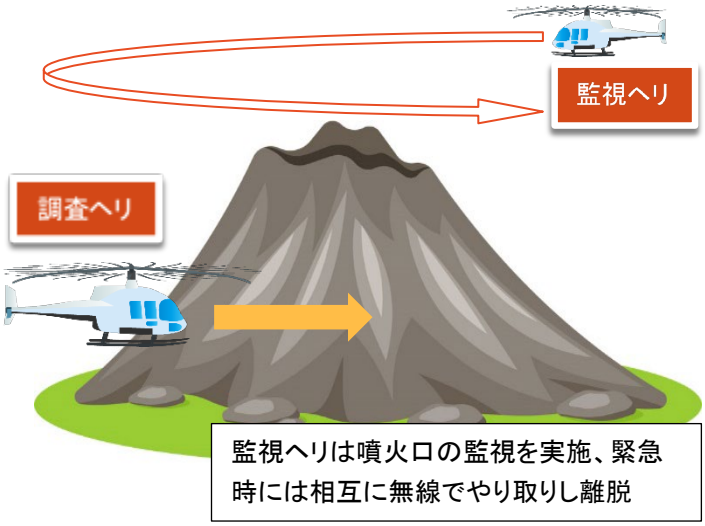



図 8-2 監視ヘリによるリスク低減のイメージ

### 【参考①】

火山噴火によって火山灰が分布する大気中を飛行することによって航空機のウインドシールド損傷やエンジンや計器が故障する事例がある。固定翼航空機では下記の事例がある。

## 航空

### 参考

○火山灰による主な航空機被害事例（外国火山、国内火山）

表 12.2 火山灰によるおもな航空機被害事例(外国火山)

| 事例番号 | 年月日 | 火山名(国名) | 機種(エンジン) | 主要被害内容など |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 1944. 3. 24 | ベスビオ(イタリア) | B25 | 駐機中の88機全損 |
| 2 | 1976. 1. 22 | オーガスチン(米) | F4 | 操縦室を覆う透明ガラスこすれ傷つく，翼端の塗装剥げ落ちる |
| 3 | 1976. 1. 22 | オーガスチン(米) | F4 | 操縦室を覆う透明ガラスこすれ傷つく，翼端の塗装剥げ落ちる |
| 4 | 1976. 1. 25 | オーガスチン(米) | DC8 | ウィンドシールドこすれ傷つく，無線機器の機外部品，着陸装置，空調装置が磨損 |
| 5 | 1979. 6. 4 | エトナ(イタリア) | DC9 | 滑油濾過装置故障 |
| 6 | 1980. 5. 18 | セントヘレンズ(米) | B737 | エンジン圧縮機7段目と8段目の翼端がぶつかり先端が削れる，滑油濾過器目詰まり，ウィンドシールドと翼前縁磨損 |
| 7 | 1980. 5. 18 | セントヘレンズ(米) | DC9 | ウィンドシールド表面に穴，翼前縁磨損，エンジン圧縮機動翼磨損，滑油系統装置汚染 |
| 8 | 1980. 5. 25 | セントヘレンズ(米) | L382 | エンジン2基停止，タービン内で火山灰が溶け高圧タービン焼き切れる |
| 9 | 1980. 5. 26 | セントヘレンズ(米) | B727 | エンジン圧縮機の翼の支持部と隣の翼との間に火山灰が堆積し，両者が固着，動翼が削られる |
| 10 | 1980. 5. 26 | セントヘレンズ(米) | B727 | エンジン圧縮機の翼の支持部と隣の翼との間に火山灰が堆積し，両者が固着，動翼が削られる |
| 11 | 1982. 6. 24 | ガルングン(インドネシア) | B747 (RB211) | エンジン4基が14分間停止，高度14000ft で1基始動，12500ft までにすべてのエンジンが始動，エンジン4基交換，ウィンドシールドと翼前縁浸食 |
| 12 | 1982. 7. 13 | ガルングン(インドネシア) | B747 (JT9D-7A) | エンジン3基停止，うち1基は高度26000ft で始動，2基停止状態のまま残りの2基のエンジンで着陸，エンジン内にガラス質物質堆積，タービンの冷気孔に目詰まり |
| 13 | 1985. 5. 19 | ソプタン(インドネシア) | B747 (RB211) | エンジン4基，窓ガラス12枚，航法用コンピュータを交換 |
| 14 | 1989. 12. 15 | リダウト(米) | B747 (CF6) | エンジン4基が約2.5分間停止，17000ft までに2基始動しその後全部始動，エンジン4基，ウィンドシールド，濾過装置，電子部品，速度計感部など交換 |

Boeing 社資料(1991)および Lloyd(1990) をもとに作成(一部加筆修正)。

（その他の事例）　火山の事典（1995）より

| | | | |
|---|---|---|---|
| 1991.6.15 | ピナツボ(フィリピン) | B747-400型機 | エンジン4機が全て損傷を受け交換が必要になる。 |
| 1991.6.15 | ピナツボ(フィリピン) | DC10型機 | エンジン1機修理のため取卸し。 |
| 1991.6.15 | ピナツボ(フィリピン) | B747-300型機 | エンジン2機は交換が必要になる。 |
| 1991.6.17 | ピナツボ(フィリピン) | B747-200型機 | 第1エンジンが運転停止、交換が必要になる。第4エンジンは推力喪失。 |
| 1991.6.17 | ピナツボ(フィリピン) | DC10型機 | 第3エンジン運転停止。 |

火山の事典（1995）より

表 12.3 火山灰によるおもな航空機被害事例など(国内火山)(遭遇のみの事例も含む)

| 事例番号 | 年月日 | 火山名 | 飛行場 | 機種 | 主要被害内容など |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 1973. 2. 3 | 浅間山 | 羽田 | DC8 | ウィンドシールド損傷 |
| 2 | 1975. 4. 8 | 桜島 | 鹿児島 | L1011 | ウィンドシールド損傷1) |
| 3 | 1977. 8. 7 | 有珠山 | 千歳 | DC8 | ウィンドシールド損傷 |
| 4 | 1977. 8. 7 | 有珠山 | 千歳 | DC8 | ウィンドシールド損傷 |
| 5 | 1977. 8. 7 | 有珠山 | 千歳 | L1011 | ウィンドシールド損傷 |
| 6 | 1977. 8. 7 | 桜島 | 鹿児島 | L1011 | ウィンドシールド損傷 |
| 7 | 1977. 11. 19 | 桜島 | 鹿児島 | DC8 | ウィンドシールド損傷 |
| 8 | 1977. 12. 25 | 桜島 | 鹿児島 | L1011 | ウィンドシールド損傷1) |
| 9 | 1978. 12. 4 | 桜島 | 鹿児島 | L1011 | ウィンドシールド損傷1) |
| 10 | 1979. 11. 18 | 桜島 | 鹿児島 | L1011 | ウィンドシールド損傷1) |
| 11 | 1979. 11. 18 | 桜島 | 鹿児島 | L1011 | ウィンドシールド損傷1) |
| 12 | 1979. 12. 24 | 桜島 | 鹿児島 | YS11 | ウィンドシールド損傷1) |
| 13 | 1982. 11. 23 | 桜島 | 鹿児島 | B727 | ウィンドシールド損傷1) |
| 14 | 1986. 6. 24 | 桜島 | 鹿児島 | DC9 | ウィンドシールド損傷 |
| 15 | 1986. 11. 21 | 伊豆大島 | 成田 | B747 | ウィンドシールド上で放電，機内に木の燃焼臭，機体被害なし |
| 16 | 1986. 11. 21 | 伊豆大島 | 成田 | DC8 | ウィンドシールドなど機体各所磨損 |
| 17 | 1986. 11. 21 | 伊豆大島 | 成田 | DC10 | ウィンドシールドなど機体各所磨損，ピトー管に火山灰侵入 |
| 18 | 1986. 11. 21 | 伊豆大島 | 成田 | B747 | ウィンドシールドに多数の傷 |
| 19 | 1991. 6. 3 | 桜島 | 宮崎 | DC9 | エンジン圧縮機動翼，ウィンドシールドなど機体各所磨損2) |
| 20 | 1991. 6. 3 | 雲仙岳 | 熊本 | A300 | 上昇中火山灰に遭遇，機体被害なし2) |
| 21 | 1991. 8. 5 | 桜島 | 鹿児島 | B737 | ウィンドシールド損傷 |

1）吉玉(1984)による。
2）米国地質調査所 T. Casadevall 博士(1993年12月11日付私信)による。

（その他の事例）　澤田(2005)より

| | | | |
|---|---|---|---|
| 2000.8.18 | 三宅島上空 | B747型機 | 三宅島南東約92km（Onodera,2004）の高度約10kmで噴煙と遭遇、2分後に噴煙を脱出し成田空港に緊急着陸。エンジン3基、操縦室の窓、客室前方の複数の窓を交換。4基目のエンジンは飛行100時間後に交換を指定された。 |
| 2000.8.18 | 三宅島上空 | B737-800型機 | 三宅島南東の高度約11kmで噴煙と遭遇。フライトマネージメントシステムが機能喪失し、エンジン電子制御装置も作動不能。操縦席窓ガラスは火山灰による擦傷のため著しく視界低下。3～4分後に噴煙から脱出し成田空港に緊急着陸。レドームとピトー管に損傷、エンジン2基と窓ガラスを直ちに交換。 |

図 8-3 火山灰による主な航空機被害事例（外国火山、国内火山）[26]

### 【参考②】

### ガス検知器等の設置

三宅島 2000（平成 12）年噴火においては、上空での火山ガス対策として、複数種類の火山ガス検知機を装備した。機内で二酸化硫黄および硫化水素の検知をし、規定値以上でアラームが鳴るが、ヘリコプター機内ではエンジン音によりアラーム音が確認しにくいため、アラートを LED 表示できるタイプの機器を使用した。

ヘリコプター飛行中に LED 点滅アラートを確認した際には、ただちに上空から機体を離脱させた。ただし、メーカーによっては航空機無線と干渉するがものもあり、無線使用時にアラームが鳴るといったエラーも確認された。また、万が一の着陸に備え、ヘリコプターのコックピット内ではヘルメットの着用を行った。通常のヘルメットでは同時にヘッドセットが装着できないため、急遽ヘッドセット内蔵タイプのヘルメットを用意し実施した。

---

26 「大規模噴火時の広域降灰対策検討ワーキンググループ」平成 30 年 9 月 11 日,
資料 3， P-8（雲仙岳：収集資料 15）

## 9. リスク低減対策の要点

リスク低減対策事例の検討結果から考えられる主な基本事項をまとめる。

Pont!

### 噴火現象と噴火に伴う現象の理解・認知が必要

- 火山活動には様々な現象がある。これらの現象のうち、火山災害をもたらすものは『噴火現象』『噴火現象に伴う現象』と『その他の火山現象』（図 9-1）に分けられる[27]。
- これらの現象はリスクそのものであり、その現象とはどのようなものかを知ることが最も必要な基本事項である。
- 雲仙普賢岳の火山噴火では火砕流という現象をほとんどイメージできなかったため、工事作業員が負傷した。これは人命にかかわることはなかったが一歩間違えば重大事故になったヒヤリハット事例である。

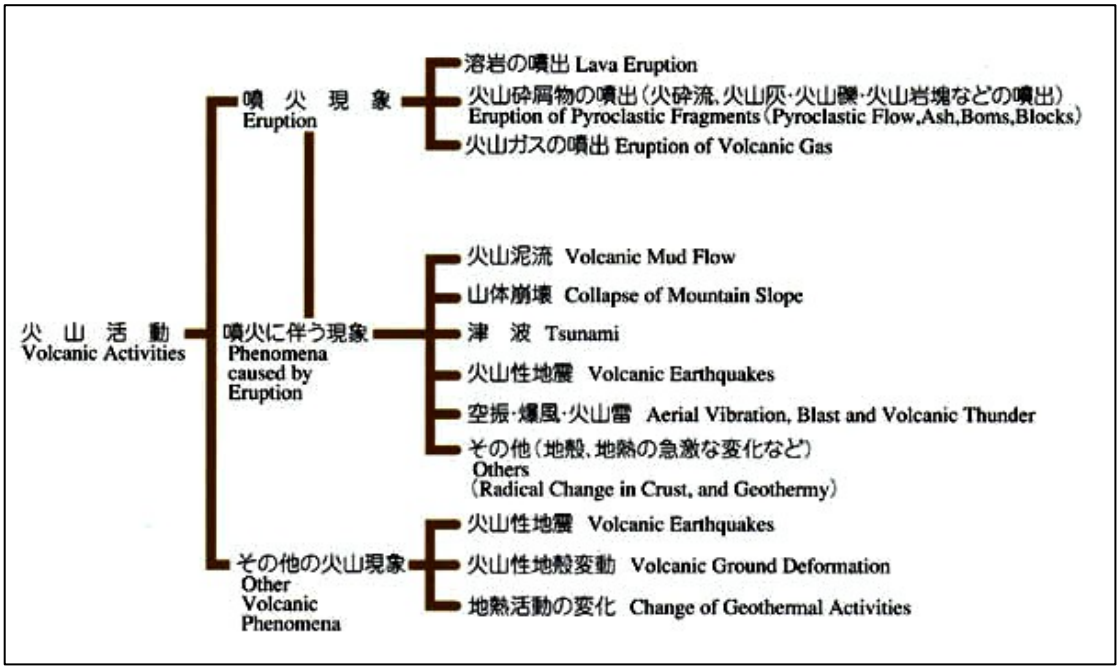



図 9-1 火山活動に伴う現象[27]

Pont!

### 組織における中枢機関と現地機関の危機管理意識の共有

- 火山減災対策に対応する際の組織として大きく中枢機関と現地機関に分けられる。この両機関が「現地におけるリスク」を共有することが重要である。
- 課題として、できるだけ早急にしかも定量的に現地状況を把握する必要がある場合に、その役割を果たすのは現地機関となるが、両機関の間に「現地におけるリスク」の共有がなされない場合、現地機関の実務担当者等がよりリスクの高い状況下におかれる可能性が生じる。

---

[27] 内閣府 防災情報のページ 1 火山活動にともなう現象
（http://www.bousai.go.jp/kazan/taisaku/k201.htm（2021 年 3 月 1 日））

## 火山減災対策の実務担当者の心理に内在する義務感

- 火山減災対策の現場における実務担当者は、自分自身の危険性に気づきながらも減災対策の実施を優先させようという心理が働きがちである。
- 職務または任務上、当然であるとも言えるこの義務感がよりリスクの高い環境下に自らを置くことになりうる。自身の安全確保と与えられた任務の完遂とのバランスは困難な課題であるが、事故に至っては取り返しがつかない事態となる。基本的には自身の「安全第一」を常に念頭に置いて対処、行動する必要がある。
- 火山減災対策の現場における実務担当者がハイリスク環境下に身を置くことのないよう上位機関を含めた組織としてのリスク認識と危機管理（リスクマネジメント）が必要である。

## ヒヤリハット事例は重大事故の兆候であることへの認識

- 本事例集では桜島における 3km 地点への大きな噴石飛来など、いくつかのヒヤリハット事例をあげたが、これらは重大事故の兆候であることを認識する必要がある。
- 労働災害の経験則として提唱されているハインリッヒの法則、別名「1：29：300 の法則」と呼ばれるものがある。1 つの重大事故の背後には 29 の軽微な事故があり、その背景には 300 の異常（ヒヤリ・ハット）が存在するというものである。
- この法則の火山減災対策に対する適用性は検証されていないが、ヒヤリハット事例はいずれ重大事故につながる可能性があることを示唆していることを常に認識しておく必要がある。

## 火山減災対策実施におけるリスクに対する基本認識

- いかなるリスクにも共通することであるが、火山噴火時の減災対策の実施において『リスクをゼロにすることはできない』という基本認識に立つ必要がある。
- 仮に、超遠隔からの無人化施工等の技術が全ての対策の実施に適用できれば「リスクゼロ」の実現が可能である。しかし、現下の技術水準において全ての対策実施を超遠隔により行うことは不可能と言わざるを得ないことから、『常に一定のリスクが存在する環境下にある』という基本認識に立つ必要がある。

Pont!

## 創意工夫と技術開発の必要性

- 本事例のリスク低減対策は必ずしも必要十分条件を満たしているとは言えない。しかしながら、現地条件を勘案して創意工夫しながら各現場で極力リスクを低減させるべく実施されてきたものであると評価できる。
- 火山減災対策に限らず全てに共通することであるが、各火山の現象、規模や現場条件等は同じではないため、その都度それらの条件を総合的に勘案するとともに「創意工夫」によるリスク低減対策の検討が必要である。
- また、技術開発により極力リスク低減を図ることが重要である。現在では全国各地の大規模災害において活用されている無人化施工はその代表事例であり、近年では技術の進展が著しい無人航空機（UAV）なども火山活動時の有用な調査手段として用いられるようになってきた。今後ともこの様な技術開発を進展させることにより極力リスクをゼロに近づける努力が必要である。