

平成 24 年 3 月 28 日

第 2 回 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

配布資料一覧

- |             |     |
|-------------|-----|
| 1. 議事次第     | 資料1 |
| 2. 委員会設置趣意書 | 資料2 |
| 3. 委員会規約    | 資料3 |
| 4. 委員名簿     | 資料4 |
| 5. 配席図      | 資料5 |
| 6. 討議資料     | 資料6 |

第 2 回 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  
議事次第

開催日時 : 平成 2 4 年 3 月 2 8 日 (水) 1 4 : 0 0 ~ 1 6 : 0 0

開催場所 : 杉谷公民館 1 階 大ホール (島原市宇土町乙 687 番地 1)

議事次第 :

1. 開 会

2. 開会挨拶

雲仙復興事務所長 田村 圭司

3. 挨拶

島原市長 横田 修一郎

4. 検討次第

- (1) 前回委員会の討議概要
- (2) 溶岩ドームの崩壊により発生する現象について
- (3) 溶岩ドームの崩壊規模と対策の対象
- (4) 溶岩ドーム崩壊対策の考え方について
- (5) 今後の課題と展開

5. 閉 会

## 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

## 設置趣意書

雲仙・普賢岳は平成 2 年 11 月 17 日に 198 年ぶりに火山活動を再開し、その活発な噴火活動により火砕流が発生し 44 人の尊い人命が奪われ、さらには降雨による土石流の発生により、地域生活や経済活動に長期にわたって甚大な被害を与えた。

雲仙復興事務所は、雲仙・普賢岳の噴火活動中から現在まで、噴火災害により被害を受けた地域の安全を確保し、早急な災害対策を進め、地域復興に貢献するため、砂防堰堤、導流堤、監視体制の整備などを進めてきた。

現在、一連の噴火活動は終息しているものの、雲仙・普賢岳周辺には、溶岩ドームと呼ばれる巨大な岩塊群が不安定に存在し、崩落等の危険性が懸念されるため、平成 23 年 3 月 18 日「第 1 回 雲仙普賢岳溶岩ドーム崩落に関する危険度評価検討委員会」、平成 23 年 8 月 29 日第 2 回同委員会を開催した。

当委員会により、ある一定条件の下での溶岩ドームの崩壊影響範囲の試算結果が示され、今後も溶岩ドームの挙動について継続的な調査・観測が必要であること、関係機関が連携して雲仙・普賢岳の防災対策に取り組むべきであることが報告され、平成 23 年 9 月 20 日 雲仙・普賢岳火山砂防促進期成同盟会より雲仙復興事務所へ、溶岩ドームの調査・観測体制の充実と溶岩ドーム崩壊に関する対策の要望があったため、溶岩ドーム崩落の調査・観測及び対策を検討することとした。

検討にあたっては、溶岩ドーム崩落が火山学や地球物理学からも稀な現象であり、火山防災および砂防に関する高度な学術的知見が不可欠であること、及び関係機関が連携して雲仙・普賢岳の防災対策に取り組む必要があることから、学識経験者や各行政機関関係者から構成される「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」を設置することとする。

## 「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」規約

## 第1条（趣旨）

この規約は、「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」（以下「委員会」という。）の設置について必要な事項を定める。

## 第2条（目的）

本委員会は、溶岩ドーム崩壊に関する調査・観測及び対策の検討を目的とする。

## 第3条（組織）

委員会は、事務局が設置する。

- 委員会の委員は、事務局が委嘱する。

## 第4条（委員長）

委員会に委員長を置くこととし、委員の互選によりこれを定める。

- 委員長は、委員会の運営と進行を総括する。
- 委員長に事故があった場合には、委員長が予め委員の中から指名する者が職務を代行する。

## 第5条（委員会）

委員会は、委員長の了解を得て事務局が招集する。

- 委員の任期は原則として1年とし、再任を妨げない。
- 委員会は、委員総数の2分の1以上の出席をもって成立する。なお、行政委員の代理出席も委員会の成立数とする。

## 第6条（公開）

委員会の公開は、傍聴を認めることにより行うものとする。

- 特段の理由がある場合は、委員会の判断により非公開とすることができる。

## 第7条（オブザーバー）

雲仙・普賢岳周辺の関係機関を委員会のオブザーバーとする。

- 委員会に参加するオブザーバーは、委員会の提言等をふまえ、必要に応じて事務局が変更するものとする。

## 第8条（事務局）

委員会の事務局は、以下の機関が合同で行い、窓口は国土交通省九州地方整備局雲仙復興事務所に置く。

国土交通省 九州地方整備局 河川部

国土交通省 九州地方整備局 雲仙復興事務所

長崎県 危機管理監 危機管理課

長崎県 土木部 砂防課

## 第9条（規約の改正）

本規約の改正は、委員総数の3分の2以上の同意を得てこれを行う。

## 第10条（雑則）

この規約に定めるもののほか、委員会の運営に関し必要な事項は、委員会に諮って定める。

## 附則（施行期日）

この規約は、平成23年 12月19日より施行する。

第2回 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  
委員名簿

(順不同・敬称略)

【学識委員】

委員長 小橋 澄治	京都大学 名誉教授 (砂防)
下川 悦郎	鹿児島大学農学部生物環境学科 教授 (砂防)
清水 洋	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 教授 (火山)
里深 好文	立命館大学理工学部 都市システム工学科 教授 (砂防)
山田 孝	三重大学大学院生物資源学研究科 教授 (砂防)
木村 拓郎	一般社団法人減災・復興支援機構 理事長 (防災)

【行政委員】

池田 滋	福岡管区气象台 火山防災情報調整官
植田 剛史	九州地方整備局 河川部長
坂谷 朝男	長崎県 危機管理監【代理：武末 和博 危機管理課長】
村井 禎美	長崎県 土木部長
江口 道信	長崎県 島原振興局長
横田 修一郎	島原市 市長
藤原 米幸	南島原市 市長
奥村 慎太郎	雲仙市 市長【代理：町田 義博 副市長】

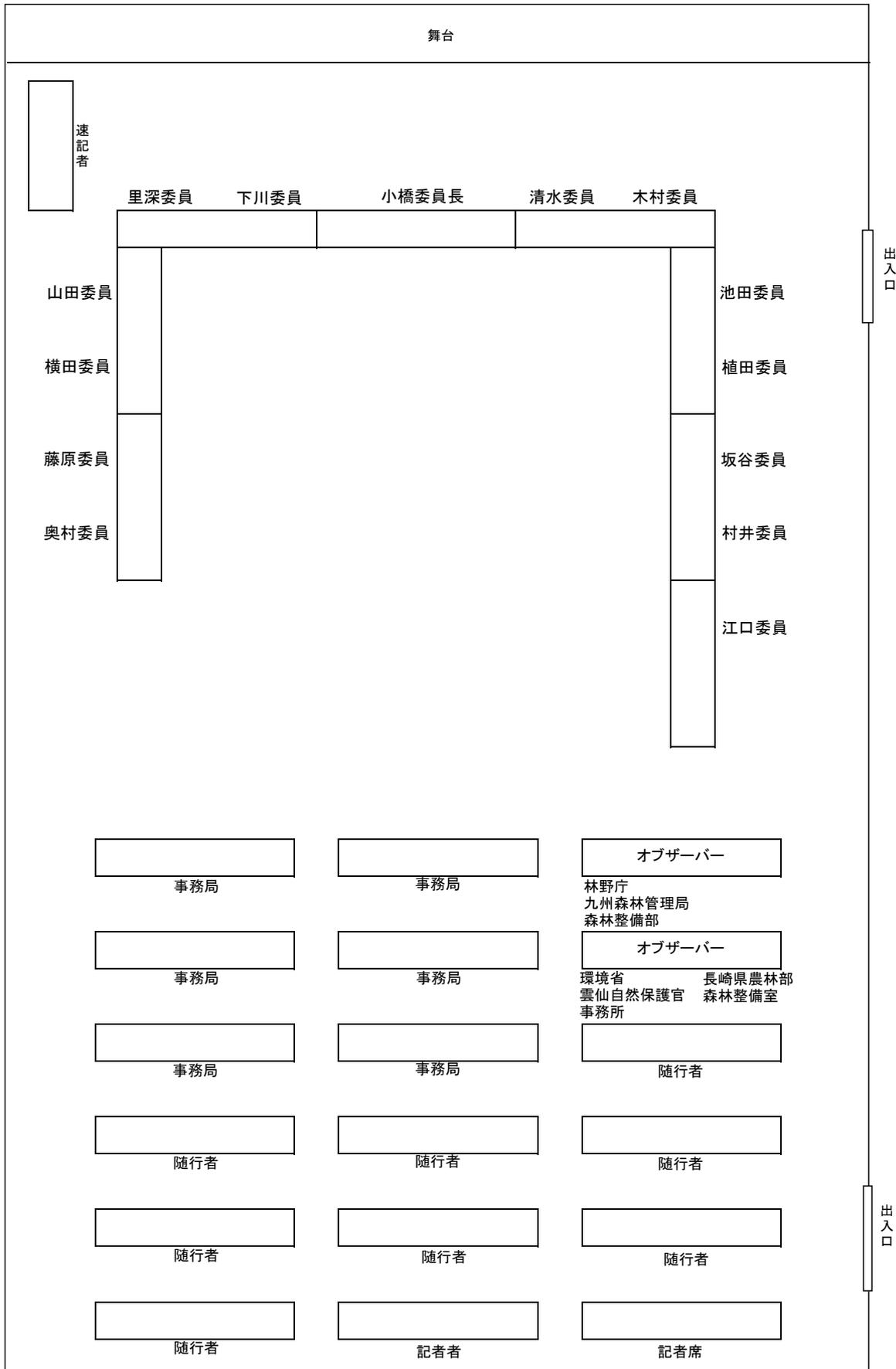
【オブザーバー】

中原 一則	林野庁 長崎森林管理署 署長【欠席】
井野 常雄	林野庁 九州森林管理局森林整備部 治山技術専門官
加藤 雅寛	環境省 九州地方環境事務所 雲仙自然保護官事務所 自然保護官
佐藤 義高	長崎県 農林部 森林整備室長

【事務局】

国土交通省 九州地方整備局 (河川部、雲仙復興事務所)  
長崎県 (危機管理監、土木部)

第2回 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  
配席図(於:杉谷公民館、1階 大ホール)



## 第2回

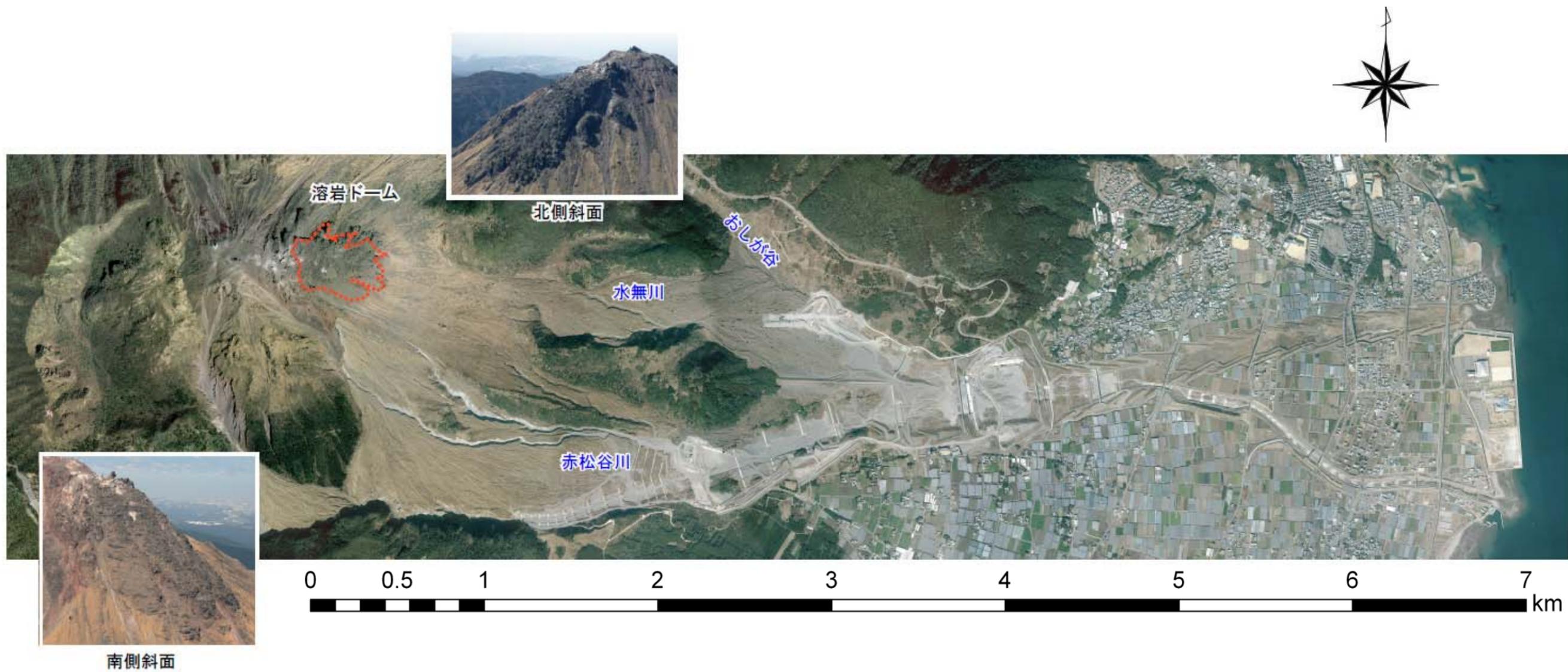
資料6

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

討議資料

平成24年3月28日

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



溶岩ドームと水無川流域（おしが谷、水無川、赤松谷川）の位置関係図

第2回 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の流れ

1. 溶岩ドームの崩壊により発生する現象について

- ① 溶岩ドーム崩壊により発生が想定される現象
- ② 溶岩ドーム崩壊による被害のイメージ

溶岩ドーム崩壊現象と被害状況を再確認していただく。

2. 溶岩ドームの崩壊規模と対策の対象

- ① 対象とする崩壊規模
- ② 溶岩ドーム挙動の調査・観測結果に基づく検討
- ③ 可能性の高い崩壊規模について

溶岩ドーム挙動の検討結果を示し、崩壊の可能性が高い崩壊規模はどのケースかについて御議論いただきたい。

3. 溶岩ドーム崩壊対策の考え方について

- ① 溶岩ドーム崩壊対策の検討方針
- ② ハード対策
- ③ ソフト対策

対策が必要な崩壊規模及び対策方針について御議論いただきたい。  
ハード対策は、既設施設の嵩上げについて御議論いただきたい。  
ソフト対策は、溶岩ドーム崩壊危険度判定会(仮称)について御議論いただきたい。

## <目 次>

本検討の内容と雲仙・普賢岳周辺関係機関の現状の役割.....	1
前回委員会の討議概要.....	2
1 溶岩ドームの崩壊により発生する現象について.....	3
1.1 溶岩ドーム崩壊により発生が想定される現象.....	3
1.1.1 考えうる現象の整理.....	3
1.1.2 ドーム崩壊から岩屑なだれへの移行のイメージ.....	4
1.1.3 過去の類似事例の整理（クック山・ニュージーランドの事例）.....	4
1.2 溶岩ドーム崩壊による被害のイメージ.....	5
2 溶岩ドームの崩壊規模と対策の対象.....	6
2.1 対象とする崩壊規模.....	6
2.2 溶岩ドーム挙動の調査・観測結果に基づく検討.....	8
2.2.1 光波測距、地上型合成開口レーダーの観測結果.....	8
2.2.2 シュミットハンマーの試験、亀裂調査等の結果.....	9
2.3 可能性の高い崩壊規模について.....	10
3 溶岩ドーム崩壊対策の考え方について.....	11
3.1 溶岩ドーム崩壊対策の検討方針.....	11
3.2 ハード対策.....	12
3.2.1 流動深とハード対策での対応可能性の検討.....	12
3.2.2 既設施設の嵩上げ検討.....	12
3.2.3 嵩上げ施設の規模と効果.....	13
3.3 ソフト対策.....	15
3.3.1 ソフト対策の対象現象.....	15
3.3.2 避難の考え方.....	15
3.3.3 溶岩ドーム崩壊危険度判定会（仮称）.....	15
3.3.4 危険度の判断に必要なデータ.....	16
3.3.5 複数の観測・調査を組み合わせた観測体制の提案.....	17
4 今後の課題と展開.....	17
参考資料.....	18

## 本検討の内容と雲仙・普賢岳周辺関係機関の現状の役割

本検討の内容に関する雲仙・普賢岳周辺の各機関と現状の役割を以下に示す。

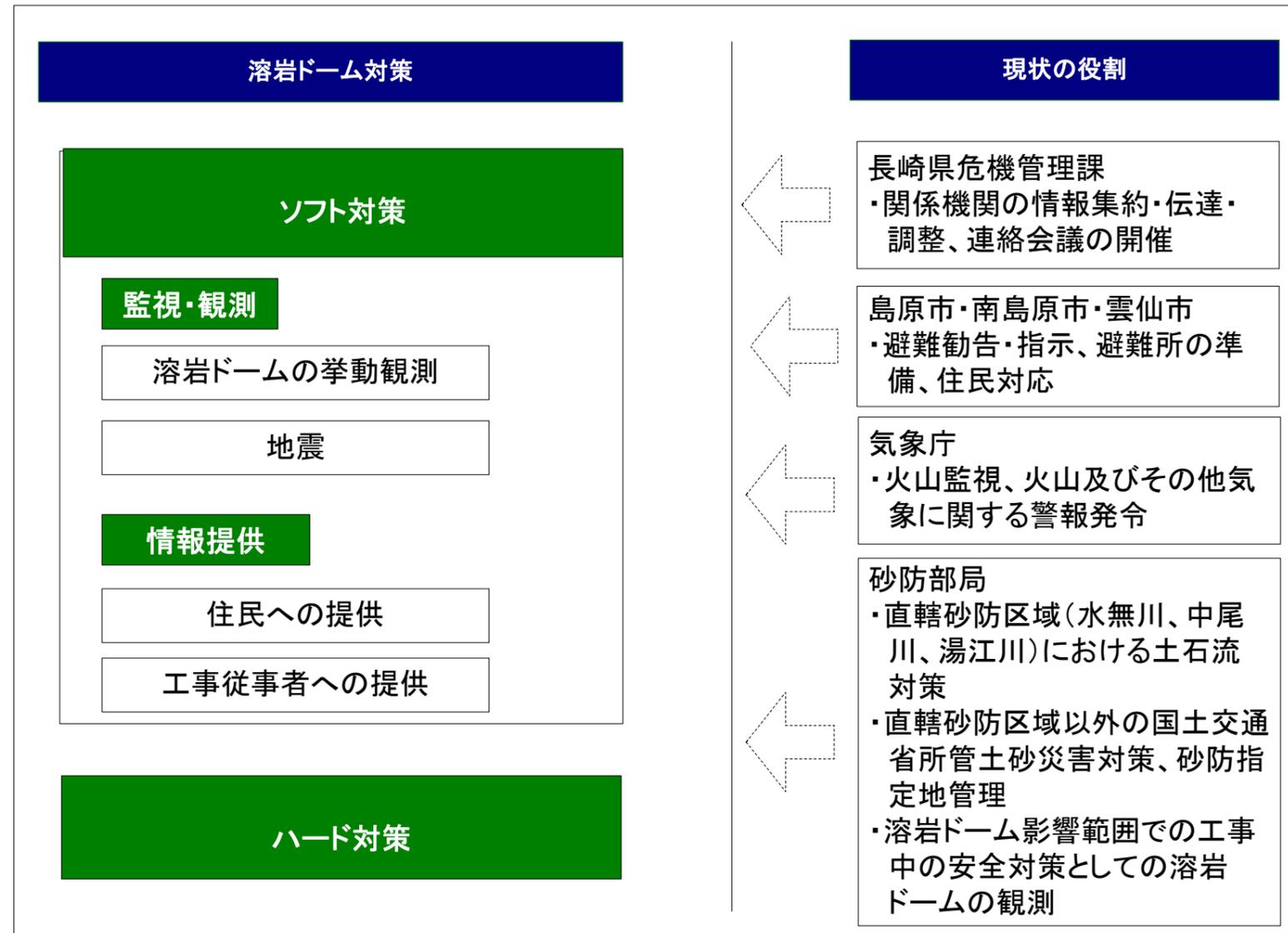


図 本検討の内容と雲仙・普賢岳周辺関係機関の現状の役割

## 前回委員会の討議概要

### (1) 開催日時および出席者

日 時：平成23年12月19日（月） 14：00～16：00、場 所：雲仙岳災害記念館1F セミナー室

出席者：(学識委員)小橋委員長、清水委員、里深委員、山田委員、木村委員

(行政委員)池田委員、植田委員、坂谷委員（武末代理）、村井委員、江口委員、横田委員、藤原委員（永門代理）、奥村委員（町田代理）

### (2) 第1回委員会での討議事項

① 調査・観測体制の整理、②対策の基本的な考え方、③ハード対策の検討、④ソフト対策の検討

### (3) 第1回委員会での討議事項

項目		委員からのご意見	事務局対応
調査・観測体制の整理に関する意見		・今後の調査・観測案について、修正・反対意見はなかった。	
対策の基本的な考え方に関する意見	対象現象規模の統計的な予測について	・対象現象の想定は、溶岩ドームの内部構造把握が難しく、崩壊メカニズムの予測が困難なため、既往大規模崩壊と比較して統計的に予測するのは妥当である。 ・既往大規模崩壊のサンプルについても溶岩ドーム崩壊と比較対象になりうる岩盤崩壊を対象とし、国内外の事例を収集して、精査すること。	国内外の大規模崩壊事例を再整理する。 (参考資料)
	溶岩ドームの崩壊メカニズムについて	・既往の実績を調査する等、溶岩ドームでの崩壊メカニズムについて整理する。 ・現在、マグニチュード7以下(8は考えにくい)の正断層の地震が雲仙周辺で発生する可能性があるが、この規模の地震が発生したとしても溶岩ドームの内部構造がわからないため、溶岩ドームの挙動は分からない。地震時の溶岩ドームの挙動予測のためにも、溶岩ドームの監視・観測は必要である。	対策方針に反映させる。 (3章)
	対策で対象とする規模について	・施設で止まらない細粒土砂の流出の可能性もあり、case1～3でもソフト対策は必要である。 ・ケース5を含む対策が難しい大規模の現象について、検討の対象外とするのではなく、観測し想定する対象とする姿勢が必要である。 ・津波対策を参考にして、たとえばハード対策を1/100でそれ以上はソフトとハードで対策する考え方が必要である。	
	被害について	・どのケースまでをハード対策で対象にするという明確な理由を整理すべき。	既往観測結果から挙動実績を把握し、挙動実績から溶岩ドームの移動ブロックを推定する。(2章)
		・想定している各ケースで発生する被害を具体的に整理する。この時、安中地区についても留意する。	想定被害のイメージ及び数量を整理する。(1章、3章)
ハード対策の検討に関する意見		・崩壊影響範囲内に、アクセスが良く確実に安全な避難場所(高台・シェルター)を作り、ソフト対策を組み合わせるのが必要。	避難の考え方について検討する。(3章)
ソフト対策の検討に関する意見	避難について	・地震直後は家屋倒壊や道路寸断等の被害も同時に発生する可能性があり、数分での避難は難しい。その点も考慮した検討が必要。 ・雲仙溶岩ドームは観光資源としても側面もあり、観光客を対象としたソフト対策の検討も必要である。	大規模崩壊事例より流下速度を整理して下流到達時間の目安とする。(1章)
		・現在、溶岩ドーム崩壊時間は5分を想定しているが、避難方法の検討は溶岩ドーム崩壊の時間が重要になるため、今後も精査すること。	
		・施設効果について、一定の規模までは止めるが、それ以上の規模災害についても、全く意味が無いとするのではなく、下流到達遅延効果を評価できないか。 →現在の数値モデルでは遅延効果の評価は難しい。→過去の大規模崩壊事例を用いて溶岩ドーム崩壊発生時に下流まで到達する時間について整理する。	
	崩壊危険度判定会(仮)について	・崩壊危険度判定会(仮)について、事前に中心となる機関を定め、具体的に設置手順を策定する必要がある。 ・判定会(仮)の開催について、緊急を要するのでテレビ会議等を導入し、委員が迅速に判断できるようにする。 ・眉山での危険度を評価する委員会と統合して、眉山と溶岩ドームを合わせて危険度を判定する組織とすることが効率的である。	崩壊危険度判定会(仮)の検討に反映させる。(3章)
その他	・溶岩ドームに変状が確認され危険と判断した場合の、長期化の対応及び解除基準を予め検討しておくことが必要である。		

# 1 溶岩ドームの崩壊により発生する現象について

## 1.1 溶岩ドーム崩壊により発生が想定される現象

### 1.1.1 考えうる現象の整理

表-1.1 溶岩ドーム崩壊により考えうる現象

	概要	発生に必要な条件	発生の可能性	発生した場合の影響	対象現象	
1	火砕流	高温の砂礫がそれらから発生する高温の火山ガスにより浮いた状態で山腹を流下する現象	高温	噴気地点の周囲で 100℃前後、噴気地点以外はほぼ常温となっており、冷却が進行している。火砕流発生の可能性は低い	(発生の可能性低)	△
2	転石	岩塊が形状を大体維持したまま、斜面を転動して流下する現象	岩塊を破壊させる外力(地震などが想定)	地震等によって発生する可能性がある。	数値モデルでの解析より、斜面中腹で停止の可能性が高い(「第2回 雲仙普賢岳溶岩ドーム崩落に関する危険度評価検討委員会」検討より)	-
3	岩屑なだれ	岩塊が崩壊し、破壊されながら流下する現象	岩塊を破壊させる外力(地震などが想定)	第11ロープの挙動より溶岩ドーム崩壊の可能性はある。	下流まで影響の可能性高	○
4	土石流	石礫を高い濃度で含み、集合運搬状態で流れる現象	豪雨	溶岩ドームを流動させる十分な水量がもたらされる可能性は低く、また溶岩は空隙が少なく先行降雨を保水する能力も低い。土石流化の可能性は低い	(発生の可能性低)	-

以上の検討により、岩屑なだれを防災対策の対象現象として検討を行うこととする。

### 1.1.2 ドーム崩壊から岩屑なだれへの移行のイメージ

溶岩ドーム崩壊した場合、以下のように岩屑なだれへと移行していき、その過程で細かい砂粒と空気の混合物が高速で斜面を流れ下る現象が発生すると考えられる。

\* 岩屑なだれ<sup>1)</sup>：粘性の高いマグマの貫入による火山体の変形や、水蒸気爆発、地震等が原因で、火山体の不安定な部分が表層なだれのように高速で崩れ落ちる現象。分解しきれなかった火山体構成物の大きな塊を含むことが特徴。低温のことが多く、運搬機構に水は寄与しない。

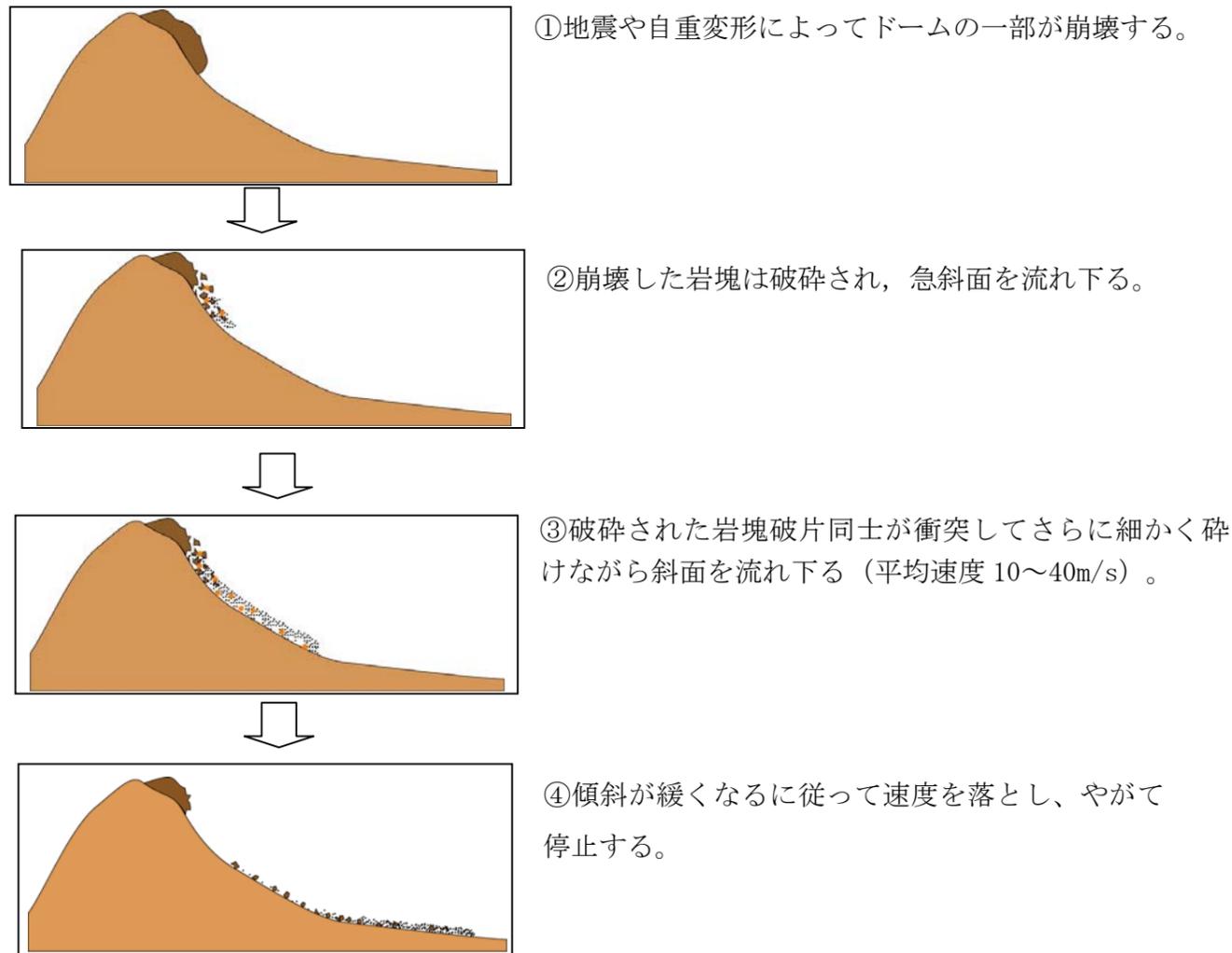


図- 1.1 溶岩ドーム崩壊から岩屑なだれへの移行のイメージ

出典：1) 新版地学辞典、地学団体研究会編、平凡社

### 1.1.3 過去の類似事例の整理（クック山・ニュージーランドの事例）

過去に発生した溶岩ドーム崩壊と類似すると考えられる大規模崩壊として、クック山（ニュージーランド）の事例を整理した。

1991年12月14日早朝、ニュージーランド南アルプスにあるクック山の山頂付近から1200万m<sup>3</sup>が崩壊し、轟音とともに雪氷原を流れ下り、谷底のタスマン氷河に突入した。岩屑なだれは平均時速200km（=55m/s程度）の速さで7.5km移動した。財産・人的被害ともなかった。フート台地上で登頂準備中の登山者の300m以内を崩土の縁辺部が通過したが危機一髪で助かった。

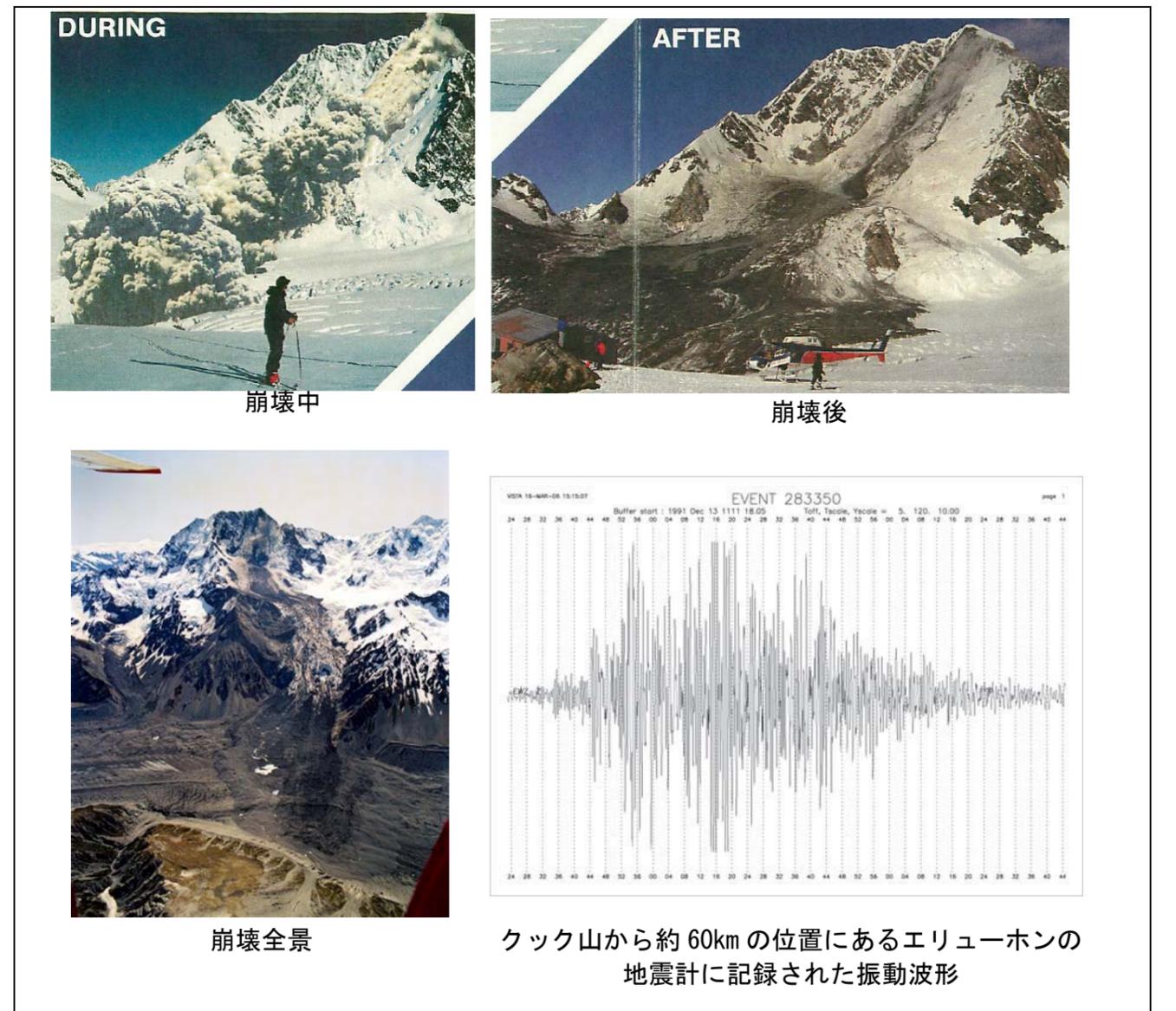


図- 1.2 クック山（ニュージーランド）の事例

(Institute of Geological and Nuclear Science, NZ, 1992 のパンフレットから引用)

## 1.2 溶岩ドーム崩壊による被害のイメージ

### (1) 被害のイメージ

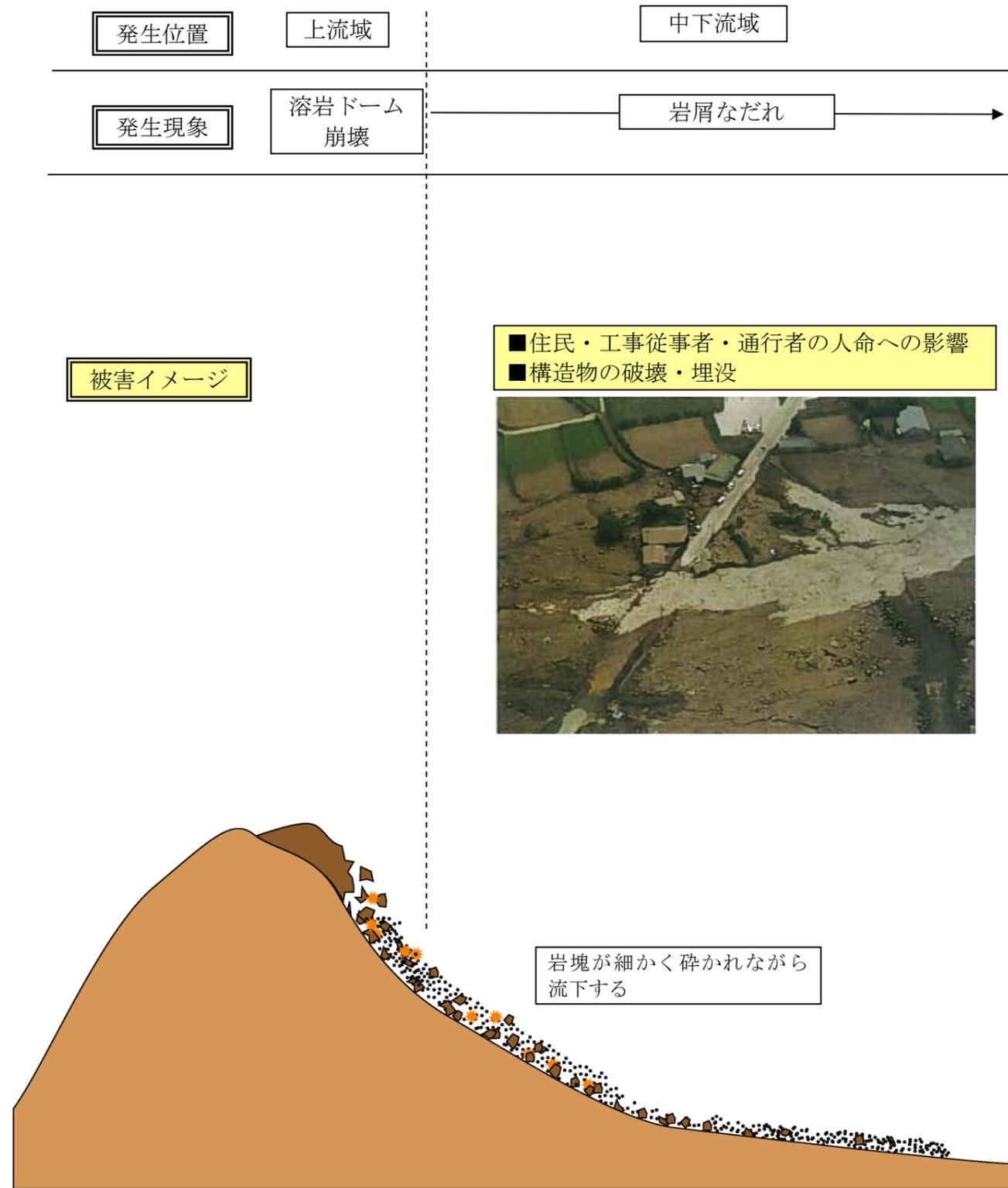


図- 1.3 溶岩ドーム崩壊による被害のイメージ

### (2) 岩屑なだれの速度

国内外の大規模崩壊の事例からみると、岩屑なだれの速度は、土砂量（崩壊規模）と斜面傾斜に支配されると考えられ、同一斜面を流れ下る場合には規模が大きいほど速くなり、遠方まで到達する。

ここで、雲仙・普賢岳溶岩ドーム崩壊の土砂流下速度を推定すると、平均河床勾配  $10^{\circ} \sim 15^{\circ}$  の推定線より、以下のようなになる。

表- 1.2 崩壊事例から推定される岩屑なだれの速度

case	崩壊形状	崩壊土砂量 (万 $m^3$ )	平均速度
1	第11ロープ J1 亀裂部より下方の亀裂部より崩壊	768	10m/s 程度
2	第11ロープの J1 亀裂部より下部が崩壊	1,024	15m/s 程度
3	第11ロープと第4ロープの境界より上部全体が崩壊	1,792	20m/s 程度
4	崩落堆積物と第4ロープの境界より上部が崩壊	3,200	30m/s 程度
5	噴火前の地山の境界で崩壊	5,376	40m/s 程度

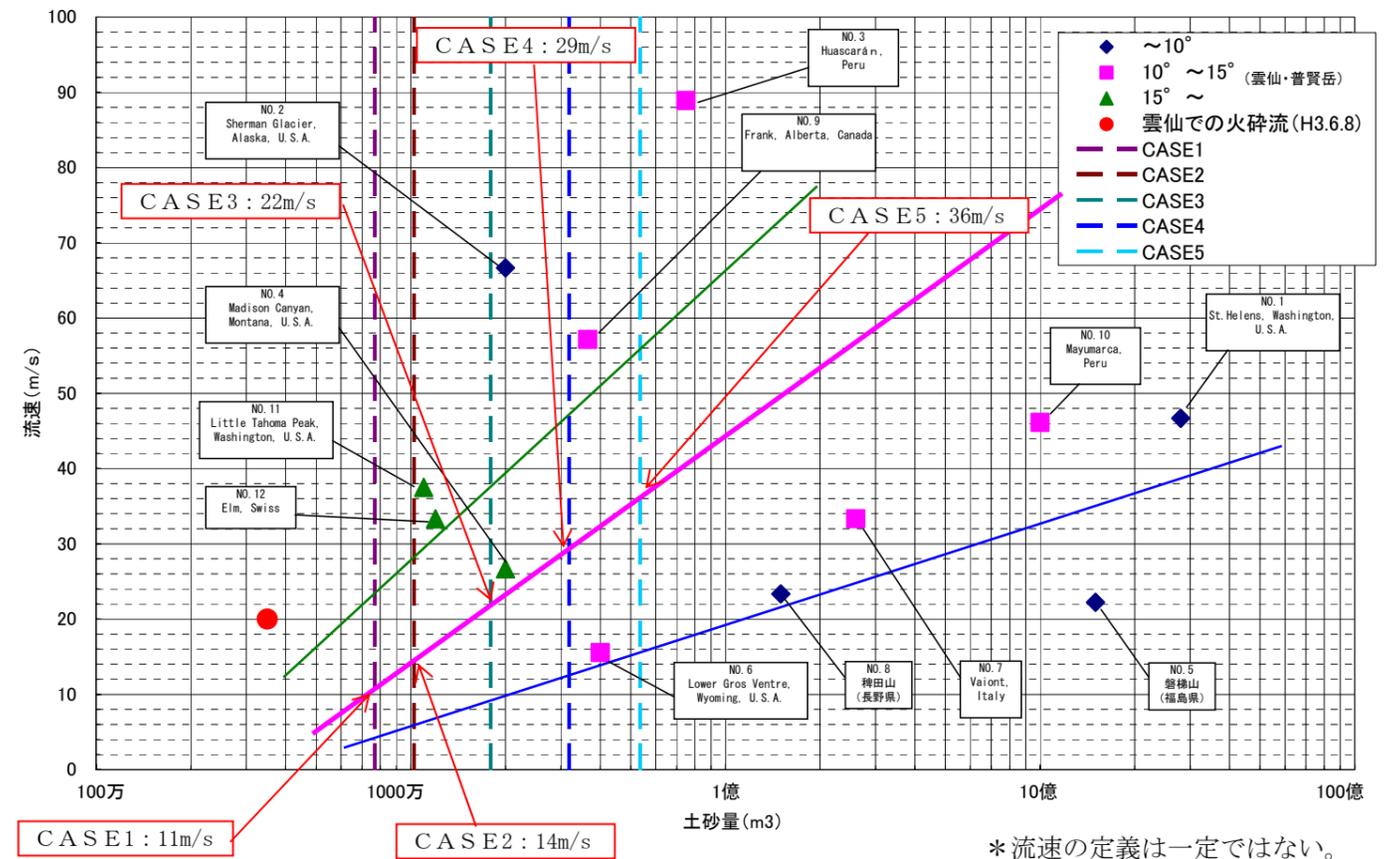


図- 1.4 崩壊事例：崩壊土砂量と平均流速の関係（元データは参考資料 1 参照）

## 2 溶岩ドームの崩壊規模と対策の対象

### 2.1 対象とする崩壊規模

降雨、重力等が引き金となり崩壊が起こることを想定する。崩壊規模を設定するにあたり、岩塊が重力作用により引っ張られた場合、岩塊内部のどの部分に破壊が生じ易いのかを、重力による変形に起因した岩塊内部の応力を求めることができる 2 次元数値解析(個別要素法:DEM)による安定性検討を用いて検証した。

第 11 ロープを包括する断面を用いて安定性を評価したところ、鉛直方向に生じている亀裂の位置でせん断破壊が発生するのが確認できた。

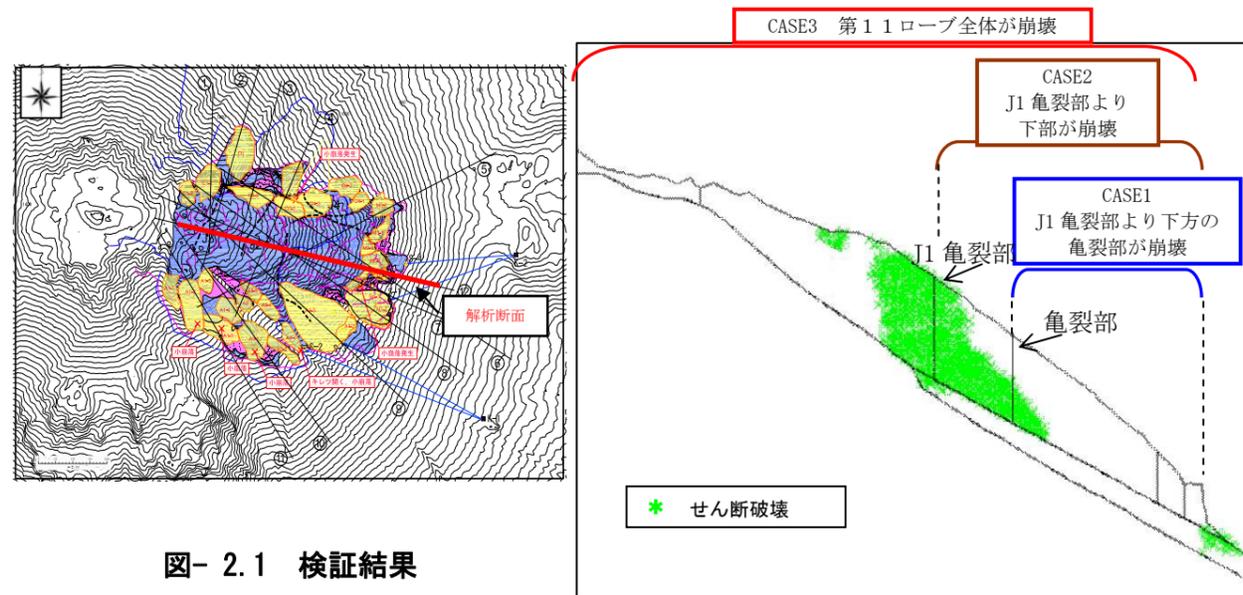


図- 2.1 検証結果

崩壊規模は、第 11 ロープの安定性検討結果等を参考に、目視による亀裂部、応力解析による応力集中箇所、溶岩ロープの境界部、噴火前の地山との境界部などで、降雨、重力等による侵食が引き金となり崩壊が起こることが考えられるため、5つの崩壊規模を想定した。

表- 2.1 崩壊規模

CASE	崩壊形状	崩壊位置の根拠	崩壊土砂量(万m <sup>3</sup> )
1	第 11 ロープ J1 亀裂部より下方の亀裂部より崩壊	目視による亀裂	768
2	第 11 ロープの J1 亀裂部より下部が崩壊	応力解析結果より	1,024
3	第 11 ロープと第 4 ロープの境界より上部全体が崩壊	溶岩ロープの境界	1,792
4	崩落堆積物と第 4 ロープの境界より上部が崩壊	溶岩ロープの境界	3,200
5	噴火前の地山の境界で崩壊	噴火前地山との境界	5,376

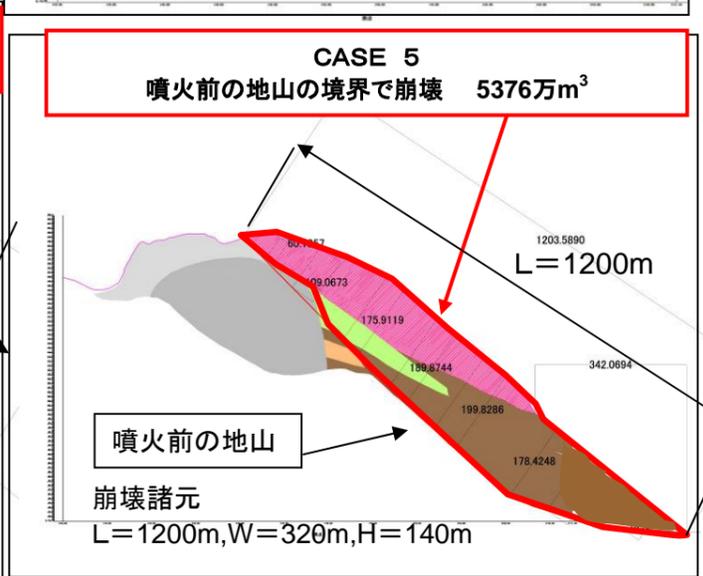
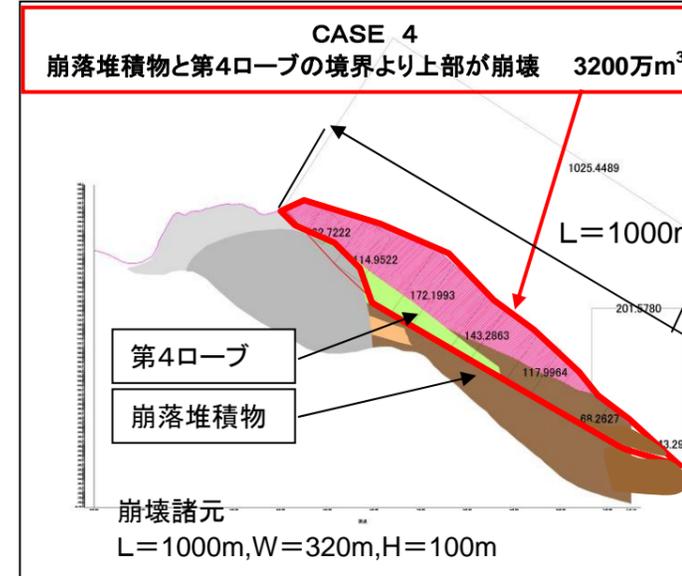
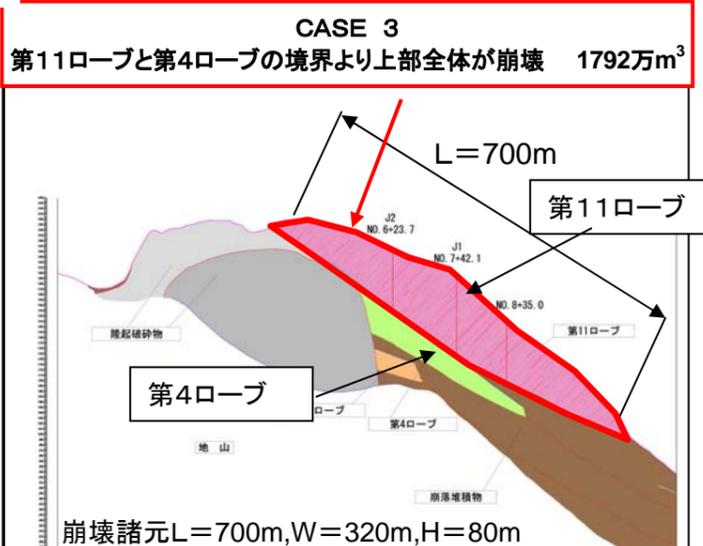
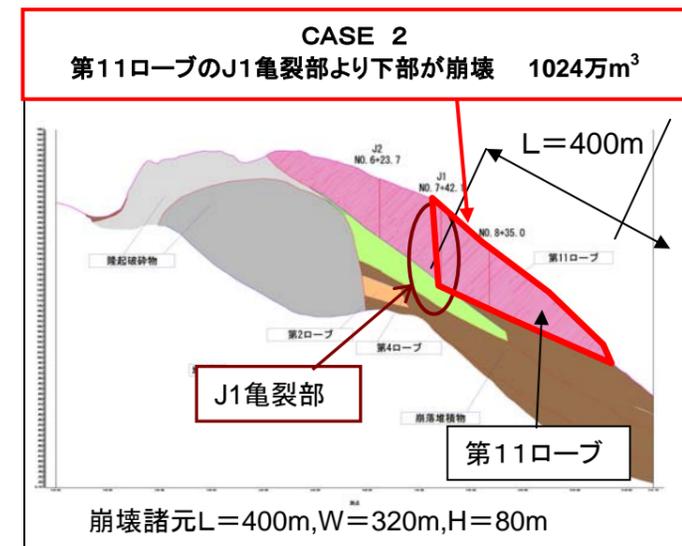
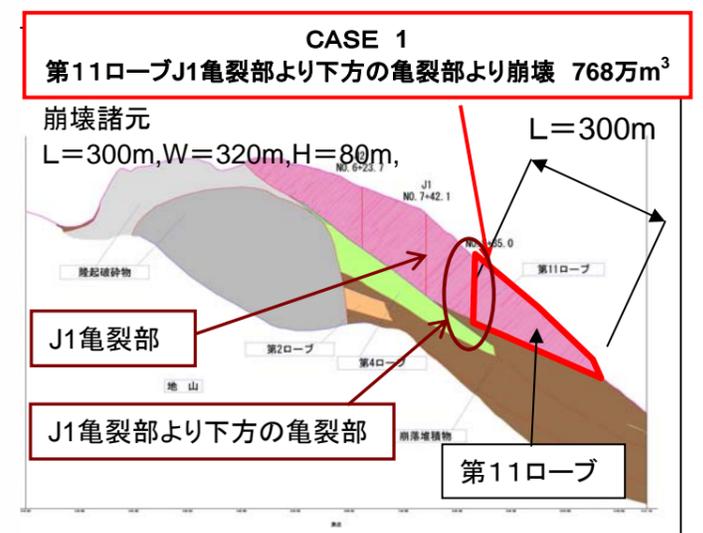
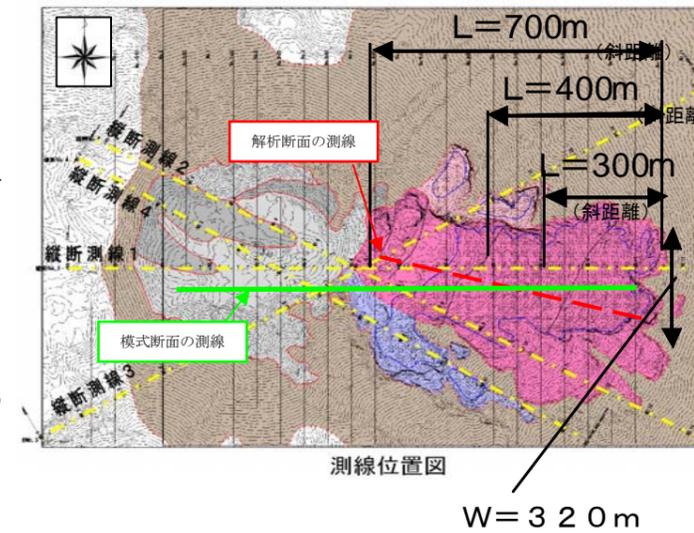


図- 2.2 崩壊規模の模式図

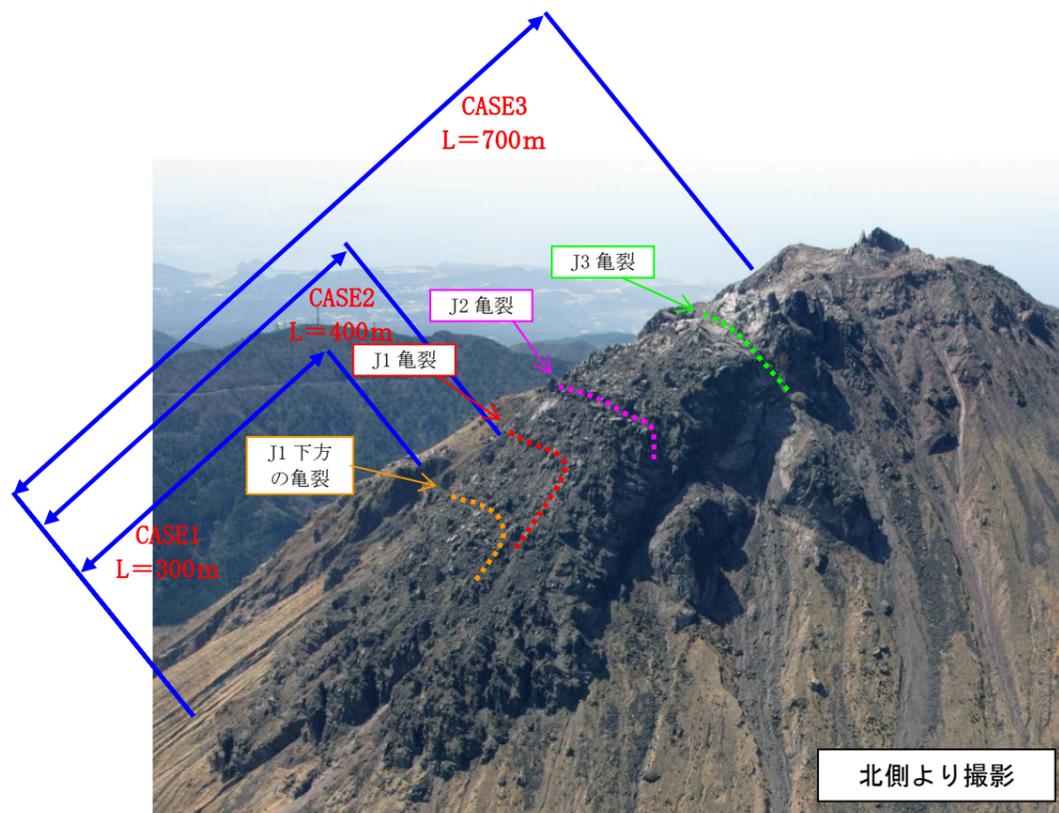


図- 2.3 亀裂の位置関係

2.2 溶岩ドーム挙動の調査・観測結果に基づく検討

2.2.1 光波測距、地上型合成開口レーダーの観測結果

①光波測距

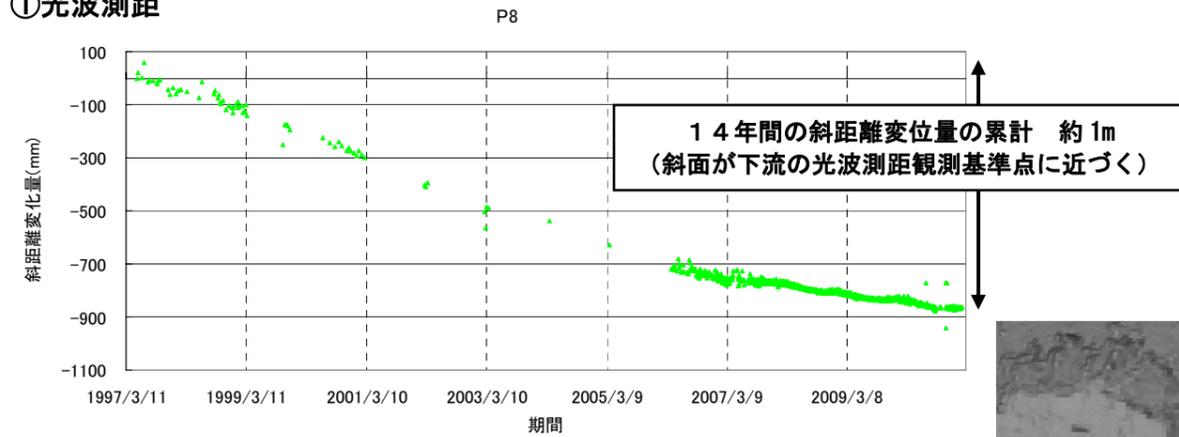
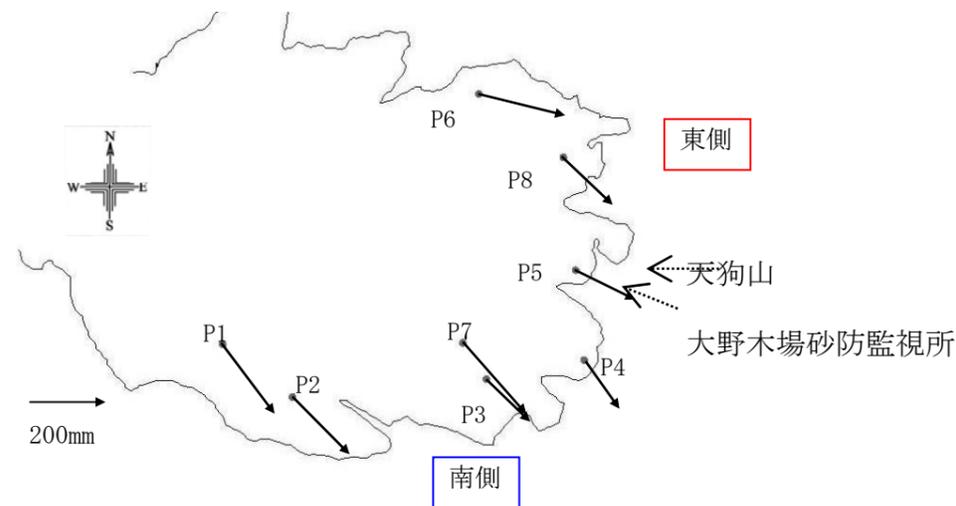
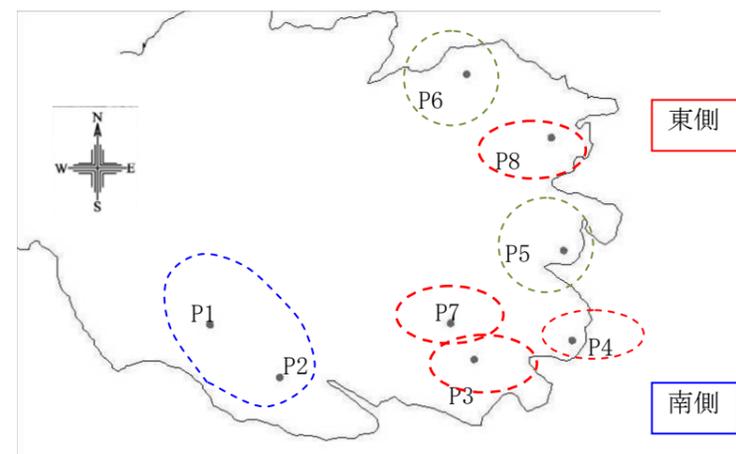


図-2.4 ドーム先端部の光波測距の観測結果 (P8)



自動計測期間 (2007/9/1~2012/2/20) の変位量



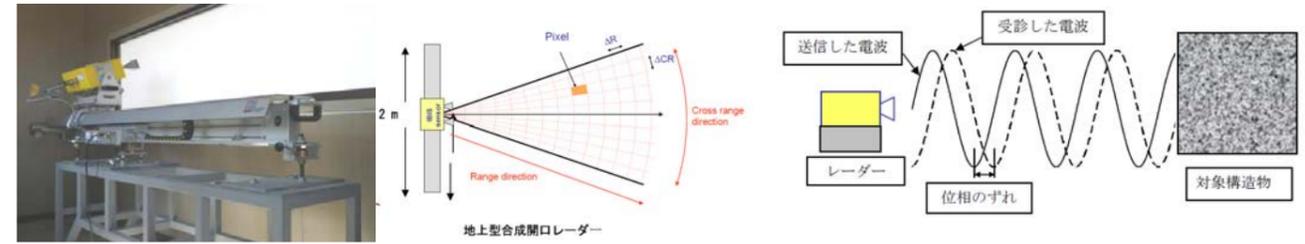
自動計測期間 (2007/9/1~2012/2/20) の変位速度傾向

図-2.5 各観測点の変位状況

- 光波測距の変位の年間速度 (mm/年) が4年間継続して増加傾向にある
- 傾向が明瞭でない
- 変位レート (mm/年) に変化傾向がない

\*変位速度データは、参考資料2に示す。

②地上型合成開口レーダー



\*地上型合成開口レーダーによる溶岩ドームの挙動観測は、送信した電波の波と溶岩ドームで反射して受信した電波の波のずれる量を計測して、変位に変換している。

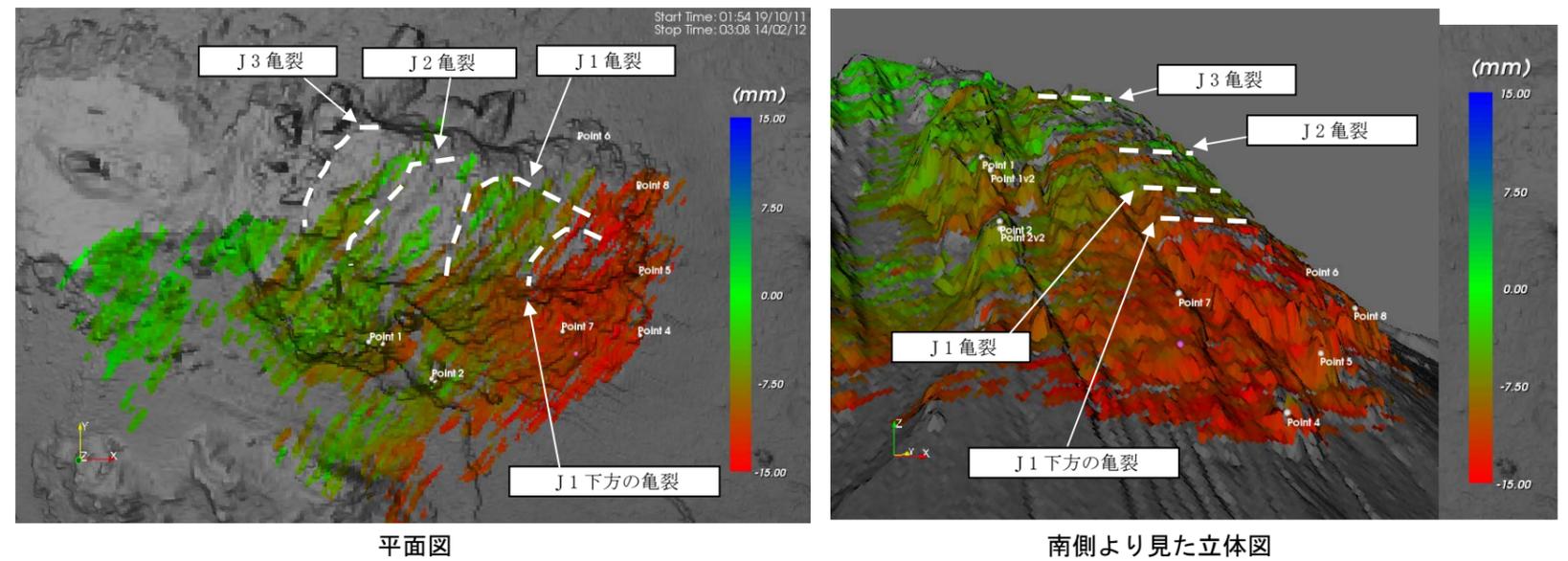
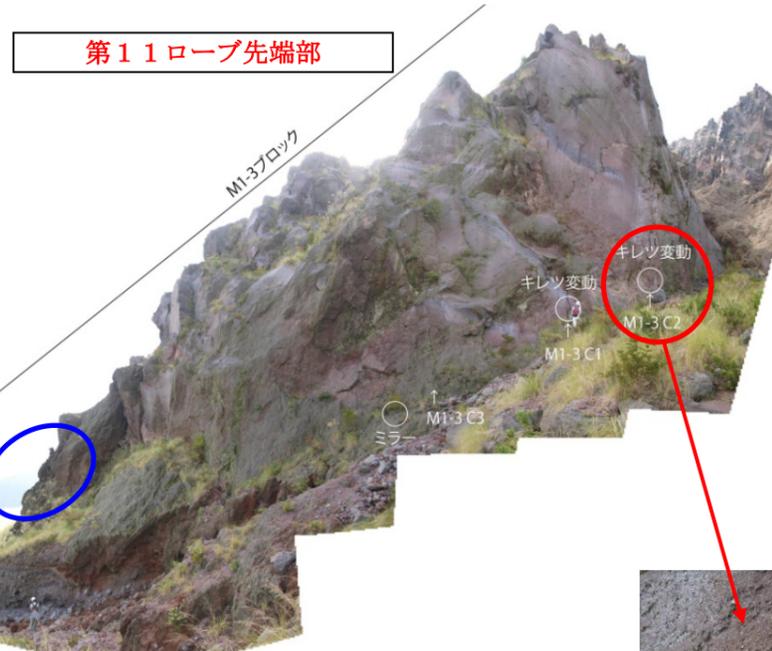
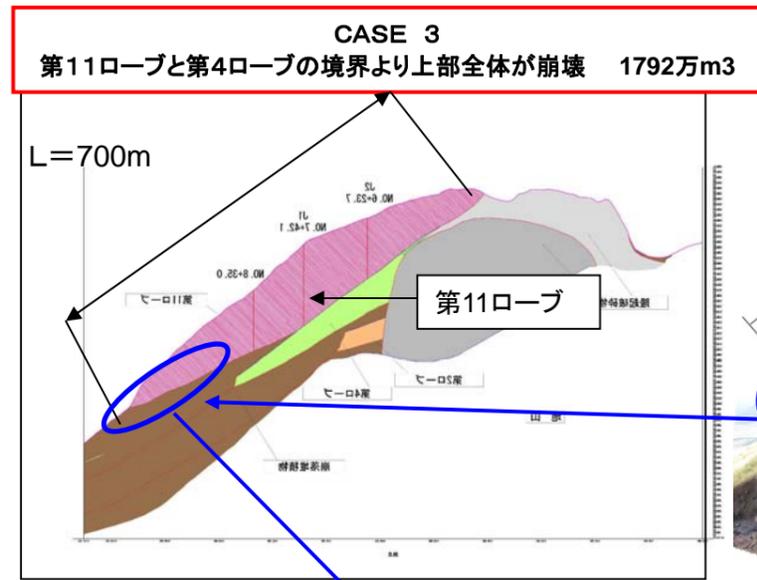


図-2.6 地上型合成開口レーダーによる変位分布 (平成23年10月19日から平成24年2月14日)  
(負は斜面が下流のレーダーに近づいている)

- ・溶岩ドーム上に設置したプリズムと大野木場砂防監視所間の光波測距観測により、溶岩ドーム上の観測地点が14年間に約1mの距離短縮を起こしている。変位の方向は南東方向。
- ・11ロープの先端部は、光波測距の変位速度が増加傾向にある。
- ・地上型合成開口レーダー観測 (平成23年10月19日から平成24年2月14日) により、「J1下方の亀裂」より下部の斜面、及び「J1亀裂」より下部の斜面で、斜面下方への相対的に顕著な移動 (-7.5mm~-15mm程度/約4ヶ月) がみられる。

2.2.2 シュミットハンマーの試験、亀裂調査等の結果



- 第11ロープ底部の溶岩に対するシュミットハンマーによる現地試験の結果、溶岩ドーム上部の緻密な岩石と、多孔質の底部岩石には一軸圧縮強度に明瞭な差異が認められ、底部の一軸圧縮強度は上部の1~2割程度であり上部に比べて弱いことが分かった。
- 溶岩ドームの亀裂拡大調査では、一部の亀裂に広がり計測された。
- 岩塊が重力作用により引っ張られた場合、岩塊内部のどの部分に破壊が生じ易いのかを、重力による変形に起因した岩塊内部の応力を求めることができる2次元数値解析(個別要素法: DEM)による安定性検討を用いて検証した結果では、鉛直方向に生じている亀裂の位置と底部で、せん断破壊が発生するのが確認できた。
- なお、振動センサーによる落石回数の計測は、噴火沈静化後より落石回数は減少傾向にあるが、最近10年間は1年間に数回程度と横ばい状態である。

第11ロープ底部の溶岩に対するシュミットハンマー現地試験

■キレット板による調査結果  
 X方向: 亀裂幅は水平成分で0.6mm/2年、拡大  
 Y方向: 上流ブロックが下流ブロックに対して0.8mm/2年、沈降  
 R : 亀裂幅が0.6mm/2年、拡大

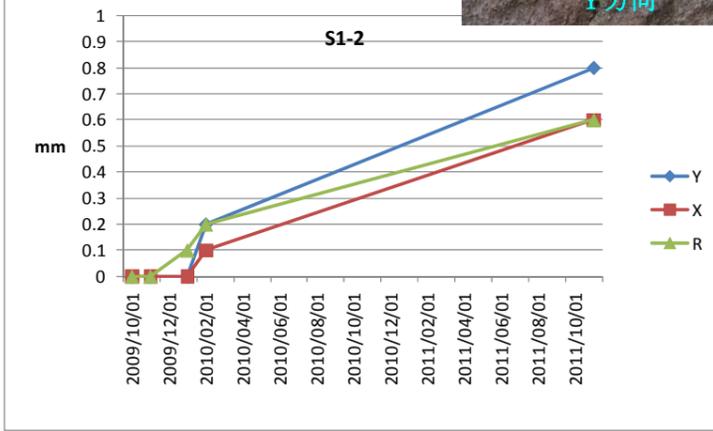
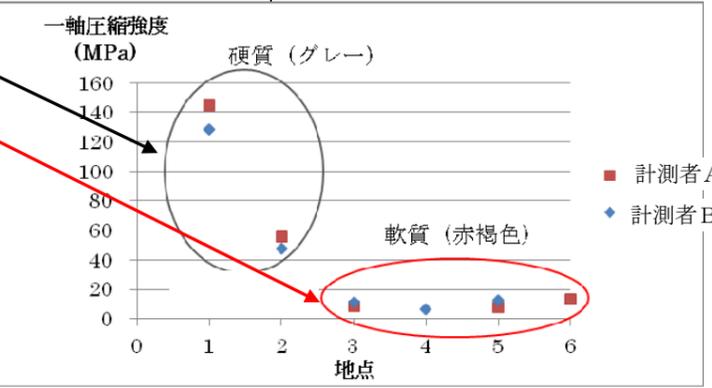
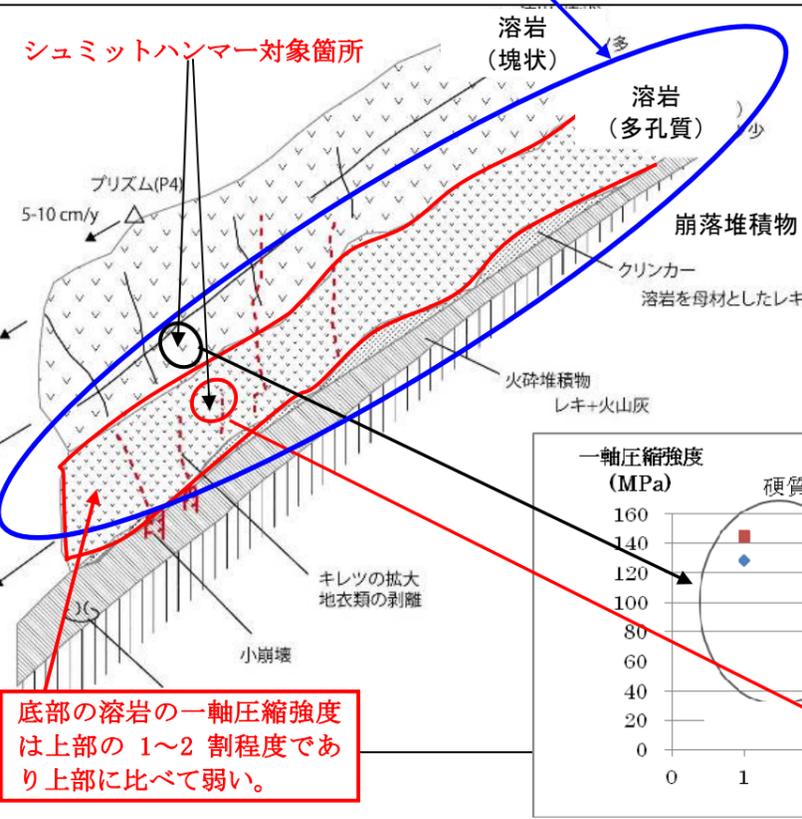
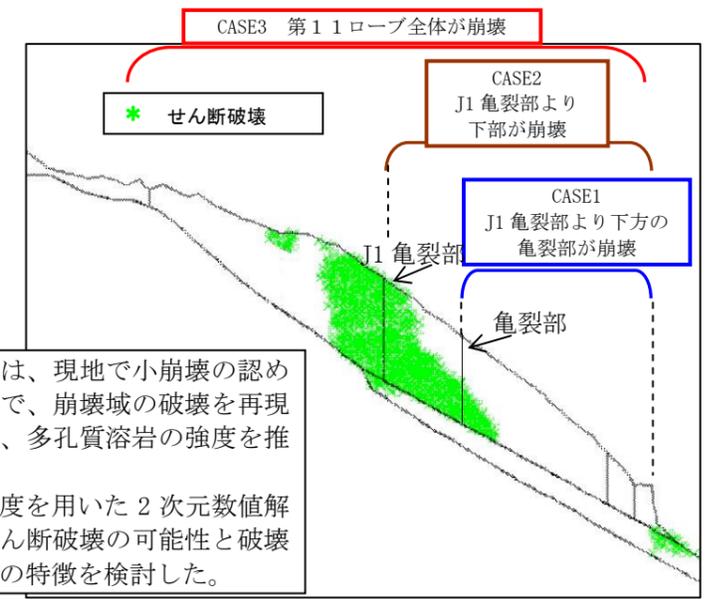


図-2.8 キレット板による拡大量



底部の溶岩の一軸圧縮強度は上部の1~2割程度であり上部に比べて弱い。

図-2.7 シュミットハンマーによる現地試験の結果



- 安定性検討は、現地で小崩壊の認められた断面で、崩壊域の破壊を再現することで、多孔質溶岩の強度を推定した。
- 推定した強度を用いた2次元数値解析によりせん断破壊の可能性と破壊の発生位置の特徴を検討した。

図-2.9 2次元数値解析(個別要素法: DEM)による安定性検討結果

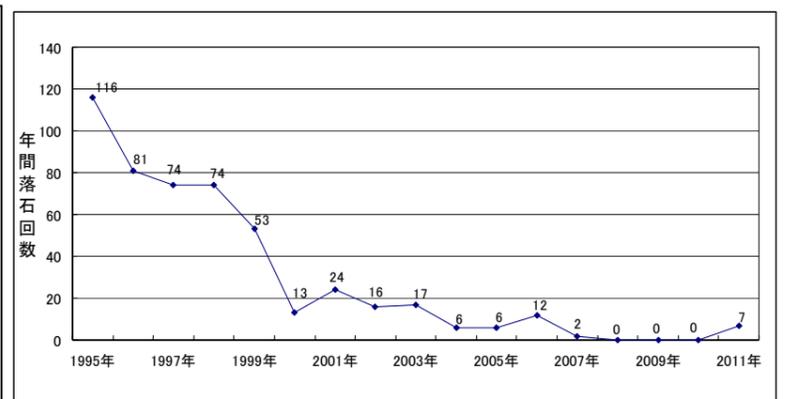


図-2.10 振動センサーによる落石回数(気象庁)

### 2.3 可能性の高い崩壊規模について

雲仙・普賢岳溶岩ドームに関する今までの調査・観測・解析結果から以下の知見が得られた。

- ・ 溶岩ドーム上に設置したプリズムと大野木場砂防監視所との光波測距計測により、溶岩ドームの特定のブロックが14年間に約1mの距離短縮を起こしている。
- ・ 11ローブの先端部は、光波測距の変位速度が増加傾向にある。
- ・ 地上型合成開口レーダー観測により、「J1 下方の亀裂」より下部の斜面、及び「J1 亀裂」より下部の斜面で、斜面下方への相対的に顕著な移動（-7.5mm~-15mm 程度/4ヶ月）がみられる。
- ・ 溶岩ドームの亀裂拡大調査では、一部の亀裂に広がり計測された。
- ・ シュミットハンマーによる現地試験結果から、溶岩ドーム上部の緻密な岩石と、多孔質の底部岩石には一軸圧縮強度に明瞭な差異が認められ、底部の一軸圧縮強度は上部の1~2割程度であり上部に比べて弱いことが分かった。
- ・ 2次元数値解析（個別要素法：DEM）による安定性検討を用いて検証した結果で、鉛直方向に生じている亀裂の位置と底部で、せん断破壊が発生する可能性が高いことが確認できた。



以上の調査・観測結果から現在までの溶岩ドームの挙動が推定される。

- ・ 光波測距計測と地上型合成開口レーダー観測の結果は調和的であり、溶岩ドームの先端部は全体的に下方に向かって移動している。
- ・ 溶岩ドームに形成された亀裂は冷却による開口亀裂であり、噴火沈静化後15年以上経過した現在でも拡大傾向にある。拡大速度の計測にまで至っていないが、今後も亀裂の拡大は進むものと想定される。
- ・ 溶岩ドーム底部の多孔質岩石は相対的に圧縮強度が小さく、溶岩ドームが崩壊する場合には、この面が移動境界となる可能性もある。



想定5ケースの崩壊シナリオのうち、溶岩ドーム自体の崩壊はcase1~3であり、底部多孔質岩石の強度が小さいことから、この崩壊がもっとも起こりやすいと考えられる。また、case1が発生したら、case2、case3が引き続き起こることが考えられる。



現時点では、case3までの崩壊の危険性が高いと判断される。

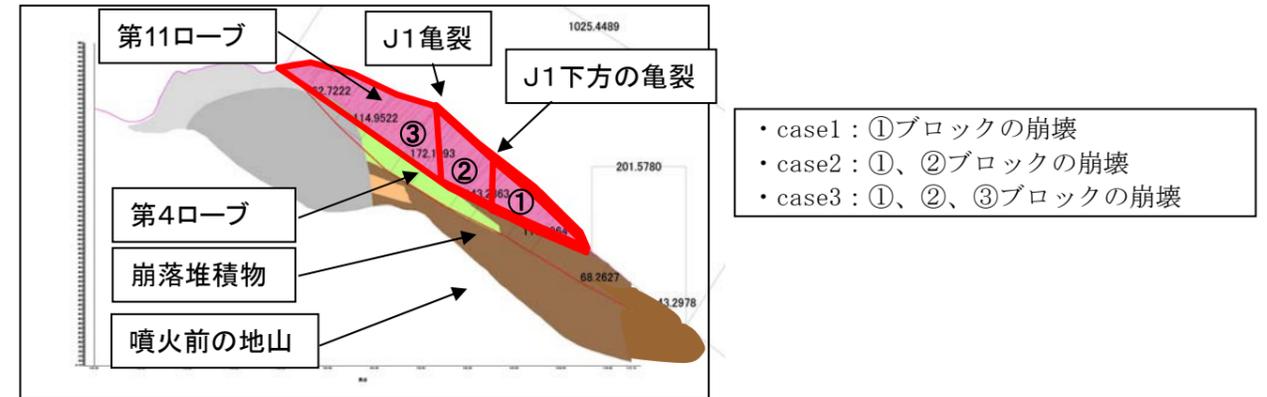


図- 2.11 崩壊位置概念図

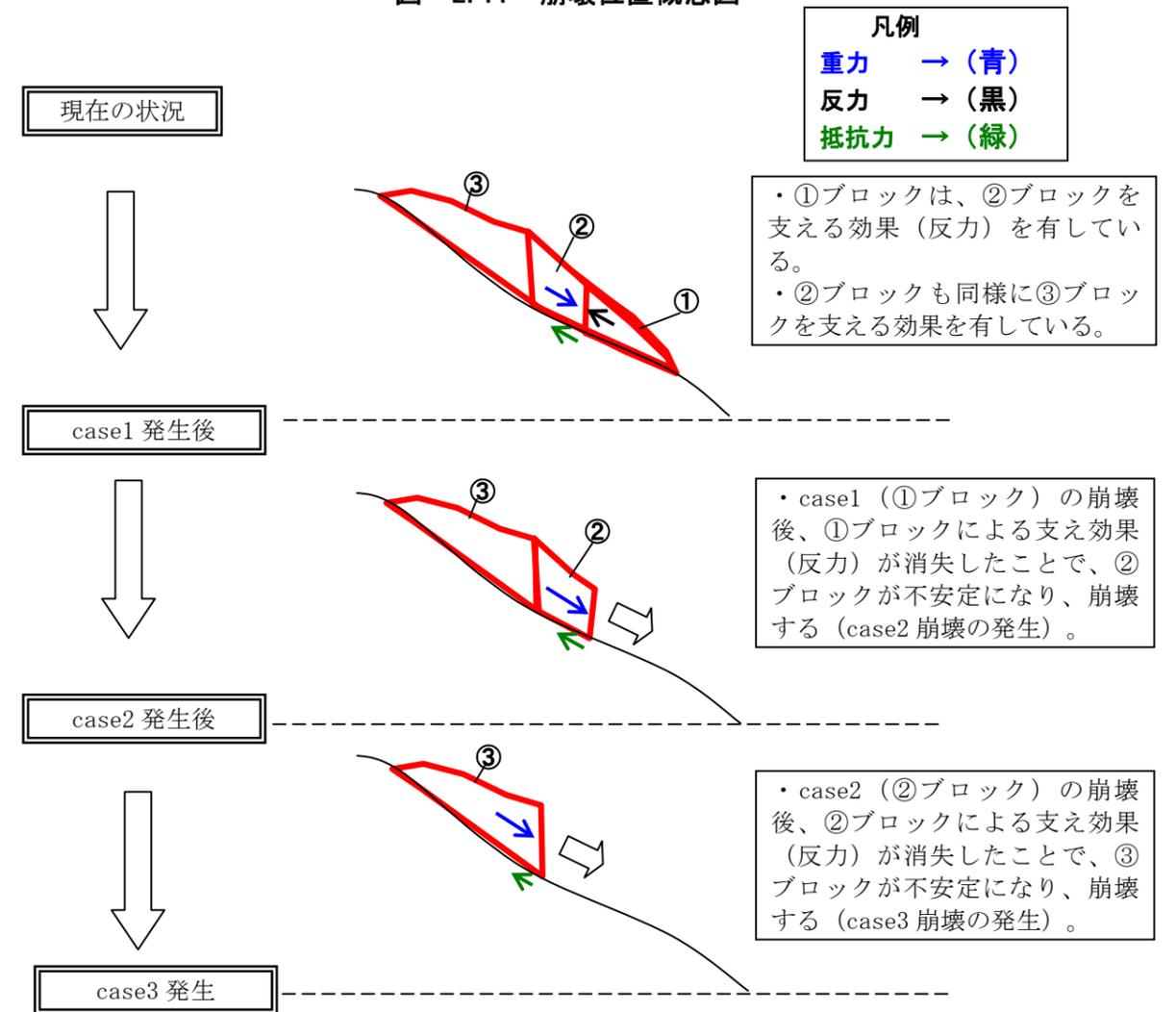


図- 2.12 case1 発生後に case2、case3 が連続的に発生するイメージ図

### 3 溶岩ドーム崩壊対策の考え方について

#### 3.1 溶岩ドーム崩壊対策の検討方針

##### 【前提条件】

想定している case3 までの崩壊ケースのうち、最大の case3 は水無川下流の居住区域に何らかの影響があると想定される。粒子流モデルを用いた数値シミュレーション結果では、居住区域に到達する現象は高速の細粒岩片が空気と混合して流下する現象である。

■方針1：ハードとソフトを併用した対策を実施する。

■方針2：ハード対策としては、砂防堰堤の嵩上げや除石による容量確保によって、下流への流出土砂量を抑制し、被害の軽減を図る。

■方針3：ソフト対策は、1) 突発的に発生する崩壊と、2) 何らかの前兆現象が起こった後で発生する崩壊の2つの場面を想定して実施する。

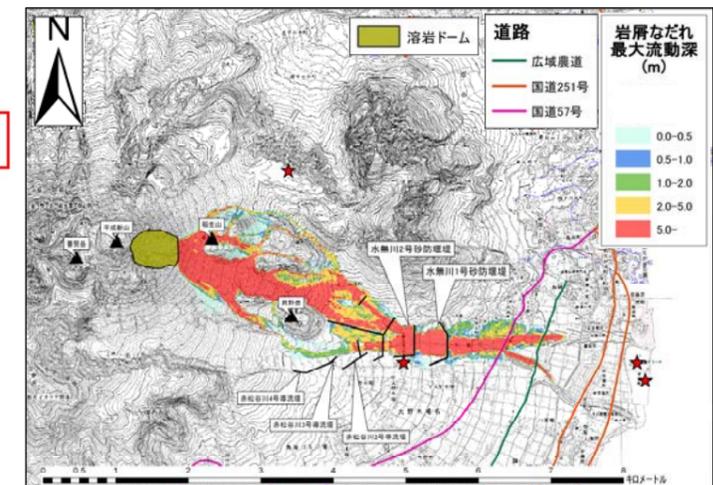
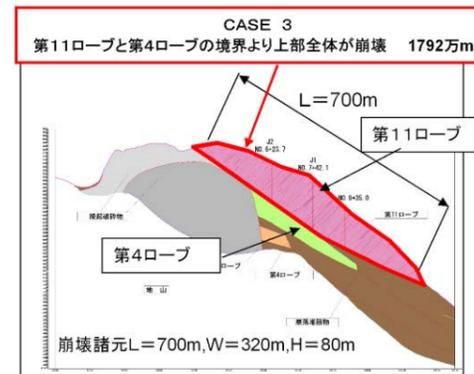
##### 1) 突発的に発生する崩壊

崩壊発生検知情報が取得された場合、関係機関、住民の方々への情報の提供のあり方等について今後検討する必要がある。

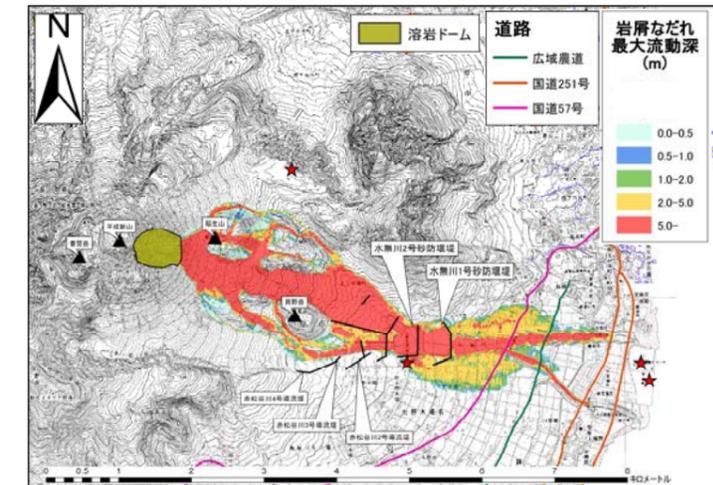
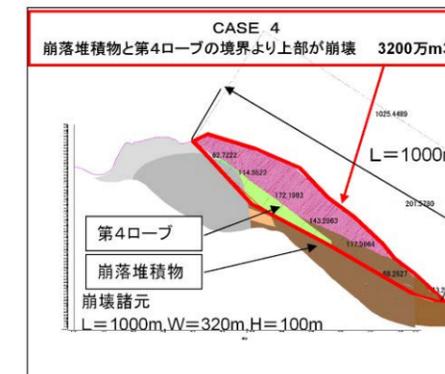
##### 2) 何らかの前兆と思われる現象が起こった後で発生する崩壊

何らかの前兆と思われる現象が起こった場合、「溶岩ドーム崩壊危険度判定会（仮称）」を緊急開催し、危険度を判定する。危険度が確認された場合、関係機関、工事従事者、住民等へ連絡を実施し、影響範囲外への避難を誘導する。

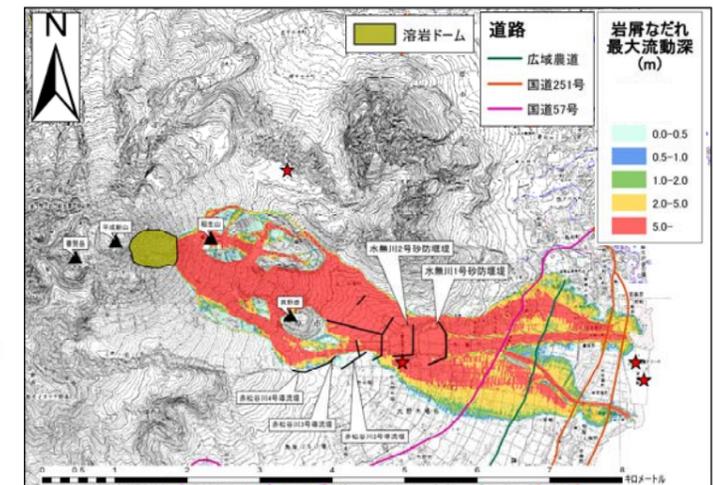
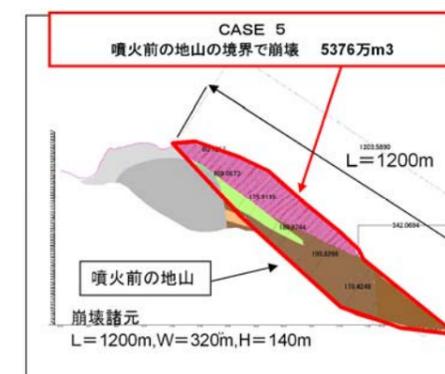
Case3



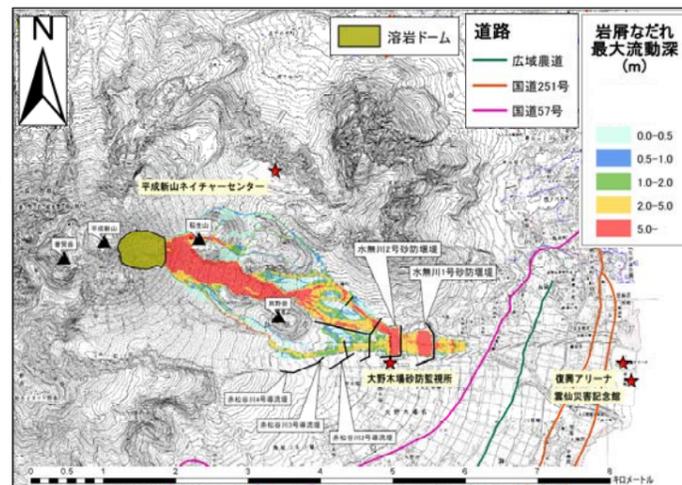
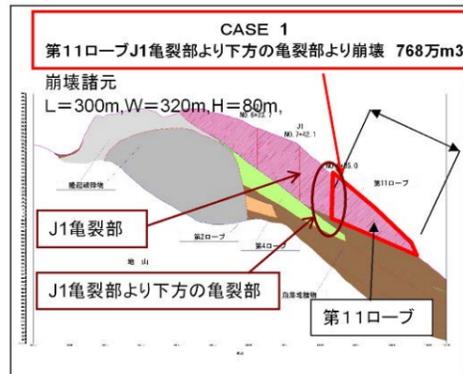
Case4



Case5



Case1



Case2

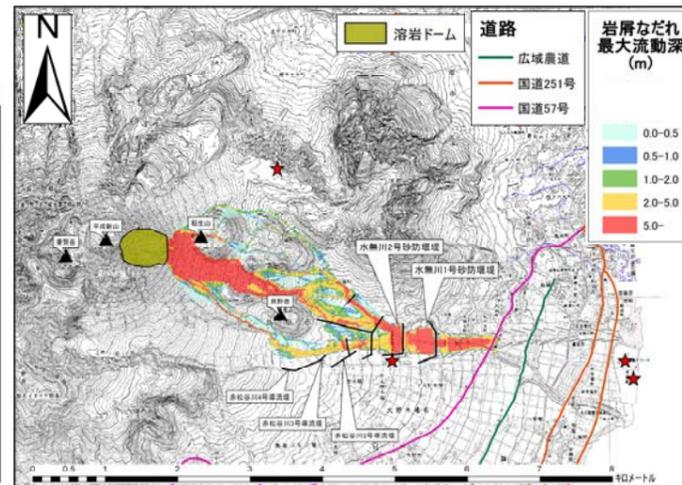
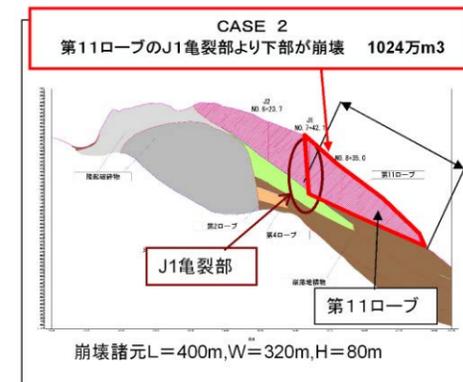


図- 3.1 現況施設時の影響範囲

### 3.2 ハード対策

#### 3.2.1 流動深とハード対策での対応可能性の検討

氾濫地点付近の2基の砂防堰堤袖部の越流が、Case3では3m~4m程度であり、比較的軽度の嵩上げで最大流動深以上の高さを確保できるが、case4、case5については越流流動深が高く、十分な施設効果が得られない可能性が示唆された。

表- 3.1 崩壊規模ごとの最大越流流動深

評価地点	①堤高 (m)	②袖高 (m)	①+②	施設基部からの 最大流動深 H (m)		越流流動深(m)	
				水通部 h	袖部 h <sub>1</sub>		
水無川2号砂防堰堤	14.5	3.7	18.2	case3	21.5	7	3.3
				case4	29.5	15	11.3
				case5	48.5	34	30.3
水無川1号砂防堰堤	14.9	3.7	18.6	case3	22.9	8	4.3
				case4	26.9	12	8.3
				case5	34.9	20	16.3

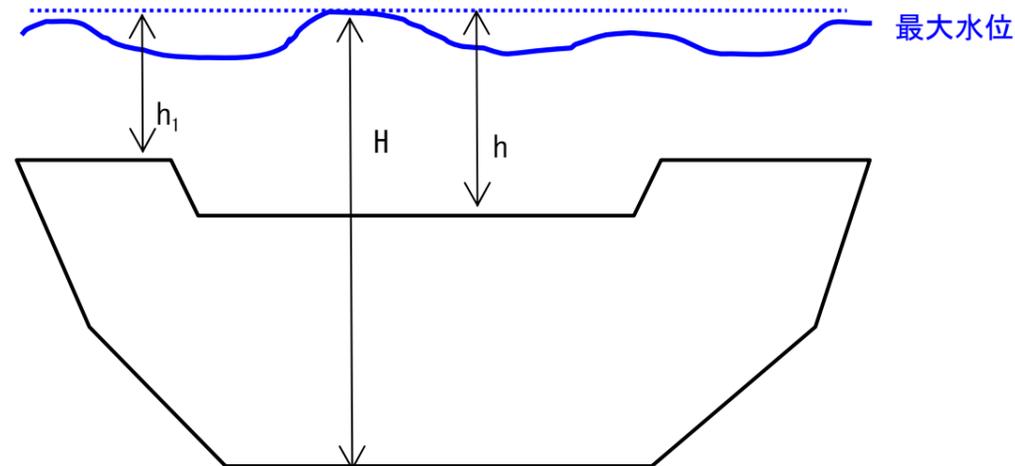


図-3.2 最大流動深と施設高さの概念図

#### 3.2.2 既設施設の嵩上げ検討

溶岩ドーム崩壊対策として、水無川1号砂防堰堤、水無川2号砂防堰堤の嵩上げ計画案の位置イメージ図、施設断面イメージ図を示す。

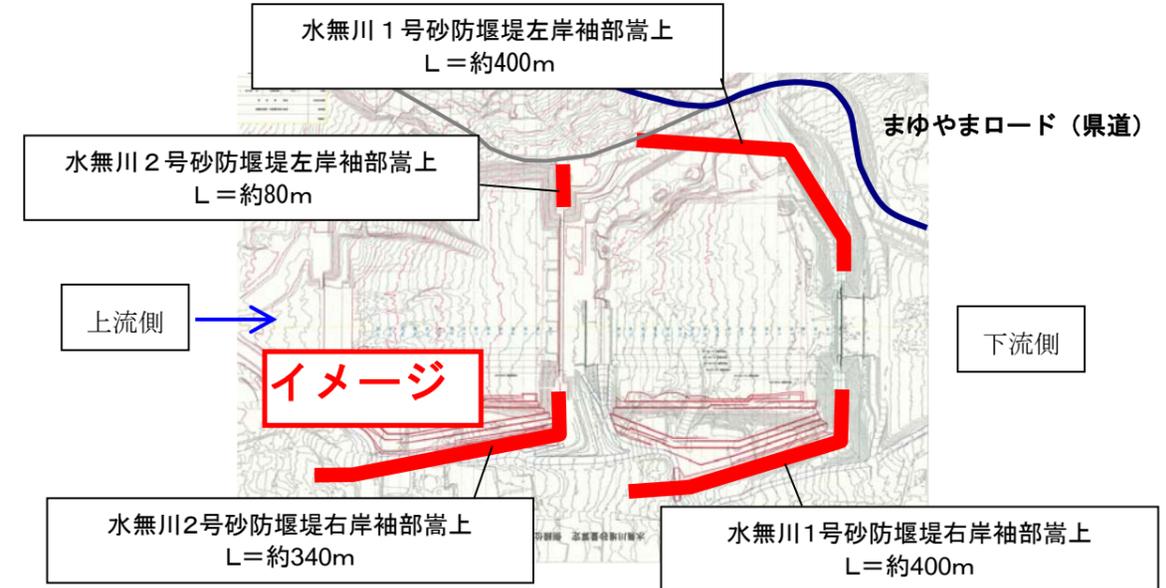


図-3.3 嵩上げ計画案の平面イメージ

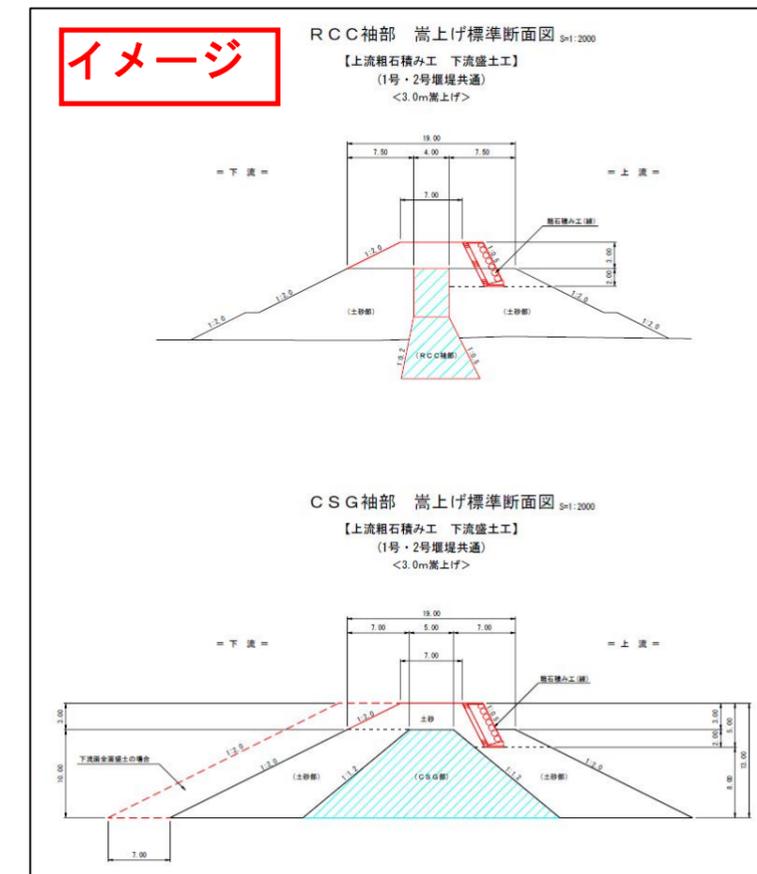


図-3.4 嵩上げ計画案の断面イメージ

### 3.2.3 嵩上げ施設の規模と効果

#### (1) 影響範囲の変化

#### Case3 に対する 3m嵩上げの場合

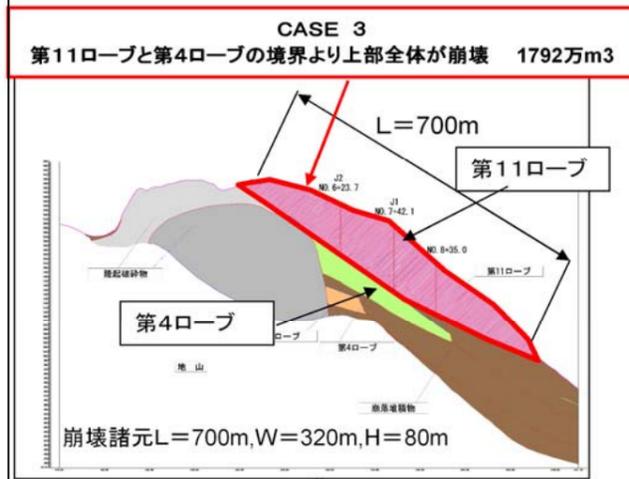
水無川1号砂防堰堤、水無川2号砂防堰堤の袖部3m嵩上げにより、ハード対策の対象ケース（Case3）の氾濫が解消されることが確認された。

#### Case3

第11ロープと第4ロープの境界より上部全体が崩壊：1792万m<sup>3</sup>

#### 嵩上げ効果検討結果

施設の嵩上げにより、堰堤側岸・下流の氾濫は解消された。



崩壊箇所の模式図

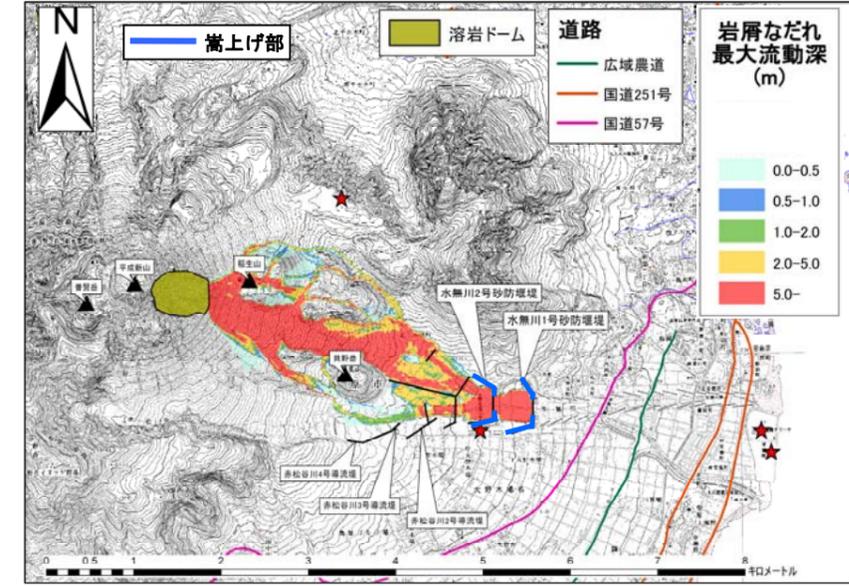
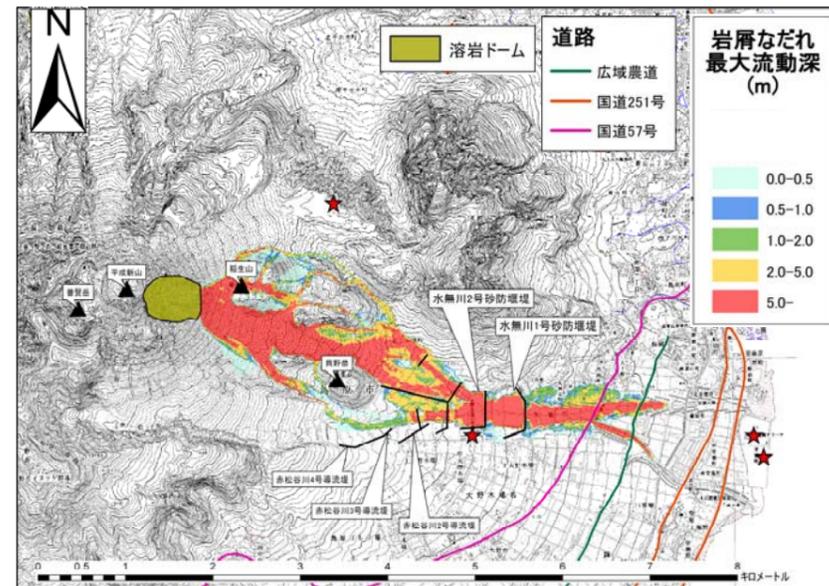


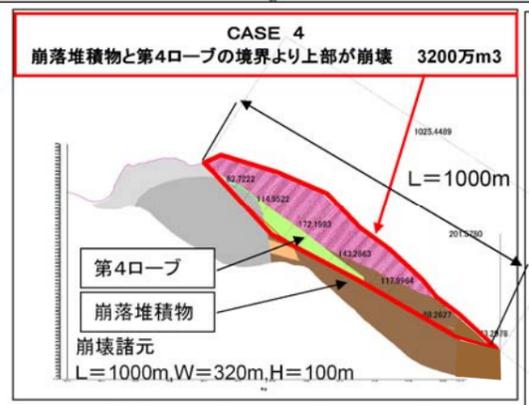
図-3.5 最大流動深の分布の比較 (左: 現況施設、右: 施設3m嵩上げ時)

#### Case4

崩落堆積物と第4ロープの境界より上部が崩壊：3200万m<sup>3</sup>

#### 【参考】Case4 に対する 3m嵩上げの効果検討結果

水無川1号砂防堰堤、水無川2号砂防堰堤の袖部3m嵩上げを行うことで、水無川2号堰堤の側岸からの氾濫は解消できなかったが、水無川1号堰堤下流の氾濫は軽減された。



崩壊箇所の模式図

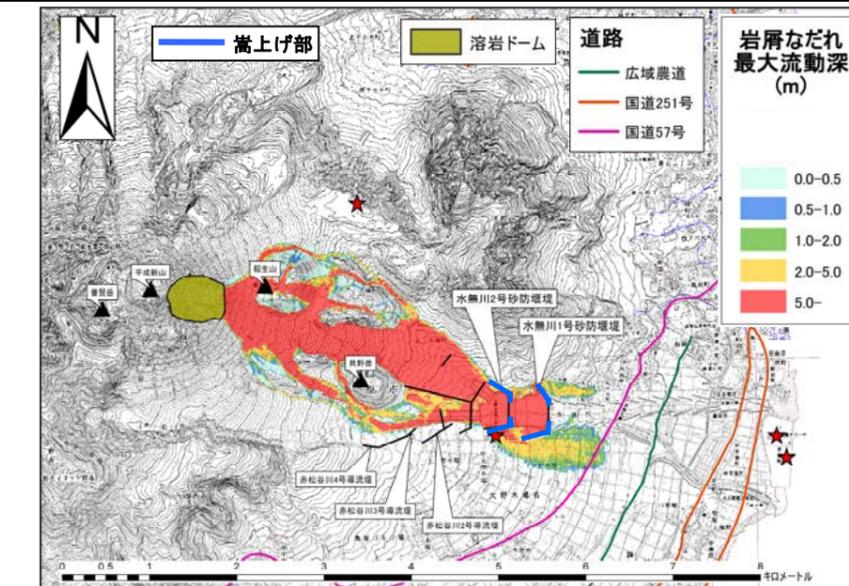
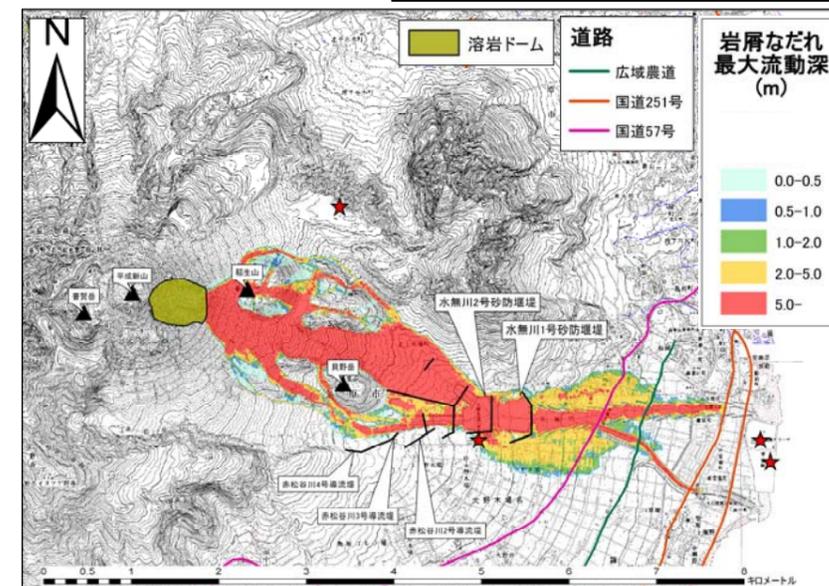
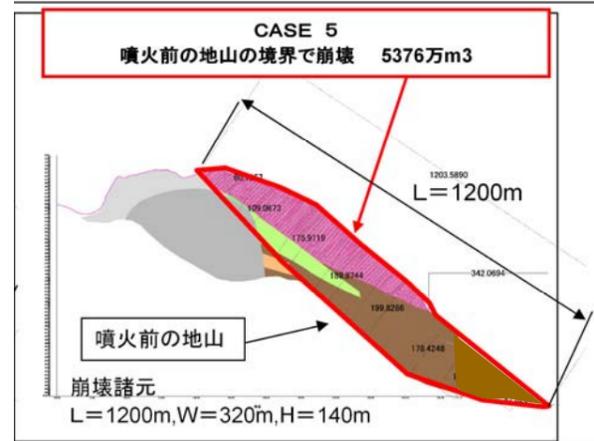


図-3.6 最大流動深の分布の比較 (左: 現況施設、右: 施設3m嵩上げ時)

**Case5**  
噴火前の地山の境界で崩壊 : 5376 万 m<sup>3</sup>



崩壊箇所の模式図

**【参考】 Case5 に対する 3m 嵩上げの効果検討結果**

水無川 1 号砂防堰堤、水無川 2 号砂防堰堤の袖部 3m 嵩上げを行っても、岩塊崩れの堰堤越流、下流で氾濫は解消されなかった。ある程度減勢の効果が見られた。尚、施工を砂防指定地内に限った場合の最大嵩上げ高 10m でも氾濫は解消されず、この規模においては嵩上げによる対策では限界があることが示唆される。

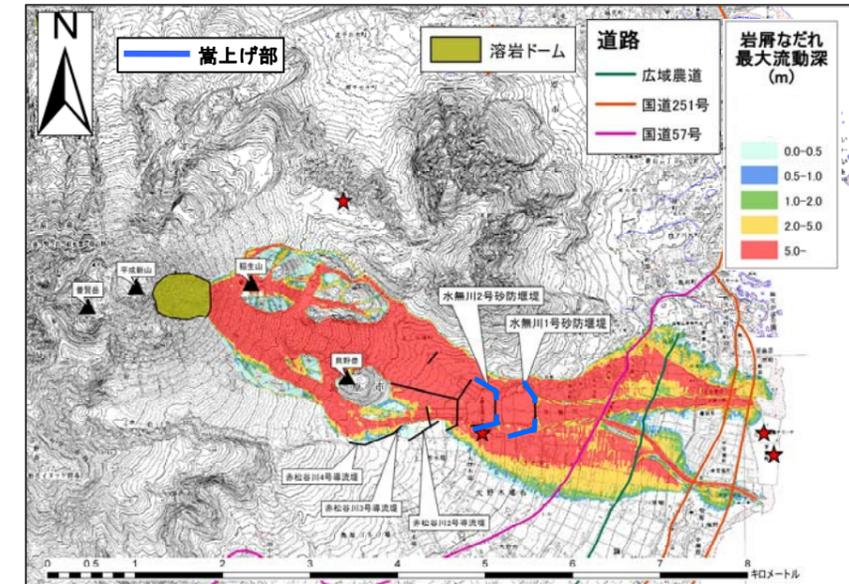
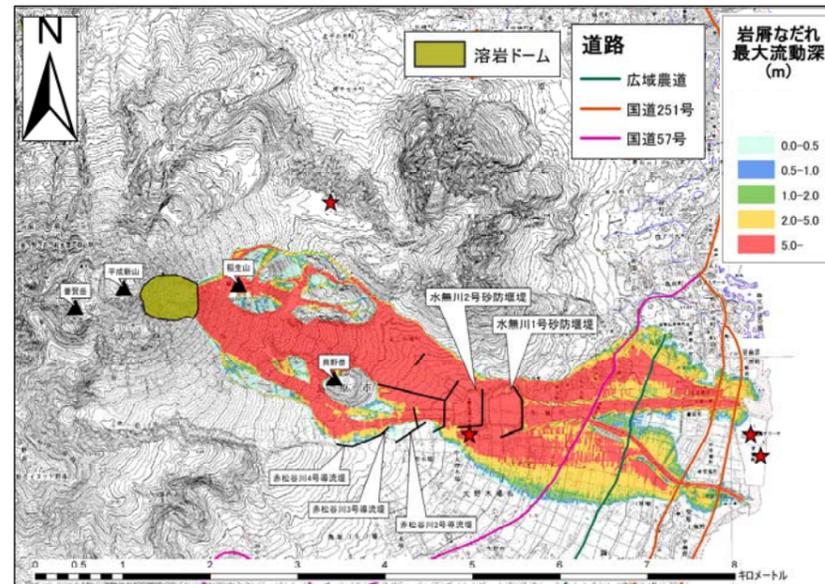


図-3.7 最大流動深の分布の比較 (左 : 現況施設、右 : 施設 3m 嵩上げ時)

(2) 溶岩ドーム崩壊の影響範囲内の人家軒数等

表-3.2 溶岩ドーム崩壊の影響範囲内の人家軒数等

	現況時			嵩上げ対策後			
	case3	case4	case5	case3	case4	case5	
人家・事業所等の数(戸数)	10 程度	200 程度	500 程度	解消	90 程度	500 程度	
農地面積 (ha)	10 程度	40 程度	220 程度	解消	30 程度	220 程度	
主要道路 延長距離 (m)	国道 57 号	610	1,350	2,380	解消	440	2,360
	広域農道	280	690	2,150	解消	解消	2,100
	国道 251 号(上流側)	—	—	1,650	—	—	1,600
	国道 251 号(下流側)	—	—	1,580	—	—	1,560

※人家・事業所等の数：人家、事業所、公益施設の数

※農地面積は国土地理院発行 1:25000 地図より判読

### 3.3 ソフト対策

ソフト対策は、ハード対策とあわせて実施するものとする。

#### 3.3.1 ソフト対策の対象現象

##### ■ソフト対策の対象現象

溶岩ドームが崩壊して広範囲に影響するが、下流域の被害状況の想定は今後さらに検討する必要がある。

#### 3.3.2 避難の考え方

■対象現象を踏まえた避難の考え方は、1) 突発的に発生する崩壊と、2) 何らかの前兆現象が起こった後で発生する崩壊の2つの場面が想定される。

1) 突発的に発生する崩壊

検討が必要。

2) 何らかの前兆と思われる現象が起こった後で発生する崩壊

影響範囲外へ避難することが原則。

#### 3.3.3 溶岩ドーム崩壊危険度判定会（仮称）

■判定会の区分として、以下の3区分を想定する。

- ・常時：データの提供を行う。
- ・定期：年1回、調査・観測情報の報告、暫定監理基準値見直し等の議論を行う。
- ・緊急時：観測データに異常が見られた場合等に開催して、崩壊危険度の判定等を行う。

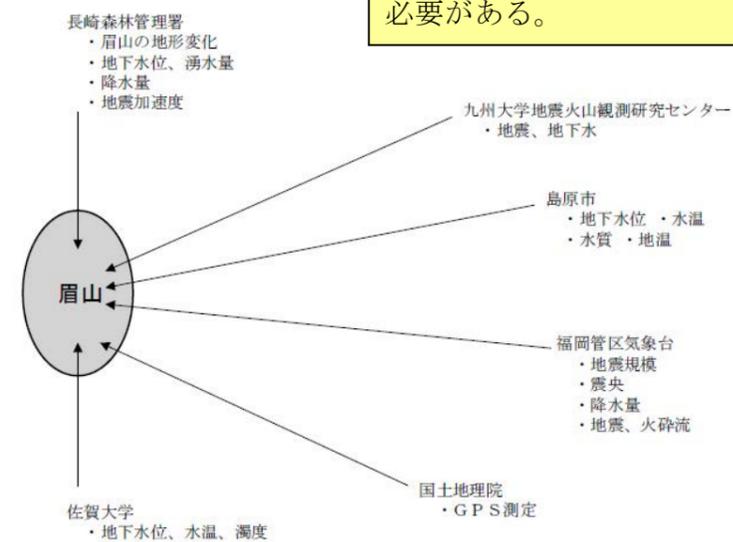
■情報提供方法

関係者への情報提供方法として、HPでの情報公開を行う。

#### 眉山崩壊避難対策協議会の実情

- ・「眉山崩壊に備えた避難計画」については、島原市地域防災計画に記載がある。
- ・島原市長は、知事の助言や雲仙岳防災連絡会議の判定結果をもとに、眉山崩壊の危険性があると判断された場合、眉山崩壊避難対策協議会を招集する。
- ・眉山崩壊避難対策協議会のメンバーは、県知事、島原市長、検討委員会委員長：山口伊佐夫先生（故人）、島原地震火山観測所所長、陸上自衛隊代表者、警察代表者、海上保安庁代表者となっていた。
- ・近年、会議は開催されていない。

(1) 眉山山体挙動監視体制



眉山崩壊危険度の判定との連携を今後検討する必要がある。

図-3.8 眉山山体挙動監視体制（出典：島原市地域防災計画）

3.3.4 危険度の判断に必要なデータ

■危険度の判断に必要なデータ（案）として以下のデータを想定する。

- ・光波測距データ（観測値、変位グラフ）
- ・地上合成開口レーダデータ（画像）
- ・振動センサー検知情報（落石回数）
- ・航空レーザプロファイラー
- ・監視カメラ映像
- ・降雨データ
- ・地震データ

■崩壊規模（ケース4、ケース5の可能性）の絞込みのため、今後必要な観測として以下の項目を追加する。

- ・11ロープ下方斜面（植生分布域）への光波プリズム設置
- ・溶岩ドーム上部への光波プリズム設置

■ 機器設置の安全性の問題等から現状では実施困難だが、技術開発で課題が解決されることで危険度の判定に有効なデータが得られる調査手法

- ・弾性波探査：溶岩ドームの内部構造を推定
- ・ボーリング調査：溶岩ドームの内部構造を推定
  - ・キレツ部（J1下方の亀裂部、J1亀裂部等）への伸縮計設置：亀裂拡大を計測
  - ・AE（アコースティック・エミッション）法：溶岩ドームの変形・破壊の際の音波を捉えて、崩壊を発見・予知。
- ・宇宙線を活用した観測：溶岩ドームの内部構造を推定

※下線項目は前回委員会での提案

【参考】

調査・観測：データを蓄積し、解析を行うために定期、不定期実施する行為。  
 監視：危険度等を判断するために基準を設定し、調査・観測結果、あるいは解析結果が基準値を超えたかどうかを判断する行為。

```

        graph LR
            A[調査・観測] -- 基準 --> B[監視]
    
```

表-3.3 第一回委員会での調査・観測に関する提案の整理

目的	雲仙普賢岳溶岩ドーム崩落に関する危険度評価検討委員会の提言への対応	現 状	第一回委員会での提案	その後の検討を踏まえた本委員会での提案
溶岩ドームの崩壊規模の推定	提言①	■表面の亀裂は確認できているが、 <u>ブロックとして独立しているかは確認できない。</u>	■現在、東京大学および九州大学により、宇宙線観測を活用した溶岩ドームの内部構造の把握を行っているため、今後の成果に期待する。  ■ <u>反射プリズムを溶岩ドーム上部およびドーム直下（脚部）に追加配置し、溶岩ドーム全体の挙動（面的ひずみ等）を観測し、崩壊する可能性の高いブロックや崩壊土砂量を推定する。</u>  ■航空レーザ計測に加えて、自動解析が可能な地上型合成開口レーダによる溶岩ドーム表面の変位計測を継続し、崩壊する可能性の高いブロックや崩壊土砂量を推定する。また、ガリー等の発生も確認する。定期的及び地震等のイベント後の航空レーザ計測で地形変動を把握する。	・技術開発により課題が解決するのをチェック  ・11ロープ下方斜面（植生分布域）への光波プリズム設置 ・溶岩ドーム上部への光波プリズム設置  ・現状の観測を続行
		■不安定ブロックの把握	■地上レーザ計測	定期的に続行
		■崩壊規模の把握に必要な、 <u>内部構造の把握</u> ができていない。	■現在は、溶岩ドーム形成過程の情報から内部構造を推定している。  ■ボーリング調査  ■弾性波物理探査	—  ・技術開発により安全性の課題が解決するのをチェック
		■崩壊規模の把握に必要な、 <u>ブロックの深さの把握</u> ができていない。	■ボーリング調査  ■孔内傾斜計	・技術開発により安全性の課題が解決するのをチェック
溶岩ドームの崩壊危険度の判定	提言②③	■落石回数に関する崩壊危険度の判定基準が設定されていない。  ■溶岩ドームの変位量に関する危険度判定の監視基準が設定されていない。	■現在の落石回数や変位量に変状が見られた場合、対応策を検討する判定会（仮称）の立ち上げを行う。	・3.3.3で検討
		提言①	■常時CCTVカメラによる監視が実施されていない。  ■CCTVカメラによる監視の自動化を検討する。	・監視カメラ映像による監視を行う

### 3.3.5 複数の観測・調査を組み合わせた観測体制の提案

表-3.4 複数の観測・調査を組み合わせた観測体制

		行動方針	使用する観測・調査
平常時		扱いが簡易で大まかな異常を感知できるリアルタイム観測を継続的に行い、異常が感知された場合は迅速に警戒時に移行する。 また、年一回程度を目安に非リアルタイム観測を行い、長期的な傾向も確認する。	リアルタイム観測
			断続的観測 (年一回が目安)
警戒時	基礎情報収集段階	異常が感知された場合、対策の基礎データとするために溶岩ドームの挙動に関する詳細情報を収集する。	(2)地上型SARによる溶岩ドームの変形の面的な把握
	崩壊影響評価段階	把握した溶岩ドームの挙動を基に条件を設定し、数値シミュレーション等によって今後溶岩ドームによって発生する現象の影響を評価する。	(崩壊規模の推定が可能な場合) 数値シミュレーション

### 4 今後の課題と展開

平成23年度の検討結果に基づき、次年度以降の検討方針は以下のとおりである。

- ・溶岩ドーム崩壊危険度を察知するための観測・調査・監視方法をさらに具体化する。
- ・情報伝達、避難方法、住民等への周知啓発手段等のソフト対策をより詳細に検討する。
- ・溶岩ドーム崩壊危険度判定基準(案)を具体化するとともに、判定会による実務的な運用方法を検討する。

表-3.5 観測手法の整理

○：優れる △：あまり優れない ×：不適

観測手法	概要	リアルタイム観測	解析時間	安全度	全天候性	観測対象範囲	情報量	観測精度
(1)光波測距	溶岩ドーム(第11ロープ)の先端付近に8基の反射プリズムが設置され、計測点との斜距離の変化を定期的(1回/1時間)に計測している。 H9より継続観測	○	○	○	△	プリズム設置点に限られる	△	○
(2)地上型SAR (合成開口レーダー)	地上から合成開口レーダーにより、面的に地形を測量する。天候・昼夜に関係なく測量を行えるのが特徴 H22、H23に試験観測	○	○	○	○	レーダーの設置位置と対象物の距離に制限される	○	○
(3)振動センサーによる 落石回数の計測	気象庁が設置した振動センサーによって落石の発生回数を把握している。地震計の震動が1.25mkine(P-P)以上の場合、落石震動とみなしている。 H7より継続観測	○	○	○	○	センサー有効範囲内	△	△
(4)航空レーザ プロファイラー	レーザープロファイラーを搭載した航空機を溶岩ドーム上空に飛ばし、遠距離から溶岩ドームの地形を測量する。 H15、H19、H23に観測実施	×	×	○	×	航空機の飛行範囲なら網羅可能	○	○
(5)シュミットハンマー	岩盤強度の相対的な違い把握するためシュミットロックハンマーによる反発度を求め二軸圧縮強度を推定する。観測者が溶岩ドーム近辺まで接近して板の状況を確認する必要があり、安全性には問題がある。 H23に実施のみ	×	×	×	×	計測地点のみ	△	○
(6)キレット板による観測	キレット部にキレット板を設置し、定期的にキレット板の状況を確認し、ブロック毎に崩落の進行などがどうか調査を行う。観測者が溶岩ドーム近辺まで接近して板の状況を確認する必要があり、安全性には問題がある。 H23に実施のみ	×	×	×	×	設置地点のみ	△	○

※振動センサーは雨天時に土石流を誤検知する可能性があるが、土石流と落石は振動の特性が異なるため、区別は可能と考えられる

## 参考資料

参考資料 1. 大規模崩壊事例

参考資料 2. プリズムの斜距離の変位速度の比較

参考資料 3. 調査・観測データの活用について

参考資料 4. 溶岩ドーム崩壊影響範囲図

参考資料 1. 大規模崩壊事例

国内外の大規模崩壊の事例を下表に示す（「巨大崩壊、岩屑流と河床変動」（町田 洋：地形、第5巻第3号、p155-178(1984)）より、一部編集）。  
 雲仙・普賢岳溶岩ドームの崩壊規模は最大で5400万<sup>3</sup>mと見込まれる（次説参照）が、この規模以上の大規模崩壊の事例が見られた。時速50~300km（秒速15~80m/s）の高速で大量の土砂が長区間を移動するという特徴が見られ、溶岩ドームの崩壊が発生した場合にも、下流の保全対象まで高速で一気に流下し建物・構造物の破壊や埋没を発生させる可能性が考えられる。

発生誘因	NO.	事例	概要	ひきがね作用と前兆現象	崩壊とそれに関連する特記される現象	崩壊地形と岩屑堆積地形の特徴	崩壊物質の総体積(m <sup>3</sup> )	勾配(°)	時速(km/s)	文献	
地震	1	セントヘレンズ(アメリカ、ワシントン州)	1980年5月18日8時32分、成層火山St.Helensの頂部北斜面が大崩壊し、3波の岩屑流となって山麓Toutle川に28kmも流下した	火山性地震(M5.1)。同年3月下旬から5月中旬まで先駆的水蒸気爆発と地震が続き、崩壊した北斜面の膨らみ変形(水平方向の速度最大2m/日)と山頂部を横切る正断層が発達していた。	爆風(砂嵐)、流下する岩屑流から二次的な水蒸気爆発がみられた。岩屑流発生後プリニアン噴火が開始。	最高点は元の海拔2950mから2550mに低下し、径3×2kmの馬蹄形カルデラ(底の高度1910m)が形成。岩屑流堆積地には、流れ山(hummocky surface)、spiracleの地表開口部、pit crater、自然堤防、斜面へののり上げ(depositional ramps 構造)がみられる。	2.8×10 <sup>9</sup>	5.3	168	Voight, et al.(1981)、荒牧・宇井(1981)、宇井・荒牧(1983)	
	2	Sherman Glacier(アメリカ、アラスカ州)	1964年3月28日 アラスカ大地震の後多数の崩壊がアラスカの山地に発生した。その中で大規模なもの一つがこれで、著しく破碎された砂岩・頁岩・変成岩からなるShattered Peakが崩壊し、海拔高度は1310mから1250mに低下。岩屑流は最大速度67m/secでSherman Glacier上に約6.5km流下した	地震(M8.4) 崩壊はこの少しあらししい	岩屑流は薄く(平均的厚さ1.65m)広く分布し、低粘性の流れだった。末端はいくつかに分れる。	堆積地形には流れの模様が目撃で小型の流れ山(dirt cone)も形成された	1~3×10 <sup>7</sup> (他に2×10 <sup>6</sup> の雪氷)	6.8	240	Shreve(1966)、McSaveney(1978)	
	3	Huascarán(ペルー)	1970年5月31日15時23分、ペルーCordillera Blancaの最高峰Nevados Huascarán(氷河におおわれた花崗閃緑岩からなる)の西面急崖が大崩壊し、爆風・砂嵐と高速の岩屑流がYungayの谷を16km以上も流下(平均流速280~400km/h)した。	地震(M7.7、震央距離130km)	岩屑流の乱れは著大。Yungayから下流はRio Santaの河口まで土石流が流下。泥を伴った疾風。犠牲者18,000人	三角末端面状の急な崩壊斜面。その直下に侵食の著しい区間(崩壊地から8~9km)がある。岩屑流の堆積層厚は薄く、数cm~10m、堆積面は平滑でその上には落石による衝撃孔あり。	5~10×10 <sup>7</sup>	12.4	320	Plafker and Ericksen(1978)	
	4	Madison Canyon(アメリカ、モンタナ州)	1959年8月17日23時37分、Yellowstoneの近くのMadison渓谷の急斜面(風化し破碎された結晶片岩、片麻岩、泥灰岩などからなる)で大崩壊が発生し、崩壊物質は1.6kmまで移動し、谷を堰止した。	地震(M7.1、震央距離25km)	疾風発生	崩壊物は対岸の斜面に150mほどのし上がった。	2.0×10 <sup>7</sup>	15.1	96	Hadley(1964)	
火山現象	5	磐梯山(福島県)	1888年7月15日7時45分、侵食のやや進んだ成層火山の峰小磐梯山が崩壊、岩屑流となって山麓に11kmまで押し出し(流速80km/h)、長瀬川を堰止。	水蒸気爆発、地震(中~強);7日前から山鳴りあり。	爆風と降下火山灰、犠牲者472人	馬蹄形カルデラ;岩屑流は谷の上流や斜面にのりあげ、無数の流れ山を形成	1.5×10 <sup>8</sup>	6.3	80	Sekiya and Kikuchi(1889)、Nakamura(1979)、中村・青木(1980)	
降雨・融雪	6	Lower Gros Ventre(アメリカ、ワイオミング州)	1925年6月23日午後、Gros Ventre谷左岸の比高650mの斜面(風化砂岩、石灰岩、砂、シルトなどの岩屑からなる)が層すべりを起こして崩壊、土砂は谷を堰止	豪雨、融雪、数回の小地震(M≤3.5)の複合か。前から地すべりの履歴があった。	Sharpe(1938)はこれをrockslideの標準例としたが、その性質はdebris slideないしdebris avalanche	崩壊物の厚さ70m	4.0×10 <sup>7</sup>	13.0	56	Voight(1978)	
ダム の 水位 上昇	7	バイオント(イタリア)	1963年10月2日、イタリアアルプスの一峰Mt.Too(中生代の石灰岩からなる)の斜面が層すべりを起し、崩壊物質はVaiontダムに突入(速さ60km/h)し、幅2km長さ1kmに亘って堆積した。ダムの水は津波となって溢出し、下流に大災害を与えた。犠牲者約3000人。	ダムの水面上昇に伴う地下水面の変化。3年前から小落石や地すべりがあった。	すべり面の傾斜19°~17°(concave)	-	2.6×10 <sup>8</sup>	12.4	120	Müller(1964,1968)、Broili(1967)	
不明	8	稗田山(長野県)	1911年8月9日2時と3時の間、白馬大池火山の峰稗田山(十数枚の溶岩と少量の火砕物、温泉変質を受けた部分あり)が崩壊、岩屑流となって、浦川を、姫川との合流点まで約6km流下した。翌年の4月26日、5月4日にも初回の崩壊地の両端部で崩壊。	不明だが、大崩壊の4日前に台風による降雨があった。約10~8ヶ月前に鳴動などが起こっていた。	姫川や唐松沢を堰止。1912年7月22日、姫川につくられた堰止湖が決壊、土石流・洪水流は姫川河口まで達した。	比高350mの崩壊壁;岩屑流堆積地には流れ山形成	1.5×10 <sup>8</sup>	8.0	84	横山(1912)、町田(1964)	
	9	Frank(カナダ、アルバータ州)	1903年4月29日4時10分、頁岩と石灰岩からなるTurtle山地東面が崩壊し、面積2.67km <sup>2</sup> を土砂がおおった。	不明。炭灰の掘さくが関係したらしい	rockslide avalanche.層すべりに近い	比高760mの崩壊壁と平坦地に拵がった起伏にとむ堆積地	3.65×10 <sup>7</sup>	12.4	206	Cruden and Krahn(1978)	
	10	Mayumarca(ペルー)	1974年4月25日20時58分、ペルーアンデスMantaro川支谷で砂岩(頁岩を夾在)からなり、アルティプラノを切る比高1100mの斜面が大崩壊。岩屑流となって8km流下し、Mantaro川を堰止	不明。層理面中の地下水圧上昇か。1970年から先駆的な地すべり運動が認められた	堰止湖は44日後に決壊。犠牲者451人	岩屑流堆積面には氷河表面と似たクラックや流理が生じた。対岸の斜面にのりあげ、数個の流れ山形成	10 <sup>8</sup>	13.0	166	Kojan and Hutchinson(1978)	
	11	Little Tahoma Peak(アメリカ、ワシントン州)	1963年12月14日昼、Rainier火山の峰Little Tahoma Peakの北斜面が崩壊。崩壊物は岩屑流となって氷河上を6.9kmも流下し(速度130~140km/h)堆積した	不明(小規模な水蒸気爆発?)	岩屑流はいくつかにわかれて流下。また2年後、その堆積面は河川により堆積厚の2/3ほど下刻された。	岩屑流の表面はきわめて起伏に富む	1.1×10 <sup>7</sup>	15.1	135	Fahnestock(1978)	
	12	Elm(スイス)	1881年9月11日 スイスアルプスPlattenberg山腹(主に粘板岩からなる)が大崩壊し、岩屑は22kmほど流下した	降雨か。斜面基部でのスレートの掘さくが崩壊の要因となつたらしい。坑道に亀裂や落石が1876年にもみられた	基岩の崩落(rockfall)、岩屑の跳躍、流動がみられた。	岩屑の一部は対岸の斜面にのり上げ、平坦地(Elm村)にも流れた	1.1~1.3×10 <sup>7</sup>	17.2	120	Heim(1882,1932)、Hsü(1975,1978)	
		雲仙普賢岳	平成3年6月8日発生火砕流							72	

参考資料 2. プリズムの斜距離の変位速度の比較

プリズムの斜距離の変位速度の比較

(1) 変位速度の求め方

光波により計測された斜距離は、年間を通して季節変動が見られる(図-参 2.1)。変位に対する1年間の周期的な気象の影響が9月1日に始まると考え、各年の9月1日より翌年の9月1日まで算出した。その累積値を年間の変位速度 (mm/年) とした。すなわち、図-参 2.1 に示すように直接で各年の9月1日より翌年の9月1日の変位を結んで、その勾配を変位速度とした。

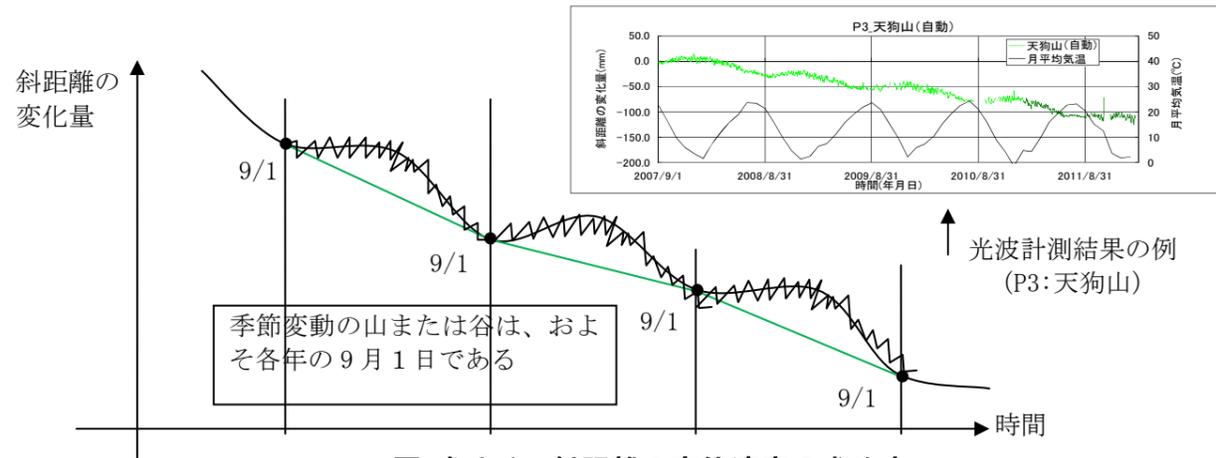


図-参 2.1 斜距離の変位速度の求め方

(2) 変位速度 (mm/年) の傾向

2007/9/1~2011/9/1 の4年の変位速度を求めて比較した。

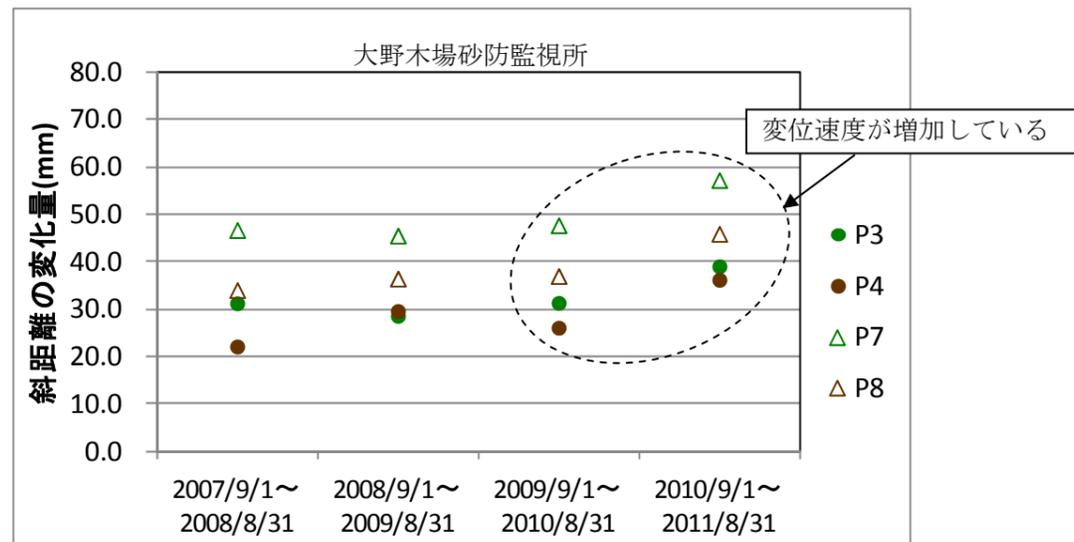


図-参 2.2 変位速度 (mm/年) の推移比較図 (大野木場砂防監視所)  
(大野木場砂防監視所について変位速度の増加傾向が見られるプリズム)

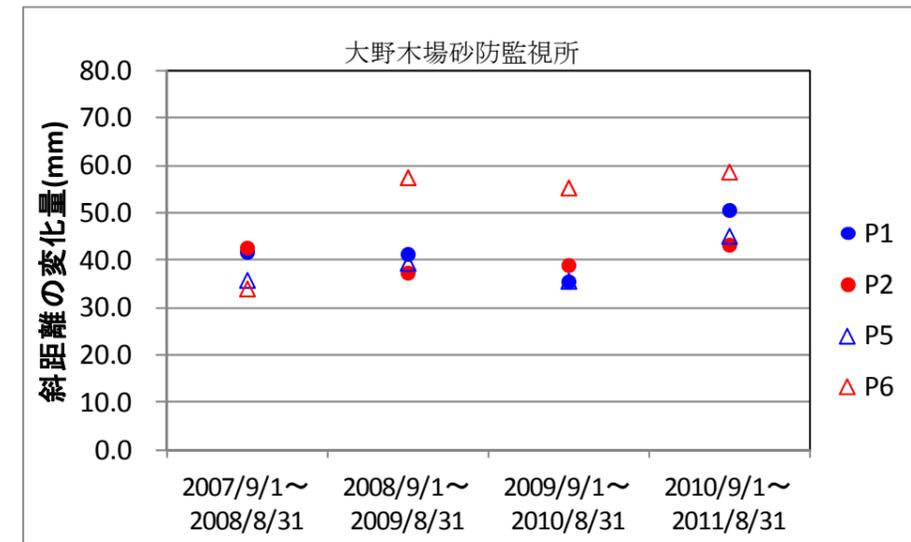


図-参 2.3 変位速度 (mm/年) の推移比較図

(大野木場砂防監視所について変位速度の増加傾向が無い不明瞭なプリズム)

期間 A(2009/9/1~2010/9/1)と期間 B(2010/9/1~2011/9/1)の変位速度の変化をみると、天狗山からみた P2 以外は全て増加している。これは 2011 年の 6 月の月降雨が 1170mm と大きいことに起因している可能性がある(図-参 2.7)。

期間 A(2009/9/1~2010/9/1)と期間 B(2010/9/1~2011/9/1)に対応する年間降雨を図-参 2.6 に示す。月降雨を図-参 2.7 に示す。また、土石流が発生した日降雨を図-参 2.8 (2010/6/30)、図-参 2.9 (2011/6/20) に示す。

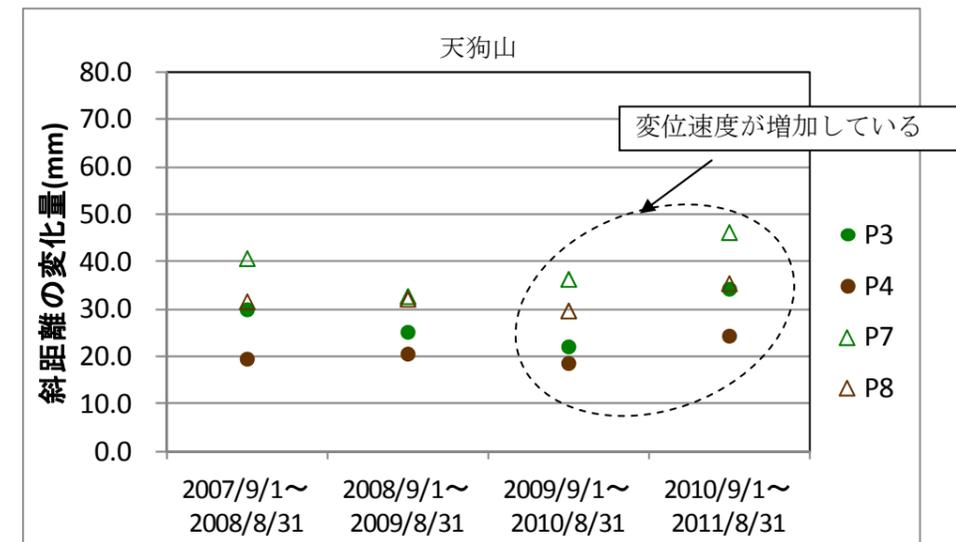


図-参 2.4 変位速度 (mm/年) の推移比較図 (天狗山)  
(天狗山について変位速度の増加傾向が見られるプリズム)

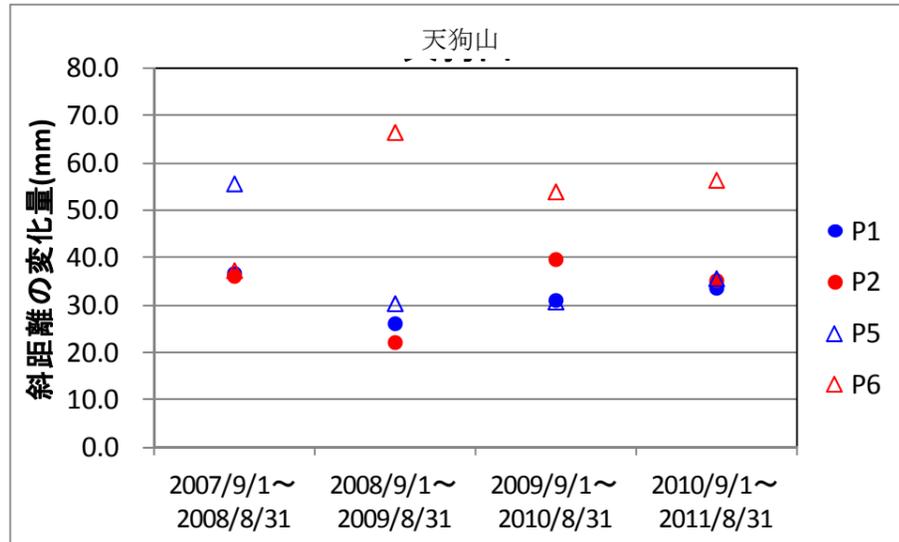


図-参 2.5 変位速度 (mm/年) の推移比較図 (天狗山)

(天狗山について変位速度の増加傾向が無い不明瞭なプリズム)

光波による自動観測が行われている期間 (2007/9/1~2012/2/20) において、1年間 (前年9月1日~9月1日) の降雨量には、大きな差は見られなかった (図-参 2.6)。また、それぞれの年における各月の降雨量を図-参 2.7 で比較した。1か月の降雨量で見ると、2011年6月の降雨量が他の月に比べて顕著に大きい。さらに、1日の降水量の推移を土石流発生した月である2010/6と2011/6で比較した (図-参 2.8 及び図-参 2.9)。

1日の降水量が150mmを越す日が、2010年6月では1日もなかったのに対し、2011年では3日あった。その結果、2011年の6月の雨量が2010年の6月よりも大きくなっていると考えられる。

以上より、期間 A (2009/9/1~2010/9/1) に対する期間 B (2010/9/1~2011/9/1) の変位速度の増加は、2011年の6月の月降雨が1170mmと大きいことに関係している可能性がある。

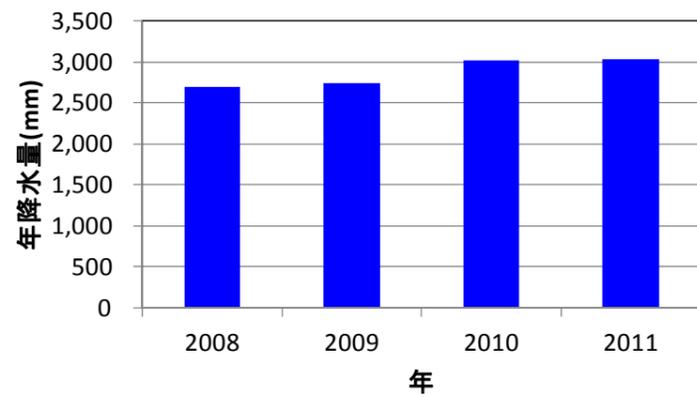


図-参 2.6 1年間 (斜距離の変位速度算出期間: 前年9月1日~9月1日) の降雨量の比較

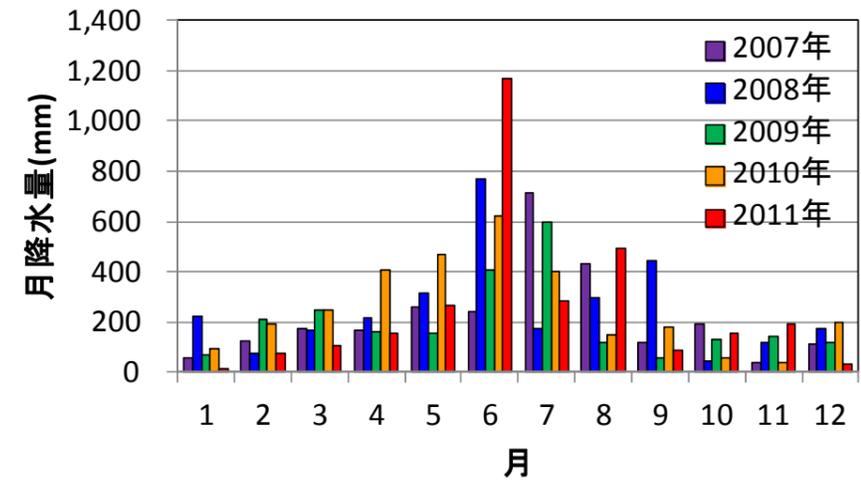


図-参 2.7 1カ月の降雨量の比較

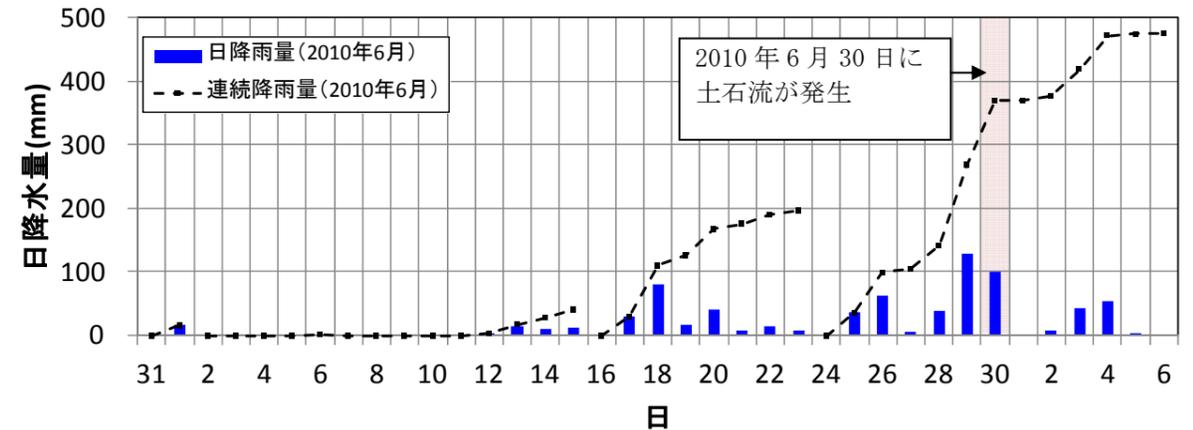


図-参 2.8 土石流が発生した月 (2010年6月) の降雨量と連続降雨量

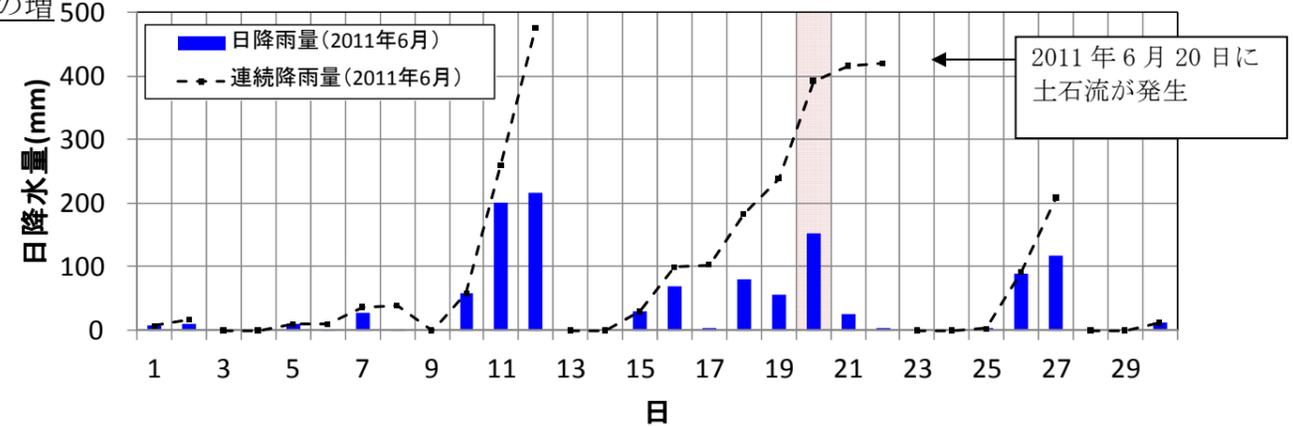
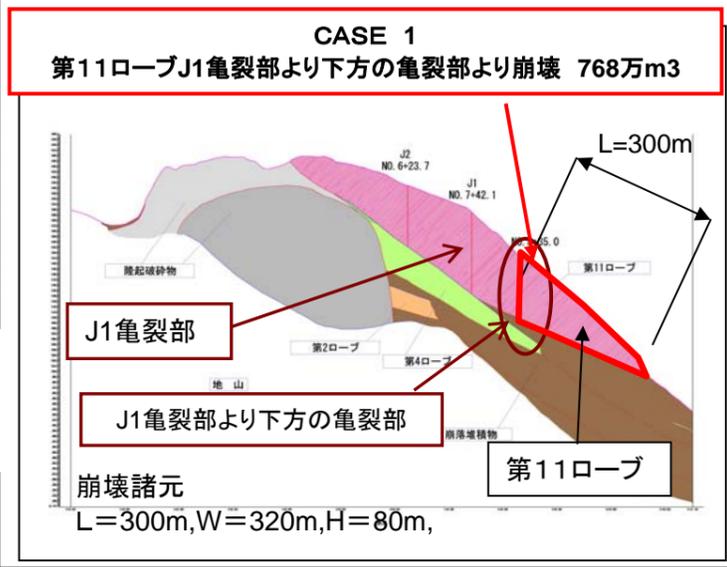


図-参 2.9 土石流が発生した月 (2011年6月) の降雨量と連続降雨量

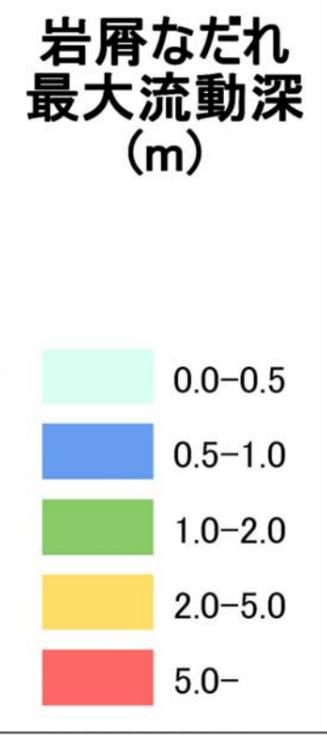


①第11ローブ亀裂部より下方の  
亀裂部より崩壊 土砂量:768万 $m^3$

ピーク流量 : 9,675 $m^3/s$   
 25分で対象土砂量が流下する  
 矩形ハイドログラフを想定(左下図)  
 施設整備条件: 現計画完了時  
 物性値 : 平成3年6月8日に発生した  
 火砕流の岩塊流れの再現計算より設定



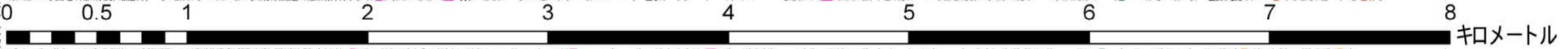
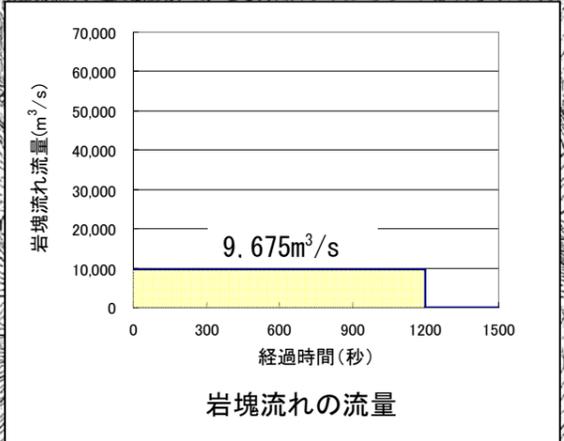
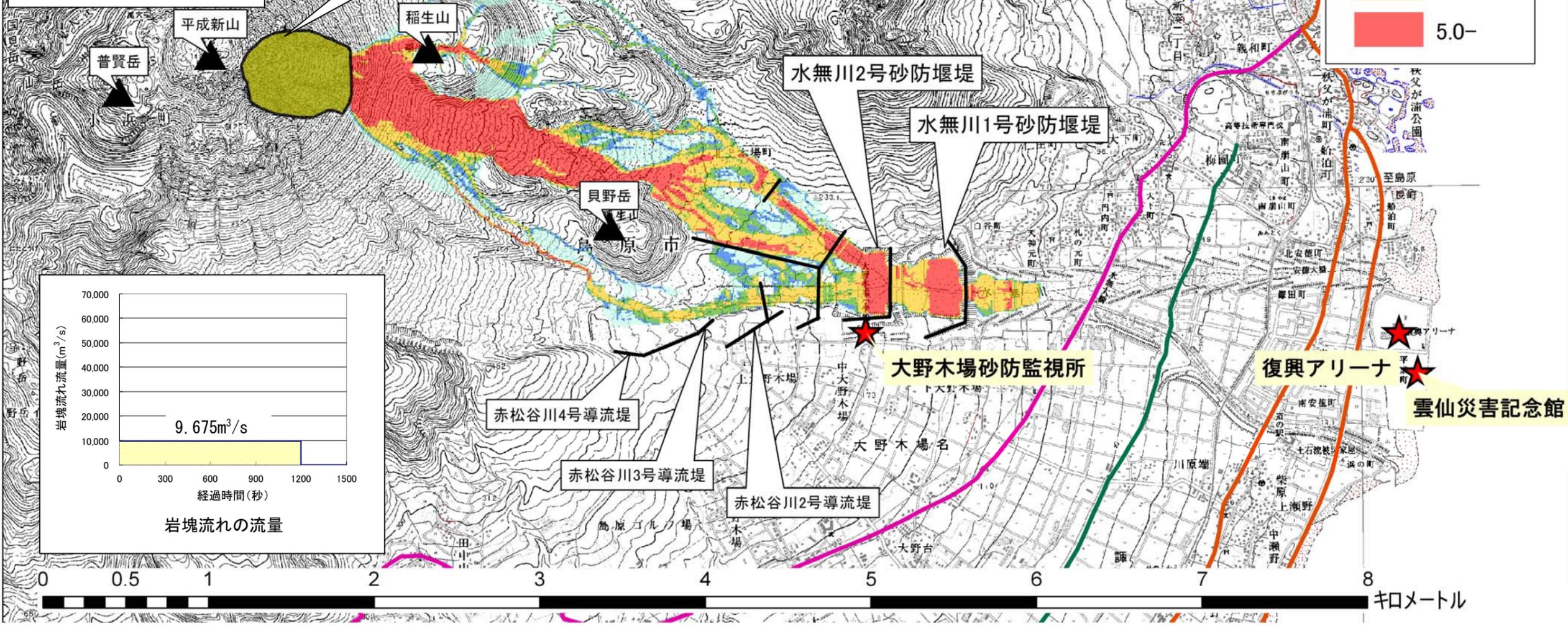
**道路**  
 広域農道  
 国道251号  
 国道57号

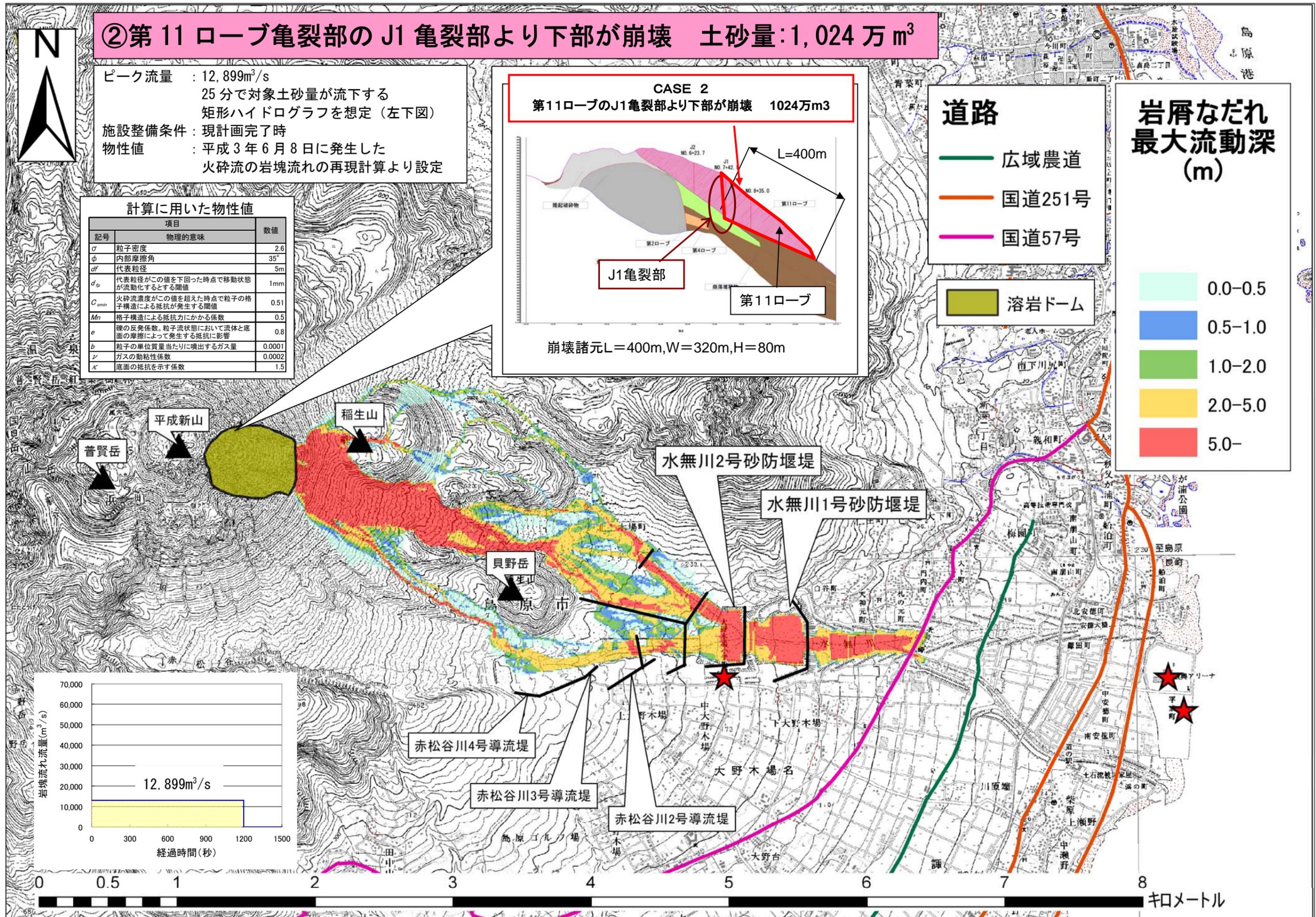


計算に用いた物性値

記号	物理的意味	数値
$\sigma$	粒子密度	2.6
$\phi$	内部摩擦角	35°
$df$	代表粒径	5m
$d_{50}$	代表粒径がこの値を下回った時点で移動状態が流動化するとする閾値	1mm
$C_{min}$	火砕流濃度がこの値を超えた時点で粒子の格子構造による抵抗が発生する閾値	0.51
$Mn$	格子構造による抵抗力にかかる係数	0.5
$e$	隙の反発係数。粒子流状態において流体と底面の摩擦によって発生する抵抗に影響	0.8
$b$	粒子の単位質量当たりに噴出するガス量	0.0001
$\nu$	ガスの動粘性係数	0.0002
$\kappa$	底面の抵抗を示す係数	1.5

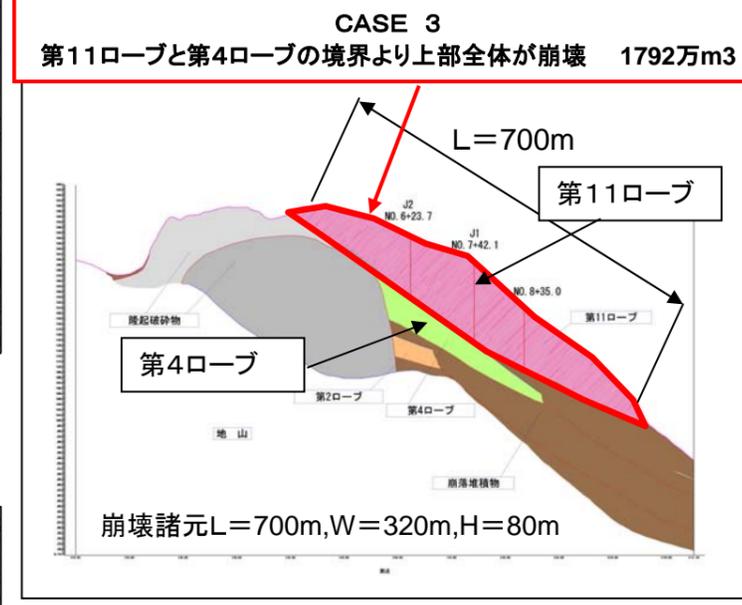
平成新山ネイチャーセンター





③第11ローブと第4ローブの境界より上部全体が崩壊 土砂量:1,792万m<sup>3</sup>

ピーク流量 : 22,574m<sup>3</sup>/s  
 25分で対象土砂量が流下する  
 矩形ハイドログラフを想定(左下図)  
 施設整備条件: 現計画完了時  
 物性値 : 平成3年6月8日に発生した  
 火砕流の岩塊流れの再現計算より設定



計算に用いた物性値

記号	物理的意味	数値
$\sigma$	粒子密度	2.6
$\phi$	内部摩擦角	35°
$df$	代表粒径	5m
$d_{fp}$	代表粒径がこの値を下回った時点で移動状態が流動化するとする閾値	1mm
$C_{emin}$	火砕流濃度がこの値を超えた時点で粒子の格子構造による抵抗が発生する閾値	0.51
$Mn$	格子構造による抵抗にかかる係数	0.5
$e$	壁の反発係数。粒子流状態において流体と底面の摩擦によって発生する抵抗に影響	0.8
$b$	粒子の単位質量当たりに噴出するガス量	0.0001
$\nu$	ガスの動粘性係数	0.0002
$\kappa$	底面の抵抗を示す係数	1.5

道路

- 広域農道
- 国道251号
- 国道57号

溶岩ドーム

岩屑なだれ  
 最大流動深 (m)

- 0.0-0.5
- 0.5-1.0
- 1.0-2.0
- 2.0-5.0
- 5.0-

