

第 1 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 23 年 12 月 19 日 (月) 14:00~16:00

開催場所 : 雲仙岳災害記念館 1F セミナー室

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) 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検討結果
- (2) 規約の承認
- (3) 委員紹介
- (4) 委員長の選任
- (5) 議事：雲仙・普賢岳溶岩ドーム崩壊に関する調査・観測及び対策について
 - 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

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（案）

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（案）

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。

- 2 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。

- 2 委員長は、委員会の運営と進行を総括する。
- 3 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。

- 2 委員の任期は原則として 1 年とし、再任を妨げない。
- 3 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。

- 2 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。

- 2 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。

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】

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) 【欠席】
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 【代理：藤田 康孝 治山課長】
井野 常雄	林野庁 九州森林管理局治山課 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1回

資料5

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23年12月19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

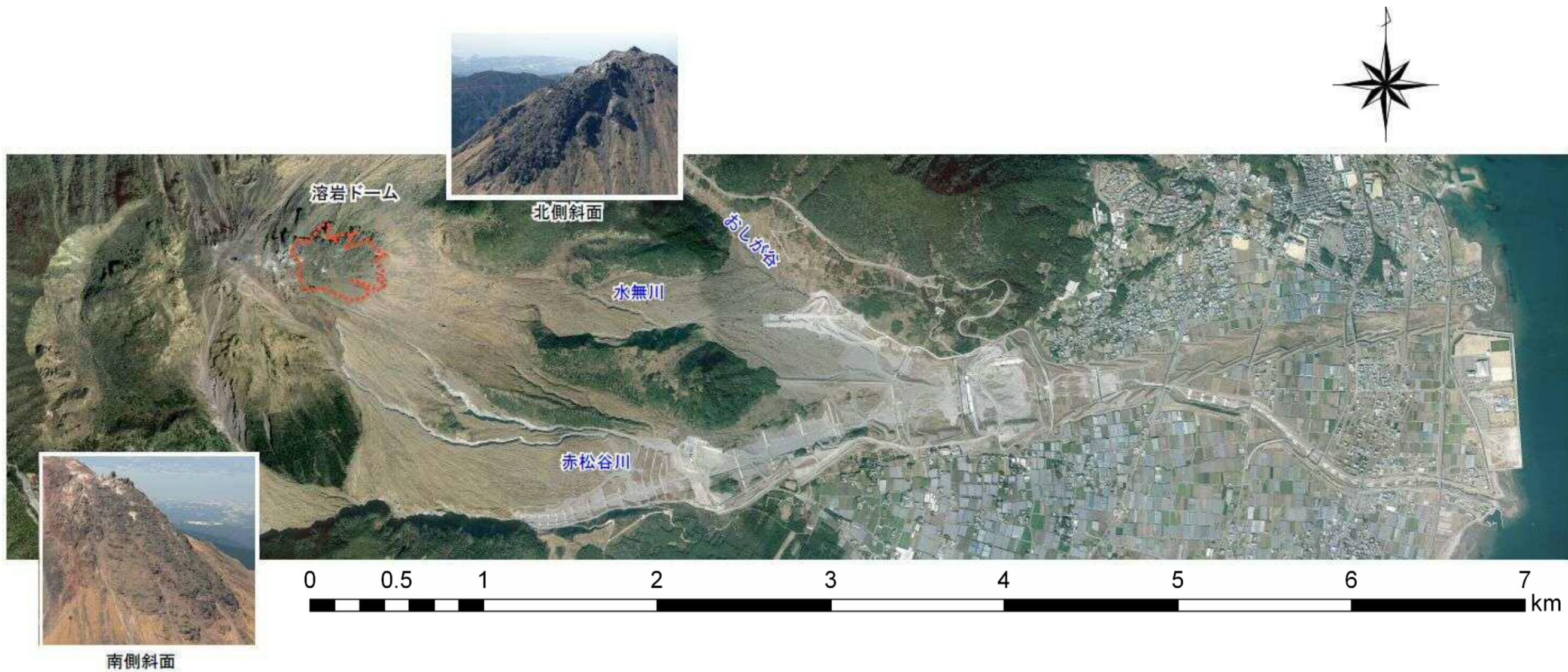


図-1 溶岩ドームと水無川流域（おしが谷、水無川、赤松谷川）の位置関係図

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

平成23年 3月18日(金)

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」結果

- **溶岩ドーム14年間で約1mの移動を確認**
 ・平成9年から溶岩ドームの変位を観測している測量のデータによると約1mの移動が観測されており、その移動方向は南東方向です。
- **溶岩ドーム崩壊の可能性を示唆**
 ・溶岩ドームの崩壊には重力による自然崩壊、降雨等による溶岩ドーム末端部の堆積物の流出にともなう崩壊、地震による崩壊が考えられます。
- **溶岩ドーム崩壊による影響を調査へ**
 ・委員会において、今後溶岩ドーム崩壊による影響を調査する方針です。

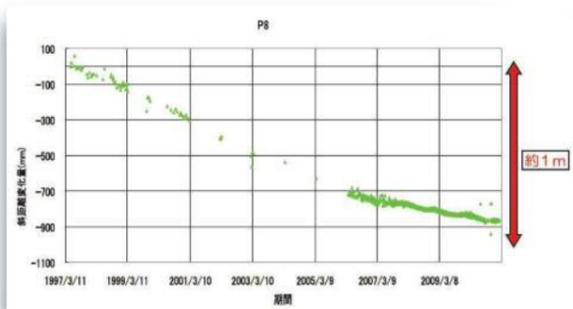


図-1 溶岩ドームの移動量
 ※平成9年～平成23年の観測データ(P8)



図-2 溶岩ドームの移動方向
 ※平成19年12月～平成23年1月の観測データ

平成 23 年 8 月 29 日(月)

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」結果報告

- **溶岩ドームが崩壊した場合の影響範囲を試算**
 ・溶岩ドームの崩壊規模を推定し、崩壊した場合の影響範囲について現時点で得られている知見を基にコンピュータシミュレーションを実施しました。今後、新しい知見が得られた時点で随時、確度を上げていくことが重要です。
- **溶岩ドームの挙動について継続的な調査・観測が必要**
 ・溶岩ドームが大規模に崩壊すると、その影響が広範囲に及ぶことが予想されるため、調査・観測体制を構築し、溶岩ドームの全体の動きを継続的に調査・観測する必要があります。また、警戒避難に資するなど、必要に応じて、それらのデータを関係機関が共有することも検討する必要があります。
- **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**
 ・関係各機関が連携し、溶岩ドームの崩落に関する減災対策について、ハード・ソフト両面にわたり検討することが必要です。



北側から見た平成溶岩ドーム全景

本委員会の流れ

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

●溶岩ドームが崩壊した場合の影響を試算

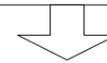
溶岩ドームの崩壊規模を推定し、崩壊した場合の影響範囲について現時点で得られている知見を基にコンピュータシミュレーションを実施しました。今後、新しい知見が得られた時点で随時、確度を上げていくことが重要です。

●溶岩ドームの挙動について継続的な調査・観測が必要

溶岩ドームが大規模に崩壊すると、その影響が広範囲に広がることが予想されるため、調査・観測体制を構築し、溶岩ドームの全体の動きを継続的に調査・観測する必要があります。また、警戒避難に資するなど、必要に応じて、それらのデータを関係機関が共有することも検討する必要があります。

●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

関係各機関が連携し、溶岩ドームの崩落に関する減災対策について、ハード・ソフト両面にわたり検討することが必要です。



第1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. 調査・観測手法の整理

- ① 既存調査・観測項目の整理
- ② 既存成果の整理
- ③ 既往調査・観測による溶岩ドームの挙動分析

既存調査・観測で判断可能な溶岩ドームの挙動について整理する。

2. 対策の基本的な考え方

- ① 想定する対象崩壊規模
- ② 対策現象の選定

溶岩ドーム対策の基本的な考え方を示し、ハード対策で対応する対象規模、およびハード・ソフト対策で対応する対象規模について御議論いただきたい。

3. ハード対策の検討

- ① ハード対策の方針に関する検討

事務局で検討したハード対策の方針について御議論いただきたい。

4. ソフト対策の検討

- ① ソフト対策の対応メニューと課題の整理
- ② 今後の溶岩ドーム崩壊の調査・観測項目に関する提案と目的
- ③ 現在の情報の流れの整理
- ④ 突発的に発生する崩壊に対する緊急対応の課題
- ⑤ 何らかの前兆現象が起こった後で発生する崩壊に対する事前対応の課題
- ⑥ 情報共有手段の検討

現在提供できる情報についてまず整理し、さらに溶岩ドームの崩壊規模予測および崩壊危険度を推定するために必要な調査・観測項目について提案する。崩壊の想定現象ごとのソフト対策の有効性について御議論いただきたい。また、状況に応じた住民・工事従事者に対する情報提供方法及び避難する仕組みや関係機関での情報共有のあり方について御議論いただきたい。

<目 次>

「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」の討議結果と本検討.....	1
本検討の内容と雲仙・普賢岳周辺関係機関の現状の役割.....	2
1 調査・観測体制の整理.....	3
1.1 現状の調査・観測体制の整理.....	3
1.2 溶岩ドーム崩壊に関する既存の調査・観測項目と観測結果.....	5
1.3 既往調査・観測による溶岩ドームの挙動分析.....	9
2 対策の基本的な考え方.....	10
2.1 想定する対象崩壊規模.....	10
2.2 対象現象の選定.....	11
3 ハード対策の検討.....	12
3.1 ハード対策の方針に関する検討.....	12
4 ソフト対策の検討.....	13
4.1 ソフト対策の対応メニューと課題の整理.....	13
4.2 今後の溶岩ドーム崩壊の調査・観測項目に関する提案と目的.....	14
4.3 現在の情報の流れの整理.....	18
4.4 突発的に発生する崩壊に対する緊急対応の課題.....	19
4.5 何らかの前兆現象が起こった後で発生する崩壊に対する事前対応の課題.....	22
4.6 情報共有手段の検討.....	23
4.7 今後対応すべきことのまとめ.....	24
参考資料.....	25

「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」の討議結果と本検討

「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」の討議結果をうけて、今後、取り組むべき課題、課題解決のための着目点、及び本委員会で御議論いただくポイントについて整理した。

表 「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」の討議結果をうけた本委員会での検討内容

危険度評価委員会の提言の要点	課題	着目点	本委員会における議論のポイント
溶岩ドームの崩壊規模および崩壊した場合の影響範囲などは、新しい知見が得られた時点で随時、確度を上げていく必要がある。	<ul style="list-style-type: none"> ■崩壊規模の推定および危険度を評価するための調査・観測手法の検討。 ■現在実施されている調査・観測により提供できる情報の整理。 	<ul style="list-style-type: none"> ■ドーム直下の地山も含めた溶岩ドーム全体の挙動把握を行い、崩壊する可能性の高いブロックおよび崩壊量を推定する。 ■不足する観測項目、およびデータ解析を抽出し、必要な調査・観測項目を検討する。 ■現時点で提供できる情報の検討。 ■危険度評価のための課題の整理。 	<ul style="list-style-type: none"> ■溶岩ドームの崩壊規模及び危険度を評価するために事務局が提案した調査・観測項目でよいか。 ■また、不足している調査・観測項目はないか。
調査・観測体制については、溶岩ドームの全体の動きを継続的に調査・観測するとともに、関係機関でのデータの共有のあり方を検討する。	<ul style="list-style-type: none"> ■情報提供のあり方および、分かりやすい情報提供について検討する必要がある。 	<ul style="list-style-type: none"> ■監視のためのしきい値のあり方の検討。 ■住民等へのわかりやすい情報提供のあり方及び避難する仕組みの検討。 ■関係機関での情報共有のあり方の検討。 	<ul style="list-style-type: none"> ■住民や関係機関への情報提供にあたり、しきい値を設ける必要の有無。 ■突発的に発生する地震に起因する崩壊予測に関する情報提供のあり方。 ■何らかの前兆が起こった後で発生する崩壊に関する情報提供のあり方。
溶岩ドームの崩落に関する減災対策については、ハード・ソフト両面で検討する。	<ul style="list-style-type: none"> ■ハード対策の有効性の検討。 ■崩壊の想定現象ごとのソフト対策の有効性の検討。 	<ul style="list-style-type: none"> ■ハード対策の必要性の検討。 ■ハード対策規模の検討。 	<ul style="list-style-type: none"> ■ハード対策の方針について。

本検討の内容と雲仙・普賢岳周辺関係機関の現状の役割

本検討の内容に係る雲仙・普賢岳周辺の各機関と現状の役割を以下に示す。

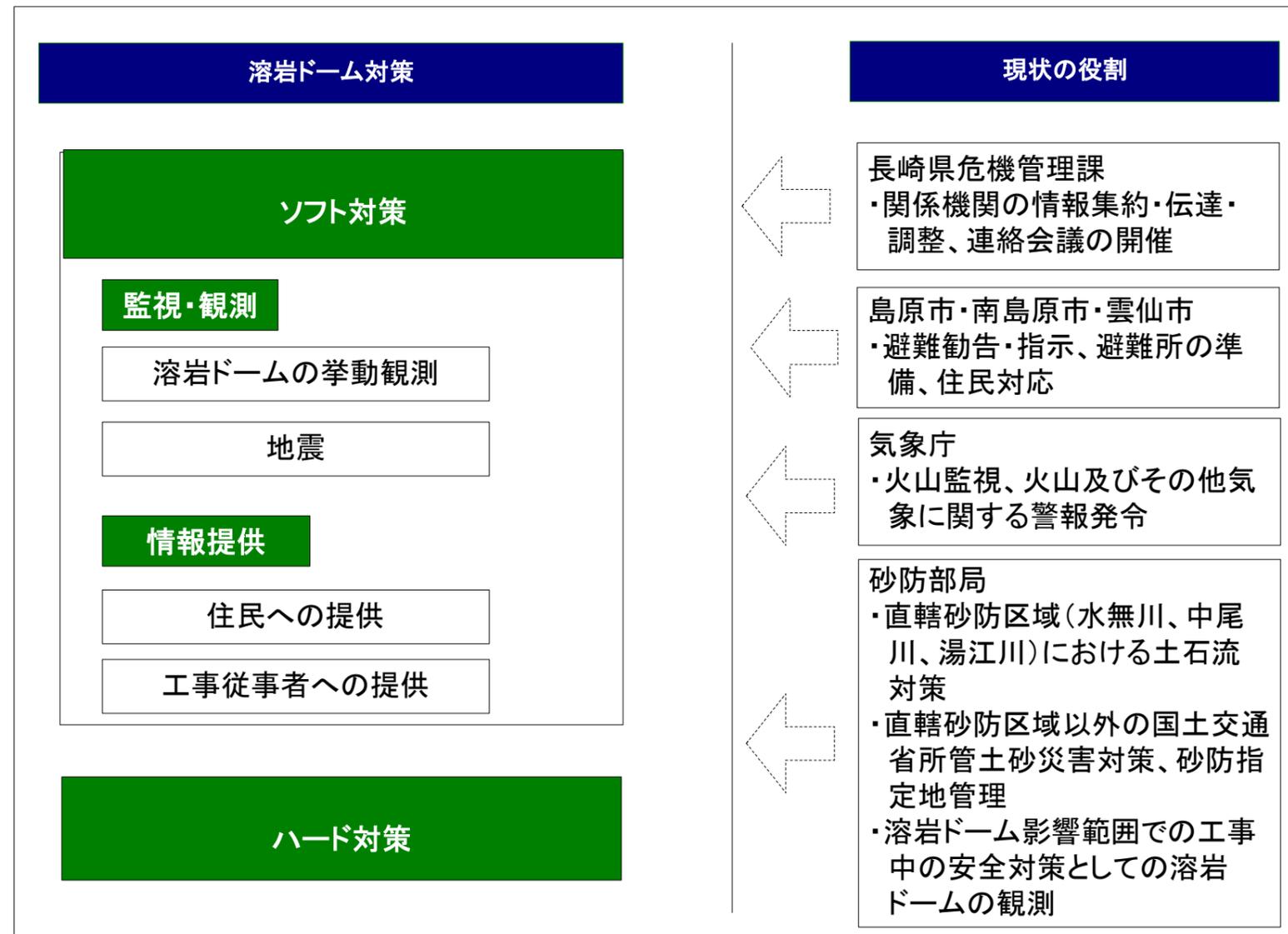


図 本検討の内容と雲仙・普賢岳周辺関係機関の現状の役割

1 調査・観測体制の整理

1.1 現状の調査・観測体制の整理

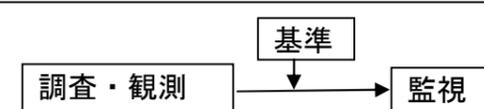
雲仙・普賢岳周辺では、溶岩ドームの挙動や流域の土砂移動、さらに広域の地震、地殻変動等の調査・観測が実施されている。既往の調査・観測項目を以下に示す。

表- 1.1 雲仙・普賢岳周辺における既往調査・観測体制の項目一覧

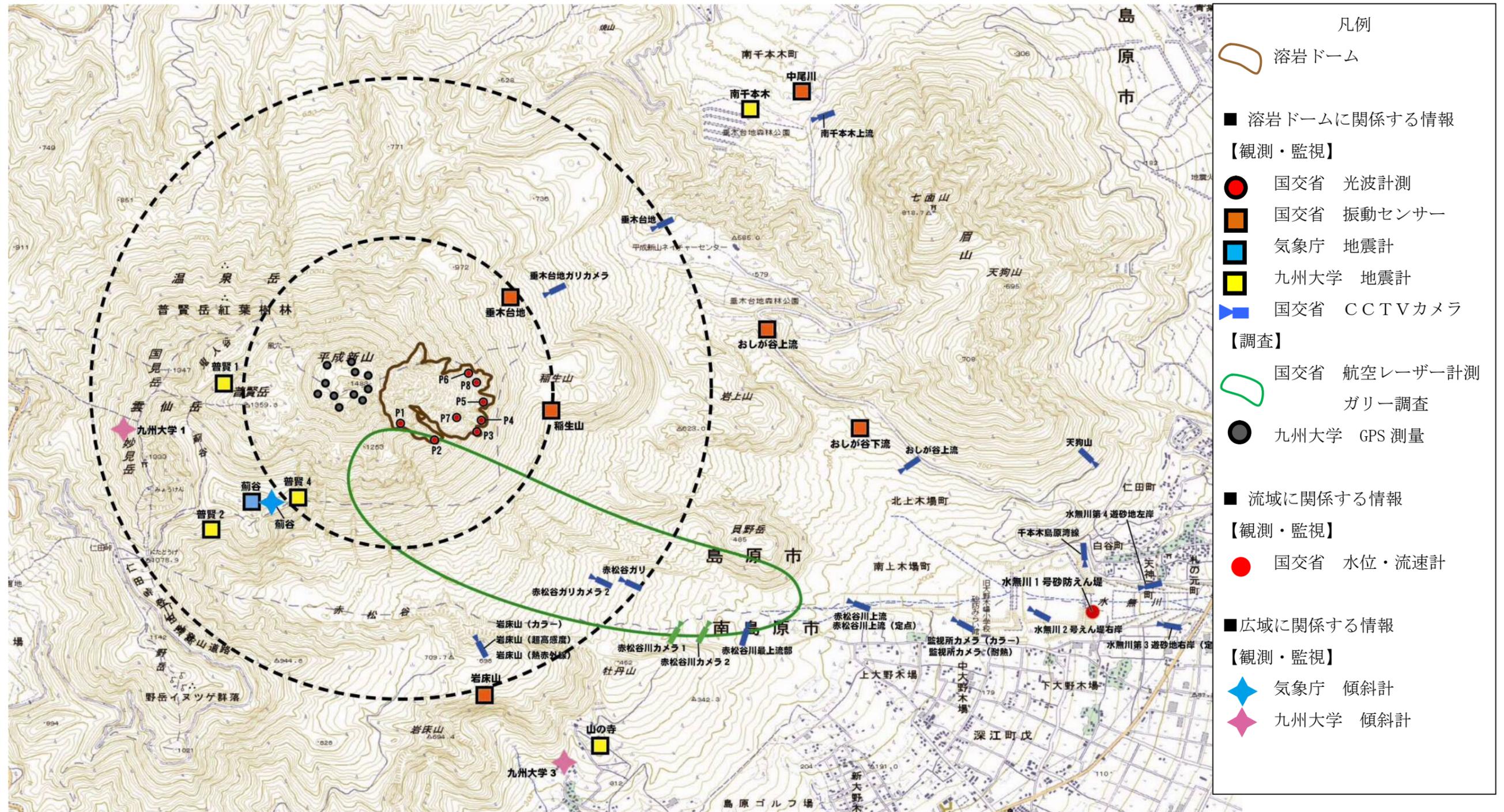
対象範囲	目的	分類 ※	手段	データ取得タイミング	主な実施機関	調査・観測結果
溶岩ドーム	溶岩ドームの挙動観測	観測	光波測距	定期的（1回/1時間）	雲仙復興事務所	変位の加速傾向、変位量
		監視	CCTVカメラ	工事実施中のみ	雲仙復興事務所	工事中の安全確認のための変状確認
		監視	地震計	イベント発生時	気象庁・九州大学	振動波形による落石発生確認
		調査	GPS測量	年1回程度（H7～H21、H23）	九州大学	溶岩ドームの変位
	不安定ブロックの把握	調査	現地調査	年1回程度（H20～H22）	雲仙復興事務所	落石発生痕跡の確認
		調査	航空写真撮影・写真判読調査	不定期	雲仙復興事務所	溶岩ドーム表面の亀裂分布
	溶岩ドーム内部構造の把握	調査	宇宙線観測	1回目実施中	東京大学・九州大学等	溶岩ドーム内部構造
		調査	空中電磁探査	1回実施（H11）	長崎県	溶岩ドーム内部構造
		調査	内部温度	不定期	九州大学	溶岩ドームの内部温度
	溶岩ドーム脚部の地形変化の観測	調査	航空レーザー計測調査	不定期	雲仙復興事務所	ガリーや崩壊の拡大と不安定岩塊との関係把握
		調査	航空写真撮影・写真判読調査	不定期	雲仙復興事務所	ガリーや崩壊の拡大と不安定岩塊との関係把握
		監視	振動センサー	イベント発生時	雲仙復興事務所	工事中の安全確認のための振動波形による土石流発生確認
		監視	CCTVカメラ	工事実施中（日中）のみ	雲仙復興事務所	工事中の安全確認のためのガリーや崩壊の拡大と不安定岩塊との関係把握
流域	土砂移動の監視	監視	振動センサー	イベント発生時	雲仙復興事務所	工事中の安全確認のための振動波形による土石流発生確認
		監視	CCTVカメラ	工事実施中（日中）のみ	雲仙復興事務所	工事中の安全確認のための土石流などの現象確認
		観測	水位・流速計	イベント発生時	雲仙復興事務所	工事中の安全確認のための土砂流出や出水の有無
		観測	雨量計	連続観測	雲仙復興事務所・長崎県	工事中の安全確認のための土石流を発生させる降雨の確認
	火山活動の観測	観測	空振計	イベント発生時	気象庁	空振
		観測	遠望カメラ	リアルタイム	気象庁	噴煙等の確認
広域	地震の観測	観測	地震計	イベント発生時	気象庁・九州大学	震度
	地殻変動の観測	観測	GPS測量	リアルタイム	気象庁	地殻の変位
		観測	傾斜計	リアルタイム	気象庁	地殻の変位

本委員会では、調査・観測・監視を以下のように定義する。

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。



※落石は監視基準があるため監視と表示、CCTVカメラの監視基準は無いが、見た目判断可能なため監視と表示



※レーザープロファイラー計測は雲仙・普賢岳周辺を俯瞰しており、ドーム挙動の経年変化のほか、図に示したガリーの侵食拡大傾向についても観測を行っている。

※観測・監視機器の配置状況（平成 22 年時点）

図- 1.1 現状の調査・観測・監視体制

1.2 溶岩ドーム崩壊に関する既存の調査・観測項目と観測結果

雲仙・普賢岳溶岩ドームを対象として実施されている調査・観測項目および観測結果を示す。

表- 1.2 溶岩ドーム崩壊に関する既存の調査・観測項目と観測結果 (1)

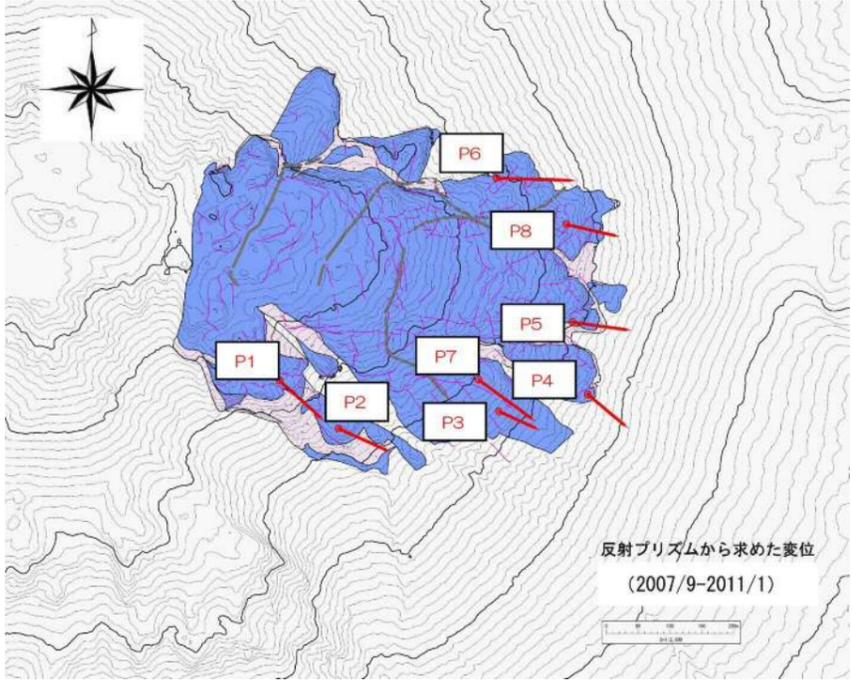
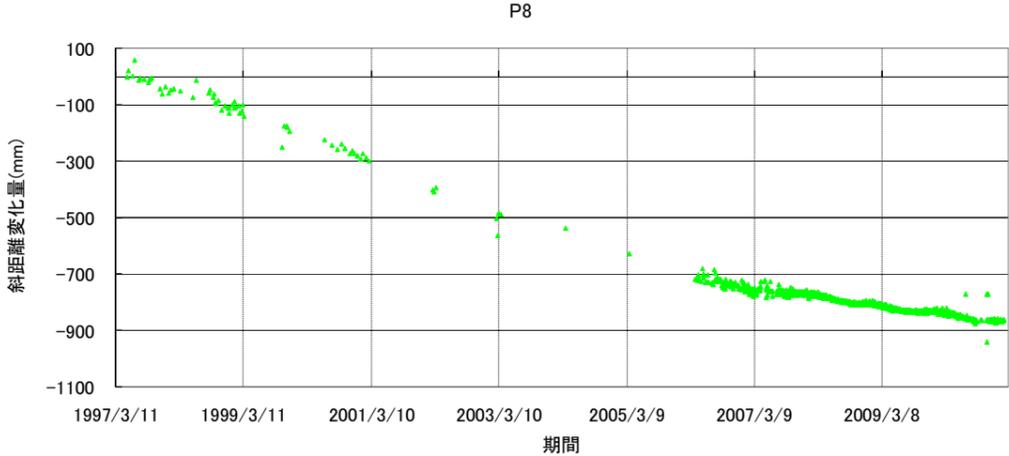
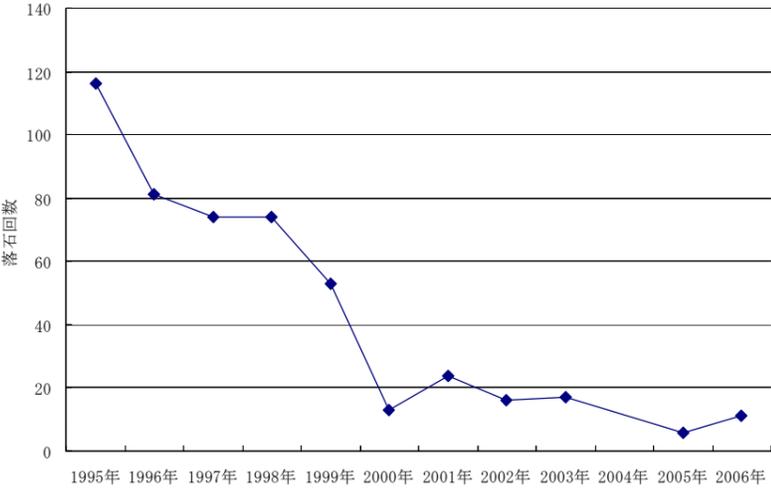
調査・観測項目	観測状況	観測結果
<p>光波測距による溶岩ドームの挙動計測</p>	<p>■溶岩ドーム（第11ロープ）の先端付近に8基の反射プリズムが設置され、計測点との斜距離の変化を定期的（1回/1時間）に計測している。</p> 	<p>■第11ロープは、全体的に南東方向に変位する傾向が認められる。</p> <p>■14年間で約1m変動している。</p> 
<p>地震計・振動センサーによる落石回数の計測</p>	<p>■図- 1.1 に示す位置に設置した振動センサーによって落石の発生回数を把握している。（なお、気象庁は、地震計の震動が1.25mkine (P-P) 以上の場合、落石震動とみなしている。）</p>	<p>■落石回数は年々減少傾向にあり、2000年以降は10～20（回/年）程度に収束している。</p>  <p>※ 地震計の震動が1.25mkine (P-P) の場合落石震動と定義</p>

表- 1.3 溶岩ドーム崩壊に関する既存の調査・観測項目と観測結果（2）

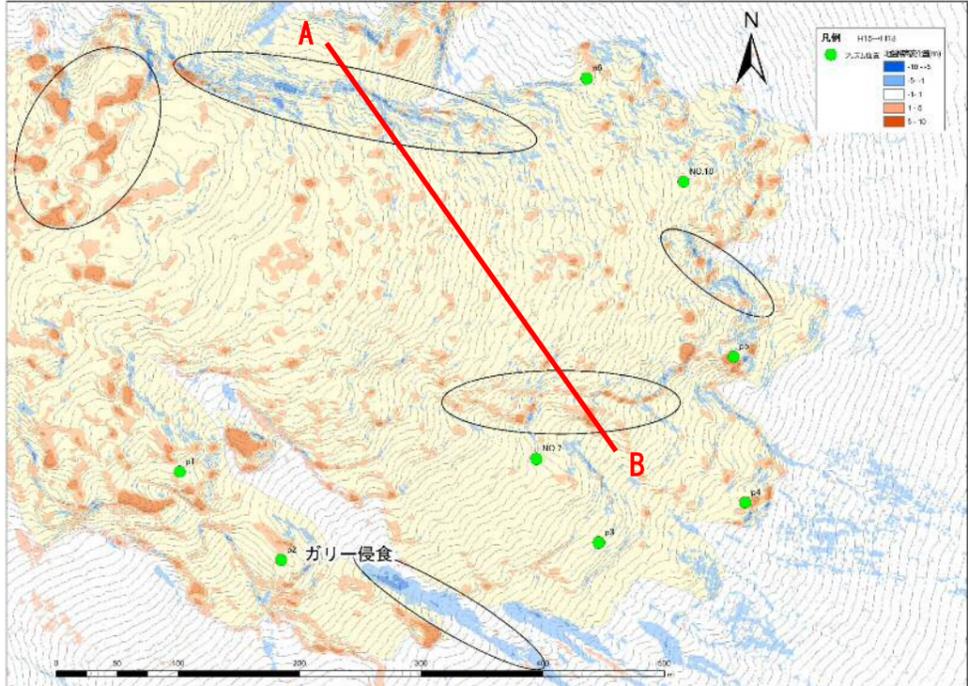
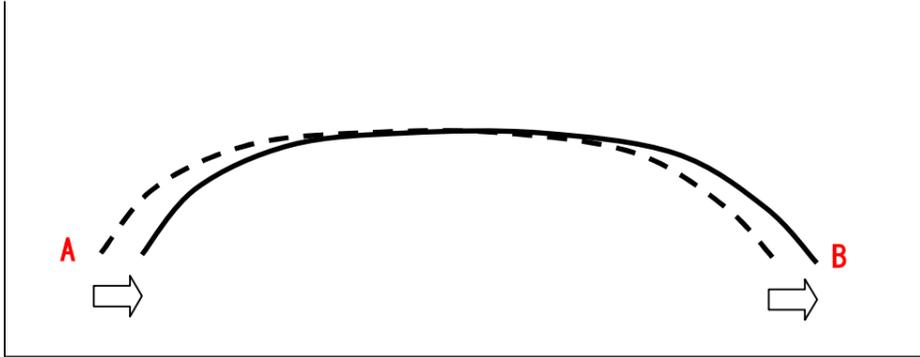
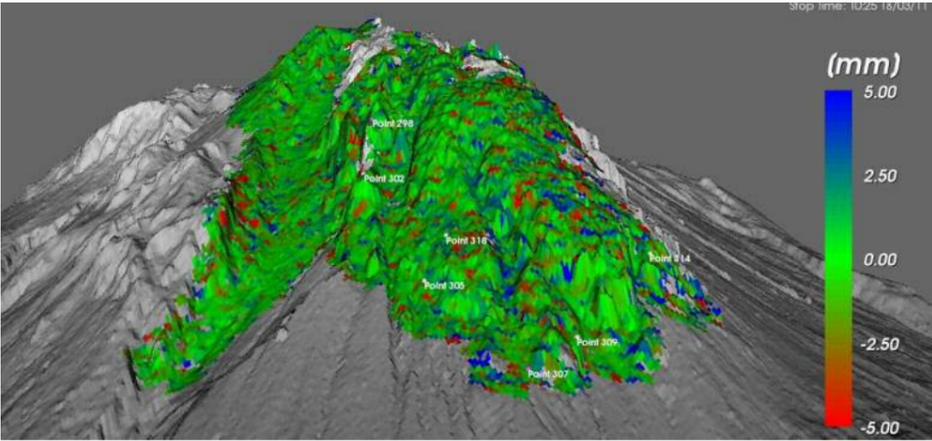
調査・観測項目	調査・観測状況	調査・観測結果
<p>航空レーザーによる地表面標高の計測</p>	<p>■平成15年と平成18年の航空レーザー計測による地表面標高の差分</p> 	<p>■左図 AB の線で切った溶岩ドームの断面イメージを下図に示す。溶岩ドームは南北方向に「かまぼこ形」をしており、第11ローブの南側の縁辺部の地表面標高の差分と、北側の縁辺部の地表面標高の差分から、第11ローブの断面部は南東方向に変位していると推測できる。</p>  <p>断面変位のイメージ</p>
<p>地上型合成開口レーダーによる地表面変位の計測</p>	<p>■短期間（10日間）の変位を計測したデータが計測されている。</p> <p><特徴> 合成開口レーダーは装置が発信したマイクロ波を使って計測を行うことから、光波を用いた他の非接触型計測（光波測距、航空レーザー測量）に比べて昼夜・天候を問わずに使用でき、かつ有効距離が長いという特徴を持つ。</p>  <p>変位分布（2011年3月9日～18日の観測結果）</p>	<p>■地上型合成開口レーダーは、数mm単位での変位を計測できる。マイナスの値（赤色方向）になることが、溶岩ドームがレーダー方向に近づく動き（斜面下方向に落ちていく）となる。ただし、現在は短期間（10日間の観測：2011年3月9日～18日）の変位（最大5mm程度）を計測したデータしかないため、落石や斜面の動き等の有意な変化は捉えられていない。現在、雲仙復興事務所により試験観測が行われている。</p>

表- 1.4 溶岩ドーム崩壊に関する既存の調査・観測項目と観測結果 (3)

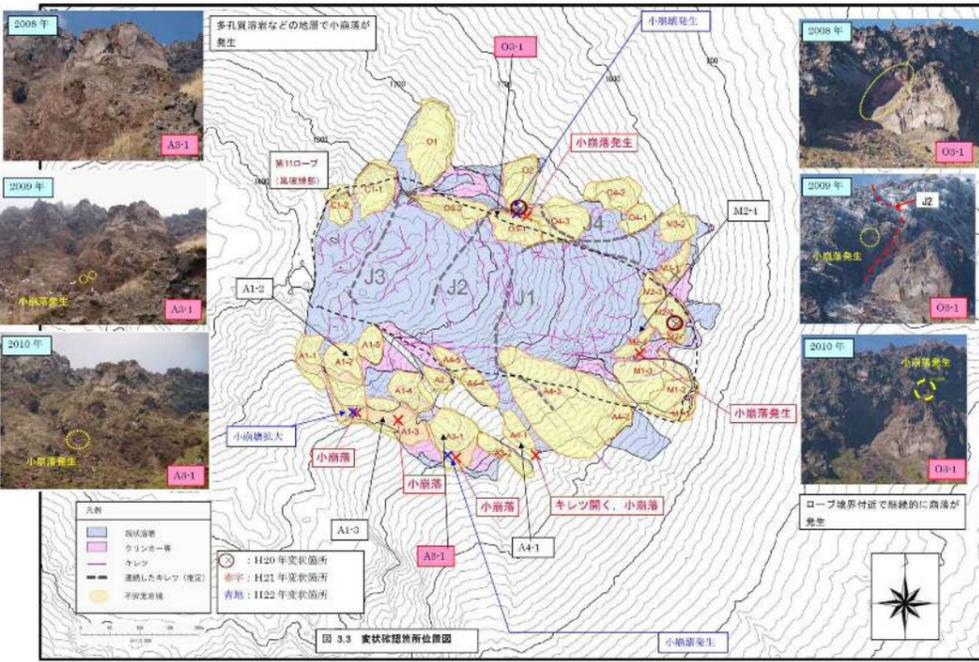
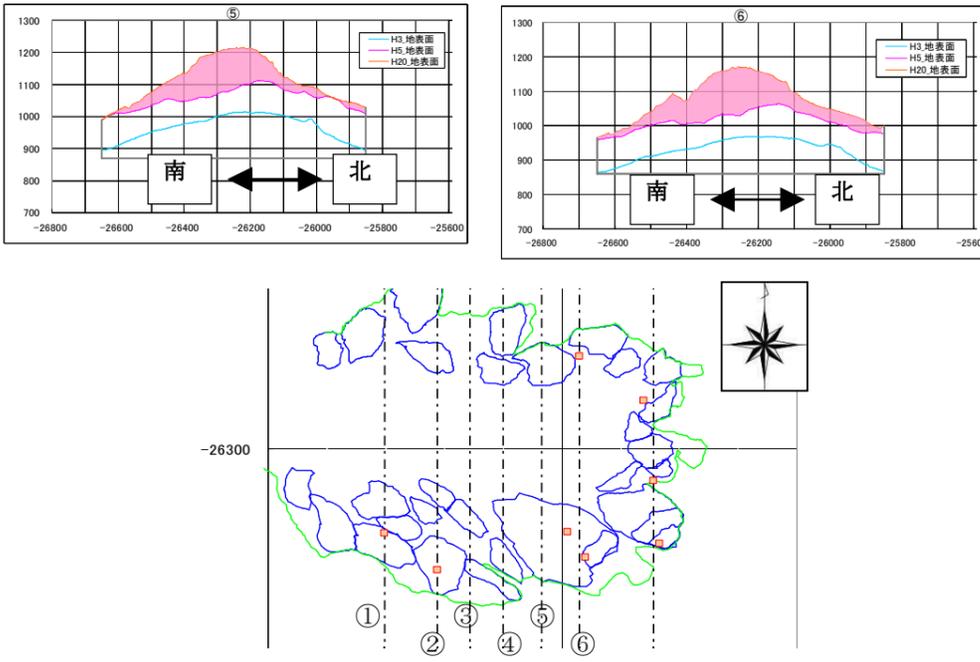
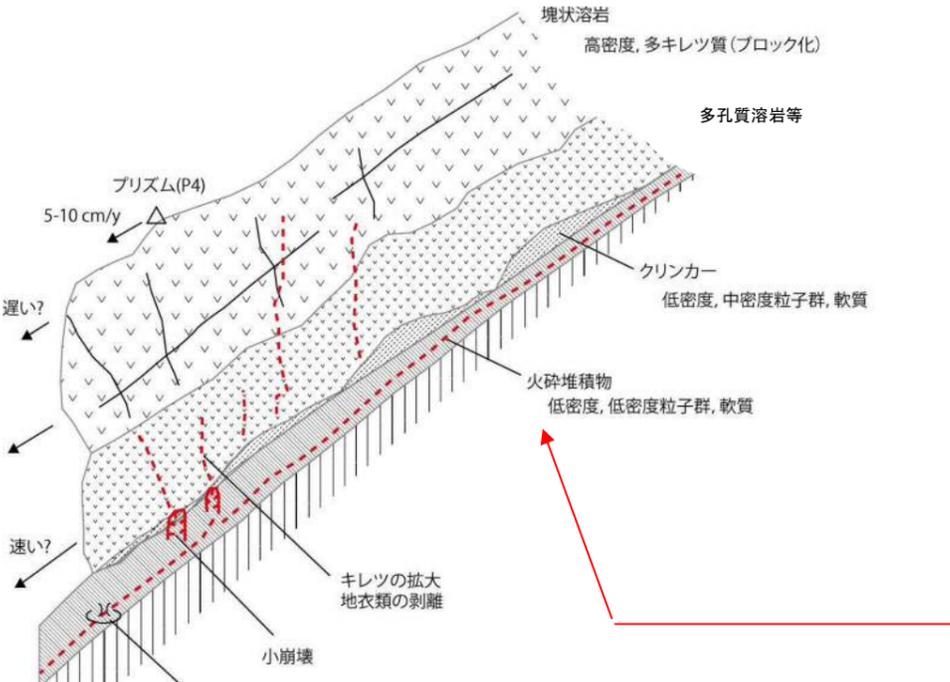
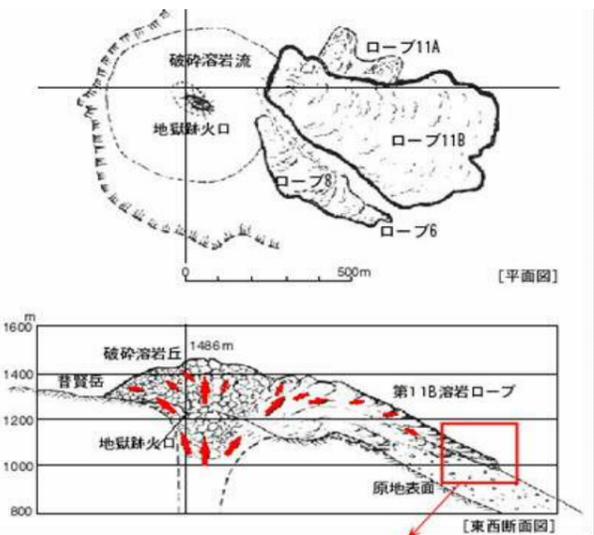
調査・観測項目	調査・観測状況	調査・観測結果
航空写真撮影と写真判読調査	<p>■ 不定期の航空写真撮影と写真判読調査により溶岩ドーム表面の亀裂分布を調査している。</p>	<p>■ 不安定ブロックを設定しているが、実際の溶岩ドームの動きは反映できていない。</p>
地上電気探査	<p>■ 平成 20 年と平成 21 年に溶岩ドーム下方斜面の火砕流堆積物層やガリー発達部の地下構造を把握するため電気探査が実施された。</p>	<p>■ 火砕流堆積物層のうち、地表面下 20~30m 程度の位置に高比抵抗の分布域があり、空隙が多くなっていると推定される箇所がある。高比抵抗の分布域はガリーの発達位置とも整合している。</p>
現地調査	<p>■ 平成 20 年~22 年に実施された現地調査により、溶岩ドーム末端部におけるキレツ開口や小崩落の継続箇所の目視観測がされた。</p> 	<p>■ 第 1 1 ロープの縁辺部で小崩落の継続的発生が確認された。特に第 1 1 ロープの南側での小崩落の継続的発生が顕著であった。</p>
GPS 測量	<p>■ 平成新山ドームの変動を測定するため平成 7 年から年 1 回程度の GPS 測量が溶岩ドーム頂部付近で実施されている。(九州大学)</p>	<p>■ 平成 7 年の測定開始以来、平成新山溶岩ドームは平成新山を中心に放射状に広がりながら沈降を続けている。平成 17 年、18 年では、ほとんど沈降のみ観測される点が増加している。</p>

表- 1.5 溶岩ドーム崩壊に関する既存の調査・観測項目と観測結果 (4)

調査・観測項目	調査・観測状況	調査・観測結果
内部構造推定	<p>■溶岩ドーム形成過程から内部構造を推定している。</p>  <p>第11ローブ横断面図 (左; 断面⑤ 右; 断面⑥)</p>	<p>■第11ローブの形成過程、及び航空レーザー測量結果より、第11ローブが南側に垂れ下がるように成長したことが確認される。</p>
		<p>■現地調査の結果、第11ローブの下部には多孔質な溶岩が形成されている。また、多孔質な溶岩の底面には、軟質なクリンカーが形成されている。</p>  <p>太田一也、1993：1990-1992年雲仙岳噴火活動、『地質学雑誌』、Vol. 99 No. 10</p>

※なお、安全管理対策として、日中のみ CCTV による山体の異常の確認の有無を行っている。

1.3 既往調査・観測による溶岩ドームの挙動分析

既往調査・観測結果から推測する溶岩ドームの挙動を以下に示す。

- ・光波測距により、第11ローブの先端部は南東方向へ移動していることが確認された。
- ・2時期の航空レーザー計測による地表面標高の差分から、第11ローブの断面部は南東方向に変位していると推測される。
- ・現地調査より、第11ローブの縁辺部で小崩落の継続的発生が確認された。特に第11ローブで破碎溶岩の分布域である南側での小崩落の継続的発生が顕著であった。
- ・第11ローブが南側に垂れ下がるように成長したことが、第11ローブの変形方向が南東よりになっていることに関係していると推測される。
- ・また、変位が南東方向を向く機構として、第11ローブの底面に形成されている多孔質な溶岩やクリンカーの強度が低く、風化や侵食しやすいことが関係していると推測される。

以上より、第11ローブが南東方向に変位して崩壊することも想定される。

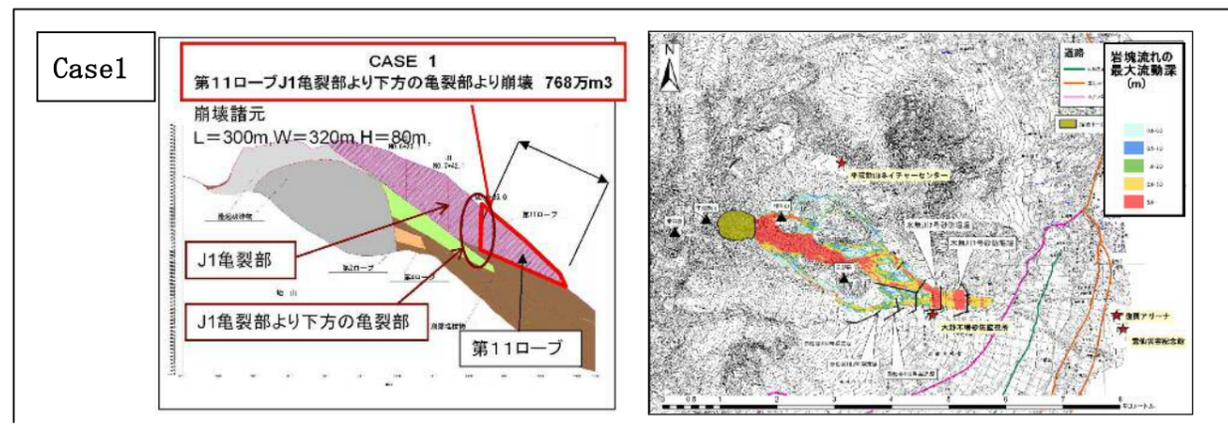
2 対策の基本的な考え方

2.1 想定する対象崩壊規模

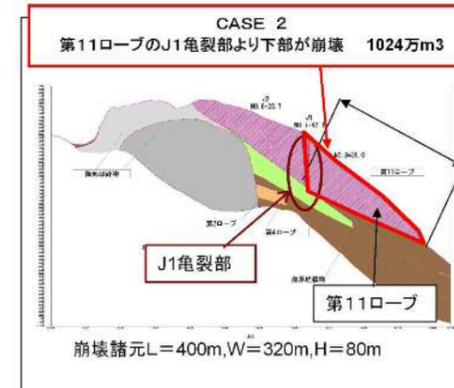
「第2回雲仙普賢岳溶岩ドーム崩落に関する危険度評価検討委員会」での検討により、想定される崩壊規模として、第11ローブの安定性検討結果等を参考に、目視による亀裂部、応力解析による応力集中箇所、溶岩ローブの境界部、噴火前の地山との境界部などから、5パターンが整理されている。数値計算による検討で、その内、規模が大きい3つのケースで被害が発生する可能性が示されている。

表- 2.1 溶岩ドームの崩壊パターンと数値計算による被害

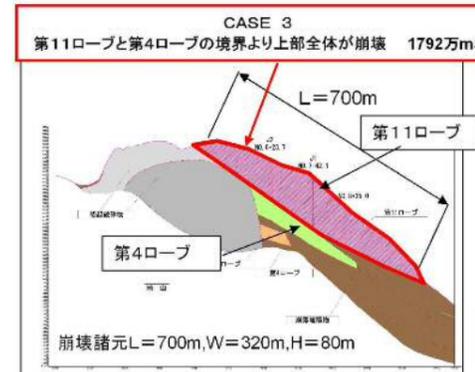
ケース	想定崩壊	対象土量 (万m ³)	計算結果
case1	第11ローブJ1亀裂部より下方の亀裂部より崩壊	768	氾濫なし
case2	第11ローブのJ1亀裂部より下部が崩壊	1,024	氾濫なし
case3	第11ローブと第4ローブの境界より上部全体が崩壊	1,792	氾濫(国道57号上流に狭い範囲。深さ2m以内)
case4	崩落堆積物と第4ローブの境界より上部が崩壊	3,200	氾濫(水無川2号砂防堰堤～広域農道の広範囲。深さ5m以内)
case5	噴火前の地山の境界で崩壊	5,376	氾濫(水無川2号砂防堰堤～国道251号の広範囲。深さ10m以内)



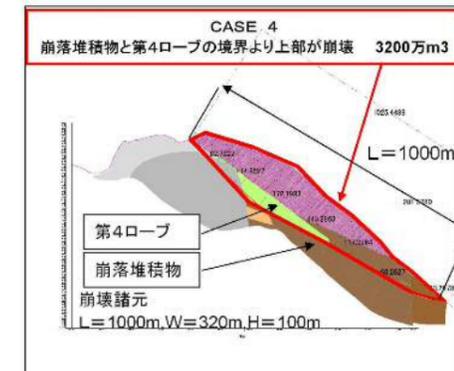
Case2



Case3



Case4



Case5

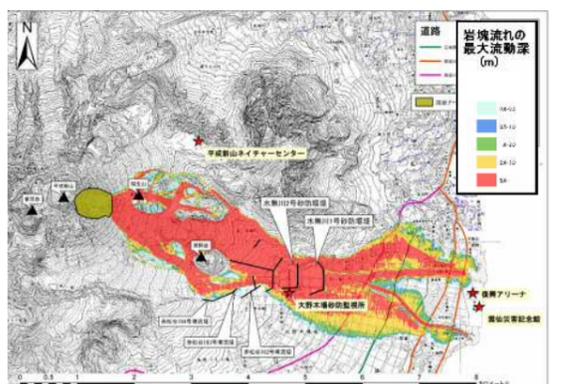
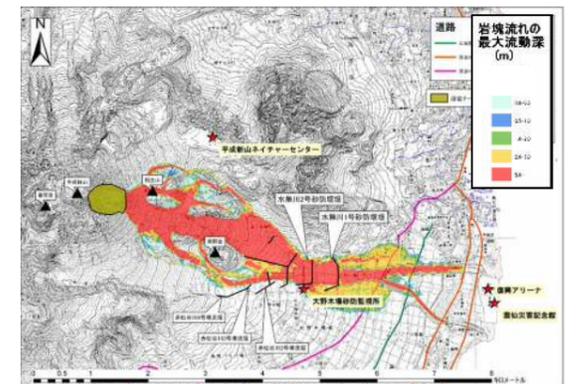
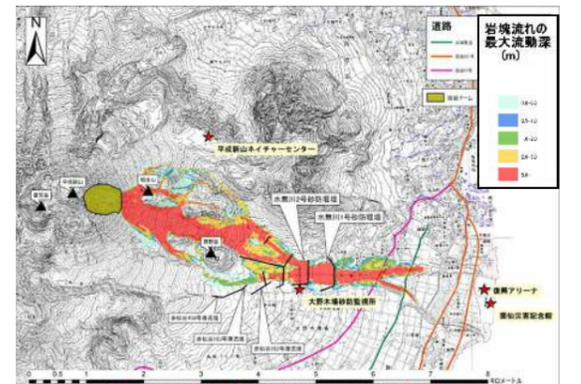
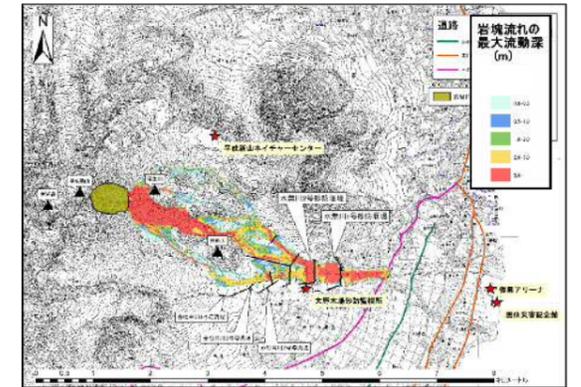
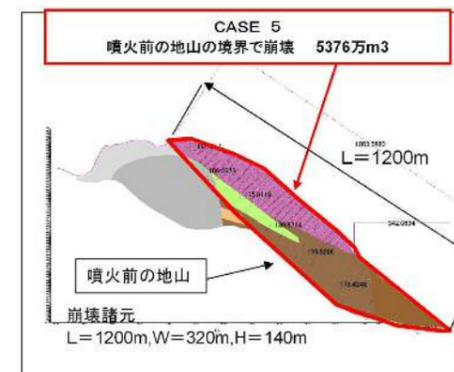


図-2.1 想定した現象の崩壊規模と数値計算による氾濫範囲の関係

2.2 対象現象の選定

発生が想定される現象全てに対応できる施設整備が行われるのが最良であるが、現在の社会情勢より際限なく規模の大きい施設を整備することは現実的ではない。被害が想定される case3～case5 の3パターンの崩壊規模について、以下のように現象ごとの対策の考え方を整理した。

(1) 観測結果に基づく検討

前章での整理より、溶岩ドームの第11ローブの変位が確認されている。第11ローブ下方の第4ローブや地山などが第11ローブと一緒に変位している可能性も完全に否定できないが、溶岩ドームの内部構造が不明であり、議論する材料が不足している。少なくとも第11ローブ自体は変位している

(2) 全国で発生した既往の崩壊規模との比較による検討

建設省土木研究所（現国土交通省国土技術政策総合研究所）による、1988年に大規模崩壊地（概ね幅400m以上）73カ所について崩壊土砂量と発生頻度を整理したグラフを下図に示す。また、本検討の5ケースについて累計割合のどこに相当するか整理した表を右表に示す。

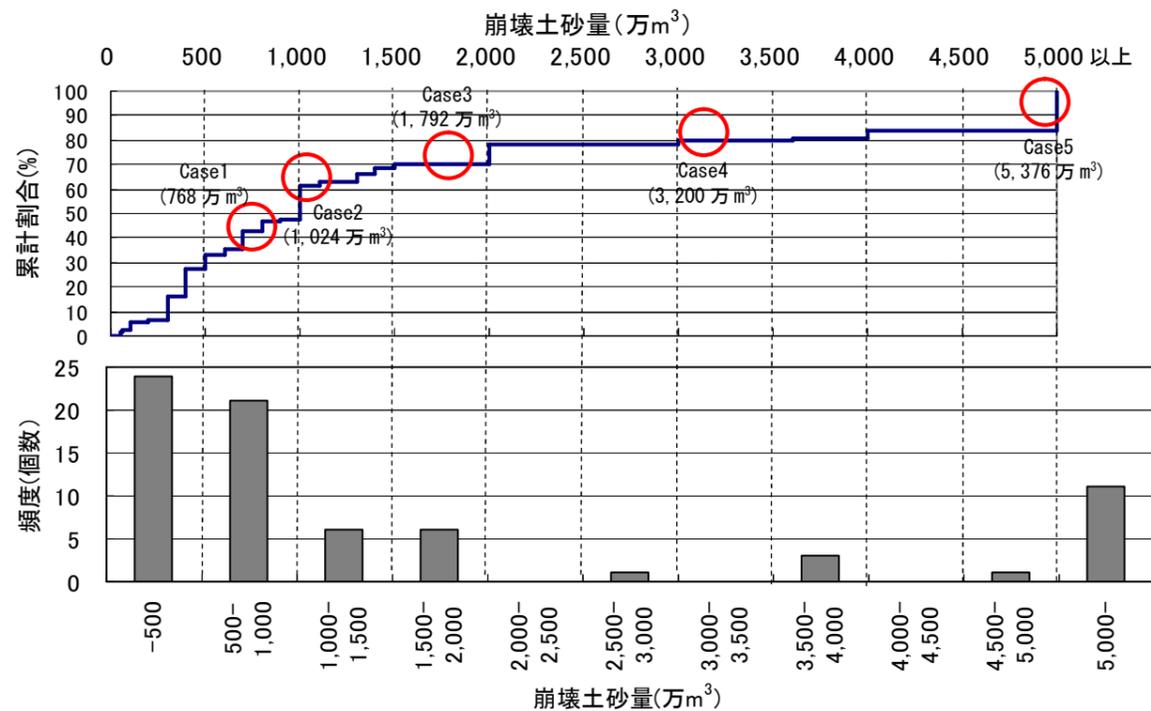


図-2.2 土砂量毎の崩壊地数の整理(上：累計割合図 下：頻度分布図)
 (地震に伴う大規模斜面崩壊に関する研究 -崩壊の発生と崩壊土砂の流下機構の解明-
 (建設省土木研究所, 1988)のデータより作成)

表-2.2 各 case が崩壊地整理に該当する累計割合 (%)

ケース	想定崩壊	対象土量 (万m³)	土木研究所による崩壊地整理に該当する累計割合 (%)
case1	第11ローブJ1亀裂部より下方の亀裂部より崩壊	768	42
case2	第11ローブのJ1亀裂部より下部が崩壊	1,024	61
case3	第11ローブと第4ローブの境界より上部全体が崩壊	1,792	70
case4	崩落堆積物と第4ローブの境界より上部が崩壊	3,200	79
case5	噴火前の地山の境界で崩壊	5,376	85

case3 の 1,792 万 m³ 以下の崩壊土砂量の崩壊の頻度が高く、全体の 70% を占める。

(3) 対策の考え方の整理

以下の情報が整理された。

- ① 少なくとも第11ローブの変位は確認されている。
- ② 第11ローブが崩壊した場合の土砂量は、全国の大規模崩壊地の土砂量ごとに整理した場合の累計割合の7割に相当する。

以上より、case3 をハード対策の対象として設定し、case4、case5 についてはソフト対策をハード対策を組み合わせた対策を行うことを提案する。

3 ハード対策の検討

3.1 ハード対策の方針に関する検討

溶岩ドーム崩壊へのハード対策案の整理を以下に示す。対策区間の定義は図- 3.1 に示す。

表- 3.1 溶岩ドーム崩壊へのハード対策案

対策区間	溶岩ドーム崩落区間	岩塊流れ流下区間	岩塊流れ堆積・氾濫区間	
対策	・溶岩ドーム崩落の抑止	・岩塊流れの大粒径礫の捕捉 ・岩塊流れの減勢	・岩塊流れの捕捉 ・河道外への氾濫の防止 ・下流への安全な流下	
工種	・アンカー工 ・杭工	・捕捉工 (透過型堰堤の新設、 リングネットの設置等) ・遊砂地の新設	・捕捉工(堰堤新設、既設堰堤の嵩上げ) ・遊砂地の新設 ・導流堤の嵩上げ ・河道の拡幅	
評価項目	効果	×	△	○
	施工性	×	△	○
	経済性	×	△	○
総合評価	×	△	○	

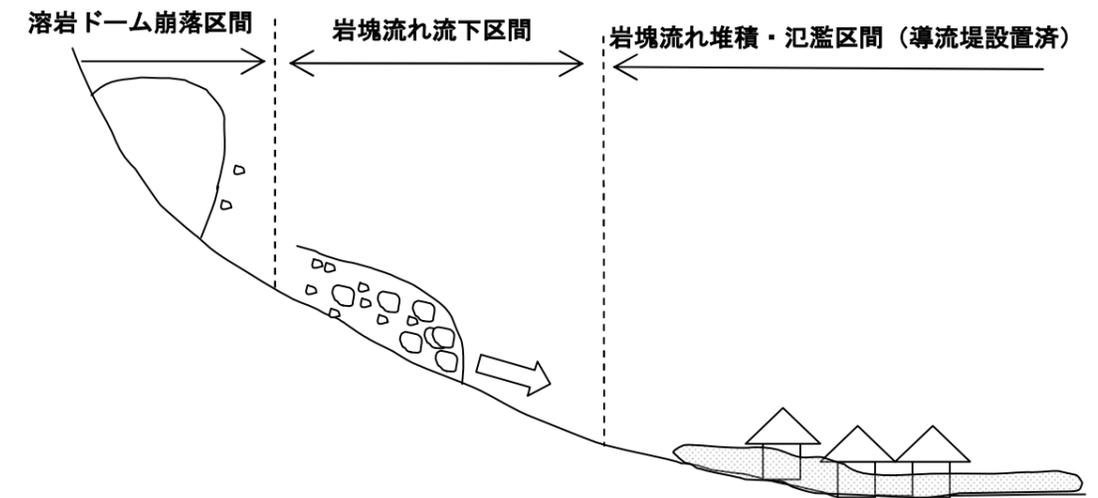


図- 3.2 対策区間の定義

表の整理より、溶岩ドーム崩壊に対するハード対策の方針を下記に示す。

- ・ 岩塊流れ堆積・氾濫区間におけるハード対策の実施が有利である。
- ・ 流域内の既存施設の内、規模が大きくアクセスが良い水無川 1 号砂防堰堤、水無川 2 号砂防堰堤の嵩上げを行い、土砂捕捉容量を確保することが効率的である。
- ・ 溶岩ドーム崩落区間、岩塊流れ流下区間における対策は原則として行わない。

4 ソフト対策の検討

4.1 ソフト対策の対応メニューと課題の整理

本章で検討する内容の位置づけについて整理し、「突発的に崩壊が発生した場合」及び「崩壊につながる前兆現象が確認された場合」の対応（工事従事者及び住民が緊急避難する仕組み等）について議論を行うものとする。

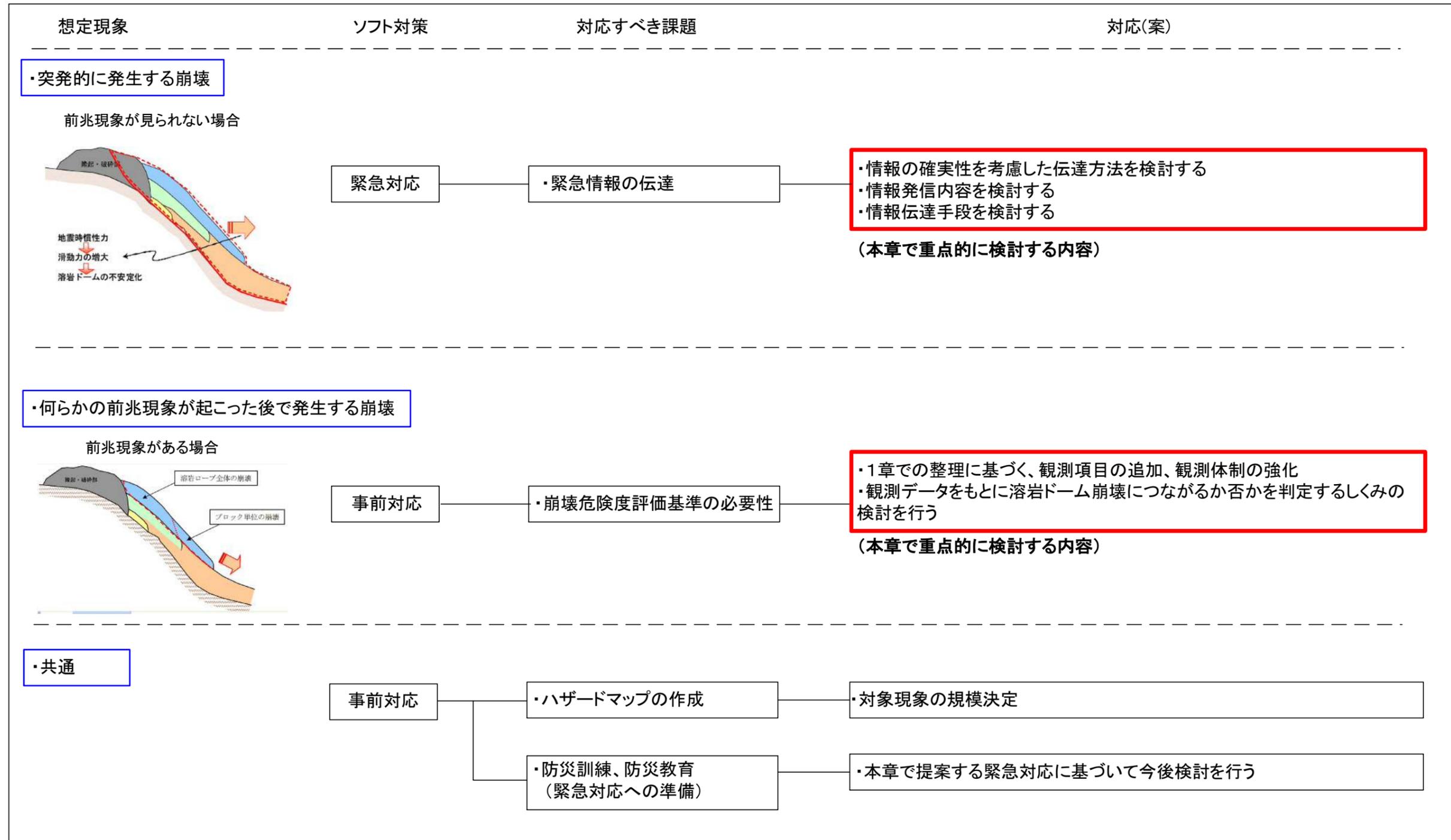
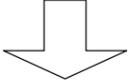


図- 4.1 ソフト対策の対応メニューと課題

4.2 今後の溶岩ドーム崩壊の調査・観測項目に関する提案と目的

現在の調査・観測体制をふまえた今後の溶岩ドーム崩壊に関する調査・観測項目の対応（案）を示す。

表- 4.1 今後の溶岩ドーム崩壊に関する調査・観測項目の対応（案）

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	今後の対応(案)	備考		
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>	<ul style="list-style-type: none"> ■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、<u>今後の成果に期待する。</u> ■<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> ■航空レーザー計測に加えて、<u>自動解析が可能な地上型合成開口レーダー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ー計測で地形変動を把握する。（参考1：反射プリズムの追加配置による観測手法を参照、参考2：プリズム追加配置による観測体制の強化（案）、参考3：溶岩ドームの崩壊危険度評価手法）</u> 			
		■不安定ブロックの把握	■地上レーザー計測	■精度を確保できる地上レーザー計測の有効距離が800mのため、危険区域内の作業となり、危険度が高い。		
		■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。			
			<ul style="list-style-type: none"> ■ボーリング調査 ■弾性波物理探査 	■溶岩ドーム上での実施が困難		
		■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。	<ul style="list-style-type: none"> ■ボーリング調査 ■孔内傾斜計 	■溶岩ドーム上での実施が困難		
						
		上記の対応により溶岩ドームの崩壊規模に関する新しい知見が得られた場合には、それを反映したシミュレーションにより影響範囲を推定する。				
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。	■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。			
		■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。				
	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。			

参考1：反射プリズムの追加配置による観測手法

1) 不安定ブロックの把握

溶岩ローブの動きをもとに崩壊ブロックを想定して、崩壊規模を把握する方法として大きく以下の3ケースが想定される。

① 溶岩ローブの一部が崩壊するケース

ドーム上部の変位量が小で、下部の変位量が大の場合、亀裂部より下方が崩壊する可能性が高いと考える。

② 溶岩ローブ全体が崩壊するケース

ドーム上部の変位量が大で、下部の変位量が小の場合、ローブ全体が崩壊する可能性が高いと考える。

③ 溶岩ローブ全体と下方斜面が崩壊するケース

ドームの変位量よりも、ドームより下方斜面の変位量が大の場合、ドームより下方斜面よりローブ全体が崩壊する可能性が高いと考える。

上記のイメージを縦断的に示したものを図-4.2に示す。

現在溶岩ドームの先端部付近に設置されてある計測点以外に、溶岩ドーム上部へも光波測距計測点を追加する必要がある。

2) 溶岩ドーム脚部の安定性把握

溶岩ドーム脚部の安定性を把握するため、以下の手法により斜面変状を確認することが考えられる。

- ・ 溶岩ドーム脚部への光波測距計測点の追加。

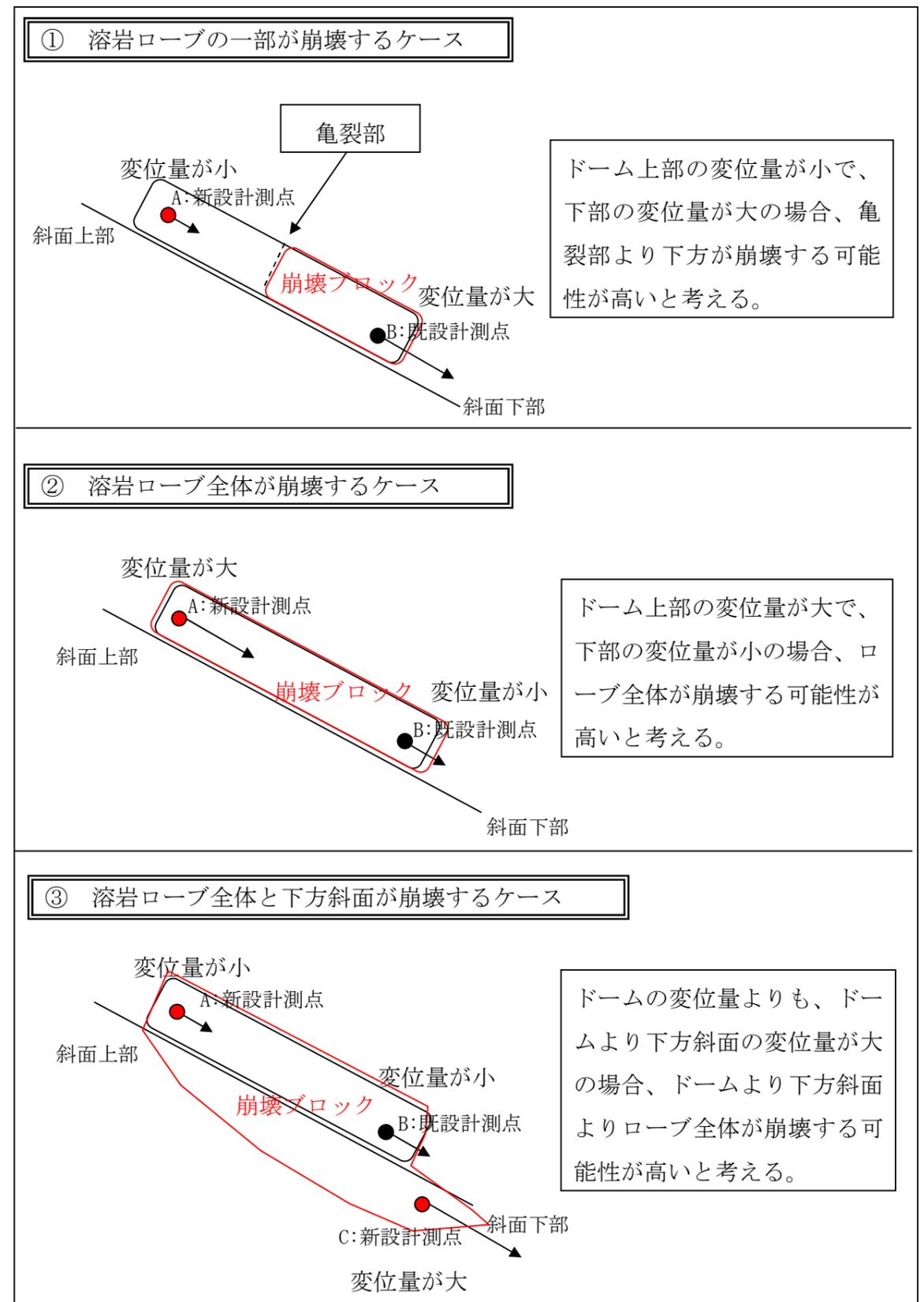


図-4.2 溶岩ドームの動きをもとにした崩壊規模の推定方法

参考2：プリズム追加配置による観測体制の強化（案）

現状では溶岩ローブの先端付近にのみ光波測距のプリズムが設置されているため、溶岩ローブの下方だけ移動しているのか、溶岩ローブ全体が動いているかは、不明である。

今後の調査・観測体制の強化（案）として以下の事項を実施して、溶岩ドームの挙動を全体的に包括できる調査・観測体制を整備していく必要がある。

- ・ 光波プリズムの観測ポイントを溶岩ローブの上部や脚部斜面に増加する。
- ・ 光波プリズムの観測ポイントの増加には限界があるため、地上型合成開口レーダー等を用いた面的観測が可能な体制を整備する。

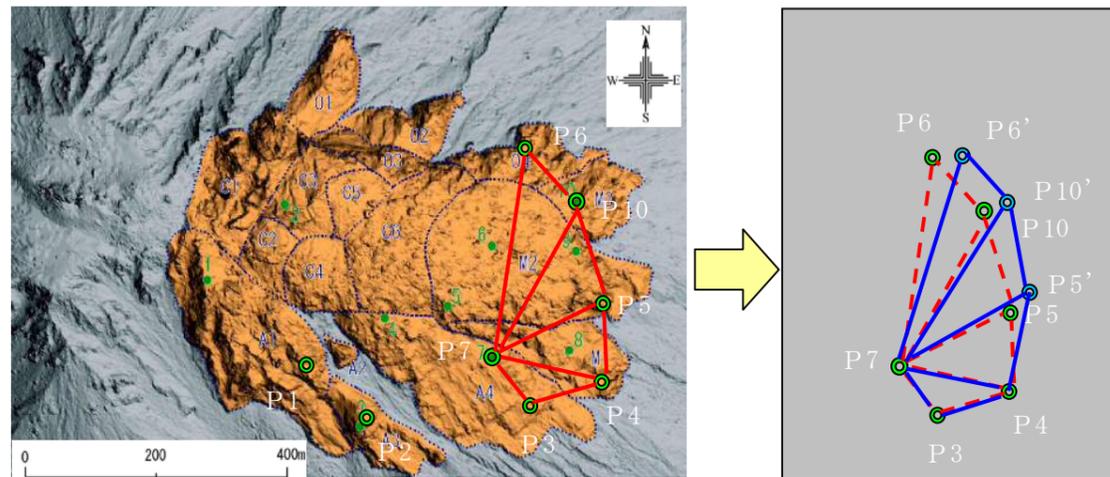


図- 4.3 三角形の面ひずみの変化イメージ

参考3：溶岩ドームの崩壊危険度評価手法

溶岩ドームの崩壊危険度の把握方法として以下の二つが考えられる。

- ① 溶岩ドーム上に設置されたプリズムに対する光波測距から求められる変位量の増加
 これまでの変位の傾向から急激に変化が増加した場合は、溶岩ドーム崩落の可能性が高くなっていると考えられる。また、「変位速度」や三点の変位速度から求めた「三角形の面ひずみ」の変化速度に加えて「累加変位量」の解析・評価も検討する必要がある。
- ② 振動センサー等から確認される落石回数
 これまでの落石回数よりも、ある方向の落石回数が増えてきたら、ある方向のブロックが移動して溶岩ドーム崩落の可能性が高くなったと考えられる。しきい値の設定はこれまでの観測で計測されたバラツキ以上の変化を有意な変化と考える。

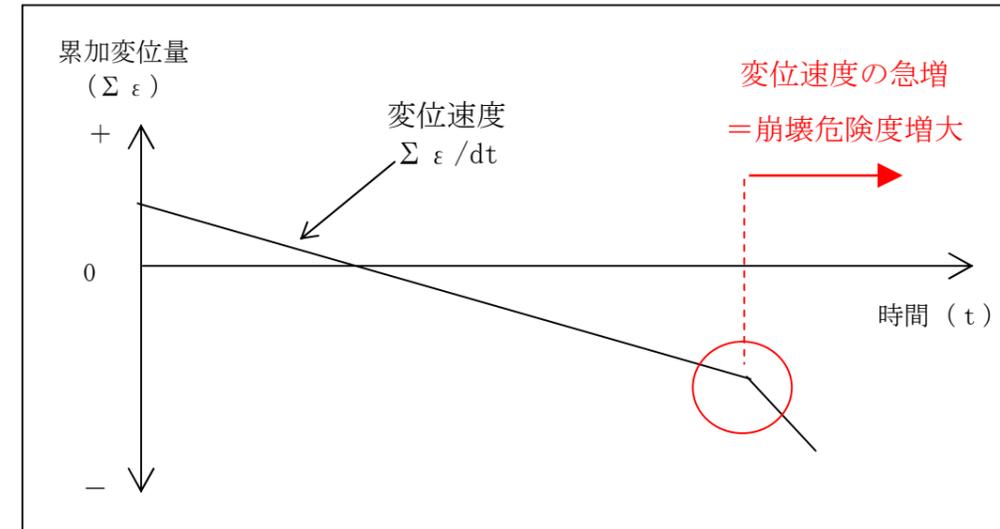


図- 4.4 プリズム変位の傾向から把握する崩壊危険度イメージ

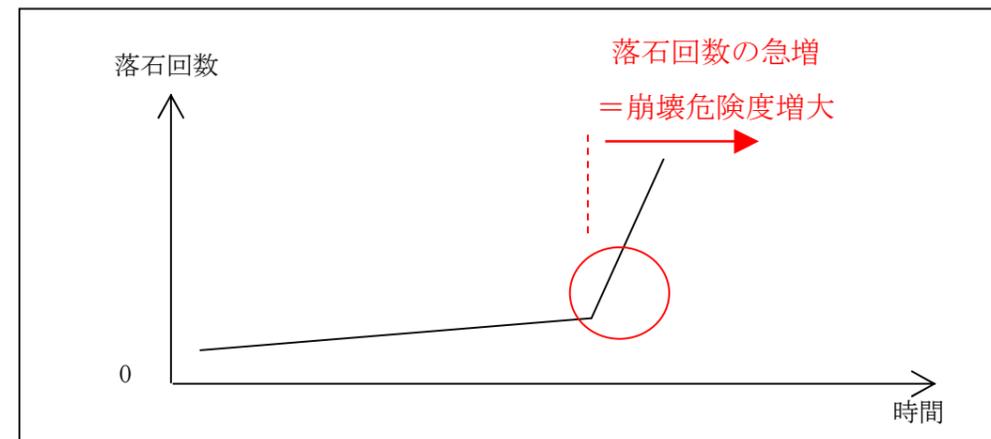


図- 4.5 振動センサーの落石検知から把握する崩壊危険度イメージ

参考4：崩壊危険度の評価基準の設定

1) 溶岩ドーム崩壊のトリガ（誘因）と変形（内部要因）の危険度クロスチェックによる評価

将来的には、溶岩ドーム崩壊のトリガ（誘因）と変形（内部要因）の危険度をクロスチェック評価ができる以下のような基準を作成することが望ましい。

表- 4.2 崩壊危険度のクロスチェックによる評価のイメージ

震度 (誘因)		1もしくは 2	3	4	5弱	5強
変 位 量	XXcm/年以下	—	—	—	△	○
	YYcm/年以上	—	—	△	○	◎
	ZZcm/月以上	—	△	○	◎	◎
(例)	WWcm/日以上	自重で崩壊				

凡例：

◎ 相対的に崩壊危険度が高い、○ 崩壊危険度がある程度高い

△ 崩壊するかどうかわからない、— おそらく崩壊しない

2) 振動センサーの利用による落石発生検知

溶岩ドームの崩壊規模の推定に用いる光波測距と地上型合成開口レーダーによるドームの変位と落石回数を組み合わせた崩壊危険度評価基準などの作成。

4.3 現在の情報の流れの整理

現在の溶岩ドーム崩壊に関連する情報の流れは以下のとおりである。

表- 4.3 現在の溶岩ドーム崩壊に関連する情報の流れ

情報提供時期	内容
常時	現在共有されている情報は、地震情報、降雨情報、カメラ画像である。
異常発生時	雲仙復興事務所の工事期間中の昼間において、異常が発見された場合、大野木場砂防監視所から周辺の工事関係機関へ連絡される。

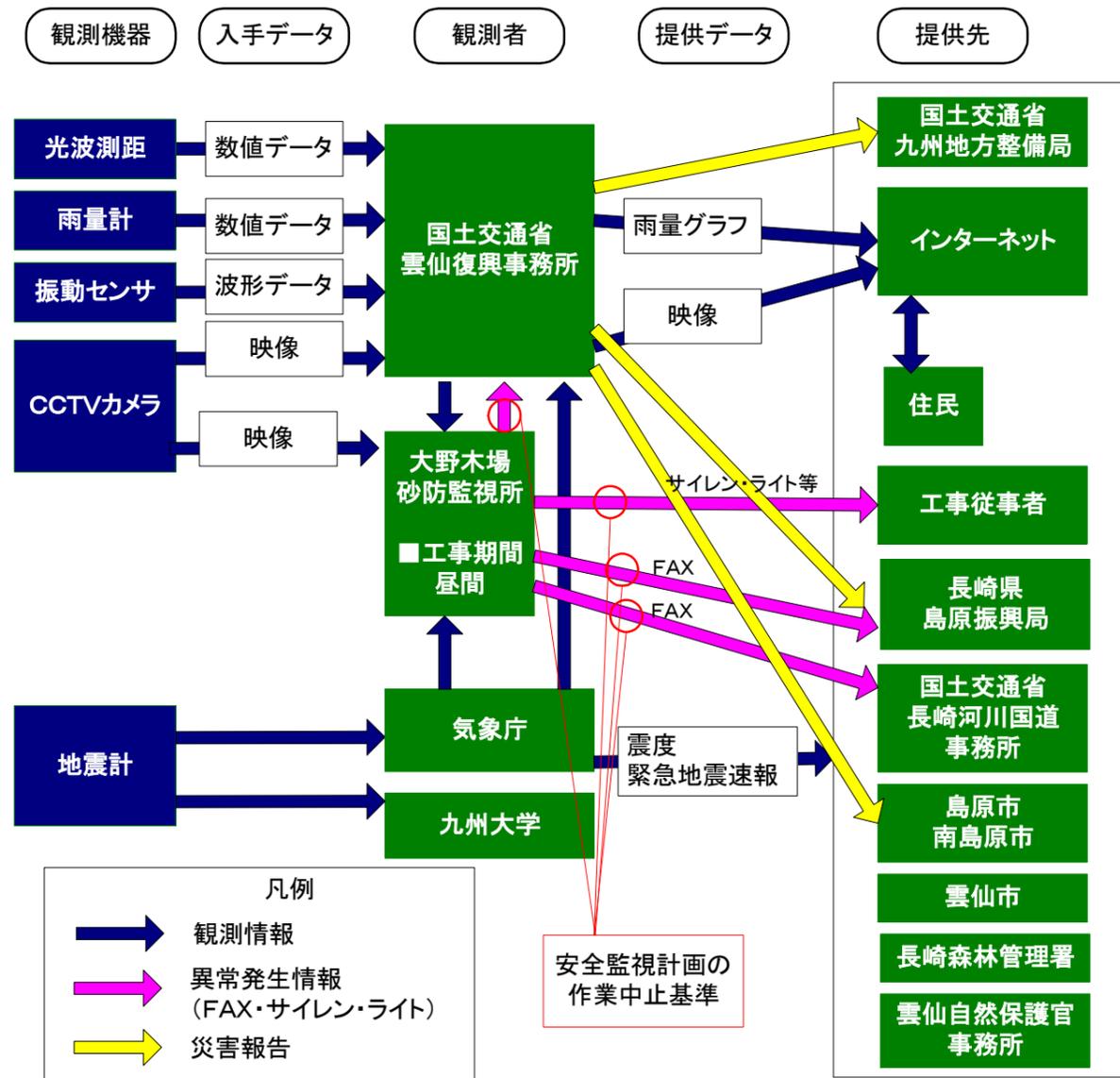


図- 4.6 現在の溶岩ドーム崩壊に関連する情報の流れ

参考5：現在の雲仙復興事務所における工事安全対策

作業内容	警戒項目	警戒基準	措置内容
砂防指定区域内でのすべての作業	土石流	<ul style="list-style-type: none"> 大雨洪水警報が発令された場合 時間雨量 10mm 以上の降雨があった場合 大雨注意報が発令され且つ、大雨注意報基準値 (24 時間雨量 90mm 以上に達した場合) 土石流の発生確認時 その他関係機関より中止の通告があった場合 	<ul style="list-style-type: none"> FAX・メールにて作業中止連絡 FAX・メールにて作業中止連絡 FAX・メールにて作業中止連絡 緊急避難勧告 FAX・メールにて作業中止連絡
	溶岩ドーム及び土砂崩落	<ul style="list-style-type: none"> 有感地震があった場合 (震度 2 以下) 有感地震があった場合 (震度 3 以上) 山体監視により崩落など異常を確認した時 	<ul style="list-style-type: none"> FAX・メールにて作業中断連絡 緊急避難勧告 緊急避難勧告

4.4 突発的に発生する崩壊に対する緊急対応の課題

崩壊シミュレーションは崩壊影響範囲を示した物で、岩塊の移動速度は表現できない。ちなみに、平成3年当時の火砕流の場合は発生から5分程度で国道57号付近に到達した。このことから、避難時間がほとんど無いと考えられる。工事従事者、住民、関係機関への情報伝達が必要であるが、現時点では住民への情報伝達方法（タイミング、手段等）が設定されていない。

ここでは、住民への情報伝達を行う際の検討項目を整理した。

- ・ 情報の確実性を考慮した伝達方法
- ・ 情報発信内容
- ・ 情報伝達手段

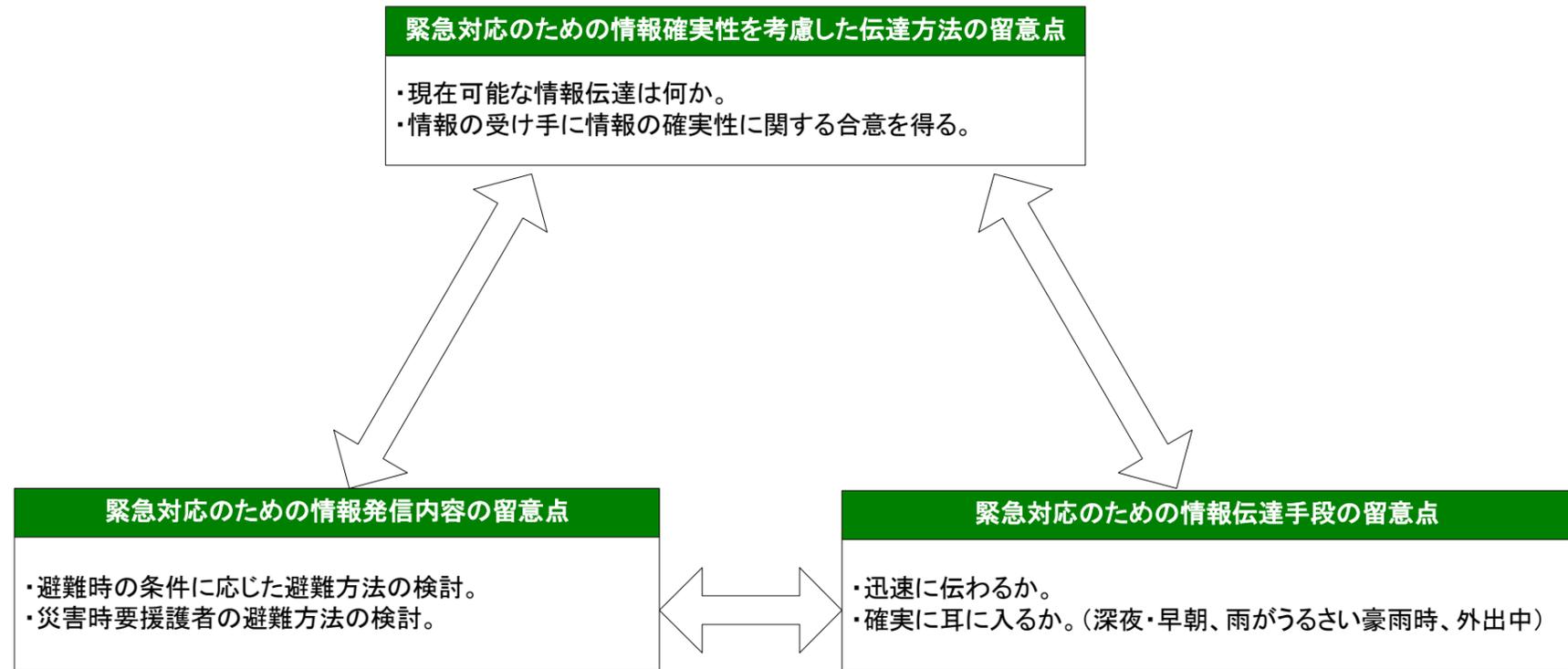


図- 4.7 緊急対応のための留意点

(1) 情報の確実性を考慮した伝達方法

情報確実性の情報発信側における留意点として、以下のものがある。

- ・情報の精度に応じた情報伝達を検討する。
- ・情報精度に関する周知を検討する。

表- 4.4 情報の確実性を考慮した伝達方法

留意点	現状	課題	対応（案）
現在可能な情報伝達は何か。	<ul style="list-style-type: none"> ・地震等により突発的に発生する崩壊の予測は不可能である。 ・地震の発生は検知できる。 ・崩壊が発生すれば確実性（しきい値など）が100%ではないが、検知することができる。 	<ul style="list-style-type: none"> ・地震の発生直後にしか情報が伝達できない。 	<ul style="list-style-type: none"> ・震度5以上の地震が発生したら崩壊の危険性があると住民にはあらかじめ周知しておく。 ・地震後に落石発生が検知される場合、直ちに住民等に伝達する。
情報の受け手に情報の確実性に関する合意を得る。		<ul style="list-style-type: none"> ・災害発生予測は、100%確実なものではない。 	<ul style="list-style-type: none"> ・溶岩ドーム崩壊危険情報の確実性を向上するための調査・観測体制を強化する。 ・住民への周知を徹底するための防災教育の推進。

(2) 情報発信内容

情報発信すべき事項として以下のものがある。

- ・危険範囲（岩塊の流れ、ブラスト（砂粒の微細粒子を含んだ強風で方向性があるもの））
- ・避難猶予時間（発生現象の到達時間、速度）

情報発信内容の留意点として、以下のものがある。

- ・避難時の条件に応じた避難方法の検討（時間帯：昼か夜か、天候：雨か晴れか）
- ・災害時要援護者の避難方法の検討

情報発信内容の留意点をふまえて、わかりやすいハザードマップ・防災マップの検討が今後必要である。

- ・ハザードマップ：危険範囲の周知を主に目的としたもの。
- ・防災マップ：災害に対し、どう対処すべきかまでも示したもの。

(3) 情報伝達手段

崩壊シミュレーションは崩壊影響範囲を示した物で、岩塊の移動速度は表現できない。ちなみに、平成3年当時の火砕流の場合は発生から5分程度で国道57号付近に到達した。このことから、避難時間がほとんど無いと考えられる。

情報伝達手段の留意点として、以下のものがある。

- ・迅速に伝わるか。
- ・確実に耳に入るか。（深夜・早朝、雨がうるさい豪雨時、外出中）

情報伝達手段の留意点をふまえて、情報伝達手段の検討が必要である。

情報伝達手段の例としては、以下のものがあげられる。

表- 4.5 情報伝達手段

情報伝達手段	危険情報
戸別無線機	○
防災ラジオ	○
拡声器	○
広報車両	×準備に時間を有する
近隣の声かけ	△伝達に時間を有する
携帯電話メール	○
テレビ（CATV）	△深夜は見えていない

4.5 何らかの前兆現象が起こった後で発生する崩壊に対する事前対応の課題

調査・観測結果の情報を、どのように防災に役立つ情報に変換するのか整理した。

防災対応に必要な情報は、「崩壊規模・氾濫範囲の情報」と「溶岩ドーム崩壊危険度に関する情報」がある。

表- 4.6 防災対応に必要な情報

情報発信 時期	防災対応に 必要な情報	情報の利用	情報提供 の対象	具体的な対応	課題と対応（案）
事前	崩壊規模・氾濫範囲 の情報	どこまで人が避難するか の判断に役立つ。	住民	ハザードマップ→防災マップの作成・配布	<ul style="list-style-type: none"> ・氾濫範囲を検討する溶岩ドームの崩壊規模が複数ある。 ・現時点では安全側を見て、最大規模の氾濫範囲を採用する。 ・今後、新しい知見が得られた時点で随時、氾濫シミュレーションの 確度を上げていく。（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1にあたる）
			関係機関	光波測距の変位グラフの提供 地上型合成開口レーダーの画像の提供	
崩壊発生 の数日～ 数時間前	溶岩ドーム崩壊危険 度に関する情報	安全な場所まで避難する ことができる。	住民	避難情報の発表	<ul style="list-style-type: none"> ・観測の強化により基準値設定のためのデータを収集する。 ・観測データの変位速度、落石回数に顕著な変化が現れた場合にデー タを整理し、「溶岩ドーム崩壊危険度判定会（仮称）」を立ち上げる 準備を行う（4.6に詳述）。
			関係機関	光波測距の変位グラフの提供 地上型合成開口レーダーの画像の提供 振動センサーによる落石回数検知結果の提供	

4.6 情報共有手段の検討

観測者から関係機関へ情報提供するにあたり、あるしきい値を超えた場合にのみ、危険度情報を提供するものとする。また、関係機関に観測情報を提供する際は、観測データをそのまま送付するのではなく、グラフ等の視覚的にわかりやすい形に変換することが望まれる。

重力による自然崩壊や降雨等による溶岩ドーム末端の抑え消失に伴う崩壊の場合における情報共有手段（案）として、以下の条件のどれかに合致する場合に、「光波測距変位が顕著な位置」、「地上型合成開口レーダー画像」、「落石回数等」の情報を提供する。

- ・ 光波測距の変位速度が顕著に変化した場合
- ・ 地上型合成開口レーダー画像が顕著に変化した場合
- ・ 落石回数が顕著に増加した場合

現状では、観測データから自動で溶岩ドーム崩壊危険度判定をできるほどデータの蓄積がない。そのため、溶岩ドーム崩壊危険度の機械的な判断が困難であることから、提供された情報をもとに、関係機関の関係者で構成する「溶岩ドーム崩壊危険度判定会（仮称）」を開催し、崩壊危険度を検討することが望ましいと考えられる。検討結果の崩壊危険度は、関係機関等へ提供して、住民の避難活動に利用する。

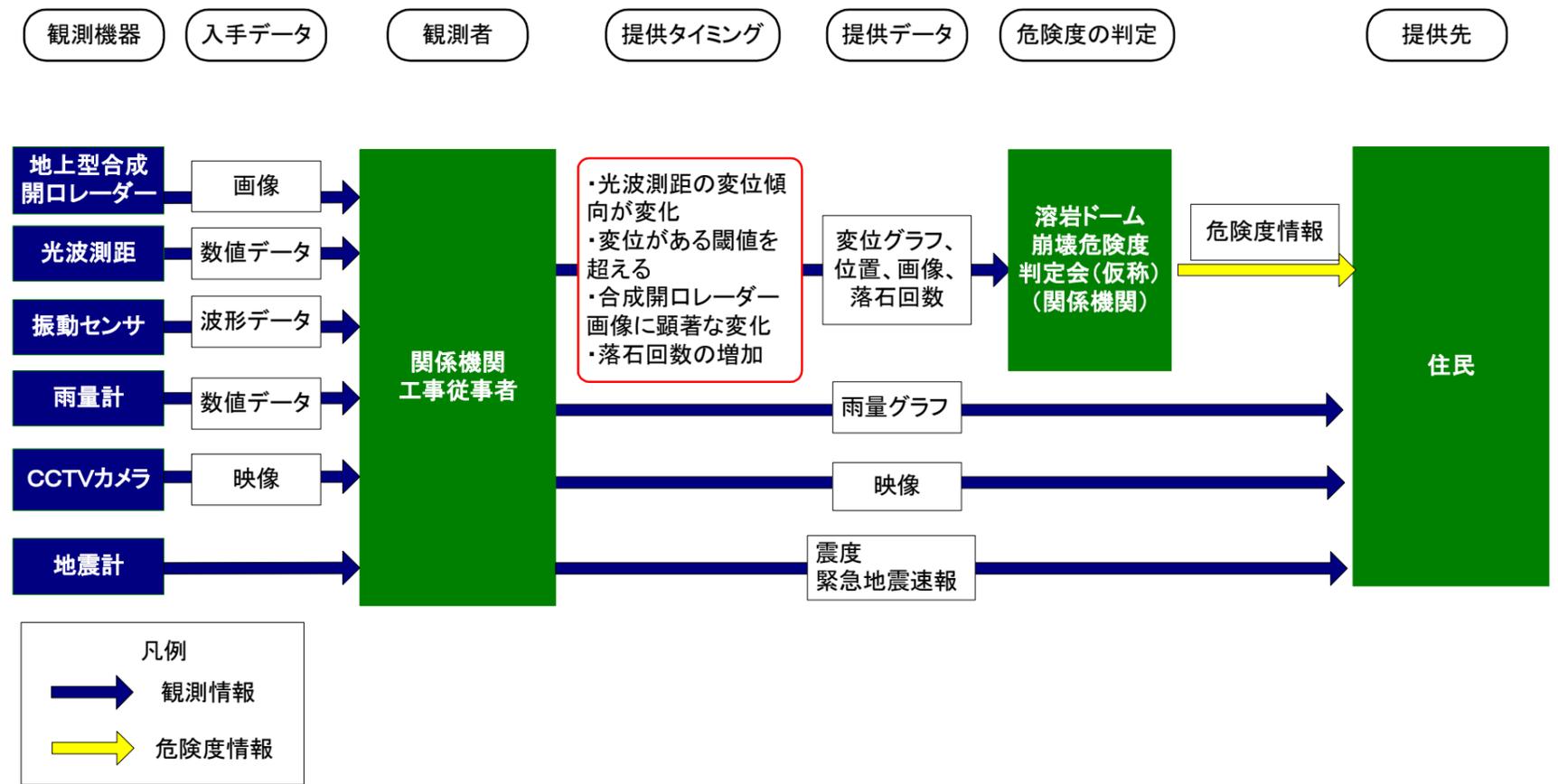


図- 4.8 重力による自然崩壊や降雨等による溶岩ドーム末端の抑え消失に伴う崩壊の場合における情報共有手段(案)

4.7 今後対応すべきことのまとめ

ハード対策の完成まである程度の時間がかかるため、今後対応すべき溶岩ドーム崩壊に対するソフト対策メニューを以下に整理した。

表- 4.7 今後対応すべき溶岩ドーム崩壊に対するソフト対策メニュー（案）

実施にあたる間隔	実施内容	備考
現在からできること	工事期間中の昼間、工事の安全対策の監視中に異常があればサイレンをならし、工事従事者に異常発生を知らせる。	夜間の異常については、監視員がいないため対応できない。
	緊急地震速報を利用して、溶岩ドーム崩壊を警戒する。	
	崩壊・落石等が確認できたら、市役所防災担当者に緊急に連絡する。	
数年後に実施可能と思われること	光波測距観測データを自動解析して、変位の異常発生を知らせるシステムを整備する。	
	光波測距の複数の観測点データをもとに、面的なひずみを自動解析する機能を整備する。	
	光波測距、落石回数のしきい値を設定する。	
	監視中に異常があればサイレンをならし、周辺住民に異常発生を知らせる。	
	関係機関が観測結果を閲覧できるインターネットサイトを整備する。	
	溶岩ドーム崩壊のハザードマップ、防災マップを作成、配布する。	
	溶岩ドーム崩壊に対する防災訓練を実施する。	
さらに準備期間が必要なこと	地上型合成開口レーダーのしきい値を設定する。	
	CCTVカメラ画像の落石・崩壊自動判別システムを整備する。	

参 考 資 料

- 参考資料 1. 光波測距関係資料
- 参考資料 2. 現地調査関係資料
- 参考資料 3. 岩盤試験関係資料
- 参考資料 4. 溶岩ドーム内部構造推定関係資料
- 参考資料 5. 溶岩ドーム安定解析関係資料
- 参考資料 6. 溶岩ドーム崩壊影響範囲図

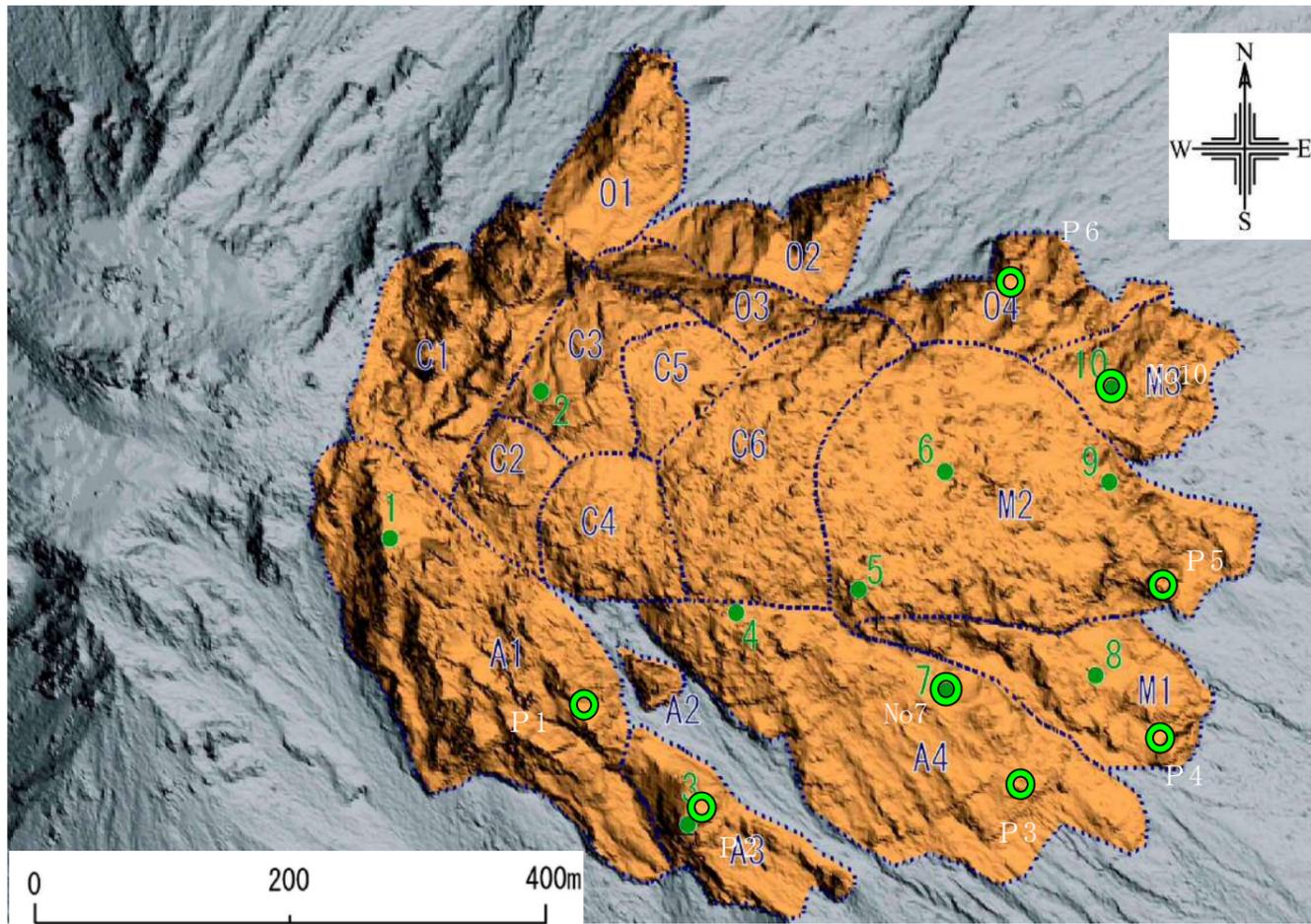


図 反射プリズム設置位置

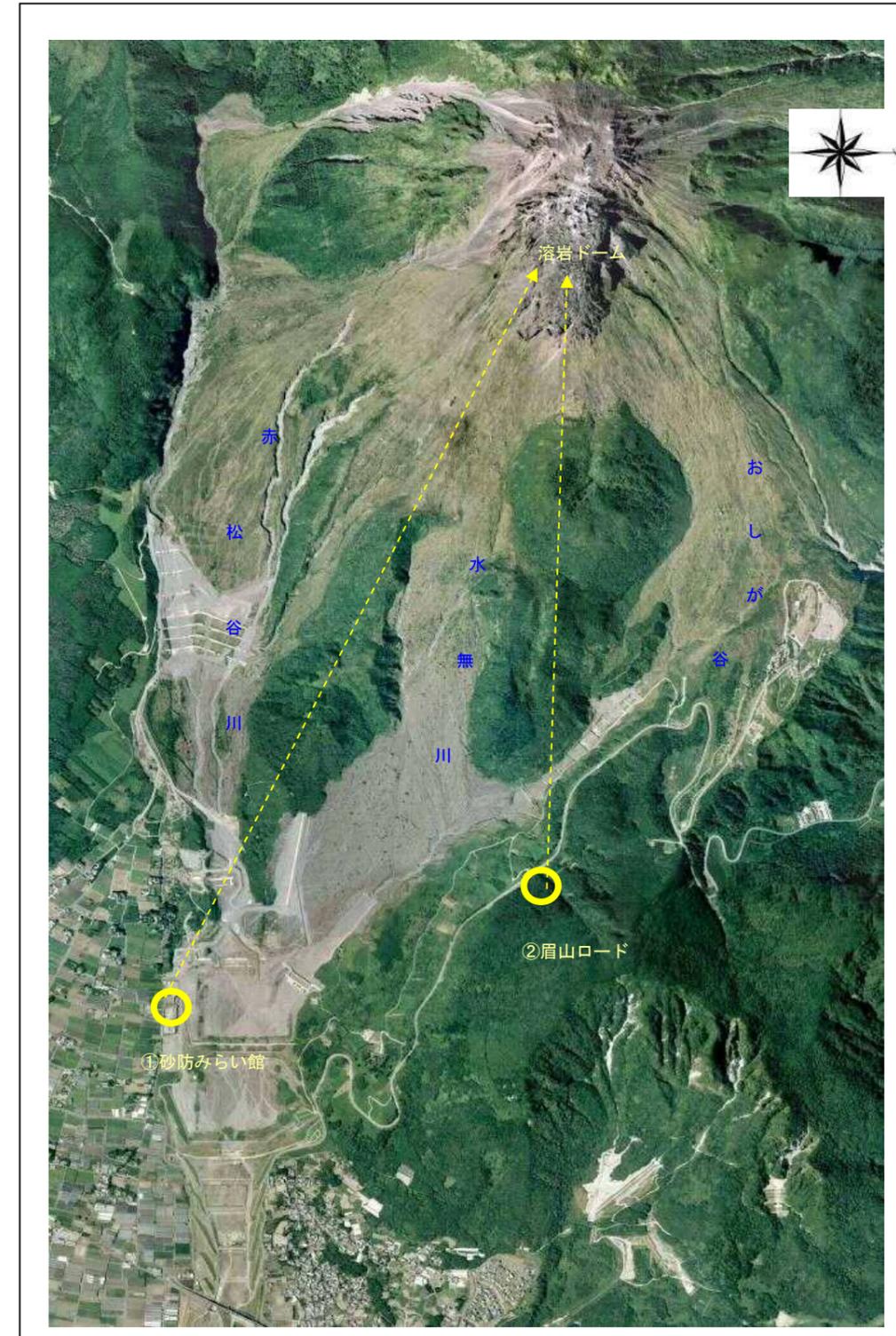


図 現状の光波測距による監視観測体制

参考資料 1. 光波測距関係資料

各プリズム設置点における斜距離

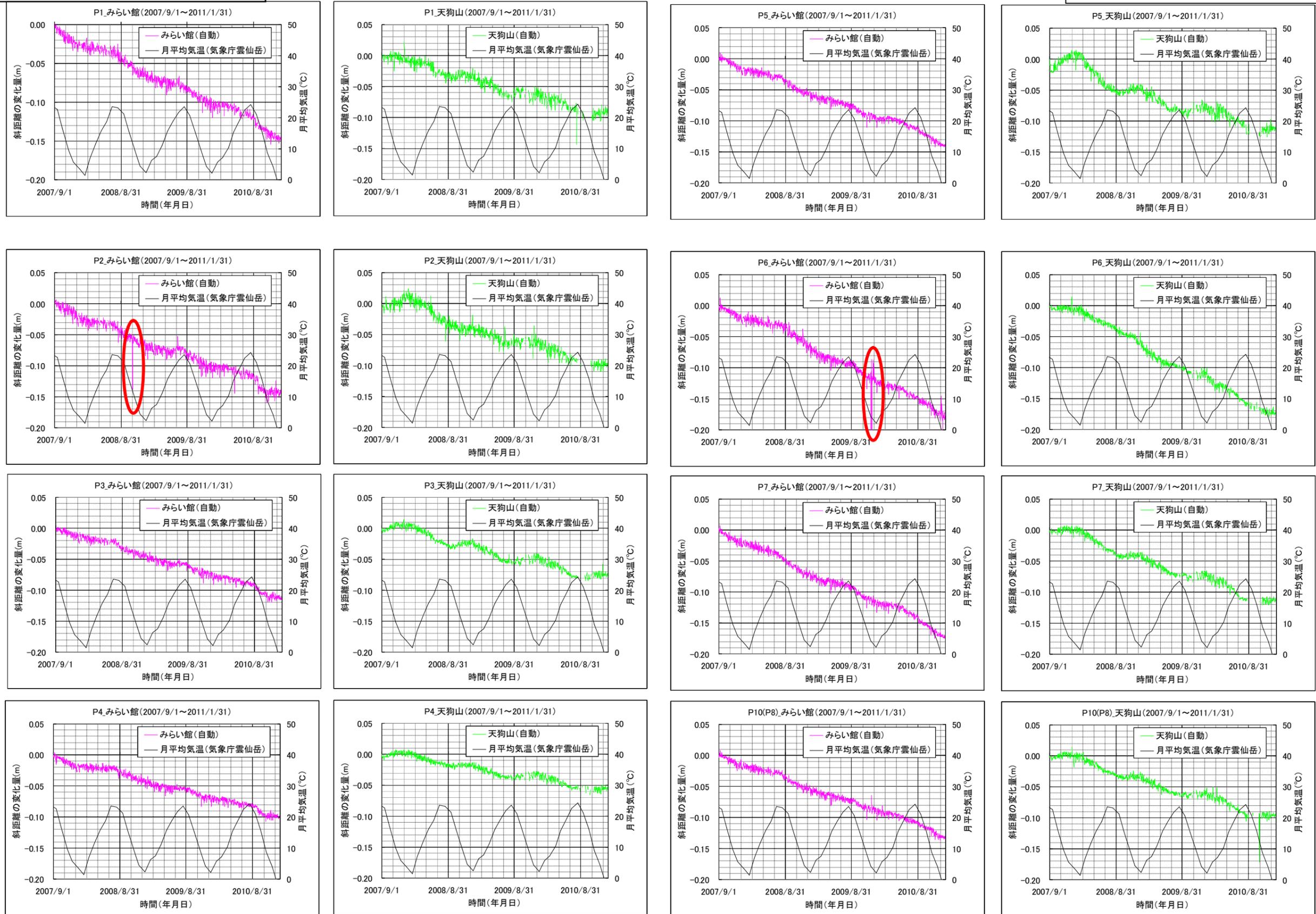


図 各プリズム設置点における斜距離の変化量 (紫；みらい館、緑；天狗山)

※赤丸のように一部大きな変化が見られるが、その後同じ観測傾向を保っていることから異常値ではなく、雲等の気象変化によるものと考えられる。
 ※斜距離の変化は気温の変化を受けており、気温が下がれば、斜距離は伸びる傾向が確認される。これは、光波測距の一つの特徴といえる。

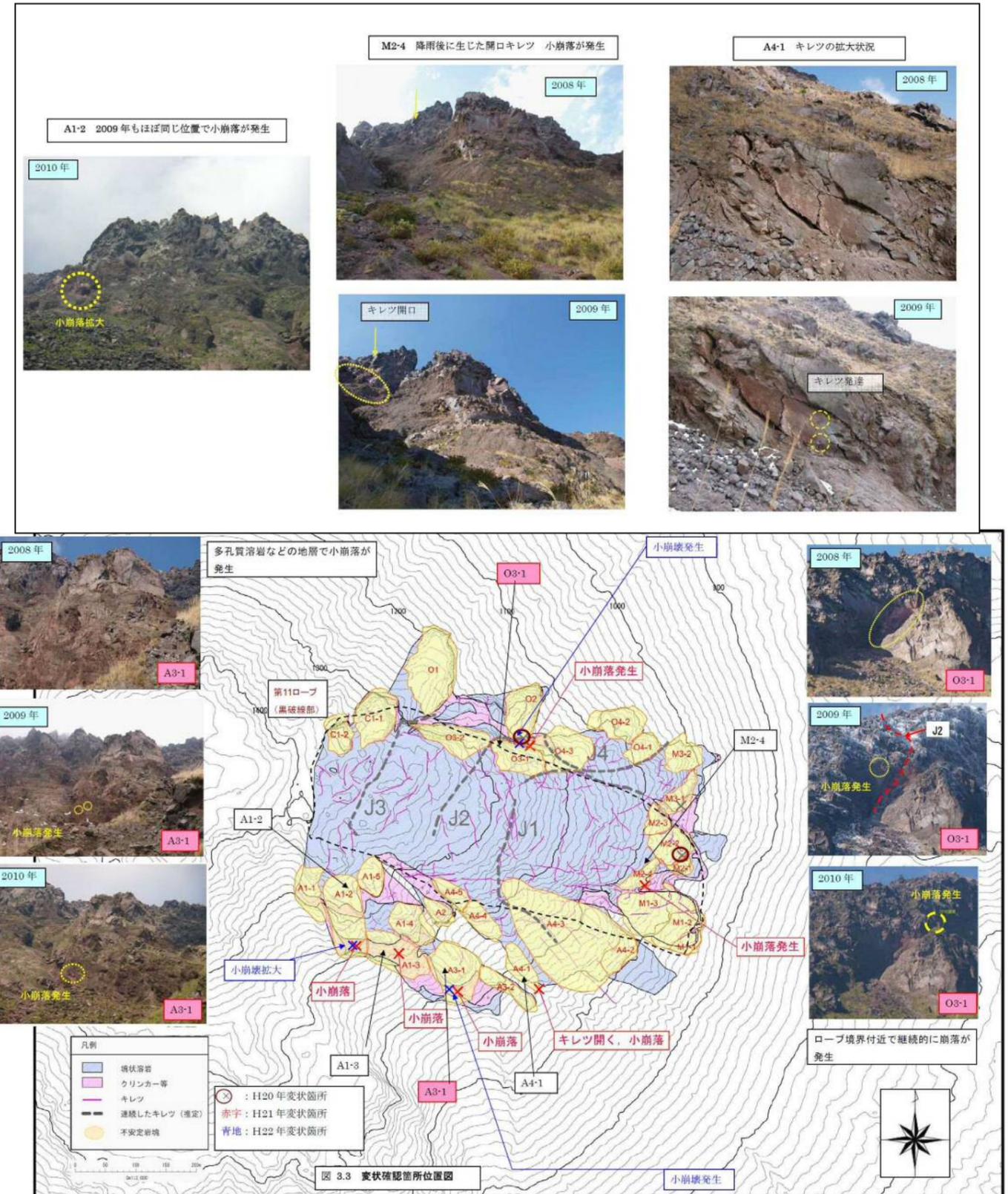
参考資料 2. 現地調査関係資料

■ 現地調査による不安定要因の確認

光波計測において経年的に移動量が観測されている溶岩ドームに対して、キレツの拡大などの変化が見られるか現地調査を実施した。

調査方法は、末端部の不安定ブロックにおけるキレツ開口や小崩落の継続箇所の把握である。平成 20 (2008) 年～22 (2010) 年に実施した目視観測の比較結果では、主に以下の箇所で崩落や亀裂の開口が認められた。

- ・北側：第 11 溶岩ローブに覆われる北側では、J2 亀裂の連続部、ローブの境界付近で継続的に崩落が発生 (O3-1 付近：右下図に示す)。
- ・東側：第 11 溶岩ローブに覆われる東側では、現地調査の結果、降雨前と降雨後で亀裂の開口が見られた (M2-4)。この付近は平成 20 (2008) 年にも M2-2 付近で小崩落の発生が見られた (右下図に示す)。
- ・南側：溶岩層の下にある多孔質溶岩などの地層で小崩落が発生 (A3-1)。また、ローブ内に亀裂の拡大が見られるところもあった (A4-1)。南側では小崩落を発生する箇所が多く、A1-2、A3-1 は継続的に崩落が発生している。



1. 岩盤試験（平成 20 年度実施）

1.1. 試験概要

試験は、溶岩、クリンカー、火砕流堆積物および参考として旧表土を対象に地質区分毎の地盤性状の把握や、溶岩ドームを含めた山体部の斜面安定検討に必要な地盤定数を得ることを目的に実施した。

1.1.1 試験項目および数量

平成 20 年度に調査で実施した試験の項目と数量を表 1-1 に示す。

表 1-1 現場および室内試験項目および数量

試験項目		地層				合計	
		溶岩	クリンカー	火砕堆積物	旧表土		
現場	密度試験（水置換法）	0	0	3	0	3	
室内	土質	土粒子の密度試験	0	0	4	2	6
		礫の比重・吸水率試験	0	0	10	0	10
		含水比試験	0	0	1	1	2
		粒度試験	0	0	14	2	16
		CU 三軸試験	0	0	0	1	1
	CD 三軸試験	0	0	1	0	1	
	岩石	吸水、有効間隙率試験	6	0	0	0	6
		超音波速度試験	6	0	0	0	6
		一軸圧縮試験	6	0	0	0	6
		圧裂試験	6	0	0	0	6
一面せん断試験		0	1	0	0	1	

1.1.2 現場密度試験および試料採取の位置

現場密度試験および試料採取位置を図 1-1 に示す。

- ◆No. I1 は火砕流堆積物を対象に、現場密度試験と室内試験のための試料採取を実施した。
- ◆No. I2 では室内試験に供するための火砕流堆積物、クリンカー、溶岩を採取した。
- ◆No. I3 および I4 は火砕流堆積物を対象に、現場密度試験および室内試験のための試料採取を実施した。
- ◆No. I4 には旧表土が露頭していたことから、参考までに旧表土を試料採取して室内試験に供した。

1.2. 現調査方法

1.2.1 試料採取

室内試験に供するための火砕流堆積物、溶岩、クリンカー、旧表土の採取を行った。試料採取は次の方法で行い、各位置の地盤状況は図 1-2～図 1-5 に示すとおりである。

- ◆火砕堆積物は、非常に大きな粒径の石（φ1000mm 以上）を含む土砂であったが、室内試験に供する試料はφ100mm 以下の粒径を対象に採取した。採取方法としてはスコップを使用して攪乱状態で採取し、採取した試料は土嚢に詰めて運搬した。
- ◆溶岩ドームは、硬質であるために人力（ノミとハンマ）では溶岩片状に切出すことが困難であるために、ドーム末端に崩落していた岩片を採取した。
- ◆クリンカーは、固結度が低いため、ノミとハンマでブロック状に切出して採取した。
- ◆旧表土は、軟質な土砂であったために、ステンレス製のφ75mm×h150mm 程度の短管を人力で地盤に押し込むことによって、不攪乱状態の試料を採取した。

1.2.2 現場密度試験（水置換法）

現場密度試験は、水置換による方法とし、JGS 1612（地盤工学会基準）に準拠して実施した。この試験は、本現場の火砕流体積物のような粒径 75mm 以上の石を含む土の密度を求める場合に適している。試験は、試験孔を掘削し、孔壁にシートを敷設させ水を注入することによって、試験孔の体積を水の体積に置き換え、掘削した土の質量と注入した水の体積から密度を求める。

密度は次のように求める。なお、試験孔の寸法は、通常土に含む石分の最大粒径に応じて設定されるが、今回は注入する水と掘削した土を人力で運搬しなければならなかったために、φ300mm×h180mm 程度（12%程度の体積、試験孔の深さは試験孔径の 0.6～0.7 倍が基準）を目標とした。

- ①試験孔の地表面は緩んだ土や石を取除き、水平器を利用して平坦に整地する。
- ②試験孔を掘削し、掘削土は含水比が変化しないようにビニル袋に詰める。掘削後、シートを試験孔の孔壁に密着しやすいように敷設する。なお、掘削時は本来、ベースプレートを地表面に設置するが、今回はベースプレートを使用せずに試験孔を掘削した。
- ③水槽（今回はペットボトル）の水を試験孔の天端まで注入し、また、水温を計測する。
- ④土の質量と、注入前後の水の質量の関係から密度を求める。



試験の実施例

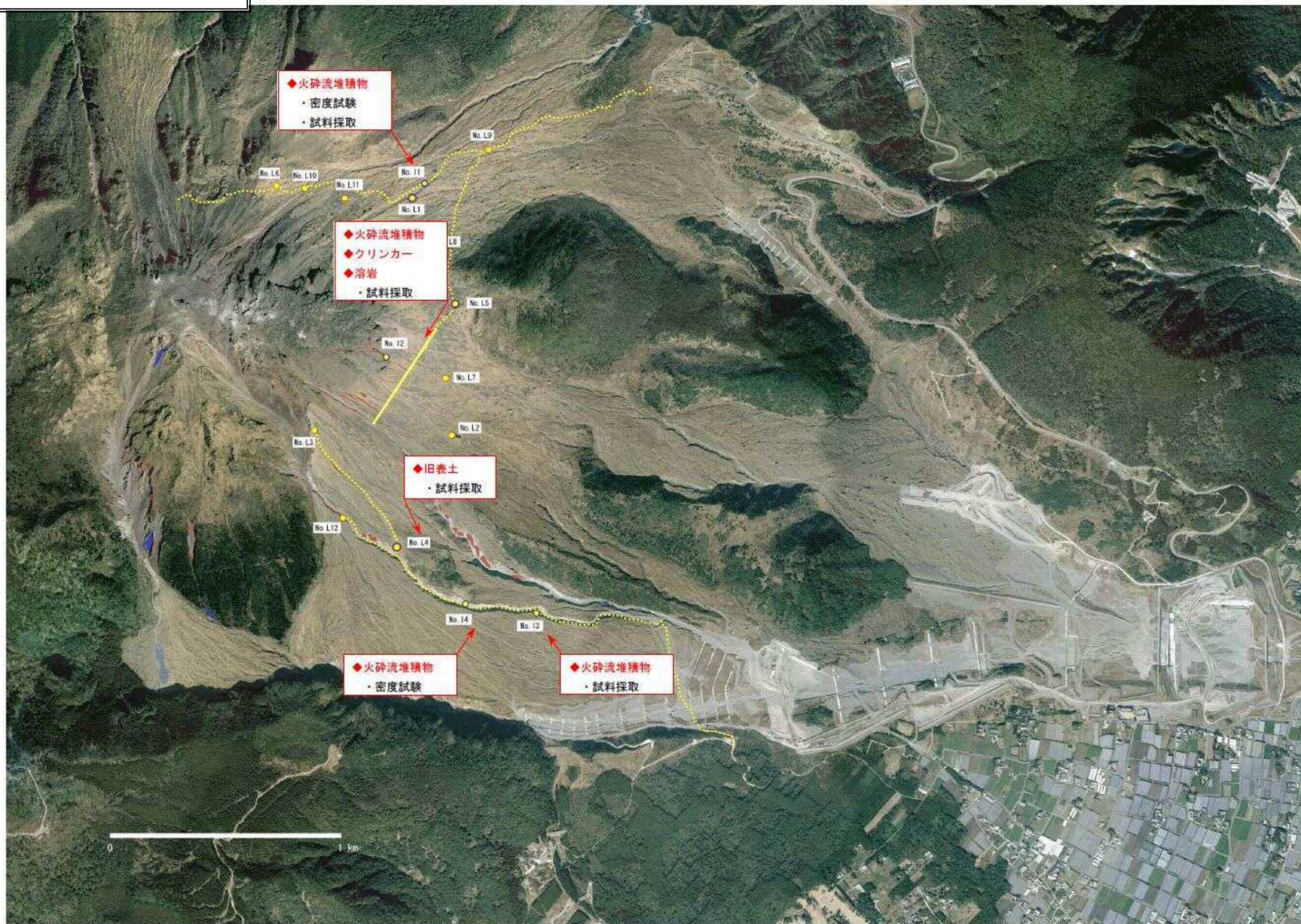


図 1-1 現場密度試験および試料採取の位置

【No. 11】



No. 11の全景



現場密度試験 1-1



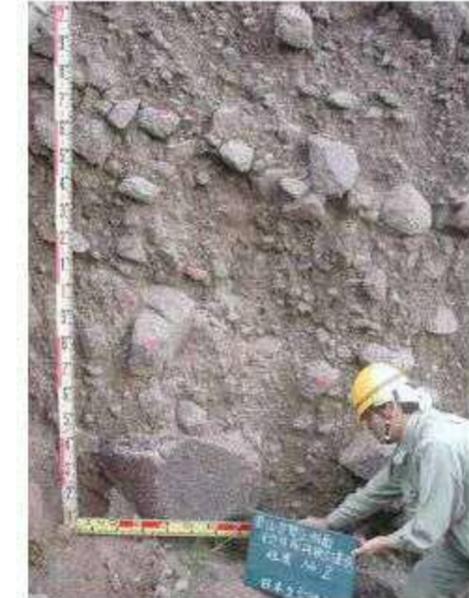
現場密度試験 1-2



三軸試験の試料採取



No. 11-1



No. 11-2

※火砕流堆積物は、非常に大きな粒径の石（φ1000mm以上）を含むが、室内試験に供する試料はφ100mm以下の粒径（人力で運搬可能な粒径として）を対象として試料採取を行った。

図 1-2 No. 11 の状況

【No. 12】



No. 12の全景



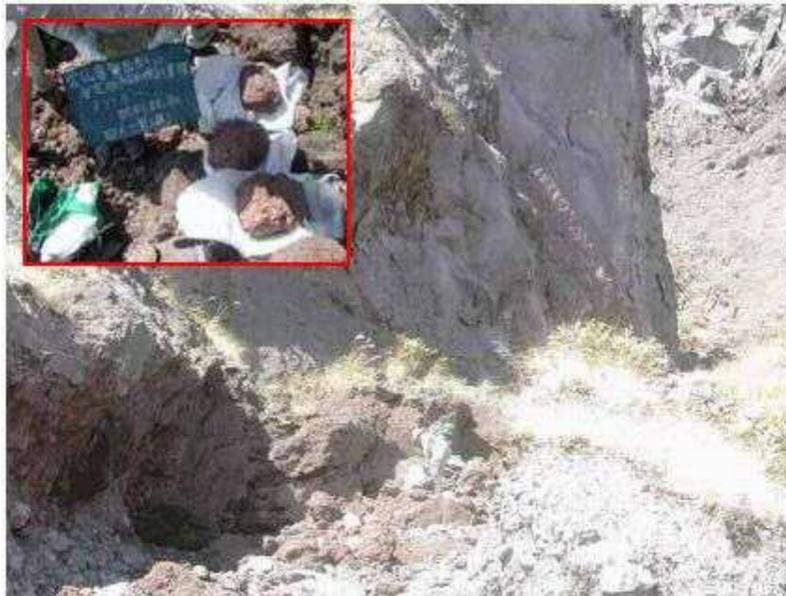
No. 12-1



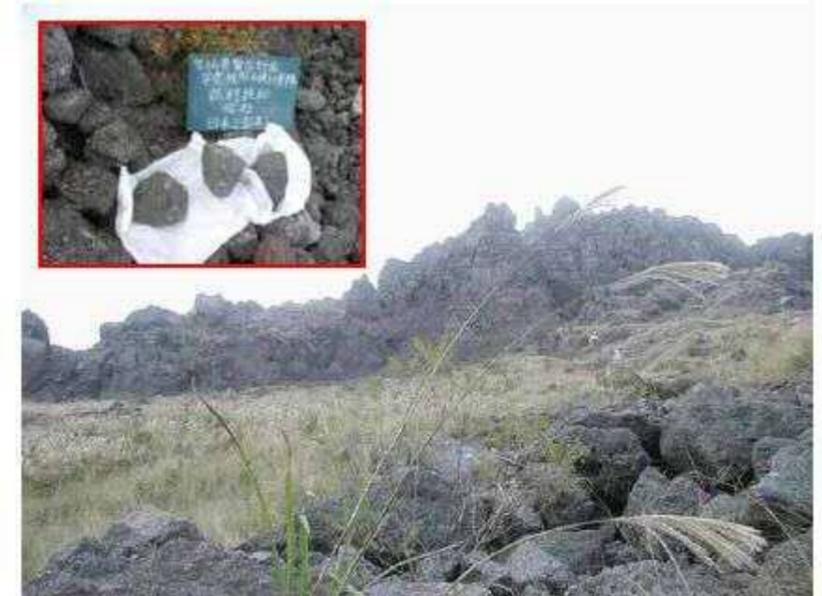
No. 12-2



No. 12-3



クリンカー試料採取



溶岩試料採取

※火砕流堆積物は、非常に大きな粒径の石（φ1000mm以上）を含むが、室内試験に供する試料はφ100mm以下の粒径（人力で運搬可能な粒径として）を対象として試料採取を行った。

図 1-3 No. 12の状況

【No. 13~4】



No. 13の全景



No. 13-1



No. 13-2~4



No. 13-5



No. 14の全景



現場密度試験 2

※火砕流堆積物は、非常に大きな粒径の石（ $\phi 1000\text{mm}$ 以上）を含むが、室内試験に供する試料は $\phi 100\text{mm}$ 以下の粒径（人力で運搬可能な粒径として）を対象として試料採取を行った。

図 1-4 No. 13~4の状況

【No. L4】



No. L4 の全景

No. L4-1~2



不攪乱試料採取状況

図 1-5 No. L4 の状況

参考資料 3. 岩盤試験関係資料

火砕流堆積物、旧表土、クリンカーおよび溶岩の特性としては次のとおりである。

- ◆火砕流堆積物は、φ1000mm以上の巨石を含む土砂であるが、φ100mm以下（人力で採取可能な粒径）を対象とした粒度試験では採取したガリーに応じた特性はなく、同じような粒度分布を示した。せん断強度は、内部摩擦角でφ=39°程度であり、礫質土の一般値の範囲内であった。
- ◆旧表土の土質は、火山灰質土や有機質土であった。火山灰質土は、密度が $\rho_t=1.1g/cm^3$ と小さく、含水比がW=75%と高い。せん断強度は、粘着力が $c=39kN/m^2$ 、内部摩擦角がφ=13°程度であり、一般的にはやや軟らかい～軟らかい程度の値にあった。
- ◆溶岩は、暗灰色と赤褐灰色の2種類の色調があり、圧縮強度としては暗灰色が $\sigma_c=40MN/m^2$ 、赤褐灰色 $\sigma_c=10MN/m^2$ であった。強度区分は一般的には弱い～非常に弱い程度であり、岩級区分ではC₁～D級クラスである。
- ◆クリンカーはハンマーの打撃で容易に割れ、密度は $\rho=1.4cm^3$ と小さく、せん断強度は粘着力が $c=0.7MN/m^2$ 、内部摩擦角がφ=20°程度の性状であった。

火砕流堆積物、旧表土、クリンカーおよび溶岩について、強度特性を求めるためにせん断試験を実施したが、溶岩以外は1試験ずつであった。また、既往調査のデータも少ないことから、本試験結果の代表性については評価が難しい部分がある。これは強度定数が【火砕流堆積物や旧表土であれば粒度や密度】、【クリンカーや溶岩であれば固結度や亀裂】の影響を受けるために、常に一定の値を示さないためである。したがって、今後は、強度定数（地盤定数）の精度を向上させるために、調査・試験を増やして検討することが重要であり、その結果が斜面安定解析の精度向上に繋がるものと判断する。

土質材料の試験結果

採取地点				No. 11					No. 12			No. 13					No. 14	No. 14		
資料番号				No. 11-1	No. 11-2	No. 11-密度1	No. 11-密度2	No. 11-三軸	No. 12-1	No. 12-2	No. 12-3	No. 13-1	No. 13-2	No. 13-3	No. 13-4	No. 13-5	No. 14-密度	No. 14-1	No. 14-2	
堆積物名称				火砕堆積物	火砕堆積物	火砕堆積物	火砕堆積物	火砕堆積物	火砕堆積物	火砕堆積物	火砕堆積物	土石流堆積物	火砕流堆積物(礫卓越)	火砕流堆積物	火砕流堆積物	土石流堆積物	火砕流堆積物	風化土(地山)	風化土(地山)	
物理	吸水・比重	湿潤密度	ρ_t	g/cm^3	-	-	1.911	1.796	-	-	-	-	-	-	-	-	1.787	1.104	-	
		乾燥密度	ρ_d	g/cm^3	-	-	1.837	1.721	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.727	0.631	-
		含水比	W	%	-	-	4.0	4.4	4.4	-	-	-	-	-	-	-	-	3.5	75.2	53.2
		間隙比	e		-	-	0.406	0.514	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.496	3.217	-
		飽和度	Sr	%	-	-	25.4	22.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	18.2	62.1	-
		土粒子の密度	ρ_s	g/cm^3	-	-	2.583	2.606	2.590	-	-	-	-	-	-	-	-	2.583	2.651	2.551
	粒度	乾燥比重	Ga		2.211	2.236	-	-	-	2.053	2.153	2.160	2.182	2.272	2.197	2.281	2.143	-	-	-
		絶乾比重	Gb		2.121	2.141	-	-	-	1.894	2.020	2.021	2.080	2.197	2.077	2.201	2.039	-	-	-
		真比重	Gg		2.331	2.366	-	-	-	2.253	2.328	2.347	2.316	2.375	2.361	2.393	2.276	-	-	-
		吸水率	Q	%	4.24	4.44	-	-	-	8.42	6.55	6.86	4.90	3.42	5.80	3.66	5.10	-	-	-
		石・礫分		%	53.7	57.8	68	76.2	62.7	72.0	84.3	47.7	67.7	56.4	53.6	53.4	60.0	72.9	16.9	9.1
		砂分		%	37.6	34.2	27.7	19.9	32.3	22.8	13.5	44.3	25.9	41.2	35.1	37.1	30.9	23.5	52.2	33.8
	強度	細粒分含有率	Fc	%	8.7	8.0	4.3	4.0	5.0	5.2	2.2	8.0	6.4	2.4	11.3	9.5	9.1	3.6	26.6	43.7
		最大粒径	Dmax	mm	75	75	100	150	100	100	75	75	75	26.5	75	75	75	150	26.5	19
均等係数		Uc	mm	50.1	62.5	49.3	130.0	34.8	84.0	20.2	34.6	122.0	9.5	*	56.8	117.0	62.7	-	-	
曲率係数		Uc'	mm	0.9	0.9	1.2	1.0	1.3	1.7	2.8	0.7	1.1	1.1	*	0.7	0.7	1.2	-	-	
強度	試験法			-	-	-	-	圧密排水	-	-	-	-	-	-	-	-	-	圧密非排水	-	
	飽和条件			-	-	-	-	不飽和	-	-	-	-	-	-	-	-	-	飽和	-	
	全応力	粘着力	c	kN/m^2	-	-	-	-	73.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	39.8	-
		内部摩擦格	φ	°	-	-	-	-	39.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	13.8	-
有効応力	粘着力	c	kN/m^2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	28.9	-	
	内部摩擦格	φ	°	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	33.3	-	

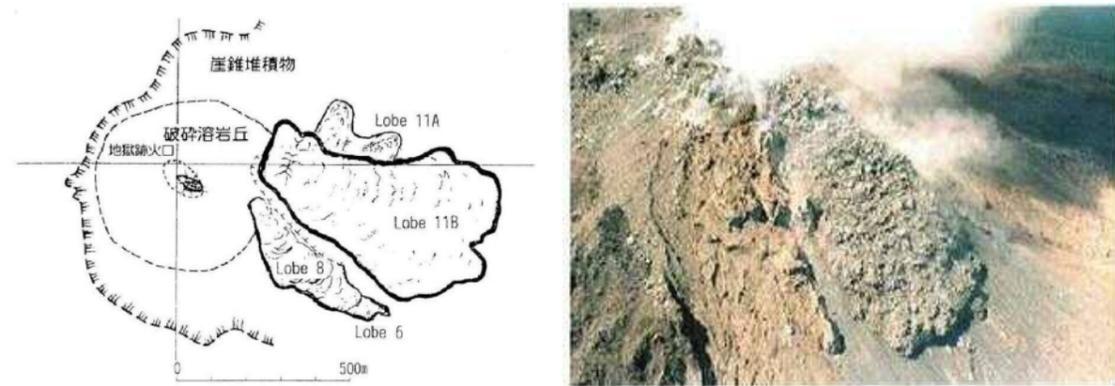
参考資料 3. 岩盤試験関係資料

平成20年度_岩石の試験結果										平成14年度_岩石の試験結果			
岩種			溶岩						クリンカー	溶岩			
色調			暗灰色			赤褐灰色			乳赤色	赤松谷	水無川		
想定地質			塊状溶岩			多孔質溶岩			クリンカー	塊状溶岩			
資料No.			No. 1	No. 2	No. 3	No. 1	No. 2	No. 3	No. 1	赤松-1	赤松-2	水無-1	
密度	ρ	g/cm ³	2.205	2.239	2.290	2.006	1.957	1.996	1.467	2.161	2.062	2.337	
含水比	W	%	0.1	0.2	0.1	0.4	0.5	0.8	3.5	3.75	6.42	6.42	
見かけ比重	自然状態	Gn	2.232	2.069	2.240	2.085	2.191	2.162	-	2.209	2.12	2.350	
	強制乾燥	Gd	2.174	1.984	2.204	1.999	2.082	2.076	-	2.288	2.2	2.373	
	強制湿潤	Gt	2.248	2.085	2.257	2.145	2.229	2.223	-	2.129	1.993	2.247	
吸水率	ω	%	3.40	5.07	2.41	7.34	7.06	7.05	-	7.47	10.4	5.62	
有効間隙比	n'	%	7.40	10.07	5.31	14.67	14.71	14.63	-	15.90	20.8	12.6	
一軸	圧縮強度	σ_c	MN/m ²	31.65	44.96	47.33	15.12	12.14	6.25	-	31.6	26.2	38.3
	静弾性係数	E_{50}	MN/m ²	11,834	8,930	11,593	7,430	8,580	2,563	-	9,280	9,910	13,700
	静ポアソン比	ν_c		-	-	-	-	-	-	-	0.29	0.25	0.22
圧裂	引張強度	σ_t	MN/m ²	2.49	1.94	2.60	0.79	1.60	1.02	-	2.12	1.39	2.92
一面	粘着力	Ccd	MN/m ²	-	-	-	-	-	-	0.73	-	-	-
	内部摩擦角	ϕ_{cd}	°	-	-	-	-	-	-	20.3	-	-	-
三軸	試験条件			-	-	-	-	-	-	-	UU	UU	UU
	粘着力	Cu	MN/m ²	-	-	-	-	-	-	-	7.67	7.2	6.8
	内部摩擦角	ϕ_u	°	-	-	-	-	-	-	-	45.9	39.3	55.2
伝播速度	P波の速度	Vp	km/sec	3.15	2.69	2.66	2.75	2.55	1.79	-	2.81	3.06	3.63
	S波の速度	Vs	km/sec	1.15	0.88	0.89	0.86	0.79	0.61	-	1.35	1.35	1.69
	動ポアソン比	ν_d		0.422	0.440	0.438	0.446	0.447	0.433	-	0.35	0.379	0.362
	動せん断弾性係数	Gd	MN/m ²	2,778	1,673	1,729	1,438	1,182	721	-			
	動弾性係数	Ed	MN/m ²	8,333	5,020	5,187	4,313	3,546	2,164	-	10,600	10,400	18,200

参考資料4. 溶岩ドーム内部構造推定関係資料

■ 第11ローブの形成過程

第11-Bローブは平成5(1993)年6月から約5ヶ月かけて斜面を垂れ下がるように成長し、第11-Aローブと第8ローブの間を流下し南側に成長した。その後も溶岩が供給され、ローブの表面は急傾斜になった。



太田一也、1993：1990-1992年雲仙岳噴火活動、『地質学雑誌』、Vol.99 No.10

図 第11ローブB写真

第11ローブが南よりに形成されたことは、LP測定結果に基づく横断面にも示される。従って、現在の变形方向が南東よりになるのは、第11ローブが南側に垂れ下がるように成長したとことが、一因として考えられる。

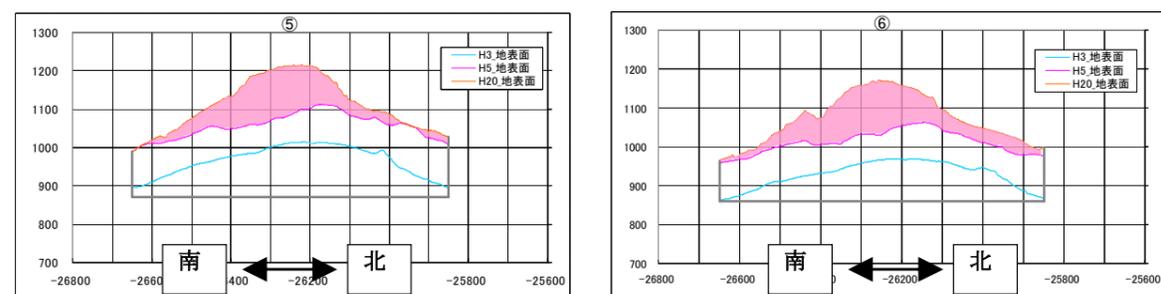


図 第11ローブ横断面図 (左;断面⑤ 右;断面⑥)

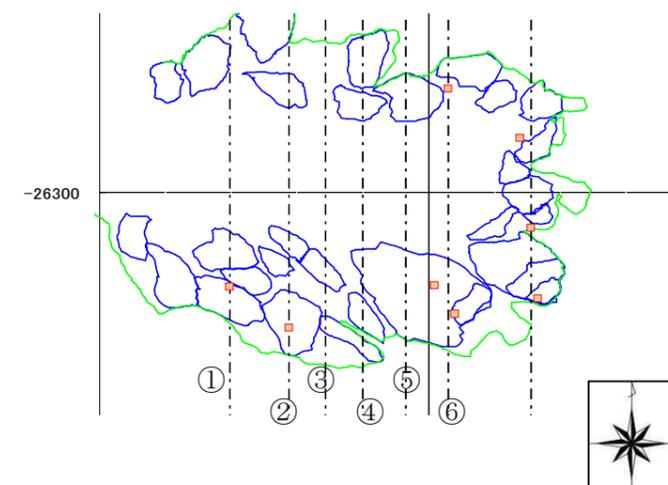


図 横断面位置図(LP測定データに基づく)

■ 脆弱な地層の介在

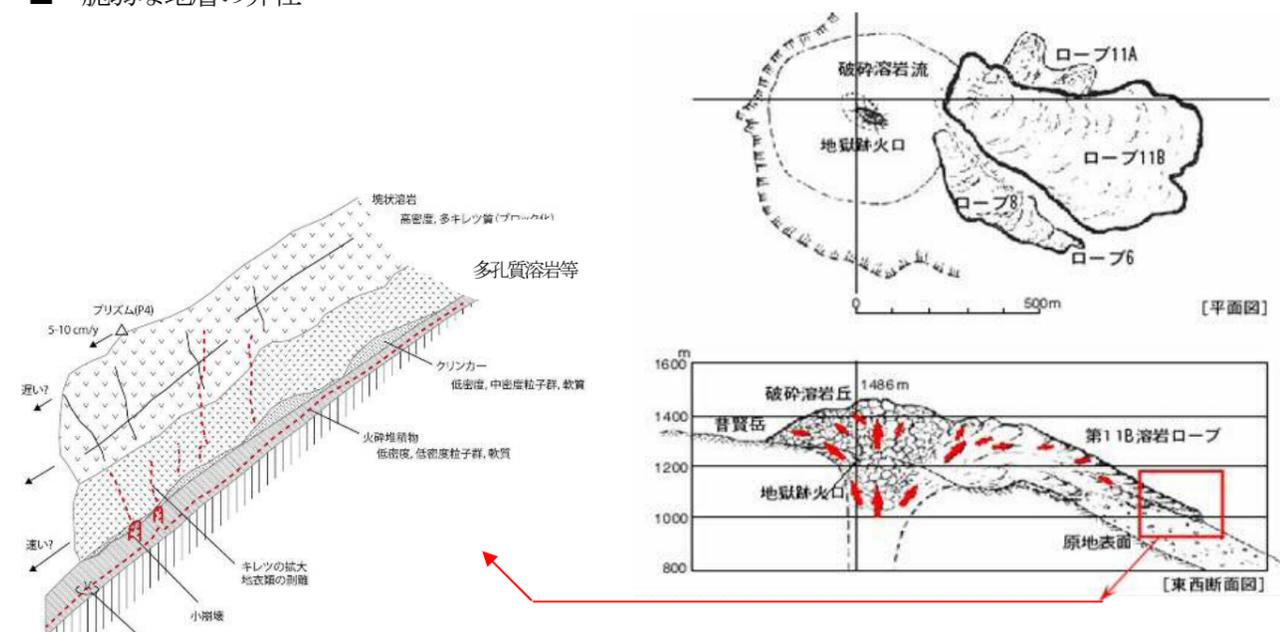


図 第11ローブの構造的断面の模式図

太田一也、1993：1990-1992年雲仙岳噴火活動、『地質学雑誌』、Vol.99 No.10

現地調査の結果、第11ローブの下部には多孔質な溶岩が形成されている。また、多孔質な溶岩の底面には、軟質なクリンカーが形成されている。変位が南東方向を向く機構として、第11ローブが南側に垂れ下がるように成長したとこと、ならびに第11ローブの底面に形成されている多孔質な溶岩やクリンカー^{*1)}の強度が低く、風化や侵食しやすいことが挙げられる。

*1) クリンカーとは溶岩の表面の破碎した部分。表面が早く冷えて固まり、内部がまだ液体の状態のときに、液体の部分が表面の固まった部分を破壊しながら流れるためにできたもの。

参考資料4. 溶岩ドーム内部構造推定関係資料

■ 溶岩ドーム形成過程から見た崩壊メカニズム

崩壊の発生は、斜面の地質構成、地質構造および構成物質の物理特性といった「素因」と、当初からの場の条件（地形・地質など）以外の外的な要因である「誘因」とが組み合わさった結果として生ずると考えられる。

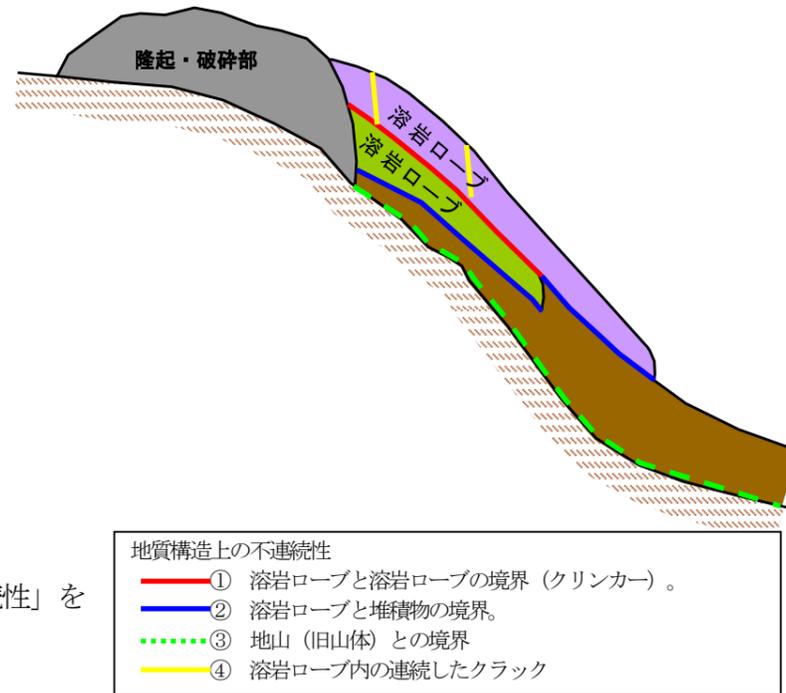
■ 考え得る素因

溶岩噴出が停止した現状の雲仙普賢岳の溶岩ドームにおいて、今後発生し得る崩壊の素因について整理した。

一般的には岩盤のクリープ変形、風化の状態といった物理的特性についても素因として挙げられるが、これらは長い時間を経て生じてくる現象である。

雲仙普賢岳の溶岩ドームにおいては現状でわずかな動きが見られるものの、クリープや風化による顕著な変形は見られていないことから、「地質構造上の不連続性」を溶岩ドーム崩壊における素因として考える。

素因としての「地質構造上の不連続性」においては、次の4つ要素のいずれかまたは複数が素因となる可能性がある。



① 溶岩ローブと溶岩ローブの境界(クリンカー)

クリンカーは内部では除去されている可能性があり、下記②よりも強度を保っているものと考えられるが、強度など物性の違いによる不連続面として考えることができるため、弱線として考える。

② 溶岩ローブと崩落堆積物の境界

溶岩ローブと、火砕流や溶岩ローブの崩落による崩落堆積物との境界面は、地質的な不連続面であるため、弱線として考える。

③ 地山(旧山体)との境界

噴火前の地山(旧山体)と噴出物(崩落堆積物等)との境界面は、物性の違い、また地質的にも不連続面であるため、弱線として考える。

④ 溶岩ローブ内の連続したクラック

溶岩ローブ中にクラックが生じている場合には、クラックの部分で溶岩ローブが分断されるため、下流側にある溶岩ローブのせん断抵抗力が小さくなり、クラック部分は崩壊面(頭部)となる可能性があり、弱線として考える。

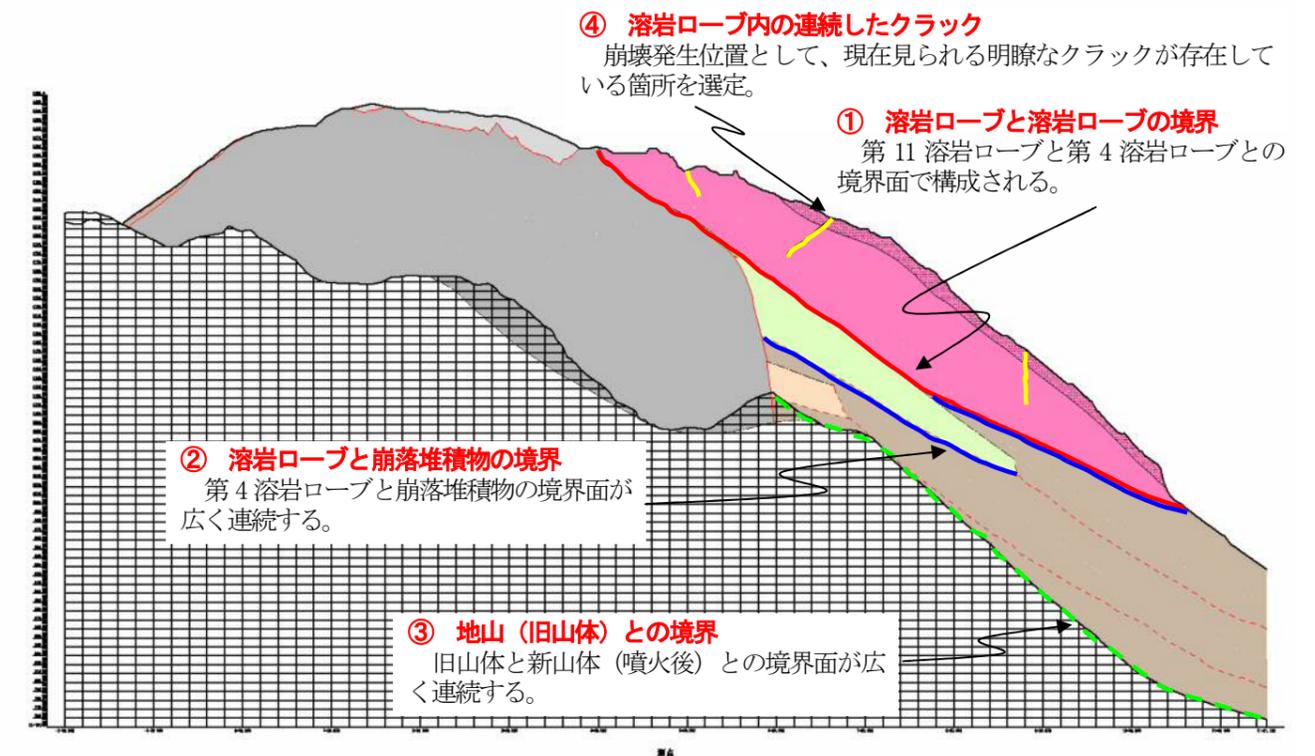
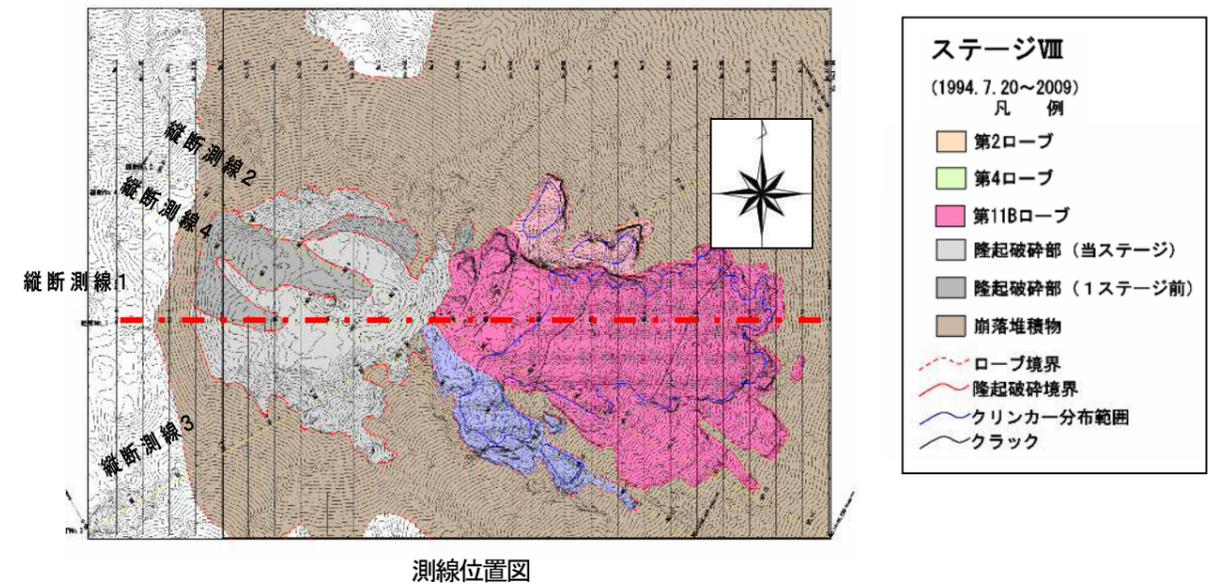
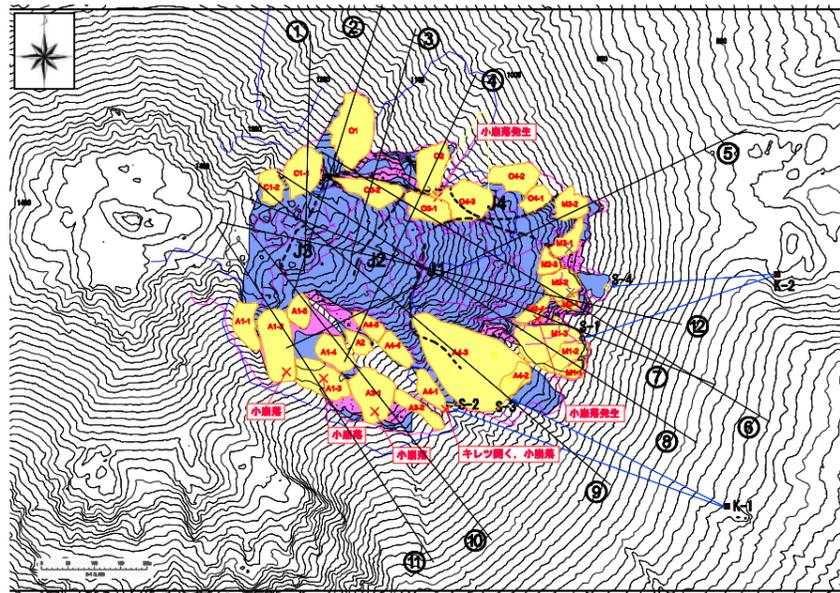


図 想定崩壊面位置図

参考資料 5. 溶岩ドーム安定解析関係資料

解析モデル断面

調査結果に基づいて選定した解析断面の一覧を図に示す。



- ・ 図中の断面の大きさは相対的に統一してある。小崩壊の確認された近傍の断面は、④、⑦、⑩、⑪である（断面⑪は、不安定岩塊が明瞭でないため、断面積等は求めていない）。
- ・ 塊状溶岩の断面に表される黒の鉛直の線は亀裂を表している。ただし、調査から認められた亀裂は、表面に表れている部分のみであり、長さや傾斜は不明である。そのため、解析では、仮に鉛直方向に伸びていると仮定した場合の影響を見ることを目的とした。

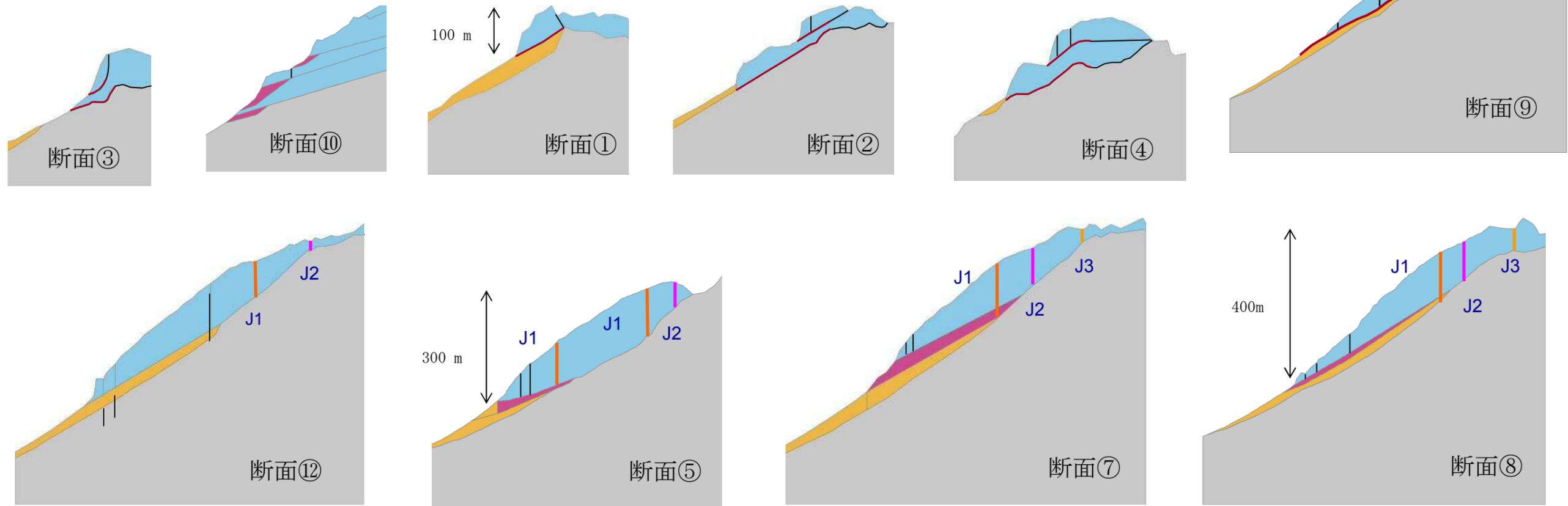
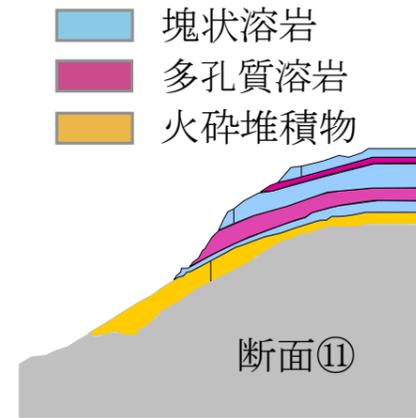
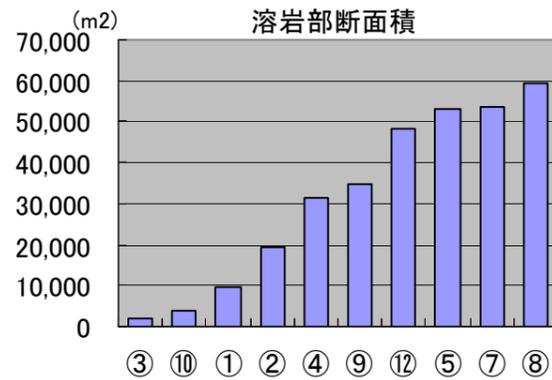


図 解析断面の一覧

参考資料 5. 溶岩ドーム安定解析関係資料

■ 不安定岩塊の安定性評価

不安定岩塊の安定性評価には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評価を行った。解析は、重要な不安定岩塊の絞込み、不安定化機構を検討する上での参考とするため、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本手法により、応力状態に基づいて破壊機構を検討した。

※ここで、重力による変形とは、光波プリズムにより観測されている変形を指し、現地調査で確認された小崩落の状況から、**溶岩ローブが相対的に弱線となっている面に沿って変形**しているものと仮定している

■ 解析結果

解析の結果、北側の断面①～④では引張やせん断による破壊は確認できず、南側の断面⑩についても顕著な破壊は確認できなかった。破壊が確認できたのは断面⑤、⑦、⑧、⑨、⑫においては、岩塊が重力作用によって下方に引っ張られるため、岩塊内部で引張破壊が発生しやすい傾向を示している。

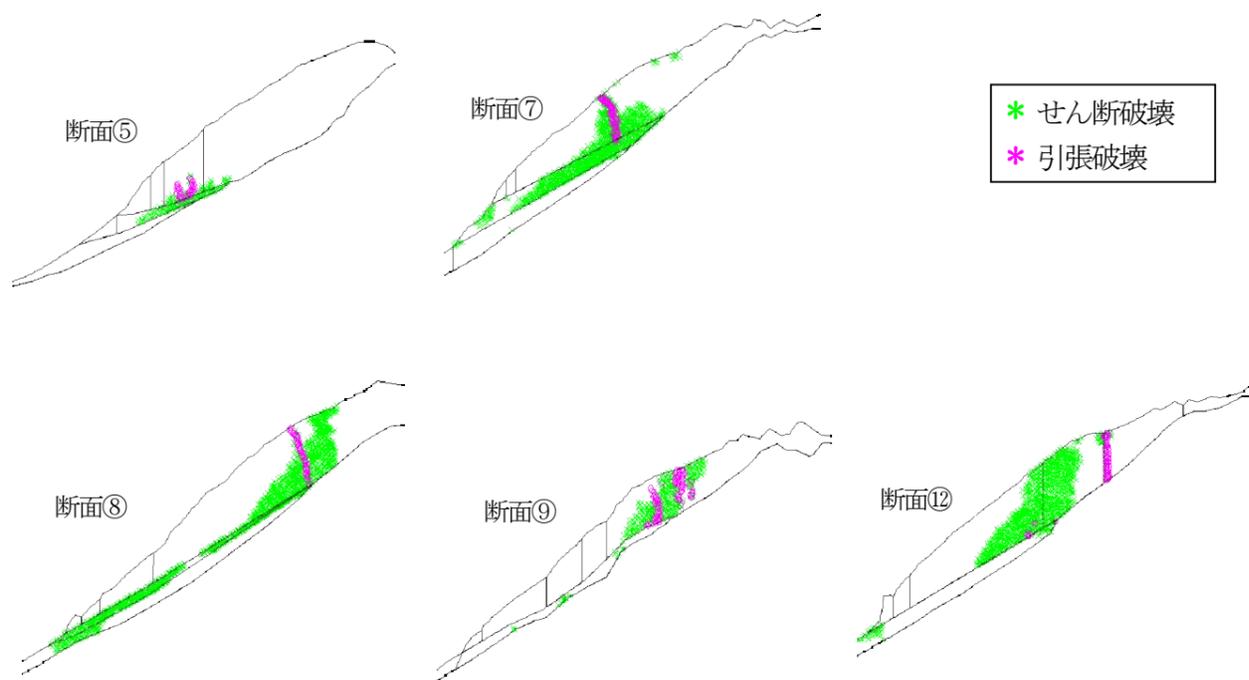


図 二次元数値解析結果から求められた破壊が発生しやすい場所

断面⑫を用い、引張応力と引張破壊の発生する領域について考察した。

また、比較的小さい断面(③、④、⑩、⑪)のなかで、断面⑪では溶岩部分のせん断破壊域が比較的に顕著となった。原因としては、軟質な多孔質溶岩の厚みが大きく、その破壊が上部の岩塊に与える影響が大きくなりやすいこと、断面③、④、⑩、に比べて多孔質溶岩の底面を境界とした仮のすべり面に凹凸が少なく、すべり変形を発生させやすいことが挙げられる。

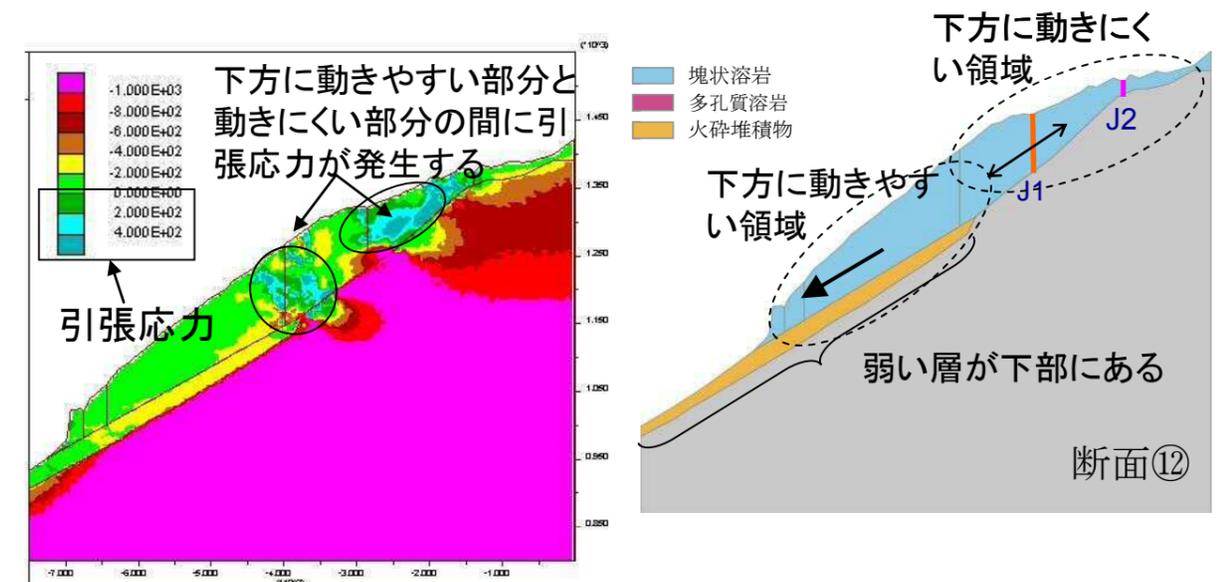
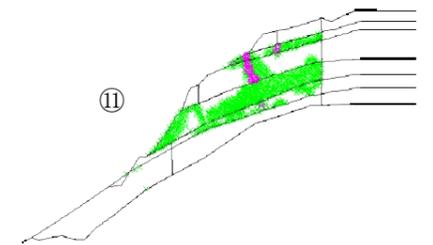
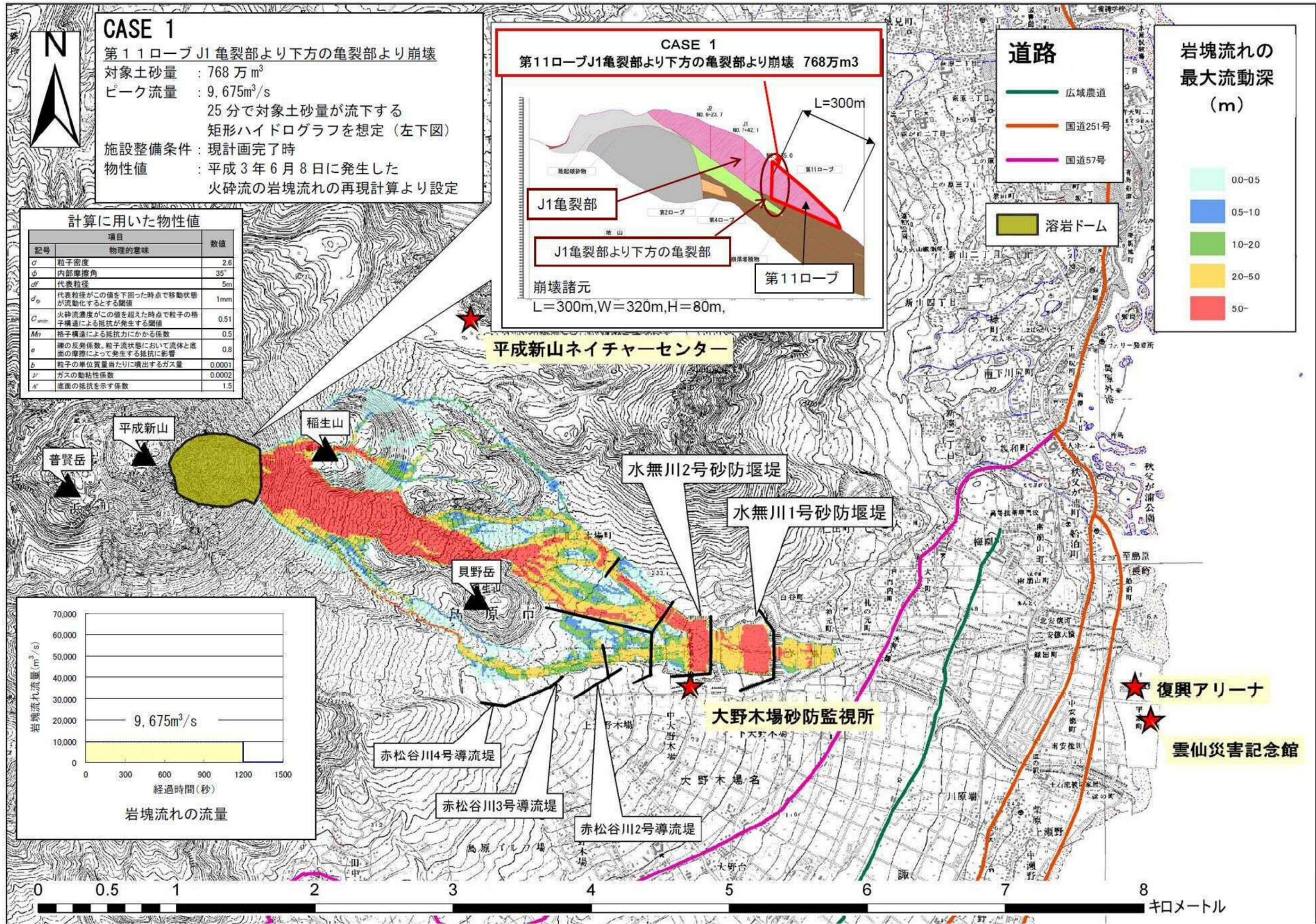


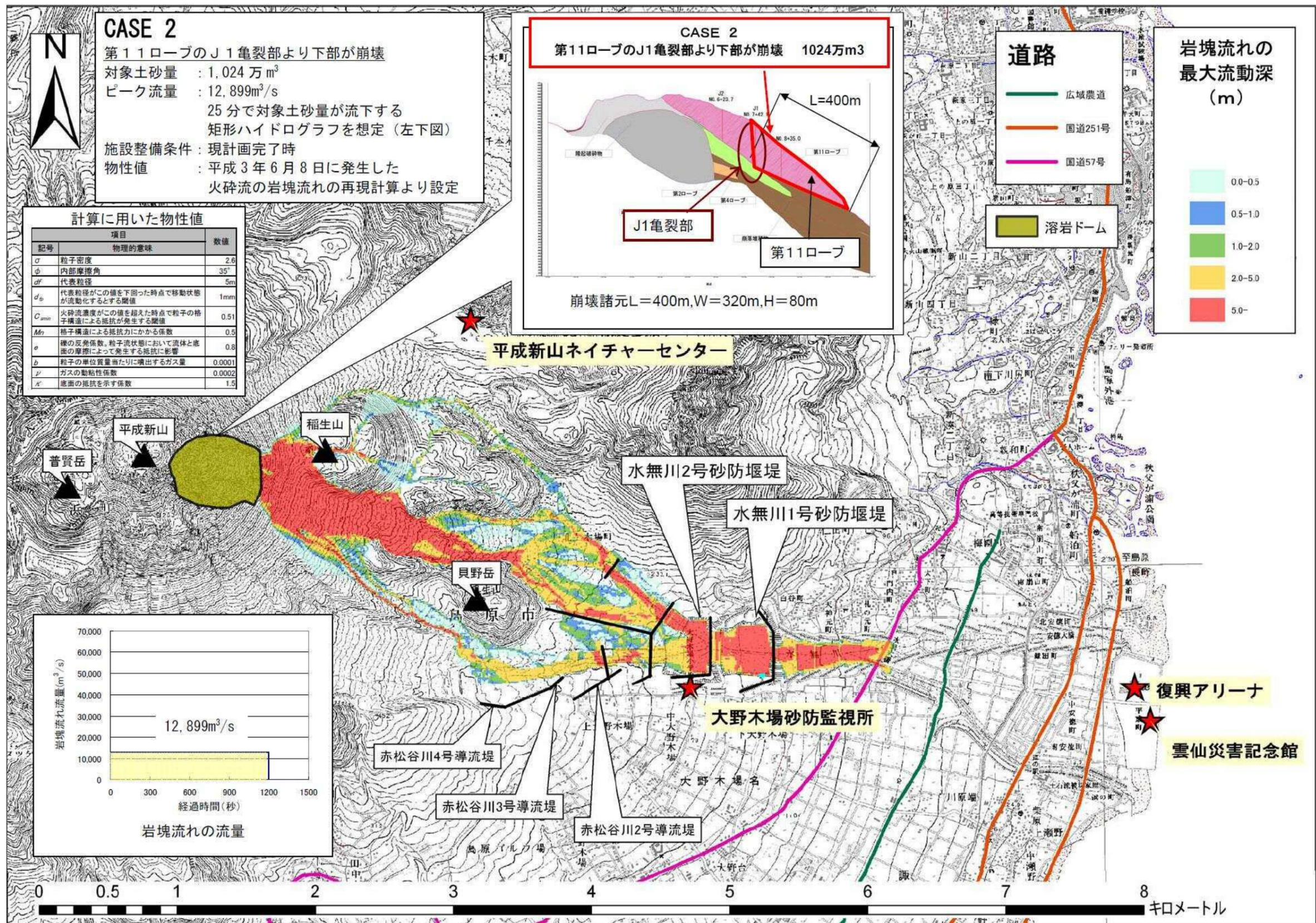
図 引張応力と引張破壊の発生する領域

南東方向の断面において溶岩や多孔質溶岩と火砕堆積物との間に脆弱な部分があれば、下方に動き易い領域と動きにくい領域とにわかれ、その境界部分に引張応力が発生することが確認できた。その結果として、せん断破壊、引張破壊が発生し、下方に動くメカニズムが想定できる。

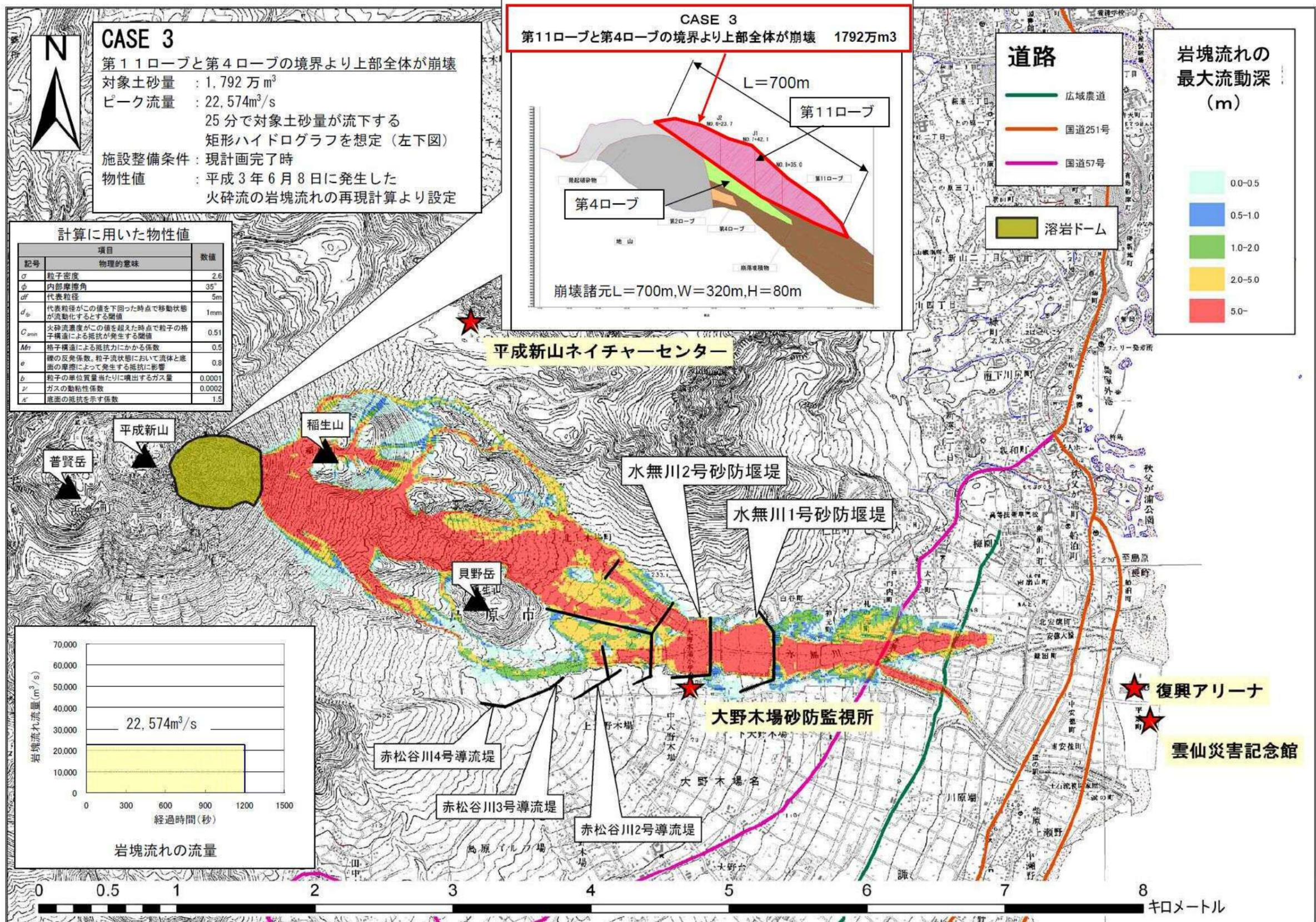
① 第11ロープ J1 亀裂部より下方の亀裂部より崩壊 768 万 m³



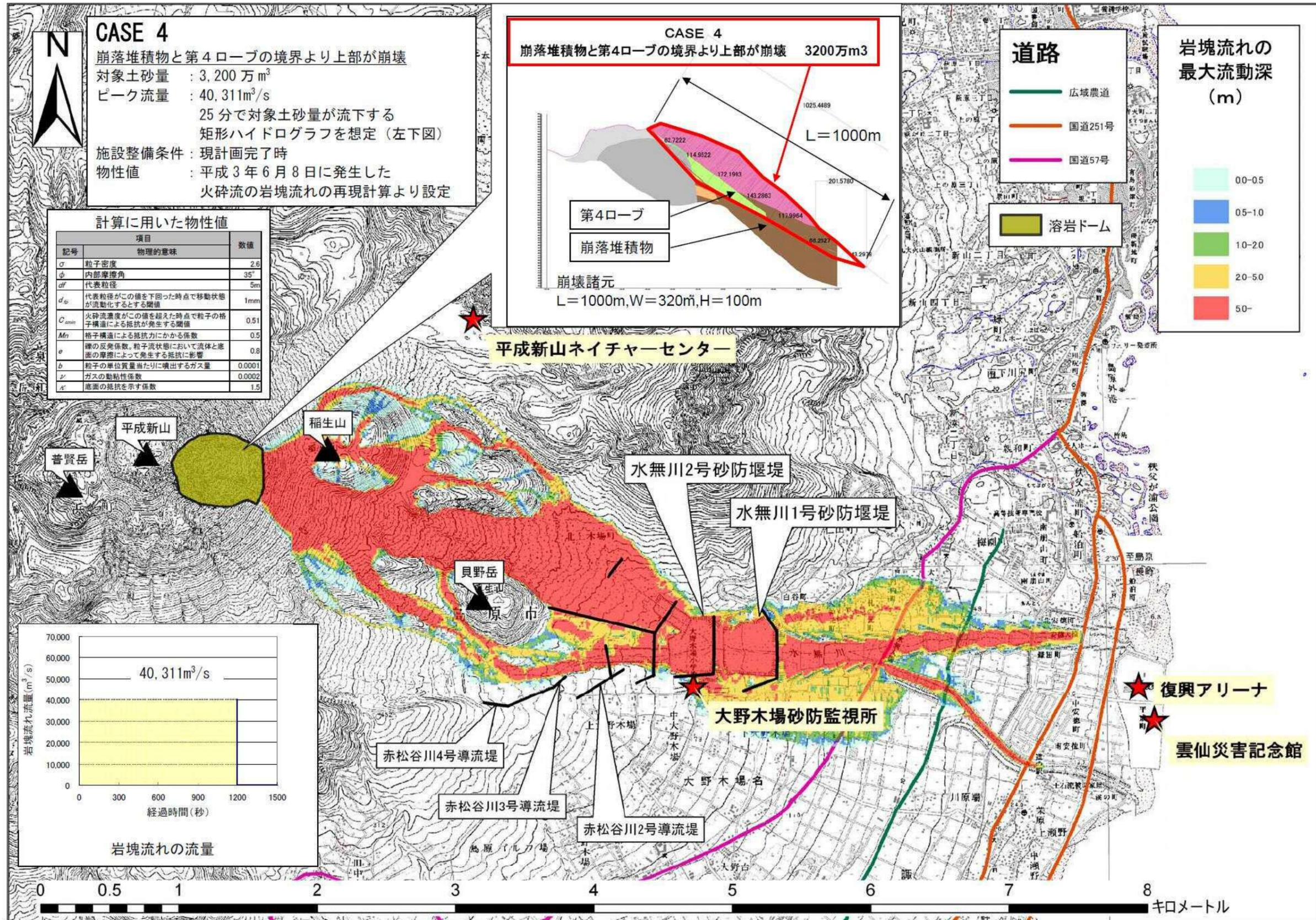
② 第11ロープのJ1亀裂部より下部が崩壊 1024万 m^3



③ 第11ローブと第4ローブの境界より上部全体が崩壊 1792万m³



④ 崩落堆積物と第4ロープの境界より上部が崩壊 3200万m³



⑤ 噴火前の地山の境界で崩壊 5376 万 m³

