

蔵王山火山噴火緊急減災対策砂防計画（案）

平成27年5月

蔵王山火山噴火緊急減災対策砂防計画検討委員会

はじめに

本計画は、火山噴火緊急減災対策砂防計画策定ガイドライン（平成 19 年 4 月国土交通省砂防部）に基づき、蔵王山火山噴火緊急減災対策砂防計画検討委員会（委員長：新潟 丸井英明 特任教授）による検討を経て作成されたものです。

蔵王火山は、宮城県と山形県の県境に位置し、その独特の地形によって様々な表情を見せ、地域に豊かな恵みをもたらす一方で、有史以降 40 回ほどの噴火記録が残っている活火山です。

特に寛喜 2（1230）年の噴火は噴石により人畜に被害が多数発生するなど、比較的規模が大きいものであったと考えられます。また、それ以降でも 20 回以上の噴火活動があり、慶応 3（1867）年の噴火では、御釜の湖水が沸騰してあふれ、近くの温泉で保養していた 3 名が死亡しています。

これに対し、宮城県・山形県は、平成元年に火山砂防基本計画の検討に着手して以来、ハード対策・ソフト対策の計画検討を続け、砂防施設整備等のハード対策を進める一方、平成 14 年に火山防災マップを公表し、積極的に火山防災対策を進めています。

しかしながら、噴火に伴う土砂移動現象の規模は一般に大きく、平常時から設置されるハード対策施設のみで十分な効果を確保することが困難であること等から、噴火発生時には、関係機関が連携して効果的な減災対策を実施することが必要と認識し、蔵王山火山噴火緊急減災対策砂防計画をとりまとめたものです。

今後は本計画に基づき関係機関で調整を図りつつ、平常時から行う準備事項を実行していく必要があり、火山防災のために各関係機関が火山防災力を高めて噴火に備えていく方針です。

平成 27 年 5 月

蔵王山火山噴火緊急減災対策砂防計画検討委員会

本計画書は、平成 27 年 5 月現在での火山活動、噴火履歴、また砂防設備整備状況等を踏まえ作成したものです。今後、火山についての新しい知見や砂防設備の進捗状況を踏まえ、定期的に見直していく必要があります。

目 次

【 基 本 事 項 編 】

1. 蔵王山火山噴火緊急減災対策砂防計画の基本理念	1
1.1 蔵王山火山噴火緊急減災対策砂防計画の目的	1
1.2 蔵王山火山噴火緊急減災対策砂防計画の位置づけ	4
2. 想定される影響範囲と被害	6
2.1 蔵王山の概要	6
2.2 蔵王山で想定される噴火シナリオ	19
2.3 想定される被害の把握	26

【 計 画 編 】

3. 火山噴火緊急減災対策砂防計画の方針	53
3.1 火山噴火緊急減災対策砂防計画の内容	53
3.2 対象とする噴火シナリオのケースの抽出	53
3.3 対策方針の前提条件の検討	54
3.4 対策方針の設定	60
4. 緊急対策の内容	61
4.1 緊急ハード対策	62
4.2 緊急ソフト対策	78
4.3 緊急対策タイムラインのまとめ	90
5. 平常時からの準備事項	91
5.1 対策に必要となる諸手続・土地利用	91
5.2 平常時における検討事項	92
5.3 緊急減災ハード対策に必要な資機材の調達体制	93
5.4 関係機関との連携事項	95
5.5 火山防災対応への支援	97

基本事項編

1. 蔵王山^{ざおうざん}火山噴火緊急減災対策砂防計画の基本理念

1.1 蔵王山火山噴火緊急減災対策砂防計画の目的

蔵王山火山噴火緊急減災対策砂防計画は、いつどこで起こるか予測が難しい火山噴火に伴い発生する土砂災害に対して、ハード対策とソフト対策からなる緊急対策を迅速かつ効果的に実施し、被害をできる限り軽減（減災）することにより、安心で安全な地域づくりに寄与することを目的としています。

1.1.1 蔵王山の概要

蔵王山は、多数のピークを持つ成層火山の代表の一つで、北北東～南南西に連なる多数の山頂を指します。そのうち中央部の五色岳^{じぞうざん くまのだけ}・御釜^{みよごぼ}を中心とする地蔵山、熊野岳、刈田岳^{かっただけ}などからなる山体を蔵王火山と称します。

蔵王火山の基盤岩類は、白亜紀以前の花崗岩類や変成岩類、中新世の堆積岩類・火山岩類などからなります。基盤岩は、最高で標高1,490m^{みよごぼ}の名号峰山頂にまで露出しており、高標高に分布する基盤を蔵王山の噴出物が覆っているのが特徴です。

蔵王山の周辺は火山の作り出す景勝地やスキー場、温泉を目的に訪れる観光客が多く、観光は地域の重要な産業となっています。

また、山麓には宮城県白石市、蔵王町、七ヶ宿町、川崎町、山形県山形市、上山市が広がり、東北自動車道や山形自動車道などの重要交通網が通っているため、大規模な噴火に至った場合には、これら保全対象に大きな被害を与えることが予想されます。



図 1-1 蔵王山周辺の地形図

1.1.2 蔵王山の緊急減災対策砂防計画の目的

蔵王山においては、「蔵王山火山砂防基本計画（平成4年）」に基づき、順次ハード・ソフト両面の対策を講じておりますが、基本計画に基づく施設整備途中段階で蔵王山が噴火した場合、限られた時間で可能な限り整備レベルを向上させる必要があり、そのためには事前からあらゆるケースを想定した緊急減災対策のメニューを検討しておくことが必要です。

そのため、火山噴火緊急減災対策砂防計画策定ガイドライン（平成19年4月国土交通省砂防部）に則り、蔵王山の噴火に伴い発生する土砂災害に対して、ハード対策とソフト対策からなる緊急対策を迅速かつ効果的に実施し、被害をできる限り軽減（減災）することにより、安心して安全な地域づくりに寄与することを目的として本計画を策定するものです。

この計画は災害に関する経験と対策の積み重ね等により随時見直されるべき性格のものであり、随時修正を加えることとしています。

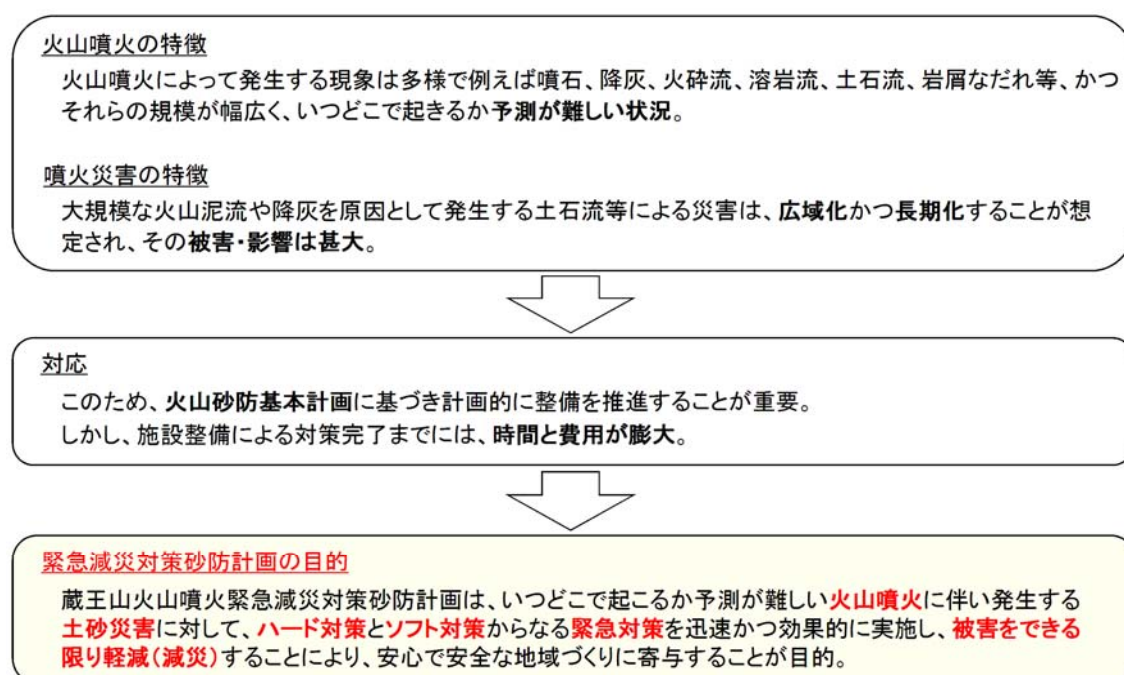


図 1-2 火山噴火緊急減災対策砂防計画の目的

火山噴火緊急減災対策砂防計画は、「緊急時に実施する対策」と「平常時からの準備事項」からなります。

「緊急時に実施する対策」とは、火山活動が活発化し、被害が発生するおそれがあると判断された時点から噴火終息までの期間において、緊急的に実施する対策をいいます。

「平常時からの準備事項」とは、「緊急時に実施する対策」を迅速かつ効果的に実施して被害軽減の効果をより高めていくため、噴火の発生前からあらかじめ行っておく準備事項をいいます。

蔵王山火山噴火緊急減災対策砂防計画の主な内容は、次のとおりです。

[緊急時に実施する対策]

- ・ 緊急ハード対策施設の施工（除石、堤防の嵩上げ など）
- ・ 火山監視機器の緊急整備
- ・ リアルタイムハザードマップによる危険区域の想定
- ・ 緊急調査

[平常時からの準備事項]

- ・ 緊急支援資機材の備蓄
- ・ 情報通信網の整備（平常時からの情報交換など）
- ・ 噴火シナリオ、被害想定、計画の更新



図 1-3 火山噴火緊急減災対策砂防計画のイメージ

1.2 蔵王山火山噴火緊急減災対策砂防計画の位置づけ

火山噴火時の防災対策は、関係省庁および地方公共団体により行われる総合的な対策であり、火山噴火緊急減災対策砂防は、火山活動の推移に対応して行われる各機関の防災対策と連携をとりつつ、適切な対策を行うことをいいます。

火山噴火時の防災対策は、火山活動状況の監視・観測と情報提供、住民避難や立入禁止等による人命の保護、社会資本や住宅等の被害の防止・軽減対策の実施等、関係機関が連携して実施するものです（図 1-4）。

また、火山噴火時には、各関係機関において、火山災害による被害を出来る限り軽減（減災）するための様々な火山防災対策を実施することとなりますが、その中で砂防部局が実施する対策をとりまとめた計画です。今後、平常時から行う準備事項について、順次、関係機関と調整を図りつつ進めていくこととなりますが、蔵王山の火山防災は砂防部局の取り組みのみで為し得るものでなく、併せて各関係機関とともに総合的な火山防災力が高められていくことが重要です。

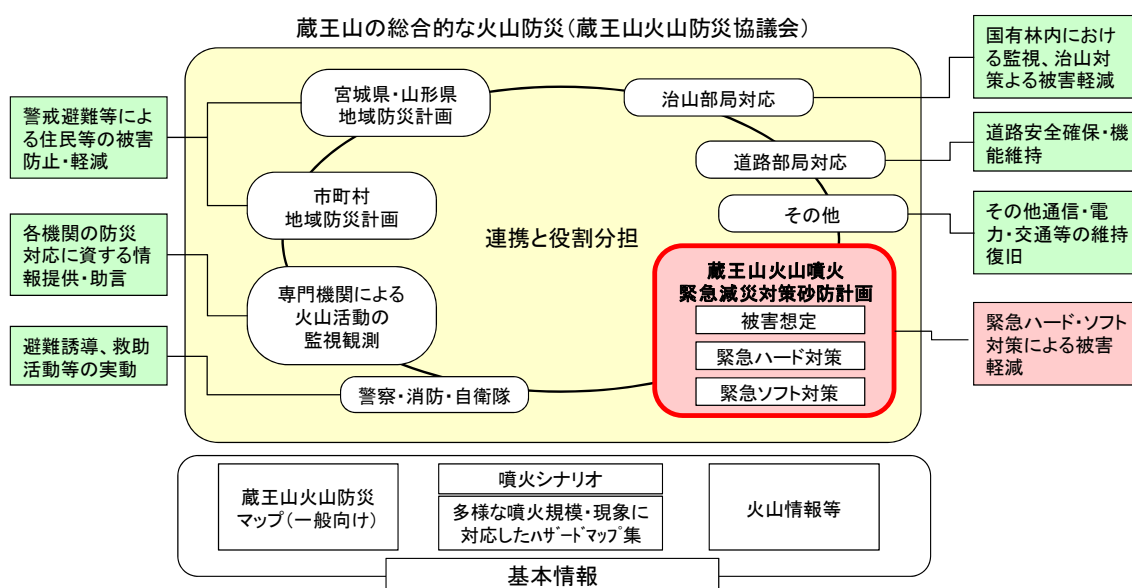


図 1-4 緊急減災対策砂防計画と火山防災対策の関係

表 1-1 各機関が噴火時に実施する火山防災対策

関係機関名	火山噴火時の役割
気象庁仙台管区气象台火山監視・情報センター 山形地方气象台	火山監視、火山およびその他気象に関する警報
山形県火山災害対策連絡会議 宮城県・山形県防災担当部局	関係機関への情報伝達・調整、連絡会議の開催、警戒区域の助言、復旧復興
山形市、上山市、蔵王町、川崎町、白石市、七ヶ宿町	避難勧告・指示、避難所の準備、住民対応
陸上自衛隊第6師団	災害時の支援
県警本部、消防本部	避難誘導、通行規制
林野庁東北森林管理局山形森林管理署、 仙台森林管理署	治山事業
仙台河川国道事務所 宮城県、山形県(道路)	通行規制・輸送支援
土木研究所、国土技術総合研究所 大学等研究機関	緊急減災対策砂防実施のための技術支援、 火山活動の解説、各種対策の助言など
国土地理院	地殻変動の監視観測、地形情報の提供など
東北電力(株)、鉄道会社等	通行規制、ライフラインの管理
宮城県、山形県(砂防)	緊急減災対策砂防 (ハード・ソフト対策、平常時準備)
国土交通省東北地方整備局	緊急減災対策砂防(緊急調査・対策支援)

2. 想定される影響範囲と被害

2.1 蔵王山の概要

2.1.1 地形

蔵王連峰は主に安山岩質溶岩からなり、多くの山体が複合して形成された火山です。緊急減災対策で対象とするのはこのうち中央蔵王と呼ばれる部分であり、蔵王連峰中央部に位置する馬の背カルデラと御釜を中心とする山体を指します。

蔵王火山は、溶岩流の表面地形と思われるなだらかな地形からなる部分が多い一方で、崩壊地形も多数認められます。特に中央部に認められる東に開口した長径約2kmのものは馬の背カルデラと命名されています（酒寄, 1992）。馬の背カルデラの中央部には、明瞭な火口地形を有する御釜があります。御釜は火砕丘である五色岳の西麓に形成されています。

山体東側山麓には、明瞭な扇状地が形成されていることから、蔵王山では活発な土砂流出を繰り返していることが伺えます。

山頂部に位置する馬の背カルデラは崩壊カルデラのように見えますが、濁川下流域にこれに対応する岩屑なだれの証拠（流れ山地形等）は確認できません。

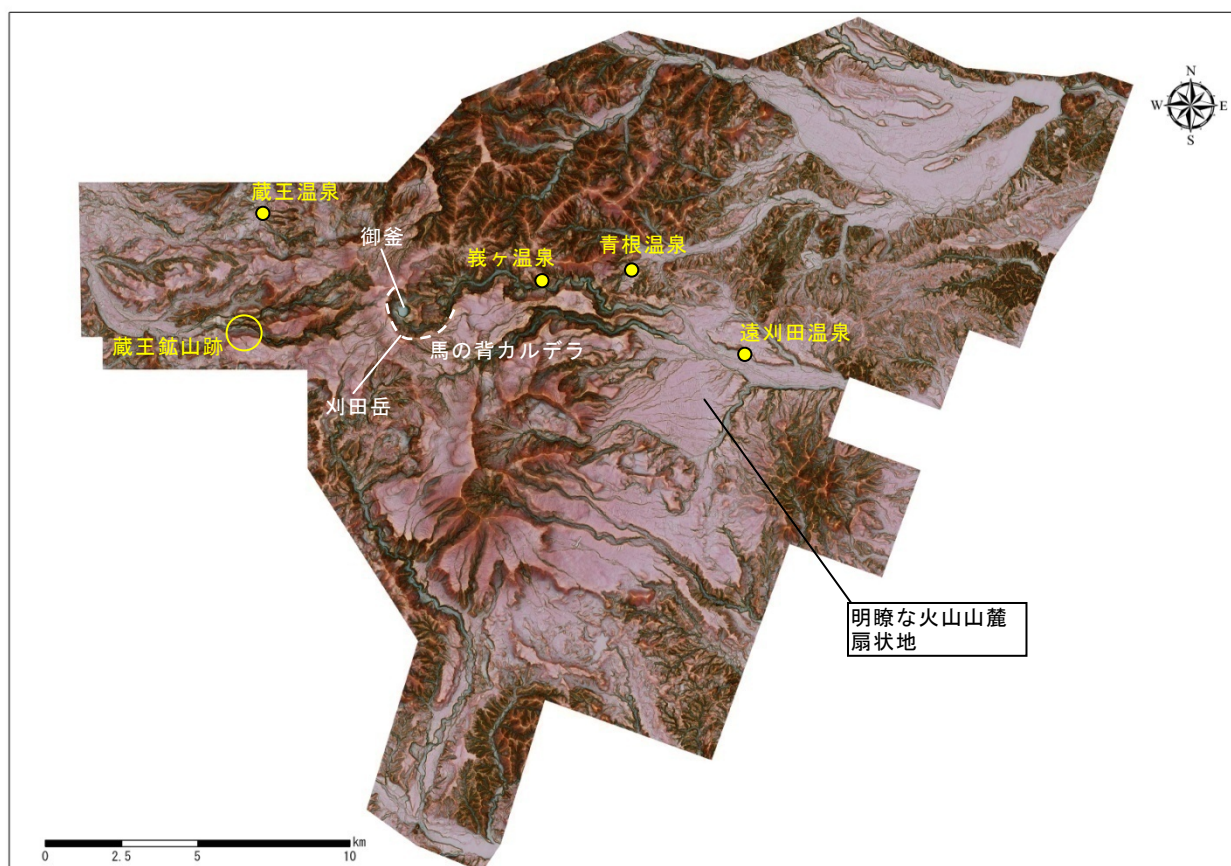


図 2-1 蔵王山の赤色立体地図

2.1.2 蔵王山の形成史

蔵王火山の活動は、約 100 万年前の瀧山、約 30 万年前の雁戸山の活動まで溯ります。その後、南方に前山、烏帽子岳、杉ヶ峰、屏風岳、馬ノ神岳、不忘岳などからなる南蔵王火山が約 100～10 万年前に形成されました。

中央蔵王は、約 80 万年前から活動を始め、現在の丸山沢付近では玄武岩を主体とする火砕岩等が確認できます。これらは水中で噴出した岩相を呈していることから、この時期にはカルデラ湖が存在していたと推測されています（伴, 2010）。

その後約 40～30 万年前には中丸山付近、約 30～10 万年前には中央部の熊野岳～刈田岳を形成する安山岩～デイサイトの溶岩流や火砕岩を噴出する活動があったと考えられています。

最新期である約 3 万年前以降の活動は、御釜～五色岳付近に火口が限定され、約 3.1 万年前の馬の背カルデラの形成から始まりました。馬の背カルデラ形成以降の火口近傍の噴出物は、古い方から駒草平アグルチネート（約 3～1.8 万年前）、馬の背アグルチネート（約 7.5～4.1 千年前）、五色岳火砕岩（約 2 千年前～現在）に分類されています（伴ほか, 2005）。

大局的な蔵王火山の噴出物の分布を図 2-2、火山形成史を表 2-1 に示します。

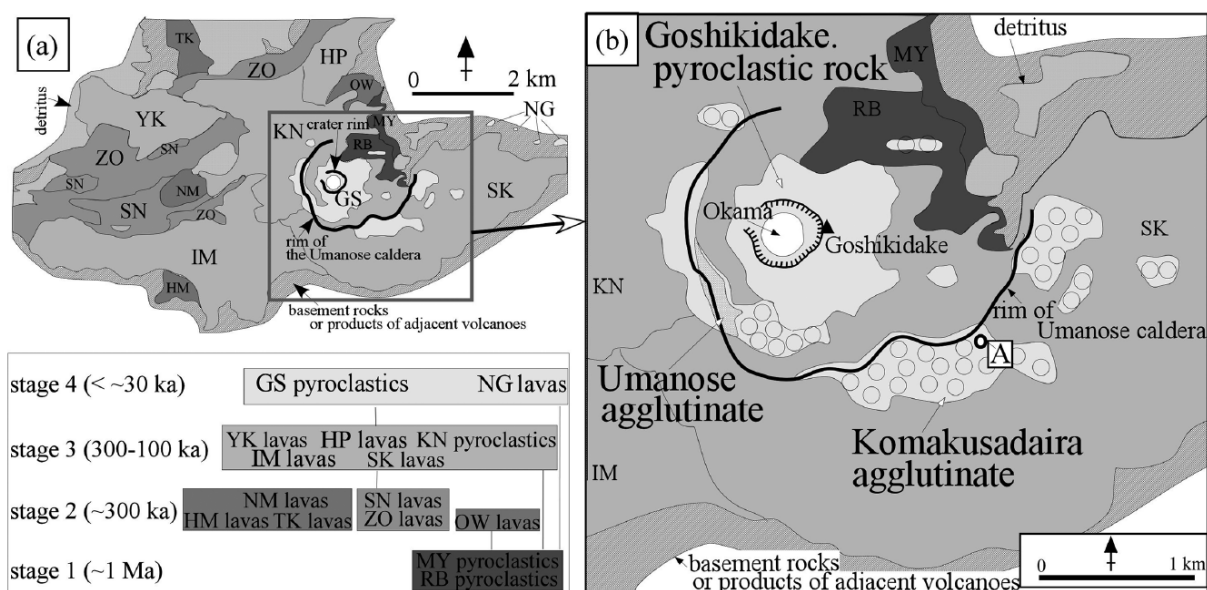


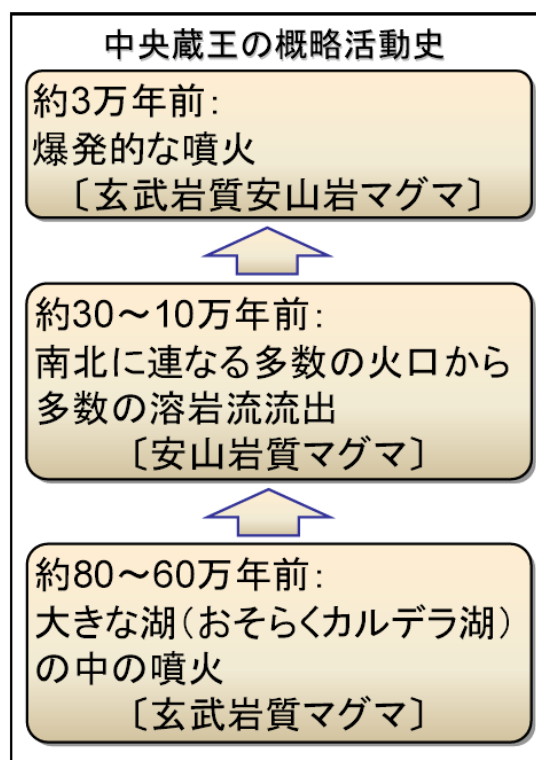
図 2-2 蔵王山の地質図 (a) Sakayori (1992) (b) Ban et al. (2008)

表 2-1 蔵王火山の形成史

ステージ	年代	活動内容
御釜～五色岳 付近の活動	0～3万年前	五色岳火砕岩（約2千年前～現在） 馬の背アグルチネート（約7.5～4.1千年前） 駒草平アグルチネート（約3～1.8万年前） 馬の背カルデラの形成（約3.1万年前）
中央蔵王火山 群の活動	約10～30 万年前	安山岩～デイサイトの溶岩流および火砕岩（ブルカノ式噴火卓越） 熊野岳～刈田岳を形成
	約30～40 万年前	安山岩～デイサイトの溶岩流および火砕岩 （現在の中丸山付近）
	約60～80 万年前	玄武岩火砕岩を主体とする活動（現在の丸山沢付近） カルデラ湖が存在していたと推測される
南蔵王火山群 の形成	10～100万 年前	前山、烏帽子岳、杉ヶ峰、屏風岳、馬ノ神岳、不忘岳などの形成
北蔵王火山群 の形成	約30万年前	雁戸山の形成
	約100万年前	瀧山の形成

2.1.3 中央蔵王の概略活動史

右図に最新の研究成果により検討された中央蔵王の概略的な活動史を示します。中央蔵王では約80～60万年前に水中から噴火した証拠が見つかっており、おそらくカルデラ湖が形成されていたものと推測されています。その後約30～10万年前には、溶岩流流出を主体とする活動となり、山体が形成されました。約3万年前の馬の背カルデラ形成後は、御釜火口周辺からの爆発的な噴火となり、現在に至っています。



※H24.10.31蔵王山緊急減災勉強会での伴教授の講演資料より

2.1.4 馬の背カルデラ形成（約3万年前）以降の活動

蔵王火山の最新期噴出物に関しては、伴ほか(2005)^{*}により詳しく研究されています。図 2-3 にこれらの研究成果による馬の背カルデラ形成後の噴火層序図を表 2-2 に各火山灰の噴出量を示します。この図により、次の特徴が読み取れます。

- 馬の背カルデラ形成（約3万年前）以降、18層の火山灰が確認されている
- 過去1万年間では、14層（Z-To5a～Z-To16）が確認
- さらに3千年より新しいテフラでは、マグマ噴火に先行する水蒸気爆発の白色の火山灰がセットで確認できる
- マグマ噴火の最大規模は、1,000万 m³ 規模

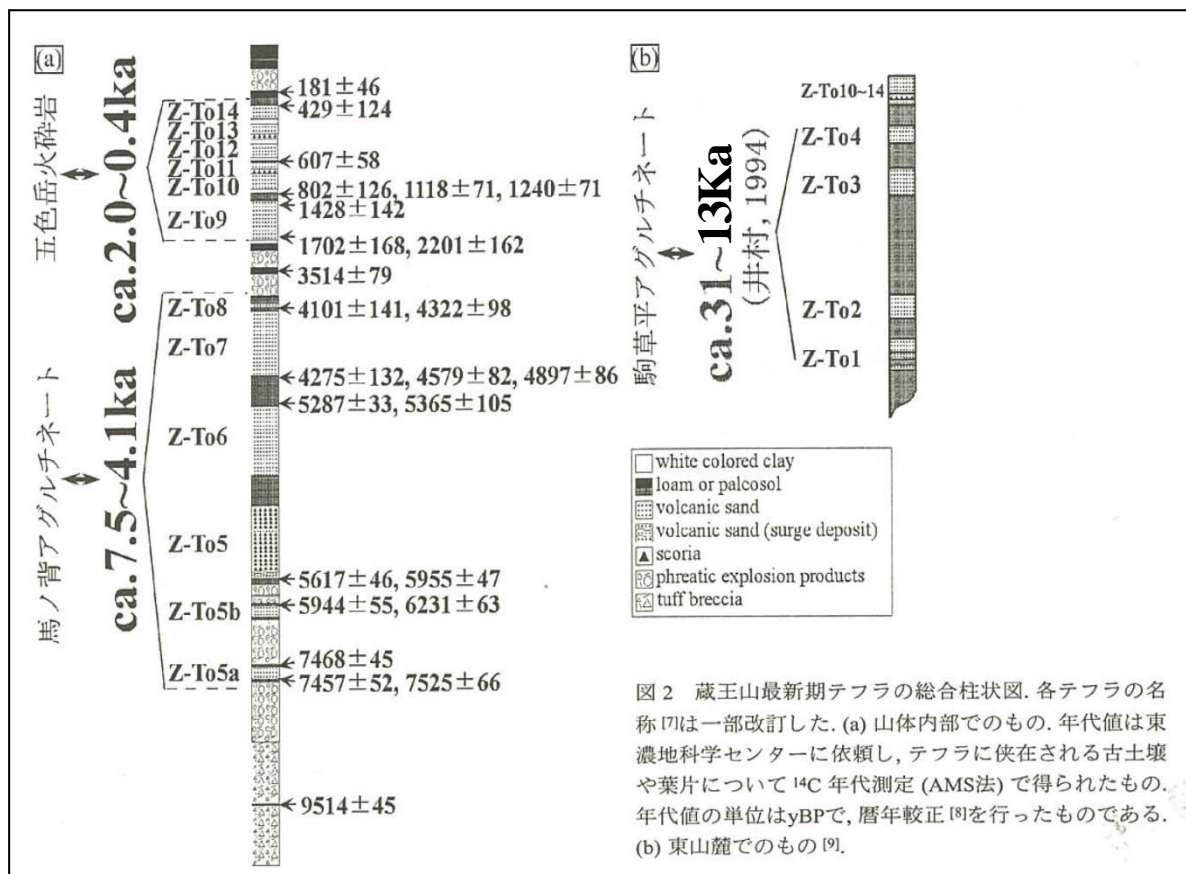


図 2-3 蔵王山最新期テフラの総合柱状図

(但し、Miura et al. (2008)に基づき、Z-To1~4の年代を修正)

※伴雅雄・佐川日和・三浦光太郎・田中勇三(2005):蔵王山の防災マップについて.月刊地球.”日本の火山ハザードマップ(上)”,317-320.

表 2-2 過去約1万年間の噴出物量

テフラ名	年代	マグマ噴火の噴出量 (m ³) (DRE)	水蒸気爆発の噴出量 (m ³) (実容積)
1895年水蒸気爆発	1895年		御嶽山2014年噴火と同規模程度
Z-To16	18～19世紀	10 ⁶ 規模	10 ⁴ 規模 10 ⁵ 規模 ＜約5×10 ⁶ ＜約5×10 ⁶ ＜約5×10 ⁶ ＜約5×10 ⁶ ＜約5×10 ⁶ ＜約5×10 ⁶
Z-To15	18世紀?	10 ⁶ 規模	
Z-To14	17世紀	10 ⁷ 規模	
Z-To13	13世紀?	10 ⁶ 規模	
Z-To12	13世紀?	10 ⁷ 規模	
Z-To11	13世紀	10 ⁶ 規模	
Z-To10	およそ9～13世紀	10 ⁶ 規模	
Z-To9	およそ1～7世紀	10 ⁷ 規模	
水蒸気爆発※	約3千年前		
Z-To8	約3.5～4.5千年前	10 ⁶ 規模	※約3千年前の水蒸気爆発は特殊な噴出形態を呈し、蔵王山の噴火史においても稀な現象と思われるので、噴火シナリオに考慮しない
Z-To7	約4～5千年前	10 ⁷ 規模	
Z-To6	約5～6千年前	10 ⁷ 規模	
Z-To5	約5～6千年前	10 ⁶ 規模	
Z-To5b	約6.5～7.5千年前	10 ⁶ 規模	
Z-To5a	約7～8千年前	10 ⁶ 規模	

※研究進展に伴い改訂が進んだ推定値

【マグマ噴火と先行する水蒸気爆発について】

下図に蔵王山の火山灰（テフラ）の露頭写真を示します。マグマ水蒸気爆発により噴出した黒色のスコリア質の火山砂と水蒸気爆発による白色の粘土質の火山灰が交互に積み重なっている様子が観察できます。

このことから、近年の噴火では、マグマ噴火に先行して水蒸気爆発が発生している事例が多いと判断され、噴火シナリオを構築していく上で留意すべき点です。



御釜東方約2km地点のZ-To9～14テフラ(スコリア質火山砂)各スコリア質火山砂の下位に水蒸気爆発堆積物(白色のもの)が認められる

資料提供)山形大学理学部 伴教授

2.1.5 有史時代の火山活動

(1) 歴史時代の噴火

蔵王山の歴史時代の噴火記録は、日本活火山総覧（第4版）（気象庁編、2013）によると下表のとおりまとめられています。

表 2-3 有史時代の噴火記録

年代	現象	活動経過・被害状況等
773(宝亀2)年	噴火	噴火場所は刈田岳?
8~13世紀のいずれか	中規模:水蒸気噴火? →マグマ噴火	火砕物降下。噴火場所は五色岳。複数回噴火。マグマ噴出量は0.026DREkm ³ 。(VEI3)
1183(寿永2)年	噴火	5月21日。噴火場所は五色岳(御釜)3。
1230(寛喜2)年	噴火	10月または11月。火砕物降下。
1230(寛喜2)年	噴火	11月22日。火砕物降下。噴石により人畜に被害多数。
12~13世紀	中規模:水蒸気噴火? →マグマ噴火	Z-To11 噴火:火砕物降下。噴火場所は五色岳。 マグマ噴出量は0.0053 DRE km ³ 。(VEI3)
1331~1333(元弘元~元弘3)年	噴煙?	詳細不明。
1350(観応年間)年頃	噴煙?	詳細不明。
12~15世紀のいずれか	中規模:水蒸気噴火? →マグマ噴火	Z-To12 噴火:火砕物降下。噴火場所は五色岳。 マグマ噴出量は0.014 DRE km ³ 。(VEI3)
12~15世紀のいずれか	中規模:水蒸気噴火? →マグマ噴火	Z-To13 噴火:火砕物降下。噴火場所は五色岳。 マグマ噴出量は0.006 DRE km ³ 。(VEI3)
1620(元和6)年	噴火	噴火場所は五色岳(御釜)?
1622(元和8)年	噴火	詳細不明。
1623~24(元和9~寛永元)年	噴火	5月15日~11月15日。火砕物降下。鳴動、噴石、降灰。
16~17世紀	水蒸気噴火? →マグマ噴火	火砕物降下。噴火場所は五色岳。 マグマ噴出量は0.011 DRE km ³ 。(VEI3)
1625(寛永2)年	鳴動?	詳細不明。
1626(寛永3)年	鳴動?	詳細不明。
1630(寛永7)年	噴火	詳細不明。
1641(寛永18)年	噴火	詳細不明。
1668(寛文8)年	噴火	8月。
1669(寛文9)年	噴火	火砕物降下。降灰。
1670(寛文10)年	噴火	火砕物降下。 4月26日より噴煙、9月26日遠方まで降灰。
1694(元禄7)年	中規模:水蒸気噴火?	5月29日。噴火場所は五色岳(御釜)? 神社焼失。8月30日地震、河川毒水化、川魚死ぬ。(VEI3)
1794(寛政6)年	水蒸気噴火?	9月22日~12月頃。火砕物降下。 噴火場所は五色岳(御釜南東に9つの火口生成)。
1796(寛政8)年	噴火	3月24日。
1804(文化元)年	噴火	詳細不明。
1806(文化3)年	噴火	7月12日。
1809(文化6)年	水蒸気噴火?	12月29日。噴火場所は五色岳(御釜)。 6月から活動を始め、12月29日に爆発。硫黄流入し、川魚被害。
1821(文政3)年	噴火	1月27日。噴火場所は五色岳(御釜)? 鳴動、御釜の濁水沸騰、濁川増水し、硫黄堆積。
1822(文政4)年	噴火	5月1日。
1830(天保元)年	噴火	詳細不明。
1831(天保2)年	噴火	11月22日。
1833(天保4)年	噴火	火砕物降下。噴火場所は五色岳(御釜)。 たびたび噴火、降灰、御釜沸騰。
1867(慶応3)年	水蒸気噴火?	10月21日。噴火場所は五色岳(御釜)? 鳴動、御釜沸騰、硫黄混じりの泥水が増水し、洪水を起し死者3名。
1873(明治6)年	噴火	8~9月。噴火場所は五色岳(御釜)?
1894(明治27)年	噴火	3月頃から噴煙、7月3日噴火。7月には降灰。8~10月湯の噴出。
1895(明治28)年	小規模:水蒸気噴火	2月~9月。火砕物降下。噴火場所は五色岳(御釜)。 2月12日頃から火口付近に有感地震、2月15日に爆発し、鳴動、白煙。御釜沸騰し、川魚被害。19日にも爆発、鳴動、御釜の沸騰、河川増水。有毒ガス発生。3月22日にも白石川の洪水。(VEI0) 8月22日、9月27~28日。火砕物降下、火砕サージ。 噴火場所は五色岳(御釜)。 8月22日降灰。9月27、28日爆発、降灰。(VEI1)
1896(明治29)年	噴煙	3月8日、噴煙。8月、御釜にて水蒸気上昇。9月1日、御釜の水氾濫。
1897(明治30)年	噴煙、鳴動	1月14日。
1918(大正7)年	噴火?	御釜沸騰。
1923(大正12)年	噴気	8月。御釜の湖心からガス噴出強まる(その後次第に弱まり1928年に止む)。
1935(昭和10)年	地震、鳴動	6月下旬。渡瀬を中心とする10km内外で、地震群発及び鳴動。
1939(昭和14)年	湖水変色、温泉異常	7月、御釜の水が変色し泡立つ。11月、湖面から湯気が上がる
1940(昭和15)年	小規模:水蒸気噴火	4月16日。火砕物降下。噴火場所は御釜北東鳥地獄。 新噴気孔生成。(VEI1)
1949(昭和24)年	噴気	丸山沢噴気孔の噴気活動が活発になる。
1962(昭和37)年	地震・噴気	8月19~20日。20数回鳴動、地震群発、噴気活発
1966(昭和41)年	噴気、温泉異常	振子沢付近に噴気地帯の出現と数箇所の新温泉が噴出。
1971(昭和46)年	鳴動	10月4日。
1972(昭和47)年	鳴動	5月14日、28日、29日。
1984(昭和59)年	地震	7月8日~9月頃。熊野岳の南東約5km付近で地震群発。
1990(平成2)年	地震	7月14日~15日。御釜から刈田岳付近で地震群発。
1992(平成4)年	地震	2月22日。不忘山西方付近で地震多発。
	地震	9月1日。山頂付近で地震多発。
1995(平成7)年	地震	4月。不忘山付近。12月熊野岳の北西約10kmで地震多発
	地震	12月。北西山麓。熊野岳の北西約10km付近で地震多発
2013(平成25)年1月~	火山性微動	火山性微動

① 西暦 1230 年頃の噴火

西暦 1230 年頃の噴火は、現在の御釜付近に火口が形成されました。

噴出物から見ると、水蒸気爆発が発生し、当時の五色岳西斜面が吹き飛ばされ、御釜の原型が完成したものと考えられています。

その後、マグマ水蒸気爆発が繰り返され、この時の水蒸気爆発は、水蒸気爆発としては規模の大きいものでした。

② 西暦 1895 年の噴火

西暦 1895 年には、少なくとも 2 月 15-19 日、8 月 22 日、9 月 27-28 日に噴火したと判断されます。

噴火の規模は徐々に大きくなりました。2 月 15-19 日には地震を伴って白煙が吹き上げられる程度でしたが、8 月 22 日には山形市まで灰が飛んできました。この間、何度も火山泥流が発生し、松川などが氾濫しています。

9 月 27-28 日には、この一連の活動の最大の噴火を迎えました。9 月 27 日には噴煙柱が立ち上がり、またメートルサイズの噴石が多数噴出し、火砕流も発生しました。9 月 27-28 日の噴火による火山灰は東方に流れ、少なくとも太平洋付近まで到達したと考えられています。

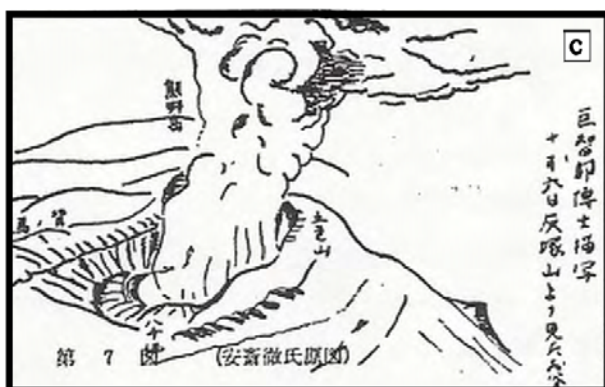


図 2-5 巨智部博士描写
(10 月 6 日灰塚山より見た御釜)

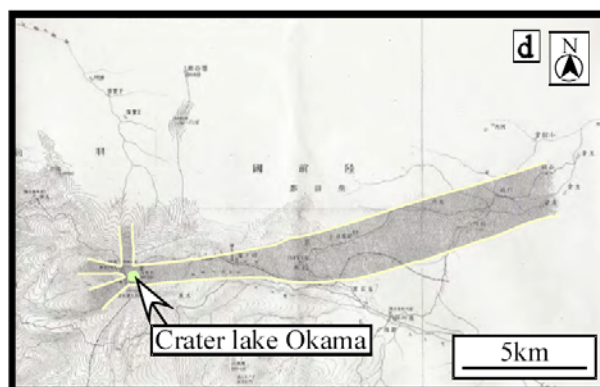


図 2-4 1895 年噴火による降灰分布

③ 西暦 1939~1940 年活動の推移

1939 年 7 月に御釜の活動が始まり、11 月にピークを迎えました。その後 12 月～翌 1940 年 1 月まで活動が低下していましたが、2 月に再び活発化し、8 月にピークに達しました。

・ 1939 年 (昭和 14 年)	7 月	活動開始
	11 月	噴気
・ 1940 年 (昭和 15 年)	2 月	湖面解氷
	3 月	湖岸に硫黄球
	4 月	新噴気孔形成
	5 月	御釜北西で硫黄ガス
	8 月	御釜の水温が期間中最高温度
	10 月	御釜一帯に硫黄ガス

(2) 御釜周辺での状況変化

蔵王山の火口湖である御釜の水質水温等については、大正7年(1918年)の御釜沸騰時に大森房吉博士により測定されて以来、安齋徹氏、加藤武雄氏らにより測定が行われてきました。それにより得られた火山活動に関連する主な事項は下表に示すとおりであり、御釜の化学組成や透明度、温度分布は大きく変動しています。これら変動と火山活動の関係は明確にされていませんが、これらを観測することにより、なんらかの異常を検知することが期待できます。

表 2-4 御釜の状況変化

西暦年	和暦年	月日	現象	出典
1918年	大正7年		御釜沸騰	気象庁
1923年	大正12年	8月	御釜の湖心からガス噴出強まる(その後次第に弱まり1928年に止む)	気象庁
			湖心より H ₂ S、SO ₂ を噴出し湖面にゴム状の硫黄幕を夥しく浮遊させ、湖水はガスのため乳白色を呈する	安齋(1938)
1927年	昭和2年	8月	湖心からのガスの噴出は衰えわずかに泡を出す	安齋(1938)
1928年	昭和3年		ガス噴出止まる	安齋(1938)
1931年	昭和6年		pH1.9を観測	奥田ら(1991)
1933年	昭和8年		美しき青藍色の湖水は緑色化して透明度も大。鉛直方向に温度分布の双温層を観測	安齋(1938)
1934年	昭和9年		透明度が減退。双温層は存在	安齋(1938)
1935年	昭和10年		透明度減退の極限。水温分布は複雑化し、複双温層の存在を確認	安齋(1938)
1935年	昭和10年	6月下旬	地震群発	気象庁
1937年	昭和12年	夏	透明度は増大傾向。双温層は解消	安齋(1938)
1939年	昭和14年		御釜の水が変色し泡立つ、新温泉噴出	気象庁
1940年	昭和15年	2月	小噴火：新噴気孔生成	気象庁
1960年	昭和35年		湖底からはマグマと関連する物質がなお供給され、酸性を呈する	加藤(1960)
1991年	平成3年		pH3.0~3.3	奥田ら(1991)

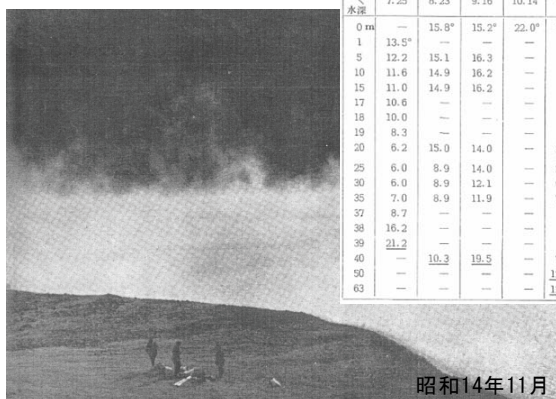
安齋 徹(1938)：蔵王山火口湖お釜の観測。陸水学雑誌，8: 264-272

加藤 武雄(1960)：蔵王山「お釜」についての二三の湖沼学的知見。陸水学雑誌，21: 141-150

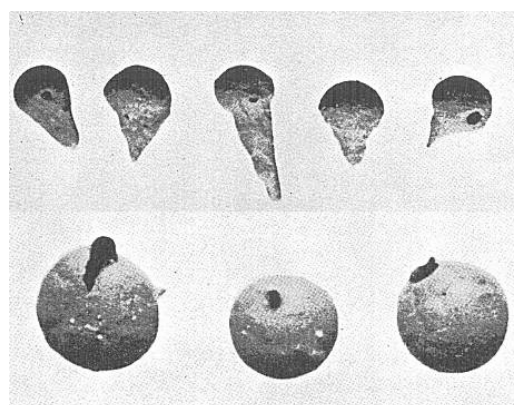
奥田節夫・倉田 亮・長岡正利・沢村和彦編(1991)：空からみる日本の湖沼。理科年表読本，丸善株式会社

昭和14年7月~11月水温変化表

月日	7.25	8.23	9.16	10.14	11.3
水深					
0m	—	15.8°	15.2°	22.0°	24.5°
1	13.5°	—	—	—	—
5	12.2	15.1	16.3	—	—
10	11.6	14.9	16.2	—	—
15	11.0	14.9	16.2	—	—
17	10.6	—	—	—	—
18	10.0	—	—	—	—
19	8.3	—	—	—	—
20	6.2	15.0	14.0	—	25.0
25	6.0	8.9	14.0	—	25.5
30	6.0	8.9	12.1	—	67.0
35	7.0	8.9	11.9	—	75.0
37	8.7	—	—	—	—
38	16.2	—	—	—	—
39	21.2	—	—	—	—
40	—	10.3	19.5	—	78.0
50	—	—	—	—	121.0
63	—	—	—	—	128.0



湖水温度上昇のために冬季に湯気が発生
(水深63mで128℃を記録した)



湖面に浮かんだ中空硫黄球
(湖底に融解した硫黄が存在し、火山ガス(H₂S)の噴出により浮上したものと推定される)

(3) 泥流発生記録

表 2-5 に蔵王山において泥流の発生を示唆する古記録を列記しました。蔵王山では特に 1800 年代に度々泥流が発生し、濁川流域に被害をもたらしています。

特に、1809 年や 1867 年、1896 年には、夏期に泥流が発生しており、融雪型火山泥流のみを想定している現行のハザードマップに対して、夏場の火山泥流発生も想定しておく必要があると考えられます。

表 2-5 泥流の発生を示唆する噴火記録

西暦年	活動	活動中心	被災地域	記載
1809年	水蒸気爆発 泥流	蔵王岳 御釜の内側 2ヶ所	阿武隈川（毒水）	七月廿六日蔵王嶽又以焼抜け、 大水灰等押出 参詣日と怪我等有之。 十一月廿三日蔵王嶽焼焰爆發、 硫黄流溢れ、阿武隈川の魚ことごとく死す
1821年	鳴動、御釜の水沸騰、泥流、噴気	(熊野岳) 御釜	濁川（洪水）	十二月廿四日突然鳴動し 湖水の濁水沸騰し濁川二十尺余の増水 、近傍には硫黄二三寸堆積したりしも人里には被害なく、只翌年の稲作不況なりき。
1831年	大噴火、毒水御釜拡大	蔵王山御釜		大洪水蔵王嶽度々焼く 天保三壬辰年四月御役所へ被招呼、奉公中被申し候わば 蔵王山より井おう（硫黄）悪水相流れ、田畑へも相さわ り候旨にて百姓片甚だ難洪の趣に付き、廻立蔵王堂に於て二夜三日の間、悪水除き、五穀成就の御祈禱被仰付候。
1867年	水蒸気爆発御釜の水沸騰、泥流	熊野岳御釜	旧新関温泉付近3人死亡（泥流） 峨々温泉4~5人死亡負傷	九月廿四日鳴動し 御釜の湖水沸騰し泥水-硫黄を混じり二十尺余洪水となり、死亡三人を生ず 。 慶応三年丁卯この度峨々の温泉開けて、同年九月二十四日七時頃御釜焼けぬけ、其時峨々の温泉入湯の人四、五人死亡す、負傷人等あり。
1895年（明治28年）	噴火、降灰、泥流、毒水 2/15	御釜	松川、白石川魚類全滅	二月十五日午前九時三十分俄然鳴動、忽にして白煙噴出し東北方に硫黄飛散し、 湖水御釜氾濫、松川に押流れ白石川の魚類斃死す 。
1895年（明治28年）	鳴動、御釜沸騰、氾濫 2/19	御釜	濁川20尺増水、木尻倒す	二月十九日午前八時三十分西北風起こり、鳴動烈しく、 湖水御釜沸騰濁川廿尺の増水、白石川に木竹を押し流す 。
1895年（明治28年）	鳴動、噴煙、湖水氾濫 3/27	御釜	白石川（泥流）	三月廿七日午前五時三十分鳴動湖水（御釜）氾濫噴煙青根および川崎近傍に降灰雨の如し。 大河原付近にては午前九時頃白石川の魚類を手捕すること夥し（おびただし）、白石川の濁水甚だし 。
1896年（明治29年）	噴煙、噴石、湖水氾濫 水蒸気爆発	御釜	青根	九月一日 湖水氾濫、噴煙あり 。

赤字は泥流の発生を示唆している箇所を意味する

(4) 近年の活動

蔵王山は、気象庁の常時観測火山に指定されており、24 時間体制で監視され、火山活動解説資料により定期的に活動状況が公表されています。

2015 年 4 月 7 日以降御釜付近が震源とみられる火山性地震が増加したことから 2015 年 4 月 13 日に火山周辺警報（火口周辺危険）が発表されました。

① 地震や微動の発生状況

図 2-6 に蔵王山の火山性地震の日別回数回数と火山性微動の継続時間と上下動最大振幅を示します。2010 年 9 月の観測開始以降、2012 年まで火山性地震は少なく、火山性微動も観測されていない状態が継続していましたが、2013 年 1 月以降地震活動が活発化し、火山性微動も度々観測されるようになりました。

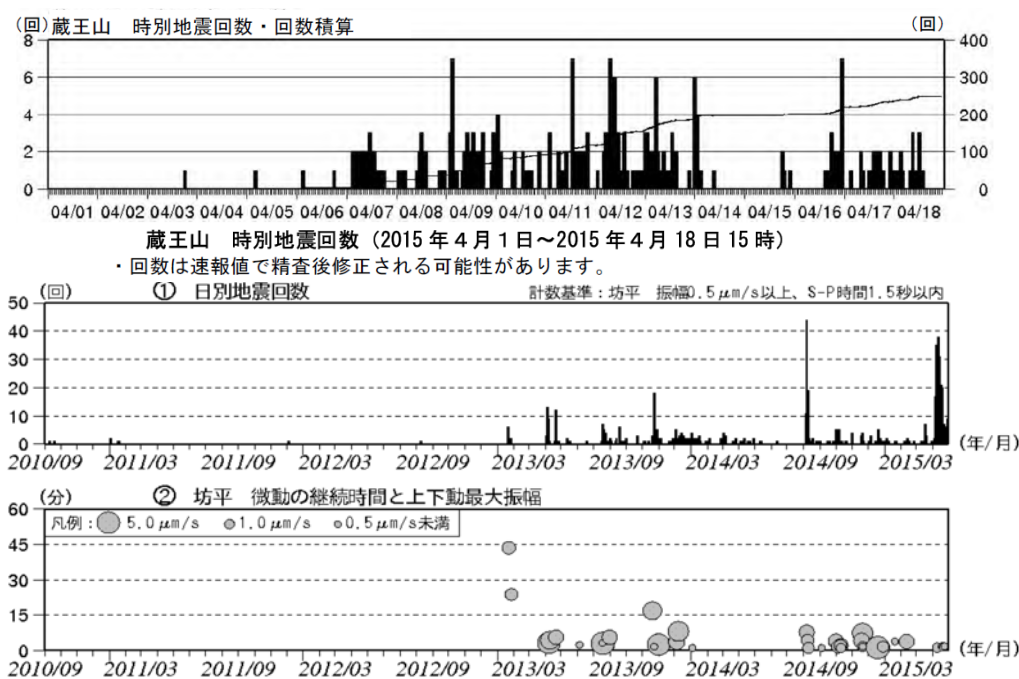


図 2-6 蔵王山日別地震回数と微動の発生状況 (2010 年 9 月～2015 年 4 月) *

【低周波地震】

2013 年 (平成 25 年) 1 月 22 日と 27 日に通常の地震に比べて周期の長い低周波地震が平成 22 年 9 月の観測開始以降はじめて観測されて以降、低周波地震がやや増加した状態で経過しています。

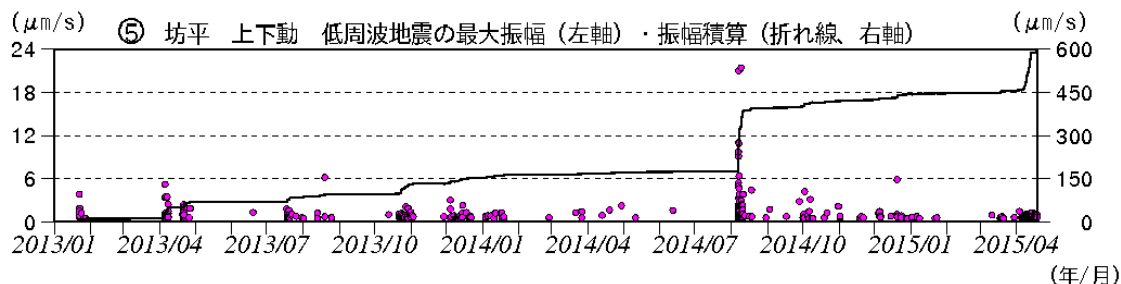


図 2-7 蔵王山で観測された低周波地震 (気象庁資料)

*蔵王山の火山活動解説資料(平成 27 年 4 月)/仙台管区気象台火山監視・情報センターより抜粋

2.1.6 過去1万年間の活動から見た蔵王山の噴火の特徴

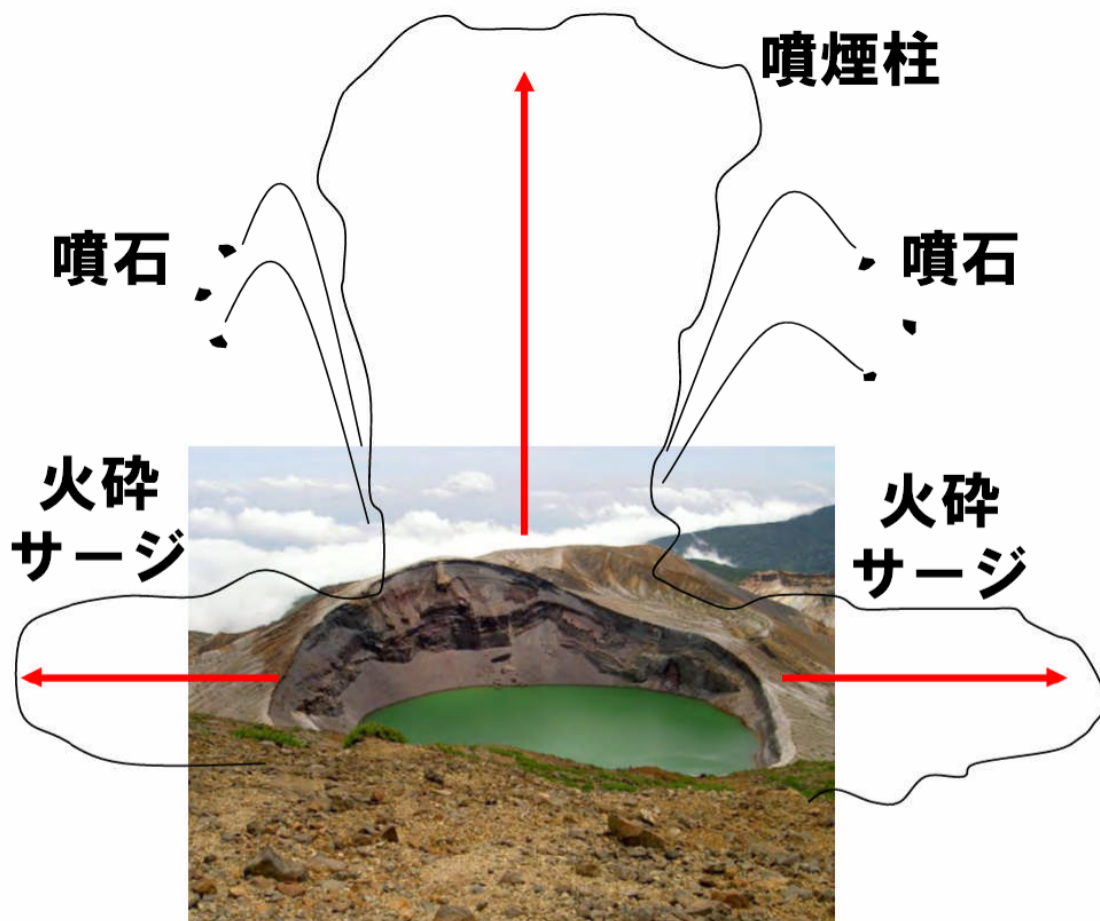
蔵王山の過去1万年間の活動の特徴は次のとおりです。

- 過去1万年間の活動は、約9千年前～4千年前の活動と、約2千年前から現在に至る活動に分けられる。
- 約9千年前～4千年前の活動では、噴火の間隔が長い、1回の噴火の規模が比較的大きいことが特徴である。
- 一方、約2千年前から現在に至る活動では、1回の噴火の規模は小さいが噴火の間隔が短いことが特徴である。
- 4千年前～2千年前の2千年間はマグマの噴出が確認されないが、活動が静穏であったわけではなく、実際には水蒸気爆発は何回か発生していたことが分かっている。

【近年の蔵王山の噴火形態】

過去1万年間の噴火履歴を基に考察すると、蔵王山において今後発生が予想される噴火としては、水蒸気爆発の可能性が最も高いと考えられます。

また、マグマが上昇して湖水と接触すると爆発的な噴火（マグマ水蒸気爆発）を引き起こし、その際噴石が放出され噴煙柱が立ち上ると同時に火砕サージが横方向に広がると推測されます。



約2千年前以降のマグマ水蒸気爆発の概念図

※H24.10.31蔵王山緊急減災勉強会での伴教授の講演資料より

図 2-8 想定される蔵王山の噴火概念図



図 2-9 蔵王山で見られる火砕サージの堆積物

※山形大学理学部伴教授提供資料

2.1.7 蔵王山の噴火警戒レベル




蔵王山では噴火警戒レベルが未導入（本計画書策定時点）であり、今後導入に向けて気象庁、関係自治体において協議中です。噴火警戒レベルの一般的な考え方は以下のとおりです。

【噴火警戒レベル】

噴火警戒レベルとは、火山活動の状況を噴火時等の危険範囲や必要な防災対応を踏まえて5段階に区分したものです。住民や登山者・入山者等に必要な防災対応が分かりやすいように、各区分にそれぞれ「避難」「避難準備」「入山規制」「火口周辺規制」「活火山であることに留意」のキーワードをつけて警戒を呼びかけます。噴火警戒レベルは噴火警報および噴火予報で発表されます。

平成25年7月現在、30火山において、噴火警戒レベルが運用されています。

表 2-6 噴火警戒レベルの説明

種別	名称	対象範囲	レベルとキーワード		説明		
					火山活動の状況	住民等の行動	登山者・入山者への対応
特別警報	噴火警報 (居住地域) 又は 噴火警報	居住地域 及び それより 火口側	レベル5 避難		居住地域に重大な被害を及ぼす噴火が発生、あるいは切迫している状態にある。	危険な居住地域からの避難等が必要（状況に応じて対象地域や方法を判断）。	
					居住地域に重大な被害を及ぼす噴火が発生すると予想される（可能性が高まってきている）。	警戒が必要な居住地域での避難の準備、災害時要援護者の避難等が必要（状況に応じて対象地域を判断）。	
警報	噴火警報 (火口周辺) 又は 火口周辺警報	火口から 居住地域 近くまで 火口周辺	レベル3 入山規制		居住地域の近くまで重大な影響を及ぼす（この範囲に入った場合には生命に危険が及ぶ）噴火が発生、あるいは発生すると予想される。	通常の生活（今後の火山活動の推移に注意。入山規制）。状況に応じて災害時要援護者の避難準備等。	登山禁止・入山規制等、危険な地域への立入規制等（状況に応じて規制範囲を判断）。
					火口周辺に影響を及ぼす（この範囲に入った場合には生命に危険が及ぶ）噴火が発生、あるいは発生すると予想される。	通常の生活。	火口周辺への立入規制等（状況に応じて火口周辺の規制範囲を判断）。
予報	噴火予報	火口内等	レベル1 活火山であることに留意		火山活動は静穏。火山活動の状態によって、火口内で火山灰の噴出等が見られる（この範囲に入った場合には生命に危険が及ぶ）。	通常の生活。	特になし（状況に応じて火口内への立入規制等）。

2.2 蔵王山で想定される噴火シナリオ

2.2.1 噴火シナリオとは

「火山噴火緊急減災対策砂防計画策定ガイドライン（平成19年4月国土交通省砂防部）」によると『噴火シナリオ』とは、対象火山において発生することが想定される現象とその規模およびそれらの推移を時系列にまとめたものです。

噴火シナリオでは、火山性地震の多発などの前兆現象の発生から、噴火開始後の火砕流・溶岩流などの現象の発生、噴火の終息までの流れを、時系列に整理します。

また、複数の現象の推移が考えられ、それらがある段階で分岐する可能性がある場合には、分岐図（イベントツリー）として示します。

火山噴火緊急減災対策砂防計画では、噴火シナリオをもとに、噴火シナリオの各場面で必要となる実施事項の検討を行い、緊急対策タイムラインとしてまとめます。

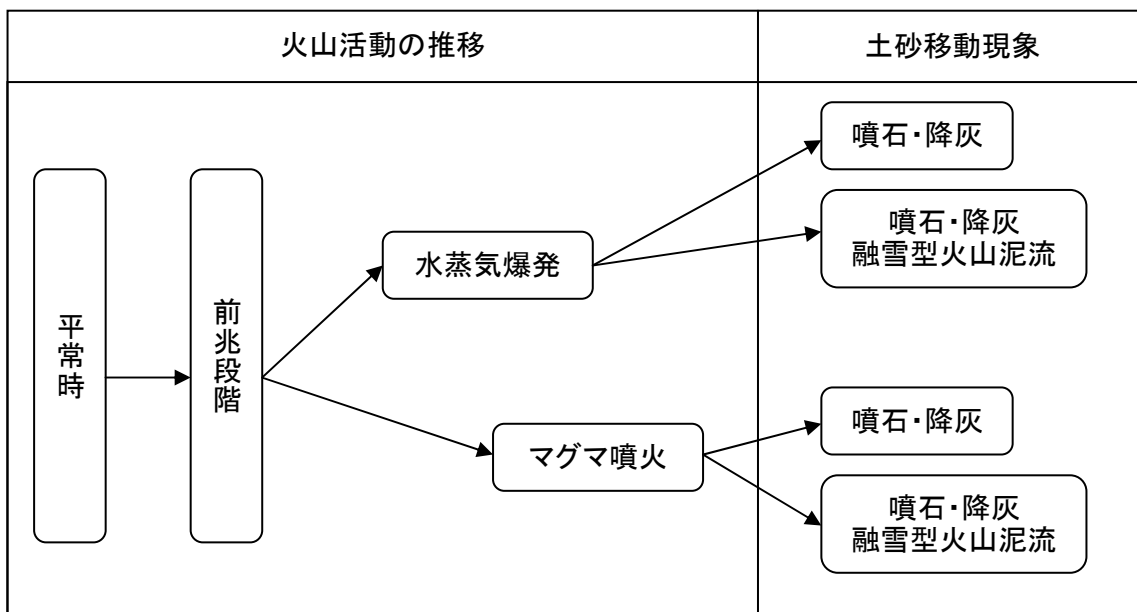


図 2-10 蔵王山で作成する「噴火シナリオ」のイメージ

2.2.2 想定現象

(1) 想定条件

蔵王山における過去 1 万年間の活動履歴に基づき想定噴火を設定し、1 回の噴火として最大と考えられる噴火規模を想定規模とします。

気象庁による活火山の定義が、「概ね過去 1 万年以内に噴火した火山および現在活発な噴気活動のある火山」であることを踏まえ、より発生する確率の高いシナリオとして、過去 1 万年間の活動履歴に基づいた噴火シナリオを検討します。

(2) 想定噴火形態

過去 1 万年間の活動履歴に基づき、2 種類の噴火形態を想定します。

- ① マグマ噴火
- ② 水蒸気爆発

2.1.4 で整理したとおり、過去 1 万年間は水蒸気爆発とマグマ噴火を繰り返してきていることが明らかになっていますので、今後もこの 2 形態の噴火が発生する可能性が高いと考えられます。

また、前兆的な現象が発生しても噴火に至らない場合も想定しておく必要があります。

(3) 想定噴火規模

噴火規模は 2 種類の噴火形態別に以下のとおりとします。

- ① マグマ噴火：噴出量 1,000 万 m³
- ② 水蒸気爆発：噴出量 500 万 m³

① マグマ噴火（マグマ水蒸気爆発）

過去 1 万年間のテフラの推定体積は 100 万～1,000 万 m³（DRE）規模で、大きいもの（Z-To6 等）で約 1,000 万～3,000 万 m³（DRE）規模と推定されます。但し、これは 1 回の噴火によるものではなく、少なくとも 3 フェーズ以上の噴火によるものの累積と考えられます。

図 2-11 に Z-To6 の代表的露頭写真を示しました。矢印は代表的な境界で、より明瞭に見えるものは大きな矢印で示しています。これらを境に、異なる噴火に由来する噴出物が累重していると推定されます。矢印で境される間の層厚は大きく見ても Z-To6 全体の層厚の 3 分の 1 未満であります。なお、より詳細に見ると、矢印以外にも境界が認められます。このことより、過去 1 万年間の 1 回のマグマ噴火の最大量は、テフラの推定最大量を 3 で割った値を越えないと判断されるため、安全側を見て 1,000 万 m³（DRE）を対象規模としました。

指摘対応箇所

②水蒸気爆発

蔵王山の火山噴出物に関する研究成果によると、近年の活動履歴では、マグマ水蒸気爆発に先行して水蒸気爆発が発生する頻度が多いことが把握されています。

そこで、噴火シナリオとしては、マグマ噴火に先行する水蒸気爆発についても考えることとします。また、火山活動は、マグマ噴火に至らずに水蒸気爆発のみで終了する場合も想定されます。

水蒸気爆発の想定噴出量は、既往の実績での最大規模が約 500 万 m³であることを参考に 500 万 m³としました。

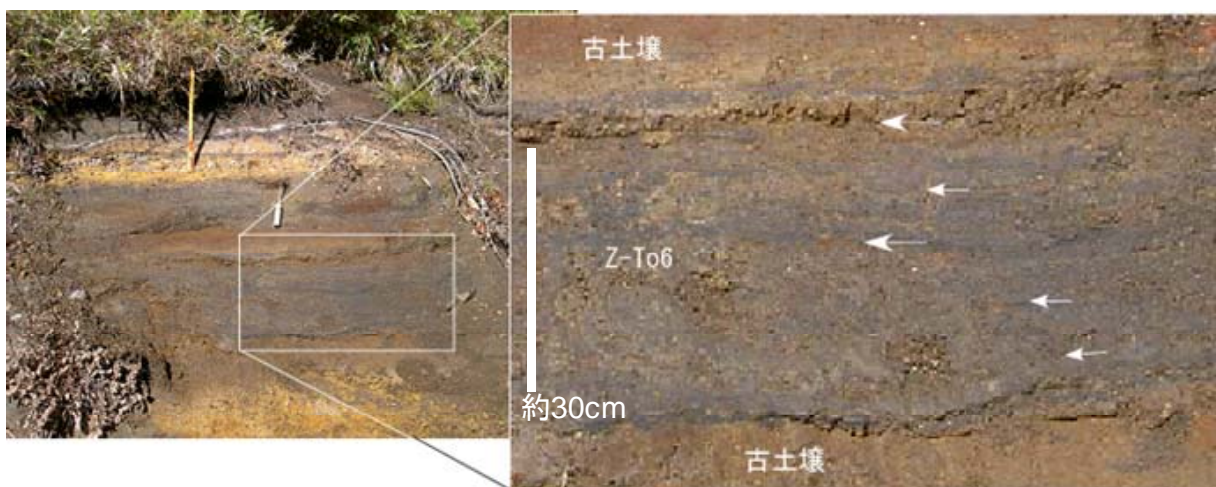


図 2-11 テフラの露頭 (Z-To6)

資料提供)山形大学理学部 伴教授

2.2.3 想定火口

水蒸気爆発の想定火口を『馬の背カルデラ内の御釜周辺域』、マグマ噴火の想定火口を『御釜』とします。

既往の噴火シナリオでは、想定火口は御釜火口でしたが、以下の理由により想定火口を馬の背カルデラ内の御釜周辺域に拡大することとします。

①過去の噴火履歴により

御釜火口が形成されたのは、1230年頃の噴火と考えられており、それ以前は御釜周辺の旧火口で活動していたことが分かっています。つまり、過去1万年間では御釜火口以外からも噴火していることとなります。

②新噴気孔の形成

1940年の4月に、御釜から北東へ約1.5km離れたところに新たな噴気孔（丸山沢噴気孔）が形成されました（図2-12参照）。

③馬の背カルデラの成因について

馬の背カルデラは、山体崩壊による崩壊カルデラと考えられていましたが、崩壊に起因する流れ山地形等が下流で全く確認できないことから、このカルデラは噴火によってできた爆裂地形である可能性もあるとされています。

④マグマ噴火の火口について

過去約2千年間の活動では全て御釜から噴火していると考えられており、マグマ噴火は、御釜が火口となる可能性が高いと考えられています。

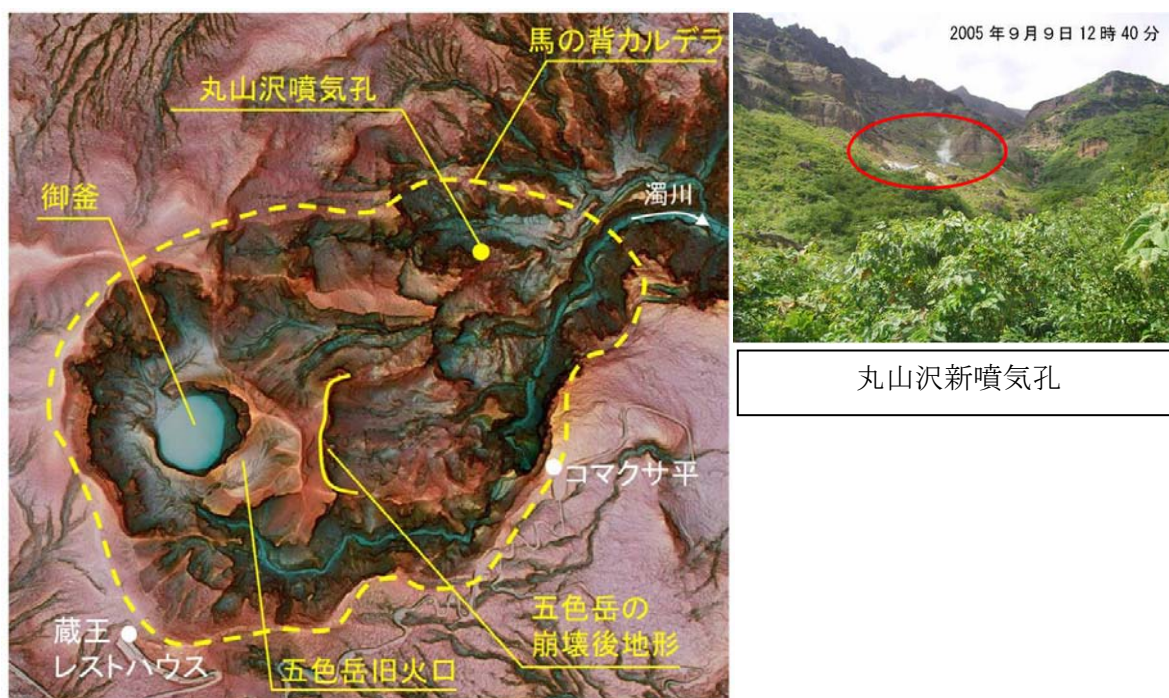


図 2-12 蔵王山の火口周辺地形

2.2.4 想定する現象

計画で対象とする一次的な土砂移動現象は、噴石、降灰、火砕流（火砕サージ）とし、二次的な現象として融雪型火山泥流、降灰後の土石流（斜面崩壊による土砂生産も含む）、御釜由来の火山泥流とします。

過去1万年間の活動履歴や他火山での実績を踏まえ、蔵王山の噴火で想定する現象を下記の通りとします。

表 2-7 シナリオ作成に関わる想定現象の整理

現象名	過去1万年間の発生事例	発生可能性・発生条件等
噴石	1895年の噴火でメートルサイズの噴石が発生。	歴史時代に発生しており、水蒸気爆発における一般的な現象であることから発生の 可能性が高い と考えられる。
降灰	有史時代に発生事例が多数ある。1895年の噴火では太平洋まで到達。	小規模な水蒸気爆発でも発生する。堆積状況は、風向・風速に影響される。歴史時代に発生しており、 可能性が高い と考えられる。
火砕流（火砕サージ）	約2千年前以降、マグマ水蒸気爆発による火砕サージ堆積物が認められる。	過去1万年間に度々生じているマグマ水蒸気爆発で火砕サージの堆積物を残していることから、 可能性が高い と考えておく必要がある。
融雪型火山泥流	融雪に起因する泥流のはっきりした証拠はないが、濁川では度々泥流の流下が記録されている。	積雪期（特に融雪期）に発生する。冬期は火口付近に多量の積雪があることから 発生の可能性が十分にある 。
御釜由来の火山泥流	1800年代に御釜由来の泥流が度々発生した記録がある。	積雪状況や降雨の有無に関わらず発生する。実績も多いので 発生の可能性が高い 。
降灰後の土石流	確認できない。	降灰後の強い雨により発生する。蔵王山における明確な記録は残されていないが、1991年の雲仙岳噴火をはじめ、事例多数のため 発生の可能性が十分にある 。

※溶岩流は過去1万年間の発生履歴が確定されていないため対象としない。

【御釜由来の火山泥流について】

過去には御釜を起源とする火山泥流が濁川を度々流下した記録が残されています。御釜は、現在も大量の水を湛えており、噴火に伴い御釜の水が溢れ出る可能性や火口壁が崩壊する可能性も否めません。

また、火口地下から直接噴出する水が熱泥流となって流下する可能性もありますが、噴出量の推定が困難であるため、本計画では、熱泥流も含めて御釜由来の火山泥流と呼ぶことにします。



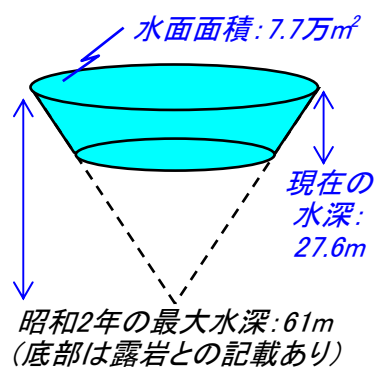
平成24年7月4日山形地方気象台撮影

図 2-13 御釜の現況写真

【参考】御釜湛水量の試算

現状の御釜の形状より御釜の湛水量を試算しました。

- ・御釜の水面面積は、約 7.7 万 m^2 (H20 レーザ一計測より)
- ・御釜の最大水深は、昭和 2 年に 61.0m、現在は 27.6m とされているので、これより御釜の計上を右図のように想定すると円錐の体積より御釜の水量を約 130 万 m^3 と見積もることができます。



2.2.5 噴火シナリオの作成

噴火シナリオをイベントツリー図の形で整理しました。作成した噴火シナリオを図 2-14 に示します。

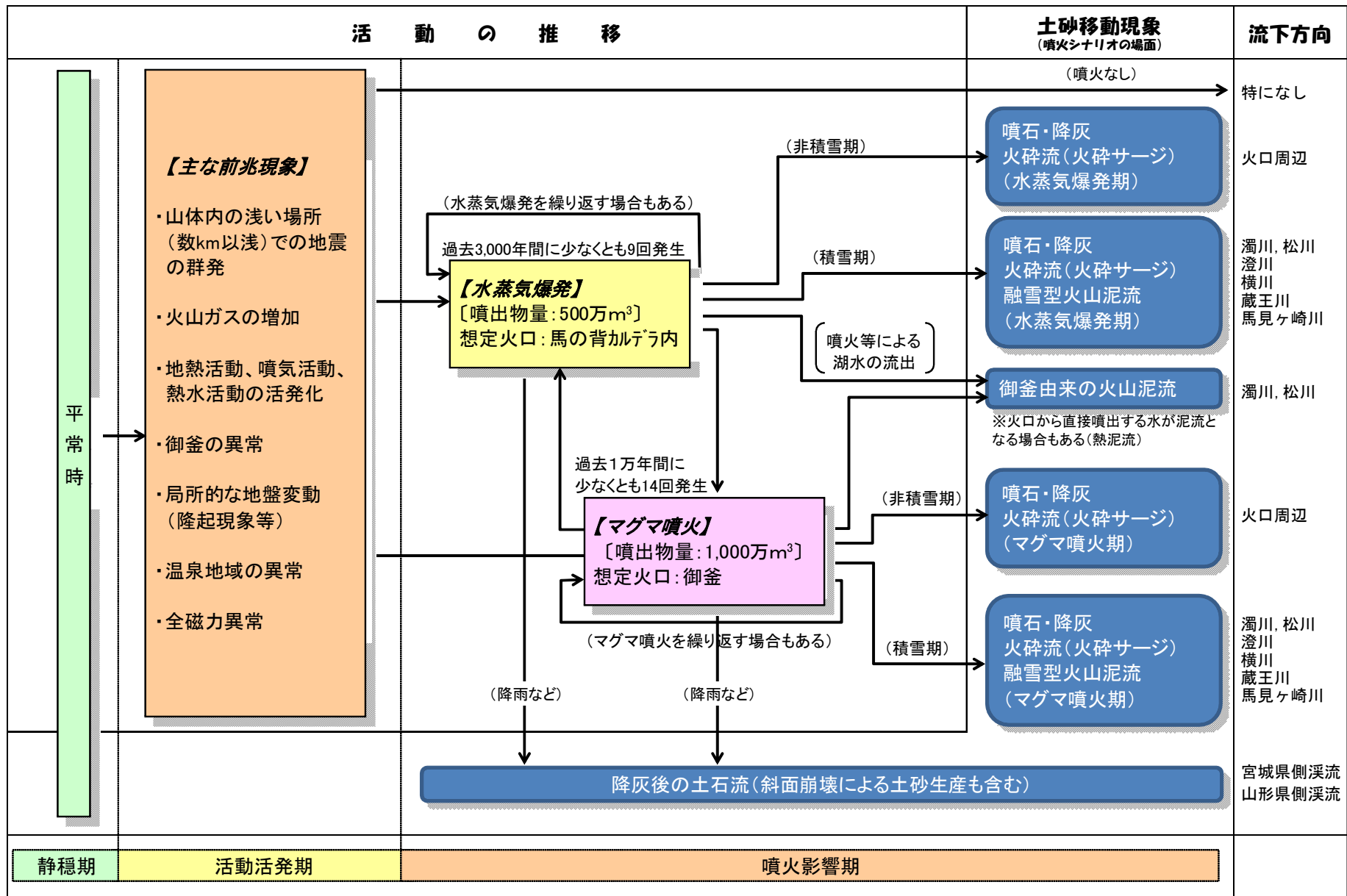


図 2-14 蔵王山の噴火シナリオ (イベントツリー図)

2.3 想定される被害の把握

2.3.1 対象現象の整理

噴火シナリオ毎に発生する現象を設定し、それぞれの影響範囲を数値シミュレーション解析等に基づき実施し、被害想定を行いました。

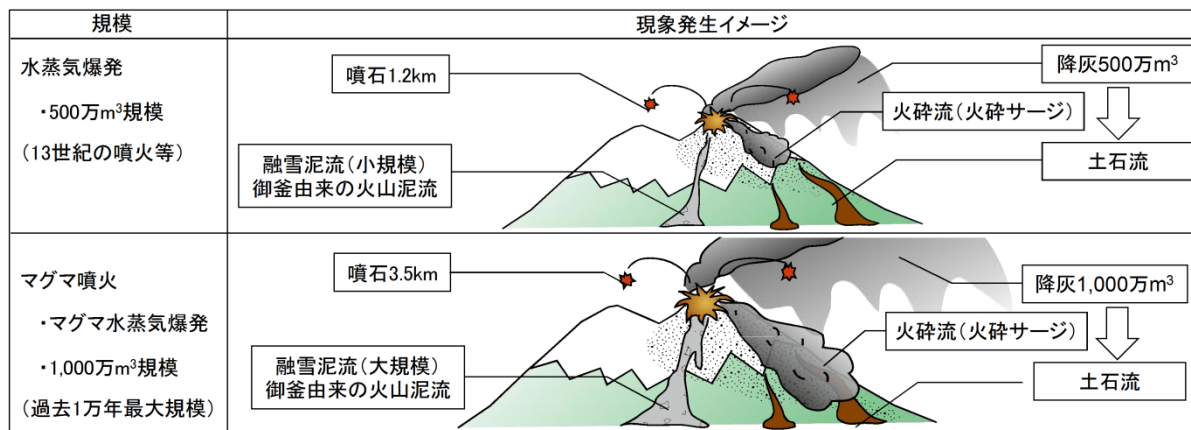


図 2-15 噴火規模毎の現象発生イメージ

表 2-8 発生現象毎の想定方法

現象	設定方法
噴石	①水蒸気爆発：弾道計算(噴出初速 150m/s) ②マグマ噴火：弾道計算(噴出初速 250m/s)
降灰	③水蒸気爆発：降灰シミュレーション(噴出量：500万m ³) ④マグマ噴火：降灰シミュレーション(噴出量：1,000万m ³)
融雪型火山泥流	⑤水蒸気爆発：二次元氾濫シミュレーション(融雪範囲：火口から500m、温度400°C) ⑥マグマ噴火：二次元氾濫シミュレーション(融雪範囲：火口から1.2km、温度800°C)
降灰後の土石流	⑦二次元氾濫シミュレーション(水蒸気爆発期：9溪流) ⑧二次元氾濫シミュレーション(マグマ噴火期：13溪流)
御釜由来の火山泥流	⑨二次元氾濫シミュレーション(濁川)
火砕流(火砕サージ)	⑩地形解析(エネルギーコーンモデル)

2.3.2 被害想定的前提

各対象現象の被害想定的前提となる根拠は表 2-9 のとおりです。

表 2-9 被害想定的前提根拠整理表

	基本的な考え方	噴火規模ごとの根拠	
		水蒸気爆発期	マグマ噴火期
全体方針	近年の活動様式からマグマ水蒸気爆発と水蒸気爆発の2種類を想定。	・噴出量500万 ³	・噴出量1,000万 ³ (過去1万年間の活動から見た1回の噴火による最大規模)
噴石	「火山噴火災害危険区域図作成指針(平成4年:国土庁)」で紹介されている噴出岩塊の弾道計算で到達距離を求める。	【1.2km】 弾道計算より(初速150m/s)	【3.5km】 弾道計算より(初速250m/s)
降灰	テフラの実績から噴出量を設定。ジェットモデルにより降灰の分布域を求める。	【500万 ³ 】 過去1万年間における水蒸気爆発の最大規模	【1,000万 ³ 】 過去1万年間の活動から見た1回の噴火による最大規模
降灰後の土石流	降灰分布に対応した溪流で、溪流毎に降灰量を含む流出土砂量を設定。対象溪流は概ね10cm以上の降灰がある溪流であり、蔵王山山体に源を発する溪流が該当する。	【10cm以上の降灰が想定される溪流毎に設定】 2年超過確率降雨による土石流量を想定。	
融雪型火山泥流	噴火に伴い発生する土砂等による融雪に起因する泥流を想定する。 具体的な規模としては、噴火に伴う放出土砂による融雪水がもたらす泥流量を設定する。	【噴石到達範囲による融雪泥流】 火口から500mの範囲内が融雪するとした。積雪量は標高別の年最大積雪深の平年値を想定。	【噴石到達範囲による融雪泥流】 火口から1.2kmの範囲内が融雪するとした。積雪量は標高別の年最大積雪深の平年値を想定。
御釜由来の火山泥流	現状の御釜が決壊し、火口湖の湛水量が全て流出して発生する泥流量を設定。	【御釜の湛水量130万 ³ 】 現状の地形に基づき、御釜の湛水量を130万 ³ とし、これが火口壁の崩壊により全流出することを想定。土砂量は、崩壊を想定する火口壁の27.6万 ³ とした。	
火砕流(火砕サージ)	過去1万年間の火砕サージの分布範囲などを基に想定。	【地形解析(エネルギーコーンモデル)】 過去1万年間の事例と他火山事例を参考に、谷部と斜面部のH/Lを設定し、エネルギーコーンモデルにより推定。(谷部:H/L=0.22、斜面部:H/L=0.285)	

2.3.3 噴石

(1) 計算条件

火口から空中に噴出される岩塊については、「火山噴火災害危険区域図作成指針（平成4年：国土庁）」で紹介されている噴出岩塊の弾道計算で到達距離を求める手法（井口・加茂(1984)）により到達範囲を設定しました。

表 2-10 噴石弾道計算の計算条件

項目	記号	単位	値	備考	
水蒸気爆発	岩塊の最大径	d	m	1.5	指針による目安値
	岩塊の初速度	Vmax	m/s	150	再現計算より(1895年噴火)
	岩塊の射出角	θ	度	63	最大到達距離を与える角度
	岩塊の密度	ρb	kgf/m ³	2400	安山岩の一般的な値
	空気の密度	ρs	kgf/m ³	1.007	理科年表より(標高2000m付近の密度)
マグマ噴火	岩塊の最大径	d	m	1.5	指針による目安値
	岩塊の初速度	Vmax	m/s	250	指針による最大値
	岩塊の射出角	θ	度	63	最大到達距離を与える角度
	岩塊の密度	ρb	kgf/m ³	2400	安山岩の一般的な値
	空気の密度	ρs	kgf/m ³	1.007	理科年表より(標高2000m付近の密度)

(2) 計算結果

到達距離は火口からの地形によって変化しますが、概ね水蒸気爆発は1.2km、マグマ噴火は3.5km以内に収まると考えられるので、水蒸気爆発における噴石の到達予想範囲は火口から1.2km、マグマ噴火による到達予想範囲は火口から3.5kmとしました。

御釜からの噴石弾道計算結果（井口・加茂(1984)の方法）

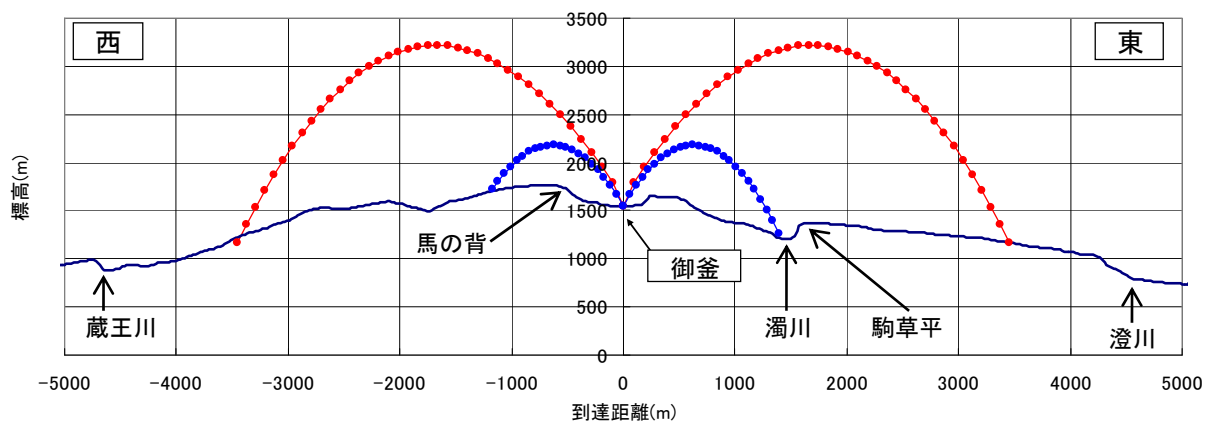


図 2-16 噴石の弾道計算結果

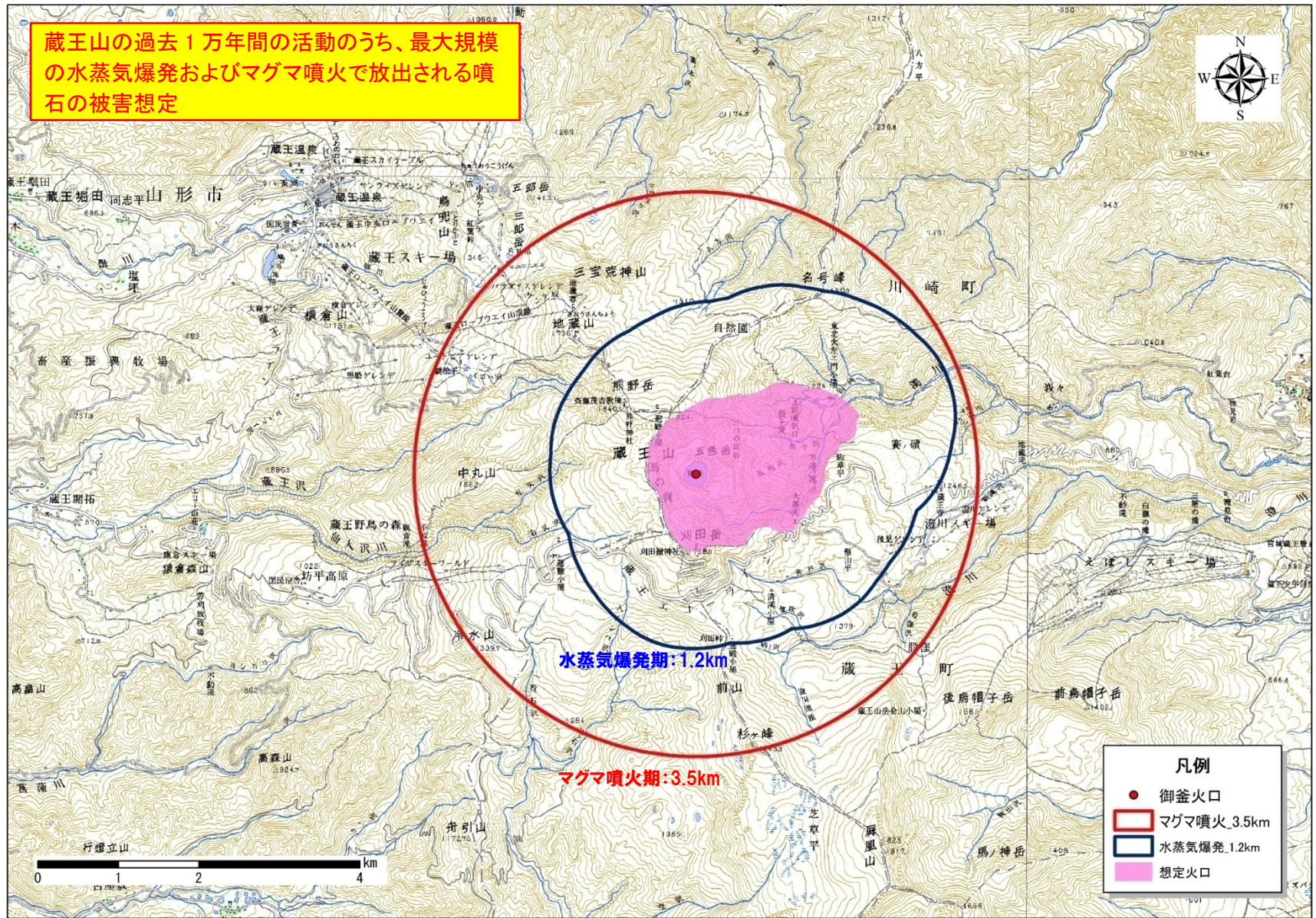


図 2-17 噴石の影響範囲図

2.3.4 降灰

(1) 計算条件

火口近傍の降灰深を簡便に計算できるジェットモデル（宮本、1991）により降灰分布予想を行いました。

表 2-11 降灰計算の計算条件

項目	水蒸気爆発	マグマ噴火	備考
想定降灰量	500万m ³	1,000万m ³	噴火シナリオより
火口半径	150m	150m	現在の御釜火口の半径
噴煙初速	150m/s	150m/s	他火山の実績より
降下速度	8.0m/s	8.0m/s	他火山の実績より
堆積濃度	0.6	0.6	一般値
連行係数	0.23	0.23	一般値
風速	14.7m/s	14.7m/s	高層風の年平均値
風向	西	西	高層風の卓越風向

【風向・風速】

降灰の到達域は高層および地上の風の影響を大きく受けることや、当時の地上風の状況が不明であることから、仙台高層気象観測所における 700hPa（高度約 3000 m）の年平均風速 14.7m/s、風向は西風を設定しました。

表 2-12 仙台高層観測所における高層風データ

気圧面 [hpa]	高度 [m]	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	平均
1,000	約100	3.5	3.6	3.8	3.4	2.8	2.3	2.2	2.3	2.7	3.0	3.8	3.6	3.1
900	約1,000	10.2	10.0	9.4	8.8	7.6	6.2	6.1	6.1	6.9	7.9	9.3	10.0	8.2
800	約2,000	16.3	16.1	14.9	13.2	10.9	8.4	8.6	8.1	9.1	10.7	14.0	16.7	12.3
700	約3,000	19.8	19.2	18.2	15.7	12.5	9.6	9.6	9.1	10.9	13.1	17.6	20.4	14.7
600	約4,000	24.0	23.0	22.3	19.1	15.4	12.2	11.0	10.3	14.5	17.3	21.5	24.3	17.9
500	約5,500	30.5	28.6	28.3	24.5	20.0	16.1	13.1	12.2	18.9	23.3	27.2	30.4	22.8

（仙台湾気象台観測データ[1988~2008]より）

(2) 計算結果

第2回委員会指摘を踏まえて、最新データに更新

年平均風速を想定した数値計算結果を事項に示します。水蒸気爆発ではおおよそ火口から 14km まで厚さ 1cm の降灰が生じる可能性があります。一方、マグマ噴火時にはおおよそ火口から 20km まで厚さ 1cm の降灰が生じる可能性があります。

また、周辺の卓越風は西風ですので、火口から東方向に降灰が生じる可能性が最も高いと考えられます。

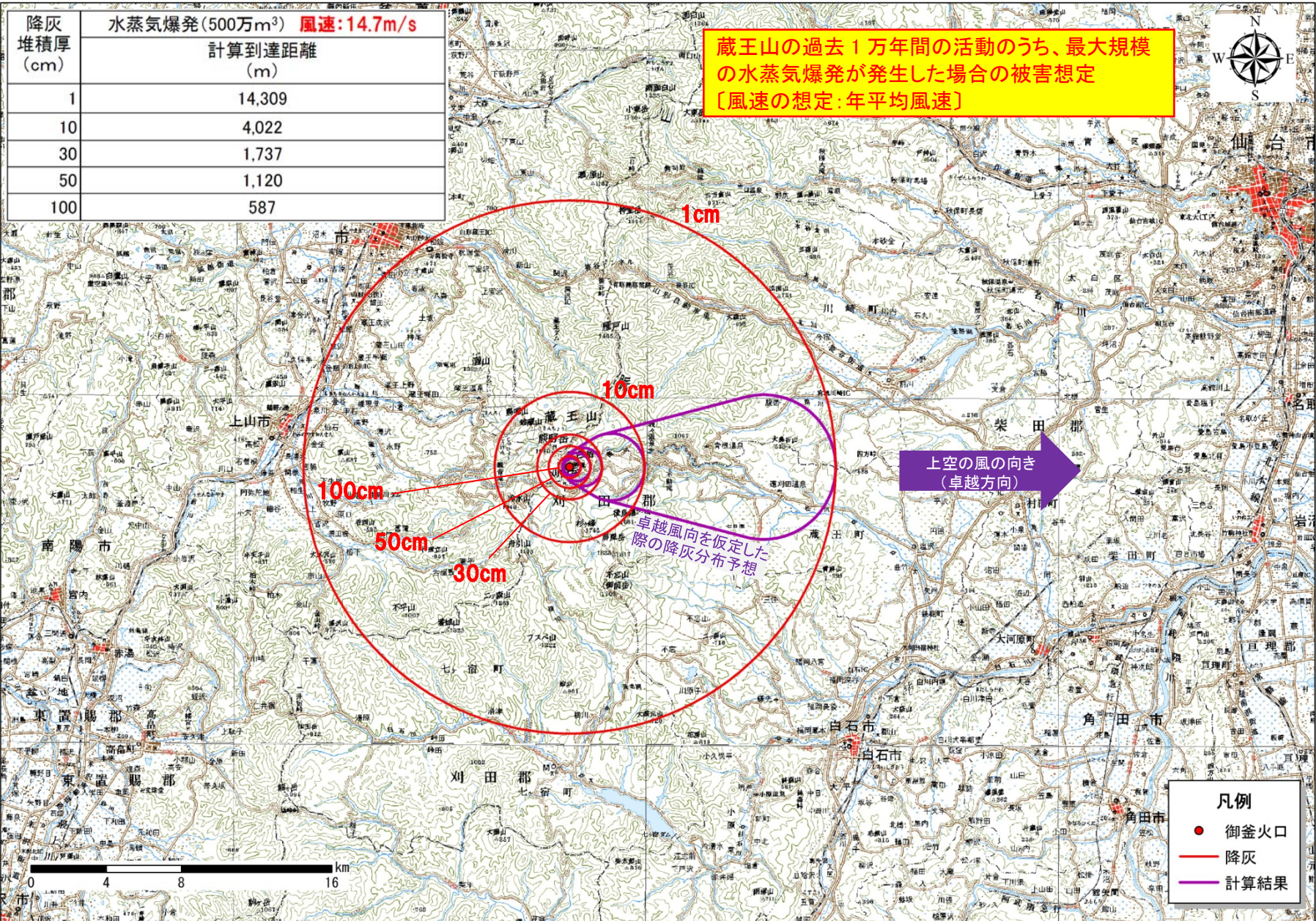


図 2-18 降灰分布予想 (水蒸気爆発: 風速 14.7m/s)

降灰堆積厚 (cm)	マグマ噴火(1,000万m ³) 風速:14.7m/s	
	計算到達距離 (m)	
1	19,555	
10	6,296	
30	3,003	
50	2,018	
100	1,118	

蔵王山の過去1万年間の活動のうち、最大規模のマグマ噴火が発生した場合の被害想定
〔風速の想定:年平均風速〕

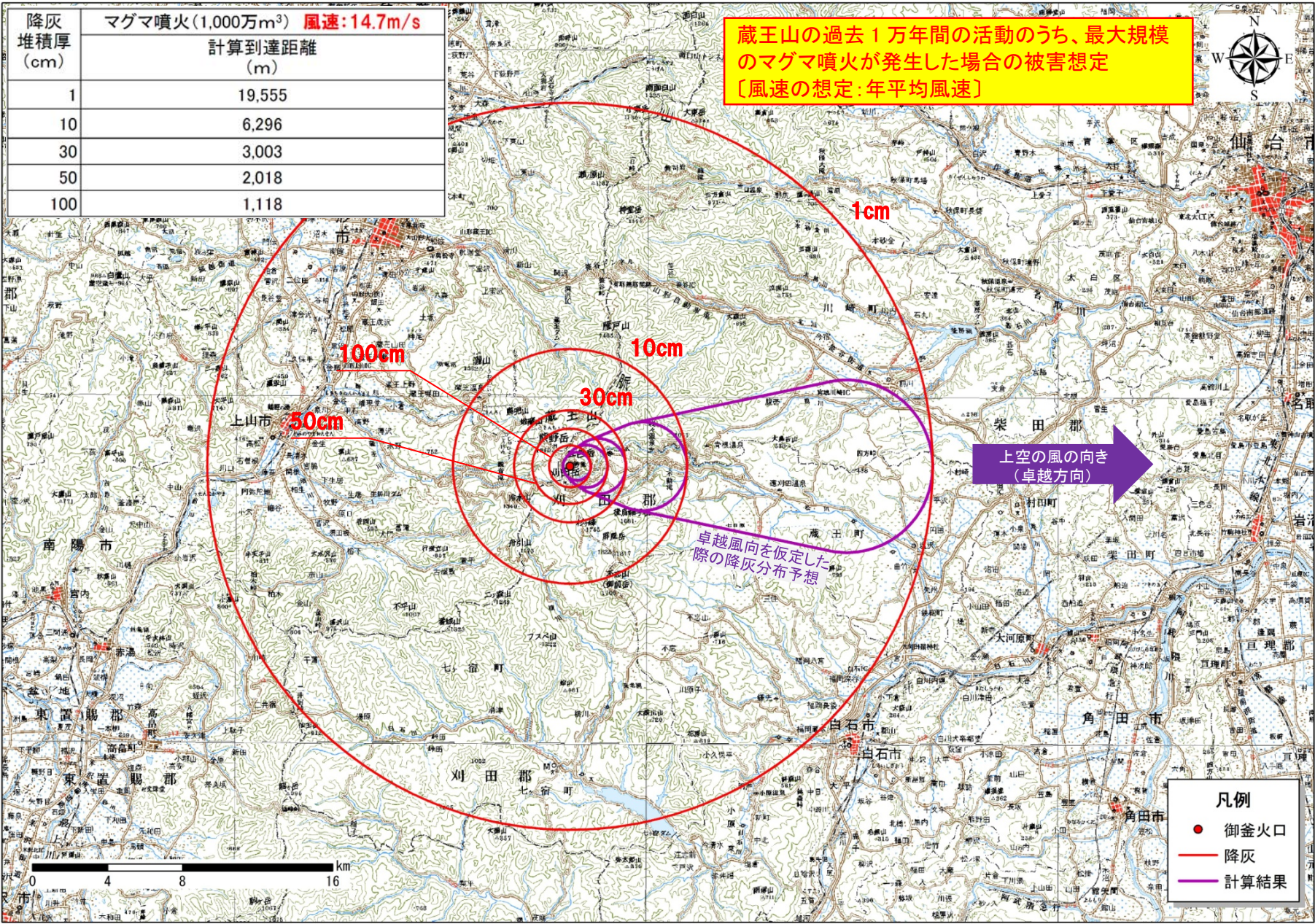


図 2-19 降灰分布予想 (マグマ噴火: 風速 14.7m/s)

2.3.5 融雪型火山泥流

(1) 融雪範囲（火山泥流の発生溪流）

水蒸気爆発期およびマグマ噴火期について、融雪範囲と火山泥流の発生想定溪流を図 2-20 のように設定しました。

[水蒸気爆発期]

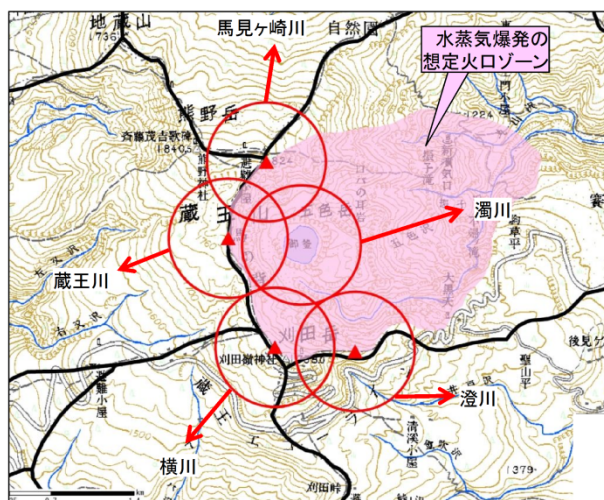
噴石が濃集して落下する範囲で融雪が生じると考えます。水蒸気爆発である 1895 年噴火実績による噴石濃集部が火口から 500m 程度であることより、火口から 500m を融雪範囲としました。

但し、水蒸気爆発の想定火口ゾーンの中で、各溪流で最も多くの融雪を起こす火口位置を想定することとしました。

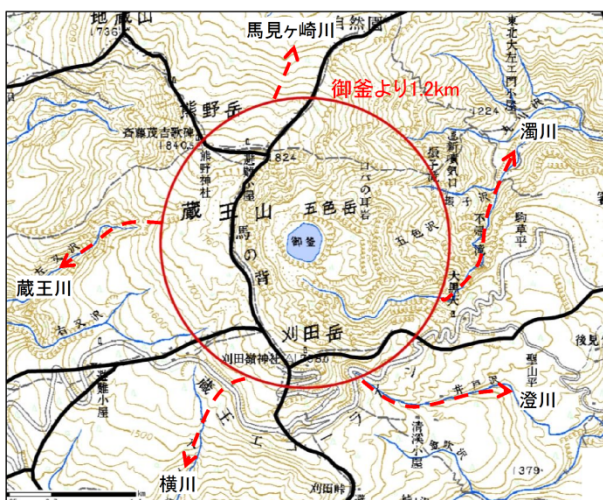
[マグマ噴火期]

マグマ噴火による高温岩塊濃集部は、噴火実績からみて御釜から 1.2km です。

指摘対応箇所



(水蒸気爆発期の想定融雪範囲)

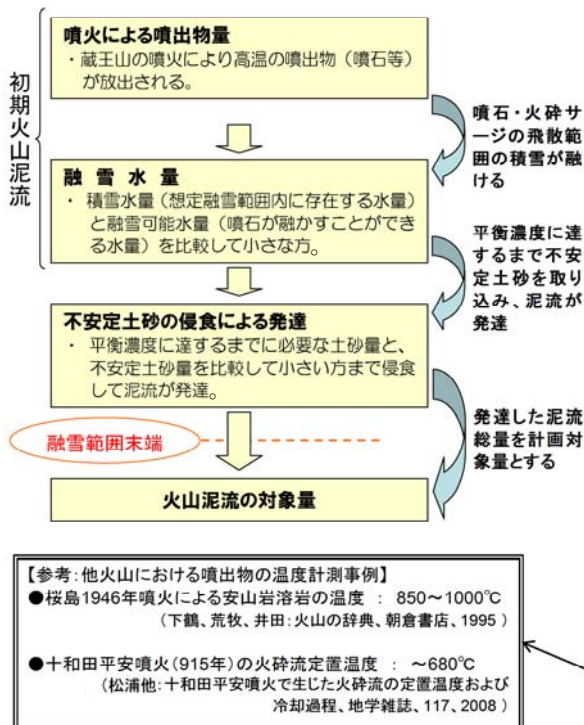


(マグマ噴火期の想定融雪範囲)

図 2-20 融雪型火山泥流の発生想定溪流

(2) 算出条件

融雪型火山泥流量算定の流れ



融雪可能水量

融雪可能水量は、火砕物の温度・噴出量等により下式で求める。

$$W_0 = K \cdot \frac{(T_S - T_m) \cdot C_s \cdot \rho_s \cdot V_t}{(1 - C_m) qm \cdot \rho_w}$$

- W_0 : 融雪可能水量 (m³)
- V_t : 供給土砂量 (噴石量のうち真の土砂量) (m³)
- T_S : 供給土砂の温度 (°C)
- T_m : 融解水の温度 (°C)
- C_s : 土砂の比熱 (cal/g·K)
- C_m : 積雪中の水の割合 (含水率)
- qm : 雪の融解熱 (cal/g)
- ρ_s : 火砕物密度 (g/cm³)
- ρ_w : 水密度 (g/cm³)
- K : 熱量の融雪寄与率を表す係数

十勝岳大正泥流の実績より、マグマ噴火時の係数を0.38とすると、融雪可能水量は800℃の時で土砂量の5倍、400℃の時で2.65倍となる。

火砕物の温度

- ・水蒸気爆発：400℃
(根拠)
・安達太良山1900年(明治33年)の事例より(火砕サージに巻き込まれた、建物の木柱やむしろが焦げていないことより、噴出物の温度は木材の発火点(400℃)以下であると推定されている)
- ・マグマ噴火：800℃
(根拠)
・マグマ噴火では、より高温の物質が放出される。ここでは安山岩質マグマの温度を参考に800℃と想定した。

(3) 積雪深の設定

近傍の積雪観測所における年最大積雪深の平年値と標高の関係を図 2-21 に示します。この関係より、推定積雪深は図 2-21 による標高別積雪深としました。積雪密度は、積雪末期で密度が高くなった状態（ざらめ雪）を想定し 0.35g/cm³ とします。

観測所	最深積雪 (cm)					
	宮城県			山形県		
標高 (m)	525	265	38.9	86	152.5	245
統計期間	1997 ～2010	1984 ～2010	1981 ～2010	1984 ～2010	1981 ～2010	1981 ～2010
資料年数	14	27	30	27	30	30
平年値	121	34	17	18	50	92

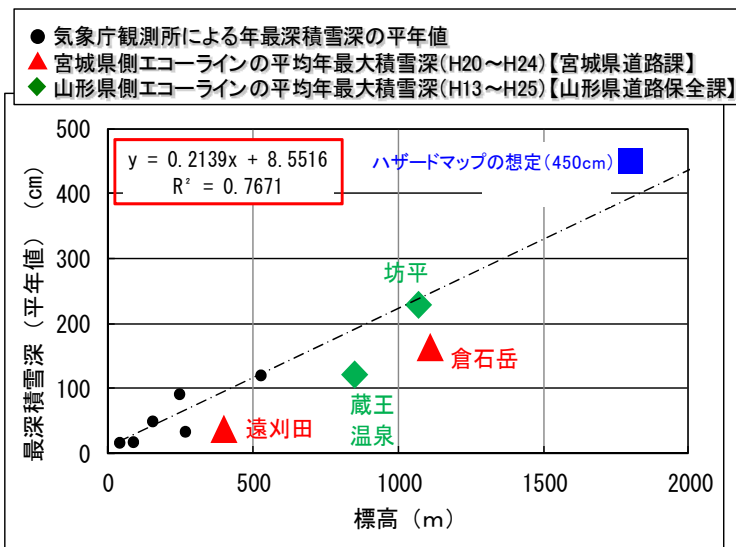


図 2-21 蔵王山周辺の積雪深（平年値）

(4) 融雪型火山泥流の計画対象量

水蒸気爆発、マグマ噴火それぞれにより発生が想定される融雪型火山泥流の泥流総量は、表 2-13～表 2-14 のとおりとしました。

なお、濁川では、融雪水に加え、御釜の湛水量も水量に追加しています。

表 2-13 水蒸気爆発による融雪型火山泥流の諸元

項目	単位	水蒸気爆発(融雪範囲500m)				
		濁川	澄川	横川	蔵王川	馬見ヶ崎川
融雪範囲 ①	(km ²)	0.79	0.40	0.28	0.45	0.23
流域内降下火砕物供給量 ②	(千m ³)	5,000	2,561	1,783	2,893	1,468
融雪可能水量 ③=②×2.65	(千m ³)	13,250	6,787	4,724	7,665	3,890
流域平均積雪深 ④	(m)	3.40	3.40	3.61	3.83	3.83
積雪水量 ⑤=①×④×0.35	(千m ³)	935	479	354	609	309
御釜の水量 ⑥	(千m ³)	1,300				
融雪水量 ⑦:③と⑤の小さい方+⑥	(千m ³)	2,235	479	354	609	309
初期土砂濃度		0.276	0.337	0.334	0.330	0.330
勾配	tan θ	0.084	0.102	0.068	0.167	0.137
平衡土砂濃度 ⑧	Cd	0.076	0.095	0.060	0.173	0.135
侵食可能土砂量 ⑨	(千m ³)	-4,476	-2,411	-1,720	-2,428	-1,310
全土砂量 ⑩=②+⑨	(千m ³)	524	150	63	465	158
泥流ピーク流量	(m ³ /s)	1,533	349	232	596	260
泥流総量 ⑦+⑩	(千m³)	2,759	629	417	1,074	467

表 2-14 マグマ噴火による融雪型火山泥流の諸元

項目	単位	マグマ噴火(融雪範囲1.2km)				
		濁川	澄川	横川	蔵王川	馬見ヶ崎川
融雪範囲 ①	(km ²)	2.95	0.20	0.21	0.93	0.23
流域内降下火砕物供給量 ②	(千m ³)	6,535	441	465	2,057	502
融雪可能水量 ③=②×5	(千m ³)	32,676	2,203	2,326	10,287	2,509
流域平均積雪深 ④	(m)	3.46	3.58	3.72	3.81	3.91
積雪水量 ⑤=①×④×0.35	(千m ³)	3,578	249	274	1,240	310
御釜の水量 ⑥	(千m ³)	1,300				
融雪水量 ⑦:③と⑤の小さい方+⑥	(千m ³)	4,878	249	274	1,240	310
初期土砂濃度		0.229	0.255	0.252	0.250	0.247
勾配	tan θ	0.084	0.102	0.068	0.167	0.137
平衡土砂濃度 ⑧	Cd	0.076	0.095	0.060	0.173	0.135
侵食可能土砂量 ⑨	(千m ³)	-5,391	-362	-416	-1,111	-343
全土砂量 ⑩=②+⑨	(千m ³)	1,144	78	49	946	159
泥流ピーク流量	(m ³ /s)	3,345	182	179	1,215	261
泥流総量 ⑦+⑩	(千m³)	6,022	328	323	2,186	469

⑧平衡土砂濃度 Cd の算出式

$$C_d = \frac{\rho \tan \theta}{(\sigma - \rho)(\tan \phi - \tan \theta)}$$

ρ : 礫の密度 φ : 土砂の内部摩擦角
σ : 水の密度 θ : 溪床勾配

⑨侵食可能土砂量の算出式

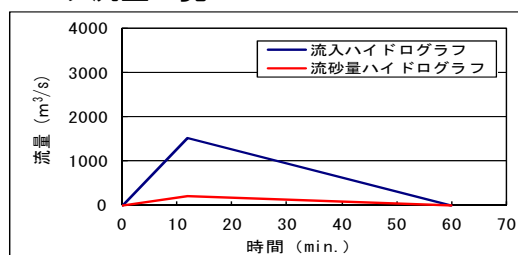
$$⑨ = \frac{(\text{⑦} + \text{②})C_d - 0.4 \times \text{②}}{(0.4 - \text{⑧})}$$

【数値シミュレーション計算の計算条件】

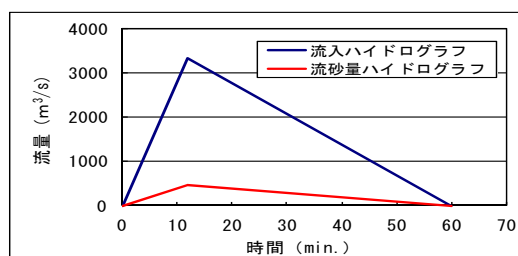
融雪型火山泥流のハイドログラフは、北海道十勝岳で発生した火山泥流の実績から検討されたハイドログラフを参考に、継続時間 60 分、泥流発生から 12 分後にピークを持つ三角形ハイドログラフとしました。

表 2-15 融雪型火山泥流のピーク流量一覧

溪流		ピーク流量(m ³ /s)	
		水蒸気 爆発規模	マグマ噴火 規模
宮城県側	濁川	1,533	3,345
	澄川	349	182
	横川	232	179
山形県側	蔵王川	596	1,215
	馬見ヶ崎川	260	261



濁川における想定ハイドログラフ(水蒸気爆発期)



濁川における想定ハイドログラフ(マグマ噴火期)

計算に使用するパラメータは、次のとおり設定し計算を行いました。

表 2-16 計算パラメーター一覧表

項目	記号	単位	数値	備考
泥水密度	ρ	g/cm ³	1.22~1.28	泥流諸元より
砂礫密度	σ	g/cm ³	2.65	一般値
堆積砂礫層の容積濃度	C*		0.6	一般値
砂礫の代表粒径	Dm	cm	10.0	過年度成果より
砂礫の内部摩擦角	ϕ	°	35	一般値
メッシュ間隔		m	20m	レーザープロファイラ(H20)

※泥水密度 ρ は、各ケースの対象量より設定

※砂礫密度 σ 、堆積砂礫層の容積濃度 C*、砂礫の内部摩擦角 ϕ は、「砂防基本計画策定指針(土石流・流木対策編),平成 19 年 11 月 国土交通省砂防部」による一般値を設定

※砂礫の代表粒径は、ハザードマップ検討時の値を踏襲した。

(5) 計算結果

次頁に融雪型火山泥流の計算結果を示します。融雪型火山泥流は、濁川・松川、蔵王川・須川で氾濫し、被害を発生させる可能性があります。泥流発生からの到達時間は、遠刈田温泉では発生から 30~50 分程度、山麓の市街地には 1~1.5 時間程度と推定されます。

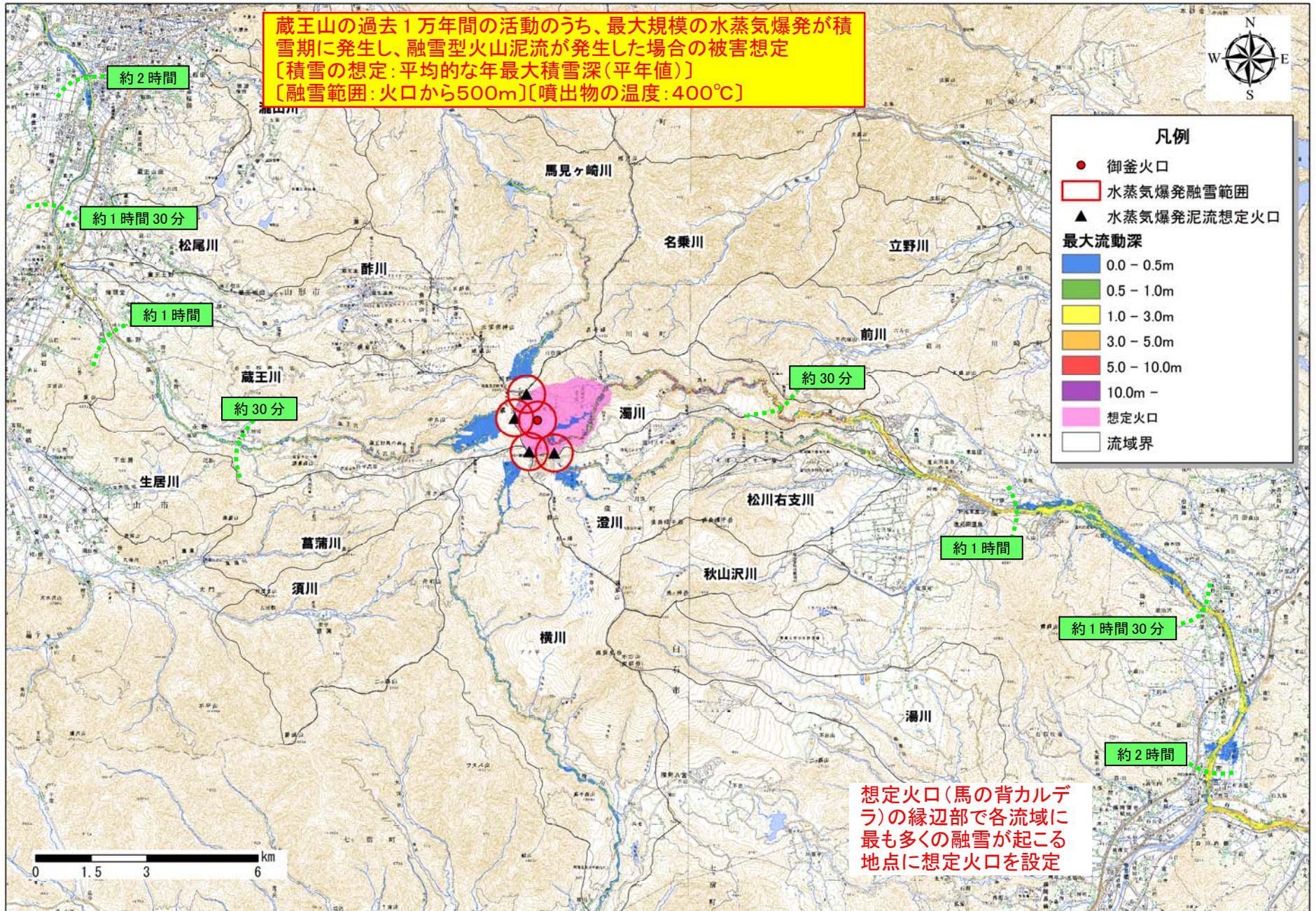


図 2-22 融雪型火山泥流の想定氾濫範囲 (水蒸気爆発期)



図 2-23 融雪型火山泥流の想定氾濫範囲 (マグマ噴火期)

2.3.6 降灰後の土石流

(1) 対象溪流

火山噴火による降灰に覆われた斜面や溪流では、浸透能が低下し、表面流が多量に発生するようになります。このような状況で降雨があると、斜面からの流水が谷筋に集中して著しい侵食が進み、通常の土石流よりも大規模な土石流が発生する危険性が高まるほか、少量の降雨でも土石流が発生する危険性が高まります。

ここでは、噴火時に最大 10cm の降灰深が想定される溪流を対象としました。

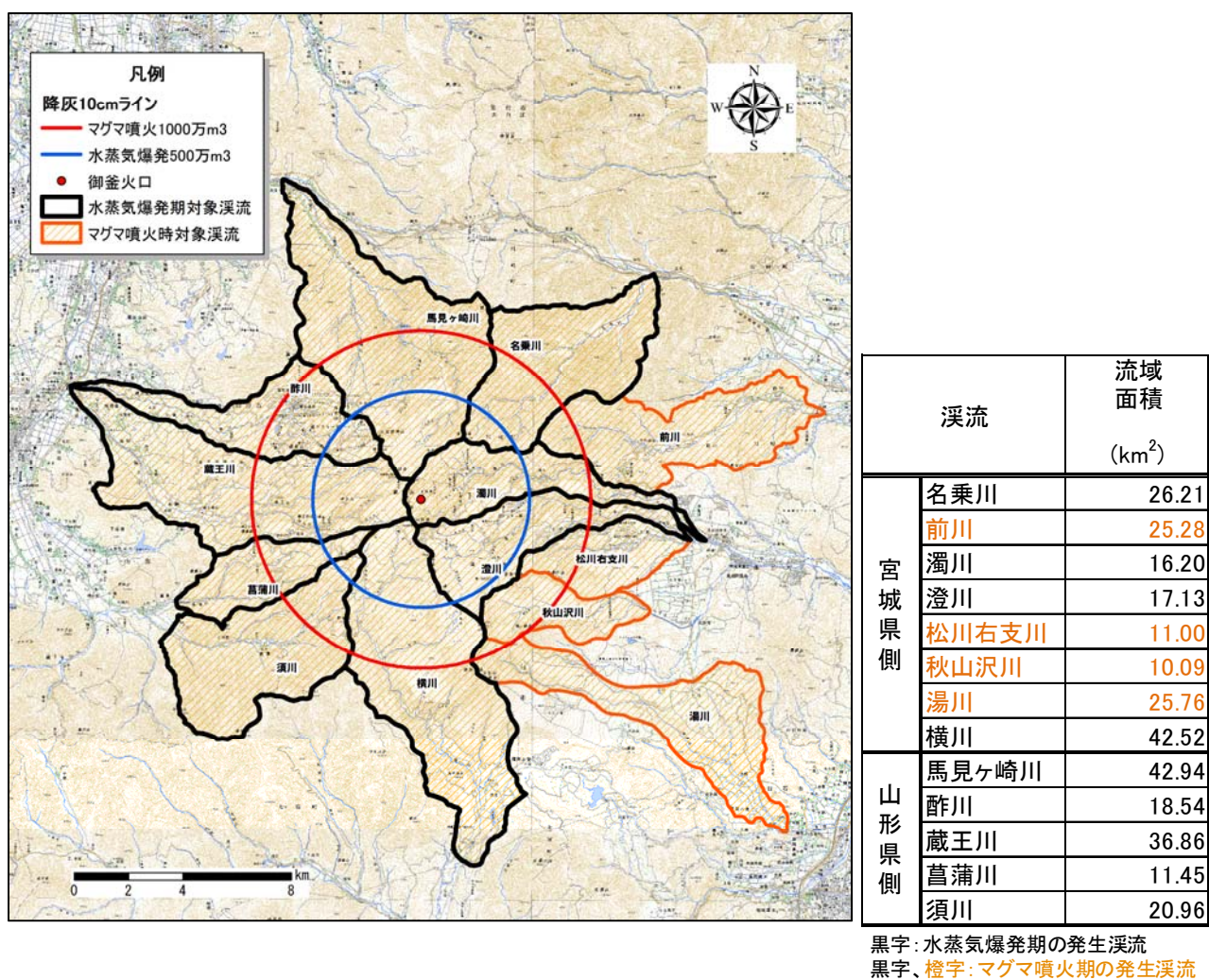


図 2-24 降灰後の土石流の対象溪流

(2) 計画対象土砂量設定の流れ

降灰後の土石流の計画対象土砂量は、基本的に「砂防基本計画策定指針（土石流・流木対策編）」に準じて行うこととし、移動可能土砂量と運搬可能土砂量を比較して小さい方とします。ここで、降灰の影響は次のように考えました。

- ・ 移動可能土砂量に流域の降灰量を加える
- ・ 運搬可能土砂量の算出にあたって、降灰斜面による流出率の増加を考慮

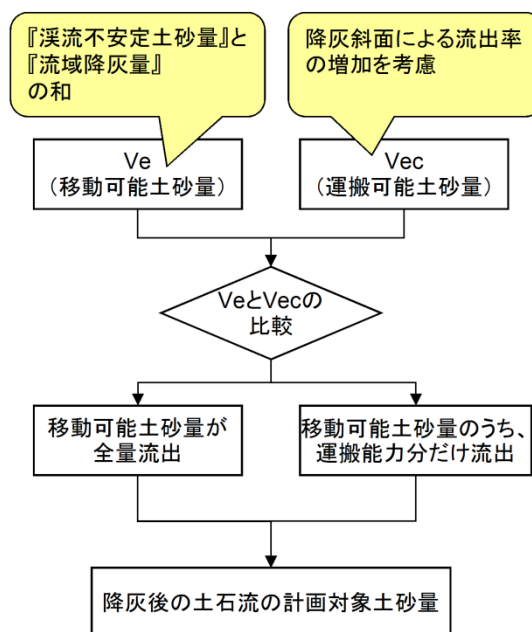


図 2-25 降灰後の土石流の計画対象土砂量算定の流れ

Ve:『土石流対策技術指針(案)平成12年7月』による移動可能土砂量の記号
Vec: 同 運搬可能土砂量の記号

※最新版の『砂防基本計画策定指針(土石流・流木対策編)平成19年11月』では、移動可能土砂量は V_{av1} 、運搬可能土砂量は V_{av2} と表わされている。

降灰後の運搬可能土砂量補正係数の考え方

- ①降灰等の噴火の影響がある場合には、通常の降雨による表流水の流出率 ($f=0.8$ 程度) より増大し、 $f=1.0$ 程度になるものとし、補正率 $f_w=1.25$ 倍 ($=1.0/0.8$) とする。
- ②降灰等の噴火の影響がある場合には、流水中に斜面侵食により生産される細粒分がとりこまれ、見かけ上の流量を増大させるものと考え、流量の補正を行う。

ここで、細粒土砂を含む泥水の流量（間隙流体）の補正率 fd は

$$fd = \frac{(\sigma - 1.0)}{(\sigma - \rho_m)} = (2.6 - 1.0) / (2.6 - 1.2) = 1.14 \quad \text{となる。}$$

σ : 礫の密度 ρ_m : 泥水の密度

- ③流出補正率に①と②の結果 ($\alpha=1.25 \times 1.14=1.43$ 倍) を乗じて補正する

(3) 土石流の外力

土石流の外力として与える降雨量は、平年的な年最大降雨として2年超過確率日雨量を設定しました。蔵王山周辺において、高標高（1,050m）に位置し、33年のデータ蓄積がある不忘山観測所（気象庁）の確率計算により、125mm/日としました。

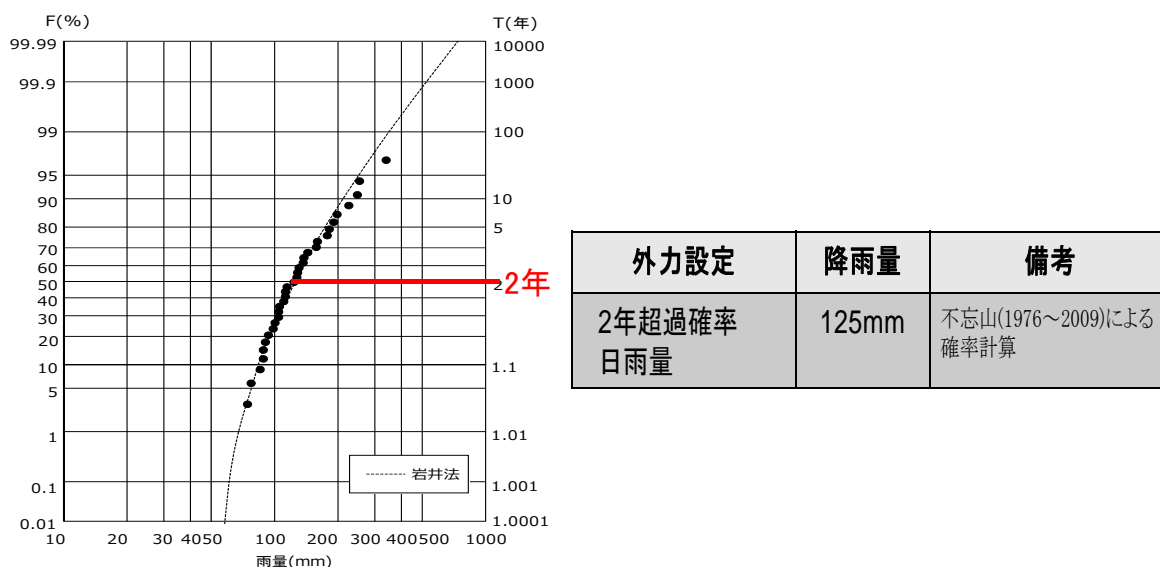


図 2-26 確率計算結果（岩井法）

(4) 流域降灰量

流域の降灰量は、各流域に対して最も多くの降灰がある風向を想定し、等降灰深線に囲まれる面積に降灰深の中央値を乗じて求めました。

また、図 2-27 に示すように一般的に降灰は風向軸から側方に離れると急激に堆積深が減るため、横断的な降灰分布を三角形で近似して、上記で算出される量の 1/2 としました。

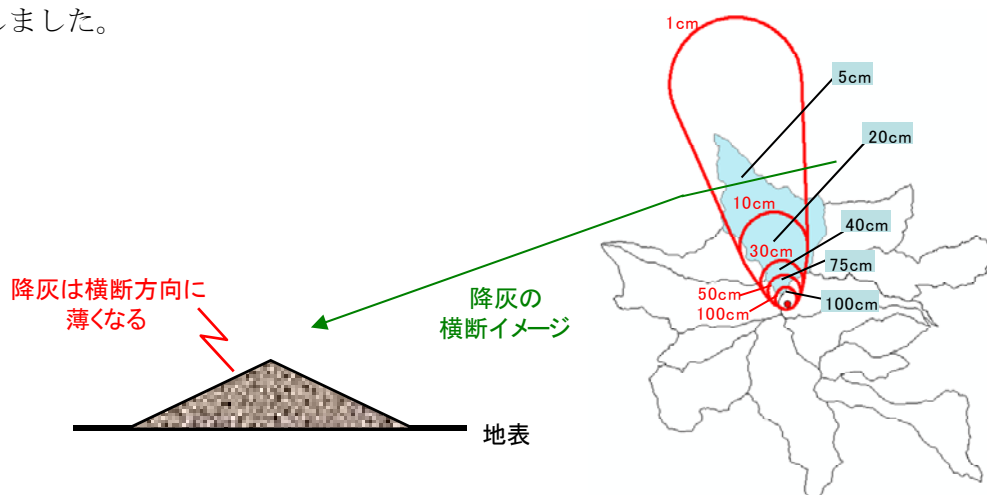


図 2-27 想定降灰量の算出方法（馬見ヶ崎川の例）

(5) 降灰後の土石流の計画対象土砂量

各溪流において移動可能土砂量と運搬可能土砂量を比較し、量の少ない方を計画対象土砂量として採用しました。

設定した計画対象土砂量は下表のとおりです。

表 2-17 水蒸気爆発期における降灰後の土石流の計画対象土砂量

溪流名	流域面積 (km ²)	移動可能土砂量 (千m ³)			運搬可能土砂量 (千m ³)		計画対象土砂量 (千m ³)	
		溪流不安定土砂量	流域降灰量	合計	Vec	Vec × 1.43		
宮城県側	名乗川	26.2	549	806	1,355	234	335	335
	濁川	16.2	339	1,805	2,144	145	207	207
	澄川	17.1	359	899	1,258	153	219	219
	横川	42.5	890	1,520	2,410	380	543	543
山形県側	馬見ヶ崎川	42.9	899	1,621	2,520	383	548	548
	酢川	18.5	388	664	1,052	166	237	237
	蔵王川	36.9	772	1,858	2,630	329	471	471
	菖蒲川	11.4	240	388	628	102	146	146
	須川	21.0	439	745	1,183	187	268	268

表 2-18 マグマ噴火期における降灰後の土石流の計画対象土砂量

溪流名	流域面積 (km ²)	移動可能土砂量 (千m ³)			運搬可能土砂量 (千m ³)		計画対象土砂量 (千m ³)	
		溪流不安定土砂量	流域降灰量	合計	Vec	Vec × 1.43		
宮城県側	名乗川	26.2	549	1,346	1,894	234	335	335
	前川	25.3	529	802	1,332	226	323	323
	濁川	16.2	339	2,936	3,275	145	207	207
	澄川	17.1	359	1,692	2,051	153	219	219
	松川右支川	11.0	230	530	761	98	140	140
	秋山沢川	10.1	211	660	871	90	129	129
	湯川	25.8	539	647	1,186	230	329	329
	横川	42.5	890	2,788	3,678	380	543	543
山形県側	馬見ヶ崎川	42.9	899	2,915	3,814	383	548	548
	酢川	18.5	388	1,266	1,654	166	237	237
	蔵王川	36.9	772	3,195	3,967	329	471	471
	菖蒲川	11.4	240	746	985	102	146	146
	須川	21.0	439	1,100	1,538	187	268	268

※表中の値は小数第一位で四捨五入している。

(6) 数値シミュレーション解析の計算条件

中安の総合単位図法により計画ハイドログラフを作成しました。また、数値シミュレーション解析に用いる各種パラメータを表 2-20 に示します。

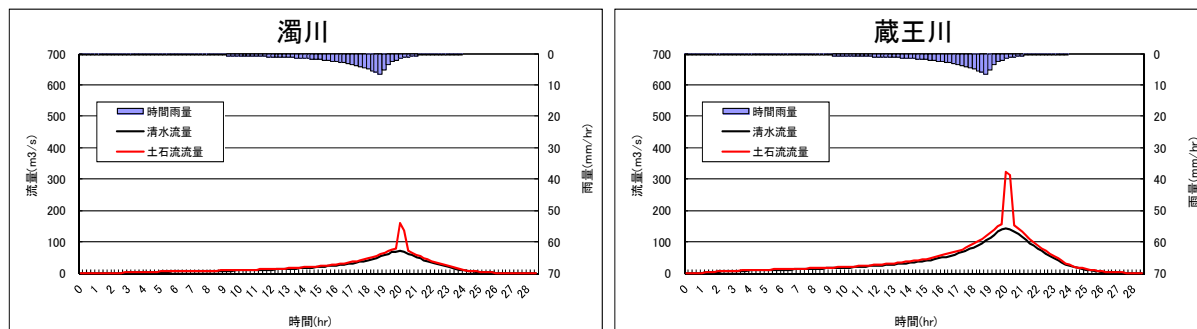


図 2-28 降灰後の土石流の想定ハイドログラフ例

表 2-19 降灰後の土石流のピーク流量一覧

溪流	流域面積 (km ²)	対象土砂量 (千m ³)	ピーク流量 (m ³ /s)
名乗川	26.2	335	253
前川	25.3	323	238
濁川	16.2	207	159
澄川	17.1	219	173
松川右支川	11.0	140	122
秋山沢川	10.1	129	112
湯川	25.8	329	239
横川	42.5	543	367

表 2-20 計算条件

項目	記号	単位	数値
泥水密度	ρ	t/m ³	1.2
砂礫密度	σ	t/m ³	2.65
土石流の代表粒径	d_m	cm	6.8
砂礫の内部摩擦角	ϕ	°	12
堆積土砂濃度	C_*		0.6

(7) 計算結果

次頁に降灰後の土石流の計算結果を示します。ここでは、二次元氾濫計算に加えて、詳細な河道形状を反映した流下能力評価を行った結果、氾濫が想定される箇所を示しています。酢川、前川、名乗川の一部で氾濫する可能性があります。

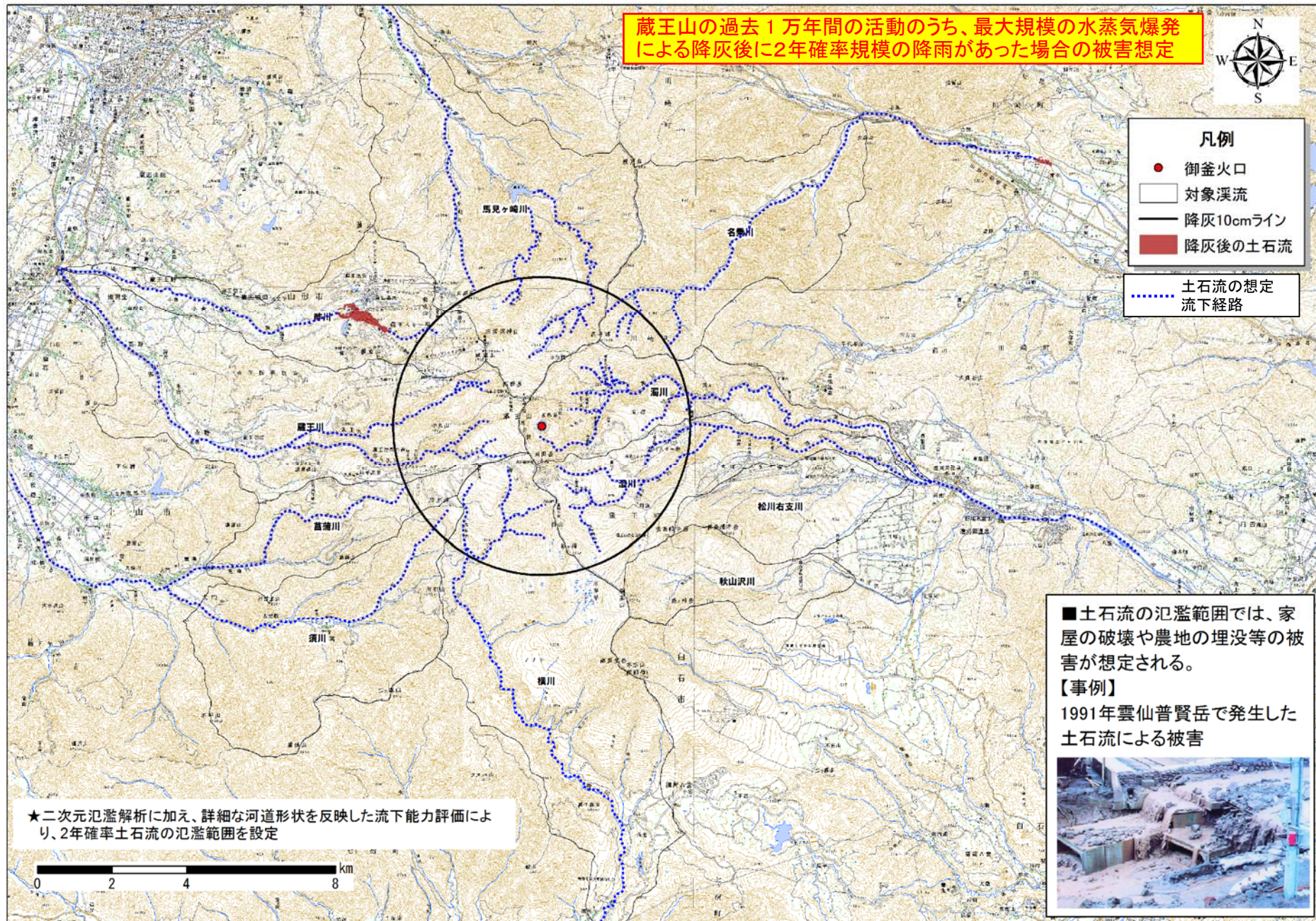


図 2-29 降灰後の土石流の想定氾濫範囲（水蒸気爆発期，2年超過確率規模降雨）

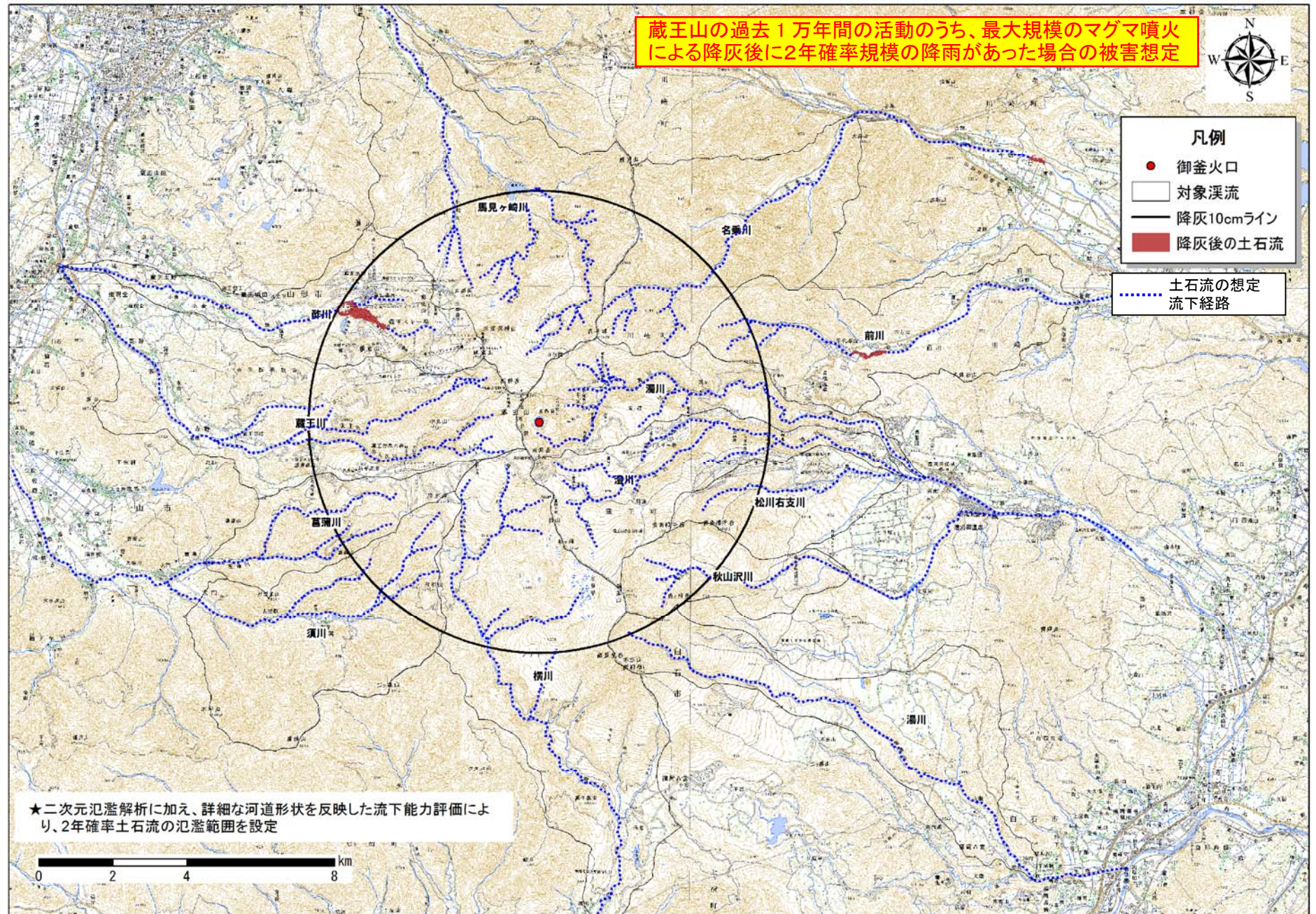


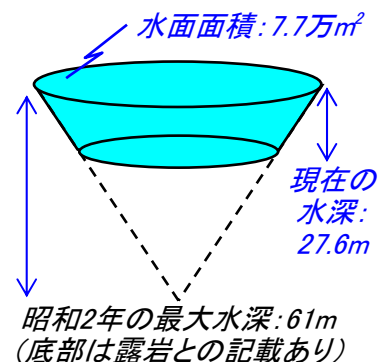
図 2-30 降灰後の土石流の想定氾濫範囲（マグマ噴火期，2年超過確率規模降雨）

2.3.7 御釜由来の火山泥流

(1) 計算条件

[水量]

御釜の水面面積は、約 7.7 万 m² です。水深に関しては、昭和 2 年に 61.0m、現在は 27.6m との記録があるので、これより御釜の形状を右図のような円錐型を想定し、現在の御釜の水量を 130 万 m³ としました。



[土砂量]

御釜の火口壁の崩落土砂量として 27.6 万 m³ としました。

[ハイドログラフの設定]

火口湖溢流型火山泥流はタンクの切り欠きからの非定常流出モデルにより火山泥流のハイドログラフ検討を行いました。

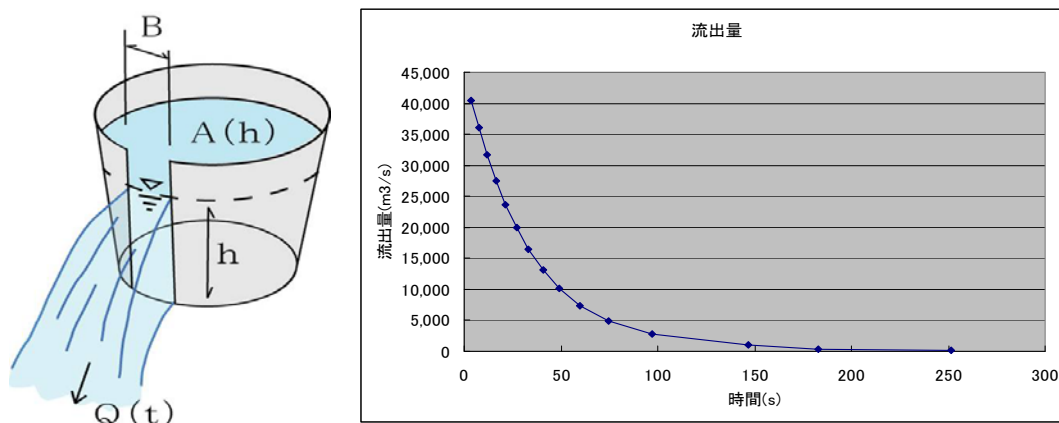


図 2-31 火口湖からの流出モデル

表 2-21 その他計算条件一覧表

項目	記号	単位	数値	備考
水の密度	ρ	g/cm ³	1.0	一般値
砂礫密度	σ	g/cm ³	2.65	一般値
堆積砂礫層の容積濃度	C*		0.6	一般値
砂礫の代表粒径	Dm	cm	10.0	調査結果より
砂礫の内部摩擦角	ϕ	°	35	一般値

(2) 計算結果

次頁に御釜由来の火山泥流の計算結果を示します。泥流総量は融雪型火山泥流と比較して小さいため、氾濫箇所は多くありませんが、中流部の一部で氾濫する可能性があります。

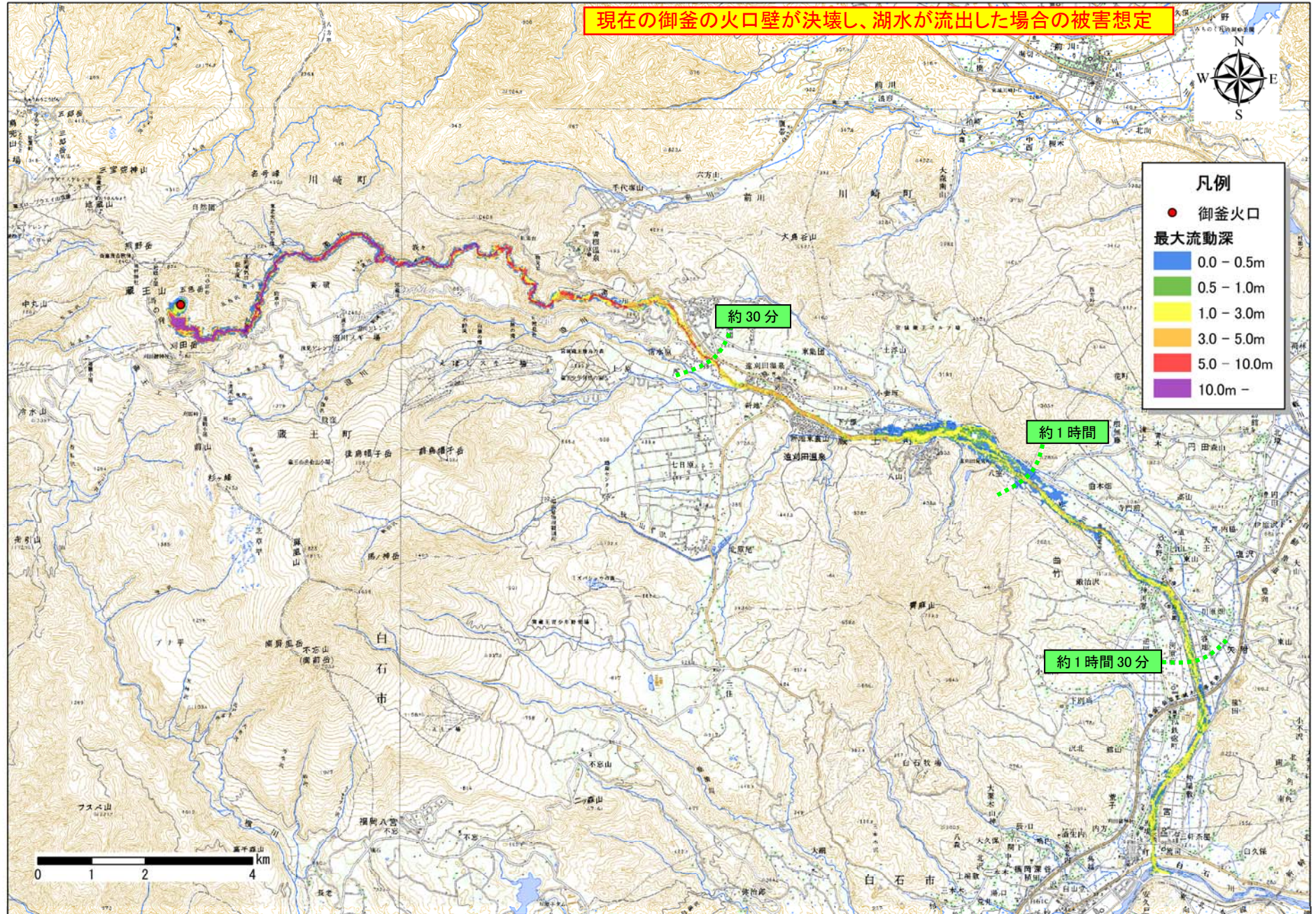


図 2-32 御釜由来の火山泥流想定氾濫範囲

2.3.8 火砕流（火砕サージ）

(1) 計算条件

エネルギーコーンモデルによる地形解析により到達範囲を求めました。エネルギーコーンモデルは、火口から噴煙が上がり斜面を流れ下る現象を、火口から停止地点までを結んだ線”エネルギーライン”で表すモデルです。

エネルギーラインの勾配（H/L）は、過去1万年間の事例と他火山の事例を参考に溪流沿いを0.22、斜面を0.285とし、計算断面は、濁川筋の1断面に加え、馬の背カルデラを超えて斜面を流下することを想定し4断面検討しました。

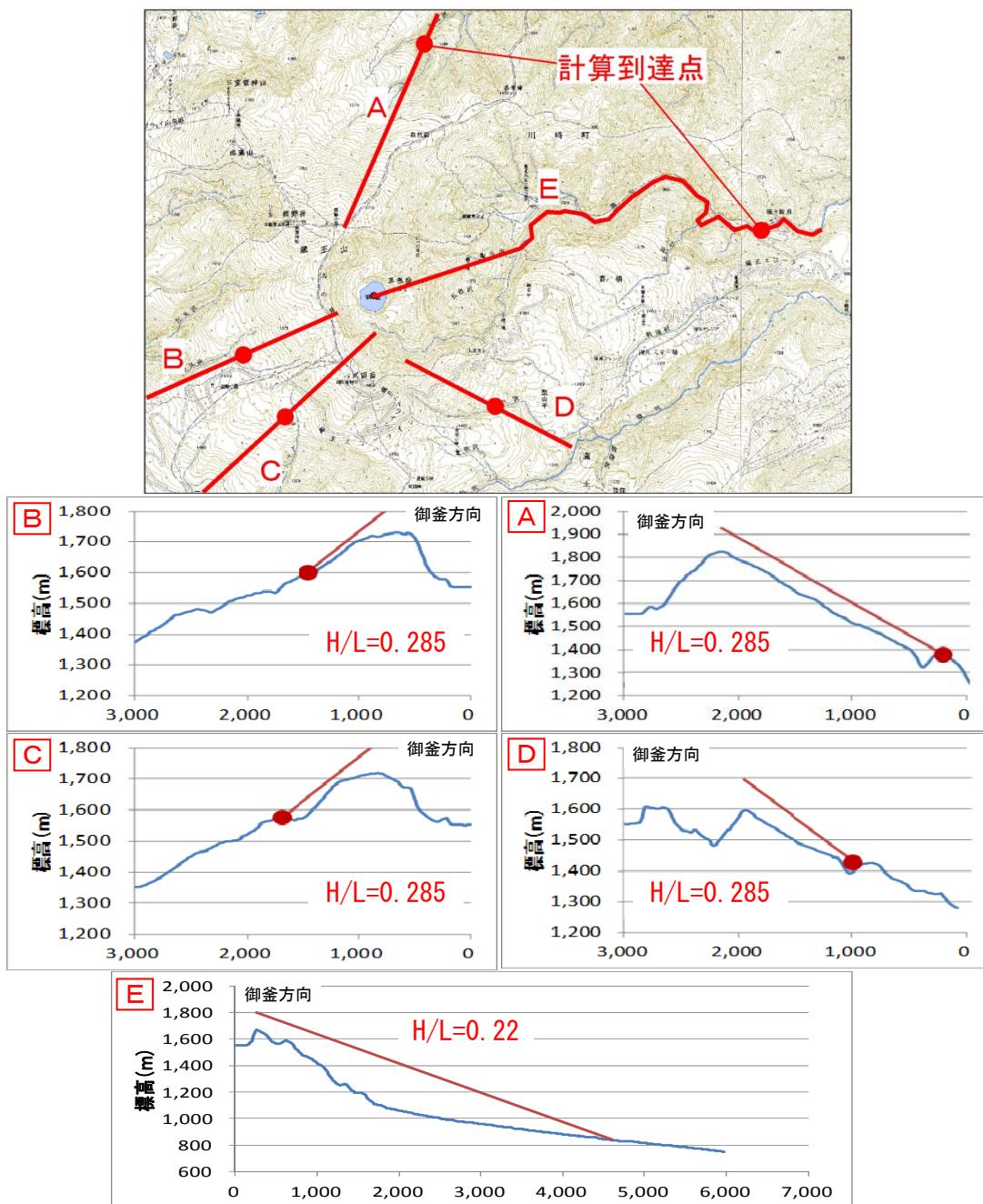


図 2-33 火砕流（火砕サージ）の流下検討断面



図 2-34 火砕流(火砕サージ)の被害想定範囲

<引用文献リスト>

- 伴雅雄, 2010, 蔵王火山・山形県の火山. 山野井徹編, 山形県地学のガイド, コロナ社, 199-205
- Ban, M., Sagawa, H., Miura, K., Hirotsu, S., 2008, Evidence for shortlived stratified magma chamber: petrology of Z-To tephra layer (~5.8ka) at Zao volcano, NE Japan. In Zellmer, G. and Annen, C., eds., Dynamics of Crustal Magma Transfer, Storage, and Differentiation Integrating Geochemical and Geophysical Constraints; Geol. Soc. London, Spec. Pub., 304, 149-168.
- 伴雅雄・佐川日和・三浦光太郎・田中勇三, 2005, 蔵王山の火山防災マップ. 月刊地球, 27, 317-320
- 井口正人・加茂幸介 (1984) : 火山爆発により放出される火山岩塊・レキの到達距離. 京大防災研年報, 27B-1, 15-23
- Miura, K., Ban, M. and Yagi, K., 2008, The tephra layers distributed around the eastern foot of the Zao volcano: Ages and volumes of the Za-To 1 to 4 tephras. Bull. Volcanol. Soc. Japan, 53, 151-157.
- 酒寄淳史, 1992, 蔵王火山の地質と岩石. 岩鉱, 87, 433-444
- 宮本邦明, 1991, 火山活動に伴う土砂災害の対策に関する調査, 建設省土木研究所, 1-75

計 画 編

※この「計画編」は、火山噴火緊急減災対策砂防計画の基本的な方針や対策の考え方を示すものです。実施に際しての具体的な対策は、対策に係る各機関で個々の連絡会等を設置して、行動計画などの具体的な対応策を立案していく必要があります。

3. 火山噴火緊急減災対策砂防計画の方針

3.1 火山噴火緊急減災対策砂防計画の内容

蔵王山火山噴火緊急減災対策砂防計画は、蔵王山の想定噴火シナリオに基づき、火山噴火時に必要な緊急ハード対策、緊急ソフト対策、火山噴火時の緊急調査について、平常時からの準備事項を含めて定めます。

噴火シナリオの各局面において、砂防部局が緊急的に対処すべき事柄を時系列で整理し、緊急時に迅速かつ円滑に対策が実施できるよう平常時から準備しておかなければならない事も定めています。

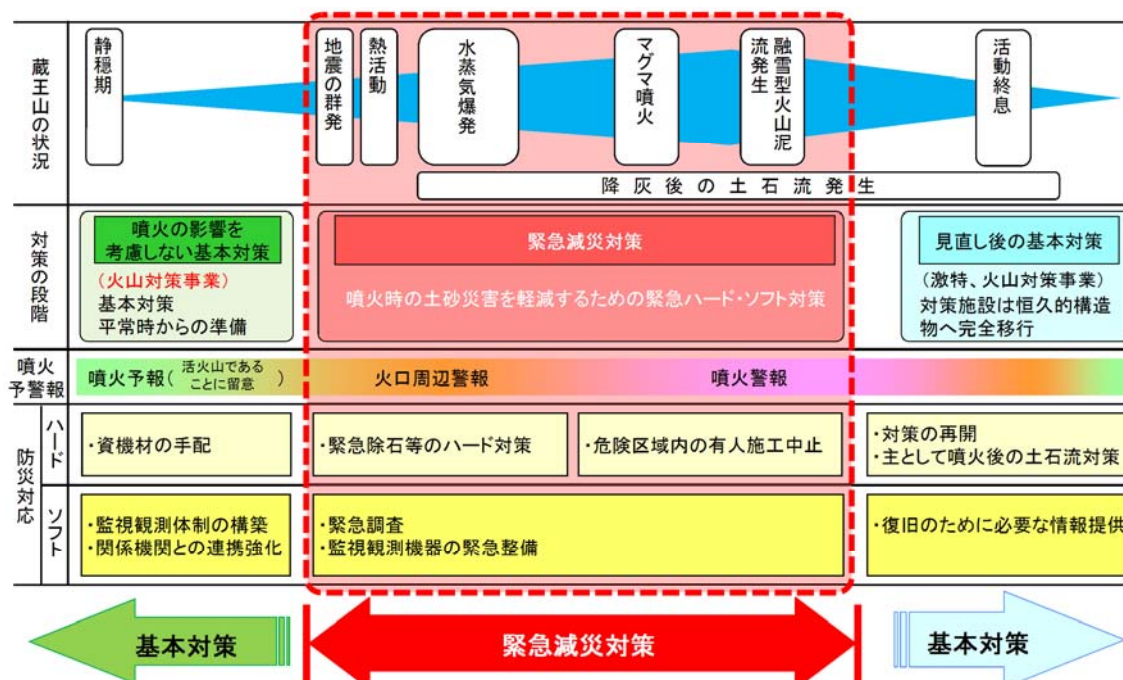


図 3-1 蔵王山火山噴火緊急減災対策砂防計画の概念図

3.2 対象とする噴火シナリオのケースの抽出

本計画では、基本事項編 2.2.5 に示す噴火シナリオの全ケースを対象とします。

基本事項編 2.2.5 に示す噴火シナリオのうち、ケース 1 は噴火に至らずに終息するため具体的な施設整備には至りません。しかし、ケース 1 を含むいずれのケースについても、情報共有等の対応をとる必要があるため、全ケースを対象とします。

3.3 対策方針の前提条件の検討

3.3.1 対策開始・休止のタイミング

(1) 対策開始のタイミング

気象庁の発表する噴火警報等を参考に、火山防災協議会・連絡会議と連携しながら、観測される前兆現象等を踏まえて総合的に判断する必要があります。

既往噴火時の実績等を参考に、砂防部局としての対策タイムラインを検討する必要があります。

火山においては活発活動期（前兆活動）の継続時間がほぼ0～数ヶ月以上と幅広く、実際には前兆現象を捉えられずに噴火に至る可能性もあるために、緊急減災対策の開始、対策内容の変更、対策中断等のタイミングは、基本的には、気象庁の発表する噴火警報等をもとに、災害対策本部・支部、火山防災協議会・連絡会議等と連携しながら、総合的に判断する必要があります。

名称	警戒事項等	状況・警戒範囲及び想定される防災対応	警戒事項上げの基準等*	警戒事項下げの基準*
特別警報 噴火警報 (居住地域) 又は 噴火警報	居住地域 嚴重警戒	居住地域に重大な被害を及ぼす噴火が発生、あるいは発生する可能性が高まっていると予想される ・噴火が拡大または拡大が切迫している状況で、御釜由来の泥流、融雪型火山泥流などが居住地域まで到達、あるいは到達する可能性がある 警戒範囲 ：融雪型火山泥流 蔵王川、濁川、澄川、松川、横川流域の居住地域 御釜由来の泥流 濁川、松川流域の居住地域 および 入山危険の警戒範囲 想定される防災対応：入山規制及び当該居住地域の住民避難 [過去事例] 1230年 噴火、噴石により人畜に被害多数 1694年 噴火、河川氾濫、川魚死ぬ	・御釜由来の泥流が居住地域に到達が予想される場合 ・積雪期に居住地域へ影響するような火山現象を観測	(入山危険への下げ基準) 居住地域への影響の恐れがなくなった場合。
警報 噴火警報 (火口周辺) 又は 火口周辺警報	入山危険	居住地域の近くまで重大な影響を及ぼす噴火が発生、あるいは発生すると予想される ・噴火が発生した場合に大きな噴石、火砕流、御釜由来の泥流、融雪型火山泥流が火口の縁から概ね1.2kmを超えて到達する可能性がある 警戒範囲 ：大きな噴石 御釜中心から概ね3.5km以内で警戒 火砕流・火砕サーージ 御釜中心から概ね2km以内および八方沢・濁川上流域で警戒 想定される防災対応：入山規制（範囲は状況により変化） [過去事例] 1867年 噴火 御釜沸騰、沢水で洪水 1895年 噴火 白煙、御釜沸騰、河川増水	・中規模以上の噴火の発生 <前兆現象など> ・御釜で変色域・熱域などが拡大 ・火山性地震が大回数増加 ・規模の大きな火山性地震が増加 ・規模の大きな火山性微動が増加 ・山体の顕著な膨張を示す地殻変動を観測	(火口周辺危険への下げ基準) 左記の基準に達しない状況が概ね1ヶ月続いた場合。 ※入山危険のまま、警戒が必要な範囲を拡大、あるいは縮小する場合がある。
	火口周辺危険	火口周辺に影響を及ぼす噴火が発生、あるいは発生すると予想される ・噴火による影響が、火口の縁から概ね1.2kmを超えない噴火の発生、あるいはその可能性がある場合。 警戒範囲 ：大きな噴石・火砕サーージ 水蒸気噴火想定火口域の縁から概ね1.2kmの範囲（火口が特定できる場合は活動協状により火口の縁から概ね1.2kmの範囲） 想定される防災対応：噴石・火砕サーージ予想到達範囲の立入規制 [過去事例] 1923年 御釜の湯心からガス噴出 1939年 御釜の水変色、泡立つ 1940年 小噴火 噴気孔生成	・小規模噴火の発生 <前兆現象など> ・御釜で変色域・熱域などが発生 ・丸山沢で噴気が活発化 ・火山性地震が増加 ・規模の大きな火山性地震が発生 ・規模の大きな火山性微動が発生 ・山体の膨張を示す地殻変動を観測	(平常への下げ基準) 左記の基準に達しない状況が概ね1ヶ月間続いた場合。
噴火予報	平常	火山活動の状況によって、火口内で火山灰の噴出等が見られる 想定される防災対応：火口内の立ち入り規制 火山ガス噴出等による一部地域の規制	※火山の状況に応じて「火山の状況に関する解説情報」または「火山活動解説資料」を発表	

*「警戒事項上げの基準等」「警戒事項下げの基準」は目安であり、観測された現象や火山噴火予知連絡会での検討結果なども踏まえ総合的に検討して判断する。

図 3-2 蔵王山の噴火警報等の発表基準（平成 27 年 3 月 23 日運用開始）

「H27.3.23 第 1 回蔵王山火山防災連絡会議 資料」より

(2) 作業休止のタイミング

気象庁から発表される噴火警報等を参考に、火山防災協議会・連絡会議と連携しながら、休止を判断する必要があります。

また、降雨に対しては、作業中止の基準雨量（降灰後）を設定し、降雨状況により判断する必要があります。

山麓の居住地域まで影響をおよぼす噴火が発生する可能性が高まった場合、気象庁から噴火警報が発表されます。山麓域は緊急対策実施区域でもあるので、このタイミングで作業の休止を検討します。また、降灰後は斜面の浸透能の低下により土石流が発生しやすい状態にあるため、作業休止の基準雨量をあらかじめ設定し、基準雨量に達したら作業を休止します。

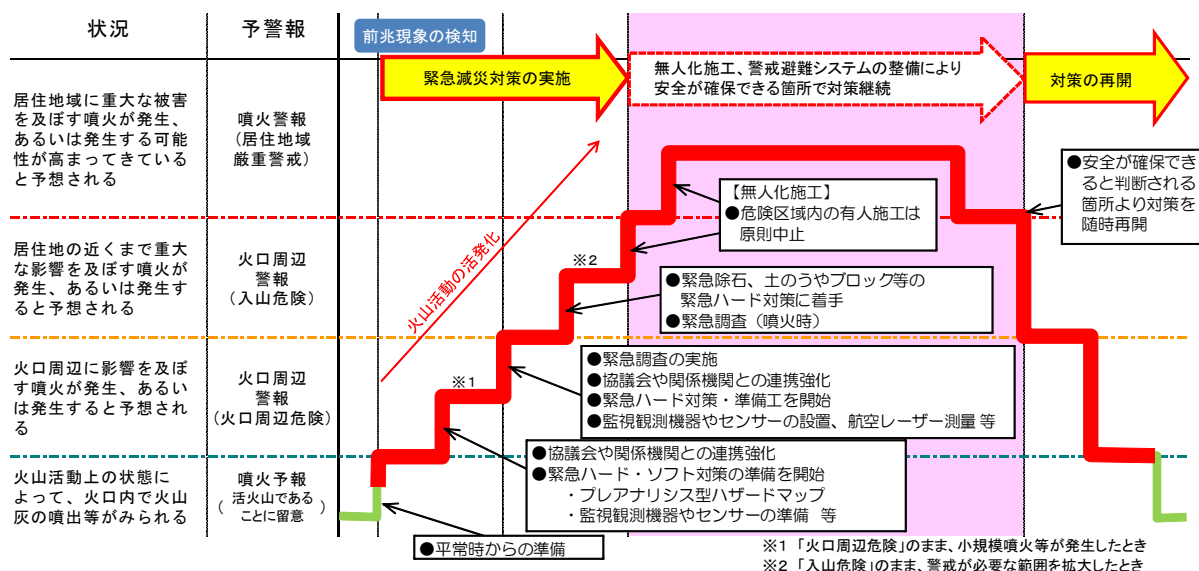


図 3-3 対策のタイミングの概念図

〔参考〕

霧島山 2011 年噴火では、三宅島 2000 年噴火の降雨データを参考に避難の基準雨量を一時期 4mm/h まで引き下げ、その後段階的に引き上げていきました。

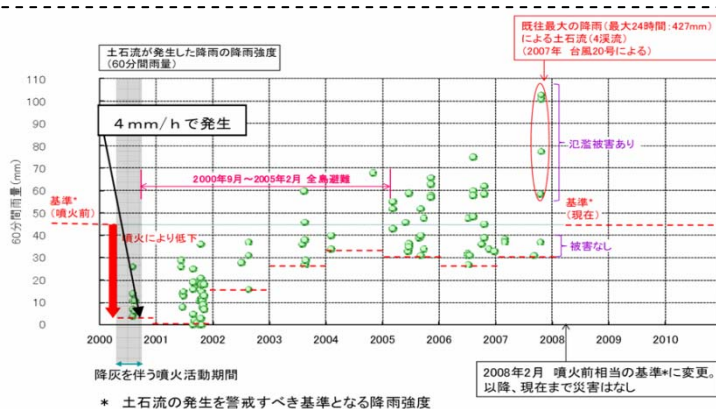


図 3-4 三宅島の土石流発生状況と発生時の降雨強度の関係

3.3.2 対策可能期間

対策が可能な期間は、対策開始時の火山活動状況等に応じて適宜設定する必要があります。

蔵王山周辺は豪雪地帯であり、冬季の対策が困難です。このため、積雪期の対策は、保全対象周辺の道路沿いに限られると考えられます。

また、非積雪期間であっても上流部に残雪がある場合は検知センサの設置が困難であるため、山腹溪流部、谷出口溪流部での作業は無人化施工対応・監視体制の強化等に留意した作業を実施する必要があります。

表 3-1 標高別の施工性

	施工可能	施工性悪い	施工性著しく悪い または施工困難
標高 200m以下 (概ね谷出口外側平坦部)	4月～11月	12月	1月～3月
標高 400～200m (概ね溪流内下流域)	5月～11月	無し	12月～4月
標高 600～400m (概ね溪流内中流域)	6月～10月	11月・5月	12月～4月

蔵王山の周辺溪流の標高は谷出口付近で概ね 200～400m、砂防堰堤の適地となるような溪流（例えば濁川、蔵王沢における既設砂防堰堤整備箇所）は概ね 400～600mである。

3.3.3 対策可能な現象・規模

蔵王山火山噴火緊急減災対策では、以下の現象を対象に計画する必要があります。

●ハード対策

- ・ 降灰後の土石流
- ・ 融雪型火山泥流
- ・ 御釜由来の火山泥流

●ソフト対策

- ・ 噴火シナリオに示される全ての現象

蔵王山の緊急減災対策砂防計画のうち、緊急ハード対策は、現実的に対応が可能な御釜由来の火山泥流と融雪型火山泥流、および降灰後の土石流を対象にすることが必要です。

ただし、これは事前準備の目標設定としてこれらのケースを抽出することを意味しており、大規模な噴火時にはハード対策を実施しないことはありません。実際に大規模な噴火が予想される場合であっても、ここで抽出したシナリオに基づき可能な限りの対策を講じ、減災に努める必要があります。

表 3-2 緊急減災対策計画で対象とする噴火シナリオのケース

現象	想定規模	対策方針		理由
		ハード対策	ソフト対策	
噴石	水蒸気爆発 マグマ噴火			・噴石の衝撃に耐える防護施設は困難 ・被害が広範にわたるため、ハードによる対応困難
降灰	水蒸気爆発 マグマ噴火			
融雪型 火山泥流	水蒸気 爆発期	水蒸気爆発に伴い発生(年最大積 雪深の平年値)	○ 緊急減災 対象現象	・緊急導流堤や堤防嵩上げにより減災効果 が得られる可能性があるため
	マグマ 噴火期	マグマ噴火に伴い発生 (年最大積雪深の平年値)	○ 緊急減災 対象現象	
降灰後の土石流	水蒸気爆発およびマグマ噴火に 伴い発生(2年超過確率雨量)	○ 緊急減災 対象現象	○ 緊急減災 対象現象	・既存施設の除石や仮設堤防の設置によ り減災効果を得られる可能性が高い
御釜由来の火山泥流	火口湖が噴火等に伴い流出	○ 緊急減災 対象現象		・緊急導流堤や堤防嵩上げにより減災効果 が得られる可能性があるため
火砕流(火砕サージ)	最大4.5km程度流下			・物理的にハードによる対応が困難 ・蔵王山では、発生しても山麓まで影響を 与える可能性は小さいため

3.3.4 対策箇所

緊急時にハード・ソフト対策（監視機器の設置等）を実施する箇所については、安全性・利用規制・対策のしやすさ・対策効果・保全対象との関係を考慮して溪流毎の災害予想区域図をもとに設定する必要があります。

緊急対策箇所は安全性・利用規制・対策のしやすさ・対策効果・保全対象との関係を考慮してハード、ソフト対策毎に、下表のように整理しました。

表 3-3 対策箇所のエリアの考え方

	ハード対策	ソフト対策
安全性	危険区域（噴石到達エリア：想定火口から 3.5km 圏内）をできる限り避け、現象発生後の避難が可能な箇所	
利用規制	自然公園などの法規制、指定地、用地などの制限が少ない箇所	
対策適用性	管理用道路、商用電源がある、もしくは緊急的に整備可能な箇所	
	積雪の影響が少ない箇所	-
対策効果	土砂の捕捉や泥水の導流効果が高い地形（勾配 14 度未満・狭窄部等）	カメラ等の見通しが良い箇所
保全対象との位置関係	基本計画の基準点、人家等の上流側	保全対象のできるだけ上流地点で監視観測

3.3.5 対策実施体制

緊急時に実施するハード・ソフト対策、および平常時の準備は対策箇所や内容を管轄する関係機関が連携をとりながら実施する必要があります。

蔵王山噴火への防災対策は、関係機関が火山防災協議会や連絡会議等により情報共有、調整を行いながら実施することが考えられます。

緊急対策の判断に資する監視観測情報の集約、分析は、仙台管区気象台が大学等の研究機関と連携して実施し、関係機関への情報提供を行うことが必要です。

3.4 対策方針の設定

前節で示した、対策開始・休止のタイミング、対策可能期間、対策箇所等の前提条件に基づき、緊急ハード、ソフト両面についての砂防部局としての対策を下記の方針で実施する必要があります。

①対策開始・休止のタイミング

気象庁が発表する噴火警報等をもとに、火山防災協議会と連携しながら、総合的な判断が必要です。

②対策可能期間

対策が可能な期間は、対策開始時の火山活動状況等に応じて適宜設定する必要があります。

③対策可能な現象規模

緊急ソフト対策は全現象を対象とし、緊急ハード対策は、現実的に対応が可能な御釜由来の火山泥流と融雪型火山泥流、および降灰後の土石流を対象にする必要があります。

④対策箇所

緊急時にハード・ソフト対策（監視機器の設置等）を実施する箇所については、安全性・利用規制・対策のしやすさ・対策効果・保全対象との関係を考慮して溪流毎の災害予想区域図をもとに設定する必要があります。

⑤対策実施体制

ハード・ソフト対策は対策箇所や対策内容を管轄する関係機関が火山防災協議会、連絡会議等により情報共有、調整、連携しながら実施する必要があります。

4. 緊急対策の内容

想定した噴火シナリオおよび対策方針に基づいて、効果的な緊急時の対策を検討する必要があります。

緊急減災対策のメニューは下記の通りです。

表 4-1 緊急減災対策一覧（砂防部局）

分類	項目	対象エリア	内容
ハード対策	既設堰堤の点検	主として渓流部	・破損状況・空き容量等の把握
	既存堰堤の除石	主として渓流部	・仮設路の確認（既存道路沿いまたはその際であること） ・土捨て場の確保 ・既存堰堤の緊急除石
	緊急ハード対策の実施	渓流部 扇状地・平地部	・仮設路の確認（既存道路沿いまたはその際であること） ・緊急施設の設計、施工計画、協力業者の招集、地元との調整等 ^{※1} ・仮設施設（既存堤防の嵩上げ、仮設堤防、仮設導流堤）の施工
	工事関係者の安全確保	渓流上流部 渓流部 扇状地・平地部	・警戒避難システムの整備（特に現地警報局と避難所、一時待避施設の設置） ・工事関係者の安全教育
ソフト対策	火山観測機器の緊急的な整備	火口周辺部 渓流上流部 渓流部 扇状地・平地部	・火山噴火・土砂流出を検知する監視観測機器 ^{※2} の緊急点検 ・機器の配置設計（既存道路沿いまたは付近であること）、回線設計、地元との調整等 ^{※1} ・情報通信の整備 ・火山噴火・土砂流出を検知する監視観測機器 ^{※2} の緊急整備
	航空機等による火山噴火時の緊急調査	火口周辺部 渓流上流部 渓流部	・目視調査（目視による降灰堆積分布、土砂移動痕跡・ガリー等形成状況調査） ・リモートセンシング調査 ^{※3} （積雪量・降灰堆積量・地形変動量・地盤変動および火口の把握）
	火山噴火時の緊急調査（現地調査,その他）	火口周辺部 渓流上流部 渓流部	・外部機関（土木研究所・大学等）との連携 ・降灰・荒廃状況調査（降灰分布、降灰深、ガリー形成状況、浸透能現地測定） ・土砂移動痕跡調査 ・積雪調査（積雪深、積雪密度調査）
	危険区域の想定	全域	・データの取得（流域状況の把握） ・プレ・アナリシス型ハザードマップ ^{※4} による想定 ・計算定数等の検討 ・外部機関（土木研究所・大学等）との連携 ・リアルタイム・アナリシス型ハザードマップ ^{※5} の作成
	避難対策支援のための情報提供	—	・協議会・連絡会議の開催（情報提供先の一本化） ・情報の提供（情報提供先は、市町の長と火山対策会議・連絡会議） ・観測機器や緊急調査により得られた情報の解析 ^{※6} ・避難のための参考となる基準雨量（随時見直していく） ・リアルタイムハザードマップの作成と提供

※1・地元との調整等には、用地交渉（地権者の起工承諾）・住民広報等が考えられる。

※2・監視カメラ・空振計、土石流検知センサ・土石流監視カメラ等。

※3・レーザープロファイラ、合成開口レーダ等を使った情報の収集と解析等をいう。

※4・複数の噴火規模、現象において予めハザードエリアを数値シミュレーション等により作成し、その情報をGIS上に格納しておくシステムである。

※5・火山活動に伴い、地形が変化した場合等、随時新たな情報に基づきシミュレーション等を行いハザードマップを作成するシステムである。

※6・外部機関により得られた情報を含む。

4.1 緊急ハード対策

4.1.1 緊急ハード対策の目標

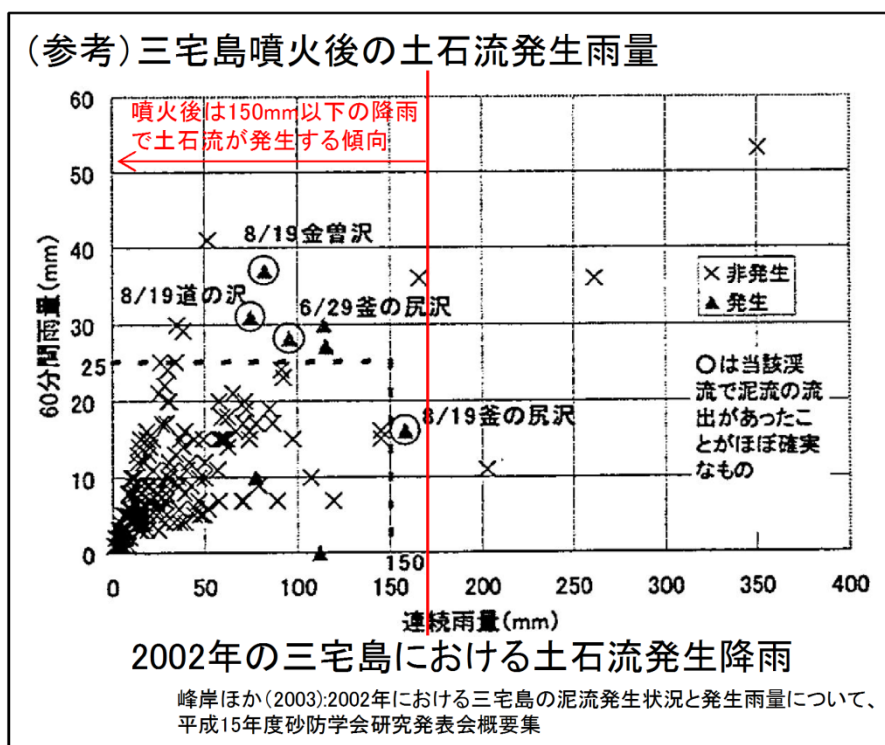
- 想定される被害から家屋、観光資源を保全することを最優先とし、
- ・ 降灰後の土砂流出に伴う氾濫被害を防止、軽減する必要があります。
 - ・ 融雪型火山泥流による被害の軽減を図る必要があります。
 - ・ 御釜由来の火山泥流による被害の軽減を図る必要があります。

降灰後の土石流については、2年超過確率規模（125mm）を整備目標とし、整備効果を高めます。なお、三宅島噴火後の実績では、噴火後は150mm以下の降雨で土石流が発生する傾向が確認されています。

また、火山泥流に対しては被害の軽減を図る対策を実施します。

表 4-2 対象降雨

外力設定	降雨量	備考
2年超過確率24h雨量	125mm	不忘山(1976～2009)による確率計算



4.1.2 対策の基本的な考え方

【降灰後の土石流】

- ・ 氾濫地点において、大型土のう積等による仮設堤防を設置する必要があります。
- ・ 二次災害の防止・軽減のため既設堰堤の除石を実施する必要があります。

【融雪型火山泥流・御釜由来の火山泥流】

- ・ 氾濫が懸念される地点において、大型土のう積、根固ブロック積等による堤防嵩上げ、導流堤による減災を図る必要があります。



大型土のうによる仮導流堤の例
(三宅島)



既存堰堤の緊急除石の例
(霧島山)

●留意事項

融雪型火山泥流や、降灰後の土石流の発生時に流木による被害が想定されることから、流木の影響について引き続き調査・検討を実施する必要があります。

また、流木対策については、現在実施している通常事業の中で詳細に検討し、対策していく必要があります。

甚大な被害が予想される箇所で事前の対策が可能な部分については、噴火警戒レベルに関わらず先行して対策を実施することも考えられます。その場合、覆土等により景観に配慮することも考えられます。

指摘対応箇所

【季節による対応の考え方】

豪雪地帯に位置する蔵王山では、深い雪に閉ざされる冬期は夏期と異なった対応を余儀なくされるため、火山活動が夏期に活発化した場合と冬期に活発化した場合の緊急ハード対策を検討しておく必要があります。

4.1.3 工法・構造の考え方

緊急ハード対策で実施する対策工法・構造は、短期間で実施する対策であることを鑑み、既往施設の除石や簡易で作業効率が高い施工方法とする必要があります。また、緊急時の資機材の調達状況により柔軟な対応ができるよう、複数の構造を検討しておく必要があります。

(1) 除石工

緊急除石工は、施設効果量の増加や機能回復を目的として、既往施設の堆砂敷の堀削を実施するものです。なお、掘削した土砂については、堤防の嵩上げや導流堤工に用いる大型土のうの中詰材への転用を検討します。

工種	除石工	
目的	既往施設の施設効果量の増加 機能回復	
イメージ		
概要	既往施設堆砂敷の堀削を行い、捕捉量を確保する。 (貯砂量の70%程度を目安)	
特徴	施工が容易である。	
課題	掘削した土砂の仮置き場が必要である。	

図 4-1 除石工の概要

(2) 導流堤工

導流堤工は流水により移動する土砂等が保全対象に被害を及ぼすことのないよう、下流域に安全に導流させることを目的に施工するものです。

基本的に泥流等の流れに対して力を受ける場合はコンクリートブロックを用いることとします。


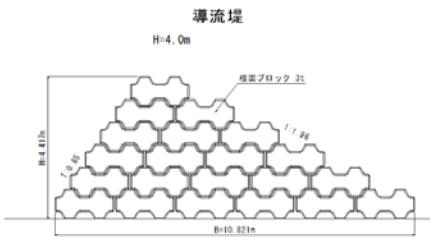
工種	導流堤工
目的	保全対象に被害が及ぶことのないよう、下流域に安全に導流させる。
模式図	 <p>浅間山訓練状況</p>  <p>導流堤 H=4.0m 頂部ブロック 3t 1:1 斜め B=10.0m イメージ図</p>
概要	コンクリートブロックにより、流水を誘導し氾濫を防止する。
特徴	プレキャスト製品を用いることで工期を短縮できる。
課題	ブロックの備蓄が必要であり、備蓄ヤードを確保する必要がある。

図 4-2 導流堤工の概要

(3) 堤防嵩上げ工

特に流量の多い火山泥流に対して、流下断面を確保する必要があります。このために堤防嵩上げ工で対応することとします。


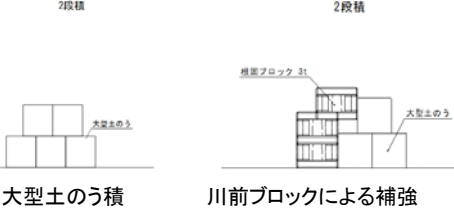
工種	堤防嵩上げ工(仮設堤防)
目的	流量の多い融雪型火山泥流に対して、河道の流下断面を確保する。
模式図	 <p>平成16年 新潟県中越地震 芋川での堤防嵩上げ</p>  <p>2段積 大型土のう積 2段積 川前ブロックによる補強 大型土のう 川前ブロック 3t 大型土のう イメージ図</p>
概要	既往堤防沿いに大型土のうを積み上げ、流下断面の拡大を図る。 想定される流速が 4m/s 未満の場合は、大型土のう積のみとする。 想定される流速が 4m/s 以上の場合は、大型土のう積に加え川前を根固ブロックにより補強する。
特徴	越流を防止することで確実な減災効果が得られる。
課題	河道沿いに連続的に設置するため、大型土のうおよび中詰め材が多量に必要となる。

図 4-3 堤防嵩上げ工の概要

4.1.4 施設効果量の考え方

降灰後の土石流の計画堆砂勾配は、元河床勾配の $2/3$ の勾配とします。
火山泥流の計画堆砂勾配は、水平とします。

(1) 降灰後の土石流

降灰後の土石流については、「砂防基本計画策定指針（土石流・流木対策編）」に基づき算出します。

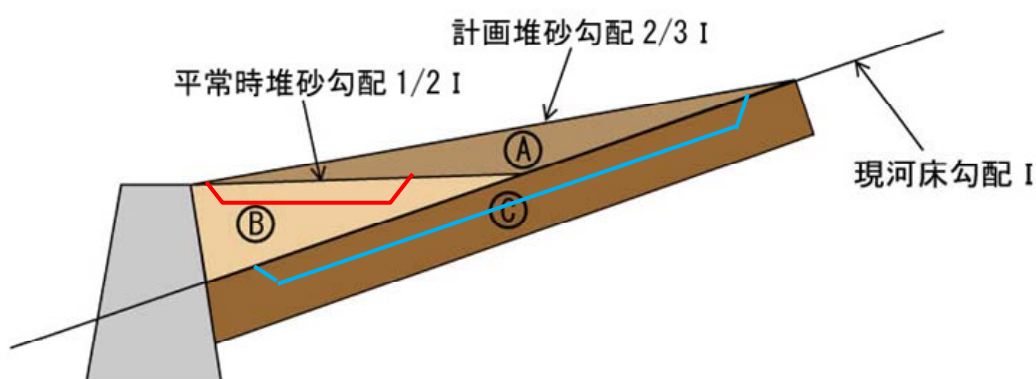


図 4-4 効果量の考え方（降灰後の土石流）

表 4-3 堰堤形式別の施設効果量

区分	形式	調節量 (A)	貯砂量 (B)	扞止量 (C)
既設堰堤 現況	不透過型	○	×	○
	透過型	○	○	○
既設堰堤 除石 ^{※1}	不透過型	○	○	○
	透過型	○	○	○

○：効果量を見込む

×：効果量を見込まない

(B)は上図のうち赤枠の除石量のみ、(C)は上図のうち青枠の除石量のみ含める

※1：除石する時期の堆砂状況は平常時堆砂勾配の状態にあると考えられる。

通常、掘削を行う場合、5m 毎に小段を設けながら掘進していくものの、緊急時には余裕はないため、現況堆砂面以深 5m までを除石範囲と設定し、掘削形状にて適宜算定する。すなわち、貯砂量全量が対象とはならない。

(2) 火山泥流

火山泥流の場合、泥水と土砂を捕捉するため、計画堆砂勾配は水平として、施設効果量を算出します。

透過型砂防堰堤や貯水ダムのように湛水面・堆砂面が水平でも土砂・泥水を貯留できる施設の場合には効果量を計上します。

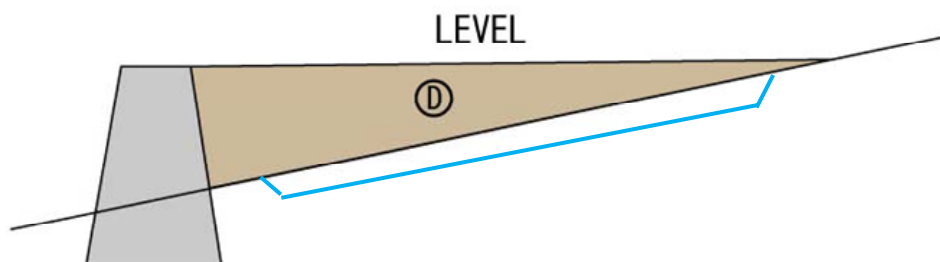


図 4-5 効果量の考え方（火山泥流）

◆既設堰堤の場合

〈不透過型〉 効果量をカウントしない

〈透過型〉 貯砂量 (D)

◆既設堰堤を緊急除石する場合

〈不透過型〉 火山泥流が想定される場合、除石を行わない。

〈透過型〉 貯砂量 (D) + 青枠除石部 (上図のうち青枠の除石量)

4.1.5 緊急ハード対策施設配置計画

(1) 降灰後の土石流に対する緊急対策

緊急ハード対策施設整備は、被害想定結果より土石流による被害が想定される溪流を対象とする必要があります。

対策方針を適用して立案した降灰後の土石流に対する流域別の配置計画図を以下に示しました。

表 4-4 全体計画数量表

	宮城県側	山形県側
降灰後の土石流対応	<ul style="list-style-type: none"> ・ 除石工 2基 ・ 堤防嵩上げ 2箇所 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 堤防嵩上げ 1箇所

◆ここに示す緊急ハード対策は、対策の基本的な考え方を事例として示したものであり、実施に際しては資機材の運搬路や土地利用状況などの現場条件を踏まえて詳細に検討していく必要があります。

ここに示す緊急ハード対策案は現段階での検討事項であり、今後の火山活動状況や現地条件等によって変更する可能性がある。

① 前川の緊急対策案

前川で発生する土石流により前川地区の一部で氾濫が想定されます。これに対し、氾濫地点に仮設堤防を設置し被害を軽減させるとともに、上流の既設堰堤除石により安全度向上を図る必要があります。

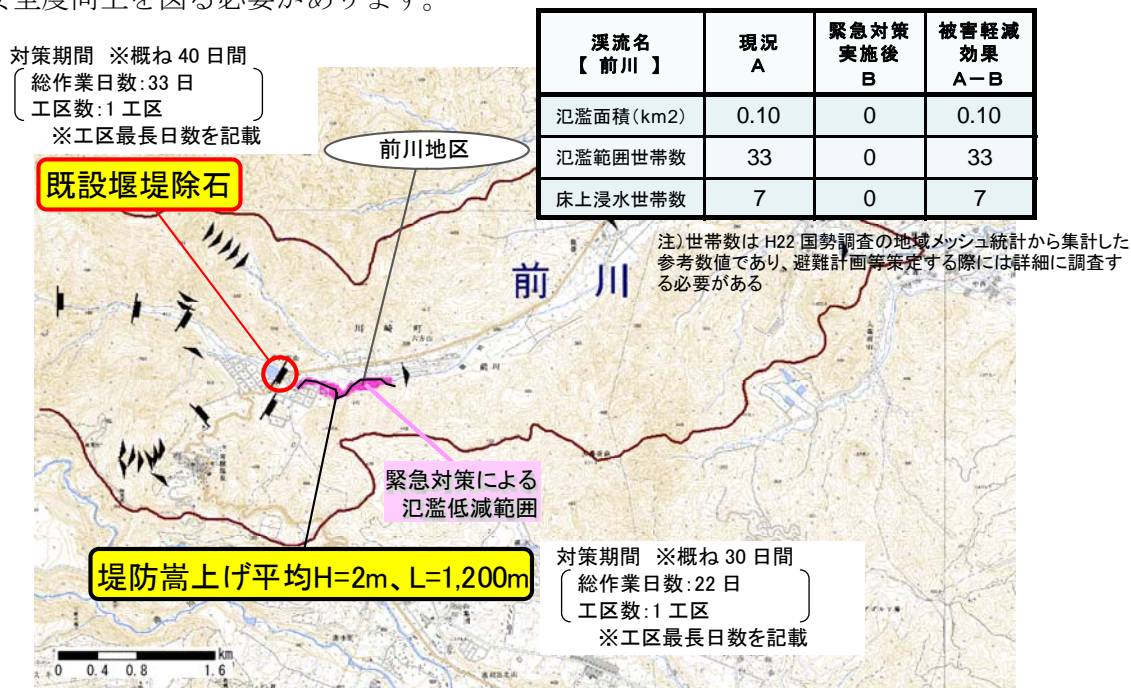


図 4-6 前川の緊急対策案

② 名乗川の緊急対策案

名乗川で発生する土石流により下原地区の一部で氾濫が想定されます。これに対し、氾濫地点に仮設堤防を設置し被害を軽減させるとともに、上流の既設堰堤除石により安全度向上を図る必要があります。

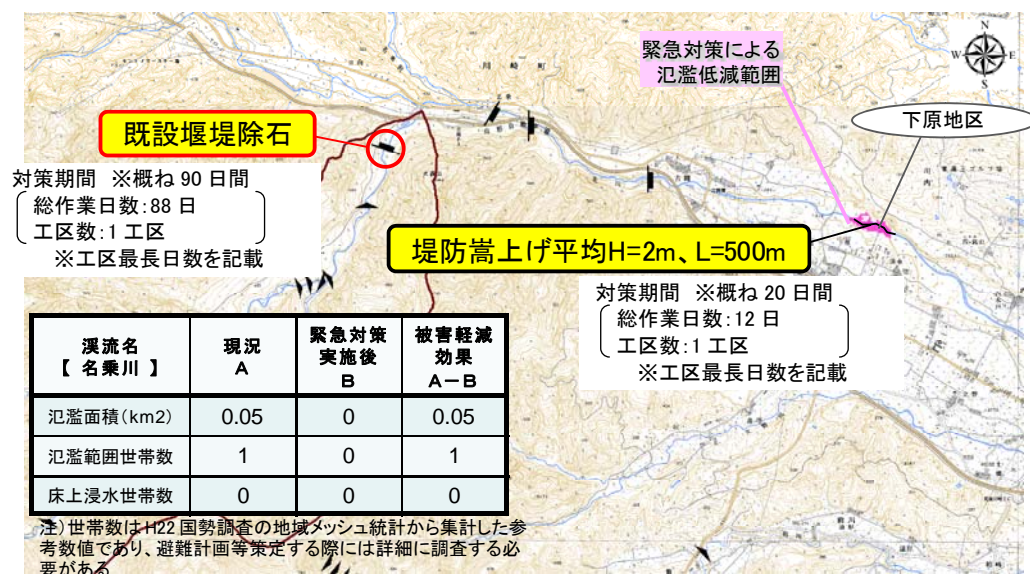


図 4-7 名乗川の緊急対策案

ここに示す緊急ハード対策案は現段階での検討事項であり、今後の火山活動状況や現地条件等によって変更する可能性がある。

③ 酢川の緊急対策案

酢川で発生する土石流により蔵王温泉地区で氾濫が想定されます。これに対し、氾濫地点に仮設堤防を設置し被害を軽減させる必要があります。

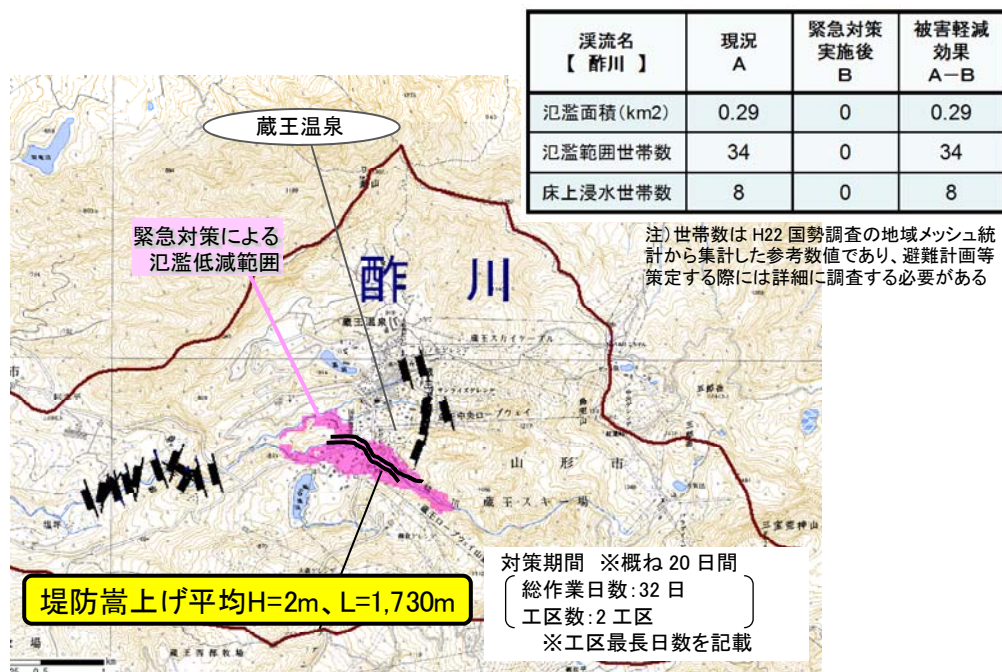


図 4-8 酢川の緊急対策案

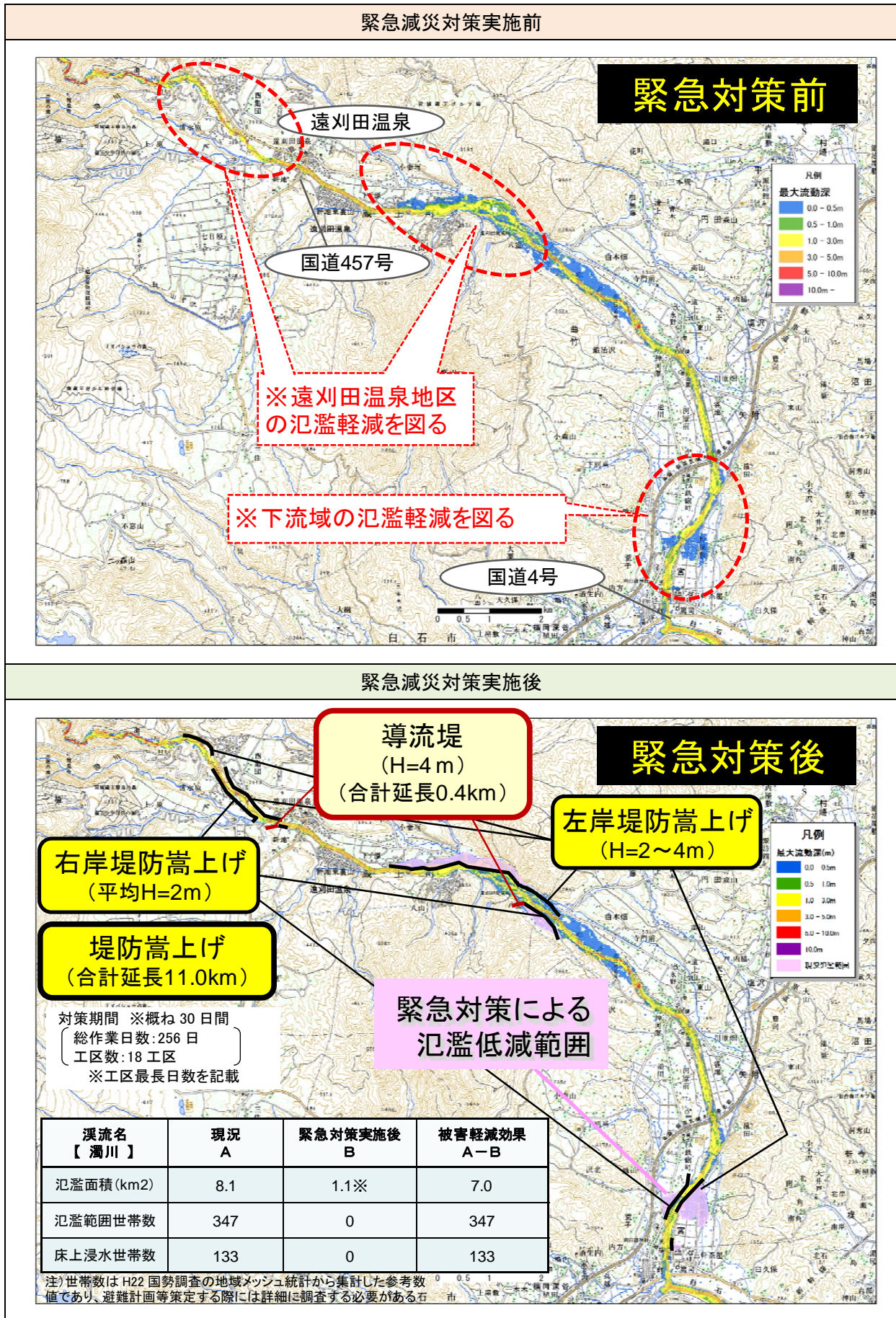
(2) 火山泥流に対する緊急対策

緊急ハード対策施設整備は、被害想定結果より火山泥流による被害が想定される溪流を対象とする必要があります。

対策方針を適用して立案した火山泥流に対する流域別の配置計画図を以下に示しました。

◆緊急ハード対策については、今後行動計画の中で被害軽減効果、費用、対策工に要する時間を比較するなどして最も効果的な対策工を選定していく必要があります。

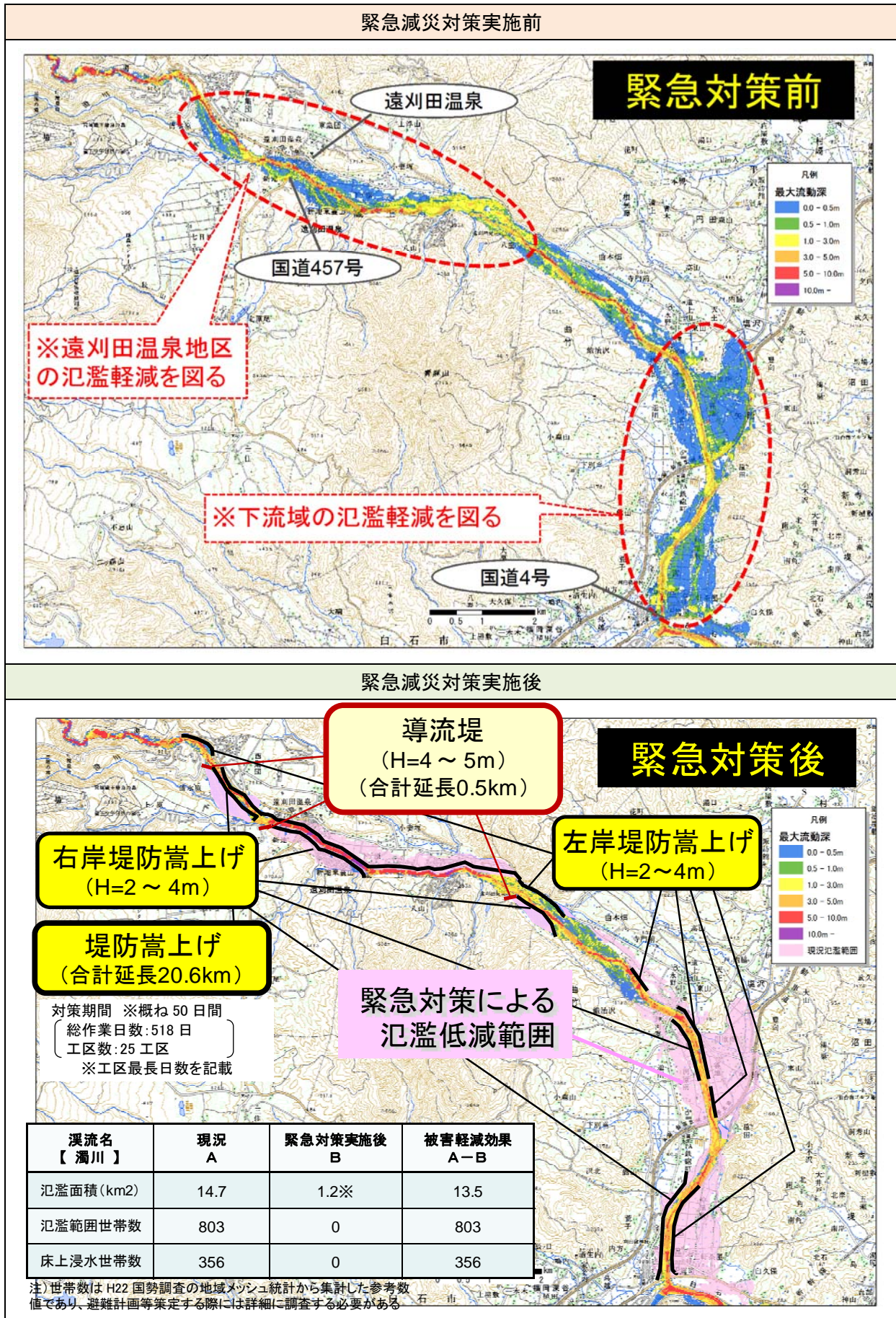
表 4-5 水蒸気爆発期の融雪型火山泥流に対する緊急対策（濁川）



ここに示す緊急ハード対策案は現段階での検討事項であり、今後の火山活動状況や現地条件等によって変更する可能性がある。

〔計画編〕

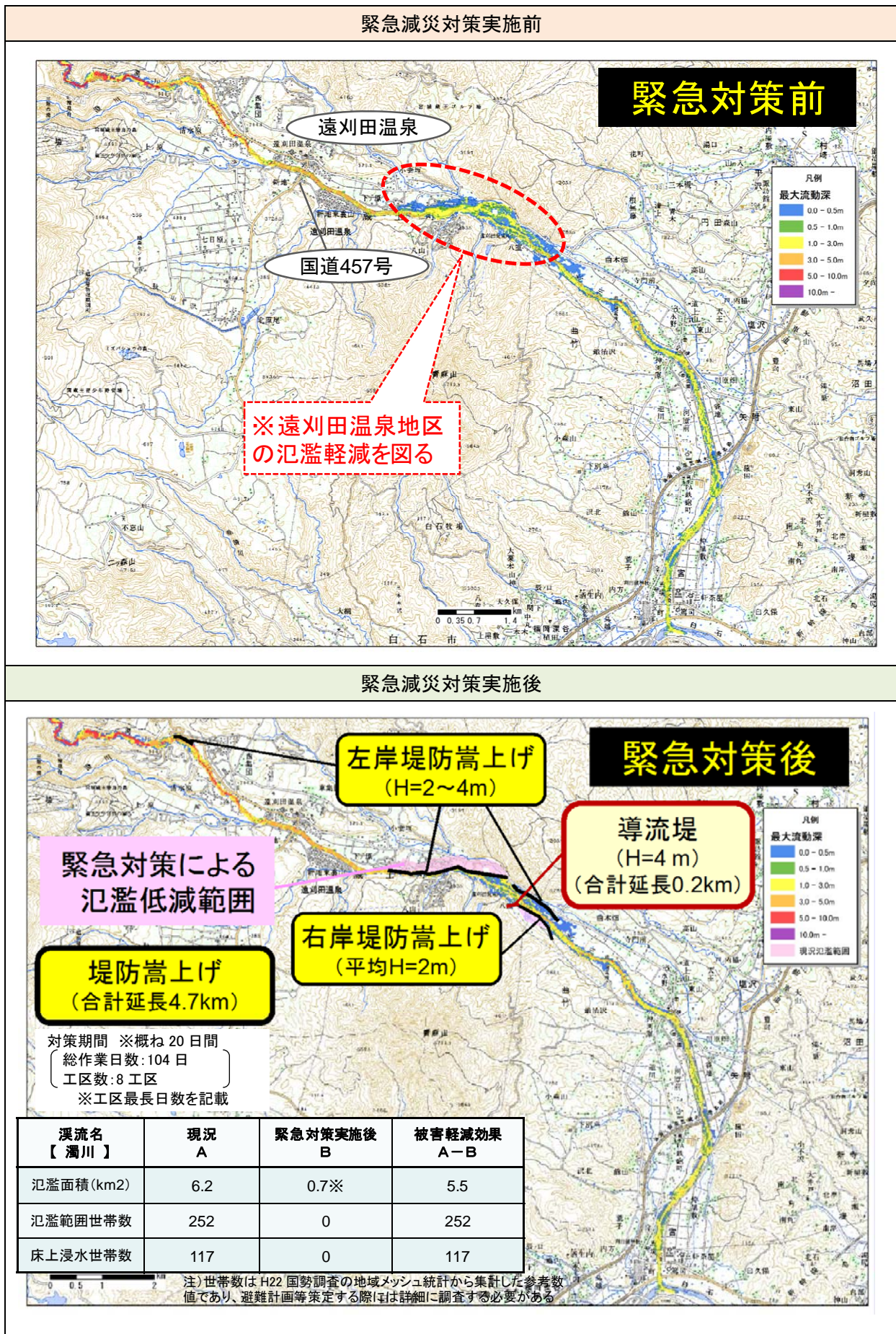
表 4-6 マグマ噴火期の融雪型火山泥流に対する緊急対策（濁川）



ここに示す緊急ハード対策案は現段階での検討事項であり、今後の火山活動状況や現地条件等によって変更する可能性がある。

[計画編]

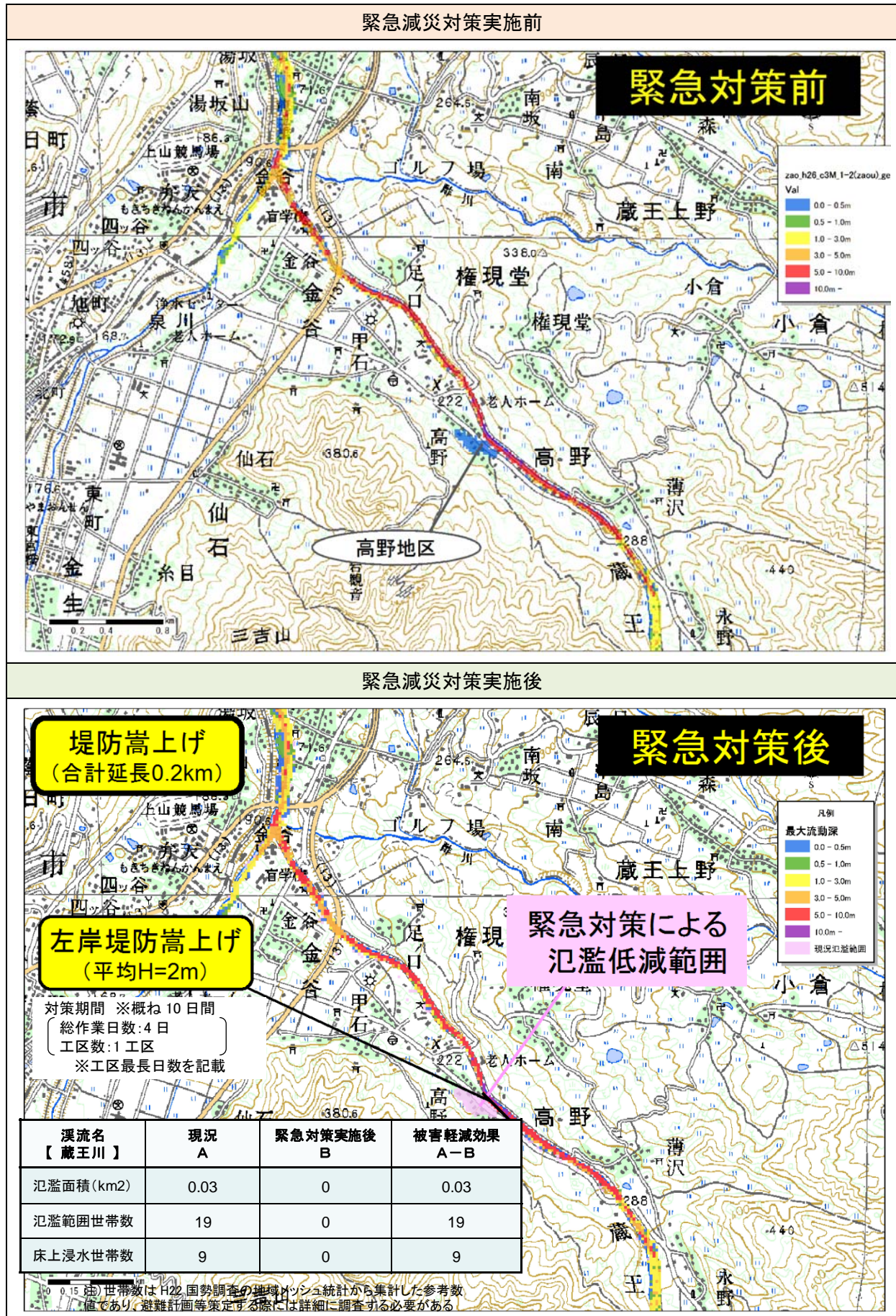
表 4-7 御釜由来の火山泥流に対する緊急対策（濁川）



ここに示す緊急ハード対策案は現段階での検討事項であり、今後の火山活動状況や現地条件等によって変更する可能性がある。

〔計画編〕

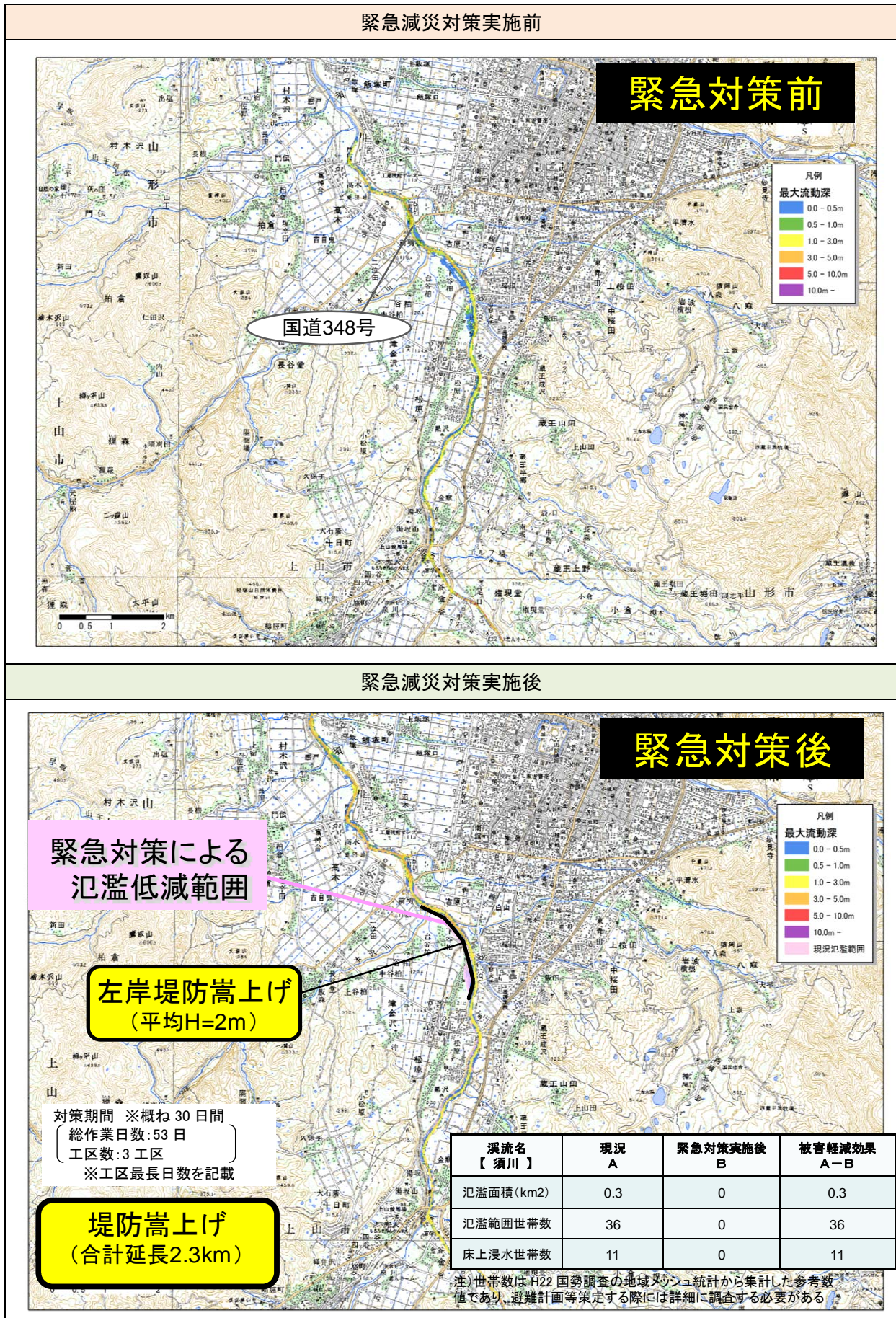
表 4-8 マグマ噴火期の融雪型火山泥流に対する緊急対策（蔵王川）



ここに示す緊急ハード対策案は現段階での検討事項であり、今後の火山活動状況や現地条件等によって変更する可能性がある。

〔計画編〕

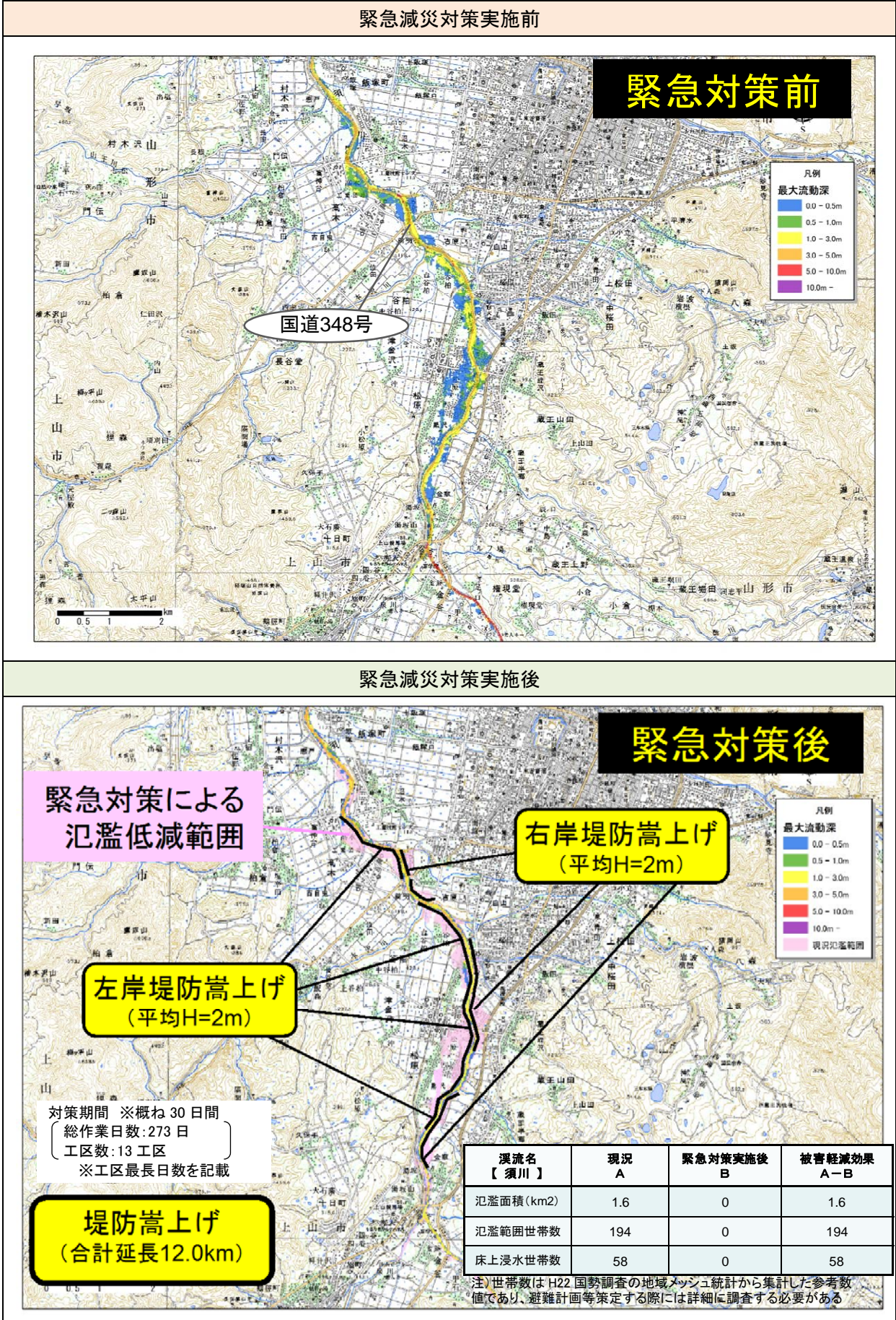
表 4-9 水蒸気爆発期の融雪型火山泥流に対する緊急対策（須川）



ここに示す緊急ハード対策案は現段階での検討事項であり、今後の火山活動状況や現地条件等によって変更する可能性がある。

〔計画編〕

表 4-10 マグマ噴火期の融雪型火山泥流に対する緊急対策（須川）



ここに示す緊急ハード対策案は現段階での検討事項であり、今後の火山活動状況や現地条件等によって変更する可能性がある。

4.1.6 対策期間

緊急ハード対策に要する時間について検討しておく必要があります。

① 除石工

土石流対策としての除石工は、24時間施工で1基あたり2パーティー投入すると考えると、それぞれ施工日数は下表のとおりとなります。

表 4-11 緊急対策施設の施工日数（除石工）

溪流	対象施設	①除石量 (千m ³)	②日当作業量 (千m ³)	パーティー数	③実作業 ①/②(日)
名乗川	既設堰堤除石	116	0.66	2	88
前川	既設堰堤除石	44	0.66	2	33

② 堤防嵩上げ工

火山泥流および土石流対策としての堤防嵩上げ工は、24時間施工として算出しました。

表 4-12 緊急対策施設の施工日数（嵩上げ工）

溪流	対象現象	対象施設	①大型土のう (個)	②日当作業量 (千m ³)	③ブロック (個)	④日当作業量 (千m ³)	⑤工区数	⑥総作業日数 (日)
前川	土石流	大型土のう積+ブロック積み(2段)	3,600	108	1,400	129	1	22
名乗川	土石流	大型土のう積(2段)	2,500	108			1	12
酢川	土石流	大型土のう積+ブロック積み(2段)	5,200	108	1,900		2	32
濁川	融雪型火山泥流 (水蒸気爆発)	大型土のう積+ブロック積み(2~4段)	36,600	108	17,300	129	18	256
	融雪型火山泥流 (マグマ噴火)	大型土のう積+ブロック積み(2~4段)	78,700	108	39,000	129	25	518
	御釜に由来する火山泥流	大型土のう積+ブロック積み(2~4段)	15,200	108	8,300	129	8	104
蔵王川	融雪型火山泥流 (マグマ噴火)	大型土のう積+ブロック積み(2段)	600	108	220	129	1	4
須川	融雪型火山泥流 (水蒸気爆発)	大型土のう積(2段)	11,500	108			3	53
	融雪型火山泥流 (マグマ噴火)	大型土のう積(2段)	62,100	108			13	273

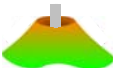

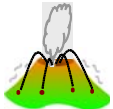
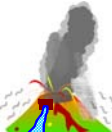
4.2 緊急ソフト対策

4.2.1 基本方針

蔵王山の緊急ソフト対策としては、避難対策支援のための情報提供、火山監視観測機器の緊急的な整備、リアルタイムハザードマップによる危険区域の想定、情報通信網の整備、火山噴火時の緊急調査を行う必要があります。

緊急ソフト対策タイムラインは、砂防工事安全確保および避難対策支援のための情報提供、火山監視機器の緊急的な整備、リアルタイムハザードマップによる危険区域の想定、情報通信網の整備、火山噴火時の緊急調査の各項目について、表 4-13 のイメージで具体的な対応を噴火シナリオの時系列で整理することとなります。

表 4-13 緊急ソフト対策の内容

	静穏期	活動活発期～ 小規模水蒸気爆発期	小規模水蒸気爆発期～ マグマ噴火期	融雪型火山泥流等 発生期	
火山活動					
噴火警報	噴火予報 ＜活火山であることに留意＞	警報 噴火警報(火口周辺)又は火口周辺警報 ＜火口周辺危険＞	警報 噴火警報(火口周辺)又は火口周辺警報 ＜入山危険＞	特別警報 噴火警報(居住地域)又は噴火警報 ＜居住地域嚴重警戒＞	
緊急ソフト対策	①火山監視機器の緊急的な整備	・ 火口監視カメラ、山頂付近の積雪深計等を整備		・ 溪流監視カメラ、降灰量計、土砂移動検知センサー、ガス濃度計等を整備	
	②情報通信網の整備	・ 山頂への情報通信網を整備	・ バックアップ回線の準備	・ 断線箇所等の早期復旧(バックアップ回線の運用)	
	③火山噴火時の緊急調査	・ 噴火前地形データの取得 ・ 技術開発			・ 地殻変動状況、積雪状況、降灰状況、火山活動状況、被害状況の調査
	④リアルタイムハザードマップによる危険区域の想定	・ プレアナリシス型ハザードマップの整備 ・ リアルタイムアナリシス型ハザードマップの構築		・ 融雪型火山泥流、降灰後の土石流のリアルタイムシミュレーション ・ 活動状況に応じて、溶岩流、火砕流についても実施	
⑤避難対策支援のための情報提供	・ 火口監視カメラや山頂の積雪情報を市町村を通じて住民、観光客、登山客に対して提供		・ 緊急調査の結果、リアルタイムハザードマップ等の結果を市町村等を通じて住民、観光客、登山客へ提供		

ここに示す緊急ソフト対策は現段階での検討事項であり、今後の火山活動状況等によって変更する可能性がある。

4.2.2 緊急整備が必要な観測機器

火山活動が活発化した場合、緊急ハード対策作業従事者の安全確保、並びに住民の警戒避難支援に向けて不足する観測機器を緊急整備する必要があります。

(1) 緊急整備の目的

火山監視機器の緊急整備は、次の目的で実施する必要があります。

- 緊急ハード対策作業従事者の安全確保
- 住民の警戒避難支援

(2) 緊急整備が必要な監視観測機器

緊急ハード対策の対象となる土石流と融雪型火山泥流について、必要な監視項目と機器は表 4-14 に示すとおりです。このうち、現状整備されていない土砂移動検知センサー、降灰量計、ガス濃度計について緊急整備を行う必要があります。

また、監視カメラや積雪深計は緊急時の配置が困難であるので平常時より整備していくことが望ましいです。

なお、監視機器は関係機関で分担して整備を進めることとし、平常時より調整する必要があります。

表 4-14 対象現象別の必要監視観測機器と現状の整備状況

対象現象	目的	機器	現状の設置状況	緊急整備が必要な機器
全般	活動監視	監視カメラ	7基	●通年運用できる火口監視カメラ ●山体東部からの遠望監視および濁川の溪流監視カメラ
		地震計	12基	
		GPS・傾斜計	12基	
降灰	降灰予測	風向・風速計	2基	
土石流	土石流の発生検知	土砂移動検知センサー	なし	●土石流等発生溪流において設置が必要
	降灰量の把握	降灰量計	なし	●土石流の発生予測のために設置が必要
	降雨状況の詳細把握	地上雨量計	36基	
XRAIN (XバンドMPL-ダ雨量計)		蔵王山周辺をカバー		
火山ガス	ガス濃度の監視	ガス濃度計	なし	●緊急ハード対策従事者の安全確保に必要
融雪型火山泥流	泥流の発生規模の予測	積雪計	6基	●融雪型火山泥流の発生源となる山頂付近の積雪観測必要

ここに示す緊急ソフト対策は現段階での検討事項であり、今後の火山活動状況等によって変更する可能性がある。

(3) 土砂移動検知

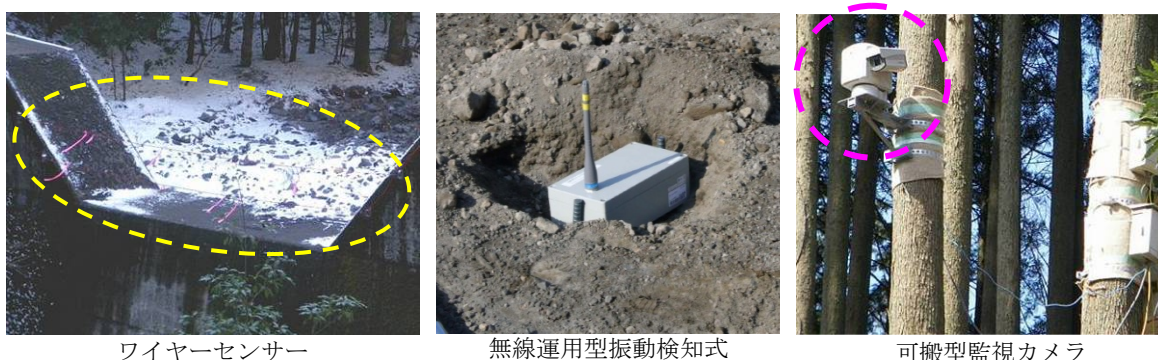
① 整備すべきセンサー

●ワイヤーセンサー・振動センサー

●監視カメラ（可搬型） ※設置箇所の条件が許せば検知センサーとして地震計も有効

下流域の安全確保を目的とした土砂移動検知センサーには、『検知の確実性』『豊富な実績』『繰り返し検知が可能』が機能として求められます。これらを勘案すると、実績の豊富なワイヤーセンサーと可搬型の監視カメラを設置することが妥当です。

また、検知センサーとして地震計の利用も考えられます。設置箇所の条件や時間が許せば地震計を設置することで火山活動監視にも利用することができる。



ワイヤーセンサー

無線運用型振動検知式
土石流センサー

可搬型監視カメラ

図 4-9 土砂移動検知センサーの例

② センサー配置方針

土砂移動検知センサーは、緊急ハード対策実施地点に警報を発令してから作業員が退避できる時間を確保できる箇所に配置する必要があります。

現場における避難速度と避難距離は、表 4-15 のような検討例があります。これらの情報を目安にセンサーの配置位置を設定します。

表 4-15 現場における避難速度と避難時間の目安

場所	内訳	避難速度	避難距離	
			1分間の場合	4分間の場合
平坦部	表面が粘土地盤	1.5m/s	90m	360m
	表面が礫地盤	1.3m/s	78m	312m
斜面部	斜面角度30°（登り）	0.6m/s	36m	144m
	斜面角度30°（降り）	0.7m/s	42m	168m
	斜面角度10°（登り）	1.1m/s	66m	264m
	斜面角度10°（降り）	1.3m/s	78m	312m
はしご部	昇り	0.4m/s	(24m)	(96m)
	降り	0.3m/s	(18m)	(72m)

※豊沢康男,堀井直幸(2002):現場避難実験による土石流発生時の避難時間の検討,産業安全研究所特別研究報告,NIIS-SRR-NO.25を参考に作成

センサー位置設定手順（案）

- ①対象地点の氾濫幅をハザードマップや地形から推定する。
- ②氾濫幅と表 4-15 より必要な退避時間(A)秒を求める。
- ③泥流の流下速度(B)m/s とすれば、 $(A) \times (B)$ m 上流地点にセンサーを配置すれば良い。

ここに示す緊急ソフト対策は現段階での検討事項であり、今後の火山活動状況等によって変更する可能性がある。

(4) 降灰量

① 整備すべきセンサー

●自動降灰量計

活動が活発化した火山周辺域において設置するので、センサーには『自動(無人)観測可能なこと』『設置が簡易なこと』が求められます。そこで、自動降灰量計(図4-10参照)がセンサーとして適しています。

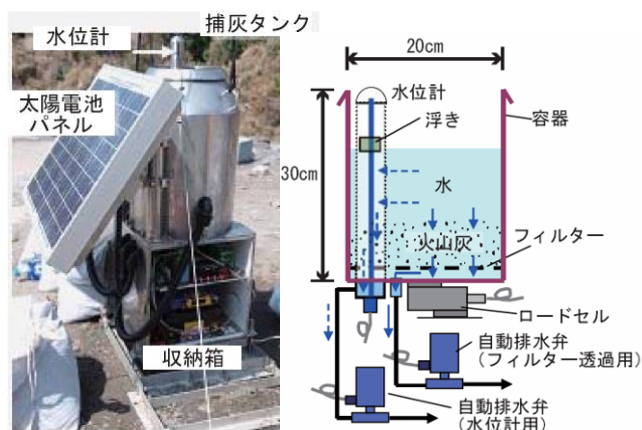


図 4-10 自動降灰・降雨量計

② センサー配置方針

- ・降灰量計は、卓越風の風上側と風下側のデータを取得するため、山体の東西の高標高地点に設置する必要があります。
- ・アクセスが容易で、適当な平地が確保できる箇所を選定する必要があります。

(5) 積雪深

① 整備すべきセンサー

●積雪量計

既に気象庁で採用されている気象観測用積雪計を用います。

② センサー配置方針

刈田岳山頂への設置を検討する必要があります。



図 4-11 刈田岳山頂の平地

(6) ガス濃度計

緊急ハード対策実施箇所においては、火山ガス濃度のモニタリングを行っていく必要があります。各工事現場にセンサー(硫化水素、二酸化硫黄等)と警報装置を設置し、工事従事者の安全を確保します。



三宅島におけるガス濃度の表示版



霧島山(新燃岳)噴火時に現場代理人が携帯したガス検知器

図 4-12 ガス濃度モニタリングの事例

ここに示す緊急ソフト対策は現段階での検討事項であり、今後の火山活動状況等によって変更する可能性がある。

4.2.3 火山監視観測機器の配置計画

- 土砂移動検知センサー
→緊急ハード実施箇所上流
- 降灰量計
→東西山腹に各1基（坊平、滝見台付近）
- 監視カメラ
→火口監視カメラ
→山体東部および濁川の監視カメラ
- 積雪深計
→刈田岳山頂に設置

以上で述べたセンサー配置方針に従い、火山監視観測機器の配置計画（案）を図4-13に示しました。

	気象庁	国土地理院	東北大学	防災科学研究所	蔵王町	宮城県	山形県	国土交通省	合計	緊急対策	備考
雨量計	4					3	13	16	36		
地震計	1		7	4					12		
空振計	1								1		
傾斜計	1		1						2		
GPS	1	4	5						10		
監視カメラ	2				2		1	2	7	2	
風向風速計	2								2		
積雪計	2							4	6	1	
水質								18	18		釜淵ダム湖内の水質計を除く
土石流検知									0	13	

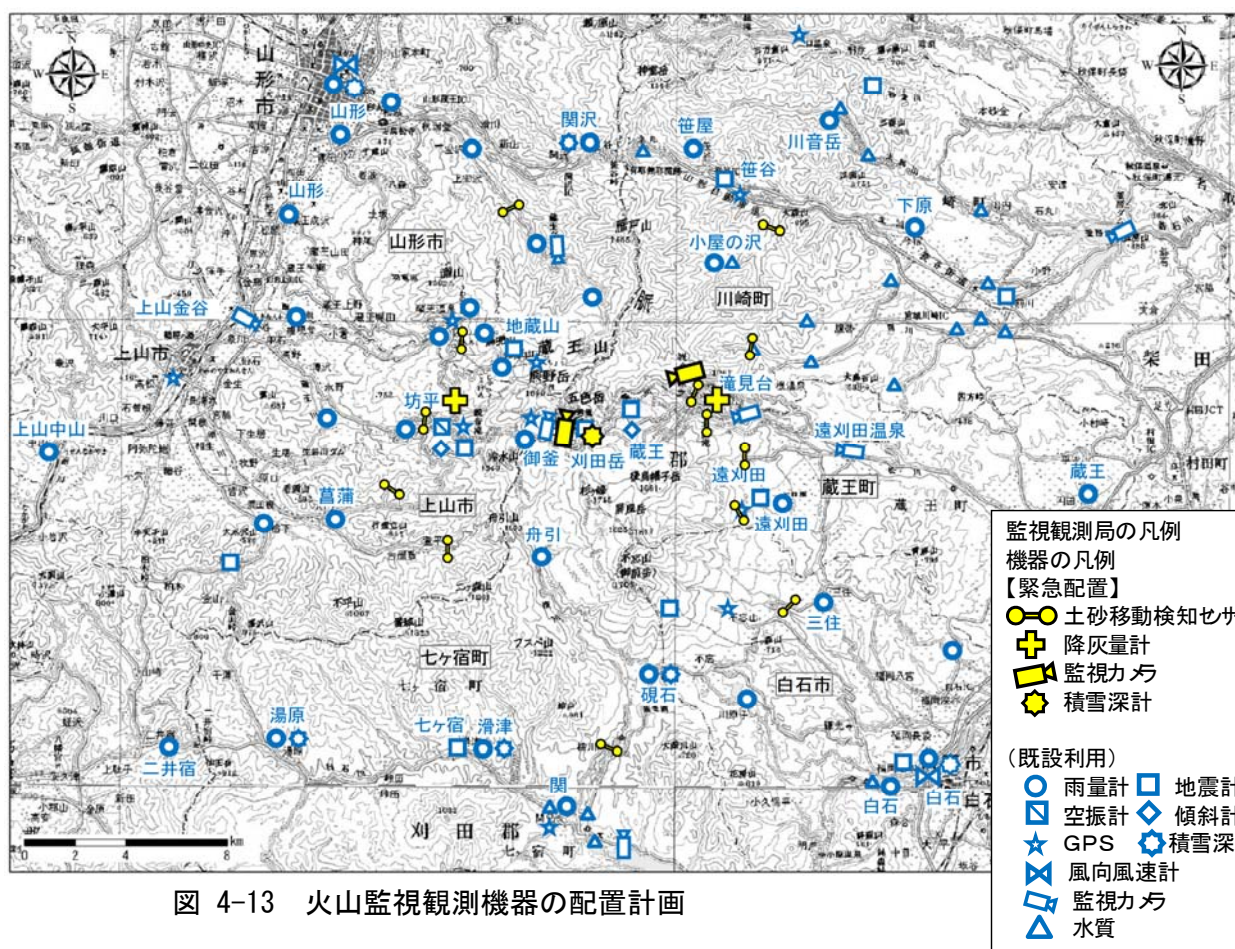


図4-13 火山監視観測機器の配置計画

ここに示す緊急ソフト対策は現段階での検討事項であり、今後の火山活動状況等によって変更する可能性がある。

4.2.4 情報通信網の整備

山頂部の監視・観測情報の把握のため、現地条件を勘案し衛星回線の活用などにより、通信環境を整備する必要があります。

火山噴火時に監視観測機器から得られる情報を速やかに関係機関に提供するために、動画等も伝送できる広帯域回線を用いた情報通信網を構築しておくことが重要です。

図 4-14 に蔵王山周辺の現況光ケーブル敷設状況を示しますが、現状では主要国道沿いに敷設されているのみであり、蔵王山周辺では敷設されていません。蔵王エコーライン沿いに火口まで情報通信網を整備する必要があります。ただし、敷設前に火山活動が発生した場合には、保全対象住家地区から通信事業者（NTT 東日本等）が提供する商用サービスを利用するか Ku-SAT（ケーユーサット）（衛星小型画像伝送装置）を活用することを検討する必要があります。

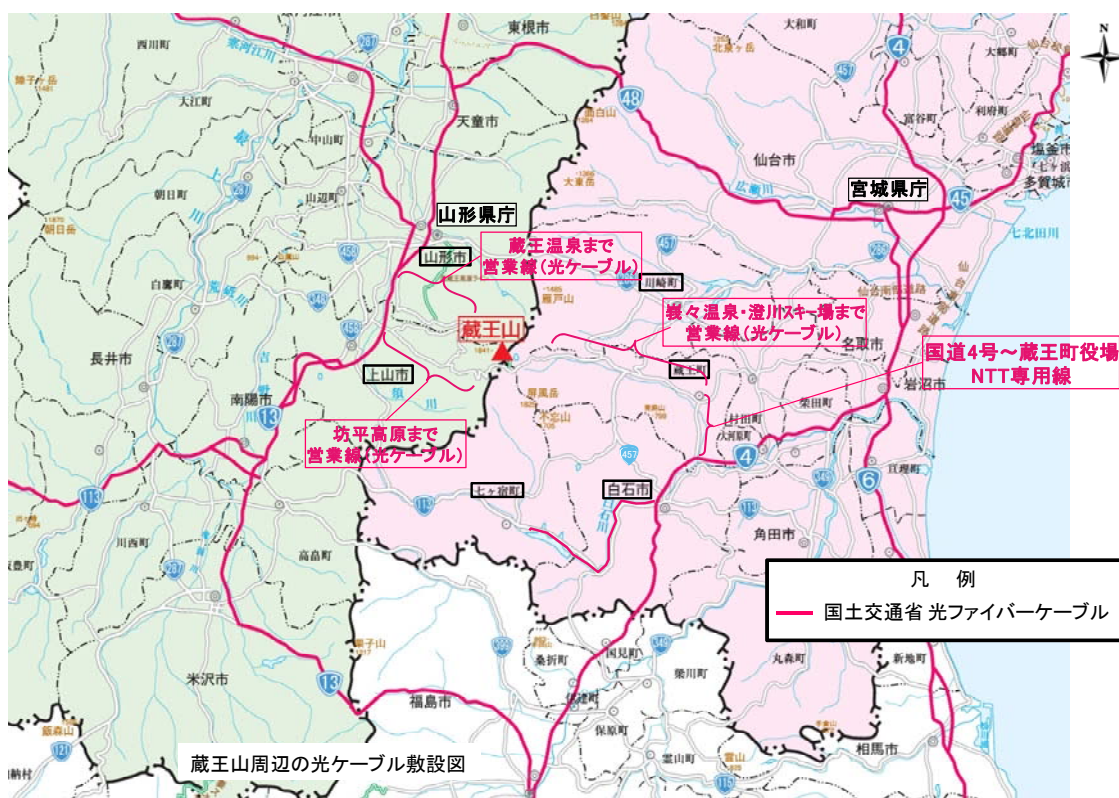


図 4-14 既往光ファイバケーブル敷設図

4.2.5 火山噴火時の緊急調査

火山活動が活発化した場合、火山の状況を把握し緊急的な対策を検討するための基礎資料を得ることを目的に緊急調査を実施する必要があります。

蔵王山の活動が活発化した場合の緊急調査の項目と調査により把握する事項、調査結果の活用方針を表 4-16 に整理しました。

表 4-16 蔵王山噴火時の緊急調査（案）

緊急調査項目	把握する事項	調査結果の活用方針
ヘリ調査 (UAVの活用等も含む)	●降灰分布	・降灰後土石流の発生可能性が高まっている溪流の抽出 ・緊急ハード対策の優先度決定 ・リアルタイムハザードマップ作成の入力条件
	●火口周辺状況	・火山専門家に提供、今後の活動予測のアドバイスを取得
	●被災状況	・立入禁止区域内の保全対象の被災状況を確認 →関係機関へ情報提供
	●砂防施設状況	・堆砂状況から緊急ハード対策のメニューを検討する
レーザープロファイラ	●噴火後地形データ	・リアルタイムハザードマップ(リアルタイム・アナリシス型)への入力条件 ・噴火前地形との差分解析による降灰分布および積雪分布把握
地上調査	●降灰深	・流域降灰量の推定 ・土石流発生の可能性が高まっている溪流の抽出
	●噴出物調査	・水蒸気爆発かマグマ噴火かの判断 ・今後の噴火シナリオ予測
	●積雪密度	・融雪水量の算定 ・融雪型火山泥流の発生規模予測
	●砂防施設点検	・緊急除石が必要な施設の抽出
水質調査	●pH、濁度、巡視 等	・利水への影響を予測→関係機関へ提供

(1) 上空からのヘリ調査

火山活動が活発化したら、まずヘリコプターによる上空調査を行うのが効果的です。「降灰の分布状況」、「火口の状況」、「火山噴出物（噴石・溶岩流等）の分布状況」、「立入禁止区域内の保全対象の被災状況」、「砂防施設の堆砂状況」などを調査し、土石流の可能性が高まっている溪流の抽出や、緊急対策の優先度検討の基礎資料とするとともに、関係機関および一般に速やかに公表することが必要です。なお、有人飛行に危険が伴う場合、UAV（無人航空機）を活用した調査も実施することが可能です。

防災ヘリコプターによる被災状況調査
(御嶽山)UAV（無人航空機）による降灰状況調査
(御嶽山)

(2) レーザープロファイラ

火山活動による地形変化等を把握するために、噴火後のレーザープロファイラを取得することが望まれます。取得した地形データは、リアルタイムハザードマップの入力条件として活用するほか、降灰深の面的把握や冬期の積雪深の面的把握なども可能となり、得られる情報は多いと考えられます。

(3) 地上調査

山麓の降灰深や、積雪期であれば積雪密度、砂防施設の点検等、立ち入れる範囲内で地上調査を実施し、状況把握に努める必要があります。

(4) 水質調査

火口付近から酸性の泥水が噴出した場合、下流域で農業被害・漁業被害等が発生する可能性もあります。そこで、火山活動が活発化した場合、定期的の下流河川の水質調査を行う必要があります。



新燃岳溶岩ドーム (H23.2.2)



宮崎県都城市降灰状況 (H23.2.2)

図 4-15 霧島山（新燃岳）2011 年噴火時のヘリ調査例



降灰調査状況 (H23.1.28)

図 4-16 霧島山（新燃岳）2011 年噴火時の降灰調査例

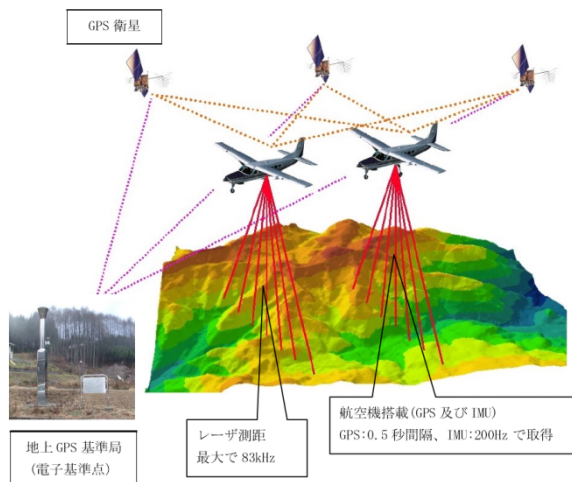


図 4-17 レーザープロファイラ

(5) 土砂災害防止法に基づく緊急調査

以下の場合には土砂災害防止法に基づく緊急調査を国土交通省により実施されることとなります。

- ・河川の勾配が10度以上である区域の概ね5割以上に1cm以上の降灰等が堆積した場合
- ・おおむね10戸以上の人家に被害が想定される場合

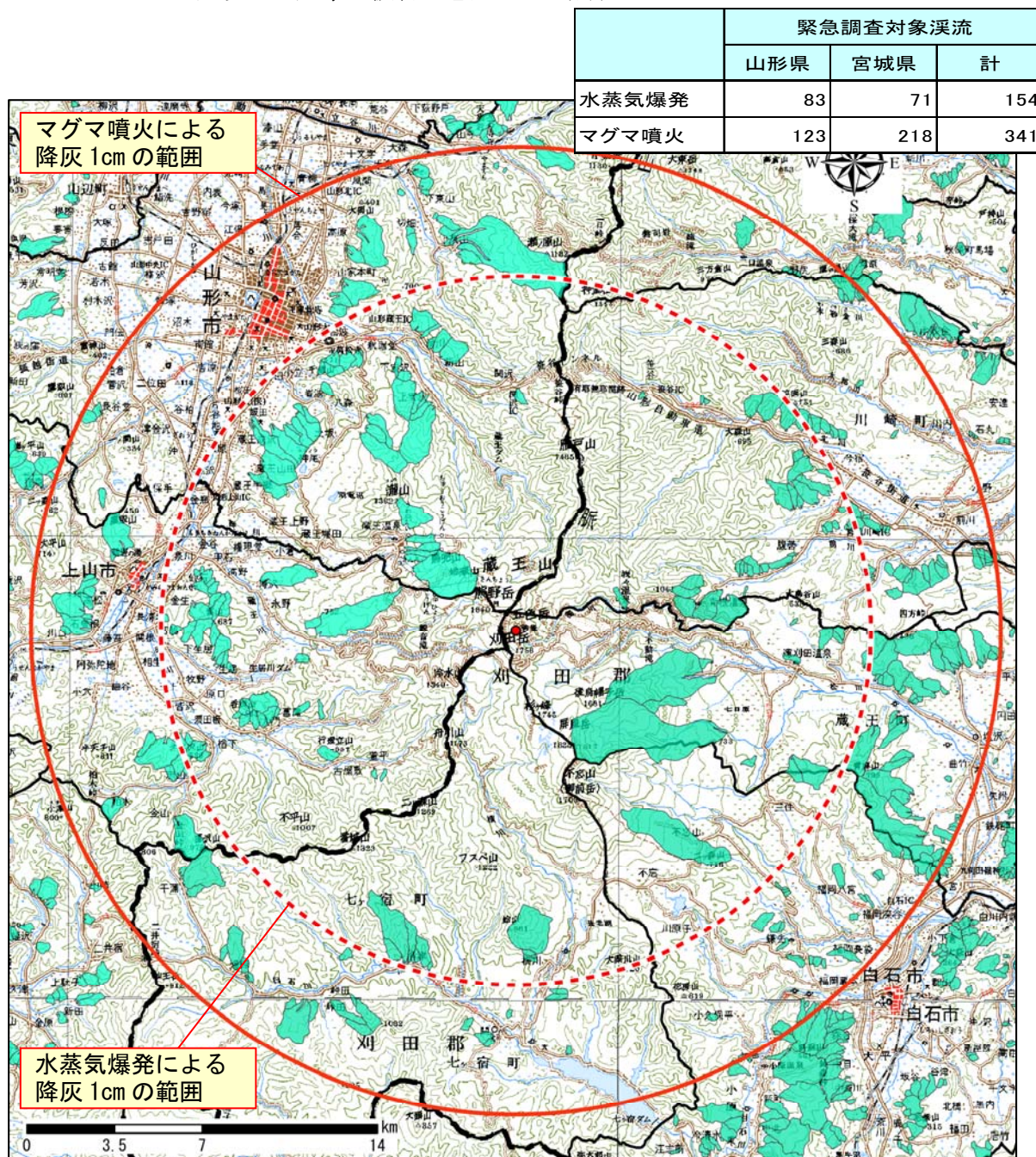


図 4-18 蔵王山周辺の土石流危険溪流分布

4.2.6 リアルタイムハザードマップによる危険区域の想定

平常時、プレ・アナリシス型のハザードマップを整備する。また、火山活動が活発化した場合、火山活動状況にあわせて、リアルタイムアナリシス型のハザードマップを作成し、必要な関係機関に情報提供していく必要があります。

(1) リアルタイムハザードマップの種類

リアルタイムハザードマップには、『プレ・アナリシス型 (データベース方式)』と『リアルタイム・アナリシス型 (逐次計算方式)』があり、火山活動の状況に応じて使い分けることとします。

① プレ・アナリシス型 (データベース方式)

複数の噴火規模、現象において予めハザードエリアを数値シミュレーション等により作成し、その情報をGIS上に格納しておくシステムです。火山活動の状況に応じて事前想定に近いものを引き出すことができるので、短時間でハザードマップを得ることができるのがメリットです。

② リアルタイム・アナリシス型 (逐次計算方式)

火山活動に伴い、地形が変化した場合や事前の予想とは異なる位置に火口が形成された場合などプレ・アナリシスで対応できない場合、随時新たな情報に基づきシミュレーション等を行いハザードマップを作成するシステムです。

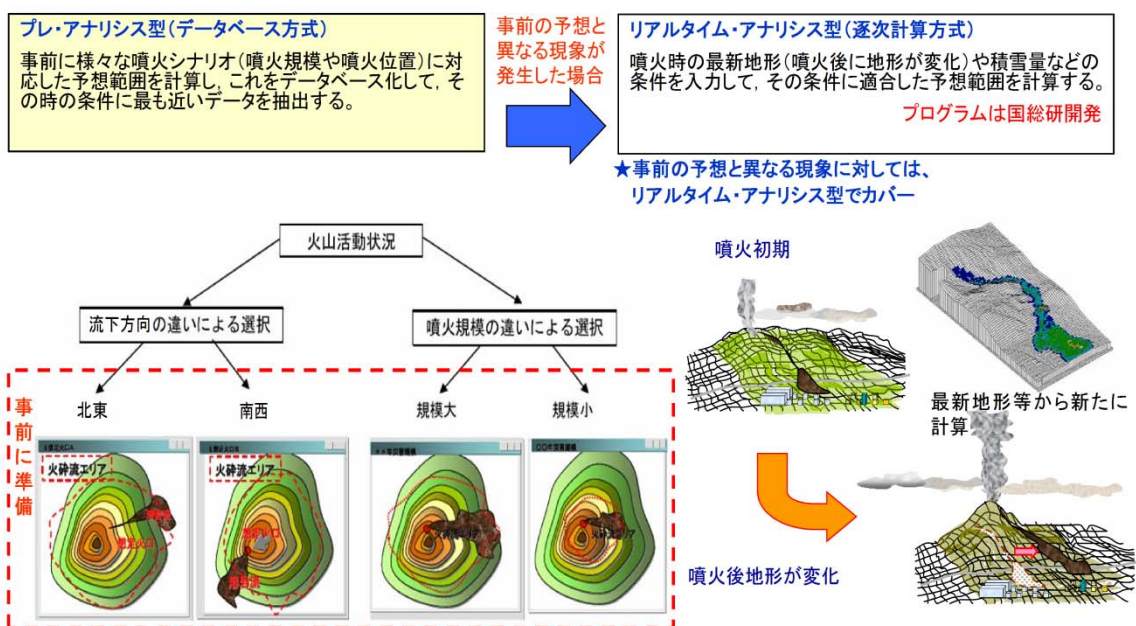


図 4-19 リアルタイムハザードマップの種類

(2) 蔵王山におけるリアルタイムハザードマップ作成方針

蔵王山において作成するリアルタイムハザードマップの作成方針をプレ・アナリシス型とリアルタイム・アナリシス型に分けて表 4-17 に整理しました。

特に、リアルタイム・アナリシス型は、実施のタイミング・入力条件設定に必要なデータ、その情報の取得方法を記載しました。火山噴火時の緊急調査では、リアルタイムハザードマップの作成も念頭において調査項目を設定する必要があります。

表 4-17 蔵王山におけるリアルタイムハザードマップ作成方針

現象	プレ・アナリシス型	リアルタイムアナリシス型		
		実施のタイミング	必要なデータ	データの取得方法
噴石	・噴火実績に基づく到達予想範囲を整理	・想定した火口以外から噴火が生じた場合、弾道計算に基づく弾道計算を実施	・火口位置 ・噴出初速	・監視カメラ、地震計 ・監視カメラ映像解析等
降灰	・様々な噴出量、風向・風速に基づく降灰計算によるデータベースを整理	・想定以上の強風や想定した以外の風向が予想される場合に降灰計算を実施	・風向、風速	・気象庁の予報
融雪型火山泥流	・積雪深と融雪範囲を想定して数値シミュレーションによるデータベースを整理	・積雪量に基づき、数値計算を実施	・積雪深 ・火口位置	・積雪深計、LP解析 ・監視カメラ、地震計
		・地殻変動により地形が変化した場合、新たな地形データにより数値計算を実施	・地形モデル	・レーザープロファイラ
降灰後の土石流	・降灰量、降雨の様々なパターンで数値シミュレーションによるデータベースを整理	・想定した以上の降灰量や降雨が予想される場合に数値シミュレーションを実施。	・降灰分布 ・降雨規模 ・火口位置	・降灰調査(ヘリ調査) ・XRAIN ・気象庁の予報 ・監視カメラ、地震計
		・地殻変動により地形が変化した場合、新たな地形データにより数値計算を実施	・地形モデル	・レーザープロファイラ
御釜由来の火山泥流	・様々な湖水量で数値シミュレーションによるデータベースを整理	・御釜の水位上昇が確認された場合数値シミュレーションを実施	・湛水量	・監視カメラ

4.2.7 避難対策支援のための情報提供

蔵王山の火山活動が活発化した場合、火山活動並びに土砂移動の監視情報を収集し、被害想定区域など避難に関する情報を市町村に提供するものとし、避難対策（避難経路の検討）の支援を行う必要があります。

蔵王山噴火時には、関係機関が連携して収集する情報（火山活動状況および土砂移動状況等）を市町村に提供し、避難対策の支援を行う必要があります。また、平常時から火山防災の周知啓発を目的にした情報提供を行っていくこととします。

(1) 平常時の情報提供

平常時には、火山防災の周知啓発を目的に住民、観光客、登山者を対象に表 4-18 に示す情報を関係機関と連携して提供する必要があります。

表 4-18 平常時の情報提供

情報提供の主な目的	提供情報	手段・手法
火山防災のための事前情報		
住民・観光客・登山者へ防災のための情報提供	蔵王山の現況	監視カメラ(ライブカメラ)
	降雨状況	雨量情報(XRAIN)
	噴火時の危険区域	火山防災マップ等
	火山や火山防災の基礎知識	教材作成、出前授業、講演会、シンポジウムなど

(2) 火山活動期（噴火警報時）の情報提供

火山活動が活発化した場合、砂防部局で収集するヘリ調査の結果、監視観測データ、および被害想定（リアルタイムハザードマップ含む）といった情報を提供する必要があります。表 4-19 に活動が活発化した段階の提供情報を示します。

表 4-19 火山活動期の情報提供

情報提供の主な目的	提供情報	手段・手法
噴石・降灰・火山ガスへの対応		
・立入規制、避難誘導（避難経路）の検討材料	火山ガスの状況・流下方向 噴石の飛散範囲、降灰分布	監視カメラ、ガス濃度計
		ヘリ等による写真・動画撮影
危険区域内の被災状況		
・復旧計画の策定	施設、道路等の被災状況	ヘリ等による写真・動画撮影
融雪型火山泥流への対応		
・泥流に対する事前準備	融雪型火山泥流の被害想定	リアルタイムハザードマップ
降灰後の土石流に対する対応		
・土石流の危険が増した溪流の認識 ・土砂災害警戒情報の作成	降灰状況	空中写真、レーザープロファイラ 降灰量計
	降雨状況	雨量情報(XRAIN)
	土石流による被害想定	リアルタイムハザードマップ
	土石流発生情報	土石流検知センサー

4.3 緊急対策タイムラインのまとめ

緊急ハード・ソフト対策の噴火シナリオに応じたタイムラインをまとめると下記ようになります。



(前兆現象が検知され水蒸気爆発からマグマ噴火に順当に推移した場合の例)

5. 平常時からの準備事項

緊急減災対策を実施可能なものとするために、緊急対策のために必要となる土地等の調整、緊急ハード対策の資機材の備蓄等を行っておく必要があります。

5.1 対策に必要な諸手続・土地利用

緊急ハード対策や緊急ソフト対策による機器配置の実施にあたって、平常時より調整しておくべき内容と調整期間を表 5-1 に整理しました。

表 5-1 平常時からの調整項目一覧

項目	内容	調整機関
国有林内での対策に関する調整	○国有林内での緊急ハード対策に関する調整 ○監視観測機器配置の緊急設置に関する事前調整	森林管理署
保安林(国有林外)での対策に関する調整	○保安林(国有林外)での緊急ハード対策に関する調整 ○監視観測機器配置の緊急設置に関する事前調整	県農林事務所
国定公園内での観測機器設置の許可	○自然公園特別区域内における監視観測機器の緊急設置における事前調整	県
土地の調整	○緊急ハード対策計画箇所の地籍調査 ○対策計画箇所の民有地や、公有地に対して一時的な借地・補償・買収などの調整	市、町 地権者
砂防指定地の指定(火山山麓緩衝帯の設定も含む)	○緊急ハード対策の計画箇所の砂防指定地指定 ○火山山麓緩衝帯の検討(保全対象の上流域を帯状に砂防指定地の指定や保安林指定)	地権者 森林管理署
土捨て場の確保	○緊急除石や掘削等により発生する残土の土捨て場の事前確保 ○そのための土地利用の調整、工事用道路の整備	地権者
無人化施工の準備	○5.8GHz など総務省から新たに割り当てられた周波数帯でのシステムの構築 ○無人化施工のオペレーターの訓練	総務省、 施工業者
施工業者との契約・工事積算	○緊急時になるべく速やかに工事に着手できるように、事前に施工業者と協定	施工業者
工事用道路の整備	○既設砂防堰堤の除石箇所では、堰堤サイトの林道から堆砂敷に降りるための工事用道路の整備	道路管理者
特殊車両の通行や工事車両の通行に関する手続き	○特殊車両の通行のための道路管理者・警察の事前許可申請 ○避難用道路、緊急対策用道路の使い分けや運用に関する取り決め	県警察本部、 道路管理者
道路上の構造物設置に対する占有許可	○道路上での土のうやブロックの設置などによる対策箇所では占有許可および使用許可が必要となる	道路管理者、 県警察本部

5.2 平常時における検討事項

緊急ハード・ソフト対策について、下記項目について事前に検討する必要があります。

1) ハード、ソフト対策実施候補地の現地調査

今回候補地に挙げた対策箇所について、対策実施に向け支障となる物件、アクセス性、また地形・地質についても目視確認できる範囲で整理し、調整等が必要な項目については随時準備を進める必要があります。

2) 除石対象堰堤の構造把握および劣化状況調査

除石の対象となっている既往堰堤については、その構造について現在の劣化状況を加え詳細に調査し、整理しておくことが必要です。

3) 堤防嵩上げ概略検討

緊急時に整備を行う堤防嵩上げについて、地形・地質条件、土地利用状況、環境条件等の基本事項の検討を行い、適切な配置やその構造について概略検討を行う必要があります。

4) 流木対策

融雪型火山泥流等が発生すると、流木により橋梁が閉塞し、氾濫被害を増長するおそれがあります。緊急施工による流木対策には限りがあるので、融雪型火山泥流が想定される溪流においては平常時より流木対策を進めておく必要があります。

5) 資機材搬入に関する仮設計画検討

全ての緊急ハード・ソフト対策について、緊急時に円滑に資機材が搬入できるよう、アクセス性を考慮し、資機材搬入について検討を行う。具体的には既往道路からの対策候補地までのアクセスについて工事用道路など仮設計画を行い、工期、工費を算出することが必要です。

6) 緊急避難路等の検討

今回検討した災害予想区域図をもとに、適切な緊急避難ルートや緊急避難所について検討するとともに、平常時からの周辺住民への周知手法について検討を行う必要があります。

7) 積雪分布等の各種データの蓄積・分析

積雪期のレーザプロファイラによる積雪深分布やデータロガーによる積雪重量を計測しておくなど、各種データの蓄積、分析を行っておく必要があります。

5.3 緊急減災ハード対策に必要な資機材の調達体制

緊急対策施工に必要なとなる大型土のう等の資材を平常時より備蓄するとともに、建設機材を緊急時に調達できるよう、広域的な応援体制を構築しておく必要があります。

緊急時の対策を迅速に行うためには、平常時から建設資材を備蓄しておくことが有効です。緊急ハード対策で検討した工種において、資材を必要とする工種は堤防嵩上げ工であり、大型土のうを必要とします。

(1) 機材の調達体制

緊急ハード対策の実施に際して、現状の災害協定業者の保有機材数では不足します。

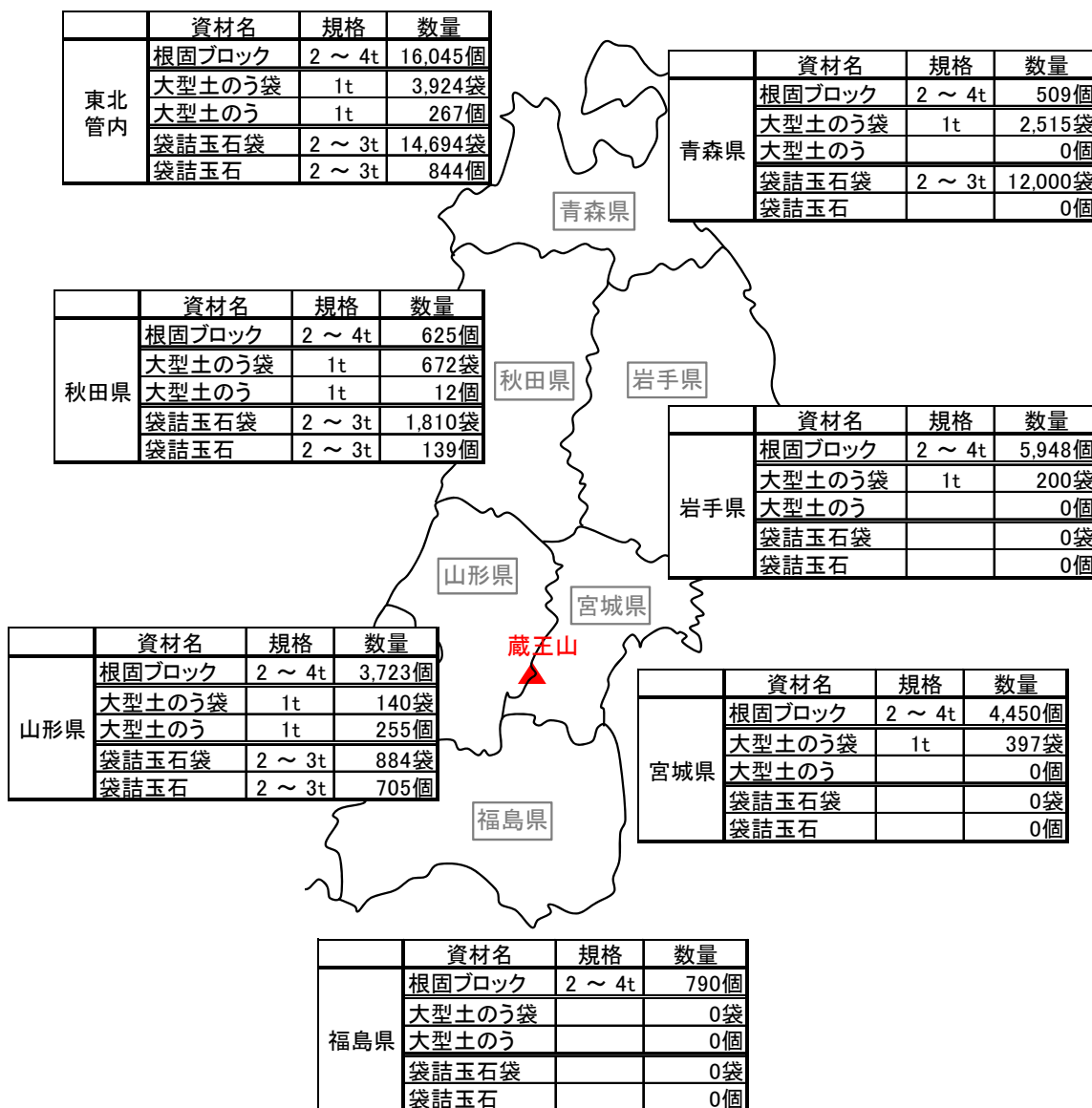
緊急時の機材調達に関して、県外も含め、広域的な応援体制を平常時から構築しておくことが必要です。

(2) 根固ブロック、大型土のうの備蓄

緊急ハード対策に必要なとなる膨大なブロック、大型土のう数に対して、備蓄されている数量は限られます。これらの差分について、備蓄および広域的な支援体制を確立しておくことが必要となります。

表 5-2 緊急対策に必要な大型土のう、ブロック数

溪流名	段数	延長(m)	堤防嵩上げ, 導流堤		
			大型土のう	ブロック	
名乗川	降灰後の土石流	2	500	2,500	0
前川	降灰後の土石流	2	1,200	3,600	1,400
濁川 ・ 松川	水蒸気爆発期	2~4	11,040	36,600	17,300
	マグマ噴火期	2~4	21,150	78,700	39,000
	御釜由来の泥流	2~4	4,666	15,200	8,300
須川	水蒸気爆発期	2	2,300	11,500	0
	マグマ噴火期	2	12,420	62,100	0
蔵王川	マグマ噴火期	2	200	600	220
酢川	降灰後の土石流	2	1,730	5,200	1,900



(参考) 東北地方整備局管内 直轄河川事務所備蓄資材 (2014年時点)

5.4 関係機関との連携事項

蔵王山噴火の際、速やかに対策が実施できるよう、平常時より、周辺市町村や関係機関と協議・調整を行っておくことが必要です。

火山噴火緊急減災対策検討委員会のメンバーを中心に、連絡会を設けて定期的に情報交換、事前協議を行っていくことが望まれる。各機関との具体的な協議・調整事項を以下に記します。

(1) 市町村との協議・連携事項

緊急減災対策工事の実施にあたっては、関係者以外の立ち入りに関して事業者が細心の注意を払うことは勿論のことですが、工事実施者による立ち入りの制限には限界があるため、関係市町村による避難勧告や異常現象の状況による警戒区域の設定などが必要となります。よって、関係市町村に対して、住民の自主避難の促進や避難勧告、避難指示等の徹底に関して住民へ周知すべき事項等について協力要請を行う必要があります。また、関係市町村の緊急減災対策工の施工に関する一連の行動計画等の整合に関しても協力要請を行う必要があります。

(2) 河川管理者との協議・調整事項

河川に構造物を設置するにあたっては、土地の占用や工作物の新築、および土地の掘削等の許可などが必要となります。これらの手続きについては、国および都道府県管理の河川については河川法に規定され、市町村管理の河川については各自治体の条例等に規定されています。

河川法による手続きは、河川法第九十五条には国が行う事業についての特例があり、国と河川管理者が協議し、同意を得れば足りることになっています。この場合、河川法施行規則第42条に規定された書類を提出して同意を得ることとなります。これらことから、緊急減災対策を実施するにあたり、河川管理者との協議が必要になります。

(3) 環境部局との協議・調整事項

国定公園内において、非常災害時のための応急措置を行う場合については、特別地域および特別保護地区内の場合、行為を行った日から起算して14日以内に所定の書式を公園の諸事務を所掌する当該県部局に提出することとされています。なお、可能であれば事前の連絡を行うことが必要です。

(4) 治山部局との協議・調整事項

治山事業と砂防事業の事業調整については、昭和 38 年の「治水砂防行政事務と治山行政事務の連絡調整について昭和 38 年建河発第 267 号」によって建設省、農林省の連名通達が出されており、両事業の目的や事業内容の仕分けの基本とされています。この通達の中で、砂防治山連絡調整会議の開催により、砂防行政事務と治山行政事務は都道府県毎に地方連絡会議を設置し、毎年定期的および必要が生じた場合に臨時に開催し、事業調整等を行うこととされています。

現時点では、本計画で想定しているような非常災害時などでの緊急対策などに関連する事業調整に関する通達等がないことから、減災対策等のため緊急的に森林法第 34 条第 7 項による保安林の伐採などを行う必要性が生じることもあり、事後の届出として「保安林（保安施設地区）内緊急〇〇届出書」による対応が発生する可能性等をあらかじめ説明しておく必要があります。

(5) 国土政策総合研究所との協議・調整事項

リアルタイムハザードマップのうち、リアルタイム・アナリシス・システムの運営は、専門的な知識が要求されるため、国土技術政策総合研究所を中心に行うことが火山噴火緊急減災対策砂防計画策定ガイドラインに記されています。

また、リアルタイム・アナリシス・システムを運用するためには、所管の直轄砂防事務所や都道府県においては、地形データや現況の施設整備状況等の所管する火山のデータベースを国土技術政策総合研究所に提供する必要があります。これらデータの受け渡し方法、データ形式等について事前に調整しておく必要があります。

おわりに

本計画は、蔵王山の噴火履歴から、今後発生が予想される現象の推移を噴火シナリオにとりまとめ、そのシナリオに基づく減災対策砂防計画の方針を示したものです。

今後、火山についての新しい知見や砂防設備の進捗状況を踏まえて、本計画を定期的に見直していく必要があります。

本計画に示した緊急減災対策を火山噴火時に速やかに実施するためには、平常時から準備が不可欠です。平常時の準備は資機材や通信網の整備等ハード面の準備もさることながら、噴火時に連携しなければならない学識経験者や関係機関と「顔の見える関係」を日頃から構築することが重要です。

今後は、本計画を基に、まずは「顔の見える関係」の構築に努め、関係者全員が万全の体制で蔵王山の噴火に備えることが、火山噴火の被害を最小限にとどめる鍵となります。具体的には関係機関が一同に会する火山防災協議会において、全体的な火山防災対策について情報共有や役割分担や調整を行っていく必要があります。また、個別の対策分野に関しては関係する各機関で個々の連絡会等を設置して行動計画などの具体的な対応策を立案していく必要があります。

参 考 资 料

参考資料 1 : 緊急減災対策タイムラインのバリエーション

蔵王山の緊急減災対策タイムライン(案)【前兆が得られない場合】

噴火シナリオの場面	気象庁	緊急減災対策			市町村
		ハード対策	ソフト対策	緊急調査	
平常時		<ul style="list-style-type: none"> ○火山砂防事業 ○資機材の調達体制確認 ○無人化施工の訓練 ○土地の調整 	<ul style="list-style-type: none"> ○光ケーブル等の整備 ○火山防災協議会 ○防災教育 ○火山防災対策への支援(プレアナリシス型マップ等) 		<ul style="list-style-type: none"> ○地域防災計画(火山編)による避難計画の策定
水蒸気爆発発生	火口周辺警報	<ul style="list-style-type: none"> ○以降、有人施工は立ち入り可能範囲での対策 ○既設堰堤の状況把握 ○建設機材の調達準備 ○資材の調達準備 ○緊急ハード対策の準備工 <p>【夏期】</p> <ul style="list-style-type: none"> ○既設堰堤の緊急除石開始 ○堤防嵩上げ開始 <p>【冬期】</p> <ul style="list-style-type: none"> ○堤防嵩上げ開始 	<ul style="list-style-type: none"> ○協議会コアグループ会議招集 ○監視観測機器設置 	<ul style="list-style-type: none"> ○参加協議 	<ul style="list-style-type: none"> ○災害対策本部設置 ○山頂周辺の立入規制 ○避難勧告、指示の発表(一次)
マグマ噴火発生	噴火警報	<ul style="list-style-type: none"> 【夏期】 ○堤防嵩上げ継続 ○状況に応じて無人化 【冬期】 ○堤防嵩上げ継続 ○状況に応じて無人化 	<ul style="list-style-type: none"> ○リアルタイムハザードマップ作成 ○関係機関への情報伝達 ○リエゾン・TEC-FORCE派遣 	<ul style="list-style-type: none"> ○ヘリ調査開始(降灰等) ○地上調査開始(降灰、積雪、浸透能等) ○土石流の恐れのある溪流抽出 ○降灰後土石流の警戒避難基準雨量設定 ○水質調査 	<ul style="list-style-type: none"> ○避難所の開設 ○避難勧告、指示の発表(二次) ○リエゾン・TEC-FORCE受入
噴火終息 土石流		<ul style="list-style-type: none"> ○泥流対策終了 ○土石流対策継続(除石、堤防嵩上げ) 	<ul style="list-style-type: none"> ○リエゾン・TEC-FORCE帰還 ○被災観測機器の復旧 	<ul style="list-style-type: none"> ○降灰後土石流の警戒避難基準雨量を順次引き上げ 	<ul style="list-style-type: none"> ○避難勧告・指示の解除 ○警戒区域の解除

前兆現象無く水蒸気爆発が発生した場合のタイムラインの例

蔵王山の緊急減災対策タイムライン(案)【水蒸気爆発を経ずにマグマ噴火に至る場合】

噴火シナリオの場面	気象庁	緊急減災対策			市町村
		ハード対策	ソフト対策	緊急調査	
平常時		<ul style="list-style-type: none"> ○火山砂防事業 ○資機材の調達体制確認 ○無人化施工の訓練 ○土地の調整 	<ul style="list-style-type: none"> ○光ケーブル等の整備 ○火山防災協議会 ○防災教育 ○火山防災対策への支援(プレアナリシス型マップ等) 		<ul style="list-style-type: none"> ○地域防災計画(火山編)による避難計画の策定
火山性地震群発		<ul style="list-style-type: none"> ○既設堰堤の状況把握 ○建設機材の調達準備 ○資材の調達準備 ○緊急ハード対策の準備工 	<ul style="list-style-type: none"> ○協議会コアグループ会議招集 ○監視観測機器準備 	<ul style="list-style-type: none"> ○参加協議 	<ul style="list-style-type: none"> ○広域避難の体制確認・調整 ○避難方針の発表 ○山頂周辺の立入規制(一次)
マグマ噴火発生	噴火警報	<ul style="list-style-type: none"> ○以降、有人施工は立ち入り可能範囲での対策 【夏期】 ○既設堰堤の緊急除石開始 ○堤防嵩上げ開始 ○状況に応じて無人化 【冬期】 ○堤防嵩上げ開始 ○状況に応じて無人化 	<ul style="list-style-type: none"> ○監視観測機器設置 ○リアルタイムハザードマップ作成 ○関係機関への情報伝達 ○リエゾン・TEC-FORCE派遣 	<ul style="list-style-type: none"> ○緊急調査準備 ○ヘリ調査開始(降灰等) ○地上調査開始(降灰、積雪、浸透能等) ○土石流の恐れのある溪流抽出 ○降灰後土石流の警戒避難基準雨量設定 ○水質調査 	<ul style="list-style-type: none"> ○避難所の開設 ○山頂周辺の立入規制(二次) ○避難勧告、指示の発表 ○広域避難開始 ○支援の要請 ○警戒区域の設定
噴火終息 土石流		<ul style="list-style-type: none"> ○泥流対策終了 ○土石流対策継続(除石、堤防嵩上げ) 	<ul style="list-style-type: none"> ○リエゾン・TEC-FORCE帰還 ○被災観測機器の復旧 	<ul style="list-style-type: none"> ○降灰後土石流の警戒避難基準雨量を順次引き上げ 	<ul style="list-style-type: none"> ○避難勧告・指示の解除 ○警戒区域の解除

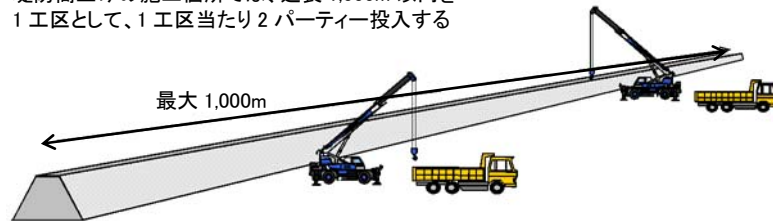
水蒸気爆発を経ずにマグマ噴火が発生した場合のタイムラインの例

参考資料 2 : 緊急ハード対策の考え方に用いた前提条件

緊急ハード対策に要する日数、機材は以下の前提条件の下に検討した。

- 導流堤、仮設堤防工の対策日数の検討においては、下記の通り施工パーティを投入することを想定した。
- 各パーティの施工は3交代の24時間施工と想定した。

堤防嵩上げの施工箇所では、延長1,000m以内を1工区として、1工区当たり2パーティ投入する



堤防嵩上げ工の投入パーティ数の考え方

1パーティあたりの施工数量

工種	内容	施工能力
除石	掘削	660m ³ /日
仮設堤防	大型土のう	108個/日
導流堤等	ブロック積	129個/日

※国土交通省土木工事標準積算基準書より

参考資料 3 : 火山防災教育に関する参考事例

- 中央防災会議 防災対策実行会議「火山防災対策推進ワーキンググループ」
<http://www.bousai.go.jp/kazan/suishinworking/>
- 火山防災教育や火山に関する知識の普及について（内閣府）
<http://www.bousai.go.jp/kazan/suishinworking/pdf/20150218siryo3.pdf>
- 北海道防災情報 ”防災教育を実践される方へ”（北海道）
<http://kyouiku.bousai-hokkaido.jp/wordpress/#column3-outer>
- 2000 年有珠山噴火と火山防災教育 -専門家との顔の見える関係構築の取組を通して-
田鍋敏也（火山防災エキスパート 壮瞥町教育委員会 教育長）
http://www.bousai.go.jp/kazan/expert/forum/2011/pdf/20120214_forum_tanabe.pdf
- 福島県火山学習会について（磐梯山噴火記念館）
<http://www.bandaimuse.jp/kazangakusyu.htm>
- 新潟焼山火山防災講演会の実施（新潟県・新潟焼山火山防災協議会）
<http://www.pref.niigata.lg.jp/bosaikikaku/1356793539948.html>
- 御嶽山噴火を踏まえた火山防災対策（岐阜県・火山防災対策検討会議）
<http://www.pref.gifu.lg.jp/kensei-unei/kocho-koho/event-calendar/gyoji/bosai/kazan3.html>
- NHK Eテレ 学ぼう BOSAI [総合的な学習の時間]
<http://www.nhk.or.jp/sougou/bosai/>
 - ・ [2014 年度 第 18 回] 9 月 18 日 噴火のしくみを学ぼう（秋田大学 林教授）
 - ・ [2014 年度 第 19 回] 9 月 25 日 噴火の前に何が起きる？（秋田大学 林教授）
 - ・ [2014 年度 第 20 回] 10 月 2 日 火山災害ホームドクター（鹿児島大学 井村准教授）
- SABO vol.117
 - ・ 噴石から「逃げる、隠れる」御嶽山 2014 年水蒸気噴火災害を教訓に開発した火山噴火実験教材（秋田大学 林教授）
<http://www.stc.or.jp/14sabo/sabo/pdf/SABOVol.117.pdf>

指摘対応箇所

参考資料4：火山噴火緊急減災対策に関する参考情報

- 火山噴火緊急減災対策砂防計画策定ガイドラインについて（国土交通省）
http://www.mlit.go.jp/kisha/kisha07/05/050427_2_.html

- 国土交通省における噴火時の緊急対応事例等
（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）
http://www.qsr.mlit.go.jp/kyugi/kiki_bousai/bousai_kazan/index.html

- 他火山における火山噴火緊急減災対策砂防関係事例
 - ・ 新潟焼山（新潟県）
新潟焼山火山噴火緊急減災対策砂防計画
<http://www.pref.niigata.lg.jp/sabo/1356749390353.html>
第3回新潟焼山火山防災協議会 H26. 2. 10（計画策定後の動き）
<http://www.pref.niigata.lg.jp/bosaikikaku/1356778122355.html>

 - ・ 九重山（大分県）
九重山火山噴火緊急減災対策砂防計画
<http://www.pref.oita.jp/site/sabo/kujukensaikkeikaku.html>
九重山火山噴火緊急減災対策砂防計画ワーキンググループ（計画策定後の動き）
<http://www.pref.oita.jp/site/sabo/kujuwg.html>

 - ・ 吾妻山（国土交通省東北地方整備局福島河川国道事務所）
<http://www.thr.mlit.go.jp/fukushima/sabo/400/424.html>

 - ・ 御嶽山（国土交通省中部地方整備局多治見砂防国道事務所）
<http://www.cbr.mlit.go.jp/tajimi/sabo/ontake/>

 - ・ 浅間山（国土交通省関東地方整備局利根川水系砂防事務所）
浅間山噴火総合訓練実施報告(H22. 10. 14)
http://www.ktr.mlit.go.jp/ktr_content/content/000056100.pdf

