

活火山における退避壕等の充実に向けた手引き

平成 27 年 12 月

内閣府（防災担当）

はじめに

我が国は110の活火山を有する世界有数の火山国であり、有史以来、数多くの火山災害に見舞われている。特に、平成26年9月27日に発生した御嶽山における噴火では、死者58名、行方不明者5名（平成27年8月6日現在）、多数の負傷者が出るなど、戦後最悪の人的被害となった。

本噴火災害の教訓を踏まえ、我が国の今後の火山防災対策の一層の推進を図るため、中央防災会議防災対策実行会議に「火山防災対策推進ワーキンググループ」が設置され、一般の御嶽山噴火及び我が国の火山防災対策に関する現状と課題を整理するとともに、火山防災対策推進に向けて今後取り組むべき事項についての提言が取りまとめられ、平成27年3月に報告がなされた。この報告では、「火山防災対策を推進するためのしくみ」、「火山監視観測体制」、「火山防災情報の伝達」、「火山噴火からの適切な避難方策等」、「火山防災教育や知識の普及」、「火山研究体制の強化と研究者の育成」などについて提言がなされ、これらの提言に対処すべく、平成27年7月に活動火山対策特別措置法（以下、「活火山法」という。）が改正された。

特に、前述の報告では、退避壕・退避舎等の避難施設の整備のあり方についても言及されており、今回の御嶽山噴火で火口周辺に降り注いだ噴石に対し、山小屋等に退避する行動が身を守るうえで有効であったこと等を踏まえ、退避壕の整備のあり方や既存の山小屋等の施設を登山者の避難先として活用すること等について検討し、その効果や設置に関する考え方、設計における留意点等についてとりまとめるべきである旨の提言もなされている。

この提言を受け、内閣府においては、火山の専門家等からなる「活火山における退避壕の整備等に関する検討ワーキンググループ」を開催し、現地調査や有識者ヒアリング、山小屋の屋根への噴石の衝突を模擬した衝撃実験や耐衝撃性についてのシミュレーション等を行った。それらの結果を踏まえて、これら退避壕等を今後充実させる場合の考え方や留意点等について検討した。

退避壕等はその施設の強度に応じて一定の規模の噴石の衝突に対する安全性を有することから、突発的な噴火に遭遇した際に退避壕等に身を隠すことができれば、犠牲者や負傷者を減らすことが期待できる。

しかし、退避壕等は大きな噴石やあらゆる火山災害要因に対して安全性を確保するものではない。このため、活火山の監視・観測体制、情報伝達体制等についても充実させる必要があり、普段から登山者や観光客等に対し、活火山の持つ危険性や噴火警戒レベル等の情報に配慮することや、突発的な噴火に遭遇した場合の身の守り方等について啓発する必要がある。

また、活火山毎に利用形態や想定される火山災害も異なることから、専門家等の意見も

踏まえながら、地域の実状に即してこれらの対策を効果的に組み合わせて講じていくことが重要である。

本手引きは、関係自治体や関係機関、火口周辺の施設管理者・所有者等が、既存施設の噴石に対する一定の衝撃耐力の向上や新たな退避壕等の設置について検討する場合の参考資料として活用されることを想定し、とりまとめたものである。

活火山を有する地域の一体となった取組みにより、活火山の適切な利用と人的被害の軽減が着実に進められることを期待するものである。

はじめに

1. 退避壕等の役割と検討の流れ.....	1
1.1. 退避壕等の目的と役割.....	1
1.2. 退避壕等の種類.....	2
1.3. 退避壕等の充実に向けた検討の流れ.....	3
1.4. 退避壕等の充実に向けた取組主体.....	5
1.5. 取組に当たっての火山防災協議会の活用.....	7
2. 優先的に対策を考慮すべき火山災害.....	9
2.1. 優先的に対策を考慮すべき火山.....	9
2.2. 優先的に対策を考慮すべき噴火規模.....	11
2.3. 優先的に対策を考慮すべき範囲.....	17
2.4. 退避壕等に期待される減災対策の目安.....	21
2.5. 退避壕等の機能上の制約.....	25
3. 退避壕等の充実にむけた具体的な取組.....	30
3.1. 対象火山の特徴の把握.....	30
3.2. 対象火山の利用状況の把握.....	33
3.3. 火口周辺における登山者・観光客等の分布の把握.....	34
3.4. 噴石等から身を隠す場所の把握.....	35
3.5. 退避壕等のタイプと特徴.....	37
3.6. 噴石の衝突に対する衝撃耐力の考え方.....	46
(1) 木造の屋根の衝撃耐力の向上について.....	49
(2) 鉄筋コンクリート構造物の衝撃耐力について.....	56
3.7. その他、設計上の考慮事項.....	71
3.8. 衝撃耐力を高めた様々な施設の例.....	75
3.9. 景観等への配慮.....	80
3.10. 退避壕等の設置場所の周知等.....	82
(1) 退避壕等の設置場所の周知.....	82
(2) 退避壕等における火山防災への活用.....	84
(3) 退避壕等を利用する際の注意事項の周知.....	85
4. 退避壕等の整備にあたっての手続き.....	87
4.1. 土地利用及び施設の整備に関する手続き.....	87
(1) 自然公園（国立公園、国定公園、都道府県立自然公園）.....	87
(2) 国有林.....	92
(3) 保安林.....	93
(4) 文化財（天然記念物等）.....	95
4.2. 補助金等に関する手続き.....	96
(1) 消防防災施設整備費補助金.....	96
(2) 地方債.....	98

おわりに

1. 退避壕等の役割と検討の流れ

1.1. 退避壕等の目的と役割

〈ポイント〉

- 活火山では前兆現象が捉えにくい突発的で比較的小規模な噴火が発生する場合があります、退避壕等は、このような場合に緊急的に身を隠すことで、噴石の衝突によって命を落としたり負傷したりする危険性を減らすことを目的として設置するものである。
- 大きな噴石や火砕流等、様々な火山災害要因に対して安全性を確保するためには、火山の観測体制や避難情報等の伝達体制の充実等、様々な警戒避難体制を整備することが必要である。また、登山者や観光客等に対し、活火山の持つ危険性や突発的な噴火に遭遇した場合の身の守り方等についての啓発を継続することが重要である。

火山は、その特徴的で優美な姿から古くより人々に親しまれ、百名山に選出されているものも多い。近傍に分布する温泉や山麓に湧出する豊かな地下水がもたらす自然の恵みとあわせ、多くの人々を魅了し我が国の登山、観光文化の一つを形成している。平時において、活火山の多くは、規模の小さな噴気活動や地震活動が観測される程度であり、このような比較的平穏な状態が長く続いた後に噴火に至る場合がある。

ひとたび噴火に至った場合、小規模な水蒸気噴火でも、火山灰と共に火口周辺に多数の噴石が飛散する。加えて爆発的噴火では、噴石等の飛散のみならず、衝撃波や火口周辺に流れ広がる火砕流・火砕サージといった様々な災害要因が短時間のうちに発生する。また、一旦噴火が収まっても、有毒な火山ガスの噴出が続き、繰り返し爆発的噴火が発生する事例も多く、あらゆる火山災害要因に対して万能的退避壕等を整備することはおよそ困難である。

一方、活火山では前兆現象が捉えにくい突発的で比較的小規模な噴火が発生する場合がある。退避壕等は一定規模の噴石の衝突に対する安全性を高めた施設であり、2014年の御嶽山における噴火災害においては、木造の山小屋程度の施設であっても退避できた方々の多くが、結果的に難を逃れることができたことも報告されている。退避壕等は、このような突発的な噴火に登山者等が遭遇した際に、緊急的に身を隠すことで、噴石の衝突によって命を落としたり負傷したりする危険性を減らすことを目的として設置するものである。

なお、先に述べたように、退避壕等は大きな噴石や火砕流等、あらゆる火山災害要因に対して安全性を確保するものではない。それぞれの火山で想定される様々な火山災害要因に対する安全性を確保するためには、国の機関及び自治体などの関係機関が連携して、火山の観測体制や避難情報等の伝達体制の充実、噴火警戒レベル等に応じた利用者の迅速な避難を支援するための体制の確保、活火山の様々な状況に応じた危険な地域への立ち入り禁止措置等、様々な警戒避難体制を整備することが必要である。併せて登山者や観光客等に対し、活火山の持つ危険性や噴火警戒レベル等の情報に配慮すること、突発的な噴火に遭遇した場合の身の守り方等についての啓発を継続することが重要である。

1.2. 退避壕等の種類

〈ポイント〉

- 一般的に退避壕とは、火山の噴火に伴う噴石の飛散に対する一定の衝撃耐力を有する専用の施設を示す。
- 本手引きにおいては、鉄筋コンクリート造等の堅固な退避壕のみならず、屋根等の補強によって噴石への衝撃耐力を高めた木造の山小屋等についても取り扱っている。
- 一般的に退避舎は、地域住民等が火山活動や噴火警戒レベル等に合わせて避難をする際に一定時間退避することを想定した施設であるが、これらの整備事例についても併せて紹介する。

一般的に退避壕とは、火山の噴火に伴う噴石の衝突に対する一定の衝撃耐力を有する専用の施設を示しており、登山者や観光地への来訪者等が緊急的に退避することを想定した施設である。しかしながら、突発的な噴火に遭遇し、安全な地域への避難が間に合わず、なす術もなく、近傍の山小屋や岩陰等に身を隠すことで結果的に難を逃れることができた事例も報告されている。

このような背景を踏まえ、本手引きにおいては、例えば鉄筋コンクリート造等の比較的堅固な専用の退避壕はもとより、展望台や休憩所といった他の用途として設置された施設のうち衝撃耐力を高めた兼用の施設、あるいは屋根等の補強により噴石への衝撃耐力を高めた木造の山小屋等についても取り扱っている。また、想定火口域周辺の状況によっては、落石防止用のロックシェッドや地形・地物の援用等を含め、幅広く退避機能の充実に向けた検討がなされることも考えられる。

これらの取組みは、必ずしも災害対策基本法に基づく指定緊急避難場所（第49条の4）として、あるいは活火山法に基づく退避施設（第15条）として位置付けることが可能な施設ばかりではないが、あらゆる手段を講じながら、少しでも人的被害を軽減することを目指すものである。

なお、退避壕と同種の施設として退避舎がある。退避舎は、退避壕が持つ噴石への耐衝撃性の機能に加え、地域の住民等が火山活動や噴火警戒レベルの引き上げ等に合わせて避難をする際に一定時間退避することを想定した施設である。

現在、退避舎の多くは、島しょ部等の港湾施設付近に設置されており、船舶、車両等による避難が可能となるまでの一定時間を過ごすことが想定されている。また、火山ガスの脱硫設備が設けられている場合もあるため、この整備事例についても併せて紹介する。

1.3. 退避壕等の充実に向けた検討の流れ

〈ポイント〉

- 退避壕等の充実にあたっては、それぞれの火山について、専門家の意見等を踏まえて、噴火の履歴等の特性について把握することが出発点となる。
- 次に、それぞれの火山の利用状況や、実際の利用者の分布について把握することが考えられる。
- これらの状況を踏まえ、危険性が高い場所など防災上の課題を把握し、既存施設の機能強化や新規の施設整備を検討する。
- 施設整備にあたっては、専用の退避壕等のみならず、衝撃耐力を高めた展望台や休憩所、避難小屋等として設置することも考えられる。

図 1-1 は、退避壕等の充実に向けた検討を行う際のフローを整理したものである。

退避壕等の充実にあたっては、火山の専門家の意見等を踏まえながら、対象火山の特徴や人々の利用の現状を把握することが出発点となる。

例えば、それぞれの火山における噴火の履歴等から想定される火口の位置や噴火の様式は様々であり、また同一火山であっても噴火の規模は噴火毎に異なることもあり、考慮すべき影響範囲は異なってくる。また、それぞれの活火山の利用目的（登山主体か観光主体か）や、火口域までのアクセス条件、利用者数等によって、活火山に対する利用者の意識やリスク・退避行動についての考え方が大きく異なり、発災時に期待される対応も大きく異なる。さらに、実際に退避壕等に関する工事等を行うこととなった場合、設置場所までのアクセス条件は、資機材の運搬や施工性、コスト等についての大きな制約要因となる。

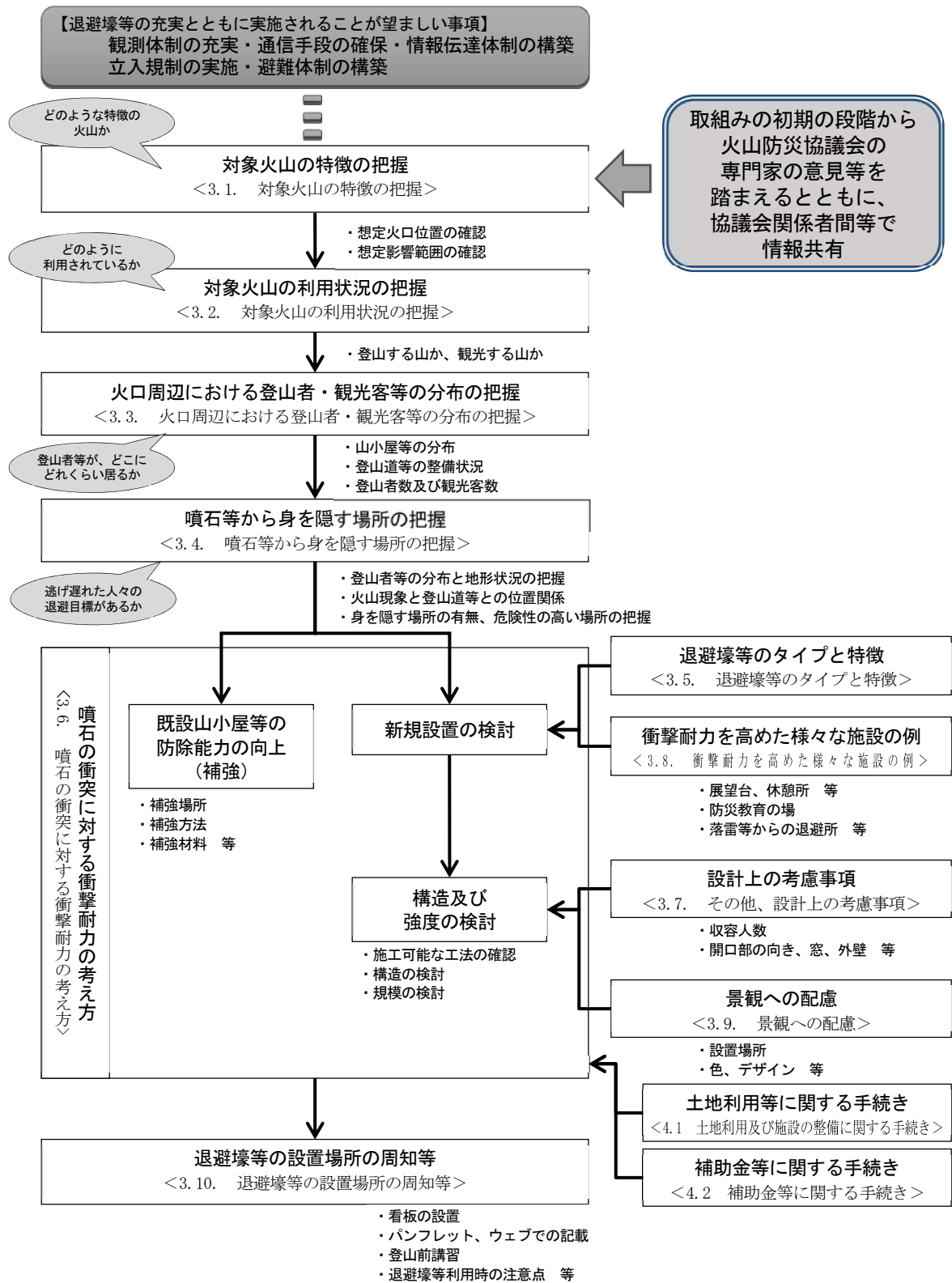
上記のような利用の現状や、登山道、アクセス道路の状況、既存の様々な施設・構造物の配置・構造等の現状、地形・地物の状況等、利用者の避難行動を想定した現地の状況等を把握することで、人々の分布や全体の施設のバランスの中で、身を隠す場所が少なく、危険性が高い場所など防災上の課題が明らかとなる。

このような課題に対し、既存施設の機能強化や新規の施設整備を検討する。新規の施設整備にあたっては、平時からの施設の利活用、施設の適切な維持・管理等を勘案すると、退避壕専用施設の整備だけでなく、衝撃耐力を高めた展望台や案内施設、環境美化・保全を目的としたトイレや休憩所、突然の降雨や落雷等から身を守る登山者用の避難小屋等の施設、ロックシェッド等の構造物の援用等も含め、退避機能の充実に向け、幅広く検討することが考えられる。

また、整備の効果を高めるためには、火山への来訪者等に対して、退避壕等の設置場所や火山の利用に伴う留意点等について積極的かつ継続的に周知することが重要である。

さらに、火山周辺は火山ガスや厳しい自然環境に伴う施設の劣化等が進みやすい環境にあることから、施設を設置した場合には定期的な点検、補修等を行うことが必要である。

なお、一般的には上記のような流れが想定されるものの、危険性の高い場所が明らかな場合や既に関係機関において退避壕等の新規整備について一定の合意形成が図られている場合等には、いつ起こるか分からない火山災害に備えるためにも、速やかに整備に着手することが望ましいものと考えられる。



取組みの初期の段階から
 火山防災協議会の
 専門家の意見等を
 踏まえるとともに、
 協議会関係者間で
 情報共有

図 1-1 退避壕等の充実の流れ (イメージ)

1.4. 退避壕等の充実にに向けた取組主体

〈ポイント〉

- 火山の噴火シナリオ、ハザードマップの作成など、火山防災の全体像の共有については、火山防災協議会等を中心として取組みが進められることが想定される。
- 想定火口域周辺の既存施設等については、各施設管理者において、在館者等の安全性の確保に向けた検討がなされることが考えられる。
- 展望台や休憩所、避難小屋等の兼用の施設を新規に設置する場合には、それらの建物の必要性に応じて、様々な主体による取組みが想定される。
- また、専用の退避壕等を設置する場合は、地元の市町村において設置が検討されることが一般的である。ただし、複数の市町村にまたがっている場合や地域振興を図る場合等にあつては、都道府県等が中心となった調整、取組みも考えられる。

(1) 退避壕等の充実にに向けた取組主体の考え方

退避壕等の充実にに向けた検討にあたり、活火山毎に想定される噴火シナリオやハザードマップの作成等、火山防災の全体像の共有については、火山防災協議会等を中心として検討を進める方法が考えられる。

退避壕等の充実を目指す場合には、まずは想定火口域周辺の既存施設、不特定多数の者が利用する施設等の機能強化について、施設の特長や補強の有効性等を勘案しながら、各施設管理者において、在館者等の安全性の確保に向けた取組みがなされることが考えられる。登山者向けの公設の避難小屋や既設のビジターセンターの補強といった不特定多数の利用者の安全性の向上に向けた取組みや、広く民間の避難促進施設、山小屋、宿泊施設、物販店舗等の補強等についても、当該施設関係者、各施設・建物の利用者の安全性の向上に向けた取組みが継続されることが望ましい。

危険性の高い場所等において、展望台や休憩所、避難小屋等の兼用の施設を新規に設置する場合には、それらの建物の必要性に応じて、様々な設置主体による取組みが想定される。

防災上の観点から専用の退避壕等を設置する場合には、地元の市町村において設置が検討されることが一般的であるが、それぞれの火山やアクセスルート等における地理的な状況に応じて、複数の市町村にまたがった広域的な対策が必要な場合や、県境等が存する場合等にあつては、都道府県が中心となった調整、取組みが必要な場合も考えられる。

また、多くの観光客等で賑わっているような火山周辺や来訪者の利用の促進を行っているような地域、公園等にあつては、必ずしも地域防災の観点だけでなく、広域的な観光振興・地域振興、公園等の来訪者や施設利用者の安全性を高める観点等から設置が望まれるケースも想定される。このことから、関係市町村のみならず、都道府県、民間を含めた関係機関等における取組みや協力が必要となることも想定される。

(2) これまでの退避壕等の整備事例について

火山地域における退避壕等は、近年の活動が活発な活火山において先行して整備されてきており、表 1-1 のような事例がある(平成 26 年 10 月現在)。国内の活火山 110 に対し、退避壕等が整備されている火山は約 1 割の 12 火山で、その整備主体は市町村であることが多いが、都県により整備された事例もある。

これらの火山における退避壕等の整備のきっかけは、下記の通り、当該火山及び他火山における噴火である事例が多い。また、整備にあたり、消防防災施設整備費補助金を活用した事例もある。

表 1-1 活火山における退避壕・退避舎の整備状況

火山名	整備主体	退避壕 設置数	退避舎 設置数
有珠山	民間(ロープウェイ運営会社)	1	-
草津白根山	群馬県	4	-
	草津町	9	-
浅間山	小諸市	4	-
新潟焼山	糸魚川市	1	-
伊豆大島	大島町	11	-
	東京都	-	1
三宅島	三宅村	-	1
阿蘇山	阿蘇市、南阿蘇村	16	-
雲仙岳	長崎県	1	1
霧島山	霧島市	3	-
	高原町	4	-
桜島	鹿児島市	32	20
	垂水市	5	1
口永良部島	屋久島町	17	-
諏訪之瀬島	十島村	3	-

○退避壕・退避舎の整備主体の例

- ・阿蘇山：1953年の噴火で修学旅行生が犠牲となったことなどを踏まえ、順次整備、建替え
- ・草津白根山：1982年の噴火を受け、群馬県と草津町が整備
- ・新潟焼山：三宅島2000年の噴火を受け、糸魚川市が整備
- ・霧島山：2011年の噴火を受け、霧島市と高原町が整備

1.5. 取組に当たっての火山防災協議会の活用

〈ポイント〉

- 退避壕等の充実に向けた取組みは、あらゆる手段を講じながら、少しでも人的被害を軽減することを目指すものである。
- 退避壕等の充実は、特定の者が検討し実施すべき課題であるというより、火口周辺に施設等を保有・管理する施設管理者等がそれぞれの状況に応じて、できる限りの取組みを進めていくという考え方が重要であり現実的である。
- これらの取組みを円滑に進め、またそれぞれの火山における現状や取組状況等について関係者間で共有するため、火山防災協議会の活用が考えられる。

退避壕等の充実に向けた取組みは、突発的な火山噴火に伴う噴石等の飛散に対して、仮にそれぞれの構造物等が十分な衝撃耐力を期待することが困難であったとしても、あらゆる手段を講じながら、少しでも人的被害を軽減することを目指すものである。

この観点から退避壕等の充実は、特定の者だけが検討・実施すべき課題ではなく、火口周辺に施設等を保有・管理する施設管理者等がそれぞれの状況に応じて、各施設の機能強化を含めたできる限りの取組みを進めていくことが重要であり、現実的である。また、現地における既存施設の配置や構造、登山者や観光客等の分布、地形・地物の状況、逃げやすさや情報伝達の容易さ等を勘案して、可能な範囲で効果的に施設の新設等の検討がなされることが想定される。

さらには、登山関係や観光関係の機関、関係者等においても、当該内容についての継続的な周知活動等がなされることが望ましい。

これらの取組みを円滑に進め、またそれぞれの火山における現状や取組状況等について関係者間で共有するため、火山防災協議会の活用が考えられる。

火山防災協議会は平成27年の活火山法の改正により法的に位置づけられた組織で、各火山単位で、都道府県や市町村、国の機関、専門家等から構成され、平常時においては、関係機関が共同で、噴火シナリオやハザードマップの作成、噴火警戒レベルの設定、さらに避難計画の策定等の一連の警戒避難体制等について検討することとされている。

また、噴火時等においては、関係機関が火山活動に関する情報を共有し、「警戒が必要な範囲」の拡大、縮小、解除や、住民、一時滞在者等の避難誘導その他の災害応急対策に当たり関係機関で調整が必要な事項について合意形成・意思決定を行うための体制でもあり、退避壕等の整備後においても安全確保に向けた継続的な周知や発災時の避難誘導等の役割が期待される。

退避壕等の充実における火山防災協議会の活用のイメージを図 1-2 に示す。

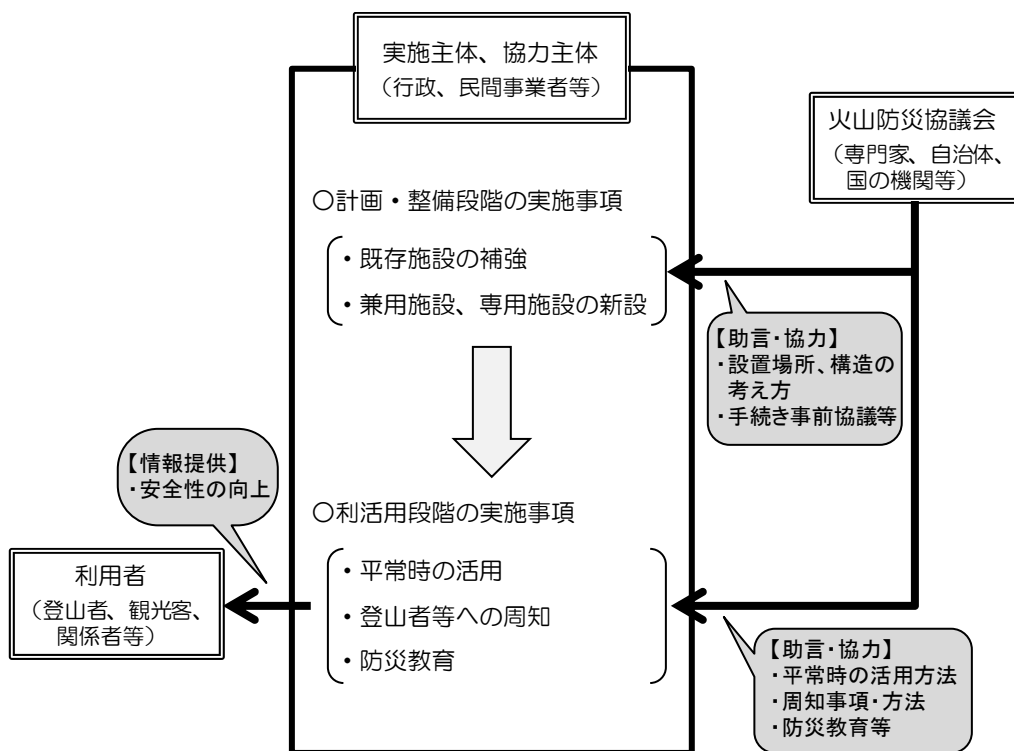


図 1-2 火山防災協議会の活用のイメージ

2. 優先的に対策を考慮すべき火山災害

2. 1. 優先的に対策を考慮すべき火山

〈ポイント〉

- 我が国には、「概ね過去1万年以内に噴火した火山及び現在活発な噴気活動のある火山」として、110の活火山が存在する。
- 中でも、今後100年程度の中長期的な噴火の可能性及び社会的影響を踏まえ、「火山防災のために監視・観測体制の充実の必要がある火山」として47火山(さらに3火山を追加予定)が選定され、気象庁が火山活動を24時間体制で常時観測・監視している。
- 突発的な噴火における減災対策としての退避壕等の役割に照らした場合、まずは常時観測火山について優先的に検討が進められ、必要に応じて退避壕等の充実が図られることが期待される。

我が国には全世界の約7%にあたる110の活火山が分布しており、その定義は、「概ね過去1万年以内に噴火した火山及び現在活発な噴気活動のある火山」(火山噴火予知連絡会)とされている。それぞれの火山の噴火史や過去の火山活動の特徴については、「日本活火山総覧(第4版)」が参考となる。

その中でも、今後100年程度の中長期的な噴火の可能性及び社会的影響を踏まえ、「火山防災のために監視・観測体制の充実の必要がある火山」(火山噴火予知連絡会)として47火山が選定(さらに3火山を追加予定)されている(図2-1参照)。これら47火山の選定を受けて、気象庁では、噴火の前兆を捉えて噴火警報等を適確に発表するために、地震計、傾斜計、空振計、GNSS観測装置、遠望カメラ等の観測施設を整備し、関係機関(大学等研究機関や自治体・防災機関)からのデータ提供も受け、火山活動を24時間体制で常時観測・監視をしている。

突発的な噴火における減災対策としての退避壕等の役割に照らした場合、まずは常時観測火山について優先的に検討が進められ、必要に応じて退避壕等の充実に向けた取組みが期待される。

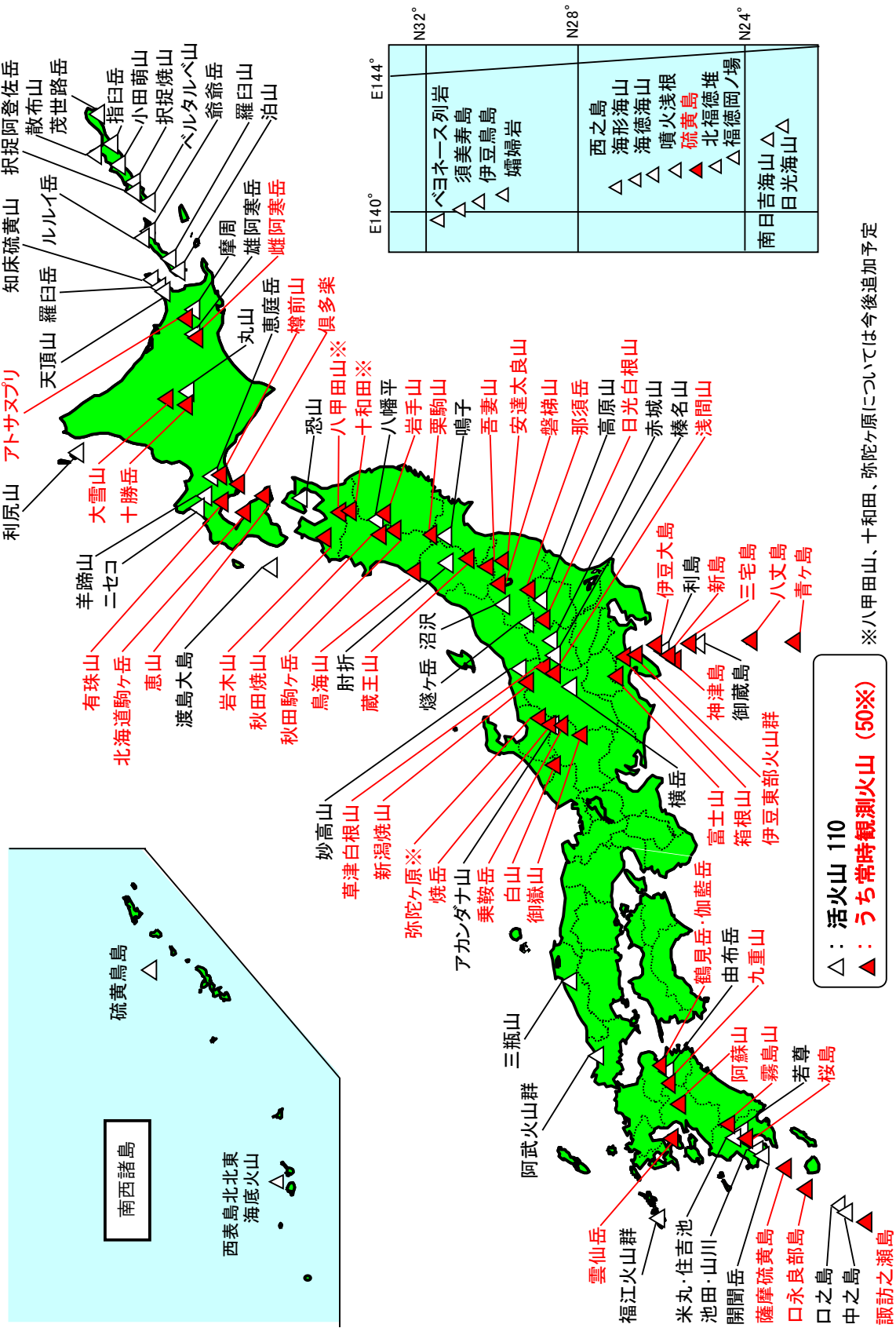


図 2-1 我が国の活火山と常時観測火山の一覧

2.2. 優先的に対策を考慮すべき噴火規模

〈ポイント〉

- 本手引きにおいては、以下のような観点から、比較的小規模な噴火を想定した減災対策について優先的に考慮する。
 - ・小規模な噴火は大規模な噴火と比較して、発生頻度が高い。
 - ・小規模な噴火は、前兆現象が特に捉えにくく、突発的に発生しやすい。
 - ・これまでも小規模な噴火において、噴石による人的被害が発生している
- まずは、このような噴火に対する防災対策の充実を図りつつ、必要に応じてより広範かつ様々な噴火シナリオについて対策の充実を図ることが想定される。

突発的な火山噴火を想定した退避壕等の充実について検討を行うにあたっては、まずは比較的小規模（火山爆発指数（VEI）2以下程度）な噴火を想定した減災対策について優先的に考慮することが考えられる。

これは、

- ① 小規模な噴火は大規模な噴火と比較して、発生頻度が高いこと
- ② 一般的に、規模の大きなマグマ噴火の方がその前兆現象を捉えやすい傾向にあり、噴火警戒レベル等に従い登山や立入の自粛等を行うことが考えられるが、例えば小規模な水蒸気噴火のような場合は、その前兆現象が特に捉えにくく、あるいは前兆現象が捉えられても避難誘導に必要となる時間的余裕が確保されにくいなど、突発的に発生するおそれが高いこと
- ③ 小規模な噴火に伴う噴石の飛散で、過去にも度々人的被害が発生していること

などから、想定される噴火災害のうち、まずはこのような規模の噴火を想定した対策について考慮し、地域における滞留者等の分布や滞留時間等の実状に即しながら、必要に応じてより広範かつ様々な噴火シナリオについての対策の充実を図ることが想定される。

(参考) 噴火の規模について

火山爆発指数 (Volcanic Explosivity Index, VEI) は、火山の爆発規模の大きさを示す区分であり、火砕物の体積等 (溶岩ドームや溶岩流等の噴出物量を除く) から噴火の規模を推定する指数である。

VEI 0	10^4 m^3 未満
VEI 1	$10^4 \sim 10^6 \text{ m}^3$
VEI 2	$10^6 \sim 10^7 \text{ m}^3$
VEI 3	$10^7 \sim 10^8 \text{ m}^3$

図 2-2 に、火山爆発指数と発生頻度の関係を示す。これによると、小規模なものほど発生頻度が高い傾向にある。

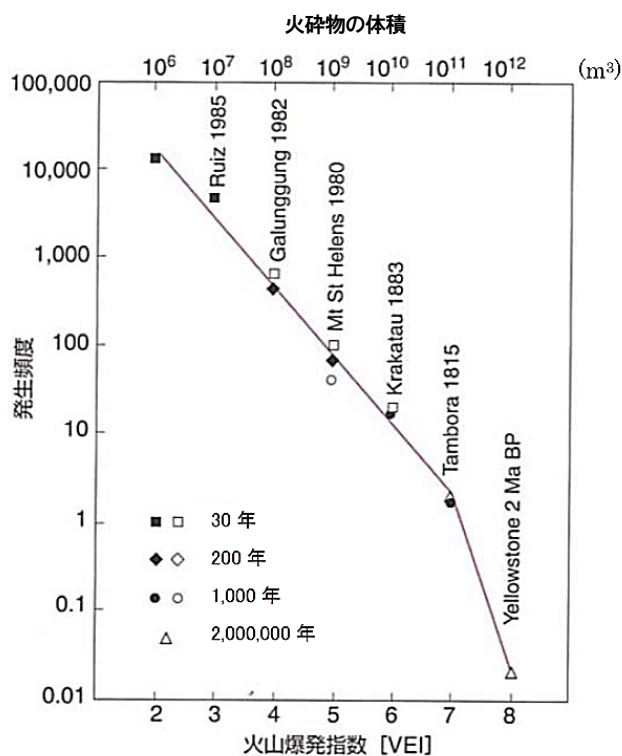


図 2-2 火山爆発指数と発生頻度の関係

※発生頻度は、地球上で1,000年間に起こる噴火の回数

(内閣府・他(2013)に加筆)

(参考) VEI が 2 以下程度の噴火事例について

○ 阿蘇山 1958 年噴火

1958 年 6 月 24 日 22 時 15 分、中岳第 1 火口において突然噴火が発生した。

噴石は火口の西 1.2 km の阿蘇山測候所に達し、死者 12 名、負傷者 28 名、建築物の被害が生じた。また山腹一帯に多量の降灰砂があった。噴石は同年 7、9～12 月の噴火活動でも確認された。VEI は 2 以下 (推定)。

○ 御嶽山 1979 年噴火

1979 年 10 月 28 日早朝、剣ヶ峰南斜面小火口群において水蒸気噴火が発生したが、死者はなかった。

火砕物の降下があり、降灰は前橋付近まで達した。VEI は 2。



図 2-3 御嶽山 1979 年噴火の状況

(提供：荒牧重雄)

○ 草津白根山 1982 年噴火

1982 年 10 月 26 日、湯釜・涸釜の数か所で小規模な水蒸気噴火が発生した。噴石は火口周辺 1 km 程度の範囲に飛散したが、人的被害は確認されなかった。同年 12 月にも小規模な水蒸気噴火が発生している。

この噴火をきっかけに、火口周辺域に退避壕等が整備された。VEI は 1。



図 2-4 草津白根山 1982 年 12 月噴火の状況

(提供：小坂文予)

○ 有珠山 2000 年噴火

2000 年 3 月 27 日午後から地震が徐々に増加し、3 月 31 日昼過ぎに西山西麓からマグマ水蒸気噴火が発生した。火口周辺に噴石を放出し、降灰は 75 km 離れた千歳でも微量確認された。4 月 1 日昼頃、金比羅山北西麓から噴火を開始した。西山西麓と金比羅山周辺で小規模な水蒸気噴火を繰り返し、計 65 個の火口を形成した。いくつかの火口からは熱泥流が発生した。また、西山西麓ではマグマ貫入により最大約 80m 隆起して潜在ドームを形成した。VEI は 1。

2001 年 8 月以降、各火口の活動は徐々に低下していき、9 月を最後に空振や火山灰噴出は確認されなくなった。噴火場所が北西山麓の一部居住地にかかっていたため、道路や上下水道が寸断され、850 戸の家屋に被害が生じた。

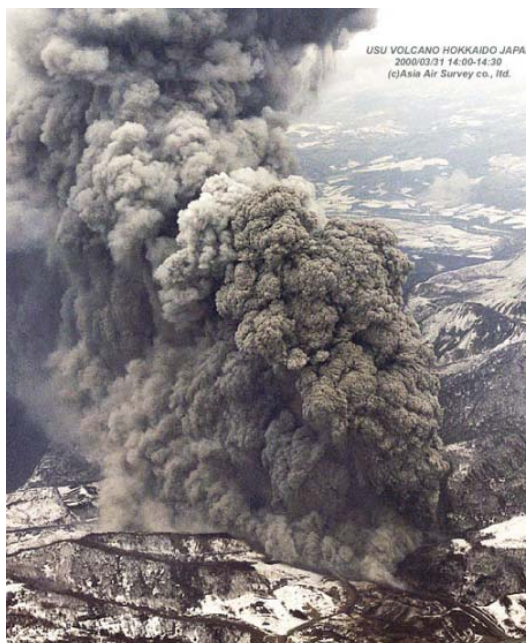


図 2-5 有珠山 2000 年噴火の状況
(提供：アジア航測株式会社)

○ 御嶽山 2014 年噴火

2014 年 9 月 27 日 11 時 41 分頃から火山性微動が発生し始め、同 11 時 52 分、剣ヶ峰の南西側の地獄谷で水蒸気噴火が発生した。これにより降灰、噴石、低温火砕流が発生した。火砕流は南側斜面を約 3 km 流下し、降灰は御嶽山西側の下呂市萩原町から東側の甲府市飯田にかけて観測された。

主に噴石の落下により死者 58 名、行方不明者 5 名の被害が生じた (2015 年 8 月 6 日現在)。噴石による死者は火口から 500~600m 付近の御嶽頂上山荘や八丁ダルミ周辺に多かった。VEI は 1。



図 2-6 御嶽山 2014 年噴火の状況
(提供：アジア航測株式会社)

(参考) 近年の主な火山災害について

日本国内で火山の監視・観測体制が構築されたのは、1900年頃からである。日本国内で発生した1900年以降の火山災害のうち、噴火に伴う死者・行方不明者が発生した主な事例を表2-1に示した。

このうち、戦後においては、噴火に伴う火山災害による犠牲者の概ね半数が、比較的小規模な突発的な噴火（噴石）によるとみられる死者・行方不明者（黄色着色部分）で占められている。

表 2-1 日本国内における噴火に伴う火山災害

(1900年以降、死者・行方不明者が発生したもの。黄色着色部は噴石によるとみられるもの)

西暦年	和暦年	月日	火山名	死者数 (行方不明者含む)	VEI
1900	明治33	8月上旬	安達太良山	72	2 ※1
1900	明治33	2月16日	霧島山	2	不明
1902	明治35	8月上旬	伊豆鳥島	125	不明
1910	明治43	7月26日	有珠山	1	2 ※1
1911	明治44	5月8日	浅間山	1	1 ※1 (1908-14の合計)
1911	明治44	8月15日	浅間山	2	1 ※1 (1908-14の合計)
1913	大正2	5月29日	浅間山	1	1 ※1 (1908-14の合計)
1914	大正3	1月12日	桜島	58~59	5
1923	大正12	7月11日	霧島山	1	不明
1926	大正15	5月24日	十勝岳	144	1 ※1 (1926-28の合計)
1926	大正15	9月8日	十勝岳	2	1 ※1 (1926-28の合計)
1929	昭和4	6月17日	北海道駒ヶ岳	2	4 ※1
1930	昭和5	8月20日	浅間山	6	1 ※1 (1929-32の合計)
1932	昭和7	10月1日	草津白根山	2	1 ※1
1933-34	昭和8-9	-	口永良部島	3	不明

(次頁に続く)

(前頁より続き)

西暦年	和暦年	月日	火山名	死者数 (行方不明者含む)	VEI
1936	昭和 11	7月29日	浅間山	1	1 ^{※1} (1934-37の合計)
1936	昭和 11	10月17日	浅間山	1	1 ^{※1} (1934-37の合計)
1940	昭和 15	7月12日	三宅島	11	3 ^{※1}
1941	昭和 16	7月13日	浅間山	1	1 ^{※1} (1938-42の合計)
1944	昭和 19	8月26日	有珠山	1	1 ^{※1} (1944-45の合計)
1946	昭和 21	3月9日	桜島	1	(2以下)
1947	昭和 22	8月14日	浅間山	9	1 ^{※1}
1950	昭和 25	9月23日	浅間山	1	1 ^{※1}
1952	昭和 27	9月24日	ベヨネーズ列岩	31	(2以下)
1953	昭和 28	4月27日	阿蘇山	6	(2以下)
1955	昭和 30	10月13日	桜島	1	(2以下)
1957	昭和 32	10月13日	伊豆大島	1	1 ^{※1}
1958	昭和 33	6月24日	阿蘇山	12	(2以下)
1961	昭和 36	8月18日	浅間山	1	1 ^{※1}
1962	昭和 37	6月29日	十勝岳	5	3 ^{※1}
1974	昭和 49	7月28日	新潟焼山	3	1 ^{※1}
1978	昭和 53	10月	有珠山	3	3 ^{※1} (1977-78の合計)
1979	昭和 54	9月6日	阿蘇山	3	(2以下)
1991	平成 3	6月3日	雲仙岳	43	2 (1990-95間は4)
2014	平成 26	9月27日	御嶽山	63	1 ^{※2}

()内は当時の状況からの推定

※1 国立研究開発法人産業技術総合研究所による1万年噴火イベントデータ集(工藤・星住, 2006)より

※2 東京大学地震研究所(2014a)より

2.3. 優先的に対策を考慮すべき範囲

〈ポイント〉

- 単位面積あたりの噴石の飛来する数は、それぞれの火山における噴火の様式や規模、火口周辺の地形、火口の向き、標高差、風向き等により大きく異なるが、まずは、想定火口域から概ね2km 以内における対策を考慮すべきであり、特に概ね1km 以内の範囲については優先的な取組みが図られることが望まれる。
- それ以外の地域についても広範囲に噴石が飛来するおそれはあるが、特に噴石が飛来した場合に人的被害が発生する可能性の高い地域等から優先的に対策を進めていく方法が考えられる。例えば、2km 以上の範囲においても、人々が比較的長時間滞留しやすい公園や駐車場、バスの停留所近傍等において、必要に応じて退避壕等の充実について検討することも考えられる。

噴石は、爆発的な噴火に伴い火口から吹き飛ばされた岩石等のことであるが、それぞれの火山における噴火の様式や規模、火口周辺の地形、火口の向き、標高差、風向き等により、その飛散状況は大きく異なる。

例えば桜島における大きな噴石の観測記録では、火口からおおむね1～2kmの範囲に集中的に落下する結果が見られた（図 2-7）。直径約50cm以上の大きな噴石は、風の影響を受けずに火口から弾道を描いて飛散することが知られており、一般的にこれよりも小さな噴石は空気抵抗を受けやすく、同じ初速度が与えられた場合到達距離は短くなるものと考えられる。

これらの傾向に鑑み、比較的小規模な突発的な噴火を想定した退避壕等の充実にあたっては、まずは想定火口域から概ね2km以内における対策を考慮すべきであるものと考えられる。特に概ね1km以内の範囲については、噴火時に噴石等が飛来する見込みが特に高いことから、優先的な取組みが図られることが望まれる。

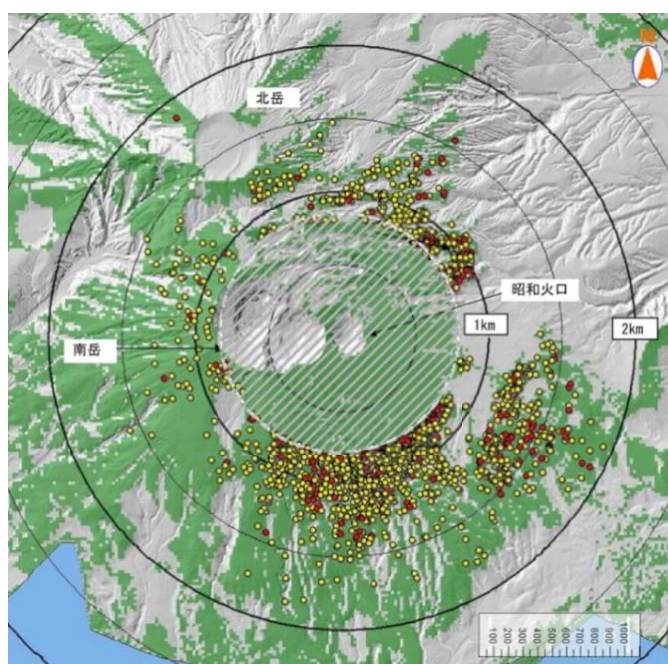
また、概ね2km以上の範囲においても噴石が飛来するおそれがあることから、人的被害が発生する可能性の高い人々が比較的長時間滞留しやすい公園や駐車場、バスの停留所近傍等において、必要に応じて退避壕等の充実について検討をすることも考えられる。

なお、想定火口域から概ね2km以内の範囲において、比較的滞留時間の長い商業・居住等の利用形態が見られる活火山もあるが、当該地域にあつては、監視観測、情報伝達体制の構築等が進められており、地域の避難誘導マニュアル等に従い、近傍の比較的堅牢な施設に避難することが想定されている（箱根山の事例参照 図 3-40）。

(参考) 桜島における大きな噴石の観測記録について

鹿児島地方気象台では、桜島の昭和火口から放出された大きな噴石の落下地点を、遠望カメラ映像から計測している。昭和火口近傍に落下した噴石を除く、水平距離で概ね800m以上飛散したものを図2-7に示す(1回の爆発的噴火に対し複数の噴石の落下位置を算出)。火口から離れるに従い、噴石の分布密度が減少していることが読み取れる。火口からの距離と噴石落下地点数の関係を表2-2に定量的に示した。ほとんどの噴石が火口から1.5km以内に落下し、火口から2km以上になると噴石の落下地点数は大きく減少する傾向にある。

ただし、火口から同一距離であっても、火口の向きや地形条件等により、噴石が落下しやすい場所とそうでない場所について疎密が生じる点についても留意が必要である。また、解析に使用している遠望カメラの死角となる領域の部分(特に北東側～東側)があるので、留意が必要である。



注記：
黄色の点は2012年4月～2015年1月、赤色の点は2015年2月～2015年5月31日の大きな噴石の落下地点を示す。緑色の領域は、遠望カメラで噴石の落下が確認可能な範囲を示す。同心円は昭和火口中心からの距離を示す(気象庁, 2015)。

図2-7 昭和火口から放出された大きな噴石の落下地点

表2-2 火口からの距離と個数の関係

火口からの距離	大きな噴石の 落下地点数 (箇所)	面積 (km ²)	密度 (箇所/100 m ²)
0.8～1.0 km	5469 ^{注)}	1.13	0.4840 ^{注)}
1.0～1.5 km	4033	3.93	0.1026
1.5～2.0 km	357	5.50	0.0064
2.0～2.5 km	11	7.07	0.0002
2.5 km 以上	0	—	—

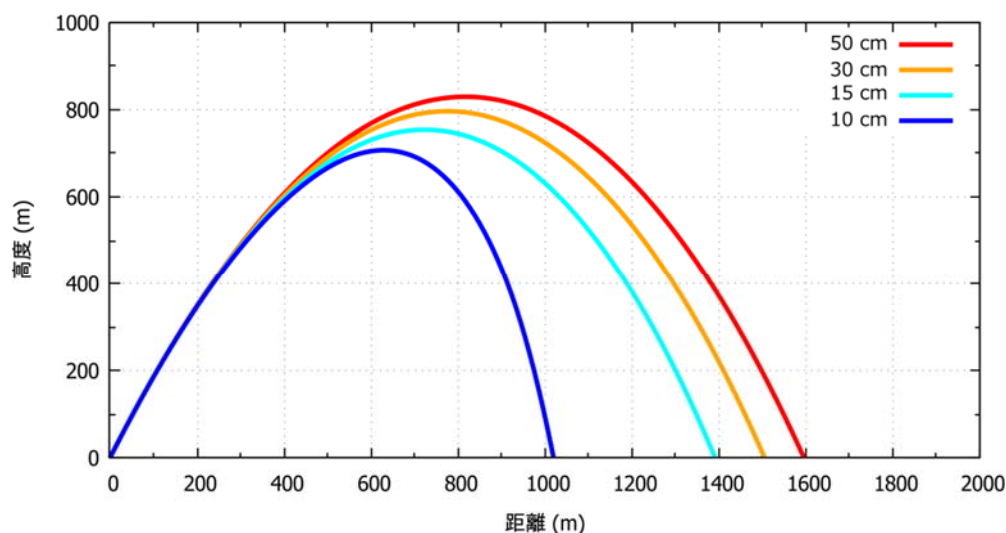
※2012年4月～2015年5月31日(約1200日)の噴火(約2400回)の記録

注) 火口から近いものほど火砕物の影響により落下地点が不明な場合があるため、落下地点数(箇所)は多く、面積は小さく、密度は大きい可能性がある。(鹿児島地方気象台提供資料を利用)

(参考) 噴石の大きさによる到達距離の変化について

直径 10cm、15cm、30cm、50cm の噴石が、例えば初速 150m/s (噴石の速度については表 2-4 参照) で射出され、空気抵抗を受けながら飛散した場合で、射出点と到達地点の標高差がない場合の到達距離の計算例を図 2-8 に示す。

同一初速度で射出され、噴煙等の上昇気流による加速等を考慮しない場合には、直径が小さいものほど火口付近に落下し、大きいものほど遠くまで到達する傾向にある。



直径 (cm)	初速 (m/s)	衝突時の速度 (m/s)	到達距離 (m)
10	150	100	1000
15		120	1400
30		130	1500
50		130	1600

(初速 150m/s、射出角 63 度、空気抵抗ありの場合。計算には Eject! (Mastin, 2008) を使用。)

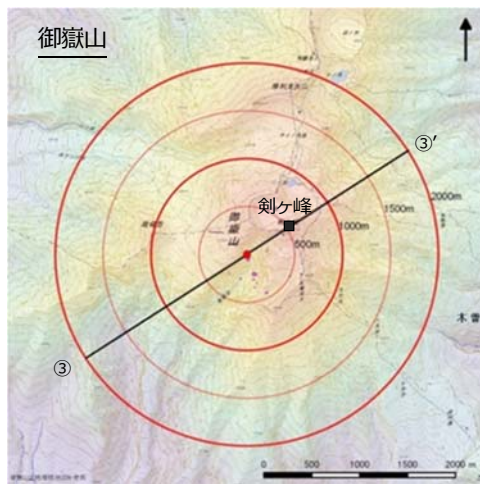
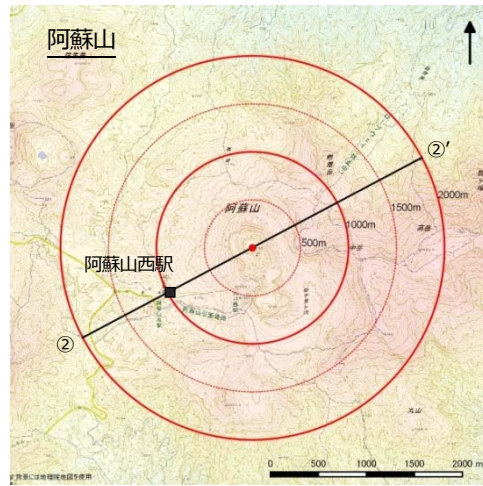
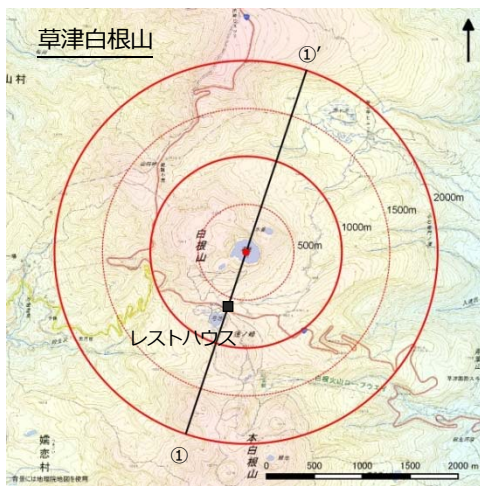
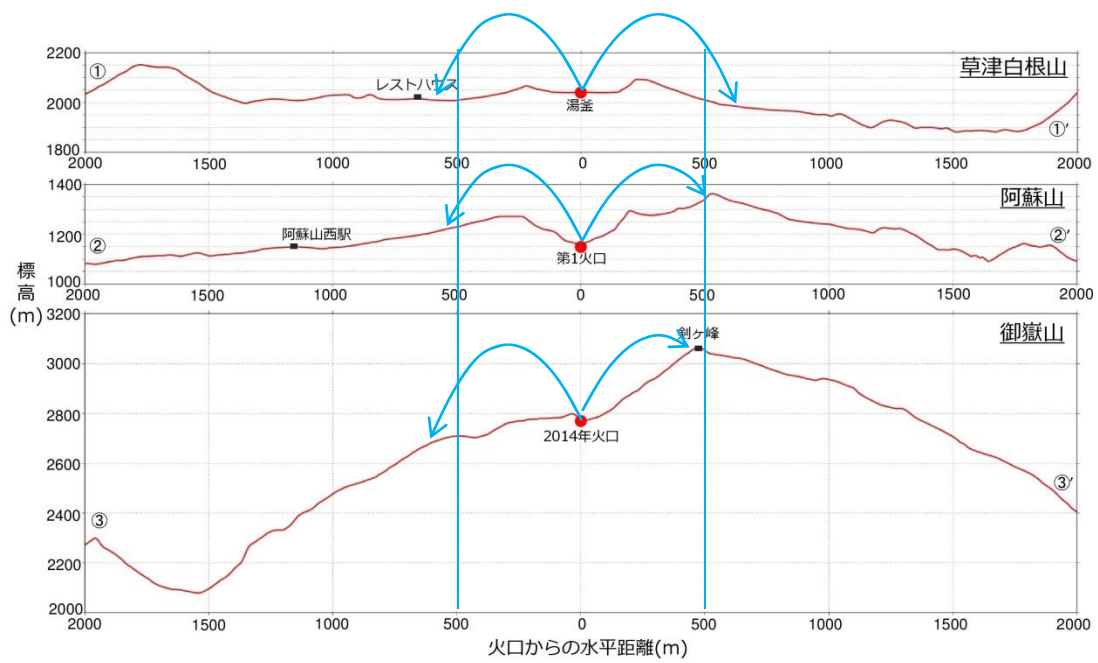
図 2-8 噴石の大きさによる到達距離の変化

(参考) 火口周辺地形による到達距離の変化について

噴石の到達距離は、火口の位置と周辺地形によっても変化する。

図 2-9 に、草津白根山、阿蘇山、御嶽山の火口周辺の地形断面を示した。

例えば、草津白根山は火口と周辺地形との比高差が小さい例であり、①側と①´側の標高が概ね同じであるため、①側と①´側の到達距離 (火口からの水平距離) は、ほぼ同じとなる。これに対し、例えば御嶽山では③側が火口より標高が低く、③´側が火口より標高が高くなっている。このため、③側の到達距離 (火口からの水平距離) は、③´側よりも長くなる。



- ◆ 標高差の小さい火山
草津白根山、阿蘇山など
- ◆ 標高差の大きい火山
御嶽山など

図 2-9 火口周辺（2 km 以内）の地形断面例

2.4. 退避壕等に期待される減災対策の目安

〈ポイント〉

- 突発性の高い比較的小規模な噴火を想定した場合の減災対策の目安としては、まずは、噴火時に多数飛散し、人体に直接衝突した場合には死傷に至る可能性の高いこぶし大（10cm）以下程度の噴石に対する衝撃耐力の確保を目指すことが考えられる。
- 次に、それぞれの火山の特性や利用形態、施設の施工条件等を勘案しながら、必要に応じて、時折飛散する可能性のある 30cm 以下程度の噴石にも耐えられる強度の確保や、まれに飛散する可能性のある 50cm 以下程度の噴石にも耐えられる強度の確保を目指すことが考えられる。
- この他、取組みの進捗等に合わせて、より大きな噴石の衝突にも耐えることが可能な対策について検討することが考えられる。

噴石が飛散する大きさや分布密度は、噴火規模や退避壕等の整備を想定する場所の火口からの距離や標高差によって異なる。

御嶽山 2014 年噴火のような突発性の高い比較的小規模な噴火を想定した場合、退避壕等の整備や既存施設の機能強化にあたっては、まずは、噴火時に多数飛散し、人体に直接衝突した場合には死傷に至る可能性の高いこぶし大（10cm）以下程度の噴石に対する衝撃耐力が確保されることが必要であるものと考えられる。さらに、それぞれの火山の特性や利用形態、施設の施工条件等を勘案しながら、必要に応じて、時折飛散する可能性のある 30cm 以下程度の噴石にも耐えられる強度の確保や、まれに飛散する可能性のある 50cm 以下程度の噴石にも耐えられる強度の確保を目指すことが考えられる。





これらを各火山における利用者の分布等に応じてバランスよく配置しつつ、各施設の更新の機会等をとらえながら、より強度の高い施設の整備や、分布密度の向上等を図る手順が考えられる。

なお、衝突時のエネルギーは、噴石の質量に比例、つまり、大きさの 3 乗に比例、速度の 2 乗に比例して大きくなる。例えば、直径 30cm の噴石は、直径 10cm の噴石に対し、速度が同じ場合、衝突エネルギーは 27 倍に達する。実際に比較的小規模な噴火であっても 30cm 程度の噴石の飛散も見られるものであるが、例えば「30cm の噴石が飛来したら屋根を貫通するおそれがあるような、“中途半端”な施設を作っても意味はないからシェルターは必要ない。」と考えることは必ずしも適切ではない。前兆現象が捉えにくく突発性の高い比較的小規模な噴火において、火口周辺は、こぶし大（約 10cm）以下の噴石が圧倒的な多数を占める。仮にゴルフボール（約 4 cm）程度のものであっても直接人体に衝突した場合には死傷に至る可能性が高い。また、後述の減災対策の目安は、噴石の衝突する速度や角度、構造体に衝突する部位、その他避難時に取りうる防護措置等についてもそれぞれ安全側で検証していることから、実際に噴石が衝突した場合には、より大きな噴石に対する防除能力、衝撃吸収・緩和効果が発現されることも想定される。

○減災対策の目安

御嶽山 2014 年噴火のような、突発性の高い比較的小規模な噴火を想定し、火口周辺に飛散する噴石の大きさ、噴石の飛散の傾向を踏まえた場合、以下（表 2-3）のような減災対策の目安が考えられる（3.6. 節参照）。

表 2-3 比較的小規模な噴火に伴う噴石の飛散に対する退避壕等による減災対策の目安

対策の対象とする 噴石の大きさ	噴石の飛散 の傾向	減災対策の目安
10cm（こぶし大）以下 	多数飛散	木造の山小屋等を含め、衝撃耐力を確保することが望ましい
30cm 以下 	時折飛散	火山の特性や利用形態、施設の施工条件等を勘案しながら、必要に応じて衝撃耐力の確保を目指す。
50cm 以下 	まれに飛散	
50cm 超 	極めて まれに飛散	(噴火警戒レベル等に応じて あらかじめ登山・立入の自粛等。 対応する退避壕等の設置が困難)

○噴石の速度について

既往研究により計測された噴石の初速は、30m/s 程度のものから 200m/s を超えるものまでである（表 2-4）が、マグマ噴火よりも水蒸気噴火の方が初速は小さい傾向がある。

噴石の速度は、想定火口域との標高差や、小さな噴石は上昇する噴煙や風の影響を受けることも想定されるが、初速としては概ね 50～150m/s 程度を目安として検討することが考えられる。

なお、後述（3.6.節）の衝撃耐力の検討にあたっては、空気抵抗による減速を勘案し、衝突時の速度として 100m/s（360km/h）程度の速度の噴石に対する衝撃耐力の検証を行った。

表 2-4 噴石の初速度

火山名	噴火時期	噴火様式	初速 (m/s)	文献
十勝岳	1926年5月24日	水蒸気噴火	80	中村(1926)
浅間山	1937年4月18日	マグマ噴火	167	Minakami (1942)
浅間山	1938年6月7日	マグマ噴火	212.5	Minakami (1942)
阿蘇山	1979年9月6日	水蒸気噴火	108	小野・他(1979)
桜島	1982年1月-1983年1月	マグマ噴火	110-160	井口・他(1983)
ポポカテペトル (メキシコ)	1998年12月17日、2003年2月2日及び14日、2008年3月8日の計4回の噴火の最大値最小値	マグマ噴火	110-250	Alatorre-Ibargüengoitia et al. (2012)
有珠山	2000年4月中旬	水蒸気噴火	30-50	横尾・他(2002)
ストロンボリ (イタリア)	2007年3月15日	マグマ噴火	100-155	Pistolesi et al. (2011)
ルアベフ (ニュージーランド)	2007年9月25日	マグマ水蒸気噴火	137	Kilgour et al. (2010)
桜島	2012年1月-9月	マグマ噴火	50-180	気象庁(2014)
トンガリロ火山 (ニュージーランド)	2012年8月6日	水蒸気噴火	120-215	Breard et al. (2014)
御嶽山	2014年9月27日	水蒸気噴火	100	東京大学地震研究所(2014b)
			100-150	Tsunematsu et al. (in preparation)

○噴石の密度について

噴石の密度は、軽石等の比較的軽量のものから、ち密な岩石の密度と同程度のものまで想定されるが、退避壕等の衝撃耐力の検討にあたっては、衝突時のエネルギーの大きい後者について検討する。

代表的な火山岩の密度を、既往研究より抜粋したものを表 2-5 に示す。これによると、代表的な火山岩の密度は2300~2600kg/m³程度であるものと推定される。これらを踏まえ、後述（3.6.節）の衝撃耐力の検討にあたっては、実務上、約 2420kg/m³ の岩塊を想定した衝撃耐力の検証を実施した。

表 2-5 代表的な火山岩の密度（村田・他, 1991 より作成）

岩石区分	自然乾燥密度 (kg/m ³)	備考
流紋岩	2376	150 試料の平均値
デイサイト	2433	179 試料の平均値
安山岩	2494	844 試料の平均値
玄武岩	2629	219 試料の平均値

2.5. 退避壕等の機能上の制約

〈ポイント〉

- 火山災害要因としては、火砕流や噴石等の飛散、火山ガスの発生等がある。このうち、本手引きで取り扱う退避壕等の機能は比較的小さな噴石から中程度の大きさの噴石による人的被害の発生の抑制を期待するものである。
- 大きな噴石の中には、数 m に及ぶものもあり、想定される最大規模の噴石への防除能力を確保することは極めて困難である。
- 退避壕等にはこれらの機能上の制約があることを理解しつつも、噴火時には速やかにより安全な場所に身を隠す行動を起こすことを観光客、登山者や観光関係事業者等へ周知する必要がある。

火山活動に関連して生じる災害は多岐にわたり、水蒸気噴火に伴って発生する災害要因（以下、「火山災害要因」という。）の主要なものだけでも表 2-6 に整理したものが挙げられる。

このうち、本手引きで検討する火山災害要因は、主として突発性の高い比較的小規模な噴火に伴う噴石の飛散を想定している。

噴石の中には、数 m に及ぶ巨大なものも報告されているが、その発生頻度は低く、また、この規模の噴石に対する衝撃耐力を有する施設を整備することは極めて困難と言える。ここでは、発生頻度が比較的高い小さな噴石から中程度の大きさの噴石への対応の考え方について整理をした。

また、退避壕等の配置にあたっては、火砕流や泥流等が発生しやすい場所を避けるように考慮すべきである。なお、一部の退避舎等においては、火山ガスからの被害の軽減を目的とした脱硫装置が備えられている事例もある。

活火山の利用者は、このような様々な火山災害要因について理解を深め、自らが主体的に平時から当該火山の情報に十分に気を配り、また様々な兆候に即し、危険な地域に立ち入らず、また速やかに退避することが重要である。

しかし、それでも、突発的な噴火に遭遇した場合には、このような退避壕等の機能上の限界を理解しつつも、迷わず速やかに少しでもより安全な場所に身を隠す行動を起こすことが重要であり、観光客や登山者等に周知する必要がある。

一方、退避壕等の整備が進むことにより、登山者や観光客等に過度な安心感が醸成され、例えば噴火の報に接した人々が、退避壕内に陣取りシャッターチャンスをかかおうような事態が生じては本末転倒である。退避壕等の充実に向けた取組みを進めつつも、そのことで活火山の節度ある利用を妨げたり、発災時の避難行動を遅らせたりすることのないよう、退避壕等の役割・位置づけ等についての継続的な周知が必要と考えられる（3.10. 節参照）。

表 2-6 水蒸気噴火に伴う火山災害要因（勝井, 1979 を基に作成）

火 山 災 害 要 因	火 山 災 害 の 種 類
大 き な 噴 石	落下衝撃による破壊、火災、埋没
火 砕 流（火 砕 サ ー ジ を 含 む）	破壊、火災、埋没
小 さ な 噴 石、火 山 灰 （ 降 下 火 砕 物 ）	破壊、交通麻痺、家屋倒壊、埋没
泥 流 ・ 土 石 流	破壊、流失、埋没
火 山 ガ ス、噴 煙	ガス中毒、大気・水域汚染
地 震	山体崩壊、地すべり、施設破壊
地 熱 変 動	地下水温変化
地 下 水 ・ 温 泉 変 動	地下水温変化、水量変化

(参考) 噴火に伴う巨大な噴石、高温の火砕流等の例

○浅間山の巨大な噴石

2004年9月から11月にかけて、小規模なマグマ噴火が発生した。翌年、気象庁が実施した調査において、火口から北西約200m地点に直径約5mの噴石が確認された。



図 2-10 数 mにも及ぶ噴石の例 (火口から北西約200m地点)

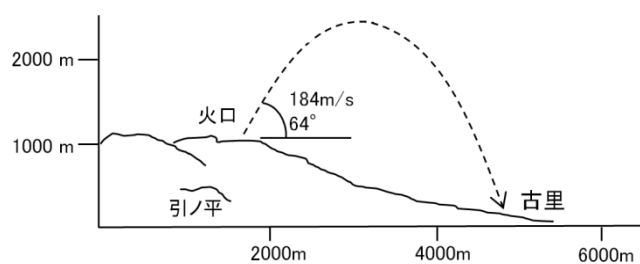
(提供: 気象庁)

○桜島噴火の噴石被害

1986年11月25日、直径約2m、重さ約5トンに及ぶ噴石が古里温泉へ飛来(南岳火口から約3.2km、標高差約850m)した。当該噴石は、ホテル1階玄関の屋根を突き破り、地下室床へ達した。



(提供: 宇平幸一)



(福岡管区気象台(1991)より作成)

図 2-11 噴石被害の例 (火口から約3.2 km地点)

○三宅島噴火（2000年）

2000年7月8日に山頂で噴火が発生し、火口から1km地点の駐車場に噴石が到達した。噴石は点在する程度であった（図2-12上）。その後、7月14～15日にかけて、この地点から500m離れた地点でマグマ水蒸気噴火が発生し、駐車場は噴石で埋め尽くされた（図2-12下）。円内のトイレは天井が落ち、壁が残るだけとなっている。噴石の最大サイズは1m程度であった。



図 2-12 2000年三宅島噴火による噴石被害状況

（提供 上：長井雅史、下：千葉達朗）

○退避壕内における人的被害の発生例

インドネシア共和国のメラピ火山では 1994 年の火砕流災害を契機に登山者用のシェルターが整備された。2006 年 6 月 14 日の噴火で発生した火砕流に際し、当該シェルター内に留まった二人がシェルター内で亡くなった。救援時の火砕流堆積物の表面下約数 10cm での温度は、約 500℃であったと言われている(山田, 2006)。

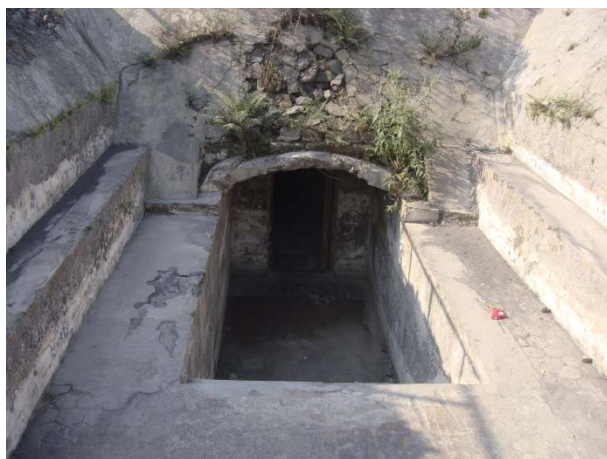


図 2-13 メラピ火山のシェルター

(提供：伊藤英之)

○火砕流の発生例

2015 年 9 月 14 日 9 時 43 分、阿蘇山中岳第一火口において小規模な噴火が発生した。これにより小規模な火砕流が発生し、中岳第一火口から南東方向に約 1.3 km、北東方向に約 1.0 km まで流下した。



図 2-14 阿蘇山 2015 年噴火の火砕流の例

(提供：左：気象庁ホームページ、右：アジア航測株式会社)

3. 退避壕等の充実にむけた具体的な取組

3.1. 対象火山の特徴の把握

〈ポイント〉

- それぞれの火山によって、噴火の推移や噴火に伴って発生する現象が異なるため、対象火山における過去の噴火履歴を調べるのが重要である。
- 想定火口範囲、ハザードマップを設定し、退避壕等の充実にあつての対象範囲を検討する。

噴火の推移や噴火に伴つて発生する現象は、火山毎に傾向が異なるため、退避壕等の充実にあつては、対象火山における過去の噴火履歴を調べるのが重要である。このため、対象火山における想定火口位置や想定影響範囲を踏まえた配置や構造を検討する必要がある。これらの検討は火山防災協議会等で火山の専門家を交えて協議する方法が考えられる。

なお、既に火山防災に関する検討が行われている火山では、想定火口位置や火山災害要因の影響範囲、ハザードマップを、自治体などによる「火山防災マップ」や気象庁による「噴火警戒レベル リーフレット」もしくは「日本活火山総覧（第4版）」等により確認することができる。

なお、想定火口、ハザードマップの設定は火山によって様々であり、山頂のみを想定火口としているものもあれば（図 3-1）、山麓を含む範囲で示されているものもある（図 3-2）。設定する想定火口の位置によって、退避壕等の充実にあつての対象範囲が変わることも想定されるため、それぞれの火山の特徴に十分配慮した検討が必要と考えられる。



図 3-1 想定火口が点で示されている例（十勝岳）
（気象庁（2012）より一部抜粋）

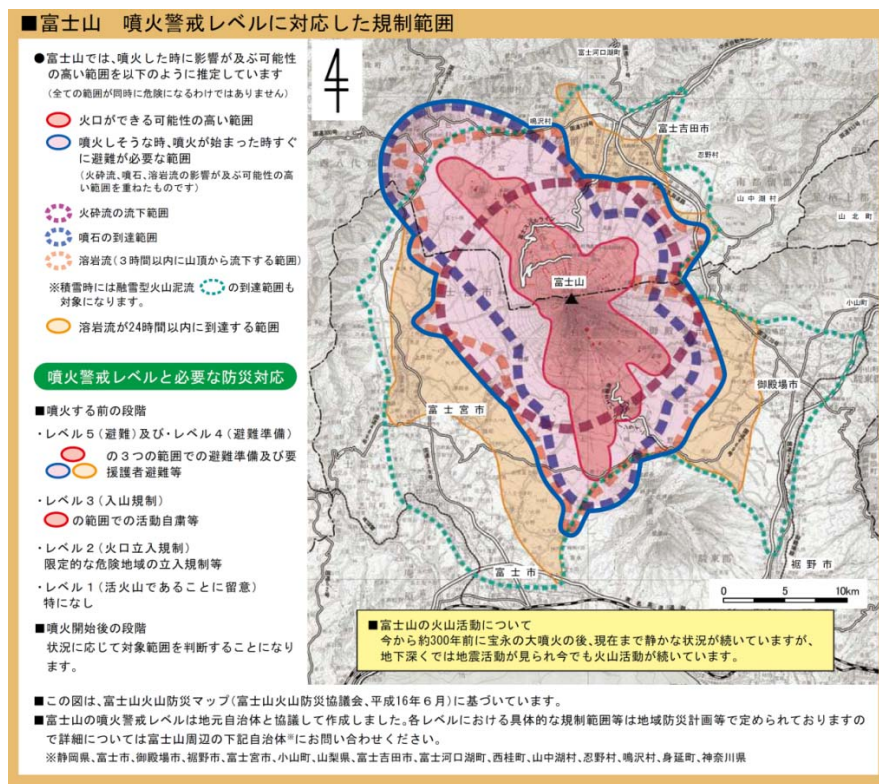
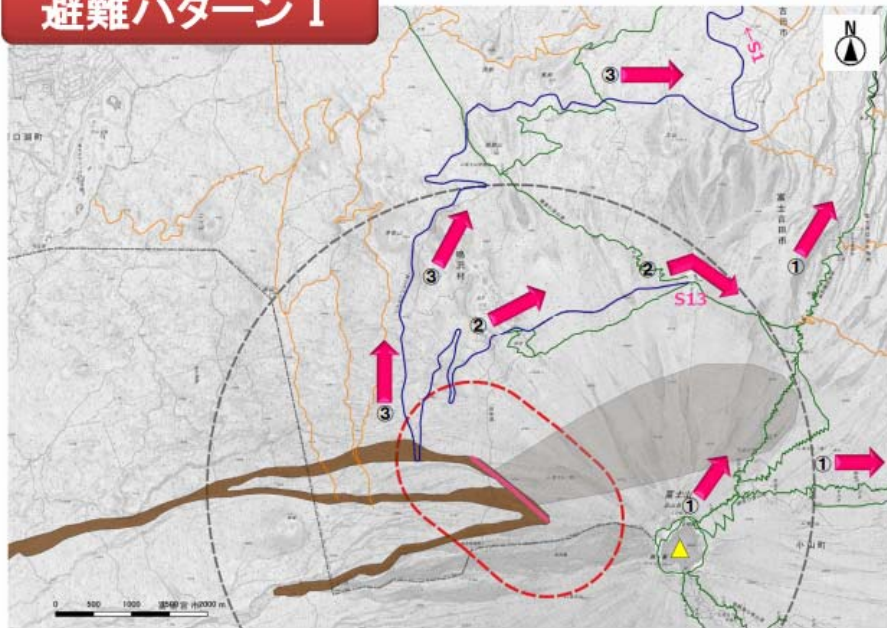


図 3-2 想定火口が範囲で示されている例（富士山）
（気象庁（2013）より一部抜粋）

避難パターン I



想定される現象

- ・約1,200年前の噴火（焼野西丸尾溶岩流が流出）を想定
- ・火口列から西側に流出する溶岩流によって富士スバルラインが分断

避難する方向
(地図中の番号に対応)

- ① 吉田口登山ルート上にいる登山者は、吉田口又は須走口登山ルートを下山
- ② 富士スバルライン5合目駐車場付近にいる観光客・登山者と大沢駐車場から5合目駐車場の間にいる観光客・登山者は東(5合目駐車場(S13))方向に避難
- ③ 大沢駐車場から下にいる観光客・登山者は北(スバルライン料金所(S1))方向に避難

- ① 噴火しそうな時、噴火が始まった時に避難すべき方向
(第一に、火口列から離れる方向かつ噴石の到達範囲外に出ることを目指します。その後、安全な方向に避難することとします。番号は、噴火開始時にいる場所を示しており、避難の順番を示したものではありません。)
- 火口列の位置(ピンク色実線)
(本避難パターン作成時に前提とした火口の位置です。富士山で噴火した場合には、単一の火口ではなく、いくつもの火口がつながった火口列を形成する場合があります。)
- 大きな噴石が到達する可能性がある範囲
(火口から1kmを想定しています。)
- 火山灰が2時間で1cm程度降り積もる可能性がある範囲
- 7～8月に卓越する風で火山灰が2時間で1cm程度降り積もる可能性がある範囲
- 溶岩流または火砕流が流れ下る範囲
(溶岩流は比較的遅いため、すぐに危険になるわけではありませんが、火砕流は高速のため、大変危険です。過去に溶岩流または火砕流が流れ下った範囲を参考に作成しています。)

図 3-3 噴石の到達範囲を図示した例

(山梨県総務部防災危機管理課 (2015) より一部抜粋)

3.2. 対象火山の利用状況の把握

〈ポイント〉

- 火山によって、その利用状況が異なり、滞留者数、周辺の施設分布、火口周辺へのアクセスのしやすさ等の条件が異なる傾向にある。
- それぞれの火山の利用状況等に応じて、退避壕等の充実に向けた検討がなされることが考えられる。

対象火山が登山主体の山であるか、観光主体の山であるかなどによって、滞留者数、周辺の施設分布、火口周辺へのアクセスのしやすさ等の条件が異なる傾向にある。アクセスのしやすさは、退避壕等を施工する場合の資機材の搬入条件としても重要であり、施工性や整備コストにも大きく影響する。

退避壕等の充実に向けた検討にあたっては、このような火山の利用状況や利用者数、アクセス性や施工条件等の地域の実状に即した検討がなされることが考えられる。

なお、観光客等の滞留場所及び火口周辺へのアクセス性等に注目した場合、以下のような活火山の分類が考えられ、それぞれのタイプごとに以下のような退避壕等の充実の方向性が考えられる（表 3-1）。

表 3-1 活火山の利用状況の分類と対応の方向性（案）

タイプ	分類	退避壕等の充実の方向性	資機材等の搬入条件
A	登山装備でないと火口周辺に近づくことが困難な活火山	<ul style="list-style-type: none"> ・既存の山小屋等の補強 ・身を隠す場所が少ない箇所における、退避壕等の新設等の検討 ・登山者が長時間滞留しないような看板の設置等 	地形的な制約が多く、資機材等の搬入が困難
B	ロープウェイなどにより、軽装で火口周辺に近づくことができる活火山	<ul style="list-style-type: none"> ・既存の観光施設等の補強 ・身を隠す場所が少ない箇所における、退避壕等の新設等の検討 	車両等による資機材等の運搬が困難。一部の資材は、ロープウェイなどで運搬可能
C	観光客が火口周辺に容易に近づける活火山。駐車場があり観光バスで大勢の人が近づくことができる活火山	・Bに同じ	車両等による建設資材等の運搬が容易
D	火口内・火口近傍・火山島に居住している活火山	<ul style="list-style-type: none"> ・個別の利用状況に応じて検討 ・ただし、特に観光客等が集まるところがある場合には、Cと同様に検討 ・なお、住民等に対しては、別途、退避舎等により安全確保 	Cに同じ
E	利用がない、または無人島	<ul style="list-style-type: none"> ・基本的に整備等を実施しないが、利用形態に変化があった場合は、必要に応じて個別の利用状況に応じて検討 	—

3.3. 火口周辺における登山者・観光客等の分布の把握

〈ポイント〉

- 登山者・観光客等の動態を把握し、滞留しやすい場所を把握した上で、退避壕等の整備等を検討することが望ましい。
- 利用者が多い登山道等や、その周辺の山小屋等の設置状況、地形条件をふまえて、登山者・観光客等が滞留しやすい場所において整備等を検討することが考えられる。

登山者や観光客は、登山道等を通り、山小屋等の施設周辺や、眺望の良いところ、傾斜変化点などの休憩ポイントにおいて滞留しやすいものと考えられる。

退避壕等の充実にあたっては、このような登山者等の滞留状況と、火口周辺の噴石による被害が想定される範囲をふまえて検討することが考えられる。

退避壕等の整備等を検討する基礎資料として、火口周辺における退避壕や山小屋等の身を隠せる場所の分布状況、登山道等の整備状況、登山者及び観光客の利用状況を把握した上で、より効果の高い場所、整備等の内容について検討することが考えられる。

退避壕や山小屋等の設置状況、登山道等の整備状況に関する情報は、以下の方法等により収集する方法が考えられる。

- ・ 登山マップ
- ・ 防災マップ
- ・ 設置者及び管理者へのヒアリング（自治体、山小屋関係者、山岳遭難対策協議会、環境省・国土交通省（施設がある場合）等）
- ・ 現地調査

登山者及び観光客の利用状況及び分布に関する情報は、以下の方法などにより推定する方法が考えられる（火山によっては調査が行われていない場合もある）。

- ・ 登山届
- ・ 登山者カウンター
- ・ 山小屋の宿泊数
- ・ ロープウェイ等の利用者数
- ・ 環境省（地方環境事務所）による生態系影響等の把握のための登山者数調査
- ・ 都道府県が実施する観光入込客統計調査
- ・ 地方自治体の観光部局による調査
- ・ 現地調査（平坦地、眺望の良いところ、傾斜変化点などにおける滞留状況）
- ・ G N S S、ビックデータを活用した観光行動、滞在者数等の推計

3.4. 噴石等から身を隠す場所の把握

〈ポイント〉

- 退避壕等の充実を効果的に行うために、まずは突発的な噴火時に身を隠す場所(退避壕、山小屋、ビジターセンター、ロープウェイの停留場、ロックシェッド等)の現状について確認することが望ましい。
- 突発的な噴火時に、登山者等が身を隠す場所が確保できないと考えられる場合には、火山の利用状況を踏まえて新たな施設の設置等について検討することが考えられる。

突発的な噴火が発生した場合、噴火してから数分以内に噴煙や降下火山灰により視認性が失われるなど、更なる避難行動をとることが著しく困難な状況に至ることが想定される。したがって、可能な限り短時間で、噴石等の飛散物から身を隠す場所に退避できることが望ましく、登山者等の分布、地形的な状況を勘案し、効果的でバランスのとれた退避壕等の配置等に留意することが必要である。

身を隠す場所は、登山道沿いの登山者等の滞留が生じやすい場所の付近にあり、かつ、突発的な噴火時に短時間で逃げ込みやすい間隔で設置されていることが理想である。また、火山ガスが滞留しやすい場所や谷地形は可能な限り避けて設置されていることが望ましい。

噴石による被害が想定される範囲において、身を隠す場所が確保できないと考えられる場合には、火山の利用状況を踏まえた上で、退避壕や登山者用の避難小屋等について、新たな施設を設置すること等についても検討することが考えられる。図 3-4 に、主に登山者が利用する活火山における身を隠す場所の確保に向けた現地調査及び検討のイメージを示す。

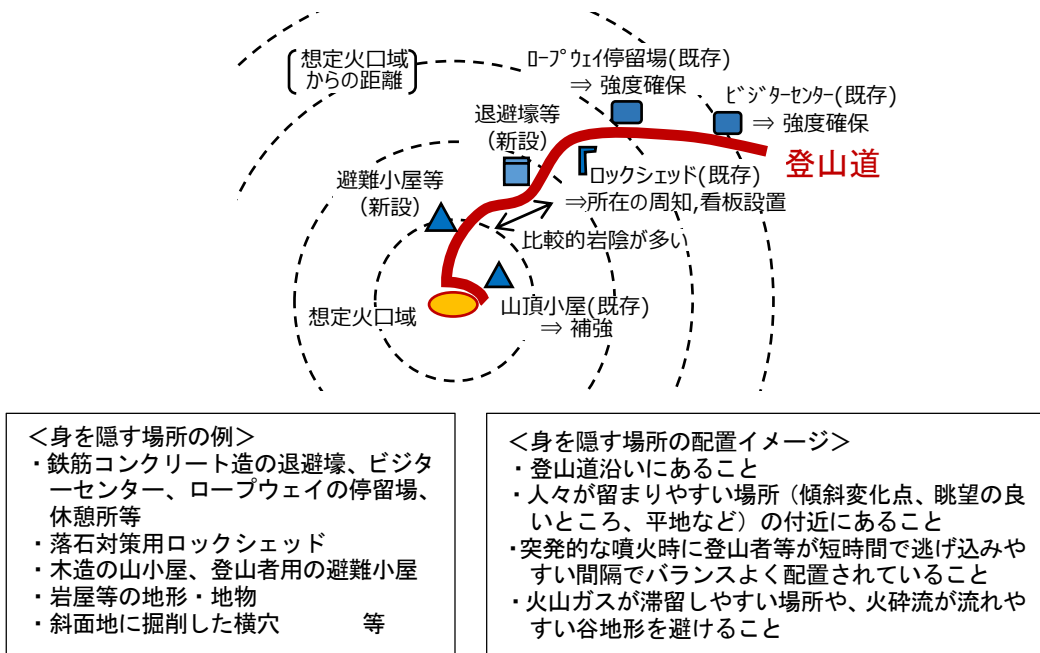


図 3-4 身を隠す場所の確保に向けた現地調査・検討のイメージ

3.5. 退避壕等のタイプと特徴

〈ポイント〉

- 退避壕は噴石への衝撃耐力の確保や施設の耐久性を考慮し、鉄筋コンクリート製の堅牢な構造物とすることが多いが、木造の山小屋等であっても一定の衝撃耐力を確保することが可能である。
- 鉄筋コンクリート製の退避壕としては、現場打ちコンクリートにより施工するタイプと、既製品であるボックスカルバート等を設置する場合等がある。
- 退避壕等の充実にあたっては、現場への資機材の搬入の容易さ等により大きく施工性が異なることから、それぞれの火山の実状に応じた対応が必要となる。
- 屋根が平らな形状の場合、必要に応じて敷砂等の緩衝材を上部に敷設しやすい。

退避壕は噴石への衝撃耐力の確保や施設の耐久性を考慮し、鉄筋コンクリート製の堅牢な構造物とすることが多いが、木造の山小屋等であっても屋根等を補強することで一定の衝撃耐力を確保することが可能である。

鉄筋コンクリート製の退避壕としては、現場打ちコンクリートにより施工するタイプと、既製品として地下排水路等に用いられ一般的に流通しているボックスカルバート等を流用する方法が考えられる。

いずれの場合も、車両による資機材の搬入が可能な場合は、比較的容易に設置ができ、特に後者の場合は一基 200 万円程度で設置できる場合もある。しかし、車両による資機材の搬入が困難な場合は、ヘリコプターによる搬送が必要となり、例えば 1.5 トン程度の部材を 10 個程度 2 日間に分けて運ぶ場合、運搬費だけで 2,000 万円程度を要する場合も想定される。また標高が 3,000m を超えるような空気密度が小さい場所の場合は最大積載重量が半分以下まで低下し、部材をさらに細分化して運搬する必要が生じることも考えられる。

このように、退避壕等の充実にあたっては、現場への資機材の搬入の容易さ等により大きく施工性が異なることから、それぞれの火山の実状に応じた対応が必要となる。

これまでに整備されてきた主な退避壕の事例について、それらのタイプと特徴を表 3-2 に整理した。

屋根が平らな形状の場合、必要に応じて敷砂等の緩衝材を上部に敷設しやすく、後述する衝撃耐力の向上を図りやすい利点がある。

なお、鋼製の構造物、部材を用いる場合は、設置場所が活火山の火口周辺であり、火山ガスによる腐食が進みやすい環境にあることから、常設の施設とする場合には、耐久性（硫化水素、二酸化硫黄等から生じた硫酸等への耐薬品性）に支障が生じないように、特に留意する必要がある。

表 3-2 代表的な退避壕のタイプと特徴

代表的なタイプ	長所	短所
<p>片屋根型退避壕</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ・壁面等の形状が変えられる ・コンクリート厚を自由に設定できる ・上部に敷砂緩衝材を設置できる ・外部の被覆等によりデザインや色彩の変更もできる 	<ul style="list-style-type: none"> ・コンクリートの現場打ちが必要
<p>トンネル型退避壕</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ・コンクリート厚を自由に設定できる ・外部の被覆等によりデザインや色彩の変更もできる 	<ul style="list-style-type: none"> ・コンクリートの現場打ちが必要 ・上部に敷砂緩衝材を設置できない
<p>埋め戻し型退避壕</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ・比較的目立ちにくい ・埋め戻すことによる強度増加が期待される 	<ul style="list-style-type: none"> ・原地盤を大きく改変する ・噴火時に視認しにくい
<p>既製ボックスカルバート型退避壕</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ・設計が簡便で、構造体は比較的安価 ・外部の被覆等によりデザインや色彩の変更もできる ・上部に敷砂緩衝材を設置できる 	<ul style="list-style-type: none"> ・ヘリコプターによる運搬が必要な場合には、運搬費が高額（ヘリコプター運搬の際は、1000万円/日程度） ・形状が固定される
<p>既製アーチカルバート型退避壕</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ・設計が簡便で、構造体は比較的安価 ・外部の被覆等によりデザインや色彩の変更もできる 	<ul style="list-style-type: none"> ・ヘリコプターによる運搬が必要な場合には、運搬費が高額（ヘリコプター運搬の際は、1000万円/日程度） ・形状が固定される ・アーチ部の形状によっては、上部に敷砂緩衝材を設置できない
<p>鋼製退避壕</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ・レンタル品もあり、応急的、季節的に使用できる ・設計の必要がない 	<ul style="list-style-type: none"> ・運搬費が比較的高額となる場合もある ・比較的面積が小さい ・金属部材は火山ガス等により腐食が進みやすい性質があり、耐久性に課題が生じやすい

○片屋根型退避壕

桜島に複数設置されている退避壕で、バス停として利用されているものもある（図 3-6）。屋根のコンクリート厚は 35～40cm 程度である。外周部の被覆等による強度の増加や、デザイン及び色彩の変更等が可能であり、退避壕上に敷砂緩衝材等を設置することもできる構造である（図 3-7）。一部に、山頂を望む窓が設置されているものがあり、噴火の状況を確認することができる（図 3-8）。ただし、このように窓を設置する場合には、噴石等の飛散物が退避壕内に入ることを無きよう、設置する壁面の向きなどに注意する必要がある。



図 3-6 バス停として利用されている片屋根型退避壕（桜島）



図 3-7 周辺に溶岩の岩塊がある片屋根型退避壕（桜島）



図 3-8 桜島の退避壕の窓

- ・防除能力を確保しつつ視認性を上げるため、狭間のような形状としておくことも想定される。

○トンネル型退避壕

桜島に複数設置されている退避壕であり、上に凸のトンネル状の構造である（図 3-9）。外周部の被覆等による強度の増加や、デザイン及び色彩の変更等が可能であり、周辺に溶岩の岩塊を配置し、周辺景観に配慮しているものもある（図 3-10）。退避壕上に敷砂緩衝材を設置できない構造である。



図 3-9 トンネル型退避壕（桜島）



図 3-10 周辺が溶岩の岩塊で覆われているトンネル型退避壕（桜島）

○埋め戻し型退避壕

草津白根山において整備されている退避壕には、斜面を利用して退避スペースを埋め戻した構造のものがある（図 3-1 1、図 3-1 2）。退避スペースの前面には、噴石の跳弾を防ぐための盛土が施されている。景観に配慮され、遠方からは比較的に目立ちにくい構造となっている。



図 3-1 1 埋め戻し型退避壕の外観（草津白根山）



図 3-1 2 埋め戻し型退避壕の退避スペース（草津白根山）

○既製ボックスカルバート型退避壕

既製ボックスカルバートを活用した退避壕は、新潟焼山や霧島山などに設置の事例がある。外周部の被覆等による強度の増加や、デザイン及び色彩の変更等が可能である(図 3-1 3、図 3-1 4)。設置にあたっての運搬には大型の車両等が必要となる。退避壕上に敷砂緩衝材を設置することが可能であり、図 3-1 4ではボックスカルバート上に2mの敷砂緩衝材が敷設されている。



図 3-1 3 ボックスカルバートの退避壕（新潟焼山）

(提供：荒井健一)



図 3-1 4 ボックスカルバートに敷砂緩衝材をした退避壕（霧島山）

(1m程度の噴石飛来を想定し、敷砂緩衝材として厚さ2mの砂を敷設し、側面を石材パネル、上面をモルタル吹付で被覆している)

○既製アーチカルバート型退避壕

既製アーチカルバートを活用した退避壕は、草津白根山や霧島山などに設置の事例がある。外周部の被覆等による強度の増加や、デザイン及び色彩の変更等が可能である(図 3-15、図 3-16)。設置にあたっての運搬には大型の車両等が必要となり、上部材、下部材2分割式のをヘリコプターで山頂部に運搬した事例もある。

なお、霧島山に設置されている退避壕は、コンスパン工法(アーチ型のプレキャスト・コンクリート部材を組み立てる工法)で整備されている。



図 3-15 アーチカルバートを利用した退避壕(草津白根山)



図 3-16 プレキャスト・コンクリート部材を組み立てる工法のアーチカルバート(霧島山)

○鋼製退避壕

活火山の周辺では、工事現場などで鋼製の仮設退避壕が設置される場合がある（図 3-17）。仮設退避壕は構造が簡易であるため設置が簡便であるが、規模が小さく収容人数は多くない。常設として整備されているものもあるが、鋼製のものは火山ガスにより腐食しやすい性質があるため、一時的な使用に向いている。



図 3-17 桜島の鋼製仮設退避壕



図 3-18 変形が認められる浅間山の鋼製退避壕

（提供：安井真也）

○退避舎

退避舎は、住民等が火山活動や噴火警戒レベル等に合わせて避難する際など、噴石や火山ガス等から緊急的に一時避難するときだけでなく、避難が可能となるまでの一定時間、退避することを想定した施設である。

桜島では、避難港に近接した適当な場所に不燃堅牢な構造物を整備しており、これを退避舎と呼んでいる。この退避舎は、住民等が島外脱出のために避難港に集結したとき、船舶に乗船するまでの間、噴火に伴う噴石の落下等による危険から退避するための施設であり（図 3-19、図 3-20）、コンクリート厚 50cm 程度、1㎡あたり 1.44 トンの重量に耐えられる構造で設計されている。

桜島では、円滑な避難行動がとれるよう、住民が退避舎に集合して港から船で避難する訓練が毎年実施されている。なお本施設は、住民の島外脱出時に使用することとしており、平常時は施錠されているが、住民が鍵を管理しており、すぐに逃げ込める体制が整えられている。



図 3-19 桜島の退避舎の全景



図 3-20 桜島の退避舎への案内看板

3.6. 噴石の衝突に対する衝撃耐力の考え方

〈ポイント〉

- 10cm(こぶし大)以下程度の噴石に対しては、厚さ 20cm 程度の鉄筋コンクリート製のボックスカルバートの他、木造の構造物であっても、屋根を高機能繊維織物により補強すること等により、一定の衝撃耐力の確保が期待できる。
- 30cm 以下程度の噴石に対しては、厚さ 20cm 程度の鉄筋コンクリート製のボックスカルバートの上部に敷砂等の緩衝材を敷設したり、頂版の裏面側(屋内側)に噴石の衝突時の裏面剥離対策を施すこと等により、一定の衝撃耐力の確保が期待できる。
- 50cm 以下程度の噴石に対しては、厚さ 40cm 程度の鉄筋コンクリート造の構造物の上部に敷砂等の緩衝材を敷設することで、一定の衝撃耐力の確保が期待できる。なお、この場合にあっても、噴石の衝突時の裏面剥離対策が施されることが望ましい。

退避壕等の噴石への衝撃耐力の検討にあたっては、大きさがこぶし大(10cm)～50cm程度、重さで約1.3kg～160kg程度の火山岩塊が、100m/s(360km/h)程度で衝突した場合に、退避壕等に避難した人々が負傷等に至らないために必要な構造耐力を確保することを目安として検討を行うことが考えられる。

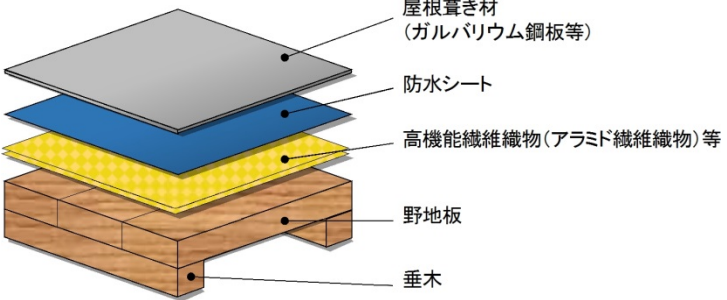
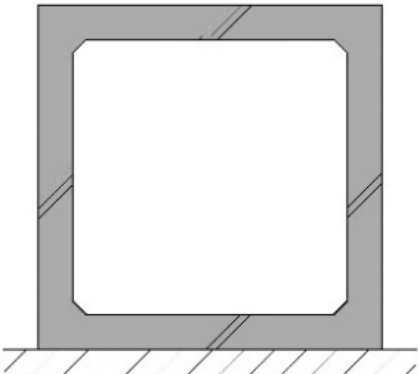

飛来物の衝突に対するコンクリート構造物の衝撃耐力についての既往研究としては、例えば、原子力発電所に建設されているコンクリート製格納容器の安全性を保持するための一連の実験や経験式、敷砂等の緩衝材を用いた落石対策用のロックシェットの衝撃耐力に関する研究等が参考となる。

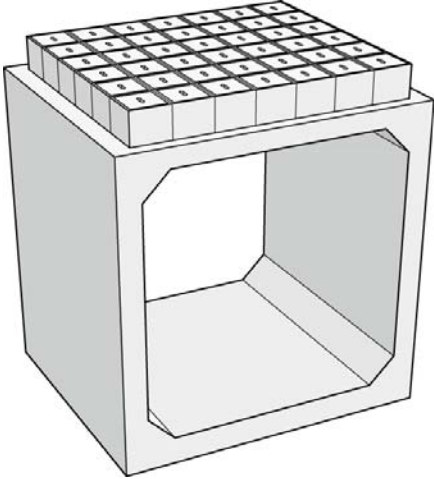
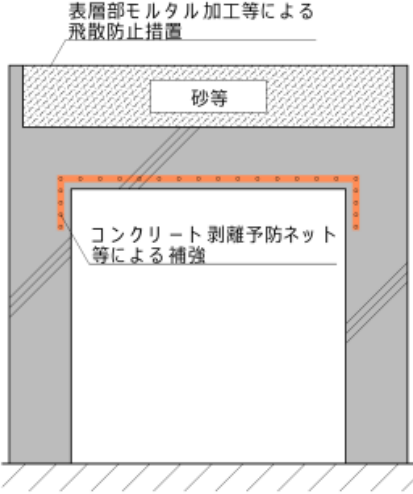
しかしながら、敷砂等の緩衝材を鉄筋コンクリート構造物の上部に設けた場合の高速で飛来する噴石の衝突エネルギーの緩衝効果や、あるいは木造の構造物の上空からの飛来物に対する衝撃耐力の向上のための対策等についての研究は十分に成熟しておらず、その設計の考え方についても確立されてはいない状況にある。

このことから、以下では、これらの既往研究、経験式を元を実施した構造解析のシミュレーションの結果や、防衛大学校及び山梨県富士山科学研究所と共同して行った噴石の衝突を模擬した実験により得られた知見等をもとに、実務上、当面想定される対策の目安について整理し、紹介することとした(表 3-3)。

これらの目安等を参考としつつ、今後とも、衝突時の挙動についてのシミュレーションの推定精度の向上はもとより、鉄筋コンクリート構造物の現実的で効率性の高い緩衝材の敷設方法、上部からの衝突に有利な屋根の形状、様々なタイプの既設構造物の補強方法、様々な材料による安価で効率的な木造構造物の補強方法等、更なる研究が進むことが期待される。

表 3-3 減災対策の対象とする噴石の大きさと対策例

減災対策の対象とする噴石の大きさ	噴石の飛散の傾向	減災対策の例
<p>10cm (こぶし大) 以下</p>	<p>多数 飛散</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ 木造の山小屋の屋根の高機能繊維織物等による補強等  <ul style="list-style-type: none"> ・ 厚さ 20cm 程度の R C 造のボックスカルバート等 
<p>30cm 以下</p>	<p>時折 飛散</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ 厚さ 20cm 程度の R C 造のボックスカルバート等の頂版の屋内側を裏面剥離対策として高機能繊維織物の接着等により補強等 

減災対策の対象とする噴石の大きさ	噴石の飛散の傾向	減災対策の例
30cm以下	時折飛散	<p>・厚さ 20cm 程度の R C 造のボックスカルバート等の上部に敷砂等の緩衝材（コンクリート柵(改良柵・蓋付)に充填）を敷設等</p> 
50cm以下	まれに飛散	<p>・厚さ 40cm 程度の R C 造の構造物の上部に敷砂・砂利等の緩衝材を敷設等（必要に応じて、裏面剥離対策としてコンクリート剥離予防ネット等を含めた打設による補強等）</p> 

(1) 木造の屋根の衝撃耐力の向上について

一般的な山小屋等の木造構造物では、落下衝撃により噴石が屋根を貫通し、建物内の避難者に被害が発生するおそれがある。

そのため、例えば、屋根や天井、2階の床上等を補強することで噴石の貫通を抑制し、一定の被害の軽減に資するものと考えられる。

○ 高機能繊維織物等による補強

地形的な制約により、資機材等の搬入、施工等が困難な活火山等にあつては、木造の山小屋等の野地板の上や2階の床上等に、高機能繊維織物（アラミド繊維織物）等を用いることにより、噴石の衝突に対して一定の耐力を向上させる方法が考えられる。

なお、アラミド繊維織物を使用する場合には、以下の点について留意が必要である。

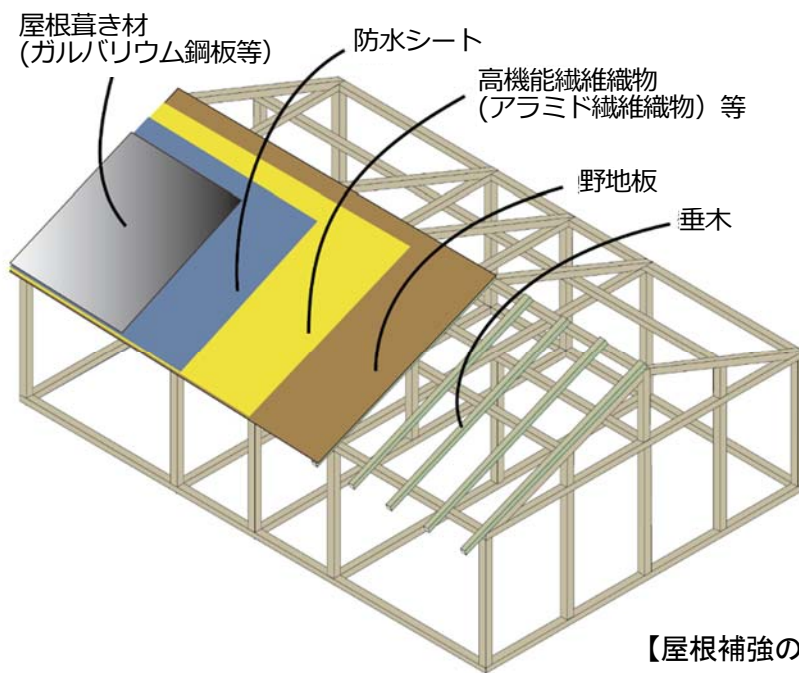
- ・単層で用いるよりも複層で用いる方が、衝撃耐力の向上効果が高い
- ・屋根材の一部として用いる場合は、野地板の上に用いる方が、野地板の下（垂木の上）に用いるよりも衝撃耐力の向上が期待できる
- ・屋根材の一部として用いる場合は、含水による衝撃耐力の低下のおそれがあることから、防水シートの下に用いることが望ましい
- ・紫外線による変質のおそれがあることから、外部に露出しない状態を保つこと。また、製品の保管や施工にあつては、長時間紫外線にあたることのないように留意すること
- ・屋根又は2階の床上のいずれかの補強が想定される場合、可能な限り屋根側（避難者より遠い側）において補強されることが望ましい

ただし、噴石の大きさや速度が相当程度大きい場合には、アラミド繊維織物により補強した場合であっても、噴石が貫通するおそれがある点についても留意が必要である。

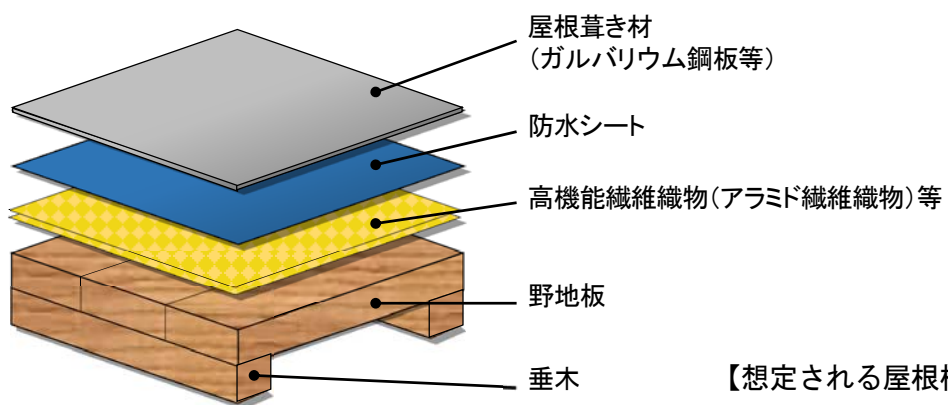
想定される屋根及び床の補強イメージを図 3-2 2 に示す。



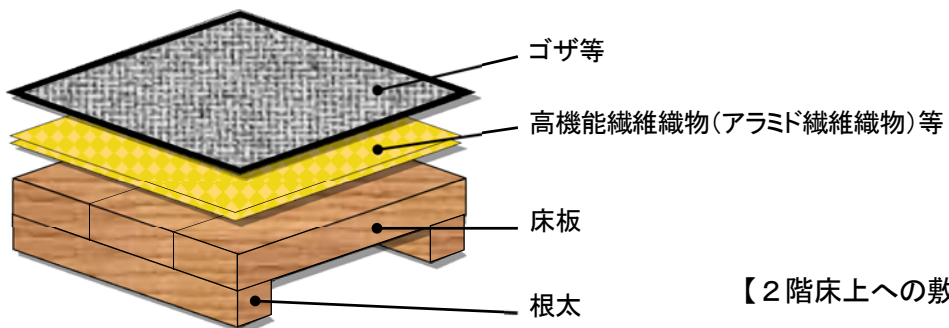
図 3-2 1 アラミド繊維織物



【屋根補強のイメージ図 (構造図)】



【想定される屋根構造】



【2階床上への敷設例】

図 3-2 2 屋根補強等のイメージ図

館内の一部を退避場所とする場合には、できる限り火口側から離れた位置に退避場所を確保することとし、噴石の飛来方向を踏まえた上で避難場所を包括できる範囲の屋根や床上を補強部位とすることが望ましい。

この場合、噴石が火口側から放物線を描いて斜め方向より施設に衝突する状況についても考慮することが必要である（図 3-2 3、3. 7 ③、図 3-4 4 参照）。

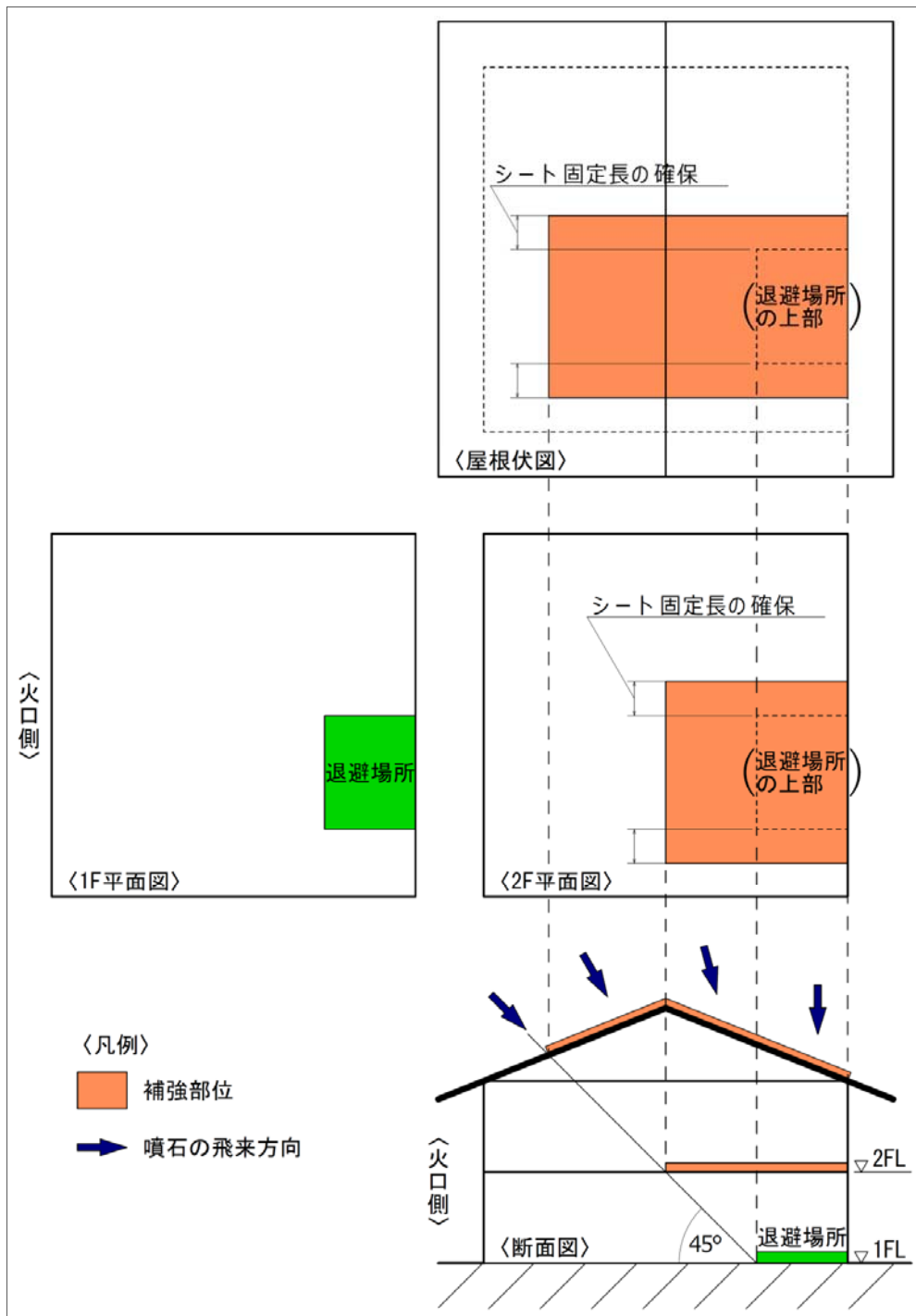


図 3-2 3 館内の一部を退避場所とする場合の補強の考え方の例

(参考) 木造の屋根の補強方法の検討に向けた衝撃実験の実施について

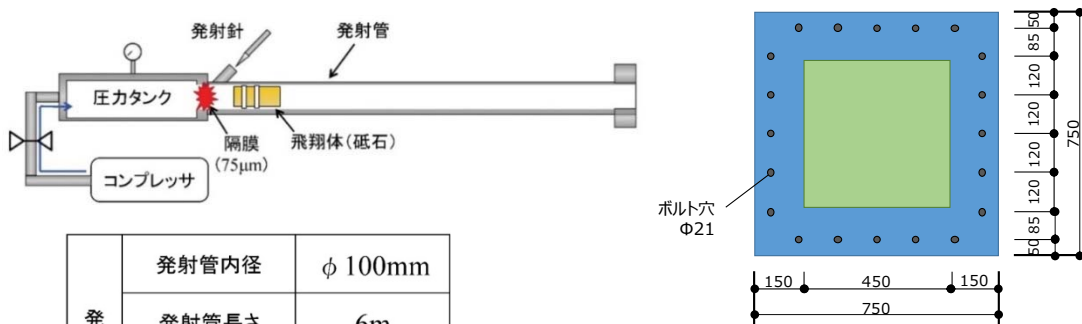
御嶽山 2014 年噴火においては、近傍の山小屋まで退避ができた方々の多くが結果的に難を逃れることができたことが報告されていることから、突発的な噴火にあたり、少しでも犠牲者を減らす観点から、木造の山小屋の屋根の補強方法について検討を行った。

具体的には、一般的な山小屋の屋根部材の一部に、高性能繊維織物(アラミド繊維織物)等を挟みこむことで、噴石に対する衝撃性能を向上させる衝撃実験を防衛大学校、山梨県富士山科学研究所と共同で延べ 15 日間、27 回に渡り実施した。

(1) 衝撃実験の概要

山小屋の屋根に見立てた供試体を試験装置の固定枠に設置し、噴石に見立てた飛翔体を圧力により発射して衝突させることにより検証した。材料の組み合わせや飛翔体の速度等を変えながら、貫通の有無等について記録し、補強方法のための基礎資料とした。

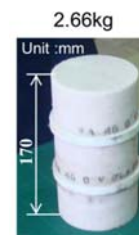
① 実験施設の概要



発射装置	発射管内径	φ 100mm
	発射管長さ	6m
	最大ゲージ圧 (隔膜の限界)	0.5MPa
	許容負荷	3000kN

< 飛翔体の概要 >

- 密度：約 2400 kg/m³
- 形状：円柱状
- 直径：概ね 10 cm
- 高さ：約 5 cm~20 cm
- 質量：約 1.4 kg~3.4 kg



(資料提供：防衛大学校)

図 3-2 4 実験施設等の概要

② 高機能繊維織物（アラミド繊維織物）等による補強を想定した施工方法について

木造の山小屋の屋根の補強方法として、下記の理由により野地板と防水シートの間、高機能繊維織物（アラミド繊維織物）を施工するケースを想定した。

(i) 既存の山小屋等の屋根を補強する場合の制約条件

- ・御嶽山のように 3000m 級の活火山やロープウェイによるアクセスが必要な活火山等においては、建設用の重機、資材の搬入が困難である
- ・一般的に木造建築物の構造耐力上、屋根材は軽量であることが望ましい。特に標高が高い場所にあつては、あらかじめ積雪荷重を見込んだ梁・柱、小屋組みとされている場合が多いが、その場合にあつても、重量物を屋根材に追加的に付加するためには、梁・柱等の構造部材から補強が必要となることも想定される
- ・活火山の火口周辺においては、火山ガス（硫化水素、二酸化硫黄、塩化水素等）が多い場合があり、一般的に鋼板等は腐食が進みやすい

(ii) アラミド繊維織物の特徴

- ・アラミド繊維織物は、防弾チョッキ等に用いられるなど、軽量で強度が高い（人力により運搬が可能）
- ・鋼板と比較し、防錆性に優る
- ・既存の屋根の葺き替え・防水シートの張替工事を行う際に、タッカー（建築用ステープル）等により容易に施工可能
- ・熱分解点が 400℃以上と高い耐熱性があり、屋根面の高温化による変質が小さい

※実験に用いたアラミド繊維織物は、1 万円/m² 程度。仮に 100m² 程度の小屋の屋根の全面を 2 枚張りで覆うと、材料費で 200 万円程度かかることとなるが、例えば小屋の一部について強化しておく方法も考えられる。

(2) 衝撃実験の結果

衝撃実験の全結果は参考資料に掲載している。ここでは代表的な実験結果について紹介する。

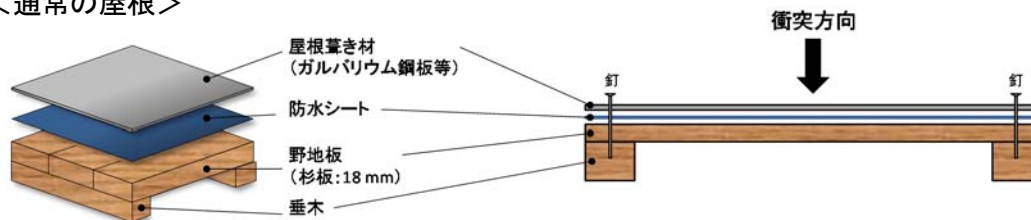
① 衝撃実験に用いた供試体

山小屋の屋根に見立てた供試体を作成した。ここでは、通常の木造の屋根の仕様と、アラミド繊維織物を2枚重ねて設置した場合の例を示す(図 3-25)。

<実験で用いた山小屋の屋根の仕様>

- ・ 屋根葺き材：ガルバリウム鋼板 (厚さ 0.4mm)
- ・ 防水シート：アスファルトルーフィング (22kg 品、厚さ 1.3mm 程度)
- ・ 野地板：杉板 18mm
- ・ 垂木：幅 45mm×高さ 45mm、幅 45mm×高さ 75mm

<通常の屋根>



<アラミド繊維により補強>

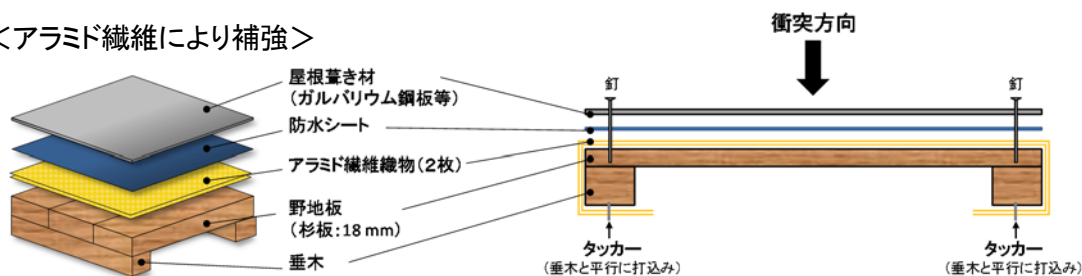


図 3-25 供試体の例

②衝撃実験の結果の例

アラミド繊維織物を2枚重ねることで、質量2.66kg（球体換算の場合の直径128mm）、83m/s（300km/h）程度の飛翔体が衝突した場合であっても、野地板（杉板）は大きく破断するものの、飛翔体は貫通しないことが確認された（図3-26）。

〈通常の屋根の仕様の場合（補強をしない場合）〉



（衝突側）



（裏面側）

※飛翔体が貫通。飛翔体の衝突による破断は衝突部分に集中しており、衝突時のエネルギーが分散せず、局所的に大きな負荷がかかったことがわかる。

〈アラミド繊維織物（2枚重ね）により補強した場合〉



（衝突側）



（裏面側）

※野地板（杉板）は大きく破断したものの、飛翔体は織物部分で止まり貫通せず。飛翔体の衝突による破断は衝突部分のみならず、杉板数枚と垂木にまで及んでおり、衝撃を面全体で吸収していたことがわかる。

図 3-26 衝撃実験の結果の例

(2) 鉄筋コンクリート構造物の衝撃耐力について

① 鉄筋コンクリート版の破壊モードと対策の考え方

噴石が鉄筋コンクリート構造物の頂版に衝突した場合の破壊モードとして、図 3-27 に示す 4 種類が存在し、貫入・クラックを除く 3 種類の破壊モードでは避難者に被害が及ぶおそれがある。全体応答の破壊モードでは、その他の破壊モードが終了した後に、慣性力により頂版の変形が進み、最悪の場合、頂版全体が落下する危険性がある。

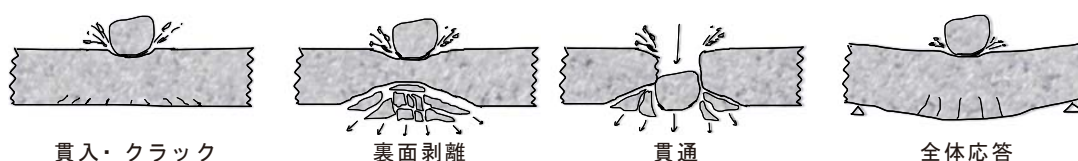


図 3-27 飛来物が鉄筋コンクリート構造物の頂版に衝突した場合の破壊モード

(伊藤・他, 1995 を基に作成)

裏面剥離が発生した場合、噴石がコンクリート版により受け止められたとしても図 3-28 のような剥離片が版の裏側から施設内部に落下して、負傷等に至るおそれがある。このような状況に対して、例えば、図 3-29 のように当該施設のコンクリートの頂版裏側に裏面剥離予防用の織物やネット等を設けたり、避難者にあつては退避壕等内であつてもヘルメットやリュック等により頭部等を守り、小さく身をかがめておくことが望ましいものと考えられる。

衝突面の裏側に織物を張り付ける補強による効果については、図 3-30 に示すような実験において、剥離片の飛散防止効果が確認された例がある。

また、落石対策用のロックシェッドに関する衝撃実験の結果等によると、敷砂等の緩衝材を載せると噴石の衝突に対する衝撃耐力を高めることが期待できる (図 3-31 参照)。なお、敷砂等の設置にあたっては、別途モルタルで表面を覆うなど、風雨による緩衝材の流失を防ぐための工夫が必要となる。

この他、敷砂等の設置にあたり、例えばコンクリート柵を頂版の上部にモルタル等で接着しながら並べ、その中に敷砂等を充填し、さらにコンクリート製の蓋を設けることで、噴石が衝突した場合の蓋や柵の破壊に伴う衝突エネルギーの吸収・分散効果、柵により敷砂を拘束することによる緩衝効果の向上等を図る方法も考えられる。

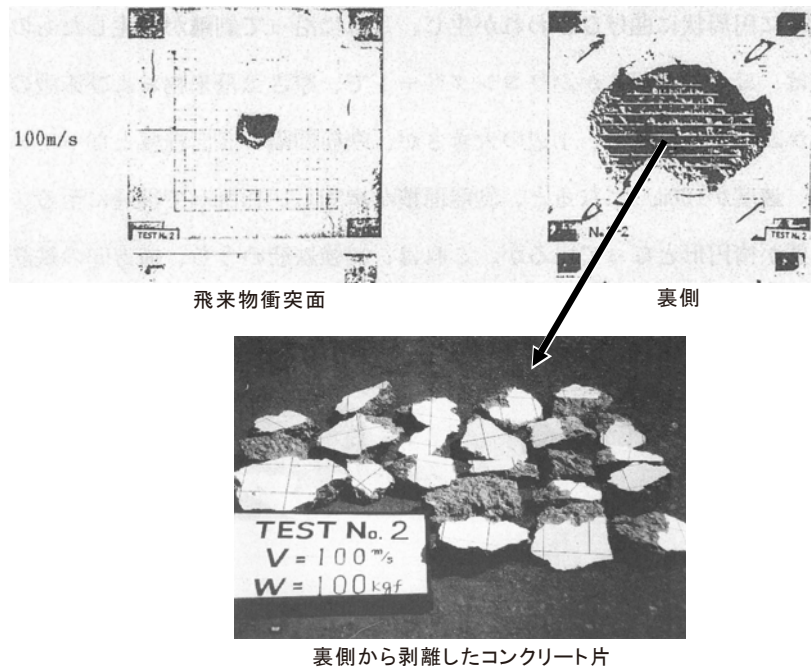


図 3-28 裏面剥離の例（電力中央研究所，1991 に加筆）

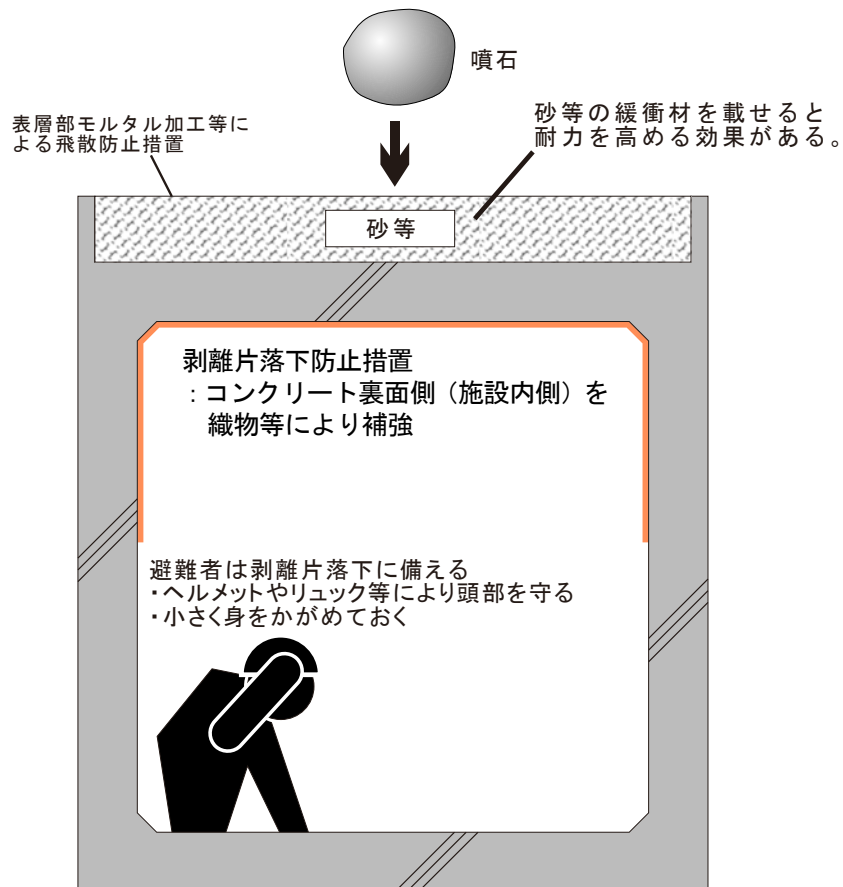


図 3-29 避難時の状況と剥離片落下防止対策・緩衝材敷設のイメージ

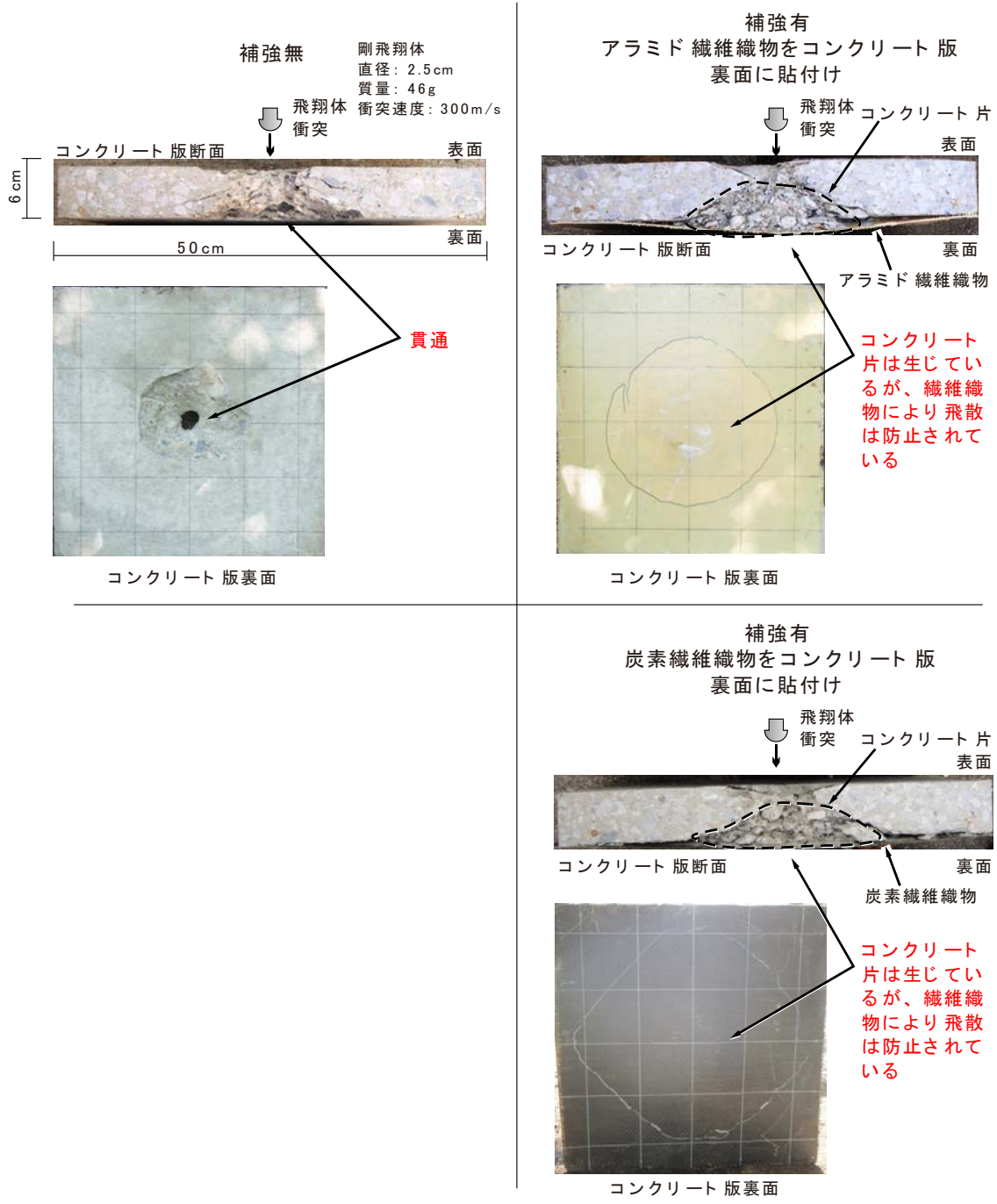


図 3-30 繊維によるコンクリート版補強効果の例

(提供: 別府万寿博)

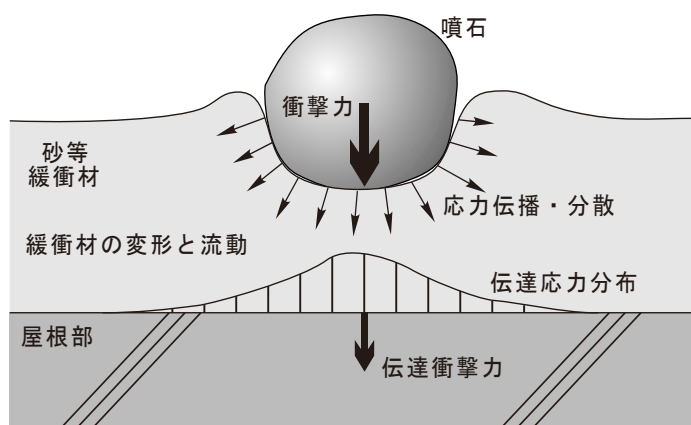


図 3-3 1 砂等の衝撃力緩衝効果 (土木学会(2013)を基に作成)

- ・噴石が緩衝材中に貫入していく過程で、衝撃力は空間的・時間的に分散し、緩衝材内部の減衰作用や緩衝材自体の破壊・移動によりエネルギーが散逸され、構造物との直接衝突の場合に比べて衝撃力の最大値は非常に小さく、作用時間も非常に長くなる。ただし、衝突の速度が速い場合、緩衝材の変形や流動による衝撃力緩和効果が発揮される前に衝撃波が屋根部に伝わり、緩衝効果が弱まることも想定される。

② コンクリートの厚さ、補強方法についての考え方

コンクリートの厚さ及び衝撃耐力を高めるための補強方法について、既往の衝撃実験や経験式、シミュレーション等により、噴石の衝突速度が 100m/s (360km/h) の場合について検討を行った。検討結果の概要は表 3-4 の通りである。

例えば、2.4. 節で見たように、直径 10cm 程度の噴石が、既製品として一般的に流通している幅 3m 程度のボックスカルバートの頂版に標準的に用いられている厚さ 22cm の鉄筋コンクリート版に衝突する場合を考える。この場合、経験式によると、コンクリートの裏面側にひびわれが発生する可能性はあるものの、噴石等が貫通したり、裏面剥離が発生したりする可能性は低い。

次に、直径 30cm 程度の噴石が、同様のボックスカルバートに衝突する場合を考える。この場合、鉄筋コンクリート内部の鉄筋の防護効果（鉄筋間隔約 25cm）を含め、噴石がコンクリート内部に留まり、貫通を免れた場合にあっても、もとより噴石の直径の方がコンクリートの厚さよりも大きく、コンクリート片が玉突き的に裏面剥離し、退避壕内部に飛散することが想定される。このことから、当該退避壕内に避難している人については、たとえ噴石が直接衝突しなかった場合にあっても、剥離片により負傷等に至るおそれがあることから、高機能繊維織物等を施設内部側に接着しておくなど、裏面剥離対策を施しておくことが想定される。なお、剥離が広範囲に及ぶ場合には、織物の十分な耐力が発揮できなくなるおそれがあることから、十分な接着面積を確保しておくなど所要の耐力の確保に留意する必要がある（図 3-3 2 の a）。

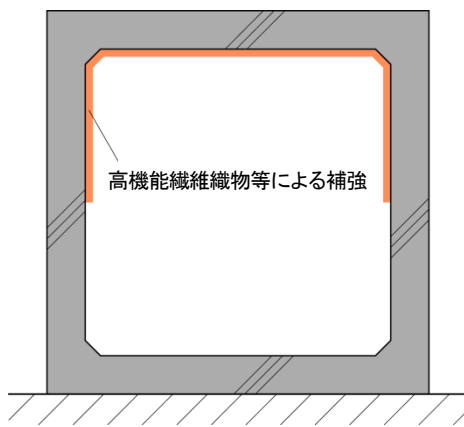
この他、ボックスカルバートの頂版上部に、緩衝材として土、砂、砂利等を敷設しておくことも考えられる。敷砂等の設置にあたっては、例えば一般的に流通しているコンクリート柵（改良柵）を頂版の上部に並べ、その中に砂等を充填し、さらにコンクリート製の蓋を設けておくことで、単に砂等を敷いた場合と比較して、噴石が衝突した場合の蓋や柵の破壊に伴う噴石の衝突エネルギーの吸収・分散効果、柵により敷砂を拘束することによる緩衝効果の向上等を図る方法も考えられる（図 3-3 2 の b）。なお、コンクリート柵の設置にあたっては、落下防止等の観点から、カルバートの頂版及びコンクリート柵相互に、モルタル等で接着しながら固定がなされることが望ましい。

さらに、直径 50cm 程度の噴石が厚さ 40cm 程度のコンクリート版に衝突した場合を考える。この場合も相当程度の裏面剥離が生じるおそれがあることから、例えば退避壕の頂版の上部に土、砂、砂利等の緩衝材を載せておくこと、さらには裏面剥離対策用の高機能繊維織物やネット等をあらかじめ敷設しておくことで、噴石の衝突に対する強度を高めておくことが想定される（図 3-3 2 の c, d）。

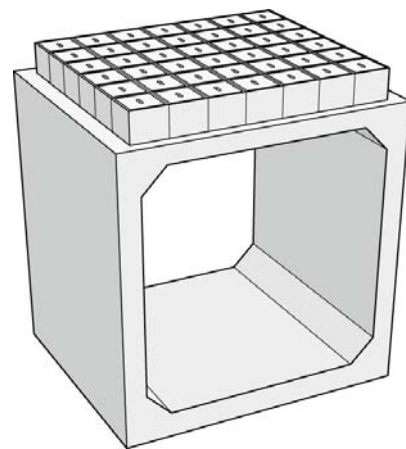
なお、敷砂等の厚さは、厚いほど衝撃の緩衝効果は高くなるが、例えば、直径 50cm 以下程度の噴石の衝突を想定した場合、その効果は想定対象とする噴石と同程度の厚さまで敷いておくと逓減率が高い傾向が見られる。シミュレーションでは、仮に直径 50cm の噴石が 100m/s で厚さ 50cm の敷砂に衝突した場合、コンクリート版で最大衝撃力が発生する時点で、7 割程度のエネルギーが敷砂により吸収される結果となった。

表 3-4 鉄筋コンクリート版の衝撃耐力の検討結果

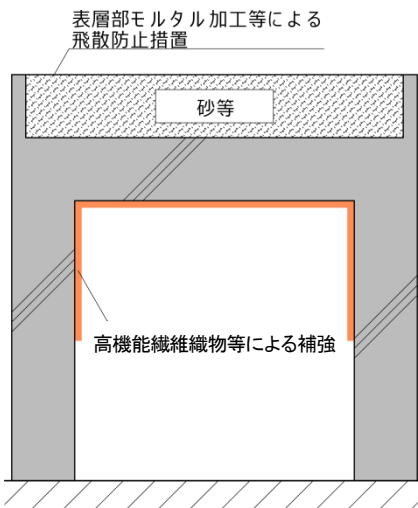
噴石直径 (cm)	衝突速度 (m/s)	コンクリート版厚 (cm)	鉄筋ピッチ (mm)	敷砂	検討結果概要		
					噴石の貫通可能性	裏面剥離可能性	頂版落下可能性
10	100	22	250	無	低い	低い	低い
30					低い	高い	低い
50		40		有 (厚さ 50cm)	低い	高い	低い



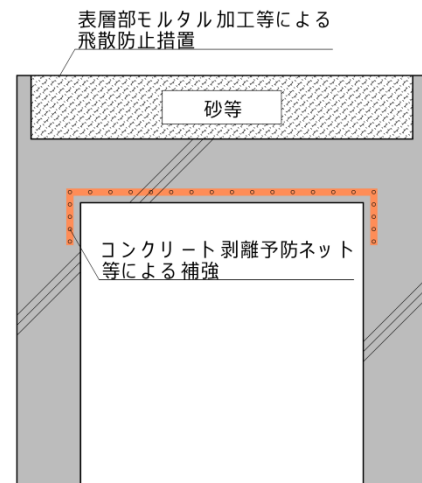
a. ボックスカルバート活用の整備イメージ
(裏面剥離抑制加工付き)



b. ボックスカルバート活用の整備イメージ
(敷砂充填コンクリート樹敷設)



c. 現場打ちコンクリートによる整備イメージ
(敷砂及び裏面剥離抑制加工付き)



d. 現場打ちコンクリートによる整備イメージ
(敷砂及び裏面剥離抑制ネット付き)

図 3-3 2 鉄筋コンクリート製退避壕の補強方法の例

○退避壕のコンクリート厚さの例

草津白根山において整備されている退避壕の屋根及び壁面のコンクリート厚は20～50cm程度となっている（図 3-3 3、図 3-3 4）。



図 3-3 3 草津白根山の退避壕（屋根のコンクリート厚 20cm）



図 3-3 4 草津白根山の退避壕（天井部のコンクリート厚は 50cm 程度）

(参考) 鉄筋コンクリート版の衝撃耐力の検討について

鉄筋コンクリート版の衝撃耐力に関する経験式やシミュレーションを用いた検討の過程について紹介する。

(1) 経験式に基づく飛来物の衝突に対する鉄筋コンクリート構造物の衝撃耐力

飛来物の衝突に対するコンクリート構造物の衝撃耐力については、既往の衝撃実験等により様々な経験式が提案されている。今回の検討では、裏面剥離限界厚さと貫通限界厚さを以下の経験式により求めた。

- ・裏面剥離限界厚さ：修正 NDRC 式 (Kennedy, 1976・他)
- ・貫通限界厚さ：Degen 式 (Degen, 1980)

修正 NDRC 式は安全側の評価結果となる傾向があると指摘されている式で(電力中央研究所, 1991)、衝突に関する文献で引用されることが多い(例えば、三輪・他, 2009)。Degen 式は修正 NDRC 式の貫通限界厚さの評価部分を改良した式である。なお、このような経験式は、比較的簡単な計算で破壊モードを推定することが出来るため、設置するボックスカルバート等の構造物の仕様を考える上で有用である。参考として、図 3-35 に経験式から得られる噴石の直径と破壊モードの関係図を示す。

これらの経験式を使って評価すると、直径 10cm の噴石が速度 100m/s で厚さ 22cm の鉄筋コンクリートの頂版(ボックスカルバート相当)に衝突する場合、噴石の貫通及び裏面剥離が生じない程度の衝撃耐力を有しているものと考えられる。

同様に、直径 30cm の噴石が速度 100m/s で衝突する場合、厚さ 22cm の鉄筋コンクリートの頂版で噴石が停止して貫通には至らない程度にあるものと考えられる。ただし、仮に噴石の貫通を免れた場合にあっても、相当程度の裏面剥離片が玉突き的に飛散するおそれがあり、施設内に退避している人々が剥離片により負傷等を負う可能性があることから、剥離片の大きさや速度について検討を進めた。

表 3-5 経験式による衝突時の状況の推計結果

噴石の条件		コンクリート版 の条件	推計結果	
直径(質量)	速度			
10cm(1.27kg)	100m/s	厚さ 22cm	裏面剥離限界厚さ	20cm
30cm(34.2kg)			裏面剥離限界厚さ	65cm
			貫通限界厚さ	22cm

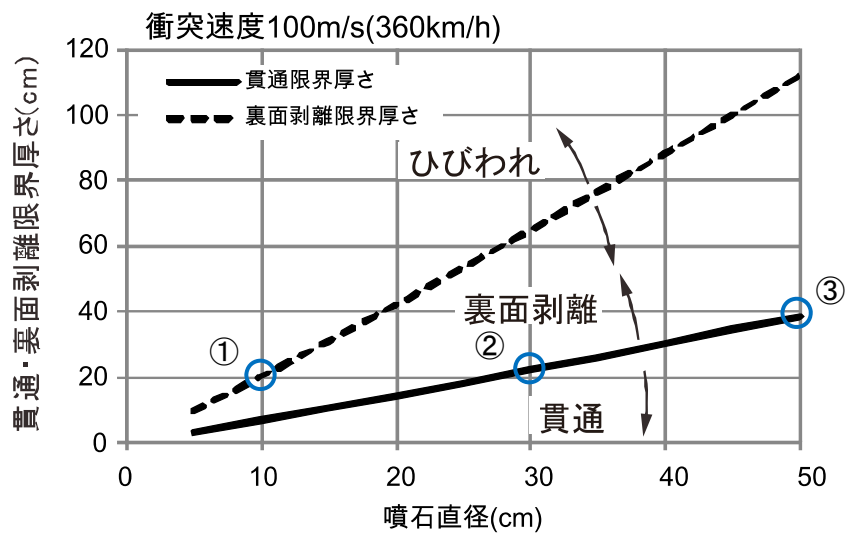
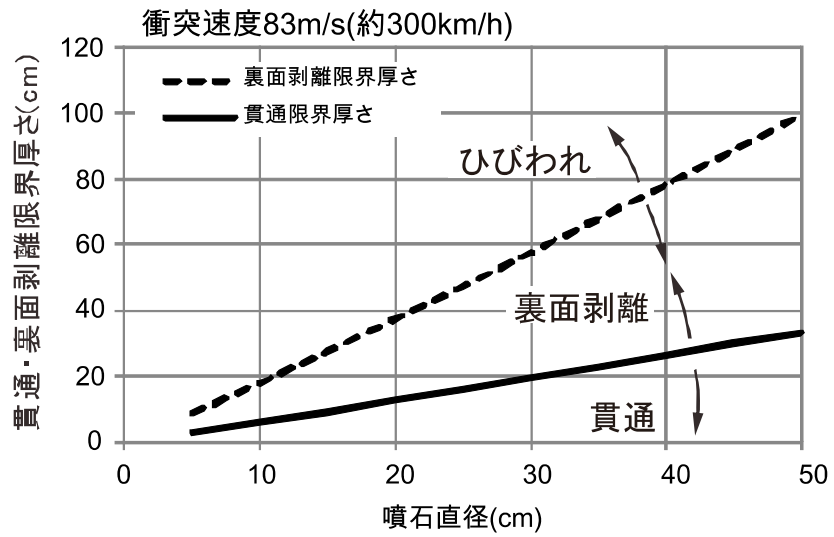


図 3-35 経験式により得られる噴石の直径と破壊モードの関係

- ① 直径10cmの噴石が、厚さ22cmの鉄筋コンクリート版(ボックスカルバートの頂版相当)に速度100m/sで衝突した場合、頂版の裏面側(屋内側)にひびわれが生じる可能性はあるものの、裏面剥離には至らない可能性が高い。
- ② 直径30cmの噴石が、厚さ22cmの鉄筋コンクリート版(同上)に速度100m/sで衝突した場合、噴石は概ね止まるものと見込まれるが、相当程度の裏面剥離が生じるおそれがある。
- ③ 直径50cmの噴石が、厚さ40cmの鉄筋コンクリート版に速度100m/sで衝突した場合、噴石は概ね止まるものと見込まれるが、相当程度の裏面剥離が生じるおそれがある。

(2) 直径 30cm の噴石に対するボックスカルバート（敷砂無）の裏面剥離の状況等の検討
今回想定したボックスカルバートは、幅が 294cm、頂版の厚さが 22cm、鉄筋のピッチは 25cm である。頂版のコンクリートのかぶりは 4cm で、鉄筋比は片側 0.2% である。このボックスカルバート頂版に対して直径 30cm の噴石が 100m/s で衝突した場合の裏面剥離の状況等について検討した。

① 飛散する剥離片の大きさ・速度の検討

剥離片の大きさと速度を推計するために、粒子法を用いた簡易的な二次元シミュレーションを実施した（図 3-36 参照）。

図中の赤い部分がコンクリートが引張破壊した部分であるが、時刻 0.0001 秒より噴石の衝突面の逆側で裏面剥離（引張破壊）が始まり、コーン状の裏面剥離領域が形成され、時刻 0.001 秒前後で裏面剥離による破壊がほぼ終了した。その後は全体応答による破壊モードに移行した。

一般に、無筋コンクリートの場合、衝突側を頂点とする円錐状のコンクリート片が剥離（図 3-36 の白破線で囲った領域）することが知られているが、鉄筋が入っている場合、主に剥離するのはかぶりコンクリート部分となることが知られている（図 3-28）。

この知見を踏まえると、剥離片をコンクリートのかぶり厚さ 4cm の高さを持った円柱と仮定し、剥離領域の底面の長さを直径（約 50cm）とすると、剥離片の質量は最大で約 20kg、飛散速度は約 30m/s となった。

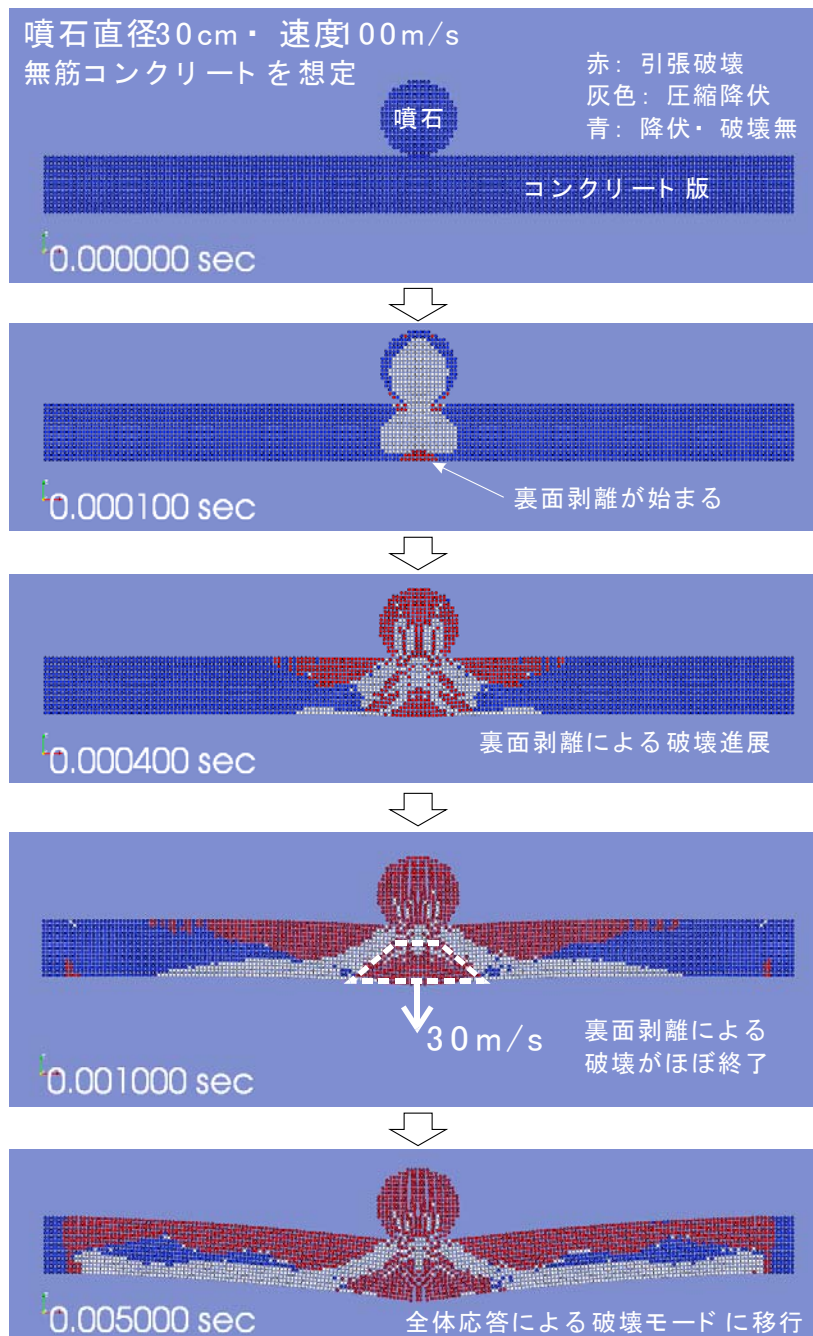


図 3-36 直径 30cm の噴石が速度 100m/s で衝突した際のシミュレーション結果

②頂版落下の検討

コンクリート頂版が全体応答による破壊モードにより折れて頂版全体が落下するかどうかについてもシミュレーション結果を基に簡易に評価した。その結果、噴石を受け止めることが可能で、頂版全体が落下する可能性は低いと想定された。

(3) 直径 50cm の噴石に対する鉄筋コンクリート構造物（敷砂有）の裏面剥離等の状況の検証

次に、直径 50cm の噴石（質量約 160kg）について、現場打ちの鉄筋コンクリート構造物の衝撃耐力について検討した。ただし、衝突エネルギーが非常に大きくなるため、コンクリートの版厚を 40cm、かぶり厚さを 6 cm と仮定し、さらに頂版の上に緩衝材として敷砂を 50cm 載せた場合を想定した。

①敷砂の効果とコンクリートの破壊

高速で飛来する噴石に対する敷砂の効果とコンクリートの破壊を考慮した簡易な経験式が見当たらないことから、敷砂の粒子の動きを個別要素法、コンクリートの変形と破壊を個別要素法と粒子法の二次元連成解析を行った。

噴石の衝突速度 100m/s、敷砂厚 50cm の場合におけるシミュレーション結果を図 3-37 に示す。敷砂がある場合、噴石は敷砂の中に貫入していくが、それより早いスピードで砂粒子を介した波がコンクリート版に伝わり、版の裏面に達した直後（時刻 0.0032 秒）に裏面剥離が始まる。その後、裏面剥離による破壊領域が広がると同時に、全体応答による曲げ変形により破壊領域が横方向にさらに広がり、裏面剥離の現象が終了したと考えられる時刻 0.0052 秒では、剥離片の底辺の幅は約 85cm に達した。ただし、剥離領域の移動速度は約 10m/s で、噴石の元の衝突速度の 10 分の 1 程度まで落ちる結果となった。時刻 0.0078 秒では噴石が跳ね返され、その後、コンクリート版は自由振動を続けた。

このケースでは、コンクリート中央裏面の破壊領域は全体応答による曲げ変形に起因して発生した割合が多いと考えられ、裏面剥離のように剥離片が大きな塊で飛散する可能性は低いと考えられるものの、破片が落下する可能性はある。シミュレーション結果より剥離片の大きさと速度を求めた結果、剥離片の質量は 80kg 弱（剥離片の形状が直径約 85cm、高さ 6 cm の円柱であるものと仮定）と想定された。

②頂版落下の検討

前節と同じく、コンクリート頂版が全体応答による破壊モードにより折れて頂版全体が落下するかどうか検討を行った。その結果、頂版全体が落下する可能性は低いと想定された。

噴石直径50cm・速度100m/s
無筋コンクリートを想定

赤：引張破壊 灰色：圧縮降伏
青：降伏・破壊無

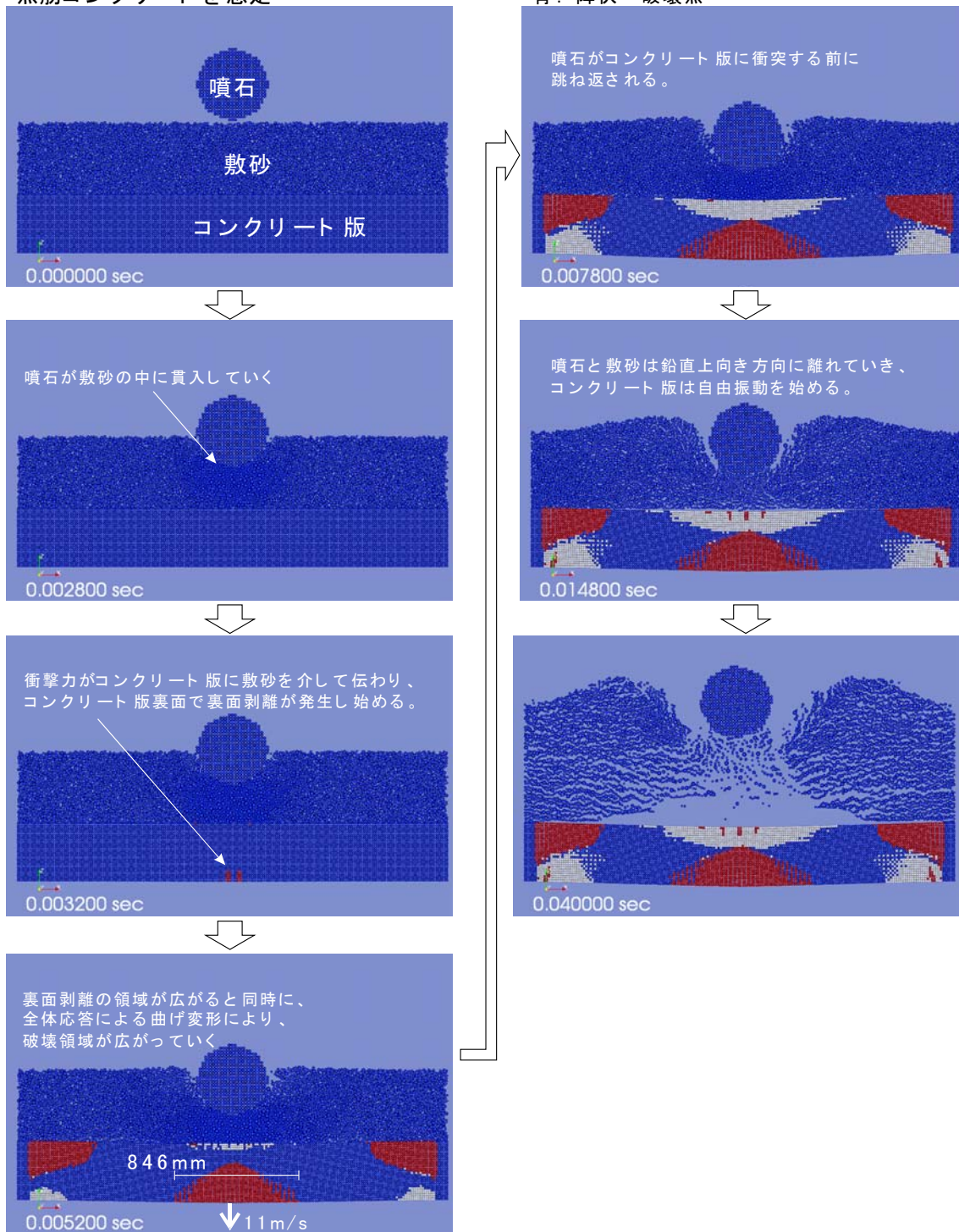


図 3-37 直径 50cm の噴石が速度 100m/s で衝突した際のシミュレーション結果

(4) 直径 50cm の噴石に対する敷砂の衝撃吸収効果の確認

図 3-37 に示した通り、コンクリート頂版の上に砂等を敷くことで、衝突エネルギーをある程度緩和することが可能である。本節では、噴石衝突時に敷砂によりどのくらいのエネルギー吸収が見込めるか検討した。

図 3-38 は、直径 50cm の噴石が 100m/s で、50cm 厚の敷砂に衝突した場合におけるエネルギーの時間推移について、シミュレーションにより計算した結果を示した図である。敷砂のエネルギー吸収効果のみに着目するため、コンクリート版は剛体であると仮定した。噴石の運動エネルギーのみ存在する時刻 0 秒から始まり、噴石が敷砂に貫入していくにつれて、そのエネルギーが砂粒子同士の摩擦等による減衰で失われたり、砂粒子の運動エネルギーに変換されていく。図中の破線の時刻は最大衝撃力が発生した時刻であるが、この時点におけるエネルギーの内訳を見ると、噴石の運動エネルギーは 3 割以下で、初期の衝突エネルギーの約 7 割が敷砂により吸収されており、敷砂が衝突エネルギーの緩衝材として有効と考えられることが分かる。

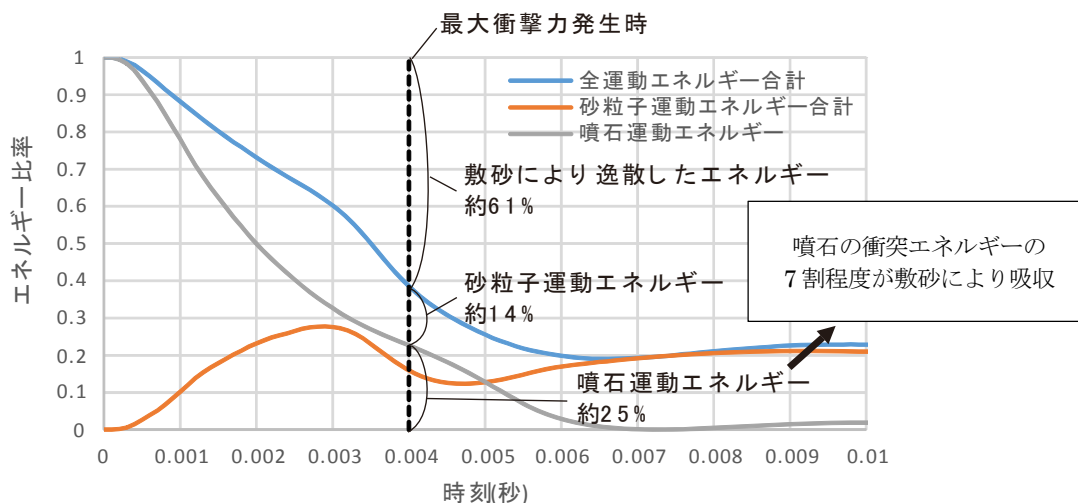


図 3-38 噴石が敷砂に衝突した場合のエネルギーの推移
(噴石：直径 50cm・速度 100m/s、敷砂厚：50cm の場合)

また、図 3-39 は、衝突する噴石直径 D と敷砂厚 T が同じ場合 ($T/D=1.0$) の衝撃力を 1 として、その衝撃力が T/D によりどのように変化するか示した図である。黒い破線が落石対策便覧式 (日本道路協会, 2000) の割増係数 $\alpha=(T/D)^{-0.58}$ で、それ以外の線は、噴石径が 50cm・25.6cm・12.8cm の際のシミュレーション結果 (コンクリート版は剛体と仮定) を示している。図を見ると、敷砂が厚くなるほど衝撃吸収効果は高くなり、噴石の直径と同程度の厚さまで敷くと、遮減率が高いことが分かる。

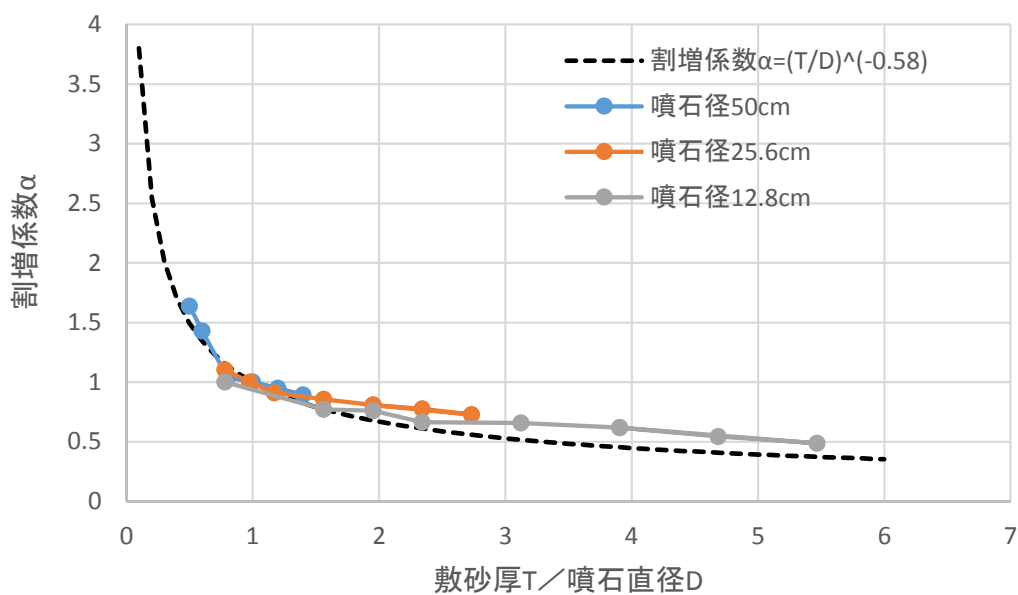


図 3-39 敷砂厚 T / 噴石直径 D と衝撃力の割増係数の関係 (衝突速度 80m/s)

3.7. その他、設計上の考慮事項

〈ポイント〉

- 単位面積あたりの収容人数については、4人/m²程度が目安と考えられるが、可能であれば2人/m²程度確保されることが望ましい。
- 退避壕等の入口は、内部に噴石が飛来すること等を避けるため、火口の反対側に設けることが一般的である。
- 木造の山小屋等に避難する場合には、火口に近い側の近傍に避難することを避けることが望ましい。なお、火口に近い側を家具や荷物等で防除しておくことも考えられる。

① 収容人数について

退避壕等の収容人数は、登山者や観光客などの人数をもとに、突発的な噴火が発生し、逃げ遅れるなど緊急時に使用する人数を検討し、規模を設定することが望ましい。また、可能な限り地理的にバランスよく収容能力が確保されていることが望まれる。

例えば、平成27年3月に策定された「箱根山の噴火を想定した大涌谷周辺の観光客等の避難誘導マニュアル」において、周辺の堅牢な施設に避難することが定められている。周辺の堅牢な施設として、大涌谷くろたまご館やゆーらんど等の観光施設を一時避難施設としており、収容人数等がまとめられている（図 3-40）。

単位面積あたりの収容能力の算定にあたっては、例えばエレベーターのかごの標準的な内寸を考慮した場合、最大積載重量に近い5～6人/m²程度に至ると、ほぼ身動きがとれない状態に至る。衝突の衝撃に備え一定の余裕をもち、立ったまま避難する場合の最大の収容人数としては4人/m²程度とすることが想定される。ただし、避難時に屈んで身を小さくし、頭上にリュック等で衝撃に備える体制をとるものとする場合には、2人/m²程度のスペースが確保されることが望ましい。例えば、図 3-40の箱根山の避難用の施設の収容人数は、1 m²あたり2人として算定されている。

なお、既存施設の補強等による衝撃耐力の向上を検討する際には、必ずしも施設的全館にわたり補強するという考え方だけでなく、発災時の当該施設あたりの収容人数を想定し、その人数から逆算した面積に相当する部分について補強を行い、発災時には在館者等をその場所に誘導して避難する計画とすることも考えられる。

3 避難の考え方

避難行動に伴う交通事故や雑踏事故を防止するため、避難については「一次避難」及び「二次避難」の二段階避難を原則とする。

自然研究路やその周辺にいる観光客等については、現に噴火が発生しているか否か、また、その噴火箇所にかかわらず、いったん自然研究路周辺の堅牢な施設（以下「周辺施設」という。）に屋内退避させ（一次避難）、その後の状況により、さらに安全な場所に避難させる（二次避難）。

なお、神山、冠ヶ岳等の登山道にいる登山者については、原則として駒ヶ岳方面に避難させるが、駒ヶ岳付近で噴火が発生、または発生するおそれがある場合は、最も安全と考えられる方向へ避難させる。

○ 自然研究路周辺の施設の名称及び収容人数について（1㎡あたり2人で算定）

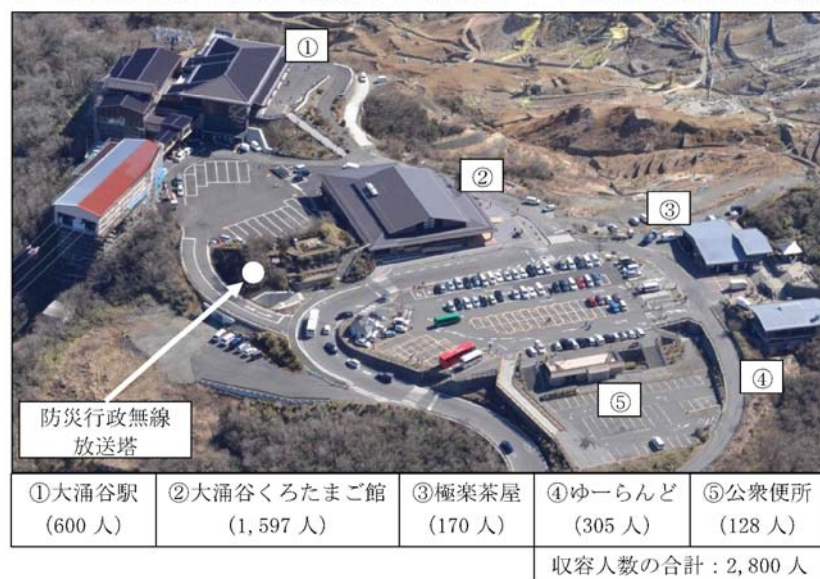


図 3-40 箱根山の周辺施設と収容人数

（箱根町・箱根火山防災協議会（2015）より抜粋）



図 3-41 群馬県により設置された退避壕の例（草津白根山）

②開口部の向き

退避壕等の開口部（入口）は、退避壕等の内部に直接噴石が飛来したり、地面の別の岩塊等に衝突した際の破片（跳弾）が入ることを避けるため、火口の反対側に設けることが一般的である（図 3-4 2）。

一方で、阿蘇山で設置されている退避壕のように、迅速な避難の観点から、開口部に回り込む時間を可能な限り少なくするために、火口側に開口部を設け、別途、開口部の火口側に壁を設置することで、噴石の侵入を抑止している事例もある（図 3-4 3）。



図 3-4 2 火口の反対側に開口部をもつ草津白根山の退避壕



図 3-4 3 火口側に開口部をもつ阿蘇山の退避壕

（提供：京都大学火山研究センター）

③窓、外壁について

一般的に噴石の軌道は、空気抵抗を考慮すると、射出角が約 60 度の場合に最も遠方まで到達することが知られている（図 2-8 参照）。一方で、火口と退避壕等の標高差等によっては、例えば火口よりも退避壕等の場所が高い場合には、より鋭角（45 度程度）に退避壕等に衝突する割合も増加するものと考えられる。

いずれにしても、例えば木造の山小屋等に避難する場合には、火口に近い側の窓や外壁を噴石が貫通することも想定されることから、館内であっても火口に近い側近傍に避難することを避けることが望ましい。

また、必要に応じて火口に近い側の外壁の衝撃耐力の向上や、開口部におけるシャッターや格子等の設置、館内の火口に近い側を家具や荷物等で防除することなども想定される。



図 3-4 4 噴石による斜めの擦痕の例
（御嶽神社頂上奥社）

3. 8. 衝撃耐力を高めた様々な施設の例

〈ポイント〉

- 退避壕等の充実にあたっては、専用の退避壕等を検討するだけでなく、他の用途(バス停、展望所、レストハウス、トイレ等)を設置する際に、噴石に対する衝撃耐力を高めた施設としておくことも考えられる。
- 平常時から施設を利用することで、退避壕等としての場所の周知にもつながる。

退避壕等の充実にあたっては、既存施設を補強することで、噴石に対する衝撃耐力を高めたり、退避壕等を新規に設置する場合にあっても、バス停、展望所、レストハウス、トイレ等の兼用の施設とすることにより平常時から利活用する方法が考えられる。

既存施設を活用する方が費用対効果が高い場合が多く、それぞれの既存施設の構造に合わせた補強方法が考えられる。また、平常時から利活用することにより、施設の劣化の抑制や、退避壕等の設置場所の周知にもつながることが期待される。

以下に、火口周辺に立地する様々な施設について、噴石の衝突に対する衝撃耐力を向上させた施設として設置した事例について紹介する。

なお、自治体が兼用の施設として設置する場合の国の補助対象範囲等については、個別に確認が必要である。

①ロープウェイ停留場

有珠山での事例として、民間ロープウェイ会社によって、鉄筋コンクリート造の駅舎ホームを利用した退避壕が整備されている。(図 3-4 5)。



図 3-4 5 有珠山ロープウェイ山頂駅

(提供：アジア航測株式会社)

②バス停

桜島の事例として、複数の退避壕がバス停として兼用されている。



図 3-46 バス停として利用されている退避壕（桜島）

③展望所

桜島での事例として、有村溶岩展望所のあずま屋は、退避壕としても利用できるような堅牢な構造で整備されている。屋根は厚さ 25 cm 程度のコンクリート造となっている。



図 3-47 有村溶岩展望所のコンクリート製のあずま屋（桜島）

④トイレ

草津白根山での事例として、山頂付近に整備されているトイレは、鉄筋コンクリート造の堅牢な構造であり、退避壕としての機能を持つように整備されている。



図 3-48 コンクリート製の堅牢なトイレ（草津白根山）

⑤レストハウス

草津白根山での事例として、白根レストハウスは、1階が鉄筋コンクリート造、2階は木造となっている。緊急時に逃げ込みやすい1階部分を堅牢な構造とし、退避壕として利用できるよう整備している。



図 3-49 1階が堅牢な構造の白根レストハウス（草津白根山）

⑥学習施設

浅間山での事例として、火山館は、資料展示室を中心とした学習施設である。1階ベランダの下が退避壕として利用できる構造となっている。



図 3-50 浅間山の火山館の外観
（左下部分が退避壕）

⑦学校

三宅島での事例として、三宅小学校及び三宅中学校には、島内の火山ガス濃度が上昇した際の火山ガス対策として脱硫装置が設置されている。



図 3-51 三宅小学校外観
（手前が脱硫装置）

（提供：三宅村）

⑧電話ボックス

桜島での事例として、有村溶岩展望所の電話ボックスは、鉄筋コンクリート造の覆いがされており、退避壕として利用することができる。



図 3-5 2 鉄筋コンクリートの覆いがある電話ボックス（桜島）

⑨観光施設

観光客等が火口周辺に容易に近づくことができる箱根山においては、退避壕等として既設の観光施設等が活用されており、一時避難時には、周辺施設の従業員等の協力を得て、屋外にいる観光客等を周辺施設内に避難させるものとされている（図 3-5 3）。

7 具体的な避難誘導の手順

(1) 一次避難

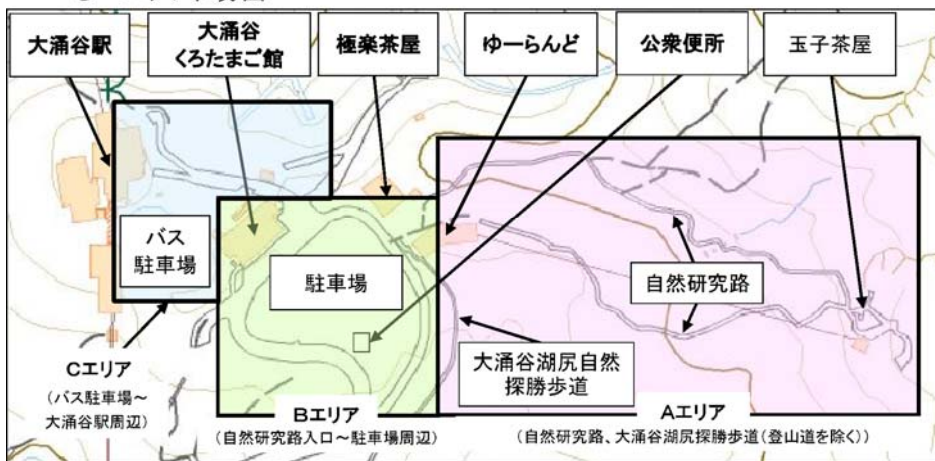
箱根町は、大涌谷周辺規制の決定後、現に噴火が発生しているか否か、また、その噴火箇所に関わらず、周辺施設の従業員等の協力を得て、屋外にいる観光客等を、当面、周辺施設内に避難させるとともに、施設内の観光客等に屋内待機を呼びかける（なお、周辺施設の従業員等は状況を見ながら各施設に避難する。）。

○ 避難誘導者とそれぞれの避難対象者及び誘導先について

避難誘導者	避難対象者	誘導先
<ul style="list-style-type: none"> ・箱根ジオミュージアムの職員（箱根町） ・玉子茶屋、ゆーらんど、大涌谷くろたまご館の従業員（奥箱根観光(株)） ・(有)極楽茶屋の従業員 ・(公財)神奈川県公園協会の職員 	Aエリアにいる観光客等 Bエリアにいる観光客等	大涌谷くろたまご館
<ul style="list-style-type: none"> ・(公財)神奈川県公園協会の職員 ・大涌谷駅の従業員（箱根ロープウェイ(株)） 	Cエリアにいる観光客等	大涌谷駅
<ul style="list-style-type: none"> ・箱根ジオミュージアムの職員（箱根町） ・玉子茶屋、ゆーらんどの従業員（奥箱根観光(株)） ・(有)極楽茶屋の従業員 	Aエリアにいる観光客等のうち、要配慮者に該当する者や避難が間に合わない者	ゆーらんど 極楽茶屋 公衆便所

※ 箱根町、県警察及び（公財）神奈川県公園協会は連携して県道にいる駐車待ちの車両を県道分岐点方向に誘導する。

○ エリア区分図



(出典：国土地理院ホームページ (http://maps.gsi.go.jp/#18/35.242278/139.019247))

図 3-5 3 避難誘導者とそれぞれの避難対象者及び誘導先

(箱根町・箱根火山防災協議会 (2015) より抜粋)

3.9. 景観等への配慮

〈ポイント〉

- 景観計画区域では、建築物・工作物のデザイン・色彩、高さ、敷地面積について制限がある場合があるため、整備計画時には留意が必要であり、関係自治体に事前相談や届出を行う必要がある場合があることに留意する。
- この他、自然公園等においては、周囲の景観や自然環境に配慮するとともに、現地の産材（土石等）の使用等についても考慮する。

火山地域の多くでは、自然環境や土地利用が一体となって良好な景観を形成している。これらの良好な景観を維持・促進するための方針や基準が示されている場合がある。

政令指定都市、中核都市、その他市町村、都道府県等からなる景観行政団体は、景観法に基づいて景観計画を定めることができる。景観計画とは、景観に関するまちづくりを進める基本的な計画として、景観形成上重要な公共施設の保全や、整備の方針、景観形成に関わる基準等をまとめているものである。

景観行政団体は、区域や一定の行為に対する届出・勧告の基準を定めることができる。景観計画において指定される景観計画区域では、建築物・工作物のデザイン・色彩、高さ、敷地面積について制限がある場合がある。

また、自然公園等においては、周囲の景観や自然環境に配慮するとともに、現地の産材（土石等）の使用についても考慮することが望ましい。さらに、避難小屋の設置等に当たっては、し尿等の処理についても考慮が必要な場合が想定される。

これらについて、退避壕等の整備計画時には留意が必要であり、関係自治体等に事前相談や届出等を行う必要がある場合があることに留意する。火山地域の景観計画における景観配慮内容の一例を表 3-6 に示す。

ただし、景観に配慮して目立たせなくすることは、発災時における退避壕等の所在の視認性を低下させる。したがって、平常時から退避壕等の場所を周知していくことが重要である。

表 3-6 火山地域の景観計画における景観配慮内容の例

景観行政団体	景観計画名	火山名	景観配慮の内容
上富良野町	かみふらの景観づくり計画	十勝岳	<ul style="list-style-type: none"> ・地域の特性や周辺景観との調和に配慮した位置・配置、形態意匠とする ・周辺からの眺望を阻害しない形態意匠とし、稜線から突出しないように高さを抑える ・外観は、周辺景観と調和する目立たない色彩とし彩度は7以下とする
青森市	青森市景観計画	八甲田山	<ul style="list-style-type: none"> ・主要な視点場から眺望できる、山稜の稜線を切断したり、背景との調和を乱すことのないよう位置、規模及び形態に配慮 ・周辺景観や自然景観と調和する色彩を用いるよう配慮 ・設置場所の地域特性に合う素材の使用や表面処理に配慮
鹿児島市	鹿児島市景観計画	桜島	<ul style="list-style-type: none"> ・周辺の自然環境と調和し、まとまりのある高さとなるよう配慮 ・周辺の自然環境と調和し、落ち着いたまとまりのある形態・意匠、素材とする ・錦江湾上から見える地域においては、周辺の自然環境と調和する形態・意匠、素材とする

3.10. 退避壕等の設置場所の周知等

〈ポイント〉

- 登山者等ができる限り早く身を隠すために、退避壕等の設置場所を周知することが重要である。
- 噴石等に対する退避壕等の防除能力には一定の限界があることについて周知しつつも、噴火が起こった場合には、最寄りの退避壕等に迅速に身を隠すことが重要である点についても周知する。
- また、火山本来の危険性や発災時の対応や、現に危険が想定されている地域に立入っていることを登山者等に継続的に認識させることが必要かつ重要である。

(1) 退避壕等の設置場所の周知

突発的な噴火に遭遇した場合に、登山者等に迅速な避難行動をとらせるためには、あらかじめ危険区域や避難方法・避難路、退避壕等の場所等について周知し、把握させることが重要である。特に、退避壕等が設置された地域は、活火山の火口周辺であることを周知することが必要である。このため、次のような方法により、継続的に周知を行うことが考えられる。

- ・案内看板の設置 (図 3-5 4)
- ・防災マップへの記載 (図 3-5 5)
- ・パンフレット等への記載
- ・ウェブサイトへの記載
- ・登山届様式への記載
- ・登山前講習等の実施
- ・観光ガイド等による案内



図 3-5 4 退避壕等の位置を示す看板 (左：桜島、右：霧島山)



図 3-5 5 退避壕等の場所が記載された桜島火山ハザードマップ（抜粋）
 (鹿児島市危機管理課 (2010))

(2) 退避壕等における火山防災への活用

退避壕等の存在は、常に登山者に火山であることを意識させ、避難に対する周知を図るという副次的な効果も期待される。退避壕等内部に、危険区域や避難方法・避難路を示す資料を掲示することや、退避壕等を利用した防災教育の実施も効果的である。例えば、霧島山に設置されている退避壕内には、防災マップ等の火山防災に関する掲示物が設置されており、退避壕を利用した防災教育が実施されている（図 3-5 6、図 3-5 7）。

退避壕等における火山防災への活用例を以下に示す。

- ・ 防災マップの掲示（図 3-5 6）
- ・ 避難ルートマップの掲示
- ・ 火山の特徴についての資料の掲示（図 3-5 6）
- ・ 退避壕等に避難した後、どう行動すればよいかを示す資料の掲示
- ・ 退避壕等を用いた防災教育の実施（図 3-5 7）



図 3-5 6 退避壕内のハザードマップ等の掲示物（霧島山）



図 3-5 7 退避壕を利用した防災教育の例（霧島山）

（提供：井村隆介）

(3) 退避壕等を利用する際の注意事項の周知

整備した退避壕等を利用する登山者や観光客が、その効果を過信することなく適切な避難行動をとれるように、退避壕等を利用する際の注意点や退避壕等の機能を周知する。

- ・退避壕等は火山災害に対して万能の施設ではなく、比較的小規模な噴火を想定した場合の噴石に対する施設であり、火砕流や溶岩流等の減災効果は望めないこと
- ・噴石等の飛散物に対する退避壕等の防除能力には一定の限界があること
- ・火山ガス等に対する脱硫機能を備えていない場合など、長時間の滞留は避けることが望ましいこと（水に濡らしたハンカチを口に当てる等の措置も想定）
- ・一時的に噴石等の飛散物から身を隠した後は、火山活動状況を確認の上、更に安全な場所へ避難すること

たとえ退避壕等が整備されている場合にあっても、火口周辺等に長時間滞留することは危険であり、また、火山ガス等に対する脱硫機能までは備えていないことも多いことから、火口周辺等においては可能な限り滞留時間を短くすることが望ましい。

草津白根山では、火山ガス濃度が高いところに「硫化水素ガス発生地点につき立ち止まらないでください」と記した看板が設置され、滞留時間を短くする呼びかけがなされている（図 3-58）。

この他、必ずしも想定火口域が山頂と同一でない場合もあることから、登山道に沿って、「山頂まで■km」の表示とともに、「想定火口から●km」等の表示を行っておくことも、火山の噴火に対する意識を保持する方法の一つとして考えられる。



図 3-58 草津白根山の注意看板（提供：佐々木寿）

なお、活火山では予測が困難な突発的噴火が起こる可能性があり、危険が想定されている地域に立入っていることを登山者等に認識させることも重要である。例えば、小諸市による「浅間連峰登山・ハイキングマップ」には、登山にあたっての注意事項や噴火警戒レベルの規制範囲に応じた利用可能登山道が示されている（図 3-5 9）。

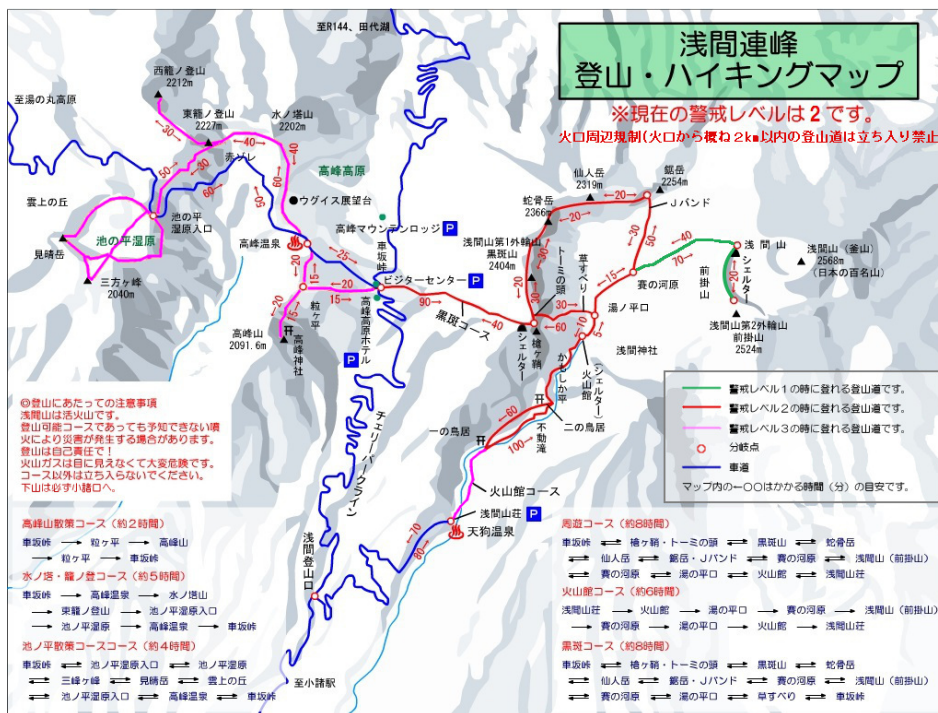


図 3-5 9 浅間連邦登山・ハイキングマップ（小諸市，2014）

4. 退避壕等の整備にあたっての手続き

退避壕等の整備等にあたり、留意が必要となる関係機関との調整、諸手続きについて整理する。

4. 1. 土地利用及び施設の整備に関する手続き

〈ポイント〉

- 自然公園において整備を計画する場合には、国立公園であれば環境大臣に、国定公園又は都道府県立自然公園であれば都道府県知事に、必要となる事項(工作物の新築や土地の形状変更等)の許可申請または届出等を行うことが必要となる可能性が高い。
- 国有林において整備を計画する場合には、所管の森林管理署に国有林野の貸付等申請を行う。
- 保安林において整備を計画する場合には、都道府県知事への作業許可申請や、農林水産大臣または都道府県知事への保安林の解除申請を行う。
- 文化財(天然記念物等)の現状を変更する場合には、文化庁長官または都道府県または市の教育委員会に許可申請を行う。

整備にあたっての留意事項として、自然公園、国有林、保安林、文化財(天然記念物等)における手続きの概要を以下に示す。なお、整備計画位置が鳥獣保護区や自然環境保全地域などの地域においても、整備に当たって手続きが必要となる場合があり得る。

また、これらの地域が重複している場所が整備計画位置である場合には、それぞれの地域に係る手続きが必要となる。

なお、保安林以外の民有林において退避壕等の整備に伴う立木の伐採を行う場合には、原則として森林法に基づき、あらかじめ市町村長に届け出なければならない。

(1) 自然公園(国立公園、国定公園、都道府県立自然公園)

国立・国定公園における退避壕の設置等にあつては、自然公園法により、工作物の新築・増築・改築や、これに伴う土地の形状変更、車馬(自動車、自転車、スノーモービル等)の乗り入れ、木竹の損傷などの付帯行為に対する許可申請または届出等が必要となる可能性が高い。それぞれの火山において、整備計画等を踏まえて必要となる手続きを行う。

なお、整備計画の素案の検討段階など、可能な限り早い段階で手続き窓口(国立公園であれば所管の自然保護官事務所又は法定受託事務を実施している都道府県)に事前相談することが望ましい。

必要となる手続きは、国立・国定公園の地種区分により異なる。地種区分は自然公園法により、次のように規定されている。

特別地域 : 国立公園又は国定公園の風致を維持するため、公園計画に基づいて指定

される地域（第二十条）

特別保護地区：国立公園又は国定公園の景観を維持するため、特に必要があるときは、公園計画に基づいて指定される特別地域内の地区（第二十一条）

普通地域：国立公園又は国定公園の区域のうち特別地域や海域公園地区に含まれない地域（第三十三条）

なお、都道府県立自然公園における許可及び届け出が必要となる行為は、国立・国定公園の手続きと同様である場合が多いが、管理を行う都道府県によりその内容が異なる場合があるため、留意する必要がある。

退避壕の整備等にあたり、国立・国定公園における許可及び届出が必要となる可能性の高い事項を図 4-1 に示す。

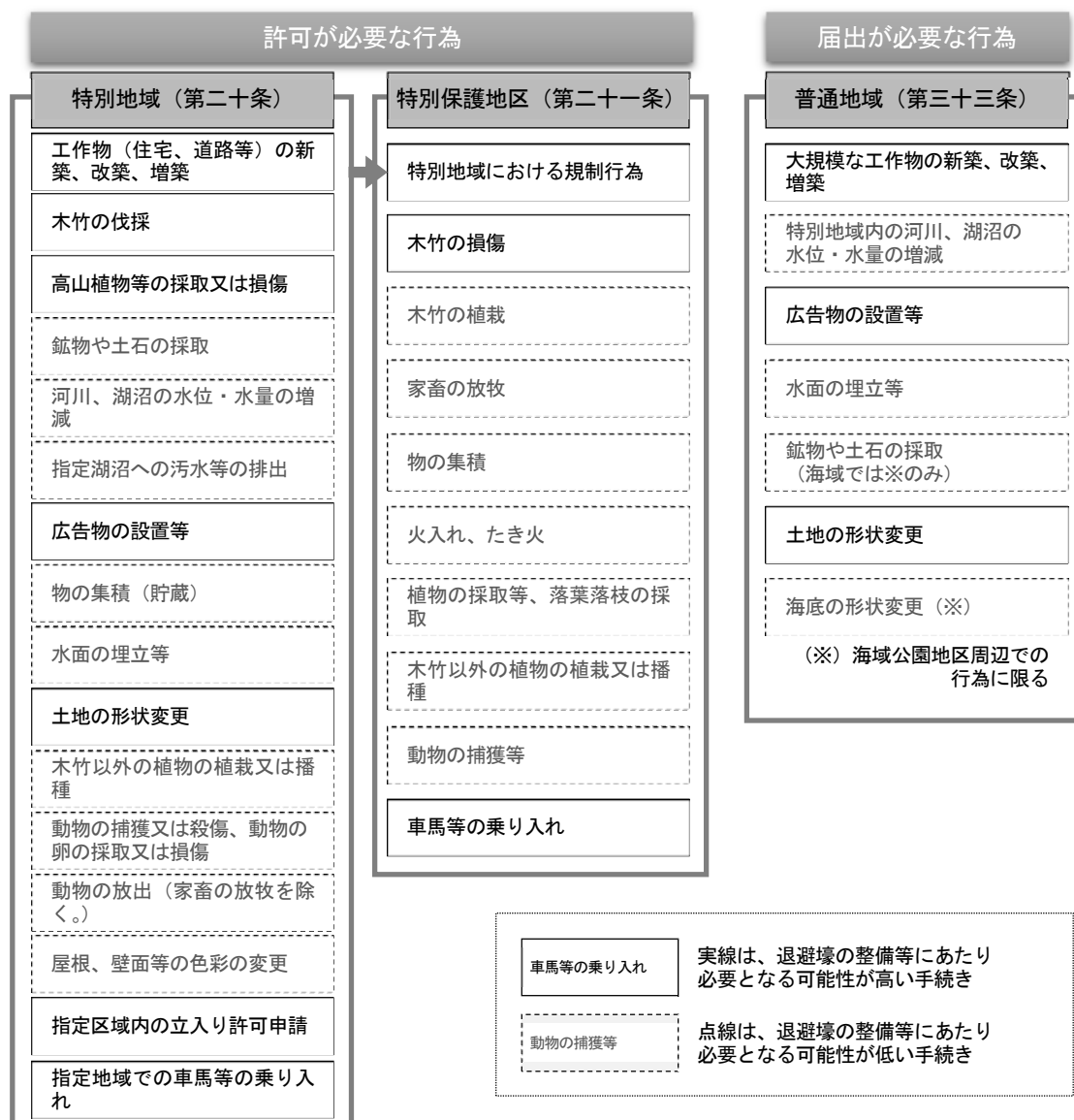


図 4-1 国立・国定公園における許可及び届出事項

国立公園における許可が必要な行為に関する手続きのフローを図 4-2 に示す。整備計画位置の法指定状況を所轄の自然保護官事務所（または法定受託事務実施都道府県）に確認し、必要な書類などについての事前調整を行い、申請書類を作成・提出する。

国定公園の場合は都道府県の環境部局が届出・申請先となる。

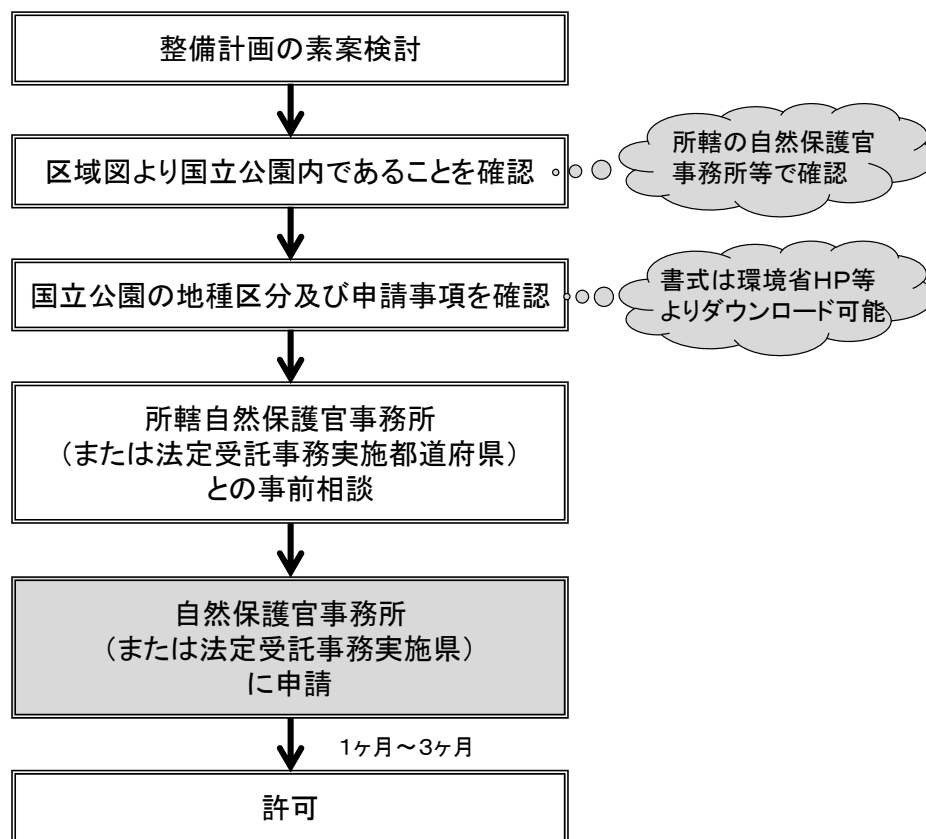
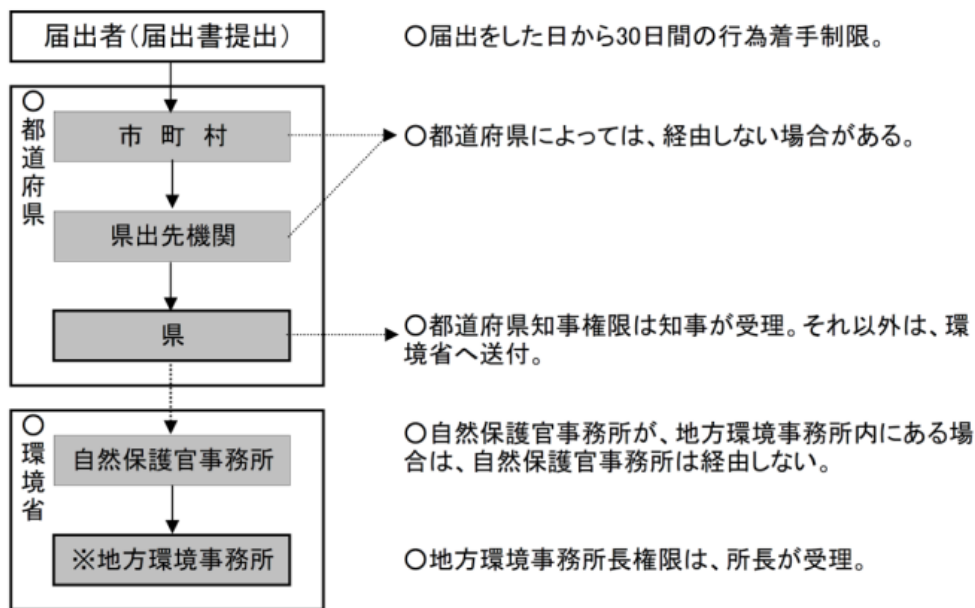


図 4-2 国立公園における許可が必要な行為に関する手続きフロー

国立公園内の作業等にあたって、許可又は届出が必要な行為に関する一般的な手続きの流れを図 4-3 及び図 4-4 に示す。届出が必要な行為については、届出をした日から 30 日間は行為着手が制限される。行為許可は、許可までに 1~3 ヶ月程度の期間を要する。

□届出行為の場合(届出提出後の一般的な流れ)

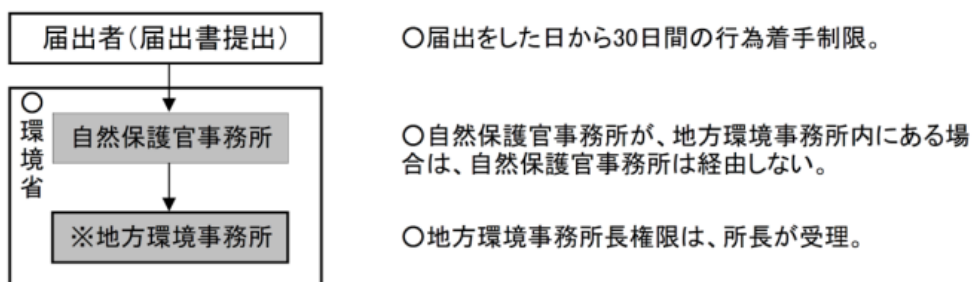
●(1)法定受託事務実施県で行われる場合



※法定受託事務実施県(自然公園法施行令第3項に規定する指定区域。)内で行われる届出行為。

※地方環境事務所には、釧路、長野及び那覇自然環境事務所を含む。

●(2)法定受託事務実施県以外で行われる場合



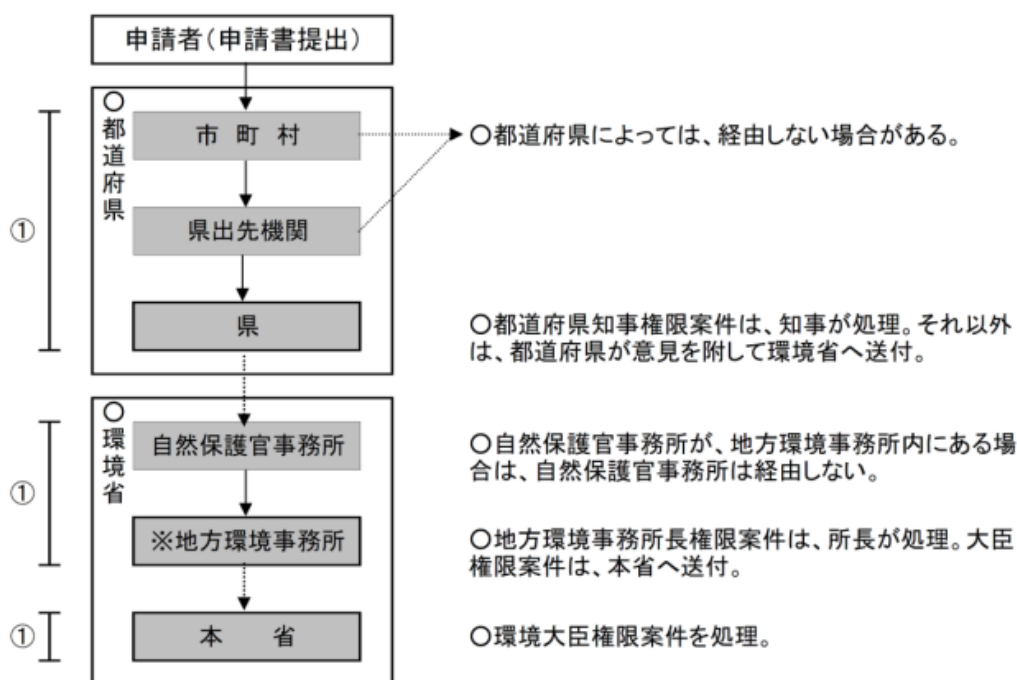
※地方環境事務所には、釧路、長野及び那覇自然環境事務所を含む。

図 4-3 国立公園内の作業等に関する届出の一般的な流れ

(環境省ホームページより)

□行為許可の場合(申請書提出後の一般的な流れ)

●(1)※法定受託事務実施県で行われる場合

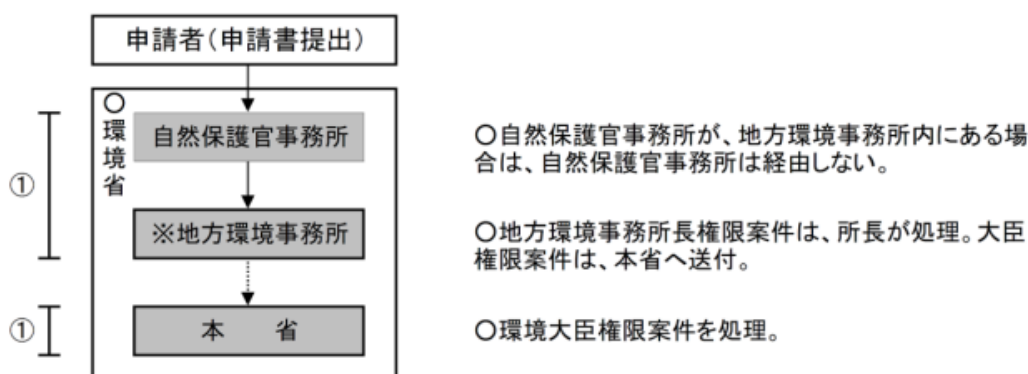


※法定受託事務実施県(自然公園法施行令第3項に規定する指定区域。)内で行われる許可行為。

※地方環境事務所には、釧路、長野及び那覇自然環境事務所を含む。

※標準処理期間は、上図左の「①」が各1ヶ月の意。

●(2)法定受託事務実施県以外で行われる場合



※地方環境事務所には、釧路、長野及び那覇自然環境事務所を含む。

※標準処理期間は、上図左の「①」が各1ヶ月の意。

図 4-4 国立公園内の作業等に関する許可の一般的な流れ

(環境省ホームページより)

(2) 国有林

退避壕の整備等を計画する場所が国有林である場合には、国有林野の管理経営に関する法律に則り所管の森林管理署に対し国有林野の貸付等申請を行う。

国有林野の貸付等申請に関する代表的な手続きフローを図 4-5 に示す。

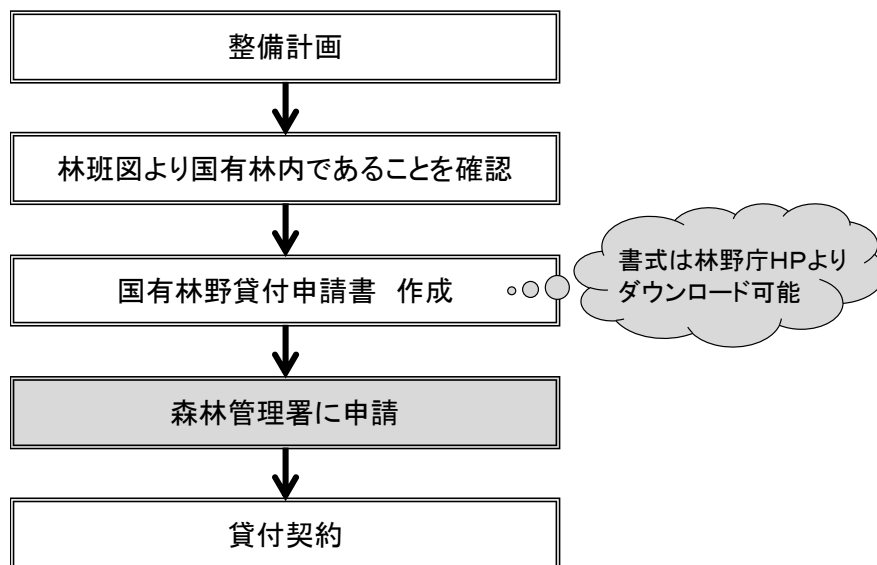


図 4-5 国有林野の貸付等申請に関する代表的な手続きフロー

(3) 保安林

退避壕等の設置を計画する場所が保安林である場合は、施設を設置するために立木伐採及び作業許可並びに保安林解除を行う必要がある。

保安林において、土石もしくは樹根の採掘、開墾その他土地の形質変更を行う場合には、都道府県知事の作業許可を得なければならない。作業許可は、土壌の性質、林木の育成に及ぼす影響が微小又は一時的な変更行為であって、次の(ア)又は(イ)に該当する場合とされている。

(ア) 次に該当する場合

- ① 施設等の幅が1m未満の線的なものを設置する場合(例えば、水路、へい、棚等)
- ② 変更行為に係る区域の面積が0.05ha未満で、切土又は盛土の高さがおおむね1.5m未満の点的なものを設置する場合(例えば、標識、掲示板、雨量計、簡易な展望台等)

ただし、区域内に建築物を設置するときには、建築面積が50平方m未満であって、かつその高さが周囲の森林の樹冠を構成する立木の期待平均樹高未満であるものに限る。

保健・風致保安林内の区域に建築物以外の工作物を設置するときには、その高さが周囲の森林の樹冠を構成する立木の期待平均樹高未満であるものに限る。

(イ) 一時的な行為であって次の要件を満たす場合

- ① 変更行為の期間が原則として2年以内のものであること
- ② 変更行為の終了後には植栽され確実に森林に復旧されるものであること
- ③ 区域の面積が0.2ha未満のものであること
- ④ 土砂の流出又は崩壊を防止する措置が講じられるものであること
- ⑤ 切土又は盛土の高さがおおむね1.5m未満のものであること

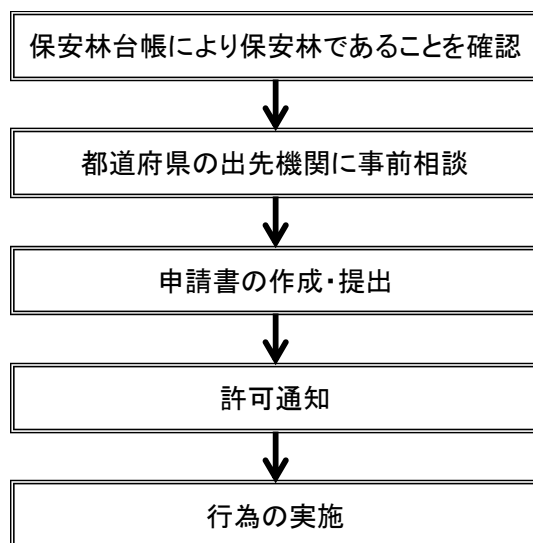


図 4-6 保安林立木伐採・作業許可申請のフロー

作業許可の基準を超過する場合は、保安林の解除を行う必要がある。

保安林の解除の権限は、農林水産大臣および都道府県知事であり、保安林の種類、所有者（私有林か国有林か）、所在する流域によって権限者が異なる。

第2級地（※）として区分される保安林については、やむを得ざる事情があると認められ、かつ、当該保安林の指定の目的の達成に支障がないと認められ、以下の要件を満たす場合に限って転用に係る解除が行われる。

- ① 他に適地を求めることができないか著しく困難であること。
- ② 解除面積が必要最小限度のものであること。
- ③ 保安林の機能を代替する施設の設置等が行われること。
- ④ 事業実現の確実性が認められること。
- ⑤ 利害関係を有する市町村長の同意及び直接の利害関係者の同意を得ているか又は得ることができると認められるものであること。

※：治山事業施行地、傾斜度 25 度以上のもの、人家・道路等国民生活上重要な施設に近接したもの、海岸に近接した一定幅以下のもの及び過去の保安林解除に伴い残置又は造成されたものを第1級地とし、それ以外の保安林を第2級地として区分し、第1級地は原則として解除を行わない取扱いとなっている。

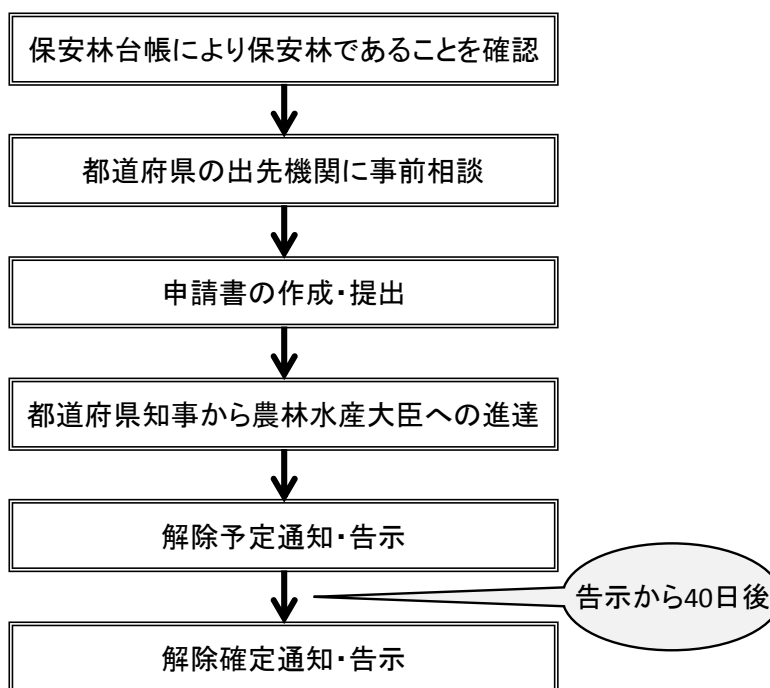


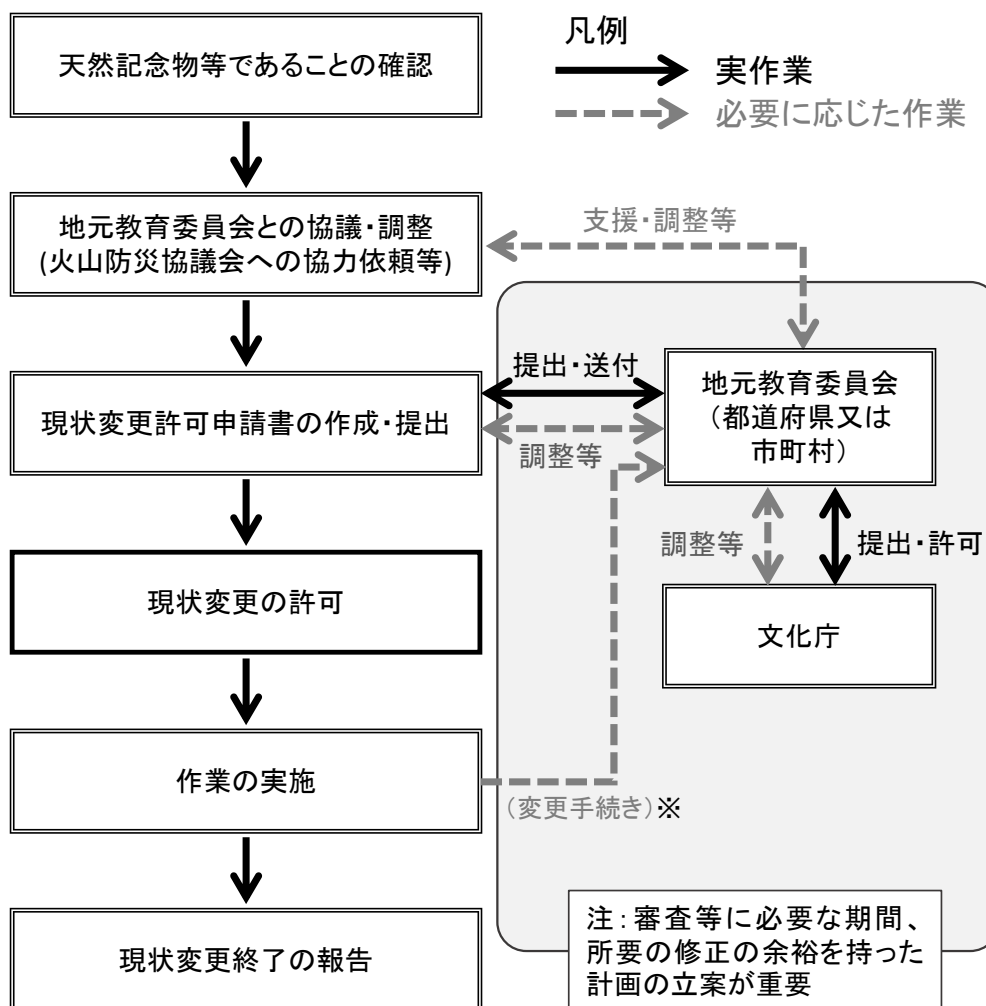
図 4-7 保安林解除のフロー（農林水産大臣権限の場合）

(4) 文化財（天然記念物等）

活火山の中には、その景観や自然・文化的な条件から天然記念物（特別天然記念物）、名勝（特別名勝）、史跡（特別史跡）などの文化財に指定されているものがある。

天然記念物等の現状変更またはその保存に影響を及ぼす行為をする場合には、文化庁長官の許可が必要となる。

許可を受ける際には、現状変更許可申請書を都道府県又は市町村教育委員会を窓口として文化庁に提出する。現状変更の許可は、文化審議会での審議を経る等、手続に時間を要するため、余裕をもって提出する必要がある。また対象となる火山が天然記念物等に指定されている場合は、計画の早期段階から、火山防災協議会に市町村教育委員会担当者の出席を求めたり、協議会における審議事項等を都道府県と共有するなど、事前協議がなされることが望ましい。



※：計画内容・工期等に変更が生じた場合は速やかに調整し、計画変更の手続きを行う。

図 4-8 天然記念物の現状変更申請のフロー

4. 2. 補助金等に関する手続き

〈ポイント〉

- 退避壕等の整備には「消防防災施設整備費補助金」や、都道府県による補助金を活用することができる。
- 消防防災施設整備費補助金に係る取扱いについては、消防防災施設整備費補助金交付要綱に規定されている。
- 消防防災施設整備費補助金の補助率は、補助対象経費の3分の1以内、活火山法に規定される避難施設緊急整備計画に掲げる施設にあつては2分の1以内とされている。
- この他、地方公共団体に対する財政措置として、地方債（緊急防災・減災事業債等）がある。
- 財政措置については、制度改正が行われる可能性が常にあることから、必ず最新の情報を確認の上、担当省庁及び都道府県等と連絡を密にしながら手続きを行うことが重要である。

退避壕等の整備において、地方公共団体の消防防災施設の整備を促進することを目的として交付される「消防防災施設整備費補助金」（消防庁）を活用することができる。また、都道府県による補助金を活用して退避壕等を整備した事例もある。

（1）消防防災施設整備費補助金

消防防災施設整備費補助金に係る取扱いについては、消防防災施設整備費補助金交付要綱（最終改正：平成27年4月16日消防消第79号）に規定されている。その中でも、退避壕等は「活動火山対策避難施設」に分類されている。

補助事業の対象者は、次のいずれかに該当する地域を有する地方公共団体としている。

- ア 活火山法第13条第1項の規定により避難施設緊急整備地域として指定された地域
- イ 火山噴火予知連絡会（火山噴火予知計画（昭和48年6月文部省測地学審議会建議）により設置）の火山活動評価検討会において選定された「監視・観測体制の充実等が必要な火山」（47火山）の周辺で整備を必要とする地域でアに規定する地域以外の地域

消防防災施設整備費補助金の補助率は、次のとおりである。

- ・ 補助対象経費の3分の1以内
- ・ 活火山法第14条の避難施設緊急整備計画に掲げる施設にあつては2分の1以内

消防防災施設整備費補助金の申請手続きの流れを図4-9に示す。

申請にあたり、交付申請書及び添付書類を消防庁長官に提出する必要がある。また、補助事業遂行後は、実績報告書及び添付書類を消防庁長官または都道府県知事に提出する必要がある。

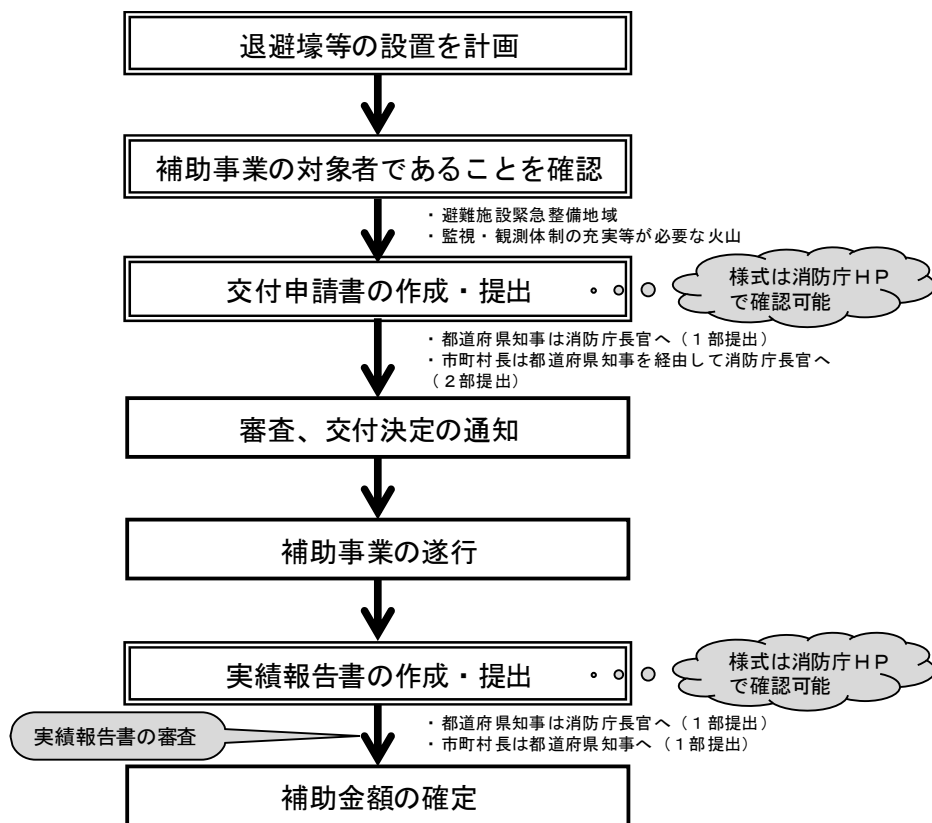


図 4-9 消防防災施設整備費補助金申請の手続きの流れ

(2) 地方債

退避壕等の整備に係る財源としては、補助金のほかに地方債があるが、主なものとしては、緊急防災・減災事業債があり、充当率と交付税措置等は以下のとおりとなっている。

なお、緊急防災・減災事業債は、退避壕等の新設だけでなく、既存の山小屋等（民間施設を除く）における機能強化事業等についても対象となっている。

緊急防災・減災事業債

- ・ 地方債の充当率 100%
- ・ 交付税措置 元利償還金について、その70%を基準財政需要額に算入
※事業年度は、平成26年度から平成28年度まで
(平成29年度以降の取扱いについては事業の実施状況等を踏まえて検討)

おわりに

平成26年9月27日に長野・岐阜県境の「御嶽山」において発生した噴火では、火口周辺で多数の死者・負傷者が出るなど甚大な被害が発生した。しかし、近傍の山小屋まで退避ができた方々の多くが結果的に難を逃れることができた旨の報告がなされており、突発的な噴火においては、退避壕等の有効性が改めて示され、その充実を図る必要性があることが認識された。

これらの背景を踏まえ、活火山の関係者が退避壕等の充実について検討するにあたり、参考となる事項を調査・整理し、手引きとしてとりまとめた。人知で計り知れない噴火災害に見舞われることを奇禍として済ませることなく、それぞれの地域において、その実状に即しながら、退避壕等の整備を含めた火山災害対策が一層充実することを期待するものである。

なお、本手引きは、本年3月にとりまとめられた火山防災対策推進ワーキンググループの最終報告を受け、比較的短期間でとりまとめたものである。その内容は、火山防災の考え方にはじまり、火山の噴火特性に関する理学的な内容、構造物の衝撃耐力、山小屋の補強方法など、それぞれに議論のある事項について多岐にわたり取り扱っている。

特に構造物の噴石に対する衝撃耐力や山小屋の補強方法等については、十分な研究の蓄積には至っていないことから、関連する既往の研究内容等を中心として整理し、不足する部分については、模擬実験やシミュレーションによって、その挙動や対応方策等についての検証を行った。しかしながら、未だ未解明の部分や、より効率的な方策も想定されることから、今後、専門家、関係機関、関係者等において更なる研究、取組み等が進むことを期待するものである。

最後に、本手引きの策定にあたり、活火山における退避壕の整備等に関する検討ワーキンググループ委員をはじめ、ご指導、ご協力、試料の提供等をいただいた関係各位に深く感謝するとともに、活火山周辺の関係各機関が一体となって、活火山における被害低減のための取組みが進むことを心より祈念している。

平成27年12月
内閣府(防災担当)

<ご指導、ご協力をいただいた方々（50音順、敬称略）>

■ 活火山における退避壕の整備等に関する検討ワーキンググループ委員（◎：座長）

◎石原 和弘 京都大学名誉教授、NPO法人火山防災推進機構理事長

石峯 康浩 国立保健医療科学院 健康危機管理研究部 上席主任研究官

及川 輝樹 国立研究開発法人 産業技術総合研究所 主任研究員

宝田 晋治 国立研究開発法人 産業技術総合研究所 主任研究員

山田 浩之 防衛大学校 機械工学科 講師

吉本 充宏 山梨県富士山科学研究所 主任研究員

■ 現地調査、ヒアリング調査関係

井口 正人 京都大学 防災研究所 教授

井村 隆介 鹿児島大学 学術研究院 理工学域理学系 准教授

須藤 靖明 阿蘇火山博物館 学術顧問

常松 佳恵 山梨県富士山科学研究所 非常勤研究員

野上 健治 東京工業大学 火山流体研究センター 教授

■ 衝撃実験関係

小笠原 永久 防衛大学校 機械工学科 教授

佐藤 元宣 防衛大学校 理工学研究科前期課程 機械工学専攻

帝人株式会社

東レ株式会社

株式会社ナックイメージテクノロジー

山梨県富士山科学研究所

■ コンクリートの衝撃耐力、シミュレーション関係

伊藤 千浩 一般財団法人電力中央研究所 バックエンド研究センター長

別府 万寿博 防衛大学校 建設環境工学科 教授

■ オブザーバー

消防庁、気象庁

■ 写真提供

荒井 健一 アジア航測株式会社

荒牧 重雄 東京大学名誉教授

伊藤 英之 岩手県立大学 総合政策学部 教授

井村 隆介 鹿児島大学 学術研究院 理工学域理学系 准教授

宇平 幸一 気象庁

小坂 丈予 東京工業大学名誉教授

佐々木 寿 アジア航測株式会社

千葉 達朗 アジア航測株式会社

長井 雅史 防災科学技術研究所

別府 万寿博 防衛大学校 建設環境工学科 教授

安井 真也 日本大学 文理学部 地球システム科学科 准教授

京都大学火山研究センター

アジア航測株式会社

気象庁

三宅村

参考資料

- 青森市都市整備部都市政策課（2006）青森市景観計画．平成18年8月．17p.
- Alatorre-Ibargüengoitia, M. A., Delgado-Granados, H. and Dingwell, D. B. (2012) Hazard map for volcanic ballistic impacts at Popocatepetl volcano (Mexico). *Bull. Volcanol.*, 74, 2155-2169.
- 別府万寿博・三輪幸治・高橋順（2012）高速衝突を受けるコンクリート版の裏面剥離発生メカニズムと連続繊維シート補強の効果. 土木学会論文集 A1 (構造・地震工学), Vol. 68, No. 2, 398-412.
- Breard, E. C. P., Lube, G., Cronin, S. J., Fitzgerald, R., Kennedy, B., Scheu, B., Montanaro, C., White, J. D. L., Tost, M., Procter, J. N. and Moebis, A. (2014) Using the spatial distribution and lithology of ballistic blocks to interpret eruption sequence and dynamics: August 6 2012 Upper Te Maari eruption, New Zealand. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 286, 373-386.
- Degen, P. P. (1980) Perforation of reinforced concrete slabs by rigid missiles. *Journal of the Structural Division, Proceedings of ASCE*, Vol. 106, No. ST7.
- 電力中央研究所（1991）飛来物の衝突に対するコンクリート構造物の耐衝撃設計法. 電力中央研究所報告, 総合報告 U24, 141p.
- 土木学会(2013)防災・安全対策技術者のための衝撃作用を受ける土木構造物の性能設計 — 基準体系の指針—. 261p.
- 箱根町・箱根火山防災協議会（2015）箱根山の噴火を想定した大涌谷周辺の観光客等の避難誘導マニュアル. 平成27年3月. 19p.
- 井口正人・石原和弘・加茂幸介（1983）火山弾の飛跡の解析—放出速度と爆発圧力について—. 京都大学防災研究所年報, 第26号B-1, 9-21.
- 伊藤千浩・白井孝治・大沼博志（1995）剛飛来物の衝突に対する鉄筋コンクリート構造物の設計評価式. 土木学会論文集, No. 507/I-30, 201-208.
- 鹿児島市（2008）鹿児島市景観計画. 平成20年2月. 31p.
- 鹿児島市危機管理課（2010）桜島火山ハザードマップ. 平成22年3月.
- 上富良野町（2010）上富良野町の景観計画 かみふらの景観づくり計画. 平成22年11月29日. 17p.
- 勝井義雄（1979）噴火災害と噴火予知. 岩波講座地球科学7火山, 岩波書店, 83-99.
- Kennedy, R. P. (1976) A review of procedures for the analysis and design of concrete structures to resist missile impact effects. *Nuclear Engineering and Design*, 37.
- 気象庁（2012）十勝岳の噴火警戒レベル —火山災害から身を守るために—. 平成24年3月.

- 気象庁 (2013) 富士山の噴火警戒レベル —火山災害から身を守るために—. 平成 25 年 3 月.
- 気象庁 (2014) 火山噴火予知連絡会火山活動評価検討会報告書 —噴火現象の即時的な把握手法について—, 93p.
- 気象庁 (2015) 第 132 回火山噴火予知連絡会資料 (その 2) 桜島. 23p.
- 気象庁編 (2013) 日本活火山総覧 (第 4 版) . 1514p.
- Kilgour, G., Manville, V., Della Pasqua, F., Graettinger, A., Hodgson, K.A. and Jolly, G.E. (2010) The 25 September 2007 eruption of Mount Ruapehu, New Zealand: Directed ballistics, surtseyan jets, and ice-slurry lahars. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 191, 1-14.
- 小諸市 (2014) 浅間連邦登山・ハイキングマップ. (<http://www.city.komoro.lg.jp/doc/2014022400258/>).
- 工藤崇・星住英夫 (2006-) 活火山データベース—1 万年噴火イベントデータ集. 産業技術総合研究所地質調査総合センター, (<http://riodb.ibase.aist.go.jp/db09/eruption/index.html>).
- Mastin, L. G., 2001, A simple calculator of ballistic trajectories for blocks ejected during volcanic eruptions. *U.S. Geological Survey Open-File Report*, 01-45, 16p.
- Minakami, T. (1942) On the Distribution of Volcanic Ejecta (Part I.): The Distributions of Volcanic Bombs ejected by the Recent Explosions of Asama. *Bull. Earthq. Res. Inst.*, 20, 65-92.
- 三輪幸治・別府万寿博・大野友則・伊藤雅晴・片山雅英 (2009) 改良理論モデルによるコンクリート版の局部破壊評価法. 土木学会論文集 A, Vol. 65, No. 4, 844-858.
- 村田泰章・須田芳朗・菊地恒夫 (編) (1991) 日本の岩石物性値 — 密度, 磁性, P 波速度, 有効空隙率, 熱伝導率 —. 地質調査所報告, No. 276, 302p.
- 内閣府 (防災担当), 消防庁, 国土交通省水管理・国土保全局砂防部, 気象庁 (2013) 火山防災マップ作成指針, 108p.
- 中村左衛門太郎 (1926) 十勝岳泥流の速さ. 地球, 6-2, 79-82.
- 日本道路協会 (2000) 落石対策便覧 平成 12 年 6 月. 422p.
- 小野晃司・下川浩一・渡辺一徳 (1979) 阿蘇火山の爆発 1979 年 9 月 6 日. 地質ニュース, 304, 54-59.
- Pistolesi, M., Delle Donne, D., Pioli, L., Rosi, M. and Ripepe M. (2011) The 15 March 2007 explosive crisis at Stromboli volcano, Italy: Assessing physical parameters through a multidisciplinary approach. *J. Geophys. Res.*, 116, 12p. B12206.
- 東京大学地震研究所 (2014a) 御嶽山 2014 年 9 月 27 日噴火の噴出量について. 御嶽山第 1

- 30 回火山噴火予知連絡会資料（その1）御嶽山, 53-57.
- 東京大学地震研究所（2014b）ヘリコプターからの噴火状況の観察. 御嶽山第 130 回火山噴火予知連絡会資料（その1）御嶽山, 48-52.
- Tsunematsu, K., Ishimine, Y., Kaneko, T., Yoshimoto, M., Fujii, T. and Yamaoka, K. (in preparation) An Estimate of Ballistic Block Landing Energy for the 2014 Eruption of Ontake Volcano, Japan.
- 山田孝（2006）平成 18 年 6 月 14 日にインドネシメラピ火山の南山麓で発生した火砕流災害. 砂防学会誌, 59, 3, 47-50.
- 山梨県総務部防災危機管理課（2015）富士山噴火時避難ルートマップ, 平成 27 年 6 月.
- 横尾亮彦・谷口宏光・大島弘光・後藤章夫・大場司・宮本毅・火山爆発研究グループ（2002）野外爆発実験から見た有珠 2000 年噴火, 火山, 47, 243-253.

