調査研究報告　　No. 433
RESEARCH REPORT 2023. 3

火山噴火による建物・まちづくりの上の課題整理と被害分布の予測に関する研究

Research on the Organization of Problems in Building and Community Development and Prediction of Damage Distribution Due to Volcanic Eruptions

戸松　誠[1)]、堤　拓哉[2)]、長瀬　拓也[3)]
Makoto Tomatsu[1)], Takuya Tsutsumi[2)] , Takuya Nagase[3)]

地方独立行政法人北海道立総合研究機構
建築研究本部
北方建築総合研究所／建築性能試験センター
Northern Building Research Institute/Building Performance Testing Center
Building Research Department
Local Independent Administrative Agency Hokkaido Research Organization

[1)]地域研究部防災システムグループ研究主幹・博士（工学）[2)]企画調整部　企画課長・博士（工学）[3)]建築性能試験センター安全性能部評価試験価　研究職員
[1)] Senior Research Manager of Disaster Prevention Group.Dr.(Eng.) [2)] Director of Planning Section.Dr.(Eng.) [3)] Researcher of Performance Testing and Evaluation Section, Building Safety Performance Division, Building Performance Testing Center

本書の全部および一部の無断での転載はご遠慮ください。

No unauthorized reproduction

概　要
Abstract

火山噴火による建物・まちづくりの上の課題整理と被害分布の予測に関する研究
Research on the Organization of Problems in Building and Community Development and Prediction of Damage Distribution Due to Volcanic Eruptions

戸松　誠[1)]、堤　拓哉[2)]、長瀬　拓也[3)]
Makoto Tomatsu[1)], Takuya Tsutsumi[2)] , Takuya Nagase[3)]

キーワード： *北海道、火山、被害想定、積灰荷重、2000 年有珠山噴火*
Keywords : *Hokkaido, Volcano, Risk Assessment, Ash Load, The 2000 Eruption of Mount Usu*

１．研究概要

１）研究の背景

・現在の火山防災対策は、火山防災協議会※による噴火警戒レベルの設定や避難計画の策定が中心であり、建築物・まちづくりの観点から社会資本や地域の安全を守るための防災対策とはなっていない。

・火山噴火に伴うハザードとして噴石、火山灰、溶岩流、火山ガス、日照遮蔽、降雨後の土石流、空振、地殻変動が考えられ、これらが建築物・都市に与える影響を定量的に評価することが求められる。

２）研究の目的

・本研究では、火山防災における建築・まちづくりの観点からの課題をヒアリング等により、その実態を調査すると共に、火山ハザードが「建築構造」に与える影響を定量的に評価し、建築研究本部が蓄積している市町村のデータを活用し、火山による建物被害を評価する手法を開発し、想定される被害分布を評価することを目的とする。

２．研究内容

１）火山周辺市町村における火山防災対策の現状調査　　（Ｒ２～３年度）

・ねらい：火山防災協議会を設置している道内外の市町村を対象としてヒアリング調査等を行い、複合災害の視点から火山防災における被害の発生・拡大防止を含めた建築・まちづくりの現状と課題を整理する。

・試験項目等： ヒアリング調査、課題の整理

２）火山現象による構造物への外力評価手法の開発と被害分布の評価（Ｒ２～４年度）

・ねらい： 火山噴火現象による建築物（主に降灰）への外力を検討し、建築構造に与える影響を定量的に評価する手法を開発する。また、2000 年有珠山噴火における建物被害データを再分析し、火山噴火に伴う地殻変動による建物被害予測式を構築する。さらに道内の火山ハザードマップ及び道総研が保有する建物データベースを用い、建築被害分布の評価を行う。

・試験項目等： 外力の評価、構造解析、被害分布の評価

[1)] 地域研究部防災システムグループ研究主幹・博士（工学）　[2)] 企画調整部　企画課長・博士（工学）　[3)] 建築性能試験センター安全性能部評価試験価　研究職員
[1)] Senior Research Manager of Disaster Prevention Group.Dr.(Eng.)　[2)] Director of Planning Section.Dr.(Eng.)　[3)] Researcher of Performance Testing and Evaluation Section, Building Safety Performance Division, Building Performance Testing Center (all the above)

3．研究成果

1）火山周辺市町村における火山防災対策の現状調査　　（R２～３年度）

・火山周辺市町村の地域防災計画等から現状を整理し、火山ごとのハザード対策や土地利用規制等の対策を取りまとめた（表１）。北海道の火山対策の担当者に対してヒアリングを実施し火山による被害想定に関しては、実施されておらず現状として課題は顕在化されていないという認識であった。

2）火山現象による構造物への外力評価手法の開発と被害分布の評価　（R２～４年度）

・噴火警戒レベルが導入されている北海道内火山に関して、ハザードマップを収集し GIS 化した（図１）。

・市町村が収集した町丁目単位の建物・人口データに関して、国土地理院基盤地図情報の建築物外周線データを用い 250m メッシュ単位の建物・人口データを構築しハザードマップを重ね合わせることでハザードに暴露される建物棟数と人口を推計した（表２）。

・既往研究成果を元に建物に関する被害想定手法を整理し、雌阿寒岳、北海道駒ヶ岳、十勝岳、有珠山、樽前山について噴石・火砕流・火砕サージ・降下火山灰による建物棟数被害の想定を行った。

・火山噴火とプレート境界地震は連動する可能性があることから、複合災害の観点で積灰・積雪のある状況下における住宅の振動解析を行い、火山灰の影響を検討した（図２）。

＜具体的データ＞

表１　各火山における対策

	①規模（複数）	①想定ハザード	②ハード対策	③土地利用
アトサヌプリ	小、中～大	火口、噴石、火砕流	治山・治水・砂防事業	火山噴火災害計画区域 →具体的記述なし
雌阿寒岳	小、大	火口、噴石、火山灰、溶岩流、土石中・融雪型泥流、火砕流、火砕サージ	治山・治水	災害危険区域、立入禁止区域
大雪山	小、中、大	火口、噴石、岩屑なだれ、融雪型泥流、火砕流	治山・治水・砂防事業	火山災害区域
十勝岳	小、中、大	噴石、火山灰、溶岩流、火砕サージ、融雪型泥流、火砕流	砂防事業	
樽前山	小、中、大	火砕流、火山灰、泥流、土石流	砂防事業	
倶多楽	単一	噴石、火山灰、火山泥流	砂防施設・避難施設	火口想定域に近接する一部の地域を独自に特定地域としている。
有珠山	山頂・山麓	火口、火砕流、火砕サージ、噴石、火山灰、融雪型泥流、土石流	砂防、治山施設 防災拠点、避難施設 交通ネットワーク	災害危険区域 →災害発生後に指定？
北海道駒ヶ岳	小、中、大	降下火砕物、火砕流、火砕サージ、火山泥流、土石流、岩屑なだれ	砂防施設・避難施設	
恵山	ごく小、小、中～大	噴石、火山泥流、火砕流、火砕サージ、岩屑なだれ	砂防施設・避難施設	

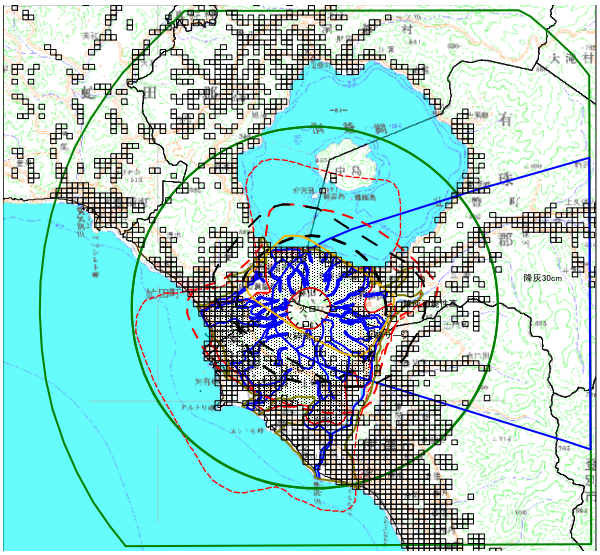


図１　ハザードマップの GIS 化

表２　火山現象に対する建物暴露棟数・人口

	木造棟数	非木造棟数	人口
噴石	660	196	1,734
火砕流	7,328	1,524	13,952
火災サージ	10,655	2,181	24,630
融雪型泥流	33,415	5,362	94,021

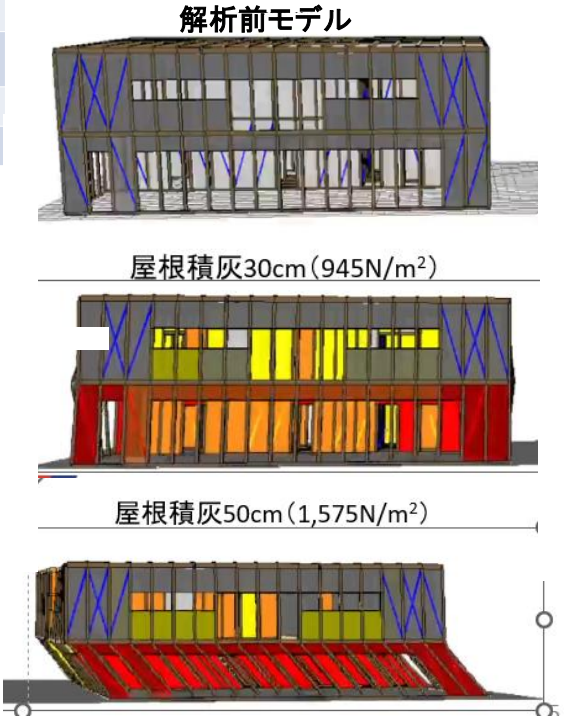


図２　積灰時の建物挙動

4．今後の見通し

火山による被害想定手法は、近年の被害事例や研究事例が少なく精度に課題がある。また、ハザードマップに関して想定される被害の最大範囲の表示となるため、詳細な噴火シナリオに基づくハザード範囲の同定が課題である。

目　次

１．研究の背景と目的 1

２．火山周辺市町村における火山防災対策の現状調査 1

３．北海道内活火山におけるハザードマップの GIS 化 2
（１）ハザードマップの GIS 化 2
（２）ハザードマップ暴露棟数・人口の推計 3

４．火山災害による被害評価 4
（１）被害評価手法の整理 4
（２）積灰荷重による振動解析 5

５．まとめ 7

１．研究の目的

（１）目的

火山噴火に伴う現象として噴石、火山灰、溶岩流、火山ガス、日照遮蔽、降雨後の土石流、空振、地殻変動が考えられる、これらが建築物・都市に与える影響を定量的に評価することで火山防災対策を進めていくことが今後求められる。

本研究では、火山防災における建築・まちづくりの観点からの課題をヒアリング等により、その実態を調査すると共に、火山ハザードが「建築構造」に与える影響を定量的に評価し、建築研究本部が蓄積している市町村のデータを活用し、火山による建物被害を評価する手法を開発し、想定される被害分布を評価することを目的とする。

２．火山周辺市町村における火山防災対策の現状調査

火山防災協議会が設置されて北海道内の火山の防災対策に関して協議会や構成市町村の地域防災計画並びに各種ハザードマップを参考に「噴火規模」「想定される火山現象」「ハード対策」「土地利用」の観点から整理した。なお整理した地域防災計画等は令和３年２月時点のものである。※(内は構成市町村、◎：事務局)

①アトサヌプリ（弟子屈町◎、清里町）

噴火規模：小、中～大

想定火山現象：火口、噴石、火砕流

ハード対策：治山・治水・砂防事業

土地利用：火山噴火災害計画区域があるが具体の記述なし

②雌阿寒岳（釧路市◎、弟子屈町、鶴居村、白糠町、美幌町、津別町、足寄町）

噴火規模：小、大

想定火山現象：火口、噴石、火山灰、溶岩流、土石流・融雪型泥流、火砕流、火砕サージ

ハード対策：治山・治水

土地利用：災害危険区域、立入禁止区域

③大雪山（東川町◎、上川町、美瑛町）

噴火規模：小、中、大

想定火山現象：火口、噴石、岩屑なだれ、融雪型泥流、火砕流

ハード対策：治山・治水・砂防事業

土地利用：火山災害区域

④十勝岳（上富良野町◎、美瑛町、中富良野町、富良野市、南富良野町、新得町）

噴火規模：小、中、大

想定火山現象：噴石、火山灰、溶岩流、火砕サージ、融雪型泥流、火砕流

ハード対策：砂防事業

土地利用：記載なし

⑤樽前山（苫小牧市◎、千歳市、恵庭市、白老町、安平町、厚真町、むかわ町）

噴火規模：小、中、大

想定火山現象：火砕流、火山灰、泥流、土石流

ハード対策：砂防事業

土地利用：記載なし

⑥倶多楽（登別市◎、白老町）

噴火規模：単一

想定火山現象：噴石、火山灰、火山泥流

ハード対策：砂防施設・避難施設

土地利用：火口想定域に近接する一部の地域を独自に特定地域としている。

⑦有珠山（伊達市◎、壮瞥町、洞爺湖町、豊浦町）

噴火規模：山頂・山麓

想定火山現象：火口、火砕流、火砕サージ、噴石、火山灰、融雪型泥流、土石流

ハード対策：砂防、治山施設、防災拠点、避難施設、交通ネットワーク

土地利用：災害危険区域

⑧北海道駒ヶ岳（森町◎、鹿部町、七飯町）

噴火規模：小、中、大

想定火山現象：降下火砕物、火砕流、火砕サージ、火山泥流、土石流、岩屑なだれ

ハード対策：砂防施設・避難施設

土地利用：記載なし

⑨恵山（函館市◎）

噴火規模：ごく小、小、中～大

想定火山現象：噴石、火山泥流、火砕流、火砕サージ、岩屑なだれ

ハード対策：砂防施設・避難施設

土地利用：記載なし

噴火の規模は複数の状況が設定されているものが多い。想定されている火山現象は火山によって若干異なっている。ハード対策は、治山・治水・砂防事業といった土木施設の整備が進められているが、一部の火山では避難施設に関する記述がある。一方、土地利用に関しては、ハザードマップで災害の危険性が地図化されているものの、それに伴う土地利用に関する記載はほぼ無いのが現状である。

3．北海道内活火山におけるハザードマップの GIS 化

（1）ハザードマップの GIS 化

火山による建物被害を評価するためには、火山現象の影響を受ける建物棟数や人口を把握する必要があることから、道内で公開されている火山ハザードマップの GIS データを構築した。

図3-1～9に作成した各火山のハザードマップを示す。なお背景地図に【「国土地理院発行の数値地図200000(地図画像)「日本-Ⅰ」】を利用した。

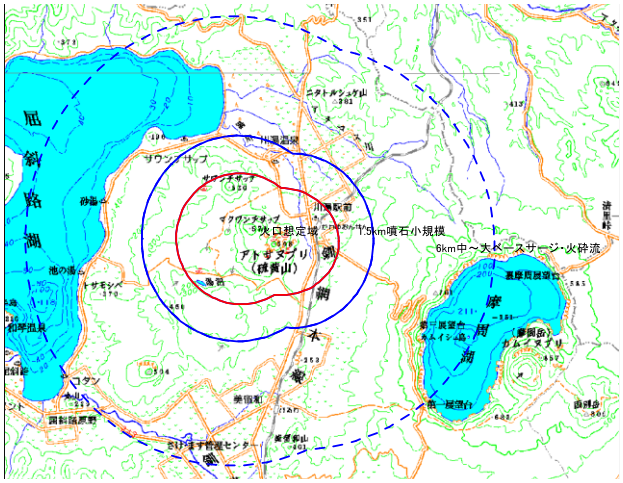


図 3-1　アトサヌプリ

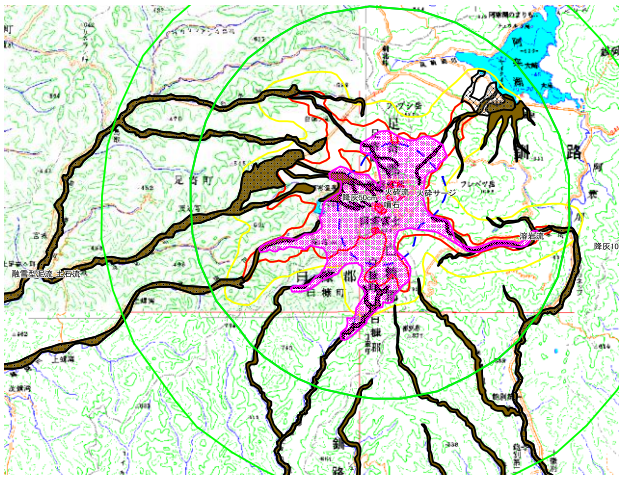


図 3-2　雌阿寒岳

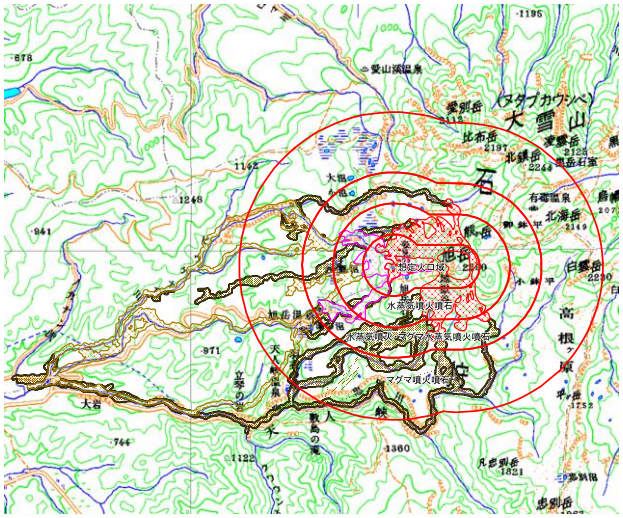


図 3-3　大雪山

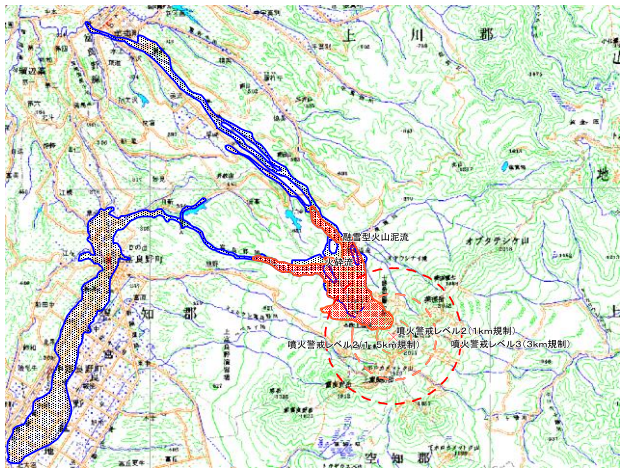


図 3-4　十勝岳

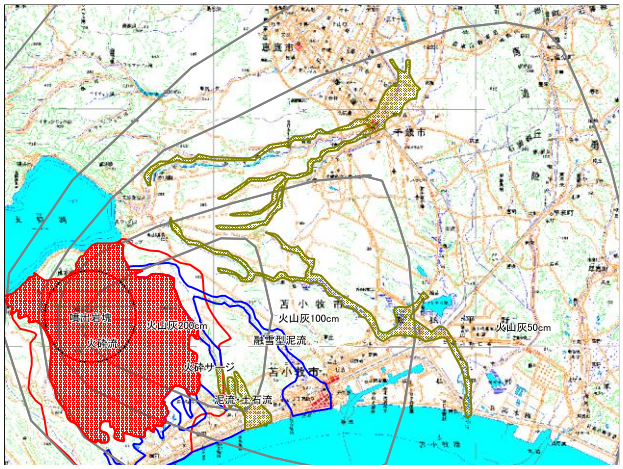


図 3-5　樽前山



図 3-6　倶多楽

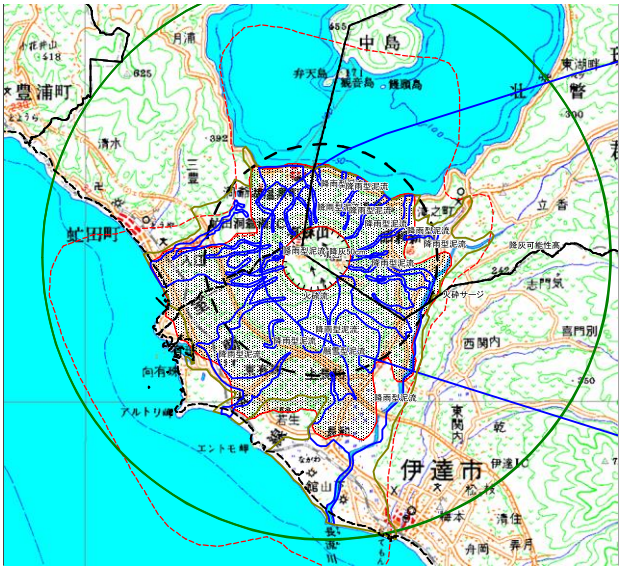


図 3-7　有珠山

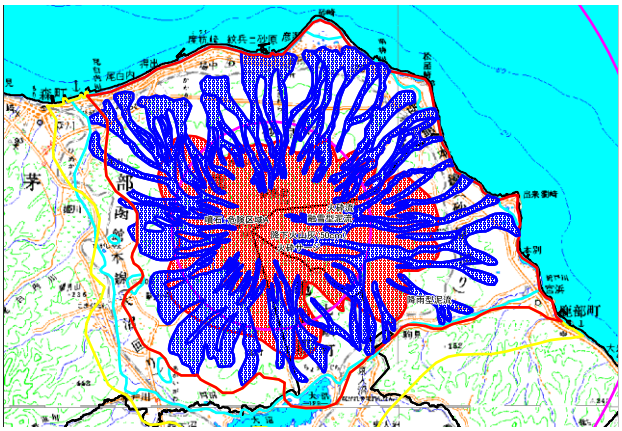


図 3-8　北海道駒ヶ岳



図 3-9　恵山

（2）ハザードマップ暴露棟数・人口の推計

作成した GIS データ及び道内市町村に対して実施した令和２年１月時点の建物棟数・人口データの調査結果を用い、ハザードマップと重ね合わせることで、火山現象の影響を受ける建物棟数及び人口を推計する。建物棟数・人口データは町丁目・字界単位で集計されていることから、これを 250m メッシュ単位に置き換えることで推計を行う。250m メッシュ単位の建物棟数・人口の推計方法を以下に示す。

①国土地理院の基盤地図情報の建物データの重心位置を表示

②町丁目字界の建物棟数・人口を当該町丁目字界に存在する重心１点あたりに案分

③250m メッシュ単位で集計

作成のイメージを図 3-10 に示す。

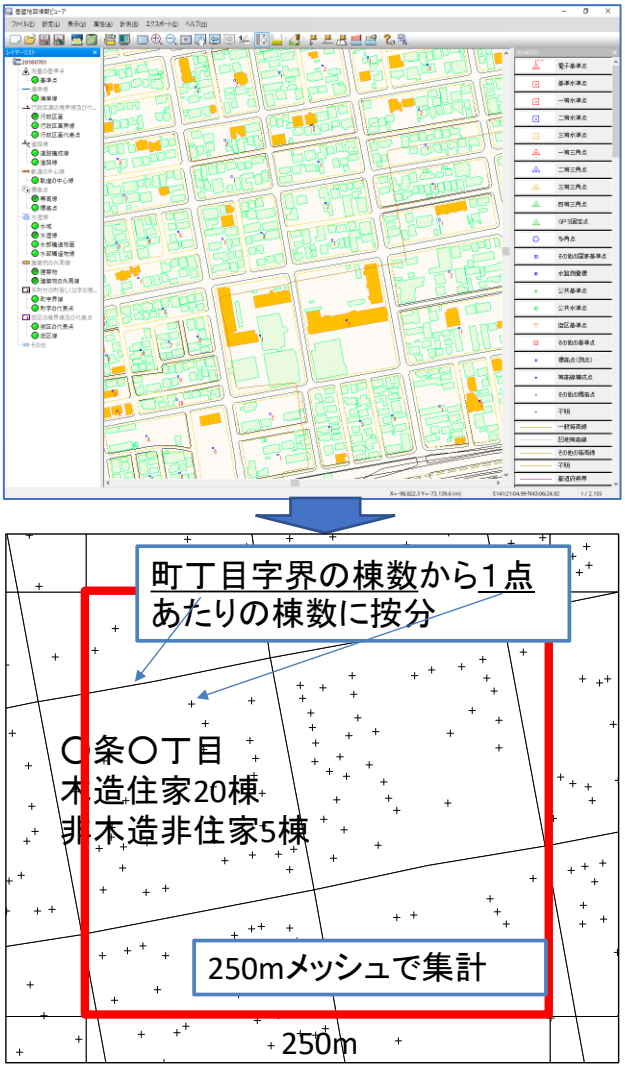


図 3-10　建物棟数推計方法

このようにして推計した建物暴露棟数・人口に関して、被害への影響が大きい噴石・火砕流・火砕サージ、融雪型泥流の雌阿寒岳、十勝岳、樽前山、有珠山、北海道駒ヶ岳の全道集計値を表 3-1 に示す。なお、噴火規模に関しては各火山のハザードマップにおける噴火想定で最大となる規模を採用した。

表 3-1　火山現象に対する建物暴露棟数・人口

	木造棟数	非木造棟数	人口
噴石	660	196	1,734
火砕流	7,328	1,524	13,952
火災サージ	10,655	2,181	24,630
融雪型泥流	33,415	5,362	94,021

4．火山災害による被害評価

（1）被害評価手法の整理

火山災害による被害評価手法について既往研究の成果から整理し、2000 年有珠山噴火災害時に北海道立寒地住宅都市研究所(現：(地独) 北海道立総合研究機構)が実施した被害調査[1)]の結果と比較する。

火山災害による被害評価手法については、損害保険料率算出機構による「噴火履歴に基づく火山災害危険度評価に関する研究」[2)](2019.9)に詳しく整理されている。

火砕流・溶岩流・岩屑なだれ・火口形成の 4 現象については、建物に対する影響が大きく全壊率を 1 としている。

火山灰に関しては屋根の崩落に着目したものが多く、全壊率を設定できるほどの知見が少ないことから「災害に関する住家の被害認定基準運用指針」の水害の例を参考にして表 4-1 の被害率を提案している。

表 4-1　火山灰による被害率

火山灰の厚さ［cm］		全壊	大半壊	小半壊	一部損
200	木造	1.0	0	0	0
	非木造	1.0	0	0	0
100	木造	1.0	0	0	0
	非木造	0	1.0	0	0
50	木造	0.5	0	0.5	0
	非木造	0	0	1.0	0
30	木造	0.3	0	0	0.7
	非木造	0	0	0	1.0
10	木造	0.1	0	0	0.4
	非木造	0	0	0	0.5

噴石による被害に関しては、噴石の分布状況について数値シミュレーションを行い、その結果に基づき表 4-2 の被害率を設定している。

表 4-2　噴石による建物全壊被害率

火口からの距離(km)	建物の全壊被災率
0-1	0.17
1-2	0.034
2-3	0.0079
3-4	0.00035

この噴石被害率の設定に関して 2000 年有珠山噴火災害時における噴石による建物被害の発生率に関する調査結果と比較したものを図 4-1 に示す。

KA、KB、NB はそれぞれ火口の名称であり横軸は各建物のこれら火口までの最短距離である。また、図中に赤線で表 4-2 の値を示す。これによると火口からの距離 1～1.5km の距離で、表 4-2 に示す被害率が 2000 年有珠山噴火災害時の被害率より小さい傾向を示している。

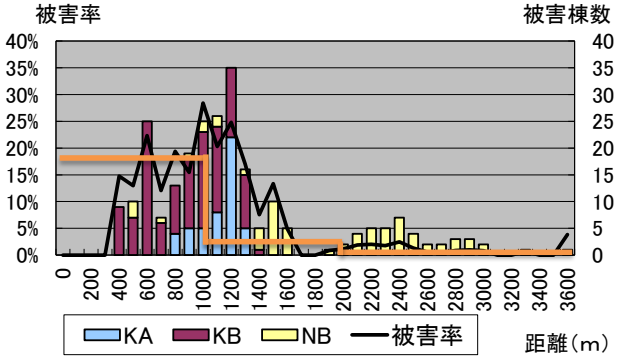


図 4-1　2000 年有珠山噴火における噴石被害率

地殻変動による被害に関しては、「噴火履歴に基づく火山災害危険度評価に関する研究」において被害率を設定していないことから、2000 年有珠山噴火災害における被害調査の結果から整理する。

2000 年有珠山噴火災害における建物被害調査では基礎被害の調査がなされており、表 4-3 に示す判定基準により被災判定を実施している。

表 4-3 2000 年有珠山噴火災害における基礎被害の判定基準

被災ランク	被害状況
ランク 4	ひび割れ、破断、湾曲、転倒が著しく全面的な改修が必要
ランク 3	ひび割れ（幅 1mm 程度）が数カ所あり、補修が必要
ランク 2	ヘアクラックが数カ所あるが簡易な補修で済む
ランク 1	軽微又は無し

この被害認定基準による木造建物の被害調査結果と地殻変動量（水平方向）の結果をまとめたものを表 4-4 に示す。なお、ここではランク 2 以下の被害は構造に影響を与えないため、ランク 3 以上を対象とする。

表 4-4　地殻変動量と基礎被害率

被災ﾗﾝｸ	0-1m	1-2m	2-3m	3-4m	4m 以上
4 以上	2%	6%	6%	13%	28%
3 以上	7%	14%	27%	32%	54%

被害率の設定に関しては火山現象の詳細な評価は現時点では困難なことから、変動量ごとの被害率ではなく、全体の平均値を用い、地殻変動が想定される地域で想定ランク 4 以上の被害発生率が 5%、ランク 3 以上の被害発生率が 15%とする。

（2）積灰荷重の評価

積灰の後、直ちに建屋に損傷が生じていない場合であっても、噴火により地震が励起された場合には、非積灰時より建屋の損傷が大きくなる可能性がある。しかし、屋根上の積載状況の違いが地震による建物の損傷度に影響することは、一般の住民には十分には認知されていないと考えられる。

そのため、速やかな屋根上の徐灰や避難を促すために、ここでは地震応答解析を実施して積灰状態の違いによって建物の揺れがどのように異なるのかを見える化した。

1）概要

解析の対象とする建築は、1 階店舗内に壁を設けにくいことから過去の地震においても被害が大きかった店舗併用住宅を想定する。

対象建築　　：店舗併用住宅
延べ床面積　　：369m2
解析ソフト　　：wallstat（ver.5.19）
壁量検定比　　：Y 方向　2F 1.0、1F 1.0
　　X 方向　2F 1.0、1F 1.1
入力地震波　　：告示 極稀地震（震度 6 弱）
　　継続時間　20sec

最大加速度　630Gal

屋根積載荷重　：① 積載無し

② 積雪 70cm（735N/m^2）

③ 積灰 30cm（945N/m^2）

④ 積灰 50cm（1,575N/m^2）

想定密度　：積雪 30N/cm/m^2

積灰 90N/cm/m^2(湿潤時を想定)

※地震時の検討のため上記①～④の 0.35 倍を積載



図 4-2　対象建築パース

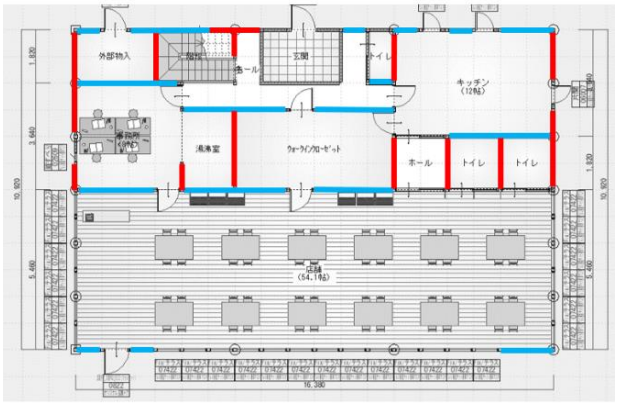


図 4-3　1 階 耐震壁配置図



図 4-4　2 階 耐震壁配置図

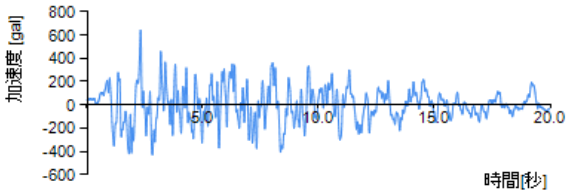


図 4-5　入力地震波時刻歴

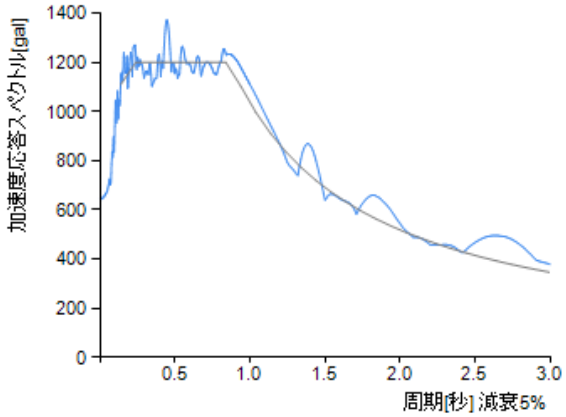
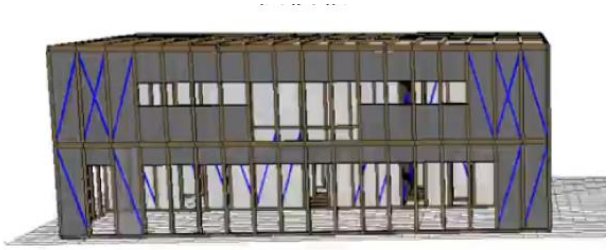


図 4-6　入力地震波加速度応答スペクトル

2)解析結果

解析結果を図 4-7 に示す。積灰 30cm の状態で建物の倒壊は免れているもの、1 階の壁を中心に被害が発生している。積灰が 50cm の状態では倒壊している。火山噴火が発生している状況では避難指示等が発表されていることから、降灰の状況に応じて一時帰宅などの対応を行い除灰作業の必要性を判断する必要がわかる、



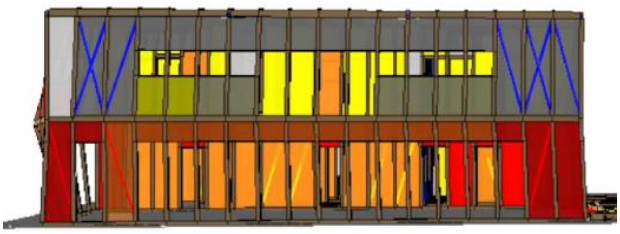
解析前モデル



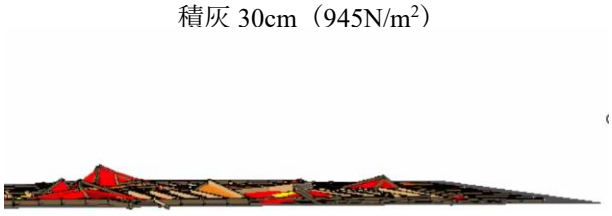
積載無し



積雪 70cm（735N/m^2）



積灰 30cm（945N/m^2）



積灰 50cm（1,575N/m^2）

図 4-7　解析結果

５．まとめ

本研究の結果は以下のとおりである。

①火山周辺市町村における火山防災対策の現状調査の結果、火山対策において被害評価に基づく土地利用の検討はされている例が少ない。

②活火山のハザードマップを GIS 化し、火山現象に対する建物暴露棟数、暴露人口を推計した。

③火山被害評価の手法について整理を行うとともに積灰荷重により振動解析を行い除灰の必要性の検討を行った。

今後は火山対策の状況を踏まえ被害評価手法を確立していく必要がある。

[参考文献]

1) 戸松 誠, 南 慎一：「2000 年有珠山噴火災害による建築被害要因の分析」, 日本建築学会総合論文誌, No.2, pp.67－70, (2004)

2) 損害保険料率算出機構：噴火履歴に基づく火山災害危険度評価に関する研究, 地震保険研究, 34, 2019.3