

# 富士山噴火に伴う降灰荷重の評価と構造物へ及ぼす影響について

## Evaluation of Volcanic Ash-Fall Load from Eruption of Mt. Fuji and Influence on Building Structure as Live Load

○荻野 和臣<sup>1</sup>, 曾根 孝行<sup>1</sup>, 山本 雅史<sup>1</sup>  
Kazuomi OGINO<sup>1</sup>, Takayuki SONE<sup>1</sup> and Masashi YAMAMOTO<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ㈱竹中工務店 技術研究所

Takenaka Corporation, Research & Development Institute

According to the eruptive history, Fuji volcano maintains quiet conditions in nearly 300 years since the last eruption in 1707. In case of eruption of Fuji volcano, various eruptive styles are expected such as lava flow, pyroclastic flow and volcanic ash-fall, etc. Among them, volcanic ash-fall will cause the most extensive influence on city environment.

In this paper, we quantitatively evaluate the volcanic ash-fall load from Fuji volcano with the distribution of ash-fall amount and study the structural safety against ash-fall load on a general gymnasium as an example. Based on the study, we propose an impact index to understand the relationship between ash-fall amount and structural safety.

**Keywords :** Mt. Fuji, Volcanic Ash, Ash-Fall Load, Distribution Map, Structural Safety, Impact Index

### 1. はじめに

歴史資料によれば、富士山では西暦 781 年から現在までに計 10 回の噴火が確認されている<sup>1)</sup>。その中で最大規模の噴火と言われる 1707 年(宝永 4 年)の宝永噴火を最後に、現在までの約 300 年間、噴火することなく静穏な状態で推移している。しかし、約 1300 年の間に 10 回の噴火を繰り返してきた史実を考えれば、今後も静穏な状態が続くとは必ずしも言えない。むしろ、300 年もの間地下にマグマを溜め続けてきたとすれば、いつ噴火してもおかしくないとも考えられる。

そのような中、国(内閣府)および自治体は連携して、2001 年に富士山火山防災協議会(以降、内閣府協議会)を設置し、富士山噴火で想定される溶岩流・火砕流・降灰などの様々な火山現象に対する広域的な火山防災マップ(ハザードマップ)を作成した<sup>2)</sup>。これらのハザードマップは、富士山が噴火した際に想定される火山現象の到達範囲を表したものであり、各自治体が火山防災対策を講じる上で最も基礎的な資料として活用されている。

各ハザードマップを比較すると、降灰の到達範囲は他の火山現象と比べ広く、南関東の全域にまで火山灰が降下するものと想定されている。また、降灰による影響は多岐に及ぶとされ、具体的な被害想定として、

- ①道路に堆積した降灰による自動車の運転障害
- ②給気口のフィルター目詰まりに伴う発電設備の停止
- ③人体への侵入による目・鼻・喉・気管支の障害
- ④農作物の収穫量の低下
- ⑤堆積した降灰の重量による構造物の倒壊・損傷

などがあげられる。これらの中で、人命に直結する可能性の高い⑤については、荷重としての降灰の影響を正しく把握し、富士山噴火のリスクを考慮した対策を検討しておくことも重要と考えられる。しかし、現在の建築基準法では、降灰を想定した設計荷重は規定されていない。そのため、構造設計者は降灰が及ぼす構造安全性への影

響の度合いを十分把握していないと思われる。特に、体育館など大空間構造物では、屋根面への追加積載物が与える構造体への影響は大きい。

そこで筆者らは、富士山噴火に伴う降灰が荷重として構造物へ与える影響について検討することとした。本論文では、富士山噴火時に想定される降灰の分布から降灰荷重を定量的に評価し、体育館の屋根構造部材を例として、降灰荷重に対する構造安全性の検討を行う。また、検討例を踏まえ、降灰荷重と構造安全性の関係を把握するための指標を提案する。

### 2. 降灰荷重の評価

本章では、富士山噴火時に想定される降灰の分布と、乾湿状態に応じた降灰の単位重量を用いて、降灰荷重を定量的に評価する。

#### 2. 1 降灰量の分布

内閣府協議会の報告書<sup>2)</sup>(以降、報告書)では、下記の①から③の項目を設定し、各地点の降灰量の分布を噴火発生の月毎に予測している。

- ①富士山の噴火規模(大規模・中規模・小規模)
- ②噴火規模毎の想定火口範囲
- ③火口上空の風の状況

①は、マグマ噴出量換算(DRE<sup>補注1)</sup>)を基準に分類されている。宝永噴火の噴出量約7億m<sup>3</sup>DREを想定した最大値とし、大規模噴火を噴出量2億~7億m<sup>3</sup>DRE、中規模噴火を噴出量2千万~2億m<sup>3</sup>DRE、小規模噴火を噴出量2千万m<sup>3</sup>DRE以下と定義している。②は、過去の火口の実績図を元に噴火規模毎の火口範囲を想定したものである(図1)。③は、季節によって異なる富士山上空の風向風

速の解析データを元に設定している。例として、大規模噴火時の1月と8月の月別降灰分布マップを図2に示す。

図3に報告書に示された降灰可能性分布マップを示す。この図は、大規模噴火を想定して月別降灰分布マップを基に作成されたものであり、降灰が分布する可能性範囲を網羅的に示したものである。図3によれば、小田原市など火口から近い地域は、降灰30cm以上の可能性範囲に含まれ、千葉市や勝浦市など火口から遠い地域であっても、降灰2cm以上の可能性範囲に含まれることがわかる。このように、大規模噴火の場合、降灰の到達する可能性の範囲は非常に広いことがわかる。

一方、中・小規模噴火の場合に対応した降灰可能性分布マップは示されていないため、その影響範囲は把握できない。そこで本論文では、降灰の影響を考える上で中・小規模噴火時の構造安全性の検討も重要であると考え、報告書と同様の以下の手順で中・小規模噴火に対する降灰可能性分布マップを作成することとした。

- 手順① ある火口を想定した月別降灰分布マップを12か月分重ね合わせ、最大値をその地点の降灰量とする。
- 手順② 火口想定範囲に沿って①を平行移動させ、全てを包括したマップを作成する。

マップの作成にはGISを用い、日本測地系（JSD2000）にて計算した。降灰量分布範囲は、報告書に示される

月別降灰分布マップをGIS上でトレースすることにより、ポリゴンデータとして作成した。これらは、10cm, 20cm など代表的な数値のみの粗いデータであるため、Natural Neighbor法による空間補間を行い、50m×50m<sup>3)</sup>の空間メッシュによるラスターデータとした。

図4に、作成した噴火規模毎の降灰可能性分布マップを示す。大規模噴火において、報告書の結果（図3）と比較すると概ね一致している。噴火規模毎の傾向を比較すると、噴火の規模によらず上空の偏西風の影響を受け、火口から東側に降灰が分布していることがわかる。

## 2. 2 降灰荷重の分布

降灰荷重は、各地点の降灰量に降灰の単位重量を乗じて算出する。降灰の単位重量については、内閣府の検討資料<sup>9)</sup>を参照し、乾燥状態で113N/m<sup>2</sup>/cm、湿潤状態で167N/m<sup>2</sup>/cmとした。火山灰の物理的諸性質に関する報告例<sup>4)</sup>によれば、火山灰の比重は約0.5~2.5程度であるとされている。本検討で用いる降灰の単位重量は、比重換算で1.13および1.67であることから、平均的な値だと考えられる。

図5に、大規模噴火を想定した乾湿状態別の降灰荷重分布マップを示す。湿潤状態の降灰の場合、単位面積当たりの荷重600N/m<sup>2</sup>の可能性範囲に東京の都心部も含まれる。この荷重の大きさは、関東平野部の多くの建物で用いられる設計用積雪荷重に相当する。

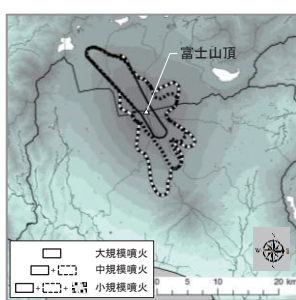


図1 火口想定範囲<sup>2)</sup>を元に作成

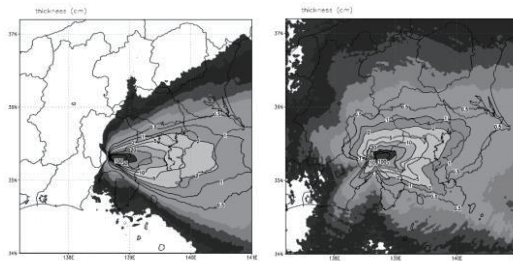


図2 月別降灰分布マップの例<sup>2)</sup>より転載

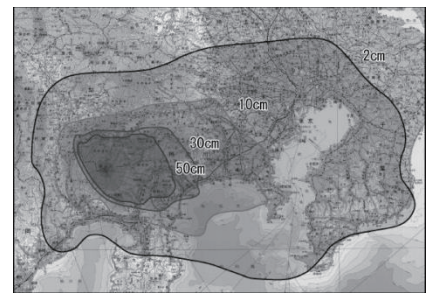
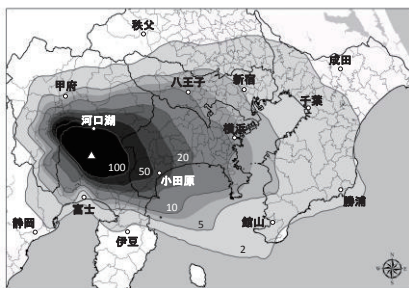
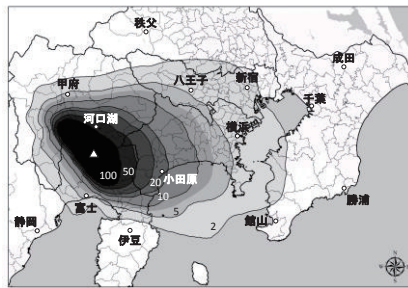


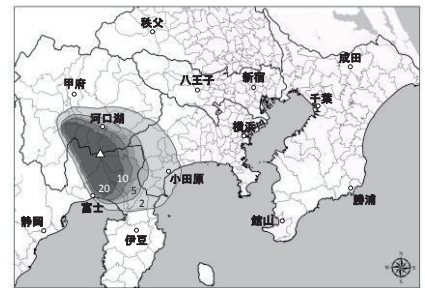
図3 降灰可能性分布マップ<sup>2)</sup>より転載



a) 大規模噴火

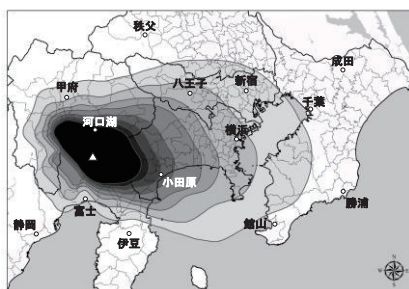


b) 中規模噴火

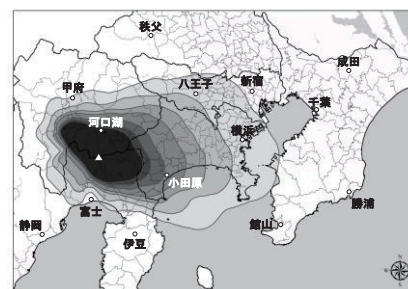


c) 小規模噴火

図4 降灰可能性分布マップ



a) 湿潤状態



b) 乾燥状態

図5 降灰荷重分布マップ（大規模噴火）

### 凡例

12000N/m <sup>2</sup> 以上
9300N/m <sup>2</sup> 以上 - 12000N/m <sup>2</sup> 未満
7200N/m <sup>2</sup> 以上 - 9300N/m <sup>2</sup> 未満
5100N/m <sup>2</sup> 以上 - 7200N/m <sup>2</sup> 未満
3000N/m <sup>2</sup> 以上 - 5100N/m <sup>2</sup> 未満
2100N/m <sup>2</sup> 以上 - 3000N/m <sup>2</sup> 未満
1200N/m <sup>2</sup> 以上 - 2100N/m <sup>2</sup> 未満
600N/m <sup>2</sup> 以上 - 1200N/m <sup>2</sup> 未満
600N/m <sup>2</sup> 未満（白色）



### 3. 降灰荷重に対する構造安全性の検討例

前章にて評価した富士山噴火時の降灰荷重に基づき、降灰が建物の構造安全性に与える影響について検討する。

#### 3.1 対象建物

文献<sup>5)</sup>に示された体育館(図6)を対象とし、構造安全性の検討を行った。この建物は、1978年に建設された山形フレームの架構を有する体育館である。建物の主な形状は、梁間方向の長さ21.6m、桁行方向の長さ37.8m、建物高さ9.54mである。各部材寸法を表1に示す。耐震性能の不足から屋根面の水平ブレース増設等により地震力に対する補強が施されているが、積載に対する架構の荷重支持性能には影響を与えないものと考えられる。

以下では、降灰の影響を受ける山形フレームの大梁を検定対象とし、X4通りの1構面を取り出して、許容応力度計算に基づき検討を行った。架構応力の計算においては、柱脚はピン支持と仮定した。検討対象となる大梁の長期許容曲げモーメント $M_L$ は120kN・m、短期許容曲げモーメント $M_S$ はこの1.5倍の180kN・mである。

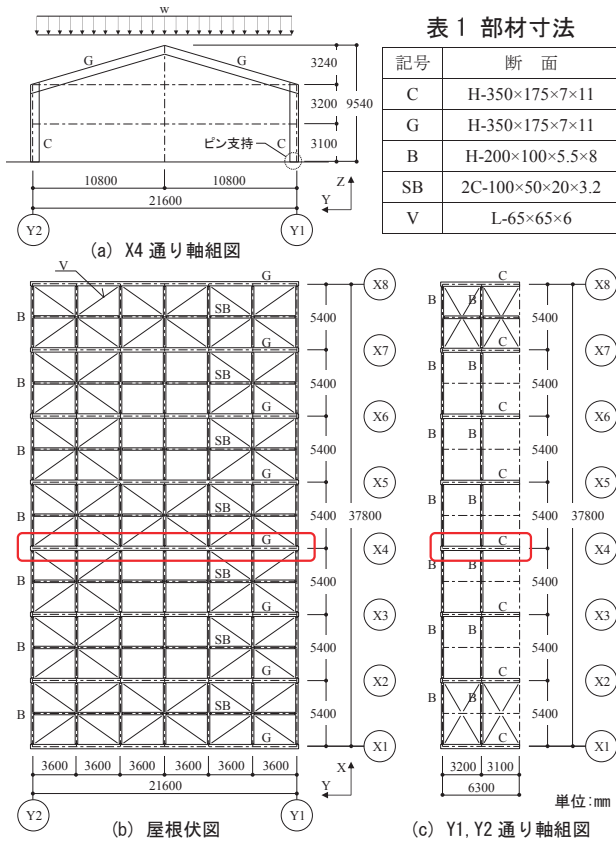


図6 対象建物

#### 3.2 検討荷重

表2に検討荷重ケースの一覧を示す。Case1は常時載荷される荷重の組み合わせである。部材の自重や屋根葺き材の重量である固定荷重Gは、屋根面450N/m<sup>2</sup>、外壁400N/m<sup>2</sup>であり、屋根面の積載荷重Pは100N/m<sup>2</sup>である。建築基準法では、許容応力度計算において、これらの荷重に対して部材に生じる応力度が長期許容応力度以内であることとされている。

Case2は積雪時を想定したものでCase1に積雪荷重Sを加えたものである。積雪荷重Sの設定においては、関東地域で広く定められている規定値として、積雪の単位荷重は20N/m<sup>2</sup>/cm、垂直積雪量は30cmとした。なお、屋根勾配による垂直積雪量の低減はないものと考えた。建築基準法では、積雪荷重Sを短期的(3日程度)な鉛直荷重として規定しており、Case2に対する部材の応力度は短期許容応力度以内であることとされている。

Case3、Case4は降灰時を想定したもので、Case1に降灰荷重Ad(乾燥状態)、Aw(湿潤状態)をそれぞれ加えたものである。降灰は、屋根勾配などの影響を考慮せず、一様に分布するものとして、降灰量5cm、10cm、20cm、30cmの場合について検討した。

上述の荷重はすべて、大梁が負担する支配面積に応じて等分布荷重として作用させた(図6(a))。

表2 検討荷重ケース

Case	荷重の組み合わせ
1	G + P
2	G + P + S
3	G + P + A <sub>d</sub>
4	G + P + A <sub>w</sub>

G: 固定荷重、P: 積載荷重、S: 積雪荷重  
A<sub>d</sub>: 降灰荷重(乾燥状態)、A<sub>w</sub>: 降灰荷重(湿潤状態)

#### 3.3 検討結果

図7に、Case1~4の荷重時に大梁に発生する最大曲げモーメント $M_{MAX}$ と短期許容曲げモーメント $M_S$ の比 $M_{MAX}/M_S$ を示す。図中括弧内の数値は、積雪荷重Sに対する降灰荷重A<sub>d</sub>、A<sub>w</sub>の比を示している。

建築基準法の許容応力度計算に基づいて設計された建物であることから、Case1では $M_{MAX}$ は $M_L$ を、Case2では $M_{MAX}$ は $M_S$ を下回る。Case3では、降灰量5cmでの $M_{MAX}$ は積雪時(Case2)の $M_{MAX}$ とほぼ同等であり、降灰量10cmでは $M_S$ を超える。Case4では、降灰量5cmで $M_{MAX}$ が $M_S$ を超え、降灰量10cmでは $M_S$ の約1.6倍となる。

本建物に関して言えば、乾燥状態の降灰の場合、降灰量7~8cmで最大曲げモーメント $M_{MAX}$ が短期許容曲げモーメント $M_S$ に達し、湿潤状態の降灰の場合、同4~5cmで $M_S$ に達する結果となった。 $M_{MAX}$ が $M_S$ に達する時の降灰荷重は積雪荷重の約1.4倍である。関東地方の過去の豪雪において、設計で想定する積雪荷重の約1.1~1.8倍の荷重で屋根架構が崩壊した事例<sup>6)</sup>を鑑みれば、 $M_{MAX}$ が $M_S$ に達する時の降灰量で、構造物の損傷もしくは崩壊に至る可能性が高くなると考えられる。

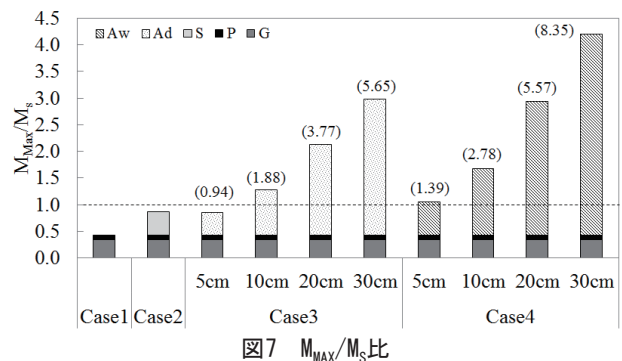


図7  $M_{MAX}/M_S$ 比

#### 4. 降灰荷重の影響度指標

3章では、体育館を例に降灰荷重に対する構造安全性を検討し、その結果降灰荷重による構造部材への影響について一定の知見を得た。富士山噴火が実際に発生した場合には、その時点での降灰予測に基づき同様の検討を個々の建物について行うことが必要となるかもしれない。しかし、現時点では降灰荷重の影響度を大局的に俯瞰し、降灰の影響度の全体像を把握することがより現実的である。その際、建物の安全性を検討する構造設計者にとって、降灰の影響度を把握する上で有益と思われる指標として降灰積雪比を提案する。これは、降灰荷重と設計用積雪荷重の比率を表したものである。

指標の算出に必要な各地点の設計用積雪荷重は、垂直積雪量に積雪の単位重量を乗じることで算出する。垂直積雪量は、特定行政庁が規則で定める数値として、建築基準施行細則による値と、告示式（建告第1455号）で定められた算定式による値とを元に設定する。また、積雪の単位重量は $20\text{N/m}^2/\text{cm}$ とした。これらの算出条件については文献<sup>8)</sup>に詳しい。図8に示す垂直積雪量の分布から、関東地方の平野部では概ね30cmで、それ以外の標高の高い地域では大きな値となっていることがわかる。

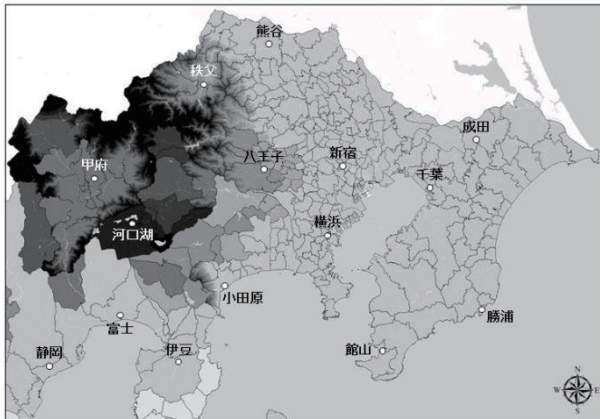


図8 垂直積雪量分布 <sup>8)</sup>より転載

図9に、各地点の降灰積雪比を噴火規模毎に示す。白色以外の地域は、降灰荷重が積雪荷重を上回る可能性のある地域である。大規模噴火で、かつ、降灰が湿潤状態の場合、火口から約60km離れた地域においても降灰積雪比が5を超える可能性がある。

この降灰積雪比分布マップは、降灰可能性分布マップと同様に可能性として示したマップである。そのため、

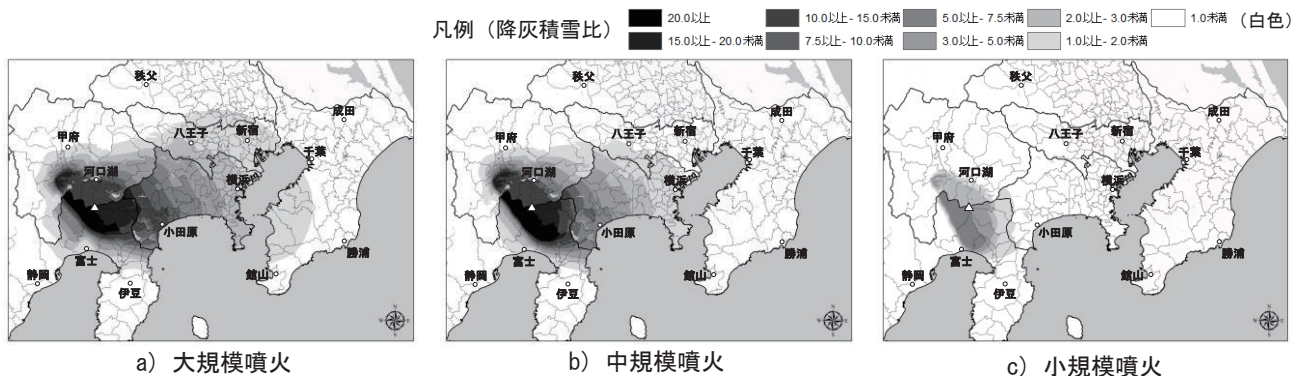


図9 降灰積雪比分布マップ (湿潤状態)

実際の噴火では改めて分布範囲を推定する必要があるが、平穏な時期に降灰積雪比分布マップを用いて構造物の降灰荷重に対する影響を把握し、それに沿った具体的な対策を備えておくことは、有益だと考えられる。

#### 5. まとめ

本論文では、富士山噴火による降灰を対象とし、荷重として構造安全性に与える影響について検討した。降灰荷重を定量的に評価するため、噴火規模毎に降灰量の分布を示した降灰可能性分布マップを作成し、それを用いて乾湿状態別に降灰荷重分布マップを作成した。この降灰荷重に対する構造安全性の検討を、体育館を例に行った。また、構造設計者が降灰の影響度を把握する上で有益と思われる指標として降灰積雪比を提案し、マップとして示した。このマップにより、構造安全性を判断する構造設計者が、事前に降灰荷重に対する影響度を概観し、具体的な対策を講じられんことを望む。

#### 参考文献

- 1) 小山真人：富士山の歴史噴火総覧, 山梨県環境科学研究所, 富士火山, pp119-136, 2007
- 2) 内閣府富士山火山防災協議会：富士山ハザードマップ検討委員会報告書, 2004.6
- 3) 国土地理院：数値地図50mメッシュ (標高) 第4刷 (CD-ROM) 2001.5
- 4) Spence, R. K., Pomonis, A., Baxter, P. J., Coburn, A. W., White, M., Dayrit, M., and Field Epidemiology Training Program Team : Building Damage Caused by the Mount Pinatubo Eruption of June 15, 1991., FIRE and MUD, Eruptions and Lahars of Mount Pinatubo, Philippines. , pp1055-1062, 1996
- 5) 文部科学省：学校施設の耐震補強マニュアル-S造屋内運動場編-, pp.131-149, 2003.5
- 6) 国土交通省：建築物の雪害について報告書, 2014.10
- 7) 荻野和臣, 曾根孝行, 山本雅史：富士山噴火による降灰が荷重として建築物に与える影響, 日本建築学会大会学術梗概集, 構造 I, pp.113-114, 2015.9
- 8) 荻野和臣, 曾根孝行, 山本雅史：建物設計用垂直積雪量と降雨量の分布に関する考察, 地域安全学会梗概集, No.36, pp97-100, 2015.5
- 9) 内閣府：広域的な火山防災対策に係る検討会, 第3回, 資料2, 2012.11

#### 補注

- 1) DRE : Dense Rock Equivalent, マグマ換算体積。マグマの発泡などによる見かけの容積増加を元のマグマ体積に換算したものの。