

明治期火山灰コンクリートの材料工学的調査およびその有効活用

Research about Volcanic Ash used in Meiji era and its Utilization through material engineering approach

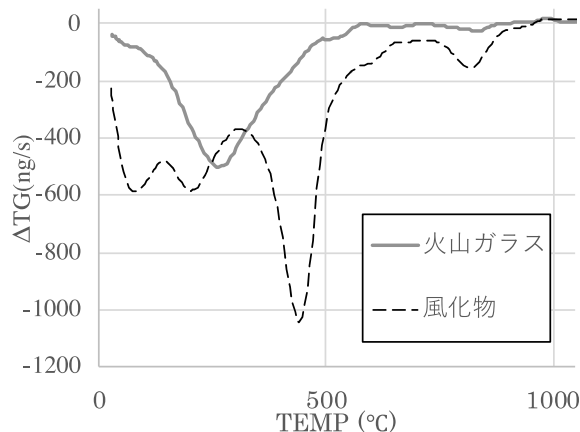
東京大学大学院工学系研究科建築学専攻 助教 友寄 篤

(研究計画ないし研究手法の概略)

火山灰コンクリートとしては、明治 41 年に完成した土木分野での小樽築港防波堤が知られ、その工事報文に詳細が記されている。一般には火山灰土壌とも呼ばれるが、地質学では凝灰岩に分類される岩石を採取・粉砕して混和材として製造され、化学組成からは風化物を含有していたと考えられる。防波堤前期工事では数カ所の火山灰を試験した結果、最も優れた性能を示したコンクリートブロック工場内の崖から採取・製造していたと記述されている。その後の明治 45 年に竣工した日本銀行小樽支店（辰野金吾設計）の基礎コンクリート、煉瓦積み・石積みモルタルにも小樽近郊の余市産火山灰が用いられ、コスト及び耐久性上のメリットがあることが記されている。防波堤後期工事では第二コンクリ工場背後の崖に採掘地を改めて製造するようになり、「以来各接水工事ニ盛ニ火山灰ノ需要ヲ来タシ民間ニ於テ此レヲ製造供給スルニ到リシヲ以テ直営生産以外ノ所用ハ概ネ購買ニ據レリ」と直営製造方式から購買方式になり、採取地は小樽区若竹町 25 番地の崖とすることが購買仕様として定められていた。1923 年（大正 12 年）の建築工事標準仕様書（建築學會）には、基礎工事に「せめんと火山灰コンクリート」の調合が示され、「本邦産ニシテ、左記品質ヲ有スルモノ」として粉末度と水硬性試験の基準値が規定されているので、多くの研究や実用化の蓄積があったと推測される。

今では使われることが無いこれらの火山灰について、本研究では、まず歴史史料を基にその採取地を特定し、当時使われていた火山灰がどのような物性を持っていたのか分析を行う。具体的には、当時の住居表示は現在とは異なるが、住居表示変更一覧は行政もしくは図書館に保管されているため、当時の火山灰（凝灰岩）採取地を写真なども参考資料として特定する。予備調査より、固結度の低い弱い崖から岩片が崩れ落ちているため、それを採取し熱分析・化学組成の測定を行い、鉱物組成を特定する。

申請者らが南九州のシラスを対象に進めてきた知見では、右図の様に、火山ガラスと風化物は熱分析による脱水ピークが明らかに異なり、風化作用にともないシリカが溶出し、アルミリッチな化学組成に変質していく。2020 年 3 月に制定された JIS A 6209（コンクリート用火山ガラス微粉末）の原料適合性は、熱分析や化学組成による基礎試験によってある程度は検証できるため、シラス以外の火山噴出物を原料として、製造できるかの確認を行う。



（実験調査によって得られた新しい知見）

小樽築港工事報文によれば、前期工事（北防波堤）では小樽市字厩、余市、五島列島の火山灰を試験した結果、厩にある現場敷地内の背後の崖から採取されたものを用いたとされる。まずは字厩と余市の火山灰採取地の特定について述べる。

図1は現在の北防波堤から見たものであるが、まさに凝灰岩地質の崖が確認される。工事中の古写真より、この崖の麓にコンクリートブロック工場があるため、これらの崖から凝灰岩を採取し、混和材を製造し、コンクリートブロックを製造していたことはほぼ間違い無いと思われる。

図2の写真は1911(明治44)年発行の東宮行啓記念小樽区写真帖に掲載される余市浜中町中村火山灰製造所の写真である。昭和46年に余市町教育委員会が発行した「天内山—続縄文・アイヌ文化の遺跡」によれば、大正8年には、天内山で火山灰が採取されていたと記述され、現在の余市市東中学校の東にあり（現在の朝日町、入舟町のあたり）、高さ20mほどの低い山であったとされる。現在では既に工事のために平坦になっている。小樽区写真帖の工場向こうに見える小山が天内山かどうか確定はできなかったものの、現在の朝日町でも図3の写真の様に、近隣住民が火山灰と呼ぶ地層をいくつか見つけることができる。辰野金吾が設計した日銀小樽支店がどこの崖から採取した火山灰かを特定することはできなかったが、これらの白っぽい火山灰が用いられていたと推測される。

小樽築港後期工事（南防波堤）で使われた火山灰は、小樽区若竹町25番地の崖から採取されたものを購入していたことが、工事報文で示されている。1917（大正6）年の小樽商業会議所統計年報には、明治44年に北海道火山灰合資会社が若竹町25番地に設立されたことが記されているため、この会社の製品を購入していたと思われる。現在の若竹町25番地は小樽市立桜町中学校の近くであり、防波堤からはだいぶ南に斜面を上ったエリアにある。しかし、小樽市役所が所有する大正14年に完成した土地連絡原図（図4に表紙を示す）には、若竹町25番地が明記されている。いくつかの枝番が示されているものの、若竹町25-1は、国有地・埋立地・築港工場用地のすぐ背後、防波堤すぐの背後であった。現在の新平磯トンネルの横の崖に北海道火山灰合資会社が設立されたと思われる。



図1 現状の北防波堤からの眺め

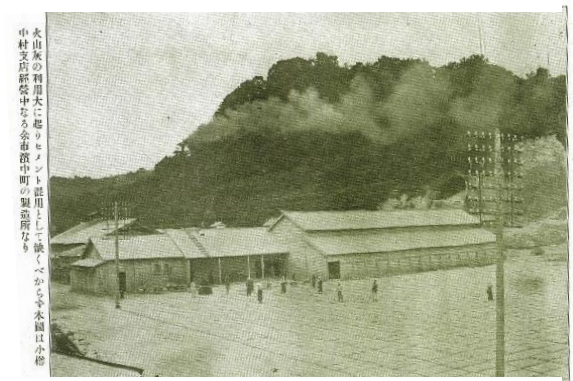


図2 明治45年頃の火山灰製造所



図3 余市市朝日町の火山灰（現状）

余市町については、所有する個人の了解を得た崖から火山灰を採取した。前期工事の字厩、後期工事の若竹町については、それぞれ特定した採取地の前面公道に落石していた小片を複数採取した。図 5 に示す左が厩のサンプル、右が若竹のサンプルである。なお、余市の火山灰地層は均質で白色であったが、小樽市字厩、若竹町はやや褐色であり、落石していた小片によっても色味が異なるものもあり、観察できる露頭の地層も均質ではなく、複数の層が入り混じっている箇所も観察された（図 6）。



図 6 字厩の露頭

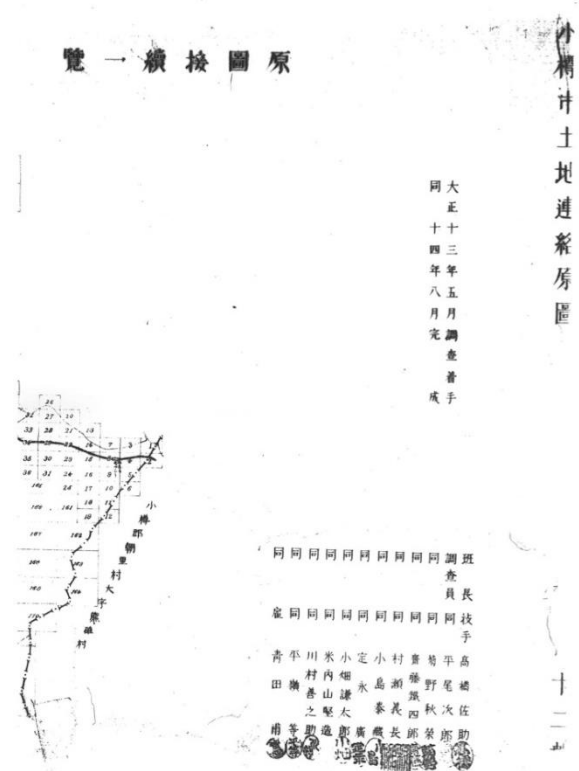


図 4 土地連絡原図表紙（大正 14）



図 5 採取したサンプルの写真

小樽市内の字厩、若竹町のサンプルは複数の試験結果から代表的だと思われるものを以下に報告する。熱分析はサンプルを指でほぐし $150\mu\text{m}$ の篩を通過した粒分について、大気中の吸着水の影響を排除するため室温で 12 時間以上真空乾燥して測定サンプルとした。 $10^\circ\text{C}/\text{min}$ の加熱速度で室温（約 20°C ）から 1100°C まで、サンプリングは 30 秒間隔、試料は $20\text{mg}\sim 30\text{mg}$ として測定した。図 7 に小樽市字厩、図 8 に小樽市若竹町、図 9 に余市市朝日町の結果を示す。いずれも火山ガラス特有の 300 度前後に一つという DTG ピーク（図中のピンク）を示さず、複数のピークが確認された。字厩は 100 度前後と 500 度前後に同程度のピークが確認され、若竹町では 100 度前後のピークが大きかった。100 度前後のピークは真空乾燥でも脱水されない風化の兆候を示す層間水、500 度前後のピークはさらに風化が進んだ構造水のピークと考えられる。図中青線の DTA 曲線もハロイサイトなどの粘土鉱物に近い形状を示した。余市朝日町では、シラスに含まれるガラスの風化物の様な DTG 曲線を示した。

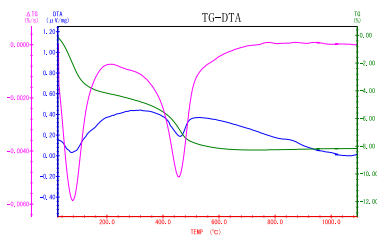


図 7 字厩の熱分析結果

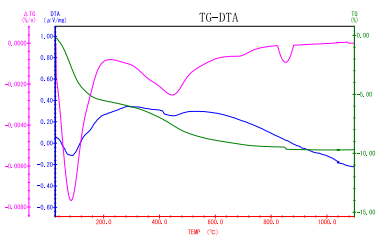


図 8 若竹町の熱分析結果

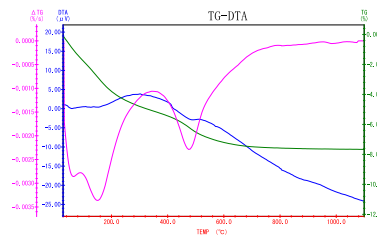


図 9 余市の熱分析結果

図 10 に字厩の X 線回析図、表 1 に化学組成を示す。ガラス特有のハローピークの兆候がバックグラウンドに僅かに確認されるものの、曹長石や磁鉄鉱のピークが検出される。SiO₂ が 55%、Al₂O₃ が 18% という化学組成は風化が進んでいる様にも解釈できるが、強熱減量が 6% 程度であるため、粘土鉱物とまでは断定できない。母マグマが玄武岩室のスコリアが風化した傾向と考えられる。

産総研が 1953 年に実施した五万分の 1 地質調査図幅によれば、若竹町、字厩ともにガラス質紫蘇輝石普通輝石安山岩質集塊岩に分類されている。また年代について、安山岩質集塊岩は鮮新世（約 500 万年前から約 258 万年前）、小樽築港すぐの若竹町近辺に堆積する色内流紋岩は中新世（約 2300 万年前から約 500 万年前）とされている。ガラス質が全く含まれないとは考えにくいものの、2.9 万年前に噴火したシラスに比べると、圧倒的に古い地層であり、風化に限らず様々な作用を受けていると考えられる。本研究の結論としては、明治期に使われていた火山噴出物を原料として、JIS A 6209（コンクリート火山ガラス微粉末）を製造できる可能性はかなり低いと考えられる。

100 年前とは言え、混和材としての性能を示したことを考えると、堆積後の急冷過程でガラスとなった火山ガラスではなく、粉碎するとイオン交換能により反応性を示すゼオライト質凝灰岩である可能性も高い。廣井勇による火山灰コンクリートは有名であるが、それが火山ガラスを含む火山灰だったのか、ゼオライト質凝灰岩だったのか、という新たな研究課題が見出された。

(発 表 論 文)

今後投稿予定

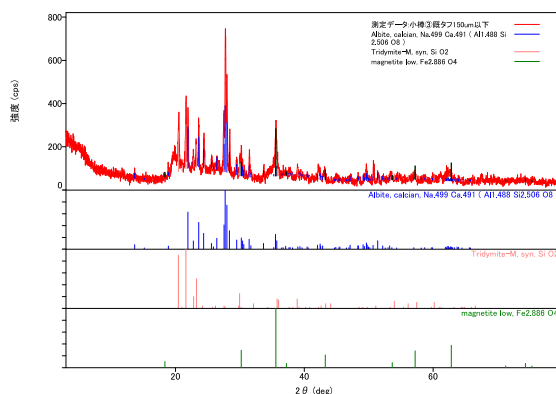


図 10 字厩の X 線回析図

成分	組成率 (%)
SiO ₂	55.6
Al ₂ O ₃	18.5
Fe ₂ O ₃	10.0
CaO	4.8
MgO	1.1
Na ₂ O+K ₂ O	2.7
P ₂ O ₅ +MnO+TiO ₂	2.7
強熱減量	6.40