明治期のコンクリート用火山灰

友寄　篤[1]

[1]正会員　東京大学大学院助教　工学系研究科（〒113-8657 東京都文京区本郷 7-3-1）
E-mail: tomoyose@bme.arch.t.u-tokyo.ac.jp

小樽築港防波堤で用いられた火山灰コンクリートについて，採用に至らなかった検討された火山灰も対象としてその産地を工事報文から整理し，明治期のコンクリート用火山灰が，北海道や九州でどのような位置付けであったのかを調査した．

Key Words: *volcanic ash concrete, natural pozzolan, material oriented*

1.　はじめに

廣井勇は，小樽築港北防波堤で斜塊に用いた火山灰について，「セメントニ適質の火山灰ヲ混スルトキハ啻ニ其耐久ノ性ヲ附興スルニ有効ナルノミナラス費用ヲ省減スルノ利アルコト」が提唱され，本工事でも試験を行った上で採用するに至ったと述べている[1)]．百年耐久性試験とも言われるこの火山灰コンクリートの試験は現在も継続されており，当時打設されたブリケットの分析や試験方法，耐久性に関する詳細な研究報告が取りまとめられている[2)]．また，廣井の評伝[3)]を始めとして，セメント・コンクリート分野からの小樽築港に関する報告[例えば4)]などにも，当時使われていた火山灰の概要について解説されている．

ただし，火山灰の材料調達という観点から詳細に調査した事例は見当たらない．現代ほど流通が発達していなかった当時，コンクリート材料も地産地消が原則であったと考えられる．本研究では，火山灰に焦点を当て，明治期コンクリートの材料調達がどのような状況であったかを明らかにすることを目的とする．

2.　明治期の骨材事情

明治41（1908年）に完成した小樽築港北防波堤については，廣井自身による工事報文（以下，報文前編とする）に工事材料が記録されている．また，続けて明治 41 年に着手した小樽築港南防波堤は大正 10（1921）年に完成し，伊藤長右衛門による工事報文（以下，報文後編とする）も取りまとめられている．報文前編および報文後編ともに第六章に工事用材が充てられ，火山灰その他の材料についての記述されている．その冒頭で「本工事ニ使用セシ材料中其主要ナルモノハ「セメント」火山灰，砂，砂利，砕石，粗石等ニシテ木鐵之レニ亜キ其他ノ用材ニ到リテハ直接防波堤ノ構造ニ充テタルモノナシ」と述べられ，報文後編でもほぼ同じ記述を確認できる．本章では主要な材料であったコンクリートの構成材料のうち，まずは骨材の材料調達について確認することで，火山灰利用について考察するための前提条件を整理する．

(1)　北防波堤[5)]

砂については，小樽より海上約 13 里の畚部（現余市市）の浜で海砂を採取していた．角張っているものの清浄で細かい良質な細骨材だったことが述べられている．一方の砂利は，小樽地方では僅かに採取できる程度で，朝里，山中，古平などの海岸で，波浪によって打ち上げられるのを待って採取していた．この海砂利の品質はは極めて堅固で粗骨材として適したものだったと述べられている．ただし，時に全く採取できないこともあり，必要量を確保することが困難であったことも記されている．そのため神居古潭，高島岬，稲穂山などから採取した密度2.5g/cm^{3}から2.7g/cm^{3}の安山岩を，砕石機で粉砕した砕石も粗骨材として用いられていた．砂利の密度が記載されていない一方で砕石については密度が確認されており，粒度についても砕石のみ五分から一寸五分と明示されている．粉砕後にすぐに篩いにかけてセメントとの密着を妨げないように，付着した粉末取り除いていた．

(2)　南防波堤[6)]

砂については，小樽より海上約 13 里の与市郡畚部海浜で採取していた点は変わらないものの，小樽近海に産するものは，質が悪く使用に適さないことも指摘されて

いる．現在から見ると小樽において与市産の骨材を使うことは，材料調達の観点では十分に合理的であると判断されるが，小樽近海のものは使えないと断っていることから，離れた産地の砂をわざわざ使っている感覚があったと推測される．毎年4月から9月にかけて船で運搬していたが，時として秋冬の運搬で海運が不可能な場合には，蘭島駅より鉄道で工場に搬入していたが，その量は多くなかった．

砂利については，北防波堤の工事と同じ様に小樽港外の朝里，張碓，山中などの海岸，および遠く古平川で採取したものを使っていた．前者3箇所の海砂は時化ごとに打ち上げられたものを採取するためにその量が豊富でなく，後者の川砂利は直営で採取し豊富に産出するものの海路で遠くまで運搬するのが容易でなく，明治42，43年のみ採取しその後は中止された．

砕石も北防波堤と同じく砕石機を用いて製造され，原料は稲穂山もしくはメナシ泊（大正3年まで）の割栗石を使用，陸路を汽車で輸送し工場に搬入された．

3. 火山灰

評伝に引用された明治 40 年頃の廣井自身による回顧談において，火山灰をセメントに混ぜて使用するドイツ人ミハイルの発明をフランスの雑誌の中に見つけ，ドイツ政府による良好な試験結果も聞いたので，日本では至る所にある火山灰をこれなら大丈夫と早速混用することにした，という主旨を述べている [7]．早速の意味するところは，工事への採用ではなく試験を開始すると思われるが，本章では最終的に採用された火山灰だけでなく，採用が検討されたもの，北防波堤および南防波堤に続くその後の工事で採用された火山灰に着目し，明治期の火山灰利用の実体に迫る．

(1) 北防波堤 [5]

火山灰の耐久性に関する効果が提唱され，北防波堤が着工した明治31（1898）年にドイツ政府が実証した検証で成果が認められ，廣井自らも試験した後に着工5年後の明治35（1902）年から築港工事で採用された．

火山灰採用の 2 年後，報文前編に先立つ廣井による1904 年の米国土木学会での英文報告 [8]では “the tuff extracted from the bluff close to the blockyard” と記述されている様に，今では火山灰コンクリートという呼び名で定着しているものの，凝灰岩 (tuff) に分類される岩石が使われていた．粒径 4mm 以下の固結していない火山砕屑物という火山灰の一般に使用されている定義を C.K.Wentworth が示したのが 1932 年であるため [9]，この時期の英文としては凝灰岩という英単語を使ったと考えられる．**図-1** に示す建設中の遠景から，右手に伸びる北防波堤，中程に工場，左手に見える現在の厩町桟橋背後のまさに敷地内の工場裏の崖から凝灰岩を採取 (extracted from the bluff close to the blockyard) していたことが窺える．なお，北海道の凝灰岩は建設資材としては「軟石」とも呼ばれ，小樽の倉庫街に用いられている石材である．

また，当初は粉砕設備をコンクリートブロック工場に所有していなかったので長崎県五島から火山灰を購入していたが，その耐久性試験の結果が想像より良くなく，価格も低廉でないために小樽港近郊を探査・試験したと述べている．余市，字厩，熊碓などから取り寄せたものの，最終的に字厩にある築港工場内より採取製造したものが工事の大部分を占める結果となった，とも記述されている [10]．報文前編によればこの凝灰岩を「採掘後先ツ之ヲ乾燥シ粉末機ヲ以テ「セメント」ト同一程度ノ細末ヲ為ス」とあり，乾燥と粉砕によりコンクリート用混和材の火山灰として製造していた様である．

火山灰の費用について，五島火山灰は「一立坪五拾円以上ニ達シ」ていた．その理由は述べられていないが，最終的な工期全体での火山灰の平均価格は「一立坪ニ付弐拾九円四拾五銭」と6割以下に下がっている．評伝に引用された回顧録では，「山を買い込み，これが搬出のみを請負人に請け負わせるようにしたので，大いに経費が節約」できたようである．輸送，および後に述べる九州地区における会社化によるコスト増が要因であったと考えられる．2年間の延長の末に工期は11年となり，その間に総工費の3割を占めたセメントが1樽6円93銭から 3 円 80 銭まで物価変動するような時代に，体積でセメントの8割とした配合でこの工場内製造火山灰を利用したことは，当初予算を超えることなく竣工した理由の一つと考えられる．

(2) 北防波堤で検討された火山灰

竣工から15年ほど経過した1920年に，廣井による英文報告 [11]には，小樽，余市，五島の3種の火山灰の組成とモルタル強度試験を比較した結果から「シリカの可溶

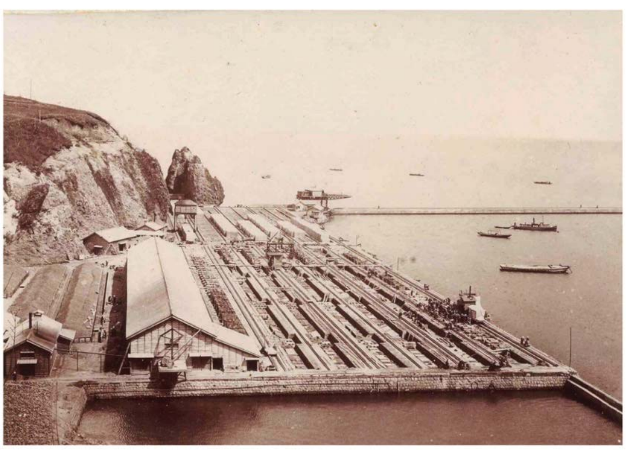

図-1 北防波堤の工事（小樽市総合博物館所蔵）

性成分が最も反応性の高いことに疑いの余地はないものの，最も不溶シリカの多い小樽火山灰の強度が最も高く，シリカの総量も考慮する必要がある」と指摘している（筆者和要約）．火山灰の溶出成分試験も塩酸で行なったことが示されているため，アルカリ溶液へ溶出させる現在のポゾラン反応性試験とは異なる結果が得られてしまったと考えられるが，火山灰の中における反応に有効な成分が明確に意識されていたことが分かる．

五島火山灰については，大正 2（1913）年に献堂された福岡県の今村天守堂にて，五島の岐宿産の火山灰と石灰，砂を混合して基礎工事をおこなったことが報告されている[12]．建築を請け負った建築職人の鉄川與助は五島列島の出身である．五島から小樽までの運搬は費用の面など北防波堤工事の段階ではメリットが無かったと思われるが，大正の始め頃に至っても，福岡まで輸送することは行われていた様である．

余市の火山灰については，北防波堤に遅れること 4 年の 1912 年（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，煉瓦積みモルタル，石積みモルタルに使われていた[13]．廣井により試験が行われた小樽近郊の余市の火山灰と同じものか不明であるが，**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．行啓記念の写真集にその他の名所とともに掲載されるほどなので，小樽地区でその存在は認められていたと考えられる．

余市町教育委員会によれば，大正 8（1919）年には，天内山で火山灰が採取されていたと記述され[14]，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．現在では既に平坦になっているため，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ははっきりしない．

(3) 南防波堤[6]

1924（大正 13）年の報文後編によれば，第一期工事における各種試験結果が有効だったため，継続的に二期工事でも採用されたと記される．また，火山灰の採取地については，当初は元第一工場の跡地で採取・乾燥・粉砕したものを使用していたが，すぐに第二期工場背後の崖に採掘地を改めて製造するようになった．「以來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 番地とすることや粉末度などが購買仕様として定められていた．同じ凝灰岩でも固結の度合いは様々であり，築港前期工事も含めて産地を細かく指定していたのは，混和材としての性能に加えて石材には向かない固結の弱い堆積箇所を意図的に選択し，粉砕を

図-2 明治 45 年頃の中村火山灰製造所

容易にする目的があった可能性も考えられる．1917（大正 6）年の小樽商業会議所統計年報に明治 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がったエリアにある．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には，いくつかの枝番とともに若竹町 25 番地が明記され，若竹町 25-1 は国有地・埋立地・築港工場用地のすぐ背後の位置であり防波堤すぐの背後である．北防波堤と同じく，工事場所すぐの崖で火山灰を採取していたことになる．なお，第二十一回小樽商工業統計書（大正六年分）によれば，この北海道火山灰合資会社は従業員 30 名，大正 3 年に入舟町に設立された小樽火山灰ブロック株式会社の従業員は 14 名の合計 47 名，製造高の価格が合計 59,749 円となっている．鉄鋼の従業員合計 328 名，製造高約 45 万円に比べると小規模であるが，6 つの工場が記載されるガラスの合計従業員数が 42 名，製造高が 63,220 円となっており，火山灰業は今では有名な小樽のガラスと同程度の規模であったことが分かる．

(4) 南防波堤で検討された火山灰

報文後編の第六章工事用材によれば，前期工事と同じく北防波堤の裏から採取した火山灰を当初は直営で製造したものの，若竹町からの購買によるものがほとんどを占めたと記載されている．しかし報文末尾に記載される附録には，熊碓火山灰と九州火山灰の試験を行った結果が示されている[15]．この九州火山灰は，廣井により北防波堤における検討の結果，金額面および耐久性が良くないとされた五島産火山灰であるとは考えにくい．南防波堤より 2 年遅れで着工したものの，南防波堤より 5 年早大正 8 年に完成した函館築港工事報報文の第七章工事用材では[16]，小樽築港で良い結果が出たので使用したと述べられ，その試験結果も記載されている．表にまとめら

図-3　郵便局長と並び掲載される九州火山灰の社長

図-4　九州火山灰の工場

れた結果の中で，九州火山灰と記載されているので，南防波堤ではこの唐津火山灰が検討された可能性が高い．

唐津の北に位置する呼子町史[17]によれば，明治時代になると呼子における鉱工業の代表的なものとなり，明治32年には九州火山灰会社が長崎県人によって創立，佐世保軍港に採用され好評を得たために全国的に販路を広げたようである．その後，沢山火山灰会社，呼子火山灰会社，唐津火山灰会社など次々に創立され，30余年にわたって唐津・呼子の主力産業の花形的存在となった，と記述される．また，一時その数は最大18社になるまでに至ったものの，財界の不振とともに倒産者が相次ぎ，僅かに3社のみ残存して今に至り，昭和5年に3社が連合した，と火山灰連合会長の米原は昭和16年に寄稿している[18]．大正4年の佐賀県官民肖像録には郵便局長や代議士とともに，**図-3**にに示す様に九州火山灰会社社長も掲載されている．また，日本火山灰株式会社の技師も掲載されており，産業としての火山灰事業が佐賀県内の花形的存在であったことを伺わせるとともに，エンジニアとして世間から認知されていた可能性も考えられる．履物製造卸商と兼業して火山灰製造販売を行っていた人物も掲載され，会社として設立されてない個人採掘などの盛んであった可能性があり，農閑期の副業となったという記述も見られる[19]．

明治40年6月27日の佐賀新聞には，九州火山灰の従業員である韓人十数人が，会社との賃金問題で意見の衝突があり，唐津警察署に陳情に訴え出たという記事が掲載されている．最終的には，穏便に会社と妥協すべきであると警察が説諭して引き取らせたというやや呑気な結末になっているが，それなりの人数の労働者を抱える規模の大きな事業が展開されていたことが推測される．社長が官民肖像録に掲載され，従業員とのトラブルもあった九州火山灰の工場の明治44年頃の様子は，図-4に示す通り，観光名所やその他の主要産業工場とともに佐賀縣寫眞帖に掲載されている．写真の左上に人や馬と思われる動物が写っており．複数の建物で構成される工場であった様である．

参考文献

1) 廣井勇：小樽築港工事報文（前編），p.132，1908.
2) 長瀧重義監修：コンクリートの長期耐久性～小樽港百年耐久性試験に学ぶ，技法堂出版，1995.
3) 高橋哲郎：評伝　山に向かいて目を挙ぐ　工学博士・広井勇の生涯，pp.155-181，鹿島出版会，2003.
4) 中村信之，木村克俊：小樽港の百年コンクリート広井勇博士とその偉業，セメント・コンクリート，Vol.527，pp.8-17，1991.
5) 廣井勇：小樽築港工事報文（前編），pp.125-151，1908.
6) 伊藤長右衞門：小樽築港工事報文（後編），pp.125-156，1924.
7) Hiroi, I.: The Preparation and Use of concrete Blocks for Harbour Works, Transactions, ASCE LIV. Part A (10), pp.211-220, 1904.
8) 前掲3)，pp.169-170
9) 地学辞典編集委員会：地学辞典，平凡者，p.191，1988.
10) 前掲1)，p.134
11) Hiroi I.: on Long-Time Tests of Portland Cement, Hydraulic Lime, and Volcanic Ashes, Journal of the College of Engineering, Tokyo Imperial University, No. 10, Vol. 7, 1920
12) 太田静六：長崎の天主堂と九州・山口の西洋館，PP.202-209，理工図書，1982.
13) 駒木定正：日本銀行小樽支店（明治45年）の主要構造と仕様，日本建築学会計画系論文集，No. 471, pp.139-146, 1995.
14) 余市町教育委員会：天内山—続縄文・擦文・アイヌ文化の遺跡—，P.1，1971.
15) 前掲6)，附録pp.53-54
16) 荒木文四郎：函館築港工事報文　全，pp.145-149，1919.
17) 呼子町役場：呼子町史，pp.556-557，1978.
18) 佐賀新聞社：佐賀實業大観，p.118，1941
19) 唐津市：鎮西町史下巻，pp.563-565，2006.

(Received Apr. 19, 2021)