



Title	小樽市博物館外壁石材の凍結 : 融解試験
Author(s)	福田, 正己; FUKUDA, Masami
Citation	低温科学. 物理篇, 42, 163-169
Issue Date	1984-03-05
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/18492
Type	departmental bulletin paper
File Information	42_p163-169.pdf



小樽市立博物館外壁石材の凍結—融解試験*

福田 正 己
(低温科学研究所)
(昭和 58 年 10 月受理)

I. はじめに

小樽市立博物館(旧日本郵船小樽支社)は明治中期の代表的な石造建築である。外壁には小樽市周辺に産するいわゆる軟岩(角礫凝灰岩)が石材として用いられている。長期間にわたって、寒冷な条件下にあったために、一部で劣化が著しくなっている。そこで改修保存策を講ずるにあたって、この外壁石材の劣化原因となった凍結破砕の状況とその防止対策をたてる必要がある。その基礎調査の一環として、現地での温度観測と凍結—融解試験を行なったのでここに報告する。

寒冷地域での野外石造文化財の保存にあたっては、以下の点に留意しなければならない。主として凍結による破砕作用が働くためであるならば、発生にかかわる主要な要素を抽出する。土の凍上との類似性から、岩石の凍結破砕の程度は、寒冷度・岩質・水分供給の3つの条件に依存する。岩質について、福田¹⁾(1974)は風化過程で空隙が増大して、強度の低下が著しいと破壊されやすいことを指摘した。また空隙の増加の程度を、有効空隙率と超音波伝播速度(V_p)の関係から示数化することを試みている²⁾。

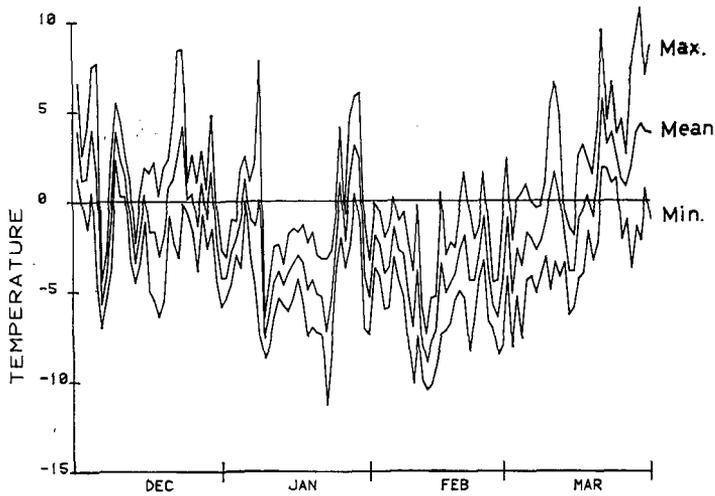
野外の石造物の凍結破砕防止策をたてるにあたって、作用を受ける岩質の風化状況と作用営力となる寒冷度をあらかじめ知る必要がある。寒冷度については、冬季間の凍結—融解の出現頻度が重要となる。そこで小樽市立博物館の事例でも、外壁石材の凍結—融解の繰り返し頻度の見積りを行ない、あわせて石材試料の凍結—融解試験を行なった。

II. 凍結—融解の出現頻度

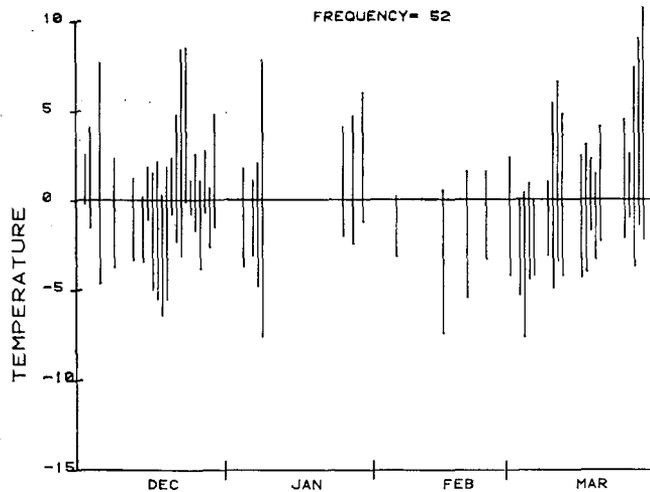
外壁の石材は古第三紀凝灰岩と安山岩からなりたっている。破損劣化の著しいのは凝灰岩である。そこで、凝灰岩が凍結—融解の繰り返し作用をどの程度受けているかを現地観測でおさえる必要がある。岩体の内部温度の変動と外気温の変動を比較して、凍結破砕にかかわる気象条件を評価する。現地での測定は安山岩と凝灰岩の両方について行なった。

すでに報告したように³⁾、岩石が凍結破砕を受けるには、 0°C を上下して日気温が変動することと、その出現頻度に強く依存する。そこで第1図に、1982年12月から1983年3月までの小樽における日平均・最高・最低温度の変動を示す。さらにこれから、日気温の変動が 0°C を上下した出現頻度とその幅として示したのが第2図である。この期間の出現頻度は52回であ

* 北海道大学低温科学研究所業績 第2602号

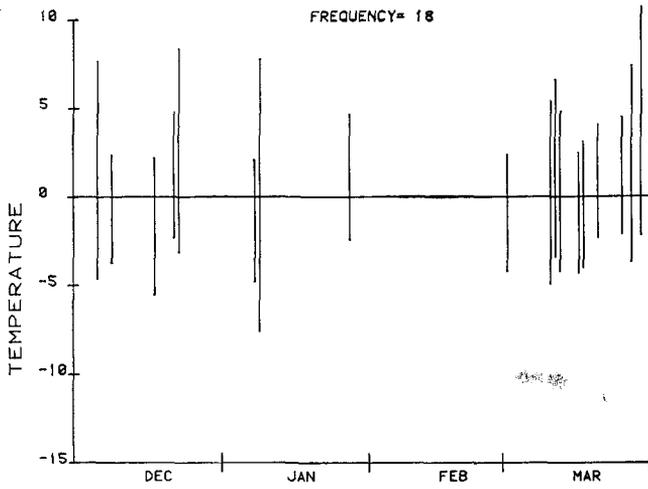


第1図 小樽における日平均・最高・最低温度の変動(1982年12月~1983年3月)

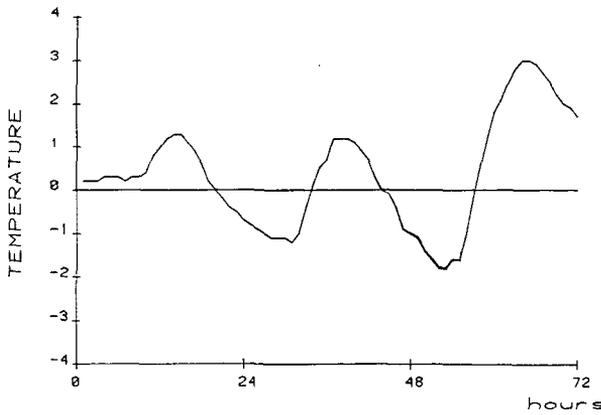


第2図 小樽における 0°C を上下して変動した出現頻度と幅(1982年12月~1983年3月)

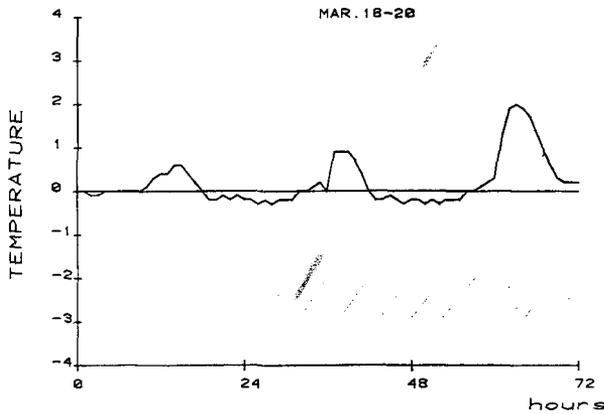
ったが、12月と3月に頻度の多いことがわかる。これは気温の変動であり、実際の岩石の表面温度とは異なるので、出現頻度の多少がそのまま岩石の凍結破砕にかかわってこない。岩石の内部にまで変動がおよぶためには、 0°C を上下するというだけでなく、変動の幅がある程度以上でなければならない³⁾。そこで日最高気温が $+2^{\circ}\text{C}$ をこえ、最低気温が -2°C 以下となった変動日の出現頻度と幅を第3図に示す。これが、野外での岩石の凍結破砕におよぼす度合となる。2月には1度も出現していない。この期間は岩石は凍結状態にある。3月の中~下旬に多く出現している。この時期は融雪期でもあり、外壁石材は水分供給を受けやすい。つまり温度変動と水分供給の2条件から判断して、風化した岩石は凍結破砕されやすい時期にあっている。



第3図 小樽における $+2^{\circ}\text{C}$ 以上, -2°C 以下を上下して変動した出現頻度と幅 (1982年12月~1983年3月)



第4図 外壁石材(安山岩)の内部温度の変動例 (1983年3月18日~20日毎1時間ごとに測定)



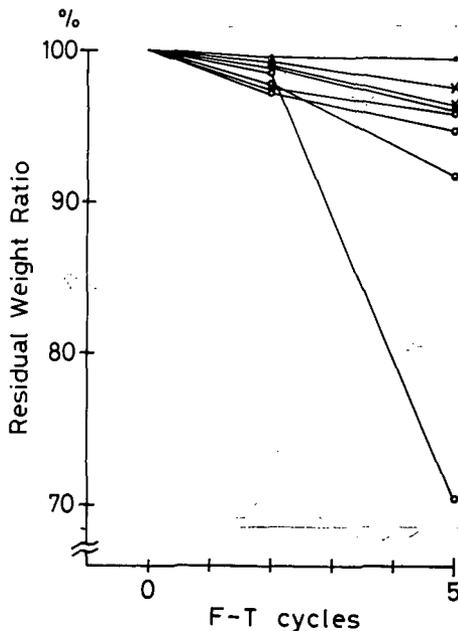
第5図 外壁石材(凝灰岩)の内部温度の変動例 (1983年3月18日~20日毎1時間ごとに測定)

次に実際の外壁石材の内部温度（表面から約5cm位置）の変動のうち、第3図で予測された3月18日～20日の観測結果を第4図と第5図に示す。第4図はやや暗色の安山岩の場合で、空隙率は約20%である。第5図は明るい灰白色の凝灰岩で空隙率は40%をこえている。温度変化は、毎1時間ごとに記録した。安山岩は暗色のためアルベードも小さく、外壁が東向きであることのために、日変動幅が大きくなっている。また空隙率も小さいので、含水量も少なくそのため岩石内の水分凍結による明らかな潜熱放出は記録されていない（第4図）。凝灰岩の変動の特徴は、0°C以下の変動幅が小さいことである。これは岩石内水分の凍結にともなう潜熱放出による。つまり、明らかに凝灰岩は凍結—融解を繰り返している。そこで、この凝灰岩を石材から採取して、低温室内での凍結—融解試験を行なった。

III. 凝灰岩の凍結—融解実験

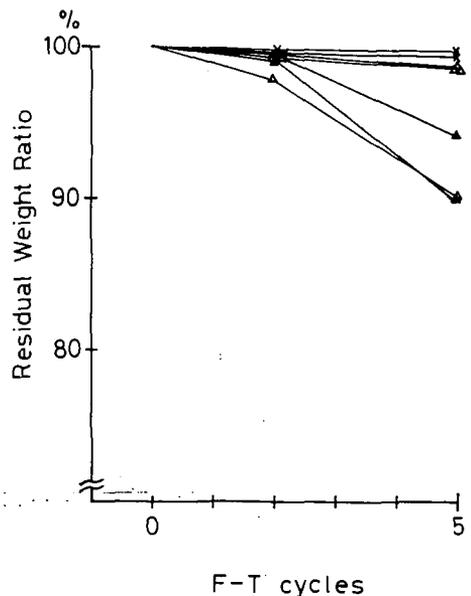
外壁石材として用いられている凝灰岩は、岩質から2種類に分けられる。砂質ないし泥質の凝灰岩を産地名から奥沢凝灰岩と呼ぶ。これよりも浮石質で角礫もまじる凝灰岩を天狗山凝灰岩とする。外壁石材を切断して、中心部分と外縁部に分けて採取した。これらの試料をほぼ5×5×5cmの立方体に整形し、空隙率と超音波伝播速度(V_p)を測定した。

その後+10°C～-15°Cの温度幅で1日1サイクルの凍結—融解の繰り返しを、水分供給しながら行なった。2および5サイクル後にそれぞれ空隙率と V_p 、それに破砕による重量損失を測定した。これらの測定結果から凍結破壊への抵抗性を判定した。



第6図 凍結—融解による重量損失 (奥沢凝灰岩)

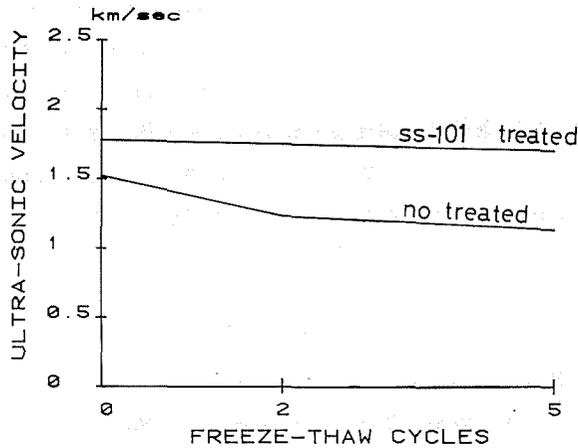
- 印外壁の外側から採取
- ×印外壁の内側から採取
- 印新期石材から採取



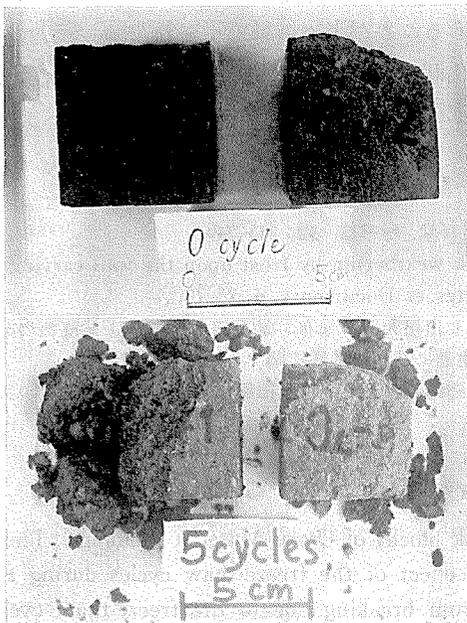
第7図 凍結—融解による重量損失 (天狗山凝灰岩)

- △印外壁の外側から採取
- ×印外壁の内側から採取
- ▲印新期石材から採取

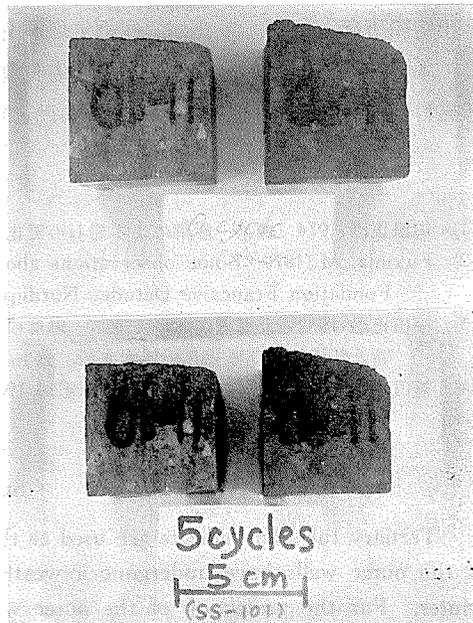
空隙率が高く、風化の著しい岩石をシリコン系樹脂処理すると、凍結破壊への抵抗性が増加することがすでに知られている⁴⁾。そこで、今回実験で用いた凝灰岩にも同様の効果がみられるかを判定する試験を行なった。用いたシリコン樹脂はメチルエトキシシランである。これの低重合体の約35%トルエン・メタノール混合溶媒溶液に、岩石試料を浸透させて処理した。樹脂処理によって、岩石空隙の約24%が樹脂で充てんされた。樹脂処理によって V_p の値は変化しなかった。しかし、岩石試料への水分浸透性が悪くなり、水置換による空隙率は20%以下となった。



第8図 凍結—融解による超音波伝播速度 (V_p) の変化 (奥沢凝灰岩)
SS-101: シリコン系樹脂処理



第9図 凍結—融解による奥沢凝灰岩の
破砕状況 (樹脂処理せず)



第10図 凍結—融解による奥沢凝灰岩の
破砕状況 (シリコン樹脂処理)

凍結—融解による岩石の破碎ないし剥落による重量損失の程度を、第6図(奥沢凝灰岩)と第7図(天狗山凝灰岩)に示す。両者を比較すると、奥沢凝灰岩の方で破碎の著しい場合がある。各々に共通して、外壁の外側から採取した試料ほど破碎されやすいことが示されている。長期間寒冷条件にさらされて、劣化が進行したためである。

樹脂処理の効果を比較するため、奥沢凝灰岩の V_p 変化に着目してみる。第8図に示すように、樹脂(SS-101)処理した試料は凍結—融解を繰り返しても V_p は変化しなかった。これに対して無処理の試料は V_p の値が小さくなり、凍結—融解のサイクルによる劣化がみられた。岩石試料の凍結破碎による形状変化を第9図と第10図に示す。5サイクル後に試料の立方形の稜部分からの剥落が生じている。ところが樹脂処理した場合には、外観上の変化はまったく見られず、第8図で V_p 変化が生じなかったこと、つまり劣化しなかったことを裏付けている。

この凍結—融解の実験条件は、温度変動幅および水分供給条件ともに実際の条件よりもかなりきつくなっている。したがって、野外でこうした著しい劣化が短期間に生ずるわけではない。凍結—融解による破壊への抵抗性が小さいことを示唆しており、野外での対策等に役立てるには、さらにさまざまな条件を考慮する必要がある。

IV. おわりに

貴重な石造文化遺跡や石造建造物が、寒冷な環境条件で破碎されるのを防ぐため、小樽市立博物館を例に挙げて、凍結破壊の生ずる条件を観測から検討した。軟岩石材として従来よく用いられている凝灰岩は、水分供給を受けた状態で凍結—融解を繰り返すと破碎されやすいことが実験で示された。また野外での石材の温度変化の記録から、冬季間にある出現頻度でこうした凍結—融解が繰り返されていることがわかった。凝灰岩の凍結—融解による破壊を防止する方法として、シリコン樹脂処理が有効であることが実験結果で示された。

本研究にあたっては、小樽市教育委員会と文化財建造物保存技術協会の協力を得た。また低温科学研究所・木下誠一教授に多くの助言をあおいだ。ここに記して感謝の意を表わします。

文 献

- 1) 福田正己 1974 凍結—融解による岩石の風化. 低温科学, 物理篇, **32**, 243-249.
- 2) Fukuda, M. 1979 Some observations about rock weathering by frost upon the wall carvings. Fondation Française d'Études Nordiques, Actes et Documents, **6**, 73-79.
- 3) 福田正己 1982 北海道における凍結—融解の繰り返し出現頻度の分布. 北海道全域における積雪の分布と特性ならびにそれが地面凍結, 植生, 昆虫生態に及ぼす影響に関する研究, 77-86.
- 4) 福田正己・三浦定俊・西浦忠輝・松岡憲知 1983 石造遺跡の凍結破壊と樹脂によるその防止効果の実験. 保存科学, **22**, 1-14.

Summary

Tertiary tuff and andesite are used as the rock blocks of Otaru Museum Building. Those of the outer walls have undergone a weathering effect of the freeze-thaw cycles during the winter. For the protection of the outer walls from breaking due to the freeze-thaw cycles a preliminary study was conducted by the present author. The number of frequencies of freeze-thaw cycles was estimated by the measurements of temperature fluctuations in the rock

blocks of the outer walls. Rock specimens were then cut off from them and exposed to the freeze-thaw cycles in the laboratory. The degree of frost shattering due to the freeze-thaw cycles was determined by the measurements of the rock properties such as porosity and ultrasonic propagation velocity through the specimens. As a result of this experimental study it is recommended for the protection of the rock blocks from breaking that they be treated with synthetic resin.