

〔報文〕 旧日本郵船小樽支店の建築部材の劣化と保存対策

高見 雅三*・石崎 武志

1. はじめに

小樽市¹⁾によれば、旧日本郵船株式会社小樽支店（以下、旧日本郵船）は、明治37年（1904）着工、同39年（1906）10月に落成したフランスルネッサンス様式の石造石積み2階建て、垂鉛引鉄板葺の建物である。設計者は工部大学校造家学科（現：東京大学工学部建築学科）の第1期生である佐立七次郎（1856-1922）で、施工は地元の大工棟梁山口岩吉と石工・山田藤次郎があたり、総工費は当時の価格で約6万円である。外壁は小樽天狗山産凝灰岩（以下、小樽軟石）、腰・胴・軒蛇腹部分には登別産安山岩（中硬石）（以下、登別産石）を使用し、竣工当時の壁面色はクリーム色で、窓は北国の冬を考慮した二重窓、地下にはボイラー室を設け、蒸気暖房など当時としては最新式の設備を備えていた（図1参照）。



図1 旧日本郵船の全景（2010年4月10日撮影）

建設当時、小樽は北海道開拓の拠点都市として商業港湾機能が充実する過渡期で、船舶・海運・倉庫業界が競って、船入澗を設置し石造倉庫が多く建てられた。

このため、明治後半から一流建築家達が当時の最先端の技術で建てた建物が多く、旧日本郵船もその一つで、明治39年（1906）11月には、ポーツマス条約に基づく日露の樺太国境画定会議が会議室で行われ、会議終了後貴賓室で祝盃が交わされた由緒ある建物である。また、昭和20年（1945）にはGHQの関係者が使用するなど、日本郵船株式会社および近海郵船株式会社（日本郵船の小樽代理店）が昭和29年（1954）に事務所移転するまで使用された。

昭和30年（1955）には日本郵船株式会社から小樽市へ譲渡され、翌年、昭和31年（1956）から小樽市博物館として再利用された。その際に、天井紙や漆喰壁にペンキが塗られ、リノリウムの補修などが行われたようである。昭和44年（1969）3月には明治後期の貴重な石造建築として国の重要文化財に指定され、昭和53年（1978）には屋根葺き替え修理と屋根廻りで一部復旧（飾り柵や旗竿）整備が行われた。

しかし、建造以来70余年もの風雪により、建物各部に老朽破損箇所（石材の凍害と風化の進行）が目立ったため、小樽市は、国庫補助を受けて、昭和59年（1984）10月から昭和62年（1987）6月まで、33ヶ月の歳月をかけて、修理工事を行った。その際、風化、凍結融解により破損が甚だしい箇所は石壁を張石で補強や擬石で置き換えなど施工した後に、シリコン合成樹脂（メ

*北海道立総合研究機構

チルエトキシシラン低重合体の約35%トルエン・メタノール混合溶媒溶液（SS-101日本コロコート株式会社製）が外壁全体に塗布（溶媒4%）された。

その後、特に北面と南面の軒蛇腹直近の小樽軟石の剥落や、シリコン合成樹脂の含浸域と小樽軟石の界面での剥離（以下、界面剥離）が顕著となるとともに、雨漏りにより内部の金唐皮紙の一部剥離や漆喰壁の変色・剥離・（胞状）亀裂、天井の雨染みのほか、カビの発生も観測された。

ここでは屋内外の温湿度観測や壁面の劣化観測などを行い、その結果を取りまとめた。また、それらの調査結果を基に今後の保存対策について検討したので以下に報告する。

2. 旧日本郵船に関連するこれまでの研究

福田²⁾は、岩石内の空隙の水が、凍結融解によって破壊され、空隙率20%以上の岩石では、凍結融解の繰り返しが破壊を生じやすくし、破碎の様式は構成粒子の大きさや潜在割れ目の状態によって異なることを報告した。

また、福田²⁾は、貴重な石造文化遺跡や石造建造物が、寒冷な環境条件で凍結融解の繰り返しにより破碎されるのを防ぐため、旧日本郵船を例に挙げて、凍結破壊の生ずる条件を観測から検討した。その結果、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を実験から明らかにした。また野外での石材の温度変化の記録から、冬期間に、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を明らかにするとともに、凝灰岩の凍結融解による破壊を防止する一つの方法として、シリコン樹脂処理（メチルエトキシシラン）が有効であることも実験結果から示した。

三浦⁴⁾は、撥水性シラン、エポキシ、アクリルの3種類の合成樹脂を含浸させた凝灰岩について、凍結融解試験を行った結果、シランで処置したものに高い凍結破壊防止効果がみられたと報告した。すなわち、撥水性シランを塗布した石造文化財は、表面からの水に対しては防水効果があるため、現実には凍結破壊に対して十分な抵抗性を有すると考えた。しかし、外気温の変動による凍結融解の繰り返しは、岩体の深さ10~20cmにも及ぶため、地下水や樹脂処置していない部分からの水の侵入が大量にあって、岩体が常に湿っている場合には、シラン層の内側で凍結破壊を起こす恐れが十分にあると報告した。

福田⁵⁾は、凍結破碎を生ずる凝灰岩では、凍結過程で凍結線への水分移動と凍結側への集積のため破碎される凍結破碎機構について報告した。三浦⁴⁾は、凍結破碎に寄与する岩石表面の温度変動幅は-4以下~+4℃以上であり、しかもその影響は岩体の10~20cmの深さまで及んで凍結融解を起こすと報告した。

福田⁶⁾、福田・村上⁷⁾は、1982年12月~1983年3月までのアメダス観測点小樽のデータの日最高温度と最低温度を用いて、凍結融解の出現頻度を数えた。その結果、日気温の変動が0℃を上下した出現頻度は、52回で、12月と3月に多く、変動幅を-2℃~+2℃とした場合は、18回で、2月は一度も出現せず、3月中~下旬に多く出現する。また、変動幅を-4℃~+4℃とした場合は、出現回数は6回で、12月と3月下旬にのみ出現することを明らかにした。特に3月下旬は、融雪時期で水分供給される時期でもあり、温度変動と水分供給の2条件から外壁石材は凍結破碎される条件下にあると報告した。

3. 劣化状況

3-1. 修理工事前の石材の劣化状態とその原因

修理工事前の石材の破損状況の概要は、小樽市¹⁾によれば次のとおりである。

3-1-1. 正面バルコニー・手摺付近部

この部分は、登別産石からなり、本建物中最も装飾的な部分であるが、同時に最も劣化が著しく、手摺は、蛇腹、笠木、手摺子とも甚だしい割損が見られた。登別産石の材質及び割損面の状態から判断して、本割損劣化の原因は完全に凍結融解によるもので、手摺子下部、突出部のすぐ下の外壁部及びスバンドレルの一部に見られる凝灰岩の層状剝離劣化部は、溶解性塩類結晶化による風化と凍結融解の相集作用によるものである。

3-1-2. バルコニー下部基座付近

この部分は登別産石からなり、劣化は上部バルコニーとは全く異なり、典型的な胞状劣化が著しく、その劣化の最大の理由は元々欠陥のある石材であったためで、トロける様に胞状に表面から崩壊していく、この劣化は元々その石が内在していた性質によるものである。

3-1-3. 窓台・胴蛇腹部

この部分は、登別産石からなり、突出部にクラックが入り、その結果ブロック状に脱落し、甚だしい場合には突出部が全て割損し、失われていた。割損・脱落の状況は東・西面及び南面が著しく、北面は比較的良好な状況であった。1・2階の差異は余りないが、南西端二階窓台の破損が大きい。落下石及び窓台落下部位を肉眼で観察した所では破損面自体に変化は見られない。本劣化の原因は、凍結融解であり、塩類風化の影響は少ない。

3-1-4. 窓台・胴蛇腹直近壁

この部分は、小樽軟石からなり、表層部の層状剝離及びその層の下で粉状化し、黒く変色していた。ここの部分を指で擦ると粉状に脱落する状態で、また、げんのうで石面を叩くと健全全部では透明反響音がするが、劣化部では濁音がする。反響音調査では劣化は表層の健全に見える部位でもその内部で浮き上がりが推測されるなど、深部(3~5cm深)にまで劣化が見られた。劣化部位は程度の差は異なるが、蛇腹、窓台に添って同じ形態の劣化が例外なく生じている。本劣化の原因は石中に含まれる溶解性塩類の結晶化と凍結融解との相集作用によるものであるが、水の透過速度の異なる石が積まれていることも劣化を促進している。

3-1-5. 付属石門

石門は下部と柱頭及び中央の一部が登別産石、その他の部分が小樽軟石からなる。この内、柱頭部には装飾が彫られており、最も重要な部分であるが、元々質の良い石が使われていたことにより、劣化は極めて軽微である。

3-1-6. 付属石塀

石塀の石は、強度が低い小樽奥沢産の凝灰岩を使用しているため、劣化が著しく、一部は既に崩壊している。崩壊部附近の石塀断面を調査した結果、石内部で亀裂が走り、二分しており、反響音調査により、全ての部分で一軸凍結融解による内部亀裂が起っていると推測された。

3-2. 平成23年度現在の劣化状況

3-1に記載したように、小樽市¹⁾によれば修理工事前の石材の劣化状況は、凍結融解による劣化が殆どで、特に水回り周辺や、軒・胴蛇腹直近壁等でも部分的にみられたが、その他の小樽軟石の殆どは健全であった。しかし、修理工事が行われてから約24年が経過し、現状の外壁

の劣化は、主として北面では軒蛇腹の登別産石の一部、軒蛇腹直近、軒蛇腹－胴蛇腹の間、腰蛇腹直近の小樽軟石、東面では軒蛇腹直近、軒蛇腹－胴蛇腹の間の小樽軟石、西面では軒蛇腹直近、軒蛇腹－胴蛇腹の間の小樽軟石で観測できる。なお、南面では今回新たに進行した劣化は目視観測できなかったが、積雪（屋根からの落雪など）と接する腰蛇腹下の小樽軟石には、修理工事以前にできたと思われる凍結融解による劣化（表面が凹凸）が観測できる。この他、付属石門、屋根、軒天井、及び煙突周辺で損傷が観測できる。

3-2-1. 軒蛇腹周辺と軒蛇腹－胴蛇腹の間の劣化

図2に北面（角の右側）と東面（角の左側）の角部分の劣化状況の写真を示す。北面では、軒蛇腹の登別産石に剥落、軒蛇腹直近の小樽軟石に剥落と界面剥離、東面では、軒蛇腹直近の小樽軟石に剥落と界面剥離が見られる。特に、図3に示すように、窓枠の小樽軟石で大きな亀裂がみられるが、発生時期や原因については不明である。しかし、将来、外壁を大規模に倒壊させる可能性のある亀裂である。



図2 北面と東面の劣化（左：2009年6月30日撮影，右：2011年10月28日撮影）

（白色に見えるカ所が劣化による剥離・剥落した外壁，屋内側の貴賓室の壁紙の金唐皮紙は全面および一部剥離）



図3 北面の外壁（小樽軟石）で見られる亀裂（破線）と軒天井の破損（2011年10月28日撮影）



図4 東面の腰蛇腹直近でみられる小樽軟石の劣化（2010年4月3日撮影）
※右図：左図の□の拡大で、白く見える部分がシリコン樹脂の含浸域



図5 東面（北面角）の軒蛇腹直近の小樽軟石の剝落と界面剝離（2011年10月28日撮影）

図4に、東面の腰蛇腹直近でみられる劣化と、図5に東面（北東角付近）でみられる劣化を示す。図4では出入口左側の雨樋からの雨水の流下と見られる水浸みが観測され、剝落した小樽軟石は濡れ色となっている。白く見える部分がシリコン樹脂の含浸域である。図5は、東面（北面と接する角）の軒蛇腹直近と付け柱と付け柱の間的小樽軟石で劣化がみられ、全て界面剝離で、上側に開口していることより雨水や雪が入りやすい状態となっている。

図6に西面でみられる軒蛇腹直近の小樽軟石の崩落と、軒蛇腹－胴蛇腹の間的小樽軟石の劣化を示す。この面は、2008年12月に観測を開始してから最も劣化進行した壁面である。劣化が始まった時期は、記録がないため明らかではないが、少なくとも1990年頃撮影の写真（図6左

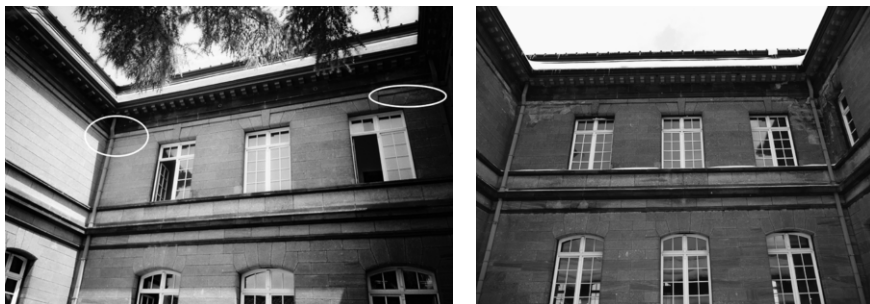


図6 西面でみられる軒蛇腹直近の小樽軟石の崩落と界面剝離
(左：1990年頃撮影，右：2011年12月11日撮影)

の右側○付近)では、軒蛇腹直近の小樽軟石の表面が白っぽく見えることより、既に界面剝離は始まっていたと考えられる。一方、図6左の左側○付近(左側の角)は、外見上、白っぽく見えないことから、まだ1990年頃撮影時点では劣化が進んでいなかったと考えられる。

次に、図6の右側の角の拡大写真を図7に示す。観測当初の2008年でも軒蛇腹直近の小樽軟石は一部剝落していた。界面剝離した壁面は、雨樋を挟んで逆三角形に白っぽく見え、また苔の生育域も目地の一部だけだったが、約3年後(図7右)には、界面剝離範囲と苔の生育範囲が拡大した。それに対応して、降雨後や融雪期では壁面が濡れ色になっていることが多い。特に軒蛇腹直近で小樽軟石の崩落が顕著な西面では登別産石の軒蛇腹の表面が湿っている状態が観測できる(図8参照)。



図7 西面南角の劣化(左：2008年11月13日撮影，右：2011年12月11日撮影)



図8 西面で見られる軒蛇腹直近の小樽軟石の剝落・濡色と軒蛇腹の登別産石の濡色
(左：2009年3月18日撮影，右：2011年10月28日撮影)

3-2-2. 付属石門、屋根、陸屋根（樋）、及び煙突周辺の損傷

図9に付属石門の劣化状況を示す。石門で劣化が激しい箇所は、小樽奥沢産の凝灰岩の部分である。下部と柱頭及び中央の一部の登別産石はあまり劣化が見られない。

屋根全体的に冬期氷雪のずり落ちによる摩耗と潮風による腐蝕がみられた。図10と図11に、西側の屋根や陸屋根の損傷を示す。屋根形状が谷筋で、かつ、陸屋根部分で屋根勾配が緩やかになっていることから、春期においてもこの部分に積雪が残りやすく、また接合部からのすきまが発生しやすい状態となっていた。腐朽と思われる破損が見られた(図10参照)。また、雨樋流入口内周辺にも損傷がみられ、陸屋根裏に流れ込みやすい状態となっていた。東側の屋根等の状況は把握していないが、西側と北側で屋根勾配が緩やかとなる陸屋根や軒天井で無数の腐朽破損を確認した。

東側の軒天井には最大45×60cm程度の大きさの損傷が見られる。また、降雨時の観測では、軒天井の損傷カ所(図10右)から雨水の流下が目視できることから、陸樋から陸屋根裏へ、そして軒天井の損傷箇所まで繋がっていることが容易に想像できる。角度が緩やかになっている陸屋根は屋根裏から見えない構造(庇構造)となっているため、陸屋根裏の状況把握はできない。しかし、図8で示したように、軒蛇腹直近の小樽軟石と軒蛇腹の登別産石が常に湿っていることから、陸樋から陸屋根内へ雨水や融雪水が浸入し、水の供給源となっていると考えられる。このことは、融雪時や降雨時に、屋根裏で水の流入が観測されることと矛盾しない。図12に北側の屋根上に設置された煙突の劣化を示す。煙突は凝灰岩で張石されており、周辺をステンレスのアンクルで固定されている。張石は、蜂の巣状にすかすか状態となっており、図9の付属石門の劣化と非常に似ており、劣化箇所から融雪水や雨水が屋根裏に入り込みやすい状態となっている。また、融雪時や降雨時に、屋根裏での雨漏り、貴賓室の金唐草紙の剥落や外壁で剥離した壁面が湿っていることと矛盾しない。



図9 付属石門の劣化
(2010年7月13日撮影)

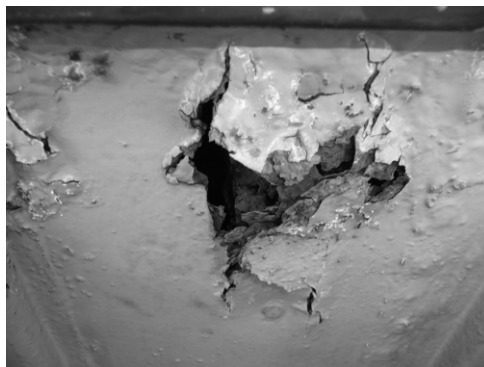


図10 西側の屋根と雨樋上部周辺の腐食(左)と軒天井で見られる破損(右)
(2010年7月13日撮影)



図11 西面の陸屋根でみられる陸樋の破損状況 (2010年7月13日撮影)

3-2-3. 室内の劣化状況

3-2-2で示した陸屋根の破損箇所、及び煙突周辺の劣化部分から雨水や融雪水が陸屋根内に流れ込むとともに、屋内にも浸入するなど屋内の壁や壁紙に被害が発生している。雨漏りは、降雨時や台風時にも発生するが、特に大きな被害は、これまで2月中旬～3月下旬にかけての融雪期に多く発生していることから、屋根に残った雪が水の供給源となったと容易に想像できる。



図12 北面の煙突周辺の劣化
(2010年7月13日撮影)

図13に、西側の廊下上段で見られる漆喰壁の劣化(左)と2011年3月13日に発生した雨漏りによる漆喰壁の胞状亀裂(右)をそれぞれ示す。丁度、図8の室内側の2階廊下にあたる場所である。また、図14に貴賓室の金唐皮紙の北面と東面の剝離を示す。丁度、図2で劣化が見られた東・北面の室内側(貴賓室)に当たる場所である。このほか、貴賓室の天井には2006年以前の雨漏りと見られる染み跡や、2011年3月20日に雨漏りが観測されている。

図13に、西側の廊下上段で見られる漆喰壁の劣化(左)と2011年3月13日に発生した雨漏りによる漆喰壁の胞状亀裂(右)をそれぞれ示す。丁度、図8の室内側の2階廊下にあたる場所である。また、図14に貴賓室の金唐皮紙の北面と東面の剝離を示す。丁度、図2で劣化が見られた東・北面の室内側(貴賓室)に当たる場所である。このほか、貴賓室の天井には2006年以前の雨漏りと見られる染み跡や、2011年3月20日に雨漏りが観測されている。

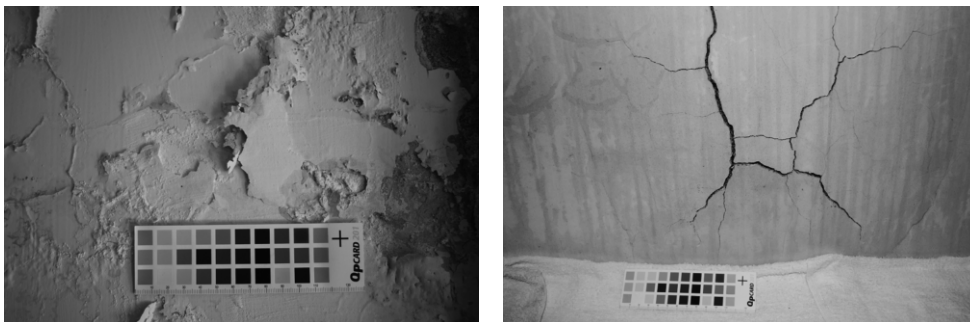


図13 西側廊下の漆喰壁で見られる劣化
(左) 剝離と白色析出 (2010年4月3日撮影) と (右) 胞状亀裂 (2011年4月2日撮影)



図14 貴賓室の金唐皮紙の東面の剥離（2011年4月10日撮影）
（北面：写真の左側は金唐革紙が全面剥離）

3-2-4. 微生物調査について

貴賓室北面の金唐皮紙の剥離後の漆喰壁に植物根とみられる跡（図15左）や、剥離した金唐皮紙の背面にも植物根らしきもの（図15右）を観測した。また、金唐革紙の背面にも黒色や白色のカビらしきもの（図15右）や、貴賓室の金唐皮紙の剥離後の漆喰壁（図16左）と3Fへの階段横の踊り場の漆喰壁（図16右）で黒カビと見られるコロニーを観測した。さらに、図13の左側では、白色のカビらしきものを観測した。そこで我々は、これらについて、分析を行った。

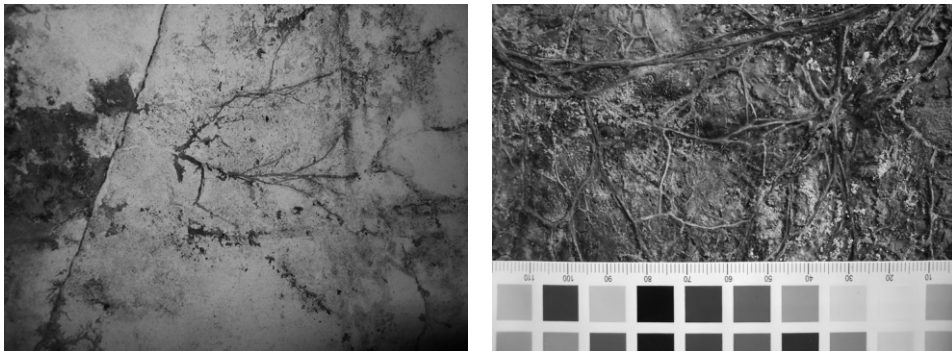


図15 金唐皮紙の剥離後に植物根とみられる跡（左）（貴賓室北面：2010年7月1日撮影）と金唐皮紙の背面の植物根（右）（2010年6月6日撮影）



図16 貴賓室の北面の金唐皮紙全剥離後（左）や3Fへの階段踊り場横（右）の漆喰壁でみられる黒カビのコロニー（左：2010年7月1日撮影，左：2011年7月16日撮影）

3-2-4-1. 金唐革紙の微生物調査

金唐革紙の背面で観測された黒色と白色の4箇所(①裏面白色部分, ②裏面黒色部分, ③裏面白色粒状物質, ④植物根状部分)について, 微生物分析を行った。

ATP 拭き取り検査では測定面積が少なかったため, 明確な微生物判定ができなかった。通常の壁面等の拭き取り面積(100cm²)に単純換算すると, ①で103 RLU, ②で104 RLU となる(③はブランク値程度なので除外)。活性は低い完全に死滅している状態ではないと判断される。

培地接種法では①②④サンプルにおいて真菌が検出された。採取時の目視(白色・黒色など)と, 培地上で培養後に発生した真菌の色が一致している。金唐革紙の裏面には少なくとも白色の分生子を形成する真菌と, 黒色粒状の分生子を形成する真菌の2種が存在するものと考えられる。

3-2-4-2. 漆喰壁面の微生物調査

貴賓室の北側で金唐革紙の剝離面で2カ所(①黒色粒状物質, ②白色物質)と西側廊下の漆喰壁面で1カ所(③白色物質)について, 培地接種法にて微生物の有無について調査を行った。培地はMA培地(好湿性真菌用)及びMA40培地(好稠性真菌用)の2種を用いて行った。

試料①からMA, MA40ともに真菌が検出された。ある程度乾燥にも耐える菌種であると考えられる。培地上での形態観察から, 試料①で培養された真菌は, 同定は金唐革紙で検出された白色の真菌に類似したものであった。試料②では真菌は特に発生せず, 白色物質は漆喰の石灰成分の析出と考えられる。試料③は1コロニーと少ないため, 真菌が発生したものではない, あるいは真菌であっても既に死滅しているか, 漆喰の石灰成分の析出と考えられる。

4. 温湿度観測

4-1. 観測点の位置と使用機器

外壁が凍結融解の繰り返し作用をどの程度受けているかを把握するために, 建物の方位毎の壁面温湿度(4点), 外気の温湿度(1点)を測定した。また, 室内環境を把握するために, 室内(1F:3点, 2F:貴賓室2点, 階段1点)と屋根裏(3点)の温湿度を測定した。図17~19に各階毎に観測点の位置を, 表3に使用機器, 装置名, 観測期間を示す。観測間隔は, 全て1時間間隔とした。

なお, 壁面温湿度については, 重要文化財であるため, センサーを外壁に埋設せず, 樋を用いて壁面にセンサーを押しつけ固定し測定した温度を外壁表面温度とした。

4-2. 屋外の温湿度

図20に旧日本郵船周辺の外気温湿度を示す。図20の上図は旧日本郵船北側に設置した温湿度結果を, 下図はアメダス観測点小樽での温湿度結果を示す。なお, アメダス観測点小樽は, 日平均の値をプロットした。

4-3. 調査地の凍結指数, 各壁面の表面温度, 凍結融解サイクル数

アメダス観測点小樽による外気温度から求めた凍結指数(日平均気温が0℃以下を記録した日から0℃以上になるまで期間の値を累積したもの)を表2に示す。ここ数年, 真冬でも雨が降るなど暖冬の影響により凍結指数は, 120~300℃・days程度とばらつきが大きい値を示す。また, 表3に旧日本郵船の方位毎の凍結融解サイクル数(-4℃以下~+4℃以上の温度幅)を示す。

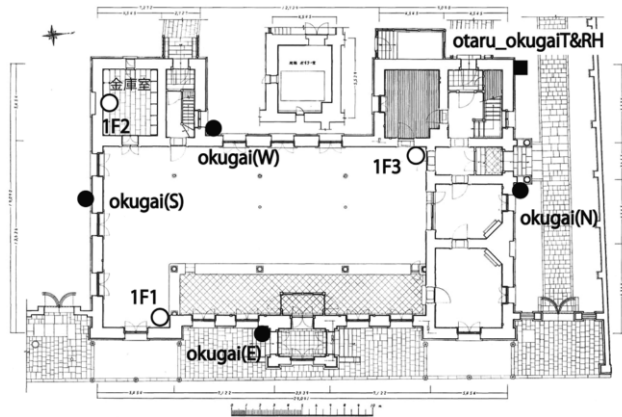


図17 外壁面 (●), 外気温湿度 (■), および1階の室内温湿度 (○) 観測点位置

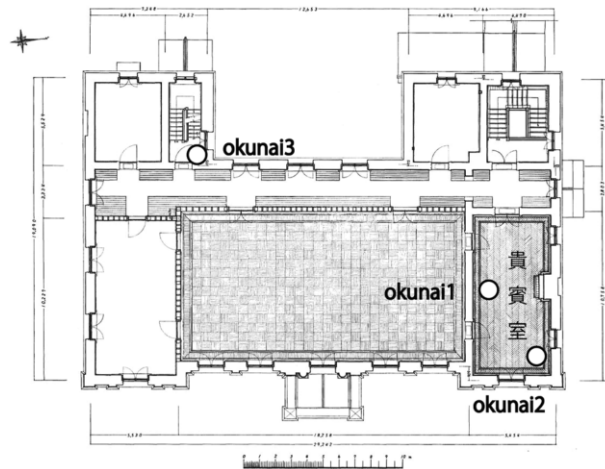


図18 2階の室内温湿度観測点位置 (○)

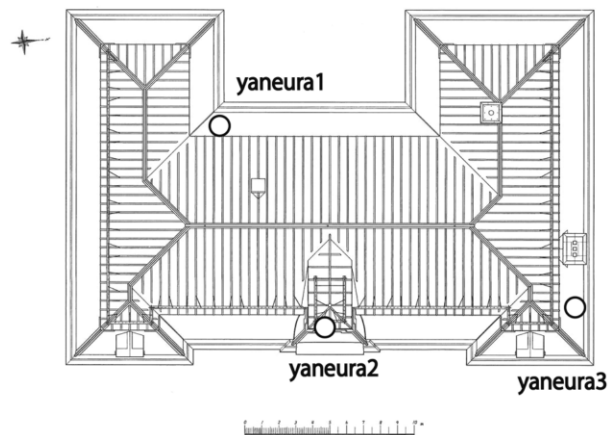


図19 屋根裏の温湿度観測点位置

表1 使用機器, 装置名, 観測期間

| 場 所 | 使用機器 | 装置名 | 測定期間 |
|-----|-----------------|------------------|-----------------------|
| 外壁 | HOBO 社製 U23-001 | okugai (E) | 2008/12/23~ |
| | HOBO 社製 U23-001 | okugai (W) | 2008/12/23~ |
| | HOBO 社製 U23-001 | okugai (S) | 2008/12/23~ |
| | HOBO 社製 U23-001 | okugai (N) | 2008/12/23~ |
| 1 F | HOBO 社製 U23-001 | okunai1F1 | 2008/12/23~2009/02/01 |
| | T&D 社製 TR-73U | 1F1 | 2009/02/01~ |
| | HOBO 社製 U23-001 | okunai1F2 | 2008/12/23~2009/02/01 |
| | T&D 社製 TR-73U | 1F2 | 2009/02/01~ |
| 2 F | HOBO 社製 U23-001 | okunai1F3 | 2008/12/23~2009/02/01 |
| | T&D 社製 TR-73U | 1F3 | 2009/02/01~ |
| | T&D 社製 TR-73U | okunai1 | 2008/12/23~ |
| | HOBO 社製 U23-001 | okunai2 | 2008/12/23~ |
| 屋根裏 | T&D 社製 TR-73U | okunai3 | 2008/12/23~2011/07/07 |
| | T&D 社製 TR-73U | okunai3 | 2011/10/01~ |
| | T&D 社製 TR-73U | y1 | 2008/12/23~2009/02/01 |
| | HOBO 社製 U23-001 | yaneura1 | 2009/02/01~ |
| 外気 | T&D 社製 TR-73U | y2 | 2008/12/23~2009/02/01 |
| | HOBO 社製 U23-001 | yaneura2 | 2009/02/01~ |
| | T&D 社製 TR-73U | y3 | 2008/12/23~2009/02/01 |
| | HOBO 社製 U23-001 | yaneura3 | 2009/02/01~ |
| 外気 | HOBO 社製 U23-001 | otaru_okugaiT&RH | 2009/02/01~ |

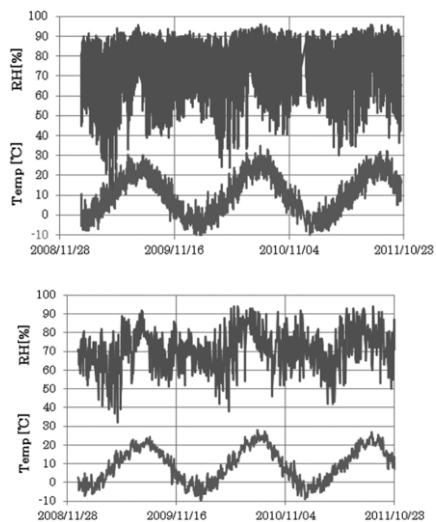


図20 旧日本郵船周辺の外気温湿度

(上図：日本郵船北側に設置した温湿度結果)

(下図：アメダス観測点小樽での温湿度結果)

※アメダス小樽観測点は、日平均の値をプロット

表2 アメダス観測点小樽による凍結指数 (°C・days)

| シーズン | 2005-2006 | 2006-2007 | 2007-2008 | 2008-2009 | 2009-2010 | 2010-2011 |
|------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 凍結寒度 | 298 | 126 | 268 | 141 | 244 | 203 |

図21～図22に各壁面の表面温度を示す。寒暖の差は、南面、東面、北面、西面の順に大きい。凍結破砕の影響を受けるとされる -4°C 以下から $+4^{\circ}\text{C}$ 以上の温度幅の凍結融解サイクルの出現回数は、表3に示すとおりである。出現回数から判断される凍結破砕を受けやすいのは、寒暖の差の順に南面、東面、北面、西面である。

福田³⁾によれば、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、その出現頻度に強く依存すると報告している。また、2月中は凍結状態にあったため一度も出現していないが、3月中～下旬に多く出現し、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。すなわち温度変動と水分供給の2条件から判断して、外壁の岩石は凍結破砕されやすい時期にあると報告した。

福田ほか⁷⁾は、旧日本郵船の外壁での温度測定から、3月中～下旬に凍結破砕にかかわる -4°C 以下～ $+4^{\circ}\text{C}$ 以上の変動が出現していることを報告した。しかし、表5では、劣化が激しい北面と西面の凍結融解サイクル数は他の面よりも逆に少ない結果となった。これについては、壁面温度測定が、腰蛇腹直近の小樽軟石の表面温度であり、実際に劣化が激しい軒蛇腹直近の岩盤温度でないことと、また屋根からの水の浸入と界面剝離が相乗効果となって、凍結融解サイクル数以上に劣化が進行したためと考えられる。

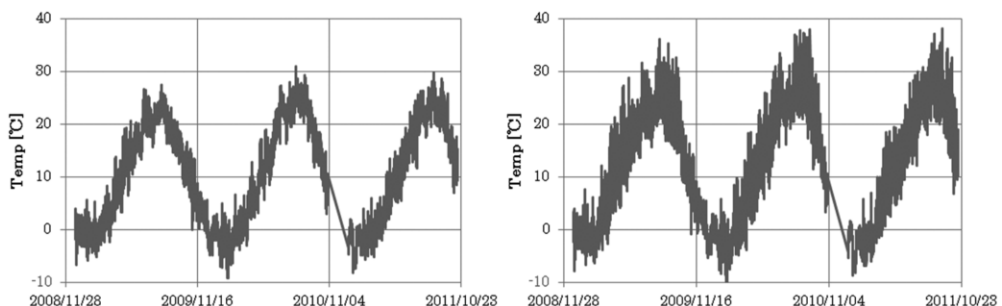


図21 壁面の表面温度 (左：北面，右：南面)

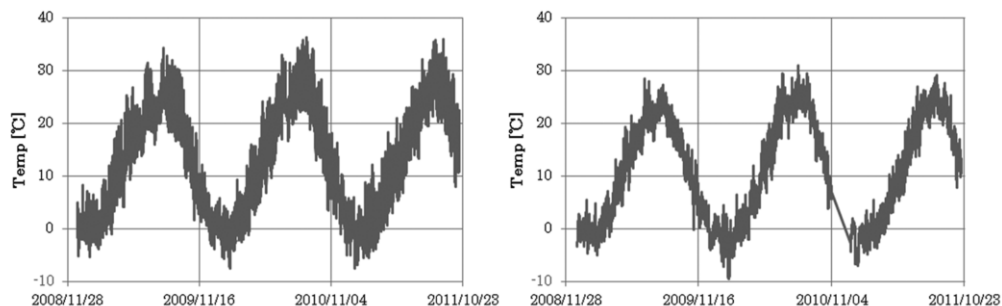


図22 壁面の表面温度 (左：東面，右：西面)

表3 旧日本郵船の方位別の凍結融解サイクル数
(-4℃以下～4℃以上の温度幅)

| シーズン | 外温 | 北面 | 南面 | 東面 | 西面 |
|-----------|----|----|----|----|----|
| 2008-2009 | 3 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| 2009-2010 | 3 | 1 | 2 | 1 | 1 |
| 2010-2011 | 1 | 1 | 1 | 4 | 0 |

4-4. 春期における壁面の温度分布

上記で旧日本郵船の外壁での温度測定から、3月中～下旬に凍結融解破碎にかかわる-4℃以下～+4℃以上の変動が出現していることが確認できた。しかし、実際に劣化が進行している場所で温度分布から凍結破碎を引き起こすだけの熱エネルギーがあるか把握する必要がある。そこで、熱映像装置を用いて面的に壁面温度観測を実施した(図23参照)。

その結果、高見ほか⁹⁾は、凝灰岩を十分破碎するだけの-4℃以下～+4℃以上の変動幅ではないが、雨樋や軒天井周辺で外気温が上昇する昼の測定で、-2.6℃(測定時の外気温度は9.0℃)を観測した。このことより、融雪水が、陸屋根の損傷箇所などから室内や、外壁の小樫軟石内部まで浸入し、シリコン樹脂との界面付近で凍結することにより、劣化を引き起こす可能性があることがわかった。

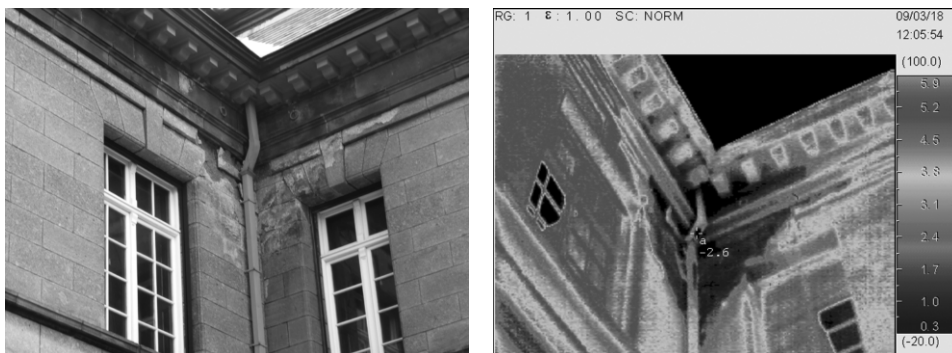


図23 春期での壁面温度分布(2009年3月16日撮影)

5. 劣化の主な要因

上述したように、三浦ほか⁹⁾は、外気温の変動による凍結融解の繰り返しは、岩体の深さ10～20cmにも及ぶため、地下水や樹脂処置していない部分からの水の侵入が大量にあって、岩体が常に湿っている場合には、シラン層の内側で凍結破壊を起こす危険性を指摘した。その後、西浦ほか¹⁰⁾は、屋根部分の水処理(樋による排水システム)に不備があり、上部の隙間から壁体石材の背部に浸入した水は、石材外表部の撥水層を通過できないため、石材内部に滞留し、この水が、凍結し、かつ背部から十分な水が供給されたため、撥水層のすぐ内側で氷の結晶が成長し、その応力で撥水層が脱離すると報告した。その後、水処理システム(樋の整備、鉛板敷設による融雪水の侵入防止等)の整備が行われたようである。

しかし、現状では図10、図11および図12に示したように、屋根や煙突周辺の破損や劣化が著しく、雨天時や融雪時には、軒天井や屋根裏での雨漏りが頻繁に発生することから、小樽市は2010年夏に樋の穴を塞ぐ補修工事が行われた。しかし、陸屋根や屋根全体を修理するような工事でなかったため、雨漏りの抜本的解決には至っていない。このため、2011年3月13日に1階まで流れ込む多量の雨漏りが発生している。雨漏りは上記したように、雨天時だけでなく、凍結できるだけの冷熱エネルギーが十分ある春期の融雪期にも発生することから、凍結融解劣化が進行する条件下にある。

特に陸屋根（陸樋含む）から浸入した雨水や融雪水は、一部は軒天井から流れ出るが、一部は陸屋根裏（黒色部分）に溜まり、屋根裏や壁体石材に水を供給する状態になっている（図24参照）。このため、図8に示したように、軒蛇腹直近の小樽軟石が常に濡れ色を示すと考えられる。特に、陸屋根（陸樋含む）の破損箇所が多い西側（図10、図11）の屋根裏側で降雨時や融雪時に多量の水の流入が観測されること、それに伴い直下の外壁（図7や図8参照）や室内の劣化箇所（図13や図16参照）と非常に調和的であることから、劣化の主要因は、屋根の破損のほか、図12に示した煙突周辺の張石の劣化に問題があると考えられる。

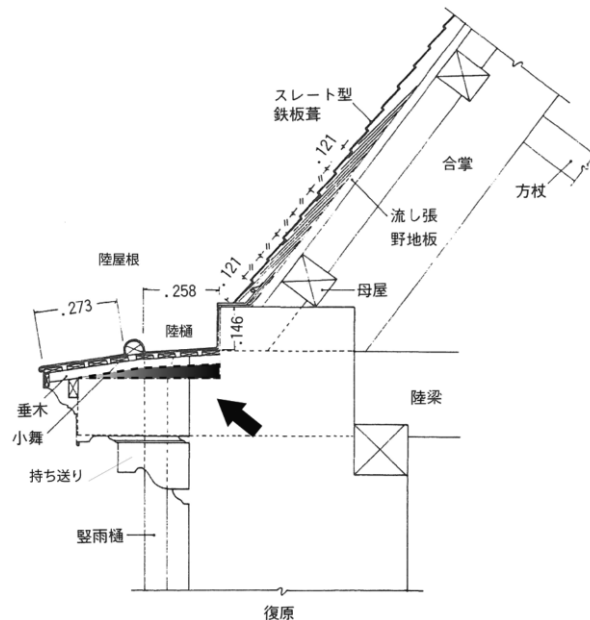


図24 屋根・陸屋根の構造（小樽市¹⁾に一部加筆）（矢印の黒色部分に水が溜まっていると思われる）

6. 保存対策

6-1. 外壁の補修

小樽市¹⁾によれば、外壁は外側化粧面を小樽天狗山産石整層整石積とし、裏込めを小樽奥沢産石整層乱石積の二重構造で、壁厚は一階が75cm厚、2階が60cm厚である。軒蛇腹、2階窓台胴蛇腹、正面2階ピラスター（付け柱）は登別産中硬石が用いられている。また、間仕切は奥沢産石を二列に整層乱石積みとし、壁厚は1階が60cm厚、2階が45cm厚で、仕上はノミ研りで、見えがかりは全て小叩き仕上、見え隠れはノミ研りでとめとなっている。

外壁については、あくまでも建設当時の外観を保つことを前提に考えれば、剥落や剥離した部分の石材を取外し、新しい小樽軟石（以下、新石材）で取替えて行くべきであろうと考えるが、現実的には、新石材の入手が難しい。当時の外観を損なうが別の軟石（例えば、札幌軟石）で全面的または一部置き換える、あるいは、外側化粧面の小樽軟石のみを取り外し、小樽奥沢産石と接していた裏込め面を整形した後に、同じ場所に納めるなどの方法が考えられる。しかし、耐震性の観点から、新石材の張り替えや現状の上記の石積みでは構造上施工は難しいと考える。特に、整形して納める場合は、接着耐久性の問題、環境条件の厳しき、落下の危険性などから考慮して、接着力が完全に失われても物理的に落下し得ないよう、内部に新材部（鉄骨など）を入り込む構造や、石材を撥水材などで十分含浸してから組み込む必要があると考える。含浸時間については、三浦ほか⁴⁾が参考となろう。

外壁の石材の損傷が激しい場所は、欠損箇所を樹脂擬石（透水性の良いエポキシ系の合成樹脂に凝灰岩の粉碎粒を混ぜた凝灰岩に似せた物性の素材）で補修、あるいは可能なかぎり張石補修が必要となる。また欠損が軽微な外壁の石材については、新石材の接着あるいは擬石による成形も考えられる。

6-2. 保存処理剤の選定

石造文化財に対する保存材料として、各種のエポキシ系、アクリル系、イソシアネート系、シリコン系などの合成樹脂が使用されている。最近、珪酸エステルを基質とした強化剤、例えばシラン系、シロキサンなども多く利用されているようである。旧日本郵船では、シリコン系樹脂のSS-101が塗布された。しかし、剥落した石材断面を観察する限りでは間隙充填性はあまり良いとは言えない。

一般に、石造文化財の保存処理剤は、大まかに強化剤、接着剤、撥水剤に分けることができる。強化剤は、岩石の風化により損失した部分の補填、接着剤は、粒子間結合力の復元、そして撥水剤は、岩石表面に撥水性を付与して、風化因子である水の浸入阻止など、石材劣化の状態や目的に合わせて、それぞれ用途が異なる。

岩石風化は、物理的作用・化学的作用・生物的作用によるもので、相互的な作用として働くことが多い。石造建造物を風化から防ぐためには、その誘因となる因子を特定し、それらを抑制あるいは除去するなどして、適切な保存処理を行うことが重要である。すなわち、強化材、接着剤、そして撥水剤の正しい選定と施工が重要となる。

次回、修理工事が行われる際には、耐震工事も合わせて行う必要もあり、その際、外観を当時と損なうことなく保つことが望まれる。今後、使用する撥水剤などについては暴露試験を行うなどして、比較検討を行う必要があると考える。

同じ石造建造物である開拓の村にある旧小樽新聞社の修理工事（一部張り替え）が2008年（平成20年）に行われ、全面にシリコン系合成樹脂が塗布された。我々は修理工事で使用されたシリコン系合成樹脂と札幌軟石を用いて、現在、暴露試験を実施している。結果については、比較検討の一資料として機会があれば報告したい。

6-3. 今後の対策

冬期間、氷点下になる地域においては、凍結融解に起因する劣化対策のほか、塩類風化などに対する対策も考慮する必要がある。一般に塩類風化は、水自体に含まれる塩類成分、あるいは岩石そのものに含まれる塩類成分の溶解により、乾燥とともに岩石表面や間隙に塩類成分を析出（結晶）させ、岩石組織が破壊する。破壊のメカニズムは大まかに凍結融解破砕も塩類風

化もほぼ同じで、何れも水の関与が重要な要素となる。

現在、旧日本郵船においてまだ健全な状態の石材、即ち、欠損や剥離の全くない石材については、含浸が浅く、将来的には、水の浸入があれば凍結融解による界面剥離が起り得る可能性がある。それを防止するためには水の浸入がないように目地や屋根などのメンテナンスが必要である。旧日本郵船を全面的に建屋で覆う以外、風化因子である水の浸入を阻止するためにはこれまでと同様に、基本的に個々の石材表面に撥水性等を持たせる以外に方法はない。この場合、全ての石材を取り外し、保存処理剤で十分浸漬処理を行えば、屋根等から水の浸入があったとしても阻止できるが、現実的でない。

従って、今後の対策として、沢田¹¹⁾が報告したように、石造文化財の保存工法のひとつは劣化要因の水に対する防御であり、水を断ち、石造物に水が及ばないように管理することが基本であり、また、保護対策として、強化剤、接着剤、そして撥水剤の正しい選定と施工が重要であると考ええる。

7. おわりに

三浦ほか⁴⁾や福田⁹⁾は、野外の条件として、 -4°C 以下まで冷却凍結することが破碎の主原因となることから、凍結破碎への抵抗性が大きくなるシリコン系樹脂を塗布すれば、風化劣化岩石と同様に有効であると報告した。これらの研究成果を踏まえ、旧日本郵船の修理工事時にシリコン系樹脂 (SS-101) が塗布された。

また、三浦ら⁴⁾は、外気温の変動による凍結融解の繰り返しは、岩体の深さ10~20cmにも及ぶため、地下水や樹脂処置していない部分からの水の浸入が大量にあって、岩体が常に湿っている場合には、シラン層の内側で凍結破壊を起こす危険性があると指摘していた。しかし、それが現実的に起こってしまった結果となった。

我々は保存対策のため建築部材の劣化状況の把握を行った。結果的には全面的な修理工事を行うことが望ましいが、莫大な費用がかかることから、現状よりも劣化を進行させないためには、風化因子である水の浸入阻止することが重要で、少なくとも屋根(陸屋根含む)、煙突周辺および雨樋などの補修工事を早急に実施し、また、外壁で剥離・剥落した面や界面剥離した箇所においては、防水対策が必要であると考ええる。最も重要なのは、工事施工後も計画的なメンテナンスが必要であると考ええる。

謝辞

本調査に当たって、便宜を図っていただいた小樽市教育委員会、現地調査や観測にご協力を頂いた小樽市総合博物館学芸員の石神 敏氏に、観測や写真提供して頂いた旧日本郵船管理長の山下紘由氏に、さらにカビの分析を行って頂いた東文化財研究所客員研究員の間瀬 創氏(現、三重県立博物館)には、この場をお借りしてお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 小樽市：重要文化財 旧日本郵船株式会社小樽支店保存修理工事報告書、p402 (1987)
- 2) 福田正己：凍結-融解による岩石の風化、低温科学、物理編、第32、p243-249 (1974)
- 3) 福田正己：小樽市博物館外壁石材の凍結-融解試験、低温科学、第42、p163-169 (1983)
- 4) 三浦定俊・福田正己・西浦忠輝：合成樹脂による岩石の凍結破碎防止、科学研究費補助金試験研究(1)研究成果報告書 石材の凍結劣化とその防止法、東京文化財研究所、p18-29 (1990)

- 5) 福田正己：北海道小樽の史跡における岩石の凍結—融解繰り返しについて，石造文化財の保存と修復，東京国立文化財研究所，p41-46 (1985)
- 6) 福田正己：岩石の凍結破碎の機構，石材文化財の保存と修復，東京国立文化財研究所，p12-17 (1985)
- 7) 福田正己・村上裕道：小樽市・旧日本郵船小樽支店外壁での凍結—融解の出現，科学研究費補助金試験研究(1)研究成果報告書 石材の凍結劣化とその防止法，東京国立文化財研究所，p47-50 (1988)
- 8) 高見雅三・石崎武志：積雪寒冷地における歴史的建造物の壁面劣化調査，日本文化財科学会第27回大会研究発表会要旨集，p306-307 (2010)
- 9) 福田正己：小樽手宮洞窟壁面遺跡の凍結破損防止にかかわる基礎研究，低温科学，第43，p171-179 (1984)
- 10) 西浦忠輝・村上裕道・福田正己：寒冷地における石造文化財の凍結劣化と保存処理—重文・日本郵船小樽支店一，日本文化財科学会第22回大会研究発表用紙集，p56~57 (2005)
- 11) 沢田正昭：第1章 文化資源の発掘・考証・評価，文化資源の保存，活用及び創造を支える科学技術の振興，科学技術・学術審議会・資源調査分科会報告書，p1-10 (2004) <http://kaken.nii.ac.jp/ja/p/62850110/1988/3/ja>

キーワード：凍結融解 (freezing and thawing)；温湿度環境 (environment of temperature and humidity)；劣化 (deterioration)；凍結融解サイクル (freeze-thaw cycle)；凍結指数 (Freezing Index)

Deterioration of the Building Materials of Otaru Branch of Kyu Nihon Yusen Building and Its Protective Measures

Masazo TAKAMI* and Takeshi ISHIZAKI

Construction of Otaru Branch of Kyu Nihon Yusen building was started in 1904 and completed in October 1906. It is a two-storied building of stone in the style of French Renaissance with zinc-plated iron roof. After 70 years from its construction, various parts of the building had deteriorated due to frost damage. Otaru city carried out restoration work for 33 months from October 1984 to June 1987. After 20 years from its restoration, the building materials of Otaru tuff deteriorated under the roof on the north and south sides and cracks were found at the borders between places where water repellent material had penetrated and where it had not. Wall paper called *kinkarakawakami* had also deteriorated due to penetration of rain water through the roof. In addition, fungi were found on the wall surface and color changes were observed on the ceiling.

This paper reports on the observation of deterioration of building materials and measurement of temperature and humidity inside and outside the building as well as the water content measurement of the wall surface. From these observations, it was revealed that the main cause of deterioration was damaging and rusting of the roof and chimney which allowed rain water and snow-melt water to enter the rooms. The speed of deterioration is considered to be increasing these years. Especially, part of the outside stone wall made of Otaru tuff under the roof in the north, west and south sides have deteriorated; such a phenomenon was not observed at the time of restoration. Rain water had penetrated into the stone mainly through the deteriorated part of the roof and rain water gutters as well as through the deteriorated part of the outside wall. Part of the penetrated water was stored under the roof, on the borders previously mentioned and between the stone blocks. The freeze and thaw cycles of the water in these areas caused the deterioration of the building materials in winter.

As a protective measure, it is necessary to prevent water penetration into the building materials so as to avoid frost damage in winter. It is also necessary to restore the roof, chimney and rain water gutters immediately to prevent further damaging of building materials.

*Hokkaido Research Organization