

旧函館軍事要塞施設の現況調査報告

Investigation Report of Current State of Hakodate Military Fortress Facilities

函館市土木部 正会員 大久保 市郎 (Ichiro Ohkubo)
(株) ドーコン 正会員 小林 竜太 (Ryuta Kobayashi)
(株) リテック 正会員 朝倉 啓仁 (Keiji Asakura)
(株) リテック ○正会員 関下 裕太 (Yuta Sekishita)

1. 序 論

旧函館軍事要塞（以下、函館要塞）は、日露戦争を控えた 1898（明治 31）年に函館港の防備を目的として旧陸軍が函館山に建設した軍事施設である。要塞施設は貴重な歴史的戦争遺跡であり、同時に建設当時の土木技術の中でも高度な技術を持って建設された建造物であることから土木遺構としても高い価値を有している。

このような背景から、函館要塞はその歴史的あるいは文化財的に価値ある近代土木遺産として注目されており、後世に伝承すべく保存対策や教育資源および観光資源の 1 つとしての利活用が強く望まれている。

本論文は、函館要塞の保存および活用を目的として、函館市が平成 14 年度から 16 年度の 3 ヶ年に渡って実施した要塞施設の現況調査についてその調査結果の概要について報告するものである。

2. 現況調査の概要とその手法

2. 1 調査対象施設

現況調査の対象とした施設は、御殿山第一・第二砲台、千畳敷砲台、薬師山砲台および入江山観測所の計 5 箇所の施設跡地とし、御殿山第一・第二砲台は平成 14 年度、千畳敷砲台、薬師山砲台は平成 15 年度、入江山観測所は平成 16 年度にそれぞれ実施している。表－1 は現況調査の対象とした要塞施設の一覧、図－1 に調査対象施設の位置図を示している。

2. 2 調査手法

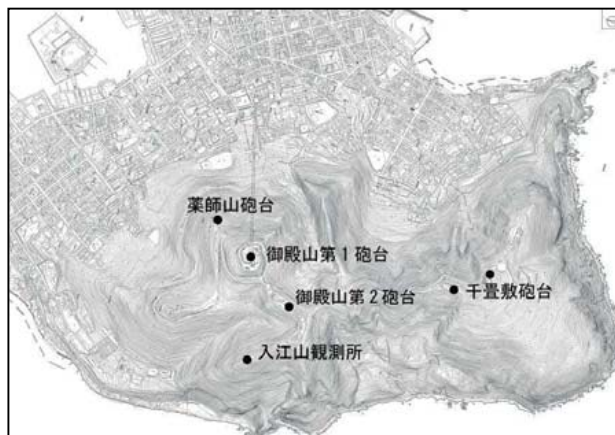
本調査では函館要塞全体の劣化度や損傷状況を把握することを目的として、先ず各要塞施設の外観調査を実施することとした。外観調査は、主として目視、触診、打診により行うものとし、崩落あるいは倒壊のような損傷規模が大きい場合には、その範囲や性状をスケッチや写真撮影により記録している。なお、コンクリート部材（壁面、天井等）の損傷に関しては浮きや剥離の他にひび割れ等が挙げられるが、浮き・剥離に対してはその範囲を、ひび割れに関してはその分布とひび割れ幅を計測してそれぞれスケッチや写真撮影により記録することとした。また、一部では赤外線カメラを用いた非破壊、非接触調査による浮きや剥離等の損傷箇所推定も試みている。外観調査結果は、最終的に各施設別に損傷図とそれに対応する損傷写真台帳として整理している。

3. 外観調査結果の概要

各要塞施設別に実施した外観調査に関して、その調査

表－1 現況調査の対象とした要塞施設

要 塞 名	調査実施年度
御殿山第一砲台	平成 14 年度実施
御殿山第二砲台	
千畳敷砲台	平成 15 年度実施
薬師山砲台	
入江山観測所	平成 16 年度実施



図－1 調査対象位置図

結果の概要について示す。ここで、調査結果によると、同一の砲台跡地でかつ同種の施設においても、その施設によって損傷状況が異なっていることが確認されており、各々の施設別に対してその損傷状況を示した場合には紙面上膨大な量となる。従って、要塞施設を構成する材料が、コンクリート、煉瓦、石材の 3 種類であることに着目して、ここでは各施設別ではなく各材料別に区分してその主要な損傷を取り上げて整理することとする。表－2 には各材料別における主要損傷項目の一覧を示している。また、表中には推定される損傷劣化損傷要因に関しても併せて示している。

これより、コンクリート材に着目すると、掩蔽部におけるアーチ天井部では、アーチの円弧に沿ったひび割れやそれに直交する方向のひび割れが見受けられた。一方で、千畳敷砲台（特に戦闘司令所）ではこれとは異なり、方向性のない不規則なひび割れが卓越して発生していた。ひび割れは、そのほとんどが補修を要するひび割れ幅の 0.2 mm 以上であり、それが最も大きい箇所では 30 mm 程度にも達している。いずれのひび割れも漏水やエフロ

表－２ 各材料別における主要損傷項目一覧

材料種類	損傷項目	推定損傷劣化要因	備 考
コンクリート	・ ひび割れ ・ 剥離 ・ 剥落 ・ エフロレッセンス ・ 欠損	・ 構造的要因（不同沈下） ・ 凍害（凍結融解作用） ・ 漏水 ・ 乾燥収縮	・ 掩蔽部 ・ アーチ天井部 ・ 戦闘司令所 ・ 観測座
煉 瓦	・ ひび割れ ・ 剥離 ・ 剥落 ・ エフロレッセンス ・ 欠損	・ 凍害（凍結融解作用） ・ 漏水	・ レンガ積み壁 ・ 便所
石 材	・ ひび割れ ・ 剥離 ・ 剥落 ・ 欠損 ・ 前面移動（傾斜）	・ 裏込め土の影響（樹木） ・ 凍害（凍結融解作用） ・ 作用外力（土圧）の増加	・ 石積み擁壁 ・ 石積みアーチトンネル

レッセンスの析出を伴ったものが多く、これは背面土砂から水分が供給されていることを示唆している。また、千畳敷砲台の戦闘司令所下部構造や観測座や入江山観測所の観測座では広範囲に渡るスケーリング（凍害によりコンクリートペースト部分が劣化して粗骨材が露出する現象）が確認された。ひび割れの発生要因は、掩蔽部のアーチ天井に関してはアーチ部を支持する腰壁（煉瓦）の剥落や倒壊によるアーチ全体の不同沈下が主要因であるものと考えられる。また、千畳敷砲台で見られた方向性のないひび割れは、その性状と損傷状況から判断すると凍害劣化による可能性が高いものと推定される。

次に煉瓦材に着目して考察する。煉瓦は主として掩蔽部の腰壁に用いられているが、その損傷は特に外気に曝される領域において顕著である。損傷度合いが大きい箇所では、あたかも人為的に粉砕されたかのような状態となっており、レンガが広範囲に渡って剥落し脚壁部材としての断面が大きく欠損している。この要因は紛れもなく凍害（凍結融解作用）によるものであり、レンガ表面の漏水やエフロレッセンスの析出状況から判断しても水が常時絶え間なく供給されており、これが更なる凍結融解作用を助長しているものと推察される。掩蔽部の脚壁は、コンクリートアーチ部材を支持する重要部材であることから、現在の状況のまま放置しておけば掩蔽部全体の崩壊に繋がる可能性が高い。従って、早急に対応策を講じる必要があるものと判断される。

最後に石材に着目して考察する。石材は、石積み擁壁と石積みアーチトンネルに用いられているが、擁壁に関しては、壁全体あるいは壁頂部（笠石部）の前面移動やはらみ出しが主たる損傷である。これは壁背面に樹木が繁茂しており、この樹木の根先端が発達して石積みを前面側に押し出しているためである。一方、御殿山第二砲台の石積みアーチトンネルでは、延長方向中央部において側壁が倒壊しており背面土砂が流出している状況が確認された。また、アーチ天井中心部でも一部の石材が崩落している。これらの要因は今後の詳細調査が必要であ

るものと考えられるが、損傷区間ではトンネル上部の土被りが大きい区間であるため、側壁が耐え得る以上の土圧力が作用したためと推察される。

以上、材料別にその主要な損傷を取り上げ、推定される損傷要因について考察を行った。これより、函館要塞の損傷状況を全体的に見てみると、それらは凍害による劣化がほとんどであるものと考えられる。**写真－１**は御殿山第二砲台で撮影した煉瓦部の状況を示したものであるが、ひび割れや背面土砂から供給される水が凍結して膨張し、その結果、煉瓦材が前面側に押し出されている様子ははっきりと分かる。**写真－２**～**写真－６**には各要塞施設の主要損傷状況を示している。

写真－１ 煉瓦材の凍害劣化の状況写真

アーチ天井 ひび割れ部 からの供給 水の凍結	
凍結膨張に よる煉瓦の 押し出し	

写真－2 御殿山第一砲台跡地の主要損傷

御殿山 第一砲台	 コンクリートアーチ部のひび割れ	 石積み擁壁（笠石）の前面移動
-------------	--	--

写真－3 御殿山第二砲台跡地の主要損傷

御殿山 第二砲台	 レンガ積み壁の剥離・剥落	 石積みトンネル側壁の倒壊
-------------	--	---

写真－4 薬師山砲台跡地の主要損傷

薬師山砲台	 レンガ積み壁の剥離・剥落	 コンクリートアーチ部のひび割れ・エフロ析出
-------	---	---

写真－5 千畳敷砲台跡地の主要損傷

千畳敷砲台	 コンクリートアーチ部のひび割れ	 コンクリート表面のスケーリング
-------	--	---

写真－6 入江山観測所跡地の主要損傷

入江山 観測所	 コンクリート表面のスケーリングとひび割れ	 コンクリート壁の剥落・倒壊
--------------------	---	---

4. 赤外線カメラによる損傷箇所推定

赤外線カメラによる調査は、赤外線サーモグラフィ法とも呼ばれており、コンクリート構造物の浮きや剥離等の損傷を、非破壊、非接触でかつ短時間に推定可能な調査方法である。従って、作業の効率性に優れ、安全かつその結果を視覚的な熱画像として表示可能であることから合理的な調査方法の1つとして採用されている。

赤外線カメラの原理についてその概要を示す。絶対零度以上の全ての物体は、その表面から赤外線を放射している。この赤外線の量および波長は、物体の表面温度や放射率によって決定されることから、赤外線センサを用いて物体が放射する赤外線を測定することでその表面温度を知ることができる。従って、浮きや剥離あるいは空洞等の損傷が存在する場合には、これが断熱層となって日射や気温変化に起因して生じる表面温度の中で欠陥部と健全部との間に温度差が生じることになる。そこで、本調査ではこれらの原理に着目して、温度差を熱画像として捉えて部材欠陥部の検出を試みることにした。

写真－7には赤外線カメラの設置状況を、写真－8には損傷箇所推定結果の一例を示している。なお、本調査ではジェットヒーターを熱源として使用した。これより、いずれの撮影結果ともに欠陥部が赤色で鮮明に示されており、浮きや剥離の損傷が視覚的に確認できることが分かる。これより、赤外線カメラによる損傷箇所の推定は十分可能であり、短時間に結果が得られることから合理的かつ有効な調査手法であるものと考えられる。

5. まとめ

函館要塞施設群の内、御殿山第一砲台、御殿山第二砲台、千畳敷砲台、薬師山砲台および入江山観測所の計5箇所の施設に対して現況調査を実施した。本調査では、函館要塞全体の劣化度や損傷状況を把握することを第一の目的としていることから、それらを外観調査により実施した。調査の結果、水の凍結融解作用による劣化、すなわち凍害が要因である劣化がその大半を占めていることが明らかとなった。凍害は材料がコンクリートであればスケーリング、煉瓦であれば押し出しによる剥落といった劣化形態が代表的であるが、このような劣化がいたる箇所で確認された。また、別途実施した閉鎖空間内における熱源を用いた赤外線カメラによる調査は、合理的かつ有効な調査手法であることが確認できた。

写真－7 赤外線カメラの設置状況



写真－8 損傷箇所推定結果の一例

撮影対象および撮影結果（熱画像）

