

近代土木遺産としての旧函館軍事要塞跡地の現状*

Current State of Hakodate Military Fortress Site of Civil Engineering Heritage

○進藤 義郎** 大久保 市郎*** 富岡 由夫**** 小林 竜太***** 朝倉 啓仁*****

By Yoshiro SHINDO, Ichiro OHKUBO, Yoshio TOMIOKA, Ryuta KOBAYASHI, Keiji ASAKURA

概 要

旧函館軍事要塞（以後、函館要塞）は日露戦争を控えた西暦 1898（明治 31）年に、対ロシア防備のため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、また、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産としても非常に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非常に価値ある近代土木遺産として注目されており、後世に継承すべく保存対策や教育資源または観光資源としての利活用が強く望まれている。本論文は、函館要塞の歴史的意義から現在の各要塞施設の保存状態について記述し、函館市が3カ年に渡って実施した現地調査をもとに行った要塞施設の劣化診断結果について報告するものである。

1. 函館要塞の概要

日清戦争の終結後、予想される日露戦争に備えて東京湾を皮切りにして日本各地で要塞施設の建設が行われた。「要塞」とは、1895（明治 28）年に制定された「要塞司令部条例」によると「永久の防御工事を行って守備を全うする地」¹⁾と定義されている。また、後の 1899 年（明治 32）年に制定された「要塞地帯法」によると「要塞地帯とは国防の為に建設した諸般の防御營造物の周囲の区域」¹⁾とされている。つまり、防御、守備、国防という3つのキーワードが示すように、要塞とは日本の国土を防衛するための軍事的な防御施設であったと云える。ここで、平時から戦略戦術上の重要拠点に堅固に構築された要塞に関しては特に「永久要塞」と呼ばれている²⁾。

函館要塞は、津軽海峡を一望できる函館山（標高 334m、臥牛山とも呼ばれる）が、その軍事的な優位性が評価されて 1897（明治 30）年に要塞建設命令が下された。函館要塞は東京湾以北で唯一の軍事要塞であり、北海道の重要拠点とされていた函館の港湾防備を確実に機能させることが要塞建設の目的であった。これにより翌年の 1898（明治 31）年に要塞建設工事が着工し、その後4年余り

表-1 日本国内における永久要塞一覧³⁾

	要塞名	起工年月	竣工年月
1	東京湾	明治 13. 6	大正 10. 8
2	対馬	明治 20. 4	明治 39. 5
3	下関	明治 20. 9	明治 33. 12
4	由良	明治 22. 3	明治 38. 3
5	広島湾	明治 30. 3	明治 36. 12
6	芸予	明治 30. 3	明治 35. 2
7	佐世保	明治 30. 9	明治 34. 11
8	舞鶴	明治 30. 11	明治 35. 11
9	長崎	明治 31. 4	明治 33. 12
10	函館	明治 31. 6	明治 35. 10
11	基隆	明治 33. 3	明治 38. 6
12	澎湖湾	明治 33. 4	明治 38. 4
13	鎮海湾	明治 37. 8	明治 37. 12
14	永興湾	明治 38. 2	明治 38. 8
15	旅順大連	明治 37. 9	明治 40. 8

の歳月を費やして日本国内で 10 番目となる永久要塞として 1902（明治 35）年にその大部分の完成をみるに至っている。表-1 には日本国内における永久要塞一覧を示している。函館要塞は、御殿山、千疊敷、薬師山、立待岬、入江山および穴瀬岬に各種の要塞施設が配備されている。図-1 には主要な要塞施設の位置図を示している。

軍事要塞施設において最も重要なのは砲台であるが、砲台は任務の目的により、1) 砲戦砲台、2) 要撃砲台、3) 補助砲台、4) 側防砲台に区別され、射撃と防御機能によってはさらに堡壘、砲台、堡壘砲台に区別されている。

* Keywords : 函館要塞, 近代土木遺産, 戦争遺跡, 現地調査, 劣化診断, 建設材料特性

** フェロー会員 株式会社ドーコン 常務取締役
〒004-8585 札幌市厚別区厚別中央1条5丁目4-1
E-Mail : ysl12@docon.jp

*** 正会員 函館市土木部 緑化推進課 技師

**** 函館産業遺産研究会 会長（函館高専名誉教授）

***** 正会員 工修 株式会社ドーコン 構造部 主任技師

***** 正会員 株式会社リテック 技術部 課長



図－１ 函館要塞主要施設の位置図 (作成：小林竜太)

表－２ 函館要塞の砲台施設一覧³⁾

砲台名	砲台種	備砲および門数
御殿山第一砲台	砲戦砲台	28cm 榴弾砲×4(2)
御殿山第二砲台	砲戦砲台	28cm 榴弾砲×6(3)
薬師山砲台	側防砲台堡壘	15cm 臼砲 ×4(2)
千畳敷砲台	砲戦砲台	28cm 榴弾砲×6(3)
	側防砲台堡壘	15cm 臼砲 ×4(2)
立待堡壘	側防砲台堡壘	9cm カノン砲 ×4(2)

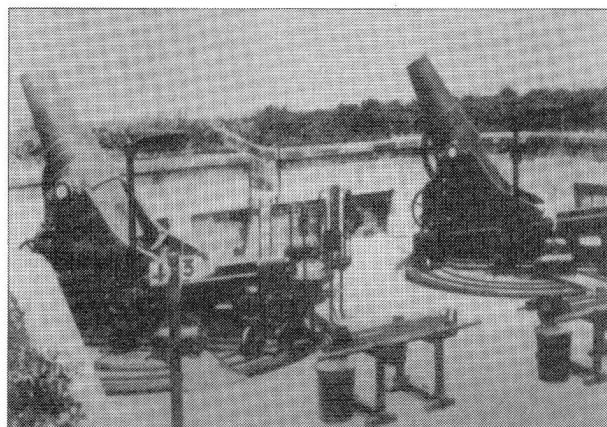
※括弧内は砲座数を示す。

函館要塞は敵艦船の侵入を防ぐために遠方から攻撃する砲戦砲台と、上陸した敵を撃退するための側防砲台から構成されている。御殿山第一砲台，御殿山第二砲台，千畳敷砲台は砲戦砲台であり，薬師山砲台，立待は側防砲台堡壘である。その中でも千畳敷砲台は函館要塞の中で最も規模が大きく，砲戦砲台と側防砲台堡壘の双方の機能を有していたとされている。なお，砲台の建設にはフランス式の築城技術が採用されており，これらは砲台を構築し，その側に掩蔽部を配置した築城方式である⁴⁾。表－２には函館要塞の砲台施設の一覧を示している。これより，函館要塞には榴弾砲，臼砲，カノン砲の合わせて計 28 門の砲台が配置されていたことが分かる。大砲設置の一例として 1922 (大正 11) 年に撮影された御殿山第二砲台における 28 cm 榴弾砲の設置状況を写真－１に示す。

２．各要塞施設および跡地の概要と現状

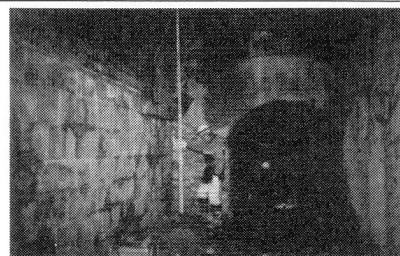
(１) 御殿山第一砲台

御殿山第一砲台は，函館山頂上の展望台や各放送局の中継所周辺に位置している。御殿山第一砲台には，当時 28cm 榴弾砲 (砲戦砲台) が 4 門備えてあったが，現在は放送局中継所の直下に位置しているため砲座は確認することができない。しかし，地下式掩蔽部 (通路，砲具庫，物置等) は展望台下に現存しており，現在でもその内部を確認することができる。しかしながら，損傷度合いは小さいものの整備が成されていない状況であるため，要塞遺構として保存されているとは云えない状態にある。写真－２には御殿山第一砲台の現況写真を示している。



写真－１ 御殿山第二砲台 28cm 榴弾砲 (函館市図書館所蔵)

御殿山
第一砲台



地下通路



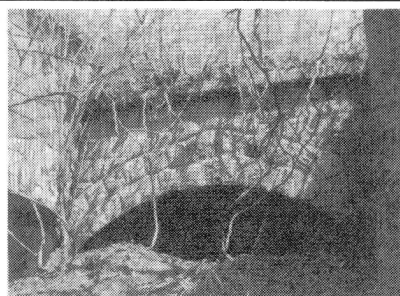
地下砲側庫

写真－２ 御殿山第一砲台の現況 (撮影：小林竜太)

御殿山
第二砲台



砲座および砲床



石積み隧道 (出口の坑門工)

写真－３ 御殿山第二砲台の現況 (撮影：進藤義郎)

(2) 御殿山第二砲台

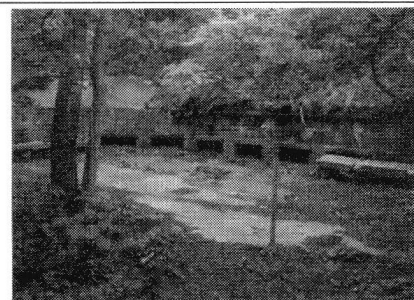
御殿山第二砲台は、函館山頂上付近のつつじ山駐車場に近接して位置している。御殿山第二砲台には、当時28cm 榴弾砲（砲戦砲台）が6門備えてあった。砲座はほぼ当時のままの形で保存されており、現在は砲床にテーブルやベンチが設置されて一般に公開されている。しかしながら、各砲座間にある地下式掩蔽部は腰壁の煉瓦部が凍害によって大きな損傷を受けているため立入りが禁止されている。地上式の砲具庫や弾薬庫も残存しているが、これらも損傷度合いが激しく、その一部ではアーチ天井部が完全に崩落している箇所も見受けられる。また、建設当時に運搬路あるいは砲台へのアクセス路として利用されていたと考えられる石積みのアーチ型式隧道（道内でのこの種の石積み隧道は非常に珍しく貴重な遺構である）も残存しているが、土砂に埋没している状態であり、かつ隧道内部の側壁が一部で崩落していることから現在は立入りが禁止されている。写真-3には御殿山第二砲台の現況写真を示している。

(3) 薬師山砲台

薬師山砲台は、函館山散策路の終点に位置しており、現在は一般公開されている。薬師山砲台は、御殿山第一砲台の補助的な役割を果たしたとされる砲台であり、砲座（15cm 臼砲、側防砲台堡壘、当時4門）、棲息掩蔽部（砲具庫および砲側庫）、貯水槽、濾過層、監守衛舎、観測所により構成されている。棲息掩蔽部の腰壁が凍害による損傷を受けており、また、連絡路や遊歩道の石垣が一部で崩落しているものの、遺跡としての保存状態は比較的良好な状態にある。写真-4には薬師山砲台の現況写真を示している。

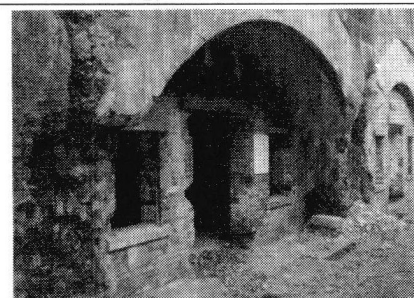
(4) 千畳敷砲台

千畳敷砲台は函館要塞の中でも最も規模が大きく、函館山の背の部分に位置している。砲台跡地も2箇所現存しており、28cm 榴弾砲（砲戦砲台）を備えた第一砲台（6間）と15cm 臼砲（側防砲台堡壘）を備えた第二砲台（2間）に区分されている。第一砲台には当時3箇所の砲座が設けられていたが、現在はその中央部の砲座上に無線通信所施設があるため2箇所の砲座のみが確認できる。また、第一砲台、第二砲台にはそれぞれ観測所が近接して位置している。いずれも観測座は凍害による劣化が激しいが、その地下にある通信室は比較的良好な保存状態にある。これら以外にも千畳敷砲台には様々な要塞施設が数多く残存しており、整備が成されていない状況ではあるが、施設自体はいずれも比較的良好な状態で保存されている。特に、千畳敷砲台の最南端には戦闘司令部がある。戦闘司令部は当時砲兵指揮官司令所とも呼ばれ、各砲台からの情報収集や司令を発する施設として機能したものであり、函館要塞の中枢を担う施設であったと考えられている。現在は上屋は残されておらず、また、下部構造や地下施設（掩蔽部、待機室、通信室）では劣化



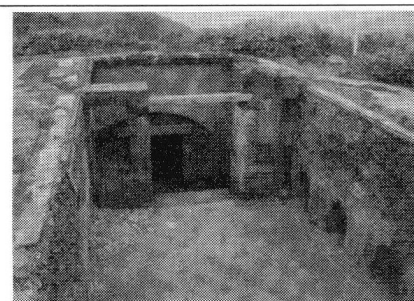
砲座および砲床

薬師山砲台



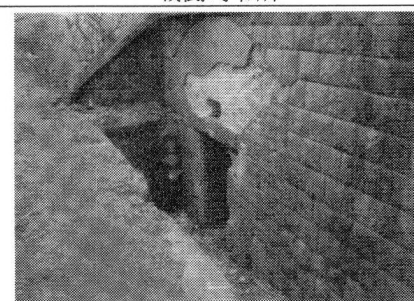
棲息掩蔽部

写真-4 薬師山砲台の現況（撮影：小林竜太）



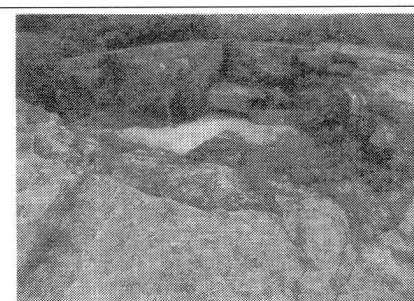
戦闘司令部

千畳敷砲台



地下砲側庫

写真-5 千畳敷砲台の現況（撮影：小林竜太）



観測座

入江山
観測所

写真-6 入江山観測所の現況（撮影：小林竜太）

の進行が見受けられるものの、ほぼ当時のままの完全な形で現存している。地下式構造の戦闘司令所は、明治に建設された日本国内の要塞施設の中では非常に珍しいとされていることから函館要塞施設の中で最も貴重かつ重要な遺構であるものと考えられる。写真-5には千疊敷砲台跡地の現況写真を示している。

（５）入江山観測所

入江山観測所は、入江山散策路の終点（つつじ山駐車場から千疊敷砲台に繋がる道を徒歩で20分程度）に位置している。観測所に向かう途中には訓練用の八八式海岸射撃具砲座が確認されるが、これは明治期ではなく昭和初期に建設されたものである。入江山観測所は、観測座とその地下にある電話室から構成されている。観測座のコンクリートは凍害による損傷が激しく、相当な深度まで割れが達している。また、地下構造の電話室も側壁やアーチ天井の損傷が激しく、特に天井の中心部はアーチを二分するような大きな割れが生じており非常に危険な状態にある。よって、観測所上部の見学は可能であるが、地下構造部は危険のため立入りが禁止されている。写真-6には入江山観測所跡地の現況写真を示している。

（６）立待保塁

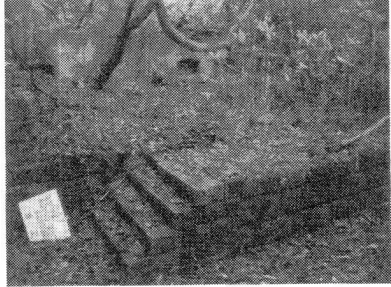
立待保塁は鞍掛山の山頂付近に位置しており、砲台を有する要塞施設の中では最も遅くに建設を開始した施設である。立待保塁は9cmカノン砲を4門備えた側防砲台保塁であり、首線方向は市街地に向いている。2門編成の第一砲座と第二砲座があり、いずれも現存している。砲座の床はコンクリート製の頑丈な床版構造であるが、堆積した腐植土上に樹木や雑草が繁茂しており、コンクリート表面は露出していない状態になっている。立待要塞には砲台保塁の他に照明所（電灯）や3箇所の低地観測所があるが、これらはほぼ完全な形で現存している。写真-7には立待保塁跡地の現況写真を示している。

（７）穴澗低地観測所

穴澗低地観測所は、函館山の裏側にあたる穴澗岬周辺に位置している。地形的に非常に厳しく、海側に迫り出した断崖の上に建設された施設であり、建設工事は困難を極めたものと推察される。主要施設は、照明所（電灯）と低地観測所であり、照明所の構造は立待保塁のそれと同一のものである。穴澗要塞には計3箇所の低地観測所が配備されていたが、いずれも観測座はその構造や輪郭が明瞭であり、保存状態は比較的良好である。しかしながら、穴澗低地観測所までの連絡路が整備されていないことから現在は立入りが禁止されている。写真-8には穴澗低地観測所跡地の現況写真を示している。

（８）その他の遺構

函館山登山道の入口（函館山管理事務所）周辺には、道内ではその存在が珍しい石積みアーチ橋（軍用1号橋）

立待保塁	 砲座
写真-7 立待保塁の現況（撮影：大久保市郎）	
穴澗低地 観測所	 観測座
写真-8 穴澗低地観測所の現況（撮影：大久保市郎）	
軍用1号橋	 石積みアーチ橋
白川橋 (函館公園内)	 石積みアーチ橋
写真-9 軍用1号橋、白川橋の現況（撮影：進藤義郎）	

が現存している。これは要塞建設時に工事用道路（資材運搬用）の一部として計画・施工された軍用橋であり、砲台や建設資材等の重荷重を支持するために三重の湾曲したアーチリング構造となっているのが特徴である。

また、現函館公園内には道内最古とされる石積みアーチ橋（白川橋：明治14年架橋）が現存しているが、軍用1号橋の積み石と類似していることから、これらは同時期に近接して建設された可能性が高いと考えられている。写真-9には石積みアーチ橋の現況写真を示している。

3. 劣化診断の概要とその手法

(1) 劣化診断の対象とした要塞施設

劣化診断の対象とした要塞施設を表－3に示している。調査は平成14年度から16年度の3カ年に渡って実施されており、平成14年度は御殿山第一砲台、御殿第二砲台、平成15年度は千疊敷砲台、薬師山砲台、平成16年度は入江山観測所をそれぞれ調査対象とした。調査時期は、平成14年度は11月中旬、平成15年度および16年度は6月中旬である。

(2) 劣化診断の手法

表－4には本調査で実施した劣化診断の手法を示している。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、先づ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、損傷規模が大きい場合には（崩落あるいは倒壊）、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。また、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。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。

一方、代表的な要塞施設からコンクリートあるいは煉瓦のサンプル（材料試験用の供試体）を採取して、各種の材料試験を実施することで材料レベルにおける劣化診断も実施することとした⁶⁾。材料試験は劣化診断を実施するための基礎資料を得ることが目的であるが、同時に建設当時に用いられていた土木材料の特性を検証する上でも大きな手掛りと成り得るものである。

(3) 材料試験の項目

上述のように、本調査においては代表的な要塞施設からコンクリートあるいは煉瓦のサンプルを採取して、各種の物理試験を実施することによって劣化診断を行うに際しての基礎資料を得ることとした。各種試験内容等の詳細に関しては後述するが、表－5には本調査で実施した材料試験の項目とその試験目的を示している。

これより、コンクリートあるいは煉瓦に関する材料の強度に着目した試験は、圧縮強度試験と静弾性係数試験とし、材料の耐久性に着目した試験は、中性化試験、粗骨材の密度および吸水率試験、塩化物イオン含有量試験、細孔径分布試験とした。

4. 劣化診断結果の考察

(1) 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、その調査結果の概要について示す。ここで、調査結果によると、

表－3 劣化診断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
御殿山第二砲台	
薬師山砲台	平成15年度
千疊敷砲台	
入江山観測所	平成16年度

表－4 劣化診断の手法

診断手法	備考
外観調査	目視、触診、打診
材料試験	強度試験、耐久性試験

表－5 材料試験および試験目的

材料試験名	試験目的
圧縮強度試験 静弾性係数試験	建設当時のコンクリート強度は現品質のものと比較して相当低いと想定されることから、その強度と弾性係数を確認し、安全性検討の基礎資料とする。
コンクリートの 中性化試験	中性化は大気中の二酸化炭素がコンクリート内に進入しpHが低下する現象である。このため、耐久性検討の基礎資料とする。
粗骨材の密度および吸水率試験	骨材品質を表す指標の1つである密度および吸水率試験を実施する。
塩化物イオン 含有量試験	初期内在塩分量や塩分の飛来環境を把握するため硬化コンクリート中の塩化物イオン量を測定して検証を行う。
細孔径分布試験	凍害の影響を受けたコンクリート構造に適用される試験の1つであり、本試験を実施してコンクリート耐凍害性に対する基礎資料とする。
煉瓦の強度試験	建設当時に使用されていた煉瓦の圧縮強度を確認し、材料特性を検証する。

同一の砲台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－6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劣化要因に関しても併せて示している。

(a) コンクリート材に着目して考察する。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、

表－6 各材料別における主要損傷項目一覧 (作成：小林竜太)

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 ・ 倒壊 ・ 漏水	・ 構造的要因（不等沈下） ・ 凍害（凍結融解作用） ・ 漏水 ・ 乾燥収縮	・ 掩蔽部 ・ アーチ天井部 ・ 戦闘司令部 ・ 観測座
煉 瓦	・ ひび割れ ・ 剥離 ・ 剥落 ・ エフロレッセンス ・ 欠損 ・ 倒壊 ・ 漏水	・ 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） ・ 目地割れ ・ 倒壊	・ 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 ・ 石積み隧道

千疊敷砲台（特に戦闘司令部）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、最も大きい箇所では30 mm 程度にも達していた。いずれのひび割れも漏水やエフロ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、千疊敷砲台の戦闘司令部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等沈下が主要因であるものと考えられる。また、千疊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察される。写真－10 は御殿山第二砲台で撮影された煉瓦部の拡大写真を示したものであるが、これより、ひび割れや背面土砂から供給された水が凍結して膨張し、その結果、煉瓦材が前面に押し出されている様子が明瞭に確認できる。

（b）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て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、現在の状態のまま放置すれば掩蔽部全体の

崩壊に繋がる可能性が高いものと考えられる。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。

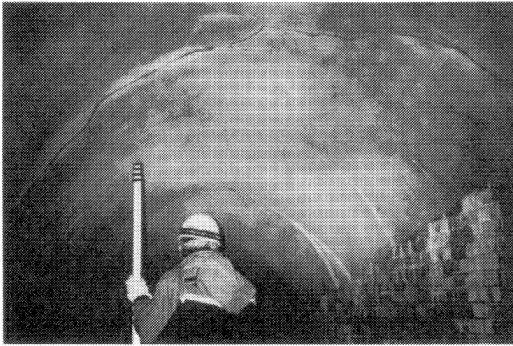
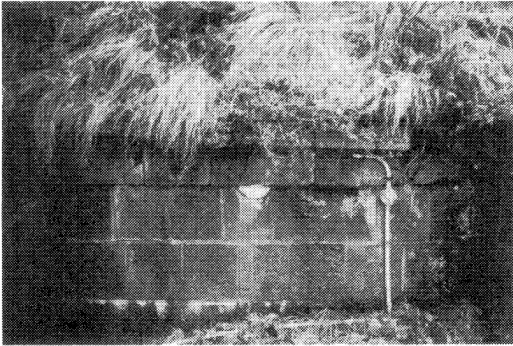
（c）石材に着目して考察する。石材は、石積み擁壁と石積み隧道に用いられているが、擁壁に関しては壁全体あるいは壁頂部（笠石部）の前面移動やはらみ出しが主たる損傷であった。これは壁背面に樹木が繁茂しており、この樹木の根が成長して石積みを前面側に押し出しているためである。一方、御殿山第二砲台の石積み隧道では、縦方向中央部において側壁から背面土砂が流出している状況が確認された。また、アーチ天井中心部でも一部の積み石が崩落している。これらの要因に関しては今後の詳細調査が必要であるが、土被り（上載土の高さ）の大きな損傷区間は側面土圧による側壁の変形に起因して天井部の積み石が崩落したものと考えられる。

以上、材料別にその主要な損傷を取り上げ、推定される損傷劣化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、不等沈下や凍害による劣化が支配的であるものと判断される。写真－11～写真－15に各要塞施設の主要損傷状況を示す。

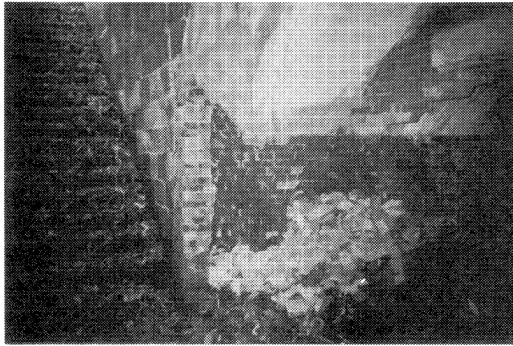
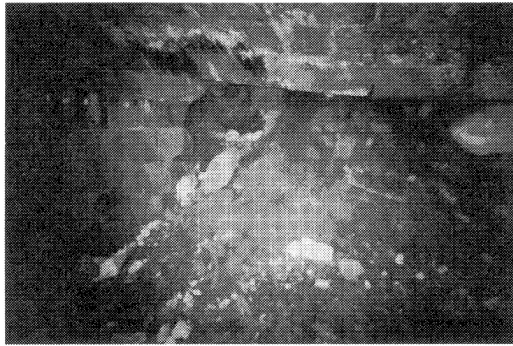
水の凍結膨張による煉瓦の押し出し



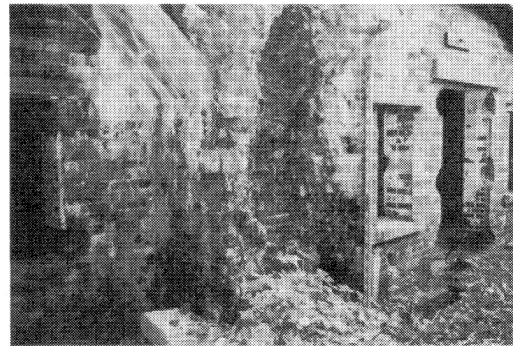
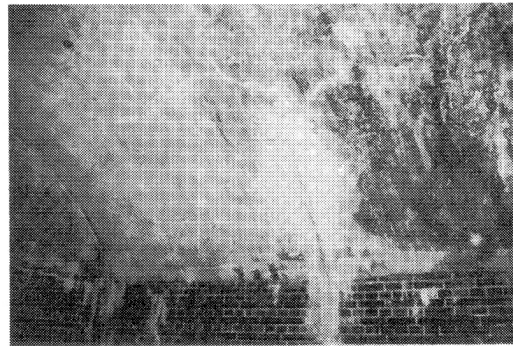
写真－10 煉瓦材の凍害劣化の状況（撮影：朝倉啓仁）

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

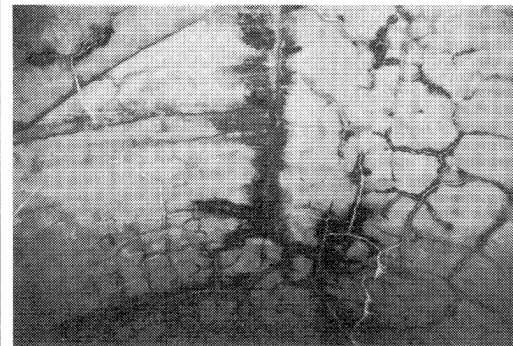
写真－１１ 御殿山第一砲台の主要損傷写真 (撮影：小林竜太)

御殿山 第二砲台		
	レンガ積み壁の剥離・剥落	石積み隧道内部の側壁部の崩落

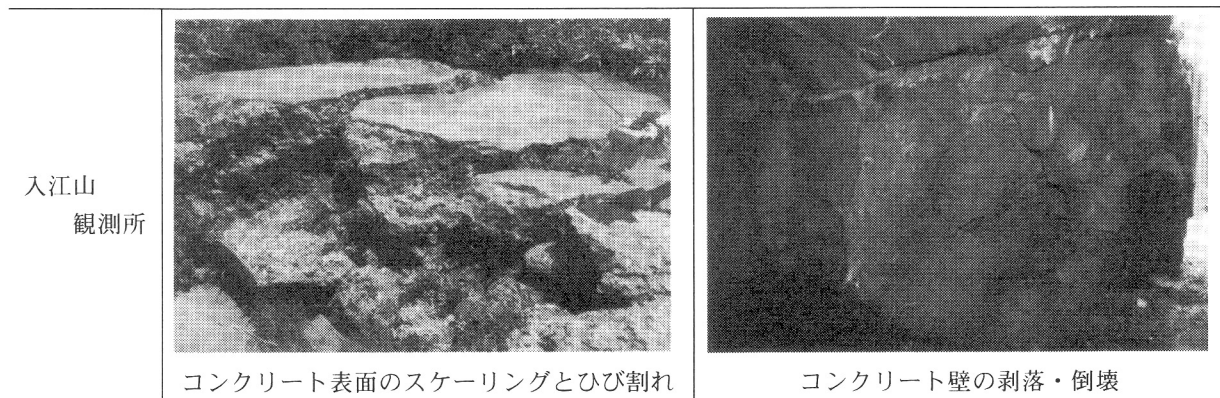
写真－１２ 御殿山第二砲台の主要損傷写真 (撮影：小林竜太)

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－１３ 薬師山砲台の主要損傷写真 (撮影：小林竜太)

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－１４ 千畳敷砲台の主要損傷写真 (撮影：小林竜太)



写真－１５ 入江山観測所の主要損傷写真（撮影：小林竜太）

４．２ 各種材料試験結果の概要および考察

（１）材料試験項目および試験数量

表－７には本調査で実施した材料試験項目と各要塞別における試験数量を一覧にして示している。

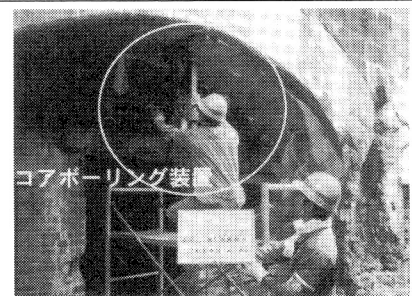
（２）コンクリートおよび煉瓦サンプルの採取

材料試験で用いるコンクリートコア（φ150mm）は、いずれもアーチ天井部の下面中心位置近傍から採取することとした。コア削孔は電気式のコンクリート用ボーリング装置を用いて行い、冷却水を供給しながら削孔する湿式タイプの装置を採用している。この装置はダイヤモンド粒を埋込んだ円柱状のビットを高速回転させ、ダイヤモンドの切削力を利用してコンクリートを削孔する装置である。写真－１６にコンクリートの削孔状況を示す。なお、削孔箇所の補修は速やかに行うものとし、補修材には無収縮モルタルを用いた。一方、煉瓦のサンプルは倒壊して放置されているものの中で、その形状が保持されており、かつ損傷等のない健全な煉瓦片を選定した。

（３）圧縮強度試験，静弾性係数試験

コンクリートの強度特性を把握することを目的として、各要塞施設から採取したコア供試体に対して圧縮強度試験および静弾性係数試験を実施した。試験はそれぞれ JIS A 1108, JIS A 1149 に基づいて実施している。これより、圧縮強度試験に着目すると、各要塞施設において比較的大きなバラツキが見られる。これは供試体内部のジャンカ（コンクリート内部の空洞等の欠陥部）の有無の影響

削孔状況
(薬師山)

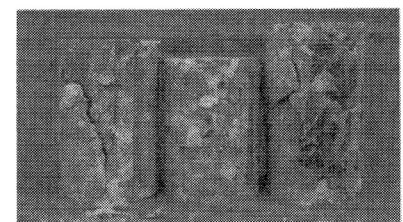


写真－１６ コンクリートの削孔状況（撮影：小林竜太）

表－８ 圧縮強度試験および静弾性係数試験結果

要塞施設名	圧縮強度 (N/mm ²)	静弾性係数 (N/mm ²)
御殿山第一砲台	12.7	1.17 E+04
御殿山第二砲台	28.4	1.70 E+04
千畳敷砲台	17.7	1.13 E+04
薬師山砲台	33.0	1.81 E+04
入江山観測所	18.8	1.96 E+04

千畳敷砲台



写真－１７ 強度試験後の供試体の損傷状況例

表－７ 材料試験項目および試験数量

試験名	要塞施設名および試験数量				
	御殿山第一砲台	御殿山第二砲台	千畳敷砲台	薬師山砲台	入江山観測所
圧縮強度試験，静弾性係数試験	3	3	3	2	1
コンクリートの中性化試験	1	1	3	2	1
粗骨材の密度および吸水率試験	—	—	3	2	1
塩化物イオン含有量試験	—	—	1	—	—
細孔径分布試験	—	—	1	—	1
煉瓦の圧縮強度試験	1	2	—	1	—

であり、ジャンカが内在する供試体では著しく強度が低下することを示している。最も大きな強度が得られたのは薬師山砲台であり、御殿山第二砲台とともに約 30 N/mm² の強度が得られている。一方、御殿山第一砲台、千疊敷砲台および入江山観測所では、薬師山砲台と比較して 1/2 程度の強度となっていることが分かる。なお、静弾性係数に関してもその傾向は圧縮強度試験結果とほぼ同様であった。写真－18には御殿山第二砲台のコンクリートアーチ部を拡大して示している。これより、水平方向の層状に約 30～50cm の厚さで打設および締固めた形跡（図中、点線）が確認されており、ジャンカ部分はこの打継部の下面側であるものと推定される。

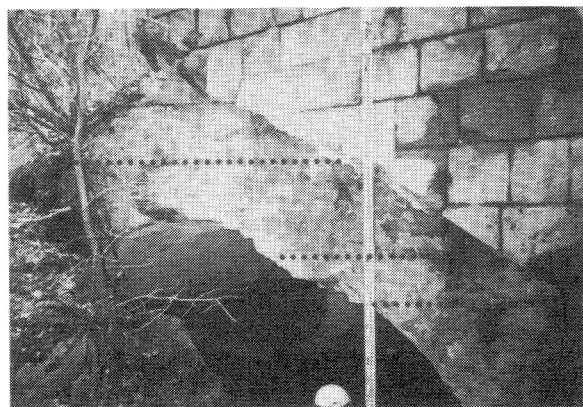
日本で初めてセメント規格が制定されたのは1906（明治38）年であり、農商務省告示第35号「日本ポルトランドセメント試験方法」がこれに当たる。告示によると強度として12 N/mm²以上が規定⁵⁾されているが、本調査対象の函館要塞施設ではほとんどが満足されている。従って、施工法に起因するジャンカの影響を除けば比較的健全なコンクリート材料であるものと考えられる。

（４）コンクリートの中性化試験

コンクリートは、水酸化カルシウムの存在により強アルカリ性（pH12～13）を示す材料であるが、年月の経過に伴い空気中の二酸化炭素等の影響を受けて炭酸カルシウムに変化し pH が低下する現象が見られる。この反応が中性化（炭酸化とも云う）である。中性化の進行によりコンクリートの組織そのものが直接的に劣化することは少ないが、鉄筋コンクリート構造物では内在する鉄筋の不動態皮膜が破壊されることから鋼材の腐食発生が懸念される。これより、本調査対象の要塞施設はいずれも無筋コンクリート構造であり、中性化試験の必要性はないものと考えられるが、耐久性検討における基礎資料の収集を目的としてコンクリートの中性化試験を実施した。

本試験ではフェノールフタレイン法を採用することとした。フェノールフタレイン溶液とは pH 指示薬であり pH 10 以上のアルカリ側で赤紫色に着色することから中性化領域では着色しないのが特徴である。試験方法は、供試体にフェノールフタレイン1%エタノール溶液を噴射し、表面から赤紫色に着色する部分までの距離を中性化深さとして測定することで行っている。なお、中性化深さは供試体1体に対して計10箇所測定し、この平均値をもって中性化深さとした。表－9には中性化試験結果、写真－19には試験後の供試体の状況を示している。

これより、いずれの施設においても中性化深さは数 mm と小さいことが分かる。これは建設当時はポルトランドセメントの普及とともにセメントモルタル混和材として石灰が用いられていたという報告があることから、モルタルの保水性、コテ塗り向上のために消石灰を混入させていた可能性が高い。従って、高アルカリ性を呈す消石灰を表層モルタルに使用していたとすれば、これが要因となって中性化が進行しなかったものと推察される。



写真－18 コンクリートアーチ部の打継部の状況

表－9 中性化試験結果一覧

要塞施設名	平均中性化深さ
御殿山第一砲台	0.4 mm
御殿山第二砲台	1.8 mm
千疊敷砲台	0.9 mm
薬師山砲台	0.7 mm
入江山観測所	1.3 mm

フェノールフ
タレイン溶液
噴射後の状況



写真－19 中性化試験後のコンクリートコアの状況

（５）粗骨材の密度および吸水率試験

コンクリート中の粗骨材の密度は、それが大きいほど緻密で良質な材料であり、一般にコンクリート強度も増加する。また、密度の増加に伴って吸水率が低下するため凍害に対する耐久性が向上することから、現基準では両者に対して制限値が設定されている。従って、ここでは骨材の基本的な性質を把握することを目的として、粗骨材の密度および吸水率に関する試験を実施した。なお、本試験は JIS A 1110 に基づいて実施している。

表－10に試験結果の一覧を示す。なお、表中には現基準の制限値⁷⁾も併せて示している。これより、絶乾密度に着目すると、制限値 2.5 g/cm³ 以上に対して測定結果の平均値は 2.3 g/cm³、また、吸水率に着目すると、制限値 3.0 %以下に対して測定結果の平均値は 5.2%となっており、いずれも現基準値を満足していないことが分かる。特に吸水率に関しては制限値を大幅に超過している。

これより、建設当時のコンクリート打設時における粗骨材の密度および吸水率が不明であることから、この結果は劣化に起因する可能性もあるが、凍害に対する耐久性は比較的低い粗骨材であるものと考えられる。

(6) 塩化物イオン含有量試験

函館要塞施設はいずれも無筋コンクリート構造であり、塩害による鋼材の腐食の恐れはないが、建設当時の初期内在塩分量あるいは塩分の飛来環境を把握することを目的として塩化物イオン含有量試験を実施することとした。

試験は日本コンクリート工学協会の基準【JCI-SC4：硬化コンクリート中に含まれる塩分の分析方法】に基づいて実施することとした。試料採取は JCI-SC8【硬化コンクリート中に含まれる塩分分析用コア試料の採取方法】に基づき、採取されたコアを表面から 10 mm 厚のコンクリート片を 5 層分切り出して（コアスライス法）採取することとした。塩化物イオン量（全塩分量）の定量には硝酸銀滴定法を採用した。図－2 に試験結果を示す。

これより、塩化物イオン量分布はコア表面から内部に向かうに従って減少した分布性状を示しており、これは飛来塩分の影響を受けているものと考えられる。また、建設後の経年を 100 年と設定してフィックの拡散方程式を用いて回帰分析した結果も併せて示したが、表面塩分量は 1.5 kg/m^3 程度、見掛けの拡散係数は $0.06 \text{ cm}^2/\text{年}$ 程度と小さい値であった。これより、函館要塞施設は飛来塩分の影響を受ける環境下にあるものの、直接海洋に面してはいないため、その程度は小さいものと考えられる。

(7) 細孔径分布試験

硬化ペーストの耐凍害性には細孔径分布が大きく関与し、一般的には 100 ～ 1000 nm の空隙が多い場合には凍結融解作用による劣化を受け易いと考えられている。図－3 に試験で得られた細孔径容積－細孔径関係を示す。

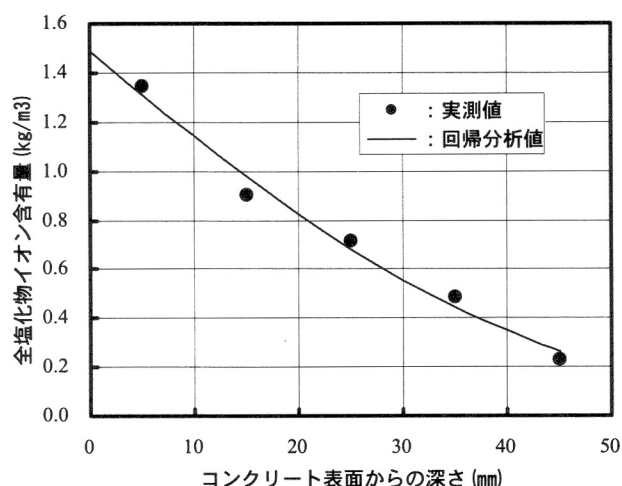
これより、千畳敷砲台、入江山観測所ともに小さい細孔径に細孔径容積がシフトしており、コンクリート試料中の硬化ペーストは耐凍害性に優れているものと考えられる。従って、千畳敷砲台や入江山観測所で見られた露天部分の著しいスケーリング（凍結融解作用によるコンクリートのペースト領域が劣化する現象）は、粗骨材の密度および吸水率試験で得られた結果による主として低品質の粗骨材の使用に起因するものと推察される。

(8) 煉瓦の圧縮強度試験

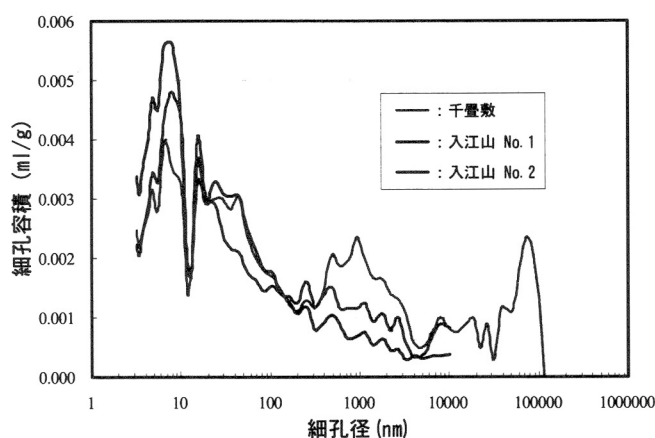
煉瓦の強度特性を把握することを目的として、各要塞施設から採取した 4 つの煉瓦サンプルに対して圧縮強度試験を実施した。なお、圧縮試験は JIS R 1250【普通レンガ】に基づいて実施している。表－11 に試験結果の一覧を示す。また、表中には参考値として現在の JIS 規格に示されている 3 種煉瓦（標準品）の規格値を示している。これより、圧縮強度、吸水率ともにバラツキが大きいことが分かる。これは、当時は同一の焼成において窯内の場所によっては温度が異なり、均一な品質の製品製造が困難であったためと考えられる。しかしながら、平均値を用いて比較すると、圧縮強度は 35.1 N/mm^2 、吸水率は 13.8% であることから、現在の 3 種煉瓦の品質に相当するものと考えられる。

表－10 粗骨材の密度および吸水率試験結果一覧

要塞施設名		表乾密度 (g/cm^3)	絶乾密度 (g/cm^3)	吸水率 (%)
薬師山	No.1	2.466	2.371	3.997
	No.2	2.490	2.392	4.079
千畳敷	No.1	2.462	2.363	4.184
	No.2	2.411	2.291	5.245
	No.3	2.370	2.227	6.449
入江山		2.379	2.219	7.237
平均値		2.430	2.311	5.199
現基準制限値		—	2.5 以上	3.0 以下



図－2 塩化物イオン量の深さ方向分布図



図－3 細孔径容積－細孔径の関係

表－11 煉瓦の圧縮強度試験結果

試料番号	圧縮強度 (N/mm^2)	吸水率 (%)
No.1	29.8	16.1
No.2	16.2	19.0
No.3	59.3	6.2
No.4	34.9	—
平均値	35.1	13.8
参考値(3種煉瓦)	20.0 以上	13 以下

従って、吸水率に関しては規格値を満足していないが、強度的には問題ないことから概ね品質の良い煉瓦材料であるものと考えられる。

5. 函館要塞の保存と活用に関する基本構想

函館山は、その地理的、地勢的な要因から個性的な自然があり、日本の近代化や北海道開拓においても産業や軍事面で重要な場所として位置付けられ、そのロケーションが現在の観光拠点の姿にも結びついている。このような自然と歴史あるいは産業を関連付けて一体的に学べる場所は他に例がなく、函館山は絶好の条件を備えていると云える。従って、函館山を学ぶことで函館の成り立ちをも知ることができることから、散策を楽しみながら自然を学び、歴史を学べる場として必要な整備を施すことが肝要であるものと考えられる。函館要塞を重要な遺産として後世に継承していくためには、行政と市民がその価値を共有し、協働して保全や利用に関する活動を行うことが望まれる。そのことは市民の地域に対する愛着や誇りの醸成、来訪者にとっての函館の魅力向上にも繋がるものと考えられ、また、学校教育においても平和教育を含めた総合学習のフィールドとしても活用できる。

函館市では平成14年度に策定した「函館山緑地整備計画」に基づいて、函館要塞を今後利活用可能な施設として段階的に修復整備を実施していく方針である。現在は主要な要塞施設の現況調査がほぼ完了し、要塞施設の保存および活用を具体的にこういった形で進めていくかについて検討している段階にある。今後もより活発な議論が行われることを期待してやまない。

6. まとめ

本論文では、函館要塞の保存状態を報告するとともに、各要塞施設の劣化診断結果について報告を行った。これより、函館要塞全体の損傷状況や劣化の進行度合いが明らかとなり、また、要塞建設に用いられた建設材料の基礎的データも把握できたことから、今後の保存対策検討に必要な最低限の情報は得られたものと考えている。

函館要塞は土木学会が認定する重要土木遺産として位置付けられており、特に千疊敷砲台跡地に関しては国指定重要文化財に相当する貴重な遺構であるとして評価されている⁸⁾。また、2001年には北海道遺産にも選定され、函館要塞はその保存および利活用が強く望まれている。

軍事遺跡はこれまで「負の遺産」として受け入れられてきたが、歴史上の事実として後世に継承していくことが重要であり、行政と市民がその価値を共有して一体となって活動を行うことが必要不可欠である。よって、地域の活性化あるいは経済的発展にも寄与できるような利活用方法を検討する必要があるものと考えている。

謝辞：本論文を執筆するにあたり、函館山管理事務所、自然観察指導員の木村マサ子様、北海道教育大学の今尚之助教授、(社)北海道開発技術センターの原口征人様

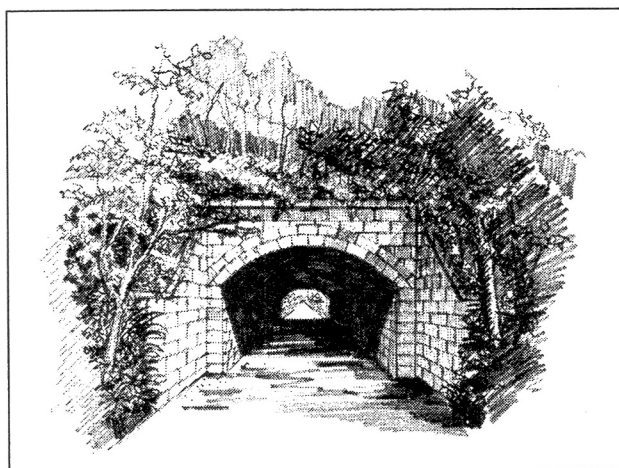


図-4 御殿山第二砲台、石積み隧道の復元図
(作成：進藤義郎)

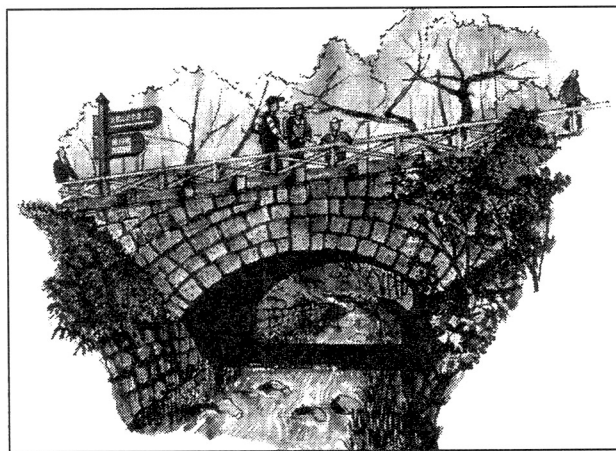


図-5 軍用1号橋のイメージパース
(作成：進藤義郎)

に多大なるご支援を戴いた。ここに記して謝意を表する。

参考文献：

- 1) 日本の要塞～忘れられた帝国の城塞：学習研究社，pp.46，2003.10.
- 2) 富岡由夫 他：函館要塞山頂部の要塞施設 (1)～(6)，函館の産業遺産【調査報告】，函館産業遺産研究
- 3) 井瀬 裕：函館要塞の100年～知られざる土木遺産の軌跡～，函館の産業遺産 No.5【調査報告】，函館産業遺産研究会，pp.3, 8，2000.7.
- 4) 浄法寺朝美：日本築城史，原書房，1971.11.
- 5) 長瀧重義：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】，pp.61，技報堂出版，1995.11.
- 6) コンクリート診断技術 '05【基礎編，応用編】：社團法人日本コンクリート工学協会，2005.1.
- 7) 2002 年制定，コンクリート標準示方書【施工編】：土木学会，2002.7.
- 8) 日本の近代土木遺産～現存する重要な土木構造物 2000 選：土木学会土木史研究委員会，2001.3.
- 9) 建物の見方・しらべ方 近代土木遺産の保存と活用，文化庁歴史的建造物調査研究会，1998.7.