

# 旧函館軍事要塞の築城に用いられたセメントの化学分析

Chemical analysis of Cements used for Hakodate military fortress facilities constructed in the Meiji era.

函館市土木部	非会員	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) ドーコン	フェロー	進藤 義郎 (Yoshiro Shindo)
フジコンサルタント (株)	非会員	星 俊彦 (Toshihiko Hoshi)

## 1. はじめに

我が国におけるセメントの製造は明治期にさかのぼり、1873年(M6)には東京・深川に初の官営セメント工場が建設、ついで1881年(M14)には山口県・小野田市に初の民営セメント工場が建設された。一方、北海道においては1892年(M25)上磯村にて北海道セメント(株)が製造を開始している。明治期におけるセメント工業は欧米の技術を導入し国産化を開始した黎明期にあたり、それ故に当時最先端の土木技術を結集し、セメントの製造・品質管理、コンクリートの施工がなされたものと考えられる。

著者らは、函館山に明治期建設された旧函館軍事要塞(以下、函館要塞)の調査結果を既に報告<sup>\*1</sup>しているが、本報告は函館要塞に使用されたセメントの特徴を分析すると共に、同時期に国内で使用されたセメントとの比較を試みたものである。

## 2. セメントの化学分析

### 2. 1 函館要塞の調査位置

函館要塞は日露戦争を控えた1898年(M31)～1902年(M35)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り、今回化学分析結果を報告する主要な要塞施設の位置を図-1に示す。

### 2. 2 セメントの化学分析の方法

函館要塞の各施設から採取したモルタル片あるいはコンクリート片を試料とし、以下の手順にてセメントの化学分析を行った。

- ①試料の粗碎 ②モルタルの採取
- ③少量のアセトンを入れた鉄乳鉢にて試料を粗碎し、摩碎する(砂を過粉碎しないように留意した)。
- ④0.3mm ふるいと 0.075mm ふるいの2段ふるいにより、0.075mm 以下の粒子をアセトンにて洗浄分離する。
- ⑤0.075mm 残分は③と④を繰り返し、0.075mm 以下の試料を5g程度採取する。
- ⑥試料を希塩酸(1+100)による溶解処理後ろ過し、ろ液中のCaO,MgOの定量はキレート滴定、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>は吸光光度法、SO<sub>3</sub>は沈殿法、SiO<sub>2</sub>,Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>は誘導結合高周波プラズマ(ICP)発光分析により定量した。
- ⑦最後に、1000°Cでの強熱減量(ig.loss)と不溶解残分(insol.)を定量し、上記6成分をセメントに起因する成分として換算した。

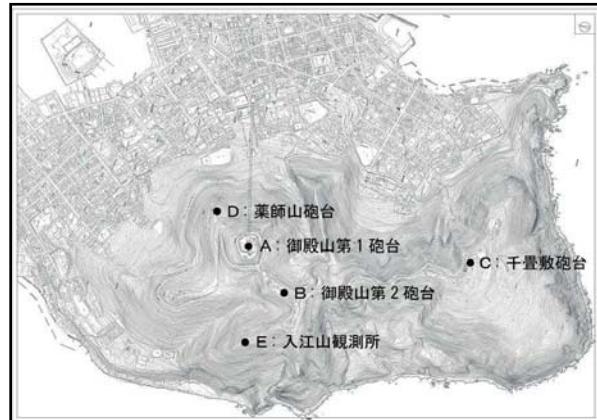


図-1 函館要塞の主要施設位置図

表-1 函館要塞のセメントの化学分析結果(%)

施設名	SiO <sub>2</sub> ケイ酸	CaO 生石灰	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> アルミ	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 酸化鉄	MgO マグネシア	SO <sub>3</sub> 無水硫酸
A:アーチ天井モルタル	21.0	60.6	6.8	2.6	3.7	1.4
B:レンガ積モルタル	2.9	51.8	8.7	2.9	4.3	---
B:石積モルタル	1.0	60.8	6.6	2.7	3.9	---
C:アーチ天井モルタル	23.7	57.9	8.7	3.0	4.1	1.3
D:アーチ天井モルタル	21.8	61.6	8.1	3.0	3.5	0.6
D:レンガ積モルタル	24.0	51.1	11.6	4.5	4.9	1.2
D:石積モルタル	26.1	51.6	11.5	0.2	3.8	1.3
E:アーチ天井モルタル	26.0	56.4	9.6	2.7	2.4	1.1
E:アーチ天井コンクリート	15.5	47.5	6.3	2.4	2.5	1.3
函館要塞平均(Bを除く)	22.6	55.2	8.9	2.6	3.6	1.2

### 2. 3 函館要塞の築城に用いられたセメントの特徴

各施設の成分分析結果を表-1に示す。

いずれの施設からもマグネシア(MgO)が比較的多く含まれている分析結果を得た。この理由としては、マグネシアは原料である石灰石や粘土から供給されているため、原料にマグネシウムを多く含むものを使用していたことや両者の構成比が現在のものと異なっていたこと等が考えられる。

B施設(御殿山第2砲台)のレンガ積モルタルおよび石積モルタルはケイ酸(SiO<sub>2</sub>)が著しく小さく、石灰(CaO)が大きい結果を得た。この理由としては、ケイ酸の原料となる粘土の量が少ない、あるいは消石灰(Ca(OH)<sub>2</sub>)ベースのセメントであった可能性がある。このため、函館要塞の平均値としては他の施設と異なる特徴を持つB施設を除いた平均値として示している。

## 2. 4 セメントの化学組成の比較

セメントの化学組成の比較を函館要塞、北海道内の他の構造物、北海道外の明治時代の化学組成、現在の化学組成とを合わせて図-2に示す。

実構造物から採取した試料の分析結果としては、北海道の事例として小樽港、旧函館市末広町分庁舎、函館丸井今井呉服店の3例、道外のものとしては横浜港築堤、佐世保軍港の2例である。横浜港築堤工事においては、国産のセメント以外に英国産のセメントも使用されていたことから、英国産セメントの分析結果も含んでいる。

M36（明治 36 年）と記載のあるものは当時日本国内で製造されていたセメント製造各社の分析値である。

図-2 より、函館要塞のセメントの特徴であるマグネシア ( $MgO$ : 赤表示) を多く含有するセメントは見られない。比較的マグネシア ( $MgO$ ) の含有量の多いものとして、函館丸井今井呉服店 (S5) がある。同じ函館地域の構造物であることから使用原料が同じである可能性が考えられるものの、ケイ酸 ( $SiO_2$ )、石灰 ( $CaO$ ) の組成の違いから函館要塞と同一のセメントであるとは断定できなかった。

我が国で初めてセメントの組成が規格化されたのは明治 38 年（1905 年）であり、これに先立ち築城された函館要塞のセメントは、マグネシア ( $MgO$ ) の含有量が当時の規定（3%以下）を超過している。セメントの化学成分に占めるマグネシア ( $MgO$ ) の規定<sup>\*3</sup>は、明治 38 年（1905 年）3%以下、昭和 19 年（1944 年）4%以下、JIS が制定された昭和 25 年以降は 5%以下であり、本要塞のようにマグネシア ( $MgO$ ) を 3%以上含有するセメントは

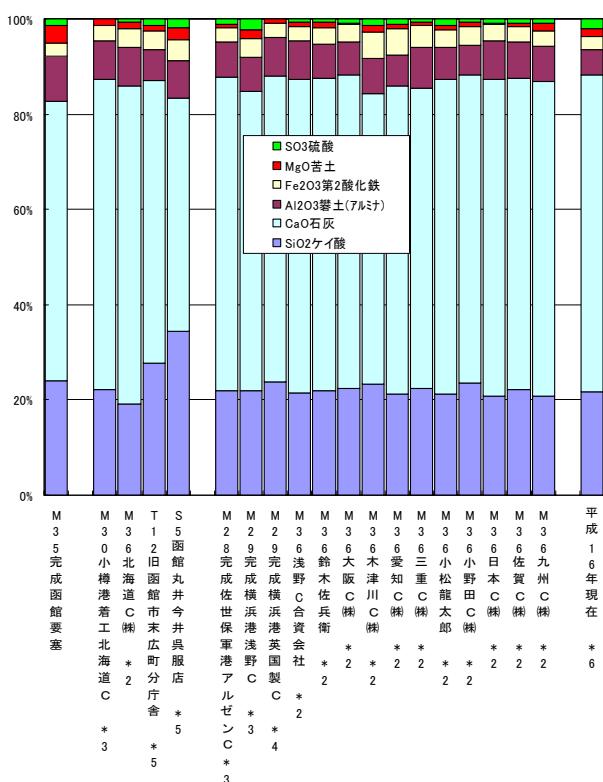


図-2 セメントの化学組成の比較

見あたらないものの、北海道以外の地域と比較して北海道産のセメント中のマグネシア ( $MgO$ ) の含有量は高い傾向が伺える。

また、北海道内と道外とを比較すると、道内においてはケイ酸 ( $\text{SiO}_2$ ) が比較的大きく、生石灰 ( $\text{CaO}$ ) 少ない傾向が伺える。これは、道外に示した多くは明治 36 年と記載のセメント製造各社の分析値であり、道内の多くは実構造物による分析値であることから、長い年月の雨水等によりコンクリート中の酸化カルシウムが溶脱した可能性も否定できないが、原因は特定できない。

### 3. まとめ

北海道において最も歴史のあるコンクリート構造物としては廣井勇博士の百年耐久性試験で知られる小樽港北防波堤が有名であるが、これとほぼ同時期に築城された函館要塞から一世紀を経てコンクリート片やモルタル片を採取し、セメントの化学分析を実施した。

この結果、函館要塞に用いられたセメントは生石灰( $\text{CaO}$ )の含有量が少なく、マグネシア( $\text{MgO}$ )の含有量が比較的多い特徴があることが明らかとなつたが、同じ函館周辺の歴史的構造物にも同様の傾向が見られる結果であった。北海道、ひいては我が国にセメント工業が発祥した時代のセメント製造技術の一端を垣間見る機会を得ることは非常に有用な経験であると思つてゐる。

現在築城から一世紀を経て函館山の地形の一部としてその姿を留めている函館要塞は、2001年北海道遺産に選定され、その保存および利活用が強く望まれている。特に、北海道におけるセメント工業発祥の時代の産物であること、土と木の時代から現代の鉄筋コンクリートの時代へ変遷する過渡期に位置するレンガ・石積み・無筋コンクリート造の土木構造物であること、これら近代土木遺産の持つ歴史的かつ文化的価値を、土木技術に携わる人以外にも広く知っていただく機会が増えることを願っている。

参考文献

- \* 1 進藤義郎, 大久保市郎, 富岡由夫, 小林竜太, 朝倉啓仁: 近代土木遺産としての旧函館軍事要塞跡地の現状, 土木史研究講演集 vol.25, pp185-195, 2005.5
  - \* 2 日本セメント㈱: 70 年史本編, 第 37 表(明治 36 年)第五回内国勧業博覧会セメント試験成績表化学的分析, p386
  - \* 3 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〕, 技法堂出版, pp.69-90, 1995.11
  - \* 4 小林一輔: コンクリートの文明誌, 岩波書店, 2004
  - \* 5 原田彩加, 浜幸雄, 佐川孝広, 若杉伸一: 大正・昭和初期の歴史的コンクリートの物性および化学成分分析, 日本建築学会北海道支部, 研究報告集, No.78, pp.21-24, 2005.7
  - \* 6 セメント協会: セメントの基礎, 2004