

第一海堡におけるコンクリートの材料特性よりみた建設改修時期

(株) 太平洋コンサルタント 正会員 ○片山哲哉 佐藤友美 向井浩三
国土交通省関東地方整備局 正会員 野口孝俊

第一海堡は明治中期の海上要塞（起工明治 14 年，完成明治 23 年）で，千葉県富津市に所属し財務省が所有している．2017 年 5 月に踏査，2019 年 10 月～11 月に現地調査と試料採取を行い，コンクリートとモルタルの材料特性を検討した．本調査は東京湾口航路事務所が第一海堡所有者の上陸許可を受けて調査を実施した．

1. 目的

第一海堡には新旧の構造物が保存されているが，竣工後も改修や震災後の改築を繰り返し，各々の履歴が不明確である．本稿はコンクリート中に残存するセメント粒子の顕微鏡観察を通じて組成上の特徴や焼成技術，粉砕技術を判読し，断片的な建設記録に野外調査の結果を組み合わせることで建設改修時期を検討した．破片試料を採取し，比較用の配合推定のほか室内で小口径コアを抜き直して，圧縮強度測定（D 2.5cm L5cm, D 5cm L10cm）を行った．

2. 結果

(1) 主な構造物の推定される建設時期

繫船場の北側防波堤は安山岩の被覆石と堅窯焼成セメントの間詰コンクリートより成り，堆砂の影響から東側が明治 35 年¹⁾に締切られた（表 1）．締切部の間詰材は回転窯セメントに類似するが，国産品の製造は翌年以降なので，後の補修箇所や過渡的な材料の可能性もある．島の内部の護岸は関東大震災直後の航空写真に存在せず，新規の建設と考えられる．新規護岸と島の周回道路は路面均しモルタルが連続することから，同時期と推察される．島の南半部の外周法面は明治 19 年²⁾に堅窯焼成セメントでコンクリート被覆されたもので，崩落が進行している．このコンクリートには小口止めがあるがこれは後年の補修跡で，震災復興期（大正 14 年～昭和 3 年）のエーライトに富む回転窯セメントであった．島の中央凸角部は崩壊が進行し，海岸に新旧の煉瓦構造物の円形周壁の瓦礫が散在する．当初の堅窯セメントの煉瓦目地モルタルや，明治 33 年頃に設置された砲座の床版コンクリートの瓦礫がみられた．第一砲台は震災後に大改築が行われ，明治 19 年頃の煉瓦構造物に RC 橋やコンクリート壁が増設された．隣接する右翼観測所は記録がないが，本体と表面の震災補修部は世代の異なる回転窯セメントであった．

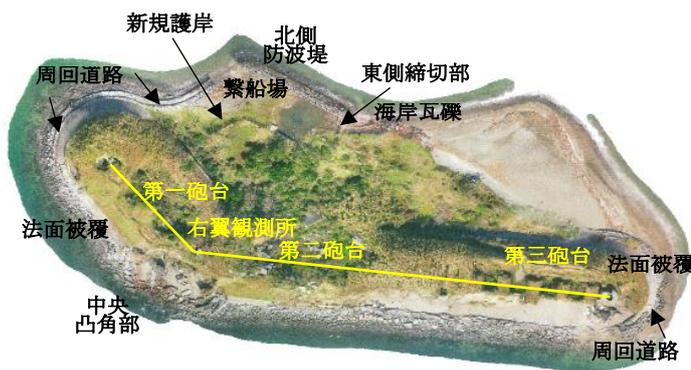


図 1：第一海堡の構造物配置 航空写真：パスコ提供

表 1：第一海堡構造物の建設時期とセメントの新旧

構造物	部位	推定	セメント
第一砲台	上部工新築部	C 大正 15 年～	回転窯 III
	掩蔽壕煉瓦目地	M 明治 19 年	堅窯 I*
北側海岸瓦礫	煉瓦目地	M 明治 33 年～	移行期
	煉瓦片コンクリート	C 明治 19 年	堅窯 I*
	人造石被覆モルタル	M 明治 19 年	堅窯 I*
右翼観測所	上部工（補修部）	M 大正 15 年～	回転窯 III
	上部工（本体）	C 大正 8 年～	回転窯 II
中央凸角部	床版	C 明治 33 年	堅窯 II*
	煉瓦目地	M 明治 19 年	堅窯 I*
周回道路	表面均し	M 大正 8 年～	回転窯 II
	小口部	C 大正 15 年～	回転窯 III
護岸上部	法面被覆・笠石被覆	C 明治 19 年	堅窯 I
	新規護岸 表面均し	M 大正 8 年～	回転窯 II
	北側防波堤 間詰	C 明治 16 年～	堅窯 I

C: コンクリート, M: モルタル, *: MgO 少なく輸入セメントと推定



図 2：第一海堡の護岸構造物 (a) 北側防波堤(明治 16 年以降), (b) 防波堤東側締切部(明治 35 年), (c) 法面被覆コンクリート(明治 19 年)と周回道路モルタルの断面(震災後か), (d) 新規護岸路面被覆モルタル(震災後), (e) 小口モルタル(震災後)

キーワード 第一海堡, セメント, 回転窯, 配合推定, 護岸構造物, 建設時期

連絡先 〒285-0802 千葉県佐倉市大作 2-4-2 (株) 太平洋コンサルタント TEL 043-498-3931

(2) 明治中期の堅窯焼成セメントの国産品と輸入品

第一海堡の竣工前（富津海堡）に使用されたセメントは52%が国産品であった³⁾。これは東京深川の浅野工場製の堅窯セメントで、石灰原料の栃木県葛生産の石灰岩はドロマイトを含むためMgO含有量が高く（平均2.3%）、未反応の遊離MgO（ペリクレス）を生じた（図3a）。当時のヨーロッパ品はMgO含有量が低く（平均1.3%前後）、ペリクレスは含まれない（図3b）。明治19年の工事個所でペリクレスの確認できた法面被覆コンクリートはセメント（目立つ粒径200-300 μm ）が国産品、そうでない凸角部や第一砲台の煉瓦目地は輸入品と推察される。

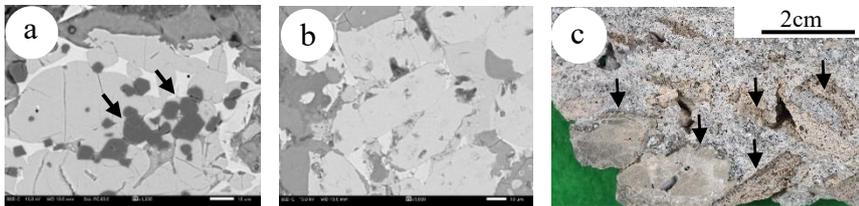


図3：明治19年頃の堅窯焼成セメント。a) 浅野製。ペリクレス(西側法面被覆)、b) 輸入品と推定した低MgOセメント(凸角部煉瓦目地)；c) 明治33年頃のコンクリート(凸角部床版)。硬化した輸入セメントを粗骨材として再利用

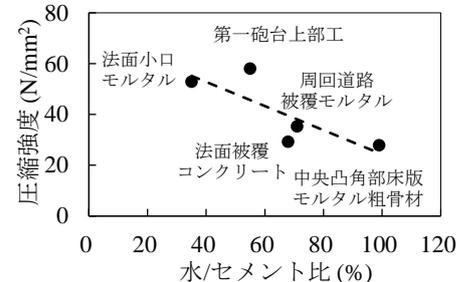


図4：圧縮強度と配合推定した水/セメント比

(3) 明治後期以降の回転窯焼成セメント

回転窯は明治36年12月に導入され、急速に国内に普及した（図5）。移行期には堅窯との中間的なセメントが見られた。I) 初期の回転窯セメントはビーライトのクラスターに富むため、粉砕しづらく粒度が粗かった（目立つ粒径100-200 μm ）。II) 次の世代の回転窯セメントはエアライトとビーライトが拮抗し、間隙質のアルミネートが伸びている。粒度が細かく（80-150 μm ）、大正8年の規格改訂後とみなした。III) 震災復興期（大正14年～昭和3年）のセメントは早強性を増すためにCaOとエアライトを増やしており、大正15年の規格改訂でさらに粒度が細かくなった（粒径50-100 μm ）。この頃までに窯外の冷却装置の性能が向上し、間隙質が急冷されて細粒化した。

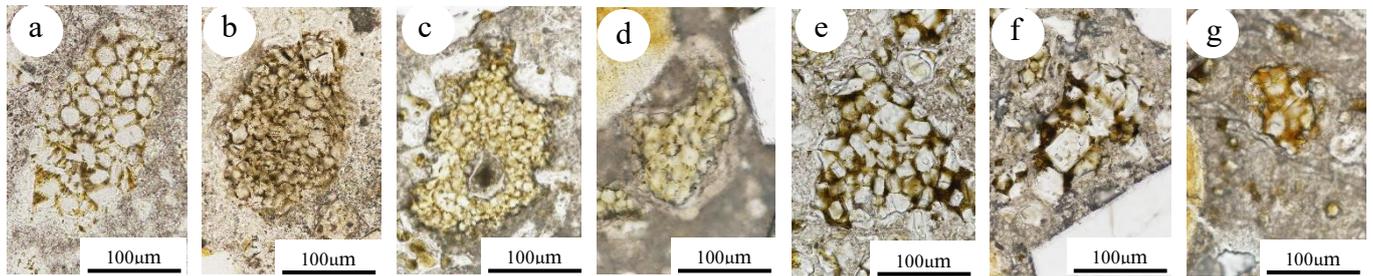


図5：回転窯焼成セメント。移行期 (a)煉瓦目地；I) 初期(明治36年～)(b)東締切部間詰；II) 中期(大正8年～)(c)右翼観測所(本体)，(d)路面；III) 震災復興期(大正14年～)(e)右翼観測所(補修)，(f)第一砲台RC橋，(g)小口

(4) コンクリートの圧縮強度と水セメント比

明治27年改正の「砲台建築仕法通則」⁴⁾は構造物の用途機能別にセメント・砂・砂利の配合比率（嵩容積）を規定していた。当時は耐久性や強度に直接影響を及ぼす水/セメント比の規定がないため、ここで水/セメント比を配合推定し、同種の部材の圧縮強度と照合したところ、現代と同様の相関性が認められた（図4）。明治19年の法面被覆コンクリートは堅窯セメントに石灰を混用し圧縮強度30N/mm²であるが、震災復興期の回転窯セメント（小口・上部工）は性能が向上し、低目の水セメント/比で50N/mm²を上回るものがあつた。明治期の海上工事ではセメントが使用前に風化・硬化しやすく、第一海堡ではセメント塊が多数認められた。但し、硬化した堅窯セメントは粗骨材として再利用すると、見掛け上水/セメント比が高い割に強度が得られた（図3c、図4、凸角砲座床版）。

3. 結論

明治中期から昭和初期にかけて第一海堡は建設・改修が繰り返された、その間に我が国のセメントは焼成方式・組成・粒度が大きく変化したことから、セメントの特徴を観察することにより概ね建設時期を推測可能となった。

参考文献

1) 石本新六「竣工図書進達の件」陸軍省大日記。軍事機密大日記。明治35年3月6日C02030481800；2) 勝田四方蔵ほか「各方面 両工廠各監督部 月報 陸軍総務局(2)」陸軍省大日記。明治19年11月1日C09060066400；3) 4月30日20年度行政処務報告頒布の件(2)。陸軍省大日記。明治21年自1月至6月通牒日記C10060070300；4) 砲台建築仕法通則（明治27年改正）