

IV-36

野蒜築港構造物のセメント硬化物の分析

○㈱太平洋コンサルタント 研究センター 正会員 沢木大介
東北大学大学院 工学研究科 正会員 後藤光亀

1. はじめに

明治政府直轄の近代港湾事業である野蒜築港¹⁾（宮城県東松島市浜市）建設は、明治11年に着工されるが、明治17年9月に頓挫し、翌年、政府は「野蒜港」を断念する。現在、この旧市街地にはレンガ橋台や気象台のレンガ門などの遺跡が残るのみである。昨年度、著者らは、同地区にて平成16年3月に発見された「悪水吐暗渠」（下水道）の土管接合部から採取された硬化物を分析し、セメントを用いたモルタルであることを報告した。野蒜港建設当時、国内のセメント使用量はいまだ少なく（図1²⁾）、同港遺跡のセメント構造物は近代土木遺産として極めて貴重である。本年度は、レンガ橋台の目地材として使用されたモルタルを分析し、土管接合部のモルタルと比較するとともに、当時のセメントの性状と製造技術について考察した。

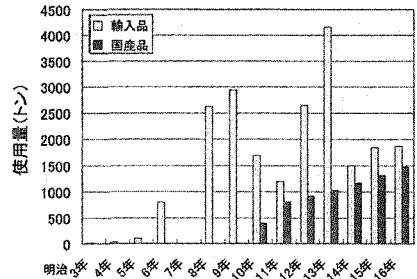


図1 明治初期の国内セメント使用量

2. 試料及び分析方法

図2にレンガ橋台跡から採取したレンガと目地モルタルを示す。モルタルから15mm角程度の試料を切り出し、乾燥後、エポキシ樹脂に包埋させた。エポキシが硬化後、研磨し、研磨面に炭素を蒸着した。電子線マイクロアナライザー（EPMA）により、組成像（背面反射電子像）の撮影及びカルシウム（Ca）とケイ素（Si）の濃度分布測定を実施した。条件は、加速電圧：15kV、試料電流： 5×10^{-8} A、プローブ径：1 μ m、計数時間：50msec、ピクセルサイズ：2 μ mである。



図2 レンガと目地モルタル

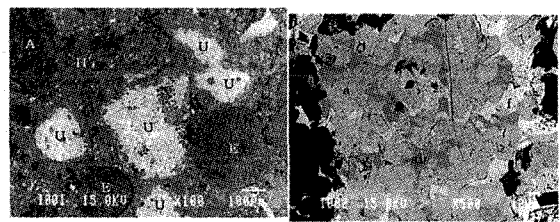
3. 分析結果

3.1 未水和セメント粒子の大きさ

図3に目地モルタルの、図4に土管接合モルタルの組成像を示す。いずれも左は1.1mm $\times$ 0.9mm領域の、右はより高倍率とした0.22mm $\times$ 0.18mm領域の撮影像である。

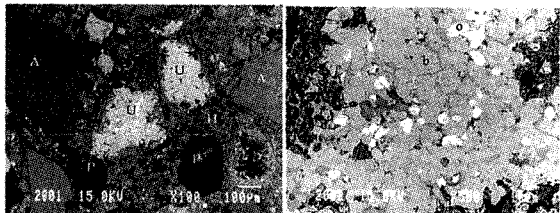
目地モルタルには土管接合モルタルと同様に、明るい粒子状の部分（記号U）が見られる。これらは未水和で残存するセメント粒子である。その大きさは長径200~300 μ mであり、現代のセメントと比べて大きい。当時のセメントが、非常に粗い粒子を含んでいたことを物語る。

セメントはクリンカー（焼塊物）にセッコウを混合し、粉砕して製造される。セメントの粒度は強度等、品質と密接に関係し、粗粒が多いと一般に品質は悪い。粒度は品質管理項目として重要であり、88 μ m網ふるい残分等で評価さ



測定領域 1.1mm $\times$ 0.9mm 測定領域 0.22mm $\times$ 0.18mm

図3 目地モルタルのEPMA組成像



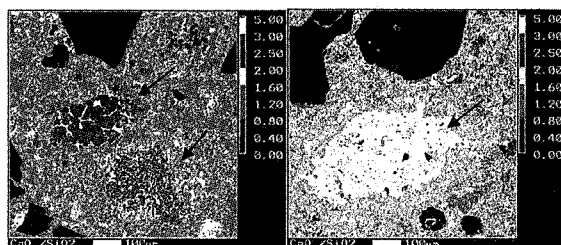
測定領域 1.1mm $\times$ 0.9mm 測定領域 0.22mm $\times$ 0.18mm

図4 土管接合モルタルのEPMA組成像

れる。明治期のセメントには、 $88\mu\text{m}$ 残分値が 60%を超えるものがあったが³⁾、粉碎・分級技術の発達により粗粒は大きく減少し、現代のセメントでは 1%以下である。

3.2 セメント粒子の構成鉱物

土管接合モルタルとレンガ目地モルタルのカルシウムとケイ素の濃度比 (CaO/SiO_2 モル比) の分布を図 5 に示す。未水和セメント粒子を矢印で示した。セメントを構成する鉱物には、二つのモルタルで明らかな相違があり、土管接合モルタルは CaO/SiO_2 モル比が 2 程度でありビーライト ($2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$) であるが、目地モルタルは CaO/SiO_2 モル比が 3 程度でありエーライト ($3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$) であることが明らかである。エーライトはビーライトよりも水和の進行が早く、初期材齢 (数日～1 ヶ月程度) での強度発現に寄与する。現代の普通ポルトランドセメントの主成分はエーライトであるが、明治期のセメントは CaO 分が少なく、焼成温度も $1,200^\circ\text{C}$ 程度と低かったため、ビーライトが主成分であったと考えられる。目地モルタルのセメントのエーライトは、ごく部分的に生成したものと思われ、当時の原料調合や焼成技術上、今日のような均一な組成のセメントを製造することが困難であったことを物語る。



土管接合モルタル 目地モルタル
図 5 EPMA マッピング分析により求めた CaO/SiO_2 モル比の分布 (測定領域 $0.8\text{mm} \times 0.8\text{mm}$)

3.3 間隙質の組成

エーライトやビーライトの間隙は、カルシウムアルミネート ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$) やフェライト ($4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$) 等の間隙質相で充填されている。図 3、4 の右図より、明治期のセメントは現代のセメントと比べ、相対的に間隙質が多い。これは当時のセメント原料が、現代のセメントより高 Al_2O_3 質であったことに起因する。当時の技術では、製造工程における精密な成分管理が不可能であり、またセメント原料は石灰石と川底泥土のみであった²⁾ ため、必然的に現代のセメントより高 Al_2O_3 質であった。明治 20 年から昭和 2 年までのセメントの主要元素 (CaO , SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3) 含有量の推移²⁾ を図 6 に示す。年代の経過とともに CaO が増加し、 Al_2O_3 が減少したことが明らかである。昭和初期には現在のセメントに近似した組成となった。原料調合と成分管理技術の向上により、組成が適正化されたことを物語る。

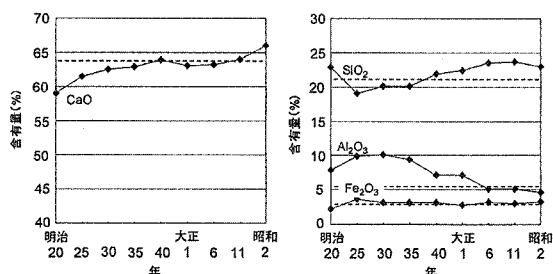


図 6 明治～昭和におけるセメント組成の推移
(点線は現代の普通セメントの標準的な値を示す)

4. おわりに

昨年に引き続き、約 120 年前のセメント硬化物の組成を分析し、当時のセメントの性状と製造技術について考察した。従来、古文書等による調査や測量等の現場調査が主体であった土木遺産研究に、化学分析の手法を取り入れることにより、新たな側面からの検証が可能と考えられる。今後の考古学的解析法としての応用が期待される。

〔参考文献〕

- 1) 近代土木遺産シンポジウム “- 野蒜築港跡「悪水吐暗渠」発掘調査からみる近代土木遺産- (H16.12.11)” 資料集
- 2) 小野田セメント製造株式会社 創業五十年史 (1931)
- 3) 中尾龍秀 “わが国のセメントの品質”、セメント・コンクリート、No.253、pp.27-40 (1968)