

SmeatonとAspdin

ポルトランドセメントの 発祥の地 Leedsを訪ねて

羽原 俊祐*

Leedsゆかりの人物たち

写真1は、イングランドのLeeds市にあるリーズ大学土木工学科玄関に立つ記念碑である。1974年に作られたものであるが、LeedsのJoseph AspdinがPortland Cementの特許を取得して150年記念(1824)、土木技術者というタイトル(称号)を最初に使った英国人であるJohn Smeaton生誕250周年の記念碑(1724)である。右側の人物はC.L.Page リーズ大学土木工学科教授である。2003年5月のセメント技術大会の、異例の2時間半という「コン

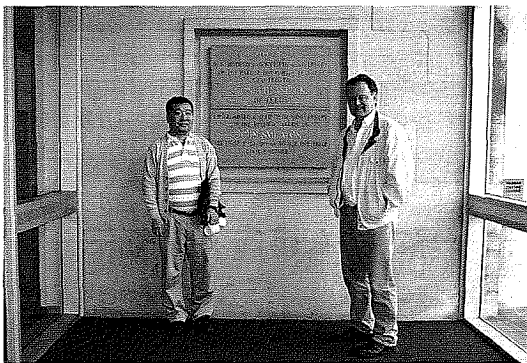


写真1 リーズ大学土木工学科玄関のAspdinとSmeatonの記念碑 [C.L.Page教授(右)と筆者]

クリート中の鋼材の塩化物による腐食」の特別講演者である(同講演の概要は、本誌No.682 2003年12月号で紹介)。

ロンドンから400km北北西に離れたLeeds市は内陸工業地帯として、近代では羊毛、織物が重要な産業であり、その中心地であったが、現在は金融が主要産業となっている。

SmeatonもAspdinもともに、Leeds市にゆかりのある人物である。このほどリーズ大学を訪問する機会を得たので、偉大なる先人の功績とポルトランドセメントの発祥について調べることにした。

SmeatonとAspdin親子の業績と関係する英国の歴史的事項を年表にまとめた(表1)。

Eddystone岩礁の灯台

イギリスはヨーロッパから3回の侵攻を防いだ。1588年スペイン無敵艦隊との海戦、1805年ナポレオンによるフランス・スペイン連合艦隊とのトラファルガー岬沖海戦、1940年ドイツ軍空爆である。1588年のスペイン無敵艦隊との海戦は、ドレーク艦長、ホーキンス艦長などの活躍のもと、プリム

* 太平洋セメント(株) 中央研究所 工博

VISITING TO LEEDS, THE BIRTHPLACE OF PORTLAND CEMENT
SMEATON'S AND ASPDIN'S HOMETOWN (by Shunsuke HANEHARA)

表1 SmeatonとAspdinの足跡

| 世界史 | James Smeaton | Joseph and William Aspdin |
|--|---|--|
| 1588年 無敵艦隊と対戦 プリムス沖、ポートランド島沖 | | |
| 1624 特許制度 (英国) | 1724年 西ヨークシャー Whitkirkにて誕生 (Leedsから東に4 mile) | |
| 1696 初代Eddystone灯台 高さ24m | 1748 ロンドンで科学機器会社設立 | |
| 1709 2代Eddystone灯台 18m | 1756 水理学に興味 | |
| 1759 3代Eddystone灯台 22m (Smeatonタワー) | 1756~59 王立学会会長が焼失したEddystone灯台の建設をSmeatonに依頼。 1762~1767 Coldstram橋工事従事 1767~1771 Perth橋工事従事 1768~1777 Clyde運河工事従事 1771 土木学会設立 1775~1780 Aberdeen橋工事従事 1777~1780 Hexham橋工事従事 | 1778年 Slip Inn Yardに、煉瓦職人Thomas Aspdinの子Josephとして誕生 |
| 1796 James Parker ローマンセメントを製造 | 1792 西ヨークシャー Whitkirkにて逝去 | 1800 父Thomas逝去 一家の生計をつかさどる |
| 1805年10月21日 トラファルガー岬沖の海戦 フランス・スペイン連合艦隊に勝利 | | 1811 Mary Fotherbyと結婚 1813 長男William誕生 1814 次男 James誕生, ほか娘4人 1824 10月21日 英国特許5022号「人造石製造の改良」 |
| 1838 テームズ川 地下トンネル工事に ポルトランドセメントを採用 (Brunel卿採用) 1841年完成 | 1830 土木学会 Smeatonの功績を称え、 Smeatonian Society of civil engineer スミートン記念土木学会に改名 | 1841 William独立 William セメントの改良に尽力 William ポルトランドセメントの優秀性ローマンセメントの2.4倍、 同業ポルトランドセメントの1.2倍 |
| 1881 4代Eddystone灯台 39m | | 1848 Aspdin逝去 1855 William逝去 1864 |
| 1904 Leeds大学設立 | | |

ス沖、ポートランド島沖の海戦に続き、カレーでの決戦に勝利する。英国の地図を図1に示す。英国王立造船所はプリムス(Plymouth)にあり、ポーツマスとならび英国南西部の中心的軍港かつ貿易港である。16世紀ドレーク艦長を始めとする探検家の遠征基地であり、1620年9月16日、102名のピューリタン徒新大陸移住者を乗せ、180総tのメイフラワー号が出航したのが、プリムスである。入植者の定住が認められていたバージニアに向かったが、11月21日、コッド岬の先端を回って現在のマサチューセッツ州プロビンスタウンに入港した。このように、軍港および海運基地としても重要な港がプリムスである。プリムスの沖合22kmにあるEddy岩礁の、唯一海上に露頭している部分は、Eddystoneと呼ばれ、この海域は船舶の座礁、難破など海難事故が多く、これらを避けるため灯台が必要とされていた。

1696年に初代灯台が建設されるが、灯台守とも

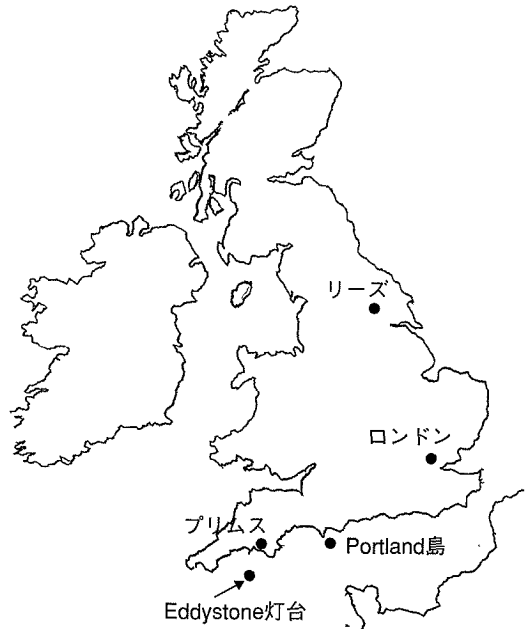


図1 イギリスの地図

に嵐により流され、1709年2代目灯台が建設されたが、木造であったため1755年に焼失した。このためプリムス港への航路の安全確保の上で、灯台

の再建が急務となった。

Smeatonの登場

アメリカ土木学会のWEB²⁾にも記載されているように、イギリスでCivil Engineerの称号を使った最初の人物がJohn Smeatonである。つまり、世界で最初の土木技術者である。1759年Eddystone灯台の建設工事の完了が彼の名声を高めた。

1724年有名な弁護士であるWilliam Smeatonの子としてLeedsから12km離れたWhitkirtで生まれ、進学校(grammer school)を卒業後、Londonで法律を学びながらも、王立学会(Royal Society)に加入し、科学技術への興味を覚えた。父の反対を受けながらも、1748年には科学機器の会社を開設させる。最初は、天文学などへの興味があったが、1752年までには工学分野に興味を持ち、数編の論文発表を行っている。やがて王立学会でも彼の業績が目されるようになった。こうしたなかで政府は1755年に焼失したEddystone灯台の再建の設計を王立学会に依頼することとなった。王立学会会長は当時34歳のJohn Smeatonに白羽の矢を立て、建設の責任者に任命した。Eddystone灯台は、プリムス沖22kmの沖合にあり、岩は満潮時には水没する小さな岩礁である。四方は海で波浪・風に耐え、灯台の光源となる火を守り切る堅固な構造が要求された。

Smeatonは、石作りの耐火構造の灯台工事建設

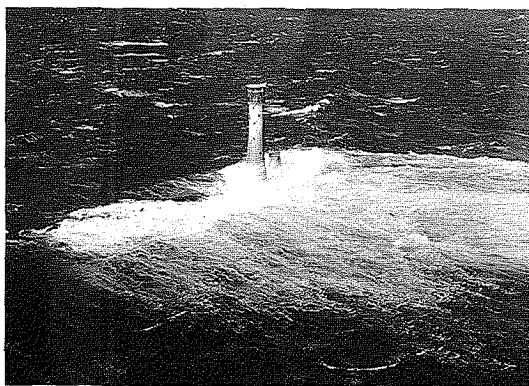


写真2 現在のEddystone灯台¹⁾



図2 James Smeaton²⁾

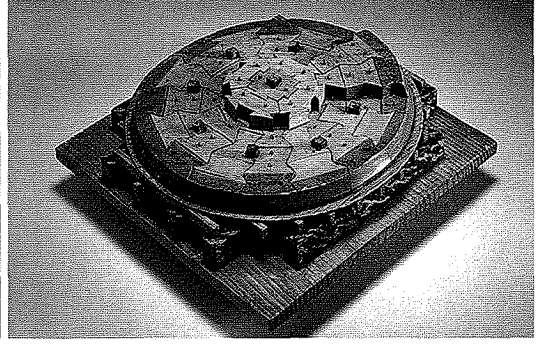
を決断する。木造と違い、重量物であるため、基礎はさらに巨大で、強固となる。Smeatonのここでの功績は、ポルトランドセメントにつながるポゾランセメント(ローマンセメントの原型)を考案したことと、基礎にインターロック構造となる石組み構造を採用した点であり、土木分野では後者の成果が高く評価されている。エジンバラの国立博物館に展示されている基礎の模型と土産として売られているEddystone灯台のモデルおよびSmeatonが建設したEddystone灯台の基礎部分の状況を写真3に示す。若いころの天文学への興味がうかがえる幾何学構造であり、岩礁へ鉄杭をうち、それを基点として大型の石材同士がインターロックする構造がよく理解できる。Smeatonは、このEddystone灯台の難工事を完工させ、その名声を高めた。

当時、目地剤として使われていたのは、消石灰(漆喰)であり、混練後、空気中の炭酸ガスと反応して硬化する気硬化性セメントであった。消石灰や炭酸カルシウムは、水や海水などにより洗い流されること、常時水中にある場合には十分に硬化

①実際の基礎部³⁾



②博物館に展示されている基礎部の模型³⁾



③土産として売られている灯台の模型¹⁾

写真3 Eddystone灯台の基礎

から、純粋な石灰石を焼成して作った石灰よりも、粘土分を含んだ石灰石から作った石灰のほうが、水中で使える水硬性セメントとなる」と結論付けている。

せず、強度が得られない。科学者でもある Smeaton は水硬性石灰の研究に取り組んだ。彼は、2 石灰に、1 オランダ Tarras (火山灰) を混合し、水と練り混ぜた玉にして濡れた布で覆った。この玉が 1 か月かけて硬化し、十分な強度を発現することを発見した⁴⁾。この結果をもとに、いろいろな種類の石灰石、消石灰を用いて検討し、試験を繰り返した結果、ブリストル海峡を隔てた北岸の Aberthaw 石灰石から得た石灰を用いた場合に、もっとも優れた性能の水硬性石灰が得られた。さらに粘土を含む石灰石を 1000℃ 程度で焼成し、これらを粉砕してセメントを得ることを考案した。石灰石中の粘土分が 3/14~1/17 ならば、そのセメントは、水硬性を示した。ここで得たポゾランセメント (消石灰と粘土仮焼物) は、James Parker などにより改良され、1796 年にローマンセメントとして生産販売されるに至った。

Smeaton はその後、Grangemouth と Glasgow (大西洋と北海) を結ぶ運河である Cylde 運河の建設や数々の架橋工事などに関係した。また、1771 年の英国土木学会の設立にその中心となって尽力し、同学会の会議にも常に参加した。1780 年以降は、仕事は徐々に減り 1792 年 68 歳で、生まれ故郷の Leeds 近郊の Whitkirt でその生涯をとじる。彼の死後、1830 年、Smeaton の功績を称え、土木学会は、スミートン記念土木学会と改名し、今日に至っている。1882 年 Smeaton の建設した灯台は、構造的には健全であったが、下部の岩石が壊れたこともあり、第 4 代の灯台建設が行われた。イギリスの人々はこれを惜しみ、灯台の石の一つ一つを Plymouth Hoe に移動し、移築した。再建された Smeaton's Tower は、現在プリムスのもっとも有名なランドマークとなっている。

Smeaton は、後世に記した Eddystone 灯台建設に関する報告の中で、「私はこれまでの試験結果

時代は少し進んで、ナポレオンによる欧州の制覇に続き、英国侵攻が切迫した状況となってきた。2 度目の英国侵攻に対し、ネルソン提督率いる英国艦隊とフランス・スペイン連合軍とのトラファルガー岬沖の海戦は、英仏海峡ではなく、ジブラ

ルタル海峡出口で1805年10月21日火ぶたを切った。海戦は1日で決着がつき、ネルソン提督率いる英国艦隊が圧倒的な勝利を収める。後の日本海海戦勝利でも、当時この海戦が引用されることが多く、東郷元帥とネルソン提督はともに、艦隊決戦における最高の英雄である。ところが勝利後、ネルソン提督はフランスの狙撃兵に撃たれ、戦死する。艦隊は、ロンドンへ向けて凱旋するが、提督のなきがらは、半世紀を経たSmeatonのEddystone灯台を道しるべに、帰還するのである。後日、ロンドンのトラファルガー広場で戦勝記念追悼会が行われることになる。なお、Joseph Aspdinがポルトランドセメントの特許を取得するのは、奇しくもこれより19年後の同日、10月21日である。

Aspdin親子

写真4は、Leeds市のCivic Trustの歴史的建築物/人物などを記念したモニュメントの青い記念碑⁵⁾である。この碑には、“Joseph Aspdin(1778～1855)Portland Cement one of mankind’s most important manufactured materials, was patented by Joseph Aspdin, a Leeds Bricklayer, on 21 October 1824. Aspdin lived in this yard(then called Slip Inn Yard)and first sold his cement Angel Inn Yard.” [ジョセフ・アスペディン 1778年誕生～1855年逝去 人類のもっとも重要な工業材料の一つであるポルトランドセメントは、1824年10月21日 Leeds市の煉瓦職人のジョセフ・アスペディンにより、特許が取得された。アスペディンは当地に居住した(当時はSlip Inn Yardといわれた)。最初のセメントはAngel inn yardに販売し、使われた。]とある。写真5は、現在の建物であり、all:sportsというスポーツ用品店になっている。住所は、6 Lands Lane, Leedsであり、駅から近い繁華街にある。鉄は武器として利用されるために作られたがセメントは、人間を守るため、利便を図るために作られたもっとも重要な材

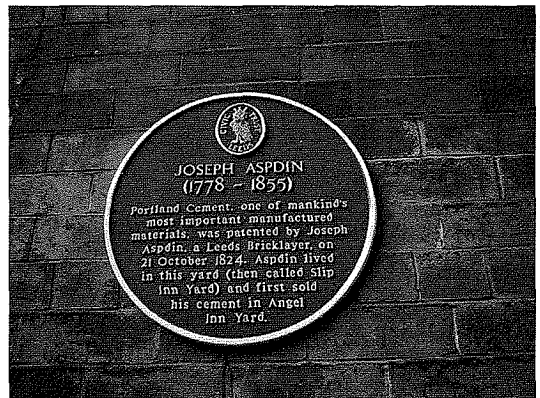


写真4 Aspdinの住居に掲げられたBlue Plaque



写真5 今はスポーツ用品店となったAspdinが当時住んでいた住居

料ということは同分野の技術者としては嬉しい限りである。

Angel Inn Yardはここから50mほど離れた場所にあり、現在もAngel Inn(レストラン+ホテル)として使われている(写真6)。店主に建物の古い部分はどこか質問し、裏側の部分は当時のままといわれた。写真7がそれでこの部分の目地に、Joseph Aspdinの生産したポルトランドセメントが使われたと思われる。さて、この碑は、英国セ

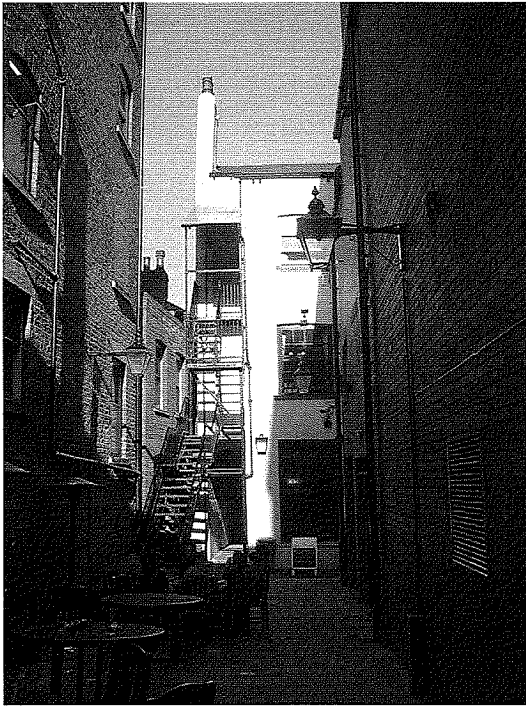


写真6 Angel Inn

メント協会のG.Moseley卿により寄贈されたものである。日本におけるセメントに関する歴史的な近代化遺産は多い。日本のセメント協会でもこのような形の社会貢献が望まれると思う。協会の研究所内にセメントの殿堂などをそろそろ設けてはどうだろうか。

Joseph Aspdinは、Leedsで1778年生まれである。前述のJ.Smeatonは1792年にLeeds近郊で逝去している。この時、J.Aspdinは14歳であり、直接指導を受けたことはない。Smeatonは北イングランドやスコットランドでも盛んに、運河や橋脚の建設に従事し、Eddystone灯台工事で開発した水硬性石灰(ローマンセメントの原型)は当然、利用されていたと考えられる。父親のThomasもレンガ職人であり、水硬性石灰の特性については理解していたとも考えられる。また、1796年にJ.Parkerによりローマンセメントが工業化され、汎用化している。当時を知る父のThomasからの教えか、Josephが独学で調べたのか不明だが、SmeatonのJ.Aspdinへの影響は大きく、これが発明に繋がっ

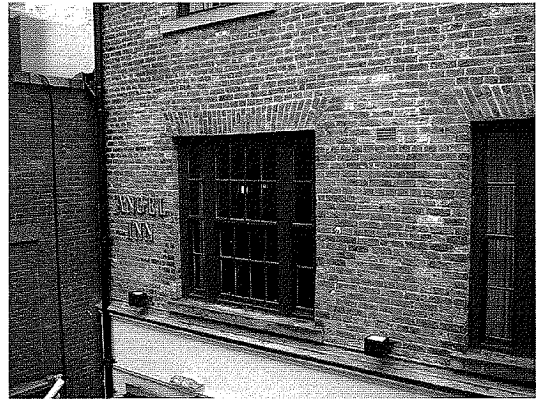


写真7 Joseph Aspdinの最初のポルトランドセメントが使用されているといわれるAngel Inn壁。目地として使われている。

て行ったのであろう。

後にJoseph Aspdinは、ローマンセメントに水を加えて反応させ、それを再度焼成することによりクリンカーを得、それを粉砕して、セメントにする方法を発明した。この技術は「人造石製造法の改良」として、1824年10月21日に特許を取得する。英国の特許法は、1624年に制定され、取得番号は5022号となる。この時、Joseph Aspdinは46歳で、Leeds近郊のWakefieldにセメント工場を建設し操業をスタートした。

彼は、プリムスから東北東に150km離れたPortland岬先端のPortland島特産の石灰石・Portland Stoneに色調が似ていることから、このセメントをポートランドセメントと命名した。日本にはドイツ経由で技術が紹介されたため今日でもポルトランドセメントと呼称する。なお、ポートランド島は長辺7km、短辺3kmの石灰石からできた島である(図1、写真8)。ポートランド島の石灰石の色調は灰白色である。イギリスの多くの建物に使われ、たとえば、王立交換取引所、タワーブリッジなどに使われ、遠くは、アメリカや中国に輸出されたものもある。

Joseph Aspdinの息子であるWilliam(写真9)は、若くから家業を支えたが、1841年の28歳の時、家族ゲンカがもとで独立し、父の会社を離れてロン

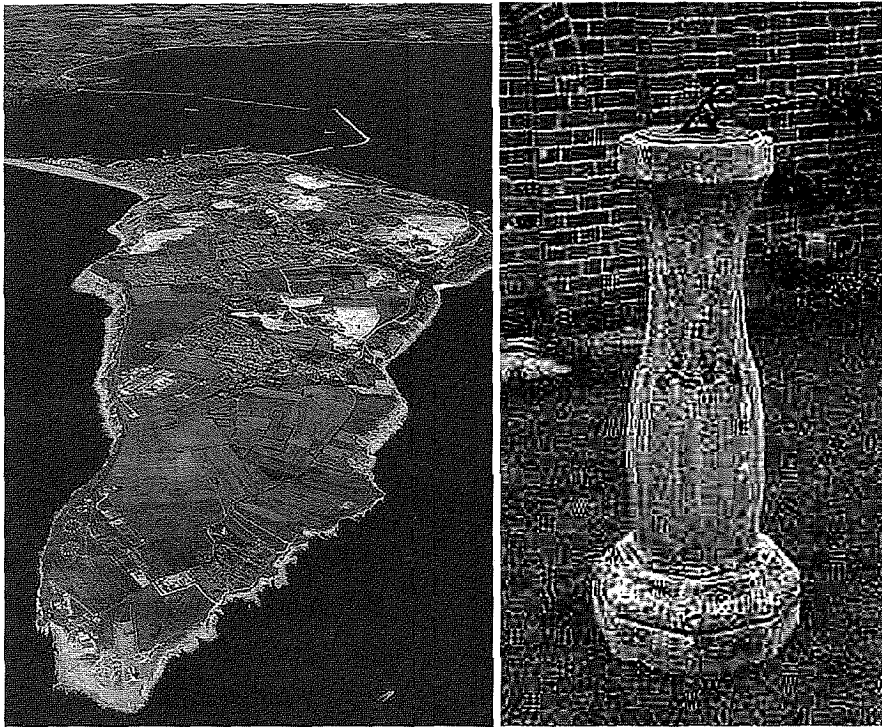


写真8 Portland島とPortland Stoneのできた門柱

ドンのテムズ川の南岸のRotherhitheにポルトランドセメント会社を創業する。

Williamは、経営者としては凡庸であり、創業した会社もやがて潰れるが、ポルトランドセメントの改良には尽力し、より高い焼成温度で焼成し、エーライト(C_3S)、間隙相(C_3A - C_4AF)を生成させ、半溶融(シンターリング)での焼成に成功した。KentのNorthfleetには、現存する最古のポルトランドセメントの窯(写真10)があり、この窯から採取したクリンカーを観察すると、 C_3S (エーライト)が認められ、 $1250^{\circ}C$ 以上の高温で焼成されたことが確認できる。Joseph Aspdinが出願した特許から、さらに品質の向上がなされ現在のポルトランドセメントに近い組成に近づけたのである。この功績は高く評価でき、まさに親子鷹である。

1841年Brunel卿により、ポルトランドセメントはRotherhiteとWappingとを結ぶテムズ川地下トンネルに採用され、その優秀性が認知された。1848年のWilliamのポルトランドセメントは、当



写真9 William Aspdin(1813~1864年)⁶⁾

時もっとも品質のよいローマンセメントの2.4倍の強度、同業社のポルトランドセメントと比べても1.2倍の強度を発現したと報告がある。

Williamは、1864年にItzehoeの地で不慮の事故がもとで49歳の若さでこの世を去るが、このような経緯で現在のポルトランドセメントの原型はできあがり、今日の趨勢に繋がっている。

ここで、イギリスCastleセメント社のPaul Livesey氏の協力を得て、当時のセメントの組成

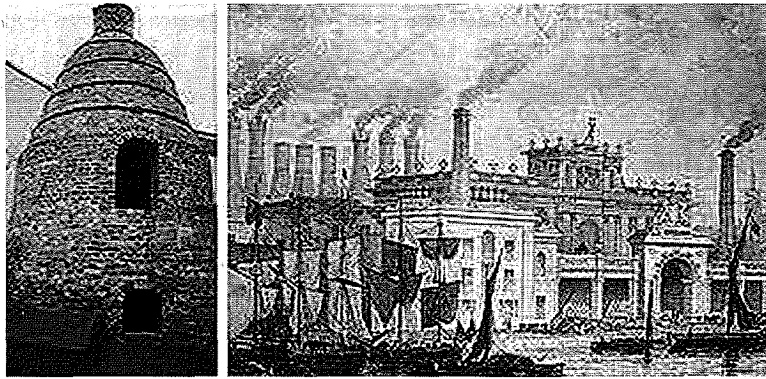


写真10 William AspdinによるNorthfleetのセメント工場⁹⁾

を調べてみた。表2に示すように、William AspdinのNorthfleetの堅窯から採取したセメントの組成は、Skemptonにより調べられたAspdin & Co.社のポルトランドセメントに類似し、しかも Sheerness Innで偶然見つかった当時の未使用のセメントとも組成的に近い。C₃Sが生成する組成であり、空隙質が生成し、エーライトが生成する温度1250℃以上で焼成されている。実際に、WilliamのNorthfleetのキルンから得たクリンカーには、今日のポルトランドセメントでは主要成分であるエーライト(C₃S)が得られ、空隙質が生成し、半熔融で焼結したクリンカーが得られており、今日のポルトランドセメントに近いものである。一方1853年にベルリン(ドイツ)で分析されたイギリス産のポルトランドセメントでは、C₃Sが生成するには、十分なCaOがなく、C₃Sは生成せず、水

和速度が遅いビーライト(C₂S)が主要成分になる。Joseph Aspdinの時代はむしろ、English Portland Cementのように、C₃Sを含まない組成であると推測される。1840年代から今日までのポルトランドセメントの性能改良の変遷を図3に示す。ただし、現在の普通ポルトランドセメントと比べ、著しくCaOが少なく、

Al₂O₃やFe₂O₃が多い組成となっている。

初期のポルトランドセメントの焼成温度は1200℃以下と思われ、ビーライトと生石灰が成分のようで、現在のポルトランドセメントの主成分であるエーライトは含まれていない。発展の歴史は、①英国における改良、②ドイツにおける化学成分と微粉末化による改良、③回転窯(ロータリ

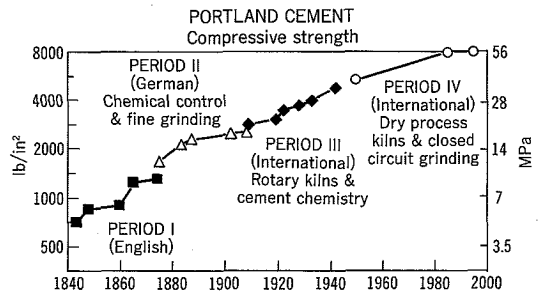


図3 ポルトランドセメントの品質の変遷(1840~2000年)⁸⁾

表2 1840年代当時のポルトランドセメントの組成

| | LOI | Insols. | CaO | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | MgO | Na ₂ O | K ₂ O | SO ₃ | HM | LSD | C ₃ S | C ₂ S | C ₃ A | CAF | CaSO ₄ | SiO ₂ | 出典 |
|--|-------|---------|------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|-------------------|------------------|-----------------|-------|------|------------------|------------------|------------------|------|-------------------|------------------|----|
| 1848 Aspdin & Co. | | | 59 | 22 | 6 | 5 | 1 | | | | 1.788 | 0.81 | 25 | 44 | 7 | 15 | | | 1 |
| 1853 English Portland Cement | | | 54.1 | 22.2 | 7.8 | 5.3 | 0.75 | 1.66 | 1.1 | 1 | 1.533 | 0.71 | 0 | 59.5 | 11.6 | 16.1 | 0.7 | 1.5 | 2 |
| William Aspdin Kiln at Northfleet | 7.18 | 1.52 | 57.3 | 19.8 | 6.7 | 3.3 | 1.74 | 0.27 | 0.25 | 1.52 | 1.923 | 0.86 | 30 | 38 | 13 | 11 | | | 3 |
| Famous barrels at the ship-on the-shore Inn at Sheerness | 18.61 | 1.45 | 49.2 | 19.6 | 5.8 | 2.8 | 1.1 | 0.12 | 0.21 | 0.93 | 1.745 | 0.76 | 7.6 | 63.2 | 13.1 | 10.5 | | | 3 |
| 現在のわが国普通ポルトランドセメントの例 | 0.44 | 0.15 | 64.5 | 21.4 | 5.5 | 2.9 | 1 | 0.24 | 0.37 | 2.06 | 2.16 | 0.92 | 53.5 | 21 | 9.6 | 8.8 | | | |

出典：1 A. W. Skempton, Portland Cements, 1843 - 1887, Excerpt Transactions of the Newcomen Society, Vol. XXXV, 1962-1963,

2 W. A. Becker, Erfahrungen Ueber den Portland-Cement, Berlin, 1853

3 R. G. Blezard, Chemistry Industry 1981 September 19

ーキルン)での焼成による改良, ④乾式キルンと閉回路粉碎による改良の4つに区分される。1840年当時は28日材齢圧縮強度5MPa程度であったのが, 化学成分と微粉末化により, 10~20MPaへと増進し, 1900年代に入り, 回転窯による焼成により20~35MPaに, 1950年代になりNSP, SPを中心とするプロセスとセパレーターによる閉回路粉碎により, 35~65MPaと増進して現在, 我々が手にすることができる高品質なセメントに発展したのである。

むすび

Leeds大学は, 1904年に創立され, 土木・コンクリート工学においても英国を代表する大学である。当然のことながら, Smeatonが教鞭を取ることではできなかった。工学部の土木工学科本館玄関前には, 写真1の記念碑があり, 玄関の明かり取りには, 大学が貢献した建設物(北海油田, 橋脚, ダム)を形取ったステンドグラスが入館者を歓迎する。玄関前には, 土木工学の父(祖)のJames Smeatonの肖像が配置され, Leedsゆかりの偉大なる2人の功績者を目標に, 新しいエンジニアが輩出されるのであろう。困難なプロジェクトが新材料の創出に寄与することと, 若い技術者がこの課題を克服してきた歴史がうかがえる。閉塞感漂う日本の現状のなかで, 大きな解決の糸口をつかむヒントを与えていただいた。滞在2日であったが, 奥様も研究者で同僚であるMary Page女史並びにC.L.Page教授の心あふれるおもてなしに感謝し, 由緒あるLeedsの街に滞在できた喜びを感じた。

なお, ポルトランドセメントの産業史は, 最近では, 名和豊春氏の「近代ポルトランドセメントの工業化」⁹⁾ などがある^{10,11)} が, 原本となっているのはBlezzard's chapter in Lea⁴⁾, History of calcareous cement Chemistry of Cement, latest edition is the fourth, 1998 published by Arnold in

London and John Wiley in Americaおよび藤井光蔵¹²⁾ 講義 ポルトランドセメント発達の沿革(1)~(18) セメント・コンクリート誌 1955~1957の二書と考えられる。特に, 後者については, 資料としては詳細, 精緻, 膨大であり, 当時のわが国セメント技術者の優秀さをあらわす指標である。読者の皆様には是非参照していただきたい。

【謝辞】 Leeds訪問に際して, 数々のポルトランドセメントに関する旧跡を紹介いただいたリーズ大学C.L.Page教授ならびに, 初期のポルトランドセメントについて数々のデータをお調べいただいたMr. P.Livesey(英国Castle Cement社)に, 衷心よりお礼申し上げます。この記事の作成にあたり両者の協力は必要不可欠でありましたことを報告し, お礼とさせていただきます。

【文 献】

- 1) http://www.btinternet.com/~k_tretheway/Lighthouse_News4.htm
- 2) <http://www.asce.org/history/bio-smeaton.html>
- 3) <http://www.nga.go/exhibitions/2000/baroque/475/htm>
- 4) R.G.Blezzard, "The history of calcareous cements". Lea's Chemistry of cement and concrete, fourth edition, p1-32.(1998)ISBN 0 340 56589 6
- 5) Blue Plaques of Leeds(A Leeds Civic Trust Publication 2001)ISBN 0 905671228
- 6) <http://www.darfordarchive.org.uk/technology/cement.shtml>
- 7) <http://www.akcansa.com.tr/cimento.html>
- 8) Paul Livesey, Portland Cement Strengths Through The Age(Private communication 2003)
- 9) 名和豊春/近代ポルトランドセメントの工業化, コンクリート工学, Vol.40, No.9, pp11~15, 2002.9
- 10) 内川 浩/セメントの材料技術の社会史(1)材料技術, Vol.12, No.9, pp.23~28, 1994
- 11) 羽原俊祐, 野村幸治/PCの新しい材料入門講座 No.3 セメント(その1), プレストレストコンクリート, Vol.41, No.3, May, pp.79~84, 1999
- 12) 藤井光蔵/講義 ポルトランドセメント発達の沿革(1) - (18), セメント・コンクリート, 1955~1957年, セメント協会

*