

焼却灰の建設資材化に関する調査

1. 研究目的

神奈川県下では、下水汚泥処分問題の解決策として、また、環境面への配慮から下水汚泥の有効利用を図ることが緊急の課題となっている。

同県では、下水汚泥の有効利用を行うにあたり、まず、県下の下水汚泥発生源において焼却により安定化と減量化をはかったうえで、広域的な汚泥有効利用を実施する方針を打ち出している。

汚泥有効利用の方向としては、神奈川県内の地域性を考慮すると、主に公共事業を中心に大量の需要が見込まれる建設資材利用が適当であると考えられる。

特に首都圏では天然の砕石、骨材の供給量が漸減していることから、砕石や骨材としての有効利用用途は有望であると考えられる。

一方、海岸線を長く有する同県では、海浜浸食による海岸線の後退が問題となってきており、養浜事業用の砂の需要が増加していることから、海浜砂の代替資材的用途にも注目が集まっている。

このため、焼却灰のより一層の減量化、安定化が達成できる一方で、このような建設資材としての有効利用を可能にする方法として、焼却灰の溶融が注目される。

溶融スラグのうち水砕スラグについては、既に数カ所で建設資材として利用が図られているが、ガラス質であるため対摩耗性や強度、コンクリートとの付着性の点で、天然資材に比べて劣る面があるため用途が制限されるという問題点がある。このため、

天然資材と遜色のない優れた品質を有し、様々な用途が期待できる砕石、骨材あるいは人工海浜砂を安定的に製造することが可能な技術開発が必要とされてきている。

本調査は、この様な状況を踏まえて溶融－徐冷－結晶化による高品質スラグ製造技術の実用化に関する基礎的検討を行うことを目的とするものである。

2. 研究の内容

本調査の主な内容は以下のとおりである。

(1) 資料収集・文献調査

下水汚泥の建設資材利用に関する文献を収集・整理した。

(2) 焼却灰発生量に関する調査

神奈川県下の稼働中の3つの流域下水道処理場について焼却灰発生量の予測を行った。

(3) 焼却灰性状及び溶融特性調査

上記の3処理場を対象に、定期的に焼却灰を採取して成分分析を行い、組成成分の変動及び溶融特性の変動について調査した。

(4) スラグ試作調査

3処理場の焼却灰を混合したものを原料にスラグの試作を行ない、性状試験、溶出試験等を実施した。

本稿では、以上のうち「焼却灰発生量に関する調査」「焼却灰性状調査」「スラグ試作調査」について、その内容を紹介する。

3. 対象処理場の概要

本研究で対象とした流域下水道の3処理場について表1にその概要を示す。

これらの処理場では、汚泥は濃縮後、高分子凝集剤を添加して脱水を行った後、流動床式焼却炉により焼却処理している。焼却灰は加湿後、陸上埋立処分されている。

4. 焼却灰発生量に関する調査

平成12年（西暦2000年）までの焼却灰発生量予測の結果、平成12年にはこれら3処理場合計で約60t/日（加湿しない状態）の焼却灰が発生する見込みとなることが明らかになった。

5. 焼却灰性状調査

5.1 分析項目等

3処理場から発生する焼却灰について性状調査を実施した。サンプリングは2週間に1回実施した。

サンプリング対象としたのは、流動床焼却炉より発生する加湿前の灰である。

分析項目及び分析方法及びその定量限界を表2に示す。

5.2 分析結果

図1に得られた分析値による焼却灰の平均的組成を示す。この図に見られるように、A処理場焼却灰は、SiO₂の含有量が多少多い傾向があるものの、高分子系焼却灰の全国平均組成にほぼ近い成分構成であることがわかる。

これに対して、B及びC処理場の焼却灰では顕著な特徴として、特にりん（P₂O₅）の含有量が20%程度と多くなっている。この原因としては、両処理場では水処理系でりん除去のために、エアレーションタンクに凝集剤を添加していることがその原因と考えられる。

焼却灰組成成分の変動については、A処理場ではSiO₂の含有率の変動が、B及びC処理場ではP₂O₅の含有率の変動がやや大きい傾向が見られた。

A処理場では、SiO₂の含有率が高いことと、その変動が大きいことについては、同処理場では焼却炉からの硅砂の流亡が多いこと等に起因しているものと考えられる。

図2はSiO₂ - Al₂O₃ - CaOの3成分により焼却灰を分類したものである。図に見られるよう

表1 対象処理場の概要

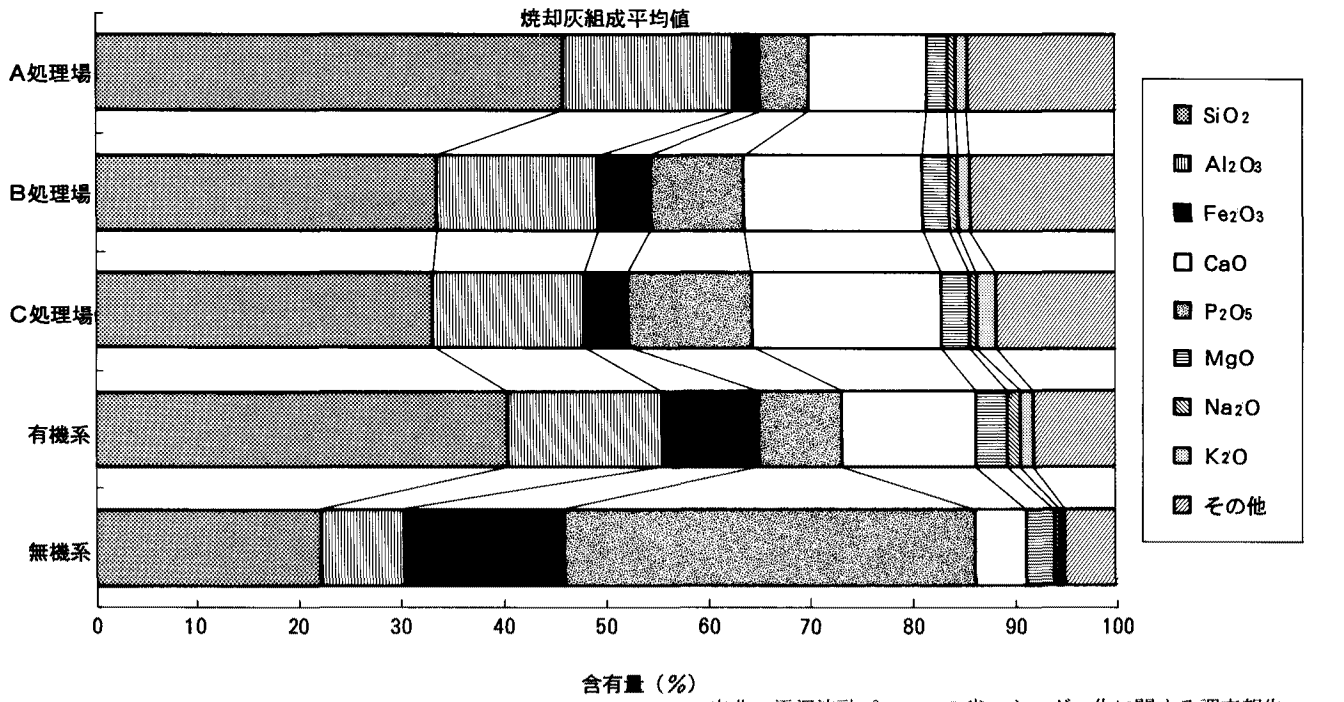
	A	B	C
排除方式	分流式	分流式（一部合流）	分流式（一部合流）
処理方式	標準活性汚泥法	標準活性汚泥法	標準活性汚泥法
計画処理人口（人）	179,700	663,400	1,343,500
計画処理水量（m ³ /日）	167,400	696,600	1,077,600
現況処理水量（m ³ /日）	41,700	191,900	244,900

（注）現況処理水量は平成5年度末時点

表2 焼却灰組成等分析項目・分析方法および定量限界

項目	単位	分析方法	定量限界	
SiO ₂	%	JIS M 8214	0.10	
Al ₂ O ₃	%	JIS R 5202	0.10	
MgO	%	JIS R 5202	0.01	
Na ₂ O	%	JIS R 5202	0.01	
K ₂ O	%	JIS R 5202	0.01	
P ₂ O ₅	%	JIS R 5202	0.01	
Fe ₂ O ₃	%	JIS R 5202	0.01	
CaO	%	JIS R 5202	0.01	
Cr ₂ O ₃	%	JIS R 5202	0.01	
MnO	%	JIS R 5202	0.01	
TiO ₂	%	JIS R 5202	0.01	
T-S	%	底質調査方法	0.01	
T-P	%	底質調査方法	0.01	
T-Cl	%	底質調査方法	0.01	
Cd	mg/kg	底質調査方法	0.05	
Pb	mg/kg	底質調査方法	0.20	
Zn	mg/kg	底質調査方法	0.05	
Cu	mg/kg	底質調査方法	0.10	
As	mg/kg	底質調査方法	0.05	
T-Cr	mg/kg	底質調査方法	10.00	
T-Hg	mg/kg	底質調査方法	0.01	
比重	-	JIS A 1202	-	
粒度	-	JIS A 1204	-	
含水率	%	下水試験法	0.10	
強熱減量	%	JIS R 5202	0.10	
	軟化点	℃	JIS K 2151	-
	熔融点	℃	JIS K 2151	-
	溶流点	℃	JIS K 2151	-

JIS M 8214：鉄鉱石中の二酸化けい素定量方法
 JIS R 5202：ポルトランドセメントの化学分析方法
 JIS K 2151：コークス類の試験方法
 JIS A 1202：土粒子の密度試験方法
 JIS A 1204：土の粒度試験方法



出典：汚泥溶融プロセスの省エネルギー化に関する調査報告

昭和63年 3月 建設省都市局下水道部・日本下水道事業団

図1 焼却灰の平均的組成の比較

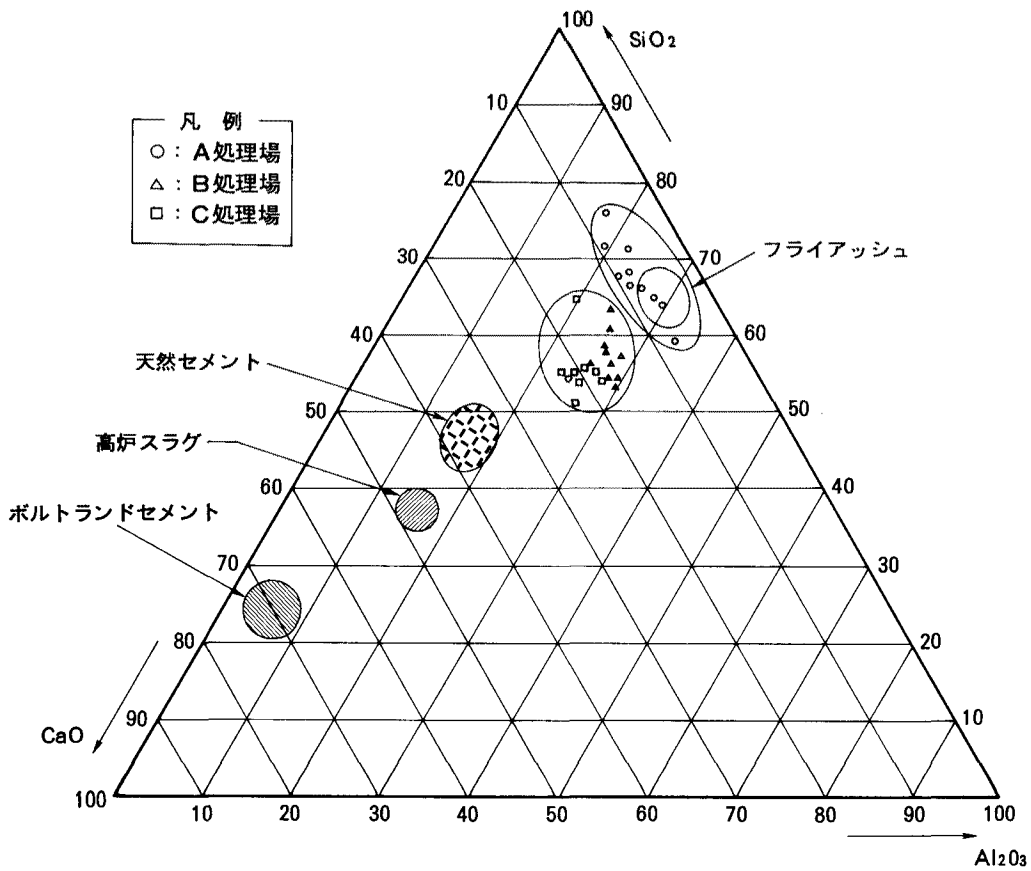


図2 SiO₂-Al₂O₃-CaO 3成分による分類

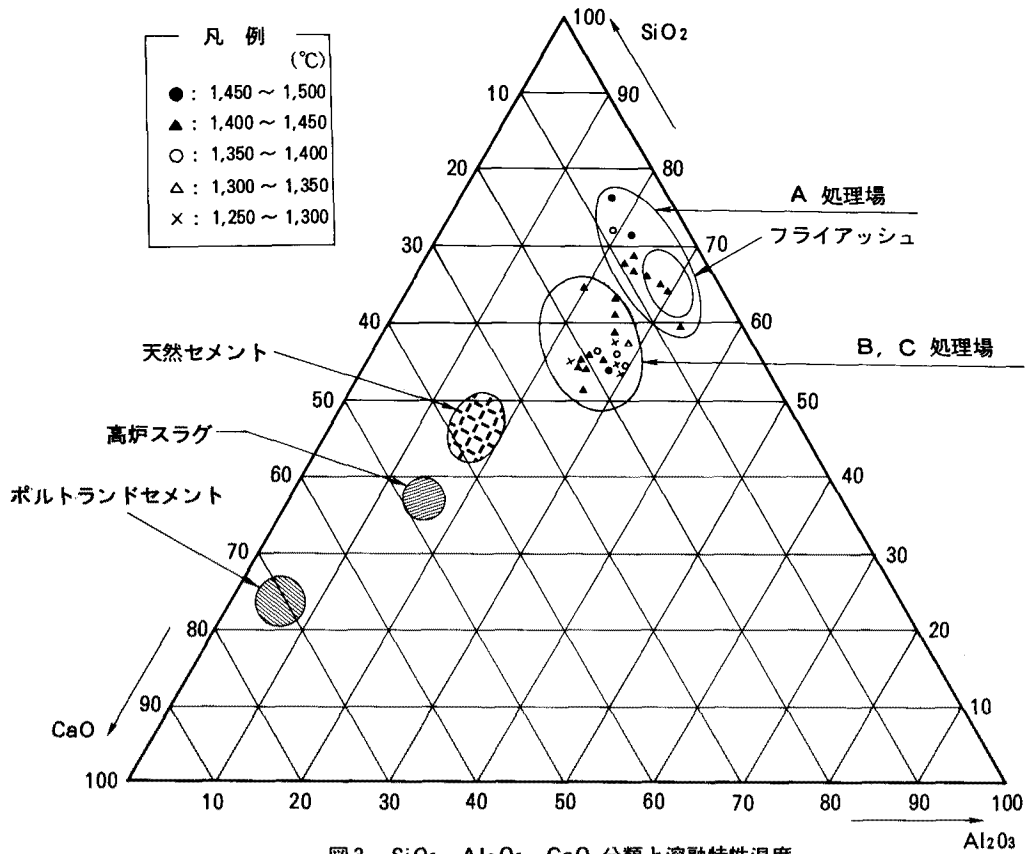


図3 SiO₂-Al₂O₃-CaO 分類と溶融特性温度

に、今回調査を行った3処理場の焼却灰は、A処理場とB及びC処理場の2つのグループに分類できる

このうち、A処理場の焼却灰はフライアッシュに近い成分組成であり、他の2処理場焼却灰はフライアッシュと天然セメント（注参照）の中間に近い組成を示している。

塩基度（CaO/SiO₂）については、3処理場とも高分子系焼却灰であることから、塩基度は平均値で0.11~0.37とかなり低くなっている。

5.3 焼却灰の溶融特性

焼却灰の溶融特性試験結果のうち、溶流温度をSiO₂-Al₂O₃-CaO成分分類図に示すと図3のようになる。図より、A処理場焼却灰が比較的溶流温度が高く、B及びC処理場の焼却灰はA処理場焼却灰より溶流点温度が低い傾向がある。

図4に、塩基度と溶流点温度の関係を示す。今回の調査では、塩基度調整を行っていないため、塩基度0.40以上になった場合の溶融特性については不明であるものの、塩基度0.40程度までは塩基度が高くなるにつれて溶流点温度は低くなってゆくことが分かる。また、溶融点についても同様な傾向が見られた。

図5は、りん含有量と溶流点温度の関係を示し

たものである。りん含有量が増大すると溶流点温度は低下してゆく傾向が見られる。

5.3 性状の予測

3処理場から発生する焼却灰を混合した場合の混合焼却灰の性状について、将来的な発生量との関連において予測を行った。この結果、混合焼却灰の塩基度については、発生量の最も大きいC処理場の焼却灰成分の影響が大きく、塩基度は将来にわたって、0.3程度で推移すると考えられる。

6. スラグ試作調査

6.1 溶融スラグの試作

3処理場の焼却灰を等量ずつ混合した試料について溶融スラグを試作した。焼却灰の溶融は小型電気炉を用いて行い、塩基度調整は行わなかった。塩基度調整した試料についての溶融スラグ試作については、次年度以降に行う予定である。

溶融スラグの冷却にあたっては、図6に示す冷却温度パターンに準拠して徐冷を行った。小型電気炉を用いて実験を行ったため図7に表示した温度パターンから多少のずれを生じた。図6中に実際の温度変化を併せて示した。

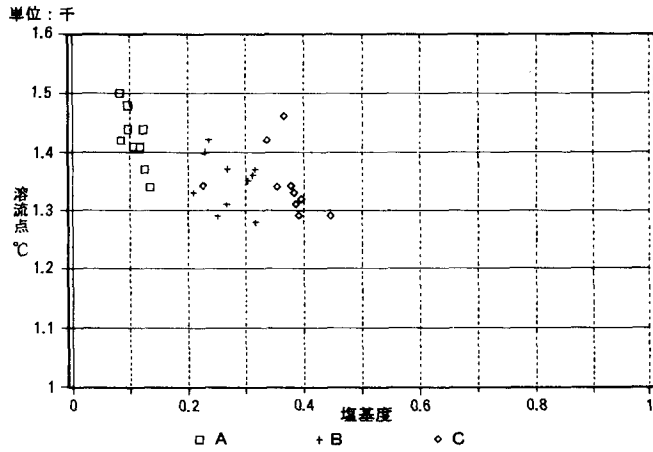


図4 塩基度と溶融特性の関係

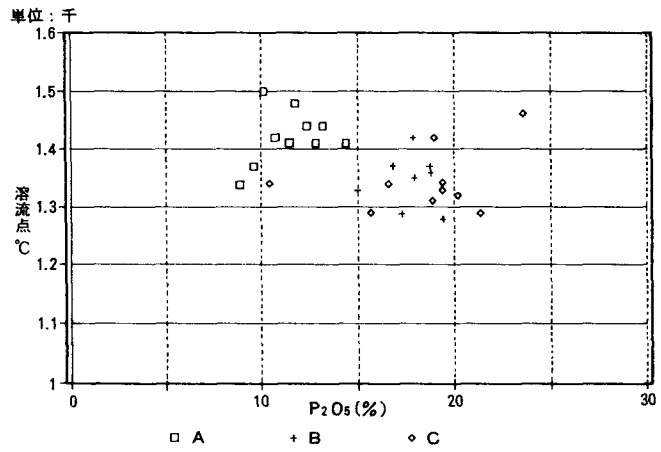


図5 P₂O₅の含有率と溶融特性温度

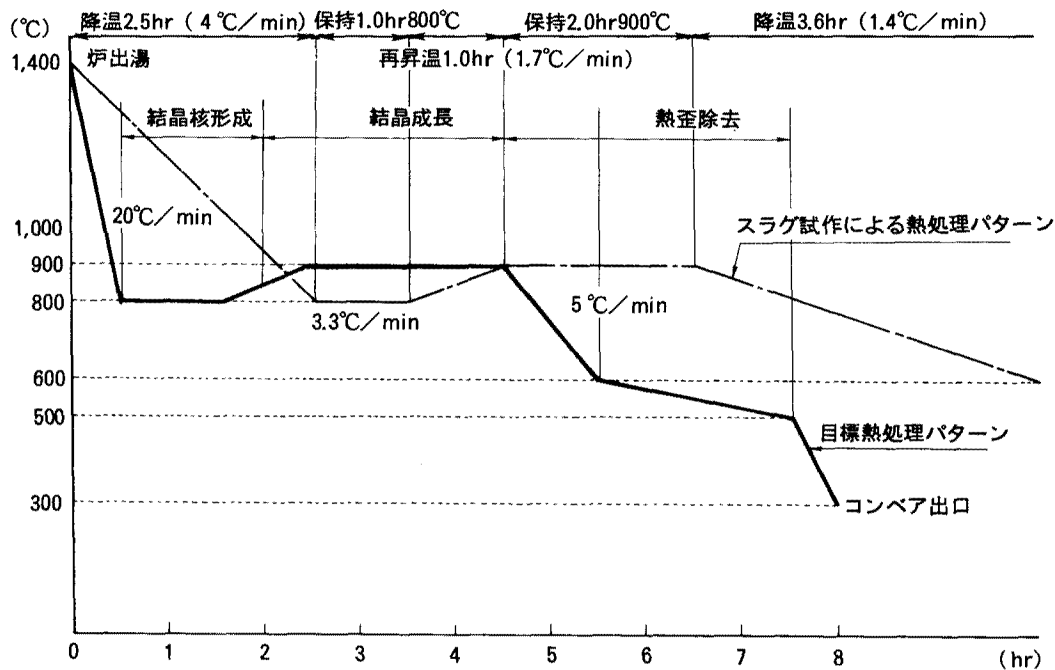


図6 熱処理温度パターン

6.2 溶融スラグの性状調査

試作したスラグについて性状試験、骨材としての品質試験及び溶出試験を実施した。性状試験については、元素分析、構成成分の同定及び結晶化度の測定を行った。測定方法は元素分析については、エネルギー分散型X線分光法 (SEM-EDX)、構成成分の同定及び結晶化度についてはX線回折法 (XRD) によった。

6.2.1 元素分析及び結晶化度測定試験

元素分析の結果によれば、スラグからはMg, Al, Si, P, K, Ca, Ti, Fe, Cuが検出された。これを焼却灰の元素分析結果と比較すると、焼却灰からは前述の元素に加えてSが検出されたものの、両者の間に大差はなかった。

結晶化度の測定結果によれば、今回試作のスラグはほとんど結晶化は進んでいなかった。この理由としては、塩基度調整を行わなかったことが主な原因であると考えられる。

6.2.2 骨材品質試験

骨材としての品質試験では、比重及び吸水率試験とすりへり減量試験を行った。試験方法は、前者は「JIS A 1109」、後者は「JIS A 1121」によった。

試験結果を表3に示す。表3には、参考にアスファルト舗装要綱の規格を示した。このように比重、吸水率については規格値を満足した。また、すりへり減量については、アスファルト舗装要綱のうち、下層路盤材の目標値は満足したが、その他の規格値に

表3 骨材品質試験の結果

試験項目		測定値	アスファルト舗装要綱	
			上層	下層
比重	表乾比重(-)	2.51	2.45以上	-
	絶乾比重(-)	2.51	-	-
吸水率(%)		0.12	3.0以下	-
すり減り減量(%)		44	30以下	50以下

については満足するに至らなかった。この原因としては、前項で述べたようにスラグの結晶化が進行しておらず、非晶質であったこと及び試料としたスラグは特に粒度調整を行わずに試験に供したため、スラグの鋭角部分の欠損が大きくなったことが考えられる。

6.2.3 溶出試験

溶出試験は「環境庁告示第13号」によって行った。試験の結果、対象となっている重金属類の溶出はいずれも認められなかった。

7. まとめと今後の課題

本調査では、3処理場より発生する焼却灰の溶融-

徐冷による高品質溶融スラグ製造技術に関して基礎的調査を行った。

本テーマについては、平成6年度以降、新技術活用モデル事業として神奈川県との共同研究により高品質溶融スラグ製造技術の実用化研究を実施する予定であり、本年度調査のなかで検討できなかった塩基度調整の効果や最適徐冷パターンについての検討を実証規模の実験設備を中心として実施する予定である。

(注) 天然セメント

天然産粘土質石灰石を焼成して製造したセメントでポルトランドセメントの前身。1791年英国のS. Smeatonは粘土質石灰石を焼いて水硬性セメントを製造し、水硬性石灰と称した。

1796年英国のJ. Parkerは同じようなセメントを製造し、古代ローマのセメントと外観の似たところからローマンセメントと称した。

1800年ころから、各国で同様なものが製造されるようになり、これが天然セメントといわれるものである。天然岩石をそのまま原料とするので、適する組成の岩石の産する地方だけに製造が限られていた。

現在では製造されていないが、ポルトランドセメントの歴史の上では重要である。

(出典 「化学大辞典」 共立出版株式会社)

●この調査に関する問い合わせは

研究第一部長

佐藤 和明

技術部技術課長

村上 孝雄

研究第一部研究員

大森 栄二