

海底浚渫土の焼成処理による改質効果に関する基礎的検討

Effect of Ignition Treatment of Eutrophic Sea Bottom Materials to Improve Sea Water Quality

鶴谷広一*・加納敏幸**・松下泰弘***

TSURUYA, Hiroichi, KANO, Toshiyuki and MATSUSHITA, Yasuhiro

* (財) 沿岸開発技術研究センター 理事・リサイクル研究部長

**前 (財) 沿岸開発技術研究センター 調査部 主任研究員

***現 (独) 海上技術安全研究所 次世代内航船研究開発プロジェクトチーム 企画調整グループリーダー

*** (財) 沿岸開発技術研究センター 調査部 研究員

This paper describes the experimental investigations to confirm the effect of ignition treatment of eutrophic sea bottom materials for the improvement of seawater quality. The production of dioxin is restrained for the combustion temperature greater than 750°C. The dissolution of nitrogen from the ignition treated bottom mud is well restrained as the combustion temperature increases. For phosphorus, the dissolution increased only for 750°C comparing with the untreated original bottom mud.

Key Words : eutrophic sediments, ignition treatment, organic matter, nitrogen, phosphorus, dioxin

1. はじめに

閉鎖性海域での水質悪化の改善はなかなか進まず、水質の環境基準の達成率は毎年ほぼ横ばいの状態が続いている。有機汚濁の指標の一つである COD 値は内部生産すなわち植物プランクトンの増殖による寄与がほとんどであり、総量規制が必ずしも効果的でないことがわかってきた。

この有機汚濁の主な原因の一つとして、海底に堆積した底泥からの栄養塩の溶出が考えられている。植物プランクトンの増殖には、日射量、温度、栄養塩が必要であるが、前者の2つは規制することができない。したがって、水質を浄化するための方法として、海底からの栄養塩の溶出を制限することが有効である。そのためには、浚渫した底泥を何らかの方法で改質して、これを元の海底に戻すことや、干潟材として浅海域に還元する方法が考えられる。平成9年度には、当センターが募集した「みんなで創ろう海洋国日本！未来のアイデア大募集」で、「Sea Sweeper～東京クラゲ～」が企業部門最優秀賞を受賞したが、この中で海底に堆積したヘドロを吸引し、脱水・焼成後海に戻すという考え方が提案されている¹⁾。

改質後の底質には、有機物や栄養塩類、および有害物質などの溶出が少なく、再泥化を起こしにくい品質が求められる。このような品質を満足する改質の処理方法としては、焼成処理およびセメント添加・脱水処理が考えられる。しかし、海域の底泥を改質して、その溶出特性や物理特性を詳細に検討した例はほとんどない。そこで、効果的な底泥処理技術の確立を図ることを目的として、今回は焼成処理とセメント添加・脱水処理で改質された底泥の溶出特性を中心に、実験室で検討を行った結果について報告する。

2. 調査の方法

2.1 底泥の採取

底泥を採取した場所は、川崎港東扇島地区の泊地内であり、水深は14m程度である。採泥時にはクレーン台船からバケット(0.7m³級)を海底まで降ろし、海底面に到達後、なるべく乱さないように海底土を採取した。採取した試料は、極力空気に触れないように20リットル容器8個程度に満杯状態で密閉して詰め、試験実施場所まで運搬した。

採取した底質は暗緑色を呈し、あまりきつくはないが、ヘドロ特有の臭いを発していた。

2.2 改質

(1) 乾燥・焼成処理

採取した底泥を乾燥炉で乾燥させた後、焼成炉で焼成した。焼成は処理費用に占める割合が高いので、焼成費用を安価にするためには焼成温度をできるだけ低くする必要がある。そこで、焼成温度を500°C、750°C、1000°Cの3種類に設定し、焼成温度による改質効果の違いを確認することにした。

温度の一番低い500°Cは焼成が不完全な状態で、有機物やダイオキシン等が発生し残存する可能性のある温度、750°Cは鉍物の結晶水の離脱など、鉍物の構造変化が生じる温度、1000°Cは焼成により底質の大幅な強度増加が認められる温度である。

焼成物はフルイにかけ、粒径を2～10mm程度(礫相

当の粒径)にそろえた。図-1に焼成による改質の手順を示す。

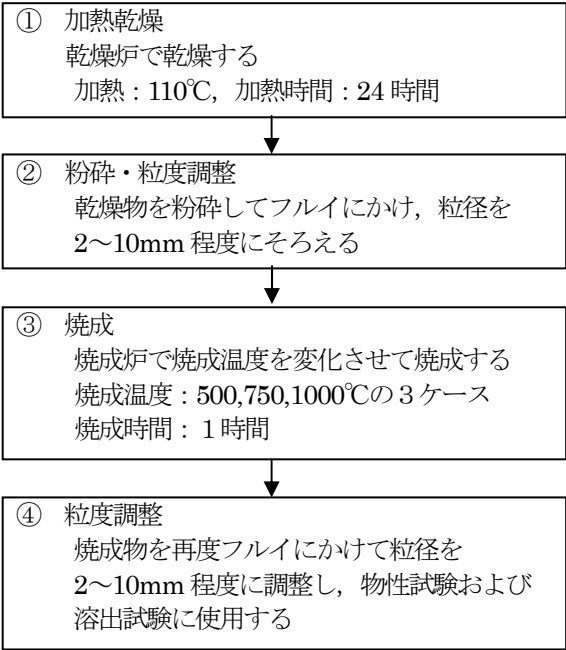


図-1 焼成による改質手順

乾燥炉で 110℃で乾燥した試料は板状となり，乾燥収縮によりひび割れた状態になる。これをフルイにかけながら手作業で粉碎し，粒径を 2～9.5mm に調整した。粒度調整した乾燥試料を焼成用のるつぼに入れ，焼成炉で所定の温度で焼成した。焼成物は焼成温度で多少異なるが，赤色を呈していた。これは，原底質に含まれる鉄分の酸化によるものと考えられる。なお，るつぼ表面の試料と内部の試料では，赤色の程度が異なったが，これは酸化の程度の差と考えられる。ただし，予備的に焼成時間を 2 時間にしても，色の状態は 1 時間とほぼ同様であり，1 時間焼成と 2 時間焼成で重量変化も見られなかったため，焼成時間は計画通り 1 時間として，物性試験，溶出試験で使用する試料を作成した。なお，比重・吸水試験用の試料は，110℃乾燥試料の段階で粒径 25mm 程度の塊状とし，焼成処理を行った。

原底質		原底質の物性
体積	1.0m ³	
重量	1.368t	
		湿潤密度 $\rho_t=1.368\text{t/m}^3$
乾燥処理		含水比 $w=129\%$
重量	0.597t	
焼成処理		強熱減量 $Li=7.9\%$
重量	0.550t	

図-2 原泥 1m³から製造される焼成物の量

図-2は，原泥 1 m³から製造される焼成物の量を示したものである。図では重量のみを示してあるが，体積については，焼成物の粒度（造粒状態），堆積状況で密度が異なるため，今後実プラントでの造粒状態，海中への投入・堆積状態を確認し，海域への還元時の造成体積を把握する必要がある。

(1) セメント添加・脱水処理

底質の含水比を調整してスラリー状とし，セメント添加が可能な加圧脱水試験機を使用して改質を行った。改質強度は第 2 種改良土相当（コーン指数 $qc \geq 8\text{kgf/cm}^2$ ：砂質土，礫質土相当）を目安とした。このため，セメント添加量を 3 水準(20,40,60kg/m³)に設定して改質を行い，材令 7 日の強度が $qc \geq 8$ を満足し，セメント量が最も少ない 1 ケースについてのみ物性試験および溶出試験を実施した。脱水ケーキの強度試験は，コーン貫入抵抗値と一軸圧縮強度との間に相関が認められるフォールクーンの貫入量で評価した。使用したセメントは，普通ポルトランドセメントである。また，焼成物と同様に，脱水ケーキは粉碎し，フルイにかけて粒径を 2～10mm

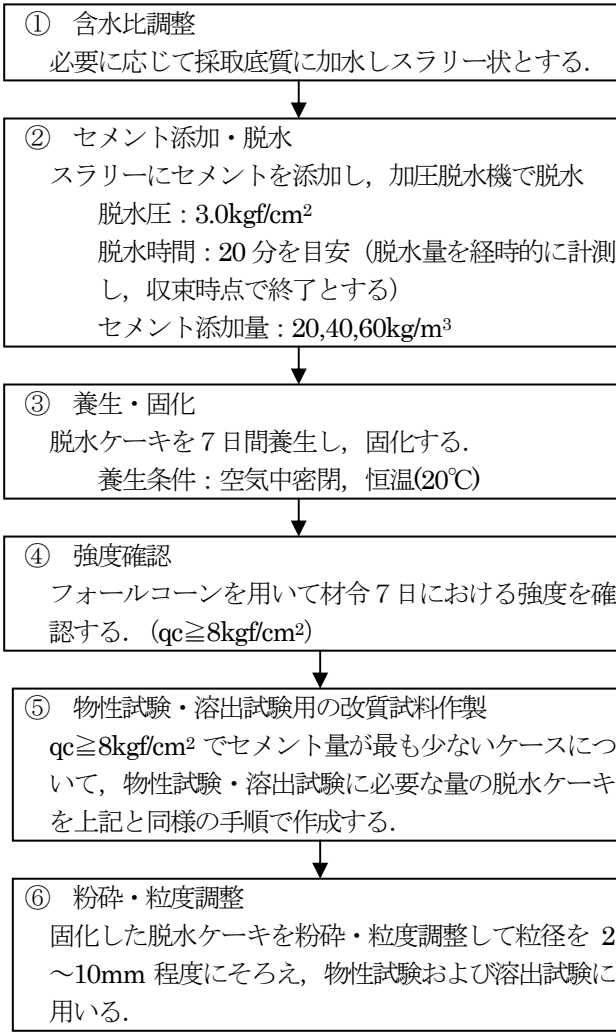


図-3 セメント添加・脱水による改質手順

程度（礫相当）にそろえた。図-3にセメント添加・脱水による改質の手順を示す。

2. 3 溶出試験

(1) 試験方法

原底質と改質物について、汚濁物質や栄養塩の溶出特性を調査した。容量および試料と海水の比率等は、「セメント及びセメント系固化剤を使用した改良土の六価クロム溶出試験実施要領（案）」の「タンクリーチング試験」²⁾に準拠した。

試験用では、原底質と改質物の溶出特性の違いを明確にするため、有機成分や栄養塩を含まない無機海水を使用した。

試験は底質からの栄養塩の溶出が増加すると言われている嫌気的条件を標準とした³⁾。ただし、代表的なケースとして原底質と750℃焼成物については、好気的条件下での試験も実施し、海水に含まれる溶存酸素量の違いが

- ① 原底質、改質物（乾燥重量：400g）を人工海水（4ℓ）に浸漬する。
- ・嫌気的条件(人工海水中に窒素ガスを散気):全ケース
- ・好気的条件(人工海水中に空気を散気):原底質、750℃焼成ケース

- ② 所定期間放置（20℃恒温室内静置）
- ・28日間放置：全ケース
- ・1, 7, 14日間放置：原底質、750℃焼成（好気、嫌気条件）

- ③ 海水を軽く攪拌して採水（採水：1点/供試体）

- ④ 採水した海水を分析する

図-4 溶出試験方法

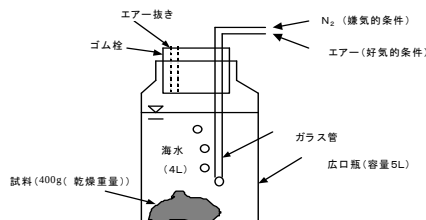


図-5 溶出試験装置

溶出量に与える影響を把握することとした。また、代表ケースである原底質と750℃焼成物については、嫌気的条件と好気的条件の両条件で、放置時間の経過に伴う溶出量の変化を確認した。この場合、同じ試験体で所定時間毎に採水する方法では、採水時の濁りの影響や補給水

の考え方に問題が残るため、放置時間毎に試験体を作成して正確なデータが得られるよう万全を期した。

図-4に試験方法、図-5に溶出試験装置の概略を示す。

(2) 試験ケース及び分析項目

溶出試験の試験ケースを表-1に、分析項目を表-2に示す。

表-1 試験ケースおよび分析実施時期

試験No.	底質	散気条件	放置期間				
			0日	1日	7日	14日	28日
0	人工海水のみ	初期状態	○				
0-a		嫌気					○
0-b		好気					○
1-1-a	原底質 (乾燥処理なし)	嫌気		○	○	○	○
1-1-b		好気		○	○	○	○
1-2-a	原底質 (乾燥処理あり)	嫌気					○
1-2-b		好気					○
2-1	焼成物	500℃	嫌気				○
2-2-a		750℃	嫌気		○	○	○
2-2-b			好気		○	○	○
2-3		1000℃	嫌気				○
3	セメント添加・脱水	嫌気					○

表-2 分析項目

項目	分析方法の基準
① pH	JIS K 0102 12.1 ガラス電極法
② 溶存酸素(DO)	JIS K 0102 32.3 隔膜電極法
③ 化学的酸素要求量(COD)	JIS K 0102 100℃における過マンガン酸カリウムによる酸素消費量
④ 全窒素(T-N)	JIS K 0102 45.1 総和法
⑤ 全リン(T-P)	JIS K 0102 46.3.1 ペルオキシニ硫酸カリウム分解法

3 試験結果

3.1 原底質と改質材の化学性状

図-6に、原底質および改質材に対する含有量試験結果を示す。含有量試験は「底質調査方法」（環水管第127

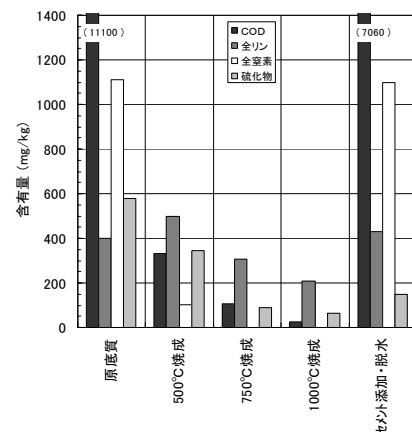


図-6 原底質・改質材の含有量試験結果

号) に準拠した。

COD は、焼成温度の上昇に伴って減少する傾向を示しており、焼成処理によりほとんどの有機成分が消失していると考えられる。全窒素と硫化物についても、焼成によって含有量の低減が認められる。これは、焼成によって底質中の窒素成分は NOx として揮散し、硫化物成分は SOx や硫酸イオンへの変化によって減少したものと考えられる。全リンについては、1000℃焼成でも原底質の約 5 割の含有量を示しており、焼成による全リンの低減効果は他の物質と比較して低くなっている。一方、セメント添加・脱水処理については、硫化物の低減効果は認められるものの、COD、全リン、全窒素についての低減効果は認められない。

海域の底質の焼成処理においては、ダイオキシンの生成が懸念される。ダイオキシン含有量の分析結果を表-3 に示す。

表-3 ダイオキシン含有量
(単位 pg-TEC/g)

原底質	19
500℃焼成	250
750℃焼成	0.3
1000℃焼成	0.041

表-3 によれば、500℃焼成ではダイオキシンが増加するものの、土壤環境基準 (1000 pg-TEQ/g) 以下である。さらに焼成温度を上昇させると、ダイオキシンの濃度は急激に減少し、1000℃焼成ではほとんど検出されなくなる結果となった。

3.2 溶出試験結果

図-7 に溶出期間 2 日後の溶出試験の結果を示す。焼成処理した改質材では、3.1 に示した含有量と同様に

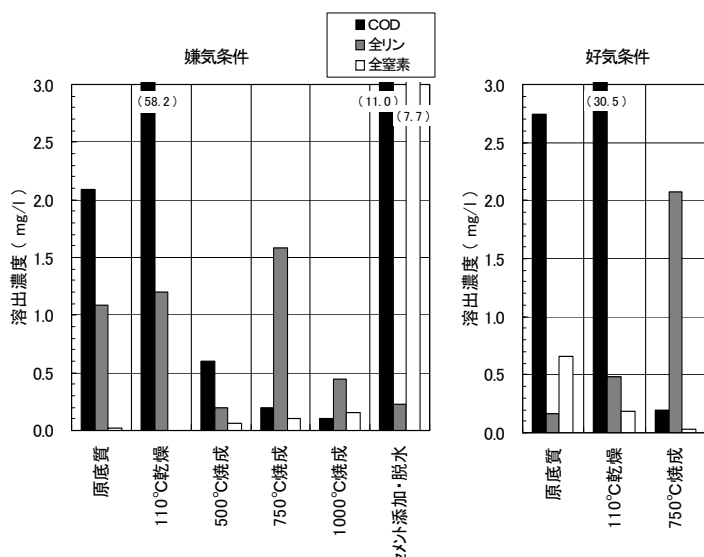


図-7 溶出試験結果

COD の溶出低減効果が顕著に認められる。全窒素は、嫌気条件では原底質でもほとんど溶出せず、焼成処理でも低い溶出濃度となっており、好気条件では 750℃焼成で溶出低減効果が認められる。全リンについては、嫌気、好気条件とも 750℃焼成で原底質の溶出濃度より増加する結果となった。リン溶出の詳細なメカニズムは不明であるが、焼成による金属イオンの形態変化に依存することも考えられる。好気条件の 110℃乾燥処理材については、COD 溶出濃度が非常に大きくなっている。これは粒状体とした乾燥処理剤の表面積が、原底質に比べて大きいと考えられる。

セメント添加・脱水処理材についてみると、リンの低減効果だけが認められ、COD、全窒素については原底質の溶出濃度より大幅に増加する結果となっている。

4 おわりに

富栄養化した海域の底泥を焼成処理することにより、底質中の有機物、栄養塩類の含有量が大幅に低減されることが明らかになった。ただし、500℃焼成ではダイオキシンが増加し、750℃焼成ではリンの溶出低減効果が認められない結果となった。

今後、焼成システムを含めた全体システムの構築と、コストも勘案した実用的な処理方法を検討する必要がある。また、焼成材を干潟材に用いた場合の生物の生息過程についても検討する必要がある。

謝辞

本論文は、「平成 12 年度底泥処理効果検討調査」(国土交通省 関東地方整備局 横浜港湾空港技術調査事務所発注) において実施された研究成果をとりまとめたものである。ここに記して深甚なる謝意を表する。

参考文献

- 1) (財) 沿岸開発技術研究センター: Coastal Development, No. 27, 125p., 1998.
- 2) 建設省技調発第 49 号: セメントおよびセメント系固化剤を使用した改良土の六価クロム溶出試験実施要領 (案), 2000.
- 3) 細川恭史・三好英一・堀江 毅: 栄養塩溶出速度の温度/D O 依存性について, 港湾技研資料, No. 405, 39p., 1981.