

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 2 日現在

機関番号：32665

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26420831

研究課題名(和文) 海の除染：マイクロバブルと微生物を利用した海底堆積汚泥からの放射性セシウムの除去

研究課題名(英文) Ocean Decontamination: Removal of Radio Cesium from Ocean Sludge Using Micro Bubbles and Activating Microorganisms

研究代表者

岡本 強一 (OKAMOTO, Kyoichi)

日本大学・理工学部・准教授

研究者番号：50256806

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：原発事故により陸地が放射性物質により汚染された。しかも東京湾にも河川から放射性セシウムが流入し、事故以前の13倍になったとの報告もある。よって、海の除染を早急に行う必要がある。一方、申請者は堆積汚泥の分解法としてマイクロバブルと微生物活性剤を用いた循環型浄化システムを既に開発していた。

そこで、放射性セシウムは堆積汚泥の表面に吸着しているとの仮説から、堆積汚泥を分解することによって放射性セシウムを除去しようと考えた。さらに、残存した堆積汚泥中のセシウムを凝集剤で沈殿させることを案出した。結果として最適稼働時間(50%以上短縮)と最適凝集剤量(80%減少)が求められ、画期的なシステムとなった。

研究成果の概要(英文)：The Fukushima nuclear accident of March 11, 2011, soil and water had been contaminated by radioactive cesium. Moreover, radioactive cesium was found in the ocean sludge in Tokyo Bay flowing from rivers. Cesium adsorbed on the sludge cannot be easily removed. One of the authors developed purification system of circulation-type by micro-bubbles and activating microorganisms. Based on the hypothesis that radioactive cesium is adsorbed on the surface of the sludge deposition. It is considered cesium can be eluted after decomposing sludge. Once the cesium is eluted in the water, it can fix to a mineral such as zeolite. Eluting cesium, however, so much time that is over 120 hours. We added the concept of removing cesium in the left sludge by flocculation method and then followed by coagulating sedimentation method. The results by experiments are the effectivity and efficiency in removing radioactive cesium, since generating time was reduced 50% and amount of coagulant was reduced 80%.

研究分野：海洋環境工学

キーワード：海の除染 放射性セシウム マイクロバブル 微生物活性剤 凝集剤

1. 研究開始当初の背景

2011年3月11日の東日本大地震によって発生した原発事故により、陸地が放射性物質により汚染された。これに対し、地盤の上皮を削る、上層を流す等、いわゆる「除染」が行われている。

一方、東京湾の海底土に含まれる放射性セシウムが2011年5月の時点で、約7か月間で最大13倍に増えたとする記事(読売新聞; 2012年5月14日)がある。これは原発事故で放出されたセシウムが河川から東京湾に流れ込んだとされている。海底下1メートルまでの土に含まれるセシウムの量は1平方メートル当たり最大2万7213ベクレルとの調査結果がある。このセシウムを除去することは早急に行わなければならない重要な問題である。すなわち、陸の除染ならぬ「海の除染」が非常に重要である。

東京湾のような閉鎖性内湾では、貧酸素水塊の形成、青潮の発生等の水質汚濁現象が頻繁に発生している。この原因の一つに堆積汚泥(ヘドロ)の問題がある。

申請者らは環境への負荷が少ない水質浄化技術としてマイクロバブル技術を用いて、閉鎖性水域の堆積汚泥や水質浄化に関して成果を上げてきた。このマイクロバブルの高い酸素溶解能力を利用し、嫌気的狀態に酸素を供給することで好気性微生物による有機物の分解に十二分に利用可能であると考えた。ここで、マイクロバブル技術を用いると、最初に硫化水素が低減できることは既に示されている。しかし、溝口らによるとマイクロバブルを止める(酸素供給をやめると)堆積汚泥(ヘドロ)が再度生成されてしまうという報告がなされている。

そこで、申請者らは、海底堆積汚泥に対して、マイクロバブル技術を利用し、酸素を供給することで好気性状態を維持し、さらに微生物活性剤を投与して、現地に存在するが休眠している微生物を活性化させて、その作用による効率的な分解・浄化による循環型浄化システムを開発している。特に、このシステムでは、堆積汚泥の主成分である硫化水素(H_2S)を最初に除去し、微生物活性剤によって、微生物の作用により栄養塩である全窒素(T-N)について分解・浄化することが可能である。さらに、実際に微生物の作用による浄化を行うには、3ヶ月または半年から1,2年と長期間かかっていた。(特に溝口らの研究では3ヶ月以上と長い時間が必要となっている。)このシステムにおいては、堆積汚泥の処理に要する時間はほぼ5日間程度となっている。

2. 研究の目的

そこで、放射性セシウムは堆積汚泥の表面に吸着しているのではないかと仮説から、この堆積汚泥を分解することで、放射性セシウムが溶出し、除去できるのではないかと考えた。

本申請はマイクロバブルと微生物活性剤を併用することによって、微生物の助けを借りた循環型浄化システムを用いて、堆積汚泥の分解による放射性セシウムの溶出挙動の解明、および短時間・大量処理可能である効率的なセシウム除去システムを開発することを目的とする。

3. 研究の方法

マイクロバブルによる高濃度酸素水の供給により、貧酸素状態が好気性状態に変化した後、微生物活性剤を添加し、微生物の活動によって堆積汚泥を分解することによって、放射性セシウムを溶出させるシステムを構築する。

その為に、環境条件の制御可能な室内実験により、水温、活性剤濃度、循環流速などの最適稼働条件を確定しようとした。

(1) 循環型浄化システムの最適稼働条件

図1の循環型浄化システムに海水、堆積汚泥(ヘドロ)とセシウム(塩化セシウムを使用)をいれ互いに循環させる、6時間後微生物活性剤を投与する。好気性状態への堆積汚泥の性質転換の確定などより、pH、溶存酸素(DO)、水温、堆積汚泥の主成分である硫化水素(H_2S)、セシウム及び栄養塩である全窒素(T-N)、全りん(T-P)について計測を行う。

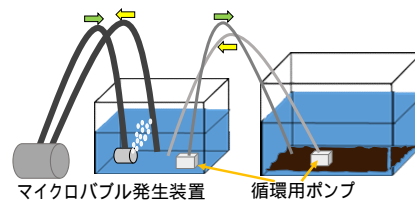


図1. 循環型浄化システム

次に、メカニズムを調べる為に、システム内の物質の化学的变化の確定と生物学的変化の特性を調査する。

(2) 浄化システム内のメカニズムの確定

図2の浄化システム内にゼオライトを投入して、循環させるシステムを用いて、これまでと同様の実験を行う。測定項目としては液・固相中のセシウムを調べる。また海水のサンプリングにより、培養、分離を繰り返す単離培養法を用いて、微生物を特定しようとする。

さらに、溶出能力向上を意図して、

(3) システムの最適形態を目指して、セシウムの最適溶出システムの確定を行う。ここでは、他の海域の微生物の場合はどうか、特定された微生物の大量投与を行う。

(4) 最終的に、セシウムの最適除去システムを確定しようとする。

4. 研究成果

(1) 循環型浄化システムの最適稼働条件

最適稼働条件としては、従来の循環型浄化

システムとしての実験条件でよいとの結果を得た。また、セシウムは最大 30% 程度となった。しかし、図 2 の様に固相ではセシウム量は初期値とほぼ変わらないことが分かった。ここでは汚泥が分解されることでセシウムが海水中に溶出されるが、汚泥が分解され、むき出しになったケイ素がセシウムを再度吸着してしまう「再吸着」が生じているのではないかと考えられた。

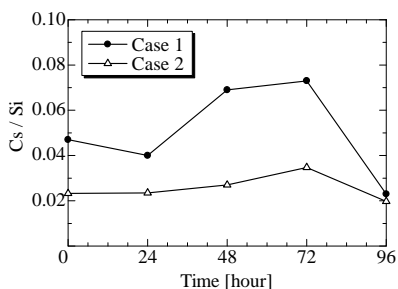


図 2. 固相の(セシウム)/(シリカ)経時変化

そこで以後は循環系の中にセシウムを固定する為のゼオライト等を投入したシステムを使用することにした。(図 3)

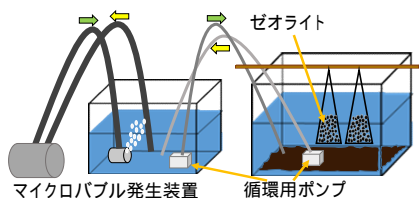


図 3. 循環型浄化システム+ゼオライト

(2) 浄化システム内のメカニズムの確定

図 3 の循環系の中にゼオライトを投入したシステムを用いた実験結果では、固相におけるセシウムは最大 62.7% の除去性能を示した。(図 4)

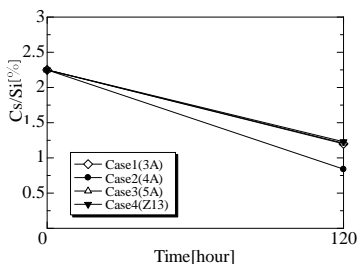


図 4. 固相の(セシウム)/(シリカ)経時変化

浄化システム内の化学・生物学的特性として、浄化過程においてサンプリングを行い、単離培養法によって、堆積汚泥の分解に役立っていると考えられる微生物として“アルカリゲネスフェカリス”を特定した。

(3) セシウム最適溶出システムの確定

特定された微生物の大量投与する方法によって、96 時間で全窒素(T-N)を 100% 減少させることが可能となった。

これらの性状が他の海域の微生物についても同様であるかについて、和歌山県御坊市日高港の堆積汚泥を用いて、循環型浄化システムでの実験結果から、性能がほぼ同様であることを確認した。図 5. で Case1 (日高港) と Case3 (船橋港) を比較すると日高港の方が急激に減少し、水質浄化効果が見いだされた。

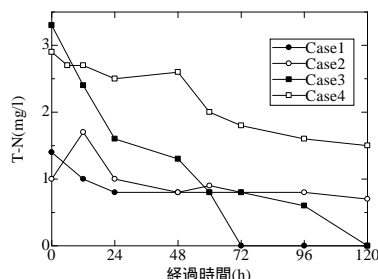


図 5. 水質浄化効果 (T-N) の経時変化

(4) セシウムの最適除去システムの確定

さてここで、図 6 の様に固相内のセシウム除去が悪く全体として最大 62.7% を超えないことが分かった。堆積汚泥に吸着しているセシウムを全部溶出するには時間がかかることが分かった。

そこで、新しいメカニズムが必要となった。図 7 の様に、ある程度循環型浄化システムでセシウム溶出を行い、分解されずに残存した堆積汚泥中のセシウムを凝集剤で凝集沈殿させることを案出した。

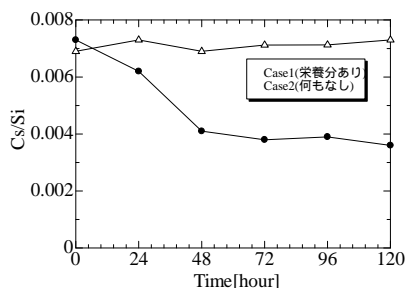


図 6. 固相の(セシウム)/(シリカ)の経時変化

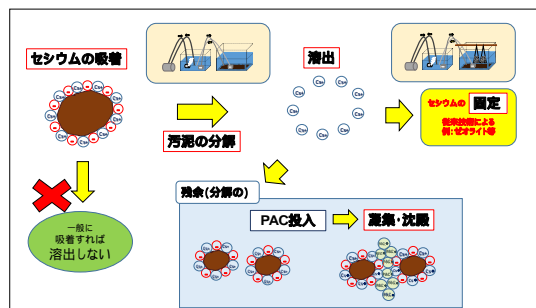


図 7. セシウム除去のメカニズム

ここで、問題となるのが、いつまで循環型浄化システムを稼働させ(時間)、どの程度の凝集剤を投入すればよいか(量)について実

験的検討を行った。(図8.参照)

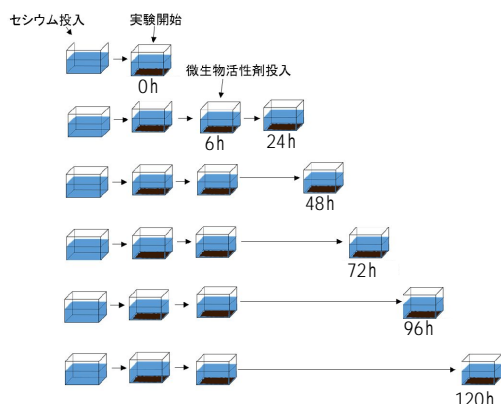


図8.稼働時間毎の凝集剤投入の実験手順

稼働時間毎(24時間毎)に凝集剤量を水質浄化項目として全窒素(T-N)がN.D.(測定限界値)になるまで投入した。

結果は、図9の様に、横軸に稼働時間を、縦軸に投入した凝集剤量を示す最適添加量である。

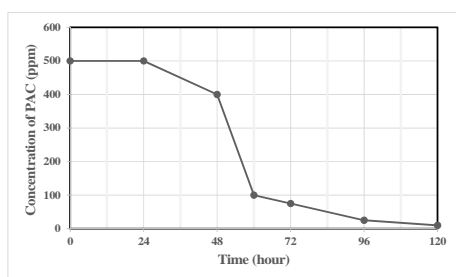


図9.凝集剤の最適添加量

これによって、循環型浄化システムの稼働時間は48から60時間と従来の実験時間の50%以下となった。また、凝集剤量は本システム等稼働しない場合の20%程度でよいことが分かった。画期的なシステムとなった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計4件)

岡本強一, 遠山岳史, 小森谷友絵, OCEAN DECONTAMINATION: HIGH ABILITY REMOVAL METHOD TO RADIOACTIVE CESIUM FROM OCEAN SLUDGE BY USING MICRO BUBBLES AND ACTIVATING MICROORGANISMS, International Journal of GEOMATE (Geotechnique Construction Materials & Environment), 査読有, April, 2017, Vol.12, Issue 32, pp. 57-62. ISSN:2186-2990, Japan, DOI: <http://dx.doi.org/10.21660/2017.32.6604>

小森谷友絵, 岡本強一, 遠山岳史,

EFFECT OF ADDITION OF BACTERIA ON THE REMOVAL OF RADIOACTIVE CESIUM FROM OCEAN

SLUDGE IN A CIRCULATION TYPE PURIFICATION SYSTEM, International Journal of GEOMATE (Geotechnique Construction Materials & Environment), 査読有, April, 2017, Vol.12, Issue 32, pp. 120-125, DOI: <http://dx.doi.org/10.21660/2017.32.6605>

岡本強一, 遠山岳史, OCEAN DECONTAMINATION: REMOVAL EFFICIENCY OF RADIOACTIVE CESIUM FROM OCEAN SLUDGE BY USING MICRO BUBBLES AND ACTIVATING MICROORGANISMS, International Journal of GEOMATE (Geotechnique Construction Materials & Environment), 査読有, May, 2016, Vol.10, Issue 21, pp. 1924-1928. DOI: <http://dx.doi.org/10.21660/2016.21.5265>

岡本強一, 遠山岳史, DECONTAMINATION OF RADIOACTIVE CESIUM FROM OCEAN SLUDGE BY MICRO-BUBBLE AND MICROORGANISMS, International Journal of GEOMATE (Geotechnique, Construction Materials and Environment), 査読有, Sept., 2015, Vol.9, Serial 17, pp.1390-1394, 2015.9. <http://www.geomatejournal.com/node/281>

〔学会発表〕(計4件)

岡本強一, 遠山岳史, 海の除染: マイクロバブルと微生物活性を利用した海底堆積汚泥からの放射性セシウムの高効率除去法, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, pp.247-249, 2016.5.26, 福岡県中小企業振興センター(福岡県福岡市)。

岡本強一, 小森谷友絵, 循環型浄化システムを用いた微生物の投与による堆積汚泥の浄化実験 微生物活性によって特定された微生物を用いた場合, 日本沿岸域学会, CDROM, 2015.7.18, 茨城大学(茨城県水戸市)。

岡本強一, 遠山岳史, 海の除染: マイクロバブルと微生物活性を利用した海底堆積汚泥から放射性セシウムの除去性能, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, pp.521-524, 2015.5.25, 神戸国際会議場(兵庫県神戸市)。

岡本強一, 遠山岳史, 海の除染: マイクロバブルと微生物活性を利用した海底堆積汚泥から放射性セシウムの除去, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, pp.577-580, 2014.5.26, 仙台国際センター(宮城県仙台市)。

6. 研究組織

(1) 研究代表者

岡本 強一 (OKAMOTO, Kyoichi)

日本大学・理工学部・准教授

研究者番号: 50256806

(2)研究分担者

遠山 岳史 (TOUYAMA, Takeshi)
日本大学・理工学部・教授
研究者番号： 40318366

小森谷 友絵 (KOMORIYA, Tomoe)
日本大学・生産工学部・講師
研究者番号： 80409086