

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 12 日現在

機関番号：15401

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2016～2017

課題番号：16K14311

研究課題名(和文) 微生物活性によって堆積汚泥を資源化する乳酸菌入灰分造粒物の開発

研究課題名(英文) Development of lactic bacteria-included granular material for recycling sediment under microorganism activities

研究代表者

日比野 忠史 (HIBINO, TADASHI)

広島大学・工学研究科・准教授

研究者番号：50263736

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円

研究成果の概要(和文)：社会的に大きな問題となっている水域に放出された過剰有機物、特に未処理で放出せざるを得ない下水等の有機物を起源にもつ堆積有機泥により消滅された生態系を再生する技術として、石炭灰、鉄鋼スラグ、竹粉を主たる材料としたアルカリ剤造粒物を開発した。アルカリ剤造粒物の散布により生物が活動できない土壌を生物が継続的に活動できる場に変えることを実現した。開発段階において有機泥内での乳酸菌の活動条件、灰分の溶解特性および灰分を供給した有機泥中での微生物の活性状態、および珪藻に利用される珪酸の構造を明らかにするとともに、その溶出方法を開発した。

研究成果の概要(英文)：Excess discharge of untreated- organic matter causes a huge accumulation of sediment in water bodies, deteriorating both water quality and ecosystem. To solve these issues, alkaline granular-having fly ash, steel making slag, and bamboo powder as main components was developed. In the development, activated conditions of lactobacillus, dissolution of ash components, changes in bacteria activation after supplying ash, and structure of silicic acids that are useful for diatom were elucidated. Furthermore, methods for promoting dissolution of alkaline granular were also proposed. It was observed that benthos inhabitation was improved (uninhabitable to seasonal inhabitable) after the scattering alkaline granular on bottom sediment.

研究分野：沿岸環境

キーワード：有機泥 竹粉 石炭灰 微生物活性 造粒物

1. 研究開始当初の背景

下水の処理には、全消費電力の約 0.7 割を費やし、処理により廃出される下水汚泥は全産業廃棄物の 2~3 割を占めている。やむを得ず未処理のまま沿岸に放出された有機物は微細土粒子に付着し有機泥として堆積して、沿岸整備等を阻害するのみならず生態系を著しく破壊している。有機汚泥の浄化に関して、石炭灰、鉄鋼スラグ等のアルカリ剤は還元化した土壌を改善する材料として有用なこと、竹には乳酸菌が含まれ、土壌菌の活性材料として活用できることがわかっている。これらの材料を活用して処理に莫大なエネルギー、または処理空間を要する有機泥を堆積現場で利用可能な状態に改良し、「豊かな沿岸環境」を再生する材料として提供することができれば低エネルギー社会の実現も夢でない。

石炭灰の発生量は世界で約 7 億 8 千万トン/年であるが、約半数は利用できていない。石炭灰の利活用率を高くする取り組みとして、石炭灰を造粒した石炭灰造粒物 (Granulated Coal Ash: GCA) が開発されている。GCA 被覆層内では間隙水中の栄養塩類 (NH_4^+ 、 PO_4^{3-}) の固定効果、生態系の再生効果があることが報告されている。現在、GCA は環境修復材として中国地方を中心とした多くの地域で利用 (事業化) が進んでいる。様々に異なる底質・水質汚濁問題に対してニーズに合った改善効果を発揮できれば GCA の万能化に繋がると考えられる。

2. 研究の目的

先進国から発展途上国に至るまで、過剰有機物 (バイオ廃棄物) に関する問題は後を絶たず、場合によっては生命の危機に瀕する問題にまで至っている。本研究は社会的に大きな問題となっている水域に放出された過剰有機物、特に未処理で放出せざるを得ない下水等の有機物を起源にもつ堆積有機泥により消滅された生態系を再生する技術を開発することを目的としている。本研究では世界的に安価に入手でき、日本では有効に活用できていない石炭灰、鉄鋼スラグ、災害の原因ともなる竹を主たる材料とした有機汚泥の資源化技術を構築する。これらに含まれるミネラル、乳酸菌等を過剰堆積した還元有機泥に作用させ、微生物活性を上げることで、生態系を再生する。有機汚泥が堆積する場が健康になっていく過程を評価し、有機泥を有効に利用するまでの方法を確立することを目的としている。

GCA からの溶出イオンは有機物堆積層の pH の上昇と 2 次鉱物である微細土粒子の陽イオン交換により粒子間の結合を変化させる。竹粉に含まれるグルコースは乳酸菌の

活性につながると同時に泥層内に生存する微生物を活性化させる。堆積有機泥にグルコースを混入するとグルコースは微生物に餌として利用され、臭気を伴うガスの放出が激しく起こる。堆積泥には易分解性の有機物が十分には含まれておらず微生物は欠乏状態にあるため、活性が低いグルコースの混入により活性が増大する。竹粉に含まれるグルコースは微生物の活性に寄与することが期待される。

混合した竹には有用な微生物 (乳酸菌) の他、ミネラルやエネルギー源であるセルロース等が含まれている。竹の有効利用法の一つとして竹を発酵して竹溶液を土壌改善に用いる方法がある。竹粉を直接に土壌改善材料として利用できれば高い経済効果が得られるが、竹粉発酵に伴う有機酸は土壌を酸性化させることが課題として残されている。

3. 研究の方法

微生物の活性化は難分解性の有機物を分解しヘドロ化した沿岸域を再生する可能性を有している。GCA と竹粉を併用することで、還元化した有機泥土壌での生態系を再生する可能性を見出すことを目標として、竹粉による微生物の活性特性、水和特性を検討した。

竹粉混合 GCA の作成

竹粉と石炭灰の混合率を変えて造粒物を作成した。堆積有機泥の無害化過程において竹粉と石炭灰を用いた時の乳酸菌の活性機能と効果の理論的な裏付けを行なう。このため竹粉と石炭灰の配合を変えて作成した造粒物と未固化の竹粉と石炭灰の混合による、有機泥の pH、ORP 変化、燃焼特性、溶出イオンの種類と栄養塩除去の関係を考察した。これらの結果を基に乳酸菌とミネラルの混入による有機泥の無害化、実用化に必要な技術の標準化を目指して造粒法を検討した。石炭灰、鉄鋼スラグを混入した土壌での乳酸菌の働きを石炭灰、竹粉の量 (混合比) を変えて室内実験を行ない、乳酸菌の働きと有機泥層の変化を定量的に評価した。

4. 研究成果

有機物を多量に含む底泥を有効活用できる材料に改良するための環境再生材 (乳酸菌入灰分造粒物) の開発

社会的に大きな問題となっている水域に放出された過剰有機物、特に未処理で放出せざるを得ない下水等の有機物を起源にもつ堆積有機泥により消滅された生態系を再生する技術として、石炭灰、鉄鋼スラグ、竹粉を主たる材料としたアルカリ剤造粒物を開発した。

堆積泥中で乳酸菌を安定して活動させる

ため、竹粉を石炭灰とともに鉄鋼スラグを水和固化材として造粒した。造粒した竹粉と石炭灰は乳酸菌を生きたまま有機物が堆積する海底に散布できる特徴を有している。有機汚濁物質の無害化を可能にするポテンシャルが高い乳酸菌を活性化させる環境をミネラル（石炭灰）により形成してその効果が検証された。

アルカリ剤に竹粉を混合して造粒することにより有機汚泥に関する課題を解決し、生物が活動できない土壌を生物が継続的に活動できる場に変えることを実現した。開発段階において有機泥内での乳酸菌の活動条件、灰分の溶解特性および灰分を供給した有機泥中での微生物の活性状態、および珪藻に利用される珪酸の構造を明らかにするとともに、その溶出方法を開発した。

竹粉混合 GCA の効果

石炭灰から SiO_2 、 Ca^{2+} 、竹灰からは K^+ 、 Mg^{2+} のミネラル溶出が顕著であり、2 つの灰を用いることで汚泥の浄化が進むことを明らかにした。この成果を進め壤改善材料、性能が高い GCA に竹粉を混合して高性能な底質・水質改善技術の開発するため GCA-竹粉混合材料の溶出特性を室内実験により明らかにした。竹粉を持った発酵により放出された有機酸や栄養塩類等は微生物を活性させる特性を GCA に融合することで底質・水質浄化に対する GCA 効果を高める可能性が見出された。GCA には pH の上昇効果や物質の固定効果があり、竹粉発酵に伴う酸性化や酸素消費は GCA を添加することで抑制できる。

以上のことから、GCA と竹粉の配合を変化させることで、目的に応じた土壌づくりができ、GCA-竹粉混合材料は土壌改善材料として成り得ることを明らかにした。

現地堆積泥の浄化量の評価

開発した造粒物を還元化堆積泥に散布した時の浄化（毒性等、生物の棲息環境の再生）能力を評価する。浄化量を数値的に評価するための具体的な指標が提案された。

5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕（計 10 件）

- (1) 日比野忠史：沿岸域の健康を取り戻す-知っておきたいミネラルのはなし-、HEDORO 底質処理技術の専門誌-へドロ No.131, 査読無, 2018, pp.25-32.
- (2) 高田大貴, 森本優希, TIUCH NARONG, 中下慎也, 日比野忠史：沿岸域の堆積泥を対象とした示差熱分析手法の確立, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol. 73, No.2, 査読有, 2017, pp.1201-1206.
- (3) 鈴木貴博, 森本優希, 日比野忠史, 中下

慎也：堆積泥中のイオンや有機物量が液性限界値に及ぼす影響, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol. 73, No.2, 査読有, 2017, pp.1255-1260.

- (4) 日比野忠史, 中本健二, 宮田康人, 三戸勇吾：下水系土壌が堆積する内港の干潟域における底生動物の初期再生過程, 土木学会論文集 B3 (海洋開発), Vol. 73, No. 2, 査読有, 2017, pp.642-647.
- (5) 森本優希, TOUCH NARONG, 日比野忠史：石炭灰造粒物 (GCA) によるリン酸固定化機構の考察, 土木学会論文集 B3 (海洋開発), Vol. 73, No.2, 査読有, 2017, pp.941-946.
- (6) 東 さやか, Nasroden PAGAYAO, Maria Antonia N. TANCHULING, 日比野忠史：比国パシグ川支流・水路に堆積する汚泥と水質の現状, 土木学会論文集 B3 (海洋開発), Vol. 73, No.2, 査読有, 2017, pp.929-934.
- (7) Shinya Nakashita, Kenji Nakamoto, Yoshinori Koshikawa, Kyung-Hoi Kim and Tadashi Hibino (2017) Evaluation of Granulated Coal Ash as Artificial Seabed for Eelgrass. Journal of Coastal Research: Special Issue 79-The 2nd International Water Safety Symposium, 査読有, 2017, pp. 40-44.
- (8) 森本優希, 林利洋, 中本健二, 日比野忠史：河岸へドロ上に散布された石炭灰造粒物の浄化機能と効果の持続性, 土木学会論文集 B1(水工学), Vol.73, No.4, 査読有, 2017, pp.1219-1224.
- (9) 日比野忠史：総説 石炭灰の灰としての効用-石炭灰は草木灰を越えるか?-, 電力土木 2016 年 7 月号, No.384, 査読無, 2016, pp.3-8.
- (10) 梶垣 智, 清水直樹, 箕作幸治, 三戸勇吾, 樋野和俊, 宮田康人, 日比野忠史, 土田孝：福山港内港地区における再生資源を活用した底質改善技術の実証と計画, 公益法人地盤工学会中国支部論文報告集地盤と建設, Vol.34, No.1, 査読有, 2016, pp.71-80.

〔学会発表〕（計 1 件）

- (1) 山地智司, 高田大貴, TOUCH NARONG, 日比野忠史：土壌改善材料としての石炭灰造粒物-竹粉混合材料の特性, 第 28 回廃棄物資源循環学会研究発表会講演集, 査読無, 2017, pp, 193-194.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

日比野 忠史 (HIBINO TADASHI)
広島大学・大学院工学研究科・准教授
研究者番号：50263736

(2) 研究分担者

トゥ ナロン (TOUCH NARONG)
広島大学・大学院工学研究科・特任助教
研究者番号：50707247

(3) 研究分担者

中下 慎也 (NAKASHITA SHINYA)
広島大学・大学院工学研究科・助教
研究者番号：90613034