

浄水汚泥・溶融スラグの底質浄化材料としてのリン・窒素吸着効果の検討

廃棄物 栄養塩 吸着

茨城大学 学生会員 ○及川照靖

茨城大学 国際会員 小峯秀雄, 安原一哉, 村上 哲

1. はじめに

近年、閉鎖性水域における水質悪化が問題となっており、特に湖沼では、水域の富栄養化の程度を表す指標として用いられる全リン・全窒素濃度の環境基準達成率が、海域と比較し低い(図 1 参照)。湖沼における水質悪化では、アオコの大量発生によるものが顕著である。底泥から溶出する栄養塩により発生するアオコは、景観や異臭の問題により水域の周辺環境に悪影響を及ぼす。対策として浚渫工法や覆砂工法が挙げられるが、浚渫泥の処理や、湖底が浅くなるなどの問題があり、抜本的な対策には至っていない<sup>1)</sup>。

一方、浄水汚泥や溶融スラグなどの産業廃棄物が茨城県内から排出されており、近年これらの再利用が図られているものの、さらなる有効利用先の拡大が望まれている。そこで本研究では、これらの産業廃棄物の多孔質性に着目し、底質浄化材料として用いることを目的として、バッチ試験およびカラム試験により各材料のリン・窒素吸着効果を調査した。

2. 使用した材料

本研究では、茨城県から排出される産業廃棄物である浄水汚泥と溶融スラグを用いた。これらの材料は多孔質であるため栄養塩の吸着効果が期待され、既往の研究<sup>2), 3)</sup>によりリン吸着効果が認められている。また覆砂工法に用いられる砂の模擬材料として、相馬珪砂 5 号についても吸着特性を調査した。ここで浄水汚泥は 4.76mm ふりを通過した材料、また溶融スラグ、相馬珪砂 5 号は、粒径の範囲がそれぞれ 1~3mm, 0.15~0.60mm の材料を使用した。吸着材料の基本的性質を表 1 に示す。閉鎖性水域においてはリンと比較し、窒素の環境基準達成率が低いのが現状であるため<sup>4)</sup>、本研究ではリンに加え窒素についても着目し、吸着特性を調査した。なお本研究ではリン酸態リンをリン、硝酸態窒素を窒素として表記することとする。

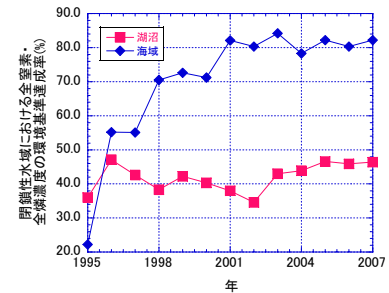


図 1 閉鎖性水域における全リン・全窒素濃度の環境基準達成率

表 1 使用した材料の基本的性質

材料名	土粒子の密度 $\rho_s$ (g/cm <sup>3</sup> )	含水比 w (%)
浄水汚泥	2.61	69.8
溶融スラグ	2.83	0.00
相馬珪砂 5 号	2.65	0.00

3. 吸着材料の栄養塩吸着量の把握を目的としたバッチ試験

本章ではバッチ試験により各種吸着材料の栄養塩吸着量を把握し、考察を行う。

3.1 試験条件および手順

リン、窒素水溶液 500mL をポリプロピレン製の三角フラスコにとり、吸着材料を乾燥質量において 50g 添加し液固比 10 とし、振とう機にて振とう回数 200 回/分、振とう幅 50mm で 24 時間振とうした。バッチ試験の様子を写真 1 に示す。ここで、リン水溶液の濃度は 0.2, 1.0, 5.0, 10.0, および 20.0mg/L、窒素水溶液の濃度は 1.0, 2.0, 5.0, 10.0 および 20.0mg/L とし、水溶液はりん標準液(和光純薬工業製, KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> 溶液)、窒素標準液(和光純薬工業製, KNO<sub>3</sub> 溶液)をそれぞれ蒸留水で希釈し作製した。振とう後は 30 分間静置し、上澄み液を吸引ろ過装置にて 0.45 $\mu$ m 孔径のメンブレンフィルターを用いてろ過し、ろ液の全リン濃度、全窒素濃度を分析した。なお分析は多項目迅速水質分析計(DR/2010, HACH 社製)を用いて、全リン濃度は過硫酸分解 PhosVer3 法、全窒素濃度は TNT 過硫酸塩分解法にて測定した。



写真 1 バッチ試験の様子

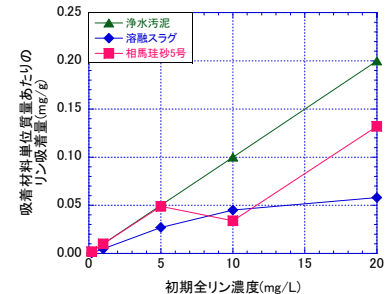


図 2 液固比と全リン濃度の関係

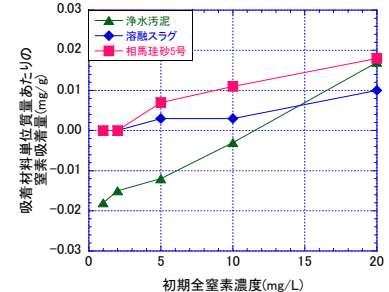


図 3 液固比と全窒素濃度の関係

3.2 試験結果および考察

図 2, 3 に初期全リン、全窒素濃度とリン、窒素吸着量の関係を示す。リン、窒素吸着量は初期濃度と 24 時間振とう後の濃度の差から、吸着材料 1g あたりの吸着量として算出した。リンについては浄水汚泥が最も吸着量が大きく、次いで相馬珪砂 5 号、溶融スラグの順に吸着量が小さくなる。浄水汚泥は低濃度から高濃度まで高いリン吸着量を示し、初期濃度 20mg/L のケースでは溶融スラグ、相馬珪砂 5 号のそれぞれ約 4 倍、1.5 倍の吸着量である。そのため浄水汚泥は他の材料と比較し最もリン吸着容量が大きいと判断される。

一方、窒素については、相馬珪砂 5 号が最も高い吸着量を示しているが、リンと比較すると吸着量は非常に微量である。浄水汚泥に関しては振とう後の濃度が振とう前の濃度よりも高いケースが認められた。この理由として浄水汚泥から窒素を含有する有機物などの成分が溶出したことが考えられるが、初期全窒素濃度 20.0mg/L の場合において、振とう後の濃度が振とう前の濃度を下回っていることから、窒素の溶出と同時に浄水汚泥による窒素の吸着も行われたと推察される。

Phosphorus and Nitrogen Adsorption Characteristics of Drinking Water Sludge and Melted Slag for Purification of Closed Water Area

Oikawa, T., Komine, H., Yasuhara, K., Murakami, S. (Ibaraki University)

#### 4. 底泥からの栄養塩溶出を模擬したカラム試験

本章では、カラム試験により底泥から溶出する栄養塩に対する各種吸着材料の吸着特性を把握し、考察を行う。

##### 4.1 試験条件および手順

カラム試験装置の概要図を図4に、試験条件を表2に示す。透水円筒中に吸着材料を自由落下法にて充填し供試体とし、供試体下部からリン水溶液もしくは窒素水溶液を通水させた。ここで供試体層厚は全て30mmとし、リン、窒素水溶液は平成19年度公共用水域水質測定結果<sup>4)</sup>において全リン、全窒素濃度が高濃度であった湖沼を参考に全リン濃度0.2mg/L、全窒素濃度2.0mg/Lとした。また、事前求めたリン溶出速度5.0mg/m<sup>2</sup>/day、窒素溶出速度60.0mg/m<sup>2</sup>/dayより、通水速度はリン水溶液については110mL/day、窒素水溶液に関しては132mL/dayとした。通水後の水溶液はポリプロピレン製の容器にて約100mL毎に採水し、全リン、全窒素濃度を分析した。

##### 4.2 試験結果および考察

カラム試験結果は、液固比と全リン、全窒素濃度の関係で整理した。液固比と全リン濃度、全窒素濃度の関係を図5、6に示す。まず、リンのデータに着目すると、溶解スラグに関しては液固比が小さい段階で、既に破過が生じており、また液固比6程度で飽和吸着量に達していることから、吸着量が小さいというバッチ試験結果と整合している。一方、浄水汚泥に関しては液固比15程度で破過が認められないため、底泥から溶出するリンに対して高い吸着効果があると判断される。また相馬珪砂5号に関しては、液固比15程度で破過が認められないことから、浄水汚泥と同様、底泥から溶出するリンに対して高い吸着効果を示すと考えられる。

窒素については液固比が小さい段階で流入させた水溶液の濃度よりも高い濃度が測定されたため、浄水汚泥から窒素を含む有機物などの成分が分解し、窒素が溶出したと考えられる。しかし液固比10程度で、流入させた水溶液の濃度を下回ってからも濃度低下が認められた。このことから、浄水汚泥は底泥から溶出する窒素にも吸着効果があると言える。ここで浄水汚泥の窒素分は、供試体への通水に伴い溶出したと考えられるが、本来、底泥からの栄養塩の溶出は拡散現象であり、窒素など溶質のみの移動である。そのため、実環境において実際に窒素の溶出が認められることを確認する必要がある。

##### 5. 吸着材料への栄養塩吸着メカニズムの考察

浄水汚泥の吸着作用は、リンについては吸着量が非常に多いことから化学吸着が行われていると推察される。浄水汚泥は凝集材由来のアルミニウムを含有する。アルミニウムとリンは難溶性の塩を形成することが知られているため<sup>9)</sup>、このアルミニウムとリンとの反応が高い吸着効果として発揮されていると言える(図7参照)。また窒素についてはリンと比較し吸着量が少ないため、浄水汚泥の粒子間の細孔への窒素の拡散による吸着であると考えられる。溶解スラグと相馬珪砂5号に関しては、どちらも粒子表面へのリン、窒素の吸着作用が働いていると考えられるが、相馬珪砂5号は溶解スラグと比較し粒径が小さい、すなわち比表面積が大きいため、その差が吸着量に反映されていると考えられる。

##### 6. まとめ

本研究で得られた知見を以下に示す。

- ①バッチ試験より浄水汚泥が高いリン吸着効果を示すことが分かった。その吸着量は初期濃度20mg/Lのケースにおいて、溶解スラグの4倍、相馬珪砂5号の1.5倍である。
- ②カラム試験より浄水汚泥、相馬珪砂5号が底泥から溶出するリンに対して高い吸着効果を示すことが分かった。また浄水汚泥は底泥から溶出する窒素に対しても吸着効果を発揮することが分かった。
- ③上記の知見より、浄水汚泥を底質浄化材料として用いることで、少量でも高いリン、窒素吸着効果を得られ、底質の浄化に寄与できると推察される。

<参考・引用文献>

- 1) 須藤隆一: 環境修復のための生態工学, 講談社, p.178, 2000.
- 2) 海野修司・岡本正美・永瀬正夫: 浄水汚泥を用いたリン除去技術, 土木学会論文集 No.741/VII-28, pp111-121, 2003.
- 3) 井田直人・小峯秀雄・安原一哉・村上哲: 閉鎖性水域の環境改善を目的とした吸着覆土材作製に適した材料の選定, 第42回地盤工学研究発表会発表論文集, pp.2143-2144, 2007.
- 4) 環境省, 平成19年公共用水域水質測定結果(平成20年11月): <http://www.env.go.jp/water/suiiki/h19/full.pdf>, (2008年3月3日現在).
- 5) 岩田進午他: 土壌の化学, 学会出版センター, pp.102-104, 1998.



図4 カラム試験装置  
表2 試験条件

材料名	浄水汚泥	溶解スラグ	相馬珪砂5号	
溶質	リン	窒素	リン	
乾燥密度 ρ <sub>d</sub> (g/cm <sup>3</sup> )	0.46	0.47	1.26	1.29
間隙比 e	4.63	4.50	1.25	1.04
流入速度 (mL/day)	110	132	110	
供試体寸法	直径 75mm×厚さ 30mm			

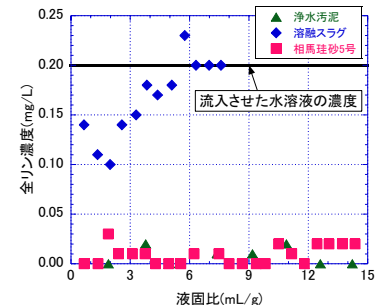


図5 液固比と全リン濃度の関係

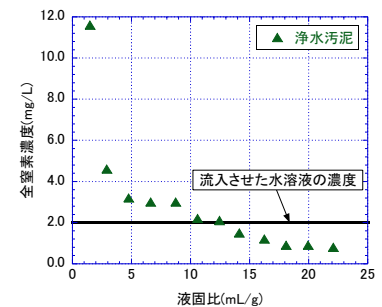


図6 液固比と全窒素濃度の関係

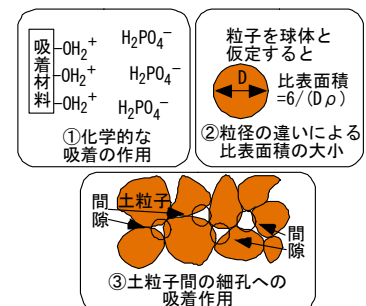


図7 リン、窒素吸着に関与する要因