

干潟造成浚渫泥の砂泥混合及び海水への曝露による栄養塩溶出機構

広島大学 ○和田 聡一隆
 広島大学 土居田 祐希
 広島大学 正会員 中下 慎也

1. はじめに

港湾事業において発生する浚渫泥の処理問題を解決するための方法として、干潟造成への利用がある。造成干潟には様々な機能・効果が期待されており、主なものとして、①沿岸海域に生息するアサリや魚のエサとなる植物が活性化する生息場・生態系の構築、②植物活性の向上に必要となる、N、Pなどの浚渫泥からの栄養塩の溶出効果、③浚渫泥内の有機物が難分解性化することによる炭素固定（ブルーカーボン）とそれによって生まれる経済効果、の3点が挙げられる。

近年、貧栄養等の要因により、造成干潟でのアサリの生産量が減少しており、漁業関係者が求める干潟効果が得られていない。このままでは今後の干潟造成が難しくなり、浚渫泥の処理方法に制限がかかると港湾事業が円滑に進められない状況になるため、より効果を発揮する干潟造成法を確立する必要がある。そこで、本報告では上で述べた3つの効果のうち、②の栄養塩の溶出効果に着目し、浚渫泥内の栄養塩（N、P）が海水に露出したときの栄養塩の溶出機構を明らかにした。

2. 調査方法

2.1 調査の内容

浚渫泥による干潟造成が開始された1960年頃は、海域の富栄養化が問題となっていたため、泥からの栄養塩溶出を防ぐために、投入された浚渫泥に50cmの覆砂が行われていた。この設計は現在も用いられている。1でも述べたように貧栄養化が問題視されている近年では、この覆砂が栄養塩溶出の妨げになり、アサリの生産量低下の一因となっている。

しかし、この事象が確認された干潟は造成後30年以上が経過しており、覆砂工事が一様に行われていたという特徴がある。これに対し、2010年から工事が開始され、覆砂材の投入が5年をかけて段階的に行われたのが高尾干潟¹⁾である。段階的な覆砂によって、覆砂が完了した区域と浚渫泥が露出する未覆砂の区域が共存する期間に浚渫泥層が変動し(図-1)、覆砂厚が一律でないため、高尾干潟内には様々な底質環境が形成されているという特徴がある。

そこで、本研究では異なる底質環境がもたらす栄養塩の溶出機構の違いを分析するために、高尾干潟内の3地点と、覆砂が一様に行われ、造成から40年以上が経過した海老干潟²⁾の1地点を対象に、干潟

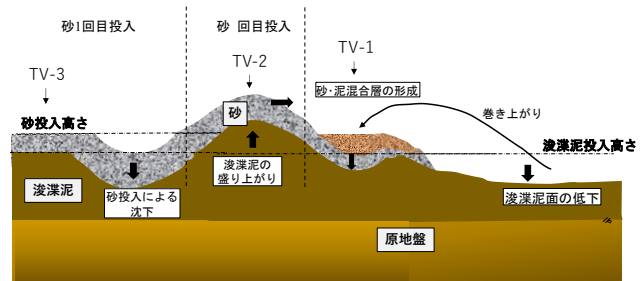


図-1 浚渫泥の覆砂による断面変動

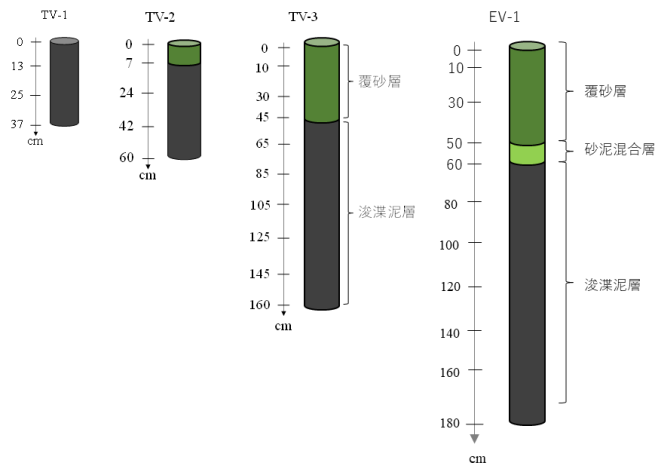


図-2 採泥深と各層の環境

泥深 (cm)	TV-1	TV-2	TV-3		EV-1		
			覆砂	浚渫泥	覆砂	混合	浚渫泥
10	①		①		①		
20	②	①	②		②		
30							
40	③	②	③		③		
50		③					
60				④		④	
70							⑤
80							
90				⑤			⑥
100							
110							
120							
130				⑥			⑦
140							
150							
160							
170							⑧
180							

図-3 採泥深と分割対象試料

キーワード：人工造成干潟 浚渫泥 栄養塩溶出 物理的吸着 化学的吸着

連絡先：〒739-0046 広島県東広島市鏡山1丁目3-2 広島大学 東広島キャンパス

TEL：082-422-7111

内で柱状採取した浚渫泥～覆砂層の栄養塩分析と溶出試験を行った。

2.2 調査地点

調査地点は高尾干潟の TV-1, TV-2, TV-3 地点と、海老干潟の EV-1 地点の 4 地点である。TV-1 は浚渫泥の露出層, TV-2 は表層の薄い覆砂層 (7cm) を取り除いた浚渫泥層で各々40cm 深, TV-3, EV-1 では覆砂層～浚渫泥までの約 170cm 深を採泥した。図-2 は採泥深と各層の環境を示している。

2.3 分析方法

不攪乱採取された試料は 15～20cm 区画で分割され (図-3), 底質調査法に定められた TN, TP 分析 (mg/g) と溶出試験による NH₄-N, PO₄-P, 溶出量が分析された。溶出試験は試料 100g : 純水 100g で試験され, 1mg/L を 0.1mg/g として換算できる。有機物の多くは細粒分に付着している³⁾ため, 75μm 以下 (細粒分) の試料の N, P 含有量も分析した。なお, 75μm 以下の試料に対する TN, TP 分析は TV-3 の砂層の①及び浚渫泥層の④の 2 試料, EV-1 の浚渫泥層の⑤の 1 試料 (図-3 番号黒塗) に対してのみ行われた。

3. 結果と考察

3.1 粒度による溶出量の変化

図-4 には, 溶出試験によって得られた, 細粒分と (a) NH₄-N/TN, (b) PO₄-P/TP の関係が示されている。図では NH₄-N, PO₄-P の溶出量を溶出源である TN, TP で除して TN, TP からの溶出率を表している。図より, PO₄-P は細粒分の多い場で溶出量が高いのに対し, NH₄-N は細粒分が多くなると溶出量が低下している。これは PO₄-P は有機泥に化学吸着しているのに対し, NH₄-N はクーロン力等によって物理吸着する特性のためである。浚渫泥は還元性が高く, 溶液に溶解させると, 溶液電位が低下し, 化学吸着していた PO₄-P の脱離が促進されることで溶出される。物理吸着は濃度に依存する性質を持っているため, NH₄⁺ は溶液のイオン濃度が増加する (細粒分が増える) と吸着力が増し, 溶出量の低下につながる。

3.2 干潟環境による溶出特性

図-5 には, 干潟材料溶出源からの溶出特性として, (a) TN～NH₄-N, (b) TP～PO₄-P の関係が示されている。NH₄-N, PO₄-P とも TN, TP の増加とともに増加するが, 溶出量は干潟環境によって大きく異なっており, 覆砂が残っていた地点と (TV-3, EV-1), 浚渫泥層の露出や, 砂泥の混合があった地点 (TV-1, TV-2) ではその差が顕著にみられる。また, 海水への曝露による溶出促進も考えられ, その機構を次節の 3.3 に示す。

3.3 海水への曝露による溶出促進機構

図-6 に海水への曝露によって栄養塩の脱離・溶出が促進される機構を示す。

(a) は浚渫泥に化学吸着している PO₄-P の海水への曝露による脱離の様子を表すモデルであり, ①浚渫泥内 (pH: 6～7 程度) の粘土鉱物表面で O と結合している金属イオンが, 電気陰性度の差により電荷が正に偏る, ②海水 (pH: 8 程度) への曝露によって負電荷である OH⁻が増え, 電荷が正に偏ってい

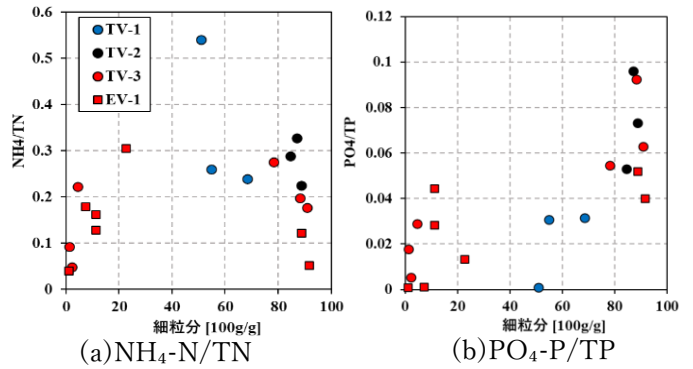


図-4 細粒分からの栄養塩溶出量

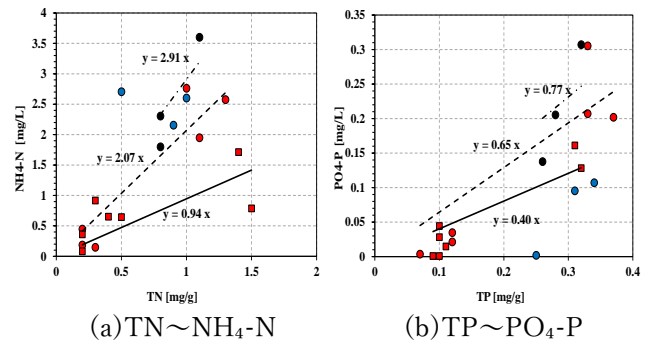
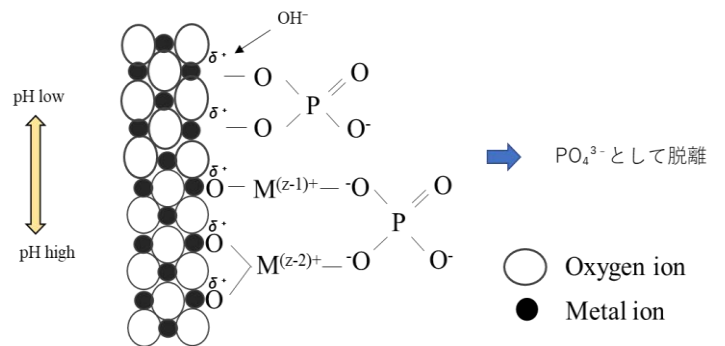
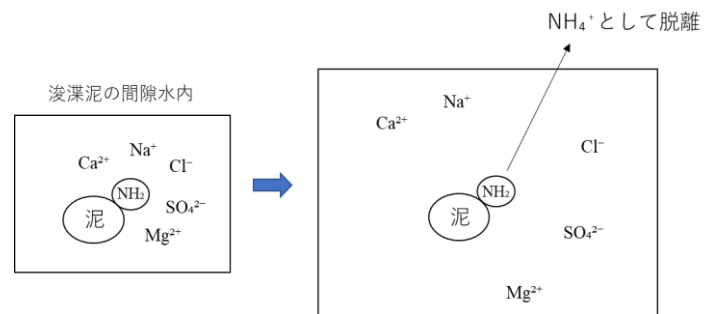


図-5 干潟材料溶出源からの溶出特性



(a) P が溶出する機構



(b) N が溶出する機構

図-6 海水への曝露による栄養塩の溶出モデル

る金属イオンに向かって攻撃し、結合する、③②によって、化学吸着していた $\text{PO}_4\text{-P}$ が PO_4^{3-} として脱離する、という流れを示している。

(b)は浚渫泥に物理吸着している $\text{NH}_4\text{-N}$ の海水への曝露による脱離の様子を表すモデルであり、①浚渫泥の間隙水内にて、泥に吸着した NH_2 の近くに多くのイオンや分子が存在している。(濃度が非常に高い状態)、②海水へ曝露されることで、間隙水内の濃度が下がる、③近くにいたイオン等が遠ざかることで、これらの中に働いていたクーロン力等が弱まり、 NH_4^+ として脱離する、という流れを示している。

これらのことから、浚渫泥への吸着状態が異なる N と P は、浚渫泥の海水への曝露によって、異なる理由で脱離・溶出が促進されることがわかる。

4 おわりに

造成方法の異なる高尾干潟、海老干潟において、干潟内の栄養塩分析及び溶出試験を行い、栄養塩の溶出特性について検討したところ、以下の知見が得られた。

- 1) 段階的な覆砂による浚渫泥の断面変動によって、干潟表層に浚渫泥が混合されると、泥からの栄養塩の溶出能力が高まる。
- 2) 浚渫泥が海水に曝露されると、海水の浸入による場の酸化還元性・濃度の変化が栄養塩の脱離・溶出を促進する。

以上より、栄養塩が豊富に溶出する干潟を造るには、浚渫泥を覆砂で覆わない露出部を設けたり、覆砂材と浚渫泥が混合し、栄養塩の溶出しやすい場を人為的に作ったりすることが有用であると考えられる。

5 参考文献

- 1) 弓岡亮太, 徳丸直輝, 井山 繁, 日比野忠史: 段階的に覆砂された造成干潟が創造する生物場, 土木学会論文集 B3 (海洋開発), Vol.77, No.2, pp.I_553-I_558, 2021.
- 2) 春日井康夫, 久本忠則, 中山康二, 松本英雄: 広島県尾道糸崎港における干潟再生事業, 海洋開発論文集, 第19巻, pp.107-112, 2003.
- 3) 小枝豪志, 岡村宏信, TOUCH NARONG, 日比野忠史: 様々なフロック構造を持つ有機泥の沈降特性, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol. 68, No. 2. pp.1016-1020, 2012.