

埋め立てられた浚渫土の有害物質の溶出特性に関する基礎的検討

○ (一社)水底質浄化技術協会 正会員 富田尚道 (東亜建設工業(株))
同 正会員 日野良太 (株大林組) 同 非会員 萩野裕基 (株東京久栄)
同 フェロー 黒岩正夫 (株大林組) 同 フェロー 阪本廣行 (株フジタ) 同 正会員 桑原正彦

1. はじめに 浚渫土を海面埋立等に用いる際には、海洋汚染等及び海上災害の防止に関する法律（以下、海防法）の判定基準を満たす必要がある。一方、土壌汚染対策法（以下、土対法）は、一定規模（3,000 m²もしくは 900 m²）以上の土地の形質の変更時には土壌汚染状況調査が求められることがある。ここで、土対法の基準値は、海防法よりも低く設定されている。そのため、埋立時に海防法の判定基準を満たしていた浚渫土が、埋立後の形質変更を行う際に土対法の基準を満たさず、土対法の要措置区域等に指定される場合も想定される。

汚染の有無を確認するための溶出試験方法は、海防法と土対法で異なる。そこで、黒岩らは同一の土を使用して海防法と土対法の両溶出試験を実施し、砒素およびその化合物、ふっ素およびその化合物、ほう素およびその化合物（以下、砒素、ふっ素、ほう素）では土対法が海防法よりも高い溶出量となり、ふっ素とほう素についてはその主な理由が固液比の違いに起因することを示唆している¹⁾。

埋立後の浚渫土は埋め立てられた位置によって酸化還元状態等の環境条件が異なるため、浚渫土に含まれる有害物質が形態変化を起こす可能性がある。そこで、埋立後の環境条件の違いによる浚渫土の溶出量変化を把握するために、浚渫土を用いて3つの異なる条件下で養生する試験を実施し、有害物質の溶出特性を検討した。

2. 試験方法

2. 1. 試料土の性状 某港湾内の浚渫土を採取した。試験は、粗粒分の多い試料（以下、砂）と細粒分の多い試料（以下、粘性土）を用いた。（写真-1）

試料土の初期性状を表-1に示す。砂は0.075 mm～2 mm が93%、粘性土は<0.075 mm が97 %となった。酸化還元電位は、砂が110 mV、粘性土が-153 mV となり、粘性土が還元状態であった。有害物質に関しては、砒素、ふっ素、ほう素のいずれも各試料で含有量（底質調査方法）が検出され、粘性土が高い傾向を示した。

2. 2. 養生方法 養生は以下の3条件で、養生6ヶ月と18ヶ月後に土対法の方法に則り砒素、ふっ素、ほう素の溶出量試験を実施した。条件1は、試験試料を角バットに広げ、遮光して屋内にて保管した（空気曝露あり・降雨浸透なしの条件）。

条件2は、ネジロガラス瓶に空隙ができないように試料を詰め、密閉した状態で遮光して屋内にて保管した（空気曝露なし・降雨浸透なしの条件）。条件3は、試料を植木鉢に入れ、風雨にさらされる屋外にて保管した（空気曝露あり・降雨浸透ありの条件）。

3. 試験結果 図-1から図-3に粘性土の砒素、ふっ素、ほう素の溶出試験結果を示す。砂を用いた試験では、いずれの養生条件も時間経過とともに低下もしくは横ばいであった（図は割愛）。

粘性土を用いた試験では砂と異なる傾向であった。砒素とふっ素は、条件1・条件2で時間経過とともに低下した。



写真-1 試料土の状況

表-1 試料土の初期性状

分析項目		単位	砂	粘性土	分析方法
粒度組成	礫分	%	3.3	0	JIS A 1204
	砂分	%	93.0	2.7	
	シルト分	%	2.2	33.6	
	粘土分	%	1.5	63.7	
	50%粒径	mm	0.215	0.00114	
pH		—	7.6	7.2	底質調査方法
酸化還元電位		mV	+110	-153	
含水率		%	21.8	51.1	
強熱減量		%	1.9	11.5	
化学的酸素要求量		mg/g	0.7	29.4	
全硫化物		mg/g	0.02	0.44	土壌養分分析法
活性鉄（Ⅱ）		mg/kg	226	5690	
砒素		mg/kg	9.1	16.4	底質調査方法
ふっ素		mg/kg	20	43	
ほう素		mg/kg	17	87	

キーワード 海洋汚染等及び海上災害の防止に関する法律，土壌汚染対策法，浚渫土，有害物質，溶出
連絡先 (一社)水底質浄化技術協会，東京都中央区入船 3-10-9，TEL 03-3555-1641，FAX 03-3555-1415

一方、条件3は、砒素が6ヶ月後の0.003 mg/Lから18ヶ月後には0.03 mg/Lと大きく増加し、ふっ素が開始時の1.6 mg/Lから6ヶ月後には1.1 mg/Lに減少し、18ヶ月後は2.6 mg/Lに増加した。ほう素は、条件1・条件2で開始時の1.3 mg/Lから18ヶ月後には1.5 mg/L～1.8 mg/Lに増加した。一方、条件3では開始時の1.3 mg/Lから18ヶ月後には0.9 mg/Lと土対法基準値未満まで低下した。

ここで、粘性土の養生条件で経時的に溶出特性が異なる原因を検討するために、22ヶ月後の試料を用いて逐次抽出法²⁾による土中の存在形態と形態毎の含有量を確認した。逐次抽出の試験法は、既往文献²⁾と同様に水抽出態、交換態、酸抽出態、還元抽出態、有機物態、残渣で評価した。逐次抽出試験結果を図-4から図-6に示す。

養生条件における全量に対しての水抽出態を比較すると、条件1と条件2で砒素が0.2～0.3%、ふっ素が9～11%、ほう素が16～18%であることに対して、条件3で砒素が4%、ふっ素が19%、ほう素が11%となった。そのため、条件3の砒素とふっ素の18ヶ月後の溶出量が増加した原因は、水抽出態の割合増加に伴うものであった。一方、ほう素の条件3で18ヶ月後の溶出量が低下した原因は、他の条件に比べて全体の含有量が大幅に減少したことが関係していると考えられる。

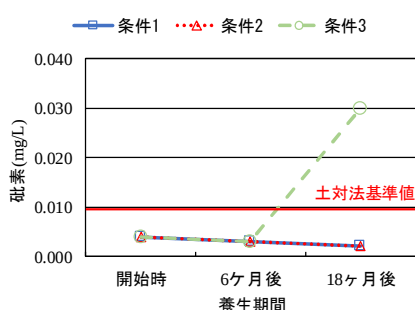


図-1 溶出試験結果（粘性土、砒素）

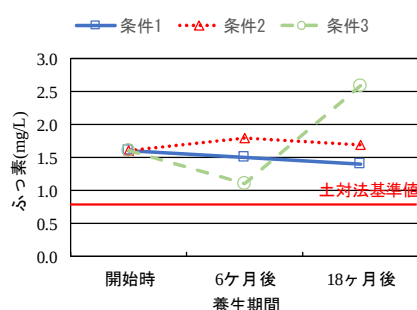


図-2 溶出試験結果（粘性土、ふっ素）

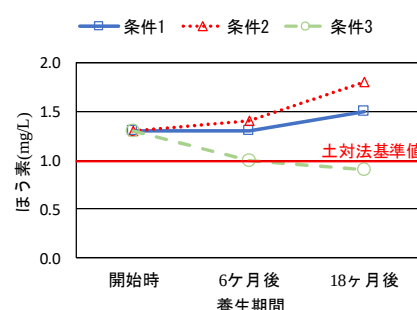


図-3 溶出試験結果（粘性土、ほう素）

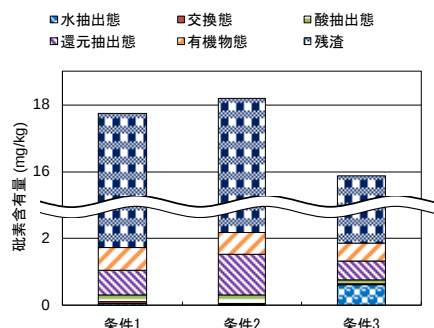


図-4 逐次抽出試験結果（砒素）

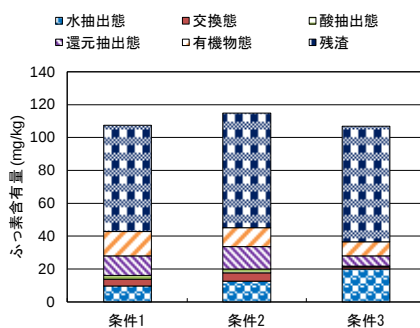


図-5 逐次抽出試験結果（ふっ素）

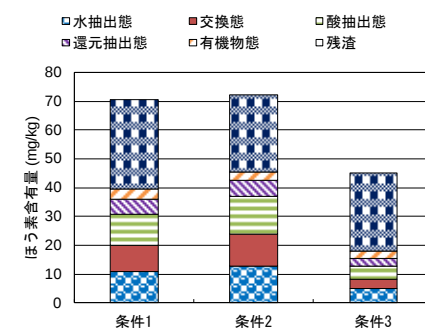


図-6 逐次抽出試験結果（ほう素）

4. まとめ 本研究では、浚渫土を埋立等する際に養生条件が異なる場合の砒素、ふっ素、ほう素に対して溶出特性の経時変化を確認した。その結果、条件3の溶出量の経時変化は、砒素、ふっ素が増加し、ほう素は低下した。その原因は、逐次抽出試験によって土に含まれる砒素、ふっ素、ほう素の水抽出態等の割合の変化であることを確認した。以上のことから、浚渫土を埋立する際には、浚渫土の存在状態（空気曝露や降雨浸透による乾湿繰返し等）によって溶出特性が大きく異なることがあるため、浚渫土の事前の溶出試験結果で検出された有害物質の種類と濃度、想定される埋立後の環境を考慮して、適切な対応をとる必要がある。

今後の課題としては、砒素とふっ素の水抽出態が養生条件で異なる原因、ほう素の含有量が養生条件によって減少する原因の検討がある。また、溶出した物質の地盤内における挙動の検討を行う必要も考えられる。

（謝辞）試料をご提供いただいた関係機関に感謝申し上げます。

参考文献 1). 黒岩ら：海防法および土対法における溶出試験結果の相関性に関する確認試験，土木学会第72回年次学術講演会，VII-004，2017 2). 日野ら：水銀及びふっ素によって汚染された地盤の原位置不要化処理に伴う長期安定性に関する評価，地盤工学ジャーナル，Vol.15, No.3, pp.563-571，2020