

TBT 含有海底汚泥の陸上装置による一連の除去工法に関する研究

九州大学工学部	学生会員	岡峰奈津美
九州大学工学研究院	正会員	神野健二
九州大学農学研究院	非会員	本城恒夫
熊本大学工学部	正会員	大本照憲
(株) アクアティッペン		近藤亀治
		大嶋雄治

1. はじめに

TBT (トリブチルスズ) は1960年代頃から船底や魚網に魚介類が付着するのを防ぐ防汚剤として世界的に普及した。しかし1998年、環境庁は人の健康および生態系に重大な影響を及ぼす有害な環境ホルモン4種類にTBTを含んだ計画を作成している。また2001年にはIMO (国際海洋機構) が『TBTを含む有機スズ系船舶用塗料の使用規制に関する条約』を採択している。このようにTBTが新たに加えられた背景には、TBTによりメス貝がオス化し、性行動の低下を起こすことが明らかになったことがある。日本でも1985年以降の環境庁による全国調査以来、二枚貝などの生殖異常現象、産卵数の減少が海域で発生していることが報告されている。したがってこのような状況に対応するためには、TBTの高濃度含有海底汚泥の適切な処理方法や処理施設が必要となるが、このような検討例はあまり見られない。そこで著者らは、処理水の規制値以下での無公害放流・処理残土の無害化処分・周辺環境への適応等を制約条件とするとともに、各水域の汚染状況、処分地の周辺環境に柔軟に対応でき、安全に低廉な方法で処理できる一連の工法の開発を目的とし、図-1に示すように処分施設について技術的な課題を検討している。特に今回は、海底に堆積した汚泥を拡散させることなく浚渫する装置の開発、効率の高い凝集沈殿法、前段で汚濁粒子を除去するための膜シート吸着の開発、砂ろ過及び活性炭による吸着処理までのシステムを繋いだ場合の最適化を考えている。本報ではまず第1段階として、上記のシステムを構成する場合の入力側と出力側の濃度がどの程度モデルによって記述できるかについて検討するものである。

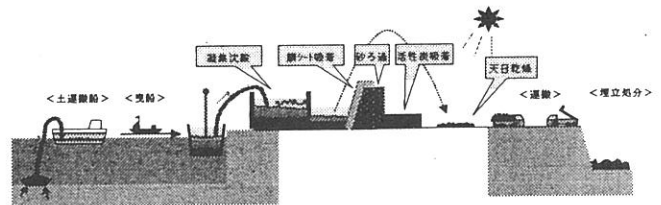


図-1 一連の処分施設概図

2. 除去システムのモデル構築

室内実験装置において、膜シート吸着から砂ろ過を経て活性炭吸着までの模型実験を行った。この実験の目的は全体システム構築のための基礎的な検討に必要な、膜シート、砂、活性炭の阻止率や適正な処理流量を評価することにある。得られた値をもとに、技術的に可能な実際の除去処理施設として各構成要素の最適化を図る。

2.1 実際の海底汚泥を用いた室内模型実験

模型実験装置の概略を図-2に示す。福岡市K漁港海底で採取した資料汚泥をタンク内で攪拌させ、ポンプによって装置に供給し、順次膜シート、砂を通過させた。砂ろ過後の溶液はそのまま長さ50cmの活性炭吸着装置を通過させた。これは図の実験装置では十分な長さの活性炭の吸着が得られないためである。2次元装置での浸透流速がパイプの吸着層でも得られるよう流速を落とした。実験では1時間後、5時間後、11時間後の濃度変化、水頭及び装置の出口流量を測定した。

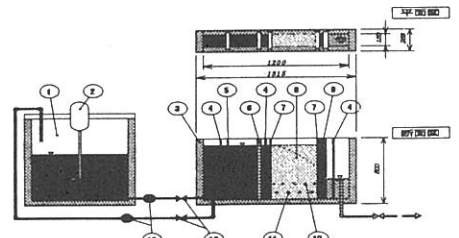


図-2 室内模型実験装置略

2.2 除去モデル化

室内実験結果をもとに、物性値の評価のためにモデル化を図る。ここでは各除去過程にける、除去率を表す次の式(1)～(5)を考える。

$$\begin{aligned}
 & COUT(1,t) = CIN(1,t) \cdot \exp\left(-\frac{U_1}{Q/A_1}\right) & (1) & \quad COUT(2,t) = CIN(2,t) \cdot \exp\left(-\frac{U_2}{Q/A_2}\right) & (2) \\
 & COUT(3,t) = \frac{CIN(3,t) \cdot \exp\left(\frac{Jv/K}{K}\right) - Cm}{\exp\left(\frac{Jv/K}{K}\right) - 1} & (3) & \quad COUT(4,t) = CIN(4,t) \cdot e^{-\frac{\lambda_c x_c}{u_c}} & (4) \\
 & & & & COUT(5,t) = CIN(5,t) \cdot e^{-\frac{\lambda_c x_c}{u_c}} & (5)
 \end{aligned}$$

ここに、各工程の入口における時間 t の TBT 濃度を $CIN(i, t)$ 、出口濃度を $COUT(i, t)$ とし、式 (1) 及び (2) は凝集沈殿を示し、汚泥の U_1, U_2 は沈降速度 (cm/sec)、 Q は処理流量 (m^3/sec)、 A_1, A_2 は平断面 (m^2) である。式 (3) は膜シート吸着を示し、 J_v は純水の透過流束 ($m^3/m^2/s$)、 C_m は膜面濃度、 K は物質移動係数である。式 (4) は砂ろ過、式 (5) は活性炭吸着を示し、 u_s, u_c は断面平均流速 (m/sec)、 λ_s, λ_c は阻止率 (1/sec)、 x_s, x_c は流下方向の延長 (m) で添え字 s は砂濾過、 c は活性炭を示す。ここで、膜シートの出口濃度 $COUT(3, t)$ は砂ろ過入口濃度 $CIN(4, t)$ と等しいと仮定すると式 (1) ~ 式 (5) までを繋ぐことができ、式 (6) が得られる。これより流入濃度 $CIN(1, t)$ を入力すると、それぞれの物性値の組合せによる出口濃度 $COUT(5, t)$ が得られる。

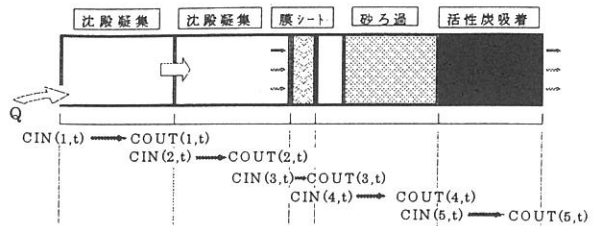


図-3 除去過程モデル平面図

$$COUT(5, t) = CIN(1, t) \frac{\exp\left[-\left(\frac{U_1}{Q/A_1} + \frac{U_2}{Q_2/A_2}\right) + \frac{J_v}{K}\right] - C_m}{\exp\left(\frac{J_v}{K}\right) - 1} \cdot e^{-\left(\frac{\lambda_s x_s}{u_s} + \frac{\lambda_c x_c}{u_c}\right)} \quad (6)$$

3. 模型実験と式計算値との比較

実験結果と式 (6) による濃度変化の比較を図-4に示す。計算値は表1に示すように λ_c 及び λ_s の3通りの組合せに対応したものである。実験値と計算値②は良い一致を示している。このとき $\lambda_c = 4.38 \times 10^{-4}$ 、 $\lambda_s = 8.58 \times 10^{-4}$ であった。このように、一連のモデルに含まれるパラメータを調整することにより TBT 濃度変化を記述することが判った。

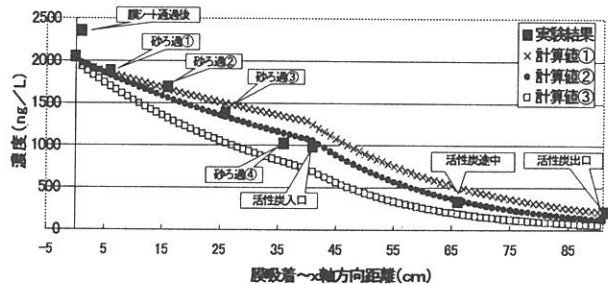


図-4 実験値と計算値によるTBT濃

次に、規制濃度 2 ng/L を達成することが可能かどうかを検討した。式 (3) 及び (4) から砂ろ過及び活性炭吸着による除去率は浸透流速 u 、阻止率 λ 、流下方向長さ x によって規定されることがわかる。ここで仮に活性炭吸着の流速 u_s のみを変化させる場合を考えた。図-5に示すように $u_s = 4.69 \times 10^{-4}$ (cm/sec) のとき、規制濃度 2 ng/L を達成することがわかった。

	λ_c (砂ろ過)	λ_s (活性炭)
計算値①	3.00×10^{-4}	7.00×10^{-4}
計算値②	4.38×10^{-4}	8.58×10^{-4}
計算値③	7.00×10^{-4}	1.00×10^{-3}

表-1 λ_c と λ_s の組合せ

このことから入口濃度 $CIN(1, t)$ を実際の海底汚泥の TBT 濃度としたときに出口濃度 $COUT(5, t)$ を TBT の規制値以下の濃度にするためには、除去率を規定する物性値を変化させることにより制御できること、また処分施設の立地条件やコストを考慮して対応することが可能であることが推察された。この場合一連の工程を繋いだ式 (6) によりある程度の予測が可能であることがわかった。

4. おわりに

実際の除去施設に用いる膜シート・砂・活性炭は一定時間を過ぎると目詰まりを起こし、洗浄・取替えが必要になると考えられる。今後は施設の管理運営を想定して全体コストを考えるため、このような目詰まりなども考慮した数学モデルを適用し、交換頻度やそれにかかる費用を予測したい。

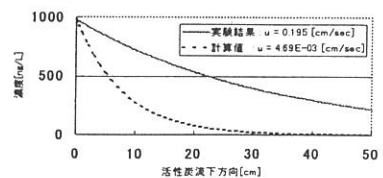


図-5 活性炭中の流速 u_s (cm/sec) と TBT 濃度変化

参考文献

- 1) 環境庁：環境ホルモン戦略 SPEED98, 1998, 5
- 2) IMO (国際海洋機構)：TBT等を含む有機スズ系船舶用塗料の使用規制に関する条約, 2001, 10
- 3) 井上尚英, 大嶋雄治, 今田信良, 本城凡夫：北部九州とその周辺水域における TBT 汚染, 日本環境毒性学会誌 in press