

N-10 ダイオキシン類溶出抑制のための 新しい覆砂工法の提案

○中村由行¹・内藤了二^{1*}・藤村貢²・衣笠泰広^{1,2}・井上徹教¹・浦瀬太郎³

¹ (独) 港湾空港技術研究所 海洋・水工部 沿岸環境研究領域 (〒239-0826 横須賀市長瀬3-1-1)

² 若葉建設(株) 事業統括本部 技術部 技術第二課 (〒153-0064 東京都目黒区下目黒2-23-18)

³ 東京工科大学 応用生物学部 (〒192-0982 東京都八王子市片倉町1404-1)

* E-mail: naitou-r852a@pari.go.jp

1. はじめに

平成12年度から全国的に実施されている公共用水域の底質ダイオキシン類調査の結果、数箇所の港湾で環境基準値を超えるダイオキシン類が確認され、その対策が緊急の課題となっている¹⁾。底質ダイオキシン類の対策工法としては、浚渫・掘削除去、原位置における覆砂が挙げられる。対策の選定にあたっては、汚染底泥を浚渫・掘削除去する恒久的な対策が基本とされているが、除去した汚染底泥の分解無害化処理に膨大な費用を要すること、処理・処分地の確保等の問題がある。そこで、汚染底泥上に良質な砂で覆う覆砂によって、底泥からの長期的なダイオキシン類の溶出を抑制する暫定的な対策が検討されている。覆砂工法は栄養塩類対策としても数多くの実績があり、施工性・効率性・経済性の面から魅力的な方法である。しかしながら、覆砂によるダイオキシン類の溶出抑制効果を長期的に持続できる層厚が明確にされていないこと、施工時の巻き上げ等による汚染など、実用的な対策としての課題が残っている。

著者らは²⁾、ダイオキシン類が有機物に吸着する特性を有することに着目し、覆砂材として有機物を多く含む底泥を用いることで、水域への溶出をより効果的に抑制できることをモデル計算により示している。しかしながら、一般に有機物含有量の高い底泥はシルト・粘土等、細かい粒子で構成されており、波浪・潮流等の外力に対して覆砂形状を安定に保つことが困難であり、覆砂材としては必ずしも適当ではないと考えられる。

また、従来の覆砂技術では、施工時における汚染底泥の巻き上げによる濁りの発生と周辺への汚染物質の拡散、投入砂と汚染底泥の混合等の影響が懸念され、覆砂による溶出抑制効果を十分に発揮できない可能性がある。これらの影響を低減する対策として、汚染底泥上にジオテ

キスタイル等のシートを敷設した後に覆砂を行う方法が提案されているが、長期的な溶出抑制効果を期待するには十分な覆砂厚を確保する必要があると考えられる。

以上のような従来法の長所と欠点を補う工法として、著者らは、図-1に示すように、有機物を多く含む土砂を2枚の透水性シートで挟み込んだ構造を持つマットを敷設し、その上に覆砂を行う全く新しい覆砂方法を考案した。本方法では覆砂に先立ちマットを敷設するため、施工時における浮泥の巻き上げや、周辺海域への濁りおよび汚染底泥の拡散、再堆積を抑制できる。さらに、透水性シートで挟み込んだ層に含有される有機物による有害化学物質の吸着効果のため従来法に比較して長期的な溶出抑制効果が大きいと期待される。そのため、覆砂厚の低減が可能となり、航路・泊地など水深の確保が必要な場所への適用が可能となるほか、経済的にも有利である。

本研究では、高濃度の汚染底泥を用いた室内実験系において、従来型の覆砂工法と有害化学物質拡散防止マットを用いた新しい工法をそれぞれ模擬した比較実験を行うと共に、鉛直一次元の移流・拡散方程式を基本とした数理モデルを構築し、新しい覆砂工法によるダイオキシン類溶出抑制効果を評価するものである。

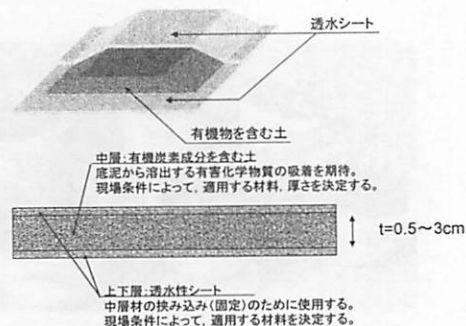


図-1 有害化学物質拡散防止マット

2. 室内実験

(1) 実験方法

有害化学物質拡散防止マットを用いた覆砂の有効性を確認するため、従来型の覆砂工法と新しい覆砂工法のコ概念をそれぞれ模擬した室内実験を実施した。

実験では、千葉港市原地区で採取した高濃度のダイオキシン類汚染底泥を予めミキサーにて混合攪拌し、均一にした試料を準備しておき、8本のアクリルコア(φ200mm×500mm)それぞれに5 cm厚に敷き詰めた。その後、覆砂なし(ケース1)、清浄な砂を3 cm覆砂した場合(ケース2)、未汚染底泥を3 cm覆砂した場合(ケース3)、未汚染底泥を1 cm覆砂した後その上に清浄な砂を覆砂した場合(ケース4)の計4ケースを設定し、それぞれ2本ずつコアを使用した。ここでケース4は有害化学物質拡散防止マットの適用を模擬したものであり、下層の未汚染底泥を上下2枚の透水シート(チカミルテック社製スパンボンド不織布)で挟み込んだ構造とした。所定の層厚に覆砂を行った後、底面から30 cmの高さまでろ過海水を注入して実験を開始した。図-2に実験ケース概要図、表-1に実験に用いた材料の理化学的な性状を示す。

ここで、清浄な砂として日本水道協会規格(JWWA A-103)を満足するろ過砂(100~105℃で乾燥、混合した試料)、未汚染底泥として名古屋港の底泥(60℃で乾燥、磁製の乳鉢にて荒く粉碎後、250 μmふるいを通過する程度までミルで粉碎・混合した試料)、ろ過海水として大井川港から採取した海水を段階的にろ過後、最終的に0.5 μmカートリッジフィルターでろ過したものをそれぞれ用いた。

汚染底泥層への覆砂材のめり込み等を最小限にするため、汚染底泥層設置から覆砂材設置までの約1ヶ月間静置しておき、汚染底泥層の自重圧密終了を確認した後に、乾燥・粉碎・混合した覆砂材をステンレス製スパテル等にて静かに設置・敷き均しを行った。覆砂後は圧密沈下の状況を確認するとともに、覆砂7日後、4ヶ月後に直上水を採取し、ガラス繊維フィルター(Whatman社製0.7 μm GF/F)にて粒子態、溶存態に分画した後、それぞれのダイオキシン類濃度(粒子態、溶存態)の分析を行った。また、ケース2、ケース4については実験終了後、覆砂表面から0~2cm、2~3cm、3~4cm、4cm以深毎に層切りし、土質性状およびダイオキシン類含有量(4cm以深を除く)を測定した。実験期間中はコアを10℃の恒温庫で保管するとともに、常時エアレーションによって底質が巻き上がらない程度の緩やかな攪拌を行い、好気的な条件を保つようにした。

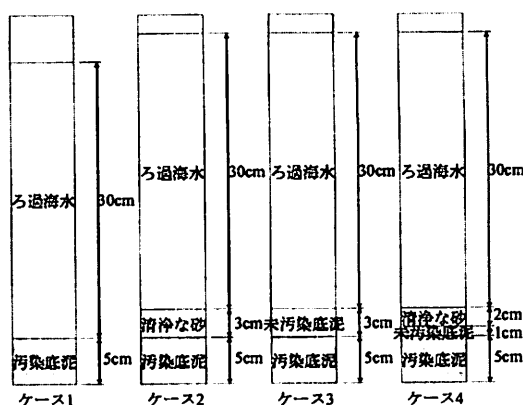


図-2 実験ケース概要図

表-1 実験材料の理化学的性状

測定項目	汚染底泥	清浄な砂	未汚染底泥
単位体積重量(g/cm ³)	1.277	1.834	1.440
含水比(%)	180.3	35.4	105.5
間隙率(%)	82.3	48.5	73.6
土粒子密度(g/cm ³)	2.575	2.629	2.653
粒度組成	粗砂(%)	0	0
	中砂(%)	4	99
	細砂(%)	26	1
	シルト(%)	28	0
	粘土(%)	42	0
強熱減量(%)	6.2	0.3	9.3
TOC(mg/g)	17.4	N.D.	32.1
ダイオキシン類含有濃度(pg-TEQ/g)	7700	0.0039	19

(2) 実験結果

図-3に覆砂7日後、4ヶ月後の直上水中のダイオキシン類濃度の測定結果を示す。7日後、4ヶ月後ともに覆砂を実施したケースでは覆砂材の種類による有意な差は確認できなかったものの、覆砂の有無によって直上水中の濃度に顕著な差が出ており、覆砂によって直上水への溶出が抑制されていることが確認できた。なお、7日後のケース1、3における直上水中の濃度の測定結果はバラツキが大きかった。この原因として、覆砂設置・注水時に直上水中に巻き上がって浮遊し、7日間では沈降しきれなかった汚染底泥や未汚染底泥の微細粒子を採取したためと考えられる。

ケース2及び4について、実験終了時にコアの各層での物理性状とダイオキシン類含有量を測定した。ケース2については、表層から3~4cmの層で含水比、強熱減量、TOC、粒径分布、ダイオキシン類含有量が初期条件と比べて実験終了時には大きく変化し、覆砂材の一部が汚染底泥層へのめり込むことによって混合が生じたことが確認された。また、表層から2~3 cmの層においてもダイオキシン類含有濃度がわずかに上昇し、覆砂と汚染底泥の混合の影響が表れたと考えられる。実験終了後にコア

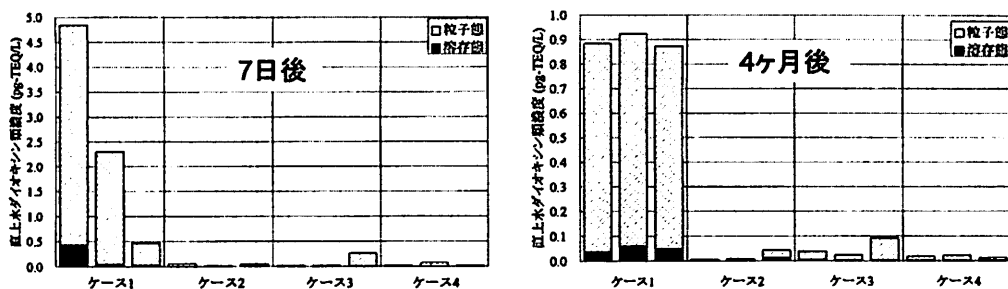


図-3 直上水中のダイオキシン類濃度測定結果（7日後、4ヶ月後）

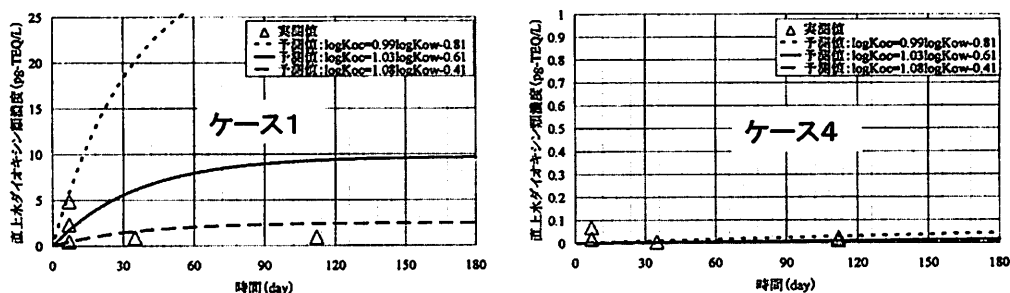


図-4 直上水中ダイオキシン類濃度の時間的な推移に関する実験結果と数理モデル

を層切りして目視観察した結果、その混合層厚は1～2 mm程度であった。ケース4については、目視観察、土質分析結果から混合層の発生は確認されなかった。

(3) 数理モデルによる計算結果との比較

実験結果を著者らが開発した数理モデルと比較した。数理モデルは、覆砂後の圧密による移流、溶存態ダイオキシン類の間隙水中及び底泥から水中への拡散、ダイオキシン類の有機物への吸着、及び分解過程を考慮した一次元移流拡散方程式から構成される。ダイオキシン類の有機物への吸着については瞬時に生じるものとし、溶存態と粒子態濃度の分配平衡関係については、含有される異性体・同族体のそれぞれに対して以下の提案式²⁾を標準とし、式の係数については誤差を考慮して幅を持たせた計算を行った。モデルの詳細については、衣笠³⁾を参照されたい。

$$\log K_{oc} = 1.03 \log K_{ow} - 0.61 \quad (1)$$

実験に対応した初期条件及び境界条件の下で直上水中のダイオキシン類濃度の時系列変化を計算した。覆砂のないケース1及び新しく提案した覆砂工法を模擬したケース4の計算結果を図-4に示す。設定したパラメータ値によって、大きく計算値は異なるもののケース1の7日目の計算値は、ほぼ実験値の範囲内であり、ケース4の場

合も計算値は実測値付近であった。ケース1において、1ヶ月後、4ヶ月後の実測値は計算値よりも大幅に小さかった。検出された直上水中のダイオキシン類のほとんどが粒子態であったことから、溶出したダイオキシン類の大部分が懸濁した粒子状物質に吸着し、それらが沈降することで直上水中から失われた可能性が考えられる。

3. 結論

ダイオキシン類汚染対策工法として、有害化学物質拡散防止マットを汚染底泥上に敷き、その上に覆砂を行う新しい覆砂工法を提案した。室内実験及び数理モデルにより、マット内の有機物によって間隙水を拡散するダイオキシン類を効果的に捕捉し、上方への溶出を抑制する効果があること、従来の覆砂工法と比較してダイオキシン類の溶出をより効果的に抑制できることが示された。

参考文献

- 1) 内藤了二 (2004) 港湾における底質ダイオキシン類対策の最新の取り組みについて、環境と測定技術, Vol.31, No.8, pp.32-35.
- 2) 衣笠泰広, 井上徹教, 中村由行, 内藤了二 (2007) : 底質ダイオキシン類に関する物質循環過程のモデル化, 第41回日本水環境学会年会講演集, pp.274.
- 3) Seth, R., D. Mackay and J. Munkie (1999) Estimating the Organic Carbon Partition Coefficient and its Variability for Hydrophobic Chemicals, *Environmental Science & Technology*, Vol.33, pp.2390-2394.