

環境浚渫工法の汚濁発生調査事例と 水質モニタリング手法の提案

FIELD SURVEY ON TURBIDITY DURING ENVIRONMENTAL DREDGING AND PROPOSAL OF NEW MONITORING TECHNIQUE

佐藤昌宏¹・車田佳範²・守屋典昭³・上原大摩⁴・滝上英孝⁵・酒井伸一⁵

Masahiro SATO, Yoshinori KURUMADA, Noriaki MORIYA, Taima UEHARA
Hidetaka TAKIGAMI and Shin-ich SAKAI

¹正会員 五洋建設株式会社 土木部門環境事業部 (〒112-8576 東京都文京区後楽2-2-8)

²正会員 工修 五洋建設株式会社 環境研究所 (〒329-2746 栃木県那須郡西那須野町四区町1534-1)

³五洋建設株式会社 技術研究所 (〒329-2746 栃木県那須郡西那須野町四区町1534-1)

⁴工修 五洋建設株式会社 土木部門環境事業部 (〒112-8576 東京都文京区後楽2-2-8)

⁵工博 (独)国立環境研究所 循環型社会形成推進・廃棄物研究センター (〒305-8506 茨城県つくば市小野川16-2)

During dredging of contaminated sediment as an environmental countermeasure, it is important to prevent secondary environmental pollution caused by turbidity generation. Especially, protection against dioxin diffusion should require control of suspended solids (SS). In this paper, “environmental dredging method” and “real-time water quality monitoring system” we have developed were reported, that have been found suitable to practical application. As the result of on-site investigation, actual measurements of turbidity during the “environmental dredging method” demonstrated that it could effectively reduce turbidity compared to previously established methods. In addition, a new real-time water quality (SS) monitoring technique and a framework of its operation combined with an environmental dredging were proposed.

Key Words : Environmental dredging, turbidity, monitoring, dioxin, sediment

1. はじめに

ダイオキシン類による環境汚染問題は社会的に関心を呼んでおり、特に底質においては、魚介類を経由して人体への蓄積の恐れがあることから対策が急務となっている。この中で汚染底質の浚渫除去は、最もリスク低減効果の高い対策手法といわれているが、施工にあたっては、浚渫精度、浚渫時の汚濁の拡散防止、モニタリング手法などの点で、従来技術よりもさらに高度な浚渫技術が要求されている。

このような背景のもと、汚染底質の環境浚渫を水質の二次汚染を最大限抑制して安全に行うことを目的とした「環境浚渫工法」, 「リアルタイム汚濁監視システム」¹⁾の新技术を開発し、実際の施工において効果を確認したので、その結果を紹介する。

また実際に得られた浚渫時の濁りの発生量(発生原単位)と簡易な拡散公式を利用することで、ダイオキシン類汚染底質対策を安全に進めるためのモニタリング手法を提案するものである。

2. 環境浚渫工法 (END工法)

(1) ダイオキシン類汚染底質浚渫時の課題

ダイオキシン類は底質の表層数m以内の比較的浅

い部分に堆積していることから、汚染された部分だけ余堀りを少なく確実に浚渫除去できる技術が望まれる。またダイオキシン類は水溶解度は低く、底質中の微粒子に吸着して移動することが多いことから、浚渫時の濁りの発生はそのまま水質の二次汚染につながることになる。

「環境浚渫工法=END (ENvironmental Dredging) 工法」は従来の課題であった汚染底質の効率的な除去、濁り発生の低減可能な新しい浚渫技術である。

(2) 環境浚渫工法の特長

END工法の一の特長は、ユニークな形状の「環境浚渫グラブ」による①薄層水平掘削機構および②汚濁発生抑制機構である。図-1に従来型グラブとの掘削機構の相違を示す。

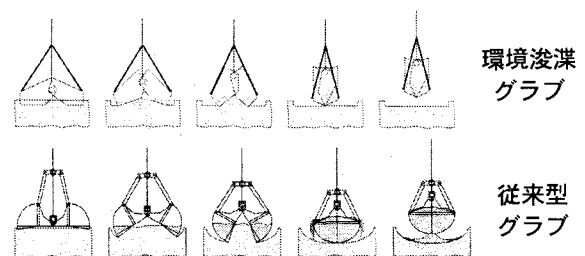


図-1 浚渫機構の相違

a) 薄層水平掘削機構

従来型グラブにおいては、グラブの構造上掘削断面は円弧上となり、計画深度を確保するためには約50cm程度の余掘厚が必要であった。一方、環境浚渫グラブは、特別な操作なくグラブを吊り上げるだけで刃先が水平に閉じる機構になっており、層厚30～40cmでの薄層水平浚渫が可能である。また1掘削当たりの掘削面の凸凹は10cm～20cmと非常に小さく、埋立処分土量を大幅に低減することができる。

b) 汚濁発生抑制機構

写真-1に示すように、環境浚渫グラブはサイドプレートがオーバーラップして閉じる構造になっており、密閉性が非常に高い。またグラブ先端には刃先が完全に閉じたことを確認するための装置が取り付けられており、異物等の噛み込みによる浚渫土砂の漏れを未然に防げる。

次に水平掘削機構により、グラブの刃先しか掘削面に接しないため、接触面積が広い従来型グラブより、グラブ上昇時の吸い上げや付着した泥による濁りの発生も低減できる（図-1参照）。

さらにグラブ側面には、ベンチレーティングシステムが設けられており、グラブ降下時にはプレートが開き、着底時の水圧を低減させ浮泥の巻き上げを防止するとともに、上昇時にはプレートが閉じ、密閉性を保てるようになっている。図-2に、ベンチレーティングシステムを示す。

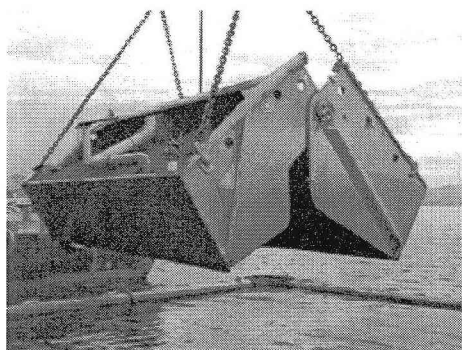


写真-1 環境浚渫グラブの形状

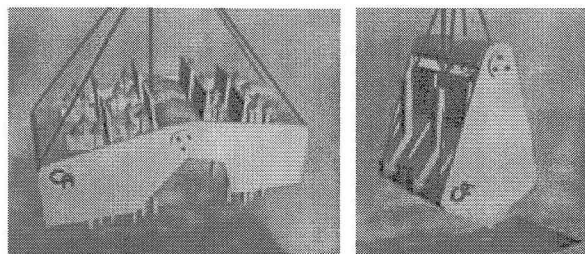


図-2 ベンチレーティングシステム

また新たに開発した「浚渫管理システム」により、余剰水の少ない高濃度浚渫を可能としたこともEND工法の大きな特長のひとつである。

3. 汚濁発生原単位の現地調査事例

(1) 調査手順

END工法による汚濁発生低減効果を検証することを目的に、実際の工事において汚濁拡散の状況を調査した。調査場所は、日本で初めてEND工法を本工事に採用した「広島港出島地区航路(-14m)浚渫工事」である。

<施工概要>

- ・ 名 称: 広島港出島地区航路(-14m) 浚渫工事
(以下、出島浚渫工事とよぶ)
- ・ 発 注 者: 国土交通省中国地方整備局
- ・ 工 期: 平成15年4月28日～9月12日
- ・ 浚渫面積: 75,083 m²
- ・ 浚渫土量: 6,621 m³
- ・ 浚渫深度: C.D.L -14.0 m

ここでの調査結果は、汚濁発生原単位としてまとめた。汚濁発生原単位とは、各浚渫工法による濁りの発生量を算出し濁りの拡散を予測するための指標である。

現地調査の手順を図-3に示す。現地調査は、事前調査および本調査からなる。事前調査は、本調査時の汚濁調査ライン、測定日時の決定を目的に、本調査は、汚濁発生原単位の算定、汚濁拡散調査および予測を目的に実施した。

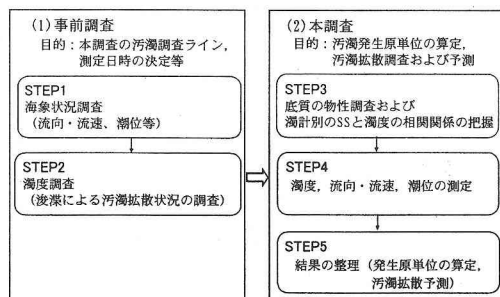


図-3 調査手順

(2) 事前調査

a) STEP1 海象状況調査

大潮時に測定した流向・流速の測定結果の一例を図-4に示す。流向は、満潮時から干潮時までに180度変化することを確認した。結果より、本調査の調査時期は、上げ潮時の2時間とした。

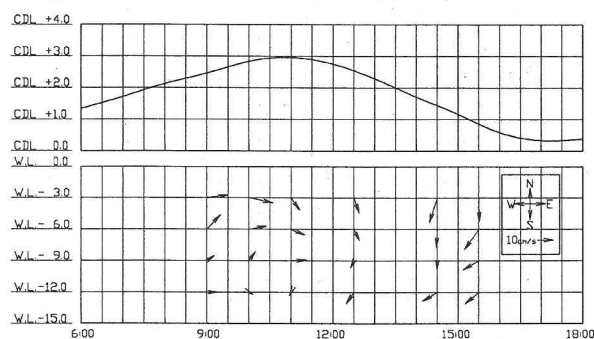


図-4 流向・流速の測定結果の一例

b) STEP2 濁度調査

浚渫により発生する全量のSSが汚濁測定ラインを通過することが条件のため、浚渫位置の流向に直行する測定ラインの両端の濁度は、バックグラウンド（以下BGとよぶ）の濁度とほぼ等しくなければならない。事前調査の濁度測定結果より、本調査の汚濁測定ライン延長を100mとした（図-6、図-7参照）。

(3) 本調査

a) STEP3 底質の物性調査および濁度計別のSSと濁度の相関関係の把握

表-1に、浚渫場所の底質の土質試験結果を示す。今回浚渫した底質は、非常に軟弱な粘土であり、汚濁が拡散しやすい性質を有していた。

表-1 浚渫位置の底質調査結果

採泥地点	浚渫区域西側	浚渫区域東側
含水比 (%)	204.75	215.39
湿潤密度 (g/cm ³)	1.240	1.231
液性限界 (%)	141.5	129.1
塑性限界 (%)	40.7	41.7
土質分類	粘土	粘土
粒度組成		
礫分 (%)	0.2	0.1
砂分 (%)	1.4	1.1
シルト分 (%)	62.1	67.9
粘土分 (%)	36.3	30.9
強熱減量 (%)	12.1	12.3
pH	8.0	7.9

図-5に、上記底質および調査に利用した濁度計を用いた濁度～SS濃度の相関の一例を示す。全ての濁度計で濁度～SS濃度の間に良い相関が得られた。

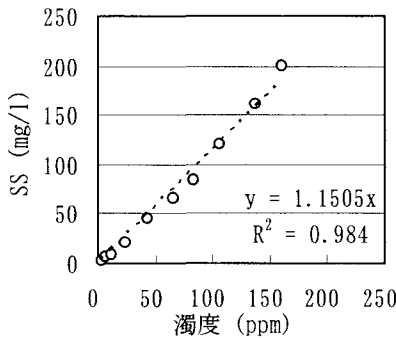


図-5 濁度計のSS濃度と濁度の相関

b) STEP4 濁度、流向・流速の測定

汚濁発生原単位算定のための調査測点は、浚渫位置前方c点を中心として、a～e点の5測点を25m間隔に配置し、延長100mの測定ラインを設定した。ここで、調査ライン両端のa、e点はBGと同様になるように設定している。また、汚濁拡散の調査測点は、浚渫位置前方の延長線上50mをf点、100mの地点をg点とした。調査深度は、水面から-1.0m、-3.0m、-6.0m、-9.0m、-12.0m、-15.0m（-15.5m）を濁度測定層とした。調査測点の平面配置を図-6に、断面配置を図-7に示す。

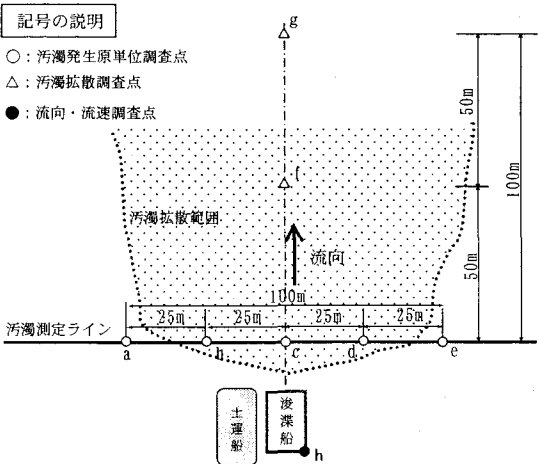


図-6 汚濁測定ラインの平面配置図

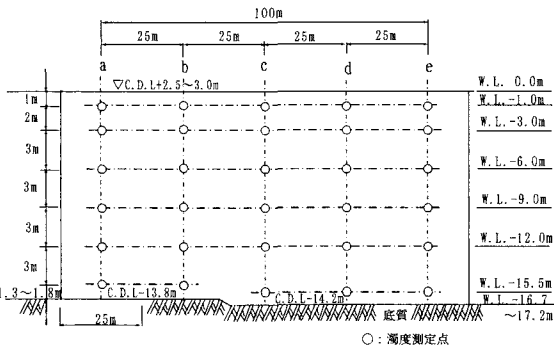


図-7 汚濁測定ラインの断面配置図

表-2に、浚渫によって生じた汚濁測定ラインにおけるSS濃度（濁度より換算）の平均値を示す。平均値とは、実験期間中に3分間隔で測定した濁度を平均した値である。また、このSS濃度は、同位置でのBG値のSS濃度を差し引いた値であり、浚渫による影響のみを表現している。

その結果、浚渫位置直近のC点を中心に濁りが発生しており、C点の最下層の平均SS濃度は15.9 mg/l、下層～上層にかけては4.6～9.4 mg/l、上層では1.2 mg/lとなった。また、浚渫位置から25m離れたB点、C点は0.0～1.6 mg/lのSS濃度と低い値を示した。なお、BGを差し引いたSS濃度が負になった測定点は、ND (Not Detected) とした。

表-2 汚濁測定ラインのSS濃度（平均値）の結果

	SS濃度（平均値）測定結果 mg/l				
測定点	a	b	c	d	e
W.L. - 1.0m	0.1	0.6	1.2	0.5	0.2
W.L. - 3.0m	ND	ND	9.4	ND	ND
W.L. - 6.0m	ND	ND	5.7	ND	ND
W.L. - 9.0m	ND	ND	4.6	ND	ND
W.L. -12.0m	0.9	1.6	7.5	0.8	0.5
W.L. -15.0m	0.3	0.4	-	-	-
W.L. -15.5m	-	-	15.9	1.4	1.4

c) STEP5 結果の整理

汚濁調査結果より、汚濁発生量と汚濁発生原単位を次式²⁾により求める。

・汚濁発生量算出式

$$W_o = S \cdot B \cdot H \cdot u \times 10^6 \quad \dots (1)$$

W_o : 濁りの発生量 (t/h)

S : 測定ラインを通過するBG値を差し引いた平均SS濃度 (mg/l)

B : 測定ラインにおける濁りの領域幅 (m)

H : 水深 (m)

u : 流速 (m/h)

・汚濁発生原単位算出式

$$\omega_{01} = W_o / Q_o \quad \dots (2)$$

ω_{01} : 測定ライン位置での汚濁発生原単位 (t/m³)

Q_o : 取扱土砂量 (m³/h)

汚濁発生原単位は、浚渫工法、取扱土砂量が同じであっても現地の流速および土質によって大きく変動する。そこで、砂とシルト以下の境界である粒子径 $d = 74 \mu\text{m}$ とそれに相当する汚濁限界流速 $u = 7\text{cm/s}$ によって次式で標準化する。

・汚濁発生原単位標準化の式

$$\omega_o = (R_{74} / R_{01}) \times \omega_{01} \quad \dots (3)$$

ω_o : 標準化した汚濁発生原単位 (t/m³)

ω_{01} : 現地の流況下で求めた汚濁発生原単位

R_{74} : 取り扱い土砂の粒子径 $74 \mu\text{m}$ 以下の粒径加積百分率 (%)

R_{01} : 現地の流速に対応する粒子径以下の粒径加積百分率 (%)

表-3に、上記の計算式より求めたEND工法の汚濁発生量および汚濁発生原単位と、ほぼ同一容量の普通グラブ（従来型グラブ）の汚濁発生原単位とを比較して示す。また、表-4は、過去に調査されたグラブ容量および取扱土質の異なる普通グラブ浚渫による汚濁発生原単位 ω_o の平均値を示したものである。これらの結果より、END工法は普通グラブと比較し濁りの発生が少ないことがわかる。

表-3 END工法の汚濁発生量、汚濁発生原単位³⁾

工法	型式	取り扱い土砂			発生原単位 (t/m ³)	時間当り発生量 (t/s)	取扱土砂量 (m ³ /h)
		シルト以下	粘土以下	分類			
END工法	7m ²	98.6	33.6	粘土	7.13×10^{-3}	0.169×10^{-3}	85.3
普通グラブ浚渫工法	8m ³	58.0	34.6	粘土	89.03×10^{-3}	14.443×10^{-3}	584.0

表-4 普通グラブ浚渫工法の汚濁発生原単位の平均値（流速=7cm/s）⁴⁾

砂質土砂		粘性土砂	
汚濁発生原単位	調査のデータ数	汚濁発生原単位	調査のデータ数
8.4×10^{-3} (t/m ³)	1	38.0×10^{-3} (t/m ³)	6

4. リアルタイム汚濁監視システム

(1) 浚渫時の水質モニタリングの考え方

図-8および表-5に、ダイオキシン類汚染底質の浚渫時の水質モニタリングの基本的な考え方⁵⁾を示す。

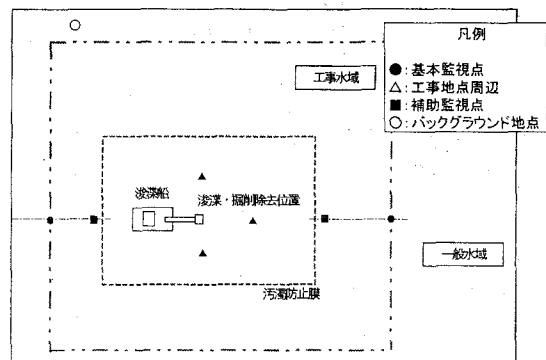


図-8 浚渫・掘削水域における基本監視点と補助監視点の設定例⁵⁾

表-5 基本監視点及び補助監視点での監視基準⁵⁾

監視地点区分	調査項目	調査回数	監視基準値	判定方法
基本監視点	対策対象物質	ダイオキシン類	環境基準値 (1pg-TEQ/L)	監視基準値を超えないことを確認する
	濁り	濁度	1回/日	ダイオキシン類との相関に基づき設定
補助監視点	濁り	濁度	4回/日	ダイオキシン類との相関に基づき設定

工事中の水質モニタリングの目的は、浚渫による汚濁発生に伴う環境への二次汚染を防止することにある。そのため、工事水域と一般水域との境界に設けた「基本監視点」において、ダイオキシン類の水質環境基準 (1 pg-TEQ/L) を超過しないことを常に確認する必要がある。

ここで、水質ダイオキシン類のリアルタイム分析は現段階では困難であることから、事前にダイオキシン類と濁度の相関を確認した上で、濁度を指標として濁度計で監視することになる。またこれらのモニタリングを安全側で行うために、基本監視点と工事地点との間に「補助監視点」を設け、ダイオキシン類と濁度との相関および浚渫箇所からの汚濁拡散計算等に基づき補助監視点での監視基準値を設定し、これらの基準値で監視する必要がある。

(2) リアルタイム汚濁監視システム

従来、浚渫施工時の濁りの監視は、1日に4回、交通船で補助監視点に行き、濁度計を吊り下げて濁度計測するのが一般的であった。ただし、ダイオキシン類で高濃度に汚染された底質においては、わずかな濁りの発生が水質汚染に結びつくため、1日に数回の観測では施工時の安全性を担保することが困難であると思われた。そこで、施工時の水質環境を高精度かつリアルタイムに一元管理できる「リアルタイム汚濁監視システム」¹⁾を開発した。

写真-2に、システムのうち洋上観測装置を示す。洋上観測装置は、フロート上の電源装置、データ通信装置および水中に吊り下げたセンサー類（ここでは濁度計、流向流速計）、係留用備品からなる。

本システムの特長は、洋上観測装置で連続的に計測している濁度および流向・流速のデータを、無線LANによりリアルタイムで集中管理システムに通信することにより、施工へのフィードバックを可能に

した点である。例えば、当システムを前述の補助監視点に設置した場合、浚渫船のオペレータは、写真-3に示す監視画面で常に監視基準値と濁りの発生量とを確認しながら作業を行うことができ、濁りの発生量が監視基準値に近づいて来ている場合には施工速度を遅くするなど、施工への迅速なフィードバックが可能である。

本システムも、前述の「出島浚渫工事」の実施工で使用し、現場への適用性を確認している。

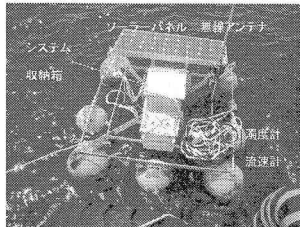


写真-2 洋上観測システム

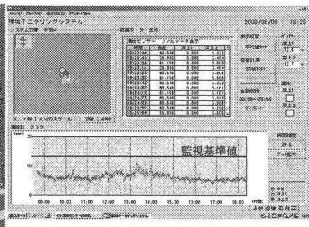


写真-3 監視画面

5. 浚渫工法と水質モニタリング手法の提案

(1) 新しい環境浚渫システムの提案

ここでは実際にダイオキシン類汚染底質を浚渫除去することを想定し、底質の汚染濃度に応じた浚渫工法の選定方法、監視点の設置方法、施工時のモニタリング方法について、ケーススタディに基づき提案を行う。

(2) 底質の汚染濃度と浚渫工法の選定

a) 汚濁拡散予測

浚渫技術の適用性は、浚渫による濁りの発生量に基づいた拡散計算を行い、基本監視点で水質環境基準を満足できるかどうかで判断する。

以下に、END工法と普通グラブ浚渫工法の発生原単位を用いて汚濁拡散予測を実施した結果を示す。拡散予測式には様々なモデルがあるが、ここでは汚濁発生量、拡散係数、水深、流速等を入力することで簡易に求められる解析解の代表的な拡散モデルであるFick-岩井の計算式²⁾を用いた。

①汚濁拡散予測式

$$S(X) = \frac{q_0}{2 \times H \times \sqrt{(\pi \times K \times U \times X)}} \times 10^6 \quad \dots (4)$$

$S(X)$: 拡散距離 X 地点のSS濃度 (mg/l)

H : 水深 (cm)

K : 水平方向拡散係数 (cm²/s)

U : 平均流速 (cm/s)

X : 発生源からの距離 (cm)

$$q_0 = w \times Q_s \times 10^6 / 3,600 \quad \dots (5)$$

q_0 : 連続的SS発生量 (g/s)

w : 現場における発生原単位 (t/m³)

Q_s : 取扱土砂量 (m³/h)

②設定条件

計算に用いたパラメータは、出島浚渫工事の施工条件と同様にした。

- ・1時間当りの浚渫量：85.3 m³/h
- ・平均流速：5.8 cm/s
- ・水平方向拡散係数：961 cm²/s (広島湾)²⁾
- ・水深：17.0m
- ・粒径：シルト分以下 100%
- ・汚濁発生原単位：

END工法 7.13×10^{-3} t/m³

普通グラブ浚渫工法 38.00×10^{-3} t/m³

- ・汚濁防止柵の効果：除去率 60%と仮定

③汚濁拡散計算結果

上記条件による汚濁拡散計算結果の例を図-9に示す。END工法は普通グラブ浚渫工法と比較し汚濁拡散が少ないことが確認できる。また出島浚渫工事の汚濁拡散調査で得られた実測値は、50mのf地点で1.3 mg/l、100mのg点で0.3 mg/lとなった。数値は、f点、g点で測定したSS濃度を全深度で平均したものである。実測値は、予測値より下回る結果となった。

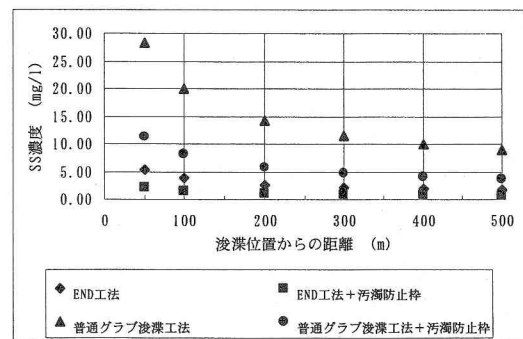


図-9 汚濁拡散計算結果の例

b) SS濃度と水質ダイオキシン類濃度の関係

ダイオキシン類は水溶性は低く、底質中の微粒子に吸着して移動することが多いことから、水質中のSS濃度がすべて底質由来であると仮定した場合の水質ダイオキシン類濃度は次式で表せる⁶⁾。

$$\text{水質ダイオキシン類濃度} = a \times b \times 10^{-3} \quad \dots (6)$$

a : 底質ダイオキシン類濃度 (pg-TEQ/g)

b : SS濃度 (mg/l)

ただし上式は簡易的な算定式であり、実際にはSSの発生源となる微粒子ほどダイオキシン類濃度が高いことから、何らかの安全率を乗じる必要がある。これらの値は底質により異なるものであり、濁度による水質監視を実施するためには、事前に浚渫箇所底質を採取し、公定法やバイオアッセイ⁷⁾等の簡易法によりSS濃度 (濁度) と水質ダイオキシン類濃度の相関を確認しておくことが何よりも重要である。

c) 浚渫技術の適用性検討

前に示した汚濁拡散計算と、汚濁と水質ダイオキ

シン類濃度の関係から浚渫技術の適用性を検討する。
例えば底質ダイオキシン類濃度を1,000 pg-TEQ/gとした場合、(6)式により推定した、各浚渫工法の水質ダイオキシン類濃度分布は表-6のようになる。これらの結果より、例えば基準監視点を浚渫位置から300m離れた地点に設定した場合、END工法と汚濁防止枠を用いて浚渫すれば、環境基準値の1 pg-TEQ/lを満たして施工できることがわかる。

また基準監視点が浚渫箇所から近く、監視基準値を満足できない場合には、時間当たりの浚渫土量を低減するか、あるいは汚濁防止膜を設置するなどして、再度汚濁拡散計算を実施する必要がある。

表-6 浚渫位置からの距離と、(6)式より推定した水質ダイオキシン類濃度

浚渫方法	浚渫位置からの距離 (m)					
	50	100	200	300	400	500
END工法	5.31	3.76	2.66	2.17	1.88	1.68
END工法+汚濁防止枠	2.12	1.50	1.06	0.87	0.75	0.67
普通グラブ浚渫工法	28.31	20.02	14.15	11.56	10.01	8.95
普通グラブ浚渫工法+汚濁防止枠	11.32	8.01	5.66	4.62	4.00	3.58

単位: pg-TEQ/l

(3) 計測の限界を考慮した補助監視点の設定

実際の施工においては、リアルタイムで測定が可能な濁度で監視を行うことになる。ただし水中での濁度を正確に連続測定することは困難であり、BGとの差 +2.0程度が監視の限界と考えられる。よって高濃度汚染底質で、BG +2.0程度のわずかな濁りの発生により水質ダイオキシン類基準を超過する場合には注意が必要である。

表-7に、補助監視点でBG +2.0を検知した場合の、基本監視点での水質ダイオキシン類濃度を示す。計算に用いたパラメータは前項と同様であり、底質ダイオキシン類濃度1,000 pg-TEQ/g、SSと濁度は同じ値であると仮定している。同表より、例えば補助監視点が100mの位置の場合は、補助監視点でBG +2.0を検知した時には基準監視点ではすでに監視基準値を超えてしまっていることになる。よって補助監視点が浚渫位置に近づくほど安全側の管理であり、現実的には補助監視点を浚渫位置から30~50m程度に設定することが妥当と考えられる。

表-7 補助監視点の位置と基準監視点での水質ダイオキシン類濃度

補助監視点	汚濁発生源からの距離 (m)								
	10	20	30	50	100	200	300	400	500
補助監視点10m	2.00	1.42	1.16	0.90	0.63	0.45	0.37	0.32	0.28
補助監視点20m	—	2.00	1.63	1.26	0.89	0.63	0.52	0.45	0.40
補助監視点30m	—	—	2.00	1.55	1.10	0.78	0.63	0.55	0.49
補助監視点50m	—	—	—	2.00	1.41	1.00	0.82	0.71	0.63
補助監視点100m	—	—	—	—	2.00	1.41	1.16	1.00	0.89
補助監視点200m	—	—	—	—	—	2.00	1.63	1.41	1.26

単位: pg-TEQ/l

(4) リアルタイムモニタリングシステムの利用

上記手法により浚渫工法および基本監視点、補助監視点の位置を決定し、「リアルタイム汚濁監視システム」により浚渫時の汚濁の発生状況を常に監視

する。監視システムの設置場所は補助監視点の位置とし、濁度計の計測誤差を考慮した安全な監視基準値を設定したうえで、汚濁拡散計算により基準監視点での水質ダイオキシン類濃度の予測を行う。今回の試算によると、底質が1,000 pg-TEQ/gまでであれば、END工法+汚濁防止枠とリアルタイム監視装置を補助監視点50mに1機を設置することで、水質への二次汚染なく安全な浚渫施工の可能性を提示できた。また汚染濃度が高くわずかな濁りの発生により監視基準を超過する場合には、扱い土量を少なくするとともに、補助監視点を浚渫地点と基準監視点の間に2ヶ所設置するなどの工夫が必要である。

6. おわりに

汚染底質の効率的な除去、高濃度浚渫、さらに濁り発生の低減が可能な「環境浚渫工法」の開発を行った。出島浚渫工事において、「環境浚渫工法」は従来の普通グラブと比較して汚濁発生原単位を10分の1程度に抑制できることを確認した。また、浚渫時における水質モニタリング手法として、「リアルタイム汚濁監視システム」の開発を行った。

これらの結果を用いて、ダイオキシン類汚染底質を浚渫する場合に、水質への二次汚染を防止しながら安全に施工を実施するためのモニタリング手法の考え方を示した。今後も更にシステム向上のための開発を進め、施工性や環境影響評価などのデータを蓄積していく予定である。

最後に、本検討は出島浚渫工事の汚濁測定結果を用いてダイオキシン類濃度の推定方法を示しているが、当現場区域において底質汚染は全く報告されていないことを明記しておく。

謝辞：現地調査に際し、多大なご協力を頂いた国土交通省中国地方整備局広島港湾・空港整備事務所の方々に深く感謝いたします。

参考文献

1) 佐藤昌宏, 車田佳範, 上原大摩: 底質ダイオキシン類対策システムの開発, 北陸の建設技術, VOL.152, pp.39-42, 2004.
2) 油谷進介, 室田明, 岩田尚生: 浚渫埋立工事における濁りの発生原単位の検討, 土木学会論文集, No.474/IV-20, pp67-74, 1977.
3) 運輸省第4港湾建設局海域整備課: 浚渫埋立による濁り等の影響の事前予測マニュアル, 1977.
4) 岩田尚生: 作業船の施工に伴う濁りの発生量, 作業船, 第202号, 1992.
5) 国土交通省港湾局: 港湾における底質のダイオキシン類対策技術指針(改定版), 2004.
6) 水底土砂に係る処分方策基礎調査検討会: 水底土砂に係る処分方策基礎調査報告書, 2003.
7) 酒井伸一, 滝上英孝, 細江和典, ピーター・ペーニッシュ: ダイオキシン様物質の培養細胞によるバイオアッセイ, 廃棄物学会誌, Vol.14 No.1, pp.34-50, 2003.