

港湾空港技術研究所 資料

TECHNICAL NOTE
OF
THE PORT AND AIRPORT RESEARCH INSTITUTE

No.1051 June 2003

海域における空気流を用いた底質浄化剤の散布施工方法に関する研究

野	口	仁	志
野	田		巖
佐	藤	栄	治
藤	田		勇

独立行政法人 港湾空港技術研究所

Independent Administrative Institution,
Port and Airport Research Institute, Japan



目 次

要 旨	3
1. まえがき	4
2. 施工方式及びシステムの構成要素の検討	4
2.1 前提条件	4
2.2 浄化剤粒子分布量	4
2.3 バクテリアの剥離	4
2.4 浄化剤拡散の場	5
2.5 散布施工方法の構成	6
3. 空中における浄化剤散布実験	6
3.1 概要	6
3.2 実験方法	6
3.3 実験結果	8
4. 水中における浄化剤拡散実験	9
4.1 概要	9
4.2 実験方法	9
4.3 実験結果	9
5. 浄化剤からのバクテリア剥離実験	10
5.1 予備実験	10
5.2 本実験	11
6. 散布施工方法と効率性及び経済性	12
6.1 施工システムの構成	12
6.2 効率性の検討	13
6.3 経済性の検討	14
6.4 浅海域における効率性・経済性の検討	14
6.5 効率性・経済性のとりまとめ	15
7. 施工精度	15
7.1 海面上における散布量のばらつき	15
7.2 海面から海底面への落下間の影響	16
7.3 考察	17
8. 結論	17
謝辞	17
参考文献	17

Study on Method of Scattering of the Sea bottom Sediment Clarification Materials containing bacteria using blowers

Hitoshi NOGUCHI*

Iwao NODA**

Eiji SATOU***

Isamu FUJITA****

Synopsis

Recently, bioremediation has been attracting much attention for purifying water bottom sediment. So far, this method has been applied only to relatively small areas such as ponds or fish breeding facilities and its application to a wide sea bottom area has seldom been reported. Economical way to distribute tablets or particles containing bacteria uniformly to the seabed on the wide range application is not clear.

This paper proposes a new method to scatter the sea bottom sediment clarification materials and evaluates its applicability and efficiency.

The key point of the method is a blower on a ship that sprays the particles into the air. This method ensures the wide spread of particles and the uniform settlement on the seabed.

In this study, the following observation or measurements were carried out:

- 1) Behavior of the particles when scattered into the air.
- 2) Diffusion of the particles in water.
- 3) Detachment of the bacteria from the particle in the scattering process.

Based on the test results, a design of the new method was proposed and its efficiency, economy and accuracy were estimated. It was found that the new method has efficiency about 120 times as much and costs about 1/30 compared to the usual diver-oriented seeding. Particle dispersion is about 20% by the standard deviation. With regard to detachment of bacteria from the particles in the seeding process, a certain decrease in number was observed, but the degree was not crucial, nor affects the purification function of the material.

Key Words: sea bottom sediment clarification, sediment clarification materials, scatter in the air, underwater diffusion

* Chief of Fluid Mechanics Division, Construction and Control Systems Department

** Senior Research Engineer of Construction and Control Systems Department

*** Research Engineer of Construction Division, Construction and Control Systems Department

**** Senior Research Engineer of Construction and Control Systems Department

3-1-1 Nagase, Yokosuka, 239-0826 Japan

Phone : +81-46-8445065 Fax : +81-46-8440575 e-mail:noguchi@pari.go.jp

海域における空気流を用いた底質浄化剤の散布施工方法 に関する研究

野口 仁志*
野田 巖**
佐藤 栄治***
藤田 勇****

要 旨

海域における底質の浄化対策の1つとして、バクテリア（細菌）を付着させた浄化剤散布による方法がある。しかし、この方法は、池、養殖場等の狭い範囲に散布された施工実績しか見当たらず、底質浄化剤を広い海域に効率的、経済的に散布する工法については検討がほとんどなされていない。

このような状況から、バクテリアを用いた底質浄化剤を、広い海域の海底に散布することを想定して、効率的、経済的な散布施工法について研究を行った。

実用性、効率性の観点から、船舶から送風機を用いて浄化剤を空気流に載せて海面上に広く散布させ海中を沈降させる方式を選定した。そして、

- ①空中における底質浄化剤散布実験
- ②浄化剤の水中投下拡散実験
- ③空中散布及び水中落下時の浄化剤からのバクテリアの剥離実験

を実施した。

これらの実験結果等より、具体的な散布施工方法として小型船舶に動力散布機を数台搭載した方法を想定し、効率性、経済性、施工精度を試算した。その結果、潜水士が散布する場合と比較して、施工能率で120倍、経済性で約30倍の効果が期待できる試算結果となった。施工精度としての浄化剤散布量のばらつきは、標準偏差で約20%と試算された。

また、浄化剤からのバクテリアの剥離はある程度は認められるものの、浄化剤の効果に影響する程度ではないことが確認された。

キーワード：底質浄化、浄化剤、空中散布、水中拡散

* 施工・制御技術部 流体技術研究室長
** 施工・制御技術部 主任研究官
*** 施工・制御技術部 施工技術研究室研究官
**** 施工・制御技術部 主任研究官
〒239-0826 横須賀市長瀬3-1-1 独立行政法人 港湾空港技術研究所
電話：046-844-5065 Fax：046-844-0575 e-mail:noguchi@pari.go.jp

1. まえがき

海域における底質の浄化対策工法としては、従来用いられてきた工法として汚泥浚渫及び覆砂による工法がある。しかし、浚渫工法は工事中の濁水処理及び浚渫土砂処分場の不足等の問題があり、覆砂工法は水深の減少、被覆物の流出、上質な砂の確保に課題がある。

現在、池・湖沼・河川等では、バクテリアを利用した浄化システムが化学的処理の代替手段として取り入れられており、緩やかな浄化効果と周辺環境への影響が小さいことがその特徴とされている。一方、海域においてはエビ養殖場の底質浄化に活用されてはいるものの非常に小規模な範囲を対象としたものである。そのため、散布方法は、潜水士が手で散布したり船上から人力でバケツ散布等の事例があるのみで、機械的に広域に散布されている事例は見当たらない。

このような状況から、本研究は、バクテリアを用いた底質浄化剤を広い海域の海底に散布することを想定した場合の、効率的、経済的な散布方法について研究するものである。

研究の手法としては、まず基本的な方式としては、船舶上からの空気流による空中散布—水中落下（拡散）による散布方式を実用性、効率性等の観点から選定した。

そして、

- ① 農薬散布に用いられる動力散布機をベースにして、底質浄化剤を空中散布し、散布量の分布、時間当たりの散布量等を把握する実験
- ② 浄化剤の水中投下拡散状況把握実験
- ③ 空中散布及び水中落下時の浄化剤からのバクテリアの剥離状況の分析実験

を実施した。

そしてこれらの結果等を基に、具体的な散布施工方法の提案とその効率性、経済性、施工精度について試算を行った。

2. 施工方式及びシステムの構成要素の検討

2. 1 前提条件

(1) 対象海域

対象海域を特に明確に想定する必要はないが、施工方法を検討するにあたっては、概ねの広さ及び水深をイメージしておく必要がある。

我が国の特定重要港湾は21港湾あり、その港湾区域面積は、概ね250km²から50km²の間にある。

特定重要港湾においては、産業活動が活発で底質も悪化している傾向にあることから、対象海域の広さのオーダーとしては、概ね100km²程度を想定するものとする。

また、水深としては、これらの海域の平均的な値として0～30m（平均10m）程度を想定する。

(2) 対象とする浄化剤

エビ養殖場等で用いられているA社の浄化剤を対象として検討を行うものとした。この浄化剤は底質汚染の原因である有機物を分解するバクテリアを多孔質基材であるゼオライトに付着させたものである。乾燥してバクテリアが剥離しないように湿潤状態で袋に密閉されて販売されている。なお、ゼオライトは天然に産出されたり石炭の焼却灰等から生産される。下記にこの浄化剤の物理的性状等を記す。

形状	顆粒状
粒径	φ2.5～3.5mm
粒子比重	約1.9
見かけ比重（含空隙）	約1.0
（注：0.7%のカップに自然に入れた状態）	
状態	湿潤状態
価格	600円/kg

(3) 散布条件

① 散布回数

底質の状況、浄化剤の持続効果等より設定されるものである。広い海域に散布された実績等もなく現段階では設定は困難であるが、毎年散布、あるいは年に複数回散布のケースも想定される。

② 一回当たり単位面積当たりの浄化剤散布量

150g/m²と設定する。この値は、浄化剤メーカー推奨値の約6倍に相当するものであるが、広い海域に頻りに浄化剤を散布することを想定すると、効率性、経済性の点では、少ない散布回数で多量に散布する方が望ましい場合もあることを想定して設定した。

なお、メーカー推奨値20～30g/m²も考慮して、参考として25g/m²のケースも150g/m²のケースに準拠した形で試算を試みる。

2. 2 浄化剤粒子分布量

浄化剤の諸元を基に、粒子をφ3mmの球状と仮定すると、1粒子当たりの体積は、14mm³、重量は、0.027gとなる。散布量150g/m²のケースでは、1m²当たりの散布量は5,555粒、つまり1.8cm²当たり1粒の計算となる。（図1参照）

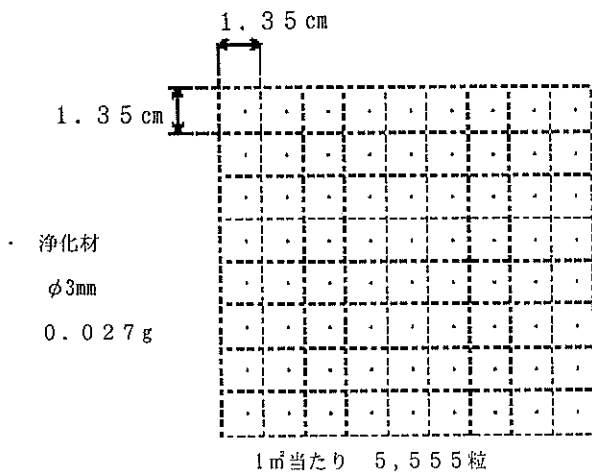


図-1 浄化剤散布量イメージ図

2. 3 バクテリアの剥離

浄化剤は、バクテリアを多孔質基材であるゼオライトに付着させたものである。そのため、散布時に浄化剤を強く空中あるいは水中に放出すると、空気あるいは水との摩擦によりバクテリアがゼオライトより剥離する点に留意する必要がある。

2. 4 浄化剤拡散の場合

浄化剤は、海底に点在するように非常にまばらに散布されることになる。このような非常にまばらな散布において、効率を最大にするには、散布システムにおける散布口より如何に広域に浄化剤を均等に拡散散布できるかに大きく依存する。

浄化剤拡散の場合としては、水中と空中に分けられる。またそれぞれの場において、自由落下による拡散と強制力を働かせた拡散と2つの形態が想定される。

(1) 水中における自然拡散について

水中における自然拡散について検討する。水中において自然落下によりどの程度拡散するかは、水槽実験により検証する(4章参照)。次に浄化剤粒子の落下速度について検討する。土砂粒子の沈降速度を示す式、図表として図-2、表-1がある¹⁾。

浄化剤の粒径は、約3mm、粒子比重は約1.9である。粒径3mmのゼオライト粒子の落下速度についてこれらの数式、図表より、概ね25cm/s推測される。水深10mの場合、粒子の落下時間は約40秒前後と算定される。

(2) 水中における強制拡散について

$$v_f = N \cdot d^n$$

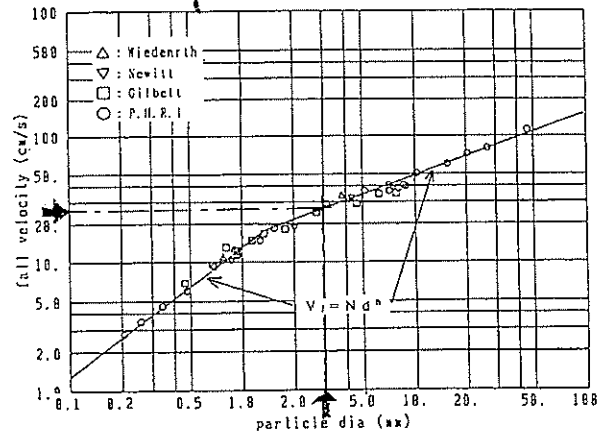


図-2 土砂粒子の沈降速度

表-1 沈降速度計算定数

粒径 d : mm	N	n
d < 1.4	13.0	1.0
d ≥ 1.4	15.4	0.5

浄化剤の散布システムにおいて、散布口を水中に設けて、勢い(運動エネルギー)をつけて拡散させる方法が考えられるが、水の抵抗が大きくエネルギーロスが大きい。水中で拡散させるためにエネルギーを費やすことは、後述する空中での拡散と比較すると非効率であろう。

なお、船舶を用いて散布する形態を想定する場合、船舶の推進機器(スクリュウ)が引き起こす水流に浄化剤を投入して、浄化剤の水中での拡散を促進させる方法が考えられる。

しかし、このような工法を採る場合には、バクテリアの剥離が懸念される。

(3) 空気中における自由拡散について

自由落下による拡散を行うには散布位置は高度である必要がある。大規模な農園等で農薬散布に実施されているように上空からヘリコプター等を用いた散布は、単位面積当たりの散布材重量が非常に軽量の場合には可能性があるが、本施工のように0.15kg/m²も散布する場合には、1ha当たり1.5tが必要となり浄化剤重量が重くな

りすぎて不相当と思われる。

(4) 空気中における強制拡散について

空気中において強制的に拡散させる方法として、送風により拡散させる方法が考えられる。散布対象物が粉体あるいは液体状のものについては農薬散布等における実績があり、効率的、実用的と考えられる。しかし、今回のような湿潤状態の顆粒状の物が旨く散布できるかどうか、また、その際のバクテリアの剥離についても留意する必要がある。

2. 5 散布施工方法の構成

前提条件及び本章 1~4 節に述べた点に留意して散布施工方法の構成についてとりまとめる。

浄化剤は、海底に点在するように非常にまばらに散布されることになる。このような、非常にまばらな散布において、効率を最大にするには、散布システムにおける散布口より如何に広域に浄化剤を均等に拡散散布できるかに大きく依存する。

効率性の点からは空気中において広く分散させて、海面に達してからは、自由落下させる方法が効率的と考えられる。

空気中の散布においては、上空からの散布は浄化剤の重量が大きくなりすぎて困難であり、船舶上からの空中強制散布—水中自然落下が実用的、効率的と考えられる。

本研究は、この方式を対象として研究をすすめることとした。そして浄化剤の空中での散布実験、水中での拡散実験及びそれぞれの場でのバクテリアの剥離実験を行い、実用性等について検証を行い、その後、効率性、経済性等について検討を進めるものとした。

3. 空中における浄化剤散布実験

3. 1 概要

(1) 目的

空気流（ブロー）による動力散布方法について、対象としている浄化剤に対して有効に散布できるかどうかの確認及び有効に散布できる場合の散布量の分布を把握することを目的とする。

特に、浄化剤は湿潤状態で販売されているため、バクテリアが付着したゼオライトは、各粒子が独立して自由に動ける状態でなく、水分によって各粒子が寄り集まって群をなす状態となっている。そのため、空気による散布によって、旨く均等に拡散されるか、団子状態となる

か、実験において確認することが必要である。

(2) 使用機材

①背負型動力散布機（写真-1 参照）

エンジンにより空気流（ブロー）を起こしその力で農薬を広く散布するものである。

・主な性能等

エンジン排気量	50.8 m l
タンク容量	26 l
型 式	DMC521 型（㈱共立製）



写真-1 背負型動力散布機

②散布管

a) 直管（写真-1 参照）

b) 畦畔噴頭

畦畔噴頭は、直管に等間隔で数カ所に噴出孔が空けられており、その位置の管内にガイド板が突き出した形状となっている。管の先端及び噴出孔から散布材が噴出することで、散布機の直近から遠方までを均等に散布できるようにした管である。

③その他

計測用具 電子秤、メジャー、回収箱、風速計他

記録用具 ビデオカメラ、デジタルカメラ、他

(3) 予備実験

散布機により、底質浄化剤を試験散布し、適用性等について確認した。

対象とする底質浄化剤は湿潤状態のため、ホッパーから散布管へ円滑に移動しにくいいため、ホッパーから散布管への連絡口の流量調整装置を取り外した。

その結果、詰まり等の特に大きな支障は生じなかった。

3. 2 実験方法

図-3 に示すように、まず、2つの散布管（直管及び畦畔噴頭）についてそれぞれ、縦方向に回収箱を配置して浄化剤を一定時間散布した。散布後、各回収箱に入った浄化剤の重量を測定して縦方向の分布状況を分析した。

次に、図-4 に示すように、各散布管において、前述の結果において最大分布が得られた距離において、横方向に回収箱を配置して浄化剤を散布し、同様な方法で横方向の分布状況を分析した。

また、散布時に、浄化剤に付着している細菌が、ゼオライト粒子からはく離していないかどうか確認するため、散布前及び散布後の菌数の測定を行った。

全体の実験条件を表-2 に、各実験ケースにおける条件を表-3 に示す。また、散布実験状況を写真-2 に、縦方向散布及び横方向散布実験における回収箱の配置状況をそれぞれ写真-3, 4 に示す。

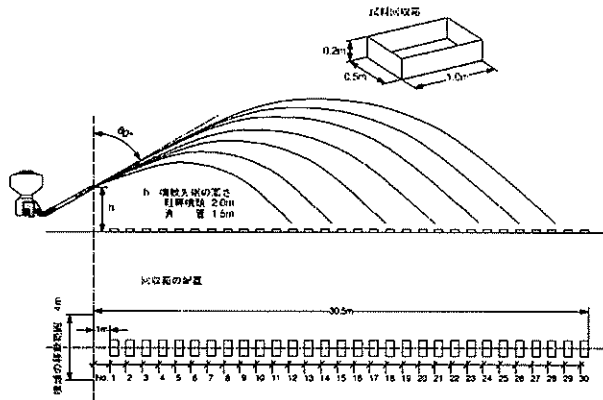


図-3 縦方向散布量分布実験図

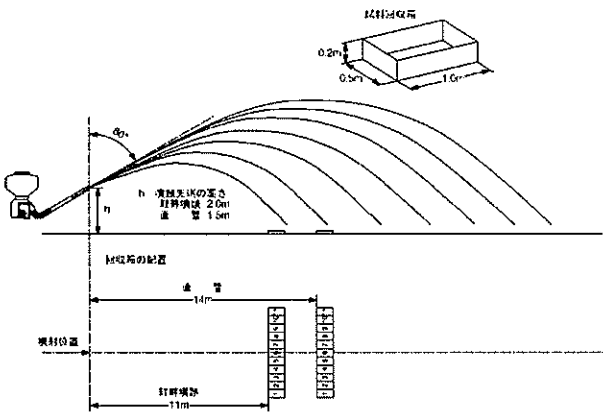


図-4 横方向散布量分布実験図

表-2 実験条件

年 月 日	2001.12.11
気 温・湿 度	14° C、25%
送 風 機 風 量	10m ³ /min
散 布 方 向	E

表-3 実験ケース

実験項目	本実験			
	予備実験	縦方向分布	縦方向分布	横方向分布
実験目的	縦方向分布	縦方向分布	縦方向分布	横方向分布
歩行速度	0.3m/sec	0.24m/sec	0.28m/sec	静止
回数	2 往復	3 往復	4 往復	20sec
風向	S	S-SE	S-SE	S-SE
風速	1~3m/sec	1~3m/sec	1~3m/sec	1~3m/sec
迎角	30	30	30	30
使用噴頭	畦畔噴頭	畦畔噴頭	直管	直管、 畦畔噴頭

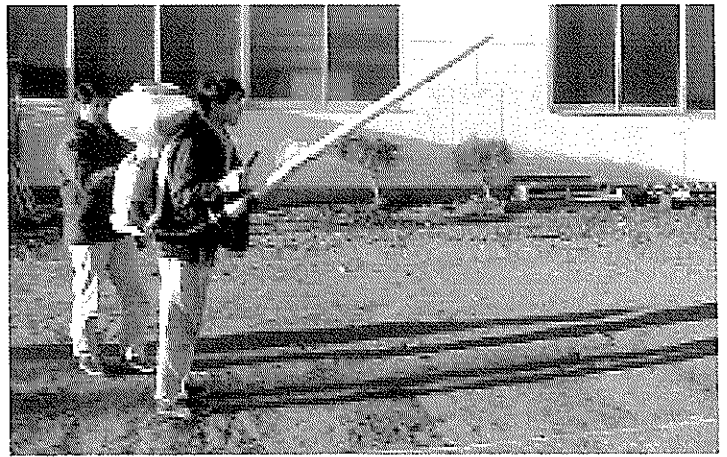


写真-2 散布状況

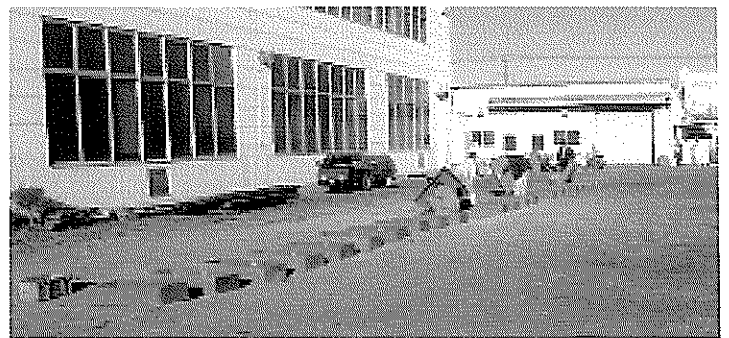


写真-3 縦方向回収箱配置状況

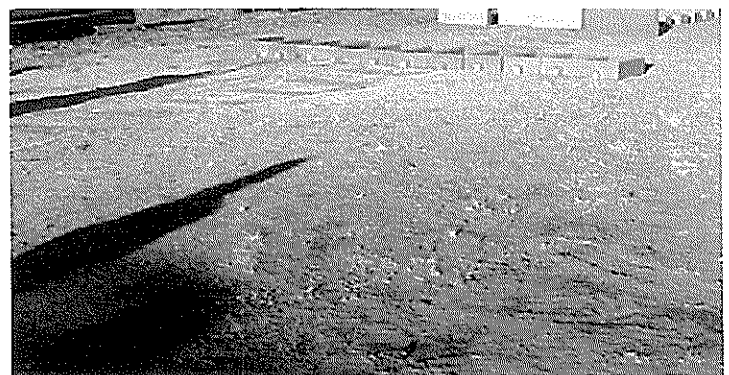


写真-4 横方向回収箱配置状況

3. 3 実験結果

回収箱に入った浄化剤の状況の例を写真-5 に示す。

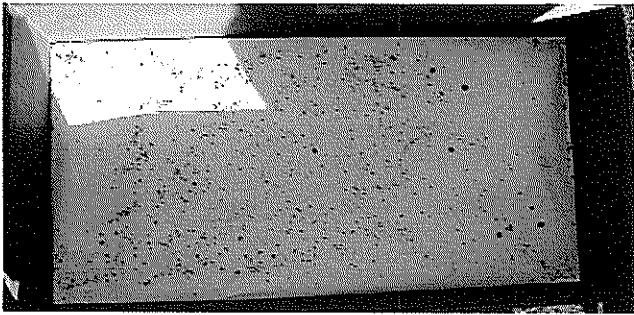
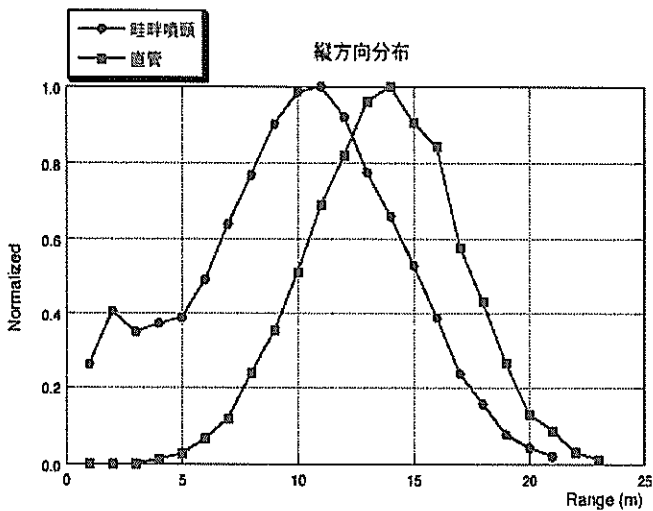


写真-5 回収箱内に入った散布浄化剤

直管及び畦畔噴頭についてそれぞれ、縦方向及び横方向について、各回収箱に入った散布浄化剤の重量分布を、最大値の回収箱内浄化剤重量で無次元化して示した縦方向及び横方向の分布状況図を図-5 に示す。



←N方向 S方向→
図-5 縦方向及び横方向散布量分布図

縦及び横方向の散布量分布の試験結果データを基に、散布状況をパターン化したものを図-6 に示す。

また、散布前及び散布後の細菌数の分析結果を行った。この結果については5章に示す。

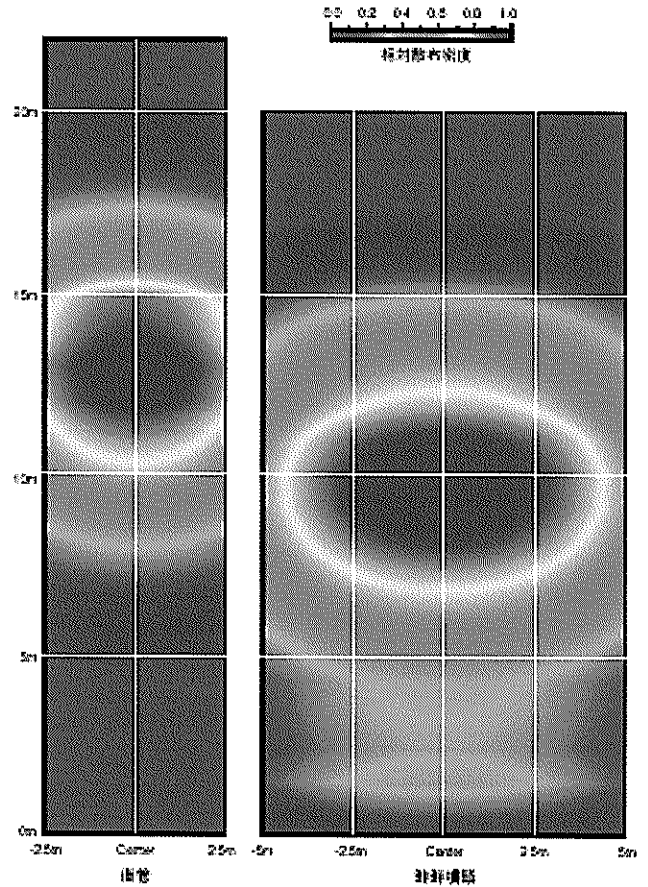


図-6 浄化剤散布パターン図

上記の実験結果より、縦方向及び横方向の散布量分布についてまとめる。

(1) 縦方向の散布量の分布について

- ・ 畦畔噴頭は分布最大位置が 11m 付近、直管は 14m 付近であり飛距離は直管が大きい。
- ・ 畦畔噴頭は 1 m から相対値で 0.2 以上の分布がある。最大飛距離は直管より約 2 m 短い。

(2) 横方向の散布量の分布について

- ・ 畦畔噴頭は分布最大位置が -1 m 付近である。当日は S 方向へ風があり、畦畔噴頭実験時に強かったため分布が S 方向に移動したと考えられる。
- ・ 直管は分布最大位置が 0 m 付近であるが、分布は S 方向へ偏っている。これも風の影響と思われる。

4. 水中における浄化剤拡散実験

4.1 概要

(1) 目的

水中に投入された底質浄化剤の水底における拡散状況を把握することを目的とする。

(2) 使用機材

①円筒型水槽実験装置 (図-7)

寸法 $\phi 5\text{m} \times \text{H}10.5\text{m}$

②計測機器等

計測用具 レーザー式変位計、秤

記録用具 ビデオカメラ、スチルカメラ、他

4.2 実験方法

底質浄化剤を水面より投入し拡散状態について計測する。投入する底質浄化剤の量は各実験ケースとも全て 100 g とした。

吊り上げ移動式底版を操作して、水深を 10m、5 m、2m と変化させて実験を行う。底版には 40cm メッシュのラインを目印としてテープによって付けた。

水面への投下は排出口の径 1 cm の漏斗を用いて、ゆっくりと行った。浄化剤が底面に到達後、底版を浄化剤が移動しないようにゆっくりと水面付近まで引き上げ、浄化剤の分布状況をカメラに記録するとともに、水槽の水を排出して、底版が水面上に現れるようにして、レーザー式変位計で浄化剤の堆積形状を計測した。

4.3 実験結果

各水深における浄化剤の拡散状況及び堆積高さ分布を 図-8~10 に示す。

堆積高さ 1mm 以上の概ねの範囲としては、

水深 2 m : 直径約 12cm の範囲

水深 5 m : 直径約 17cm の範囲

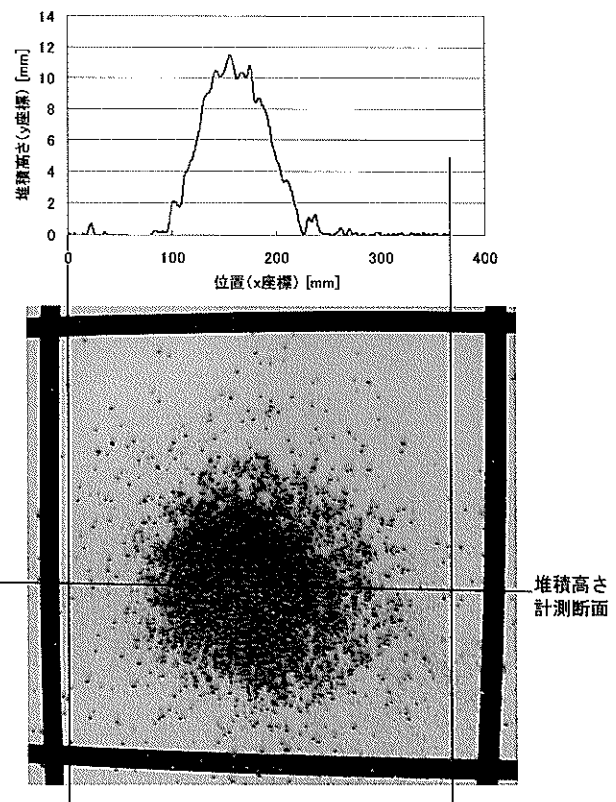
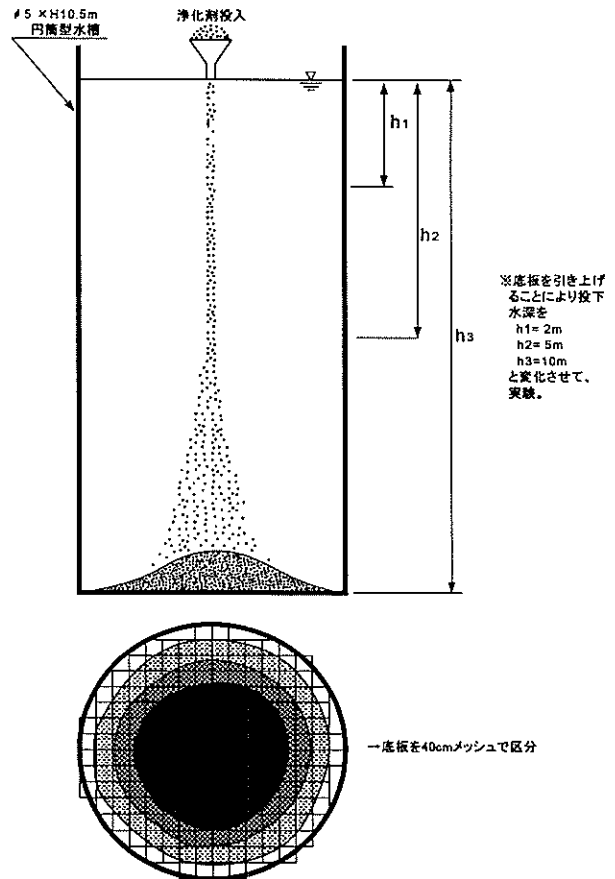
水深 10m : 直径約 25cm の範囲

となった。

浄化剤の投入から底版までの到達時間は、水深 10m の場合で、35~55 秒程度であった。この値は 2 章 4 節で推測した 40 秒前後とほぼ一致する。

本実験は、静水中において行った。静水中では水深 10 m の場合でも分布の範囲は直径約 25cm と非常に狭い範囲に集約された結果となった。

実際の海域では、波浪、潮流等がある。これらの乱れ



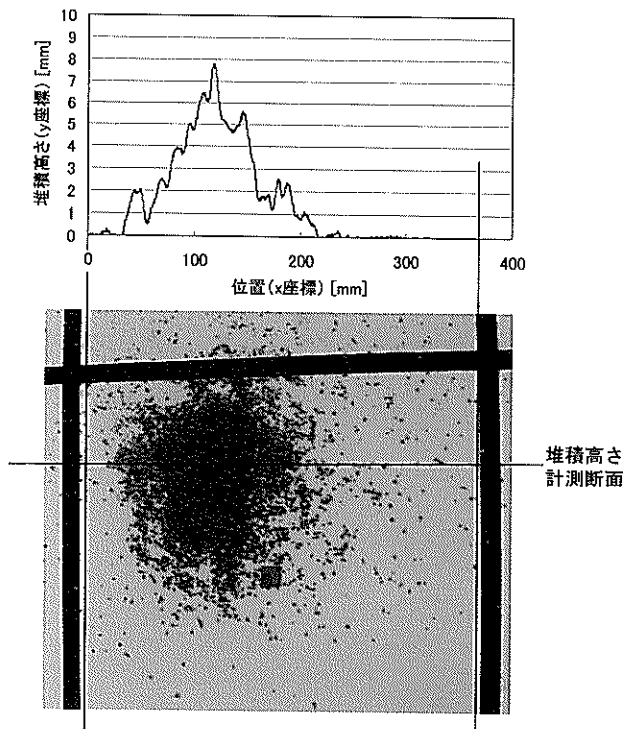


図-9 水中拡散状況 (-5 m)

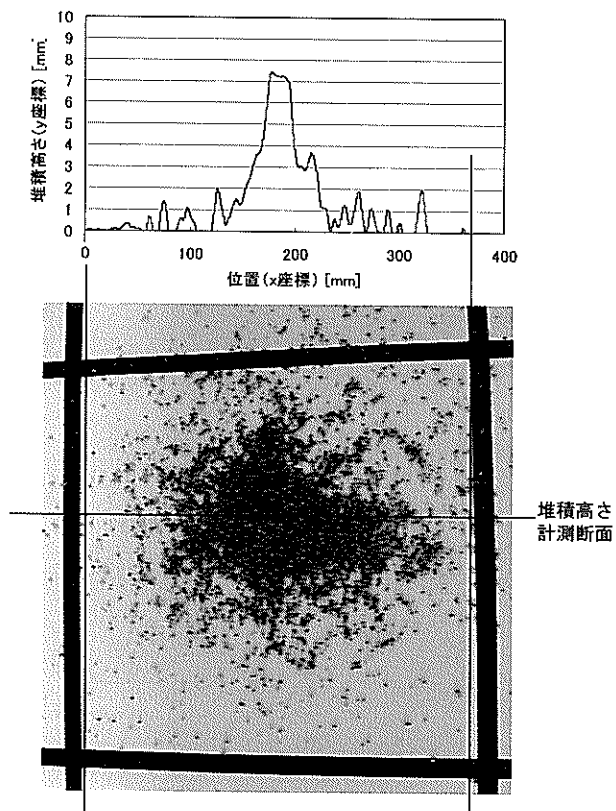


図-10 水中拡散状況 (-10m)

により実際は本実験結果より、より広い範囲に拡散されることになる。その意味では、本実験は、浄化剤の散布

範囲が最小となる、施工効率の点からは（施工精度は別として）最低の条件下での実験と見なせよう。

また、潮流等のように散布の分布が一方に偏る要因がある場合には、潮流の大きさとその水域の水深が把握出来ていれば、水深より、浄化剤の落下時間を算定して、それに潮流の速度を乗じることにより、浄化剤水面到達位置と海底着底位置のずれが算定でき、工事実施当日の施工計画の微修正で対応が可能と考えられる。

5. 浄化剤からのバクテリア剥離実験

動力散布機による空中散布及び水中投下時において浄化剤からのバクテリアの剥離の程度について把握するための実験を行った。

予備実験として、3章の空中における浄化剤散布実験における動力散布機における空中散布前後の浄化剤を分析した。

本実験としては、空中散布及び水中投下実験の前後の浄化剤を分析して、バクテリアの剥離状況を調査した。

5.1 予備実験

「3章 空中における浄化剤散布実験」における動力散布機における空中散布前及び後の底質浄化剤に付着しているバクテリアの菌数を分析測定し、バクテリアの剥離状況を調べた。

- (1) 分析試料
- ・ 散布前の浄化剤
 - ・ 畦畔噴頭使用散布後の浄化剤
 - ・ 直管使用散布後の浄化剤

(2) 菌数測定方法

- ① 3%NaCl 溶液(模擬海水に相当)90ml に底質浄化剤(試料)を正確に 10g 入れる
- ② 水浴式超音波発生機で5分間処理して、多孔質基材(ゼオライト)よりバクテリアを剥離させる。
- ③ 処理後直ちに 3%NaCl 9ml 希釈液で 10 倍、100 倍、1000 倍・・・と薄めた段階希釈液を作成する。
- ④ 10の3～6乗の4段階の希釈液を各2枚ずつ培地に塗抹する。なお、培地は 3%NaCl ,1.5%寒天付加 乾燥ブイオン培地 (pH 8 に調整) を用いた。
- ⑤ 28℃で 24～48 時間培養してバクテリアを繁殖させ、肉眼でバクテリア群の個数を認識できるようにして計数を行う。

(3) 実験結果

- ①散布前 $3.6 \times 10^7 = 1.0E+7.1$ cfu/g
 - ②畦畔噴頭使用散布後 $1.9 \times 10^6 = 1.0E+6.3$ cfu/g
 - ③直管噴使用散布後 $4.6 \times 10^6 = 1.0E+6.7$ cfu/g
- cfu/g；媒体（底質浄化剤）1gあたりの菌数

(4) 考察

畦畔噴頭散布後の方が直管散布後のものより剥離菌数が多かった。これは、畦畔噴頭は、管の途中にガイド板が設けられており、ここで一部の底質浄化剤が遮られて管の途中より管外へ散布される構造となっているが、ガイド板への衝撃による影響のためと思われる。

予備実験においては、空中散布においてバクテリアの数が約1オーダー減少する結果となった。散布後の浄化剤を乾燥させた状態で2~3日経てから分析したため、その間の乾燥によりバクテリアが剥離した可能性も考えられる。

そのため、空中散布及び水中落下を含めて総合的にどの程度バクテリアが剥離するかを分析する必要がある。

5. 2 本実験

(1) 目的

本実験は、散布時における浄化剤からのバクテリアの剥離について分析・把握することを目的として実施した。

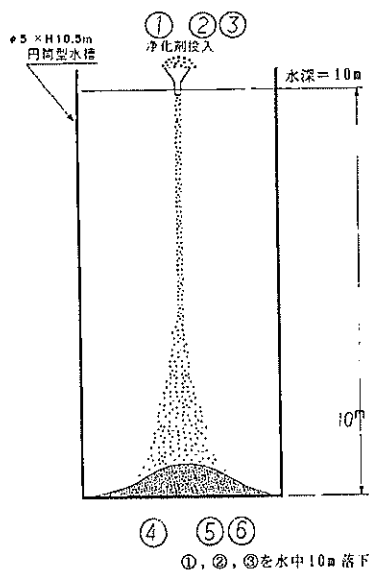
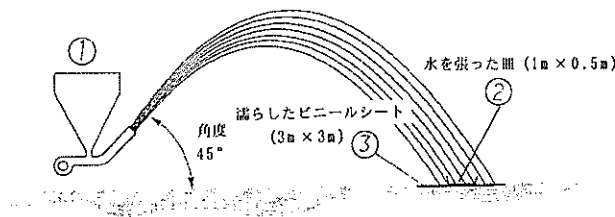


図-11 剥離実験概要図

(2) 実験方法

直管を付けた動力散布機を用いて浄化剤を空中散布させ、水面上等に落下させた。その後、迅速に（約1時間後）、落下後及び落下前の底質浄化剤を、10m水中落下させた（図-11参照）。

各段階における浄化剤は、菌数分析までの間に乾燥してバクテリアが剥離しないように、ビニールの袋に詰め冷暗所に保存した。

6つの段階において浄化剤の試料を採取したが、各段階における採取サンプルの内容を以下に記す。

- サンプル① 散布前の浄化剤（新）
- サンプル② ①を散布機で空中へ飛ばし、水を張った皿で受けたもの
- サンプル③ ①を散布機で空中へ飛ばし、濡らしたビニールシート上でうけたもの
- サンプル④ ①を水中10m落下させたもの
- サンプル⑤ ②を水中10m落下させたもの
- サンプル⑥ ③を水中10m落下させたもの

(3) 菌数測定方法

予備実験の分析方法と同様の方法を用いた。

(4) 分析結果

- サンプル① 1.4×10^7 cfu/g = 1.0E + 7.1 cfu/g
- サンプル② 9.9×10^5 cfu/g = 1.0E + 6.0 cfu/g
- サンプル③ 1.2×10^6 cfu/g = 1.0E + 6.1 cfu/g
- サンプル④ 1.4×10^6 cfu/g = 1.0E + 6.1 cfu/g
- サンプル⑤ 5.8×10^5 cfu/g = 1.0E + 5.8 cfu/g
- サンプル⑥ 5.7×10^5 cfu/g = 1.0E + 5.8 cfu/g

この分析結果を、予備実験の結果も合わせて、グラフに表示したものを図-12に示す。

(5) 考察

空中散布および水中落下により、菌数はオーダー的には、約1.3低下（①と⑤⑥の比較）している。

この低下の影響について、底質浄化剤の製造元に照会したところ、この程度の低下であれば、特に問題はないとの回答を得た。その理由として、「この程度の菌数があれば、底質がこの菌が繁殖できる環境があれば十分繁殖する。この菌は、底質の環境が適していれば約20分で倍増するので、あまり菌数にこだわる必要はない。ある程度の菌数があれば、あとは、底質等の環境条件が、菌が有効に活動（繁殖）するかどうかの最大のポイントとなる。」とのことであった。

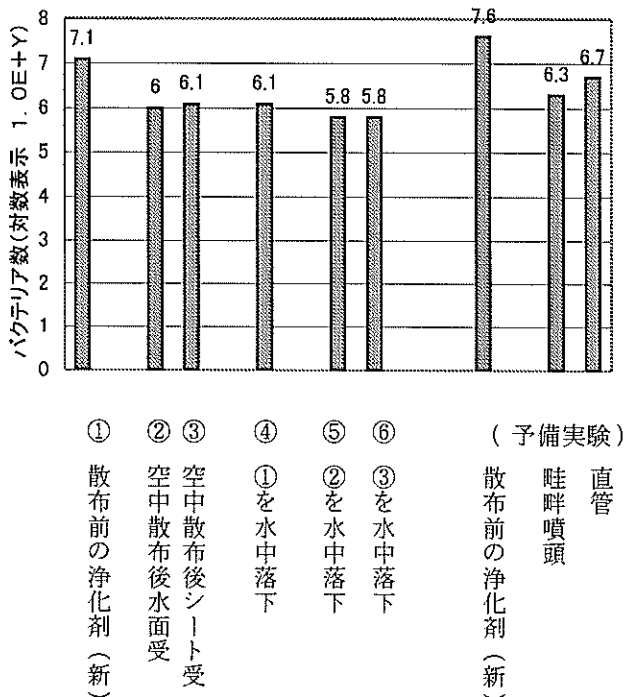


図-12 剥離実験分析結果図

新品の底質浄化剤を水中落下させただけのケース (①と④の比較) においては、オーダーが 1.0 低下しているが、空中散布させた後の水中落下による菌の減少量はオーダー的には 0.2~0.3 程度である (②③と⑤⑥の比較)。

このことから多孔質材であるゼオライトの表面に付着している細菌は空中散布あるいは水中落下により容易に剥離するが、ゼオライトの内部に付着しているゼオライトは、空中散布、あるいは水中落下によっても容易には剥離しにくいと推測される。

6. 散布施工方法と効率性及び経済性

実験結果等を踏まえ、施工システムの構成、仕様、運用方法を検討し、効率性、工費、経済性を試算する。

6. 1 施工システムの構成

(1) 散布用船舶

図-13 に示すように、20~30 トン程度の比較的小型の船舶の船尾に散布装置一式を設置するものとする。

このような船舶の航行が困難な水深の浅い区域 (概ね水深 2m 以浅) は、対象面積全体からすれば割合は非常に小さいものである。しかし、そのような浅い水域は陸

域に隣接しており人々との接触が多く、汚泥の堆積の程度にもよると思われるが、最初に優先的に実施すべき地区として位置付けられる可能性もある。

このような水域については、橋脚その他構造物等も多い。そのため、喫水が浅く小回りの効く船外機付ボートで対応するもの想定し、別途検討する。

(2) 散布装置

散布実験で用いた背負型動力散布機を複数台、船舶に搭載するものとする。

大型の散布機を新たに開発するよりも既存の小型の散布機を複数台搭載することで、以下のメリットがあると考えた。

- ・ 各散布機の散布方向を分散することで幅広い範囲への散布が可能となる (図-13 参照)。
- ・ 小型散布機は農薬散布用の既製品として安価に入手でき、その性能も実験により確認できている。

このような浄化剤散布システムのイメージを図-14 に示す。

(3) 浄化剤の供給

船舶の甲板に浄化剤のタンクを備え、このタンクより各散布機に所定量の浄化剤が供給されるものとする。

このタンクはカートリッジ式で容易に交換可能とする。船舶への浄化剤の供給は最寄りの岸壁より、クレーン付トラック等によりクレーンでカートリッジ式浄化剤タンクを交換することにより補給するものとする。

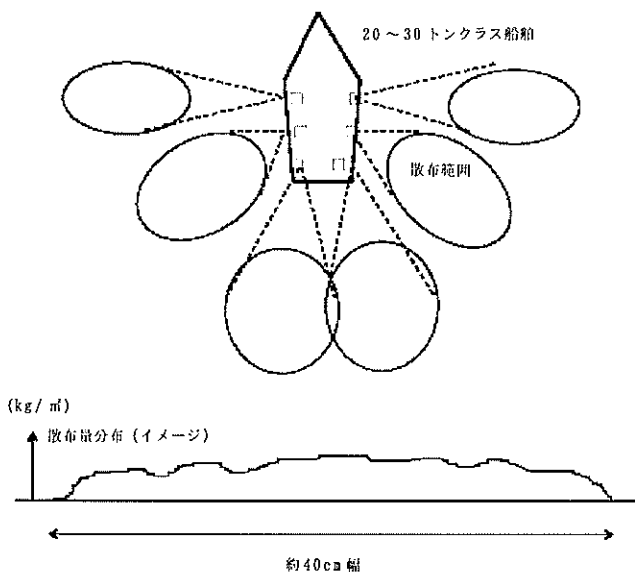


図-13 散布量分布 (イメージ)

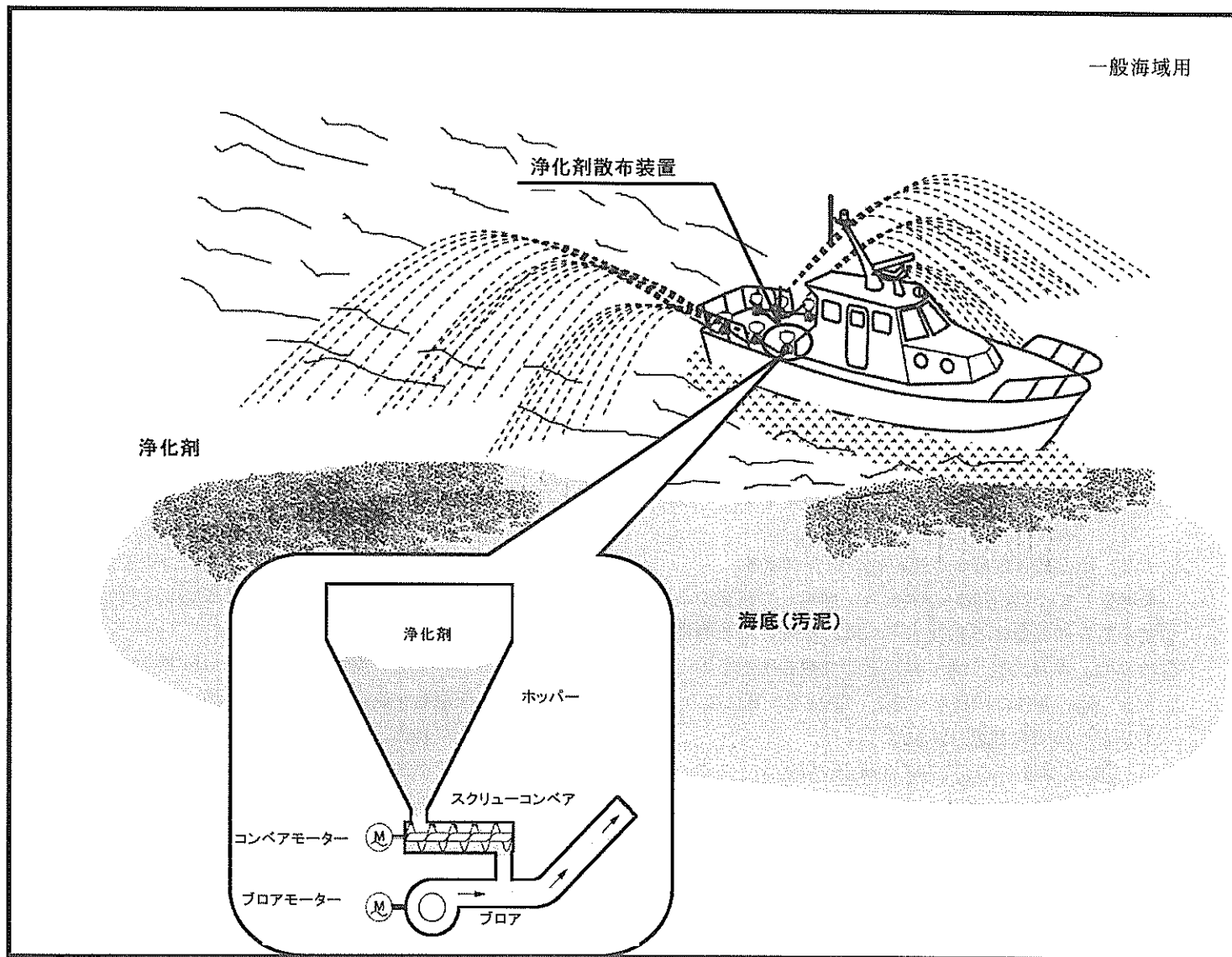


図-14 浄化剤散布システムイメージ図

6. 2 効率性の検討

(1) 浄化剤散布量が $150\text{g}/\text{m}^2$ の場合

浄化剤散布量 a が $150\text{g}/\text{m}^2$ の場合について効率性について試算する。

船舶の散布機搭載台数 n は、6台（他予備1台）搭載して散布するものと設定する。

散布管については、直管より畦畔噴頭の方が、近くから遠方まで均一に散布する性能は優れているが、畦畔噴頭は実験においてバクテリアが剥離する量が直管より大きかったため、直管を使用するものと想定した。

直管での散布到達距離 r は、3章の空中散布実験結果より 18m と設定した。

浄化剤散布幅 B は、船幅 b を 4m と設定すると

$$B = 2r + b = 40\text{m}$$

船舶の航行速度 v は、直進可能な最低速度として深淺測量における標準的な航行速度と同様とすると、

$$v = 6.5\text{km}/\text{h} \approx 1.81\text{m}/\text{s}$$

1日の稼働時間 H は、8時間の就業時間において2時間は準備・片づけ等として6時間と設定。

動力散布機の1台当たりの散布量 q は、粒剤に対する最大吐出量 $0.3\text{kg}/\text{s}$ の75%相当と想定して、

$$q = 0.225\text{kg}/\text{s}$$

船舶の散布施工ライン間隔 l は

$$l = q \cdot n / (v \cdot a) = 5\text{m}$$

船舶の積載可能浄化剤量 W は約 2t と想定した。

浄化剤補給は、最寄りの岸壁よりクレーン付トラックにより補給。2台のクレーン付トラックを用いて、浄化剤貯蔵場所から交互に輸送するものと想定する。

最寄りの岸壁と散布地点までの平均距離 L は、対象海

域の広さを約 100km² (10km×10km 相当) と設定していることから、対象海域の端は陸域に接し、その中間に使用可能な岸壁があると想定して、5km と設定する。

搭載浄化剤消費所要時間 T は

$$T = W / (q \cdot n) \approx 0.41h$$

補給岸壁までの航行速度 u を約 40km/h (約 22ノット)、補給に要する時間 t₁ を 10分とすると、補給に要する時間 t は 1 回当たり

$$t = 2 \times L / u + t_1 \approx 0.42h$$

1 サイクルあたりの所要時間 T_w は

$$T_w = T + t = 0.83h$$

日当たりの平均サイクル数 C は

$$C = H / T_w = 7.23回$$

1 日当たりの施工能力 We は

$$We = v \cdot T \cdot 1 \approx 96,000m^2/日$$

(2) 浄化剤散布量 a が 25g/m² の場合 (参考)

参考として、150g/m² のケースに準拠して試算する。想定する条件における相違点として、船舶の散布機搭載台数 n は、4 台 (他予備 1 台) として散布するものと設定する。他の条件は同様とすると、同様な計算により、

1 日当たりの施工能力 We は

$$We \approx 460,000m^2/日$$

と試算された。

6. 3 経済性の検討

(1) 浄化剤散布量が 150g/m² の場合

① 浄化剤の費用

浄化剤の単価 A は、前提条件より 600 円/kg.

散布単位面積当たりの浄化剤の費用 C₁ は

$$C_1 = a \cdot A = 90円/m^2 \dots \textcircled{1}$$

② 浄化剤搬送支援機材経費

20~30ト級の船舶に、船長及び機関士兼散布装置用作業員 2 名の計 3 名乗り組み体制と想定する。

また、陸上からの浄化剤補給作業として、クレーン付トラック 2 台を準備し、交代で、最寄りの岸壁より船舶に浄化剤を補給するものと想定する。

これらの船舶及びトラック等の 1 日の借り上げ (含む燃料、人件費) 費用 C₂ として 30 万円/日を想定する。

③ 浄化剤散布装置関連費用

浄化剤散布装置	7 台分	約 100 万円
浄化剤タンク及び浄化剤移送用スクリュウコンペアー		約 300 万円
船舶設置工事費用等	1 式	約 100 万円
小計		約 500 万円

薬剤散布機 (背負い式) の損料算定基準²⁾ を準用して、1 日当たりの損料 C₃ を試算すると約 3.3 万円/日となる。

単位面積当たりの工費 C₄ は、

$$C_4 = (C_2 + C_3) / We = 3円/m^2$$

浄化剤も含めた施工単価 C₅ は

$$C_5 = C_1 + C_4 = 93円/m^2$$

(2) 浄化剤散布量が 25g/m² 場合 (参考)

参考として、散布量 25g/m² のケースについても検討する。船舶への散布機搭載台数は 4 台とし同様の方法で経済性を試算した。

その結果、浄化剤費 C₁ は 15 円、単位面積当たりの工費 C₄ は 1 円、合計の経費 C₅ は、16 円と試算された。

6. 4 浅海域における効率性・経済性の検討

通常の船舶が航行できないような浅海域については、船外機付き小型ボートに 1 台の散布機を搭載して行う形態を想定する。

航行速度については、高速で航行しても所要の単位面積当たりの浄化剤散布量には達しないため、ゆっくりとした歩行速度以下の 1m/s (=3.6km/h) と想定する。

また、作業時間に占める散布時間と浄化剤補給時間の比については、一般の海域と比較して、浄化剤のタンク容量は小さくなり、補給回数は増えることが想定されるが、浅海域は陸域と接近している場所なので補給場所までの往復距離は短いと考えられ、1 回の補給に要する時間は短いと思われる。そのため、散布時間と浄化剤補給時間の比は、一般の海域と同様に概ね 1:1 と想定した。

このような条件で、一般海域と同様にして浅海域での施工効率及び経済性を試算する。

(1) 浄化剤散布量が 150g/m² の場合

1 日当たりの施工能力 We は

$$We \approx 16,000m^2/日$$

単位面積当たりの工費 C₄ は、

$$C_4 = 13円/m^2$$

浄化剤も含めた施工単価 C₅ は

$$C_5 = 103円/m^2$$

(2) 浄化剤散布量 a が 25g/m² の場合 (参考)

150g/m² に準じて試算すると、日当たり施工能力 We は

$$We \approx 97,000m^2/日$$

工費 C₄ 及び、浄化剤も含めた施工単価 C₅ は

$$C_0 = 2円/m^2$$

$$C_5 = 17円/m^2$$

6. 5 効率性、経済性のとりまとめ

これまで、一般海域及び浅海域に分けて、試算を行った。

浅海域における施工能力は一般海域と較べて数倍劣っていた。しかし、水深が浅く船舶が航行できないような水深2m以浅の海域は、全体の対象海域面積のほんの一部で、割合としては非常に小さく1%以下と見なされる。ここでは、大きめの5%と想定して、一般海域と浅海域の面積比を踏まえた海域全体の経済性の試算を行った。

その試算結果を、表-4に示す。

表-4 施工能力・経済性

散布量 (g/m ²)	海 域	施工能力 (千 m ² /日)	経済性(円/m ²)		
			工 費	浄化 剤費	計
150	一般海域(95%)	96	6	90	103
	浅 海 域(5%)	16	13		
	全海域平均	—(注)	6		
(参考) 25	一般海域(95%)	460	1.3	15	16
	浅 海 域(5%)	97	2.2		
	全海域平均	—(注)	1.3		

(注：施工能力については、浅海域と一般海域では別の機材を用いて併行して施工が可能のため、平均値は算出しなかった。)

この表でわかるように、散布量 150g/m²において、浅海域では、施工能力は一般海域の1/6、工費は約2倍となっているが、その面積は小さいため、全体の経済性にはほとんど影響はしていない。

また、本方式で浄化剤を散布する場合には、その工費は、今回対象とした浄化剤の費用と比較する限りにおいては、全海域平均では1/16となっており、全体の経済性にほとんど影響しないこととなる。

また、参考として、本方式を、潜水士が散布することを想定した場合と比較した。

その結果を表-5に示す。

表-5 本方式と潜水士作業との比較

項 目	散 布 量 (g/m ²)	施 工 能 力	工 費
潜水士による作業	—	800m ² /日	180円/m ²
潜水士との比較	150	120倍	30倍
	(参考25)	(580倍)	(140倍)

なお、潜水士による作業は潜水探査における能力等に準拠して算定を行った。

このように潜水士による散布施工と比較すると施工能力では120倍、経済性では30倍と試算された。

また、本散布工法と従来の底質浄化工法である浚渫工法及び覆砂工法の試算工費と比較したものを、表-6に示す。

表-6 本散布工法と浚渫及び覆砂工法との比較

工 法	工 事 費	備 考
本散布工法	96円/m ²	施工費 6円/m ² 浄化剤費 90円/m ² 散布量 150g/m ²
浚渫工法	810円/m ²	除去土厚 50cm
覆砂工法	740円/m ²	覆砂厚 50cm

浚渫工法及び覆砂工法とも諸条件により工事費は大きく変化する。この試算においては、浚渫工法は、浚渫土厚50cm、土砂処分地までの距離は1.3kmで土砂処分費用は含まない条件での工事費試算例を示している。また覆砂工法においては、覆砂厚を50cmとした試算例を示している。

本散布工法においては、工事費は浄化剤費に大きく影響されるものであるが、本試算事例で比較する限りにおいては、浚渫工法及び覆砂工法と経済性において比較すると、7~8倍の差が表れた。

7. 施工精度

本方式における施工精度つまり浄化剤の散布のばらつきについて検討する。浄化剤散布量のばらつきの程度は、浄化剤の散布量に反映され、施工能力、経済性にも反映されるべきものである。しかし、浄化剤の散布量と底質の浄化効果の関係については定量的には明確になっていないことから、ここでは、浄化剤の散布のばらつきによる浄化剤散布量への考慮は行わないものとした。

散布量のばらつきについては、海面上におけるばらつきと、海面から海底に落下する間の影響について分けて検討する。

7. 1 海面上における散布量のばらつき

(1) ケース1：一般海域におけるばらつき

a) 想定条件

6台の散布機による海面への散布量の船舶進行方向と

垂直方向における分布パターンは、計算の簡易化のため、図-15のように非常に不均衡なパターンを想定した。

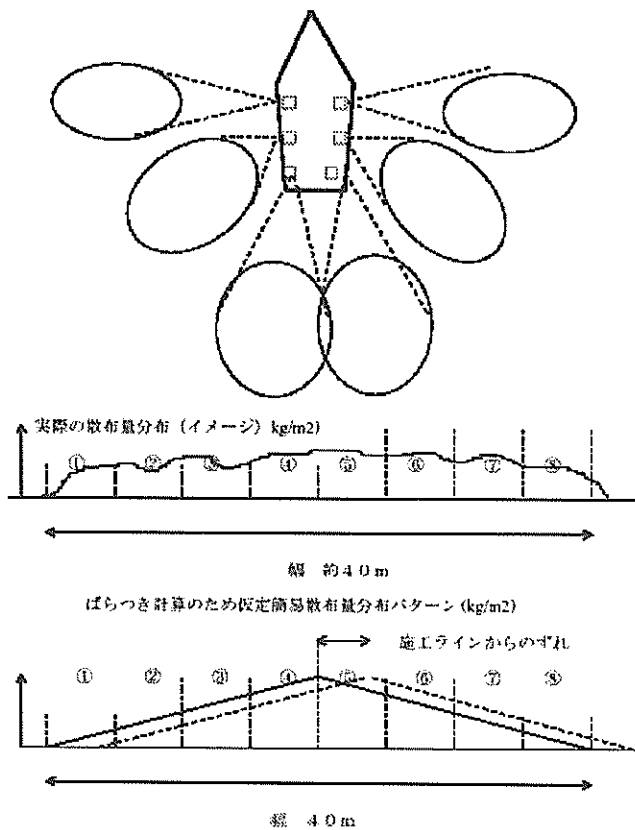


図-15 散布量分布パターン図

散布幅Bが40m幅の散布能力のシステムで、測線間隔bが5mで散布する場合、1回で散布される量は、必要量(150g/m²)の1/8相当で、それが8回繰り返されることになる。そのため、任意の測線間隔幅b(5m)における散布量は、等しくなる。(図-15の①②③④⑤⑥⑦⑧の面積の合計となる)

このように、どのような不均一な散布パターンにおいても、そのパターンが常に一定であれば、測線間隔幅間の散布量も一定である。

船舶の目標施工ラインからの左右のずれの量は正規分布すると想定する。そしてその程度は標準偏差表現で1mと想定する。これは、95%の割合で目標施工ラインから左右2mの範囲内を航行することに相当する。船舶の航行速度は深浅測量における航行速度と同様に設定しているが、深浅測量においては、航跡が測定ラインより2m外れた場合は測量をやり直すことから、概ね妥当な想定と思われる。

航行の左右方向1mのずれによる散布量のばらつきの標準偏差σ₁は、

$$\sigma_1 = \sqrt{\left(\frac{1}{20} \frac{1}{4}\right)^2 \times 8} \doteq 0.04$$

また、単位時間当たりの浄化剤供給量のばらつき、船舶の航行速度のばらつき、船舶の揺れ(ローリング)等による6台の散布機の分布パターンの変化による分布量のばらつき、風、潮流等の変動による散布量のばらつきも全て正規分布するものと想定し、その標準偏差σ₂、σ₃、σ₄、σ₅は、全て所定量の10%と想定する。

b) 施工精度の算定

上記条件を総合した、全体としての散布量のばらつきの標準偏差σは、

$$\sigma = \sqrt{\sum_{n=1}^5 \sigma_n} \doteq 0.20$$

概ね約20%のばらつきと推測される³⁾。

この結果より、ばらつきが正規分布と想定しているので、150g/m²を目標に散布する場合には、120~180g/m²に散布される区域は68%、90~210g/m²に散布される区域の範囲は95%となる。

(2) 浅海海域におけるばらつき

浅海域における施工精度も、一般海域と同様な方法で検討する。

浅海域用ボートに搭載される散布機は1台であるが、散布方向をボート進行方向に対し横方向に散布すると想定すると、空中散布実験結果より約10mの範囲に散布される。それに対し、散布ライン間隔は1.5mであることから、同一場所においては、約7回散布が重ねられることになる。

その他のばらつき要因については、一般海域とほぼ同等と想定して全体としての散布量のばらつきσを試算すると0.24と算定される。この値は、一般海域と較べるとやや大きい概ね同程度のばらつきとみなせよう。

7.2 海面から海底面への落下間の影響について

海面から海底面への落下する間についての潮流等の影響について検討する。

対象海域の広さは100km²(10km×10km)、平均水深10mと想定されている。

平均潮流として0.3ノット(0.15m/s)と想定する。

浄化剤の水中落下速度は、0.25m/sであったから水中落下時間は約40秒で、その間の潮流による流される距離は

6mとなる。

この値は水深と比較すれば大きいものであるが、対象海域の広さと較べると約 1,700 分の 1 にしか相当しない極めて小さいもので無視出来るものであろう。

仮に、対象海域が 10×10m の様な非常に狭い範囲なら潮流の影響は無視出来ず、対象海域の水面から散布した浄化剤は流されてその直下の海底面にはほとんど散布されないであろう。しかし、対象海域が非常に広い場合には、対象海域全体からすれば潮流による影響も非常に局所的なものでその影響は無視出来るものと思われる。

また、潮流の方向・強さは概ね予測できるので、毎日の施工計画においては、その影響を計算して散布することによってその影響をさらに小さく抑えることも可能と思われる。

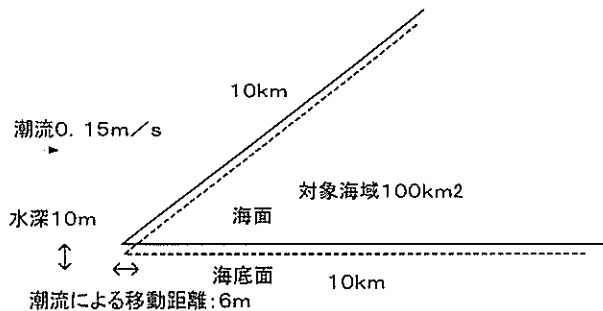


図-16 潮流の影響のイメージ図

また、海面から海底へ落下する間に、潮流、波等の流れにより、海面における散布量の分布状態がそのままの状態では平行移動して海底面に達するのではなくその状態が変化する。しかし、この変化は、一般に散布量のばらつきを拡散して均一化する方向への変化であって、偏りを助長するような要因は想定しにくい。

7. 3 考察

本章においては、施工精度としてばらつきの程度について種々の想定を行い試算を行ったが、本施工の対象物は細菌が付着した浄化剤であり、散布の真の対象物は細菌である。細菌は散布された海底の環境がその細菌に適していれば短時間に倍増するものである。また、5章の剥離実験結果でも示されたように散布過程において、菌数は1オーダー落ちるものもある。

そのため、本工法の場合においては、浄化剤の散布量のばらつきがどの程度かということあまり意味を持たず、施工上の条件として未散布の空白域を作らないよう

にだけ留意すれば良いだけかもしれない。

8. 結論

船舶に散布機を搭載し、空気流による空中散布—水中落下により底質浄化剤を散布する方式を想定し、浄化剤の空中散布実験、水中拡散実験及び細菌剥離実験を行った。これらの実験結果等より、本施工方式における実用性を確認するとともに、効率性、経済性、施工精度を試算した。その結果、潜水士が散布する場合と比較して、施工能率で 120 倍、経済性で 30 倍の効果が期待できる試算結果となった。施工精度としての浄化剤散布量のばらつきは、種々の想定条件はあるものの標準偏差で約 20%と試算された。

(2003年2月14日受付)

謝辞

本研究は国土交通省中国地方整備局広島港湾空港技術調査事務所からの受託調査として実施し、広島港湾空港技術調査事務所が主催する底質浄化工法検討調査委員会において助言、指導をいただきながら実施した。

種々の実験実施にあたっては、(株)海洋工学研究所、(株)共立、(株)ヤクルト中央研究所の方々の協力を得て実施した。

これらの助言、協力をいただいた方々に深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 岡山義邦；浚渫におけるスラリ輸送技術の展望，平成元年度港湾技術研究所講演会講演集，1989年，pp1-27
- 2) (社)日本建設機械化協会；建設機械等損料算定表，平成13年度版，2001年，429p
- 3) 今井秀孝；計測の信頼性評価、(財)日本規格協会，1996年，200p

港湾空港技術研究所資料 No. 1051

2003.6

編集兼発行人 独立行政法人 港湾空港技術研究所

発行所 独立行政法人 港湾空港技術研究所
横須賀市長瀬 3 丁目 1 番 1 号
TEL. 046 (844) 5040 URL. <http://www.pari.go.jp/>

印刷所 有限会社つばさ印刷技研

Copyright © (2003) by PARI

All rights reserved. No Part of this book must be reproduced by any means without the written permission of the President of PARI.

この資料は、港湾空港技術研究所理事長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部または一部の転載、複写は港湾空港技術研究所理事長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。