

3. 底質ダイオキシン類対策

3.1 底質ダイオキシン類対策の基本的考え方

底質ダイオキシン類対策の基本的な考え方は、魚介類を經由して人が間接的にダイオキシン類を摂取する経路を遮断することである。

【解説】

魚介類を經由した底質ダイオキシン類の汚染影響経路は、図-3.1.1 に示すように、溶出、巻上げ、底生生物経由に区分される。

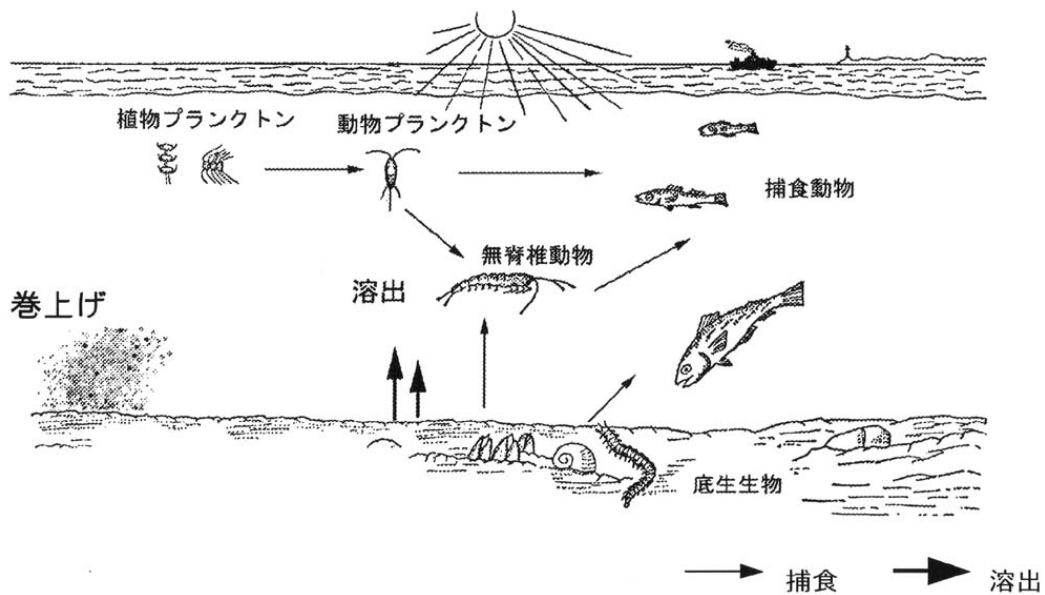


図-3.1.1 底質ダイオキシン類の影響経路の模式図

底質から溶出し、巻上げられたダイオキシン類はプランクトン類から、食物連鎖により捕食動物へと移行する。また、底質を直接摂取する底生生物を魚介類が捕食して移行する経路もある。

このため、リスクを低減するためには、魚介類を經由して人に至る経路を食物連鎖の前の段階で遮断することでリスクを低減することが必要となる。経路の遮断のための対策としては、次の3種類の対策が基本となる。

(1) 浚渫・掘削除去

汚染底質を浚渫・掘削除去し、埋立等の処分をすることにより、溶出・巻上げ・底生生物への移行のすべての経路を遮断する。

(2) 覆砂

汚染底質の上に良質な砂などを撒くことにより、溶出及び底質の波や流れによる巻上げ、底質を摂取する底生生物を通じた魚介類への蓄積の経路を遮断する。ただし、この場合、汚染底質は海底にそのまま残置されており、覆砂層が安定していることを確認するための継続的なモニタリングが必要である。

(3) 原位置固化処理

汚染底質を原位置で固化することにより、溶出を抑制し、底質の波や流れによる巻上げ、底質を摂取する底生生物を通じた魚介類への蓄積の経路を遮断する。ただし、固化層の経時的な劣化の有無を確認するための継続的なモニタリングが必要である。

以上の対策の分類を図-3.1.2 に示す。

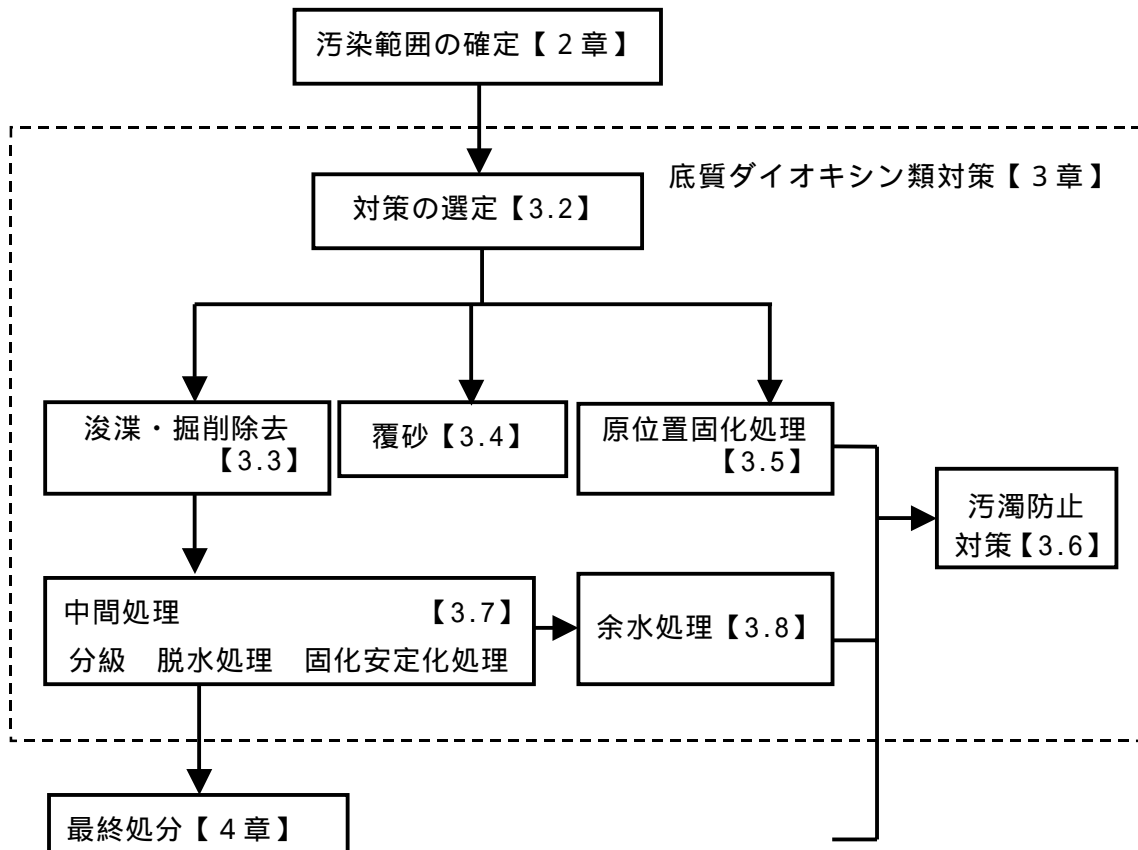


図-3.1.2 底質ダイオキシン類対策選定フロー図

3.2 対策の選定

対策の選定にあたっては、採用条件を満たす対策を対象に、リスクの低減効果、施工の難易度、二次汚染のリスク、コストなどの比較検討を行い、既存構造物への影響、港湾利用への影響等に配慮し、港湾の特性に応じた最適な対策を選定する。

【解説】

(1) 各対策の特徴

対策として採用するためには次項(2)で述べる必要条件を満たしていることが必要である。その上で採用可能な対策を対象として比較検討を行い、最適な対策を選定する。比較検討項目は、対策実施によるリスク低減効果の他に、施工の難易度、汚濁拡散などによる二次汚染リスク、コストなどである。具体的な工法の選定にあたっては、既存構造物への影響、港湾利用への影響にも配慮する必要がある。これらを確認するため、本施工の前に試験施工を行うことが望ましい。

また、対策の選定においてはダイオキシン類は自然には容易に分解しないため、封じ込めた場合は効果確認のための継続的なモニタリングが必要であることに留意する必要がある。

1) 浚渫・掘削除去

浚渫・掘削除去は、ダイオキシン類汚染底質を海底から除去するため、リスク低減効果が大きい方法である。港湾においては大量の底質を除去することになる場合が多いため、この対策の採用の可否は底質の汚染度に応じた最終処分ができるか、あるいは中間処理によって厳重な管理が必要な底質の量をいかに減らせるかにかかっている。また、効率的な施工のためには、浚渫除去の場合は濁りの発生を防止し高含泥率で薄層浚渫する技術が必要である。現場条件などの要因によりこれに対応できない場合は、除去区域を締め切った上でドライ施工を行う掘削除去の採用を検討する。また、除去した底質の汚染レベルが高い場合の分解無害化処理技術の開発などが必要となる。

2) 覆砂

覆砂はダイオキシン類汚染底質を砂などで被覆することにより魚介類による底質の摂取を防ぐとともに、溶出および底質の巻上げを抑制する方法である。原位置において浚渫・掘削除去以外の方法で摂取経路を遮断したい場合に用いられ、特に栄養塩類等への対策としてはこれまでに数多くの施工実績がある。

底質を直接動かさずに施工できるため、汚濁拡散などの施工に伴う二次汚染リスクが小さいことが利点である。その他に覆砂は施工の容易さやコストの面で優れており、次項で述べる必要条件を満たしている場合においては有効な方法である。ただし、底質巻上げ抑制効果などが長期にわたって持続していることを確認するため、施工後もモニタリングを継続する必要がある。モニタリングによって十分な効果が確認されない場合は、浚渫・掘削除去などの他の対策

を実施する必要がある。

底質からのダイオキシン類の溶出抑制効果および巻上げ抑制効果に関しては、室内試験などによって確認する必要がある。

3) 原位置固化処理

原位置固化処理はダイオキシン類汚染底質を原位置においてセメントなどで固化することにより、底質からのダイオキシン類の溶出を抑制するとともに、底質の巻上げや底生生物を通じた魚介類による摂取を抑制する方法である。覆砂と比較すると、施工時の濁り発生や品質管理の難しさを解決しなければならないが、ダイオキシン類の巻上げ抑制効果は大きく、継続的であると考えられる。ただし、固化層の経時的な劣化の有無を確認するための継続的なモニタリングが必要であり、モニタリングによって十分な効果が確認されない場合は、浚渫・掘削除去などの他の対策を実施する必要がある。

また施工法としては、セメント系固化剤を底質に注入し攪拌混合する原位置固化と、品質管理を確実にを行うためにいったん浚渫した底質を船上など気中で固化処理した後、原位置に戻す気中固化がある。

底質からのダイオキシン類の溶出抑制効果に関しては、室内試験や試験施工などによって確認する必要がある。

(2) 各対策採用のための必要条件

1) 浚渫・掘削除去

対策として浚渫・掘削除去を採用するためには、以下の要件を満たしていることが必要である。

- ・除去した底質ダイオキシン類を汚染レベルに応じて最終処分できること。
- ・浚渫・掘削によって埋設物や護岸などの構造物に支障をきたさないこと。

2) 覆砂

対策として覆砂を採用するためには以下の要件を満たしていることが必要である。

- ・覆砂材が洪水、強風や台風等の荒天時に洗掘を受けたり流出しない水域環境であること。
- ・水深に十分余裕があること。

覆砂厚は、対策の目的により 30～100cm で実施されることが多く通常 50cm 程度である。港湾、航路では水深確保が重要なので、覆砂の適用は制限される場合がある。

- ・海底表面に厚い浮泥層がないこと。

海底表面に厚い浮泥層が存在する場合、投入した覆砂材が浮泥層の下に潜り込むおそれがあり、覆砂による底質の遮断効果が十分に得られない可能性がある。

また、恒久的対策として覆砂を行う以外に、港湾へのダイオキシン類の流入が続いている場合の暫定措置として覆砂を実施することもあり得る。

3) 原位置固化処理

対策として原位置固化処理を採用するためには以下の要件を満たしていることが必要である。

- ・ウェット施工(「3.5.1(1)1」参照)を選択する場合、水深に十分余裕があること。

ウェット施工をする場合、覆砂が必要である。覆砂厚は30～100cmで実施されることが多く通常50cm程度である。航路・泊地等では水深確保が重要なので、覆砂の適用は制限される場合がある。

- ・海底表面に厚い浮泥層がないこと。

ウェット施工の場合は、海底表面に厚い浮泥層が存在する場合、投入した覆砂材が浮泥層の下に潜り込むおそれがある。

ドライ施工の場合は、海水の汲み出し時に浮泥も流出するため、海水の処理が必要である。

- ・固化処理の結果、停泊船舶の投錨に支障がないこと。
- ・事前に固化処理土の振とう分配試験を実施した結果、試験水のダイオキシン類濃度が1pg-TEQ/L以下になることが確認されていること。

なお、既往調査結果¹⁾では、静置溶出試験および振とう分配試験の結果、どちらの試験においてもダイオキシン類濃度が670pg-TEQ/gの河川底質、730pg-TEQ/gの海域底質の溶出抑制効果が確認されている。また、固化処理による溶出抑制効果がダイオキシン類の成分によって異なることも報告されているため十分な検討が必要である。

3.3 浚渫・掘削除去

3.3.1 除去範囲および除去土量

浚渫・掘削除去における底質の除去範囲（面積、厚さ）は、ダイオキシン類底質の環境基準値を超過した底質の分布範囲を原則とする。

【解説】

（１）除去範囲および除去土量

浚渫・掘削除去における底質の除去範囲（面積、厚さ）は、ダイオキシン類底質の環境基準値を超過した底質の分布範囲を原則とする。ただし、浚渫・掘削除去においては必ず掘削除去した底質の最終処分を伴うため、最終処分量を極力少なくすることのできる浚渫工法および除去範囲を決定することが重要である。

（２）最終処分までのフロー

除去した底質は一般に図-3.3.1 に示すフローに従い最終処分する。浚渫・掘削除去を選定するにあたっては、浚渫・掘削工程だけでなく輸送～最終処分を含めて最適な工法を選定する必要がある。

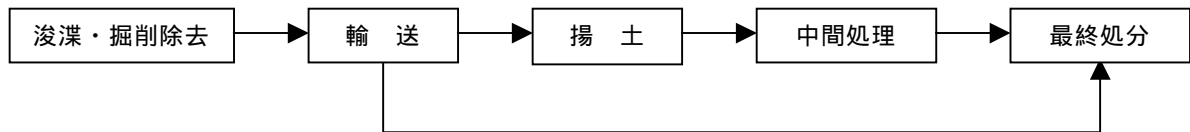


図-3.3.1 浚渫・掘削除去土の処理処分フロー

3.3.2 浚渫・掘削除去工法の選定

浚渫・掘削除去工法の選定にあたっては、対象海域の特性を考慮して最適な工法を選定する。

【解説】

(1) 浚渫・掘削除去工法の分類

我が国で使用されている浚渫除去工法は、図-3.3.2 に示すようにポンプ系とグラブ系に分類される。また、掘削除去工法は汚染底質の土質性状および堆積形状により施工方法、使用機械が異なる。

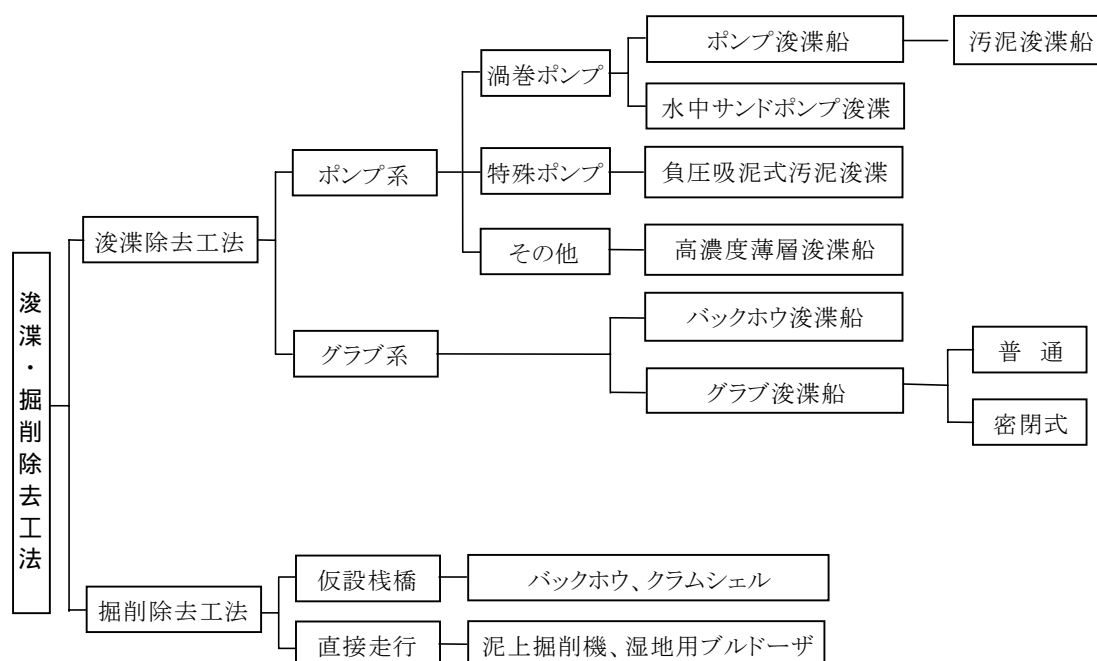


図-3.3.2 浚渫・掘削除去工法の分類

高濃度汚染底質の場合や自然条件・施工条件などにより浚渫除去工法が適用できない場合は、除去区域に鋼矢板等の締切工を設けその内部を排水して、汚染底質を除去する掘削除去工法を採用することが望ましいが、やむを得ず、浚渫除去工法を採用する場合には周辺への拡散に特に十分な配慮が必要となる。掘削除去工法の選定には、地形、水深、土質、海象条件などの自然条件、施工条件、環境条件、経済性などを総合的に検討して判断する必要がある。この工法の特徴と適用性を表-3.3.1 に示す。

表-3.3.1 掘削除去工法の特徴と適用性

特 徴	<p>締切内の排水処理が必要となる。 底質の飛散防止対策が必要となる。 簡易な陸上機械で掘削が可能となる。 巻上げられた汚染底質の拡散による二次汚染の可能性が低い。 気中作業なので確実な施工管理ができる。</p>
適用性	<p>水深が浅い場合に適する。 面積が狭く、排水処理が容易な場合に適する。 汚染が高濃度でより確実な施工が要求される場合に適する。</p>

(2) 選定のための技術的要因

浚渫・掘削除去工法の選定に当たっては、表-3.3.2 に示す技術的要因について検討する必要がある。

表-3.3.2 浚渫・掘削除去工法選定のための技術的要因

要 因	内 容
施工能力	当該工事の施工土量に対する適用性
汎用性	現有船舶・機械による工事への適用性
適用土質	掘削する土質に対する適用性、浮泥の有無
堆積深度、層厚	除去底質の堆積深度、層厚に対する適用性
堆積形状	除去底質堆積場所の平面形状
波高、流速	除去底質堆積海域の波高、潮流
障 害 物	障害物、ゴミ等の混入に対する適用性
航行船舶への障害	航行船舶への障害の有無、程度
処分地規模、距離	余水処理の要否、処分地の規模、距離
施工スペースの制約	浚渫船・機械の規模、可搬性による適用性
汚濁、粉じん	除去時の汚濁、粉じん発生量の大小
騒音、振動、悪臭	除去時の騒音、振動、悪臭の有無、大小

(3) 適用性の比較

浚渫・掘削除去工法の適用性を、技術的要因に基づき比較した結果を表-3.3.3 に示す。

表-3.3.3 浚渫・掘削除去工法の適用性の比較

条件	評価項目	浚渫除去工法			掘削除去工法
		高濃度薄層浚渫船	ポンプ式汚泥浚渫船 負圧吸泥式汚泥浚渫船	密閉ダンプ浚渫船	
底質堆積状況	汚染濃度	低～高濃度	低～中濃度	低～中濃度	非常に高濃度
	堆積層厚	薄層可	比較的薄層	厚い、サンドイッチ状も可	
	堆積範囲	広範囲対応可		比較的狭い範囲	局所的対応
	土質	シルト、粘土		砂礫を含んでも対応可	
	浮泥	要検討	対応可能	対応不可	対応可能
	障害物	弱い、前処理等が必要		強い	対応可能
施工条件	施工能力	60～150m ³ /hr	高濃度浚渫船 の数倍	最大20 m ³ /バケット	多数の機種あり
	含泥率	50～80%	20～30%	80%	高含泥率可能
	水深	～-10m	～-20m	深くても可能	浅い
	流速	小	中	小～中	締切内施工
	波高	小	中	小～中	締切内施工
	処分地規模 距離	大規模処分地が必要、近距離が望ましい		遠距離に対応可	
	施工スペース	狭小な場所に対応不可		狭小な場所も対応可	
	船舶航行等	沈設管で対応可、防止膜内航行不可		土運船航行と 輻輳する	障害となる
周辺環境	水質汚濁	極小	小	小～中	締切内施工
	騒音・振動	小	小	中	中
	悪臭	ほとんどなし		土運船上	掘削、積込時
	粉じん	ほとんどなし			掘削、積込時
	輸送方法	パイプライン輸送		土運船運搬 パイプラインも可	陸上ダンプ輸送

(4) 除去底質量の低減

最終処分量を抑制するためには、対象厚のみを除去可能な薄層浚渫工法等が有利である。また、処分地の容量や余水処理施設の規模を考慮すると含泥率(浚渫地山体積と海水を含む浚渫量の比)が高い工法の採用が有利となる。

(5) 浮泥の場合の対応

ダイオキシン類に汚染された浮泥がある場合、浚渫除去時に巻上げが起これば除去後に再沈降する恐れがあるので、事前に浮泥の有無を調査し巻上げが発生しない工法を選定する必要がある。

3.4 覆砂

3.4.1 覆砂厚および覆砂材

覆砂厚および覆砂材は、長期的な覆砂の効果を検討して決定する。

【解説】

(1) 覆砂厚

覆砂の層厚を決定する場合には、以下の要件を満たす必要がある。

- ・十分な底質の巻上げ抑制効果および溶出抑制効果を長期的に持続できる層厚
- ・底生生物の覆砂層内への侵入深さ以上の層厚
- ・対象地点の海象作用を受けても効果が変化しない層厚
- ・対象地点の底質土の強度特性に見合う層厚
- ・船舶の停泊場所ではアンカーによる底質の攪乱を防げる層厚

覆砂厚の検討の際に考慮すべき項目および過去の事例による必要厚さの目安を、表-3.4.1 に示す。ただし、栄養塩とダイオキシン類の溶出特性は異なるので、表中の溶出削減効果については参考程度にとどめるものとする。これは表-3.4.2 についても同様である。

表-3.4.1 覆砂厚の検討事例²⁾

区 分	項 目	必要厚等
環境改善効果	栄養塩溶出削減効果	30cm 以上 ³⁾
	栄養塩溶出削減効果（持続性）	30cm で 20 年（効果持続） 50cm で 30 年（効果持続） ³⁾
	底生生物相	10cm 以上
底生生物の侵入防止		40cm 以上
覆砂形状の維持	海域利用（漁業の影響）	10cm 以上
施工性	施工精度	±10～20cm
	覆砂材の汚染底質層へのめり込み厚	2～10cm

(2) 覆砂材

覆砂材として砂を選定する場合には、以下の項目について検討する必要がある。

- ・施工性からは、中砂～細粒砂で、均粒のものがよい。
- ・覆砂材の流失に対しては粗い粒径がよい。

砂の場合の好ましいと思われる粒径を表-3.4.2に示す。

また、スラグ等の覆砂材についてもその特性を検討した上で使用することができる。

表-3.4.2 覆砂の目的と粒径⁴⁾

目 的		粒 径 (mm)							
項 目	細 目	0.01	0.02	0.03	0.05	0.1	0.2	0.3	0.5
浄化効果	栄養塩の溶出の削減		—	—	—	—	—		
	底質改善(有機物の低下)		—	—	—	—			
	底質改善(DO消費量の削減)			—	—	—	—		
	底質改善(生物相の回復)			—	—	—	—		
効果の持続	覆砂効果の持続		—	—	—	—			
	覆砂材の流失						—	—	—
施工性	施工性(施工精度)					—	—		
	汚濁防止対策					—	—	—	—
経済性	施工能力				—	—	—		
	浚渫土等の利用		—	—	—	—	—	—	—

(3) 施工後の継続的モニタリング

施工後においても効果の持続性を確認するため、水質と覆砂のダイオキシン類濃度および覆砂層厚を継続的にモニタリングする必要がある。この結果によっては、浚渫・掘削除去、原位置固化処理等の実施や維持管理補修等が必要となることも考えられる。このうち水質については、公共用水域において全国の都道府県知事が定める測定計画等の水質測定地点が対象水域の近くにある場合はその水質測定地点の値で代替することができる。

3.4.2 覆砂工法の選定

覆砂工法は、対象海域の特性を考慮して適切な工法を選定する。

【解説】

(1) 覆砂工法の分類

覆砂工法は、砂をガット船や土運船で搬送し砂撒船で撒布する乾式撒布工法と、ガット船や土運船で搬送した砂に海水を混合してスラリー状にしたものをパイプラインで輸送し撒布する湿式撒布工法に分類される。施工時の濁りの発生は、撒布する砂に起因するものと底質の巻き上げに起因するものがあるが、乾式撒布工法と湿式撒布工法は共にどちらの濁りの発生も少ない。また、砂の吐出し位置が海底に近いほど底質の巻き上げが少なく濁りの発生は抑えられる。

図-3.4.1 に覆砂工法の分類を示す。

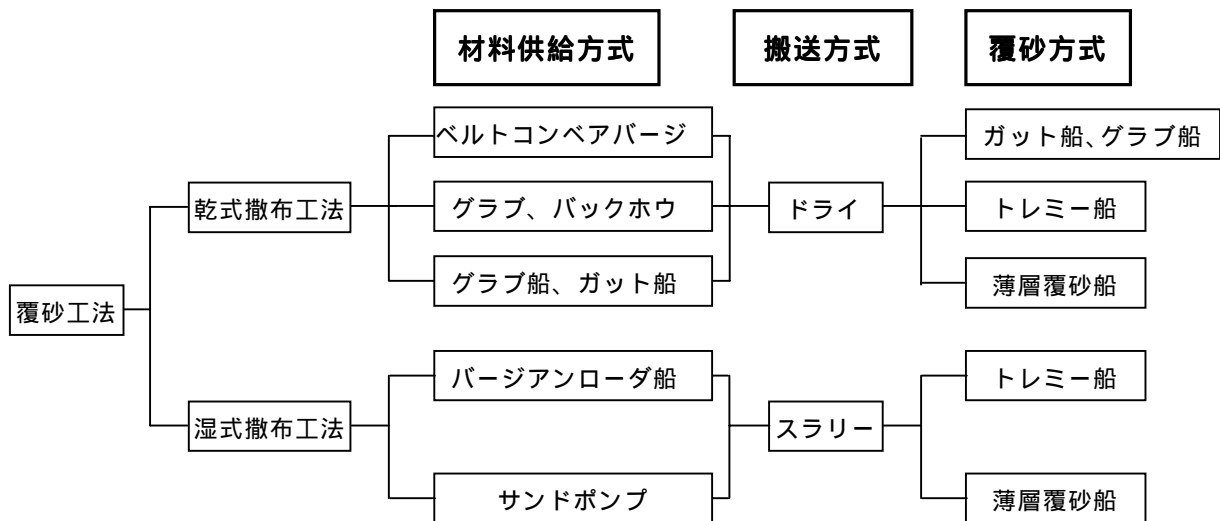


図-3.4.1 覆砂工法の分類

船団構成としては、砂撒船に直接土運船を接舷させて揚砂し撒布装置から撒布する1船式と、砂撒船とは別に配置した揚砂する役目のバージアンローダ船に土運船を接舷し、これより砂撒船に覆砂材を供給して撒布する2船式がある。

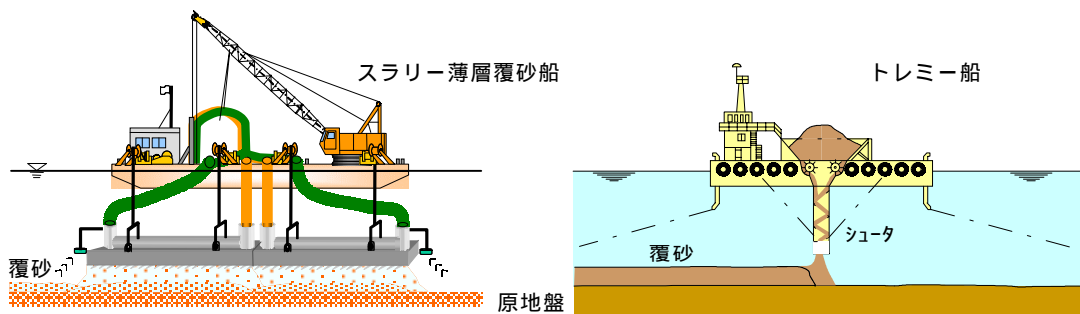


図-3.4.2 覆砂工法の施工模式図

(2) 覆砂工法の選定

覆砂工法の選定に当たっては、以下の項目について十分検討を行う必要がある。

- ・ 施工水深、流速、覆砂厚、施工規模
- ・ 汚染底質の物理性状
- ・ 汚濁の発生
- ・ 施工精度、出来形管理
- ・ 材料の供給

(3) 適用性の評価

海域での覆砂工法について、適用性の評価結果を表-3.4.3に示す。薄層覆砂船の1船式とは、砂撒船に土運船を直接接舷して揚土する方式であり、2船式とは揚土船と砂撒船が別になっている方式である。

表-3.4.3 覆砂工法の適用性評価

	使用作業船名	水深	流速	覆砂厚	施工規模	底質性状	汚濁	施工精度 出来形管理	材料供給	総合評価
1	ガット、グラブ船									
2	トレミー船									
3	薄層覆砂船 (1船式)									
4	薄層覆砂船 (2船式)									

凡例 : 最適 : 適用可能 : 条件次第で適用可能

以上の適用性評価のうち、汚濁発生の観点からの適用性評価を表-3.4.4に示す。2船式の場合は揚土船を汚濁防止膜の外側に配置できるため、土運船の接舷時に防止膜の開閉を要しない利点がある。

表-3.4.4 覆砂工法の汚濁発生度合いによる評価

	使用作業船名	濁りの発生	汚濁防止対策	防止膜等阻害しない	撒布装置の位置	施工管理	汚濁評価
1	ガット、グラブ船				×		
2	トレミー船						
3	薄層覆砂船 (1船式)						
4	薄層覆砂船 (2船式)						

凡例 : 最適 : 適用可能 : 条件次第で適用可能 × : 適用不可

3.5 原位置固化処理

3.5.1 固化品質および固化層厚

原位置固化処理にあたっては、長期的な効果が確保できる固化品質および所要の固化層厚を確保する。

【解説】

(1) 原位置固化処理の分類

原位置固化処理は、固化材攪拌混合の違いにより、原位置固化と気中固化に分類できる。

1) 原位置固化

専用の処理船や機械を用いてセメント系固化材をダイオキシン類汚染底質に注入し、原位置で攪拌混合する処理である。原位置固化は、原地盤より3m程度までを処理する表層(浅層)混合処理工法と、原地盤より約3m以上を処理する深層混合処理工法に分類される。また、混合処理の方法は、固化材を吐出しながら処理機先端の攪拌翼で攪拌混合する機械攪拌式工法と、高圧ジェットの衝撃力で地盤を破碎し切削部分にセメント系固化材を充填あるいは切削土と固化材の一部を混合する高圧噴射攪拌工法の大きく2つに分かれる。一方、固化材の添加も、スラリーで添加する方法と粉体のままで添加する方法がある。また、施工方式は、締切りして海水を排除して底質を処理する「ドライ施工」とそのまま処理を行う「ウエット施工」に区分される。それらの模式図を図-3.5.1および図-3.5.2に示す。ウエット施工の場合は、確実な固化と施工時の濁り発生防止のため、固化処理に先立って覆砂が必要である。

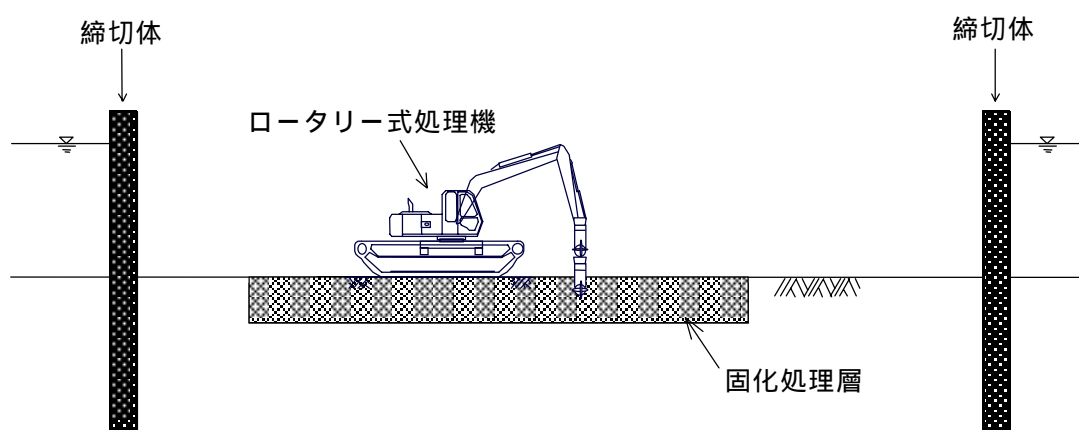


図-3.5.1 原位置固化工法のドライ施工模式図

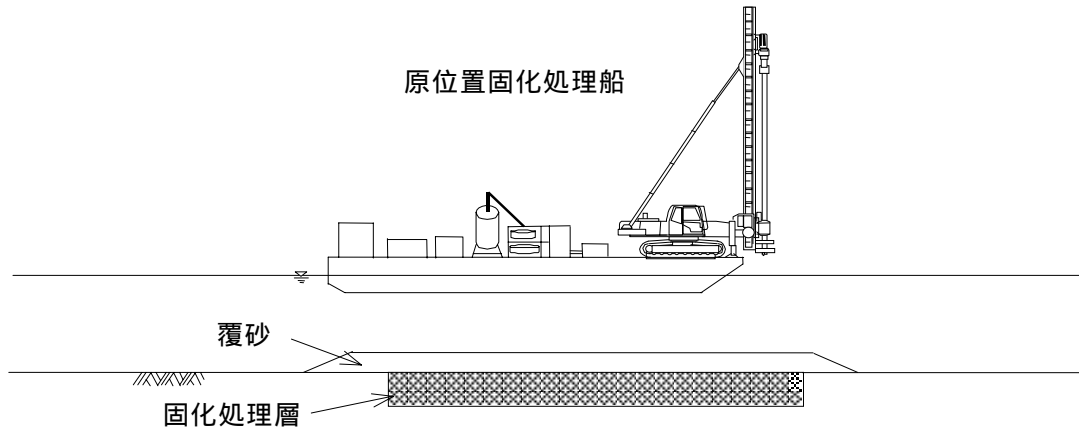


図-3.5.2 原位置固化工法のウェット施工模式図

2) 気中固化

気中固化は、固化処理の品質管理を確実にするために行うものである。ダイオキシン類汚染底質を一時、浚渫し、気中でセメント系固化材などと攪拌混合した後、原位置に戻す処理である。

浚渫については、「3.3 浚渫・掘削除去」で述べているとおりである。浚渫したダイオキシン類汚染底質を土運船などに揚土し、処理船上などで脱水しセメント系固化材などを添加して処理を行う。固化処理した底質は、トレミー管などを用いて浚渫した元の場所に埋め戻す。

また、くぼ地や水深の深い場所などがある場合には、土運船やパイプラインによる輸送を行い、そこに埋め戻す方法も考えられる。

(2) 固化品質の確認

1) 事前試験

固化処理した底質のダイオキシン類溶出抑制効果（溶出水を 1pg-TEQ/L 以下にする）については、現在のところ十分な知見がないため、ダイオキシン類溶出・巻上げ抑制効果および固化材添加量について、処理対象底質毎に振とう分配試験を行い事前に確認する必要がある。試験の結果、試験水の濃度が 1pg-TEQ/L 以下になることが原位置固化処理適用の条件である。

以下に、原位置固化処理の溶出試験の1例を示す。

[参考]

【固化処理底質の振とう分配試験例】

対象底質を固化し所定期間が経過した試料を粉砕し、粒径が $0.5\sim 5\text{mm}$ になるよう調整したものを検体とする。溶媒は、純水に水酸化ナトリウムまたは塩酸を加え pH を $7.8\sim 8.3$ になるよう調整したものを使用する。試料と溶媒とを重量体積比が 3% 、かつその混合液が 500ml 以上となるよう作成する。混合液を常温、常圧で振とう機(振とう回数：約 200 回/分、振とう幅： $4\sim 5\text{cm}$)

を用いて6時間連続して振とうする。そして、試料液を孔径1 μ mのガラス繊維ろ紙を用いてろ過し、ろ液から検定に必要な量を取りダイオキシン類濃度を測定する。

(海洋汚染及び海上災害の防止に関する法律施行令第5条第1項に規定する埋立場所等に排出しようとする廃棄物に含まれる金属等の検定方法)

ただし、この試験方法では試料液をろ過してダイオキシン類濃度を測定するため、土粒子に吸着しているダイオキシン類を評価できないという問題点がある。今後、土粒子に吸着して移動するダイオキシン類の挙動を評価できるような試験方法を開発する必要がある。

2) 工事完了後の品質の確認

原位置固化処理による底質の固化品質を確認するため、工事完了後に継続的に固化処理層からのサンプリングを行い、強度試験および振とう分配試験を実施し、固化品質の経時的な劣化が無いことを確認する。

(3) 固化層厚の考え方

原位置固化における改良層厚は、ダイオキシン類底質の環境基準値を超過した底質の厚さを原則とする。ただし、汚染底質の層厚が50cm～1m程度の場合は、現状の固化処理工法はこのような薄層を固化改良することが出来ないものが多いため、汚染底質より深い層や覆砂層を合わせて固化処理する方法をとる。

3.5.2 原位置固化処理工法の選定

原位置固化処理工法は、対象海域の特性を考慮して適切な工法を選定する。

【解説】

(1) 原位置固化施工法の選定

原位置固化を実施する場合、施工法のうちドライ施工では、固化材の粉体添加、スラリー添加共に適用可能であるが、ウェット施工では、セメントを事前にスラリー化して低圧のグラウトポンプ等で地盤に注入する工法が適している。よって、海底表層に堆積した汚染底質を処理する際には機械攪拌式の混合処理機が適しており、高圧噴射攪拌工法は、例えば運河など水深が比較的浅くドライな状態で施工可能な場合に適用可能である。

原位置固化の適用機材は、ウェット施工では深層混合処理船(専用船)、陸上機搭載台船、あるいは締切後の栈橋上からの陸上機がある。ドライ施工は締切内での陸上機による施工となる。

原位置固化の施工方式と施工法を表-3.5.1に示す。

表-3.5.1 原位置固化の施工方式と施工法

施工方式	工法名称	混合処理の方法	施工形態
ウェット 施工	表層(浅層)混合処理工法	機械攪拌式 スラリー添加	フロート式
	深層混合処理工法	機械攪拌式 スラリー添加	専用船、台船搭載型、栈橋式、 スラット台船搭載型
ドライ 施工	表層(浅層)混合処理工法	機械攪拌式 スラリー添加および 粉体添加	泥上車、栈橋式、クローラ式、 フロート式
	高圧噴射攪拌混合工法	高圧噴射式 粉体添加	フロート式、栈橋式、クロー ラ式

原位置固化の施工方式と機械構造および固化材の適用性評価を表-3.5.2に示す。粉体を固化材とする高圧噴射式は、施工時の底質の攪乱や巻上げが大きいため、ウェット施工には適用できない。

表-3.5.2 原位置固化の施工法の適用性評価

項 目		ウェット施工			ドライ施工
		専用船	台船 + 陸上機	栈橋 + 陸上機	陸上機 (締切)
機械構造	機械攪拌式				
	高圧噴射式	×	×	×	
固化材	スラリー添加				
	粉体添加	×	×	×	

凡例 : 適、× : 不適

(2) 気中固化施工法の選定

気中固化は、分級、脱水、固化処理による処理の高精度化によって、より確実な品質管理が行えることから、原位置固化よりも高い汚染濃度の底質に適用可能と考えられるが、全て船上で処理する場合は台船上に処理プラント等が必要である。

(3) 留意点

固化処理材にセメント系固化材を用いる場合には、「セメントおよびセメント系固化材の地盤改良への使用及び改良土の再利用に関する当面の措置」の運用について (港建第 119 号平成 12 年 3 月 27 日) によること。

3.6 汚濁防止対策

3.6.1 汚濁防止対策の考え方

ダイオキシン類は主に微細な土粒子に付着して移動することから、対策工事においては、極力濁りの発生が少ない工法を選定すると共に、濁りの拡散を防止する措置を講ずる。

【解説】

(1) 汚濁防止対策の考え方

ダイオキシン類は一般に水に溶けにくく、主に底質中の微細な土粒子に付着して移動することから、工事中の濁りの拡散を抑制することでダイオキシン類の拡散を抑制できると考えられる。よって底質ダイオキシン類対策工事においては、工事における濁りの発生および周辺の水環境への濁りの拡散を抑制、あるいは低減するための汚濁防止対策が極めて重要である。

3.6.2 汚濁防止対策の選定

汚濁防止対策は、工事による汚濁の拡散を防止し、工事中の監視点において監視基準を満足する工法を選定する。

【解説】

(1) 汚濁防止対策の分類

汚濁防止対策は、汚濁防止枠、汚濁防止膜、鋼矢板などによる締切の3種類に分類できる。

1) 汚濁防止枠

グラブ浚渫など局所的に濁りが発生する工事において使用される。水深に応じてカーテン長を自在に調整できる構造になっている場合が多い。作業船に直接設置するため、他の汚濁防止膜のようにアンカーによる係留が不要である。また防止効果を高めるため、凝集剤などを添加する場合もある。

2) 汚濁防止膜

汚濁防止膜は、比較的設置が容易で任意の場所での対策が可能であるため、浚渫工事において頻繁に利用されている。ただし流速が速く水位の変動の激しい場所では、埋没、破損、流失などの恐れがある。

汚濁防止膜の設置個所としては、浚渫区域および浚渫船の外周を囲む場合とグラブなどの浚渫箇所の周囲を囲む場合があり、形式としては、垂下型、自立型、垂下+自立併用型などがある。

3) 鋼矢板などによる締切

底質が高濃度に汚染されているため汚濁防止枠や汚濁防止膜で対応できない場合に、鋼矢板や鋼管矢板で仮締切工を設置することにより汚濁防止対策を行う方法であり、設置水深や締切後の浚渫・掘削除去方法などにより、一重矢板と二重矢板に大別できる。

継手部が無処理の場合は、換算透水係数 $10^{-2} \sim 10^{-5} \text{cm/s}$ 程度であり、継手部からの汚濁の漏出量を検討する必要がある。また、継手部を膨潤性止水材などで適切に処理した場合には高い止水効果が得られ、汚濁水の流出は実質上防止出来るものと考えられる。

(2) 選定のフロー

図-3.6.1 に、汚濁防止対策の選定フローを示す。

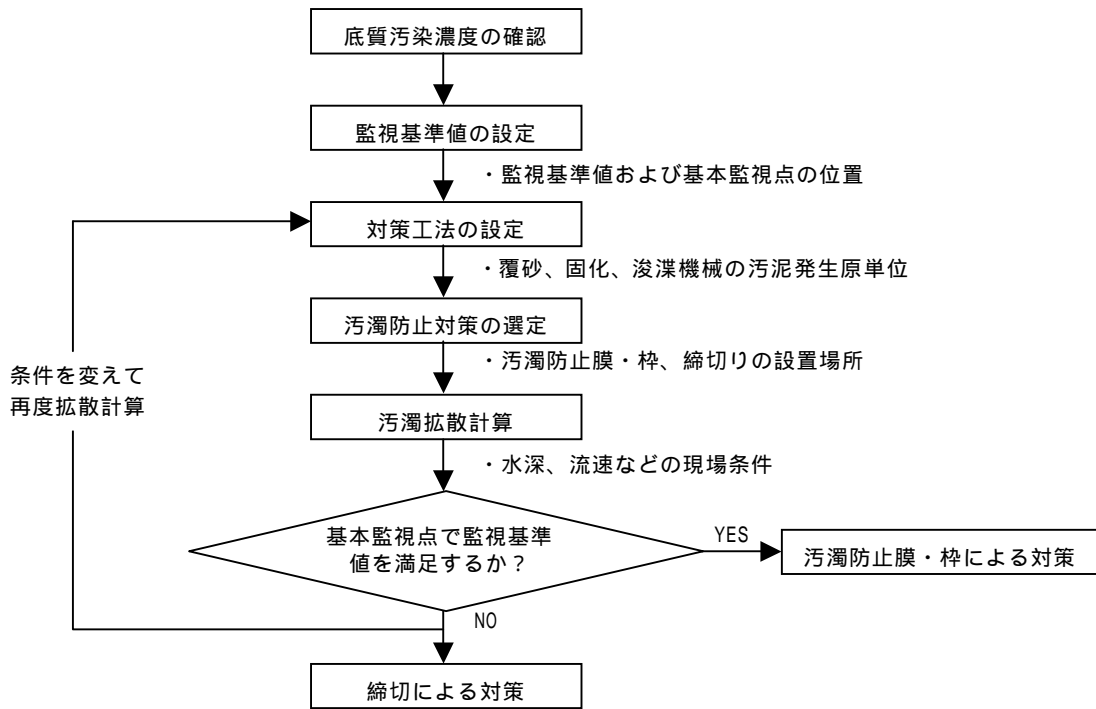


図-3.6.1 汚濁防止対策の選定フロー

汚濁防止対策の選定にあたっては、まず対策工事による濁りの発生量を見積もり、汚濁拡散計算などによりその広がりを求め、基本監視点での汚濁濃度が監視基準値を上回るようであれば、汚濁防止枠または汚濁防止膜による汚濁対策の検討を行う。底質のダイオキシン類濃度が非常に高いため汚濁防止膜・枠による対策では監視基準値を満足しない場合は、締切による汚濁防止対策を行うか、対策工法の再検討を行う必要がある。

(3) 汚濁拡散計算

表-3.6.1 に、汚濁拡散計算手法の例を示す。ただし、汚濁防止膜などによる汚濁の拡散防止効果あるいは解析に必要な各工法の汚濁発生原単位は、現地の地形、水深、流速などに大きく影響されることから、基本監視点で予想される汚濁濃度を計算するには十分な配慮が必要である。

表-3.6.1 拡散計算手法比較表

	基本的な考え方	特 徴
解析解による方法	いくつかの条件下で拡散方程式を簡略化し、方程式を直接解くことにより解析解を得る方法	拡散状況の短期的ミクロ的把握に適する
水域分割法による方法	対象水域をいくつかに分解し各ブロックが完全混合する仮定の上で平衡解を求める方法	拡散状況の長期的マクロ的把握に適する
数値解による方法	拡散方程式を電算機を用いて直接数値的に解く方法	上記の2方法に比し、より現象に近いかたちで拡散状況を長期的に把握することが可能である

浚渫・掘削除去、覆砂、原位置固化処理において、実際に施工現場での汚濁発生原単位を調査した事例は少ないが、表-3.6.2 に、汚濁発生原単位の調査事例を示す。

表-3.6.2 工法毎の汚濁発生原単位の例⁵⁾

	形 式	取り扱い土砂(%)		発生原単位 (t/m ³)	時間当たり 発生量(t/s)	能力 (m ³ /h)
		シルト以下	粘土以下			
固化	CDM 船 4 連 ⁶⁾	-	-	0.3×10^{-3}	0.009×10^{-3}	108
覆砂	トレミー船	1.5	0.0	1.59×10^{-3}	0.148×10^{-3}	330
浚渫	密閉グラブ 8m ³	80.0	14.0	3.50×10^{-3}	0.185×10^{-3}	190
	ポンプ式汚泥浚渫船 4,000PS	90.0	40.0	1.35×10^{-3}	0.13×10^{-3}	347
	ポンプ式汚泥浚渫船 1,590PS	99.5	50.5	1.34×10^{-3}	0.080×10^{-3}	215
	ポンプ式汚泥浚渫船 147PS	98.0	57.0	0.44×10^{-3}	0.017×10^{-3}	215
	高濃度・薄層浚渫船 ⁷⁾	93.7	64.8	0.21×10^{-3}	0.012×10^{-3}	200

3.7 中間処理

3.7.1 中間処理

中間処理は、浚渫・掘削除去した汚染底質の最終処分を効率的かつ経済的に行うことを目的に行う。

【解説】

(1) 中間処理の目的

中間処理は、浚渫・掘削除去した底質の最終処分を効率的かつ経済的に行うことを目的に実施する。中間処理の目的を分類すると、次のとおりである。

- ・ 処分土量の減容化（分級、脱水処理）
- ・ 溶出・巻上げ抑制、安定化（固化安定化処理）
- ・ 周辺環境、作業環境のリスク低減化（固化安定化処理）

中間処理は、除去した底質のダイオキシン類濃度および含水比などの性状と、処理施設を設置する用地の条件、周辺環境および最終処分の方法に対して、適正なシステムを選定する必要がある。

(2) 中間処理施設

中間処理施設は、泥水の貯留・濃縮装置、粗大異物の分離装置、砂レキ洗浄分離装置、脱水処理装置、固化安定化処理装置、仮置き養生ヤードなどで構成される。

中間処理施設は、除去底質のダイオキシン類濃度、性状、処理量、工期、処理ヤード、周辺環境への暴露リスク、運転管理、経済性などを考慮して適正な方法、機器を計画する。

中間処理施設に要求される主な事項を示す。

- ・ 安定した処理能力および改良土が得られること。
- ・ 周辺や作業員への暴露リスクが少ないこと。
- ・ 騒音、振動、粉塵、排水などの公害対策が図られていること。

(3) 中間処理時の環境汚染防止および安全対策

ダイオキシン類汚染底質の処理装置からの漏れ防止のため、適切な継ぎ手、接続部分を選び、配管の出口などの開放部は飛散防止のためカバーなどで保護する。さらに、貯留・養生ヤードは、雨水流入、飛散防止のため防水シートなどで覆う必要がある。

中間処理または最終処分のため汚染底質を搬出する場合には、搬出中に汚染底質が周辺に飛散しないようにするとともに、搬出先において周辺環境に汚染底質による汚染を拡散させることがないように管理する必要がある。

処理施設の解体撤去にあたっては、タンク類、配管などは洗浄して他の工事

へ転用を図り、濾過布などの消耗品類は工事毎に、「廃棄物の処理及び清掃に関する法律」に従って最終処分をする。最終的に、余水処理装置の撤去作業があり、装置内のスラッジは「廃棄物の処理及び清掃に関する法律」に従って最終処分する。

3.7.2 分級

分級は、浚渫・掘削除去した底質からダイオキシン類の付着量が相対的に少ないレキ、砂分等を分離し、最終処分量を減容化させるものである。なお、減容化された底質のダイオキシン類濃度は基本的には上昇するため、最終処分方法を考える際に注意する必要がある。

【解説】

(1) 分級の目的

ダイオキシン類は底質中において間隙水中よりも土粒子表面に付着して存在し、レキ、砂と比較して単位重量あたりの表面積が大きく、有機分も多い粘土やシルトに、より高濃度で吸着していると考えられる。このため、汚染底質を土粒子粒径毎に分離すれば、それぞれの汚染濃度に応じた処理処分が可能となり、土粒子粒径毎の処理効率も向上させることができる。

分級処理を行う場合は、事前調査により処理対象範囲を土質別に区域分けした後に、区分毎のダイオキシン類濃度を測定し、それに応じた処理・処分を行う。

(2) 分級方法の選定

分級には、対象底質の性状およびその後工程に応じ、適正な方法を選定し、また、分離粒径に応じた機器を使用する必要がある。分級システムの例を図-3.7.1に示す。

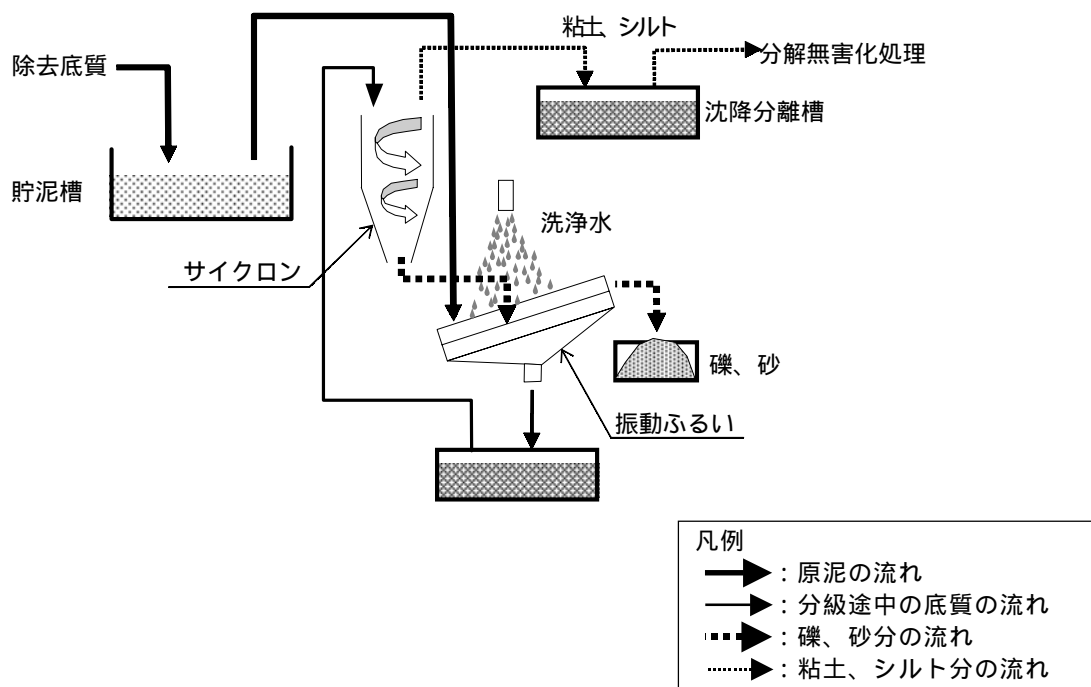


図-3.7.1 分級処理システムの例

3.7.3 脱水処理

脱水処理は、浚渫・掘削除去した底質を脱水し、最終処分量を減容化するものである。

【解説】

(1) 脱水処理の目的

海底から除去した底質は、浚渫・掘削除去の工法にもよるが多量の水分を含んでいる。処理・処分量の減容化および最終処分地の延命化、土質材料として利用する際の土質改良、後工程での処理効率向上を目的に、底質を土粒子分と水分に分離する。脱水処理の後、ダイオキシン類は土粒子分、水分共に含有されるが、ダイオキシン類含有水の処理については「3.8 余水処理」を参照すること。

(2) 脱水処理工法の選定

対象底質の性状および要求品質に応じ、適正な処理方法を選定する必要がある。脱水処理工法は、土木的脱水（自然式脱水）方式と機械脱水方式に分類できる。

土木的脱水方式は天日乾燥、重力ろ過を利用した脱水貯泥池などの比較的簡易な設備による方式である。

機械脱水方式は図-3.7.2 に示す機械脱水機を主に用いる方式である。この方式は大気への露出部分が少なく、自動化、遠隔操作が容易であり、暴露リスクを低減できるため脱水処理時の舞上がりなどによる人への暴露が問題となる場合に用いる。脱水処理の前には凝集剤を使った底質の濃縮処理が一般に行われる。機械脱水機毎に処理速度や処理後の土質が異なるため、これらの選定にあたっては、減容化率、処理能率、経済性などを総合的に検討する必要がある。

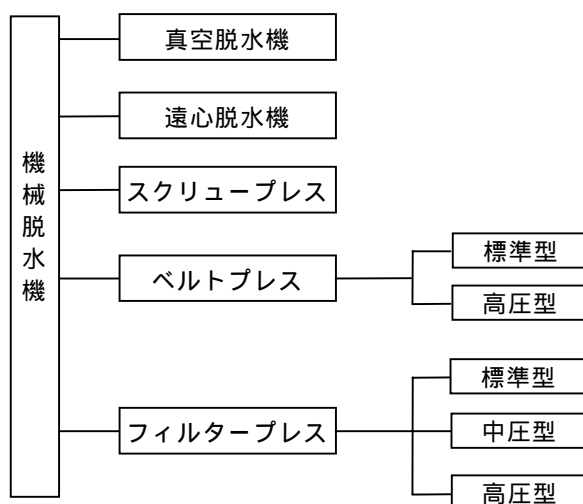


図-3.7.2 機械脱水機の種類

3.7.4 固化安定化処理

固化安定化処理は、浚渫・掘削除去した底質に固化材を混合して固化させ、ダイオキシン類の溶出・巻上げを抑制し、最終処分地の周辺環境へのリスクを低減するものである。

【解説】

(1) 固化安定化処理の目的

固化安定化処理は、ダイオキシン類汚染底質からの溶出・巻上げおよび粉じん抑制による周辺環境、作業環境へのリスク低減を目的に実施する。

また、リスク低減および要求品質の確保に必要な固化材の添加量は、底質の性状に大きく影響されるので、処理方法も含めて処理対象底質毎に事前に室内試験で求める必要がある。

(2) 固化安定化処理工法の選定

固化安定化処理工法には、脱水後、固化材を添加する方式と、脱水処理前に固化材を添加する方式の2種類がある。後者は、固化材に固化安定化だけでなく脱水助材としての働きも期待したものである。対象底質の性状および要求品質に応じ、適正な固化安定化処理工法を選定する必要がある。

3.8 余水処理

中間処理施設、最終処分地からの排水は、関連法令における排水基準を満足するよう適切な処理を実施し、周辺公共用水域を汚染しないようにしなければならない。

【解説】

(1) 余水処理の目的

「ダイオキシン類対策特別措置法」によると、ダイオキシン類の排水基準は10pg-TEQ/Lであり、この他に「水質汚濁防止法」の排水基準（都道府県の上乗せ条例）などを考慮する必要がある。

「底質の処理・処分等に関する指針」では、余水吐きからの流出水(余水)の監視について、対策対象物質の監視基準値は「海洋汚染及び海上災害の防止に関する法律」に基づく「余水吐から流出する海水の水質についての基準を定める省令」(昭和52年8月26日総理府令第38号)第2項に示される基準としている。判定方法は、その最高値が監視基準値を超えないことをもって行うとし、「監視基準値に適合しない結果を得た場合には、直ちに余水の放流を中断し、監視基準値に適合させるべく所要の措置を講ずるものとする」と記載されている。したがって、これに準じた排水基準を設定し処理をする必要がある。

(2) 余水処理方式の選定

余水処理方式選定の基本となる粒子径と適用水処理技術を図-3.8.1に示す。

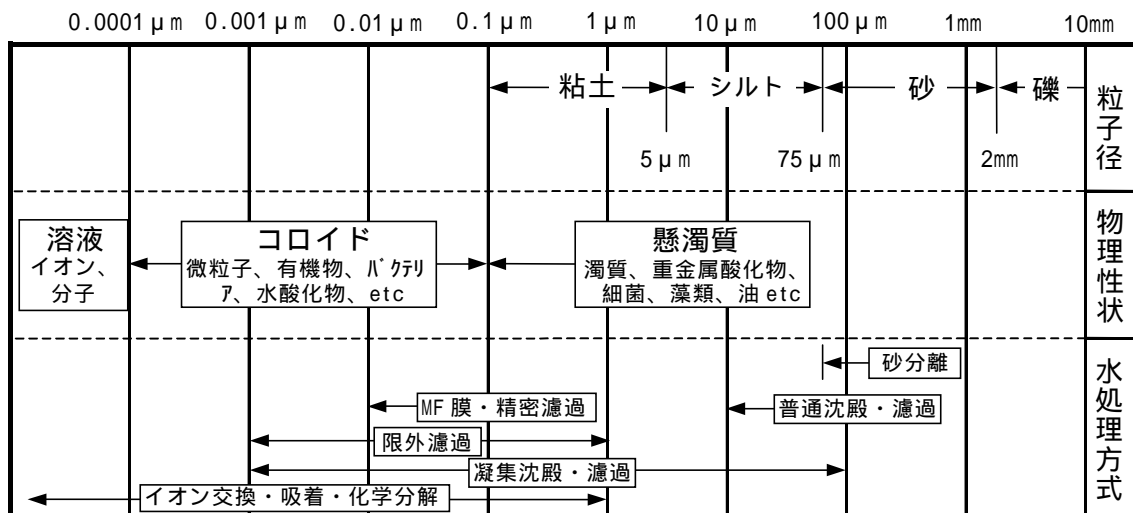


図-3.8.1 粒子径と適用水処理技術

余水処理方式の選定は、水質分析および処理試験を行い、その結果に基づいて適切な方式を選定する必要がある。

ダイオキシン類は微粒子に付着して移動すると考えられており、まず、微粒子除去に適した凝集沈殿・濾過方式から検討することになる。表-3.8.1 に余水処理方式の選定手順を、図-3.8.2 に選定フロー図を示す。

表-3.8.1 余水処理方式の選定手順

選 定 手 順	処 理 方 式
底質試料に適正な凝集剤を添加して、ジャーテストを行った結果、上澄み水が SS=10mg/L 以下、ダイオキシン類濃度 10pg-TEQ/L 以下の場合	凝集沈殿法
底質試料に適正な凝集剤を添加して、ジャーテストを行い、5A の濾紙で濾過後、ろ液が SS=5mg/L 以下、ダイオキシン類濃度 10pg-TEQ/L 以下の場合	凝集沈殿+砂濾過法
底質試料に粉末活性炭と適正な凝集剤を添加して、ジャーテストを行い、5A の濾紙で濾過後、ろ液が SS=5mg/L 以下、ダイオキシン類濃度 10pg-TEQ/L 以下の場合	凝集沈殿 + 砂濾過 + 活性炭吸着法
底質試料に粉末活性炭と適正な凝集剤を添加して、ジャーテストを行い、5A の濾紙で濾過後、ろ液が SS=5mg/L 以下、ダイオキシン類濃度 10pg-TEQ/L 超の場合	凝集沈殿 + 砂濾過 + 化学分解法

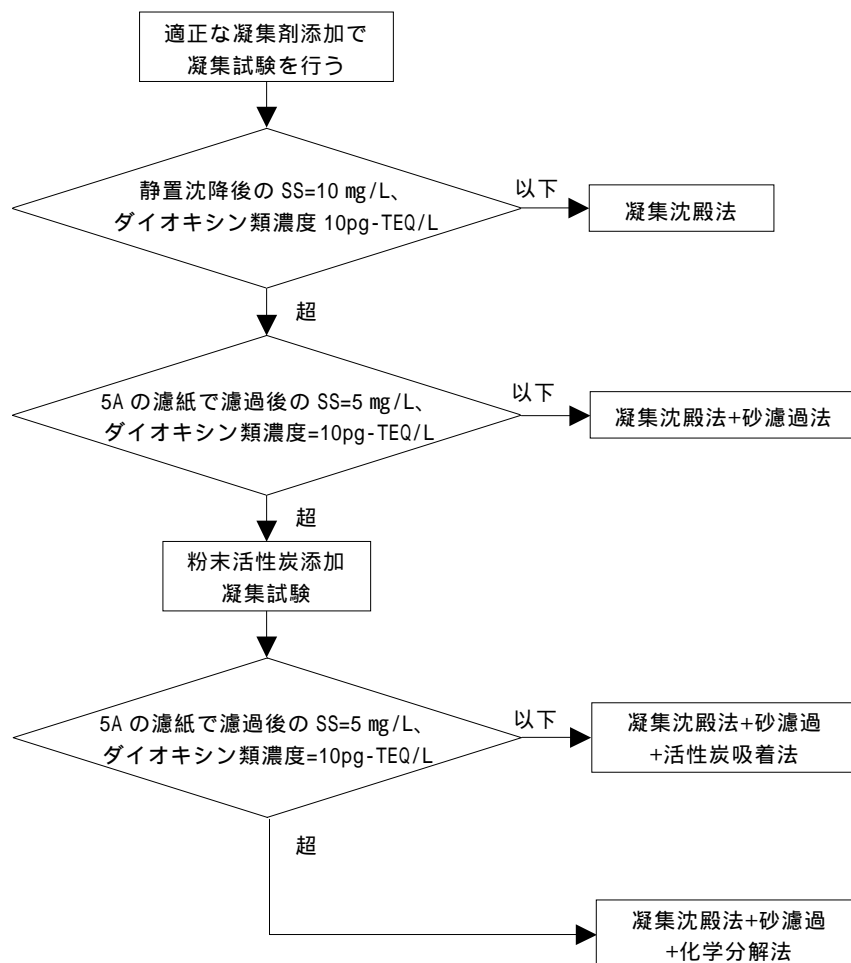


図-3.8.2 余水処理方式の選定フロー

(3) 余水処理の管理

凝集沈殿処理、砂濾過処理の管理を行う場合には、凝集剤を適正量添加して凝集試験を行い、残留粒子の濁度およびSSとダイオキシン類濃度の関係を求めておく。濁度(SS)とダイオキシン類濃度には相関があるので、濁度を常時監視することでダイオキシン類濃度を間接的に監視できる。

同様に、各装置についても処理試験を実施して処理性能把握のための関係図を作成し、これらに基づいて運転操作を行う。

[参考]

化学分解法(促進酸化法、光分解法)は、十分な調査資料がないので、実験により汚染濃度、滞留時間と分解率の関係を調べ、この結果に基づいて管理を行う。原水の水質変動などにより監視基準値を守れない場合は、直ちに流入を停止するか、流入負荷を低下するなどの措置で、監視基準値以下を維持する。

3 章引用文献

- 1) 平成 12 年度 ダイオキシン類底質対策基礎調査 報告書、環境省 環境管理局水環境部、2001
- 2) 「沿岸の環境圏」、フジ・テクノシステム、p.1151、1998 に一部加筆
- 3) 運輸省第三港湾建設局編、広島湾（呉市）底質浄化報告書、1987
- 4) 「Doctor of the Sea」、(社)日本埋立浚渫協会、p.3-60、1996
- 5) 「しゅんせつ埋立による濁り等の影響の事前予測マニュアル」、運輸省第四港湾建設局
- 6) 東京湾横断道路海域環境予測調査報告書、CDM研究会、1976 年
- 7) 平成 5 年 中海浄化浚渫工事環境影響調査報告書、五洋建設資料、1992