

環境に配慮した漁港内堆積土総合対策の検討

Development of comprehensive technology sensitive to the surrounding environment for preventing sedimentation in fishing ports on rivers

沼野 祐二*・瀬戸口喜祥**

Yuji NUMANO and Yoshinaga SETOGUCHI

* (財) 漁港漁場漁村技術研究所 主任研究員

** (財) 漁港漁場漁村技術研究所 専門技術員

We developed a technique for removing various forms of deposits as a means of maintaining harbor depth in a manner sensitive to the surrounding environment, and compiled a set of standards for applying it. We also developed a set of environmentally sound techniques for processing and recycling soft dredged silt utilizing hardening and granulating technologies. This paper presents our findings based on a comprehensive analysis of measures to prevent sedimentation in fishing ports on rivers along the Ariake coastline such as described above.

Key Words : maintaining harbor depth, recycling soft dredged silt

1. はじめに

福岡県並びに佐賀県の有明海側の漁港の多くは河川内に位置しており、それらの漁港内や泊地では、粒径の小さなシルト・粘土成分が堆積していることが多い。

堆積した土砂に対して漁港では船舶の利用や航路水深、泊地水深、岸壁水深の維持のためにほぼ毎年、浚渫を行っており、浚渫後の土砂については現在のところ、無処理の状態で埋め立て材として利用したり、周辺海域へ影響が及ばない様に配慮した上で、沖合へ投入処分したりして、土砂処分に関して対応に苦慮している。一方、浚渫後の漁港内および泊地では、土砂の堆積速度は大きいことが多く、漁港の機能を維持することに支障を来たす場合も見受けられる。

そこで、浚渫後に堆積する土砂に対しては、港内水深維持工法として、周辺環境に配慮しつつ水深維持が確保できる浚渫を補完する工法である浮泥除去工法を開発し、それらの現地適用性を検討した上で、河川内漁港に対する各工法の適用基準を作成した。また、浚渫土砂に関しては、細粒成分を多く含む土砂を対象として、実現にあたって必要となる固化および造粒化技術の現地適用性を室内での実験を通して検討することによって、環境に配慮した浚渫土砂の処理・再利用技術の開発を行った。

本論文では、以上に示したような有明海河川内漁港での堆積土対策を総合的に検討した結果を報告する。

2. 浮泥堆積の現状と課題

福岡県並びに佐賀県の有明海側の漁港の多くは河川内に位置しており、毎年港内に大量のシルト状の土砂（浮泥）が堆積し、漁港の機能を著しく低下させている。福岡県と佐賀県では漁港機能を維持するため、年間約 16 万 m³ の浚渫を行っている。

有明海河川内漁港における現状の課題としては、大量の浮泥が港内および泊地に堆積し、漁港機能を著しく低下させていることや漁港機能の維持のために多大な費用が掛かることや浚渫後の土砂の処分場の確保が難しいことが挙げられる。

3. 港内水深維持工法

有明海河川内漁港は福岡県と佐賀県の有明海側に約 30 港あり、一般に浚渫後の土砂の堆積速度が大きいことから、周辺環境に配慮しつつ港内の水深維持が確保できる工法を検討することは、従来手法の浚渫を補う意味で重要であると考えられる。本節では、既往の調査で明らかにした有明海の河川内漁港における浮泥の堆積メカニズムを踏まえて、港内水深維持工法としての浮泥除去工法の現地適用性を検討し、各工法の適用基準について提案した。

3.1 浮泥除去工法の現地実験方法

港内の堆積浮泥を除去する工法を提案した。各工法とも時間当たりの施工土量が少ないことから周辺環境に及ぼす影響は小さく、除去した浮泥は本流で流下できると考えている。以下に、各工法について示す。

(1) 水中ポンプ式

水中ポンプ式については四つの方式を考えた。

一つ目は、散水式である。これは、水中ポンプで汲み上げた水を係船岸下部に設置した管から放水し、放水によって除去した浮泥を漕筋に設置した水中ポンプからの水流によって港外へ排出する工法である。図-1に実験の概要を示す。また、写真-1に稼働時の様子を示す。散水は引潮時に併せて行う。

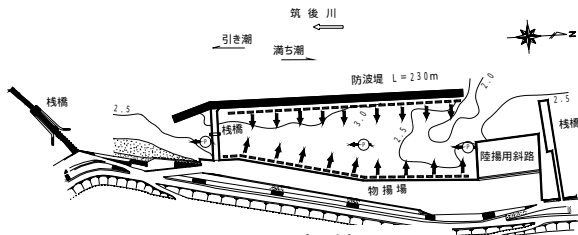


図-1 実験概要



写真-1 ポンプ稼働状況

二つ目は、水中ポンプ固定式である。これは漁業者が一般的に所有する中出力水中ポンプを係船岸に固定し、水流によって堆積浮泥を除去する工法である。図-2に工法の模式図を示す。

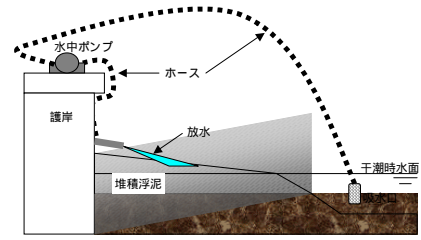


図-2 水中ポンプ固定式

三つ目は水中ポンプ人力式であり、水中ポンプ固定式と同じポンプを使用し、作業員が放水ホースを操作して係船箇所の堆積浮泥を除去する工法である。

四つ目は、高出力水中ポンプ式であり、消防ポンプ並の高出力水中ポンプを使用し、作業員が放水方向を操作して係船箇所の堆積浮泥を除去する工法である。

(2) 漁船スクリーン攪拌式

固定された漁船のスクリーンを稼働することによって浮泥を攪拌・除去する。

(3) 干潟走行機式

軟弱な干潟の上を自由に走行できる干潟走行機に排土板を取り付けて浮泥を押し出す。写真-2に稼働状況を示す。



写真-2 干潟走行機稼働状況

3.2 実験結果及び各工法の評価

(1) 各種工法の評価

各工法に対する現地実験結果を表-1に示す。

表-1 各種工法の実験結果と評価

浮泥除去工法	浮泥除去効率 (m ³ /h)	浮泥除去コスト (円/m ³)	評価
水中ポンプ	散水式 除去量: 242.5m ³ 作業時間: 114時間	103,000 (103,000)	・ 散水式港内水深維持工法は、散水されている範囲において、浮泥の堆積を抑制することが示唆されたが、吐出流量の設定が小さかったため充分と言える結果が得られなかった。しかし、港内の地形がすり鉢状で吐出流量を充分な量に設定すれば効果が見込まれる。
	固定式 除去量: 17.9m ³ 作業時間: 11.4時間	1,900 (400)	・ 固定式なので状況に応じて時々噴射範囲を移動させる必要があるが、能力的には排土可能。
	人力式 除去量: 16.9m ³ 作業時間: 3.3時間	3,600 (400)	・ 作業員が常にホースを保持固定する必要があり、重労働であるが、確実に排土可能。また、場所的な制約が少なく汎用性が高い。
	高出力 除去量: 34.4m ³ 作業時間: 0.9時間	1,400 (200)	・ 作業に当たり熟練が必要だが、能力は高く、排土には有効。また、場所的な制約が少なく汎用性が高い。
漁船スクリーン攪拌式	1.4 除去量: 2.3m ³ 作業時間: 1.6時間	13,000 7,900 (0)	・ スクリューで攪拌できる範囲が限定されるが、排土は可能である。
干潟走行機式	16.7 除去量: 600.7m ³ 作業時間: 36.0時間	4,600 (4,000)	・ 上記の工法が係船箇所の狭い範囲の浮泥除去を対象にしているのに対し、港内の浮泥を面的に除去することができる。また、上げ潮時・下げ潮時に関係なく作業可能(ただし、下げ潮時の方が効率的)。
従来工法 (ガット船による浚渫)	-	3,000	-

漁船スクリーン攪拌式の浮泥除去コストの は備船した場合(人件費、燃料代を含む)、 漁業者が船を持ち出した場合(人件費のみ)(カッコ)内は地元漁業者が行うことを前提とした場合

3.3 浮泥除去工法の適用基準

(1) 各種工法の選定

各工法の現地適用条件を踏まえて、有明海の各河川内漁港でどの工法を選定すればよいかを判断するためのフロー図を作成した(図-3)。

既往の調査結果より、一般的に河川内漁港での浚渫後の初期堆積速度は大きく、以後一定の割合で土砂が堆積することが明らかになっている。よって、各漁港で一定の堆積速度になったときに適切な浮泥除去工法を選択して、定期的の実施していけば、効率的に水深の維持管理ができるものと考えられる。また、これらの浮泥除去工法は漁業者自らが容易に実施できること

から、その汎用性は高いと考えている。

一方、計画水深まで浚渫を行った直後には急速に堆積が生じるが、低潮時でも漁船が稼働できていることから、堆積土は非常に軟弱な浮遊泥状態にあることがわかった。そして、時間の経過と共に堆積土の圧密現象や新たな浮泥の堆積によって、漁船の稼働状態が徐々に低下していくものと考えられる。現在は各漁港において浚渫計画水深が設定されているが、今後は、対象地点毎に個々の場所の堆積特性に応じた適切な浚渫計画水深の設定が必要であると思われる。なお、浮泥除去工法を実施するに当たっては、河川内の他の場所で堆積が生じ、船舶の航行や治水に問題が生じないかどうか事前の検討が必要である。

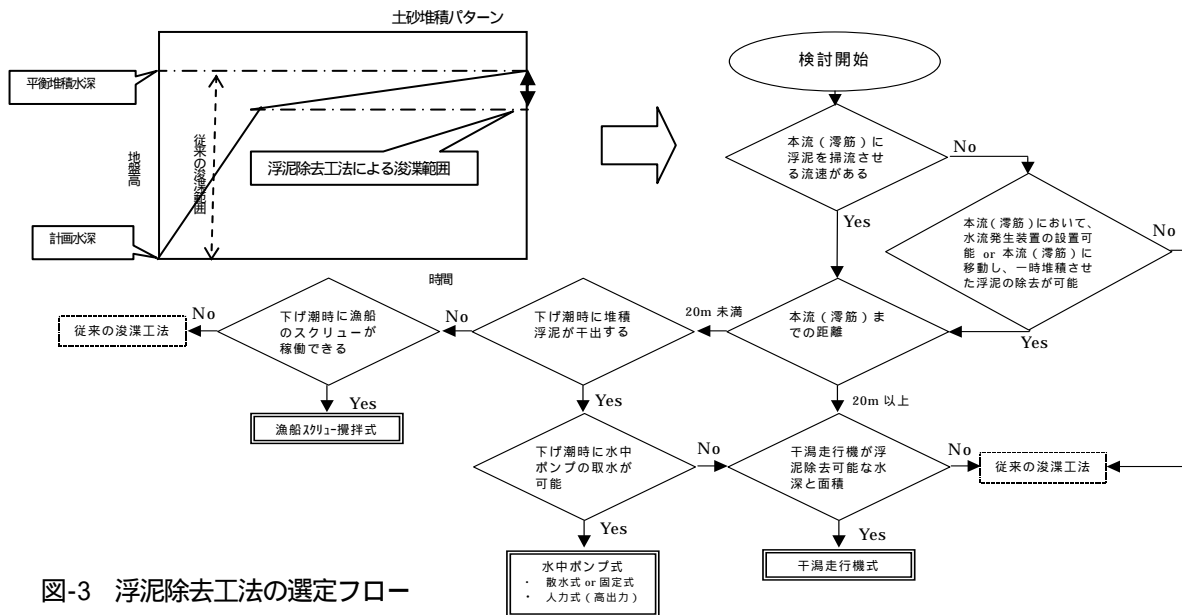


図-3 浮泥除去工法の選定フロー

4. 浚渫土の処理・再利用技術

本節では、軟弱な浚渫土砂について既存の固化および造粒化技術を基にした非セメント系固化材による新たな土砂の処理・再利用技術の提案を行い、現地適用性について検討した結果を示す。

4.1 浚渫土の利用方法と求められる品質

(1) 利用用途

浚渫した軟弱土に対して固化および造粒化技術を適用して土砂性状を変化させ、それらを用いて有明海で利用可能と考えられる用途として以下のもの考えた(図-4)。表層部は漁場としての利用が可能と考え(アサリ漁場, のり漁場), 造粒化物にて覆うことにする。

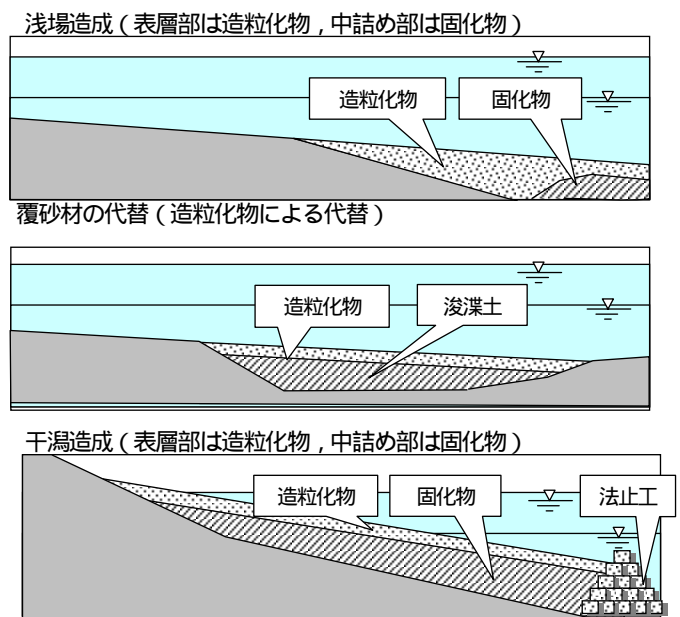


図-4 利用用途概念図

(2)要求される品質の設定

利用用途毎に要求される品質を設定した。

まず、固化物を浅場造成および干潟造成における中詰材として利用する場合には、建設発生土に対する陸上での土質区分基準に照らして固化物の強度としては第3種建設発生土 $q_c=400\text{kN/m}^2$ 相当の強度を有するものとする¹⁾。

次に、造粒化物を浅場造成、干潟造成における表層材や覆砂材の代替として利用する場合には、造粒化が可能となる配合条件を前提に、同条件下の強度から造粒化物の強度はコーン指数 $q_c=400\text{kN/m}^2$ 以上の値とする。また、造粒化物は現地における外力(波浪, 潮流)に対しても移動せず安定しているものとし、造粒化物によって造成した場所をアサリ漁場として利用する場合には、アサリの生息に適した底質粒径条件が必要である。また、のり漁場として利用する場合には、のり竿を海底に挿入し固定できる位の粒度、強度が必要である。

ここで、いずれの場合でも処理土を海域に戻すことから、海洋汚染防止法のうち環境庁告示第14号による溶出基準(32項目)を満たすことが必要である。

4.2 固化および造粒化の実験方法

現地泥に対する既存の固化技術および造粒化技術への適用性を確認するために、室内実験を行い、作成した造粒化物および固化物の特性を検討した。

実験に用いた試料は、有明海の河川内漁港における2地点(福岡県久間田漁港港内、佐賀県福所江漁港港内)で採取した原泥に、固化材(エコルトン(株)ナトー研究所製)エコハード(千代田エコリサイクル(株))、プラスタロック(汚泥リサイクル中性固化研究会)を混合して作成した。固化材選定では、非セメント系固化材で、六価クロムの溶出がなく²⁾、なおかつ強度の発現が期待できるものを条件にした。固化材は、非セメント系であるためアルカリ度も低く、環境に与える負荷を小さくすることができる。なお、エコハードおよびプラスタロックの2固化材は石膏系に属する。

(1)室内試験

造粒化物および固化物については、物理試験(土粒子密度、湿潤密度、含水比、粒度試験、移動限界試験)、化学試験(pH試験、強熱減量)、力学試験(コーン試験、一軸圧縮試験)、含有試験(T-P, T-N, COD)、溶出試験(重金属類、有機化学物質)、再泥化試験(流水耐性試験、スレキグ試験)を行った。

4.3 実験結果及び評価

固化材を配合した場合の各種実験結果について、固化物および造粒化物の諸特性を以下に示す。

(1)性状(プラントによる出来形性状)



写真-3 プラントによる出来形性状

(2)物理特性(粒度組成)

原泥および造粒化物の粒度組成を図-5に示す。原泥の細粒成分が造粒化されて粒度が大きくなったことが確認された。

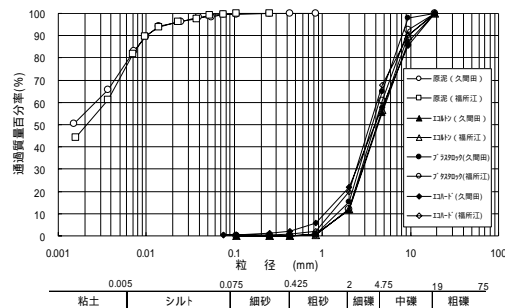


図-5 粒径加積曲線(原泥および造粒化物)

(3)化学特性(pH値)

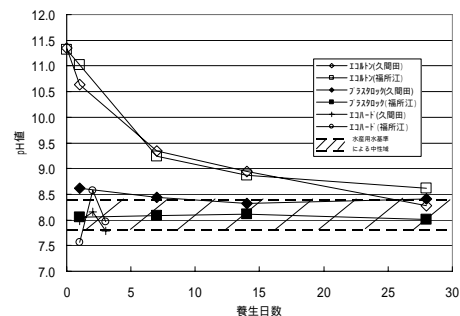


図-6 pH値経時変化

造粒化物のpH値経時変化を示す。水産用水基準による中性域(pH値が7.8~8.4)の範囲内になるためには、利用用途に応じて適切な養生期間を設ければ、海域への影響を小さくした上で処理できることが分かった。

(4)溶出成分特性

処理土からの溶出に関しては、各固化材について海洋汚染防止法(環境庁告示第14号)で定められた項目のうち、重金属類について基準を満たしていることを確認し、他の有機化学物質等に関する項目については、固化材が土壤汚染基準(環境庁告示第46号)を満たしていたことから、処理土でも海洋汚染防止法の基準を満たすと判断した。

(5)力学特性(一軸圧縮強度, コーン指数)

各固化材を配合して作成した供試体について配合率、含水比、養生期間を変えて固化物に対する一軸圧縮強度特性を把握した。また、造粒化物については、コーン試験によって力学特性を把握した。

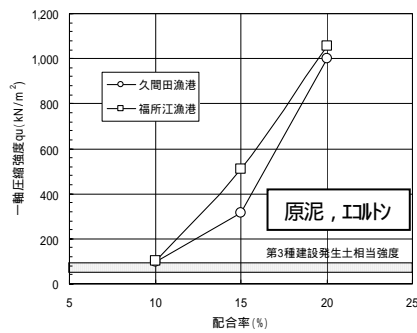


図-7 配合率と一軸圧縮強度（材令7日）の関係

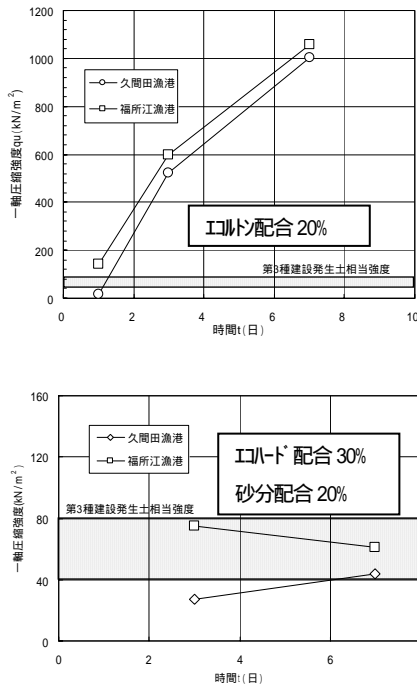


図-8 一軸圧縮強度の経時変化

図-7より固化材エコルトンの場合には配合率が10%以上で第3種建設発生土相当強度($q_u=40\sim 80\text{kN/m}^2$)を発現した。一方、他の固化材では原泥に対して脱水を行ったり、他に砂分を配合したりするならば、第3種建設発生土相当強度まで期待できることが分かった。また、図-8は一軸圧縮強度の経時変化を示しているが、石膏系固化材については初期段階に最終強度を発現してしまうことが分かった。

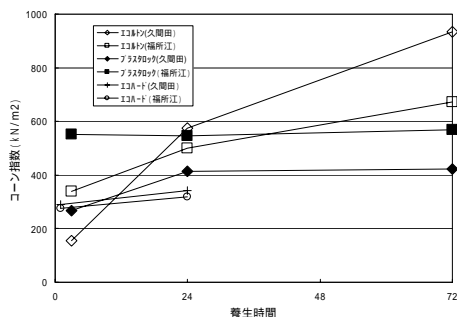


図-9 コーン指数（造粒化物）

造粒化物のコーン指数はエコハードを除いて各固化材とも造粒後24時間で第3種建設発生土相当 (q

$c=400\text{kN/m}^2$)以上の強度を示した。ただし、エコルトンについては、24時間後以降も強度の増加が見られたが、プラスタロックについては以後の強度変化がほとんどなかった。

以上の結果より、造粒化物や固化物については、脱水や配合率を考慮することによって利用用途に応じた所定の強度の発現を期待できることが分かった。

(6)再泥化特性（固化物）

流水に対する質量変化特性の把握やスレキグ*および乾湿繰り返し試験による処理土の土砂化に対する実験結果から、少なくとも配合条件として第3種建設発生土相当以上の強度が必要であることが分かった。

4.4 現地適用性の検討

有明海をモデル海域として検討した例を示す。ここでは固化材を用いた軟弱土砂の固化実験、造粒化実験を実施した結果に基づき、浚渫から固化材投入・混合、処理土処分に至る一連の工程を、現場での実現可能な工法として提案する。

(1)現場条件

浚渫箇所：土量 - 2万 m^3 、土質 - シルト・粘土成分、含水比 - 250%、

投入箇所：潮流流速 - 30cm/s、周辺の平均水深 - 7m、海底地形 - 窪地 (7~10m)

(2)検討結果

現場条件を考慮した検討結果を以下に示す。

利用用途としては、海底窪地を嵩上げて、のり漁場として利用することを考える。ここで表層部は造粒化物、中詰め部は固化物を利用することにする。

次に処理土に対して必要となる物性としては、中詰め材としての利用や再泥化しないことを考慮して、処理土は第3種建設発生土相当強度を満たすものとする（中詰め材には配合率30%の固化材エコハードを、造粒化物には配合率10%の固化材プラスタロックを用いる）。また、造粒化物は現場流速に対する移動安定性上、粒径にして4mm以上が必要である。

施工フロー概念図を図-10(造粒化物)、図-11(固化物)に示す。造粒化処理では原泥を脱水処理した後に固化材を混合し、目標強度発現およびpH値低下のために養生期間としてバジ*上で1日を設けるものとする。

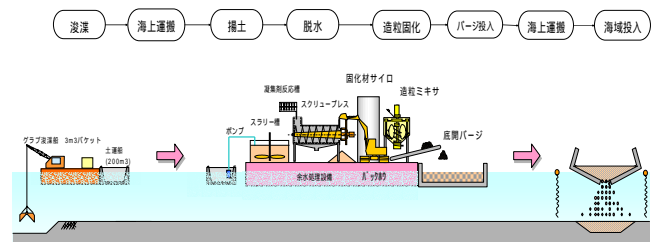


図-10 施工フロー概念図（造粒化物）
固化処理では固化材としてエコハードを用い、見か

け上の含水比を落として固化し易くするために砂を20%混合する。また、目標強度発現およびpH値低下のために養生期間を3日設けるものとする。

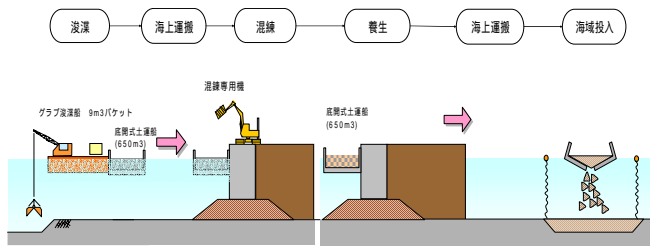


図-11 施工フロー概念図(固化物)

土砂処理費用については、造粒化处理で(海上脱水造粒化)18,000円/m³、固化処理で(海上簡易固化)14,000円/m³となった。ただし、陸上で十分な養生期間を確保できるとすれば固化材として配合率10%のエコルトンを使用した処理も可能であり、その場合の処理費用は、固化処理で(陸上簡易固化)9,000円/m³である。

なお、本検討は室内試験結果に基づいているが、実際の固化材の配合に当たっては現場配合と室内試験配合との関係を予め求めておく必要が有る。

4.5 実用化に向けて

以上の検討を参考に、実用化に向けて海域環境へ負荷を与えない固化材(非セメント系)を選定するために、事前に検討すべき内容を(1)~(4)に示した。また、実施にあたって検討すべき内容を(5)に示した。

(1) 強度特性

利用に応じて要求される強度を満たす固化材を選ぶ。

(2) 溶出特性

処理土からの重金属物質や有機化学物質の溶出濃度が基準値以下であることを確認する(海洋汚染防止法、環告14号)。

(3) 化学特性

処理土からの溶出pH値が中性域に近づくような固化材を選ぶ(水産用水基準では7.8~8.4)。

(4) 安全性(生物)

今回の検討では未確認だが、対象海域に生息する固有の生物の中から指標生物を選定し、環境省が検討しているOECDテストガイドラインを参考にして底生生物や魚類への処理土に対する生息安全性を確認する。

(5) 事業効果の実証

土砂投入後には、地形変形や生物相への影響の有無に関する追跡モニタリングを実施する。

5. おわりに

有明海河川内漁港においては浮泥堆積問題に対して現在、多くの場所に対応に苦慮していることから、周

辺海域環境に配慮した港内水深維持工法を提案した。そして、それぞれの工法の能力・適性を現地実験にて明らかにし、河川内漁港に対する適用基準を作成した。本成果は、従来の浚渫工法を補完する工法として今後の漁港施設機能維持に役立つものと考えている。また、漁業者自らが実施できる工法であるため、汎用性は高いと考えている。

一方、細粒分を多く含んだ浚渫土砂については、非セメント系固化材を混合して固化および造粒化を行い、それらを有効利用する方法を提案し現地適用性について検討した。周辺海域への影響が少なく、さらに漁場造材材としての可能性も考えられる本技術は今後、安全性が確保できれば需要が大きいと考える。

以上、有明海河川内漁港における堆積土問題に対して様々な取り組みを行った結果を示したが、今後はまず、現地において試行的に施工を実施し、これらの工法や技術の効果を確認したり、周辺環境への影響を検証した上で、より、現地に適した工法や技術として確立していく必要があると考えている。

本研究の内、浮泥堆積に対する港内水深維持工法は平成14年度有明海域水産基盤整備調査費補助事業(水産庁)等において開発したものである。また、軟弱な浚渫土砂の有効利用については、主に平成14年度軟弱土処理対策調査業務における成果をもとに作成したものである。なお、固化物・造粒化物の特性把握においては(復建調査設計株)、(総合科学株)、(五洋建設株)の関係者各位の御協力を頂いた。ここに関係者の皆様方へ謝意を表する。

参考文献

- 1) (財)土木研究センター：建設発生土利用技術マニュアル(第2版)、p24、1997
- 2) 大槓、内藤、松村(2002)：軟弱底質及びその固化処理土の物理・化学・溶出特性、平成14年度日本水産工学会学術講演会講演論文集、pp157-160.

関連発表論文

- 1) 瀬戸口、沼野、中泉、長野、渡辺(2003)：有明海の河川内漁港における浮泥堆積メカニズムの解明と港内水深維持工法の検討、海洋開発論文集VOL.19、pp315-320.
- 2) 沼野、山田、瀬戸口、中泉、長野(2003)：有明海等における軟弱なしゅんせつ土の再利用技術の開発、平成15年度日本水産工学会学術講演会講演論文集、pp5-8.
- 3) 瀬戸口、沼野、中泉、長野、渡辺(2003)：有明海の河川内漁港における港内水深維持工法について、平成15年度日本水産工学会学術講演会講演論文集、pp97-100.