

浚渫土砂のプラント安定処理技術と 「プレミックス船工法」について

御手洗 義夫¹

¹ 日本埋立浚渫協会（東亜建設工業㈱ 技術研究開発センター）

我が国の港湾地域からは、年間約 2,000 万 m³ の浚渫土砂が発生している。その一方で、近年の我が国では、土砂処分場や埋め立て地の容量が逼迫しており、浚渫土砂の有効利用が求められている。浚渫土砂の有効利用は、1980 年代から基礎研究が行われ、1980 年代の終わりごろから本格的な実用化が始まった。以降、4 半世紀が経過した現在、浚渫土砂は、大規模人工島建設や護岸・岸壁の裏埋めなどの用途で、浚渫土砂の有効利用が行われてきた。本文では、浚渫土砂の有効利用技術の内、最も使用実績の多いプラント安定処理技術と、今年度、新たに工法協会が発足した「プレミックス船工法」の紹介を行うものである。

キーワード：浚渫土砂，有効利用，プレミックス船工法

1. はじめに

我が国の港湾地域では、航路や泊地の増深、拡幅、維持等の工事に伴い、大量の浚渫土砂が発生している。図-1 に示すように、2008 年度の実績では、浚渫土砂の発生量は約 1,894 万 m³、その処分方法は、港湾埋立が 467 万 m³ (25%)、土砂処分場が 755 万 m³ (40%)、海洋投棄が 80 万 m³ (4%) であった。また、覆砂・干潟等と養浜に 254 万 m³ (13%) が有効利用されている¹⁾。一方で我が国では近年、埋立地や土砂処分場の容量は逼迫した状況にあり、浚渫土砂の有効利用や減容化が求められている。浚渫土砂の有効利用技術に関しては、1980 年代から開発が始められ、1980 年代後半から本格的に実用化されてきた。それらは、新規に建設する護岸・岸壁の裏埋めや、大規模人工島建設工事などで採用されてきた。

本文では、数多く存在する浚渫土砂の有効利用技術を示し、そのうちの「プラント安定処理技術」について詳しく説明を行う。また、今年度新たに工法協会が発足した「プレミックス船工法」の紹介を行う。

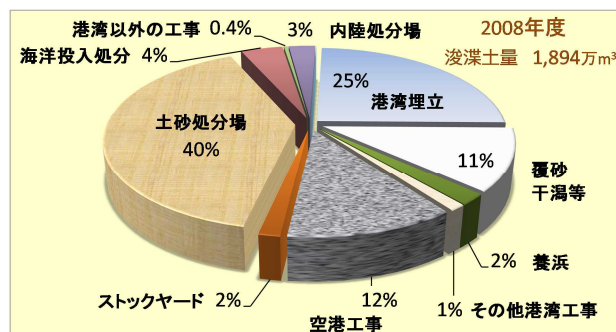


図-1 浚渫土砂の処分方法¹⁾

2. 浚渫土砂の改良技術

浚渫土砂の有効利用では、その性状や対象用途の要求品質、施工条件、経済性や環境影響などを勘案して、適切な方法が選択される。浚渫土砂は、その粒度組成より、砂質土、粘性土および中間土に分類される。良質な土砂は海砂として各用途に標準的な材料として使われるが、図-1 に示すように覆砂・干潟等や養浜に使用される割合が 13% と、その割合は非常に小さい。砂質土でも、細粒

分含有率が概ね 15～20%を超えると、少量の加水によって軟弱で水はけが悪い状態を呈する。したがって、浚渫土砂の殆どは有効利用する際に、「安定処理技術」、「脱水処理技術」または「分級処理技術」が施される。『港湾・空港整備におけるリサイクル技術指針』²⁾では、それらを図-2のように分類している。

これらの内、原位置で安定処理や圧密促進などを行う技術を除いて、最も多く使用されるのが「安定処理技術」の“プラント安定処理”である。「脱水処理技術」は対象が主に粘性土、「分級処理技術」は対象が主に砂質土であるが、いずれも「安定処理技術」と比較して、施工能率が低くかつ高コストの傾向であるためと考えられる。

“プラント安定処理”は、開発から 20 年以上経過した現在では、多くの施工実績があり、また数多くの工法が存在する。したがって、それぞれの工法の特徴や適用性が分かりにくい状態ともいえる。そこで、以下では、「プラント安定処理」に分類される工法を示し、それらの特徴を示すとともに、今年度、新たに工法協会が発足した「プレミックス船工法」の紹介を行う。

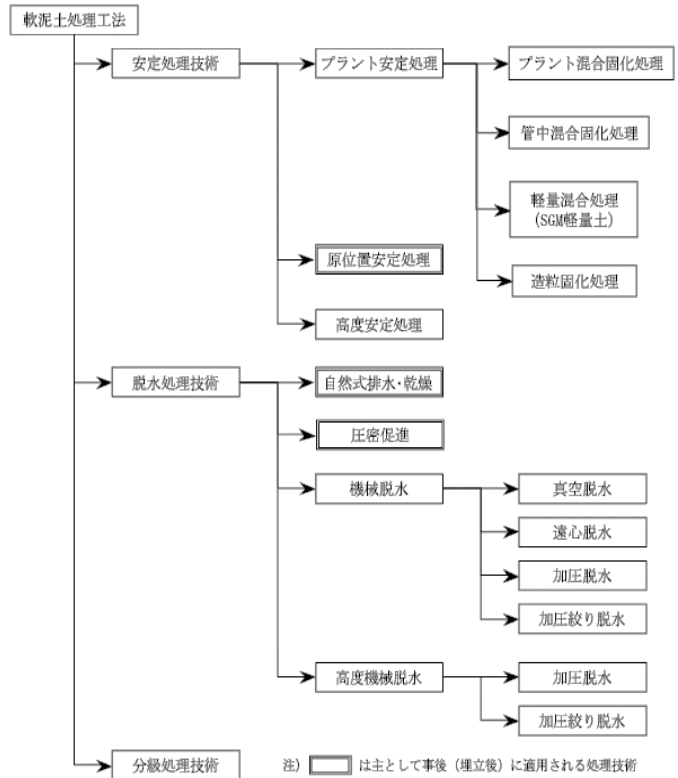


図-2 浚渫土砂の有効利用技術²⁾

3. 浚渫土砂のプラント安定処理工法

プラント安定処理は、前出の文献²⁾において、「当該処理技術は、専用のプラント船または陸上に設置したプラント処理設備を用いて行うプラント混合固化処理技術があり、また浚渫土砂を管路による空気圧送中で固化材を添加して混合する管中混合処理技術(広義にプラント安定処理とした)がある。さらに、気泡などの軽量材を添加した軽量混合処理土技術および造粒化を積極的に求めた造粒化固化処理技術がある」と説明されている。

図-2 に示した“プラント安定処理”に相当する工法としては、表-1 に示す 6 つの工法があげられる。いずれも対象土砂が浚渫土砂に限定された工法ではないが、類似の工法として示したものである。ただし、軽量混合処理など、固化材の他に軽量材やその他の材料を混合処理する工法に関しては、表-2 に示した。なお、表-1 と表-2 に示した工法は、いずれも工法協会や工法研究会などが組織され、技術資料や積算資料などが整備されている工法である。

(1) 事前混合処理工法 (PREM 工法)

当工法の対象土砂は砂質土であり、2013 年 3 月までに、61 件、総処理土量で約 192 万 m³の施工実績がある。“事前に混合処理する”という一般概念的な名称が付けられており、他のプラント混合処理系の工法と混同しやすい工法である。

当工法の処理方式としては、ドライ式(図-2)、ウェット式およびスラリー式の 3 つの方法が示されている。スラリー方式は粘土分や細粒分が混合した高含水比の土砂を対象とした方法であるが、技術マニュアルで、「細粒分含有率、含水比などに処理土の特性がばらつくため本マニュアルでは記述しない」、「処理の対象となる土砂は、砂の含有量が 80%以上の砂質土」と記載されている。当工法は、砂質土を固化処理して水中部に施工するために、土砂と固化材を添加・混合後に分離防止剤を添加・混合し、土粒子と固化材の混合対を分離防止剤で被覆して、施工時における水中での分離防止に配慮している点に特徴がある。

表-1 (1) 浚渫土砂のプラント混合処理工法（土砂+固化材）

工法名称	協会・研究会	HP	技術資料	積算資料	専用船	備考
事前混合処理工法 (PREM)	○	○	A	a	なし (艦装)	基本的に陸上プラント
管中混合固化処理工法	なし	なし	A	a	○ (一部は艦装)	基本的に海上施工(3船団) 固化材プラントを陸上設置するケース有り
プレミックス船工法	○	準備中	B (準備中)	b (準備中)	○	平成25年6月:協会発足 各資料, HPはH26年1月予定
泥土処理工法 (MUDIX工法)	○	○	B	b	なし(艦装)	基本的に陸上プラント
泥土リサイクル工法	○	○	B	b	なし(艦装)	基本的に陸上プラント
流動化処理工法(LSS工法)	○	○	B	b	なし(艦装)	基本的に陸上プラント

表-1 (2) 浚渫土砂のプラント混合処理工法（土砂+固化材）

工法名称	対象土砂	施工能力(m ³ /hr)		備考
		陸上	海上	
事前混合処理工法 (PREM)	砂質土	50~300	50~300 (作業効率0.70程度)	砂質土+固化剤+分離防止剤→水中施工
管中混合固化処理工法	粘性土	300, 600, 800	300, 600, 800	長距離圧送, 大規模工事対応(5万m ³ 以上)
プレミックス船工法	粘性土, 細砂	300, 400	300, 400	中規模工事対応(数千~5万m ³ 未満) 細砂: 5%以上の粘土含むもの
泥土処理工法 (MUDIX工法)	粘性土, 砂質土	25, 50, 100, 200 (作業効率0.75)	25, 50, 100, 200 (作業効率0.50)	比較的小規模工事対応
泥土リサイクル工法	粘性土, 砂質土	20~100	20~100 (作業効率0.50)	比較的小規模工事対応 イーキューブシステム, TAST工法, ハーデン工法
流動化処理工法 (LSS工法)	粘性土, 砂質土	25~145	—	比較的小規模工事対応 プラントは現場設置と常設タイプがある

表-2 浚渫土砂のプラント混合処理工法 2
(土砂に軽量化材など固化材以外の材料を混合する工法)

工法名称	工法協会・研究会	HP	技術資料	積算資料	専用船	備考
SGM軽量土工法	○	○	A	a	○ (大型1隻のみ)	軽量混合処理(気泡, 発泡ビーズ) 基本的に陸上プラント, 水中施工
HGS工法	○ 研究コンソーシアム	○	B	b	なし (艦装)	軽量混合処理, 繊維補強, 袋詰脱水 基本的に陸上プラント, 気中施工
FCB工法	○	○	B	b	なし (艦装)	気泡混合処理 基本的に陸上プラント, 気中施工
気泡モルタル盛土工法	○ 鉄道ACT研究会	○	B	b	なし (艦装)	気泡混合処理 基本的に陸上プラント, 気中施工
ボンテラン工法	○	○	B	b	なし (艦装)	古紙破砕物と固化材を添加・混合 基本的に陸上プラント, 気中施工

【表-1, 表-2 中の記号について】

技術資料 A・・・一般(財)沿岸技術研究センターから発行されたもの

技術資料 B・・・協会または研究会独自で発行したもの

積算資料 a・・・赤本または一般(財)港湾空港総合技術センター(SCOPE)などから発行されたもの

積算資料 b・・・協会または研究会独自で発行したもの

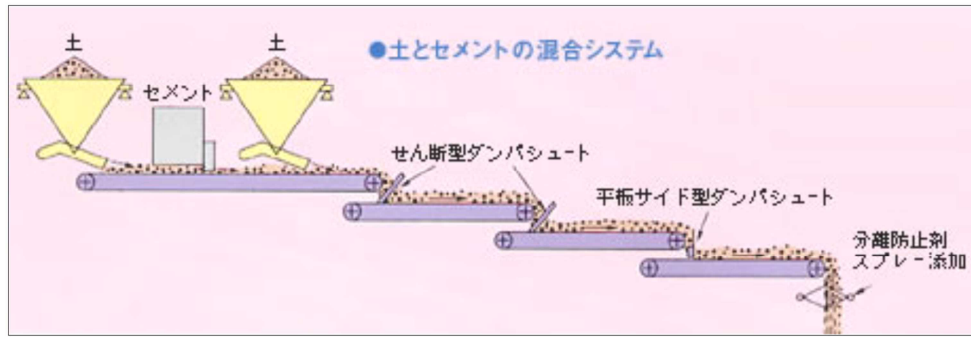


図-2 事前混合処理工法（PREM 工法）の土砂とセメントの混合システム（ドライ方式）

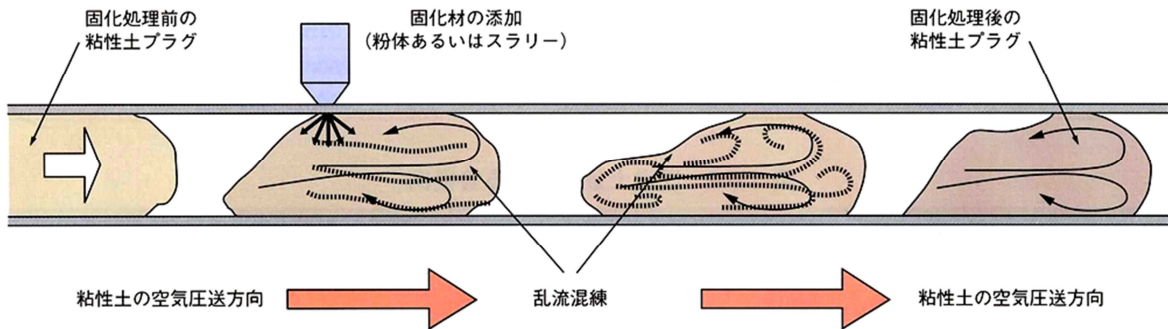


図-3 管中混合処理工法のセメント混合の概念

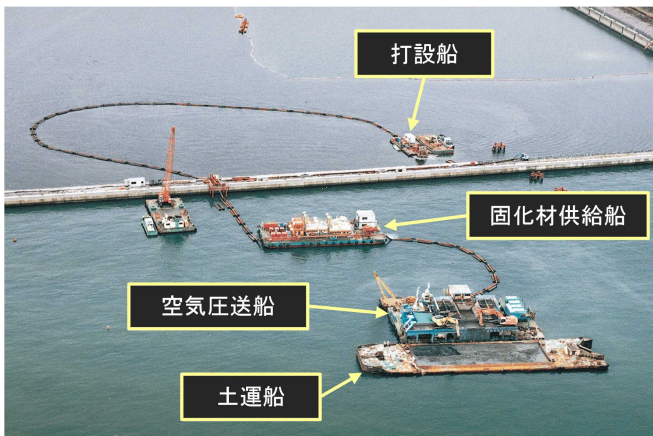


写真-1 管中混合処理船団の例

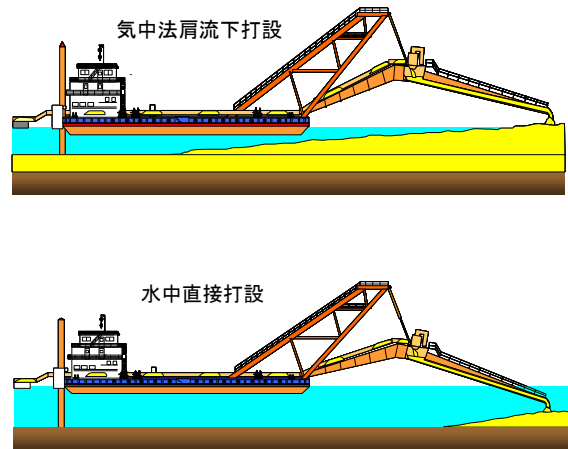


図-4 管中混合処理工法における水中打設方法

(2) 管中混合固化処理工法

当工法は、土砂を圧送ポンプで管路輸送中に圧縮空気を混合し、土砂を混気圧送する間にセメントスラリーを注入することで混合処理するものである。管内の気液2層流の液体部分（土砂スラリー部分）の乱流効果を利用して、機械式のミキシングプラントを必要としない点と、混気圧送することによる、長距離圧送（最大圧送距離の実績：1,500m）と大量施工（最大施工能力：時間当たり800m³）が可能な点に大きな特徴がある（図-3）。

主に、中部国際空港人工島造成工事（720万m³，最大圧送距離1,500m）や羽田D滑走路人工島建設工事（420万m³，最大圧送距離600m）など大規模・長距離圧送の実績がある。

工法の原理から分かるように、土砂が液状を示す必要があり、対象土砂は粘性土である。細粒分の少なく粘性の低い土砂（砂質土）は少量の加水で分離しやすく、管内で沈降することによる閉塞の危険性があるため、対象外となる。

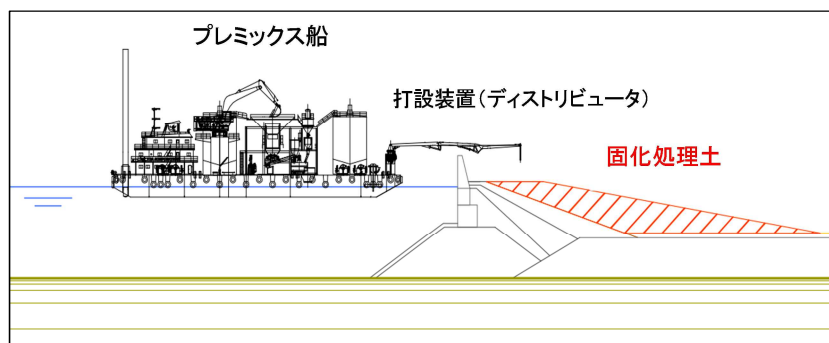


図-5 プレミックス船の施工状況概念図

揚土から混合処理、打設までは、空気圧送船、固化材供給船および打設船（設備）の3船団で行う（写真-1）。水中部への施工では、混気圧送された処理土から一旦、圧縮空気を減勢装置（サイクロン）で解放する必要がある。サイクロンで減勢直後に水中に直接打設すると処理土が水中分離し所定の強度確保が困難なことから、打設時に水をまきこんで処理土量が大きくなる。したがって、打設船を使用して水中に施工するには、気中部から法面を利用して自然流化させるか、ポンプを用いて水中に直接打設を行う必要がある（図-4）。打設船を用いらずに陸上配管のみで施工する場合、サイクロンの安定や移動に十分な装備や工程上の余裕が必要となる。

また当工法は、時間当たり 300m^3 級と 600m^3 級の中規模能力のものが設定されているものの、打設船や固化材供給船を工事ごとに艀装、準備する必要があり、回航費も含めると施工規模がある程度大きくないとスケールメリットが減り、施工単価が高くなる傾向がある点が留意点としてある。

(3) プレミックス船工法

a) 工法の特徴および施工実績

当工法は、専用船で揚土～混合～圧送～打設までの一連の作業を行うことができる固化処理工法である（図-5、写真-2）。対象土砂は粘性土および細砂がで、施工能力（公称、製造能力）は、時間当たり 300m^3 または 400m^3 、最大圧送距離は 400m 程度である。

当工法は1990年代から2012年度末までに、国内で55件、約265万 m^3 の施工実績がある。ただし、これまでに技術資料や積算資料などが無く認知度が低く、比較的多くの施工実績があるものの、

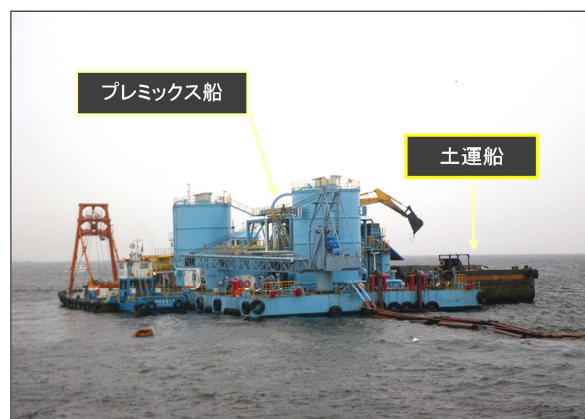


写真-2 プレミックス船の施工状況

東北地方や東京都、広島県など、適用された地域が限定されている傾向があった。

当工法は前述の管中混合処理と比較して、施工能力が小さく最大圧送距離が短いものの、基本的に専用船1隻で施工可能なことから、施工規模が概ね5万 m^3 以下の場合、上記の管中混合処理工法より低コストとなる傾向がある。また船団構成がシンプルなため施工時の専有面積が狭いのも特長といえる。しかし、これまでは一般的に公表された技術資料や積算資料が無かったため、公共工事の計画段階で採用されにくかったものといえる。

b) プレミックス工法協会設立

このような経緯から、本年6月に当工法の普及を目的として「プレミックス船工法協会」を設立した。参加企業はマリコンを中心とした会社で構成され、来年1月を目標に技術資料やパンフレットおよび積算資料を作成・公表するとともにホームページを開設し、広くPRしていく予定である。会員企業は以下の13社である。

あおみ建設／大本組／株木建設／関門港湾建設／
五洋建設／信幸建設／東亜建設工業／東洋建設／

(4) その他の工法（表-1 および表-2）

泥土処理工法は、旧建設省が昭和 56 年度総合技術プロジェクト「建設事業への廃棄物の利用技術の開発」テーマの中に取り上げたもので、財団法人土木研究センターにて昭和 61 年に開発された工法である。超軟弱な泥土の処理から低含水比粘性土の土性改質までと広範囲の発生土に適用できるなどの特長があり、平成 14 年度現在、150 万 m³の施工実績を有している。基本的に陸上にプラントでの施工であり、水上施工では台船艀装となる。施工能力は最大で時間当たり 25~200m³（ただし施工能率 0.50）とされ、比較的小規模で狭い場所での工事に適しているといえる。

泥土リサイクル工法は、中部地域を中心に平成 17 年度に協会が発足している。建設汚泥などの泥土を粒状にする「イーキューブシステム」、建設発生土・泥土を原材料として流動化処理土を製造・打設する「TAST 工法」、軟弱土や比較的含水比の低い泥土を対象とし、バックホウや汎用の移動式土質改良機を用いて、固化材（ハーデン）を軟弱土に添加・混練し固化処理する「ハーデン工法」の 3 工法を推奨している。施工能力は、HP などに明記されていないが、比較的小規模で狭い場所に向けた工法と思われる。いずれも基本的に陸上プラントでの施工であり、水上施工では台船艀装となると考えられる。

流動化処理工法は、締め固め不要な土質材料として研究開発が始められた工法で、泥土処理工法と同様に、旧建設省の「建設事業への廃棄物の利用技術の開発」の一つとして検討された工法である。平成 4 年に（流動化処理工法研究委員会）が作られ、現在は「流動化処理工法研究機構」が設立されている。上記の 2 工法と同じく、建設発生土や泥土を対象に、流動性のある固化処理土を現場設置プラント、または常設のプラントで作製するものである。現場プラント設置方式は、時間あたり 25~40m³の能力設定であり、常設プラントは全国に多数あり、時間当たり 30~145m³の製造能力があるとされる。

表-2 には、土砂に固化材とさらにそれ以外の材料を混合し、軽量性や靱性など、強度以外の付加

価値を付与する工法を示している。いずれも軟弱土砂の改良工法としては類似の工法と分類されるが、以下にそれぞれの工法の概要を記す。

SGM 軽量土工法は、旧運輸省系の工法で浚渫土砂（粘性土）を対象とした工法で浚渫土砂が対象で水中施工の技術である。**HGS（ハイグレード・ソイル）工法**は、旧建設省系の工法で、河川などの浚渫土砂も対象となるが、どちらかといえば建設発生土や泥土を対象とした、陸上施工の工法といえる。**FCB 工法**と**気泡モルタル盛土工法**は、それぞれ、旧道路公団系と JR 系の軽量土工法である。FCB 工法では、砂質土を原料とした基準配合が示されている。

ボンテラン工法は、高含水比泥土に古紙破砕物（ボンファイバー）と固化材を添加・混合し、強度の他に、乾湿繰り返しや水浸条件などに対して高い耐久性を有する盛土材に再資源化する工法である。平成 23 年 6 月までに約 350 件、約 50 万 m³と多くの施工実績を有している。また施工対象も陸上から港湾まで広い分野で活用されている。施工は汎用性のあるものを使用するもので、小規模から中規模の工事向きの工法である。

4. おわりに

浚渫土砂のリサイクル技術は多種多様であり、類似の工法も見受けられるが、それぞれの工法の特徴や違いを把握して適用する必要がある。本文では、その内のプラント安定処理工法について説明し、新たなプレミックス船工法の紹介も行った。プレミックス船工法については、各種資料の完成を待ちたい。また、その他の工法も本文や WEB 情報などを活用して、施工条件、対象土質および要求品質に対応して適宜、工法の選定が行われることが望まれる。

参考文献

- 1) 国土交通省港湾局:平成 21 年度土壌環境に配慮した浚渫土砂活用方策に関する検討業務報告書,平成 22 年 3 月
- 2) 港湾・空港等リサイクル推進協議会:港湾・空港整備におけるリサイクル技術指針, pp.2-7,平成 16 年 3 月。