

分級による浚渫土砂の画期的な有効活用

— 関門航路浚渫工事における土砂の分級 —

井上 俊 輔 ・ 古 田 幸 三 ・ 田 中 泰 弘

関門航路は我が国と東アジアを結ぶ国際的な海上交通の要衝となっており、営々として航路の増深、拡幅、埋没対策のための浚渫工事が行われ、今後も浚渫工事を継続していく必要がある。大量に発生する浚渫土砂は、主に埋立て地や人工島建設に有効利用されているが、土砂処分場の受入れ容量にも限りがあり、環境負荷を低減するためにも、浚渫土砂の減容化を図り現処分場の延命化を最大限図ることが必要である。そこで今回、大容量の処理能力を有する遠心分離装置を用いて大量の浚渫土砂を効率良く砂とシルト・粘土に分級する新しい分級工法（ソイルセパレータ工法）を採用し、約 30 万 m³ の浚渫土砂から約 20 万 m³ の砂を取出す事に成功した。本報文では、分級工法の概要と現場施工への適用実績について紹介する。

キーワード：浚渫土砂、分級、リサイクル、減容化

1. はじめに

平成 14 年度、国土交通省九州地方整備局関門航路事務所は図-1 に示すように関門航路中央水道地区の浚渫・分級工事を実施した。本区域の浚渫土砂はシルト混じり砂で比較的多くの砂を含んでいた。一方、新北九州空港建設工事では浚渫土砂により造成した地盤上への覆土工事の最中であり、大量の良質土を必要としていた。そこで、浚渫土砂から砂を取出して覆土材に活用できれば、土砂を購入・運搬せずに空港工事を進めることができ、処分場に捨てる土砂も減らせられる。

土砂を砂とシルト・粘土に分ける分級は、これまで

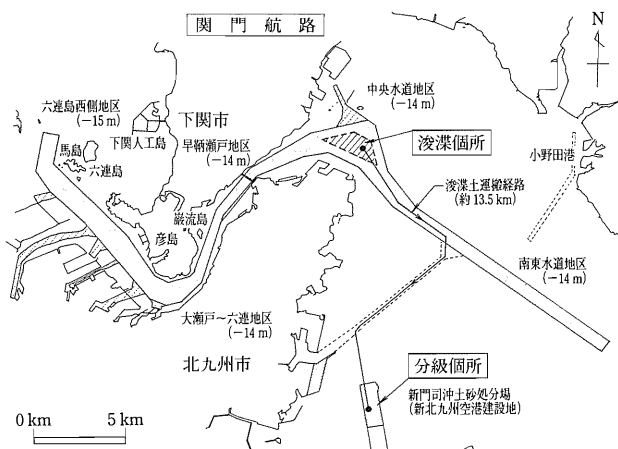


図-1 浚渫・分級工事の位置図

小規模な実施事例しかなく、港湾工事における浚渫土砂のような大量に発生する土砂に適用するのは困難であった。今回採用した「ソイルセパレータ工法」は、港湾、河川、湖沼、ダム等から発生する砂分を含む浚渫土砂を、浚渫土砂分級装置により砂分とシルト・粘土分に分け（分級）、養浜や盛土などの各種建設材料としてリサイクルするシステムである。

本システムの最大の特長は、遠心分離装置の一種であるソイルセパレータの泥水処理能力が最大約 3,000 m³/h と従来工法の 10 倍以上の泥水処理能力を持っていることである。

本システムにより、

- ① 従来、主として埋立てに使用されてきた浚渫土砂のリサイクル推進、
- ② 海砂や山砂採取による自然環境への負荷低減、
- ③ 浚渫土砂リサイクルによる建設材料購入費の節約、

などの効果が期待できる。

2. ソイルセパレータ

(1) ソイルセパレータの形式と仕様

ソイルセパレータには軽負荷、中負荷、重負荷の 3 形式があり、浚渫土砂を取扱う場合には、混合濃度が比較的高く大粒径を対象としている重負荷専用機を用いる。適用流量は最小 6 m³/h から最大 2,895 m³/h までのものがある。表-1 にソイルセパレータの性能を

示す。

表-1 ソイルセパレータの性能（メーカー推奨値）

分離性能	74 μ m までの回収率：98%
最大圧力×温度	1.0 MPa×315℃
最高濃度	2.5% (25,000 ppm)
流量範囲	最小 6 m ³ /h から最大 2,895 m ³ /h まで
通過粒径	6.0 mm 以下の小型から 50.0 mm 以下の大型まで
最大堆積量	1.2 L の小型から 416 L の大型まで
圧力損失	0.03~0.08 MPa

(2) ソイルセパレータの構造・分級原理と特徴

重負荷用ソイルセパレータの構造は図-2 に示す通りであり、極めて単純な構造となっている。

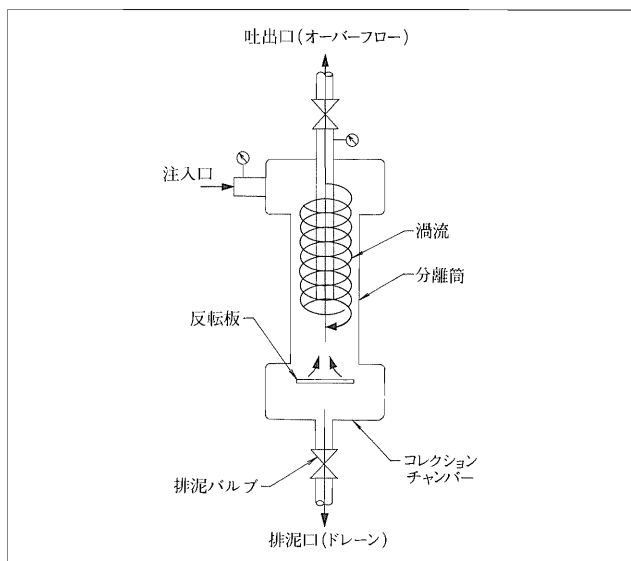


図-2 重負荷用ソイルセパレータの構造

作動原理は次の通りである。

- ① 液体と固体は接線方向でソイルセパレータに流入し、分離筒の内側で様な渦流状態となる。
- ② 液体より重い固形物は、遠心力により分離筒の内壁に当たりながら固形物と液体との分離が始まる。
- ③ 固形物は内壁に沿ってゆっくりと沈降して行き、下部のコレクションチャンバに貯まる。
- ④ 渦流となって下降してきた液体は下部案内羽根機構（反転板）によって瞬間的に急減速され、更に固液分離（2次）される。
- ⑤ 固形物を含まない液体は中心渦（負圧）によって急上昇し、吐出口から外部に排出される。
- ⑥ コレクションチャンバに堆積した固形物は必要に応じて、定期的、あるいは連続的に排泥口から排出する。

以上のように、ソイルセパレータは極めて単純な構造と分級原理から成立っており、その特徴をまとめると次のようになる。

- ① 本体が小型・軽量で電力その他の動力を必要とせず、設置面積が極めて小さい。
- ② 密閉構造であり、騒音を発生せず、周囲を汚さない。
- ③ 圧力損失が極めて小さく、処理流量幅が大きい（最大流量は最小の約2倍）ため、処理水量が急激に変化しても分離性能に影響がない。
- ④ 分級性能が優れている。

写真-1 に今回使用した最大規模のソイルセパレータを示す。直径 1.2 m ϕ 、長さ 6.0 m、設置角度 22.5°となっている。



写真-1 ソイルセパレータ

3. ソイルセパレータ工法の概要

浚渫土砂を材料化する新しい分級システムでは、砂分を含んだ泥水状態の浚渫土砂から砂分とシルト・粘土分とに分級するために遠心分離装置の一種であるソイルセパレータを使用している。

ソイルセパレータは、

- ・上下水道施設の大規模沈砂池や沈殿池の代替、
 - ・製鉄所クーラントのスケール除去、
 - ・各種工場の冷却水・処理水・雑用水の異物除去、
 - ・ワイン醸造工程の異物・不純物除去、
- など、水や溶液に含まれている粒子や異物の分離、濃縮、回収、除去を行う分離装置として広範囲に用いられているものである。

今回の分級工事では、分級専用揚土船により泥水化された浚渫土砂を泥水処理能力が 1,785~2,895 m³/h

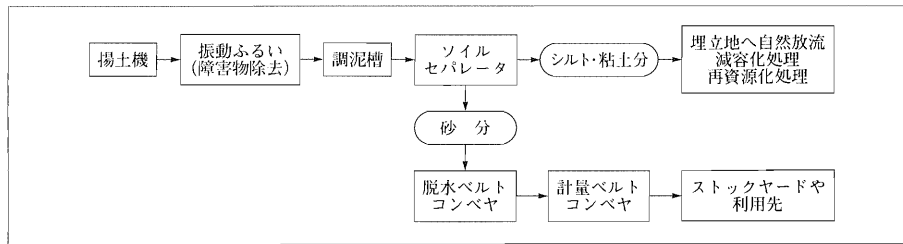


図-3 分級システムフロー

の最大クラスのソイルセパレータを2基使用している。そして、分級後の砂を含む高濃度泥水は、搬送能力が150 m³/hの大型脱水コンベヤ4基により自然含水比に近い程度まで脱水され、脱水後の砂の質量は計量コンベヤにより常時管理されている。約300,000 m³の浚渫土砂を分級して砂を抽出し、建設中である新北九州空港の覆土材として有効活用している。

図-3、写真-2～写真-4に分級システムの概要を、表-2に主な分級設備の主要目を示す。

浚渫・分級の具体的手順は次の通りとなる。

- ① グラブ浚渫した浚渫土砂を土運船で土砂処分場（新北九州空港）まで運搬。
- ② 分級専用揚土船の大型バックホウにより浚渫土砂を揚土（揚土量約600 m³/h）。
- ③ さらに、分級専用揚土船で浚渫土砂に加水し

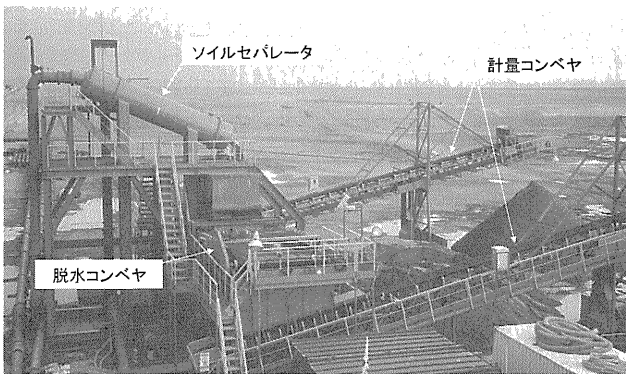


写真-2 分級システム

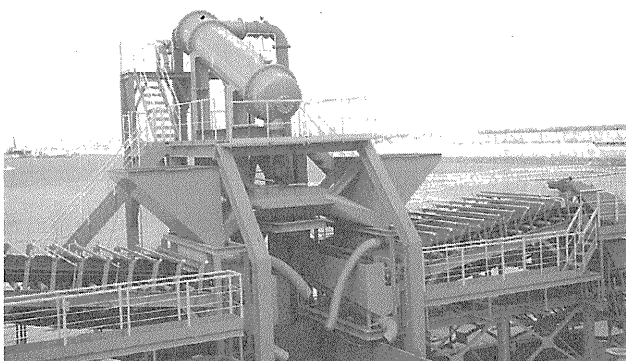


写真-3 ソイルセパレータ

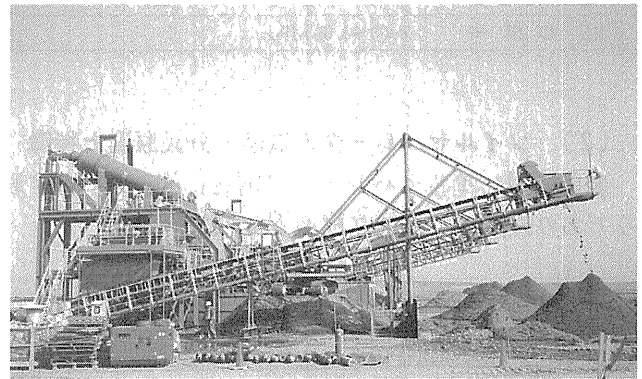


写真-4 計量コンベヤ

表-2 主な分級設備の主要目

名称	規格	数量	備考
分級専用揚土船	能力600m ³ /h	1隻	
ソイルセパレータ	泥水処理能力 1,785~2,895 m ³ /h	3台	RFD 2000 1台は予備
脱水コンベヤ	搬送能力 150 m ³ /h 3,000×L 8,000	4台	
計量コンベヤ	計量能力400t/h	4台	砂計量
施工管理装置		1式	

（含泥率約15%）、陸上に設置した2基のソイルセパレータに送泥（送泥量約2,300 m³/h×2ライン）。

- ④ ソイルセパレータで砂分を分級（泥水処理能力1,785~2,895 m³/h、砂抽出量約240 m³/h×2基）
- ⑤ 砂分は振動装置付き脱水コンベヤで脱水し（含水比約25%）、計量コンベヤにより分級砂を計量。
- ⑥ 分級後の泥水は土砂処分場内の汚濁防止装置を施した区域に放流する。

（1）分級専用揚土船

分級専用揚土船は、泥水の含泥率を調整するため加水設備（水中ポンプ37 kW×6台）を新たに装備し、均一な濃度の泥水を作ることを目的に、バックホウでの土砂投入時間を調整し、分級システム全体として高い性能を維持することに寄与している。

土運船により関門航路浚渫区域から運ばれてきた浚渫土砂は、7.5 m³のバケットを装備する大型バックホウ2基により分級専用揚土船上に揚土される。揚土

された浚渫土砂は、45 mm メッシュの振動ふるいにより貝殻等の異物を除去された後、調泥槽内で加水ポンプにより泥水化され含泥率の調整を行い、分級設備に送られている。排砂管は 400 A 肉厚管を 2 ライン使用し、助勢ポンプ 2 台で 2 系統に送泥している。

写真—5 に分級専用揚土船を示す。

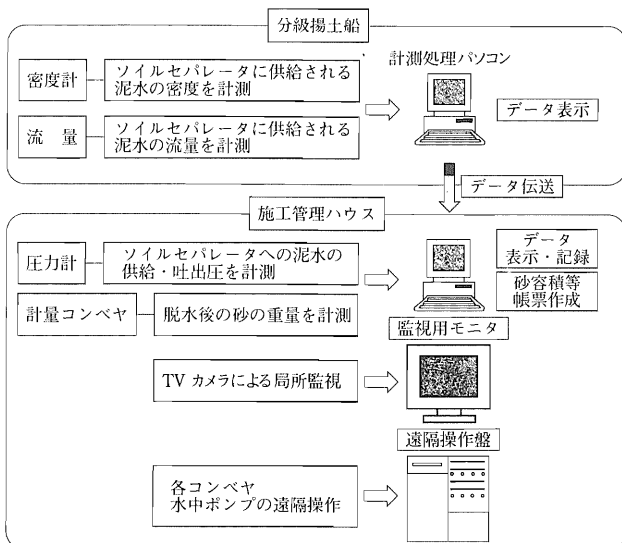


写真—5 分級専用揚土船

(2) 施工管理装置

施工管理装置は、分級工事において、設備の集中管理を行い、適切な運用支援を行うことによって施工の効率化、省力化を図るシステムである。システムは、分級専用揚土船より搬送される泥水の密度、流量、圧力を船内にて計測してデータをデータ伝送装置により管理ハウス内のパソコンに画面表示する。

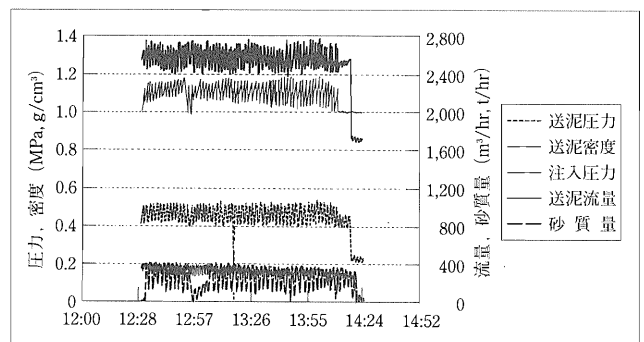
また、陸上ではソイルセパレータへの泥水の供給・吐出圧力及び計量コンベヤ計量値を計測しパソコンに表示している。また、TV カメラによる局所監視や、水中ポンプ、ベルトコンベヤ類の遠隔操作を行う機能を有している。図—4 に施工管理装置ブロック図を、



図—4 施工管理装置ブロック図



写真—6 施工管理ハウス



図—5 計測データ例

写真—6 に施工管理ハウスを、図—5 に計測データ例を示す。

4. 分級工事の実績

分級性能を管理するため、分級前の浚渫土砂および分級砂に対し定期的に土砂サンプリングを行い、物理試験（湿潤密度、乾燥密度、土粒子密度、含水比等）と粒度試験を実施した。

表—3、表—4 に土質試験の結果及び浚渫・分級数量のまとめを示した。また図—6 に粒度試験の粒径加積曲線を示した。浚渫土砂の平均砂分含有率は約 76% と当初推定値 75% に近い値となった。一方、分級砂は砂分含有率 98%、含水比約 26% と高品質の建

表—3 土質試験

項目	浚渫土	分級砂
湿潤密度 ρ_t (g/cm ³)	1.636	1.630
乾燥密度 ρ_d (g/cm ³)	1.105	1.292
土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)	2.654	2.652
自然含水比 W (%)	50.4	26.3
砂分含有率 (%)	76.2	98.0
シルト・粘土含有率 (%)	23.8	2.0

* 各数値は、20 回の土質試験結果の平均値

表-4 浚渫・分級量

項目	数量	備考
浚渫土量 (m ³)	338,081	①(掘跡数量)
土量変化率	1.127	②(バージ検収実績値)
バージ揚土量 (m ³)	381,017	③=①×②
乾燥密度 (t/m ³)	1.105	④(土質試験結果)
揚土乾燥質量 (t)	421,024	⑤=③×④
砂分含有率 (%)	76.2	⑥(土質試験結果)
砂分乾燥質量	320,820	⑦=⑤×⑥÷100
分級砂計量質量 (t)	369,404	⑧(計量コンベヤ積算値)
含水比 (%)	26.31	⑨(土質試験結果)
分級砂乾燥質量 (t)	292,458	⑩=⑧÷(1+⑨÷100)
分級砂回収率 (%)	91.2	⑪=⑩÷⑦×100
分級砂湿潤密度 (t/m ³)	1.630	⑫(土質試験結果)
分級砂量 (m ³)	226,628	⑬=⑩÷⑫

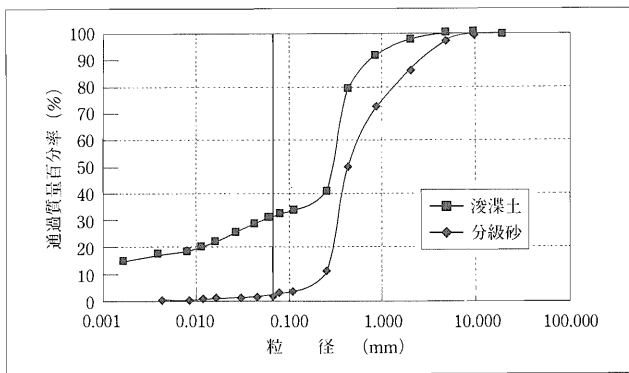


図-6 粒度試験

設材料となり、覆土工事に支障の無い砂を供給することができた。また、浚渫土砂の砂分乾燥質量に対する分級砂の乾燥質量の比を分級砂回収率と定義すると、今回の分級工事における分級砂回収率は約91%となり高い分級性能を示した。

分級能力の実績については、以下のものであった。

$$\begin{aligned}
 Q &= q_1 \times (E_4 \times E_5) \times T \\
 &= 591.5 \text{ m}^3/\text{h} \times 0.82 \times 10 \\
 &= 4,850 \text{ m}^3/\text{日}
 \end{aligned}$$

ここで、 Q : 1日当り分級土量 (m³/日)
 q_1 : 1時間当り分級土量 (m³/h)
 E_4 : 作業時間区分能力係数
 E_5 : 分級設備能力係数
 T : 1日当り運転時間 (10 h)

能力係数 $E_4 \times E_5 = 0.82$ となり、 $E_4 = 0.90$ とすれば、 $E_5 = 0.90$ 程度の値となった。

4. おわりに

今回、大容量かつ高能率な分級工法(ソイルセパレータ工法)を世界で初めて採用し、当初計画通りの成果をあげることができた。

ソイルセパレータ工法は、分級砂を有効に活用できるとともに浚渫土砂の減容化により土砂処分場の延命が図れるという一石二鳥の効果があり、浚渫土砂のリサイクル技術の幅がさらに広がった。

今後、本工法により、各地で浚渫土砂リサイクルの一層の推進、土砂処分場の延命が可能になると期待している。一方、砂分を取出した後の泥水、あるいはもともと砂分の少ない浚渫土砂の減容化として、一般的には機械脱水などが採用されているが、今後は大量のシルト・粘土を効率的に処理できる技術開発が必要と思われる。

最後に、いろいろとご指導頂いた国土交通省九州地方整備局殿に対して心からの謝意を表すものである。

JCMIA

[筆者紹介]

井上 俊輔 (いのうえ しゅんすけ)
 関門港湾建設株式会社
 工事部
 工事部長



古田 幸三 (こた こうぞう)
 若松港湾工業株式会社
 工事部
 工事次長



田中 泰弘 (たなか やすひろ)
 信幸建設株式会社
 西日本支社
 機電部
 担当課長

