

浚渫土砂を材料化するソイルセパレータ工法

薄井治利¹・三浦仁¹・加藤謙²

¹正会員 東亜建設工業株式会社 土木本部 技術開発部 (〒102-8451 東京都千代田区四番町5)

²正会員 東亜建設工業株式会社 土木本部 機電部 (〒102-8451 東京都千代田区四番町5)

近年、埋立処分場の残余容量の減少や環境負荷の低減等から、大量に発生する浚渫土砂のリサイクル推進が強く望まれている。新しい分級システム(ソイルセパレータ工法)は、港湾、河川、湖沼等から発生する砂分を含む浚渫土砂を、分級専用船または陸上の分級装置により砂分とシルト・粘土分とに分級し、養浜・覆砂・盛土などの建設材料としてリサイクル推進を実現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(ソイルセパレータ)の泥水処理能力が最大約3,000m³/hrと従来工法にない大容量の能力を持っており、浚渫土砂を連続的に大量処理することにより効率的かつ安価に砂分を分級することができることである。本文では、ソイルセパレータ工法の性能確認実験および適用例について述べる。

キーワード：浚渫土、分級、脱水、遠心分離装置

1. はじめに

浚渫土砂を材料化するソイルセパレータ工法では、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(分離)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一般的に、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、除去を行う遠心分離装置として非常に広範囲に用いられているものである。

メーカー推奨値によると、ソイルセパレータは74 μ m以上の砂分を非常に高い回収率で分離することができる。しかし、分離時の溶液濃度は最高で2万5千ppmと低く、これまでに浚渫土砂に適用された実施例がなかったため、20万～50万ppmとなる高濃度の浚渫土砂泥水にも対応できるかどうか基礎実験を行い分級性能を確認した。

本報告では、最初にソイルセパレータ工法の核とな

るソイルセパレータ(遠心分離装置)の概要を説明し、次に平成14年1月と3月に実施した性能確認実験について報告し、最後にソイルセパレータ工法の適用例について紹介する。

2. ソイルセパレータ(遠心分離装置)^{1),2)}

(1) ソイルセパレータの形式と仕様

ソイルセパレータ(遠心分離装置)には軽負荷、中負荷、重負荷の3形式があるが、浚渫土砂の泥水を取り扱うため、混合濃度が比較的濃く大粒径を対象としている重負荷専用機を標準とする。表-1に重負荷専用ソイルセパレータの主な仕様を示す。

表-1 ソイルセパレータの仕様

形式	流量範囲 m ³ /hr	通過粒径 mm Max	装置高 mm	形式	流量範囲 m ³ /hr	通過粒径 mm Max	装置高 mm
0125	6~16	6.0	1,230	1000	375~705	25.0	4,000
0200	14~30	19.0	1,380	1200	560~990	28.0	4,620
0300	32~64	19.0	1,520	1400	670~1,240	38.0	4,880
0400	65~125	9.0	2,700	1600	890~1,680	43.0	4,980
0500	110~200	9.0	3,070	1800	1,180~2,090	48.0	5,350
0600	165~275	12.0	3,070	2000	1,780~2,895	50.0	5,650
0800	230~380	20.0	3,620	—	—	—	—

ソイルセパレータの最大流量は表-1 に示した通り約 3,000m³/hr であり、他の遠心分離装置にはない大容量の処理能力を持っている。また、ソイルセパレータは同じ処理能力で直立型、45° 傾斜型、22.5° 傾斜型の 3 タイプがある。

(2) ソイルセパレータの構造と分級原理

ソイルセパレータの構造は図-1 に示す通りであり、極めて単純な構造となっている。遠心力による分級原理は次の通りである。

- ①浚渫土砂を含む泥水は接線方向でソイルセパレータに流入する。
- ②分離筒の内側で泥水は一様な渦流状態となる。
- ③比重の大きい砂分は、遠心力により渦流の外側に広がり分離筒の内壁に当たりながら、比重の小さいシルト・粘土分との分離が始まる。
- ④砂分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ーに貯まる。
- ⑤渦流となって下降してきた泥水は下部の反転板によって瞬間的に急減速され、更に 2 次分離される。
- ⑥シルト・粘土分を含む泥水は渦中心の負圧によって急上昇し、上部の吐出口（オーバーフロー）から外部に排出される。
- ⑦コレクションチャンバーに堆積した砂分は必要に応じて、定期的に、あるいは連続的に下部の排出口（ドレーン）から排出される。

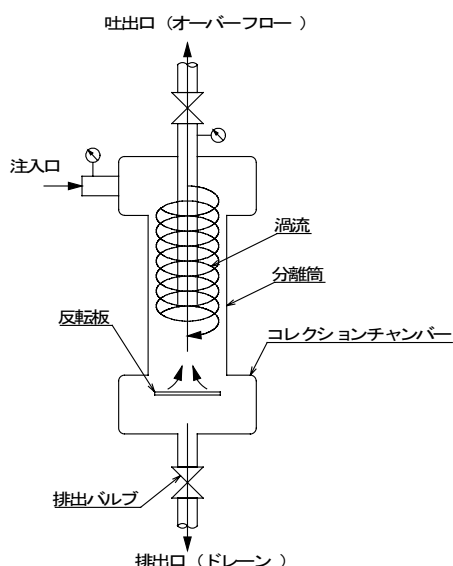


図-1 ソイルセパレータの構造

(3) ソイルセパレータの特長

ソイルセパレータの特長をまとめると以下のように

なる。

- ①分級性能が極めて優れている。
- ②圧力損失が極めて小さい。
- ③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本体が小型・軽量なので設置面積が極めて小さい。
- ⑤電力その他の動力を必要としないため、設置場所を選ばない。
- ⑥回転部分や可動部がなく、保守・維持費をほとんど必要としない。
- ⑦密閉構造となっているので騒音を発生せず、周囲を汚さない。

3. 性能確認実験^{1),2)}

平成 14 年 1 月および 3 月にソイルセパレータ工法に関して 2 つの性能確認実験を行った。表-2 に示すように、一つは供試土に含まれているシルト・粘土分の含有率ならびに見掛けの含泥率(泥水量に対する土砂の見掛け体積比率)を変化させ、ソイルセパレータの分級性能を確認した「分級性能確認実験」であり、もう一つはソイルセパレータのドレーン側から排出された砂分主体の濃縮泥水を脱水コンベアによりどの程度水切りできるか確認した「分級・脱水連動実験」である。

表-2 性能確認実験の概要

	分級性能確認実験	分級・脱水連動実験
目的	供試土に含まれるシルト・粘土分含有率と見掛け含泥率を変化させ、ソイルセパレータの分級性能を確認。	ソイルセパレータのドレーンから排出される砂分の濃縮泥水を連続的に脱水コンベアにより脱水する性能を確認。
実験規模	ソイルセパレータ処理能力 (泥水量：6～16 m ³ /hr)	ソイルセパレータ処理能力 (泥水量：6～16 m ³ /hr) 脱水コンベア (搬送能力：1.65～14.5 m ³ /hr)
供試土	関門航路中央水道浚渫土砂	響灘浚渫土砂
実験期間	平成 14 年 1 月 18 日～28 日	平成 14 年 3 月 25 日～27 日
実験場所	山口県下関市長府扇町 5 番地	
主要機材	ソイルセパレータ：NFD-0125 (流入範囲 6～16 m ³ /hr)	ソイルセパレータ：NFD-0125 (流入範囲 6～16 m ³ /hr) 脱水コンベア 600W×5400L×2.2KW (ベルト速度 1.64～15.1m/min)

2 つの実験に用いたソイルセパレータは最小クラスの NFD-0125 型 (6～16m³/hr) であり、脱水コンベアの搬送能力は 2～15m³/hr (ベルト速度：1.64～15.1m/分) である。分級・脱水連動実験装置の概念図を図-2 に示す。

分級性能確認実験では、関門航路浚渫土砂を用いてシルト・粘土分の含有率を 7～57% まで連続的に変化させ、かつ、見掛けの含泥率を 11～37% に変化させて分級性能を確認した。また、分級・脱水連動実験では、

響灘の浚渫土砂を提供して頂き、見掛けの含泥率を15～48%まで変化させ、ベルト速度を2.35～11.3m/分に変えて水きり状況を確認した。

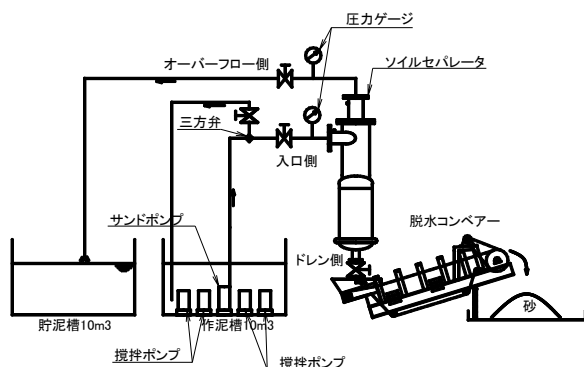


図-2 分級・脱水連動実験装置の概念図

(1) 分級性能確認実験

ソイルセパレータにより分級された浚渫土砂泥水の粒径加積曲線を原泥水の粒径加積曲線と共に図-3に示す。また、砂分の回収率と分級砂の品質に着目し、「見掛けの含泥率と砂分回収率」を図-4に、「シルト・粘土分含有率と砂分回収率」を図-5に、「見掛けの含泥率とドレン砂分含有率」を図-6に整理した。

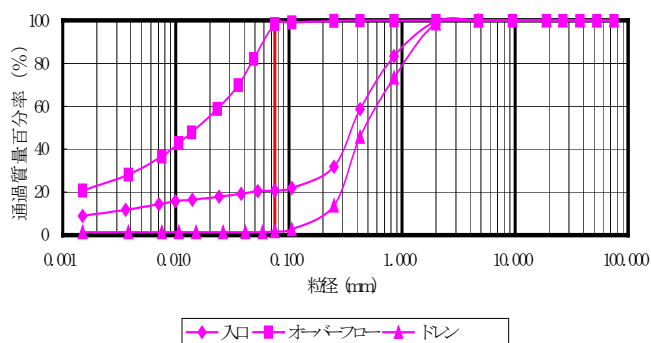


図-3 粒径加積曲線（シルト・粘土分含有率：20.8%，見掛けの含泥率：11%）

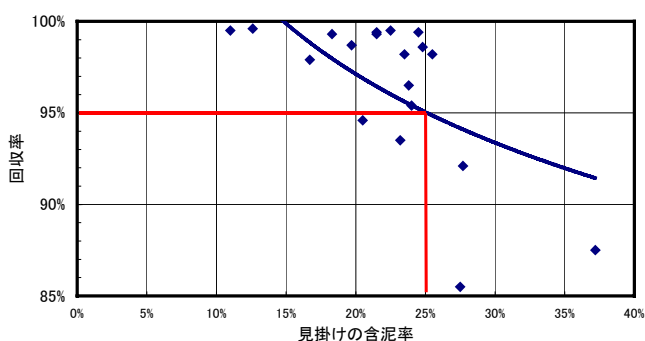


図-4 見掛けの含泥率と砂分回収率

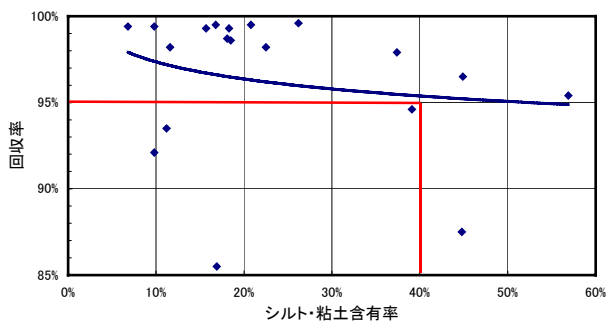


図-5 シルト・粘土分含有率と砂分回収率

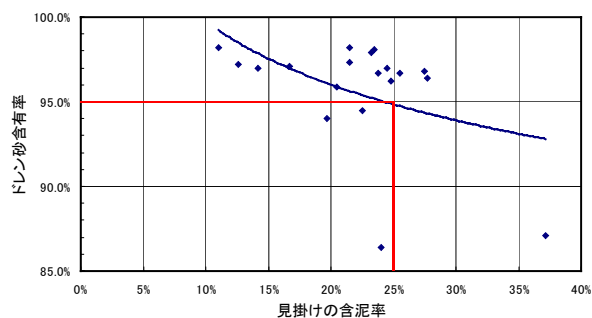


図-6 見掛けの含泥率とドレン砂分含有率

分級性能確認実験の結果をまとめると以下のようになる。

- ①供給泥水量を100（112ℓ/分）とすると、平均的にドレン側に20%、オーバーフロー側に80%の割合で分かれた。
- ②見掛けの含泥率が25%以下であれば、供給泥水からの砂分回収率は95%以上となる。
- ③シルト・粘土分含有率が40%以下であれば、供給泥水からの砂分回収率は95%以上となる。
- ④見掛けの含泥率が25%以下であれば、ドレン砂分中のシルト・粘土分は5%以下となる。

(2) 分級・脱水連動実験

ソイルセパレータで分級し脱水コンベアにより回収した砂分の水切り状態を確認するため、砂の含水比に着目し、見掛けの含泥率と含水比の関係をまとめて図-7に、また、脱水コンベアのベルト速度と含水比の関係を図-8に整理した。

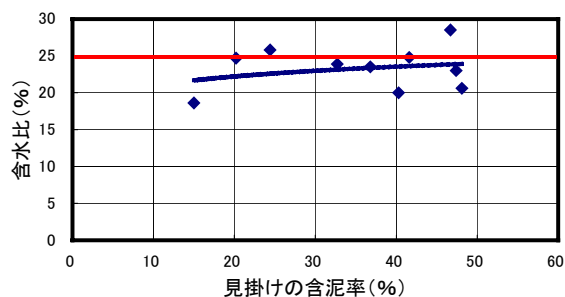


図-7 見掛けの含泥率と含水比

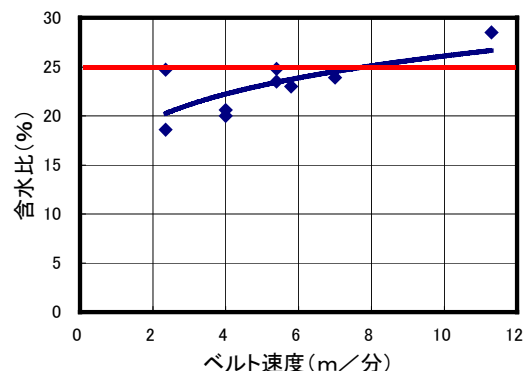


図-8 ベルト速度と含水比

分級・脱水連動実験の結果をまとめると以下のようになる。

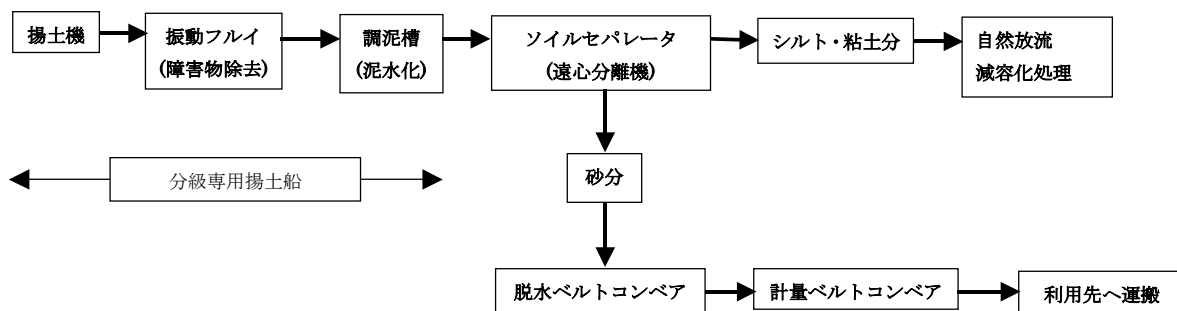


図-9 適用例のシステムフロー図

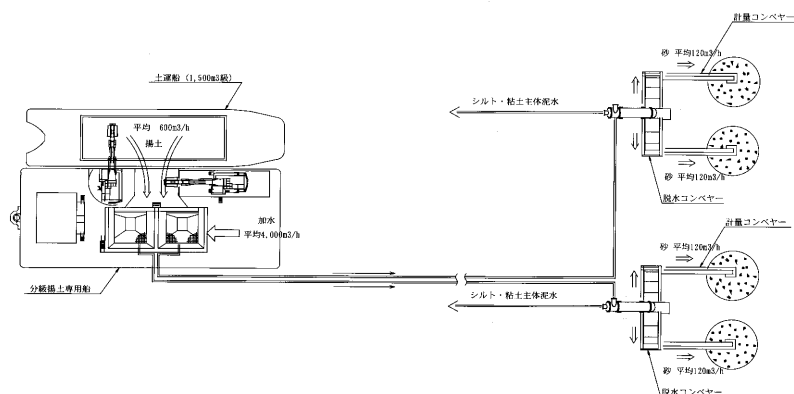


図-10 適用例の概念図

①見掛けの含泥率と含水比の関係

図-7 より、見掛けの含泥率が 50%付近で含水比が 25%を超えた結果が一つあるが、これ以外は概ね 25%以下となっている。一般に脱水コンベアは骨材生産現場で多く使われており、管理基準値は含水比で 25%程度とされている。したがって、脱水コンベアから排出された砂分は、野積み状態で貯蔵、重機による積み込み、運搬等を支障無く行うことができると思われる。

②ベルト速度と含水比の関係

図-8 より、ベルト速度が速くなるほど含水比が漸増する傾向にある。脱水コンベア上で浮き上がった比重の小さいシルト・粘土分泥水は、ベルト速度が速すぎると逆流による脱水が十分に間に合わず、砂と一緒に排出され含水比が高くなると考えられる。

今回の実験では 4～5m/分のベルト速度が適しているように思われた。実工事では含水比が 25%前後となるようにベルト速度を調整する必要がある。

4. ソイルセパレータ工法の適用例

ソイルセパレータ工法の適用例として、時間当たり約 600m³の浚渫土を揚土・分級・脱水するシステムを紹介する。図-9 に適用例のシステムフロー図を、図-10 に概念図を示す。

この適用例は、時間当り 600m^3 の浚渫土砂を分級専用揚土船により揚土・泥水化し、陸上に設置した分級・脱水施設（ソイルセパレータ、脱水ベルトコンベア、計量ベルトコンベア）により砂を取り出すシステムである。

この適用例のように、浚渫土砂から取り出した砂の含水比が低く抑えられれば、分級砂は容易に積込・運搬ができるため、埋立地内の覆土材やサンドマットなど建設材料として有効利用しリサイクルを推進することができる。また、浚渫土砂に比較的多くの砂分が含まれていれば、より効率的に砂を取り出して減容化が図れるため、土砂処分場の延命化にも繋がる。

(1) 分級専用揚土船

土運船により運ばれてきた浚渫土砂は、振動ふるいにより貝殻等の異物を除去された後、 7.5m^3 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（写真-1 参照）で揚土される。この分級専用揚土船は、約 $600\text{m}^3/\text{hr}$ の揚土能力を持っており、また、浚渫土砂泥水の含泥率を任意に調整できる加水ポンプを装着している。したがって、この分級専用揚土船により比較的均一な濃度の泥水を作ることが可能になるため、システム全体として高い分級性能を維持することに寄与している。



写真-1 分級専用揚土船（揚土 $600\text{m}^3/\text{hr}$ ）

(2) 分級・脱水設備

分級専用揚土船から大型ポンプにより送られてくる泥水は、陸上の分級・脱水設備により砂分とシルト・粘土分に分級・脱水される。分級・脱水の主要設備として、写真-2 に示す最大クラスのソイルセパレータ（泥水処理能力 $1,785\sim 2,895\text{m}^3/\text{hr}$ ）が 2 基、写真-3 の脱水

ベルトコンベア（搬送能力 $200\text{m}^3/\text{hr}$ ）が 4 基、写真-4 の計量ベルトコンベア（ $4,000\text{kN}/\text{hr}$ ）が 4 基となる。

a) ソイルセパレータ（遠心分離装置）

最大クラスのソイルセパレータは、直径が約 1.2m で泥水処理能力が $1,785\sim 2,895\text{m}^3/\text{hr}$ と広範囲かつ大容量である。このクラスのソイルセパレータ内の最大通過粒径は 50mm であるため、浚渫土砂から事前に大きな異物を除去する必要がある。この適用例では分級専用揚土船に振動ふるいを備えている。



写真-2 最大クラスのソイルセパレータ
（泥水処理能力 $1,785\sim 2,895\text{m}^3/\text{hr}$ ）

b) 脱水ベルトコンベア

ソイルセパレータ 1 基に対し 2 基の脱水ベルトコンベアにより、砂を主体とする高濃度の泥水から含水比の低い砂を取り出すことができる。写真-3 に示す脱水ベルトコンベアの土砂搬送能力は約 $200\text{m}^3/\text{hr}$ であり、砂粒子の沈降特性（沈降速度が比較的速い）とバイブレータの振動特性を利用して砂の水切りを連続的に行うことを可能にしている。

分級・脱水連動実験で明らかになったように、ベルト速度が速いほど処理能力は増加するが、一方、脱水性能は低下するため、本工事では浚渫土砂の粒度分布や粒径等にあわせて最適なベルト速度を設定して、含水比をなるべく低く抑える必要がある。



写真-3 脱水ベルトコンベア (搬送能力 200m³/hr)

c) 計量ベルトコンベア

分級・脱水された砂量を把握するため、ロードセル式の計量ベルトコンベアを用いて砂の質量を管理する。

写真-4の計量ベルトコンベアは、時間当たり約4,000kNの計量能力を持っている。



写真-4 計量ベルトコンベア (計量能力 4,000kN/hr)

5. ソイルセパレータ工法の特長

ソイルセパレータ工法の特長をまとめると以下の通りである。

- ①分級・脱水された砂分は、含水比および細粒分含有率が低く高品質なので、各種建設材料としてそのまま所定のストックヤードや利用先に運搬しリサイクルできる。
- ②分級・脱水施設は単純な構造のものなので、施工条件に合わせて分級船上または岸壁・護岸上に設置することもできる。
- ③大量の浚渫土砂を連続的に処理し安価に分級・脱水できるため、取り出される砂の単価は購入砂と同等程度である。
- ④ソイルセパレータ（遠心分離装置）は、小型・計量で動力を必要とせず大量の泥水処理能力を持っている。

6. おわりに

ソイルセパレータ工法は、大量の浚渫土砂を連続的に処理し安価に分級・脱水できるため、取り出される砂分 1m³当たりの価格は購入砂と同等程度と想定している。

適用例で紹介したように、当社では時間当たり約600m³の浚渫土砂を揚土・泥水化する分級専用揚土船、そして土砂泥水を分級・脱水するためのソイルセパレータ、脱水ベルトコンベアおよび計量コンベア等の設備を保有している。当工法が、浚渫土砂のリサイクル促進や土砂処分場の延命化に役立てば幸いである。

今後の発展を期すると共に、これまでソイルセパレータ工法を理解して頂き、浚渫土砂ならびに実験場所を快く提供して頂いた関係各位に感謝する次第である。

参考文献

- 1) 加藤 謙：浚渫土砂を材料化するソイルセパレータ工法，作業船，第261号，pp18-23，2002。
- 2) 加藤，薄井：浚渫土砂を材料化するソイルセパレータ工法，国土交通省・近畿地方整備局・平成14年度管内技術研究発表会論文集，pp 技術 I25-1-6，2002。