

土圧系泥土圧式シールドにおける泥土分離システムに関する一考察

A Study of Soil Separation System in Earth Pressure Shield Tunnelling Work

桑原 資考*
Yoshitaka Kuwabara

要 約

ここ数年、土圧系泥土圧式シールドによる滞水砂礫層の施工が増加の傾向にある。この土圧系シールドは高濃度の泥土、あるいはその他の添加材をカッタ前面及びバルクヘッドから注入することによって、掘削土の流動化を促し、切羽の安定を図るものである。

一般的には粘土、ベントナイトを主体とした高濃度泥土が添加材として使用され、この注入された泥土が掘削土と混合し、流動化された掘削土として排出される。この排土が近い将来産業廃棄物としての法的規制を受けることが予想される。したがって流動化した掘削土を砂礫と泥土に分離し、更に分離された泥土を極力添加材として再利用を図るシステムの開発が望まれている。

泥土分離システム開発のためのアプローチとして一考察を試み、システム具現化への一つのアプローチとする。

目 次

- §1. まえがき
- §2. 添加材について
- §3. 掘削土の性状
- §4. 泥土分離システム
- §5. 今後の開発
- §6. あとがき

§1. まえがき

土圧系泥土圧式シールドの適応土質は、かなり広範囲に亘るが、その範囲は概ね泥水シールドと重なり、主に滞水砂層、砂礫層の施工に多くの実績例を見る。砂層、砂礫層はその粒度組成からしてシルト、粘土分の含有率が少なく、滞水層では一般的に切羽の自立が困難である。このため積極的に地山の空隙に、高濃度、高粘性の添加材を間隙水圧+0.2kgf/cm²程度の圧力で浸透させ、地山を難透水性に改良するとともに、シールドカッタによる混合効果によって流動化を促進し、切羽を密度圧でバランスさせることにより、地山の安定を図る。この流動化された掘削土には、粘土、ベントナイトを主成分とした添加材の他に、地山自体のもつシルト、粘土分が含有

され生コン状態若しくは液性に近い状態で排出される。

このような性状を持つ掘削土の残土処理方法は、現状ではそのままの状態で指定残土捨て場に投棄されるか、あるいは骨材製造業者等の第3者に処理を依頼し、その過程で発生するスラッジを添加材として再利用を図っているのが通常である。

しかしながら、この数年、何等かの公害的制約を受けるケースが見受けられ、いずれ近い将来産業廃棄物としての法的規制の枠の中に置かれることは充分予測される。現行の第3者依頼処理方法についても、処理業者の数、地域的な片寄り、骨材としての需要、余剰スラッジの処理、処理費等多くの検討すべき問題があり、普遍的な対応策とはいえない。したがって、その掘削土を経済的に、なおかつ法的規制をクリアーできるものとしていかに処理できるかが、今後の土圧系泥土圧式シールド工法に課せられた一つの大きな課題である。

これに関して、最近一部のメーカ、あるいはゼネコンによって開発、研究が進められている。近い将来我々のニーズに合った合理的な泥土分離システムの開発が行われ、実用に供されるであろうが、我々が現時点で考えているシステムの一つの案について概要を述べ、具現化へのアプローチとしたい。

* 機材部機械課副課長

§2. 添加材について

泥土分離システムを検討するにあたり、添加材はその大きな要因として係わりがある。したがって定性的であるが基本的な考え方について記述する。

2-1 添加材の性状

添加材は一般に、粘土、ベントナイトに水を加えた高濃度、高粘性の泥水が使用され、地山のシルト、粘土の不足分を補いつつ、掘削土砂に流動化と難透水性を与えるものである。

添加材として要求される必要な性質は、

- (1) 添加材自体が容易に粘土、シルトの固形分と水とに分離しないこと。
- (2) 掘削土砂に浸透し、目詰まり効果を起こす材料であること。
- (3) 高濃度、高粘性で流動性に富んでいること。
- (4) 硬化しないこと。
- (5) 経済性に富んでいること。
- (6) 処理が容易であること。
- (7) 公害を発生しないもの。

等である。

2-2 添加材の作用

掘削土砂に注入、混合された添加材は、基本的には生コンにおけるセメントミルクと同様な役割をもち、掘削された土砂に対して次のような作用を有する。

- (1) 掘削地山の土粒子の空隙に圧力浸透し、目詰まり効果によって難透水性地山に改良する。
- (2) 土粒子間の直接抵抗を阻害し、土のせん断抵抗を軽減させる。
- (3) 掘削土砂によるカッタチャンバー内の不安全な充填物分を充満し、切羽を密度圧及び塑性受圧力でバランスさせる。

2-3 注入率

注入率は地山の粒度構成、つまりシルト、粘土の細粒分の含有率と地山の空隙率によって変化する。

注入率の基本的な考え方として①掘削土を生コン状にするのに必要なセメントミルク量に相当する添加材の注入量、②地山空隙率を充満させるに必要な注入量の考え方がある。実際にはいずれかどちらかを基準値とするということではなく①、②の範囲の中にあるということと注入率の下限が①であり上限が②であると考えられる。

①の場合、コンクリートのセメント配合例として、

貧配合の場合 120～200kg/m³

富配合の場合 250～350kg/m³

と考えられ、セメントの含有率(重量比)で表わすと(コンクリートの単位体積重量=2.3t/m³として)

貧配合の場合 5～9%

富配合の場合 11～15%

となる。以上からセメント含有率程度(5～15%程度)の添加材を注入し、あるいは地山のシルト、粘土の細粒分が上記程度含有していれば生コン状に近いコンシステンシーを有した性質になると推定できる。

一方、②の場合、一般に砂礫層の空隙率は30～50%程度といわれている。この空隙に添加材をある圧力(+0.2kgf/cm²程度)で注入することによって空隙に浸透させ、流動化及び難透水性の地山に改良する。この空隙部には地下水、ガス等が飽和しており、これを100%排除して添加材に置換えることには困難があるが、空隙率に近い値で注入されるものとしてこれを上限値として考える。

添加材注入量の目安を、砂質土層及び砂礫層に分離して表わすと、以下のように考えられる。

(1) 砂質土層の場合

概略地山掘削土量(地山状態)の10～15%といわれ、地山自体のシルト、粘土分の含有量が10%以下の場合、地山の含有率と注入量の合計が10～15%になる量の添加材を注入すればよいことになる。したがって、地山のシルト、粘土分の細粒分含有率が上記以上の場合、注入の必要がなく攪拌のみで可能な場合が多い。

(2) 砂礫層の場合

概略地山掘削土量の15～30%といわれ、地山のシルト、粘土分の含有量が15%以下の場合、不足分を注入すればよいことになる。

これ等は、あくまで基本理論値であり、現実にはスクリューからの排出土の性状を管理し、最適な注入率を選定する必要がある。

2-4 添加材の配合

添加材は潤滑材及び止水材の両方の役割を兼ねたものであり、その参考例として表-1に示す。

土質条件、添加材の比重、注入量の多少によって排出土のスランプ値が異なり、現実には地山の粒度組成によって配合を変える必要がある。添加材の粘性を高めるため、増粘材としてCMCの添加もあるが、3日程度を経過するとCMCの主成分であるセルローズが土砂中のバクテリアによって分解され、粘性を低下させることになる。

砂質土層主体の場合、逸泥の恐れが比較的少ないこともあり、比重は1.2～1.25程度のものでも粘性も2,000～2,500cPでよい。

Table1 添加材配合例(甲府上条出) (0.8m³当り)

粘土	ベントナイト	水	比重	粘性
350kg	150kg	520kg	1.28	3000~6000cp

§ 3. 掘削土の性状

掘削土の排土性状は、地山の粒度構成、地山の含水比、地下水の流れ、添加材の注入量、シールドチャンパー内の充填率、スクリー内の充填率、オペレータの技量等の要因によって大きく影響を受け、理論的設定による排土性状の画一化は困難であるが、条件が整った場合、スランプ値で10cm前後でスクリーゲートから排出される。

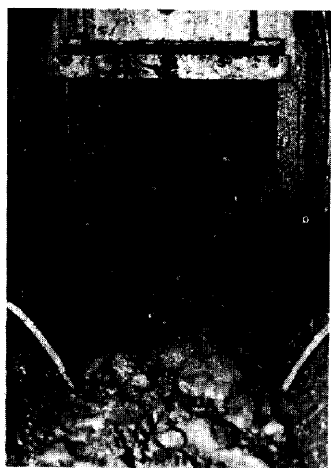


Photo1 生コン状排土(状態の良い場合)

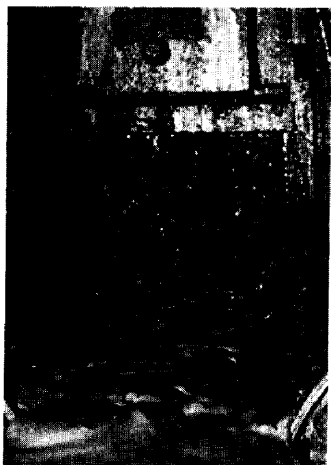


Photo2 液状排土(状態の悪い場合)

§ 4. 泥土分離システム

スランプ10~24cm程度と変動要素の大きい、性状の異なる排出土を砂、礫とシルト、粘土分に分離するプラントに要求される要素は、

- (1) あらゆる排土性状について幅広い適応性をもつこと。

- (2) シルト、粘土分の分級及び回収率が高いこと。
- (3) 分級後の砂、礫への細粒分の付着が少ないこと。
- (4) 回収細粒分は再利用可能な粒度構成であること。
- (5) 可能な限りプラントの系外に排出する濁水を少なくすること。
- (6) 省力化、経済性に富むこと。

等である。これ等の条件を踏まえて実現の可能性の高い技術として、1つに従来泥水シールド工法に採用されている泥水処理システムの技術を応用する方法と、これと異なった遠心分離を利用する2つの方法が考えられる。この他に既存の技術にとらわれない全く新しい発想による分離技術も将来考えられるであろうが、将来の問題として本稿では触れないことにする。遠心分離法についてはすでに一部のメーカーにて開発中であり、実証試験の段階に入っている。したがって本稿では将来の技術として後述するに留める。

我社は泥水シールド工法の分野では長い歴史を有し、数多くのノウハウを持っている。泥水処理システムについても、業界に先駆けて実践的な開発を行い、現在のシステムへの基礎を築いた経緯がある。

したがって、これ等の技術を応用した土圧系泥土圧式シールドから発生する排土の泥土分離に対する応用の可能性について、ある条件を設定し、そのケーススタディによって理論的な解析を試みる。

4-1 基本フロー

泥水シールド工法における泥水処理システムの基本的なフローを Fig.1 に示す。

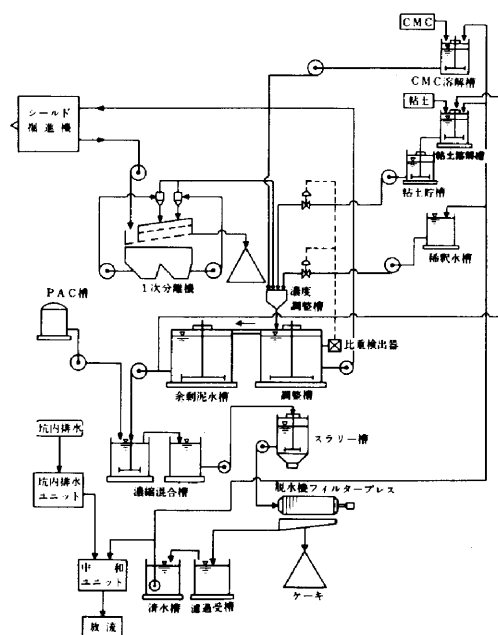


Fig.1 泥水シールドにおける泥水処理基本フロー

これを応用した泥土分離システムの基本フローを Fig.2 に示す。

Fig.1 の泥水処理システムのフローシートと Fig.2 の泥土分離システムのフローシートを比較して、解るように、基本的なフローにはさしたる相違はないが、大きな違いは、一次分離機での処理に対する考え方にある。

泥水シールドにおける掘削土は重量濃度40%前後のスラリーとして、連続的に分離機に供給された後、湿式サイクロン及びスクリーンの組合せによって、74 μ m を分級点として分級される。

土圧系泥土式シールドでは、スランプ10~24cm程度の

性状をもつ排土をスクリーン上に連続供給するが、そのままの状態での篩分けは、粒子の目詰り、網への付着、脱水効率の低下、分級精度の低下等によって実用に供しない。したがって供給部のスクリーンデッキの一部を礫洗浄用のプールとし、分離機からの振動加振力を排土中の砂礫が受けることにより、相互の摩擦作用で礫の表面に固着した泥分を除去する機構をもたせる必要がある。プール内での砂礫の洗浄作用を促進する媒体として、泥水を使用する。この泥水は比重が1.3に達するまでサイクロンを通して再循環を行い、洗浄水の比重が設定以上、すなわち比重1.3程度となった時点で回収泥水として泥

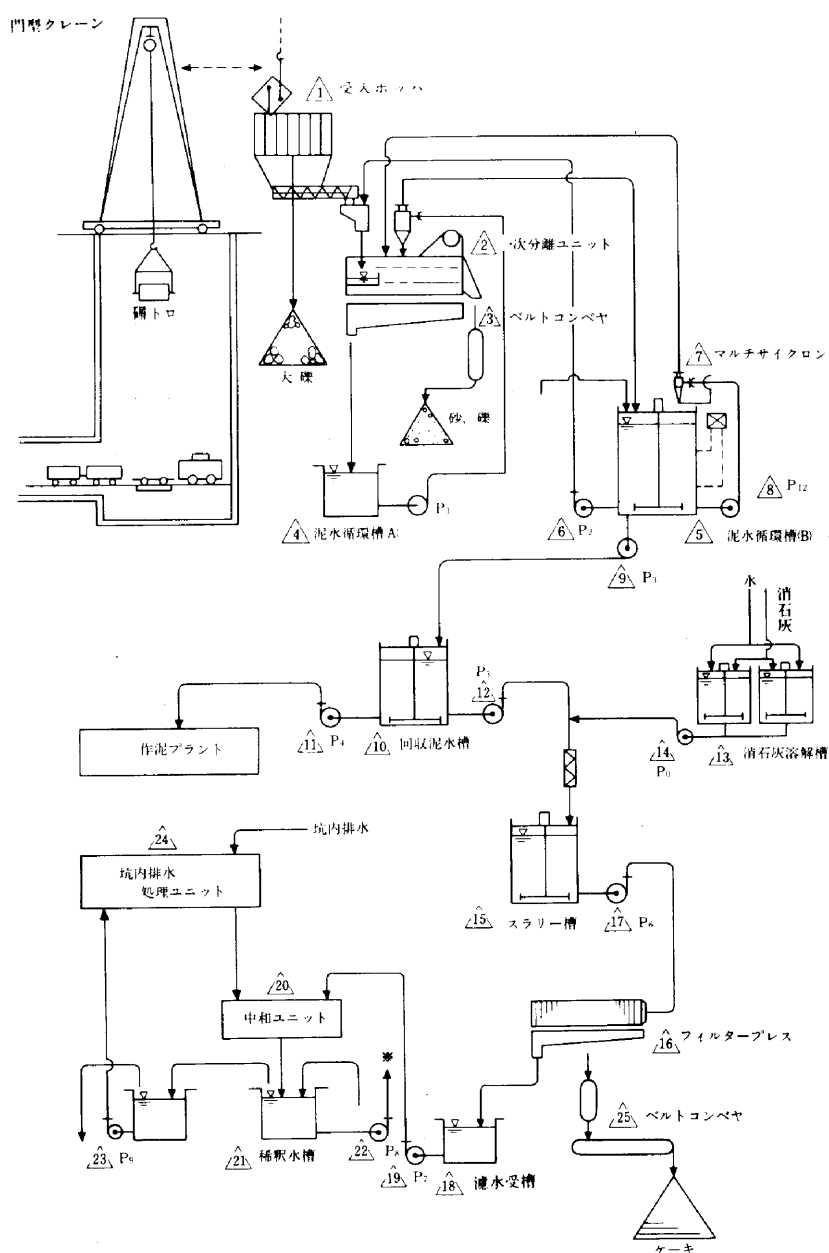


Fig.2 土圧系泥土圧式シールドにおける泥土分離基本フロー

水循環槽より引抜き、その一部を添加材として再利用を図る。余剰泥水は従来の泥水処理の2次処理、つまりフィルタプレス、あるいはベルトプレス等による脱水処理方式と同様である。

4-2 ケーススタディ

下記に示す条件のもとでケーススタディを行う。

1) 条件

- (1) シールド外径 4,080mm
- (2) セグメント長さ 900mm
- (3) シールド掘削断面積 13.07m^2
- (4) 1リング当り掘削量 $11.76\text{m}^3/\text{R}$
- (5) 日進行 6R/16hr
- (6) 土質 砂礫層

- a) 真比重 2.7
- b) 間隙率 e 40%
- c) 粒度構成

礫 55%
砂 30%
シルト粘土15%

(4) 添加材

a) 配合

粘土 $440\text{kg}/\text{m}^3$
ベントナイト $190\text{kg}/\text{m}^3$
水 $650\text{kg}/\text{m}^3$
計 $1,280\text{kg}/\text{m}^3$

- e) 粘度 6000cP
- c) 比重 1.28
- d) 濃度 34.7%
- e) 注入率（掘削体積比）20～25%

2) プロダクト解析

(1) 地山	
掘削量	$11.76\text{m}^3/\text{R}$
間隙比: e	0.4
固形分体積	$11.76 \times \frac{1}{1.4} = 8.40\text{m}^3/\text{R}$
空隙分体積	$11.76 \times 0.4/1.4 = 3.36\text{m}^3/\text{R}$
固形分重量	$8.40\text{m}^3/\text{R} \times 2.7 = 22.68\text{t}/\text{R}$
水 (飽和)	$3.36\text{m}^3/\text{R} \times 1.0 = 3.36\text{t}/\text{R}$
計	$26.04\text{t}/\text{R}$
礫	$22.68\text{t}/\text{R} \times 0.55 = 12.47\text{t}/\text{R}$
砂	$22.68\text{t}/\text{R} \times 0.30 = 6.80\text{t}/\text{R}$
シルト、粘土	$22.68\text{t}/\text{R} \times 0.15 = 3.41\text{t}/\text{R}$
計	$22.68\text{t}/\text{R}$
(2) 注入添加材量	
添加材量	$11.76\text{m}^3/\text{R} \times 0.2 = 2.35\text{m}^3/\text{R}$
添加材重量	$2.35\text{m}^3/\text{R} \times 1.28 = 3.01\text{t}/\text{R}$
添加材SS分	$3.01\text{t}/\text{R} \times 0.347 = 1.04\text{t}/\text{R}$
シルト、粘土	$1.04\text{t}/\text{R} \times 0.698 = 0.73\text{t}/\text{R}$

ベントナイト

水

計

(3) 排土

注入添加材の一部は、シールド外周部への囲り込み等を考え9.8%のロスとする。

$$\left(\frac{4.08\text{m} \times \pi \times 0.02\text{m} \times 0.9\text{m}}{\text{R}} = 0.23\text{m}^3/\text{R} \right)$$

$$\left(\frac{0.23\text{m}^3/\text{R}}{2.35\text{m}^3/\text{R}} \times 100 = 9.8\% \right)$$

$$\frac{1176\text{m}^3/\text{R}}{2.35\text{m}^3/\text{R} \times 0.95 = 2.23\text{m}^3/\text{R} - 2.85\text{t}/\text{R}}$$

$$\frac{13.99\text{m}^3/\text{R}}{28.89\text{t}/\text{R}}$$

地山

排出添加材

計

礫

砂

シルト、粘土

ベントナイト

水

計

シルト、粘土、ベントナイトの濃度

$$\frac{4.35\text{t}/\text{R}}{(4.35\text{t}/\text{R} + 5.13\text{t}/\text{R})} = 0.46(46\%)$$

(4) 洗浄用泥水

洗浄用泥水の上限比重を1.3とする。(濃度37wt%)

排土中の砂、礫を除いたシルト、粘土、ベントナイトと水の構成は(3)より

$$\left. \begin{array}{l} \text{シルト粘土} \quad 4.07\text{t}/\text{R} \\ \text{ベントナイト} \quad 0.28\text{t}/\text{R} \end{array} \right\} 4.35\text{t}/\text{R} \left. \begin{array}{l} 93.6\% \\ 6.4\% \end{array} \right\} 100\%$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{水} \quad 5.13\text{t}/\text{R} \end{array} \right\}$$

計

$$\frac{9.48\text{t}/\text{R}}{48\text{t}/\text{R}}$$

加えるべき洗浄水を

泥水重量 : $X\text{t}/\text{R}$

含まれる固形分 : $S\text{t}/\text{R}$

泥水の中の水 : $(X-S)\text{t}/\text{R}$

泥水濃度 : S/X

とすると、

排土+洗浄用泥水は

SS分 $4.35\text{t}/\text{R} + S\text{t}/\text{R}$

水 $5.13\text{t}/\text{R} + (X-S)\text{t}/\text{R}$

計 $9.48\text{t}/\text{R} + X\text{t}/\text{R}$

従って、設定濃度を37wt%とすると、この排土+洗浄用泥水が37wt%とならなければならない。

$$0.37 = \frac{4.35 + S}{9.48 + X}$$

$$\therefore X = \frac{0.8424 + S}{0.37}$$

となる関係式が得られ、X及びSはこの式を満足すればどのような値でもよいことになる。

洗浄用泥水	S	0	2	4	6
X-S	2.28	5.68	9.09	12.49	18.49
X	2.28	7.68	13.09	18.49	24.89
濃度 S/X	0%	26.0%	30.6%	32.4%	34.1%

泥水循環槽の大きさを考え7.68t/Rを循環量とする。

$$\rho_1 = 1.2$$

26wt%

シルト粘土

ベントナイト

水

計

$$\left. \begin{array}{l} 1.87\text{t}/\text{R} \\ 0.13\text{t}/\text{R} \end{array} \right\} 0.74\text{m}^3/\text{R}$$

$$\frac{5.68\text{t}/\text{R}}{7.68\text{t}/\text{R}} \quad \frac{5.68\text{m}^3/\text{R}}{6.42\text{m}^3/\text{R}}$$

(5) 排出+洗浄泥水

排土+洗浄水

12.47t/R + 0 = 12.47t/R

6.80t/R + 0 = 6.80t/R

シルト、粘土 ベントナイト 水	$4.07^1/R + 1.87^1/R = 5.94^1/R$ $0.28^1/R + 0.13^1/R = 0.41^1/R$ $5.13^1/R + 5.68^1/R = 10.81^1/R$	$6.35^1/R (93.5\%)$ (6.5%)	ベントナイト 水	$0.24^1/R - (0.05^1/R + 0.13^1/R) = 0.06^1/R$ $6.44^1/R - (1.33^1/R + 3.4^1/R) = 1.71^1/R$
計	36.43 ¹ /R		計	2.71 ¹ /R
泥水濃度	$6.35^1/R / (6.35^1/R + 10.81^1/R) = 0.37 (37\text{wt}\%)$		(11) 凝集剤 消石灰 泥水中のSS量	添加率 $50\text{kg}/\text{sst}$ $0.94^1/R$
$\alpha = \frac{\text{シルト、粘土、ベントナイト}}{\text{水}}$	$\alpha = 63.5^1/R / 10.81^1/R = 0.587$		消石灰濃度を 15%に溶解	溶解水 $= \frac{0.94^1/R \times 50\text{kg}/\text{sst} \times (1-0.15)}{0.15} = 266\text{kg}/R$
(6) 分離砂礫	砂礫の含水率を $W=20\%$ とすると		消石灰添加量	$50\text{kg}/\text{sst} \times 0.94^1/R = 47\text{kg}/R$
含水比補正	$\frac{0.2}{1 - 0.587 \times 0.2} = 0.227$		(12) 脱水ケーキ	
砂	12.47 ¹ /R		含水比	70%とする。
シルト、粘度	$4.37^1/R \times 0.587 \times 0.935 = 2.40^1/R$		シルト、粘土 ベントナイト 水	$\frac{0.94^1/R}{0.06^1/R} \} 0.37\text{m}^3/R$
ベントナイト	$4.37^1/R \times 0.587 \times 0.065 = 0.17^1/R$		計	$(0.94^1/R + 0.06^1/R) \times 0.7^1/R = 0.7^1/R \quad 0.70\text{m}^3/R$
水	$(12.47^1/R + 6.8^1/R) \times 0.227 = 4.37^1/R$		ケーキ比重	$1.7^1/R / 1.07\text{m}^3/R = 1.59$
計	26.21 ¹ /R		(13) 脱水	
(7) 分離泥水	(5)-(6)		脱水量	(10)、(11)の水 (12)の水 $(1.71^1/R + 0.266^1/R) - 0.7^1/R = 1.276^1/R$
シルト、粘土	$5.94^1/R - 2.40^1/R = 3.54^1/R (34.64\%)$		(14) 水収支	
ベントナイト	$0.41^1/R - 0.17^1/R = 0.24^1/R (2.35\%)$		消石灰溶解水	0.266 ¹ /R
水	$10.81^1/R - 4.37^1/R = 6.44^1/R (63.01\%)$		稀釈水	2.28 ¹ /R
計	10.22 ¹ /R		作泥水	0 ¹ /R
(8) 作泥水	分離泥水から作泥水を引抜く (1Ring分の作泥) 添加材		小計	2.546 ¹ /R
シルト、粘土	$1.97^1/R / 6.44^1/R \times 3.54^1/R = 1.08^1/R (0.73^1/R)$		脱水 差引計	$\frac{1.276^1/R}{1.27^1/R (\text{給水})}$
ベントナイト	$1.97^1/R / 6.44^1/R \times 0.24^1/R = 0.07^1/R (0.05^1/R)$		(15) 作泥配合	
水	$1.97^1/R (1.33^1/R)$		(a)回収泥水	
計	3.12 ¹ /R (2.11 ¹ /R)		シルト、粘土 ベントナイト 水	0.73 ¹ /R 0.05 ¹ /R 1.33 ¹ /R
(9) 泥水調整	循環泥水を初期濃度に調整する。 (4)より		計	2.11 ¹ /R
シルト、粘土	1.87 ¹ /R		(b)補給量	必要量 回収量
ベントナイト	0.13 ¹ /R		粘土	$0.73^1/R - 0.73^1/R = 0^1/R$
水	$1.87^1/R / 3.54^1/R \times 6.44^1/R = 3.4^1/R$		ベントナイト	$0.31^1/R - 0.05^1/R = 0.26^1/R$
稀釈水	$5.68^1/R - 3.4^1/R = 2.28^1/R$		計	0.26 ¹ /R
計	7.68 ¹ /R		回収率	$0.78^1/R / 1.04^1/R \times 100 = 75\%$
(10) 余剰泥水	$3.54^1/R - (0.73^1/R + 1.87^1/R) = 0.94^1/R$			
シルト、粘土				

4) 主要機器設備一覧表

名 称	仕 様	数 量	動 力 kw × 台数 = kw
△ 受入ホッパ	6m ³ 、クリズリススクリーン、スクリーンコンベヤフィード方式	1	22 ^{kw} × 1 = 22 ^{kw}
△ 一次分離ユニット	振動篩 3床ローヘッド1500w × 3000ℓ 上段ウェッジ・中段投入部洗浄 プール付ラバースクリーン、下段織網	1	7.5 ^{kw} × 1 = 7.5 ^{kw}
△ サイクロンポンプP ₁ スラリーポンプ	1.5m ³ /min × 22.5mH	1	30 ^{kw} × 1 = 30 ^{kw}
△ 液体サイクロン 150φゴムライニング		1	
△ ベルトコンベヤ	450B × 機長15m	1	5.5 ^{kw} × 1 = 5.5 ^{kw}
△ 泥水循環槽(A)	6m ³	1	1.5 ^{kw} × 1 = 1.5 ^{kw}
△ 泥水循環槽(B)	15m ³ 、差圧式比重計付	1	3.7 ^{kw} × 1 = 3.7 ^{kw}
△ 洗浄泥水移送ポンプ	スラリーポンプP ₂ 1.5m ³ /min × 10mH	1	15 ^{kw} × 1 = 15 ^{kw}
△ マダチサイクロン	75φ × 8個(1体形)	1	
△ サイクロン給液ポンプ	スラリーポンプP ₁₂ 1.2m ³ /min × 22.5mH	1	18.5 ^{kw} × 1 = 18.5 ^{kw}
△ 泥水引抜ポンプ	スラリーポンプP ₃ 0.5m ³ /min × 15mH	1	5.5 ^{kw} × 1 = 5.5 ^{kw}
△ 回収泥水槽	10m ³	1	3.7 ^{kw} × 1 = 3.7 ^{kw}
△ 作泥プラント移送ポンプ	スラリーポンプP ₄ 0.5m ³ /min × 15mH	1	5.5 ^{kw} × 1 = 5.5 ^{kw}
△ 余剰泥水移送ポンプ	スラリーポンプP ₅ 0.42m ³ /min × 10mH	1	5.5 ^{kw} × 1 = 5.5 ^{kw}
△ 消石灰溶解槽	1.5m ³	2	1.5 ^{kw} × 1 = 1.5 ^{kw}
△ 消石灰薬注ポンプ	スラリーポンプP ₆ 150ℓ/min × 10mH	1	1.5 ^{kw} × 1 = 1.5 ^{kw}
△ スラリー槽	3m ³	1	3.7 ^{kw} × 1 = 3.7 ^{kw}
△ フィルタープレス	2.25m ² 、自動開栓	1	7.15 ^{kw} × 1 = 7.15 ^{kw}
△ プレス打込ポンプ	スラリーポンプP ₆ 0.6m ³ /min × 50mH	1	22 ^{kw} × 1 = 22 ^{kw}
△ 泥水受槽	3m ³	1	
△ 泥水ポンプ	水中ポンプP ₇ 0.5m ³ /min × 15mH	1	3.7 ^{kw} × 1 = 3.7 ^{kw}
△ 中和ユニット	機械式 10m ³ /h	1	1.5 ^{kw} × 1 = 1.5 ^{kw}
△ 稀釈水槽	3m ³	1	
△ 稀釈水ポンプ	水中ポンプP ₈ 1.2m ³ /min × 15mH	1	5.5 ^{kw} × 1 = 5.5 ^{kw}
△ 余剰水ポンプ	水中ポンプP ₉ 0.2m ³ /min × 10mH	1	1.5 ^{kw} × 1 = 1.5 ^{kw}
△ 坑内排水処理ユニット	10m ³ /h	1	12 ^{kw} × 1 = 12 ^{kw}
△ ベルトコンベヤ	600B、ℓ=5m、25m	1	7 ^{kw} × 1 = 7 ^{kw}
計			190.95 ^{kw}

5) 処理コスト

泥土分離システムの概算処理コストを下記の条件下で試算する。

(1) 積算条件

掘進延長	700m
稼働日進行	6 R/日
月進行	$6 \text{ R/日} \times 0.9\text{m/R} \times 25\text{日/月} = 135\text{m/月}$
掘進工期	$700\text{m} \div 135\text{m/月} \approx 6\text{ヶ月}$
掘削土量	$700\text{m} \times \pi \times 4.08^2/4 = 9152\text{m}^3$

a) 泥土分離を行った場合の処理コスト

項目	内訳	費用
(1) 泥土分離プラント機械費	損料 現場修理費 輸送費 小計	$60,000\text{千} \times 50\% = 30,000\text{千}$ $60,000\text{千} \times 1\% = 600\text{千}$ $100\text{千/台} \times 15\text{台} \times 1\text{往復} = 1,500\text{千}$ 32,100千
(2) 電力料	電力料	$190.95\text{kWh} \times 0.4 \times 20\text{円/kWh} \times 16^2 \times 25\text{日/月} \times 6\text{ヶ月} = 3,666\text{千}$
(3) 運転経費	材料費 労務費 小計	1,000千 $2\text{人} \times 300\text{千/月} \times 2\text{交} \times 6\text{ヶ月} = 7,200\text{千}$ 8,200千
(4) 作泥材	粘土 ベントナイト 小計	$0.73\text{t/R} \times \frac{700\text{m}}{0.9\text{m/R}} \times 0.50 \times 15\text{千/t} = 426\text{千}$ $0.26\text{t/R} \times \frac{700\text{m}}{0.9\text{m/R}} \times 1.03 \times 25\text{千/t} = 5,207\text{千}$ 5,633千
(5) 残土処理	砂礫 ケーキ 小計 計	$12.46\text{m}^3/\text{R} \times \frac{700\text{m}}{0.9\text{m/R}} \times 0.8\text{千/m}^3 = 7,753\text{千}$ $1.07\text{m}^3/\text{R} \times \frac{700\text{m}}{0.9\text{m/R}} \times 2.3\text{千/m}^3 = 1,914\text{千}$ 9,667千 59,266千 掘削 m^3 当り $59,266\text{千}/9152\text{m}^3 = 6.476\text{千/m}^3$

b) 産業廃棄物として全量を処理業者に依託した場合の処理コスト

項目	内訳	費用
(1) 作泥材	粘土 ベントナイト 小計	$0.73\text{t/R} \times \frac{700\text{m}}{0.9\text{m/R}} \times 1.03 \times 15\text{千/t} = 8,772\text{千}$ $0.31\text{t/R} \times \frac{700\text{m}}{0.9\text{m/R}} \times 1.03 \times 25\text{千/t} = 6,209\text{千}$ 14,981千
(2) 残土処理	(産廃処理) 計	$10\text{千/m}^3 \times 9,152\text{m}^3 = 91,520\text{千}$ 106,501千 掘削 m^3 当り $106,501\text{千}/9,152\text{m}^3 = 11.637\text{千/m}^3$

c) 一般残土処理として全量投棄した場合の処理コスト

項目	内訳	費用
(1) 作泥材	粘土 ベントナイト 小計	$0.73\text{t/R} \times \frac{700\text{m}}{0.9\text{m/R}} \times 1.03 \times 25\text{千/t} = 8,772\text{千}$ $0.31\text{t/R} \times \frac{700\text{m}}{0.9\text{m/R}} \times 1.03 \times 25\text{千/t} = 6,209\text{千}$ 14,981千
(2) 残土処理	(ベッセル車) 計	$2.3\text{千/m}^3 \times 9,152\text{m}^3 = 21,050\text{千}$ 36,031千 掘削 m^3 当り $36,031\text{千}/9,152\text{m}^3 = 3.937\text{千/m}^3$

〔注〕

上記比較は概算であり、共通部分については、積算より除いている。

掘削による排土が将来産業廃棄物としての法的規制を

受けたという条件下で考えた場合には、コスト比較で示されているように、全量を産業廃棄物として処理業者に依託した場合のコストに比較し、56%となりコスト面では有利である。

§ 5. 今後の開発

ケーススタディの結果としていえることは、理論的には泥水シールド工法における処理技術を応用することによって、土圧系泥土圧式シールドの生コン状の排土の処理と、添加材としての泥土材の回収及びその再利用について、適応性のあるシステムであるとの結論に達する。

しかしながら、これを実証プラントとして稼働させるためには、今後、多面的な基礎研究が必要であり、それなりの対応が必要である。

このシステムについて、今後の検討課題は次のようにいえる。

本システムについては、泥水シールドの泥水処理システムの応用ということから、泥土の分離を、従来形の水平振動篩に、洗浄プールによる洗浄機能をもたせたものでケーススタディを試みた。生コン状もしくはこれに近い状態の土砂を分級するためには、従来形の振動篩では、その機構上から排出土に稀釈水を添加することが必要で、一担スラリーに変化させて分級を行わなければならない。その結果として余剰泥水の発生を生ずる。したがって、この余剰泥水の処理のために、泥水処理システムと同様な脱水工程が必要となる。このことは処理システムとしての、コンパクト化、簡素化を防げる要因ともいえるのである。

システムの合理化、コンパクト化、経済性の追求を図るためには、この篩に変えて、排土性状そのままの物性で分級可能な機械の開発が必要である。

その一方法論として、円筒形分級機の採用も適応性の面で確度の高い機種であると考えられる。従来形の水平振動篩は、ふるい分け力として重力を利用しており、したがってそのふるい力は1 G以上にはなり得ない。また、粒子を網面に添って搬送する必要から、振動方向を網面に対して傾斜させるのが一般である。

円筒形分級機は、遠心力を利用することによって4 G以上のふるい力を発生させ網面積当りのふるい能力を向上させるとともに、粒子の輸送には重力を利用することで、網面に直角な振動を与えることができる。この結果として、従来形の水平振動ふるいに比較し、ふるい分けが難しいとされていた物質のふるいが可能といわれている。

本機の構造は Fig.3 に示すように、本体に吊下げられたパワーユニットは、その偏心シャフトを高速回転され、円筒分級網は水平面内で高速円振動を行う。一方ギヤー装置によってパワーユニットには、シャフト回りの低速回転が伝達される。この結果、分級網はシャフト回りの低速回転と、高速回転振動の合成運転を行う。

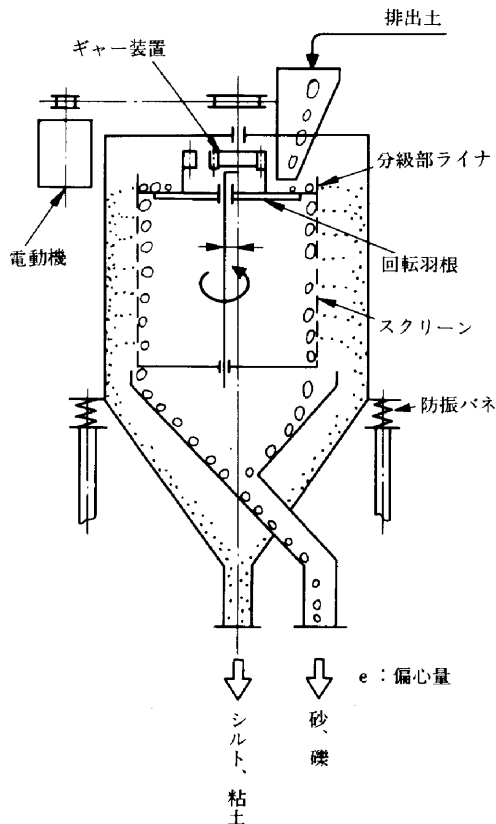


Fig.3 円筒形分級機概要図

投入シュートから供給された原料は、回転羽根が定速高速回転をしているため、回転羽根にほぼ均一に分配されると同時に、遠心力を与えられて分級部ライナー面に直角に、一様に供給される。回転板によって回転スピードを与えられた粒子は、分級網の回転スピードとほぼ同一のスピードで回転するため、強力な遠心力を受け、大きなふるい分力が与えられる。

一方、網面に直角方向の高振動によって粒子の目詰まり、付着が防止され、重力によって網面上を落下し、輸送、排出される。この間に粒子は分級網とほぼ同一の回転を分級網から与えられるため、ふるい分けに十分な遠心力を保ち続けることができる。

処理能力は一般に、水平設置直線振動形篩機に比較すると、単位面積当りの能力は1.5～2倍となるといわれている。円筒形分級器の遠心力と処理能力は、次のよう

に与えられる。

オリフィスから種々の粉体を流出させる場合、単位時間当りの流出量 W は、オリフィス径 D_o 、粉体の見掛け比重 ρ_B とすると、

$$\frac{W}{\rho_B} \propto D_o^n \quad (n=2.5 \sim 3.0)$$

となる関係式にあることが実験によって証明されている。

一方、粉体オリフィスの理論、次元解析などによって流出量は

$$\frac{W}{\rho_B} \propto \sqrt{g} \cdot D_o^{5/2}$$

の式に帰着することが知られている。上式から流出量は重力加速度の平方根に比例することが解る。これら粉体オリフィス理論はふるい分け理論の基本として通用されており、ふるいからの流出速度は、多くの粉体についても実験的に次式で与えられる。

$$\frac{W}{\rho_B} = \gamma \cdot D_s^n \cdot D_p^{-2}$$

ここで γ : 定数

D_s : 網目開き

D_p : 粉体の平均径

ρ_B : 粉体の粒子真比重

上式は粉体オリフィス理論との対比から式中の定数 γ は $\sqrt{g}$ に比例することになる。したがって、円筒形分級機は重力 (g) の代りに、遠心力 $R\omega_1^2$ (R : 円筒形半径, ω_1 : 円筒形の角速度) によってふるい分けられるので、単位面積当りの流出速度の式は、

$$\frac{W}{\rho_p} \propto \sqrt{R\omega_1^2} \cdot D_s^n \cdot D_p^{-2}$$

となり、 $\sqrt{R\omega_1^2}$ に比例することが解る。したがって、通常の水平形振動篩に比べてその処理能力は、理論的には $\sqrt{\frac{R\omega_1^2}{g}}$ 倍の能力の向上を図ることが可能といえる。

以上述べたごとく、回転分級機の泥土分離システムへの適応性は、確度が高い。しかしながら、高粘性の添加材を含有する排土、礫に対する網の耐久性、分離性能、対してどの程度の適応性を有するかは、今後の基礎的研究の積み重ねによって、解明する必要がある。円筒形分級機を適応した場合の泥土分離システムのフローは Fig.4 のように変化する。

§ 6. あとがき

土圧系泥土圧シールド工法の歴史は比較的浅く、残土

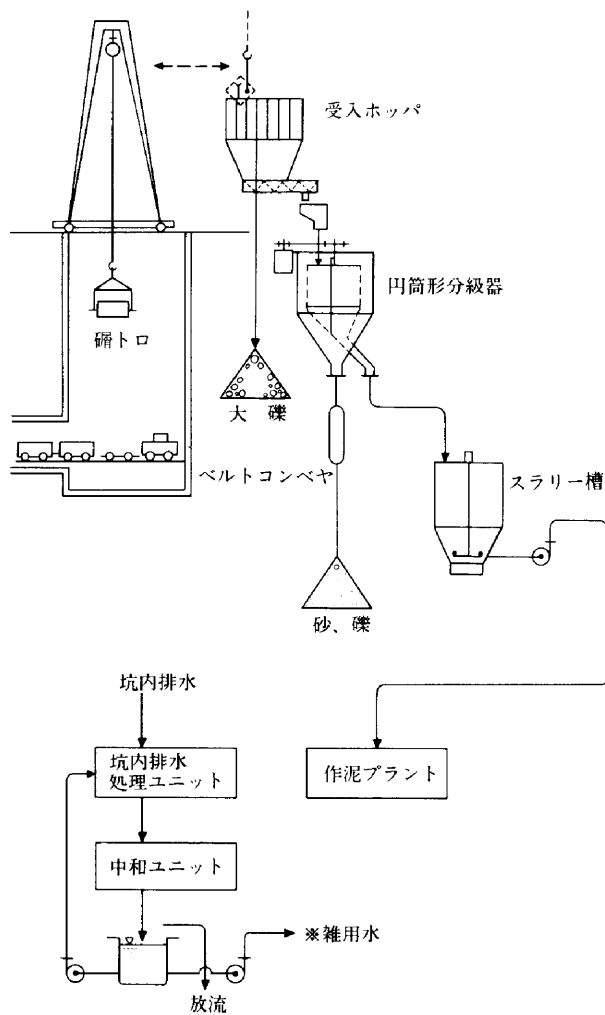


Fig.4

処理は確かにこれからの問題であろう。現状では、指定残土捨場の確保、あるいは第3者処理等で表面上に問題として表われてはいないが、今後、その工法の普及によって、残土捨場の確保の困難さ、第3者公害への影響等の背景から、近い将来法的制約の中におかれることが予測される。したがって、それまでにこの工法に対する泥土分離システムの開発を進める必要がある。

本報告書は、一つのケースについて考察を行ったに過ぎない。今後、自由な発想と、柔軟な技術的対応による、合理的なシステムの開発がなされる過程で、何等かの参考になれば幸甚である。

参考文献

- 「ふるい分け、分級、破碎」近畿粉体工学研究所編 日刊工業新聞社
- 「小口径泥漿シールド工法」技術資料 日立造船株式会社