

土工事における濁水処理に関する研究 (第11報)

——粘土地盤を対象とした某泥水シールド工事の排泥水処理——

喜田大三 漆原知則
辻博和

Studies of Muddy Water Treatment in Earthwork (Part 11)

——Treatment of Discharged Slurry in a Certain Slurry
Shield Excavation at a Clayey Site——

Daizo Kita Kazunori Urushibara
Hirokazu Tsuji

Abstract

A certain slurry shield tunnel was excavated in clayey soil. At the planning stage, there was concern about difficulties in treating discharged slurry. In actual work, the degree of soil dispersion was low, and the greater part of excavated soil was removed as coarse particles by a rotary classifier in primary treatment, while there was little surplus slurry with dewatering smoothly done by a roll-pressing machine in secondary treatment. The removal rate of excavated soils in primary treatment was high at about 75%, the reason for which was presumed to be that the liquidity index of the soil was low at about 0.5. The maximum treated dry solids of slurry at the roll-pressing machine was 2.0 to 2.9t per hour, higher than at other job sites, which was thought to be because suspended solids in surplus slurry were not all dispersed, but existed as aggregate particles.

概 要

安治川泥水シールド工事の掘削地盤は粘土であったため、設計当初、掘削にともなって排泥水処理が困難になることが懸念された。しかし、実際には地山粘土の解膠程度が低く、掘削土の大部分は粗粒な土塊としてロータリー分級機による一次処理で除去でき、余剰泥水を処理するロールプレス型脱水機による二次処理の負荷量は少なく、円滑に排泥水を処理することができた。一次処理のロータリー分級機による掘削土の除去率は約75%であり、このように地山粘土の解膠程度が低かった原因は地山粘土の液性指数が約0.5と低かったことによると推定した。また、二次処理の1700型ロールプレス型脱水機の最大処理固形分量はベルト速度1m/minで2t/hr、ベルト速度2m/minで2.9t/hrであった。このように、最大処理固形分量が他現場に比べて大きかった原因は、余剰泥水中の固形分が完全には解膠しておらず、微細ながらも団粒の状態であったことによると推察した。

1. はじめに

泥水シールド工法における泥水の役割は、掘削切羽の崩壊防止・掘削土の流体輸送による搬出などであり、その果たす役割は非常に大きい。掘削土の流体輸送に伴って、地上での排泥水中から掘削土を分離する工程は工事にとって重要である。この分離処理すなわち排泥水処理が所定時間内(1リングのサイクルタイム内)に終了しない場合には、シールド機の掘進を左右することになり、工事の工期・工費に大きな影響を及ぼす。

さて、大阪瓦斯(株)発注の安治川泥水シールド工事の掘削地盤は粘土であったため、設計当初、掘削に伴って排泥水処理が困難になることが懸念された¹⁾。しかしながら、実際には掘削時の地山粘土の解膠程度が低く、掘削土の大部分は粗粒な土塊として一次処理で除去でき、余剰泥水を処理する二次処理の負荷量は少なく、円滑に排泥水を処理することができた。

この報告では、排泥水処理における一次処理装置のアカエ式分級機、二次処理装置のロールプレス型脱水機の処理状況を述べ、その処理結果を地山の物理的性状およ

びシールド掘削機の掘削状況などから考察する。

2. 現場の概要

2.1. 泥水シールド工事の概要²⁾

(1)工事概要 : 大阪瓦斯(株)の堺・北港連絡ガス幹線導管の敷設工事であり、シールド機は安治川河口部の水面下約30mの河底を通過する。

- (2)シールド外径: 3.35 m
- (3)セグメント幅: 0.90 m
- (4)総延長 : 375.2 m
- (5)土被り厚 : 陸上部 33 m, 河川部 17 m
- (6)掘削工期 : 昭和53年10月～昭和54年1月

2.2. 土質

シールド通過部の土質柱状図を図-1に示す。

- (1)地質 : 沖積粘土層
- (2)N値 : 5～7
- (3)粘着力 : 約 10 tf/m²
- (4)土粒子の比重: 2.71
- (5)土の自然含水比: 47～49%
- (6)土の湿潤密度: 1.73～1.75 t/m³
- (7)土の粒度分布: シルト分40%, 粘土分60%
- (8)土のコンシステンシー: 液性限界74%, 塑性限界24%, 液性指数0.46

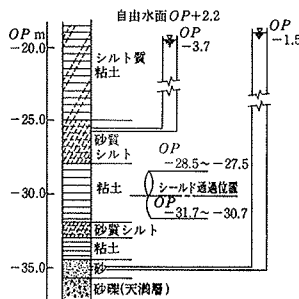


図-1 シールド通過の土質柱状図

2.3. 掘削状況

- (1)泥水関係
 - 切羽水圧: 2.80～2.85 kgf/cm²
 - 送泥水量: 2.9～3.7 m³/min
 - 排泥水量: 3.5～4.0 m³/min
 - 送泥水密度: 1.06～1.15 t/m³
 - 排泥水密度: 1.10～1.20 t/m³
- (2)掘削機関係
 - ジャッキ速度: 45～60 mm/min
 - カッター回転数: 1.0～2.0 rpm
 - ジャッキ推力 : 420～520 tf
 - カッター圧力 : 50～70 kgf/cm²
- (3)掘進関係
 - 掘削時間: 15～25 min/Ring
 - セグメント組立時間: 30～45 min/Ring
 - 1リングの作業時間: 45～60 min/Ring

掘進速度: 8～12 Ring/10 hr/day

2.4. 送排泥水システム

送排泥水システムの基本フローを図-2に示す。掘削土を含んだ排泥水はすべて地上に送られ、まず、アカエ式分級機によって排泥水中の粗粒な土塊状の土砂を分離した(一次処理)。粗粒な土砂の分離された排泥水は原水槽に貯留され、その一部は泥水密度を調整したのち調整槽に送られ、送泥水として使用した。また、原水槽の余剰泥水はロールプレス型脱水機によって加圧脱水し、脱水ケーキとして排出した(二次処理)。その際、脱水機からの分離水は一度沈殿槽に貯留したのち、先に述べた送泥水作成用の希釈水として利用した。

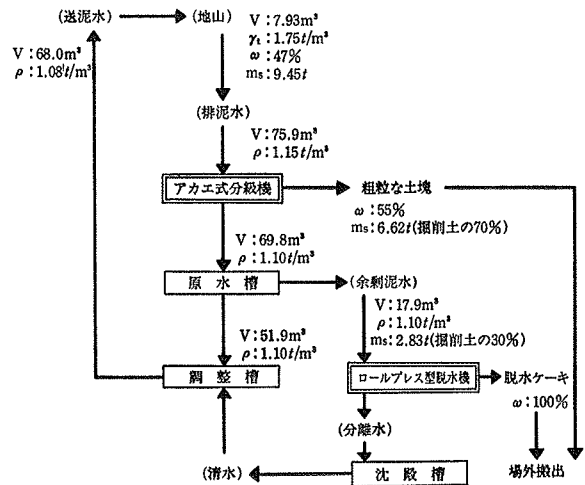


図-2 基本的送排泥水システム

2.4.1. アカエ式分級機による一次処理

(1) 処理装置

アカエ式分級機の構造説明図を図-3に示す。

(2) 処理方法

この装置はロータリー分級機の改良形で、ラセン羽根の特殊な排出機構によってベルトコンベヤなしに沈降した粗粒な土砂をドラム外へ搬出できる。回転ドラム内の水容量は15m³であり、泥水の滞留時間は約4分である。したがって、ドラム内で沈降除去できる土砂は0.2mm程度までの比較的粗粒な土砂である。

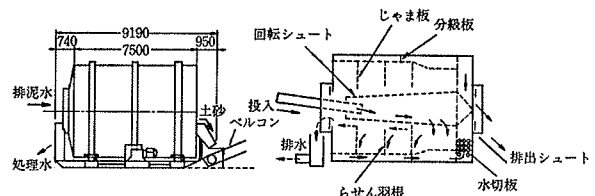


図-3 アカエ式分級機の構造図

2.4.2. ロールプレス型脱水機による二次処理

(1) 処理装置

二次処理に使用した主な機械装置は以下の通りである。無機系凝集剤溶解槽 1槽, 同貯蔵槽 1槽・高分子凝集剤溶解槽 2槽・同貯蔵槽 1槽・凝集反応槽 2基・造粒脱水機 2基・ロールプレス型脱水機 2基 (1700型 & 1150型デハイプレス)。

(2) 処理方法

ロールプレス型脱水機を用いた処理システム「(Mud Press 工法 (ロールプレス方式))」は図-4に示す通りである。処理システムの詳細は既報で報告済であるので参照されたい³⁾⁴⁾。なお, 今回の工事では, 凝集剤は無機系凝集剤として塩化カルシウムを, 高分子凝集剤として弱アニオン系ポリアクリルアミドを使用した。

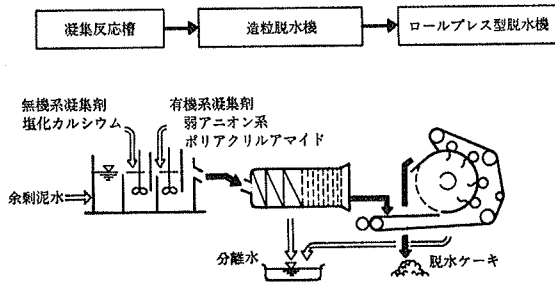


図-4 Mud Press 工法 (ロールプレス方式) の処理システム

3. 排泥水処理結果

3.1. 一次処理について

3.1.1. 掘削土の除去率 シールド機で掘削した際, 地山粘土の解膠程度は低く, 掘削土の大部分は粗粒な土塊として, アカ工式分級機による一次処理で除去することができた。掘削時の送泥水の密度と一次処理後の排泥水の密度との測定結果の一例を表-1に示す。

上記の送泥水と排泥水の密度の測定結果を用いて, 1リング当りの物質収支から, 各リングにおける一次処理による掘削土の除去率を算出した。その値を前掲の表-1に併記した。なお計算に際しては, 地山の湿潤密度は

リング数	376	382	386	390	391	392	393	397	398
掘削時間 (min)	20	19	20	22	25	23	23	26	23
カッター回転数 (rpm)	1.5	1.5	1.5	1.8	1.8	1.8	1.8	2.0	2.0
送泥水量 (m ³ /min)	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4
送泥水の密度* (t/m ³)	1.068	1.084	1.080	1.077	1.081	1.093	1.095	1.071	1.077
一次処理後の排泥水の密度* (t/m ³)	1.081	1.102	1.105	1.103	1.110	1.119	1.118	1.103	1.107
一次処理による掘削土除去率 (%)	84	79	68	64	52	61	65	46	55

*密度の測定値は8~10点の平均値

表-1 送泥水および一次処理後の排泥水の密度測定結果

1.752 t/m³ (含水比 47%), 一次処理によって除去される分離土砂の湿潤密度は1.687 (含水比55%)とした。

表から明らかなように, 一次処理による掘削土の除去率は40~84%の範囲にあった。ところで, この除去率に影響する因子としては, 地山の土の土質性状は勿論のこと送泥水の性状さらにはシールド機による掘削状況 (特に掘進速度とカッター回転数など) も大きく影響すると考えられる。今回測定した区間の土質は3.1.2.で後述する分離土砂の性状などから判断して大きな変動はないと考えられる。そこで, 1リング当りのカッターの総回転数 (カッター回転数×掘削時間) と掘削土の除去率との関係を図-5に示す。

図から明らかなように, シールド機のカッターの総回転数の増大とともに掘削土の除去率は減少している。しかも, 両者の相関は非常に大きい。このことから, 土質性状に大きな変動がない場合, 一次処理による掘削土の除去率はシールド機の掘削状況に大きく影響されることが判明した。

ところで, 本測定期間中の390リング以降は, 掘削地盤中に木杭が存在し, 木杭を切削しながら掘進せねばならず, 掘削時間を長くし, しかもカッター回転数を大きくしたので, 特殊なケースである。したがって, 測定区間の土質性状を示す地盤を掘削時間15~20分, カッター回転数 1.2~1.5 rpm で掘削した場合, 一次処理による掘削土の除去率は68~84% (平均75%) であると推定した。

3.1.2. 分離土砂の性状 一次処理によって除去された分離土砂の形状は, 最大径が 7~10 cm 程度の角状又は扁平状の土塊である。分離土砂の土質試験結果を表-2に示す。

分離土砂の含水比は52~58% (平均55%) であった。

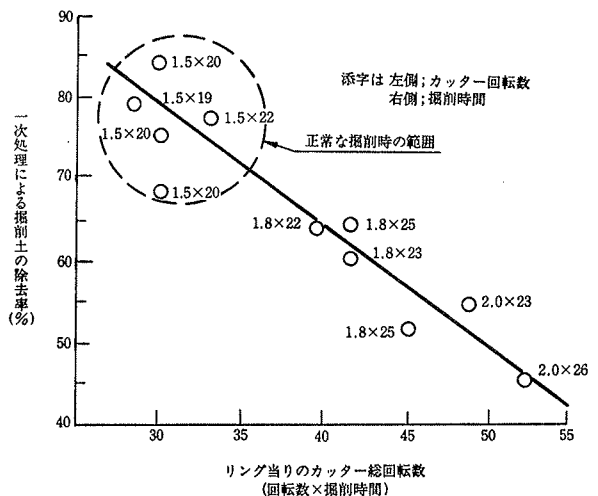


図-5 一次処理による掘削土の除去率

ところで、土塊の表面部はヌルヌルして軟らかいが、中心部は表面部と比較して硬く、その含水比は45~48% (平均 47%) で地山の自然含水比とかわらないと考えられる。

項目	リング数					平均
	376	382	392	398		
含水比	土塊の全体 (%)	53.9	58.0	53.2	52.3	54.4
	土塊の中心部 (%)	48.1	47.3	44.9	47.5	46.9
粒度分布	砂分 (%)	1	1	2	1	1
	シルト分 (%)	36	41	45	48	43
	粘土分 (%)	63	58	53	51	56
コンシステンシー特性	液性限界 (%)	72.6	72.5	73.9	76.8	74.0
	塑性限界 (%)	22.4	24.6	23.9	24.2	23.8
	塑性指数	48.2	47.9	50.0	52.6	50.2
	コンシステンシー指数	0.51	0.53	0.58	0.56	0.54
	液性指数	0.49	0.47	0.42	0.44	0.46

表-2 一次処理による分離土砂の性状

そこで、中心部の含水比を掘削地山の自然含水比と考えて、掘削地山の液性指数を算出すると、0.42~0.49 (平均 0.46) であった。液性指数は自然含水比と塑性限界との差を塑性指数で割ったもので、相対含水比ともよばれ粘性土の相対的硬さあるいは安定度を示す指標である。この値がゼロに近いほど安定な状態にあることを意味し、1に近い場合には自然含水比が液性限界に近く、このような土を乱せば液状を呈することを示し、著しく不安定化する危険性のあることを示している。一般の沖積粘土の液性指数は0.7~0.9である。

このことから、当工事の掘削地山の液性指数が0.42~0.49と低かったことが、3.1.1. で述べたように掘削による地山粘土の解膠程度が低く、一次処理による掘削土の除去率が68~84%と大きかった原因の一つであると推定される。もちろん、掘削による地山粘土の解膠程度は上記の液性指数ばかりでなく、地山の粒度分布・送泥水の性状等も大きく影響すると考えられ、これらについては目下検討中であり、追って報告する予定である。

3.2. 二次処理について

掘削に際し、上述のアカエ式分級機による一次処理で除去できなかった掘削土は、当然のこととして余剰泥水として発生した。この余剰泥水はロールプレス型脱水機で二次処理した。

3.2.1. 凝集剤の使用状況 余剰泥水の密度と凝集剤

(塩化カルシウムと弱アニオン系ポリアクリルアミド)の添加濃度との関係を図-6に示す。たとえば、泥水密度1.10 t/m³の余剰泥水に対し、塩化カルシウムの添加濃度は約500 ppm、ポリアクリルアミドの添加濃度は約200 ppmであった。

ところで、余剰泥水を家庭用ミキサーで完全解膠して凝集実験を実施したところ、凝集剤の必要添加濃度は前掲の図-6に併記したように、泥水密度1.10 t/m³の泥

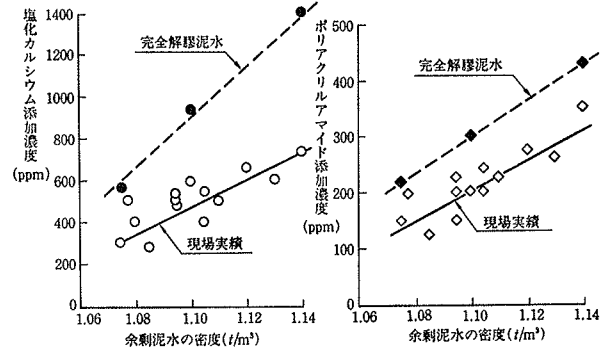


図-6 凝集剤の添加濃度

水に対し、塩化カルシウムが950 ppm、ポリアクリルアミドが300 ppmであった。このように、完全解膠泥水を凝集させるに必要な凝集剤の添加濃度に対して、現場余剰泥水の添加濃度は塩化カルシウムで0.53~0.55、ポリアクリルアミドで0.67~0.71と低かった。

このことは、余剰泥水中に含まれる固形分が完全には解膠されておらず、微細ながらも団粒の状態であったことによると推察される。

3.2.2. 処理量 ロールプレス型脱水機による当現場

の余剰泥水の処理量は、主に余剰泥水の密度・凝集剤の添加濃度・脱水機のベルト速度に影響されていた。

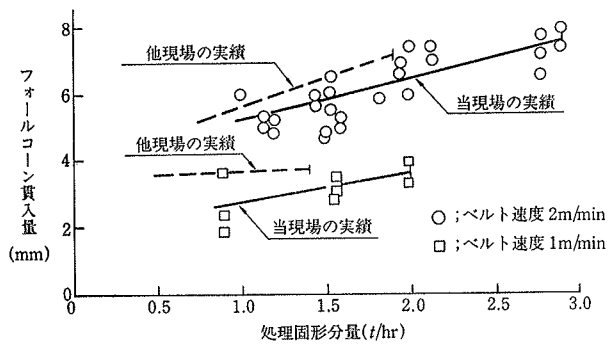
そして、3.2.1. で示した凝集剤の添加条件下でのロールプレス型脱水機の最大処理量の実績を表-3に示す。すなわち、1700型のロールプレス型脱水機の最大処理固形分量は、ベルト速度1 m/min で2.0 t/hr・ベルト速度2 m/min で2.9 t/hrであり、1150型のそれは、ベルト速度1 m/min で1.4 t/hr・ベルト速度2 m/min で2.1 t/hrであった。

以上のような処理能力を持つロールプレス型脱水機を設置した当現場における1リング当りの余剰泥水の処理時間について、以下に述べる。

1リング当りの余剰泥水量が最も多かったのは河底部の掘削時であり、その際の余剰泥水中の固形分量は約4 t/Ringであった。この状態においても2台の脱水機を稼働させることによって、1リング当りの余剰泥水の処理を50~60 minで完了することができ、シールド機の

ベルト速度	1700型ロールプレス		1150型ロールプレス		脱水ケーキの性状	
	最大処理固形分量	最大処理泥水量 (ρ=1.10t/m³)	最大処理固形分量	最大処理泥水量 (ρ=1.10t/m³)	フォルクオン貫入量	含水比
2m/min	2.9t/hr	18.4m³/hr	2.1t/hr	13.1m³/hr	6~8mm	95~110%
1m/min	2.0t/hr	12.5m³/hr	1.4t/hr	8.8m³/hr	2~3.5mm	75~90%

表-3 Mud Press 工法 (ロールプレス方式) の処理能力



図一七 処理固形分量と脱水ケーキの
フォールコーン貫入量との関係

掘進に支障をきたすことはなかった。

ところで、既報⁴⁾で報告した古川幹線泥水シールド工事における1700型ロールプレス型脱水機の最大処理固形分量は、ベルト速度 1 m/min で 1.4 t/hr・ベルト速度 2 m/min で 1.9 t/hr であった。この値に比べて、当現場の最大処理固形分量は上述したように、約1.5倍と非常に大きかった。両現場における余剰泥水中の固形分のコンシステンシーがほぼ同じであることから、当現場における最大処理固形分量が大きかった原因は、先の3.2.1.で述べたように、余剰泥水中に含まれる固形分が完全には解膠されていなかったことによると推察される。

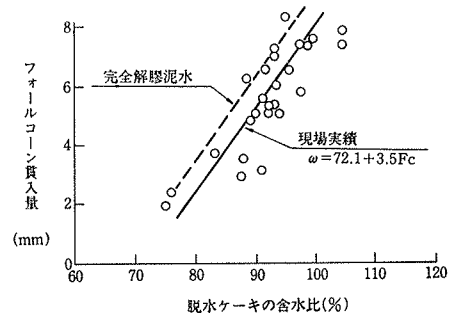
3.2.3. 脱水ケーキの性状 脱水ケーキの性状として含水比の他に現場において性状を簡易に把握する方法として、不攪乱状態の脱水ケーキのフォールコーン貫入量も測定した。処理固形分量とフォールコーン貫入量との関係を図一七に示す。

ベルト速度が 1 m/min の場合、脱水ケーキの含水比は75~90%で、フォールコーン貫入量は 2~3.5 mm であった。これに対して、ベルト速度が 2 m/min の場合脱水ケーキの含水比は95~110%で、フォールコーン貫入量は 5~8 mm であり、ベルト速度 1 m/min の場合に比べてやや軟かい状態であった。しかしながら、ダンプトラックでの運搬には何ら支障を来すことはなかった。

つぎに、脱水ケーキの含水比 (W%) とフォールコーン貫入量 (Fc mm) との関係を図一八に示す。図から明らかなように、両者は高い相関にあり、以下の式に近似できた。

$$W = 72.1 + 3.5Fc \left(\begin{array}{l} n = 32 \\ r = 0.73 \end{array} \right)$$

さて、図一八には、余剰泥水を完全に解膠したのち、ロールプレス型脱水機で処理した際の脱水ケーキについての関係も併記した。現場の余剰泥水から発生する脱水ケーキのフォールコーン貫入量は、完全に解膠された泥水に比べて、同一含水比では 0.5~1.0 mm 低くなって



図一八 脱水ケーキの含水比とフォールコーン貫入量との関係

いる。これは、3.2.1.および3.2.3.でも述べたように、余剰泥水中に含まれる固形分が完全には解膠されておらず、微細ながらも団粒の状態にあり、脱水ケーキ中で粗粒分として挙動していることによると考えられる。

4. まとめ

安治川泥水シールド工事の掘削地盤は粘土であったため、設計当初、掘削に伴って排泥水処理が困難になることが懸念された。

しかしながら、実際には地山粘土の解膠程度が低く掘削土の約75%は粗粒な土塊としてアカエ式分級機による一次処理で除去できた。このように地山粘土の解膠程度が低かった原因は地山粘土の液性指数が約 0.5 と低かったことによると推定した。

一次処理で除去できなかった掘削土は余剰泥水として発生し、この余剰泥水はロールプレス型脱水機で二次処理した。1700型のロールプレス型脱水機の最大処理固形分量はベルト速度/minで2.0 t/hr・ベルト速度 2 m/min で 2.9 t/hr であった。このように、最大処理固形分量が大きかった原因は、余剰泥水中の固形分が完全には解膠されておらず、微細ながらも団粒の状態であったことによると推察した。

おわりに、本研究を行なうにあたり、現場測定に協力して下さりなおかつ貴重な御指導をいただいた小笹孝所長、岡修一土木主任、大堀堯義機電主任以下工事事務所の皆様に深く謝意を表します。

参考文献

- 1) 喜田, 辻: 大林組技術研究所報, No. 14, (1977)
- 2) 小笹, 岡: 施工技術報告会講演集, 土木学会, 日本建設機械化協会, 土質工学会共催, (1980)
- 3) 喜田, 辻: 大林組技術研究所報, No. 15, (1977)
- 4) 喜田, 辻, 漆原: 大林組技術研究所報, No. 18, (1979)