

土工事における濁水処理に関する研究 (第9報)

——「Mud Press 工法(ロールプレス方式)」による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 on Muddy Water Treatment in Earthwork (Part 9)

——Treatment of Discharged Slurry by “Mud Press Method (Roll-Pressing Type)”
in Slurry Shield Excavation——

Daizo Kita Kazunori Urushibara
Hirokazu Tsuji

Abstract

A slurry shield tunnel excavation method was adopted for constructing a certain sewage line. At gravelly soils, primary treatment (removal of coarse soil particles) was enough to treat discharged slurry. At soils constituted by gravelly soil and clayey soil layers, however, this was not enough and secondary treatment (dewatering of fine soil particles) was necessary to be provided in addition to primary treatment. Therefore, discharged slurry was treated by the “Mud-Press Method (Roll-Pressing Type)”. The results may be summarized as follows. (1) The capacity of the method is mainly affected by the density of the slurry, flocculants, and the belt speed. (2) Under the condition that flocculant was suitably used, maximum treated volumes of discharged slurry, the density of which was 1.10, were 9 to 12 m³ per hour and the water contents of roll-pressed cakes were then 70 to 105%.

概 要

某下水道幹線の築造工事に泥水シールド工法が採用された。掘削地盤の土質は砂礫層が主体であったが、一部砂礫層と軟弱シルト層の積層を呈した。排泥水処理として、砂礫層の場合には一次処理(粗粒分の除去処理)だけで十分であったが、軟弱シルト層との互層では一次処理だけでなく二次処理(細粒分除去のための脱水処理)が必要となった。

二次処理には当社が開発した「Mud Press 工法(ロールプレス方式)」を採用し、以下のことが判明した。当現場における「Mud Press 工法」の処理能力は主に排泥水の比重・凝集剤・ベルトの送り速度に影響される。適正な凝集剤の添加条件下で、たとえば、比重1.10の排泥水でベルト速度1~2m/Mの場合、ロールプレス型脱水機1台当りの最大処理量は9~12m³/Hであり、その際の脱水ケーキの含水比は70~105%であった。

1. はじめに

近年、都市の再整備が叫ばれ、その一環として、上下水道・ガスその他の輸送設備、電信電話・動力用電線などの共同構あるいは地下鉄などの建設工事が急がれている。この工事に際してはシールド工法が広く採用されている。そして、シールド工法の一つとして開発された泥水シールド工法はいまやシールド工法の主流になりつつある。

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、切羽面からの地下水の流入防止、掘削土砂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。さて、泥水シールド工法では、上述のように、掘削土を泥水中に保持せしめて搬出するので、泥水の一部は必ず排泥水として除去しなければならない。当然のこととして、排泥水はその濃度も高くまたその発生量も多い。しかも連続的に発生してくる。したがって、排泥水処理は泥水シールド工事の中で非常に重要な工程である。特に、軟弱な粘土やシルト層を対象とした工事では、排泥水処理の能力がシールドの掘進を左右すること

もあり、その処理方式の確立が望まれていた。

著者らは、工事現場という狭い敷地内で、排泥水を連続的に処理することができしかも処理操作が容易である処理工法として、「Mud Press 工法 (ロールプレス方式)」を開発し、その内容等に関してすでに報告している¹⁾²⁾。

本報告では、古川幹線泥水シールド工事における「Mud Press 工法 (ロールプレス方式)」の処理実績を紹介する。

2. 現場の概要

2.1. シールド工事の概要

工事内容：下水道幹線築造工

シールド外径：4,200 m

セグメント幅：0.900 m

総延長：1290 m

2.2. 土質

シールド通過部の標準的土質柱状図を図-1に示す。

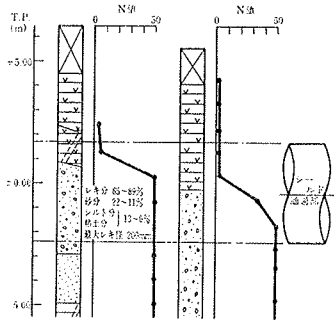


図-1 シールド通過部の土質柱状図

土被り厚 4~7 m と浅い所を掘削するため、シールド通過部の土質は近くを流れる中川河川の過去の流況によって生成した砂礫層と軟弱シルト層である。そして大部分は砂礫層が主体であったが、一部では砂礫層と軟弱シルト層がほぼ1:1の互層を呈した。

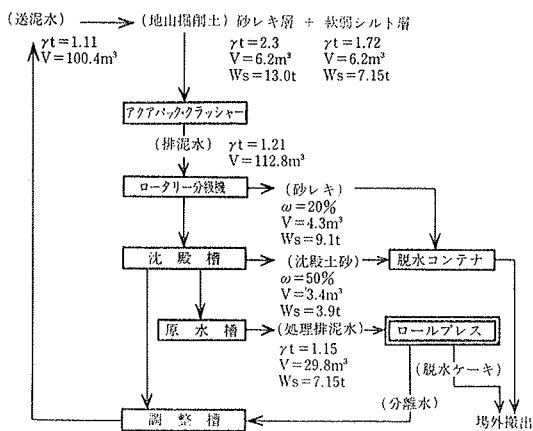


図-2 送排泥水の基本フロー
(掘削土中の砂礫層とシルト層が1:1の場合)

2.3. 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。

当現場では、砂礫層中の大径礫に対する処理として当社が開発したクラッシャ方式³⁾を採用し、シールドマシンと排泥管の間にアクアパッククラッシャを2台セットしている。そしてクラッシングされた砂礫も含めて掘削土はすべて地上に送られ、排泥水処理される。まず、ロータリー分級機で5 mm 以上の礫分を除去したのち、沈殿槽で残りの粗粒分を沈殿除去した。掘削土の土質が砂礫層主体の場合には、以上の一次処理だけで排泥水処理は十分であった。しかしながら、軟弱シルト層の占める割合が多くなると、一次処理だけでは不十分で、細粒分除去のための脱水処理が必要となった。当現場では、「Mud Press 工法 (ロールプレス方式)」の処理プラントを設備し、排泥水処理を行なった。

2.4. 一次処理後の排泥水の性状と発生量

2.2.で述べたように、シールド掘削機通過部の土質の主体は砂礫層であったが、「Mud Press 工法」による排泥水処理を必要とする軟弱シルト層の占める割合は近くを流れる中小河川の過去の流況に影響され、各地点で異なっていた。したがって、処理する排泥水の性状特にその比重は大きく変動した。排泥水の性状を表-1に示す。

排泥水の性状		固形分の物理的性質	
比重	1.10~1.23	真比重	2.63~2.66
砂分濃度	5~10%	粘土分	20~40%
ファンネル粘度	21~28sec	液性限界	60~75%
pH	8.7~10	塑性指数	32~41

表-1 排泥水の性状

特に排泥水の比重の変動幅は大きく1.10~1.23の範囲であった。しかしながら、排泥水の固形分の物理的性質はそれほど変動せず、たとえばその液性限界は60~75%の範囲にあった。

そして、二次処理を必要とする排泥水量は、当然のこととして、掘削土中に占める軟弱シルト層の割合によって決定される。その最大量は地盤中に占める軟弱シルト層が最も多い場合で、その際の送排水の物質収支を前掲の図-2に併記したように、1リング当りの排泥水量は比重1.15で約30 m³であり、その固形分量は7.15 tであった。

3. 「Mud Press 工法」による排泥水処理実績

3.1. 処理装置および処理システム

前章で述べたシルト層に由来する排泥水を、「Mud Press 工法 (ロールプレス方式)」で処理するに際し、使用した主たる機械装置は無機系凝集剤溶解貯蔵槽 (5 m³

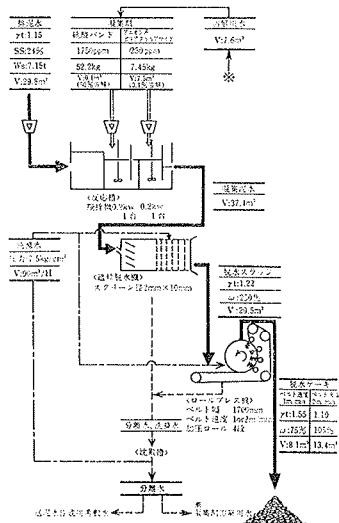


図-3 「Mud Press 工法(ロールプレス方式)の排泥水処理システム

容) 1槽・有機系高分子凝集剤溶解貯蔵槽(5 m³ 容) 2槽・凝集剤反応槽 2槽・造粒脱水機 2機・ロールプレス型脱水機(F型デハイプレス1700) 2機である。これらの機械装置は上下2段に設置され、その設置面積は96m²(12×8 m)である。

つぎに、「Mud Press 工法(ロールプレス方式)」による排泥水処理システムを図-3に示す。排泥水はまず反応槽に送られ、ここで泥水中の土粒子は凝集剤(無機系凝集剤と有機系高分子凝集剤の併用)の作用によって凝集してフロックとなる。このフロックは造粒脱水機に送られ、さらに大きなフロックに造粒されたのち過剰な水分が円筒スクリーンで分離される。この造粒脱水機で生成した脱水スラッジはつぎに特殊構造を有する送りベルトを通してロールプレス型脱水機で脱水し、脱水ケーキとして搬出する(写真-1)。

また、両脱水機で分離された水および円筒スクリーンと送りベルトの洗滌水はいったん沈殿槽に貯蔵し、送泥水作成用希釈水・凝集剤溶解用水として利用する。

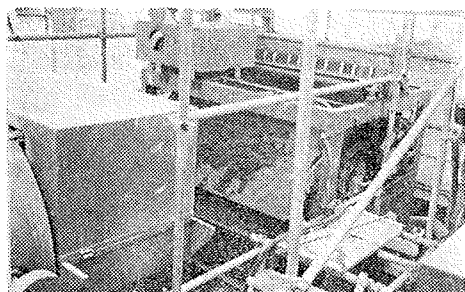


写真-1 「Mud Press 工法」による処理状況

3.2. 凝集剤

「Mud Press 工法」で排泥水を処理するに際し、使用する凝集剤の種類とその添加濃度の管理は非常に重要で

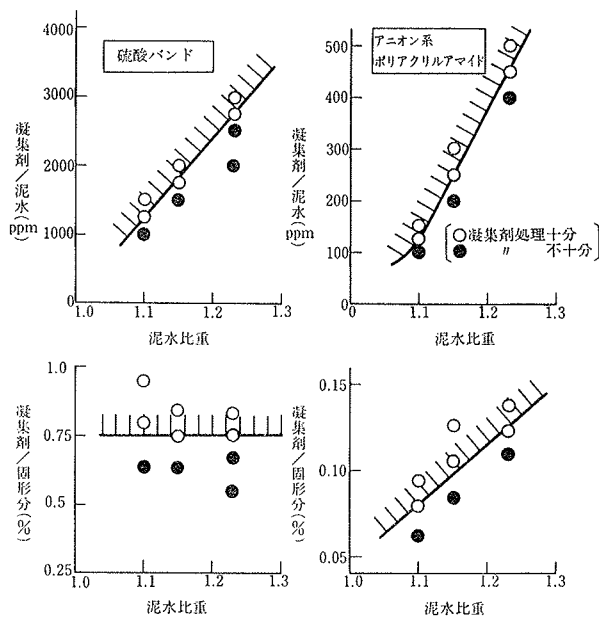


図-4 凝集剤の添加効果

組合せ	比重	1.10	1.15	1.20	1.23
	単位				
硫酸バンド	ppm/泥水	1250	1750	2400	2750
	%/固形分	0.75	0.75	0.75	0.75
アニオン系 ポリアクリルアמיד	ppm/泥水	130	250	370	450
	%/固形分	0.08	0.10	0.11	0.12

表-2 凝集剤の最適添加濃度

ある。当工事では、室内における凝集および脱水試験の結果と処理コストを考慮して、無機系凝集剤として硫酸バンドを、有機系高分子凝集剤としてアニオン系のポリアクリルアמידを採用した。

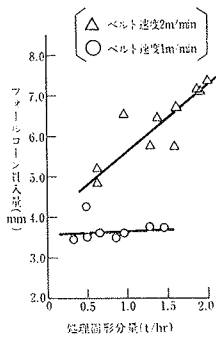
代表的排泥水に対する両凝集剤の効果を図-4に示す。そして、両凝集剤の最適添加濃度を表-2に示す。

硫酸バンドの最適添加濃度はほぼ排泥水の比重(濃度)に比例していた。そして排泥水中の固形分当りの硫酸バンドの最適添加量を算出すると、泥水比重に関係なく一定値 0.5%を示した。このことは上述した内容、すなわち各排泥水についてその固形分の物理的性質に大きな変動がみられなかったことと対応し、硫酸バンドの凝集効果の主要因が土粒子表面の負荷電の中和であることを示唆しており、著者らが先に報告した内容¹⁾とも一致している。

ポリアクリルアמידの最適添加濃度は泥水比重とともに増大するが、その固形分当りの最適添加量は、硫酸バンドと異なり、泥水比重とともに増大する傾向にあった。

3.3. 処理量

一般に、「Mud Press 工法(ロールプレス方式)」による排泥水処理の処理量は、排泥水の性状・凝集剤の種類



図一五 固形分処理量と脱水ケーキの
フォールコーン貫入量

と濃度・ベルトの送り速度・ロール圧力等に影響される。先項2.4.で述べたように、本泥水シールド現場で発生した排泥水の固形分の性質が大きく変化しなかったことから、当現場における排泥水処理量は主に、排泥水の比重・凝集剤の濃度・ベルト速度に影響されていた。

そして、3.2.で述べた最適な凝集剤量の添加条件下で、ロールプレス機1台当りの排泥水の最大処理固形分量は、ベルト速度1m/minで1.4t/hr・ベルト速度2m/minで1.9t/hrであった。その際の最大処理排泥水量を排泥水の比重別に示すと表一3の通りであった。なお、表中には処理時の脱水ケーキの性状も併記したが、これについては次項3.4.で詳述する。

処理能力 ベルト速度	最大処理量(脱水機1台当り)			脱水ケーキの性状	
	比重1.10	1.15	1.20	含水比	フォールコーン貫入量
1m/min	9m³/hr	6m³/hr	4.5m³/hr	70~80%	3~4mm
2m/min	12 m³/hr	8m³/hr	6 m³/hr	95~105%	6~8mm

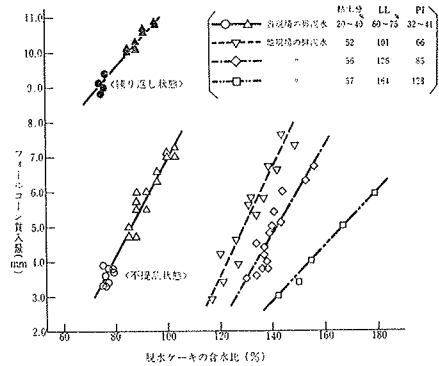
表一3 Mud Press 工法の処理能力

以上のような処理能力を持つロールプレス型脱水機を2組設置した当現場における1リング当りの排泥水の処理時間について、以下に述べる。

2章で述べたように、処理排泥水量が最も多かった状態すなわち、シールド通過時の土質が砂礫層と軟弱シルト層が半々の状態で処理必要固形分量が7.2t/Rの場合でも、ベルト速度2m/minで運転時には約2時間で、ベルト速度1m/minで運転時には約3時間で1リング当りの排泥水を処理することができた。

3.4. 脱水ケーキの性状

3.4.1. フォールコーン貫入量 排泥水処理の現場では、処理の状況を随時チェックして、確実に掘削土が脱水ケーキとして搬出されていること確認し、シールド掘削機の掘進に支障のないように排泥水処理を管理する必要がある。そこで、脱水ケーキの性状を現場において簡易に把握する方法として、不攪拌状態の脱水ケーキのフォールコーン貫入量を測定した。



図一六 脱水ケーキの含水比とフォールコーン貫入量

処理固形分量とフォールコーン貫入量との関係を、ベルトの送り速度をパラメーターとして、図一5に示す。なお処理固形分量は、処理時における排泥水の比重と流量とから算出した。図から明らかなように、フォールコーン貫入量は処理固形分量とベルト速度に影響され、特に、ベルト速度によって大きく影響された。そこで、以下にベルト速度別に述べる。

(1) ベルト速度1m/minの場合

処理固形分量が0.3~1.5t/hrの範囲で、フォールコーン貫入量は3.0~4.0mmの範囲にあり、処理固形分量の大小にほとんど影響されずほぼ一定であった。その際の脱水ケーキ厚は10~16mmであった。

(2) ベルト速度2m/minの場合

処理固形分量が0.6~2.0t/hrの範囲で、フォールコーン貫入量は5.0~8.0mmの範囲にあった。ベルト速度1m/minと比較して、その値は約2倍であり、脱水ケーキはかなり軟かいものとなっていた。また、処理固形分量の増大とともに、フォールコーン貫入量はやや増大する傾向にあり、処理固形分量に影響されていた。その際の脱水ケーキ厚も処理固形分量とともに10mmから24mmに増大していた。

3.4.2. 含水比 脱水ケーキの含水比も、ここでは特に図示しないが先に述べたフォールコーン貫入量と同様に、ベルト速度によって大きく影響され、ベルト速度1m/minで70~80%、ベルト速度2m/minで85~105%であった。特にベルト速度2m/minの場合には、やはりフォールコーン貫入量と同様に処理固形分量の増大とともに、含水比は増大する傾向にあった。

そこで、脱水ケーキの含水比($\omega\%$)とフォールコーン貫入量(F_{cmm})との関係を図一6に示す。両者は非常に高い相関にあり、以下に示す式に近似できた。

$$\omega = 52.7 + 6.7F_c \left(\begin{matrix} n=22 \\ r=0.97 \end{matrix} \right)$$

当現場においては、脱水ケーキのフォールコーン貫入量を簡易に測定し、上記の近似式を用いて脱水ケーキの

含水比を推定し、排泥水処理の状況を適確に管理することができた。

3.4.3. コンシステンシー 前掲の図-6には、脱水ケーキの練り返し後のフォールコーン貫入量も併記した。一般に、土の練り返し状態のフォールコーン貫入量が10mmを示す含水比がその土の液性限界と言われており、図-7から当現場の脱水ケーキの液性限界は約85%であった。

さて、この液性限界の含水比を示す脱水ケーキの不攪乱状態のフォールコーン貫入量は約5mmを示していた。また、図-7中に併記した含水比とフォールコーン貫入量の関係を示す他現場における排泥水の脱水ケーキについても、やはり、液性限界の含水比は不攪乱状態でフォールコーン貫入量約5mmを示す含水比とほぼ一致していた。このことから、「Mud Press 工法（ロールプレス方式）」によって脱水可能なケーキの状態は、脱水ケーキの液性限界付近であると判定できよう。

ところで、脱水ケーキの液性限界は、排泥水中の固形

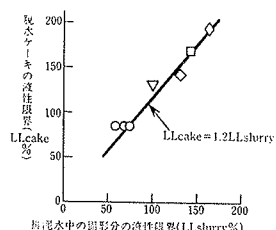


図-7 排泥水中の固形分の液性限界と脱水ケーキの液性限界

分の液性限界より大きく、図-7に示すように、ほぼ1.2倍の値を示した。これは、排泥水に添加された凝集剤が土粒子表面に吸着し、表面の性質をより親水性に変化させたことによるものと思われる。

3.5. 脱水ケーキの発生量

処理固形分量と脱水ケーキ発生量との関係を、ベルトの送り速度をパラメーターとして図-8に示す。当然のこととして、ケーキ発生量は処理固形分量とともに増大するが、ベルト速度1m/minと2m/minとでは、3.3.2.で述べた脱水ケーキの含水比の差に比べてケーキ発生量の差が非常に大きい。

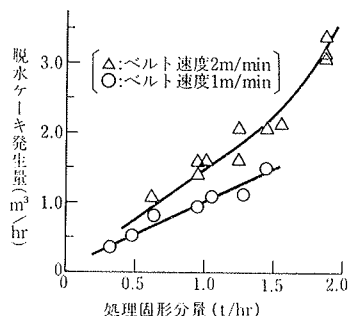


図-8 処理固形分量と脱水ケーキ発生量

さて、現場調査の結果によると、円筒スクリーンと送りベルトとの洗滌水等からの固形分の逃げは、処理固形分量の5~10%であった。そこで、この逃げ率を最大10%とし、ケーキ含水比・ケーキ発生量から脱水ケーキの飽和度を算出すると、以下の通りであった。ベルト速度1m/minの場合、飽和度はほぼ100% ($rt \approx 1.55$)であるが、ベルト速度2m/minの場合、80~70% ($rt \approx 1.25 \sim 1.10$)と低かった。

このことから、ベルト速度2m/minの場合には、加圧時間が少ないために、ベルト上に凝集スラッジが供給された時にスラッジ内に取り込まれた空気間隙を加圧除去できない状態のまま脱水ケーキとして排出されていると推定される。

4. まとめ

某下水道幹線の築造工事に泥水シールド工法が採用された。掘削地盤の土質は砂礫層が主体であったが、一部砂礫層と軟弱シルト層の積層を呈した。排泥水処理として、砂礫層の場合には一次処理（ロータリー分級機および沈殿槽による粗粒分の除去処理）だけで十分であったが、軟弱シルト層との積層では一次処理だけでなく二次処理（細粒分除去のための脱水処理）が必要となった。

二次処理には当社が開発した「Mud Press 工法（特殊ベルトを装着したロールプレス方式）」を採用し、以下のことが判明した。

当現場における「Mud Press 工法」の処理能力は主に排泥水の比重・凝集剤・ベルトの送り速度に影響される。適正な凝集剤の添加条件下で、たとえば、比重1.10の排泥水でベルト速度1~2m/min場合、ロールプレス型脱水機1台当りの最大処理量は9~12m³/hrであり、その際の脱水ケーキの性状は、含水比が70~105、フォールコーン貫入量が3~8mmであった。

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遠藤所長、中川土木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: 土工事における濁水処理に関する研究 (第6報), 大林組技術研究所報, No. 14, (1977)
- 2) 喜田, 辻: 土工事における濁水処理に関する研究 (第7報), 大林組技術研究所報, No. 15, (1977)
- 3) 斎藤, 藤原, 羽生田, 吉岡: 泥水シールド工法における大径レキ処理輸送システムの開発, 大林組技術研究所報, No. 14, (1977)