

# 土工事における濁水処理に関する研究 (第6報)

—粘性土地盤を対象とした泥水シールド工事における排泥水処理に関する検討—

喜田大三  
辻博和

## Studies of Muddy Water Treatment in Earthwork (Part 6) —Treatment of Discharged Slurry in Slurry Shield Excavation of Clayey Soil—

Daizo Kita  
Hirokazu Tsuji

### Abstract

Control of slurry is extremely important in slurry shield excavation. Especially, treatment of discharged slurry is very important when clayey soil is excavated by the shield. The studies described herein were thus conducted to find a method of flocculating the slurry and to investigate dehydration of the flocculated sludge by a trial roll-pressing machine. It was concluded that  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  and anionic polyacrylamide should be used at the same time as flocculants. On these laboratory results, the treatment system for discharged slurry from shield excavation at a certain district was planned.

### 概要

泥水シールド工事においては、泥水による切羽の安定、掘削土の流体輸送、掘削土の固液分離などにおける泥水管理は非常に重要である。そしてシールド工事の対象地盤が粘性土の場合には、特に掘削土の固液分離すなわち排泥水の処理が重要な問題である。そこで、目下当社が泥水シールド工事を計画している某地区の粘土質の試料から泥水を作成し、この泥水について脱水処理に必要な凝集剤処理の方法を検討し、さらに上記処理で得られた凝集スラッジを試作のロールプレス型脱水機で脱水し、その脱水性も検討した。その結果、泥水を処理するにあたって用いる凝集剤の種類は、無機系凝集剤として消石灰そして有機系高分子凝集剤としてアニオン系ポリアクリルアミドの組合せが最適であることが判明した。そして、以上の実験結果にもとづいて、某地区の泥水シールド工事における排泥水処理システムを立案した。

#### 1. はじめに

最近の都市の巨大過密化に対処するために、都市の再整備が必要となっている。そして、上下水道、ガスその他の流体輸送設備、電信電話、動力用電線などの共同溝、あるいは地下鉄などの建設工事にはシールド工法が広く採用されている。このシールド工法の一つとして最近富に注目されているのが泥水シールド工法である。

この工法では地下水圧に対抗して泥水圧によって切

羽の自立を図るので、地下水頭に応じて理想的に対抗できるという利点を有している。このため、従来の圧気工法の場合に起こりがちな噴発事故や労働環境上の問題もなく、また土砂運搬が流体輸送のため作業環境が非常によい。さらに、補助工法として薬液注入工法を併用する必要性が少なく、地下水の汚染を引き起こすことも少ない。このような利点から、泥水シールド工法の施工件数は急増している。

さて、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。したがって、工事施工時の泥水の管理は非常に重要である。そして、目下当社が計画している某泥水シールド工事の対象となる地盤の土質すなわち、シルト質粘土あるいは粘土においては、掘削土砂の固液分離における泥水管理すなわち排泥水の処理が特に重要な工程である。この排泥水の処理方式には各種のものが考えられるが、大きく分類すれば、①機械による脱水処理方式、②薬品による固化処理方式、③上記の①②併用方式の3つに分けることができる。

本報告では、目下当社が計画している泥水シールド工事における排泥水処理に関して、上記3方式のうち①の方式を適用した場合について検討を加えた。すなわち、工事予定地区から採取した試料から泥水を作成し、この泥水について凝集剤処理の方法をまず検討し、さらにこの凝集剤処理によって得られる凝集スラッジの脱水性も検討した。そして以上の結果にもとづいて泥水シールド工事における排泥水処理システムを立案した。

## 2. 室内実験

### 2.1. 実験概要

工事予定地区から採取した試料から各種濃度の泥水を作成し、この泥水について脱水処理を行なう前に必要とされる凝集剤処理に関して、最適凝集剤の種類およびその添加濃度をまず検討し、さらに適切な凝集剤処理を行なった結果得られる凝集スラッジを試作のロールプレス型脱水機で脱水し、凝集スラッジの脱水性を検討した。なお、凝集スラッジの脱水方式には各種のものがあり、筆者の一人喜田も泥水工法で発生する廃泥水を対象にフィルタープレスなどを用いた処理方式を開発している。今回は連続処理が可能でかつ運転管理が容易であることを目的として試作したロールプレス型脱水機による脱水方式を採用した。

**2.1.1. 供試泥水** 工事予定地区から採取した試料を水道水で解膠し、5、10、16、25%の濃度の泥水を作成した。試料の粒度分布はシルト分40%、粘土分60%と砂分をまったく含まず、排泥水処理にとってまったくやっかいな土と言える。

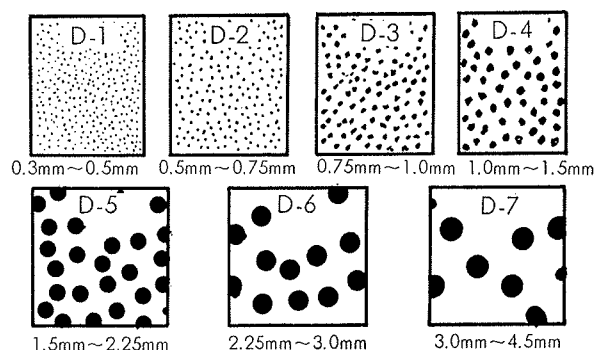
**2.1.2. 供試凝集剤** 有機系高分子凝集剤としては、アニオン系およびノニオン系のポリアクリルアミドを供試し、0.1%もしくは0.2%溶液にして使用した。また、無機系凝集剤としては、Al系凝集剤として硫酸アルミニウム(有効成分  $Al_2O_3$  成分8%、以下硫酸バンドと呼ぶ)、およびCa系凝集剤として消石灰を

供試し、1%もしくは10%液にして使用した。

### 2.1.3. 実験方法

#### (1) 泥水の凝集実験

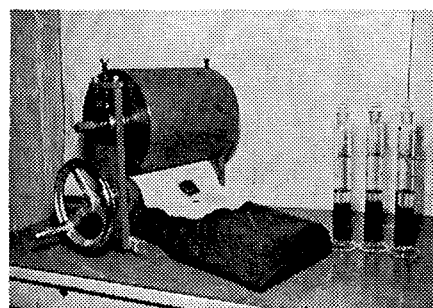
泥水を沈降管にとり、無機系凝集剤さらに有機系高分子凝集剤を添加し、水平強力振とう後一定速度で一定回数回転倒したのち静置する。静置後ただちに凝集しているフロックの平均径を測定する(図一1参照)。さらに静置後一定時間後の上水濁度も測定する。



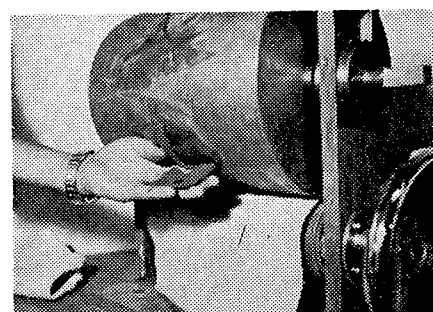
図一1 凝集フロックの平均粒径図

#### (2) 凝集スラッジの脱水実験

泥水の凝集実験で生成した凝集スラッジを2mmのスクリーン上に移し重力脱水して脱水スラッジを得る。この脱水スラッジをろ布の上のせてロールプレス型脱水機で脱水する。そして生成した脱水ケーキの厚み広がり、含水比を測定する。



写真一1 試作のロールプレス型脱水機



写真一2 脱水ケーキの生成状況

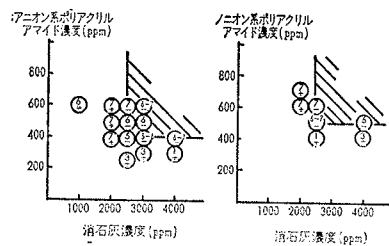
2.2. 実験結果と考察

2.2.1. 泥水の凝集実験

(1) 最適凝集剤の種類

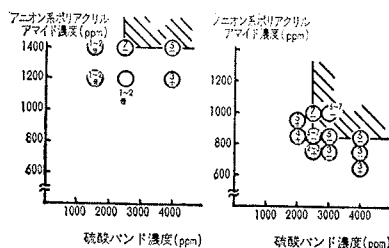
16%濃度の泥水に対して、無機系凝集剤の硫酸バンドおよび消石灰と有機系高分子凝集剤のアニオン系およびノニオン系のポリアクリルアミドとの4つの組合せにおける実験結果を図一2、図一3に示す。図中では、各凝集剤の添加濃度における凝集フロックの平均粒径と凝集後の上水残留濁度を○印の中に表示した。つぎに、上記の実験結果をもとに、脱水性の良好な凝集スラッジを得るために必要な無機系および有機系の凝集剤の添加濃度領域を前掲の図中に併記した。この添加濃度領域を決定するにあたっては、筆者らの研究成果にふまえて<sup>2)</sup> フロックの平均粒径がD-5以上でかつ上水残留濁度が50度以下を得られることを条件とした。図から明らかなように、無機系凝集剤として消石灰を用いる場合はノニオン系よりもアニオン系のポリアクリルアミドの添加効果が大きく、また、無機系凝集剤として硫酸バンドを用いる場合はアニオン系よりもノニオン系のポリアクリルアミドの添加効果が大きかった。したがって、凝集剤処理における最適凝集剤の組合せは、消石灰とアニオン系ポリアクリルアミドもしくは硫酸バンドとノニオン系ポリアクリルアミドであると判定した。

さて、上述のように最適な有機系高分子凝集剤の種



図一2 無機系凝集剤として消石灰を用いた場合の凝集実験結果

但し、上水残留濁度 20度以下(-), 20~50度(+)  
50~100度(##), 100~200度(###)



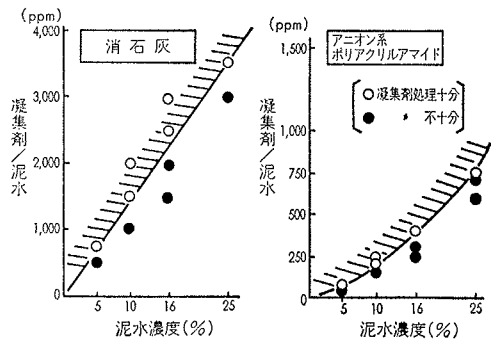
図一3 無機系凝集剤として硫酸バンドを用いた場合の凝集実験結果

類が併用する無機系凝集剤の種類によってまったく相違していた原因としては、供試土中に含まれる鉄あるいは腐植などの存在形態が大きく関与していると推察される、この点に関しては今後検討する予定である。

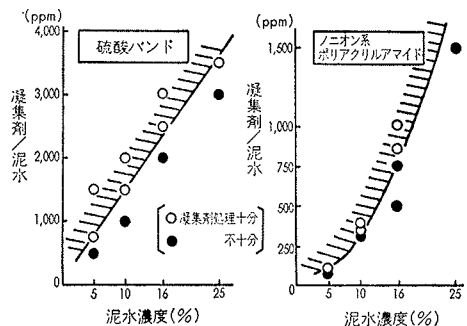
(2) 各泥水濃度における凝集剤の最適添加濃度

先項で決定した無機系凝集剤と有機系高分子凝集剤の2種の組合せで、泥水濃度が5, 10, 16, 25%の泥水について行なった実験結果を凝集剤の組合せ別に図一4、図一5に示す。なお、図中では、先項で示した条件(すなわちフロックの平均粒径がD-5以上でかつ上水残留濁度が50度以下)を得られる凝集剤処理十分な凝集剤の組合せ添加濃度と上記の条件を得られない凝集剤処理不十分な添加濃度とを記号で区別し、さらに凝集剤処理が十分な添加濃度の領域を斜線で示した。そして、凝集剤処理が十分な添加濃度の領域における最小添加濃度をもって各凝集剤の最適添加濃度と決定し、これを表一1に示した。

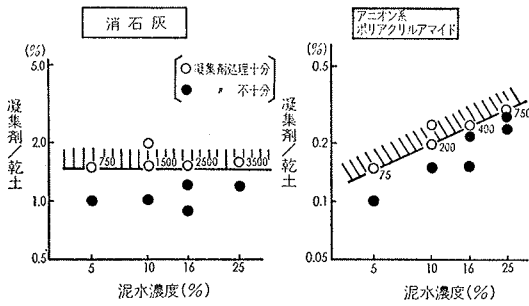
まず、無機系凝集剤について述べる。無機系凝集剤と有機系高分子凝集剤の2種の組合せにおける消石灰あるいは硫酸バンドの最適添加濃度はともにほぼ泥水濃度に比例している。そして各泥水中の乾土あたりの無機系凝集剤の最適添加量を算出すると(図一6)、消石灰、硫酸バンドともに泥水濃度と無関係に一定値



図一4 消石灰とアニオン系ポリアクリルアミドの組合せによる凝集実験結果(1)



図一5 硫酸バンドとノニオン系ポリアクリルアミドの組合せによる凝集実験結果



図一六 消石灰とアニオン系ポリアクリルアミドの組合せによる凝集実験結果(2)

泥水濃度	消石灰		アニオン系 ポリアクリルアミド		硫酸バンド		ノニオン系 ポリアクリルアミド	
	ppm	%	ppm	%	ppm	%	ppm	%
5 %	750	1.50	75	0.15	750	1.50	100	0.20
10 %	1,500	1.50	200	0.20	1,500	1.50	350	0.35
16 %	2,500	1.50	400	0.25	2,500	1.50	850	0.53
25 %	3,500	1.50	750	0.30	3,500	1.50	2,000	0.80

表一 各泥水濃度における凝集剤の最適添加濃度

約 1.5% を示すことが判明した。この事実は無機系凝集剤の凝集効果の主要因が陽イオンによる土粒子表面の負荷電の中和であることを示唆している。

つぎに有機系高分子凝集剤について述べる。アニオン系あるいは、ノニオン系のポリアクリルアミドの最適添加濃度は、無機系凝集剤の場合と異なり、泥水濃度に正比例せず、泥水濃度とともに増加している。したがって、各泥水中の乾土あたりの有機系高分子凝集剤の最適添加量は、一定値を示さず泥水濃度とともに増大することが判明した。つぎにアニオン系とノニオン系のポリアクリルアミドの必要添加濃度を比較すると、アニオン系の方が各泥水濃度において、低い値を示し、アニオン系のポリアクリルアミドの方が

泥水濃度	凝集剤処理		フ ロ ン の 粒 径	上 水 の 残 留 濁 度	脱 水 機 の 脱 水 率 %	脱水ケーキの含水比			
	無機系凝集剤	有機系高分子凝集剤				ろ布の送り速度			
	消石灰	アニオン系 ポリアクリルアミド			%	%	%	%	
10%	1500	350	D-6	—	256	—	113	125	
"	2000	250	D-5	—	294	—	117	124	
16%	2500	400	D-6	—	289	118	120	136	
"	"	500	D-6	—	292	100	112	120	
"	3000	400	D-5~6	—	282	113	124	132	
"	"	600	D-6~7	—	310	102	116	121	
25%	3500	750	D-5	—	292	110	123	132	
"	3500	1000	D-7	—	285	113	125	142	
			平均		288	109	119	129	
10%	1500	350	D-5	—	263	—	126	135	
"	"	400	D-7	—	280	—	126	143	
16%	2500	850	D-6~7	—	296	119	122	159	
"	"	1000	D-7	—	299	124	134	148	
"	3000	850	D-5	—	296	117	124	139	
25%	3500	2000	D-7	—	283	113	132	155	
			平均		286	118	127	147	

表一 凝集スラッジのロールプレス機による脱水結果

凝集剤処理においては、有利であることが判明した。  
2.2.2. 凝集スラッジの脱水実験 先の泥水の凝集実験で得られた凝集スラッジを試作のロールプレス型脱水機で脱水した。実験を行なったもののうち代表的なものについての結果を表一2に示す。

凝集スラッジを2mmのスクリーンで重力脱水したのちに得られる脱水スラッジの含水比は、泥水濃度、凝集剤種の組合せ、凝集剤の添加濃度にさほど影響されず、250~310%の範囲にあり、大むね300%内外であった。

さて、この脱水スラッジをロールプレス機で脱水して得られる脱水ケーキの含水比は、凝集剤種の組合せによって大きく影響されていた。すなわち、凝集剤種の組合せ別に、脱水ケーキの含水比の平均を算出してみると、消石灰とアニオン系ポリアクリルアミドの組合せの場合には、ろ布の送り速度が2.5・5・10m/minでそれぞれ109・119・129%となっているのに対して、硫酸バンドとノニオン系ポリアクリルアミドの組合せの場合には118・127・147%であった。したがって、消石灰とアニオン系ポリアクリルアミドの組合せの凝集剤処理によって生成する凝集スラッジの方が硫酸バンドとノニオン系ポリアクリルアミドの組合せのそれより脱水性において優れていることが判明した。

以上の凝集スラッジの脱水実験の結果と、先の泥水の凝集実験の結果とを総合して、今回のシールド工事で発生する排泥水を処理するにあたって、用いる凝集剤の種類は、無機系凝集剤として消石灰そして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ミドの組合せが最適であると決定した。

### 3. 排泥水処理システムの立案

#### 3.1. 排泥水処理の設計条件

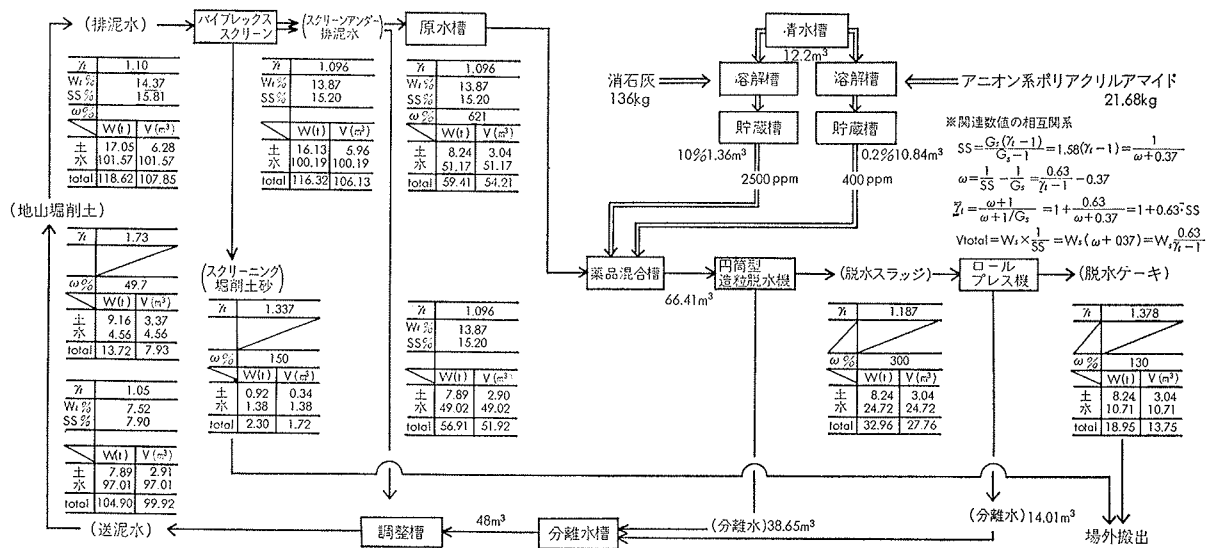
##### (1) 掘削条件

シールド外径	3.350m
セグメント幅	0.900m
掘削速度	2~3cm/min
(2) 地山条件	
土粒子の真比重	2.71
土の自然含水比	49.7%
土の単位体積重量	1.73
土の粒度分布	シルト分40%・粘土分60%

#### 3.2. 排泥水処理システム

3.1. に示した条件の下、第2章の室内実験の結果にもとづいて、図一7に示すような排泥水処理システムを作成した。以下にこのシステムを概説する。

シールド切羽から送られてきた排泥水はまずパイプ



図一七 排泥水処理のフローシステムと1リング当りの物質収支

レックススクリーンに投入され、土塊状のまま搬出された掘削土砂が分離される。

スクリーンを通過した排泥水はまず原水槽に貯蔵される。原水槽中のスクリーンアンダーの排泥水のうち、所定量の排泥水を薬品混合槽に送り、ここで無機系凝集剤（消石灰）引き続いて有機系高分子凝集剤（アニオン系ポリアクリルアミド）を所定濃度添加混合し、排泥水を脱水性のよいフロック状態に到らしめる。フロック化した排泥水は円筒型造粒脱水機でさらに造粒したのち円筒スクリーンで分離水を除去する。そして分離水を除去された脱水スラッジはさらにロールプレス型脱水機によって脱水され、生成した脱水ケーキをダンプにて場外へ搬出する。この円筒型造粒脱水機・ロールプレス型脱水機によって発生した分離水は分離水槽に貯蔵する。

また、原水槽中の排泥水のうち所定量の排泥水は調整槽に送られ、分離槽に貯蔵された分離水および清水を用いて所定濃度に濃度調整されたのち、送泥水としてシールド切羽に送る。

なお、図一七には、排泥水処理における土・水および凝集剤の1リング当りの収支も併記した。なお、この物質収支を算出するにあたって与えた数値は以下の通りである。

送泥水の濃度：7.9%（比重1.05）

排泥水の濃度：15.8%（比重1.10）

スクリーンによる分離土砂量：地山堀削土の10%，その含水比は150%。

無機系凝集剤：消石灰を2500ppm

有機系高分子凝集剤：アニオン系ポリアクリルアミドを400ppm。

円筒型造粒脱水機によって生成する脱水スラッジ：含水比300%，比重1.187

ロールプレス型脱水機によって生成する脱水ケーキ：含水比130%，比重1.38

#### 4. まとめ

泥水シールド工事においては、泥水による切羽の安定、掘削土の流体輸送、掘削土の固液分離などにおける泥水管理は非常に重要である。そして、シールド工事の対象地盤が粘性土の場合には、特に掘削土の固液分離すなわち排泥水処理が重要な問題である。

そこで、目下当社が泥水シールド工事を計画している某地区の粘土質の試料から泥水を作成し、この泥水について脱水処理に必要な凝集剤処理の方法を検討し、さらに上記処理で得られた凝集スラッジを試作のロールプレス型脱水機で脱水し、その脱水性も検討した。その結果、泥水を処理するにあたって用いる凝集剤の種類は、無機系凝集剤として消石灰そして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ミドの組合せが最適であることが判明した。

そして、以上の実験結果にもとづいて、某地区の泥水シールド工事における排泥水処理システムを立案した。

#### 参考文献

- 1) 喜田・斉藤：泥水工法における泥水管理に関する研究（第11・12・17報），大林組技研所報，No. 6，No. 9，（1972・1974）
- 2) 喜田・辻：土工事における濁水処理に関する研究（第2・3報），大林組技研所報，No. 11，No. 12，（1975・1976）