

ケミカル・プラグ・ シールド工法

－技術資料－

令和 2年 8月

シールド工法技術協会

はじめに

シールド工法技術協会で取り扱っている工法はいずれも多くの実績があり、信頼できる最先端技術及び工法であります。現在の社会的要請である地上や地下施設への影響が少なく地球環境にもやさしい技術として、さまざまな地盤やトンネル形状にも対応できるものであります。

これらの工法による工事におきましては、当該工事の目的や構造物の内容、施工期間や施工条件、施工環境などを十分に考慮した上で、設計および施工方法を検討しなければなりません。

前回の改定では、「下水道用設計積算要領 管路施設（シールド工法）編（社会法人）日本下水道協会（2010年版）」の改訂を受けて、その改訂内容との整合性を図るとともに、最新技術の知見を反映して各工法の計画、設計および施工に携わる方々が分かりやすくまた活用しやすい内容としました。

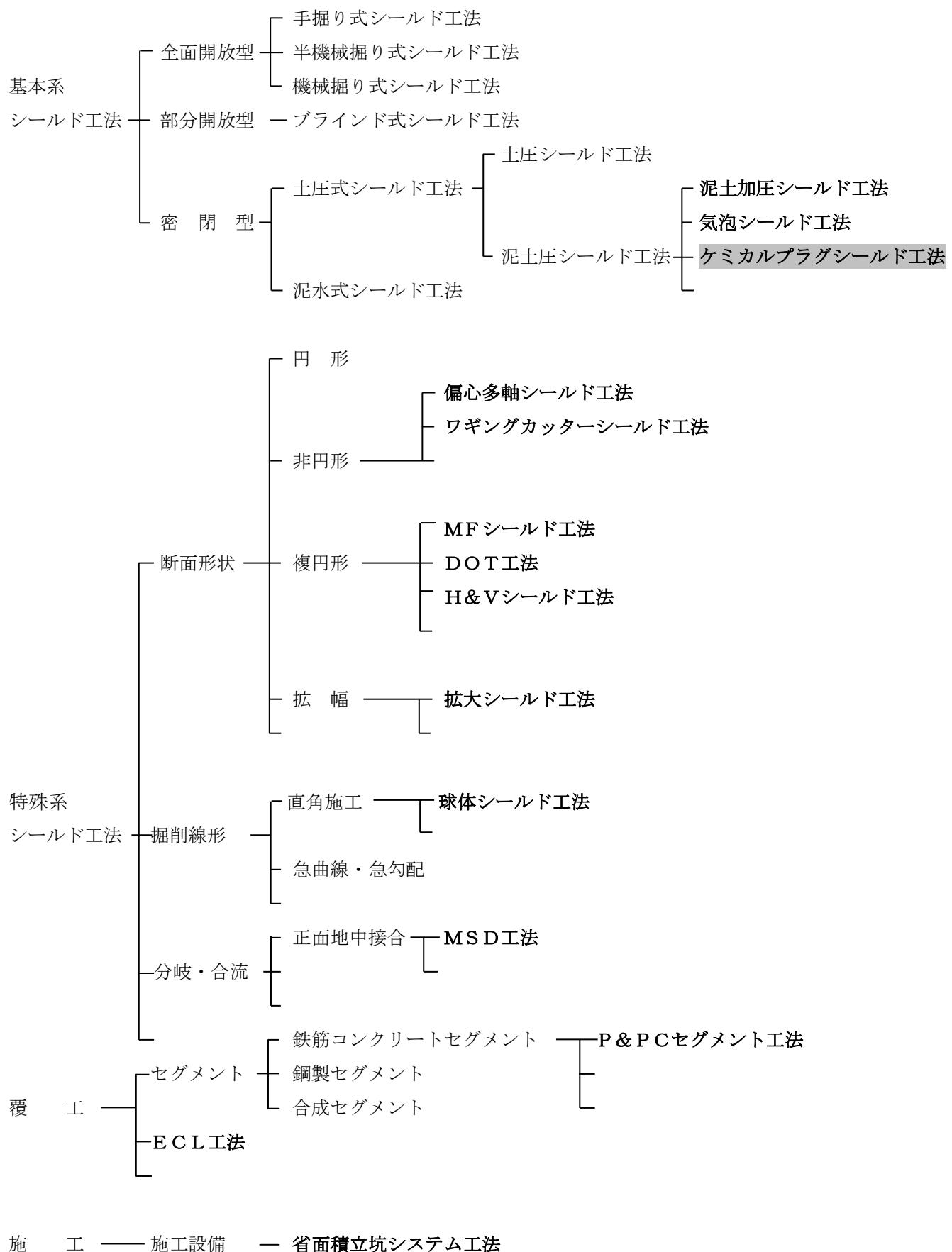
今回の改訂では、協会登録工法の位置付けを更新致しました。（「省面積立坑システム工法」追加）

皆様がシールド工法技術協会に登録しているシールド工法の採用にあたり、適正かつ合理的な計画、設計および施工を行うための資料として本書を大いに活用していただければ幸いに存じます。

令和2年8月

[ケミカルプラグシールド工法の位置付け]

シールド工法におけるケミカルプラグシールド工法の位置づけを下記に示す。



ケミカル・プラグ・シールド工法 技術資料 目次

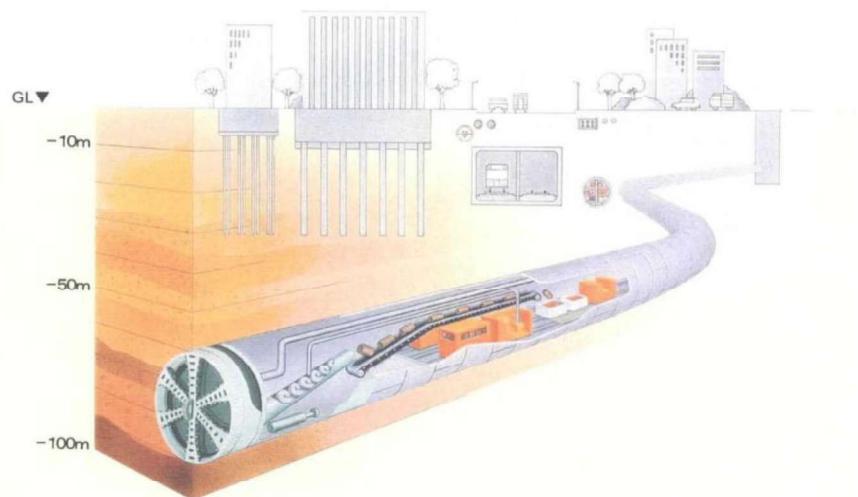
1. 概要	1
1. 1 工法の概要	2
1. 2 工法の特徴	3
1. 3 工法の適用範囲	4
2. 使用材料及び添加方法	5
2. 1 堀削添加材	5
2. 2 薬剤	5
2. 3 材料の安全性	6
2. 4 堀削添加材及び薬剤の配合と使用量	8
2. 5 材料の添加方法	10
3. 薬剤及び止水プラグの効果	12
3. 1 薬剤の効果	12
3. 2 止水プラグの形成	16
3. 3 改良土の判定試験	18
4. 施工計画	21
4. 1 事前調査	21
4. 2 シールド	21
4. 3 施工準備	29
4. 4 堀削発生土の取り扱い	31
5. 施工管理	32
5. 1 止水プラグの形成状況の判定	33
5. 2 堀進管理	35
5. 3 堀削添加材及び薬剤の添加管理	39
5. 4 初期掘進時の対応	45
5. 5 粘性土地盤への対応	46
5. 6 噴発時の対応	47
6. 実施例	49
6. 1 酉島シールド工事	49

1. 概要

泥土圧シールド工法は適用地質の広い優れた工法であるが、高水圧の作用する帶水砂礫層を掘進する場合には、掘削土砂がスクリューコンベヤの排土口から噴発し、切羽圧力の変動を引き起こして切羽崩壊や地盤沈下をまねく可能性がある。

このため、従来の泥土圧シールド工法では、高水圧の作用する地盤を掘進する際は噴発防止対策としてロータリーバルブ等による機械的な対策を実施してきたが、土質の変化や切羽圧力に対し十分に対応し得ていなかった。

ケミカル・プラグ・シールド工法 (Chemical Plug Shield method、以下；C P S工法) は、これら施工上の問題点を解消し、泥土圧シールド工法の高水圧対応を実現した工法で、泥土圧シールド工法の適用範囲を大幅に拡大させるものである。



1. 1 工法の概要

C P S工法は、一般の泥土圧シールド工法と同様にベントナイト・粘土の掘削添加材を使用する。添加材と混合されて泥土化した掘削土砂を、薬剤によりスクリューコンベヤ内で良質土に改良するとともに、スクリューコンベヤ後端部に充満させて切羽圧力に対抗する「止水プラグ」を形成する。この止水プラグが切羽圧力を確実に保持することで、高水圧の作用する地盤を掘削土砂の噴発を発生させずに掘進する。また、排出される掘削土砂（良質土）は完全に流動性を失い、取り扱いが容易となっている。

C P S工法では、止水プラグ形成に主剤C P -Mと助剤C P -Sの2種類の薬剤を使用する。C P -Mは添加材とともに切羽へ添加し、C P -Sはスクリューコンベヤ内に注入する。C P S工法のシステム図を図-1. 1に示す。

- 通常の泥土圧シールド工法の添加材プラントに主剤：C P -Mを混合する設備と、スクリューコンベヤに助剤：C P -Sを注入する設備を設置します。

- チャンバー内でC P -Mが混ざった掘削土砂は、スクリューコンベヤ内でC P -Sと混合・攪拌されると急速に良質土に改良され、切羽水圧に対抗する止水プラグとなります。

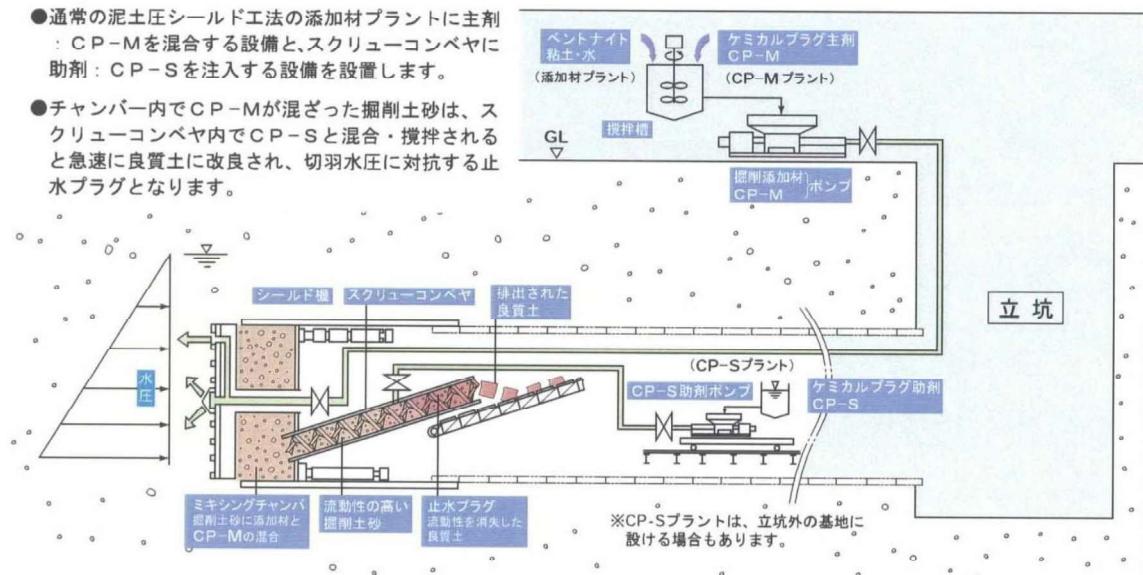


図-1. 1 C P S工法システム図

1. 2 工法の特徴

C P S工法の特徴を以下に示す。

- (1) 掘削添加材は、従来の泥水式シールド工法と同様に、通常のベントナイト・粘土を使用する。掘削添加材に主剤C P - Mを添加する。
- (2) 切羽からスクリューコンベヤ内に取り込まれた掘削土砂に対し、助剤C P - Sを注入（スクリューコンベヤに設けた注入孔から注入）し、流動性のない良質土に改良して切羽の土水圧に対抗する止水プラグを形成させる。
- (3) スクリューコンベヤ内で形成する止水プラグは、切羽圧力を確実に保持し噴発や切羽崩壊を防止する。
- (4) C P S工法では、従来は泥水式シールド工法のみが施工できた高水圧（1. 0 MPa以下）帶水砂礫層の掘進が可能である。
- (5) 地質の変化に応じて、C P S工法から泥土圧シールド工法へ容易に変更可能である。薬剤C P - M、C P - Sの添加を中断すれば、一般的の泥土圧シールド工法による掘進となる。また、この逆も容易に行え、地質や地下水圧の変化に応じた施工が可能である。（図-1. 2参照）
- (6) スクリューコンベヤから排出される発生土は流動性を完全に失っており、取り扱いの容易な土砂に改良される。
- (7) 主剤C P - Mと助剤C P - Sは、ともに人体・動植物に対して無害である。また、改良後の発生土のp Hは中性域である。

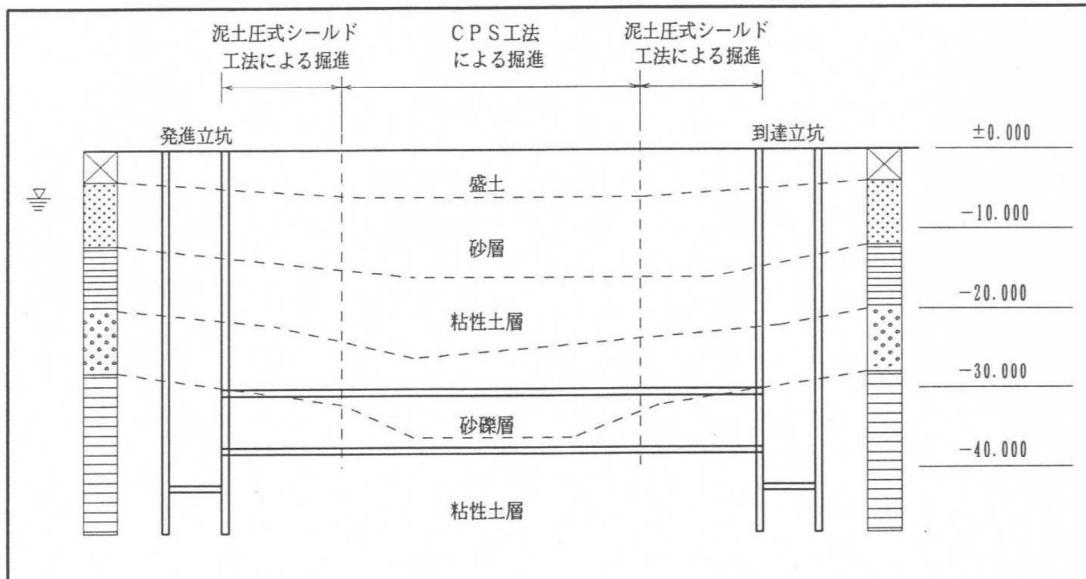


図-1. 2 C P S工法における地質変化への対応

1. 3 工法の適用範囲

(1) 適用地盤

C P S工法の適用地盤は、泥土圧シールド工法の適用地盤と、高水圧（1.0 MPa以下）の作用する地盤である。具体的な地盤条件を以下に示す。

- ・粘性土層、砂層、砂礫層及びこれらの互層地盤
- ・高水圧（1.0 MPa以下）が作用する地盤
- ・路線の一部分に帶水砂礫層が存在する地盤

(2) 地下水圧

C P S工法の要となる止水プラグは、実物大模型実験及び実工事における止水プラグの性状調査から 1.0 MPa（10 kgf/cm²）の耐圧能力を有することを確認している。

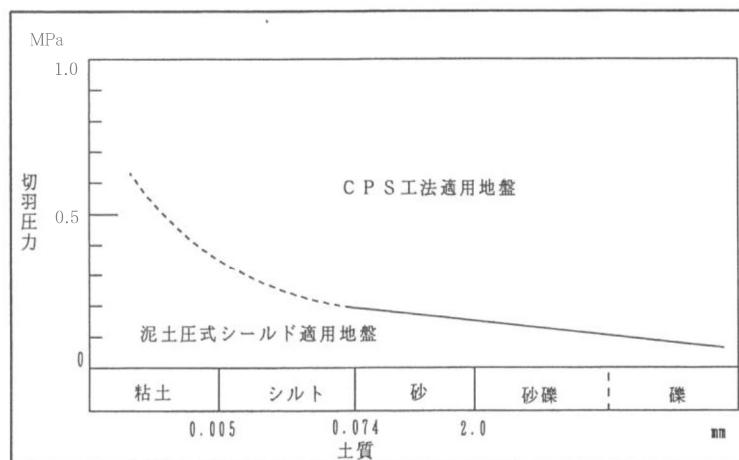


図-1. 3 適用地盤と地下水圧

(3) 適用が困難な地盤

以下に示すような薬剤C P-M・C P-Sの改良効果を阻害する地盤では、施工が困難となる。

- ・薬液注入等で地下水が強アルカリ性となつた地盤

（主剤が泥土を改良するのは中性域なので、強アルカリの地盤を中和するには大量のC P-Sが必要になる）

- ・火山噴出物等で地下水が強酸性となつた地盤

（地下水がC P-Sの役割を果たしてしまうために、切羽でC P-Mの改良効果が發揮され掘進に支障をきたす）

- ・薬剤の反応を阻害するイオンが含まれる地盤

（薬剤の凝集能力が低下する）

また、海岸地域等薬剤の粘性や膨潤性に影響を与える恐れのある箇所では、事前に対策を施す必要がある。

2. 使用材料及び添加方法

主な使用材料は掘削添加材（ベントナイト・粘土）と薬剤（C P-M、C P-S）である。

2. 1 掘削添加材

掘削添加材は、地山の間隙水がチャンバー内に取り込まれるのを防止するとともに、掘削土砂を流動化させてシールド機の回転カッタ一部への負荷を低下させ、スクリューコンベヤによる排土を容易にするために添加する。通常の泥土圧シールドに使用される添加材と同様のベントナイト・粘土を用いる。

切羽地質に粘性土が多く存在し、掘削添加材が不要の場合は添加する必要はない。また、地山条件や添加材の輸送条件に応じて、増粘材等が必要になる場合がある。

※C P S工法に対して添加が好ましくない材料は、CMCや高吸水性ポリマー等の高分子材料である。

2. 2 薬 剂

(1) C P-M（ケミカルプラグ主剤）

C P-Mは、植物性天然物を原料とする凝集剤である。添加材中で凝集効果を發揮しないように、特殊な加工を施している。

①成分…… 多糖類

②形状…… 黄色粉末（かさ比重0.6～0.8）

③特徴

- C P-M単独では、掘削添加材や泥土にほとんど影響を与えない。ただし、温度が30°C以上の添加材中に混入し長時間放置すると、凝集する恐れがある。

- C P-Mは、C P-Sと接触すると凝集効果を発揮し始める。

④荷姿

- 25kgラミネート加工紙袋

- 500kgフレコンバック

- ローリー輸送

⑤取扱い

- 紙袋に直接雨水や水があたらぬ様に保存する。

- 人体に付着した場合は、水で洗い流す。

(2) CP-S (ケミカルプラグ助剤)

CP-Sは、染色工業で一般に使用されている、ポリリン酸系の薬剤を主成分とした安全性の高い酸性の液体である。CP-Sは、CP-Mに施した加工を解除する働きがある。

①成分…… ポリリン酸

②形状…… 淡黄色透明液体（比重1.2）、pH=1.2

③特徴

・CP-Mに効果を発揮させる働きをする。

④荷姿

・20ℓポリタンク

・200ℓドラム缶

・1Tonコンテナ

・ローリー輸送

⑤取扱い

・液が人体や衣服にかかった場合は水洗いする。

2.3 材料の安全性

(1) 主剤CP-Mについて

CP-Mの原料は、食品添加物として使用されている植物性天然物（多糖類）で、安全性の高い薬剤である。

(2) 助剤CP-Sについて

CP-S原液のpHが、1.2～1.3程度の酸性なので非常に強い“酸”であるという印象を与えるが、身近な物質のなかでも図-2.1に示すようにpHの低い物質があり、例えば群馬県の草津温泉で湧出する湯のpHは2程度である。またCP-Sの主成分は、法規制（消防法：危険物、安衛法：有害物・特定化学物質、毒物及び劇物取締法）に抵触しない安全性の高い薬剤である。

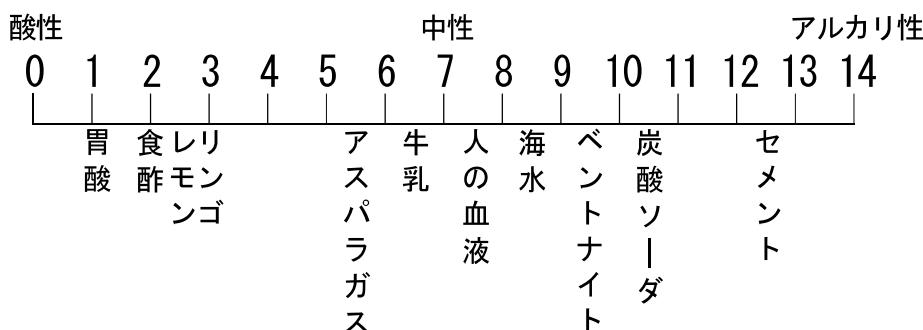


図-2.1 身近な物質のpH

(3) 薬剤の安全性の証明

C P - M 、 C P - S 及び両者を混合したものに対し、「土壤汚染に係る環境基準」に規定されている各項目について含有量試験を実施した結果を以下に示す。

有害物質とされる全ての測定項目が「N D (検出せず)」であり、薬剤の安全性が確認されている。

式名 岩崎 伸吉 職業 調査 No.X-858-1				式名 岩崎 伸吉 職業 調査 No.X-858-2			
株式会社 江島化学工業 尾張 尼崎市塚口町5丁目8-5 ご依頼のありました試料についての 分析結果は下記のとおりでした。 平成7年 1月 13日				株式会社 江島化学工業 尾張 尼崎市塚口町5丁目8-5 ご依頼のありました試料についての 分析結果は下記のとおりでした。 平成7年 1月 13日			
受付日 平成6年12月20日 表示は乾燥試料ベース				受付日 平成6年12月20日 表示は乾燥試料ベース			
分析項目 単位 C P - M • C P S - N o 3 黏度 備考				分析項目 単位 C P - M • C P S - N o 3 黏度 備考			
pH		6.8(11°C)	範囲に該当する	pH		10.7(11°C)	*
電気伝導度	μS/cm	750	範囲に該当する	電気伝導度	μS/cm	4600	*
カドミウム	ng/kg	ND	0.1	カドミウム	ng/kg	ND	0.1
シアノ	ng/kg	ND	1	シアノ	ng/kg	ND	1
有機リン	ng/kg	ND	1	有機リン	ng/kg	ND	1
鉛	ng/kg	ND	0.1	鉛	ng/kg	ND	0.1
6価クロム	ng/kg	ND	0.2	6価クロム	ng/kg	ND	0.2
ひ素	ng/kg	ND	0.1	ひ素	ng/kg	ND	0.1
純水銀	ng/kg	ND	0.005	純水銀	ng/kg	ND	0.005
744%水銀	ng/kg	ND	0.005	744%水銀	ng/kg	ND	0.005
P C B	ng/kg	ND	0.005	P C B	ng/kg	ND	0.005
銅	ng/kg	ND	2	銅	ng/kg	ND	2
ジクロロメタン	ng/kg	ND	0.2	ジクロロメタン	ng/kg	ND	0.2
四塩化炭素	ng/kg	ND	0.02	四塩化炭素	ng/kg	ND	0.02
1,2-ジクロロエタン	ng/kg	ND	0.04	1,2-ジクロロエタン	ng/kg	ND	0.04
1,1-ジクロロエチレン	ng/kg	ND	0.2	1,1-ジクロロエチレン	ng/kg	ND	0.2
ジ-1,2-ジクロロエチレン	ng/kg	ND	0.4	ジ-1,2-ジクロロエチレン	ng/kg	ND	0.4
1,1,1-トリクロロエタン	ng/kg	ND	1	1,1,1-トリクロロエタン	ng/kg	ND	1
1,1,2-トリクロロエタン	ng/kg	ND	0.06	1,1,2-トリクロロエタン	ng/kg	ND	0.06
トリクロロエチレン	ng/kg	ND	0.3	トリクロロエチレン	ng/kg	ND	0.3
テトラクロロエチレン	ng/kg	ND	0.1	テトラクロロエチレン	ng/kg	ND	0.1
1,3-ジクロロプロパン	ng/kg	ND	0.02	1,3-ジクロロプロパン	ng/kg	ND	0.02
チカラム	ng/kg	ND	0.01	チカラム	ng/kg	ND	0.01
シマジン	ng/kg	ND	0.01	シマジン	ng/kg	ND	0.01
チオベンカルブ	ng/kg	ND	0.01	チオベンカルブ	ng/kg	ND	0.01
ベンゼン	ng/kg	ND	0.1	ベンゼン	ng/kg	ND	0.1
セレン	ng/kg	ND	0.1	セレン	ng/kg	ND	0.1

* C P - M 20 g に蒸留水 980 g を加え分散させた後、C P S - N o 3 2mL を滴加して
糊状としたもの。

式名 岩崎 伸吉 職業 調査 No.X-858-3			
株式会社 江島化学工業 尾張 尼崎市塚口町5丁目8-5 ご依頼のありました試料についての 分析結果は下記のとおりでした。 平成7年 1月 13日			
受付日 平成6年12月20日			
分析項目	単位	C P S - N o 3	粘度 備考
pH		1.6(11°C)	範囲に該当する
電気伝導度	μS/cm	35000	範囲に該当する
カドミウム	ng/l	ND	0.005
シアノ	ng/l	ND	0.01
有機リン	ng/l	ND	0.1
鉛	ng/l	ND	0.02
6価クロム	ng/l	ND	0.05
ひ素	ng/l	ND	0.01
純水銀	ng/l	ND	0.005
744%水銀	ng/l	ND	0.005
P C B	ng/l	ND	0.0005
銅	ng/l	ND	0.02
ジクロロメタン	ng/l	ND	0.2
四塩化炭素	ng/l	ND	0.02
1,2-ジクロロエタン	ng/l	ND	0.04
1,1-ジクロロエチレン	ng/l	ND	0.2
ジ-1,2-ジクロロエチレン	ng/l	ND	0.4
1,1,1-トリクロロエタン	ng/l	ND	1
1,1,2-トリクロロエタン	ng/l	ND	0.06
トリクロロエチレン	ng/l	ND	0.3
テトラクロロエチレン	ng/l	ND	0.1
1,3-ジクロロプロパン	ng/l	ND	0.02
チカラム	ng/l	ND	0.0005
シマジン	ng/l	ND	0.0005
チオベンカルブ	ng/l	ND	0.0005
ベンゼン	ng/l	ND	0.1
セレン	ng/l	ND	0.01

2. 4 掘削添加材及び薬剤の配合と使用量

(1) 掘削添加材の配合並びに添加量

掘削添加材の役割は、地下水のチャンバー内への流入を防止して掘削土砂を塑性流動化させることであり、「シールド工法技術協会 泥土加圧シールド工法」の技術・積算資料に準じた配合及び添加量とする。

(2) CP-Mの添加量

CP-Mは切羽地質に存在する細粒分(粘土・シルト)と掘削添加材のベントナイト・粘土の量に応じて添加する。

CP-M 1.0 kgは、

- ベントナイト(出雲産) 25 kg
- 掘削添加材の粘土(笠岡産) 200 kg
- 切羽地質の粘性土 200 kg

を凝集する能力を持っている。故に添加量の計算は、切羽地質の細粒分の量と掘削添加材に含まれるベントナイト・粘土の量を算定して定める。

(3) CP-Sの添加量

CP-Sの添加量は、CP-Mの添加量に比例する。CP-M 1.0 kgに対してCP-S 0.5 ℥添加が原則である。しかし掘削土のpHが地下水や掘削添加材の影響で高い場合(アルカリ性)は、CP-Sの添加量を増やす必要がある。したがってCP-Sの適正な添加量は、切羽地質と同じ土砂と掘削添加材を用いて改良試験を行い決定する必要がある。

(4) 計算例

1) 地山及び添加泥漿の細粒分の計算

- ① 地山に含まれる細粒分……砂礫土

湿潤密度	2.16 g/cm ³
含水比	15.4%
粒度構成	礫・砂 分 94%
	シルト・粘土分 6%

土砂 1.0 m³当りのシルト・粘土分重量は、

$$2160 \text{ kg} \div 1.15 \times 0.06 = 112 \text{ kg}$$

② 挖削添加材の細粒分

・掘削添加材の配合（1. 0m³あたりの配合）：「シールド工法技術協会 泥土加圧シールド工法」による50%配合

ベントナイト	粘土	水
208 kg	208 kg	833 ℥

・地山への添加率…30%

添加率を30%とすると、地山1.0m³に対して添加される細粒分は次のようになる。

$$\text{ベントナイト } 208 \text{ kg} \times 0.30 = 62.4 \text{ kg}$$

$$\text{粘 土 } 208 \text{ kg} \times 0.30 = 62.4 \text{ kg}$$

2) CP-Mの添加量の計算（掘削土1.0m³当たり）

前頁1)で求めた細粒分を凝集するのに必要なCP-Mの添加量を計算する。

$$112 \text{ kg} / 200 + 62.4 \text{ kg} / 200 + 62.4 \text{ kg} / 25$$

(地山のシルト・粘土分) (添加材中の粘土分) (添加材中のベントナイト分)

$$= 0.56 \text{ kg} + 0.31 \text{ kg} + 2.50 \text{ kg}$$

$$= 3.37 \text{ kg} \text{ (掘削土 } 1.0 \text{ m}^3 \text{ + 添加材 } 0.30 \text{ m}^3 \text{ あたり)}$$

よって、排土量1.0m³当たりのCP-Mは

$$3.37 \text{ kg} \div 1.0 \text{ m}^3 = 2.59 \text{ kg/m}^3$$

3) 挖削添加材中へのCP-M添加量

添加率30%の場合、地山土砂1.0m³と添加材の改良に必要なCP-Mの量は、

3.37 kgとなる。この時、掘削添加材に添加しておくCP-Mの量は、

$$3.37 \text{ kg} \div 0.30 = 11.2 \text{ kg}$$

故に、掘削添加材1.0m³中にCP-Mを11.2kg添加しておく。

4) CP-Sの添加量

地山土砂1.0m³とこれに添加した添加材の改良に必要なCP-Mの量は上記2)より、

3.37 kgである。したがって、CP-Sの添加量は地山1.0m³当たり

$$3.37 \times 0.5 = 1.7 \text{ ℥} \text{ となる。}$$

2. 5 材料の添加方法

(1) 挖削添加材

掘削添加材の切羽への添加は、一般の泥土圧シールド工法と同様に地上プラントからポンプを用いてシールド機カッターの添加口から行う。

(2) CP-M (ケミカルプラグ主剤)

CP-Mは、掘削添加材に混入して切羽に添加する。したがって、CP-Mの添加量は、掘削添加材の注入量と作液時の混入量によって決定される。掘削添加材への混入は、掘削添加材プラントにCP-Mプラントを併設し、混練りミキサにベントナイト・粘土・水等を投入して掘削添加材を作液する際にCP-Mを所定量計量して投入する。

掘削添加材とCP-Mの添加システムを図-2. 2に示す。添加量の制御は、自動注入と手動注入があり、自動注入は予め設定しておいた注入率（調整可能）で掘削速度に応じた注入を実施する（可変量注入）。手動注入は掘削速度等に関係なく定量注入するものである。

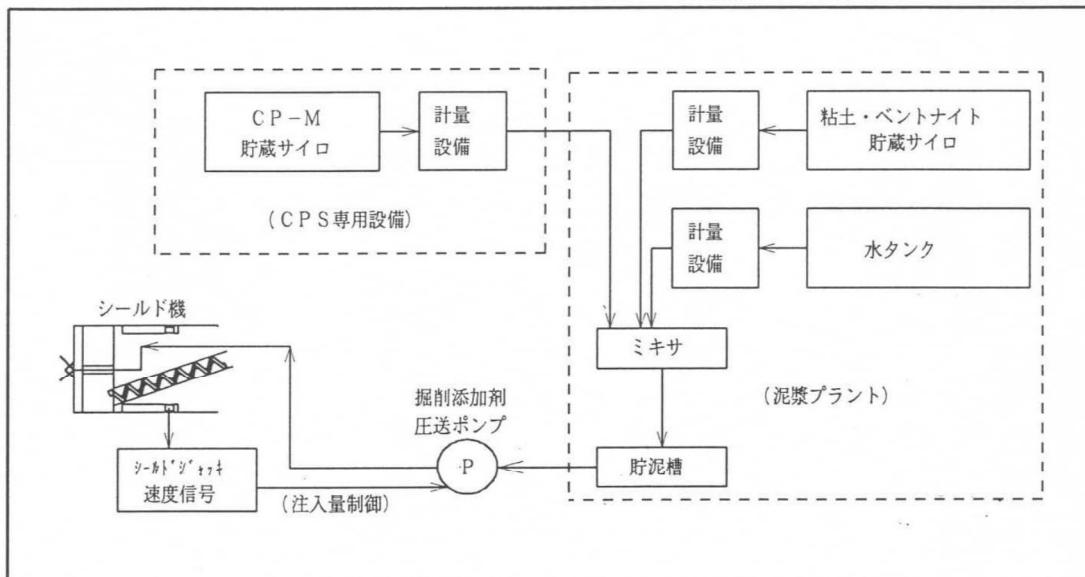


図-2. 2 挖削添加材・CP-M添加システム図

(3) CP-S (ケミカルプラグ助剤)

CP-Sは、スクリューコンベヤから添加する。スクリューコンベヤのケーシングに注入孔を設けて、ポンプで加圧注入する。注入孔は複数ヶ所設けておき、最も切羽に近い側から注入をはじめて適切な位置をトライアル施工で決定する。施工中は、地質及び掘進状況により注入位置の変更を検討する。

① プラント設備

貯留設備と注入ポンプを設ける。注入量の規模によりプラントは、

- ・地上基地に設置
 - ・シールド機後続台車上に設置
- の2通りあり、施工条件にあわせて選択する。

② 注入量の制御

- ・自動注入… 注入ポンプの吐出量を掘削速度に比例させて予め設定した注入率になるように制御する（可変量注入）。
- ・手動注入… 予め設定した注入量で定量注入を行う。

③ CP-S原液の稀釀

CP-Sは原液添加も可能であるが、使用量が少量（数ℓ/m³）なので注入量管理・拡散・混合の面で有利な様に2～4倍程度に清水で稀釀して注入する。

CP-Sの注入システムを図-2. 3に示す。

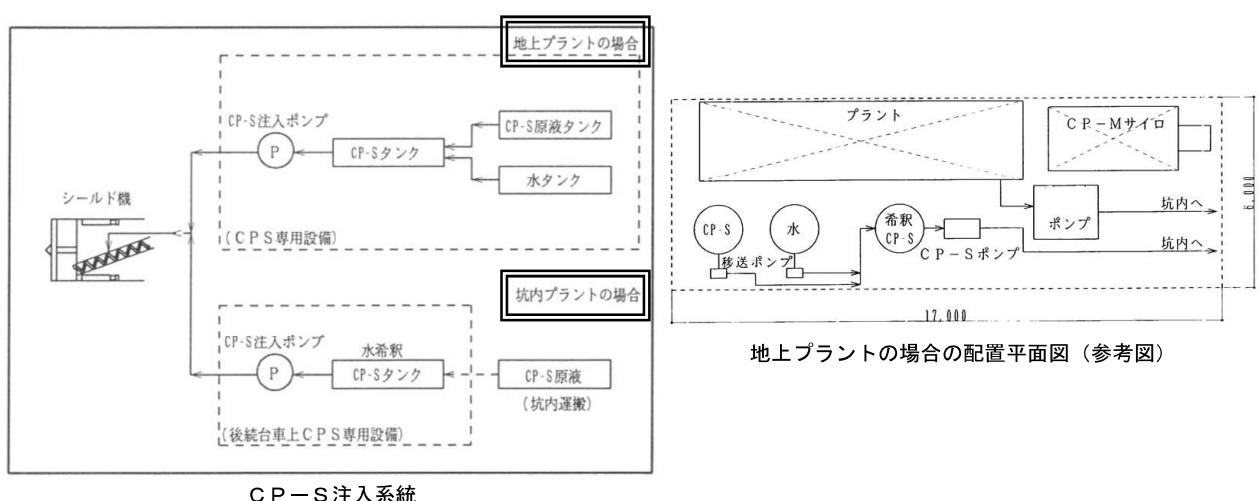


図-2. 3 CP-S注入システム図

3. 薬剤及び止水プラグの効果

3. 1 薬剤の効果

CP-MとCP-Sの泥土に対する効果と特徴を以下に示す。

- ・流動性の高い泥土化した掘削土砂を、短時間（数十秒）で流動性を消失した良質土に改良する。
- ・主剤CP-Mと助剤CP-Sの2種類の薬剤を使用することで、スクリューコンベヤ内における改良効果の発揮を任意の位置に設定することが可能である。

泥土化した掘削土砂を改良するメカニズムは、土砂中の細粒分を凝集・脱水させ、ペアリング作用を消失させることによるものである。掘削土砂が砂礫の場合は、改良土砂の上を人が歩ける程度の強度に改良できるが、セメント系泥土固化材の様に大きな強度増加は望めない。また、発生土処分地の受け入れ条件により、含水比の非常に高い土砂や粘性土の場合には二次改良を必要とする場合がある。

写真-3. 1は、建設現場で発生した流動性の高い土砂に薬剤添加したもので、写真左が改良前、写真右が改良後である。改良効果により泥土化した掘削土砂の流動性が失われた様子が確認できる。



写真-3. 1 泥土改良剤の改良効果

つぎに、泥土が改良される状況を時間を追って撮影したものを写真-3. 2～10に示す。なお、助剤CP-Sの添加から改良完了まで、泥土の混合攪拌を継続した。



写真-3. 2 改良前

① 写真-3. 2

掘削土砂を模した改良前の泥土を示している。すでに添加材と主剤CP-Mが添加されている。ポリ容器の内側に、攪拌の際に添加材が付着している。

泥土に含まれている礫の色は判別できない。

② 写真-3. 3

助剤CP-Sの添加状況である。添加しただけでは、泥土の性状は変化しない。

③ 写真-3. 4

CP-S添加後10秒の泥土の状況である。CP-Sの添加前と殆ど変わらない性状を示している。

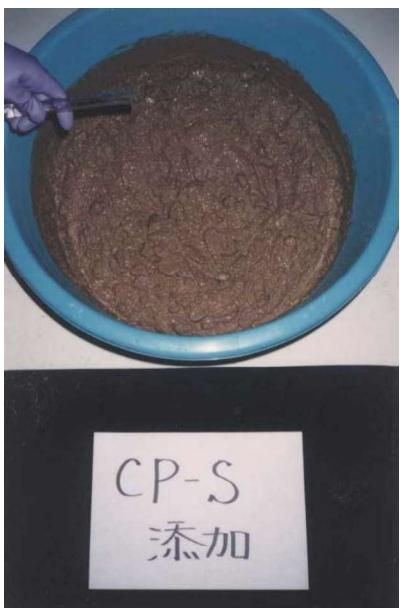


写真-3. 3 CP-S 添加

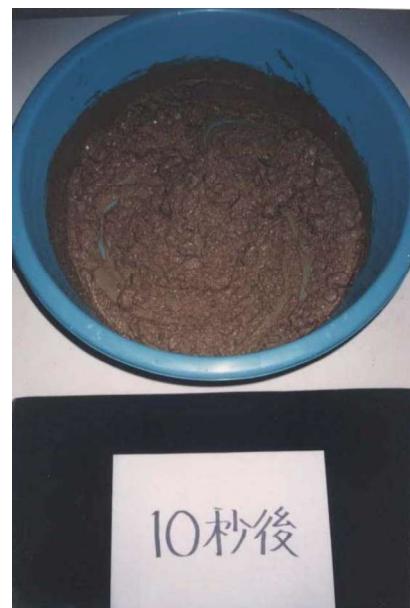


写真-3. 4 10秒後



写真－3. 5 20秒後

④ 写真－3. 5

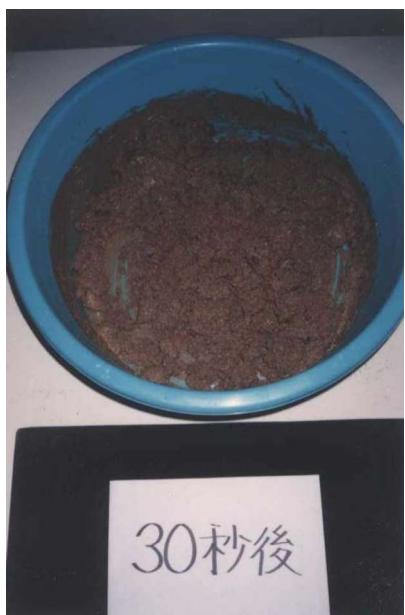
C P－Sの添加後攪拌を20秒継続した後の状況を示している。泥土の粘性がやや高くなっている。

⑤ 写真－3. 6

攪拌を30秒続けた後の泥土の状況である。泥土の粘性がさらに大きくなっている。攪拌の際の抵抗が大きくなる。

⑥ 写真－3. 7

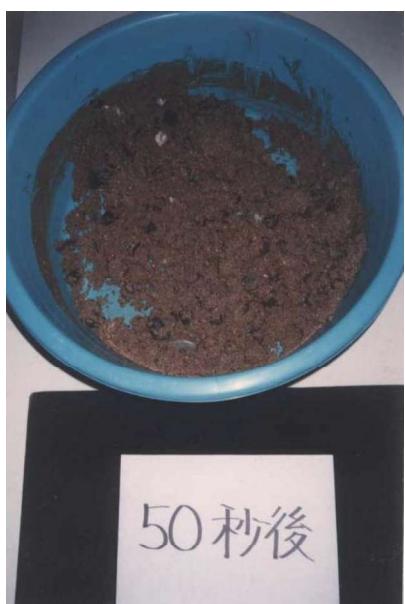
C P－Sの添加から40秒後である。薬剤の凝集効果があらわれて、碟の表面の色が少し判別できる様になっている。流動性は急速に失われた状態となり、ポリ容器の底が見えるようになっている。



写真－3. 6 30秒後



写真－3. 7 40秒後



写真－3. 8 50秒後

⑦ 写真－3. 8

CP-Sの添加から50秒後である。泥土状態の時の比較すると、判別できる礫の数が多くなっている。

⑧ 写真－3. 9

攪拌開始から60秒後である。改良は、ほぼ完了しており、ポリ容器の内側壁に付着した泥漿分も、攪拌の間に凝集されている。

⑨ 写真－3. 10

改良後の状態である。試料土は流動性を失い、ポリ容器の片側に寄せても崩れることはない。また、ポリ容器の底面に付着した細粒分も、攪拌の間にほぼ凝集されている。



写真－3. 9 60秒後



写真－3. 10 改良後

3. 2 止水プラグの形成

CP-MとCP-Sによって掘削土砂が改良され、切羽圧力に対抗する止水プラグを形成する状況について説明する。図-3. 1はCPS工法におけるシールド機断面で、CP-Mは掘削添加材とともに切羽へ添加し、CP-Sはスクリューコンベヤ中程に設けた注入孔から注入している様子を表している。

(1) 掘削土砂の性状変化 (項目A～Eの位置は図-3. 1を参照)

A. カッターヘッドチャンバー内

掘削土砂と掘削添加材が混合され、土砂は止水性が高まり塑性流動化している。チャンバー内に発生する泥土圧によって切羽の安定を図る。

B. スクリューコンベヤ前半部 (CP-S注入孔より切羽側)

掘削土砂は、塑性流動状態のままスクリューコンベヤで搬送される。

C. CP-S注入孔からスクリュー2～3ピッチ後方 (改良ゾーン)

CP-Sの注入により、CP-Mの特殊コーティングが解除されてCP-Mの改良効果が發揮され始める。

D. スクリューコンベヤ後半部～駆動部 (プラグゾーン)

C区間で改良された土砂は流動性を失って搬送され、通過抵抗の大きな駆動部箇所より切羽側のスクリューコンベヤ内に充填されていき止水プラグが形成される。

E. 駆動部～ゲート間 (プラグ形成ゾーン)

外周駆動部からゲートまでをプラグ形成ゾーンと称し、排出土砂の抵抗となって止水プラグの形成に寄与する。

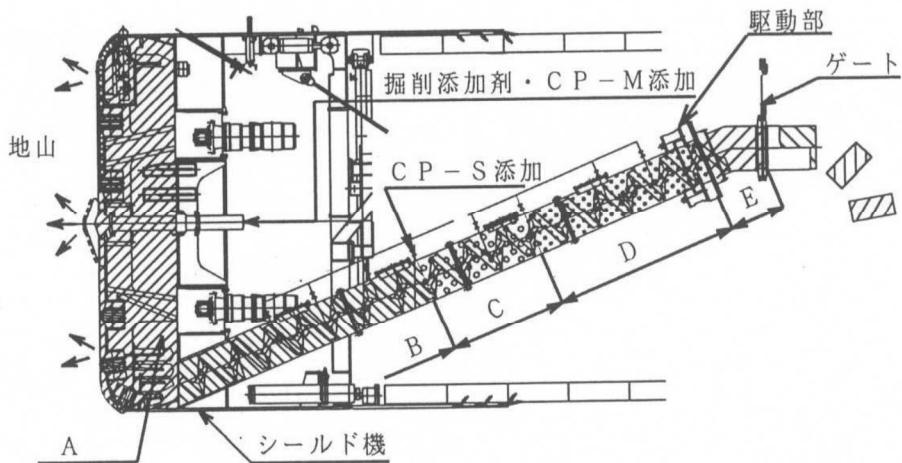


図-3. 1 カッターヘッドチャンバー内～ゲート部にかけての掘削土砂の性状変化

(2) 止水プラグの形成

止水プラグは、

- ・流動性を消失した改良土
- ・スクリューコンベヤのトラフ回転閉塞効果*
- ・スクリュー駆動部に後続する、プラグ形成ゾーン

} の複合作用で

形成することが出来る。

*トラフ回転閉塞効果とは

外周駆動方式のスクリューコンベヤは、駆動部においてケーシングとスクリュー羽根が溶接接合されており、ケーシングを回転させる事によりスクリューに回転力が伝わる。したがって、駆動部においてはケーシングと羽根が、同一方向に同一回転数で回転するので土砂の搬送が行われない。よって、スクリューの他の部分と異なって土砂の通過抵抗が大きくなり、閉塞効果が得られる。

(3) 施工時の止水プラグの安定性

形成した止水プラグの維持は、スクリューコンベヤの駆動トルクの測定と、スクリューコンベヤの排土口をカメラで監視することにより実施する。止水プラグの安定性を左右する要因としては以下に示す項目 1) ~ 4) があげられる。

1) 溫 度

実物大模型実験の過程で、泥土の温度、特に低温時（0°Cから5°C程度）に薬剤の改良効果に影響を与えることが確認された。実際の現場では、掘削土砂は15°C程度以上であり、施工上は問題ないものと考えられる。

2) 地山のアルカリ性及び酸性と含有イオン

C P S 工法の適用が困難な地盤は、地山の pH が強酸性あるいは強アルカリの地盤や薬剤の反応を阻害するイオンの豊富な地盤である。

これらの地盤では、薬剤の改良効果が十分に発揮されないので、本工法を採用する場合には地下水の水質調査により対応策を検討することが重要である。

- ① 強アルカリの地盤…… 薬液注入地盤がこれに該当する。C P - M の効果を発揮する為には排出土を中性域にする必要がある。したがって強アルカリの地盤では、C P S の添加量が非常に多くなる。C P - S の添加量が多くなると経済性及び排土の含水比の面で不利になる。
- ② 酸性地盤…………… 火山噴出物等を多く含む地盤が該当する。この様な地盤を掘進すると、シールド機のチャンバー内で掘削土砂が中性域になり、チャンバー内で改良効果が発揮される。対応策として、添加材中に炭酸ナトリウム等の取り扱いの容易なアルカリ付与剤を添加する。
- ③ 有害イオン…………… 有害イオンには、薬剤に影響を与えるものと、掘削添加材に影響を与えるものがある。薬剤は通常ノニオン系を使用するが、カチオン系の薬剤も使用実績（狩野川シールドで使用）があり、対応可能である。また、掘削添加材は耐塩性のベントナイトを使用するか、増粘材を使用することで対応可能である。

3) 切羽圧力の変動

良好な止水プラグが形成されている状態では切羽圧力の変動は少なく、通常の掘進管理として、スクリューコンベヤの駆動トルクを監視し対応する。切羽圧力が何らかの原因で大きく変動した場合には、シールド機のチャンバー内に流入する地下水が多くなり、排出土砂の含水比が高くなつて止水プラグのプラグ効果の低下を引き起こすことがある。切羽圧力の低下が頻繁に起こる場合には、スクリューコンベヤの回転数及びゲート開度の調整を行うことにより対処が可能である。

4) 土質の変化

土質の変化に対しては通常の泥土圧シールド工法と同様に、

- ・掘削添加材の配合及び注入率を変化させる
 - ・スクリューコンベヤの回転数及びゲート開度の調整
- により対応可能である。また、C P S 工法独自の対策としては、
- ・薬剤（C P - M、C P - S）の添加量の変更
 - ・C P - S の注入孔位置の変更

があり、幅広い対応が可能である。

3. 3 改良土の判定試験

C P S 工法の計画・施工の際には、泥土改良度判定試験の実施が重要である。判定試験は下記の目的で実施する。

- ① 立坑施工時の土砂を採取して試験練り及び判定試験を実施し、施工計画の見直しを行う。
(室内配合試験)
- ② 施工時排出の土砂で判定試験を実施し、薬剤の添加量管理等の施工管理を行う。
(施工管理試験)

使用材料及び器具は、次に示すものの中から適切なものを選んで使用する。

(1) 使用材料

- ① C P - M (ケミカルプラグ主剤)
- ② C P - S (ケミカルプラグ助剤)
- ③ 土砂……立坑施工時の採取土と掘進時の排出土砂
- ④ 掘削添加材……2～3種類の配合
- ⑤ 地下水

(2) 使用器具

- ① プラスチック製ディスポーザブルカップ (1,000cc)
- ②攪拌用スプーン
- ③ハカリ
- ④メスシリンドー (1,000cc)
- ⑤濁度計
- ⑥p H試験紙 (p H計)
- ⑦ストップウォッチ

(3) 室内配合試験

1) 試料土の作製

1 ℥のカップに試料土砂を 500 cc とり、所定の添加材を混合する（500 cc の試料土砂は良く締め固めた後、水で飽和させる。土砂表面の浮水は布で吸い取る）。

2) CP-M の添加・混合

所定量の CP-M を試料土に添加して、混合する（試料土を数種類準備しておき、異なる CP-M の添加量で試験する）。

3) CP-S の添加・改良混合

各カップに CP-S を所定量より、少し多めに添加して攪拌用スプーンで混合する。
試料土の改良が完了するまでの時間を記録しておく。

4) CP-M の添加量の判定

① 改良できた場合

・観察により判定する。

流動性が無くなり、泥土に含まれていた砂や礫が識別できるようになる。

・濁度測定による判定

800 cc の水を入れた 1 ℥のメスシリンダー中に 200 cc 改良土砂を投入する。メスシリンダー頭部に蓋をして、2~3 回ひっくり返して台の上に静置する。5 分後、メスシリンダー中深部の水を採取し、濁度試験を行う。

【判定規準】

0 ~ 100 ppm …… CP-M が良く効き、添加量は十分である。

100 ~ 200 ppm …… 添加量は適正である。

200 ppm 以上 …… 添加量は不足している。

② 未改良の場合

2 分間程度混合しても改良できない場合は試料土砂の pH を測定し、pH が 7 以下の時は CP-S の添加量が十分であるにも係わらず改良が不可能なので、CP-M の添加量が不足していると判断する。

5) CP-S の添加量試験

上記（3）の室内配合試験と同様の材料で試験を実施すればよいが、CP-S の最適添加量を設定するため以下に示す条件で CP-S の添加量を変化させて試験する。

① CP-S の添加・改良混合

所定量の CP-S に対して、-15%、0%、+15%、+30%、+45% 程度の添加量を設定して添加し、改良できるまで混合する。

② 判定

改良土砂を手に取り、強く握って脱水させる。脱水した水は各々別の容器に採り、pH 試験紙で pH を測定する。

【判定規準】

pH < 6.0 …… CP-S 添加過剰

6.0 ≤ pH ≤ 7.5 …… CP-S 添加適正

7.5 < pH …… CP-S 添加不足

(4) 施工管理試験

掘進時に排出される土砂に対して、泥土改良度判定試験を実施すれば、施工管理試験となる。

① 掘削土砂が改良されている場合

a) CP-Mの添加量の判定

室内試験と同様に濁度試験を実施する。

【判定規準】

0～100 ppm …… CP-Mが良く効き、添加量は十分である。

100～200 ppm …… 添加量は適正である。

200 ppm以上…… 添加量は不足している。

b) CP-Sの添加量の判定

排出土砂のpHを測定して判定する。

【判定規準】

pH < 6.0 …… CP-S 添加過剰

6.0 ≤ pH ≤ 7.5 …… CP-S 添加適正

7.5 < pH …… CP-S 添加不足

② 未改良の場合

a) 攪拌混合程度の判定

採取した土砂をさらにスプーンで混合する。

【判定規準】

改 良…… 混合不足…… CP-S の添加位置を切羽側に変更する。

未改良…… 薬剤の添加量を調査する必要がある。

b) CP-Sの添加量の判定

採取土砂のpHを測定する。

【判定規準】

pH < 6.0 …… CP-S 添加過剰

6.0 ≤ pH ≤ 7.5 …… CP-S 添加適正

7.5 < pH …… CP-S 添加不足

※添加不足の判定の場合には、CP-Sを追加して混合し、泥土が改良されることを確認する。

c) CP-Mの添加量の判定

混合程度の判定・CP-Sの添加量判定を行った後に濁度試験により実施する。

【判定規準】

0～100 ppm …… CP-Mが良く効き、添加量は十分である。

100～200 ppm …… 添加量は適正である。

200 ppm以上…… 添加量は不足している。

4. 施工計画

4. 1 事前調査

(1) 地質調査

一般的の泥土圧シールド工法に必要な地質調査項目と同様である。切羽地質の粒度分布試験結果から掘削添加材及び薬剤（C P-M、C P-S）の添加量を設定する。

(2) 地下水の水質調査

C P-M、C P-Sによる改良効果を妨げる物質が地下水中に混入している場合がある。このため水質調査を実施する必要がある。調査項目は負荷電のイオンとpHである。

・負荷電のイオン

C l⁻ (塩素)

S i O₂²⁻ (シリカ)

S O₄²⁻ (イオウ) 等

・pH

上記のイオンが大量に検出された場合や、pHが酸性側の場合には改良試験を実施すると共に、異常があれば薬剤メーカーに依頼して対応策を検討する必要がある。また、掘削添加材に影響を与える陽イオンが検出された場合には添加材の材料、配合等について対応策を検討する必要がある。

対策の一例

・負荷電のイオン

通常はノニオン系の薬剤を使用するが、カチオン系に変更する。

・酸性地盤

炭酸ナトリウム等の取り扱いの容易なアルカリ材を添加材に添加する。

4. 2 シールド

C P S工法に使用するシールド機は、スクリューコンベヤ及び運転制御システムを除けば、一般的の泥土圧シールド機と同一である。したがって、C P S工法用のシールド機の形式も一般的の泥土圧シールド機と同様に、掘削径・掘削対象土質及びその他施工条件に応じて設計すればよい。C P S工法用シールド機設計の際に、考慮すべき事項を以下に示す。

- ① 高水圧下における施工を対象としているので、テールシール・カッターヘッド駆動部シール等は高水圧対応設計とする。
- ② カッタービット・カッターヘッド装備トルク等は、礫層掘進仕様とする。
- ③ スクリューコンベヤは、リボンタイプの外周駆動方式とする。
- ④ 止水プラグを形成させるとスクリューコンベヤの摩耗量が増加するので、ケーシング・リボンスクリューともに耐摩耗仕様とする。
- ⑤ 流動性のない改良土を排出するため、スクリューコンベヤを高回転・高トルク仕様とする。
- ⑥ スクリューコンベヤにC P-Sの注入孔を数ヵ所設ける。
- ⑦ 止水プラグの形成維持運転システムを装備する。

- ⑧ ゲートの開閉速度を通常の2倍に設定する。
- ⑨ 蓄圧装置（アクヒュームレータ）を装備し、停電時にゲートを自動閉塞できるように設定する。
- ⑩ スクリューコンベヤトルクが管理限界値を下回った場合にはゲートを自動的に閉塞し、シールド機の運転を停止する機能を有する。

スクリューコンベヤの仕様の詳細は、次のとおりである。

(1) スクリューコンベヤの仕様

① 基本形状

C P S工法では、スクリューコンベヤ内に助剤C P - Sを注入して土砂を混合・改良するため、スクリューに攪拌能力を持たせる必要がある。また、流動性を失った土砂を排土するので、スクリューコンベヤ回転軸と直角方向に排土すると排土抵抗が大きくなりすぎる。

上記理由よりC P S工法用シールド機のスクリューコンベヤは、次の形式を基本とする。

- ・リボンスクリュータイプ
- ・外周駆動方式
- ・後端排土（スクリューコンベヤの回転軸方向へ排土する）

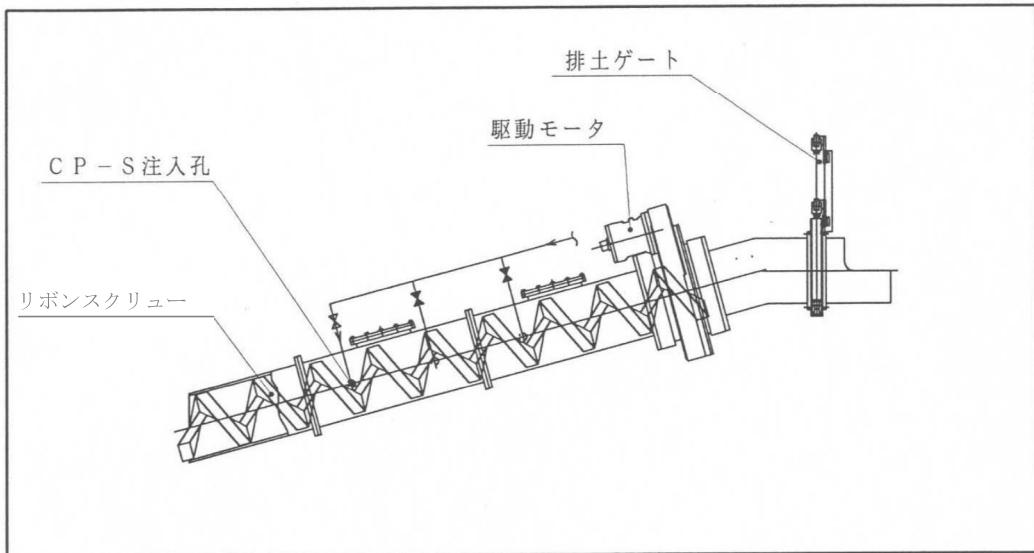


図-4. 1 スクリューコンベヤ参考図

② CP-S注入孔

助剤CP-Sは、スクリューコンベヤ中程に設けた注入孔から注入ポンプで添加する。注入孔は、CP-Sがスクリューの断面に均等に拡散し、泥土改良が不良とならないよう円周上に1～3ヶ所設ける。また、スクリューコンベヤ内の土砂の改良時間が調整できるように、注入孔をスクリューの前後方向で数ヶ所設けて注入位置を変えられる構造とする。

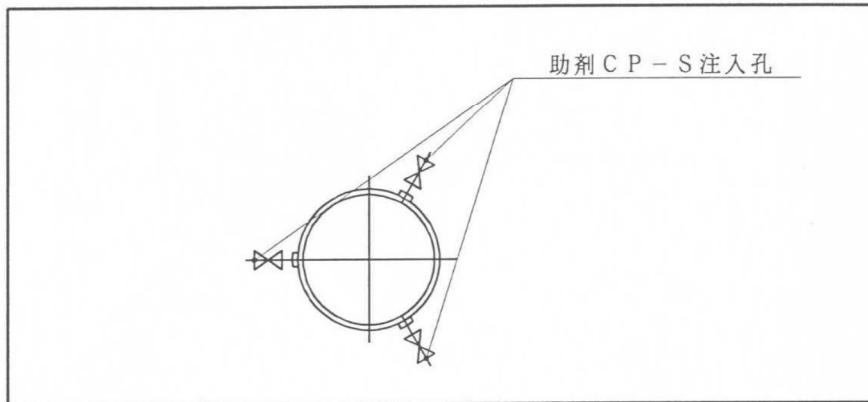


図-4.2 スクリューコンベヤ断面とCP-S注入孔

③ CP-M添加口

主剤CP-Mは、掘削添加材に混入して切羽に添加するため、一般的な泥土圧シールド機の掘削添加材の添加口と同一の構造でよい。

④ プラグ形成ゾーン (P16・図-3.1参照)

スクリューコンベヤ内で改良された土砂は、スクリューコンベヤ内後方のプラグゾーン(D)で止水プラグを形成し、切羽の高水圧に対抗する。プラグ形成ゾーン(E)は、止水プラグの後方に位置して、排出土砂に対する抵抗となって止水プラグの形成に寄与する。プラグ形成ゾーンの長さは、標準値としてスクリューの2ピッチ分とする。ただし、土の性状変化を考慮してプラグ形成ゾーンの長さを変えられるような構造(図-4.3の「長さ調整用スペーサ」部分)にする必要がある。

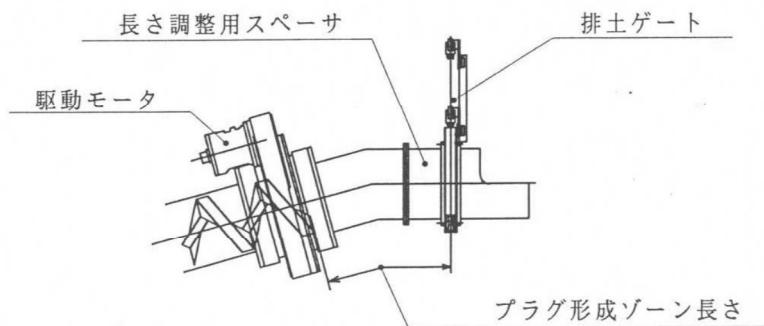


図-4.3 プラグ形成ゾーン詳細図

⑤ 摩耗対策

C P S工法では、掘削土砂の噴発防止のためにスクリューコンベヤ内部で掘削土砂を改良して流動性を低下させているので、一般の泥土圧シールドの場合と比較してスクリューコンベヤに対する負荷が大きくなり摩耗量も増大する。したがって以下の摩耗対策が必要である。

- ・スクリューケーシング内面に硬化肉盛をする
- ・スクリューケーシング最後端部内面に超硬チップを溶接する
- ・スクリュー外周に超硬チップを溶接する
- ・スクリュー外周超硬チップ間に硬化肉盛をする

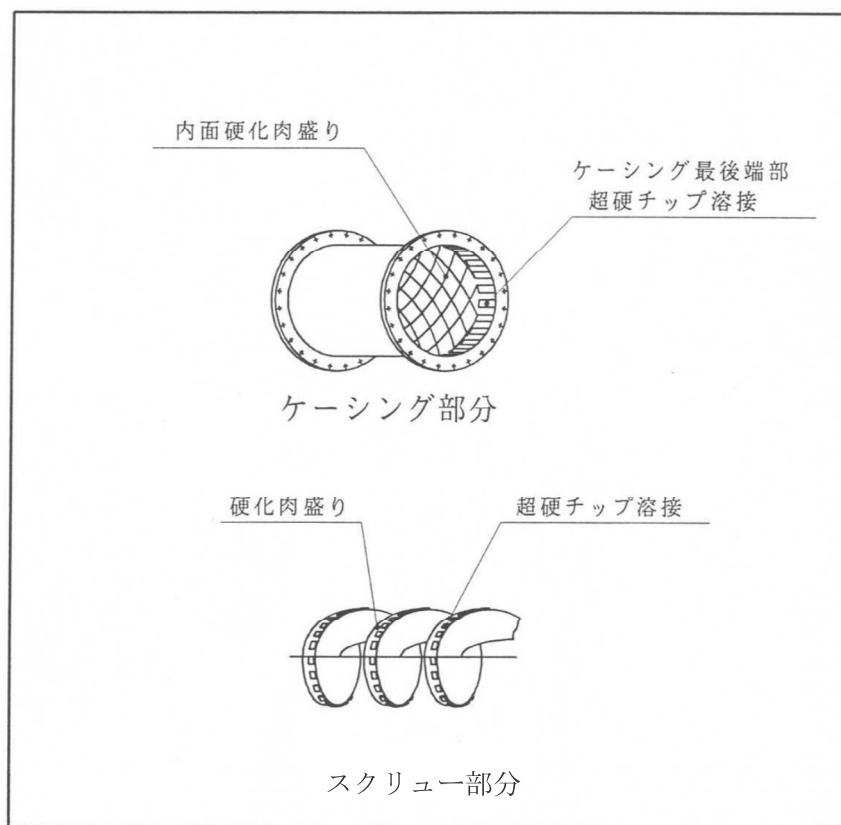


図-4. 4 スクリューコンベヤの摩擦対策

⑥ 仕様の決定方法

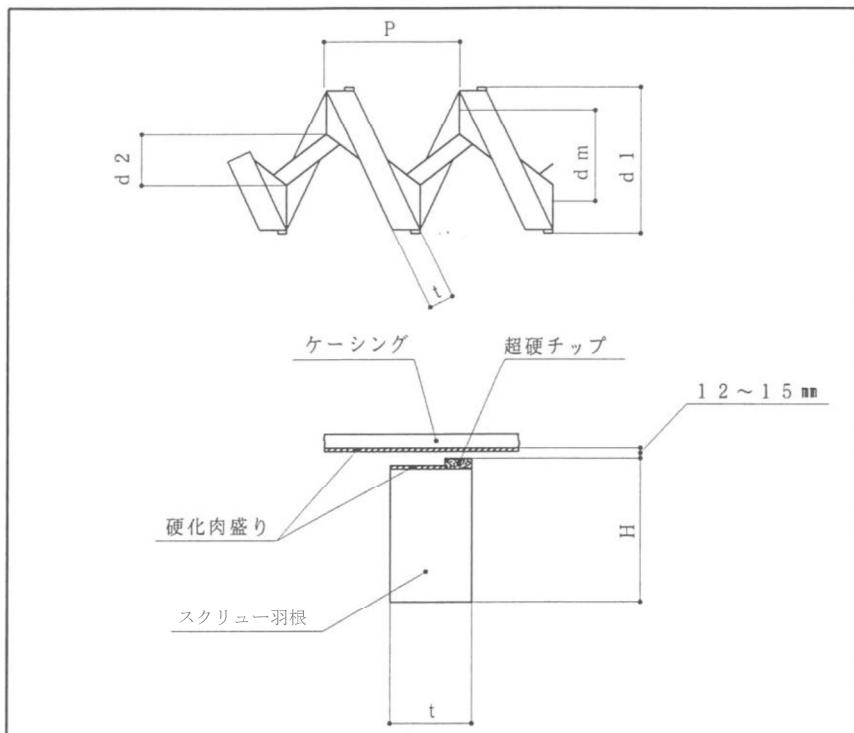


図-4. 5 スクリューコンベヤ詳細図

a) スクリューケーシング外径 d_3 (mm)

スクリューケーシング外径は、一般の泥土圧シールドと同様に取付可能スペース、搬送礫径、搬送土量をもとに選択する。ただし搬送土量の計算については、f) 項に示すCPSスクリューとしての所用回転数を考慮する必要がある。

b) スクリュー羽根外径 d_1 (mm)

スクリュー羽根外径は、スクリューケーシング内径とのクリアランスが12~15 mmとなるように決定する（スクリュー羽根外径には溶接超硬チップを含む）。

c) スクリューピッチ P (mm)

$$\beta = \tan^{-1} (P / \pi \cdot d_m) \quad (\beta = 22 \sim 25^\circ)$$

β : 平均リード角

P : スクリューピッチ

d_m : スクリュー平均径 (mm) $d_m = (d_1 + d_2) / 2$

d_1 : スクリュー羽根外径 (mm)

d_2 : スクリュー羽根内径 (mm)

上記式の β が $22 \sim 25^\circ$ となるようにピッチを設定する。

d) スクリュー羽根板厚 t (mm)

$$\gamma = [(d_1^2 - d_2^2) \times t / \cos \beta] / (d_1^2 \times P)$$

γ : スクリュー1ピッヂにおける羽根体積比

上記式の γ が約0.2(20%)となるように板厚を設定する。

e) スクリュートルク T (kNm)

CPS工法のスクリュー装備トルクは、一般の泥土圧シールド機のスクリュートルクよりも大きくする必要がある。標準設定値は $\alpha = 300$ とする。

$$T = \alpha d_1^3$$

$$T = 300 d_1^3$$

T : トルク (kNm)

d_1 : スクリュー羽根外径 (m)

(一般的には通常スクリュートルクの約1.5倍)

f) スクリュー回転数 N (rpm)

スクリューの回転数は、スクリューの搬送効率が50%の時に目標処理土量を満たす回転数とする（スクリュー回転数は、10～15 rpmとする）。攪拌効果をもたらせるため一般の泥土圧シールド機より高回転になる。計算式は次式による。

掘削土量 V_1 (m³/H)

$$V_1 = \pi / 4 \times D^2 \times v \times \eta$$

D : シールド外径 (m)

v : 掘進速度 (m/H)

η : 土のふけ率

$$N = \frac{V_1}{\pi / 4 \times [d_1^2 \times P - (d_1^2 - d_2^2) \times t] \times 60 \times 0.5}$$

g) スクリュー長さ L (mm)

掘削土砂のスクリューコンベヤ内滞留時間は、一定以上の時間が必要である。実物大模型実験の結果より、基準滞留時間を1～2分とするが、この時間は一般的なスクリューコンベヤ長さであれば十分満たされる値である。

⑦ 補助的対応（通常施工では噴発の防止が出来ない場合）

a) スクリューの攪拌混合能力強化

スクリューの攪拌混合能力が低いと、掘削土砂の改良効果も低下する。その場合にはスクリューにパドルを取り付けることにより攪拌混合能力を上げる（スクリュー1ピッチに1～2ヶ所の割合で取り付ける）。

b) 噴発防止対策

改良不足のために噴発の恐れがある場合は、排土ゲートを閉めてスクリューコンベヤの正転逆転を繰り返したり、回転数を変化させたりする必要がある。それでも噴発の可能性がある場合はセンタプラグをスクリューに溶接し、機械的に防止する。

スクリューコンベヤ径とシールド機径の関係を以下に示す。

表-4. 1 スクリューコンベヤ径とシールド機径

	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧
スクリュー羽根外径 d ₁ (mm) スクリューケーシング外径 d ₃ (mm)	φ 300 (φ 355.6)	φ 350 (φ 406.4)	φ 400 (φ 457.2)	φ 450 (φ 508.0)	φ 500 (φ 558.8)	φ 550 (φ 609.6)	φ 600 (φ 660.4)	φ 640 (φ 711.2)
スクリューピッチ P (mm)	310	355	400	450	500	550	570	600
スクリュー羽根厚さ t (mm)	75	85	95	100	110	120	123	125
スクリュー羽根高さ H (mm)	75	90	100	130	150	165	185	210
標準回転数 N (rpm)	10～15	10～15	10～15	10～15	10～15	10～15	10～15	10～15
スクリュートルク T (kNm)	8.1	13	19	27	38	50	65	79
シールド機径 D (mm) (参考)	1.9～2.2	2.1～2.5	2.0～3.0	2.5～3.5	3.0～4.0	3.5～5.0	4.5～5.5	5.0～7.5
セグメント外径 (参考)	1.8～2.1	2.0～2.4	1.9～2.9	2.4～3.4	2.9～3.9	3.4～4.9	4.4～5.4	4.8～7.3
仕上り内径 (参考)	1.2～1.5	1.5～1.7	1.2～2.2	1.6～2.6	2.2～3.0	2.6～4.0	3.5～4.5	4.0～6.2
排土量 m ³ /h (参考)	回転数 10rpm の時	5	8	12	18	24	32	40
効率 50%	回転数 15rpm の時	8	13	19	26	36	48	59
								47
								71

※表の数値は標準値であり、施工対象地盤に含まれる礫径
・礫率により割り増しを考慮する必要がある。

(2) 掘削土砂と添加材の混合搅拌機構

泥土圧シールド工法において掘削土砂と掘削添加材との混合は重要であるが、C P S工法の施工対象土質である高水圧下の条件ではさらにその重要性が増す。シールド機の直径や、掘削対象土質によって対策は異なるが、

- a. 搅拌棒の設置
- b. アジテーターの設置
- c. チャンバー部分の奥行き（深さ）の確保

等について検討する。

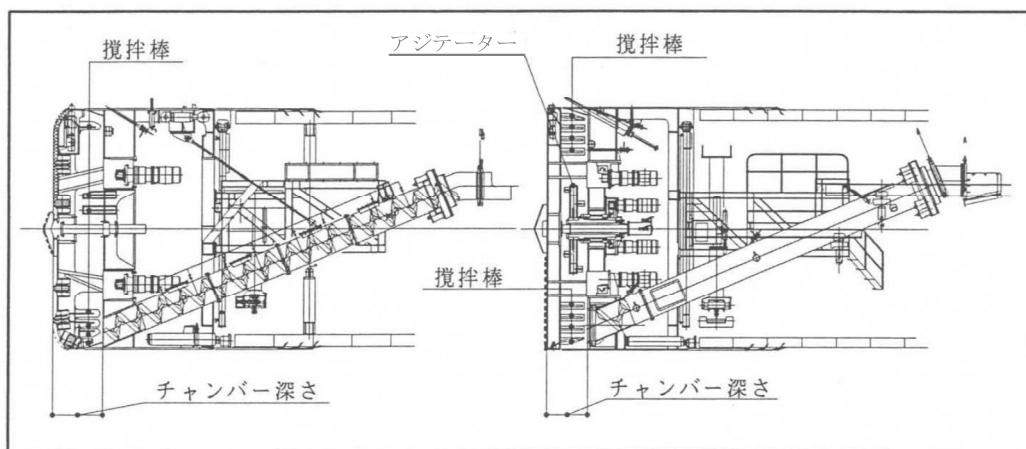


図-4. 6 C P S工法用シールド機参考図

① 搅拌棒について

- a) カッターヘッド背面に、円形または十字形断面の搅拌棒を設置する。
- b) 搅拌棒の数は、シールド機断面 1 m^2 当たり $0.3 \sim 0.5$ 本を目安とする。中心部より外周側に多く配置する。
- c) シールド機径 4 m 未満の機械において、カッターヘッドの支持方式に周辺支持方式を採用した場合には、搅拌棒を設置することにより掘削土砂がカッターヘッドに付着して回転しチャンバー内が閉塞する恐れがあるので、注意を要する。
- d) シールド機径 5 m 以上の機械において、カッターヘッドの支持方式に中間ビーム方式を採用してスクリューコンベヤをシールド断面の最下部に設置する場合は、中間ビームより内側の掘削土砂の流動性が悪くなる。これを解消するためカッターヘッド背面とバルクヘッド前面から交互に搅拌棒を配置して搅拌性能を向上させる。

※カッターヘッド背面に搅拌棒を設置した場合は「泥土加圧（D K）シールド工法」になる。

② アジテーターの設置について

前記①d) の場合において特に攪拌機能を要求される場合には、中間ビームの内側に独立した駆動装置を有するアジテーターを設置する。

③ チャンバー部分の奥行き(深さ)の確保

チャンバー部分の奥行きが短いと、掘削土と泥漿材が十分に混合されない内にスクリューコンベヤで排土される。CPS工法では、掘削土と泥漿材の混合が特に重要であるのでチャンバーの深さは十分な混合時間が確保できるものとする。

一般的にカッターヘッド前面からバルクヘッドまでの距離は、セグメント幅の1.1～1.3倍程度であり、チャンバー内には約1リング分の掘削土砂が滞留することになる。CPS工法においても同様にセグメント幅の1.1～1.3倍とする。

(3) 掘削添加材の添加位置について

掘削添加材の添加口は、カッター中心部及び外周部の複数ヶ所に設置する。添加位置によって注入量に差が出ない様に、切り替えバルブの設置や注入ポンプの複数化等の設備が必要である。

4. 3 施工設備

(1) CPS-M (ケミカルプラグ主剤)

① 圧送能力の検討

高水圧下の施工では、掘削添加材は高濃度になるため以下の項目について十分な検討を行わなければならない。

- ・配管径
- ・ポンプ能力
- ・注入圧力
- ・粘性
- ・比重
- ・中継ポンプ設置の必要性

② 注入位置及び注入系統 (1系統または複数系統)

シールド機径が大きくなるにつれ、添加口の箇所数が増加する。掘削添加材を各添加口より均等に注入するために、切り替えバルブまたは複数のポンプを設置する。

(2) CPS-S (ケミカルプラグ助剤)

① 注入系統 (1系統または複数系統)

実物大模型実験及び施工実績ではCPS-Sの注入孔は1箇所からで支障はなかつたが、高水圧下では安全を考慮して複数箇所から注入できるように設備を計画する。

② 注入位置

2段方式のスクリューコンベヤを採用した場合には、初期掘進時は1段目スクリューコンベヤから注入し、本掘進時には2段目スクリューコンベヤから注入する。2段目のみで不十分な場合には1段目スクリューコンベヤの注入系統を利用して注入する。

(3) CP-M、CP-Sの添加設備

CP-MとCP-Sの添加に必要な設備を表-4. 2に示す。

表-4. 2 薬剤添加設備

設 備 名		$\phi 2,000 \sim \phi 4,000$ 用		$\phi 5,000 \sim \phi 7,000$ 用	
		仕 様	数量	仕 様	数量
C P I M	貯蔵・払い出し 設 備	貯蔵用ホッパー (スクリューフィーダー付き) 容量 2 m^3	1式	貯蔵用サイロ (スクリューフィーダー付き) 容量 10 m^3	1式
	計量・添加設備	作泥プラントに 併設	—	上記に付属	—
	制 御 装 置	作泥プラントに 併設	—	同 左	—
	泥漿ポンプ吐出量 制 御 装 置	作泥プラントに 併設	—	同 左	—
管 理 設 备	計 測 装 置		1式		1式
	伝 送 装 置		1式		1式
CP -S	注 入 ポ ン プ	max $5\ell/\text{min}$ 0.8 MPa	1台	Max $20\ell/\text{min}$ 0.8 MPa	1台

設 備 名		坑内プラント		地上プラント	
		仕 様	数量	仕 様	数量
C P I S	CP-S タンク (原 液)	搬入用容器を使用	—	ポリ容器 (5 m^3)	1式
	CP-S タンク (希 釀)	坑内 500ℓ ポリ容器	1式	ポリ容器 (2 m^3)	1式
	水 タンク	坑内給水設備を 使用	1式	作泥プラントに 併設	—
	注入ポンプ吐出量 制 御 装 置	シールド機より制御 信号インバータ制御	1式	同 左	1式
	水中ポンプ (水用)		—	2 B 水中ポンプ	1式
	攪 拌 設 備			攪拌機 0.75 kw	1式

4. 4 掘削発生土の取り扱い

(1) 坑外への搬出方法

発生土は、流動性を消失した良質土の状態でスクリューコンベヤの排土ゲートから順次排出されるので、坑内の土砂搬送については次の様に考えられる。

① 適する搬送方法

- ・ズリトロ
- ・ベルトコンベヤー

② 不適当な搬送方法

- ・ポンプ圧送

③ 注意点

発生土に対して何らかの方法で強いせん断力を与えると、凝集によって形成されたフロックが切断分散し再び改良程度が悪化する恐れがある。

(2) 発生土の貯留方法

掘削土砂に含まれる水分は自由水となっており、圧力や振動を加えると脱水しやすくなっている。発生土を土砂ホッパーに一時貯留する場合は自然脱水が可能であるが、ピット方式を採用する場合には、排水方法を検討する必要がある。

5. 施工管理

C P S 工法の施工管理の目標は、「良好な止水プラグを形成する」ことである。この目標を達成するための管理方法は、以下の4項目に分類することができる。

- ・計測管理
- ・シールド機の運転管理
- ・掘削添加材の添加管理
- ・薬剤の添加管理

それぞれの管理項目を含めた全体の施工管理フローを図-5. 1に示す。

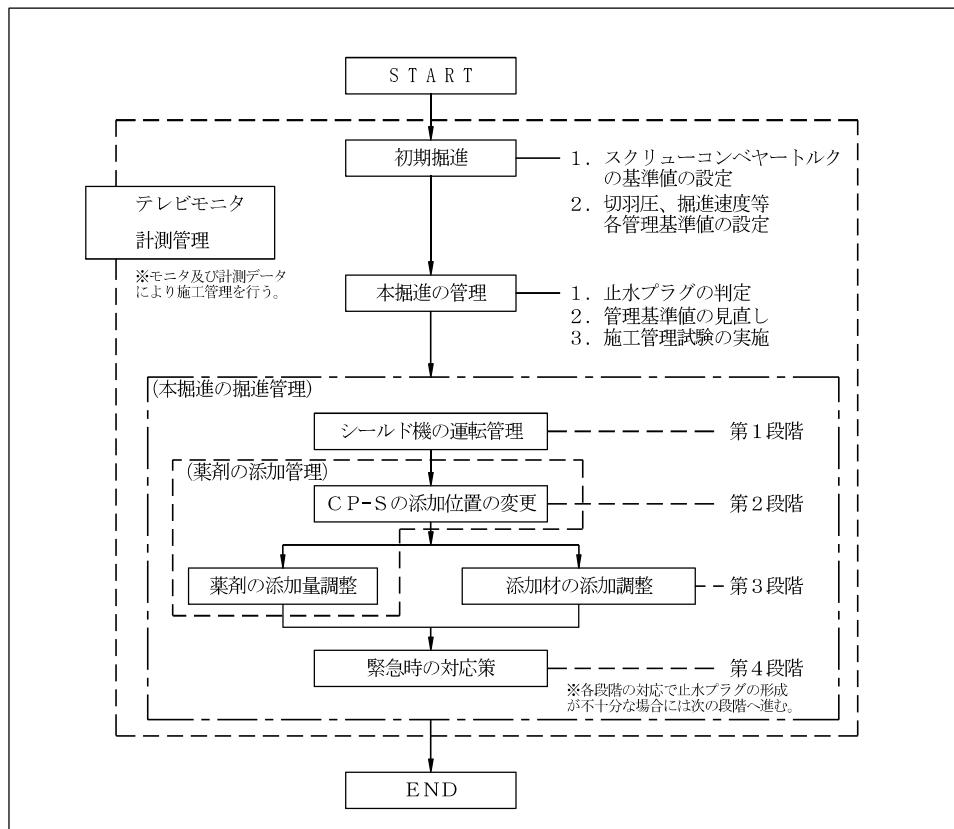


図-5. 1 施工管理フロー図

すべての管理はテレビモニタによる目視管理と、各計測値をもとに実施する。

初期掘進時には、スクリューコンベヤトルクの管理基準値や切羽土圧、掘進速度等の各種管理値の設定を行う。

本掘進時には、初期設定値をもとに施工管理を実施する。地質の変化等に応じて管理値の見直しを行って良好な止水プラグを形成させる。止水プラグの判定基準と各施工管理を次項以下に示す。

5. 1 止水プラグの形成状況の判定

掘削土砂の性状を管理する際の判定基準を表-5. 1に示す。止水プラグは表に示すように4ランク（A～D）に分類できる。ランクに対する説明は次頁に示す。

表-5. 1 止水プラグの判定規準

ランク	排土口の土砂の性状	落下口の性状	排土速度	参考スラソフ [°] 値	参考図
A	ゲートの開口形状を保持して土砂が排出される。	自立する	一定	0~5cm	
B	ゲート開口断面より土砂の形状が小さくなる。	自立する	加速	5~15cm	
C	ゲート開口断面を保持できない。	自立しない	加速	15~20cm	
D	噴發	—	—	20cm以上	

※スクリューコンベヤ長は4.0m以上とする

① Aランク

薬剤の改良効果が発揮されて、良好な止水プラグが形成されている。ゲートが全開であれば円筒状に、半開であれば円筒を $1/2$ にした状態で排土される。ゲートから落下口までに形状が崩れることなく、落下時に切断された面は自立して砂や礫分の識別が可能である。排土の速度は一定である。

② Bランク

薬剤による改良が不十分であるか、掘削土の含水比が高くなつた状態を示している。排土時にゲート開口部分の形状が保持できないが（80%程度に崩れてしまう。）、落下時の切断面では砂や礫分の識別が可能である。排土の速度は一定もしくは徐々に速くなる。止水プラグの効果が低下しつつある状態である。

③ Cランク

ゲートの開度断面を保持できずに、落下口から連続的に落下する状況である。薬剤による改良が部分的に見られる場合もあるが、止水プラグとしての役割を果たせない状況である。

④ Dランク

薬剤の改良効果が無く、スクリューコンベヤ内の掘削土砂が全て流動化して噴発する状況である。

掘削土砂の状態は、薬剤の添加を中断しない限りはAランクから突然Dランクに変化して噴発することはない。常にA→B→C→Dの順に徐々に悪化してゆく。したがって、Bランクの状態で対応策を取ることにより、Dランクの噴発は防止できる。

5. 2 掘進管理

(1) 計測管理

掘進状況に応じた施工管理を行うためには、種々のデータを測定して、モニタすることが必要である。

1) モニタ項目（自動測定）

- ・切羽圧力
- ・カッタートルク
- ・掘進距離
- ・推力
- ・掘進速度
- ・スクリューコンベヤトルク
- ・スクリューコンベヤ回転数
- ・スクリューコンベヤゲート開度
- ・シールド機の姿勢
- ・掘削添加材（C P - M）の注入量と注入圧力
- ・C P - S の注入量と注入圧力
- ・その他

上記データは、シールド機運転席に表示するとともに、管理室でモニタが可能な設備とする。計測値が管理値を逸脱すれば、警報音を発生する。

2) 排土口等のテレビモニタ

止水プラグの形成状況の管理にはスクリューコンベヤトルクの計測に加えて、排土状況のテレビモニタが必要である。マルチ画面のモニタを使用して、坑内の状況を併せて監視すると効率がよい。モニタ画面では、運転席と管理室の両方でモニタできる設備とする。

(2) シールド機の運転管理

この項では、「良好な止水プラグを形成する」ための運転管理について説明する。切羽圧力の設定や、掘進速度については泥土圧シールド工法と同様なので省略する。管理の流れを図-5. 2に示す。

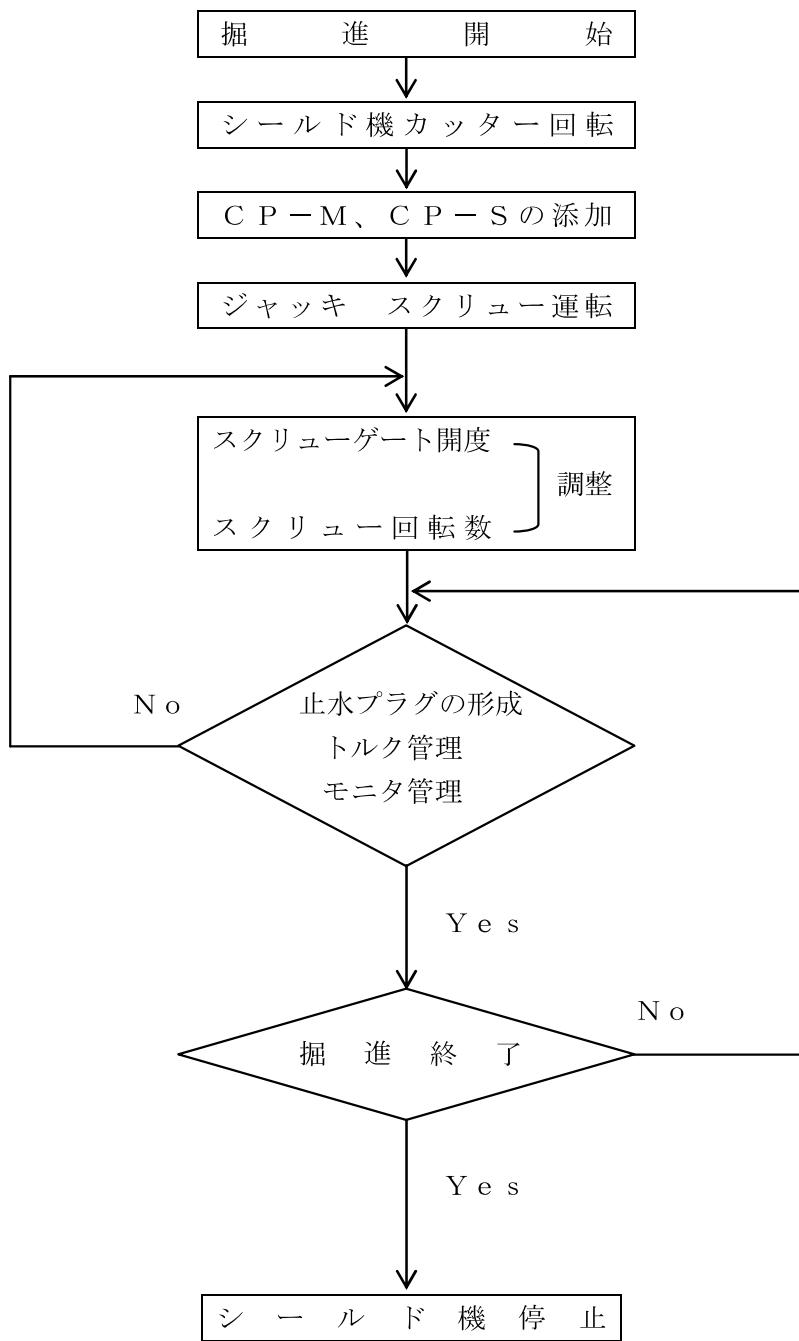


図-5. 2 シールド機運転フロー図

1) 止水プラグ形成状況の管理

止水プラグの形成状況は、

- ・スクリューコンベヤトルク
- ・テレビモニタによる排土状況の目視
- ・切羽土圧の管理

によって管理を行う。両者を併用することで管理の信頼性が高くなる。

2) スクリューコンベヤトルクの管理

「5. 1 止水プラグの形成状況の判定」で述べた様に排土の状態が悪化する場合は、改良土から泥土へと連続的に変化してゆくので、図-5. 3の様な管理値を定めて、スクリューコンベヤのトルクを改良状態の判定指標とする。図中のランクは止水プラグの形成状況のランク（P33～34参照）を示す。

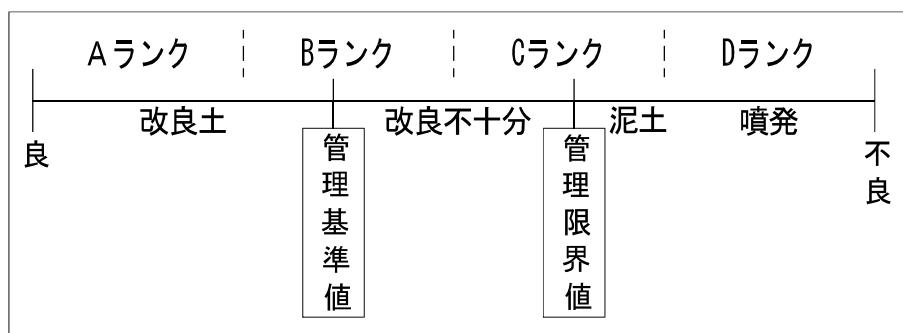


図-5. 3 管理値の設定

① 管理基準値の設定

a) 基準値の定義

管理基準値とは、止水プラグの形成状況を判定する指標である。排土口のモニタを監視しながら、ゲート開度やスクリュー回転数を変化させることにより、排土の改良状態がAランクからBへ、BランクからCへ移行するトルクの境界値を確認することができる。この二つの境界値の中間値を管理基準値に設定する。基準値となる値は、掘削対象土質やC P-Sの添加位置によって異なる値を示し、一般的に掘削土砂に含まれる礫分が多くなると増加する傾向が見られる。計測データがこの値を下回ると、スクリュー回転数やゲート開度の調整を行う。

b) 初期設定と基準値の変更

初期掘進やトライアル区間の当初における、管理基準値としては、シールド機の試運転時における無負荷駆動時のスクリューコンベヤトルクの2倍程度の値を採用すればよい。（平均的な仕様のシールド機の場合、無負荷駆動時の油圧は4.0～5.0 MPa程度なので、管理基準値は10 MPa程度になる。）

管理基準値を設定した以後も、土質の変化に伴って、設定値の適否を検討する必要がある。

変更する必要が認められるのは、ゲート開度100%の状態で掘進したときに、スクリューコンベヤトルクが管理基準値を常に上回るあるいは下回る場合である。なお管理基準値の変更及び設定は油圧1.0 MPaの単位で実施する。

② 管理限界値の設定

管理限界値とは計測データがこの値を下回ると、自動的に掘進を停止して、ゲートを全閉する値である。スクリューコンベヤの無負荷駆動時の1.5倍程度の値を採用する。

③ 管理方法

a) ゲート開度について

CPS工法による排土は、流動性に乏しい為、ゲート開度を小さくすると、

イ) 閉塞しやすくなる。

ロ) 排土の断面が小さくなつて、スクリューコンベヤ内の排土速度が一様でなくなり、泥土の改良や止水プラグの形成に悪影響を与える。

ことが、過去の実験において確認されている。したがつて、ゲート開度は70～100%程度の開いた状態で施工するのが望ましい。

b) スクリュー回転数について

CPS工法に使用するスクリューコンベヤは、通常タイプのものと比較すると高回転型になっている。これは

・攪拌効果を向上させる。

・排土能力を向上させる。

ためである。

スクリューの回転数を上げると、

イ) 排土が速くなる。

ロ) 攪拌効果が増す。

ハ) スクリューコンベヤ内の土砂の滞留時間が短くなり、薬剤の反応時間が不足する可能性がある。

等の影響があり、順調に止水プラグを形成して施工している場合には支障は無いが、止水プラグの形成状況が悪化している場合には、上記ロ)、ハ)のバランスをとることが必要で、スクリューコンベヤの回転数の調整が重要である。

c) 具体的な運転方法

スクリューコンベヤトルクが管理基準値を下回った場合には、**以下の順**で対策を実施する。

イ) スクリューコンベヤの回転数をその時の回転数の80%に減少させる。

ロ) ゲート開度を小さくする。

上記の対策で、トルクが回復して基準値を上回れば、ゲート開度、スクリュー回転数の順で、もとの状態に復帰させる。

トルクが回復しないで、さらに低下すれば、掘進を一時停止して、ゲートを全閉し、スクリューコンベヤの正逆転を数回繰り返して掘削土砂の改良を行う。

3) テレビモニタによる管理

テレビモニタによる管理ポイントは

- ・排土の性状（改良状態の変化及び、軟弱化の有無）
- ・礫分の多少
- ・一定速度で排土されているか？

である。

4) 切羽土圧の管理

切羽土圧が減少すると、チャンバー内に地下水が流入し、切羽の崩壊をもたらす。

したがって、管理値を設定し、計測値がこれを下回らない様に、掘削速度とスクリューコンベヤ回転数の調整を行う。

スクリューコンベヤトルクと、モニタ及び切羽圧力をトータルに管理することで、止水プラグの形成状況の管理がより確実なものとなる。

5. 3 掘削添加材及び薬剤の添加管理

C P S工法は、泥土圧シールド工法を基本とする工法なので、掘削添加材の管理は原則として泥土圧シールド工法と同様の管理を行う。

泥土圧シールド工法と異なる点は、掘削添加材に主剤C P-Mを添加しているため、掘削添加材の添加の良否が薬剤の添加の良否を決定することにある。したがって管理項目は、

- ・掘削添加材と掘削土砂の混合状態
- ・地山に含まれる間隙水の流入防止
- ・地下水による希釀の有無
- ・カッタートルクの低減

等である。計画時に設定した配合を変更する際の具体的な方法を次に示す。

(1) 掘削添加材の粘性・注入量を増加する場合

① 切羽土圧の維持が困難な場合

止水プラグが形成されているにもかかわらず、切羽土圧の変動が大きい場合は注意が必要である。特に砂層を掘進中に圧力が減少する場合は、地山が崩壊性であると考えられる。地山が崩壊すると土砂とともに大量の地下水がチャンバー内に流入し、良好な止水プラグの形成が困難になる。チャンバー内の泥土で地山を押さえるために、粘性、比重、注入量のすべてを増加させる必要がある。

② カッタートルクが上昇する場合

特に砂層を掘進中に、カッタートルクが上昇する場合は、掘削添加材の粘性が不足しているか、混合が不十分であると考えられる。掘削土の流動性を増すとともに、砂礫分の沈降を防止する必要がある。

③ 掘削土中の細粒分が減少する場合

細粒分が減少し、砂・礫分の割合が大きくなると、有効空隙率が増加して、チャンバー内に地下水が流入する割合も多くなる。また、シールド機に作用する負荷も大きくなる。粘性、比重、注入量のすべてについて検討する必要がある。

④ 掘削土中の水分が増加した場合

改良されて出てくる土砂を握った時にしぼり出される水が多くなった場合は、地下水が含まれる割合が多いと考えられる。間隙水を排除する必要があるので、粘性、比重、注入量のすべてについて検討する必要がある。

(2) 掘削添加材の粘性、注入量を減少させる場合

施工計画や施工状況に応じて、粘性や注入量を減少させる場合には次の事項に十分留意して減少させなければいけない。

- a) 良好的な止水プラグが形成されている。
- b) 地山の細粒分が増加している。
- c) シールド機に過剰な負荷がかかっていない。（カッタートルク・推力等）

(3) 薬剤の添加管理

C P S 工法は、掘削土砂に薬剤を添加して改良し、スクリューコンベヤ内で高水圧に対抗する止水プラグを形成する工法である。したがって、薬剤の添加管理は最も重要な施工管理である。

薬剤の添加方法は C P - M、C P - S ともに自動注入と手動注入の二通りがあり任意に選択できる。自動注入は、地山に対して予め設定した注入率になるように、掘進速度に比例した注入が可能である。注入の ON・OFF 信号は、C P - M はシールドジャッキの ON・OFF 信号に、C P - S はスクリューコンベヤの ON・OFF 信号に同調する。

手動注入は、定量注入（任意の吐出量に設定が可能）を行う。

薬剤の添加管理項目は、

- ・薬剤の添加の確認
- ・薬剤の添加量の確認
- ・薬剤の添加位置の選定

である。

1) 薬剤の添加の確認

薬剤の添加が中断されると、止水プラグは形成されなくなる。したがって、掘進時には薬剤が添加されていることを常に確認しなければならない。管理項目は、

- ・薬剤C P-M及びC P-Sの注入流量
- ・注入圧力

である。

① 注入流量

注入方法が自動・手動にかかわらず設定流量を満足していない場合は、異常が発生していると考えられる。その内容は、

- ・配管系統の異常（閉塞、破損他）
- ・ポンプ関係の異常（電気トラブル、吐出性能の低下、他）
- ・制御関係の異常（設定値の誤り、信号伝送関係の異常、計測器の故障他）

である。

② 注入圧力

正常に注入が行われている状態では、注入圧力は切羽圧力や、スクリューコンベヤ内土圧をやや上回る計測値を示している。計測値が通常の状態と比較して、異なる値を示した時は、注入が正常に行われていない。その原因として下記の事項が考えられる。

- ・配管系統の異常 [壓力高………閉塞、バルブ動作不良]
[壓力低………破損、脱落]
- ・ポンプ関係の異常（吐出能力の低下、電気的トラブル）
- ・制御関係の異常（設定の誤り、信号伝送異常、計測器故障）

2) 添加管理のフローチャート

44ページに、添加確認を除いた、薬剤の添加管理のフローチャートを示す。

① 止水プラグの形成状況の判定について

判定の基準は「5. 1 止水プラグの形成状況の判定」による。判定が「Aランク」となる状況を具体的に示すと、

- ・スクリューコンベヤの駆動トルクが、管理基準値を上回っており、ゲート開度が70%以上の状態で運転を継続している。
- ・排土が、スクリューコンベヤ回転数の増減によって制御可能。

となる。

また、目視や手で握ったりして、排土の性状を確認することが重要である。

② 添加量バランスの判定について

C P S 工法で使用する薬剤は C P - M と C P - S の 2 種類である。2 種類の薬剤の添加量の割合が適正な状態になっていないと、それぞれの薬剤の添加量の判定は行えない。

排出土に対して pH 試験を実施して添加量のバランスを判定し、排出土が改良されている場合は、さらに

- ・ C P - M と C P - S の添加量の確認
- を行う。

排出土の改良が十分でない場合は、その原因が

- ・ C P - S の添加量過不足（2 種類の薬剤の添加割合が不適切）
- ・ C P - M と C P - S の添加量不足（2 種類の薬剤の添加割合適切）
- ・ 混合不足（2 種類の薬剤の添加割合適切）
- ・ “過練り” の発生（2 種類の薬剤の添加割合適切）

のいずれであるかをさらに試験を実施して確認する。

③ 混合状態の判定について

2 種類の薬剤の添加量の割合が適正にもかかわらず、土砂の改良が十分でない原因を判定する。方法は、ディスポーザブルカップに排土を採取して、スプーン等で攪拌を行って、改良されるか否かである。土砂の流動性が失われて、砂や礫が識別できる様であれば、スクリューコンベヤ内の混合が不十分であると判定できる。

改良されない場合は、

- ・ C P - M と C P - S の添加量不足
- ・ “過練り” の発生

と考えられる。

④ “過練り” の判定について

薬剤の添加量が適正な場合でも、スクリューコンベヤ内で過剰に混合すると、高分子の鎖が切断されて“過練り”が発生する。“過練り”的判定は、排出土をディスポーザブルカップに採取して C P - M と C P - S を添加し、混合した時に改良可能か否かで判定する。土砂の流動性が失われて、砂や礫の識別ができるれば、C P - M の添加量不足と判定し、改良できない場合は“過練り”と判定する。“過練り”は、細粒分を一度凝集してフロックを形成し、混合によってこのフロックが小さく切断されたものなので、C P - M と C P - S を追加しても再凝集できないからである。

⑤ C P - M の添加量判定について

改良が行われている土砂に対しては、「泥土改良度判定試験」のうちの「濁度試験」を実施して、添加量を判定する。

⑥ C P – S の添加位置の調整について

C P – S の添加位置は、トライアル施工区間においては最も切羽側に設定し、施工状況によって排土口側へ変更する。

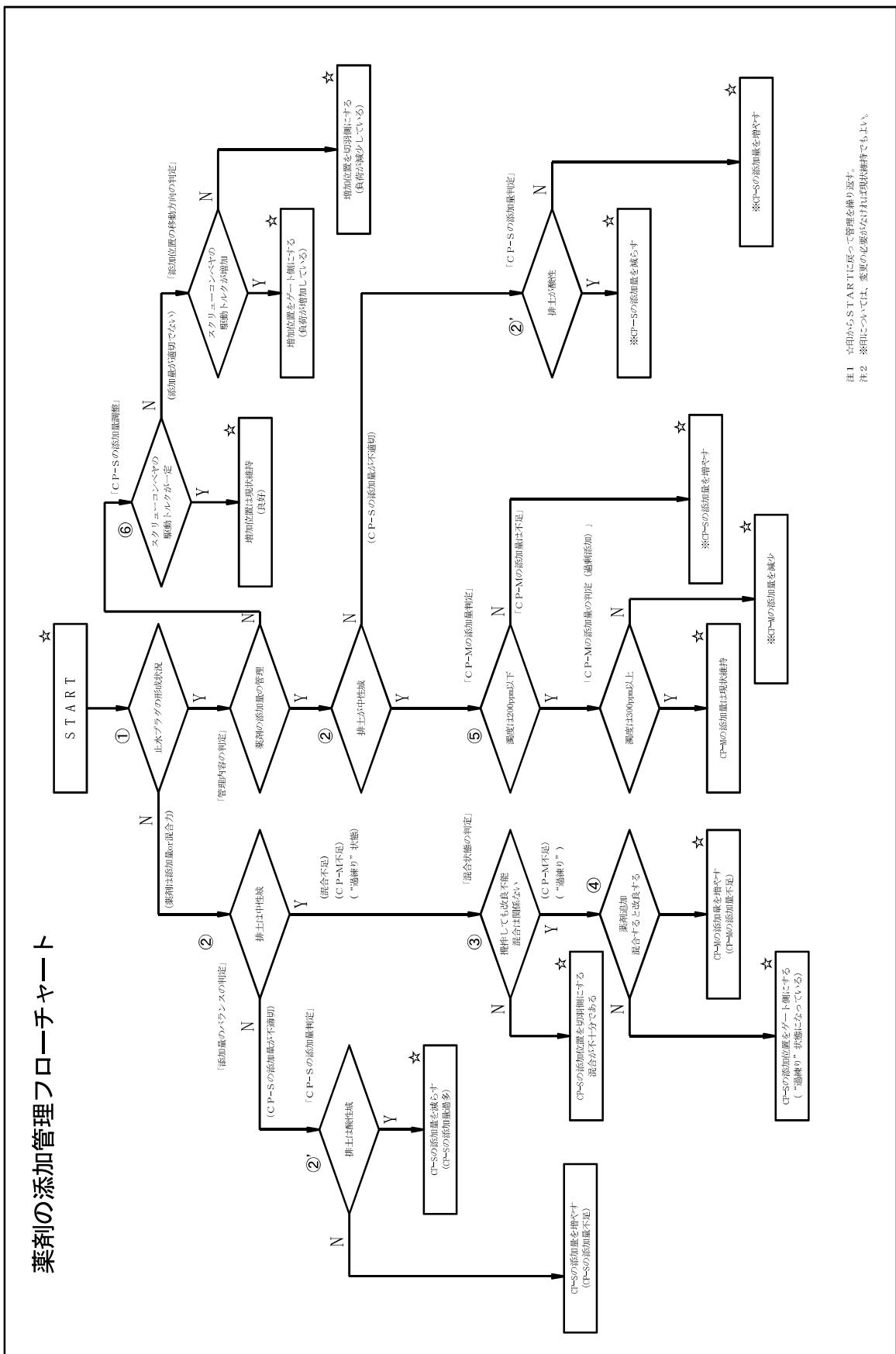
掘削土砂を改良して止水プラグを形成した時に、スクリューコンベヤに過大な負荷が作用して回転不能や閉塞に至る恐れのある時には、排土口側へ添加位置を変更する。また、“過練り”発生時も排土口側へ変更する。

土質が変化して改良時のトルクや管理目標値が低下したときは、添加位置を切羽側へ変更する。

添加位置を最も切羽側にしても止水プラグを形成しにくい場合には、複数位置からの注入が必要になる。

添加位置を排土口側へ変更する際には、急激な移動を避けた方がよい。

薬剤の添加管理フローチャート



注1 印からSTARTに戻って管理を繰り返す。
注2 ※印については、変更の必要がなければ現状維持でもよい。

5. 4 初期掘進時の対応

(1) 初期掘進の施工法

初期掘進時は、施工条件に種々の制約があり、本掘進とは異なる設備で施工しなければならない。本項では初期掘進における留意事項について述べる。

初期掘進時の地盤は、地盤改良部と一般部に分類できる。発進防護の地盤改良工法としては、凍結工法、C J G 工法、薬液注入工法等があるが、いずれも薬剤の改良効果が低減する地盤である。改良区間中の掘進は泥土圧シールドの掘進で対処可能であるが、改良区間から一般部へ変化する箇所は改良状態が均一でなく、切羽の安定の確保が難しくなる。

改良区間の終了前には、薬剤を添加して掘削土を改良して掘進を行う。薬液注入区間では C P – S の添加量が多くなり含水比の高い改良土になるが、ゲート開度を調整して掘進する。

(2) 改良区間終了時の施工方法

- ① 薬液注入区間が終了する前より、C P – S を添加して、排土の性状や pH を測定しておく。
- ② C P – S の添加位置は最も切羽側に設定する。
- ③ 管理基準値は、薬液注入区間掘進時のスクリュートルクの 2 倍値に設定する。
- ④ ゲートの自動閉塞設定値（管理限界値）は薬液注入区間掘進時の 1.5 倍値に設定する。
- ⑤ 薬液注入区間から一般部に入った時点で止水プラグが形成されていれば、そのまま掘進を続ける。
- ⑥ 止水プラグが形成されない場合は掘進を一時停止し、次の手順で止水プラグを形成させる。
 - a) ゲートを全閉して、スクリューコンベヤの正転逆転を数回繰り返す。
 - b) スクリュー回転数を 5 rpm 程度に設定して、正転させる。
 - c) ツルクが上昇したら、ゲート開度を徐々に大きくして、掘進を再開する。
- ⑦ 上記作業で、止水プラグの形成が困難な時は、排土を調査して薬剤の添加量について検討する。

5. 5 粘性土地盤への対応

(1) 通常の場合

C P S工法で粘性土層を掘進する場合には、以下の理由により薬剤の添加を中止して、通常の泥土圧シールド工法として掘進する。

- ① 地山に細粒分が多くなると、透水性が小さくなり、粘着力が増加し、切羽の崩壊や地下水の流入の危険性が小さくなる。
- ② 薬剤を添加して掘削土砂を改良しなくとも、スクリューコンベヤ内での止水性が高くなる。したがって、噴発のおそれが小さくなる。
- ③ 薬剤の添加量は、地山の細粒分に応じて決定されるので、粘性土を掘進する場合には添加量が多くなり、経済的に不利となる。
- ④ 掘削土が流動化しないため、スクリューコンベヤ内での混合効率が低下する。
- ⑤ 発生土処分の為の2次改良が必要である。

(2) C P S工法が必要な地盤

細粒分が多い地盤において、以下のa)～c)の条件に適合する場合は、C P S工法を採用する。

- a) 掘削断面中で、粘性土層と帶水砂層及び砂礫層が互層になっている場合。
- b) 掘削断面内の上部に帶水層がある場合。
- c) 帯水層掘進に備えて、システムチェック及び添加量管理のためのトライアル施工を実施する場合。

掘削断面全体の粒度分布を平均した時に、細粒分が卓越していても上記a) b) の場合には掘削土砂を一様に混合できないので止水性のある土砂にすることが難しく、C P S工法を採用する必要がある。

5. 6 噴発時の対応

(1) 噴発が予測される状況

- 掘進中に次の様な状況を示す時は、噴発が予測される。
- ①スクリューコンベヤトルクが低下する。
 - ②排土が軟弱になる。
 - ③スクリュー回転数が一定の状態でも排土速度が速くなる。（危険状態）

<対策>

・土質に変化がない場合

- a . 助剤（C P – S）の添加が行われていることを確認する。
- b . スクリュー回転数を下げて、スクリューコンベヤ内での土砂の滞留時間を長くして、トルクの増加を期待する。
- c . ゲート開度を小さくして、トルクの回復を待つ。
- d . ゲートを全閉して、スクリューコンベヤの正逆転を繰り返して、トルクの回復を待つ。

・土質が変化した場合

- a . 上記対策の他、薬剤の添加量、掘削添加材の配合を調整する。

(2) 噴発が発生した場合

噴発の原因として考えられるのは、次の条件の場合である。

- ①C P – S の添加が行われていない場合。
- ②添加材が希釀されて、掘削土中に薬剤や細粒分がない場合。

<対策>

- a . C P – S を添加して、スクリューコンベヤの正逆転を行って、コンベヤ内で改良する。
- b . 添加材をチャンバー内やスクリューコンベヤ内に注入して、掘削土に助剤C P – S を添加すれば改良可能な状態にする。その後<対策>a) を実施して、止水プラグを形成させる。

(3) 緊急時の対応策

掘削添加材の配合や注入率の変更及び薬剤の添加量の変更等、通常の施工管理で対応できない場合に備えて、以下の対策について検討しなければならない。

① 増粘剤の添加

掘削添加材の使用材料や圧送能力の制約により、切羽へ添加する掘削添加材の粘性には上限値がある。これを越える様な粘性が必要な場合には、切羽直前で高分子凝集剤や吸水剤等の増粘剤を掘削添加材に添加して、粘性を増加させる。

なお、添加する増粘剤は、C P-M、C P-Sによる改良効果を阻害しない事を確認しておかねばならない。

② C P-Mのスクリューコンベヤへの直接添加

薬剤の添加効果を高めるために、主剤C P-Mのスクリューコンベヤへの直接添加が有効である。高濃度C P-M溶液を作成してスクリューコンベヤへ添加する。

- ・高濃度C P-M溶液の配合

水	100ℓ
ベントナイト	5 kg
C P-M	30 kg

③ エルフレッシュK-200のスクリューコンベヤへの直接添加

K-200とは市販されている泥土改良剤であり、これに特殊コーティングを施したもののがC P-Mである。したがって、K-200は単体でC P-M及びC P-Sと同様の改良効果を有する。K-200は吸水性があるのでプロピレングリコール液中に分散させて、K-200溶液を作成してスクリューコンベヤに添加する。

- ・K-200溶液の配合

プロピレングリコール	2 kg
エルフレッシュK-200	1 kg

※プロピレングリコールは、食品添加物や化粧品の原料として使用されている安全性の高い材料である。

6. 実施例

6. 1 西島シールド工事

(1) 工事概要

項目	摘要
工事名	西島S/S引出管路新設工事第1工区
工事場所	大阪市此花区西島6丁目～島屋2丁目
工期	平成4年7月～平成6年12月
シールド掘削延長	832m
シールド機外径	Φ6, 140m
仕上り内径	Φ5, 000m
土被り	20.7～34.7m
最大切羽水圧	0.35MPa (3.5kgf/cm ²)

(2) 地質概要

シールド施工対象地盤は、沖積砂質土層（A s 2）、沖積粘性土層（A c 2）、洪積砂礫層（D g 1）である。このうち、一般の泥土圧シールド工法で施工すると地下水や掘削土砂が排土口から奮発する危険性があるのは、沖積砂質土層（A s 2）と洪積砂礫層（D g 1）である。さらに土被りの最も大きい位置（H=34.7m）においては、0.35MPa (3.5kgf/cm²) の高水圧が作用する。

・沖積砂質土層（A s 2）

微～細砂を主体とし、N値は、上部の細粒分の多い層で6～10、以深の細粒分の少ない層で30～40程度である。

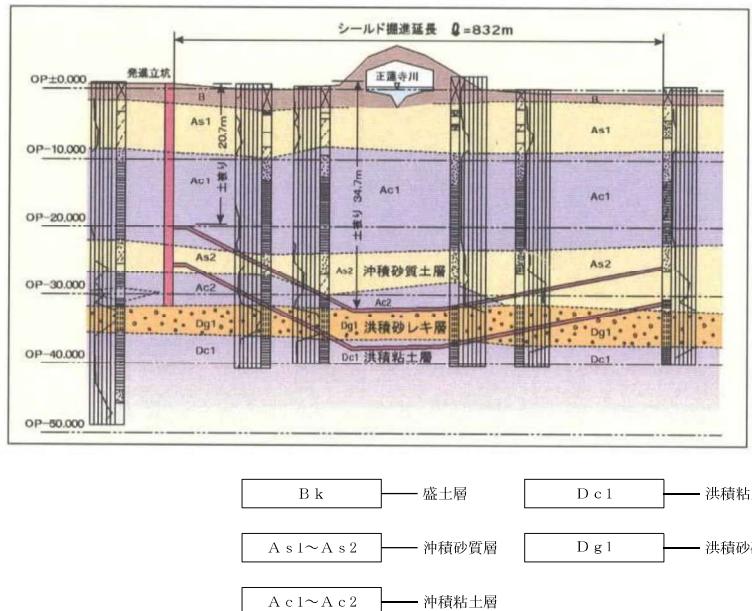
・沖積粘性土層（A c 2）

土質は均質で高塑性の粘土が主体をなし、上部を中心に微砂をシーム状に挟在する不均質なゾーンも認められる。また所々腐植物を混入している。含水比は中位で、N値は5～7と「中位」のコンシステンシーを示す。

・洪積砂礫層（D g 1）

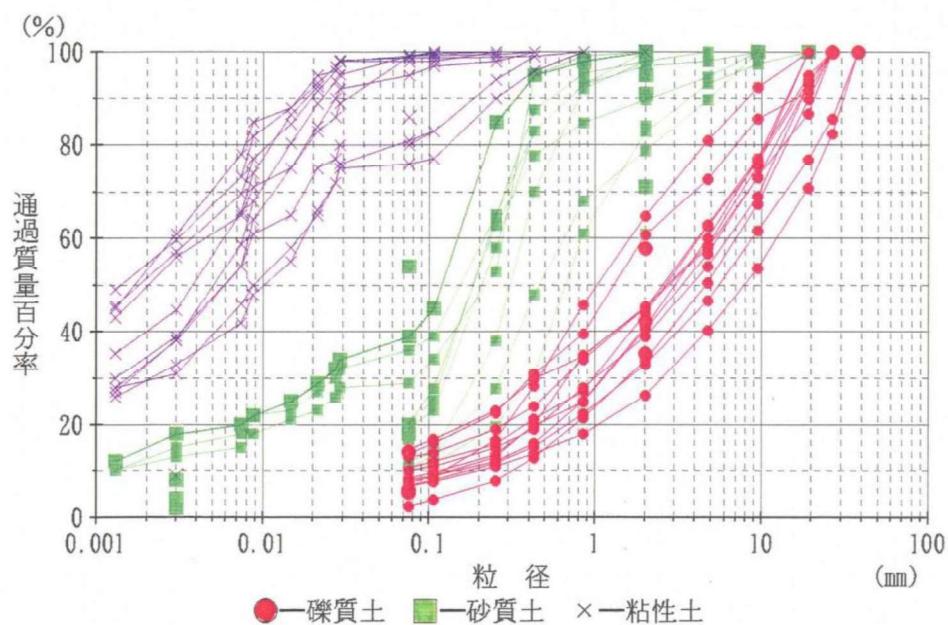
中～粗砂及びΦ5～30mmの礫が主体をなし、最大礫径はΦ80mm程度であり（施工中においては、Φ250mm程度の礫が部分的に存在した。）細粒分の混入は少量である。N値は、60以上である。

(3) 地質縦断面



(4) 地質試験結果

	粒度構成 (%)			含水比 (%)	比重	均等係数	透水係数 (cm/sec)
	礫分	砂分	細粒分				
沖積砂質土層	0~3	82~87	12~18	19~24	2.64~2.66	120~158	$0.9\sim 1.4 \times 10^{-3}$
沖積粘性土層	0	5~23	77~95	30~70	2.53~2.65	—	
沖積砂礫土層	54~60	32~34	7~13	5~8	2.65~2.69	36~40	$1.8\sim 2.2 \times 10^{-2}$

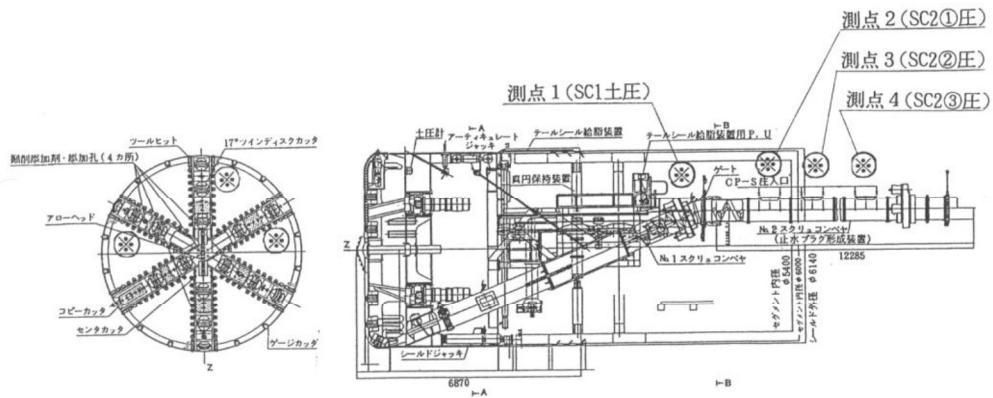


(5) 土圧の計測位置について

土圧の計測は下の図に示すように

- ・チャンバー内 3点
- ・No.1 スクリューコンベヤ～No.2 スクリューコンベヤ間 1点
- ・No.2 スクリューコンベヤ 3点

において実施した。



※ 土圧計測位置図

図-6. 1 土圧計測位置図

- ・測点1 (SC1 土圧) …… No.1スクリューコンベヤとNo.2スクリューコンベヤの間に設置した。
- ・測点2 (SC2①圧) …… No.2スクリューコンベヤの切羽側から約2mの位置で測定した。
- ・測点3 (SC2②圧) …… No.2スクリューコンベヤの切羽側から約5.7mの位置で測定した。
- ・測点4 (SC2③圧) …… No.2スクリューコンベヤの切羽側から約9.4mの位置で測定した。 (排土口から約2mの位置)

(6) 掘進データ

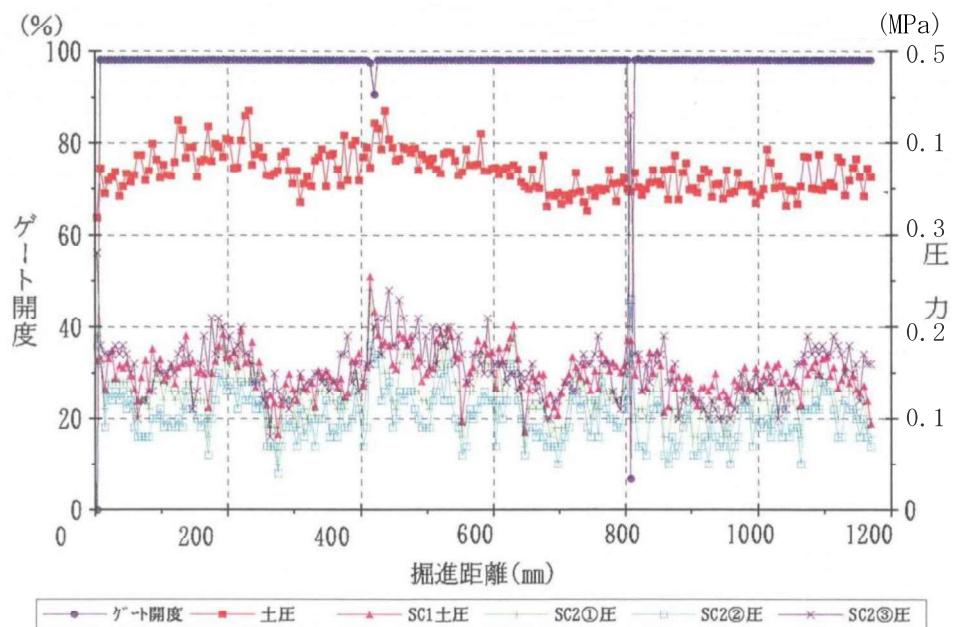


図-6. 2 砂礫層掘進時の掘進データ

上記のデータは洪積砂礫層掘進時のデータである。ゲート開度は約100%で、切羽圧力はほぼ0.35 MPa (3.5 kgf/cm^2) 以上を保っている。スクリューコンベヤ内の土圧は0.05~0.2 MPa ($0.5 \sim 2 \text{ kgf/cm}^2$) の間を示し、なかでも最も排土口に近い測点4 (SC2③圧) が、高い値を示している。これは、止水プラグが測点4から排土口までの間に形成され、スクリューコンベヤで搬送された掘削土砂が止水プラグと外周駆動部の土砂通過抵抗により搬送抵抗が大きくなつたことで、スクリューコンベヤ内の圧力が大きくなつたものと考えられる。

この時のデータからは、ゲートを全開にした状態でも切羽圧力の急激な低下を引き起こしていないので、止水プラグが有効に作用して、噴発を防止しながら掘進していることが確認できる。

写真-6. 1は砂礫層掘進時の排土状況である。ゲート全開で円筒状に排土しており、土砂の切断面の礫がよく識別できる。



図-6. 1 砂礫層掘進時排土状況

ケミカル・プラグ・シールド工法技術資料

平成13年 7月 発行第1版

平成15年 3月 発行第2版

平成18年 4月 発行第3版

平成19年 6月 発行第4版

平成20年12月 発行第5版

平成23年 8月 発行第6版

令和 2年 8月 発行第7版

シールド工法技術協会

URL : <http://www.shield-method.gr.jp>