

泥土加圧シールド工法

－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は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。現在の社会的要求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。

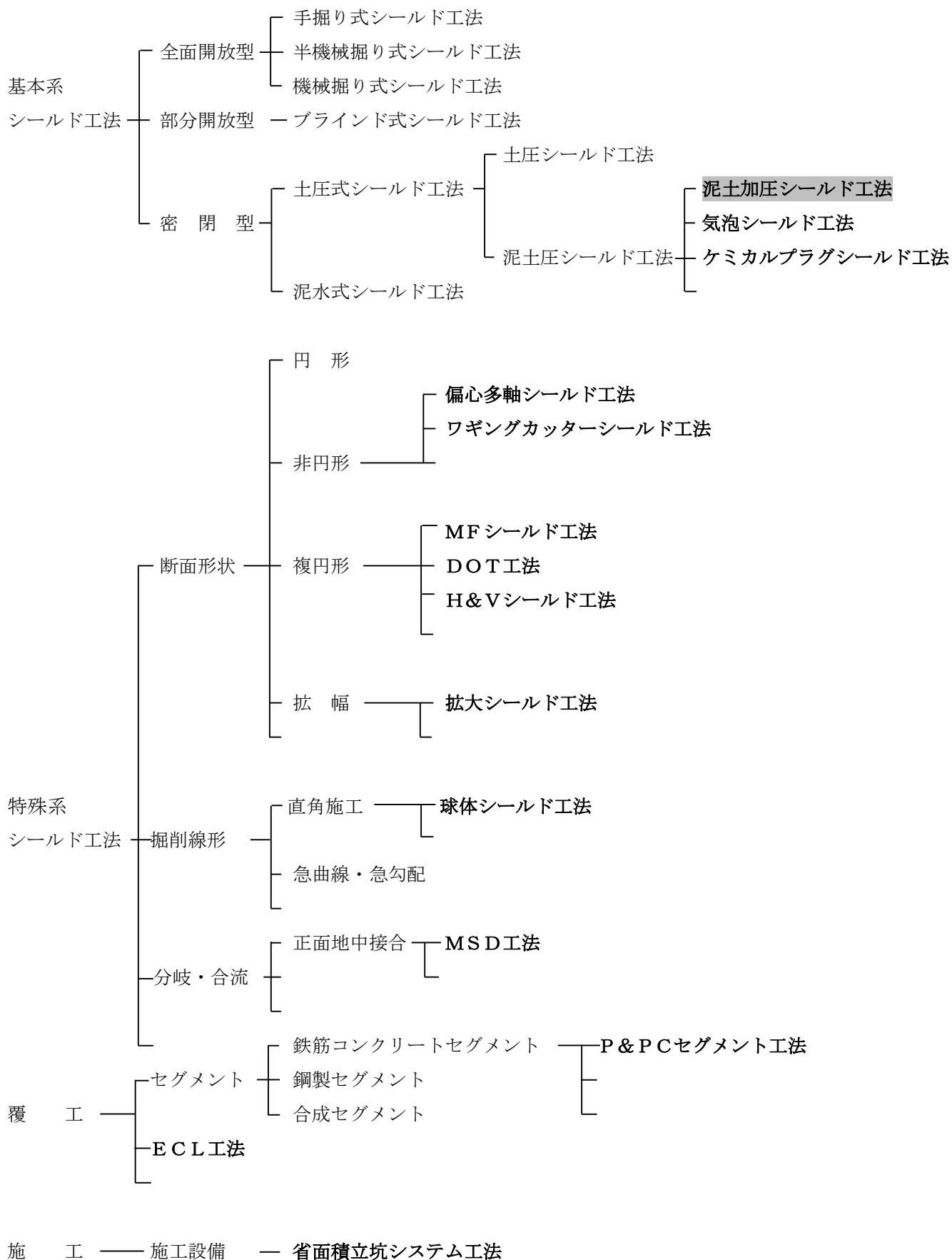
今回の改訂では、協会登録工法の位置付けを更新致しました。（「省面積立坑システム工法」追加）

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

[泥土加圧シールド工法の位置付け]

シールド工法における**泥土加圧シールド工法**の位置づけを下記に示す。



目 次

1. 概要	1
1. 1 工法の概要	1
1. 2 工法の特徴	2
1. 3 工法の適用範囲	3
(1) 適用土質	3
(2) 曲線施工	5
(3) 最小土被り	5
(4) 近接施工	5
2. シールド	6
2. 1 シールド機種	6
2. 2 シールドの寸法	9
3. 施工	12
3. 1 作泥土材	12
(1) 作泥土材の働き	12
(2) 算定方法	14
3. 2 掘進方法	20
(1) 掘進	20
(2) 切羽の保持方法	20
(3) ブリ搬出方法	20
(4) セグメント搬送方法	25
3. 3 立坑	26
(1) 発進立坑	26
(2) 到達立坑	30
(3) 回転立坑	32
3. 4 発進・到達	33
(1) 発進坑口	33
(2) 到達坑口	33
(3) 地盤改良	33
3. 5 掘進	34
(1) 裏込め注入工	34
(2) ビットの摩耗	36

技術資料

1. 概要

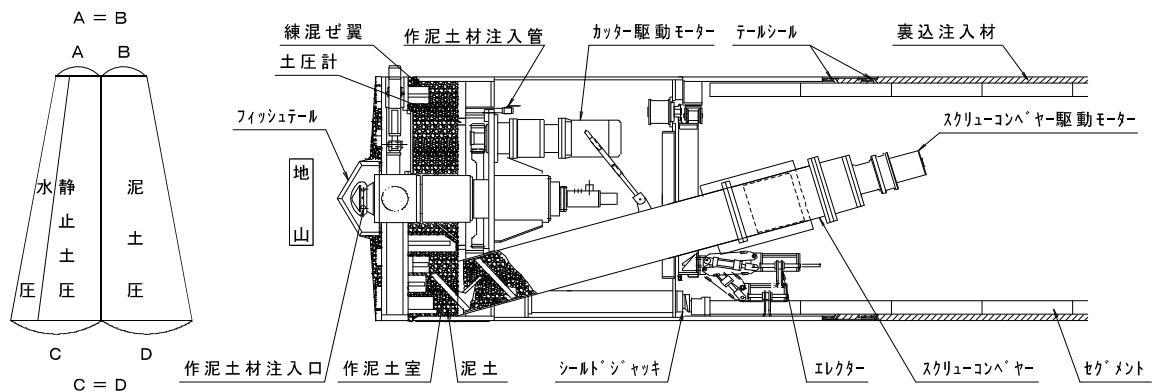
1. 1 工法の概要

図-1.1.1の様にカッターウイングの後部に隔壁を設けて作泥土室とし、カッターで掘削された土砂に作泥土材を注入して練混ぜ翼で強力に練り混ぜて、掘削土砂を不透水性と塑性流動性を持つ泥土に変換し、これを作泥土室内とスクリーコンベヤー内に充填する。この状態を維持してシールドジャッキの推力により作泥土室内の泥土に泥土圧を発生させ、切羽の土圧と地下水圧に対抗し、シールドの掘進量と排土量のバランスを図りながら掘進する。

その場合、

泥土圧＝静止土圧＋地下水圧

すなわち、シールドが掘進する時、作泥土室の隔壁に取り付けた特殊な土圧計により泥土圧を常時測定し、上式を満足させる様にシールドジャッキ速度、スクリーコンベヤー回転数を調節する事により切羽を安定させ、地山の変化を最小限に抑える事ができる。また、地山の地下水は泥土の不透水性とスクリーコンベヤーの山留め作用により確実に湧水を防止できる。



図－ 1. 1. 1 泥土加圧シールド工法原理図

1. 2 工法の特徴

(1) 土質に対する広い適応性がある。

砂層、砂礫層、シルト粘土層、固結土層、特殊土層※およびこれらの互層の土質に対しても作泥土材を適当な濃度、量を用いることによって、泥土に変換できるので多種多様な地層に対して広く適用できる。

(2) 発生土処理に大規模処理設備を必要としない。

発生土は、ベルトコンベヤー・ブリ鋼車・土砂圧送ポンプなどで搬送可能であり、発生土処分地へは原則として固化処理などの発生土改良を行った後搬出する。ただし、排土の性状や処分地の条件によっては、そのまま搬出する場合もある。

(3) 地山の沈下は最小限に抑えられる。

切羽は泥土によって自立させられるので地山の変化はほとんどない。そのため、地山の沈下を最小限に抑えることができる。

(4) 地盤改良区間を少なくできる。

地盤改良は発進、到達部、急曲線部、特に重要な構造物附近を通過する場合、障害物が出た場合等以外は、原則として必要としない。

(5) 圧気工法は必要としない。

切羽泥土室およびスクリューコンベヤー内に充満している泥土が不透水層を形成するので、スクリューコンベヤー排土口が開口していても地下水の流出はない。よって圧気工法は原則として必要としない。

(6) 立坑用地は手掘りシールド工法と同程度で良い。

立坑用地は手掘りシールド工法と同程度で施工でき、防音ハウス等も小規模ですみ、市街地の施工に適している。

(7) 同時裏込め注入が可能である。

シールド外周部及び作泥土室内は泥土で止水されているため裏込め注入材の切羽への回り込みがなく、同時裏込め注入が可能となり沈下を最小限に抑える事ができる。

※特殊土とは火山灰質粘性土、火山成粗粒土（火山礫、シラス）

マサ土、高有機質土（泥炭、腐植土、黒泥、サンゴ砂利）、砂岩、泥岩などを言う。地盤工学会「日本の特殊土」土質基礎工学ライブラリー10 参照。

1. 3 工法の適用範囲

(1) 適用土質

本工法の適用にあたっては、土質条件を十分調査し、土質に適した構造のシールドを採用するものとする。適用土質は、基本的には表-1.1.1に準拠する。ただし、玉石混じり砂礫土、玉石層では、強度、最大礫径、礫率などにより、掘進効率が低下したり、礫径、シールド外径によっては取込み不能な場合があり、適用にあたっては、十分な検討を必要とする。

大礫層に対しては、スクリーコンベヤーを軸付きスクリー、リボンスクリューおよびこれらの組み合わせにより対処する。装備可能なスクリー径はシールドの大きさによって限定されるため、排出可能な礫径もそれに伴い制約を受ける。

表-1.1.1 適用土質

分類	土 質	N 値	適合性	留意点
沖 積 粘性土	腐 植 土	0	△	地盤変状
	シルト・粘土	0～2	○	
	砂質シルト・粘土	0～5	○	
	砂質シルト・粘土	5～10	○	
洪 積 粘性土	ローム・粘土	10～20	○	
	砂質ローム・粘土	15～25	○	
	砂質ローム・粘土	20以上	○	
土丹（泥岩）＊		50以上	△	ビット磨耗
砂質土	シルト粘土混じり砂	10～15	○	
	ルーズな砂	10～30	○	
	締まった砂	30以上	○	
砂礫・玉石	緩い砂礫	10～40	○	
	固結砂礫	40以上	○	
	玉石混じり砂礫		○	
	玉石層		△	ビット仕様**
特殊土	火山灰質土など		△	現場試験練り必要

注)○：原則として条件に適合する。

△：適用に当たっては補助工法、補助機構等の検討を要する。

＊：泥岩については土丹のような強度の低いものを対象にしている。

＊＊：カッターおよびスクリーコンベヤー仕様の検討

スクリーコンベヤーは、止水性を考慮すると軸付きスクリーが望ましい。

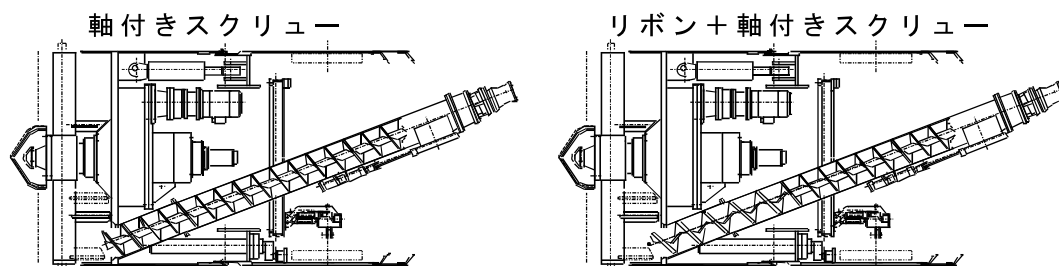
また、スクリーコンベヤー先端から後端までリボンスクリューにすると大礫の排出は可能であるが止水性に乏しい。従って、適用にあたっては十分な検討が

必要である。

排出可能礫径の参考値として、シールド寸法とスクリューコンベヤー寸法と最大排出礫径の関係を表-1.1.2に、スクリューコンベヤーの形状図を図-1.1.2に示す。

表－１．１．２ スクリューコンベヤー寸法と最大排出礫径（参考）

セグメント 外 径 (mm)	掘進機 外 径 (mm)	羽根径 (mm)	羽根ピッチ (mm)	軸 径 (mm)	礫 径				備 考
					軸付きスクリュー		リボンスクリュー		
					長 径 (mm)	短 径 (mm)	長 径 (mm)	短 径 (mm)	
1,800	1,930	320	250	110	230	95	270	240	
2,000	2,130	370	270	120	250	115	300	260	
2,150	2,280	370	270	120	250	115	300	260	
2,350	2,480	370	270	120	250	115	300	260	
2,550	2,680	370	270	120	250	115	300	260	
2,750	2,880	420	280	125	260	140	350	270	
2,950	3,090	420	280	125	260	140	350	270	
3,150	3,290	420	280	125	260	140	350	270	
3,350	3,490	470	315	140	290	155	370	305	
3,550	3,690	470	315	140	290	155	370	305	
3,800	3,940	470	330	160	300	170	420	320	
4,050	4,190	520	330	160	300	170	420	320	
4,300	4,440	520	330	160	300	170	420	320	
4,550	4,690	520	330	160	300	170	420	320	
4,800	4,940	620	400	170	370	205	480	390	
5,100	5,250	650	430	190	400	210	500	420	
5,400	5,550	650	430	190	400	210	500	420	
5,700	5,850	650	430	190	400	210	500	420	
6,000	6,150	650	430	190	400	210	500	420	
6,300	6,460	710	470	190	440	240	—	—	
6,600	6,760	710	470	190	440	240	—	—	
6,900	7,060	770	560	200	530	260	—	—	
7,250	7,410	770	560	200	530	260	—	—	
7,600	7,760	850	700	200	660	260	—	—	
7,950	8,110	850	700	200	660	300	—	—	
8,300	8,460	900	750	200	700	300	—	—	
8,650	8,810	900	750	200	700	300	—	—	



図－１．１．２ スクリューコンベヤー形状図

(2) 曲線施工

曲線施工において特別な対策の必要性は、シールド径、土質、施工環境等により異なる。シールド外径 $\phi 5,000\text{mm}$ 未満の場合、一般的な土質で曲線半径 $R = 100\text{m}$ 以上、礫層で $R = 150\text{m}$ 以上は必要ない。シールド外径 $\phi 5,000\text{mm}$ 以上の場合には一般的に曲線半径 $R = 150\text{m}$ 以上、砂・礫層で自立性のない土質で $R = 300\text{m}$ 以上は必要ない。

なお、曲線施工の対策としてシールドに中折れ機構やコピーカッターを装備したり、地盤改良等を必要とする曲線半径は下表を標準とする。ただし、沈下の影響を最小限に抑える必要のある条件等では中折れ機構を検討する。

表－１．１．３ シールド外径別曲線半径

土 質	シールド外径	$\phi 5,000\text{mm}$ 未満	$\phi 5,000\text{mm}$ 以上
粘性土、砂質土		100m以下	150m以下
砂 礫		150m以下	200m以下

(3) 最小土被り

施工可能な最小土被りは、一般に $1D \sim 1.5D$ (D : シールド外径) 程度であるが、最近では、それ以下の実績も増えている。最小土被りは、土質、地下水、周辺の状況により異なるので、計画に当たっては、これらに留意して、必要に応じて地盤改良等の補助工法の併用等も考慮する。

(4) 近接施工

近接施工では、土質、近接構造物の構造、相対位置、重要度等を考慮し、既設構造物管理者と影響範囲、解析手法、管理基準値、計測方法、防護方法等について計画段階から事前に協議する必要がある。近接施工にあたっては、『地中構造物の建設に伴う近接施工指針』（平成11年2月 社団法人日本トンネル技術協会）等を参考にすると良い。主な近接施工基準を表-1.1.4に示す。

表－１．１．４ 主な近接施工基準

企 業 名	指 針 類 の 題 名	備 考
(社) 日本トンネル技術協会	地中構造物の建設に伴う近接施工指針	平成11年2月
東日本旅客鉄道(株)	近接工事設計施工標準解説	2008年7月
(公益財) 鉄道総合技術研究所	都市部鉄道構造物の近接施工対策マニュアル	平成19年1月
東京電力(株)	地中構造物の建設に伴う近接施工指針	平成11年2月

２． シールド

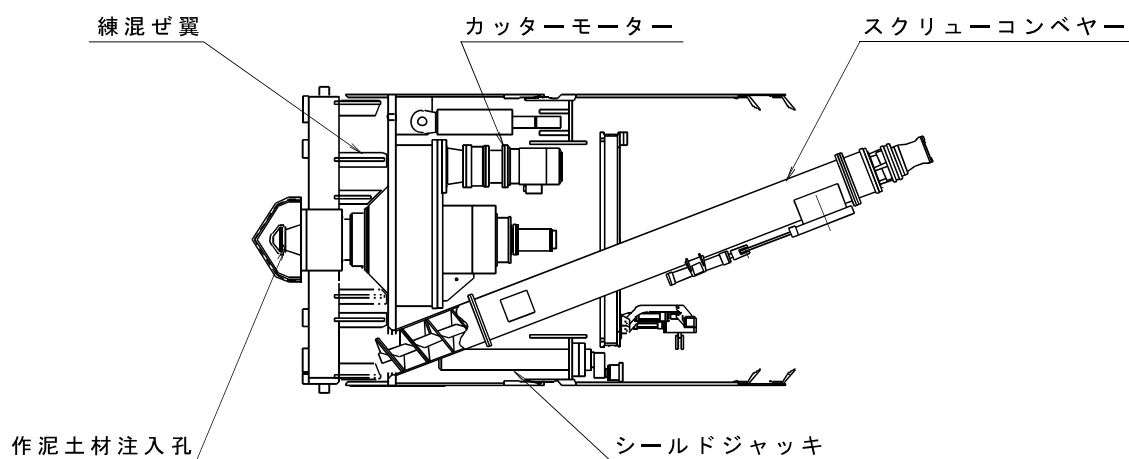
泥土加圧シールドでは、土質とシールド径に応じて次のような形式を採用している。カッター支持方式には、センターシャフトタイプと中間支持タイプまたは外周支持タイプの３種類があり、中小口径の場合には、粘土、シルト、砂、礫ともセンターシャフトタイプを用い、大口径、及び特殊な条件のある場合には中間支持タイプや、外周支持タイプを用いる。

泥土加圧シールドの標準寸法を表-1.2.1、泥土加圧シールド標準重量を表-1.2.2に示す。

２． １ シールド機種

（１） シルト・粘土・砂層用センターシャフトタイプ

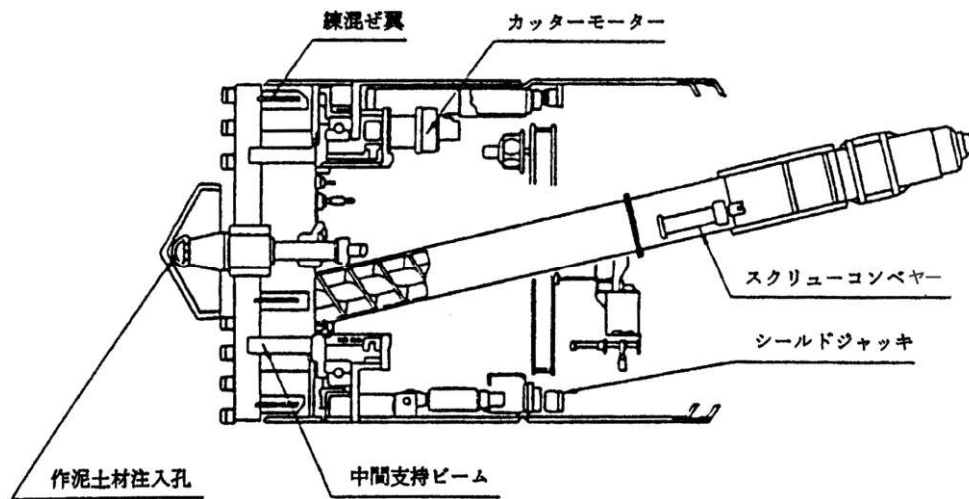
カッター駆動方式をセンターシャフト駆動にした泥土加圧シールドで、泥土加圧シールドの基本タイプであり小・中口径に使用される。



図－１． ２． １ センターシャフトタイプシールド

（２） シルト・粘土・砂層用中間支持タイプ

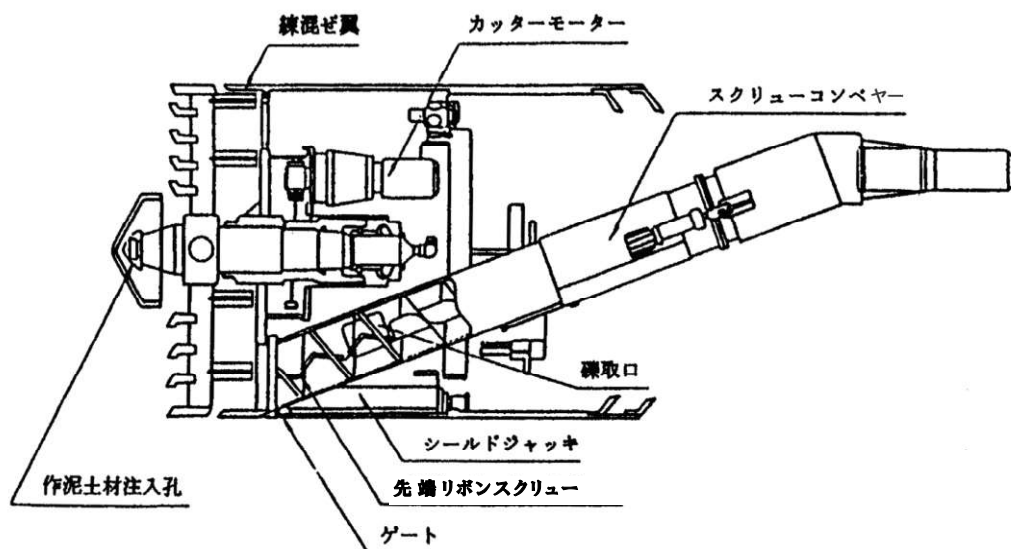
カッター駆動方式を中間支持駆動にした泥土加圧シールドで、比較的小口径であっても隔壁中央部に空間を設け、スクリューコンベヤー、隔壁中央部を取り除くことにより開放型のシールドとすることが可能な形態とした。



図－１．２．２ 中間支持タイプシールド

(３) 礫層用センターシャフトタイプ

礫に対する磨耗・損耗に強く耐久性の大きいシェルビットを配し、フィッシュテールビットと共に切羽面を立体的に掘削する。特に、掘進距離が長く最外周のビットの磨耗・損耗が著しいと想定される場合は、外周部にリングを設け、多数のシェルビットを配置する。このタイプに装備するスクリーンコンベヤーは、小礫の場合は軸付きスクリーンコンベヤー、中・大礫の場合はリボン＋軸付きスクリーンコンベヤーを用いる。



図－１．２．３ 礫層用センターシャフトタイプシールド

(4) 大口径用中間支持タイプ

大口径の泥土加圧シールドで、センターシャフトタイプとすると、中央部付近の練り混ぜ速度は外周部と比較して遅くなり泥土化効率が低下する。大口径泥土加圧シールドでは中間支持タイプとし、泥土化効率の低下する中央部付近は、カッターウイングとは別駆動により回転する練混ぜ翼を設けて、十分な泥土化を図っている。

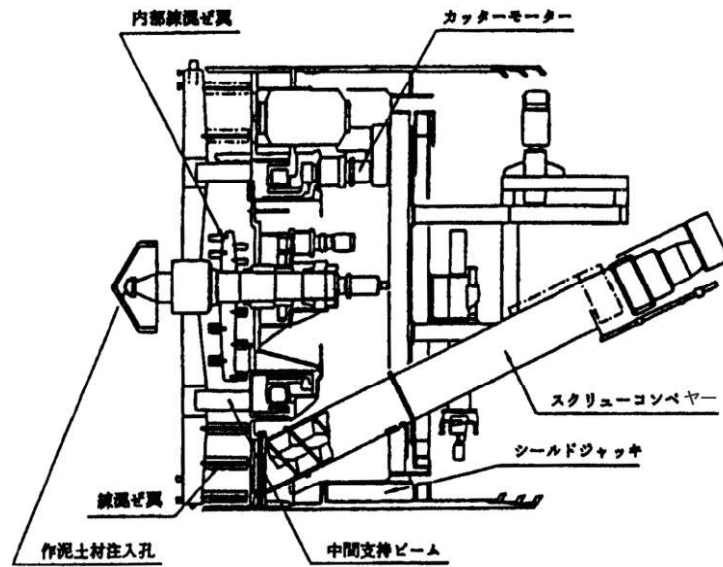


図-1. 2. 4 大口径用中間支持タイプシールド

(5) 玉石・巨礫用外周支持タイプ

巨礫に対応するためのローラービット、ティースビットを配置し、礫を破碎しながら掘進する。

このタイプに装備するスクリーンコンベヤーは、リボン+軸付きスクリーンコンベヤーを用いる場合が多いが、土質、地下水位を十分考慮して決定する。

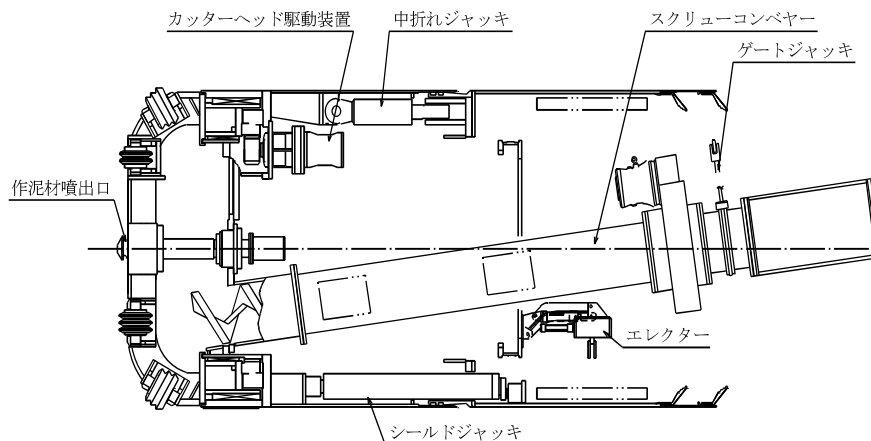
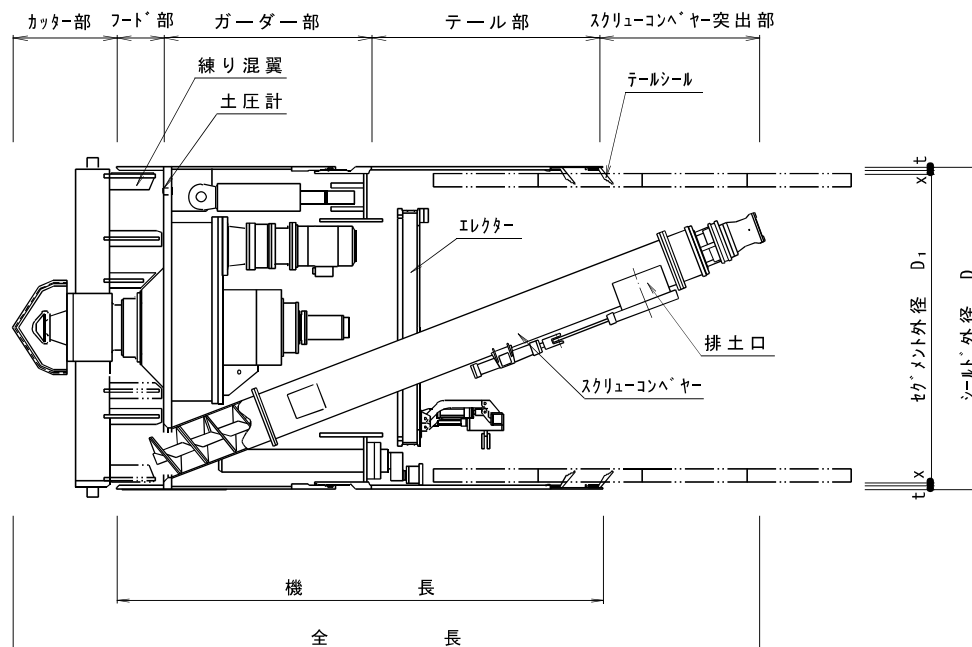


図-1. 2. 5 玉石・巨礫用外周支持タイプシールド

2. 2 シールドの寸法

(1) シールドの構成

泥土加圧シールドは、カッター部、フード部、ガーダー部、テール部、スクリーコンベヤー突出部の5つの部分から構成される。



図－1. 2. 6 泥土加圧シールドの構成

(2) シールドの外径

シールドセグメント外径にクリアランスを加えシールド内径とし、スキンプレート板厚を計算して決定する。

$$D = D_1 + 2(x + t)$$

ここで、
 D : シールド外径
 D_1 : セグメント外径
 x : シールドとスキンプレートのクリアランス
 t : シールドスキンプレートの板厚

表－１． ２． １ 泥土加圧シールド標準寸法（参考）

仕上り 内 径 (mm)	セグメント 外 径 (mm)	シールド 外径 D (mm)	テール クリアランス x (mm)	テール プレート厚 t (mm)	全 長 L (mm)	カッター部 e (mm)	本体長 i (mm)	機 長 e + i (mm)	スクリュー 突出部 d (mm)	シールド ジャッキ kN×本	中折れ ジャッキ kN×本
1,200	1,800	1,930	25	40	5,980	600	4,200	4,800	1,180	500×8	600×6
1,350	2,000	2,130	25	40	6,125	600	4,295	4,895	1,230	600×8	700×6
1,500	2,150	2,280	25	40	6,455	600	4,595	5,195	1,260	600×8	700×6
1,650	2,350	2,480	25	40	6,615	700	4,605	5,305	1,310	800×8	700×8
1,800	2,550	2,680	25	40	6,735	700	4,645	5,345	1,390	800×8	700×8
2,000	2,750	2,880	25	40	6,930	800	4,670	5,470	1,460	800×10	800×8
2,200	2,950	3,090	30	40	7,225	850	4,855	5,705	1,520	800×12	1,000×8
2,400	3,150	3,290	30	40	7,295	850	4,865	5,715	1,580	800×12	800×10
2,600	3,350	3,490	30	40	7,490	900	4,900	5,800	1,690	1,000×12	1,000×10
2,800	3,550	3,690	30	40	7,570	900	4,925	5,825	1,745	1,000×12	1,000×10
3,000	3,800	3,940	30	40	7,620	900	4,950	5,850	1,770	1,000×14	1,200×10
3,250	4,050	4,190	30	40	7,740	950	4,995	5,945	1,795	1,000×16	1,000×14
3,500	4,300	4,440	30	40	8,035	1,050	5,030	6,080	1,955	1,000×18	1,000×16
3,750	4,550	4,690	30	40	8,365	1,150	5,090	6,240	2,125	1,200×16	1,200×14
4,000	4,800	4,940	30	40	8,530	1,150	5,115	6,265	2,265	1,200×18	1,200×16
4,250	5,100	5,250	30	45	8,800	1,170	5,260	6,430	2,370	1,200×20	1,200×18
4,500	5,400	5,550	30	45	9,100	1,175	5,500	6,675	2,425	1,500×20	1,500×18
4,750	5,700	5,850	30	45	9,240	1,195	5,530	6,725	2,515	1,500×20	1,500×18
5,000	6,000	6,150	30	45	9,720	1,200	5,660	6,860	2,860	1,500×22	1,500×20
5,250	6,300	6,460	30	50	10,055	1,225	5,830	7,055	3,000	2,000×20	2,000×18
5,500	6,600	6,760	30	50	10,405	1,225	6,000	7,225	3,180	2,000×22	2,000×20
5,750	6,900	7,060	30	50	10,875	1,275	6,240	7,515	3,360	2,000×24	2,000×22
6,000	7,250	7,410	30	50	11,245	1,275	6,490	7,765	3,480	2,000×26	2,000×24
6,250	7,600	7,760	30	50	11,270	1,300	6,490	7,790	3,480	2,000×28	2,000×26
6,500	7,950	8,110	30	50	11,900	1,300	7,050	8,350	3,550	2,000×30	2,000×28
6,750	8,300	8,460	30	50	11,950	1,350	7,050	8,400	3,550	2,000×32	2,000×30
7,000	8,650	8,810	30	50	12,150	1,350	7,050	8,400	3,750	2,000×34	2,000×32

備考：(1) シールド機長はセグメント外径1,800～2,000mmはセグメント幅750mm、2,150～8,650mmはセグメント幅1,000mmとしたものである。

(2) その他のジャッキとして、コピーカッタージャッキ、スクリューゲートジャッキ、エレクトー押付・摺動ジャッキ等を装備する。

(3) セグメント外径8,650mmを越えるものは別途検討が必要である。

表－１． ２． ２ 泥土加圧シールド標準寸法および重量（参考）

セグメント 外 径 (mm)	シールド外径×機長 (mm)×(mm)	総重量 (t)	本 体 重 量 (t)	本 体 分 割 数本体+カッター+エレクト+S/C	最大ブロック 重量 (t)
1,800	1,930×4,200	38	30	1 + 1	25
2,000	2,130×4,295	40	31	1 + 1	25
2,150	2,280×4,595	42	34	1 + 1	25
2,350	2,480×4,605	49	41	2 + 1	25
2,550	2,680×4,645	52	44	2 + 1	25
2,750	2,880×4,670	57	47	2 + 1	25
2,950	3,090×4,855	65	54	2 + 1 + 1	25
3,150	3,290×4,865	71	59	2 + 1 + 1	25
3,350	3,490×4,900	75	64	2 + 1 + 1	25
3,550	3,690×4,925	88	74	4 + 1 + 1	25
3,800	3,940×4,950	106	88	4 + 1 + 1	25
4,050	4,190×4,995	123	104	4 + 1 + 1	25
4,300	4,440×5,030	142	118	4 + 2 + 1 + 1	25
4,550	4,690×5,090	157	133	4 + 3 + 1 + 1	25
4,800	4,940×5,115	176	148	4 + 3 + 1 + 1	25
5,100	5,250×5,260	207	176	6 + 3 + 2 + 1	25
5,400	5,550×5,500	226	192	6 + 3 + 2 + 2	25
5,700	5,850×5,530	258	212	6 + 3 + 2 + 2	25
6,000	6,150×5,660	300	251	6 + 3 + 2 + 2	25
6,300	6,460×5,830	344	300	9 + 3 + 2 + 2	25
6,600	6,760×6,000	372	326	9 + 3 + 2 + 2	25
6,900	7,060×6,240	427	377	10 + 3 + 2 + 2	25
7,250	7,410×6,490	482	431	10 + 3 + 2 + 2	25
7,600	7,760×6,490	536	482	10 + 3 + 2 + 2	25
7,950	8,110×7,050	617	559	18 + 3 + 2 + 2	25
8,300	8,460×7,050	698	633	18 + 3 + 2 + 2	25
8,650	8,810×7,050	786	717	18 + 3 + 2 + 2	25

備考：(1) セグメント外径 8,650mm を越えるものは別途検討が必要である。
(2) 総重量、本体重量は中折れ装置付きである。

3. 施工

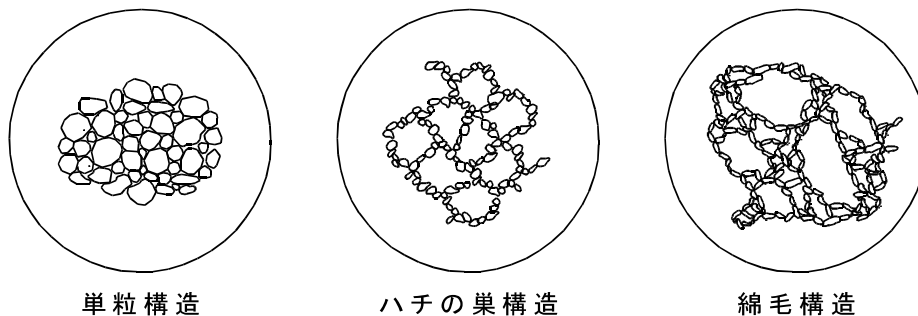
3. 1 作泥土材

(1) 作泥土材の働き

1) 土の構造

堆積土の土粒子の構造は大別すると以下の3種類に分類される。

I) 単粒構造 II) ハチの巣構造 III) 綿毛構造



図－1. 3. 1 土粒子の構造

これらの土粒子の構造因子は、土粒子の大きさ、形状、土粒子界面の性質、土粒子の鉱物組成、および堆積時の環境などである。

一般に砂、砂礫などの比較的大きい土粒子で構成されているものが単粒構造をとり、シルト・粘土など微細粒子が静水中を沈降堆積した時にできる構造がハチの巣構造となり、コロイドの様な微細粒子が静水中を沈降堆積した時にできる構造が綿毛構造である。

単粒構造となる砂、砂礫などは個々の粒子の接触状態、つまり摩擦力によって構成されており、その摩擦力（せん断抵抗力）によって強度特性を発揮する。

ハチの巣構造あるいは綿毛構造となる粘性土質で発揮される粘着力は土粒子間の接触点の直接的な分子の相互関係によるものでなく、接触点で粒子を分けている吸着層のせん断強度によるものであると言われている。

一般に自然状態の土の含まれる粒子の大きさの分布は、風化の程度、鉱物質の種類、運搬・堆積の過程などによって著しく異なり、粒径の分布状態（細粒分が多いか、粗粒分が多いか）によって土の外観や感触、その力学的性質などが著しく異なる。粘性土の微細粒子の構成は通常、物理的外力によって容易に変形、破壊し、砂・砂礫では粒子が互いに拘束し合っており、この構造を変形、

破壊するためには粒子間のかみ合わせを外さなければならず、多大な外力を必要とする。

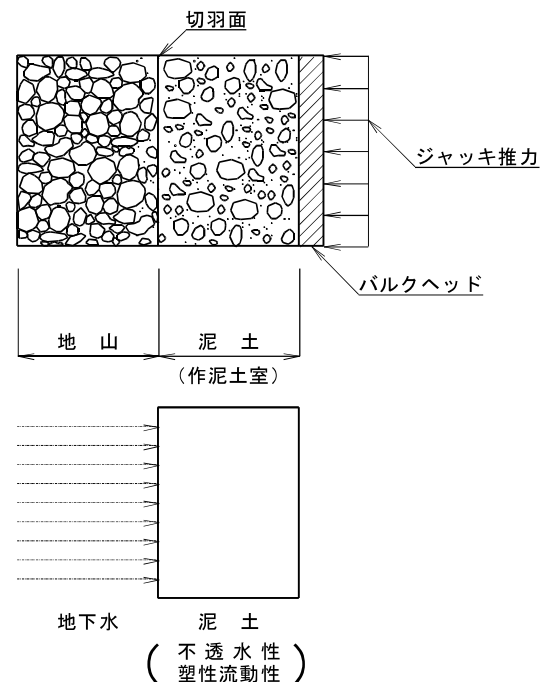
すなわち、土粒子の構成を変形、破壊するために多大な外力を必要としない掘削土砂の状態が泥土状態であると言え、掘削土砂が泥土状態になる為には掘削土砂中の微細粒子の含有量が大きな要素となる。軟弱な粘性土質では微細粒子の含有量が多く、変形、破壊が容易なため練混ぜ翼で練り混ぜるだけで泥土状態となる場合が多い。固結粘性土では、細粒分の含有量が多いが、掘削土に塑性流動性を与えるため作泥土材の添加が必要である。砂・砂礫の場合、微細粒子の含有量によって性質が大きく異なり、泥土状態になる為に必要な微細粒子を作泥土材で補う必要がある。また、特殊土、砂岩、泥岩など自立性のある土質に対しても、掘削土を塑性流動化させるために作泥土材の注入が必要である。

2) 作泥土材

泥土加圧シールド工法における作泥土材の働きは、1) で述べたように掘削土砂が砂・砂礫や特殊土、砂岩、泥岩などの場合、良好な泥土化を行うために、微細粒子分を補い、掘削土砂を不透水性と塑性流動性を有する泥土に変換する事である。また、粘性低下や付着防止の働きもある。

i) 不透水性

砂・砂礫などは一般に粒径が大きく間隙も大きいので、透水係数が大きく止水性がない。この様な土質に作泥土材を注入して練混ぜ翼で練り混ぜる事により作泥土材の粘性を有した微細粒子は砂・砂礫の間隙の自由水を排除し、間隙を埋める働きをする。つまり、粘性を有した微細粒子を含む液体が砂・砂礫の粒子間を埋める事により透水係数の非常に小さな砂となるのである。



図－1．3．2 泥土状態模式図

ii) 塑性流動性

泥土は内部摩擦角が小さいために、わずかな外力によって土粒子間の結合が容易に破壊され変形する。これが塑性という性質であると言える。さらに外力が連続的に加わるとそれに従って連続的に変形する。これが流動性であると言える。砂・砂礫など内部摩擦角の大きい土質に作泥土材を注入する事によって、粘性を有した微細粒子が砂・砂礫粒子同士の直接接触状態を軽減し内部摩擦角を小さくする事によって、塑性流動性を有する泥土に変換できる。

(2) 算定方法

作泥土材には、ベントナイト、粘土の他、高分子系や気泡等の種類があるが、ここでは、ベントナイト、粘土を例として算定方法を示す。なお、その他の材料については、各材料で提案されている算定式による。

1) 泥土化条件

泥土加圧シールド工法で掘削土砂を塑性流動性と不透水性を有する良好な泥土に変換する為に必要な最小量の微細粒子の含有量は過去の実績によれば掘削土量の30%程度必要である。

しかし、微細粒子が30%程度含まれていても、それより大きな粒径に当たる細砂分が少なく、粗砂と礫で構成されている土質は良好な泥土になりにくい。すなわち、30%程度の微細粒子と、それより大きな粒径の細砂分を適量含有している事が良好な泥土となるために必要な事であるので、微細粒子(0.075mm以下)は泥土化粒径、細砂分(0.075mm~0.25mm)は準泥土化粒径と言える。

ところが均等係数が2~3と小さく細砂分の含有率が高い(粒径加積曲線がS字状に直立する)場合には、準泥土化粒径が多量にあっても、この粒径自体では泥土化する粒径ではないので、泥土化を妨げる働きをする。

すなわち、掘削土砂が練混ぜ翼で練り混ぜるだけで良好な泥土に変換するのは、地山中に微細粒子を30%程度含有し、かつ、「粒度の良い」土であると言える。

よって、作泥土材の要・不要および濃度、使用量は、地山の粒度分布から推定できる。なお特殊土などについては、別途検討する必要がある。

泥土化粒径	準泥土化粒径	非泥土化粒径		
0.075	0.25	0.85	2.00	
シルト	細砂	中砂	粗砂	細礫

図－1．3．3 粒径区分図

2) 泥土化境界線

過去の多くの施工経験によれば、作泥土材を必要とする土質と必要としない土質は図-1.3.4に示す範囲に分けられる。すなわち、0.075mm以下の粒径が30%、0.25mm以下の粒径が40%、2.0mm以下の粒径が60%の通過率となる粒径加積曲線が作泥土材の必要・不要の境界線である。この境界線より上方では基本的には、作泥土材を必要とせず練混ぜ翼で練り混ぜる事により泥土に変換でき、下方は作泥土材が必要な領域となる。

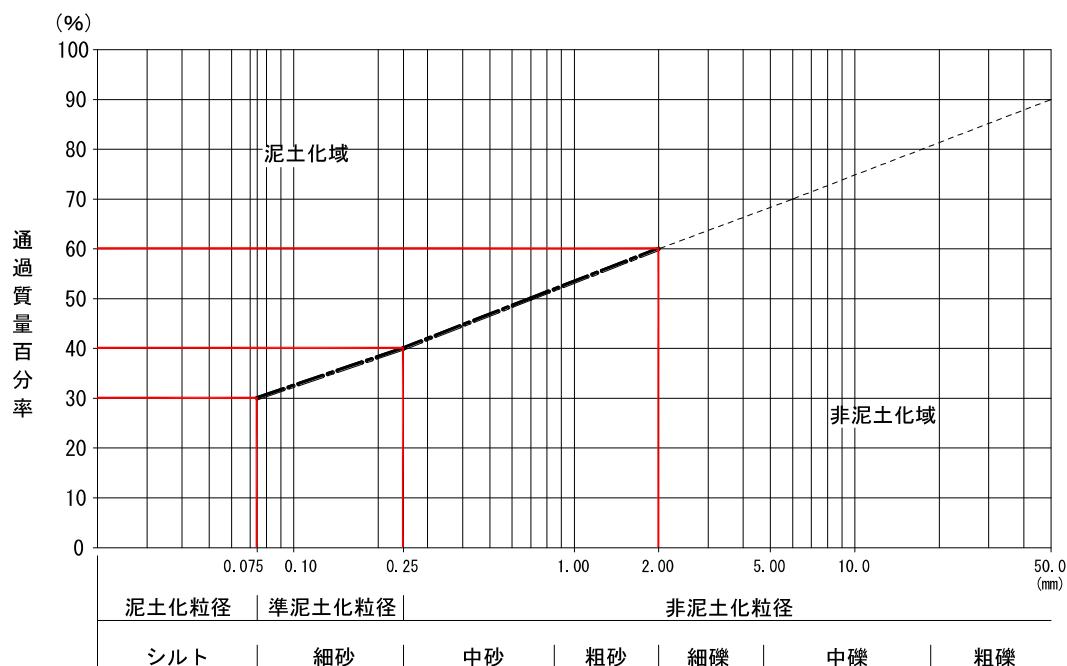


図-1.3.4 作泥土材算定グラフ

しかしながら、実際の土質ではこの境界線で上下に分かれる様な土質はまれであり多くの土質はこの境界線を挟んでS字状になったり、山の裾野状になったりする。

よって作泥土材の濃度・使用量は、土質の粒度分布から粒径加積曲線を描き、泥土境界線と対比し、0.075mm、0.25mm、2.0mmに対応する粒径の不足分を作泥土材の微細粒子分で補うように決定する。

次に述べる、作泥土材の濃度、使用量の算定方法は理論（仮説）とこれまでの実績を総合的に勘案して定めたものである。

3) 作泥土材の算定式

i) 作泥土材の材料

ベントナイト 品質 250 メッシュ
 粘 土 品質 200 メッシュ
 その他 C M C、高分子材等粘性を附与するもの。

ii) 濃度の算定式

$$\text{濃度 (D)} = a (30 - P_{0.075}) \alpha + (40 - P_{0.25}) \beta + (60 - P_{2.0}) \gamma$$

D : 濃度 (%)

a : 均等係数による係数

均等係数 $U \geq 4$ a = 1.0

$4 > U \geq 3$ a = 1.1

$3 > U > 1$ a = 1.2

$P_{0.075}$: 0.075mm 通過質量百分率 30%以上は 30

$P_{0.25}$: 0.25 " 40%以上は 40

$P_{2.0}$: 2.0 " 60%以上は 60

α : 2.0 とする

β : 0.5 "

γ : 0.2 "

$$\text{濃度 (D)} = \frac{\text{作泥土材の材料重量}}{\text{水の重量}} \times 100 (\%)$$

iii) 使用量の算定式

$$\text{使用量 [Q]} = 6 \cdot D$$

Q : 使用量 (ℓ/m^3) 地山土量 $1m^3$ 当たりの作泥土材の量を表す。

D : 濃度 (%) ii) で求めた作泥土材の濃度を表す。

iv) 作泥土材の働きと算定式の利用方法

作泥土材は、掘削土砂の内部摩擦角を低下させて掘削土を泥土に変換することが、主な働きであるが、粘性が高い場合には、粘性を低下させることが必要となる。濃度 0% で含水比が液性限界よりも低い場合（表-1.3.1）では流動性が小さくなるため、粘性を抑える必要があり、水だけの注入で粘性を下げる場合もある。しかし、固結シルト・粘土層などで、シルト・粘土分の含有率が多くなると粘性が高くなり掘進の支障となることが多い。このような場合、粘性低下材及び界面活性材等の作泥土材の注入を考慮する必要がある。

また、特殊土※については現場での試験練りを実施するなどして、土性にあった作泥土材の算定や注入量の検討が必要である。

濃度が 0% となり、粘性低下材等の注入が不要な場合でも、発進到達の地盤改良部では掘削土が固結し、作泥土材等の注入をする場合があるので、作泥土材の注入設備は必要である。

※ここで、特殊土とは火山灰質粘性土、火山性粗粒土（火山礫、シラス）、マサ土、高有機質土（泥炭、腐植土、黒泥、サンゴ砂利）、砂岩、泥岩などをいう。

表－１．３．１ 作泥土材濃度と使用量および効果

濃 度	0%		15%未満	15%以上	
作泥土材 の材料	水	粘性低下材		ベントナイト 又は高分子系	
使 用 量	$\omega > 1.2 \omega L$ の場合 0 ℓ/m^3	$\omega < 1.2 \omega L$ の場合		90 ℓ/m ³	6・D
		粘土・シルト含有率：X（%）			
		$X < 60$ の場合 150 ℓ/m^3	$X \geq 60$ の場合 $150 + 6(X - 60) \text{ ℓ/m}^3$		
効 果	粘 性 低 下		若干、内部摩 擦角を低下	内部摩擦角 の低下	

ω ：含水比 ωL ：液性限界

4) 作泥土材標準配合例

ベントナイト・粘土を使用した場合での作泥土材標準配合例を表-1.3.2 に示す。

表－１．３．２ ベントナイト・粘土標準配合例

濃度 (%)	ベントナイト B (%)	粘 土 C (%)	使用量 100ℓ当たりの配合		
			B (Kg)	C (Kg)	W (Kg)
10	10		9.6		96.2
15	15		14.2		94.3
20	20		18.5		92.6
25	25		22.7		90.9
30	30		26.8		89.3
35	25	10	21.9	8.8	87.7
40	25	15	21.6	12.9	86.2
45	25	20	21.2	16.9	84.7
50	25	25	20.8	20.8	83.3
55	25	30	20.5	24.6	82.0
60	20	40	16.1	32.3	80.6

注) ベントナイト：250 メッシュ 真比重 2.5

粘 土 ：200 メッシュ

注)高濃度の作泥土材が必要な土質では、坑内への圧送管径、圧送延長作泥土材の種類(高分子系など)を検討する必要がある。

粘性低下材については、「積算資料編」巻末参照。

5) 作泥土材算定例

i) 算定条件

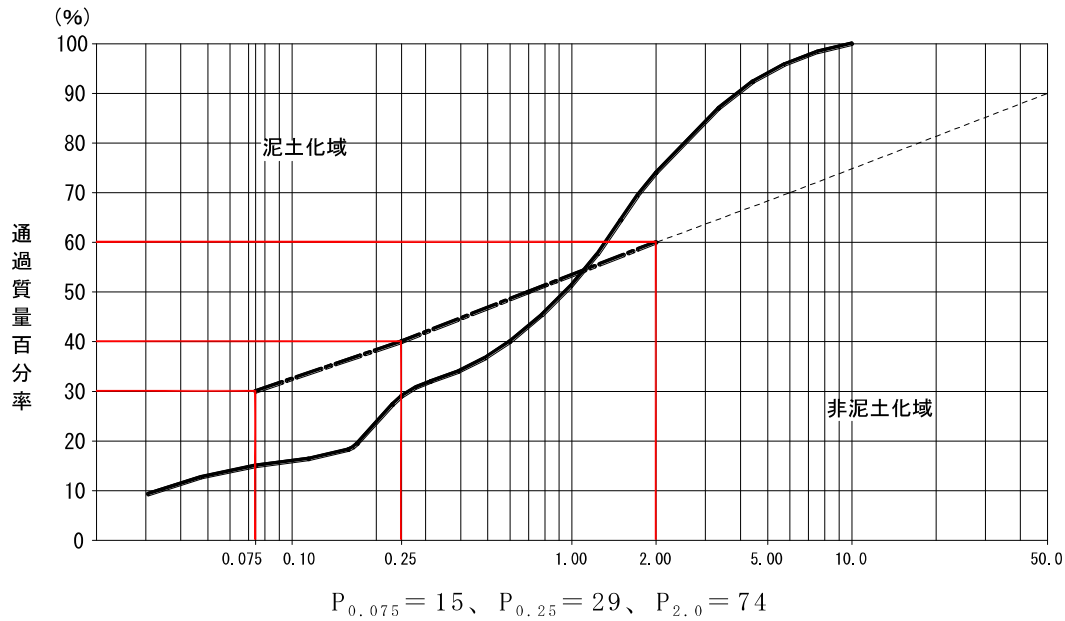
掘進部土質の粒度分布が表-1.3.3 の場合について作泥土材の算定をする。

表－１．３．３ 掘進部土質の粒度分布

粒 径 (mm)	ふるい分け								60%粒 径	30%粒 径	10%粒 径	均 等 係 数
	9.50	4.75	2.00	0.85	0.425	0.25	0.106	0.075				
通過質量百分率(%)	100	94	74	47	35	29	18	15	1.4mm	0.28mm	0.04mm	35

ii) 算定方法

- a) ふるい分け試験をもとに粒径加積曲線を描き、0.075mm・0.25mm・2.0mm 通過質量百分率を求める。本例では表より直接求められるが、ふるい分けのポイントが少ない場合は粒径加積曲線を想定して求める。又、互層の場合は、掘削断面における各層の面積比から、各換算通過質量百分率を求めて算定する。



図－１．３．５ 粒径加積曲線

b) 3)、ii) の濃度算定式より濃度 (D) を求める。

$$(D) = a (30 - P_{0.075}) \alpha + (40 - P_{0.25}) \beta + (60 - P_{2.0}) \gamma$$

ここで $a = 1.0$ 、 $P_{0.075} = 15$ 、 $P_{0.25} = 29$ 、 $P_{2.0} = 60$

($P_{2.0} = 74$ で 60 以上のため、 $P_{2.0} = 60$ とする)

$$\alpha = 2.0、\beta = 0.5、\gamma = 0.2$$

$$\therefore (D) = 35.5\%$$

よって濃度 35% とする。

c) 3) の iii) 使用量の算定式より使用量 [Q] を求める。

$$\begin{aligned}
 (Q) &= 6 D \quad (D \text{ は上記の算定式で求めた濃度 } 35\%) \\
 &= 6 \times 35 \\
 &= 210 \text{ l/m}^3
 \end{aligned}$$

より、使用量は、地山 1 m³ 当たり 210 l となる。

d) 4) の表-1.3.2 を参考に作泥土材の配合を決定する。

ここでは濃度 35% より、ベントナイト 25%、粘土 10%、とすれば、作泥土材 100 l あたりの各使用量はベントナイト 21.9 kg、粘土 8.8 kg、水 87.7 l となる。

e) 掘削土量 1 m³ 当たりの使用量を決定する。

ベントナイト		21.9 kg × 2.1 倍 = 46 kg
粘土		8.8 kg × 2.1 倍 = 18.5 kg
水		87.7 kg × 2.1 倍 = 184 l

3. 2 掘進方法

シールドテール部内においてエレクターにより組み立てたセグメントを反力壁として、シールド内に装備したジャッキにより掘進する方法で、シールド外径とセグメントの外径との空隙部には裏込め材を填充する。

(1) 掘進

掘削は基本的にはスポーク状の回転カッターで行い、掘削土砂にシールド後方の作泥土材注入ポンプで作泥土材を注入して練混ぜ翼で練り混ぜ、塑性流動性と不透水性を持つ泥土に変換し、これを作泥土室に充満させて掘進する。

(2) 切羽の保持方法

隔壁の前面に設けた作泥土室に充満した不透水性を持つ泥土の圧力（泥土圧）により、切羽土圧及び地下水圧に対抗して切羽の安定を図る機構である。隔壁に設けた土圧計により、作泥土室内の泥土圧を静止土圧＋地下水圧に維持管理しながら掘進と排土を行うので、切羽は常に安定した状態で保持される。

(3) ブリ搬出方法

作泥土室内に充満され、泥土化した土砂はスクリューコンベヤーによってシールド後方に搬出する。

1) 圧送ポンプ方式（図-1.3.7 参照）

圧送ポンプ方式は、砂・シルトなどの地層を掘削する場合にスクリューコンベヤーに圧送ポンプを直結するかあるいは、スクリューコンベヤーからベルトコンベヤーやパイプなどを介して、圧送ポンプのホッパーに貯留して、掘削土砂を立坑上まで圧送する方式である。1台のポンプで圧送できる延長は、ポンプの能力、配管径、土質などによって異なるため、掘進延長に応じてトンネル内や立坑内に中継ポンプを検討する。

2) 横転式ブリ鋼車方式（図-1.3.8 参照）

スクリューコンベヤーから排出された泥土をベルトコンベヤーなどで後方に搬送し、これを横転式のブリ鋼車で受けてバッテリー機関車により牽引して立坑下まで搬出する方式であり、立坑内で土砂ピットに排出する。立坑上へは、

グラブバケット、圧送ポンプ、垂直コンベヤー等で搬出する。

3) 吊り上げ鋼車方式 (図-1.3.9 参照)

スクリーコンベヤーから排出された泥土をベルトコンベヤーなどを介して後方に搬送し、これを吊り上げ可能な鋼製バケットに積み込み、バッテリー機関車牽引して立坑下まで搬出する方式である。

立坑下からは基本的には橋形クレーンなどで鋼製バケットを吊り上げ、地上の土砂ホッパー上で転倒させて排出する。

ズリ処理の一般的な系統を図-1.3.6に示す。

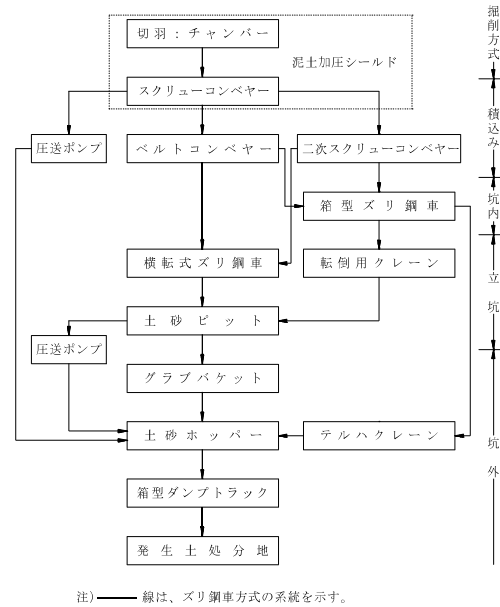
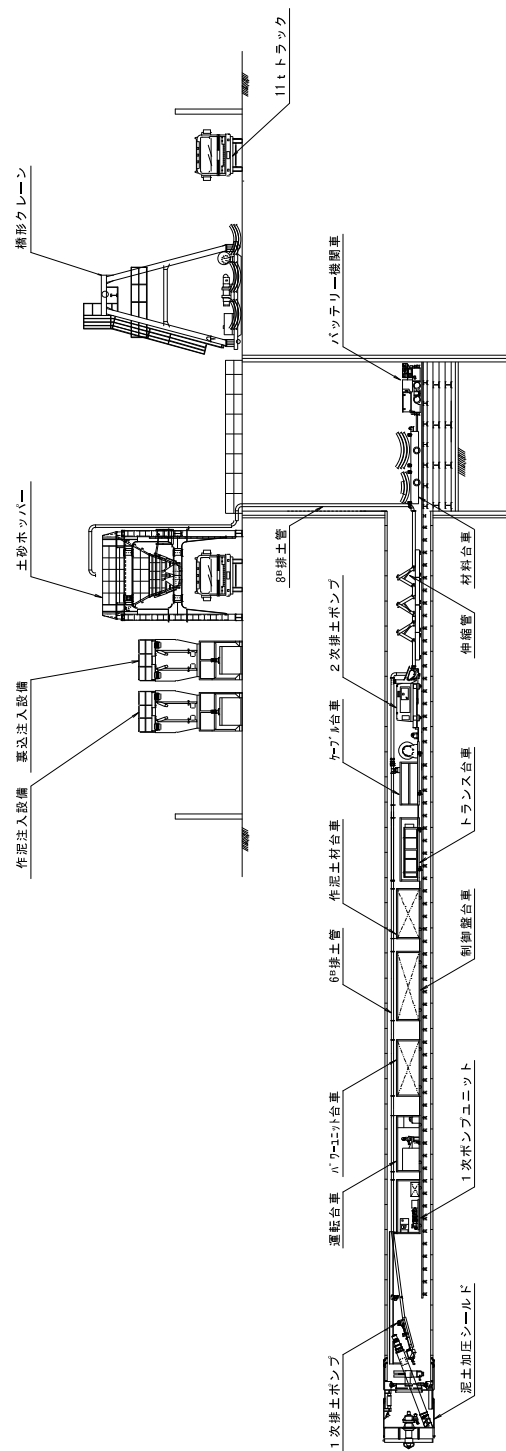
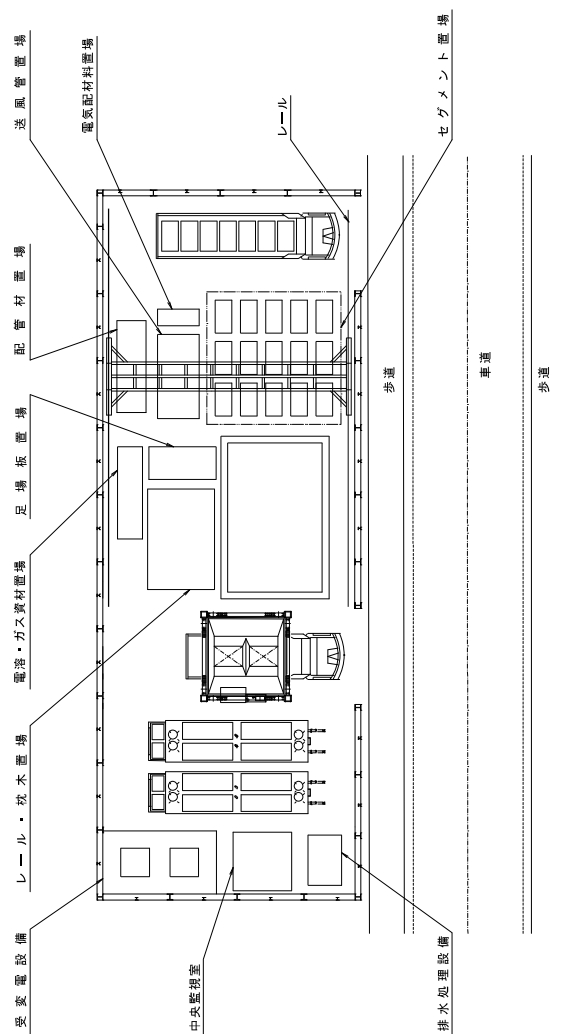
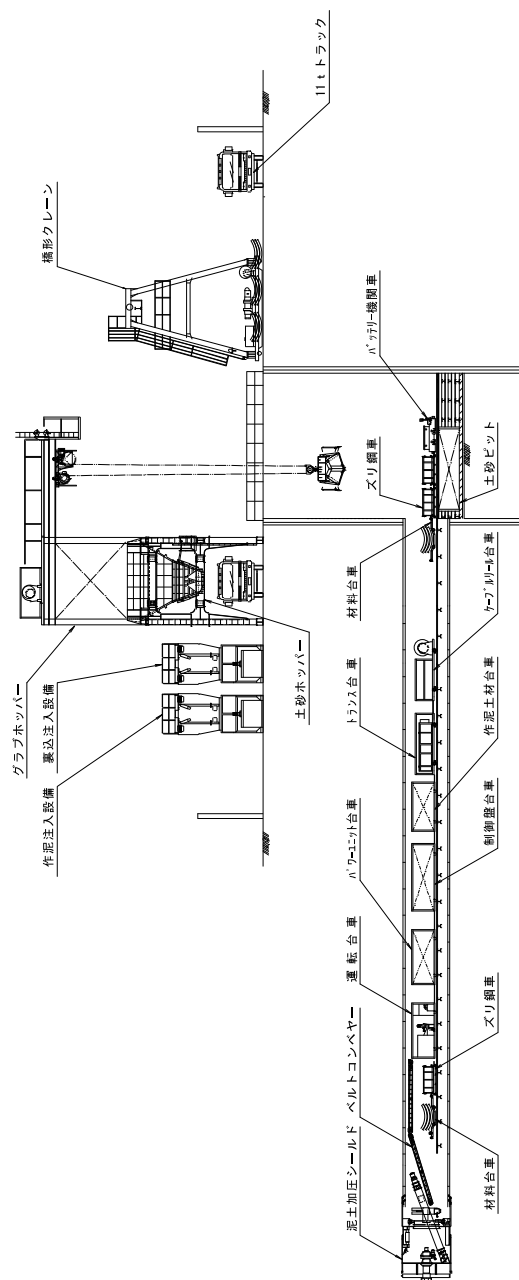
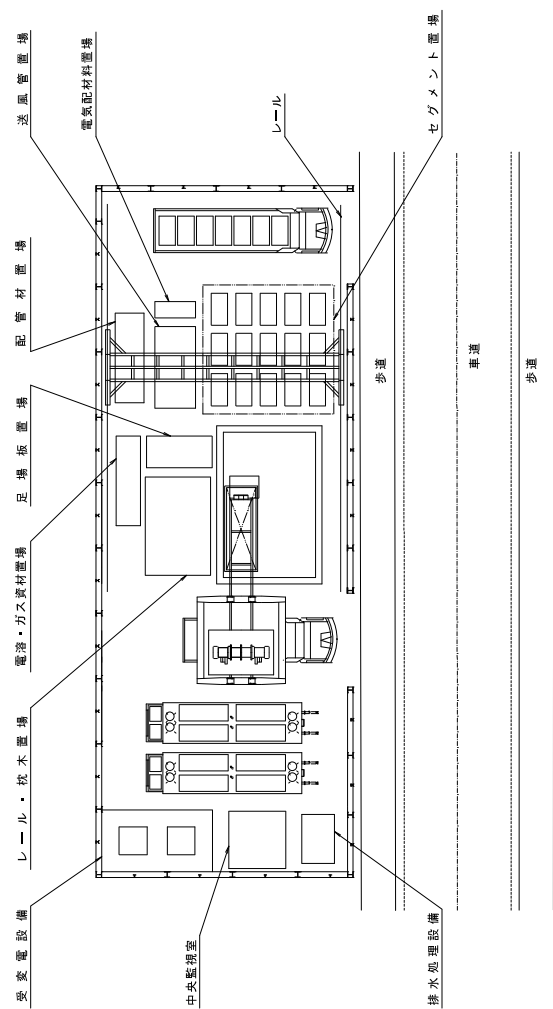


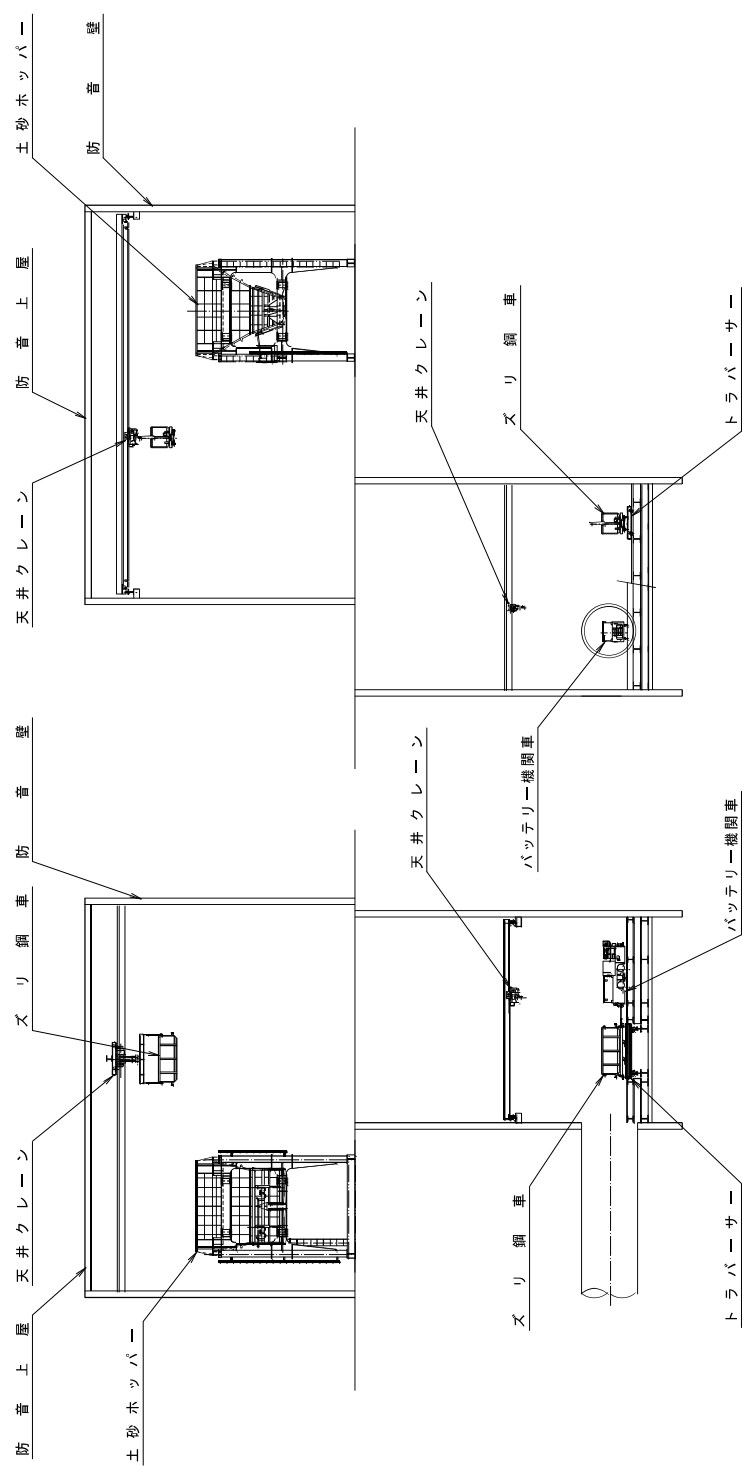
図-1.3.6 ズリ処理系統図



図一 1. 3. 7 発進基地仮設平面・縦断面図（圧送ポンプ方式）



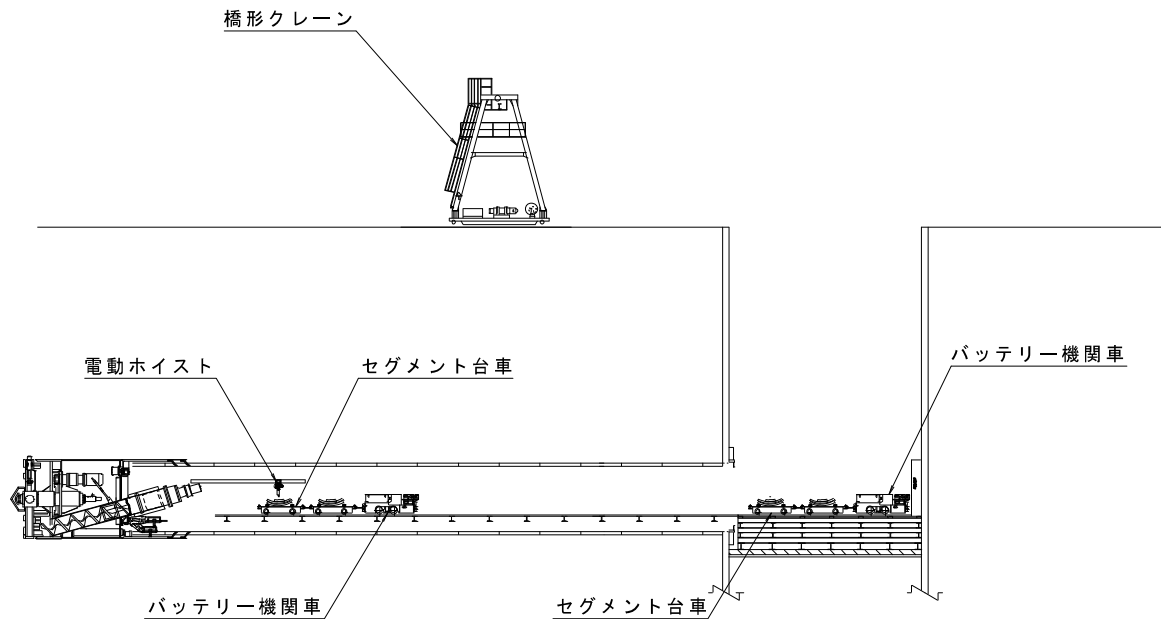
図一 1. 3. 8 発進基地仮設平面・縦断面図 (スリ鋼車方式)



（４）セグメント搬送方法

土砂圧送ポンプ方式を用いる場合やトンネルが大断面の場合などでは、セグメントやレールなどを搬送する専用の材料台車をバッテリー機関車でけん引して、立坑下からシールド後方へ搬送する（図-1.3.10を参照）。

横転式ズリ鋼車方式や吊り上げ鋼車方式では一般的に、ズリ鋼車や鋼車の前方にセグメントなどを搬送する材料台車を接続してシールド後方へ搬送する。



図－１．３．１０ セグメント搬送方式

3. 3 立坑

(1) 発進立坑

発進立坑の長さ及び幅は、本構築としての機能の他、次のような条件を考慮して決める。

- ① シールドの搬入、組立、点検、および発進
- ② 立坑用地の大きさ，形状などの立地条件
- ③ 夜間時の交通規制，道路幅員および埋設物の状態
- ④ 材料台車，ズリ鋼車の編成および軌道配置
- ⑤ セグメントなどの資材搬出入
- ⑥ 立坑土砂ピット，土砂搬出装置および排出口の位置
- ⑦ 仮設段階など作業員の昇降施設
- ⑧ 立坑周辺の環境保全（工事公害の防止）

表-1.3.5に発進立坑の標準寸法を、図-1.3.11 発進立坑標準図、図-1.3.12 発進立坑参考平面図を示す。

発進基地の用地面積は、セグメント、レール、裏込め材、作泥土材、枕木等の材料、注入プラント、土砂ホッパー、発生土改良設備等の坑外設備、作業員休憩所、運転管理室、現場詰所等が設置できる広さとする。

発進基地の必要面積は、基地用地の形状、車両出入り口、近接構造物等の立地条件により異なるので計画に当たっては十分検討する必要があるが、一般的には表-1.3.4に示す程度である。

また、図-1.3.7 発進基地仮設平面・縦断面図（ポンプ圧送方式）、図-1.3.8 発進基地仮設平面・縦断面図（ズリ鋼車方式）を示す。

表－１．３．４ 発進立坑標準面積（参考）

セグメント外径 (mm)	立坑用地面積 (m ²)
1,800 ～ 2,350	600
2,550 ～ 2,950	700
3,150 ～ 3,550	800
3,800 ～ 4,300	900
4,550 ～ 5,100	1,100
5,400 ～ 6,000	1,300
6,300 ～ 7,250	1,500
7,600 ～ 8,650	1,800

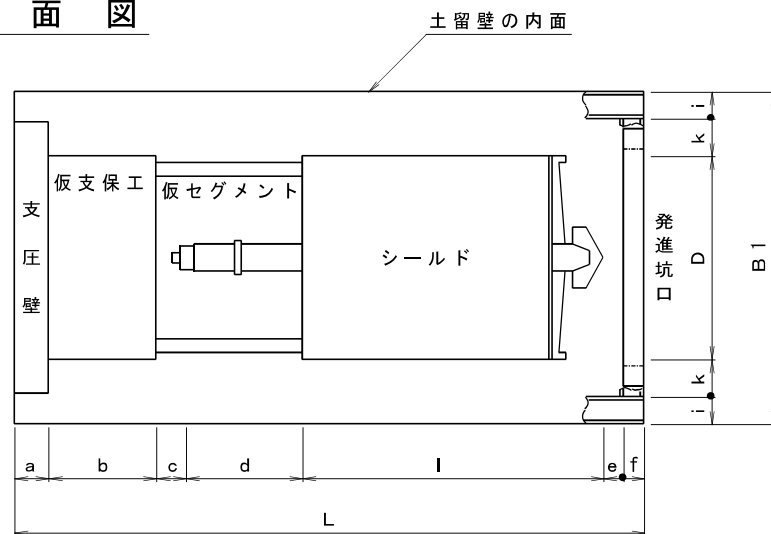
表 1-3-5 発進立坑寸法表（参考）

セグメント 外 径 (mm)	長 ざ (L)						幅 (B)					
	支圧壁 a (mm)	仮支保工 b (mm)	余 裕 c (mm)	スクリューコブヤ d (mm)	シールド機長 l (mm)	余 裕 e (mm)	発進坑口 f (mm)	計 a+b+c +d+l+e+f (mm)	シールド外径 D (mm)	支保工材幅 i (mm)	余裕 K (mm)	計
1,800	500	1,800	50	1,180	4,800	200	300	8,900	1,930	400	600	4,000
2,000	500	1,800	50	1,230	4,895	200	300	9,000	2,130	400	600	4,200
2,150	500	1,800	50	1,260	5,195	200	300	9,400	2,280	400	600	4,300
2,350	500	1,800	50	1,310	5,305	200	300	9,500	2,480	400	600	4,500
2,550	500	1,800	50	1,390	5,345	200	300	9,600	2,680	400	600	4,700
2,750	500	1,800	50	1,460	5,470	200	300	9,800	2,880	400	600	4,900
2,950	500	1,800	50	1,520	5,705	200	300	10,100	3,090	400	600	5,100
3,150	500	1,800	50	1,580	5,715	200	300	10,200	3,290	400	600	5,300
3,350	500	1,800	50	1,690	5,800	200	300	10,400	3,490	400	600	5,500
3,550	500	1,800	50	1,745	5,825	200	300	10,500	3,690	400	600	5,700
3,800	600	2,000	50	1,770	5,850	200	400	10,900	3,940	400	700	6,200
4,050	600	2,000	50	1,795	5,945	200	400	11,000	4,190	400	700	6,400
4,300	600	2,000	50	1,955	6,080	200	400	11,300	4,440	400	700	6,700
4,550	600	2,000	50	2,125	6,240	200	400	11,700	4,690	400	700	6,900
4,800	600	2,000	50	2,265	6,265	200	500	11,900	4,940	400	700	7,200
5,100	600	2,000	50	2,370	6,430	200	500	12,200	5,250	400	700	7,500
5,400	600	2,000	50	2,425	6,675	200	500	12,500	5,550	400	700	7,800
5,700	700	2,000	50	2,515	6,725	200	500	12,700	5,850	400	700	8,100
6,000	700	2,000	50	2,860	6,860	200	600	13,300	6,150	400	700	8,400
6,300	700	2,200	50	3,000	7,055	200	600	13,900	6,460	400	800	8,900
6,600	700	2,200	50	3,180	7,225	200	600	14,200	6,760	400	800	9,200
6,900	700	2,200	50	3,360	7,515	200	600	14,700	7,060	400	800	9,500
7,250	700	2,200	50	3,480	7,765	200	700	15,100	7,410	400	800	9,900
7,600	700	2,200	50	3,480	7,790	200	700	15,200	7,760	400	800	10,200
7,950	800	2,200	50	3,550	8,350	200	700	15,900	8,110	400	800	10,600
8,300	800	2,200	50	3,550	8,400	200	700	15,900	8,460	400	800	10,900
8,650	800	2,200	50	3,750	8,400	200	700	16,100	8,810	400	800	11,300

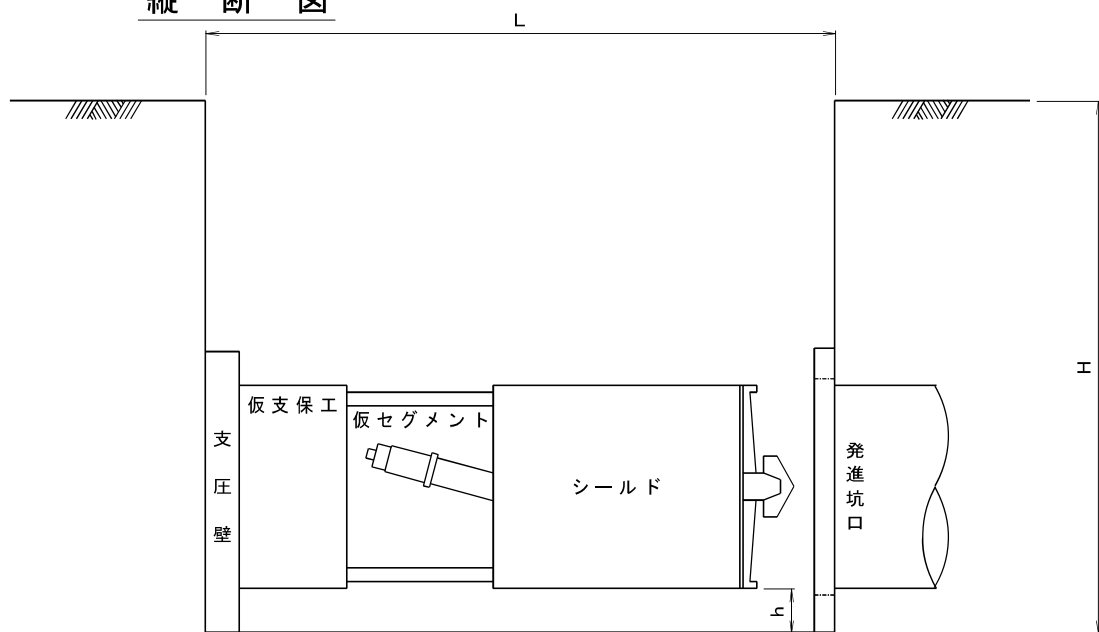
注)・シールドおよびセグメントの形状、中折れ装置の有無、使用目的、施工条件などに応じて異なるため参考値を示す。

・掘削土砂搬出にズリ鋼車を用いる場合や立坑の一部を路面覆工する場合は、上記の最小寸法より大きな立坑が必要となるため、施工条件により立坑寸法を別途考慮する。

平面図



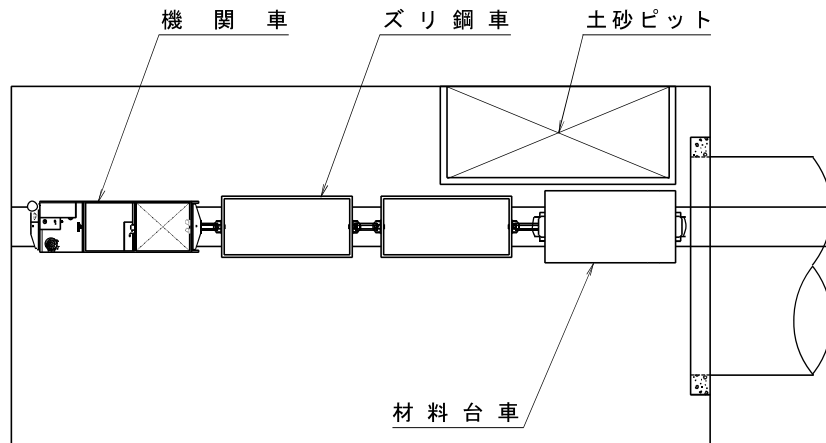
縦断図



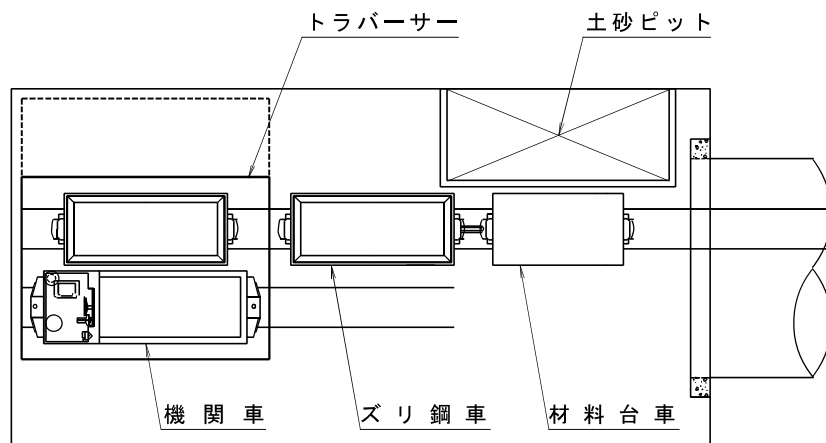
$h=0.7\text{m}$ (セグメント外径 1,800~3,550mm)
 $=0.9\text{m}$ (セグメント外径 3,800~6,000mm)
 $=1.1\text{m}$ (セグメント外径 6,300~8,650mm)

図－１．３．１１ 発進立坑標準図

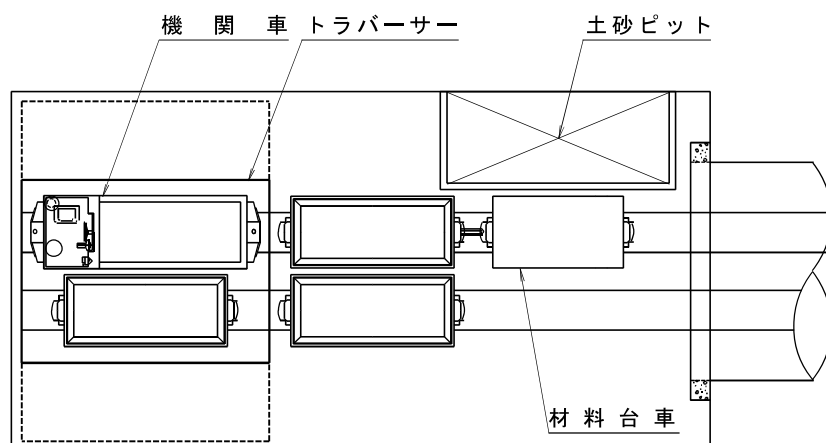
(a) 単線方式



(b) トラバーサー方式



(c) トラバーサー・複線組合せ方式



図－１．３．１２ 発進立坑参考平面図

（２）到達立坑

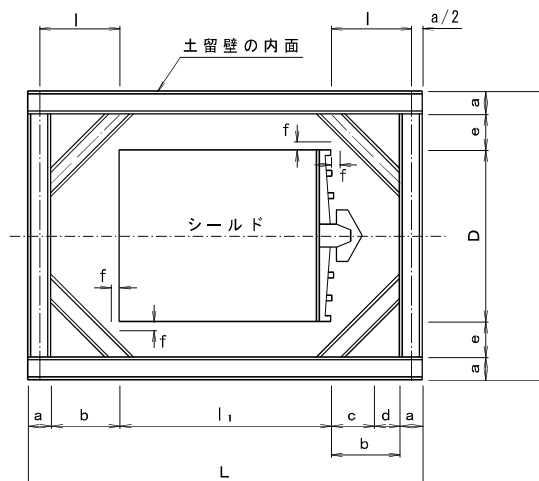
到達立坑は、一般的にシールドを取り出さずに残置を原則とするので人孔築造に必要な最小寸法とする。

シールドを取り出す場合は、予め解体を考慮し、ボルトアップにしておくことや解体時の寸法は、山留材とのクリアランス、引き上げ等の作業性を考慮して決める。

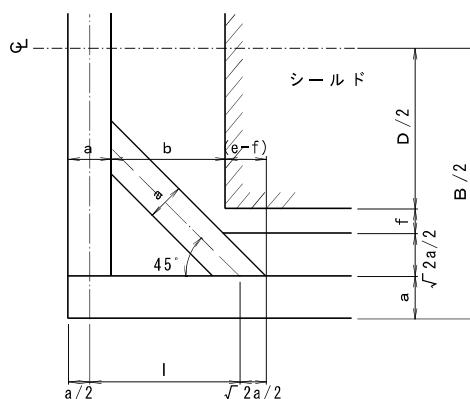
図-1.3.13 到達立坑標準図、表-1.3.6 到達立坑標準寸法を示す。

到達立坑基地としては、シールド搬出用のクレーンが設置できる面積を確保できれば良いため、一般的に立坑構築に必要な用地となる。

平 面 図



角 部 詳 細 図



図－１．３．１３ 到達立坑標準図

到達立坑長は、シールドを取り出す場合には、立坑支保材の火打ちとシールドの余裕によって決まる。

表一 1. 3. 6 到達立坑寸法表（参考）

幅 (B)					長さ (L)						
セグメント 外 径 (mm)	シート 外径 D (mm)	支保工材幅 a (mm)	余 裕 e (mm)	立坑幅 D+2(a+ e) (mm)	余 裕 b (mm)	カッター部 c (mm)	余 裕 d (mm)	余 裕 f (mm)	火打ち位置 l (mm)	シート本体長 L1 (mm)	立坑長 L1+2(a+b) (mm)
1,800	1,930	400	600	4,000	1,169	720	569	200	1,500	4,200	7,400
2,000	2,130	400	600	4,200	1,169	720	569	200	1,500	4,295	7,500
2,150	2,280	400	600	4,300	1,169	720	569	200	1,500	4,595	7,800
2,350	2,480	400	600	4,500	1,169	745	569	200	1,500	4,605	7,800
2,550	2,680	400	600	4,700	1,169	825	569	200	1,500	4,645	7,800
2,750	2,880	400	600	4,900	1,169	830	369	200	1,500	4,670	7,900
2,950	3,090	400	600	5,100	1,169	840	369	200	1,500	4,855	8,000
3,150	3,290	400	600	5,300	1,169	870	369	200	1,500	4,865	8,100
3,350	3,490	400	600	5,500							
3,550	3,690	400	600	5,700							
3,800	3,940	400	700	6,200							
4,050	4,190	400	700	6,400							
4,300	4,440	400	700	6,700							
4,550	4,690	400	700	6,900							
4,800	4,940	400	700	7,200							
5,100	5,250	400	700	7,500							
5,400	5,550	400	700	7,800							
5,700	5,850	400	700	8,100							
6,000	6,150	400	700	8,400							
6,300	6,460	400	800	8,900							
6,600	6,760	400	800	9,200							
6,900	7,060	400	800	9,500							
7,250	7,410	400	800	9,900							
7,600	7,760	400	800	10,200							
7,950	8,110	400	800	10,600							
8,300	8,460	400	800	10,900							
8,650	8,810	400	800	11,300							

- セグメント外径3,350mm以上は解体搬出となるので残置を原則とする。
- 立坑幅は発進立坑に準ずる。
- 立坑深さはシート機底面より0.3m以上とする。

・セグメント外径3,350mm以上は解体搬出となるので残置を原則とする。

・立坑幅は発進立坑に準ずる。

・立坑深さはシート機底面より0.3m以上とする。

(3) 回転立坑

回転立坑の長さ及び幅は、シールドが立坑内で所定の角度に回転して再発進できるための寸法、人孔築造に必要な大きさ、軌条の回転半径による日進量の低減、土質、路面条件、交通量、工事中の騒音振動などの周辺への影響等を考慮して決める。

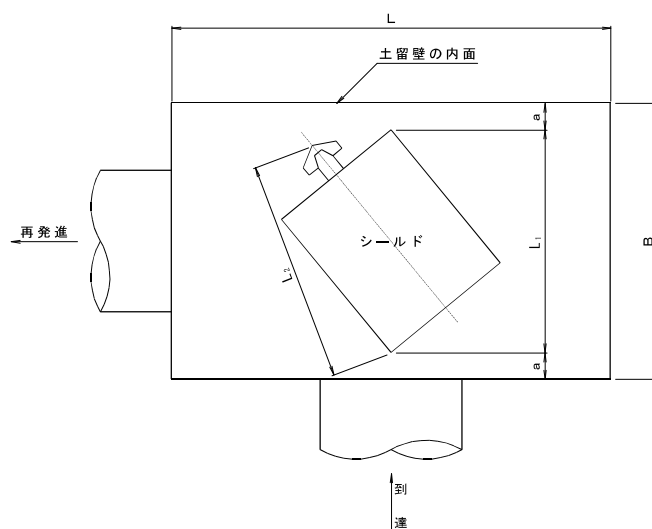
直角方向に回転する場合の標準図を図-1.3.14に、標準寸法を表-1.3.7に示す。

回転立坑基地としては、シールド回転用のクレーンが設置できる面積を確保できれば良いため、一般的に立坑構築に必要な用地となる。

表－１．３．７ 回転立坑標準寸法表（参考）

セグメント 外 径 (mm)	立坑長*	立 坑 幅			セグメント 外 径 (mm)	立坑長*	立 坑 幅		
		シールド 最長部 (mm)	余 裕 (mm)	計 (mm)			シールド 最長部 (mm)	余 裕 (mm)	計 (mm)
1,800	8,300	4,896	500	5,900	4,800	10,800	7,535	500	8,600
2,000	8,400	5,065	500	6,100	5,100	11,000	7,857	500	8,900
2,150	8,800	5,400	500	6,400	5,400	11,300	8,238	500	9,300
2,350	8,800	5,541	500	6,600	5,700	11,500	8,472	500	9,500
2,550	8,900	5,669	500	6,700	6,000	12,300	8,776	500	9,800
2,750	9,000	5,831	500	6,900	6,300	12,600	9,123	500	10,200
2,950	9,300	6,118	500	7,200	6,600	13,000	9,456	500	10,500
3,150	9,300	6,230	500	7,300	6,900	13,400	9,856	500	10,900
3,350	9,500	6,367	500	7,400	7,250	13,800	10,282	500	11,300
3,550	9,600	6,520	500	7,600	7,600	13,800	10,545	500	11,600
3,800	10,000	6,685	500	7,700	7,950	14,500	11,183	500	12,200
4,050	10,100	6,871	500	7,900	8,300	14,500	11,456	500	12,500
4,300	10,300	7,111	500	8,200	8,650	14,700	11,717	500	12,800
4,550	10,500	7,354	500	8,400					

注 1) *：発進可能な最小寸法（発進立坑寸法参照）



図－１．３．１４ 回転立坑標準図

3. 4 発進・到達

(1) 発進坑口

シールド発進坑口は、地山の崩壊、路面の陥没など起こさないよう十分な検討を行い、必要に応じて地盤強化および湧水対策を施す。

発進口には、坑口コンクリートを打設し、坑口リングおよびエントランスパッキンを設置する。

エントランスパッキンの材質、形状、寸法は、地山の状態、シールドの形状、同時裏込め装置等に配慮して決定する必要がある。特に湧水量が多い箇所、水圧が高い箇所、同時裏込め注入管のある場合と、中、大口径シールドについてはフラッパー形式のエントランスパッキンが望ましい。

(2) 到達坑口

シールド到達坑口は、地山の崩壊、路面の陥没等を起こさないよう検討を行い、必要に応じて地盤強化および湧水対策を施す。

また、シールドと到達壁の間隙から土砂流出または出水を防止するため、到達口エントランスパッキンを設置する。

エントランスパッキンの材質、形状は、土質、水圧等を考慮して決める。

(3) 地盤改良

発進部、到達部、特殊部（急曲線区間、重要構造物の近接区間等）は、地盤改良を必要とする。改良の範囲は、土質、土被り、被圧水、立坑の構築方法等の条件によって異なるのでそれぞれの場合について検討する。

一般的には、発進部の改良長さは、シールドの発進後、セグメントと立坑土留め壁の間が完全に裏込め注入により充填されるまで地山の止水性は保たれる必要があることから、シールド機長 + α （2リング）程度必要である。

また、到達部の改良長さは、鏡切断時のテールからの漏水を防止するためテール後方のセグメントと地山が一体となっている必要があることから、シールド機長 + α （2リング）程度必要である。

3. 5 掘 進

(1) 裏込め注工

裏込め注入は、セグメントと地山の空隙を充填することにより地山の緩みを防止し、推力を地山に伝達するものである。これにより、地表面沈下やセグメントに偏圧が生ずるのを最小にし、セグメント目地よりの漏水を防止する。

よって裏込め注入は、掘進と同時に発生するテールボイドを速やかに充填することが、地山緩み防止に最も効果があり大切なことである。

泥土加圧シールドは、シールド前面及び外殻周囲が泥土で充満しているため、シールドの直ぐ後方で裏込め注入を実施しても、開放型シールドのように裏込め注入材が切羽に流出することなく、テールボイド天端まで充填でき、同時注入が可能なシールド工法である。

1) 裏込め注入量

$$Q = \{ (\text{掘削径})^2 - (\text{セグメント外径})^2 \} \times \pi / 4 \times \alpha \times \beta$$

ここに、Q：裏込め注入量（m³/m 当たり）

α：土質、注入材別による注入率係数

β：線形による注入率係数

表－1. 3. 8 土質、注入材別による注入率：α

	普通土	軟弱土	固結粘土	砂礫土
可塑状固結土 ^①	1.3	1.6	1.2	1.6

注) 注入材は、(4) 標準配合表による。

表－1. 3. 9 線形による注入率：β

曲率半径 (m)	30m以上 40m未満	40m以上 60m未満	60m以上 80m未満	80m以上 100m未満
係 数 β	1.8	1.7	1.6	1.5

曲率半径 (m)	100m以上 150m未満	150m以上 200m未満	200m以上
係 数 β	1.4	1.3	1.0

裏込め材の食い込みは、シールド周囲の土が掘削により攪乱されているため地山の取り込み過ぎが無くても収縮、流動、注入圧による地下水の排除などによっても発生する。

2) 裏込め注入材料

裏込め注入材料は、一般に次のようなものを使用する。

- i) 地山より強度があるもの。
- ii) 収縮の少ないもの。
- iii) 透水性の少ないもの。
- iv) 注入しても、地下水による希釈や分離の少ないもの。
- v) 隅々まで充填できるよう適度の流動性があること。
- vi) シールドハル（シールド外殻）、テールシールに付着しないこと。

vi) について：シールドの直ぐ後方から裏込め注入を行う場合、注入材がシールド外殻、テールシールに付着し易い。この場合、テールシールの破損、変形の原因となり、また、シールドの方向制御が不能になることもある。

3) 裏込め注入工法

裏込め注入工法には、従来モルタルが使用されていたが、現在は可塑状固結タイプが主流となり、主に二液型の TAC-ⅡS 工法、クリーンバック工法等が使用されている。

4) 使用材料および標準配合例

i) TAC-ⅡS 標準配合例（1 m³ 当たり）

表-1. 3. 10

A 液					B 液
セメント (kg)	TAC-1 (kg)	TAC-2 (kg)	水 (kg)	空気量 (%)	TAC-3 (%)
260	260	1.7	376	30.4	132

TAC-1：特製クレセント[®]、TAC-2：起泡剤、TAC-3：凝結促進剤

ii) クリーンバック配合例（1 m³ 当たり）

表-1. 3. 11

A 液					B 液
セメント (kg)	粘土 (kg)	促進剤 (kg)	安定剤 (kg)	水 (kg)	急硬剤 (%)
200	100	25	20	786	100

iii) SP S-Ⅱ 工法（1 m³ 当たり）

表-1. 3. 12

A 液				B 液
エスハイトA (kg)	助 剤 (kg)	安定剤SP-R (kg)	水 (kg)	SP-70 (%)
230	80	1.1	794	100

iv) T G S - II 標準配合例 (1 m³ 当たり)

表 - 1 . 3 . 1 3

A 液 (1000 $\frac{g}{kg}$)				B 液
カルメント (kg)	助 剤 (kg)	安 定 剤 (kg)	水 (kg)	T G 剤 ($\frac{g}{kg}$)
250	90	1	870	70~100

カルメント : スラグ系硬化剤
 助 剤 : 粘土鉱物系骨材
 T G 剤 : 特殊水ガラス

(2) ビットの摩耗

ビットの摩耗は、土質条件、掘進距離により異なる。カッタービットは土質条件に適合するような形状、材質、配置のものを使用すれば一般的には問題ないが、長距離掘進、砂礫土においては、ビットの磨耗について十分に検討する必要がある、場合によっては掘進途中で交換の検討が必要である。

ビット摩耗量の計算

$$\delta = \frac{\pi \times D \times N \times L \times K}{V \times 1000} \quad (\text{mm}) < \text{許容摩耗量 } \delta a = 20 \text{ mm}$$

D : シールド外径 (m)

N : カッター回転数 (r. p. m)

L : 掘進距離 (m)

K : ビット摩耗係数 (mm / km)

V : 掘進速度 (m / min)

δa : 許容摩耗量 = 20 mm

表 - 1 . 3 . 1 4 土質別チップ摩耗係数 (参考)

土 質 区 分	超硬チップ摩耗係数
軟弱粘土性 (N値0~5)	0.005 ~ 0.01 mm/km
砂・礫混じり砂、土丹	0.01 ~ 0.02 mm/km
砂 礫	0.02 ~ 0.03 mm/km

計算結果より、許容摩耗量以下であれば掘進距離 L (m) に対して交換無しで掘削可能と考えることができる。

なお、摩耗量は土質条件の変化や掘削方法 (土圧、土の流動状態、掘進速度等) に大きく影響されるので十分検討する必要がある。

泥土加圧シールド工法技術資料

昭和 6 1 年	6 月	発行第	1 版
平成 2 年	4 月	発行第	2 版
平成 5 年	4 月	発行第	3 版
平成 1 0 年	6 月	発行第	4 版
平成 1 3 年	3 月	発行第	5 版
平成 1 3 年	7 月	発行第	6 版
平成 1 4 年	6 月	発行第	7 版
平成 1 5 年	3 月	発行第	8 版
平成 1 6 年	4 月	発行第	9 版
平成 1 8 年	4 月	発行第	1 0 版
平成 1 9 年	6 月	発行第	1 1 版
平成 2 3 年	8 月	発行第	1 2 版
令和 2 年	8 月	発行第	1 3 版

シールド工法技術協会

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