開放型ＴＢＭ式ミニシールド工法

工　法　説　明　書

平成２６年３月

ミニシールド工法研究会

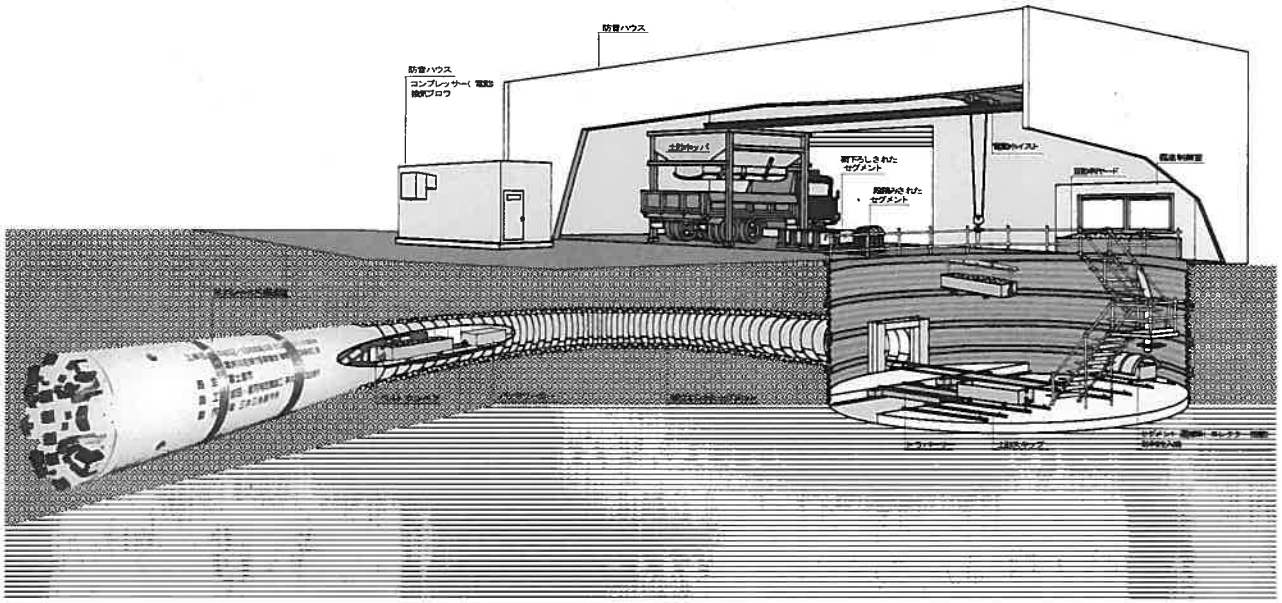
１．概　要

ミニシールド工法は英国より導入した技術を、その独創的な考え方を活かしながら、我が国の実状に合う様に改良した三等分割のミニシールド工法用鉄筋コンクリートセグメントを使用する小口径シールド工法である。ミニシールド工法は掘削方法の違いにより、開放型手掘り式、開放型半機械式、開放型ＴＢＭ式及び泥土圧式と４つの工法にシリーズ化されている。

切羽の自立した岩盤対応としては、開放型半機械式あるいは開放型ＴＢＭ式での対応となるが、半機械式のミニシールド機で対応できる岩盤は、一軸圧縮強度が約50N/㎟までの堆積軟岩である。それに対してＴＢＭ式のミニシールド機は、あらゆる岩盤に対応することができる。

ここでは、そのＴＢＭ式ミニシールド工法の概要、掘進方法及び日進量等について説明する。

ＴＢＭ式ミニシールド工法概要図



2．仕　様

2－1　ＴＢＭ式ミニシールド工法の仕様

工　　法　：　開放型ＴＢＭ式ミニシールド工法
対象口径　：　1,200 ～ 2,000㎜（仕上がり内径）
施工延長　：　理論的に制限はないが、日進量低下の懸念から１スパン1,000m程度
曲線施工　：　Ｒ ≧ １０ｍ（ただし、一軸圧縮強度10N/㎟以上区間はＲ≧20m））
セグメント：　ミニシールド工法用鉄筋コンクリートセグメント（Ｒ≧６０ｍ）
　　鋼製セグメント（Ｒ＜６０ｍ）
裏込材料　：　豆砂利＋セメントミルク（プレパックドコンクリート）
ビットの交換：　シールド機内から可能
対応土質　：　表－１参照

表－１　対応土質

対応土質	普通土～硬岩、岩質はＡ～Ｆ　火成岩・堆積岩・変成岩の全ての岩盤を対象とする。
岩盤分類	Ａ、Ｂ、C_H、C_M、C_L、Ｄ
一軸圧縮強度	制限無し

注　　ただし、切羽の自立を必要とする

2－2　ＴＢＭ式ミニシールド機の仕様（参考値）

表－２　ＴＢＭ式ミニシールド機の仕様

項　　目		単位	仕上り内径（㎜）					
			1,200	1,350	1,500	1,650	1,800	2,000
シールド機外径		㎜	1,570	1,750	1,960	2,160	2,330	2,630
スキンプレート厚		㎜	22	22	25	25	25	25
テールクリアランス		㎜	75	75	90	105	105	140
シールドジャッキ		kN×本	500×4	600×4	800×4	1000×4	1200×4	1500×4
本体分割箇所数		箇所	2	2	2	2	2	2
機長	後部フード長	㎜	600	600	750	750	750	750
	全　体　長	㎜	8,900	9,300	10,000	10,600	11,000	11,500
	最大ﾌﾞﾛｯｸ長	㎜	4,815	5,050	5,250	5,535	5,700	5,970
重量	総　質　量	t	26.00	32.00	36.00	42.00	47.00	54.00
	最大ﾌﾞﾛｯｸ質量	t	16.00	19.00	22.00	26.50	30.00	34.50

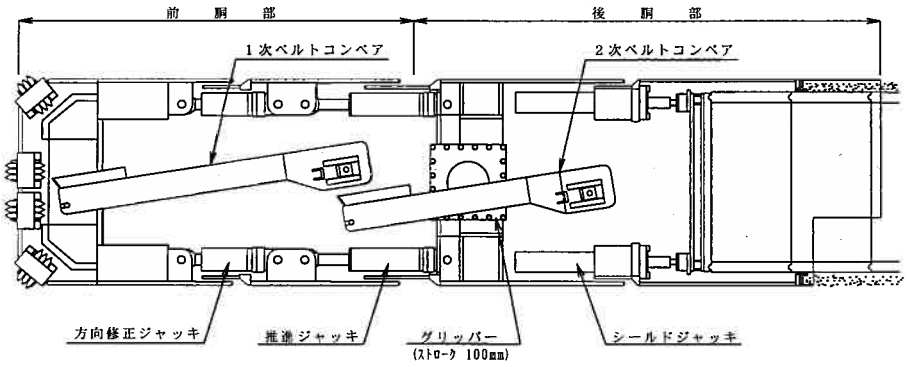
注　　最大ブロック長 ：シールド機投入時の最大分割長を計上

3．掘進のサイクル

3－1　掘進概要

このシールド機は岩盤（硬岩）を掘進するためのシールド機であるため、シールド機は前胴部と後胴部に分かれ、掘削する際は推進ジャッキで前胴部のみが掘進する。岩盤を掘進する際は掘進反力が大きいため、セグメントでの反力保持では、セグメントにクラックの発生や破損の恐れがある。よって、掘進する前に後胴部側面にあるグリッパーを張り出し、地山へ押し付けることにより推進反力を保持して掘進を行う。

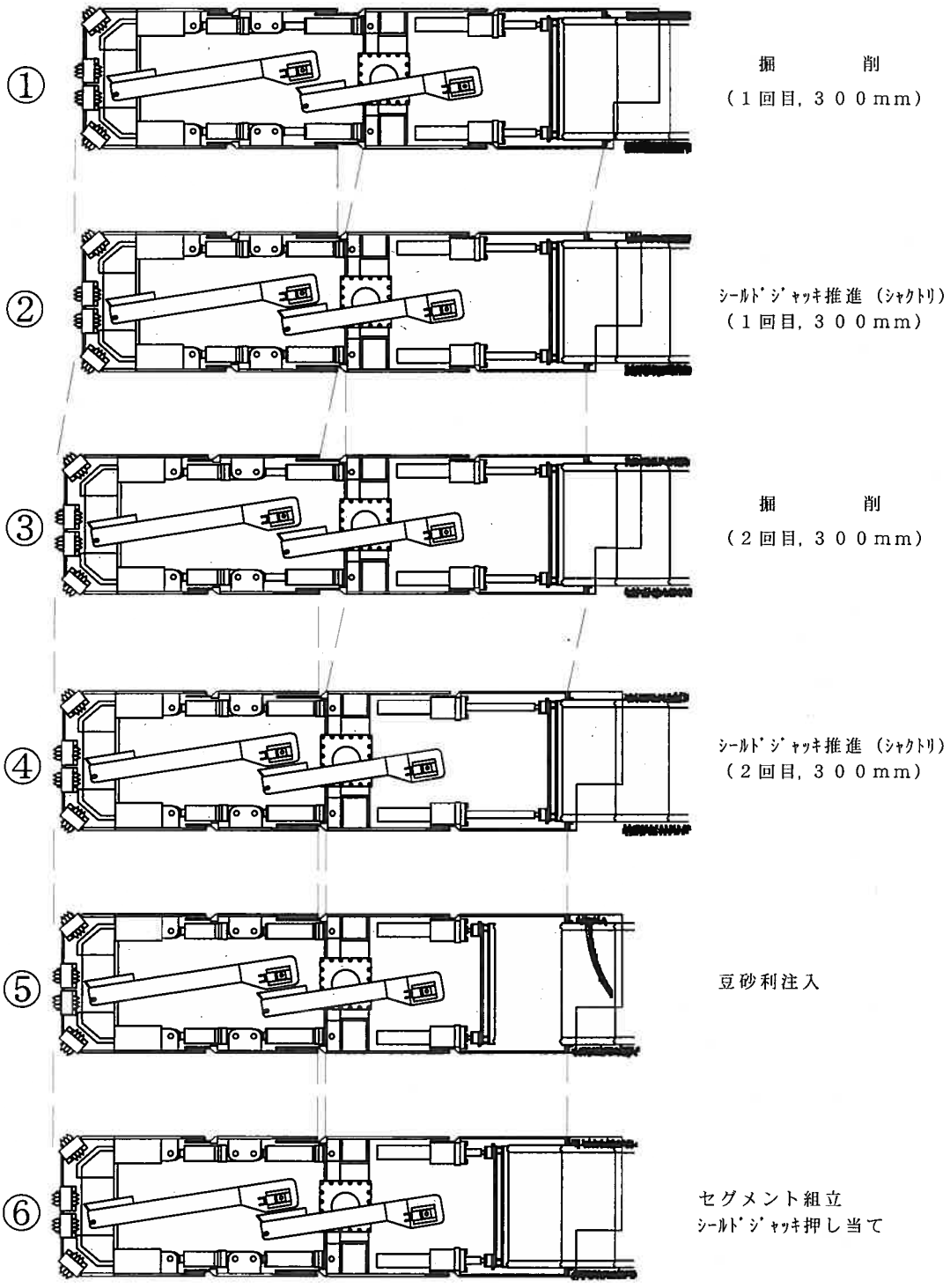
図－１にＴＢＭ式ミニシールド機の概要を示す。



図－１　ＴＢＭ式ミニシールド機の概要図

3－2　掘進サイクル

掘進サイクルを図－２に示す。



図－２　ＴＢＭ式ミニシールド機の掘進サイクル

①：１回目掘進

掘進前にシールド機側面にあるグリッパーを張り出し、シールド機の保持を行った後、推進ジャッキで掘進を行う。掘進長は約300㎜。

②：１回目シールドジャッキ推進（シャクトリ）

掘進終了後、グリッパーを収納してシールドジャッキを約300㎜伸ばして（推進ジャッキが同時に縮む）シャクトリを行う。

③～④は、①と②の繰り返し作業となる。

⑤：豆砂利注入

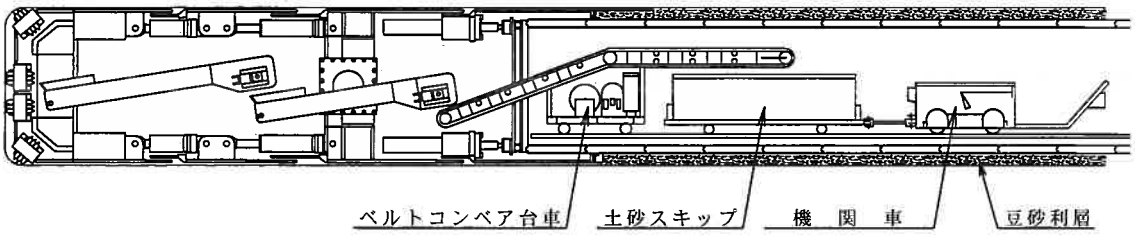
シールドジャッキを全て縮減し、坑外より搬入された豆砂利をテールボイドに注入する。

⑥：セグメント組立

坑外より搬入されたセグメントを組立て、シールドジャッキを伸ばし、セグメントを保持する。

掘進は坑外の操作装置により各ジャッキとカッターヘッドを操作して行う。掘削した土砂はカッターヘッドに設けてある土砂取込み口よりシールド機内に取り込み、１次ベルトコンベア、２次ベルトコンベアと運搬され、坑外よりバッテリーカで牽引された３次ベルトコンベア台車から土砂スキップへと積み込まれる（図－３）。積み込まれた土砂はバッテリーカーで牽引し、坑外に搬出する。300㎜掘進終了後、シールドジャッキ推進（シャクトリ）を行い１回の掘進が終了する。このサイクルを２回繰り返すことにより１リング分（600㎜）の掘進が完了する。次にテールボイドに坑外から搬入された豆砂利を充填し、セグメントを組立てた後、繰り返し掘進を行う。

裏込は充填された豆砂利層にセメントミルクを約100m毎に注入し、プレパックドコンクリート層を形成する。セグメント目地部のコーキングは、セメントミルク注入後に行う。（図－４）



図－３　掘進時の坑内台車配置図

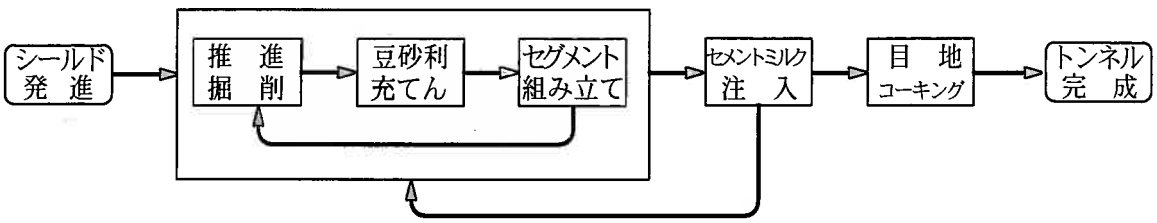


図 － ４ 作 業 工 程

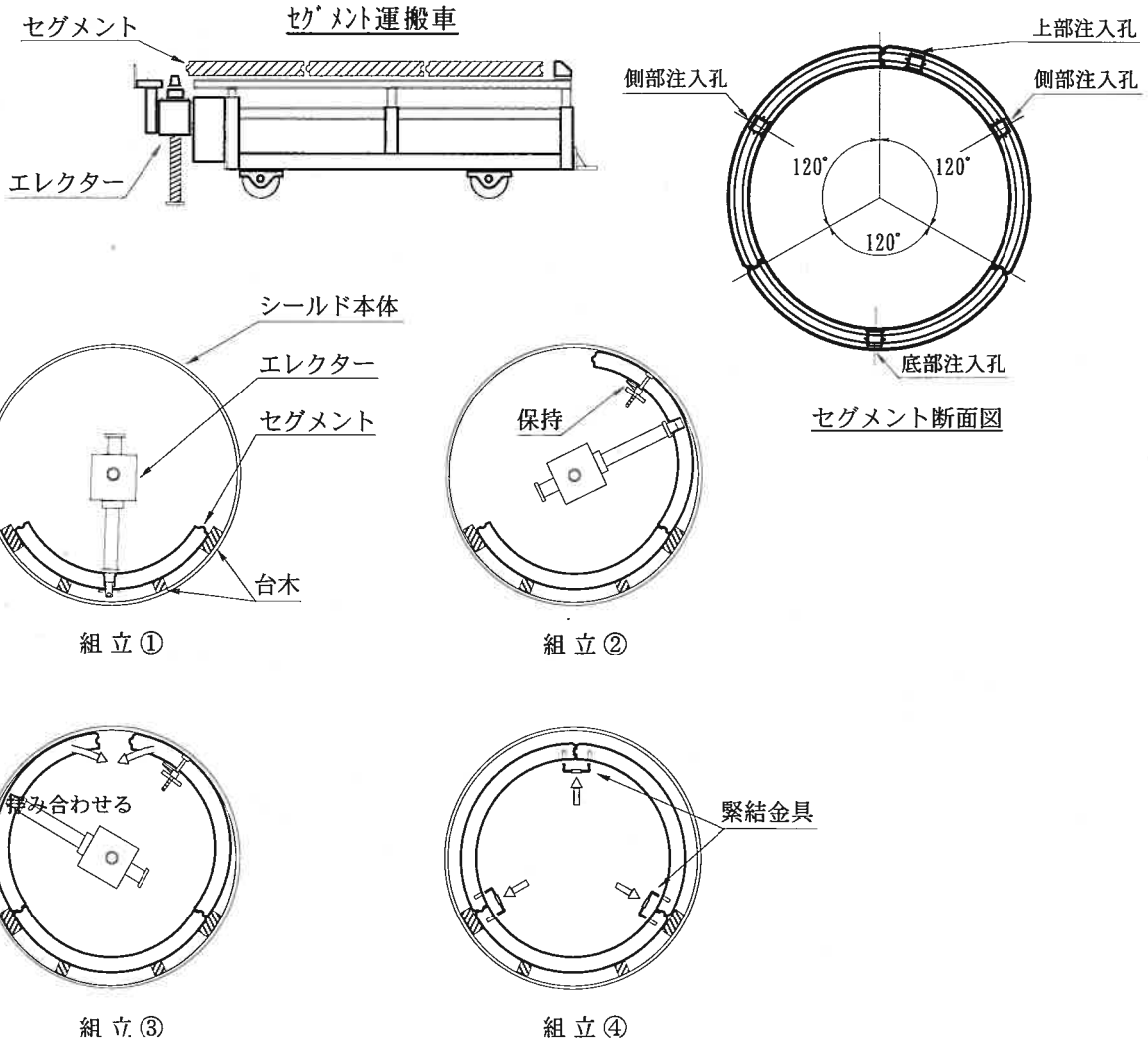
３－３．セグメント組立て

シールドの本体内でのセグメントの組立ては、セグメント運搬車に装備されたエレクターを用いて行う（図－５）。

組立て手順は、まず、セグメントの最初のピースをインバートセグメントとしてシールド内側に置いた台木の上に据え付ける（組立①）。次に、２ピース目のセグメント継手の一方をインバートセグメントに突き合わせてから反対側を起こしシールド内側に立てかけ保持する（組立②）。最後に、３ピース目を２ピース目と同様にして起こしてから、２ピース目と３ピース目のセグメント継手を拝み合わせるように併合させる（組立③）。

また、組み立てた直後のセグメントリングは不安定なため、セグメント継手間を緊結金具で仮止めをし（組立④）、その後、シールドジャッキを伸ばして既設のトンネルに密着させる。

トンネル軸方向の目地は、通し目地とせず１０～１５㎝程度ずらした千鳥組みとする。

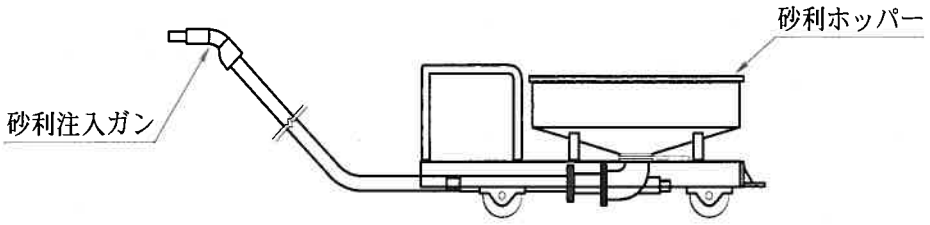


図－５　エレクター付セグメント運搬車及びセグメントの組立て

3－4．豆砂利注入

豆砂利を充てんする目的は、地山の崩壊防止及び作業荷重を支えることである。

豆砂利の注入は、1リングの推進が完了した後、図－6に示す砂利注入機等を用いて、後部フード内のセグメントの注入孔及びシールド機側に設けられている補助注入孔から行う。



図－6　砂利注入機

4．日進量

4－1　直線部の日進量

直線部の日進量を表－3に示す。

表－3　直線区間の日進量　　(m／日)

仕上り内径 (mm)	岩　種	一軸圧縮強度　N/mm²					
		～ 10	10.1～20	20.1～40	40.1～80	80.1～160	160.1～
1,200	堆積岩	6.6	6.6	6.1	5.0	3.6	2.5
	変成岩	6.6	6.3	5.5	4.5	3.2	2.5
	火成岩	6.6	6.1	5.0	3.6	2.5	2.5
1,350	堆積岩	6.5	6.5	6.0	4.9	3.6	2.5
	変成岩	6.5	6.2	5.4	4.5	3.2	2.5
	火成岩	6.5	6.0	4.9	3.6	2.5	2.5
1,500	堆積岩	7.4	7.4	6.4	5.3	3.6	2.6
	変成岩	7.4	6.8	5.9	4.5	3.2	2.6
	火成岩	7.4	6.4	5.3	3.6	2.6	2.6
1,650	堆積岩	6.7	6.7	5.9	5.0	3.4	2.5
	変成岩	6.7	6.2	5.5	4.3	3.1	2.5
	火成岩	6.7	5.9	5.0	3.4	2.5	2.5
1,800	堆積岩	6.8	6.8	6.4	5.4	4.1	2.7
	変成岩	6.8	6.4	5.7	4.6	3.6	2.9
	火成岩	6.8	6.2	5.1	3.6	2.9	2.9
2,000	堆積岩	6.1	6.1	5.8	4.9	3.8	2.6
	変成岩	6.1	5.7	5.2	4.3	3.4	2.8
	火成岩	6.1	5.6	4.6	3.4	2.8	2.8

注1．堆積岩：泥岩・頁岩・砂岩・礫岩・石灰岩・凝灰岩・チャート等

変成岩：ﾎﾙﾝﾌｪﾙｽ・ｽｶﾙﾝ鉱物・結晶片岩・片麻岩・千枚岩等

火成岩：流紋岩・花崗岩・閃緑岩・斑岩・安山岩・玄武岩・ひん岩等

2．普通土区間で、掘削断面に砂礫土層を含む場合は、礫径・礫質・圧縮強度等の条件により、別途考慮する。

3．ビット交換は機内交換とし、摩耗量は別途検討する。

４－２　初期掘進区間、曲線区間の日進量

①初期掘進区間の日進量

初期掘進区間の日進量は直線区間の日進量の半分とし、少数点以下第２を四捨五入する。

②曲線区間の日進量

曲線区間の日進量は次式による。係数ａは表－４に示す。

$L_C = L_S \times a$

L_C ：曲線区間の日進量（m／日）　少数点以下第２を四捨五入

L_S ：直線区間の日進量（m／日）

ａ　：係数

表－４　係数表

曲線半径（m）	30未満	30以上 60未満	60以上 100未満	100以上 150未満	150以上 200未満	200以上
係数 a	0.30	0.50	0.80	0.90	0.95	1.00
備　　考	急曲線	急曲線				

5．立　坑

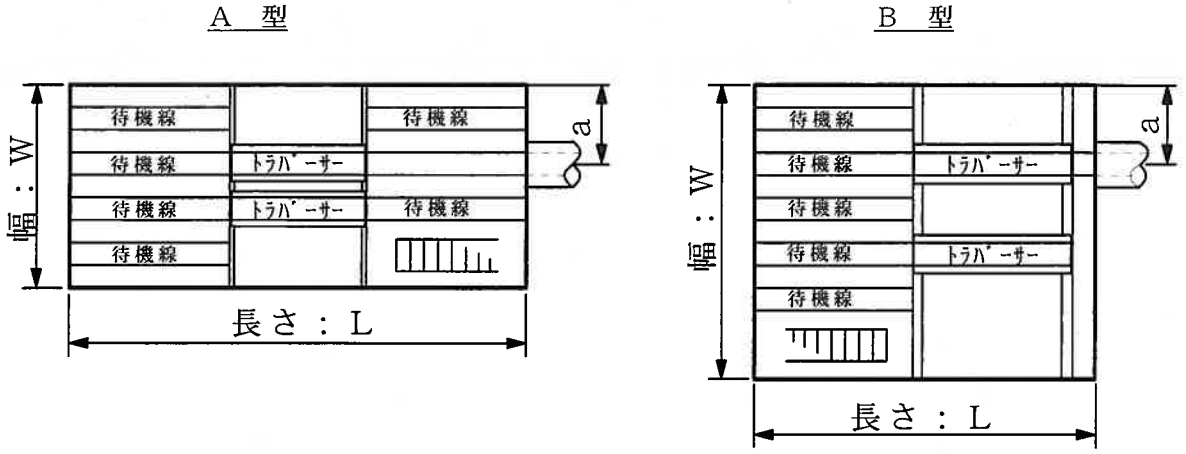
立坑の長さ及び幅は以下の条件を考慮して決定する。

(ｲ) 材料、土砂運搬用台車の編成及び軌道配置

(ﾛ) シールド機を据え付けて発進できるスペース

(ﾊ) 立坑基地と占用位置の関係

(ﾆ) 両側同時施工等



図－７　作業車待機状況における発進立坑標準図（片押し）

表－５　発進立坑標準寸法表

仕上り内径 (㎜)	矩　　形			小判形	円　形
	A　型 長さ×幅 (m)	B　型 長さ×幅 (m)	a (m)	長さ×幅 (㎜)	呼び径 (㎜)
1,200	9.1×4.6 (9.7×4.6)	6.9×7.0 (6.9×7.0)	1.800	10,124×5,100 (10,595×5,100)	8,600 (8,900)
1,350	9.1×5.1 (9.2×5.1)	7.2×7.8 (7.2×7.8)	2.030	10,260×5,550 (10,417×5,550)	9,100 (9,100)
1,500	10.8×5.5 (11.1×5.5)	7.6×8.5 (7.8×8.5)	2.250	12,280×6,000 (12,594×6,000)	10,500 (10,600)
1,650	10.4×6.0 (11.4×6.0)	7.7×9.3 (8.1×9.3)	2.480	12,102×6,450 (13,044×6,450)	11,000 (11,300)
1,800	10.8×6.4 (11.9×6.4)	8.0×10.0 (8.4×10.0)	2.700	12,709×6,900 (13,965×6,900)	11,800 (12,100)
2,000	11.7×7.0 (12.1×7.0)	8.6×11.0 (8.6×11.0)	3.000	13,937×7,500 (14,408×7,500)	12,900 (12,900)

注１．表の立坑寸法は立坑内法寸法である。

２．（ ）内は急曲線（Ｒ＜６０ｍ）を含む場合である。

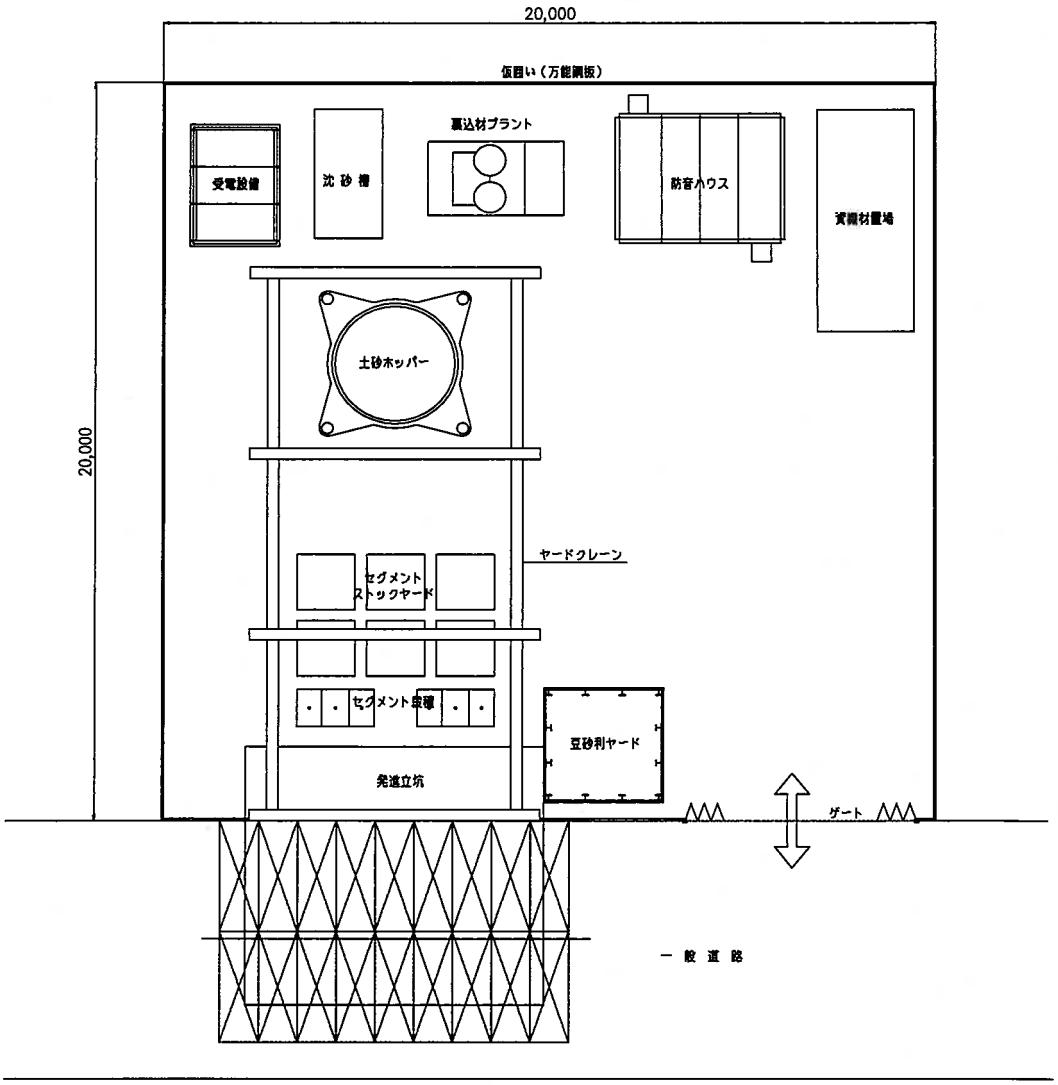
表－６　到達立坑標準寸法

仕上り 内　径 (㎜)	矩　　形		円　　形
	長　さ (m)	幅 (m)	呼び径 (㎜)
1,200	4.6	3.4	3,900
1,350	4.6	3.6	4,000
1,500	4.8	3.8	4,300
1,650	4.9	4.0	4,500
1,800	5.1	4.4	4,600
2,000	5.2	4.7	4,800

注　　表の立坑寸法は立坑内法寸法である。

6．発進基地

発進基地面積は立地条件により異なるが、約 400 ㎡程度が必要となる（図－８）。ただし、設備を階層式にすることで、必要面積を少なくすることは可能である。



図－８　発進基地参考図