

開放型手掘り式ミニシールド工法

工 法 説 明 書

平成 2 2 年 2 月

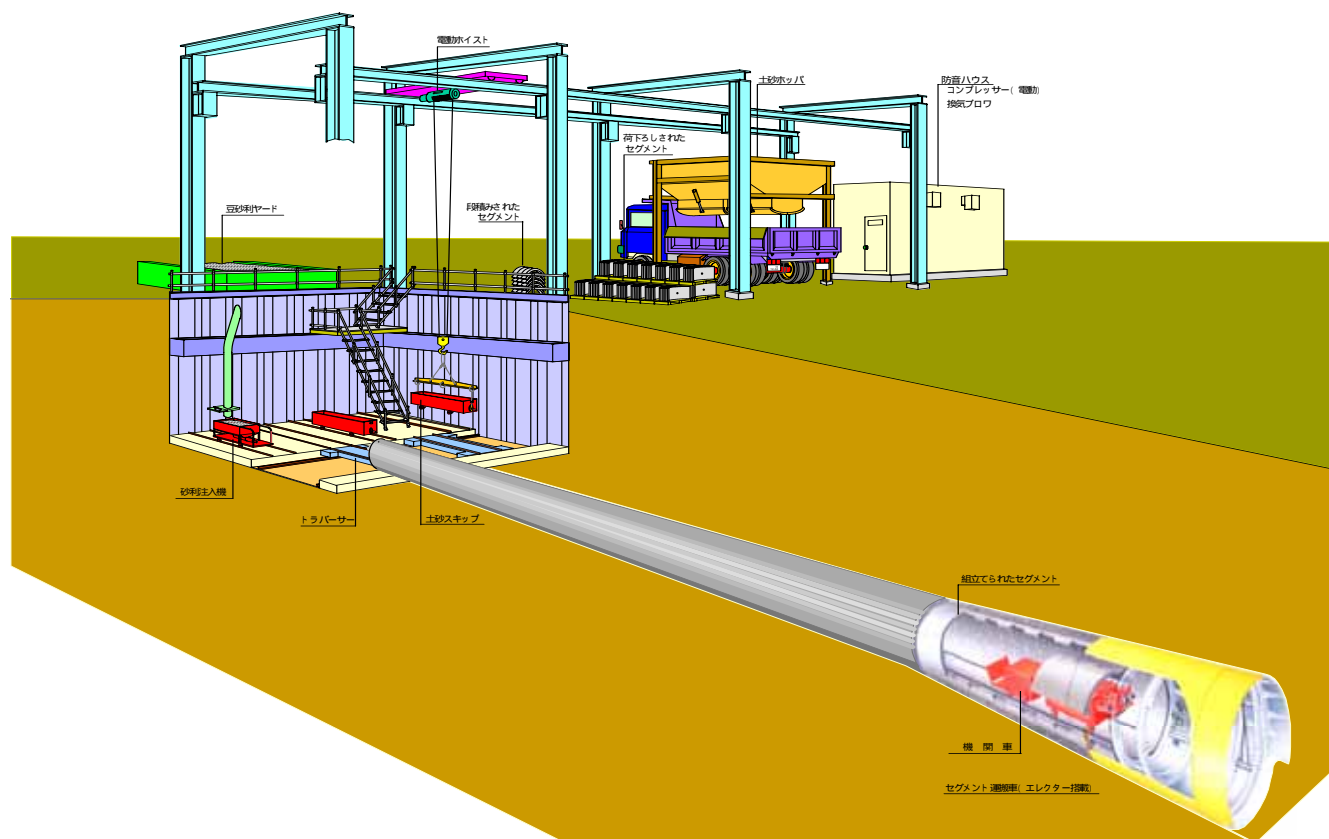
ミニシールド工法研究会

1. ミニシールド工法の概要

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した二次覆工を必要としない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。

手掘り式ミニシールド工法は、ミニシールド工法の原型といわれるもので、全面開放型手掘り式である。施工手順は、まず、発進立坑から地山にミニシールド機を貫入させる。次に、切羽の掘削を行い、シールド機内でセグメントを組み立てる。シールド機は、本体内に装備した推進装置を用い、組み立てられたセグメントに反力を取って前進する。シールド機が前進すると、組み立てられたセグメントリングは後部フード内に移動するので、後部フードとセグメントのクリアランスに豆砂利を充てんする。以上のサイクルを繰り返して行き、ある程度の延長が進んだ時点で、豆砂利層にセメントミルクを注入し、プレパックドコンクリート状の裏込め層を形成する。最後に目地工を施し、トンネルを完成する。

ミニシールド工法(開放型手掘り式) 概要図



工法の仕様は、次に示すとおりである。

- (1) 仕上り内径： 900～2,000mm
- (2) 施工延長：理論的に制限はないが、一般的には400～600mの実績が多い。中には1,000mを超える例もあるが、日進量低下の懸念から1スパン1,000m程度である。
- (3) 曲線施工：最小曲線半径は、ミニシールド工法用鉄筋コンクリートセグメント使用の場合40m、鋼製セグメント使用の場合10mとしている。

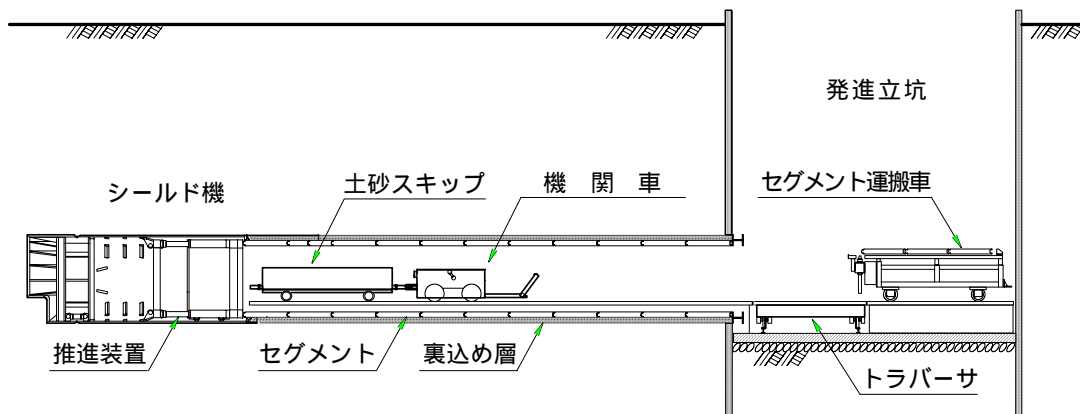


図 - 1 施工概要図

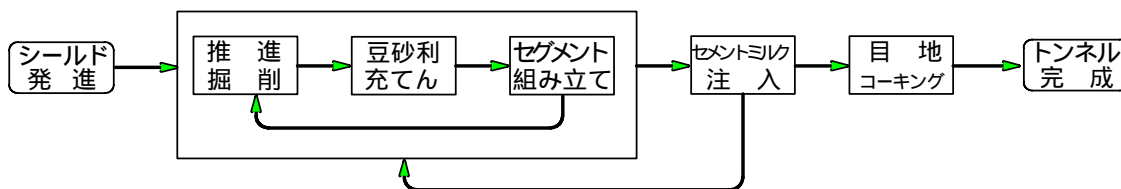


図 - 2 作業工程

2. シールド機

シールド機は、図 - 3 に示すとおり前部フード、本体及び後部フードで構成される。前部フードでは、切羽掘削及び方向修正を行い、本体では、シールド機の推進及びセグメントの組立を行う。また、後部フードは、シールド機本体から押し出されたセグメント周囲の地山のハダ落ちを防いで、豆砂利（一次裏込め材）が確実に充てんできるようにしている。

本体の内径は、セグメントの組立てに必要なとされるテールクリアランスを考慮して寸法を定めている。

推進装置は、油圧ジャッキ及び油圧制御装置から構成され、仕上り内径 900～1,350では移動式、仕上り内径1,500～2,000では一般シールド機と同様固定式である。

移動式の特徴は、圧縮空気を動力源とする推進装置を切羽掘削時には後方へ、セグメント組立時には前方へ移動させることにより、各作業のスペースを有効にとれるようにしていることである。そのため、シールド機の長さを短くすることができ、操向性を高めている。

ただし、仕上り内径に応じて推進装置の重量も重くなるため、移動時の作業性や安全性を考慮し、仕上り内径1,500以上では、電気を動力源とした固定式としている。

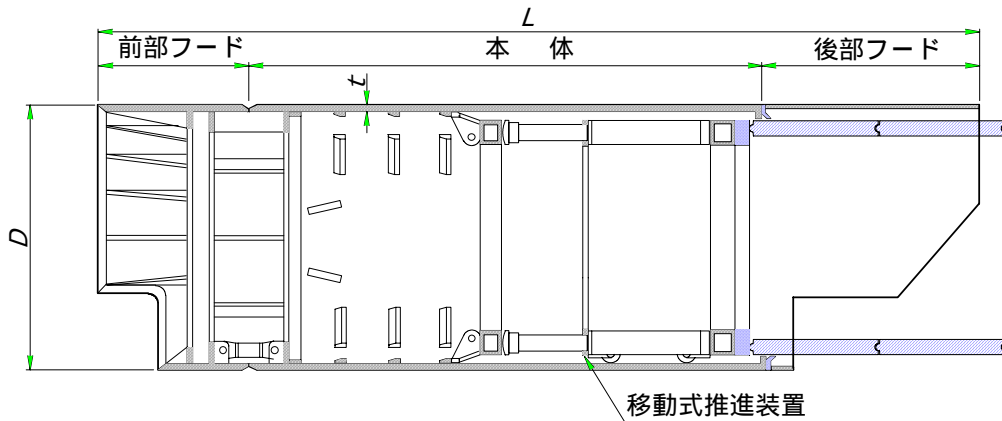


図 - 3 シールド機（移動式）

表 - 1 シールド機の仕様

項 目	単 位	仕 上 り 内 径 (mm)									
		900	1,000	1,100	1,200	1,350	1,500	1,650	1,800	2,000	
シールド機外径	mm	1,182	1,282	1,432	1,540	1,734	1,920	2,100	2,290	2,560	
スキンプレート厚	mm	16	16	16	19	22	25	25	25	25	
テールクリアランス	mm	55	55	70	71	75	80	85	95	115	
シールドジャッキ	kN×本	200×4	180×6	180×6	250×6	300×6	500×6	500×6	700×6	800×6	
本体分割箇所数	箇所	2	2	2	2	2	1	1	1	1	
シールド機長	前部フード長	mm	650	750	750	750	750	1,370	1,370	1,440	1,440
	後部フード長	mm	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,300	1,300	1,300	1,300
	全 体 長	mm	3,960	4,145	4,145	4,145	4,145	5,440	5,440	5,550	5,550
	最大ブロック長	mm	2,285	2,370	2,370	2,370	2,370	4,120	4,120	4,230	4,230
シールド機質量	前部フード	t	0.63	1.03	1.05	1.21	1.43	2.57	2.81	3.22	4.08
	後部フード	t	0.13	0.12	0.14	0.17	0.19	0.42	0.46	0.48	0.55
	油 圧 機 器	t	0.84	0.95	1.05	1.10	1.40	5.00	5.30	6.10	6.30
	総 質 量	t	2.80	3.45	3.78	4.38	5.52	11.77	12.60	14.80	16.60
	最大ブロック質量	t	2.04	2.30	2.59	3.00	3.90	11.35	12.14	14.32	16.50

注 最大ブロック質量： 900～1,350 総質量 - 前部フード - 後部フード
 1,500～2,000 総質量 - 後部フード

3. セグメント

ミニシールド工法で通常使用するセグメントは、図 - 4 に示すようにリングを三等分割したものであり、セグメント間及びリング間の接合部は、突き合わせ式の凹凸形状のナックル継手となっている。地中に構築されたセグメントは、セグメント間の接合が突き合わせであっても、土圧、水圧等の外力が作用する限り突き合わせ部をヒンジとして見なすのに必要な軸力が得られるため、力学的に安定した構造である3ヒンジリングを形成する。そのため、プレハブ構造物として組み立てが容易になるばかりか、組み立て精度が向上するという利点がある。

また、セグメント継手及びリング継手の凹部側にシール材を張り付けて組み立てることにより、シール材を凹凸のナックル部に挟み込み水密性を確保する。

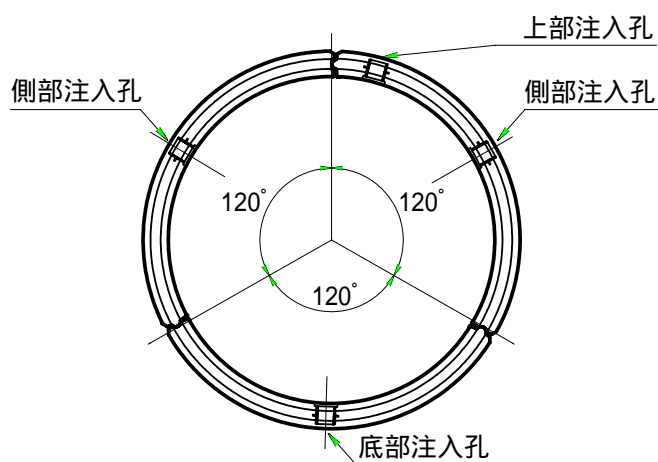


図 - 4 セグメントの組立図

4. 掘削

シールド機の形式が全面開放型手掘り式であるため、切羽の自立を前提としている。したがって、地下水の湧出が多いなど切羽の安定が困難と判断される場合には、圧気工法や薬液注入工法等の補助工法が必要である。

圧気工法は、通常、図 - 5 に示すとおり、発進立坑から推進した推進管をロック室とするトンネル全体圧気工法を採用する。

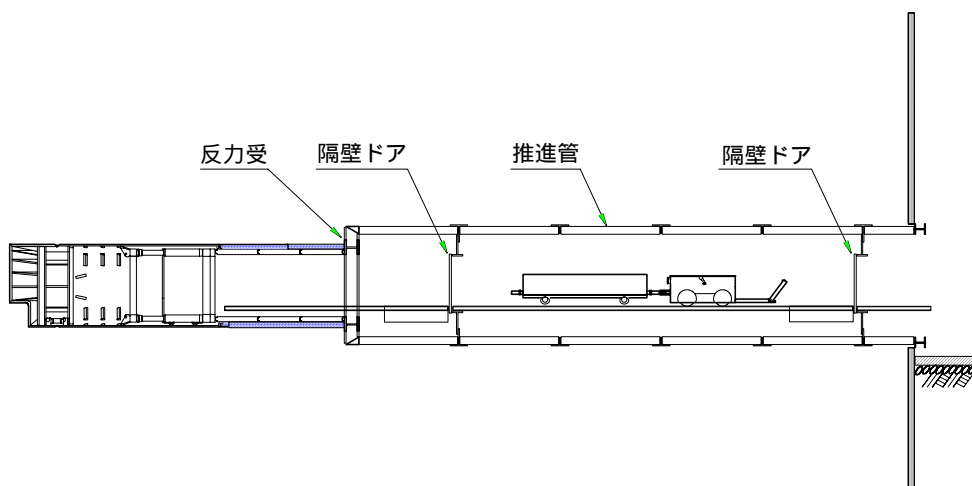


図 - 5 圧気工法用ロック室

5. 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。

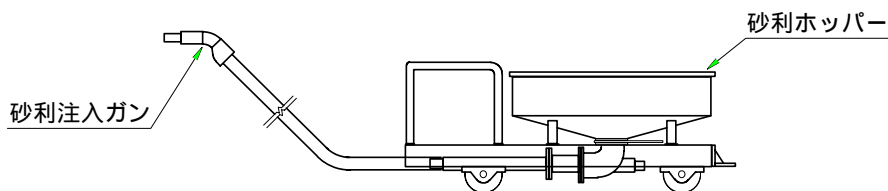


図 - 6 砂利注入機

6. セグメントの組立て

シールド機の本体内部でのセグメントの組立ては、図 - 7 に示すとおり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。

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機内側に置いた台木の上に据え付ける（組立 ）。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機内側に立てかけ保持する（組立 ）。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挿み合わせるように閉合させる（組立 ）。

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 ）、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 cm 程度ずらした千鳥組みとする。

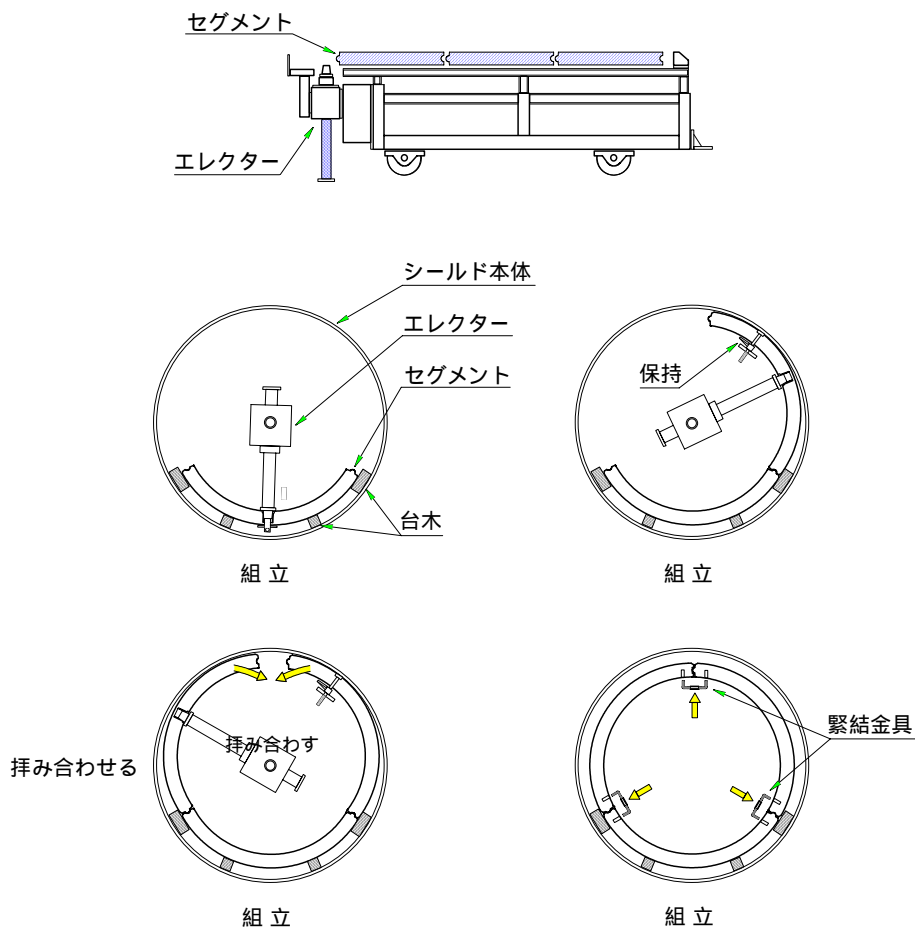


図 - 7 エレクター付セグメント運搬車及びセグメントの組立て

7. セメントミルク注入及び目地工

裏込め豆砂利層にセメントミルクを注入する時期は、地山及び施工方法を考慮して設定するが、基本的にはセグメントリングの構築が 100m程度進んだ時点とする。

セメントミルクの注入は、セグメントの注入孔から行う。その際、セメントミルクが豆砂利層内の水と置換できるよう、注入しているリングの数リング先注入孔のプラグを順次外して水抜きを行う。水を抜いている注入孔からセメントミルクが出た時点でプラグをする。この要領で底部、側部、上部の順番で行う。

セグメント内面の目地は、エポキシ樹脂系のコーキング材を充填し仕上げる。

8. 日進量（一次覆工）

一次覆工は、1日2交替作業で行う。

(1)直線区間及び初期掘進区間

直線区間及び初期掘進区間の日進量

土質	砂・粘性土		礫交じり土		玉石交じり土	
	直線区間 (m/日)	初期区間 (m/日)	直線区間 (m/日)	初期区間 (m/日)	直線区間 (m/日)	初期区間 (m/日)
900	3.6	1.8	3.1	1.6	2.6	1.3
1,000	3.5	1.8	3.0	1.5	2.5	1.3
1,100	3.3	1.7	2.8	1.4	2.4	1.2
1,200	3.3	1.7	2.8	1.4	2.4	1.2
1,350	3.1	1.6	2.6	1.3	2.2	1.1
1,500	3.5	1.8	3.0	1.5	2.6	1.3
1,650	3.2	1.6	2.7	1.4	2.4	1.2
1,800	3.1	1.6	2.7	1.4	2.3	1.2
2,000	2.9	1.5	2.5	1.3	2.1	1.1

注 玉石は径 300 mm以下とし、300 mmを超えるものについては小割りを必要とするので転石とみなし、日進量は別途考慮する。

(2)曲線区間の日進量

曲線区間の日進量は、次式による。

$$L_c = L_s \times a$$

L_c : 曲線区間の日進量 (m/日) 小数点以下第2位を四捨五入

L_s : 直線区間の日進量 (m/日)

a : 係数

曲線区間の係数

曲線半径 (m)	30m未満	30m以上 60m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	0.3	0.5	0.80	0.90	0.95	1.00

注 1件のシールド工事で曲線区間が2箇所以上ある場合は各曲線区間の日進量を算出する。

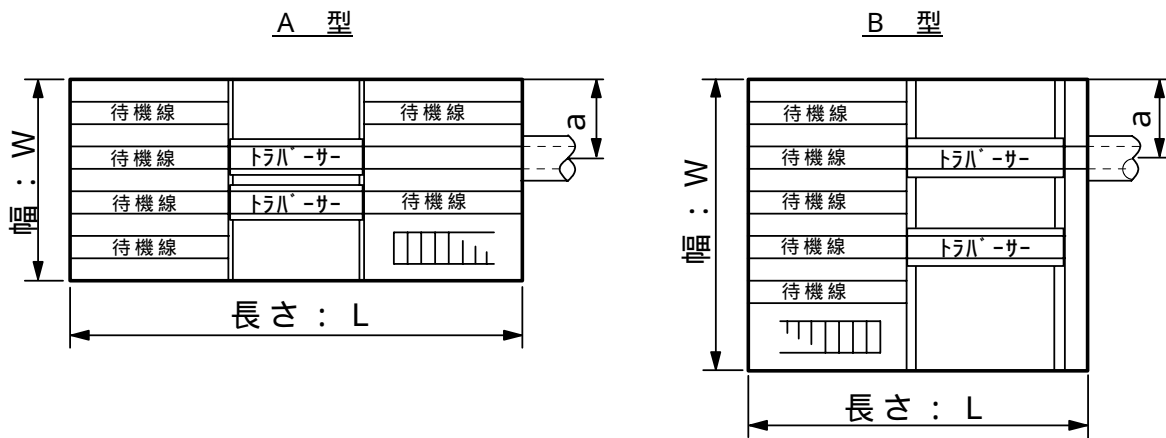
(3)到達区間及び再発進区間の日進量

到達区間の日進量は直線区間と同一とし、再発進区間の日進量は初期掘進区間と同一とする。

9.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。

- (1)材料、土砂運搬用台車の編成及び軌道配置
- (2)シールド機を据え付けて発進できるスペース
- (3)立坑基地と占用位置の関係
- (4)両側同時施工等



発進立坑標準寸法表

仕上り 内径 (mm)	矩 形			小判形	円 形
	A 型 長さ×幅(m)	B 型 長さ×幅(m)	a (m)	長さ×幅(mm)	呼び径(mm)
900	8.1×3.7 (8.7×3.7)	5.6×5.5 (6.2×5.5)	1.5	8,596×4,200 (9,224×4,200)	7,000 (7,500)
1,000	7.5×4.0 (8.8×4.0)	5.4×6.0 (6.8×6.0)	1.6	8,111×4,500 (9,524×4,500)	7,200 (8,200)
1,100	7.5×4.3 (8.8×4.3)	5.4×6.5 (6.8×6.5)	1.7	8,254×4,800 (9,667×4,800)	7,600 (8,600)
1,200	7.9×4.6 (9.1×4.6)	6.0×7.0 (7.2×7.0)	1.8	8,868×5,100 (10,124×5,100)	8,300 (9,200)
1,350	8.0×5.1 (8.5×5.1)	6.1×7.8 (6.7×7.8)	2.1	9,161×5,600 (9,682×5,600)	8,900 (9,300)
1,500	8.8×5.5 (10.2×5.5)	6.9×8.5 (8.3×8.5)	2.3	10,239×6,000 (11,652×6,000)	10,000 (11,000)
1,650	7.9×6.0 (10.3×6.0)	6.6×9.3 (8.6×9.3)	2.5	9,590×6,500 (11,945×6,500)	10,200 (11,600)
1,800	8.3×6.4 (11.3×6.4)	6.9×10.0 (9.1×10.0)	2.7	10,354×6,900 (13,180×6,900)	10,800 (12,600)
2,000	9.1×7.0 (10.3×7.0)	7.1×11.0 (8.2×11.0)	3.0	11,425×7,500 (12,524×7,500)	12,000 (12,700)

1. 表の立坑寸法は立坑内法寸法である。
2. 圧気で推進坑口工を設ける場合は、立坑長さを別途考慮する。
3. ()内は急曲線 (R < 60 m) を含む場合である。

到達立坑標準寸法

仕上り 内径 (mm)	矩形		円形
	長 さ (m)	幅 (m)	呼び径 (m)
900	4.1	3.0	3,400
1,000	4.2	3.1	3,500
1,100	4.2	3.3	3,500
1,200	4.2	3.4	3,600
1,350	4.2	3.6	3,700
1,500	4.8	3.8	4,300
1,650	4.8	3.9	4,400
1,800	5.1	4.3	4,500
2,000	5.1	4.6	4,700

注 表の立坑寸法は立坑内法寸法である。

10 . 発進基地

発進基地面積は立地条件により異なるが、約 400 m²程度が必要となる。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。

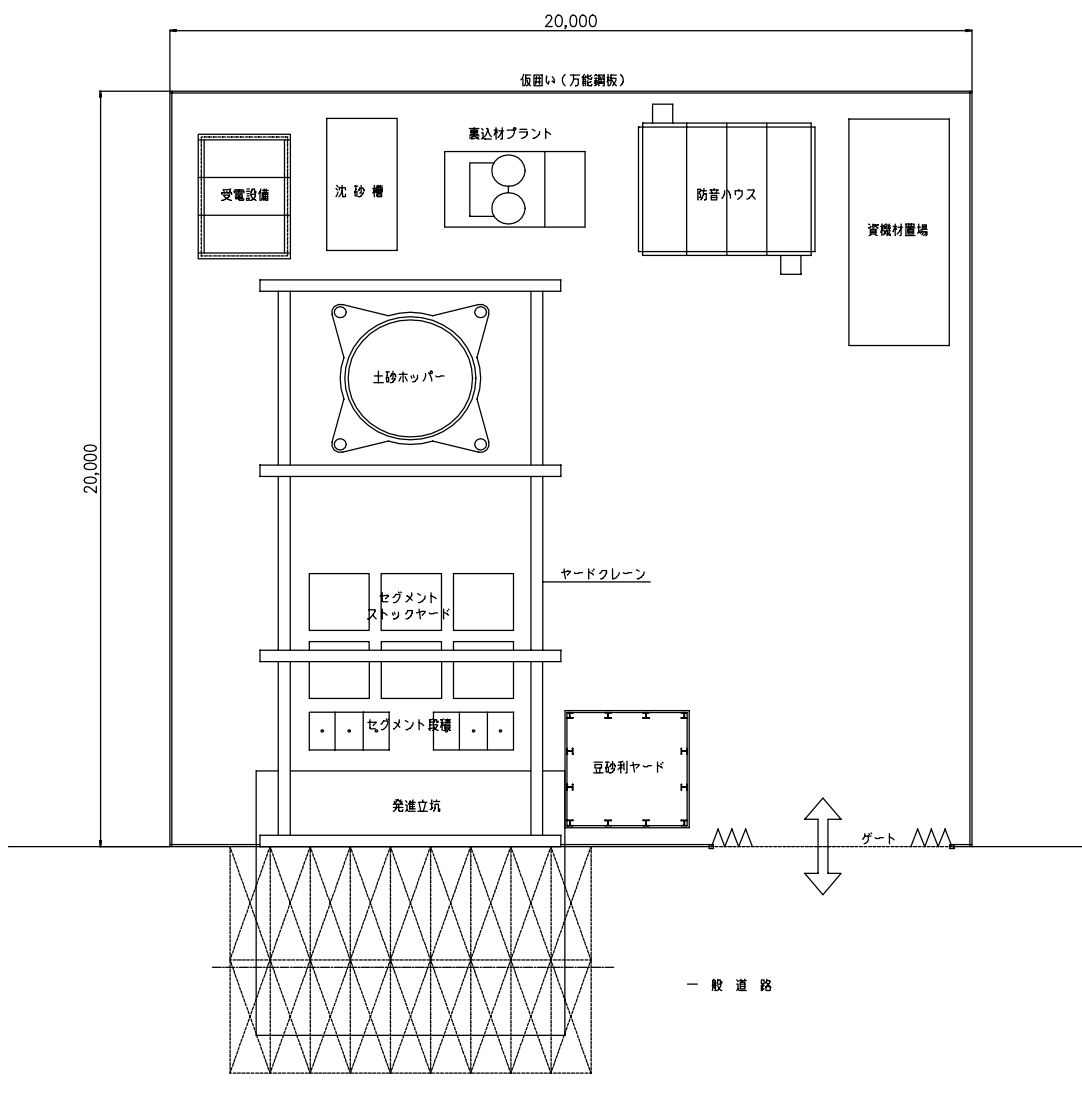


図 - 8 発進基地参考図