

SHIELD

実用講座  
シールド  
工法

4

シールドトンネル工事の実例

西嶋国造\*

1. 欧米における最近のシールドトンネル  
工事概要

わが国のシールドトンネルの実施例について述べるのに先だって、欧米の最近のシールドトンネル工事どのような傾向にあるかについて述べる。

(1) イギリス

イギリスはシールド工法を最初に採用した国であり、特にロンドンの地質は大部分が良質のロンドンクレー

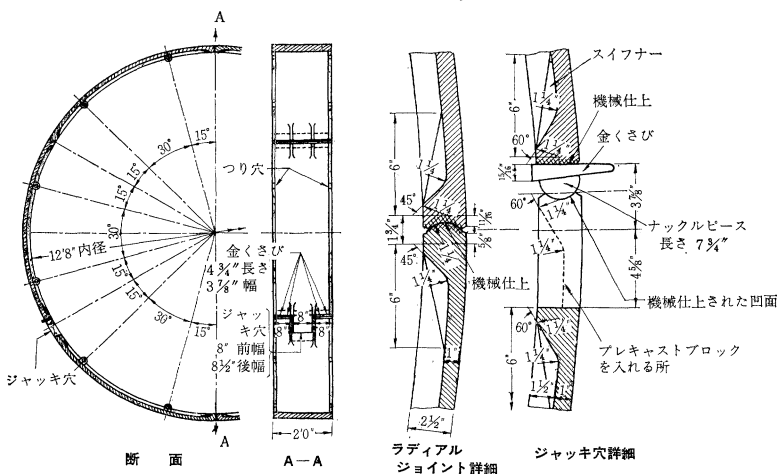
でおおわれ、シールド工法に最適の地質であるため、この工法はよく発達し、ロンドン地下鉄のトンネルの大部分はこのシールド工法によって建設された。そのため永年の経験から、ロンドンにおけるシールド工法には伝統的な考えかたができています。すなわち、地下鉄のトンネルのようにろう水をきらうトンネルでは鑄鉄セグメントを使用して二次巻きをやめ、できるだけトンネル断面を小さくすべきであるという考えかたである。ちなみにロンドン地下鉄単線トンネルの内空直径は 12 ft で、車両のほうをトンネル内空に合わせる設計をしている。また立坑にも斜坑にも鑄鉄セグメントがよく使われている。しかし 1960 年より建設にかかった地下鉄ビクトリア線の試験工事においては、ドラムディッカーと称する回転掘削機を取りつけた機械化シールドを開発し、24 時間に 60 ft の掘進成績をあげている。セグメントにおいても地下水のないロンドンクレーの地盤においては、従来のボルト結合の鑄鉄セグメントを改良し、ボルトなしの軽量なナックルジョイント式のセグメントを使用し、シールド後方においてジャッキを用いてリングを拡大し、地山に密着をさせくさびで締め、裏込めを省略し、施工の確実化と迅速化、経済性を計ることに成功し、目下本線の工事に活用している。なおこの試験工事において、ナックルジョイントのコンクリートブロックについても研究開発し、実用に成功している。

シャフトの位置は、なるべく将来吸排気穴として利用できる位置を選び、横坑により本線に達すると、そこにシールドチャンパーを築造し、ここでシールドを組立て発進を行なうのが通常の方法のようである。

(2) フランス

フランス パリー市において目下建設中の地下鉄シールドトンネルにおいては、ロンドンの小断面の単線型に対して、断面も大きく複線型が用いられている。ライニングもロンドンの鑄鉄セグメント一点張りに対し、現在施工中の東西線の建設においては、地質は砂質土で地下水があるにもかかわらず、複線断面(外径 10 m)の大型断面を RC セグメントを用いて施工中である。複線断面を用いている理由の一つとして、フランスでは単線トンネルの場合においても線路の両側に幅 60 cm 以

図-1 ナックルジョイント鑄鉄セグメント



\* 正会員 帝都高速度交通営団建設部長

図-2 キャンプノンベルナード社の機械化シールド

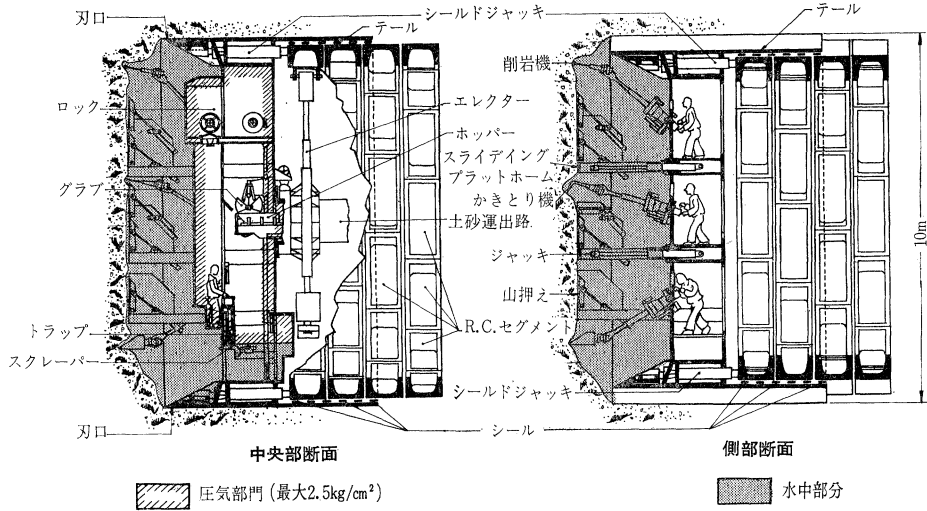
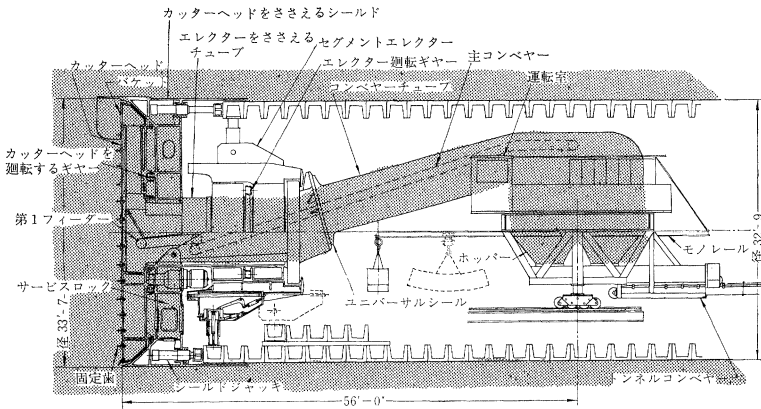


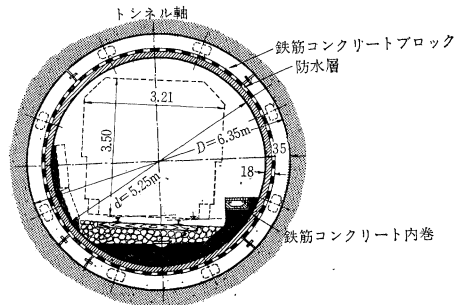
図-3 ロビンス社製モデル 341 機械化シールド



(3) 西ドイツ

1955年より着工したハンブルグの地下鉄建設に、国鉄中央駅構内を貫通したシールド工事においては在来の手掘り式シールドであるが、ライニングは厚さ 35 cm のコンクリートブロックを用い、土圧はこのブロックで受持ち、内側に防水層を施し、さらに防水層の保護として水圧のみに耐えるだけの二次覆工を施している。すなわち、二次巻は厚さ 18 cm の鉄筋コンクリートである。なお地質は砂質土で、深井戸により地下水位を下げ、圧気なしの施工をしている。また 1965 年完成したベルリン地下鉄建設においては、砂質土に対しソ連式の棚式シールドを用い、ライニングはブロックタイプで、二次巻に対する考えかたはハンブルグの場合と同じである。

図-4 ハンブルグ地下鉄シールド覆工断面図



上の巡回通路をおくことを義務づけられているため、複線断面のほうが単線 2 本より掘削面積が少なくすみ、経済的であるという見地からである。また地下水のある砂層に対して、圧気併用の大型機械化シールドを用い、RC セグメントの弱点であるジョイントの防水に対してはネオピチウムという接着剤を使用し、組立て直前に接触面に塗布している。機械化シールドも最も暫新なデザインのもので、先に着工したデファンス方面よりセーヌ川底横断用のキャンプノンベルナード社のものは、切端を圧気の代りに水圧で押えながら掘削するという計画であったのであるが、聞くところによると地質が想定と違い十分な活躍はしていないようであるが、もう一つのエトワールからヌイ方に向かって掘削しているピリヤード社の工事に使用されているものは、アメリカロビンス社のモデル 341 型で、回転掘削と同時に切端のみに圧気かけた最初の部分圧気工法に成功し、目下着々と成果をあげつつある。

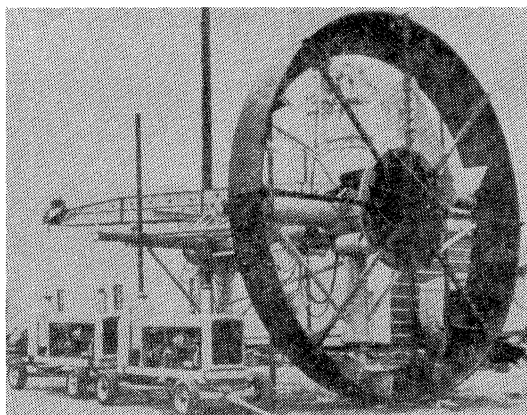
#### (4) ソ 連

ソ連は最も早くから機械化シールドの開発に力を入れ、現在では軟岩用から軟弱粘土用に至るまでの各種の地質に応じた機械化シールドを完成し、最近では砂質土に対しては棚式シールドといい、切端を数段に分割し、土の自然息角で切端の安定を計りながら推進する方法なども実用化されている。ライニングはもっぱら鉄筋コンクリートが用いられているが、ごく簡単なものが多い。RC セグメントは、一般に裏込めが十分でない間はポルトで縦方向、横方向ともささえておくわけであるが、シールド後続の作業台よりセグメントを数リング分ささえておき、その間にポルトの締めつけを完全になし、裏込めも十分に作る。セグメントの目地は硬練りモルタルなどにより詰め、さらにまた裏込め注入により防水を完全にしている。地質がよければ目下施行中のレニングラード地下鉄建設の場合のように、裏込め完成後セグメントのポルトをすべて取りはずしてしまうような場合もある。要するに、ソ連においてはわが国と比較して施工環境、地質条件がかなり異なっているように思われるが、シールド工法を本当に使いこなして、最も経済的な工事を行っているように思われる。

#### (5) アメリカ

アメリカにおいてシールドは、一般にイギリス式のものが用いられているが、地質条件によりライニングはH型鋼と木矢板の一次ライニングと、プレーンコンクリートの二次巻というタイプから鑄鉄セグメントに至るまで種々用いられているが、最近では軽量なスチールセグメントが一次ライニングとして用いられている。RCセグメントはあまり用いられていない。近い将来着工す

写真—1 シカゴ市下水道トンネルに使用されたスコット掘削機(シールドは用いない)



るサンフランシスコの地下鉄建設には、スチールセグメントが使われるとのことである。

掘削機械も最も軽量なスコット氏の掘削機から、軟弱土質用の M.E.M.C.O. の機械、軟岩用から土砂用まで各種のタイプのロビンス掘削機など多数あるが、最近ではカルウエルド社も新型の土砂用掘削機を開発している。地質が良ければシールドを用いず掘削機のみで直に巻立てをしてゆく方法もとられている。

以上、欧米各国のシールドトンネル工法の最近の傾向について概要を述べたが、各国は、国情、地質状況に応じた施工法を研究開発しているが、最近の傾向としてはそれぞれの地質に応じた機械化シールドの研究が盛んである。

## 2. わが国の大型シールドトンネル工事の実例

### (1) 歴史的概観

わが国のシールドトンネル工事で最初のもは、大正9年(1920年)羽越線折渡トンネル工事である。外径 24 ft 2 in であったが、地質その他の関係で十分威力を発揮できなかったが、1938年より関門海底横断の鉄道トンネル建設において海底部上下線約 1 130 m を圧気併用シールド工法で施工し、輝かしい成果をおさめた。掘削外径 7.0 m で鑄鉄セグメントを用いている。その後、関門海底道路トンネルの一部において(1953~1954年)ルーフシールドが採用され、さらに東京永田町付近地下鉄トンネルにも(1957~1958年)スパン 11.6 m のルーフシールド工法が採用され、ともに成功している。両者ともライニングは生コンクリートを用い、推力受けはコンクリート中に埋込んだ RC コンクリートのプッシュロットによった。1961~1962年に名古屋市地下鉄覚王山付近において単線2本の円型シールド(外径 6.57 m)が圧気併用で成功裡に完成し、都市内でのトンネル工法として急に注目を引くようになった。ついで1963~1964年に羽田空港国内線滑走路下のモノレール用トンネル建設の際、軟弱シルト層において圧気併用のシールド工法を採用し、安全に成功裡に完成した。そのころより大都市において下水道、上水道、電らん用の幹線工事にシールド工法が広くさかんに応用されるようになった。

### (2) 最近の実例(地下鉄5号線のシールドトンネルについて)

最近の大型シールドトンネル実施例について述べるのに先だてて関門鉄道トンネル以後の実施例(表—1)を参考とされたい。

表-1 大型シールド トンネルの実施例 (その1)

番号	名称	施主	用途	年次 (昭和)	延長 (m)	シールド本体						セグメント					二次巻 厚さ	
						外径 (mm)	全長 (上) (mm)	フード	テール	シールド ジャッキ (T×本)	フェー スジャ ッキ (T×本)	材質	材質	外径 (mm)	幅 (mm)	厚さ (mm)		分割 数
1	関門下り線	国鉄	鉄道	14 ~17	726	7 182	5 810	800	2 110	200×24		F.C R.C	7 000	750	280	12	R.C 220 R.C 150	
2	関門上り線	国鉄	鉄道	18 ~19	405	7 182	5 910	800	2 210	200×22		F.C R.C	7 000	800	280	12	R.C 150	
3	地下鉄覚王山 (下り)	名古屋市	地下鉄	36 ~39	387	6 570	5 370	750	1 998	100×20	S.M 41	R.C	6 400	750	350	8	300	
4	地下鉄覚王山 (上り)	名古屋市	地下鉄	36 ~39	356	6 570	5 370	750	1 998	100×20	〃	R.C	6 400	750	350	8	300	
5	羽田モノレール	日本高架電鉄	モノレール	38 ~39	409	6 580	5 870	750	1 998	100×20	〃	Steel	6 400	750	200	8	200	
6	地下鉄2号線	大阪市	地下鉄	38 ~42	446×2	6 970	5 887	800	1 980	130×20	〃	R.C	6 800	900	300	8	250	
7	多摩川幹線	東京都下水道	下水道	39	160	6 140	5 790	800	2 060	150×16	〃	R.C	5 400	800	300	8	200	
8	地下鉄1号線	東京都交通局	地下鉄	39	約 1 000	8 210	6 572	900	2 342	150×22		R.C	8 000	900	350	8	250	
9	地下鉄4号線	大阪市	地下鉄	40	890	10 320	8 300	1 300		250×36		F.C.D R.C	10 100	900	F.C.D 400 R.C 600	10	300	
10	地下鉄4号線	交通営団	地下鉄	40	1 525.6 ×2	6 940	6 250	800	1 850	150×20	30×16	S.M 41	R.C	6 750	800	300	8	なし
11	地下鉄5号線	交通営団	地下鉄	40	187×2	7 930	5 460	800	1 738	150×24	30×18	F.C.D	7 740	800	250	9	なし	

表-2 大型シールド トンネルの実施例 (その2)

番号	名称	土かぶり (m)	最小曲 線半径	上下、左右 の蛇行量 (mm)	土質	圧気 (kg/ cm <sup>2</sup> )	進行 (m/日)
1	関門下り線	水深11 土 9	600	上117下 94 左 51右118	真砂土	3.5	1.6
2	関門上り線	〃	600	〃	〃	3.5	1.8
3	地下鉄覚王山 (下り)	10~23	400	上 80 下90 左120 右90	黄ロ 褐色ム	0.6	3~4
4	地下鉄覚王山 (上り)	10~17	400	上90 下50 左80 右70	〃	0.6	
5	羽田モノレール	8.5	400	上下 168 308	砂 質土 シルト	0.8	2.0
6	地下鉄2号線	8.5~19	400	左右 16 上下 15	粘土質砂	0.8	3.6
7	多摩川幹線	6	120	上下 60 左右 70	粘土質 シルト	0.2	3.2
8	地下鉄1号線	12~21	300				
9	地下鉄4号線	10~22					
10	地下鉄5号線	5.8 ~18.5	800				
11	地下鉄5号線	〃					

なお最近の実例として、東京における地下鉄5号線のシールド工事の概要と若干の解説を述べる。詳細は昭和40年土木学会 関東支部編「シールド工法の現状と問題点」141 ページを参照されたい。

江東区は地質縦断で見られるように、表土の下は30~40mの厚い軟弱な沖積シルト層があり、年々5~15cmの地盤沈下をしているところであり、またこのルートは5ヵ所の横断運河があり、うち3ヵ所の運河は舟運のため締切困難である。なお台風期には工事中掘削坑内に浸水することはさげられぬところであるので、開削工法をとるにしても、鉄矢板土留の逆巻工法によらざるを得ない状況である。しかし、この工法とて掘削深が深くなると必ずしも安全とはいえず、路下ケーソン工法によらざるをえなくなる。これらの事情も勘案し工費を比較した結果、シールド工法がより安全であり、経済的であり、

また、路面交通上も得策となるのでシールド工法が採用された。施工延長は門前仲町停留場終端より東陽町停車場始端までの1770.60mの区間で、中間に木場三丁目停留場を含む。普通部、駅部とも単線併列型で、トンネル中心間隔は標準として15.0mである。縦断は横断する3運河橋台杭基礎下1.0~2.0mをとるように選定したため、最大土かぶりは18.5mで、最小土かぶりは約6.0mである。木場三丁目停留場両端に大型の路下ケーソンも沈設し、シールドの発進基地とするとともに、駅務室、階段室に利用し、普通部トンネルの中間に換気、および排水のため中間立坑を路下ケーソンで沈設する。

普通部シールドトンネルは外径6.75m、内径6.15mでRCセグメントを使用し、蛇行余裕15cmと将来を考慮二次覆工分20cmを考慮しているが、二次覆工は行なわない計画である。

駅部シールドトンネルは外径7.74m、内径7.24mで、ダクタイル鑄鉄セグメントを使用し、上下線中心間隔は12.36mで、おのおののトンネルに内部に幅3mのホームを有する。なおトンネル断面は蛇行量15cmと、化粧代10cmを考慮している。

a) シールド機械

本工事に使うシールド機械は、標準図を示して細部設計は施行業者の創意にまかせる方式をとった。主な諸元を表-3に示す。単線型オープンタイプの手掘り式シールドである。工期の関係から普通部トンネル型4基と、駅部トンネル型1基を準備し、シールド外殻は最後に埋殺しとする考えである。フードは軟弱地盤であるため1リング幅の80cmとし、半円以上をおおうようにする。

テールは RC セグメントの 破損取替を 考え 2リング 以上とし、185~174 cm で、厚さは 60 mm である。セグメント外側とテール内側との余裕は 35 mm をとっている。これは 在来のもより やや 大きいのであるが、裏込め 注入を 常時 圧力を かけて 行なう 方法を採用している。この 部分を 完全に シール しておく ことが 必要と

なり、この シール材の 保護の ためにあえて 35 mm をとった。

シールド ジャッキは 表-3 の とおりで、普通部 シールドは 切端面積 1m<sup>2</sup> 当り 約 80 t、駅部 シールドは 約 70 t である。油圧は 350 kg/cm<sup>2</sup> 以上と 規定した。山留 ジャッキの本数は 表-3 に 示した とおりであるが、軟弱土質

図-5 地下鉄 5 号線シールド工事縦断面図

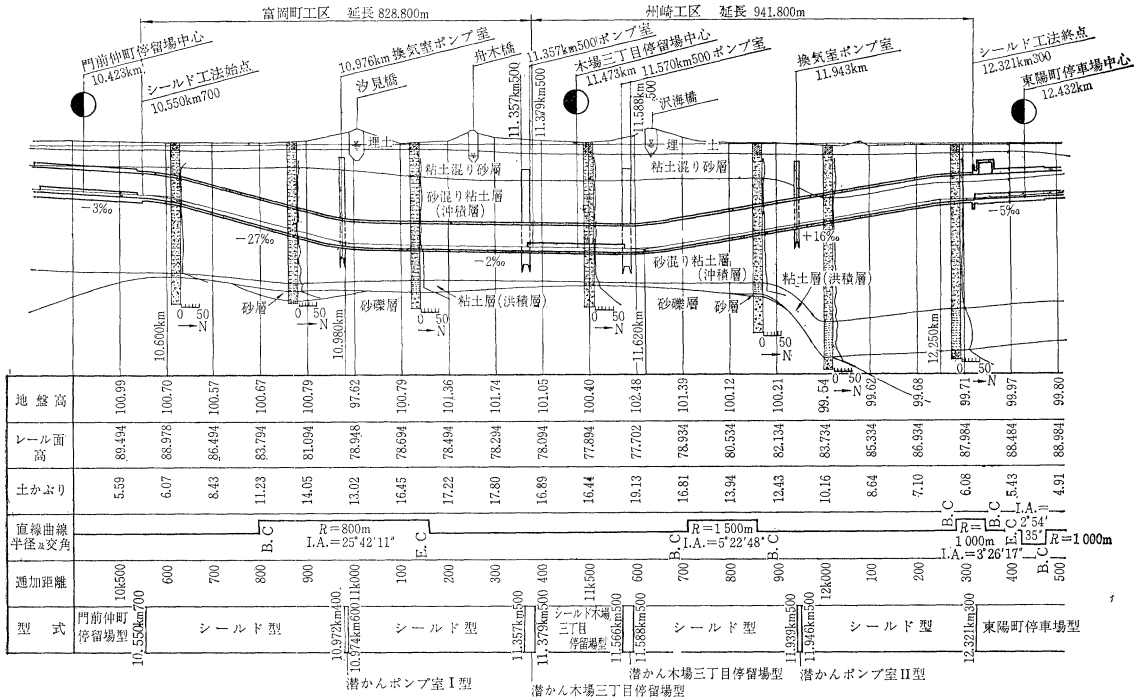


図-6 木場三丁目停留場一般図

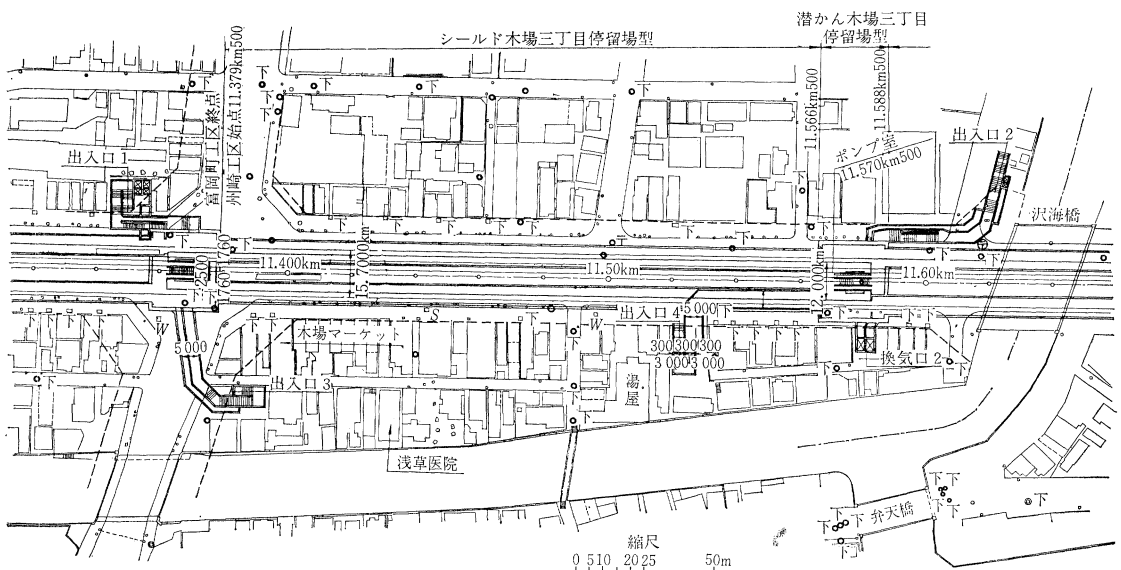


図-7 シールド工法およびセグメント一般図

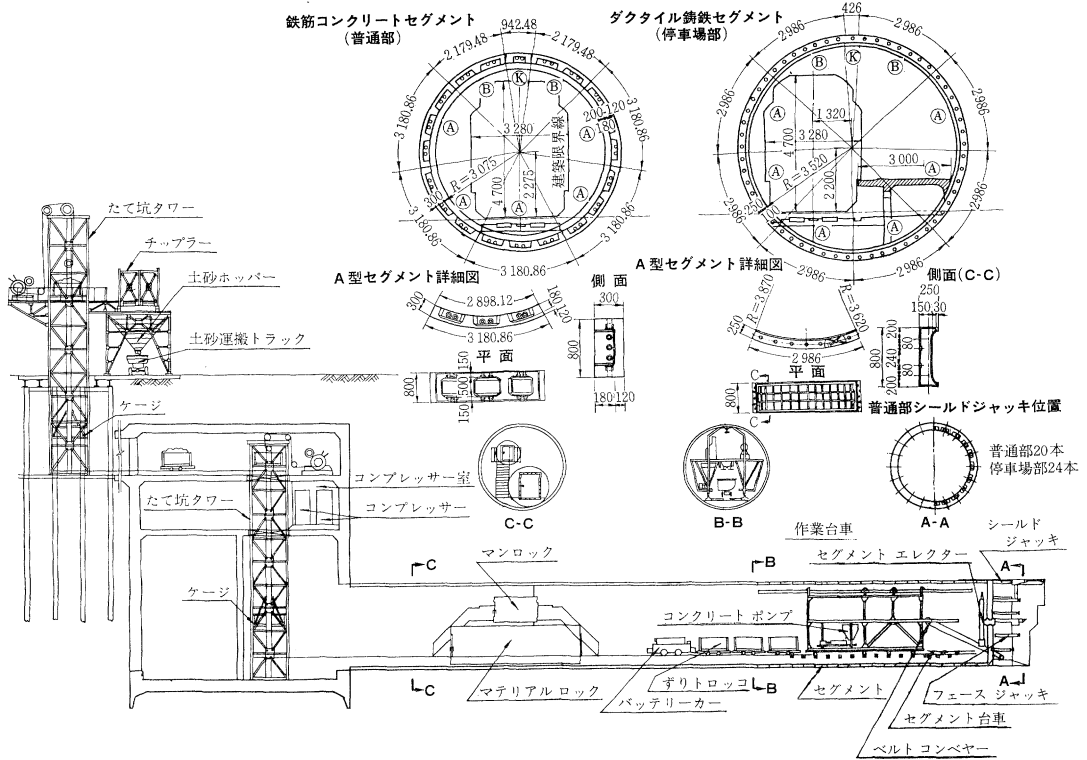


図-8 潜函木場三丁目停留場型トンネル (駅立坑)

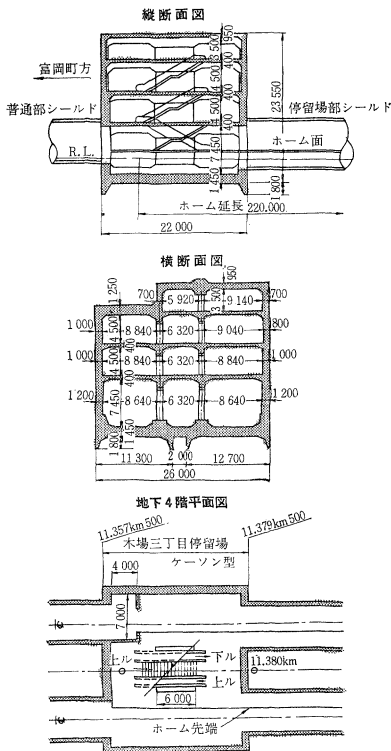
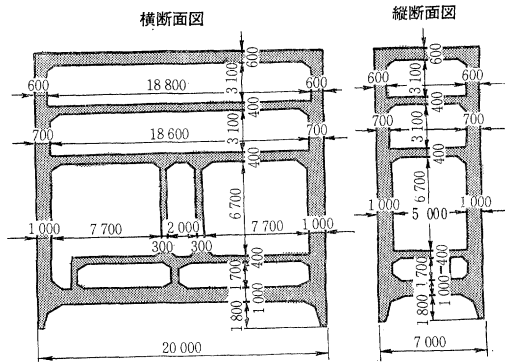


表-3 シールド諸元

		普通部	駅部
外長	径	6 940 mm	7 930 mm
	長さ	6 000 ㄴ	6 000 ㄴ
シールドキ	作動油圧	350 kg/cm <sup>2</sup>	350 kg/cm <sup>2</sup>
	推力	150 t×20 本	150 t×24 本
	ストローク	900 mm	900 mm
山ジヤッキ	作動油圧	200 kg/cm <sup>2</sup>	200 kg/cm <sup>2</sup>
	推力	50 t×16 本	30 t×18 本
	ストローク	900 mm	900 mm
エレクター		2 t×1 基	1.5 t×1 基

図-9 潜函ポンプ室 II 型トンネル (中間立坑)



を考慮し、ジャッキの装着の位置を考え掘り越しを絶対にせぬような設計とした。なお切端最上部に対して、山留めの迅速と確実を期するため、ハーフムーン ジャッキをつけることとした。

エレクターはセグメント破損の際の取替え作業を考慮し、前後に 60~80 cm 移動できるものとした。

普通部トンネル用シールドは、本体、ジャッキ類、エレクターとも約 83 t である。

### b) 覆 工

一次覆工については、各種セグメントの比較研究の結果、経済的見地からろ水に対して若干の欠点があるが、有効な目地材を開発する予定で、普通部トンネルに対しては RC セグメントを使用することとし、駅部トンネルに対してはダクタイル鋳鉄セグメントを用いることにした。セグメントの応力計算に用いる土圧は、Terzaghi の式によるゆるみ高さによる垂直土圧を用い、水平土圧は土圧係数を 0.8 として考えている。リングの変形ともなう地盤反力は考慮していない。設計に用いた諸元は表-4 のとおりである。

RC セグメントは 1 リングを 8 ピースとし、幅は 80 cm、厚さは 30 cm で、1 リング当りのコンクリートは 3.57 m<sup>3</sup> で、鉄筋量は 270 kg/m<sup>3</sup> である。リング形成用のボルトは  $\phi 32$  mm のハイテン ボルト (JIS F 7 T) を使用し、リング同志の結合用ボルトは、 $\phi 28$  mm の SS 41 である。継手のコーキングは 10 mm $\times$ 30 mm の溝をつくり、膨張性モルタルでコーキングを行なう計画であるが、さらに適当な材料を調査試験中である。ボルト用穴はそれぞれ 5 mm の余裕をもって製作している。ボルト ホールの防水には、座金の下に

図-10 設計荷重 (普通部)

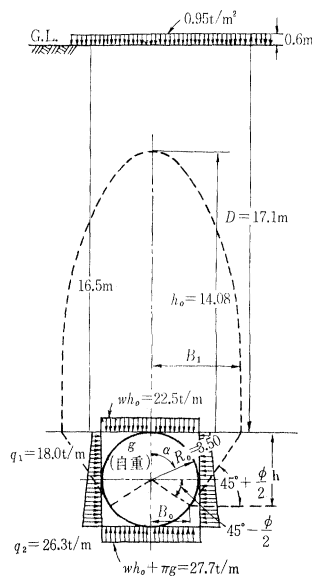


図-11 設計荷重 (駅部)

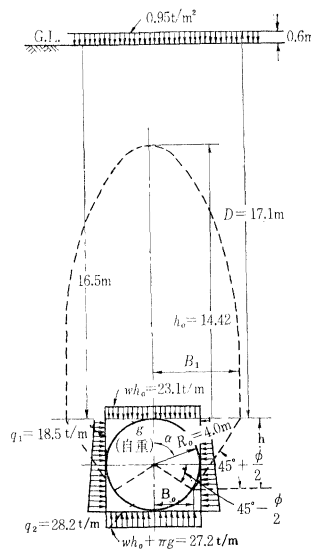


表-4 セグメント設計諸元

項 目	鉄筋コンクリートセグメント	ダクタイル鋳鉄セグメント
最大土かぶり (m)	16.5	16.5
ゆるみ高さ (m)	14.08	14.42
リング半径 (重心軸半径) (m)	3.25	3.80
土の単位重量 (t/m <sup>3</sup> )	1.6	1.6
路面荷重 (t/m <sup>2</sup> )	0.95	0.95
安息角 (度)	10.0	10.0
地下水水位 (m)	-1.5	-1.5
設計強度 (kg/cm <sup>2</sup> )	コンクリート $\sigma_{28}=580$	$\sigma_{ca}=1800$
	鉄筋 $\sigma_{sa}=1400$	$\sigma_{ca}=1400$
応 力	曲げモーメント (t $\cdot$ m)	+8.85(0°) -7.87(90°)
	軸 力 (t)	66.03(0°) 81.65(90°)
応 力 度	正の曲げモーメントに対し (kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_c=143$ $\sigma_s=975$
	負の曲げモーメントに対し (kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_c=-14'$ $\sigma_s=65$
		外縁 $\sigma_0=809$ 内縁 $\sigma_u=-534$
		$\sigma_0=115$ $\sigma_u=1227$

表-5 コンクリート標準示方配合表

粗骨材の最大寸法 (mm)	スランプの範囲 (cm)	空気量 (%)	コンクリート 1 m <sup>3</sup> 当り				細骨材率 (%)	水セメント比 (%)	
			セメント (kg)	水 (kg)	細骨材 (kg)	粗骨材 (kg)			
20	3~6	3	390	154	726	1123	6.5	40	39.5

合成樹脂系のグラメットをはさみ、締めつける。

最小曲線半径は 800 m であるが、曲線および直線部の蛇行修正用にテーパ セグメントを用いる。テーパセグメントは、片テーパで 800 mm と 760 mm のもの一種である。製作個数は  $R=800$  m の曲線部に対しては 9%、 $R=1500$  m の部分に対しては 5%、直線部に対して 3% を用意する。

コンクリートの目標強度は  $\sigma_{28}=550$  kg/cm<sup>2</sup>

で、標準示方配合は表-5 のとおりである。製作精度はセグメント外形寸法において  $\pm 1$  mm、ボルト孔位置において  $\pm 1$  mm、組立時の真円度において  $\pm 10$  mm を目標としている。駅部トンネル用ダクタイル鋳鉄セグメントは、外径 7.74 m、幅 80 cm、厚さ 25 cm で、数回の試作試験によりようやくこの形を決めた。1 リングを 9 分割し A 型 6 個、B 型 2 個、K 型 1 個で 1 リングを形成する。ダクタイル鋳鉄は、JIS G 5502 球状黒鉛鋳鉄品 2 種 F.C.D. 45 の規格に適合するものを使用する。ボルトは、リング形成用は  $\phi 35$  mm のハイテン ボルト (JIS F 9 T) を用い、リング連結用のボルトは  $\phi 28$  mm の SS 41 を用いる。ボルト ホールは +5 mm に製作する。継手目地はコーキンググループに鉛紐コーキングを行なう。セグメント 1

リング当りの重量は 4.8t である。製作精度は 4 面機械仕上げとし、外形寸法において ±0.5mm, ボルトホール位置において ±0.5mm, リング組立時の真円度において ±10mm である。製作には必要な熱処理を行ない、最少 1 ヶ月間の調質期間を取ることを規定している。

ダクティル鑄鉄セグメントを多量に用いるのは、世界的にも初めてであると思う。製品に対する検査および試験は、試作品試験、材料試験、載荷試験、外観検査、組立および寸法検査、ボルト試験などである。

表-6 球状黒鉛鑄鉄品 2 種規格

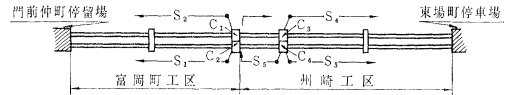
種類	記号	引張試験		
		引張強さ (kg/mm <sup>2</sup> )	伸び (%)	臨力 (kg/mm <sup>2</sup> )
2 種	FCD 45	45 以上	5 以上	30

c) 施行

シールド工法区間 1770.6m を 2 工区に分割し、起点側の駅立坑、中間立坑を含み延長 828.8m を富岡町工区と称し、鹿島建設 KK が 16 億 8926 万円で請負、一方木場三丁目の駅を含み駅立坑、中間立坑とも延長 941.8m を州崎工区と称し、KK 熊谷組が 18 億 2813 万 8000 円で請負っている。なお上記請負に対して RC セグメントを除き仮設鋼材、鉄筋、コンクリート、ダクティル鑄鉄セグメントは貸与または支給である。

シールド基地は地質が非常に軟弱であるので、木場三丁目停留場ホームの両端にそれぞれ 22m×26m の立坑を 2 個に分割して路下ケーソンで沈設し、これよりシールドを発進させる。中間立坑は 20m×7m とし、これも路下ケーソンにより沈設し、工事中は材料の出し入れに使う。5 基のシールドの運行は 図-12 のとおりで、S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub>, S<sub>3</sub>, S<sub>4</sub> の平行するシールドは、50m 以上の間隔で運行する計画である。駅部シールドは 1 基で折返し推

図-12 シールド運行図



進する。

地質の関係で圧気併用であるが、立坑より発進の時点から圧気をかけ、ある距離だけ進行したところで坑内にバルクヘッドをつくり、横ロックに変更する計画である。富岡町工区は、圧気設備として 400 IP 2 台、235 IP 2 台、および予備 100 IP ディーゼル 1 台のコンプレッサーを用意し、州崎工区は 400 IP 4 台、235 IP 2 台、および予備ディーゼル 100 IP 2 台を用意している。両工区とも終端部は土かぶりも浅く中心間隔も接近するので、一部薬液注入工法も併用する。

裏込め注入は軟弱地盤のシールド工法において、地表面の沈下防止に対しても最も重要である。在来工法ではシールド推進直後豆砂利も注入しておき、ある距離においてモルタル注入をしておいたが、軟弱地質の場合は裏山を荒すだけで豆砂利が十分入らないので、今回は豆砂利の吹込みをやめ、特殊配合のベントナイトモルタルを常時一定の圧力で圧入しつつシールドを推進し、即時にテールポイドをモルタルで填充する方式を採用している。このためには、テール内側とセグメント外周とを常に完全にシールしておかねばならぬが、テール内面に合成ゴム、または金属板のシールを 3 段に取り付け、またこのシール材の保護もしておく必要がある。

掘削進行の予定は平均 3 リング/日である。

工事費は 1 駅を含んだ 1770.6m について見ると、対外処理費、支給材料費、貸与材料損料など（ただし用地費を除く）を含み全土木工事費は 1m 当り約 240 万円程度である。

トンネルと掘削工法

本書は昭和 34 年 8 月に夏期講習会に教材として使用したものであり、わが国トンネル工事の画期的進歩をもたらした数々のトンネルについて詳細に説明したものであり、ぜひ一読下さるようおすすめします。

内容：最近のトンネル工法／原口正一 ■ トンネルの地質調査／宮崎政三 ■ トンネル工事の安全対策／村山朝郎 ■ トンネルの換気と照明／伊吹山四郎 ■ トンネル工用機械とその設備／小竹秀雄 ■ トンネルの支保工と覆工／坂本貞雄 ■ 大発破工法について／佐藤忠五郎 ■ ダム基礎の地質とその掘削工法／田中治雄 ■ 和田川超高压トンネルの施工について／和沢清吉 ■ 地下鉄道の掘削工法／西嶋国造 ■ 大町トンネルの破砕帯工事について／村山 功 ■ 北陸トンネルの工事について／上原要三郎 ■ 黒部川第 4 発電所地下掘削について／竹中 徳 ■ 関門道路トンネルの掘削について／住友 彰

体裁：B5判 342 ページ 定価：600 円 会員特価：500 円 送料：50 円