

シールド工事の合理化

—外郭放水路第1工区トンネル新設工事—

加納敏行¹・竹内清文²・白土正美³・黒川美喜男⁴・金井誠⁵・福本勝司⁶

¹国土交通省 関東地方整備局 江戸川工事事務所 所長 (〒278-0005 千葉県野田市宮崎 134)

²国土交通省 関東地方整備局 江戸川工事事務所 副所長 (〒278-0005 千葉県野田市宮崎 134)

³国土交通省 関東地方整備局 江戸川工事事務所 放水路課課長 (〒278-0005 千葉県野田市宮崎 134)

⁴国土交通省 関東地方整備局 江戸川工事事務所 外郭放水路監督官 (〒344-0002 埼玉県春日部市樋籠字柳原 997)

⁵正会員 工博 株大林組 東京土木事業部 工事第一部 部長 (〒108-8502 東京都港区港南 2-15-2 B 棟)

⁶正会員 株大林組 首都高新宿工事事務所 所長 (〒151-0063 東京都渋谷区富ヶ谷 2-21-15 松涛第1ビル 1F)

大口径・大深度・長距離・急曲線という厳しい計画条件下の泥水シールド工事の工期短縮・工費縮減を目的として、覆工構造と仮設備計画の合理化を追求した。覆工構造では、構造的・耐久性・組立性において合理的な水平コッター式RCセグメントを適用した。仮設備では、高速施工の基本が工事の物流合理化、特に掘削土の搬出能力とそれに対応した坑内外設備能力確保であることに着目し工事計画を立案した。その結果、合理的覆工構造適用による工費縮減率は3.6%、合理的仮設備による工期短縮率は12%、本掘進における進捗量は同規模・他工区工事の約1.5倍で、工期を当初計画から6ヶ月短縮した。また、対象工事では二次覆工省略・内水圧対応型の一次覆工として軸方向水平コッター式RCセグメントを採用したが、構造上の合理性だけでなく、高速施工の点でも合理的であることが判明した。

Key Words : flood diversion tunnel, slurry shield, rapid tunneling, longitudinal coter-jointed segmental lining

1. はじめに

良好な社会資本の形成と蓄積の一翼を担う土木事業は、現在、大いなる試練に直面している。社会資本整備における公共事業への国民の目は近年ますます厳しく、事業執行において安全や品質の確保は当然のこと、効率性や透明性について国民の理解を得ることが不可欠となっている。

本論文では、公共工事の効率性追求の一例としてシールドトンネル工事の合理化施工を取り上げ、従来の考え方・慣習・制約などとらわれない設計・計画・施工を行うことで、覆工構造の更なる構造的・耐久性能の向上を確保しながら、高速施工実現の一例を示した。

従来、シールドトンネル工事における高速施工では、これまでその関心がシールド機掘進速度やセグメント組立速度に向けられることが多く、また、シールド仮設備仕様が平均掘進速度という積算上の制約を受けるなど高速施工実現を阻害する要因が多く、工期短縮・コスト縮減という面から現実にそぐわないことが多かった。

このため、筆者らは、首都圏外郭放水路第1工区トンネル新設工事の計画・施工において高速施工を実現すべく、以下の点について合理性を追求した。

- ① トンネルの目的物である供用空間を形成する覆工構造材であるセグメントは、構造的・耐久性に優れた構造・継手を有するだけでなく、高速組立に対応できる継手を有すること
- ② シールドトンネル工事の進捗は、切羽～立坑～地上基地～場外間の資機材・掘削土砂の物流と人員輸送、特に掘削土砂の搬出に大きく影響されることから、積算基準や従来慣習の制約を廃した仮設備計画とすること
- ③ 施工に際しては常にデータを収集・分析して、原計画を継続的に見直しすること

本論文では、まず事業と工事の概要、高速施工を実現するための基本方針と同方針に基づいた仮設備の計画、高速施工に対応したセグメント構造と環境保全について述べ、次に施工状況と施工結果を報告した。最後に、施工実績を踏まえて反省と今後の展望について述べる。

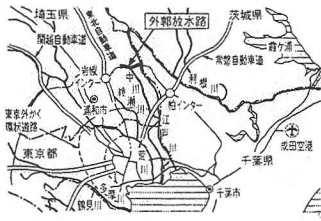


図-1 放水路位置図¹⁾

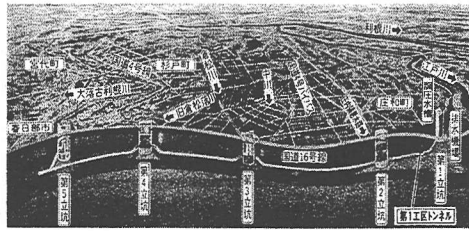


図-2 放水路断面図¹⁾

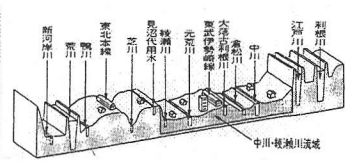


図-3 流域地形断面図¹⁾

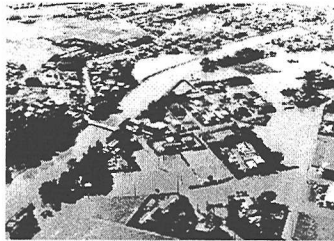


写真-1 洪水時浸水状況³⁾

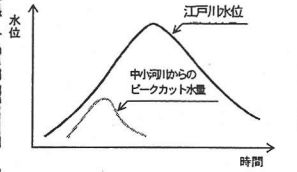


図-4 洪水時江戸川水位模式図²⁾

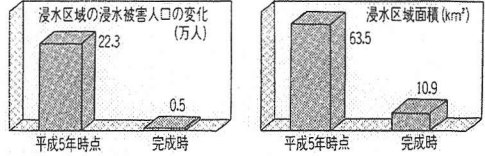


図-5 被害減少効果¹⁾

表-1 工事概要

工事名称	外郭放水路第1工区トンネル新設工事		発注者	国土交通省関東地方整備局	
施工者	大林・熊谷・前田特定建設工事共同企業体		工期	平成9年2月6日～平成13年3月31日	
施工場所	埼玉県北葛飾郡庄和町上金崎地先～金崎地先				
工事内容	トンネル延長	L 1,396m	トンネル掘削径	φ12.04m	
	トンネル線形	直線延長 Ls 886m(63%), 曲線延長 Lc 510m(37%), 最小曲線半径 R 250m×4ヶ所			
	掘削方法	泥水式シールド工法(中折型)		補助工法	発進および到達防護は地盤凍結工法
	一次覆工	水平コッター式継手 RC セグメント(二次覆工省略型) 1,155 リング セグメント継手:水平コッター(ピース間), ほぞ+プッシュグリップ(リング間) 外径 11.8m, 内径 10.6m, 厚さ 0.6m, 幅 1.2m, 9等分割(Kセグメントは軸方向挿入式)			
	土質	クラウン部に粘土層が連続し, 掘削部は砂質土が主体で粘土層を介在する 砂質土:N値 50以上, 粘性土:N値 20~30,C=200~300kN/m ²			
	土被り	51~53m			

2. 概要と計画・施工条件

(1) 事業概要

首都圏外郭放水路は、中川中流域の浸水被害を解消するために計画された地下河川トンネルで、事業の早期完成と地上への影響を考慮して、国道16号下で土被り50m以上の大深度に築造される。図-1に位置図を、図-2に断面図を示す。この地域は、図-3の流域地形断面図に示すように、大河川に囲まれた皿状の低平地で水が流れにくく、慢性的な浸水地帯となっている。その上、近年の急激な市街化や、市街化に伴う土地の遊水・保水機能の低下により、写真-1に示すような洪水被害が増大している。この放水路は、図-4に示すように、中小河川から毎秒200m³のピークカット洪水量を立坑から取込み、江戸川に放流することで、大幅な浸水被害減少(図-5参照：浸水被害面積；1/6, 浸水被害人口；1/50)の効果を期待している。

(2) 工事概要

工事概要を表-1に示す。

(3) 計画条件

a) 地盤条件

トンネル掘削部は、図-6に示す安定度の高い洪積層で、N値50以上の密な砂質土層(Ds2, Ds3)と介在する粘性土層(Dc3)で構成される。掘削断面の地盤特性を表-2に示すが、発進立坑から約900mまでは砂質土が主体で砂質土が80%以上、以降は粘性土が30~40%以上に増加する。掘進部には、細粒含有率が8~10%以下で、均等係数が6以下と崩壊危険性の高い砂層も存在するが、クラウン部分には粘性土が連続し、砂質土層・粘性土層ともにN値の高いよく締った土層で、全般的には安定している。現場透水試験による砂質土の透水係数は10⁻³~10⁻⁴cm/secと中位の値で、工事に先行して測定した間隙水圧は全長にわたって図-7に示すように、A.P-0.5m(最上層地下水水位)からの静水圧分布に対して若干低い状態(最大で0.8MPa)にある。

b) 大深度・高水圧に関わる条件

土被りは51m~53mで、トンネル中心における水圧は0.53MPa~0.573MPaとなっている。

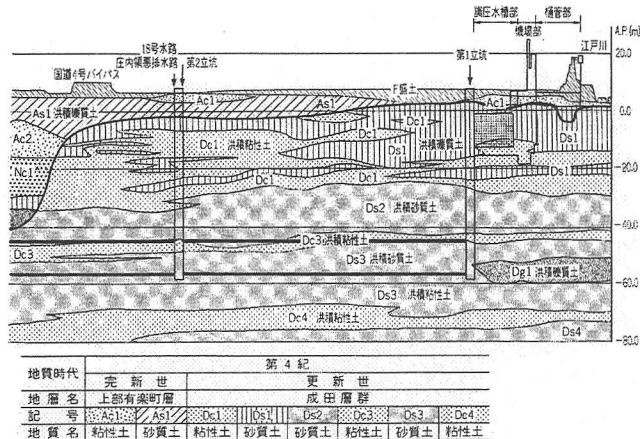


図-6 地質縮断図¹⁾

表-2 掘削断面地盤特性一覧表

切羽土質構成	掘削断面																																			
	1R~36R	37R~143R	144R~316R	316R~488R	489R~644R	645R~781R	782R~913R	914R~1064R	1065R~1155R																											
0m	①	①	①	①	①	①	①	①	①	①																										
6.02m	②	②	②	②	②	②	②	②	②	②																										
12.04m	③	③	③	③	③	③	③	③	③	③																										
12.04m	④	④	④	④	④	④	④	④	④	④																										
100%	①	①	①	①	①	①	①	①	①	①																										
80%	②	②	②	②	②	②	②	②	②	②																										
60%	③	③	③	③	③	③	③	③	③	③																										
40%	④	④	④	④	④	④	④	④	④	④																										
20%	⑤	⑤	⑤	⑤	⑤	⑤	⑤	⑤	⑤	⑤																										
0%	⑥	⑥	⑥	⑥	⑥	⑥	⑥	⑥	⑥	⑥																										
地質名	粘土	細砂	砂礫	中砂	シルト混り砂	砂質粘土	砂	シルト	中砂	火山灰質細砂	中砂	砂混りシルト	細砂	シルト	細砂	礫混細砂																				
N値	17	71	65	93	55	88	25	100	27	75	41	78	136	34	100	20	136	22	150	93	25	8	125	29	53	63	56	62	71	55	93	38	100	115		
粘着力C KN/m ²	-	-	-	-	-	-	-	200	-	300	-	-	-	-	-	-	300	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
透水係数 cm/sec	2.7 E-3	2.5 E-3	1.1 E-3	2.7 E-3	5.8 E-4	2.2 E-3	4.8 E-3	1.2 E-4	2.2 E-4	1.1 E-1	1.2 E-1	1.4 E-4	1.4 E-4	4.3 E-2	2.2 E-3	2.2 E-3	1.4 E-4	1.4 E-4	4.3 E-2	2.2 E-3	2.2 E-3	2.2 E-3	2.2 E-3	2.2 E-3	2.2 E-3	2.2 E-3	2.2 E-3	2.2 E-3	2.2 E-3	2.2 E-3	2.2 E-3	2.2 E-3	2.2 E-3	2.2 E-3		
均等係数	20.8	22.2	6.1	10.1	19.2	4.5	50.8	5.6	5.2	4.2	3.0	9.2	4.2	3.0	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5		
最大礫径 mm	-	5	30	-	10	-	2	7	-	5	-	-	-	-	15	-	25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
粒度分布	0	0	30	10	0	5	0	2	0	2	0	2	0	0	1	0	0	0	5	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
重量%	砂	4	83	59	83	81	81	12	91	42	84	1	86	85	92	84	6	85	92	87	84	15	8	91	71	94	8	80	87	94	8	86	83	86	85	
細粒分	96	17	11	7	19	14	88	7	58	14	99	12	15	8	15	94	15	8	8	15	85	92	8	28	6	92	20	13	6	92	14	17	14	14		
SIにおける切羽圧 (Mpa)	0.532	0.553	0.547	0.545	0.545	0.564	0.573	0.520	0.530	0.536																										
掘削断面の代表となる平均的地盤特性																																				
含水比 %	17.3	18.99	19.94	27.25	23.34	24.61	27.25	31.1	33.32																											
真比重 G _s	2.724	2.675	2.691	2.695	2.734	2.750	2.801	2.741	2.682																											
乾砂量 t	253.04	242.38	239.29	212.25	227.98	224.05	217.06	202.12	193.52																											

c) 大口径・長距離に関わる条件

シールド外径はφ12.04m, 掘削延長は L1, 396m で、1 リング当りの掘削土量は約137m³, 総掘削土量は158, 560m³

である。

d) 線形に関わる条件

平面線形は、曲線半径 R250m が 4ヶ所(左曲線 2ヶ所,

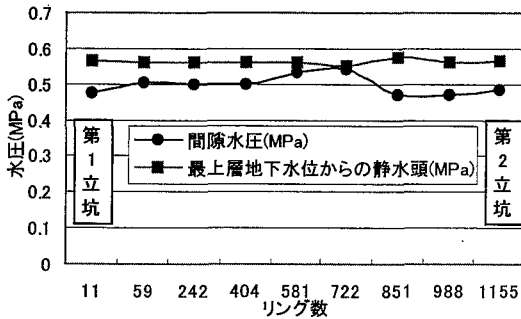


図-7 トンネル中心における水圧分布

表-3 騒音規制

区分	朝 A.M.6:00 ～ A.M.8:00	昼間 A.M.8:00 ～ P.M.7:00	夕 P.M.7:00 ～ P.M.10:00	夜間 P.M.10:00 ～ A.M.6:00
第二種住宅区域	50dB	55dB	50dB	45dB

表-4 高規格堤防盛土材品質基準

品質基準	コーン指数	400kN/m ² 以上
	最大粒径は100mm以下 粒径37.5mm以上の混入率は40%以下	
利用用途	地表面より1.5m以深に利用	

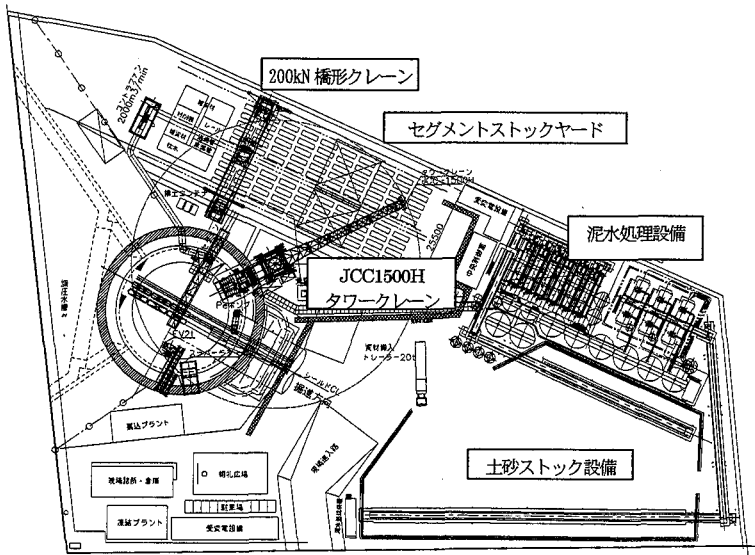


図-8 発進基地平面図

右曲線2ヶ所で、全延長の37%を占めている。曲線半径と掘削径の比R/Dは約21で急曲線となるため、シールド機は中折れ装置と余掘り装置（油圧式コピーカッター4基、推力・ストローク4400kN×200mm）を装備している。

縦断線形は、排水勾配から1/5000が規定されている。

(4) 施工条件

a) 工事周辺地域

工事地域は第二種住宅区域で、騒音に対して表-3に示す規制を受ける。

b) 地上基地面積

図-8に発進基地平面図を示す。地上基地面積は14,600m²であるが、発進立坑を除く使用可能面積は13,500m²である。同図中、泥水処理設備用に1,700m²、土砂ストック設備用に3,100m²、セグメントストックヤード用に1,200m²を確保している。

c) 掘削土砂の再生利用

本工事では、『廃棄物の処理と清掃に関する法律』に

基づく再生利用に係わる特例の認定制度」の適用を受け、トンネル掘削で発生する土砂（一次処理土・二次処理土）を高規格堤防の有効盛土材として再利用することにより、従来は建設汚泥として処理されていた二次処理土も再生利用土として有効利用する。本制度の適用を受けた二次処理土は、表-4に示す品質を確保し、高規格堤防の定められた位置に再利用する。

3. 合理化施工を実現させるための基本方針

(1) 合理化施工を実現させるための施工計画

シールドトンネルにおける合理化施工の基本は、掘削土砂の場外搬出を最優先し、資機材の坑内搬入を切羽の進捗に同調させ、かつ、機械設備故障や段取不備によるロスタイム(以下、ロスタイム)を最小化して、順調な掘進を安定維持することである。合理化施工を実現するための施工計画上の留意点を図-9に示す。

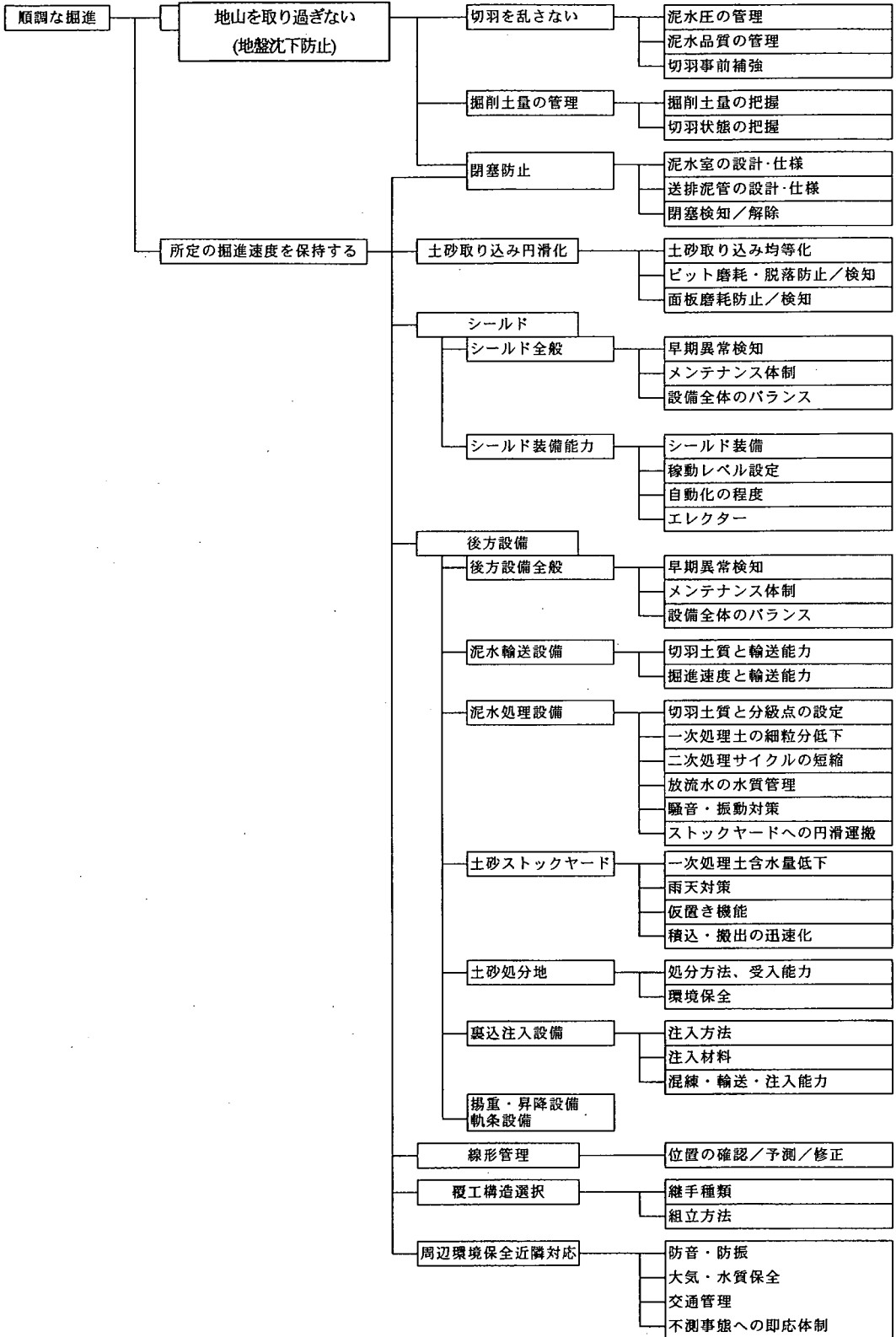


図-9 合理化(高速)施工を実現するための施工計画上の留意点

表-5 シールド仮設備の合理化施工にかかわる基本方針

設備	基本方針	設備	基本方針
シールド機	シールドジャッキ伸縮速度の向上	土砂ストック設備	仮置き機能を兼ねたストック量の確保
	ダウンタイム・ロスタイムの減少		一次処理土ストックヤードでの含水量低下
	セグメント組立速度の向上		屋根による降雨時の含水量増加防止
裏込注入設備	機内同時注入方式 (セグメント同時注入にも対応)	揚重設備	積込・搬出の利便性確保
	掘進速度以上の製造量・注入能力確保		セグメントとセグメント以外の色材搬出入の分離
泥水輸送設備	大量輸送能力の確保	坑内運搬設備	揚重設備の高速化
	維持管理体制の強化		走行速度の向上
	ダウンタイム・ロスタイムの減少		高粘着係数車輪による制動距離短縮化
泥水処理設備	一次処理土の脱水性向上と流動化防止	昇降設備	大容量化・高速化
	二次処理土の再生利用認定制度適用への対応	情報通信設備	最先端インフォメーションテクノロジーの導入
	二次処理土の脱圧圧密性の向上		収集データの信頼性向上
	二次処理土の外観の改良		データ分析の自動化・高速化

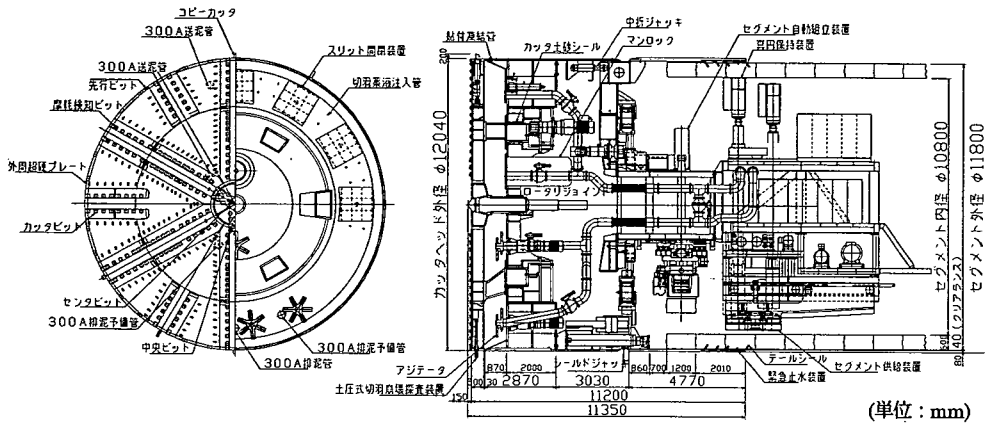


図-10 シールド機

表-6 シールド機仕様

外径	φ12.04m	
機長	11.2m	
掘削速度	50mm/min(MAX)	
総推力	158,400kN	
切羽単位面積当たり推力	1391kN/m ²	
シールドジャッキ	4400kN×2000st×3500N/m ² ×36本	
中折れジャッキ	1500kN×270st×3500N/m ² ×20本	
カッタートルク	18870kN・m(常用)	
	28310kN・m(最大)	
バルクヘッド耐圧	0.74Mpa	
テールシール	4段+緊急止水シール1段	
スラリー配管	送泥管	外周部1本
		中央部1本
	排泥管	外周部3本
		中央部1本

掘進時の目標日平均進捗8リングに対して1.5倍の能力、即ち日最大進捗12リングが可能となるよう計画することとした。初期掘進では、作業員・職員がシールド掘進作業や仮設備機器の取り扱いに慣熟できることは勿論のこと、仮設備機器の調整・改良に重点を置くこととした。また、初期掘進中の後続台車配置は、本掘進時での配置に囚われることなく、段取替え期間が最小となるよう計画することとした。段取替えでは、作業標準見直しや設備機器改造を行い、本掘進時での更なる合理化施工を図ることとした。

4. 合理化施工に留意した仮設備計画

(2) 本シールドトンネル工事における合理化施工実現のための基本方針

図-9 に示す合理化(高速) 施工を実現するための留意点を参考にして本工事における施工条件を考慮した仮設備計画基本方針を、表-5 に示す。仮設備の最大能力は、本

(1) シールド機設備

当工事で使用したシールド機とその仕様を図-10、表-6 に示す。合理化施工に対応する仕様決定上の留意点は以下の通りである。

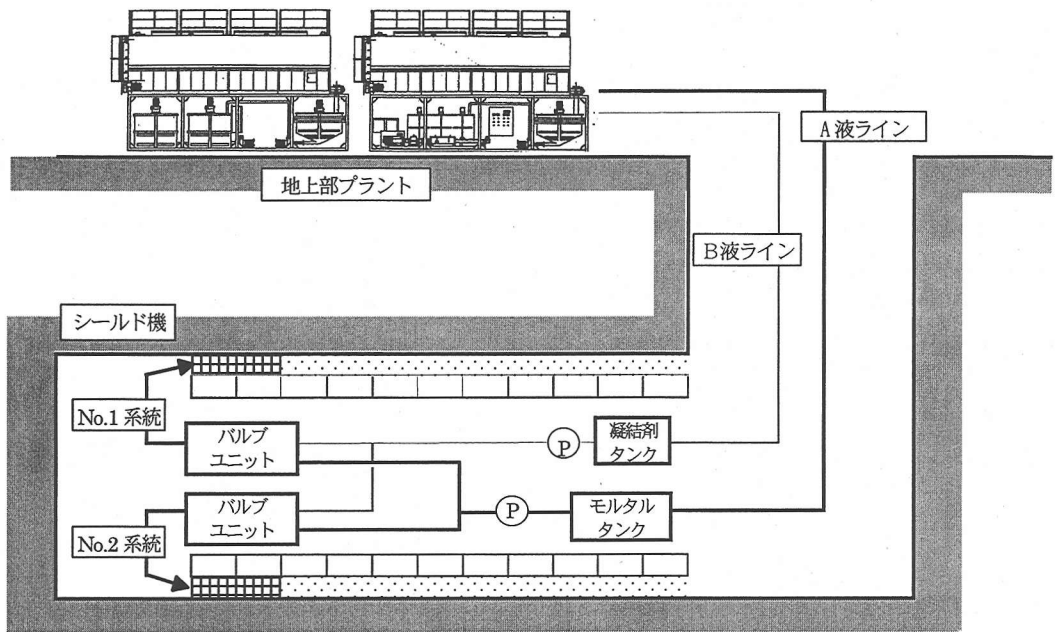


図-11 裏込注入システムフロー図

表-7 裏込注入設備概要

	設備名	仕様	台数
地上設備	硬化材貯蔵サイロ	40m ³ 下部スクリーンコンベア 15T/H	
	助材サイロ	40m ³ 下部スクリーンコンベア 15T/H	
	原水タンク	10m ³	
	安定剤タンク	1m ³	
	モルタル圧送ポンプ	3L/min 2.35Mpa 22kW	
	凝結剤タンク	9.5m ³	2台
	凝結剤圧送ポンプ	60L/min 2.35Mpa 5.5kW	
坑内設備	アジテータホッパー	3m ³	
	モルタル注入ポンプ	150L/min 2.35Mpa 11kW	2台
	凝結剤タンク	1.8m ³	
	凝結剤注入ポンプ	200L/min 2.35Mpa 5.5kW	2台
	洗浄水タンク	18m ³	
	洗浄ポンプ	立形多段ポンプ 7.5kW	

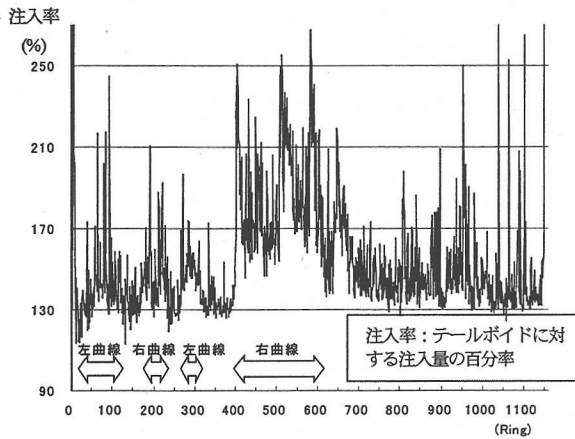


図-12 注入結果一覧表

a) 推進速度に関する仕様

①全数作動時の推進ジャッキ伸張速度を最大 5cm/min とする

b) ロスタイム減少に関する仕様

①ビット防護

- ・ビット磨耗に対する安全率は掘進距離に対して $F_s=10$ とする
- ・メインビット全数に対して先行ビットを設置する
- ・先行ビットの先行切込み高さを 20mm としてメインビット負担を減少
- ・油圧及び超音波式による検知ビットで磨耗を常時監視する

②面板防護

・面板の最外周速度を 20m/min 以下とするため、カッター一回転を 0.5rpm とする

・最外周部にスクレーパービットを設置し、更に硬化肉盛・保護ビットを装備する

・周速の小さい面板中心部にジェット噴射管(4B×4 箇所)設置する

・中間支持脚近傍の外筒～内筒境界で、面板補強部での土砂流入を円滑にするため、外周スリットの半数を内周側に切り込ませる

③泥水チャンパー閉塞防止

・スリット開口率を 31% と大きく確保し、開口形状は泥水室に向かいテーパ加工とする

・中間支持脚の形状は丸みを持たせる

表-8 泥水輸送設備概要

項目	種類	排泥ポンプ		
		P1	P2,Pe	P3
配管径		14B	12B	
ポンプ形式		350FFLGMVL4VCM		
軸封構造		メカニカルシール		
軸封水		オイル循環		
羽根車 最大通過粒径	mm	120		
電動機		可変速型	可変速型	定速型
速度	Vol%	11.76	22.08	22.08
液比重		1.20	1.37	1.37
流量	m ³ /min	18	18	18
揚程	m	Max41.2	Max49.5	31.5
回転数	rpm	Max810	Max920	735

・中央排泥管(1系統)に1台,下部排泥管(3系統;2系統は予備)に4台のアジテータを設置する

・スポーク背面の最外周部に箱構造の掻き揚げ・攪拌翼を12基設置する

④軸受け構造防護

・土砂シールをラジアル方向とスラスト方向に設置するセグメント組立に関する仕様

・推進ジャッキ早戻し回路を設置して,6本作動時127cm/minの伸縮速度を確保する

・エレクター回転速度を最大1.5rpmとする

・1リング分9ピースのセグメントをシールド機~No.1台車間のストックコンベアに荷降し後は組立まで完全自動化する

(2) 裏込注入設備

裏込注入はシールド機内からの同時裏込注入方式で,シールド機の掘進速度と注入ポンプ作動を連動させ,自動的に注入量・注入圧を制御しながら注入できる全自動システムとした。その設備能力は,シールド機の最大掘進速度に対応できることとした。図-11にシステムフローを示す。また,表-7に設備詳細を示す。注入結果を図-12に示す。

(3) 泥水輸送設備

泥水輸送設備は合理化施工を実現するため以下の点に考慮した。

・ポンプ・配管を大型化して,大量掘削土砂を円滑にスラリー輸送する

・高水圧対応のポンプメカニカルシールとポンプ前後の水撃作用対策のエアタンクにより,ポンプに関わるダウンタイムを最小とする

・ロスタイムを最小とする維持管理体制として,配管磨耗量の常時計測とスペアパーツの在庫管理を行う

表-8に泥水輸送設備を示す。

(4) 泥水処理設備

泥水シールド工法では,一次処理土(砂質土)と二次処

表-9 分級方法による一次処理土の特性

分級方法	分級点 (粒径)	残留分 (一次処理土)	残留土の特性 (一次処理土の特性)
フルイ	74 μ m	粒径74 μ m以下の細粒 分含有量0%	-
サイクロン	74 μ m	粒径74 μ m以下の細粒 分含有量 20~25%	流動化易い 脱水し難い
	200~ 500 μ m	粒径74 μ m以下の細粒 分含有量 5~8%	流動化し難い 透水係数大(10 ⁻³ cm/sec) 脱水し易い

理土(粘性土)の分級点を,土の粒度試験法から74 μ mとしている。しかし,フルイとサイクロンによる分級では,表-9に示すように,砂質土内の細粒分含有量が大きく異なる。即ち,分級点を74 μ mとしたサイクロンによる泥水処理では,一次処理土内に細粒分が20~25%混入し,砂質土間隙内の細粒分により保水性が増加し,脱水性が低下するだけでなく,振動を受けた場合に流動化する。脱水性の低下と流動性の増加は,以下に示す一次処理土不具合発生の主因となる。

①振動フルイ:脱水性の低下に伴い泥水がスクリーンから溢出する。脱水のためスクリーン上での砂質土の滞留時間が長くなり振動機モーターに過負荷がかかる

②ベルトコンベア:流動化した砂質土がベルトコンベアから落下・飛散し,ローラーに付着・堆積してベルトコンベア輸送能力が低下する。

③ストックヤード:流動化によりストック容量が不足し,積込率が低下する。

④場外搬出:流動化した砂質土が荷台から流出・飛散して,積載量が減少して運搬効率が低下するだけでなく,運搬ルート沿線を汚染する。

⑤土砂受入地:砂質土が流動化して盛土ができず,受入率が低下する。

また,事前の実験によれば,従来のフィルタープレスを用いた処理では,二次処理土を表-4に示す再生利用に対応可能な品質とすることができないことが判明した。

このため,当該泥水処理設備の設計に際して,一次処理ではサイクロンによる一次~二次処理土の分級点を従来の74 μ mから200~500 μ mとし,二次処理では打込み圧を0.39MPaから0.59MPaに,圧搾圧を0.69MPaから0.93MPaへと35~50%増加させた高圧圧搾式フィルタープレスを開発し,以下に示す効果を図ることとした。

即ち,一次処理土では,一次処理土への細粒分の混入を減少させ,以下の効果を図った。

①脱水性の向上

②流動化の防止

また,二次処理土では,砂質土分を積極的に混入させ,以下の効果を図った。

①コーン指数400kN/m²以上の確保

泥水処理フロー図

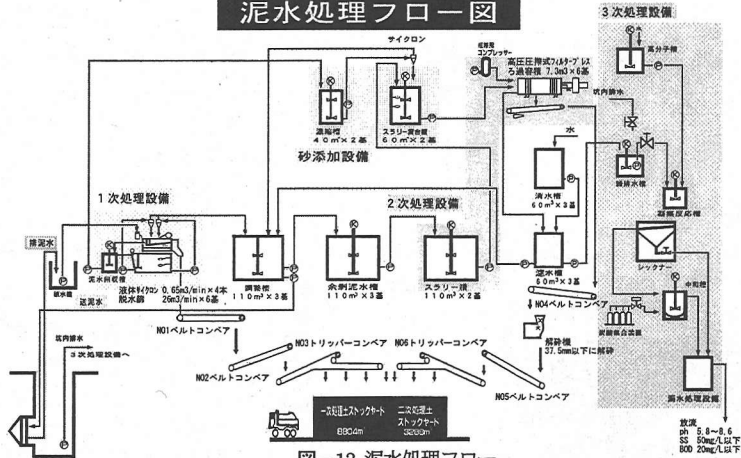


図-13 泥水処理フロー

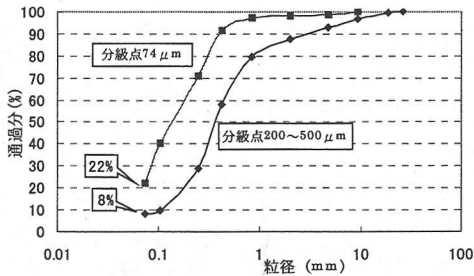


図-14 一次処理土内粒径加積曲線

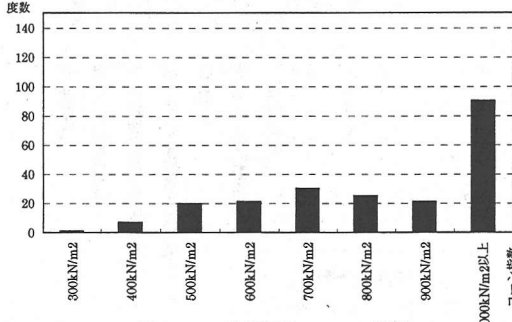


図-16 一次処理土のコーン指数

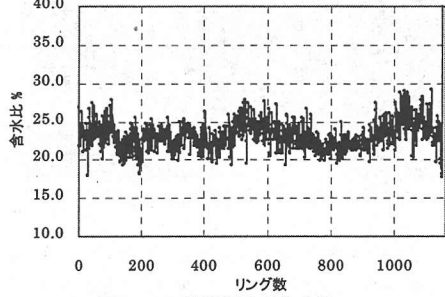


図-15 一次処理土の含水比

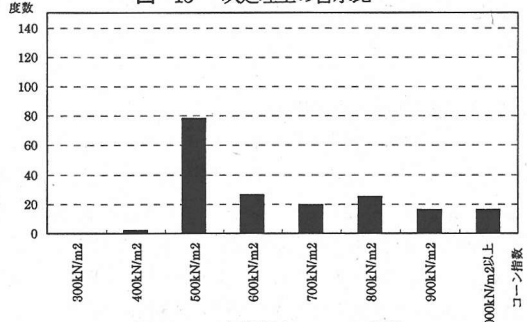


図-17 二次処理土のコーン指数

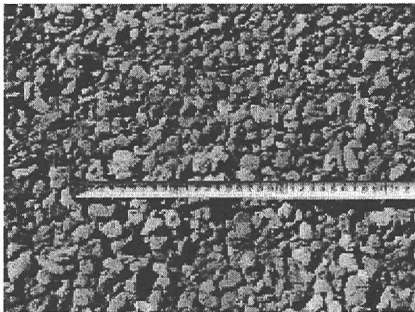


写真-2 二次処理土の外観

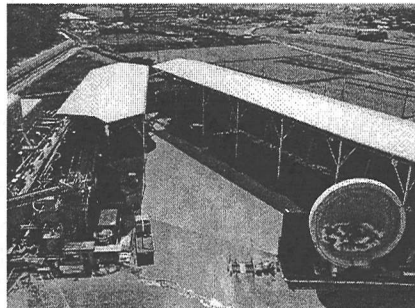


写真-3 土砂ストック設備全景

- ②フィルタープレスでの脱水圧密性の向上
 - ③自然土に近い外観
- 図-13 に泥水処理フローを示す。本方式ではフィルター

プレスに送る排泥水中の砂分が増加し、閉塞し易いため、閉塞しにくい配管設計に加え万一の閉塞解除装置を装備した。図-14, 15, 16 に一次処理土の粒径加積曲線、含

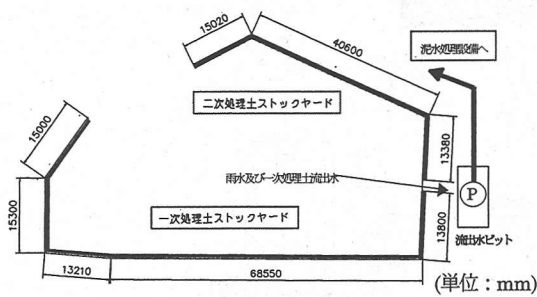


図-18 土砂ストック設備平面図



写真-4 一次処理土ストック状況

水比、コーン指数を示す。また、図-17に二次処理土のコーン指数を、写真-2に二次処理土の概観を示す。なお、分級点を200~500 μ mに変更した本方式は特許出願中である。

(5) 土砂ストック設備

本工事では、土砂搬出がトンネル進捗に対してクリティカルとならないよう、土砂ストックヤード用の面積として3,100 m^2 を確保し、ストック容量は当初計画の2,500 m^3 (一次処理土+二次処理土)から、図-18に示すように、一次処理土9,000 m^3 、二次処理土3,500 m^3 と増加させ、ストック機能に加えて仮置き機能を持たせることとした。また、降雨対策として写真-3に示す高屋根を設置し、脱水後の処理土の含水比上昇を防止した。更に、一次処理土の透水係数が分級点変更により 10^{-3}cm/sec と大きく水切りが良好なため、ストックヤード底面を図-19に示す排水性の上げ床式とし、砂質土内を流下した土中水がストックヤード底盤上に滞留しない構造として、図-20に示すようにストック中の砂質土の含水量を更に減少させた。写真-4に処理土ストック状況を示す。

これらの対策により、雨天などで残土が一週間搬出できない場合にも掘進を中止する必要がなかった。図-21に土砂搬出実績を示す。

(6) 揚重設備

発進立坑での揚重作業における特殊条件を以下に示す。

- ① 発進立坑作業床がGL-60mと深い

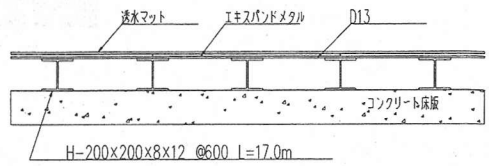


図-19 スtockヤード下部構造

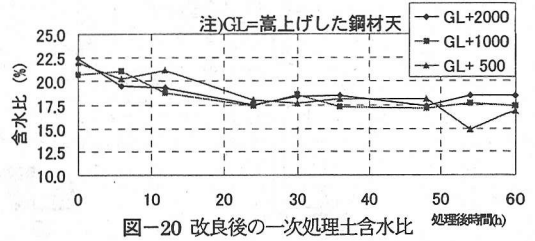


図-20 改良後の一次処理土含水比

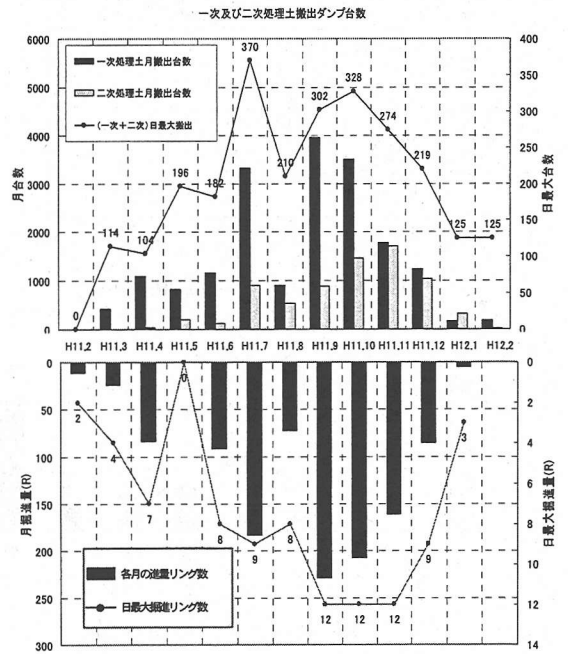


図-21 土砂搬出実績

- ② セグメントピース重量が約73kNと重い
- ③ セグメント以外の搬入資機材(レール・枕木、配管類など)は種類・量ともが多い

これらの特殊条件を考慮して、合理化施工を実現するため、以下に示す揚重設備計画基本方針を策定した。

- ① 発進立坑におけるセグメントとセグメント以外の資機材の搬入出を分離する
- ② 各揚重設備の高速化を図る

セグメント揚重設備として、表-10に示すセグメント搬送リフターから、定格速度・定格荷重さらに自動化対応を考慮して、写真-5に示すピンラック式のテルハを選

表-10 揚重設備 (太線で囲ったものを採用)

使用用途	セグメント取込み(セグメント搬送リフター)			地上部運搬						地上~立坑下輸送								
	テルハ		二本構リフト	ロープ式 建設用 二本構リフト	クラブトロリ式 橋形クレーン 200kN×(25.5m+3m)スパン			ホイスト式 橋形クレーン			タワークレーン JCC1500H			クラブトロリ式 橋形クレーン				
搬送方法	ピンラック、ピンギア		ワイヤー	ワイヤー	ワイヤー			ワイヤー			ワイヤー			ワイヤー				
定格荷重(kN)	160kN(セグメント 2ピース)		130kN(セグメント 2ピース)	100kN(セグメント 2ピース)	200kN			100kN			35m-350kN 19m-700kN			200kN				
揚程	-		-	-	9m			12m			300m			73m				
定格速度 (m/min)	巻上	走行	走行	走行	巻上	横行	走行	巻上	横行	走行	巻上	起伏	旋回	巻上	横行	走行		
											6	45	18	15	40	50	0.6/6/12	18
定格出力 (kW)	30	2×100	110	55	2×45	5.5	2×11	12	1	2×3.7	350	90	30	45	3.7	2×11		
サイクルタイム (60m 運搬時)	セグメント 2ピース搬送時 470sec				(ストック位置からセ グメントリフターま で運搬時) 150sec							旋回 90° :50sec			走行 50m :50sec			
備考												無負荷巻上下:40sec			無負荷巻上下 :250sec			
												負荷巻上下 :80sec			負荷巻上下 :250sec			
												合計 :220sec			合計 :660sec			
												ジブ長さ 44.5m						

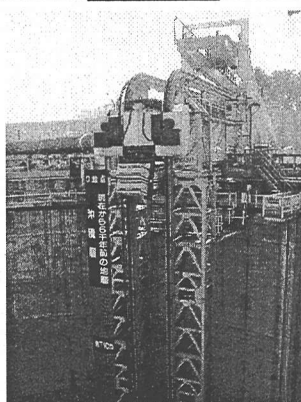


写真-5 テルハ (セグメントリフター)

表-11 バッテリー機関車の車輪(太線で囲ったものを採用)

項目	アルミ複合材車輪材 (アルキャン車輪)	鋳鋼車輪材		
摩擦係数	0.4	0.2		
耐摩耗性	素地がアルミであるため鋳鋼に比べてやや劣るが著しい差は見られない	優れている		
加工	鍛造加工	鍛造加工(自由度大)		
特徴	高粘性により牽引力の増大と制動距離の短縮につながる	摩擦係数の違いから制動距離が長い		
制動距離	Case 1	(a)	3.6m 以下	19.0m 以下
		(b)	5.4m 以下	30.0m 以下
	Case 2	(a)	7.1m 以下	12.0m 以下

注) case1 : 車両重量(牽引車)62kN+(積載車)136kN=198kN
50/1000 下り勾配 時速 8km/h 走行時(認定実験結果)
case2 : 車両重量(牽引車)62kN+(積載車)538kN=600kN
1/5000 上り勾配 時速 12km/h 走行時(本工事で試算)
(a) : レール乾燥時, (b) : レール散水時

定した。また、その他資機材の揚重設備として、表-10に示すクレーンから、高速化対応とセグメント搬送リフターが故障した場合のセグメント搬入能力を考慮して、

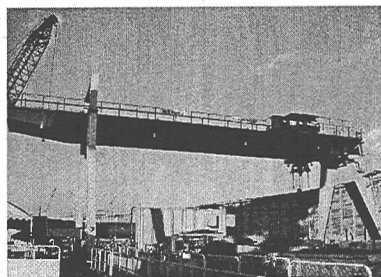


写真-6 クラブトロリ式橋形クレーン

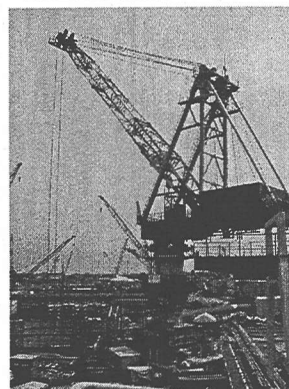


写真-7 タワークレーン (JCC1500H)

表-12 昇降設備(太線で囲ったものを採用)

昇降設備	仕様・規格	速度
既設エレベータ クライミング式	900kg, 13人乗	30m/min
新設エレベータ ラック式HCE-2000BS	2000kg, 30人乗	80m/min

地上部は写真-6に示すクラブトロリ式橋形クレーンを、立坑内への搬入出は写真-7に示す JCC1500H タワークレーンを選定した。タワークレーンと橋型クレーンの揚重能力には、表-10の比較表に示すように、GL-60m までの揚重作業ではタワークレーンを使用した場合、約 3 倍の差がある。

(7) 坑内運搬設備

本工事では掘進総延長の約 37%が R=250m の急曲線であるため、台車の曲線走行安定性と設備の経済性から、坑内運搬手段としてバッテリー機関車による軌条走行形式を選定した。バッテリー機関車の走行速度は制動距離から決定され、通常は前照灯の届く範囲の 20m を基本としているが、従来は既存バッテリー機関車の走行性能・経済性・安全性などから、走行速度を時速 6~8km 程度に



写真-8 シールド機運転室



写真-9 中央制御室

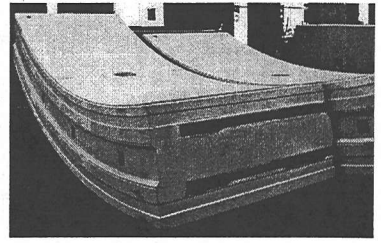


写真-10 軸方向水平コッター式 RC セグメント

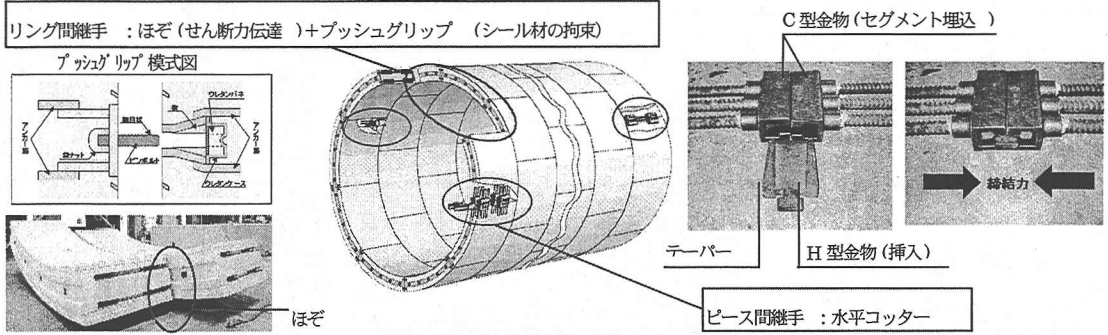


図-22 セグメント構造図

抑制してきた。一方、制動距離は車輪～レール間の摩擦係数に大きく影響されることから、本工事では高速化の一貫として表-11に示すように、従来に比べて制動距離が短いアルキャン車輪(高粘着係数車輪)を機関車の車輪に装着した。これにより、自動高速運転時の時速を12kmに向上させることができた。

(8) 昇降設備

従来使用されてきた工事用エレベーターはラック&ピニオン式であるが、表-12に示すように、作業員・職員の迅速な入退坑、大量の見学者受入れ、使用者のイライラ感解消などに対応できず、昇降速度・積載重量ともに高速施工に対応しているとは言えない。本工事では立坑作業床深度が60mと深く、地上～坑内間の昇降時間の増加は、以下の点で問題が大きいと判断した。

- ①実作業時間の減少
 - ②見学者対応時の工事関係者への入退坑制限による工事進捗への影響
 - ③作業員が感じるイライラ感が安全に与える影響
- このため、本工事では表-12に示す高速エレベーターを設置した。

(9) 情報通信設備

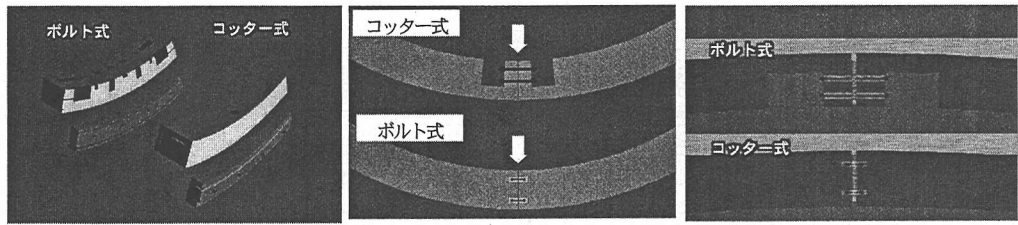
システムとしての泥水シールド工事を順調に進めるためには、正確な情報に基づいた判断・決定をタイムリーに現場に、しかも騒音・振動など厳しい音響環境条件下で確実に伝達することが不可欠であるため、写真-8, 9

に示す現場からの情報収集・データ分析システムや、現場への指示伝達システムを設置した。現場状況はITV監視システムやコンピュータによるデータ監視・分析システムにより中央制御室と現場事務所で常時把握可能とし、現場への指示はローカルPHSシステムで職員・作業員が常時携帯するPHS端末により確実な伝達を可能とした。

5. 合理化施工に対応したセグメント

本工事に開発・使用した軸方向水平コッター式RCセグメントを写真-10に示す。図-22に継手構造を示すが、ピース間を水平コッター式継手とし、リング間を「ほぞ(せん断伝達) + プッシュグリップ(止水シール拘束)」式継手とした。同セグメント構造の特徴を以下に示す。また、従来のボルト式継手構造との比較を図-23に示す。

- ①設計合理性が高い
 - ・継手部も複断面鉄筋構造である(正負曲げ剛性が同等で高く、同じ荷重条件下では覆工厚を薄くできる)
 - ・断面厚一定で断面欠損がない(主筋を均等に配置でき、束ね筋を必要としない)
- ②止水性・耐久性が高い
 - ・断面厚が一定で断面欠損がない(全断面で遮水厚を確保できる)
 - ・シール線が継手と交差しない(ダブルシールではバックアップ機構が完全に機能する)
 - ・断面厚が一定で断面欠損がない(全断面で遮水長が確



a) 断面欠損がない
 b) (継手も複鉄筋断面構造)
 ・内外曲げ剛性が同等かつ高い
 c)内側シール材がバックアップとして働く

図-23 水平コッター式継手の特徴

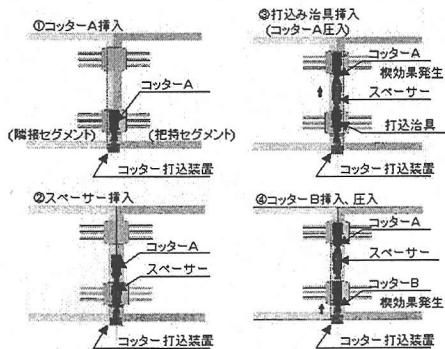


図-24 セグメント組立ステップ

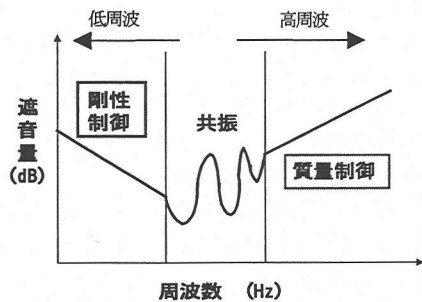


写真-11 防音・防振ハウス

保できる)

・鋼製部材が露出しない(鋼製部材に対して特別な防食対策を必要としない)

③耐震性が高い

・リングとして高剛性で、軸方向には靱性が高い

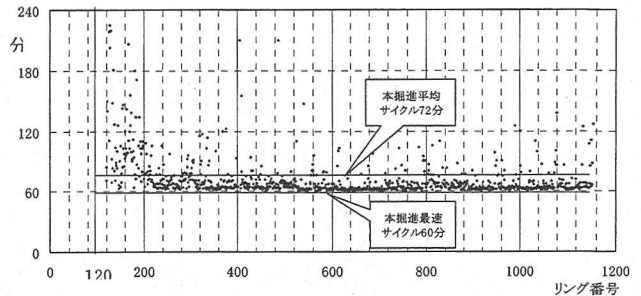


図-25 組立時間記録

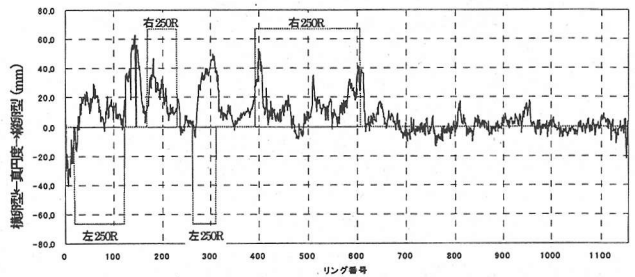


図-26 真円度測定結果一覧表

さらに、合理化施工・自動組立対応という観点からは以下の特徴を併せ持っている。

①軸方向の運動だけでセグメントの組立が可能である
 ②継手締結はコッター(楔)の軸方向押込みという直線運動のみで可能で、ボルトのような回転運動を必要としない

③増締めが不要である同セグメント組立てステップを図-24に示す。本工事では曲線部での高速施工を考慮し、テーパセグメントは坑口側片テーパとして、自動エレクターによる位置決め・軸方向コッター挿入などのセグメント組立プロセスを直線部・曲線部で同じとした。図-25に各リングの組立時間を、図-26に真円度測定結果を示す。

6. 合理化施工に対応した環境保全対策

合理化施工の基本である順調な掘進を維持するために

表-14 掘進実績表

掘進日	H11.2.16~H12.1.12	
掘進暦日	330日	
掘進距離	1396m	
日平均掘進距離	1396/330=4.23m/日	
本掘進時	月最大掘進距離	274.8m/月(25日稼働) (229R)
	月平均掘進距離	187.4m/月(暦日平均) (156R)

表-15 進捗データ

	暦日 (トラブル)	稼働日数 (損失日数)	稼働日当り 掘進リング数
初期掘進	H11.2.16 ~H11.4.26	46(2)	最高 6.0 平均 2.7
段取替え	H11.4.26 ~H11.6.6	45(0)	
本掘進	H11.6.7 ~H12.1.12	165(16)	最高 12.0 平均 7.3
	(中折れ部より 泥水噴出)	(6)	
	(到達仮壁より 泥水噴出)	(6)	

(1) トンネル進捗

トンネル進捗グラフを図-29に、掘進実績表を表-14に示す。また、初期掘進・段取り替え・本掘進の各段階における進捗データを表-15に示す。本シールドトンネル工事では、高水圧に起因するトラブルとしてシールド機中折れ部からの機内出水や到達仮壁からの出水などによる掘進中断があったが、最大月進捗274.8m、平均月進捗187.4mと同規模・他工区シールド工事における平均月進捗100~140mを上回った。これは、前述した合理化施工対策によるもので、特に、泥水処理における分級点変更による一次処理土の改良、排水・仮置き機能を有する残土ストックヤード、高速揚重・坑内搬送設備、水平コッター式RCセグメント採用などの効果が顕著であったためと考える。

枕木撤去後にインバートを打設して完成したトンネル覆工状況を写真-12に示す。同写真から分かるように、砂質土主体の洪積土層内で土被り51~53m、掘削外径12.04m、急曲線半径250m、トンネル下部での水圧約0.6MPaという厳しい計画・施工条件において、真円度が極めて高い、かつ漏水が皆無の地下河川トンネルが実現されている。

(2) 段取替え

段取替えは、以下に示す考え方に基づき合理化施工を図ることとした。

- ①資機材を取込む十分なスペースを確保する。
- ②油圧設備や裏込注入設備など配管・ホースを使用する機器は、負圧による過負荷、圧力損失、閉塞を防ぐた

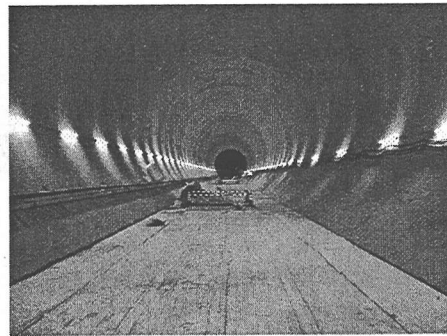


写真-12 トンネル覆工状況 (直線部)

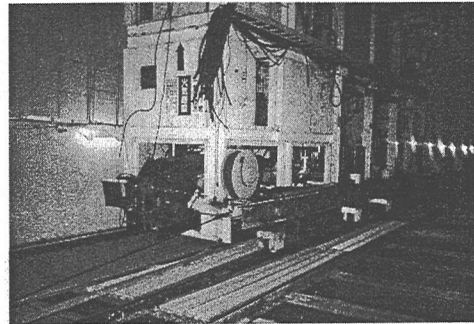


写真-13 後方台車牽引状況

め、立坑下に設置する。

- ③送排泥管や油圧ホースの捌きが容易となる台車配置とする。

計画では以下の2案を検討し、第2案を採用した。

- 第1案 仮テルハ、ホースドラム、バイパスバルブを組合せた台車で130R掘進し、本掘進の段取替えを行う。

- 第2案 上記台車で27R掘進した後、No.1台車の後方にホースドラムと受電設備台車を連結し、本掘進用のテルハ・坑内配管で119Rまで再掘進し、段取替えを行う。

第2案(図-30参照)を採用した理由を以下に示す。

- ①2回目の本段取替え作業が円滑となる。
- ②油圧ホース、送排泥ホースの捌きが不要となる。
- ③セグメントストックコンベアを使用し、セグメント自動組立が早く実現できる。

第2案採用による工程短縮は、以下に示すように20日となった。

第1案— 64日【当初計画工程】

第2案— 13日(第1回段取り替え)+31日(第2回段取り替え)【実績】

また、全体工程の短縮に貢献した項目として以下の点も挙げられる。

- ①押し出し用ジャッキの盛替えに代り、スパーサー鋼材連結による連続押し出しとすることで2日間の短縮を実現した。

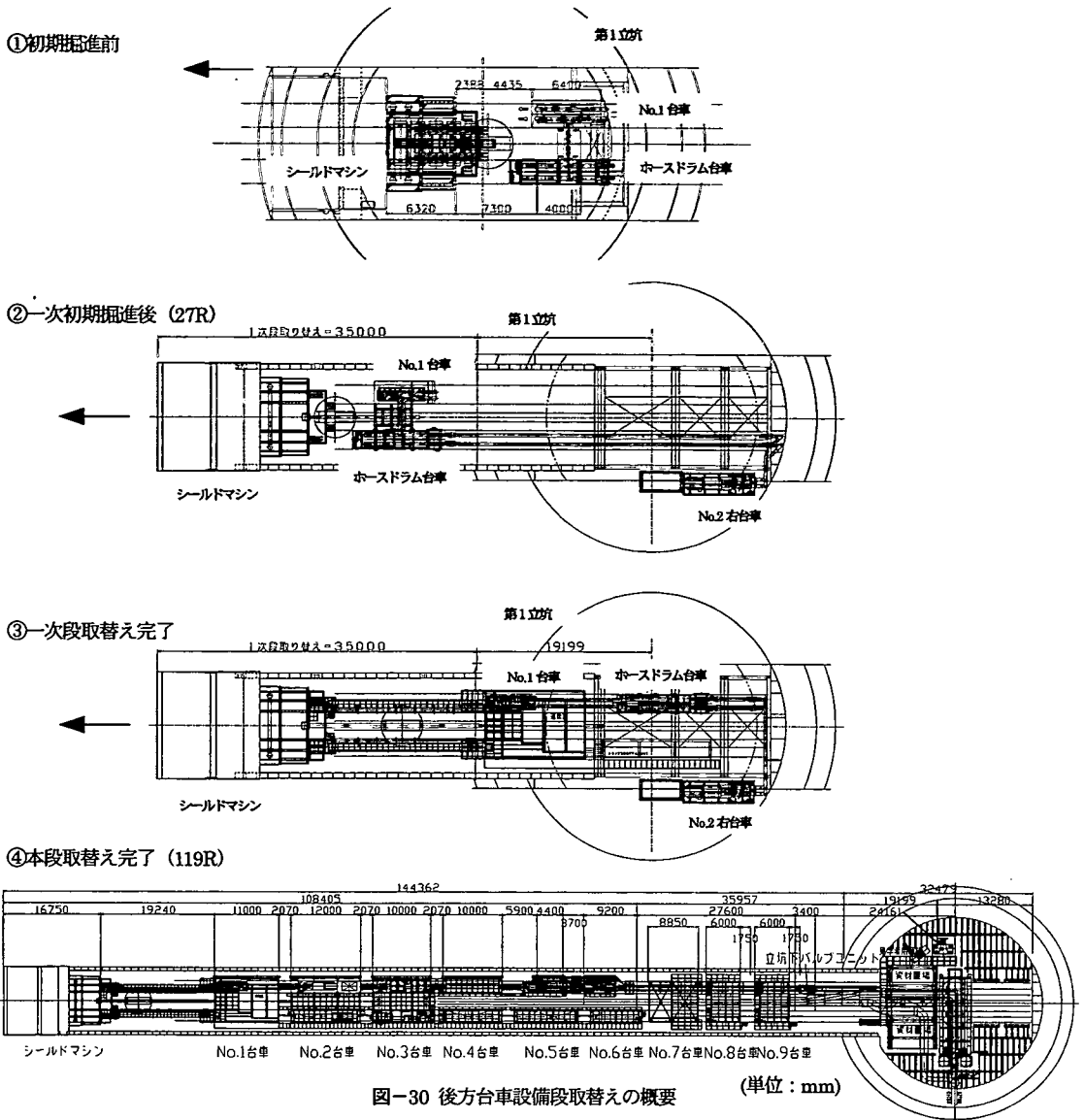


図-30 後方台車設備段取替の概要 (単位：mm)

②反力フレームの下部を本掘進時の作業床の一部として転用することで、解体・組立の工程短縮を実現した。

(3) 後方台車の解体

後方台車の解体はマシン解体と並行に作業することとしたため、坑内作業における安全性の確保、解体用揚重設備の設置を考慮して、地上へ一体搬出し解体することとした。

後方台車の搬出は、台車と機関車のレールゲージが異なるために、写真-13に示す車輪付きの鋼材を後方台車に取付け、機関車で牽引して、地上に引揚げた。解体期間は、坑内解体作業での60日(予想)に対して、地上解体で実績40日と20日短縮した。

(4) 軌道設備撤去

泥水シールドトンネル工事における軌道撤去は、トンネル工事全体工程の中でクリティカルとなる工種であり、通常は軌道上に移動式クレーンを設置して、枕木上の配管・配線、安全・作業通路、軌条、枕木の順にこれら機材を解体・積込・搬送しながら坑口まで後退する。しかしながら、この方法では坑内の限られた空間内に煩雑な作業を伴うため、合理化施工の実現だけでなく安全性の確保にも課題が多い。そこで、本工事では、図-31および写真-14に示すように、枕木上の配管・配線、安全・作業通路、軌条、枕木を約12m毎のブロックとして一括搬出し、地上で解体した。本方法により総延長1360mの

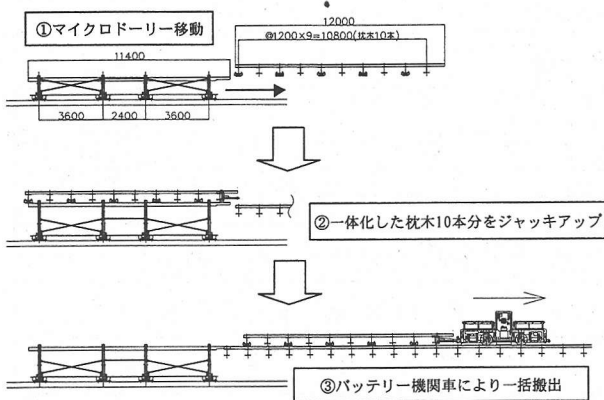


図-31 枕木解体システムフロー

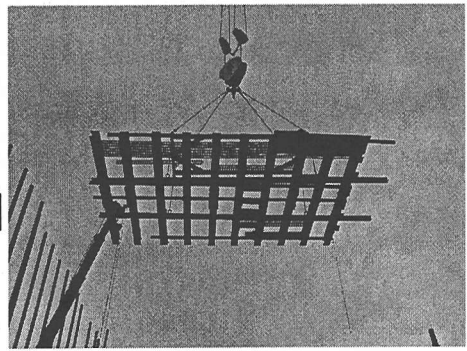


写真-14 枕木一括搬出状況

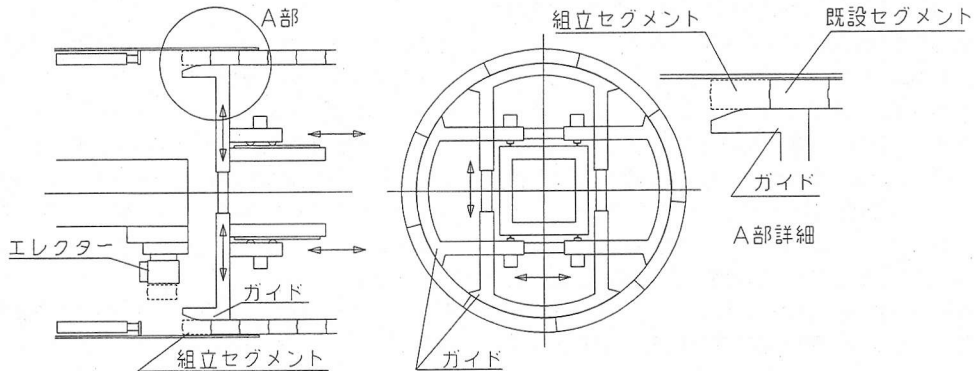


図-32 機械的倣い方式によるセグメント組立

軌道撤去は、従来方式の23日に比べ15日(7.5昼夜)と35%短縮された。

- ①初期掘進前
- ②一次初期掘進後 (27R)
- ③一次段取替え完了
- ④本段取替え完了 (119R)

8. 反省と今後の展望

(1) シールド設備

合理化施工対応に関する個々のシールド設備の反省と今後の対応については後述するが、設備計画策定に際しては、以下の点に特に留意しなければならない。

- ①設備機器の致命的なトラブル発生を防止するためのメンテナンススケジュール
- ②発生したトラブルによるロスタイムを最小とするための即応体制の確立
- ③設備機器の作動不良を防止するためのスペアパーツ在庫管理

本工事では、①～③に示す点に留意した結果、表-15に示すトラブルでの損失(16日)以外、設備機器による

損失は発生しなかった。

a) シールド機

推進ジャッキ伸縮速度・カッター回転数などのシールド機装備能力の合理化施工対応は経済性(製作費)を考慮して決定すべきであるが、更なる合理化を図るためには、シールドトンネル工法をシステムとして捉え、シールド機～土砂搬送設備～土砂処理設備～土砂ストック設備～土砂搬出設備～土砂処分地輸送というサイクルと、セグメント組立～軌条・配管設置～セグメント・資機材搬送～セグメント・資機材坑内取込み～セグメント・資機材ストック～セグメント・資機材輸送というサイクルをバランスよく高速対応とする設備計画が不可欠である。また、高速施工によるビット磨耗防止効果は掘進可能延長の増大となるため、更なる検討が重要である。

本工事では、シールド機テールプレートが中折れジャッキ破損に伴い縦型変形を起こし、中折れ部シールから出水して6日間のロスタイムが発生した。高水圧・急曲線・大口径といった計画条件下のシールド機設計時には、応力的だけでなく、鋼殻の変形や各機器装備能力のバランスについても十分検討することが重要である。特に、大口径・高水圧・急曲線条件下では、同時裏込注入管やテールシール充填材注入管をテールプレート内に設

表-16 主材固結遅延型裏込注入工法の配合および試験結果例(マーメイド工法)

配合例	1m3 配合						
	A液				B液		
	マーメイドソイル (主材) (kg)	マーメイドクレー (助材) (kg)	マーメイド3号 (安定材) (リットル)	水 (リットル)	マーメイドJET (急結材) (リットル)		
1	260	65	3.8	886	80		
2	250	65	3.2	890	70		
配合例	室内試験結果						
	A液フロー値	A液プリージング	ゲルタイム	圧縮強度			
	(秒)	(%)	(秒)	(N/mm ²)以上			
				1時間	1日	7日	28日
1	8.5~9.5	5以下	5~20	0.02	0.49	0.98	1.96
2	8.5~9.5	5以下	5~20	0.01	0.29	0.69	1.47

置すると板厚が薄くなり剛性が低下するため、異常変形の発生する危険性が極めて高く注意を要する。

また、自動エレクターでは、最新既設リング形状をセンシングした後、数値シミュレーションによる微い制御としたため、セグメント継手に軸方向水平コッターを採用したものの、9等分割セグメントの組立時間は60分程度であった。今後は、コッターを予め継手にセットしておく先付けコッター式によるワンパス化や、リング型ガイドフレーム(図-32参照、形状保持装置前方に設置)を最新既設リングに内接させることでメカニカルな微い制御とすることが、組立時間短縮(50%程度)と自動エレクター製作費節減に有効であると考えられる。

b) 裏込め注入設備

現在広く採用されている二液混合タイプの可塑性注入材は、シールド機内からの同時注入であれ、セグメントからの即時注入あれ、その目的に最も適したものであるが、合理化施工という観点からは以下の項目について改良を加える必要がある

①裏込め注入材主材の固結時間を表-16に示す裏込め注入工法のように1週間程度まで延長できること

- 作業交替やトラブルなど掘進停止・断続時も、配管内で固化した注入材の除去作業や、固化対策として破棄した主材の再作泥作業に伴うロスタイムをなくす

②機内同時注入では、固化材が付着・堆積しにくい注入管の開発や、確実な清掃機構の改良

- 機内注入管の閉塞による掘進停止を防止する

c) 泥水輸送設備

泥水輸送設備における配管は、複雑な管加工や現地合わせを必要としないように、できるだけ直線的でシンプルな配置計画とすることが、工期短縮のためにも、流体輸送効率向上のためにも望ましい。このため、送排泥管配置計画では、泥水処理設備位置～立坑内配置位置～坑内配置位置で、配管抵抗を最小とするような配置とする。即ち、シールド機後続設備や配管の坑内での配置計画は、泥水処理設備位置に合わせて実施する。密度計は、直線的な配管で密度計測が可能なγ線式密度計を使用するべ

きである。

また、高水圧下の泥水シールド工事では、排泥ポンプのメカニカルシールドトラブルに関わるロスタイムが大きいため、ポンプメカニカルシールの耐久性向上、メカニカルシールの止水性向上、ポンプの電動機とポンプの軸の芯ずれによる異常振動測定・分析システム開発が望まれる。排泥ポンプの電動機とポンプ軸の芯ずれが許容以内であれば、異常振動を防止する対策として以下の検討が必要である。

- ①排泥ライン～排泥ポンプ間にたわみ性継手を採用する
- ②排泥ポンプ設置フレームを高剛性化する
- ③排泥ポンプおよび近傍配管の固定部に防振ゴムを敷設する

さらに、排泥ポンプの各回転数域での固有振動数を予め計測しておけば、メカニカルシールや軸受けに対して排泥ポンプの振動振幅が許容値以下であるかの確認が可能となる。

排泥ライン閉塞時の水撃作用対策として、従来は排泥ポンプ吸込み側と吐出し側にアキュムレーターを設置して急激な圧力変動を軽減させているが、シールド機隔壁に空気溜り(エアタンク)や、排泥ラインから送泥ラインへのバイパス回路を設置することで切羽圧力や排泥管内圧力の変動を吸収することも今後の検討事項である。

d) 泥水処理設備

サイクロンによる一次～二次処理土の分級点を従来の74μmから200~500μmとすることで、一次処理土内の細粒分低減による流動化防止、および二次処理土内の砂分増加による脱水性・圧密性向上に関して、掘削断面内での細粒分が30~40%以下の部位では当初計画通りの効果を得た。しかしながら、細粒分が40%以上の部位では、二次処理対象泥水量が増加し、さらに添加砂分も減少したため、フィルタープレスの泥水処理能力が不足して二次処理を待つ掘進を開始するという状況が見られた。この対策としてフィルタープレスに打ち込む泥水の前処理としてスクリュウデカンタによる含水量低下を図った。

今後は、掘削断面での土質構成に対応して最適な分級

点を検知・設定できるシステムの開発が望まれる。また、フィルタープレスによる脱水・圧密速度を向上させる対策として、前処理としてスクリュウデカンタなどによる処理泥水の含水量低減、濾過面に取り付けた突起による排水経路短縮・濾過面積増加や脱水・圧密中の濾板加振による土粒子再配列による脱水・圧密促進などが考えられる。

その他、粘性土対策として以下の検討も重要である。

- ①フィルタープレスへの泥水の高圧打込と圧搾に適應できるタフで目詰まりの少ない濾布の開発
- ②フィルタープレスへの送泥管の砂分による閉塞防止対策と閉塞解除対策の強化
- ③フィルタープレスへの送泥管閉塞防止のため、二次処理泥水への添加砂分の一定化

e) 土砂ストック設備

当初計画に対して約5倍のストック容量を持つ土砂ストック設備は合理化施工対策として特に有効で、雨天で土砂搬出先の高規格堤防の盛土が不可能で残土が1週間搬出できない期間も、掘進をストップする事態には至らなかった。また、ストックヤード底面を排水型としたことで、土中の不要な水分をダンプ運搬することがなく、残土運搬効率も実質的に増加した。

今後は、密集した市街地で十分な用地が確保できない施工条件下のシールド工事では、ストックヤードの高層化や、ストックヤード底面・側面への排水・脱水機能の付加が有効と考える。

f) 揚重設備

現状の積算基準では合理化施工効果を取り入れる手法が確立されていないため、その経済的妥当性を明確に出来ないものの、本工事で採用したタワークレーンは揚重能力と揚重速度が早く、以下のメリットがあった。

- ①シールド機立坑投入・組立作業にも使用可能であった
- ②初期掘進時やセグメントリフター故障時にセグメント投入に使用しても工程上支障がなかった
- ③セグメント以外の資機材の取り込みがクリティカルとなることがなかった
- ④軌道撤去時、立坑まで牽引した10リング分の軌道設備(枕木、レール、通路、手摺りなど)を一括で立坑外に撤去可能であった

立坑に設置したセグメントリフトでは、以下の点で今後の改良が望まれる。

- ①降雨時における電力供給機構の絶縁性能の向上
- ②セグメント把持機構の強度・確実性の向上とロック機構の改良
- ③空荷走行時の高速化
- ④制御機器の振動対策と発熱防止対策
- ⑤本体降下時の再生抵抗を利用した発電による省エネ化
- ⑥配管、枕木、レールなどの搬送が可能なハンドリング装置の開発

g) 坑内運搬設備

坑内運搬設備では、摩擦係数の高いアルキャン車輪を採用することで従来の50%増の高速化を図ったが、同時に自動化も図ったため、更なる高速化には限界があった。自動化に要するコストは大きく、切羽が進行する各段階で有人運転が必要となることを考慮すれば、坑内運搬設備は有人運転として更なる高速化を目指す方が合理的である。

また、坑内輸送の高速化では、工事関係者の通行・作業空間と運搬機器の走行空間から完全に分離することが、工事安全上からも不可欠である。

さらに、長距離掘進での合理化施工を可能とするためには、十分な換気を行い、内燃機関による坑内輸送の採用を検討すべきである。水平コッター式RCセグメントは継手剛性が高く複鉄筋断面構造と同様の設計が可能で、ピース間継手位置を互いにずらす『千鳥組』が不要で、『いも継ぎ』が可能であることから、インバート用セグメントを製作・使用することで、内燃機関によるタイヤ式車両による坑内高速輸送が可能であるだけでなく、インバート施工の工程短縮も可能となる。

h) 昇降設備

エレベーターの高速化・大容量化は、多数の見学者来場に対してもトンネル進捗が影響されなかっただけでなく、工事関係者にも作業場所への移動時間が短縮されるということで好評、且つ、有効であった。工事用エレベーターは、今後、ビル用エレベーターのようにワイヤーで牽引するタイプとして更なる高速化を図ることが、合理化施工だけでなく、工事関係者の心理上の効果による安全対策の一環として有効である。

(2) セグメント

軸方向水平コッター式RCセグメントでは、今後の合理化施工対策として以下の項目について開発・改良が望まれる。

- ①コッターを予めセグメントピースの一方に挿入・設置し、位置決め後に切羽側から坑口側に押込む動作のみでセグメントを組立てる方法
・リング間継手は、本セグメントの設計方針である「リング間せん断力の伝達はほぞで、リング間止水シールの拘束確保は楔ピンで確保する」で特に問題ない。
- ②本セグメントは継手剛性が正負曲げともに本体とほぼ同等であり、従来のボルト式セグメントに要求される千鳥組みは必ずしも必要ない。即ち、『いも継ぎ』とすることで、合理化組立が可能となるだけでなく、インバート部分のセグメントに予めインバートコンクリートを打設しておくことで全体工程の短縮が期待できる。また、坑内輸送に内燃機関によるタイヤ式搬送車両を利用できる。

(3) 環境保全対策

良好な社会資産形成という目標を掲げても近年の建設工事に対する社会の見方は厳しくなる一方であり、騒音・振動防止、大気・水質保全、景観維持など環境に留意した設計・施工は、今後も更なる厳しいレベルの要求を満たすことが緊急の課題である。このような観点に加えて合理化施工をも考慮すれば、将来のシールド工事で透明・半透明のテント式ドームなど坑外設備機器を外界から完全に遮断しながらも社会との接触を維持できる設備が必要となる日は近い。

9. おわりに

本報告では、『良好な社会資産を低コストで形成する』社会的要求の一環として、今後も採用される機会の多い泥水シールドトンネル工事における合理化施工について、首都圏外郭放水路第1工区トンネル新設工事を例として、施工計画立案の基本的考え方、計画された設備概要、施工結果と今後の展望をまとめた。

本トンネル工事は平成9年2月6日に工事契約後、約1年間の施工計画策定作業を経て、平成10年4月～平成11年2月の約10ヶ月でシールド仮設備を設置し、平成11年2月17日からトンネル掘進を開始した。トンネルは平

成12年1月11日に到達立坑に上下1m、左右5mの精度で到達し、その後は仮設備撤去工事、インバート打設工事などを行い平成12年12月でトンネル工事はほぼ完了し、平成13年3月末に竣工した。本工事では前例や慣習に囚われることなく、合理化施工という大目的を実現するためのシールド仮設備計画を策定し、当初計画の工程を大きく短縮することができた。本報告が類似条件下のトンネル工事の参考となれば幸いである。

参考文献

- 1) 宮尾博一、鴨下由男、江口公道、福本勝司：地下河川で採用した水平コッター式セグメント―首都圏外郭放水路第1工区一、トンネルと地下、pp.37-46、第32巻7号、2001.
- 2) 国土交通省 関東地方整備局 江戸川工事事務所：首都圏外郭放水路、1998.
- 3) 国土交通省 関東地方整備局 江戸川工事事務所 (平成3年9月台風洪水状況-草加市周辺-)

(2001.4.19 受付)

RAPID SHIELD TUNNELING IN METROPOLITAN OUTER-DISCHARGE PROJECT, TUNNEL CONTRACT NO.1

Toshiyuki KANO, Kiyofumi TAKEUTI, Masami SHIRATO, Mikio KUROKAWA,
Makoto KANAI and Katsuji FUKUMOTO

The paper discusses how a construction cost and period could be sliced in a slurry shield tunnel for flood diversion with planning conditions of large, long, deep and steep-curved tunneling under high water-pressure. A wedge axially lodged lining segment with rigid and durable joint which is easy-to-assemble was firstly applied, and the tunnel logistics was pursued by breaking precedents and unsubstantial constraints. Consequently cost-cutting of 3.6% and tunneling period-cutting of 12% was achieved. The result confirms authors' argument that rapid tunneling could be achieved by smooth disposal of excavated muck from stockyard at access shaft, i.e. by rationalization in tunneling logistics and by being equipped with matching capacity of back-up facilities.