



大深度、大断面シールドトンネルの設計・施工技術に関する研究

大深度、大断面シールド技術の開発

研究目的

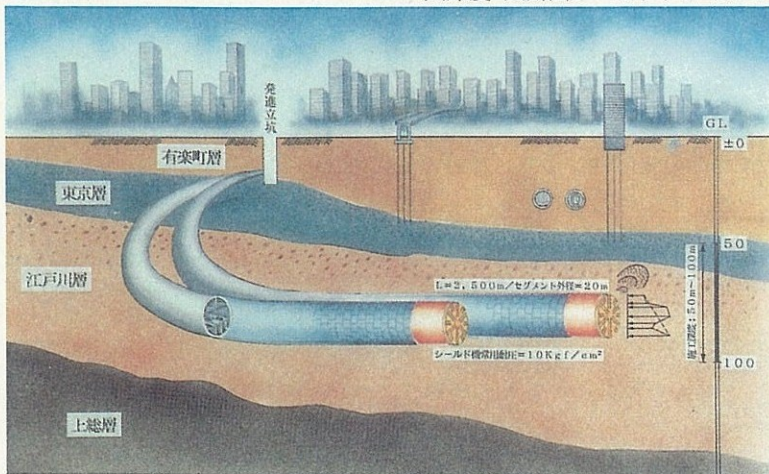
シールドトンネル工法は、これまでの豊富な実績と工法が持つ特徴を考慮すれば今後の大深度、大断面の地下空間の建設に対して実現性の高い技術を有しているものの、現状の技術レベルでは対応しきれない問題点も多く残されている。

本研究では、実態調査、現行技術水準の把握を行い、技術的問題点についての整理検討を行うとともに、未知の技術である大深度、大断面シールドトンネルに必要な設計・施工技術の開発を行うものである。

前提条件

項目	条件
道路トンネル	3車線(第2種、第1級)
トンネル外径	φ20m
掘進距離	2,500m片押し(一般部)
施工深度	GL-50m(土被り)~100m(トンネル下端)
施工地盤	江戸川層及びその上位層すべて
掘削方式	泥水式、泥土圧式

大深度・大断面シールドトンネル▼



研究内容

- ① 地盤環境の保全**
 - 地盤変状の予測・対策
 - 地下水への影響(流況・汚染)
- ② 作用荷重**
 - 土水圧の評価
- ③ 一次覆工**
 - 構造：継ぎ手構造、試設計
 - 組立：自動化
- ④ 切羽安定機構**
 - 泥水式：泥水特性(逸泥)
 - 泥土圧式：添加材、止水機構(スクリーンコンベヤ)
- ⑤ 先方地山検知**
 - 電磁波探査法
 - 比抵抗法
- ⑥ 掘削機構(カッター構造)**
 - 高速掘削
 - 長距離掘削
- ⑦ 高圧シール**
 - テールシール：ワイヤブラシ型パッキン
 - カッターシール：シールリップの解析

セグメント外径20m、
施工深度50~100m、L=2500m

シールド機常用耐圧10kgf/cm²

研究成果

① 地盤環境の保全

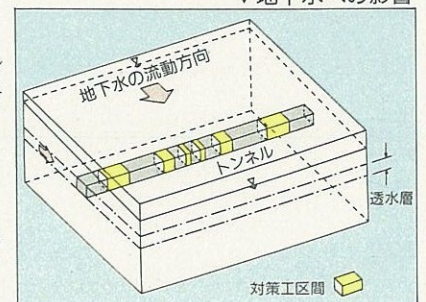
[1] 地盤変状の影響予想・対策技術：有限要素法による地盤変状の予測に関し、切羽安定・裏込め注入等の施工条件を考慮した応力解放モデルの設定方法を示し、大深度、大断面シールドの地盤変状の予測と対策工の評価を合理的に行う手法を提案した。

[2] 地下水への影響：三次元浸透流解析により、地下水の遮断、水みちの形成等シールドトンネル構築による地下水位への影響、さらにこれらの影響を小さくするための対策工の効果を定量的に評価した。

② 作用荷重

大深度、大断面化に伴う覆工構造の合理化を考え、作用荷重の評価法を、土水圧の実測例調査・遠心力載荷模型実験等から検討した。深度50m程度までの作用荷重の評価については、現行の設計法の考え方で概ね適用可能であると考えられた。

▼地下水への影響



三次元浸透流解析モデル

③一次覆工

[1]覆工構造：大深度の良好な地盤条件下における合理的な覆工構造について、梁—ばねモデル解析等による検討を行い、千鳥組よりもいも継ぎとした方が経済的覆工となる場合のあることを示した。後者の場合、RCセグメントの寸法は、たとえば、厚さ0.8m、幅1.5m(16分割で1ピース重量約12t)となる。

[2]組立システム：大断面セグメント組立における施工効率の向上を図るため、外径20mのRCセグメントを対象モデルとして、セグメント搬送・供給、位置決め、ボルト締結装置の提案をした。

④切羽安定

[1]泥水性状(泥水式シールド)：泥水性状による切羽の安定を検討するため、高圧力差(2kgf/cm²)での泥水実験を実施した。その結果、従来の泥水性状でも、早期に泥膜の形成が可能であるが、泥膜形成までの脱水量が増加の傾向にあることを確認した。

[2]スクリーコンベヤ(泥土圧式シールド)：スクリーコンベヤの止水・山留め作用が、プラグゾーンにより発揮されると予測。実験により強固なプラグゾーン(長さ・強さ)が、止水・山留めを効果的に行うことを確認した。

[3]添加材(泥土圧式シールド)：切羽安定に対し添加材の実験を行い、止水性として水圧10kgf/cm²に対応できることを確認した。また、攪拌及び止水性実験機を用いて、添加材の選定や添加材の濃度、粘性、注入率などの設定方法を提案した。

⑤先方地山検知

各種物理探査法の適応性検討を行い、電磁波及び比抵抗探査法の2方法に関し実験を実施し、大深度、大断面シールド掘削機への開発実現性を確認した。

⑥掘削機構(カッター構造)

高速・長距離掘削という課題に対して、ビットの切削性能・耐久性、カッター構造を検討した。カッタービットの切削性能を評価する実験式を得るとともにパス数増加による摩耗係数の低減効果を明らかにした。カッター構造に関しては、単一面板、二重面板方式を提案した。

⑦高圧シール

[1]テールシール：高機能ブラシパッキンと高性能充填材によるテールシールシステムを提案し、耐水圧性能20kgf/cm²を実験により確認した。

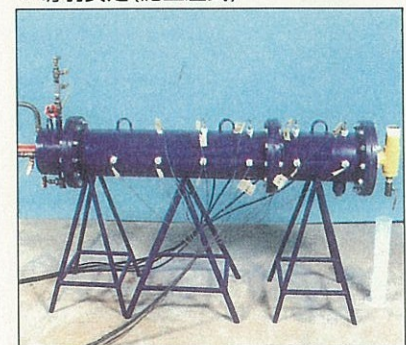
[2]カッターシール：複数の多段リップ土砂シールと背圧シールを組合わせた高圧カッターシールを提案した。摺動径3mの実験結果、回転時耐圧15kgf/cm²での止水性、摺動距離2000kmでのシールの耐摩耗性が良好であることを確認した。

▼切羽安定(泥水式)



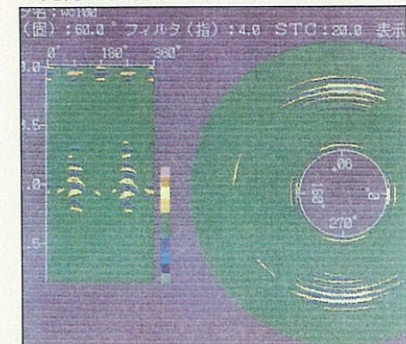
高圧力差2kgf/cm²での泥水実験

▼切羽安定(泥土圧式)



添加材による止水性10kgf/cm²実験

▼先方地山検知



電磁波探査結果の表示例

▼高圧シール(テールシール)



耐水圧性能20kgf/cm²

共同研究者

建設省土木研究所トンネル研究室

株小松製作所 鉄建建設株 戸田建設株 飛鳥建設株 日本鋼管株 日本国土開発株 株間組

日立建機株 株フジタ 不動建設株 前田建設工業株 三井造船株

掘削土搬出・処理システムの開発

研究目的

地下深部に大断面の道路トンネルを構築する場合、大深度、大断面シールドの設計・施工技術とともに、大量に発生する掘削土をトンネル切羽から地上部まで効率的に搬出し、処理するシステムが必要となる。

本研究は、掘削土搬出・処理方法の現状技術を調査し、大深度、大断面シールドへの適用性を把握するとともに、その必要設備数、配置及び全体管理システムに関する提案を行ったものである。

研究内容

掘削土搬出・処理方法調査

〈アンケート実態調査〉

- 泥水加圧式シールド工法
- 土圧式シールド工法
 - ・ 深度30m以上
 - ・ シールド口径7m以上

施工方法の検討

〈ケーススタディ〉

- トンネル外径20m
- 掘進距離2500m
- 施工深度GL-50~-100m
- 施工地盤：江戸川層

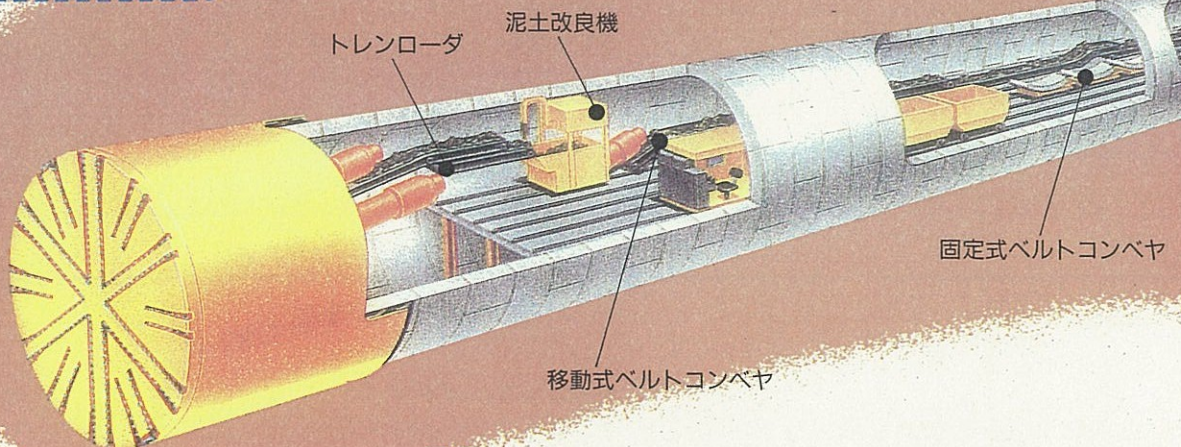
〈実験〉

- 土砂量計測実験
- 土砂圧送実験
- 泥土改良実験

掘削土搬出・処理
システム技術の提案

研究項目

- | |
|----------------------------|
| a. 泥水輸送(泥水加圧式) |
| ● 輸送可能距離 |
| ● 輸送制御……………管理・制御方法及び検出装置 |
| ● 輸送能力……………パイプ径及びポンプ台数、能力等 |
| b. 泥水処理(泥水加圧式) |
| ● 処理制御……………管理・制御方法 |
| ● 処理能力 |
| ● 処理スペース |
| c. 土砂圧送(土圧式) |
| ● 圧送制御……………管理・制御方法及び検出装置 |
| ● 圧送能力……………パイプ径及びポンプ台数・能力等 |
| ● トンネル部から立坑部への乗継ぎの有無とその方法 |
| ● 輸送可能距離 |
| d. ズリ口搬送(土圧式) |
| ● 搬送制御……………管理・制御方法 |
| ● 搬送能力……………車輛能力及び規模 |
| ● 乗継ぎ方法 |
| ● 搬送可能距離 |
| e. ベルトコンベヤ輸送(土圧式) |
| ● 輸送可能距離……………長距離輸送の可能性 |
| ● 輸送制御……………管理・制御方法 |
| ● 輸送能力……………能力及び規模 |
| ● トンネル部から立坑部への乗継ぎの有無とその方法 |



〈ケーススタディ結果〉

泥水加圧式シールド工法

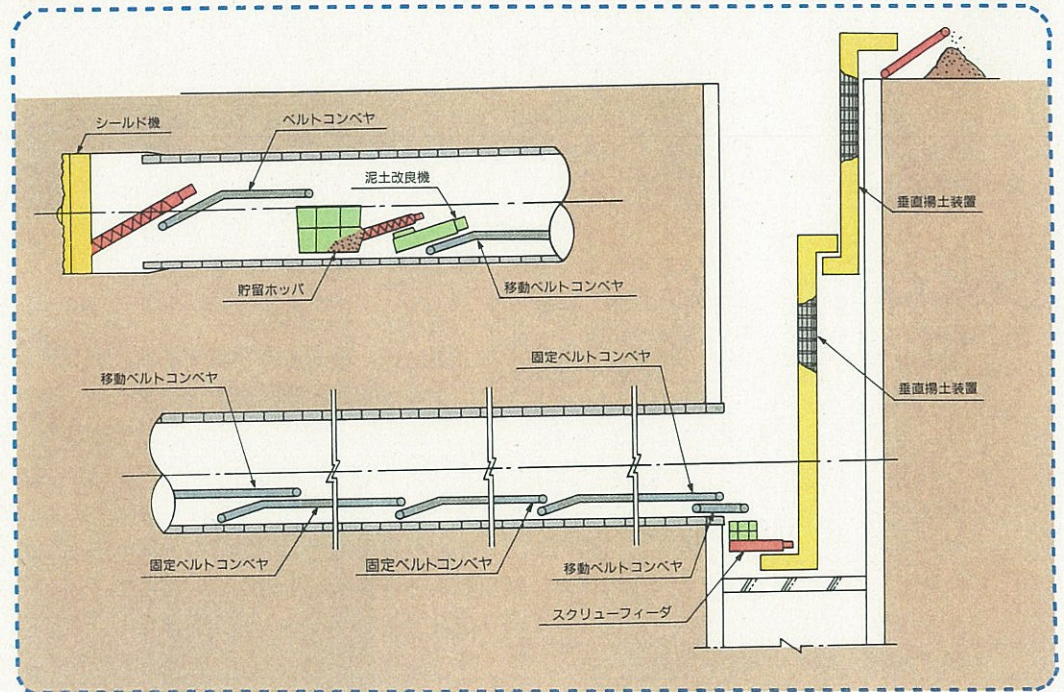
搬出・処理方式	設備名	仕様	台数	備考
泥水輸送	送泥ポンプ	350φ、16.8m ³ /min、400kw	6	1系列2台3系列
	排泥ポンプ	350φ、22.2m ³ /min、560kw	15	1系列2台3系列
泥水処理	設備必要占有面積	6300m ²		立体的に利用した場合2000m ²
	一次処理	14m ³ /min	6	
	二次処理	加圧脱水機13m ³ /h	15	遠心脱水機の場合25m ² 8台

土圧式シールド工法

搬出・処理方法	設備名	仕様	台数	備考
土砂圧送	圧送ポンプ	110m ³ /h	60	1系列10台6系列
	チャージングホッパ	240m ³	2	
ズリトロ	バッテリー機関車	16t	20	
	ズリ鋼車	8m ³	80	1編成4輛20編成
ベルトコンベヤ	ベルトコンベヤ	1550m ³ /h、90kw、機長200m	13	
立坑部搬送	バケットエレベータ	120m ³ /h、揚程60m	8	1系列2台4系列
	立坑下ホッパ	60m ³	4	

搬送システム概念

▼全体管理システム1例(ベルトコンベヤ方式)



垂直揚土搬送機

スクリューフィーダ

管理項目

項目	目的
泥土改良機の運転管理	●シールド機排出泥土量に合わせて、泥土を適切な性状に改良処理する。
固定式ベルトコンベヤの運転管理	●ベルトコンベヤの正常な運転を監視し、異常時は、内容・位置を表示するとともに上流側の各装置やシールド機の掘進を停止させる。
トリップ付ベルトコンベヤ並びに受けホッパの管理	●受けホッパに適正な量の土量が入るように、トリップ付ベルトコンベヤへの運転指示
連続垂直揚土装置	●揚土装置の運転管理 ●装置の停止時(4基中1基)、上流側のトリップ付ベルトコンベヤへの運転指示
全体管理	●各設備の処理量・搬送量の把握