

長距離シールド掘削と防食シート採用の二次覆工

真船清司* 松枝浩太郎* 木戸義和**

全長 5.2km に及ぶシンガポールの長距離下水道建設にあたり、掘削及び二次覆工をいかに効率の良い方法で高速に行なうか？ 施工方法及び設備計画が非常に重要なポイントであった。当社の数多い海外のシールドトンネルプロジェクトの実績に基づき、高速施工のための設備と機械配置を試みた。長距離シールドトンネル工事で採用した掘削及び二次覆工の施工方法及び設備について報告する。

キーワード：シールド掘進，二次覆工，防食シート，100年耐久

1. はじめに

シンガポール政府は、大深度トンネルによる新しい下水道システム建設工事を行なっている。新しい下水道システムは、政府の全ての水に関する部門を一本化し、水を1滴も無駄にしないことを目的とするプロジェクトである。例えば、下水道の水を飲料水（シンガポールではニューウォーターと呼んでいる）に再利用する計画も盛り込まれており、シンガポールの慢性的な水不足解消策の一翼を担っている。シンガポール政府の工事担当機関は、当初、環境庁内の下水道局であったが、上記ニューウォーター計画の進行に伴い、上水、雨水、汚水の各部門を統合編成し、現在は Public Utilities Board と改名してプロジェクトを担当している。

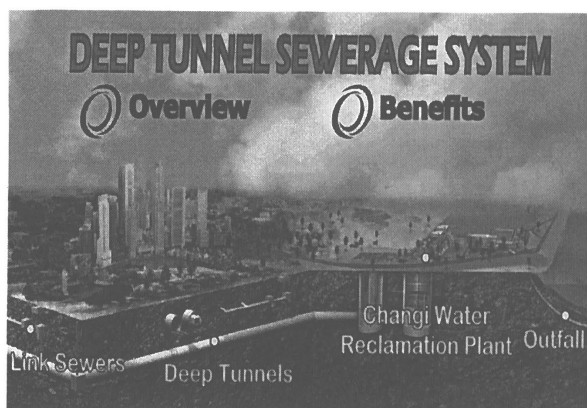


Fig. 1 プロジェクト概要

政府は、この新しい下水道システムの完成により、現在稼動している 146ヶ所のポンプ場及び6ヶ所の処理場が将来 unnecessary になる事から、この余剰の土地の有効活用を考えている。そのため、建設費用は十分に補うとともに利潤に繋がると公表した。

* 海外本部 シンガポール事業所

** 土木事業本部

大深度トンネルシステム下水建設工事は、今回が第一期工事で、全長約 40 km の下水道幹線を建設する。

当社施工の T 0 - 3 工区は、全工区の中でほぼ真中に位置し、当社施工中の地下鉄東北線 705 工区と交差するとともに、ルート的大部分が高速道路の直下に位置している。

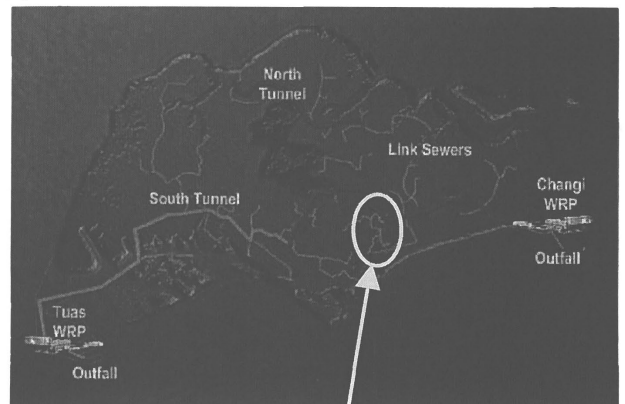


Fig. 2 施工区間

本工事の課題は、

- ① 建造物の 100 年耐久が要求されており、品質管理には十分に注意を払う必要があること
 - ② 工程上から高速施工を求められていること
- である。そのため、工事全般の施工計画を行なうにあたり、各々の条件をクリアできる、慎重かつ斬新な発想での施工計画の必要性が生じた。

シールド掘削は、延長が最長時においても、シールド掘進、セグメント組み立て後、直ちに掘削が開始できるようなサイクルタイムを計画した。また、二次覆工においては、型枠 3 台を同時に施工する計画を行なった。さらに、技術的に未開分野の防食シート採用による二次覆工は、型枠と防食シートの両メーカーと検討とともに各種試験を実施し、工法の確立を行なった。

本報告は、泥土圧シールド工法による大深度長距離シールド掘削及び新工法である防食シートを採用した二次覆工の施工方法及び設備について報告する。

2. 工事概略

1. 工事名称 : 大深度トンネル下水道システム建設工事(T0-3)
2. 工事場所 : シンガポール共和国 パヤレバ地区
3. 契約工期 : 2000年1月12日～2003年12月9日
4. 発注者 : Public Utilities Board (政府機関)
5. 施工コンサル : CH2M/PB JV (アメリカ)
6. 請負形態 : 設計施工、一式契約 (一部単価契約)
7. JV 形態 : 熊谷組 (SP) / SembCorp JV
JV 比率 (50%/50%)
8. 設計 : 仮設計 熊谷組 / SembCorp JV
本設計全般 Hyder 社 (イギリス)、
トンネル設計 Geoconsalt 社 (オーストリー)
9. 掘削地山 : 沖積層と洪積層の砂と粘性土の互層
一様でなく、急激に変化する
10. トンネル延長 : 5155m
(勾配 0.5% 最小曲線 R=320m)
(土被り 25～32m)
11. 一次覆工 : セグメント製作
Readland Precast Concrete Products 社 (香港)
セグメントモールド CBE 社 (フランス)
RCセグメント (ストレートボルト) / 外径 7.0m
厚さ 250mm / 幅 1.5m
12. 二次覆工 : 仕上り内径 6.04m / コンクリート巻き厚 230mm
13. HDPEシート : Engineering Linings 社 (南アフリカ)
厚さ 2.5mm 100年耐久性保証
14. アクセス立坑 : 4ヶ所
15. 接続横坑 : 仕上り内空 2m / 全長 322m (NATM 工法)
16. 臭気制御 : 2ヶ所 (設備含まず)
17. シールドマシン : EPBS / Dual Mode type
掘削外径 7.2m / 長さ 8.8m
最大トルク 860 tfm / 総推力 4,800 tf

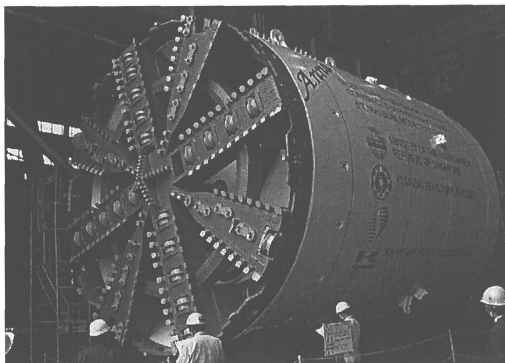


Photo. 1 シールドマシン (土圧式)

3. シールド掘削

3. 1 排土及び運搬システム

3. 1. 1 コンセプト

長距離シールド掘削及び二次覆工である。よって作業の優位性、特に二次覆工時を想定した場合、軌条設備は簡素に計画すべきである。よって軌条は全線単線で計画

した。また掘削土の搬出方法は、施工指定の土捨て場の条件・状況により、海外で一般的な方式であるズリトロによる排土方式を採用した。

以下の項目を基に排土計画を行なった。

1. 1車両編成で、Ring 分の進捗に必要な排土能力及びセグメント運搬が可能。
2. 運搬速度は、排土積荷時において最低 10km/時の速度。
3. 保守点検が容易で耐久性に優れ、スペア等の調達が容易。
4. 路上に設置したズリピットへの搬出操作が容易。

3. 1. 2 構内設備

掘削の排土及びセグメント運搬は、Schoma 社 (ドイツ製) の 25t ディーゼルロコと Muhlhauser 社 (ドイツ製) の容量 20m³ ズリトロによるコンビネーションで行なった。ズリトロ 6両とセグメント台車 2台をディーゼルロコで牽引する編成で、2セット用意した。編成の全長が 60m 以上となる為、走行中の安全を確保するためにテレビによる監視システムを設置した。

発進立坑は、直径 10m の円形である。排土時の作業性を考え、本トンネルの反対側に作業用のトンネルを設け、スムーズな排土及び運搬作業が行なえるよう配慮した。軌条は 30kg レールを使用し、立て坑部に複線を敷設した。また、掘削の高速化のため、延長 3,300m の場所に複線区間を設けた。



Photo. 2 立坑複線部で入坑を待っているローリングストック

3. 1. 3 路上設備

立坑から地上へのズリ搬出には、トロを門型クレーンにより吊り上げ、ズリピットに転倒させるシンプルな構造である。安全、耐久性には充分信頼のおける機種が要求された。検討の結果、Demac 社 (ドイツ製) の 45t 門型クレーンを採用した。

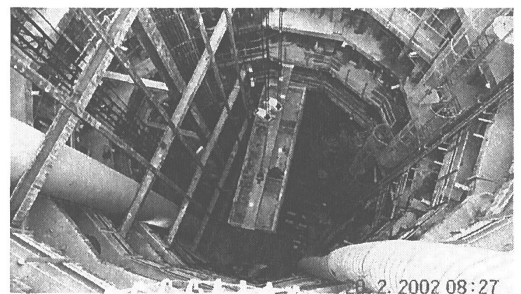


Photo. 3 45t 門型クレーンによるズリ出し作業 (20m³ トロ)

3. 2 サイクルタイム

3. 2. 1 コンセプト

工程から平均 10Ring (15m) /日が要求された。目標サイクルタイムを検討するにあたり、掘進速度を 25mm/分と想定し、理論上平均 10Ring/日の進捗が充分得られるサイクルタイムを想定した。

3. 2. 2 実績

掘進速度は 20~60mm/分で、計画に沿った進行を確保することができた。

実績は、初期推進を除いた稼働日当たりの平均進捗は 10.71R (16.1m) であり、最大記録として、日進 21R (31m)、週間 100R (150m)、月間 357R (535.5m) であった。

4. 二次覆工

4. 1 コンセプト

前に述べたように、構造物の 100 年耐久より、下の Photo. 4 のようなインバート部 30°を除いたトンネル全周に、厚さ 2.5mm の HDPE シート (High Density Polyethylene Sheet, 高密度ポリエチレンシート) を装着する事が、契約の設計条件である。また工程上から 30m/日の進捗が要求された。



Photo. 4 二次巻き完了 (アーチ部)
(インバート部のコンクリートは後打ち)

これらの条件を満たす為、以下のコンセプトに沿って施工計画を立案した。

1. 3 台の型枠による同時施工
2. 1 打設/1 日/1 型枠の進捗が得られる型枠と防食シート装着 (アンブレラフォーム) の設計及び開発
3. 型枠内の車両通過
4. 型枠設計は、コンクリート打設速度 最大 2m/時間で 170 回以上の転用可
5. コンクリート設備は高速施工に適合した能力

4. 2 施工計画

4. 2. 1 型枠及びアンブレラフォーム

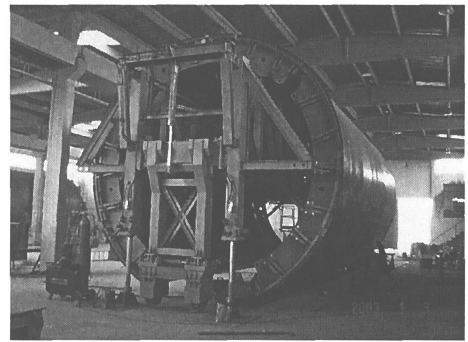


Photo. 5 トンネル型枠 (CIFA 社)

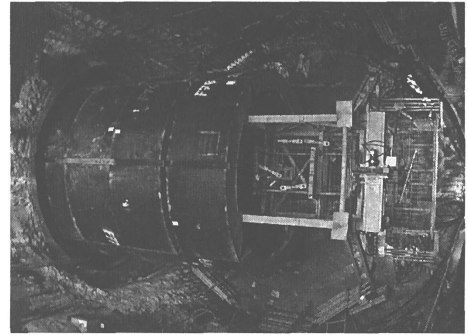


Photo. 6 立坑での型枠組み立て

比較検討の結果、CIFA 社 (イタリー) の型枠 (長さ 10.5m) を 3 台使用した。

型枠の製作は、油圧及び精密加工等の主要部品はイタリアで製作され、トルコで鋼材の加工等を行なわれた。最終的に、トルコのアンカラ工場で両者を組み上げ、作動検査を行なった。また、実物大の防食シートを持ちこみ、システムの確認を行なった。



Photo. 7 アンブレラフォームの作動検査 (トルコ・アンカラ工場)

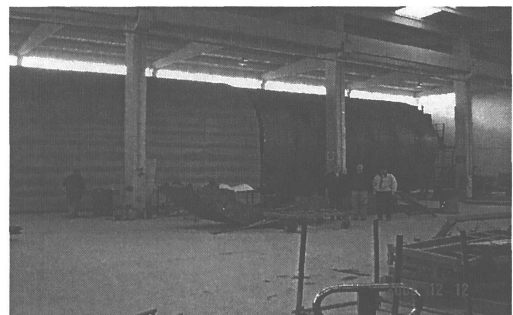


Photo. 8 防食シートの移動検査 (トルコ・アンカラ工場)

この型枠には、下の項目の特殊性がある。

1. 大きな作業空間 (鍍板のアーチアクションによる構

造設計)

2. 型枠内への車両の通過。(脚の昇降及び乗り入れレール設備)
3. 半径の異なる曲線に全て対応する
4. 鋼材によるジョイント型枠
5. 防食シート引きこみ装置



Photo. 9 ワンタッチリフトにより防食シートの引きこみ

6. 既設の軌条を利用した移動装置
7. 油圧操作による高速施工可

4. 2. 2 コンクリート打設

コンクリート打設は、吹き上げでなく、棲側から水平管によって行なった。

選定理由として、以下の項目が上げられる。

1. 防食シートにコンクリート打設用の孔が不要
2. 左右のコンクリート打設量の調節が容易
3. 天端コンクリートの詰め込み時において、余分な圧力が型枠にかからず安全
4. 手順が簡単で、残コンクリートの処理が容易

コンクリート設備として、Muhlhouse 社(ドイツ)のアジテータカー(9m³)及びPutzmeister社のコンクリートポンプ(電動45/110KW)を使用した。

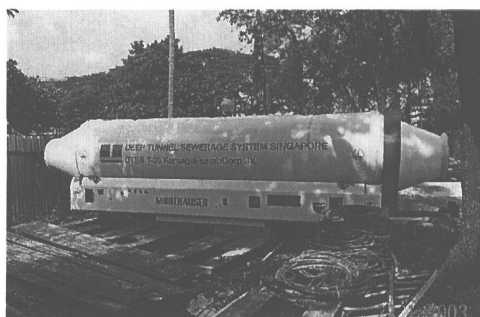


Photo. 10 9m³容量アジテータカー
(コンクリート吐き出しが両端から行なえる特殊タイプ)



Photo. 11 Putzmeister BSA1408E

4. 2. 3 防食シートの固定

防食シートを張った状態でコンクリート打設を行なうと、コンクリートの側圧により防食シートが型枠に押し付けられる。シートの固定(テンション)が充分でないと、余剰の長さのシートが下からコンクリート打設(圧)に従い、アーチ上部に押し上げられる。最終的には、アーチ上部に溝状のシートによる変形が生じ、最悪の場合、設計巻き厚を犯す可能性もある。よって、シート固定方法には、細心の注意を払う必要がある。

検討、実験の結果 Photo. 12 のような固定(テンション)方法を開発した。



Photo. 12 防食シートテンションシステム
(シート端末に特殊金物装着する)

4. 2. 4 防食シートの加工及び溶接

防食シートは、幅2,695mm、長さ17,495mmの大きさを工場加工(南アフリカ)されたものが現地に送られてくる。坑内へ投入前に路上にて型枠長に合わせ溶接加工される。

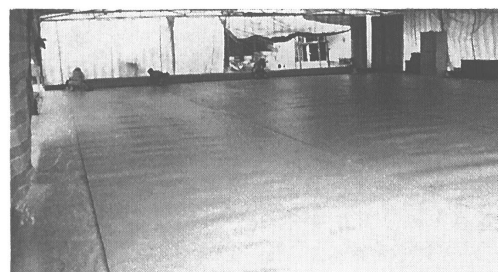
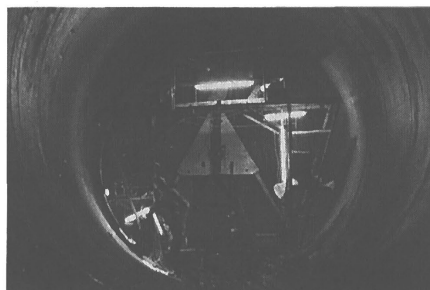


Photo. 13 溶接終了/コイリング作業

トンネル内でのシート溶接には、品質及び省力化を考え、自動溶接機を使用した。



自動溶接機全景



Photo. 14 自動溶接機

4. 3 サイクルタイム

4. 3. 1 コンセプト

コンクリート打設 5 時間、養生 9 時間の両消費時間には極端な短縮は望めない。よって、他の作業を簡素化し効率を高めるのが重要なポイントである。Fig. 3 に目標サイクルタイムを示す。

| 項目 | 作業 | 時間 | 累計 |
|----|------------------|----|----|
| 1 | コンクリート準備・検査 | 1 | 1 |
| 2 | コンクリート打設 | 5 | 6 |
| 3 | 片付け | 4 | 10 |
| 4 | シート運搬・アンブレラ取り込み | 2 | 12 |
| 5 | 妻板バラシ・ボトムフォームセット | 4 | 16 |
| 6 | 脱型及び移動 | 3 | 19 |
| 7 | 防食シート移動 | 1 | 20 |
| 8 | 型枠セット・シート固定・妻板 | 4 | 24 |

Fig. 3 目標サイクルタイム

4. 3. 2 実績

一般の二次覆工と違い、下のシート取り付け作業がサイクル内に追加される。

1. シート運搬
2. シートのアンブレラフォームへの取りこみ
3. シートのアンブレラフォームから型枠への横移動
4. シートの固定

開始当初は、作業員の不慣れ及び新しい試みの為、作

業時間に大きなばらつきがあった。しかしながら作業員の熟練度及び現場でのシステムの改良、改善を行なった結果、1サイクル/24 時間を達成する事が出来た。

改善した主な項目を以下に述べる。

1. シート固定方法の改善 (レバーロックによる簡素化)
2. 特殊ゴムを使用した妻板作業の簡素化
3. コンクリートの現場強度試験による養生時間の短縮



Photo. 15 トンネル近況

5. おわりに

安全、品質、施工性、コスト等を検討し、思考錯誤のくり返しで現在に至っている。特に、二次覆工の防食シート採用に関して、大断面では実績のない工法であり、改善と改良の余地が残っている。しかし、100 年耐久を考慮したこの工法は、資源、コスト、環境等に配慮したこれからの都市トンネル構築に寄与していくものと考え

Report for Long tunnel drive by EPBS and Corrosion protection lining (CPL) with HDPE sheet.

Kiyoshi Mafune, Kotaro Matsueda, Yoshikazu Kido

Abstract

In order to carry out the approx. 5.2km of long Tunnel drive by EPB shield machine and corrosion protection lining with HDPE sheet, It is very important that how to employ the good system for both of works. Method of construction and planning of facilities are absolutely critical issue. Project challenge to plan the high production method by global level of procurement for system, equipment etc and develop the new system for secondary lining.

This report will explain the method of construction and facilities for long tunnel drive by EPBS and Corrosion protection lining with HDPE.

Key words: Shield Drive / Corrosion Protection Lining / HDPE sheet