

15. 複合円シールド工法用掘進管理システムの開発

鹿島：玉井 達郎・樋口 安夫
*柴田 学

1. はじめに

複合円シールド工法は、複数の円形断面の一部分を重ね合わせて掘進するもので、鉄道、道路のような大断面シールドトンネルを経済的に構築出来る工法として、今後の地下開発に大きな役割を担うものと考えられている。

大阪市交通局地下鉄第7号線の大阪ビジネスパーク駅の建設工事は、この工法による世界初の3連シールドトンネルの一括施工で実施した。本駅は大阪ビジネスパーク地区の一角に位置するIMP (International Market Place) ビルの直下に建設され、ホーム階を幅 17.3m 高さ 7.8 m の3連MF (Multi-Circular Face) シールド機で 107m の掘削を行い構築した。

本工事にあたっては、3連MFシールド機、流体輸送・裏込め注入設備などのハード面、また施工法などのソフト面について数多くの項目を開発する必要があり、モデル機、モデル設備による実証実験を行った。その実験によりシールド機の姿勢制御、切羽安定制御、裏込め注入方法など貴重なデータを得る事ができ、実工事のシールド設備の設計や施工計画への組み込みを行なった。また、一般のシールド工事と同様の管理項目もありに特に直下を通過するIMPビル、下水幹線などの近隣構造物に影響与えないよう細心の施工管理が必要であった。



写真-1 シールドトンネル全景

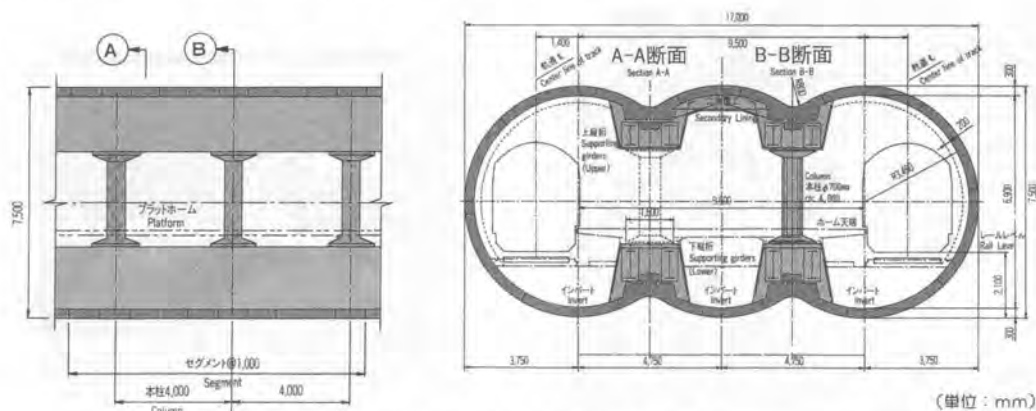


図-1 シールドトンネル構造図

2. 開発の目的

複合円シールド工法では、切羽の特殊な形状、大掘削断面積の施工に対応した能力を持つシールド機、泥水輸送設備、泥水処理プラント、裏込め注入設備を設置し、精度良く安定した施工を行うために、通常のシールド工事の施工管理のほか工法特有の施工管理も必要となる。また、多数の機械設備の運転を行う運転員の負担を軽減するために、分かりやすく、操作しやすい運転環境を整え、異常時でも迅速、的確に処置可能な運転システムが必要となる。

本開発では、3連シールドの実験工事をもとに計画した設備の設計、施工計画に合致するシステムの構築を実施した。開発項目を下記に示す。

- ① 3連シールド工事の施工管理に必要なデータ処理のツール化
 - ・姿勢・線形管理：掘進軌跡、シールド機姿勢による線形管理
セグメント組立に悪影響のない姿勢管理
 - ・掘進管理：3つのチャンパーの切羽の安定を維持する掘進管理
 - ・裏込め注入管理：4カ所からの同時注入の注入管理方法
- ② 通常シールド工事の3倍の規模を持つ仮設備の運転管理を統合する。
- ③ 運転設備を統合化して効率的な運転環境にして運転員の負担を軽減する。
- ④ セグメント組立状況を地上操作室で把握可能とする。
- ⑤ 蓄積したデータの解析用に通常のパソコン、汎用ソフトが使えるようにLANで結合。
- ⑥ セグメント組立支援のCADシステム、現場計測システムへ必要な計測データを自動転送する。

3. システム概要

3連シールド工事に用いる運転・施工管理用システムとして、すでに開発、実用化し実績を上げている単円用のシールド総合施工管理システムを大幅に拡張し、3連シールド工事の大規模な設備を集散的に運転・管理するシステムを構築した。

本システムの最大の特長は、通常のシールド工事のほぼ3倍の大量の入出力データをリアルタイムに処理し、3連MFシールド機の運転、流体輸送設備、泥水処理設備、裏込め注入設備の全ての運転、監視を集中してリアルタイムに中央制御室（写真－2）で一括して行えるところにある。

構成は操作パネル3面、制御ステーション2面（制御ステーション内に収納）、管理用コンピュータ2台で構成している。図－2に構成図を記す。

シールド機、泥水処理設備、流体輸送設備、裏込め注入設備とは、制御ステーションを介して接続している。現場計測用ワークステーション、CADとの通信はシリアル通信（RS232C）で行い、解析用パソコンとは、LAN（イーサネット）で結合している。

管理用コンピュータは、施工中データの保管、加工を行い線形管理、掘進管理の管理グラフ、



写真－2 中央制御室操作状況

計測数値の画面表示や帳票の打ち出しを行う。さらに、施工データを計測用ワークステーション、CADシステム、解析パソコンに転送することにより解析結果から、施工管理に有効なデータを迅速にフィードバックできる構成にした。

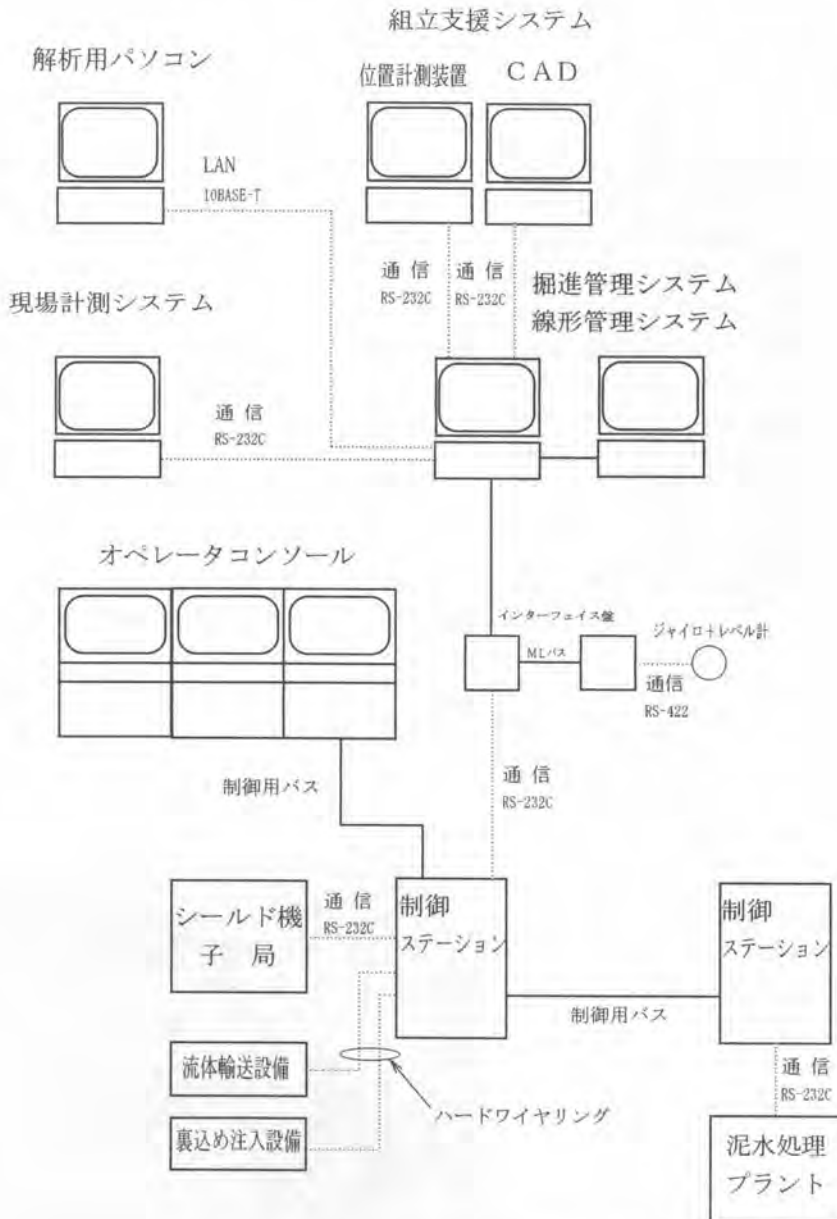


図-2 3連MFシールド総合監視システム構成図

4. 掘進管理システムの管理機能

本掘進管理システムの開発で作成した運転機能、施工管理機能について概略を述べる。

(1) 運転機能

3連MFシールド機、3系統の流体輸送設備、3系統の泥水処理設備、4系統の裏込め注入設備の操作を3面のタッチパネルで運転を行う。各設備ごとに表-1の画面を作成した。

運転用画面は、設備ごとに一画面の中に入れ、分かりやすく操作の容易な配置になるよう設計した。製作した総画面数26面を3面のタッチパネルに切替え表示にし、通常の運転時には、シールド機ジャッキ操作画面(写真-3)、流体輸送設備(写真-4)、裏込め設備(または、泥水処理設備)を表示し、極力画面の切替えを少なくするようにした。特に流体輸送設備と連動自動運転については、シーケンス上の条件が多いので、条件の不成立による制御の渋滞理由を直ちに把握することが可能な監視画面も用意した。

表-1 運転用画面内訳

	操 作	監 視	警 報	設 定
シールド機	3	4	1	3
流体輸送設備	3	2	1	
裏込め注入設備	2		1	1
泥水処理設備	1		1	1
連動自動運転	1	1		



写真-3 ジャッキ操作画面

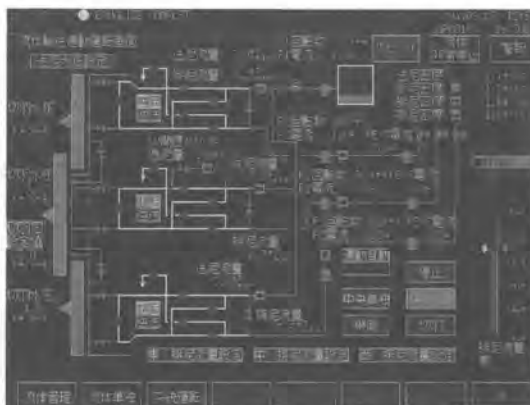


写真-4 流体輸送設備操作画面

(2) 線形管理機能

このシステムでは、シールドの躯体の計画線形=掘進計画線として線形管理を行う。今回の3連MFシールド機では、中央カッターフェイスの中心先端とマシン中心の後端点を結ぶ線と掘進計画線の離れ量の現在値と軌跡の表示を行う。施工ではその値、傾向により掘進計画線に沿う様に掘進を行い線形管理を行う。また、東西両側のトンネル部分の掘進線形は、ローリング、ピッチングを計画値になるように運転を行う事により管理を行う。特にローリングに関しては、東西の線形に悪影響を及ぼすほかに、シールド機とセグメントのクリアランスがなくなりセグメントの組立が難しくなるので、

より厳しい姿勢管理が必要であった。そのために一般的な傾斜計では精度不足となったのでシールド機東西両側に水張り式のレベル計を設置しその値をもとに管理した。

また、姿勢に影響を与えるジャッキパターンによる水平・鉛直モーメント、カッター回転トルクも表示している。



写真-5 線形管理画面

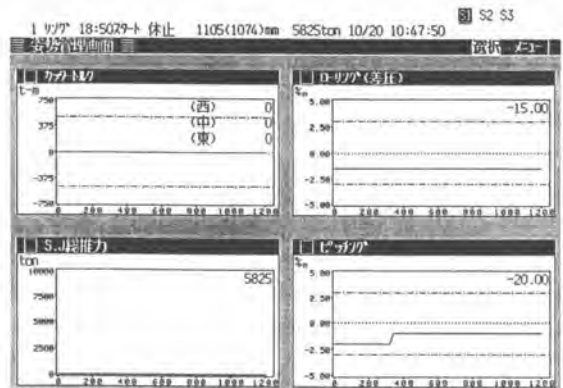


図-3 姿勢管理画面

(3) 掘進管理機能

本システムでは掘進中の切羽地山の崩壊、逸水などの切羽状況を送・排泥水の流量、密度により計算した偏差流量、乾砂量の値や変化を監視することにより把握して、安全な掘進を可能にする。

また、掘進速度に応じた裏込め注入が設計通りの注入圧、注入率で確実に実行されているか監視することにより周辺地山への悪影響を無くす。

下記の画面を使用し掘進管理を行った。

① 掘進管理画面

総合の偏差流量、乾砂量の管理用グラフ、切羽水圧、送排泥流量、送排泥密度などの表示

② 偏差流量個別グラフ

総合、東・中・西各チャンバーの偏差流量の管理グラフの表示

③ 乾砂量個別グラフ

総合、各チャンバーの乾砂量の管理グラフの表示

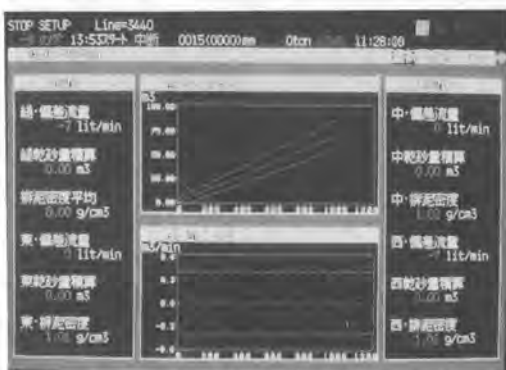


写真-6 掘削管理画面

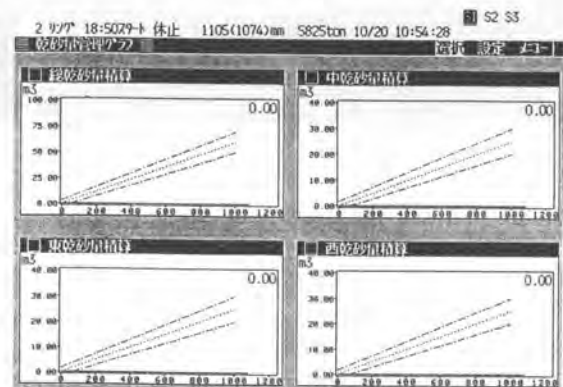


図-4 乾砂量個別管理画面

④ 裏込め注入管理用画面

総合の裏込め積算注入量、注入率、注入圧の管理用グラフ、各注入ポンプ流量表示

(4) 監視機能

・セグメント組立監視画面

本工事のシールド機のセグメント組立装置は、手動であるが組立が長時間に渡ることから地上での組立状況を把握する必要があった。画面からは現在のセグメントの組立位置の表示と3台の電気機器の動作状況を表示した。



写真-7 セグメント組立監視画面

5. 保存データの解析例

偏差流量の解析例を記す。

掘削断面積 117.37m²で偏差流量が±0.3 m³/min以内で推移して安定した掘進が行われていることがわかる。このグラフは管理コンピュータに保存したデータをLANを経由して解析用パソコンにより取り込み解析したものである。

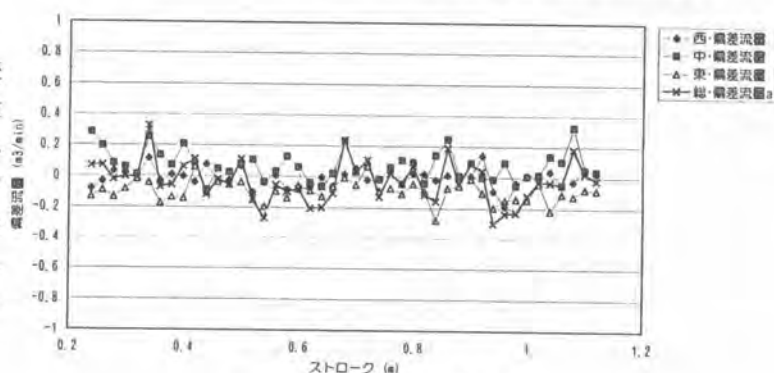


図-5 偏差流量グラフ

6. 効果

本システムの開発の効果を記す。

- ①特殊な大断面のシールド工事においても数値に基づいた科学的な施工管理ができ、安全で安定した施工が可能になった。
- ②施工における様々な現象を数値、グラフから把握でき、それを元に検討を行うことができトラブルを未然に防ぐことが出来た。
- ③多数の設備、機器の運転を通常2名で行うことができ、運転員に対する負担も少なかった。
- ④解析用パソコンを事務所内に置くことにより迅速に解析を行えるようになり効率的な施工管理が可能になった。

7. 今後の課題

本工事のシールド機の姿勢制御は、姿勢制御実験により作成した姿勢制御方案により運転を行った。今後、本施工より得たデータをもとに姿勢制御の自動化を進める。また、全体的な機能を更にブラッシュアップを図り、本システムを複合円シールド工法の総合施工管理システムとして標準化を図っていく。

※参考文献

葛野 高崎 植林 山田、「大阪城の北を抜くMFシールドの施工計画」

大阪市地下鉄第7号線大阪ビジネスパーク駅、トンネルと地下 1994.11 土木学会 他