

1. 泥水シールド工事におけるトータル施工管理システム

(株)大林組 宮本 芳孝・古川 斉治・*土屋 幸三郎

1. まえがき

泥水加圧式シールド工法は、広範囲にわたる地盤条件下の工事に採用されており、もともと汎用性に富む優れた工法といえる。しかし、同工法における施工管理は、現状では技術者やシールドマシンのオペレータの経験や勘によるところが多く、データに基づいた技術的判断をもって管理を行なっているとは言い難く、しかも詳細なデータが保存されている例も少ない。

近年、シールド工事はより厳しい社会的制約条件および劣悪な地盤条件下での工事が増加してきており、このような工事では従来のような施工管理手法で対応していくのは難しくなってきた。

そこで、パーソナルコンピュータを導入して精度の高い、しかも即応性のある泥水シールド工事におけるトータル施工管理システムを開発した。

本稿は、このトータル施工管理システムの概要を述べるとともに、大径レキ地盤における泥水シールド工事に本システムを導入した結果などについて述べたものである。

2. トータル施工管理システムの概要

トータル施工管理システムは、次に示す6つの管理システムで構成されており、このうち①～④はシールドの掘進という作業に関するもの、⑤および⑥はシールド掘進によって生ずる現象に関するものである。

- ① 掘進管理システム（切羽の安定確保、適切な掘進・泥水輸送状態の維持）
- ② 泥水品質管理システム（泥水品質の調整）
- ③ 裏込注入管理システム（確実な裏込注入）
- ④ トンネル線形管理システム（計画線形の確保）
- ⑤ 地盤変状管理システム（地盤の変状把握）
- ⑥ 重要構造物変状管理システム

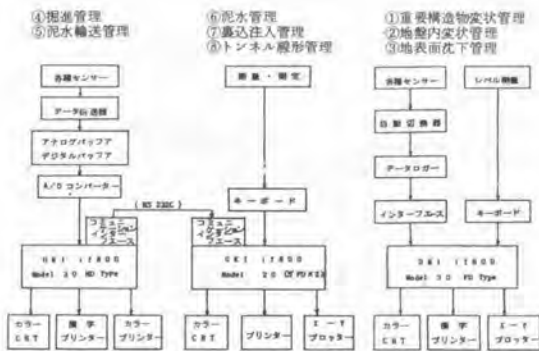


図-1 システムハードウェア構成

管理項目	CPUへの入力	数量	計測項目
掘進管理	オンライン	31ヶ	・送泥水圧 ・切羽水圧 ・ジャッキストローク ・ジャッキ圧 ・ダラッシャー圧 ・カッター圧 ・カッター回転数 ・使用ジャッキ(12ヶ)圧 ・リンダ漏 ・日付、時分 ・送泥流量 ・排泥流量 ・送泥密度 ・排泥密度 ・カッター回転数 ・P ₁ 回転数
泥水品質管理	オフライン	21ヶ	・リンダ漏 ・日付 ・降伏値 ・ファンネル粘性 ・濃縮性 ・腐内比重 ・砂分率 ・掘進時間 ・送泥水圧 ・送泥流量 ・排泥密度 ・P ₁
裏込注入管理	オフライン	7ヶ	・リンダ漏 ・日付、時分 ・注入量 ・注入圧 ・注入孔数 ・地表面以下量
トンネル線形管理	オフライン	7.1ヶ	・リンダ漏 ・日付、時分 ・ベンチマーク高 ・セグメント平面傾斜(25) ・セグメントフォアサイト(25) ・マンシ平面傾斜差量 ・マンシフォアサイト ・ストローク(4) ・オリアシンス(4) ・セグメントベンチング(2) ・セグメント出入量(2) ・マンシベンチング(2) ・セグメント
地盤変状管理	オフライン	7.6ヶ	・新道漏 ・日付 ・水厚度(15×4=60) ・日付、時分 ・空坑実位(47) ・地中実位(66) ・地下水位(6) ・高架橋下(14)
重要構造物(新幹線高架橋)変状管理	オンライン	19.3ヶ	・新道漏 ・日付 ・水厚度(28) ・高架橋下(14)

表-1 各管理システムの計測項目

トータル施工管理とは、①～⑥の管理を総合的および有機的に行うことであり、具体的には多種・多量の情報を迅速に処理し、データの統計的判断、それぞれの情報の相関などから施工管理を行うことである。トータル施工管理システムのハードウェアは、図-1に示すように3台のパーソナルコンピュータで構成されており、各管理システムにおける計測項目は表-1に示すとおりである。表-2は、各管理システムにおける作業内容を示したものであり、図-2～図-5は、モニターの一例として掘進管理におけるモニターを示したものである。

表-2に示したように、当システムでは多種・多様のアウトプット様式が準備されており、実際の管理はこれらのアウトプットを判断資料とした施工管理のフローチャートを各管理項目ごとにあらかじめ作成しておき、そのフローに従って行なう。図-6は、管理フローの代表的な例として掘進管理におけるフローチャートを示したものである。また、表-3は掘進管理において予想される異常事態と計測値の変動状況を事前に想定したものであり、異常事態の早期発見や対策工の選定を

システム	管理するタイミング	作業内容
① 掘進管理	掘進中	<ul style="list-style-type: none"> 掘進状況モニター 泥水輸送状況モニター 土砂取込状況モニター-I 土砂取込状況モニター-II 全計画データのモニタリング
	掘進後	<ul style="list-style-type: none"> 掘削終了リングの日報作成 乾砂重量ヒストグラム 乾砂重量管理モニター 乾砂重量の管理限界の計算
	掘進期間中	<ul style="list-style-type: none"> 地山変化管理モニター 全計画データの経時変化モニター 過去リングの掘進状況の再現
② 泥水品質管理	掘進期間中	<ul style="list-style-type: none"> 泥水品質管理モニター 測定データの日報作成
③ 裏込注入管理	※	<ul style="list-style-type: none"> 裏込注入管理モニター 測定データの日報作成
④ トンネル線形管理	※	<ul style="list-style-type: none"> 線形管理図の作成(平面・縦断) 線形出来形図の作成
⑤ 地盤変状管理	※	<ul style="list-style-type: none"> 地盤変状管理モニター(横断・縦断) 沈下量分布の3次元表示 測定データの日報作成
⑥ 重要構造物変状管理	※	<ul style="list-style-type: none"> 新幹線高架橋変状管理モニター(5断面) 計画データの経時変化図の作成 計測データの日報作成

表-2 各システムの作業内容

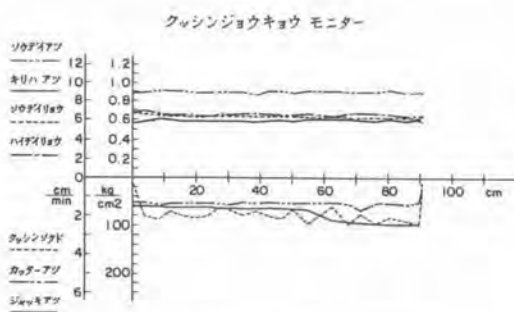


図-2 掘進状況モニター

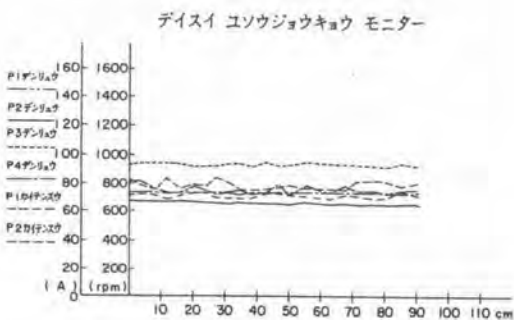


図-3 泥水輸送状況モニター

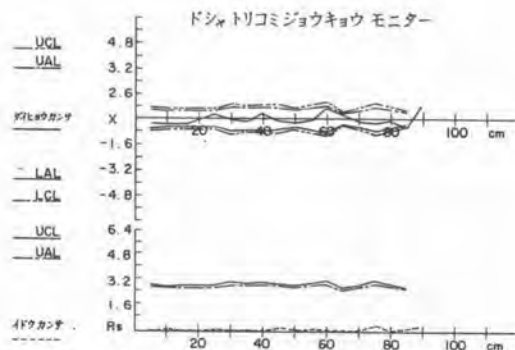


図-4 土砂取込状況モニター (I)

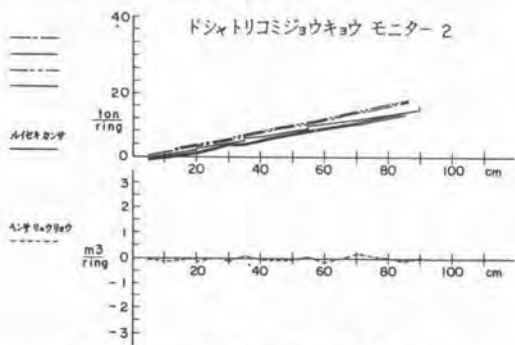


図-5 土砂取込状況モニター (II)

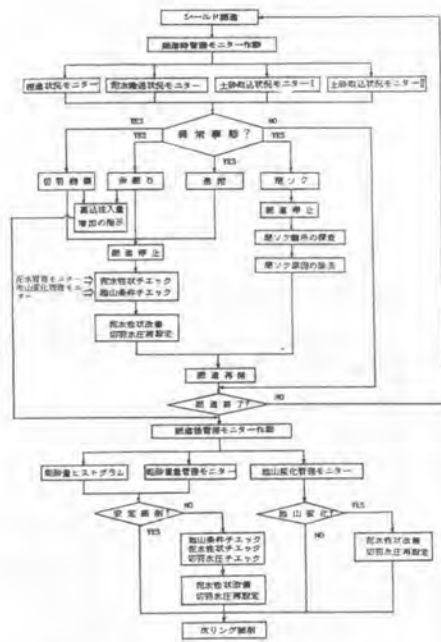


図-6 掘進管理フローチャート

考えられる異常事態	予想される計測値の状況	管理の手法	現象の要因	対策
池 泥	<ul style="list-style-type: none"> 切羽水圧 低下 送泥ポンプ回転数 大 電流 大 送泥流量 増加 乾砂量 減少 (見かけ上) 偏差流量 $\Delta Q < 0$ 累計乾砂量 減少 (見かけ上) 	<ul style="list-style-type: none"> 掘進状況モニター 泥水輸送モニター 土砂取込状況モニター-I 土砂取込状況モニター-II 	<ul style="list-style-type: none"> 泥水降伏値が小さい 地山の変化及び評価ミス (透水係数・間隙水圧・密度……) 	<ul style="list-style-type: none"> 泥水性状の改善 切羽水圧の調整
余 掘り (切羽崩壊)	<ul style="list-style-type: none"> 排泥ポンプ回転数 大 電流 大 排泥流量 増加 排泥密度 大 乾砂量 増加 偏差流量 $\Delta Q > 0$ 累計乾砂量 大 	<ul style="list-style-type: none"> 泥水輸送状況モニター 掘進状況モニター 土砂取込状況モニター 土砂取込状況モニター-II 	<ul style="list-style-type: none"> 切羽水圧不足 泥水降伏値が小さい 地山の変化及び評価ミス 衝撃等で地山を乱した 送排泥流量のパランスのくずれ 	<ul style="list-style-type: none"> 掘削機停止 (切羽部注入) 泥水性状の改善及び流量調整 切羽水圧の調整
クラッシャーの閉塞	<ul style="list-style-type: none"> クラッシャー圧 大 排泥流量 減少 排泥密度 小 乾砂量 減少 (見かけ上) 	<ul style="list-style-type: none"> 掘進状況モニター 土砂取込状況モニター-I 	<ul style="list-style-type: none"> クラッシャー能力不足 地山評価のミス 	<ul style="list-style-type: none"> クラッシャー部解体 クラッシャー手動切換
排泥管の閉塞	<ul style="list-style-type: none"> 送泥水圧 大 切羽水圧 大 送泥流量 減少 排泥流量 減少 送泥ポンプ回転数 小 電流 小 乾砂量 減少 (見かけ上) 偏差流量 $\Delta Q < 0$ 累計乾砂量 減少 (見かけ上) 	<ul style="list-style-type: none"> 掘進状況モニター 泥水輸送状況モニター 土砂取込状況モニター-I 土砂取込状況モニター-II 	<ul style="list-style-type: none"> クラッシャー能力不足 地山評価のミス 	<ul style="list-style-type: none"> 排泥管解体 送排泥逆噴射

表-3 考えられる異常事態と計測値の変動状況

どに役立てるものである。

3. システム導入工事の概要

本工事は、兵庫県武庫川流域下水道整備事業の一環として尼崎市内に泥水加圧式シールド工法により円形管渠を築造するものである。施工地域は、輻輳する路上交通、地下埋設物、近接する新幹線高架橋等の重要構造物などの各種制約条件に加え、施工対象地盤が帯水礫地盤であり、地下水位が高く、しかも土被りが非常に浅いという悪条件が重なっていた。したがって、施工に際しては高度の技術が要求されるとともに、精度の高いしかも即応性のある施工管理が必要不可欠であり、前述したトータル施工管理システムを導入した。

工事の概要は以下に示すとおりであり、工事位置を図-7に、代表的な横断面図を図-8、図-9に示す。

工事名称：武庫川流域下水道左岸第二幹線管渠築造工事（時友工区）

発注者：兵庫県

工事場所：兵庫県尼崎市時友地区

工 期：昭和57年6月～昭和59年3月

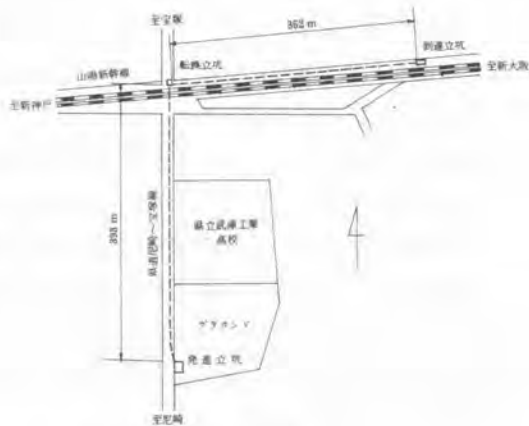


図-7 工事位置図

土 質：伊丹段丘礫層（帯水礫層）

確認最大礫径 600 mm

透水係数 $2 \times 10^{-1} \text{ cm/sec}$

地下水位 GL-1.5 m ~ -2.0 m

土 被り：3.0 m ~ 6.0 m

シールド機：外径φ3,480 mm（ジョークラッシャー
内蔵型礫泥水加圧式シールド機）

セグメント：外径3,350 mm（STEEL, RC）

仕上り内径：φ2,600 mm

施工延長：755 m

4. システム導入の結果および効果

当システムを導入して得られた結果およびその効果のうち、主なものを以下に列挙する。なお、表-4は本工事の施工に際して提示された管理基準値と施工実績を比較したものである。

- ① 土砂取込状況モニター(I)(II)から余掘量を推定し、その結果を裏込注入工の管理に応用した。すなわち、従来は主に注入圧のみで管理していたものを注入量、注入位置、および注入時期など総合的な管理を行なうことにより、地表面沈下を微量に押えることができた。
- ② 掘進状況モニターから、地山の条件やマシンの能力に対応した適切な掘進速度を見つけることができた。すなわち、連続的な掘進が可能となり、結果的には切羽の安定を保ちながら確実にしかも速い施工となった。
- ③ 泥水輸送状況モニターおよび各ポンプの負荷の経リング変化から、ポンプの異常の早期発見や増設時期および位置などを容易に決定できるようになり、トラブル処理の時間短縮およびトラブル件数の減少などに役立った。
- ④ 泥水品質管理モニターから泥水の品質および処理方法が瞬時に指示されるので泥水の品質を常に管理基準内に保つことができ、逸泥・崩壊を起さず確実に、しかも連続的な施工が行なえた。
- ⑤ トンネル線形管理では、計画線形に対するマシンおよびセグメントの位置・姿勢が即時に図表化されるため、マシンの制御・修正が迅速かつ正確に行なわれ、施工精度の向上に役立った。

最後に、本工事にトータル施工管理システムを導入するにあたり深い御理解と御協力をいただいた兵庫県阪神都市整備局の皆様、計器の設置およびシステム作成などに御協力いただいた株式会社サンコーに感謝の意を表します。

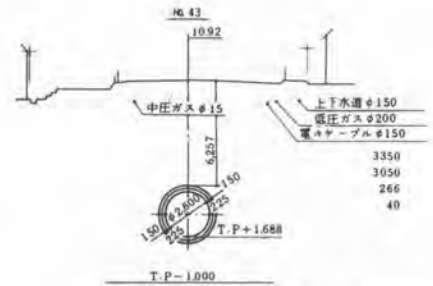


図-8 泉道尼崎宝塚線部横断面図

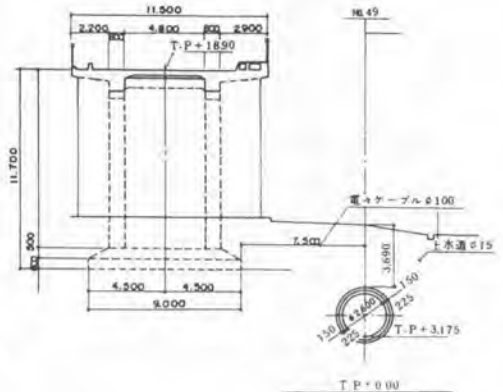


図-9 山陽新幹線側道部横断面図

工 種	管 理 基 準	施 工 実 績
一次掘削	基準点 ±100 mm 偏心及び処理 ±150 mm (水平)	±30 ~ ±40 mm ±20 ~ ±30 mm
地表面最終沈下量		-1% ~ -10%
新幹線高架橋	沈下 3% 傾斜 3分	-1 ~ 2% 0 ~ 1.5分

表-4 管理基準値と施工実績