

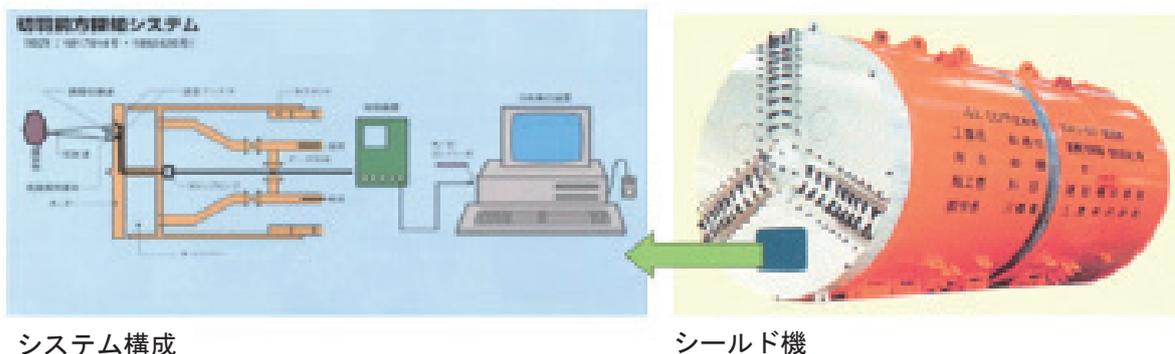
4.2.3 シールドトンネル

【地下施設／シールドトンネル】

技術名	切羽探知レーダーシステム
番号	No. 4. 2-34
発注者	—
施設名	—
所在地	—
工事名称	—
施工期間	—
施工者	戸田建設(株)
キーワード	切羽前方探査、電磁波レーダ、障害物探知

(1) 概要

密閉式シールド機の面板に電磁波レーダーを装備することで、掘削しながら、かつリアルタイムに掘削断面の土質や前方の障害物を探査、表示できる密閉式シールド機の前方向探知システム。(図-1)。



システム構成

シールド機

図-1 切羽探知レーダーシステムの概要

(2) 技術詳細

1) システムの概要

2-1-1 切羽探知レーダーシステム

切羽探知レーダーシステムの特徴を、下記に示す。

- ① シールド機カッターフェースに電磁波を発信、受信するアンテナを搭載。
- ② シールド前方に存在する既設構造物（管渠、マンホール、杭等）や障害物（残置杭、シートパイル、H型鋼等）を探知。
- ③ 電磁波の特性を利用して、土質（腐植土、粘性土、シルト砂、砂質土）を判定。
- ④ シールド切羽の土質を判別し、施工管理に役立てることができる。
- ⑤ カッター側面にアンテナを搭載すると、近接する構造物との離隔が把握できる。
- ⑥ カッター1回転で探査して結果を表示するため、リアルタイムの計測が可能。

1-1-2 レーダー探査 メカニズム

レーダー探査は、送信アンテナから地山に向けて電波を発信し、返ってくる応答波（反射波、表面伝播波）を分析して、障害物の探知や土質の区分を行う。

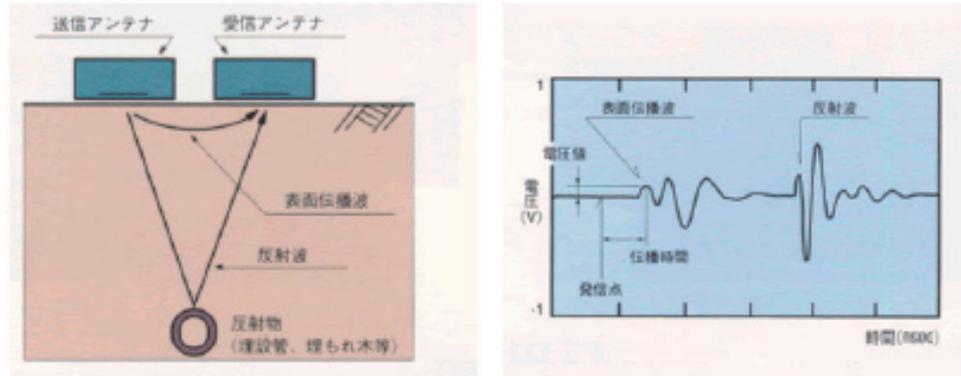


図-2 レーダー探査概要

(3) 結果

1) 現場への適用事例

〈障害物探査〉

適用工事では、シールド発進直後探査モニターに反射物を捉えた。事前の調査では、その位置に障害となるものは認められなかった。図-3 に反射物を捉えた時のモニターを示す。図左上の矢印の先にある三日月状の模様が反射物であり、190 度と 350 度付近の二箇所に表示されている。シールド断面に反射物位置をプロットすると杭の存在を推定することができた。これらの結果を踏まえ、再調査した結果、水道管人孔の支持杭であることが判明した（図-3 右側参照）。この支持杭はφ1300mm の鉄管杭であり、深礎を施工することにより、人孔を受け替えた後撤去し、無事通過することができた。

その他現在まで、土質調査のボーリングロッド、隧道の基礎杭（コンクリート杭及び木杭）、到達部坑口防護体（コラムジェット改良体）等の探査事例がある。

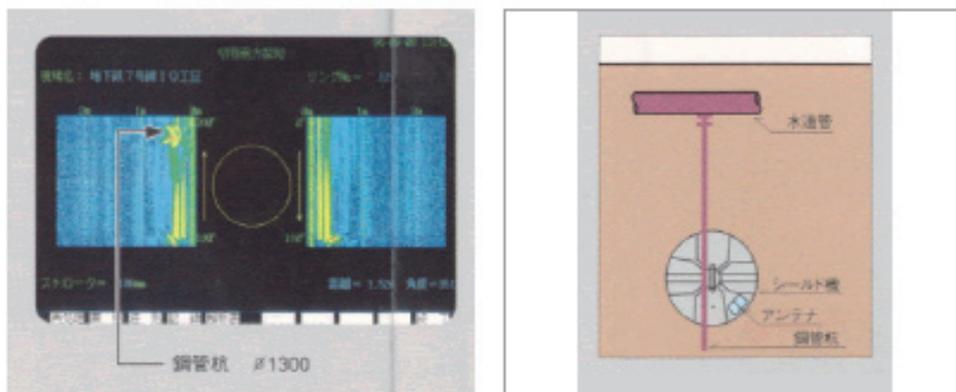


図-3 探査実施結果例

〈土質判別探査〉

また別工事の事例では、シールド断面下部が砂質土、上部が粘性土で構成される互層面であった。本システムが判別した土質が的確であるか否かを検証するために、該当地点において土質ボーリングを行い、システム判別と同等な土質結果が得られた。

本システムで掘削中の土質構成をリアルタイムで把握することにより、加泥材の選定や注入量設定の目安として施工管理に反映した。またシステムは、土質判別探査により乾砂量を演算・表示する機能を備えており、泥水式シールドにおいては、差圧密度計により得られた乾砂量と対比し、より精度の高い土量管理を行うことができる。

2) 今後の課題・展開

本システムは前方を目視できない密閉式シールド工法において、障害物の探査及び掘進土層をリアルタイムに把握することができ、輻輳化した地下空間を施工にあたり有意義な情報を提供するものである。本システムは、既に十数件の実績があるが、探査距離の増大やソフトの改良など取り組む課題は残されている。今後はこれらの課題の研究を行い、また実工事での探査例を積み重ね、本システムをさらに完成させていきたいと考えている。

参 考 文 献	電磁波を用いたシールド機切羽前方探査システム トンネル切羽前方探査に関するシンポジウム・講演会)：戸田建設(株) 請川 誠他 pp. 101-106
備 考	—

【地下施設／シールドトンネル】

技術名	シールド情報統合管理システム
番号	No. 4. 2-35
発注者	滋賀県
施設名	琵琶湖流域下水道東北部長浜第二幹線
所在地	滋賀県
工事名称	琵琶湖流域下水道東北部長浜第二幹線松原磯工区管渠工事
施工期間	2009年3月～2011年1月
施工者	(株)奥村組
キーワード	セグメント情報管理、路面変状管理、資材管理、受入検査管理、写真管理

(1) 概要

「シールド情報統合管理システム」は、図-1に示すように「掘進管理」・「測量管理」の主幹システムを軸として新規開発の「資材管理システム」、「受入検査管理システム」、「路面変状管理システム」、「セグメント情報管理システム」および「写真管理システム」を要素技術として各々連動させ一元管理を実現するシステムである。

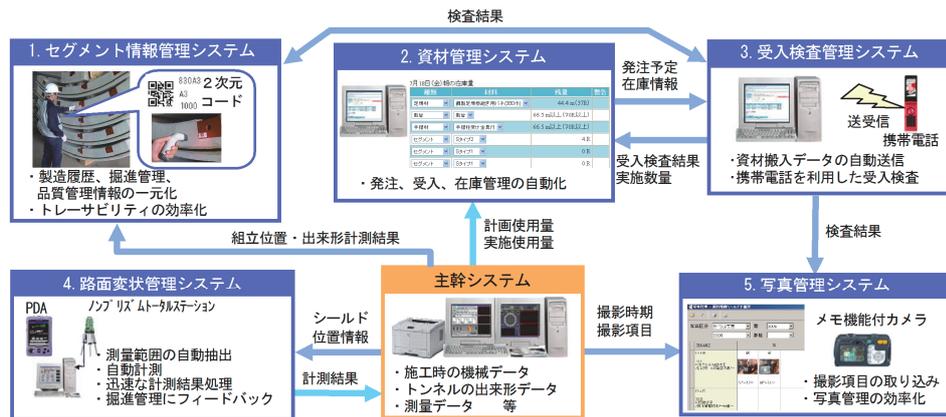


図-1 シールド情報統合管理システム

(2) 技術詳細

1) セグメント情報管理システム

① システム概要

開発したシステムは、セグメント製造時の品質管理情報、出荷、受入れ、組立などの使用履歴に関する情報、受入検査、工程内検査に代表される施工時の品質管理情報を各セグメントピースの固有情報としてデータベース化し、管理を一元化することで、瞬時に検索・追跡（トレース）できるシステムである（図-2）。さらに、セグメントの品質記録図、製造履歴に加え、掘進管理や品質も組合せた「トンネル情報シート」を作成し、データベースを電子納品することでトンネル供用後の維持管理性に容易に使用できる。

② トレーサビリティ管理

a) セグメントピースの識別

工場製作時に全てのセグメントピースに対して、識別情報（以下 ID とする）を与え、製造時の品質管理情報（骨材産地、コンクリート品質管理データ等）とともに 2 次元コードに変換し、各セグメントピースに 2 次元コードを貼付けることで、セグメント 1 ピースごとの識別管理を行う（写真-1）。

b) セグメントピースの追跡

工場出荷時からセグメント組立までの各施工段階でセグメントを追跡し、セグメントに貼付けた 2 次元コードをスキャナーで読取り、時系列でセグメントの ID を収集する。収集したデータは、ネットワークを通じてシステムのデータベース（図-3）に転送される。

c) トンネル情報のデータベース化

データベース化においては、各情報のセグメント ID を照合し、トンネルのリング番号をキーとして整理することにより、セグメントの品質記録図、製造履歴に加え、掘進管理や品質管理情報を一元的に管理する。「トンネル情報シート」（図-4）を作成することで、リング番号から容易にデータの閲覧や抽出ができる。さらに、製品証明や入荷伝票の PDF

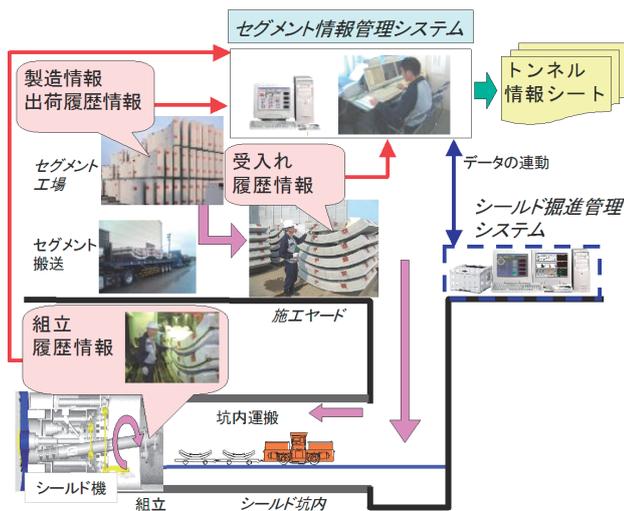


図-2 セグメント情報管理システム

1	2	3	5	6
1	トレーサビリティデータ			
2	T2			
3	セグメントID	セグメント種別	セグメント番	製造工場
4	QRコード			コンクリート打設日
5	830A1	A1	1000 MNWSP-SK	20.04.25 10:00:00
6	830A2	A2	1000 MNWSP-SK	20.04.26 10:00:00
7	830A3	A3	1000 MNWSP-SK	20.04.26 10:00:00
8	830B1	B1	1000 MNWSP-SK	20.04.26 10:00:00
9	830B2	B2	1000 MNWSP-SK	20.04.26 10:00:00
10	830K	K	1000 MNWSP-SK	20.04.26 10:00:00
11	832A1	A1	1000 MNWSP-SK	20.04.28 10:00:00
12	832A2	A2	1000 MNWSP-SK	20.04.28 10:00:00
13	832A3	A3	1000 MNWSP-SK	20.04.28 10:00:00
14	832B1	B1	1000 MNWSP-SK	20.04.28 10:00:00
15	832B2	B2	1000 MNWSP-SK	20.04.28 10:00:00
16	832K	K	1000 MNWSP-SK	20.04.28 10:00:00
17	823A1	A1	1000 MNWSP-SK	20.04.25 13:00:00
18	823A2	A2	1000 MNWSP-SK	20.04.25 13:00:00
19	823A3	A3	1000 MNWSP-SK	20.04.25 13:00:00
20	823B1	B1	1000 MNWSP-SK	20.04.25 13:00:00
21	823B2	B2	1000 MNWSP-SK	20.04.25 13:00:00
22	823K	K	1000 MNWSP-SK	20.04.25 13:00:00
23	823A1	A1	1000 MNWSP-SK	20.04.26 10:00:00

図-3 セグメントデータベース



写真-1 2次元バーコードの読取り

セグメント情報表示画面

セグメントID	製造工場	製造日	コンクリート打設日	トンネルリング番号	トンネル深さ	トンネル径	トンネル位置	トンネル状態	トンネル備考
830A1	1000	20.04.25	20.04.25	1000	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
830A2	1000	20.04.26	20.04.26	1000	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
830A3	1000	20.04.26	20.04.26	1000	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
830B1	1000	20.04.26	20.04.26	1000	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
830B2	1000	20.04.26	20.04.26	1000	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00

トンネル情報シート

トンネルリング番号	トンネル深さ	トンネル径	トンネル位置	トンネル状態	トンネル備考
830A1	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
830A2	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
830A3	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
830B1	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
830B2	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00

表設定画面

項目名	項目値	項目単位	項目説明
トンネルリング番号	830A1		トンネルリング番号
トンネル深さ	10.00	m	トンネル深さ
トンネル径	10.00	m	トンネル径
トンネル位置	10.00	m	トンネル位置
トンネル状態	10.00		トンネル状態
トンネル備考	10.00		トンネル備考

受入れ確認画面

トンネルリング番号	トンネル深さ	トンネル径	トンネル位置	トンネル状態	トンネル備考
830A1	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
830A2	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
830A3	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
830B1	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
830B2	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00

図-4 トンネル情報シート

データを取り込むことにより、紙ベースの製造・受入情報を含めた記録を行うことが可能となる。

③ システムの適用範囲

セグメント情報管理システムをコンクリート二次製品である RC セグメントを用いるシールド工事に、適用する。共同溝、地下鉄、下水道等の二次覆工省略型の管渠においては、供用後の維持管理を含め、その有用性が特に高い。

2) 路面変状管理システム

① システム概要

シールド路面変状管理は、掘進に伴う先行沈下や後続沈下等の変状の把握を目的としている。一般的に、トンネル中心線とその両側に測点を設け、シールド通過前と通過後の一定範囲の水準測量を行う。

路面変状管理の手順は、

- a) シールドの切羽位置から測量範囲を抽出
- b) 水準測量の実施
- c) 測量結果を掘進管理に反映

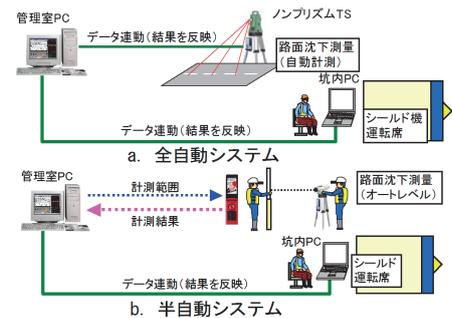


図-5 路面沈下管理システム概要

である。これまでは b) から c) に至るまでに半日程度のタイムラグが生じており、路面陥没等のトラブル要因となっていた。路面変状管理システムは、管理のタイムラグ防止し、この一連の手順を自動化するシステムである。さらに、管理対象や測量頻度など施工条件に応じて、ノンプリズムトータルステーション（以下、ノンプリズム TS）、オートレベルの2種類の計測機器を使い分けるシステムである(図-5)。計測機器別に各手順におけるシステム概要を以下に示す。

I. ノンプリズム TS を使用した全自動システム

- i. 主幹システムのシールド現在位置データから測量範囲を自動抽出する
- ii. ノンプリズム TS を用いて路面を自動計測する
- iii. 計測データを無線操作機でシステムに転送し、測量結果の計算と図化を自動で行う
- iv. シールド運転席に即時に結果を表示し、路面変状管理値を超過した場合は警告を自動表示する

II. オートレベルを使用した半自動システム

- i および iv のシステムは上記システムと同一である。オートレベルを用いて路面を計測し、携帯電話端末からシステムに転送、測量結果計算と図化を行うとともに測量ミスの確認を自動で行う。

② システムの適用範囲

路面変状管理システムは、現場状況に応じて任意に計測機器選択が可能なシステムであり、全てのシールド工事について適用できる(図-6)。例えば、初期掘進時や重要構造物近接施工時など、測計測頻度を高く設定しなければならない区間についてはノンプリズム TS を用いた計測管理を選択し、それ以外の区間についてはオートレベルを用いた計測による管理を選択

することも可能である。

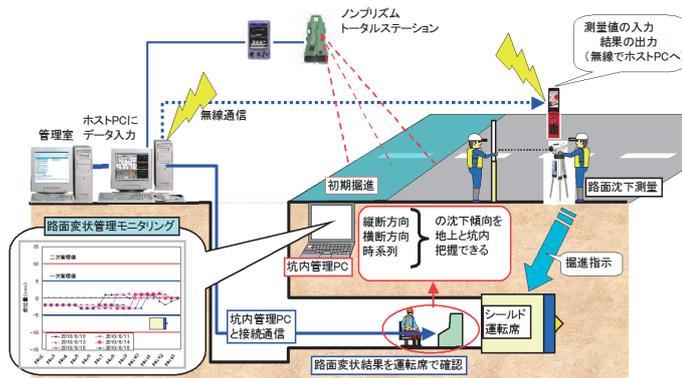


図-6 路面変状管理システムの適用イメージ

さんがログイン中です

警告表示

10月28日(火)朝の在庫量 発注が必要な資材があります。

種類	材料	残量	警告
セグメント	RCストレート	0 R	発注が必要です
セグメント	RCカーブ	0 R	発注が必要です
裏込・作泥材	硬化剤	42,960 t	
裏込・作泥材	助剤	13,740 t	
裏込・作泥材	安定剤	537,840 kg	
裏込・作泥材	凝結剤	7,440 m ³	
裏込・作泥材	増粘剤	720,000 kg	
軌条材	22kgレール	6 本	
足場材	鋼製足場板(380巾)	4 枚	
手摺材	手摺パイプ	3 本	
配管材	ガス管Sカーブ付(25A)	1.2 m(1R)	
現管	現管	84.0 m以上(71R以上)	

図-7 資材管理システム管理画面

3) 資材管理システム・受入検査管理システム

① 資材管理システムの概要

本システムは、主幹システムから資材の使用量と使用実績データを受け取り、かつ現場条件、工程（日進量、休工予定日）を設定することで、シールド工事に使用する資機材の在庫管理および発注管理を自動化するシステムである。従来は、FAX と電話により資材の発注・確認作業を行っていたが、本システムでは発注予定策定機能により作成した予定をシステム上で発注することで、材料メーカーへ Web 発注ができる。また、材料不足が予測される場合は発注警告を表示し、発注予定策定時、ストック量オーバーが予測された場合にはストックオーバー防止警告を表示する（図-7）。

② 受入検査管理システムの概要

本システムは、セグメントなどの資材受入時に、現場職員が所有する携帯電話の通信機能を利用して、資材の品質管理を迅速に行うシステムである。資材管理システムサーバーから携帯電話に資材の入荷予定データが Web 送信される。現場職員は、表示される受入検査項目に従って検査を行い、入荷写真と検査結果を携帯電話からメール送信することで、受入検査の全数実施が効率的かつ確実に実施できる（図-8）

③ 不適合品発生時の処理

受入検査で不適合品の入荷が発生した時は、以下の方法で不適合品発生時の処置と記録を行う。

- 携帯電話を用いて不適合の詳細と該当部の写真を添付し、システムサーバーにメール送信を行う（図-9）。
- システムサーバーはメールを受信すると、管理責任者へ不適合発生連絡メールを自動送信する（図-10）
- 管理責任者と発注者で不適合処置を決定後、パソコンもしくは携帯電話から処置を記入する（図-11）

④システムの適用範囲

インターネット環境があり、携帯電話通信が可能な地域内にあるシールド工事全てに適用可能である。

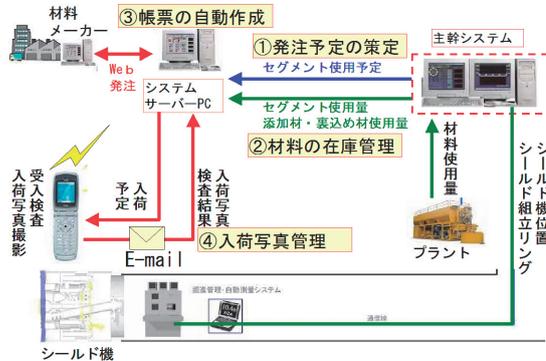


図-8 資材管理システムと受入検査管理システムの連携



図-9 携帯による受入れ検査状況

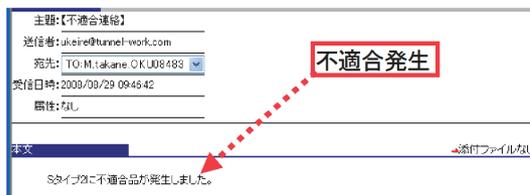


図-10 不適合発生連絡メール

No.	検査項目	合格判定基準値	検査方法
1	形状・寸法	注文種別別の適合	内品点検と実物検査
2	表面・接面の処理	目視・クランプ検査	目視
3	表面・接面の傷	クランプの傷数(1mm以上)	目視、クランプスケール

検査日	形状	数量	検査項目	合格判定	検査担当者	不適合品が発生		再検査日
						不適合の理由	処置方法	
6/12	Sタイプ2	1	1	合格	安野		<input type="checkbox"/> 不要 <input type="checkbox"/> 再検査 <input type="checkbox"/> 不採用	
6/12	Sタイプ2	1	2	合格	安野		<input type="checkbox"/> 不要 <input type="checkbox"/> 再検査 <input type="checkbox"/> 不採用	
6/12	Sタイプ2	1	3	合格	安野	クランプ20mm	<input checked="" type="checkbox"/> 不要 <input type="checkbox"/> 再検査 <input type="checkbox"/> 不採用	

図-11 受入検査結果

4) 写真管理システム

① システム概要

本システムは、写真撮影項目を撮影リストデータとしてカメラに取り込む。写真撮影時に対応する項目を選択することで、写真データがリストに対応した固有情報を持ち、写真データ管理を迅速かつ効率的に行うことができる。さらに、リストで管理することで、容易に写真データの検索ができる。

システム導入時の初期設定において、撮影項目管理ソフトに施工サイクル写真の項目を入力し、写真管理を以下のフローで行う。

- メモ機能付きカメラに撮影項目を取込む
- カメラで該当する撮影項目を選択し、写真撮影する
- メモ機能付きカメラと撮影項目管理ソフトを連携する
- 写真欄のチェックマークにより写真の撮り忘れを確認する(図-12)



図-12 写真管理システム

e) 電子納品する場合は、写真管理ソフトへ XML 形式で出力し、取り込むことで撮影項目ごとに自動で整理する

② システムの適用範囲

シールド工事の施工サイクルの写真に適用可能である。ただし、撮影に用いるデジタルカメラには、撮影リストのデータを認識できるメモ機能付きカメラが必要である。

(3) 結果

1) セグメント情報管理システム

セグメント情報管理システムの導入により、製造時、受入れ時、施工時のデータの一元管理が、セグメントのリング番号毎に整理されたトンネル情報シートによって可能になった。

また、トンネル情報シートを用いて、リング番号をもとに維持管理を行うことで、リング番号に関わる情報を容易に検索できる。そのため、仮に不適合品が発生した場合においても、原因追及が従来方法より迅速化でき、不適合原因と製造不適合発生のおそれがあるピースの再検査をメーカーへ指示することで、現場への搬入を防止できる。また、今後、トンネル情報シートを発注者へ電子納品することにより、維持管理にも有効な情報を提供できると考える。

2) 路面変状管理システム

路面変状管理システムの導入により、シールドの切羽直上の路面変状を把握できた。さらに、路面変状を掘進管理のパラメーターとして活用し、変状に応じて切羽土圧や裏込め注入圧力などの掘進管理値を変化させることで切羽部の先行沈下、テール部での後続沈下を防止できた。オートレベルに替えてノンプリズム TS を用いれば、近接施工や土質層境等のリアルタイム重点管理が可能である。

3) 資材管理システム・受入検査管理システム

- ① Web 発注と使用量予測と実施使用量から自動作成された受払い簿により資材管理が効率化できた
- ② 携帯電話による受入検査と写真撮影で、受入検査記録と材料写真整理を省力化できた
- ③ 警告機能により、材料の過不足やヒューマンエラーによるトラブルを防止できた
- ④ 携帯電話を用いたセグメントの全数受入検査により、未検査品および不適合品の使用から生ずる品質低下を防ぐことで、シールドトンネルの品質を確保できた

4) 写真管理システム

- ① 施工サイクル写真の撮影項目のチェック機能により、写真の撮り忘れを防止できた
- ② 撮影写真の項目（工種、場所、内容等）の入力とフォルダ整理を全て自動化できた
- ③ 写真管理ソフトへ取込むことで、施工サイクル写真の管理を効率化できた

参考文献	(株)奥村組技術年報、No. 36、pp65-70、2010.8
備考	—

【地下施設／シールドトンネル】

技術名	シールド自動方向制御、セグメント自動組立、セグメント自動搬送
番号	No. 4. 2-36
発注者	国土交通省 近畿地方整備局
施設名	大津放水路トンネル
所在地	自) 滋賀県大津市石山一丁目地先、至) 滋賀県大津市若葉台地先
工事名称	大津放水路トンネル第一工区建設工事
施工期間	1995年3月23日～2004年3月10日
施工者	清水・鹿島特定建設工事共同企業体
キーワード	真円度測定、テールクリアランス自動測定、スペクトル拡散無線、自動追尾トランシット

(1) 概要

1) 工事概要

工法：泥水式シールド工法、仕上がり内径 10.80m（二次覆工を含む）
掘進延長：1784m

2) 技術概要

① セグメント自動組立

坑内輸送、後続台車内に搬入されたセグメントは、ホイストで把持した後、ストックコンベア、供給装置を経てボルト締結までの組立を全て自動で行った。また、セグメントを通しボルトタイプのものとし、ナット供給においても自動供給装置を採用した。このシステムは既に東京湾横断道路での当社 JV 工区にて採用されたものではあるが、さらなる組立時間のスピードアップ、精度の向上を図ることを目標とした。

② 自動搬送システム

セグメントの搬入から立坑投入、C-BOX 内のシール貼付用ストックヤードへの入庫、その後坑内、切羽への出庫、搬送との行程となるが、その大半の行程において自動・無人搬送を行った。

③ 自動測量

線形管理においては、自動測量はジャイロを用いるのが主流であるが、本工事では、職員による人為測量と同じ作業をロボットのトランシットが代わりにを行い、常時観測出来るシステムを採用した。

(2) 技術詳細

1) セグメント自動組立

より真円にセグメントを組立てるためには、正確な真円度測定が出来ることと、その修正能力にある。真円度測定においては、通常エレクターがその測定作業を阻害することにより、タイムリーな測定が出来ないのが現状である。そのため、自動組立装置を使用している利点

(自動組立ではエレクターの伸縮、その他のデータを有している) を利用し演算させ、それをセグメントの真円度に置き換えることにより可能とした (図-1)。

次に、組立精度の確保においては、テールクリアランスを適切に確保するための情報を常に得る必要があるため、テール部の左右、上部の3箇所自動テールクリアランス測定装置を設置した。これは、CCDカメラとレーザーポインタ及び照明装置をジャッキ格納側に固定し取り付け、照明により影をつくり出し、セグメントエッジを検出、2本の平行なレーザ照射により基準距離を得ることによって、CCDカメラの画像により処理計測を行うものである (図-2)。

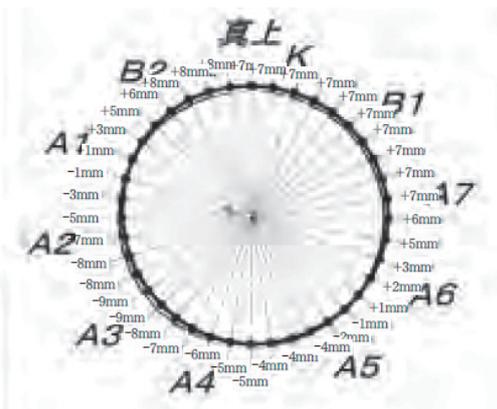


図-1 真円度測定

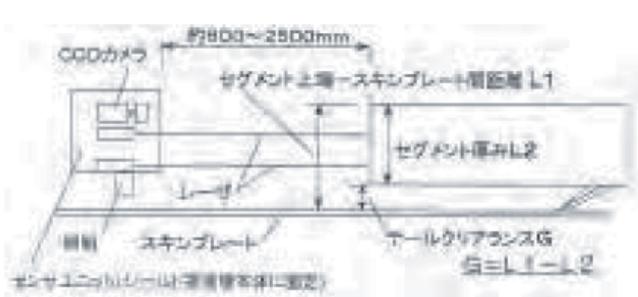


図-2 テールクリアランス自動測定装置

2) 自動搬送システム

搬送台車の自動位置制御・管理には、SS無線とマーカーを使用した。SS無線は、トンネル内に設置した複数のアンテナ中継固定局と搬送台車との間で送受信し、現在の台車位置、状態をリアルタイムに把握し、緊急時には非常停止指令を送ることが出来る、複数の電波とも干渉しないスペクトル拡散無線である (図-3)。

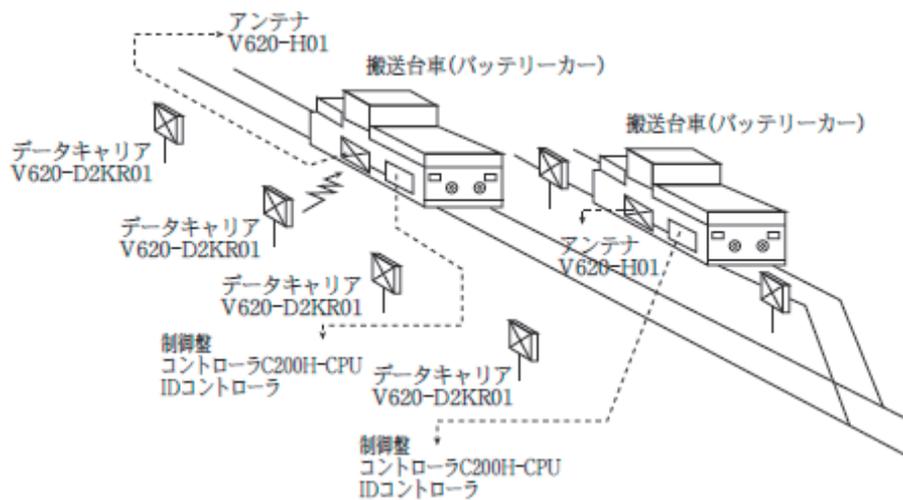


図-3 自動搬送システム概要図

マーカは切羽、立坑、他制御の必要な箇所に予め設置しておき、停止、減速等の指令を台車に送るものである。

3) 自動測量

シールド機後方にロボットのトランシットを設置し、シールド機方向を確定する2点（実際はチェックを含め3点）と後視点にプリズムを設置し、トランシットが設定時間ごとに、自動的に首を振り、プリズムである測点を追い計測する。このデータを計画線形に載せ、シールド機位置を常に把握出来るシステムである（図-4）。

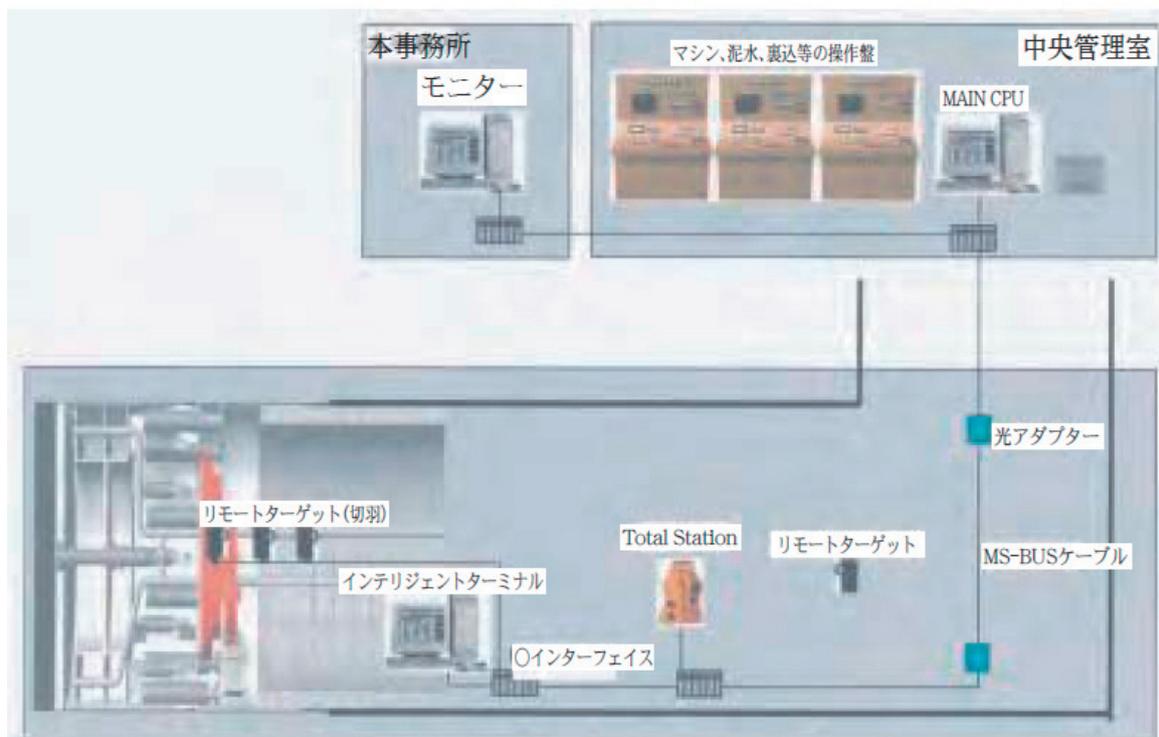


図-4 自動測量概念図

(3) 結果

1) セグメント自動組立

真円度測定結果は、組立完了時即座にモニター化して入手出来るため、次のステップ、その修正が次の組立作業にて可能となった。修正作業については、組立システム内にて強制的に目違いを発生させる指示を行うことで対応することが出来た。また組立てたセグメントにおいては、真円保持装置を固定式、移動式の2基装備させ、段取り替え作業時においても必ず1基が支持できるものとし、形状の確保に努めた。

このようにして、自動組立装置の持つデータを有効に利用し、また工夫により、真円度が確保出来、漏水のないトンネルを構築することが出来た。

組立精度の確保を目的に設置した自動テールクリアランス測定装置は、間接非接触であるため、大口径シールドにおいても安全で、かつセグメントの汚れによる計測不能という事もなく、正確なデータを供給することが出来た。

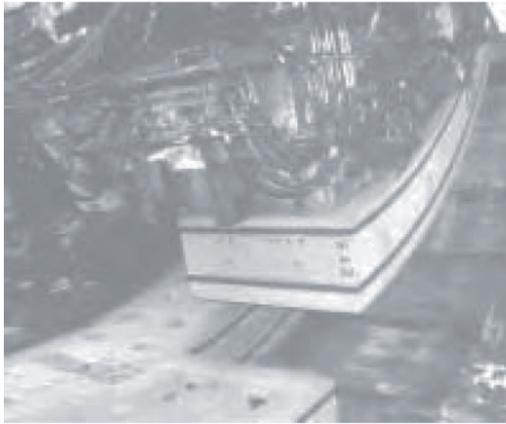


写真-1 自動組立状況

2) 自動搬送システム

自動搬送システムを使用することで、複数の台車の位置関係を把握したうえで、必要な制御を含めた搬送を無人で安全に行うことが出来た。また、このシステムに拡がりを持たせ、見学者への対応及びイメージアップを図るため、見学者用人車で自動・無人運転を導入した。今後はこのように複数の作業の自動化を更に組み入れ、また作業員の介入する箇所をなくすことにより、このシステムにさらに安全、効率化、そしてコストダウンを求めることが出来ると考える。



写真-2 自動搬送状況

3) 自動測量

常時観測出来るシステムを採用したことでジャイロの持つ誤差を解消すると共に、シールド機位置を常に把握し掘進精度の向上と省力化となった。

参考文献	土木クォータリーNo. 143：清水建設(株)、P2-42、2004年8月
備考	—