

# シールド情報統合管理システムの開発

## －シールド工事の品質と維持管理性の向上－

### Development of Integrated Shield Tunnel Information Management System

#### - Enhancement of Quality of Shield Tunneling and Maintainability of Shield Tunnels -

安竹 馨\* 木下茂樹\*\* 宮田岩往\*\*\* 平井 崇\*\*\*

#### 要 旨

シールド工事におけるセグメントなどの資材、掘進や測定の施工、品質を一元的に管理し、有効な維持管理情報を提供する「シールド情報統合管理システム」を開発し、シールド工事に適用した。シールド情報統合管理システムは掘進管理と測量管理システムを核とし、掘進情報とシールド機の位置情報を資材や品質を管理するシステムに受け渡す。さらに、ネットワーク通信による情報共有化技術（ICT 技術）を活用することでユビキタスな施工管理環境を形成し、シールド工事の施工管理の効率化・迅速化、と品質向上、およびシールドトンネルの維持管理性の向上を実現した。

キーワード：ICT、ライフサイクルコスト、維持管理、シールドトンネル

#### 1. まえがき

シールド工事では、シールドの掘進データ・測量結果を掘進管理で管理・記録を行うことが一般化されている。また、近年はパソコンの小型化、高性能化とインターネット通信網の普及により、ユビキタスな施工管理環境が形成されている。一方、構造物の建設費と供用期間中の維持管理費を含めたライフサイクルコストを縮減する技術が求められており、維持管理に直結する施工情報を一元化するシステム構築は社会的なニーズである<sup>1)</sup>。そこで、ICT を活用し、維持管理時にも有効な情報を提供できる

「シールド情報統合管理システム」を開発した。

#### 2. システムの全体構成<sup>1)</sup>

「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。

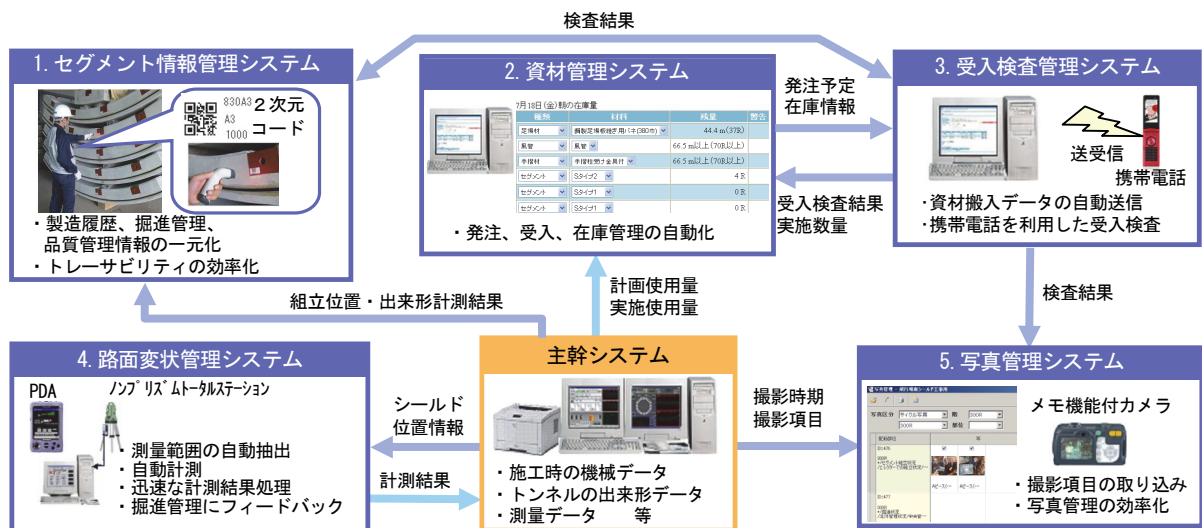


図-1 シールド情報統合管理システム

\*西日本支社土木技術部 \*\*東日本支社土木技術部 \*\*\*管理本部情報システム部

### 3. セグメント情報管理システム<sup>2)</sup>

#### 3.1 システム概要

シールドトンネルの覆工（セグメント）においては、従来よりも高度で合理化された施工時の品質管理が求められるばかりでなく、供用後の維持管理も視野に入れた施工情報の活用が必要となってきている。これらの要求に応えるために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。

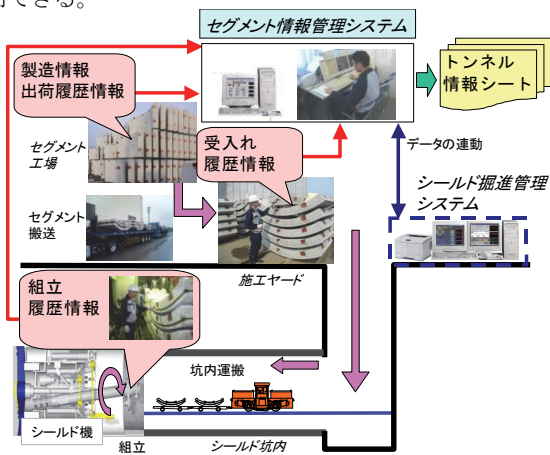


図-2 セグメント情報管理システム

#### 3.2 トレーサビリティ管理

本システムにおけるセグメントのトレーサビリティ管理の方法を以下に述べる。

##### 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）。



写真-1 2次元コードの読み取り

##### 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み取り、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。

1	2	3	5	6
T1	T2	S2	S3	S4
セグメントID	セグメント種別	セグメント種	製造工場	コンクリート打設日
06	07	08	09	10
830A1	A1	1000	MNISP-SK	20.04.26 10:00:00
830A2	A2	1000	MNISP-SK	20.04.26 10:00:00
830A3	A3	1000	MNISP-SK	20.04.26 10:00:00
830B1	B1	1000	MNISP-SK	20.04.26 10:00:00
830B2	B2	1000	MNISP-SK	20.04.26 10:00:00
830B3	B3	1000	MNISP-SK	20.04.26 10:00:00
830K	K	1000	MNISP-SK	20.04.26 10:00:00
830A1	A1	1000	MNISP-SK	20.04.26 10:00:00
830A2	A2	1000	MNISP-SK	20.04.26 10:00:00
830A3	A3	1000	MNISP-SK	20.04.26 10:00:00
830B1	B1	1000	MNISP-SK	20.04.26 10:00:00
830B2	B2	1000	MNISP-SK	20.04.26 10:00:00
830B3	B3	1000	MNISP-SK	20.04.26 10:00:00
830K	K	1000	MNISP-SK	20.04.26 10:00:00
828A1	A1	1000	MNISP-SK	20.04.25 13:00:00
828A2	A2	1000	MNISP-SK	20.04.25 13:00:00
828A3	A3	1000	MNISP-SK	20.04.25 13:00:00
828B1	B1	1000	MNISP-SK	20.04.25 13:00:00
828B2	B2	1000	MNISP-SK	20.04.25 13:00:00
828B3	B3	1000	MNISP-SK	20.04.25 13:00:00
828K	K	1000	MNISP-SK	20.04.25 13:00:00
828A1	A1	1000	MNISP-SK	20.04.26 10:00:00

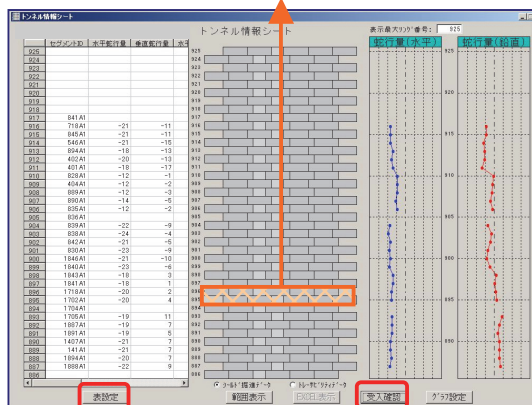
図-3 セグメントデータベース

##### 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と抽出ができる。さらに、製品証明や入荷伝票のPDF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。

##### セグメント情報表示画面

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
セグメントID	出荷日	製造工場	コンクリート打設日	スランブ連続数	空気量	風化指数	2日経過後	品質検査	品質検査
830A1	20.07.11	MNISP-SK	20.04.26	10	3.1	1.1	0.016	01.3	01.3
830A2	20.07.11	MNISP-SK	20.04.26	10	3.1	1.1	0.016	01.3	01.3
830A3	20.07.11	MNISP-SK	20.04.26	10	3.1	1.1	0.016	01.3	01.3
830B1	20.07.11	MNISP-SK	20.04.26	10	3.1	1.1	0.016	01.3	01.3
830B2	20.07.11	MNISP-SK	20.04.26	10	3.1	1.1	0.016	01.3	01.3



項目名	項目名	項目名	単位	1
1	リングID	セグメントID	100	1
2	セグメント種別	QRコード	100	1
3	セグメント種	QRコード(m.m)	100	1
4	セグメント種	QRコード(m.m)	100	1
5	セグメント種	QRコード(m.m)	100	1
6	組立日時	y.m.d h.m.s	13.0	9
7	組立位置	A, B, C		
8	組立方向	東		
9	掘進方向	水平	10.0	2
10	掘進方向	掘進	10.0	2
11	掘進方向	掘進	10.0	2
12	掘進方向	掘進	10.0	2
13	掘進方向	掘進	10.0	2
14	掘進方向	掘進	10.0	2
15	掘進方向	掘進	10.0	2
16	掘進方向	掘進	10.0	2
17	掘進方向	掘進	10.0	2
18	掘進方向	掘進	10.0	2
19	掘進方向	掘進	10.0	2
20	掘進方向	掘進	10.0	2
21	掘進方向	掘進	10.0	2
22	掘進方向	掘進	10.0	2
23	掘進方向	掘進	10.0	2
24	掘進方向	掘進	10.0	2
25	掘進方向	掘進	10.0	2

表設定画面

受入れ確認画面

図-4 トンネル情報シート

### 3.3 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。

### 3.4 システムの適用事例

本システムの機能と効果を確認するため、以下の工事において現場適用した。

- i. 工事名：九頭竜川下流（二期）農業水利事業  
十郷2号用水路その5建設工事
- ii. 発注者：農林水産省北陸農政局
- iii. 施工場所：福井県坂井市坂井町
- iv. 工事規模：泥土圧シールド工法、延長  
L=1,792m、RC セグメント外径φ4,550mm、  
仕上がり内径φ3,500mm（鋼管）

### 3.5 システムの特徴

- i. 2次元コードの読取時間は1リング当たり10秒であり、製造番号を書き留める従来方式より大幅に迅速化できる
- ii. スキャナーは、ハンディターミナルとクレードル間で無線操作が可能なものを使用することで、地上ヤード・切羽での読込み作業の制約が無く、施工性が良い（無線範囲、見通し20m）
- iii. 読取りとデータ転送を音とランプによる区別で容易に確認でき、読込みの操作ミスがなくなる（写真-2）
- iv. 主幹システム（掘進管理、測量管理）から、推力や蛇行量等の掘進データを情報シートに自動で読込み・記録することで、効率的な品質管理が可能である



写真-2 無線式スキャナー

### 3.5 システムの適用結果

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。

## 4. 路面変状管理システム<sup>3)</sup>

### 4.1 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、

- ① シールドの切羽位置から測量範囲を抽出
- ② 水準測量の実施
- ③ 測量結果を掘進管理に反映

である。これまでは②から③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。

#### a. ノンプリズム TS を使用した全自動システム

- ① 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
- ② ノンプリズム TS を用いて路面を自動計測する
- ③ 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
- ④ 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

#### b. オートレベルを使用した半自動システム

①および④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。

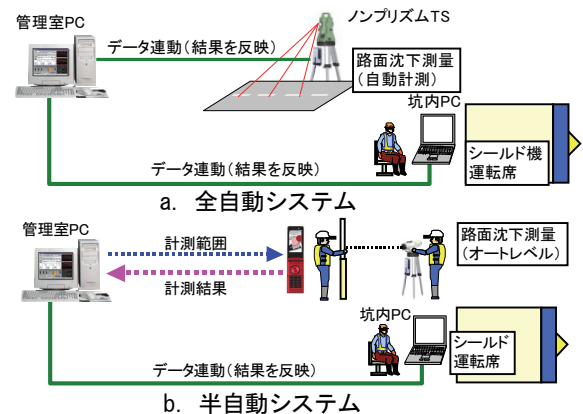


図-5 路面沈下管理システム概要



### 4.2 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。

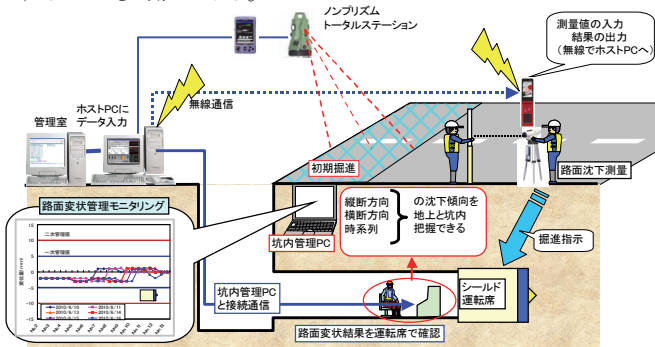


図-6 路面変状管理システムの適用イメージ

### 4.3 システムの適用事例

本システムの機能と効果を確認するため、オートレベルを使用した半自動システムを以下の滋賀県内の泥土圧シールド工事に適用した。

- i. 工事名：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
  - ii. 発注者：滋賀県
  - iii. 施工場所：滋賀県彦根市松原町
  - iv. 工事規模：泥土圧シールド工、延長 L=990m、セグメント外径φ2,000mm、仕上がり内径φ1,350mm
- 以下に、適用システムの詳細を記す。

#### a. 計測範囲の抽出

システム導入時に、設定画面で掘進位置からの計測範囲、計測頻度等を設定する。

日々の作業においては、主幹システムの坑内自動測量結果から計測範囲を抽出し、携帯電話端末に計測範囲データを送信する。

#### b. 水準測量

測量データの送受信は、携帯電話のアプリケーションで実施する(写真-3、写真-4)。前視、後視の測量値を直接携帯電話に入力し、システムに返信する。測量の入力ミスを防止するため、入力した値が設定値以上の変動が有る場合は携帯電話に警告画面を表示する。



写真-3 携帯アプリ画面



写真-4 路面沈下計測状況

また、設定した時刻までに測量値の送信が無ければ、主幹システムモニターに計測指示画面が表示される。さらに、測量結果の図化により、測点・縦断面・横断面の経時変化グラフを自動作成する(図-7)。

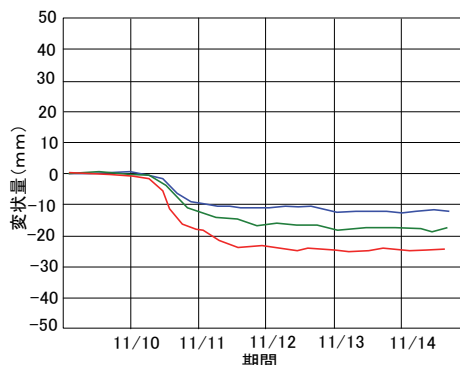


図-7 路面計測点 経時変化グラフ(例)

#### c. 結果のフィードバック

シールドと計測位置関係から先行沈下と後続沈下を自動判定し、路面変状管理値を超過した場合は掘進管理パソコン(地上管理室およびシールド運転席)に警告表示を行う。(図-8)。計測結果を自動的に記録し、帳票に出力できる。

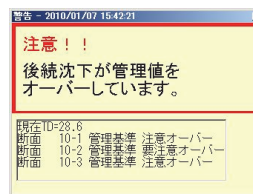


図-8 警告表示(例)

### 4.4 システムの特徴

- i. 携帯電話を入力端末として使用することにより、利便性が高く経済的なシステムである
- ii. 測量結果の画面上から、誤入力や計測値を一測点ごとに確認できる
- iii. 計測範囲を自動で抽出し、携帯電話に読み値を入力するだけで帳票作成までが自動で可能となり、効率的な計測作業ができる
- iv. 主幹システムでデータ化した計測結果を共有することで、測量データの呼び出しや掘進データとの関連付けが容易に行え、路面変状の原因究明と施工管理への迅速なフィードバックができる

### 4.5 システムの効果

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。

## 5. 資材管理システム・受入検査管理システム

### 5.1 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-9）。

さんがログイン中です

**警告表示**

メニュー

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テーパー	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 <sup>3</sup>	
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カーフ付(25A)	1.2 m (1R)	
風管	風管	84.0 m以上(71R以上)	

図-9 資材管理システム 管理画面

### 5.2 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-10）。

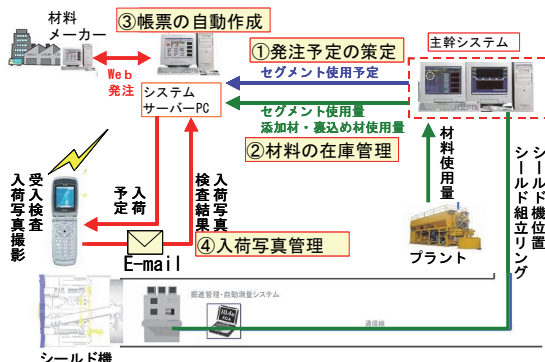


図-10 資材管理システムと受入検査管理システムの連携

### 5.3 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。

- i. 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-11）。
- ii. 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-12）
- iii. 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-13）



図-11 携帯による受入検査状況



図-12 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	注文種類別の適合	納品店裏と実物照合
2	裏面・側面の有無	クラックの有無	目視
3	裏面・側面の有無	クラックの有無(幅0.1mm以上)	目視、クラックスケール

検査日	形状	数量	検査項目	合格判定	検査員	不適合品の処置	再検査日
6/12	Sタイプ2	1	1	合格	安竹	不適合の理由 □手摺 □特別取用 □不採用	
			2	合格			
			3	合格			
6/12	Sタイプ2	1	1	合格	安竹	不適合の理由 □手摺 □特別取用 □不採用	
			2	合格			
			3	合格			
6/12	Sタイプ2	1	1	合格	安竹	クラック0.2mm ■手摺 □特別取用 □不採用	
			2	合格			
			3	合格			

図-13 受入検査結果

### 5.4 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。

### 5.5 システムの適用事例

九頭竜川下流（二期）農業水利事業十郷2号用水路その5建設工事、および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において現場適用した。

### 5.6 適用結果および効果

- i. 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
- ii. 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
- iii. 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
- iv. 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

## 6. 写真管理システム

### 6.1 システム概要

シールド掘進時は、品質、出来形に加え、各施工サイクルを一定頻度で写真撮影し、管理する。しかし、品質管理の項目が多くなり、品質管理写真の撮影項目のデータ処理および管理は煩雑である。

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。

- i. メモ機能付きカメラに撮影項目を取込む
- ii. カメラで該当する撮影項目を選択し、写真撮影する
- iii. メモ機能付きカメラと撮影項目管理ソフトを連携する
- iv. 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-14)
- v. 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



図-14 写真管理システム

### 6.2 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。

### 6.3 システムの適用事例

九頭竜川下流(二期)農業水利事業十郷2号用水路その5建設工事、および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において現場適用した。

### 6.4 適用結果および効果

- i. 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
- ii. 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
- iii. 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

## 7. あとがき

シールド工事の品質向上を目的に「シールド情報統合管理システム」を開発と現場適用により、シールド工事の品質向上、施工管理の効率化を確認した。さらに、セグメント情報管理システムや路面変状管理システムのデータを蓄積し、同種の地盤、施工条件における予測データとしての活用を図ることで、シールド工事のさらなる品質向上に寄与することが可能である。

今後は、総合評価落札方式におけるシールド工事応札物件への提案も含めて、受注したシールド工事においてシステムの普及・展開を図る。また、セグメント情報管理システムについては、推進工事における推進管やボックスカルバート等のコンクリート二次製品への水平展開を図る<sup>4)</sup>。

さらに、ハード機器の能力向上や通信技術は日進月歩であるため、それに応じた継続的な改善を行い、より効率的でユビキタスな施工管理環境の構築を行う必要がある。

### 【参考文献】

- 1) 安竹 馨、宮田岩住、高根正明、中村誠喜、「シールド情報統合管理システムの開発(その1:セグメント情報管理)」、第64回土木学会年次学術講演概要集、IV-36、2009.9
- 2) 木下茂樹、安竹 馨、川嶋英介、福居雅也、「シールド情報統合管理システムの開発(その2:セグメント情報管理)」、第64回土木学会年次学術講演会、IV-37、2009.9
- 3) 二宮 功、吉岡 徹、安竹 馨、中村誠喜、「シールド情報統合管理システムの開発(その3:路面変状管理システム)」、第65回土木学会年次学術講演会、2010.9
- 4) 脇坂 彰(北九州市)、安竹 馨、小立篤史、木下茂樹、「シールド情報統合管理システムの開発(その4:推進管情報管理システム)」、第65回土木学会年次学術講演会、2010.9