

I-7 GIS と RFID を組み合わせた構造物トレーサビリティシステムの開発と導入

Development of Structure Traceability System using GIS and RFID
for Construction and Maintenance黒台昌弘¹・名倉浩²・澤正樹³

Masahiro KURODAI, Hiroshi NAGURA, and Masaki SAWA

抄録：現在の土木構造物における維持管理では、不具合箇所を発見・現認後に補修を行う「事後保全」が主な管理手法となっているが、「事後保全」だけでは土木構造物の長寿命化やライフサイクルコストの低減を実現させるためには不十分といわれている。そのため、「予知保全」、「予防保全」へ移行することが喫緊の課題であると考え、筆者らはGISとRFIDを組み合わせた構造物トレーサビリティシステムを開発し、共同溝シールド工事現場に導入した。情報の管理対象をコンクリート構造物と二次製品とし、これらについて設計から施工、維持管理における情報を時間軸に沿って一元管理し、また、三次元的に閲覧が可能で、予知・予防に資する情報をいつでも取り出せるシステムとなっている。

Abstract: Now a main method of structure maintenance is breakdown maintenance, but it is insufficient for long life and life cycle cost reduction of structures. So we have recognized that we have to shift from breakdown maintenance to predictive and preventive maintenance immediately. As a result we have developed “The Structure Traceability System using GIS and RFID” and introduced it to a public utility tunnel construction. This system has a centralized information which records plan-information and construction-information of concrete structures and secondary products. The centralized information is useful for predictive and preventive maintenance, and moreover we can get the information anytime and anywhere.

キーワード：GIS, RFID, トレーサビリティ, 維持管理

Keywords：GIS, RFID, traceability, maintenance

1. はじめに

現在のわが国の社会資本は、高度経済成長期に整備されてから40年以上が経過し、一斉に老朽化の時期を迎えている。厳しい経済情勢の中での維持管理が必要であるが、将来的なコスト把握や補修の優先順位付けが難しいなどの理由から、不具合箇所を発見・現認後に補修を行う「事後保全」が維持管理の主な手法となっている。しかし、「事後保全」は、故障停止もしくは機能が著しく低下してからの対応となるため、復旧までにコストと時間を要し、経済的な損失も大きくなることが多い。そこで、国や地方自治体では、大規模修繕などが必要になる致命的な損傷にいたる前に、きめ細やかな点検補修を行うことで長寿命化を実現する「予防保全」や「予知保全」への転換を進めている¹⁾。

コンクリート構造物などを「予防保全」「予知保全」型で維持管理するために、非破壊探査や各センサの応用により現状の損傷度合いを把握する点検技術だけでなく、維持メンテナンス作業の効率的な計画立案を目的としてひびわれ検査結果などの点検履歴や実際の修理履歴などを確実に記録しておくデータベースマネジ

メントシステムなどの情報利用技術にも注目が集まっている。

すなわち、現状を把握する技術に加え、維持管理に必要な過去の情報、言い換えれば、設計・施工から維持管理までの情報を一元管理しておくことで、予防・予知に資する情報を手間無く取り出すことができるようになれば、蓄積した情報を駆使した効果的な維持管理計画の立案が可能になり、結果的に、構造物の長寿命化やライフサイクルコストの低減に繋がると考えられる。

2. システムの概要

(1) システム開発の背景と既往の研究

社会資本整備の最終段階である維持管理において、より経済的かつ効果的な作業を計画する場合に、設計・施工段階で生成された様々な情報が必要となることは言うまでもない。例えば、供用中のトンネルにおけるコンクリート剥離現象に対して、施工コンクリートの品質情報や養生時の状況などが施工場所ごとに明確にわかっているならば、適切な維持管理（補修など）を実施することが可能となる。このような施工時の情報は工

1：正会員 博士(工学) (株)間組 技術・環境本部 技術研究所 技術研究第一部
(〒305-0822 茨城県つくば市荻間 515-1, Tel :029-858-8813, E-mail : kurodai@hazama.co.jp)

2：正会員 (株)間組 土木事業本部 技術第一部 (〒105-8479 東京都港区虎ノ門 2-2-5)

3：非会員 (株)間組 経営企画部 情報システムグループ (〒105-8479 東京都港区虎ノ門 2-2-5)

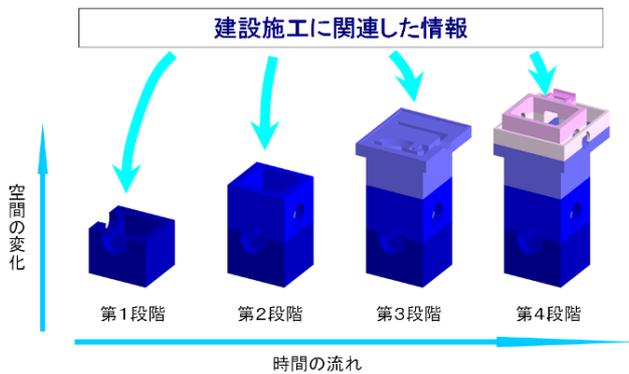


図-1 情報登録手順の概念

事完成図書電子納品要領(案)やデジタル写真管理情報基準(案)などによって工事完了後に施工者から発注者へ納品されるが、この規定を援用しつつ、維持管理段階での情報利用を想定して、設計・施工段階で情報蓄積しておく仕組みがあれば、前述の課題に対しての解決策の1つになるものと考えられる。

その解決策として、筆者らはCG(コンピュータグラフィックス)に代表される3次元モデルに着目している。3次元モデルは図-1に示すように土木構造物をいくつかの部材に分割して表現されるもので、この部材には座標値やIDなどが割り振られている。これらの数値は3次元モデルの中では、地図でいう「住所」のようなものとして取り扱われ、施工時の情報などと紐づけることで、立体的にマッピングすることができる。こういった意味で、筆者らが考案している情報格納手段をGIS(地理情報システム)と称することとしている。本稿では、情報の離散防止や検索性向上あるいは情報の所在把握の容易さなどを目的として、合意形成や意志決定のための支援技術としてGISを活用しており、以降に示す構造物トレーサビリティシステムの中核技術となっている^{2)~7)}。

(2) システム概要

本稿で示す構造物トレーサビリティシステムは、従来の“施工の効率化を図る”ことを目的とした情報管理システムとは異なり、施工の次のステップである維持管理段階における“維持管理の効率化を図る”ことを目的としたシステムとなっている。以降には、共同溝トンネル工事におけるコンクリート構造物とコンクリート二次製品を対象に開発したシステムに関して詳述する。

a) 開発コンセプト

本システムでは、管理対象となるコンクリート構造物やコンクリート二次製品についての設計から施工、維持管理における情報を構造物の完成部分(部材・部品)ごとに時間軸に沿って登録、一元管理する⁶⁾(図-1)。構造物の設計・施工・維持管理に関する技

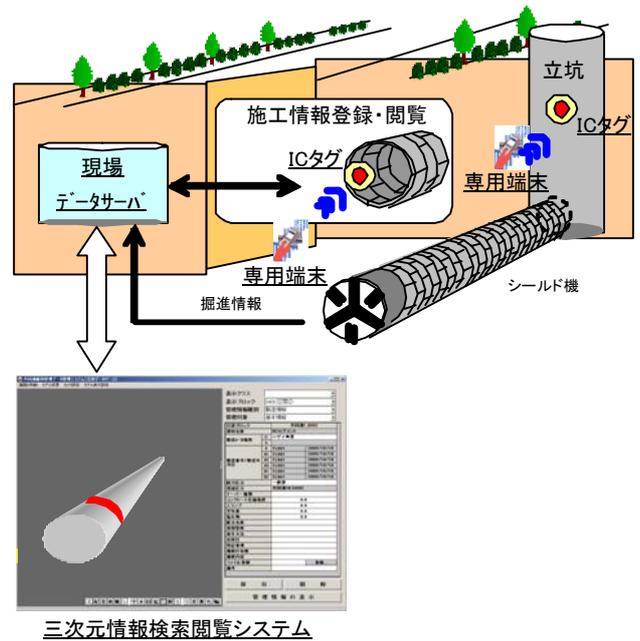


図-2 システム概要図

術者の誰しもが理解できる3次元モデルを情報入力(閲覧)の入り口とすることで、漏れなく情報登録ができるとともに、登録された情報を容易に抽出することが可能となる。

このようにして登録された多くの情報の中から必要な情報を施工ヤード(ここではシールドトンネル坑内)に居ながらにして探し出すためには、情報閲覧のための道具と情報検索のキーとなるデータが必要となる。本システムでは、管理対象物に読み書き可能なRFID(以降、ICタグと称する)を取り付けることでこれを実現することとした。その結果、点検作業時にひびわれなどの損傷を発見した場合には、ICタグに記録した情報を検索キーにして、蓄積された情報群から必要な情報を検索し、施工時の状況などの確認が可能となる。また、損傷状況やその補修結果などをICタグに登録することで維持管理履歴を管理することも可能となる。

b) システム構成

構造物トレーサビリティシステムは、大別して4つの装置・システムで構成されている(図-2)。すなわち、一元管理された情報を三次元的に検索・閲覧するための「三次元情報検索閲覧システム」、管理情報を一元管理するための「現場データサーバ」、現場で必要な情報を登録・閲覧するための「ICタグ」と「専用端末」である。以降に順にそれらの概要を説明する。

①三次元情報検索閲覧システム

「三次元情報検索閲覧システム」は構造物トレーサビリティシステムの中核となるシステムで、土木構造物を三次元的に表示し、その任意の場所における「製造情報」や「施工時情報」などを記録保管する機能を具備している。さらに、一元管理されている情報の中から、

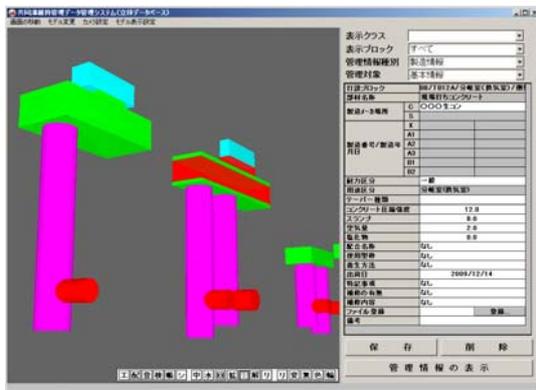


図-3 三次元情報検索閲覧システム
(分岐室,分岐シャフト,横坑のモデル図)

任意に設定した条件で検索を行うことで、該当する情報を抽出するとともに、それに関連付いた構造物の部材部品をライトアップ表示する機能も有している。

例えば、ある場所でひび割れが発生した場合、その場所の施工時情報の中からセグメント製造情報を確認する。次に、確認した情報と同種の情報を保有するセグメントを割り出し、その位置を三次元モデルを介して表示することで、ひび割れが起きる可能性のあるセグメント位置を特定する。これまでのデータベース検索では、登録した情報群の範囲内での検索であったが、このように場所情報を関連づけた検索を可能としたことが本システムの大きな特徴である。

このように、「三次元情報検索閲覧システム」を活用することで、「確認したい場所」の「確認したい情報」を瞬時に把握することが可能となり、従来の紙図面や平面的な CAD データやその場所における情報を様々な資料から探し出すという長時間の情報収集作業から解放されることとなる。さらに、担当者間で空間把握に関する共通の認識を持つことができ、平面的な図面の誤認も少なくなるといったメリットもある。共同溝トンネルのように、実際の構造物を外から立体的に確認することが難しい地下構造物では、非常に有効なシステムであると言える(図-3)。

②現場データサーバ

「現場データサーバ」は工事事務所内に構築したデータサーバで、設計情報や製造情報、施工時情報、点検情報などを一元管理している。

管理している情報は後述するが、このうち「製造情報」と「施工時情報」の一部については、一つのデータベースに対し情報入力場所が工事事務所(パソコン)とトンネル坑内(専用端末)の2箇所(2端末)に分かれる。そのため、常に最新データを管理する必要性から、トンネル坑内での入力作業前後にはパソコンと専用端末との間でデータの整合性確認を行っている。

具体的には、入力担当者は工事事務所においてパソコンへの入力作業後、無線 LAN を介して「現場データサ

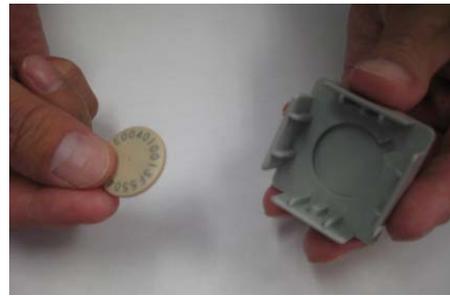


写真-1 ICタグと専用キャップ



写真-2 セグメントへの IC タグ取付状況



写真-3 ICタグとアクリルプレート



写真-4 打設コンクリートへの IC タグ取付状況

ーバ」に登録されている「製造情報」と「施工時情報」を専用端末に転送し、トンネル坑内に移動する。そして、トンネル坑内において専用端末から IC タグへの入力作業終了後、工事事務所に戻り再度無線 LAN を介して「製造情報」と「施工時情報」を「現場データサーバ」に転送することとなる。

③RFID (IC タグ)

本システムを適用した工事では、竣工後の維持管理段階においてもシステムやデータベースを活用する計画があり、IC タグは長期にわたり性能を維持することが要求されるため、汚れに強く、耐久性があり強度的にも優れた PPS (ポリフェニレンサルファイド) で覆われたバッテリー交換が不要 (メンテナンスフリー) なパッシブ型としている。

周波数帯については、セグメントに取り付ける IC タグ同士の間隔が最小で 1.2m であり、UHF 帯などでは通信距離の問題から意図しない IC タグへの読み書きを行う可能性があるため 13.56MHz を採用した。また、メ

メモリ容量はICタグに書き込む情報量を考慮し128byte（ユーザ領域112byte）となっている。

管理対象となるセグメントへの取り付けは、セグメント本体を加工せず、かつ、現場での取付けや交換を簡略化するため、本工事向けに考案した専用キャップに組み込み（写真-1）、これをセグメントのグラウトキャップにはめ込む方法を採用した（写真-2）。また、他のセグメントより幅が小さいキーセグメントにICタグを取り付けているので、施設管理者でも容易にICタグの取付場所を把握することが可能である。

一方、コンクリート構造物へは、事前に接着剤でアクリルプレートにICタグを貼り付け（写真-3）、このアクリルプレートをコンクリート表面へアンカーボルトなどで固定する（写真-4）方式とした。

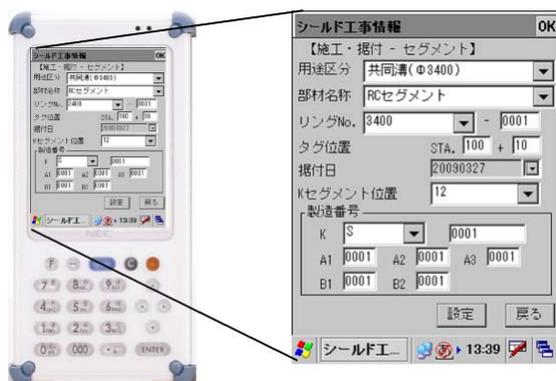


写真-5 専用端末と入力画面



写真-6 リーダライタと読み取り状況

④専用端末

専用端末（写真-5）は市販のPDA(Personal Digital Assistants)に情報の入力およびICタグへの情報登録、ICタグ内の情報閲覧ができるアプリケーションを組み込んでおり、本体裏側にはICタグと通信を行うためのリーダライタが装着されている（写真-6）。

トンネル坑内においては、この専用端末を使ってセグメントの設置状況やコンクリート打設状況、点検情報などを入力し、ICタグへ登録するとともに、維持管理段階などにおいてICタグに登録されている各種情

表-1 管理情報一覧

区分	情報名	区分	情報名
情報計	図面	製造情報	受入検査日
	構造計算書		施工(据付)日(*)
	設計書		リングNO(*)
情報通	工事名称・工区名(*)		リングNO(開始)(*)
	発注者(*)		リングNO(終了)(*)
	施工者(*)		打設年月日(*)
製造情報	部材名称(*)		打設開始時刻
	用途区分		打設終了時刻
	製造番号		打設位置(*)
	製造メーカー		STA.NO(*)
	製造年月日(*)	場所情報(概要)(*)	
	耐力区分	場所情報(詳細)(*)	
	テーパー種類	Kセグメントの位置	
	コンクリート圧縮強度	コンクリート圧縮強度	
	スランブ	スランブ	
	空気量	空気量	
	塩化物	塩化物	
	配合名称	配合名称	
	使用型枠	使用型枠	
	養生方法	養生方法	
	出荷日	ジャッキ推力	
	特記事項	ジャッキパターン	
	補修の有無	テールクリアランス	
	補修内容	ストローク差	
	出荷検査結果	裏込め注入圧	
	外観寸法検査結果(型枠)	裏込め注入率	
	コンクリート材料試験結果	中折れ角度	
	鉄筋かご検査結果	目開き量	
	型組検査結果	目違ひ量	
	コンクリート品質試験結果	真円度	
	水平仮組検査結果	セグメント蛇行量	
	外観寸法検査結果(製品)	セグメント回転量	
	単体曲げ試験結果	ローリング	
	継手曲げ試験結果	点検実施日(x回目)(*)	
	推力試験結果	点検実施者(x回目)	
	吊手金具の引抜試験結果	前回点検結果(*)	
強度試験結果	通算点検回数(*)		
外観検査	点検時期		
ひび割れ検査	点検結果		
鉄筋かぶり検査	状況		
その他検査	内容		
	補修内容		
	補修実施日		
	補修実施者		
	その他		
点検情報	点検実施日(x回目)(*)		
	点検実施者(x回目)		
	前回点検結果(*)		
	通算点検回数(*)		
	点検時期		
	点検結果		
	状況		
内容			
	補修内容		
	補修実施日		
	補修実施者		
	その他		

(*):ICタグへの書き込みを行う項目

報を閲覧することができる。

c) 取り扱う情報

本システムでは、工事事務所で入力するセグメントの製造に関わる情報、トンネル坑内で入力するセグメントの据付に関わる情報や打設したコンクリートの情

ビリティを可能としたものである。これまでに、山岳トンネル、都市シールド、橋梁下部工、カルバート、沈埋函、ケーソン、ダムなど多くの工事に展開中であり、維持管理段階で活用することを視野に入れて情報蓄積を進めている。図-5~8にこれらの代表事例を示す⁷⁾。

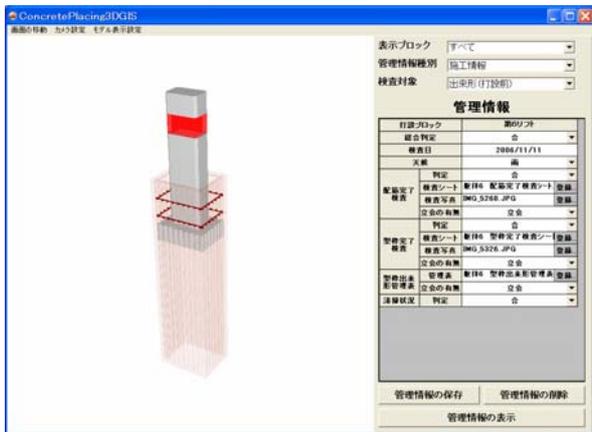


図-6 橋梁下部工工事への適用例

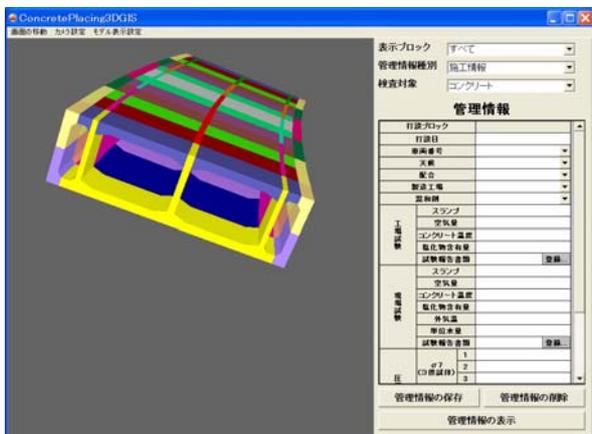


図-7 沈埋函工事への適用例

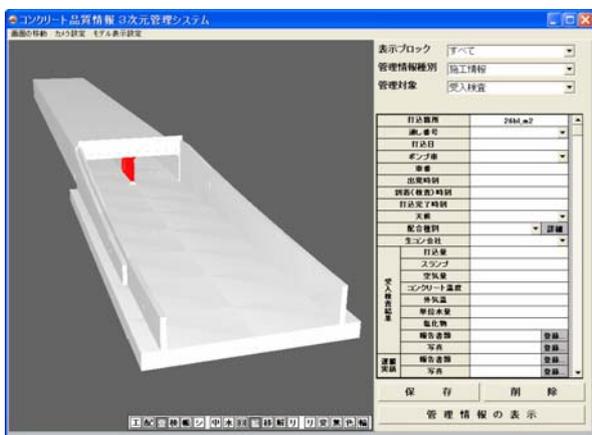


図-8 カルバート工事への適用例

5. おわりに

社会資本整備から社会資本維持へ移行する中にあって、設計施工情報を次段階である維持管理への確に継承することを目的とした本システムは、まさに時機を得た技術であると言える。

今後は、コンクリート構造物や二次製品に限らず、出来形計測などの各種計測データなど、施工した土木構造物のトレーサビリティに資する情報を順次取り込むことのできるシステムへの拡充を図っていく予定であり、本システムの運用が「事後保全」から「予防保全」「予知保全」といった維持管理へのスムーズな移行の実現の一助になれば幸いである。

謝辞: システムの開発および適用にあたり、ご協力いただいた工事関係者に深い感謝の意をここに表す。

参考文献

- 1) (財)日本建設情報総合センター:特集インフラのヘルスマニタリング, JACIC 情報 97, Vol.25, No.1, p.95, 2010 年.
- 2) 黒台, 須田, 渡邊, 八重柏, 笈川, 舟山, 弘末:3 次元 GIS を用いた最終処分場の埋立管理手法について, 土木学会第 59 回年次学術講演会講演概要集 VII 部門, pp.411-412, 2004 年.
- 3) 中村, 須田, 黒台, 建山:3 次元 GIS を活用した下水道施設の次世代維持管理手法に関する研究, 土木学会第 61 回年次学術講演会講演概要集 VI 部門, pp.547-548, 2006 年.
- 4) 黒台, 須田:3 次元 GIS による施工情報の管理と活用, 2007 年度日本建築学会大会 (九州) 情報システム技術部門研究協議会資料, pp.69-74, 2007 年.
- 5) 黒台, 須田, 小野:建設施工における 3 次元 GIS の活用方法に関する検討, 地理情報システム学会講演論文集, Vol.16, pp.401-404, 2007 年.
- 6) 黒台, 須田, 小野:施工履歴と品質情報の一元管理を目的とした立体データベースの開発, 電力土木, No.334, p.156-159, 2008 年.
- 7) 黒台, 蓮井, 須田, 小野:構造物の維持管理の効率化を目的とした作業情報の見える化技術について, 土木学会第 63 回年次学術講演会講演概要集 VI 部門, pp.413-414, 2008 年.
- 8) 土木学会:シールドトンネルの施工時荷重, 土木学会トンネルライブラリー第 17 号, pp.152-189, 2006 年.

(2010. 5. 28 受付)