

開削トンネルの維持管理に資する 情報の収集、活用に関する検討

Study of Effective Use and Collection of Information of Urban Tunnel Maintenance

新井泰¹, 大石敬司², 蒲地秀矢³, 有賀貴志⁴, 瀧浦猛朗⁵

Yasushi Arai, Keiji Oishi, Hideya Kamachi, Takashi Aruga and Takero Takiura

¹正会員 工修 (財)鉄道総合技術研究所 構造物技術研究部 (〒185-8540 東京都国分寺市光町2-8-38)

E-mail:araton@rtri.or.jp

²正会員 東京地下鉄(株) 鉄道本部 改良建設部 (〒110-8614 東京都台東区東上野3-19-6)

³正会員 (株)ジェイアール総研情報システム 数理解析部 (〒185-8540 東京都国分寺市光町2-8-38)

⁴正会員 (株)コンポート (〒191-0011 東京都日野市日野本町3-8-3)

⁵(株)フジタ 東京支店 土木部 (〒151-8570 東京都渋谷区千駄ヶ谷4-25-2)

The provision of social overhead capital has been completed to some extent in Japan. The businesses who manage infrastructures take an interest in maintenance of existing facilities and preservation of intellectual properties.

Therefore, we selected particular documents among construction records to preserve from being lost and to advance the maintenance of urban tunnels. And we created a database of those documents that can search information intuitively with three-dimensional model.

Key Words : 3D model, product model, database, maintenance, urban tunnel

1. はじめに

近年、日本国内においては社会資本整備が一段落し、各インフラを運営する事業者の関心は既存ストックの維持管理に移りつつある。加えて、各事業者が擁するインハウスエンジニアや部外の経験豊富な技術者の減少に対応するための知的ストックの保存、活用という観点から、構造物および付帯設備に関する情報のデータベース化の動きが活発になっている。

都市部の地下構造物については、取替えや再構築が非常に困難な状況にあることから、恒久的に適切な維持管理を行っていくためには、施工時あるいは竣工時の記録を初期値とし、経年に伴う構造物の変化を的確に把握することがとくに重要である。

シールドトンネルについては、杉本ら¹⁾がトンネルの品質や耐久性とシールド掘進時の施工時荷重との関連性について成果をまとめており、実プロジェクトにおいてもその観点から一定の考察がなされるようになってきた。

一方、開削トンネルについては、トンネルの品質や耐久性がひび割れによって左右されるという観点から、構造ひび割れに関しては田辺ら²⁾が、材料ひび割れに関しては諸橋ら³⁾が、実現場の目視調査結果と数値解析あるいは経験式との整合性について言及している。

しかし、変状に対する補強、補修の意思決定や優先順位の判断にそれらの知見を反映させるためには、設計、施工段階で作成された膨大な資料の中から有用な情報を選定するとともに、それらを維持管理業務において積極的に活用するためのスキームを構築する必要がある。

そこで、本研究では、開削トンネルの多岐にわたる施工記録の中から、維持管理業務を円滑に進めるために保存すべき資料を具体的に示すとともに、それらの情報を積極的に活用するための方策として、三次元モデルをプラットフォームとした情報データベースを構築し、設計、施工情報および変状情報の体系的な管理手法について検討した。

2. 本研究の着目点

(1) 維持管理情報の仕様

諸橋らの研究³⁾では、場所打ちコンクリートが主体となる開削トンネルの維持管理における材料ひび割れの評価の重要性を示すとともに、当該評価においては構造物の形状寸法や支保工の配置、コンクリートの配合や打設順序等の情報を変状管理図とともに保存することが重要であることを示している。

本研究では、これら維持管理業務に不可欠な情報を「維持管理情報」と呼ぶものとし、とくに変状管理図の解釈に有効であると思われる情報を具体的に選定した。

(2) 維持管理情報の活用

維持管理情報を積極的に活用するための一手法として、三次元モデルをプラットフォームとしたデータベースの構築を試みた。

ここでは、開削トンネルの形状寸法を忠実に再現した三次元モデルと維持管理に関する情報を格納したデータベースとを関連づけ、三次元モデル内においてデータベースの情報を検索、表示することで、着目する構造物と維持管理情報の関係を直観的に把握できるか否か判断することとした。

3. 維持管理情報の仕様

(1) 概要

建設工事に際しては、多種多様な資料が作成されているが、これらの情報が維持管理業務への活用という観点で管理されている事例はきわめて少ない。

その要因として、維持管理業務に用いるべき情報が絞り込めず、必然的に保存しようとする資料の種類、量が多くなり、その管理が煩雑になることが考えられる。そこで、本研究では維持管理情報として最低限必要となる情報を選定するとともに、それらを構造物情報と変状情報に分類するものとした。

また、各々について、その管理仕様を具体的に示すこととした。

構造物情報は、情報源となる資料が作成される目的を考慮し、設計計算書や設計図面等（以下、設計図書）、施工計画書や材料調書等（以下、施工図書）で構成するものとした。

変状情報は、初回検査および供用開始後の検査において抽出される各種変状等を記録する変状検査記録、変状確認記録や竣工時あるいは初回検査時に作成する変状検査補助記録等で構成するものとした。

表-1 構造物情報一覧

資料		取得情報
設計図書	設計仕様書、工事仕様書等	仕様, 規格
	全体一般図、構造一般図、配筋図、設計計算書等	形状寸法
	掘削工法等仮設一般図、杭打ち平面図等	施工方法
	全体一般図、地質調査報告書、地質縦断面図等	環境条件
施工図書	竣工図面等	形状寸法
	コンクリート打設日報、誘発目地配置図等	施工方法
	施工計画書、コンクリート配合試験成績表、コンクリート圧縮強度試験成績表、材料カタログ等	材料, 強度
	地下水位観測記録等	環境条件

表-2 変状情報一覧

記録名	内容	具体的な項目
変状検査 変状確認	変状を示す情報	ひび割れ、漏水等
変状検査 補助	構造物の形状寸法を示す情報	構造部材(側壁、床版、ハンチ、桁、柱等)、開口等
	施工時の状態を示す情報	工区境、コンクリート打継目、型枠跡、中間杭跡等
	付帯情報	誘発目地、埋込みパイプ、建築、電気、機械設備等

(2) 構造物情報として管理する資料

構造物情報として管理する資料は、田辺ら²⁾や諸橋ら³⁾の研究成果を踏まえ、表-1に示す資料を選定した。設計図書からは対象構造物の仕様、形状寸法、環境条件に関する情報を、施工図書からは対象構造物の施工方法、材料、強度、環境条件に関する情報を取得することができる。なお、資料の選定にあたっては、情報収集に係る作業を最小限とするため、通常の業務で作成される資料の流用を前提とした。

(3) 変状情報として管理する内容

変状情報として管理する内容は、表-2に示すとおりである。いずれも鉄道構造物等維持管理標準⁴⁾によって義務づけられている検査や措置の実施項目に準じており、これらは次節に示す変状管理図中に記載するものとした。

(4) 変状管理図

a) 変状管理図の定義

変状管理図はいわゆる一般に言うひび割れ展開図や変状展開図と同義であるが、本研究では変状のみならず、コンクリート打継目、中間杭切断跡等、変状に影響する要因ならびに型枠跡等を記載するものを、とくに変状管理図と呼ぶものとした。表-2に変状管理図に記載すべき具体的な項目を示す。

変状管理図に記載するひび割れや漏水等の変状は供用期間中の変状の進展や措置の優先度を判断する基礎資料となることから、とくに初回検査で作成する変状管理図は可能な限り正確に作成することが望ましい。

また、本研究では変状管理図に型枠跡を記載することを提案しているが、その理由は、①型枠跡はひび割れ等の位置や形状をトレースする際の基準線となり、簡易な方法ながらも比較的正確な変状管理図を作成することができる、②型枠跡の様相から埋設物が輻輳する箇所や河川下等、コンクリート打設の段取りの複雑さを推定することができ、これにより当該箇所のコンクリートの品質を評価する有益な情報となりえる、ためである。

b) 変状管理番号の設定

変状管理番号は変状をデータ化し、変状が進展した場合にその挙動を適切に把握する目的で設定したものである。

変状管理番号は、ひび割れ、ジャンカ、コールドジョイント等すべての変状を対象として設定する固有番号であり、表-3に示すように当該変状を確認した調査、位置を示すコンクリート打設ブロックおよび打設ロットを数値化して設定するものとした。この番号を用いることにより、変状管理図ならびにc)に述べる変状確認記録とともに記載することで変状を管理する精度の向上を期待するものとした。

c) 変状確認記録の作成

変状確認記録は、変状管理図と合わせて当該構造物の変状の発生および進展をデータ化して管理する目的で作成するものとした。

表-3 変状管理番号の設定法

調査番号	打設ブロック番号	打設ロット番号	変状番号
00	01	01	- 001
- 調査番号は、変状を確認した調査を示し初回検査を「00」とする。 - 打設ブロック番号は、変状を確認した打設ブロックを示し起点側から順に設定する。 - 打設ロット番号は、打設ブロックごとにコンクリート打設日報に示される順に設定する。 - 変状番号は、打設ロットごとに変状につける通し番号とする。			

ひび割れを主体とした変状確認記録の作成例を表-4に示す。記載する項目は、変状管理番号、変状の位置、方向で、ひび割れが分岐している場合は接続しているひび割れの番号、およびひび割れ幅等である。なお、その他の変状については適宜必要な項目を追加するものとした。

変状確認記録の項目にある「確認位置」は、諸橋ら³⁾の研究において初期状態にひび割れが発生しやすい位置として選定されたもので、ひび割れの位置を把握するための目安として用いるものとした。

d) 情報の管理形態

情報管理の目的は、情報の散逸を防止するとともに必要に応じて情報の検索と利用を容易に行うことができる環境を構築することにある。そこで、管理の対象となる資料は、すべて電子データ化することを原則とした。

4. 維持管理情報の活用

(1) 情報の活用方策の検討

3では、構造物情報および変状情報として管理すべき資料の仕様を示した。本章では、それらの資料を有効活用するための具体的な方策について示す。

一般的に情報の管理はデータベースを構築し、特定の単語をキーワードとして目的の情報を検索する方法が多く、設計図面、設計計算書等を対象にしたデータベースもその方法で運用されている。

しかし、維持管理業務において構造物のある特定の部材の変状に着目して、その部材と周辺の情報をデータベースから抽出するとなるとキーワード検索が困難になり複雑なシステム設計が必要となるため、運用コストの面からも実用されている事例はほとんどない。

そこで本研究では、情報管理技術の一つであるプロダクトモデル（Product Model）に着目した。プロダクトモデルは、工業製品等の設計、製造に際し、製品の三次元CADデータとその製品の形状や材質等の情報を属性情報として関連づけるもので、自動車

表-4 変状確認記録

確認位置 構変:構造変化、開口:開口部、杭跡:中間杭打設跡、誘発:誘発目地、継目:コンクリート打継目、境界:ブロック境界

変状管理番号	ブロック	階	線	部材	柱番号	方向	確認位置						接続しているひび割れ番号	ひび割れ幅(mm)	その他の変状
							構変	開口	杭跡	誘発	継目	境界			
000103-001	1	B2F	B	ハンチ		横断					●				
000104-001	1	B2F	A	側壁		斜め					●		000106-001	0.3未満	
000106-001	1	B2F	A	側壁		斜め					●		000104-001	0.3未満	
000107-001	1	B1F	A	側壁		横断					●			0.3未満	
000107-002	1	B1F	A	側壁		横断					●			0.3未満	
000107-003	1	B1F	A	側壁		横断					●			0.3以上0.6未満	
000107-004	1	B1F	A	側壁		横断					●		000109-001	0.3未満	
000107-005	1	B1F	A	側壁		横断					●			0.3以上0.6未満	

や造船等の産業分野では多く用いられている技術である。建設分野では、建築や橋梁等で実用化されており、その他の構造物への普及を目的とした研究^{5),6)}も進められてはいるが、実務において目立った適用事例は見当たらない。

本研究ではプロダクトモデルの概念を準用し、三次元CADソフトからデータベースに格納した情報を検索する一連のプロセスの開発を試みた。開発にあたっては、可能な限り開発および運用コストを少なくし、維持管理業務の担当者がデータの活用を直観的な操作で行えるものとすることを目標とした。

(3) 三次元モデルをプラットフォームとした
データベース

a) 三次元モデルの利点

三次元モデルは、対象構造物の設計図にもとづいて実構造物の形状、寸法を忠実に再現した三次元CADデータである。この三次元モデルをプラットフォームとすることで以下のような利点が見込まれる。

- ① 三次元モデルは立体イメージであり、構造物を様々な角度から認識できるため、開削トンネルのような複雑な形状の構造物ではとくにその効果が期待できる。
- ② 三次元モデルに変状を記載することで、変状の発生状況と構造物の幾何学的条件を関連づけて考えることが格段に容易になり、業務に習熟している者の強力なツールとなりえる。
- ③ 設計図にもとづいて作成した三次元モデルであるため、構造物の形状寸法等を格納したデータベースとみなすことができる。ただし、設計図面にもとづき一定の精度を有する三次元モデルの作成には、設計図面を読み解くための経験と、正確なモデリングを行うための三次元CADソフトの習熟が必要である。

b) 三次元CADソフトの選定

三次元モデルを用いる利点が多々あるにも関わらず、三次元モデルが建設分野で用いられることはきわめて少ない。この主な要因として、三次元CADソフトが一般に二次元CADソフトに比べて導入コストが高く、操作の習熟に時間を要することが考えられる。

このような要因を解決するひとつの手段として、本研究ではグーグル株式会社から提供されているGoogle SketchUp⁷⁾（以下、SketchUp）に着目した。

SketchUpは、ホームページ⁷⁾において無料で提供されており、洗練されたインターフェイスによる直感的な操作、オブジェクト指向スクリプト言語「Ruby⁸⁾」による機能の拡張をサポートし、営利目的の利用が可能（2008年9月現在⁹⁾）といった特徴がある。

すなわち、SketchUpを用いることにより、三次元CADソフトの導入コストを大幅に削減することが可能となり、また、当該ソフトは一般の三次元モデリング専用のソフトと異なり、二次元CADソフトとほぼ同等の操作性であるという特徴を有することから、三次元CADソフトの未経験者であっても容易に操作の習得が可能と考えられる。

したがって、数年前においては技術的に困難であった維持管理業務における三次元モデルの活用が、SketchUpの導入により実現可能になったと考えることができる。

(4) データベースの構築

形状寸法を格納したデータベースが三次元モデルであるとすれば、構造物の材料や強度等、三次元モデルに関連づける情報のデータベース化が必要である。データベースの構築は、情報の格納による恒久的な蓄積とデータベースと三次元モデルとを関連づけるためのIDの管理が目的である。データベースに格納する情報は、その内容、利用目的あるいは画面に表示する際の処理方法に応じて分類し、それぞれに対応したデータベースのテーブルを作成するものとした。

データベースへの情報の格納は、数値や文字列であるもの（以下、テキスト形式）、PDF等の電子ドキュメント等であるもの（以下、ドキュメント形式）、写真や画像等であるもの（以下、イメージ形式）、アプリケーションのファイル形式やその他（以下、その他形式）に分けられる。表-5にデータベースに格納する形式と対応する資料の具体例を示す。

三次元モデルとデータベースの情報との関連づけは、汎用一意識別子(UUID)の実装形式であるグローバル一意識別子(GUID)と呼ばれる疑似乱数を用いるものとした。GUIDは128ビットの2進数値で、理論上同一の番号が存在する可能性がきわめて少ないため多くのデータベースで利用されている。

表-5 資料の収集の有無と形態

形式	対応資料
テキスト	変状確認記録、コンクリート打設日報、地下水位測定記録、
ドキュメント	設計仕様書、工事仕様書、地質調査報告書、施工計画書、コンクリート配合試験成績表、コンクリート圧縮強度試験成績表、材料カタログ
イメージ	工事記録写真
その他	全体一般図、構造一般図、配筋図、地質縦断面図、掘削工法等仮設一般図、杭打ち平面図、誘発目地配置図、変状管理図

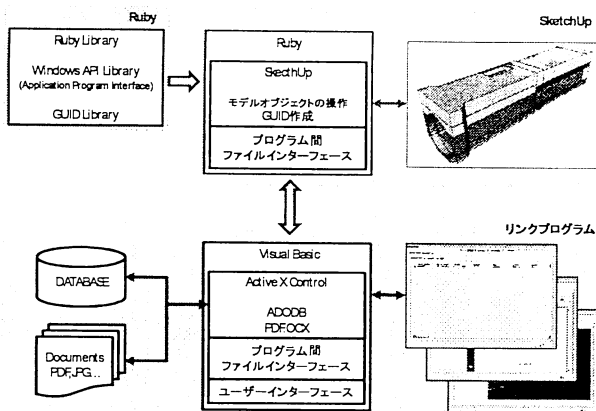


図-1 リンクプログラムの構成

なお、本研究ではデータベースの構築にMicrosoft Accessを用いるものとした。Microsoft Accessは、汎用データベースの中で一般に普及しているソフトであり、ユーザーによるデータベースの運用、維持等の利便性を考慮した。

(5) リンクプログラムの作成

a) リンクプログラムの機能

本研究で用いたSketchUpは、三次元モデルと外部のデータベースとを関連づける機能を標準で搭載していないため、当該ソフトの拡張機能を利用して、三次元モデルと属性情報を関連づけるためのプログラムを新たに開発することとし、これをリンクプログラムと呼ぶものとした。

リンクプログラムは、三次元モデルと属性情報を関連づける機能（以下、機能①）、三次元モデルから属性情報の呼出しおよび画面に表示する機能（以下、

機能②）で構成する。図-1にリンクプログラムの構成を示す。

b) プログラミング言語

本研究では、プログラム開発にあたり機能①にはRuby、機能②にはMicrosoft Visual Basic（以下、VB）を用いるものとした。

5. 建設現場における管理仕様の試験的運用

(1) 概要

3および4において示した手法を、建設中の地下鉄現場において試験的に運用し、当該手法の実効性の確認と課題の抽出を行った。

運用にあたっては、供用開始後も建築仕上げ等が設置されず、将来的に変状の進展やコンクリート表面の観察が可能な範囲を選定し、その結果、延長が約52m、構造形式が2層1径間および2層2径間のRCは箱型トンネルをその対象とした。

(2) 維持管理情報の仕様の検証

a) 構造物情報の収集

試験運用に先立ち、3ならびに表-1に示した構造物情報の収集を実施した。

設計図書および施工図書は、その多くが電子データで作成、保存されていたため、比較的短期間に収集することができた。ただし、施工計画書や地質調査報告書等の複数のアプリケーションソフトで作成されていた資料のほか、資材カタログ、コンクリート配合試験成績表、コンクリート強度試験成績報告

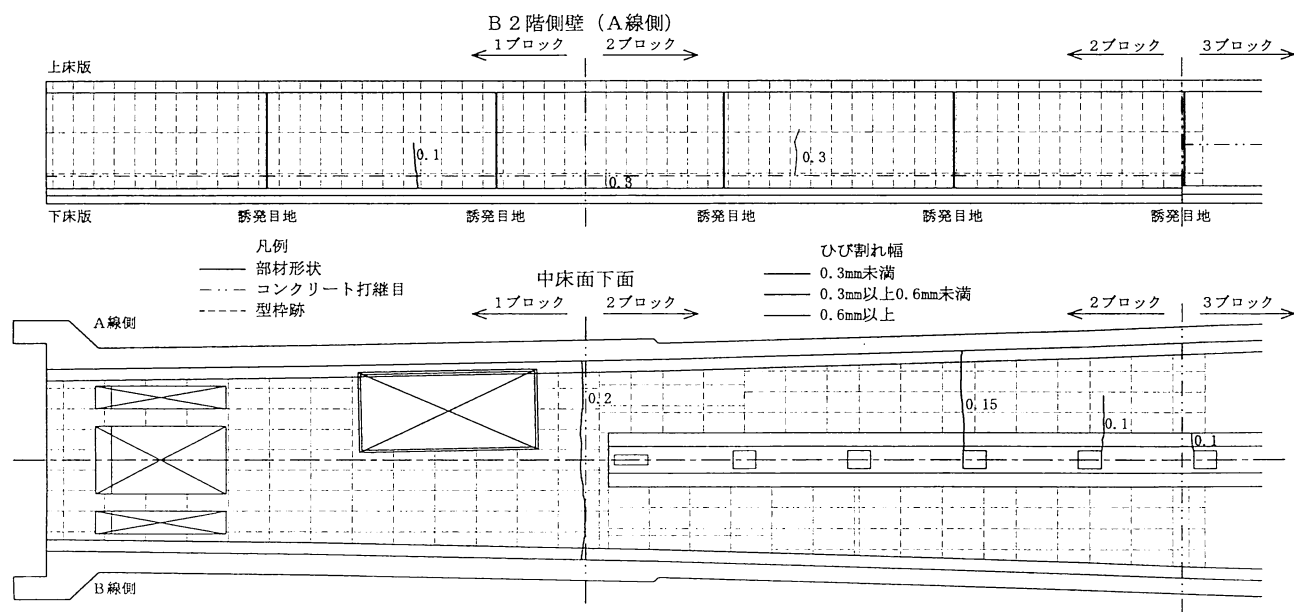


図-2 二次元変状管理図

書等の紙の印刷物で保存されていた資料は、スキャニングによりPDF形式で管理するものとした。

b) 変状情報の収集

変状情報の収集と変状管理図の作成の実効性を検証するため、初回全般検査と同様の目視調査を実施した。調査にあたっては、変状の記録を効率的に行えるように、あらかじめ当該構造物の展開図を作成し、目視で確認した変状を正確にスケッチするとともに、変状およびその周辺の状況を撮影した。

また、表-2に示す変状情報のうち、とくに工区境、コンクリート打継目、型枠跡、中間杭跡等の位置確認と記録を行った。これらの調査結果をもとに図-2に示す二次元変状管理図を作成した。

(3) 三次元モデルをプラットフォームとしたデータベースの作成

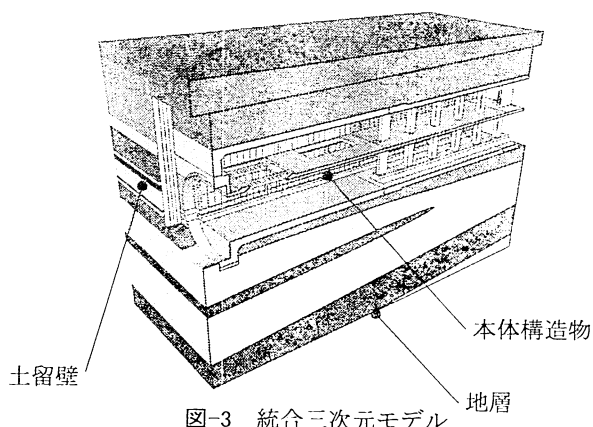
a) 統合三次元モデルの作成

表-1に示した設計図書にもとづいて図-3に示す統合三次元モデルを作成した。当該モデルは、b)以降に示すコンクリート打設順序モデル、三次元地層モデル、三次元変状管理図等の活用目的に応じた使い分けを想定したプラットフォームとなるものである。

なお、本体構造物は各打設ロットのコンクリート打設時期を把握しやすくするため、コンクリート打設時期を月ごとに色分けして示した。

b) 三次元コンクリート打設順序モデル

開削トンネルのコンクリート打設は、通常、躯体を複数の部分に分割し、計画された順序にしたがって行われる。このとき、コンクリート打設順序がひび割れ発生に大きな影響を与えるが、これは先行打設ロットが後行打設ロットの収縮を拘束するためであると考えられる。そこで、コンクリート打設ロット間の拘束条件がひび割れ発生過程に及ぼす影響を把握する目的で、コンクリートの打設順序を立体的かつ時系列で表現することにより、図-4に示す三次元コンクリート打設順序モデルを作成した。



c) 三次元地層モデル

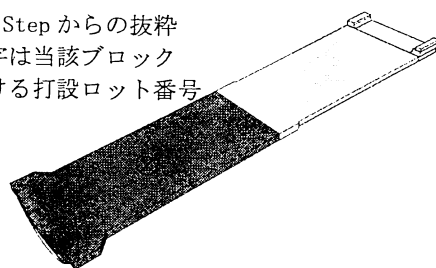
本研究では、図-3に示す統合三次元モデルにおける本体構造物の外側を取り巻く地層オブジェクトを三次元地層モデルと呼ぶものとした。当該モデルは、地質縦断面図から地層境界面のオブジェクトをSketchUpにインポートして作成したものである。

これにより、変状と構造物背面の関係の推定が容易となると考えられる。図-5に構造物内部から見た三次元地層モデルのイメージの一例を示す。

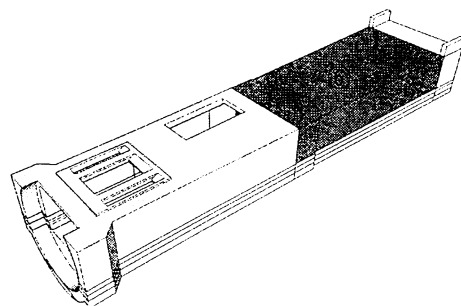
なお、地層の三次元化は、地層の変化を縦断方向だけではなく横断方向にも表現することが望ましいが、本研究では地下鉄構造物が線状構造物であり、横断方向の幅が縦断方向の延長に比べて狭く、横断方向の地層の変化が構造物に与える影響は小さいと判断し、縦断方向のみ表現するものとした。

ただし、構造物の幅が広い場合や、地層構成が複雑に変化している場合は、横断方向の変化も表現することが必要である。

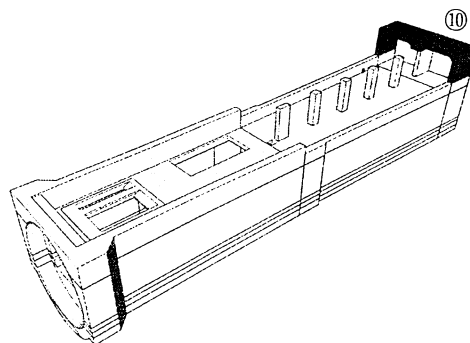
※全 23 Step からの抜粋
※○数字は当該ブロック
における打設ロット番号



Step-6：1ブロック下床版



Step-16：2ブロック中床版・側壁



Step-21：3ブロック上床版・側壁

図-4 三次元コンクリート打設順序モデル

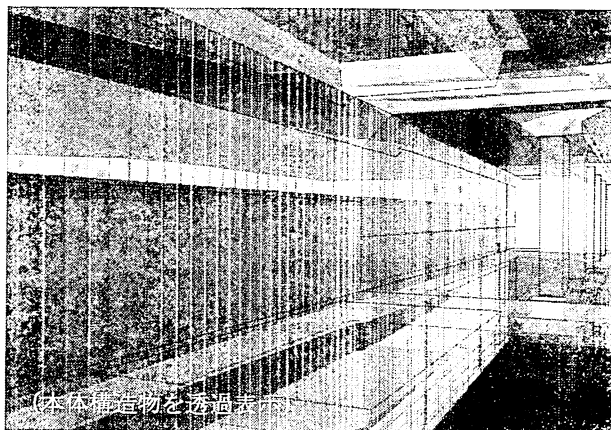


図-5 構造物内部から見た三次元地層モデル

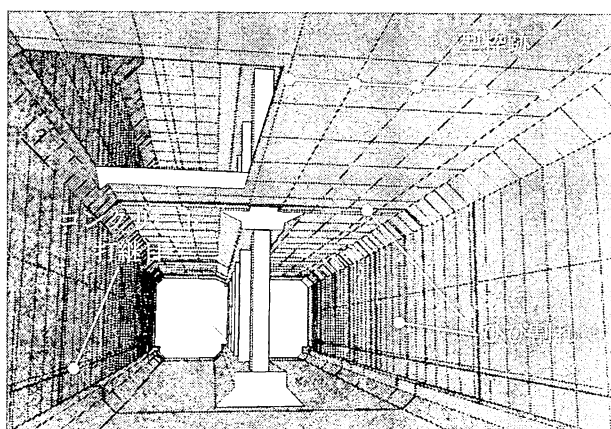


図-6 三次元変状展開図

d) 三次元変状管理図

三次元変状管理図の作成例を図-6に示す。当該モデルは、図-2に示した二次元変状管理図にもとづいて三次元モデルに変状を作成したものである。

三次元変状管理図では、変状の進展等の時間軸を考慮した記録の作成が必要となる。本研究では、レイヤー（画層）により記録の時間軸を整理するものとし、変状の進展等の確認の都度、当該変状に割り当てるレイヤー（画層）を作成するものとした。

e) 三次元モデルとデータベースの関連づけ

三次元モデルとデータベースの情報の関連づけは、①リンクプログラムを用いたGUIDの生成、②データベースへのデータ入力、の手順で行った。

本研究では、データベースとの関連づけを行う三次元モデルの最小単位を打設ロットあるいは変状として作成したオブジェクトのグループとした。データベースとの関連づけは、リンクプログラムの機能①に該当するもので、リンクプログラムを実行した状態においてSketchUpの操作により、GUIDの生成、GUID関連情報のデータベースへの送信を行った。

データベースへのデータ入力は、情報の形式に応じて手入力あるいはファイルのインポートを行った。

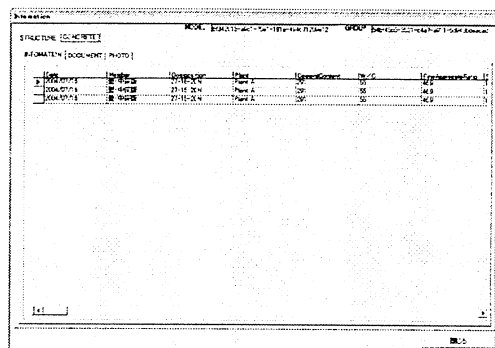


図-7 データの表示例

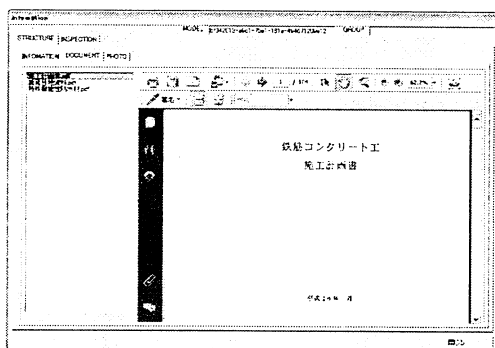


図-8 ドキュメントの表示例

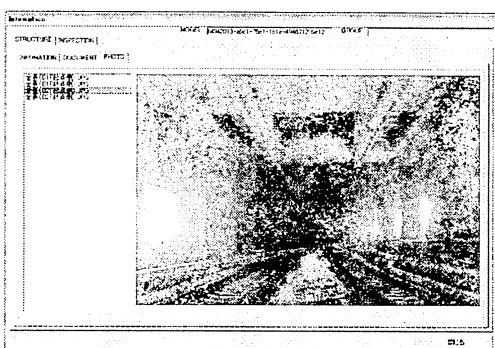


図-9 イメージファイルの表示例

f) 情報の表示

三次元モデルに関連づけられた情報の表示は、リンクプログラムの機能②によって実現するもので、選択した三次元モデルに関連づけられた情報のみが表示される仕組みとした。また、情報の形式に適した表示方法が必要と判断し、情報の形式ごとに用意したタブを選択することでインターフェイスの切り替えを行うものとした。図-7から図-9に情報の形式ごとのインターフェイスを示す。

データの表示（図-7）は、供用開始後に実施される検査結果等の追加を考慮して、表形式を用いるものとした。

ドキュメントの表示（図-8）は、ドキュメントの効率的な閲覧を考慮して、ドキュメント選択ウィンドウとドキュメントビューワーで構成した。ドキュメントビューワーは、Adobe社から無償で提供されているAdobeReader¹⁰⁾を利用するものとし、インターフ

ェイスには、同社が提供する「PDF表示用ActiveXコントロール」を用いた。なお、CADデータ等のオリジナルファイルが関連づけられている場合は、ドキュメントの表示と同じインターフェイスを用いるものとし、当該ファイルを選択するとオリジナルのアプリケーションを起動させるものとした。

イメージファイルの表示（図-9）は、デジタルカメラで撮影された工事記録写真の表示を想定し、主にJPG形式に対応させるものとした。イメージファイルの表示は、必要に応じてBMP、TIFFに対応させることも可能である。

(4) 考察

本研究で構造物情報として整理した設計図書および施工図書は、維持管理を目的として新規に作成する必要がない資料であることが重要である。

そこで、実際の地下鉄建設現場において、これらの情報の収集と整理を試験的に実施した結果、設計図書は工事着手に際して発注者から施工会社に貸与されたものから、施工図書は従来の工事と同様に各施工段階に応じて作成されたものから各々収集することが可能であることを確認した。

また、変状情報の全てを格納可能な変状管理図は、従来から工事完成時に維持管理用として作成しているひび割れ展開図と同程度の作業で作成できることを確認した。一方、膨大な資料の中から必要な資料を抽出し再整理するための日数の短縮化、型枠跡の図化作業の合理化などが当面の課題である。

6. 結論

- ① 維持管理情報を構造物情報と変状情報に分類し、通常作成される図面や帳票類を流用することにより、恒久的な施設の維持管理に資する初期状態の情報を得られるほか、本研究で示した情報管理仕様を用いることにより、コンパクトかつ合理的に当該情報を収集、管理できることを示した。
- ② 本研究で示した維持管理情報に含まれる資料、項目は、いずれも維持管理業務の遂行において最低限必要なものであり、場合によっては、その他の情報を収集、管理することも視野に入れることが望ましい。
- ③ 多種多様な情報を維持管理情報として活用する一つの方策として、本研究では三次元モデルをプラットフォームとして当該情報を視覚化することを試み、複雑な躯体の形状寸法や現場の状況を平易に把握できることを示した。

- ④ 三次元モデルの作成には、二次元で作成された各種図面を読み解く能力が不可欠であり、当該構造物の成り立ちが理解でき、そのイメージを二次元、三次元に展開できる三次元CADオペレータの育成と、その意義を理解できるエンジニアの養成が必要である。
- ⑤ 三次元モデルと維持管理情報との関連づけと、三次元モデルから当該情報へのアクセスをリンクプログラムによって実現できることを示し、かつ、これらがフリーソフトを主体として実現できることを示した。

以上により、このスキームに則って業務プロセスを構築すれば、その初期コストは三次元モデルの作成およびデータの入力に関するコストに集約されることから、コスト低減を実現しつつ現行の維持管理業務において課題となっている補強、補修の意思決定を支援する有力なツールとなることが期待される。

また、昨今、事故、災害等に対する施設の安全性に関する説明にも高い精度が求められており、そのような状況に対応していく上でも、本研究で提案した三次元モデルをプラットフォームとした情報管理仕様は効率的かつ合理的であると考えられる。

参考文献

- 1) 土木学会トンネル工学委員会技術小委員会シールドトンネル施工時荷重検討部会：シールドトンネルの施工時荷重（トンネル、ライブラリー（第17号））、2006。
- 2) 田辺将樹，大石敬司，山本努，本間実，松川俊介：開削トンネルの形状寸法および荷重条件と曲げひび割れの発生状況に関する一考察，トンネル工学報告集，Vol. 16，pp. 455-460，2006. 11。
- 3) 諸橋由治，石川幸宏，瀬筒新弥，新井泰，有賀貴志：開削トンネルの材料ひび割れに関する一考察，トンネル工学報告集Vol. 17，pp. 349-354，2007. 11。
- 4) (財)鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等維持管理標準，同解説（トンネル），2007. 1。
- 5) 矢吹信喜，志谷倫章：PC 橋梁の3次元プロダクトモデルの開発と応用，土木学会論文集，No. 784/VI-66，pp. 171-187，2005. 3。
- 6) 本郷廷悦，石村久治：橋梁鋼上部工を対象としたJHDMに関する研究，土木情報利用技術論文集，Vol. 12，pp. 11-20，2003
- 7) <http://sketchup.google.com>
- 8) <http://www.ruby-lang.org/ja>
- 9) <http://sketchup.google.com/support/bin/answer.py?answer=36201&topic=13686>
- 10) <http://www.adobe.com>