

笠波トンネルの開通とBIM/CIMモデルを使った維持管理について

辻 優希¹

¹近畿地方整備局 大阪国道事務所 管理第二課 (〒536-0004大阪府大阪市城東区今福西2-12-35)

豊岡河川国道事務所はBIM/CIM推進モデル事務所である。今般、兵庫県美方郡香美町において、2023年10月22日に国道9号笠波峠除雪拡幅事業のトンネル区間である、笠波トンネルが開通した。本稿では、トンネル施工段階で作成済みであったBIM/CIMモデルを基礎データとして作成したトンネル供用後の効率的・効果的な維持管理を目的とするBIM/CIMモデルによるデータプラットフォームについて紹介する。

キーワード 開通, 維持管理, CIMモデル

1. はじめに

BIM/CIM は、調査・計画、設計、施工、維持管理の各段階において、3次元モデルを一元的に共有、活用、発展させることで、建設生産システムにおけるリスク管理や業務効率化を図るものである(図-1)。

国土交通省では、2023年度からBIM/CIM原則適用となり、建設生産システムにおける各プロセスで3次元モデルの作成や属性情報の付与が進められている。一方、維持管理に関して、施工から維持管理に効率的な活用方法が確立されておらず、実績も少ないのが実情である。業務効率化やコスト削減効果を発揮するためには、数十年にもわたる維持管理段階での有効活用が重要である。

本稿では、施工段階で作成されたBIM/CIMモデル(図-2)を基礎データとし、完成後に取得した最終的な覆工形状となる3次元レーダ測定の結果を反映した維持管理での活用を目的としたBIM/CIMモデルによるデータプラットフォームを紹介する。

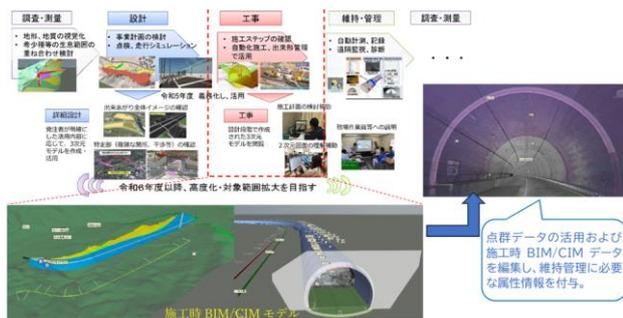


図-1 維持管理におけるBIM/CIM

2. トンネルの概要と竣工後の点検

笠波トンネルは国道9号の笠波峠付近において、冬期の安全で円滑な交通を確保するとともに、線形不良の解消、縦断勾配の緩和及び地すべりブロックの回避を目的としたものである。

笠波トンネルの概要について、表-1に示す。点検では、竣工直後の笠波トンネルに対して、走行型計測による現地計測・解析を実施し、BIM/CIMモデルの属性情報として付与し、一元管理となりうる資料を構築、さらに補修が必要な初期欠陥の把握(修補)と今後のトンネル点検に必要な健全度判定のための基礎資料を作成した。

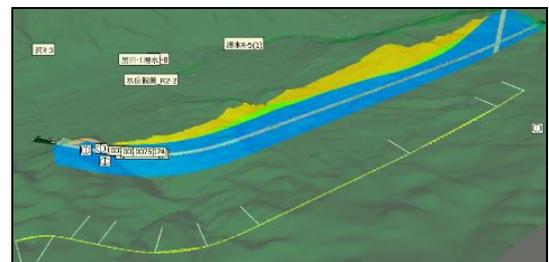


図-2 施工時におけるBIM/CIMモデルの全景

表-1 笠波トンネルの概要

トンネル名	笠波トンネル	管理	豊岡河川国道事務所
トンネル延長	1744m	照明	あり
竣工年(経過年)	2023年	ジェットファン	あり
施工法	NATM	標識等	あり
路線名	一般国道9号	吸音・内装板	なし
地名	美方郡香美町村岡区福岡～日影		
トンネル等級	人等線		
地質	村岡層凝灰岩 (黒色泥岩及び細粒砂岩互層) 猿尾滝ひん岩類		
計画交通量	8,800台/日		
設計速度	60km/h		
幅員構成	0.50m+3.50m+3.50m+0.50m (8.00m)		
覆工厚	30cm～35cm		
特殊構造	No.111+8.0付近 複鉄筋構造		

3. 走行型計測技術による竣工データの取得

走行型計測技術を活用し、竣工初期の覆工データを取得した。技術は以下である。

(1) 走行型画像計測(画像計測技術)

覆工コンクリートならびに附属物の可視化(画像)により、画像から変状展開図(ひび割れ・変状解析)を作成し、正確な位置情報の把握、基礎データの取得を行う(図-3)。

(2) 走行型レーザ計測(計測モニタリング技術)

トンネル壁面の3次元点群測量を実施する。経時的な外力作用のモニタリングや外力影響の有無を可視化による高精度化を図る(変形モード解析)。

また、覆工コンクリートの出来形図等は、設計図書を基本としており、実施工における覆工コンクリートの正確な形状(出来形)は、3次元点群データとなる(図-3)。

今回の点検では、走行型計測技術の性能が備わっており、1回の走行で計測可能である「走行型高速3Dトンネル点検システム(MIMM-R) (NETIS番号; KK-130026-VE)」(表-2, 3)を活用し、現地計測を実施した。



図-3 覆工データ 左：画像展開図 右：点群データ

表-2 MIMM-R 車両仕様

走行型計測車両(MIMM-R)仕様		
車両部	幅	2.08m
	高さ	3.70m
	長さ	5.99m
MMS部	GPS アンテナ	3台
	IMU	1台
	標準レーザー	2台
	レーザー計測点数	27100点/sec (180度)
	カメラ	3台
高精度レーザー部	カメラ画素	最大500万画素 (8bit Raw)
	回転速度	200回転/sec
MIS部	レーザー計測点数	100万点/sec (360度)
	記録方式	カメラ方式
	搭載数	20台
	有効画素数	38万画素
	分解能	設定により可変
照明部	計測速度	最大80km/h (高速道路計測可能)
	実計測例	70km/hで0.2mmのひび割れ検出
	記録画像	カラー
照明部	照明器	LED投光器64W
	搭載数	60台

4. 維持管理に対する3次元モデルにおける活用場面の整理

(1) 関連基準要領等における維持管理の活用場面

2023年度業務・工事における原則適用でのBIM/CIM関連基準要領等では、3次元モデルの活用内容(義務項目(表-4)、推奨項目(表-5))について、維持管理に該当する項目は推奨項目にはあるものの、現状は維持管理での効率的な活用方法が確立されておらず、今後の検討により維持管理への拡大を考えている段階である。そのため、関連基準要領等に記載される活用場面は、干渉チェックや景観検討、関係機関協議、施工手順の確認等の3次元可視化の利用が中心である。一方、維持管理段階では、すでに構造物が構築されているため、立体的イメージ等の把握は現場で容易であるため、設計・施工と比較して、わざわざ附図等において3次元の図として活用するニーズが明確ではない。

表-3 MIMM-R 機能概要

機器項目	概要説明(機能)
走行型画像計測法(MIS)	複数台のCCDカメラ・照明を自走式車両に搭載し、トンネル壁面を撮影する手法。 交通規制を必要とせず、一般走行を妨げない速度で計測可能。
ペガサス2U(MMS)	衛星から発する電波を受信するアンテナ。現在の緯度、経度、高度を算定することができ、IMU(慣性計測装置)と合わせて正確な位置情報を検出。高精度レーザーを搭載。
高精度レーザー(MMS)	1秒間に最大100万点の点群データを取得可能な装置。 1台で横断方向360度の範囲を取得可能であり、追加スキャナーでより高精度な計測を行う。
巻厚・空洞レーダ(MRS)	交通規制を行うことなく、一般車両と同程度のスピードで、走行しながらトンネルの巻厚・覆工背面を探索する。
内部欠陥レーダ(MRS)	交通規制を行うことなく、一般車両と同程度のスピードで、走行しながらトンネルの内部欠陥を探索する

表-4 3次元モデルの活用義務項目

	活用目的	活用内容の詳細	業務・工事の種類
視覚化による効果	出来あがり全体イメージの確認	出来あがりの完成形状を3次元モデルで可視化することで、関係者で全体イメージの共有を図る。 活用例:住民説明・関係者協議等での活用、景観検討での活用	詳細設計
	特定部の確認(2次元図面の確認補助)	2次元では表現が難しい箇所を3次元モデルで可視化することで、関係者の理解促進や2次元図面の精度向上を図る。 ※ 特定部は、複雑な箇所、既設との干渉箇所、工種間の連携が必要な箇所等。 詳細度300まで確認できる範囲を対象	詳細設計
	施工計画の検討補助 2次元図面の理解補助 現場作業員等への説明	詳細設計等で作成された3次元モデルを閲覧し、施工計画の検討、2次元図面の理解の参考にしたり、現場作業員等の理解促進を図る。 ※ 3次元モデルを閲覧することで対応(作成・加工は含まない)	施工

- ・施設を格納する箱抜きとの干渉
- ・スライドセントルの割付け
- ・配筋等施工都合による覆工スパン

今回特に、トンネル維持管理では覆工スパン管理(コンクリート 1 打設長)であることに留意し、覆工スパンを反映表現し、変状情報と覆工背面の情報(地山や支保工構造)との関係性が明らかかつ、把握のしやすさ改善に努めた(図-4)。

(4) 施工時のBIM/CIMモデルの活用

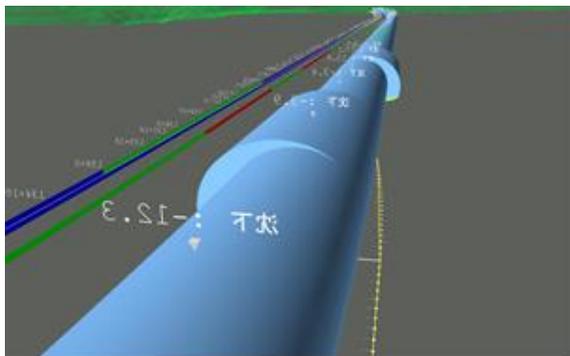
本トンネルでは、施工時に作成した BIM/CIM モデルが納品されており、維持管理に必要な地質情報、変位計測結果、切羽観察記録等の情報が既にモデルに付与されている状態であった。

そのため、施工時の BIM/CIM モデルを基礎データとして、点検時に取得した 3 次元点群データを合成した(図-5)。

(5) 3次元点群データの活用

トンネル内の変状や附属物等の位置情報を日常管理等で瞬時に把握可能であるモデルを作成することは、維持管理において効率的かつ効果的である。しかし、3次元モデルの詳細度(作り込みレベル)を上げ、精緻かつ膨大な附属物施設をモデル化することは、更新頻度(附属物)や日々状況が変化するトンネル坑内において、費用対効果を得ることは困難である。

【施工時モデル】1チューブでモデルを作成



【維持管理モデル】スパン毎にモデルを作成

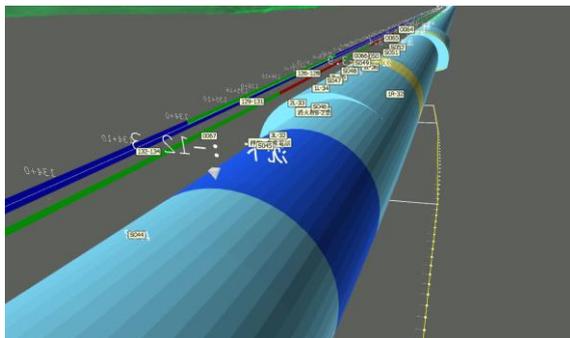


図4 覆工コンクリートのモデル

近年、点検支援技術の活用促進に伴い、定期点検(5年に1度)で規制を必要としない走行型計測技術活用した覆工画像や3次元点群データの取得が一般化しつつある。3次元点群データを取得し、3次元モデルに反映することで、附属物の可視化やトンネル坑内(覆工コンクリート)の状況を正確に再現できる。

また、補修・補強工事で必要となった場合(建築限界への干渉や施工計画立案時等)、取得している3次元点群データを活用し、必要な区間のみをモデル化することが効率的である。

(6) 監視員通路および監査歩廊内の埋設管

本トンネルは、トンネル延長および交通量からトンネル等級 A に分類され、非常用設備(消火栓や火災検知器等)が多く、監視員通路および監査歩廊に設置される埋設管も多く設置される。不可視部分をモデル化することは、更新や管理時に優位性が高い(図-6)。

(7) 施工時の問題箇所

外力性が懸念される変状や変形モード解析等から変形挙動が懸念された場合、変状と施工記録や地山情報との相関性を鑑みて、変状要因を推察する必要がある。

本トンネルでは、破砕帯に起因した天端崩落が発生しており、空洞充填工や補強対策(増し打ちロックボルト工等)が実施されており、今後の維持管理や変状要因推察に重要な情報であるため、モデル上で判別できるように情報を記載した(図-7)。

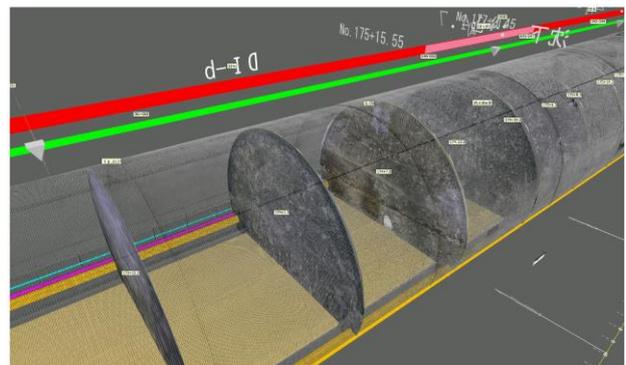


図5 施工時のBIM/CIMモデルと点群データの合成

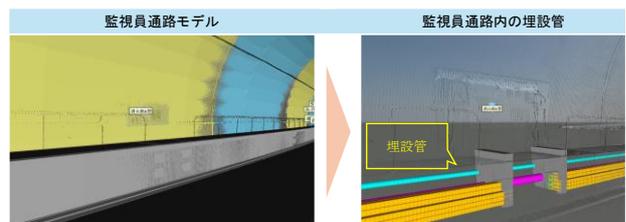


図6 監視員通路内の埋設管モデル化

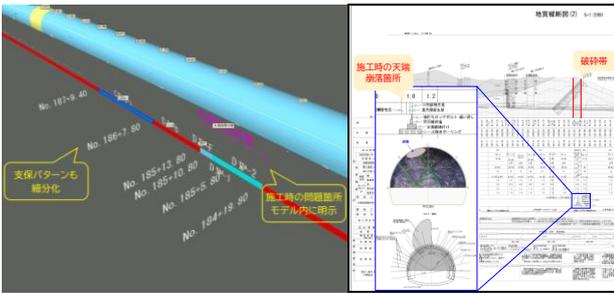


図-7 施工時の問題化箇所のみ示

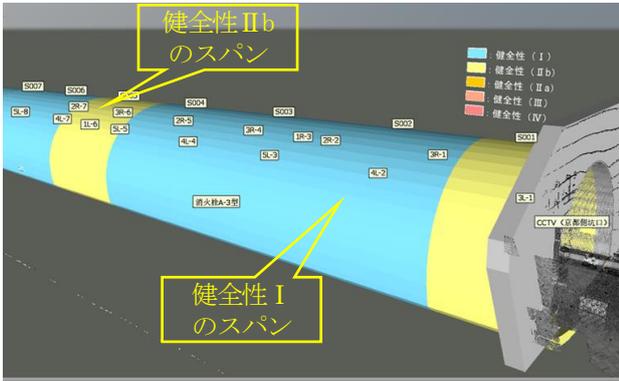


図-8 点検結果の可視化

(8) 点検箇所の可視化

トンネルの定期点検では、覆工スパン割(1打設長さ)で管理する。対策区分および健全性の診断についても、変状毎に診断・評価を行い、覆工スパン毎で評価を行う。変状による利用者への影響度合や範囲等を正確かつ早期に把握可能とするため、健全性の診断結果毎に覆工モデルを着色、またひび割れやうき等の変状をモデル化・可視化した(図-8)。

6. 維持管理で必要となる属性情報と付与方法

(1) トンネルの維持管理に必要な属性情報

山岳トンネルの維持管理・更新に必要な属性情報を表-7に整理した。

山岳トンネルの変状要因は、外力作用(緩み土圧、膨張性土圧等)等の外因と使用材料等の内因に大別ができ、一般的には外因と内因それぞれの変状原因が複合的に作用して、変状が発生する。そのため、変状要因の推察には、地山情報、施工記録(計測結果や支保構造等)、点検履歴(変状の進行性)、計測結果(画像計測、点群計測)等の情報が必要である。

(2) 附属物に必要な属性情報

消火栓等の非常用設備や照明設備における維持管理・更新に必要な情報について、メーカーヒアリングを行い、必要な情報を整理・抽出した。

メーカーヒアリングした結果、以下の情報を整理し、属性情報としてモデルに付与した。

表-7 維持管理に必要な属性情報

活用場面(ユースケース)	活用する属性情報等	モデル	属性情報	作成・更新時期	本業務のBIM/CIM構成
資料検索の効率化(3次元可視化モデルをプラットフォームとした情報の集約、統合)					
施工時のBIM/CIMモデル		●	基礎モデル(更新)	施工時のBIM/CIM(基礎データ)	※覆工スパン割でモデル加工
点検履歴**1	点検調査	●	点検時に反映	本点検の結果を付与(属性)	
	変状履歴	●	点検時に反映	本点検の変状履歴を付与(属性)	
補修・調査履歴	補修・調査計画	●	更新時に反映	補修履歴報告書を付与(属性)	
	施工図(構架)	●	更新時に反映	※現状なし	
	調査結果	●	調査時に反映	※現状なし	
附属物	照明	●	更新時に反映	竣工図を反映	
	ジェットファン	●	更新時に反映	竣工図を反映	
	非常用施設	●	更新時に反映	竣工図を反映	
	CCTVカメラ	●	更新時に反映	竣工図を反映	
	埋設物(給排水管等)	●	基礎モデル(更新)	竣工図からモデル化	
点検結果の視覚化による維持管理の効率化・高度化を図る。					
三次元点群データ		●	計測データ取得時に反映	本点検結果をモデルに反映	
覆工画像		●	計測データ取得時に反映	画像履歴報告書を付与(属性)	
変状位置・形態	ひび割れ	●	点検時に反映	本点検結果をモデルに反映	
	うき	●	点検時に反映	本点検結果をモデルに反映	
	湧水	●	点検時に反映	※現状なし	
不可視部分の把握	覆工コンクリート表面に関する諸課題への対応(変状要因推察、補修・補強計画の立案)				
地山情報(施工時)	地質断面図	●	基礎モデル	施工時のBIM/CIM(基礎データ)	
	地形モデル	●	基礎モデル	施工時のBIM/CIM(基礎データ)	
計測記録(施工時)	A1計測	●	基礎モデル	施工時のBIM/CIM(基礎データ)	
	切羽観察記録	●	基礎モデル	施工時のBIM/CIM(基礎データ)	
	地中変位	●	基礎モデル	施工時のBIM/CIM(基礎データ)	
	水位観測	●	基礎モデル	施工時のBIM/CIM(基礎データ)	
竣工図	標準断面図	●	基礎モデル	竣工図を反映	
	支保(バターン)図	●	基礎モデル	竣工図を反映	
	防水工図	●	基礎モデル	竣工図を反映	
	覆工骨組図	●	基礎モデル	竣工図を反映	
	補助工法	●	基礎モデル	竣工図を反映	
外力作用時(地震、偏圧作用等)の計測調査	外力作用に対する振動の発生と振動調査				
三次元点群データ	変形モード解析	●	計測データ取得時	本振動結果を付与(属性情報)	
点検履歴	※1	●	点検時に反映	本点検結果を付与(属性)	
覆工画像		●	計測データ取得時	画像履歴報告書を付与(属性)	

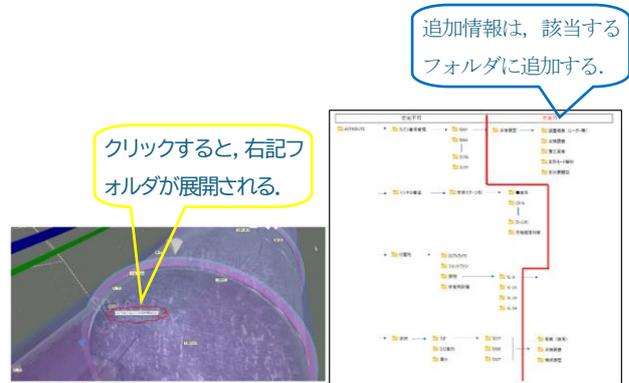


図-9 属性情報の付与

- 納入時期
- 器具の型番および姿図
- 納入メーカー
- 取付角度(照明) ※車両接触時や更新時に必要なため
- 電圧
- 設計条件

(3) 属性情報の付与方法

維持管理での活用を目的とした BIM/CIM によるデータプラットフォームは、今後取得するデータの蓄積や更新履歴も重要である。今後、日々の日常管理や定期点検、緊急時の活用において、最新の情報を含んだモデルを保持することで、本モデルのやり取りのみで、必要な情報の共有化が図れる(資料収集整理や現地踏査の削減)。そのため、今後簡易にデータが蓄積できることを念頭に、格納フォルダと3次元モデルを紐づけすることで、決められたフォルダ内にデータを追加保存するだけで、3次元モデル内で閲覧可能となる一元管理の方法を採用した。3次元モデル内の対象要素を選択すると関連するフォルダが開く仕様である。今後の点検結果(調書や展開図)、

走行型計測画像や竣工図(補修)をスパンや変状別のフォルダに追加保存する。

今後は、前項一覧の更新と記載される項目、また日常点検で気になった項目については、適宜、変更可能な領域のフォルダを作成し、保存する(図-9)。

7. おわりに

今回、笠波トンネルにおいては、竣工後点検により3次元モデルの作成、データプラットフォームの構築を行った。これにより今後、点検時等における状況把握、情報収集等が容易となる。

効率的・効果的に維持管理につなげるためには、データプラットフォームを長期的に活用していく必要があり、それには以下の2点を改善していく必要がある。

(1) BIM/CIMモデルの継続的な更新

今回、活用場を検討し、維持管理に必要な情報を整理した。今後、実績が増えるとともに、必要な情報や活用場面が更新されることが予想されるため、BIM/CIMモデルを業務毎に継続的に更新することが重要である。

また、メンテナンスサイクルで更新される情報(点検結果や補修履歴等)は、適宜 BIM/CIM モデルを更新し、活用する業務に引き継ぐことも重要である。そのため全

国道路施設データベースに保管し、継続的に更新できる環境を整備していく必要がある。

(2) 正確な変状位置の自動モデル化

本業務で確認されたひび割れやうきについて、覆工コンクリートモデルに再現したが、走行型計測で撮影した覆工画像からトレースしたものである。

近年、3次元点群データ等から変状の正確な位置をプロット、モデル化する技術も存在するが、3次元点群データの処理やアーチ形状に対する正確な位置のプロットには、時間と労力を要し、費用対効果が得られない。また、専用ソフトを活用するため、汎用性が低い。

走行型計測の画像や変状展開図等で二次元として正確な位置は把握可能であるが、アーチ形状に対する正確な位置への変状プロットは、今後の課題である。

謝辞：「笠波トンネルの開通とBIM/CIMモデルを使った維持管理について」の取組でご協力いただいた関係者の皆様に感謝申し上げます

本論文は著者が豊岡河川国道事務所工務第二課所属時の業務内容である。