

# トンネル工事におけるBIM/CIM技術の有効活用事例と課題について

## —新中山トンネル工事の事例—

函館開発建設部 函館道路事務所 第2工務課

○吉村 一輝

中村 夢季

松本・森川特定建設工事共同企業体

長谷川 元気

一般国道227号渡島中山防災は、延長約1.4kmの防災対策事業である。内、約0.8kmは新中山トンネル（仮称）であり、トンネル工事では、BIM/CIM技術を導入し、施工計画や品質管理段階等で有効活用している。本論では、新中山トンネル工事におけるBIM/CIM技術の有効活用事例をまとめ、さらに技術適用の課題点や今後の展望について報告する。

キーワード：トンネル、BIM/CIM、生産性向上

### 1. まえがき

一般国道227号は、函館市から北斗市と厚沢部町を経由して、江差町に至る延長約70kmの幹線道路であり、工事箇所である渡島中山防災は、地すべり等による危険箇所および現道隘路区間の解消を図り、道路の安全な通行の確保を目的とした、延長1.4kmの防災対策事業である（図-1）。

本論では、当区間のトンネル工事におけるBIM/CIM導入事例や現場の工夫について報告する。また、BIM/CIM導入に関する意見を受注者・発注者（工事担当者）にヒアリングを実施し、課題点や今後の方向性について検討した結果も報告する。



図-1 現場位置図

### 2. 工事概要

渡島中山防災事業に伴って新設される新中山トンネル（仮称）は、現道の中山トンネル（L=740m）の南側に YOSHIMURA Kazuki, NAKAMURA Yuki, HASEGAWA Motoki

位置するトンネル延長L=781m（工事延長L=1,100m）の山岳トンネル（NATM・機械掘削工法）である（図-2）。



一般国道227号 厚沢部町外 新中山トンネル工事	
○ 工期	令和3年2月5日～令和5年1月31日（726日間）
○ 発注者	北海道開発局 函館開発建設部
○ 受注者	松本・森川特定建設工事共同企業体
○ 工事延長	L=1,100m
○ トンネル延長	L=781m
○ 掘削方式	NATM（機械掘削方式）
○ 掘削工法	上半先進ベンチカット工法
○ 掘削補助工法	AGF、注入式FP、鏡ボルト、鏡吹付
○ 内空断面積	52.9m <sup>2</sup>

図-2 新中山トンネル（仮称）の概要と位置図

### 3. 地質概要

本トンネル区間の地質は新第三世中新世の木古内層（泥岩・凝灰岩）が主体である。起点側では凝灰岩・泥岩の互層となっており、終点側では凝灰岩・砂岩の地質となっている。掘削支保パターンはCIIとDIが70%以上を占めており、比較的良好な地山区分となっている（図-3）。

一方で、当該地質の特徴として起点・終点とも坑口部は軟質な崖錐堆積物が分布し、軟質な岩盤が脈状に分布した地質であることからAGF等による掘削補助工法を行い切羽の安定を図っている。

このような地質的特徴をふまえて、安全・品質管理、生産性向上の観点から、本工事では受注者希望型で

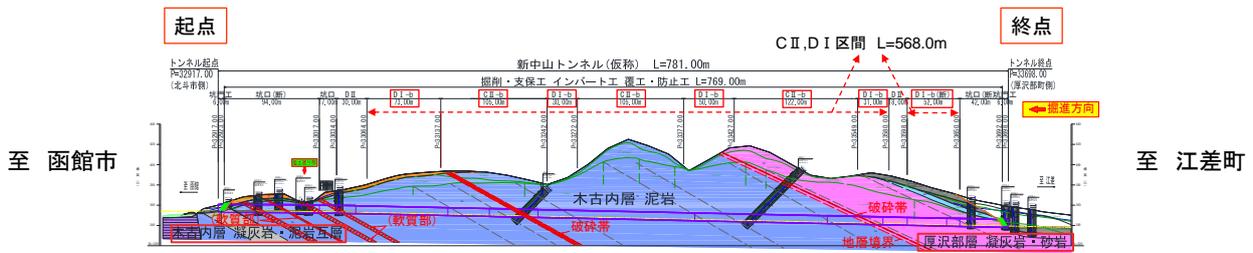


図-3 新中山トンネル（仮称）縦断面図

BIM/CIM技術を活用している。

#### 4. BIM/CIMの導入について

本節では、国土交通省が進めるBIM/CIMの推進目的・現状と本工事におけるBIM/CIM導入の概要について報告する。

##### (1) BIM/CIMの推進と目的

国土交通省では、インフラ分野のDXを推進する上で中核となるi-Constructionを平成28年度より推進し、ICTの活用等により調査・測量から設計、施工、検査、維持管理・更新までのあらゆる建設生産プロセスにおいて、抜本的な生産性向上に取り組んでいる<sup>2)</sup>。

ICTの活用のうち、BIM/CIMは建設生産・管理システムの各段階において、3Dモデルを連携・発展させ、あわせて事業全体に携わる関係者間で情報を共有することで、生産性向上とともに品質確保・向上を目的とするものである。

##### (2) 新中山トンネルにおけるBIM/CIMの概要

本工事におけるBIM/CIMの対象工種（構造物）はトンネル工（NATM）及び坑門工である。実施内容としてCIMモデルの作成、干渉チェック、整合性確認や設計協議・出来形管理、モデルへの属性付与、納品等である。

##### (3) CIMモデル作成範囲と詳細度

CIMモデル作成範囲はトンネル本体内工、坑門工を対象とした。本工事において、CIMモデルの作り込み度合を表す詳細度については以下の通りである。また、CIMモデルの詳細度について、詳細度別の工種別の定義を表したものを図-4に示す。

- a) トンネル本体内工は掘削補助工法やロックボルトを含んだ全体を詳細度400で作成する。
- b) 坑門工は配筋を含めた全体を詳細度400で作成する。
- c) 防災設備についてはその配置、寸法が確認できるように詳細度300とする。
- d) 施工計画・仮設備計画で必要となる3Dモデルに対しては機械の配置や構造物の寸法等が確認できるように詳細度300とする。

詳細度	共通定義	工種別の定義	サンプル
100	対象を記号や線、単純な形状でその位置を示したモデル。	構造物（山岳トンネル）のモデル化 対象構造物の位置を示すモデル （トンネル）トンネルの配置が分かる程度の矩形形状又は線状のモデル	
200	対象の構造形式が分かる程度のモデル。 標準横断で切土・盛土を表現又は各構造一般図に示される標準横断面を対象範囲でスワイプさせて作成する程度の表現。	構造形式が確認できる程度の形状を有したモデル （トンネル）計画道路の中心線形とトンネル標準横断面でモデル化。坑口部はモデル化せず位置を示す。	
300	附帯工等の細部構造、接続部構造を除き、対象の外形状を正確に表現したモデル。	主構造の形状が正確なモデル （トンネル）避難通路などの拡張部の形状をモデル化する。 検討結果を基に適用支保パターンの範囲を記号等で、補助工法は対象工法をパターン化し、記号等で必要範囲をモデル化する。 坑口部は外形寸法を正確にモデル化する。 舗装構成や排水工等の内空設備をモデル化する。 箱抜き位置は形状をパターン化し、記号等で設置範囲を示す。	
400	詳細度300に加えて、附帯工、接続部構造などの細部構造及び配筋も含めて、正確にモデル化する。	詳細度300に加えてロックボルトや配筋を含む全てをモデル化 （トンネル）トンネル本体や坑口部、箱抜き部の配筋、内装版、支保パターン、補助工法の形状の正確なモデル化。	
500	対象の現実の形状を表現したモデル。	設計・施工段階で活用したモデルに完成形状を反映したモデル	-

図-4 BIM/CIMモデルの詳細度

#### 5. 新中山トンネル工事のBIM/CIM有効活用事例

本工事におけるBIM/CIMの有効活用事例を各段階別で報告する。また作成されたCIMモデルを各項目別に、詳細使用用途、使用相手、使用頻度についてまとめたものを表-1に示す。

##### (1) 施工計画（設計照査）

施工計画段階において、3Dモデルは主に設計照査に活用されている。例えば、AGF鋼管とロックボルトの干渉チェックが挙げられる（図-6）。従来では同一図面に書き起こすことができず別々の図面で照らし合わせる必要があり、把握に時間を要することが課題であった。3Dモデルを作成することで、表現が困難であった相互の位置関係や不可視部分を明確にでき、干渉部の把握が容易となった。

表-1 新中山トンネル工事における CIM モデル活用の詳細

項目	CIMモデル	詳細使用用途	使用対象	使用頻度
統合モデル	※(図-5 I-①、②)	施工計画・設計照査	発注者・受注者	施工計画・納品(随時)
CIMモデル(地形・線形モデル)	※(図-5 II)	施工計画・設計照査	発注者・受注者	施工計画・納品(随時)
CIMモデル(トンネル本体・坑口・支保工・ロックボルト・補助工・坑門工)	※干渉チェック(図-6)	設計照査	発注者・受注者・下請業者	施工計画・施工中・納品(随時)
4DMAP(計測データ取込)	※(図-10)	施工管理(計測)	発注者・受注者	施工計画・施工中・納品(随時)
4DMAP(切羽地層・切羽画像)				
4DMAP(A計測)				
4次元モデル(工事進捗率の可視化)	※(図-7)	施工管理(工程)	発注者・受注者	施工計画・施工中・納品(随時)
4次元管理(RLS出来形管理)	※(図-5 III)	施工管理(出来形)	発注者・受注者	施工計画・施工中・納品(随時)
点群解析・処理	※(図-5 IV)	施工管理(出来形)	発注者・受注者	施工計画・施工中・納品(随時)
出来形ヒートマップ	※(図-11)	施工管理(出来形)	発注者・受注者	施工計画・施工中・納品(随時)

※1 使用相手は、基本的に工事に関係する方々全て該当になる。限定されたものではない。  
 ※2 使用頻度は回数で回答は難しく工事の進捗や用途に合わせ変動する。

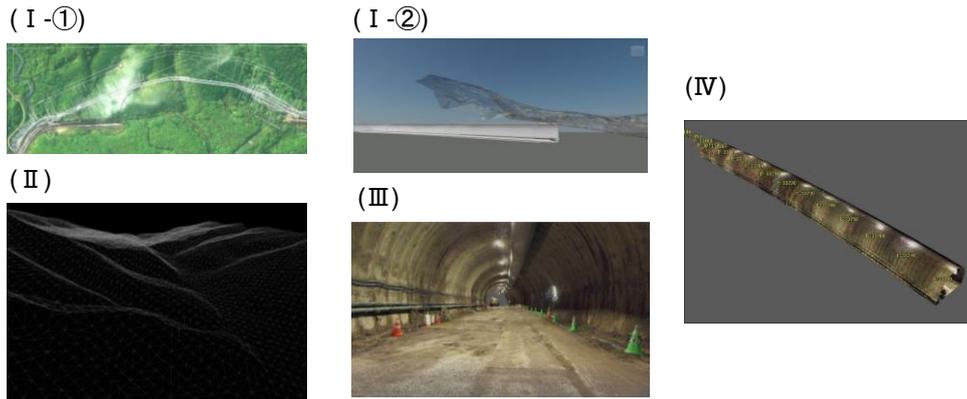


図-5 CIMモデル

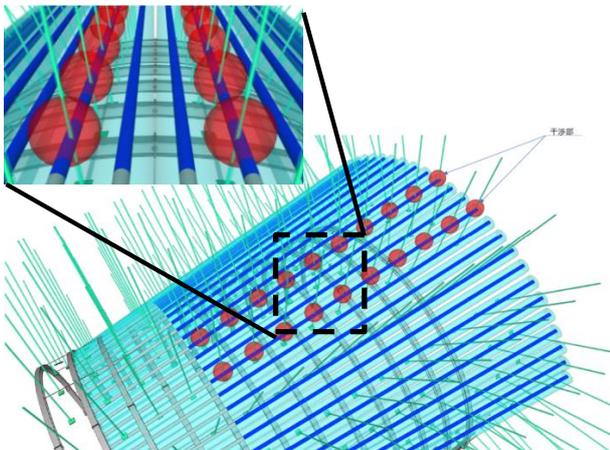


図-6 AGF鋼管とロックボルトの干渉部の3Dモデル

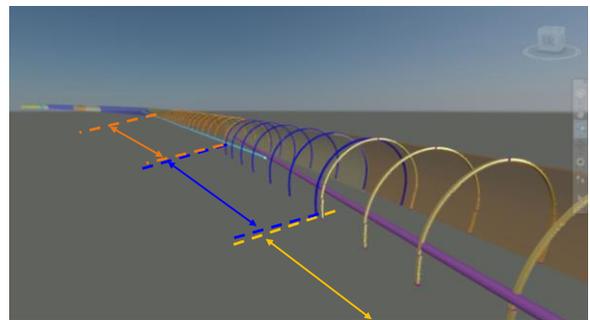


図-7 4次元モデル(支保工進捗状況の把握)

## (2) 施工管理

3Dモデルに想定する工程表に対応する時間軸情報の属性を付与したデータにより、工事の進捗の把握が可能となる(図-7)。時間軸情報を付与することで施工ステップごとの施工方法や施工に支障となる物件等の現場状況を可視化することができるため、施工手順や施工の際の留意事項等を伝達しやすいといった効果があった。

## (3) 安全管理

作業計画書の挿絵に3Dモデルを活用する等、打ち合わせ等に使用されている(図-8)。3Dモデルを活用した作業計画書はJV職員や下請業者に対し、作業の手順や安全作業への理解向上につながった。

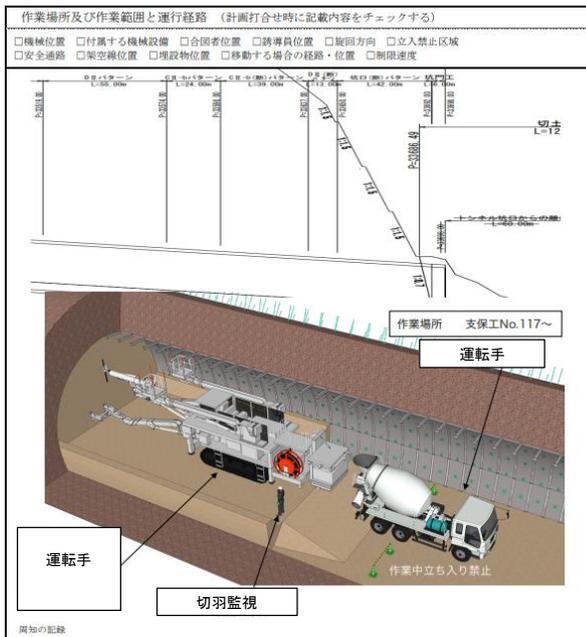


図-8 作業計画書

#### (4) 出来形管理

出来形管理では『4DMap』（NETIS登録技術）を採用した（図-9）。本システムは、施工計画段階で作成された設計モデルCIMデータ（3Dモデル）に、計測や切羽観察、3Dレーザースキャナーの点群データ等を属性として取り込むことができる（図-10）。

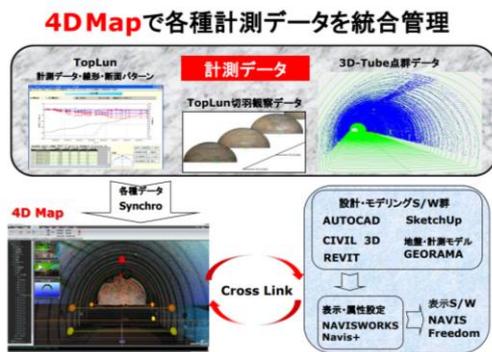


図-9 4DMapモデル

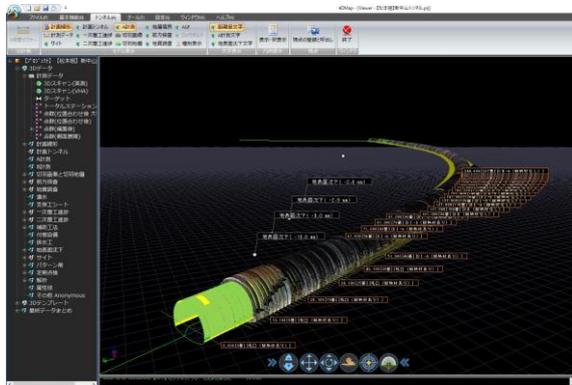


図-10 4DMap（属性付与）

特に、出来形測定時に計測機器等と連携し、取得した3次元点群データをもとに出来形情報をCIMモデルに反

映することで、設計データと容易に比較することができ、出来形管理において効果的である。

設計データに点群データを取り込むと、出来形ヒートマップを作成できる（図-11）。出来形ヒートマップは、設計データと点群データの差分を属性として付与して、色付して表示することが可能である。図-10は、覆工コンクリートの厚さを設計データと出来形を比較し、差分を属性として付与させたものである。従来は、出来形の幅や高さを測量した後手計算にて算出し、設計データと比較していたが、4DMapに出来形の数値を入力するだけで出来形ヒートマップが作成できることから業務の効率化（作業時間の短縮）につながった。

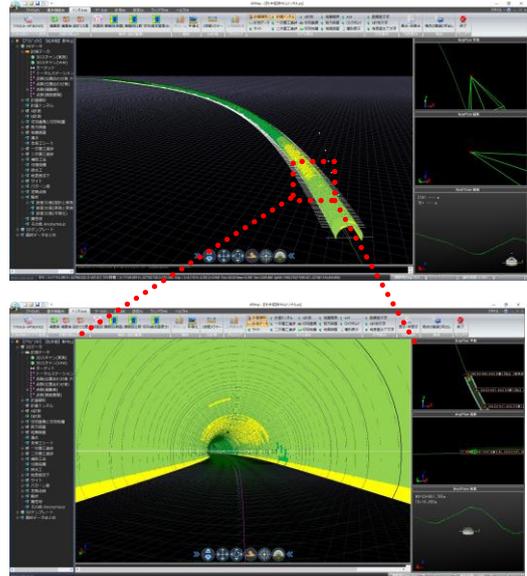


図-11 出来形ヒートマップ（覆工コンクリート）

#### (5) 維持管理

CIMデータは、必要な情報を維持メンテナンスに活用可能な形で納品されている。例えば、覆工コンクリートによる不可視部分は、地山に特化して、湧水箇所のデータや写真、地質データ等を属性に付与することにより、将来的に変状等が発生した時に原因追及するための資料として活用できる。

#### (6) その他

現場の工夫として、設計モデルCIMデータを動画化し、トンネル完成後の自動車走行シュミレーションを作成した（図-12）。これにより、完成後の走行イメージがわかるため現場見学会等で活用した。

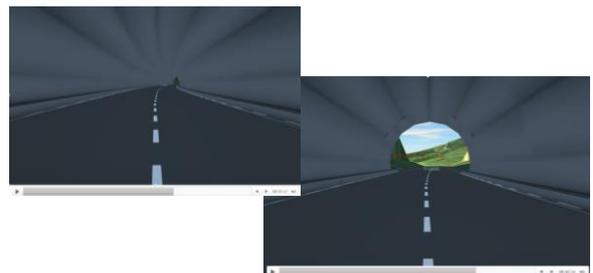


図-12 トンネル完成後の自動車走行シュミレーション

## 6. ヒアリング結果と課題点の抽出

受発注者双方にBIM/CIMを導入した際のメリット及びデメリット、導入に対する意見についてヒアリングを実施した。ヒアリング結果から、BIM/CIM導入に関する評価を行い、課題点を抽出する。

### (1) BIM/CIM導入に関する受注者側からの回答

<メリット>

- トンネル掘削、支保工、鉄筋干渉等について、発注者や作業員との協議が円滑に進み、合意形成が迅速になった。
- BIM/CIMを用いた3次元データは、作業員や若手技術者にとって理解しやすい。
- 打ち合わせ等に3Dモデルを使用すると現場に出た際の理解が早く、若手技術者の育成に効果的である。
- 協議の円滑化に伴い、資材の発注時期が早まる。
- 工事説明時、作成された3Dモデルやトンネル完成後の自動車走行シュミレーション動画を活用することで分かりやすいと好評であった。

<デメリット>

- 出来形・品質の向上につながることを実感。協議が円滑になるが、ICT施工とは異なり工事の進捗が大幅に向上するという実感は少ない。
- 初期投資費用が大きい。

### (2) BIM/CIM導入に関する発注者側からの回答

<メリット>

- 受注者との協議事項（干渉チェック等）に対し、理解しやすい。協議判断の迅速化につながった。

<デメリット>

- 納品データ容量が大きい。  
(例 統合モデル：約100MB)

<導入に対する意見>

- 新規工事で作成されたCIMデータを維持管理段階へと円滑に引継ぎすることが重要であり今後の課題である。

### (3) BIM/CIM導入に関する評価と課題点の抽出

ヒアリング結果から受発注者双方とも、合意形成の迅速化につながったという感触があり、受注者からは若手技術者の育成や出来形・品質の向上に貢献していることがわかる。一方で、初期費用の大きさや工事進捗への大幅な貢献等のデメリット、納品後のデータ活用方法等の課題も明らかとなった。

初期費用の大きさ等は、発注者側が導入費として計上することで補助可能であるが、BIM/CIMデータを活かすという面において、納品後の活用が必要不可欠である。主要な課題点としては、データ容量の重さによる扱いづらさや維持・修繕段階への円滑な引継ぎが挙げられてる。データ容量の重さについては、本工事も含めたトンネ

ル工事特有のものになる。延長の長さ、構造物の大きさに加え、干渉チェックに用いるため鉄筋・ロックボルト・補助工法の3Dモデルを詳細に作成しており、モデル数に比例して、データ量も大きくなる。統合モデルの構造物データは約38,500個の3Dモデルから構成されておりそれぞれ属性を付与している(表-2)。そのデータを統合モデルとして1つに取りまとめることが容量が大きくなっている原因だと推測される。データ容量が大きいとデータの起動に時間を要すること、性能次第で使用端末が制限される等が懸念される。今後、維持・修繕段階で活用しやすいようにデータをスリム化する等対策が必要と推測される。

表-2 3Dモデル成果物（階層構造ツリー）

3Dモデル成果物作成要領（国交省）「階層構造ツリー」			
一般国道227号 厚沢部町外 新中山トンネル工事			
階層:1 (L01199)	階層:2 (L02200)	階層:3 (L03200)	階層:4 (L04400)
83)トンネル(MAT)	83)トンネル本体	831)掘削工法・支保構造	83101)掘削工法
			83102)支保構造
			83103)トンネル
			83104)掘削工法
			83105)支保構造
			83106)トンネル
			83107)トンネル
			83108)トンネル
			83109)トンネル
			83110)トンネル
			83111)トンネル
			83112)トンネル
			83113)トンネル
			83114)トンネル
			83115)トンネル
			83116)トンネル
			83117)トンネル
			83118)トンネル
			83119)トンネル
			83120)トンネル
			83121)トンネル
			83122)トンネル
			83123)トンネル
			83124)トンネル
			83125)トンネル
			83126)トンネル
			83127)トンネル
			83128)トンネル
			83129)トンネル
			83130)トンネル
			83131)トンネル
			83132)トンネル
			83133)トンネル
			83134)トンネル
			83135)トンネル
			83136)トンネル
			83137)トンネル
			83138)トンネル
			83139)トンネル
			83140)トンネル
			83141)トンネル
			83142)トンネル
			83143)トンネル
			83144)トンネル
			83145)トンネル
			83146)トンネル
			83147)トンネル
			83148)トンネル
			83149)トンネル
			83150)トンネル
			83151)トンネル
			83152)トンネル
			83153)トンネル
			83154)トンネル
			83155)トンネル
			83156)トンネル
			83157)トンネル
			83158)トンネル
			83159)トンネル
			83160)トンネル
			83161)トンネル
			83162)トンネル
			83163)トンネル
			83164)トンネル
			83165)トンネル
			83166)トンネル
			83167)トンネル
			83168)トンネル
			83169)トンネル
			83170)トンネル
			83171)トンネル
			83172)トンネル
			83173)トンネル
			83174)トンネル
			83175)トンネル
			83176)トンネル
			83177)トンネル
			83178)トンネル
			83179)トンネル
			83180)トンネル
			83181)トンネル
			83182)トンネル
			83183)トンネル
			83184)トンネル
			83185)トンネル
			83186)トンネル
			83187)トンネル
			83188)トンネル
			83189)トンネル
			83190)トンネル
			83191)トンネル
			83192)トンネル
			83193)トンネル
			83194)トンネル
			83195)トンネル
			83196)トンネル
			83197)トンネル
			83198)トンネル
			83199)トンネル
			83200)トンネル

また、BIM/CIMについて新規発注時で作成されたCIMデータを、維持・修繕段階で有効活用していくことが課題である。また本工事ではビューアでの納品になる。ビューアでは、新規発注時の構造物の出来形や属性データを確認することはできるが、補修や後属性のデータを付与するには、作成時と同一のソフトウェアが必要となる。新規工事単体で完結するのではなく維持・修繕段階でも活用できるように今後、CIMデータ連携の円滑化も含め、利用されやすい環境づくりが求められている。

## 7. 結論と今後の展望

本論では、新中山トンネルに導入されたBIM/CIM技術に関する報告とヒアリング結果から、合意形成の迅速化、若手技術者の育成や出来形・品質の向上に寄与することが明らかとなった。一方でデータ容量の重さや納品後の維持・修繕段階への円滑な引継ぎ等の課題も発見できた。

今後、BIM/CIM技術の改善・アップデートを行っていくことが重要である。さらに工事の生産性向上を高めていくためには、BIM/CIM技術単体で工事導入するだけにとどまらず、ICTを複数活用した施工技術とBIM/CIM技術を組み合わせることがより良い技術革新につながると思われる。

### 参考文献

- 長谷川：北海道土木技術会トンネル研究委員会会報 No.71 技術報告、一般国道227号厚沢部町外新中山トンネル
- 国土交通省：BIM/CIM活用ガイドライン