

山岳トンネル現場における CIM 適用事例

Application of CIM in Tunnel Construction

原 久純*	田中 勉*
Hisazumi Hara	Tsutomu Tanaka
佐藤 靖彦**	鬼頭 夏樹***
Yasuhiko Sato	Natsuki Kitou

要 約

国土交通省は、公共事業の計画から調査・設計、施工、維持管理に至る一連の過程において、ICT や 3 次元モデルを活用して各情報の一元化、効率化を図ることを目的に、CIM (Costruction Information Modeling/Management)¹⁾ を推進しており、各工種の設計・工事において CIM の試行が行われている²⁾。当社でも、施工段階における品質向上と効率化を視野に CIM の採用に取り組んでいる。

本報では、地質情報を 3 次元モデル化して施工情報と統合管理する CIM を山岳トンネル工事に適用した事例を報告する。

目 次

- § 1. はじめに
- § 2. CIM の概要
- § 3. 工事概要
- § 4. 拳ノ川トンネル工事における CIM
- § 5. まとめ

§ 1. はじめに

国土交通省は、平成 24 年度から調査・設計段階および施工、維持管理の公共事業の一連の過程において ICT (Information and Communication Technology) と 3 次元モデルを活用する CIM を提唱し、設計業務および工事において CIM の試行が行われ、一連の建設生産システムの効率化を図る取り組みが進められている。平成 29 年度には CIM 導入ガイドラインが整備されて、CIM 活用業務・工事の発注が始まり、CIM 活用が本格化されつつある。当社でも、施工段階における品質向上と効率化を視野に CIM 試行に取り組んでいるところである。

CIM の適用分野として、土工、河川、橋梁、トンネル、ダム工事が挙げられ、地形・地質および構造物等の形状を 3 次元モデルで表現するほか、施工データなどの各種情報を属性としてモデルに与え、可視化ならびに一元管理して、計画支援や関係者間の情報共有などを図る。

山岳トンネル工事では、トンネル路線の地質状況を詳細かつ正確に把握することが重要であるため、地質を忠実に再現し、かつ任意断面を表示可能な「3 次元地質モデル」を作成するとともに、現場の施工情報を統合管理する CIM を構築した。これにより、施工計画時に切羽位置の視点で地質断面の事前予測ができ施工計画や管理に反映できる。

本報告では、任意断面表示ができる「3 次元地質モデル」と現場の施工情報を統合管理したトンネル CIM について、施工中の活用から電子納品までを一連の流れとする CIM 試行工事に初めて適用した事例として、拳ノ川トンネル工事での取り組み内容を紹介する。

§ 2. CIM の概要

建築分野では、CIM に先駆けて BIM (Building Information Modeling) として、3 次元の建物モデルに、コストや仕上げ、管理情報などの属性データを追加した建物のデータベースを用いて、建築の設計、施工から維持管理までの工程で情報活用が行われつつある。

これに対し、CIM とは、社会インフラ建設事業において図—1 に示すように計画・調査・設計段階から 3 次元モデルを導入し、その後の施工、維持管理の各段階においても 3 次元モデルに連携・発展させ、あわせて事業全体にわたる関係者間で情報を共有することにより、一連の建設生産システムの効率化・高度化を図るものであり、国土交通省が生産性向上の一環として進めている取組みである³⁾。これにより、「ICT」と「3 次元モデル」を活用することで、図—2 に示すような効果があり、設計・施

* 技術研究所土木技術グループ

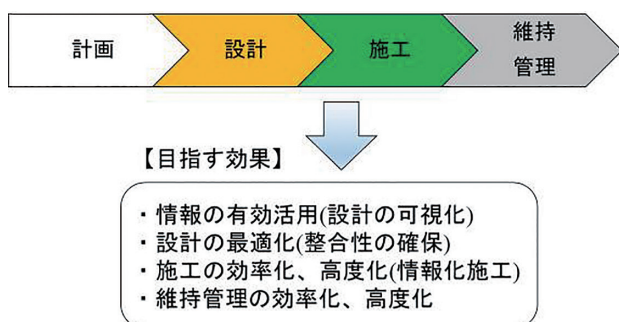
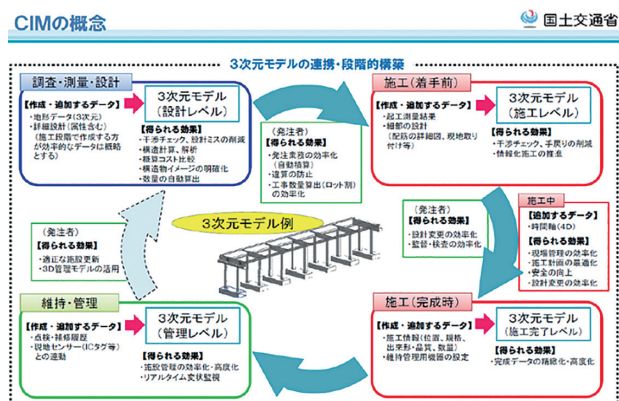
** 技術研究所

*** 西日本(支)拳ノ川トンネル(出)

(現:本社土木計画部計画課)

工や事業全体の効率化，生産性向上に期待されている。

当社においても，施工における CIM 活用効果の確認を目的として，山岳トンネルやシールドトンネル工事において CIM の社内試行を実施しているところである⁴⁾。



§3. 工事概要

拳ノ川トンネルは，片坂バイパスの終点側に位置する全長 665 m の山岳トンネルである。表-1 に工事概要を示す。一般国道 56 号片坂バイパスは，高知県高岡郡四万十町金上野から幡多郡黒潮町拳ノ川までの延長約 6.1 km の自動車専用道路である。バイパスが位置する片坂地区は，急カーブ（R=80 m 以下 7 箇所）と急勾配（最

急縦断勾配 7%）の連続により事故危険箇所となっているとともに，落石や法面崩壊等の災害危険箇所となっており，災害時の危険箇所の回避および南海地震・東南海地震に備えるための代替路線として整備が進められている⁵⁾。

表-1 拳ノ川トンネル工事概要

工事名	平成 26～28 年度 拳ノ川トンネル工事
工事場所	高知県幡多郡黒潮町佐賀橋川～幡多郡黒潮町拳ノ川
企業先	国土交通省 四国地方整備局
施工延長	665 m

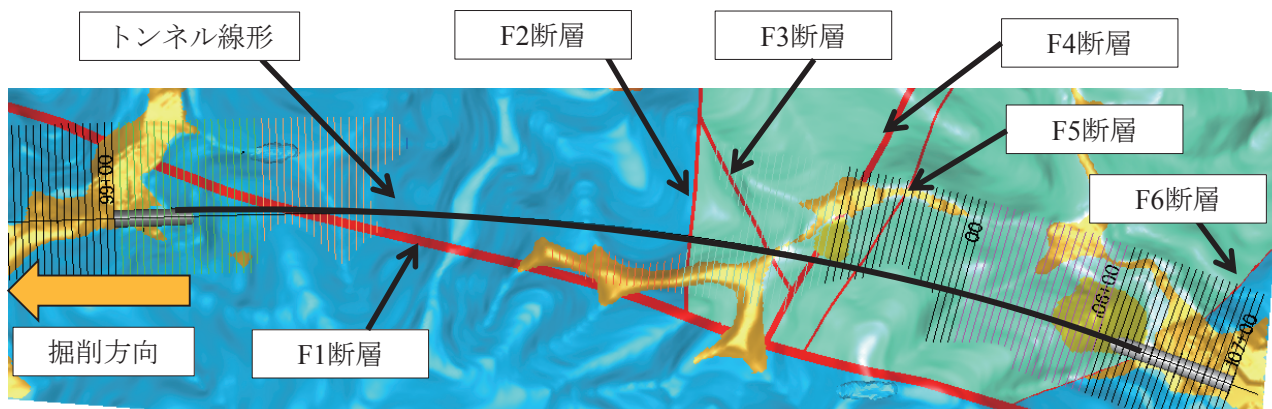
§4. 拳ノ川トンネル工事における CIM

4-1 CIM の活用目的

山岳トンネル工事においては掘削中の切羽・支保の安定性確保や補助工法等の検討を行う上で，前方地質の事前予測が重要である。従来は地質縦断図と地質平面図をもとに施工計画が行われ，断層，脆弱部の立体的な位置や地層構造などは専門家でないとい理解が難しかった。また 3 次元モデルを用いる場合でも，地層境界面のみを表現したモデルが多かった。

拳ノ川トンネルでは，砂岩・泥岩互層を主体とし，トンネルの途中に土かぶり 1.5 D 未満かつ断層を有する低土かぶり部の存在が確認されていた。また，既往の電磁探査結果によると，図-3 の平面図のように，トンネル線形上に 6 つの断層が存在すると想定されていた。

そこで当社では，地質を忠実に再現し，かつ任意断面における表示を可能とする「3 次元地質モデル」を作成するとともに，現場の施工情報を統合管理する CIM を構築して，拳ノ川トンネル工事に適用した⁶⁾。また，3 次元レーザースキャナ計測や切羽写真を 3 次元化することで，覆工出来形や岩判定実施時の掘削状況を可視化し，掘削出来形管理や地山判定への活用も期待した。



4-2 CIM の全体構成

CIM の全体構成として、図一4 に示すように地質情報を基本とした事前の地質予測から施工情報の統合管理を行う「地質情報 CIM」と3次元レーザースキャナ、デジタルカメラ等の機器による計測結果から、覆工や切羽の掘削状況を確認する「出来形 CIM」で構成する。

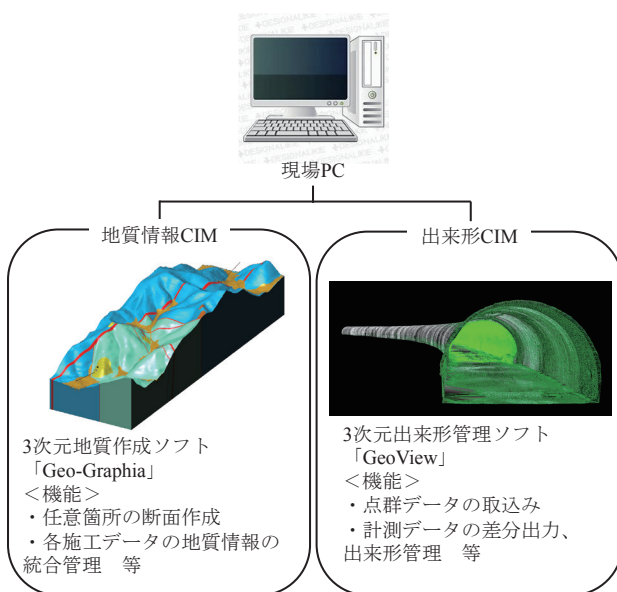
(1) 地質情報 CIM

地質情報 CIM は、図一5 に示すように、主に地質情報、構造物モデルで構成し、切羽観察記録等の施工情報を統合管理する。地質情報 CIM の特徴を以下に挙げる。

- ・任意の切羽位置で地質断面図を表示、予測できる。
- ・切羽観察等の地質情報を統合することで、実際の地質傾向の把握が容易になる。
- ・地質情報、施工情報は今後の維持管理に活用できる。

① 3次元モデルの構成要素及び構築

CIM における3次元モデルは、地質情報を詳細に表現するため、高精度な3次元地質モデルが構築可能なソフト「Geo-Graphia」⁷⁾を用いてソリッドモデルにより地質



図一4 CIM の全体構成

モデルを作成した。地形モデルは国土地理院の数値地図データ、地質モデルは地質縦断面図・平面図や事前調査報告書等を用いて地質技術者の高度な知見をもとに構築した。地質モデルでは、任意のトンネル切羽位置で地質断面図を出力できるようにソフトをカスタマイズした。

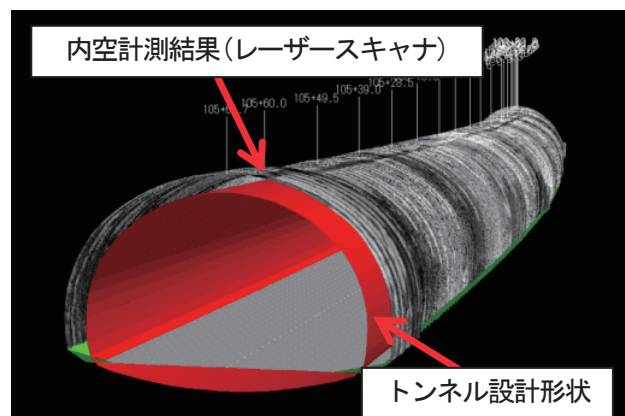
② 施工情報の統合、次施工へのフィードバック

施工段階では、切羽観察記録・A計測データ等を取り込み地質モデルと重ね合わせることで、当初予想された地質と実際の地質傾向との違いの把握がしやすくなり、支保パターンの変更検討に利用できた。

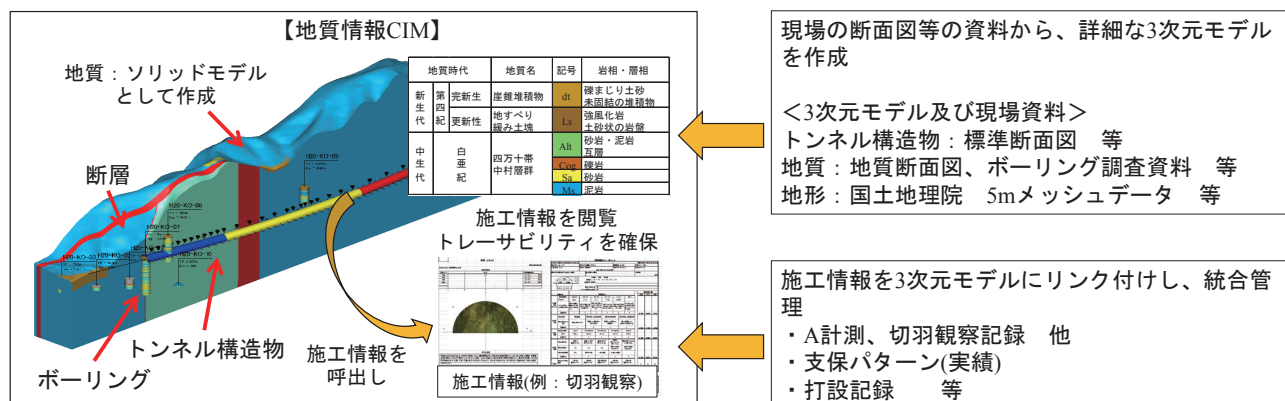
(2) 出来形 CIM

計測した点群データを用いて覆工や切羽の掘削状況を確認する出来形 CIM では、3次元出来形管理ビューワーソフト「GeoView」⁸⁾を用いた。図一6 にレーザースキャナ計測によるトンネル全線での覆工の出来形管理例を示す。

トンネル設計形状と計測した内空点群データを比較して、予掘り管理や覆工コンクリートの打設管理に用いた。また、切羽の掘削状況を確認するためにデジタルカメラの撮影を行い、切羽掘削形状の点群データを取得した。基準となる座標を持たせたターゲットと切羽を数箇所撮影したデータを解析し、モデルに反映させた。



図一6 レーザースキャナ計測による出来形管理例



図一5 地質情報 CIM のモデル構成

4-3 CIM の運用手順

拳ノ川トンネル工事における CIM の運用フローを図-7 に示す。

(1) 施工計画時

作成した3次元地質モデルをもとに地形・地質の3次元情報から施工で注意すべき箇所を確認する。必要な切羽位置など任意の断面を表示し、断層・脆弱部等の切羽への接近や出現位置を事前に把握して適切な施工方法を検討する。また、切羽直上の地形の位置関係から、偏土圧の可能性などの検討にも用いる。

(2) 施工中

掘削時の切羽観察記録、A計測等の実際の地質・施工データと当初地質予測を照合評価する。その結果を元に必要に応じてフィードバックし、施工方法や支保パターンを見直す。

(3) 施工完了時

覆工スパン毎に分割したトンネル構造物モデルを作成し、スパン毎に覆工の品質・出来形記録やA計測等の施工データをリンク付けさせ、施工実績データを一元管理

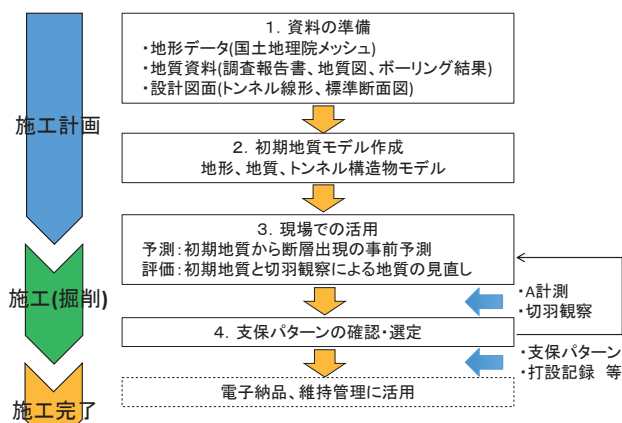


図-7 CIM の運用フロー

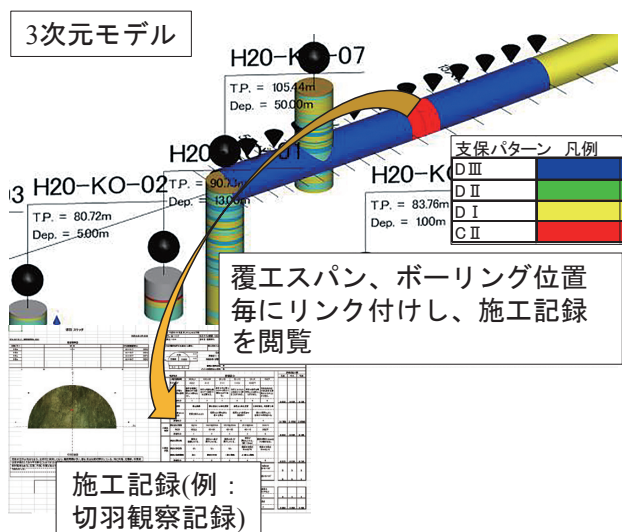


図-8 地質情報 CIM による施工実績管理例

する。最終的に、図-8のように地質情報 CIM で管理している施工実績により、トレーサビリティが確保でき、引渡し後の維持管理に活用できる。

4-4 地質情報 CIM による事前予測

拳ノ川トンネルの地質は砂岩・泥岩互層及び泥岩を主体とし、断層が複数存在し、切羽に出現する断層位置、方向を事前に予測するため、3次元地質モデルを適用した。トンネル線形と断層の位置関係を図-9のように示すことで、施工範囲全域で断層位置や走向傾斜等を容易に把握できた。

次に、地質の事前予測として、トンネル線形上の No.101+12 地点から 20 m 間隔で断面出力した一例を図-10 に示す。No.101+12 (0 m) 地点ではトンネル断面の左側に位置した断層が、No.100+92 (20 m) 地点でトンネル断面に近づき、No.100+72 (40 m) 地点で切羽左端に出現する。このように任意の断面において断層の出現位置や地質変化を事前に予測確認できた。

3次元地質モデルを上記の通り断面出力することにより、切羽崩落が予想される箇所において作業前に注意喚起等を行うことで、安全に掘削を行えた。

また、切羽観察記録、初期の地質情報などの一元管理しているデータを参考にして、実際の切羽の自立性を評価することで、支保パターン変更の必要性を事前検討し、安全な施工に寄与できた。

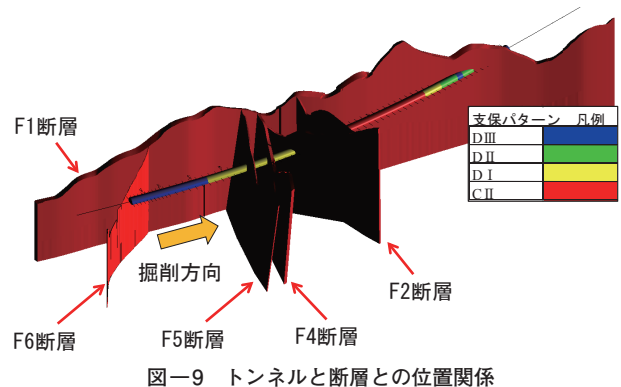


図-9 トンネルと断層との位置関係

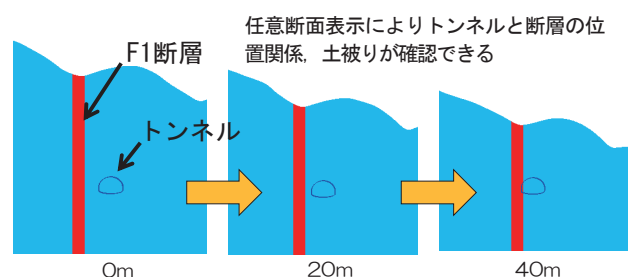


図-10 任意断面における断層の出現予測

4-5 3次元計測による出来形管理の活用

3次元レーザースキャナと3次元出来形管理ソフト「GeoView」を用いてトンネル覆工の出来形管理を行った。内空断面形状を全線で面的に把握できるため、覆工コンクリートの打設量計画に反映することができる。さらに施工時に計測した出来形データ（図-6）は、維持管理に活用することも可能である。

また、掘削中の切羽面をデジタルカメラで撮影して、写真解析を行い、切羽面の掘削形状を3次元的に把握した（図-11）。切羽掘削形状から切羽の自立状況ならびに崩落の有無の確認が容易となる。



図-11 切羽写真の3次元表示例

4-6 電子納品への対応

CIMに関する成果物は、平成29年3月に作成された「CIM導入ガイドライン 第6編 トンネル編」⁹⁾及び「CIMにおける成果品作成の手引き(案)」¹⁰⁾に準拠し、フォルダ毎にCIMのモデル要素を格納して電子納品した。図-12に電子納品のフォルダ構成、表-2にモデル要素毎の提出ファイル形式を示す。格納する施工情報は、発注者と協議して、表-3に示すように覆工スパン毎のトンネルモデルとボーリングモデルで施工情報を管理した。

§5. まとめ

3次元モデルを用いて各種情報の一元化、効率化を図ることを目的として、拳ノ川トンネル工事においてCIMを適用・試行した。本工事では、地質情報管理と出来形管理にCIMを適用した結果、以下に示す効果を確認できた。

- ① 3次元地質モデルを作成し切羽位置など任意断面を表示することで、事前に地質変化の予測や偏土圧等の影響の可能性の有無を確認でき、作業員への注意喚起等を行うことで施工の安全性に寄与できた。
- ② 覆工や切羽の3次元計測結果を管理することで、覆工の出来形や切羽崩落等の詳細な情報を次施工へフィードバックできた。

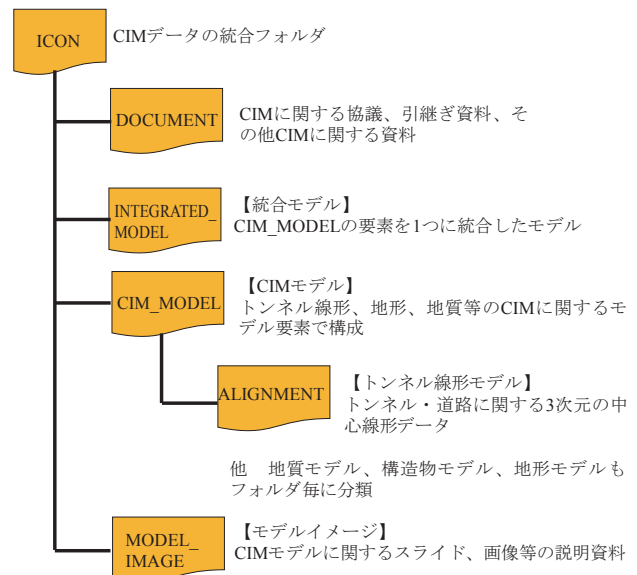


図-12 電子納品のフォルダ構成

表-2 モデル要素毎の提出ファイル形式

電子納品 フォルダ名	モデル内容	ファイル形式	
		国際標準 形式	ソフト独 自形式
ALIGNMENT	線形モデル	LandXML	goa 形式
ALIGNMENT GEOMETRY	土工形状モデル		
GEOLOGICAL	地質モデル		goa 形式
LANDSCAPING	広域地形モデル		
STRUCTURAL MODEL	構造物モデル	IFC	goa 形式
SURFACE MODEL	サーフェスモデル	LandXML	goa 形式

※goa形式：3次元地質作成ソフト「Geo-Graphia」固有のファイル形式

表-3 モデル要素毎の管理情報

3次元モデル	施工情報(属性情報)	ファイル形式
トンネルモデル(実績)	A計測	excel
	切羽観察記録	excel
	打設記録	excel
	支保パターン図	dwg,pdf
	標準断面図	dwg,pdf
ボーリング	ボーリング柱状図	jpeg(画像ファイル)
	調査報告資料	pdf

- ③ 最終的な成果物は、発注者との協議して、必要な施工情報を閲覧可能な統合モデル及び施工情報を格納したフォルダを納品した。

今後は、施工情報をもとに実績に近い地質情報として地質モデルの修正を行うことで、当初地質との差異を詳細に把握し、より高精度な地質予測が行えるCIMの高度化を進める。

謝辞. 拳ノ川トンネル工事におけるCIMの適用,実施にあたり、国土交通省四国地方整備局中村河川国道事務所、

西日本支社拳ノ川トンネル出張所ならびに株式会社地層科学研究所の関係各位にご協力を頂いた。以上の方々に深く感謝申し上げます。

参考文献

- 1) CIM 技術検討会：CIM 技術検討会 平成 24 年度報告, pp. 11-13, 2013.
- 2) CIM 技術検討会：CIM 技術検討会 平成 26 年度報告, 2015.
- 3) 国土交通省 HP：<http://www.mlit.go.jp/tec/it/>
- 4) 原久純・田中勉・佐藤靖彦：生産性向上を目指した CIM の取組み, 西松建設技報 VOL. 40, 2017.
- 5) 南原道昭・吉田正樹・鬼頭夏樹・鈴木健：付加体からなる四万十帯をトンネル群にて貫く—国道 56 号片坂バイパス拳ノ川トンネルほか, トンネルと地価, 571 号, Vol. 49, No. 3, pp. 15-24, 2018. 3.
- 6) 原久純・田中勉・鬼頭夏樹：3 次元地質モデルを活用した山岳トンネル CIM の現場適用事例, 土木学会第 72 回年次学術講演会, 第 6 部門, pp. 1595-1596, 2017.
- 7) 地層科学研究所 HP：<http://geolab.jp/geo-graphia/>
- 8) ISP 社 HP：<http://www.ispland.co.jp/download/geoview.html>
- 9) 国土交通省 技術調査関係 HP：CIM 導入ガイドライン 第 6 編 トンネル編, <http://www.mlit.go.jp/tec/it/index.html>
- 10) 国土交通省 技術調査関係 HP：CIM における成果品作成の手引き (案), <http://www.mlit.go.jp/tec/it/index.html>