

生産性向上を目指した CIM の取組み

Application of Construction Information Modeling for Productivity Improvement

原 久純* 田中 勉*
Hisazumi Hara Tsutomu Tanaka
佐藤 靖彦**
Yasuhiko Sato

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、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 試行に取り組んでいるところである。

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 を中心に山岳トンネルやシールドトンネル工事に適用した事例を紹介するとともに、土工における CIM として当社開発の「3D 盛土情報管理システム」の適用状況を報告する。適用事例をもとに、CIM により期待される効果と運用方法について述べる。

目 次

- § 1. はじめに
- § 2. CIM の概要
- § 3. トンネル CIM
- § 4. 土工 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 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。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。

当社の CIM の取組みとして、土工分野では、振動ロー

ラーから得られた転圧回数、施工位置等を 3 次元ブロックモデルで一元管理する「3D 盛土情報管理システム」^{3), 4)}が土工 CIM の事例として挙げられる。また、ダム工事においては、地質状況や地下水利状況を 3 次元モデルを用いて表現し、遮水対策の検討に用いた事例もある^{5), 6)}。

これに対して今回、山岳トンネルとシールドトンネル工事において CIM の自主的な試行に取り組んだ。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。そこで、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。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、山岳トンネルとシールドトンネル工事への適用事例をもとに紹介する。構築した CIM の概要を説明するとともに、現場適用例について紹介する。また、土工 CIM については、3D 盛土情報管理システムの適用例とその活用方法を紹介する。

§ 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

* 技術研究所土木技術グループ

** 技術研究所

建築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ている。

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る⁷⁾。「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・施工や事業全体の効率化、生産性向上に期待されている。

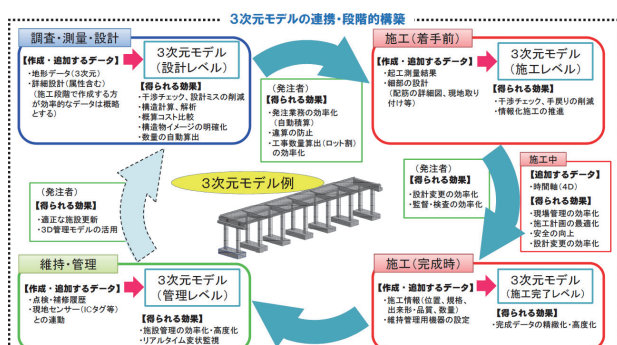


図-1 CIM の概要 (国交省 HP より)⁷⁾

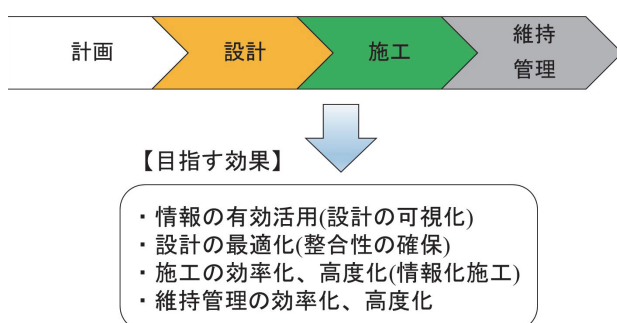


図-2 CIM 導入による効果のイメージ

§3. トンネル CIM

3-1 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は重要である。従来は地質縦断面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。シールド工事においても、地質に応じた適切な施工条件や添加材設定など掘進パラメータを選定する必要がある。地質の 3 次元分布状況の把握が大事になる。

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、山岳トンネルとシールドトンネルの現場にそれぞれ適用した。

また掘削中に実施する前方探査結果と重ね合わせることで、施工時に得た地質情報をフィードバックすることで、以後の高精度な地質予測により、次施工において最適な施工方法や対策の検討ができるようにすることも期待した。

3-2 トンネル CIM の構築

(1) 特徴

山岳トンネルにおける CIM は、図-3 に示すように、主に地質情報、構造物モデルおよび施工情報で構成される。今回取り組んだ CIM の特徴を以下に挙げる。

- ①任意の切羽位置で地質断面図を表示、予測できる。
- ②各種前方探査結果、施工情報と統合して、地質予測と照合・確認を迅速に行え、高精度な地質予測が行える。
- ③地質情報、施工情報を今後の維持管理に活用できる。

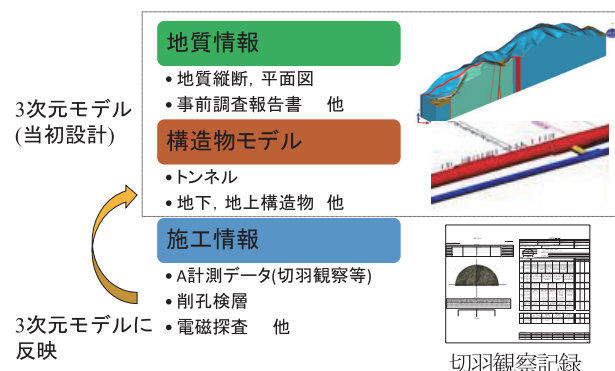


図-3 山岳トンネル CIM の構成

(2) 3 次元地質モデルの構築

そこで、高精度な 3 次元地質モデルが構築可能なソフト「Geo-Graphia」⁸⁾ を用いてソリッドモデルにより地質モデルを作成した。地形モデルは国土地理院の数値地図データを用い、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構築する。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。

(3) 探査結果、施工情報との統合

施工段階では、掘削途中で実施する DRISS[®] などの削孔検層をはじめ、様々な前方探査記録(電磁探査、弾性波探査等)を取り込み地質モデルと重ね合わせることで、事前の地質予測を迅速に照合できる。次に切羽観察記録を重ね合わせることで、実際の地質傾向も把握でき、以後の前方地質予測の高精度化が図れる。また、計測結果、支保パターンなど施工情報とリンクして統合モデルとして一元管理ができる。

3-3 運用方法

3 次元地質モデルを活用した山岳トンネルにおける

CIM の運用フローを図-4 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

前方探査結果、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。その結果をもとに必要に応じてフィードバックし、施工方法を見直す。

(3) 施工完了時

測点毎にデータを管理しているため、覆工の品質・出来形記録や写真等のデータも加え、一元管理を行う。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。

3-4 山岳トンネル CIM の事例

山岳トンネルの適用事例について、以下に紹介する。

(1) 事例 1：前方地質の高精度予測及び施工情報の統合管理

工 事 名：平成 24 年度佐久間道路東栄地区第 1 トンネル新設工事

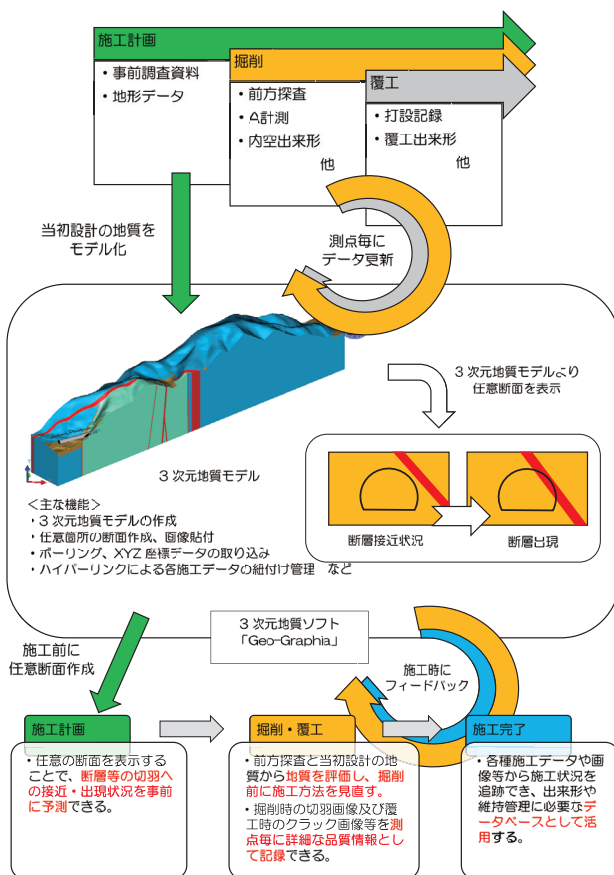


図-4 山岳トンネルCIMの運用フロー

工事場所：愛知県北設楽郡東栄町三輪～静岡県浜松市天
竜区佐久間町浦川

企 業 先：国土交通省 中部地方整備局

施工延長：1,945 m

構築した3次元地質モデルを図-5に示す。当該地質は、変成岩類の砂質片岩、泥質片岩および珪質片岩を主体とし、断層が複数存在する。到達側付近では、低土被り区間かつ既設水路トンネルが横断する。地層が褶曲する構造を示すこと、低土被り部では地表地形が変化し、切羽断面の左右で土被りが異なることから偏土圧の影響の可能性に留意が必要なが、3次元地質モデルから把握が容易にできた。

本工事では、低土被り区間において前方探査（削孔検層 DRISS、電磁探査等）が実施された。探査結果ならびに切羽観察記録等を 3 次元地質モデルに統合したモデルを図-6 に示す。

統合した3次元モデルより，様々な前方探査結果を表示・照合でき，前方地質を高精度に予測できる．前方探

時代	地層名	記号	配色	備考
..	..	F01		
..	..	F02		
..	..	F03		断層
..	..	F05		
第三紀	崖線堆積物	dt		鎌文じり砂礫層
	軟水層群火山岩類	Tvol		泥紋岩類
	軟水層群	Tss		泥岩
	堆積岩類	Tas		砂岩層
		Talt		互層
		Tss		砂岩層
		Rps		泥質片岩
白亜紀～ ジュラ紀	傾斜帯変成岩類	Rsc		斑岩片岩

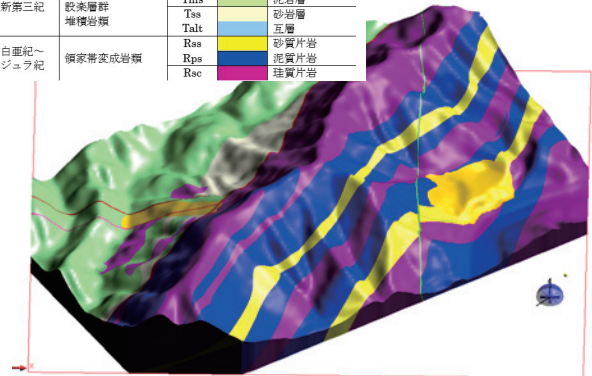


図-5 3次元地質モデル

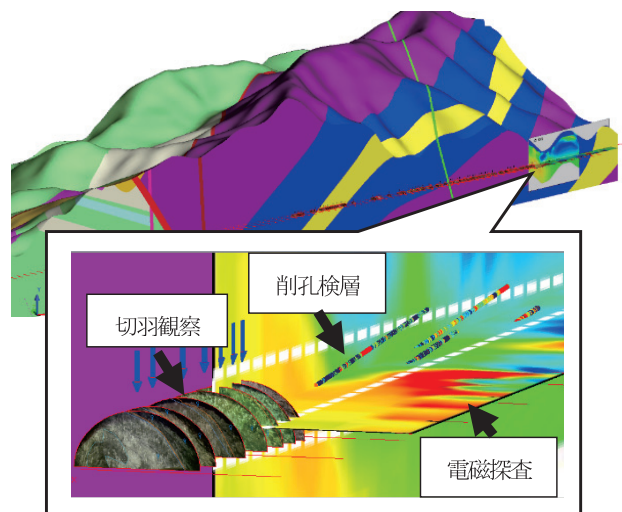


図-6 地質モデルと前方探査結果の統合例

査結果および掘削後の切羽観察記録等とを照合することで、実際の地質データから地質モデルを見直すことができ、より高度な地質予測を図れる。

また、支保パターン位置毎に掘削日等の施工情報を一元管理する「施工情報管理モデル」はビューワソフト「Autodesk Naviswoks」と属性管理ソフト「Navis+」⁹⁾で構築した。作成したトンネルモデルを図-7に示す。施工情報は施工日や地質情報、湧水量や切羽評価等を支保パターン毎に登録することで、当初設計の支保パターンと実績を比較し、地質変化に伴った設計変更等を今後の維持管理に活用できる。

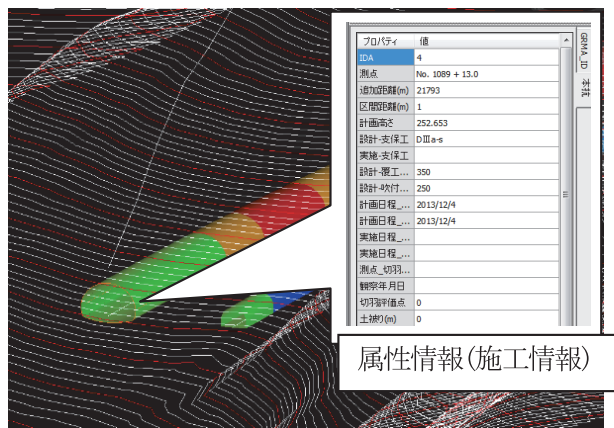


図-7 施工情報管理モデル

(2) 事例2：断層の出現予測

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

拳ノ川トンネルの3次元地質モデルを図-8に示す。地質は砂岩・泥岩互層及び泥岩を主体とし、断層が複数存在する。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。図-9に3次元モデルから任意間隔で作成表示したトンネル断面周辺の地質断面図と断層出現位置を示す。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。また、地表面までの土被りが可視化されるので、偏土圧による影響が予測し易くなり、計測点増加の検討や作業前の注意喚起に活用できた。さらに、図-10のように切羽観察記録等の施工情報を測点毎にリンク紐付け管理するため、同類の地質状況が予想された場合に施工済みの記録を参照することで、安全に施工を行えた。

また本工事では、3次元レーザースキャナを用いて、トンネル覆工出来形の面的管理に活用した。図-11に

3Dレーザースキャナによるトンネル内空計測の例を示す。内空断面形状を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面的出来形データは、維持管理に活用することも可能である。

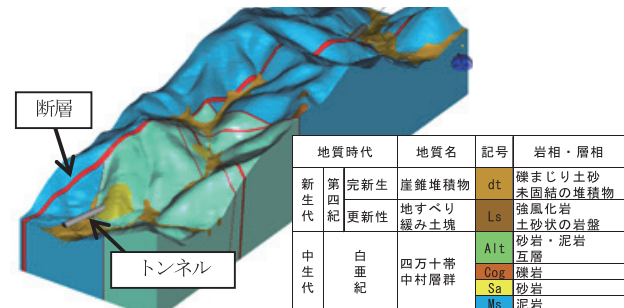


図-8 3次元地質モデル

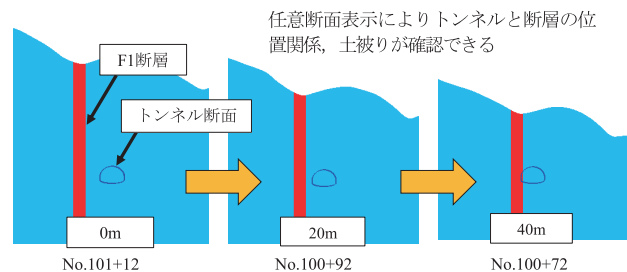


図-9 任意断面におけるトンネル断面周辺の地質予測

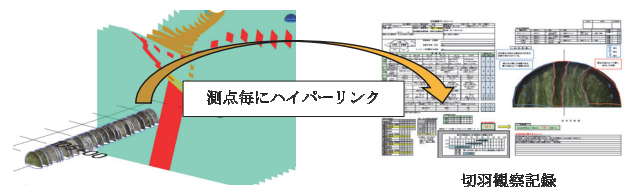


図-10 施工データの管理例(切羽観察記録)

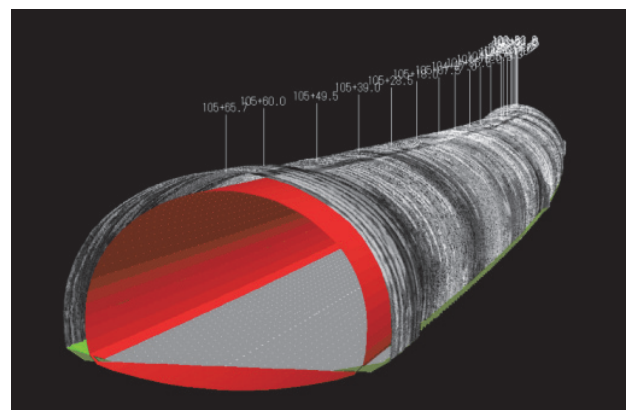


図-11 3Dレーザースキャナによるトンネル内空計測

3-5 シールドトンネル CIM の事例

シールドトンネル工事においても、山岳トンネルと同様に地質情報を活用した CIM の適用を試みた。以下、シールドトンネルの適用事例について紹介する。

(1) 事例 1：地質変化と地下構造物を考慮した施工計画
 工事名：横浜湘南道路トンネル工事
 工事場所：神奈川県藤沢市大鋸～藤沢市本藤沢
 企業先：国土交通省 関東地方整備局
 施工延長：1,708 m

本工事は洪積台地の地下をシールド工法（外径 13.2 m）にて上下線の道路地下トンネルを掘削、構築するものである。路線上の地質は、泥岩、砂岩、砂礫層等による洪積層に一部区間に旧谷地形による沖積粘性土層が堆積する。このようにトンネル路線上の地質が変化に富むため、3次元地質モデルを用いて、事前に土質毎の掘削土量の正確な把握のほか、地質変化を考慮した最適な掘進パラメータの選定を行うこととした。また、掘削位置に地下構造物等が近接することから、地上および地下構造物等を3次元可視化し、掘削位置と近接する地下構造物との離隔距離、位置関係を確認し、影響の少ない施工方法を検討した。図-12に3次元モデル全体の構成を示す。3次元地質モデルは、「Geo-Graphia」を用いて構築した。地質モデル構築にあたっては、路線上のボーリング調査地点に限られるため、周辺の地質情報として産総研の地質データベースも参考にしてモデルを作成した。

3次元地質モデルより、図-13のように任意位置のシールド断面の地質分布を確認でき、地質の変化状況の事前把握や掘削土量の予測精度の向上、断面毎の地質に応じた掘削パラメータの最適検討などに役立った。また、橋脚の基礎杭を構造物としてモデル化し、トンネルと橋脚基礎杭の位置を図-14のように表示確認した。シールド通過と基礎杭との接触の有無を全線にわたって

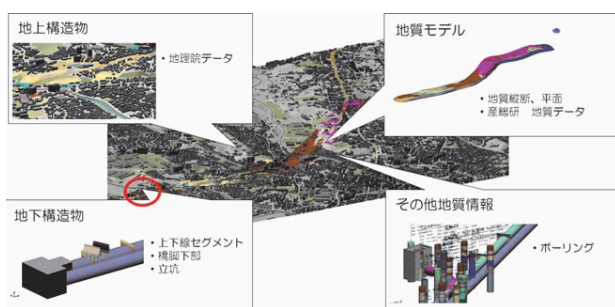


図-12 3次元モデルの構成

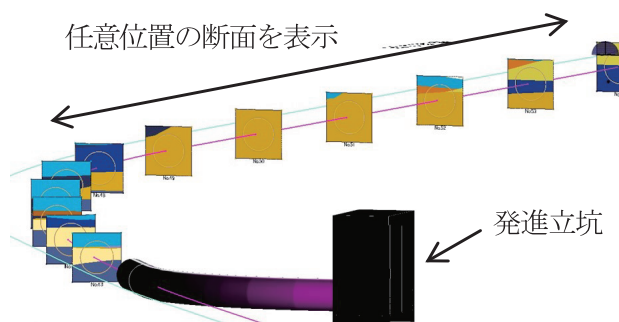


図-13 掘進方向による地質変化例

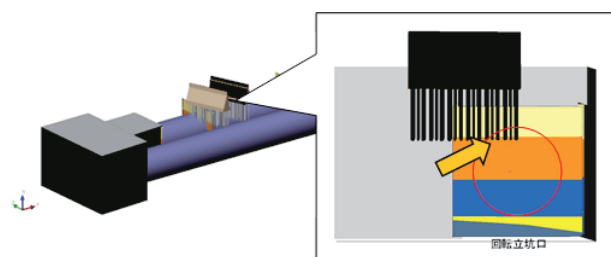


図-14 基礎杭と掘削位置の可視化例

チェックできるなど、施工段階での課題点を抽出できる。

(2) 事例 2：工事の可視化と施工情報の管理

工事名：南部処理区新磯子幹線下水道整備工事
 工事場所：神奈川県横浜市磯子区磯子1丁目4番～横浜市磯子区新磯子町39番地
 企業先：横浜市環境創造局
 施工延長：1,896 m

海底を横断して泥水式シールド工法により下水道管路を敷設する工事である。発注者や見学者等への立地条件やシールド工事の説明のために「3Dモデルビュー」(CG)を制作した。工事エリア鳥瞰図、路線断面図、シールドマシンアニメーション、立坑内構造をモデル化し、工事の立地条件、トンネルルート、シールドマシンや立坑の構造を示した他、シールド工法の掘削、マシン推進、セグメント搬送・組立ての手順をアニメーション化した。

3DモデルはAutodesk社のCivil 3DとInfraworksを用いて作成し、動画および3DビューはAutodesk 3ds Maxを用いて作成した¹⁰⁾。作成した3Dモデルは、図-15に示す3種類である。「(a)施工全景3Dモデル」は、工事エリアを3次元鳥瞰図で表し、海底面を通るトンネル路線と周辺立地の位置関係および掘削の現在位置を示した。「(b)シールドマシン3Dモデル」は、シールドマシンの内部構造、シールド掘削状況、およびセグメントの搬送・組立ての施工過程をアニメーションで再現した。「(c)到達立坑3Dモデル」は、到達人孔の構造が複雑であり2次元図面だけではわかりにくいため、立坑人孔内の床、階段等の複雑な構造を3D可視化した。

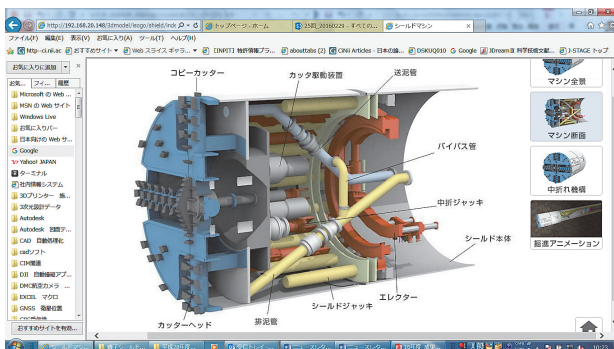
作成した3Dビューと動画ツールは、操作が簡単でWeb上でも閲覧が可能のように構築した。その結果、以下の効果が得られた。

- ・シールド工事を知らない見学者や関係者などにも大変わかりやすいと好評を受けた。
- ・現場見学会のほか、発注者の勉強会等でも使用されている。
- ・通常スペックのPCやタブレット端末で汎用ブラウザにより誰でも簡単に操作・閲覧できる。
- ・開口の位置などが一目でわかるため、施工ツールとしての活用も期待している。

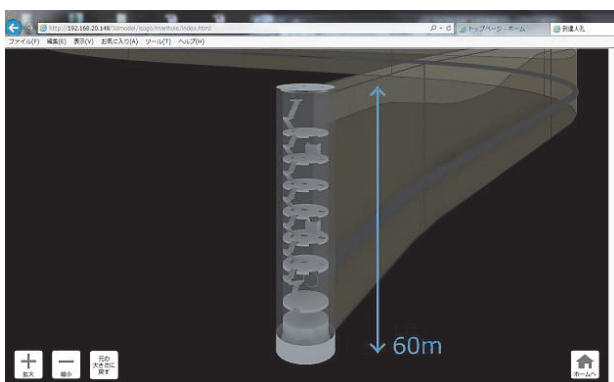
また、トンネルの施工情報を見える化させて施工状況の確認把握が迅速にできるようにするために、図-16



(a) 施工全景 3D モデル



(b) シールドマシン 3D モデル



(c) 立坑 3D モデル

図一15 工事説明用 3D モデル

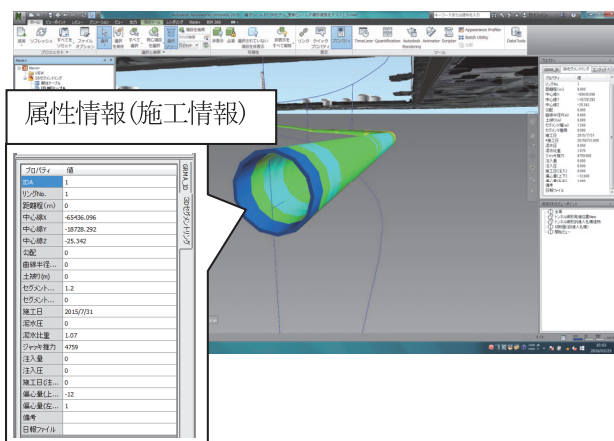


図-16 施工情報管理モデル

に示すようにセグメントリングモデルに掘削日等の施工情報を一元管理する「施工情報管理モデル」を作成した。ビューワーソフト「Autodesk Naviswoks」と属性管理ソフト「Navis+」でセグメントリング毎の施工情報を閲覧する。施工情報は、掘進日時やセグメント種別、偏心量、裏込注入量、泥水圧等の掘削情報をセグメントリング毎に登録することで、計画に対する裏込注入量の過多等の評価が行える。

3-6 運用体制

導入した CIM 現場の運用を円滑に行うため、実施した運用体制を図-17に示す。現場と本社間の情報共有は、社内イントラネット内の専用サイトを用いて大容量データの共有化、データ更新を行った。専用サイトでは、現場施工データのアップロード・ダウンロードを行い、施工情報の更新等に対応している。また、現場 PC と本社 PC の映像を接続するソフトより、現場 PC の画面上で操作実演等を行うことで、口頭説明が困難な操作手順も正確に伝達できる体制を構築し、現場と本社が連携して CIM の実施にあたった。



図-17 CIM運用体制

§ 4. ±± CIM

4-1 土工 CIM の構成

土工 CIM の一例として、当社開発の「3D 盛土情報管理システム」の構成を図-18 に示す。本システムは、GNSS 締固め管理システムによる各層の施工データ（施工日、施工座標、転圧回数、盛土材料情報など）と、盛土の動態観測データなどを、システム内のデータベースに読み込み・登録して、一元管理するものである。登録データは、その位置情報から 3 次元モデル化した 3D の各ブロックに属性として記録する。情報化施工（ICT）と 3 次元モデルを融合したシステムであり、施工データを 3 次元モデル上で一元管理し、データの 3 次元「可視化」や効率的な施工管理および施工情報の検索ができる。3 次元モデルに属性情報を入れて管理するため、CIM の一つと言える。

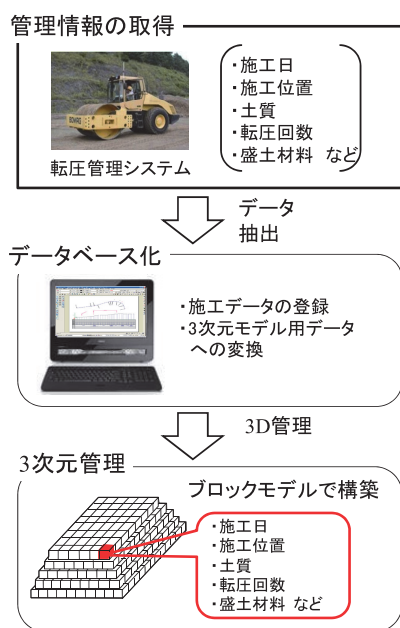


図-18 3D 盛土情報管理システムの構成

4-2 3D 盛土情報管理システムの適用例

当社開発の3D 盛土情報管理システムの現場活用について既往の報告³⁾のほか以下に2つ事例を紹介する。

(1) 事例1：震災復興工事における盛土施工管理
 工事名：名取市閑上地区被災市街地復興土地地区画整備
 事業設計・施工一括工事
 工事場所：宮城県名取市閑上地内
 企業先：宮城県名取市
 盛土量：約170万 m^3

震災復興事業の一環となる約57万 m^2 の宅地造成工事であり、広範囲にわたって施工状況および品質状況を毎日把握することを目的として、「3D 盛土情報管理システム」を適用した。ブロックサイズ5m×5m×0.3m、ブロック数35万個をモデル化した。月毎の出来高の3次元表示、断面表示したものを図-19、20に示す。現在の施工範囲が一目で確認でき、施工日毎で表示管理することから、月毎の進捗状況が容易に把握できた。また任意の管理断面を表示することで、施工盛土高さの進捗状況を確認できた。

(2) 事例2：道路盛土工事における施工管理
 工事名：国道45号 山田北道路改良工事
 工事場所：岩手県下閉伊郡山田町豊間根地内～宮古市津軽石地内

企業先：国土交通省東北地方整備局
 盛土量：約32万 m^3

施工延長2km、盛土量約32万 m^3 の大規模土工事であり、延長の長いエリアにおける施工進捗状況ならび施工、品質・出来高等の施工管理の効率化を図ることを目

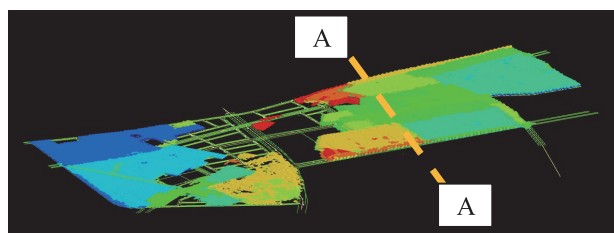


図-19 月毎進捗の3次元表示例（鳥瞰図）

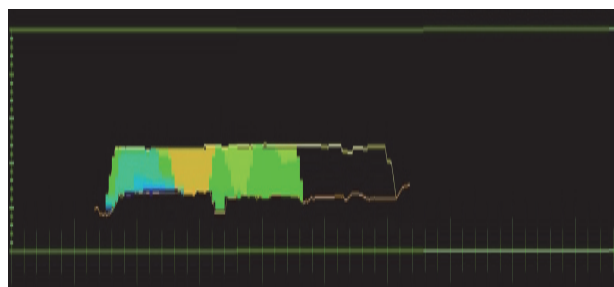
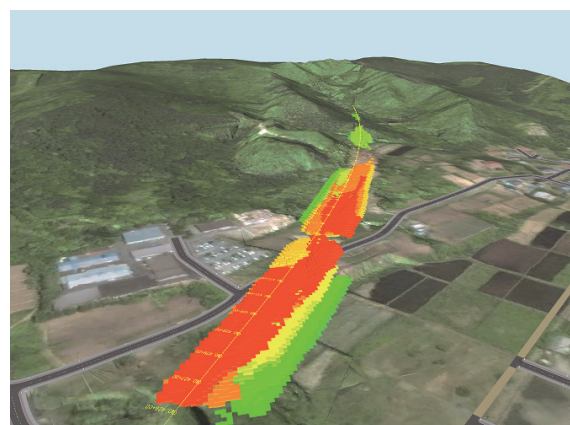


図-20 月毎進捗の断面表示例（A-A断面）



(a) 3D 盛土情報管理システムによる3Dモデル



(b) UAV撮影による全景写真

図-21 3D 盛土モデルと施工状況写真との比較

的として、「3D 盛土情報管理システム」を適用した。ブロックサイズ2.5m×2.5m×0.3m、ブロック数約20万個をモデル化した。3D 盛土情報管理システムによる盛土進捗状況を図-21(a)に示す。周辺地モデルは国土地理院の数値地図データを用いてInfraworksで作成、3D 盛土ブロックモデルと統合させた。UAVで撮影した

空中写真を並べて示すが（図－21（b））、地形モデルとの統合モデルを用いると、周辺環境との位置関係とともに、盛土の進捗状況を一目で把握でき、一般の方にもわかり易いものとなった。

§5. まとめ

ICTや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たCIM（Costruction Information Modeling/Management）に関して、山岳トンネル、シールドトンネル、土工の各工種についてCIMを構築して現場適用、試行した。CIMを適用した結果、以下に示す効果を確認できた。

- (1) 山岳トンネル工事では、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た。当初設計の地質情報と前方探査記録等の施工情報を見直すことで、より高精度な地質予測に活用できる。
- (2) シールドトンネル工事では、地質情報や近接構造物を3次元可視化することで、複雑な地質変化に対する掘進計画の事前検討や近接構造物への影響検討などに役立った。また、シールドマシンや立坑等の複雑な形状・構造や周辺立地条件を3次元モデルで表現、説明することで、関係者や一般の人への説明に対して理解しやすく効果的であった。
- (3) 土工事では、3次元情報管理システムの適用により、盛土工の進捗状況と施工過程が可視化されるとともに、施工情報（施工日、施工条件、盛土材料など）が一元管理され、施工の進捗や施工管理・品質等の状況把握を迅速にできた。

今後、国交省ではCIMガイドラインが策定される予

定であることなどから、引き続き各工種においてCIMの適用を試み、施工の効率化や品質・安全の向上に効果的な活用方法、運用方法を検討、改善を進め、生産性向上に取り組んでいく所存である。

謝辞. 各工事におけるCIMの適用にあたり、ご協力いただいた関係各位の方々に深く感謝します。

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) 原久純・佐藤靖彦・田中勉・岩谷隆文・杉本幸信：3D 情報化施工支援ツールの開発, 西松建設技報 VOL.38, 2015.
- 4) 原・佐藤・田中：3 次元ブロックモデルを用いた盛土情報管理システムの適用, 土木学会第 70 回年次学術講演会, 第 VI 部門, pp.479~478, 2015.
- 5) 小野雄司：徳富ダム建設工事の基礎処理工における 3D プログラムの活用, 西松建設技報 VOL.38, 2015.
- 6) 野雄司・尾川知之：徳富ダム建設工事の基礎処理工における 3 次元モデルの活用, 土木学会第 70 回年次学術講演会, 第 VI 部門, pp.77-78, 2015.
- 7) 国土交通省 HP：〈<http://www.mlit.go.jp/tec/it/>〉
- 8) 地層科学研究所 HP：<http://geolab.jp/geo-graphia/>
- 9) 伊藤忠テクノソリューションズ株式会社 HP：<http://www.ctc-g.co.jp>
- 10) Autodesk 株式会社 HP：<http://www.autodesk.co.jp>