

# 施工 C I M への取組み

## ー山岳トンネル、鉄道営業線近接施工、土地造成の生産性向上ー

### Application of CIM Systems for Construction Sites

#### - Improving Productivity in Mountain Tunneling,

#### Construction near In-Service Railway Facilities and Land reclamation -

宮田岩往\*

#### 要 旨

国土交通省が推進している CIM<sup>1)</sup>・i-Construction<sup>2)</sup> (ICT 活用工事) 等の案件への対応準備として、山岳トンネル工事、鉄道営業線近接工事、土地造成工事の施工現場に CIM を適用し、その活用場面と有効性を検証した。山岳トンネル工事については、測量・計測システムのデータとトンネルの 3 次元モデルを連携させ、切羽観察記録、地山評価点、切羽写真等の施工管理データを含む CIM モデルを作成し、それにより、現場職員に負担を掛けずに施工・維持管理情報のデータベースを構築することを目的とした。鉄道営業線近接工事では、駅部を含む鉄道高架工事および地下駅開削工事の施工ステップを 3 次元モデルで可視化し、詳細な施工計画の立案と施工管理、発注者協議に活用した。土地造成工事については、カメラを搭載した UAV を用いて撮影した空中写真から 3 次元モデルを生成することで、広範囲なエリアの造成現場で構造物周りの埋戻し土量も含めた現況測量を短時間で実施できることを確認した。

キーワード：CIM、i-Construction、施工ステップ、可視化、UAV

#### 1. まえがき

国土交通省では、3 次元モデルを用いて調査・設計・施工・維持管理の各段階ごとに発生するデータを連携・追加させ、事業全体の関係者間で情報を共有することによる一連の建設生産システムの効率化を目的として平成 24 年度から CIM (Construction Information Modeling) を推進している。さらに、平成 25 年度からは、設計・施工案件への試行適用を開始しており、年々適用範囲を拡大してきている。

また、平成 27 年 11 月には建設現場の生産性を向上させ、魅力ある建設現場を目指す取組みとして i-Construction を進めていくことが発表され、平成 28 年度からは i-Construction の三つの施策のうち、ICT 活用工事 (土工) の運用が開始されている。

今回、これらの CIM・i-Construction の展開を見据えて、山岳トンネル工事、鉄道営業線近接工事、土地造成工事に施工 CIM を適用し、工種ごとの活用場面と有効性を検証した。

山岳トンネル工事については、国土地理院から公開されている基盤地図情報による地形表面の 3 次元モデル、

設計図書として提供される地質平面図および地質縦断面図、日々の施工に活用している測量・計測システムのデータ (切羽観察記録、地山評価点、切羽写真等) の各種データを活用して CIM モデルを作成することを考えた。そこで、まず特に日々発生する測量・計測システムのデータを取り込むことにより、効率的にトンネル CIM モデルが生成される仕組みの開発に取り組んだ事例を報告する。

次に、鉄道営業線近接工事では、近接施工となる駅部を含む鉄道高架工事および地下駅開削工事において、3 次元モデルを用いて施工ステップ等を可視化することで詳細な施工計画の立案、施工管理、発注者協議に活用した事例を報告する。

最後に、土地造成工事については、広範囲なエリアの造成現場において、構造物周りの埋戻し土量も含めた土量の把握を効率的に行うために、カメラを搭載した UAV による写真測量を実施した事例を報告する。

#### 2. 山岳トンネル工事における C I M への取組み

##### 2.1 概要

\*管理本部情報システム部

山岳トンネル工事において、地形表面形状、地質平面図、地質縦断面図、測量・計測システムデータとトンネルの3次元モデルを連携させ、切羽観察記録、地山評価点、切羽写真等の施工管理データをデータベース化したCIMモデルを作成した。

## 2.2 実施内容

図-1に示すように、国土地理院が公開している基礎地図情報の数値標高モデルにより作成したトンネル上部の地形表面の3次元モデルに設計図書の地質平面図を配置する。また、トンネル線形に合わせて設計図書の地質縦断面図を配置する。この地形モデルに、トンネルを施工するために使用している測量・計測システムの切羽観察記録、地山評価点、切羽写真等の施工管理データを連携させることで、トンネル施工に関する情報をデータベース化したトンネル CIM モデルによりそれらを可視化した(図-2)。このトンネル CIM モデルには、図-3に示すように切羽ごとの切羽観察記録がデータベース化されており、図-4に示すように切羽ごとの切羽写真や切羽断面の天端部、左肩部、右肩部、および総合地山評価点が点数によって色分けされて表示される。また、図-5に示すように、地山等級に合わせて実際に設置された実施支保パターンがパターンごとに色分けされて表示される。この CIM モデルには、他にもボーリングデータや削孔検層<sup>3)</sup>システムデータ等を統合して表示させることも出来る(図-6、7)。

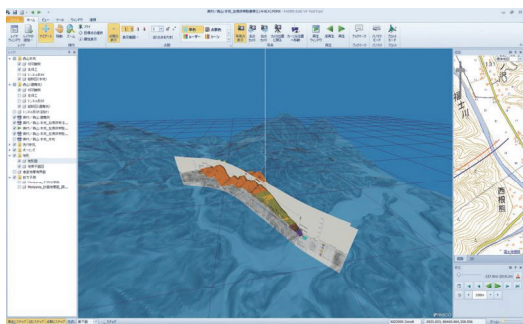


図-1 地形表面+地質平面+地質縦断

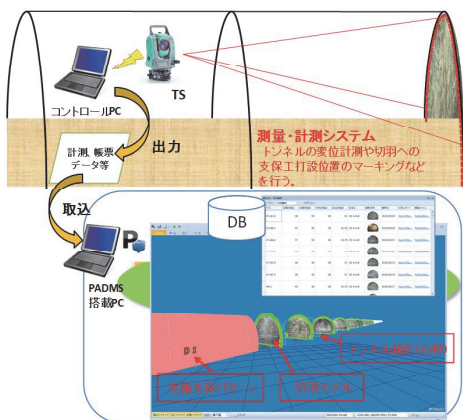


図-2 測量・計測システムとのデータ連携

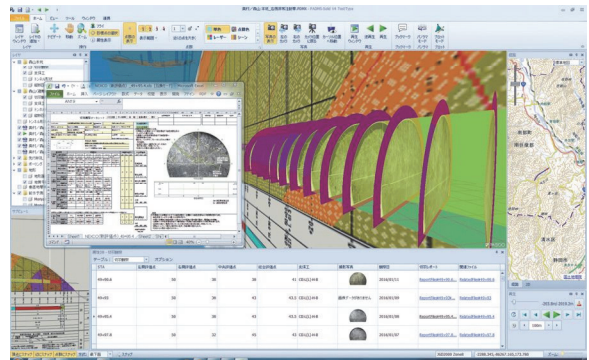


図-3 データベース化された切羽観察記録

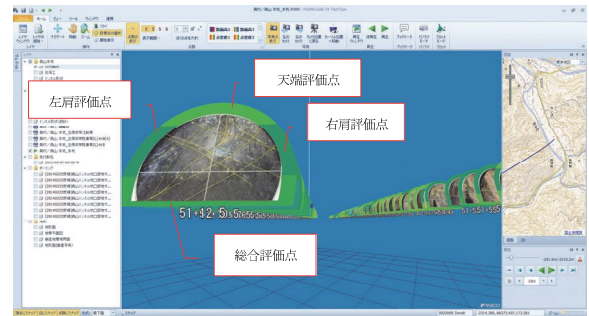


図-4 データベース化された切羽写真+地山評価点

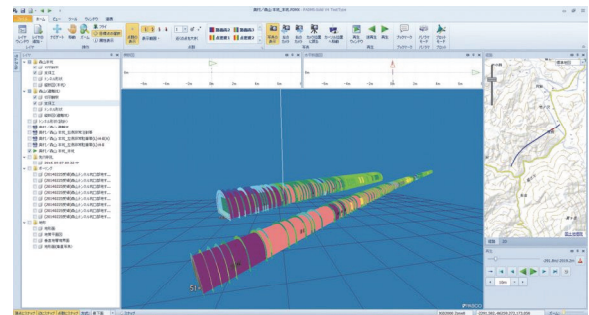


図-5 データベース化された実施支保パターン

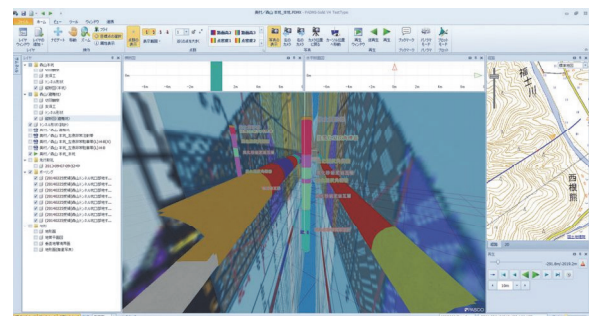


図-6 ボーリングデータ

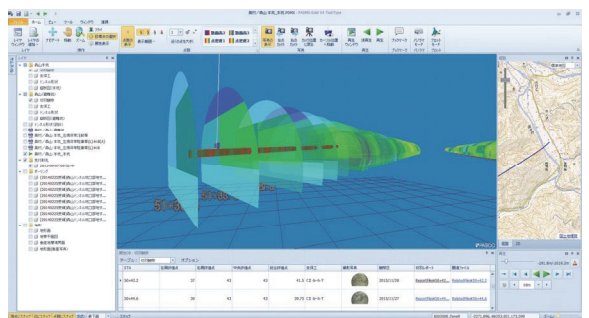


図-7 削孔検層システムデータ

### 2.3 実施結果

測量・計測システムのデータを取り込んだトンネルの CIM モデルが作成されたことで、現場職員に負担が掛からずにデータベース化された施工・維持管理情報を得られることが有効であるとの評価を得た。

## 3. 鉄道営業線近接工事における CIM への取り組み

### 3.1 概要

鉄道営業線近接工事のうち、駅部を含む営業線近接施工となる高架工事および地下駅開削工事において、施工 CIM を活用した。

#### a. 駅部を含む営業線近接施工となる鉄道高架工事

営業線近接施工となる高架工事において、3次元モデルを用いた施工計画の立案、施工管理、および発注者協議等におけるそれらの活用により、円滑な施工を目的に施工 CIM を導入した。

#### b. 鉄道地下駅の開削工事

鉄道地下駅開削工事においても同様に、3次元モデルを用いた施工計画の立案、施工管理、および発注者協議等におけるそれらの活用により、円滑な施工を目的に施工 CIM を導入した。また、主要ターミナル駅部での施工となるため、個別に存在している複数の関係機関が保有する情報を3次元モデルを用いて一元的に可視化することに取り組んだ。

### 3.2 実施内容

#### a. 駅部を含む営業線近接施工となる鉄道高架工事

この工事は、複線の既設線（上下各1線）を仮線に移設した上で施工を行う仮線方式の連続立体交差事業であり、I 期工事で下り線の高架橋を構築して高架への切替が完了した後に、II 期工事で上り線の高架橋の構築を行うものである。しかし、II 期工事では仮線で営業中の上り線との近接工事となり、より綿密な施工計画が必要であるため、構造物（既設+新設）、仮設、営業線（上り線）の3次元モデルを作成した（図-8）。

平面線形がカーブとなる区間では部分的に架線と近接する区間があり、柱および軌道梁・スラブ構築時に設置する足場と架線トラスとの離隔が確保できるかを3次元モデル上で確認した（図-9）。

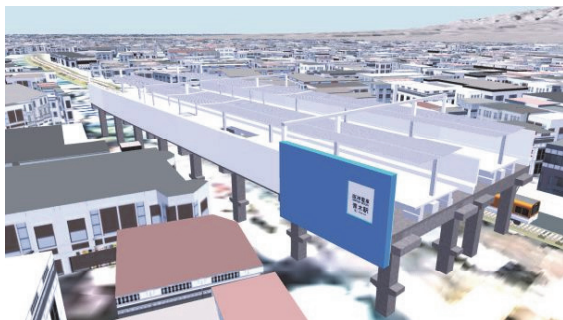


図-8 駅部の3次元モデル

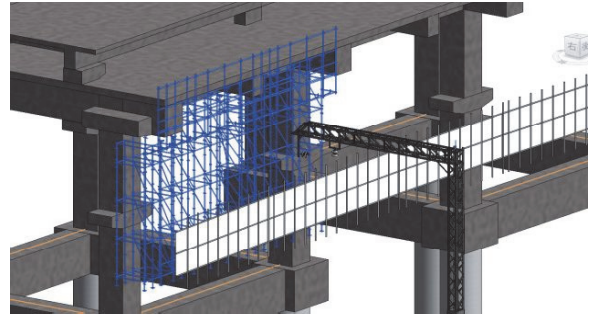


図-9 架線と足場の離隔確認

また、営業中の上り線と最も近接施工となる駅部区間については、施工ステップに合わせた3次元モデルを作成し、各施工ステップごとに営業線に支障なく施工ができることを確認しながら詳細な施工計画に活用した（図-10～13）。

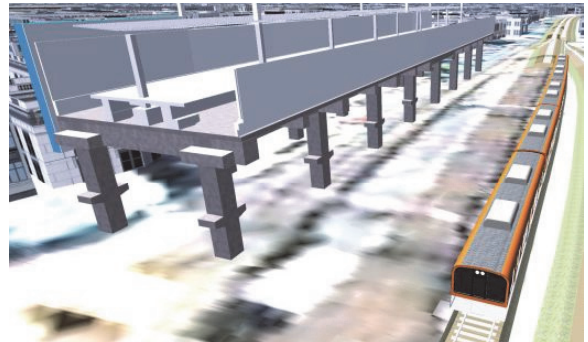


図-10 施工ステップ（着手前）

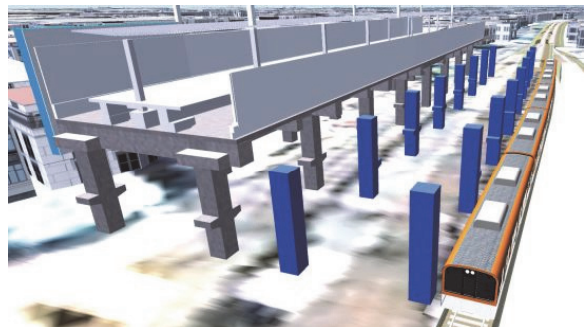


図-11 施工ステップ（柱構築）

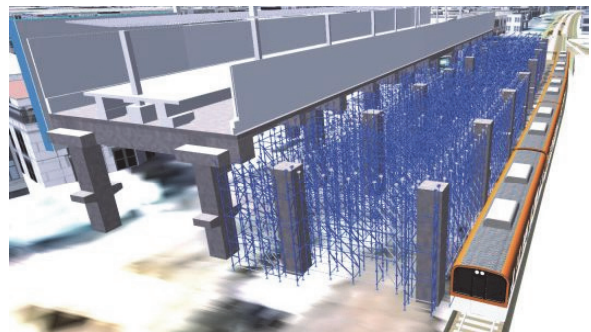


図-12 施工ステップ（型枠支保工）

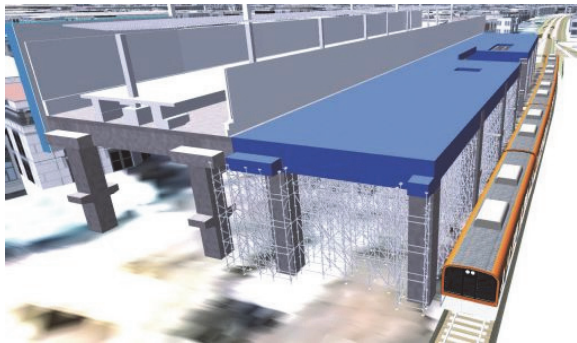


図-13 施工ステップ (軌道梁・スラブ)

b. 鉄道地下駅の開削工事

この工事は、主要ターミナル地下駅、および地下通路を拡幅する工事であり、地上と地下が密接に関係する場所であるとともに、複数の関係機関が保有する情報が個別に存在している。これらの散在する情報を一元的に可視化することで、各種検討や合意形成の迅速化が図られ、工事の安全管理や品質確保の向上を目的として3次元モデルを導入した。

そのために、MMS (モービルマッピングシステム)<sup>4)</sup>で取得した点群データと航空写真 (オプリーク航空カメラ<sup>5)</sup>)から生成した3次元都市モデルを活用して、地下の躯体 (既設+新設) と地上の周辺建物との相関を可視化した (図-14~16)。

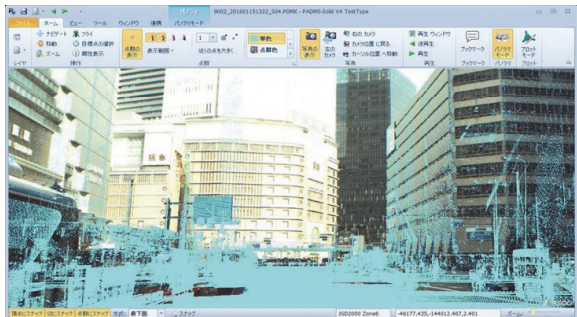


図-14 MMS取得データ (点群+写真)



図-15 MMS取得データ (色付き点群)

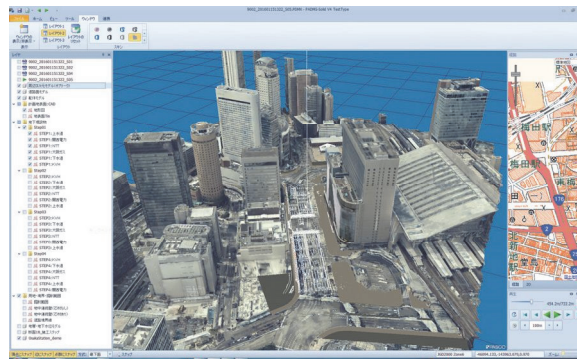


図-16 3次元都市モデル (オプリーク航空カメラ)

また、施工エリアには複数の機関が管理する埋設物が多数存在するため、工事中だけでなく工事完了後の維持管理にも活用できるように埋設物のモデルに管理者、管種、径、土被り等の属性データを付加してデータベース化したCIMモデルを作成した (図-17)。さらに、工事の進捗に合わせて埋設物を切り廻す必要もあるため、工事期間ごとの埋設物と躯体との位置関係を可視化した。

また、この地域は地下水位が高く、施工上も特に配慮が必要なため、地下躯体と地層・水位の3次元モデルの関係を可視化した (図-18)。

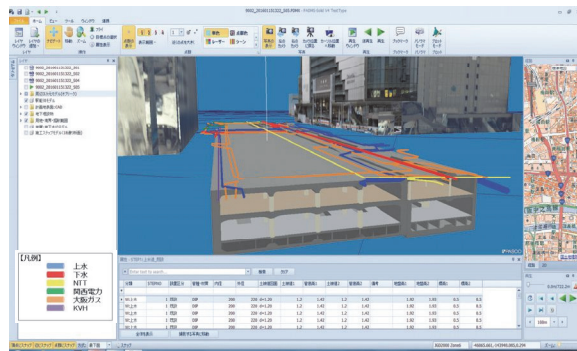


図-17 CIMモデル (地下埋設物データベース)

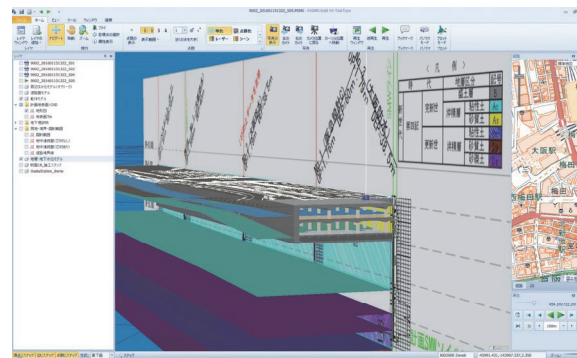


図-18 3次元モデル (躯体+地層)

さらに、工事手順を視覚的に分かり易く表現するため、2次元図面の施工ステップ図を3次元躯体モデルと重ねて配置することで、簡易な施工ステップの2.5次元モデルを作成して可視化した (図-19、20)。

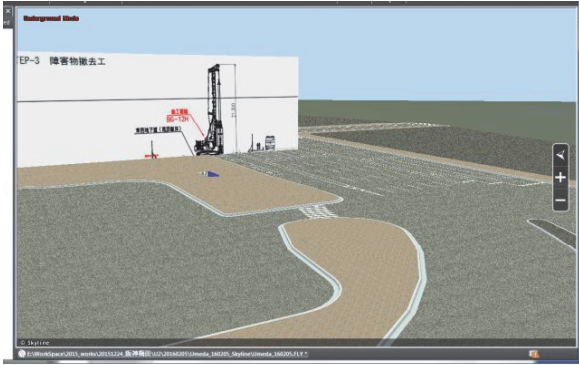


図-19 施工ステップ（地上部）

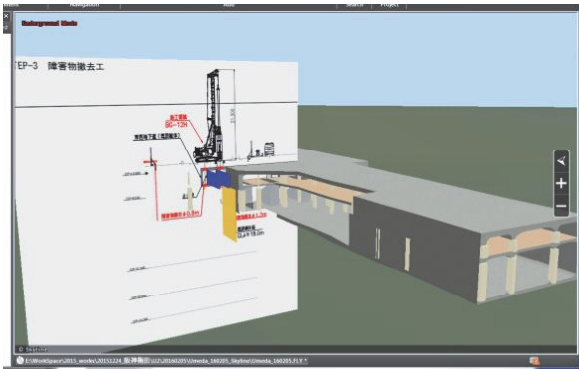


図-20 施工ステップ（地下透過）

3.3 実施結果

a. 駅部を含む営業線近接施工となる鉄道高架工事  
 2次元の設計図面（平明図・横断図）では明確ではなかった型枠支保工と架線トラスとの位置関係を3次元モデルで可視化することにより、計画段階で離隔距離の確認ができ、詳細な施工計画に有効であった。

また、施工ステップを3次元モデルで可視化し、様々な方向から視点を変えて確認することで、2次元図面では気付きにくい問題点を確認でき、より精度の高い施工計画が立案できた。

b. 鉄道地下駅の開削工事

躯体の3次元モデルと、元々2次元図面で計画していた施工手順を重ね合わせることで、少ない労力でわかりやすい施工ステップモデル（2.5次元モデル）を活用できた。

また、地下躯体モデルと属性を付加した埋設物モデルを組み合わせることで、施工中の施工管理だけでなく竣工後の維持管理としての活用も期待できる。

4. 土地造成工事におけるCIMへの取組み

4.1 概要

土地造成工事において、UAV 写真測量による現況測量を行い、構造物周りの埋戻し土量も含めた全体の切盛土量を把握し、土砂の合理的な運搬計画に活用した。

4.2 実施内容

この工事は、病院建設に係る造成工事であり、当初は

造成工事のみであったが、現在は病院建築工事も並行して行っている状況である。建築工事着工前のある程度の土量をバランスさせていたが、建築工事の進捗に合わせて埋戻し用土砂の仮置き場を縮小させる必要が出てきたため、UAV 写真測量技術<sup>9)</sup>を用いて現況測量を行い、全体の切盛土量を把握して、土砂の合理的な運搬計画に活用した。

この工事では、以前にも UAV 写真測量による計測を行ったが、今回は構造物周りの埋戻し土量を詳細に把握する必要があったため、図-21 に示すように場内を13コースに分けて撮影した。90mの高度から撮影する計画でフライトした結果、表-1 に示すように平均高度は90.7m、平均地上解像度は1.24cm、ラップ率は80%（サイドラップ65%）となった。

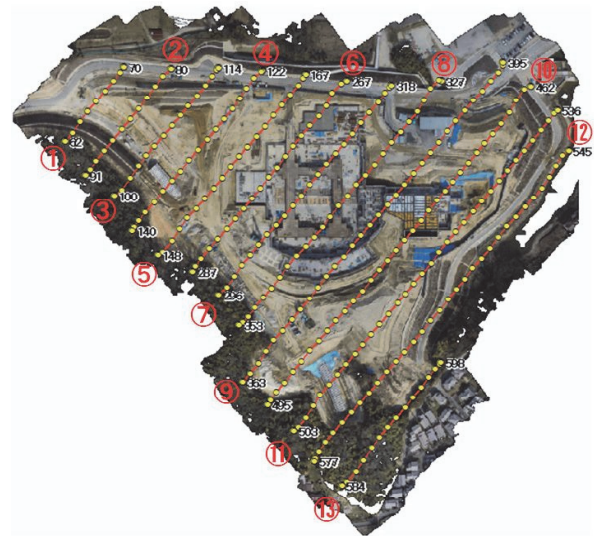


図-21 UAV飛行ルート

表-1 撮影結果

カメラ	Sonyα7R	①	0062 ~ 0070	9枚	11:05 ~ 11:11
焦点距離	35mm	②	0080 ~ 0091	12枚	
ピクセルサイズ	4.8μm	③	0100 ~ 0114	15枚	
ピクセル数	7360x4912	④	0122 ~ 0140	19枚	
平均高度	90.7m	⑤	0148 ~ 0167	20枚	11:21 ~ 11:27
平均地上解像度	1.24cm	⑥	0267 ~ 0287	21枚	
コース	13コース	⑦	0296 ~ 0318	23枚	
枚数	296枚	⑧	0327 ~ 0353	27枚	
ラップ率	コース内 80% コース間 65%	⑨	0363 ~ 0395	33枚	
		⑩	0462 ~ 0495	34枚	10:29 ~ 10:36
		⑪	0503 ~ 0536	34枚	
		⑫	0545 ~ 0577	33枚	
		⑬	0584 ~ 0598	15枚	

4.3 実施結果

撮影作業は準備作業を含めて2時間で終わり、その後に撮影データ処理、不要物の除去（足場、重機等）、土量計算を含めて、約4日で全体の切盛土量を把握することができた。撮影データ処理を行い、足場、重機等の不要物を除去して土量計算に用いた3次元モデルを図-22 に示す。

計測に合わせて精度も検証した結果、平面誤差 (XY) は最大で 4.70cm、高さ誤差 (Z) は 7.12cm となり、土量計算には支障のない結果となった。精度検証に用いた 3 次元モデルを図-23 に示す。

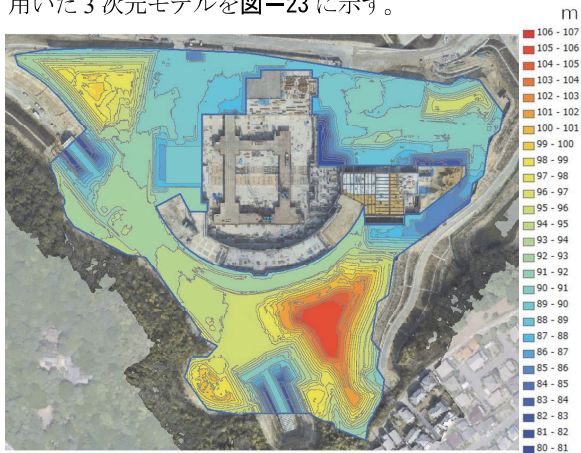


図-22 等高線表示 (標高)



図-23 UAV計測による3次元モデル

## 5. あとがき

国土交通省が推進している CIM・i-Construction (ICT 活用工事) 等の案件への対応準備として、山岳トンネル工事、鉄道営業線近接工事、土地造成工事の施工現場に CIM を適用した。

山岳トンネル工事については、地形やトンネルの 3 次元モデルと測量・計測システムデータの連携で、3 次元モデルと切羽測点ごとの施工管理データが関連付けられる CIM モデルを作成することにより、現場職員に負担を掛けずに施工・維持管理情報のデータベースが構築されることが有効との評価を得た。今後はこのモデルを用いて切羽前方地山の予測に活用していく予定である。

鉄道営業線近接工事のうち、鉄道高架工事については、駅部を含む高架構造物の 3 次元モデルを作成し、そのモデルを用いて施工ステップを可視化することで、より精度の高い施工計画の立案、施工管理への活用、発注者協議における合意形成の迅速化に有効であることを確認した。今後、この工事はⅡ期工事の最盛期に入っていくため、必要に応じてモデルを修正しながら施工管理に活用していきたい。

鉄道地下駅の開削工事については、これから躯体工事が始まっていくため、部分的に鉄筋等の干渉確認が必要となる場面が出てくるのが予想されるので、工事所職

員のニーズに合わせて対応していきたい。また、埋設物の切廻し位置等、施工中の情報を CIM モデルに反映させ、維持管理に有効活用できる CIM モデルに作り上げていきたい。

土地造成工事については、i-Construction での活用が期待されている UAV 写真測量によって、広範囲なエリアの切盛土量を迅速に把握することができ、施工管理に有効であることが確認できた。しかし、i-Construction の基準<sup>7)</sup>が公表される前の平成 28 年 3 月に実施したため、結果的に i-Construction で規定されている 5cm 以内の精度を満たす結果とはなっていない。だが、地上解像度やラップ率を調整して計測することで基準を満たすことができると考えられるため、次回の計測で検証していきたい。

### 【参考文献】

- 1) CIM 技術検討会、「CIM 技術検討会 平成 27 年度報告」、pp.2-3、2016.6
- 2) 国土交通省大臣官房技術調査課 工事監視官 山下眞治、「国土交通省における CIM の取り組み【CIM の新たな検討体制】」、CIM 2016、一般財団法人経済調査会、pp.4-5、2015.7
- 3) 塚本耕治、「削孔検層法によるトンネル切羽前方探査ー打撃によるエネルギーを指標に用いた地山評価ー」、土木技術、Vol.70、No.9、pp.27-32、2015.9
- 4) 橋 菊生、間野耕司、島村秀樹、「河川堤防計測へのモバイルマッピングシステムの適用」、写真測量とリモートセンシング、Vol.54、No.4、pp.166-177、2015.9
- 5) 津留宏介、「広がるデジタル航空カメラの世界 (その 2)」、写真測量とリモートセンシング、Vol.49、No.6、pp.409-413、2012.1
- 6) 五十嵐善一、浦本洋市、矢尾板啓、津口雅彦、佐藤俊明、「UAV 空中写真による造成施工現場の三次元データを用いた差分解析」、第 70 回土木学会年次学術講演会、VI-007、2015.9
- 7) 国土交通省大臣官房技術調査課、総合政策局公共事業企画調整課、国土技術政策総合研究所、国土地理院、「新たに導入する 15 の基準及び積算基準について」、2016.3