

国立国会図書館関西館新館（仮称）建築工事 における施工合理化技術の活用について

船橋 真一

近畿地方整備局 営繕部 保全指導・監督室 (〒530-0005大阪府大阪市北区中之島4-1-6)

国立国会図書館関西館新館（仮称）建築工事では、ICT建築土工など、施工合理化技術を活用しているため、その取り組みを報告する。また、今後は施工合理化技術が広く活用されることから、他工事において参考になることを期待する。

キーワード 施工合理化技術, ICT, i-Construction

1. はじめに

国土交通省は、建設現場において生産性を向上させるi-Constructionの施策をスタートさせてから今年度で4年目を迎え、建築分野においても、大規模建築で施工合理化技術を採用する案件が出始めている。

現在施工中の国立国会図書館関西館新館（仮称）建築工事（以下、「今回工事」という）では、受注者において、建設現場のICT技術の取り組みを積極的に行いたい意向から、監督職員との協議により、受注者提案で5つの施工合理化技術の取り組みを行ったので、ここに紹介する。

2. 施設概要

国立国会図書館は、国会に属する唯一の国立の図書館で、東京本館の収蔵能力の補完、出版物の大規模収蔵及び分散保存の機能として、関西館は、2002年（平成14年）に京都、大阪、奈良の三府県にまたがる、けいはんな学研都市（関西文化学術研究都市）に設置された。納本制度に基づき、日本国内で刊行される出版物を広く収集し、後世に残す資料を収蔵、保存を行っており、蔵書が毎年増加している。関西館のⅠ期計画で整備された、現在の関西館本館の収蔵能力は600万冊だが、将来整備するⅡ期計画にて、関西館全体で2,000万冊の収蔵能力を予定している。関西館が開館してから15年以上経ち、現在の書架では収蔵物が満杯になりつつあり、将来的な収蔵能力を確保するため、新たな書庫を増築整備することが必要になってきた。そこで、現状の敷地内に建設用地を造成整備し、Ⅱ期計画の書庫を三段階に分けて増築整備する、第一段階の事業の計画として、約500万冊の収蔵が

可能な関西館新館（仮称）（以下、「書庫棟」という）を建設されることとなった。

3. 設計概要

設計段階では、関西館の基本機能を十分発揮するために、機能面、安全面、環境面、景観面の視点から、バランスの取れた高機能な書庫棟の実現を目指している。

機能面としては、将来的な段階整備を見据えた導線と、設備ルートを計画している。既存本館との関係を考慮したゾーニングとし、明快な書庫エリアを形成している。書架に応じた寸法でモジュール設定し、約500万冊の収蔵が可能な、高密度書架配置計画としている。

安全面としては、書庫には不活性ガス消火設備を設置することで、初期消火による収蔵物への損傷に配慮している。地下に接する部分は、全て外防水をすることで、湧水の侵入対策をしている。十分な靱性の確保と適切なブレース配置により、耐震性能の高い構造計画としている。

環境面としては、バッファゾーンを形成することにより、外部負荷抑制に配慮している。外断熱工法の採用、及びクールピットにより、安定した地中熱を利用することで、空調エネルギーの負荷抑制が可能となるよう配慮している。

景観面としては、既存本館より高さを低く抑え、かつ幅を揃えることで従属的な関係として計画している。本館ガラスキューブに正対した北側の一部をガラス壁面で構成し、作業エリアに自然採光を確保している。低層基壇部を、屋上緑化することで既存共有部へ緑の潤いを与えている。

工期 自 平成 28年 9月 10日
至 平成 32年 2月 20日

工 事 名 国立国会図書館関西館新館（仮称）建築工事

工 事 種 目	平成28年 (2016)				平成29年 (2017)								平成30年 (2018)								平成31年 (2019)								平成32年						
	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3				
	10/17 工事期間40ヶ月（3年4ヶ月）																														2/20 竣工				
準備工事	準備工事																																		
仮設工事	仮設設備・盛装 仮設				構台・仮設通路				北側構台設置				南側通路工				仮設足場組立・重量機設置				構台解体 足場解体				ステージ解体										
山留工事	貯留槽・体体部分山												アースアンカー工事																						
造成・土工	STEP造成（切り土、法面形成）												STEP造成（法面形成）								埋戻し														
基礎・地下躯体工事													一次～三次掘削								保護モルタル 削付・基礎・B1F床・B1躯体・躯体														
地上躯体工事													外防水								鉄骨の部材（地下） 鉄骨1、2層建方（地上）・スラブ打設工														
仕上げ工事																							外壁、B1内部仕上、地上内部仕上、書架工事 外部（外断熱工法） （機械・電気設備工事）										設備試運転調整		
土留（擁壁）工事													東側擁壁設置				擁壁設置																		
雑工作物・外構工事													雨水貯留槽・西側防火水増設 （掘削・PCセット・埋戻し）				東側防火水増設 （PCセット・埋戻し）				構築物・排水・舗装・植 外構														
外構（とりこわし）工事	西側車道側擁壁解体・外構撤去工事・東側擁壁解												北側既存擁壁部分解体・連絡通路部仮設擁壁撤去工事																						
エレベーター設備工事																							エレベーター設備工事												
検査																															検査				

「全体工程表」

4. 工事概要

工事名称 国立国会図書館関西館新館（仮称）建築工事
所在地 京都府相楽郡精華町精華台 8 丁目 1-3 地内
工期 2016年9月10日から2020年2月20日まで
主要用途 書庫
構造 鉄骨造、一部鉄骨鉄筋コンクリート造
階数 地下1階、地上7階建
敷地面積 82,659.41 m²
建築面積 4,680.86 m²
延べ面積 25,001.94 m²
軒高 25.72 m
最高高さ 26.35 m



「タブレット画面での図面確認」

連絡通路（鉄骨造、平屋建）で、書庫棟の地下1階と、既存本館（鉄骨鉄筋コンクリート造、地下4階、地上4階建）の地下2階で繋がり、一体化を図る。

5. 施工合理化技術の取り組み

(1) タブレット端末を活用した施工管理

共有システムのクラウドサービス「チェックロス」（株式会社YSLソリューションのアプリケーション）を利用し、図面や工程表、作業指示書、工事写真などの電子ファイルを保存しておくことで、紙ベースの図面や書類を持ち歩く必要がなくなり、現場でタブレット端末を使って、各ファイルを開覧し確認ができるようになる。また、タブレット端末と会議室などに設置した大型モニターや

プロジェクターとを接続して、会議資料や工事写真を表示し分かりやすい説明が可能になり、元請会社の若手社員や、協力会社への教育にも活用している。また、タブレット端末のカメラを使って工事写真の撮影をしたり、現場と事務所との間で、テレビ電話機能を使用してリアルタイムに現場確認、指示をしたりしている。

この取り組み事例は、紙ベースの図面や書類を持ち歩く必要がないのと、タブレット端末のカメラを使って工事写真の撮影ができるなどの点から、改修工事も含めた全ての営繕工事に活用できるのではと思われる。また、定例会議で工事写真などを大型モニターに表示すれば、説明がわかりやすくなるというメリットがある。

(2) 朝礼会場への大型LEDパネル（屋外用デジタルサイネージディスプレイ）の設置

従来は、朝礼時に前日作成した作業計画図を毎日貼り出す必要があったが、大型LEDパネルの設置により、タブレット端末から直接、作業計画図を表示でき、スピーディーかつペーパーレス化を実現している。また、作業計画図のみならず、現場写真、ポスターなども表示することが可能になり、安全・環境・品質面の指導教育や意識啓蒙にも活用している。

この取り組み事例は、大型LEDパネルの設置スペースや費用の関係から、官庁営繕の新営工事に活用できるのではと思われる。

(3) UAVを活用した工事写真撮影

UAVを用いて工事全景写真を毎日撮影し、定例会議での工事進捗状況の説明、現場来訪者への工事進捗状況の説明、工事進捗状況の把握、工事施工計画作成時の検討に活用している。

この取り組み事例は、周りに高い建物がない地域などでの新営工事に活用できるのではと思われる。

(4) UAVでUAV測量（空中写真測量）を活用した法面掘削施工

UAVを用いて三次元測量を実施し、着工前の現況の

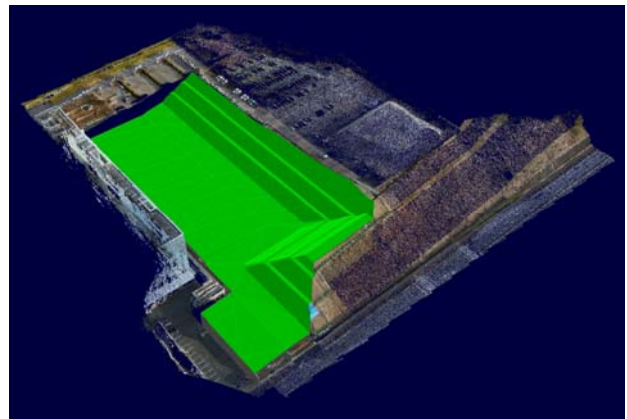
地盤レベルの確認や、造成・掘削土量の測定、中間時及び造成完了時の掘削土量の測定として、UAV測量範囲の約6.7万m²を撮影し、3,400万ポイントの測量を行い、その測量データに基づく正確な三次元の現況図を描き出す。その三次元現況図と設計データの三次元完成図の2つを、ICT建機（バックホウ）のクラウドプラットフォーム「コムコネクト」（コマツカスタマーサポート株式会社のスマートコンストラクションのシステム）に読み込ませて重ねれば、工事すべき土の量が極めて正確に把握でき、法面造成に活用できる。現況と設計面の差は色分けされており、土の切り盛りも容易にシミュレートでき、最適な施工計画を迅速、正確に立案できる。

従来であれば、測量工にて丁張りを架け、建機オペレータが目視にて確認しながら施工する必要があったが、このシステムでは、ICT建機のバックホウの運転席に設置されたモニター画面で確認するだけで、施工が可能になり、省力化と工期短縮、熟練工不足問題の解消に貢献できる。

この取り組み事例のように、ICT建機の本格的な導入により、短時間に現況把握ができるようになれば、工期短縮だけでなく、コストへのプラス効果も期待できる。また、このような大規模な造成工事以外に、官庁営繕の新営工事の基礎工事においても活用できるのではと思われる。



「朝礼広場での大型LEDパネルの設置」



「出来型予想」



「UAVの活用」



「ICT建機のコムコネクト」

(5) 施工打合せシステムの活用

施工打合せシステムのビルディ（株式会社イーリバースドットコム）とは、作業間連絡調整会議の調整業務を効率化するWebサービスである。従来は、会議室に設置した翌日の各種予定表や作業計画図に、協力会社の職長が手書きで記入して調整会議を行っていたが、このシステムでは、各職長が自分のスマートフォンやタブレットなどで、いつでもどこでも予定表への入力が可能になっていて、事前に作業内容や搬入予定を入力したり、作業打合せの連絡調整に活用したりしている。また、元請会社が会議内容を所定の帳票にまとめる必要があったが、入力内容がそのまま帳票に出力可能なため、書類作成の省力化が図れる。

この取り組み事例は、作業打合せの連絡調整と書類作成の省力化などの点から、改修工事も含めた全ての営繕工事に活用できるのではと思われる。万一、職長がスマートフォンなどを所持していなくても、貸出しをすれば問題はない。

(6) その他

その他の取り組みとして、アイビスという気象観測システムを採用している。リアルタイムで気象情報を表示、メールでの通知により、急な異常気象の時の対応に活用

している。

6. 結論

今回工事は、受注者の5つの施工合理化技術の提案で取り組みを行ってきた。共通して言えることは、各々の作業において、少人数で事務作業や施工作业が賄え、現場の見える化により、施工内容のイメージが付きやすくなりやすくなるメリットと、安全意識の向上にも貢献している点である。効率的で時間浪費が減れば、工期短縮が実現し、工事全体の費用削減に繋がる。

活用内容によっては、改修工事も含めた全ての営繕工事に活用できるものもあれば、新営工事に限って活用できるものもあると思われるが、工事条件や現場状況に応じて、これからの全ての建築施工において、参考になれば幸いである。

謝辞

この論文作成におきましては、建築工事受注者の五洋建設株式会社様のご協力を頂きました。この場をお借りいたしまして、お礼を申し上げます。



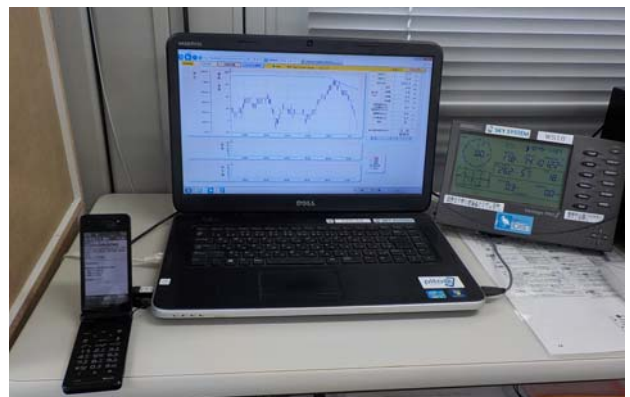
「施工打合せシステム (Buildee)」



「気象観測システム (Ibis)」



「作業間連絡調整会議」



「気象情報の画面表示」

河川内の状況を把握する 三次元表示システムについて

井上 恭介¹・間野 耕司²

¹近畿地方整備局 浪速国道事務所 淀川左岸線延伸部出張所 (〒573-0094 大阪府枚方市南中振3-2-3)

²株式会社 パスコ 事業統括本部 新空間情報部
(〒556-0017 大阪市浪速区湊町2-2-45 オンテックス難波ビル3F)

本稿では、河川管理をする事務所において、三次元データを活用できる環境を構築することを目的に、河川管理に必要な三次元データの整備と、システムの構築を検討した。具体的には、姫路河川国情事務所の管轄である加古川を対象に、航空レーザ測深（Airborne Laser Bathymetry : ALB）やマルチビームによる音響測深技術を用いて三次元現況地形データを整備するとともに、河川内の状況を把握するわかりやすく表現でき、さらに河川におけるCIMの活用を意識したシステムの構築を検討した。

キーワード CIM, 三次元データ, ALB, システム検討

1. 背景・目的

Construction Information Modeling/Management (CIM)は、計画、調査、設計段階から三次元モデルを導入し、その後の工程である施工、維持管理においても三次元モデルを連携・発展させることで、事業全体にわたる関係者間の情報共有を容易にし、一連の建設生産システムの効率化と高度化を図ることを目的としている^{1,2)}。このCIMの考えや、Information and Communication Technology (ICT : 情報通信) 技術を活用するi-Constructionでは、起工測量や土工部出来高管理において、数量算出や検査のたびに行われている平面図や断面図といった二次元図面を作成する作業を省き、三次元データをそのまま活用することで、建設分野の生産性向上を図る取り組みが行われている。これらの取り組みの基礎となる情報は、三次元データであり、そのデータを多くの場面で活用することが期待されている。現在、多くの施工や建設分野、測量・コンサルティングをする会社などで、三次元データの活用が進んでいるものの、河川の管理事務所では、三次元データの活用が十分に進んでいるとは言えないのが現状である。

そこで、本稿では、河川の管理事務所において、三次元データを活用できる環境を構築することを目的に、河川管理に必要な三次元データの整備と、システムの構築を検討した。具体的には、姫路河川国情事務所の管轄である加古川を対象に、航空レーザ測深（Airborne Laser

Bathymetry : ALB）やマルチビームによる音響測深技術を用いて三次元地形データを整備するとともに、河川内の状況を把握するわかりやすく表現でき、さらに河川におけるCIMの活用を意識したシステムの構築を検討した。

2. 加古川の地域特性を踏まえたデータ整備とシステム構築の方針

本章では、加古川における地域特性を整理し、三次元現況地形データの整備方針と三次元データの活用方針を整理する。

(1) 加古川の地域特性

加古川では、河川整備計画に基づき、既往の最大洪水を安全に流下させる断面確保のため、段階的な河道掘削が進められ、現在、一次掘削が完了し二次掘削に着手している。さらに、近年の台風や集中豪雨の発生に伴い、砂州や干潟等河道の変化や土砂の堆積・浸食等河床状況が頻繁に変化していると考えられる。

こうした現況の加古川の河道内の地形を把握するために、これまで堤防法面や高水敷等地上部では航空レーザ測量を用いて複数年にわたり地形データを計測、整備してきた。一方、水部では、基本的に河口から200m 毎に設置された河川距離標ごとに測線を設け、定期縦横断面量により断面形状を把握してきた。しかし、測線間の地

形情報が不明であるため、測線間の土砂の堆積・浸食状況や河床の状態、滯筋の蛇行や深掘れ等の局所的な地形の変化を把握することができない可能性があり、河川の維持管理において十分な情報が取得できていないという課題がある。

また、事務所では、三次元データの処理が専門的であり操作が難しく、膨大なデータ容量により、多くの作業時間を要してしまうなど、三次元データを活用できる環境が十分に構築されていない問題がある。

(2) 三次元データ整備とシステム構築の方針

加古川の地域特性を踏まえ、データ整備では、河道掘削の状況、土砂堆積の状況、さらに滯筋や橋梁直下等の深掘れ状況等の局所的な形状を把握するために、現況地形を測線による二次元的な地形把握ではなく、面（連続的に三次元地形を取得できる）計測手法を用いることとした。

また、システム構築では、三次元地形データだけではなく、複数年度にわたって整備した航空レーザ測量成果等を集約し、簡単な操作で複数の年次のデータを閲覧できるシステムを構築する。さらに、関係者・関係機関に説明できる機能や工事発注などに利用できる機能を整備することを、システム構築の基本方針とし、設計した。

3. 三次元データの整備

陸上部、水部の地形を面的に取得するため、ALBとマルチビームによる音響測深技術を用いた三次元地形データを整備した。

(1) ALBによるデータ整備

これまで、精緻な河川地形を取得するために航空レーザ測量が多くの河川で利用されてきたが、水部（水面

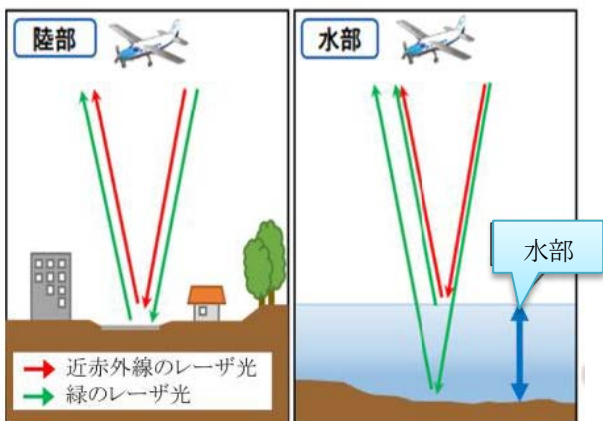


図-1 ALB計測の仕組み

より下)の地形を計測できない欠点があった。ALBは、図-1で示すように、従来の航空レーザ測量で使用していた近赤外線波長帯のレーザスキャナに加え、水中を透過する緑波長帯レーザスキャナを併用することで、水域の

地形データも取得でき、陸域・水域の連続的かつ面的な河道形状を把握することが可能である。近年、多くの河川で実用されて始めている。本データ整備では、Leica Geosystems社のChiroptera IIを用いた。ただし、ALBは、濁りの大きい箇所や、測深能力を上回る水深の箇所では計測ができない課題がある。

(2) マルチビームによる音響測深によるデータ整備

加古川のALBでは、水深が深く濁度の大きい河口部、加古川大堰の上流部、及びALBの測深能力より深い箇所において、ALBの欠測箇所が発生した。測深能力は、水質の状況により変動する。今回のALB計測では、概ね水深2.5m以深が測深能力より深い箇所となった。こうした欠測域に対して、Teledyne Benthos社製のC3Dを用いてマルチビームによる音響測深を実施した。この音響測深は、船に音響測深を搭載し、図-2に示すように扇状に発振する音波によって面的な河床形状の計測ができる。

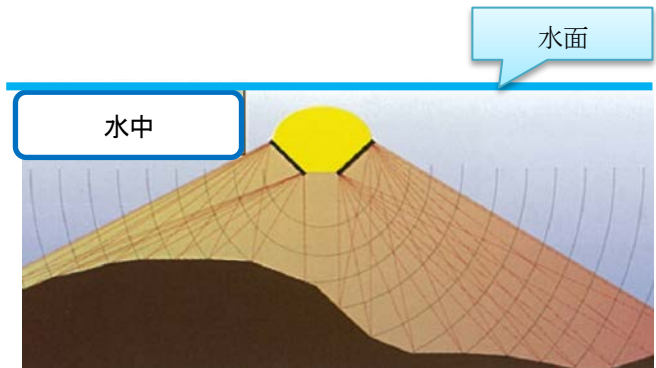


図-2 C3D計測の仕組み

(3) 面的な三次元地形データの整備

こうして得られたALB成果とマルチビームによる音響測深成果を結合することで、面的な三次元現況地形データを整備した。図-3に加古川の標高段採図を示す。この図より、水部・陸部がつながった面的な三次元地形データが整備できていることが確認できる。

(4) 河床計画高を用いた三次元データの整備

土砂が堆積している箇所や深掘れ箇所をわかりやすく表示（見える化）するために、計画河床高を用いた三次元データを整備した。

加古川の河川縦断図には、河川距離標ごとに計画河床高が設定されている。河川距離標間の測線ごとに計画河床高を設定し、測線間を線形による内挿補間を施すことで三次元計画河床高モデルを整備し、このモデルと三次元地形データを用いた差分解析を行う。図-4はその一例として、計画河床高と三次元地形データの差分解析結果を色分け表示したものであり、計画河床高を基準に高い堆積した箇所が、色分け表示によりわかりやすい表示できることが確認できる。また、計画高より局所的に低い箇所は深掘れとして認識することもできる。

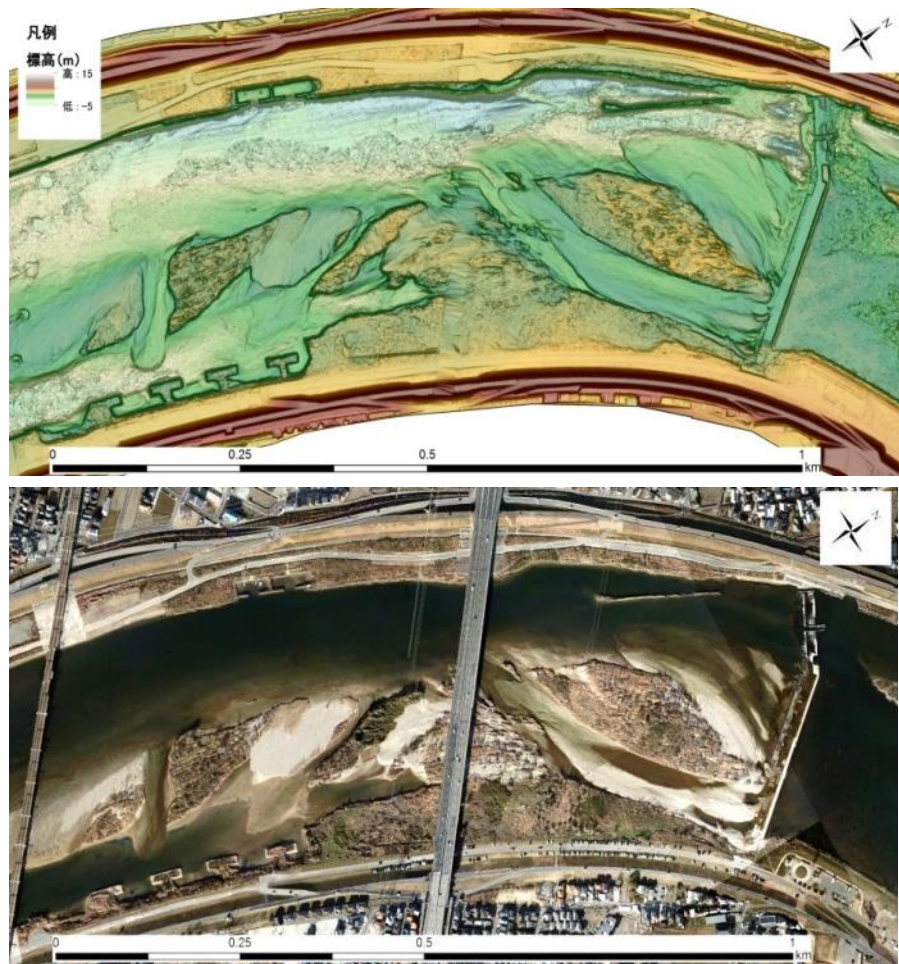


図-3 三次元現況地形データを用いた標高段採図（上段）写真地図（下段）

三次元データは、GIS（Geographic Information System）で利用できるデータとして整備した。GISとは、地理情報システムと訳され、地理的位置を手がかりに、位置に関する情報を持ったデータ（空間データ）を総合的に管理・加工し、視覚的に表示し、高度な分析や迅速な判断を可能にする技術である。4章で記載する三次元表示システムは、三次元で表示可能なGISをベースに、河川の維持管理に利用できる機能を備えたものである。

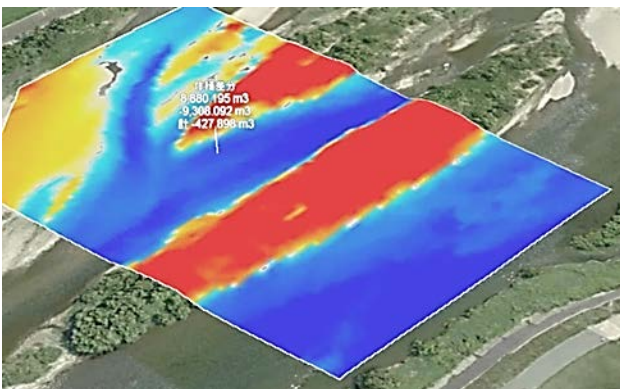


図-4 河床計画高と三次元地形データによる標高の比較表示例

4. 三次元表示システムの構築

前章までに整備した三次元データを活用できるシステムの構築を検討した。本章では、このシステムの基本的な機能、関係者・関係機関への説明に利用できる機能、および工事発注などに利用できる機能に分けて、それら機能を説明する。

(1) 基本機能

図-5に本システムを運用するPCの外観を、図-6に本システムの表示画面をそれぞれ示す。このシステムは、三次元地形データを鳥瞰表示することができ、Google Earthと同様にマウスによる操作で直感的に視点を操作することが可能である。一般的に航空レーザ測量成果や、航空写真地図は、国土基本図の図郭単位に整備する。加古川の上流から下流を閲覧する場合、これまで複数の成果を読み込む必要があり、また画像データであるため表示サイズの変更を行うと、画像によって鮮明にならない場合もあった。このシステムでは、上流から下流まで全体を表示できる縮尺から、成果が持つ詳細な解像度が表示できる縮尺まで、高速かつスムーズに表示できるシームレス化が行えた。また、航空写真地図やALBデータといった三次元地形データだけではなく、GISデータや、

位置データを取得した写真データ等空間情報データを重ね合わせて表示できる。これにより様々な空間情報をシステム上に一元管理することが可能となり、今後同様のデータを取得することで複数のデータを一度に比較が行えるようになる。



図-5 三次元表示システムが導入されているノートPC

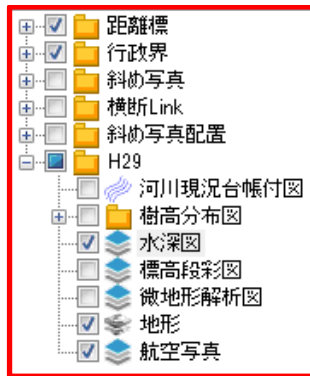
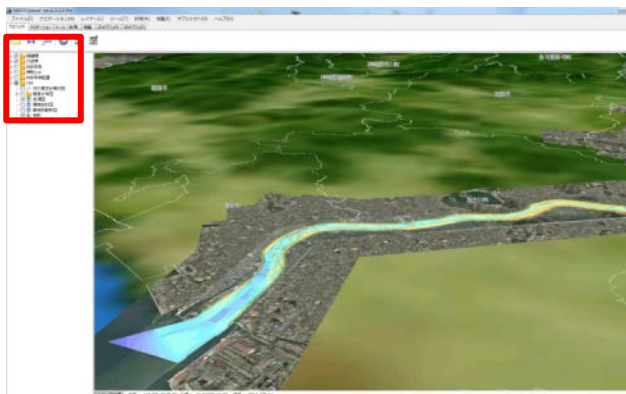


図-6 基本画面の表示(上段) レイヤ画面拡大(下段)

(2)関係者への説明で利用できる機能

加古川の現況地形をわかりやすく表示するために、任意の範囲で、詳細な標高間隔の等高線や標高段採図を生成できる機能(図-7)や、任意の水面標高値を設定し、その水面より高い箇所、低い箇所を表示できるレベル湛水表示機能(図-8)などの多彩な表示機能、さらに、距離や面的を表示できる計測機能(図-9)も整備した。これらの機能により、詳細な地形起伏をわかりやすく表示でき、関係機関協議等、現場のニーズや表現の方法(サイズ・色等)を適宜調整した説明資料として利用することができる。

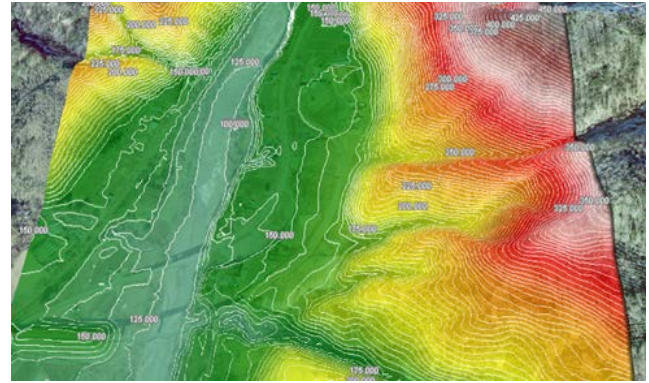


図-7 等高線・標高段採図の表示例

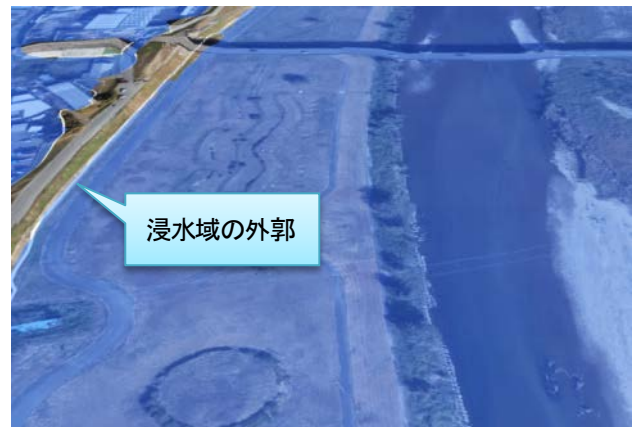


図-8 レベル湛水機能の表示例
上段：レベル上昇前，下段：レベル上昇後



図-9 面積表示例

(2) 工事発注などに利用できる機能

工事発注では、工事の数量・概算費用を算出するために、従来は定期縦横断測量で取得した側線ごとの断面図を用いた。こうした積算・工事発注に関わる作業を円滑に行うために、断面図作成機能を整備した。

この機能は、任意の測線を設定し、三次元地形データから断面形状を作成する機能である。さらに、図-8に示すように、測線を設定し、その測線を一定間隔で横断する断面形状を表示し、CADデータとして書き出すことが可能である(図-10、図-11)。簡単な操作で任意の区間と感覚で断面図を作成することができ、河川の管理事務所でも活用できることが確認できた。

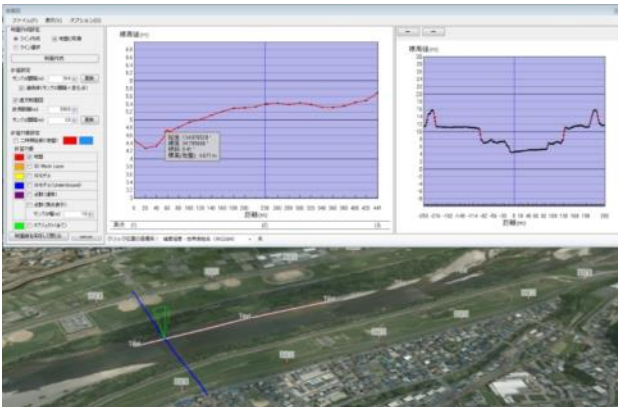


図-10 断面作成機能の表示例

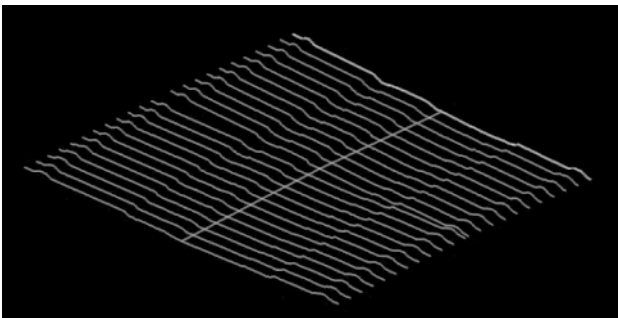


図-11 断面作成機能で生成したCADデータ

5. まとめ

本稿では、河川管理をする事務所において、三次元データを活用できる環境を構築することを目的に、河川管理に必要な三次元データの整備と、システムの構築を検討した。

三次元データの整備では、面的な河道形状を再現し、システムの構築では、関係者への説明で利用できる等高線・標高段採図やレベル湛水機能、工事発注などに利用できる断面図作成機能を整備することができた。

今後は、構築した三次元表示システムを実際の河川管理の現場に適用し、三次元データの積極的な活用を図り河川CIMの展開につなげていきたい。

※本稿は著者が姫路河川国道事務所調査課所属時の担当内容である。

謝辞：本論文の執筆にあたって測量業者の(株)パスコの関係者には資料提供等様々な面で多大なご協力頂きました。また姫路河川国道事務所、関係職員の皆様には多方面からご指導、ご助言を受け作成することができました。本紙面をお借りして、深く感謝の意を表します。

6. 参考文献

- 1) 国土交通省CIM導入推進委員会：CIM導入ガイドライン(案) 第1編 共通編 (2017).
- 2) 渡邊俊夫, 山本浩一：河川マネージメントを意識した福井版CIMモデルについて, 建設マネジメント技術=Public works management journal / 建設マネジメント技術編集委員会 編, pp.78-84, pp.4-1~6, <https://iss.ndl.go.jp/books/R000000004-I029396273-00>

法面対策工事における 三次元測量技術の活用検討

竹内 信¹・岡野 聡²

¹滋賀県 長浜土木事務所木之本支所 道路計画課 (〒529-0426滋賀県長浜市木之本町黒田1234)

²滋賀県道路公社 道路部 道路整備課 (〒520-0807滋賀県大津市松本一丁目2-1)

法面対策工事は、高所かつ急傾斜地で施工されるが、施工管理や検査における計測作業についても、ロープ足場を用いて直接測定が行われており、計測の安全性や効率が課題となっている。また、現地は凹凸があり不定形な場合が多く、代表地点での単点計測はその計測精度にも課題がある。そこで、現地に立ち入ることなく面的な計測が可能であり、近年導入が進められている三次元測量技術に着目し、当所での法面対策箇所において、UAV写真測量（ドローンによる写真測量）および地上レーザ測量を試行的に実施した。本稿では、試行事例を紹介するとともに、従来の計測手法との比較により、法面対策工事への適用性を検討した結果を報告する。

キーワード 法面, UAV写真測量, 地上レーザ測量, 出来形管理

1. はじめに

土木業界は、既設構造物の老朽化や気候変動による災害リスクの高まりといった課題を抱える一方で、担い手の不足に悩まされている現状にある。担い手不足の一因として、生産性や安全性の低さが指摘されており、新技術の導入による生産性や安全性の向上が不可欠となっている。本県においても、各土木事務所および支所へのドローン配備など、新技術の導入が積極的に推進されており、現在でも、CIM推進勉強会を定期的に開催するなど、継続的に検討を行っている。

筆者らの所属する長浜土木事務所木之本支所でも、新技術の採用を積極的に検討することとし、実施している取り組みの一つが、法面対策工事における新技術の導入である。当所は、管内に山間部の道路が多く、近年豪雨災害が頻発化し道路法面の被災リスクが高まっていることから、法面対策工事を数多く実施している。法面対策工事は、高所かつ急傾斜地を対象として実施するため、施工時の危険性が高いのはもちろんのこと、出来形管理等の計測についても、ロープ足場等を用いて直接測定が行われており、危険な作業となる（写真-1）。検査や立会においても、ロープ足場の使用に慣れていない監督職員や検査職員が現地に立ち入るのは困難で、大きな危険が伴う。また、現地には凹凸があり不定形な場合が多く、代表地点での単点計測では、その計測精度にも課題がある。

そこで筆者らは、現地に立ち入ることなく、面的かつ

広範囲な計測が可能であり、様々な場面で導入が進められている三次元測量技術に着目し、当所での法面対策箇所において試行を行った。本稿では、その試行事例を紹介するとともに、従来の計測手法との比較により、法面対策工事への適用性を検討した結果を報告する。



写真-1 法面対策工事における出来形計測の様子

2. 三次元測量技術の概要

三次元測量は、現地での計測と、取得した三次元点群データ処理の、2段階の作業に大別される。

(1) 計測技術

代表的な計測技術には、UAV写真測量（ドローンによる写真測量）、および地上レーザ測量が挙げられ、両手法ともに、様々な場面において実用化が進んでいる。実用化に向けた制度面の整備も進んでおり、国土地理院から、「UAVを用いた公共測量マニュアル（2016年公表、2017年改正）」や「地上レーザスキャナを用いた公共測量マニュアル（2017年公表、2018年改

正)」等の作業マニュアルが近年公表されたことに加え、一般財団法人経済調査会から発行されている「設計業務等標準積算基準書」においても、平成30年度版から標準歩掛が定められている。

ここで、両手法の特徴を以下に述べる。

a) UAV写真測量（ドローンによる写真測量）

使用したドローンを写真-2に示す。ドローンの普及により、空中写真の撮影が手軽になったことで、従来から活用されてきた空中写真測量についても実施が容易となり、UAV写真測量として現在実用化が進んでいる。

ドローンの飛行および空中写真の撮影は、遠隔操作で実施可能であり、現地への立ち寄り不要である。また、あらかじめドローンの設定を行うことで、飛行や撮影を自動化も可能である。計測にあたっては、標定点を設置することで、世界測地系にも対応できる。

精度については、「UAVを用いた公共測量マニュアル」において、要求精度0.05mまで規定が定められており、出来形計測にも対応可能である。ただし、植生が繁茂している地点や、オーバーハング部など、写真に写らない部分については測量が不可能なため、注意が必要となる。

また、都市部（DID地区）での飛行や当日の天候など、ドローンの飛行に関する制限や条件についても、事前に確認する必要がある。



DJI社製 INSPIRE



DJI社製 PHANTOM 3



PIアサヒ社製 UAV写真測量システム UP-1 (カタログより)

写真-2 使用したドローン

b) 地上レーザ測量

使用したレーザスキャナの概要を写真-3および表-1に示す。計測対象にレーザ光を照射し、反射してきたレーザ光を受光して距離と方向を取得するシステムで、1秒間に10万点以上の大量のデータを取得できる。

トータルステーション（TS）と同様に据置き型機器のため、計測にあたっては使用機器の測定レンジ内まで計測対象に近づく必要があり、作業効率はUAV写真測量に劣るが、UAV写真測量と比較して詳細な計測が可能である。また、植生が存在する箇所についても、一部

のデータが植生の隙間を通過して地表面まで到達するような植生密度であれば、計測が可能である。計測にあたっては、標定点を設置することで、UAV写真測量と同様に世界測地系にも対応可能である。

精度については、表-1に示すように、計測距離100m以上でも数mm程度の精度で計測が可能である。ただし、測定対象のレーザ反射率やレーザの照射角度等により精度は異なるため、注意が必要である。



トプコン社製 GLS-2000 PIアサヒ社製 S-3180

写真-3 使用したレーザスキャナ（カタログより）

表-1 使用したレーザスキャナの概要（カタログより）

機器		トプコン社製 GLS-2000	PIアサヒ社製 S-3180
測定範囲	距離	500m	183m
	角度	V:270°, H:360°	V:320°, H:360°
測定精度	距離	3.5mm~4.0mm	1.6mm~10.0mm
	角度	V:6", H:6"	V:25", H:25"
スキャンスピード		最大120,000万点/秒	最大1,016,000点/秒

(2) 三次元点群データの処理技術

三次元点群データ処理の作業フローを図-1に示す。従来のTSによる測量と比較して、現地作業は効率化・安全化されるが、不要な点（ノイズデータ）の除去が必要で、内業での処理作業に労力が必要となる。

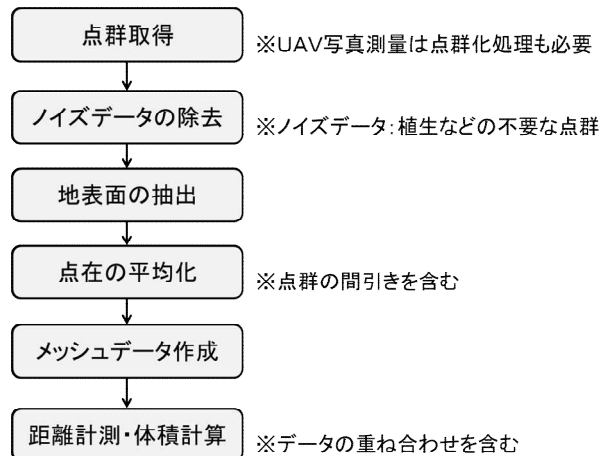


図-1 三次元点群データ処理の作業フロー

図-2に三次元点群データの加工例を示す。面的な計測データで地形的特徴を確認した上で、最適な箇所自由に横断面を作成できるため、法面対策工事のように地形変化の大きい現場においては特にメリットが大きい。また、データの重ね合わせも可能であり、施工段階別のデータを重ね合わせることで、その差分により厚さや体積を計算することもできる。なお、三次元点群データの処理作業には、アギソフト社製のPhotoScan、トプコン社製のMAGNET™Collage、福井コンピュータ社製のTREND-POINTなどの専用ソフトを活用している。処理後のデータは、本県職員が利用可能なオートデスク(株)社製のAutoCADで、閲覧や横断面作成などの編集を行うことも可能である。

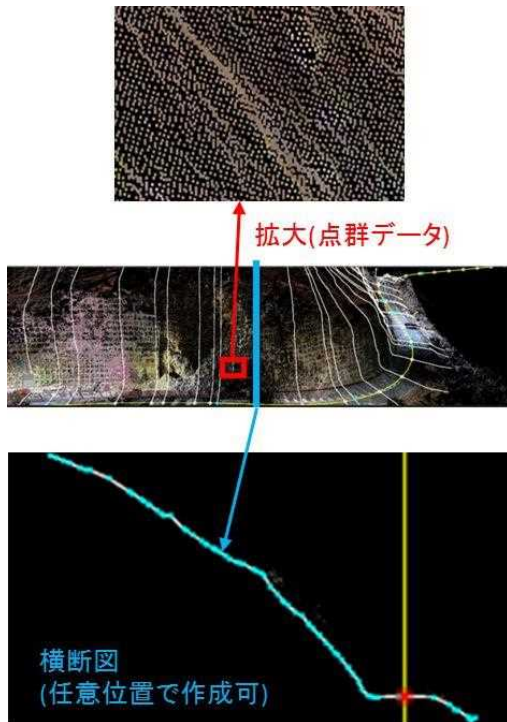


図-2 三次元点群データの加工例 (横断面の作成)



拡大

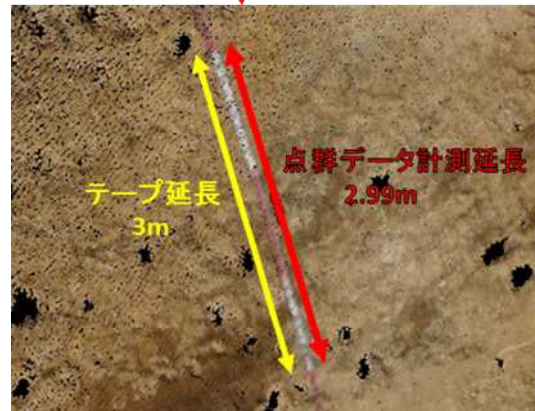


図-3 UAV写真測量の計測結果

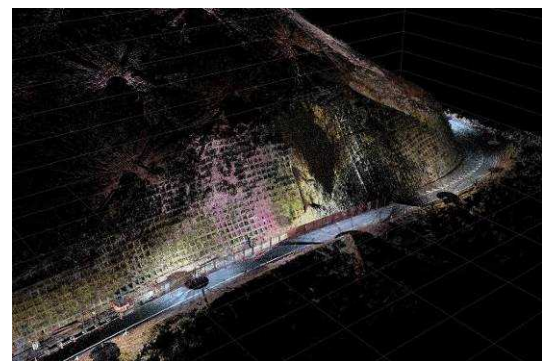


図-4 地上レーザ測量の計測結果

3. 法面対策工事における計測結果と考察

(1)計測精度の確認

a) UAV写真測量

図-3は、道路法面におけるUAV写真測量の計測結果である。点群データによる面的な計測が可能で、現地に設置したテープの長さも正確に計測可能であることを確認できた。

b) 地上レーザ測量

図-4および図-5には、地上レーザ測量の法面での計測結果を示す。UAV写真測量と同様に面的な計測が可能であることや、TSにより計測した横断面と一致することを確認できた。加えて、地上レーザ測量では、既設法枠による凹凸も計測でき、TSでの計測より詳細に形状を把握することができた。

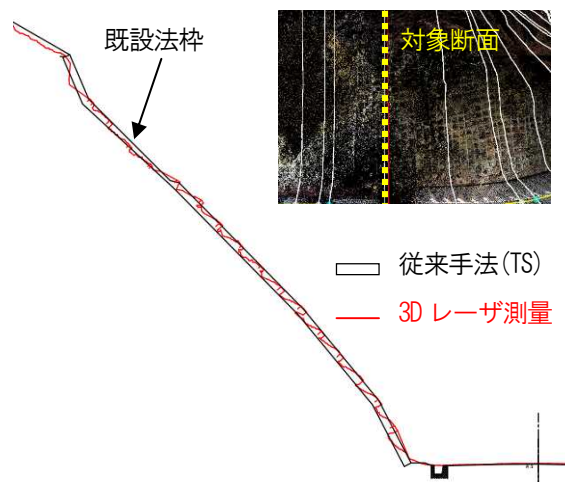


図-5 地上レーザ測量の計測結果(TSとの比較)

また図-6は、法枠工を想定して、法面上に設置したブロックを計測した結果である。ブロック設置前後の計測データを重ね合わせて差分を計算することで、ブロックの寸法を最大誤差0.011mの高精度で計測できた。

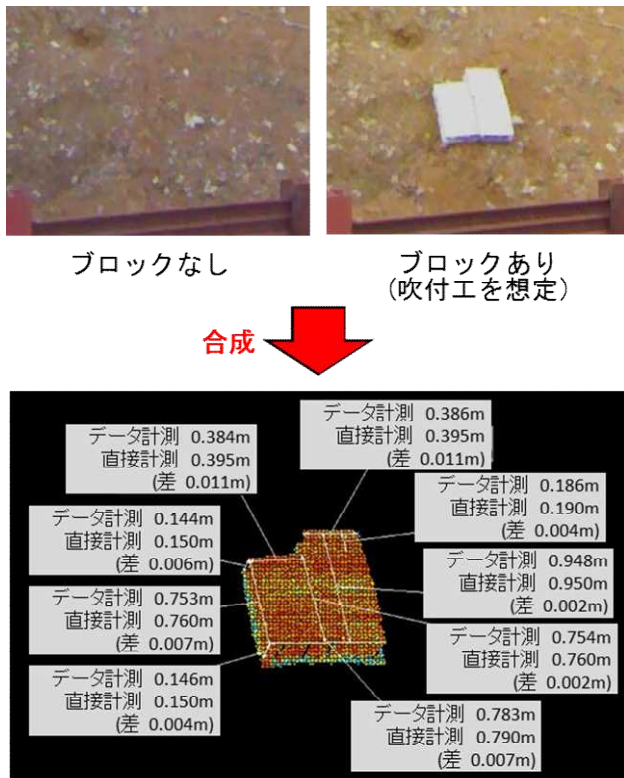


図-6 地上レーザ測量によるブロック寸法の計測結果

c) 出来形管理基準と計測精度の比較

法枠工における出来形管理基準¹⁾の規格値は、枠延長が-0.2m、枠中心間隔が±0.1m、枠高さや枠幅が-0.03mであるが、枠延長や枠中心間隔の出来形管理には、両手法とも適用可能な精度を有している。枠高さや枠幅についても、公共測量マニュアルの要求精度である0.05mより厳しい基準となるが、今回の計測結果からは、適用可能な精度を有していると判断できる。

(2)法枠工の出来形管理

a) 施工面積の確認

図-7は、法面対策工事の現場において、UAV写真測量で面積を計測した結果である。テープでの直接計測により計算した面積948.1m²に対し、UAV写真測量で計測した結果は966.6m²と、概ね一致する結果が得られた。

UAV写真測量の計測値がわずかに大きくなった要因としては、直接計測では直線で近似している部分の凹凸を反映できていることが考えられ、三次元測量により面的に計測を行うことで、より正確に施工面積を計測できている可能性を示唆している。

b) 法面整形の厚み確認

図-8は、UAV写真測量を法面整形実施前後で実施し、

重ね合わせた計測結果の差分により、整形部の鉛直方向の厚みの分布を自動計算した結果である。法面整形での実際の土砂処分量249.3m³に対し、UAV写真測量で計測した厚みにより計算した発生土量は結果は274.2m³と、概ね一致する結果が得られた。



図-7 UAV写真測量による法面面積の計測結果

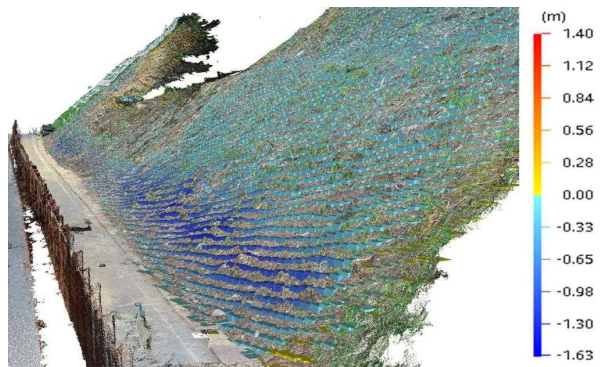


図-8 UAV写真測量による法面整形厚さの計測

c) 法枠の出来形確認

図-9は、法枠の枠中心間隔を計測した結果である。テープでの直接計測により計算した延長2.01mに対し、UAV写真測量で計測した結果は2.01mと、正確に計測可能であることを確認できた。また図-10は、法枠施工前後のデータの重ね合わせにより、法枠の枠高さを計測した結果である。テープでの直接計測により計算した延長0.33mに対し、UAV写真測量で計測した結果は0.30mと、データの重ね合わせ作業を伴うこともあり枠中心間隔の計測結果より誤差が大きい結果となったが、枠高さの管理基準値-0.03m以下の誤差で計測が可能であった。

従来の直接計測のみでの出来形管理であれば、法枠100mごとに1箇所といった出来形管理基準に基づき、代表点のみで管理を行うこととなるが、三次元測量技術を導入すれば、一回の計測で全施工範囲の出来形確認が可能である。よって、法面全体の計測を三次元測量で行い、直接計測については、安全に立入りが可能で、かつ変曲点となり計測の難易度が高い地上部、法肩部、小段などで実施することとすれば、従来より安全かつ正確な出来形管理が可能となる。

また、計測にあたっては写真も同時に撮影するため、法面中央部や急傾斜部等の、近接目視が困難な箇所の出来栄の確認にも、計測結果を活用できる。

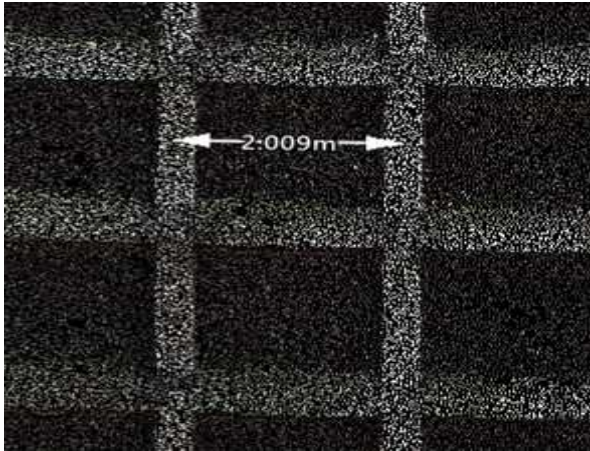


図-9 UAV写真測量による法枠の枠中心間隔の計測結果

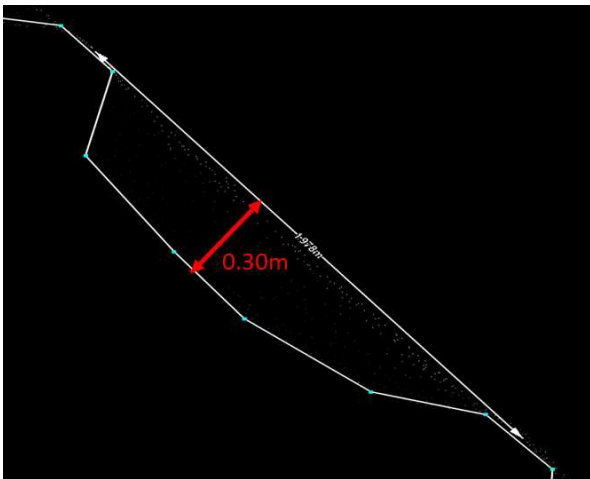


図-10 UAV写真測量による法枠の枠高さの計測結果

4. 適用先拡大に向けた検討

(1)モルタル吹付工の出来形管理

図-11は、写真-1に示すモルタル吹付工（厚さ7cm）の施工現場において、施工前後にUAV写真測量を実施し、データの重ね合わせにより鉛直方向厚さを自動計算した結果である。モルタル吹付工における出来形管理基準¹⁾では、200m²に1箇所の頻度で厚さを管理することとされているが、三次元測量技術を導入すると、全施工範囲に渡り厚さの分布を確認できる。

一方、図-11のように凹凸の多い箇所では、地表面傾斜にバラつきが大きく、今回利用したソフトでの厚さの自動計算は一方方向で差分を計算するため、計算値をそのまま施工厚さに換算することは困難であった。また、オーバーハング部の計測精度にも課題が生じた。

今後、地表面傾斜を考慮した厚さ計算ソフトや、UAVによるレーザ測量といった新技術が実用化され

ば、課題が解決する可能性があり、技術開発の動向調査や現場での試行など実用化に向けた取り組みを継続したい。

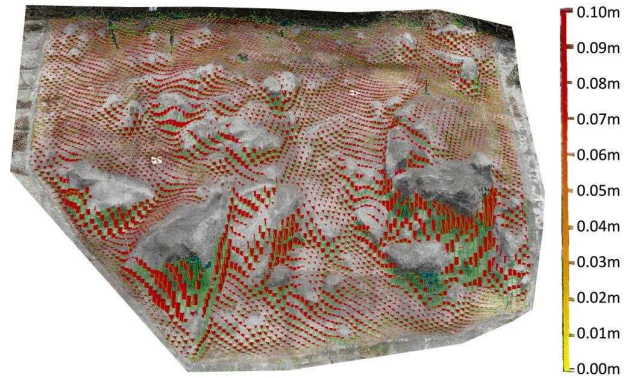


図-11 UAV写真測量によるモルタル吹付けの厚さ計測

(2)被災法面での適用

本県では、各土木事務所および支所に配備したドローンを災害時にも積極的に活用しており、現在では被災状況の把握において欠かせないツールとなっている。また、ドローンのさらなる活用に向けた検討として、本県監理課技術管理室では、写真測量システム（アギソフト社製のPhotoScan）を導入していることから、本県職員がドローンで撮影した被災法面の写真を用いて、UAV写真測量の試行を行った。

図-12は、2018年7月の豪雨災害での被災箇所において、本県職員がドローンで撮影した写真によりUAV写真測量を実施した結果である。被災時の速報写真を活用したため、標定点となるターゲットは設置されておらず、座標系への対応はしていないが、被災延長の計測結果は、テープによる直接計測と一致することを確認できた。これにより、空中写真での被災状況確認に加え、被災後の地形形状も同時に把握可能となり、被災範囲の確認といった災害査定への利用も見込めることから、今後も積極的に活用したい。



図-12 本県職員撮影写真によるUAV写真測量（距離計測）

また、図-13および図-14は、図-12の対象地で地上レーザ測量を実施した結果である。計測レンジ内まで被災箇所へ近づく必要はあるが、崩壊範囲へは立ち入ることなく、TSでの計測よりも詳細に地形形状を把握できた。加えて、滑落崖上部など植生が残る部分もレーザ光が通過する範囲で計測できることから、崩壊拡大防止等の対策工設計にも利用が可能であり、UAV写真測量とあわせて災害時の活用を引き続き検討したい。



図-13 被災法面における地上レーザ測量

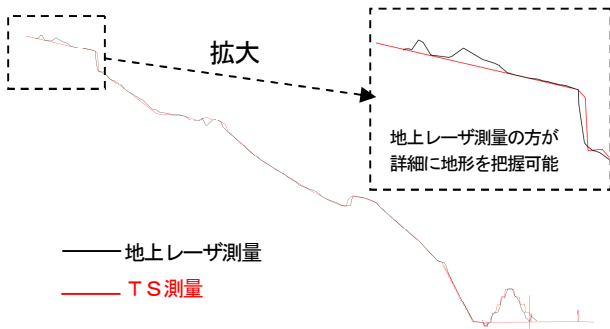


図-14 被災法面における地上レーザ測量 (TSとの比較)

(3)道路法面の維持管理への適用

法枠工の劣化が進むと、背面土砂の抜け落ちが生じることが多いが、広い範囲に施工された法枠や急傾斜地に施工された法枠について、背面の状況を現地で直接確認するのは容易ではない。そこで、地上レーザ測量により既設法枠を計測した結果から、地表面に達するデータのみを抽出することで、背面土砂の抜け落ち状況が確認出来ないか検討を行った。図-15はその結果であるが、最下点の点を結合することで、法枠背面の地形形状を把握できることを確認した。計測した法枠表面の形状および地表面の形状は、補修工の設計にも活用が可能である。

現在では、車載型のレーザスキャナなど、道路上から効率的にレーザ測量を実施して道路の維持管理に活用する技術の開発も進んでいることから、開発の動向を注視し、維持管理の効率化や安全性向上につながる新技術の導入を今後も検討したい。

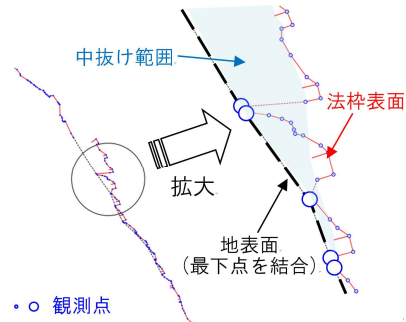


図-15 地上レーザスキャナによる既設法枠背面の状況確認

5. まとめ

本稿では、法面对策工事の出来形管理において三次元測量技術を試行し、安全かつ効率的に計測が可能であることや、面的に形状が把握でき計測精度が向上することを確認した。

平成31年4月には、「ICTの全面的活用」を実施する上での技術基準類に法面工の実施要領も加えられたことから、今後も法面对策工事における三次元測量技術の導入を進めていくとともに、三次元測量技術の適用先の拡大に向けても、本稿で述べた内容に加え、道路分野以外も含めて検討を継続していきたい。

また、三次元測量技術の試行現場の中には、若手の女性技術者がドローン飛行や点群データ処理を実施されている施工者もあり(写真-4参照)、本稿で取り上げたような取り組みは、若手技術者や女性技術者の活躍推進につながり、担い手確保に寄与するものと実感しているところである。近年では、法面对策工事受注者の多くから三次元測量の実施を提案頂くなど、技術開発も進んでいる段階にある。発注者としても、積極的な試行の実施や、技術開発の一助となるようなニーズの提供などを常に意識して、業務に取り組むよう心掛けたい。

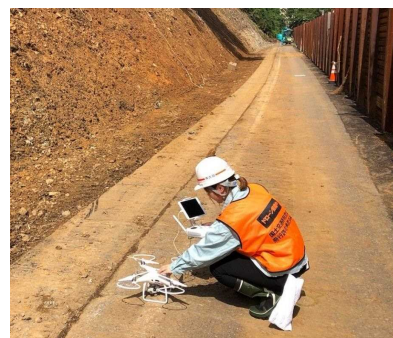


写真-4 若手の女性技術者によるドローン操作の様子

謝辞: 本稿の執筆にあたり、(株)大翔、紅葉建設(株)、法面プロジェクト(株)、村上興業(株)、(有)ES Cubeの各社の皆様にご協力を賜りました。厚くお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 近畿地方整備局：土木工事施工管理基準及び規格値(案) (平成30年4月)

予備設計段階におけるBIM/CIMの活用

地村 直隆

近畿地方整備局 京都国道事務所 計画課

(〒600-8234京都府京都市下京区西洞院通塩小路下る南不動堂町808)

京都府南部地域で事業を進めている城陽井手木津川バイパスの都市計画原案作成のため、道路予備設計（A）の段階において、BIM/CIMの基準に基づき3次元モデルを活用した設計を行った。その結果、設計作業の効率化や土量算出の効率化等の多数のメリットが確認できたとともに、課題等も見えてくるようになった。

本論文では、城陽井手木津川バイパスで実施した道路設計の最上流である道路予備設計段階でのBIM/CIMの導入において、メリット・デメリット等を整理するとともに、改善策を提示することで今後のBIM/CIMの活用の参考とするものである。

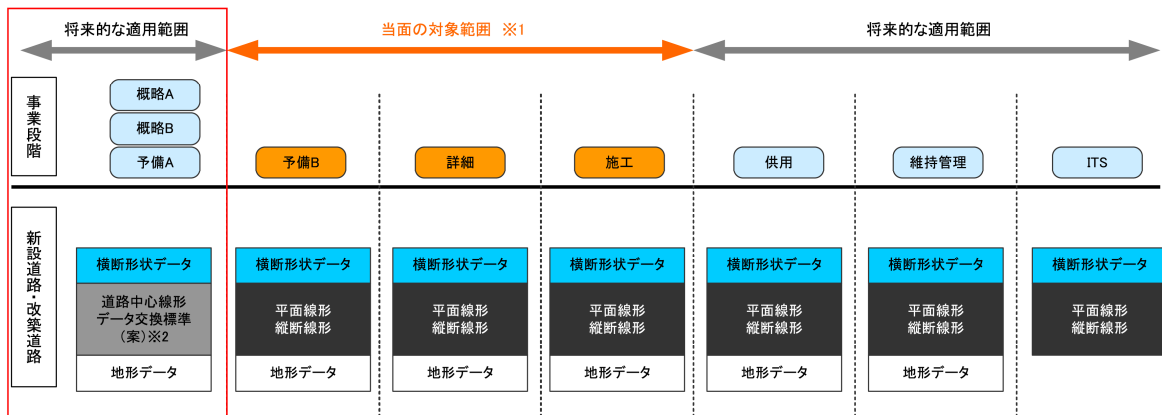
キーワード i-Construction, 生産性向上, 新技術

1. はじめに

BIM/CIM（Building/Construction Information Modeling Management）は計画・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、情報を充実させながら、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における受発注者双方の業務効率化・高度化を図るものである。

城陽井手木津川バイパスでは、国土技術政策総合研究

所監修の道路事業におけるBIM/CIMの利用イメージ（図-1）に示されているもののうち、将来的な適用範囲とされている道路予備設計（A）の段階で、先行してBIM/CIMを活用した。活用にあたっては、以後実施される道路予備設計（B）、道路詳細設計、施工、供用、維持管理、ITS等の各事業フェーズで活用することを念頭に、道路計画（道路中心線形・横断面・法面等）及び地形状況（航測図）の3次元モデルの構築を行った。



※1 当面の対象範囲を予備B～施工のみとしている。しかし、これはその他事業段階での利用を妨げるものではない。
 ※2 当面、概略・予備Aは適用範囲としないため本標準に則ったデータは流通しないが、設計情報は従来の形で流通する。

図-1 道路事業におけるBIM/CIMの利用イメージ

2. 城陽井手木津川バイパスの概要

城陽井手木津川バイパスは、京都府南部の木津川右岸地域における一般国道24号の交通混雑の緩和及び交通安全の確保、また、災害時の道路ネットワークの強化を図るとともに、地域振興プロジェクトを支援する延長約11.2kmの一般国道24号のバイパスである。

本路線の都市計画原案作成に必要な道路予備設計（A）の段階でBIM/CIMを導入した。対象路線の位置図を図-2に示す。

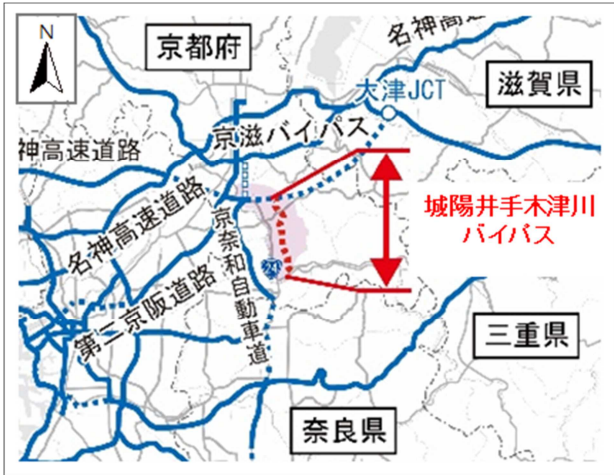


図-2 BIM/CIM活用対象路線位置図

3. 基準指針類

3次元設計データは、国土技術政策総合研究所監修のLandXML1.2に準じた3次元設計データ交換標準の運用ガイドライン（案）Ver.1.2に基づいてデータを作成する。その他に適用する基準指針類は表-1に示すものを使用する。

表-1 基準指針類一覧

NO	名称	発行年月
基準指針類		
1	LandXML1.2に準じた3次元設計データ交換標準（案）Ver.1.2	2018.3
2	LandXML1.2に準じた3次元設計データ交換標準の運用ガイドライン（案）Ver.1.2	2018.3
3	CIM導入ガイドライン(案)	2017.3
4	CIM事業における成果品作成の手引き	2017.3
5	道路中心線形データ交換標準(案)基本道路中心線形編Ver.1.1	2013.1
6	道路中心線形データ交換標準に係わる電子納品運用ガイドライン(案)	2016.3

4. 対象モデル

道路予備設計（A）では道路の中心線形を決定することを目的としており、個別に地形情報データ、道路中心線形データ、横断形状データを3次元化し、それにより統合モデルを作成する必要がある。

(1) 道路中心線形データ

本データは、道路の平面線形に、計画高となる縦断計画を加えた3次元の線形モデルである。

a) 平面線形

中心線形を構成する平面線形は、幾何要素（直線、クロソイド、円曲線）の並びで表現し、隣り合う幾何要素の終了点と開始点を統合するものとする。なお、幾何要素ごとの接続点は、幾何要素の開始点、終了点で定義される。幾何要素の記述の例として、平面線形の概念図を図-3に示す。

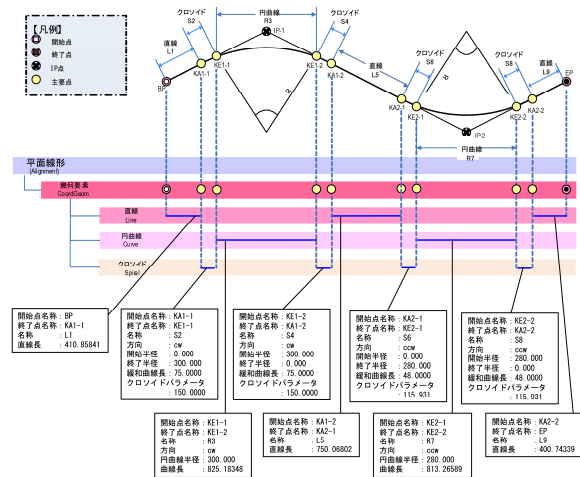


図-3 平面線形幾何要素の記述（例）

b) 縦断線形

縦断線形は、平面線形の開始点から相対的な位置を表す累加距離標と標高で平面線形との関係を保持する。縦断地盤線は、縦断地盤構成点から構成され、標高が変化する測点ごとに、道路地盤高を入力する。平面線形と縦断線形の概念図を図-4に示す。

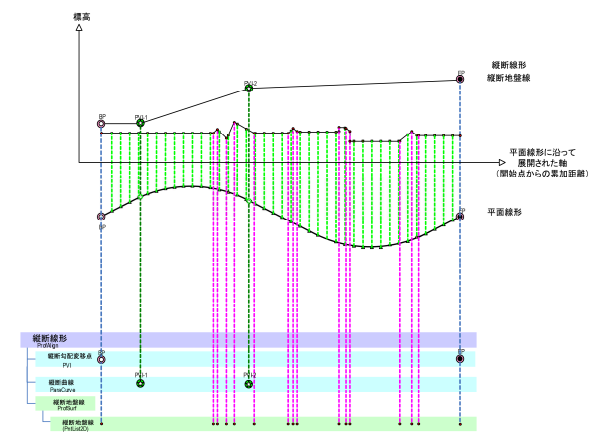


図-4 平面線形と縦断線形の対応

(2) 横断形状データ

設計図面の横断図のように、横断面ごとに道路横断形状の構成点を表現するモデルである。

a) 横断形状

横断形状は、道路中心から外側に向かって連続して記述した構成点の並びにより表現する。横断形状の構成点は、中心線形からの水平離れと鉛直方向離れ、または中心線形からの水平離れと標高で位置を表現する。横断形状の表現の例を図-5に示す。

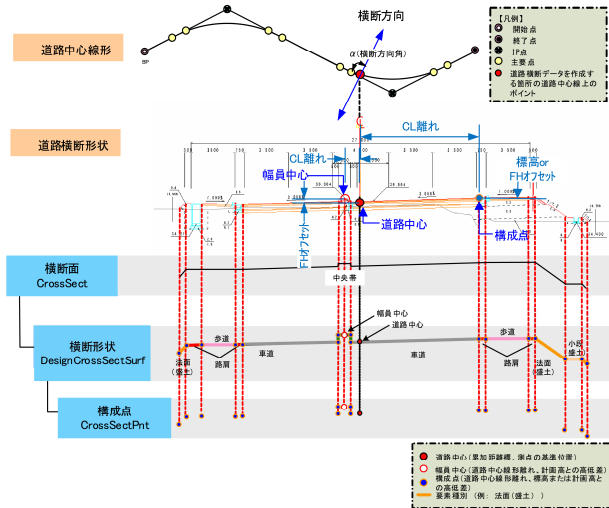


図-5 横断形状の表現 (例)

b) 地形線

横断地形線は、地形の変化点ごとに中心線形の左側から右側に向かって連続して記述した構成点の並びにより表現する。地形線の構成点は、中心線形からの水平離れと標高で位置を表現する。地形線の表現の例について図-6に示す。

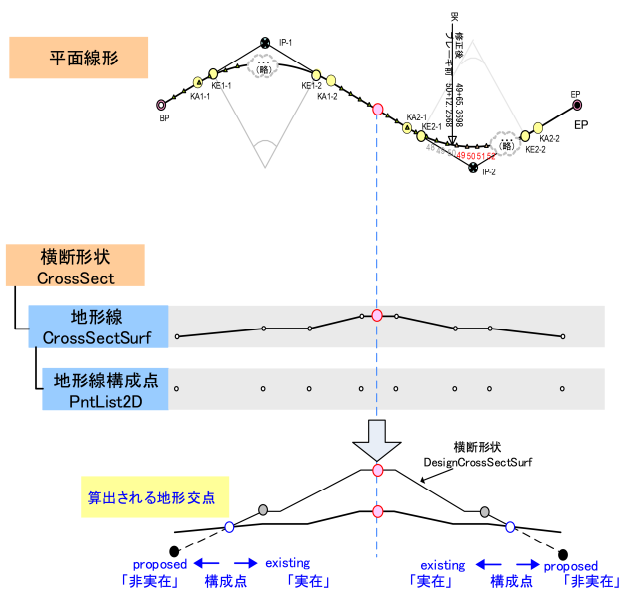


図-6 地形線の表現 (例)

(3) 地形情報

横断面における地形線情報、及び地形の表面を表現するモデルである。本論文では、空中写真測量 (DMデータ) を活用して周辺地形のモデル化を行う。

a) 表面データ

表面データは、LandXML1.2のサーフェスの仕様に合わせて、TIN (Triangulated Irregular Network) を表現する点と面の要素で計画土木を表現する。サーフェス表現イメージの例について図-7に示す。

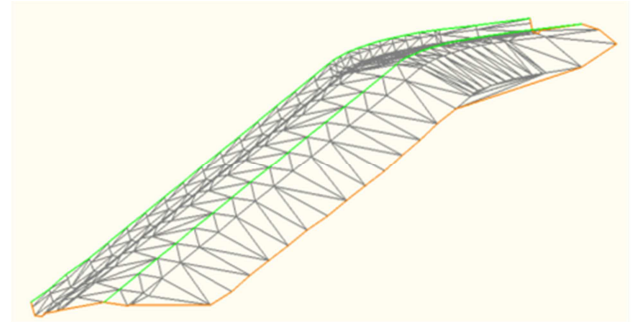


図-7 サーフェス表現イメージ (例)

5. 統合モデル

これまでに作成した平面計画モデル (道路中心線形データ), 横断計画モデル (横断形状データ), 地形モデルを合成して、統合モデルを作成した。

作成した統合モデルでは平面・縦断・地形などの条件を変更すれば、統合モデルに自動的に反映されるとともに、横断図及び土工数量を自動的に算出することができる。また、図-8に示すように、計画路線や盛土・切土等の構造、周辺の地形などが視覚的に認識できるようになる。

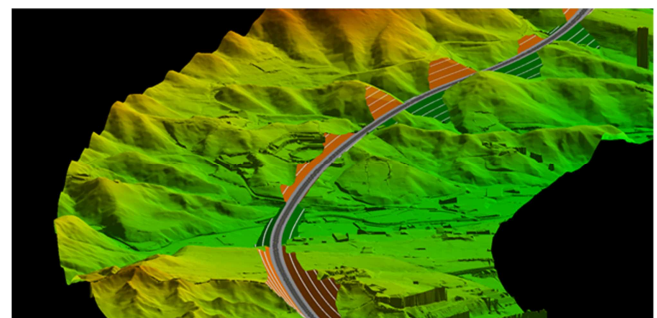


図-8 完成後のイメージ

6. BIM/CIMを活用したことによるメリット、今後の活用について

(1) 検討期間の短縮 (線形調整, ルート比較)

路線の線形調整を3次元設計で行うことにより、コントロールポイントを避けながら複数の平面・縦断線形案を検討でき、容易に線形のトライアルが可能となる。そ

のため、非常に短い期間で複数のルート比較を行い、線形を検討することができる。一般的に本路線程度の延長では、従来の手法で線形を検討する場合と比べると、BIM/CIMを活用することにより、約半分程度の期間で中心線形が決定できた。

(2) 土量バランスの最適化

複数のルート比較をするなかで、路線の線形調整のトライアルとともに変化する横断構成に対しても、土工数量が自動的に算出されるため容易に土量算出が可能となる。そのため、土工主体の道路構造である本路線の盛土と切土の土量バランスの最適化を図ることができた。結果的には盛土量と切土量がほぼ同じになり、コスト縮減にも寄与することができた。

(3) 景観検討

地域の主要な視点場である展望台等からの計画路線の見え方を検討するにあたり、一般的にはパースを作成することが多いが、3次元設計を行うことにより、図-9のように容易に地形が再現でき、パース作成の手間を省略することができる。

(4) 今後の円滑な対外協議（CG作成）

今後の事業の進捗にあわせて関係機関協議および地域の住民への説明を行い合意形成を図る必要が生じる。その際は、計画を理解してもらうため、わかりやすい説明資料・ツールが必要である。

そこで、視覚的にわかりやすく直感で理解できるように、既存の航空写真と3Dマップデータを組み合わせた地形再現データに3次元の道路計画図を重ね合わせることで、道路整備後の変化が理解しやすい資料を作成することができる。これにより、全ての視点から整備による変化が確認できるため、円滑な住民との合意形成に寄与すると考えられる。

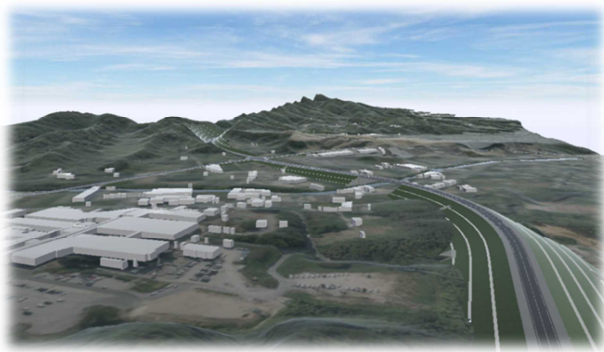


図-9 地形再現データのイメージ

7. 今後の改善策

今後、道路の中心線形を決定する道路予備設計（A）の段階においてBIM/CIMを活用するにあたっての改善策を示す。

(1) 構造物周辺の設計

橋台付近・ボックスカルバートの法面処理については、現在のところ3次元設計の基準や指針の整備がなされていないため、2次元設計で対応した。本路線は比較的構造物が少ないが、構造物が多い場合の路線ではこの作業が多くなり手間になることが考えられる。2次元設計で対応した構造物周辺の設計に対しても3次元設計ができる基準・指針の整備やソフトへの対応がなされれば、道路の中心線形を路線一体で検討することができ、設計作業の効率化が更に図られると考える。

8. おわりに

道路予備設計（A）の段階で3次元モデルを構築することにより、道路の中心線形の比較検討を効率的に行えることが確認できた。これにより、関係者間の迅速な計画調整、都市計画素案の合意を図ることができた。また、関係機関との協議及び地域の住民への説明の際には視覚的にわかりやすい資料を作成することができ、スムーズに都市計画手続きを進めることができる。

本路線は大部分が土工主体の構造であるため、3次元設計を活用することにより、ルート比較検討や土量算出の効率化など多数のメリットを見いだすことができた。しかし、構造物周辺の設計は3次元設計では対応できないため、個別の作業で対応する必要があるなどの課題についても確認できた。今後これらの課題が改善できれば、BIM/CIMの活用による更なる業務効率化が期待できる。

謝辞：本論文を作成するにあたり、多大なるご協力をいただきました関係者の方々に深くお礼申し上げます。

ICTを活用した職員支援システムの導入効果とさらなる利活用

中嶋 恵美¹

¹独立行政法人水資源機構 琵琶湖開発総合管理所 総務課 (〒520-0243滋賀県大津市堅田2-1-10)

独立行政法人水資源機構琵琶湖開発総合管理所（以下「琵琶湖総管」という。）では、2013年9月（平成25年）の台風18号による防災業務での課題に対応するため、防災業務における効率化・高度化を目指し、¹⁾ICTを活用した排水機場運転支援システム及び不具合対応支援システム（以下「職員支援システム」という。）を2015年（平成27年）から2箇年をかけて構築し、2017年度（平成29年度）より本格運用を開始している。本稿では、職員支援システムによる導入効果及び2017年10月（平成29年）に襲来した台風21・22号による防災業務での運用実績、防災業務以外での利活用及び他事務所で展開の可能性について報告するものである。

キーワード ICT, AR, HMD, タブレット端末, 防災業務における効率化・高度化

1. はじめに

琵琶湖総管では、沿岸域の治水のため、琵琶湖一円にわたり多数の施設を維持管理している（図-1）。防災業務時には、職員及び継続雇用従事者（以下「職員等」という。）で防災班を9班編成し、職員等が琵琶湖周辺の巡視や水門等の操作にあたり、請負業務の運転操作員が排水機場の運転操作を行うことで琵琶湖からの逆流を防ぎ、水田などにたまった水をポンプではき出し、浸水被害の防止及び軽減に努めている。

2013年の防災業務時において、公共交通機関の麻痺や道路冠水による通行止め等により、請負業務の運転操作員の初期配置が不十分な状況が発生した。幸い排水機場の運転に支障はなかったが、このような状況下では職員等が排水機場の運転操作を行う必要があり、「職種を問わず全ての職員等による迅速かつ安全・確実な運転操作」ができることが課題となった。

また、琵琶湖総管における防災業務はダム等と比較すると長期間に及ぶことが多いため、長時間の運転により発生したポンプ設備等の重軽様々な故障や不具合に対し、広範囲な移動を伴う中で、少人数の設備系の職員等（以下「専門技術職」という。）のみで全てを対応するには限界があり、「全ての職員等による最低限度の不具合対応」を可能にする必要性が浮き彫りとなり、職員支援システムを構築するに至った。

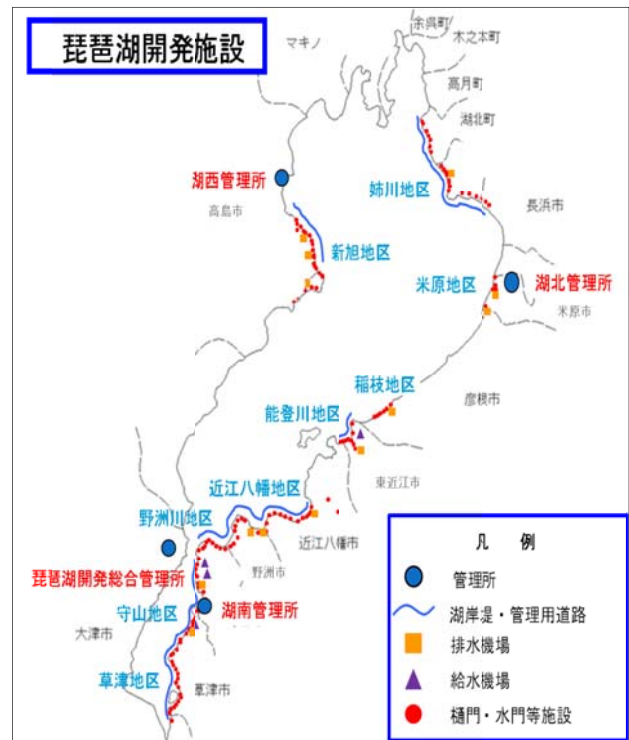


図-1 琵琶湖開発施設配置図

2. システム概要

琵琶湖総管で構築した職員支援システムは、次のとおりである（写真-1）。



写真-1 職員支援システム使用状況

(1) 排水機場運転支援システム

これまでの排水機場の運転操作は、設備毎に写真や図を多用し、専門用語を排除した紙媒体の操作マニュアルを使用してきた。しかし、排水機場の運転操作は水門設備と比較すると数多くの確認や移動、操作が必要となり、年に数回、操作訓練を実施しているものの、専門技術職以外は普段操作をしないため分かりづらく、また紙媒体の操作マニュアルでは雨天時の使用にも問題があった。

そこで、拡張現実（AR：Augmented Reality）を活用し、タブレット端末を用いて画像と音声により操作や確認、写真撮影等をナビゲーションすることで排水機場の「迅速かつ安全・確実な運転操作」ができるシステムを構築した。操作終了後には操作記録が自動で作成される。

(2) 不具合対応支援システム

不具合対応支援システムは、インターネット回線を利用し、現場（作業）からの映像送信と音声による双方向通信（6者同時）を行うことにより、支援者も不具合発生現場の状況をリアルタイムで確認できるシステムである。作業者のヘルメットに装着したヘッドマウントディスプレイ（以下「HMD」という。）のカメラで捉えた映像と音声は、支援者側のPC・タブレット端末で共有でき、これまで専門知識を有する専門技術職やメーカーの熟練技術者等を現場に派遣せざるを得なかった不具合内容についても本システムの導入により、遠隔地からの作業指示で対応可能となった。

本システムは、上述したように映像と音声により故障・不具合情報の共有や作業指示を行うこととなるが、ポンプ運転時の騒音により作業側で音声が聞き取れない場合を想定し、支援者側から文字による指示も可能である。また、HMDのカメラで撮影した静止画像を通信上で共有することで支援者側から書き込みによる指示も行うことができる。加えて、HMDのカメラに写った映像を支援者側から遠隔操作し、写真撮影できる機能も有している。さらに支援者側から図面等の資料送付が可能

であり、作業者が資料を持ち合わせていない場合でも支援者から必要な資料を送付することで、不具合原因の究明や不具合対応の確実性が向上する。

3. システム運用状況と導入効果

2017年4月から運用を開始した職員支援システムの防災業務での運用状況及び導入効果は、次のとおりである。

(1) 排水機場運転支援システム

排水機場運転支援システムの導入効果として、2017年の防災業務時にポンプ運転ができない排水機場に対し、本システムを使用した結果、操作漏れのブレーカを発見し、排水機場の安全・確実な運転操作を行うことができた。また、別の排水機場では、新規採用職員2名での運転操作にあたり、迅速かつ安全・確実にポンプ運転を行うことができた（写真-2）。

そして、その操作記録は自動作成され、操作報告書の作成時間の大幅な短縮に繋がった。



写真-2 新規採用職員による運転操作状況

(2) 不具合対応支援システム

不具合対応支援システムについては、同じく2017年の防災業務時に排水機場スクリーン前面部に大量の流木が集積した際、専門技術職が現地に向かわずとも現地班から送信された画像等の情報により遠隔地から対応を指示し、ポンプを停止するに至らず、運転を継続することができた（写真-3）。



写真-3 流木集積時の対応状況

また、適宜、琵琶湖総管の防災本部や各管理所の班長等が現場状況の確認等に本システムを使用することにより、現場までの移動時間の削減、移動に伴う事故のリスク減に繋がり、その効果を確認した(写真-4)。



写真-4 防災本部での通信状況

能となった(写真-5)。

試行の結果、本工事においては計12回の現地確認や立会のうち、8回を不具合対応支援システムで対応し、建築職の移動時間及び旅費の削減による業務の効率化に繋がった。

関西管内の機構事務所においても琵琶湖総管と同様、移動に時間を要することから、建築工事における不具合対応支援システムの活用は有効であると言える。

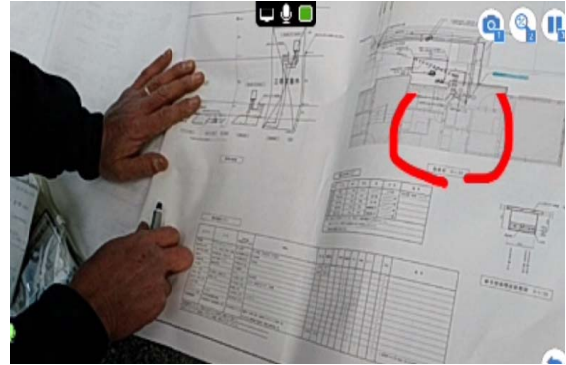


写真-5 遠隔地からの指示状況

4. さらなる利活用

職員支援システムは、防災業務での排水機場の運転操作及び不具合に対応するための支援を行うものであるが、琵琶湖総管の防災業務は1992年4月(平成4年)の管理開始以降、27年間で9回(2019年3月末現在)と非常に少ないため、職員等のシステム習熟度維持やシステムの陳腐化が懸念される。そこで、琵琶湖総管内において「職員支援システム活用チーム」を発足させ、システム操作訓練の主軸として活動するとともに、システムの利活用について検討を行い、施工管理を中心に、可能な限り様々な業務で活用していくこととした。

(1) 建築工事

琵琶湖総管では2017年4月以降、建築担当の職員(以下「建築職」という。)が不在となり、建築工事が必要な都度、関西・吉野川支社淀川本部(大阪市)の建築職により積算や監督を実施している。宿舍等における簡易な修繕は通常、琵琶湖総管の総務課で監督を行うが、2017年9月に発注した大規模な改修工事においては、専門知識が必要な材料確認や段階確認等が必要であった。発注当初は建築職が監督員として現地に臨場することを想定していたが、現地までの移動時間と現地での確認時間を勘案し、試行的に不具合対応支援システムの活用を取り入れることとした。

建築職による確認が必要な施工内容や受注者の要望により立会が必要な場合には、監督員である琵琶湖総管の総務課員がHMDを装着して現地へ向かうことで建築職は現地へ臨場せず、淀川本部で現場状況の把握や確認を行った。立会等が必要な都度、不具合対応支援システムを使って現地確認することで、受注者の作業手戻りの発生を防ぐとともに、建築職以外では判断が困難な事項について遠隔地から指示を受け、判断をすることが可

(2) 工場における段階確認

機械設備や電気設備の工場製作を伴う機器更新において、重要な機器や低入札の場合、品質確保として工場における段階確認を実施する。その場合は通常、複数の監督員が工場に出向き検査を実施するが、試行として不具合対応支援システムを活用し、HMDを装着した監督員1名のみが工場へ出向き、残りの監督員が遠隔地から確認することとした。

2017年度は水門設備の開閉装置仮組立について段階確認を行った結果、カメラの映像を通して数値等も確認でき、これまでと相違なく適正な検査を行うことができ、旅費の削減及び業務の効率化に寄与した(写真-6)。

時間 (hrm)	温度測定(°C)					時間差	開始時間	終了時間	経過時間
	①	②	③	④	⑤				
0:00	7.1	7.1	6.8	6.8	6.6	0:00	0:00	0:00	0:00
0:10	7.2	7.1	6.9	6.9	6.6	0:00	0:00	0:00	0:00
0:20	7.3	7.1	7.0	6.9	6.6	0:00	0:00	0:00	0:00
0:30	7.3	7.1	7.0	6.9	6.6	0:00	0:00	0:00	0:00
0:40	7.3	7.1	7.0	6.9	6.6	0:00	0:00	0:00	0:00
0:50	7.3	7.1	7.0	6.9	6.6	0:00	0:00	0:00	0:00
1:00	7.3	7.1	7.0	6.9	6.6	0:00	0:00	0:00	0:00
1:10	7.3	7.1	7.0	6.9	6.6	0:00	0:00	0:00	0:00
1:20	7.3	7.1	7.0	6.9	6.6	0:00	0:00	0:00	0:00
1:30	7.3	7.1	7.0	6.9	6.6	0:00	0:00	0:00	0:00

写真-6 工場検査状況

(3) 抜き打ちパトロール

工事現場の安全管理への利活用の一つとして琵琶湖総管の安全協議会では不具合対応支援システムを活用し、抜き打ちパトロールを実施した（写真-7）。

HMDを装着した職員が現地へ行き、安全協議会委員が総合管理所でHMDからの映像を通し、受注者の不安全行動を指摘した。

このように少人数で実施する抜き打ちパトロールでありながら、多くの目で指摘できることから効率的なパトロールと言える。また、HMD装着者を若手職員とし、支援者（総合管理所）側から不安全行動を指摘することで、若手職員の安全教育ツールとしても期待できる。



写真-7 抜き打ちパトロール状況

(4) 事故等の確認

広大な範囲を管理する琵琶湖総管では、湖岸堤や道路等で交通事故や火災が発生した場合、管理者である機構に連絡が入るよう所轄警察署や消防署等と連携している。一報が入ると各管理所の職員が現場へ出向くが、警察や消防等からの情報だけでは機構の管理範囲であるかどうか不明な場合が多い。通常であれば、交通事故や火災が発生した現場周辺の資料を持参し現地確認を実施するが、近くを巡視していた職員が現場へ直行し、不具合対応支援システムを活用し通信することで、管理所にいる職員が資料を確認しながら機構の管理範囲であるか否かの早急な判断をするとともに、現場で必要となる対応を判断することができた。

8. まとめ

琵琶湖総管では、2013年の防災業務での課題を解決するために職員支援システムを構築・導入した。

しかしながら、防災業務の頻度から職員等の本システムの習熟度を維持できない恐れがあるため、所内で本システムの利活用について検討・試行した結果、業務の効率化に繋がる利活用方法を数多く確認することができた。

特に不具合対応支援システムについては、HMDのカメラがヘルメットに固定されていることで、支援者からの指示を受けながら作業者はハンズフリーで作業ができること、作業者のモニターには作業者自身の見ている状況が映っており、支援者もその映像を確認しながら指示ができ、リアルタイムで双方が確認し合いながら対応できる点がその他の類似システムと異なり、非常に有効であることが確認できた。立会い等で使用する場合にはHMD装着者以外には支援者の音声共有できない課題があるものの、琵琶湖総管の限られた人員の中で効率的かつ適切な管理業務を行うには本システムは有効なツールである。2018年度以降も引き続き、職員支援システム活用チームの活動を継続しており、さらなる業務の効率化、高度化を目指し、様々な業務へ利活用を検討している。

このように、防災業務による課題から構築・導入した職員支援システムであるが、防災業務に限らず用途は多岐にわたり、不具合対応支援システムにおいては、移動時間削減に伴う作業の効率化及びコスト縮減による効果は大きい。また、排水機場運転支援システムについてもシナリオを応用することにより、直営点検や人材教育、技術伝承等に活用できる。

他事務所への展開の可能性については、琵琶湖総管のように広大な管理範囲かつ多数の設備を維持管理している管理所等での本システムの利用は有効である。具体では、延長の長い水路施設の巡視やダム管理所での放流警報時の巡視への利用、設備の直営点検などに活用できると考える。また、宿泊を伴うような移動距離が長い現場への立会い等にも有効である。

さらに、異常気象と言われる事象が頻繁に起こり、地震・風水害など様々な自然災害が起こる昨今において、不具合対応支援システムを用いて現地と各事務所、さらに各支社・局や本社とが通信することで映像と音声によりリアルタイムで被災状況の把握や確認を行うことができ、大いに利活用の可能性を秘めていることから、機構内で拡大導入されればさらなる発展が見込まれる。

最後に、本システムは、国内における既設公共インフラ施設の長寿命化や機能の最大活用が求められる中、限られた人員体制による効率的かつ的確な操作・維持管理を行う手段として幅広い分野への利活用の期待ができるものと高く評価され、平成29年度土木学会技術賞を受賞したことを報告する。

参考文献

1) H29 国土技術研究会論文：ICTを活用した排水機場運転支援・不具合対応支援システムの構築

電線共同溝工事におけるホロレンズを活用した 3次元データ適用効果について

西川 慎一郎¹・若狭 昇太²

¹近畿地方整備局 和歌山河川国道事務所 河川管理課 (〒640-8227和歌山県和歌山市西汀丁16番)

²大成ロテック(株) 大阪事業所 (〒540-8586大阪府大阪市中央区大手前1-5-44)

道路の地中には既設埋設管等が多く存在し、電線共同溝敷設工事の際には、それらを確認しながらの作業となるため施工効率を悪くさせている。埋設管の破損事故防止、作業効率向上が求められる中、3次元空間においてCIMとICT施工を有効活用出来ると考えた。本論では電線共同溝の従来技術とICT施工技術を比較し、実工事を通じて得られたICT施工技術の適用効果と今後の課題について報告する。

和歌山河川国道事務所発注の国道42号秋葉町管路敷設他工事にて実施。場所は和歌山市秋葉町、工事延長は185mである。

キーワード CIM, ICT施工, 電線共同溝工事

1. はじめに

近年の建設業を巡る情勢として、少子高齢化による労働力不足や建設現場での労働災害等が課題である。建設現場での省力化が求められるなかで、さらなる生産性向上や品質向上などを目的に建設生産現場へのCIM (Construction Information Modeling) 導入が推進されている¹⁾。CIMは、調査設計段階から3次元モデルを導入し、施工、維持管理の段階においてその3次元モデルを連携させるものであり、建築分野でのBIM (Building Information Modeling) を土木建設の分野へ拡大した日本独自のモデルである。国土交通省が2012年にCIMの導入を提唱して以来普及が進み、2017年度にはBIM/CIMを活用した設計業務および工事が、国内の橋梁およびダム等の分野で132件実施されるまでに至っている²⁾。現在はBIM/CIMとICT (Information and Communication Technology) を統合したi-Constructionの推進が提言されており、2018年には、「ICTの全面的な活用推進に関する実施方針」³⁾が公開されている。最近、国の直轄工事でICTを活用する機会が増えつつあるが、一般的に河道掘削工事や土地改良工事にICT施工が採用されており、電線共同溝工事におけるICTの活用は類をみない。

そこで本論では、電線共同溝工事に注目し、既存の地下埋設物破損防止及び作業効率向上を目的として、3次元空間におけるCIMとICT施工技術を電線共同溝工事に適用した際の効果について報告する。

2. 従来施工技術の課題

我が国は、昭和60年代初頭から電線類を地下に埋設するなど、無電柱化に取り組んできたが、欧米やアジアの主要都市と比較して無電柱化率は低く、全国には約3,600万本の電柱が存在し、更に毎年約7万本ずつ増加している⁴⁾。この現状に対し、国土交通省では、2016年12月に施行された無電柱化の推進に関する法律に基づき、「無電柱化推進計画」⁴⁾を2018年4月に策定し、2020年度までの3年間で約1,400kmの無電柱化の着手を目標に掲げている。

電線共同溝工事に着手する際、施工範囲内において事前に既設の地下埋設管を移設する必要がある。従来、既設埋設管の位置を把握するために、埋設管管理台帳を確認しながら試掘しているのだが、この手法の課題として、台帳と実際の埋設管の位置が異なる場合、施工開始後に計画埋設位置の変更せざるを得なくなり手戻りが発生することや、地下埋設物の破損事故が発生することが挙げられる。埋設管の正確な位置を把握することは困難であり、日施工量が少なく施工効率を悪くさせていることが大きな課題である。

3. CIM及びICT技術を活用した取組内容

国土交通省近畿地方整備局和歌山河川国道事務所発注の国道42号秋葉町管路敷設他工事において、3次元空間におけるCIM及びICT施工技術の適用を試みた。本工事

は延長185mの電線共同溝工事であり、i-Constructionに基づきICT技術の全面的活用を図る「ICT活用工事」の対象工事であった。施工概要およびICT施工技術の取組みを以下に示す。

表-1 施工概要

工事名	国道42号秋葉町管路敷設他工事
工事内容	工事延長：185m
	管路工：7,110m
	舗装工：3,700m ²
	工期：2017年9月1日～2019年2月28日

方向の位置が確認できる箇所では実測値との整合性を図ることで探査精度を向上させることができた。

表-2 地上型レーザースキャナの性能

項目	仕様
名称	FARO Focus3D X330
波長	0.8m
最大計測距離	半径330m
測点数	976,000点(秒速)
ビーム間隔	0.19mrad
誤差範囲	±2mm
緯度経度	GPS

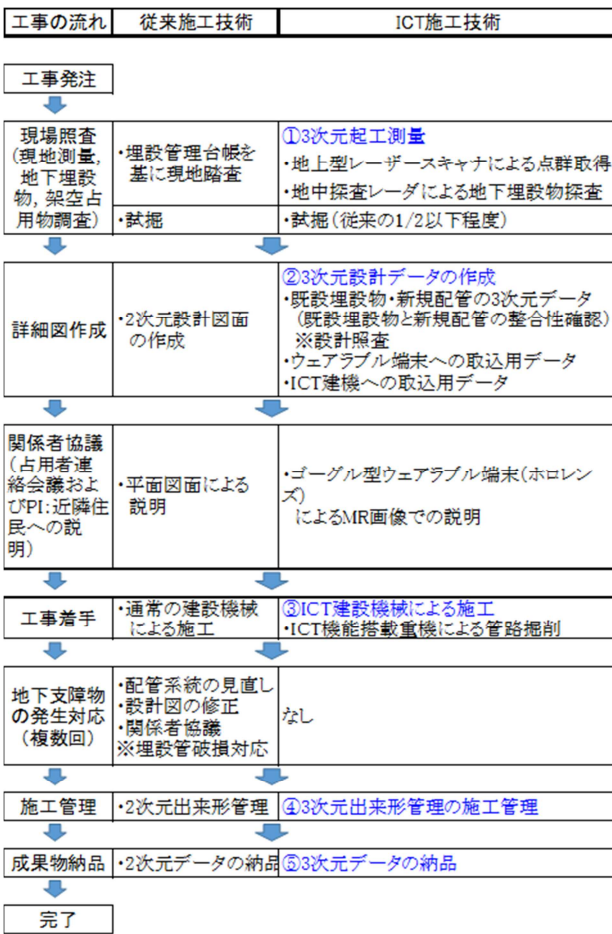


図-1 ICT施工技術と従来施工技術の比較

まず、地上型レーザースキャナ(FARO社製：FARO Focus3D X330)により地上部の点群データを取得し、手押し型アンテナレーダ(ジオサーチ社製：スケルカート)により地下埋設物探査を行った。測定器の性能を表-2、表-3に、測定状況を図-2に示す。地上型レーザースキャナによる点群データと、手押し型アンテナレーダによる地下埋設物探査結果を組み合わせる事で、埋設物の位置関係を容易に把握する事ができた。なお、手押し型アンテナレーダの測定精度は水平および深度方向での探査誤差が±10cm程度あるが、マンホールなど目視により管の深さや水平

表-3 手押し型アンテナレーダの性能

項目	仕様
名称	スケルカート
レーダ種類	3次元多配列レーダシステム
探査幅	0.8m
探査深度	1.5m程度
探査速度	5km/h
データ取得能力	1,000m ² 程度/日
探査能力	φ50mm以上
探査誤差	水平：±10cm程度
	深度：±10cm程度



図-2 地上型レーザースキャナ(左)、手押し型アンテナレーダ(右)

次に、地上型レーザースキャナにより取得した地上部の点群データに加え、既設埋設物、設計埋設管データをAuto desk社のAutoCADを用いて3次元化し、管路の属性情報を付与したCIMを作成した。従来であれば図-3の平面図・縦横断面図のように複雑で配管の位置を把握するのに熟練を要するのだが、図-4のCIMのように3次元マップとして可視化することで、既設埋設管と新設管路の敷設位置関係を明確化することができた。その結果、掘削開始前に両者が干渉する箇所について設計照査を行い、容易に計画を修正することができた。

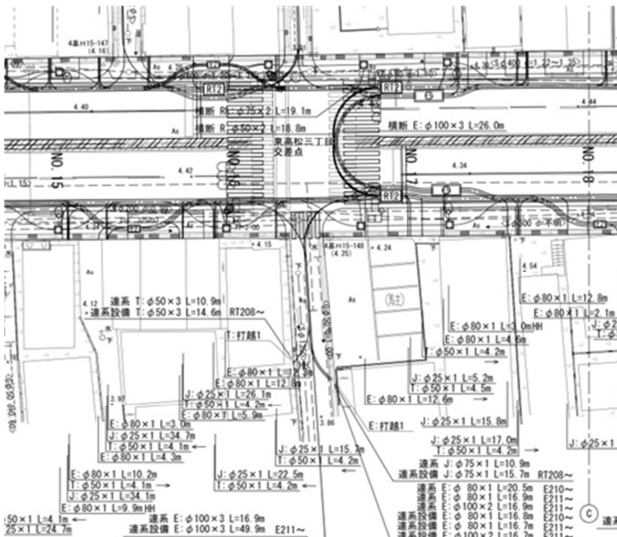


図-3 計画平面図の一部

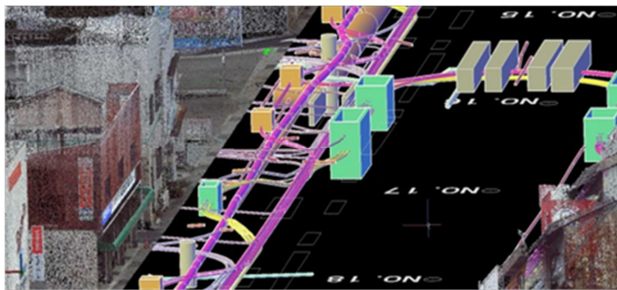


図-4 CIM画像 (3次元マップ)



図-5 ホロレンズの装着状況

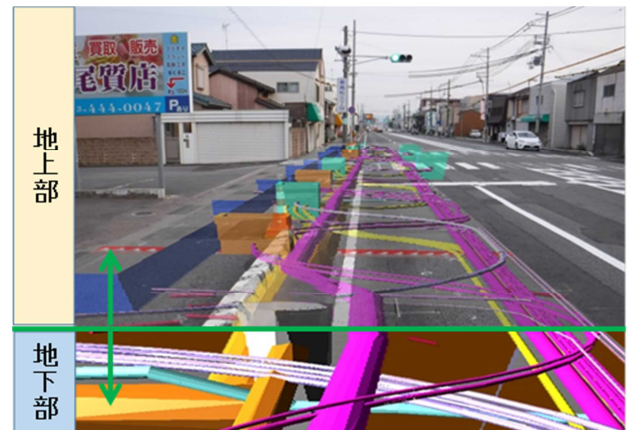


図-6 ホロレンズをかけた際のMR画像イメージ

また、3次元データをさらに活用し、Google型ウェアラブル端末（マイクロソフト社製：ホロレンズ）による埋設管の見える化を実施した。端末にパソコンが内蔵されており、環境認識カメラ、Depthカメラ、ジャイロから得た情報により空間を認識することができる。このホロレンズにCIMのデータを取り込み、現場内に設置した基準点とホロレンズ上に見えるマーカー位置を合わせることで、地下埋設管路が舗装面を透過しているかのよう可視化できる。ホロレンズの装着状況を図-5に、MR画像のイメージを図-6に示す。測定精度はマーカーの合わせ方に左右され、最小でも数cm単位の誤差は出ると考えられるが、装着した作業者が、ハンズフリーの状態で見場の実像と埋設管路の3次元画像が重なったMR (Mixed Reality：複合現実) 画像を見ることで掘削時の既設埋設物の破損事故防止に役立つ。さらには、従来施工技術では埋設管の占有者や地域住民に対する説明の際に、図-6に示すようなMR画像で確認できるため、工事説明や合意形成がスムーズに行えるというメリットもある。

最後に、ICT建設機械による管路掘削を実施した。当該機は、衛星からの位置情報と複数センサーを組み合わせることで、バケットの刃先位置を検出し、オペレータの操作補助を行い、CIMデータの目標面に沿った掘削が可能となる。当該機へCIMデータを取り込むことによって掘削位置および深さのデータがインプットされるため、短時間で計画深さ通りの掘削を行う事ができ、検測作業を大幅に削減する事ができた。ICTバックホウによる掘削状況を図-7に示す。



図-7 ICTバックホウによる掘削状況

4. 本工事における3次元データ適用効果

3次元設計データを活用することで、施工着手してから不明管や、既設埋設物と新規埋設管の干渉箇所などは

見られなかった。また、本現場において従来施工技術による現場照査では発見できなかったと考えられる不具合箇所が46箇所（既設埋設物と新規埋設管の干渉33箇所、既設埋設物と新設特殊部・分岐管等との干渉13箇所）確認できており、埋設管の見える化が破損事故防止に効果を発揮したと考えられる。本現場において本管と連携管の不具合箇所を3次元画像により修正した3次元設計図を図-8に示す。

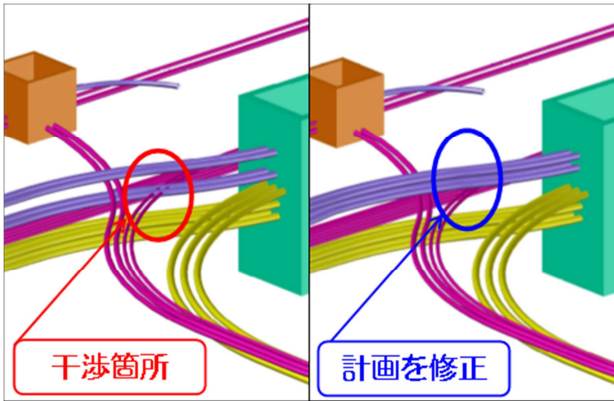


図-8 3次元設計図(修正前(左)と修正後(右))

もし、従来施工技術にて施工を行った場合、上記不具合箇所46箇所について施工途中で設計の修正および施工の手直しが発生したと考えた場合の余分に要する施工日数を試算した。試算根拠を表-4に示す。試算根拠は社内実績によるものとする。

表-4 不具合箇所の修正作業所要日数

項目	単位	既設埋設物と新規埋設管の干渉箇所	既設埋設物と新設特殊部・分岐管等との干渉箇所	
修正作業	掘削	(日)	0.5	0.5
	埋め戻し	(日)	0.5	0.5
	修正設計	(日)	1	3
	材料手配(R管など)	(日)	1	1
	所要日数	(日/箇所)	3	5
平均施工数	(箇所/日)	2.5	1.5	
干渉箇所数	(箇所)	33	13	
所要合計日数	(日)	39.6	43.3	

その結果、既設埋設物と新規埋設管の干渉33箇所に対し約40日、既設埋設物と新設特殊部・分岐管等との干渉13箇所に対し約44日、従来技術では合計84日のロスが発生することになる。本工事では3次元起工測量からCIMの作成および使用機器へのデータ取り込みまでおおよそ45日間要したことから、約50日間3次元データ適用に時間を費やしたと仮定すると、34日間の工期短縮につなが

り施工の効率化が図れたと考える。

また、管路掘削作業においてもICT建設機械を用いることで、短時間で設定した深さ通りの掘削が可能となり検測作業の省力化、作業の効率化に大きく役立った。さらに、重機周りでの検測作業が軽減されたため安全性の向上にも寄与したものと考える。

5. 今後の課題

本工事区間よりもさらに過密な配管箇所である場合、3次元起工測量の中で地下埋設物の非破壊検査がより高精度となることが望まれる。また、ICT建設機械による管路掘削においても、機械動作の制約が増えるため、作業効率が落ちてしまう。

3次元データ作成においては、地上の点群データや既存地下埋設物の探査データ、2次元設計図面を3次元データへ変換するには、専門ソフトおよび作業の習熟が必要となる。

今回使用したホロレンズにおいて、視野角が横50°、縦35°と狭い上、炎天下ではMR（複合現実）画像が見づらくなる。

6. まとめ

建設工事に伴う埋設管に関する事故件数の調査（2016年度）によると、全国107社からの回答で134件の事故報告があり⁹⁾、施工方法の検討が求められる深刻な問題である。

今回、電線共同溝工事において、埋設管の破損事故防止、作業効率の向上を目的に3次元データの活用を試みたが、結果として、不明管の発生などによる手戻りや管路の破損事故もなく、作業効率の向上も確認できた。また、事前の関係者間協議および地元住民に対する説明がスムーズとなった。

一方で、3次元起工測量の取得や3次元データの作成にかなりの時間を要することや、ウェアラブル端末自体の操作が難しい、視野角が狭いなどの課題を明確にすることができた。これらの課題については、ソフト製作者や機器の製作者などとの協力、今後の技術革新とともに解消されていき、本技術の実用性が高まっていくものと考えられる。

また、今回作成したような3次元データ（CIM）が今後蓄積されていくことで、将来的に作成の手間が省け、電線共同溝工事にかかわらず、さらなる効率的が期待される。

技術者や熟練作業員の不足、高齢化など、建設産業の抱える課題を解決するために、ICT技術やAI技術などが普及する時代は間近である。本論文が無電柱化工事の推進、建設産業のICT化の推進などにおける次世代技術開発の一助となれば幸いである。

謝辞：本論文の作成にあたり，数々のご指導を頂いた皆様，また日常の議論を通じて多くの知識や示唆を頂いた関係者の皆様に，深く感謝いたします。

参考文献

1)第1回 BIM/CIM 推進委員会議事録
<http://www.mlit.go.jp/common/001252256.pdf>

2)これまでの BIM/CIM 事業の実施状況

<http://www.mlit.go.jp/common/001252262.pdf>

3)ICT の全面的な活用推進に関する実施方針，

<http://www.mlit.go.jp/common/001180229.pdf>

4)無電柱化推進計画，無電柱化推進計画について

<http://www.mlit.go.jp/road/road/traffic/chicyuka/pdf/21-01.pdf>

5)竹田裕二：電線共同溝設置工事におけるライフライン事故防止対策

トンネルCIM活用による施工情報の一元管理について

北村 勇人

近畿地方整備局 福井河川国道事務所 工務第二課 (〒918-8015 福井県福井市花堂南2-14-7)

トンネルCIMを取り巻く環境を踏まえ、現在運用中のトンネルCIMの一例について、荒島第1トンネル下唯野地区工事における、現場での活用状況を紹介します。今回活用するシステムは山岳トンネル版「地質情報CIM管理システム」である。その活用状況から、3次元モデル化への課題やトンネルCIMの今後の展望について述べるものである。

キーワード トンネルCIM, 3次元モデル, 山岳トンネル

1. トンネルCIMの概要

国土交通省では、建設現場の生産性向上を図るi-Constructionの取組において、これまで3次元モデルを活用し社会資本の整備、管理を行うCIMを導入することで受発注者双方の業務効率化・高度化を推進してきた。

このような動向のなか、CIMについては、2016年8月の「CIM導入ガイドライン(素案)」発出以降、2017年3月、2018年3月の改訂を経て、2019年5月にさらなる改訂が加えられたところである。本ガイドラインにおいては、「CIMの導入・実施状況を通じて、更なるCIMの効果的な活用方策の検討を行うとともに、実運用上の課題に対して、必要な取り組み・対策検討や、その対応策を踏まえた内容改訂を随時行っていく」とされており、今後も実情に応じて内容の拡充が図られているところである。

本ガイドラインにおいて、トンネルCIMについては、

「山岳トンネル構造物を対象にCIMの考え方をを用いて調査・設計段階でCIMモデルを作成すること、作成されたCIMモデルを施工時に活用すること、更には調査・設計・施工のCIMモデルを維持管理に活用する際に適用する。」と記載されている。しかし、現時点では、調査・設計においてCIMモデルの作成が導入され始められているものの、現在稼働中の工事において、調査・設計段階で作成されたモデルを施工時に活用するには至っておらず、現存するCIMモデルは、施工会社が技術提案内容等に基づき、各社の仕様に応じた様々なシステムにて運用されている状況である。

本稿では、このような状況にあるトンネルCIMの一例について述べる。

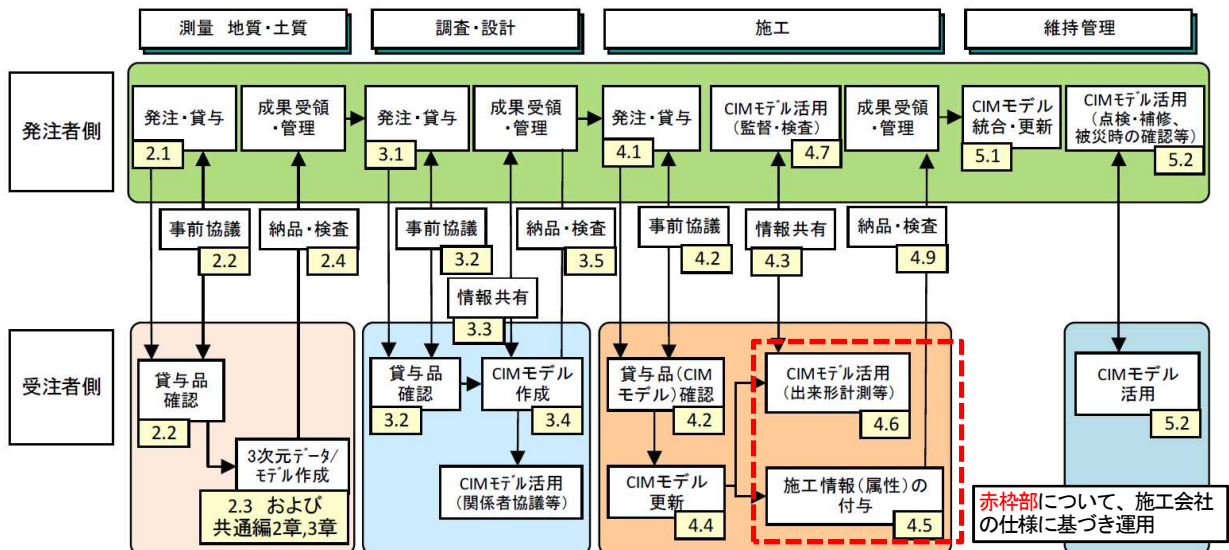


図-1 CIMモデルの作成・活用の流れ「CIMの導入ガイドライン(案) 令和元年5月」に一部加筆

2. トンネル現場におけるCIMの有用性

トンネルの建設に際しては、計画地点における地質状況を詳細に把握し、その状況に応じて最適な設計および施工を実施することが重要となる。これに対して、調査・設計段階において、地質調査や物理探査などを実施することにより、計画地点を構成する地質の分布状況や工学的特性を評価し、その結果をもとにトンネル支保などの設計が行われる。しかし、この調査・設計段階において、種々の検討にかかる費用に限度があると同時に、上述した地質調査や物理探査の精度自体に限界があるため、この段階で広範にわたり詳細な地質状況を把握することは困難となる。これに対して、施工段階においては、実際のトンネル切羽において、地質状況を直接、詳細に確認し、事前に想定されていた状況と実際の状況との差異を評価する。そして、その状況によっては、逐次、追加対策工の検討など、施工計画や設計を見直すことが重要となる。このような状況のなか、トンネルCIMは以下のような状況で有用と考えられる。

- ・調査・設計段階時に、事前調査で想定された地質状況を3次元モデル上に表現し、地山不良箇所などの分布状況を詳細に確認したうえで施工計画に反映するとともに、施工状況に応じた具体的な対策工が検討できる。
- ・トンネル切羽の観察記録などを3次元モデル内に取り込むことにより、施工実績整理の高度化を図るとともに、事前調査と実際の状況との差異の確認、その状況に応じた施工計画や設計の変更などの検討ができる。

3. 施工現場での活用事例

(1) 荒島第1トンネル下唯野地区工事 工事概要

当工事は、大野油坂道路のうち、大野東・和泉区間(延長 14.0km)内、大野市下唯野地先から西勝原地先に計画された荒島第1トンネル(延長 2,561m)の、起点側1,569mにおける山岳トンネルを構築するものである。2019年5月末時点で、坑口から1,196mの掘削が完了している。

【工事名】 荒島第1トンネル下唯野地区工事

【工期】 2016年10月～2020年3月

【施工者】 株式会社 安藤・間 大阪支店

【工事内容】

トンネル掘削工 L=1,569m

(NAIM工法, 発破掘削, 代表断面積 A=94 m²)

覆工コンクリート・防水工 L=1,568.1m

残土処理工, 坑門工, 法面工 各1式

(2) 技術提案内容

当工事の技術提案「トンネル中間部の破砕帯の位置及び性状把握のための工夫」に基づき、以下の内容にて、

トンネルCIMの取り組みが行われている。



図-2 工事位置図

【提案タイトル】

山岳トンネル版「地質情報 CIM 管理システム」による施工情報の一元管理

【提案の目的】

掘削時、および前方探査等の実施時に得られる各種の情報を一元管理することにより、地質変化の傾向を把握し、破砕帯部の施工にフィードバックする。

【提案の目的】

山岳トンネル版「地質情報 CIM 管理システム」(NETIS:KK-110010-A)により、施工開始前に、地形、既往の地質データ、トンネル線形・構造データをもとに3次元モデルを構築する。掘削時には、切羽観察記録、実績支保パターン、坑内変位計測結果、前方探査等の結果で得られる各種計測・探査結果等の情報を一元管理する。3次元モデルは、本社の技術部門とリアルタイムに共有する。竣工時には、構築した3次元モデルをビューア形式で監督職員に提出する。

(3) システムの概要

当システムは、既往の3次元地質描画ソフト(ジーエスアイ社製)をベースに改良を加え、施工開始前に3次元モデルを構築したうえで、施工時に上述の切羽観察記録、前方探査結果や覆工コンクリートの品質記録などを一元管理できるように開発した。

(4) 3次元モデルの構築

3次元モデルの構築は、施工開始前に、既往の2次元CAD図面からトンネル線形の座標を拾って、3次元モデ

ルとして表現するとともに、既往の2次元地質縦断図と地形を所定の位置に3次元表示した。地表面の凹凸は、地形のコンターのデータをもとに構築した。構築した3次元モデルを図-3に示す。

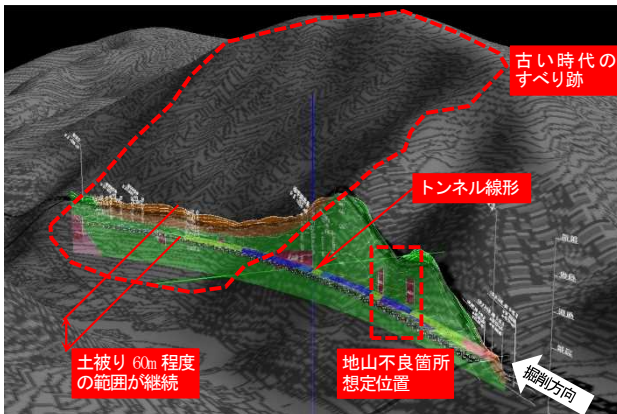


図-3 荒島第1トンネル下唯野地区工事 3次元モデル

線形が曲線を呈している当トンネルにおいては、3次元化することにより、断層などの地山不良部や低土被り部等の地形とトンネル掘削部との関係を詳細に把握することが出来、以下のような点が明らかとなった。これらを施工の際の留意事項として施工計画に反映した。

- ・トンネル直上の地表は、スプーンでえぐりといったような地形である。これは、古い時代のすべり跡(今は動いていない)と考えられ、トンネルはこの地形に沿った形で計画されている。
- ・2次元の平面図、縦断図でも、計画路線が荒島岳外輪山の山裾に位置することは、ある程度把握することができるが、3次元モデルで見ることによって、土被りがおおむね60m程度と比較的低位被りで、掘削が進行しても一向に大きくなることはないことが容易に把握できる。低位被り部では風化の影響を受けやすい。そのため、風化の影響範囲が長く続くものと考えられる。

(4) 切羽写真および観察記録

a) 切羽写真

トンネル切羽の位置情報に応じて、切羽写真を3次元モデル内に配置することで、既掘削部の地質状況を俯瞰できるため、トンネル掘削の進捗に伴う地質状況の変化を連続的に把握することができる(図-4)。

b) 切羽観察記録

EXCEL など既往のファイル形式で作成した切羽観察記録を、所要のフォルダに保存し、当該フォルダを本システム内の位置情報に紐付けすることで、本システム内から直接閲覧することができる(図-5)。

c) 切羽評価点

連続的な推移の把握が必要な切羽評価点は、3次元モデルのトンネル線形下に表示している(図-6)。

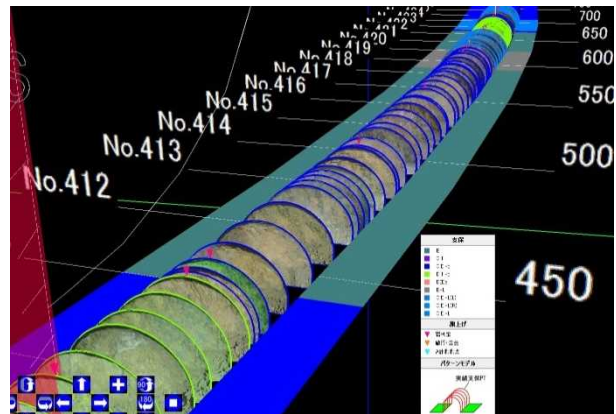


図-4 切羽写真の3次元モデル内配置状況

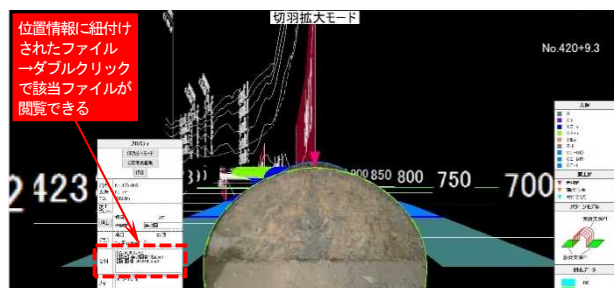


図-5 切羽観察記録のシステム内直接閲覧状況

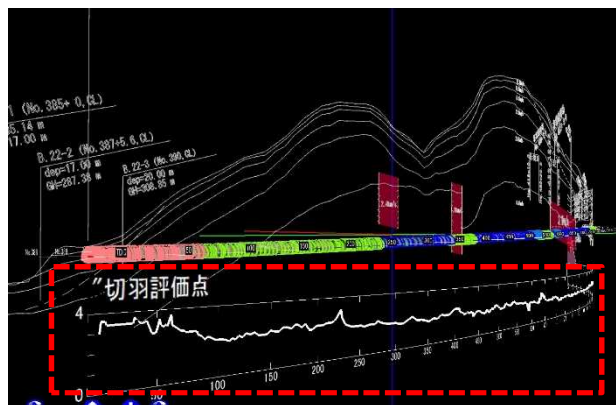


図-6 切羽評価点の描画状況

d) 切羽前方予測

既掘削部の切羽観察等により得られた切羽脆弱部等の情報を3次元的に図示することで、今後掘削する箇所における脆弱部の発生状況を予測することが2次元図よりも詳細に実施できる(図-7)。

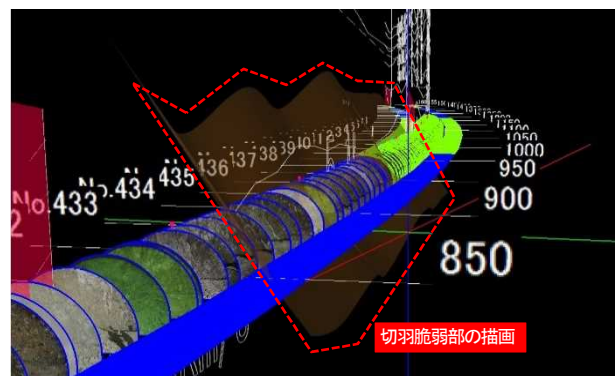


図-7 切羽脆弱部の描画状況

(5)実績支保パターン

トンネルにおいては事前の調査で得られる地質情報の量や精度に限界があるため、設計時に設定された支保パターンと実績とが異なる事例が多い。

当システムでは、切羽写真3次元モデル上に支保パターンの設計と実績を同時に示すことにより、設計と実績が異なる箇所において、当該箇所の地質状況を3次的に俯瞰して確認することで、竣工検査時等にその妥当性を検証できる(図-8)。

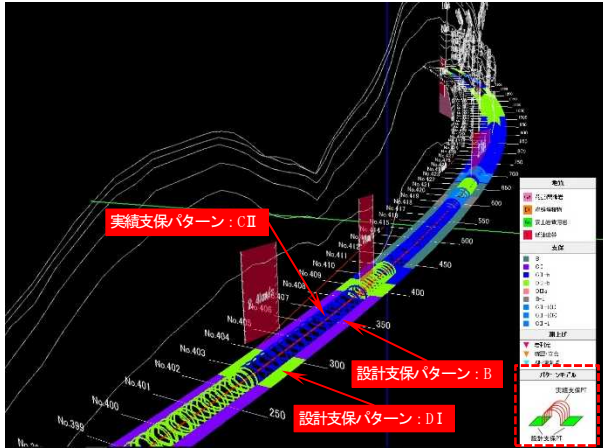


図-8 設計・実績支保パターン比較

(6)坑内変位計測結果

切羽観察記録と同様、既往のファイル形式で作成した坑内変位計測結果を、所要のフォルダに保存し、当該フォルダを本システム内の位置情報に紐付けすることで、本システム内から直接閲覧することができる。

(7)前方探査結果

前方探査結果は、切羽観察等と同様、既往のファイル形式で作成した結果を、所要のフォルダに保存し、当該フォルダを本システム内の位置情報に紐付けすることで、システムのオプション画面から閲覧することができる(図-9)。

(8)覆工コンクリートの品質記録

覆工コンクリートの品質記録は、打設ブロック毎にモ

デルを区間割りし、モデルの3次的な位置をクリックすることで、本システム内から直接閲覧できる(図-10)。

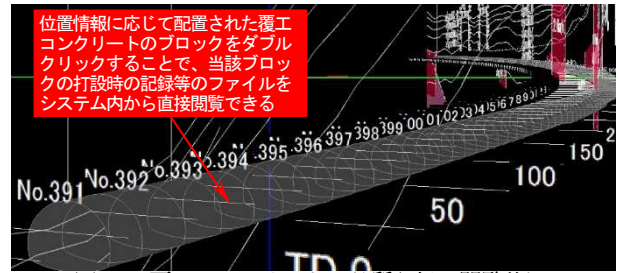


図-10 覆工コンクリートの品質記録の閲覧状況

(9) 3次元モデルの提出

竣工時、前述の当工事の施工情報を網羅した3次元モデルをビューア形式で監督職員に提出することとしている。これにより、竣工後、工事時の施工情報を位置情報に応じて迅速に、維持管理に活用することができる。

4. 当工事の3次元モデル化の課題

今回使用したシステムは、施工現場において、種々ある施工情報を容易にシステムに組み込めることを前提に開発しているため、既存ファイル形式の施工記録を位置情報により紐付けするという手法をとっている。それゆえ、3次元モデル内に視覚的に表示されないことから、思考支援のツールとしてはやや不足している。今後は、前方探査の位置、弾性波探査等の情報を様々な方法でモデル化し、容易に3次元モデルに組み込めるシステム開発が必要と考えられる。

5. 今後の展望

トンネルCIMは、トンネル工事における多岐にわたる情報を統合し、思考支援に資する重要なプラットフォームとして、様々なシステム開発が可能である。また、今回使用したシステムを始め、様々なトンネル工事の現場でトンネルCIMを活用することによって、CIMの開発が進み、維持管理の効率化が進んでいくと思われる。今後は、生産性の向上や品質確保に向けたCIMの導入を推進して

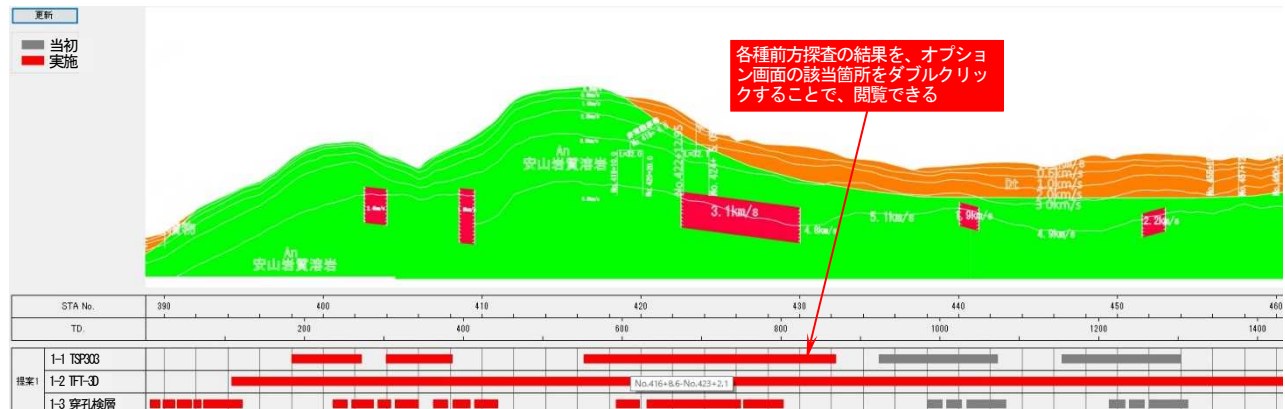


図-9 前方探査結果閲覧画面

いく上で、デジタル測量による測量結果の3次元化やAIによる切羽評価等との融合による、あらゆる情報の一元化が望まれる。

謝辞：論文を作成するにあたり、ご協力いただきました株式会社 安藤・間のご担当者様、また、関係各位に感謝いたします。

参考文献 1) 安藤ハザマ：土木学会論文集F3 Vol.72「地質情報CIM管理システムの構築および施工現場への定期用」-2016.-

京都舞鶴港第2ふ頭地区の栈橋式岸壁工事におけるCIMモデルの活用について

加計 孝司¹

¹近畿地方整備局 舞鶴港湾事務所 沿岸防災対策室 (〒624-0946 京都府舞鶴市字下福井910番地)

国土交通省ではICTの活用による生産性向上を目指す「i-construction」に取り組んでいるところである。その取り組みの一環として、京都府舞鶴港の第2ふ頭における栈橋式岸壁の老朽化対策事業において、国土交通省の港湾工事で発注者指定型では全国初となるCIMモデルを活用した試行工事を行い、その効果や課題等を検討した。

キーワード CIM, 栈橋式構造, プレキャスト梁, 施工計画

1. 港湾へのCIM導入

CIMは、計画、調査、設計段階から3次元モデルを導入することにより、その後の施工、維持管理の各段階においても3次元モデルを連携・発展させて事業全体にわたる関係者間の情報共有を容易にし、一連の建設生産システムの効率化・高度化を図ることを目的としている。陸上工事では、橋梁工事などにおいて既に導入されており、合意形成の迅速化や施工計画・施工条件の確認等に効果があることが実証されている。港湾構造物においては、栈橋構造のように、複雑な構造となっていることを踏まえ、今回CIM活用の試行工事として取り組んだ。(図-1 参照)

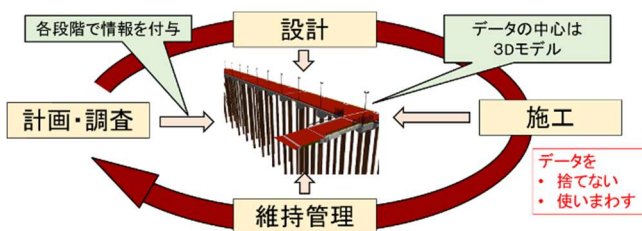


図-1 CIMの概念図

2. 施工場所の概要

今回事例紹介する現場は、舞鶴港第2ふ頭地区岸壁(10m)の改良等工事である。(図-2 参照)

工事内容は、老朽化したコンクリートウェル式の既存栈橋を撤去し、鋼管杭式の栈橋に改良するものである。上部工は杭頭と舗装コンクリートを除く他の部材がプレキャスト部材で構成されている。(図-3 参照)



図-2 施工位置図

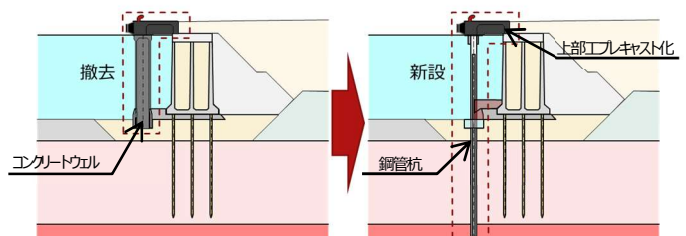


図-3 工事概要図

3. CIMモデルの作成

CIMモデルの作成に当たっては、事前測量は点群データが必要な箇所はハンディ型3Dスキャナによる測量を実施し、大まかな地形で十分な箇所は国土地理院の電子データを活用した。また、ドローンによる写真測量を実施し、それらのデータを元に3次元空間の統合モデルを構築した。(図-4、図-5 参照)

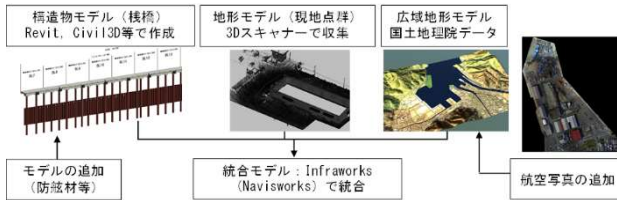


図-4 CIMデータの統合概念図

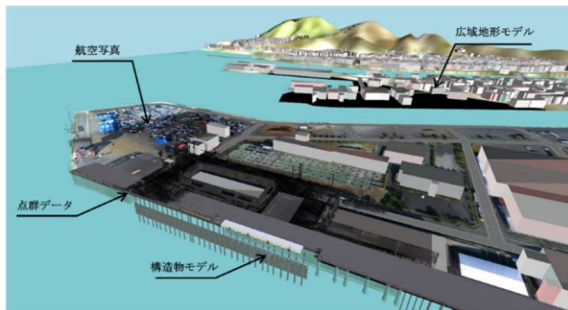


図-5 統合モデルの鳥観図

4. CIMモデル導入の効果

(1) 事前の施工検討

3次元モデルの各部材毎に、着手・完了の工期を加えたことにより時系列ごとの施工のシミュレーションが可能となった。工程毎に完成した構造物が表示されるため、そこに作業船や作業機械などを配置した施工ステップ図を作成した。(図-6 参照)

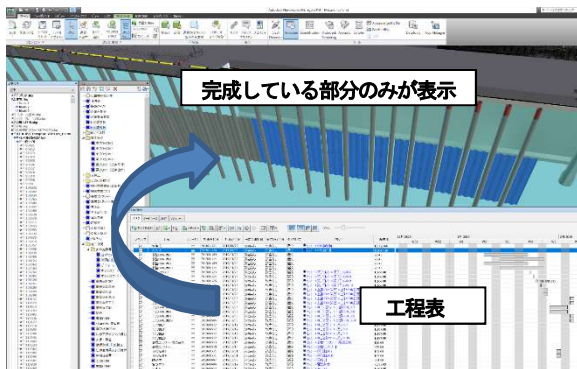


図-6 シミュレーション事例

a) 仮設構造物の検討

鋼管杭の打設に当たっては、精度確保のため導材を使用した打設が必要となるが、鋼管杭陸側には既存捨石マ

ウンドが張り出しているため、陸側の導杭を打設出来ない事が解った。そのため、既設岸壁天端面に水平導材を置き、沖側の導杭と連結して保持する構造とした。

しかし既設岸壁天端面に水平導材を置いた場合、導材の設置位置が高くなったため、パイプロハンマが導材に干渉する。(図-7 参照)

このためパイプロハンマと導材の干渉を避けるため、一段下の既設ケーソン上に水平導材を設置した。

(図-8 参照)

この様に仮設計画時には周辺状況や施工機械の詳細を考慮する必要があるが、従来の2次元による平面的な検討に比べて情報量が多い事と施工機械モデルを配置するだけであるため、検討時間の短縮が期待できる。

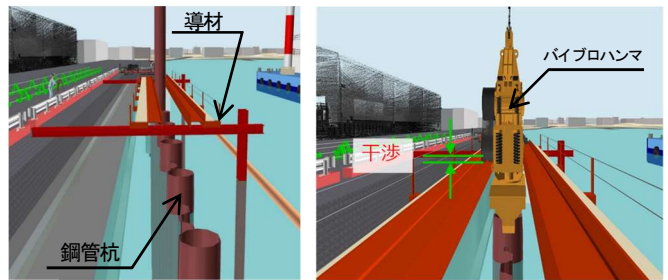


図-7 パイプロハンマと導材の干渉



図-8 対策及び現場での施工状況

b) 構造物の干渉検討

設計時において、CIMモデルの作成により、プレキャスト部材の張り出し筋と現場打ちコンクリート部分の配筋が干渉することが判明し、修正することが出来た。また、係船柱のアンカーが上部工の配筋と干渉しないか否かを容易にチェックすることができた。(図-9 参照)

対策として、法線平行方向鉄筋を下方に曲げ加工すると共に法線直角方向鉄筋を下方及び外側に曲げ加工した。(図-10 参照)

また張り出し鉄筋を同一位置に配置しないようにするため、法線直角方向にずらして重ね合わせ構造とする対策を事前に行った。(図-11 参照)

従来の2次元の図面では鉄筋は線で表現されるため、特に大きな鉄筋径では鉄筋の重なりによるあき不足が発生しやすい。また係船柱等の付属工は本体工と別図面で描画するため、干渉が見逃される事が多く、CIMによる構造物干渉検討に期待できる。

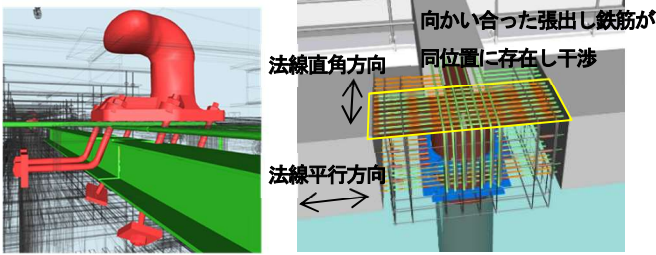


図-9 干渉チェック結果

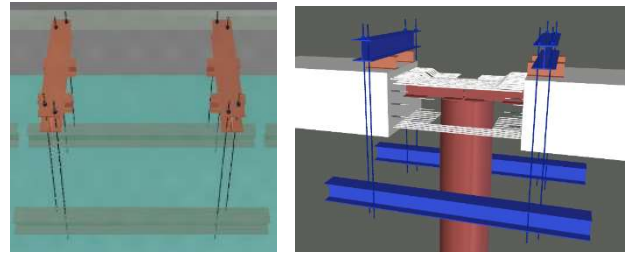


図-12 吊り下げ式支保工

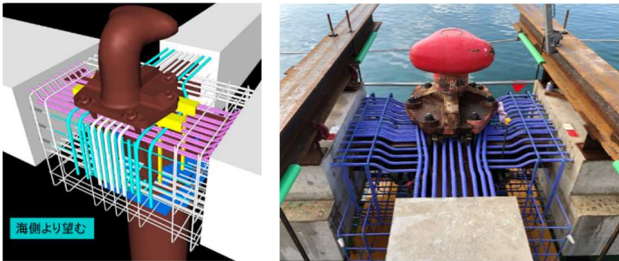


図-10 変更した配筋形状と施工状況

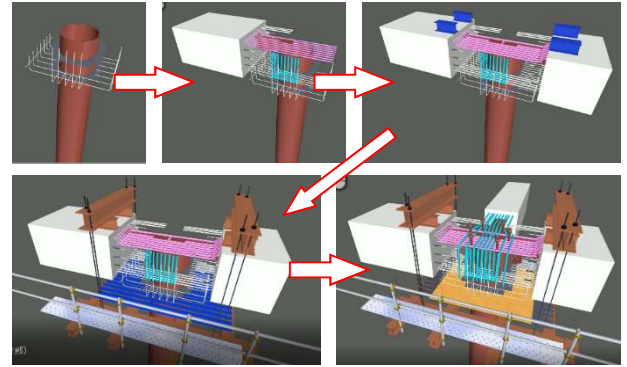


図-13 作業手順の可視化

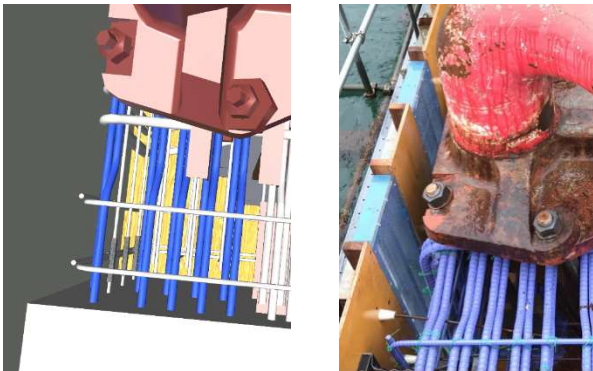


図-11 変更した鉄筋継手と施工状況

(3) 上部工現場打ち部の施工手順の検討

プレキャスト梁を用いた栈橋上部工の現場打ち部分の支保については、梁上に架設する吊り下げ式支保工による施工が必要であった。(図-12 参照)梁上に載せる吊桁から垂れ下がった吊りボルトに主桁を設置しようとすると潜水作業が必要になる上、海中において主桁にあけた穴に吊りボルトを通すことは主桁の動揺により困難であることから、陸上において吊桁と主桁を大組しておき、クレーンにてプレキャスト梁上に設置をすることとした。この方法によると、法線直角方向梁の設置後では大組支保工が設置できないため設置手順以下の通りとした。

- ① 法線平行方向梁ブロックの設置
- ② 大組の状態では支保工を設置
- ③ 法線直角方向梁ブロックの設置

以上の検討内容および設置手順をCIMモデルにより再現し問題ないことを確認し、現場における施工は滞りなく安全に実施することができた。(図-13 参照)

(2) 関係者への説明

今回工事を行う岸壁では、日常的に荷役作業が行われていることから、工事内容と工事による影響をCIMを用いて荷役作業関係者への説明を行った。説明ではCIMモデルを見ながら説明を聞くことができるようにするため、プロジェクターによって説明を行い、説明完了後にヒアリングを行った。岸壁利用する船舶は外国船が多いことから、貨物船に乗船している外国人への説明に活用すれば言葉が不要で理解が得やすいとの意見を得た。(図-14 参照)



図-14 地元企業への説明状況

(4) 安全対策の検討

a) 陸上での交通規制の検討

工事中の交通規制の検討を行う前に、障害となる可能性がある箇所の抽出を行った。検討は、プレキャストブロック運搬用トラックの走行範囲において、プレキャストブロック積載時の架空線との離隔確認及び交通規制区域で曲がる箇所での既存設置物(看板)との離隔確認を行った。検討の結果、架空線との離隔は地面から6.0m以上あることが解り、看板との離隔は内輪差を考慮しても

2.0m確保可能であることが解った。(図-15 参照)これにより現地での試験走行等の確認が不要になった。

またプレキャストブロック運搬用トラックの走行範囲は、荷役場所と隣接した範囲となっており、状況によっては複数台のトラック同士がすれ違う幅を確保することはできない状態であった。(図-16 参照)そのため、走行経路は一方通行とし、荷役作業に障害を生じず施工可能な運搬ルートを設定した。また、倉庫周辺は他の荷役用のトレーラー等も通行しており、交差点では接触する危険があることから一時停止とする規制を設けた。(図-17 参照)



図-15 架空線、既設看板との離隔確認



図-16 隣接倉庫での荷役作業状況

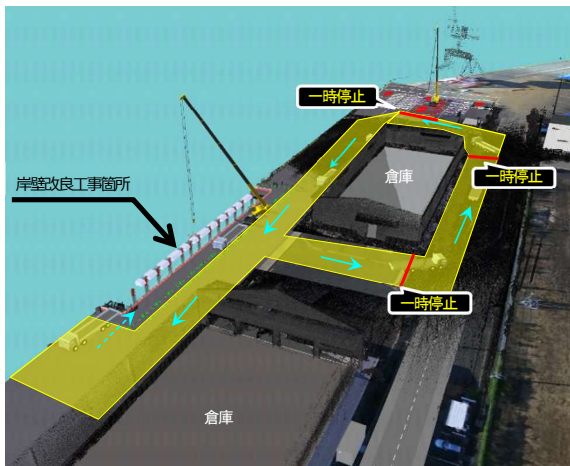


図-17 交通規制の検討結果

b) 海上での作業範囲の検討

鋼管杭打設時における海上部の占有範囲を検討した。対岸には海上保安部の巡視船(船長L=115m)が停泊している前提で、アンカーワイヤーによる船位固定とスパッドによる船位固定の場合の占有範囲を検討した。アンカーによる作業範囲では巡視船の航路幅が100mしか確保できず船長分を確保できなかった。(図-18 参照)

一方スパッドによる方法では140m確保でき、船長分を確保することができたためスパッド式杭打船を採用した。(図-19 参照)

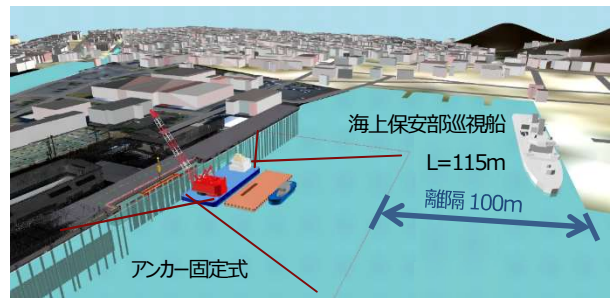


図-18 巡視船通航路に対する離隔検討(アンカー固定式)

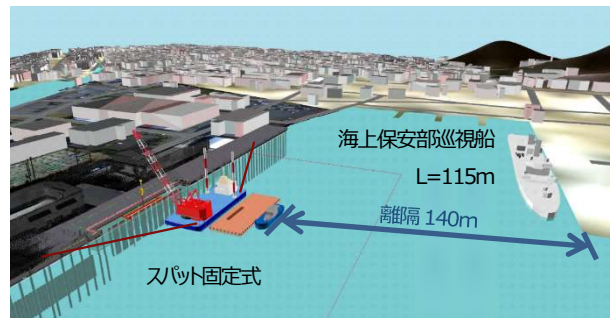


図-19 巡視船通航路に対する離隔検討(スパッド固定式)

(5) 施工管理への活用

a) 属性情報の付与

杭打設後の杭頭位置や高さなどの出来形及び鋼管杭のミルシートなどの品質管理記録等の属性情報をCIMへ付与した。(図-20 参照)上記作業を今回タブレットを使って現場ですべて行った。(図-21 参照)

現場で属性情報をCIMデータに入力することにより、事務所に帰ることなく現場で完結するため、事務所での新たな作業が必要なくなった。またタブレットにより現場で確認可能であるため、計測もれや登録ミス等を防止できた。またクラウドを使用する事により、現場事務所だけでなく支店や本社でも値が管理可能であり情報共有が可能となった。

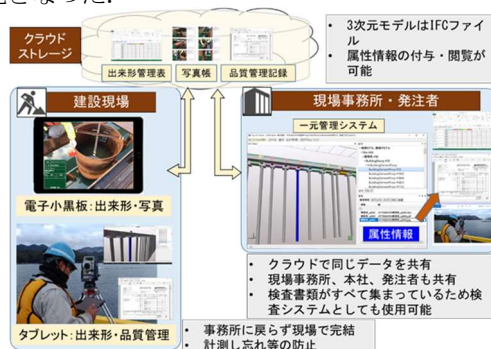


図-20 属性情報の CIM への反映概念図



図- 21 出来形, 品質管理の入力状況

5. CIMの応用

将来的にCIMを用いた出来形管理, 監督検査の試行として, 3次元レーザースキャナーで点群データを収集し, 岸壁法線の出入りや岸壁の標高を設計値や許容値と比較した。

(1) 出来形検査への応用

コンクリート天端面計測を行い, 得られた点群データの標高をヒートマップで表示して出来形検査が可能か試行検証した。(図-22 参照)

海側1m程度の範囲のコンクリート天端面の計測結果は, コンクリート天端面は緑色となっており規格値を満たしていることが分かった。上方の赤色部分は型枠, 中央の赤は係船柱, 小さな赤色点は車止めアンカーボルトを示している。(図-23 参照)

天端高の出来形検査については, ヒートマップで明瞭に表示されるため合否判定可能であることが解った。この出来形検査は, 従来の方法では一覧表, 出来形管理図の組み合わせで確認するのにに対し, 3次元スキャナーではヒートマップでの視覚的表現で位置情報を含んだものとなっており視覚的に解り易いものとなった。

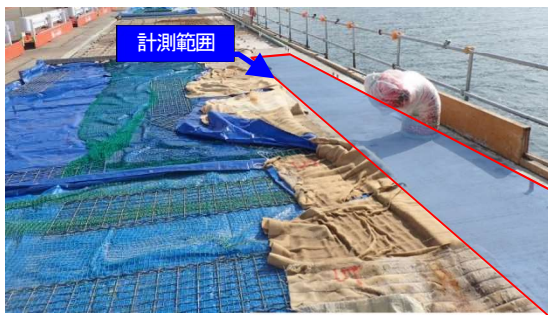


図- 22 天端高計測検証範囲

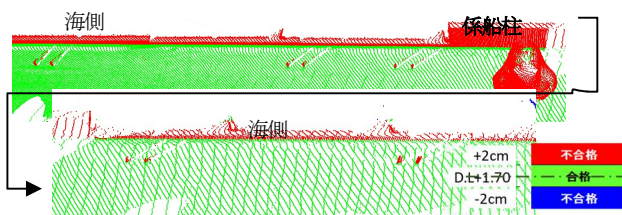


図- 23 岸壁天端高のヒートマップ

6. CIMモデル導入の課題

CIMモデル導入の課題として, 3次元の点群データを用いて出来形管理を行う際, ファイルサイズが非常に大きいこと, 法線の出入りに関して点群データから角となる部分が自動的に抽出できないため, 手動で設定する必要があるなどの課題が判明した。(図-24 参照)

CIMモデルの導入に当たっては, 3次元化する範囲, ドローンによる写真測量, 国土院の電子地図, 3Dスキャナーなど必要性及び効果の程度を十分に検討したうえで, 測量方法の選定や3次元化の範囲を決定することが重要である。

また, 測定距離を200m程度離して計測した際に形状を認識出来ないほど点群データ密度が粗くなってしまいうなど, 点群データの収集による法線出来形検査は現状では課題が残る。

また, 監督検査では, CIMモデルを活用した電子検査を実施することで, 業務効率化が期待できるが, 港湾工事共通仕様書を適用できないため, 出来形管理や検査用に使用できるよう, 3次元レーザースキャナーを用いた出来形管理要領等の策定が必要である。

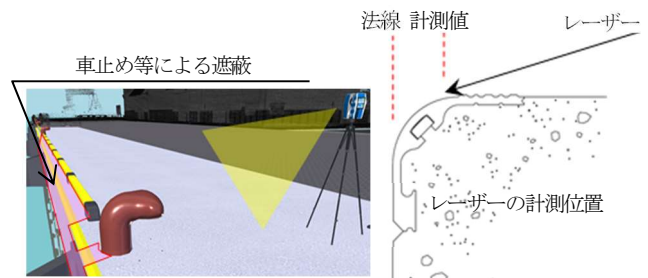


図- 24 岸壁端部におけるレーザー到達範囲

7. まとめ

今回の試行工事を行った結果から, 「施工計画の可視化」「各種協議における合意形成の迅速化」「受発注者のコミュニケーションの円滑化」等の効果があることが分かった。

また今回の試行工事は, 受発注者ともに初めての経験であったため, CIMモデルによる施工管理の経験がなく, 専門的内容を理解するには相当な時間を要することが分かった。今後, 多くの技術者がCIMを活用した設計・施工に取り組めるよう, 説明会・勉強会の開催など様々な方策を講じる必要がある。また, 測量データや配筋図とCIMモデルの連携による出来形管理手法など, 生産性向上に資する更なるシステム開発が求められる。

謝辞: 最後に, 本論文を執筆するうえで当工事の実施にあたりご協力をいただきました東洋建設株式会社様に対し厚く御礼を申し上げます。

タブレット端末を用いた 巡視支援システムの開発

春名 聡志¹

¹〇独立行政法人水資源機構 琵琶湖開発総合管理所 管理課

(〒520-0243滋賀県大津市堅田2-1-10)

琵琶湖開発総合管理所が維持管理すべき施設は広範囲に多数設置されており、施設の維持管理、用地管理を目的とした巡視で確認される異常は年間で300件を超える。経過観察も含めると1000件を超えるため、現状の把握が非常に困難であった。このため、既存の施設維持管理データベース（GIS）と連携し、異常情報が地図上でわかりやすく表示され、経過観察・処置済み等の情報も確認・編集が可能となる巡視支援システムを開発し、2018年度より運用を始めた。

本稿は、タブレット端末で実施する巡視内容及び、施設維持管理データベースでの異常情報の管理方法について報告するものである。

キーワード 維持管理，データベース（GIS），効率化，ICT，タブレット

1. はじめに

琵琶湖総合開発事業の一環として治水・利水・環境保全を中心とした琵琶湖開発事業を行い、琵琶湖開発総合管理所（以下「琵琶湖総管」という。）では、事業で整備した琵琶湖開発施設の操作や維持・修繕等の業務を行っている。琵琶湖開発施設は図-1に示すとおり、湖岸堤・管理用道路50.4kmや水門・樋門等158箇所が琵琶湖沿岸に点在している。

2. 巡視業務における課題

琵琶湖総管では、施設異常等の発見を目的とした巡視を職員のみでなく、外注による巡視業務を実施している。主に車両で湖岸堤・管理用道路を移動し水門等施設で目視確認を実施する車両巡視を200回/年程度、湖岸堤・管理用道路も含む全区間を徒歩による目視確認で実施する徒歩巡視を年間2回実施している。これら巡視により確認される施設異常や不法投棄等は毎年300件以上になり、1件ごとに状況写真、位置情報、異常内容、措置状況（処理済み・経過観察）等の情報を記録・整理・活用することに、これまで多大な時間と労力を要していた。

(1) 位置情報の把握

水門・樋門等で異常が確認された場合は、施設名で場所を把握することは可能だが、湖岸堤・管理用道路で頻りに確認される不法投棄は測点番号（例：No.14+20m付

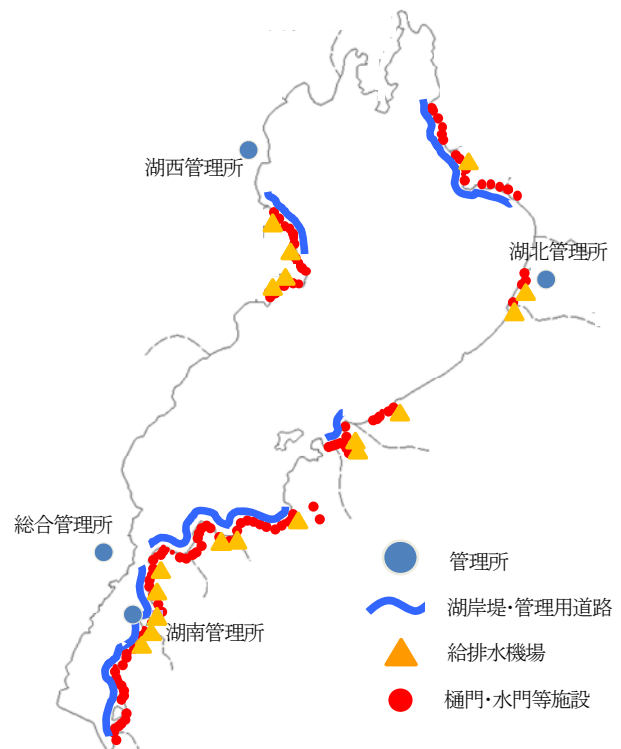


図-1 琵琶湖開発施設

近)を位置情報として記入しており、測点番号だけでは即座に場所を特定することは難しい。このため、現地確認をするには、まず、測点番号と図面からおよその位置を特定する作業が必要となる。また、確認された異常を地図データ上にプロットしているが、そのプロットされた異常の詳細を確認しようとする、別データから該当するデータを探す必要があり、異常データの面的な把握が煩雑となっていた。

(2) 異常データの一元管理

表計算ソフトにおいて、状況写真が添付された図-2のような写真帳データでは、不法投棄等の特定の分類で異常を抽出することが難しく、検索用に表-1に示す一覧表が別に必要となる。

例えば、草津地区で確認された不法投棄を整理しようとする、検索用表データにて「草津地区」、「不法投棄」の異常を抽出することとなる。しかし、抽出された異常の状況写真を確認しようとする、抽出データの日付より該当する写真帳から探さなければならない。テーマを持って異常データを整理するには、写真の整理に多くの時間を要することとなっていた。

さらに、各管理所職員、受注者等の巡視者の違いによる巡視結果のとりまとめ様式が異なり巡視データの連携・共有に問題が生じていた。

(3) 巡視支援システムの開発

これらの課題を解決するためには、状況写真等各種異常情報を関連付けたデータとしてデータベースで管理する必要があり、巡視完了後には速やかに情報共有することが望まれる。また、位置情報の把握についてはGPSの利用が考えられた。このため、従来はデジタルカメラと巡視記録簿で実施していた巡視を、タブレットを用いて写真及び内容(施設の損傷、不法投棄、不法占用等)の記録を行い、データベースへ登録することで、事務所の



工種	車両
番号	1
年月日	2018/4/16
管内	湖南管理所
地区名	草津地区
施設名	十二川樋門前浜
測点	
分類	ゴミ・投棄
状況	家具放置
報告	

図-2 写真帳

表-1 異常一覧

巡視方法	巡視日	地区名	市町名	施設名又は場所	分類	内容
車両	H30.4.16	草津地区	草津市	十二川樋門前浜	ゴミ・投棄	家具放置
車両	H30.4.19	近江八幡地区	近江八幡市	新堀第一樋管より南100m付近	ゴミ・投棄	ごみ袋放置
車両	H30.4.23	守山地区	草津市	赤野井排水機場	機器	1号主ポンプ盤「空気槽圧力低下」ランプ切れ
車両	H30.4.23	草津地区	草津市	新浜第2樋門前浜	ゴミ・投棄	ベニヤ板放置
車両	H30.4.23	草津地区	草津市	山田第2樋門左岸側	ゴミ・投棄	ネット放置

全職員が異常情報の閲覧・共有を迅速かつ容易にできる巡視支援システムを2017年度に開発した。

3. 既存データベースシステムとの連携

琵琶湖総管では、各施設のデータ閲覧のためのデータベースとして、既にGISを利用した施設維持管理データベースが整備されている。これは地図上に管理施設が表示される仕組みとなっており、巡視で確認した異常を表示することにも適している。

このデータベースでは地図から施設を検索したり、施設別の名称から検索したりすることが可能で、施設諸元、施設写真、施設図面、点検情報、関連する工事・業務の電子成果品等の閲覧を可能としている(図-3)。

また、事務所内での情報共有を目的としたデータベースのためアクアネット(社内ネットワーク)に接続されており、全職員が個人のPCよりブラウザソフトで閲覧可能となっている。巡視記録についても全職員が閲覧できる必要があり、各出先管理所の担当者については各異常の処置状況を編集する必要がある。

このため、施設維持管理データベースをタブレットで実施した巡視データの登録・閲覧が可能となるよう改造することとした。

4. 巡視支援システムの概要

本システムが対象とする車両巡視、徒歩巡視及び結果の閲覧方法について概要を述べる。なお、巡視に用いるタブレットは撮影箇所の位置情報が必要となることからGPS機能付きとした。

(1) 車両巡視

a) 定点写真ガイダンス機能

車両巡視は巡視車両にて湖岸堤・管理用道路を走行し、水門・樋門等の各施設の定点写真を撮影しながら、異常の有無を確認する巡視である。巡視する施設が多いため、湖北湖西ルートA・B、湖南ルートA・Bの4ルートの水曜日を除く平日に巡視することで全ての施設巡視が完了する。



図-3 施設維持管理データベース閲覧画面

巡視する施設や撮影するポイントが細かく決められているため、選択した巡視ルート毎に巡視ルートを案内し、撮影ポイントに到着したら、撮影すべき写真のサンプルが表示される(図-4)機能を取り入れた。なお、全ての撮影ポイントを完了せずに移動しようとすると、警告文により未撮影箇所のポイントが表示される。

b) 施設異常登録機能

巡視中に施設損傷や不法投棄等の不法行為があれば、その状況写真を撮影して異常を登録することとなる(図-5)。異常の写真撮影時にタブレットに内蔵のGPSから位置情報を取得して、その異常の発生場所として自動で登録される。さらに、現場での入力作業軽減のため、異常内容以外の施設名等についてはプルダウンリストからの選択を基本とし、選択肢の多い施設名称については、一文字目の入力で候補施設を絞り込める機能を取り入れた。

c) 帳票出力

車両巡視結果については、速報版としてのチェックリストと月報を出力することができるようにした。チェックリストには定点写真の撮影時間より各施設への到着時刻が記入され、異常が確認された場合にはリスト下段に場所、異常内容等が記入される。月報については1ヶ月

分の異常情報がとりまとめられ、これまでと同様の帳票(表-1, 図-2)が作成される。どちらの資料も巡視中に入力した情報を元に作成され、従前のような巡視後にデジタルカメラのデータと野帳を元に整理する必要はなく、整理に要する時間が大幅に軽減できるようになる。

(2) 徒歩巡視

a) 施設異常登録機能

徒歩巡視は車両巡視で確認できない詳細な巡視を2回/年(出水期前, 出水期後)、徒歩により実施する巡視である。車両巡視では異常の確認は0~2件/日程度であるが、徒歩巡視は新規異常と過去に確認された、経過観察等の未対応異常の更新を合わせると200件/日程度となる地区もあり、新規情報なのか更新情報なのかの判断が必要となる。今回のシステムでは巡視中の地区の未対応異常一覧が常時確認できるほか、新規異常の写真撮影時に取得した位置情報より現場付近にて過去に確認されている未対応異常をリストアップし、警告文が表示されることで、過去に確認された異常かどうか判断することができ(図-6)、重複登録を防止することを可能とした。

b) 要監視項目の設定

巡視において確認されたクラックや段差等について、直ちに補修するのではなく経過観察の判定をした場合、クラック幅や深さ、段差の高さ等を要監視項目として設定し、徒歩巡視にあわせて確認することができる。要監視項目の測定時には過去の測定結果を確認できるため、異常の進行状況を確認することができる。



図-4 定点撮影画面

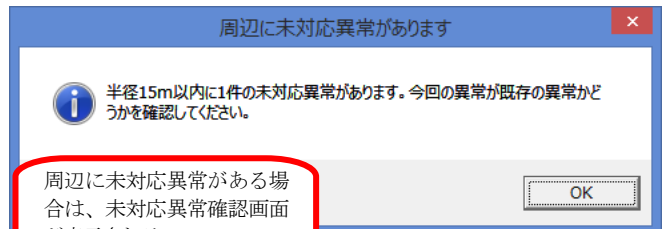


図-5 異常内容入力画面



図-6 未対応異常の確認画面

c) 帳票出力

徒歩巡視結果については各回の地区ごとに異常情報一覧と写真帳が作成される。車両巡視と同じく、巡視後にデジタルカメラのデータと野帳を元に整理する作業は発生しない。

(3) 巡視結果の閲覧（施設維持管理データベース）

a) 地図検索

確認された異常は、地図上に項目毎に異なるアイコンで表示され、任意に指定した範囲に含まれる異常を一覧表示することが可能で、個別に詳細を確認することができる（図-7）。これまでは経過観察案件であっても過去データとの関連付けがなかったため、過去の写真を探すために時間を要したが、詳細画面にて過去写真が確認でき経過を容易に把握することができる。また、異常箇所の位置情報を利用してGoogleマップを自動起動させ、ストリートビューにより周辺状況を確認することもできる。

b) 項目検索

巡視方法や巡視時期、施設名称等で検索することができる。条件に合致した異常は地図検索と同様に詳細データや周辺状況を確認することができる。

c) 異常内容の編集

確認された異常については、各出先管理所の担当職員が現地確認等を行い、各自のパソコンから施設維持管理データベースへ接続し、編集者用のパスワードにてログ

インした上で、補修完了、経過観察等の処置状況の入力・編集や状況写真の追加登録をする。なお、編集者用パスワードについては例えば、湖北管理所のパスワードで編集できる内容は湖北管理所管内の異常のみとしている。

5. 導入効果

過去2年分（2016、2017年度）の巡視結果を施設維持管理データベースへ登録し、2018年度より巡視支援システムによる巡視を開始している。とりまとめ作業においては自動化が図られており、特に徒歩巡視は巡視完了から資料整理に時間を要していたが、現在は巡視完了とともに閲覧可能となり情報共有の迅速化が図られている。資料整理に係る作業時間は従前の約1/10に短縮された。また、従来は職員による直営巡視と外注による巡視結果の共有や連携が無かったが、このシステムにより一元化された。

結果の閲覧については、検索機能や地図上への表示機能により利便性が向上し、確認された異常を元に維持管理工事での早期対応や次年度の実施範囲・内容の検討に活用されており、システム導入前に比べ確実に巡視結果の利用頻度が向上している。また、未対応異常のみの検索も可能で処置を失念することもなくなった。

6. まとめ（巡視結果の利活用）

異常データを一元管理し、様々な項目で検索できるようになったことで、巡視結果の利用範囲が広がった。

湖南管理所では不法投棄が多発する場所へ2017年1月に監視カメラを設置し、成果を上げている。琵琶湖沿岸に点在する全施設に監視カメラを設置することは困難であり、本システムにより巡視結果を十分に活用し最適な場所の検討が可能と思われる。

また、定期的実施している水門・樋門等の詳細点検において、施設の機能に影響をもたらすような重大なクラック等は確認されていないが、多くの施設でクラック等が確認されている。適宜クラック補修工事を実施しているが、クラック補修箇所の補修効果の確認や未補修クラックの経過観察による最適な補修計画立案のため、要監視項目を設定し徒歩巡視に合わせて確認を実施している。

巡視支援システムは運用を開始して1年が経過したところである。今後も新たな利用方法を検討し、最適な維持管理に努めたい。



図-7 異常発見箇所の地図表示

ICT土工の取組みと効果について

大地 洋平

兵庫県 神戸県民センター 神戸土木事務所 河川課 (〒653-0055神戸市長田区浪松町3-2-5)

現在、建設現場では技能労働者の高齢化が進んでおり、建設現場の生産性の向上が喫緊の課題となっている。本県においても、今後の労働力不足に対応するため、建設現場の生産性の向上を図るi-Constructionの取組みのうちICT土工を積極的に推進している。

本稿では、ICT土工に取り組んだ工事を対象に行った効果検証結果について述べる。効果検証の結果、ICT土工を活用することで①人工の削減、②施工日数の短縮、③施工精度の向上等の効果が得られる一方、①効果的なICT活用計画の立案、②工事内で実施している3次元設計データの作成に課題があることが明らかとなった。

キーワード i-Construction, ICT土工, 効果検証

1. はじめに

現在、建設現場の技能労働者の高齢化が深刻な課題となっている。今後の労働力不足等に対応するため、国土交通省では建設現場の生産性向上を図る i-Construction の3つの施策として「ICT の全面的な活用」「規格の標準化」「施工時期の平準化」を推進している。

本県では、2017年(平成29年度)より i-Construction の「ICT の全面的な活用」として、土工工事の掘削や法面整形に ICT の活用を図る ICT 土工に取り組んでおり、本稿では、ICT 土工に取り組んだ工事を対象に行った効果検証結果について述べる。

2. ICT土工の概要

(1) ICT土工の取組み

2016年(平成28年度)に国土交通省で建設現場の生産性向上を図るi-Constructionの施策が開始されたことを受けて、本県においてもi-Constructionの施策を積極的に推進するため、2017年(平成29年度)に「県土整備部発注工事におけるICT活用工事の試行方針」と「ICT土工の試行要領」を策定した。土工量1,000m³以上の工事を対象に県下の幅広い工事でICTの活用を検討できるよう受注者希望型(契約後に受注者からの提案によりICTを活用できる方式)と、大規模な土工工事で積極的にICTを活用させるよう発注者指定型(ICTの活用を前提に発注する方式)の2種類の発注方式を導入し、インセンティブとし

てICT土工を実施した場合に工事成績で2点の加点を行うこととした。

(2) ICT土工の定義

本県では、UAVやTLSにより面的に起工測量し、3次元設計データ等を建設機械に取込むことで自動制御・半自動制御による施工を行い、再びUAV等により面的に出来形の検査を行う、3次元データを起工測量から検査まで一連を通して活用することで生産性の向上を図る工事をICT土工という。

3. ICT土工の効果と課題

ICT土工の効果を検証するため、①従来の建設機械とICT建設機械の施工精度や施工時間の比較((1)参照)を行う。また、②大規模土工や小規模土工における従来施工とICT施工の作業日数、のべ作業工数、コストについても比較((2)(3)参照)を行う。

(1) 法面整形における施工精度と施工時間の比較

a) 検証条件

- ・作業内容 法面整形(切土)
- ・施工数量 約20m²(延長5m×法長4m程度)
- ・使用機械 マシンガイダンスバックホウ
- ・出来形計測機器 トータルステーション(ノンプリ)

b) 法面整形における施工精度の比較

従来の建設機械とICT建設機械の法面整形(約20m²)に

おける施工精度の比較を図-1に示す。従来の建設機械の標準偏差は約0.020, ICT建設機械の標準偏差は約0.017とICT建設機械による施工の方が若干ではあるが精度は良いことがわかる。一般的に施工精度は、オペレータの熟練度に左右されることが多く、熟練のオペレータほど高精度の施工が可能となる。今回の精度検証は、熟練のオペレータであったため、従来の建設機械においても高精度で施工が行えたと考えられる。



図-1 法面整形における施工精度

c) 法面整形における施工時間の比較

従来の建設機械とICT建設機械の法面整形(約20m²)における施工時間の比較を図-2に示す。従来の建設機械では34分, ICT建設機械では27分と7分短縮している。施工時間も施工精度同様、オペレータの熟練度により時間は左右される。今回は熟練オペレータであり、法面整形に要する施工時間は概ね同程度であったが、ICT建設機械の場合、丁張の設置時間や降車しての状況確認に要する時間が不要であるため、作業全体では52分短縮できた。このことから、機械施工時間以外の要因も含めると、ICT建設機械の方が施工時間を短縮することができると考えられる。

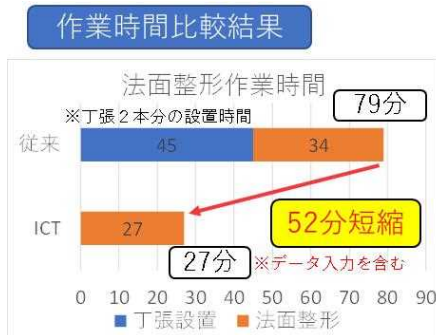


図-2 法面整形における施工時間

(2) 大規模土工における作業日数、のべ作業工数、コストの比較

a) 検証条件

- ・作業内容 法面整形(切土)
- ・施工数量 約5,000m²

- ・使用機械 測量：無人航空機(UAV)
施工：マシンガイダンスバックホウ
- ・検証現場 図-3参照

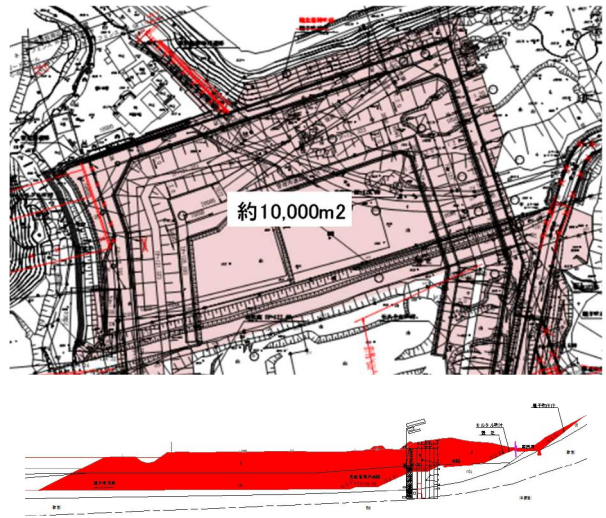


図-3 検証現場(大規模土工)

本検証現場では、掘削(約67,000m³)と法面整形(約5,000m²)にICT建設機械を活用することが可能であったが、土砂受入先の搬出土量に制限があり、掘削段階からICT建設機械を導入した場合、掘削の作業効率が上がったとしてもダンプトラックの運搬がボトルネックとなり、作業サイクル全体の効率化には繋がらない。そこで本現場では、受発注者間で協議し、掘削は通常の建設機械で施工を行い、法面整形のみにICT建設機械を活用することとした。

b) 作業日数、のべ作業工数の比較

作業日数の比較を図-4に示す。作業日数は、従来施工では63日, ICT施工で52日と11日短縮することができた。また、のべ作業工数の比較を図-5に示す。

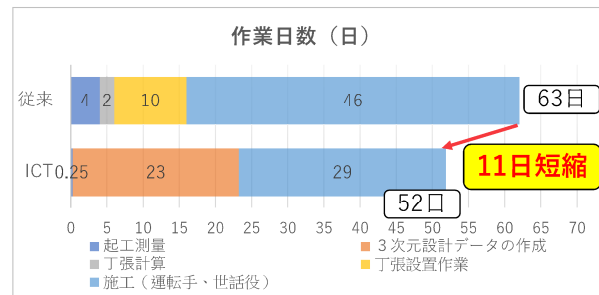


図-4 作業日数の比較(大規模土工)

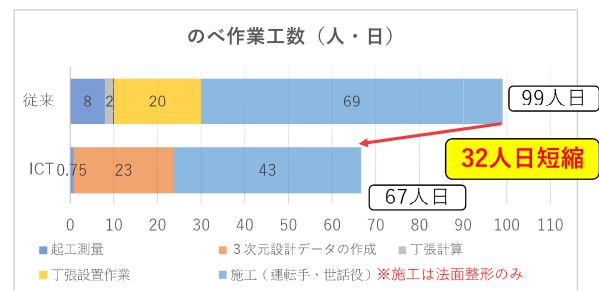


図-5 のべ作業工数の比較(大規模土工)

のべ作業工数は、従来施工では99人日、ICT施工で67人日と32人日削減することができた。ICT施工では、特に施工において作業の効率化が図れている。また、起工測量においても、従来の人力による測量と異なり、UAV等を用いることで広範囲を面的に測量でき、作業時間が大幅に短縮できている。

一方、従来の丁張計算に相当する3次元設計データの作成に大幅な時間がかかっていることがわかる。これは3次元設計データの作成を外注したことが原因と考えられ、3次元設計データの作成を自社で取り組んだ場合、回数を重ねていくと作業時間も短縮できると考えられる。また、3次元設計データは本来、発注者が提供するべきであるが、発注者側の環境整備が整っていないことから、当面の間、工事内で実施することとしている。よって、今後、3次元設計データを自社で作成する、もしくは、発注者が3次元設計データを提供するようになれば、更なる生産性の向上が期待できる。

c) コストの比較

コストの比較を図-6に示す。従来施工を100%とした場合、ICT施工は約3%削減と大きな効果は見られなかった。これは、施工費のみを比較すると約20%削減されていることから、残りの起工測量と3次元設計データの作成に係る外注費が大きく影響していると考えられる。今後、ICT建設機械のリース料金が下がっていくことが予想されることから、施工費は更なる削減が期待できる。

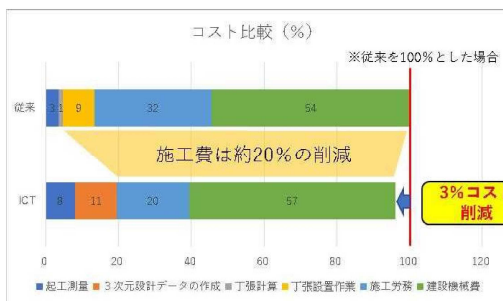


図-6 コストの比較 (大規模土工)

d) 受注者への聞き取り調査

受注者への聞き取り調査を行ったところ、「施工の人工を大幅に削減できた」「3次元設計データは丁張計算が不要になるので便利」といった肯定的な意見が得られた。一方、「3次元設計データ作成を外注している期間が待ち時間となった」といった意見もあり、従来施工にはなかった作業への不安や3次元設計データ作成の外注期間も拘束されることを負担に感じていると考えられる。

(3) 小規模土工(河床掘削工事)における作業日数, のべ作業工数, コストの比較

a) 検証条件

- 作業内容 掘削
- 施工数量 約4,700m³
- 使用機械 測量：無人航空機(UAV)
施工：マシンガイダンスバックホウ
- 検証現場 図-7参照

b) のべ作業工数の比較

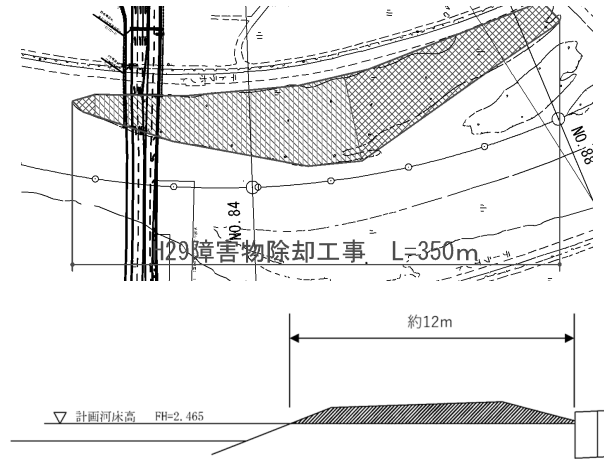


図-7 検証現場 (小規模土工)

のべ作業工数の比較を図-8に示す。従来施工では118人日、ICT施工で72人日と46人日削減することができた。大規模土工と同様にICT施工では、特に施工において作業の効率化が図られている。一方、3次元設計データの作成(従来施工では丁張計算)において、従来施工よりもICT施工の方が人工は増加している。



図-8 のべ作業工数の比較 (小規模土工)

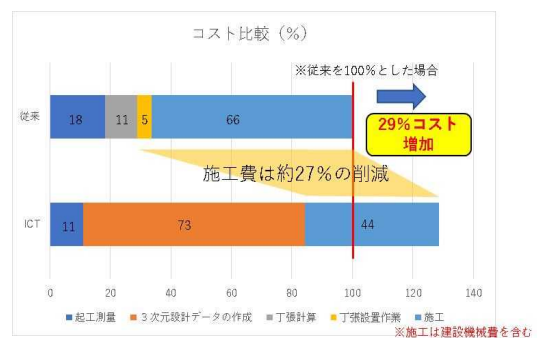


図-9 コストの比較 (小規模土工)

これは、本現場は複雑ではない（管理断面が少ない）河床掘削工事であり、従来施工においてもデータの確認等に時間を要さないため、3次元設計データを作成する方がより手間がかかったと考えられる。

c) コストの比較

コストの比較を図-9に示す。従来施工を100%とした場合、ICT施工は約29%増加している。施工費のみを比較すると約27%の削減されていること、のべ作業工数は従来施工よりICT施工の方が約40%の削減できていること（図-8参照）から、コストの増加は3次元設計データの作成にかかる外注費が大きく影響している。

河床掘削工事では管理断面が少ないことから、従来手法と比べて、3次元設計データを作成する方がより手間がかかったため、全体のコスト増に繋がったと考えられる。このことから、河床掘削工事ような管理断面の少ない工事では、施工のみ（起工測量や出来形計測は従来手法）にICTを活用する方が良いと考えられる。

4. まとめ

(1) ICT土工の効果

土工工事の掘削や法面整形にICTを活用することにより、各施工プロセスにおいて従来施工に比べ、作業日数の短縮や人工を削減することができる。さらに、法面整形の場合、作業員が法面で合図等を行うことになるため、滑落や重機との接触などの事故が発生する恐れがあるが、ICTを活用すれば作業員が削減できるため事故発生のリスクも少なくなる。このようなことから、ICTを活用することで、建設現場の抱える「労働力不足」や「労働災害」等に対応する1つの手段になると考えられる。

しかし、UAV等の測量機器や編集ソフトは高価であり、ICT建設機械のリース料も高価であることから、闇雲にICTを導入すべきではない。ICTを効果的に活用するためには、施工前の導入計画が重要になる。作業サイクル全体で効率化を図る（生産性を向上させる）ため、作業サイクル全体の中で変化させられないボトルネックを考え、最小の機械と労務で実行できるようICTの導入を検討する必要がある。

また、小規模土工工事（河床掘削工事等）のように元々の起工測量等に手間（時間）がかからない場合、ICTを起工測量から検査まで一連で活用することで作業サイクル全体の効率を悪くするおそれがあるため、施工のみにICTを活用する等、部分的な活用も必要になる。

ICTを利用することが目的にならないよう、ICTをツールとして捉え、作業サイクル全体の効率化を図る（生産性を向上させる）ことが重要であると考えられる。

(2) 今後の課題

今後の課題として、①効果的なICT活用計画の立案、②工事内で実施している3次元設計データの作成が挙げられる。

a) 効果的なICT活用計画の立案

前節でも述べたようにICTの闇雲な導入は得策ではない。本県でも少しずつICT土工に取り組んだことのある施工業者が増えてきているが、全体の施工業者数から見ると非常に少ない。これは、従来施工にはなかった作業への不安やコスト面の不安が原因であると考えられる。今後、県内企業にICTを普及させるには、発注者（監督員）の受注者へのバックアップも必要と考えられる。具体的には、効果的なICT活用計画の事例や効果的でなかった事例などの収集し、講習会等を実施することで、受注者のICTへの不安を払拭する（ハードルを下げる）ことが重要であると思う。

b) 3次元設計データの作成

3次元設計データのコストが高い傾向にある。3次元設計データのコストが高い原因の1つに3次元設計データ作成を外注していることが考えられる。3次元設計データを内製化することにインセンティブを与える等、3次元設計データ作成を外注から内製化させることでコストが低減できると考えられる。また、3次元設計データの作成は、従来施工にはなかった作業であり、受注者の負担となっていると推察されるため、工事内で実施している3次元設計データの作成を今後、発注者が提供していくことも必要があると考えられる。

謝辞：ICT土工の効果検証にあたり、現場での試験施工・アンケート等にご協力いただきましたご担当者の皆様に深く感謝いたします。また、一般社団法人日本建設機械施工協会施工技術総合研究所のご担当者の皆様には、本効果検証にあたり、きめ細かい助言をいただく等、大変お世話になりましたこと、この場をお借りして深く感謝いたします。

※本稿は、従前の所属（県土整備部県土企画局技術企画課）における業務内容・成果についてとりまとめたものである。

平成31年度近畿地方整備局研究発表会 付替県道8号橋工事における 生産性向上に関する取り組み

小林 学¹・石田 靖²

¹鉄建建設株式会社 大阪支店福井PC作業所 監理技術者 (〒910-2556福井県今立郡池田町松ヶ谷33-1-1)

²鉄建建設株式会社 土木本部i-Con推進部 部長 (〒101-8366東京都千代田区神田三崎町2-5-3)

本報告は、付替県道8号橋工事を施工にあたり、当社が取り組んだICT技術の活用による生産性向上に関する取り組みについての概要を報告するものである。工事概要としては、橋梁下部工は、橋脚2基、橋台2基を施工する。上部工は、PC3径間連続箱桁橋L=152mを張出架設工法にて施工する。

また、地域条件により、12月中旬から3月下旬までの3ヶ月間は、冬季休止期間となる。

キーワード 業務効率化, タブレット端末, 3D測量, CIMモデル, 鉄筋組立ガイダンスシステム

1. はじめに

本工事は、足羽川ダム建設事業による河川整備計画の一環で一般県道34号の付替工事を福井県今立郡池田町千代谷地先において橋梁の上下部工事を行うものである。

橋脚基礎掘削部は、急斜面であるため竹割り型土留め工法が採用されている。

上部工は、移動作業車を用いた片持ち張出架設工法で行う。

施工箇所の気象概要は、日本海側気候で、全国的にみて多雨多雪地帯に属する。冬は、ほとんど北西の季節風に支配され、シベリアの寒気の吹き出しによりたびたび大雪となる。そのため12月中旬から3月中旬までの3ヶ月間は、冬季休止期間という施工条件であった。



図-1 施工位置図

2. 工事概要

工事名：付替県道8号橋工事

発注者：国道交通省近畿地方整備局足羽川ダム工事事務所

施工者：鉄建建設(株)

施工場所：福井県今立郡池田町千代谷地先

工期：2017年1月24日～2020年1月31日

工事内容：工区延長：約180m

橋長：152m

橋台：2基

橋台基礎形式：深礎杭

Φ2.0m、L=8.0m(A1)

Φ2.0m、L=4.0～5.5m(A2)

橋脚：2基

橋脚基礎形式：大口径深礎杭

Φ8.0m、L=11.5m(P1)

Φ8.0m、L=17.5m(P2)

構造形式：PC2径間連続箱桁橋

支間割：40.65m+68.0m+40.65m

全幅員：7.7m

有効幅員：6.5m

横断勾配：1.5～3.0%

縦断勾配：2.899～3.200%

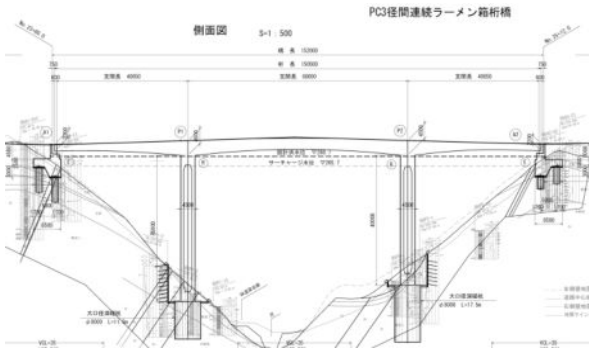


図-1 橋梁一般図

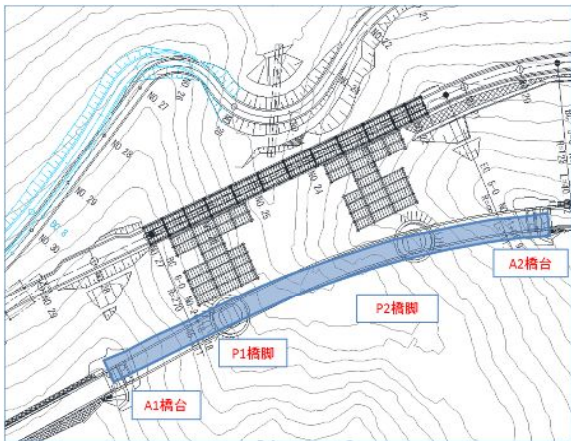


図-2 全体平面図

3. ICT活用による施工管理業務の効率化

(1)土木施工管理システムの導入

工事に必要な測量計算、CAD、出来形・写真・品質管理、電子納品等をパッケージにした施工管理ソフトを導入することで書類作成に係る業務の効率化を実施している。また、このソフトは「電子小黑板」と連携しており、現場で撮影した写真データは、自動的に構造物、工種・項目毎に振り分けられるため、写真整理の時間を大幅に短縮している。現場においても、黒板を持つ人員を削減できることは、大いに役立っている。

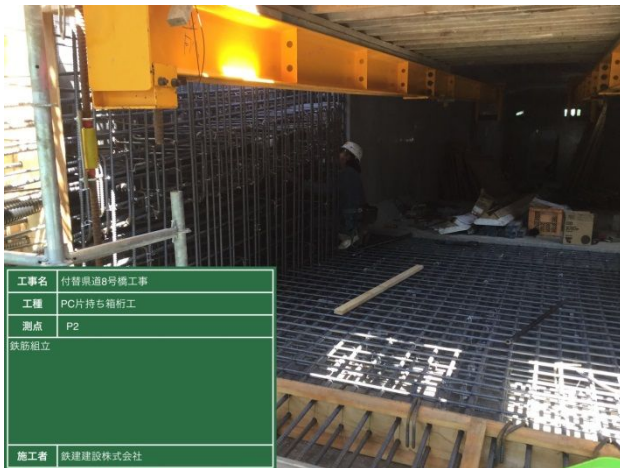


写真-1 電子小黑板使用状況

(2)タブレット端末の活用

従来の紙(図面、調書等)や野帳を用いた**施工管理**に変わり、タブレット端末の**施工管理アプリ**(電子ノート、電子帳票)を活用した**施工管理**へシフトしている。

これにより、帳票転記ミスの防止、重複作業の削減、数量計算・出面集計等の機能を使い**業務効率化**を行っている。これらの情報は、クラウドを利用し共有することで、社員や作業員との双方向での**情報共有**が可能である。



図-3 クラウドを利用した情報共有イメージ



写真-2 施工管理状況

4. ICT活用による施工計画

(1)工事用道路の施工計画について

当初設計では、A2橋台の構造物床掘りは、仮栈橋からモノレールを設置し、小型バックホウを運搬し掘削を行う計画であった。工程は、モノレール設置から掘削完了までおよそ3ヶ月を予定していた。

北陸新幹線工事に起因した労働者や重機械の不足による工程遅延が予想されたことから、施工方法の効率化による工期短縮が求められた。

そこで、A2橋台床掘りまでの動線を大型バックホウを使用できる工事用道路に変更することとし、工事用道路掘削から床掘りまででおよそ1.5ヶ月の工期短縮を達成した(図-3)。

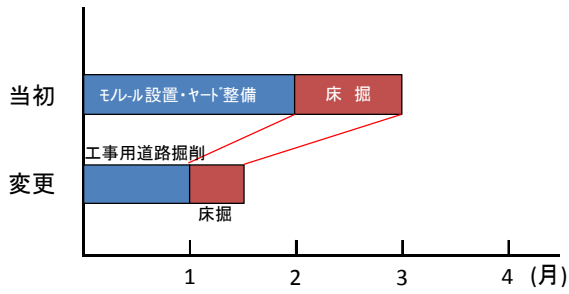


図-3 床掘り工程比較図

また、工事用道路を施工するに当たり、現況地盤の3D測量を実施した。3D測量にて得られたデータから3D CADモデルにより、工事用道路の線形を複数案作成し、最も切盛土量が最小となるよう最適化を図った。

3D測量から3Dモデルを作成することで実際の施工にあたっては、土量計算、丁張設置などの業務が容易となった。

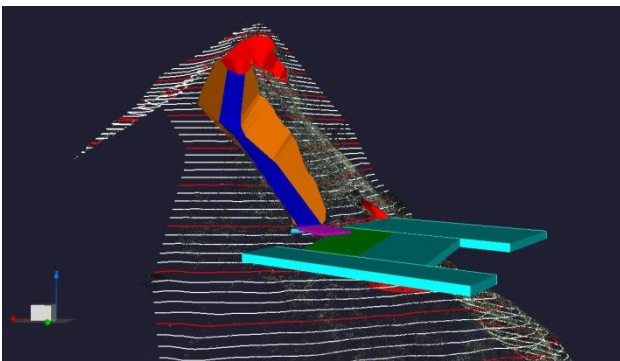


図-4 パイロット道路3D計画モデル

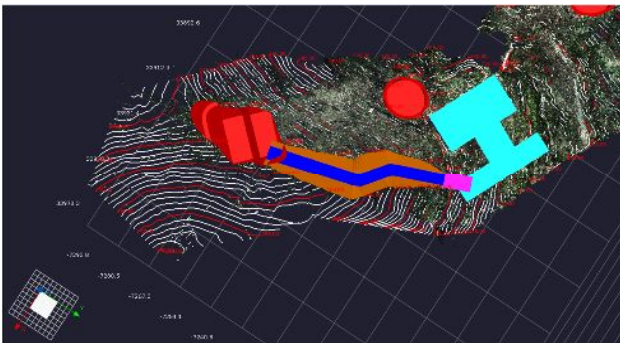


図-5 パイロット道路3D計画モデル



写真-3 TS測量状況

(2) 橋脚工における施工ステップモデル作成

橋脚工の施工にあたっては、3D CADモデルにより施工ステップモデルを作成した。

これは、目的物の完成に至るまでの過程を可視化することで、若年層の職員を含めた作業所全体で、理解度を高めるとともに、作業員等に対するコミュニケーションのツールとして活用することが目的である。

最終的にこれらのモデルは、コンクリート打設ごとの品質・出来形等の属性を持たせることで、出来形検査での活用や、維持管理への引継ぎデータにも転用可能である。

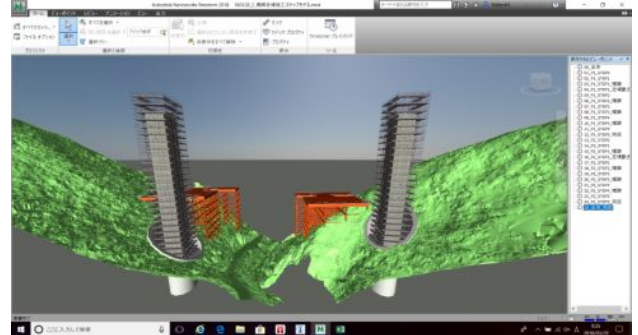


図-6 施工ステップモデル図 (全体)

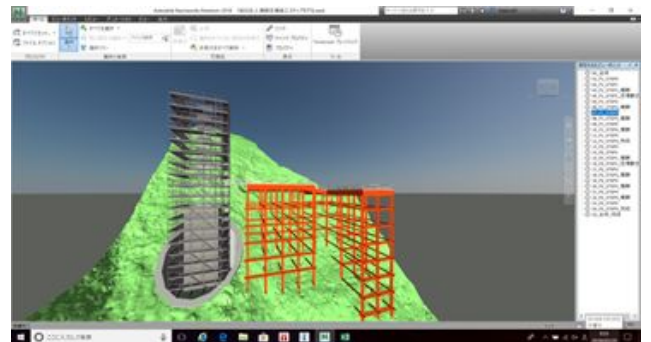


図-7 施工ステップ図 (P1橋脚)

(3) CIMモデル作成

品質・出来形等の属性情報を付与する構造物3Dモデルとして、上部工のモデルも作成した。

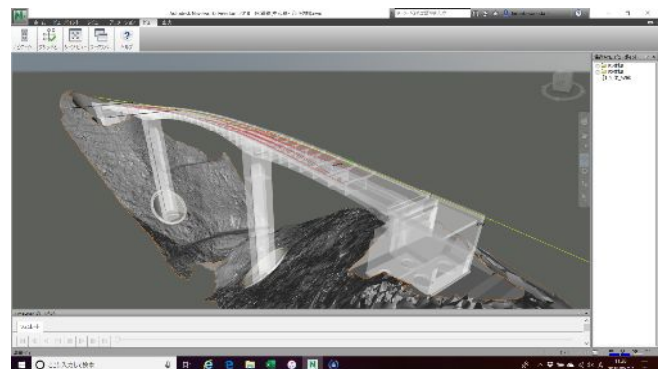


図-8 橋梁モデル図

橋梁については、i-Bridgeに対応するべく、当社オリジナルの上越管理システムと現場実測値とリアルタイムで観測できるシステム開発を急ピッチで進めている。

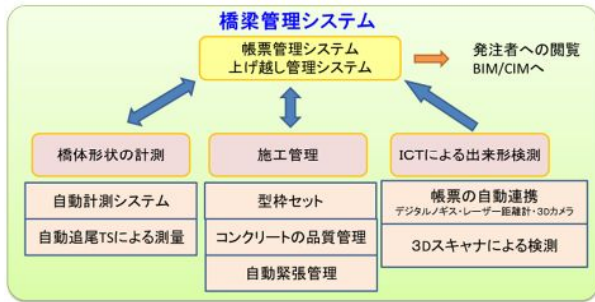


図-9 鉄建オリジナル橋梁管理システム概要

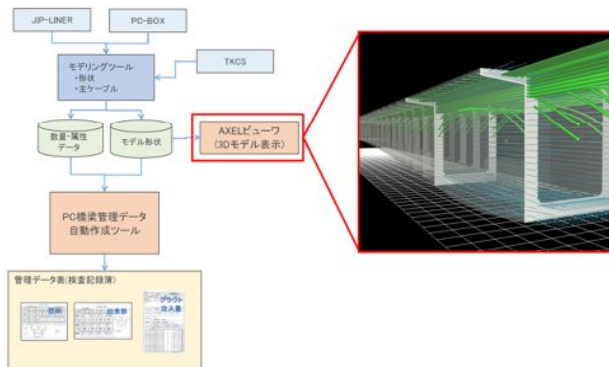


図-10 3Dモデルから出来形検査簿を自動作成

A		B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y
1																									
2																									
3																									
4																									
5																									
6																									
7																									
8																									
9																									
10																									
11																									
12																									
13																									
14																									
15																									
16																									
17																									
18																									
19																									
20																									
21																									
22																									
23																									
24																									
25																									
26																									
27																									
28																									
29																									
30																									
31																									
32																									
33																									
34																									
35																									
36																									
37																									
38																									
39																									
40																									
41																									
42																									
43																									
44																									
45																									
46																									
47																									
48																									
49																									
50																									
51																									
52																									
53																									
54																									
55																									
56																									
57																									
58																									
59																									
60																									

図-11 コンクリート出来形検査簿出力画像

(4) 鉄筋組立ガイダンスシステムの試行

PCラーメン橋の柱頭部では、上部工の主桁・横桁鉄筋、PC鋼材に加え、橋脚から定着する太径の主筋・帯鉄筋が配置される。これらの設計図面は、別々で作成されているため、以下に示すトラブルが予想された。

- 鋼材同士が干渉し、配置できない。
- 事前に配筋手順を綿密に検討しなければ、後に挿入できない鉄筋が発生する。
- コンクリートを充填するための「あき」が確保できない。

これらのトラブルを解消するには、事前に検討・改善することが重要であるため、3次元CADモデルを構築するとともに、組立順序を3D動画でモニタリングできる「鉄筋組立ガイダンスシステム」を制作した。これにより、職員ならびに作業従事者と共有することで、品質トラブルの防止や施工の手戻り削減に有効性を発揮した。

本システムを活用することにより、熟練技術者の高齢化や人手不足に起因する未経験者による配筋手順をデータベース化することで、システムの技術レベルを高め、将来的にはAIによる配筋手順の自動ガイダンス機能を構築することも目的のひとつである。実際の配筋結果によるトレースを行うことで、施工履歴データとして、維持管理に活用可能である。

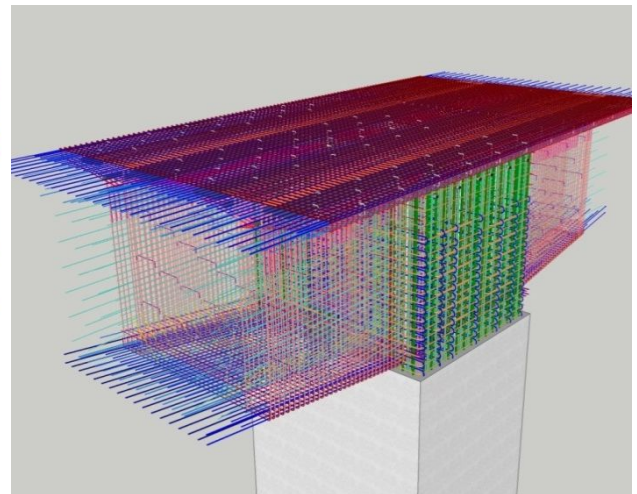


図-12 鉄筋組立ガイダンス

5. おわりに

弊社は、i-Construction推進コンソーシアムが示している「2025年までに建設現場の生産性2割向上を目指す」ロードマップを達成すべくICTの活用推進を図っている。

近年中に、調査・測量・設計の資料は、3Dデータとして我々施工者へ引き渡されることが標準となる。その際受領した3Dデータをどれだけ有効に活用できるかによって、施工時の省力化、効率化は、差が生じるものと思われる。そのため、弊社では2017年度から現場を選定し、自ら3D測量を行い、3D CADモデルを作成し、施工計画の深度化を図っている。新規現場では、率先して導入し、社員や協力会社等の多く工事関係者に活用していくことで、より利用の高度化を図ることができる。

今後は、施工者側の品質・出来形検査業務をICTの導入を拡大させるためには、監督員の検査業務と連携させることが必須であり、そのための基準類の改定が必要である。また、国交省が主導する建設業の生産性革命をチャンスと捕らえた異業種が多種多様な開発をしているが、われわれ中堅ゼネコンは効果を実感しやすい部分から導入を進め、成功体験を積み上げながら社内のICT施工を進めることも肝要だと考える。

多機能センサを活用した現場打ち コンクリート工の施工・品質管理の見える化

横山 大輝¹・佐野 健彦²

¹日本国土開発株式会社 西日本土木事業部 土木部 (〒532-0011 大阪府大阪市淀川区西中島5-5-15)

²日本国土開発株式会社 土木事業本部 技術部 (〒107-8466 東京都港区赤坂4-9-9)

本稿では、ICTの活用によるコンクリート打設時の充填状況と締固め状況および、打設後の強度発現状況の見える化を検討した現場実証実験について述べる。実験の結果、型枠に複数個の多機能センサを配置して、そこから得られる各種情報に基づいて上記各状況が把握できること、およびその状況をリアルタイムで図化するシステムの適用性を確認し、現場打ちコンクリート工の施工・品質管理の見える化実現の可能性を示した。

キーワード ICT, 現場打ちコンクリート工, 充填状況, 締固め状況, 見える化

1. はじめに

国土交通省は、ICTの活用などにより建設工事の生産性向上を目指すi-Constructionを推進している。コンクリート工事の分野では、コンクリート生産性向上検討協議会において、規格の標準化や全体最適などの新施策を導入している。このような背景の中、様々な新施策の実効性を得る観点から、現場打ちコンクリートの施工時品質を確保し、耐久性を向上する基本的な取組みの重要性が高まってきている。現場打ちコンクリート工については、現状、多くの作業は熟練作業員の手によって行われ、耐久性に係る品質確保も彼らの長い経験に基づく勘所を押えた施工によるところが大きい。しかし、少子高齢化社会を迎え、現場打ちコンクリート工を支えている熟練作業員は減少し、かつ苦渋作業ゆえにその後継者の育成・確保も困難な状況になっている。このような状況を勘案すると、現場打ちコンクリート工は早急な省人化と、熟練作業員のみならず頼らない新たな品質確保の方法を検討する必要がある。

本開発は、現場打ちコンクリートの施工時品質を確保し、耐久性を向上するための新たな施工・品質管理方法の実現を目指した。具体的には、コンクリート打設時の充填状況と締固め状況、および打設後の強度発現状況の見える化を開発目標とした。このような施工・品質管理の見える化は、現場に携わるすべての人が施工に係る課題を共有し、改善に努めるための具体的かつ視覚的な根拠となり得るため、コンクリート構造物の品質確保や耐

久性向上に大きく寄与できると考えている。

以下に、開発目標の詳細、技術の実現性を検討した室内実験の概要、および、その結果を踏まえて実施した現場実証実験について述べる。

2. 開発目標の詳細

本章では、多機能センサを活用したコンクリート打設時および打設後の施工情報の見える化について述べる。

(1) 施工情報見える化の内容と効果

現場打ちコンクリート工の施工・品質管理の見える化の内容は、後述するセンサ機能を勘案して、①コンクリート打設時の充填状況の見える化、②コンクリート充填後の締固め状況の見える化、③脱型時の強度発現状況の見える化の3項目とした。これらの効果としては、充填状況の見える化により、打込み速度や打重ね時間を遵守した施工管理を行うことができるため、ブリーディングの抑制やコールドジョイント防止が図れる点、締固め状況の見える化により、適切なバイブレーション操作を行うことができるため締固め不足が防止できる点、強度発現状況の見える化により、脱型強度不足が防止できるとともに、次の施工時の重点養生箇所などが把握できる点、打設・締固め・養生に関する改善点などについて関係者が情報を共有することができることから、施工管理者は作業員などに対してデータに裏付けられた的確な指示を行うことができる点である。

(2) 施工情報見える化の方法

施工情報の見える化は、型枠に対して複数個の多機能センサを配置し、それらから得られる数値情報をコンピュータ上でリアルタイムに図化し、視覚情報へと変換することで実現している。図-1に多機能センサの概要を示す。図-1(a)は、多機能センサの表面側であり、取得データを受信側の端末へと送信する電送装置が内蔵されている。図-1(b)に示す多機能センサの裏側には、コンクリートとの接触部としての役割を果たすセンサの受感部の突起があり、型枠の板厚と同じ高さの凸状で、設置した際に型枠面と同じ高さになるように設計されている。多機能センサは、静電容量感知センサ、コンクリート温度センサおよび重力方向を感知する加速度センサを応用した型枠姿勢感知センサの3種類の測定機能を備えたセンサであるが、これまでは、一般のRC構造物やトンネル覆工コンクリートに対して主としてコンクリート温度センサからの情報に基づいた脱型強度管理^{例えば2)}に適用した機能限定での使用にとどまっていた。本開発では、多機能センサが有するすべての機能を活用し、それらの情報をコンピュータでリアルタイムに視覚情報へと変換することによる施工情報の見える化への取組みを行った。見える化を実現するための多機能センサのそれぞれの役割については、次の3通りとした。1つ目として、コンクリートの充填状況の把握は、多機能センサ受感部がコンクリートと接触した際に電極間の静電容量が変化する特性を活用できると考え、静電容量感知センサを用いることとした。2つ目として、締固め状況の把握は、パイプレータによる締固め時の振動加速度を加速度センサで捉え、その値から締固めエネルギーを算出できると仮定し、加速度センサを活用した。3つ目として、コンクリートの強度発現状況の把握は、温度測定値に基づく積算温度法でコンクリート強度を推定し、強度発現状況を推定する方法とした。

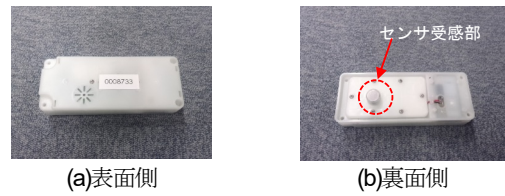


図-1 多機能センサの概要

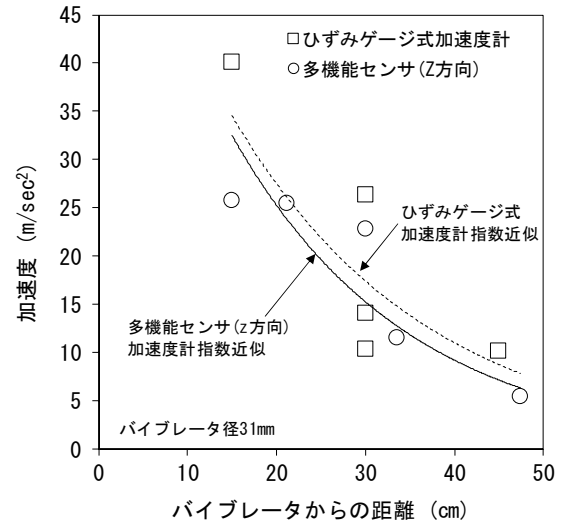


図-2 多機能センサによる加速度測定の実験結果³⁾

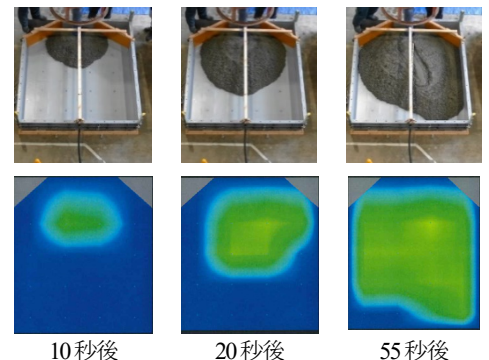


図-3 充填状況の見える化に係る室内試験結果⁴⁾

上：映像キャプチャ 下：見える化システムによる図化

3. 室内実験による技術の実現性の検討

多機能センサが有する3つの測定機能は、前章に記述した通り、基本的には、温度測定値に基づいて構造体コンクリートの強度発現を推定・管理するために活用されており、コンクリート打設時の充填状況や締固め状況の把握に活用された事例は見当たらない。そこで、多機能センサの静電容量測定値による充填状況の把握、および加速度測定値による締固め状況の把握について、技術の実現性をいくつかの室内実験で検討した。室内実験の検討内容や結果の詳細については文献^{3) 4)}に示すが、得られた主な知見は以下に示す3点である。①型枠に設置した多機能センサで、一般的な加速度計と同様、振動締固め時にコンクリートに作用する加速度が測定できる。ま

た、図-2に示す多機能センサによる加速度測定の実験結果では、Z方向加速度成分とひずみゲージ式加速度計との比較において、パイプレータからの距離が同じコンクリートに作用している加速度を安全側に評価できることが確認されている。②図-3下段に示す格子状に配置した多機能センサの充填感知情報に基づく図化の結果は、図-3上段に示すビデオキャプチャ画面と比較的によく合致していることが分かる。締固め状況についても同様な結果が得られ、これらのことから、格子状に配置した複数の多機能センサの格子点情報を処理することで、コンクリート打設時の充填状況や締固め状況を面的に把握できる可能性を見出した。③複数の多機能センサ情報をリアルタイムで処理し図化する手法である見える化システムについても確認することができた。以上の室内実験成果を踏まえ、多機能センサ機能を活用したコンクリート

打設時の施工・品質管理の見える化について、実構造物のコンクリート打設を対象に検証した。

4. 施工および品質管理の見える化

トンネル覆工コンクリート打設時の充填状況と締固め状況および、打設後のコンクリート強度発現状況の見える化を検証するためSトンネルとFトンネルの2現場および一般的なRC構造物としてL型擁壁を対象とした実証実験を行った。

(1) Sトンネルにおける充填・締固め状況および強度発現状況の見える化

トンネル覆工用のセントルは、検査窓やスキンプレートの継ぎ目、補強鋼材など1.5m程度で設置されることが多い。図-4は、Sトンネルのセントルにおける多機能センサの配置イメージを示したものである。離散情報からリアルタイムに充填状況などの視覚情報への変換を可能にするため、この図に示すように、多機能センサは1.5m程度の間隔で105個配置した。

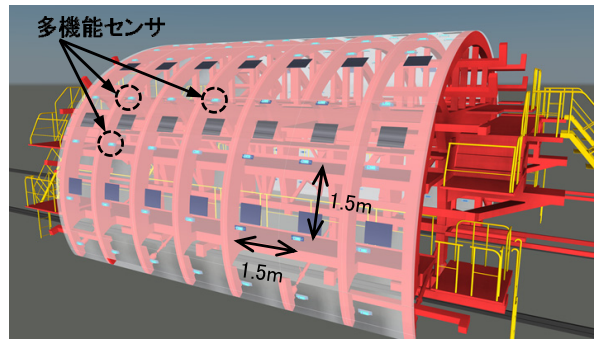


図-4 多機能センサの配置イメージ

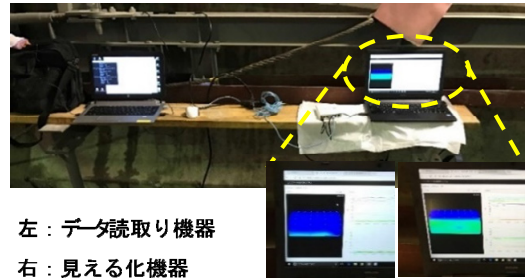


図-5 リアルタイムでの見える化状況

a) 見える化の項目と方法

Sトンネルでは、充填状況、締固め状況および強度発現状況の3項目について見える化の検証を実施した。多機能センサで測定したデータは、多機能センサから無線を用いて転送され、専用のリーダを介してデータ読み取り用のコンピュータに取り込まれる。取り込まれたデータは、Wi-Fi接続により見える化ソフトを組み込んだタブレット端末に再転送され、視覚情報としてリアルタイムに変換される。覆工コンクリート打設時のセントル近傍では、図-5に示すようなデータ読み取り用コンピュータおよび見える化用のタブレット端末を用いた施工管理を行った。筆者らは、既往の研究⁵⁾を参照して、多機能センサで測定した加速度データを基に締固めエネルギーを算出し、その累積値と予め設定した目標エネルギー値を比較して締固め状況を評価する方法を採用している。Sトンネルにおける検証では、加速度に複数のしきい値を設定し、測定される加速度が設定したそれぞれのしきい値を超える時間を積算し、その積算時間に基づいて締固めエネルギーを算出した。

b) 実験結果および考察

図-6は、覆工コンクリートの充填状況の見える化結果の一例を示したものである。図中の青色表示は、コンクリート充填前の状況であり、緑色表示は充填が完了した領域を示している。現場実験時には、コンクリートの充填状況を目視やスケールで確認していたが、多機能センサ情報に基づいて見える化した施工情報は、人による確認結果とよく合致していた。このことから、多機能センサに組み込まれた静電容量感知センサの静電容量値の変

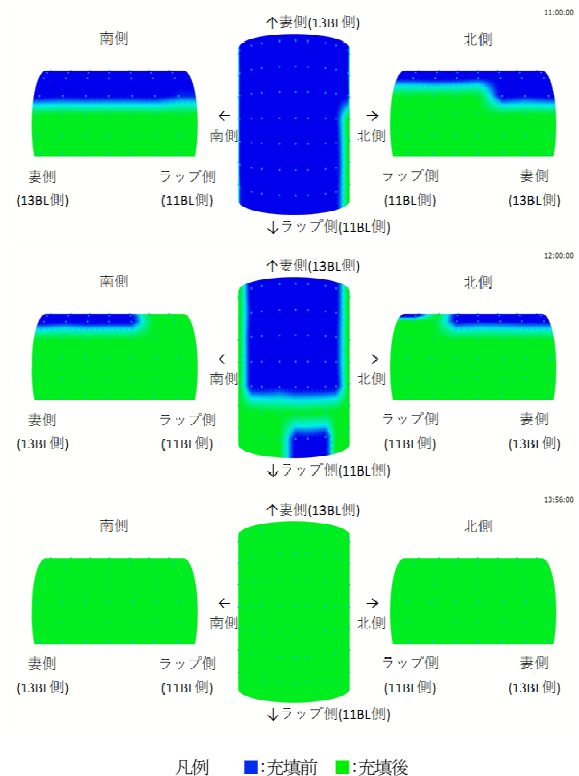
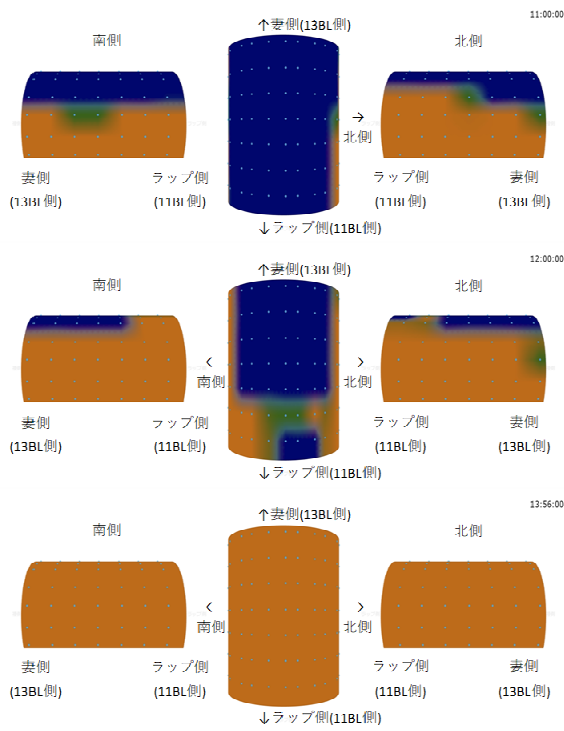
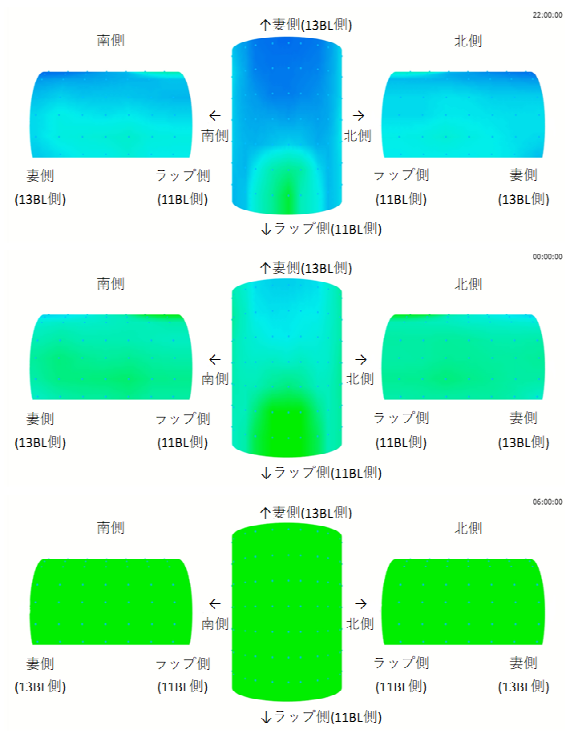


図-6 充填状況の見える化結果の一例

化でコンクリートの充填状況の見える化が可能であることが、実際の施工レベルでも確認できたといえる。図-7は、静電容量感知センサおよび加速度センサに基づく覆工コンクリートの充填と締固め状況の見える化結果の一例を示している。図中の濃青色領域は、コンクリートが充填されていない領域であり、緑色領域は、コンクリー

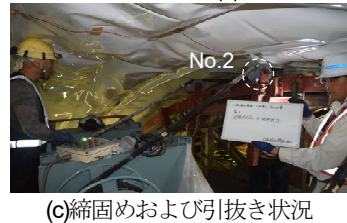
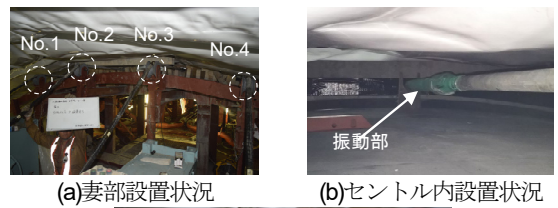


凡例 ■:充填前 ■:充填後 ■:締め完了後
 図-7 締め状況の見える化結果の一例



凡例 ■:強度発現前 ■:強度発現後
 図-8 強度発現状況の見える化結果の一例

トが充填された領域を示している。更に、橙色領域は、充填および所定の締めエネルギーを受けた領域を表している。図中の緑色で表示されているコンクリートが充填された領域が、パイプレータによる締めめで橙色に変化する状況が可視化できており、人力による締めめ状況の見える化が実際の施工においても確認できたといえる。図-8は、温度センサの情報から計算されたコンクリートの強度発現状況を可視化した図である。図中の緑色表示された領域は、所要脱型強度以上の強度発現が生じている領域を示している。この図から、従来は多機能センサ設置箇所ごとに点情報として把握してきた強度発現状況が、覆工全面において面的かつ視覚的に把握できていることが分かる。



(a)妻部設置状況 (b)センター内設置状況
 (c)締めめおよび引抜き状況
 図-9 Fトンネルにおける覆工天端部の締めめ手順

(2) Fトンネルにおける天端部の締めめ状況の見える化

覆工コンクリート天端部は、十分な締めめが困難な部位である。近年は、引抜き式の専用パイプレータで天端部を締めめる技術が開発されているが、その効果を十分に発揮するためには、締めめ有効範囲や締めめの状態を把握する必要がある。ここでは、引抜き式パイプレータが導入されていたFトンネルを対象として、図-9に示す引抜き式パイプレータによる天端部の締めめ状況を見える化し、引抜き式パイプレータによる締めめ効果を検証した結果について述べる。

a) 多機能センサと引抜き式パイプレータ配置概要

図-10は、Fトンネルのセンターにおける多機能センサと引抜き式パイプレータの配置概要を示している。図に示すように、図中水色のドットで示す多機能センサは、アーチ部のみに配置し、その数は1断面(円周方向)あた

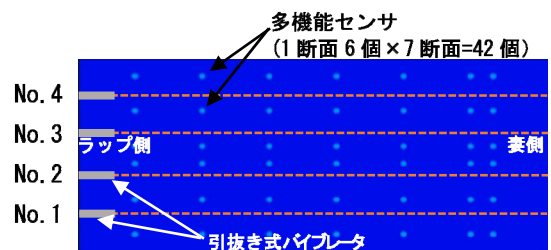


図-10 多機能センサと引抜き式パイプレータの配置概要 (センターを上から見た図)

り6個、縦断方向で7断面の合計42個の配置とした。多機能センサの設置位置と設置数は、4本の引抜き式パイプレータ設置範囲を含む幅4m程度の天端部の締めめ状況が把握および評価ができること、また、圧力計、検測ピンや補強リブなどのセンター付帯設備の位置を勘案して決定している。

b) 見える化の手順

締固め程度を評価するエネルギーは、Sトンネルと同様の方法で算出した。そして累積締固めエネルギーが目標締固めエネルギーを満たした領域を青色から緑色への色変化で表示する方法としている。

c) 実験結果および考察

図-11は、人力による締固めが終了した時点での天端部の締固め状況を示している。上述のように、緑色部分は本検証で設定した目標締固めエネルギーを満たした領域である。この図から、一般的な施工方法である人力による締固めで、覆工天端部のほとんどの領域は目標締固めエネルギーを満たしていることが分かる。この図以外の例では、人力による締固めのみで天端部の全領域が設定した目標エネルギーを満たした施工ブロックも存在した。しかし、僅かな領域ではあるが、今回設定した目標締固めエネルギーに対して締固めが不足している状況も示されている。図-12(a)~図-12(d)は、引抜き式パイプレータの作動に伴う天端部の締固め状況の変化を示している。4本配置した引抜き式パイプレータは、最初にNo.1のパイプレータから引抜き、No.4, No.2, No.3の順序で1本ずつ引抜きながら締固めを行った。各パイプレータの引抜きおよび締固めによって、残存していた青色系領域が徐々に緑色に変化し、最終のNo.3パイプレータによる締固め後には、天端部の全領域で設定した目標締固めエネルギーを満たしたことを確認できた。以上のように、引抜き式パイプレータは、天端部の締固めに対して有効であることが、締固め状況の見える化によって確認することができたといえる。

(3) 一般RC構造物の施工状況の見える化

一般RC構造物における見える化の検証は、L型擁壁の壁部のコンクリート打設を対象に実施した。壁部型枠の一部を、多機能センサを搭載した600×1800mmの樹脂製型枠18枚で置換えて実験を行った。多機能センサは、図-13に示すように樹脂製型枠のほぼ中心部に設置されており、幅方向で1800mm、高さ方向で600mm間隔(一部400mm)の配置とした。

a) 充填状況と締固め状況の見える化

壁部のコンクリートは、1層の打込み高さを50cm程度とし、打込み後速やかに棒状パイプレータで締固めを行った。このような施工状況を見える化した結果を図-14(a)および図-14(b)に示す。この図から、樹脂製型枠配置範囲にコンクリートが充填されていく状況および、充填後のパイプレータ操作で当該箇所コンクリートが締固められていく状況を視覚的に把握できることが分かる。

b) 締固めエネルギーと表層品質の関係

図-15は、コンクリート表層品質との関係を明らかにするため累積締固めエネルギーと透気性および吸水性に着目した図である。この図から、ばらつきは存在するが、両者にはある程度の相関がみられ、締固めエネルギーが

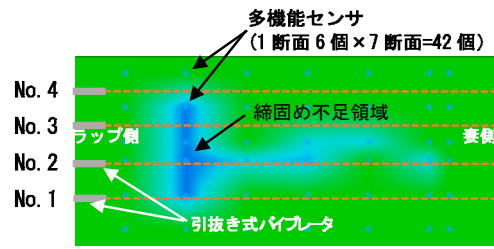
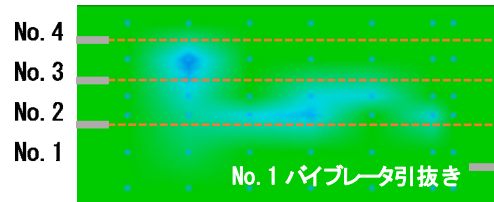
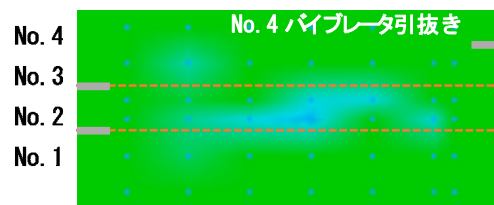


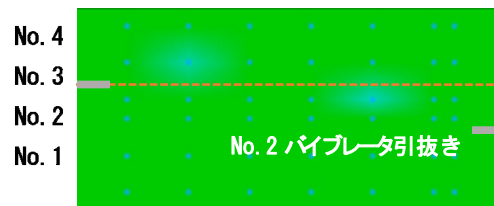
図-11 人力による締固め終了時の状況



(a) No.1パイプレータ引抜き後(天端部の締固め開始時)



(b) No.4パイプレータ引抜き後



(c) No.2パイプレータ引抜き後



(d) No.3パイプレータ引抜き後(天端部の締固め完了時)

図-12 引抜き式パイプレータを用いた締固めにより天端部の締固め不足が防止される状況

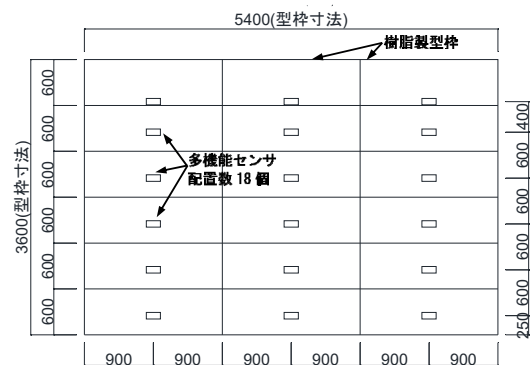


図-13 樹脂製型枠と多機能センサの配置状況

大きい箇所は、透気係数が小さく(空気を通しにくく)、また吸水速度も小さい(水が浸透しにくい)傾向にあるこ

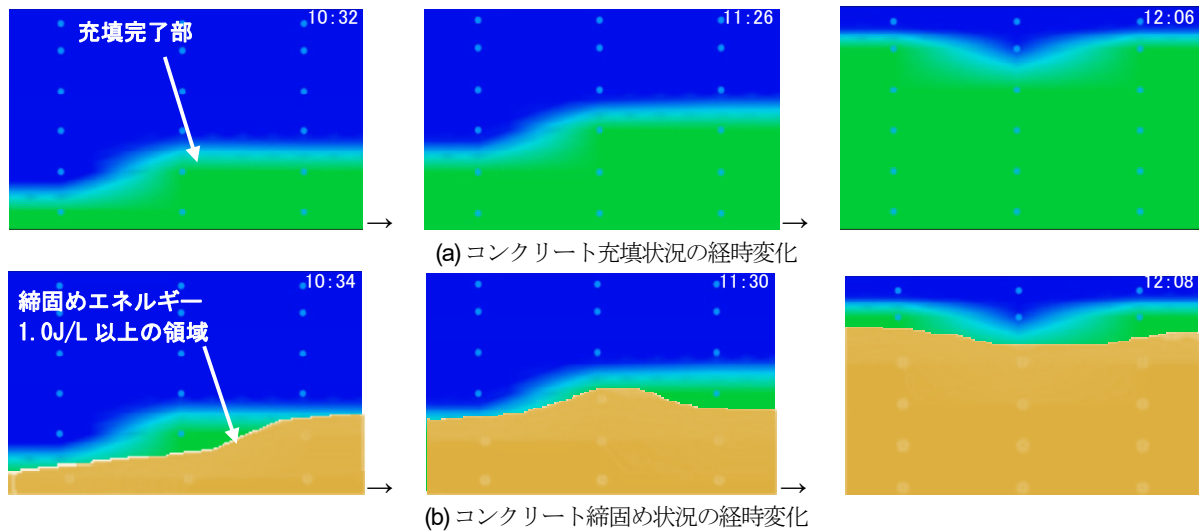


図-14 樹脂製型枠配置範囲におけるコンクリートの充填状況と締固め状況

とが分かる。これは、コンクリート打設時に締固め状況を把握することで、硬化後のコンクリートの表層品質が推定できる可能性を示唆しているといえる。

5. おわりに

本稿では、品質管理の高度化を目的として、トンネル覆工セントルおよびRC構造物の型枠に設置した多機能センサからの情報に基づくリアルタイム見える化を行った。今回の検討範囲内で得られた知見を以下にまとめる。

- 1) 現行の覆工コンクリートの品質管理項目には、締固めエネルギーに基づく締固め管理は含まれていない。締固めエネルギーとコンクリート品質の関係や締固め程度を評価するエネルギー値などの整備が必要であるが、多機能センサによる見える化は、締固め状況を把握するための有効な管理手法として展開できる可能性がある。
- 2) 高密度に配置した多機能センサ情報に基づく覆工コンクリートの脱型強度管理は、各格子点の情報を補完することで強度発現状況をリアルタイムに把握できることを確認した。従来は点情報として評価してきた強度発現状況を、覆工全体の面情報として見える化できることを示した。

今後は、コンクリート構造物の施工・品質管理の自動化におけるモニタリング技術としての発展を考えたい。

謝辞

本稿は、日本国土開発(株)、児玉(株)および(株)科学情報システムズの3社共同研究成果を述べたものである。Sトンネルに関する記述は、国土交通省「建設現場の生産性を飛躍的に向上するための革新的技術の導入・活用に関するプロジェクト」の試行成果の一部を述べたものである。ここに記して関係者の皆様に感謝の意を表す。

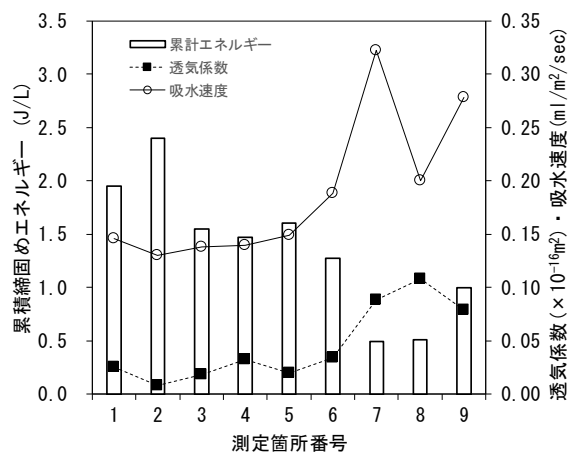


図-15 締固めエネルギーと表層品質の関係の一例

参考文献

- 1) 野口貴文, 北垣亮馬, 西島茂行, “スマートセンサ型枠を用いた橋脚コンクリート工事・品質管理システム” 建設機械施工, 65(8), pp.58-61, (2013)
- 2) 野口貴文, 西島茂行, 甲田展丈, 原雅秀, 山本秀之, “スマートセンサ型枠システムのスライドセントルへの適用(その1)”, 土木学会第 68 回年次学術講演会講演概要集, VI部門, pp.669-670, (2013)
- 3) 山内匡, 千賀年浩, 野口貴文, 北垣亮馬, 西島茂行, 山本秀之, “型枠に設置したセンサによるコンクリート締固め時の加速度測定に関する実験”, 土木学会第 72 回年次学術講演会講演概要集, VI部門, pp.1543-1544, (2017)
- 4) 佐原晴也, 千賀年浩, 山本秀之, 津久井寛, 武田祐二, 小笠原一基, “型枠に設置したセンサによる覆工コンクリートの充填状況および締固め状況の把握に関する実験”, 土木学会第 72 回年次学術講演会講演概要集, VI部門, pp.307-308, (2017)
- 5) 梁俊, 丸屋剛, 坂本淳, 宇治公隆, “締固め完了エネルギーによる同一スランブコンクリートの施工性評価”, コンクリート工学年次論文集, 31(1), pp.1393-1397, (2009)

ICT施工と水陸両用建設機械を活用した 布目ダム副ダム堆砂除去工事の報告

平尾 英司¹・桑島 孝暢²

¹独立行政法人水資源機構関西・吉野川支社淀川本部中津川管理室 副参事
(〒554-0001大阪府大阪市此花区高見1-10-46)

²独立行政法人水資源機構木津川ダム総合管理所布目ダム管理所 所長
(〒630-1234奈良県奈良市北野山町869-2)

布目ダムでは、毎年、副ダムの堆砂除去工事を実施しており、本工事に i-Construction の一環として堆砂除去の施工状況をリアルタイムに把握できる可視化および日々の出来形管理の省力化等を図ることができる ICT を活用して施工を行った。また、本工事の施工箇所である布目川と深川の合流点付近は、シルトと砂の互層からなる軟弱な地盤となっており、出水時対応を含む施工中の安全確保が重要であることから水陸両用建設機械を活用して施工を行った。

本稿は、施工管理の省力化、工程短縮および施工中の安全確保を念頭に ICT 施工と水陸両用建設機械を活用して施工した副ダム堆砂除去工事の報告を行うものである。

キーワード：ICT施工、可視化、省力化、水陸両用建設機械、安全性の向上

1. はじめに

布目ダムの副ダムは、貯水池への流入土砂を抑制するとともに副ダムの堆砂除去を適宜行うことにより、本ダム貯水池の容量保全を図ることを目的の一つとして設置されている。

このため布目ダムでは、毎年、流入河川付近の堆砂除去をクラムシェルとバックホウを併用して実施し、3年に1回副ダム直上流の浚渫をポンプ船にて実施している。

流入河川付近の堆砂除去を施工するにあたっては、非洪水期の平常時最高水位への移行開始時期を1ヶ月遅らせることに対して利水者のご理解・ご協力を頂いていることから、ICT 施工を活用した日々の出来形管理の省力化を行うことで、工程短縮を図ることを期待した。

また、従来のクラムシェルとバックホウの併用では施工困難な箇所に対して、水陸両用建設機械を活用することで、仮設道路等の設置を要さず、突発的な出水時等にも迅速かつ安全に対応できることを期待した。

本稿は、布目ダムの副ダム堆砂除去工事にICT施工と水陸両用建設機械を活用した施工を試行したので、その結果について報告するものである。

2. 従来の副ダム堆砂除去の課題

(1) 堆砂除去の出来形管理

従来の副ダム堆砂除去工事での出来形管理は、起工測

量(深淺測量)で横断面(測点間距離 25m)を作成し、その横断面に基づいて実施していた。

具体的には、測点間の堆砂除去が完了したのち、その都度、監督員が立会いを行うことで出来形確認を実施していたことから、作業の連続性が途切れるなど出来形管理が煩雑であった。

また、堆砂除去工事を行うにあたり、利水者との協議のうえ非洪水期である10月16日から11月15日までの1ヶ月間、平常時最高水位への移行を遅らせることで実施していたことから、その期間内での施工が工程的に非常に厳しいものであった。

さらに、出来形の状況は、オペレータの技量によるところが大きく、出来形不足を回避するため過掘りなどが生じていた。

よって、課題は、施工状況の可視化を図り出来形管理を省力化することで工程短縮を図ることであった。

(2) 堆砂除去の施工方法

従来、堆砂除去工事は、重機足場を確保できる布目川左岸側からクラムシェルとバックホウの併用で施工を行っていた。そのため、布目川右岸側や深川は、クラムシェルの作業半径外となるため堆砂除去が実施できていない状況であった(図-1)。

また、布目川右岸側や深川の土質は、シルトと砂の互層からなる軟弱な堆積土砂であることから、過去には、堆砂除去を行うためバックホウを進入させたところ、水没する

事故も発生している(写真-1)。

よって、課題は、地耐力が不足する軟弱な地盤や突発的な出水に対応できる施工方法で安全を確保して、布目川右岸側や深川の堆砂除去を行うことであった。

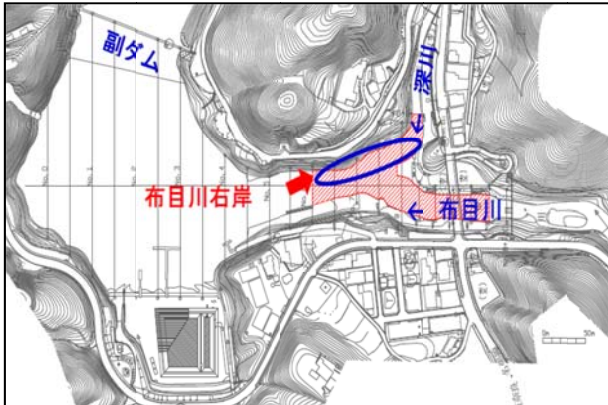


図-1 堆砂除去工事の施工箇所



写真-1 平成 18 年度堆砂除去工事での事故状況

3. ICT施工と水陸両用建設機械の活用

(1)ICT施工と水陸両用建設機械の活用

ICT 施工の活用とは、3次元起工測量から3次元設計データを作成し、これを建設機械に付加することで施工状況を可視化でき、かつ施工箇所を面的に管理することで、出来形管理などの省力化を図ったものである。

また、水陸両用建設機械とは、履帯幅 960mm の湿地用グロースシューを装着して接地圧を小さく(0.33kgf/cm²)できることで軟弱な地盤でも対応できるとともに、水深 1.5m 程度の箇所でも施工可能な建設機械である。

(2)ICTと水陸両用建設機械活用の流れ

本工事における ICT 施工と水陸両用建設機械の活用の流れについて、施工プロセスごとの内容を以下に記す。

a) 3次元起工測量

施工箇所周辺は雑木や橋梁などの障害物があり、空中

写真撮影による UAV 測量の活用は困難であったため、レーザースキャナにて起工測量(図-2)を行った。



図-2 施工箇所のレーザースキャナ点群データ

b) 3次元設計データの作成

レーザースキャナ測量で得られた点群データを用いて、堆砂除去量・河床高さを確認して3次元出来形管理を行うための3次元設計データの作成を行った(図-3)。

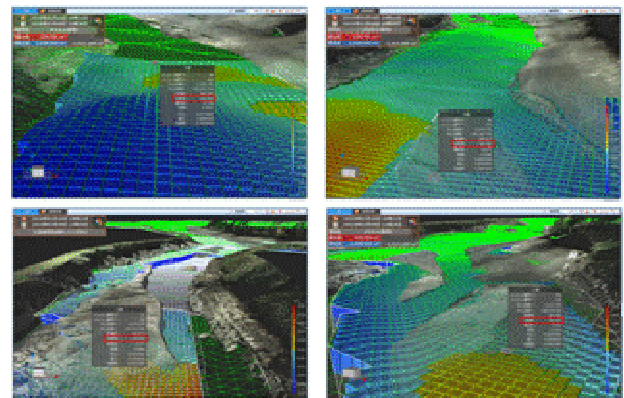


図-3 施工箇所の3次元設計データ図

c) ICT建設機械による施工

今回の堆砂除去工事において、水陸両用建設機械を使用するため事前に現地調査を行った結果(写真-2)、施工範囲は、広範囲にわたり軟弱な地盤であった。

しかし、副ダムの水位を低下させることで水陸両用建設機械の進入可能な水深1.5m以下となることから、水陸両用建設機械の活用が可能と判断した。

実施工では、河川内掘削を水陸両用バックホウにて行い、河川内運搬を水陸両用クローラダンプにて行うこととした。

掘削作業の施工管理は、水陸両用バックホウ(写真-3)に ICT 機能を付加して実施した。

具体的には、水陸両用バックホウとバケットの刃先位置をリアルタイムに把握して(写真-3)、施工用データと

3次元設計データとの差分を表示しバケットを誘導する3次元マシンガイダンス技術(写真-3)を用いた施工を行った。



写真-2 施工箇所の現地調査結果



写真-3 水陸両用バックホウ

d) 3次元出来形管理

マシンガイダンスにしたがって掘削した日々の施工履歴データ(点群)(図-4)を取得して、パソコンに保存する。そして、施工履歴データ(点群)から出来高部分と関係のない掘削以外の旋回や移動等の履歴データを排除して、出来形部分に対応した点群データを作成し(スクリーニング)、出来形合否判定総括表(ヒートマップ)(図-5)により出来形管理(掘削土量・形状)を行った。

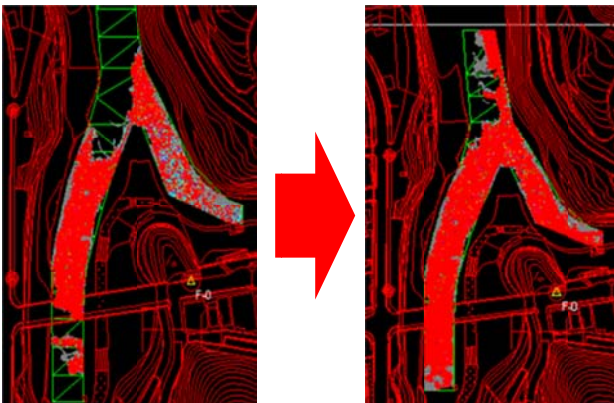


図-4 工事進捗確認を容易にする掘削履歴平面図

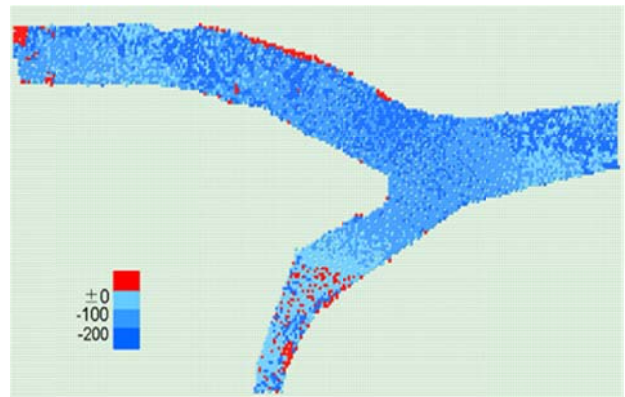


図-5 掘削履歴データによる出来高合否判定総括表(ヒートマップ)

e) 3次元データの納品

3次元出来形管理により確認された3次元施工管理データを工事完成図書として作成した。

4. ICT活用の施工時のトラブルとその対応

(1) ICT活用の施工時のトラブル

本工事において、ICT活用の施工時のトラブルとその対応について以下に記す。

a) ICT建設機械の受信障害

当初、基準局(固定局)と移動局(ICT 機能付き建設重機)の通信システムとして RTK-GNSS システムを計画していたが、施工着手と同時に受信障害が発生した。

これは、今回施工場所のような山間の渓谷部で天空率(全天に対する空の面積の比率)の低い場所において、基準局と移動局が同数かつ同じ GPS を補足しなければならない RTK-GNSS システムでは、移動局付近に障害物など(構造物、立木及び急峻な法面等)があると GPS の補足率が低下するためである。

この事象の対応策として、施工エリアの天空率が低い場合でも受信可能な、ネットワーク型 RTK-GNSS への変更を行った。このネットワーク型 RTK-GNSS は、基地局の代わりに国土地理院の電子基準点データを用いるとともに、この電子基準点からのデータが携帯電話等の無線で移動局へ伝送されるシステムであり、変更した以降は障害なく施工できた。

b) ICT建設機械の転石等の判別

掘削箇所に構造物や転石などの障害物があった場合、マシンガイダンスの施工履歴データ(点群)では、その掘削箇所の掘り残しなのか、または障害物なのかを判別するができなかった。

この事象の対応策として、ICT 施工ではデータ上、転石等の障害物は除外できないため現地確認を行った上で、設計データの高さより高いデータは転石等として土量算出から除外した。

c) ICT建設機械の施工履歴データの不記録

施工着手当初、建設機械のオペレータがマシンガイダンス技術の認識不足や不慣れが影響して施工履歴データが記録されていない事象が発生した。

この事象の対応策として、再度、建設機械のオペレータに ICT 施工が従来の施工管理とは異なること、マシンガイダンスの見方・操作方法など ICT 施工に関する事項の教育を行った。

d) 複雑な形状をした河川での3次元設計データの作成

本河川のように川幅が狭く屈曲した複雑な法面形状をもつ河川掘削範囲(特に切出し位置)の3次元設計データの作成にあたっては、3次元起工測量結果と現場との相違がないか入念に確認を行う必要があった。(写真-4)

また、被覆石護岸等の根入れ深さは、3次元起工測量結果からは表層の点群データのみのため判断がつかず、実際の掘削時に堆積土砂の下の被覆石護岸を損傷させる可能性があるため十分に注意する必要があった。

この事象の対応策として、護岸工事の完成図(2次元図面)等で構造を把握し、3次元設計データに反映した。



写真-4 施工箇所の河川状況

5. ICT施工と水陸両用建設機械活用の効果

(1) ICT施工活用の効果

今回 ICT 施工を活用した効果は、レーザースキャナ測量で取得した3次元点群データから3次元設計データを作成し、3次元出来形管理を実施したことで、従来工法による施工に比べ、施工範囲を面的に施工管理でき、日々の出来形測量業務などが不要となったことで、業務の省力化による工程の短縮を図ることができたことである(図-6)。

従来の出来形は、オペレータの技量によるところが大きく、出来形不足を回避するため過掘りなどが生じていたが、3次元出来形管理を実施したことで掘削した施工履歴をリアルタイムに、かつ平面的に可視化することで均一な施工ができた。

ヒートマップによる堆砂除去の出来形可否判定は、96.2%の合格率であり高精度な施工管理ができた。

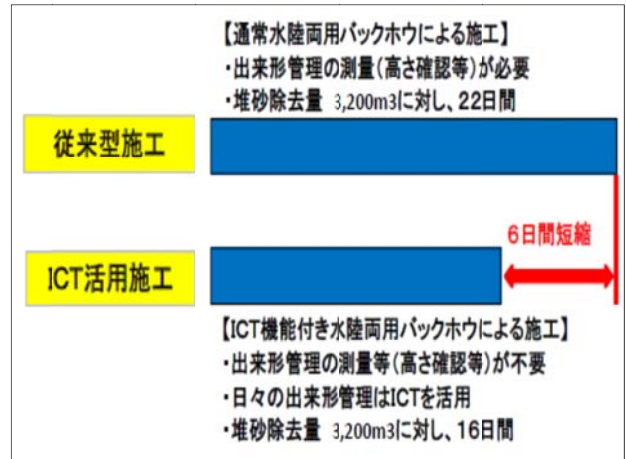


図-6 従来型とICT施工の工程比較(概算)

(2) 水陸両用建設機械活用の効果

今回水陸両用建設機械活用の効果は、シルトと砂の互層からなる軟弱な地盤であった布目川と深川が合流する付近を、事故等なく無事に掘削することができたことである。2017年10月20日から2017年10月23日にかけての台風21号では、布目ダムの管理開始以降最大の流入量約210m³/sを記録した洪水が発生したが、水陸両用建設機械を用いていたことで迅速に河川内から退避できたこと、河川内を横断する仮設道路の設置が不要であったことから被害や施工再開に係る手戻りなども発生しなかったことなど、安全を確保して施工することができた。

さらに、費用は通常のバックホウ等を用いる従来型施工と比較すると、仮設道路の設置が不要であったこと、また、ICTを活用したことから経済的に施工できたと考えている。

6. ICTと水陸両用建設機械活用の利水者見学会

本工事でのICTと水陸両用建設機械活用による施工状況について、布目ダムの利水者である奈良市企業局に対する見学会(写真-5)を実施し、ICTと水陸両用建設機械を活用することで堆砂除去を効率的かつ迅速安全に施工できることをご理解頂くことができた。



写真-5 奈良市企業局見学会開催状況

7. ICT施工と水陸両用建設機械活用の今後の課題

今回 ICT 施工と水陸両用建設機械を活用した結果、以下の今後の課題が確認された。

○河川の流水部は UAV 測量やレーザースキャナ測量では対応できないこと、堆砂情報を初期値として入力するまでの時間を短縮することで、より現場での施工時間を確保することが可能となる。

そのため、発注者側では堆砂測量の結果を 3 次元設計データとして受注者に提供するなど、さらに改善する余地がある。

○副ダムの釣り棧橋付近は堆砂が著しく、堆砂除去を実施したいと考えているが、地盤条件が軟弱であることから、今回使用し水陸両用建設機械でも施工ができない。そのため、新技術を含めた施工方法の検討が必要である。

8. おわりに

今回、ICT 施工と水陸両用建設機械を活用して堆砂除去を実施したが、作業に従事したオペレータからも「従来の施工管理に比べ大幅に省力化ができたこと、マシンガイダンス技術を使用したことで高精度の出来形管理ができた」との意見があった。

また、発注者側としても、立会頻度の減少、日々の進捗状況の確認がパソコンで面的に把握できたことから監督業務の省力化・効率化が図られたと評価している。

今後、堆砂除去は、ダム管理上の大きな課題となってくると考えるが、今回報告した ICT 施工と水陸両用建設機械を活用した成果と課題が、今後のダム堆砂除去工事の参考となれば幸いである。

謝辞

本論文の作成にあたり多大なるご協力を頂きました独立行政法人水資源機構木津川ダム総合管理所および青木あすなる建設株式会社の皆様に感謝を申し上げます。

参考文献

- 1) 地上型レーザースキャナを用いた出来形管理要領(土工編)(案)国土交通省(2016年3月)
- 2) 施工履歴データを用いた出来形管理要領(河川浚渫工事編)(案)国土交通省
- 3) 施工履歴データによる土工の出来高算出要領(案)国土交通省(2016年3月)
- 4) 国土交通省ホームページ
- 5) 2018年度水資源機構技術研究発表会(2018年12月)

串本太地道路におけるUAVレーザ測量による 三次元地形測量について

藤田 翔平・松下 幸男

近畿地方整備局 紀南河川国道事務所 工務二課（〒646-0003 和歌山県田辺市中万呂142）

平成30年度に事業化された「一般国道42号串本太地道路」において、道路設計等に活用できる3次元地形図（レベル500）及び地形モデル、縦横断図作成をUAVレーザ測量により実施した。本稿では、急峻な山地部においてUAVレーザ測量を「UAV搭載型レーザスキャナを用いた公共測量マニュアル（案）（以下、「マニュアル」）」に準拠し実施した作業の概要と作業実施するにあつた課題対応および今後の活用についての留意事項等について、報告するものである。

キーワード UAVレーザ測量，三次元地形測量，設計用数値地形図データ，i-construction

1. はじめに

国土交通省が、i-constructionにおける「ICTの全面的な活用」の取り組みを展開している中で、2018年度（平成30年度）に新規事業化された串本太地道路は、ICT活用を前提とし、測量・調査段階から設計、施工、維持管理に至る建設生産プロセスで一貫して3次元データの利活用を図るべく事業を推進している。

紀南河川国道事務所では、串本太地道路の道路（用地）幅を決定するための道路設計に必要なとなる3次元地形データ（地図情報レベル500）について、近年整備された3次元データ取得活用についての「マニュアル」やCIM導入ガイドライン（案）（以下、「ガイドライン」）等を活用しデータ作成を行った。

串本太地道路（鬮野川地先～八尺鏡野地先；18.4km）は山間部に位置し、今回の測量範囲の約9割が急峻な山地（森林）となっており、設計に必要な精度を確保するために地形・植生状況等からUAVレーザ測量を採用することとした。

本稿では、山間部の道路計画全線においてUAVレーザ測量による3次元地形測量を最新のマニュアルに準拠し実施したものであり、その測量作業実施における課題対応および今後の設計・地元説明・工事施工、維持管理等への活用に向けての方策（留意

事項）について報告する。

2. UAVレーザ測量の現状と課題

(1) 現状

現在、UAVレーザ測量は公共測量規程（以下、「規程」）には組み込まれていないが、2018年3月にマニュアルが公開されたこと、ガイドラインにも測量手法として採用されたことにより、この測量方法を公共測量として採用するためのツールが整備された。

しかし、マニュアルは規程に組み込まれるまでの試行段階であり、3次元地形モデルを道路設計に採用するためには、道路計画機関として目的に合わせた精度を確保するために要求仕様を詳細に定義していく必要がある。

(2) 課題

a) 要求仕様の作成

道路設計に必要な精度を確保するため、マニュアルに準拠して要求仕様を定める必要があった。マニュアルには要求値が規定されていない項目があるため、レベル500数値地形図作成と3次元地形モデル作成を行うために必要な要求値などを定める必要があ

った。

b) 作業実施調整及び周辺地域への説明

UAVレーザ測量について、対象地域周辺の法規制（航空法、道路使用等）への対応、飛行基地の土地所有者との調整、および周辺自治体・地域住民への説明周知が必要であった。

c) 地形条件等に対応した計測計画の策定

①計測計画の策定

計測対象地域は、急峻な山地（森林）部であり、常緑針葉樹が多く密生しており、要求仕様を満たす計測密度を確保するため、レーザパルス透過率が高い計測が必要であった。また平地部では圃場（水田）が多いため、計測実施時期等の設定検討も必要であった。

②UAV機器の選定

地形・植生条件を考慮した計測計画を満たし、安全にUAV計測を実施するための条件（高高度からの計測、高密度計測、約1kmの長距離飛行）を設定し、その条件を満たせる機器及び飛行基地の選定が必要であった。

d) 山地（森林）部での精度確保

通常、位置と高さの精度確保のために設置する調整用基準点は、平地部の平坦な場所を選んで設置する。しかし、本計測対象地域は急峻な山地部であるため、調整用基準点の設置を行うには、土地所有者の確認調整、樹木伐採等の設置作業が必要であった。

e) 数値図化（3次元点群作成）に必要な点密度希薄箇所の対応

平地部では、道路や水路、家屋などの構造物による地形の遮蔽が避けられないため、計測したレーザ点群のみでは地形・地物の判読が難しく、補測対応が必要であった。

f) 縦横断面図の品質確保

今回、「三次元点群データを使用した断面図作成マニュアル（案）」（以下、「断面図作成マニュアル」）を参考に、グラウンドデータから道路中心の縦断面図および20mピッチの横断面図を作成した。

① グラウンドデータの欠測箇所の品質確保

山地部では、植生の繁茂や急崖や転石などにより、グラウンドデータに低密度な部分が生じ、この低密度箇所の補測対応が必要であった。

② 標高に係る品質確保

従来の実測による縦横断面測量では、仮BM設置測量を実施し道路中心点に水準測量成果を取り付けるが、UAVレーザ測量手法では、道路中心点の設置を行わないため、作成する縦横断面図の高さ精度の確保、確認が必要であった。

3. 串本太地道路における取り組み

(1) 測量対象箇所

串本太地道路のトンネル以外の橋梁部および土工部12.56km（23区間）（図-1）について3次元地形測量を実施した。測量範囲の地形条件は山地が約88%で植生は常緑針葉樹が多く、地形の起伏は高低差（標高約5m～140m）が顕著で急峻である。土地利用は平地部に圃場（水田）が多く、古座川沿岸には市街地が存在する（図-2）。

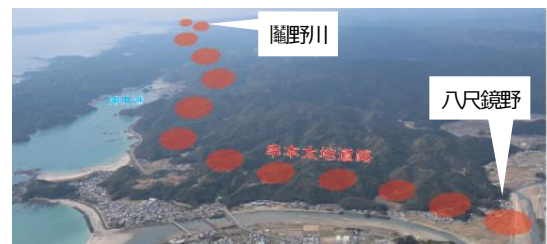


図-1 事業箇所（鳥瞰）写真



図-2 測量箇所

(2) 作業概要

マニュアルに準拠し、図-3に示す作業フローにより、3次元地形図および3次元地形モデルを作成し、縦横断面図を作成した。

計画段階で道路設計に必要な要求仕様の作成を行い、国土地理院への公共測量申請およびその助言を受けたうえで計画の作業を進めた。UAVレーザ計測前には、航空局および周辺自治体・地域住民、関係機関との調整・周知を行った。

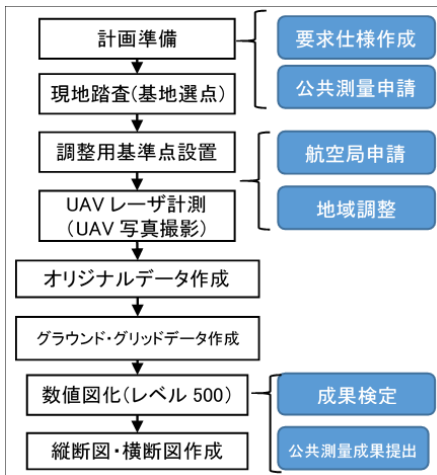


図-3 作業フロー

計測は2月5日から3月14日の期間に実施し、天候障害を除き20日間で82フライトの計測を実施した(図-4, 図-5)。またUAVレーザ用数値写真撮影を、グラウンドデータや3次元図化において地物・地形の判読と補測に必要であるため、レーザ計測と並行して実施した。



図-4 停車場帯での飛行

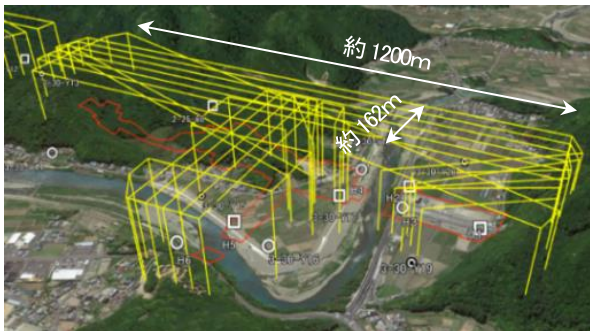


図-5 UAVレーザ計測事例(八尺鏡野付近)

4. 課題への対応

(1) 要求仕様の作成

3次元点群データ(オリジナルデータ)取得の要求仕様の内、マニュアルで要求値が規定されていない項目について、数値図化(レベル500)と3次元地形モデル作成を必要な要求値を定めた(表-1)。

地形取得の取得点密度は、数値図化(レベル500)に必要な計測密度(400点/m²)に対応できる密度とした。植生の影響の少ない場合はフィルタリングによる点群の減少が少ないため、200点/m²とした。グリッドデータの格子間隔は、計測点密度を考慮して10

cm格子と定めた。水平位置精度は起工測量の位置精度を目標精度として調整可能な精度を定めた。

表-1 3次元地形モデルおよびグリッドデータの要求仕様

仕様項目		要求仕様値	マニュアル標準値
数値図化		400点/m ²	400点/m ²
地形取得	植生の影響がある	400点/m ²	20~200点/m ²
	植生の影響が少ない	200点/m ²	10~100点/m ²
グリッドデータ		10cm格子	規定なし
標高精度(標準偏差)		10cm	10cm(地形取得)
水平位置精度(標準偏差)		10cm	規定なし

(2) 作業実施調整及び周辺地域への説明

対象地域の条件を現地踏査により十分確認し、周辺自治体・地域住民等との調整・周知を行った。調整は串本町・那智勝浦町・古座川町と周知範囲内容と方法を確認調整し、選定した飛行基地の土地所有者および自治会区長への説明、周辺住民への作業ビラの回覧、猟友会会員への連絡(計測開始前・現地調査開始前)を行った。

航空法については、飛行が150mを超える高高度の飛行が必要であったため、空港事務所と航空局への申請を行い許可を得た。JRについては、基地から計測対象エリアに移動するために軌道上の通過が避けられない箇所が1箇所(5フライト)あったため、JRに連絡し列車通過時刻等を確認し、列車運行が無い時間帯を選んで飛行を行うことで、安全を確保した。道路駐車帯の使用申請は、管轄の新宮警察に行った。これらの対応を表-2にまとめた。

また、作業期間中に行政機関向けの現地説明会を実施した。

表-2 対象地域の条件確認など

確認項目	内容	申請・調整先
航空法	・地表又は水面から150m以上の高さの空域(飛行禁止空域の飛行(第132条関係))が必要な場合 ・人又は物件から30m以上の距離が確保できない飛行(飛行の方法(第132条の2関係))が必要な場合	関西空港事務所 大阪航空局
周辺住民等	・飛行区域およびその周辺の理解と協力を得るため、説明会や回覧を行う。	自治体(町・区・猟友会など) 河川管理者 道路管理者
周辺施設	・障害要素を踏査などにより確認する。送電線・鉄道(JR)・携帯基地局 飛行場・ヘリポート・道路・住宅	電力会社 JR 警察、他
飛行基地	・対象地域の近傍かつ、平坦かつ飛行コースが目視できる場所の選定 ・選定箇所の土地所有者調査	土地所有者 自治体 警察、他

(3) 地形条件等に対応した計測計画の策定

a) 計測計画の策定

計測対象地域に合わせて、高性能(高高度・高出

力)のUAVレーザ計測機材の選定を行うと共に、UAV飛行計画(目視内飛行)で最も重要な飛行基地の選定・確保を、地域の協力を得て実現し、高低差のある山地部でのレーザ計測を実施することができた。

周辺の圃場は水田が多いため、植生が無く水も抜かれている冬季にすべてのUAVレーザ計測を行い、要求仕様を満たす計測結果を得ることができた。

b) UAV機器の選定

計測対象地域は、急峻な山地(森林)部であり、高高度から高密度計測が可能で樹木下へのレーザパルス透過率が高いレーザスキャナを搭載した計測機器を選定している。使用したUAVレーザ計測機器の諸元は表-3のとおりである。

表-3 UAVレーザ計測機器の諸元

計測機器		諸元
機体 SPIDER-LX8	機体総重量	270Kg(レーザシステム・バッテリー含む)
	モータ軸間	1100mm×1300mm
	動力	8個モータ
	バッテリー	ムポリマー電池
	飛行能力	最大飛行時間)約16分 自律飛行、自動帰還
計測範囲		半径1000m以内(≒目視範囲)
レーザ 機器 VUX-1LR (Riegle社)	最大計測距離	1,350m
	パルスレート	最大820kHz, Class1
	レーザ照射角	330°(FOV)
	レーザ拡散角	0.5 mrad
	精度	15 mm
位置・姿勢		GNSS/IMU AP-20 Applinix 社

(4) 山地(森林)部での精度確保

山地部の位置精度の確保のために、既設の基準点(2級基準点, 3級基準点)を調整用基準点に可能な限り利用し、基準点に対空標識を設置し高さ位置の精度を確保した。また対空標識には反射シートを貼り、レーザ照射の反射強度を利用して標識の位置認識ができるものを採用した(図-6)。



図-6 対空標識の設置

(5) 数値図化(3次元点群作成)に必要な点密度希薄箇所への対応

平地部の道路や水路、家屋などの構造物により地表へのレーザ計測が遮蔽された部分は、点群密度が希薄になっている。その部分の数値図化は、点群からの図化が難しいため、ほぼ同時にUAV撮影した写真を用いた補測、または現地補測を実施し、道路幅や水路形状や法面の構造など正確に表現し、遮蔽箇所の図化品質を確保した。

(6) 縦横断面図の品質確保

今回、断面図マニュアルを参考に、グラウンドデータから道路中心の縦断面図および20mピッチの横断面図を作成した。

a) グラウンドデータの欠測箇所の品質確保

山地のグラウンドデータの低密度な部分の対応は、地形解析図(図-7)を作成し地形形状の表現を確認し、確認できない部分は現地にて補測を実施した。現地補測は既設の4級基準点などを利用してTSやTLSなどを用いて行い、品質を確保した。

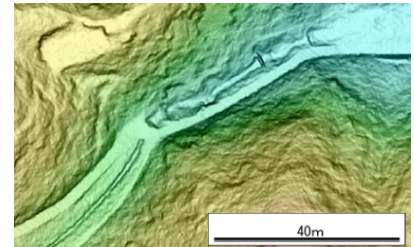


図-7 地形解析図

b) 標高に係る品質確保

本作業では、調整用基準点として既設基準点(2級, 3級基準点)を利用したため、その精度を3級水準測量により確認した。確認の結果、2級基準点・3級基準点の水準成果との較差は標準偏差にて4.5cmであることが確認でき、レベル500に必要な調整用基準点の精度10cm(標準偏差)を十分に満たす結果であった。

今後、同様な道路設計を行う場合は、2級基準点, 3級基準点設置の計画時点でUAVの調整用基準点に必要な配置を考慮し、観測時に測標水準を行い、標高精度を向上させておく必要がある。

5. 点検測量(検証)の実施

今回、品質確認(検証)のために点検測量を実施した。点検箇所は、設計条件(山地の盛土・切土・坑口箇所、平地の盛土、市街地・圃場の橋梁部)に応じて8箇所選定し、本作業でレーザ点群から作成した縦断・横断との従来の実測による路線測量により、縦横断形状について比較検証を実施した。点検箇所付近の様子を図-8~10に、縦断、横断の比較図を図-11~15に示した。



図-8 点検箇所(左)No.234+40付近, (右)No.307+80付近



図-9 点検箇所(左) No.372+0 付近, (右) 242+60 付近



図-10 点検箇所(左)No.253+0 付近, (右)No.254+0 付近

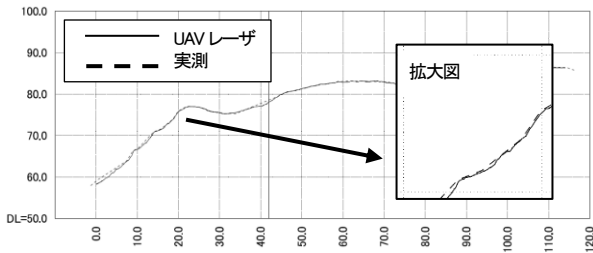


図-11 横断面図の点検 (山地部・切土) (No.234+40)

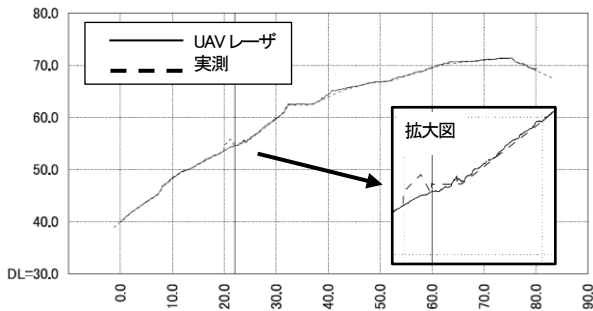


図-12 横断面図の点検 (山地部・切土) (No.307+80)

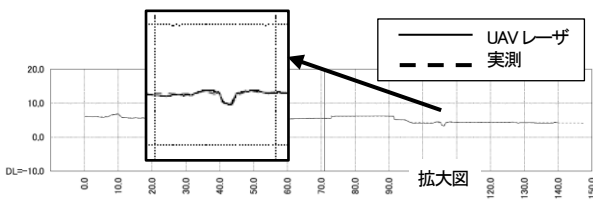


図-13 横断面図の点検 (平地・圃場) (No.372+0)

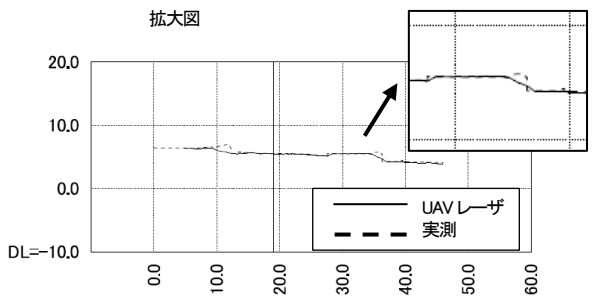


図-14 横断面図の点検 (平地・市街) (No.242+60)

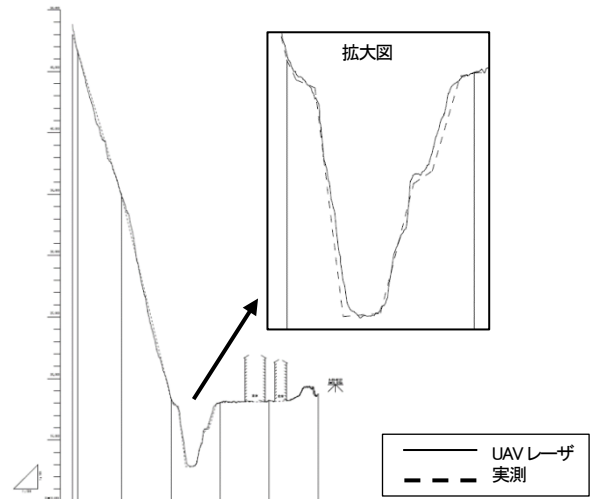


図-15 縦断の点検 (山地部・坑口) (No.253+0~No.254+0)

UAVレーザ断面と実測断面を比較図全体から、評価すると、±10cm程度の較差で推移している傾向が確認でき、実測では表現できない微地形が表現できている。個別に見ると、図-11の横断は雑木林であるが、レーザ横断が急傾斜地の形状変化を詳細に表現できていることが分かる。図-12は高さ2m程度の転石が、レーザ横断では表現できていない可能性があった。図-13は田畑・水路が詳細に表現できていた。図-14は家屋や擁壁などのエッジの表現が難しいことが分かる。図-15の縦断の差異は急斜面および溪流、平地、道路まで、形状が詳細に表現できていることが確認できた。

6. 今後の活用方策 (留意事項)

(1) 実測 (縦横断測量) に替わる手法として実施する場合の留意事項

従来は、仮BM設置および道路中心杭設置作業により、縦横断面に水準点からの標高成果を取り付け、標高精度を向上させていた。しかし、この作業が無いUAVレーザ測量の場合、2級・3級基準点設置の際に、水準点からの標高成果の取付を行っておく必要が有る。なお、基準点測量に使用する電子基準点に測標水準 (水準点から標高成果取付) が行われていることの確認、または設置する基準点には測標水準を実施し、水準測量の標高精度を取り付ける必要がある。

(2) 幅杭設置測量等における留意事項

今回、3次元点群データから作成した縦横断図デ

ータは、レベル500の精度で作成したため、実測縦横断面図同様の扱いで道路設計を行い、幅杭を設置することに問題はない。ただし、幅杭設置及び用地測量を行う際には、基準点測量（4級）等が必要となる。

参考に、UAVレーザ測量と実測との横断測量精度の比較を比較を表-4にまとめた。

山地における各手法の精度比較で、道路中心線から50m幅（L）を想定した横断測量の精度比較である。

表-4 （参考）横断測量精度の比較

方法 精度	実測横断測量（山地部） の精度 ※規程より	UAVレーザ測量 の精度
特徴	横断距離(単位:m)に依存	距離に関係なく均一
標高精度 (計算式)	15.6cm (L=50m) 50mm+150mm√(L/100)	10cm (標準偏差) ※マニュアル準拠
位置精度 (計算式)	16cm (L=50m) 距離 L/300	10cm (標準偏差)

(3) 今後のICT活用における留意事項

a) 計画説明への利用

今後、本業務で作成した3次元地形データ（図-16）を基に道路構造設計（3次元）への展開や、構造イメージ（CG・シミュレーション）等による、わかりやすい計画説明資料作成等、具体の活用検討が必要である。

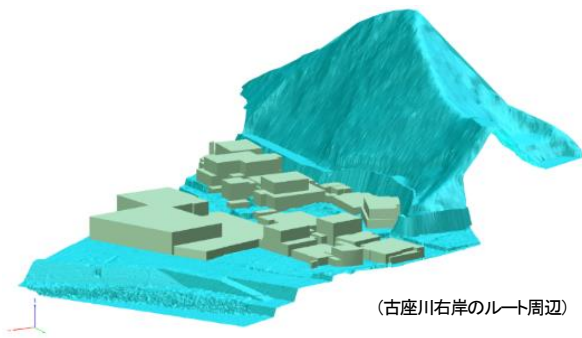


図-16 3次元地形モデルの鳥瞰表示

b) 起工測量への利用

本業務で取得した3次元地形データ（レベル500）は、標高・位置精度ともに10cmの要求精度の測量成果で有るため、起工測量に十分使用できる成果である。

c) 施工完了後、維持管理等での活用

本業務成果には、維持管理等の今後の利活用を想定し、既測のレベル1000地形図と本業務成果のレベル500地形図の合成図も成果としている。この合成図の場合、整備範囲と整備年度の履歴が重要な要素となってくる。そのため、各整備範囲の作成時期、作成方法（手法、精度等）を、実際のデータ（3次元地形モデル）上にレイヤーとして記述する方法などにより引き継いで行くことが重要である。

7. まとめ

(1) 作業の効率化及び作業期間の短縮

本作業では、従来の路線測量が必要であった現地測量（中心点設置、縦横断測量）および山地部での樹木伐採が削減されたため、自然環境への影響の低減と作業の効率化および作業期間の短縮が図れ、従来法では10ヵ月程度必要な作業量を7ヵ月程度で終える見込みである。

(2) 3次元地形（3次元点群）データの活用と展開

今回取得した3次元地形データはレベル500であり、さらに別途、UAV写真撮影により地物データも取得しているため、今後の道路（詳細）設計、構造（道路、橋梁、トンネル）設計にもそのまま活用可能なデータであると考えている。

また、3次元地形データに計画する道路や構造物を重ね合わせたVR（仮想現実；自由に3次元モデル上を移動）やCG（静止画、動画）、3次元モデルを使用した立体模型等により、整備後のイメージを誰でもわかりやすく説明する地元計画説明への活用も想定している。

(3) 今後の取り組みに向けて

本報告は、山間部におけるUAVレーザ測量による3次元地形測量を、マニュアルに準拠し公共測量申請を行い実施した事例であり、作業の課題対応及び今後の活用方策（留意事項）をとりまとめ、その有用性は確認できた。

UAV測量はまだ始まったばかりであり、今後、規程にも規定されるものと考えているが、UAV測量を実施するためには、関係機関・地元調整等が必要であり、精度確保のためには重要な事項であると考えている。

また串本太地道路は、事業化当初より「ICTの全面的な活用」を図る事業であり、今回取得作成した3次元地形データを活用し、今後のICT技術の進歩と合わせて、設計・施工・維持管理の各段階において、効率化・生産性向上を図って参りたい。

謝辞：本論文の取りまとめに際し、ご協力、ご指導賜りました関係各位に感謝申し上げます。