

レベル4自動運転の実現に向けた 路車協調システムの実証実験について

秋山 太志¹・井本 真樹男¹・荒木 和政¹・吉田 武司¹

¹九州地方整備局 道路部 道路計画第二課 (〒812-0013 福岡県福岡市博多区博多駅東2-10-7)

本論文は、九州地方整備局道路部道路計画第二課とFUKUOKA Smart EASTモビリティ推進コンソーシアムが連携して行った、路車協調システムにて自動運転車の走行を支援する実証実験について、実験に至るまでの準備、検討内容、実験結果を報告する。

キーワード 自動運転, 路車協調システム, 実証実験

1. はじめに

一般車や歩行者等が混在する一般道でのレベル4自動運転(※)移動サービスの実現には、交差点等において車載センサ単独では捉えることが難しい交通状況(死角となる周辺他車の挙動や歩行者の有無・挙動等)を検知し、自動運転車へ提供する道路側(路側)からの支援が必要である(図-1)。しかし、路側に設置するセンサについては、技術基準や求められる機能、仕様等について定まっていないのが現状である。そこで、レベル4自動運転移動サービスの実現に向け、将来的な交通基盤整備を見据え、自動運転車を含む新モビリティを安全に走行させるために必要な路車協調システムの実証実験を実施したので報告する。

(※レベル4自動運転:

特定の走行環境条件を満たす限定された領域において、自動運行装置が運転操作の全部を代替する状態。)

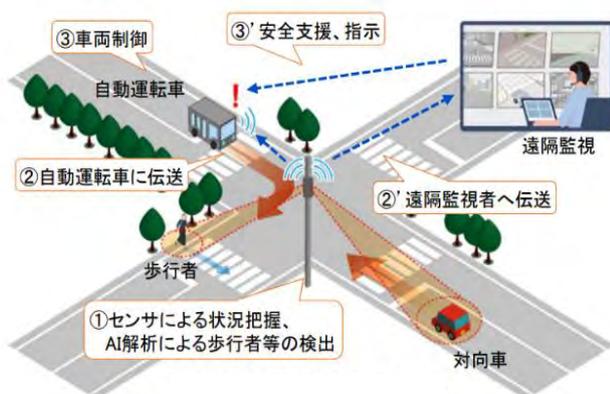


図-1 交差点における支援イメージ

2. 実験内容

(1) 事前準備

今回の路車協調システムの実証実験は、先進的なまちづくり「Fukuoka Smart East」の一環として、自動運転バスの社会実装を目指しているFUKUOKA Smart EASTモビリティ推進コンソーシアム(福岡市、九州大学、UR都市機構、福岡地域戦略推進協議会)(以下、FSEモビコン)が行っているJR箱崎駅周辺エリアでの自動運転バス運行の実証実験と連携して、実施した。

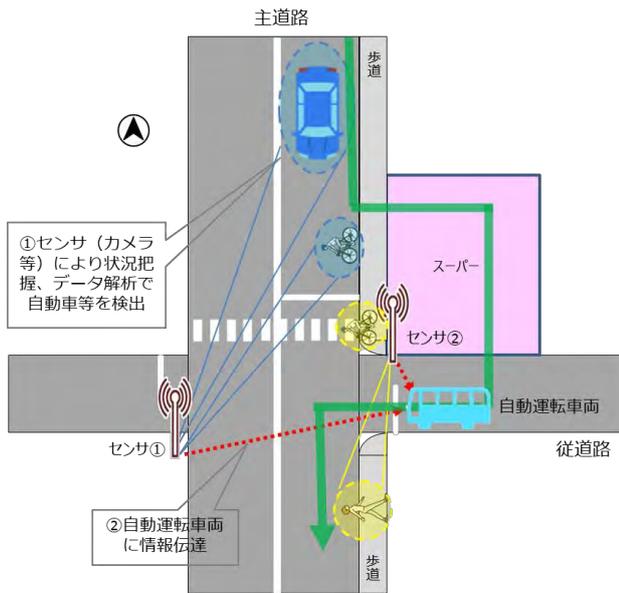
まずは、路車協調システムの実証実験を行う場所を選定するため、FSEモビコンが行う自動運転車運行ルート(図-2)において、車載センサ単独での検知が難しい箇所が無いか現地踏査を行い、10箇所の候補を選定した。その中でも、実験条件、検知目的に合致し、過去に人対車両の事故が発生している箇所であり、さらに自動車単独での検知が難しい箇所でもある(図-2)の運行ルートの⑤付近の交差点で、実験を行うことに決定した。



図-2 自動運転車運行ルート

(2) 検知対象の設定

今回の実証実験において、検知を行う自動運転車両の走行ルートは、信号なしの交差点であり、従道路から左折して主道路に進入するものとなっている。交差点部のスーパー側に死角があり、車載センサ単独での検知が難しいものとなっていた。その現地条件を踏まえ、「従道路から主道路へ左折する際の歩道における歩行者、自転車」、「同じく、左折する際の主道路上の自動車及び自転車」を検知対象として設定した(図-3)。



- 【凡例】
- : センサ部①からの検知 (自動車+自転車)
 - : センサ部②からの検知 (自転車+人)
 - ... : センサから自動運転車両への情報伝達
 - : 自動運転の走行ルート

図-3 検知対象のイメージ

(3) センサ機器の設定

次に、選定した交差点に必要な具体的なセンサの種類、センサの設置箇所の選定を行った。実験箇所の道路特性(死角)、交通特性(自動車、自転車、歩行者が多い等)を踏まえ、検知対象を選定し、検知対象を漏れなく検知できる場所にセンサを設置する必要がある。調整の結果、交差点に既存で設置してある九電柱とNTT柱の2本にセンサを設置することを決定した(図-4)。検知対象を漏れなく検知するために、九電柱とNTT柱、それぞれに設置する機器は(表-1)のとおりとした。実際に現地に設置した状況を(写真-1)に示す。

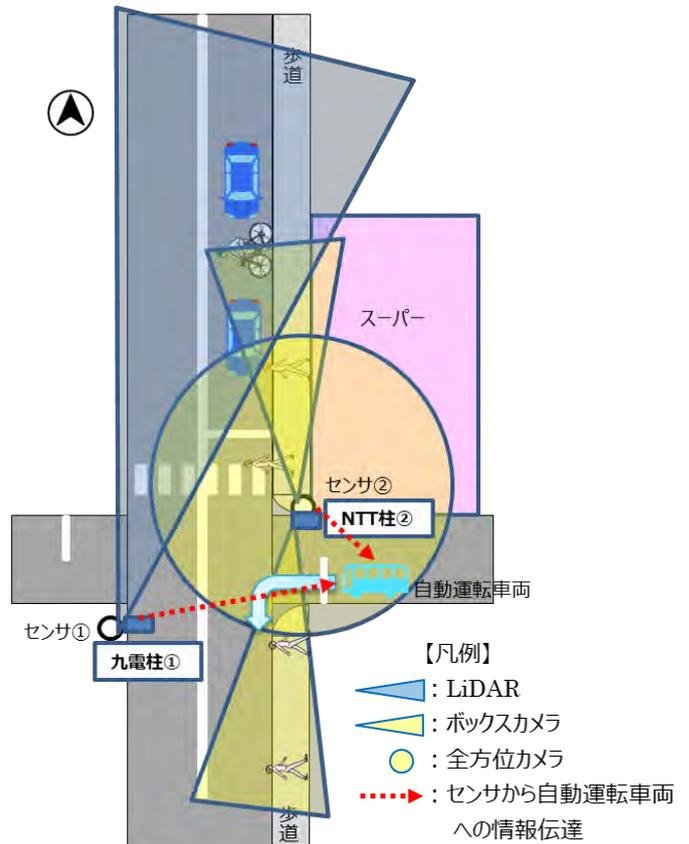


図-4 設置機器のイメージ

表-1 センサ機器設置種類

九電柱①		NTT柱②	
共架物	検知対象	共架物	検知対象
LiDAR	車両・自転車	ボックスカメラ北	歩行者・自転車
記録用カメラ	事象確認用	ボックスカメラ南	歩行者・自転車
		全方位カメラ	歩行者・自転車



写真-1 センサ機器設置状況

(4) 検知範囲の検討

検知範囲を設定する上で、まず検知時間を設定する必要があった。

検知時間は、自動運転車両が従道路の停止線から主道路に左折が完了するまでの時間とし、自動運転のオペレーターへのヒアリングから、10秒が妥当であると判断した。その検知時間の間に、交差点に到達し得る自動車、自転車、歩行者がいる範囲を検知範囲と設定した。それぞれの検知対象物の速度から、検知範囲は、車道が約112m、歩道が約30mとなった。検知開始時間としては、対象物が検知範囲に侵入する手前の2秒間とし、車道が約22m、歩道が約10mと設定した。

自動運転車両に検知情報を伝達する手段としては、車内にスマートフォンを設置し、その画面に情報を表示する仕様とし、通信方法として、4G/LTE回線とITSコネクタを使用して、それぞれの比較検証を行った（図-5）。

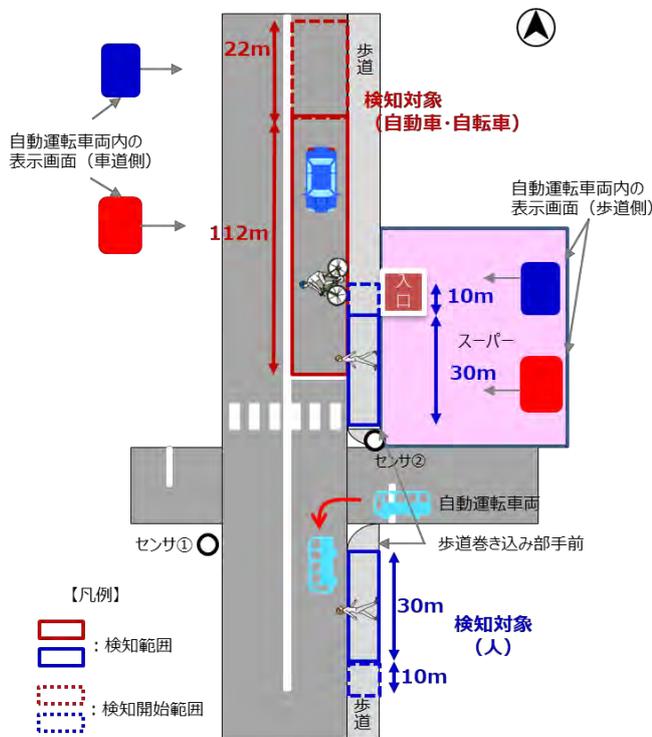


図-5 検知範囲のイメージ

(5) 実証実験の実施

今回の路車協調システムの実証実験は、FSEモビコンが行う自動運転バス運行の実証実験と連携するため、実験期間は2024年2月17日～3月3日（計16日間）10:00～17:00（計96運行）にて行った。

実験を実施するにあたって、自動運転車両内における検知情報の表示スマートフォン及び、通信情報受信部等の機器設置状況を（写真-2）に示す。設置する機器・スマートフォンがオペレーターの視界を妨げることがないようにする必要があった。検知対象物をセンサで検知

した際のスマートフォンの表示画面は、画面を半分に分け、左画面が歩道、右画面が車道の検知情報を示し、青・緑は運行可能、赤は停止を示す。（写真-3）のような交差点状況の場合、検知範囲内に自動車が進入しているため、スマートフォン画面は赤表示となる。

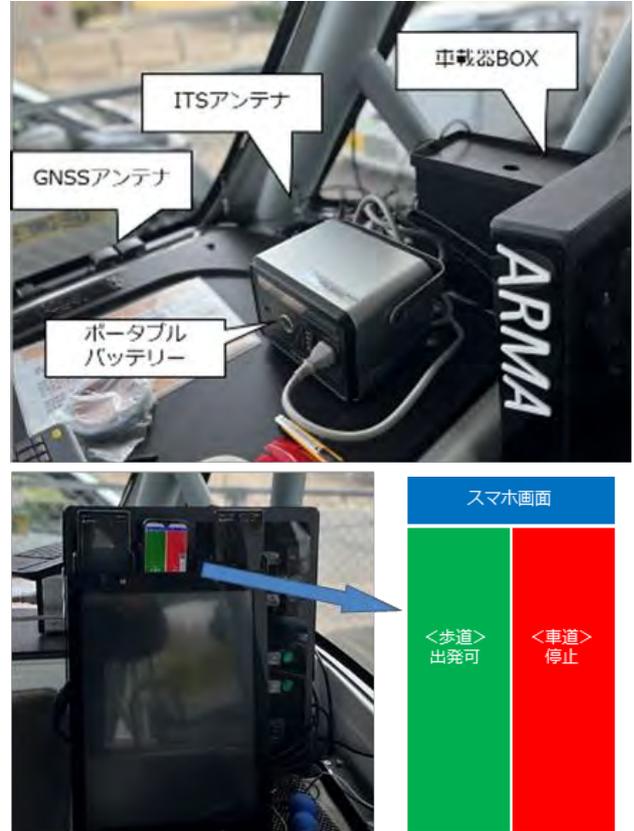


写真-2 機器設置状況



写真-3 交差点状況

3. 実験の結果

検知情報を自動運転車両に伝達する方法について、実験結果を以下に示す。

精度としては、実際に検知範囲に対象物が侵入した際に、それをセンサで検知できた検知率は、ほぼ100%であった。一方で、LiDARは電線等が原因で検知範囲が10m程度、短くなったことも確認された。

伝達速度としては、センサが対象物を検知してから、その情報を制御部、サーバ又は通信機器を経由して、自動運転車両内のスマートフォンへ伝達するまでの時間にて確認した。その結果、4G/LTE回線を使用した場合は最大で約1.08秒、ITSコネクトの場合は最大で約0.10秒とそれぞれの通信方法にて、比較すると約10倍の差が生じることが確認できた。差は生じたが、どちらも自動運転車両への支援情報として問題ないことが確認できた(図-6)。

有効性としては、自動運転車のオペレーターに路側からの支援情報として効果があったと思うかのヒアリング調査を行った。結果として、86.3%が効果があったと回答し、支援情報としては有効性が高いことを確認できた(図-7)。

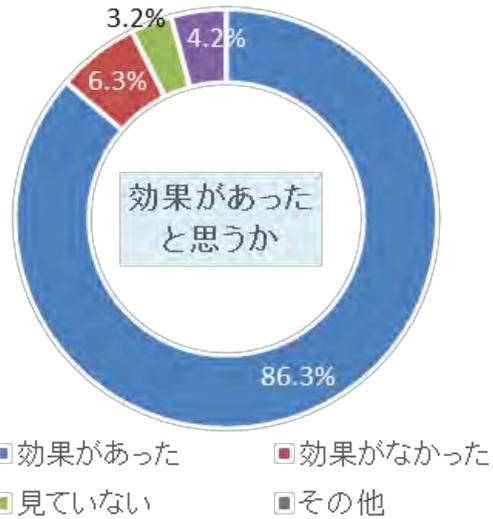


図-7 ヒアリング調査結果

4. まとめ

今回の実験により、路車協調システムによる自動運転車への支援は有効であることが実証された。しかし、実運用に当たっては、電柱がない場所においてもセンサ機器を簡便に設置できる運用やセンサの検知情報を、今後はオペレーターが確認する支援情報ではなく、自動運転車両への制御としての運用を目指し、引き続き、研究を進める必要がある。

参考文献

- 1) 自動運転実証調査事業と連携した路車協調システム実証実験 公募要領(令和5年5月 国土交通省道路局)
- 2) FUKUOKA Smart EASTモビリティ推進コンソーシアム 自動運転バス運行の実証実験(第2弾)を実施します。(2024年2月8日 <https://fse-mobility.jp/news/861>)

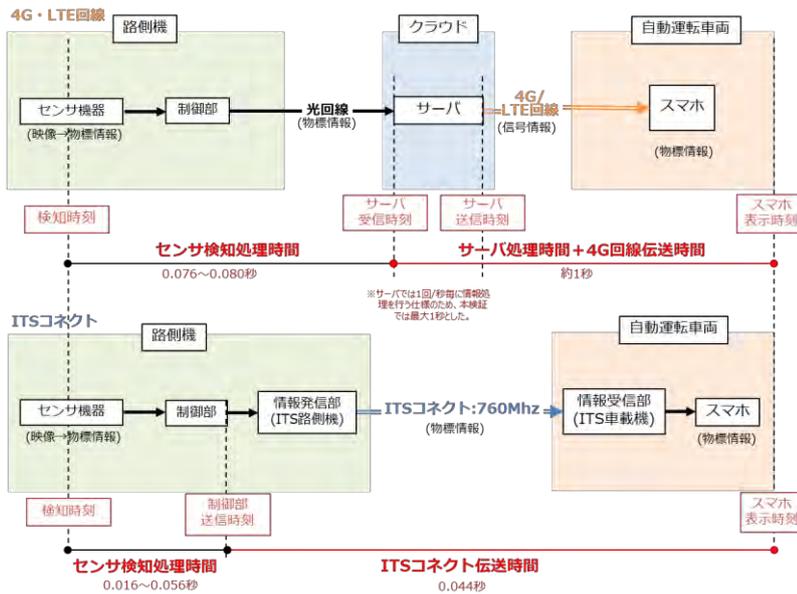


図-6 伝達速度比較結果

堤防管理の効率化並びに除草作業の自動化に向けた開発について

中村 海輝¹・白川 富治²・武藤 美代³

^{1,2,3}九州地方整備局 九州技術事務所 技術活用・人材育成課 (〒830-8570 福岡県久留米市高野1-3-1)

本報告は、堤防除草における作業従事者の高齢化、作業従事者の減少、労力のかかる維持管理の実態を踏まえ、作業の省力化・安全性の向上を目標に、九州地整管内の河川堤防の特性（植生、急勾配）に適した堤防管理効率化の検討、除草作業の機械化・自動化技術を開発したので報告するものである。

キーワード 堤防除草 維持管理 作業の効率化 自動化技術

1. 開発の背景

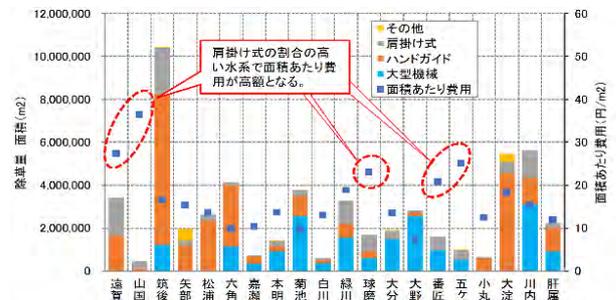
九州地方整備局における河川維持管理のうち、堤防点検のために事前に行う堤防除草は、作業従事者の高齢化や減少により、担い手不足が喫緊の課題となっている。特に、急勾配箇所では、肩掛け式による人力作業となり労力がかかることから、安全性確保や施工性向上、除草コスト削減が求められている。また、勾配1:2~1:3の範囲で施工している大型遠隔操縦式除草機械（以下「大型機械」という）による除草作業においても、大型機械に追従して操作する作業環境であるため、作業従事者の負担軽減が求められている。

今回このような課題に対し、作業従事者の高齢化、減少、労力のかかる維持管理の実態を踏まえ、作業の省力化・安全性の向上を目標に、九州地整の河川堤防の特性（植生、急勾配）に適した堤防管理効率化の検討、除草作業の機械化・自動化技術を開発したので報告する。

・九州地整全体の河川維持予算のうち、除草・集草・運搬・処分費用は全体の約6割を占める状況となるが、各水系の割合は様々である。

・整備局保有の大型機械の使用比率は、本明川、菊池川、大分川、大野川が高い。また、人力作業（肩掛け式）の使用比率は、山国川、五ヶ瀬川、遠賀川、球磨川が高い。

・急勾配の施工方法である人力作業（肩掛け式）の使用割合の高い水系は、単位面積あたり除草費用が高額となっている。



【出典】面積については「九州地整河川管理課：令和2年度堤防除草実態アンケート調査」の値を使用。費用については、上記面積に、「令和4年度施工パッケージ型積算方式 標準単価表」での各機械の単価を用いて算出した。

2. 堤防管理手法の検討

2.1 直轄事務所維持管理の実態とニーズ把握

河川堤防における除草の実態や現場改善のニーズの把握を目的に、既存データの収集整理及び直轄事務所へのアンケート調査を実施し取りまとめを行った。

2.2 堤防除草実態の情報収集整理

河川部が行った九州地整管内の河川系事務所の堤防除草の実態（令和2年度）から、堤防維持工事費用（除草・集草・運搬・処分費）、除草・集草手法別（機械作業・人力作業）の面積・費用、刈草処分の回数・処分方法・処分量等を水系別に整理し、図-1に示す。概略は以下のとおり。

2.3 ニーズ調査と開発方針

九州地整管内の河川系事務所を対象に、「堤防除草の実態と課題に関するアンケート調査」を実施し、回答結果の整理を行った。

調査結果から、図-2に示すように、急勾配の除草の機械化、大型機械の自動化、刈草処分量の削減及び低い草丈の堤防植生維持への対応を図ることを方針とした。その中でも特に導入効果が高い除草作業の機械化・自動化技術の開発を行った。

図-1 除草の手法別実施状況の把握

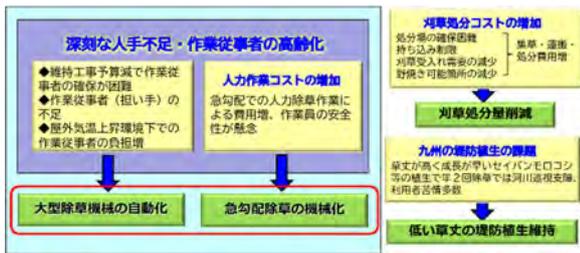


図-2 堤防除草の実態と課題に関するアンケート調査

3. 急勾配の堤防除草の機械化実証試験

3.1 急勾配対応の除草の機械化

九州地整全体においては急勾配箇所的人力作業（肩掛け式）の割合が全体の約20%を占めている（図-3）。そのため、人力作業を機械化することでコスト削減が期待できる。

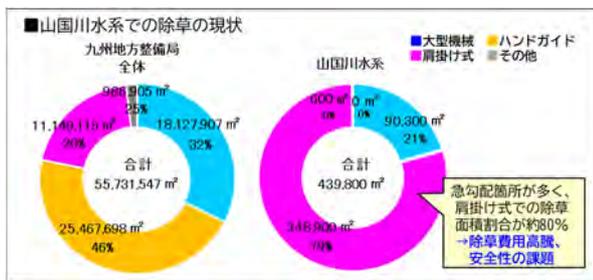


図-3 山国川水系での除草の手法別面積割合 (R2年度実績調査より)

そこで、急勾配対応型除草機械の試験導入を行った山国川河川事務所にてヒアリングを実施し、問題点の抽出を行った（山国川：肩掛け式除草が約8割）。令和元年度から試行している急勾配対応型除草機械（spider・2SGS）は、図-4のように天端から油圧ショベル等による牽引が必要となる。そのため、天端道路が狭い場所が多い現場に対して通行制限が必要となり、他の天端利用者の安全性確保にも課題があった。また、牽引する小型油圧ショベルが必要となり、施工コストは肩掛け式と同程度となっていた。

上記の問題を解決すべく、軽トラックに積載可能であって、牽引不要の遠隔操縦式除草機械を用いることにより、コスト削減と作業従事者の安全性向上を図ることとした。



図-4 急勾配対応型除草機械の試行事務所での取組み（山国川河川事務所の事例より）

3.2 急勾配対応型除草機械の機種選定

急勾配に対応可能な除草機械の情報を収集・整理し、九州地整での堤防の急勾配に適応できるか等の基本機体性能を現場条件等から評価した。

必要条件としては、試行中の山国川河川事務所へのヒアリングより、急勾配箇所では、概ね堤防天端幅も狭い場合が想定され、現地までの除草機械の搬入は、軽トラックによる運搬が現実的であることから、軽トラックで搬入できる機体幅・重量を考慮し、国内にてメンテナンスが可能で、作業能力の高いと思われる以下の4機種を選定した。（図-5）



図-5 選定機種

3.3 実証試験概要

急勾配の堤防除草の機械化実証試験は、令和5年9月5日・14日の2日間で実施した。実施場所は筑後川左岸37k400～900。

対象機種はすべて、同一場所にて「経済性」、「品質・出来形」、「安全性」、「工程」、「環境」の評価項目を設定し、図-6のように実証試験を行った。

また、実証試験見学者に対して同上の評価項目についてアンケートを行い、現場の意見を収集した。

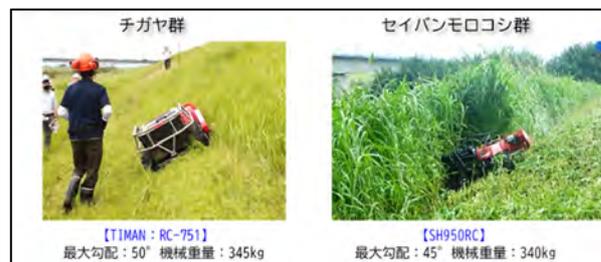


図-6 試験状況

3.4 結果のとりまとめ

実証試験結果を図-7にまとめた。概略を以下に示す。
・草丈の低い状態であれば、ロータリー式およびハンマーナイフ式共に、一定の精度の除草は可能である。

・九州の特性である密集した茎が堅く 背の高い草本(高茎草本類)は、機械が軽量のために根元に乗り上げてしまい、除草できない。

・草丈が高くなると、ロータリー式はやや不向きであり、ハンマーナイフ式の方が有利となるが、いずれの機器も一度の刈取りでは、基準となる出来形までの対応が困難であり、複数回の刈取りが必要である。ここで、刈取り方式(刈刃)の違いを図に示す。(図-8)

刈取り方式	ハンマーナイフ式	ロータリー式
植生への対応概要	・刈刃が縦方向に回転し草刈を行う機構 ・比較的草丈の高い植生に対しても刈取り可能 ・刈高の仕上がりの不均一さがやや見られた ・草刈機の刈高の設定によっては、複数回の刈取りが必要となる可能性がある	・水方向に刈刃が回転し草刈を行う機構 ・比較的草丈が低く、茎径も細い植生は、仕上がりが概ね均一に刈取ることが可能である ・草丈が高く茎径の太い植生に対しては、植生を倒して刈刃まで誘導できない場合がある
草丈が低	○刈高が均一：仕上がりが調整はやや難	◎刈高が均一：仕上がりが調整がし易い
草丈が1m	○刈高が均一：仕上がりが調整はやや難	○刈高が均一：仕上がりが調整はやや難
草丈が2m	×刈取りはやや難	×刈取りはやや難

図-7 評価結果



図-8 刈刃

・遠隔操縦が可能でありかつ飛び石対策や非常停止機構などの対策が講じられていることにより、作業従事者の負担軽減や安全性の向上を確認した。

4. 大型遠隔操縦式除草機械の自動運転実証試験

4.1 大型機械の除草の自動化

2.3のアンケート調査により、作業従事者の深刻な担い手不足、作業従事者の高齢化により、大型機械の導入による除草作業の効率化や作業の苦渋軽減が求められている。

効率を考慮した刈幅の広い大型機械を使用しているが遠隔操縦のため、炎天下の中でも堤防の草の状況を目視確認しながら大型機械に追従して運転しなければならない状況であった。そこで、追従による苦渋軽減や作業効率の向上によるコスト削減を図るべく自動化を検討した。

堤防除草面積が広く、除草における大型機械の使用比率が高い水系(菊池川河川事務所、大分河川国道事務所(大分川、大野川) 図-9)に「自動化機械の導入可能性」、「導入にあたっての要求性能、要望、課題」についてヒアリングを実施した。結果、現状の大型機械を使用している箇所は概ね導入可能という現場認識が得られた。

ヒアリングにて把握した自動化にあたっての要求性能は次のとおりである

・機械除草により堤防法面を損傷させないこと、河川巡視・堤防点検に支障が無いことは大前提

・急勾配：現状の大型機械と同等以上を要望

・除草性能(作業性)：現状の大型機械で刈れず肩掛け式で先行併用して対応しているイタドリやクズも刈れるとよい

・草丈が高い場所：草丈の高い箇所でも除草可能なことが必要

・安全性能：障害物を検知し自動停止する機能が必要、また、自動化されて現地監視が不要となるとメリットが大きい

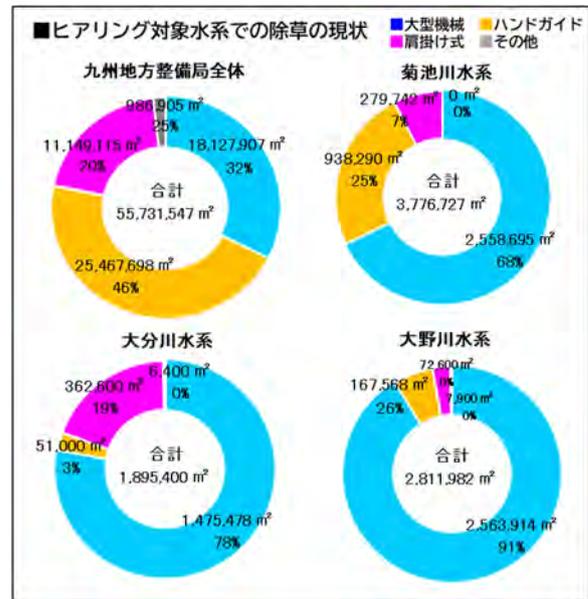


図-9 ヒアリング対象水系での除草の手法別面積割合 (R2 年度実績調査より)

自動化によって追従作業が不要となり、現在の遠隔操縦式に比べオペレータの労力低減や、安全の向上が見込まれる。更に、北海道開発局が検討している雁行運転(オペレータ1人につき複数台の運転)の実用化が進めば、更なるコスト低減が期待できる。

4.2 大型機械の自動化方針

大型機械を自動化するにあたり、開発コストの低減のため、先行して北海道開発局が同型の除草機械の開発を行っている自動制御システム(図-10) ¹⁾を選択した。

九州の現場条件に適した走行パターン、堤防植生に応じた走行速度等、大型機械の自動化導入の現場条件について実証試験を行うことで、北海道開発局とデータを共有しつつ検証した。

実証試験において、自動制御システム・走行ルートプログラム・ベースマシンの大型機械(機体:CG750)は北海道開発局と同一の仕様とし、データの共有を図った。自動化では施工場所の3次元座標データを基に自動運転用地図情報を作成し、地図の座標と除草機械に搭載したGNSS(全球測位衛星システム)の測位座標を比較し、走行の向きを自動制御して運転する。

現在、土工で行われているICT施工管理と同様の方法が可能と考えられ、今後検証していく予定である。



図-10 自動制御システム(九州地整保有の大型機械CG750に設置)

4.3 実証試験概要

自動化導入の可否と効果を検証するため自動運転実証試験を行った。

北海道開発局で行っている実証試験の堤防形状やその植生は、九州のものとは異なっているため、図-11のように現場条件を北海道開発局と分担した。

	北海道開発局	九州地整
堤防勾配	 1 5~10 6度~11度	 1 2~3 18度~27度
主な植生	 ◇試験フィールドの石狩川(たつが大橋下流左岸)では、草丈200cm程度のオオイタドリ、ススキ等が繁茂	 ◇九州地方では、草丈200cm程度のセイバンモロコシ等の草丈の高い植生が繁茂

図-11 施工条件の分担

相互にその実証試験データを反映することにより、システムの確証を高めるとともに九州地方の河川特性(法面が急勾配、高茎草本類が多い、気温が高い)を踏まえて、堤防法面への影響、走行精度、出来形(除草後の草丈)、施工時の安全性、耐熱性の要求性能を確認することを基本とし、実証試験を行った。

4.4 実証試験

大型機械の自動運転実証試験は、令和5年11月7日~9日に、筑後川右岸41.2k~42.2kで実施した。



図-12 試験フィールド

大型機械の自動運転化における要求性能、検証項目と検証方法、試験ケース等を検討し、選定した試験地における実証試験計画を検討した。

実施回数は試験範囲を12エリアに分け実施。(図-12)除草速度を4km/h、6km/hと変化させることで、堤防法面への影響、法面勾配の適応性等について評価した。走行パターンは、九州地方の大型機械の走行で多くみられるパターンと、北海道開発局での実績を踏まえ、スパイラルとスイッチバックの2パターン(図-13)とした。

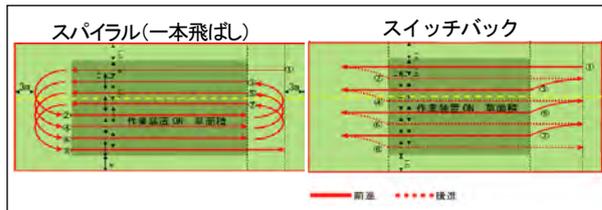


図-13 走行パターン

自動制御による走行(図-14)は、遠隔操縦と比較してもスムーズであり、走行ルートから大きく逸脱することもなかったため、施工性・安全性の向上が期待できると考える。



図-14 施工状況

4.5 試験結果

試験では堤防への影響、除草の出来形、走行精度を評価した。結果は以下のとおりである。

(1) 堤防への影響

堤防への影響に関する評価を目的に、各エリア除草後に履帯跡の計測を行い、その大きさと発生率を把握した。

確認は図-15に示すとおり、同一断面上で、勾配の異なる2か所と勾配変化点の1か所ごとに写真撮影および計測を行い、走行パターンと除草速度の組み合わせで比較を行った。

結果、図-16に示すように履帯跡の大きさやその発生率から、堤防への影響が少ない走行パターンは「スイッ

チバック×除草速度4.0km/h」であった。

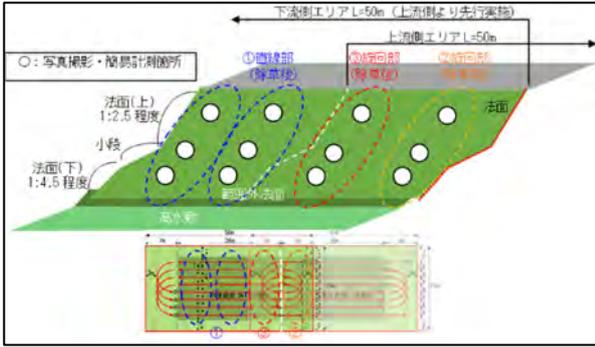


図-15 評価のための除草後の計測方法

今回の実証試験において除草機械の横滑りが生じて周りの土が寄せられる現象が発生していた。除草機械の横滑りは、九州地整の特徴である堤防が急勾配であることに加え、セイバンモロコシという高茎草本の刈草の堆積量が多くなり、その上を走ることにより滑りが生じたと考えられるが、遠隔操縦時と差異は無いと考えられ、施工効率の改善のため除草速度と旋回の半径も今後検証すべきであると考えられる。



図-16 堤防への影響

(2) 走行精度

走行精度を把握することを目的に、事前に設定した走行パターンと実際に走行した軌跡のズレ量を比較した。

結果、図-17に示すように許容値を下回り、九州地整の堤防の急勾配への適応性に問題はなく、さらにスイッチバック走行の方がより影響が少ないと考えられる。



図-17 走行ルートからのズレ量

九州地整の急勾配の法面においては、特に「スイッチバック×除草速度4.0km/h」で精度よく走行可能なことが確認された。

スパイラルとスイッチバックの平均ズレ量を比較すると、旋回部で大きな差が出ており、スパイラルの方が、

ズレ量大きい結果であった。(図-18)

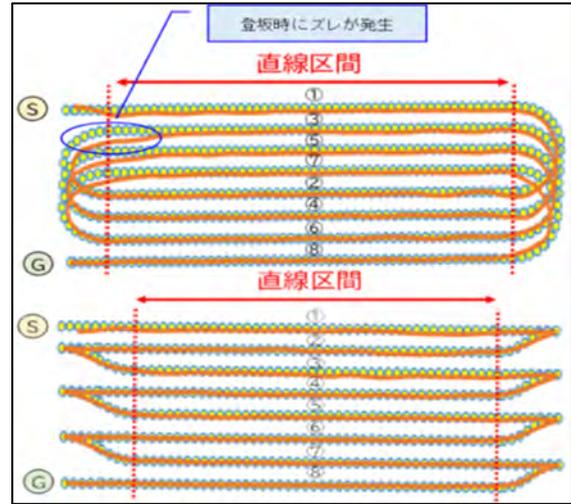


図-18 事前設定した経路と実際の走行経路

スパイラルの旋回部のズレ量増加の要因として、法面を登りながら旋回することから、傾斜による機械的な負荷と法面に堆積している除草後の刈草によってより滑りの影響を受け、本来の路線に沿うことができず、プログラムがショートカットするような走行経路を生成したものと考えられる。

今回の試験より、九州管内の堤防の急勾配への適応性は高く、特にスイッチバック走行の精度が高いと考えられる。

(3) 出来形

出来形の確認を目的に、除草後の草丈の計測を行い、走行パターン別かつ、勾配別(上段法面、小段)に分けて、出来形とそのバラツキを把握した。(図-19) 大半の箇所では、1回の施工では刈取り高10cm以下²⁾に仕上げることが出来ず、2回刈りが必要という結果となった。

走行速度別に出来形的良好度合いをみると、スイッチバックの方が良く、さらにスイッチバック×走行速度6.0km/hでは出来高が概ね10cm程度であった。

走行速度6.0km/hの試験は1エリアしかなかったため、走行速度については今後検証が必要である。

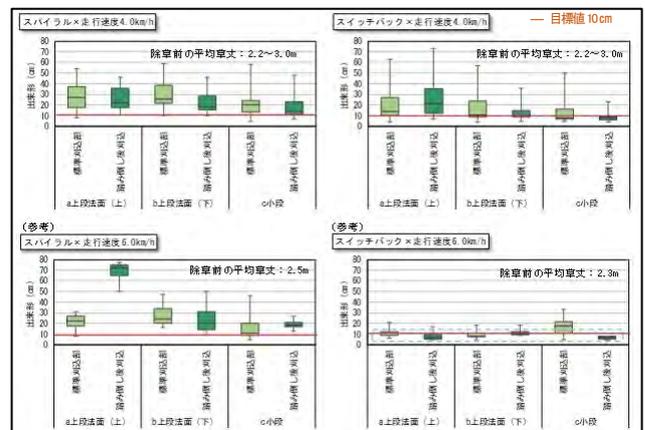


図-19 除草後の草丈の計測結果

今回の試験により、勾配変化点で刈残しが発生する事象が見られた。要因として、機体が法面の変化点を跨いで

走行する際に刈残しが発生する可能性がある（図-20）。今後ルート設定において2枚法面等の勾配変化点を含む堤防では、勾配変化点付近の走行幅を狭くし、ラップ幅を大きくするなどの工夫が必要と考えられる。

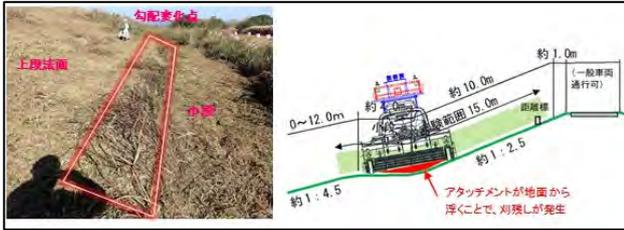


図-20 勾配変化点を跨いで走行するときの機体の状況

4.6 試験結果の総括

大型機械の自動化実証試験結果をまとめると以下の通りである。九州管内の堤防勾配（1：2.5 前後）、植生（セイバンモロコシ）への適応性は高いことが確認できた。

■**堤防への影響**：履帯形状と同等の跡が残るが大きな影響はない。走行パターンは、スイッチバックの方が堤防への影響が小さい。

■**走行精度**：許容値以下（±250mm：北海道開発局と同様履帯幅を目安）となり問題はない。走行パターンがスパイラルの場合は、旋回部にズレ量が大きくなるため、スイッチバックの方が精度がよい。

■**出来形**（除草後の草丈）：概ね管理値10cm以下には達しなかったため2回刈りが必要である。スイッチバックの方がやや草丈は低く抑えられた。また、スパイラルの勾配変化点で一部刈り残しが発生した。

■**施工能力**（参考）：除草の面積と時間から施工能力を試算した結果、大型機械と同等以上であることを確認した。

施工能力は、大型機械と同等以上であり、大型機械の標準施工量6,600㎡/日と今回試験結果の平均施工量約8,000㎡/日を比較すると施工能力は120%以上（2回刈りを想定した場合）の結果となった。自動化に伴いオペレーターの増員等は発生しないため、施工能力だけをみると施工コストを低減できる可能性はあると考えられる。

更に、今後2台の除草機で同時に自動除草を行う雁行運転の実用化が進めば、更なるコスト低減が期待できる。また、速度6km/hの施工が可能であれば、よりコストが下がる可能性があり、今後検証が必要である。

4.7 アンケート結果による評価

実証試験の見学者（河川管理者、作業従事者）アンケート調査では、「安全性」及び「施工性（負担軽減・省力化等）」の高い評価に対して、刈高・刈残し等の「品質」についてはやや低い評価となり、施工後の出来形に満足できていないことが推測される。（図-21）

この評価は1回刈り時の評価であるため、自動化による除草も2回刈りを想定すれば同程度の品質を確保できると考えられる。

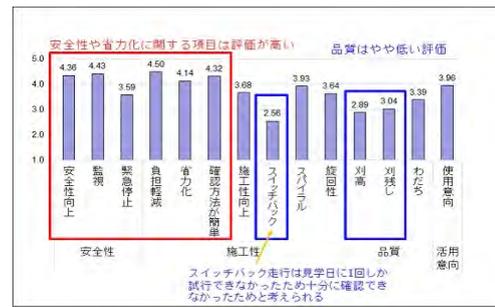


図-21 アンケート調査による評価

5. コスト削減効果の検討

従来施工に対する機械化及び自動化によるコスト削減可能額を再算定するとともに、自動化を九州地整管内で採用した場合の従来作業に対するコスト削減額の試算を行った。

○急勾配対応型除草機械：従来の人力作業の積算単価に対し、17%～56%（約28～15円：肩掛け約34円/㎡）のコスト削減が可能となる。

○大型機械の自動化：別途、労務歩掛の増加等を考慮する必要があるものの、標準作業量比1.2～1.4倍（貸与で自動化約4.5円～5.2円：遠隔操縦約6.3円/㎡）のコスト削減が期待できる。

また、自動化を採用した場合、試算によれば、手動操作に対する自動走行での施工能力向上（試験値）により、年間で約16%（大型機械を貸与するものとし、除草費用の試算：約73,000千円/年→自動化約61,000千円/年）のコスト削減が期待できる。

6. 課題と今後の検討

急勾配対応小型草刈機による堤防除草作業について、草丈の低い（チガヤ等）での施工は2回刈りを必要とするものの、概ね良好でコスト削減が期待できる。しかし、高茎草本類（セイバンモロコシ等）に対しては、小型の急勾配対応草刈機は施工不可のため、今後出力を向上させた中型クラスでの草刈機にて検討を行い、植生に関係なく施工可能な機種を選出を行う。

また大型機械の自動化について、北海道開発局の自動システムは、九州の現場では施工可能であり、事前準備（走行地図作製）等の簡素化・効率化を目指し、導入に向けた検討を行っていく。

謝辞：今回の検討・開発にあたりご協力いただいた北海道開発局事業振興部機械課、河川部河川管理課、筑後川河川事務所、山国川河川事務所、（株）建設技術研究所、（一社）日本建設機械施工協会施工技術総合研究所、（株）筑水キャニオムの皆様に感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 北海道開発局：令和4年度除草自動化WG(第1回)R4. 10. 5
- 2) 国土交通省：土木工事共通仕様書(案)(令和6年3月)

高橋排水機場改造工事における BIM/CIMの活用

小林 由宜¹・大村 健之¹・倉元 省吾¹

¹九州地方整備局 武雄河川事務所 管理課 (〒843-0023 佐賀県武雄市武雄町大字昭和745)

六角川水系緊急治水対策プロジェクトの一環である高橋排水機場改造工事は令和5年度に完了した3期工事を以って排水能力が増強された。3期目の施工にあたっては機場内の最奥部の設備を運搬する必要があり非常に狭隘なスペースの中、他設備との干渉を避けつつ運搬することが懸念点であった。一方、機械単独工事ではBIM/CIM施工の実績は全国的に少なく、その有用性や課題についても十分な知見が得られていない。

本稿は、高橋排水機場改造工事のうち最終年のポンプ設備改造工事において、BIM/CIM施工を試行したため、その有用性および課題について報告するものである。

キーワード 六角川、高橋排水機場改造、BIM/CIM、3次元モデル

1. はじめに

六角川水系では、令和元年8月の水害を踏まえ「六角川水系緊急治水対策プロジェクト」を策定し、被害の軽減に向けた治水対策を推進している。本プロジェクトの一環である、六角川水系武雄川の高橋地区における高橋排水機場増強工事では、既存ポンプ設備の能力を最大限に活かす事でコスト縮減及び治水効果の早期発現を実現し、令和6年3月に総排水量61m³/sという九州最大規模の排水能力となった。



写真-1 増強完成式典の様子 (2024年4月20日)

一方、令和5年度より国土交通省直轄土木工事ではBIM/CIMの原則適用化が開始されているが、機械単独工事においては適用外とされており、BIM/CIMの推進が遅れている。理由として、①BIM/CIM導入に係るコストが高く中小企業が多い機械設備メーカーでは導入が困難であること、②高詳細度の3次元モデルにおいて形状情報等に企業ノウハウが含まれているため知的財産保護の観点

から連携・共有が好ましくないこと、③施工から維持管理にわたる効率的な活用方法が確立されていないこと等が挙げられる。他方、人手不足により若手技術者の即戦力化が必要な時代となっている中、知識や経験の不足を解消するためにはBIM/CIMの活用が有効であると考える。

そこで本稿では、高橋排水機場改造工事におけるBIM/CIM施工の活用事例および機械単独工事におけるBIM/CIM施工の有用性と課題について報告する。

2. 設備諸元および工事概要

高橋排水機場は佐賀県が管理する六角川水系の武雄川の支川高橋川及び甘久川の河川氾濫による家屋浸水被害を軽減するため六角川水系武雄川の合流点に設置された防災施設である。その後、今回の改造工事を以って施設の最大排水能力は50 m³/sから61 m³/sに増強された。改造後の設備諸元は表-1のとおりである。

表-1 高橋排水機場 施設諸元

総排水量	61 m ³ /s
ポンプ形式	立軸軸流ポンプ
ポンプ台数	3台
ポンプ口径	2600mm
全揚程	2.9m
主原動機	ガスタービン (971kW)

高橋排水機場ポンプ設備の改造工事はポンプの現況機能を維持するため、令和2年度より毎年1台ずつ合計3台の工事を行った。工事内容としては、ガスタービンエン

ジン出力の増加に伴う減速機の更新，エンジン本体およびポンプ本体の改造，その他補器類の更新を行うものである。

3. 本工事における課題

本工事は3期目の最終工事であるが，最奥部に配置された号機が対象となるため機場の搬出口から最も離れており，設備や機器の搬入出において運搬距離が長くなった。また，運搬は天井クレーンを用いて行うが，機器を吊り上げられる高さに制約があるため，他設備の上空を運搬するのではなく，設備と設備の狭隘なスペースを運搬する必要があった。よって，本工事においてBIM/CIM施工を試行的に実施した。

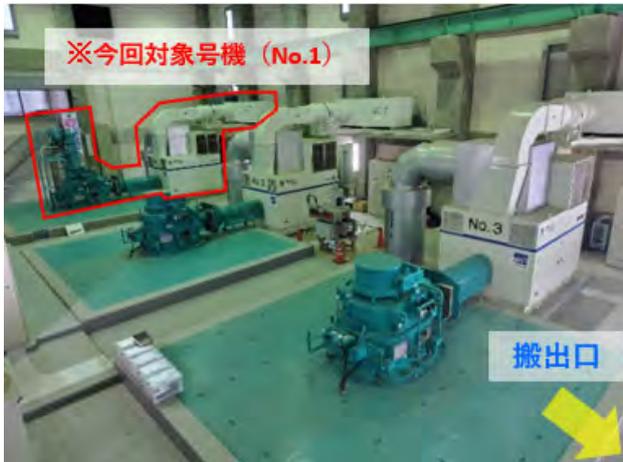


写真-2 今回工事の対象号機 (No. 1)

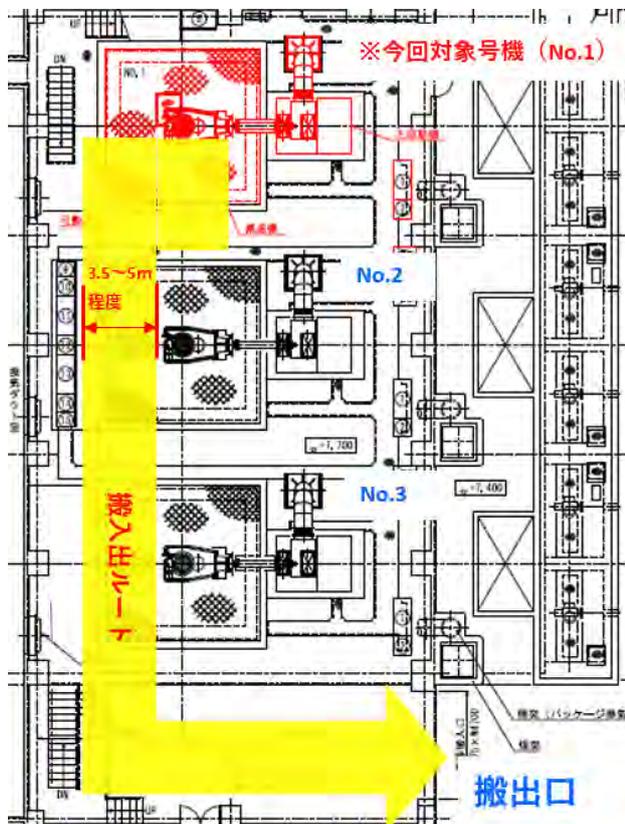


図-1 本工事の搬入出ルート



写真-3 狭隘なスペースを運搬している状況

4. 3次元モデルの作成

施工前に，BIM/CIM施工のため対象設備の3次元モデル化を，以下のとおり実施した。

(1) 点群データの測量

本工事で用いた点群データ測量のソフト概要について以下に示す。

深度技術	LiDAR (任意座標系)
レーザー	クラス 1 (IEC60825-1:2014準拠)
端末	iPad pro
解像度	10万点/秒, 1スキャン150万点
精度	+/-20mm@10m
最短動作距離(m)	0.5m
最大動作距離(m)	100m
閲覧方法	専用クラウド (DL不可)



写真-3 測量ソフトでの測量風景

今回使用した測量ソフトはLiDARスキャナで取得した点群データに加え，360度カメラによる撮影データを重ね合わせることができるソフトである。計画および施工時のBIM/CIMにおいては，簡易でわかりやすい現場状況の把握ができる。

(2) 3次元モデルの作成

点群測量したデータを国際標準規格であるIFCファイル形式にて3次元モデル化した。今回参考としたBIM/CIM活用ガイドライン（案）第6編 機械設備編では、IFCファイル形式での指定はないが、ファイルの汎用性・互換性、本データの今後の発展性の面から本施工ではIFCファイルでの指定をした。

3次元モデル化する際、自動変換を行うと点と点を結ぶ直線が誤って認識され、実際の形状をうまくモデル化できない部分があった。そのため人の手で適宜修正しながらモデル化を行った。今回、高橋排水機場全体を3次元モデルの対象としていたが、この3次元モデル化の作業には、数週間の期間を費やしている。

3次元モデル化するにあたり、モデルの分割単位をどのように設定するかが課題であった。設備を構成する部品一つ一つまでモデルにすると3次元モデル化に要する作業期間や費用が過大となる。今回は試行的に、単体で装置機能を発揮する「機器」単位での3次元モデル化した（詳細度200～300相当）。

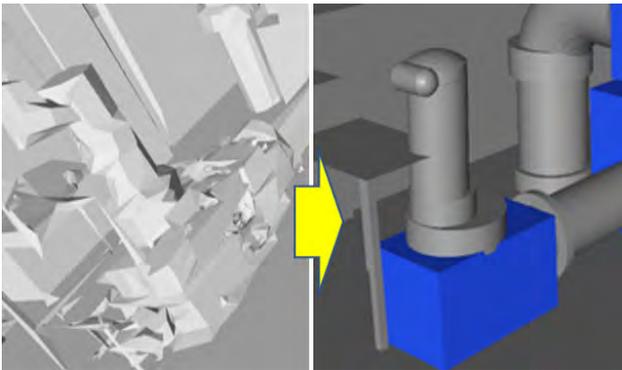


図-2 3次元モデル化自動変換と手直し後のモデル

5. BIM/CIM施工の実施結果

BIM/CIM施工を実施した結果を以下に示す。

(1) 現場条件の確認

点群データ測量により現地状況の計測を行った結果、任意箇所での計測が容易になった。なお、機場全体のスキャンに要した時間は約2時間程度であった。

搬出口までの狭隘な運搬スペースについては、予め各部の取り合いを数値で確認できたことにより、運搬ルートを検討や実作業時の最接近箇所の把握等ができたためより安全な施工ができた。

また、本工事で運搬する最も大きな機器であるヘッドカバー搬出時の吊り上げ代について、現地計測を行うことなく、施工に必要な吊り上げ代を測定することができた。これまでの施工においては、実際に天井クレーンで吊り上げながら干渉がないことを確認していたため、本工事では大幅な時間短縮ができた。

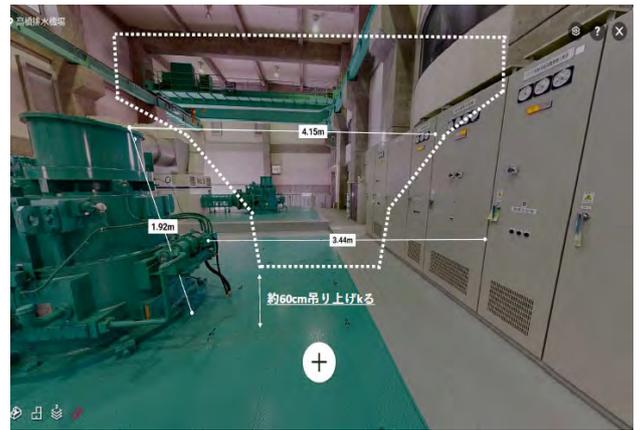


写真-4 ヘッドカバーの吊り上げ代確認

(2) 関係者等との施工条件の共有

前項で確認した運搬ルートや吊り上げ代について、下請け等関係者への説明にも効果があった。現場状況を忠実に再現したデータを用いることによって、直観的に情報共有をすることができた。特に、現地状況を把握していない新規入場者や施工イメージがつかない監督員等に対しても理解しやすいものであり、知識や経験の習熟度に因らず確実な情報共有が図れた。



写真-6 受注業者と下請けの打合せ状況

(3) 維持管理への活用

3次元モデルに維持管理のための属性情報の入力をした。入力した情報としては、①機器の名称・仕様、②補修工事名および内容、③更新時期である。今回使用したBIM/CIMソフトは、Autodesk Navisworksを採用した。

Autodesk Navisworksでは、属性情報は図形を選択してプロパティを開くことにより入力することができる。属性情報というタブは任意でカスタマイズできるため、入力の仕方はかなり自由度がある。また、外部参照という機能を用いることで任意のファイルやURLを図形に添付することができる。今回、工事内容、これまでの補修履歴、維持管理システム、施設台帳を外部参照として紐づけをした。施設に係る情報を一元的に管理できることが確認できた。



図-4 属性情報の記入例

6. 今後の展望

機械単独工事、かつ修繕工事におけるBIM/CIM活用を試みて、今後に向けた展望を以下に示す。

a) BIM/CIM導入に係るコストの低減

本施工では、点群データ測量は受注業者が所有しているソフトを活用しているため3次元モデル化に係る費用のみであったが、それでも高橋排水機場全体の点群データを3次元モデル化するのに数百万の費用を要した。BIM/CIMを導入するためには、一般的に点群データや3次元モデルを処理するための高性能PC等の多額の導入コストを要する。

今回BIM/CIMを実施する中で、様々な調査やヒヤリングを通じて、BIM/CIMを低コストで実施するためにクラウド上で処理できるソフトがあることがわかった。導入コストを抑えることでより中小企業が参入しやすくなり、実施コストも低減されることでより普及されると考えられる。

b) 適切な詳細度による企業ノウハウの流出防止

詳細度は、モデルの精度を表す指標である。今回は詳細度200～300程度の「ポンプ形式がわかる程度～装置あるいは機器単位で据付に必要な寸法がわかる程度」のモデルとしたが、詳細度をあげるにつれて現実の形状を忠実に再現したモデルとなる。しかしながら、今回維持管理で活用するために必要な詳細度は200～300程度で十分であることがわかった。その理由は、装置あるいは機器レベルでモデル化されていれば外部参照により情報を付与でき、情報の一元管理が可能となるからである。

企業ノウハウは、メーカーに聞き取りしたところ詳細度400や500で再現されるものであり、今回実施した詳細度200～300程度であれば再現されない。そのため、納品された3次元モデルデータを別業務で共有する場合にも、企業が持つノウハウの流出は防げる。詳細度を400, 500にあげることは過度な品質であり、企業が持つ知的財産保護の面でもコストの面でも不適切だとわかった。

c) 力学的解析によるモデルの利活用

モデルの活用方法として、有限要素解析（FEM解析）を用いた強度計算シミュレーションがある。FEM解析は一般的な機械系CADソフトに標準的に備わっている機能であり、詳細度300程度であればFEM解析が可能であることがわかった。FEM解析により複雑な構造であっても応力集中箇所や強度不足箇所、摩耗箇所等の特定ができると今後の維持管理において、脆弱箇所への対策方法の検討等ができる可能性がある。また、重心位置の特定は施工時の吊り位置の検討にも役立つ。従前行ってきた維持管理の活用のみならず、後は3次元モデルを用いることでより健全な維持管理業務の遂行が期待できると考えられる。

6. おわりに

今回、機械単独修繕工事におけるBIM/CIM施工を行った結果、BIM/CIM施工の有用性と課題がわかった。

今後、建設業の働き方はDX化が進むと考えられる。時代の潮流に取り残されないよう機械業界においても積極的に新技術を取り入れ、働き方改革の推進に寄与していきたい。

謝辞：本論文の作成にあたり、機械単独修繕工事におけるBIM/CIMの推進にご賛同いただき、資料のご提供やご指導、ご助言をいただきました関係者の皆様に深く感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 国土交通省：第10回建築BIM推進会議（R5.3.28）
- 2) 国土交通省：BIM/CIM活用ガイドライン（案）（R4.3）
第6編 機械設備編。
- 3) 国土交通省：直轄土木業務・工事におけるBIM/CIM適用に関する実施方針（R6.3）
- 4) 日本工営株式会社：機械設備 BIM/CIM 活用に向けた取り組み（R5.6）

自由断面掘削機遠隔操作システム

(Tunnel RemOS-RH) の現場適用について

岩佐 怜志¹・今村 剛¹・柳田 博史²

¹九州地方整備局 長崎河川国道事務所 工務課 (〒851-0121 長崎県長崎市宿町 316 番地 1)

²九州地方整備局 長崎河川国道事務所 西九州道推進室 (〒859-3205 長崎県佐世保市田の浦町 68)

自由断面掘削機遠隔操作システム (Tunnel RemOS-RH) は、自由断面掘削機の掘削作業に必要な運転動作を、切羽から離れた位置に設置した遠隔操作室で遠隔操作することが可能となる。そして切羽近傍における作業の軽減による生産性や安全性の向上が期待される。本報告ではシステムの概要および松浦1号トンネルでの現場適用結果について紹介する。

キーワード トンネル 遠隔操作 切羽 Tunnel RemOS-RH 自由断面掘削機

1. はじめに

松浦佐々道路 (図1参照) は、西九州自動車道の一部を構成し、長崎県松浦市志佐町浦免～北松浦郡佐々町沖田免を結ぶ延長約 19.1km の高規格道路である。

本路線は、長崎県北部 (北松地域) に位置し、九州北西部の広域的な連携を図り、地域の活性化に大きく寄与するとともに、北松地域唯一の幹線道路である国道 204 号の代替道路としての機能を有しており、地理的に制約された北松地域において、「経済の活性化」「交通サービスの向上」「生活圏の拡大」「観光ルートの開発」が期待されている。



図-1 松浦佐々道路位置図

2. 工事概要

松浦1号トンネルは、松浦佐々道路の起点付近に位置し、起点側の2級河川志佐川、終点側の2級河川悪太郎川に挟まれる標高 110m 程度の丘陵地を貫く2車線の道路トンネルである。このトンネルを施工する工事概要を以下に示す。

- ・工事名：長崎 497 号松浦 1 号トンネル新設工事
- ・工事箇所：長崎県松浦市志佐町庄野免地先
～松浦市志佐町白浜免地先
- ・工期：令和元年 11 月 22 日
～令和 6 年 10 月 31 日
- ・掘削工法：機械掘削工法
(上半先進ベンチカット工法)
- ・掘削延長：1,204m
- ・内空断面：94.3m²
- ・掘削方向：終点側からの片押施工

3. 現状と課題

建設業では、ベテラン技術者の引退や若手入職者の減少によって将来的に施工品質の低下や労働力の不足が懸念されている。また、山岳トンネル工事で

は切羽における肌落ち災害がたびたび発生しており、作業員が切羽に立ち入る作業の削減（切羽作業の無人化）が求められている。

自由断面掘削機による掘削作業は、通常、切羽近傍に設置された機体上からオペレーターが目視により操作を行うため、掘削に伴う粉塵や激しい振動・騒音に晒される過酷な環境下での作業となるほか、必要に応じて作業員が危険な切羽直下に降り、設計断面通りに掘削されているかを直接目視確認する場合がある。しかし、切羽は地山が露出しており、岩塊の抜け落ち（肌落ち）が発生すると、死傷災害につながる極めて危険な場所であるため、切羽直下作業を無くすための技術開発が急務であった。

このような背景から自由断面掘削機による走行や掘削作業の操作を崩落等の危険性の高い切羽から離れ、安全で良好な環境下の室内からオペレーターが遠隔で操作可能なシステムが開発された。

今回、松浦1号トンネルで本システムを試行することで、将来のトンネル建設現場の省人化、生産性向上、安全性向上に寄与できるものと考えてい

る。

4. 自由断面掘削機遠隔操作システムの概要

自由断面掘削機遠隔操作システムは、「遠隔操作室」、「映像・制御信号伝送システム」、「機体制御システム」、「ガイダンスシステム」および「安全管理システム」で構成されている（図2）

(1) 遠隔操作室

遠隔操作室内には遠隔操作コクピットおよび複数のモニターが設置しており、このモニターの映像や音声を確認しながら機体走行やブーム操作等を遠隔で行う。なお、座席下に電動式アクチュエータを設置しており、機体に設置した傾斜計と連動させることで、遠隔操作室に居ながらにして機体の傾斜や振動を体感できるようになっている。そのため、走行時に傾きを体感して逸走を防止することや、掘削時に振動を体感して手応えを判断することが可能となっている。



図一2 自由断面掘削機遠隔操作システムの構成

(2) 映像・制御信号伝送システム

機体と遠隔操作室の間の通信は、無線通信と有線通信を組み合わせた伝送システムによって行われる。機体および先端設備である集塵機の上部には送受信の無線アンテナが設置されており、無線伝送方式データ通信が行われる。集塵機のアンテナと遠隔操作室の間では有線通信を採用している。

機体には 10 台の FDH カメラ、集塵機上部には自由断面掘削機を含めた切羽周辺全体を見通せる 1 台の俯瞰カメラが設置されており、これらの映像データは遠隔操作室へ伝送される。

(3) 機体制御システム

遠隔操作室から伝送された操作信号は、自由断面掘削機に設置された機体制御盤で処理され、それをもとに機体が遠隔操作される。自由断面掘削機の制御に関しては、機体のクローラー、ブーム、カッターヘッド、アウトリガー、ケーブルヘッドに遠隔操作制御装置が取り付けられているため、機体の走行、ブーム操作、カッターヘッド回転といった掘削作業に直接関係する動作に加え、それ以外のアウトリガーの張り出し、キャブタイヤケーブルの巻取り、巻出し等、有人作業時に可能なすべての作業を遠隔操作することができる。

(4) 掘削ガイダンスシステム

自由断面掘削機を切羽に設置した際に測定される機体位置・姿勢情報および掘削時に計測されるブー

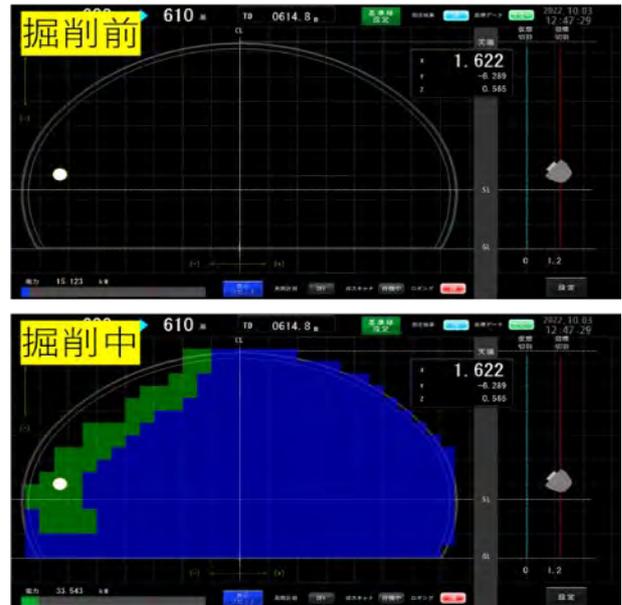


図-3 掘削ガイダンスシステム画面

ム稼働情報をもとにカッター先端部の絶対座標が計算され、モニター画面にリアルタイムイラストが表示される (図 3)。機体位置・姿勢情報は、自由断面掘削機の後方に設置して、事前に絶対座標を把握しておいた 3 個の特殊基準球を機体に設置した高速 3D スキャナで自動的に把握することで測定される。(図 4) また、カッター先端部の絶対座標をもとに、設計値と比較した掘削の出来形も、モニター画面に色分け表示されるようになっている。そのため、オペレーターはモニター画面を確認しながらブームを操作することで、設計断面に沿った掘削を確実に行うことができる。



図-4 高速 3D スキャナによる機体位置・姿勢測定

(5) 安全操作管理システム

遠隔操作時の安全を確保するため、無線通信が途切れた際や、遠隔操作室内に備えられた緊急停止スイッチが押された際には、自由断面掘削機の運転を停止させるシステムを備えている。

(6) 機体及び遠隔操作室の位置関係

自由断面掘削機及び遠隔操作室までの位置関係は模式図（図5）のとおりである。機体から基地局である集塵機までの距離はおおよそ50m～100mの間隔で追隨して設置している。

5. 遠隔操作により期待される効果

自由断面掘削機遠隔操作システム「Tunnel RemOS-RH」を用いることにより、自由断面掘削機の走行から掘削までの一連の作業動作を無線で遠隔操作することが可能である。

これにより切羽付近に立ち入る機会の削減（切羽作業の無人化）が可能になり、切羽の肌落ち粉塵などの危険を未然に防ぎ安全な施工へとつながる。また、掘削ガイダンスシステムにより、設計断面とカッター軌跡を逐次比較することで、設計通りの断面掘削が可能となり、掘削量やコンクリートの余吹き量低減によりコストダウンが期待され生産性の向上につながる。

6. システムの現場試行結果

(1) トンネル施工現場への導入

自由断面掘削機遠隔操作システムを松浦1号ト

ンネルに試験適用した。現場適応において、高速3D スキャナによる機体位置の算出精度をトータルステーションによる測量結果との比較で求めたところ、カッターの先端部に置いては概ね50mm程度に収まっており、精度としては問題ないレベルであった。

遠隔操作装置の作動や映像・通信状況においては、掘削により発生する粉塵で映像が見づらい、機械の振動によるカメラのブレで作業が困難、重機側方や後方、作業箇所全体を把握するためカメラの増設が必要などの課題が確認されたが、課題確認の度にシステムの改良を行い、現場での試験施工を複数回繰り返し、最終的には遠隔操作に大きく影響を及ぼすような映像・操作遅延もなく一連の遠隔運転動作を概ね円滑に行うことが可能となった。

(2) 課題と展望

導入により抽出された課題として、自由断面掘削機による長時間の掘削作業によって作業環境の粉塵濃度が高くなることで高速3D スキャナによる機体位置把握に時間を要し、有人作業時と比較した場合において施工サイクルが遅延することがあげられる。改善方法としては、高濃度の粉塵環境においても計測が可能なラインスキャナ（図6）による計測データを用いて、機体位置の把握ができるようにシステムの調整と改良が必要となる。また、システム自体の改良を持続的に行い、遠隔操作による作業効率の更なる改善を進めて行く

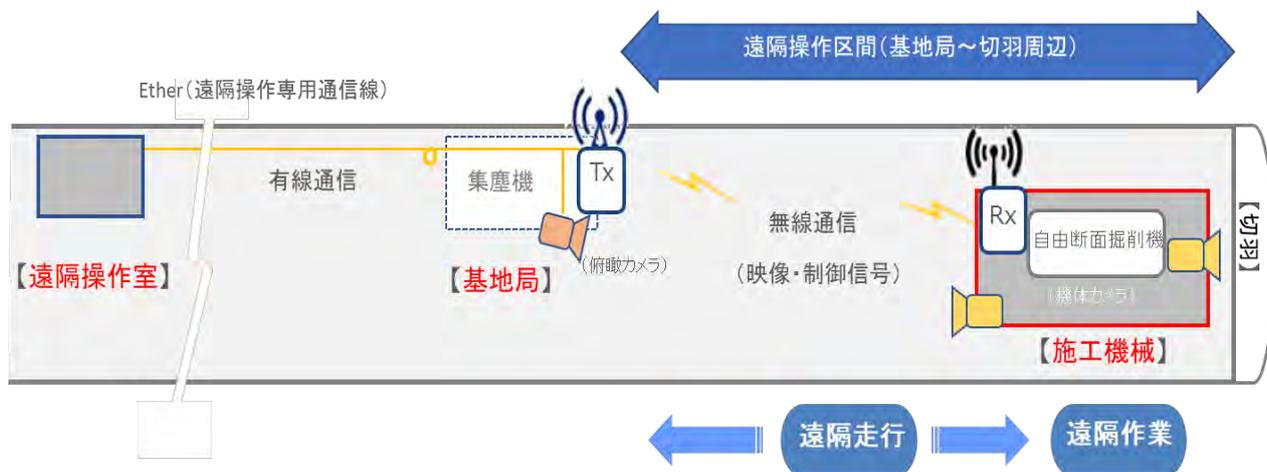


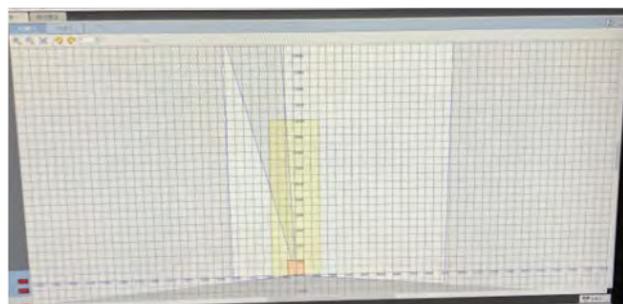
図-5 位置関係の模式図

ことが重要である。



SZ-VH1X

検出角度	190°
測定距離	60 m
測定間隔	0.2°



図一6 ラインスキャナ

7. まとめ

本稿では、自由断面掘削機遠隔操作システムの概要から、現場試行結果と今後の展開について報告した。

遠隔操作システム導入経緯の1つである、安全性の向上については、本システムを用いることで切羽付近に立ち入る機会を削減することができ、肌落ち等の危険性から回避することが可能になった。しかし、労働生産性の向上については、遠隔操作システムによる施工の場合、搭乗作業時の施工サイクルと比較しておおよそ1.7倍程度の時間を要する試行結果となっている。

国土交通省ではi-Construction 2.0を策定し、2040年度までに建設現場の省人化を少なくとも3割、すなわち生産性を1.5倍向上することを目指している。「施工、データ連携、施工管理のオートメーション化」の3つの柱において少ない人数で、安全に、快適な環境で働く生産性の高い建設現場の実現を目指して、建設現場のオートメーション化に取り組むこととしている。

また、2024年度は遠隔操作技術の普及拡大に向けて災害対策時以外の施工現場での試行工事の実施に取り組むものとしている。

今回試行を行った、自由断面掘削機の遠隔操作システムはi-Con2.0の取り組みと合致するものである。本稿の技術においては、施工サイクルの時間短縮を目標に生産性の向上に努めることが今後は重要であり、これらの大幅な改善が図られる事でシステムの現場適用が現実的なものになると考える。

また、松浦佐々道路には今後もトンネルで計画された区間も複数ある事から、今回の取り組み結果も踏まえ、施工者の様々な技術を十分に検討したうえで、当現場を試験フィールドの場として提供すると共に引き続き生産性・安全性の向上に向け、取り組んで参る。

雲仙・普賢岳における無人化施工技術について

岩田 和宙¹・久保 世紀¹

¹長崎河川国道事務所砂防課（〒855-0866 長崎県島原市南下川尻町7番地4）。

雲仙・普賢岳では、1990年11月の噴火に伴い広域かつ長期にわたって土砂災害を引き起こし、島原市を中心に甚大な被害をもたらした。復旧・復興の対策にあたっては、災害対策基本法に基づく警戒区域が設定され、工事を実施する上では多くの制約があり無人化施工技術が導入された。雲仙・普賢岳噴火災害で発展した無人化施工技術は、様々な工事や無線技術等の進化に伴い、活用がより広がり、二次災害のリスクが高い現場などで役立てられている。

ここでは、噴火災害を契機に始まった無人化施工技術の変遷及び今後の無人化施工技術の取り組みについて紹介する。

キーワード 火山噴火災害、無人化施工技術、ICT技術

1. はじめに

雲仙・普賢岳は、1990年11月に198年ぶりに噴火し、その後頻発する火砕流や土石流（写真1）により地域に甚大な影響を及ぼした。そのため、建設省（当時）は、1993年4月に、「雲仙復興工事事務所^{※1}」を島原市に設置し、直轄砂防事業に着手した。

被災に伴って、雲仙・普賢岳及び水無川流域周辺の広い範囲に災害対策基本法に基づく「警戒区域（人の立ち入りを制限する区域）」が設定された。（写真1、2）警戒区域内での作業は、建設機械を遠隔操作する無人化施工技術（以下、「無人化施工」という）が導入されることとなった。

除石作業から始まった無人化施工が、構造物構築において、複雑かつ高精度な施工を求められた。施工機械

の改良及び通信技術の向上に伴いコンクリート構造物の築造、鋼製スリットの設置などができるまでに技術が進展し、現在では熊本地震など全国の災害発生箇所での復旧活動に役立てられている。

雲仙復興工事事務所^{※1}が進めてきた無人化施工の概要を紹介する。



写真1 土石流による被害を受ける水無川流域



写真2 水無川流域と警戒区域（2024年3月末時点）

2. 無人化施工技術の変遷

(1) 無人化施工技術の導入

火砕流や土石流が到達する危険がある警戒区域内でも、安全に土石流堆積物を掘削・搬出できる工法を、1993年に公募し、一定の水準を満たした応募技術につい

て、警戒区域外で無人化施工による試験施工を行い、その有用性を確認した。1994年1月から警戒区域内の除石工事を開始した。無人化施工での除石工事は集土・掘削・積み込み・運搬の一連の作業を約600m（操作室→中継車→重機）の範囲内で実施するものであった。（図1、写真3）

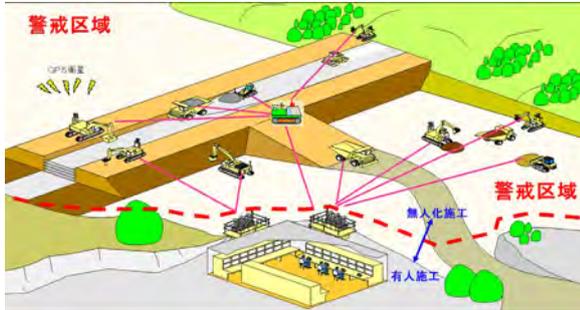


図1 無人化施工技術イメージ



写真3 無人化施工による除石作業(1994年3月)

(2) 無人化施工を構造物構築に応用 (1995年～)

除石工事は土石流災害の軽減としては一定の効果をあげているが、抜本的な対策として土砂を貯める砂防堰堤の早期完成が求められていた。

砂防堰堤の構造形式を選定するにあたっては、「無人化での施工」「土石流に対して安全な構造物」「現地発生土の有効活用」などの基本事項を踏まえた結果、RCC工法(超固練りコンクリートを用いた工法) (写真4) とCSG工法(現地発生土砂にセメントを混合した工法)を採用した。両工法とも「搬入・積み下ろし(クローラダ



写真4 RCC工法の施工状況

ンプ) →敷均し(ブルドーザ) →転圧(振動ローラ)」の手順を繰り返す施工(図2)であり、除石工事で実績を積んだ無人化施工機械を応用したものである。これらの工法を用いて建設した水無川1号砂防堰堤(1995年着工)は、我が国で初めての無人化施工による建設であった。

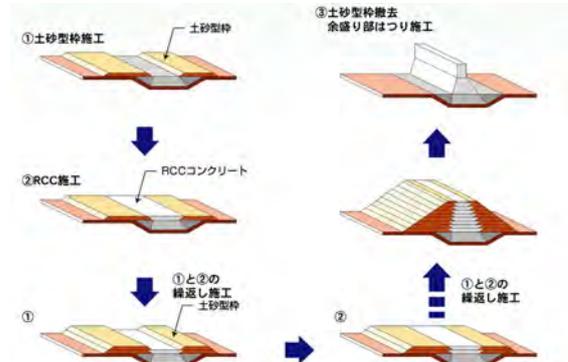


図2 RCC工法の施工手順

(3) 無人化施工技術の発展 (1995年頃～2016年頃)

構造物構築における無人化施工の適用にあたっては、複雑な作業に対応できる施工機械の開発や、高い精度の施工管理を行うための技術開発が必要であった。

1990年代後半には、施工性の向上や施工技術の多様化が進んだ。大型コンクリートブロックや鋼製スリット、根固めブロックを掴むための装置(以下「把持装置」という)を開発したことで、施工可能な工事が増え、複雑な工事にも対応可能となった。また、鋼製スリット等の設置位置精度向上を図るために、当時の最先端技術であるGPS技術を応用した無人測量機を開発したことで、高い精度で施工管理が可能となった。(写真5)



写真5 無人化施工による鋼製スリット設置状況

(4) ICT技術の導入による施工管理技術

無人化施工では、遠隔地からリアルタイムの映像をもとに重機を遠隔操作する。そのため、重機操作を支援するために、様々なICT技術が導入された。その技術の一部を紹介する。

a) GPSを利用した施工管理システム(1995年頃～)

ブルドーザや振動ローラにRTK-GPSを搭載し、敷均し高さ及び転圧位置の測位を行い、そのデータをパソコン上で色別分類して敷均し高さや転圧回数を管理するシステム。(写真6)



写真6 GPSを利用した施工管理システム(転圧管理)

b) 無人測量機(2004年頃～)

GPSアンテナ又は360度プリズムを搭載したマーキング装置をバックホウに装着。GPSや自動追尾式トータルステーションによりリアルタイムに位置の計測を行い、現地目標点にマーキングする機械。(写真7)



写真7 無人測量機

c) 3次元バックホウ誘導システム(2006年頃～)

バックホウにGPSと角度センサーを取り付け、バケットの刃先位置の三次元データを取得し、遠隔操作室のモニター上にあらかじめ入力した3次元設計データにバケット位置を合成映像として表示させるシステム。これにより、オペレーターがモニターの表示に沿って操作することで丁張りがなくとも正確な施工が可能となる。(写真8)



写真8 3次元バックホウ誘導システム

d) 施工管理精度向上への取り組み(2010年頃～)

各施工機械や計測機械の情報を集約し、進捗率や出来高管理などの情報を「現場情報管理画面」(図3)として示し、日々の施工管理精度の確保、施工効率の向上などを図った。

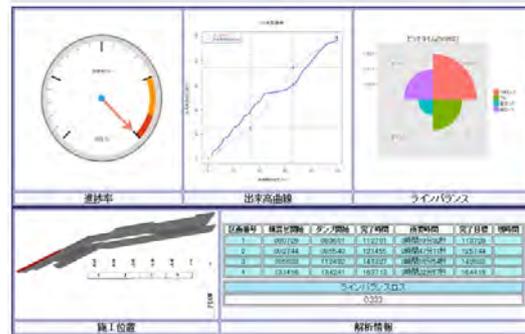


図3 現場情報管理画面

3. 無人化施工のさらなる技術発展

(1) 無人化施工技術を活用した維持管理への対応

水無川流域においては、2020年6月1日より直轄砂防管理を開始し、砂防設備の機能を維持するための除石工事や補修・修繕等を実施している。雲仙・普賢岳の噴火災害から34年が経過した現在もなお、災害対策基本法に基づく警戒区域が設定されている。

近年では、整備された砂防施設が部分的に損傷しているが、その補修には課題がある。無人化施工によるコンクリート打設は、大規模な設備が必要となるため、コストや施工ヤード等の問題で、部分的な補修工事には適さない。そこで、コストや施工性の観点からコンクリートブロックを活用し、補修を行うため警戒区域外で試験施工を実施し、適用性を確認した。今後は、この試験施工結果に基づいて、無人化施工による補修工事を推進していく予定としている。(写真9)



写真9 コンクリートブロックによる補修工事の試験施工状況

(2) BIM/CIMの活用

土砂管理の効率化を検討した結果、BIM/CIM (Building/Construction Information Modeling

Management) の活用を実施することとした。

航空レーザー測量成果(以下「LPデータ」という)と構造物、管理河床高等の情報を取り込み、3次元モデルを作成した。これらにより土砂管理計画に基づく必要掘削土量の計算が容易に可能となり、「土砂管理の見える化」を実現できた。(図4)



図4 3次元モデルによる「土砂管理の見える化」

また、作成した3次元モデルの管理は、次のように実施した。

- ①工事受注者へ3次元モデルのデータを貸与する。
- ②工事受注者にて、着工前測量をUAV写真測量により実施し、最新の地形や土砂の堆積状況を計測。
- ③3次元モデルと②で実施した掘削箇所の測量結果をもとに詳細な除石量を算出し、発注者と工事受注者で協議を行い、除石工事を実施。
- ④工事受注者が工事成果 (ICT成果) を発注者に提出。
- ⑤発注者が④のデータを基に3次元モデルを更新。

上記のように、受発注者間でのデータのやりとりを行うことで、堆積している土砂の現況を常にデータで得ることができ、継続的な土砂管理BIM/CIMの活用を図ることができている。(図5)

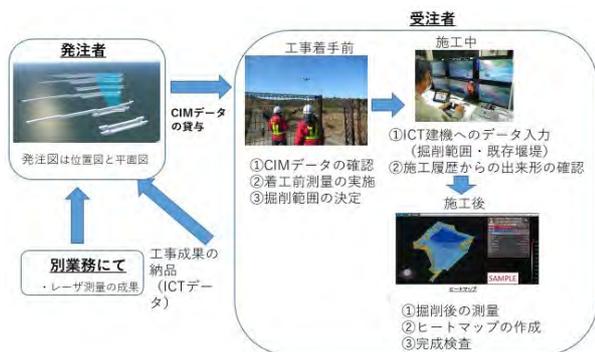


図5 継続的な土砂管理BIM/CIMの取り組み (イメージ)

(3) 雲仙・普賢岳における今後の技術開発

今後は、「i-Construction 2.0」の目指す姿である「自動化」「省人化」を目標とする。そのために、バックホウ・クローラダンプ・ブルドーザ等の施工機械で、自動化施工の課題抽出から始め、課題解決・試験施工等を行いながら、まずは雲仙・普賢岳の現場に適した、自動化施工技術の開発に取り組む予定としている。

4. おわりに

雲仙復興事務所^{※2}、建設会社、建設機械メーカー、専門工事業者等様々な業種の技術者の相互協力により、無人化施工技術は実践的な技術として飛躍的な発展を遂げてきた。

現在では、東日本大震災における福島原子力発電所や熊本地震における大規模土砂崩落箇所など、二次災害の恐れがある多くの災害復旧現場において、無人化施工技術が活用されている。

雲仙復興事務所^{※2}は、2021年3月に砂防施設の整備を終えて閉所となり、同年4月に設置された長崎河川国道事務所砂防課(雲仙砂防管理センター)が水無川流域の直轄砂防管理を引き継いでいる。今後も長年にわたり蓄積された知識や技術をもとに、「無人化施工発祥の地」(写真10)として、さらなる無人化施工技術の開発に積極的に取り組む予定である。



写真10 「普賢岳・火山砂防 無人化施工発祥の地」の碑

付録

- ※1 建設省雲仙復興工事事務所 (1993年～2001年)
- ※2 国土交通省雲仙復興事務所 (2001年～2021年)

岩瀬ダム再生における調査計画段階からの効果的なBIM/CIM活用について

吉岡 拓海¹・米山 直貴¹

¹九州地方整備局宮崎河川国道事務所 開発調査課 (〒880-8523 宮崎県宮崎市大工2-39) .

岩瀬ダムは、平成31年4月よりダム再生事業として実施計画調査に着手しており、まず取りかかりとして、古いダムで台帳の情報が少なかったことから、建設当時の調査・設計・施工に関する基礎資料を収集整理するとともに、既設ダムの現状把握や課題等を抽出する視点から始まった。そのため、既設ダムの情報や今後のダム再生検討内容をCIMで見える化し、関係者間で高い知識を融合させ、知恵を出し合い課題に取り組むものとし、CIM活用による「三次元デジタルモデルという道具を用いて多くの関係者が活躍しやすい環境をつくり、人と人を結びつけて生産性を向上させていくこと」を基本方針としてこれまで取り組んできた事例を紹介していく。

キーワード CIM, KOLC+, Google Earth, ダム再生, 三次元

1. はじめに

(1) 岩瀬ダム再生事業着手までの経緯

大淀川流域では、平成17年9月の台風14号に伴う洪水において、当時の基本高水ピーク流量を超過する洪水が発生し浸水家屋約4,700戸におよぶ甚大な被害が発生した。これを踏まえ、平成17年度から平成21年度の5年間で、激特事業による河川整備を集中的に実施している。また、平成17年9月洪水を踏まえ、平成28年7月に河川整備基本方針を変更しており、基本方針変更に加えてダム再生ビジョンなどの河川を取り巻く状況の変化や現河川整備計画の進捗を鑑み、平成30年6月に河川整備計画を変更している。変更された河川整備計画のなかで、更なる

治水安全度の向上を目指し平成17年9月洪水と同等規模の洪水を安全に流下させるため岩瀬ダムの有効活用を図ることが位置づけられた。

その後、平成31年4月より新規ダム再生事業として実施計画調査に着手している。

(2) 岩瀬ダム再生事業の概要

岩瀬ダム再生事業は、洪水期の発電容量600万m³と死水容量900万m³を洪水調節容量に振り返ることで、現況の洪水調節容量3,500万m³から5,000万m³に増大させるとともに放流設備の増設を行うことにより、治水機能の向上を図るものである(図-1)。

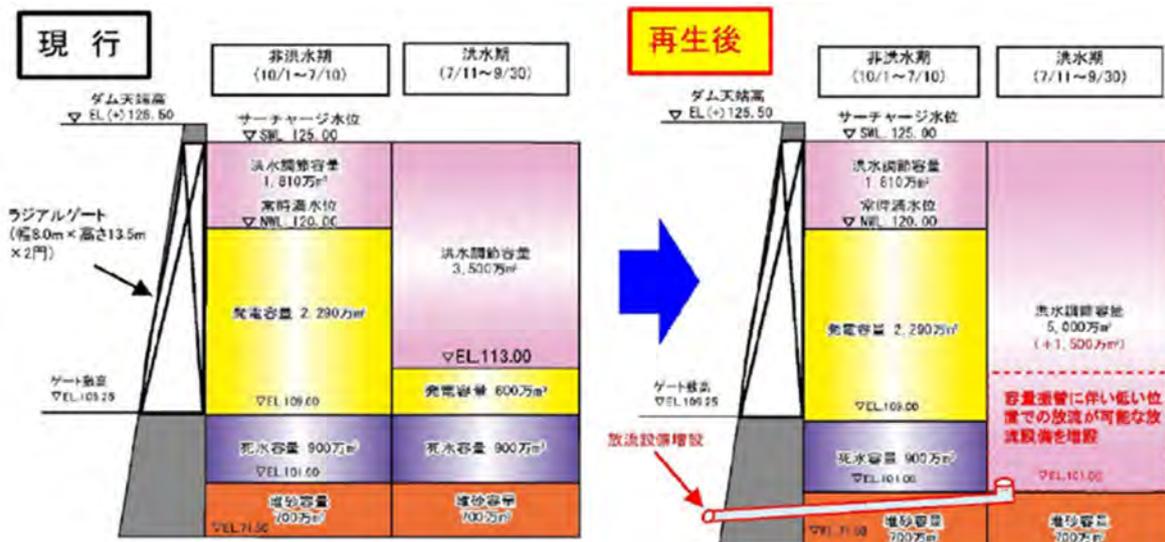


図-1 岩瀬ダム再生事業の概要

2. ダム再生の難しさ

既設ダムを有効活用するダム再生は、短い時間で経済的に完成させ、早期に効果を発揮するなどの特長を有しており、ダム再生は新規にダムを建設するよりも容易であるかのように思われそうだが技術的にいえば、ダム再生はダム新設より難しい点もある。

その理由は、新設ダムの場合には不可視となる部分が少なく、多くの情報を得るための調査ができるため、調査や設計の進捗、精度向上しやすいのに対し、ダム再生はすでに堤体が存在し、貯水池が形成されているため調査における物理的な限界があり、見えない部分が多い。また、今回の岩瀬ダムは昭和42年に建設された県管理のダムであり、比較的建設年代の古いダムということもあり、ダム建設時の地形・地質情報や堤体の設計思想に関する資料等が現存しておらず、わずかな図面や写真からの情報を得る必要があり、合わせて設計・施工時点の法令や設計基準の現行との相違なども読み解く必要がある。そのために発注者が主体となり、業務の受注者、そして関係する全ての人たちと協働し、情報を重ねていくことで見えないものを見えるようにしていくことが重要である。私はここにダム事業におけるCIM活用の必要性があると考えている。

3. 岩瀬ダム再生事業CIM検討会

前述した状況で事業展開を図っていくために、令和2年11月6日に発注者、受注者、学識者を交えて第1回岩瀬ダム再生CIM検討会を実施している(写真-1)。検討会はこれまで計7回開催しており、その中で岩瀬ダム再生事業では「三次元デジタルモデルという道具を用いて多くの関係者が活躍しやすい環境をつくり、人と人をつなげて生産性を向上させていくこと」を岩瀬ダム再生CIMの基本方針としている。そのため、調査計画段階より積極的にCIMを活用した検討を実施している。



写真-1 第1回岩瀬ダム再生CIM検討会の様子

なお、CIMデータ活用のプラットフォームとしては形式にとらわれず誰でも作成できるものとして、「簡易CIM」、「モデル詳細CIM (BIM/CIM活用)」、「高度技

術CIM」の3つに分類し、それぞれ用途に応じて使い分けて試行的に実施するものとした(図-2)。

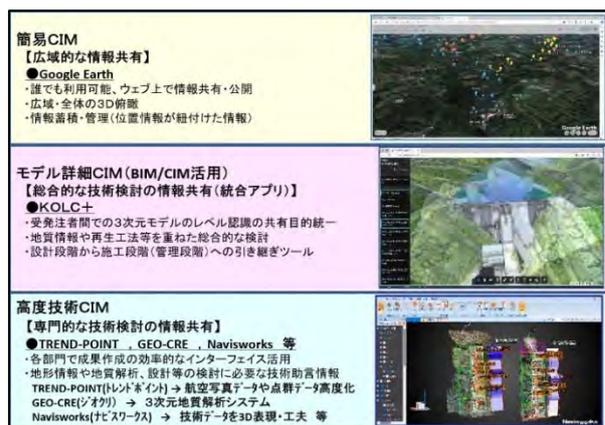


図-2 CIM事業監理プラットフォーム活用モデル

4. 岩瀬ダム再生事業におけるCIMの取り組み

CIM検討会で一番課題となったのが、調査検討段階でのあらゆる情報をどのように誰にでもわかりやすく見える化するかということであった。見える化することで、受発注者間で共有化され、内容の理解や議論が深まり、業務の効率化や精度の高い事業マネジメントに繋がると考えている。そこで、今回見える化に成功した以下の事例を紹介していく。

- (1) 既設ダム情報の見える化(復元)
- (2) 複雑な地形・地質構造、地質情報の見える化
- (3) 水理地質(測定結果)の見える化
- (4) KOLC+活用による業務の効率化

(1) 既設ダム情報の見える化(復元)

基礎となるダム情報は、Google Earthを活用し、広域説明の際に効果的に活用することができる。例えば、岩瀬ダムの流域の規模感や位置関係を知りたいときには大淀川と岩瀬ダムの流域界を重ねることで確認することができる(図-3)。



図-3 大淀川(橙線)と岩瀬ダム(赤線)流域界情報

また、岩瀬ダムのサーチャージ水位であるEL125mに達した際にどこが浸水するかを確認したい時でもGoogle Earth上でEL125mをプロットしていけば図-4のように確

認することができる。

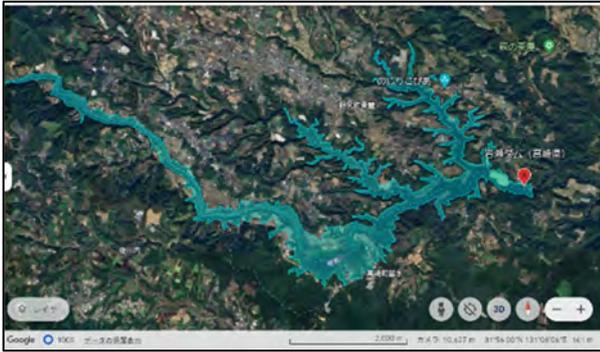


図-4 岩瀬ダム貯水池に関する情報

特に課題であった既設ダムにおいては、既存資料や地質条件の検討資料及び地表地質踏査結果（写真-2）に基づいた地質分布やダム不可視部である堤体基礎掘削面形状について考察し、地質区分や岩級区分、透水性区分などを復元CIM化し（図-5）、ダムサイト周辺の地質分布や地質工学的な問題点を検討し、地質解析精度の向上と地質的課題の一元化と情報共有を図りながら、既存の岩瀬ダムCIMを構築させた（図-6、図-7）。



写真-2 建設当時の施工状況写真

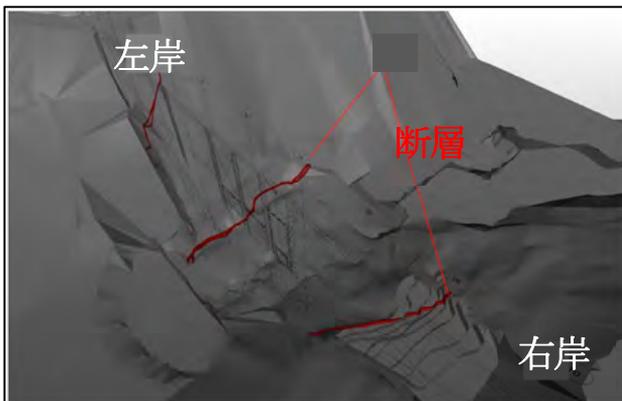


図-5 建設当時の不可視部の地形モデル

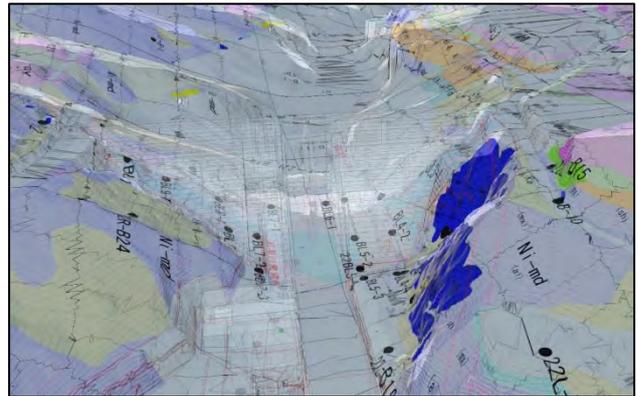


図-6 岩瀬ダム周辺の地質構造CIM化（ダム構造透過）



図-7 岩瀬ダム内部のCIM構造

(2) 複雑な地形・地質構造、地質情報の見える化

再生工法と検討において必要となる広域の地質調査では、岩瀬ダム周辺は左岸と右岸で地質構造が全く違う特徴を有しており、左岸は第四紀層と言われる軟岩主体の地質が分布しており、右岸は基盤岩が主体で地質が分布している（図-8）。また、地形においても左右岸で異なり、左岸はダム天端付近より平坦面が広がるのに対し、右岸は比較的厚い山体を形成している。このように複雑な地形・地質構造を有している岩瀬ダムにおいて地質技術者による地形・地質の判読、調査の解析内容を二次元の平面図等だけで理解することは困難であったため、地形・地質構造の一元化及び二次元図面を立体的にすることで地形・地質構造を直感的に理解することができ、また、ダム再生に対する地形・地質上の課題抽出に繋がった（図-9）。

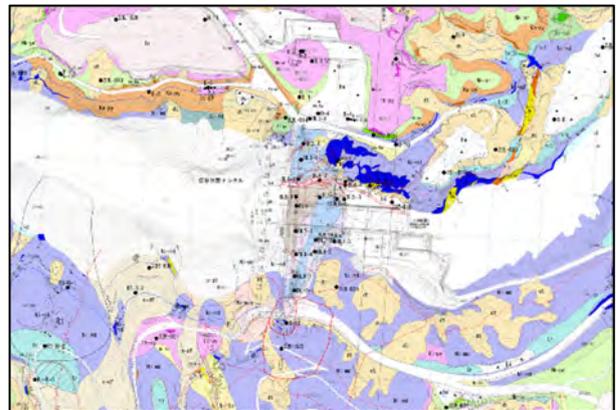


図-8 岩瀬ダムサイト周辺地質平面図（二次元）

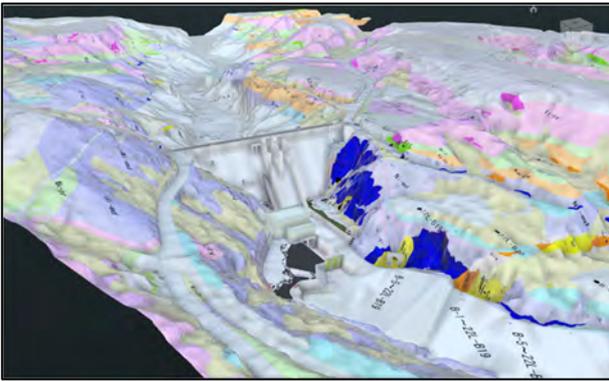


図-9 岩瀬ダム周辺三次元モデル

また、ダム周辺地質区分の特性を把握するために調査したトレンチ箇所において、令和4年度に空中写真測量によって得られた図-10と図-11のような地質スケッチ情報を三次元的に一元化し、図-12のようなトレンチ三次元データを作成した。

その結果、現地説明時に天候、汚れ、足場、立入り困難等の対策が不要になり、パソコン上で説明が可能になった。また、地質名・層相、地質技術者の見解などのコメントを挿入することで後任者、施工段階や管理段階への引継ぎ（技術伝承）資料として活用することができる。



図-10 空中写真測量によって得られた三次元データ



図-11 地質スケッチ情報

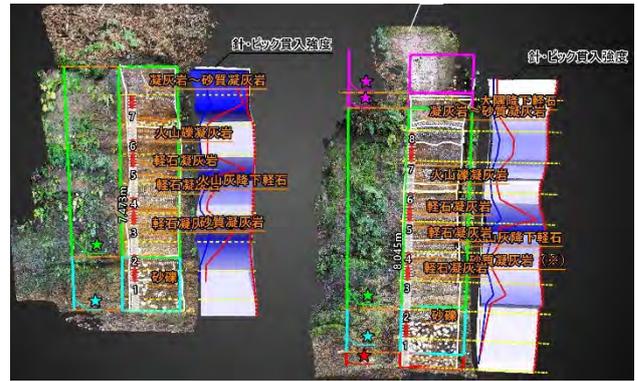


図-12 一元化したトレンチ三次元データ

(3) 水理地質（測定結果）の見える化

堤体及び基礎地盤の確認のために水理地質調査を行っており、その中で基礎岩盤の透水性と地下水流動を確認するために連通試験を実施している。連通試験とは新設基礎排水孔のうち1孔を注入孔として岩盤透水試験を行い、注入孔以外の周辺孔を観測孔として、その水位変動から孔間の連通状況を把握する目的で行う試験である。連通試験の結果、図-13に示すように周辺の複数の観測孔で顕著に水位上昇が見られたことにより注入孔（No10）から複数の観測孔へ水が伝播していることが分かる。

しかし、この結果だけでは直感的に分かりづらいため、試験結果を三次元モデルで注入孔と各孔との関係と水位変化を見える化することにした。すると、図-14のとおり岩盤中の水みちの構造把握が視覚的に理解することが出来るようになった。

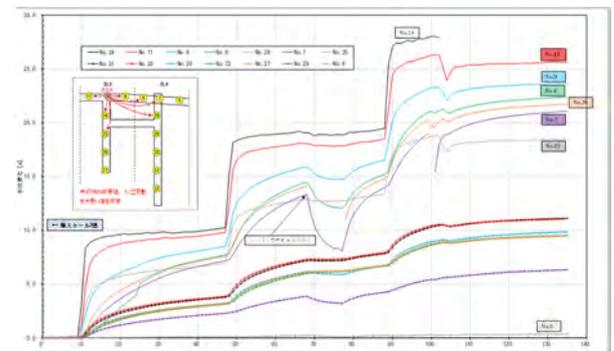


図-13 連通試験における観測孔（No10）の水位変動状況

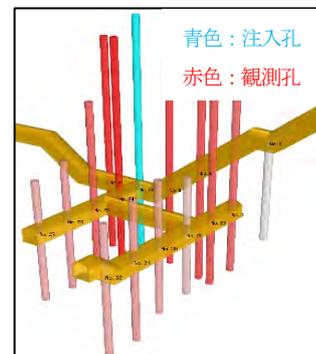


図-14 連通試験結果の三次元モデル化
（注入孔10：注入孔と観測孔の関係と水位変化）

(4) KOLC+活用による業務の効率化

ダム事業は調査計画段階からでも測量、地質、設計、環境などあらゆる分野の関係者が関わり、発注者はこれら関係者のマネジメントをしなければならない(図-15)。また、各分野で蓄積されたCIMデータを扱うため、それらを統合して共有する場及び議論しながら解決していく場として情報共有クラウドサービス「KOLC+」を活用している。

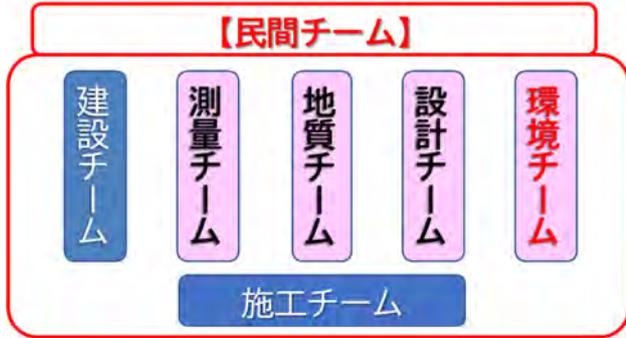


図-15 ダム事業関係者組織図

「KOLC+」上では、発注者と受注者である民間チーム合同による「岩瀬ダム再生事業受発注者プロジェクト」などの複数のプロジェクトを立ち上げ、地質チームと設計チーム等の関係者を同じプロジェクト内に追加することでお互いの連携が図れるようにした(図-16)。その結果、発注者側は複数の受注者がいても受注者同士で調整してもらえるため、やりとりの低減に繋がり、業務管理も一元化できるため、マネジメントがしやすくなった。受注者側も受注者間の連携により、より良い調査成果を得ることができる。また、各分野で作成された蓄積データについてはKOLC+に付加されている「統合アプリ」機能を用いることによりCIMデータを統合し、各関係者と共有・議論を行うことができるようになった(図-17)。このようにKOLC+を用いることで発注者及び受注者間の見える化に成功したと言える。

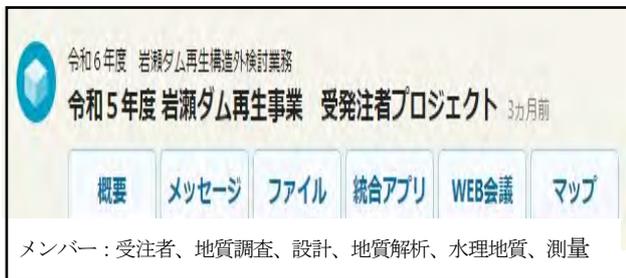


図-16 プロジェクトチーム結成

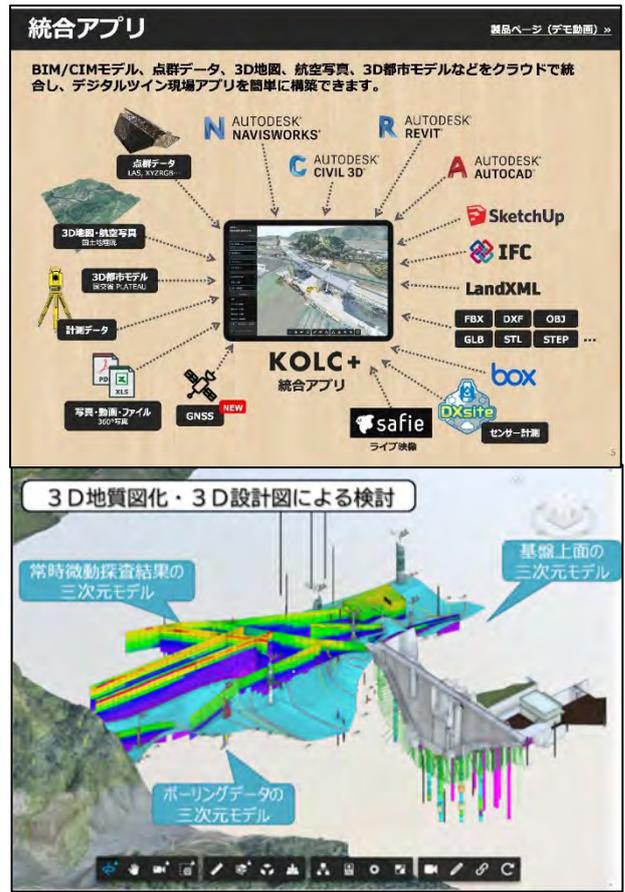


図-17 KOLC+活用状況
(統合アプリ概要図、統合アプリ画面)

5. 今後の展望

岩瀬ダム再生CIMは調査計画段階において、各分野の方々が協働で創意工夫しながら、やらされ感ではなく、自分たちの役に立つCIMを議論しており、この点で先駆的と言える。しかし、まだ、CIM活用が浸透していない事業も多い。そのため、事務所内の職員に向けて、CIM勉強会を開催している(写真-3)。この会では、学識者とKOLC+の方に来ていただき、CIM活用の重要性やノウハウを講演してもらい、我々だけではなく、広く、次世代にも受け継がれる必要がある。



写真-3 CIM勉強会の様子

6. まとめ

今回、調査計画段階からCIM活用を実施して、あらゆる情報を見える化することで、ダムの知識が全くない私でも理解することができ、議論について行くことができた。また、KOLC+を用いることで、複数の受注者がいる場合でもやりとりが軽減され、業務の効率化に繋がり、従来よりも精度の高いマネジメントを行うことができた。令和5年度より直轄の土木業務・工事において、BIM/CIM化が適用になり、これまでよりBIM/CIM活用がさらに求められる中で、発注者は積極的にCIMという道具を駆使して多くの関係者が活躍しやすい環境づくり、人と人を結びつけることによる生産性の向上、全ての関係者の知識を融合させ課題を克服することを図っていくマネジメント力が必要になると考えている（写真-4）。



（写真-4 岩瀬ダム再生に関わりのある技術者の方々）

謝辞：取り組み検討にあたり、きっかけを与えて頂いた上司の方々、並びにCIM検討会にて携わっていただきました関係者の皆様に深く感謝申し上げます。

時短BIM／CIM／DXの取り組み

田中 祐一¹・松本 佳之¹

¹九州地方整備局 本明川ダム工事事務所 工事課 (〒851-0121 長崎県長崎市宿町316-1)

実務担当者は、常日頃から時間に追われ多くの業務を遂行している状況にあるが、実務には従来手法によることで「時間を要している作業や業務」が数多く存在している。そのような状況を踏まえ、本明川ダム工事事務所では、『時短』に着目した取り組みを実践しているところであるが、単に業務を早く終わらせるだけではなく、『業務の無駄を見極め、排除することが重要である』ことを念頭に、従来手法で時間を要している様々な実務を抽出し、タイムパフォーマンスを意識してBIM／CIMの概念を持ちながらDXへ展開している取り組み事例を紹介する。

キーワード BIM／CIM, DX, 時短, タイムパフォーマンス

1. はじめに

本明川ダム工事事務所（以下、当事務所という）では、本明川ダムの早期完成に向け、職員一丸となって業務に取り組んでいるところである。そのような中、実務経験が浅く基礎知識が乏しい担当者にとっては、仕事を進めていくにあたり結果的に「時間を要している実務」が数多くある。その背景には、『業務の無駄を見極め、排除すること』が出来ずに従来手法や事例に頼っていることが挙げられる。これらを踏まえてまずは当事務所担当者協働で時間を要して苦労している実務を抽出するとともに、「デジタルネイティブ」と呼ばれるZ世代の世代感を以て、徹底的に時短していくことを目的として、まだまだ実践中の段階ではあるが、通常実務の中で様々なデジタル技術を積極的に導入して「効率性」や「生産性」の向上を追求しながら、BIM／CIMの概念を持ちつつDXへ展開している取り組みの一部について紹介する。

2. 時間を要している実務

前述のとおり実際に時間を要している実務を抽出した。

(1) 理解に要する時間

土木技術者として取り扱う資料の中には、必ず図面がある。経験豊富な熟練職員や、施工業者・設計コンサルタントの技術者などは図面を容易に理解し、課題の抽出から対応までが速やかに行えてフロントローディングが可能になり、早い段階で以降の実務の無駄をそぎ落とし全体業務量のスリム化が図られる。一方で、技術系の若手職員や事務系職員は、実務経験の浅さによる想像力不足により、特に2次元である理解に時間を要すと共に、課題等の把握が促らないケースも多々ある。また、技術者が図面を用いて一般の方に対して説明する際も同様のことが言え、自身の理解も然る事ながら相手方の理解を得るのはさらに難しい。（図-1）

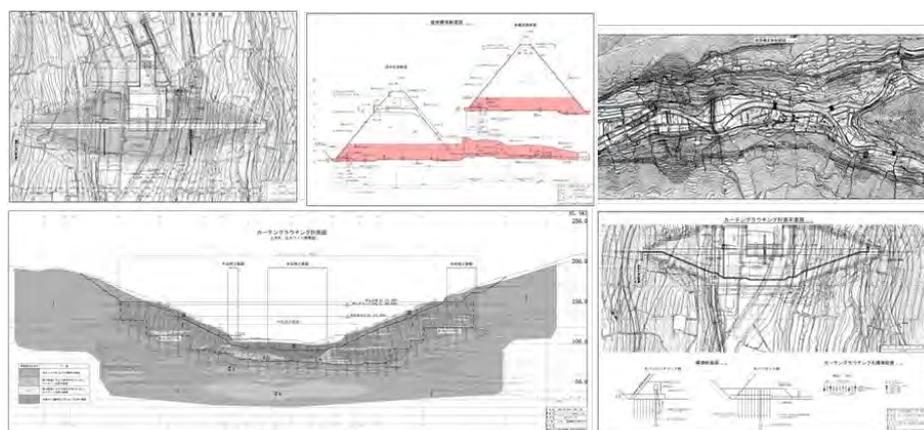


図-1 工事図面

(2) 検討に要する時間

現在、当事務所では6月末時点で8件の道路改築工事が稼働している。各工事は単体で完結する工事ではなく、工事間調整を含めた検討が必要である。一例で言えば、各工事の発生土量と必要土量の収支を調整する土量配分などである。これらは、担当者が各施工業者から発生土量や必要土量などを聞き取り、旗振り役となって検討や調整を行っており、各業者からの情報を集約するのも時間を要していると共に、ようやく情報を集約できたかと思えば、現場状況は日々刻々と変化し、それらに応じた検討ができず土量不足や土砂の一時仮置きが発生するなど対応が後手に回ることも少なくない。

(3) 共有（調整）に要する時間

工事を進めていく中では、現場で生じた懸案事項に対して内部にて報告・連絡・相談などを行いながら、場合によっては関係部署に共有する必要もあり、外部関係者との協議や調整等がある。そのような一連の実務を進めていくにあたり、従来手法では2次元図面に懸案箇所の写真を貼付して状況説明をしたり、メール等で共有しているが、これらの情報取得から資料を作成し、データを変換・統合等の共有には多大な時間を要する。さらには過不足等があれば、時間をかけて再度現場確認に足を運ぶなど時間を費やすこともある。共有は内部だけではなく外部とも必要であり、これらの情報がリアルタイムに共有（調整）できなかつたり、伝達不足があつたりすると部署間や内外部の縦割りが発生して業務が属人化したり、齟齬や手戻りが生じるなど組織的な生産性の低下を招く可能性がある。

(4) 合意形成に要する時間

組織内部での検討や共有が完了した後は、外部の関係機関や地元関係者と合意形成を図りながら事業を進め

ていくことが基本的な流れであるが、これまでの検討や共有は、経験や技術力の格差があるとはいえ、技術者の間での実務であり、基本的には法律や諸基準に準拠した基本を示したものである、これらの基本を元に関係機関との協議や地元関係者の意向を把握しながら互いの意見を納得のいく形で一致させる必要がある。この際、各関係者が2次元図面等を理解できない場合には合意形成までに相当な時間を要する場合があると共に、各者の意向を具現化出来ていないまま工事を進めると、後の段階で見解の相違が発生して地元紛争に発展したり、工事の概成時や完成後に修補を命じられて工程の遅延を招くなど、国損を伴う可能性もあり得る。

3. 解決のためのツール

現在までに多くのDXが進められてきた。それらを活用すると解決できることも多くある。

(1) CIMモデルの活用

図面を理解できない多くの理由は、完成形をイメージできないことが挙げられる。図面では平面図・縦断面・横断面の3つを用いてようやく立体的にすることができ。そこで、イメージ不足を補える手法の1つとして、BIM/CIMモデルが挙げられる。2次元の図面に対して、BIM/CIMモデルは3次元であるため図面を理解するのが難しい地元関係者や、若手職員、事務系職員の理解を促すことができる。（図-2）

また、BIM/CIMモデルは、例えば他で作成した構造物モデルや点群データ、等の複数データと統合することで、空間や時間の変化を一元的に見ることができる。これを用いることで、他工事や異工種間での検討や共有（調整）が容易となる。

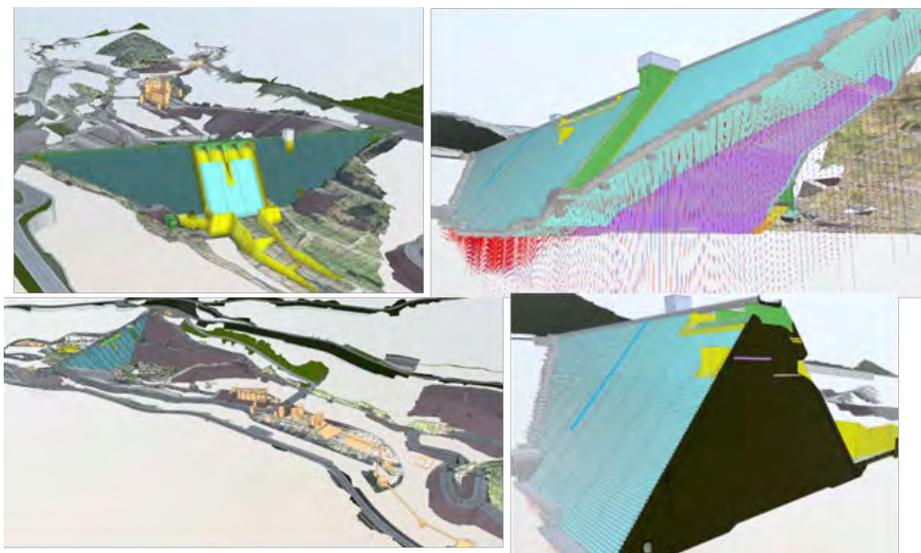


図-2 本明川ダムCIMモデル

(2) バーチャルツアーの活用

現場の状況を説明するのに活用できる手法の1つとして、360°カメラを用いたバーチャルツアーが挙げられる。360°カメラとは、文字通り上下左右360°を1ショットで1つの写真・動画に収めることができるソフトである。その写真をVRtourMakerというアプリに取り込み、バーチャルツアーを作成する。種類によってはGPS機能を搭載している機種もあり、撮影箇所の位置情報を取得できる。これらの情報を組み合わせてバーチャルツアーを作成することで、誰でも簡単に「位置」「360°画像」を1つのデータとして扱うことができる。(図-3)

(3) PIX4Dの活用

PIX4Dとは、iPhoneやiPadを用いて誰でも手軽に3D測量を行うことができるものである。pro以上の機種は、LiDARセンサーと呼ばれる装置が搭載されており、光を出して物体で反射して返ってきた光で物体までの距離や形状を測量し、そのデータをクラウド上にアップロードする事で、3次元データを簡単に確認でき、距離や面積、体積まで測定することができる。(図-4)



図-3 バーチャルツアー画面



図-4 実際に職員が計測している様子

4. 実際に取り組んだ事例と成果

(1) CIMモデルを活用した事例

a) 設計時点での活用

ダム本体工事での図面同士の整合を図るためにCIMを活用し、2次元での図面では気づきにくい鉄筋の干渉箇所を発見することができた。これにより、本来は熟練職員でないと見つけきれない箇所を、若手職員でも容易かつ具体的に見つけ、状況をイメージでき、理解速度向上にも繋がる。(図-5)

b) 施工時点での活用

隣接する区間の、各工事の施工計画にて並列施工の検討に活用した。橋梁工事にて架設の際にクレーンの配置検討を行い、隣接工事の盛土計画断面を統合モデルで確認したところ、配置予定のクレーンと盛土が干渉することが判明した。事前に確認したことで、着工後の手戻りを防ぐことができ、組織的実務速度の低下を抑制した。(図-6)

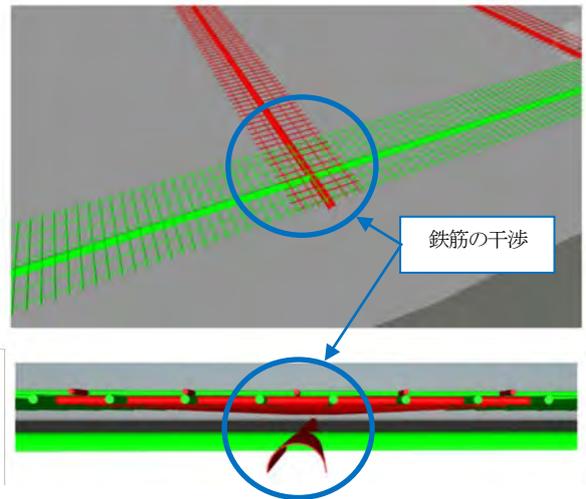


図-5 鉄筋の干渉をCIMにて確認



図-6 工事間での施工計画をCIMにて検討

c) 合意形成時点での活用

従来では地元関係者への説明には図面を使用していたが、図面を理解できる方は少なく、合意形成に時間を要する場合があった。そこで、CIMモデルを活用して説明を行った。CIMモデルで説明することで、2次元図面では分かりずらかった部分も3次元で可視化することによって、理解を促し合意形成までの速度を向上することができた。(図-7)

(2) 情報共有システムを活用した事例

当事務所では、1つのクラウドを契約しており、各施工業者に参加してもらうことで、リアルタイムで資料等を更新することで、担当者がメールにて集約する時間を短縮し、情報共有に要する速度を向上することができた。

(3) バーチャルツアーを活用した事例

机上で設計と現場の整合性を確認したい場合、直近の現場の記憶を頼りにするか、実際に現場に足を運んでいく状況にあったが、工事箇所や調査箇所のバーチャルツアーを定期的に作成しておくことで、いつでも机上から現場の状況を確認することができる。このバーチャルツアーは数十分で作成することができ、1人が現場に行き作成することで共有された関係者は現場に行ったような疑似体験ができる。現場へ移動する時間も短縮され組織的なタイムパフォーマンスが向上する。(図-8)



図-7 実際にCIMモデルにて地元説明している様子

(4) PIX4Dを活用した事例

バーチャルツアーと同様で、PIX4Dでも現場状況を詳細に共有することができる。PIX4Dの利点としては、特別な測量技術は必要なく職員自ら3D測量ができる点にある。工事にて掘削法面に空洞が発見された際には、iPadの端末1つで現場に行き、3D測量を行った。従来では、同様の事象が生じた際には、平面図・横断図・地質図・写真の4つのデータを確認していたところをPIX4Dの活用によって1つに集約することが可能となった。これにより、情報を探す時間が短縮でき、関係者間で共有することで、意思決定の速度向上に寄与することができた。(図-9)

6. 今後の展望

(1) 3次元データの可能性

これまでのダム本体工事の基礎掘削では、基礎掘削面の記録として手書きスケッチを行っており、本明川ダムでも同様の手法を考えているが、それには多大な労力と費用、時間を要する。詳細な地質情報であっても、2次元となると重層的に確認することが難しい。そこで、写真測量や点群測量を使用することで、1度に3次元データを取得でき、時短やコストカットが見込まれる。



図-8 バーチャルツアーを事務所内で共有している様子

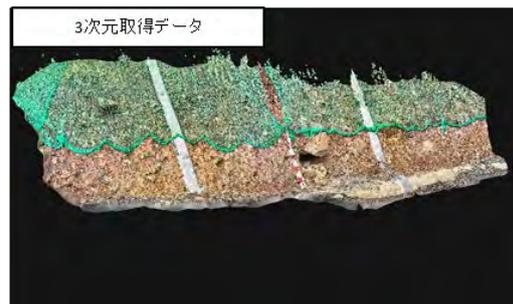
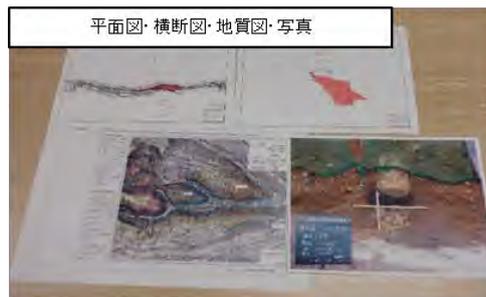


図-9 空洞を発見した際に取得した3次元データ

(2) 5次元CIM

現在のCIMでは、「高さ」「幅」「奥行き」に加えて「時間」の要素を追加できており、4次元化が完成しているところである。今後目指していくべきものとして、4次元に「予算」の要素を追加した、5次元CIMである。役所に勤めている人間が必ずといっていいほど携わる業務の1つに予算要求がある。予算要求は、「箇所」「工程」「要求額」「状況」を2次元で行っているところである。これらを取りまとめるには、多大な時間と労力を要している状況にある。それをCIMにて一元化することで、大幅な時短を目指していきたい。

7. 最後に

これまでに述べたとおり、当事務所では個々の時短も然る事ながら、将来の用途も踏まえながらデジタルデー

タを丁寧に積み重ねることで将来の不可視部分を一元化してデジタル記録として残しておくことが可能となり、ダム建設後の不測時の対応や再生・再開発の情報検索速度を向上させ、無駄を排除して将来の時短にも寄与できるよう努めているところである。

また、建設業界では、「働き方改革関連法案」の適用に5年間の猶予期間が設けられていたが、本明川ダム本体建設工事を開始する令和6年度から建設業も同法の適用が開始された。同業界では慢性的な人手不足や長時間労働など解決しなければならない労働環境問題が未だに多くある。これらの状況を鑑みて、当事務所では紹介した時短BIM/CIM~DXの取り組みにより労働時間の縮減=休暇の確保だけに止まらず、従来より言われてきた建設業の3K（きつい・きたない・きけん）からの脱却を目指すと共に、新3K（給与・休暇・希望）の実現に「かっこいい」を加え、『本明川ダム4K』を実現すべく、さらなる発展を目指していきたいと考えている。

鹿屋分水路点検におけるDX取組について

鶴本 孝也¹・岩元 正博²

¹大隅河川国道事務所 河川管理課 (〒893-1207 鹿児島県肝属郡肝付町新富1013-1)

²大隅河川国道事務所 河川管理課 (〒893-1207 鹿児島県肝属郡肝付町新富1013-1) .

鹿屋分水路の導水トンネル点検にあたり、維持管理の効率化・高度化を目的に、三次元測量、高解像度写真撮影等の技術を用いた点検の試行を行ったのでここに紹介する。

キーワード 維持管理の効率化・高度化, 三次元測量, 高解像度写真撮影

1. はじめに

鹿屋分水路は、肝属川の鹿屋市街部における抜本的な治水対策として、計画高水流量400m³/sのうち200m³/sを市街部上流で分流し、笠野原シラス台地に穿った分水路トンネルにより、洪水を安全に流下させるものである。鹿屋分水路は完成から約24年が経過し、老朽化による様々な問題の発生が懸念されている。今後も分水路が長期にわたり必要な機能を確実に発揮し、地域の安全・安心を確保するためには、適切な点検・調査診断により、状態を正確に把握して維持管理することが重要である。

鹿屋分水路においては定期点検を1回/5年実施しており、人による打音検査・目視点検を行っているが、出水による水位上昇により作業中断を余儀なくされたり、人の目や耳に頼るため長年の経験を伴った技術力が必要であるが、少子高齢化による将来的な労働力不足が懸念されるため、点検の高度化・効率化が求められる。

今回、従来の点検手法と併せて三次元測量・高解像度写真撮影等を用いた点検を行ったので紹介する。

2. 鹿屋分水路の概要

肝属川の鹿屋市外部を流下する区間(写真1)は、川幅が狭く沿川には家屋等が密集しているため、幾度となく氾濫や河岸決壊等の被害を受けてきた。本川の改修が難しいため分流する案を採用し、昭和59年度より工事に着手。平成8年6月に分水路本体が完成、平成12年3月に一連の分水路工事が完成した。鹿屋分水路の全長は2,639mであり、うち1,609mがトンネル部(写真2,3)である。



(写真1) 鹿屋分水路位置図



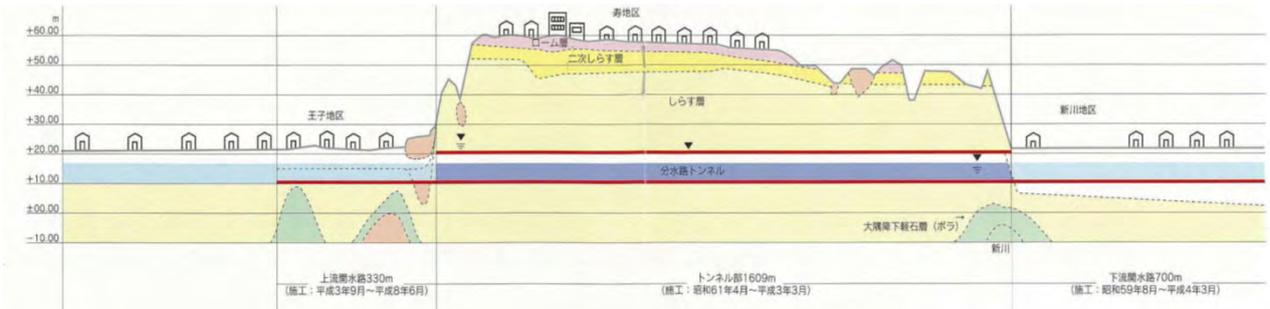
(写真2) 鹿屋分水路トンネル呑口部 (上流より下流を望む)



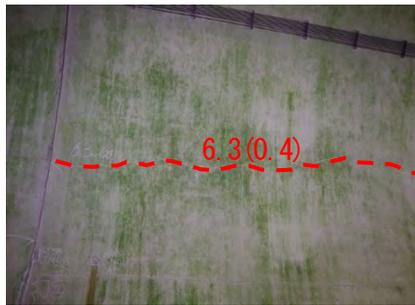
(写真3) 鹿屋分水路トンネル内部 (上流より下流を望む)

3. 点検の重要性について

鹿屋分水路トンネル部周辺の地層はシラス層となっており地下水位も高い(図1)。シラス層は透水性が高く、吸い出しによる地表面陥没が懸念されるためトンネル内の変状把握(写真4)が重要である。また、トンネル河川であるため常時流水の影響を受けるとともに出水時(写真5)による土砂の流入(写真6)の影響によりトンネル底部の摩耗等(写真7)の把握も重要である。



(図1) 鹿屋分水路縦断面図及び周辺の地層



(写真4) 変状 (ひび割れ)



(写真4) 変状 (うき)



(写真4) 変状 (漏水)



(写真5) 出水時の分水路への流入



(写真6) 砂利等の流入・堆積



(写真7) トンネル底部の摩耗

4. 点検高度化の取り組みと結果

従来の点検では、上流の分流堰に仮締め切りを設置して分水路への河川水流入を低減させた後、高所作業車を分水路内に入れ、人による近接目視点検と打音検査を実施している（写真8）。

今回、高度化の取り組みとして高解像度写真撮影、3Dレーザー計測レーザー打音検査、水中フォトグラメトリを用いて点検を実施した。



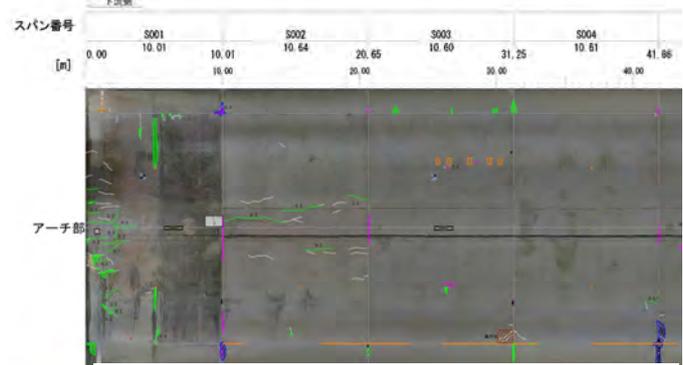
(写真8) 従来の点検（人力による打音検査）

4.1 高解像度写真撮影、3Dレーザー計測（MIS:走行型画像計測システム）

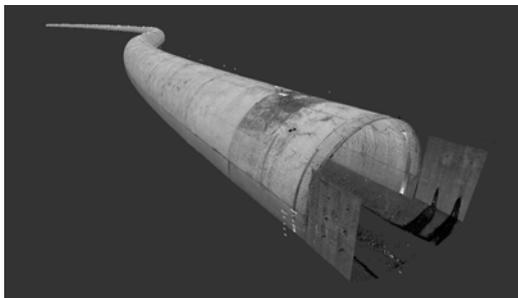
車両に搭載した高精度デジタルカメラ（写真9）でトンネル内を走行しながら撮影し、連続的に高精度の画像データを取得し（写真10）、ひび割れ等の変状を把握した。この技術より、目視では確認出来なかったひび割れを把握することが出来た。3Dレーザー計測も同時に実施し（写真11, 12）、次回点検時にも同様に計測することで、2時期の変状を詳細に把握することが可能となる。



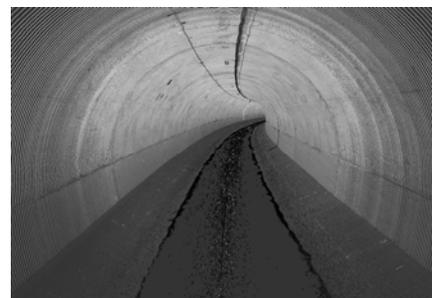
(写真9) 高解像度写真撮影



(写真10) 高解像度写真撮影により得られた画像
(トンネル底部より天井部を望む)



(写真11) 3Dレーザー計測図



(写真12) 3Dレーザー計測図（トンネル正面図）

4.2 レーザ打音検査、水中フォトグラメトリ

レーザー打音検査（写真13）、水中フォトグラメトリ（写真14）はトンネルの一部で試行的に実施した。レーザー打音検査は通常のハンマーによる打音検査に代わり（図2）、2種類のレーザー（振動励起レーザー振動計測レーザー 図3）を用いて表面の振動を解析し、内部の状態を検査する振動励起レーザーは通常打音検査のハンマーに相当し振動計測レーザーは耳に相当する。レーザー打音検査の結果は、従来の打音検査結果と比較しても同様の打音異常として検知された（写真15）またうきの大小・程度が表現され、より可視化につながる事が分かった。ただし、1回あたりの打音検査範囲及び間隔が狭く、機器を搭載した車両をその都度停車させてからの作業となるため計測には時間を要する事と、通常の打音検査と比べ30倍近くコストがかかる事が課題である。水中フォトグラメトリはトンネル部水面下の摩耗状況を立体的に把握するために撮影装置（写真14）をフロートに搭載し、人力で引きながら計測を行った（写真16）。今回の計測では水面下の可視化と3次元モデル化は可能であることが分かった（図4）。ただし水深が浅く撮影距離が近接となり解像度が荒くなるため、カメラの焦点距離を合わせるため、板等で流水をせき止めるなど（写真17）必要な水深を確保する必要があった。



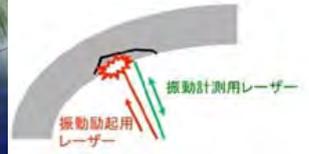
(写真13) レーザー打音検査機器



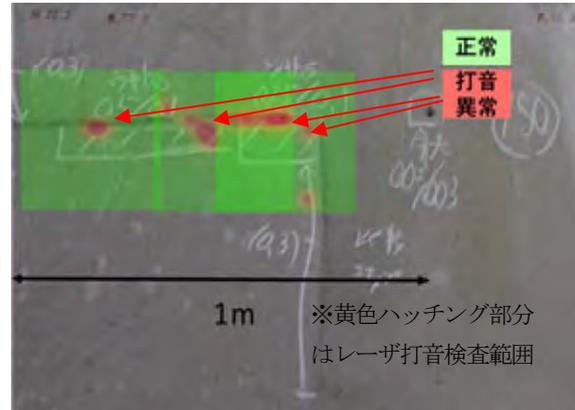
(写真14) 撮影装置



(図2) 通常の打音検査



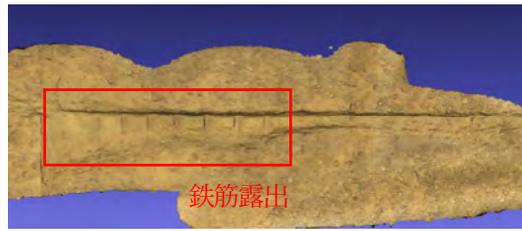
(図3) レーザー打音検査状況



(写真15) 同一箇所における検査結果の比較 (左: 通常の打音検査結果, 右: レーザー打音検査結果)



(写真16) 計測状況



(図4) 計測結果の3Dモデル



(写真17) 計測状況

5. 終わりに

今回、従来の近接目視点検・打音検査と併せてDXの取り組みとして検証を行ったが、知見を以下に示す。

- (1) 今回行った技術は鹿屋分水路トンネル点検においては使用可能である。
- (2) レーザ打音検査は作業時間、コスト面での向上が求められる。
- (3) トンネル底部の点検手法は、さらなる検討が求められる。

高度化技術は今後さらなる進歩が望めるため、次回点検時においても点検高度化の実現に向けた取り組みを行っていく。

砂防堰堤工事における CIM の活用について

～運行状況管理システムと騒音振動調査～

水津 昊輝¹・渡邊 正弘¹

¹九州地方整備局 阿蘇砂防事務所 工務課 (〒861-8019 熊本県熊本市東区下南部1-4-73)

阿蘇砂防事務所では土石流災害の防止を目的として、阿蘇カルデラ内の約 25 箇所で砂防堰堤の整備を行っている。砂防堰堤の施工を行う際には地域の特性上、家屋が連なった狭い生活道路や赤牛の放牧地に隣接した道路を工事車両が利用することとなるため、工事車両による騒音振動の把握及びその影響低減が課題となっている。複数箇所において常時測定し、さらに CIM を活用することで受発注者がリアルタイムで場所ごとにおける測定値を把握し、工事と騒音振動との因果関係の確認が可能となるよう検討を行った。

キーワード 騒音振動調査, CIM, 情報共有

1. はじめに

国土交通省では、CIMを導入することで3次元データを機軸とする建設生産・管理システムを実現し、生産性の向上を図る取り組みを推進している。阿蘇砂防事務所では、九州地方 CIM 導入検討会砂防分科会で示された砂防 CIM 基本フレーム(表 - 1)のうち水系 CIM(3D管内図)を地元説明及び情報の一元管理化を目的として職員が水系 CIM の構築を行い、それを用いたマネジメントの試行・検証を行った。

CIMとは、建設事業で取扱う情報をデジタル化することで、調査・測量・設計・施工・維持管理等の建設事業の各段階に携わる受発注者

のデータ活用・共有を容易にし、建設事業全体における一連の建設生産・管理システムの効率化を図ることであり、これらの考え方を念頭に地場業者でも活用できるものを検討した。砂防事業の実施にあたっては、建設発生土砂の2次利用(砂防ソイルセメント等)を念頭にした土砂の仮置き、他現場への運搬などが多いが、阿蘇砂防事務所管内での工事では地域の特性上、家屋が連なった狭い生活道路を利用しており、また阿蘇カルデラ内においては赤牛と呼ばれる地域特産の牛の飼育・放牧が行われていて、事業箇所周辺においても数多くの赤牛の飼育・放牧が行われている。このため、工事の地元説明会時には、近隣住民より住家への騒音振動の影響について不安の声が挙がるとともに、畜産業者からも赤牛

の成育への強い不安の声が寄せられ、将来計画を見据えた土砂管理と地域の負担軽減といった事業マネジメントが重要となっており、工事車両に起因する騒音振動を正確に把握することが課題であった。今後、阿蘇地域で砂防事業を進めるに当たって重要な土砂管理や地域の負担軽減といった事業マネジメントのうち、地域の負担軽減につながる騒音・震動モニタリングの省力化・効率化を目指し、方法を考案した。騒音振動を常時観測した上で、車両の運行状況を GPS によって記録し、水系 CIM で閲覧できるようになれば、騒音振動対策を要する箇所の状況を受発注者双方が容易かつリアルタイムで監視・記録することが可能となり、工事と騒音振動との相関関係を分析・把握することができるようになることから、騒音振動対策や住民・畜産業者への説明に活用できると考え、システムの構築及び調査を実施したので報告する。

2. 調査方法

a) 調査箇所

騒音振動の調査箇所は地元説明会の結果を踏まえ、工事車両の通行及び現場からの騒音振動による事業損失が予見される高森川1砂防堰堤新設工事の工事用道路直近にある牛舎を対象とした。(図-1)

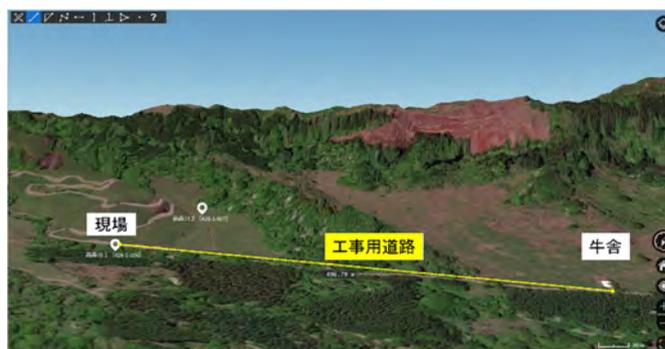


図-1 現場と牛舎の位置関係

b) 調査のタイミング

常時と工事中で比較を行えるよう、工事車両の通行がない日と工事車両の通行がある日の2日間、8時から17時の間の値を観測した。記録は10分ごととし、その間の平均を記録。観測機器については計量法第71条に合格した機器を使用することとする。(図-2)

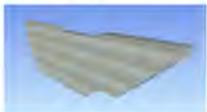
規模	基本フレーム名	用途
小	堰堤CIM	・詳細設計・施工・管理 ・除石マネジメントCIM
		
中	溪流CIM	・水系マネジメントCIM
		
大	水系CIM(3D管内図)	・施設配置・概略設計
		

表-1 砂防CIM基本フレーム



図-2 騒音振動観測機 (No1-2)

c) 観測機器の設置箇所

観測機の設置箇所は発生源が道路側か牛舎側か判定できるように下記の2箇所とする。

(図 - 4)

No1-1：牛舎東側測線

No1-2：牛舎東側測線（敷地境界付近）



図-3 観測機設置箇所



図-4 観測機設置箇所

d) 測定方法

騒音の測定については日本工業規格 Z8731 に定める騒音レベル測定方法に基づくものとし、振動の測定については日本工業規格 Z8735 に定める振動レベル測定方法に基づくものとした。

e) 観測した騒音振動と工事の因果関係を確認

走行履歴を確認できる機器(SC Fleet)(図 - 5)を工事車両に乗せ、いつ、どこにいるかを連続的に記録できるようにした。これにより基準値超過の騒音(85 dB)または振動(75 dB)があった際、工事車両が現場付近にいたかが分かるため、工事車両が基準値超過の原因か判断することができる。



図-5 SC Fleet (工事車両の走行履歴記録機)

f) 観測したデータの確認方法

観測したデータを水系 CIM 上で受発注者が閲覧できるよう、すべてのデータを連携させ騒音振動の発生状況と走行履歴情報の突合せ処理を行う。これにより三次元的に閲覧でき確認の容易化を図る。また、CIM の確認のみでよいことから情報共有の簡素化も図る。

(図 - 6) (図 - 7)

三次元管内図にSC Fleetと騒音振動計の観測データを入れ、CIM上で閲覧できるようにする。



図-6 データの連携

●3次元砂防管内図
 ・騒音・振動のCSVで閾値超過した時刻を抽出
 ・FleetのCSVで対象時刻頃に騒音振動計周辺の走行履歴を抽出
 ・突き合わせ処理して確認【車両による騒音・振動が原因か判定】

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	走行日	走行時刻	緯度	経度	距離	経緯半径(経度(km))	方位角	移動距離	高度	車両名							
152	2024/2/6	13:09:53	32.84277	136.7784	0.5	51	11.55	3.69	233788	河原砂防工事機2							
153	2024/2/6	13:09:56	32.84317	136.7783	0.5	58	15.51	3.73	233788	河原砂防工事機2							
154	2024/2/6	13:09:59	32.84361	136.7785	0.5	61	12.73	3.78	233788	河原砂防工事機2							
155	2024/2/6	13:10:02	32.84406	136.7787	0.5	60	12.62	3.83	233788	河原砂防工事機2							
156	2024/2/6	13:10:05	32.84451	136.7789	0.5	60	15.92	3.88	233788	河原砂防工事機2							
157	2024/2/6	13:10:08	32.84496	136.7791	0.5	59	19.27	3.93	233788	河原砂防工事機2							
158	2024/2/6	13:10:11	32.84535	136.7793	0.5	44	24.22	3.98	233788	河原砂防工事機2							

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	日時	A地点	騒音	A地点	振動	B地点	騒音	B地点	振動
20	2024/2/6 13:00		28.8		35.9		28.8		35.9
21	2024/2/6 13:10		58.8		67.2		28.8		37.1
22	2024/2/6 13:20		28.8		38.4		28.8		38.4
23	2024/2/6 13:30		28.8		39.6		28.8		39.6
24	2024/2/6 13:40		28.8		40.9		28.8		40.9
25	2024/2/6 13:50		28.8		22.8		28.8		22.8
26	2024/2/6 14:00		28.8		21.2		28.8		21.2

図-7 基準値超過の騒音振動があった際の確認方法

3. 結果

平常時の騒音については牛・野鳥の鳴き声が主体であり47db以下であった。牛舎側については定時チャイムやリフト作業、清掃音等の音が入り55dbに届くこともあった。振動については25db以下で無感レベルであり、リフト作業等の影響を受けても30db程度と無感レベルであった。(表-1、表-2)

工事中の騒音については55dbほどであり、道路側は工事車両の影響を受けていたが、牛舎側については平常時と大差がなかった。振

動については、工事車両の影響を受けても30dbほどとリフト作業中と大差がなかった。

(表-1、表-2)

ただ、工事の際、時より大きい騒音振動値を計測することがあった。これが工事車両の影響か確認したところ、土砂を積んだダンプトラックに起因するものであった。ただ、中にはヘリコプターや牛舎の定時チャイムといった工事に起因しないものもあった。

普段交通量が少ないことから工事の影響が大きいと思われたが、平常時とさほど変わらず影響は少ないことが観測できた。また、走行履歴で速度が確認できることから、地元調整時の約束事である徐行を工事の際守られているか確認することもできた。

表-2 工事車両の有無による騒音の違いと車両の影響

箇所名	位置	計測日	工事車両有	工事車両無	車両影響
No1-1	東側、牛舎側	2024/1/26	42~55	42~55	0~2
No1-2	東側、道路側	2024/1/26	41~50	41~47	4~6

表-3 工事車両の有無による振動の違いと車両の影響

箇所名	位置	計測日	工事車両有	工事車両無	車両影響
No1-1	東側、牛舎側	2024/1/26	23~31	23~28	2~3
No1-2	東側、道路側	2024/1/26	17~28	17~23	2~7

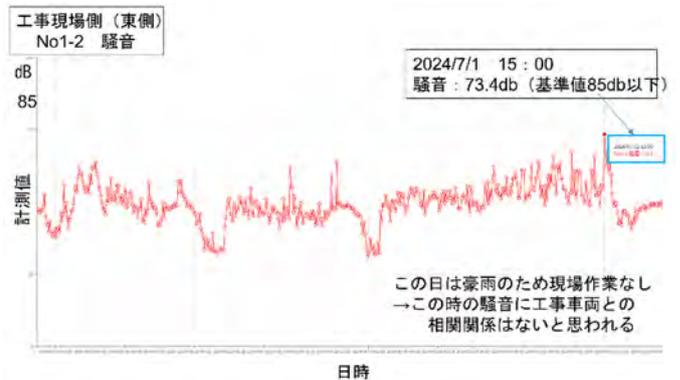


図-8 工事車両によらない騒音

表-4 一般的な騒音の例¹⁾

騒音レベル (デシベル)	騒音の程度	例
120	耳を聳する	大砲の音
110	非常にうるさい	汽笛
100		地下鉄内
90		にぎやかな街路
80	うるさい	うるさい事務所
70		タイプライターの音
60		普通の工場
50	静か	静かな工場
40		普通の居間
30	かすか	図書館
20		静かな郊外
10	非常にかすか	音響室内

出典：「建設工事に伴う騒音振動対策ハンドブック」（日本建設機械化協会）

表-5 一般的な振動の例¹⁾

振動レベル (デシベル)	気象庁震度階	
	震度階	感覚または現象
55以下	0 無感	無感覚
55~65	I 微震	静止又は注意する人に感じる
65~75	II 軽震	一般に感じわずかに戸障子動く
75~85	III 弱震	家屋動揺、戸障子鳴り、振り時計は止まり、垂下物動揺し、液体は動揺する
85~95	IV 中震	家具激しく動揺し、座りの悪い器物は倒れ、液体は溢れ出す
95~105	V 強震	壁に亀裂を生じ、石碑石灯笼等の転倒、煙突の破損などを生ずる程度
105~110	VI 烈震	家倒れ、山崩れ、地面に亀裂を生ずる
110以上	VII 激震	家はほとんど(30%以上)倒れ、地盤大変動

出典：「建設工事に伴う騒音振動対策ハンドブック」（日本建設機械化協会）

4. 考察

今回 CIM を使い騒音振動調査を行った結果、CIM 上で騒音振動値の確認ができることが分かった。また、CIM を使うことで走行履歴の確認がしやすく、騒音振動と工事の相関関係が容易に確認できたり、地元約束等で通れない道を通ってないかチェックすることが容易にできた。これらの情報は受注者側も確認でき、幸い今回はこのような問題が起きず、実際のやり取りはなかったものの、受発注者間での情報共有の簡素化につながると推察できる。これにより、課題であった工事車両による騒音振動の把握や、受発注者間でのリアルタイムでの確認・記録ができるようになった。

5. 今後の展望

a) 調査方法の課題と展望

まず課題として今回の調査方法では、CIM を活用していることから CIM の操作方法が分からないと不便だと感られること。また、データの連携については専門の者でないと対応できず、それ相応の知識が求められること。調査方法としても、騒音振動が工事に起因するものか判定する際に、基準値超過した時刻を抽出し、その時の騒音振動計周辺の走行履歴との突合せ作業で判定するが、これを自動化できないか課題が残った。

今回は騒音・震動測定結果や車両の運行管理を三次元管内図で連携できることを確認することができたものの、調査対象箇所が1箇所のみで、付近の道路も直線的なものと同調であり、これが入り組んだものとなったり、調査対象が複数となった際にも今回の調査方法が活用できるのか確認したい。また、工事車両の走行状況を確認できることから、走行方法や道路状況による騒音振動の発生状況の確認も可能になるのではないかと推察される。

令和5年度から原則 CIM 適用により設計時点で3次元データが納品されることからこれらのデータを連携させ、将来計画を見据えた土砂管理につなげたい。

b) CIM を活用した情報共有

CIM は容量が大きくパソコンの動作が重くなり、時間を要することがあった。そのため受注者より容量を軽量化させ扱いやすくしてほしいと意見があり課題が残る結果となったが、課題を解決していき、今後は CIM を活用して土砂運搬状況や工事進捗状況等を管理

し、情報共有や工事間の調整などの簡素化や阿蘇砂防事務所の工事の一元的管理を行えないかと考えている。また、これらのデータを事務所のホームページにアップすることで工事・事業の進捗状況を一般でも確認できるようになればと思う。

6. さいごに

今回 CIM を活用して騒音振動の調査と工事との相関関係を調べ、はじめは CIM に慣れないこともあり扱いづらいと感じていたが、慣れると工事車両がどこをいつ通ったかがわかりやすく便利であると感じた。また、騒音振動については地域住民からよく不安の声が出ていて施工業者も気にしていたことからその確認を受発注者双方が容易に監視できるようになったのは工事の円滑化にもつながりよかったと思う。今後も CIM の活用の有無に関わらず工事が円滑に進めるようになることに願いたい。

8. 引用文献

- 1) 建設工事に伴う騒音振動対策ハンドブック、
一般社団法人 日本建設機械施工協会

官庁営繕事業における デジタルデータを活用した監督・検査について

福田 涼花¹・田畑 健太郎¹・的場 喜郎¹

¹九州地方整備局 鹿児島営繕事務所 (〒892-0812 鹿児島県鹿児島市浜町2番5-1号)

国土交通省では、i-Constructionを推進し、その取組の一つとしてデジタル技術を活用した監督・検査の試行に取り組んでいる。建築分野においても、官民が一体となり、配筋検査とガス圧接継手外観検査において、画像計測による監督・検査の試行を実施している。本稿は「名瀬第2合同庁舎（R4）建築その他工事」での実施事例を通じてデジタル技術を活用した監督・検査の効果や課題を検証し、今後の有効的な活用に向けて、改善提案を行うものである。

キーワード デジタルデータ、生産性向上、i-Construction、DX（デジタルトランスフォーメーション）

1. はじめに

国土交通省は、2020年7月に「インフラ分野のDX推進本部」を設置した。インフラ分野のDXは、2016年度から取り組んできたi-Constructionを中核とし、インフラ関連の情報提供やサービス（各種許認可等）を含めてDXによる活用を推進していく「インフラの利用・サービスの向上」と、建設業界以外（通信業界、システム・ソフトウェア業界等）や占有業者を含め業界内外がインフラを中心に新たなインフラ関連産業として発展させる「関連する業界の拡大や関わり方の変化」の2つの軸により、その目的である建設現場の生産性の向上に加え、業務、組織、プロセス、文化・風土や働き方を変革することを目的とした取組である。

その施策の一つがデジタルデータの活用である。調査・監督・検査業務における非接触・リモートの働き方を推進し、仕事のプロセスを変革する他、デジタルデータ活用や機械の自動化で監督や検査の効率化・高度化の実現を目指している。

官庁営繕事業の建設現場では、配筋検査とガス圧接継手外観検査にて、従来のスケール等による実測方法から画像計測による試行を行っている。今回、画像計測の試行を行い、従来の検査方法との比較を行った。

2. 試行対象事業の概要

(1) 工事概要

- ・施設名称：名瀬第二地方合同庁舎
- ・工事場所：鹿児島県奄美市
- ・工期：2022年10月～2024年9月(工事期間約23か月)
- ・敷地面積：約4,207㎡
- ・構造：鉄筋コンクリート造 6階建
- ・延べ面積：約3,021㎡

(2) 計画概要

名瀬第二地方合同庁舎は、市内に点在する鹿児島財務事務所名瀬出張所、奄美海上保安部、名瀬測候所の3官署を集約し、各官署が抱えている耐震性能不足、老朽・狭あいを解消することを目的とし、奄美市が整備を進めるマリントウン地区へ建設している。（図-1、2）

本事業については2019年年度に事業化され、現在工事中であり、2024年9月の完成を予定している。



図-1 対象施設完成予想図



図-2 建設位置図

3. 配筋検査

(1) 試行概要

- ・実施日：2023年11月7日（晴れ）・15日（曇り）
- ・検査部位：2階梁・床・柱・壁
- ・撮影距離：約1.3m
- ・計測範囲：0.8～1.7m
- ・検査作業人数：1人（元請業者）

配筋検査システムを用いて配筋撮影を実施し、鉄筋の径、本数、間隔の計測結果を確認、記録する（写真-1）。それと同じ領域に対して従来方法であるメジャー・検尺ロッド・目印を用いて鉄筋の径、本数、間隔を測定、記録し（写真-2）、結果を比較した。配筋検査システムを用いた撮影は機器を初めて使用する元請業者の担当者が行った。



写真-1 配筋検査システムによる検査の様子



写真-2 従来方法による検査の様子

(2) システム概要

今回、「3眼カメラ配筋検査システム（写らく 型式：DN3Z6JE106）」（写真-3）を使用した。本配筋検査システムは、機器本体に搭載された3つのカメラで同時撮影し、瞬時に配筋情報（鉄筋径・本数・配筋の平均間隔）を解析する。約5秒で画像データとともに、計測・検査結果を示すシステムである。また、同時に計測・検査結果帳票（Excelファイル形式）の作成も可能である。



3眼カメラ配筋検査システム「写らく」
●写真はオプション（LED照明）装着時

写真-3 3眼カメラ配筋検査システム

(3) 試行結果

a) 生産性の比較

従来方法は、検尺ロッド・目印を設置し測定、検査、写真記録までに要した時間を計測した。配筋検査システムによる検査は、カメラの校正をし配筋撮影、測定結果の確認までに要した時間（帳票作成を除く）を計測した。結果、配筋検査システムによる検査は、従来方法に比べ1分20秒時間を要した。

表-1 検査に要した時間の比較

1日目

検査箇所	従来方法	配筋検査システム
カメラの校正	—	3分00秒
床（2箇所）	6分40秒	5分30秒
梁（2箇所）	6分20秒	5分00秒
計 4箇所	13分00秒	13分30秒

2日目

検査箇所	従来方法	配筋検査システム
カメラの校正	—	3分00秒
柱（2箇所）	9分20秒	8分00秒
壁（2箇所）	5分20秒	4分30秒
計 4箇所	14分40秒	15分30秒

2日間合計 従来方法：27分40秒（1660秒）

配筋検査システム：29分00秒（1740秒）

b) 検査精度の比較

配筋検査システムにて行った平均鉄筋間隔誤差は±10mm以内に100%でシステムの規格以上であった。鉄筋径の計測は全体で約73%の正誤率であったが、埋設配管を誤認識する場合や撮影角度によって鉄筋が検出されない場合等を除くと約95%の正誤率であった。(写真-6)例えば、柱の撮影では正面からの撮影では鉄筋を正確に検出して精度にも問題なかったが、正面からの撮影が困難な場所で角度を変えて斜めからの撮影を試みると鉄筋が検出されなかった。壁配筋2層目の撮影では1層目の鉄筋と重なって認識されず、撮影距離、範囲の微調整が生じ、時間を費やす場面があった。また、床配筋の撮影では、重ね継手のある箇所を1本の太い配筋と認識される等の誤認識があった。埋設配管や影を誤認識し、壁配筋の撮影と同様で検査(撮影)範囲が限られ、上端筋のみを計測対象とする場合もあった。



写真4 壁配筋の撮影

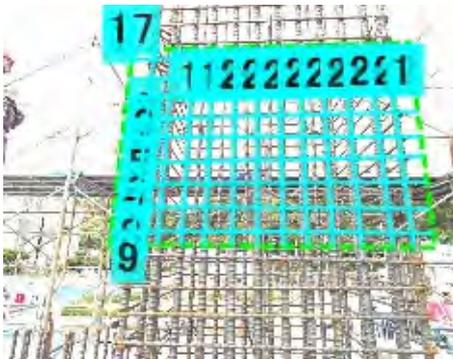


写真5 柱配筋の撮影

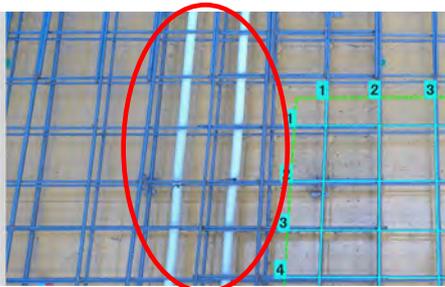


写真-6 床配筋にて配管の誤認識

c) 作業性

配筋検査を行うにあたって、従来検査だと検尺ロッド・目印・メジャー等準備するものが複数あるのに対し、配筋検査システムによる検査では、あらかじめ基本情報を登録しておけば機器1つで検査、記録ができ作業性が良かったが、機器本体が約3.6kgと重く、足場を持ち運ぶのに苦労した。

(4) 考察

今回試行を実施した建物の建設現場においては、柱や壁が近接していて撮影可能範囲が狭く、正対で撮影することは困難なことが多く、斜めからの撮影しかできない箇所があった。また、埋設配管の誤認識や配筋が密な部分での誤認識が多々あり、その都度に撮影のやり直しが生じた。撮影のやり直しに時間を要したため、従来方法による撮影の方が配筋検査システムより検査に要した時間が早い結果となったが、撮影が上手くできた箇所では、素早く検査を完了させることができ、配筋検査システムの方が生産性が高かったと言える。

配筋検査システムによる検査では、配筋の粗密具合によって検査精度にばらつきが生じたり配管や影の誤認識が生じるが、カメラの明るさ設定を変更することで影の誤認識を減らす等、機器について十分に理解することで減らすことができる不具合もあると言える。配筋検査システムを初めて利用するにあたっては、操作やシステムの特徴等を事前に知るための機会を設けることが望ましい。

機器の軽量化等の改良も望まれるが、撮影者の技量が生産性を大きく左右すると言える。機器についての知識を得たうえで、撮影経験を重ね撮影者の習熟度が高まることで、従来方法による検査より配筋検査システムによる検査の方が生産性が高くなると言える。

4. ガス圧接継手外観検査

(1) 試行概要

- 実施日：2023年11月 7日(晴れ)・15日(曇り)
- 検査部位：1階梁(ガス圧接継手30箇所)
2階柱(ガス圧接継手30箇所)
- 撮影距離：0.5~0.8m
- 検査作業人数：1人(元請業者)

従来の技能資格者によるノギス・スケール等の計測器による実測値を用いた計測(写真-7)とAI検査システムの計測(写真-8)の結果を比較した。AI検査システムによる判定はシステムを初めて使用する元請業者の担当者が行った。



写真7 従来方法による検査の様子



写真8 AI検査システムによる検査の様子

表-2 ガス圧接継手外観試験管理項目と判定基準

項目	判定基準	従来方法	AI検査システム
ふくらみの直径	鉄筋径（径の異なる場合は細い方の鉄筋径）の1.4倍以上であること	○	○
ふくらみの長さ	鉄筋径の1.1倍以上とし、その形状がなだらかであること	○	○
鉄筋中心軸の偏心量	鉄筋径（径の異なる場合は細い方の鉄筋径）の1/5以下であること	○	○
折れ曲がり	2°以下であること	○	○
片ふくらみ	鉄筋径（径の異なる場合は細い方の鉄筋径）の1/5以下であること	○	○
圧接部のふくらみによる圧接面のずれ	鉄筋径の1/4以下であること	○	×
焼割れ、へこみ、垂下り、その他有害と認められる欠陥	ないこと	目視	目視

(2) システム概要

今回、鉄筋ガス圧接継手AI検査サービス（NTTコムウェア）を使用した。本AI検査システムは、スマートフォンまたはタブレット端末を用いてガス圧接継手を2方向から撮影し、画像認識AIにより「鉄筋継手部外観検査マニュアル」に準拠して、ふくらみ直径・ふくらみ長さ・偏心量・折れ曲がり・片ふくらみの5項目を判定するシステムである。また、同時に計測・検査結果帳票（Excelファイル形式）の作成も可能である。

(3) 試行結果

a) 生産性の比較

AI検査はシステムによる判定に要する時間と従来方法による判定に要する時間を比較した。AI検査システムを利用すると工数を80～85%削減可能である。

表-3 検査に要した時間の比較

検査箇所		従来方法		AI検査システム	
梁筋	8箇所	40分	150分 (5分/ 箇所)	8分	30分 (1分/ 箇所)
	8箇所	40分		8分	
	9箇所	45分		9分	
	5箇所	25分		5分	
柱筋	30箇所	100分 (3分20秒/ 箇所)	15分 (40秒/ 箇所)		

b) 検査精度の比較

従来方法による計測とAI検査システムによる計測の判定結果は差異はなく、全て合格判定だった。

c) 作業性

操作方法は分かりやすく、初めて使用する場合でも簡単に使用することができた。工事受注者が普段現場で使用しているタブレット端末で検査（撮影）することが可能であり、持ち運びやすく軽量のため操作性が良いと言える。

(3) 考察

「公共建築工事標準仕様書（建築工事編）」によると、ガス圧接継手の外観検査は圧接部全数を目視、必要に応じてノギス・スケール等の適切な器具を使用することになっており、AI検査システムが適切な器具と認められれば、作業性が向上し品質証明資料の作成が簡素化されると言える。また、専門技術を必要とせず、検査の標準化が可能になると言える。ただし、検査が必要である圧接部のふくらみによる圧接面のずれについては、現在のAI検査システムでは判定不能であり、従来方法による判定が必要であるため、その点が課題である。仮に圧接部のふくらみによる圧接面のずれのみを従来方法による検査としても生産性は高まるため、AI検査システムの採用により、生産性の向上及びコスト効果が期待できると言える。また、遠隔臨場による検査の場合でも速やか且つわかりやすく判定結果を共有することができるため、更なる生産性の向上が期待できる。

5. おわりに

以上のように、デジタルデータを活用した配筋検査とガス圧接継手外観検査の試行を実施し、その結果に基づき改善提案を行った。本来は、工事受注者で行う検査だが、デジタルデータを活用した機器の操作方法や性能を体感し、使用者の立場を理解するため監督員も体験した。配筋検査システムによる配筋検査は、見た目以上に機器が重たく、足元の悪い現場内でリース機器を持ち運ぶことは苦勞した。撮影は何度か練習を重ねると上手く撮影できるようになった。AI検査システムによるガス圧接継手外観検査では、普段使用している端末で扱いやすく、撮影も1度で判定を出すことができた。このことから、配筋検査システムは、機器についての知識を得ることや撮影の技量を上げること等、習熟度が上がることでより生産性が高くなると言える。AI検査システムは、普段使用しているタブレット端末を用いることができるため無理なく誰でも活用できると言える。

現在、国土交通省の各分野においてもデジタルデータを活用することは広く推進されている。配筋検査システムとAI検査システムの普及は、官庁営繕事業のデジタルデータの活用を推進する上で重要な取り組みであると確信している。

謝辞：今回の試行にあたりシステムの選定及び検証にご協力いただきました受注者の皆さま並びにシステム開発に携わられた皆さまへ深く感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 国土交通省大臣官房官庁営繕部整備課建築技術調査室：官庁営繕事業の建設現場におけるデジタルデータを活用した配筋検査試行要領
- 2) 国土交通省大臣官房官庁営繕部整備課建築技術調査室：官庁営繕事業の建設現場におけるデジタルデータを活用したガス圧接継手外観検査試行要領
- 3) 公益社団法人日本継手協会：鉄筋継手部外観検査マニュアル
- 4) 使用した機器・ソフト
 - ・3眼カメラ配筋検査システム（写らく 型 DN3Z6JE106）（開発：清水建設/カナモト/シャープ）
 - ・鉄筋ガス圧接継手 AI 検査サービス（開発：NTT コムウェア）
 - ・タブレット端末（iPad）
 - ・スマートフォン（iPhone）

BIM/CIMの活用事例

原 悠斗¹・今長谷 菜里¹・光行 忠司¹

¹九州地方整備局 別府港湾・空港整備事務所 保全課 (〒874-0919 大分県別府市石垣東 10-3-15)

佐伯港は大分県南部佐伯湾の奥部に位置し、臨海部にパルプ、造船、セメント等の企業が立地し、昭和 45 年に重要港湾に指定され、大分県南部の流通拠点として発展してきた港湾である。本報告では、完成後約 50 年経過し、老朽化が著しい岸壁の機能回復並びに大規模地震時の緊急貨物輸送に供するための耐震化施工において BIM/CIM を活用した事例について報告する。

キーワード BIM/CIM, 佐伯港

1. はじめに

佐伯港は、地形・水深に恵まれた天然の良港として、旧藩時代から中国大陸や四国を始めとする近隣沿岸域の交通の要衝として栄えてきた。現在、佐伯港の女島地区では、1977 年に供用を開始し、完成後約 50 年が経過した岸壁(-10m)の改良及び老朽化対策事業を実施している。本施設は鋼管杭及び上部コンクリートの老朽化が著しく進行し、岸壁の一部に利用制限をかけている状況であったため、2017 年より老朽化対策に着手している。また、2020 年には大規模地震対策施設として 240m が耐震岸壁に位置づけられたことにより老朽化対策と合わせて耐震化改良整備を進めている。(写真-1)

本稿では佐伯港で実施した老朽化が著しい岸壁の改良工事にあたり既存施設を活用した施工及び施工に支障を及ぼす地下埋設物への対応として BIM/CIM を活用した事例について報告するものである。



写真-1 佐伯港全景

2. 現況及び改良方針

(1)老朽化の状況

佐伯港岸壁の老朽化状況を把握するため、2017 年に健全度調査を実施した。調査の結果、当該施設は栈橋式の岸壁であるが、上部工においては、鉄筋の腐食に伴うコンクリートの剥離、栈橋基礎においては、鋼管杭の腐食に伴う断面欠損が確認され、早急な対策が必要であることが判明した。一方で、鋼管杭は、干満部及び飛沫部の腐食が著しい状態であるが、水中部は発錆等は無く、肉厚測定調査では平均腐食量は全て 1mm 以内という健全な状態であった。(写真-2)



写真-2 老朽化状況

(2) 既設岸壁を活用した岸壁改良

健全度調査の結果を踏まえ、耐震性能を満足する施設の改良設計を実施した。検討の結果、既存の上部工及び鋼管杭の頭部(干満帯より上側)は老朽化が著しいことから、全て撤去し、存置した鋼管杭に工場製作した鋼製の構造物(ジャケット)を被せる構造を採用した。また、耐震化対策として、既存の置換砂部分の地盤改良(薬液注入工法)を実施することとなった。(図-1)

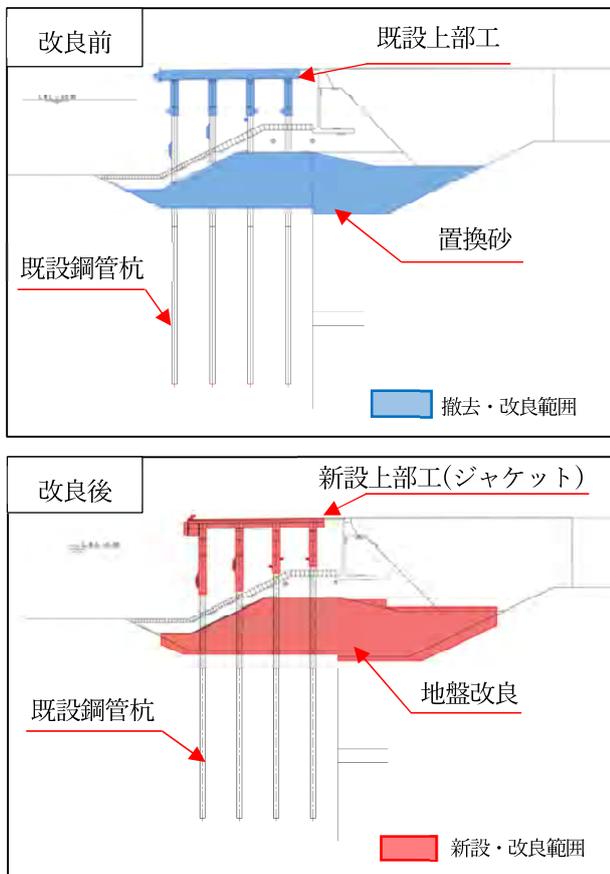


図-1 佐伯港改良断面図



写真-3 既設鋼管杭状況

3. BIM/CIM を活用した施工

(1) ジャケット製作・据付

既設鋼管杭に工場製作した鋼製の構造物(ジャケット)を被せるジャケット工法で施工を行うにあたり、本施設は完成後約 50 年が経過した古い施設であり、長年の波浪の影響等で既設鋼管杭の傾斜や杭法線のズレが生じていたことから、ジャケットの製作・据付には各既設鋼管杭の変位を反映しなければならないことが課題となっていた。(写真-3)

そこで、本課題に対応するため、ジャケットの製作、据付時に於いて、BIM/CIM を活用した。

a) ジャケット製作図見直しへの活用

当初設計では、施設完成当時から既設鋼管杭の配置は変わっていない前提で 2 次元でジャケットの製作図を作成していたため、既設鋼管杭の傾斜や杭法線のズレの測量結果を基に製作図の見直しを実施した。見直しにおいては、杭の傾斜等平面的な図面では把握が困難であったため、3 次元モデルを作成し(図-2)、ジャケットと既設鋼管杭との干渉チェックをし、干渉が生じないようにジャケット製作図を修正した。

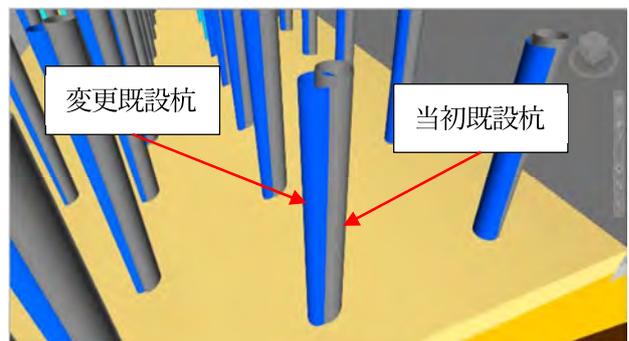


図-2 測量結果を反映した 3 次元モデル

b) ジャケット据付対策への活用

工程の都合上、ジャケット製作と地盤改良を平行して施工する必要があるため、ジャケットの据付に先立ち地盤改良施工後の既設鋼管杭の変位を反映させた3次元モデルを活用して既設鋼管杭とジャケットのクリアランスチェックを実施した。通常、既設鋼管杭(φ700)とジャケットのレグ部分(φ1000)との間隔は150mm ずつあるが、ジャケットの据付精度を考慮し、クリアランスを5mm 以下と設定しチェックを行った。結果、計4点においてクリアランスが確保出来ていないことが判明した。(図-3)この結果を基にジャケット据付対策を検討し現地で実施したことにより、問題無く据付が完了した。(写真-4)



写真-4 ジャケット据付状況

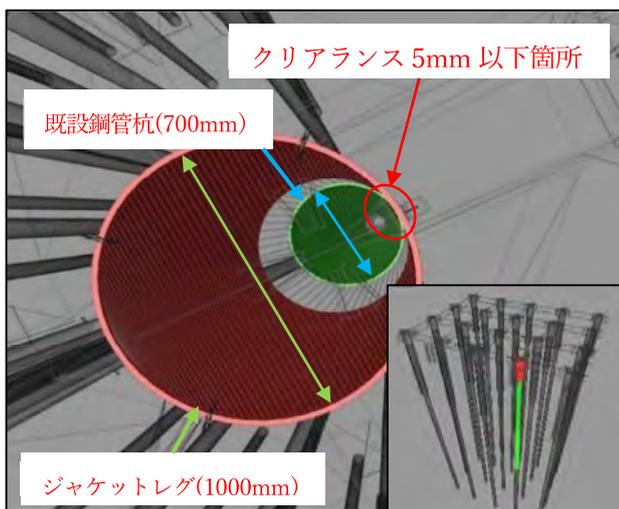


図-3 ジャケット干渉チェック

c) 施工段階での効率的な活用

構造物の3次元モデルにジャケット据付に用いる起重機船等の3次元モデルを統合し、仮設計画や施工計画の

検討を行った。施工ステップを作業関係者で共有することで、作業手順の明示化や作業時の懸念事項の把握を効果的に行えた。(図-4)

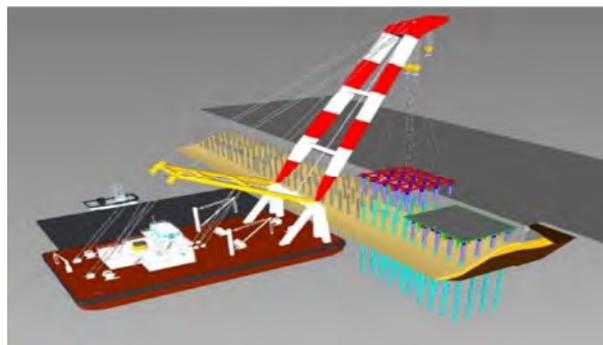


図-4 統合版3次元モデル

(2)地盤改良

既存施設の直下を地盤改良するにあたり、地下埋設物がかかわって施工する必要があるが、施設が古く、既存の埋設物図面と現地に相違があり、地盤改良の改良体を隙間無く施工するためには埋設物位置を把握することが課題となっていた。

本課題に対応するため、地盤改良の施工においてもBIM/CIMを活用した。

a) 既設構造物との干渉にかかる照査

地盤改良(薬液注入工法)の施工箇所である岸壁背後の埠頭用地には照明灯が設置されており、それに付随する埋設配管やハンドホールなどの電気設備が各所に存在していた。今回の薬液注入工においては、改良位置までケーシングロッドで削孔を行う必要があるが、削孔を直下方向・斜め方向に向けて密に行うため、既設構造物の正確な位置を把握する必要がある。これに対応するため、まずは埋設物調査を行い、調査結果を3次元モデルに反映した。(図-5)

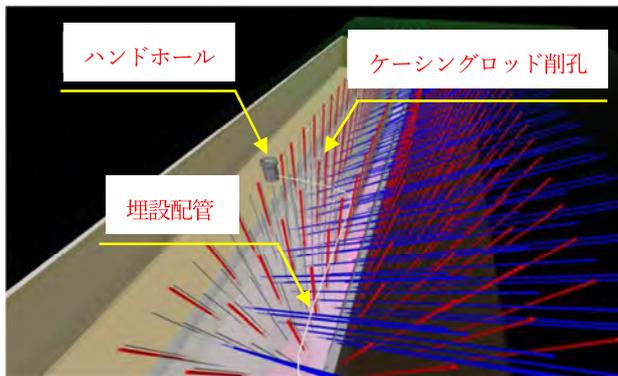


図-5 地中内3次元モデル

3次元で表現したことにより埋設物とケーシングロードの削孔箇所的位置関係が明確にわかったことから、干渉のある箇所は削孔位置の変更や削孔角度の調整をし、既設構造物への損傷を防ぐことができた。(図-6)

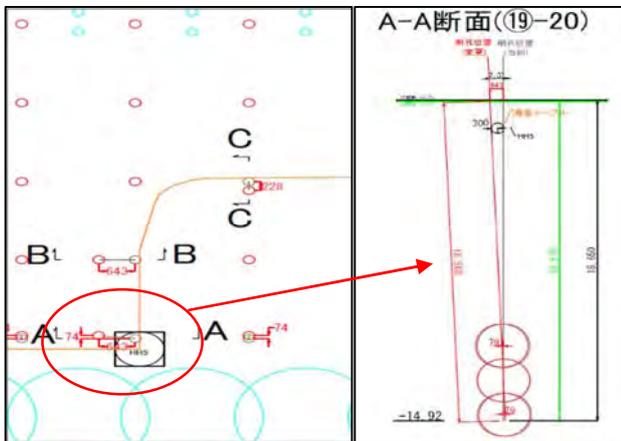


図-6 削孔位置変更図

b) 施工段階での効率的な活用

施工の進捗に合わせて3次元モデルに出来形を随時作成し、注入機械(8台)ごとにモデルを色分けすることで進捗状況を可視化した。また、地盤改良の不可視部分を3次元モデルにてイメージ共有しながら進捗管理を行うことで、日々の打合せや施工管理において効率化が図れた。(図-7,8)

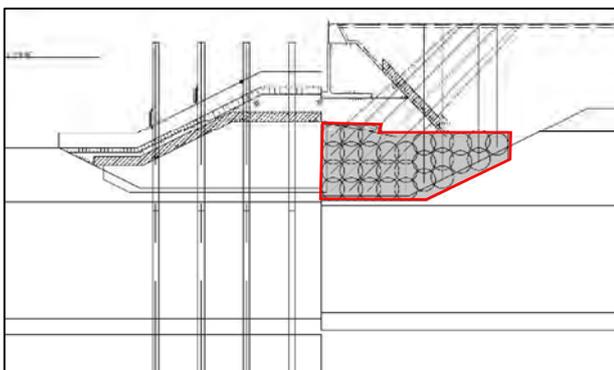


図-7 今回施工範囲

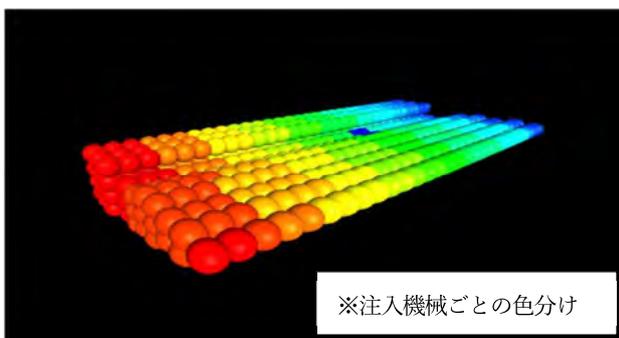


図-8 地盤改良3次元モデル

加えて、準備段階では重機・設備を3次元化し、可視化することで、効率的な施設配置による施工性及び施工時の安全性向上にも寄与することができた。(図-9)

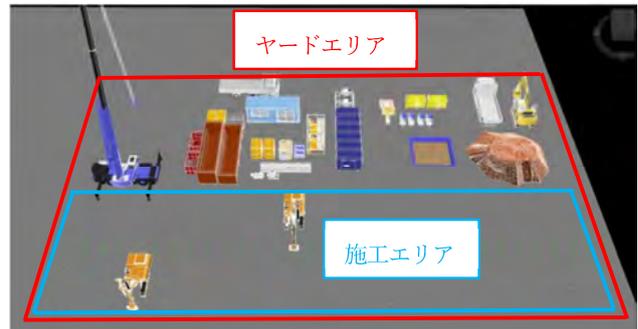


図-9 重機・設備計画図および実際の配置

4. おわりに

佐伯港では、BIM/CIMを設計時や施工時に活用することにより、2次元では把握困難だった既設構造物との干渉チェックや施工イメージの確認に3次元モデルを用いたことで、施工性及安全性が向上した。また、今後の活用として、設計及び施工段階で製作したBIM/CIMモデルを、点検や補修計画などの維持管理にも活用することで、設計から維持管理までの情報の一元的管理に活用することができると考える。引き続き佐伯港では、BIM/CIMモデルを積極的に活用することで、より精度の高い、確実な施工を行ってきたい。

鹿児島港臨港道路橋梁下部工工事における BIM/CIMの取組みについて

小野 祐太・宮原 浩一・丸田 章仁・朝倉 周・富永 翔大

九州地方整備局 鹿児島港湾・空港整備事務所 保全課 (〒892-0835 鹿児島市城南町23-1)

BIM/CIM(Building/Construction Information Modeling, Management)とは、建設事業で扱う情報をデジタル化することにより、調査・測量・設計・施工・維持管理等の建設事業の各段階に携わる受発注者のデータ活用・共有を容易にし、建設事業全体における一連の建設生産・管理システムの効率化を図ることである。これは受発注者の生産性向上を目的に、港湾における業務・工事においてBIM/CIMを適用し取り組むものである。本文は鹿児島港臨港道路の橋梁下部工工事におけるBIM/CIMの取組みについて報告する。

キーワード ICT BIM/CIM 生産性向上 臨港道路 橋梁

1. はじめに

鹿児島港は、離島への玄関口として市街地に位置する本港区から、南に新港区、鴨池港区、中央港区、谷山一区、谷山二区、浜平川港区と七つの港区で構成され、その延長は南北に約20kmと広範囲にわたる。

種子島、屋久島および奄美大島などの離島や大隅半島を結ぶ定期船の基地港として住民の生活を支えるとともに、地域の主要産業でもある観光業、畜産業を支える拠点として地域経済の発展に大きな役割を果たしている。

臨港道路整備事業は、港内南部の港湾貨物拠点と北部の海上物流拠点を結ぶ港湾物流ネットワークの強化を図ることで港湾貨物と一般貨物の分離を目的とする。併せて、市内幹線道路の慢性化した交通混雑の緩和にも寄与する。整備計画の内、未供用区間である鴨池中央港区線延長2,400m(橋梁区間約1,100m)を整備中である。図1-1は臨港道路(鴨池中央港区線)の断面図で、赤枠は現時点で橋梁下部工の施工が完了している部分を示す。橋梁位置は図1-2に示す。

現時点でP3～P9までの橋梁下部工の施工は完了しており、現在はP3～P9の上部工および埋立・陸上区間の護岸の施工を行っている。本文は、P3とP9の施工段階で用いたBIM/CIMモデルの実施報告とする。

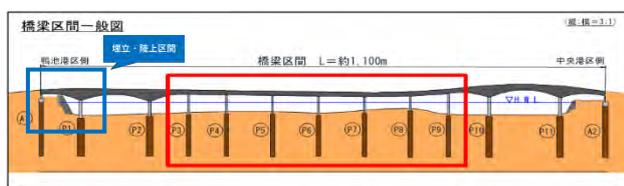


図1-1 橋梁一般図



図1-2 鹿児島港臨港道路位置図

2. BIM/CIM活用について(実施計画書作成)



図2-1 BIM/CIM適用の流れ

(1) BIM/CIMモデルの活用項目

本工事では図2-1に示す設計段階において作成されたBIM/CIMモデルの内、橋梁下部工でのICTの全面活用を図った。

BIM/CIMモデルに施工情報を付与し、工事出来形情報を反映した更新モデルを作成する際、ICTの全面活用を図るため以下の項目を実施した。

- a) 契約図書化に向けたBIM/CIMモデルの構築
- b) 属性情報の付与
- c) BIM/CIMモデルによる数量の算出
- d) BIM/CIMモデルによる効率的な照査の実施
- e) 施工段階でのBIM/CIMモデルの効果的な活用
- f) その他

3. BIM/CIM活用について(実施報告)

(1) 契約図書化に向けたBIM/CIMモデルの構築

設計段階で作成されたBIM/CIMモデルに、本工事での検討で必要となる部分の構造物や背景情報等を追加した。設計モデルの作成データを図3-1に示す。また、鋼管矢板の仮締切部および支保工、足場を設計モデルに追加したものを図3-2に示す。

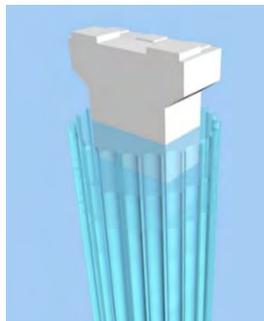


図3-1 設計モデル(設計段階)

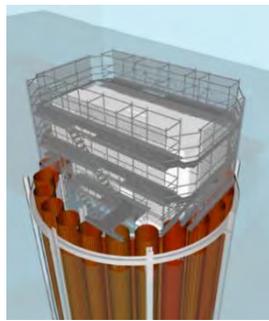


図3-2 設計モデル(情報付与)

(2) 属性情報の付与

属性情報の付与にあたっては、「BIM/CIM活用ガイドライン(案)第5編 道路編」(令和4年3月)および「BIM/CIM活用ガイドライン(案)第8編 港湾編」(令和4年3月)の記載項目を参考とした。必要な属性情報を対象ごとに「工種・種別・細別」「工程」「属性種別」「属性名称」「付与方法」と取りまとめ、記載事項についてBIM/CIMモデルに付与した。なお、属性情報の付与は以下の通りである。

- ◎BIM/CIMモデルに直接付与する。
 - ↳プロジェクト情報, 工事情報, 施工情報等
- ◎BIM/CIMモデルとリンクする別ファイルを付与する。
 - ↳施工管理記録, 出来形管理資料, 品質管理資料

(3) BIM/CIMモデルによる数量の算出

BIM/CIMモデルの3次元データを用いて、鋼管矢板井筒基礎内の掘削土量の算出を実施した。

鋼管矢板井筒内面の断面範囲について深淺測量TINサーフェスとの掘削底面TINサーフェスを比較して土量を算出した結果はほぼ同数であった。(表-1 参照)

① 設計	② CIM算出	比率(②÷①)
1266.4 m ³	1253.18m ³	98.9%

表-1 設計とBIM/CIMモデルの比較

(4) BIM/CIMモデルによる効率的な照査の実施

照査にあたっては、3次元モデルおよび付随する属性情報に基づき実施することによって、効率的かつ確実な実施が見込めるものを選定し、以下の照査項目事項一覧にまとめる。(表-2 参照)

NO	項目	照査内容
1	要領・基準の照査	適用した要領・基準類の名称、発行年月日等を対象物ごとに一覧で照査
2	鉄筋・その他部材の干渉確認	鉄筋の干渉照査 鉄筋とその他構造物との干渉照査 仮締切部のリング支保工と足場との干渉照査 橋脚梁部と鋼管矢板との干渉照査
3	施工計画の照査	施工時のシミュレーション等により支障物、施工計画の妥当性を照査
4	測量成果の整合確認	測量成果(基準点、縦横断、深淺図等)を取込み、BIM/CIMモデルとの整合を照査
5	数量結果の照査	BIM/CIMモデルと数量算出結果の整合を照査
6	図面との整合	BIM/CIMモデルと図面との整合を照査

表-2 照査項目事項一覧

a) 要領・基準の照査

以下の要領・基準類に準拠してモデルの作成および納品を行った。

- ・BIM/CIM活用ガイドライン(案)第5編 道路編
- ・BIM/CIM活用ガイドライン(案)第8編 港湾編
- ・令和3年度 BIM/CIM実施計画書
- ・令和3年度 BIM/CIM実施報告書(案)
- ・BIM/CIMモデル等電子納品要領(案)同解説港湾編

b) 鉄筋の干渉チェック

組立鉄筋の干渉シミュレーション(図3-3 参照)により、設計図書における配筋間隔および配置位置、かぶり厚の妥当性、加工・組立手順の確認を施工前に周知することで「手戻り作業」が回避できた。このことにより、橋脚躯体工のクリティカルパスであった鉄筋組立作業を確実に施工できたことで工程遅延の防止が図られた。

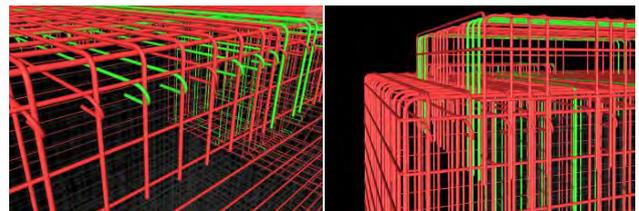


図3-3 干渉確認に使用した鉄筋モデル(梁部)

干渉チェック条件は、土木工事施工管理基準および規格値(九州地整:R4)1-3-7-4_鉄筋工_組立てより、鉄筋の

平均間隔の規格値となっている使用最小鉄筋径 $\pm\Phi 16\text{mm}$ を許容することとした。「許容なし」の設定で干渉シミュレーションを行うと多数の干渉部が抽出されたが「許容16mm」の設定では「干渉無し」との結果となった。鉄筋同士の干渉があるものの $\pm 16\text{mm}$ 以内の移動によって干渉が回避できることから、鉄筋組立の規格値内で組立てが可能であることが確認できた。これにより、発注図書にある鉄筋図面は妥当であり鉄筋組立において問題のないことを確認した。(表-3 参照)

位置	チェック結果(干渉箇所)		備考
	許容なし	許容 16mm	
梁・脊座	3318	0	干渉はあったが $\pm 1\text{d}$ 以内の移動で回避できるため鉄筋間隔の修正は行わない
柱	19901	0	干渉はあったが $\pm 1\text{d}$ 以内の移動で回避できるため鉄筋間隔の修正は行わない
頂版	10173	0	干渉はあったが $\pm 1\text{d}$ 以内の移動で回避できるため鉄筋間隔の修正は行わない
梁・柱	360	0	干渉はあったが $\pm 1\text{d}$ 以内の移動で回避できるため鉄筋間隔の修正は行わない
柱・頂版	211	0	干渉はあったが $\pm 1\text{d}$ 以内の移動で回避できるため鉄筋間隔の修正は行わない

表-3 干渉シミュレーション結果表

c) 鉄筋とその他構造物の干渉確認

橋脚の支承部についてアンカー箱抜きと鉄筋との干渉の有無について確認し、鉄筋が設計形状で組み立てられるかを確認した。

図 3-4 に支承部でのアンカー箱抜きと鉄筋との干渉の有無について確認した結果を示す。

3次元モデルで図示することにより鉄筋の干渉が視覚化され、干渉箇所を容易に把握することができた。アンカー箱抜きと配筋が 1D 程度干渉したため、配筋をずらして配筋することで干渉を回避した。

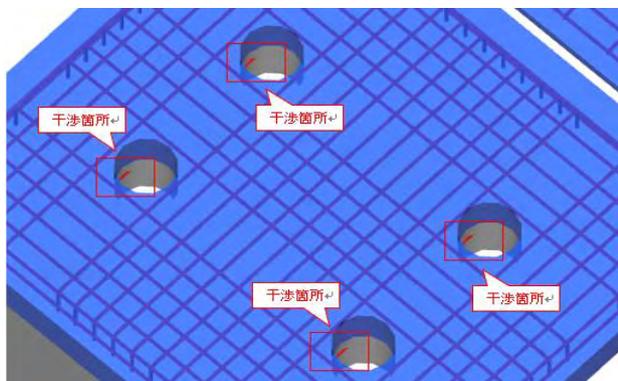


図 3-4 支承部でのアンカー箱抜きと鉄筋の干渉確認

d) 仮締切部のリング支保工と足場との干渉確認

仮締切部のリング支保工と足場との干渉確認を行った。その結果、足場部材が 3 段目・6 段目のリング支保工と干渉することが確認できた(図 3-5 参照)。

干渉部分の足場支保工構造を変更することで干渉を回避した。

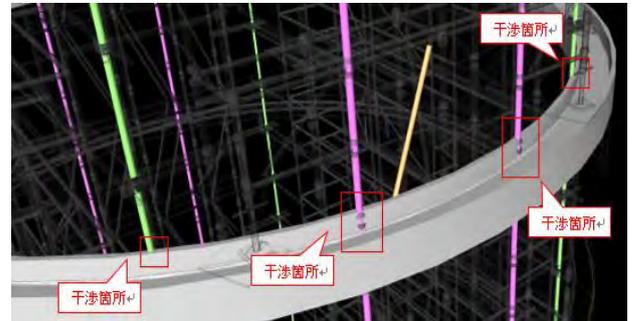


図 3-5 リング支保工と足場部材の干渉箇所

e) 橋脚梁部と鋼管矢板との干渉確認

3次元モデルより基礎工、鋼管矢板切断、撤去時に橋脚梁部と鋼管矢板および杭継手部との近接度を確認し、梁部直下の鋼管矢板および杭継手部の撤去方法を検討した。(図3-6 参照) 検討の結果、梁部直下の鋼管矢板については砥石カッターにて切断、杭継手部についてはガス切断を用いることで最大限撤去を行うこととしたが、通常部のディスクカッターにて切断する箇所と比べて4~5m程度残置量が長くなった。

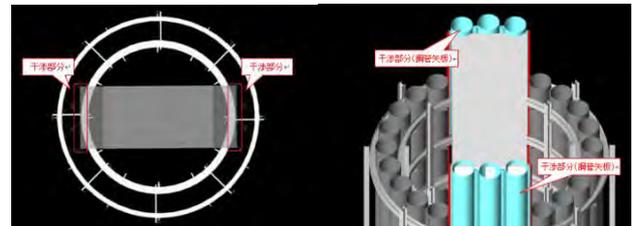


図 3-6 鋼管矢板引抜時の躯体との干渉範囲

f) 施工計画の照査

BIM/CIMモデルを用いて各部材の位置関係を把握し、施工計画を立案、検証する際の参考資料とした。(図3-7 参照)

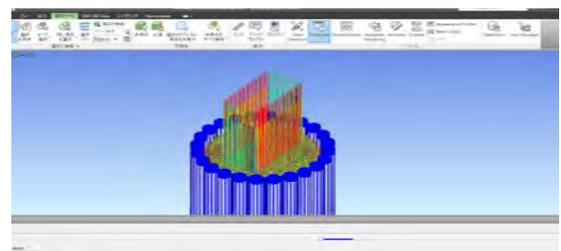


図 3-7 施工計画の照査

g) 測量成果の整合確認

BIM/CIMモデルの単位系、位置座標を図面のものと照合し梁の端部角にて、x、yの座標値が一致しているか確認した。(図3-8 参照)

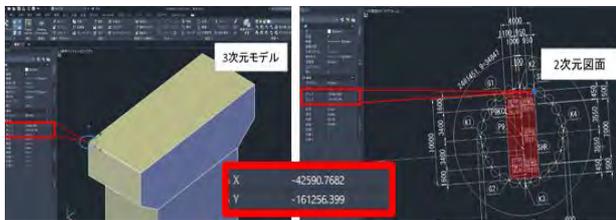


図3-8 位置座標の確認

h) 数量結果の照査

BIM/CIMモデルを用いて、鉄筋量を算出することで数量計算の簡素化を図った。鉄筋の種類別に画層を分けることで、選択、算出が容易となっており、モデルとの数量が一致していることが確認できた。(図3-9 参照)

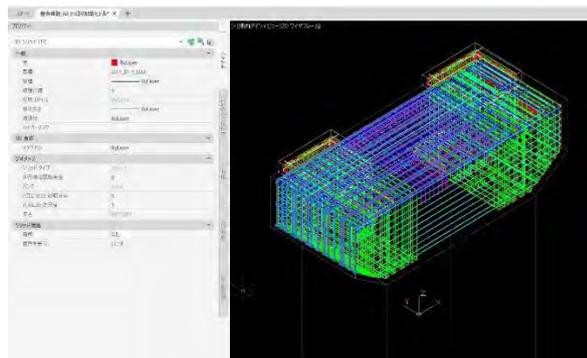


図3-9 鉄筋数量の確認

i) 図面との整合

BIM/CIMモデルと平面図面を重ね合わせることで整合性の確認を行った。これにより平面図の寸法、形状と一致していることが確認できた。(図3-10 参照)

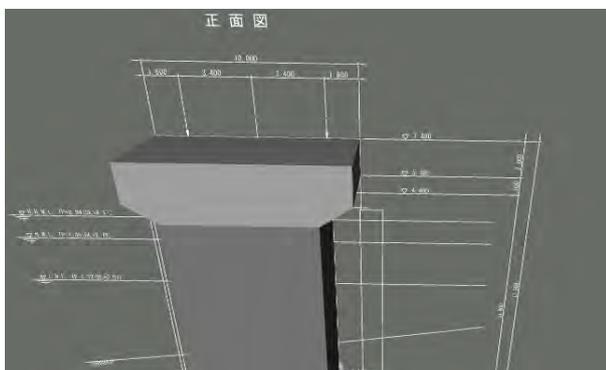


図3-10 モデルと平面図の確認

(5) 施工段階でのBIM/CIMモデルの効率的な活用

本工事では、施工段階における3次元モデルに時間軸を付与することで「施工方法および工程等の実現性」について確認した。また、施工前段階において安全な施工方法と、施工を行うための十分な安全設備について検討を行い、各工種に着工する前に危険有害要因の軽減および排除を行った。さらに、施工状況を直観的に把握できるため、関係者間協議において合意形成時間の短縮および判断の迅速化にも繋がった。これは工事関係者への教育、第三者への工事説明等におけるイメージ共有、理解促進が図れることから工事内容の周知徹底等に活用する。以下の項目を実施することで業務の効率化を図る。(表-4 参照)

活用内容	活用内容の詳細
施工計画	シミュレーションにより「施工方法および工程等の実現性」を可視化することにより、施工箇所や区割り等を含め施工手順の妥当性を検証した。
安全管理	フロントローディングによる危険有害要因の早期抽出により安全計画の充実を図った。 また、3Dモデルによる作業イメージの共有、理解促進が図れることから工事内容、作業手順等の周知に活用した。
協議・打合せ等の効率化	4Dシミュレーションにより、将来の任意のタイミングでの施工状況を直観的に把握することで、関係者間協議において合意形成時間の短縮および判断の迅速化を図った。
対外説明	3Dモデルを用いることから工事内容や完成イメージが想像しやすいことから工事概要書(工事着前・工事完了イメージを共有)や工事の説明等に活用した。

表-4 業務の実施要領

a) 施工計画

BIM/CIMモデルに時間軸を付与した4Dシミュレーションを用いて、施工計画(施工ステップ)の妥当性の確認を行った。(図3-11 参照)

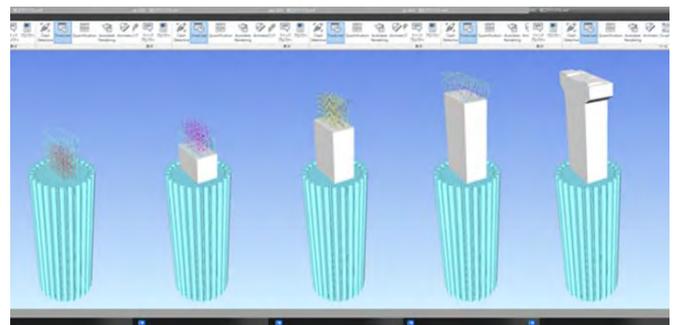


図3-11 4Dシミュレーション

b) 安全管理

3Dモデルに船舶モデル等を追加、配置して危険個所の予測と作業イメージの共有を行った。(図3-12 参照)

また、作業船と航行船舶との離隔が確認し、一般船舶の港内への入出港に支障が無いことを確認できた。



図 3-12 船舶を追加した施工モデル

c) 協議・打合せ等の効率化

BIM/CIMモデルを活用して、「鉄筋の干渉チェック」を作成し、協力会社との打合せ・協議に活用した(図3-13 参照)。これまでの2D図面に比べ、鉄筋配置のイメージの共有が簡易かつ短時間に図られたことで、会議時間の短縮・効率化に寄与できた。



図 3-13 打合せでの使用例

d) 対外説明

地域のイベントにてMR、AR技術によるBIM/CIMモデルを用いた工事説明を行った。3Dモデルによる構造物の様子や周辺イメージを用いることで、工事関係者以外の方々にも構造や工事の完成イメージが判りやすかったと高い評価を得た。(図3-14、図3-15 参照)



図 3-14 地域イベントで使用したモデル・使用機材



図 3-15 地域イベントで操作体験をしている様子

4. 現場施工での活用

(1) 鉄筋組立作業におけるMRシステムの活用

現場にて鉄筋組立作業を行う際に、モデルを現場に重畳表示することで位置出しを容易に行い、組立作業前に行う位置出し作業などの削減に寄与した。(図4-1 参照)



図 4-1 MR システム使用状況

5. まとめ(BIM/CIM活用効果)

本工事では、BIM/CIM活用工事として発注者指定型の形式を採用し、受発注者双方で協議の上、躯体工、基礎工を対象工種(構造物)として、様々な要求事項の中より、実用性のある検討項目について実施した。

その結果、本工事におけるBIM/CIMモデルの活用効果としては、図面の照査の実施において従来の2D図面では把握しづらい干渉も3次元モデルで可視化することで容易にチェックできた。施工段階においては、3次元モデルにて図示することにより、鉄筋が設計通りに組み立てられることが確認できた。また、3次元モデルとすることで第三者への形状変更の説明が容易となった。

本工事で実施した工事情報の共有化を図り、今後予定している橋台・上部工架設工事では、P3、P9工事での知見を活かし、効率的かつ安全な事業推進をすることとした。

リモートによる災害査定の効率化について

今泉 慎哉¹

¹長崎県 対馬振興局 建設部 河港課（〒817-8520 長崎県対馬市厳原町宮谷 224）

公共土木施設における災害に対し、県民の安全安心の確保のため、迅速な初動と早期復旧が求められる。公共土木施設の災害は、災害復旧事業を活用して対応しており、本県は離島という地理的な制約がある中、限られた人員で、安全かつ迅速に、効率よく事務手続きを行う必要がある。今回は、災害復旧事業の事務手続きの中で、既存の県所有設備を用いて効率化が図れる見込みがある災害査定に着目し、対馬振興局で実施したリモートによる災害査定について検証を行うものである。

キーワード 効率化、デジタル技術、離島、災害査定、リモート

1. 災害査定

災害査定とは、申請者（被災を受けた自治体）、査定官（国土交通省（国土交通省所管の場合））、立会官（財務省）の三者合意をもとに補助対象額を決定するものである。実地査定または机上査定（申請額が1,000万円未満又は実地査定が困難である箇所）で行われる。うち机上査定については、近年のデジタル技術の発展と普及促進の流れを受け、リモートによる机上査定に関する通知（国土交通省、2022年4月28日付、表-1、図-1）が発出されたことにより、国土交通省と申請者（各自治体）がその具体的な手法を模索しながら取り組んでいるところである。また、災害復旧事業におけるデジタル技術活用の手引き（案）（国土交通省、2023年7月）が作成され、ドローン撮影や3次元測量等のデジタル技術を災害復旧事業のプロセスに活用する動きも進みつつあり、近年の激甚化、頻発化する災害に対して、最新技術を活用した安全かつ効率的で迅速な対応が、より一層望まれている。

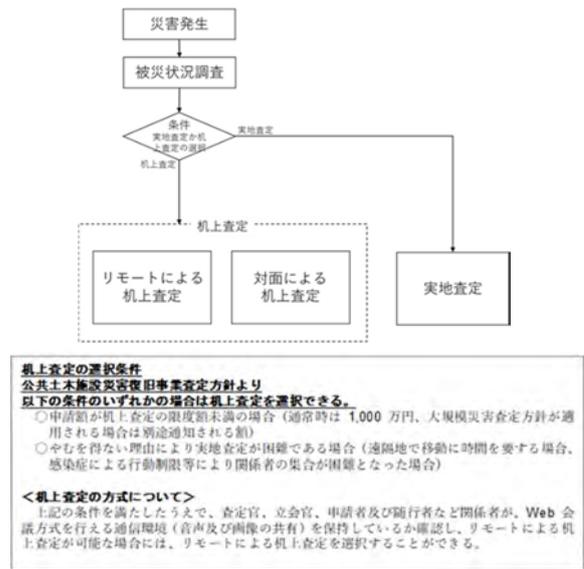


図-1 机上査定の方式（2023年災害手帳より抜粋）

表-1 実地査定と机上査定の方式

	実地査定	机上査定	
		対面	リモート(R4通知)
申請金額	1,000万円以上(通常時)	1,000万円未満(通常時) (やむを得ない理由があればこの限りではない)	1,000万円未満(通常時) (やむを得ない理由があればこの限りではない)
体制	対面(現場+会議室等)	対面(会議室等)	各執務室等
申請書類	従前と変わらず	従前と変わらず	通常の机上査定と同様
査定方法	従前と変わらず	従前と変わらず	通常の机上査定と同様。 申請箇所からのリアル
査定確認	朱入れ (朱入れの筆で記入)	朱入れ (朱入れの筆で記入)	リモート査定確認資料 (エクセル等に記入し 査定官がサインしたものをPDF化(電子朱入))

災害査定は本来、原則として実地にて行うもので、申請者にとって被災の事実や被災の程度、復旧範囲等を査定官、立会官に実地で説明することにより合意形成を図ってきた。今回、対馬振興局が申請した災害箇所は、申請金額が1,000万円以上であり通常は実地査定となるところであるが、災害復旧事業におけるデジタル技術活用の手引き（案）3.2 査定方式の適用条件で、実地査定が困難である場合（遠隔地で移動に時間を要する場合）に該当し、リモートによる机上査定を選択することも可能であるため、国土交通省と県庁河川課が協議し、リモートによる災害査定を本県で初めて採用することとなった。デジタル技術の活用は、機材等の初期コストがかかり、ノウハウの取得までに時間を要する中で、現状、職員

みで対応可能な方法は限られている。そこで今回、既存の県所有設備を活用してリモートによる査定の方法を検討し、申請箇所にもリモートパソコンを携行し、現地状況の映像をスマートフォンを用いてリアルタイムで配信しながら説明を行うという試みを行った。

2. 対馬振興局における実施内容

(1) 申請内容

今回検証した災害査定は、令和5年7月8日から11日の梅雨前線豪雨により被災を受けたもので、図-3のように長崎本土で4市（平戸市、松浦市、島原市、雲仙市）、離島で2市（対馬市、壱岐市）という長崎県内に広くまたがった範囲である。このうち、離島の査定箇所をリモートによる査定をすることで4日間の行程に短縮を図った。

対馬振興局では、対馬市峰町にある二級河川佐賀川において、出水により河床が洗堀を受け、写真-1のように河川護岸が被災した。申請内容は表-2、図-3、図-4のとおり、ブロック積による復旧を延長54.4m申請した。

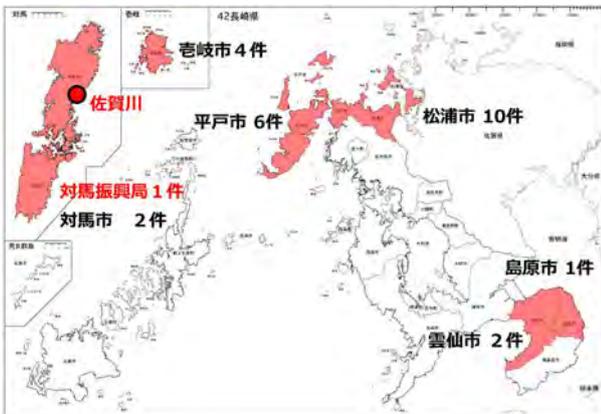


図-3 3次査定位置図



写真-1 被災直後

表-2 申請内容

災害箇所	二級河川佐賀川（対馬市峰町佐賀）
被災原因	令和5年7月8日から7月11日梅雨前線豪雨
査定日	令和5年9月21日から9月22日（第3次査定）
申請額	35,513千円
被災内容	河川護岸崩壊54.4m
復旧工法	ブロック積工226m ²



図-3 平面図

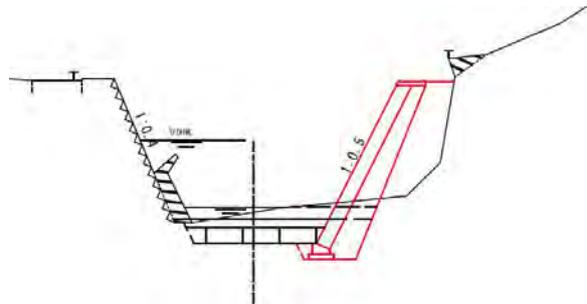
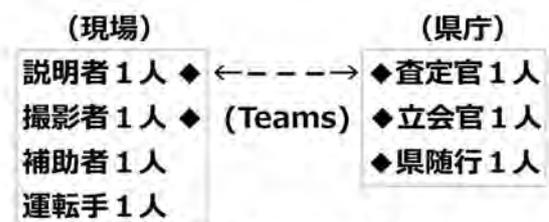


図-4 横断面



(※ ◆ : 画面共有)

図-5 人員体制

(2) リモートによる実地査定

従来の実地査定では、現場で査定官と立会官に対し、野帳や A1 サイズの図面を用いて説明を行ってきたが、今回のリモートによる実地査定では、図-5のように、現場では、申請者である説明者、補助者、リアルタイム映像配信のための撮影者、運転手の4人、県庁会場では、査定官、立会官、県随行という体制で査定を実施した。現場と県庁間の通信は、Web 会議ツールとして、

Microsoft 社の Microsoft Teams を用いて、写真-2 のように、現場と県庁、スマートフォンによるリアルタイム映像配信の3画面とした。車の中にリモートパソコンを設置して説明用ブースとし、PDF化した図面や事前に撮影したドローン映像を画面共有しながら、査定官や立会官の求めに応じて、撮影者が現場内を移動してリアルタイム映像を配信し、従来の実地査定と遜色ないように努めた。（写真-3、写真-4、写真-5）



写真-5 ドローン映像写真



写真-2 Microsoft Teams 画面

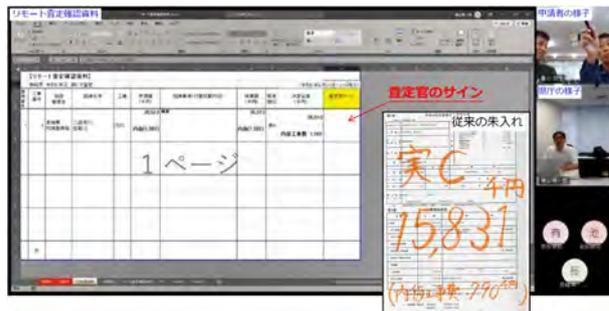


写真-6 朱入れ状況



写真-3 説明状況



写真-4 撮影状況

(3) 朱入れ

写真-6 のように、リモート査定確認資料に査定官がサインし PDF 化したものを申請者、査定官、立会官、随行者で相互に確認し決定する。なお、申請額が査定決定金額となった。

3. リモートによる災害査定を検証

表-3 のとおり、事前準備や機材に関して、申請者側の手間や新たな負担はほとんどなく、実地査定を想定した場合と比べ、所要時間は 120 分削減できたことになった。なお、離島への移動は航空機や船舶であり、欠航のリスクや1日の便数が限られることを考慮すると、今回の比較結果以上に時間短縮となり効率化の効果がさらに見込まれる。

4. まとめ

リモートによる災害査定の最も優れた点は、査定官や立会官の移動時間を短縮することで、1回の査定で離島も本土も含めたスケジュールが組みやすくなり、査定件数を増やす余地が生まれるなど、事務作業を大幅に効率化できることである。さらに、朱入れの際に申請者が他市町の査定会場に行かざるを得なかったケースの解消

表3 検証内容の整理

	実地査定	リモートによる査定	評価
1 事前準備	特になし	通信環境の確認（5分）	申請者の負担はほぼない
2 所要時間	空港間 : 40分 空港～現場 : 40分 査定 : 20分 現場～局 : 60分 計 : 160分	査定 : 40分 ※申請者の移動は別途 120分要する(計160分)	申請者の時間短縮はなかったが、査定官、立会官、随行は120分短縮され、他振興局や市町の査定数を増やすことができる。
3 費用	航空機往復 : 82,500円 公用車燃料 : 1,330円 運転手 : 3,000円 計 : 86,830円 ※査定官、立会官、随行の3人	0円	交通費が削減されるとともに、運転手の拘束がなくなる。また、予約や精算の諸手続きが不要となり、省力化が図れる。
4 人員	説明者 : 1人 図面持ち : 1人 補助者 : 1人 計 : 3人	説明者 : 1人 撮影者 : 1人 補助者 : 1人 計 : 3人	必要人員は変わらない
5 機材	必要なし	リモートPC : 1台 撮影用スマートフォン : 1台 PC使用に適した車両 : 1台	各振興局各課に配備されており新たに購入する必要がない
6 説明資料	査定設計書（正副） A1版の図面 写真	画面共有	画面上で拡大縮小の操作をしながら説明が可能であり、査定官、立会官それぞれにPCを準備していたため、一つの資料を交互に見る必要がない。

や、1回の査定で査定件数が増えることで県随行の人数が抑えられる可能性がある。また、今回のリモートによる災害査定は、リアルタイム映像やドローン映像を活用したことで、査定官、立会官への説明は十分行えたため、実地査定と遜色ないという感触を得ることができた。

なお、今回の第3次査定で対馬振興局は1件のみの査定だったが、仮に1自治体の査定件数が複数ある場合（例として実地査定複数件、机上査定複数件）でも、その自治体の班編成を説明班（会議室等での説明班）と現地班（リアルタイムの映像を配信する班）に分けることで、実地査定箇所間の移動時間の合間に机上査定を行うことができたり、また、他市町の机上査定とも調整が図れる可能性が大いにあるため、リモートによる災害査定は積極的に活用すべきだと考えられる。

5. 今後

本県では、DX推進のための勉強会を2023年9月12日に開催し、九州地方整備局インフラDX推進室の講演等をふまえ、県内の各自治体やコンサルタント等と情報共有、意見交換を行ったところである。今回のリモート査定は官側の効率化を図ったものだが、災害復旧事業にあたっては官民双方が相応の労力を伴うものであり、今後は、できることを積み重ねながら、デジタル技術の活用を通じて、官民双方で、迅速化・効率化・安全性向上を実現していきたい。

大津熊本道路におけるCIMの取組

-測量・設計から維持管理・更新までの業務効率化・高度化を図るための挑戦-

池田 敏彦¹・三嶋 浩二²

¹九州地方整備局 熊本河川国道事務所 工務第三課 (〒861-8029 熊本県熊本市東区西原1-12-1)

²九州地方整備局 熊本河川国道事務所 建設監督官 (〒861-8029 熊本県熊本市東区西原1-12-1)

中九州横断道路の一部である「大津熊本道路」(以下、「本道路」という。)は、安定した物流網の構築により、地域経済を牽引し、日本の経済安全保障に資する半導体関連企業等の産業活動等を支援することを目的とした延長約14kmの高規格道路(自動車専用道路)である。

本報告では、本事業においてCIMを活用し、測量・設計から維持管理・更新までの業務効率化・高度化を図るための挑戦を紹介する。

キーワード 大津熊本道路, CIM, 3次元モデル活用, 業務効率化

1. はじめに

CIM (Construction Information Modeling, Management) とは、建設事業で取扱う情報をデジタル化することにより、調査・測量・設計・施工・維持管理等の建設事業の各段階に携わる受発注者のデータ活用・共有を容易にし、建設事業全体における一連の建設生産・管理システムの効率化を図ることである。また、受発注者の生産性向上を目的に、土木業務・工事にCIMを適用し、取り組むものである。なお、CIMは、発注者が3次元モデルの活用内容を明確にし、その活用内容を達成するために3次元モデルを作成することが重要である。

3次元モデルの効果的な活用に加え、事業推進及び工事完成後の維持管理に必要な情報を整理・管理し、必要な情報を容易に加工できる形状で取得できるデータベースとしての活用も期待される。

熊本河川国道事務所(以下、「本事務所」という。)においては、「熊本河川国道事務所3つのチャレンジ2024」(以下、「チャレンジ2024」という。)の1つとして、「BIM/CIM」の取り組みを推進し、本事務所職員等の業務軽減を図る挑戦を行っている。(図-1)

本報告は、本道路において、CIMを活用することでの効果や今後の取組などを紹介するものである。

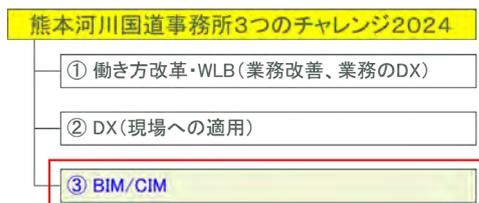


図-1 熊本河川国道事務所3つのチャレンジの体系図

2. 事業概要(大津熊本道路)

本道路は、大分市と熊本市を結ぶ延長約120kmの中九州横断道路の一部を担っている。本道路を整備することで安定した物流網の構築により、地域経済を牽引し、日本の経済安全保障に資する半導体関連企業等の産業活動等を支援するものである。(図-2)(図-3)



図-2 中九州横断道路の路線図



図-3 大津熊本道路の路線図

本道路の周辺環境については、半導体メーカーや二輪車・自動車関連工場が集積する工業地域であり、新たな工業団地の開発も進んでいるところである。

本道路に並行している国道57号は、高速道路や熊本県・大分県の中心部や主要観光地への主要アクセスであり、交通集中による渋滞が発生しているところ。本道路の早期整備により、高速道路への所要時間が短縮し、物流の効率化が期待されている。

また、本道路の本体の構造については、事業区間約14kmのうち約9割以上が道路土工構造物（道路本体の盛土、切土）の予定である。（図-4）

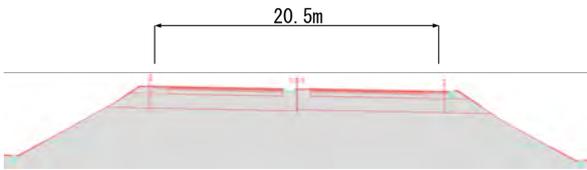


図-4 道路横断図（盛土部）

3. 事業を進める上での主な課題

本道路のみに関わらず事業（測量・調査から設計、積算、施工、維持管理・更新）を進める上で、2次元の紙の図面にて作業することは生産性を低下させる要因となっている場合がある。

例えば、「設計照査」においては、道路土工の法面構造（勾配、形状、小段、排水施設等）の場合、各測点の2次元データ（横断図）にて適正か確認を行っている。

また、施工ヤードが限られている場合、施工方法、施工重機等の配置計画の妥当性の確認を行っているが、それらには多くの時間を要している。

また、「維持管理・更新」や「被災時の復旧」において、過去の成果（測量・設計から施工まで）が引き継がれていない場合、平時において、どのような観点で維持管理（道路巡回等）を実施すべきかが苦慮することが多い。被災後の復旧時においては、過去の成果を見つけ出すのに時間を要することで被災の原因究明（推定）や復旧工法の検討が遅れる可能性がある。

これらの課題を少しでも解決すべくCIMの活用を検討し実装していくことが重要である。

4. 課題解決のための取組（CIM活用の取組）

測量・調査から設計、積算、施工、維持管理・更新に至る建設生産・管理システムで一貫した3次元データの利活用を図るためには、事業の初期段階からCIM活用の目的を設定し、建設生産・管理システムの各段階において、目的に応じた3次元データの利活用を図ることが重要である。なお、目的の設定にあたっては、計画・工務・管理等の各部署の担当者が利活用に向けた意見を

出し合い、共有することが重要である。

よって、事業の実施にあたり、CIMを活用することによってどのような課題を解決するか、どのような業務の効率化を図るかなど、CIMの活用目的を明確にするため、「チャレンジ2024」にて検討し実装していくことを考えている。本報告はその検討内容を紹介するものである。

（表-1）

また、CIMの原点はデータの活用・共有による受発注者の生産性向上を目的とするものであり、活用するデータは3次元モデルに限らずに2次元図面や報告書等を含め、用途に応じたデータの使い分けも検討すること考えている。

表-1 「事業を進める上での主な課題」と「CIM活用の目的」

項目	主な課題	CIM活用内容、その効果
設計照査	「構造物の取り合い」や「鉄筋干渉」などは、2次元では表現が難しいため、 手戻りが懸念	・鉄筋干渉などの不具合箇所の把握 ・ 「設計ミス」や「手戻り」を防止
関係機関協議	施設管理者、交通管理者等の 協議に時間を要する	・占用物件等への影響を分かりやすく整理 ・ 合意形成の迅速化
地元説明	完成イメージが伝わりづらいため、 理解まで時間を要する	・完成イメージの作成 ・ 理解促進
景観検討	限られた視点でのイメージしかない場合、 多様な視点から検討することが出来ない	・多様な視点から比較するためのモデル作成 ・ 多様な視点から検討することが可能
事業監理	工事発注規模を設定する際に、その根拠となる 工事数量の算出に時間を要する	・土量（盛土・掘削）の自動算出 ・ 業務の省力化
施工計画	現場と図面の不整合箇所や施工内容が分かりづらいため、 手戻りが懸念	・施工計画上の支障等を網羅的に把握 ・ 施工計画の品質向上（工期延期の防止）
施工管理	出来高管理に関わる 作業人数・作業時間を多く要する	・点群データ等を利用し面的管理 ・ 作業の省力化
環境への配慮	工事時における「 自然環境 」、「 生活環境 」などの配慮	・環境に影響がある工事範囲を把握 ・ 自然環境・生活環境の保全
維持管理・更新	測量・設計から施工までの成果が引き継がれていない 場合がある	・必要な成果を3次元モデルに紐付け ・ 情報収集等の容易化、維持管理の確実性
損傷・被災後の復旧	施工までの成果を見つけるのに時間を要し、 原因究明や復旧工法の検討が遅れる	・必要な成果を3次元モデルに紐付け ・ 早期に的確な復旧工法を検討出来る

(1) 設計照査

設計照査において、2次元では表現が難しい箇所を3次元モデルで視覚化することで、2次元図面の精度向上及び、設計ミスや手戻り防止につなげることができる。

例えば、橋梁の上下部接続部において、鉄筋などが錯綜するため、CIMモデル上で鉄筋などの干渉確認を実施した。これにより、成果品の品質向上、施工時の手戻り防止などを図ることができた。（図-5）

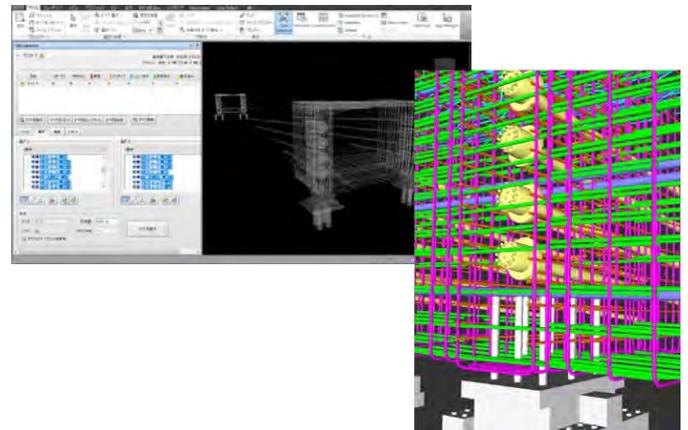


図-5 支承アンカーバーPC鋼材の干渉チェック

また、地質・土質調査の成果を3次的に可視化したモデルについて、地質断面図などを3次的に表現することで、本体構造物の周辺の地質区分や位置関係、地質・土質上の課題（軟弱地盤、湧水等）を容易に把握でき、最適な設計、施工計画の効率化などに資することが期待されるため、本事業においてCIMの活用を検討する予定である。

(2) 関係機関協議

関係機関協議資料（地方公共団体、NEXCO、埋設物管理者等）として活用するため、建築限界、架空線、地下埋設物、地層変化等をモデルに反映し、地下埋設物等をモデル化することで、目視できない部分がモデル上に表現でき、取り合いや位置関係をあらかじめ確認することにより、関係者の理解促進や2次元図面の精度向上を図ることができる。

例えば、本道路において、九州縦貫自動車道を跨ぐ橋梁を計画しているため、NEXCOとの協議を予定している。その協議資料について、九州縦貫自動車道の走行時の本道路の見え方を可視化することで理解促進が図られ協議が円滑に進むことを期待している。（図-6）

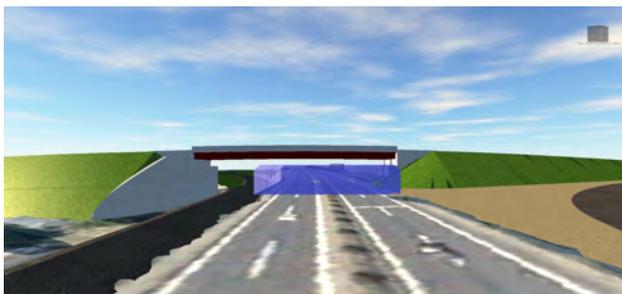


図-6 九州縦貫自動車道の走行時の見え方

また、交通管理者との交差点協議等において、2次元図面では実施困難な信号機等の視認性の検証ができること及び走行シミュレーションにより規制標識などの設置位置などを可視化することで、交通管理者との協議が円滑に進むことも期待している。

(3) 地元説明

地元関係者などに道路の完成形状などを説明する際、説明資料が2次元図面の場合、完成イメージが湧きづらいため、理解してもらうまでに時間を要することがある。

よって、3次元モデルにて視覚化したり、用地取得範囲を設計CIMと重ね合わせることで、地元関係者などにイメージの共有がしやすく地元説明会等での理解が促進され合意形成が迅速化されることを期待している。

（図-7）



図-7 地元説明会の状況と道路完成形状（イメージ）

(4) 景観検討

本道路の景観検討の方向性については、「i 田園・集落環境のなか、急速に進展する都市開発との融合・共生した、道路デザイン」、「ii 阿蘇地域・竹田地域への期待につながる風景を確保」、「iii 自己主張しない役割を果たしつつ、シンプルな道路デザイン」にて検討しているところである。

それらを踏まえ、本道路のコンセプトとしては「熊本・阿蘇地域につながる風景の中に沿線で急速に進展する都市開発と共生するシンプルな道路デザイン」にて検討しているところである。

本道路の景観検討については、3次元モデルにて可視化することで複数の視点や橋梁のデザインを容易に切り替えることができ、複数の比較モデルにおいて、任意の同一視点から確認することができるため、短時間で認識を共有し円滑に合意形成を諮ることを期待している。

（図-8）

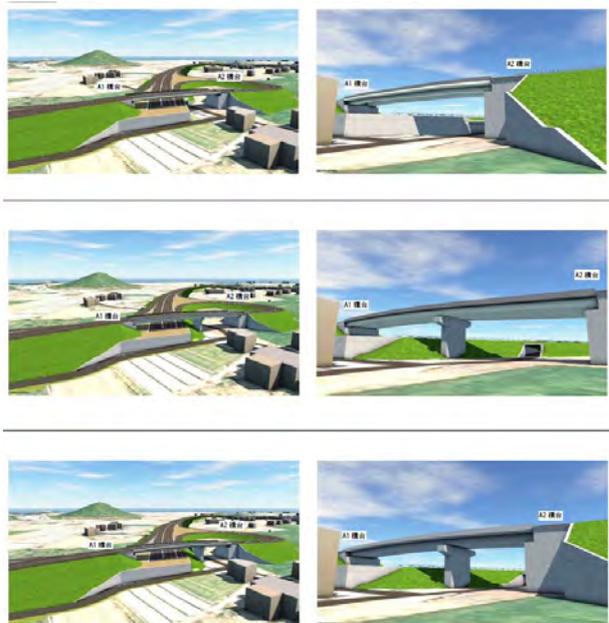


図-8 景観検討のイメージ

(5) 事業監理

本道路は、事業エリアに地権者が多く、地方公共団体等の道路や土地等が多数ある。また、2. で述べたとおり、事業区間の約9割以上が道路土工構造物の予定である。

今後、事業監理を行う上では事業期間のうちに、各年度に実施する工事の検討や予算配分等についての妥当性を合理的に整理するために膨大な作業人員と作業時間が必要となることが課題である。

そのため、3次元モデルを活用して事業の各年度の推進状況を可視化することで、事業全体の説明、各年度に実施する工事、工事発注規模（工事発注ロット）ごとの平面的・立体的な位置関係を可視化し、事業の進め方や予算配分の妥当性を合理的に整理することを検討していきたい。

また、その3次元モデルを活用し工事発注規模（工事発注ロット）ごとの道路土工構造物の切土・盛土の土量を自動算出することで概算工事費の算出の効率化が期待できる。

(6) 施工計画

設計段階で作成された3次元モデルを用いて施工場面ごとに可視化することで、施工手順や変更案との比較、工事の進捗状況等を分かりやすく表現することができる。

これにより施工手順の確認や工程管理が効率化され、さらに、資材・機材配置を可視化することでその調達の効率化、最適化の促進が図られる。

例えば、施工重機の配置や作業半径を3次元モデルで可視化することで高圧線などに干渉しないかなどを確認することが出来る。それにより適切な施工計画の作成、施工の高度化、可視化による事故リスクの低減などが期待できる。（図-9）

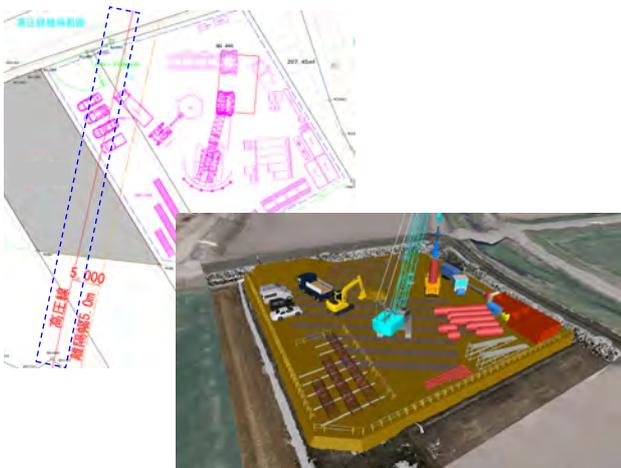


図-9 施工計画検討のイメージ

(7) 施工管理

施工管理については、3次元モデルの活用により、過密鉄筋箇所の加工や組み立て方法等が容易に確認でき、作業性の向上による工期短縮が期待できる。また、出来形管理に関わる作業人数・作業時間を削減するため、地上型レーザースキャナーを用いて杭・躯体の出来形の点群データを測定し、面的管理を実施することにより、出来形計測作業の軽減、出来形管理写真の撮影不要、出来形図の作成の簡素化により、作業人員と作業時間を削減することができる。

(8) 環境への配慮

環境への配慮については、3次元モデルの活用により、「猛禽類等の希少種の生息範囲」と「施工範囲」を平面的・立体的な位置関係を可視化することができる。

（図-10）

また、橋梁、盛土の完成後において隣接する住宅に対する日照障害が懸念される場合は、3次元モデルを用いて太陽の方角（四季の移り変わりも考慮）から日照の影響も可視化することができる。それらのことにより、自然環境・生活環境の保全に寄与する。



図-10 希少種の生息範囲と施工範囲の確認のイメージ

(9) 維持管理・更新

測量・設計から施工までの情報などについて、今後の維持管理に必要なデータを3次元モデルに紐付けることにより情報収集等の容易化が図られる。

例えば、「補修・更新で使用した部品や時期等の修繕履歴を属性付与し、引き続き維持管理に活用」、「構造物の定期点検における活用」などが期待できる。また、設計段階等において把握した既存地下埋設物及び地中構造物情報を可視化したり、地質分布図や施工後の不可視部分（アンカー工、地盤改良工など）を可視化することで、今後の更新計画への活用や未然の事故防止を図ることも期待できる。

また、本事務所が管理している道路において、本年度7月の豪雨時の道路巡回中に「路面のひび割れ」及び「その割れ目から細粒分土砂を含んだ水が流出」している状況が確認された。(図-11)

本変状の原因の究明(推定)や復旧工法の検討のため、工事状況写真、ボーリング調査結果及び排水計画などの既存成果の収集を行ったが、検討に必要な全ての資料がそろったのは半日程度の時間を要した。(図-12)

その結果、原因の究明(推定)等の検討が遅れたのは否めない。

よって、(測量・設計から施工まで)維持管理に必要な情報などを3次元モデルに紐付けるなどを検討し、情報収集の迅速化を図る必要があることを痛感した。



図-11 路面変状の状況

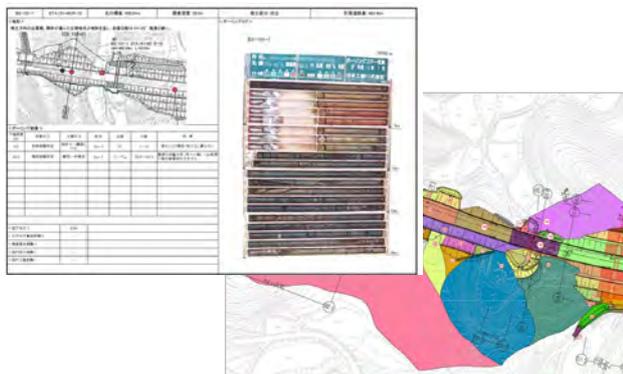


図-12 測量・設計から施工までの既存情報

(10) 損傷・被災時の復旧

損傷・災害時の復旧については、(9)と同様に維持管理に必要なデータを3次元モデルに紐付けることにより情報収集等の容易化が図られるため、早期に的確な被災原因の究明(推定)や復旧工法の検討が期待できる。(図-13)



図-13 災害時の状況(イメージ)

5. 4.の主な課題とその解決に向けての方針

4.の主な課題については、CIMの活用が属人化すると長期的に見るとその担当者が異動等により変わることによって活用しなくなる可能性がある。また、異なるソフトウェアの互換性に課題があることも解決していく必要がある。

よって、例えば、それぞれの担当者が異動しても継続してCIMが活用されるように、「3次元データや技術に対応する人材育成」や「活用される仕組み(運用)を構築」することが重要である。

また、異なるソフトウェアの互換性の課題については「異なるソフトウェア間でも支障をきたすことがないように、事前にソフトウェア間の互換性を確認した上で利用する」ことが重要である。

6. まとめ

本報告は、本道路の事業を進める上でのCIM活用の一部を紹介したものに過ぎない、また、事業を推進していくうちに新たなCIMの活用も考えらるため、今後もCIM活用の結果(好事例、失敗事例)などを皆さまに横展開できればと考えている。

また、CIMの活用は「良いモノづくり」の「手段」である。よって、3次元モデルを作成することが目的にならないように留意していきたい。

引き続き、CIMを活用し本事務所職員、コンサル、施工業者などの皆さまと“ざっくばらん”に意見交換しながら「良いモノづくり」を進めていきたい。

白川固定堰群改築事業における 三次元モデル活用に関する取組

齊木 愛菜¹・安東 謙治¹・牧野 純治¹・竹下 一路¹

¹九州地方整備局 熊本河川国道事務所 工務第一課 (〒861-8029熊本県熊本市東区西原1丁目12-1)

近年、インフラ分野のDXの一環として建設業ではi-ConstructionやCIMといった三次元モデルの活用が推進されている。熊本河川国道事務所では「熊本河川国道事務所3つのチャレンジ」と称して「DX」「BIM/CIM」「働き方改革・WLB」を推進すべく、事務所全体で推進体制を構築している中、令和6年度から始動する白川固定堰群改築事業についてもBIM/CIMを活用した検討を行っている。本稿では、白川固定堰群改築の事業着手に向けて実施している現段階までの三次元モデル活用に関する取組について報告する。

キーワード CIM, VR, 三次元データ

1. はじめに

白川は、**図-1**に示すように熊本県阿蘇郡高森町根子岳(標高1,443m)に源を発し、阿蘇外輪山の切れ目である立野火口瀬で黒川と合流した後、中流部の豊かな穀倉地帯を流れ、下流部では熊本市を貫流し、有明海に注ぐ、直轄管理区間21.7km、流域面積480km²の一級河川である。

白川では、令和2年1月に河川整備計画が変更され、基準地点代継橋での流量2,700m³/sを洪水調節施設で300m³/s調節し、2,400m³/sの流量が安全に流下できる河道とすることを目標とした。これを満足するため河道掘削や堤防整備、横断構造物の対策を進めているところである。



図-1 白川流域図

2. 白川固定堰群改築事業について

(1) 事業内容

白川では、これまでの河川整備によって概ね全川的に連続堤防が整備されたのに加えて、上流の阿蘇立野ダム整備が完了した状態であるが、白川市街部の下流部に位置している固定堰群(井樋山堰, 十八口堰, 三本松堰)が、洪水時の流下阻害となり流下能力が不足している。また、平成28年熊本地震後に大量の土砂が河道内に堆積しており、緊急的に河道掘削を実施しているが、固定堰上流部への土砂堆積が継続しており、治水安全度を低下させる要因となっている。このことから白川市街部の下流部に位置している3基の固定堰を統廃合し、可動堰化することで整備計画流量を安全に流下させ、土砂堆積抑制を図ることを目的として白川固定堰群改築事業を令和6年度から着手している(図-2)。



図-2 白川固定堰群改築のイメージ

(2) 事業を実施する上での課題

本事業では、可動堰の新設（以下、新堰）、旧堰撤去、河道掘削、護岸補強、橋梁補強、水路付替など、関係する工事が多くあり、事業期間も概ね10年と長い期間になっていることから以下のような課題が挙げられた。

(a)新堰は大規模構造物であるため、構造が複雑であり設計段階での細部までの確認が難しいこと。それに加えて、工事箇所の支持地盤の変化も顕著であり、薄層支持であることが確認されていることから、手戻りなく円滑に事業を実施するために事業関係者間での認識に齟齬のない綿密な情報共有が必要であること。

(b)施工期間が長期間となり、近接する業務・工事が多く存在するため、事業関係者間での共有すべき内容や、引き継ぐべき内容を分かり易く誰でも理解できるように伝達しつつ、事業全体の進捗管理を行う必要があること。

(c)平成28年熊本地震における土砂堆積が顕著なため現状の把握、今後の土砂堆積状況の確認を行う必要があること。

以上の課題や阿蘇立野ダムのCIM活用事例等をふまえ、本事業では三次元データによる情報共有、運営管理、環境の構築を目的として三次元モデル活用に取り組むこととした。本稿では、事業着手に向けて現時点までに実施している三次元モデル活用に関する取組や今後の展望について報告する。

3.三次元モデル活用による利点

(1) 従来の作業

これまでは、紙（二次元）の図面を用いて作業（打合せ、指示、記録等）を行っていた。紙の図面を用いる際には、構造物の干渉等の確認は、図面の重ね合わせや各自が頭の中で三次元化する等によって情報の把握や共有が行われており、各人の熟練度によって理解度にばらつきがあることなど様々な課題が残されていた。（図-3）



図-3 紙（二次元）の図面での作業

(2) 三次元モデルを用いた作業

三次元モデルを活用することで、これまでは各自の頭の中での三次元化し情報の把握や共有がされていたものが最初から立体的な画像を見ることができるようになる。これによって、どのような人でもレベルの差が少ない状態で情報を共有しながら検討等を始めることが可能となる。

このように、三次元モデル活用による利点は、二次元ではわかりづらかった情報の見える化が可能となることであり、本事業に三次元モデルを用いることによって発注者、設計者、施工者などの事業関係者間での認識の差に大きな違いがなくなるとともに、事業関係者全体の理解度が向上し円滑な施工が期待できる。

4. 三次元モデルの作成と活用（R5）

本章では、白川固定堰群改築事業における前項で述べた課題を解決するために作成した三次元モデルと、課題解決のために取り組んだ内容について紹介する。

(1) 「詳細部確認モデル」

特定部の構造の設計確認に用いることを目的として過年度の設計図面を元に三次元モデルを作成した。

実際に、本モデルを用いて複雑な配筋となっている堰柱を対象として堰柱天端と管理橋支承部について鉄筋の干渉確認を行った。その結果、堰柱天端鉄筋と管理橋支承部について干渉箇所を112箇所確認した（図-4）。干渉を確認した箇所については、結果を踏まえ配筋の見直しを実施した。

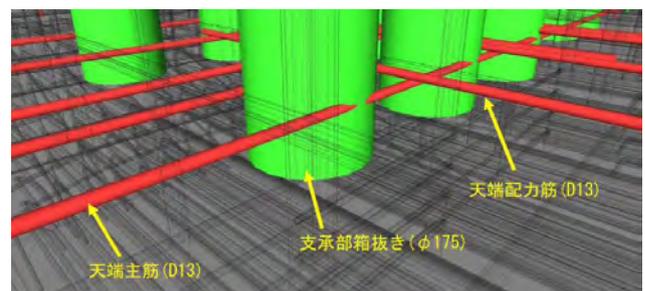


図-4 堰柱天端鉄筋と支承部箱抜きの干渉確認結果

(2) 「施工ステップモデル」

施工計画の確認を行うことを目的として、三次元モデルを作成した(図-5)。本モデルを作成したことで、施工の段階の可視化ができ設計時に想定した施工方法、施工手順、施工時の留意点等の施工計画について確認をすることができた。

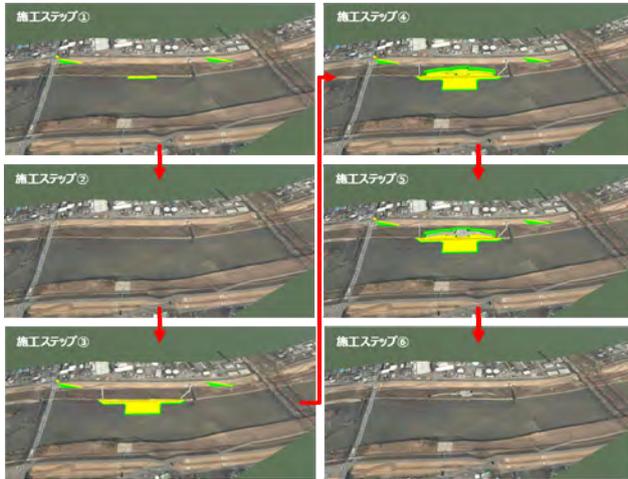


図-5 施工ステップモデル

(3) 「白川河道モデル」

白川固定堰群改築事業及び河道掘削等の進捗管理に資することを目的として三次元モデルを作成した(図-6)。本モデルは、全体の構造物や現況河道形状等を3次元化したモデルの情報を一元化することにより作成した。本事業で、一元化した情報の中には、新堰本体(図-7)、機械設備、既存地質調査データ等について作成した三次元モデルが含まれている。今後は、白川河道モデルの更新を通して、固定堰撤去に伴う河床低下対策や堆積土砂掘削など関連工事を含めた、事業全体の進捗管理への使用や、今後の土砂堆積変化の状況把握のための使用を考えている。

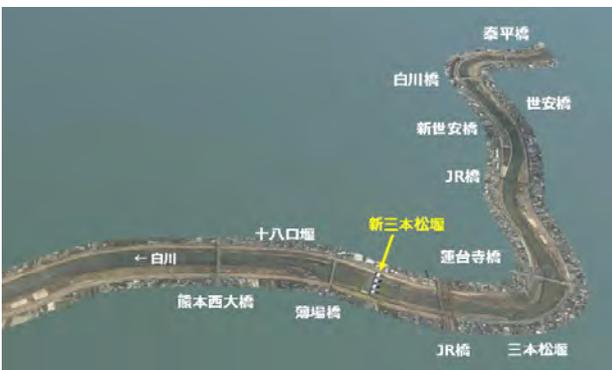


図-6 白川河道モデル

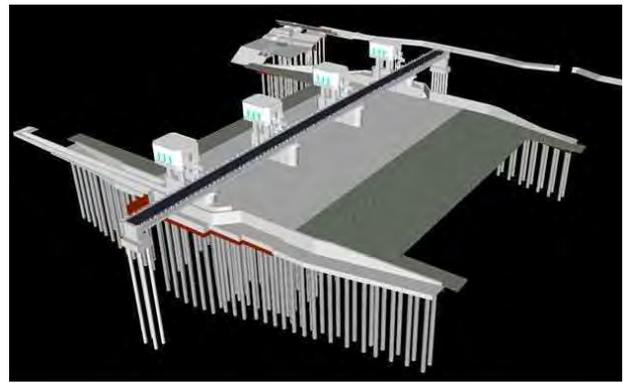


図-7 新堰本体の3次元モデル

(4) 「VR (Virtual Reality)」

事業実施に際しては、関係者間での情報共有のみならず、地域住民の方のご理解が必要である。そこで、地域住民の方々により分かり易い説明をすることができるように、VRを九州技術事務所と連携して作成した(図-8)。

VRとは、現実にはない世界又は体験したい状況をCGによって仮想空間上に作り出す技術のことを指す。

今後、VRを用いて、工事の施工状況や事業の対象構造物を含む工事箇所周辺についても三次元化することにより、地元住民の方に変化の状況を分かり易くお伝えし、事業に対する地元理解を促す道具(ツール)としての利用を検討している。

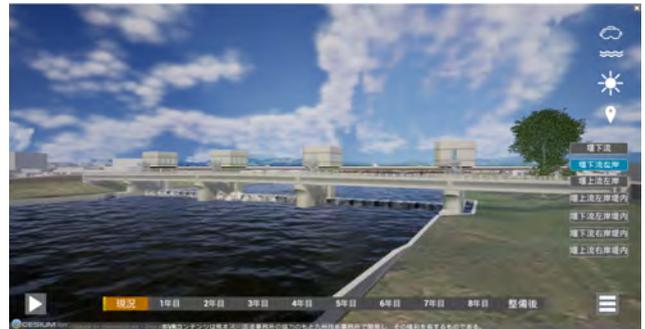


図-8 VRによる堰完成後のイメージ

5. 三次元モデル活用に向けたチームの結成

今後白川固定堰群改築事業が本格的に施工に入っていくにあたって三次元モデル活用を深化させ、有効利用や作業の効率化をより一層促すため、令和5年度より熊本河川国道事務所では河川CIMチームを結成した。

河川CIMチームではさらなる三次元モデルの有効活用に向けた議論や、熊本大学の小林名誉教授をお招きした勉強会の開催を行っている(図-9)。



図-9 河川CIMチーム会議の様子

6. 今後の展望

(1) CIM活用案の精査

河川CIMチームでは再度本当に必要なCIMの選定と今後の利活用のために必要なものについて意見を出し合った(図-10)。

地元への理解の促進のためのCIM, 施工性の確認のためのCIMが必要であるという意見が多く上がり, 優先的に活用していくこととした。

分類	項目	内容	目的
説明CIM	建設機械運行(汎用等)	DTや生コン車など生活道路への支障について4次元CIMで確認	地元への理解促進
現状CIM	地下水関係	施工中及び掘削後の地下水位を深さ・影響確認を行う。	地元への理解促進 事業損失対応
施工CIM	施工計画関係	堰本体と取水槽掘削同時施工に関する課題を事前に集中検討しておく。	業務効率化 工期短縮
現状CIM	その他	堰体以外の干渉区域に建設するためのCIMで事前確認 異議や指摘物の変化をみれば良いかな!	地元への理解促進
説明CIM	その他	堰改築に伴い、R在土堤橋梁や堰橋への段階的な影響をCIMで確認 整備計画(流量低下時の右岸完了時、全面完了時に橋梁有り無しをCIMで確認)	管理者への理解促進
維持管理CIM	その他	施工期前、電圧調整の洪水時の土砂溜りについてCIMで確認	土砂改良区、油断 への理解促進
施工CIM	施工計画関係	初施工時の施工順序をCIMで確認 施工本数が増える毎に地盤が強固になるため施工手順を確認	施工性の確認
施工CIM	その他	全体稼働に伴う排水処理を事前に把握するための地質図を用いたCIM確認	仮設工の確認
環境CIM	その他	現場施工時、DTや生コン車の移動に伴う騒音・振動の影響をCIMで確認	地元への理解促進
その他CIM		河床掘削、掘削掘削でモ打音計・効果計に実装するためのCIMで確認	工事所の基礎資料
説明CIM	その他	地元が関心のある施工期間中や、完成後の道路の状況をCIMで確認	地元への理解促進
説明CIM	その他	土砂改良区へ掘削作業手順を伝えるためのCIM	土砂改良区、地元 への理解促進
施工CIM	施工計画関係	フーチングや埋柱を生コン打設するのに、詰りに悪影響が少なく効率的なロット割 等CIMで確認	施工性の確認
施工CIM	安全管理関係	過剰な施工や、工が連携されているか、重量・材料・DT・生コン車・作業員も工程 制・配置し、効果的な対策となっているかCIMで確認	施工性の確認
施工CIM	施工計画関係	用水路の設計・施工計画の3次元化等(特に道路交差部の掘削施工、支障物の把握、 用地境界の確認)	設計施工の精度向上 隣接者への説明 維持管理計画への 反映
維持管理CIM	土砂管理関係	堰区間全体(できれば直轄区域全体の)河床変動の把握(河床管理)	土砂管理計画 維持管理計画への 反映
施工CIM	出来高関係	堰工事の(1)作業量の算出(2)現場データ即時入力(3)材料の算出・確認を行う。	業務効率化
施工CIM	施工計画関係	施工時の機材稼働率と堰内重要設置の可視化CIM	施工性の効率化
説明CIM	その他	堰工事の施工手順(堰改築、3堰計法、R堰補強、堰橋補強、河道掘削など)の 仮設計画を踏まえた9年次手続CIM	事業整理の効率化
施工CIM	施工計画関係	実行層の地質CIMと連動した設備の配設管理に活用	施工性の効率化
維持管理CIM	その他	完成後の放流制御に活用するための堰点監視CIM(VR)	維持管理

図-10 今後のCIM活用案

(2) 職員の技術力向上

今後は、CIMモデルを活用し、管理まで行っている阿蘇立野ダムを参考にしつつ三次元モデルを扱う職員のスキルアップとして職場内の勉強会や研修を企画することや、チームメンバー以外の職員に対しても取組状況の報告を行いモデル改良等に関する意見聴取を実施する等、事務所全体の取組として検討を進めることで、事務所全体で技術力向上が図れるように考えている。

7. おわりに

現段階での白川固定堰群改築事業の三次元モデルは作成途上の内容が多い状況での活用事例報告となるが、今後の白川固定堰群改築事業の進捗と合わせて、さらに三次元モデルについて利活用を推進するため、今回作成した「白川河道モデル」や「施工ステップモデル」等についても改良を進め、事業の効率化のために役立ていきたい。

現在の二次元の図面を主とした業務では、ベテランの技術者は二次元の図面と工程表を机に広げれば各々の頭の中で現場の状況を整理し、事業上の重要な点や懸案事項等の手戻り要素について意見を出し議論は進んでいくが、私自身、経験が浅く知識も乏しい中でそういった話についていくことができていないのが現状である。

今回の河川CIMの活用で、二次元のもの的大脑内で三次元化したイメージを共有するのではなく、三次元モデルを用いた議論の場が設けられた際に、初めから立体化したもので議論が始められることで、二次元では理解できなかったことも三次元では比較的容易に把握することができたと感じた。今後も、継続的にCIMやVRをはじめとする三次元モデルの活用に取り組んでいくことで事業に携わる者の理解力の向上や、地域住民の方々にも、より一層リアルに意味のわかる説明を行うことができるよう、三次元モデル利用の検討と日々の勉強に努めたい。

8. 謝辞

本論文の作成にあたり、多くの方々にご指導ご鞭撻を受け賜りました。今後のCIM活用への取り組みについて有益なご助言をいただきました熊本大学小林名誉教授にはこの場を借りて深く御礼申し上げます。

新技術を活用したグラブ浚渫工事について

野田 壮馬¹・川野 泰広²

¹九州地方整備局 苅田港湾事務所 工務課 (〒800-0315 福岡県京都郡苅田町港町28-2)

²九州地方整備局 苅田港湾事務所 建設管理官室 (〒800-0315 福岡県京都郡苅田町港町28-2) .

苅田港新松山地区では、バイオマス発電企業の操業開始による新たな取扱貨物（バイオ燃料）の増加に対応するため、2023年度から岸壁（水深12m）及び泊地（水深12m）の整備に着手している。港湾分野において、激甚化・頻発化する自然災害や気候変動への対応、生産性向上、カーボンニュートラルの実現など、多様化・複雑化する政策ニーズへの確に対応していくために、港湾工事における新技術の更なる導入促進が求められている。本報告では、泊地（-12m）の浚渫工事において活用した新技術について発表する。

キーワード 泊地浚渫, グラブ浚渫船, ICT浚渫工, 安全対策, 効率的な施工

1. はじめに

(1) 苅田港の概要

苅田港は、九州北東部に位置する重要港湾であるが、沖合の北九州空港と東九州自動車道との物流ネットワークの結節点となり、背後企業の生産活動に必要な海上輸送拠点として機能を果たしている。

また、本港・松山・新松山・南港の4地区から成るが、その背後には、電力、セメント、自動車関連等の国内主要産業を担う多くの企業が立地・集積しており、苅田港とともに発展を遂げている。（図-1）

新松山地区では、臨海部用地の需要に対応した工業団地の造成が進められ、近年、木質バイオマス発電所（3社）が相次いで進出している。

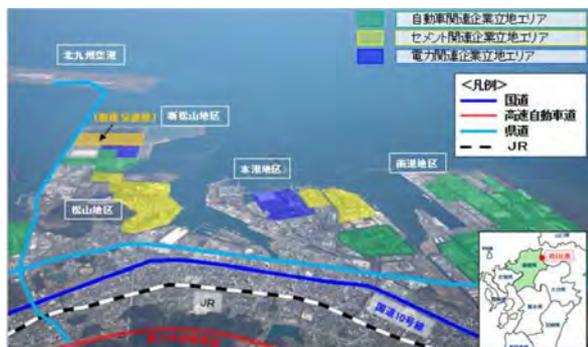


図-1 苅田港位置図

苅田港では、1992年度から、海上輸送貨物の需要増加や船舶の大型化に対応し、物流輸送の効率化等を目的とした国際物流ターミナル整備事業を推進している。本事業により物流輸送の効率化が実現されることで、立地企業の国際競争力強化や企業立地の促進等による経済活性化にも寄与する。

本事業のこれまでの施設整備により、新松山地区の岸壁（水深13m）が供用しており、バイオマス発電所の発電燃料（木質ペレット、PKS等）の輸入拠点として利用されている。しかし、相次いで操業した発電所（3社）の需要量はその取扱能力を上回るものとなり、これらの貨物需要に対応するため、2023年度から新たに岸壁（水深12m）、泊地（水深12m）等の整備に着手した。

本整備は、バイオマス発電燃料の低廉かつ安定的な輸入を通じて、バイオマス発電の導入促進に寄与するなど、カーボンニュートラルの実現に向けた環境負荷低減にも資するものである。（図-2）



図-2 新松山地区の状況

(2) 国際物流ターミナル整備事業の概要

(3)本稿の背景

日本の建設業就業者数の人口は年々減少しており、深刻な人手不足、技術者の高齢化が課題となっている。

(図-3)

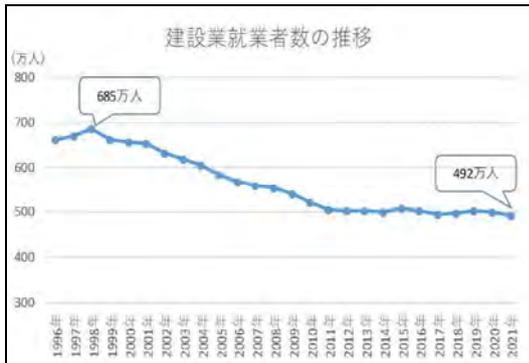


図-3 建設業就業者数の推移

この課題に対応していくために、港湾の建設分野において、ICT施工や3次元データを導入し、各種作業の効率化、監督・検査の遠隔化等による生産性向上や労働環境の改善等を図り、DX推進のための環境整備や、新技術の開発・導入促進に取り組んでいる。また、これらを活用する人材育成も同時に実施している。

本稿では、その具体的事例として、新松山地区泊地(水深12m)の浚渫工事において活用した新技術について報告する。

2. 泊地(水深12m)浚渫工事における新技術活用

2023年度に工事着手した新松山地区の泊地(水深12m)浚渫工事において、活用した新技術は主に安全性や生産性の向上(効率的な施工)を高く評価できるものであった。今回、それらの新技術の特徴や効果を検証し、従来技術との比較による新技術の効果や課題を考察する。活用した新技術は表-1のとおりである。今回は、その中から特に代表的技術について報告する。

表-1 新技術一覧

効率的な施工に関する新技術	
1.	自動浚渫システム
2.	自動出来高・遠隔管理システム
3.	海底地形探知ソナー施工管理システム
4.	Plus 3Dシステム
5.	ナウファス潮位データ収集・送信システム
安全に関する新技術	
1.	航行船舶監視システムKS2
2.	TVセンサー安全監視システム
3.	運行支援システムKSU

(1) 効率的な施工に関する新技術

a) 「自動浚渫システム」による施工

浚渫作業には「自動浚渫システム」を活用した。(写真-1)

本システムは、グラブサイズ・掘削ラップ幅、1シフト当たりの掘削回数、掘削位置・深度、起伏・旋回角度を算出入口し、パネルをワンクリックするだけで、掘削・旋回・積込を自動で行うことが可能である。

本工事ではラップ幅を0.6mに固定して自動浚渫を行った。ヒューマンエラーによる手戻り作業がなくなり、またオペレーターの熟練度によらない効率的な施工を行えた。本システムは、若手技術者への技術の伝承・育成にも寄与する。



写真-1 「自動浚渫システム」

b) 「自動出来形測量・遠隔管理システム」による施工管理

浚渫作業の施工管理において、日々変動する海底地盤状況を把握することが重要であるため、「自動出来形測量・遠隔管理システム」を活用した。(写真-2)

本システムは、浚渫船船底中央部に装備した「ナローマルチビームソナー」(NORBIT 製) (図-4)を主要装備とし、掘削・掘進と同時に自動的に海底地盤を円形360°の範囲で測量可能である。従来のように浚渫船を移動させ、測量船を投入する必要が無い上に、3D測量結果の解析にも時間を要さない。本システムにて得たデータを翌日の掘削計画に反映させることで、効率的な施工管理を行えた。

また、浚渫船だけではなく、施工業者(現場事務所、本社)、発注者にも当日中に遠隔で3Dデータを共有できるため、進捗管理を含めた意思疎通が迅速に行うことができ、さらに効率が上がった。

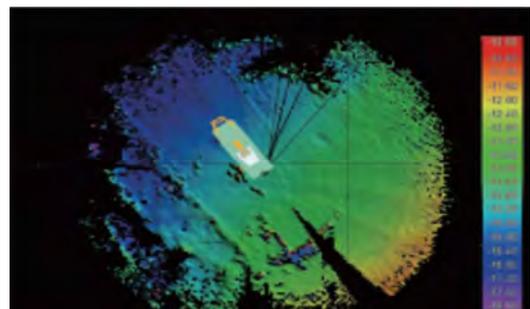


写真-2 「自動出来形測量・遠隔管理システム」



図-4 「ナローマルチビームソナー」

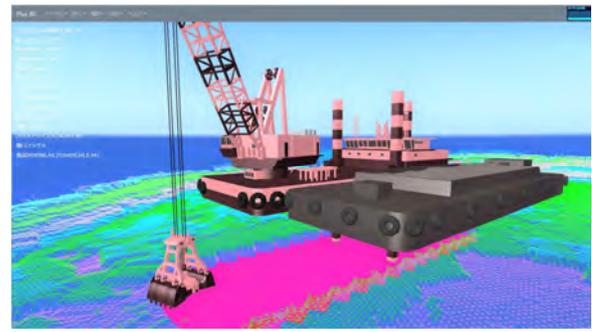


写真-4 「Plus3Dシステム」

c) 「海底地形探知ソナー施工管理システム」による施工管理

浚渫作業中の施工管理（深度）には、「海底地形探知ソナー施工管理システム」【NETIS-KKK-140004-VE】を活用した。（写真-3）

浚渫船船首に装備した海底地形探知ソナーによる計測で、掘削箇所の深度をリアルタイムで可視化（ディスプレイ表示）できるシステムである。

起工測量で得られたナローマルチビームによる3Dデータを取り込み、現地盤を深度毎に色別表示させ、海底地形探知ソナーにより得たデータを、掘削済箇所の深度毎の色別表示を順次更新する。

海底地形探知ソナーは、従来のレッド測量のような点的計測ではなく、面的に計測するため測量漏れがない、ヒューマンエラーのない正確な管理を行うことができた。さらに、測量に伴う掘削の中断や、船上での作業がないため、効率的かつ安全性の高い施工管理手法である。

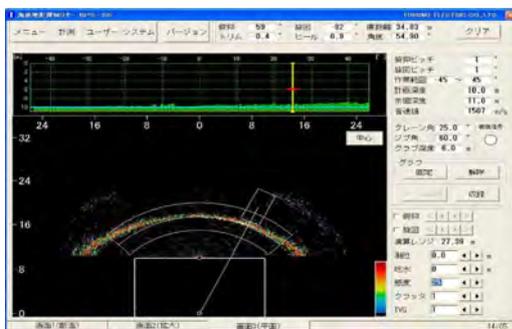


写真-3 「海底地形探知ソナー施工管理システム」

d) 「Plus3Dシステム」の活用

海中の浚渫現場（掘削状況）を3Dアニメーション化する「Plus3Dシステム」を活用し、見える化を図った。（写真-4）

本システムは、「海底地形探知ソナー施工管理システム」と連携しているため、起工測量から得た3Dデータに加え、日々の掘削状況を3Dアニメーション化することができる。さらに、海底地盤深度を色分け表示が可能であり、作業状況の見える化を実現した。

e) 「ナウファス潮位データ収集・送信システム」による施工管理

リアルタイムに正確な潮位データを取得するために、「ナウファス潮位データ収集・送信システム」【NETIS-QSK-230003-A】を活用した。（写真-5）

本システムは、ナウファスの潮位実況データを、インターネットから自動的に取得しグラフ化、さらに取得した潮位データは、「自動出来形測量・遠隔監視システム」、「自動浚渫システム」、「海底地形探知ソナー施工管理システム」にリアルタイムで反映できる。

従来、5分毎の潮位データを手入力していたため、入力ミスや漏れ等のヒューマンエラーが懸念されたが、1分毎の潮位データの自動入力になったことで、ヒューマンエラーを完全に排除できた。また、より密で正確な潮位実況データが取得できたことで、作業効率が向上した。

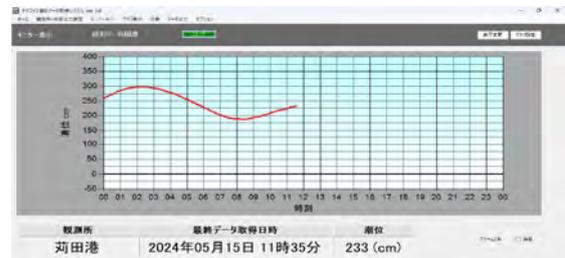


写真-5 「ナウファス潮位データ収集・送信システム」

(2) 安全対策に関する新技術

a) 「航行船舶監視システムKS2」及び「TVセンサー安全監視システム」による安全管理

浚渫船の移動・転船及び土運船の離接舷（以下、諸作業）時の安全対策として、「航行船舶監視システムKS2」（以下、KS2）【NETIS-QSK-180001-VE】及び「TVセンサー安全監視システム」（以下、TVセンサー）【NETIS-QS-110022-VE】を活用した。（写真-6, 7）

KS2は、AIS及びレーダーをもとに、一般船舶情報（位置・速度・将来船位（分単位設定可））、GNSSをもとに工事船情報（位置・速度）をモニターに表示する。さらに、浚渫船を中心に警戒サークルを設定し、同サークル内にて一般船舶を捕捉した際は、自動警告（音・表示）する。

TVセンサーは、監視カメラの画像上に、ドットで表示する警戒ラインを任意で設定し、同ラインを通過した船舶を検知すると自動警告（音・表示）する。物体の大き

さ、速度及び輝度変更を検知するため、浮遊物や鳥などによる誤報を防ぎ、船舶のみを監視できる。本工事では、KS2では把握しづらい、レーダーの死角となりやすい菟田港へ入港する船舶及び本港から航行してくるAIS非搭載船を把握できるように、2台設置した。

上記システムの併用により、小型のAIS非搭載船も含む全ての一般船舶の移動及び工事船との位置関係を把握できた。両システムの自動警告により人為的ミスを防ぐとともに、各工事船船長と運航管理者によるダブルチェック体制が構築され、一般船舶の航行障害とならない諸作業実施できた。

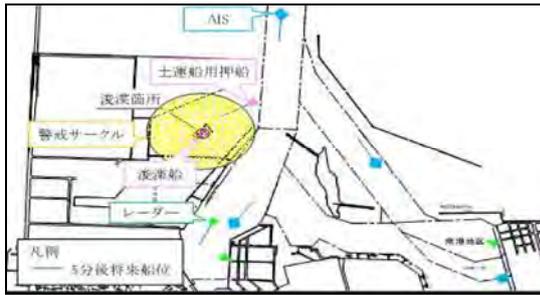


写真-6 「航行船舶監視システムKS2」



写真-7 「TVセンサー安全監視システム」

b) 「運行支援システムKSU」による安全管理

押船及び土運船が一般船舶の障害とならず、ひいては接触・衝突災害を防止するために、「運行支援システムKSU」【NETIS-QSK-110002-VE】を活用した。(写真-8)本システムは、電子海図を利用して、土運船の運搬経路幅(経路幅逸脱注意範囲及び逸脱警告範囲)を設定、加えて土運船の位置をAIS及びGNSSを利用してモニターに表示させる。土運船が運搬経路を逸脱した際は自動警告(サイレン・ランプ)するため、針路のブレを早期に見落とすことなく修正可能。運搬経路が明確化する上に、逸脱した際は視覚、聴覚にて注意喚起でき、安全性が向上した。AIS情報を利用しており、付近を航行している

一般船舶も確認できるため、さらに安全性が向上した。



写真-8 「運行支援システムKSU」

3. まとめ

これまで、新松山地区泊地(-12m)の浚渫工事に活用した新技術の概要やその効果を紹介してきた。新技術を活用することで、工事の施工性や安全性が着々と向上し、工事の施工技術が日々進歩している。

今回、本工事において導入された新技術により、前述のとおり、多くの効果が得られた。

一方で実際の現場で活用することで、いくつかの課題が明らかになった。

一つ目は、現状の自動浚渫システムには、事前に詳細な情報入力が必要であり、緊急時の自動制御に対応していないため、操縦者と別にオペレーターが常駐しなければならない、直接的な人員削減には繋がっていない。

二つ目は、保有船舶に当該新技術システムを導入するには、多額のコストがかかる問題がある。

しかし、先進的な技術導入による正確な施工、作業省力化が労働現場の改善となることは間違いなく、設備投資についても、企業が保有する老朽作業船から新造船建造への舵切りに大きく貢献することも考えられる。

作業環境の改善は、これからの担い手確保に十分効果があると考えられるため、企業側の更なる技術改良に期待し、国としても新たな技術導入施工を推進していきたい。