

# 海上部測量におけるマルチビーム測深を用いた 3次元データ作成について

森本 聡<sup>1</sup>・懸川 寛史<sup>2</sup>

<sup>1</sup>兵庫国道事務所 計画課 (〒650-0042兵庫県神戸市中央区波止場町3-11)

<sup>2</sup>総務省 総合通信基盤局 電波部 移動通信課 (〒100-8926東京都千代田区霞が関2-1-2)

名神湾岸連絡線の橋脚を海上部に計画しているため、海上部の設計で必要となる海底の詳細な地形状況の把握を目的として、マルチビーム音響測深器を用いた水中3次元測量を行い、3次元測深データを作成した。なお、測量に際しては、関係機関との調整、現地踏査結果に基づく適切な測深計画を策定し、3次元測深データの作成を行ったものである。

キーワード 海上部測量, マルチビーム測深, 3次元データ

## 1. 名神湾岸連絡線の概要

名神湾岸連絡線は、名神高速道路と阪神高速3号神戸線（大阪方面）及び阪神高速5号湾岸線を連絡し、阪神高速3号神戸線と国道43号に集中している交通を阪神高速5号湾岸線に分散させることにより、周辺地域の交通渋滞緩和や物流の効率化を図り、名神高速道路と阪神港をスムーズに連絡し、物流ネットワークの形成を図ることを目的とした道路です。



図-1 名神湾岸連絡線 位置図

当事業において、港湾部を渡港する橋梁を計画していることから、今後設計を行うために必要となる海底部の地形状況の把握を目的として、マルチビーム音響測深機を用いた水中3次元測量を行った。

また、測量作業にあたっては、関係機関との調整、現地踏査結果に基づく測深計画を策定し測量を行った。

## 2. 海上作業における申請や作業周知

海上作業となることから、海上交通の安全確保を最優

先とし、関係機関協議、各種申請、民間施設、地元住民への作業周知を実施して測量を行った。

### (1) 水路測量許可申請

公的経費により、海岸や海底の地形を測量することを海上保安庁では「水路測量」と言う。水路測量は水路業務法に規定される水路測量許可申請を行うことが義務付けられる。これは、測量の重複を避けることを目的とするほか、その測量データを用いて海図補正に利用される。そのため、測量を計画する国や地方公共団体は、作業を行う海域を管轄する管区海上保安本部へ申請書を提出し許可を得る必要があった。

本測量においては、第五管区海上保安本部へ申請を行い許可申請を行った。また測量データは、第五管区海上保安本部に提出し審査を受け海図に利用されることとなった。

### (2) 作業許可申請

特定港や適用港、これらの港の境界付近で工事・作業を実施する場合は、港則法に則り作業実施の最寄りの海上保安部に作業許可を得る必要があった。これは海上交通の安全を図るため、作業方法・使用船舶・安全対策等を明確にすることで事故防止を目的としている。

測量箇所は西宮港で特定港ではないが、西宮海上保安署と協議し、作業許可申請書を提出し許可を得ました。これは、測量箇所は船舶や水上バイクの航行が多いことによる安全確保を目的とした申請である。

### (3) 関係機関への使用届

測量箇所は、兵庫県が管理する港湾施設であるため、

尼崎港湾管理事務所と協議を行い、港湾敷地一時使用届を提出し許可を得て測量を行った。

(4) 民間施設への作業周知

測量箇所には、大型工場が隣接し大型船の入船があるため、作業中に大型船が進入すると測量船と衝突の危険性が高い。そのため、作業中は大型船の進入時間の調整を行った。

また、マリーナやポートパーク、水上バイクのレンタルショップなどがあり、測量箇所は船舶や水上バイクの往来が多いため、作業中の事故が懸念されました。そのため、作業周知の徹底を図り、事故防止を目的としてそれらの施設へ行き、作業内容の説明を行い同意を得ました。この調整には約2ヶ月を要しましたが、今後の事業を進めるにあたり、最も重要な工程と考える。

(5) 地元周知資料の作成・配布

近接する地元への周知資料としてチラシ約12000枚を作成し配布を行い、作業内容の周知を行った。

3. 水深測量（マルチビーム測深）

マルチビーム測深は、指向性の強い数百本の音波を放射し、水深値・GNSS測位値・船の動揺をリアルタイムで同期・補正を行うことで、海底・湖底地形を面的に計測する計測法です。そのためマルチビーム測深で計測したデータは三次元データとして扱うことになる。計測イメージを図-2に示す。

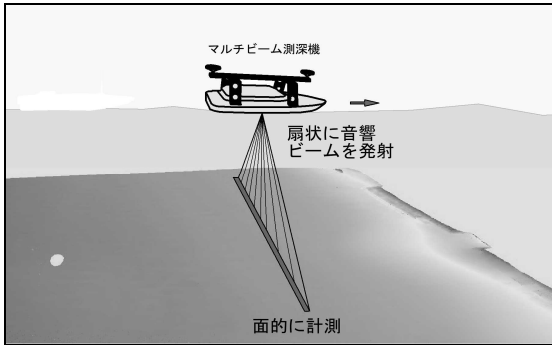


図-2 計測の概念図

(1) 機器の概要

マルチビーム測深の使用機器は2つに区分される。マルチビームソナー(以下ソナーとする)とIMU(慣性計測ユニット)です。

ソナーは、「TELEDYNE RESON社製ScabatF51」を使用しました。このソナーは、「i-Construction対応」機種で、発射する音波の大きさ(ビーム幅): $0.25^{\circ} \times 0.5^{\circ}$  (7~800kHz)、 $0.5^{\circ} \times 1^{\circ}$  (400kHz)、発射する音波の数(ビーム数):1024本、扇状に音波が発射可能な角度(スワ幅):最大 $170^{\circ}$  (等角度発信)、直下最大測深レンジ:350m(400kHz)で

ある。

次にIMUは、「SBG Systems社製Apogee」である。ネットワーク型RTK法(本測量ではVRS方式)により、位置精度: $XY=0.02m$ (RTK時)  $Z=0.03m$ , ピッチ・ロール: $0.008^{\circ}$  です。それらの機種を写真-1に示す。また、これら機種の性能を表-1に示す。

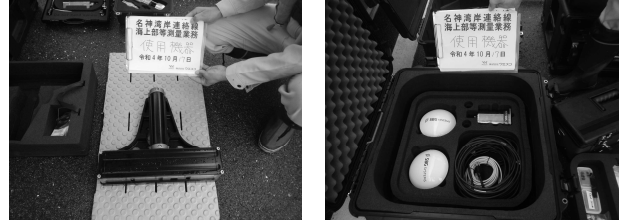


写真-1 ソナー(左), IMU(右)の写真

マルチビーム測深機 (Teledyne Reson社製 SeaBat T-51)	
高性能マルチビーム測深機です。表面音速時計によりリアルタイムで表面音速度補正を行います。	マルチビームの諸元
	周波数 700~800kHz 350~430kHz
	ビーム幅 $0.25^{\circ} \times 0.5^{\circ}$ (7~800kHz), $0.5^{\circ} \times 1^{\circ}$ (400kHz)
	ビーム数 最大1024本
	スワ幅 $150^{\circ}$ (等間隔発信), $170^{\circ}$ (等角度発信)
	最大測深レンジ 350m(400kHz)
	レンジ解像度 0.6cm
慣性GNSSジャイロ (SBG Systems社製 Navsight Apogee)	
処理ユニットと動揺センサーが一体となったシステムです。測位・動揺・方位の情報を高精度に取得可能です。	慣性GNSSジャイロの諸元
	ロール/ピッチ精度 $0.01^{\circ}$ (DGPS時) $0.008^{\circ}$ (RTK時)
	リアルタイムヒーブ精度 5cmまたはヒーブレンジの5%
	ヒーブ精度(後処理) 2cmまたはヒーブレンジの2%
	ヘディング精度 $0.02^{\circ}$ (2mベースライン)
	測位精度(RTK時) $XY=0.02m$ $Z=0.03m$
	測量誤差の試算 水深20m、スワ幅 $120^{\circ}$ 水平距離2.7m 水深誤差2.5cm

表-1 性能表

(2) 計測概要

a) 艀装

使用する測量船に垂木等を用いてソナーやIMU等の機器および周辺機器を計測中でも動くことがないように強固に固定を行った。取付け後は、システム機器の計測原点に対し、所定の機器までの水平・鉛直距離を測定(オフセット計測)し、システム点検簿へ記入を行った。また、ソナーの喫水確認をバーチェックにて行い喫水値を確定します。艀装の状況を写真-2に示す。



写真-2 艀装状況写真

また、狭小部や浅瀬部はマルチビーム機器搭載の無人ボートを使用したことで、安全に測深が可能であり、直進かつ精度を保持する事が出来た。無人ボート航行状況を写真-3に示す。



写真-3 無人ボート航行状況

事前に計測した航行測線を測量船に配置したパソコンを操舵者がリアルタイムで航行状況が分かるシステムで行った。隣接する航行測線とのラップ率は20%以上に設定しますが、水深により未計測域が発生するため、適宜測線を追加し計測を行った。計測状況を写真-4に示す。またデータの収録状況を図-4に示す。



写真-4 計測状況写真

b) バイアス値の測定(パッチテスト)

マルチビームシステムは、水面に対し水平・垂直に艤装することが基本であるが、測量船の形状などにより困難で、取付け角度の誤差が必ず発生する。この誤差をバイアス値と言い、その取付け角度を求めるためにパッチテストを行う。パッチテストで求められる値は、ロール(Roll)・ピッチ(Pitch)・ヨー(Yaw)・レイテンシー(Latency)という。ロールは船の進行方向に対して横方向の取付け角度、ピッチは船の進行方向の取付け角度、ヨーは進行方向に対する送受波器の向き、レイテンシーはデータ収録の遅延時間である。バイアス値の種類<sup>1)</sup>を図-3に示す。

本測量計測前に、パッチテストを平行測線、往復測線を航行しバイアス値を求め補正を行います。

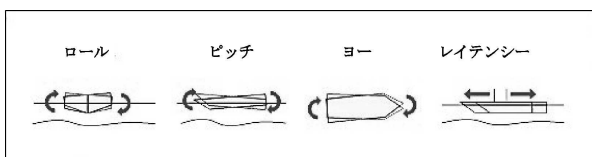
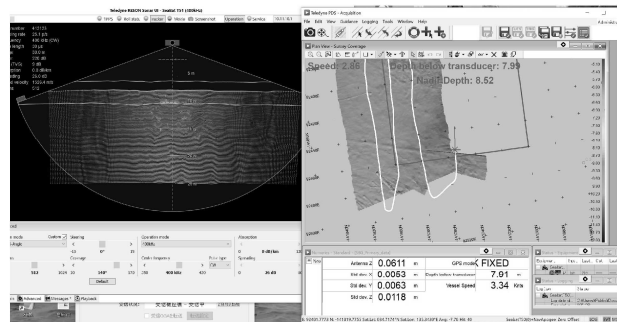
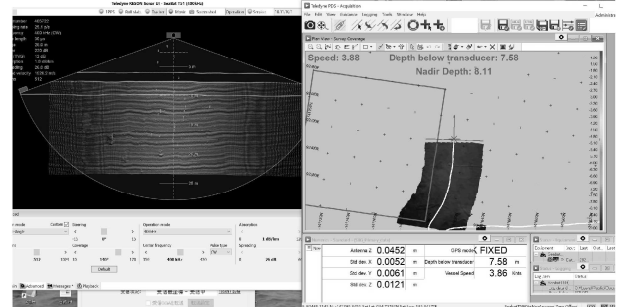


図-3 バイアス値の種類



(測深年月日:2022/10/17)



(測深年月日:2022/10/17)

図-4 データの収録状況

c) 使用するGNSSの点検

IMUに付属するGNSS測量機の点検を現地近傍にある基準点にて行った。これは、マルチビーム測深は世界測地系が標準のため座標系の違いを確認することを目的とする。本測量では、「三等三角点 鳴尾」で点検を行い較差0.028mと良好な結果を得ました。

d) 水中音速度測定

作業前後や作業中、計測域が大きく変わった時に、水中音速度計を用いて計測エリア内の最深箇所において音速度測定を行った。これは、水中における音速度は1500m/sであるが、水温等の影響により音波の伝搬遅延等による誤差を含むため、補正することを目的とした。

e) 計測

f) 検潮

検潮は、干満による誤差を最小限とするため、作業範囲内に簡易験潮所を5点設置し、計測中は2個所以上で同時観測を行った。各験潮点に作業員を配置し、測深作業内10分毎の海面を直接測定し記録を行った。検潮の状況を写真-5に示す。



写真-5 検潮の状況写真

検潮した結果を同時観測した験潮点で比較し較差の確認を行った。較差は最大で4cmと検潮の読取りや干満による差が問題がないことを確認した。験潮点の配置を図-5に示す。

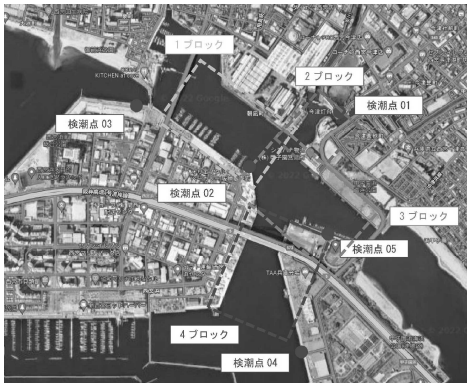


図-5 検潮点配置図

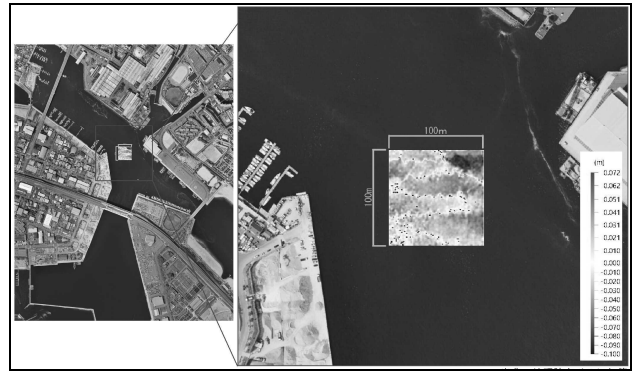


図-8 点検測量の実施図

**g) 精度管理計測**

本測量の精度管理計測は、3パターン行った。井桁計測・照査線・点検測量率に基づく点検測量である。

井桁計測は5mの2本の平行な測線、およびそれに直行する2本の測線を航行し、その内側の交点の水深較差を比較し精度確認を行った。許容範囲は、マニュアル<sup>1)</sup>の「±10cm、90%以上の達成率」の範囲内であることを確認した。

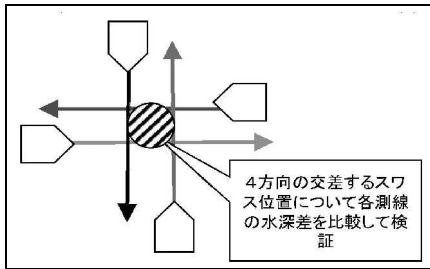


図-6 井桁計測の計測図<sup>2)</sup>

照査線は、測深線とそれに直行する照査線を任意個所で設定し、その交点の値の較差を確認した。許容範囲は、井桁計測と同様とし、範囲内であることを確認した。

最後に点検測量率に基づく点検測量については、マルチビーム測深は、作業規定上点検測定率の基準が無いため、現地測量の点検測量率2%を準用して点検測量を行った。成果点群データと点検点群データ(両方とも1mメッシュ)を比較し較差を確認した。許容範囲は、井桁計測と同様とし、範囲内であることを確認した。

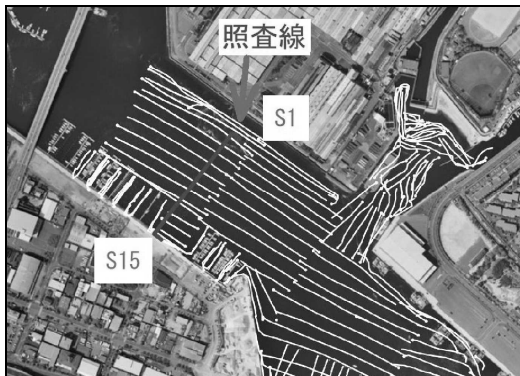


図-7 照査線の配置図

**h) 測量船の衝突防止措置**

測量船には、海上保安庁が規定する「白紅白旗」、測量中の旗の2種類を掲げ、他船との衝突防止に努めた。また、測量船以外に警戒船を配置し、航行中の他船へ測量作業中であることを周知し衝突防止に努めた。その措置状況を写真-6に示す。



写真-6 衝突防止措置状況写真

**4. データ解析**

マルチビームの計測結果には多くのエラーデータ(以下ノイズとする)が収録される。ある程度は解析ソフトで自動処理が可能であるが、自動処理も限界があるため、最終的には作業員による目視および手作業による処理が必要となる。一般的なデータ解析フローを図-9に示す。

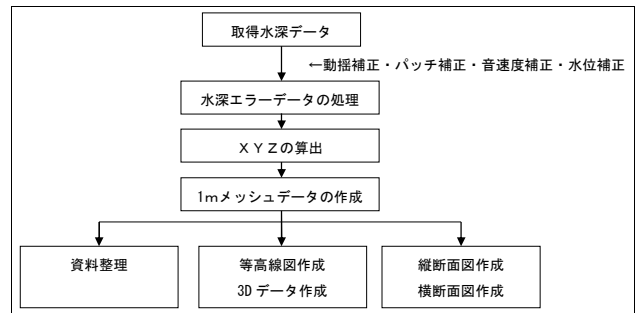


図-9 解析実施フロー図

**(1) 水深エラーデータの処理**

水深エラーデータの処理(以下フィルタリングとする)は、解析ソフト「TELEDYNE RESON社製 PDS Ver4.4.5.9」を使用し行った。フィルタリングの前後を図-10に示す。



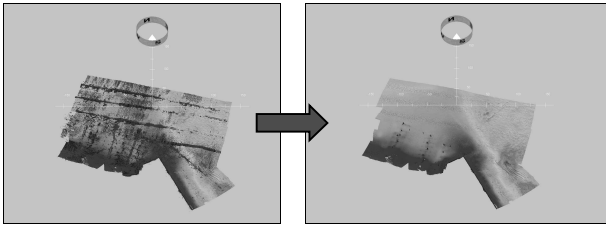


図-10 フィルタリング前(左), フィルタリング(後)

(2) 点密度の確認

フィルタリングを行ったことにより、データ密度の不足が懸念されるため、点群密度の確認を行った。マニュアル<sup>1)</sup>の「3点以上/1.0m平面格子(達成率99%以上)」の範囲内であるか三次元ソフトを用いて確認を行った。

結果は達成率99.1%と範囲内であることを確認した。確認結果を図-11に示す。

バージョン	1.1
密度データ名称	1: 密度
点数数	6195646
面積(m <sup>2</sup> )	542001.782
密度条件	1m <sup>2</sup> (1m×1m)あたり3点以上
格子原点座標	0
格子原点Y座標	0
格子角度	90
格子数	538464
密度を満たさない格子数	4809
達成率(%)	99.1

格子番号	格子中心X座標	格子中心Y座標	格子内点群数
1	-141545.5	91920.5	0
2	-141546.5	91921.5	0
3	-141546.5	91921.5	0
4	-141544.5	91921.5	14
5	-141543.5	91921.5	11
～ 各 路 ～			
538460	-142069.5	92960.5	12
538461	-142068.5	92960.5	8
538462	-142071.5	92961.5	6
538463	-142070.5	92961.5	11
538464	-142069.5	92961.5	13



図-11 点群密度確認図

(3) メッシュデータとTINモデルの作成

フィルタリングおよび点密度確認で完成した点群データを、1.0m平面格子の点群データ(以下メッシュデータとする)の作成を行った。その後、作成したメッシュデータから現状の海底地形をモデル化したTINモデルの構築を行った。作成状況を図-12に示す。

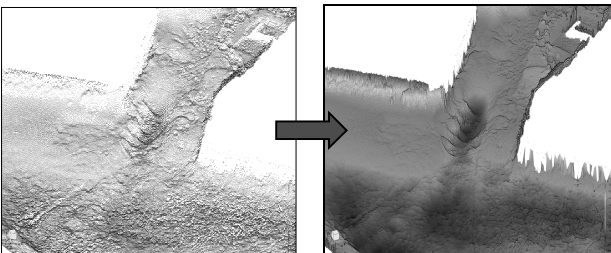


図-12 1mグリッド点群データ(左)、TINモデル(右)

(4) 三次元データの作成

作成したTINモデルを用いて等深線を作成し、標高段彩図を作成したほか、傾斜量図の作成も行うことで海底地形をより詳細に表現した。標高段彩図+傾斜量図を図-13に示す。

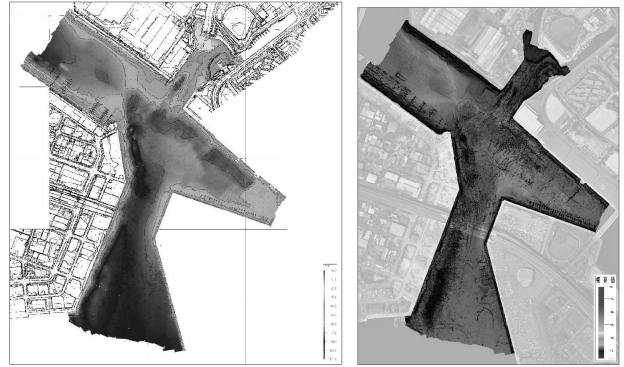


図-13 標高断彩+等高線(左), 標高断彩+傾斜量(右)

5. おわりに

海上の測量作業を行う前には、多数の関係機関と調整・協議に時間をかけて実施したことで、測量作業中の苦情等も無く測量作業を完了する事が出来た。

今後も海上作業を行う際には、時間はかかるが調整・協議を丁寧に実施していく必要があると考える。

今回作成した3次元データは、今後実施する橋梁予備・詳細設計業務や地質調査業務の成果に利用することで、施工計画の検討に活用できると考える。

最後に、本稿の執筆にあたっては、「名神湾岸連絡線海上部等測量業務」の受注者である(株)ウエスコ様にご協力を頂きました。この場を借りて御礼申し上げます。

参考文献

- 1) マルチビームを用いた深浅測量マニュアル(浚渫工編)(令和5年4月改定版)国土交通省港湾局
- 2) 音響測深機器を用いた出来形管理要領(河川浚渫工事編)(案)平成30年3月



# AI（人工知能）を活用した地下水位予測に基づく警戒値の検討について

坂野 峻介<sup>1</sup>

<sup>1</sup>近畿地方整備局 奈良国道事務所 計画課 (〒630-8115奈良県奈良市大宮町3-5-11)

京奈和自動車道・大和北道路は、世界遺産「古都奈良の文化財」をはじめ、数多くの歴史的建造物、歴史的景観が存在する奈良市内を通過する道路で、広域的なネットワークの形成により県内外からのアクセス性の向上や現道の渋滞緩和などが期待されている。

本報告では、平城宮跡の地下に埋蔵されている奈良時代の史料として価値の高い「木簡」をはじめとした文化財保護の観点から、工事中における適切な地下水モニタリングを運用していくためAI（人工知能）を活用した地下水位予測に基づく警戒値の検討について紹介する。

キーワード 文化財保護, 地下水モニタリング, AI技術

## 1. はじめに

### 1.1 地下水モニタリングの背景

京奈和自動車道は、大和平野を南北に縦貫して京都と和歌山を結ぶ高規格幹線道路である。そのうち、大和北道路は、木津IC～西名阪自動車道までの区間、約12.4kmの名称であり、平成20年に下図のルート「西九条佐保線地下+高架案」で都市計画決定されている。

計画ルートから西へ約700mの位置に、世界文化遺産である平城宮跡が存在し、埋蔵文化財（木簡）が大量に発見されている。木簡はおおよそ地下1～2m付近から出土されるが、平城宮跡内の地下水位がごく浅い位置に保たれているため、木簡が腐食することなく長期間保存されてきたと考えられている。大和北道路事業によって地下水位の低下が平城宮跡内へ波及した場合に、埋蔵されている木簡へ悪影響が懸念されるため、平成12年頃から地下水調査が継続して実施されてきた。



図-1 計画ルートと平城宮跡との位置関係

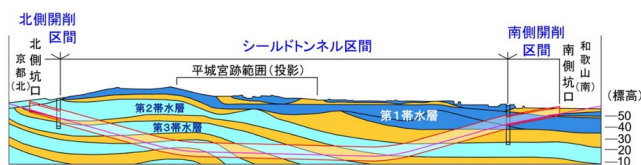


図-2 計画ルート（地下空間）の想定水理地質断面図

### 1.2 検討の背景と流れ

#### 1)警戒値の考え方

大和北道路事業における地下水監視体制は、工事前既往最低水に基づく管理基準値の超過に伴い、管理レベルを「正常」から「異常」に移行し、関係者（事業関係者）は委員会の意見・助言を踏まえ、必要に応じ、追加、緊急対策や保全措置などの「異常時対応」を検討、実施するものであった。しかし管理基準値超過直後に異常時対応に向けた行動を開始しても、時間的猶予の不足により適切に管理できない（手遅れとなる）ことが懸念される。そこで管理基準値を超過する前段階として「警戒値」を設定することで「対応」までの時間的猶予を確保し、「異常時対応」への実効性を高める方針とした。

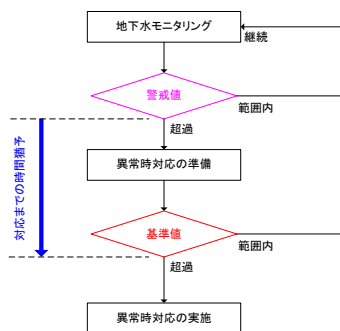


図-3 警戒値導入による管理基準値運用の考え方

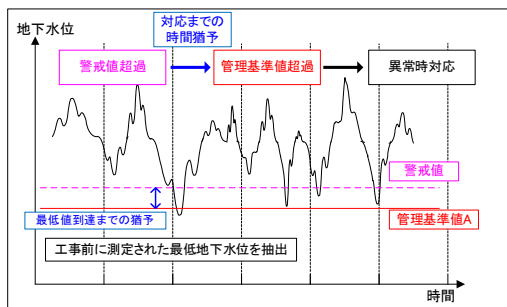


図4 管理基準値と警戒値の関係

## 2)発生確率水位による警戒値設定

警戒値を設定するにあたり、観測地下水位を用いた確率計算から設定することを最初に試みた。すなわち年度毎の発生確率低水位を算定し、その平均値を警戒値とした(1, 5, 10%)。これにより警戒値自体の設定は可能であったが、当該地では地下水位が経年的にゆるやかに上昇しているため、確率水位の算定期間に応じて警戒値が変化する等の課題があった。

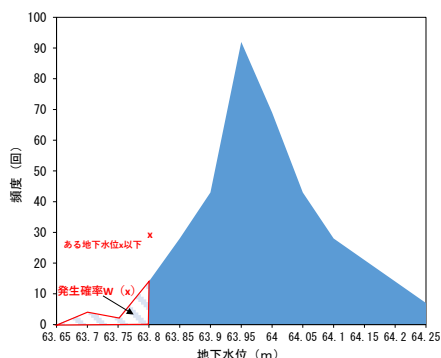


図5 発生確率水位の概念



図6 発生確率水位による警戒値の設定

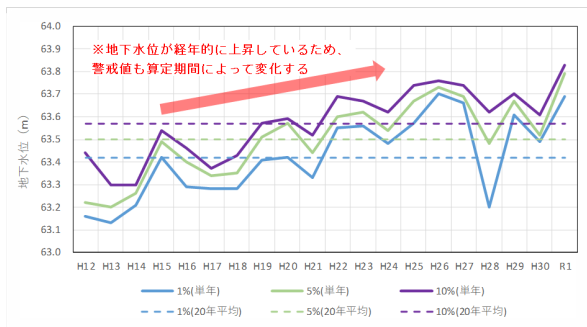


図7 発生確率水位の経年変化

## 3)検討の流れ

経年的な水位上昇傾向を反映した警戒値を検討するには何らかの水予測モデルの導入が必要と判断された。代表的な予測手法として、物理式に基づく地下水流動モデルが挙げられる。これらを適切に用いることで様々な現象(シナリオ)に対して説明性の高い予測精度が得られると考えられるが、モデル構築(条件設定・パラメータ設定)や精度確保に要する労力が大きい。一方、近年他分野で積極的に導入されるAI技術であれば学習データを与えることで自己学習を行うため飛躍的に作業の効率化が図れる可能性が考えられた。そこで本検討ではAI技術を活用して合理的に警戒値を設定する方針とし、河川分野における洪水予測等で実績を有する多層のニューラルネットワークで学習するディープラーニング(深層学習)を適用した。

地下水の変動要因と考えられる地下水位調査結果や気象データ等を学習データとし、地下水位予測可能なAIモデルを構築し、次に将来シナリオをAIモデルに与えて地下水水位を予測し、警戒値の設定を検討することとした。

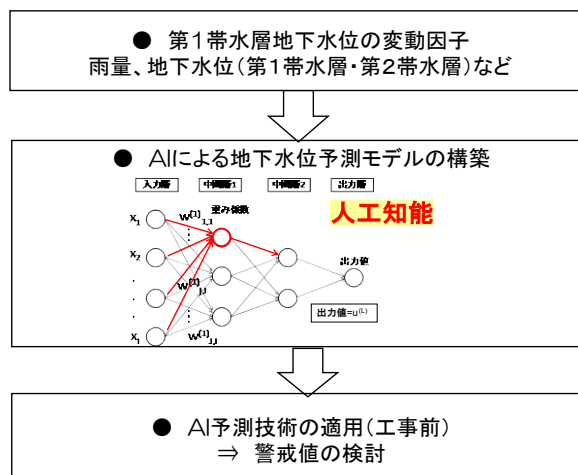


図8 AI予測のモニタリングシステムへの適用の流れ

## 2. 検討内容

### 2.1 観測データの精査

#### 1)対象地の地下水位の特徴

調査地の帯水層構造と地下水位変動の特徴を図9に示す。当該地の帯水層は上位より第1・第2・第3に区分される。第1帯水層は地表付近の帯水層とされるが、観測地点の大多数は沖積粘性土によって覆われ、ゆるく被圧している。第2・第3帯水層は大阪層群帯水層中の被圧地下水であり、経年的上昇傾向が顕著である。(地下水利用量の減少に起因)。第1帯水層水位は第2・第3帯水層水位と比較すると変化量は小さいものの、ゆるやかな継続的上昇が確認される地点が多い。第2帯水層水位の上昇影響(粘土を介した圧力伝搬)を受けているためと推定される。



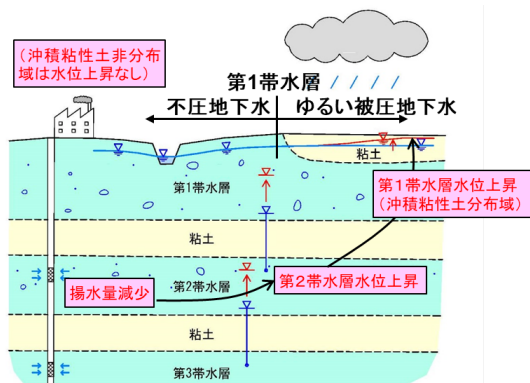


図-9 地下水位変動メカニズムの模式図

2)地下水位観測地点

大和北道路および平城宮跡の周辺で約50地点で地下水位観測が行われているが、異常時対応のための時間的猶予を確保することが警戒値設定の意義であり、南側開削トンネル工事位置から平城宮跡まで測線上に並ぶ、3地点 (No.21, No.1, No.11) を対象とした。

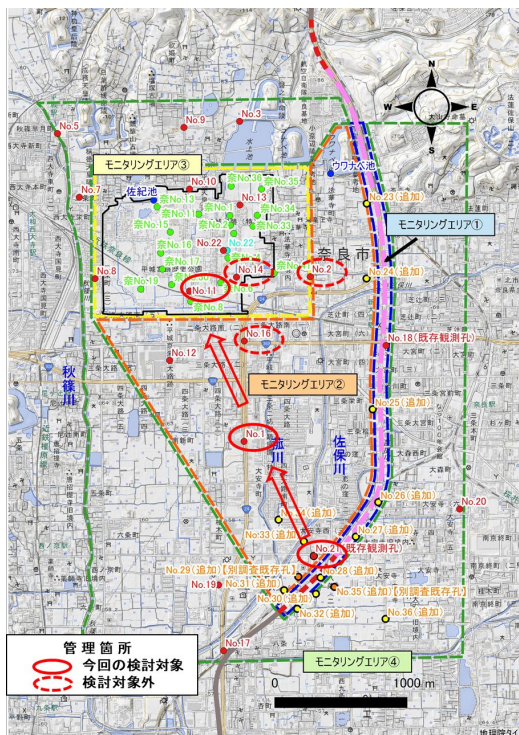


図-11 検討対象地点位置図

3)学習データの整理

①自然因子 (気象水文)

自然因子の学習データとして、当該地の水理地質構造を踏まえた気象 (降雨量, 連続干天日, 気温), 河川水位, 第2帯水層地下水位の5項目を取り上げた。第2帯水層の地下水位は経年的な上昇傾向が明確であるが、人為因子である地下水利用量の減少傾向に起因した変動であ

る。このため、第2帯水層地下水位は間接的に人為因子とみなすことも可能である。

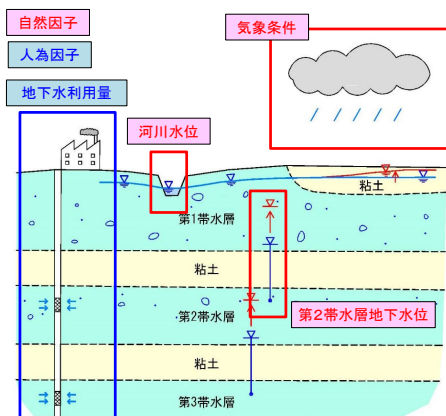


図-10 第1帯水層地下水位の影響因子

②人為因子 (地下水利用量)

地下水利用は用途別に「水道」・「工業」・「農業」の3つに大別される。このうち、水道・工業は統計資料において実績の地下水利用量が公表されている。ただし、H30年度以降、水道統計資料が刊行されていない。また農業については地下水利用量の統計がない。公開資料の整備状況を踏まえ、工業用途以外は関連する代替指標を用いることとした。「水道：給水人口」, 「工業：地下水利用量」, 「農業：水田面積」をAIモデルの学習データとする。なおデータの集計範囲は帯水層の分布域 (= 奈良盆地) とすることが妥当と考えられるが、今回の検討では全県を対象に集計した値を用いた。

区分	資料	備考
水道	奈良県の水道概要 (奈良県)	奈良県からの統計資料発行はH29で終了
工業	工業統計調査結果確報 (奈良県)	
農業	土地利用細分メッシュデータ (国土交通省 国土数値情報)	S51,S62,H3,H9,h18,H21, H26 時期が限定的

表-1 用途別収集資料

2.2 地下水位予測モデルの構築

1)AIモデルの構築・検証の進め方

AI予測モデルを構築するため、以下のステップで構築・検証を進めた。すなわち「年間変動の再現可能なモデルを構築 (ステップ1)」ののち、そのモデルに長期トレンドに関する成分を追加し「年間変動と長期トレンドの再現可能なモデル構築 (ステップ2)」の過程で得られた最適AIモデル (影響因子の組み合わせ) をその他2地点 (No.21地点, No.11 地点) にも適用 (ステップ3) し、再現性を確認した。

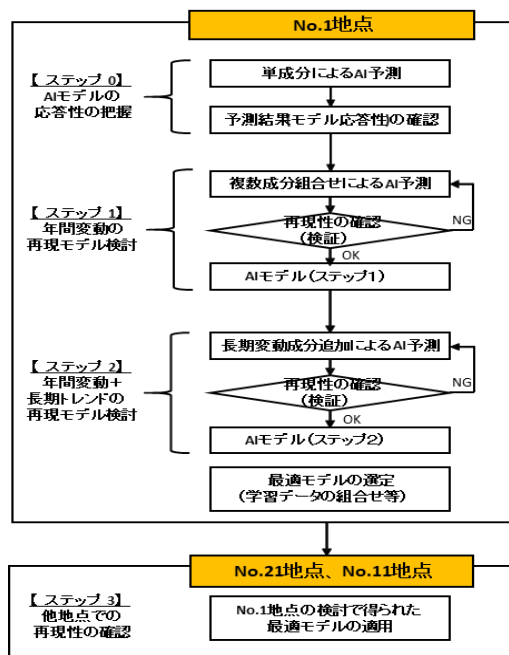


図-11 AIモデルの構築・検証の段階的な進め方

2)AIモデルの構築結果

影響因子として降雨・気温・連続干天日・河川水位を単成分としてAIモデルの応答性を確認した結果、いずれの因子も単独では地下水位変動を表現することは不可能であった。そこで各成分を複数組み合わせ合わせた学習を行ったところ予測値の再現性が格段に向上した。組み合わせのパターンは「降雨量(1日)、降雨量(7日)、降雨量(30日)+連続干天日+気温」がその他の組み合わせよりも再現性が良好であったため、これをベースケースとした。さらに、再現性を向上させるために、ベースケースに降雨の単純トレンド(増加・減少)、第2帯水層水位、地下水利用量(工業用水、給水人口、水田面積)をそれぞれ足し合わせて予測した結果、ベースケース+第2帯水層地下水位の組み合わせが最も再現性が良好であった。(図-12)

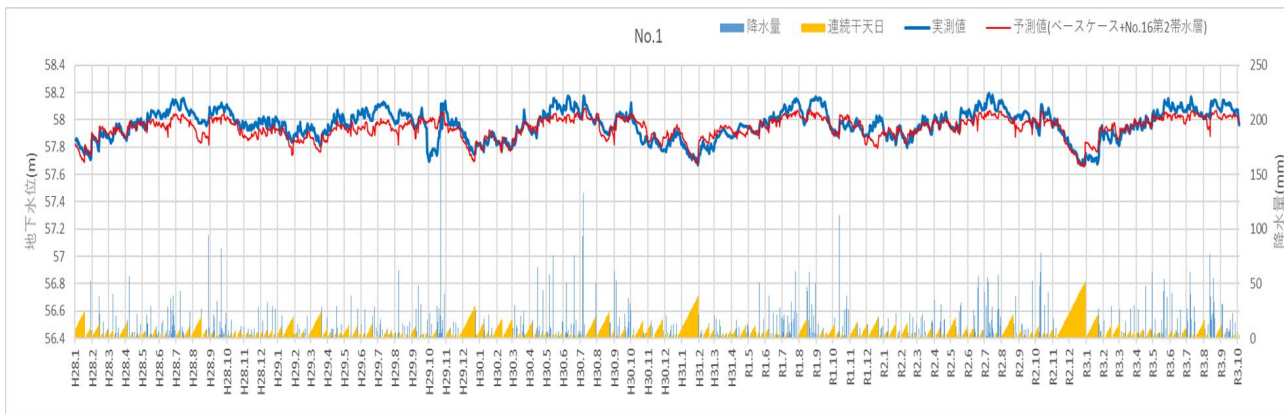


図-12 AIモデルによるテストデータの検証結果

2.3 地下水位予測モデルによる警戒値の検討

1)予測シナリオの設定

AI予測モデルを活用して下図に示すように警戒値設定を検討した。地下水位は、基本的に降雨の多寡に応じて変動するため、降雨条件を変化させるシナリオを設定して地下水位予測を行った。降雨の設定は、「年間降水量」及び「降雨の降り方(連続干天日)」の2つの観点から設定した。

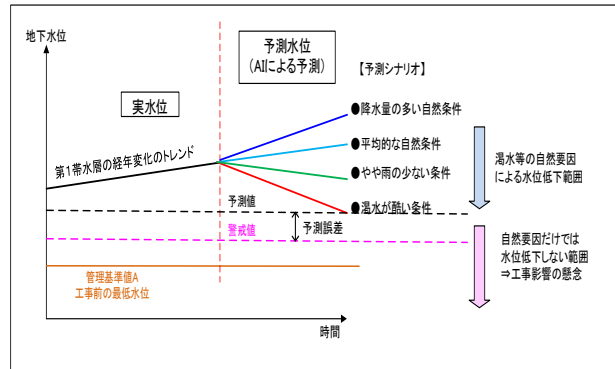


図-13 警戒値設定方法の模式図

表-2 予測ケース(シナリオ)の設定

着眼点	ケース	分類	位置づけ	年間降水量(mm)	最長連続日数(日)
年間降水量	1-1	水文基準年	最大渇水年	716	31
	1-2	〃	1/10渇水年	1110	33
	1-3	〃	平水年	1416	27
	1-4	〃	1/10豊水年	1619	33
	1-5	〃	最大豊水年	1790	30
降雨の降り方	2-1	連続干天日	最大(第1位)連続日数	1546	71
	2-2	〃	第2位連続日数	1464	59
	2-3	〃	第3位連続日数	1300	53
	2-4	〃	平均的連続日数	1169	30
	2-5	〃	最短連続日数	1623	16



2) 予測シナリオの検討

① 年間降水量

気象庁奈良観測所の既往観測データを用いて降水量の傾向を分析した。過去67年間の降水量データによると、平均値1372mm、最大値1790mm、最低値716mmとなる。統計処理に基づく水文基準年は1/10渇水年1110mm、平水年1416mm、1/10豊水年1619mmとなる。月別降水量の傾向では11月～翌2月にかけて小雨月（渇水期）、6月～9月にかけて多雨月（豊水期）として区分することができる。

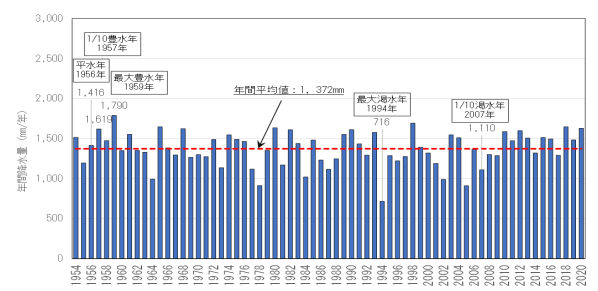


図-14 年間降水量の推移

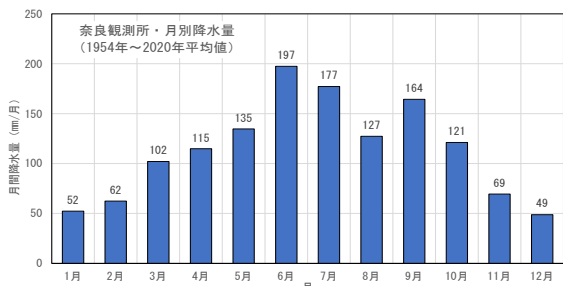


図-15 月平均降水量

② 降雨の降り方（連続干天日）

気象庁奈良観測所の降水量データを用いて連続干天日数の傾向について分析を行った。連続干天日数とは、降水量5mm/日未満のことであり、無降雨状態の指標とされる。

過去67年間の降水量データによると、連続日数は最大値から順に71日（1月）、59日（2月）、52日（12月）、51日（9月）と渇水期に長期化する状況が確認される。頻度分布図からも連続干天日は渇水期である12月～翌2月に発生頻度が高く、次いで8～9月に出現しやすいことが読み取れる。なお、連続干天日数と年間降水量の相関性は乏しく、最大渇水年・1/10渇水年における最大連続干天日数は平年値程度となっている。

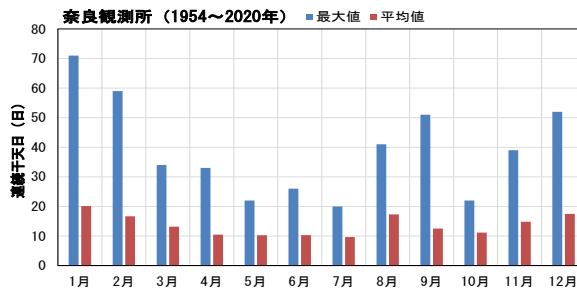


図-16 月別の連続干天日数（最大値・平均値）

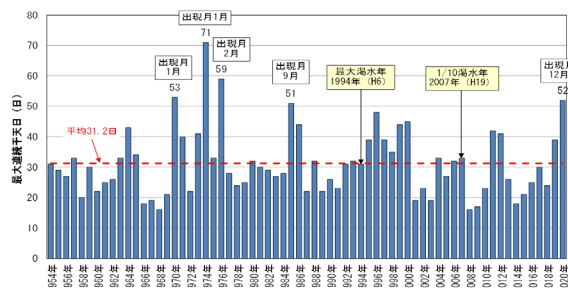


図-17 最長連続干天日数の推移

③ 予測結果

a) No. 1（水文基準年）

予測結果によると予測される地下水位の年間最低水位は、低い順に標高57.73m（1/10渇水年）、57.82m（最大豊水年）、57.83m（平水年）、57.84m（最大渇水年）、57.91m（1/10豊水年）であった。

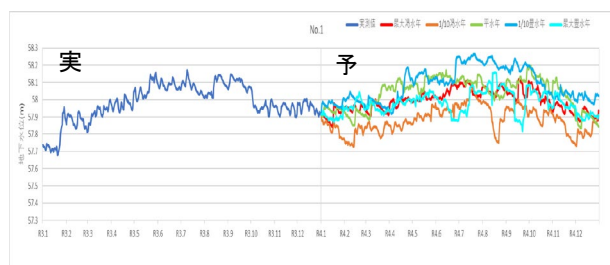


図-18 No.1（水文基準年）予測結果

b) No. 1（連続干天日）

予測結果によると予測される地下水位の年間最低水位は、低い順に標高57.63m（最長1位）、57.68m（最長2位）、57.73m（最短）、57.77m（平均）、57.79m（最長3位）であった。

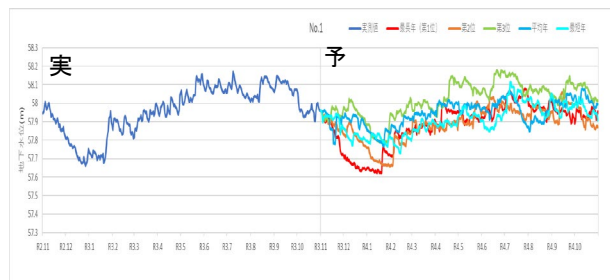


図-19 No.1（連続干天日）予測結果

#### ④警戒値（案）の設定

AIモデルによる予測計算地下水位のうち最低水位を参考に警戒値を検討した。モデル検証において評価した計算誤差を踏まえ予測値に計算誤差分を加味した値を警戒値として採用した。

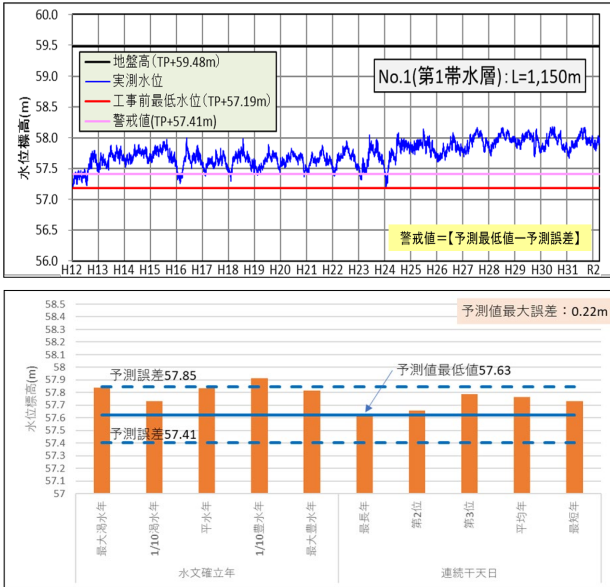


図-20 No.1地点の警戒値（案）の設定

### 3. おわりに

本検討によりAI技術（ニューラルネットワークによる深層学習）により当該地の地下水位変動を精度良く予測することが確認された。また経年的な上昇傾向が継続される観測地点に対し、適切に警戒値を設定することができた。さらに発展的な利用方法として「工事中」段階においてはモニタリングシステムにAI技術を実装して日々予測を行うことで、リアルタイム影響監視等によるシステム拡張の可能性が考えられる。

今後の検討課題としては、水理地質状況の異なる他サイトでの本手法の適用性検証やその他の予測手法との比較による評価、学習データを超過する予測条件時の計算結果の精度向上策の検討などが挙げられる。

**謝辞：**本稿の作成にあたり、ご助言、ご協力をいただいた日本工営(株)の方々に心より感謝申し上げます。

#### 参考文献

- 1) 京奈和自動車道(大和北道路)環境影響評価書（平成20年3月）
- 2) 大和北道路地下水モニタリングシステムとリスク低減計画（案）（平成30年2月）
- 3) 深層学習を用いた河川水位予測手法の開発(水工学論文集、第60巻、平成28年2月)

# (仮称)京都エリアにおける観光渋滞対策について

石田 拓也

近畿地方整備局 京都国道事務所 計画課（〒600-8234京都市下京区西洞院通塩小路下る南不動堂町808）

国土交通省では、観光先進国の実現に向け、魅力ある観光地を創造するため、ICT・AIの革新的な技術を活用し、警察や観光部局とも連携しながら、エリアプライシングを含む交通需要制御などのエリア観光渋滞対策の実験・実装を図る「観光交通イノベーション地域」を選定している。その一環として、京都国道事務所では、ICT・AIを活用した交通分析や予測技術の確立に向けて取り組んでいる。「観光交通イノベーション地域」に選定された京都市の主要観光地の一つである東山地区にて、2022年11月にAI予測技術を用いて現地実証実験を実施した。本稿では、その実証実験の結果を踏まえた京都市の観光渋滞対策の今後の方向性について報告する。

キーワード エリア観光渋滞対策, AI渋滞予測, TDM

## 1. はじめに

京都市は、14箇所の世界遺産や京町家等の美しい街並み等、世界有数の観光都市であり、年間観光客数は2019年まで7年連続で5,000万人を超え、外国人宿泊数も5年連続で300万人を突破していた。新型コロナウイルス感染症の拡大に伴い、観光需要は一旦激減したものの、2022年10月には全国旅行支援の開始や水際対策が緩和されたことから、国内旅行客を中心に回復傾向にある。特に、世界文化遺産の清水寺や八坂神社等がある東山地域周辺は人気の観光エリアであり、観光資源が街中に溢れ、市民生活との距離感が近いことから、観光シーズンには観光交通と生活交通が錯綜し、著しい観光渋滞が発生している。

これらの課題を踏まえ、国土交通省では観光地周辺で広域的に発生する渋滞を解消し、回遊性が高く、円滑な移動が可能な魅力ある観光地を創造するため、ICT・AI等の革新的な技術を活用し、エリアプライシングを含む交通需要制御等のエリア観光渋滞対策の実験・実装を図る「観光イノベーション地域」として、2017年9月に鎌倉市と京都市の2地域が選定されたことから、「京都エリア観光渋滞対策実験協議会」を設立し、ICT・AIを活用した分析や予測技術の確立に向けた検討を進めてきた。

これまで、AI画像解析技術やETC2.0プローブデータ、人流データ等を用いて東山地域の主要路線である東大路通りの渋滞要因分析や京都市が例年実施している既存の観光交通対策の効果検証を行ってきた。これらの分析を通じて、観光シーズンに発生する著しい渋滞の一因として「市外自家用車の京都市内への流入」が確認されたことから、ICT・AIを活用した観光渋滞対策の現地実証実験を2022年11月に実施した。

本稿では、その実証実験結果を報告するとともに、今後の観光渋滞対策の方向性を示したものである。

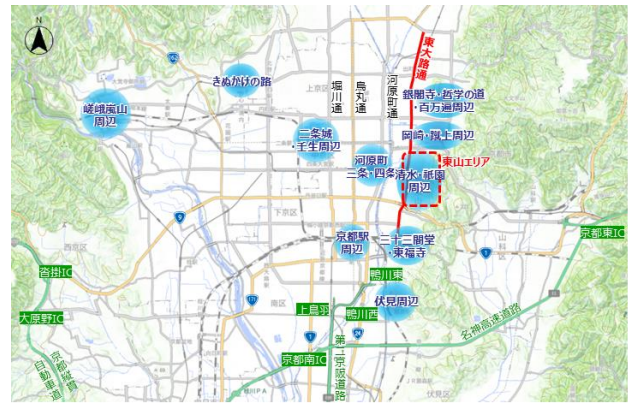


図-1 位置図

## 2. ICT・AIを活用した現地実証実験の概要

### (1) 現地実証実験の目的

本実験は、京都におけるICT・AIを活用した京都エリア観光渋滞対策の実装に向けて、期間や地域を限定し、社会的に影響を与える可能性のある交通施策等を試行・評価するための実験であり、実験を通じて新たな施策の展開に繋げることを目的としている。

東山地域に設置しているAIカメラの映像の画像解析データやETC2.0プローブデータのモニタリング技術から得られたデータを基に、AIによる東大路通りの将来と当日の交通渋滞予測を行い、予測結果を特設WEBサイト及び現地でのLED表示板において情報提供を行うことで、来訪者の行動変容を促し、京都市外から来る自家用車の流入抑制と来訪者の通行経路の分散を図る現地実証実験を実施した。また、現地実証実験の効果検証を通じて、観光渋滞対策の高度化や予測技術の確立・活用、効果的な情報発信の仕組み等、ICT・AIを活用した交通需要マネジメント施策を実装する上での課題抽出や方向性についても検討を行った。



(2) WEB上での情報提供

a) 情報提供内容

紅葉ピーク期直前の11月中旬に特設WEBサイトを開設し、AIによって予測した東大路通りの将来及び当日の渋滞予測情報を公開した。将来の渋滞予測情報については、2週間先までの渋滞予測情報を提供し、交通手段の変更や来訪日・来訪時間の変更を促した。当日の渋滞予測情報については、東大路通り南行きを対象に、時間帯ごとの所要時間を提供し、帰宅時間の変更と通行経路の変更を促した。また、特設WEBサイトには渋滞情報のみではなく、京都市及び(公社)京都市観光協会の外部リンクを掲載し、交通手段を変更してもらう上で必要となるパークアンドライドの駐車場情報や観光施設情報等についても情報提供を行った。

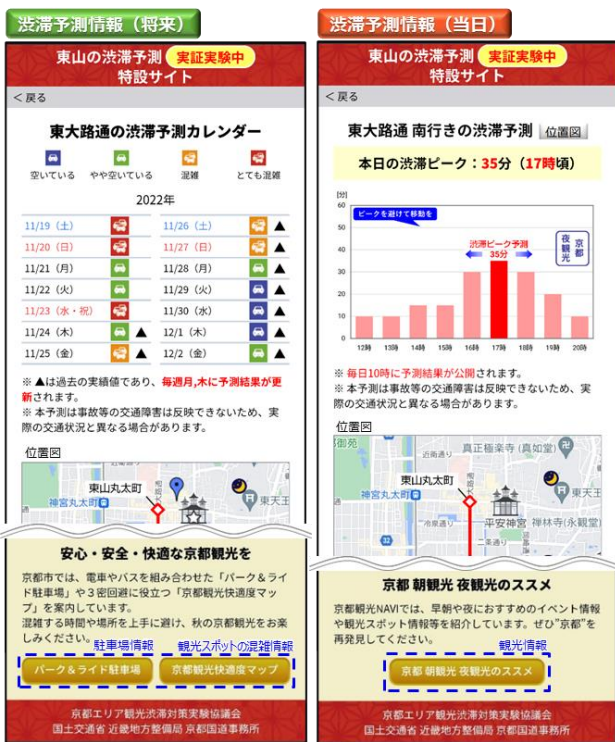


図2 情報提供画面 (スマートフォン)

b) 特設WEBサイトの利用を促す広報

特設WEBサイトは、観光シーズンのみ開設するサイトであったことから、短期間でより多くの来訪者にサイトの存在を認知してもらい、適切なタイミングで情報を見て行動変容してもらう必要がある。そこで、戦略的に広報するために、従来の関係機関のホームページや京都国道事務所のTwitter等の広報に加え、情報提供ターゲットや閲覧タイミングを絞って広告配信可能なWEB広告サービスを利用して、PUSH型・PULL型として効果的な広報を実施した。

PUSH型広報については、京都の渋滞情報に興味を持たれていない潜在層に対して、サイトの認知度を向上させるためにディスプレイ広告を利用した。ニュースサイト

等の閲覧時に特設WEBサイトのバーナーを表示し、ビジュアル的に興味を持って頂き、サイトの認知度向上を図った。交通手段の変更を促すためには、来訪前の旅行計画立案段階に情報提供することが望ましいことから、特設WEBサイト開設時から来訪後の情報検索段階まで広告配信を行った。



図3 ディスプレイ広告のイメージ

PULL型広報については、東山の観光スポットやランチ・交通情報等を検索しているユーザーを対象に、検索画面の上部にテキスト広告を表示するようにし、ターゲティング機能で検索行動を取る顕在層に対して、広告配信を行った。



図4 ターゲティング機能のイメージ

表1 東山に流入する京都市外家用車の車籍地

近畿地方	2180	56%
滋賀県	205	5%
京都府 (京都市外)	278	7%
大阪府	1127	29%
兵庫県	386	10%
奈良県	125	3%
和歌山県	59	2%
中部地方	1033	26%
岐阜県	114	3%
静岡県	58	1%
愛知県	493	13%
三重県	184	5%
その他	184	5%
関東地方	350	9%
中国地方	112	3%
北海道・東北地方	88	2%
四国地方	81	2%
九州地方・沖縄	71	2%
合計	3915	100%

一方で、PUSH型、PULL型それぞれの広報戦略の配信地域については、AIカメラ映像によるナンバープレートの画像解析結果から、東山地域に自家用車で流入する交通の約8割が近畿地方と中部地方から来訪者が多く、中でも大阪府・兵庫県・愛知県が多い状況であったため、配信地域を3府県に重点的に実施し、PULL型広告については、京都を観光する際に検索される可能性のあるキーワードを想定して設定した。

(3) 現地での情報提供

東大路通りの交通特性として、南行きの渋滞が顕著であり、特に夕方の帰宅時間帯に旅行速度が低下しており、通過交通が多いことから、迂回誘導地点においてLED表示板による情報提供を行い、迂回を推奨し、移動経路の変更による経路分散を促した。AIで予測した東大路通南行きの所要時間に基づき、迂回誘導地点である東山丸太町交差点北側で迂回案内を実施し、予測結果が20分以上となる時間にLEDを点灯した。

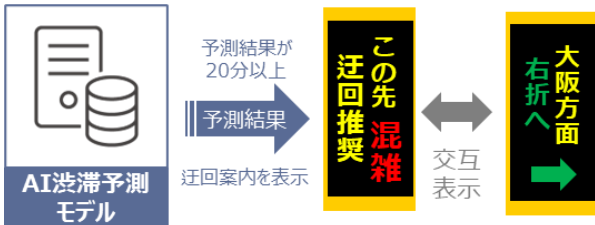


図-5 LED表示板での表示イメージ

(4) AI渋滞予測モデルの概要

a) 将来の渋滞予測モデル

将来の渋滞予測モデルは、予測日前2週間分のETC2.0プローブデータ、予測日前2週間分および予測期間の天候(降水量)をインプットデータとし、予測日から1週間先までの日別時間帯別の渋滞状況を予測するモデルを使用した。

b) 当日の渋滞予測モデル

当日の渋滞予測モデルは、交通状況判定と渋滞予測を2段階で行うモデルを使用した。交通状況判定モデルは、東山五条のカメラ映像をリアルタイムで画像解析し、交通量や通過速度等を判定するモデルであり、その交通状況判定モデルの結果をインプットデータとして、当日の渋滞状況を予測するモデルである。

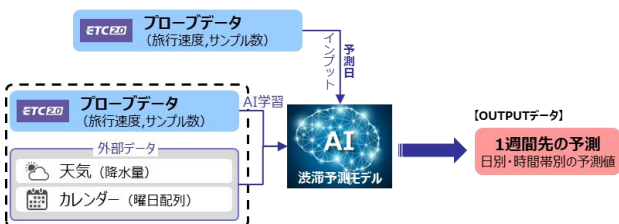


図-6 「将来」渋滞予測モデルの概念図

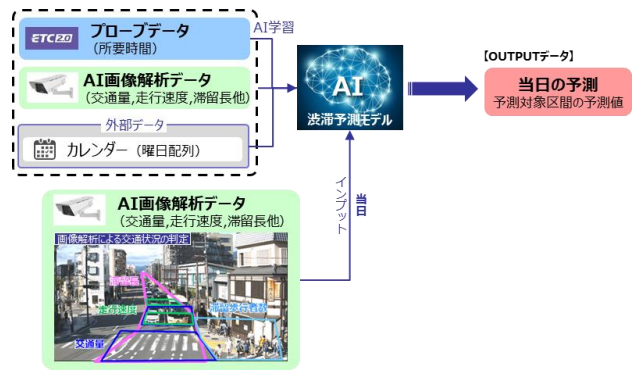


図-7 「当日」渋滞予測モデルの概念図

3. 秋の観光シーズンにおける取組みによる効果

(1) 東山地域周辺での混雑緩和対策

京都市では、過年度から東山地区で観光渋滞対策を継続して実施されており、2022年については、全国旅行支援の開始や水際対策の緩和に加え、昨今の自粛生活の反動で観光の移動需要が高まることが予想されたことから、秋の観光シーズンにおける混雑緩和を図るために様々な取組みを実施されていた。

京都市歩まち京都推進室では、東山地域の観光地交通対策として、自家用車の流入抑制と安全・快適な歩行空間を確保するため、パークアンドライドや迂回誘導案内、臨時交通規制等を実施されていた。京都市観光MICE推進室及び(公社)京都市観光協会では、JR西日本・JR東海と連携した混雑緩和対策として西日本旅客鉄道(株)及び東海旅客鉄道(株)と連携し、鉄道を活用した旅行ルートや「京都観光快適度マップ」による混雑状況、混雑予測等を駅構内や車内放送、WEB、SNS等で発信されており、京都市交通局では、市バス・地下鉄での快適な京都観光を目的に、市バス・地下鉄の臨時便の増発や市バスから地下鉄への無料乗継等を実施されていた。

(2)2022年の観光需要や交通状況

京都市内への日本人来訪者は、2022年6月以降、コロナ前と同等まで回復しており、昨今の自粛生活の反動や全国旅行支援等の開始による影響もあり、10月以降はコロナ前より増加しており、交通量に大きな変化はみられないものの、観光需要の増加に伴い、東大路通南行きの旅行速度も低下している。秋の紅葉シーズンである11月の東大路通南行きの渋滞状況は、観光ピーク(例年19日~27日)前週の12日(土)が最も所要時間がかかっており、東山丸太町交差点から東山五条交差点まで、通常10分程度で通過できるところ、39分要していた。観光ピーク期である19日(土)、27日(土)、28日(日)の3日間は渋滞していたが、それ以外の日は顕著な渋滞は発生しておらず、その要因として、先述の全国旅行支援による影響に加え、飛び石連休や天候、紅葉の状況等が影響したことが想定される。

(3) 混雑緩和に関する取組み全体による効果

a) 流入抑制効果

ナンバープレート画像解析や人流データを用いて、2021年と2022年の対策時を比較すると、東山地域の来訪者数(6%増)や鉄道乗降客数(17%増)が増加している一方で、東山地域に流入する自家用車(1%減)はほぼ変わらないことから、市外自家用車の流入抑制効果は一定あったとみられる。

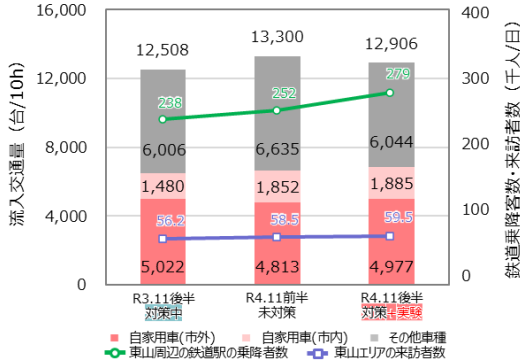


図-8 東山地域の流入交通量と来訪者数、鉄道乗降客数

b) 時間分散効果

ETC2.0プローブデータを用いて、東大路通り南行き(東山丸太町～東山五条)の所要時間をみると、2022年の未対策時は17時をピークとした渋滞が発生(最大所要時間39分)しているが、対策・実験時は最大所要時間が減少して所要時間の平準化が図られている。これは京都市が秋の観光ピーク期に清水寺の夜間特別拝観としてライトアップ等のイベントを実施していることから、帰宅時間の分散による効果が発現しているとみられる。

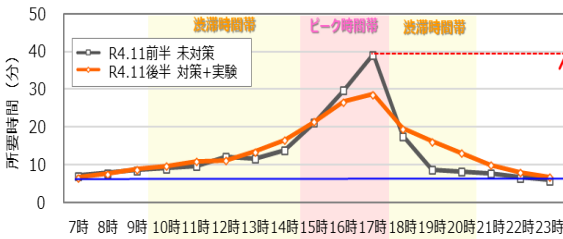


図-9 東大路通南行きの所要時間

c) 経路分散効果

各カメラのナンバープレート画像解析によって得られた車両情報を照合して通過交通を判定したところ、2021年対策時や2022未対策時と比べて、2022年の対策時実験中では、京都市外への自家用車の通過交通が増加していた。その要因として、京都市外への自家用車の車籍地を分析したところ、東山地域より北の「哲学の道・岡崎」エリア等の来訪者数が増加しており、その影響が大きいとみられる。

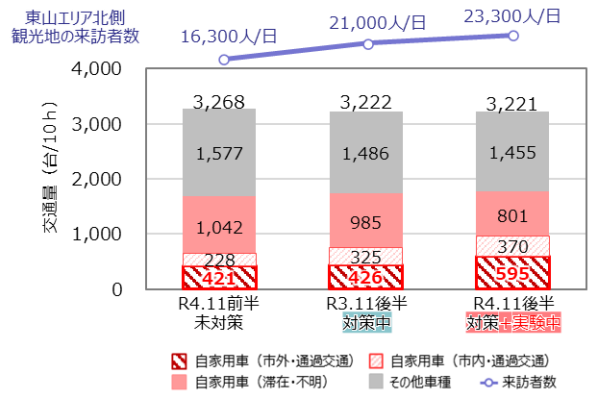


図-10 三条から流入する交通内訳と北側観光地の来訪者数

一方で、ETC2.0プローブデータを用いて通過交通の利用経路を分析したところ、東大路通り以西に向かう京都市内への通過交通は、利用経路を東大路通りから川端通りや堀川通りに変更している可能性があるものの、京都市外への通過交通は、東大路通りから他の道路へ変更している状況をあまり確認できなかったことから、京都市外の通過交通に対する経路分散はみられなかった。その要因としては、京都に来訪する方はカーナビの経路案内機能を利用(約6割)している方が多く、ナビアプリ(Google map)の推奨経路も主に東大路通りを推奨していることから、これらによる影響が大きいと推察される。

4. 現地実証実験の評価

(1) 特設WEBサイトの有効性

特設WEBサイトの閲覧状況を見ると、休日に向けて広告配信サービスの配信数を高める等、効果的に広告配信をしたこともあり、公開していた13日間で15,191回閲覧されており、同種イベントのWEBサイトと比較しても閲覧数が多い状況であった。

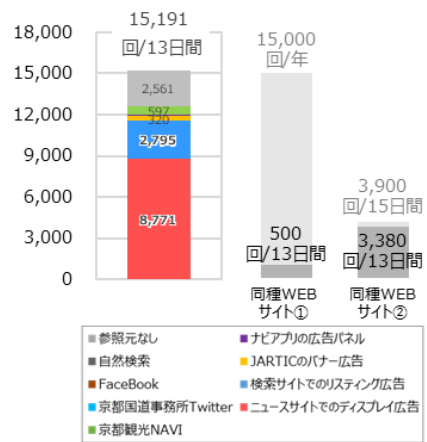


図-11 特設WEBサイトと同種サイトの累計閲覧者数

また、閲覧数の内訳をWEBサイトのアクセスログから集計すると、ディスプレイ広告とリスティング広告が



大きく占めている。また、観光ピークの中でも休日にサイトの閲覧数も向上しており、サイト閲覧数と来訪者数の傾向が一致し、一定の相関がみられたことから、来訪者にとって情報源の一つになったと推察される。

各ページの閲覧履歴をみると、将来予測ページは、車での来訪が多い地域や出発日前日までに閲覧されていたため、旅行計画時に閲覧して頂けなかったものの、将来予測情報を参考とした方は少なからず存在したと推察される。当日予測ページは、入浴時や帰宅時等のタイミングで閲覧されていたことから、適切なタイミングで閲覧されており、当日予測情報についても参考とした方が存在したと推察される。また、サイト内アンケートやWEBアンケート等から、ユーザーの反応をみても好意的な意見が得られており、特設サイトが来訪者の行動変容に少なからず影響を与えた可能性があるとして推察される。

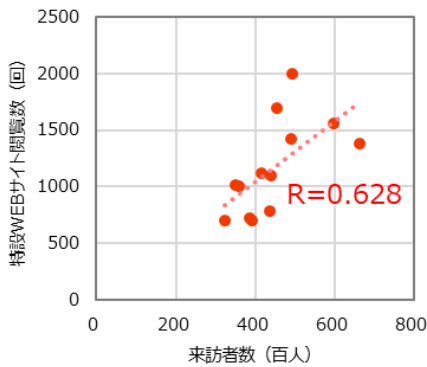


図-12 特設WEBサイトの閲覧数と来訪者数の関係

(2) LED表示板での情報提供の有効性

方向別交通量計測を用いて、迂回誘導地点である東山丸太町交差点の右左折率をみたところ、2021年と2022年では大きな変化はみられなかった。変化がなかった要因としては、カーナビによる影響が大きいとみられる。また、LED表示板を歩道に設置していたことで見られていなかった可能性もある。ドライバー視点では道路標識等に設置している方が見やすいことも考えられ、設置箇所や訴求の仕方等、ドライバーへの情報提供方法について課題が残る結果となった。

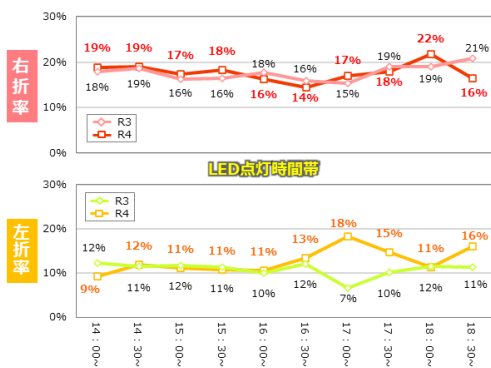


図-13 東山丸太町交差点の右左折率の変化

(3) 京都市外自家用車の削減量

今回の実証実験による目標達成度を定量的に評価するための指標として、2021年11月休日の京都市外自家用車と旅行速度の関係から、評価指標とする時間交通量を320台/時と仮定した。そこで、観光ピークにおける京都市外自家用車の超過量を試算したところ、2021年11月の超過量は830台/日であり、2022年11月の超過量は550台であったことから、削減達成度は34%であると評価できる。

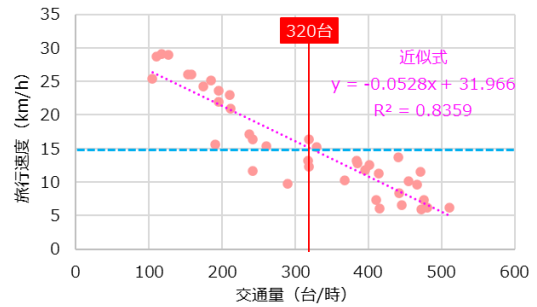


図-14 京都市外自家用車の交通量と旅行速度の関係

5. 実証実験を踏まえた観光渋滞対策の方向性

(1) 各行動変容による渋滞緩和の余地

a) 経路分散

平常期・観光期を問わず、渋滞ピーク時間帯は東大路通と他路線も所要時間がかかっており、あまり大きな差がみられないことから、各路線に交通が均衡に配分されているが、渋滞は発生していることから、経路分散で得られる効果は低いと推察される。

b) 時間分散

秋の観光ピーク期は、京都市が朝観光や夜間特別拝観等を進めていることもあり、来訪者の行動時間が分散し、ピーク時間帯における所要時間が短縮して一定の時間分散が図られている。このことから、更なる時間分散を促しても行動変容の余地が少ないと推察される。

c) 交通手段の転換

人流推計データによる東山エリア来訪者の交通手段分担率をみると、2022年11月の鉄道客利用者は2021年11月に比べて増加しているものの、鉄道乗降者数はコロナ前の水準まで達しておらず、公共交通への転換については、まだまだ一定の余力があると想定している。

また、パークアンドライド駐車場（臨時・重点利用促進駐車場）を利用して東山エリアに来訪した車についても、2021年11より2022年11月の利用者は24%増加しているものの、全体収容可能台数と比べると少ないため、当日の利用台数調査は必要であるが、一定数余裕はあるものと想定している。

以上のことから、交通手段の転換については、行動変容の余地が少ない経路分散や時間分散に代わる対策として有効だと推察される。

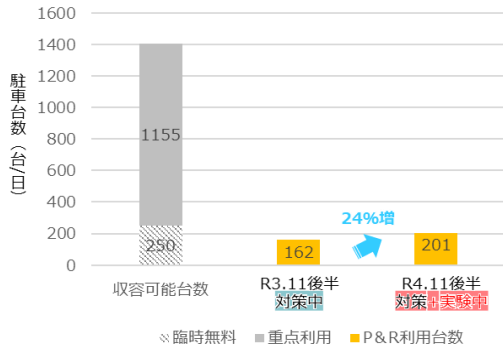


図-15 東山エリア来訪者のP&Rの利用状況と収容可能台数

(2) 情報提供サイトの課題と対応策

市外自家用車の交通手段の転換を図る上で必要となるサイト閲覧者数の目安について、アンケート調査結果や情報提供による行動変容率から試算すると、1日あたり2,500回程度は必要であると想定している。現状のWEBサイトの閲覧者数は1日あたり330回程度であることから、継続的にサイトを運営し、渋滞予測情報を提供するサイトとしての認知度の向上と定着を図ることが重要であると推察される。

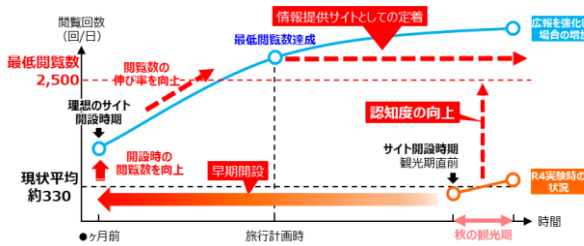


図-16 現状の閲覧状況と最低閲覧数を達成するまでの概念図

一方で、PUSH型・PULL型の広告から特設WEBサイトのトップページにアクセスしたユーザー数は(650回/日)存在するものの、そこから渋滞予測ページまでアクセスしたユーザーは(334回)49%と減っており、さらにP&R駐車場情報等のリンクバナーをクリックしたユーザーは98%減である。このことから、ユーザーの求める情報やお得チケット等、提供情報の充実を図り、魅力あるコンテンツとして引きつけることや情報を簡素化・一元化を図り、ユーザーにとって分かり易く興味を持たれるサイトに改善していく必要がある。

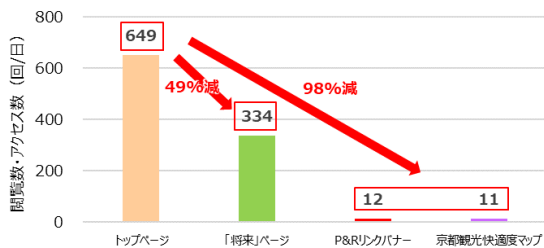


図-17 特設サイトのページ遷移状況

(3) 目標達成に向けた今後の方向性

特設WEBサイトは、来訪者にとって少なからず情報源の一つになったこと、鉄道やパークアンドライドの利用状況を確認しつつ、交通手段の転換先としては有効であることから、交通手段の転換を図るための情報提供を強化しつつ、一方で、東大路通りの渋滞には歩行者による影響もあると考えられるのでその他渋滞要因についても引き続き調査・分析を継続する。また、公共交通やパークアンドライドの利用を更に促すための仕組みとして、交通手段を転換させるためのインセンティブ等、動機付けについても検討をしていく。

6. おわりに

本プロジェクトは、ICT・AIを活用した交通需要マネジメントの実装に向けて、技術的課題や対応策を検討しながら、社会的に影響を与える可能性のある交通施策を試行・評価するための実験であり、将来的に京都市が実施する対策を含めて、全て足し合わせたオールインワンのアプリを実現できれば「京都観光MaaS」となり、本実験はその礎となり得る可能性があることから、更なる推進が期待される。

今回の結果から、カーナビとWEBサイトの情報がリンクしていれば経路変更する人は増えたと推察され、情報提供媒体の組合せによって効果が変わってくると考えられる。よって、一概に個々の情報提供媒体の善し悪しを結論付けることができず、先述のオールインワンのアプリのように情報が一元化されるのが望ましい。一方で、スマートフォンのナビ機能も普及しつつあり、車載型のカーナビも含め、ナビへの働きかけというのが課題としてあるが、当日に情報発信してもパークアンドライドを含めた公共交通への転換は可能と考えられるので、今後の情報提供戦略についてもしっかりと考えていく必要がある。

謝辞：京都エリア観光渋滞対策実験協議会については、これまで6回開催しており、協議会運営にあたり、協議会の委員長である宇野教授をはじめ、宗田教授ならびに山田教授には多大なご助言をいただきました。また本稿を執筆するにあたり、(株)建設技術研究所のご担当者様をはじめ、関係者の皆様にはご指導いただきました。記して深くお礼を申し上げます。

参考文献

- 1) ICT・AIを活用した道路交通分析について：R4年度近畿地方整備局研究発表会発表

# 電線共同溝事業のスピードアップに向けた一考察について

金原 紀雄<sup>1</sup>

<sup>1</sup>近畿地方整備局 京都国道事務所 管理第二課

(〒600-8234京都府京都市下京区西洞院通塩小路下る南不動堂町808)

電線共同溝事業については事業着手から完成まで多大な時間を要している実情がある。

従来の2次元での設計では、①占用企業者（上下水道・ガス）提供の施設台帳の位置情報精度が低い。

②予期せぬ管路（不明管）が多く発見される。などにより工事実施時に再検討が必要となり時間を要している。設計段階においては、特殊部の配置計画の際、特殊部の位置を変更する度に横断図の作成、協議資料の作成が生じる。本稿はこれらの課題解決のため下記の取り組みを行ったものである。

- 地中レーダー（試掘併用）による、精度の高い地下埋設物物件の取得
- 不明管のあぶり出しによる管理者の事前確認及び方針の決定
- 3D設計による設計・協議期間の短縮

キーワード 電線共同溝、無電柱化、BIM/CIM、地中探査、3Dモデル

## 1. はじめに

近年、国土交通省では無電柱化を、「防災」、「安全・快適」、「景観・観光」の観点から推進している。無電柱化の実施により、地震や台風による電柱の倒壊（図-1）をなくすとともに、無電柱化により歩道の有効幅員が広がり（図-2）、景観の阻害要因となる電柱・電線をなくすことにより景観を向上させることが可能となる（図-3）。1995年の「電線共同溝の整備等に関する特別措置法」の成立により、道路の掘り返し防止や道路景観の整備の観点から、道路管理者が電線の収容空間として電線共同溝を整備するという仕組みが整った。その後、2021年度には新たな「無電柱推進計画」が策定されており、この計画の取組姿勢として「新設電柱を増やさない」、「徹底したコスト縮減を推進する」、「事業の更なるスピードアップを図る」の3つのポイントがうたわれている<sup>1)</sup>。



図-1 台風による電柱の倒壊

出展：国土交通省ホームページより

[https://www.mlit.go.jp/report/press/road01\\_hh\\_001086.html](https://www.mlit.go.jp/report/press/road01_hh_001086.html)





図-2 無電柱化による歩道の有効幅員の拡大



図-3 無電柱化による景観の向上

また、近年、国土交通省は公共事業におけるBIM/CIM (Building / Construction Information Modeling・Management) の活用を推進している。BIM/CIMとは、計画・調査・設計段階から3Dモデルを導入し、その後の施工、維持管理の各段階においても、情報を充実させながらこれを活用し、あわせて事業全体にわたる関係者間で情報を共有することにより、一連の建設生産・管理システムにおける受発注者双方の業務効率化・高度化を図るものである<sup>23)</sup>。2023年からは、原則すべての公共工事においてBIM/CIMが適用されることになった。計画が頻繁に変更され、高い精度での設計が求められる電線共同溝事業においてはBIM/CIMモデルの作成コストが大きくなるといったことから、BIM/CIMモデルの活用は十分に進んでいるとは言えない状況であるが、3Dモデルの作成により、立体的でわかりやすい成果として利用できるなど合意形成におけるメリットも大きい。

本稿で電線共同溝事業においてBIM/CIM技術を活用した試行の取り組みからスピードアップ化について考察する。

## 2. 電線共同溝事業の課題

日本は欧米やアジアの主要都市と比較して無電柱化率は低く、東京都区部の無電柱化率は約8%、大阪市では約6%となっている。(図-4) また全国には約3,600万本の電柱が存在しているが<sup>1)</sup>、毎年数万本単位で増加し続

けている。

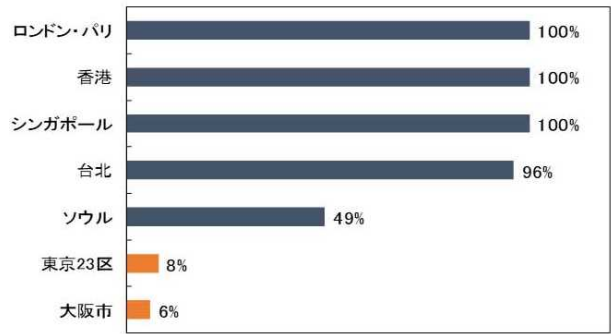


図-4 欧米やアジアの主要都市の無電柱化の状況 (国土交通省ホームページより<sup>4)</sup>)

現在、このような状況を改善すべく、電線共同溝の整備などの手法により無電柱化が進められている。電線共同溝とは電線の設置および管理を行う2以上の者の電線を収容するため、道路管理者が道路の地下に設ける施設をいい、管路部、特殊部、連系管路および引込管路からなる<sup>5)</sup>。(図-5) 電線共同溝整備においては、「詳細な地下の状況を把握しないと設計、協議が出来ない」、 「管理台帳と実際の埋設管の位置が異なる」、「台帳に載っていない不明管が存在する」といった課題が存在し、工事実施時に管路の位置や構造の変更などの再検討が必要となり時間を要することが多い。また、電線共同溝整備は人力作業が多く、コスト削減が進まない原因ともなっている。京都国道事務所では電線共同溝整備のスピードアップ化のため工事発注前に「試掘工事」を別途行い、地下埋設物を十分に調査した上で詳細設計を完了させる取り組みも行っている。しかし、この試掘作業も精度の高い試掘が求められる他、人力で確認をしながら慎重に掘り進めることが求められるため、「コスト」、「時間」がかかる。これらの課題を解決し、電線共同溝事業のスピードアップ化を図るために、電線共同溝事業における3Dモデルの活用について検討した。

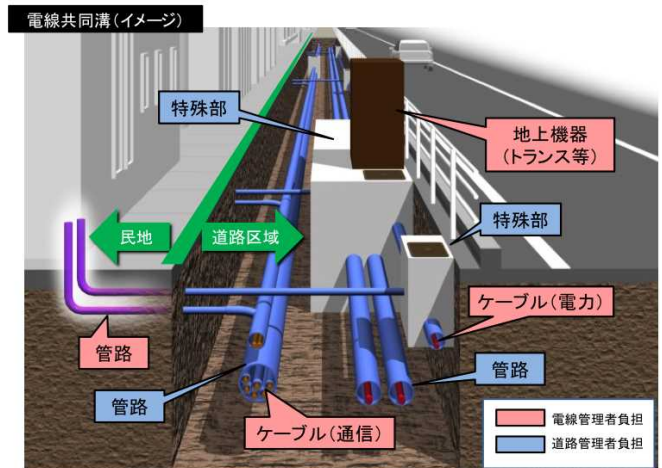


図-5 電線共同溝の標準的な構造

### 3. 竹田街道十条交差点における3Dモデルの作成

#### (1) 対象地区、モデル作成の考え方

今回は京都府京都市南区東九条柳下町の竹田街道十条交差点で地下埋設物との位置関係が複雑に交差する箇所を抽出し、3Dモデルの作成を行った。この竹田街道十条交差点部は埋設管が縦横に埋設されており、可視化することが設計・協議等で有効であると考えられる。3Dモデルの作成範囲は以下の考えに基づき設定した。

- ・ 特殊部（ケーブルの分岐部、接続部並びに一般家庭に供給するための変圧器などの地上機器）と埋設管との干渉が明確な箇所は、2次元図面で確認できるため、3Dモデルの作成は行わない。（2次元図面で協議可能なため）
- ・ 深さが同程度の埋設管と電線共同溝が交差し、かつ輻輳する箇所では、3Dモデルを作成する。

#### (2) 作成条件

作成するモデルは国土交通省のBIM/CIM活用ガイドライン(案)に準拠した。

ガイドラインではBIM/CIMモデルとして、「地上モデル」「地質・土質モデル」「線形モデル」「土工形状モデル」「構造物モデル」「統合モデル」が挙げられているが、今回作成するモデルは作成用途に応じてBIM/CIMモデル全体を把握できるというメリットがあるため、「統合モデル」とした。統合モデルとは、地形モデル（広域含む）地質、土質モデル、線形モデル、土工形状モデル、構造物モデルを組み合わせたモデルである。

今回、平面地形は2Dデータとし、既設埋設物の位置、深さ等は、管理者から入手する管理台帳に記載されている情報から再現した。また精度を向上させるため今回は4箇所の試掘を行いその結果を反映した。

国土交通省の「BIM/CIM活用ガイドライン(案)」におけるLOD (Level Of Detail) とはモデルの「形状」の詳細度を示すものであり、100から500までの3Dモデルの5段階のレベルで、数値が高いほど形状がより詳しくなる。本モデルは詳細度を「LOD300」として作成を行った。「LOD300」は附帯工などの細部構造、接続部構造を除き、対象の外形形状を正確に表現したモデルである。今回作成した竹田街道十条交差点における2次元モデルの図面と3Dモデルの比較イメージ(図-6)および3Dモデルの鳥瞰図(図-7)を以下に示す。



図-6 3Dモデルと2次元図面の比較イメージ

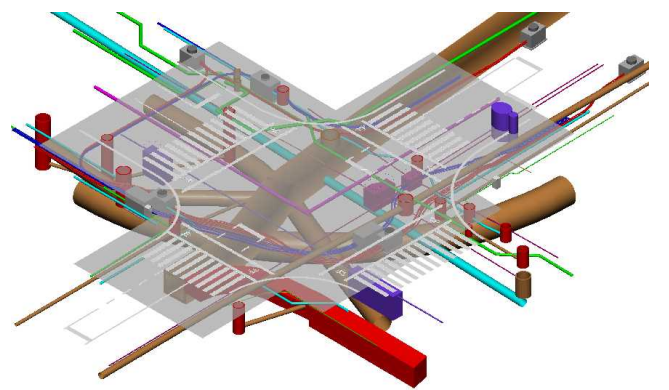


図-7 作成した3Dモデルの鳥瞰図



(3) 活用効果

モデルを作成した結果、例として図-8、図-9 の様に既設埋設物と計画の電線共同溝および照明柱の干渉を視覚的に確認することができた。図-8 に雨水引込管（茶色）と電線共同溝（電力：赤）が干渉している様子、図-9 に照明柱の基礎と下水道が干渉している様子を示す。

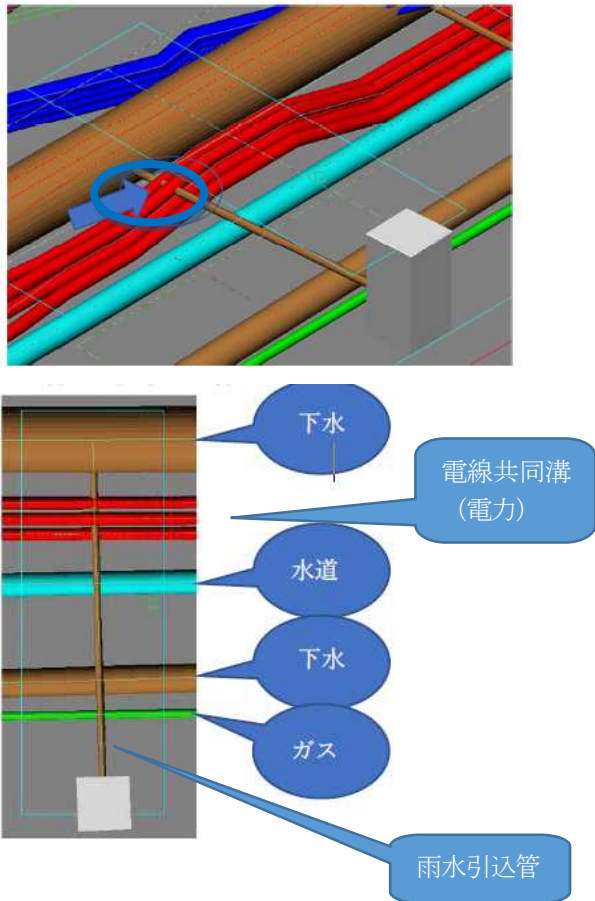


図-8 計画の電線共同溝と既設埋設物の干渉

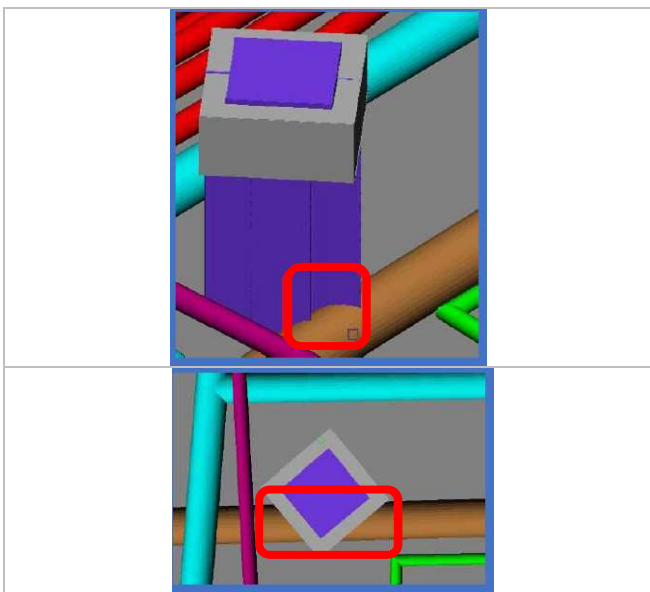


図-9 3Dモデルの照明柱の基礎と既設埋設物の干渉

(4) 課題

3Dモデルを作成した結果、以下のことが確認できた。

- ・ 既設埋設物の土被り情報の不明な箇所が多い
- ・ 3Dモデルでは既設埋設物同士が干渉しているが、実際には干渉していない。

これら既設埋設物の位置・深さ等は、管理者から入手する管理台帳に記載されている情報から再現するが、情報量が少ないため再現の精度が低い。これらについては現場においてピンポイントで試掘を行って補正することが必要となる。

4. 考察

現在 BIM/CIM の活用が推進されており、道路、河川、橋梁等の構造物に関しては、実績が積みあがりつつある。これらの構造物設計では、3次元の地形に計画の3Dモデルを作成するのに対して、電線共同溝設計では、2次元地形をベースに既設埋設物の精度の低い情報に基づいて設計を行うことになるため、作成するデータの精度において課題が残る。

そのためには3D探査を行い精度の高い台帳を作成する必要がある。これによって設計・協議の効率化、住民への地元説明への活用などが期待できる。

5. 3D探査による検証

(1) 取り組み概要

上記3. では管理台帳より既設地下埋設物の位置・深さ等の情報を入手していたが、より精度の高い結果を得るため試掘を併用した地中レーダーによる精度の高い探査を実施することが考えられる。このような地中レーダー探査による表1の調査設計を、国道1号 上鳥羽南地区（京都市南区上鳥羽南花名町～上鳥羽嶋田）の下り側L=300mにおいて行った。

- ・ 地中レーダーにより精度の高い地下埋設物の3D情報の取得
- ・ 不明管のあぶり出しによる管理者の事前確認及び方針決定
- ・ 3D設計による設計・協議期間の短縮

表-1 作成した3D探査及び3D設計の実施項目

項目	内容
①地下レーダー探査・解析	地中レーダー探査による埋設物情報の取得
②試掘調査	試掘による地中レーダー探査精度の検証、補正
③地上点群データ調査	3Dレーザースキャナーによる点群データ計測、地下データとの統合
④地下3Dモデリング	地下レーダー探査結果の3D化
⑤3D設計	3D空間での電線共同溝データ作成

この取り組みで作成された地上、地下3Dマップの代



表的箇所の様子を図-10に示す。

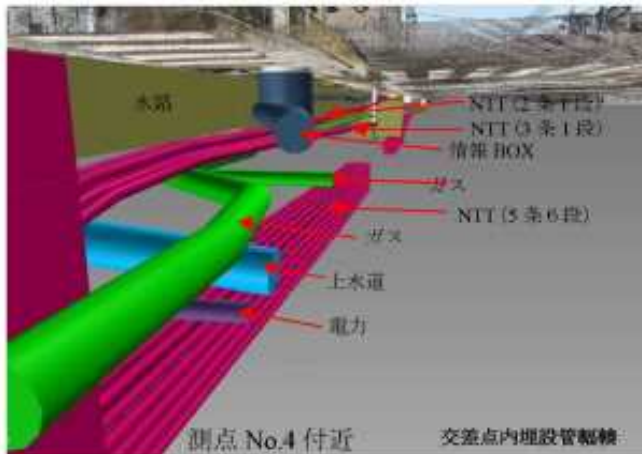


図-10 作成した3D探査の代表箇所

**(2) 結果**

**a) 精度の検証**

試掘による検証の結果、ほぼ全ての埋設物が機材の探査精度の許容範囲内であった。(許容範囲：【水平方向】±10cm程度、【深度方向】(GL-1.0m以浅)±10cm程度、(GL-1.0m以深)±10%程度)

しかし、一部の埋設管において、誤差292mm(許容値の161%)が発生した。この発生理由としては、深度方向の埋設管輻輳による影響(上部管路の反射信号の影響により下部管路の認識が不明瞭となる)が考えられる。このような誤差が存在すると施工協議や設計に使用することが出来ず、結果的に試掘による補正が必要となる。

**b) 不明管の特定**

不明管の特定に関しては顕在化した不明管の大半は需要家への管路であり、点群データの活用、反射信号によるマンホールなどへの接続が確認できたことから不明管のうちの44.6%で所有者候補の確認ができた。

ただし所有者候補が確認できなかった残りの不明管について、占有事業者へ照会したが「管種・管径等が不明な管路の特定は難しい」として判明には至らなかった。不明管のうち需要家への管路においては所有者の事前特定は難しいため工事掘削段階において各占有事業者に立会を求めるなどで対応することが必要となる

しかし、3D探査により不明管を把握することは有効であり、設計図に「不明管」として記載する事が出来る。

**c) 合意形成の円滑化**

3D設計により埋設管と近接構造物との隔離などを視覚的に表示できることを確認した。これにより効果的に関係機関協議や地元説明が行えると期待できる。

沿道地権者への説明においてはAR技術の活用が考え

られる。ARとは、Augmented Realityの略で、拡張現実を意味し、現実世界の風景に仮定の視覚情報を加えて現実世界を拡張した形で情報を提供できる。例としてタブレット端末上に計画上の地上機器3Dモデルを現実の景観と重ねて表示し、沿道住民に視覚的な説明を行うことが可能となる。このような取り組みは今後の合意形成の円滑化につながり設計協議期間の短縮が期待できる(図-11)。



図-11 ARを用いた住民説明の例

**6. まとめ**

今回の試行では協議資料として3Dモデルを作成、活用することでその有効性を検証した。さらに精度の高い3Dモデルが作成できることを期待して地下レーダー探査を行い一定の成果を得られた。しかし、一部で地下レーダー探査精度の低下が見られたため今後は再度別の区間における地下レーダー探査及び試掘を実施し、さらなる検証を行う必要がある。また、地下レーダー探査の精度管理および補正において、併用する試掘調査の頻度(対象区間に対する箇所数等)の考え方について整理・検討が必要となる。電線共同溝は路線により「地下埋設物の輻輳状況」や「埋設物状況」「電線共同溝の計画」が異なるため定量的な指標は設けず路線特性や電線共同溝の構造特性に応じて個々に設定する事が望ましい。また試掘箇所を増やすことによる費用の増加についても考慮する必要がある。

このように現時点では電線共同溝分野における3D設計の効率はまだ低く、今後のソフト等の技術開発状況を注視する必要がある。また結果として調査費用が従来の試掘を行うより高くなってしまいうケースが存在するという課題も存在する。

ただし設計施工段階における合意形成の円滑化という観点においては3Dデータの活用により不明管の把握や、既設埋設物の干渉および離隔確保の状況を可視

化，視覚的な確認による協議の円滑化が図られる。また，沿道住民に視覚的に説明が可能となり合意形成の円滑化が期待できるといったメリットもあり，事業のスピードアップにもつながることが期待できる。

高い精度が要求される電線共同溝の設計面において，3Dでの探査・設計は本取り組みからはまだ課題も多く本格的に導入するにはそれらを解決する必要がある。しかし合意形成などの面で事業のスピードアップ化につながるメリットも多くあり，今後の技術開発状況を見極めつつ費用面なども踏まえたうえで活用について検討することは有効と考えられる。本取り組みが無電柱化事業のさらなるスピードアップ化の参考となれば幸いである。

**謝辞**：本論文の執筆にあたり，参考資料の提供及び助言等いただきました関係者の皆様に深く感謝の意を

表します。

#### 参考文献

- 1) 国土交通省：「無電柱化推進計画（2021年5月策定）」  
<https://www.mlit.go.jp/road/road/traffic/chicyuka/pdf/21-05.pdf>
- 2) 国土技術政策総合研究所：「BIM/CIMポータルサイト」  
<http://www.nilim.go.jp/lab/qbg/bimcim/bimcimindex.html>
- 3) 国土交通省：「発注者におけるBIM/CIM実施要領（案）」（2020年3月）  
<https://www.mlit.go.jp/tec/content/001334803.pdf>
- 4) 国土交通省ホームページ 無電柱化の整備状況（国内、海外）  
[https://www.mlit.go.jp/road/road/traffic/chicyuka/chi\\_13\\_01.html](https://www.mlit.go.jp/road/road/traffic/chicyuka/chi_13_01.html)
- 5) 近畿地方整備局：電線共同溝マニュアル（2020年1月）  
[https://www.kkr.mlit.go.jp/road/sesaku/non\\_pole/qgl8vi0000006tff-att/manual.pdf](https://www.kkr.mlit.go.jp/road/sesaku/non_pole/qgl8vi0000006tff-att/manual.pdf)

# 建設用3Dプリンタを用いた コンクリート構造物の施工について

大京 真也<sup>1</sup>

<sup>1</sup>近畿地方整備局 京都国道事務所 京都第一維持出張所 (〒612-8208京都府京都市伏見区下鳥羽但馬町25)

建設産業では担い手不足の課題から、現場の環境改善や施工の効率化と合わせて人材確保に向けた新技術・新工法の活用が推し進められている。京都国道事務所の施工現場ではその一例として3Dプリンタによる施工を行った。

本稿ではその施工内容について紹介するとともに、施工性やコストの面から従来工法と比較を行った結果について示す。

キーワード 新技術, 新工法, 効率化

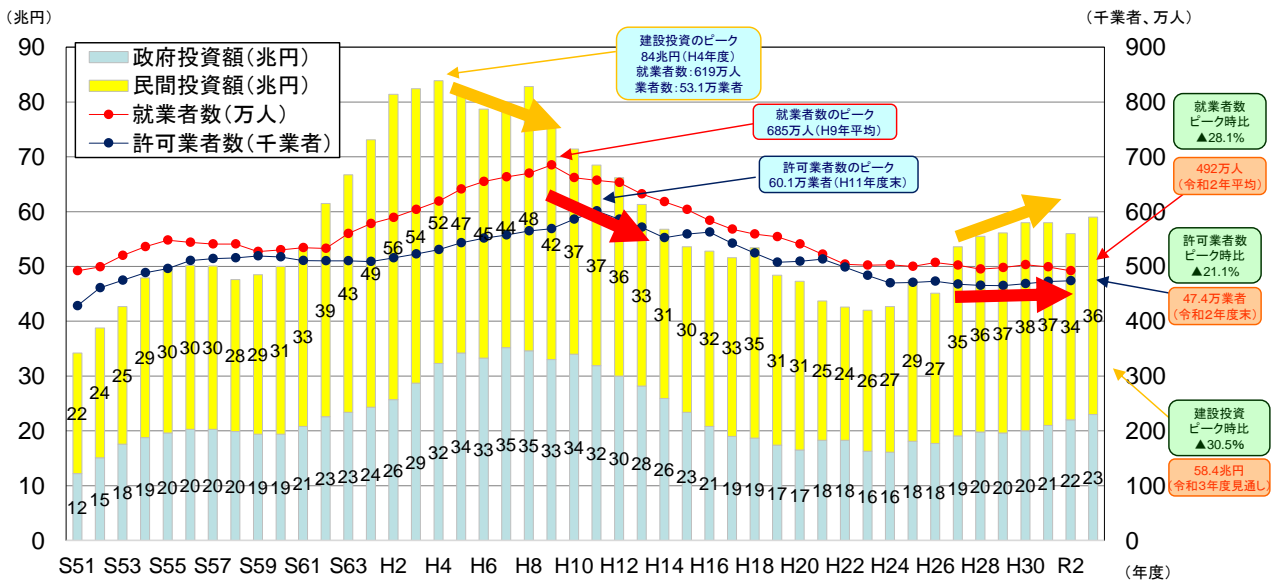
## 1. はじめに

建設産業では大量のインフラ施設の高齢化、建設投資額の減少、材料費の高騰など様々な課題に直面している。中でも技術者の高齢化、若手技術者離れを起因とした建設産業人口の減少・不足は大きな課題となっており、現場環境改善や施工の効率化、人材確保が急務とされている。

ここではその課題解決に向けた新技術活用の一例として、直轄工事現場における3Dプリンタを用いた道路構造物の施工を実証実験したので紹介する。

## 2. 建設産業における課題

建設産業におけるとりわけの課題として、建設産業人口の減少が挙げられる。建設業許可数は1999（平成11）年、建設業就業者数は1997（平成9）年をピークに減少傾向をたどっており、2020（令和2）年ではそれぞれ約21%、約28%減少している。また、建設業就業者数における年齢構成は55歳以上が3割以上、29歳以下が約1割となっており高齢化が進んでいる。（図-1, 2）さらに建設業は他業種に比べ離職率が高く、特に若手技術者の離職率が特に高い。



出典:国土交通省「建設投資見通し」・「建設業許可業者数調査」、総務省「労働力調査」  
 注1 投資額については平成30年度(2018年度)まで実績、令和元年度(2019年度)・令和2年度(2020年度)は見込み、令和3年度(2021年度)は見通し  
 注2 許可業者数は各年度末(翌年3月末)の値  
 注3 就業者数は年平均。平成23年(2011年)は、被災3県(岩手県・宮城県・福島県)を補完推計した値について平成22年国勢調査結果を基準とする推計人口を遡及推計した値  
 注4 平成27年(2015年)産業連関表の公表に伴い、平成27年以降建築物リフォーム・リニューアルが追加されたとともに、平成23年以降の投資額を遡及改定している

図-1 建設許可業者数及び就業者数の推移

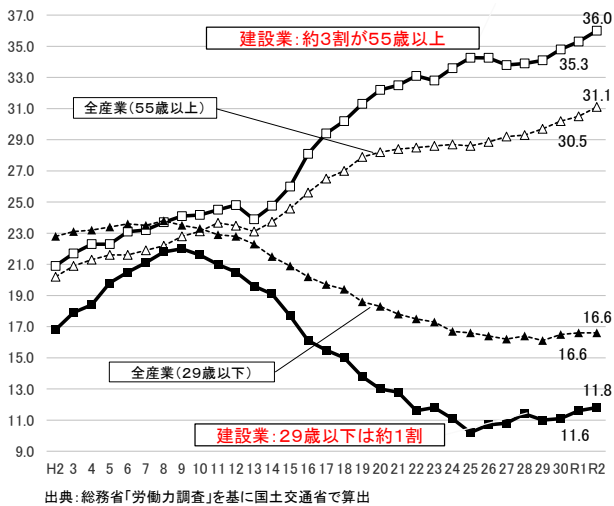


図2 建設業就業者の高齢化の進行

これに対し、建設産業では新担い手3法として品確法と建設業法・入契法の一體的改正を行い、働き方改革の推進や生産性向上に取り組んできたところである。今後も技能者の処遇改善や広報活動に合わせて、新技術の活用による施工の効率化についても建設産業の担い手確保のため取り組んでいく必要がある。

### 3. そもそも3Dプリンタとは

3Dプリンタは、3DCADモデルでの設計データを元に立体モデルを製作する技術である。自由度の高い設計ができることからものづくりの分野で注目されており、様々な分野に特化した3Dプリンタが開発され活用され始めている。最近では建築分野にも応用されており、セメントや金属を材料とする建設用3Dプリンタが開発され、海外では実証されている橋梁の例もある。

建設分野に3Dプリンタを導入する最大の利点としては、自由な形状の構造物が簡単に製作できるという点である。従来施工では製作したい形に応じた型枠を組み立てる必要があり、組立には熟練した技術力と時間が必要であった。しかし、3Dプリンタであれば特殊な技能を持たない者でも操作ができ、型枠も不要なため組立に要する時間が必要ない。また現場作業が削減されるため、工期短縮や事故リスクの低減、労働環境改善も期待される。

国内でも建設工事において3Dプリンタで製作された構造物を使用された事例がある。2021年には京都市内の民間発注工事において、法面ブロックの一部に排水パイプを設置する穴あきブロックを3Dプリンタで作成し現地へ据付、隙間部分のみをコンクリートで埋めることで施工が行われた。(図-3)

このように構造物を別場所で製作し、現地へ運搬して据え付ける事例は数例あるが、一方で現地に直接印刷施

工された事例はこれまでなかった。



図-3 3Dプリンタで施工された法面ブロックの例

### 4. 直轄工事現場での実証実験までの経緯

国道24号河原町十条地区電線共同溝工事(京都国道事務所発注)の受注者である吉村建設工業株式会社は、建設業界特化型の技術開発を行っている株式会社Polyuseと共同で3Dプリンタの技術開発を行っている。両社はこれまでも3Dプリンタによる集水桝の射出成形・埋設試験を行ってきたほか、3. で先述した法面の穴あきブロックの施工を行っている。

今回受注者より、直轄工事の現場で直接印刷施工する実証実験を行いたいと提案・協議があったことを受け、発注者が承諾したことにより本施工現場での実施をすることとなった。

本工事は電線共同溝の設置が主工事であるが、構造物復旧工として交差点部の歩車道境界ブロックの施工が含まれている。今回の実証実験ではコンクリート構造物の曲線部の施工性を部材別に比較するため、3箇所(1)の交差点部歩車道境界ブロックにおいて3Dプリンタを用いた施工を実施することとした。(図-4)本施工を実施するまでにあたっては、吉村建設工業株式会社および株式会社Polyuseで今回の現場条件に応じた施工についての検証を行い、施工する技術者向けに機器操作の導入研修が行われた。



図-4 工事場所と施工箇所位置

### 5. 施工内容

従来施工と比較を行うため、3箇所はそれぞれ異なる次の方法で施工を行った。(図-5)



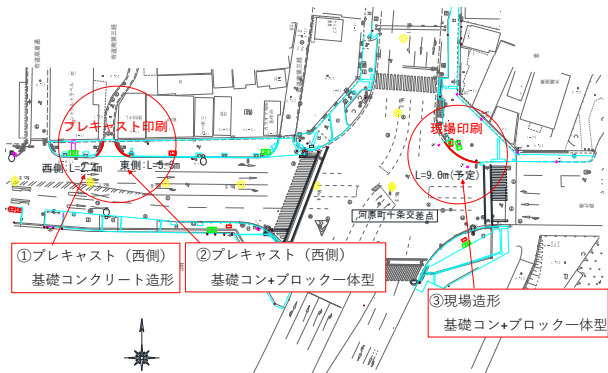


図-5 施工箇所と施工内容

- ① 資材置き場にて基礎コンクリートを3Dプリンタで事前に製作し、現場へ運搬し設置。その後プレキャストの歩車道境界ブロックを据付。
- ② 資材置き場にて基礎コンクリート一体型の歩車道境界ブロックを3Dプリンタで事前に製作し、現場へ運搬し据付。
- ③ 施工現場に3Dプリンタを設置し、基礎コンクリート一体型の歩車道境界ブロックを現地へ直接印刷製施工し据付。

施工前の事前準備として、①～③のいずれも3DCADでの設計が必要であるため、2D設計図面を3D設計図面へ編集・変換を行った。また③においては、現地で所定の位置に基礎コンクリートと一体型の歩車道境界ブロックを直接製作することが必要なことから、施工現場で位置情報を与えるための測量作業によりプリンタの位置合わせを予め行っておくこととした。

施工フローについては図-6に示す通りである。

①従来工法では現地に基礎部を含むプレキャスト製品を搬入し、手作業で目地部の処理を行う方法を想定した。①の施工においては基礎コンクリート、②の施工においては基礎コンクリート一体型の歩車道境界ブロックを予め3Dプリンタで印刷を行うため、資材置き場に3Dプリンタを設置し、構造物を製作する。③の施工

では現地に3Dプリンタを搬入・設置し、直接構造物を印刷・据え付ける。

3Dプリンタで製作される構造物は、プリンタノズル（射出口）から射出されるモルタルセメントが層を重ねる形で造形される。製作した構造物は強度発現をさせるため養生を行う。仕上げとして、天端部、斜部、目地、接合点を左官コテで処理する。

次に使用する3Dプリンタについて述べる。Polyuse社製の3Dプリンタは、架台寸法の制約により造形できる構造物の最大大きさが決まっている。（表-1）今回の施工で必要な構造物を造形するには寸法が不足するため、構造物を分割（架台を移動）しての施工となった。①の施工では2分割（1回の架台移動）、②の施工では4分割（3回の架台移動）、③の施工では5分割（4回の架台移動）にて施工した。3Dプリンタの仕様については表-1、また使用機材については表-2の通りである。

表-1 3Dプリンタの仕様

機材名	規格・型式	台数	備考
3Dプリンタ	表-2参照	1	Polyuse社製 架台、制御盤を含む
タブレット端末		1	3Dプリンタ操作用
ミキシングポンプ	4MULTI MIX3P	1	MAI製
発電機	三相200V	1	25kVA
水タンク	200L	1	
3tユニック車		1	

表-2 使用機材一覧

外寸	最大	W4400mm × L4400mm × H3000mm
	最小	W1000mm × L1000mm × H800mm
造形可能空間	最大	W3750mm × L3750mm × H2400mm
	最小	W400mm × L400mm × H200mm
必要機材	制御盤、ミキシングポンプ、水タンク、電力源 ※詳細は表-1参照	
連続稼働時間	最大	8時間
	推奨	6時間
必要人員	2～3人 ※複数台の場合は最小1名の専任と複数台の監視員で運用可能	
印刷速度	30～200mm/sec ※造形する構造物に依存	
1日あたり最大印刷量	～1.5m <sup>3</sup> (3.15t)	

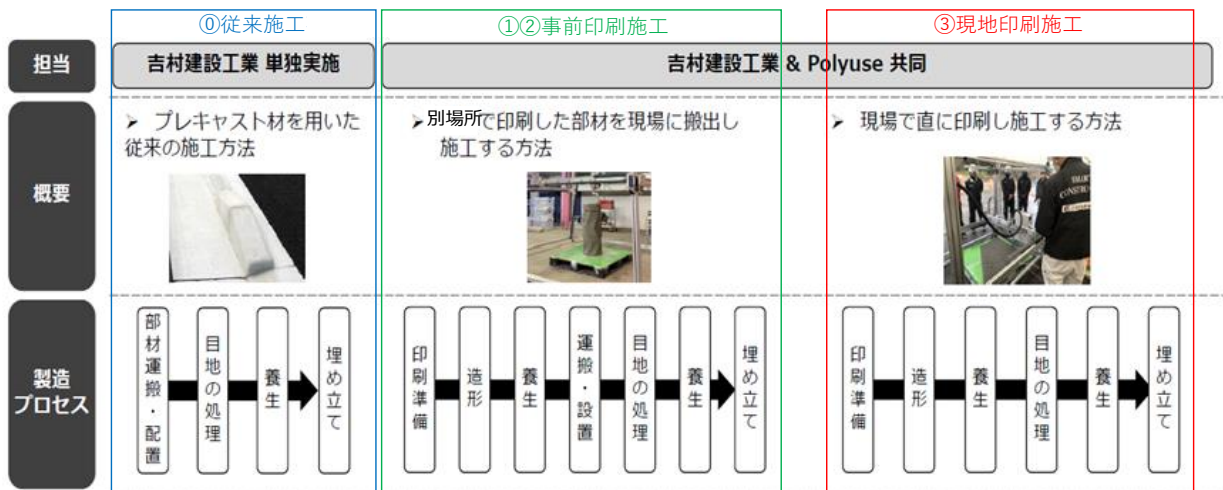


図-6 施工フロー

3Dプリンタで使用されるモルタルセメントは、通常仕様のものだと流動性が小さく射出ができなくなるため、ポリマーセメントモルタルに増粘性剤を配合したものを使用している。使用材料を表-3に示す。

表-3 使用材料一覧

材料品目	メーカー・製品名	荷姿	備考
プレミックスモルタル粉体	(株)Polyuse・POLYMO-HP	25 kg/袋	基本単体量 2100 kg/m <sup>3</sup>
練り混ぜ水	上水道水		基本単体量 210 kg/m <sup>3</sup>

今回施工における品質管理については、3Dプリンタで試験体を造形後、屋内で養生して28kN/m<sup>2</sup>（一般的な歩車道境界ブロックの製品強度）以上の強度が発現されることを確認した上で、現地施工に使用することとした。強度の確認方法としては積層試験体およびモールド供試体による圧縮強度試験を実施した。

出来形管理については、造形後及び左官コテ仕上げ後に1部材に1箇所以上と変化点で測定を行った。規格値については規定がないため、受発注者間で協議の結果、基礎工の土木施工管理基準に準じて設定した。



図-7 施工の様子

## 6. 施工における課題とその対応

施工にあたっては4. で述べた3Dプリンタを施工位置に設置する際に、プリンタのフレームやプリンタノズル（射出口）が施工物に干渉し、製作物を損なう懸念があった。これらについては一部のフレームを開口としたほか、ノズル部が製作物に接触しない程度の間隔を設けるよう架台を移動させたことで対応することができた。

また現地が傾斜しているため、架台移動による構造物の精度への影響に懸念はあったが、測量による念入りの位置合わせと、傾斜面とプリンタの角度を合わせることで対応した。

## 7. 施工結果

施工結果について、①従来施工と今回実施した①～③の施工方法を施工性とコスト性の面から取りまとめた。

### (1) 施工性

現地（設置箇所）での作業日数や作業内容で比較を行った。①従来施工では基礎砕石及び基礎コンクリートの施工により1日、その養生期間に2日、歩車道境界ブロックの製品設置のため1日を要するため、現地作業日数としては4日必要であり、養生期間中は構造物を保護するための仮設が必要になるなど現場管理にも影響が生じていた。また曲線部では広がった目地の間詰めも必要である。

これに対し①及び②の施工方法では予め基礎コンクリートを製作しておくことができるため、現地での施工は設置と①の場合は歩車道境界ブロックの製品据付のみで完了する。また左官によるコーキングは必要だが従来工法ほどの間詰め作業は不要となる。そのため現地作業に要するのは1日となり、①従来工法と比べ3日の作業日数短縮となる。さらに養生が不要な事から仮歩道の設置等も不要となる。

また③の施工方法では、基礎コンクリートと歩車道境界ブロックの製品の設置という点では同様に作業日数は1日となるが、位置情報を与えるための測量作業が必要となるため加えて1日、合計で2日の現地作業が必要となる。しかし今後測量作業と設定が一般化・簡易化されれば設置と同日の1日で現地作業を終える事も可能であると考えられる。

### (2) コスト性

トータルの作業コストとして①従来施工とそれぞれの工法での比較を行った。今回は①～③の施工毎に延長が異なるため一概の比較はできないが、①及び②の施工方法を従来工法と比較した場合と③の施工方法を従来工法と比較した場合で評価を行った。




今回の結果ではいずれの場合でも従来工法が一番安価であるという結果となった。これは人件費という点に着目してみると①～③の工法の方が従来工法の方と比較して作業人工が減らせるため安価となるが、3Dプリンタで造形するための材料費や製作費で高価となっている。しかしこの点については3Dプリンタによる造形技術の普及が進めば、材料費や製作費が一般化されていくため安価になり、今後は従来工法のコストを下回る可能性が十分にあると考えられる。また、国土交通省が検証を推進しているVfM(Value for Money)に基づいた手法により経済性を比較すれば活用される可能性は十分にあると考えられる。

### (3) 総合評価

(1)(2)を踏まえ総合的に評価すると、施工面では3Dプリンタを用いた施工方法の方が優位となり、コスト面では従来工法の方が優位となるため、現時点では①従来工法と①の工法とで同程度と評価を行った。しかし、今後



表-4 施工結果比較総合評価

施工方法	①従来施工		事前印刷施工		現地印刷施工			
			①基礎ブロックのみ3Dプリンタで作成	②基礎ブロック、歩車道境界ブロックを3Dプリンタで作成	③基礎ブロック、歩車道境界ブロックを3Dプリンタで作成			
現地施工日数 <small>※各施工方法とも掘削、砕石設置を含む</small>	4日 ×	基礎コンクリート設置：1日 養生：2日 歩車道境界ブロック設置：1日	1日 ○	造形基礎設置、歩車道境界ブロック設置：1日	1日 ○	基礎一体歩車道境界ブロック設置：1日	2日 △	プリンタ搬え付けのための測量：1日 基礎一体歩車道境界ブロック造形：1日
施工性	基礎コンクリート設置後の養生・仮設が必要 ○		設置後の養生が不要 ◎		設置後の養生が不要だが、現地状況により事前測量が必要 ○		プリンタ運搬・据え付けと事前の詳細測量が必要 △	
コスト性	従来通りの費用 ○		人件費は安価だが、材料費と製作費が高価 △		人件費は安価だが、材料費と製作費が高価 △		材料費と製作費が高価、測量にかかる人件費が増加 ×	
総合評価	○		○		△		×	
考察	養生期間中の仮設が必要 曲線部では広がった目地の間詰が必要		型枠が不要なため、二次製品にない特殊形状の構造物も作成が可能 施工日数・人工の削減につながっており、製作コストの低減が可能であれば十分に実用が可能				測量作業の簡易化が可能になれば施工日数・人工の削減につながる	
完成写真								

の技術開発・普及により測量作業の短縮、3Dプリンタの施工コストの安価化ができればその有用性は大きなものとなると想定される。(表4)

そして使用材料の開発と施工範囲の拡大によるコスト削減への取り組み、測量データに基づき3Dプリンタが自動走行できるシステムの構築を進めることで、誰でも使える建設用3Dプリンタの更なる需要拡大と普及を目指している。またその先に建設産業の課題解決を見据えている。

### 8. 3Dプリンタへの関心と今後の展望

今回の実証実験では③の施工現場に直接3Dプリンタで造形・印刷を行うにあたって、吉村建設工業株式会社の主催で事務所職員・現場技術員およびマスコミを対象とした見学会を開催した。合わせて、新型コロナウイルス感染症拡大防止の目的から人数制約を設けたため、株式会社PolyuseのYouTubeチャンネルにて配信も行われた。(図-8) マスコミ取材としては4紙の新聞社と地元テレビ局1社から取材申込があり、記事等に取り上げて頂くなど、建設用3Dプリンタへの関心の高さがうかがえた。

建設用3Dプリンタの開発について、今回の現地での実証実験での結果を基に、吉村建設工業株式会社と株式会社Polyuseは引き続き共同開発に取り組む予定とのことである。また、本工事終了後も、中部地方整備局や中国地方整備局、高知県や山形県でもあらゆる実証実験を行っていく予定とのことである。合わせて材料についても、2023年4月時点では従来施工に耐える品質で材料コストを大きく抑えた配合の開発が進められている。

今後の展望としては、ソフトウェアおよびマシンのブラッシュアップによる更なる精度向上と施工性の向上、



図-8 現場見学会のようす

### 9. おわりに

今回の実証実験では、施工に当たっては拘束日数や人工の削減という点で、施工の効率化や職場環境改善に寄与できることが示された。また、建設用3Dプリンタと

いう建設業界では異分野の技術導入により、これまで建設業界と接点がなかった業界の新規参入がおきること、特殊な技能を持たなくても誰でも取り扱える技術となることから、担い手不足や若手技術者離れといった課題解決へのきっかけとなることが十分考えられる。

これまでの建設業でのノウハウに加え、異分野の新技術・新工法の導入がこれからの建設業界を支えていく一つの大きな柱となることを十分認識する必要があるとともに、発注者・受注者・関連業者が一丸となってそのような取り組みや技術導入を精力的に行っていかなければならない。

謝辞：今回建設用3Dプリンタを用いた実証実験を提案から施工、また各種資料提供して頂いた吉村建設工業株式会社および株式会社Polyuseのみなさま、そして本論文

作成にあたりご鞭撻頂いた近畿地方整備局京都国道事務所のみなさまに感謝申し上げます。

#### 出典・参考文献

- 1)近畿地方整備局：建設業を取り巻く最近の話題
- 2)近畿地方整備局京都国道事務所：インフラ DX 通信 13 号 4 月号 (2023 年 4 月 27 日)
- 3)近畿地方整備局京都国道事務所：国道 24 号河原町十条地区電線共同溝工事工事成果品
- 4) 吉村建設工業株式会社：3D プリンター施工の開発状況とこれからについて
- 5) 株式会社 Polyuse：2022 年 7 月 歩車道境界ブロック施工
- 6)国土地理院：地理院地図
- 7)財団法人 日本経済研究所：VFM の把握と評価の手引き (<https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/policy/pfi/h15seminar/hikkeiken.pdf>)

# 淀川河川事務所における インフラDXへの取り組みについて

今吉 紘頌<sup>1</sup>・山岡 晋<sup>2</sup>

<sup>1</sup>近畿地方整備局 和歌山河川国道事務所 流域治水課 (〒640-8227和歌山県和歌山市西汀丁16)

<sup>2</sup>近畿地方整備局 淀川河川事務所 沿川整備課 (〒573-1191大阪府枚方市新町2-2-10)

インフラDX（インフラデジタルトランスフォーメーション）は、インフラ分野において、データとデジタル技術を活用して国民のニーズを基に社会資本や公共サービスを変革すると共に、業務そのものや、組織、プロセス、建設業や国土交通省の文化・風土や働き方を変革し、インフラへの国民理解を促進すると共に、安全・安心で豊かな生活を実現させることを目的としている。淀川河川事務所では、淀川大堰開門事業の調査設計から施工までの一連をBIM/CIMを活用して貫徹した事例である。

そこで本稿では、施工にあたってどのようにインフラDXが活用されているか、また、その一環としてオープンした淀川インフラDX推進センターについて、施工業者や来場者へのヒアリング結果をもとに、事例の紹介ならびにBIM/CIMの導入にあたって得られる効果や課題をとりまとめたため報告する。

キーワード インフラDX, 生産性向上, 効率化

## 1. 序論

建設業において、BIM/CIMの活用などのインフラDXの取り組みを進めることにより設計、施工、維持・管理など様々な場面において生産性を向上させることで、働き手不足などによる1人1人への負担を緩和させるといった働き方改革を推進している。

国土交通省では、令和5年度までの小規模を除く全ての公共事業においてBIM/CIM原則適用に向け、段階的に適用の拡大を図っている。令和4年度は小規模構造物を除く全ての詳細設計、及び大規模構造物の工事で原則適用している<sup>1</sup>。淀川河川事務所においても、淀川大堰開門事業において、BIM/CIMを用いた設計、施工を実施している。

淀川大堰開門事業は災害時の舟運を利用した物資輸送や災害復旧等での活用、公共事業での活用、また大阪から京都までの航路がつながることで、舟運の利用による淀川沿川自治体のにぎわいづくりや、2025年大阪・関西万博の会場である夢洲までの航路としての活用が期待されている事業であり、令和3年度から着手し、2025年大阪・関西万博までの竣工を目指し事業を進めている。

(図1, 図2)

一方で、施工箇所は狭隘で、工程上や施工上さまざまな制約があり、これらの課題を克服しながら事業を進め

る必要がある。本事業ではBIM/CIMを活用し目的に応じた3次元データの利活用を図ることで、事業全体にわたる関係者間の情報共有を容易にし、一連の建設生産システムの効率化・高度化を目指すことで、課題を克服しな



図1 淀川大堰開門事業概要-1

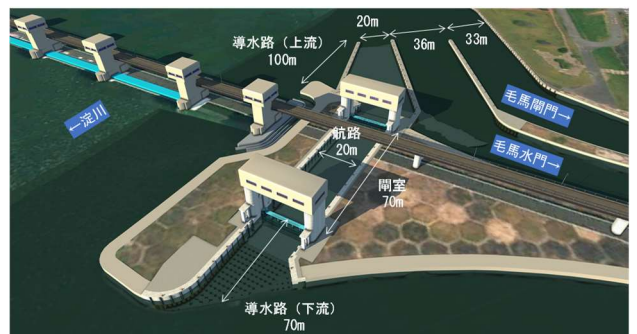


図2 淀川大堰開門事業概要-2  
(完成イメージパース)



から事業を進めている。

本稿では、淀川大堰閘門事業の施工にあたってどのようにインフラDXが活用されているか、また、その一環としてオープンした淀川インフラDX推進センターについて、施工業者や来場者へのヒアリング結果をもとに、事例の紹介ならびにBIM/CIMの導入にあたって得られる効果や課題についてとりまとめた。

## 2. 淀川大堰閘門での現場施工における取り組み

### 2-1. 設計照査

設計を行った際、その内容について照査を実施する必要がある。従来は2次元図面により照査を実施していたため、熟練の技術者による作業が必要であった。そこで、本事業においてはインフラDXを用いて、従来よりも照査を容易化することで、昨今の技術者不足へ対応した。下記に具体例を示す。

設計成果をもとに3Dモデルを作成し、**図3**のとおり作成した各配筋図をNavisworksに取り込む事で、立体的に照査（鉄筋及び構造物の干渉・数量チェック）を実施でき、従来よりも各躯体間の干渉チェックが容易となった。（ex：閘門堰柱と床版）

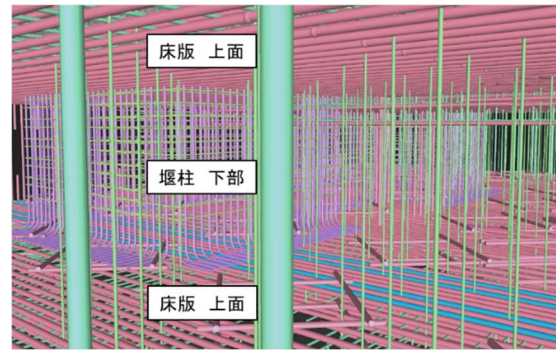


図3 3Dモデルを用いた配筋の干渉チェック

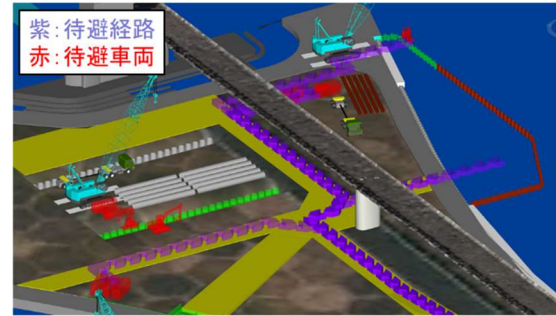


図4 出水時の待避計画

### 2-2. 施工計画

本工事は河川内工事であり、出水時の待避計画について施工計画内に示す必要がある。そこで出水時の退避経路策定にあたって、BIM/CIMモデルを用いて**図4**のように固定堰上にある重機や資材を、最短かつ効率的に安全区域に待避させる搬出順序・ルートを可視化した。それにより、受発注者間での円滑な待避計画の策定に寄与することとなった。

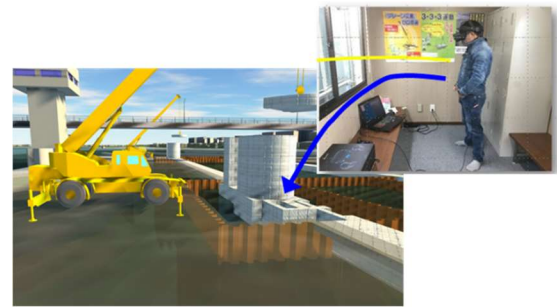


図5 VRによる安全教育

### 2-3. 安全教育

事業者は、労働安全衛生法にもとづき、労働者に安全教育を実施する必要がある。本事業ではインフラDXを用いた安全教育を実施した。従来の安全教育では、口頭や紙資料を用いた実施が一般的であったが、本事業ではBIM/CIMモデル内で、当該現場ならではの危険箇所を抽出し、それを**図5**のようにVR（仮想現実）内で可視化することにより、実際と同様の体験を安全に実施している。

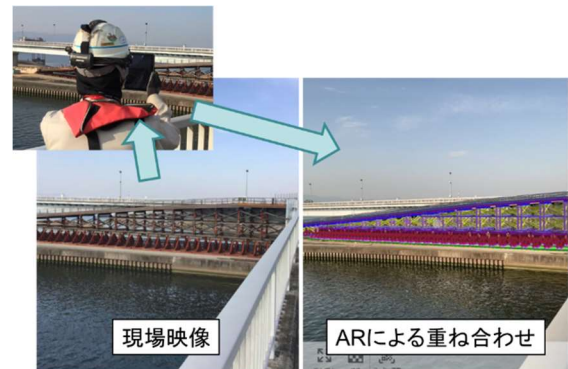


図6 ARを用いた遠隔臨場

### 2-4. 遠隔臨場

昨今の社会情勢の変化に伴い、工事において遠隔臨場を実施する機会が増えているが、本事業ではその更なる進化として、AR（拡張現実）を用いた遠隔臨場を実施している（**図6**）。ARを用いることで、立会対象をわ

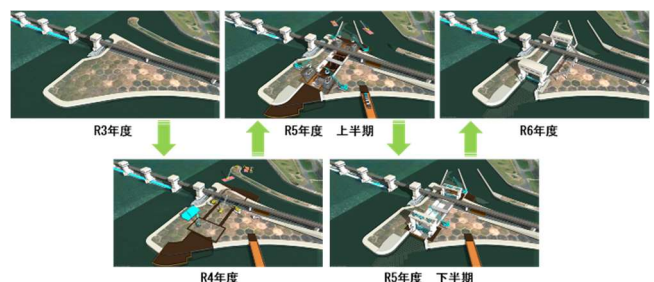


図7 4Dモデルを用いた施工工程イメージ

かりやすく表現し、設計図面と比較しやすくなることで、効率的な立会確認を実施することができた。

## 2-5. 施工管理

土木工事において、工事工程や予算などを適切に把握するため、施工管理は非常に重要な業務である。

4Dモデルとは図7のように3Dで表示したモデルを時間経過ごとに表現することで、各工程上での完了状況やヤードの調整状況などを視覚的に確認することができるものである。

本事業において4Dモデルを用いることで、発注者、設計業者、施工業者の三者間ですれ違いのない意思疎通を行うことが可能となっている。

## 3. 淀川インフラDX推進センターを活用した現場でのDXの発信の取り組み

### 3-1. 施設紹介

淀川インフラDX推進センターは、淀川大堰開門事業を始めとしたインフラDXへの取り組みを紹介するため、令和4年12月1日にオープンした施設であり、事前予約制としている。(図8)

1階には15人規模の研修室とVR体験ルーム、2階には淀川大堰開門事業や建設業界のインフラDXへの取り組みを展示しているスペースがあり、屋上からは完成後の淀川大堰開門を、タブレットを用いたARで体験することができる。

本施設における研修は淀川河川事務所の若手職員が講師となることにより、職員自身もインフラDXへの理解を深めることも目的としている。

令和5年4月時点での来場者数は図9のとおりである。来場者の内訳は約4割が国交省職員であり、その他には自治体、コンサル、ゼネコン、学校・教育機関等が続いている。

## 3-2. 活用事例

図10に示すように、現在は産学官を対象にBIM/CIMモデルを活用した事業の一例として、淀川大堰開門事業においてどのようにインフラDXが用いられているか、BIM/CIMモデルの活用事例等の説明(①)を行った後に、展示を通してインフラDXを体験するといった流れで研修を実施している。

1階のVR体験ルームでは、BIM/CIMモデルから作られた淀川大堰開門の通過体験が可能であり、開門とはどの

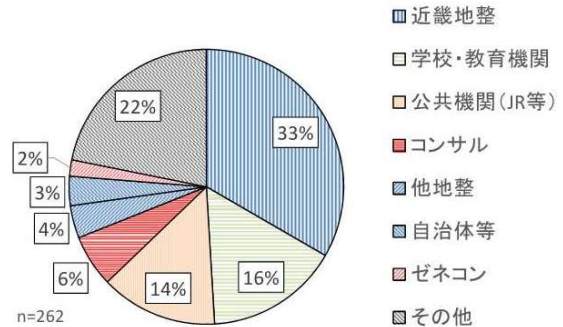


図9 インフラDX推進センター来場者内訳



図10 活用事例の様子

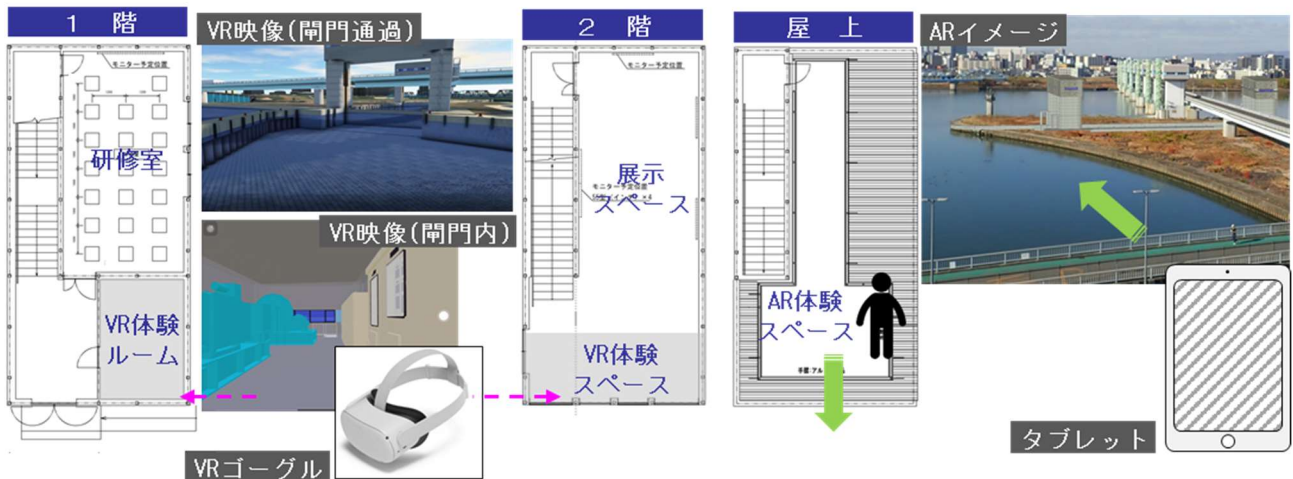


図8 淀川インフラDX推進センター

ような役割を持つ施設か、どのような機会にVRを用いた体験が有効か等を想像するきっかけになると考えられる。(2)

2階では企業のインフラDXの取り組みの事例について学ぶことができる。また、実際にBIM/CIMモデルに触る事もでき、R5年度からの小規模構造物を除く全ての詳細設計、工事におけるBIM/CIMモデルの原則適応に向けて、操作方法や特性を学ぶ機会となると考えられる。

(3)

屋上からは淀川大堰閘門の現場を見る事ができる他、タブレットのARアプリを用いて、BIM/CIMモデルから作成された淀川大堰閘門の完成形を画面越しに確認する事ができる。(4)

### 3-3. 来場者の意見

以下に来場者からの意見を一部紹介する。

- ・BIM/CIM というインフラDX の具体的な事例を知ることができて良かった。インフラDXを見て体験できる施設なので、関係者だけでなく学生や一般の方にも広く利用できるようになると良いと感じた。(地方自治体)
- ・現場との距離が非常に近く、インフラDXと実際の現場のどちらも体験できる貴重な施設だと感じた。(地方自治体)
- ・時間軸を踏まえた施工計画書の確認については、建設工事における最新のモデルケースの一つであり、今後詳細について学んでいきたい。(建設コンサルタント)

来場者からの意見で最も多かったものは『インフラDXを実際に体験し、具体的なイメージをつかむことができた』といった趣旨のものであり、官民の人材育成確保を目的とした淀川インフラDX推進センターとしては、一定の効果が見られた。

### 3-4. 今後の展開

前述のとおり、主に行政関係者やコンサルタント関係者の研修の場として利用している淀川インフラDX推進センターであるが、今後インフラDXへの取り組みをより広く発信する取り組みが必要だと考えられる。

例えば一般開放への取り組みを考えた場合、現状の予約制かつ職員による案内対応から、無人又は少数で展示の説明が可能なレイアウトを考案することや、民間業者

へ外部委託することなどが考えられるが、今後の展示内容や予算の観点から慎重に検討する必要がある。

## 4. まとめ

本稿では、淀川河川事務所におけるインフラDXへの取り組みについて、淀川大堰閘門事業を例とした実際に活用事例を紹介した。

国土交通省では、令和5年度以降全ての公共事業を対象に、原則としてBIM/CIMを適用することとしており、本事業におけるBIM/CIM活用では、その基礎となりうる知見が得られた。本事業は令和7年度の大阪・関西万博開催までの完了<sup>2)</sup>を目指し、令和5年度現在も実施中であるため、今後のBIM/CIM活用において更なる知見が得られることも期待される。

また、淀川インフラDX推進センターでは、官民の人材育成確保といった目的に対して、一定の効果が見られており、今後更なる活用が望まれる。

## 5. 今後の方針

現在も淀川大堰閘門事業は継続中であり、今後予定しているコンクリート打設においてインフラDXを活用したコンクリート工の品質と生産性の向上や、現在実施中の土木工事に加え、機械・電気・管理橋等の施工も行うため、BIM/CIMを用いた各工事の調整、淀川インフラDX推進センターの普及促進に向けた検討等を行う予定である。

## 6. 謝辞

最後に、本稿の執筆にあたって活用事例の資料提供等に御協力いただいた大勢の皆様には謝意を表す。

## 7. 参考文献

- 1) 国土交通省 BIM/CIM推進委員会 (2022) : 第7回 BIM/CIM推進委員会 会議資料。
- 2) 国土交通省 近畿地方整備局 (2021) : 淀川大堰閘門の整備に令和3年度から新規着手します、記者発表資料。

※本稿は著者が淀川河川事務所沿川整備課所属時の業務内容である。



# 4Dモデルを活用した流水型ダム工事の 関係者間調整の効率化について

尼丁 勇輝<sup>1</sup>

<sup>1</sup>近畿地方整備局 足羽川ダム工事事務所 工務課 (〒918-8239福井県福井市成和1丁目2111)

流水型ダムとして建設中の足羽川ダムでは、堤体低標高部に3種類の放流設備を設置する。放流設備は2022年度冬から据付を行っているが、ダム堤体のコンクリート打設と放流設備工事が輻輳することが想定された。放流設備の据付は異なる施工者により行うため、事業の円滑な進捗を図るためには関係者間での工程の調整が重要となる。そこで、3DのCIMモデルに時間軸を加えた「4Dモデル」を作成し、日単位での施工状況を事前にシミュレートすることにより、関係者間との調整の効率化を図った。本稿では、4Dモデルの概要と活用状況を報告するとともに、今後の施工調整及び更なる関係者間調整の効率化を進めていくための方法について考察する。

キーワード 4Dモデル、流水型ダム、施工調整

## 1. はじめに

### (1) 足羽川ダム建設事業の概要

足羽川ダムは、九頭竜川水系足羽川の支川部子川（福井県今立郡池田町小畑地先）（図-1）に建設する高さ96m、総貯水容量28,700千 $m^3$ 、有効貯水容量（洪水調節容量）28,200千 $m^3$ の重力式コンクリートダムである。下流地域の洪水被害軽減を目的としており、平常時は水を貯留しない洪水調節専用の流水型ダムである。

足羽川ダム建設事業は、河川整備計画期間内に整備する足羽川ダム本体及び水海川導水施設（分水堰・導水トンネル）をⅠ期事業として現在工事中である。また、将来計画（Ⅱ期事業）として、足羽川、割谷川及び赤谷川から洪水を導水する計画である（図-2）。



図-2 足羽川ダム計画平面図



図-1 足羽川ダム位置図



写真-1 ダム本体工事進捗状況写真（2023年4月時点）

2023年4月時点の事業進捗状況としては、ダム本体は堤体打設を3m完了しており、河床部放流設備の据付を行っている（写真-1）。導水トンネルは約72.0%の掘削が完了している。

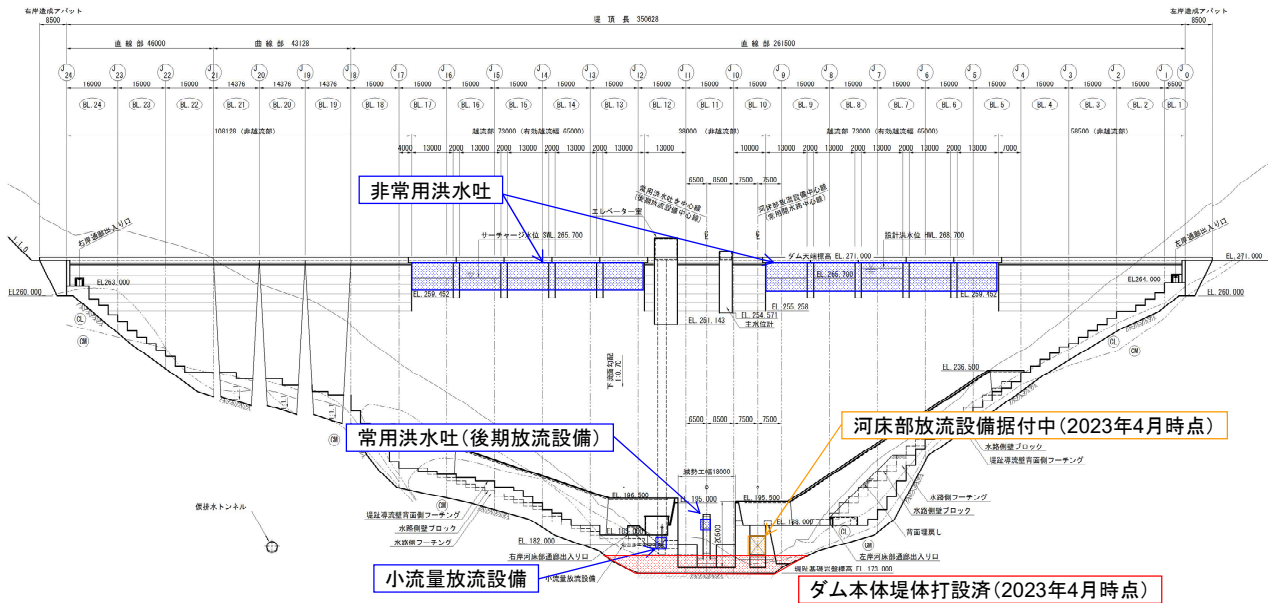


図-3 放流設備位置図(堤体下流面図)

(2) 足羽川ダム放流設備の概要

足羽川ダムの洪水吐は、洪水調節機能に加え、流水型ダムであるため、現況河道の機能を維持することが求められることから、「河床部放流設備」、「常用洪水吐(後期放流設備)」及び「非常用洪水吐」を設置する。また、洪水調節中の維持流量の確保及び後期放流開始直後の下流河道の急激な水位上昇を抑制する「小流量放流設備」を設置する。(図-3)

足羽川ダムは流水型ダムでは数少ないゲートを有する構造としている。下流の基準地点において必要な洪水調節効果を発揮するため、河床部放流設備に設置されたゲートを全閉にすることにより全量カット操作を行う。

これらの放流設備のうち、3種類の放流設備(河床部放流設備、常用洪水吐、小流量放流設備)は堤体低標高部に同時期に設置されるため、ダム堤体のコンクリート打設と放流設備工事が輻輳する。

2. 4Dモデルの概要及び活用状況

(1) 4Dモデルの作成

ダム堤体のコンクリートは、堤体をいくつかのブロックに分割しリフトスケジュールという工程計画を作成し打設していくが、放流設備の据付との調整や打設の進捗状況にあわせて適宜リフトスケジュールを変更する必要がある。

当初のリフトスケジュールによる施工の状況を3次元で段階的に示すことが可能なダム本体の3Dモデルは作成されていたが(図-4)、リフトスケジュールの変更がある場合には手作業で3Dモデルを変更する必要があり、非常に手間のかかる状態であった。そのため、3Dモデル作成ツールの修正を行い、リフトスケジュールの変更に伴う3Dモデルの修正が容易となるようにした。

4Dモデルは、ダム本体の3Dモデルをもとに3種類の放流設備の施工者が作成した工程表及び3Dモデルを統合し、作成した。4Dモデルの作成にはAutoDesk社の「NavisWorks」を使用し、Excelに打ち込んだ工程表を取り込み4Dモデルを構築できる環境を整備した。ダム本体及び3種類の放流設備の施工者が作成した3Dモデルのソフトウェアが異なるため、互換性を持たせるための4Dモデル作成の環境整備には約2カ月を要したが、この環境整備により4Dモデルの作成・修正が可能となった。4Dモデルの作成フローを図-5に、各段階で使用したソフトを表-1に示す。



図-4 足羽川ダム本体3Dモデル

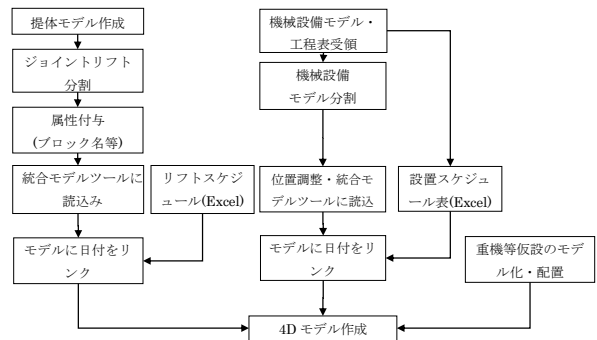


図-5 4Dモデル作成フロー



表-1 使用ソフトウェア一覧

作業内容	使用したソフトウェア
堤体モデル作成	Civil3D*1
ブロック別・リフト別分割	AutoCAD VBA*1
属性情報付与	Dynamo *1
機械モデル作成	SolidWorks *2
機械モデル分割・位置調整	Civil3D *1
リフトスケジュール作成	Excel *3
4Dモデル作成	NavisWorks *1
日付設定	NavisWorks *1

\*1:AutoDesk社 \*2 SolidWorks社 \*3:Microsoft社

(2) 関係者間協議での4Dモデル活用

4Dモデルの作成により、ダム本体及び3種類の放流設備全体の工程と施工計画を、発注者・施工者（本体JV、放流設備3者）・設計コンサルタント（以降、各者と呼ぶ。）の全関係者が確認することが可能となった（図-6、図-7、図-8）。4Dモデルを活用することにより、各者が一堂に会する施工調整会議において、3次元化された重機等の配置を確認することができるため、輻輳する各工事の施工状況がイメージしやすくなり、各者で共通認識を持つことが容易となり、問題点の抽出やその対策についての議論を効率的に実施することが出来た。

一例として、4Dモデルの確認により、堤体のコンクリート打設と河床部放流設備据付のタイミングが施工計画画上合わず、放流設備が宙に浮いた状態になることが目にして分かる場合があった（図-9）。これは2D資料では確認が困難であり、その後本体JVと放流設備の施工者が調整を行い、放流設備の据付の時期をずらすことによる対策を効率的に調整することができた。

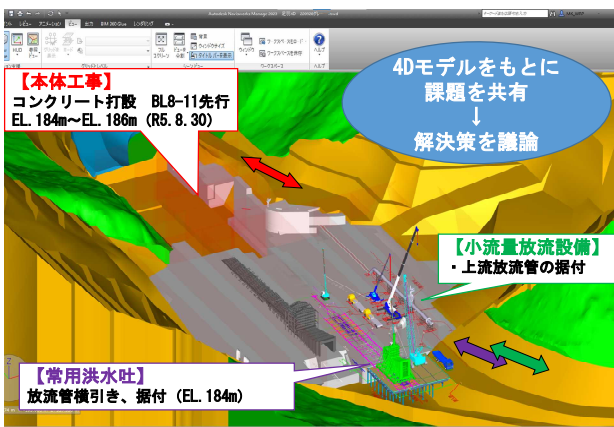


図-6 4Dモデルを用いた施工調整

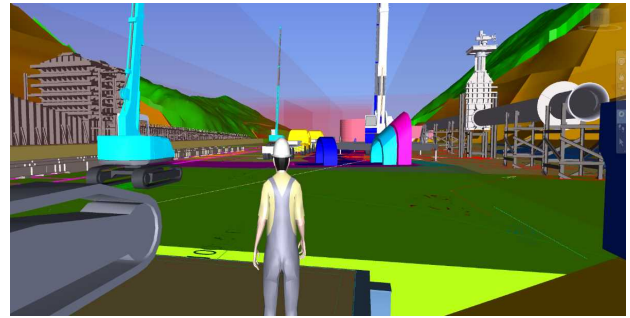


図-7 施工時の重機配置再現



図-8 施工調整会議の様子

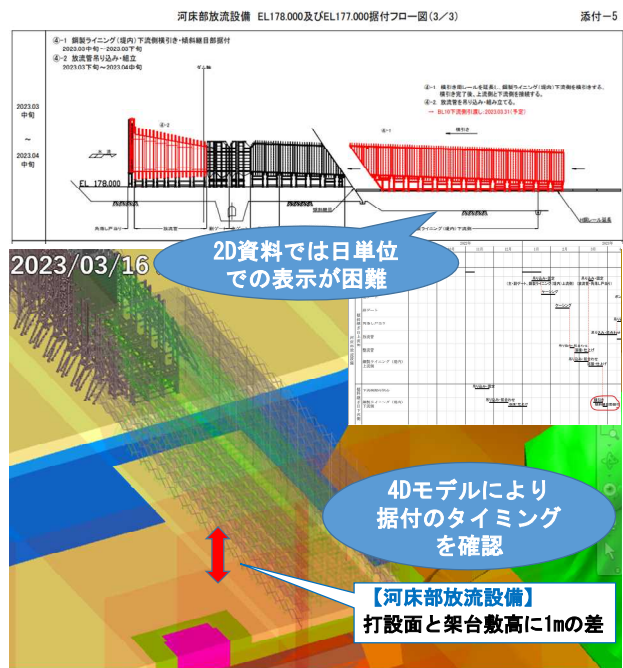


図-9 4Dモデルによる施工計画の問題点抽出の一例

(3) 情報共有システムを用いた4Dモデル共有

本稿で作成・活用した4DモデルのようなCIMモデルの作成には高性能のPC及び専用のソフトウェアが必要となるが、情報共有システム「KOLC+」を使用することにより、各者の情報共有を可能とした（図-10）。4Dモ



デルをKOLC+上で共有することにより、専用のソフトウェアを用いずにWEBブラウザを用いて4Dモデルを閲覧することが可能となった。

従来の2次元図面では、複数の図面を用いて説明する必要があり、熟練者でなければ意思疎通が図り難かった。一方、4Dモデルを共有することにより、施工の流れや構造についてダムを経験が浅い職員でも簡単にイメージすることが可能となるとともに、現場内の空きスペースの発見など、施工を確実・効率的に行うことが可能となるような新たな気づきにも繋がった。

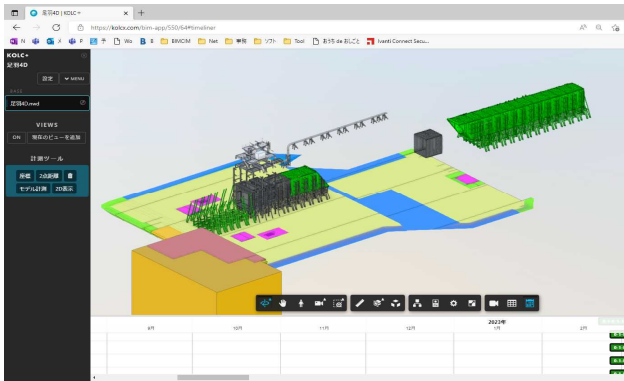


図-10 情報共有システムによる4Dモデル表示状況

#### (4) 4Dモデル活用における課題と対策の考察

4Dモデルを活用する以前は、関係者間協議から施工計画の確認・修正等の迅速な調整が困難であったが、4Dモデルを活用することによりそれが効率的になることが確認できた。

4Dモデルの作成については、各者異なるソフトウェアを使用し、それらを統合するための環境整備に2ヶ月を要したことが課題としてあげられる。そのため、CIMモデルの統合が容易となるようなマニュアル類の整備、ソフトウェアのさらなる汎用化など基盤整備が必要であると考えられる。

放流設備の施工計画については2D資料として作成されていたため、4D化し統合する必要があった。迅速な4Dモデルの作成・修正を行うためには、各者に4Dモデルの作成を義務付けたうえで、提出された4Dモデルを統合することにより、より簡易に施工計画の確認が可能となり、効率的な関係者間調整を行うことができるようになるものと考えられる。そのため、4Dモデル作成のマニュアルを整備し、各者で共用できる互換性の高い4Dモデルを作成することが可能となれば、全体モデルの統合がよりスムーズになるものと考えられる。

また、各重機については3Dモデルが存在しないため、類似した3Dモデルの購入若しくは作成を行い、その手間がかかった。そのため、重機を取扱うメーカーが3Dモデルを作成しておくことにより、それを施工者へ貸与することで、より円滑に4Dモデルを作成することが可

能となり、施工計画の作成や関係者間調整が効率化されるものとする。

### 3. 今後の4Dモデル活用について

今回紹介した4Dモデルを含むCIMデータから、動画やVRを作成し、新規入場した作業員への安全管理へ活用したり、監査廊やゲート室の堤内施設の空間スペースや作業性の確認を行うとともに、地域住民への説明や合意形成にも活用していきたい。

ダムの施工では掘削により地盤の形状が大きく変わるため、掘削の進捗にあわせて図面を適宜修正する必要がある。そこで、3次元測量により得られたデータを設計の4Dモデルに反映・更新することにより、コンクリートや型枠数量などの計算部分を自動化し、数量計算や積算にも反映することが可能になれば、業務の効率化に繋がるものと考えている。

今後、足羽川ダム関連事業の水海川分水施設でも4Dモデルを活用する予定である。水海川分水施設では、既設砂防堰堤撤去工事、分水堰工事、貯砂ダム工事、導水トンネル呑口工事、ゲート工事などが近接し、ダム本体工事以上に工事用進入路や作業スペースの確保等に調整が必要となる。そこで、水海川分水施設にも4Dモデルを活用した施工調整を行うことにより、ダム本体工事と同様に施工の確実性、安全性、生産性向上を図っていきたい。

### 4. まとめ

ダム本体工事と放流設備工事の関係者間調整の効率化を進めて行くために、足羽川ダム工事事務所では、各者の施工計画をもとに作成した4Dモデルを活用した関係者間調整を行い、施工計画等に関わる協議をスムーズに進めることが可能となった。

また、4Dモデルを活用することで、異動により担当者が変わっても施工ステップのイメージをいち早く持つことができるようになるなど、発注者側の業務の効率化にも繋がっている。

今後も4Dモデルを活用し、関係者間調整の効率化や円滑な施工に取り組むとともに、工事实績、試験データ等の反映を行い数量計算や積算の効率化を図りたいと考える。さらに、設計-施工-維持管理へと一貫して活用できるCIMモデルの展開へ向けて有効活用していきたい。

なお、本論文は従前の所属である足羽川ダム工事事務所工事課の所掌業務の内容である。

謝辞：本論文の執筆にあたり、参考資料の提供及び助言等いただきました関係者の皆様に感謝します。

# 海上地盤改良工事におけるBIM/CIM活用の研究

三枝 和貴 岩崎 嵩史<sup>1</sup>

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

国土交通省発注工事においてはBIM/CIMの活用を推進しており、各種基準類も整備されてきている。しかしながら、実務においてBIM/CIMを活用するにあたっては課題が多く、試行錯誤が続いている。特に地盤改良工事では構成要素数が多く、また構成要素毎に(杭1本ずつに)入力する属性情報項目数も多いため、3次元モデルの作成や属性情報の直接入力には多くの労力を要し生産性の向上に逆行する。ここではBIM/CIMの活用に関する新技術の適用により、施工性や出来形精度の向上に繋がる創意工夫事例について、その効果や課題等を検討した。

キーワード BIM/CIM, 3D位置決めシステム, 出来形の可視化, 属性自動付与

## 1. 港湾へのBIM/CIMの導入

BIM/CIMとは、計画、調査、設計段階から3次元モデルを導入することにより、その後の施工や維持管理においても3次元モデルを連携させて事業全体にわたる関係者間の情報共有を容易にし、一連の建設生産システムの効率化・高度化を図ることを目的としている。(図-1) 本工事では、「属性情報の付与」、「施工段階」においてBIM/CIMモデルを活用し、出来形管理や施工省力化による生産性の向上等に繋げることを目標にした。

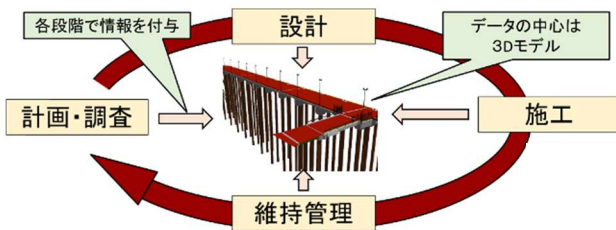


図-1 BIM/CIMの概念図

## 2. 施工場所の概要

### 2.1 背景

舞鶴港は、狭い入り江が複雑に組み、山で囲まれた地形である舞鶴湾に位置するため、静穏で潮位差が小さく、自然条件に恵まれた天然の良港として、古来は軍港として、戦後は商港として栄えてきた近畿圏唯一の日本海側に位置する重要港湾である。中国・韓国とを結ぶコンテナ航路、韓国・ロシアを結ぶ国際フェリー航路及び北海

道との内航フェリー航路があり、高い利便性を備えた港である。

舞鶴港西港地区では平成22年4月より5万トン級の貨物船が就航できる「舞鶴国際ふ頭」が供用を開始している。平成25年度からはコンテナ・バルク船が同時着岸するための岸壁(-14m)の70m延伸事業を実施し、ふ頭用地の整備、荷役機械の設置を含めた機能強化が平成30年5月に完了した。それ以降もコンテナ・バルク貨物ともに堅調に推移している。これらの貨物需要の増加に対応するため、令和3年度より第2バース及び港湾関連用地のII期整備の新規事業として和田地区岸壁(水深12m, 延長210m)に着手しており(図-2)、本工事はそれに伴う海上地盤改良工事としてサンドコンパクションパイル489本を施工した。



図-2 第2バース及びII期整備予定場所

## 2.2 工事概要

工事名：舞鶴港和田地区岸壁(-12m)地盤改良工事(第2工区)

発注者：国土交通省 近畿地方整備局  
舞鶴港湾事務所

受注者：東洋建設株式会社

工事場所：京都市舞鶴市和田埠頭地先

工期：自 令和4年3月23日

至 令和4年8月31日

工事数量

海上地盤改良工 489本

SCP① As=25%以上SCPφ1700L=14.3m 21本

SCP② As=50%以上SCPφ1700L=7.3m 120本

As=70%以上SCPφ2000L=5.5m

SCP③ As=70%以上SCPφ2000L=5.5m 60本

SCP④ As=25%以上SCPφ1700L=8.5m 63本

SCP⑤ As=70%以上SCPφ2000L=11.7m 225本

チェックボーリング 5本



図-3 工事場所

## 3. BIM/CIM技術の取り組み概要

従来、BIM/CIMモデルへの属性情報の付与は野帳等の紙に入力した出来形等のデータを手入力したり、電子データを1項目ずつに複製することを行っていたため、記入・入力ミスやデータ反映までに手間と時間がかかるなどの課題があった。本工事にて実施した2つのBIM/CIM新技術により、施工性や出来形精度の向上を目指す。

### 3.1 地盤改良施工支援システム「Tarpos 3D」

#### (a) 概要

本工事ではサンドコンパクション船の位置決めにおい

て、従来の2次元施工支援システムに加えて3次元での表示を可能にした「Tarpos3D」を活用した(NETIS番号KTK-200015-A)。

従来の2次元施工システムは平面の杭芯位置にSCP船のケーシング位置を合わせ、偏心の数値や平面表示でズレを確認するという形であったため、施工をする上での参考となる情報が限られており、オペレータの技量に頼る部分もあった。しかし、本システムではそれに加えて別画面で3次元表示をすることで、作業船位置・杭芯位置・海底地盤地形が可視化され、位置決めが容易となり、位置決め精度が向上する。オペレータの技量や経験による精度のブレが小さくなる等の効果が期待された(図-4,5)。多くの情報を視覚的に得られることで、ヒューマンエラーなどによる施工位置の間違い防止や海底地盤地形の状況に合わせての施工が可能になる。

また、3次元で作業船位置が分かることに加え、打設完了後の表示を曜日毎に色分けすることで、進捗状況が容易に把握できることから、現場職員・作業員の進捗管理を視覚的に補助することに繋がる。

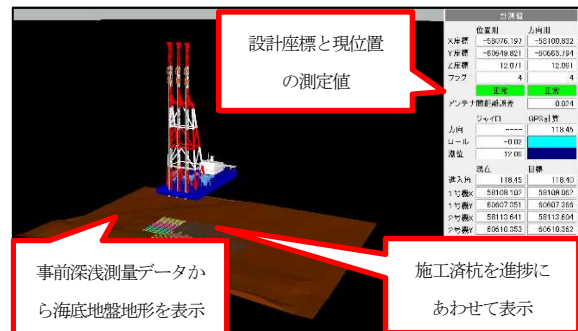


図-4 Tarpos 3D参考画面



図-5 Tarpos 3Dを利用した位置誘導

### 3.2 「BIM/CIM属性自動付与システム(SCP)」

#### (a) 概要

本工事では東洋建設が開発した「BIM/CIM属性自動付



与システム(SCP)」を活用し、施工管理を行った。

「属性自動付与システム」は杭1本1本について設計と施工によって得られた情報をもとに、属性が自動で付与された3次元モデル等として出力するというものである(図-6)。

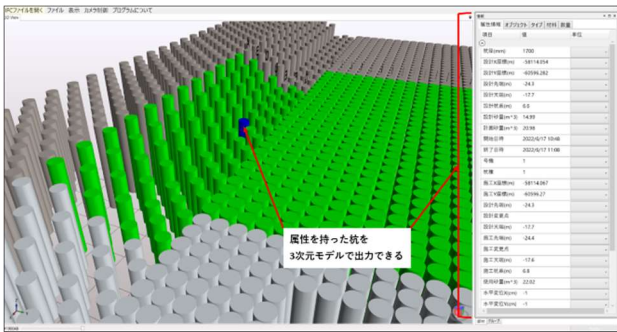


図-6 BIM/CIM3次元モデル成果物

このたび実施した「BIM/CIM属性自動付与システム(SCP)」の運用は、①作業船の各種計器の施工情報・打設記録を施工管理システムから抽出する。②施工情報をCSVファイルとして読み込ませ、システムを動かす。③出来形管理表、ヒストグラム、3次元CIMモデル等が成果物として出力される。という流れで行った(図-7)。

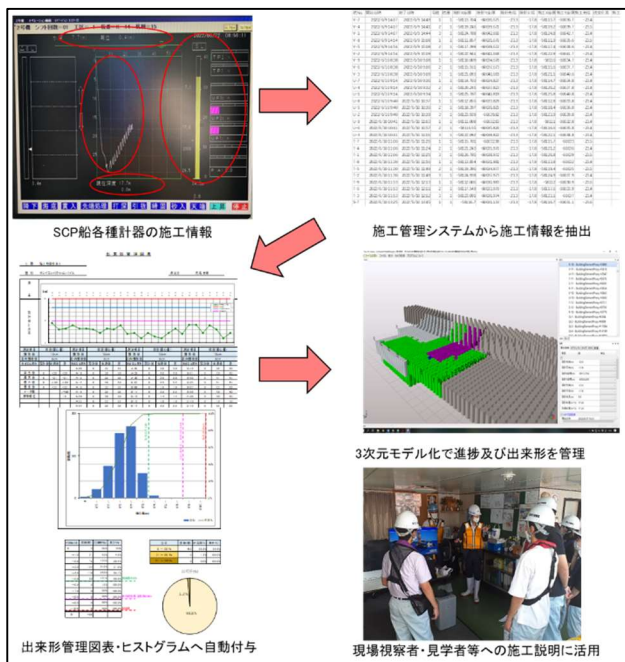


図-7 BIM/CIMシステム運用フロー

本システムにより、データ入力手間がなくなることで現場での施工管理に集中でき、出来形管理表等の書類作成時間を削減することに繋がった。さらに、共通CADモデルファイル形式であるIFCモデルへの自動着色機能により施工済みの杭が全て緑色であれば合格というように出来形検査において迅速な合否判定も可能となった。

また、本工事は舞鶴国際ふ頭付近での施工となるため、コンテナ船出入り時の作業区域との離隔も不安視されていたが、BIM/CIMモデルを用いて視覚的に港湾利用者へ

説明を行うことで理解していただくことができた(図-8)。さらに、作業手順周知会や施工打ち合わせでも説明資料として活用することで施工前に作業員全体に同じイメージを浸透させ、スムーズに施工に移ることができた。サンドコンパクションの施工を見たことがない学生等に対しても、VRゴーグルを用いてBIM/CIMモデルを確認することで、施工前の現場理解に繋がった。

加えて、現場視察や見学会等では実際には見ることのできない水中部分の杭の配列を3次元モデルで確認してもらうことで工事内容について理解を深めてもらうことができた。同様に竣工検査でも、出来形管理の一環として3次元モデルによって杭の高さ管理を視覚的に確認することができた。

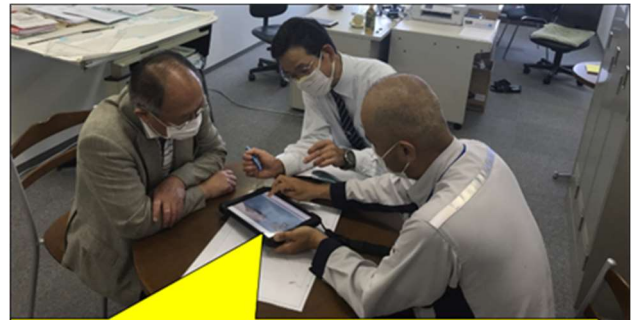


図-8 施工時のコンテナ船離隔説明状況

## 4. BIM/CIM技術の取り組み成果

### 4.1 地盤改良施工支援システム「Tapos 3D」

#### (b) 成果

##### ①効率性・生産性

3次元表示により、作業船位置や杭芯位置が可視化できることから、オペレータの技量や経験に関係なく容易に位置決めができるため、施工性の向上に繋がった。(前年度比較で約8%の効率アップ)

##### ②経済性

従来の2次元施工支援システムと本技術を併用しているため、システム費用としては約3百万円増加した。

##### ③安全性

作業船位置・杭芯位置・海底・地形状況等の情報が集約され、3次元として可視化できるようになったことから無駄な船体移動が減り、安全性が向上した。

##### ④耐久性

耐久性に関しては変化はない。

##### ⑤品質・出来形

3次元表示が可能となり、水平方向の視認性が向上することで、手戻りのない精度の高い誘導が可能とな

るため、出来形精度が向上した(図-9)。(前年度比較で出来形精度が約7%向上)

⑥周辺環境への影響

周辺環境への影響は変わらない。

⑦その他

3次元で作業船位置や進捗を表示することで、施工状況が容易に把握できることから、施工者・発注者の理解度が向上するとともに現場見学会等でも好評であった。

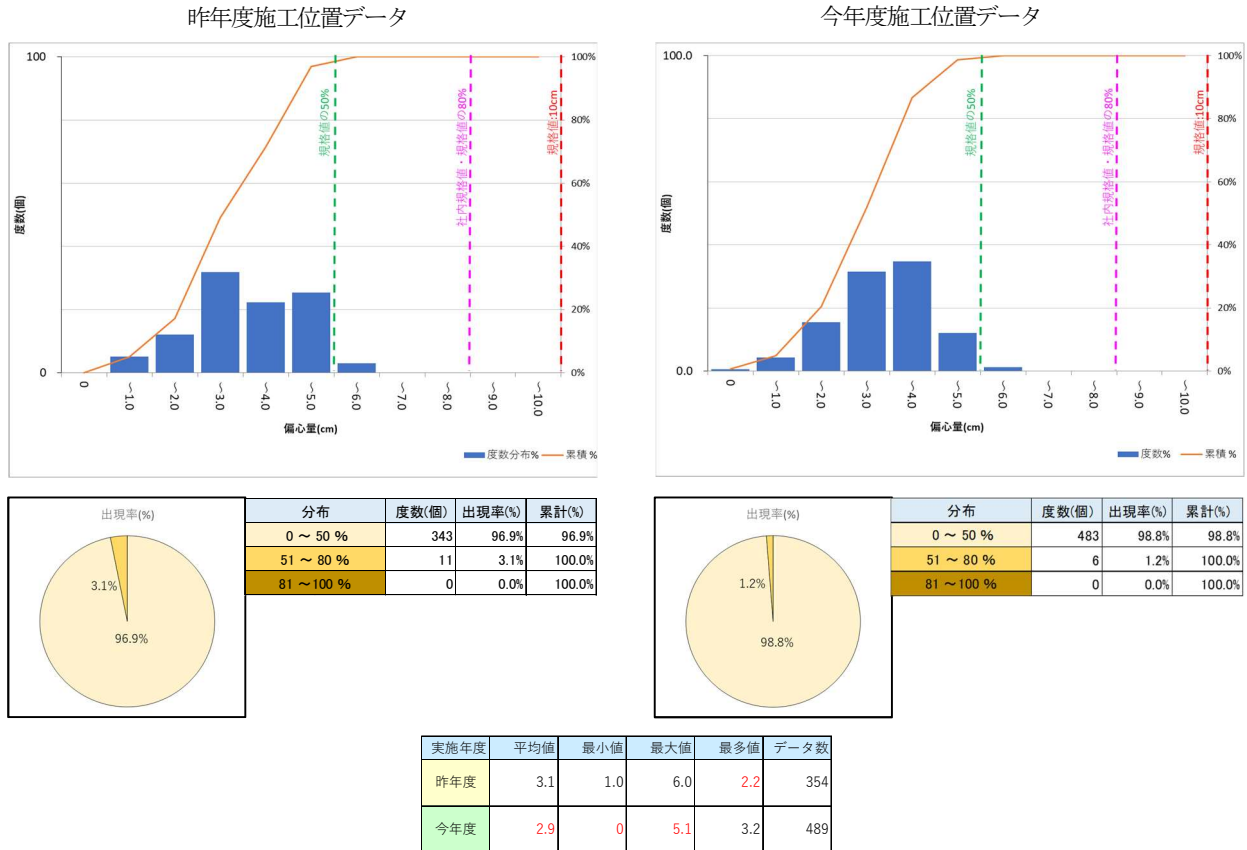


図-9 「Tarpos 3D」による杭芯誘導精度の向上

4.2 「BIM/CIM属性自動付与システム(SCP)」

(b)成果

①効率性・生産性

施工情報を施工管理システムから抽出し、BIM/CIMモデルに自動付与することで、管理表作成や整理に係る作業が省力され生産性が向上した。(前年度比較で約3日の工期省略化)

②経済性

BIM/CIM属性自動付与システム導入に伴う費用は約2百万円増加した。

③安全性

安全性に関しての影響はない。

④耐久性

耐久性に関しての変化はない。

⑤品質・出来形

施工済範囲や出来形精度が3次元で自動着色されることから管理が容易となり管理精度が向上した。杭番号の取り違いはゼロであった。

⑥周辺環境への影響

打設効率が上がり、周辺環境への影響が低減。

⑦その他

3次元で進捗や出来形が容易に把握できることから、現場見学会等の参加者にも理解しやすく好評であった。

## 5. BIM/CIM技術導入の課題

このたびの取り組みとして、地盤改良工事にて実施したBIM/CIM活用の事例を取り上げ学びましたが、特に属性情報付与について、市販ソフトウェアによるものは属性情報を付与した納品モデルのファイル形式が限定されるとともに契約者のみに利用が制限されるが、保守管理体制は整っており、即時に導入し活用できると感じた。ただ、BIM/CIM属性情報付与システムは、様々なBIM/CIMソフトウェアに対応できるIFCファイルが対象であるため汎用性は高いが独自開発であり一般販売がなく普及に至っていないのが課題であると考え。今後はBIM/CIM属性自動付与のバリエーションが揃い、Webアプリケーション上に実装されると、請負者がICT建機から出力される施工データを保存するだけでBIM/CIMモデルに属性が付与され、進捗図、グラフ、出来形管理表などが自動で出力できるようになる。このような取組が公的なデータプラットフォーム上で統合されることにより生産性が向上し、時間外労働削減への対応など現在建設業に課せられた多くの課題が解決することを期待したい。

## 6. 考察とまとめ

地盤改良施工支援システム「Tarpos 3D」については、目で見た時の認識のしやすさの向上が一番の特徴であると感じた。3次元で俯瞰的な視点から見ること、思わぬ間違い・見落としの防止につながり、より確実な施工を行う上では有用な役割を果たすと考える。

「BIM/CIM属性自動付与システム(SCP)」についても有用な取り組みであった。施工情報・打設記録のデータ整理や出来形管理表作成等の省力化の効果は十分あると感じた。施工に合わせてリアルタイムで3次元モデルが出力できるようになるので、BIM/CIM適用に十分応えられるシステムであると感じた。一方で、作業船機器とのシステム統合を行うのに時間がかかり、また、作業船所有会社によってシステムも変わることから運用にあたり事前に準備が必要であるなど課題はある。

また、「Tarpos 3D」と「BIM/CIM属性自動付与システム」は本来見えない不可視部分の見える化において大きな効果があると感じた。本工事においては、地盤改良本施工期間は約1カ月と短い期間であったが、現場見学会を5回実施するほど地元からも注目された工事であった。各見学会において、BIM/CIMモデルを用いて水中部の説明をすることで見学者の理解につながったと感じている。

**謝辞：**最後に、本論文を執筆するうえでご協力いただきました当工事の実施である東洋建設株式会社様に対し厚く御礼を申し上げます。





# ドローンを活用した上野遊水地巡視の 試行について

松本 壮央<sup>1</sup>・岡田 雄一郎<sup>2</sup>

<sup>1</sup>大和川河川事務所 王寺出張所 (〒636-0002 奈良県北葛城郡王寺町王寺1-13-8)

<sup>2</sup>木津川上流河川事務所 管理課 (〒518-0723 三重県名張市木屋町812-1)

木津川上流河川事務所では4つの遊水地を整備し、管理運用している。遊水地は平時において農地として利用され一般道も存在するため、出水時において遊水地に洪水が流入する前に職員等による車両巡視を行い、遊水地内に人がいる場合は退避を呼びかけている。遊水地運用に伴う水難事故防止のため、巡視の確実性が求められる一方で、巡視員の責任や負担は相当である。

そのような状況を改善すべく、確実な巡視と労力軽減を図るためドローンを活用した巡視の現地実証実験を行った。本稿では、ドローンを活用した上野遊水地巡視の実証実験結果及び今後の課題と展望について報告を行うものである。

キーワード ドローン, 省人化, 高度化, 遊水地, 遠隔監視

## 1. 現状と課題

国内の河川は3万以上ともいわれ、出水頻度の増加、経験豊富な技術者の高齢化、河川管理施設の老朽化といった様々な課題に直面している。木津川上流河川事務所では、これらの課題解決策の1つとして、巡視行為の無人化を目指した。河川管理における様々な巡視行為がある中、まずは上野遊水地における出水時巡視の省人化を目指して、ドローンを活用した巡視の実証実験を行った。

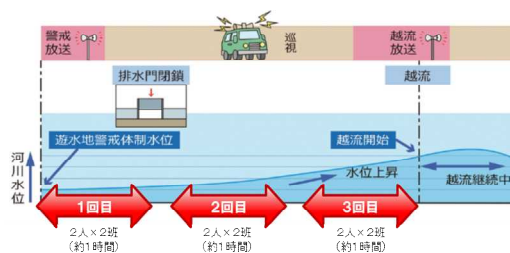
木津川上流河川事務所では長田遊水地（55.1ha）、木興遊水地（70.0ha）、新居遊水地（61.2ha）、小田遊水地（62.2ha）の計4つからなる上野遊水地（図-1）を整備している。普段は農地として利用され、一般道も存在するが、遊水地への越流が予想される場合は危険なため、退避を呼びかけている。

現行巡視は、冠水する遊水地内に残る人がいないか、越流が始まるまでに計3回、2人組の2班体制で車両巡視により目視確認している。（図-2）巡視員は、遊水地への越流が始まるまでの限られた時間の中で、自身の安全確保にも留意しながら、多くの人員と時間を割いている。また、限られた時間の中では、車両移動ができる一部の道路から見える範囲しか確認できない。特に夜間ともなると、一層確認できる範囲が限定的となっている。

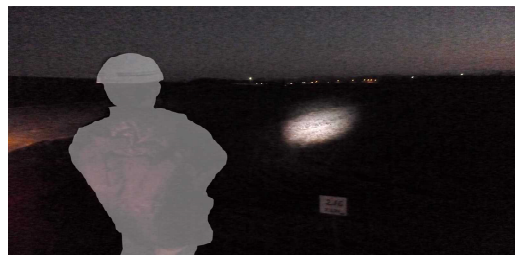
（写真-1）このように、上野遊水地の出水時巡視は、時間や体制が限られるなかでも確実な安全管理が求められる。



（図-1 上野遊水地）



（図-2 巡視スケジュール）



（写真-1 懐中電灯による出水時巡視）

これらの課題解決のため、カメラ搭載ドローン、赤外線カメラ、スピーカーを活用し、赤外線カメラの特性、最適な撮影方法、自律飛行の安全性ドローン遠隔監視の方法、避難勧告誘導方法の実証実験を行い、遊水地巡視の新たな選択肢になり得ることを確認した。(表-1)

(表-1 成果及び課題)

赤外線カメラ搭載ドローンの活用メリット	リアルタイム映像配信技術との連携メリット
<b>【効率化】</b> ✓ 機動性に優れ移動制限が少いため現行手法では約1時間だったのが、約30分で巡視ができる ✓ 巡視速度のアップにより遊水地内の網羅的な巡視ができる	<b>【効率化】</b> ✓ 複数の関係者による現場状況のリアルタイム共有ができる ✓ 集中管理センター等から地図上での指示ができ、現場での即時対応ができる
<b>【省人化】</b> ✓ 自律飛行は労力が少なく現行手法の半分の体制で巡視ができる ✓ 作業や移動が減り巡視員自身の安全を確保できる	<b>【省力化】</b> ✓ 複数の拠点から赤外線映像の判読支援が可能 ✓ 各拠点でリアルタイムな映像を共有できるため、帰還後の巡視結果の行内報告は最小限にできる
<b>【高度化】</b> ✓ 昼夜を問わず赤外線カメラの映像で人の発見確度が向上する(写真-2) ✓ SDカードにデータが保存されるため帰還後の検証も可能	<b>空中スピーカー放送のメリット</b> <b>【効率化】</b> ✓ 離れた場所からでも切迫度を伝えられる(写真-3)



**【今後の取り組み課題】**

- 実証実験から得た条件で実現象に近い環境下での試行飛行
- 飛行環境に左右されるため、経験不足による飛行は事故リスクが高まる。  
⇒ 安定した運用のため、課題の抽出・経験の蓄積・ノウハウが必要。
- 気象条件による巡視方法の選択ルールと代替手法の確立
- ドローンを操縦できる人材育成



(写真-2 可視カメラ(左)と赤外線カメラ(右)による画像の比較)

本稿では、2021年度の成果を基に、2022年度に実装を想定し出水時にドローン巡視実験を行った成果について報告するものである。

**2. 実験概要および実験結果**

**(1) 第1回実証実験**

**a) 課題**

昨年度の実証実験の課題として、以下の2点について、課題解決のため実験を行った。

- スピーカー搭載ドローン(写真-3)の耐風性能及び人(被写体)を発見した際のスピーカーを使った呼びかけ等、人発見時の対応方法の検証

- ドローン飛行が困難な気象条件時の効率的な代替巡視手法の検討



(写真-3 スピーカー搭載ドローン)

**b) 実験概要**

上記の課題を本番同様の巡視手順(写真-4)で確認し、運用上の課題確認のための実績を得る。また、ドローン飛行困難時の代替巡視手法を検証する。

実験内容は、スピーカー搭載ドローンの耐風性能の検証として、台風通過後の比較的風が強いタイミングで実施し、機体性能以下の強風時(7m/s以下)の条件下において、昨年度実証した撮影条件により赤外線画像を取得し、画像判読への影響を検証した。

次に、人(被写体)を発見した際のスピーカーを使った呼びかけ等、人発見時の対応方法の検証として、昨年度検証の飛行コースに、人発見時の対応(自動航行を停止し、ホバリング状態でスピーカーを使った呼びかけを実施)を加えて、バッテリー消費に伴う予定コースの残量や、一旦帰還する場合の所要時間等を検証した。

最後に、ドローン飛行困難時の効率的な代替巡視手法として、赤外線暗視スコープ等の複数の機器の判読距離を確認し、代替手法においても高度化を図れるよう検討した。



(写真-4 遠隔巡視の状況)

c) 実験結果

スピーカー搭載ドローンの耐風性能の検証としては、強風による影響を確認すべく、令和4年台風14号通過直後の比較的風が強い条件で4回の飛行巡視を実施した。

飛行可否は、前年度の実証実験で整理した運用手順(案)で規定する地上風速(7m/s以下)を目安に判断した。強風時(地上風速7m/s以下)では、機体は安定飛行可能で、赤外線画像の精度に影響は少ないことを確認した。(写真-5)



(写真-5 強風時の赤外線画像)

次に、人(被写体)を発見した際のスピーカーを使った呼びかけ等、人発見時の対応方法の検証としては、人(被写体)発見時に直ちに自律飛行を停止し、ホバリング状態でスピーカーを使った呼びかけが実施できることを確認した。人発見時の対応(本検証ではホバリング約1分間)により、バッテリー消費量が多くなり、予定飛行ルート全てを完了することができなかった(図-3)。また、現場巡視班が人を見落としした際に遠隔監視班が見落としを指摘した際の位置情報を共有することが難しいことが分かった。

さらに小田・新居コースの飛行において、離発着場所から最も距離が離れている新居遊水地東側の飛行時にプロポ映像伝送に不具合(電波干渉により時折映像が固まる)が確認された。



(図-3 ドローン飛行結果)

ドローン飛行が困難な気象条件時の効率的な代替巡視手法の検討としては、下記の機器を用いた場合の「人」判読可能範囲を確認した。(図-4)

種類	①LEDサーチライト	②赤外線暗視スコープ	③サーマル暗視スコープ	④サーモグラフィカメラ
仕様	使用光源：高輝度白色LED 明るさ：約75ルーメン/ 約1000ルクス(1m前 方) 防水性能：JIS IPX3 備考：飛行の巡視で使用の LEDサーチライト	単眼/双眼：単眼 解像度：1280×720 FOV：25°×13.5° 保護等級：IP67 ズーム：デジタルズーム3倍 備考：スマホ、タブレットに 無線接続可	単眼/双眼：単眼 解像度：320×240 FOV：2.24°×1.8° 保護等級：IP67 ズーム：デジタルズーム2倍 備考：リアルタイムにデモ出 力可	単眼/双眼：一 対画像解像度：640×480 FOV：24° 保護等級：IP54 ズーム：デジタルズーム8倍 備考：モニター、タブレット に接続可
写真				
映像 イメージ				
判読可能 距離	50m	150m	150m	360m

(図-4 代替手法に用いる検討機器一覧)

現行巡視で用いられている懐中電灯で人を判読できる範囲は約50mであり、巡視ルートに沿った範囲のみの確認となり、遊水地全体でみると判読できない面積が大きく、人を発見する上で確実性に課題がある。

人を判読できる範囲が約150mの赤外線暗視スコープ(写真-6)を用いた場合、判読できない面積は若干あるものの遊水地内を網羅的に確認することが可能となる。

人を判読できる範囲が約360mの赤外線暗視スコープを用いた場合、上野遊水地内全体を漏れなく確認することが可能となる。

人を判読できる範囲が約360mの赤外線暗視スコープを用いた効率的な遊水地巡視ルートを新たに設定することにより、2人×1班で現行巡視と同等の所要時間(約65分)で全遊水地の網羅的な巡視が可能となり、高度化と省人化を図ることが可能となる。(図-5)

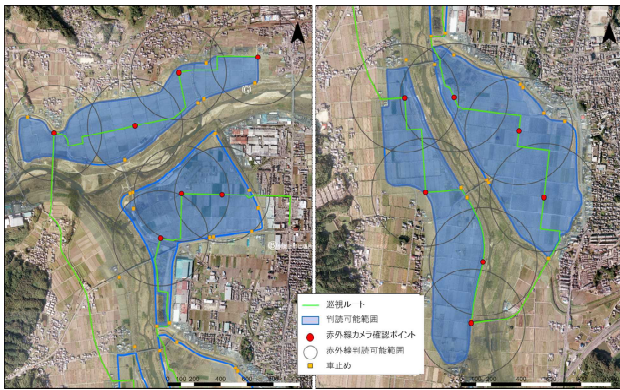




(写真-6 暗視スコープでの判読状況)



(図-6 離発着点変更)



(図-5 赤外線暗視スコープの確認範囲)

## (2)第2回実証実験

### a) 課題

第1回実証実験の課題として、以下の3点があり、その課題解決のため、第2回実験を行った。

- ・新居遊水地東側の飛行時にプロポ映像伝送に不具合（電波干渉）
- ・現場巡視班と遠隔監視班（集中管理センター）での円滑な場所の共有や指示方法の検討
- ・バッテリー消費量が多くなり予定飛行ルートが完了できなかった場合の対応

### b) 実験概要

第1回試行で確認された新居遊水地東側の飛行時プロポ映像伝送の不具合（電波干渉）を防止するため、出来る限り伝送距離が短くなるよう下図のとおり小田・新居巡視ルートの離発着場所を変更した。

(図-6)

次に現場巡視班と遠隔監視班（集中管理センター）での円滑な場所の共有や指示方法の検討の背景として、ドローン巡視の際の人発見時には、直ちに自動航行を停止し、マニュアル操作により対象者へ接近しスピーカーでの呼びかけを行う必要がある。しかし、現場巡視班は、ドローン操縦、離発着地点周辺の安全管理、ドローンの安全飛行確認およびモニターによる遊水地内の追い出し対象者の確認など多くの作業がある。特に雨天時等の気象条件によっては、遊水地内の人の見落としが発生することも懸念される。

そこで、現場巡視班が人を見落としてしまった場合でも、遠隔監視班（集中管理センター）からの確かな指示により、再確認等により漏れなく巡視が可能な体制を確保する必要がある。

第2回試行では、遠隔監視班とリアルタイムの飛行位置や映像を共有した上で、遊水地内の飛行ルートに番号を付与した図面（図-7）を用いて、トランシーバー等による現場との円滑な場所の共有と指示が可能か確認した。

また、バッテリー消費量が多くなり予定飛行ルートが完了できなかった場合の対応について検討した。

### c) 実験結果

新居遊水地東側の飛行時にプロポ映像伝送に不具合（電波干渉）としては、離発着場所の変更後の実証実験では、新居遊水地東側の飛行時でもプロポ映像は安定し、不具合（電波干渉）は解消された。

現場巡視班と遠隔監視班（集中管理センター）での円滑な場所の共有や指示方法の検討としては、遊水地内の飛行ルートに番号を付与した図面により、リアルタイムの飛行位置の共有と再確認が必要な場所の遠隔指示を円滑に実施でき、人の見落としした場合の補完が可能であることを確認した。

(写真-7) ただし、第1回試行時と同様に人発見時対応により、バッテリー消費量が多くなり、予定飛行ルートを実行できなかった結果となった。



(図-7 番号を付与した図面)



(写真-7 遠隔指示)

効率的な残コースの巡視方法として、2回の実証実験でのドローン巡視にかかる所要時間より、残コースが2コース以上の場合にはドローンによる再フライト（バッテリー交換時間含む）、1コースのみの場合はドローン運搬車両を用いた車両巡視の方が効率的であることが分かった。

### 3. 考察

実装を想定した出水時のドローンを活用した実証実験では、人（被写体）を発見した際のスピーカーを使った呼びかけ、人発見時のホバリングの有効性、遠隔指示を円滑に実施できることを確認出来、ドローンによる遊水

地巡視にかかる技術的な課題は解消された。

また、ドローン飛行困難時の代替巡視手法として赤外線暗視スコープが有効なことがわかった。

ドローン巡視により省人化・効率化・高度化が可能な一方で、実装に向けた体制づくりが今後の課題となる。

## 4. 今後の課題と展望

### (1) 今後の課題

本研究で検討した結果、技術的な運用は可能になった一方、今後は以下の二つの課題に取り組んでいく必要がある。

一つは、機材の確保である。政府機関等における無人航空機の調達においてはサイバーセキュリティ上のリスクの観点から外国産ドローンの調達が難しい状況にある。

もう一つは、ドローンを操縦する人材の確保である。当事務所の職員で操縦を想定した場合、異動等により継続的な操縦者の育成と機材の確保が課題となる。

### (2) 展望

実装に向けた体制づくりとして、機材を保有し、上野遊水地の出水時に参集可能な操縦者を確保できる協力者をサウンディングしていくことになる。

サウンディングを行うための最初の一手として、これまでの実証実験の成果を広く広報し、木津川上流河川事務所がどのようなニーズを抱えているか様々な業態の企業等に知ってもらうことが必要だと考えている。広報の第1弾として、三重県内の測量業に携わる方が多く参加される技術セミナーにおいて、取り組み紹介を令和5年5月に実施予定である。これらの広報を進めた上で、体制を確保する方法（災害協定や公募等）について検討していく。

※本稿は著者の前所属である近畿地方整備局木津川上流河川事務所における所掌内容を取りまとめたものである。

謝辞：本論文作成にあたり多大なる御協力を頂きました皆様に心から感謝申し上げます。

### 関連論文

2022年度 「ドローンを活用した上野遊水地巡視の実証実験」





# 地盤改良(浅層混合)の3次元管理 ～ICT活用工事への応用～

金山 雅人

近畿地方整備局 福知山河川国道事務所

2000年代に入り情報化施工が進められ、近年は3次元データを活用し施工や検査の効率化を図るICT施工がかなり一般化してきた。2015年から始まったICT施工（土工）を皮切りに舗装や浚渫、法面や地盤改良など対象となる工種は拡大している。しかしながら拡張された工種の中には管理手法にまだまだ改良の余地があるものが多い。本検討ではICT施工（地盤改良工）において中でも最も施工件数が多い浅層混合において3次元データの活用方法などを新たに提案するものである。

## 1. はじめに

地盤改良工の工種は置換工法や積荷工法、脱土工法、締固め工法、杭工法など多様な工種が存在する。その中でも固化材を混ぜることで地盤強度を向上させる混合処理方法においてICT施工が実施され始めている。混合処理工法は改良する深さによって浅層混合、中層混合、深層混合と3つに分類されており、一番深い深層混合では実用される段階から固化材の使用量などの施工履歴が残るよう開発されていたため、その管理手法は初期段階から施工管理が数値で得られる形であった。浅層混合や中層混合は固化材の投入などに専用機器を必要としないため固化材1袋当たりの施工範囲をマス目状に石灰ラインなどで明示し、マス目毎に実施することで所定量の固化材と対象地盤が改良された証明とする手法が従来からとられてきた。この手法では改良した深さの証明がしづらく、現場立会か改良深さの検測写真で施工確認をとるしかなかった。これらの作業性を改善するために浅層・中層混合工法においてはICT建機を使用して改良範囲や改良深さがオペレーターにモニター表示されるようになり、実際の地盤面に石灰などでラインを引く手間などが減り施工効率が向上してきている。改良深さの管理方法においても浚渫や河道掘削に用いられているICT建機のバケット軌跡データから整形された面を出来形評価する手法を改良工にも適用されるようになり、これによって以前のような掘削深さを検測する工事写真を撮影する手間が省かれ省力化につながっている。本検討はこの浅層混合の更なる管理方法の向上につながる提案をするものである。

## 2. 本検討及び実証実験を行った現場

今回検証を行った現場は国道24号寺田拡幅小樋尻地区改良工事（京都国道事務所発注）

## 3. ICT施工の現在

### (1) 本検討の対象工種

#### 浅層混合処理工法（表層安定処理ともいう）

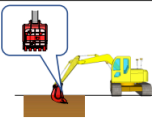
適用対象工種・工法	概要図	施工方法	改良材	改良深度
<b>表層安定処理等</b> バックホウをベースマシンとするもので、施工履歴データで改良範囲を記録できるもの		改良材を必要量均等に散布し、攪拌装置を用いて所定の改良深度まで掘削し、改良材と原地盤の攪拌混合を行う。	粉体等	最大 2m程度

表-1

### (2) 対象となる作業

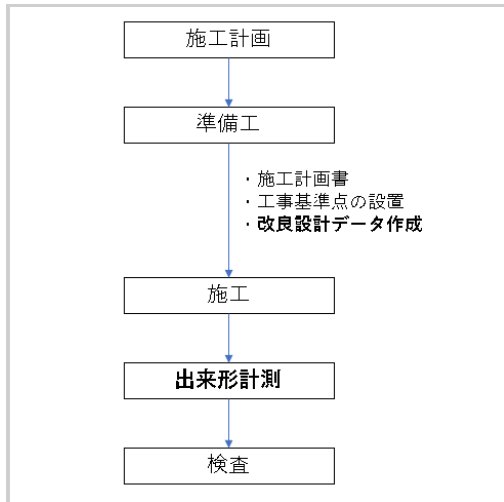


図-1

対象となる作業は上図太字の「改良設計データの作成」と「出来形計測」についてです。

現在のICT施工（地盤改良工）では、ICT建機に入力される改良設計データは3次元のLandXML形式で平面的な施工範囲の認識だけでなく、深さデータも認識可能である。さらにマシンコントロール機であれば改良範囲の外周に壁状の面を作ることによって攪拌の範囲を制限することができ、攪拌バケットが施工範囲からはみ出すことが無い。これによってオペレーターの負担が軽減されるようになっている。

### (3) 出来形計測における従来とICT施工の違い

従来（ICT施工以前）は改良範囲は石灰などでライン明示し、平面範囲については幅・奥行を巻尺などの実測により確認してきた。深さについては前述でも説明したが、施工基面から攪拌バケットの下がり量を検測して確認していた。（写真-1）（写真-2）



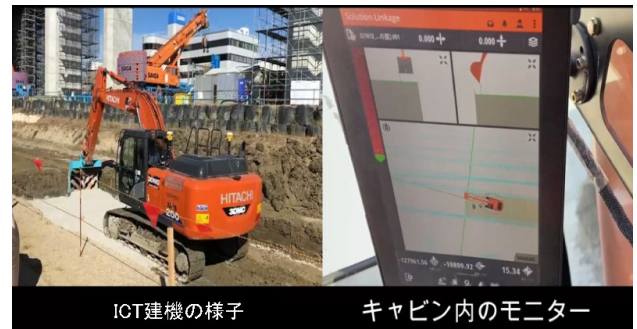
写真-1



写真-2

ICT施工になると平面範囲及び深さ共に攪拌バケットの施工履歴で確認に代えることができることになり、特に深さについては攪拌バケット下端の標高（z）を計測し、これを基に施工完了範囲を求めてよいこととなっている。<sup>1)</sup>

ICT建機からは攪拌バケットが移動した距離・位置・標高のデータを出力する事ができるため、それらのデータをまとめて出来形とするソフトウェアも建機と共に提供されるサービスも多い。（写真-3）



ICT建機の様子

キャビン内のモニター

写真-3

キャビン内でオペレーターが認識できる情報は自分の機械位置とバケットの向き・傾き・高さ（深さ）である。これらの情報を出力し出来形計測に利用するわけなのだが、この建機とソフトウェアのシステムは先に実用化されたICT施工（浚渫工）で開発されたものを転用して使用している。したがって深さに関してはバケットが到達した最深部をプロットし設計深度に到達したか否かを計測するシステムになっている。（図-2）





図-4, 図-5では攪拌バケットが改良範囲の隅々まで稼働していたことが見て取れます. このような手法でデータの抽出が可能になれば, 攪拌バケットが上から下まで満遍なく稼働した証明になるではないでしょうか. 浅層混合がバックホウに攪拌バケットを装着して混合するため施工ムラが生じやすい. それらの証明として確認できる手法となる可能性があると考え.

# ニューマチックケーソン工法を用いた橋梁下部工事のJR近接施工について

上田 健人<sup>1</sup>

<sup>1</sup>近畿地方整備局 福知山河川国道事務所 工務第二課

(〒620-0875 京都府福知山市字堀小字今岡2459-14)

国道27号西舞鶴道路は、舞鶴市上安と舞鶴市京田を結ぶ約4.9kmの幹線道路で、舞鶴市西地区の交通渋滞の緩和や京都舞鶴港と舞鶴若狭自動車道とのアクセス改善を図ること等を目的とした道路である。当工事はこの国道27号西舞鶴道路事業のうち、JR舞鶴線に近接橋梁下部工築造工事であり、ニューマチックケーソン工法により施工している。本論文では、軌道近接施工時の検討から施工中の計測方法や、新技術として試行導入したデジタルデータを用いた鉄筋出来形計測について報告する。

キーワード 営業線近接、ニューマチックケーソン工法無人掘削、デジタル配筋出来形検査

## 1. はじめに

舞鶴市西地区を走る国道27号は、幹線道路と生活道路としての機能を併せ持つため、朝夕の通勤時において、西地域市街地の主要交差点を中心として交通渋滞が発生している。国道27号西舞鶴道路は、舞鶴市上安と舞鶴市京田を結ぶ約4.9kmの幹線道路で、舞鶴市西地区の交通渋滞の緩和や京都舞鶴港と舞鶴若狭自動車道とのアクセス改善を図ること等を目的とした道路である。

当工事はこの国道27号西舞鶴道路事業のうち、JR舞鶴線および二級河川「伊佐津川」の一次支川「天清川」を超える高架橋「(仮称)上安久高架橋」の橋梁下部工築造工事であり、場所打ち杭工法で1基、ニューマチックケーソン工法で5基の合計6基の橋脚を施工する。

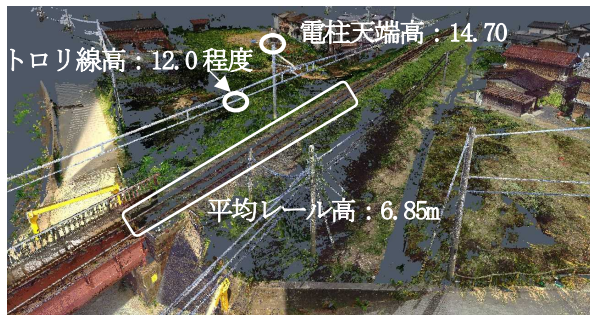


図-1 3次元測量結果

## 2. 営業線近接による影響検討および工法検討

### (1) 営業線近接に伴う影響検討

設計段階において、営業線近接で設計および施工を実施するにあたり、以下の2点の課題がわかった。

- ・完成時に鉄道の建築限界を確保すること
  - ・橋梁下部工基礎施工時の安全を確保すること
- この2点の課題に対し、行った対策を以下に記す。

#### (2) 完成時に鉄道の建築限界を確保すること

鉄道の必要な建築限界は諸基準書より確認できたが、当該箇所のバラスト軌道高さおよび既設架線高さが不明であった。現況を把握するため、対象箇所の3次元測量を実施し、軌道の高さ・架線の高さの測定を行った。3次元測量の結果、図-1に示すように鉄道の盛土形状や軌道高さを把握することができた。この結果をもとに、最低桁高さを設定した。

#### (3) 橋梁下部工基礎施工時の安全性を確保すること

西舞鶴道路上安久高架橋の基礎形式選定において、表-1に示す通り、場所打ち杭(オールケーシング)、ケーソン基礎、地中連続壁基礎において比較検討を行った。一般部に関しては、実績・費用の面から場所打ち杭(オールケーシング)が採用された。営業線に近接する橋脚においては、場所打ち杭施工時の周辺地盤へ与える影響が、軌道の許容変位を満足できないと想定された。このため、経済的には場所打ち杭より劣るが近接施工の実績の多い、ニューマチックケーソン基礎を選定した。

橋脚施工位置を設定したのち、営業線の近接影響を都市部鉄道構造物の近接施工対策マニュアル<sup>1)</sup>(以降近接施工マニュアルと略す)に従い近接度合いを判定した。判定結果を図-2に示す。

これより、橋脚の近接影響は制限範囲(区分Ⅲ:新設

構造物の施工により既設構造物に対し、変位や変形等の有害な影響が及ぶと考えられる。新設構造物に対して対策を実施するとともに、影響検討を実施し、安全性を確認したのち、施工時に対象となる既設構造物および周辺地盤の挙動を計測する) であることが分かった。

表-1 基礎形式選定表 (一般部)

工法	場所打ち杭 (オールケーシング)	ケーソン基礎	地中連続壁基礎
特徴	・実績も多く、近接影響及び礫地盤への対応から、オールケーシング工法が採用される。	・近接施工や海上施工となる場合に用いられ、オールケーシングに比べ不経済である (工事費は基礎1基当たり2倍程度)。	・荷重規模が大きい橋梁や大深度に用いられ、オールケーシングに比べ不経済である (工事費は基礎1基当たり3倍程度)
評価	◎	○	△

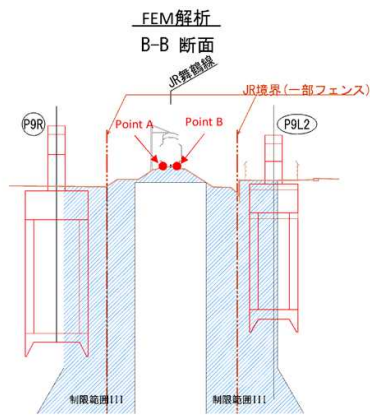


図-3 対象断面

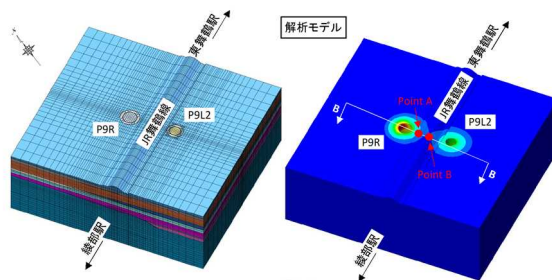


図-4 3次元FEMモデル

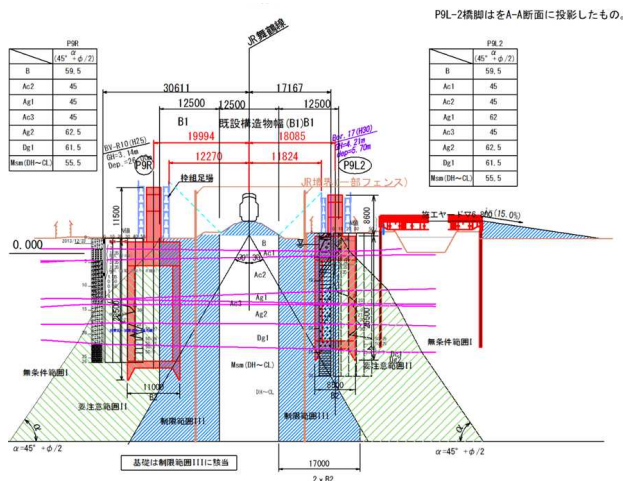


図-2 近接影響

表-2 3次元FEM解析結果

Phase	段階	Point A		Point B		管理基準値 (mm)	
		水平変位X (mm)	鉛直変位Y (mm)	水平変位X (mm)	鉛直変位Y (mm)		
0	初期状態	0.0	0.0	0.0	0.0	±3.0	
1	第1ロット沈下	3次元-片側沈下	0.12	0.13	0.11		0.10
		3次元-両側沈下	0.07	0.27	0.09		0.28
2	第6ロット沈下 (完成)	3次元-片側沈下	0.77	0.40	0.73		0.30
		3次元-両側沈下	0.16	0.93	0.25		0.96

(4) 施工時の計測

施工時は、近接マニュアルに従い、表-3に示す値で管理し、図-5に示す管理フローに従って管理した。

表-3 管理値

管理値		水平変位	鉛直変位
一次管理値 (警戒値)	整備基準値×0.4	±8mm	±8mm
二次管理値 (工事中止値)	整備基準値×0.7	±15mm	±15mm
三次管理値 (限界値)	整備基準値×1.0	±22mm	±22mm

このため、近接施工マニュアルに従い、新設構造物の対策として、以下の3点を実施することとした。

- ・ケーソン基礎のフリクションカットを最小に設定し、地山とケーソン躯体の空洞を低減する
- ・ケーソン沈設時の滑剤注入を行い、地山とケーソン躯体の空洞の充填を行いながら施工する
- ・ケーソン沈下掘削の影響を少なくするため、営業線とケーソン躯体の間に鋼矢板を設置する

次に、近接施工マニュアルに従い、3次元FEM解析を掘削ステップを考慮して実施した。その結果、最大変位は水平方向0.61mm、鉛直方向0.75mmと1mm以下となり、4級線の軌道整備基準である22mmを満足することができた。

ここで、二次管理値 (工事中止値) は、工事を中止し、軌道状況を西日本旅客鉄道が確認し、対策を検討することとなる。三次管理値 (限界値) は、列車の抑止を工事管理者が実施することになる。

三次管理値に達した場合、列車の抑止を実施するため、西日本旅客鉄道の工事管理者と列車見張り員の有資格者を各1名配置した。

計測器は、測定箇所プリズムを設置し、トータルステーションにより位置を測定した。配置図を図-6に示す。



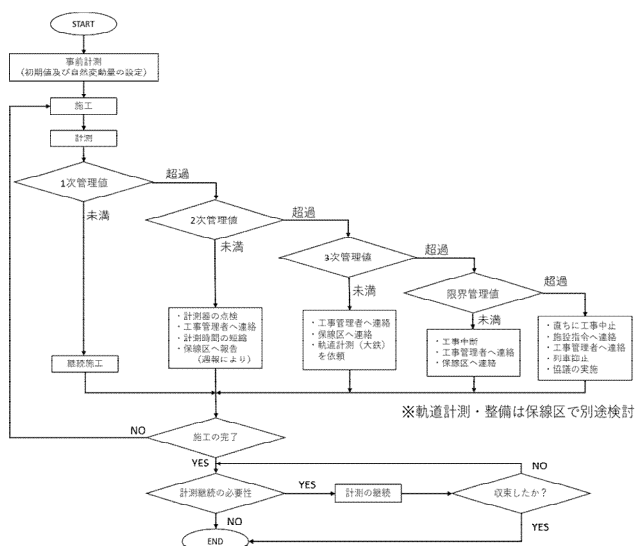


図-5 管理フロー

プリズムは、保線の関係上、直接レールには取り付けられなかったため、軌道から同じ離れの法面に設置し、プリズムの挙動を軌道の挙動とみなして軌道の変位を測定した。

測定した結果、鉛直変位は最大3.9mm、水平変位は最大4.3mmとなり、1次管理値以下で施工完了することができた。

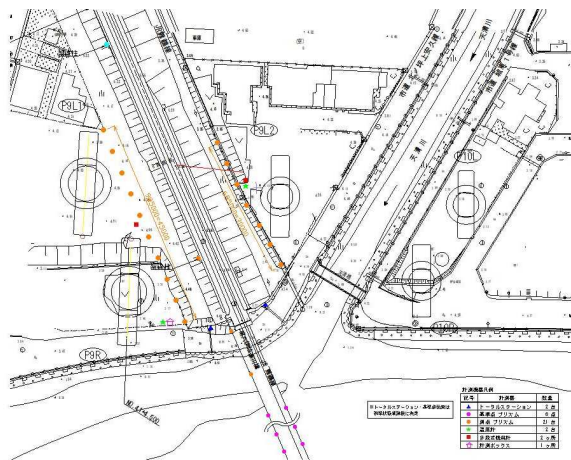


図-6 設置位置図

適正な検討と対策を行った結果、令和4年7月に営業線近接部のケーソン基礎沈下掘削作業は問題なく終了した。

### 3. ニューマチックケーソンの無人化施工

当工事では、図-7に示す通り、掘削深さが35.5mで最大作業気圧が0.35MPaとなるため、ケーソン内の最短作業時間は90分(減圧時間148分)になる。作業員の安全性の向上と生産性の向上を目的として、作業気圧が0.18MPaを超える作業は、無人化施工を採用した。

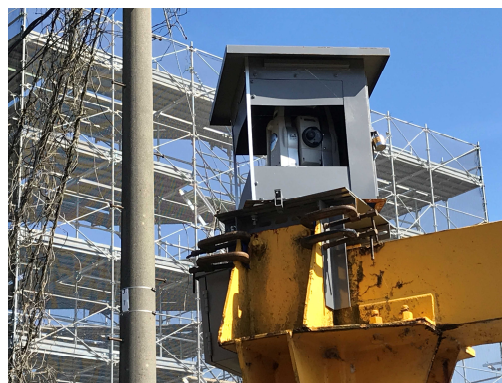


写真-1 トータルステーション



写真-2 プリズム設置状況



写真-3 工事管理者配置状況



写真-4 列車見張り員配置状況

#### (1) 安全性の向上について

潜函病とは高気圧作業者が減圧中または減圧後において運動器障害・中枢神経系の障害・呼吸循環系の障害を発症する病気である。発生原因は、高気圧下で作業することのため、高気圧下での作業を低減することにより、潜函病にかかるリスクを低減できる。

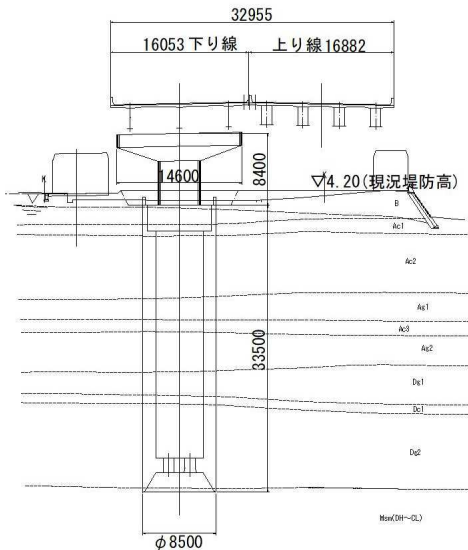


図-7 P10L橋脚断面図

(2) 生産性の向上について

表-4に示す通り、 函内作業気圧が0.18MPa以上になると、 有人機械掘削よりも無人掘削の方が効率的となる。

理由は、 図-8に当工事の最大気圧下での作業時間を示すが、 高気圧下での作業が90分、 減圧時間が148分になっている。 有人機械掘削のほうが効率的に掘削できるが、 高気圧になると、 減圧の関係上、 作業時間である8時間の中で掘削作業のできる時間が最低90分と短くなるため、 ある時点で有人機械掘削より無人掘削のほうが効率が良くなる。 よって、 当工事では、 表-4を参考に、 0.18MPaを超える高気圧下では無人掘削を採用した。

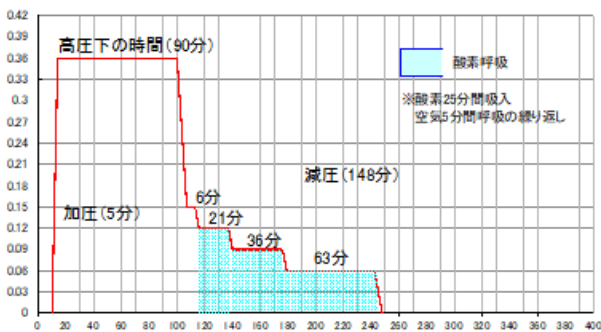


図-8 標準高気圧作業時間 (圧力0.34~0.36MPa)

表-4 1日の掘削量 (単位m3)

函内作業気圧(Mpa)	掘削面積40~60m2	
	有人機械	無人掘削
0.00 (素掘り)	53.4	32.0
0.00を超え~0.1以下	51.9	32.0
0.1を超え~0.14以下	42.0	32.0
0.14を超え~0.18以下	30.5	32.0
0.18を超え~0.22以下	19.8	32.0

ニューマチック工法積算資料<sup>2)</sup>より

4. デジタルデータを用いた鉄筋出来形計測

コンクリート構造物の鉄筋組立時の段階確認にデジタル画像を用いて鉄筋出来形計測を実施し、 受発注者の作業効率化等を目的として令和3年7月「デジタルデータを活用した鉄筋出来形計測の試行要領 (案)」<sup>3)</sup> (以降、 試行要領と略す) が策定された。

試行現場を選定し、 試行要領に従ってデジタル画像を用いた鉄筋出来形計測を実施し、 従来方法の配筋検査との比較を実施した。

表-5 PRISM一覧表

番号	コンソーシアム代表	カメラの種類	計測項目				
			鉄筋本数	鉄筋径	鉄筋間隔	重ね継手	かぶり厚
1	清水建設	3眼カメラ	○	○	○	△	△
2	IHIインフラ建設	デジタルカメラ	○	○	○	△	△
3	鹿島建設	ステレオカメラ	○	○	○	△	△
4	三井住友建設	デブスカメラ	○	○	○	△	△
5	JFEエンジニアリング	デジタルカメラ	○	△	○	○	×

(1) PRISMで精度が確認された機械について

PRISMで精度が確認された機械は、 表-5に示す5機種である。 今回は、 一般リースが可能なAI配筋検査システム (三菱電機製) を用いた (写真-5)。



計測項目	計測精度	項目	仕様
鉄筋検出	検出率100% (ただし過検出を含む)	外形寸法	W320mm x H210mm x D95mm
対象鉄筋	D 10~D 51 (判定率 90%)	重量	約2.1kg
平均鉄筋間隔	±5mm (100mm計測時)	周囲温度	-10℃~+40℃
		構造体	JIS C 0920 保護等級IP65

【撮影条件】  
・測定距離1m~2m ・撮影角度0°~±30°

写真-5 AI配筋検査システム (三菱電機HPより)

(2) 測定対象

以下に諸元を示す橋脚(図-9 参照)の底板・柱・梁の測定を実施した。

工事名：西舞鶴道路上安久高架橋 P9 橋脚他工事  
橋脚名：P8 橋脚

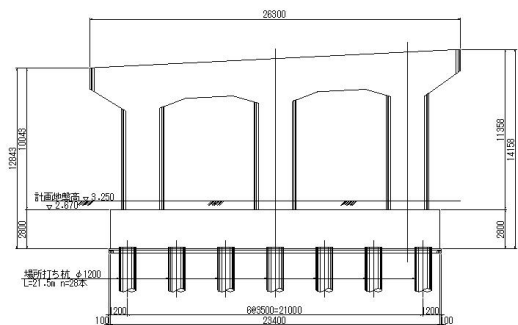


図-9 P8 橋脚



諸元:

場所打ち杭基礎 φ1200mm L=21.5m n=28本  
 フーチング B×W 23.4m×11.4m H=2.8m  
 橋脚躯体 B=26.3m H=7.7m

(3) 配筋測定について

a) 底版側部測定

測定した配筋を表-6に示す。

表-6 底版側部配筋

鉄筋番号	鉄筋径	配筋間隔	AI測定	従来法
F3	D35	250	259	258
F14	D19	200	208	200

AI測定による鉄筋径は、D35, D19とも問題なく判定した。平均間隔測定は、測定誤差10mm以下で判定した。

b) 底版頂部測定

頂部1段目測定した配筋を表-7に示す。

表-7 底版上部1段目配筋

鉄筋番号	鉄筋径	配筋間隔	AI測定	従来法
F8	D25	250	245	250
F9-1	D29	250	246	250
F9-2	D29	250	242	250

AI測定による鉄筋径は、D25, D29とも問題なく判定した。平均間隔測定は、測定誤差10mm以下で判定した。F9-1, F9-3(継手位置が異なるため番号が異なる)の判定はできなかった。

頂部2段目で測定した配筋を表-8に示す。

表-8 底版上部2段目配筋

鉄筋番号	鉄筋径	配筋間隔	AI測定	従来法
F11	D25	250	256	250
F12	D29	250	252	250
F13	D29	250	250	250

AI測定による鉄筋径は、D25, D29とも問題なく判定した。平均間隔測定は、測定誤差10mm以下で判定した。1枚の撮影画像からでは、1段目配筋に隠れてしまい2段目配筋は判別できなかった。

c) 柱測定

柱で測定した配筋を表-9に示す。

表-9 柱部(右)1段目配筋

鉄筋番号	鉄筋径	配筋間隔	AI測定	従来法
C2-1	D51	300	239	274
C2-3	D51	300	290	274
C3	D19	300	303	302
C4	D19	300	300	302

AI測定による鉄筋径は、D51は問題なく判定したが、

D19はD29と判定した。重ね継手が入ったためか、底版での鉄筋登録を用いて検査したためと考えられる。当該箇所での鉄筋登録を行ったところ、誤判定が低減した。

平均間隔測定は、1段目配筋で測定誤差最大35mmの判定であった。2段目配筋では最大137mmの誤差があった。誤差の原因は、中間帯鉄筋等の同種の鉄筋が背景に入り込み精度を下げたことと前面鉄筋による背面鉄筋の測定不能により精度が下がったと考えられる。

d) 梁測定

梁部で測定した配筋を表-10に示す。

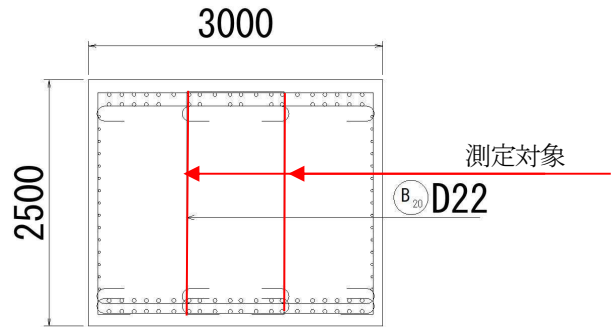


図-10 梁断面図

表-10 側面 1段目, 2段目配筋

鉄筋番号	鉄筋径	配筋間隔	AI測定	従来法
B8,9	D25	125	145	124
B11	D22	150	149	151
B20	D22	150	151	150

鉄筋番号B20は、2段目配筋だが、手が届かないところに配筋される鉄筋となる(図-10参照)。しかし、デジタル配筋機械を利用すると側部からでも平均間隔測定ができた。

e) かぶり測定

かぶりについては、底版側部において3種類の測定方法を実施した。

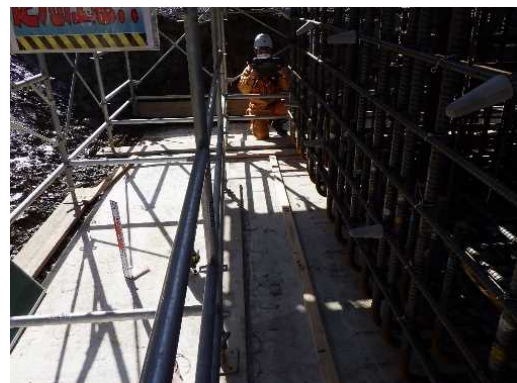


写真-6 測定状況

- 均しコンクリート上の墨と鉄筋を2点間計測モードで測定(写真-6, 7)
- 墨上にロッドを置き、ロッドと鉄筋を2点間計測



モードで測定 (写真-8, 9)

- ・レーザー墨出機でボードに位置を出し、レーザーと鉄筋を2点間計測モードで測定 (写真-10, 11)



写真-7 AI 機械画面

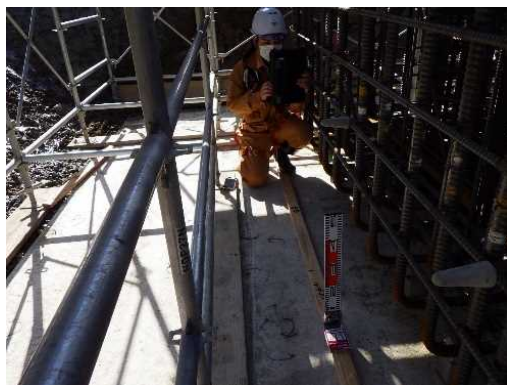


写真-8 測定状況



写真-9 AI 機械画面



写真-10 測定状況



写真-11 AI 機械画面

測定した結果、レーザー墨出機で位置を黒板に写した時が最も精度が良い結果となった。2点間計測モードは、人為で測定箇所を指定して計る機能であるため、鉄筋の配筋された同じ高さに墨が明示されている方が正確な位置を指定できるからと考えられる。

#### f) 現場試行を実施してみた

PRISM で精度が確認された機械を用い、鉄筋出来形計測の試行要領に沿って現場試行を行った。その結果、機械を用いることで鉄筋のマーキングやロッドの設置が省略でき、受注者の現場立会準備に関しては省力化ができることが分かった。

### 5. おわりに

- ・営業線近接作業において、計画時に3次元FEM解析を実施し、軌道への影響を把握した。さらに、近接施工マニュアルに従い、新設構造物への対策と軌道の測定を実施した。その結果、営業線近接部のケーソン基礎沈下掘削作業を問題なく完了した。
- ・ニューマチックケーソンの無人化施工を行うことで0.18MPaを超える高気圧下でのケーソン基礎掘削作業の生産性を向上させた。
- ・デジタルデータを用いた鉄筋出来形計測の現場試行を実施した。試行した結果、受注者の現場立会準備において、鉄筋のマーキングやロッドの設置が省略でき、省力化が可能であることが分かった。

謝辞：本報告にあたっては、当工事の受注者である株式会社大林組様から多大なるご協力を頂き、心より感謝申し上げます。

#### 参考文献

- 1) 公益財団法人鉄道総合技術研究所：都市部鉄道構造物の近接施工対策マニュアル 平成19年1月
- 2) 日本圧気技術協会：ニューマチックケーソン工法積算基準 令和2年7月
- 3) 国土交通省：「デジタルデータを活用した鉄筋出来形計測の試行要領(案)」 令和3年7月

# 琵琶湖水質調査への新技術の適用に向けて ～水上ドローンの可能性～

田中 信<sup>1</sup>

<sup>1</sup>近畿地方整備局 福井河川国道事務所 工務第一課 (〒918-8015福井県福井市花堂南2-14-7)

琵琶湖河川事務所では、公共用水域である琵琶湖の水質調査を、滋賀県及び独立行政法人水資源機構と分担して実施している。

現状では事務所所有の船舶を運航、調査地点にて採水を行っているが、水質調査全体に係るコスト縮減や作業従事者の負担軽減（省力化、作業時間短縮）がかねてから課題とされており、新たな技術を活用した生産性向上の検討を進めてきたところである。

本稿では、生産性向上はもとより、試料採取等水質調査の高度化に資する可能性を有した新たな技術について、現地実証試験を踏まえた適用性評価等について報告する。

キーワード 新技術, 琵琶湖, 水質調査, 高度化, 水上ドローン

## 1. はじめに

### (1) 琵琶湖の水質調査

琵琶湖の水は京阪神地域の社会・経済活動を支える貴重な水資源である。その資源を守るため、琵琶湖河川事務所では琵琶湖の水質調査を滋賀県及び独立行政法人水資源機構と共同で継続的に実施している。

現在、琵琶湖河川事務所では琵琶湖内の22地点を担当しており、事務所所有の船舶（19.9m級船舶）を用いて調査地点に行き、作業員が試料を採水、それについて生活環境の保全に関する環境基準項目等を中心に水質を調査している。

### (2) 施策的観点（DX）からの琵琶湖水質調査の課題

国土交通省では、インフラ分野のDXの取組みを進めており、2022年3月には「インフラ分野のDXアクションプラン」を制定、インフラ分野のDXの取組方針が具体化され、その一環として「現場作業の遠隔化・自動化・自律化」に関する施策を進められている。

こうした動向も踏まえ、琵琶湖の水質調査では新たな対応が求められている。それは、「①現状の採水作業についての効率化、省力化、船舶上の作業の安全性の改善」、そして「②今後の調査対象増加を想定した新たな取り組みとして、限られた人員と費用で必要十分な成果が得られるよう、技術革新を適切にとり入れて、より効果的かつ柔軟な体制への移行（高度化）」である。

### (3) 新たな対応に向けた着眼点

近年、河川分野においても、「現場作業の遠隔化・自

動化・自律化」に関する施策としてドローンを活用する取り組みが積極的に行われている。

そこで、現状の琵琶湖水質調査に係る「試料採取・運搬」の要求水準を詳細に設定した上で、要求水準を満たすドローンを国内・海外事例や最新の研究開発動向を踏まえて選定、現場実証試験を通じて、適用性を評価することとした。

## 2. 現状の課題分析

### (1) 試料採取・運搬に係る要求水準

水質調査の作業のひとつに「試料採取・運搬」があり、現状においてそれは1ヶ月に3日間の船舶利用を必要とし、また暴風等の気象状況による作業順延のリスクを有している。当該作業は新技術を活用することで、効率化・高度化の余地があると考えた。

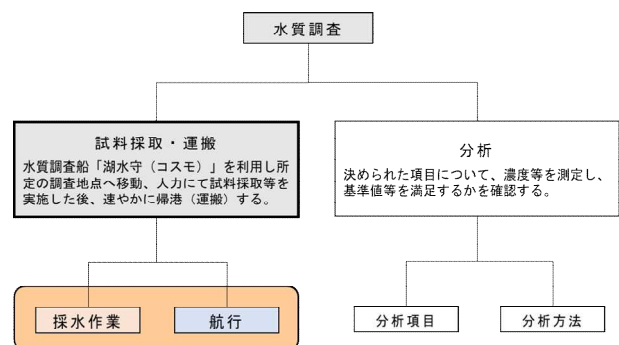


図-1 水質調査作業の分類

「試料採取・運搬」の構成要素を細分化、課題を踏まえた上で、現行の「試料採取・運搬」作業に求められる事項（要求水準）を整理した。

表-1に現行の船舶による「試料採取・運搬」の要求水準を示す。

表-1 船舶による「試料採取・運搬」の要求水準

作業項目 (★:必須性能)		船舶による試料採取・運搬に係る要求水準	
		南湖	北湖
採水作業	取水	★採水量	約 7L(共洗い含む) / 約 9L(共洗い含む)
		★採水品質	・採水作業の間、定められた深度 0.5m で固定 ・連続採水、採水開始時に容器共洗い →コンタミネーションがない
		採水時間	10 分以内/地点で作業
		採水方法	電動ポンプ(採水量:約 7L/min)による連続採水
		採水人員	3 名/日で作業
保管	前処理	採水後、前処理を現場(船上)で実施 ・南湖で 2L、北湖で 4L の濾過、その他	
		管理 水質分析に必要な量を確保し、冷蔵庫で低温管理	
航行	位置把握	★測位精度	概ね一致(GPS 測位) 強風・波浪時でも緯度・経度 2 秒(約 50m)以内に収まるように操船
		移動運搬	運搬距離・ルート
	作業時間		出向から 6 時間以内に寄港 (寄港地は、琵琶湖内港のいずれか)
	運航人員		3 名/日(船長、船員、機関士 各 1 名)
	安全性	耐風速 (耐波浪)	昨年度採水作業時平均風速: 2m/s~7m/s
衝突回避			水上の障害物(他船舶等): 移動時にはレーダーや周囲を確認、障害物との距離を十分にとって操船 水中の障害物(水草):安全上問題なく航行可能 ※南湖では水深が深いため、考慮する必要がない 採水中は船長他 2 名が周囲を監視し他船舶等との衝突回避
機械不良		機関士が乗船しており、船上にて修復対応	
その他	現場記録	衝突回避	下記を調査地点で分析・記録 ・必須:透明度、水温、風向、風速、全水深、外観 ・適宜:臭気、透視度、DO

(2) 新技術に求められる要求水準について

「試料採取・運搬」作業が可能な、新技術に求められる主な性能として以下が挙げられる。

- ・試料を取水し、保管する「採水性能」
- ・所定の位置まで安全に移動可能な「航行性能」
- ・北湖、南湖での環境（風況や植生、障害物の設置状況）が異なる中で安全に航行可能な「安全性」

また、現行の船舶による「試料採取・運搬」の要求水準を参考に、新技術に求められる要求水準を設定した（表-2参照）。

表-2 新技術に求められる要求水準  
(パターン①②：南湖、パターン③④：北湖)

	南湖	
	パターン①	パターン②
	新技術単独活用 / 新技術と船舶の併用	
対象地点	全地点	湖辺部のみ (岸から操作可能な範囲)
採水性能	採水量:約 7L(複数回に分割可) 採水品質:深度 0.5m 地点でコンタミネーションがないこと	
位置把握性能	GPS 測位精度の誤差が 2 秒(約 50m)範囲内であること	
航行性能	全 12 地点を往復可能	往復可能な採水地点数
安全性	障害物(他船舶等)に対して回避可能であること	
	水草環境でも安全に走破できること ※強風・波浪環境は想定しない	

	北湖	
	パターン③	パターン④
	新技術単独活用 / 新技術と船舶の併用	
対象地点	全地点	湖辺部のみ (岸から操作可能な範囲)
採水性能	採水量:約 9L(複数回に分割可) 採水品質:深度 0.5m 地点でコンタミネーションがないこと	
位置把握性能	GPS 測位精度の誤差が 2 秒(約 50m)範囲内であること	
航行性能	全 10 地点を往復可能	往復可能な採水地点数
安全性	障害物(他船舶等)に対して回避可能であること	
	※水草の発生は想定しない 強風・波浪時(~8m/s)でも安全に航行できること	



写真-1 船上における試料採取

3. 適用可能性の高い新技術の選定

(1) 新技術の情報収集

新技術の情報収集にあたっては、試料採取・運搬が可能な技術について、水域（水面）での活用可能性を有する水中ドローン、水上ドローン、空中ドローンといった技術を対象とした。

「NETIS」登録技術の他、様々な分野の技術カタログ等も含めて候補となる技術を選定した。



(2) 新技術の適用性評価

候補として選定した新技術に対し、活用形態（新技術単独活用、船舶との併用活用）、南湖・北湖の現場特性等を踏まえて、適用性を評価した。

その結果、船舶との併用を前提に、南湖・北湖共に要求水準を満たす新技術として「水上ドローン」が該当した。

表-3に新技術の適用性評価結果を示す。

表-3 新技術の適用性評価の結果

(パターン①②：南湖、パターン③④：北湖)

技術分類	水上ドローン(ASV)	
技術概要	水上で位置測定しながら採水する技術	
技術名称	KENBOT_ASV	
採水性能	約 7L(複数回に分割可)	◎(1回)
	深度 0.5m 地点でコンタミネーションがないこと	○ コンタミネーションなし
位置把握性能	GPSにて2秒(約50m)以内の誤差	○ 誤差 10m 以内
航行性能	岸から12地点全箇所を往復可能(岸からの最大距離1900m)	○ 伝送距離 約3500m ○ 連続航行距離 約2700m(片道)
	障害物(他船舶、漁業用施設)に対して回避可能	△ 手動操縦で回避
安全性	水草環境においても安全に走破できること	○ 水草の影響を受けない
評価		適用可能性はある
採水性能	約 7L(複数回に分割可)	◎(1回)
	深度 0.5m 地点でコンタミネーションがないこと	○ コンタミネーションなし
位置把握性能	GPSにて2秒(約50m)以内の誤差	○ 誤差 10m 以内
航行性能	往復可能な採水地点数	○ 12/12 地点(岸~2700m)
安全性	障害物(他船舶、漁業用施設)に対して回避可能	△ 手動操縦で回避
	水草環境においても安全に走破できること	○ 水草の影響を受けない
評価		適用可能性はある
採水性能	約 9L(複数回に分割可)	◎(1回)
	深度 0.5m 地点でコンタミネーションがないこと	○ コンタミネーションなし
位置把握性能	GPSにて2秒(約50m)以内の誤差	○ 誤差 10m 以内
航行性能	岸から10地点全箇所を往復可能(岸からの最大距離5300m)	× 伝送距離 約3500m × 連続航行距離 約2700m(片道)
	障害物(他船舶、漁業用施設)に対して回避可能	△ 手動操縦で回避
安全性	強風・波浪時(風速)でも安全に航行可能	× 耐風速 6m/s
評価		運用できない
採水性能	約 9L(複数回に分割可)	◎(1回)
	深度 0.5m 地点でコンタミネーションがないこと	○ コンタミネーションなし
位置把握性能	GPSにて2秒(約50m)以内の誤差	○ 誤差 10m 以内
航行性能	往復可能な採水地点数	○ 8/10 地点(岸~2700m)
安全性	障害物(他船舶、漁業用施設)に対して回避可能	△ 手動操縦で回避
	強風・波浪時(~8m/s)でも安全に航行可能	△ 耐風速 6m/s
評価		適用可能性はある

○：適用可能 △：条件によって可能 ×：適用困難

4. 現場実証試験

新技術の適用性評価結果より、長崎大学・夢想科学株式会社にて研究・開発が行われている水上ドローン「KENBOT\_ASV」<sup>1)</sup>が採水量や航行可能範囲等に優れており、特に適用性があると考えられた。

ただし、風況等の琵琶湖の現場特性を踏まえた安全性については、机上検討からは不透明な部分も多く、現場実証試験を通じて、性能を確認することとした。

(1) 水上ドローンの概要

試験で使用した水上ドローンの概要を表-4に示す。

- 双胴船構造の小型無人ボートに方向転換・定点保持用の4つのメインスラスタと、移動用の2つの補助スラスタを配置、全方位へ移動可能である。
- 採水機構は機体上部に搭載されている。取水用のホースは取水口が水面から0.5mに位置するよう長さを調整、ポンプによりくみ上げた水はタンクに送水するか、そのまま排水するかを操作する。排水することでコンタミネーション防止が図れる。
- プログラムによる制御により、事前に設定したルートを自動で航行、帰還が可能である。
- 衝突回避機能は未搭載のため、ルート上に障害物がある場合には、手動操縦で回避する必要がある。
- 実証試験では、現場状況の記録のためのカメラ、風向風速計を搭載した。

表-4 KENBOT\_ASV 概要

機材名称	KENBOT_ASV
開発者	夢想科学株式会社、国立大学法人 長崎大学
重量	35kg
サイズ	1400×1100×750mm
スラスタ数	メインスラスタ4、補助スラスタ2
移動速度	最大速度 3m/s
動力	電池式
稼働時間	3~4時間(気温 15度の場合)
採水量	10L(5Lポリタンク×2)/回
採水時間	10L/2分
採水深	0.5m となるように固定



写真-2 KENBOT\_ASVの調査状況

(2) 現場実証試験概要

現場実証試験は、2023年1月10日、11日に、図-2に示す3地点において実施し、表-5のTEP1～3に示す段階的な性能項目を確認した。なお、現場実証試験に際しては、警戒船の並走及びUAVによる上空からの確認により、実証試験実施状況の適切な把握、安全の確保に努めた。

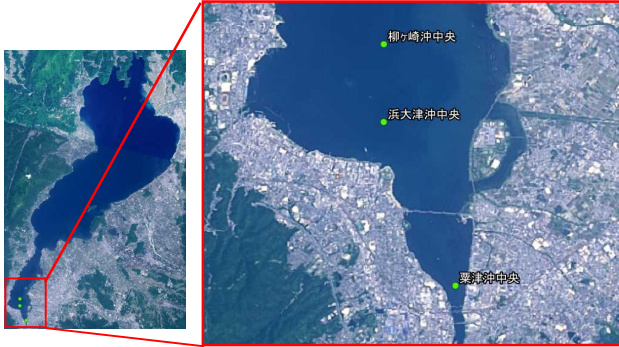


図-2 実証試験位置

表-5 実証試験位置概要

試験	採水地点	機材搬入出地点からの距離
STEP1	栗津沖中央	230m (目視可能距離)
STEP2	浜大津沖中央	830m (実績最大航行距離)
STEP3	柳ヶ崎沖中央	2300m

STEP1では、岸から目視可能な調査地点までの航行を行い、採水性能として採水量、採水品質、採水時間について確認した。

STEP2では、使用した水上ドローンの最大航行実績距離を試行した(830m)。主に航行性能に関して、指定の採水地点への移動、また航路上に障害物が発生した場合には必要に応じて回避、安全な採水が可能かを確認した。

STEP3では、STEP2よりさらに長距離となる2300mの航行を実施し、ミスや不安全作業の把握を目的とした。

(3) 現場実証試験結果

STEP1では、コンタミネーション防止のための排水、所定の水深(水面から0.5m)での採水、必要量(10L)の採水が問題なく行われていることを確認した。また、採水に要する時間(排水20秒、取水10L/80秒程度)も確認し、時間の面でも作業に支障がないとわかった。

STEP2では、これまでの実績の最大航行距離を超える840mを自動航行し、往復することが可能であった。また実証試験の期間における最大風速4.3m/sを記録したが、機体の転覆もなく安全に作業を実施出来た。

STEP3では、複数回の試行を重ねた結果、水上ドローンが岸から1460mの地点を超過すると、伝送距離の制約から通信状況に不具合が生じることが判明した。結果としては、岸から1450m地点までであれば自動航行、採水

作業が可能であることがわかった。作業時間については、1.7m/sの移動速度で、採水時間含め1時間程度であった。

以上の結果から、現在の開発フェーズにおいて、水上ドローンは岸から1450mまでの範囲における試料採取・運搬が可能であることがわかった。しかしながら、実証試験実施の時期から、水中障害物として水草の影響については判明しなかった。また今回は、安全面に配慮した試験実施とし、警戒船やUAVから常に水上ドローンを確認できる状態であったため、水上ドローンの目視外運用時の安全性については検証が不十分な部分も課題として残された。

(4) 水上ドローンの仕様

実証実験結果から水上ドローンは琵琶湖の現場条件下においても採水や航行の基本性能が機能することが把握できた。

表-6に水上ドローンの仕様をまとめた。

なお担当する水質調査地点では22地点中13地点が、水上ドローンを搬入出可能な岸から1450m以内にあり、半数以上の地点での当該ドローンの活用が期待できる。

ただし、現状では目視範囲外での水上ドローンの単独航行は安全面のリスクがあり、警戒船やUAVによる並走により目視確認を行い、障害物を回避する必要がある。

また水質調査業務にて取得している採水地点の状況等は、現状の水上ドローンの仕様では対応できていない項目もある。水上ドローンを「試料採取・運搬」の代替手段とするためには、更なる検証・改善が必要である。

表-6 水上ドローンの仕様

作業項目		現状の仕様(案)	
採水作業	取水	採水量	1航行で10L採水可能
		採水品質	深度0.5mでコンタミ混入なしの採水が可能
		採水時間	10L/2分
		採水方法	電動ポンプ(採水量:約7.5L/min)で連続採水
		採水人員	2名
	保管	前処理	※保管のフェーズは仕様に含まない
	管理	※保管のフェーズは仕様に含まない	
航行	位置把握	測位精度	緯度・経度2秒(約50m)以内
		移動運搬	運航距離・ルート
		作業時間	1450m地点への航行・採水作業で約1時間
		運航人員	2名
	安全性	耐風速(耐波浪)	~4.3m/s以下の風速で採水可能であること それ以上の風速については今後検証が必要
		衝突回避	水上障害物:手動操作で回避可能 水中障害物(水草):今後検証が必要
機械不良		警戒船の併用で対処可能	
	資機材搬入出	2~3名	
その他	現場記録	風向・風速のみ記録	

## 5. 水上ドローンの活用について

### (1) 水上ドローンの活用拡大に向けた留意点

水上ドローンの水質調査への活用は、要求水準や実証試験での未検証項目に対し改善をすすめ、水上ドローンが活用できるフィールドを広げる必要がある。

それら改善の対象は、前述のとおり、「試料採取・運搬」のうち「航行性能」では航行可能範囲が担当調査地点をすべて網羅していないこと、また「安全性」では障害物の回避に手動操縦が必要なことや耐風速や水草の影響が明確でないこと、その他としては現場状況の記録等が現状の水上ドローンでは対応できていないこと等が該当する。また、改善策の立案は、技術開発動向を踏まえた実現可能性にも着目しなくてはならない。

### (2) 水上ドローンの活用拡大に向けた提案

上記を踏まえ、水上ドローンの「試料採取・運搬」手段としての活用拡大に向けた技術開発案等を示す。

#### a) 航行性能の向上（航行範囲の拡大）

今回の実証試験では伝送距離がネックとなり、航行可能範囲が制限された。したがって、より長距離の航行を可能とするためには、伝送能力の向上が必要となる。

例えば、物流ドローンに関する実証試験では、通信範囲の広いLTEを利用することで、片道10kmの長距離飛行に成功している。<sup>2)</sup> また昨年、ドローンのレベル4飛行が解禁され、各通信会社からLTE通信を利用したドローン遠隔飛行のためのサービスが提供され始めた状況である。琵琶湖水上でもLTEを利用することで、より長距離の航行が可能になると考えられる。

#### b) 安全性の向上

安全な航行の実現に向けて、障害物回避機能の搭載は必須である。例えば、自動車の自動運転技術にはLIDARというセンサーが活用されている。発射するレーザーにより物体との距離を正確に測定することができるため、障害物との接触回避が可能となる。

#### c) 未検証項目の確認

今回の実証試験で確認できなかった水草の影響や、より悪い風況下での運用状況については、検証時期や場所といった条件を変更して検証することにより、活用可能性の可否がより明確になる。

#### d) 現場記録の取得（高度化）

現場記録の取得は、簡易に搭載可能な水質計や360°カメラ搭載により一部項目が計測可能となる。現状では、水中ドローンに搭載可能な水質計も販売されており、これらを使用した環境調査の取り組みも進んでいる。

これらに示す水上ドローン自体の開発案に加え、船舶による採水作業の代替手段として水上ドローンを運用していく場合には、航行ルート等の運用計画の策定や、職員の機器の操作の習得、また、水上ドローンの目視外自動航行に関するルール整備等が必要となってくる。

## 6. 考察

水上ドローンによる採水は、現状の水質調査の仕様に対応できていない部分もあるが、採水性能や航行性能は備わっており、今後の技術開発次第では、現状の船舶による採水作業の代替手段となる可能性を有している。

その可能性を次の段階へと発展させるためにも、水質調査仕様への対応を念頭においた近畿地方整備局インフラ DX 推進本部会議を通じた技術開発の推進や、前述の通り他分野での開発技術について水質調査への適用性検証等を実施し、それらを琵琶湖での採水へとフィードバックする。そういった試行錯誤を継続することで、前例のない水質調査の高度化といった今回の取り組みは、実現に向けて加速していくものと考えられる。

## 7. 結論

本研究は、船舶を使用して採水、試験機関にて分析している琵琶湖の水質調査に対して、必要事項（要求水準）を詳細に整理した上で、適用可能性のある新技術の仕様や導入に向けた計画を実証試験等を通して整理し、とりまとめた。

要求水準については、「試料採取・運搬」について設定し、琵琶湖の現場特性等を考慮した上で適用可能性のある新技術を整理した。

最も適用性があると認められた水上ドローンについて、各種性能を検証するため、現場実証試験を実施した。その結果、本水上ドローンの採水可能量は10L、移動速度は1.7m/sであることが明らかとなり、使用に際しても特に問題となる不安全行動はなかった。また、航行可能距離は岸から1450mまでであった。

それらの結果を踏まえ、水上ドローンと船舶を併用する運用方法を検討したところ、定期採水に係るコスト削減の可能性が示唆された。

最終的なとりまとめとしては、試料採取等水質調査の高度化を図るため、水上ドローンに係る段階的開発目標と現場実装に向けた道筋を示した。

謝辞：本取り組み及び本稿をまとめるにあたりご指導・ご協力を頂きました皆様に心から感謝致します。

### 参考文献

- 1) 国土交通省：点検支援技術性能カタログ,2023年3月,<https://www.mlit.go.jp/road/sisaku/inspection-support/pdf/c/BR010031.pdf>, (閲覧日：2023/4/28)
- 2) NTTドコモ：報道発表資料 日本初のドローン向け新料金プラン「LTE上空利用プラン」の提供を開始, 2021年7月8日,[https://www.docomo.ne.jp/info/news\\_release/2021/07/08\\_00.html](https://www.docomo.ne.jp/info/news_release/2021/07/08_00.html), (閲覧日:2023/4/28)





# 布目ダム管理 CIM の活用報告

合屋 祐国<sup>1</sup> 久保田 貴史<sup>2</sup>

<sup>1</sup>水資源機構 木津川ダム総合管理所 管理課 (〒518-0413三重県名張市下比奈知2811-1)

<sup>2</sup>水資源機構 木津川ダム総合管理所 布目ダム管理所長 (〒630-1234奈良県奈良市北野山町869-2)

布目ダムでは管理の効率化及び高度化を目指して2016年からCIMシステムの構築を進め、現在運用しているところである。本稿は、布目ダムにおけるCIMシステムの活用状況と今後よりよいシステムにしていくための展望について報告するものである。

**キーワード：** CIMシステム、モニタリング、管理の高度化、管理の効率化

## 1. はじめに<sup>1)</sup>

近年、働き方改革などの観点からDXが注目されている。

国土交通省では「インフラ分野のDX推進本部」を設置し公共工事のDX等を促進しており、水資源機構においては、ICTの活用等をさらに推進するとともに、業務や組織、職員の働き方等あらゆる分野で変革を図るために「水資源機構DX」を推進し、工事や施設管理、一般事務、技術力向上についてDXを推しすすめているところである。

布目ダムでは現在、管理CIMを導入しダム管理の省力化、高度化及び効率化に取り組んでおり、本稿では布目ダムにおける管理CIMの活用状況と今後の展望について報告する。

## 2. 布目CIMの概要

### (1) 導入の経緯<sup>2)</sup>

布目ダムCIMシステム「CIMfam-I(Construction Information Modeling for advanced dam management version-I)」(以降布目CIMと呼ぶ)は、2015年に水資源機構内部で設置した「新たな情報管理技術活用小委員会」において進めることとなった「ダム等施設における管理の高度化」のひとつとして2015年度から構築に着手した。その後、2017年度に機器の導入を行い、2018年度からは「機構技術4ヵ年計画重点プロジェクト」の1つに指定され、実用化に向けた検討を行った。現在は必要に応じた改良を加えながら、運用を行っている。

### (2) 布目CIMの仕様

布目CIMは布目ダムにサーバー機器を設置し、シ

ステムを構築するオンプレミス型を採用している。

布目ダム職員は水資源機構で使用しているネットワーク回線、「アクアネット」を介してそれぞれのパソコンから布目CIMにアクセスすることができる。

また、「アクアネット」を通じてアクセスしているため、本来であれば木津川ダム総合管理所等、その他の事務所からのアクセスも可能であるが、データ量が大きく、現状の回線ではアクセスに時間がかかることから、実用的ではない。

### (3) 布目CIMの機能

布目CIMを構築するにあたり、木津川ダム総合管理所管内の技術系職員を対象に、維持管理業務の分析を行い、必要な機能を決定した。

現在、布目CIMに備わっている機能は大きく分けて以下の4つである。

- a) データストック機能
- b) 構造物の立体視化機能
- c) リアルタイムモニタリング機能
- d) 帳票作成機能

それぞれの機能について以下に記述する。

#### a) データストック機能

布目CIMでは様々なデータをCIMのサーバーへ集約している。

ダム諸量、堤体計測、水質等の自動観測データは、布目CIMのサーバーへ直接取り込まれ、コンクリートダムの揚圧力やロックフィルダムの外部標的といった手動で観測するデータは、計測結果を定期的に手動でサーバーに登録している。

また、試験湛水時データのように紙媒体で保存されている過去のデータについても、業務の中で電子化し、システムに登録している。

#### b) 構造物の立体視化機能

2次元の図面を立体化した3次元モデルや監査廊

のストリートビューを見ることができる機能である。これにより堤体や施設の構造を視覚的に理解することができるようになっていく。特に監査廊のストリートビューでは、立ち位置の移動や周囲を見回すことができ、実際に歩いているかのような視点で監査廊を見ることができる。

c)リアルタイムモニタリング機能

ストックしたデータを一覧表で表示するとともにグラフ化を行う機能である。コンクリートダム漏水量や変形、ロックフィル部の浸透量などのデータをもとに経時変化図や貯水位、気温等との関係性についてのグラフを自動で作成し、リアルタイムで表示している。試験湛水時から現在の最新データまでを表示しているため、これまでの堤体挙動が一目でわかるようになっていく。

d)帳票作成機能

関係機関に提供する資料や日々の管理で使用する資料など決められた様式に従い、帳票を自動で作成できる機能である。

水質データやダム諸量データなど布目 CIM に集約されるデータを基に作成しており、期間指定を行うことで任意の期間の帳票を作ることができる。

### 3. 活用状況

先に紹介した布目 CIM の機能の内、使用頻度が高く、作業効率の向上に繋がっていると考えられる機能について活用内容を紹介する。

(1)データ収集の効率化

ダム管理においては、日々の点検や自動観測システム等により、膨大なデータが供給される。ダムを適

切に管理するために、職員はこれらのデータを収集し、的確な整理、活用を行う必要がある。これらのデータは、通常それぞれのシステムに蓄積されていくため、データが必要な場合は各システムにアクセスする必要がある。また、試験湛水時のデータや管理初期のデータについては紙媒体で保存されているものも多く、資料の検索や活用には多大な労力を要する。

布目 CIM では、計測データを最新データも含めて一元的に管理しているため、職員はそれぞれのパソコンから布目 CIM にアクセスすることで必要なデータの活用を効率的に行うことができる。

また、布目ダムでは堤体観測業務において、タブレットを活用している。タブレットに入力されたデータはエクセル形式で出力され、エクセルデータをそのままサーバーにアップロードすることで、布目 CIM に反映される。これにより、紙に記載したデータをエクセルに入力する場合と比べて、転記ミスの減少や作業時間の短縮が図られる。

ストックされたデータの一例として、貯水位や流入量といった、ダム諸量に関する自動計測データの確認画面を図-1 に示す。

(2)ダム構造の把握

ダム堤体や附属施設の構造は 2 次元の図面により管理されている。一方で、2 次元の図面から 3 次元の構造を把握するためには、豊富な経験や技術が必要である。経験の少ない職員が 2 次元の図面をもとに構造を確認する場合、必要以上に時間がかかるだけでなく、勘違いやミスの要因となることも考えられる。

布目 CIM による 3 次元データや監査廊ストリートビューを活用することにより、経験の少ない職員だとしても設備の構造を容易に把握できるようになる。

観測日時↑	貯水位(EL.m)	有効貯水量…	貯水率(%)	調整流量(m³/s)	流入量(m³/s)	全放流量(m³/s)	ダム放流量(m³/s)…	非常用洪
2022-07-25T05:40:00	280.2	9723	63.1	0.34	0.67	1.01	1.01	0
2022-07-25T05:50:00	280.2	9723	63.1	0.34	0.67	1.01	1.01	0
2022-07-25T06:00:00	280.2	9723	63.1	0.34	0.67	1.01	1.01	0
2022-07-25T06:10:00	280.2	9723	63.1	0.34	0.67	1.01	1.01	0
2022-07-25T06:20:00	280.2	9723	63.1	0.34	0.67	1.01	1.01	0
2022-07-25T06:30:00	280.2	9723	63.1	0.34	0.67	1.01	1.01	0
2022-07-25T06:40:00	280.2	9723	63.1	0.34	0.67	1.01	1.01	0
2022-07-25T06:50:00	280.2	9723	63.1	0.34	0.67	1.01	1.01	0
2022-07-25T07:00:00	280.2	9723	63.1	0.34	0.67	1.01	1.01	0
2022-07-25T07:10:00	280.2	9723	63.1	0.34	0.67	1.01	1.01	0
2022-07-25T07:20:00	280.2	9723	63.1	0.34	0.67	1.01	1.01	0
2022-07-25T07:30:00	280.2	9723	63.1	0.34	0.67	1.01	1.01	0
2022-07-25T07:40:00	280.2	9723	63.1	0.34	0.67	1.01	1.01	0
2022-07-25T07:50:00	280.2	9723	63.1	0.34	0.67	1.01	1.01	0
2022-07-25T08:00:00	280.2	9723	63.1	0.34	0.67	1.01	1.01	0
2022-07-25T08:10:00	280.2	9723	63.1	0.34	0.67	1.01	1.01	0
2022-07-25T08:20:00	280.2	9723	63.1	0.34	0.67	1.01	1.01	0
2022-07-25T08:30:00	280.2	9723	63.1	0.34	0.67	1.01	1.01	0

図-1 ダム諸量に関する自動計測データの確認画面



例えば、ストリートビュー機能は事務所にいながら、監査廊の構造を把握できることから、そのダムに赴任したばかりの職員が監査廊に行く前の予習にも使うことができる。また、監査廊内の設備に不具合が起きた場合、不具合の発生箇所についてストリートビューをもとに共有することができる。

こういった使い方により業務の効率化につながる。図-2に3Dモデル、図-3に監査廊ストリートビューの操作画面を示す。

### (3) ダム堤体挙動の速やかな把握

ダム管理において、堤体挙動の把握は重要な要素である。堤体挙動は気温や貯水位等により周期的に変化している。通常の変位と異なった変位を示すようなことがあった場合、すみやかにその兆候を察知することができれば、より迅速に対応することができる。

一方で堤体挙動のデータは数値で出力されるため、それだけで判断を行うことは難しい。評価を行うためには貯水位、水温等のデータと合わせてグラフを作る必要がある。従来はデータ収集やグラフの作成に時間を要していた。

布目CIMでは、試験湛水時からの堤体挙動を気温

等の堤体挙動に影響を与えるデータと合わせてグラフ化させている。これにより堤体挙動の経時変化や貯水位、気温と堤体挙動の関係について速やかに把握することができ、現在の挙動が周期的なものなのか、それとも何か別の要因で起こっているものなのかを判断することができる。表示されるグラフの例として堤体変形のグラフを図-4に示す。

各種グラフの作成について効率化の試算を行った。導入前、全てを手作業で行う場合と比較すると作業時間は138分/回、作業効率は87%程度向上しており(表-1)、自動計測データを月に1度グラフ化し確認すると仮定した場合、年間で28時間程度の作業時間短縮がはかれる計算となり、作業効率は90%向上する。

### (4) 水質の確認と報告

ダム湖の水質は常に変化しており、適切な管理には細やかな監視が不可欠である。さらに、利水としても使われているダム湖の水質は利水者と共有を図る必要がある。一方で、水質自動観測装置から出力されるデータは、数字の羅列であり、水質状況の把握、共有には各測定項目についての習熟やグラフにするといった容易化が必要とされる。

布目CIMの帳票作成機能により1日に3回計測さ

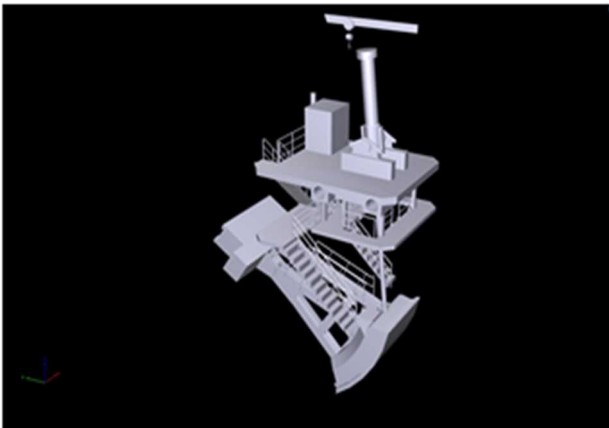


図-2 3Dモデル



図-3 監査廊ストリートビュー

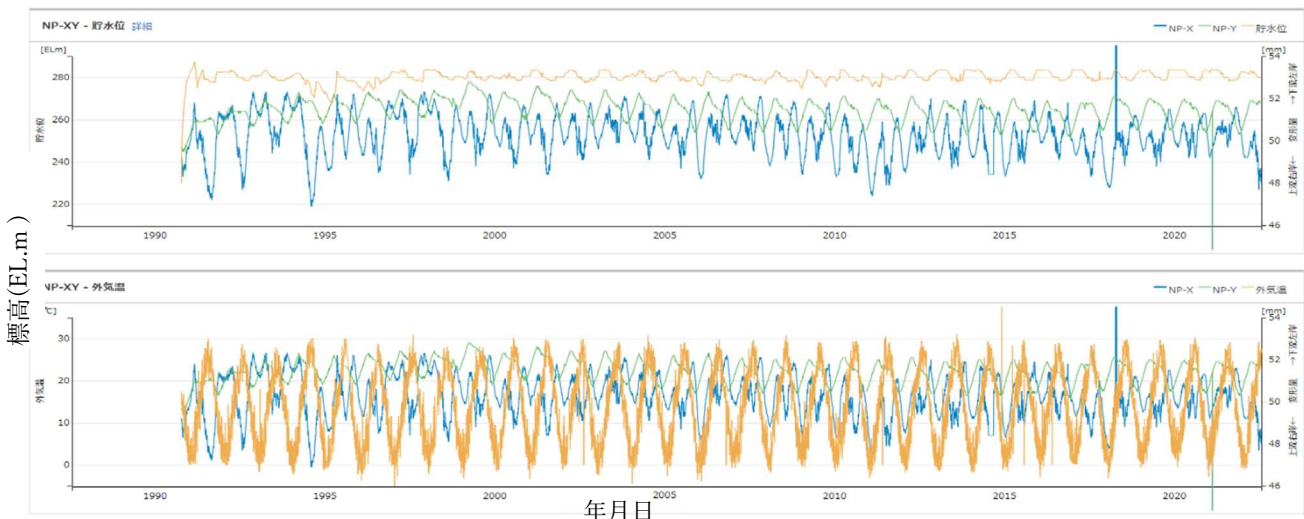


図-4 堤体変形のグラフ

れる貯水池鉛直方向の水質データを自動でグラフ化することで、日々変わる貯水池の水質について綿密な把握を行っている。

また、水質の状況等を報告するには定められた様式があり、データの取得や整理など労力を必要とする。1度にかかる労力はそれほど膨大ではないが、定期的に報告が必要なものが多く、帳票作成機能によってその手間を軽減することができる。また、それだけでなく固定された様式で出力されるため様式からの逸脱やデータの整理・加工時に起こるミスが減らすことができる。布目CIMにより作成した水質可視化グラフを図-5に示す。

水質の確認についても、効率化の試算をおこなった。その結果、導入前、全てを手作業で行う場合と比較すると作業時間は44分/回、作業効率は94%程度向上しており(表-2)、3日に1度データをグラフ

化し確認すると仮定した場合、年間で90時間程度の作業時間短縮がはかれる計算となり、作業効率は94%向上する。

#### 4. まとめと今後の展望

##### (1)まとめ

布目CIMの導入による現況は以下のとおりである。  
○堤体観測、水質といった多くのデータを一元的に管理できることにより、データの活用が効率的になった。

○堤体観測データを自動で図化することにより、経時変化や貯水位、気温との関係性をより確認しやすくなった。

表-1 堤体観測データに関する作業時間短縮の試算

計測項目	導入前					導入後		導入による効果	
	データ収集に要する時間(m)	計測数	作成するグラフの種類	グラフ作成に要する時間(m)	計(m)	CIMでグラフを表示させるまでに要する時間(m)	削減時間(m)	作業効率(%)	
本ダム	漏水量	10	1	5	1	15	3	12	80
	揚圧力	5	7	3	1	26	3	23	88
	堤体変形	10	1	4	1	14	3	11	79
副ダム	浸透量	10	5	4	1	30	3	27	90
	浸透圧	5	21	3	1	68	3	65	96
計					153	15	138	90	

表-2 水質可視化グラフに関する作業時間短縮の試算

計測項目	導入前					導入後		導入による効果	
	データ収集に要する時間(m)	計測数	作成するグラフの種類	グラフ作成に要する時間(m)	計(m)	CIMでグラフを表示させるまでに要する時間(m)	削減時間(m)	作業効率(%)	
貯水池	鉛直分布	10	1	6	1	16	1	15	94
	可視化	10	1	6	1	16	1	15	94
放流口	10	1	5	1	15	1	14	93	
計					47	3	44	93	

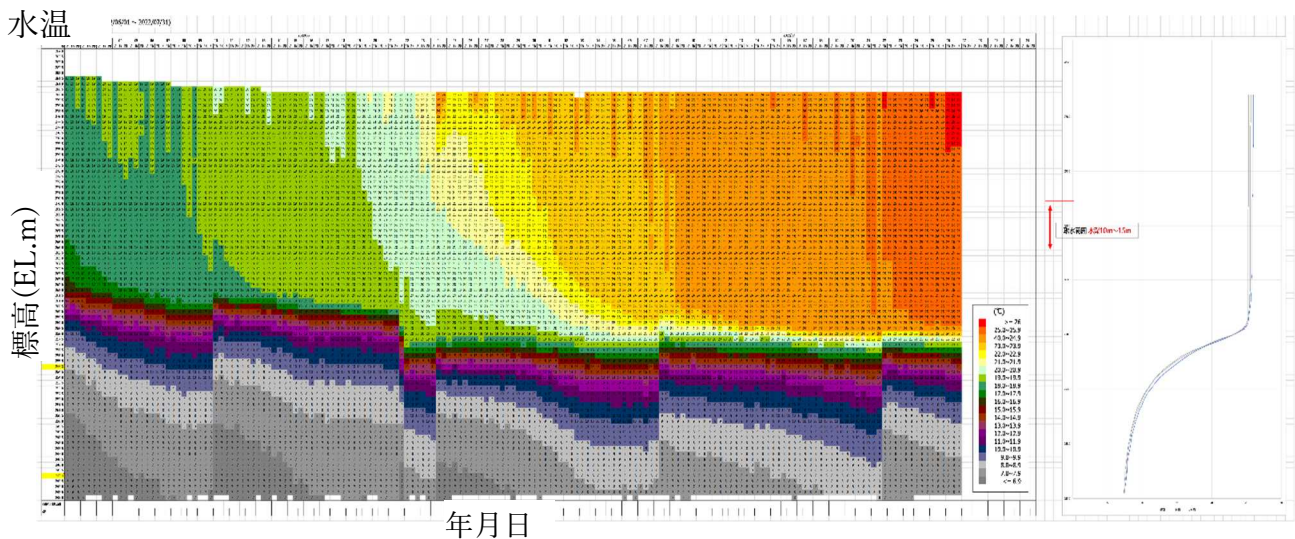


図-5 水質可視化グラフ(水温)

○水質状況についても、自動で整理され、視覚的に状況の変化を把握しやすくなった。

## (2) 今後の展望

今後、布目 CIM をより使いやすく、より使われるシステムにするためには使用上の気づきを基に改良を行っていく必要がある。今後、特に実施していきたい改良として以下の3つがある。

- a) クラウド化
- b) インターフェース改良
- c) 帳票機能の拡充

それぞれの内容について、以下に記述する。

### a) クラウド化

クラウド化とは、現在、布目ダムのサーバー上に構築している布目 CIM のシステムをクラウド上に設置することである。

現状の布目 CIM では布目ダムのサーバー上に構築していることから、布目ダムのネットワークとつながっている場所でなければアクセスできない。

クラウド化することにより、インターネット環境がある場所であれば、現場や堤体内、テレワーク先からも布目 CIM にアクセスすることができるようになる。また、事務所からアップロードしている堤体観測データを現場からアップロードすることができるようになる。これにより、その場で計測値と過年度の値を比較することにより計測データの精度向上にもつながる。

外部からアクセスしやすくなることや使用の機会が増えることでより使われるシステムになると考える。

### b) インターフェース改良

インターフェース改良では、布目 CIM の操作性向上やわかりやすいデザインについて検討していく。

今後、布目 CIM を使っていく人間がダム管理や CIM の操作に習熟しているとは限らない。初めて CIM を触る人間であっても使いこなすことができるシステムでなければならない。

そのために必要なことは直感的に操作することができ、どこにどのような機能があるかが一目でわかるユーザーインターフェースである。現在の布目

CIM についても、それほど習熟を必要としないシステムではあるが、使っていく中で使いづらいと感じる点もゼロではない。

そういった使用上の小さな気づきを無視するのではなく、蓄積していくことでより使いやすいシステムにしていく。それにより、習熟にかかる時間の軽減や使用率の向上につながると考える。

### c) 帳票機能の拡充

「2. (3) 布目 CIM の機能 d) 帳票作成機能」で述べているように、布目 CIM には決められた様式でデータを出力する機能がある。この帳票作成機能について、作成可能な様式を増やしていきたいと考えている。

現在、作成可能な帳票は水質関係の内容がほとんどである。これらの帳票だけでも年間 90 時間の削減となっているが、使用は一部の職員に限られる。そこで、他の業務で必要となる報告書や年報、検査資料等、CIM に集約しているデータを使用することで作成する資料を、帳票作成機能で作成できるようにする。これにより、さらに多くの職員に使われるシステムとなるとともに作業時間の短縮が図られる。

今後、これら3つの改良を行っていくとともに、日々、布目 CIM を使っていくことで改良、改善できる部分がないかを探し、よりよいシステムにできるよう尽力していきたい。

### 異動に伴う対応

筆者は今年度の異動で、木津川ダム総合管理所管理課の所属となった。昨年度、発表申請時点では布目ダム管理所に所属していたことから執筆及び発表を行うものである。

### 参考文献

- 1) 独立行政法人水資源機構. 2021. 独立行政法人水資源機構 DX 推進プロジェクト. p. 1-9.
- 2) 独立行政法人水資源機構. 2017. 木津川ダム総合管理所における CIMfam- I (管理における CIM) について～管理の省力化・効率化・高度化を目指して～. p. 1-5





# 砂防えん堤で推進するSDGs ～ソイルセメント工法の普及拡大～

入江 大輝<sup>1</sup>・木下 長茂<sup>2</sup>

<sup>1</sup>兵庫県 豊岡土木事務所河川砂防課 (〒668-0025兵庫県豊岡市幸町7-11)

<sup>2</sup>兵庫県 土木部技術企画課 (〒650-8567兵庫県神戸市中央区下山手通5-10-1)

近年の生コン単価の上昇は顕著である。生コンを主材料とする土木構造物はこの影響を受け、整備推進の足かせとなっている。砂防えん堤についても、一般的に重力式コンクリートが採用され、生コン高騰の影響は大きい。

本論文では、砂防えん堤で生コンを使用せず、現地発生土砂等を堤体材料に利用するソイルセメント工法を採用し、経済性だけでなく残土排出量やCO2の低減など環境負荷の軽減効果について、検証した。また、当工法の更なる普及に向けた創意工夫について、新たな切り口を含めた提言を行う。

キーワード ソイルセメント, 砂防えん堤, SDGs

## 1. はじめに

県の砂防事業については、2009年台風第9号などによる災害を教訓に策定した「山地防災・土砂災害対策計画」に基づき、砂防えん堤等の整備による自然災害に備える強靱な県土の構築を推進している。2023年度現在では、国の「防災・減災、国土強靱化のための5か年加速化対策」も活用し、第4次山地防災・土砂災害対策計画を推進している。

しかしながら、砂防関連施設の全県整備状況は、2022年度末時点で約3割に留まっている。豊岡土木では毎年7箇所の新規着手しているが、砂防えん堤等の土石流対策が必要な危険溪流366箇所に対し、2022年度末時点の着手数は170箇所（整備率46%）という状況である。

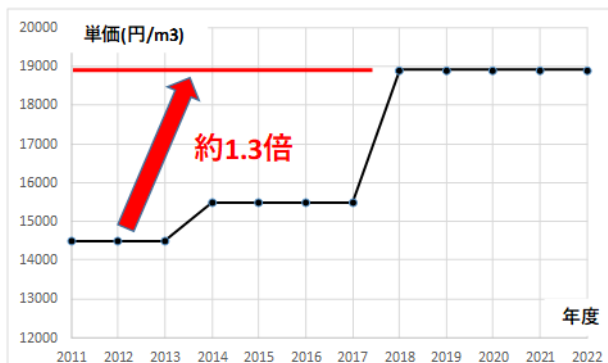


図-1 生コン単価 (21-5-40BB)

整備率の低い理由の一つに多額の整備費用の確保が挙げられるが、特に近年のコンクリート単価の上昇は顕著であり、整備費用増大の一因となっている（図-1参照）。そこで、経済性で在来工法（コンクリート）より有利となるケースが多くSDGsにも即したソイルセメント工法の普及拡大に向け考察を行う。

## 2. ソイルセメント工法とは

砂防ソイルセメント工法とは、現地発生土砂等に工事

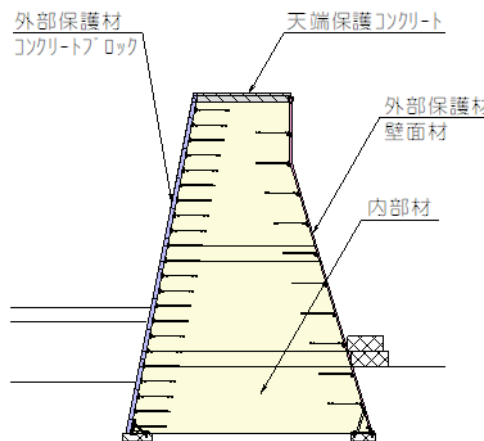


図-2 イラスト (ソイルセメント工法)

ヤードでセメント・水を混合し、砂防えん堤の内部材として活用する工法である（図-2参照）。兵庫県での施工実績は少ないが、在来工法と比べ「経済性」、「環境面」、「工期短縮の面」で優れている。

### 3. 施工実績から得た特質

豊岡土木では2021年度に、主材料に現地発生土を用いた「INSEM工法」による砂防えん堤工事（以下「施工実績」という。）を竣工しており、この実績を基に「INSEM工法」の特徴と課題を整理する。

なお、工事の概要は下記のとおりである。

施工箇所：豊岡市但東町中山

受注者：拡運建設(株)

請負額：110,770千円（最終130,938千円）

工期：2021年5月10日～2022年3月25日

工事内容：本堤工（INSEM工法）1,806m<sup>3</sup>ほか



写真-1 大田川左支溪第3 砂防えん堤（INSEM工法）

#### (1) 特徴（メリット）

##### a) 経済性に優れる

コンクリートに替えて「INSEM工法」を用いたこと、発生土を有効活用したことから、約3割（32百万円）の予算低減に繋がった（表-2参照）。

表-2 費用比較

工法	工種	費用(千円)	備考
INSEM	ソイルセメント	11,100	V=1806m <sup>3</sup> 発生土1914m <sup>3</sup> 活用
	外部保護材	16,460	型枠として活用
	その他	5,910	基礎・天端コン等
	直接工事費	33,470	
	①総計	59,830	
Con	コンクリート	37,640	V=1622m <sup>3</sup>
	残存型枠	6,880	
	残土処分	8,730	発生土1914m <sup>3</sup>
	直接工事費	53,250	
	②総計	91,440	
(②-①) / ② ≒ 35%			

##### b) CO<sub>2</sub>排出量を低減できる

セメントは製造過程で多くのCO<sub>2</sub>を排出することで知られるが、「INSEM工法」はコンクリートに比べてセメント使用量が少ないため、CO<sub>2</sub>排出量を約5割低減することができた（表-3参照）。

表-3 セメント使用量の比較

工法	①施工量 (m <sup>3</sup> )	セメント量	
		②単位当り (kg/m <sup>3</sup> )	総量 ①×②/1000
INSEM	1,914	106	③ 203
Con	1,622	255	④ 414
(④-③) / ④ ≒ 50%			

##### c) 交通負荷の低減

1,622m<sup>3</sup>相当の生コン打設を「INSEM工法」に替えたこと、1,914m<sup>3</sup>の発生土を有効活用したことから、10tミキサー車(4.2m<sup>3</sup>/台)と10tダンプ(5.5m<sup>3</sup>/台)に換算すると735台の交通負荷低減に繋がった。

##### d) SDGsとの整合

県ではSDGsの視点を県政に取り入れ県のブランド力を高めることを目的に、2022年5月9日に兵庫県SDGs推進本部を設置している。SDGsとはすべての人々にとってよりよい、より持続可能な未来を築くための青写真であり、資材の有効活用を進める「INSEM工法」はこの方針に合致している。

##### e) 工期の短縮に繋がる

「INSEM工法」は天候や資材、人材等の条件が揃えば、養生期間を設けることなく連続施工ができる。施工実績では、1度の攪拌作業で18.87m<sup>3</sup>製造できる混合機を用い、平均43m<sup>3</sup>/日、最大75m<sup>3</sup>/日を製造できた。同年度にえん堤をコンクリート打設した他工事と比較し、6%以上の工期短縮を図ることができた（表-4参照）。

表-4 溪流別の打設状況

溪流名	堤体施工期間	日数①	打設量	平均打設量		
			②	②/① ※1	※2	
大田川左支溪第3	8/10～11/15	97日	1,806m <sup>3</sup>	19	1.06	2.38
平田川	1/21～6/23	154日	2,700m <sup>3</sup>	18	1.00	2.25
土肥土川	6/5～9/10	98日	760m <sup>3</sup>	8	0.44	1.00

※1) 平田川を「1」として、他の2溪流の平均打設量を評価  
 ※2) 土肥土川を「1」として、他の2溪流の平均打設量を評価

#### (2) 課題（デメリット）

県では施工経験の浅い工法であり、課題を整理、解決しながら進めていく必要がある。

##### a) 品質管理

「INSEM工法」に活用する現地発生土は、粒径0.075mm以下のシルト・粘土分が20%を超えると改良が必要になる。施工実績では目視で確認できる程の良質な真砂土が得られたことから、施工前と施工中の計4回、配合試験を行ったうえで「INSEM工法」を採用した。このことか



ら、現場によって現地発生土をそのまま活用できないリスクがある。

また、「INSEM工法」は確実な含水比の管理が必要となる。施工実績では攪拌作業を行う前に毎朝含水比試験を行い、その日の練混ぜ水量を確認した。



写真-2 攪拌作業

#### b) 施工管理

施工管理として練混ぜに必要な水を確保する必要がある。施工実績では近隣の普通河川から汲取った水を、現場内の貯水槽(3.7m<sup>3</sup>)に散水車で運搬した。

また、施工可能な天気の見極めが必要になる。外部保護材(SBウォール工法研究会)の規定では2mm/h以上の降雨時に打設を控えることとしている。施工実績では、常に気象情報をネットで確認しながら、打設作業の可否を判断した。2021年度は幸い天候に恵まれたため、同時期に施工した他工事に比べ大きな遅れはなかった(表-4参照)。

#### c) 施工ヤードの確保

ソイルセメント工法を効率的に施工するためには、えん堤の近くで攪拌作業を行うための施工ヤードの確保が必要になる。施工実績では、えん堤に近く民家から100m以上離れた場所に1,000m<sup>2</sup>以上のヤードを確保できたが、現場によって苦慮することも考えられる。

### 4. 更なる普及拡大に向けた創意工夫

ソイルセメント工法は、これまで見てきたように経済性、環境面等でアドバンテージがあり、現場条件が許せば積極的に採用すべきと考える。ここでは、この条件を満たさない現場におけるソイルセメント工法の活用について提言する。

#### (1) 良質な現地発生土が確保できない場合の対応

良質な現地発生土を確保できないが、攪拌作業用の工事ヤードがある現場では、クラッシュランを購入して工事ヤードで攪拌する「LUC工法」の採用が考えられる。従来工法と経済比較した結果、直接工事費で約8%の予算低減が期待できる(表-6参照)。

#### (2) 良質な現地発生土に加え工事ヤードが確保できない場合の工夫

良質な現地発生土を確保できず、攪拌作業用の工事ヤードもなければ、一般的に従来の生コンを用いた工法を採用することになるが、当該工法のメリットの大ききから何とか工夫できないか知恵を絞ってみた。

仮に現場外でクラッシュランにセメントを攪拌したLUC材を現場まで搬入できれば、現場条件の制約に関係なくソイルセメント工法を活用できる。

そこで、表-5の条件により建設業協会を通して採石業者に見積りを依頼したところ、有効な回答が得られた。従来工法と経済比較した結果、直接工事費で約9%の予算低減が期待できる(表-6参照)。

表-5 見積り条件

(1) LUC材 1m <sup>3</sup> 当りの攪拌配合	
① クラッシュラン	1.11m <sup>3</sup>
② セメント量	100kg
③ 含水比	最適含水比の2~4%増
(2) 運搬距離	
10tダンプにより10km先の現場への運搬を想定	

表-6 砂防ソイルセメントの経済比較

項目	①	②	③	④
本堤の体積	1622m <sup>3</sup>	1806m <sup>3</sup>	1806m <sup>3</sup>	1806m <sup>3</sup>
コンクリート	37,640	-	-	-
残存型枠	6,880	-	-	-
ソイルセメント練混ぜ費用	-	11,100	11,100	-
砕石購入費用	-	-	6,510	-
ソイルセメント購入費用	-	-	-	17,491
外部保護材	-	16,460	16,460	16,460
基礎・天端コン等	-	5,910	5,910	5,910
残土処分(1914m <sup>3</sup> )	8,730	-	8,730	8,730
合計	53,250	33,470 (▲37%)	48,710 (▲9%)	48,591 (▲9%)

① コンクリートによる施工(在来工法)  
 ② 現場発生土を用い現地練混ぜによるソイルセメント工法(INSEM工法)  
 ③ 砕石を購入し現地練混ぜによるソイルセメント工法(LUC工法)  
 ④ LUC材を現地着単価で購入(運搬距離10kmを想定)するソイルセメント工法(LUC工法)  
 なお、1806m<sup>3</sup>のソイルセメント工法(INSEM工法)には、1914m<sup>3</sup>の現地発生土を用いている。

この結果には非常に大きな意義があり、全ての砂防えん堤工事におけるソイルセメント工法の活用に繋がる可能性がある。

メリットとしては、①良質な現地発生土を必要としない、②攪拌作業用の工事ヤードを必要としない、③現場作業量が減る、④現場における品質管理の負担が減る、⑤攪拌作業による現場周辺からの苦情リスクが減るなどが考えられる。

一方、LUC材の購入による施工は初めての試みであり、①LUC材の品質が保たれるか、②現場の工程に合わせ安定した供給が確保されるか、③品質の観点から同一業者からの購入が保たれるかなどの不安要素も挙げられる。

豊岡土木では、2023年度発注する砂防えん堤工事(但東町三原)においてLUC材の購入による試験施工を行い、メリット、デメリットについて整理していきたい。

## 5. おわりに

ソイルセメント工法については整理すべき課題もあるが、従来工法に比べて経済性や環境面、工期短縮の面で優れるなどの利点が多い。工事ヤードが現場で確保できなくてもLUC材を購入することにより、普及拡大が期待できるケースもある。

今年度に入って更に生コン単価が上昇している現状に鑑み、兵庫県では、積極的にソイルセメント工法の導入に取組み、知見を積み重ね、コスト縮減と環境負荷軽減を追求し、SDGsを推進し、カーボンニュートラルなどのグローバルな課題について少しでも寄与していきたい。

### 参考文献

- 1) SB ウォール工法研究会：SB ウォール工法パンフレット (2021.7)  
[https://www.sbwall.org/upload/docs/20210730sb\\_pamphlet.pdf](https://www.sbwall.org/upload/docs/20210730sb_pamphlet.pdf)
- 2) SB ウォール工法研究会：SB ウォール設計・施工マニュアル (2020年2月版)  
<https://sbwall.org/upload/docs/2020sb.pdf>

# パーソントリップ調査における ビッグデータの活用について

土山 展子

兵庫県 まちづくり部 都市計画課 (〒650-8567兵庫県中央区下山手通5-10-1)

兵庫県では、近畿地方整備局及び近畿圏の府県政令市と共に、1970年から10年毎に近畿圏パーソントリップ調査を実施しており、その結果は、都市計画マスタープランや公共交通計画、まちづくりにおける施策の検討等で活用されている。しかしながら、近年は回答率低下や費用増大等が課題となっていた。2021年に実施した第6回調査では、それらの課題を解決するため、調査票の配布数を削減し、不足する情報をビッグデータで補完することとした。

本論文では、ビッグデータを活用する際に判明した課題を整理するとともに、次期調査に向けた対応策について考察する。

キーワード パースントリップ調査、ビッグデータ、個人情報、スマートフォンアプリ

## 1. はじめに

パーソントリップ調査（以下「PT調査」という）は、人の移動に着目した都市交通調査で、個人属性と1日の移動をセットで調査することで、1つの交通手段だけでなく、複数の交通手段の乗り継ぎ状況を捉えることが可能となる。本県では、近畿地方整備局及び近畿圏の府県政令市と共に、1970年から10年毎にPT調査を実施している。PT調査の結果は、都市計画マスタープランや公共交通計画、まちづくりにおける各施策の検討等で活用されている。

一方、調査票を直接配付する調査方法は、近年の特殊詐欺の増加や防犯意識の高まりによる回収率低下、それに伴う調査費用の増大等が課題となっており、その解決策としてビッグデータの活用が進められている。本論文では、PT調査にビッグデータを活用する際に判明した課題について整理するとともに、次期PT調査に向けた対応策を考察する。

## 2. PT調査の変遷と現状

近畿圏PT調査は、1970年から10年毎に実施しており、2000年の第4回調査までは、京阪神都市圏PT調査として実施してきた。その後、少子高齢化の進行や都市圏への人口集中など、社会情勢の変化による影響を把握するため、2010年の第5回調査から調査範囲を近畿圏全域に拡大した（図-1参照）。

一方、調査票の回収率は、回を重ねる毎に低下してお

り、第5回からは回収率が大幅に減少している。これは、訪問調査から郵送調査に変更したことや個人情報の保護に関する法律(2003年)の公布もあり、防犯意識が高まったことが要因と考えられる（図-2参照）。

調査データの分析には一定の有効回答数を要するため、回収率の低下は調査票の配布数を増やすこととなり、費用増加に繋がる。このため、2021年に実施した第6回調査では、一定の精度を確保しつつ(目標有効サンプル率10万人以上の市町:人口当たり0.8%、10万人未満の市町:1.4%、6万人未満の市町:1.62%)、費用を削減する目的で県内の調査票を前回から約7割削減(291,916

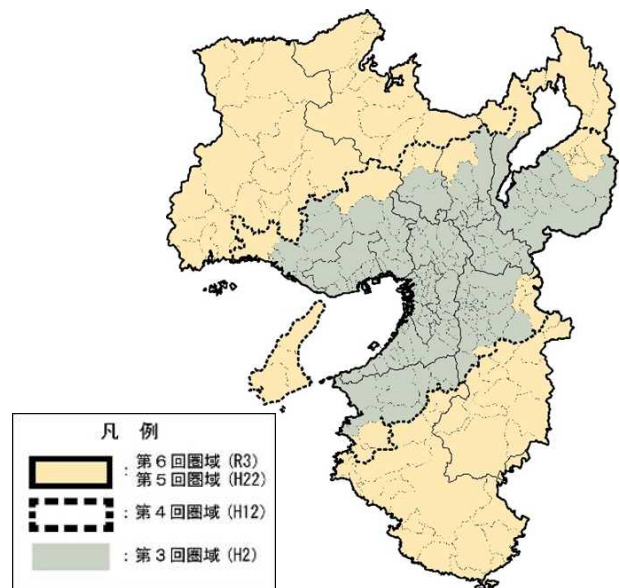


図-1 調査圏域



世帯⇒82,831世帯)し、不足する情報を携帯電話会社が販売するビッグデータを用いて補完することとした。

### 3. PT調査における課題と対応策

#### (1) PT調査における課題

PT調査における課題は、回収率低下による費用増大と精度低下である。回収率低下の要因として「個人情報に対する意識の高まり」を上げたが、調査票への記入に長時間を要し(通常15~30分程度必要)、回答者の負担が大きいことも、一つの要因となっている。このことは、過去のアンケートからも明らかとなっており、今回調査においても、高齢者を中心に「回答困難」との連絡が多数寄せられた(図-3参照)。

#### (2) webアンケートの実施

回答者の負担軽減を目的に、前回からweb回答を導入している。その結果、今回回答者の約36%がweb回答を選択しており(前は約10%)、一定の効果が見られた。しかし、大幅な回収率向上には繋がっておらず、昨今の特殊詐欺に対する防犯意識の高まりも影響を与えていると分析している。調査時の行政機関への問合せでは、30%が特殊詐欺を疑うものであった(図-3参照)。

#### (3) ビッグデータの活用

PT調査にかかる費用を削減するため、第6回近畿圏PT調査ではビッグデータを活用することで、調査票の配付数の削減を図った。

活用したビッグデータは、携帯電話会社保有の携帯電話基地局データを活用するものであり、携帯電話が通信安定のために定期的に基地局と交信している履歴情報を基に、人の移動を把握するデータである。携帯電話大手キャリアでは、NTTドコモによる「モバイル空間統計」、ソフトバンクによる「全国うごき統計」がビッグデータを基とした人流統計サービスとして販売されており、両社のデータに若干の差異はあるものの大きな違いは無い。

本調査では、NTTドコモからデータを購入した。今回

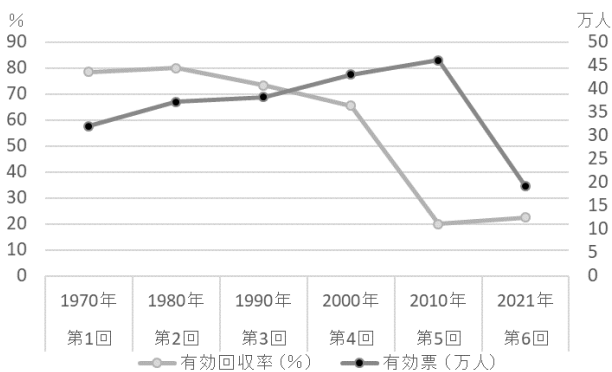


図-2 近畿圏PT調査における回収率の推移

のビッグデータでは、携帯と基地局の通信により、個人の概ねの位置を把握する。このため、個人に座標データは無い。また、個人の家族構成や身体障害の有無、移動の目的も不明となる。一方PT調査票では、自宅や目的地の情報を記入するため、発着点の座標が存在する。

このため、PT調査の調査票情報を基本として、ビッグデータにより拡大処理する方針で、2021年度にPT調査を実施し、2022年度にビッグデータを購入した。

### 4. ビッグデータ活用に当たり判明した課題

#### (1) 個人情報保護

ビッグデータは、民間企業から購入するため、個人情報保護の目的で、個人が特定される可能性がある情報は提供されない。「モバイル空間統計」の場合、サンプル数が一定以下になると、個人が特定されないように情報が秘匿処理される(「全国うごき統計」でも同様の秘匿処理あり)。1つの出発地(Origin)から到着地(Destination)への移動(以下「OD」という)に対して、例えば、1時間ピッチ/性別/年齢階層10歳ピッチのように、属性をクロスさせてサンプルを分割し、サンプルが少ない情報が発生すると、データが秘匿処理がされる。地方部ではサンプル数が少ないため、属性をクロスさせると秘匿情報が増えることになる。

PT調査においても、分析に一定の回答数を要するため、人口密度が低くサンプル数の少なくなる地方部のゾーン(一定の広がりを持つ地域)は細分化できない。このため、地方部では、市町人口当たりの抽出率を上げることで最低限の調査精度を確保しているが、都市部に比べると、個々の詳細な移動情報は得にくい結果となっている。

#### (2) PT調査とビッグデータの特性の違い

PT調査と比較してビッグデータの方がトリップ(移動)数が多い傾向にあるが、性別年齢階層別トリップ数や市区町村間OD等、トリップのパターンはPT調査デ

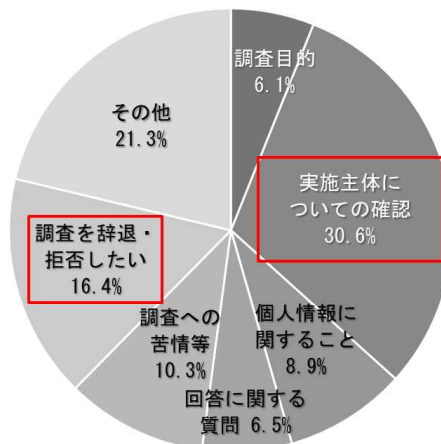


図-3 第6回調査における行政機関への問合せ要件の割合

ータと似通っている。しかし、以下のとおり異なる点もあった。

①朝～昼間の時間帯は、PT調査データの方がトリップ数が多い。

PT調査では、通勤トリップは国勢調査との整合により、実態に近いデータで取得されている。一方ビッグデータは、長距離トリップ等サンプル数の少ないデータが秘匿処理されたためと推察される。

②夜～早朝の時間帯は、ビッグデータの方がトリップ数が多い。

自由目的等、PT調査では記入が省略されがちな短距離トリップがビッグデータでは取得されるためと推察される。

このように、双方データにおいて、特性が一部異なることが判明した(図-4参照)。

### (3) PT調査とビッグデータの組み合わせの検討

ODペア(出発地と到着地の組み合わせ)を第5回、第6回調査と比較すると、約9万ペアと約4万ペアであった。これは調査票を7割削減したことにより、多数のODペアが出現しなくなったためと推察される。

出現しなかったODペアをビッグデータから補正することが考えられるが、①出現しなくなったODペアは元々トリップ数も少なく、ビッグデータでも秘匿処理されている可能性があること、②どれだけのデータが秘匿処理されているのか等不明な点も多く、一般統計データとして取り扱える程の確度があるのか疑問が残ること、③第6回東京都市圏PT調査でもビッグデータとの組み合わせ(拡大処理)を検討したが、データ特性の違いが大きいと判断し、組み合わせはしなかったことを考慮し、困難と判断した。

よって、第6回PT調査でも最低限の回答数は確保していることから、ビッグデータによる拡大処理や補正を諦め、それぞれ別のデータとして、各々でOD表を作成することとした。

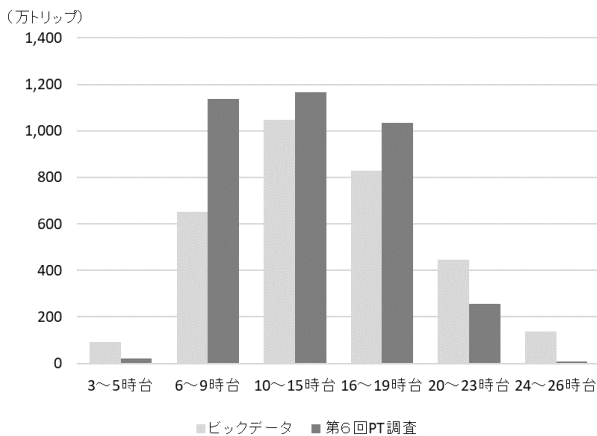


図-4 出発時間帯別トリップ数

## 5. 兵庫県におけるPT調査の結果

兵庫県では、第6回PT調査の集計結果より、県全体の人の動きに関する現状把握、鉄道を中心とした公共交通の利用実態、外出に困難がある方の外出特性等の現状分析をおこなった。

### (1) 兵庫県の人の動き

県内の総トリップ数は、第4回調査をピークに減少に転じ、前回の594万トリップ/日よりも約16%減少し、499万トリップ/日であった。これは調査開始以降、最も少ない結果である(図-5参照)。

年齢階層別外出率では、ほとんどの年代で外出率が減少しており、特に20~24歳の年齢階層で減少が顕著であった(図-6参照)。これは、スマートフォン等のモバイル端末の普及により活動形態や外出頻度が変化してきたことに加え、新型コロナウイルス感染症の影響により、テレワークやネットショッピング等の増加により、生活様式が変化したためと推測される。一方、健康な高齢者の増加により、高齢層の外出率は増加している。

この傾向は、近畿圏全体でも同様である。また、補完調査において、新型コロナウイルス感染症の影響を確認したところ、コロナ終息後、外出率は一定程度回復する

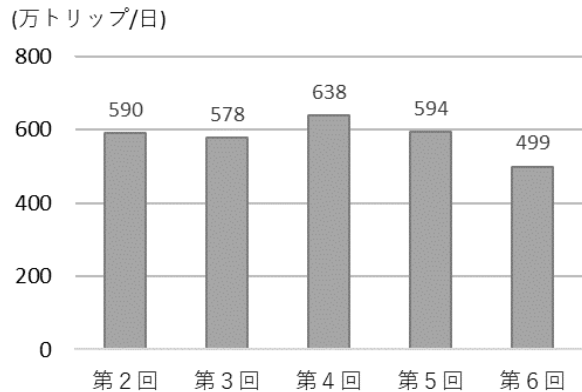


図-5 総トリップ数の推移(平日)

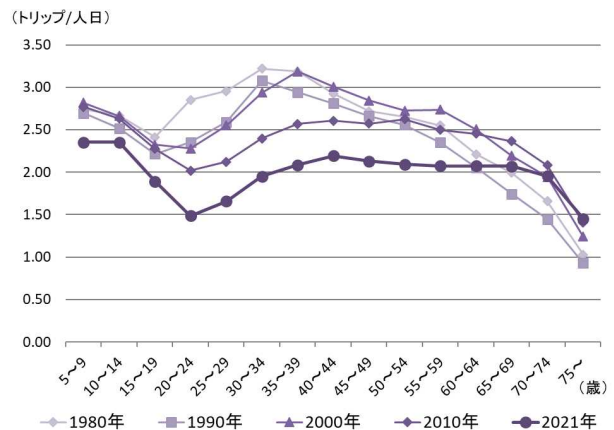


図-6 年齢階層別外出率

ものの、コロナ以前の水準までは戻らないと考えていることが分かった。

**(2) 鉄道を中心とした公共交通の利用実態**

鉄道利用を中心とした公共交通の利用については、都市部近郊や地方部の鉄道の沿線において、前回調査より、自動車等の分担率が増加し、鉄道が減少している傾向が見られた。

また、地方部では駅への主なアクセス手段が自動車となっており、駅端末交通手段のサービス水準の向上が課題となっている。

**(3) 外出困難者の外出状況の特性把握**

P T調査票において、外出に関しての困難を問う設問で「困難でない」を選択した方以外を、外出に困難がある方（以下「外出困難者」という）と位置付け、外出特性の把握を行った。

外出困難者の割合は全体の約9%で、地域差は見られなかった。外出困難者のうち約8割が高齢者で、75歳以上になると約4割が外出に困難があると回答している。

外出困難者の外出率は約40%と低く、困難でない人と比較すると半分程度となっている。一方、外出した人のトリップ数については、困難の有無でほとんど差は見られなかった（図-7参照）。移動目的を見ると、通院等が37%で最も多く、次いで買い物が30%となっている。困難の程度が大きい人ほど通院等の割合が高くなる。

また、都市部と地方部による特性を比較したところ、困難がない人では、外出率に地域差はなかったが、外出困難者では都市部の方が外出率が高かった。移動手段を見ると、都市部では鉄道・バス・徒歩の割合が高いのに対し、地方部では自動車利用が約70%であり、特に送迎の割合が34%と高い。また、外出距離と時間は、都市部が地方部よりも短い。

これは、都市部は居住地と目的地の距離が近く、外出に一部困難があっても一人での移動が可能となる交通手段が充実しているためと考えられる。

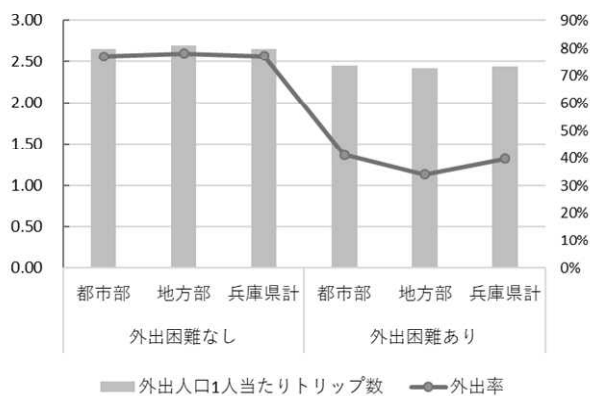


図-7 外出困難有無別トリップ数と外出率

**(4) 現状分析で確認できた課題**

当県では当初、駅利用に着目した分析を行うことを想定していたが、地方部では分析対象としていた駅の半数で利用者サンプルが欠如し、また利用者が存在した駅であってもサンプル数が不足しており、P T調査の結果からは十分な精度の分析が行えない結果となった。

調査票の配付数は一定の精度を確保できるよう設定したが、人口が少ない地域では、鉄道利用等の局所的な分析を行う場合、必要なサンプル数を確保できないことが判明した。また、ビッグデータでもゾーンの細分化や属性のクロスにより秘匿処理の可能性が高まることから、地方部の局所的な分析には利用しづらいことが分かった。

なお、ビッグデータを基に手段別目的別のOD表を作成したところ、第6回調査よりもODペア数の増加により、空間網羅性が向上することを確認しており、都市部ではより詳細な分析が可能となることから、個人属性が不要な分析等への活用を検討している。

**6. 次期P T調査に向けた対応策の提案**

**(1) 国における検討状況**

国土交通省は、2021年度より「新たな都市交通調査体系のあり方に関する検討会」を設置し、P T調査の調査方法の効率化について検討している。昨年7月に公表された中間とりまとめでは、①ビッグデータは、基本的な情報の公表が不十分な場合が多く、目的に対応した活用ができない場合があるとしている。また、②現時点で、ビッグデータでは移動の目的、交通手段、詳細な個人属性等を組合せて移動の実態を完全に把握することまではできていないことや、③民間事業として利益が出なければ、データ提供が停止される等、継続性も問題視している。その上で、P T調査は今後も必要であり、効率的な調査方法としては、スマートフォンの保有率上昇（世帯保有率：2010年9.7%⇒2020年86.8%）等を踏まえると、スマートフォンでの調査回答が適切である可能性が高いとしている。また、国による調査アプリの開発や、回収率向上に向け参加者へインセンティブを与える仕組みの検討についても言及している。

**(2) 次期P T調査に向けた対応策の考察**

今回ビッグデータを購入してから判明した最も大きな課題は「個人情報保護」による少数サンプルの「秘匿」である。この課題を解決するためには、P T調査に活用する前提でデータを取得する「事前登録型」にする必要がある。

P T調査をスマートフォンで実施し、参加する方は、調査に同意した上で、調査日の移動の目的、詳細な個人属性等を入力する。後はスマートフォンの位置情報を活用すれば、携帯電話基地局データよりも精緻な情報（移動経路や交通手段）を入手することができる。また、ア



アプリを活用すれば、誤入力等の自動指摘や集計の自動化、AIによる拡大処理等により、データの精度や鮮度がより向上すると考えられる。調査アプリが開発されれば、日本中どここのエリアであっても調査が可能となり、局所的なニーズに対応した調査の実施も可能と考えられる。

一方、スマートフォンへのアプリのダウンロードは、所有者の負担になることから、調査への参加を促すためには、インセンティブが不可欠である。例えば、移動に対してポイントを提供付与する民間アプリ（Miles、ANA Pocket等）との連携も考えられる（図-8参照）。

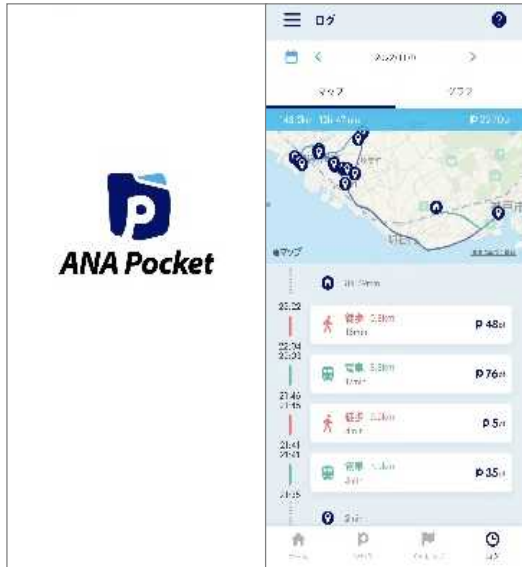


図-8 移動に対しポイントを提供付与する民間アプリの例

また、国の検討でも示されているとおり、国が調査アプリを開発すれば、マイナポイント等によるインセンティブ付与も可能と考える。マイナポイントの付与であれば、マイナカードから個人属性が正確に把握できるメリットもある。

ただし本案では、回答者に偏りが生じることが課題である。これまでは、住民基本台帳等から無作為抽出した方に調査を依頼していたが、情報リテラシーの高い人や報酬を求める人等、調査対象が偏る恐れがある。性別、年齢階層別、地域別で参加者に上限を設けても、これまでのPT調査とは異なる傾向を示す可能性は否定できない。この点については、次期PT調査までに実証実験等を実施し、検証する必要があると考える。

## 7. おわりに

まだ課題は残るものの、DXが急速に展開される昨今、PT調査においても、郵送・筆記による調査方法に改善すべき点が多い。また、ビッグデータを万能な情報と捉えていたが、秘匿処理など、PT調査に置き換わるデータとはならないことが判明した。今後も人の移動の実態を把握するPT調査は、交通やまちづくり等の様々な施策立案のエビデンスや施策の効果検証に必要であり、デジタル技術を活用した調査手法の導入は必要であると考えられる。

次期PT調査に向け、本県も参加する京阪神都市圏交通計画協議会において、有効なPT調査手法について議論し、今後のPT調査手法の改善に繋げたい。



# デジタル技術の活用による 建設業の多様な発展性について

塩田 寛乃<sup>1</sup>

<sup>1</sup>奈良県 幹線街路整備事務所 建設課 (〒630-8113奈良県奈良市法蓮町757)

建設業は、従来の3K（きつい・危険・きたない）のイメージに加え、国内の高齢化等に伴う従事者の減少に直面している。この労働力不足などの問題の解決に向け、国土交通省では、生産性の向上や魅力ある建設現場を目指す取組みとしてi-Construction<sup>1)</sup>を促進しており、奈良県県土マネジメント部においても、土木工事にICTの活用を推進している。

本稿では、実際に発注した工事で活用したICTやデジタル技術の妥当性や効果を検証するとともに、計画・設計・施工・維持管理の各段階におけるICTおよびデジタル技術の活用による今後の建設業の発展性について考察する。

キーワード ICT, デジタル技術, DX

## 1. 事業概要

2011年（平成23年）9月台風12号の豪雨による紀伊半島大水害において、五條市大塔町清水地内の一般県道高野辻堂線が対岸で発生した大規模な土砂崩壊により被災した。県道上に膨大な堆積土砂を残したまま、応急対策として同年に車両の通行を確保したが、その後の本復旧は協議に時間を要したため、2021年ようやく第1期工事に着手した。現在は昨年度の第2期工事に引き続き第3期工事を施工しているところである（図-1、写真-1）。

本稿のモデルとなる第1期工事（以下、「本工事」という）の概要は、工事延長L=434m、掘削工V=10,600m<sup>3</sup>、残土処分地での路体盛土工V=9,500m<sup>3</sup>で、残存している堆積土砂を撤去し道路復旧を行う工事である。工事の大部分を道路土工が占めることから、本工事は起工測量から納品までの各段階でICTを活用することを指定する「発注者指定型」として発注した。指定したICTの項目を表-1に示す。また、特記仕様書において、ASP方式の工事情報共有システム（以下、「ASP」という）の利用や遠隔臨場の試行も促した。



写真-1 事業箇所



図-1 事業位置図（五條市大塔町清水）

表-1 指定した ICT項目

番号	項目【内容】
①	3次元起工測量 【地上型レーザースキャナーによる起工測量】
②	3次元設計データ作成
③	ICT建設機械による施工 【3次元マシンガイダンス（ブルドーザ）】
④	3次元出来形管理等の施工管理
⑤	3次元データの納品



## 2. ICTの活用

本工事で活用されたICTの項目とそれぞれの効果を以下に示し、本工事の現場条件下における活用の妥当性について述べる。

### (1) 起工測量及び出来形測量時

本工事では、発注者が指定した地上型レーザースキャナー（以下、「TLS」という）による起工測量（表-1①）に加え、出来形測量（表-1④）にもTLSを用いた（写真-2）。

当該箇所は丘陵型地形で見通しが良好であったことから、TLS使用時のデメリットである器械移設の回数を極力抑えることができ、また大規模な掘削作業において、官民境界など精度を要する箇所では、空中写真測量に比べ測量精度が優位となるTLSによる測量を選択した妥当性が認められた。

### (2) 3次元データ作成及び出来形管理時

出来形管理は、先述のTLSによる測量で得られた点群データを用いて3次元データを作成する（表-1③）ため、複数のアプリを併用した。各アプリの用途を表-2に、また作成したデータを図-2、図-3に示す。

複数のアプリの導入には多大なコストを要するが、各アプリを併用し、長所を活かすことで、必要なデータを適切かつ迅速に処理することが可能となり、より精度の高い出来形管理を実施することができた。

### (3) ICT建設機械による施工

本工事の施工は、山が近接し、上空開口部が狭隘であることからGNSS<sup>3)</sup>を用いたICT施工が不可能なため、発注時に自動追尾型トータルステーションを用いたICT施工を想定し、ICTブルドーザ（3次元マシンガイダンス）を指定した。施工時は受注者からの提案により、ICTバックホウ（3次元マシンガイダンス）も併用することとした。

ICTブルドーザについては、施工に課題もなく、精度の高い出来形であった。

また、本現場におけるバックホウの活用効果を検証するため、受注者に協力を依頼し、50m<sup>2</sup>の法面整形作業を3種類（ICTバックホウ、2Dマシンガイダンス搭載バックホウ、ガイダンス等無搭載バックホウ：オペレーターは全て同一人物）実施し、施工性や精度について比較した。ICTバックホウが標準バックホウに比べ時間・精度ともに有効であるとともに、本工事の条件下では、2DマシンガイダンスバックホウもICTバックホウとほぼ同等の効果が得られ、有効である結果となった（表-3）。



写真-2 TLSによる測量状況

表-2 活用した3次元データ作成アプリ

活用したアプリ	用途
TREND-POINT	TLSで得られた3次元点群データの処理
TREND-ONE	2次元データ（平面図や横断図）の3次元化
TREND-CORE	構造物等の3次元モデルの作成
SiTECH 3D	上記作成データをICT施工現場端末アプリ（快速ナビ）への入力

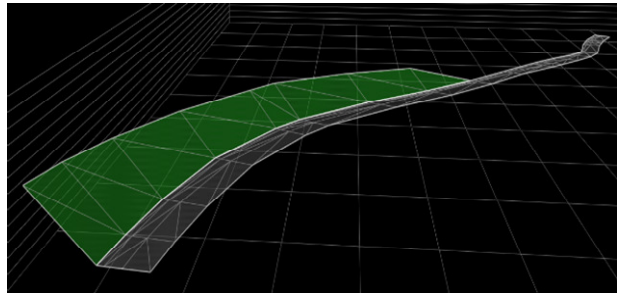


図-2 作成した3次元データ

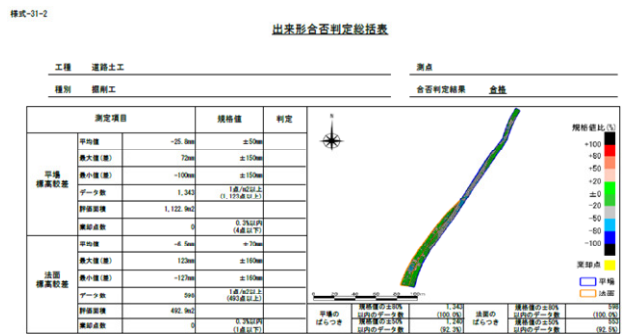


図-3 出来形帳票（ヒートマップ）

表-3 施工性や精度の比較

使用機器	規格	整形時間 (分)	丁張の有無	精度 (mm) (計画との誤差)
ICTバックホウ	0.8m3級	20	無	13
2DMGバックホウ	0.8m3級	20	頂部のみ必要	15
標準バックホウ	0.8m3級	25	必要	22

### 3. デジタル技術の活用

受注者の提案によりICTの他にデジタル技術の活用も行われた。そのうち代表的事例とその効果を以下に示す。

#### (1) ASPの活用

本工事では、ASPの活用により受発注者間の情報共有を行った(図-4)。受注者からの資料の確認や発注者からの指示等をシームレスに行うことができ、さらに未確認などの人為的ミスを防止できたことから、作業性向上の効果が認められた。

#### (2) デジタルサイネージを用いた第三者揭示

本工事は複数の隣接工事との工程調整が必要であったため、関係者が通行する場所にデジタルサイネージを設置することで、工事の進捗や施工状況等の様々な情報を発信し周知した。従来の回覧板配布に比べ円滑な情報共有を効率よく行うことができ、効果的な取組であったと考えられる(写真-3)。

#### (3) VR・MRを用いた安全教育の実施

作業員の安全教育において、本工事では、VR<sup>4)</sup>(Virtual Reality)を用いた体験教育が実施された。作成した3次元データの活用による仮想空間内現場で現実的にリスクを想定できることから、安全意識の向上に繋がる効果があった(写真-4)。しかし、視野が確保できないことから船酔いのような感覚をもつ作業員もいたことから、その課題を解決するため、第2期工事以降ではMR<sup>5)</sup>(Mixed Reality)の導入も行っている(写真-5)。



写真-4 VRによる安全教育(上:実施状況,下:画面イメージ)



図-4 ASPによる情報共有状況



写真-5 MRによる安全教育(上:実施状況,下:スクリーンショット)



写真-3 デジタルサイネージ

#### 4. 活用した技術の効果から導き出される発展性

上記で活用されたICTやデジタル技術の効果や妥当性を検証した結果、工程短縮や作業効率の向上などの効果はあるものの、多大な導入コストが必要などのデメリットがあることや、工事条件によってはICT建設機械の活用以外にもICTと同等の効果をえられる項目があることがわかった。その結果を踏まえ、発注者として、計画・設計・施工・維持管理の各段階において、どのようにICTやデジタル技術を活用すべきか、また、ICTおよびデジタル技術活用による今後の建設業の発展性を以下のとおり考察する。

施工段階において、さらに広くICTおよびデジタル技術を推進するには、受注者の負担を減らし、ICTへのネガティブなイメージを払拭できるよう、計画段階において、現場条件を理解し、ICT活用の可否を十分に検討する必要がある。ICT活用が困難な場合であっても、ASPや本工事では電波の都合上実施できなかった遠隔臨場のように書類のデジタル化や就業時間の抑制という省力化効果があり比較的安価な技術については、引き続き積極的に推進すべきである。

さらに、施工段階においてスムーズに工程を進めるためには、工事発注段階での施工計画と受注者による現地照査に基づく施工計画の乖離をできるだけ少なくする必要があるが、計画段階においてICTやデジタル技術を活用することで、正確に現場条件を把握し、より適切な施工計画を立案することにより、効率のよい施工につなげることができる。このことから、計画段階における効果的なICTやデジタル技術の活用の推進も必要であると考える。

また、計画から維持管理まで3次元データを活用し管理する方法(BIM/CIM<sup>®</sup>)も推進されているが、地形の変化等の度に3次元測量を実施する必要がある場所については、測量やデータ整理に係るコストや作業時間が増加するデメリットが大きく不向きであるなど、適用する箇所を考慮する必要がある。

以上のように、発注者としては、全ての工事でICTを活用するのではなく、ICTが不向きな現場では他の手法の検討も行うなど、現場条件を正確に把握し、各段階において積極的かつ効果的なICTやデジタル技術の活用を推進する必要がある。それにより受発注者ともに効率的に時間を創出し、さらに継続することで、ワークライフバランスの確保による働き方改革や建設業のイメージアップが期待でき、若手就業者の増加など、建設業の発展に繋がると考えている。

#### 5. まとめ

本稿において、ICTやデジタル技術の活用の妥当性および効果が検証された。近年は、i-Constructionに加え、DX<sup>®</sup>が提唱されている。奈良県においても、ICTやデジタル技術の適切な活用を推進することで、建設現場における合理性の確立や生産性の向上、延いては働き方改革など建設業の発展につなげたいところである。本稿が、今後デジタル技術の活用により発展を目指す技術者の皆様にとって有益なものとなることを願う。

※本稿は、前所属である奈良県五條土木事務所工務第二課における業務に基づくものである。

**謝辞：**最後に、本稿のモデルとなった工事関係者の皆様、また本稿作成にあたりご協力いただいた関係者の皆様に深く感謝を申し上げます。

#### 付録

- 1) i-construction：国土交通省が掲げる生産性革命プロジェクトの一つで、ICTの全面的な活用等の施策を建設現場に導入することにより、建設生産システム全体の生産性向上や魅力ある建設現場を目指す取組。
- 2) TREND-POINT, TREND-ONE, TREND-CORE：福井コンピュータ(株)製システム, SiTECH 3D：(株)建設システム製システム
- 3) GNSS：Global Navigation Satellite System (全球測位衛星システム) の略。
- 4) VR：Virtual Reality (仮想現実) の略。
- 5) MR：Mixed Reality (複合現実) の略。
- 6) BIM/CIM：Building / Construction Information Modeling/Managementの略。計画、調査、設計段階から3次元モデルを導入することにより、その後の施工、維持管理の各段階においても3次元モデルを連携・発展させて事業全体にわたる関係者間の情報共有を容易にし、一連の建設生産・管理システムの効率化・高度化を図ることを目的としたもの。
- 7) DX：Digital Transformationの略。国土交通省は、インフラ分野においてもデータとデジタル技術を活用して、国民のニーズを基に社会資本や公共サービスを変革すると共に、業務そのものや組織、プロセス、建設業や国土交通省の文化・風土や働き方を変革し、インフラへの国民理解を促進すると共に、安全・安心で豊かな生活を実現すべく、取組を推進している。

# 川上ダムにおける管理の効率化に向けたCIMの構築について

北爪 皓<sup>1</sup>・大高 英澄<sup>2</sup>

<sup>1</sup>独立行政法人水資源機構 木津川ダム総合管理所 川上ダム管理所  
(〒518-0298三重県伊賀市阿保2171番地12)

<sup>2</sup>独立行政法人水資源機構 木津川ダム総合管理所 川上ダム管理所長  
(〒518-0298三重県伊賀市阿保2171番地12)

川上ダムではDX推進の一環として、設計、施工、維持管理の一貫したCIMの構築を行った。建設時は、地形、地質及び構造物を3次元モデル化し、これに建設工事の施工管理データを付与したCIM（施工CIM）を構築、運用しつつ、管理移行を見据えてダム維持管理の効率化・高度化を目的としたCIM（管理CIM）を構築した。管理CIMでは、施工CIMのモデル及びデータ等を継承し、加えてダム諸量、各種観測・巡視記録等を一元管理しており、蓄積したデータを種々の方法で可視化している。現在は管理CIMを運用し、試験湛水及び維持管理データの管理を行っている。

キーワード DX, CIM, ダム維持管理, 効率化, 高度化

## 1. はじめに

CIM(Construction Information Modeling/Management) とは、測量・調査、設計、施工、維持管理・更新の各段階で、情報を拡充しながらモデルを連携・発展させ、事業全体にわたる関係者間の情報共有を容易にし、一連の建設生産・管理システム全体の効率化・高度化を図ることを目的としている<sup>1)</sup>。川上ダムにおいては、DX推進の一環として、2017年より設計、施工、維持管理の一貫したCIMの構築に取り組んできた。

施工CIMにおいては、地形、地質及び構造物を3次元モデル化し、施工管理データ等を付与して施工管理支援ツールとして活用してきた。また、ダム建設中より、ダム維持管理の効率化・高度化を目的とした管理CIMの構築に着手し、現在は管理CIMを運用して試験湛水及び維持管理段階のデータを蓄積・管理している。

本稿では、川上ダムで構築・運用している管理CIMについて、概要を報告するものである。

## 2. 管理CIMのシステム構成

管理CIMのシステム全体構成は図-1のとおりである。また、管理CIMには各構造物等のモデルと建設時の施工

管理データに加え、表-1のダム維持管理において得られるダム諸量、各種観測・巡視等のデータを取り込んでいく。ダム管理用制御処理設備（ダムコン）をはじめ、各種観測装置に収録するデータはクラウド上の管理CIMサーバに自動集約され、一元管理可能なシステムを構築している。これにより、従来、各種観測データ収録装置か

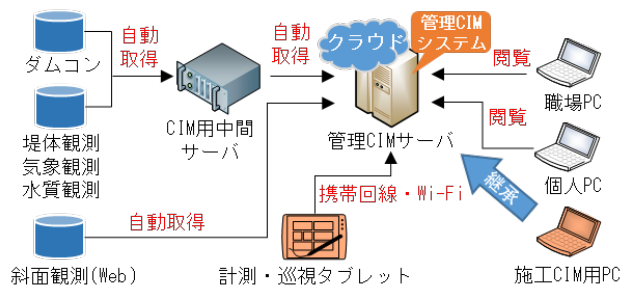


図-1 管理CIMのシステム構成図

表-1 管理CIM取り込みデータ

場所	データ
堤体	漏水量、変位量、温度、ひずみ、応力、地震動、堤体巡視、クラックマップ 等
貯水池	貯水位、流入量、放流量、水温、水質、雨量、気象、斜面挙動、地下水、斜面巡視、堆砂 等
河川	取水堰水位、水位、流量、水温、水質 等
その他	法令協議、使用承認 等



ら個別にUSB等によりデータ収集していた作業を効率化した。また、クラウドサーバ上にシステムを構築することで、管理CIM内で一元管理している上記データを、職場や個人のPCなどのインターネット接続された端末より閲覧でき、各データのリアルタイム監視が可能である。通信環境が整えば遠隔地からもデータ確認ができるため、地震発生時の堤体挙動の変化の確認など、防災面でも迅速に状況把握ができる。また、試験湛水中の日々の監視が効率的に行える。

加えて、計測・巡視タブレット上で揚圧力等の堤体計測結果及び堤体、貯水池等の巡視結果を記録し、携帯回線や監査廊内のWi-Fiを利用してデータを管理CIMサーバへアップロードすることで、管理CIMシステム上でデータを自動整理できる。これにより、従来の野帳等で記録した後に電子化、保存する作業の効率化を図った。

クラウド上での3次元モデルの使用にあたっては、操作性を考慮し、位置の判読性を保ちつつモデルの簡略化・軽量化を行った。施工CIMで用いた高精細なモデルは専用PCで管理し、必要に応じ細部構造を把握する。

測・巡視記録の即時共有及び蓄積を実施している。タブレットシステムは、Microsoft Office等汎用ソフトとの親和性、アプリケーション開発及び維持の容易さ、システムの動作保証の観点から、Windowsで動作するものを構築した。タブレットシステムには、計測結果及び巡視結果の記録、日報出力を行う機能を備えている。

(1) 計測記録

手動計測している基礎排水孔漏水量、継目漏水量及び揚圧力の計測結果は、図-2のとおりタブレットの計測記録機能を使用して記録する。これら手動計測のデータについては、野帳に記録した数値をPC等で再整理して報告することが一般的であるが、本システムではタブレットに計測結果を直接入力し、アップロードすれば作業を完了するため、従来に比べてデータ入力ミスが少なく、数値換算や保存等のデータ整理も自動的に行われる。また、データ入力時に、現地において経時データを確認できる機能を備えており、現地で計測値の判定、再測の判断等ができ業務の効率化に寄与している。

3. 計測・巡視タブレットシステムの概要

前述のとおり、管理CIMでは堤体の計測、堤体及び貯水池等の巡視にタブレットシステムを導入し、日々の計

(2) 巡視記録

堤体内外や貯水池等の変状情報、定点観測情報などの巡視記録は、図-3のとおり位置情報と変状の段階評価を記録するとともに写真と文章を記録できる。記録を位置情報とリンクさせることで、変状や定点観測情報の時系列変化を確認することができる。位置情報は図面上で当



図-2 計測記録

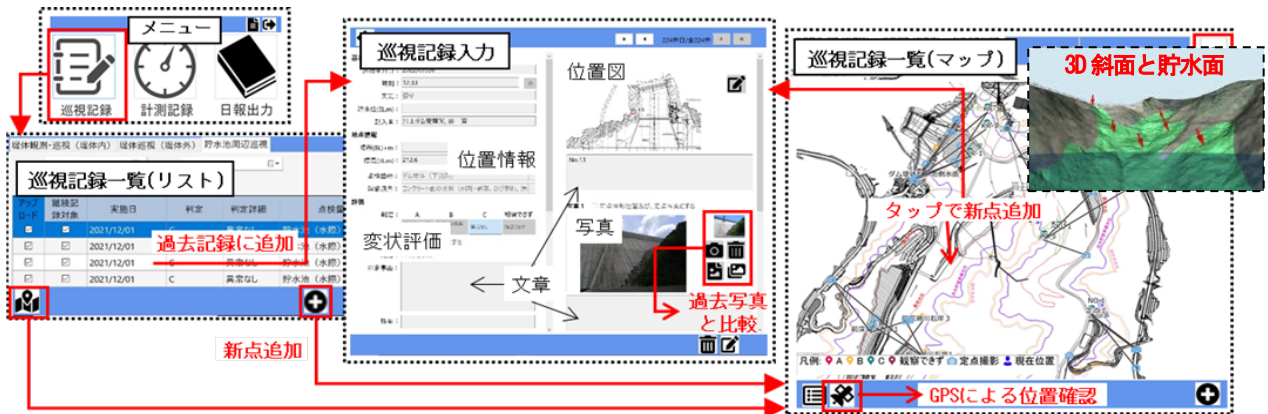


図-3 巡視記録

該場所をタップすることで自動挿入される。適切な巡視を支援する機能として、現在地の把握が難しい貯水池等屋外では、GPS機能を利用した位置取得が可能である。また、監視対象となっている斜面においては、当該斜面の3次元モデルと任意の貯水位の水面を合わせて表示し、注視範囲を明示する機能を備えている。

(3) 日報出力

(1)及び(2)の機能で記録された計測及び巡視結果は、自動的に日報形式へ整理される。タブレットシステムからはこの日報を、期間を指定して出力することができる。日報は2次利用等の汎用性を考慮してExcel形式とした。

4. 管理CIMシステムの概要

クラウド上の管理CIMシステムは、建設時の施工管理データ等の保存に加え、ダムコン、各種観測装置及び計測・巡視タブレットと連携して、データの自動取得、3次元モデル等を活用した位置情報との関連付けを行う。また、任意のデータを位置情報を付与して登録することもできる。システムで保存、位置情報とリンクした各種データは、モデル/データ管理、ファイル管理、データ管理の機能により管理している。

(1) モデル/データ管理

モデル/データ管理機能の概要を図4に示す。当該機能は、各種データを3次元モデルと紐付け位置情報と併せて管理するものであり、選択したモデルに関連する施工管理データ、巡視記録、任意で記録可能なその他記録の確認及びダウンロードができる。この機能により、特定個所に関するデータが必要な場合に、データの迅速な収集が可能となる。

また、巡視記録には前述のとおり位置情報が記録されており、その位置情報を基に、モデル上に球を表示することで巡視地点を自動付与する。巡視地点を選択することで、当該地点の巡視結果の詳細情報を時系列で確認・

ダウンロードすることが可能である。3次元モデルを活用した巡視結果の管理は、変状の偏在状況の視覚的把握に寄与する。

モデルをレイヤ管理及びビューポイント管理することで、モデルの表示/非表示及び特定モデルへのワンタッチアクセスが可能となり、資料収集作業をさらに効率化している。

(2) ファイル管理

ファイル管理は、モデル/データ管理が3次元モデルと連携したデータ管理手法であるのに対し、モデルと紐づけずにリストで施工管理データの管理を行う機能である。データの位置が判明している場合に、モデルを介さず直接データを検索するものである。

(3) データ管理

データ管理機能では、タブレットにより登録した計測及び巡視記録、ダムコンや各種観測装置から取得した観測値、任意で記録したデータを管理している。

巡視記録は図5のとおり、リストで管理しており、巡視日、巡視箇所、変状評価の判定等で検索が可能であり、例えば、斜面に関する重大な変状(判定A)にフォーカスして巡視記録を検索することができる。

タブレットにより入力した計測記録、ダムコン、各種観測装置より集約した観測値は、日報、月報、年報に整理して管理している。図6は雨量、気温や貯水位と堤体



図-5 巡視記録の管理



図-4 モデル/データ管理

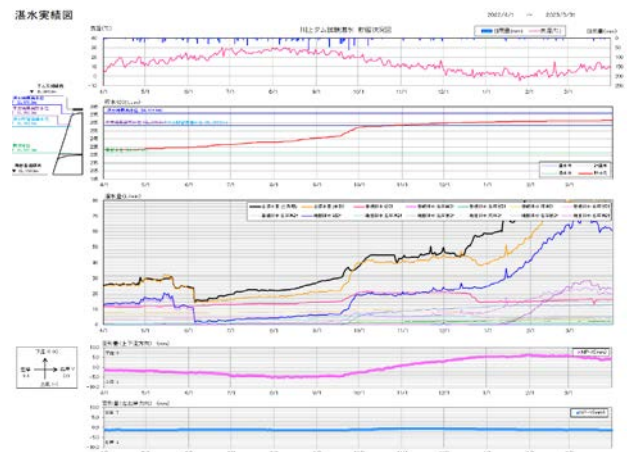


図-6 湛水実績図の例



漏水量、変形量の関係に着目して年報整理した湛水実績図の例である。図-6のようにダム定期報告様式を基に各データを整理することで、データの関連性を複合的に考察できるように工夫した。また、ダム定期報告の作成には、観測データを個別の収録装置から長期間のデータを収集し、手で報告様式へ整理する労力を必要とする作業であるが、管理CIMは自動的にデータ整理を行うため、この作業が効率化されている。本システムは、前記の定期報告に基づくデータ整理の他、数値データや単純な時系列変化のグラフのみでの傾向把握が難しい観測データについて可視化を実施している。図-7に貯水池水質データ（水温）の整理事例を示す。貯水池水質は、時系列変化に加えて鉛直分布するデータであり、変化傾向の把握が難しい。そこで、管理CIMでは図-7のように横軸に時間を、縦軸に貯水位をとり、水質の数値を色で可視化することで、水質の変化傾向の把握が容易となるように整理を行っている。図-7からは、10月から12月にかけて表層水温が低下し、温度躍層が消失している様子が視覚的に把握できる。上記は、集約したデータを特定の形式で整理する機能であるが、今後のデータ利用の柔軟性を考慮し、集約したデータをCSV形式で出力する機能も備えている。

ダム維持管理において管理すべきデータには、上記のような観測や巡視のデータの他に、他の官地の占用等に関する法的許認可情報、民地の借地情報や川上ダム管理施設等の使用承認情報など多岐にわたる。そこで、管理

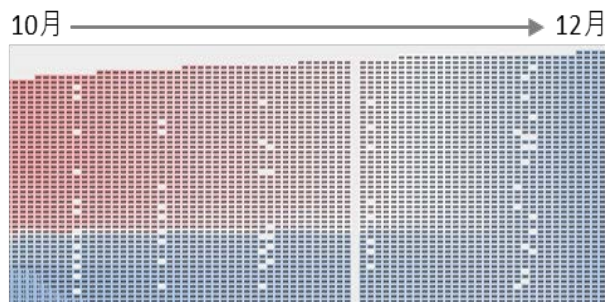


図-7 貯水池水質（水温）変化図の例



図-8 その他記録・お知らせ機能

CIMに任意の情報を登録できる機能を整備した。登録は図-8に示すとおり、許可申請、ダム総合点検やその他の登録項目、名称、情報の期限、関連する3次元モデル、平面位置、備考を入力して行う。対象モデルを選択した場合、4章(1)節で触れたその他記録に表示されるようになる。対象となるモデルがない場合は、平面図上より位置を選択して登録することが可能であり、人員を変更した場合でも対象物の把握を適切に行える。また、登録情報に期限を設定しておけば、期限到来前にトップページのお知らせ欄にてテロップが表示され、期限間近の案件を明示する。この機能は、例えば土地の占用等許認可申請の期限忘失の防止や、更新申請手続きのスケジュール管理に寄与するものである。

## 5. おわりに

本稿では、ダム維持管理の効率化・高度化を目的として構築した川上ダム管理CIMの機能等の内容について報告した。川上ダムの管理CIMは、各種観測装置からの自動データ集約、手動計測項目へのタブレット採用や定期報告形式でのデータ自動整理等による業務の効率化と、3次元モデルと連携したデータ記録・管理、集約したデータの可視化と複合的整理による維持管理の高度化を重視して構築した。また、地震時における緊急のデータ確認や試験湛水中における日々の監視の効率化の観点から、システムをクラウド上に構築し、インターネット上の任意端末からのデータ確認を可能とした。

ダム維持管理での3次元モデルを活用したデータ管理は、視覚的な状況の把握が容易となり、維持管理業務の効率化・高度化につながるものと考えられる。ただし、3次元モデルの活用はそのデータ量の大きさや特徴的な操作感により、操作性を損なう場合がある。特にクラウドの使用においては、インターネットの回線速度や安定性の影響を受ける。そこで、今回実施したようなモデルの簡略化・軽量化や、モデルを用いた3次元でのデータ管理とグラフ等による2次元でのデータ管理を適切に使分けしていくことが、長期的に維持管理に活用される管理CIMシステムの構築において重要であると考えられる。

上記のとおり、3次元モデルの作成方法や適切なデータ管理方法に留意したうえで、ダム維持管理でのCIM活用は非常に有効な手段であると考えられる。

今後は、他ダムへの普及や管理CIM構築の標準化に向け、川上ダム管理CIMの構築で得られた成果を広く共有していきたいと考える。

## 参考文献

- 1) 国土交通省：BIM/CIM 活用ガイドライン(案)

# BIM/CIM原則化に向けた設計から施工への データ受渡し方法の取組について

大里 裕太<sup>1</sup>・辰見 彰啓<sup>2</sup>

<sup>1</sup>近畿地方整備局 大和川河川事務所 管理課 (〒582-0009大阪府柏原市大正2丁目10-8)

<sup>2</sup>近畿地方整備局 企画部 (〒540-8586大阪府大阪市中央区大手前1-5-44)

近畿地方整備局では、2021年4月1日に、全国に先駆けて官民の人材育成拠点となる、「近畿インフラDX推進センター」を開設し、人材育成のための研修やDXの情報発信を行っている。このインフラDXにおける取り組みの一環として、設計から施工へのBIM/CIMデータ受渡し方法について検討を実施し、さらにはBIM/CIMデータを扱える人材の育成方法について検討を行った。本稿では、本検討により得られた効果や課題等について報告する。

キーワード BIM/CIM, ICT施工, 研修, 人材育成, 技術力向上

## 1. はじめに

### (1) 背景

近年、建設業でも高齢化が進んでおり、将来、建設従事者の減少が予想されている。また、公共構造物については、高度経済成長期に建てられたものが多く、今後、これら老朽化した構造物の維持管理の増加が考えられる。よって、これらに対応する建設従事者の不足は喫緊の問題となっている。

本稿では、この解決策として建設業の生産性向上を目指し、インフラDX（特にBIM/CIM）の活用による業務改善方法について検討を行ったものである。

### (2) 現状

今年度よりBIM/CIMは原則適用されることとなった。BIM/CIMとは計画、調査、設計段階から属性情報（部材（部品）の情報（部材等の名称、形状、寸法、物性及び物性値（強度等）、数量、そのほか付与が可能な情報））を持った3次元モデル（以下「BIM/CIMデータ」という。）を導入することにより、その後の施工、維持管理の各段階においてもBIM/CIMデータを連携させ、一連の建設生産・管理システムの効率化・高度化を図るものである。現在、工事でのBIM/CIMデータの活用方法としては、主に地元説明や設計照査、施工計画などに活用されることになっている。

また、ICT施工については、2次元の設計図面から施工者が3次元化し、ICT施工を実施している。施工者が3次元化するという手間が増えているが、実際は、現地での丁張り等が不要になったため、ICT施工を実施することによって現場は効率化されている。

将来、建設従事者の減少が見込まれる中、建設作業員1人当たりの生産性の向上を図るべく業務改善を

図ることが重要と考える。そのため、本稿では、業務改善を図る方策として、令和5年度より原則適用されたBIM/CIMデータの活用について検討を行った。

## 2. BIM/CIMデータの施工への活用

### (1) BIM/CIM原則化に向けた設計から施工へのデータ受渡し方法

BIM/CIMデータを施工に活用するに当たっては、今まで実施した事例がないため、まずは簡単な構造で施工にBIM/CIMデータの活用が可能か検証を行った。

検証方法は以下のとおりである。

#### a) 目的

設計データ（BIM/CIMデータ）をICT施工に活用する。

#### b) 対象構造物

盛土（道路盛土、堤防盛土）

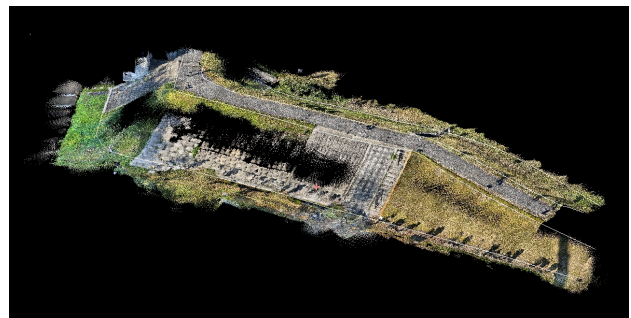


図1：盛土の点群データ

図1のとおり近畿技術事務所の施設内にある盛土を点群データとして計測して、その点群データからBIM/CIMデータを作成した。



c) 使用ソフト【3次元CADソフト】

BIM/CIMデータ作成ソフト：V-nasClair, Civil3D

ICT施工データ作成ソフト：TREND武蔵

d) ICT施工へのBIM/CIMデータ活用の流れ

BIM/CIMデータを施工に活用する流れは、下記図2のフローのとおりである。

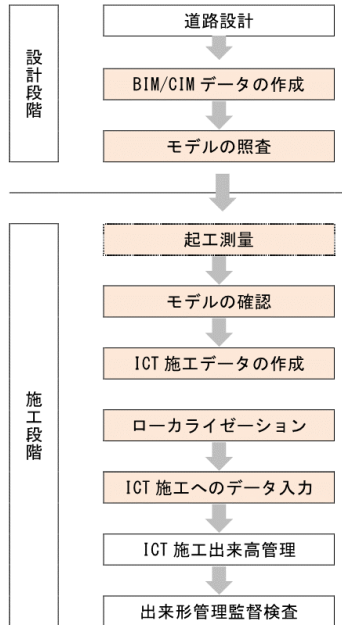


図2：設計から施工へのデータ受け渡しの流れ

e) BIM/CIMデータのICT施工への引渡し方法

①盛土のBIM/CIMデータを作成

②BIM/CIMデータのJ-LandXMLでエクスポート

※BIM/CIMデータのJ-LandXML化については、下記2ソフトを記載

【使用ソフト】V-nasClair（オプションCIM-Kit）の場合

【変換方法】

①「LandXML1.2に準じた3次元設計データ交換標準（案）」に基づきデータを作成。

②①で作成したデータをオプション機能CIM-KitよりJ-LandXMLとして出力



図3：J-LandXMLの作成手順（V-nasClair）

【使用ソフト】Civil3D（アドオン機能J-tools），CalsToolsの場合

【変換方法】

①「LandXML1.2に準じた3次元設計データ交換標準（案）」に基づきデータを作成。

②①で作成したデータから、サーフェス、線形、コリドー、ID情報をLandXML1.2形式にて出力。

③①で作成したデータから片勾配情報等のCSVを出力。

④電子納品用ソフト（CalsTools）を使って、②LandXMLと③CSVを統合。

⑤J-LandXMLとして出力。

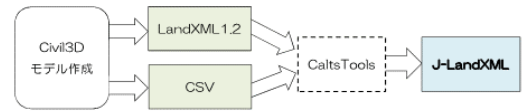


図4：J-LandXMLの作成手順（Civil3D）

③TREND武蔵にJ-LandXMLデータをインポート

④ICT施工を実施するため起工測量データと重ね合わせ、断面を追加・修正

※今回は、TREND武蔵にて加工・修正

- ・不要線の削除
- ・天端高さの調整

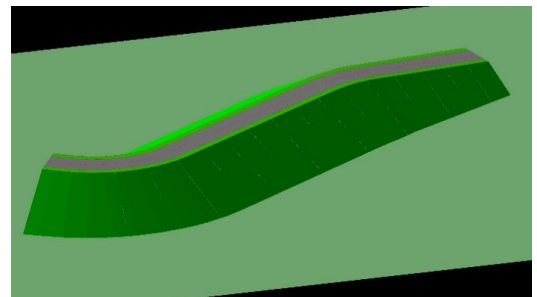


図5：BIM/CIMデータ

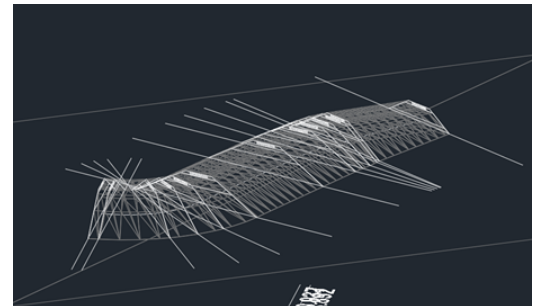


図6：ICT施工データ

⑤使用するバケット幅に合わせて、TINデータの大きさを調整

例：バケット幅1.17m、法面2mの場合、1つのTINは2.5m以上とする。

⑥ローカライゼーション

- ・GNSS測量の実施。
- ・平面直角座標系と地理座標系の関連付けを設定
- ・施工エリアを取り囲む4点以上の工事基準点を準備
- ・地理座標系を平面直角座標系に変換（ローカライゼーション）する。

⑦建機に入力（データを送信）

ICT建機に読み込み可能なICT施工データとローライゼーション結果をICT建機に対応するソフトに読み込む。

⑧建機（バックホウ）による施工

BIM/CIMデータをICT施工に活用する上で、施工者、設計者、発注者など各立場の役割は下記フローのとおりである。

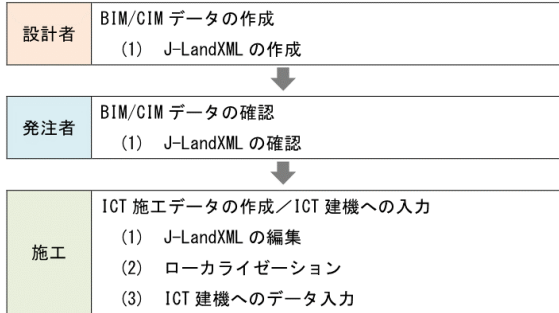


図7：各立場における施工データ変換項目

なお、発注者については、設計者の作成したBIM/CIMデータ（J-LandXML）を確認し、施工者へ受け渡す。確認の際は、「中心線形」，「横断形状」，「サーフェス」の3つの要素が正しく作成されているかを確認する必要がある。

(2)結果

○BIM/CIMデータをICT施工に活用することは可能であることが確認できた。

しかし、今回は単純な盛土構造であったため、複雑なIC構造やトンネル、橋梁などの構造物についてはまだ未検証であり、今後、検討が必要となる。

○施工者からは、1から3次元データを作成するより、BIM/CIMデータを使用した場合データの削除・修正作業のみとなるため、作業の簡素化が図れるとの意見があった。

(3)今後

ICT施工にBIM/CIMデータの活用は可能であることが確認できたが、このBIM/CIMデータを使える人材がいらない。そのため、BIM/CIMデータをICT施工に活用できる人材の育成を目的とした研修（BIM/CIM施工研修）を立案した。

3. BIM/CIMを活用する人材の育成

(1)BIM/CIM施工研修の実施

BIM/CIMデータをICT施工に活用すべく、BIM/CIMデータをICT施工に引渡し技術の習得を目指した「BIM/CIM施工研修」を下記のとおり開催した。

a) 目的

BIM/CIMデータを施工に活用できる人材を育成することを目的に、BIM/CIM施工研修を開催した。

これは主として設計から施工へデータの引渡し技術の習得を目指した研修である。

b) 研修実施日

令和4年12月15日、16日の2日間

c) 研修対象者

施工者、設計者、発注者（発注者支援を含む）の20名

d) シラバス

①BIM/CIMデータの設計から施工への理想的な受け渡しを体験・理解する。

②発注者・設計者・施工者の役割にとらわれず、データ受け渡しの全体を理解する。

③BIM/CIMデータ（J-LandXML）の作成・納品・確認ができる。

④BIM/CIMデータを起工測量や変化点を考慮しICT建機用データに編集できる

e) BIM/CIM施工研修にて実施する内容

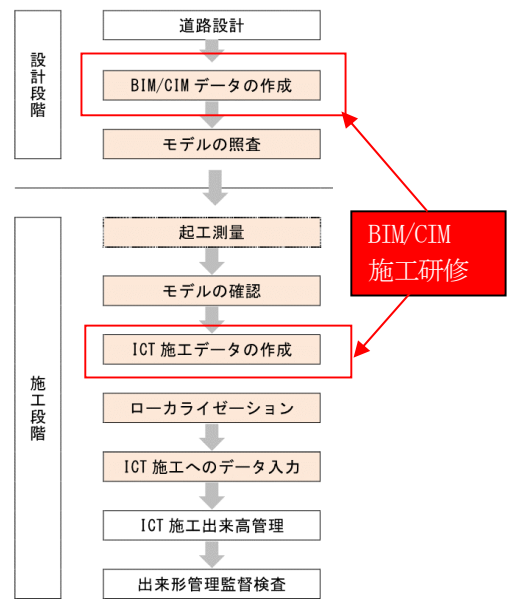


図8：BIM/CIM施工研修の実施箇所

f) カリキュラム

カリキュラムは上記d)のシラバスを受けて、BIM/CIMデータからICT施工への引渡し技術の習得に特化したものとした。

また、より研修内容の理解を図るべく、聞くより実習の時間を多くとるため、演習、班別討議、また理解度を確認する達成度試験を取り入れた。

なお、研修内容が効果的に習得できるよう本研修の趣旨を記載した資料を事前に研修生に配布し、研修前に学習しておくようにした。

## 【カリキュラム】

- ・BIM/CIM概論
- ・BIM/CIMデータ（J-LandXML）受け渡し
- ・ICT施工データ加工
- ・演習（実習）
- ・アクティブラーニング
- ・達成度試験

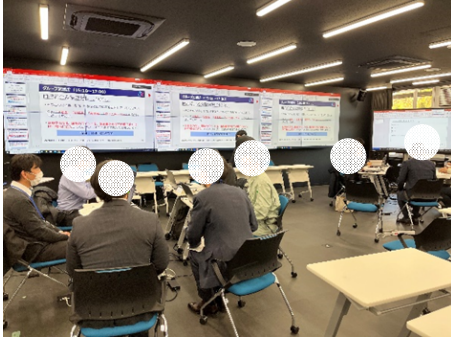


図9：アクティブラーニングの状況



図10：研修講評状況

## g) その他

班ごとに討議を行うアクティブラーニングを取り入れた。班は5班設置し、1班毎に施工者、設計者、発注者（整備局職員、発注者支援）がいる4名とし、各立場が異なる者同士でお互いの立場で意見を出し合い、白熱した議論が行われた。アクティブラーニングでは、議論の補助となるよう各班にファシリテーターを配置した。さらに、研修内容の理解度確認のため、達成度試験を実施した。達成度試験は、筆記と実技を実施した。

## (2) 結果

各々異なる立場の意見を聞くことによって、設計者は施工者のためにどこまで設計を行えば良いかを考えるようになり、施工者は設計者の考えを知ることができた。

具体的には、施工者からの意見として、設計は今までどおりの資料の作成で構わないが、設計者の方で作成したデータをより選るのではなく、施工者に全ての設計データを提供されると、施工者側で必要なデータを選定することができるため業務の効率化が図れるとの意見があった。

また、研修生からは、演習やアクティブラーニング、達成度試験など参加型の講義を重点的に行ったため、研修後のアンケート調査でも9割以上の方がよく理解できたとの回答があった。

よって、本研修によって、BIM/CIMデータを扱える人材の育成ができたと考える。

## 4. 結果（最終）

ICT施工にBIM/CIMデータを活用することにより、これまで施工者が行っていたICT施工データの作成にかかる負担が軽減され、それによって、建設業の生産性向上を図れることがわかった。

さらに、このBIM/CIMデータの活用できる技術者を増やすことで、建設業全体の生産性の向上を図れることが考えられる。

## 5. 今後

## (1) BIM/CIMデータの活用

盛土など簡単な構造物では施工にBIM/CIMデータを活用できることが判明したが、ICなど複雑なものや、橋梁・トンネルなどの重要構造物については、まだ施工へのBIM/CIMデータ活用の検証を行っていないため、今後の課題とする。

## (2) BIM/CIM施工研修

令和4年度は、V-nasとTREND武蔵のソフトを使った研修であったが、令和5年度以降は他ソフト（AutocadやSiTECH 3D）を使った研修も必要と考える。

また、BIM/CIMとICT施工の基礎知識の習得が可能なeラーニングを作成し、研修の前に研修生にこのeラーニングを受講させることで、BIM/CIMとICT施工の基礎知識を得てから研修に臨むことができるなど、より効果的な研修の習得方法を検討していく必要がある。

なお、今後もこのBIM/CIM施工研修を続けていき、課題等を抽出し、研修のブラッシュアップを図っていくことが必要である。

本論文は従前の所属である近畿技術事務所の所掌業務の内容である。

謝辞：本研修にご協力頂きました大西先生（京都大学名誉教授）、西山先生（岡山大学教授）をはじめとするドローン測量教育研究機構の方々、建設コンサルタンツ協会近畿支部、OCFの方々には、様々なご指導、資料提供やご意見を賜りましたおかげで、BIM/CIM施工研修が開催できましたことを、感謝申し上げます。