

国道42号における3次元数値地形図の活用について

増田 拓海¹・宮原 康佑¹

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

和歌山河川国道事務所では、国道42号の防災対策計画の検討を進めている。対象地域の一部では地滑りなどの危険区域が存在したため、地形・地質を詳細に把握しておくことが重要と考えた。しかし、地域特性として現地での測量が困難なことに加え、樹木が生い茂る環境下であった。そのため、今回は空中写真測量とともに、詳細な地形、形状まで把握できる航空レーザ測量を行い3次元数値地形図を作成した。

本稿では、実際に作業を行った者へのヒアリング結果をもとに、航空レーザ測量を用い作成した3次元数値地形図の効果、課題を報告する。

キーワード 3次元数値地形図, 空中写真測量, 航空レーザ測量

1. はじめに

和歌山河川国道事務所では、国道42号の防災対策計画の検討を進めている。

検討にあたり、本計画の対象地域の大半が山間部であり、和歌山県指定の土砂災害警戒区域も多数あることから、その地形・地質の特性を把握するため、正確に地表面を計測したうえで、地形図を作成することが重要であると考えた。

しかし、対象地域は、常緑樹が繁茂しており、空中写真測量だけでは地表面の計測が困難であった。さらに、果樹園や畑など日常的に利用をしている場所も多く、立ち入って計測することは現実的ではなかった。

そこで、今回は詳細な地表面を計測できる航空レーザ測量を用い、3次元数値地形図を作成した。

本稿では、実際に作業を行った者へのヒアリング結果をもとに3次元数値地形図の効果、課題を報告する。

2. 国道42号の防災対策計画の検討について

当事務所は、国道42号のうち和歌山県日高郡日高町～和歌山市の間、約57kmの道路管理を行っている。(図-1)

国道42号は、地域の経済や生活を支える上で重要な紀北地域と紀南地域を結ぶ南北の幹線道路である。しかし、

防災点検箇所や線形不良箇所を多く抱え、土砂災害による通行止めが多発している区間があるのが実情である。

また、国土交通省は、2021年4月27日に『防災・減災、国土強靱化に向けた道路の5か年対策プログラム』を公表し、高規格道路と代替機能を発揮する直轄国道とのダブルネットワークの強化を推進することとした。

これらを踏まえ、国道42号の防災対策計画の検討を進めているところである。



図-1 当事務所管内の国道42号の位置図

3. 3次元数値地形図の作成について

まず、今回検討する対象地域の概況を述べる。

- ①検討対象地域は広範囲であり山間部である。
- ②常緑樹が繁茂している。
- ③常緑樹以外のは、果樹園や畑など日常的に利用していることから立ち入り困難である。
- ④和歌山県指定の地すべりなどの土砂災害警戒区域が多くある。
- ⑤過去に土砂災害により通行止めが多発している。

そのうえで、防災対策計画の検討を進めるため、まず対象地域の地形測量を行い、正確な地形図を作成することとした。

一般的に今回のような対象地域が広範囲である場合、空中写真測量を活用し、地形図を作成することが多い。

空中写真測量は、航空機に搭載したデジタルカメラから撮影した写真を使用して、地形・地物を取得する手法である。地上から山間部などの立ち入れない区域のデータも取得できることに加え、広範囲に計測を実施することが可能という利点があるとされている。(図-2)



図-2 空中写真測量のイメージ²⁾

しかし、常緑樹が生い茂る環境下では地表面が撮影画像から判読できないため、詳細な地形まで取得することは困難である。さらに、等高線は、樹木の状況から地表面を想定して表現するため、正確に地表の凹凸を表現することができない。また、今回の対象範囲においては、補測調査を行うにも、常緑樹以外のは、果樹園や畑等日常的に利用しており、現地での作業は困難であった。

そこで、今回は、空中写真測量に加え、航空レーザ測量の活用を検討した。

航空レーザ測量は、航空機にGNSS/IMU、レーザスキャナ、カメラ等を搭載して、面的に点群データ、画像を取得する手法である。(図-3)

レーザは、植物の枝葉間も透過するため、森林でも詳細な地形データを得ることができる利点がある。

このデータを、航空レーザ測量システムの位置姿勢解析結果とレーザ計測の距離データを1つの点毎に解析し、その集合体として3次元点群データが生成する。

さらに建物や樹木などをフィルタリングと呼ばれる処理により除去することで、グラウンドデータを作成することができ、航空写真では木に隠れて見えない実際の地表面や道路形状を計測することができる。(図-4)、(図-5)

空中写真測量及び航空レーザ測量で得られたデータを用いて数値編集等を行うことで、図-6のような3次元数値地形図が作成される。

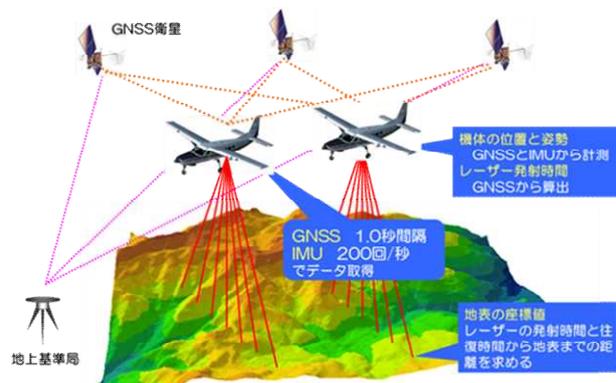


図-3 航空レーザ測量のイメージ

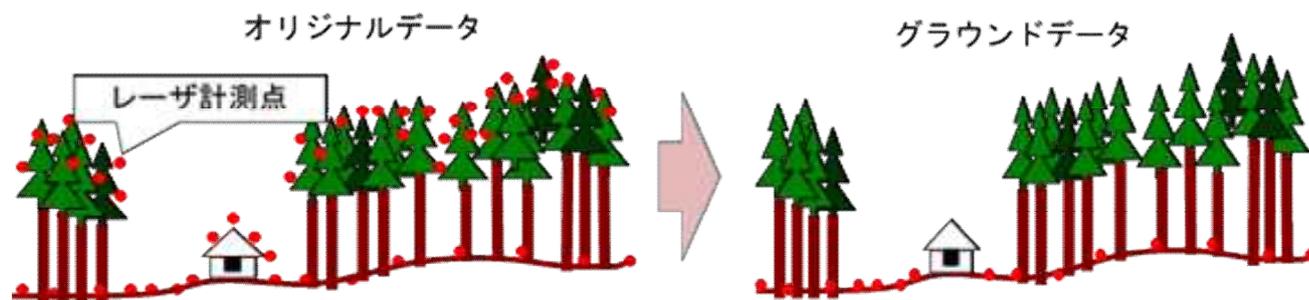


図-4 3次元数値地形図

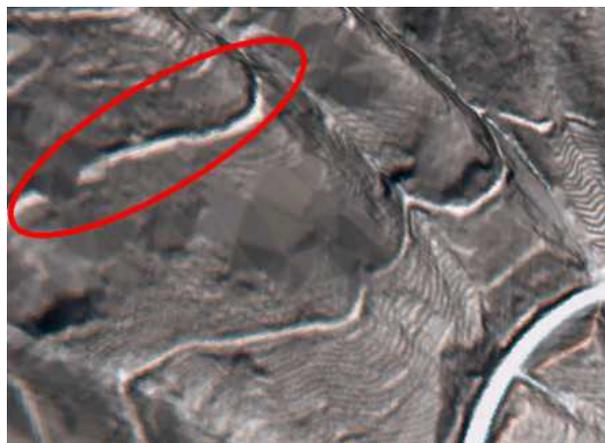
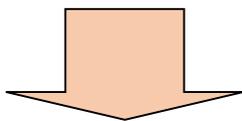


図-5 フィルタリングの効果

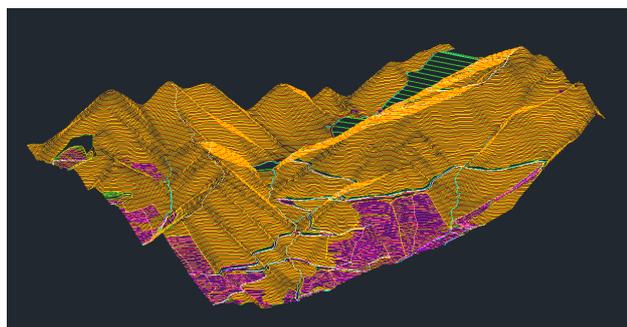


図-6 3次元数値地形図

4. 3次元数値地形図を用いた対策案の検討

(1) 地形・地質の分析評価

対策案の検討にあたっては、社会的、自然的、文化的

なコントロール要因を整理する必要がある。当然、関係行政機関などの協力を得て、必要な情報を入手し、情報整理していく。

本計画では特に防災面の課題解消が目的であり、地形・地質の分析評価を重点的に行っていくことが重要と考え検討を進めた。

地形・地質の分析評価のフローは下記の通りである。

① 文献・資料調査

文献や既存資料から対象範囲の地質情報や同様の計画で過去に発生した問題等を整理する。

② 地形判読

地形図や空中写真などを用いて地形を読み解くことにより、その土地の地形の成因を理解する。

③ 地表踏査

地質特性の把握、水環境の把握、現地確認を行う。

④ 分析・評価

調査結果を総合し、対象範囲の地形・地質の分析評価を行う。

今回の報告では、分析評価の結果について詳細は述べないが、分析評価を行った者に空中写真測量と航空レーザ測量で作成した地形図の違いについてヒアリングした。その結果を下記に示す。

○空中写真測量で作成した地形図

- ・地形判読では樹木により実際の地表面の状況を読み取りにくい。
- ・正確に地表の凹凸を表現することができないことから、想定される断層位置等を誤って記入する可能性がある。

○航空レーザ測量で作成した地形図

- ・地形判読ではグラウンドデータを用いた各種の解析図を用いることにより（図-7）、地形の凹凸などの微地形がよく分かるため、地形判読の精度が向上する。
- ・地形判読の精度が向上したことから、地形の変化点や露岩箇所をあらかじめ想定することができる。また、断層位置等も把握しやすいことから、重点的に調査する箇所が事前に把握でき、現地での踏査を効率的に行うことができる。

これらの報告から航空レーザ測量を併用した3次元数値地形図を用いることで、精度の高い地形・地質の分析評価が可能であることが判明した。

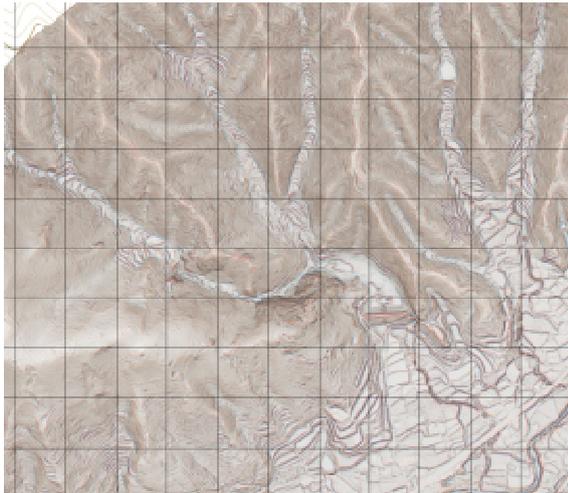


図-7 微地形解析図例 (CS立体図)

(2) 対策案の検討

本計画の目的は防災対策計画の検討であるため、前述の地形・地質の分析評価を行った成果を考慮しつつ、社会的、自然的、文化的なコントロール要因を整理する検討を進めた。

現時点においては検討中であるが、今回、対策案の検討を行った者に空中写真測量と航空レーザ測量で作成した地形図での作業性等の違いをヒアリングした。

その結果を下記に示す。

○空中写真測量で作成した地形図

- 山間部では、樹木の状況から地表面を想定して表現するため、地形図と実際の地表面で差が生じる可能性がある。
- 地形の精度が低いため、計画の見直しが発生した場合、その影響により事業費増及び工程遅延が発生する可能性がある。
- 今後、予備設計、詳細設計へと進んでいく中でその各段階において必要な地形図の範囲や精度に差異があるため、段階的に精度を上げた測量を行っていることが現実である。

○航空レーザ測量で作成した地形図

- 設計初期段階から精度の高い地形を活用することで、適切な道路構造の検討が可能となり、時間短縮及び設計精度の向上につながる。
- 予備設計、詳細設計など各段階においても利用が可能であり、データの伝承や作業の効率化などの視点で有効である。
- 今後、官民境界近傍の小構造部の設計のような慎重さが求められるものは、トータルステーションなどにより現地測量を行う必要がある。

これらの報告から、本計画で対策案を検討する場合、空中写真測量のみを用いて作成した地形図より、航空レーザ測量を併用して作成した3次元数値地形図のほうが、高評価であることが分かった。

5. まとめ

これまでの検証結果を以下にまとめる。

- ① 航空レーザ測量は、樹木などがあっても詳細な地形把握が可能である
- ② 航空レーザ測量は、立ち入りが困難な場所であっても詳細な地形把握が可能である
- ③ 3次元数値地形図により、微地形がよく分かり地形判読の精度が向上した。
- ④ 3次元数値地形図により、現地での踏査を効率的に行うことができた。
- ⑤ 高精度な地形・地質の分析評価結果を防災対策の検討に活用することができた。
- ⑥ 高精度の地形調査の結果を計画検討に活用することができた。

6. 今後の課題

『H29設計用数値地形図データ(標準図式)作成仕様【道路編】(案)』では、各段階の道路設計に必要な数値地形図の地図情報レベルを図-8の通り記している。

今回は、今後の検討、設計を見据えて地図情報レベル1,000で作成した。設計を実際に担当した者にヒアリングしたところ、予備設計においても精度が十分確保できているとのことであった。

また、詳細設計においても今回の数値地形図は、十分に利用可能な精度であると考えられる。

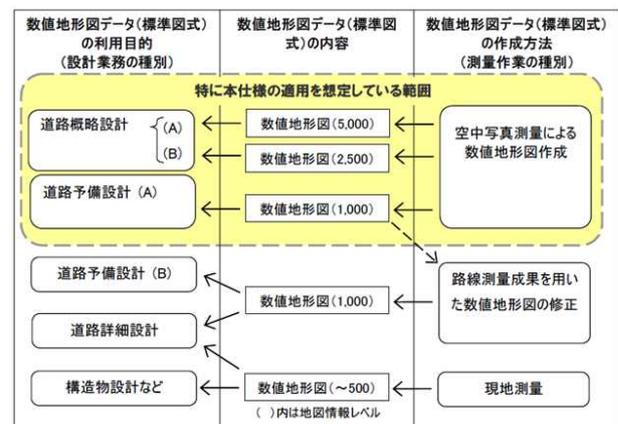


図-8 各設計段階に必要な地形図レベル³⁾

しかし、官民境界近傍において小構造物を設計する等、慎重さが求められる場合は、トータルステーション等により現地測量を行い、端点を確実に抑えるべきであると設計者からの意見があった。これは、施工業者や施工監理を行う者も同意見である。

そこには、レーザ測量の機械精度や地形図の精度の問題ではなく、レーザとパソコンソフトによる機械的、室内的な地図作成が本当に現実世界と合致しているのかという不信感が、最終的に現地に落とし込む詳細設計を担う者や施工を担う者の心中にあるように感じた。

今後、労働人口がますます減少傾向になる中、設計・施工段階の各プロセスを通じてさらなる効率性、省力化が求められることは間違いなく、地形図作成者の現地確認という基本的なことを忘れてはいけないと感じた。

謝辞：本論文の執筆にあたり、資料提供、助言を与えてくださった関係各位に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 国土交通省：防災・減災，国土強靱化に向けた道路の5か年対策プログラム（2021年5月）
- 2) 国土地理院：空中写真（測量用航空写真）の活かし方（2017年7月）
- 3) 国土交通省：H29設計用数値地形図データ（標準図式）作成仕様【道路編】（案）（2017年4月）

i-constructionを活用した由良川 緊急治水対策事業での取り組みについて

連名の場合の注意事項

- ・左記載の方(1の方)が発表者。
- ・連名者は1名まで。

南方 良太¹

¹福知山河川国道事務所 工務第一課 (〒620-0875京都府福知山市字堀小字今岡2459-14)

福知山河川国道事務所では、由良川での近年の度重なる洪水被害を受け、緊急治水対策を推進している。その由良川緊急治水対策事業の一環として実施している、前田地区の整備(築堤L=1.8km,樋門2基)において、ICT及びBIM/CIMの活用に取り組んでおり、特にBIM/CIMを活用した樋門の施工においては、整備局管内でも事例がなく、初めて取り組んだものである。

本稿では、i-constructionを活用した由良川緊急治水対策事業での取り組み、また、i-constructionサポート事務所としての取り組みについても紹介する。

キーワード 由良川, 緊急治水対策, ICT施工, BIM/CIM

1. はじめに

(1) 由良川流域の概要

由良川は、京都北部を流れ日本海に注ぎ、流域面積1,880 km²、延長146 km、流域人口約32万人を有する一級河川である。由良川は福知山盆地を流れ、丹後・丹波地域の中核である福知山市や綾部市が位置し資産が集中している。しかし、上流部は急勾配で流れが速く、下流部は山間地であり川幅が狭く緩勾配となるという地形特性ゆえに、由良川中流域は洪水に対し脆弱である。

特に近年、台風や前線活動による豪雨が原因となり甚大な洪水被害が頻発している。2004(平成16)年10月の台風23号や2013(平成25)年9月の台風18号では、福知山観測点において計画高水位に匹敵あるいは超過する洪水が発生し、甚大な被害が発生した。さらに2014(平成26)年8月には支川である法川・弘法川での総雨量が300 mmに達したことにより、福知山市街地において大規模な内水氾濫被害が発生した。



図-1 由良川流域図

(2) 緊急的な治水対策について

由良川では1999(平成11年)に河川整備基本方針、2013(平成25年)に河川整備計画が策定され、後者においては河道への配分流量について福知山地点で4,900 m³/s、綾部地点で3,600 m³/sと設定された。河川整備計画策定と同年、上記の2013年台風18号による甚大な被害が生じたことを踏まえ、整備計画での治水対策の内容を大幅に前倒して実施する緊急治水対策に着手することとなった。

この緊急治水対策においては、2004年と2013年の双方の洪水で浸水被害のあった箇所を対象として、概ね10年間で集中的に河川整備を進めることになっており、集落が散在する下流部においては輪中堤や宅地嵩上げによる効率的な治水対策、中流部においては福知山市・綾部市の市街地が存在することから連続堤防の整備と河道掘削が位置付けられている。

本稿では中流部の前田地区での連続堤防の整備について紹介する。



図-2 由良川緊急治水対策の概要

(3) i-construction・BIM/CIMについて

i-constructionとは、国交省が掲げる20個の生産性革命プロジェクトのうちの一つで、測量から設計、施工、検査、維持管理に至る全ての事業プロセスでICTを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を目指す取り組みである。



図-3 ICTの全面的な活用

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、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・高度化を図る取り組みである。福知山河川国道事務所は、i-constructionサポート事務所として積極的にICT技術を活用している。

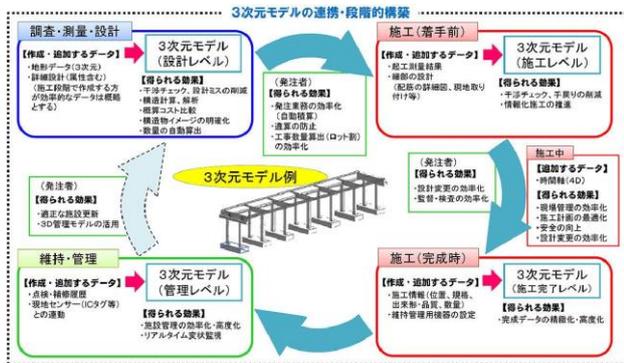


図-4 BIM/CIMの概念

(4) 本稿の目的

以上の背景を踏まえ本稿では、福知山河川国道事務所が由良川緊急治水対策の一環として事業を進めている連続堤防整備工事において、ICT及びBIM/CIMを活用した取り組みについて紹介する。

2. 連続堤防（前田地区）の整備

(1) 前田地区での施工内容について

由良川の中流部である前田地区は、堤防のない無堤区間で、過去に何度も洪水被害を受けている。なので、由良川緊急治水対策の一環として洪水氾濫の被害軽減を図るため、連続堤防の整備を行っている。

前田地区の連続堤防の築堤全延長はL=1.8km, 2基の樋門（大谷川樋門・六呂川樋門）も同時に築造する。築堤にはICT土工を、樋門の築造にはBIM/CIMを積極的に導入し、3次元データを利用することで、事業の効率化を目指し、i-constructionの普及・拡大を図っています。

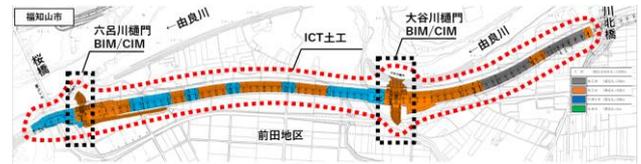


図-5 連続堤防（前田地区）

(2) ICTを活用した築堤について

前田地区の連続堤防の築堤には約20万m³の土が使用されICT土工で施工している。土の敷均し(図-6)、転圧作業(図-7)、覆土法面整形作業等(図-8)、複数の工種でICT施工を実施しており、実際に施工をしている業者の方にICTを活用することで生じるメリットやデメリット、また、従来と比べて、手間を省き工期短縮が出来たのか意見を伺い、以下の回答を得た。

(a) メリット

- ・従来施工で必要だった丁張掛け等の測量が不要になり、人件費・工程の省力化が図れる。
- ・重機オペレータが熟練でなくても施工精度が確保される。
- ・建機の周りで作業する人員が減ったことで安全性も向上した。
- ・データ上での出来形管理が、パソコン上で確認できる。
- ・仕上げ面以外の施工は出来形管理が不要な為、容易である。

(b) デメリット

- ・ICT建機及び3次元測量等のコストが高い。
- ・重機オペレータの技術が向上しない。
- ・現場での出来形確認が困難である。
- ・無線通信のため、天候等でGPS精度が低下した日は施工出来ない。
- ・位置情報が正確に得ているのかの確認が難しい。
- ・法面整形の仕上げはICT施工では誤差が出るので在来工法で仕上げることになる。

(c) ICTを活用することでの手間、工期等の短縮

- ・丁張の省力化でコストダウンはしたが、代わりに3次元データ作成・出来形測量等の費用を比べれば、差異はあまり無い。
- ・工期の短縮は在来通りと比べれば、起工測量・施工中の丁張掛け等・出来形測量を含めて約30日ほど短縮できた。



図-6 ICT土工 敷均し作業



図-7 ICT土工 転圧作業



図-8 ICT土工
覆土法面整形作業

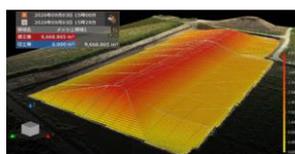


図-9 3次元設計データ

他にも、測量の省力化の部分については施工現場では有効となっており、測量・出張掛りが少ないほど、現場は余裕を持って施工出来るので是非次回も行いたい等の意見も頂いた。

3. BIM/CIMを活用した樋門の築造

(1) 施設の概要

大谷川樋門・六呂川樋門の概要は、以下の表の通りである。

表-1 大谷川樋門・六呂川樋門の概要

施設名	大谷川樋門	六呂川樋門
位置	左岸	左岸
	河口から40.2K	河口から38.8K
工期	R1. 6.28 ~ R3. 1.29	R2. 3.28 ~ R3. 6.30
金額	¥514,668,000-	¥363,055,000-
門扉・型式・寸法 (有効径×有効高)	鋼製ローラーゲート 幅 6.9m×高さ 3.7m×2門 幅 7.0m×高さ 3.7m×1門	鋼製ローラーゲート 幅 3.0m×高さ 2.7m×1門

(2) 図面の3D化

2次元図面を3次元図面にすると、完成像が一目でわかるようになり、また2次元の配筋図を3次元の配筋図にすると、配筋の干渉チェックや数量算出等が容易に出来るようになる。今回、BIM/CIMを活用するため2次元の図面を、3次元のデータに置き換える作業を4つ (AutoCAD, Revit, 3dsMAX, Trend CORE) の3D CADソフトで

作成した結果、各ソフトには以下の様な特徴が確認された。

(a) AutoCAD

寸法線が細かいところまですべて表示されるため全体を表記したときに煩雑な印象を受けるが、図面の表示倍率により表示される寸法を変え、表示する箇所を制限することができる

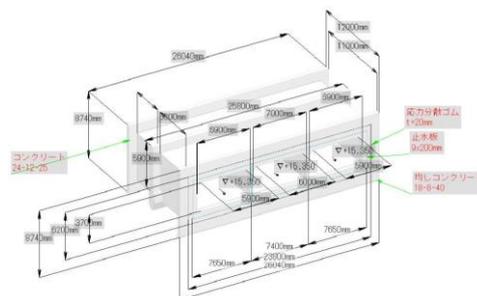


図-10 AutoCADで作成した構造図

(b) Revit

配筋3D図面を製図するのに適しており、配筋の干渉チェックを行うことができる。また、鉄筋番号毎に属性を持たせることが可能で、鉄筋重量表も自動計算される。

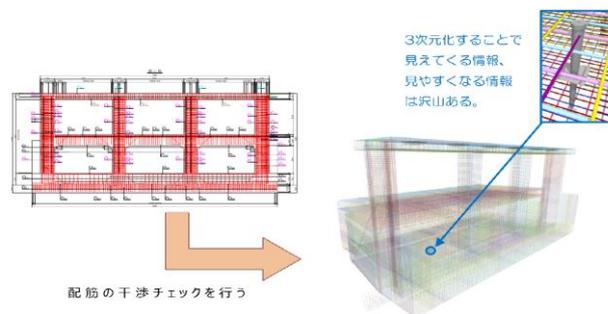


図-11 Revitで作成した配筋図

(c) 3dsMAX

マウスで回転・拡大縮小が簡単に行えるデータであり、もともと3D映像等のレンダリングソフトとして開発されたが、3次元図面を書くことも可能である。



図-12 3dsMAXで作成した縦断面図

(d) Trend CORE

国産ソフトであるので、国土交通省のガイドラインに沿った開発がされている。寸法線が全体表記では細部まで表示せず、拡大していくごとに順次表示されるので視

認性が良い。

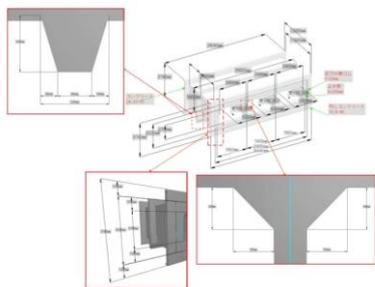


図-13 Trend COREで作成した構造図

このように、様々な3Dの表示方法やデータ形式が存在しており、用途に応じて使い分けのことが有用である。

(3) 実測データとの照合

実際に躯体が出来上がったので、出来上がった躯体の点群データ（現地計測値）と3次元の図面を照らし合わせたらどうなるのかを検証した。

図-14と図-15を比較して、コンクリートの色で表示されている部分が、躯体の方が外側に出ている部分を表している。外側にあるのは、設計モデルか、あるいは点群データなのか（設計モデルとどれくらいずれているのか）が分かる。しかし、ずれている寸法までは表すことができていないため、今後、その表記をどう表していくかが課題となる。

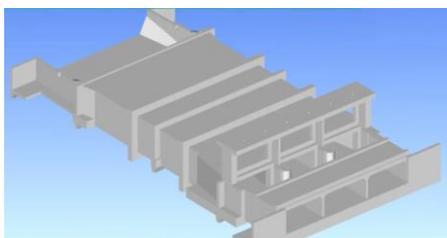


図-14 設計のモデル



図-15 設計モデルに点群データを重ねた構造図



図-16 図-15 の一部（赤丸部分）を拡大した構造図

(4) 4D施工ステップによる施工計画

3次元に時間軸を取り入れた場合、4Dという言い方をし、時刻歴で現場の状況を把握することで施工ステップをつくることができる。

今回は、川表の方の堤外水路について紹介する。

図-17のようにこういったことを現場の作業員との打合せに活用し、施工手順等の確認に利用することも可能である。

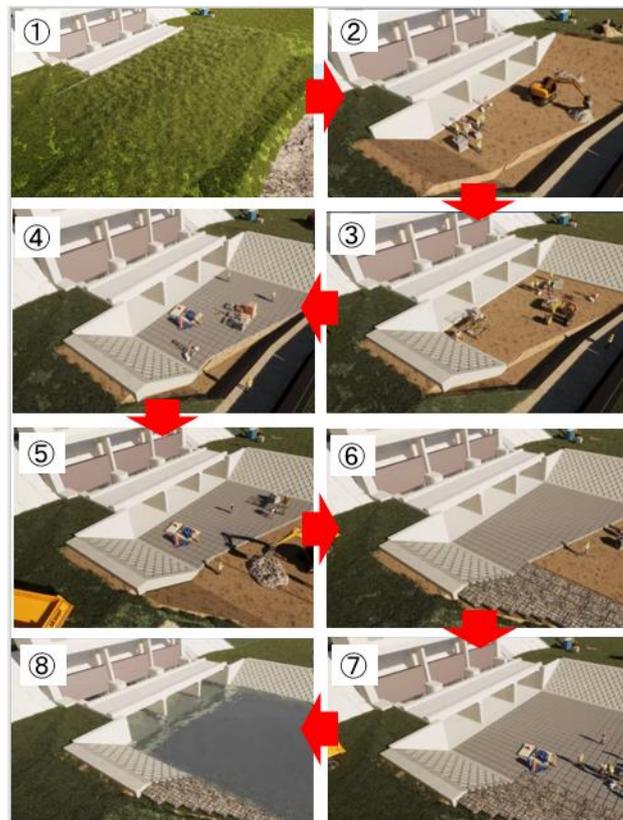


図-17 4D施工ステップによる施工計画図

4. 福知山河川国道事務所のI-constructionサポートについて

福知山河川国道事務所は、ICT-Full活用工事の実施や地域の取り組みをサポートする「i-constructionサポート事務所」であり、地方公共団体や地域企業に積極的な3次元データやICT等の新技術の活用を促進、i-constructionの普及・拡大を図るため、勉強会や工事現場見学会を実施した。

(1) 勉強会・工事現場見学会

当事務所や工事受注者、当事務所管内にある地元建設業者、地方公共団体を対象にR1, R2年度に勉強会・工事現場見学会を実施した。

参加者にアンケートをとったところ、「先端技術がどのように現場で用いられているか理解できた」、「3次元データでは、干渉する部分が一目瞭然で確認出来る為、照査にかかる時間が大幅に短縮でき有効である」等、前向きな感

想が多く見受けられた。

謝辞：本論文作成にあたり多大なる御協力を
頂きました皆様に感謝を申し上げます。

R2.9.29

i-Construction現場説明会を開催！
～BIM/CIMを活用した施工現場で3次元モデル作成の説明会を実施～
～福知山河川国道事務所～

福知山河川国道事務所はi-Constructionサポート事務所として、ICT施工やBIM/CIMを活用して設計・施工管理を推進し事務所発注工事の受注者や京都府・沿川各市役所職員への発信・普及に取り組んでいます。今回は、BIM/CIMを活用した施工現場説明、ドローンを利用した出来形管理手法の説明会を行いました。

<p>○日 時：令和2年9月29日(火) 13:30～15:00 ○場 所：前田地区大谷川樋門築造工事 (福知山市宇前田小学サクラ1853番5) ○参加者：事務所発注工事の受注者(27名) 京都府及び福知山市職員(7名) 事務所職員(20名) 近畿地方整備局職員(3名) マスコミ関係者(5名)</p>	<p>位置図</p> 
---	--



藤田副所長によるBIM/CIM導入の実施事例説明



モニターで3次元モデルの説明



ドローンのデモ飛行を披露



客手事務所職員による工事進捗説明

参加者のご意見

- ・ 従来施工との違いや新しい技術の特徴を知ることができ今後工事発注する際の技術選定の参考になった。
- ・ 説明を受けた後にドローンの飛行を見ることで、先端技術がどのように現場で用いられているか理解できた。

【問い合わせ先】
国土交通省 近畿地方整備局 福知山河川国道事務所 工務第一課
〒620-0875 福知山市堀2459-14 TEL 0773-22-9104(代表)

図-18 現場見学会の活動報告

5. まとめ

BIM/CIMを活用することで、発注者にとっても大いにメリットがあり、施工や設計、ミス等の発見に寄与することが出来る。また、受注者にとっても施工計画では、施工ヤードの移動に伴う資材の移動シュミレーションや、重機の検討、安全計画などにもその時点の現場状況を作り出すことができ、施工では、鉄筋の干渉チェックや支保工内の作業スペースの確保などの視認性が良くなり作業員に伝達するのも容易となった。現場の施工漏れやミスの判断や検討に要する時間も大幅に短縮できることがBIM/CIM活用の最大のメリットである。そのため、今後も幅広くBIM/CIMを活用して行くことが重要である。しかし、3次元モデル作成には時間とコストがかかるというデメリットもあるが、利用される機会が増えることでこの問題は解消されると考える。また、3次元モデルを扱う現場の方々がまだまだ慣れていないため、事例集などを充実させて作成したモデルを十分に利活用できるように啓蒙していく必要がある。

今後、災害や瑕疵があった場合、比較して移動や損傷の度合いを評価するため、完成した構造物などをしっかり3次元データで残していく必要がある。また、維持管理においても経年変化を把握することが今後の課題であると考えられる。

三次元管内図の整備 および利活用について

谷河 濤¹・井上 恭介²

¹近畿地方整備局 福知山河川国道事務所 調査課 (〒620-0875京都府福知山市字堀小字今岡2459-14)

²近畿地方整備局 福知山河川国道事務所 調査課 (〒620-0875京都府福知山市字堀小字今岡2459-14)

令和3年2月、国管理の109水系の全てにおいて今後5か年の内に、河川管理の効率化・高度化を目的として、流域の三次元地形データを基礎資料として表示する「三次元管内図」を整備することが通知された。整備内容は、現場のニーズに合わせ適宜データ及び機能を追加して良いとされている。そこで、本稿では、河川管理における空間情報の利用状況を整理し、由良川の地域特性を加味した三次元管内図の整備及び利活用について検討した。

キーワード 三次元管内図, ALB, BIM/CIM, DX, 流域治水

1. 背景・目的

河川定期縦断測量は、令和元年6月の事務連絡により、原則、航空レーザ測深（Airborne Laser Bathymetry : ALB）等の点群測量での実施となった。また、令和2年2月、点群データの特性や計測に際して検討すべき事項等をまとめた「河川管理用三次元データ活用マニュアル（案）」¹⁾（以下、活用マニュアル）が通知された。直轄河川において、点群測量による三次元データが取得蓄積されるようになり、三次元データを日々の維持管理や、BIM/CIMやICT施工での活用が期待される。

また、国土交通省では、デジタル技術やインフラ分野のデータ（既往の情報のデジタル化・三次元データ等の空間情報）を活用して、業務・組織・働き方などの変革し、安全・安心で豊かな生活を実現するインフラ分野のDXを推進している。

一方、三次元データを様々な段階において有効活用や効率的な管理をするには、基盤となる三次元情報の構築が必要である。このような背景を踏まえ、河川管理の効率化・高度化を目的として、流域の三次元地形データを基礎資料として表示する「三次元管内図」が提唱された。そして、令和3年2月の事務連絡により、国管理の109水系の全てにおいて今後5か年の内に、三次元管内図を整備することが通知された。整備内容は、最低限必要なデータ及び機能は定義されているが、各地方整備局・現場のニーズに合わせ適宜データ及び機能を追加して良いとされている。

そこで、本稿では、福知山河川国道事務所が管理する由良川において、河川管理における空間情報の利用状況

を整理し、由良川の地域特性を加味した三次元管内図の整備及び利活用について検討した。

2. 由良川の河川管理における空間情報の利用状況

福知山河川国道事務所では、由良川の河川管理で必要となる基礎資料を作成するため、現地での調査・測量や航空機を用いた測量など幅広く実施することで、これまでに様々な空間情報を整備し、日常業務で利用している。

表-1に由良川の河川管理で利用している空間情報とその特徴と示す。図面・台帳など二次元の空間情報に加え、近年では三次元データである点群も利用している。

表-1 由良川の河川管理で利用している空間情報とその特徴

空間情報の種類	特徴
河川距離標の座標	河川距離標の平面位置座標及び標高値
定期縦横断面図	追加距離と標高値を示す断面図
河川現況台帳附図	河川周辺の地形等を示す平面図
施設台帳	施設の平面位置座標と施設の状況を示す台帳
垂直写真・斜め写真	河川周辺の状況を示す写真
航空レーザ測深等の点群	河川周辺の地形等を示す三次元座標
堤防・施設点検結果（河川カルテ）	点検箇所の平面位置座標と点検結果
管内図	管理区間の地図に管理施設等を示した図

由良川の河川管理で利用している空間情報の例として、河川現況台帳附図を図-1に示す。河川現況台帳附図は、管理区間をある一定の範囲に分割して作成した河川周辺の現況を示した地形図である。

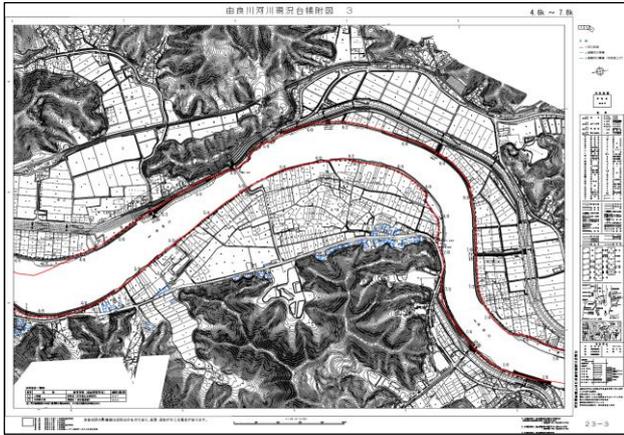


図-1 利用している空間情報の例：河川現況台帳附図

3. 福知山河川国道事務所における空間情報の管理状況

福知山河川国道事務所では、2章で示した空間情報を日常業務で利用するため、各種空間情報ごとに、図面出力やデータとしてなど様々な方法で管理している。

表-2に福知山河川国道事務所における空間情報の管理状況を示す。CAD形式やエクセル形式などのデータとして管理しつつ、図面や台帳などを出力した状態で管理しているものが多い。

表-2 福知山河川国道事務所における空間情報の管理状況

空間情報の種類	管理状況
河川距離標の座標	距離標台帳や、座標一覧表をエクセル形式で作成して管理
定期縦横断面図	CAD形式のデータや、図面出力した状態で管理
河川現況台帳附図	CAD形式のデータや、図面出力した状態で管理
施設台帳	エクセル形式で作成してRiMaDISで管理
垂直写真・斜め写真	TIF形式のデータや、写真帳として製本して管理
航空レーザ測深等の点群	TXT形式のデータで管理
堤防・施設点検結果	エクセル形式で作成してRiMaDISで管理
管内図	PDF形式のデータや、図面出力した状態で管理

4. 由良川の地域特性

由良川は、中流部では標高が低く勾配が緩いため、中下流部で水害が起こりやすく、無堤区間も多いことから、これまでに数多くの水害を経験してきた。直近では、平成30年7月の豪雨により226戸の床上浸水被害が生じた。

そのため、現在は治水対策として、断面確保のための河道掘削・樹木伐採、排水機場の新設・増強、輪中堤の設置や宅地の嵩上げを実施している。

また、堤外民地や船着き場などの国管理でない施設が他の直轄管理河川に比べ多いことも特徴である。

5. 三次元管内図で求められるデータ・基本機能と由良川の地域特性を考慮したデータ・機能

(1) 三次元管内図で求められるデータ・基本機能

活用マニュアル及び令和3年2月の事務連絡によると、三次元管内図で求められる最低限の基本機能・データは、表-3に示す通り予め定義されている。なお、測量データ検索用メタデータとは、測量時期や測量箇所、取得精度、得られるデータの種類の等について、利用者が目的に見合うデータを検索することができ、検索されたデータが要求仕様を満たしているかを確認できるようにデータ概要が記載されたファイルのことである。測量データ検索用メタデータの作成単位は、1測量業務等単位としている。

表-3 三次元管内図で求められる基本機能・データ

基本機能	<ul style="list-style-type: none"> ● 閲覧機能 ● GIS機能 ● 検索機能
地形・画像データ	<ul style="list-style-type: none"> ● 地形データ：グリッドデータ(DTM) ● 測量データ検索用メタデータ ● 河川範囲以外地形データ：国土地理院数値地図 ● オルソ画像
基礎データ	<ul style="list-style-type: none"> ● 河川距離標：位置座標 ● 行政界：国土地理院数値地図 ● 河川管理施設：施設名、施設種別、管理者、位置座標

(2) 事務所職員へのヒアリングの実施

由良川で利用されている空間情報の特徴や、福知山河川国道事務所における管理状況を踏まえ、河川管理に携わる職員に対し、三次元管内図で整備したいデータ・機能について、ヒアリングを実施した。

表-4、表-5に職員へのヒアリング結果を示す。データに関する意見は、三次元管内図として表現したときの分かりやすさや、三次元データを有効利用するためのデータ整備に関する内容が多くを占めた。機能に関する意見

は、整備したいデータを活用するために必要な機能が中心であった。

表-4 職員へのヒアリング結果：データ

内容	理由
● 横断測線	● 横断測線周辺及び横断測線間の状況把握のための目印にするため
● 河川中心線	● 本川、支川の位置を把握しやすくするため
● 河川計画高	● 横断測線の間も含めて面的に計画高に対する現況高の評価をするため
● 輪中堤・嵩上げ地区	● 輪中堤・嵩上げ地区周辺の状況把握のための目印にするため
● 堤外民地・船着き場	● 堤外民地・船着き場の位置や所有者等の情報を把握しやすくするため
● ALB成果の可視化・活用	● 点群データそのものによる地形判読は困難であるため ● 複数時期のALB成果を重ね合わせて比較するため

表-5 職員へのヒアリング結果：機能

内容	理由
● 位置座標	● 任意地点の高さの把握のため
● オーバーレイ	● 複数時期のデータを重ね合わせるため
● 断面表示・出力	● 現況地形の断面形状の把握のため
● データ検索	● 距離標が示す位置や船着き場の所有者等を検索するため
● 差分解析	● 経年変化や計画高に対する評価をするため

(3) 由良川の地域特性を考慮したデータ・機能

上述の整理結果を踏まえ、由良川の地域特性を考慮した三次元管内図で整備すべきデータ及び機能に検討を行った。

a) 由良川の地域特性を考慮した整備すべきデータ

表-6に由良川の地域特性を考慮した整備すべきデータの検討結果を示す。

地形・画像データは、ALB成果の可視化・活用として、河道内に繁茂し河積阻害の要因となる樹木を視覚的分かりやすくする「DSM」も整備すべきと考えた。河川管理施設及び堤防・施設点検結果は、RiMaDISより抽出することで、既存のシステム上の情報との整合を図ることとした。

なお、データを整備する範囲は、近年発生する水害の激甚化・頻発化に備えるための由良川流域における「流域治水」が令和2年8月から推進されていることを考慮し、可能な限り広くすべきと考えた。例えば、河川区域以外の地形データを国土地理院の数値地図を用いて由良川流域まで拡張することで、「由良川流域治水協議会」で使用する協議資料としての活用が期待できる。

表-6 由良川の地域特性を考慮した整備すべきデータ

地形・画像データ	<ul style="list-style-type: none"> ● 地形データ：DTM (複数時期) ● 表層データ：DSM (複数時期) ● 測量データ検索用メタデータ ● 河川範囲以外地形データ：国土地理院数値地図 ● オルソ画像
基礎データ	<ul style="list-style-type: none"> ● 河川距離標：位置座標 ● 行政界：国土地理院数値地図 ● 河川管理施設：施設名、施設種別、管理者、位置座標 (RiMaDISより抽出)
追加データ	<ul style="list-style-type: none"> ● 河川現況台帳附图 ● 管内図 ● 堤防・施設点検結果：点検事項、位置座標、程度判定 ● 横断測線：測線名 ● 河川中心線：各種図面・台帳への参照場所を設定 ● 河川計画高：横断測線ごとの計画高の線形補間 ● 輪中堤・嵩上げ地区：名称、位置座標 ● 堤外民地・船着き場：所有者、位置座標

(赤字：検討による追加項目)

b) 由良川の地域特性を考慮した整備すべき機能

表-7に由良川の地域特性を考慮した整備すべき機能の検討結果を示す。

追加機能は、ヒアリング結果に加え、横断測線名などを表示させて分かりやすくするための「ラベル表示」と、三次元管内図から各種図面・台帳を参照するための「データ参照」を整備すべきと考えた。

表-7 由良川の地域特性を考慮した整備すべき機能

基本機能	<ul style="list-style-type: none"> ● 閲覧機能、GIS機能、検索機能
追加機能	<ul style="list-style-type: none"> ● 位置座標 ● オーバーレイ ● 断面表示・出力 ● データ検索 ● 差分解析 ● ラベル表示 ● データ参照

(赤字：検討による追加項目)

(4) 由良川における三次元管内図の利活用

前節で示したデータ及び機能による三次元管内図を整備した場合に考えられる利活用方法を閲覧・検索・参照・解析・シミュレーションに大別し、以下より示す。

a) 閲覧

図-2のように、オルソ画像に図郭とのデータ繋げた河川現況台帳附図を重ねることで、河川の現況をシームレスに閲覧できる。



図-2 閲覧例：シームレスなオルソ画像+台帳附図の閲覧

図-3のように、DSMにオルソ画像を重ねることで、樹木繁茂の状況を視覚的に分かりやすい把握できる。



図-3 閲覧例：オルソ画像+DSMによる樹木繁茂の把握

b) 検索

図-4のように、横断測線名や河川管理施設名を検索することで、確認したい場所への移動ができる。

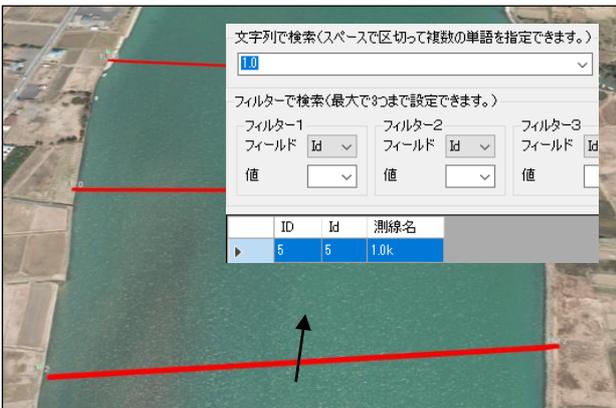


図-4 検索例：横断測線の検索と場所の移動

c) 参照

図-5のように、三次元管内図にデータ参照機能を追加させ、川の防災情報等の既存システムを参照できる。



図-5 参照例：三次元管内図から川の防災情報の参照

d) 解析

図-6のように、任意の測線において、断面図の作成・表示ができる。また、CAD形式での出力も可能である。

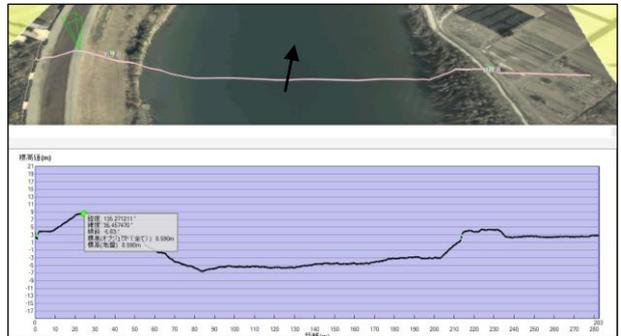


図-6 解析例：断面図の作成・表示

図-7のように、2時期の地形データを重ね、差分解析することで、土量計算を実施することができる。

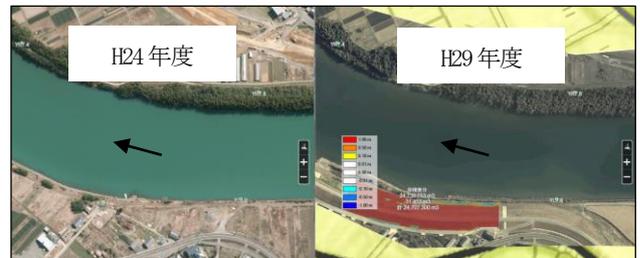


図-7 解析例：2時期のDTMの差分解析

e) シミュレーション

図-8のように、レベル（水平面）設定により、簡易な湛水域のシミュレーションができる。

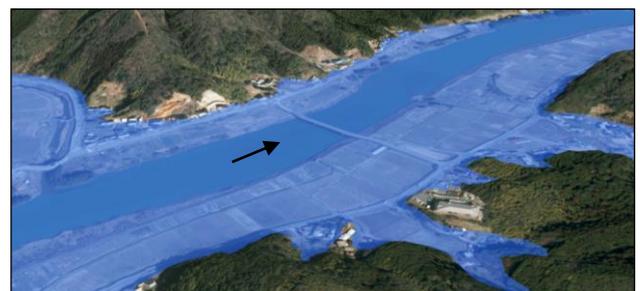


図-8 シミュレーション例：レベル設定による湛水想定

6. まとめ

本稿では、福知山河川国道事務所が管理する由良川において、河川管理における空間情報の利用状況を整理し、職員へのヒアリング結果を踏まえた由良川の地域特性を加味したうえで、三次元管内図の整備及び利活用について検討した。今後は、検討結果を用いながら、事務所内で三次元管内図に対する理解を周知していく必要がある。検討結果を分かりやすく表現するため、関連するキーワードを図-9に整理した。三次元管内図は、流域情報を管理するプラットフォームとして位置づける。各種情報の閲覧・検索・活用・参照によって流域情報を管理し、福知山河川国道事務所としての河川DXを推進していきたいと考えている。

一方、検討結果を踏まえ、実際にデータ及び機能を整

備していく場合、予算・工期などの条件を考慮する必要がある。具体的な、三次元管内図の整備にあたってのデータ及び機能の優先順位については、現在執行中の「由良川流域測量他業務」の協議を進めていく予定である。

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

参考文献

- 1) 国土交通省 水管理・国土保全局 河川環境課 河川保全企画室：河川管理用三次元データ活用マニュアル（案）

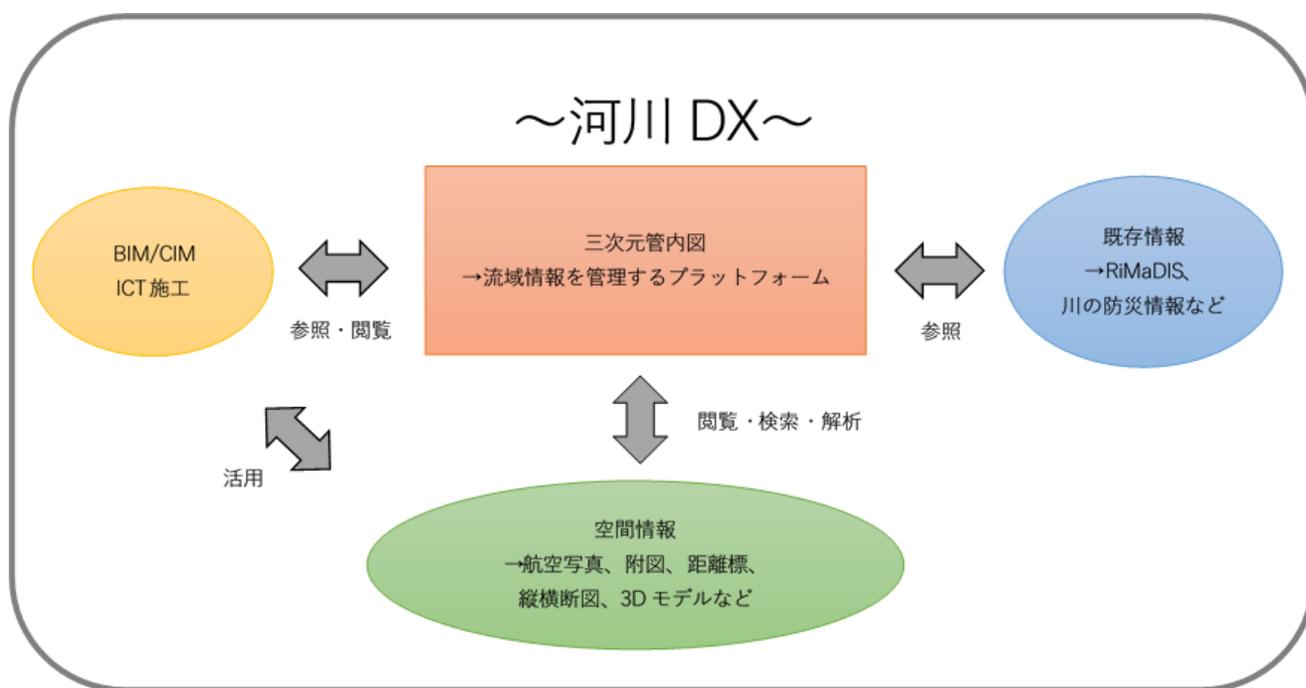


図-9 関連するキーワードの整理

UAV 汎用機での撮影画像を利用した 橋梁上部工の出来型計測

幸丸 竜也¹・浦本 康仁²

¹福井河川国道事務所 嶺北国道維持出張所 (〒910-1211福井県吉田郡永平寺町法寺岡6-11)

²道路部 道路工事課 (〒540-8586大阪市中央区大手前1丁目5-44) .

本発表は、UAV（ドローン）で、上空から撮影した静止画像により構造物を3次元でモデル化するSfM（Structure from Motion）技術を用いて構造物の位置・形状を計測するもので、橋梁上部工の各施工段階において、出来高確認等の品質管理に適用し、従来の計測方法である高所作業削減等の安全性の観点から、将来の省人化、省力化施工に寄与する技術として、「西脇北バイパス津万高架橋（P35-P41）PC上部工事」で実施した内容について紹介します。

キーワード i-Construction、新技術、新工法

1. はじめに

国土交通省では、建設現場における生産性を向上させ、魅力ある建設現場を目指す事を目的として、i-Constructionの導入を促進している。

しかし、2021年5月現在ICT活用されているのは、土工・舗装工・河川浚渫・河床等掘削・作業土工（床掘）・付帯構造物設置工・法面工・地盤改良工・舗装工（修繕工）・砂防工・構造物工（試行）【橋台工：橋台躯体工、RC橋脚工：橋脚躯体工】のみである。

そこで本稿では、「業務の効率化を目指した新技術の検証」として、UAV汎用機での撮影画像を利用した橋梁上部工の出来形計測を実施し、従来の人力による測量との計測精度及び作業効率（計測に係る時間等）について比較検証した結果を紹介する。

全の確保等を目的に1997年度に事業化、現在整備が行われている。

工 事 名	西脇北バイパス津万高架橋（P35-P41）PC上部工事
施 工 業 者	株式会社ピーエス三菱
工 事 場 所	兵庫県西脇市
工 期	2019.11.8～2121.3.10
構 造 形 式	（上り線）PC6径間連続中空床版橋 （下り線）PC5径間連続中空床版橋
橋 長	（上り線）167m（下り線）139m
支 間 長	26.5m～28.0m
幅 員	（上り線）8.0～14.9m、（下り線）8.3m～16.5m
桁 高	1.3m
架 設 工 法	固定式支保工
構造物の高さ	地上より6.0m～7.5m

図1 工事概要

2. 工事概要

計測を実施した工事の概要（図1）、計測箇所平面図（図2）、断面図（図3）については、以下のとおりである。

一般国道175号西脇北バイパスは、東播丹波連絡道路の一部として、兵庫県西脇市下戸田と同市黒田庄町大伏との間を結ぶ延長5.2kmのバイパス事業であり、西脇市域と東播地域及び丹波地域へのアクセス性の向上、西脇市域における一般国道175号の交通混雑の緩和、交通安

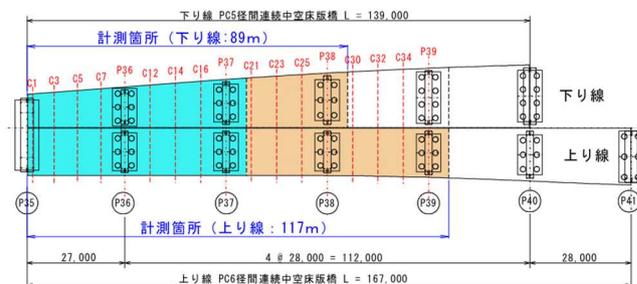


図2 計測箇所平面図¹⁾

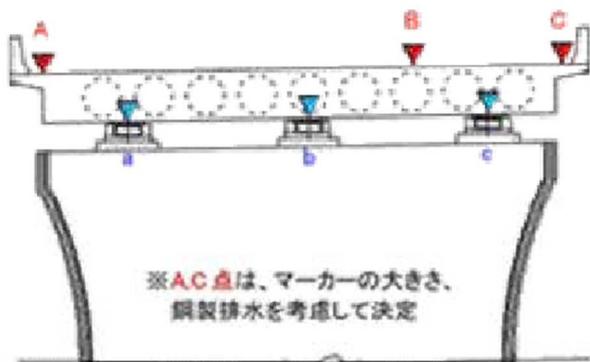


図3 計測箇所断面図¹⁾

3. 計測方法

(1) 計測概要

a) 計測対象

上り線 : P35~P39 (約117m)

下り線 : P35~P38 (約89m)

b) 計測項目

支承工施工時

支承設置時の据付高さ (a, b, c)

支承中心間隔 (a-b, a-c, b-c)

主桁工施工時

主桁天端の高さ

下り線13断面・上り線17断面にて、各断面毎3箇所 (A, B, Cライン)

幅員 : 各断面毎「A-C」間距離

桁長 : Bラインにおける支点間の距離

c) 検証方法

計測精度については、「UAVにより計測した座標 (x, y, z) 及び座標間の距離」と「通常の巻尺 (スケール) 及びレベルを用いた測量値」の比較による検証。

作業効率については、「UAVによる計測時の作業量 (現場作業時間及び解析処理時間)」と「通常の計測における作業量」を比較し、省力化に向けた課題や改善案等を検討。

(2) 撮影計画

a) UAV (ドローン) 仕様

重量 1,375g

対角寸法 350mm

ホバリング精度範囲

垂直 : ±0.1 m (ビジョンポジショニングあり)

±0.5 m (GPSポジショニングあり)

水平 : ±0.3 m (ビジョンポジショニングあり)

±1.5 m (GPSポジショニングあり)

b) デジタルカメラ仕様

有効画素数 : 2,000万画素

画像サイズ : 5,472×3,648

c) 撮影条件

同一箇所において飛行高度、撮影時のオーバーラップ率の異なる3つの条件 (条件①~③) により撮影し、計測精度や再現性の比較検証を行った。(表1)

	飛行高度	オーバーラップ率
条件①	約29m	90%程度
条件②	約29m	50%~90%程度
条件③	約36m	10%~90%程度

表1 撮影条件一覧表¹⁾

d) 検証点の設置 : 計測ポイント

計測点には、マーカー (200mm×200mm×1mm) を設置した。

e) 基準点の設置 (8箇所)

準備工として、計測箇所の周辺に基準点を設置し、事前測量を行った。(図4)



図4 基準点設置位置¹⁾

4. 計測結果 (計測精度の検証)

(1) 支承部の出来形計測結果

支承部の解析時に作成したオルソ画像 (図5) 及び計測結果 (表2) は以下のとおりである。



図5 オルソ画像 : 支承計測時¹⁾

支承擔付高さ(下り線)の差分

位置	条件①	条件②	条件③	
P35	a	-3.1	0.1	-6.7
	c	2.8	1.7	-2.3
P36	a	-3.0	-5.2	-1.1
	c	-0.6	0.2	-5.2
P37	a	1.1	-5.4	-4.7
	b	0.7	-1.4	-6.4
	c	2.7	1.3	-4.2
P38	a	-4.2	-4.2	-8.7
	b	2.2	0.9	-4.0
	c	-0.4	-1.7	-4.5

支承中心間隔(下り線)の差分

位置	条件①	条件②	条件③	
P35	a-c	-1.4	0.0	4.5
P36	a-c	-0.9	-1.4	-4.1
P37	a-c	1.2	-0.5	0.2
	b-c	2.7	2.8	1.1
P38	a-c	3.2	3.0	2.7
	b-c	-2.2	-1.7	-1.0

(mm)

表2 支承の出来形計測結果¹⁾

※数値は、UAV測量値から通常の測量値を引いたもの。

(2) 主桁の出来形計測結果

主桁の解析時に作成したオルソ画像(図6)及び計測結果(表3)は以下のとおりである。



図6 オルソ画像：主桁計測時¹⁾

主桁高さ(下り線)の差分

位置	条件①	条件②	条件③	
C1	A	-4.7	-2.2	3.2
	B	-2.1	0.4	3.6
	C	-2.8	-3.5	-1.9
C5	A	-3.2	-4.2	-0.2
	B	-0.4	1.3	5.9
	C	-4.3	-5.8	0.6
P36	A	-3.1	-3.2	-1.9
	B	0.4	-0.4	2.3
C14	A	-3.2	-4.6	-1.4
	B	-0.9	-0.8	1.1
	C	-0.9	-5.3	-2.3
P37	A	2.0	-1.7	2.5
	B	3.0	-0.3	-1.1
	C	1.1	0.8	-2.8
C23	A	-4.8	-6.2	-7.0
	B	0.3	-2.8	-0.2
	C	-0.8	-7.0	-5.3
P38	A	-0.2	-1.9	-5.0
	B	-0.7	0.9	-1.6
	C	3.3	-3.0	-5.8

橋長・幅員(下り線)の差分

位置	条件①	条件②	条件③	
幅員 A-C	C1	-0.6	-2.0	0.6
	C5	-0.7	-0.9	-1.2
	P36	0.2	-1.9	-2.6
	C14	2.5	0.6	0.1
	P37	3.5	-1.8	-0.2
	C23	0.8	-1.9	2.8
橋長 Bライン	P38	2.7	1.8	0.0
	C1-P36	0.2	-0.8	-2.7
	P36-P37	-5.7	-3.9	-4.7
	P37-P38	-6.7	-9.6	-6.0

(mm)

表3 主桁の出来形計測結果¹⁾

※数値は、UAV測量値から通常の測量値を引いたもの。

(1) 計測精度に関して

条件①～③で計測した場合は、差分が±10mm以内、さらに条件①の結果からオーバーラップ率90%程度を確保すると差分±5mm以内の精度が確保できた。

(2) 対象物(支承、主桁)の違いに関して

支承、主桁での大きな違いは見られない。対象物による計測精度への影響は小さいと考えられる。

ただし、主桁の橋長のように計測する対象物の延長が長い(座標間距離が大きい)場合には差異が大きくなった。

(3) 計測項目(座標高、座標間寸法)の違いに関して

座標間寸法(支承中心間隔・幅員)と比較して、座標高(支承擔付高さ・主桁の高さ)の計測時は差分が大きくなった。

(4) 撮影枚数の違いに関して

撮影枚数が多いほど差分が小さくなった。

6. 作業効率(計測に係る時間等)の比較・検証

(1) 作業員に関して

通常の測量は、最低2名で実施する必要があるが、UAVでの計測は「撮影(UAVの飛行)」以外1名での作業が可能であり、省人化が図れた。

(2) 作業時間に関して

UAVでの計測に関しては、「飛行計画の策定や工事範囲の法律の確認等の事前検討」及び「解析+出力」に多くの時間を要するが、「事前検討(1回程度/1工事)」を除いた作業時間は撮影条件②③で通常の測量と同程度以下となった。

撮影時間に関しては、撮影枚数が増加すると僅かに作業時間が増加するが、通常の測量と比較すると大きな省人化が図れていた。

解析時間に関しては、撮影枚数や検証点数が多いほど「解析+出力」に多くの時間が必要となっており、最も良い精度が得られる条件①はすべての条件で人力測量より多くの作業時間が掛かる結果となった。

「通常の計測」(レベル、スケール等によるもの)と「UAVによる計測」における作業員・作業時間について比較検証した結果を表4に示す。

5. 計測結果総括

		通常の計測			UAVによる計測								
		測量 2名 (分)	結果整理 1名 (分)	累計時間 (分)	撮影条件	撮影枚数 (枚)	検証点数 (箇所)	事前検討 1名 (分)	準備工 1名 (分)	撮影 2名 (分)	解析+出力 1名 (分)	累計時間 (分)	累計時間 (事前検討除く) (分)
支 承	下り線 P35~P38	120	40	280	条件①	434	10	180	80	17	381	675	495
					条件②	241				14	231	519	339
					条件③	172				10	187	467	287
	上り線 P35~P39	150	50	350	条件①	455	15	180	100	16	382	694	514
					条件②	243				13	223	529	349
					条件③	176				11	166	468	288
主 桁	下り線 P35~P38	120	60	300	条件①	443	39	60	25	360	470	470	
					条件②	252			17	185	279	279	
					条件③	171			11	162	244	244	
	上り線 P35~P39	160	80	400	条件①	442	51	80	18	401	517	517	
					条件②	250			13	246	352	352	
					条件③	172			7	210	304	304	
		・座標高さは「レベル測量」 ・座標間距離は「スチールテープ及びスケール」 ・測量には各橋脚間の移動時間含む			・「事前検討」：飛行計画の策定作業（自動撮影する際の飛行高度、範囲、経路の検討）、法律の確認作業（1回程度/1工事） ・「準備工」：飛行ルートへのインプットや検証点設置（橋脚間の移動含む） ・「撮影」：ドローンを使用した空中撮影時間（バッテリーの充電時間を除く） ・「解析」：3次元モデルの作成（1回）、基準点・検証点の抽出作業（1回）								

表4 作業人員・作業時間比較表¹⁾

様や要件を確定させるため、実証試験事例を収集・分析することが必要であると考えられる。

7. 今後の課題等

(1) 施工精度について

今回の実証試験では、一定の撮影条件を確保することで±5mm以内の精度を確保することができた。今後は橋脚が河川内に位置する場合や、張出架設工法で施工される橋脚高さが高く、支間長の長い構造の橋梁などにおいても、同様の結果を確保できるかどうか検証を行う事が必要である。

(2) 省力化について

a) 準備工の短縮

今回の実証試験では、全支承と各セクションラインのPH及び壁高欄の内側近傍に検証点を設置して計測したため、「飛行ルートへのインプットや検証点設置等の準備工」に時間が掛かった。従って、主要な箇所のみマーカーを設置して、その他の箇所はノーマーカーとすることにより、準備工に掛かる時間を短縮できると考えられる。

b) 解析時間の短縮

今回の実証試験の解析は、現場でも解析可能であるノートPCを用いて実施したが、スペックが高いデスクトップPCを用いる事により、解析時間を短縮できると考えられる。

8. まとめ

7章までの検討を総括すると、UAV汎用機での撮影画像を利用した橋梁上部工の出来形計測は従来の人力による測量値との誤差±5mm以内の結果が得られたほか、作業時間の効率化も確認でき、出来形計測の将来的な省人化・省力化につながる結果が得られた。ただし、構造物（橋梁上部工）基準の整備・統一化が必要であると考えられる。したがって、基準の整備に必要な仕

謝辞：本稿を執筆するにあたり、西脇北バイパス津万高架橋(P35-P41)PC上部工事に携わった設株式会社ピーエス三菱各位に深く感謝の意を表します。

参考文献

1) UAV汎用機での撮影画像を利用した出来形計測実証試験 報告書 (株式会社ピーエス三菱)

新技術ドローンによる橋梁点検の実践について

岡森 駿¹・堀越 順太²

¹株式会社ジャパン・インフラ・ウェイマーク (〒537-0021) 大阪市東成区東中本3-16-23 東成第一ビル

²株式会社ジャパン・インフラ・ウェイマーク (〒537-0021) 大阪市東成区東中本3-16-23 東成第一ビル

2014年3月に橋梁(約72万橋)・トンネル(約1万本)は、5年1度の近接目視による定期点検が義務化されてから、現在は2巡目の点検に入り、また橋梁定期点検要領は2019年に改定が行われ、新技術の活用による点検実施作業の効率化が求められている。新技術のドローンを2019年から橋梁点検等の現場で実務作業してきた。その実績を踏まえて、業務に活用していくために必要な結果、方法、考え方を示すことで、今後はより効率的な維持管理が期待される。

キーワード 新技術カタログ, ドローン, 橋梁定期点検, 効率化

1. はじめに

点検作業の効率化を図るために、新技術活用が期待されており、当初と比べ点検に対する考え方も変わってきた。

点検要領が改定され、定期点検の方法としては、近接目視を基本とし、また、これによらない状態の把握を行う場合には、「定期点検を行う者は、健全性の診断の根拠となる道路橋の現在の状態を、近接目視により把握するか、または、自らの近接目視によるときと同等の健全性の診断を行うことができる情報が得られると判断した方法により把握しなければならない」¹⁾。こととされており、近接目視同等の健全性が診断ができる機器等の選択にあたっては、「新技術利用のガイドライン(案)」や「モニタリング技術も含めた定期点検の支援技術の使用について」にも記載があるとおり、自由に、しかし、点検支援技術の誤差特性や原理上の適用限界等を把握したうえで、出荷物としての機器等が保証する性能の範囲で活用すること²⁾と記載が追加された。

ドローンを含めた新技術の性能は日々進化しており、近接目視に変わる手段として活用を検討することで、効率化が期待されている。特にインフラ点検での活用が増えてきている。しかし、橋梁点検での活用はまだ、橋梁の全体数に比べて少ない。

株式会社ジャパン・インフラ・ウェイマーク(以下、当社は、2019年からドローンによる橋梁点検を実施してきた経験を踏まえて、現場実務での課題や方法等を整理し、活用と新技術との連携について検討を行った。

2. ドローン橋梁点検の実践

当社は、ドローンによる橋梁点検を実施しており、2020年からドローン橋梁点検の実績が総延長約13kmと活用が増えてきており、国土交通省、自治体、高速、鉄道等を実施している。

(1) 機体の基本性能

ドローン点検の際に使用する機体の基本性能を表-1に示す。

表-1 全方向衝突回避機能搭載 J2 機体性能表

名称	J2(skydio R2 for Japanese Inspection)
機体写真	
点検支援技術性能カタログ掲載技術番号	BR01009-V0020
カメラ性能	4K60fps 1200万画素 3軸ジンバル
飛行時間	23分
サイズ(L, W, H)	223×273×74mm
最大近接距離	50cm
特徴	<ul style="list-style-type: none"> ・ipadによる直接操作可能 ・障害物自動回避機能(ビジュアルスラム)を搭載 ・小型のため、直径1.2m程度の狭隙部飛行可能 ・上方を撮影可能 ・非GPS環境下でも飛行可能

(2) ドローン点検作業フロー

当社でのドローン橋梁点検を実施する基本の作業フローを図-1に示す。現場での機体準備は、組み立て等が必要なく5分程度で完了する。



図-1 点検実施フロー(例)

4. J2による画像撮影

(1) ドローン撮影画像例

J2の特徴として約 50cm と約 1.0m の離隔設定で撮影することが可能であり、桁間 1.2m 程度であれば、桁内部から撮影することができる。写真-1 は、J2 で橋梁側面を撮影した画像で、ドローンであれば撮影可能な画像である。現地踏査時に徒歩での状況写真撮影が困難で時間が掛かっていた橋梁では、径間撮影のみでも時間の短縮が見込まれる。写真-2 は、支承部を桁間に入り込み撮影した画像であり、沓座モルタル、橋座面、アンカーボルト等を確認することが可能である。写真-3 は、桁間に侵入し、桁内部を撮影したものである。この時に桁内部の画像撮影で気をつける必要があるのは、桁内部及び桁下は照度が低い場合多く、照度の確保が重要となる。図-2 は、モノレール碍子を近接して撮影したものであり、レールの点検等に活用することが可能である。

(2) ドローン点検の課題

ドローンを使用することで点検の効率化が期待されるが、現場で実践を重ねることで課題も見つかった。

現在考えられる課題として①第三者被害が想定される範囲の打音が必要な箇所②路面(規制が必要)③桁端部の伸縮装置④うきなど目視のみで判断が難しい箇所⑤PC ホロー桁等の支承の高さが低いゴム支承等は撮影困難⑥桁間が 1.2m 以下の狭隘部⑦周辺のプライバシー問題⑧天候に左右される

等がある。このような課題を踏まえて点検の際には、事前に実施可能な箇所や問題点等を把握しておく必要がある。



写真-1 橋梁側面写真



写真-2 支承撮影画像



写真-3 桁間撮影画像



図-2 モノレール碍子撮影画像

5. 効率化の検討

当社で実施したドローン点検の例を用いて、いくつかのケースで従来工法とコスト比較とドローン点検に於けるタイムスケジュールを整理した。

(1) コスト比較とタイムスケジュール

Case1として、橋梁定期点検要領³⁾に基づいた点検を実施した場合の上部工のコスト比較とドローン点検のタイムスケジュールを図-3、図-4に示す。

条件として、1000㎡の範囲を点検対象とし、比較検討を行った場合、従来手法では、夜間2日で橋梁点検車(BT-400)を使用した。ドローン点検で実施した場合、点検作業は昼間1日となった。内業の作業手間は変わらないが、外業(点検作業)と交通規制費の大幅なコスト削減が見込めることがわかった。

作業実績から1日の平均作業は、800㎡程度となることがわかった。準備と片付けの時間が短く、規制の時間が短縮可能になり1日2径間の作業を可能とすることで効率化が実現された。

Case2として、道路橋定期点検要領⁴⁾に基づいて点検を実施した場合のコスト比較とドローン点検のタイムスケジュールを図-5、図-6に示す。

比較結果としては、図-2の点検同様、外業と交通規制費でコストダウンを見込めることがわかった。作業条件として、従来手法は、橋梁点検車(BT-200)で5径間を2日で実施していたところ、ドローン点検では、0.5日程度の作業となった。

この場合の平均日当り施工量は、今までの実績から平均1500㎡程度となっており、橋梁規模が小さくて、1橋だけの点検作業になるとコスト削減の幅が少ないが、複数橋同時か、橋梁点検面積が1500㎡以上の橋梁であれば、効率化が見込まれることがわかった。

(2) 技術の組み合わせによる効率化

Case3として、図-7、図-8でロープアクセス+ドローンでの点検を行った場合のコスト比較とタイムスケジュールを示す。従来手法として、3橋をロープアクセスで4日で行っていた箇所をドローンで1日で行ったケースである。橋梁点検車、高所作業車等が行けない箇所、ロープアクセスが使われている。

橋梁点検をドローンとロープアクセスを同時に行った場合、ロープアクセスの技術単体の時より、作業ペースが上がる事がわかった。現在、ドローンですべての損傷箇所を撮影する事が難しく、橋座の土砂堆積の撤去や伸縮装置下面など狭隘部の撮影等の困難な問題があった。技術の組み合わせにより、橋梁端部、橋座面等のドローン点検の効率が悪い箇所の改善が見込まれ、常平均日当り作業が800㎡に対して1000㎡～1200㎡程度点検可能なことがわかった。

また、橋梁点検車で複数の橋梁を点検した場合は、橋梁毎で道路規制を行う作業が必要のため、1橋の点検時間が短くなる傾向がある。ドローン点検を行った場合、準備時間が短くなり、作業時間を確保することで効率化が見込まれる。

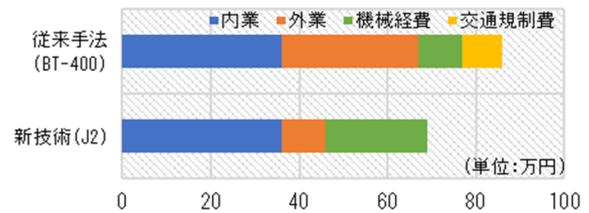


図-3 コスト比較(case1)



図-4 タイムスケジュール(case1)

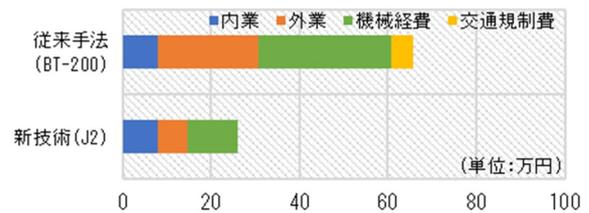


図-5 コスト比較(case2)



図-6 タイムスケジュール(case2)

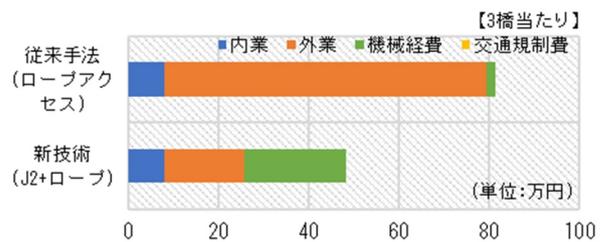


図-7 コスト比較(case3)



図-8 タイムスケジュール(case3)

6. 新技術による展開

(1) 画像処理技術の活用

ドローンで橋梁部材に対して一定離隔で撮影することで、橋梁の桁下面、側面等を撮影した連続画像を一枚の合成画像にすることが可能となった。合成した画像を写真-4、写真-5に示す。この合成画像を橋梁の健全性の判断や一次スクリーニングに使う損傷図の代替え等の使い方が考えられ、今まで手間が掛かっていた損傷図作成の効率化が望まれる。

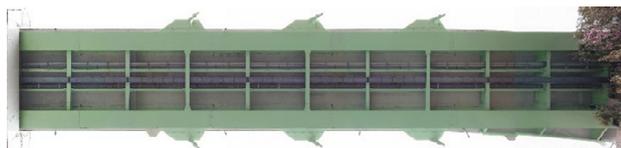


写真-4 桁下面合成画像



写真-5 横構消し合成画像

(2) ドローン撮影画像によるひびわれ解析

ドローン点検を実施する際に内業として、ひびわれを写真から幅、長さを計測し、トレースして損傷図を作成する作業に時間が掛かっている。

新技術のドローンJ2と社会インフラ画像診断サービス「ひびみつけ」(点検支援技術性能カタログ(案)技術番号: BR010024-V0020)を組み合わせ、上部工の桁下面のひびわれ解析を行った結果を図-9に示す。検出結果としては、細かなひびわれまで検出できているが、ひびわれの修正及び確認というところで、まだ、作業時間がかかっており大幅な短縮に繋がっていない。今後、一枚の合成画像として処理を行ってから、前回とのひびわれ図との比較を行い、モニタリングに使用することで、内業の作業時間が短縮されると思われる。

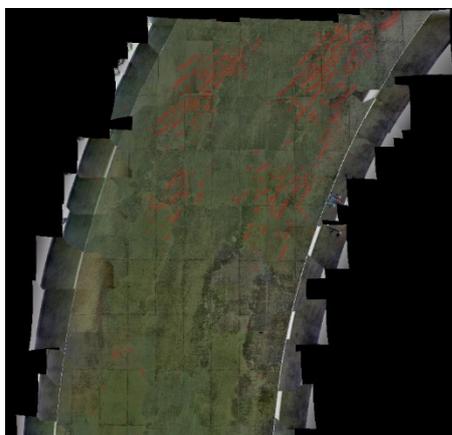


図-9 ひびわれ解析検出画像

(3) 3次元化に向けて

ドローンで橋梁を3次元化するにあたって、ソフトも年々進化しており、ドローンで撮影したもので、図-10のようなものが作成可能である。しかし、橋梁を3次元化するのに必要な撮影方法であったり、ソフト購入等、簡単導入するのが難しいという課題が見える。



図-10 橋脚3次元データ

(4) AIシステムの活用

ドローン点検の際に膨大な写真データが上がることが多く、管理、整理することに手間が掛かっている。当社では、クラウドシステムの開発をしており、事前準備→フライト→画像解析→点検レポート作成を行うことで、今より効率化を図ることを考えている。また、損傷の抽出を膨大なデータから行う作業をAIで、静止画及び動画からの損傷抽出するシステムの開発も行っている。ドローン活用において、AI技術というのは、非常に重要になっており、1年前よりも手間及び時間をかけなくても、AIを成長させることが可能になってきている。

7. 効率化するために

橋梁毎で、点検手法を固定するのではなく、作業効率上がるように、方法を選択する必要があり、新技術としては、ドローンを点検現場で活用するための方法(案)としては、踏査時の使用、規制を必要とする点検の前に、事前に橋台や検査路の点検を行う時のドローンによる一次スクリーニング、大規模な規制を伴う点検車による点検の代替、ラック足場が必要な橋梁の代替、点検車のバケットがあと一歩届かない箇所での使用等が考えられる。使い方は一通りではなく、作業する人達が簡単で安全に活用してもらうことで、全体の効率化に繋がることを期待する

参考文献

- 1) 国土交通省道路局：道路橋定期点検要領(平成31年2月)
- 2) 国土交通省道路局：点検支援技術性能カタログ(案)(令和2年6月)
- 3) 国土交通省道路局：橋梁定期点検要領(平成31年3)

新宮道路におけるBIM/CIM対応を見据えた 3次元地形測量の標準化に向けて

岩原 歩¹・今城 由貴²

¹近畿地方整備局 紀南河川国道事務所 工務第二課 (〒646-0003 和歌山県田辺市中万呂142)

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

紀南河川国道事務所では、i-constructionにおける「ICTの積極的な活用」に取り組んでいる。2019(平成31)年度に事業化された新宮道路において、BIM/CIM対応を踏まえた3次元地形測量をUAVレーザ測量等により実施した。新宮道路の事業区間は、JR紀勢本線・国道42号等を横断し市街地を含む地形条件であるため、2018(平成30)年度に事業化された串本太地道路レーザ測量での実績を踏まえ、UAVレーザ測量および地上レーザ測量、MMSレーザ測量を複合した方法を用いた。本稿はこれらの実績について報告するものであり、3次元地形測量を今後実施する際の一助となることを期待する。

キーワード UAVレーザ測量, 3次元モデル, BIM/CIM, i-construction

1. はじめに

2019(平成31)年度に事業化された延長4.8kmの新宮道路において、道路予備設計(B)および道路詳細設計に対応できる3次元地形図(レベル500)と3次元地形モデルの作成を視野に、2018(平成30)年度に事業化された串本太地道路で実施したUAVレーザ測量での実績を踏まえ、BIM/CIM対応を踏まえた3次元地形測量を実施した。新宮道路の事業区間は、国有林や国道42号・県道・JR紀勢本線・市街地を縦断する線形であるため、UAVレーザ測量の適応には、地形や飛行条件を考慮する必要があり、地上レーザ・MMSレーザを組み合わせた3次元地形測量を実施し、3次元モデルを作成した。



図1 新宮道路全景



図2 新宮道路の事業区間

なお、本報告では「3次元モデル」は道路予備設計(B)および道路詳細設計に必要な、3次元地形図データおよび3次元地形モデルデータの事とする。

2. 3次元地形測量の現状と課題

(1) 3次元地形測量の現状

従来の道路設計では、航空写真測量が概略設計から道路予備設計(B)まで用いられてきた。近年では航空写真測量に加え航空レーザ測量を併用して、レベル1,000またはレベル500の3次元地形図データを作成すること

が増えてきている。紀勢自動車道（紀伊田辺～すさみ間）では、早くからこの方法でレベル 1,000 の 3次元地形図を作成し概略設計を行っている。

2016 年頃から i-construction の取り組みが始まり、2018年にUAV搭載型レーザスキャナを用いた公共測量マニュアル（案）¹⁾が、2020年にBIM/CIM活用ガイドライン（案）²⁾が整備され、UAVレーザ測量技術の利用環境が整ったことで、道路予備設計（B）および詳細設計に適用できる新たな測量方法が可能となった。従来の路線測量では、地上測量で中心線測量・仮BM設置・縦横断測量を行う必要があったが、UAVレーザ測量等を使用する方法では詳細設計まで使用できる3次元モデルと縦横断図作成をUAVレーザ測量等で可能となり、現地作業を伴う地上測量を大幅に縮減できることから、工期の短縮や危険な個所での測量作業の軽減等が図られるようになってきている。

(2) 3次元地形測量の課題

UAVレーザ測量等で3次元モデルを作成するにあたり、前年度に実施した串本太地道路での実績を踏まえ、新宮道路においてUAVレーザ測量等を実施するための課題の抽出と対応方法を次のとおり整理した。

a) 串本太地道路での課題と対応方法

前年度に実施した串本太地道路でのUAVレーザ測量の課題と対応方法は表-1の通り。

表-1 串本太地道路でのUAVレーザ測量の課題と対応方法

課題	対応方法
① 要求仕様の作成	道路予備設計(B)および詳細設計に対応した仕様を策定
② 山地(森林)部での精度	地形計測可能なUAVレーザ機器を選定
③ 標高に係る品質確保	使用する既測基準点および調整点へ、水準点からの3級水準測量を実施し、基準点に標高精度を持たせた
④ 縦横断図の品質確保	3次元モデルの補備測量を地上レーザ測量等を用いて実施
⑤ 点検測量(UAVレーザ測量等の検証)	従来法により縦横断測量を行い、比較検証を実施

b) 新宮道路での課題と対応方法

前年度に実施した串本太地道路での作業工程を前提に技術的な課題を整理し、新宮道路では計測方法の改善を行った（次章(1)参照）。

新宮道路の課題は、主に山地部の串本太地道路と異なり市街地（都市近郊・耕地）が対象範囲の76%を占めJR紀勢本線や国道42号、県道・高圧送電線等のインフラ施設が全域に渡り点在しており、UAVレーザ測量の安全確保が難しい区間が多数あったため、地形条件およびUAVの飛行条件から検討を行い、適した測量方法を選択した。なお、新宮道路のUAVレーザ測量等を実

施する際の安全対策が必要となる地形条件および飛行条件を表-2にまとめた。

表-2 安全対策対象となる地形条件および飛行条件

検討対象	備考
① 市街地での飛行基地選定	市街地部における地権者調整
② 周辺施設 ・高圧送電線・JR紀勢本線・ヘリポート ・発電所・自動車専用道路・国道・県道 ・国有林・国立公園・都市公園・河川敷公園	管理者と協議・申請など実施
③ ②の内、UAVレーザが適応できない範囲	最適なレーザ計測方法を選択

3. 改善策と新たな取り組み

(1) UAVレーザ計測の計測点密度確保の工夫

UAVレーザ計測の安全と精度を確保する方法として、前年度に串本太地道路で実施した、対地高度約150mにて等間隔の平行コースに対して、新宮道路では表-2の条件を考慮して、飛行時間の削減かつ多方向からレーザ照射を行う格子状コース計測法（図-3）を採用し、計測点密度400点/m²以上を確保した。

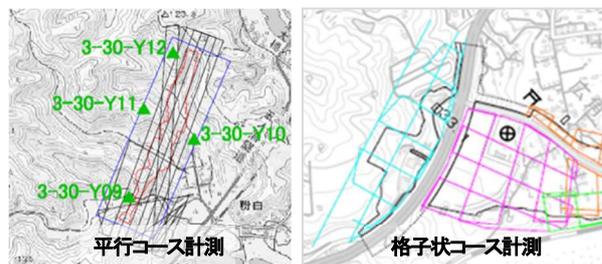


図-3 UAVレーザ計測の飛行経路

(2) レーザ計測方法の選択

地形条件（表-3）およびUAVレーザの飛行条件（表-4）の選択基準から最適なレーザ計測方法を選択し図-8に示す計測区分を行い、レーザ測量を実施した。

なお表-3・表-4は、本報告にて、UAVレーザ測量等の方法を検討する基準を標準的にまとめたものである。



図-4 地形区分(左から、市街地・都市近郊・耕地)

地形条件（表-3）では市街地以外はUAVレーザが有効であることが分る。実施においては植生状況などの現地踏査を行い、使用する計測機器のスペックを判断した。表-4のUAVレーザの飛行条件ではUAVレーザは安全

対策などをとる必要があるため△になっている。

なお、地上レーザはJ R紀勢本線や国道 42 号などの安全対策が取れない箇所に適用し、MMSレーザは人が立ち入れない自動車専用道路に適用した。レーザ計測の実施写真を図5～図-7に示した。

表3 選択基準1(地形条件)

地形条件		UAVレーザ	地上レーザ	MMSレーザ
平地	市街地	×	△	○
	都市近郊	△	○	△
	耕地	○	△	×
	森林	○	△	×
丘陵地 ・低山地	市街地	×	△	○
	都市近郊	△	○	△
	耕地	○	△	×
高山地	森林	○	△	×
	森林	○	×	×
備考		・森林や山地の計測に適す ・高高度かつ高密度な計測が可能な機器が必須	・地上測量であり、現地立ち入りが必要 ・補測などの小範囲の計測に適する	・車両に搭載した計測機器 ・道路からの計測が基本

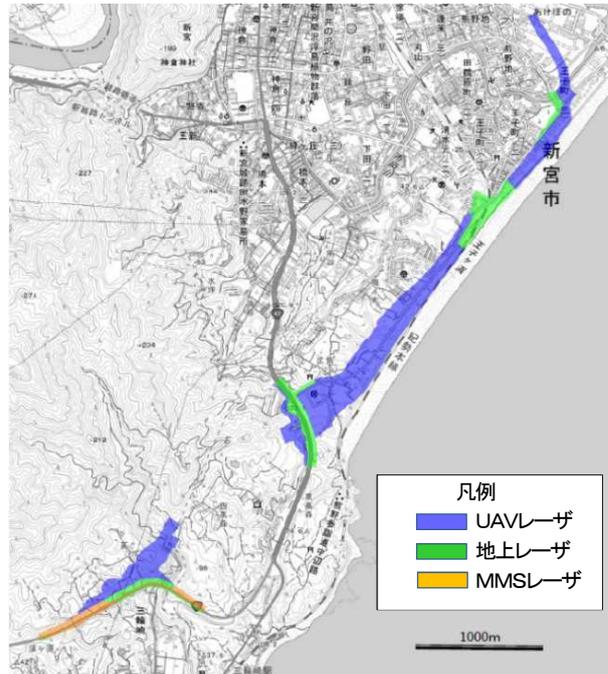


表4 UAVレーザの飛行条件と計測方法の適否

環境条件	UAVレーザ	地上レーザ	MMSレーザ
法律			
空港周辺の空域など※1	△	○	○
重要施設の周辺※2	×	○	○
インフラ施設			
送電線	×	○	△
鉄道	△	△	×
道路	△	○	○
港湾施設	△	○	×
その他			
高塔(ラジオ局、等)	△	○	○
携帯電話アンテナ	△	○	○
猛禽類の生息	△	○	○
備考		立ち入り可否に左右される	道路上からの視通が条件

(凡例) ○:適切 △:適応可能 ×:適応困難

※1:航空法(昭和27年法律第231号)第132条第2項第2号の規定による許可及び同法第132条の2第2項第2号の規定

※2:重要施設の周辺地域の上空における小型無人機等の飛行の禁止に関する法律(平成二十八年法律第九号)



図5 UAVレーザ計測



図6 地上レーザ計測



図7 MMSレーザ計測

4. BIM/CIM 対応の3次元地形成果

新宮道路では、UAVレーザ・地上レーザ・MMSレーザで計測した3次元点群(10cmグリッド)から数値図化作業を行い、3次元地形図データ(レベル500数値地形図)および3次元地形モデル、縦断面図・横断面図データを作成した(図9)。

縦断面図・横断面図は、3次元地形モデルを用いて、計画の線形計算に合わせてデータを切り出す方法で作成しているため、予備設計段階で線形が見直された場合などに、新たに現地の地上測量で測量し直す必要は無い。ただし、測線上の既存構造物については、現地確認と必要に応じて補測測量作業が必要なことがある。

その他、道路予備設計(B)で地形形状把握に利用される地形解析図(エルザマップ*)を作成した(図10)。

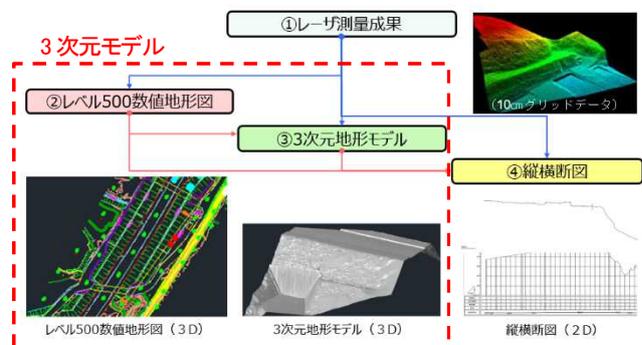


図9 3次元地形成果の構成

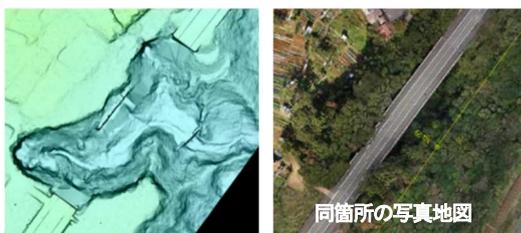


図-10 エルザマップ(左)

*エルザマップ: カラー段彩と傾斜角量を同時に表現し地形判読を容易にした図で、地質調査や設計に利用される地形表現

5. 3次元地形測定の整理

当事務所では、新宮道路で実施したUAV測量業務における課題等に対して工夫・改善した内容を踏まえ、UAVレーザ測量等を実施するために必要な標準的な資料をまとめたので、その内容と要旨を表5に示した。

表5 3次元モデル作成の標準化

項番	標準的な資料	要旨
1	要求仕様書	計画機関が独自に定めなければならない次の内容を定義した ・計測点密度・3次元地形図の精度 ・3次元モデルの精度・成果品目 ・点検方法
2	3次元地形測量と従来手法の対応表	UAVレーザを中心に工種・種別・細目を従来法との対応でまとめ、発注時の設計項目を明確にした
3	関係機関の調整・申請	3次元地形測量で必要となる工種毎の調整内容と申請先等を、汎用的にまとめた
4	レーザ計測方法選択の地形条件	地形条件に対応して各レーザ計測方法の適応条件を対比表とした
5	UAVレーザ計測方法選択の飛行条件	飛行条件に対応して各レーザ計測方法の適応条件を対比表とした
6	道路予備設計(B)および詳細設計に対応した3次元モデルの説明	作成する3次元モデルを次の点について、データ作成・データ利用の観点から図9に示した各データの内容を整理した ・形式・精度・データの特徴・使用用途

6. まとめ

前述のとおり、BIM/CIMの3次元モデル作成業務の効果や課題は、串本太地道路の山地および新宮道路の市街地の計測作業にて一定の整理ができた。特に、i-constructionで活用が注目されているUAVレーザ測量を中心に、従来の地上測量からUAVレーザ測量等を効果的に活用する標準的な方法(流れ)を整理できたと考えている。

一方、道路予備設計(B)および詳細設計での3次元モデルの利活用は、現在設計等を進めているところではあるが、今後課題になると考えられることが2点ある。

① データサイズの課題

3次元モデルの内、3次元地形モデルは3次元点群(=点)をTINモデル(=面)にするためデータが非常に大きくなり新宮道路(延長4.8km)では全域で約12.4GB、串本太地道路(延長18.4km)では全域で12.5GBになるため、3次元モデルを使った道路予備設計を進めるためには、ハード(PC)・ソフトともハイスペックな物が必要となる。なお、串本太地道路はトンネル部が多く事業延長は長いがデータ量は新宮道路に比べて小さい。

② 幅杭設置測量等における注意事項

従来の地上測量による幅杭設置は、中心線測量の際に4級基準点が設置され、それを使って幅杭設置測量を行う。ところが、UAVレーザなどを使った方法では、基準点設置が作業過程で不要なため、幅杭設置および用地測量のために4級などの基準点設置が新たに必要となる。

なお、データサイズの課題については、3次元地形モデル等を有効に活用していくために、測量、設計のみならず工事、管理においても今後の3次元データのあり方等について検討していく必要があると考えられる。

また、本報告が今後の3次元モデル作成の際の参考になれば幸いである。

謝辞: 本論文をまとめるにあたり、協力頂いた国際航業(株)の関係各位、ならびに貴重なご意見ご提言を頂いた方々並びに、UAVレーザ測量にご協力いただいた方々に心から感謝致します。

参考文献

- 1) UAV搭載型レーザスキャナを用いた公共測量マニュアル(案), 令和2年3月改定, 国土交通省国土地理院
- 2) BIM/CIM活用ガイドライン(案) 共通編, 令和2年3月(令和2年3月25日一部修正), 国土交通省
- 3) 作業規程の準則, 令和2年3月31日一部改正, 国土交通省国土地理院
- 4) 3次元点群データを使用した断面図作成マニュアル, 平成31年3月, 国土交通省国土地理院
- 5) 令和元年度近畿地方整備局研究発表会, イノベーション部門I, NO.15 紀南
- 6) 測量業務積算基準, 資-2-1-2, 国土交通省

一般走行車両のビッグデータを活用した路面性状把握技術について

及川 大輔¹・三上 裕輝²

^{1,2}朝日航洋株式会社 空間情報事業本部 商品企画部 (〒350-1165埼玉県川越市南台3丁目14番地4)

直轄国道において、路面の凸凹箇所に対する沿道住民等からの苦情の増加が課題となっている。この課題解決に向けて、近畿地方整備局が公募した「現場ニーズに対応する新たな技術（シーズ）」の取組みにおいてマッチングが成立した新技術の現場試行により、路面凸凹状況と位置情報の自動記録に関する実証を行った。実証では、奈良国道事務所管内の直轄国道をフィールドとして、一般車両に標準搭載されたIoTセンサーから収集したビッグデータから路面凸凹状況を定量的に推定する新技術について一定の有用性を確認できた。本稿では、新技術の活用を直轄国道におけるインフラDXの推進に資するものと位置づけ、実証成果について紹介する。

キーワード インフラDX, コネクティッドカー, IoT, ビッグデータ, 省人化

1. はじめに

地方整備局等が管理する道路法第2条第1項に規定する道路の車道上の路面については、舗装点検要領¹⁾にて5年に1回の点検を実施し、結果に応じて必要な措置を行うことと定められている。点検の手法については、新技術の積極的な採用や機器を用いることを妨げないとされているものの、専用機器を設置した計測車両等による路面性状調査（以下、「従来点検」とする。）を実施していることが通例である。

また、道路管理者は、日常パトロールを通じて日々の路面の状態を把握し、必要に応じた応急対策を行っている。近畿地方整備局の場合、直轄国道の車上目視パトロールについて、交通量を基準とした維持管理基準²⁾を定めて対応している（表-1）。

表-1 近畿地方整備局における直轄国道の日常パトロール頻度

平均交通量	パトロール頻度
50,000台/日以上	1日に1回
5,000台/日以上50,000台/日未満	2日に1回
5,000台/日未満	3日に1回

以上の維持管理を行っているものの、直轄国道の一部では、路面の応急対策等により、路面の凸凹箇所に対する沿道住民等からの苦情の増加が課題となっている。課題への対策として、点検や日常パトロールの頻度を増やして措置を充実することが考えられるものの、費用や人員の面で現実的な解決策とは言い難い。

今回、近畿地方整備局が公募した「現場ニーズに対応する新たな技術（シーズ）」（以下、「公募」とする。）において、数年に一度の従来点検と日常パトロールの間

を補完する新技術の実証を行い、課題解決につながる可能性を確認できたため、実証結果を報告する。

2. 実証技術の紹介

(1) 実証技術の仕組み

近年、車載通信機を標準搭載した一般車両（以下、「コネクティッドカー」とする。）の普及に伴い、自動車メーカーでは、許諾を得たユーザーの走行データをセルラー通信を通じてクラウド上に収集、蓄積し、各種ユーザー向けサービスの充実等に利用している。

実証技術は、トヨタ自動車株式会社が開発し³⁾、既往研究においてコネクティッドカーの4輪に搭載されている車輪センサーが接地する路面から直接得たデータより算定した路面凸凹指標値を用いて路面凸凹状況を推定する手法として紹介されている⁴⁾。

本手法の結果は、10m×10m四方内の路面凸凹指標値として利用可能なサンプルの平均値を、車載GPSから得た代表緯度経度と道路リンクデータを同定することで地図上のポイントデータとして表現される（図-1）。



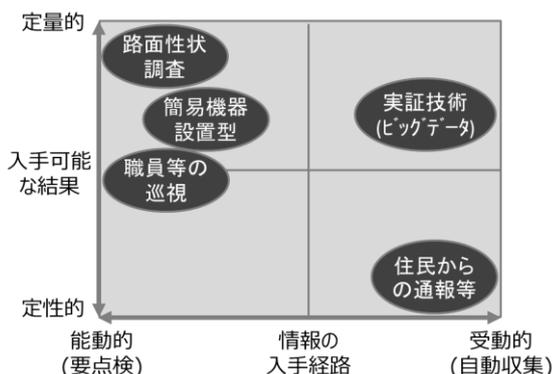
図-1 10m×10m四方の路面凸凹指標値の表現
(2019年1月7日から1月13日までの1週間のデータから作成)

(2) 実証技術の特徴

a) 路面凸凹状況の入手経路

路面凸凹状況を把握する手法としては、路面性状調査や職員等による日常パトロールに加え、スマートフォン等の機器を設置した簡易測定等がある。これらの手法は、いずれも道路管理者や受託事業者等が現地を走行し点検を行うことで結果を入手する仕組みとなっている。

一方で、実証技術は、走行済のコネクティッドカーのデータを利用することから、点検のための走行が不要であり、人手を介さずに結果を得られることで点検を省人化できる点に新規性を有する(図-2)。



b) 実証技術における測定の考え方

実証技術は、コネクティッドカーの4輪センサーで測定した平均値から路面凸凹状況の推定を行うため、左右両輪の路面凸凹状況を捕捉することが可能である。また、コネクティッドカーが走行する全車線の路面状況を加味するため、例えば片側2車線の区間ではいずれかの車線に路面凸凹があれば路面凸凹指標値の変化として捕捉される。

なお、車載GPSによる位置捕捉が困難な区間(トンネル内等)は各種センサーによる位置情報の補正を行っており、セルラー通信の不能区間は通信再開時に蓄積したデータの送信を行うことで、データ取得の網羅性をより高める仕組みが実装されている。

c) 路面凸凹状況の算出方法

実証技術を用いた既往研究として、市町村が管理する道路を対象にMCI (Maintenance Control Index) と比較した事例があるものの、ドライバーが体感する路面凸凹状況に近い平坦性を評価するための指標であるIRI (International Roughness Index : 国際ラフネス指数) との比較を直轄国道において行った事例は存在しない。

計測車両等を用いた一般的なIRIの測定方法としては、車両の片側1輪に設置したプロファイラー等による測定結果を用い、一定の速度で走行した際のばねの上下方向の運動量の累積値と縦断方向の走行距離から算出するQC (クォーターカー) シミュレーションがある(表-2)。

表-2 路面凸凹等の測定方法とIRIの算出方法⁵⁾

クラス	路面の凸凹等の測定方法	IRIの算出方法
1	水準測量	間隔250mm以下の水準測量で縦断プロファイルを測定し、QCシミュレーションによりIRIを算出する。
2	任意の縦断プロファイル測定装置	任意の縦断プロファイル測定装置で縦断プロファイルを測定し、QCシミュレーションによりIRIを算出する。
3	RTRRMS (応答型道路ラフネス測定システム)	RTRRMS (応答型道路ラフネス測定システム) で任意尺度のラフネス指数を測定し、相関式によりIRIに変換する。
4	パトロールカーに乗車した調査員の体感や目視	パトロールカーに乗車した調査員の体感や目視によりIRIを推測する。

なお、実証技術の比較対象とした従来点検は、レーザープロファイラーによる縦断方向の凸凹測定結果から10mピッチのIRIを算出している(クラス2相当の手法)。

これに対し、実証技術は、縦断方向に走行する車両の車輪速の変動から算出した路面凸凹指標値を変換することでIRIを算出する(クラス3相当の手法)。

実証では、一般財団法人土木研究センターの認定を受けた従来点検のIRI(クラス2相当の手法)と、実証技術(クラス3相当の手法)を比較することで、路面凸凹を把握する技術としての有用性を検証した。

3. 実証の内容

実証では、2019年度ならびに2020年度にかけて奈良国道事務所が提示した「道路の路面凸凹状況と位置情報を自動記録したい」というニーズに対する実証技術の有用性を把握するため、以下(1)～(3)の検証を行った。

(1) データ取得可能範囲の検証

実証技術が適用可能な範囲を把握するため、以下の手順でデータ取得可能範囲の検証を行った。

a) 対象範囲・時点

奈良国道事務所が管理している4路線、約150km(重用区間を除くと約106.4km)を対象とした(図-3)。比較にあたっては、2020年11月の1か月間のデータを利用した。なお、データ取得可能範囲の検証では、上下線や高架上下の区分、道路リンクデータとの位置同定を行っていない簡易的なデータを使用した。

b) 検証方法

対象道路を100m区間に分割し、利用可能な路面凸凹指標値が9点以上取得できている区間をデータ取得可能範囲とした(図-4)。なお、9点以上をデータ取得可能範囲とした理由は、100mで分割した道路区間と車載GPSの位置を同定する際のズレを考慮したためである。

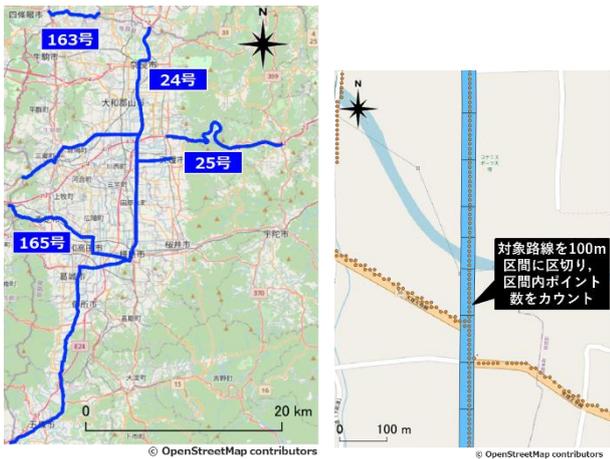


図-3 対象範囲 図-4 100m区間の検証の例
(2020年11月の1か月間のデータから作成)

(2) 現地状況との比較による検証

路面凸凹指標値と現地の路面状況との比較を行うため、以下の手順でデータ取得可能範囲の検証を行った。

a) 対象範囲・時点

奈良国道事務所が管理している国道24号のうち、2019年に従来点検を実施した48.3kp～74kpの片道約25.7kmならびに同区間外を含む路面補修（切削オーバーレイ等）の実施箇所を対象とし、路面凸凹指標値と現地画像との比較を実施した。比較にあたっては、従来点検を実施した2019年1月10日を含む2019年1月4日から1月17日までの2週間のデータを利用した。また、高架下の側道等交通量の少ない一部の区間では、2019年1月1日から1月31日までの1か月のデータで補完した。なお、従来点検の考え方に近づけるため、路面凸凹指標値の上下線や高架上下を区分し、道路リンクデータとの位置同定を行っている。

b) 補修箇所との比較

複数の路面補修の実施箇所において、補修前後の路面凸凹指標値を確認することで、補修検討対象に相当する路面凸凹指標値のしきい値を設定した。

c) 現地走行画像との比較

a)で設定したしきい値を用いた路面凸凹指標値による路面評価と実際の路面における凸凹状況の当てはまり度合いを確認するため、車両の車外に設置した市販カメラで撮影した現地画像と路面評価の比較を行ない、しきい値の妥当性を確認した。

(3) IRIとの比較による検証

a) 対象範囲・時点

奈良国道事務所が管理している国道24号のうち、従来点検を実施した48.3kp～74kpの片道約25.7kmを対象とし、路面凸凹指標値とIRIとの比較を実施した。比較の時点等は、3. (2)と同様である。

b) 検証方法

地図上に、従来点検のIRIを変換した10mピッチの健全

度区分（表-3）と、10m×10m四方の路面凸凹指標値を上り線、下り線ごとに展開し、比較を行った。

検証では、従来点検のIRI8mm以上（健全度区分III）の箇所を対象に、路面凸凹指標値が補修検討のしきい値以上（1.0以上）を概ね検出（○）、補修検討箇所のしきい値以上（0.8以上）を一部検出（△）、それ以外の箇所を未検出（×）と判定した。

表-3 従来点検のIRIと健全度区分の対応

IRI	健全度区分
3mm/m 未満	健全度 I
3mm/m以上 8mm/m 未満	健全度 II
8mm/m以上	健全度 III

4. 実証結果・考察

実証技術の適用可能な範囲や捕捉精度に関する検証により、以下 (1) ～ (3) の結果を得られた。

(1) データ取得可能範囲の結果

2020年11月の1か月間の通行実績から、路面凸凹指標値を奈良国道事務所管内の全域（約106.4km）がデータ取得可能範囲となっていることを確認できた。

当該区間における交通量の下限は2,413台（平成27年度道路交通センサスにおける24時間小型車交通量）であったことから、これ以上の交通量があれば概ねデータ取得可能範囲になると推察される。

なお、車載GPSの位置捕捉の精度がやや低いと考えられる高架下におけるデータ取得も確認できた（図-5）。



図-5 高架下におけるデータ取得状況
(国土地理院撮影の空中写真（2011年撮影）に重畳して生成)

(2) 現地状況との比較結果

a) 判定しきい値の設定

路面の補修前後の状況を見ると、路面凸凹指標値が1.0以上となっている箇所とその周辺において補修を実施しており、補修後の路面凸凹指標値がいずれの箇所でも0.8未満に改善されていることを確認した（図-6）。

これを踏まえ、路面の補修検討対象となる目安を路面凸凹指標値1.0以上、補修後の良好な路面の目安を路面凸凹指標値0.8未満とし、それぞれの値を路面凸凹状況（悪い～良い）を判定するしきい値として、以降の検証において用いることとした。

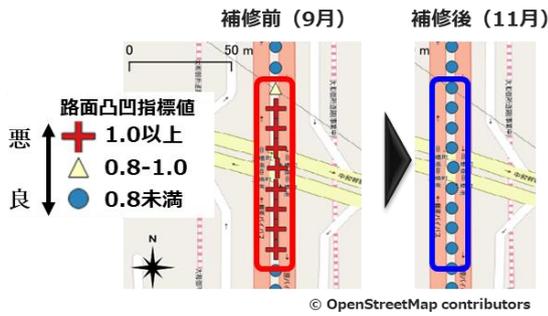


図-6 補修前後の路面凸凹指標値の変化と特徴

b) 画像との比較結果

路面凸凹指標値が1.0以上となっている163箇所と現地路面画像との比較結果より、113箇所(69.3%)で画像上に何らかの路面凸凹(ひび割れやパッチング跡の荒れ等)が確認できた。

一方で、41箇所(25.2%)は、マンホールやジョイント等の道路上地物を検出していた。この道路上地物については、ドライバーの乗り心地の観点からは路面凸凹として必要な情報だが補修や修繕等の観点からは不要な情報である等、目的によって必要性が異なることから、運用上の取り扱いに工夫が必要となる。

c) 画像との比較結果(不一致箇所の特徴)

9箇所(5.5%)については、路面画像上から路面凸凹等が確認できなかった。これは、画像目視での確認が困難な路面凸凹(わだちの起終点等)の捕捉、対象路線に接続するわき道の合流部分の路面凸凹を捕捉している等の事象によるものであった。

(3) IRIとの比較結果

従来点検のIRIが8mm以上(健全度区分Ⅲ)となっている100箇所と路面凸凹指標値の比較より、93箇所(93.0%)で路面凸凹指標値が1.0以上(概ね検出)であった(図-7)。なお、比較方法は異なるものの、健全度区分Ⅲの検出率93.0%は、国土交通省の過去の比較結果⁹⁾におけるA評価(80%以上)に相当する水準である。

一方で、5箇所(5.0%)は、路面凸凹指標値が0.8から1.0の間(一部検出)であった。また、10m×10m四方に含まれる複数車線の路面状況を平均化する実証技術の特性により、車線ごとの路面状況が異なる箇所で見逃しを2箇所(2.0%)確認した(図-8)。これは、奈良国道事務所における従来点検が各車線の左側のIRIを算出しているという測定方法の違いに起因すると考えられる。

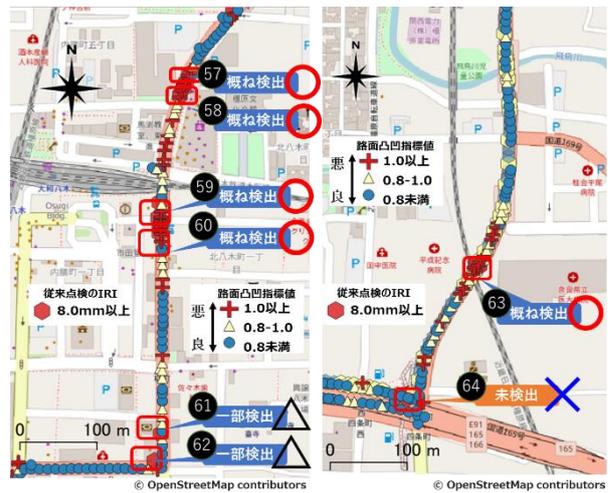


図-7 従来点検のIRIと路面凸凹指標値の比較結果の事例



図-8 車線ごとの路面状況が異なる場合の見逃しの事例

5. 路面の維持管理業務への活用可能性の考察

(1) 路面凸凹状況の自動取得と活用

実証技術については、公募におけるニーズである、道路の路面凹凸状況と位置情報を自動記録したいという要件を満たしていることを確認できた。

自動記録した路面凹凸状況を効果的に活用するためには、データを効率的に利用可能な仕組みを整備することが求められる。例えば、クラウドサービスにより路面評価マップを道路管理者が保有する各種端末等で閲覧参照可能にする等、人手を極力介さない仕組みとすることで、路面の維持管理業務等にすぐ利用可能となる(図-9)。

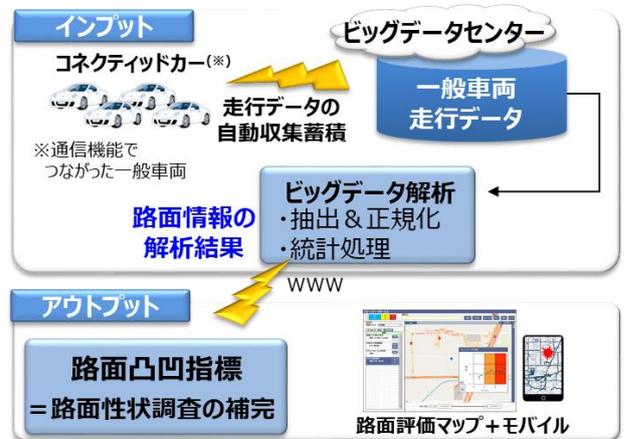


図-9 実証技術の効果的な活用に向けた配信方法の例

(2) 路面性状調査のタイムリーな補完

実証技術については、5年に一度の従来点検と同様に10mごとの路面評価を行うことが可能であり、IRI（健全度区分Ⅲ）と9割以上の一致を確認できた。実証技術は、従来点検と比較して低コストかつ高頻度の情報が得られることから、従来点検が未実施の時期であっても苦情が発生する可能性のある路面凸凹箇所や補修検討対象を把握する新技术として活用が可能である。

(3) 近畿地方整備局の管理道路への展開

近畿地方整備局では、滋賀県、京都府、大阪府、兵庫県、奈良県、和歌山県、福井県の2府5県にまたがる直轄国道24路線・約1,920kmを管理している。ここでは、これらの管理道路における実証技術のデータ取得可能範囲を3(1)と同様の考え方で算出することで、近畿地方整備局管内全域への展開の可能性を整理した。

府県ごとの管理延長に対するデータ取得可能範囲の割合を整理すると、99.6%から100.0%となり（表4）、1か月間のデータを取得することで、近畿地方整備局の直轄国道のほぼ全域で実証技術を利用可能である。

なお、データ取得可能範囲の割合は、トンネル等の車載GPSによる位置捕捉が困難な区間も含めて算出している（図-10）。

表-4 府県ごとの直轄国道の延長に占めるデータ取得可能範囲の割合と最小区間の24時間小型車交通量

府県名	管理延長	取得割合	最小区間交通量
滋賀県	275km	100.0%	2,851台/24H
京都府	194km	100.0%	3,360台/24H
大阪府	243km	100.0%	1,929台/24H
兵庫県	488km	99.9%	620台/24H
奈良県	150km	100.0%	2,413台/24H
和歌山県	368km	99.6%	1,745台/24H
福井県	206km	100.0%	1,051台/24H

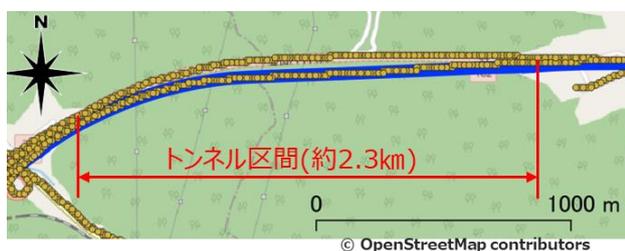


図-10 トンネル区間のデータ取得状況の例
（福井河川国道事務所管内の野坂岳トンネル約2,270m）

一方で、兵庫県、和歌山県の一部区間においてデータ取得可能範囲外の区間が存在した。これらの区間は、急カーブとなっている箇所や、海沿いに位置する路線である等の特徴がみられた（図-11）。



図-11 データ取得可能範囲外の区間の例
（紀南河川国道事務所管内の国道42号）

6. おわりに

直轄国道における路面の維持管理については、従来点検を通じた定量的な路面状況の捕捉や日常パトロールによる路面状況の把握等が行われている。これに加えて、実証技術を活用することで、従来の維持管理手法と異なる時間軸で高頻度かつ定量的な路面情報が入手できるようになる。これにより、路面の凸凹に対する苦情対応の効率化や維持管理業務全体の省人化等につながる可能性があると考えられる。

一方で、実証技術のさらなる有用性の向上のため、以下の取組みを進めていくことが求められる。

(1) 各種データとの組み合わせによる活用

実証技術を他のプローブデータや画像情報等と組み合わせることで、より多様な活用が可能となる。例えば、時系列の路面変化のモニタリング（図-12）により劣化の進行しやすい道路を抽出し、交通量との関係整理や路面画像との比較を行う等、多角的な検討が可能となる。

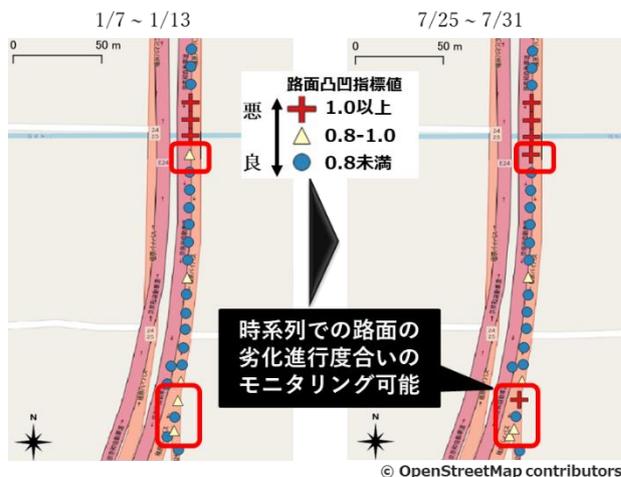


図-12 時系列の路面変化のモニタリングの例
（奈良国道事務所管内の国道24号）

(2) リードタイムの短縮と位置精度の向上

コネクティッドカーの対応台数（データ件数）は日々増加しており、データ取得期間の短縮によりリードタイムは随時改善されていく。リードタイムが改善することで、日常パトロールの補完等、より広範な用途での活用が見込まれる。

また、車両の位置把握精度が向上すれば車線別の路面状況を把握する等、より解像度の高い情報を得られる可能性がある。

(3) 苦情箇所との対応

蓄積した苦情発生箇所やと路面凸凹指標値の対応を図り、相関等を整理することで、苦情発生の可能性が高い箇所を事前に把握することが期待される。

(4) 路面補修・修繕工事履歴との対応

地域の特徴（交通量や積雪の有無等）を踏まえ、路面補修履歴との対応を図ることで、より地域の実態に即したしきい値を設定できると期待される。

また、修繕工事の履歴（工法別）との対応を図ることで、実証技術を舗装構成や傷みやすき等に応じて工法を検討するための基礎資料等としての活用が見込まれる。

今後は、直轄国道における路面の維持管理への実証技術の適用に向けた取組みを行うとともに、予算や人員の不足等がより大きな課題となっている地方公共団体への適用も進めていきたいと考える。これらの取組みを通じて、維持管理業務のDXを通じたインフラマネジメント

のコスト削減、省人化に寄与していきたいと考える。

謝辞：今回、「現場ニーズに対応する新たな技術（シーズ）」におけるマッチングが成立したことから、現場試行の取組みとして実証を行った。実施に際しては、奈良国道事務所 管理第二課・平野建設専門官（当時）より実証フィールドならびに道路管理者の視点からの助言をいただき、近畿地方整備局 企画部 施工企画課・砂田係長ならびに、一般財団法人 先端建設技術センター・中山参事役より実証技術の活用に向けた助言をいただいた。また、トヨタ自動車株式会社 コネクティッドカンパニー e-TOYOTA部 データ事業推進室より実証目的に即した各種データの加工、提供等をいただいた。関係各位にこの場を借りて感謝申し上げる。

参考文献

- 1) 国土交通省 道路局 国道・防災課：舗装点検要領，2017
- 2) 近畿地方整備局：近畿地方整備局道路維持管理計画(案)，2020
- 3) 木村陽介・間嶋宏：路面状態推定装置及び路面状態推定方法，特開 2020-13537，2020
- 4) 小淵達也・木村陽介：お客様の車両から収集されるビッグデータを活用した舗装路面状態推定技術の開発，第 60 回土木計画学研究発表会・講演集，2019
- 5) 公益社団法人日本道路協会：舗装調査・試験法便覧，2019
- 6) 国土交通省：路面性状を簡易に把握可能な技術，<https://www.skr.mlit.go.jp/pres/h30backnum/i1515/181228-1.pdf>，2018（2020/5/27 参照時点）

トンネル工事におけるWEB会議システムを活用した遠隔岩判定の試行について

柏原宏輔¹・玉野達²

¹ 株式会社大林組 大阪本店 (〒910-2513 福井県今立郡池田町寺島12-1-9)

² 株式会社大林組 大阪本店 (〒910-2513 福井県今立郡池田町寺島12-1-9) .

トンネル工事の施工にあたっては「トンネル地山等級判定マニュアル（試行案）」（平成18年9月試行案の改訂版：平成28年7月5日道路工事課長事務連絡）により、切羽の観察・計測により地山等級の判定を行い、適宜岩判定会議を開催し、最適な支保パターンを決定したうえで工事を進めている。今回、WEB会議システムを活用した遠隔岩判定を令和元年11月より冠山峠道路第2号トンネル工事で試行しているの、その事例を報告する。

キーワード 遠隔臨場、岩判定、生産性向上

1. はじめに

山岳トンネル工事では、切羽の観察・計測により地山性状を適切に把握し、安全性および経済性を確保した合理的な施工が求められる。岩判定会議は「トンネル地山等級判定マニュアル（試行案）」（平成18年9月試行案の改訂版：平成28年7月5日道路工事課長事務連絡）（以下岩判定マニュアル）に基づき、切羽の観察・計測により地山等級の判定を行うものであり、最適な支保パターンを決定して工事を進めるにあたり、必要不可欠な段階確認に位置付けられている。

本稿で述べる「冠山峠道路第2号トンネル工事」ではWEB会議システムを活用した遠隔岩判定を試行し、その効果・課題について検討を行っている。

当工事は岐阜県揖斐郡揖斐川町と福井県今立郡池田町の県境を結ぶ全長7.8kmの「冠山峠道路」の一部である（図-1）。現道である林道冠山線は急峻な地形につくられた道路で、道幅が狭く、急カーブや急勾配が連続する。当工事で対象となる2号トンネルは、全長4,830mを福井県側からの片押しで、I期工事の施工区間を引き継いで、坑口より2,600m地点から残り2,230mを掘削する計画である。

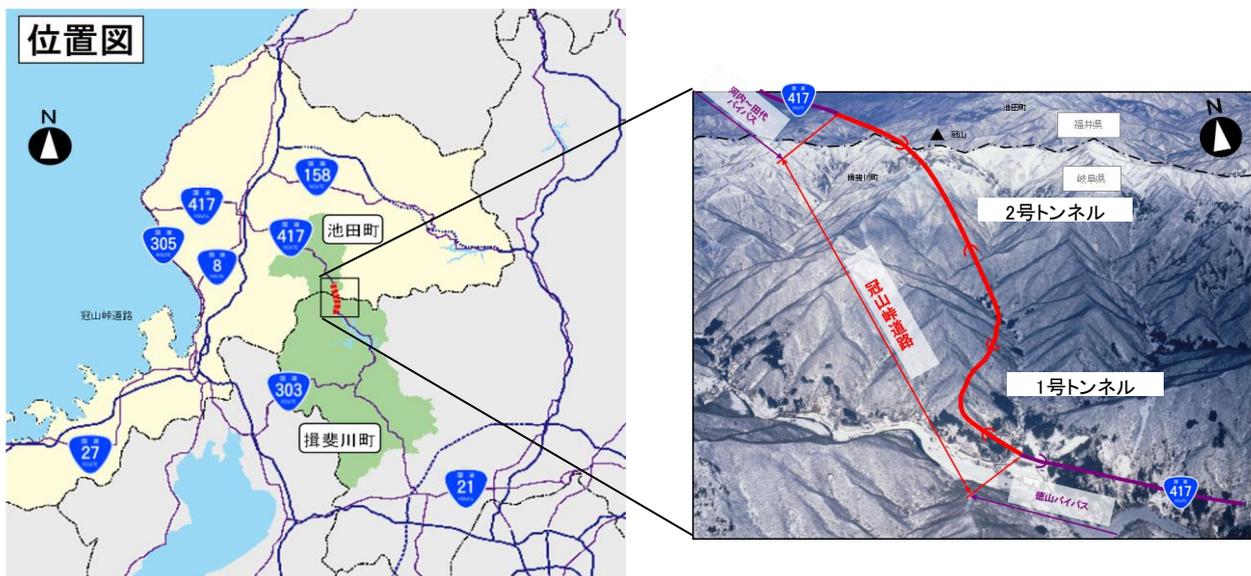


図-1 現場位置図

2. 工事概要

工事名：冠山峠道路第2号トンネル工事
 発注者：近畿地方整備局 福井河川国道事務所
 施工者：株式会社大林組 大阪本店
 施工場所：岐阜県揖斐郡揖斐川町塚地先～福井県今立郡池田町田代地先
 工期：平成29年11月～令和3年8月
 トンネル延長：L=4, 830m
 工事区間：L=2, 336. 5m
 掘削方式：NATM（発破掘削方式）

3. 岩判定会議の概要

岩判定会議は岩判定マニュアルに基づき、切羽の観察・計測により地山等級の判定を行うものであり、①設計上の支保パターン変更点、②切羽評価点と実支保パターンが合致しなくなった地点、③同じ支保パターンが50m以上続いた地点、④不測の事態により発注者・施工者のいずれかが岩判定を必要とした時点、で実施するものとなっている¹⁾。近畿地方整備局福井河川国道事務所では主任監督員を含めた複数名（原則3名：国土交通省職員）による判定を行っている（写真-1）。



写真-1 岩判定会議状況

福井河川国道事務所では、中部縦貫自動車道の整備が最盛期に入中、多くのトンネル工事が稼働している。そのため同じ日に複数の岩判定会議が予定され、日程調整だけでも非常に苦慮していた。当工事は福井河川国道事務所から片道1.5時間かかり、一連の業務の大半が移動時間であり、半日以上も費やすことも多かった。

また破碎帯などの不良地山区間に遭遇すると急な支保パターン変更が頻発し、日時調整に要する業務は受発注者間で大きな負担となっていた。

そこで両者で協議し、ICTツールを有効活用することで業務の効率化を図るべく、遠隔岩判定の取り組みを試行することとした。

4. 遠隔岩判定の試行にあたって

遠隔岩判定は2019年度に初めて実施した。当初は遠隔臨場の要領はマニュアル化されておらず、手探りの状態での試行であった。事前に挙げられた課題と対応策について以下に挙げる。

(1) 現場 - 遠隔地側の通話・通信手段

現場は山間部に位置し、通信状態が悪く、電話回線およびインターネットの利用ができない地域であった。そのため当工事では独自に衛星回線を導入し、外部との通信回線を確保していた（図-2）。通信速度は下りで64kbps程度しかなく、いかに通信負担に配慮する必要があった。上記の条件のなか、数ある通話アプリのうち「ZOOM」を活用することとした。昨今コロナ禍によりテレワーク、Web会議導入が進んでいるが、それより以前から本アプリに注目し、先行導入を行った。

また評価を記入する帳票はExcelでなく、帳票アプリである「eYACHO（いーやちょう）」を活用した。本アプリは複数人による同時入力が可能であり、切羽点数の入力に役立ちモバイル端末のみで通話と入力が可能になるというメリットが挙げられた。

両アプリとも使用制限はなく、だれでも活用できる手法を確立することを心がけた。

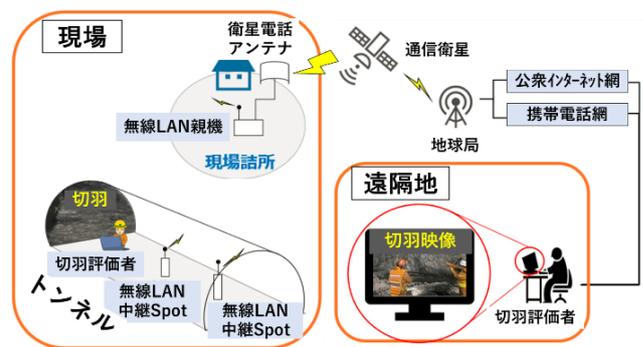


図-2 通信環境模式図

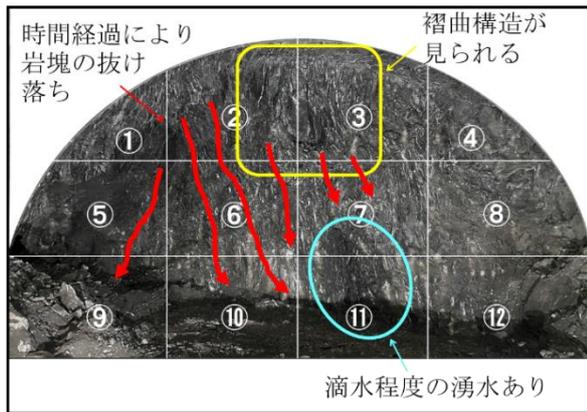
(2) 遠隔地側からの評価の精度および妥当性

試行に先立ち、同一評定者で現場側、遠隔地側での評価の差異と評価精度について検証した²⁾。

評価検証時の切羽状況を表-1、図-3に示す。また表-2に、同一3人の評価者が遠隔地側（トンネル坑外の詰所）と切羽（現場側）において判定した結果を示す。評価点は各項目に応じた岩盤の性状に応じて1～5点で採点される。遠隔地側と現場側での評価結果を比較すると、(A)～(G)の各項目の差は±1点差があるものの、どちらか一方に偏る傾向なく、重み付き評価点の加重平均は0.1の差に収まった。上記の結果より、遠隔臨場による評価で支保パターンを決定する精度は確保できると考えたが、より評価の妥当性を担保するため、評価者3人のうち1人は現場臨場とすることとした。

表-1 切羽評価項目 (評価区分)

評価区分	評価
(A)切羽の状態	時間経過により岩塊の抜け落ちが生じていた。
(B)素掘面の状態	
(C)圧縮強度	ハンマーの打撃で碎ける程度。
(D)風化・変質	風化変質により岩目に沿ってわずかに変色。天端部では褶曲構造を確認。
(E)割れ目の頻度	50~5cm程度。
(F)割れ目の状態	部分的に開口。
(G)割れ目の形態	柱状から層状を成していた。
(H)湧水	右肩部に滴水程度の湧水。
(I)水による劣化	湧水による劣化は少なかった。



※文字：切羽から遠隔地へ情報伝達

図-3 切羽評価結果 (切羽画像)

表-2 切羽評価結果 (遠隔地と現場の比較)

評価区分 (掘削地点の地山の状態と挙動)	遠隔地での評価			現場での評価		
	評価者A	B	C	a	b	c
(A) 切羽の状態	222	211	222	221	111	221
(B) 素掘面の状態	221	111	222	221	211	221
(C) 圧縮強度	332	222	222	222	222	222
(D) 風化変質	221	222	222	222	222	221
(E) 割れ目の頻度	332	322	233	332	332	332
(F) 割れ目の状態	332	222	222	222	222	221
(G) 割れ目の形態	331	333	333	333	332	333
(H) 湧水	112	112	112	112	112	112
(I) 水による劣化	221	111	222	222	111	221
重み付き評価点加重平均値	2.2	1.8	2.2	2.1	1.8	2.1

※3桁入力・100位左肩、10位天端、1位右肩
数字(赤)：点数の差異 (+)

5. 遠隔岩判定の本格試行について

(1) 本格導入後の課題

前章による検証を行った上で、2020年度より遠隔岩判定の試行を本格化した。計10回の岩判定で11名の評定者に使用感を確認していただき多くの意見をいただいた。また現場側と遠隔地側で運用後に様々な課題も確認された。

表-3に運用上の課題について示す。特に問題となった

のが、画像の鮮明さであった。通信状況が悪く、不鮮明な映像となることが目立ったため、切羽の特徴を把握しづらい状況があった。そのため、事前に撮影した鮮明な画像・動画データをeYACHOに登録し、岩判定開始前に評定者に確認するよう手順を改良した(図-4)。評価者は確認したい箇所を評定が始まってから現場側にヒアリングすることで、評価精度の向上に努めた。動画データに関しては、容量が大きくなるため、10秒程度とし、湧水箇所や地質変化がある箇所などを重点的に録画することとした。

切羽評価中の説明方法にも課題が挙げられた。従来天端・右肩・左肩部の3箇所を評価を判断する。説明者はレーザーポインターなどを活用し、対象箇所を示しながら説明を行う。動画ではこのレーザーポインターが判別しづらく、よりわかりやすい(遠隔地側への配慮がある)説明が必要になった。そのため図-5に示すとおり切羽を12分割し、番号で箇所を指定することで、説明箇所を判別しやすく改善した。

表-3 試行実施による課題

評価区分	課題
遠隔地側	映像により切羽を写した際、不鮮明で詳細がわかりづらい。特に湧水の発生状況などは映像では確認困難 懐中電灯で照らすと、切羽の凹凸が白とびしてわかりづらい 切羽の説明に慣れが必要。ポインターなどの動きがわからないため、どの場所を説明しているかをわかりやすく説明する必要あり 通信状態が悪くなると、説明が聞こえづらい eYACHOの操作に慣れが必要
現場側	遠隔地側との通話手段を確立させる必要あり(イヤホン、スピーカーフォンでは参加者全員で会話内容が共有できない) Wi-Fi接続台数の増加により、通信状況が悪化する カメラワークを工夫する必要あり

3名の評価者が点数を入力

切羽画像・動画をeYACHOに添付

図-4 eYACHO登録画面

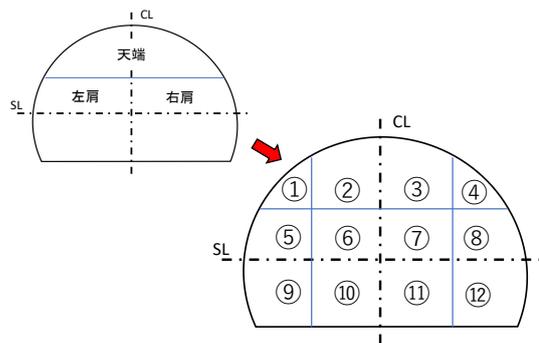


図-5 切羽分割による説明時の工夫

次に現場側での課題を挙げる。最も大きな課題は、遠隔地側との音声通話であった。当初は有線式のイヤホンマイクを切羽説明者が装着し、通話していたが、周りの担当者が会話に参加できず、情報共有で問題が生じた。第2案として、室内会議で活用する高出力のスピーカーフォン（Bluetooth対応）を使用した。現場の作業音にかき消され会話が成立しなかった。ワイヤレスマイクやアンプを活用するなど試行してみたが、エコーが生じ、効果が十分に上がらなかった。これに対して、試行錯誤の末、写真-2のような音響システムを自作することにした。本システムはカーオーディオのエコーキャンセラー機能に着目し、独自に作成した音響機器である。



写真-2 自作した音響システム

(2) 本格運用フローの確立

試行を繰り返し、現場で確立した遠隔岩判定のフローを図-6に示す。遠隔地側では切羽評価が開始される前にeYACHOに登録した施工記録と当日の切羽画像・動画データを確認し、遠隔地側で評価点の「アタリ」をつけるために事前評価をする手法を導入している。現場との通話開始後、遠隔地側の評価者は切羽側からの説明を聞き、不明点があれば現場側にいる評価者と確認しあうことで、切羽評価の精度を担保する。特に映像では確認しづらい湧水の発生状況などは具体的に発生箇所を説明してもらい、評価に反映することで評価精度を向上させた。

切羽評価完了後、切羽からトンネル坑外の詰所に移動する間に、遠隔地側評価者が同時入力可能なeYACHOに切羽評価点数を入力することとした。現場側が詰所に到着後、ZOOMを立ち上げ、切羽評価集計表をPC画面で共有し、現場側—遠隔地側での評価点を確認し、支保パターンを決定することとした。

試行当初はモバイル端末やアプリの操作方法に慣れが必要で、戸惑いも生じていたが、試行を繰り返すことで現在ではテレワークを実施している自室から切羽評価を行い、Web会議の有用性を発揮するまで成果を挙げることができた。

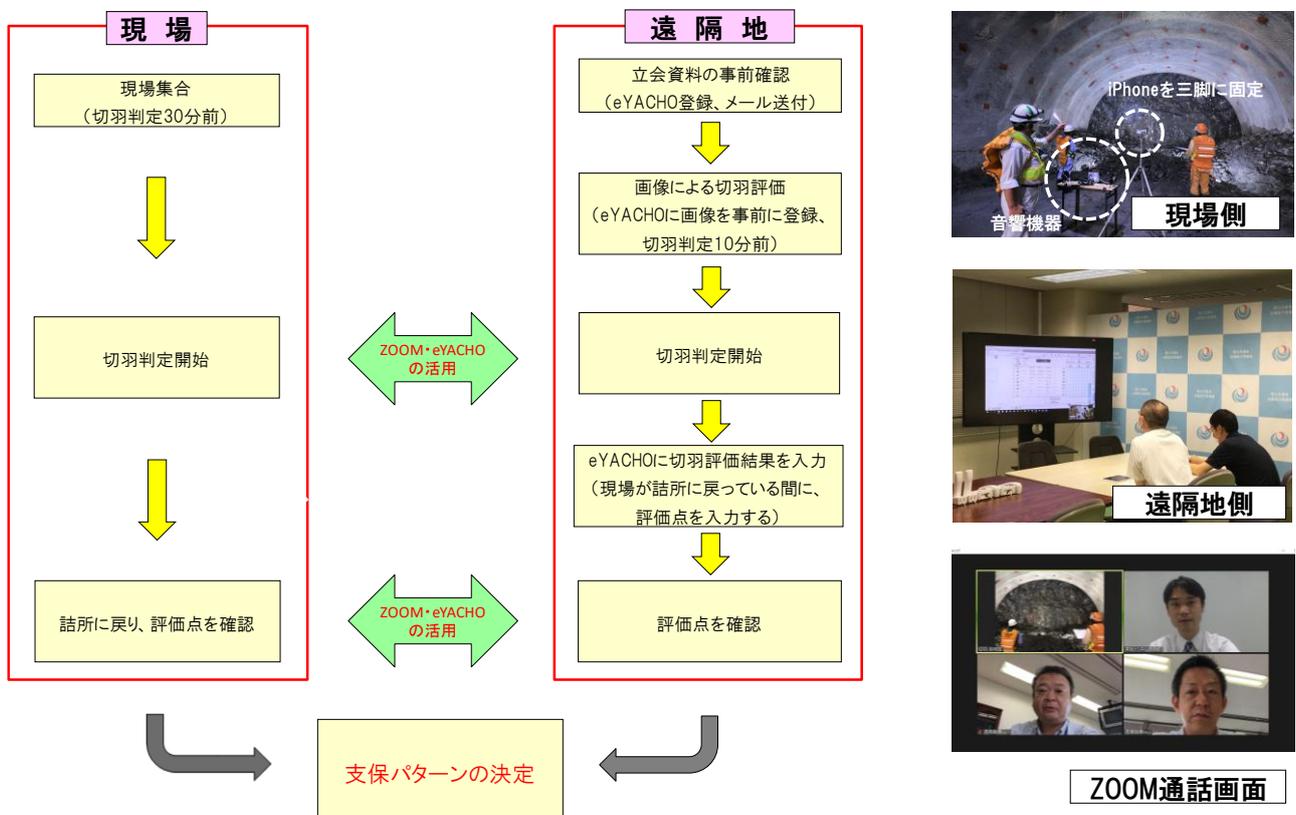


図-6 遠隔岩判定フロー

6. 遠隔岩判定の成果と今後の方向性

(1) 遠隔岩判定の成果

遠隔岩判定には受発注者間で適用に対する効果が挙げられた。

① 移動時間短縮による生産性向上【発注者】

発注者側では、事務所～現場まで移動時間は片道1.5時間である。現場到着後、施工状況の説明、切羽確認、評定の打ち合わせなど一連の臨場業務に1.5時間程度要する。遠隔臨場での拘束時間は切羽評価と評定打ち合わせの0.5時間であり、1回あたり4時間/人の拘束時間短縮が可能になった。

当工事では実掘削期間約2年で合計60回の岩判定を開催したため、掘削開始当初から実施した場合120時間/年（4時間×60回/2年）の時間創出に貢献できると考えられる。発注者側の担当職員からは岩判定会議の日程調整にかかる負担軽減にも大きく貢献したとの言葉もいただいている。

② 立会待ち時間の短縮によるロス低減【受注者】

トンネル工事の特徴として、地山の急変により急な立会依頼などが発生することがある。通常工事では1週間ほど前に次回岩判定予定を連絡し、受発注者間で調整することになるが、当日に岩判定会議の連絡をすることも幾度か生じている。この場合、時間調整が難しく、現場では掘削を中断し、路盤整備・重機整備など本工事以外の作業をするなど工程上、目に見えない「待ち時間」が発生することもあった。

待ち時間短縮を定量的に評価する場合、待ち時間が1時間の場合から1日要する場合もあった。平均して2時間/回の待ち時間があったことから、工事全体では120時間の待ち時間短縮効果が期待される。ただし、この短縮時間は掘削工程には影響されない時間であることに注意が必要である。

③ WEB会議による参加者の拡大【受発注者】

今回の試行でも当社の技術部門が遠隔岩判定に参加することで、技術的なサポートや社内展開を促進するなどメリットも挙げられた。第3者による技術的支援が必要な場合、専門委員会の参加も容易となる。

(2) 遠隔岩判定の今後の方向性

今回の試行では、評価者1名と第三者判定員である近畿建設協会の職員は現場臨場している。映像・画像ではわかりづらい切羽詳細を確認するために、必要最小限の参加者は現場臨場することで、評価の精度を担保することが目的となっていた。今後は切羽情報をよりわかりやすく表現できるデジタルツールの開発促進により、完全な遠隔臨場も可能であり、政府の推進する建設業のDX化にも貢献できると考えられる。

また遠隔臨場に関して、発注者側で現地を確認することの重要性や岩判定によるOJT教育についてご意見をいただいた。そのため、今回の試行では支保パターン設計変化点では現場臨場とし、支保パターンを継続する場合や設計パターンの中間地点など支保パターン決定の判断で相違が生じにくい区間を優先的に対象として実施した。すべて遠隔臨場とするのではなく、受発注者間で工事のコミュニケーションを密にとることで、お互いの信頼関係を構築し、事業を進めることが重要であると考えられる。

7. おわりに

新型コロナウイルスが猛威を振るう中、岩判定会議の遠隔臨場を導入し、今後の建設工事の生産性を向上させ、働き方改革・DX化を促進する大きな成果が得られたと考えている。

最後に本工事に従事した工事関係者やご指導、ご助言をいただいた関係各位に感謝の意を表するとともに、本稿が今後のトンネル工事の一助になれば幸いである。

参考文献

- 1) トンネル地山等級判定マニュアル（試行案）P125, H28.7
- 2) 藤岡大輔, 鈴木拓也, 三宅由洋, 森拓雄, 木梨秀雄: 予測型CIMとクラウドを活用した岩判定の高度化と遠隔臨場の試行, 第15回岩の力学国内シンポジウム講演集2021.1

高田土木事務所におけるドローンの活用報告

齊藤 航大¹

¹奈良県 吉野土木事務所 工務第二課 (〒639-3701吉野郡上北山村河合420-1) .

2015年12月に国土交通省が「i-Construction」の取り組みを導入することを公表した。これは、測量や設計、施工、維持管理といったあらゆる場面において、ICTの活用を推進することにより、建設現場の生産性向上を目指すものである。奈良県においても、調査、点検、維持管理といった様々な分野でICTの活用を始めたところである。ICTの運用を進めていく中でいくつかの課題もある。行政を担う土木事務所の立場からICTの課題に向き合い、今後更なる活用法を模索していきたい。

キーワード ICT, 効率的・効果的, 維持管理

1. はじめに

昨今、建設業界は深刻な人材不足に陥っている。その原因の1つとなっている劣悪な労働環境イメージの改善が必要であり ICT 技術を活用した省人化・省力化の実現が望まれている。

こうした背景から、近年、建設業界では ICT の1つである無人航空機（以下「ドローン」とする。）を活用する動きが活発化している。2017年7月に発生した九州北部豪雨では被害状況の把握にドローンが活用され、災害分野においても注目を浴びている。

奈良県においても、2019年より土木事務所へドローンの配備が始まり、2020年度から全土木事務所でドローンの運用を開始したところである。本発表では、高田土木事務所におけるドローンの活用事例報告及び新たな試みについて述べる。

2. 高田土木事務所におけるドローンの運用方針

(1) これまでの実績

高田土木事務所では、ドローンの活用と操縦技術の維持向上を目的として週1回のドローン調査日を設定している。運用開始から約1年間で47箇所、のべ79回の飛行調査を実施している。調査箇所の内訳は表-1のとおりである。砂防・河川の違反調査が約50%を占めている状況である。

(2) 飛行計画の事前確認の流れと調査実施体制

1. 調査日3日前までに総括責任者（主幹）とパイロットで調査候補箇所の選定を行う。

2. 各課長に通知し、各課の調査希望箇所と撮影重点項目を確認する。
3. 各課の意向を調整し、調査前日までに調査予定箇所を決定。所長まで決裁をとる。

高田土木事務所のドローン調査実施体制は表-2のとおりである。

表-1 ドローンの活用実績(2019年10月～2020年9月)

調査目的	調査種別				
	合計	道路	河川	砂防	建築
事業進捗状況確認	22	6	14	2	0
維持管理業務状況確認	5	0	4	1	0
管理施設点検	4	3	0	1	0
違反行為確認調査	20	0	6	12	2
違反是正工事進捗管理	22	0	0	22	0
新規事業事前調査	4	2	2	0	0
市町村支援	2	2	0	0	0
合計（飛行回数）	79	13	26	38	2

表-2 ドローン調査実施体制

総括責任者（主幹）	パイロット4名 (計画調整課1名、工務課2名、管理課1名) ※有資格者4名内訳(操縦士A:1名、操縦士B:3名)
計画調整課	新規事業要望箇所
工務課	事業進捗状況確認 維持管理業務状況確認(河川堆積土砂、砂防堆積土砂等) 管理施設点検(法面、橋梁、トンネル、砂防施設等)
管理課	砂防指定地現況調査(違反行為の有無確認) 砂防指定地等許可行為の進捗状況確認 砂防指定地等違反行為の現況調査 是正工事進捗状況確認及び施工管理 不法投棄行為状況確認
建築課	開発・建築違反行為現況調査 建設リサイクル法違反(無届け解体等)現況調査
通報 事 案	砂防・災害対策課 - 衛星監視における砂防違反の疑い箇所の現況調査 廃棄物対策課 - 砂防違反行為等通報箇所の現況調査 (景観・環境総合センター)

3. ドローンの活用事例報告

表-1の実績からも判るとおり、ドローンの導入以降、様々な分野において利活用している。中でも高田土木事務所において最重要課題として取り組んでいる砂防指定地違反調査及び是正指導と管理施設点検における活用事例について報告する。

(1) 砂防指定地違反調査

県内に約93,000箇所ある砂防指定地のうち、約2割が高田土木事務所管内に位置している。

砂防指定地に関する違反には、無届け違反と行為許可違反があり、その中でも土地改変を伴う違反は土砂災害や景観破壊につながるため、早期発見と早期是正が必要である。ドローン調査は、沿道から離れ急峻でアクセス困難な砂防指定地において安全かつ迅速に対応が可能であることから、砂防指定地違反調査において非常に有効である。

表-3 砂防指定地違反調査における活用

- 1) 未調査箇所の現地調査（山間部等の立ち入り困難箇所等）
- 2) 違反箇所の全容確認（大規模な土地改変行為の俯瞰）
- 3) 違反箇所周辺の類似調査（近接地域の類似行為の有無）

(2) 砂防指定地是正計画及び是正工事

是正指導を行うにあたり、違反行為者が実施する是正工事計画の妥当性を審査する必要がある。上空からの俯瞰的画像は、違反行為の内容や周辺状況の確認、是正計画内容の是非を判断する画像資料として非常に有効である。また、「安全な地形の確保」を目的とする砂防指定地是正工事の指導監督において、定期的な段階確認でのドローンによる全体把握は行為者に対し「全てを見ている」意思表示となり、施工管理に有効である。特に大規模法面における切土盛土、法面整形工事は雨上がりの現場状況確認が非常に重要である。地盤の軟弱化により施工箇所へのアクセスが困難な雨上がりにおいて、ドローンによる調査では多段法面部のガリー発生状況や、排水路の機能確認が容易である。

実際に、是正工事指導において、施工不良箇所を早期に発見し、速やかに手直し工事の指示を実施している。行為者及び施工担当者への的確な指導により円滑に工事進捗を図ることができる。

表-4 砂防指定地違反是正指導における活用

- 1) 違反箇所の詳細確認（是正計画の妥当性の審査）
- 2) 定期的な段階確認（施工状況の確認と進捗把握）
- 3) 降雨後の現場状況確認（排水機能、施工不良箇所の確認）



写真-1 法面部におけるガリー発生状況

(3) 管理施設点検

常に安全性の確保が求められるインフラ施設において、日常的な定期点検は欠かすことができない。点検業務にドローンを活用する利点として、小型かつ軽量で持ち運びが容易であり、目視が困難な部分へ比較的容易に接近可能である。写真-2, 3, 4, 5はドローンにより点検を行い、撮影したものである。

表-5 インフラ点検における活用

- 1) 高所作業車、橋梁点検車の手配が不要で緊急対応が可能
- 2) 転落、滑落など危険な業務における職員の負担軽減
- 3) 通行規制等が不要、関係機関協議に要する時間の削減



写真-2 国道 309 号 水越トンネル



写真-3 柳田川 最下流堰堤



写真-4 国道 309 号 関屋 4 号橋



写真-5 国道 309 号 大型標識

よる日照角度の違いで写真写りが大きく異なり,特に樹木等に囲まれた箇所では,日照角度と影の方向,長さを考慮することにより画像の鮮明さの差が顕著である.調査対象斜面の向きや樹木等の周辺環境を勘察しながら飛行計画を立てることで,ドローンの活用がより効率的かつ効果的なものとなる.



写真-6 撮影時刻による写り方の違い

(撮影斜面: 北向き, 撮影時刻: (上)9:30(下)11:30)

(2) ドローン調査実施における副次的効用

飛行調査の実施においては,周辺の方々や通過車両から興味深い視線を浴びることが多い.上空から撮影するというプライバシーを鑑み,ヘルメットと奈良県腕章の着用、職員証の携行を厳守し,飛行離着陸箇所には,調査実施中を周知する看板を設置している.県が上空から現況調査を実施していることを意図的にアピールすることで,無届け違反や行為許可違反の抑制につながると考える.

4. ドローン調査における課題と効用

(1) 飛行計画立案時の注意点

ドローン調査において,調査対象を鮮明に撮影して現況を把握することが重要な目的のひとつである.

特に,高田土木事務所の主要な飛行目的となっている砂防指定地違反に関する現況調査においては,樹木伐採や切土盛土の土地改変,落とし込まれた土砂の廃棄物混入の有無など詳細な確認を必要としている.定点観測の繰り返しにより現場地形の周辺環境や天候条件,時間に



写真-7 調査風景

5. ドローンの特徴に着目した新たな試み

一般的にドローンは上空から目的物の全景や周辺把握を俯瞰的な画像資料とする為に用いられる。ドローンにはGPS機能が内蔵されており、ホバリング飛行（空中で停止すること）や一定の高さを保ちながら飛行することが可能である。この特性に着目した試みとして、高く飛ばすだけでなく低い空間での活用として、車や人の視界再現を交通安全対策に利用できないか検討している。

車や人の目線の高さによる視界の変化を検証することで、標識等の設置間隔と高さ、角度の妥当性や樹木選定の妥当性を示すことができるのではないかと考えている。また道路空間の建築限界の支障木等のモニタリングとして効率的な維持管理に活用できるのではないかと考えている。将来的には交差点周辺や横断歩道部、特に通学路等の歩行空間において、交通弱者の目線で、恐怖感の無い安心した空間を構築する際の補助的な資料として活用できるのではないかと考えている。

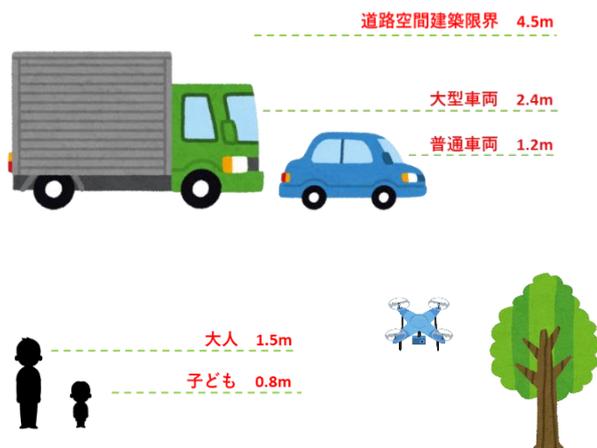


図1 車と人の目線での飛行調査 (例)

また、管理河川や街路樹等において、GPS機能を使った定点観測を定期的に積み重ね、データ化することにより適切な維持管理への活用を検討している。定点観測結果に画像処理を行い（色別の占有率等）管理施設の修繕業務や除草や土砂浚渫といった維持管理業務の実施基準、性能判断、最適な着手時期の根拠としての活用をできるのではないかと考えている。



図2 堆積土砂のみ着色 (葛城川)

6. おわりに

冒頭に述べたとおり、建設業界の人材不足は深刻である。技術職員の数が減少していく一方で、老朽化が進むインフラ管理等の業務をいかに効率的かつ効果的に行っていくかは、奈良県行政においても喫緊の課題である。

現在、土木事務所が担う業務におけるドローンの有効的な活用としては、今回報告させていただいた、「立ち入り困難箇所における砂防指定地違反調査」「段階的な確認が必要となる砂防指定地違反是正指導」「危険性、緊急性が高い箇所におけるインフラ点検」の他、事業の進捗管理や県民のみなさま方への事業アピール等が主な用途である。その中で課題として、「飛行に一定以上の技術が必要（操縦資格者の確保が追いついていない）」「降雨、強風時は飛行不可（降雨時にリアルタイムで現場確認ができない）」が挙げられる。

今後の試みとして、最新技術を追い求めるのではなく、行政を担う土木事務所として、効率的かつ効果的なドローン活用にこだわっていきたい。まずはインフラ点検、道路・河川の維持管理における有効な使い方を追求したい。更には、通学路や未就学児童の安全対策に活かせる取り組みとしたい。そして近年各地で発生する異常気象による河川の氾濫や土石流の発生などの備えとして降雨直後の河川や斜面の調査に取り組むことで最適な防災対策にもつなげたい。このようにドローンの活用は無限度であり、行政職員として携わる可能性を追求していきたい。そして自分自身も「県民の安心安全な生活を守る」という本来の目的を見失わずに、ICTの活用という課題と向き合っていきたいと思う。

※本論文の内容は、筆者の前所属である奈良県県土マネジメント部、高田土木事務所における業務に基づくものである。

ICTを活用したダム施工監理の効率化

渡邊 峻¹

¹独立行政法人水資源機構 川上ダム建設所 工事課 (〒518-0294三重県伊賀市阿保251番地)

川上ダム本体建設工事では、ICTを活用したダム施工監理に向けて様々な取り組みを行い、限られた工程の中で効率的な施工に努めている。基礎地盤の弱部補強や遮水性改良を目的とした基礎処理工においても、リアルタイムな施工状況や過去の注入チャート等の施工データを随時閲覧できる「グラウト管理システム」を使用しているほか、Webカメラを用いた映像と音声の双方向通信によって、机上においても立会や段階確認が可能な遠隔臨場を導入している。本稿では、ICTを活用したダム施工監理のうち、基礎処理工で実践している取り組みの概要と得られた効果について紹介する。

キーワード 重力式コンクリートダム、基礎処理工、施工監理、遠隔臨場、効率化

1. はじめに

川上ダムは、洪水調節、水道用水の確保及び流水の正常な機能の維持を目的とし、独立行政法人水資源機構が三重県伊賀市に建設中である堤高84m、堤頂長334m、堤体積約450千 m^3 の重力式コンクリートダムである。2021年4月20日には堤体コンクリートの打設が完了し、2023年度の管理開始に向けて基礎処理工や堤頂設備工を施工している。

重力式コンクリートダムの建設においては、その基礎地盤が所要の安定性と貯水機能を確保するための強度と遮水性を有するよう、基礎処理工で基礎地盤を改良する。

基礎処理工では、施工データを常に収集分析し、グラウティング計画の検証や、必要に応じた計画見直しのサイクルを繰り返すことが重要である。そのためには、数多くの施工データや出来形の効率的な管理がポイントとなる。

一方、建設現場における熟練工や水資源機構の経験豊富な職員数は減少しており、川上ダム建設所でも、少人数の職員で本体建設工事やその他関連工事を施工監理しなければならない。加えて、川上ダムは1ヶ月で約3リフト(4.5m)を打ち上げる高速施工であり、堤体コンクリート打設や堤内構造物設置といった堤体工との錯綜に留意した施工を行う必要がある。

このような背景を踏まえ、川上ダムの基礎処理工では「グラウト管理システム」や遠隔臨場といったツールを活用することで、施工監理の効率化に努めている。

本稿では、川上ダムで実践しているこれらの取り組みや、得られた効果について紹介する。

2. 川上ダムにおける基礎処理工

川上ダムのダムサイトは、非常に堅硬で割れ目の少ない花崗岩類で構成されている。表層から数m下がると全体的に透水性は低くなるが、高位標高部はマサ化の影響で高透水部が確認されている。川上ダムでは、事前調査から得られた水理地質構造や地質類似ダムの事例に基づいた基礎処理工を実施している。川上ダムにおける基礎処理工の概要について、以下の節で詳述する。

(1) コンソリデーショングラウティング

川上ダムにおけるコンソリデーショングラウティングは、**図-1**の範囲で計画され、遮水性改良、弱部補強、断層処理の3つの目的に大別される。このうち、遮水性改良目的のコンソリデーショングラウティングは、改良目標値を5Lu程度と定めており、基礎地盤の透水性を考慮したゾーン区分と孔配置や施工深度のパターン化を行い、それぞれのゾーンに合わせた適切な改良パターンを設定している。

当初、コンソリデーショングラウティングの被り条件は50cmのカバーロックとしていたが、試験施工の結果、リークが著しく効果的な改良が困難であることが判明したため、3mのカバーコンクリートへ変更した。これによって、打設面上からの施工となり、堤体工と常に錯綜することから、高速施工である打設工程へ影響を及ぼさないよう効率的な施工監理が求められる。

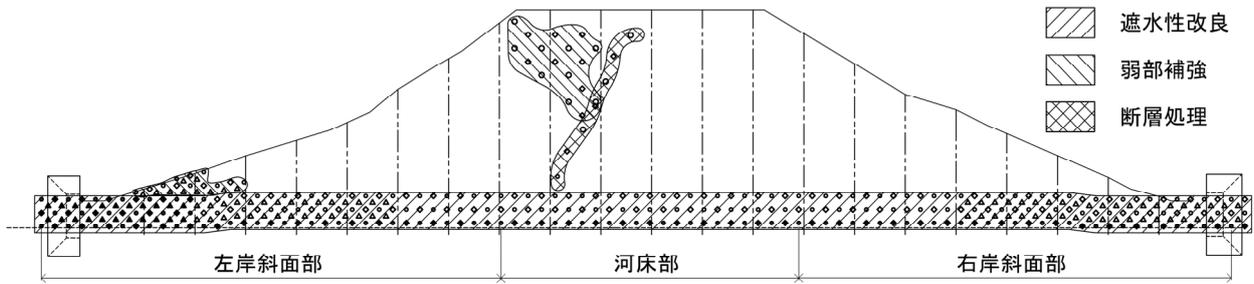


図-1 コンソリデーショングラウチング施工平面図

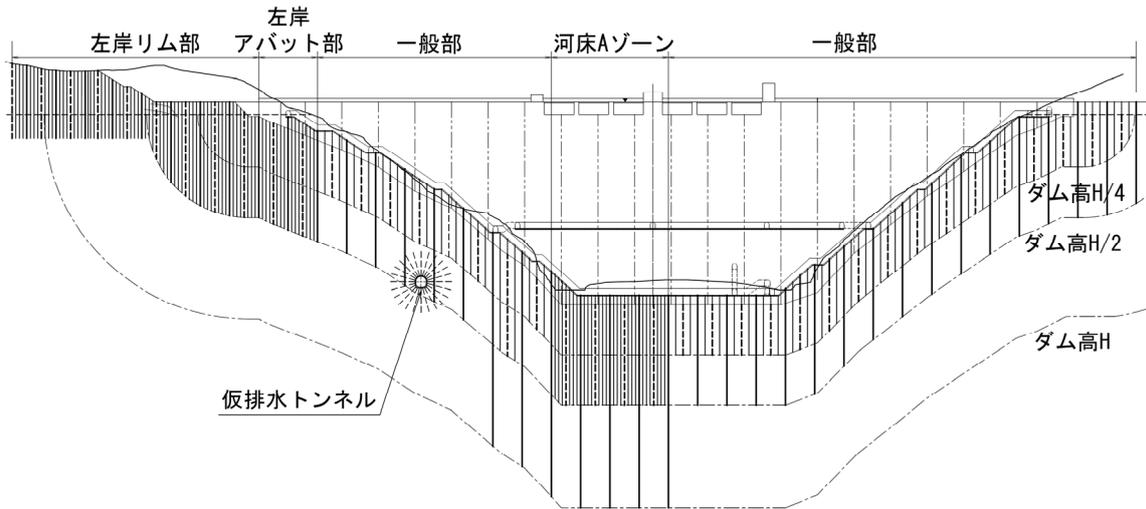


図-2 カーテングラウチング施工断面図

(2) カーテングラウチング

川上ダムにおけるカーテングラウチングは、図-2の範囲で計画され、パイロット孔間隔を12mとし、高透水部が分布する左岸リム部や左岸アバット部、河床の一部は規定3次孔、その他は規定2次孔である。改良目標値は深度に応じて異なり、ダム高H/4までの浅部における改良目標値は2Lu程度と定めている。リム部は地表から、その他は監査廊内から施工する。施工開始時期は、当該箇所 の堤体高さが15m以上としている。

カーテングラウチングの施工完了時期を制約する条件として、試験湛水開始時期がある。特に地中の深い箇所において追加孔が生じた場合、施工数量の大幅な増加に対して、同時作業規制や狭隘な施工ヤードといった点から工程が延伸せざるを得なくなる場合もあり、厳格な施工監理が求められる。

3. ICTを活用した施工監理

(1) グラウト管理システム

川上ダムの基礎処理工では、ICTを活用した施工監理の効率化の取り組みとして、「グラウト管理システム」を使用している。グラウト管理システムには、基礎処理

号機	ブロック列	孔番	Con 次数	Con 長	ステ ージ	回数	最終 st	施工区間	状況	日時	備考	
1	R03BL	A	3,04	3	0.20	5.0	1	6.0	25.31 ~ 30.31	注入中		水押し
2	6BL	D	255	3	4.81	1.0	1	1.0	4.81 ~ 9.84	ボーリング中		5.5mまで削孔
4	R05BL	A	2,02	2		1.0	1	2.0	12.56 ~ 17.56	ボーリング完了		
5							0.0					廊内待機中
6							0.0					廊内待機中
3	6BL	E	255	3	4.79	1.0	1	1.0	0.00 ~ 5.00	注入完了		

図-3 施工予定表の表示例

工のリアルタイムな施工状況や過去の施工データの閲覧機能、Webカメラを用いた遠隔臨場機能が一元的に集約されている。グラウト管理システムのデータは専用クラウドに保存されており、遠隔地にいる関係者でも閲覧できる。なお、セキュリティ対策としてユーザーIDとパスワードを設定しており、関係者以外の閲覧を防止している。本項では、グラウト管理システムで有している具体的な機能と活用方法を述べる。

a) 施工予定表

施工予定表では、図-3のようにリアルタイムな施工孔番、次数、ステージや施工状況（ボーリング中、注入中、注入完了等）をボーリングマシンごとに確認できる。これにより、リアルタイムな施工の場所や状態といった施工状況を随時把握できる。



図4 注入画面の表示例

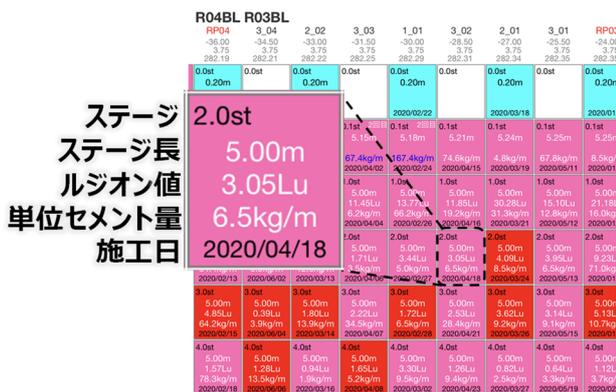


図5 施工状況マップの表示例



図6 グラウト管理日報の一例

b) 注入画面

注入画面では、管理室に設置されている遠隔操作盤の画面が図-4のようにそのまま表示され、リアルタイムで実施中の透水試験やグラウチングの注入圧力、流量、速度、濃度の制御画面を確認できる。

c) 施工状況マップ

施工状況マップでは、図-5のように過去の注入チャートや注入結果をデータベース化しており、ルジオン値や単位セメント量を即座に把握できる。また、任意の孔番号およびステージを選択することで図-6のようなグラウト管理日報が表示され、注入チャートやPQ曲線（有効注入



図-7 遠隔臨場の実施状況

表-1 Webカメラの仕様

項目	仕様
有効画素数	約130万画素
ズーム	光学ズーム18倍, EXズーム2倍
フレームレート	1~15fps
画像解像度	1280×960, VGA, QVGA

圧力-単位注入量曲線)を確認できる。

d) グラウト管理システムの活用効果

基礎処理工では、数多くのボーリングマシンが様々な場所で施工しており、施工状況の把握に手間がかかる。施工予定表を活用することで、リアルタイムな施工状況を一様に確認でき、予定された工程と照らした進捗をモニタリングできる。また、ボーリング中のマシンに注目することで、検尺対象孔や検尺時間を概ね把握できる。

透水試験やグラウチングを実施中の孔に対しては、注入画面の表示により、リアルタイムな注入配合比や圧力、速度といった情報をモニタリングでき、机上においてもグラウチングの施工状況を詳細に確認できる。

施工が完了した孔の結果は、施工状況マップに集約される。これにより、施工データの管理が省力化されたことに加え、遠隔地にいる熟練技術者とも施工データを随時共有できるため、技術支援が円滑化され、グラウチングデータの分析や計画の検証、必要に応じた計画見直しの効率化や技術知見の伝承が実現した。

(2) 遠隔臨場

遠隔臨場では、図-7のようにWebカメラを用いた映像と音声の双方向通信によって、机上における現場把握や立会、段階確認が可能である。遠隔臨場の使用機材やネットワークシステム、活用効果を以下の項で詳述する。

a) 使用機材

Webカメラは、映像を撮影配信するネットワークカメラに、音声の入出力を行うヘッドセットや電源機器等から構成されている。Webカメラの主な仕様を表-1に示す。机上で必要な機材は、Internet Explorerがインストールされ、マイクやスピーカーが付属またはヘッドセットが接続できるパソコンである。

基礎処理工の出来形管理では、挿入ロッドの残尺や延



図-8 スタッフ目盛の拡大状況

長、黒板の記載内容、孔内洗浄の状況を確認するため、拡大することで図-8のようにスタッフの目盛や黒板の文字を十分に判読できる仕様とした。監督員はパソコン上からカメラの縮小拡大や首振りを自由に操作でき、施工箇所の任意のポイントを確認することで、現場臨場と同様の現場把握が可能である。遠隔臨場の映像は任意のタイミングでスクリーンショットが撮影でき、遠隔臨場の実施記録として受注者と共有している。

b) ネットワークシステム

ネットワークシステムは、ダムサイト全体に張り巡らされた無線LANを使用しており、打設面上でも左岸リム部でもWebカメラに接続できる。監査廊内は通信用ケーブルを敷設することで遠隔臨場を実施している。

c) 遠隔臨場の活用効果

基礎処理工では、出来形管理として削孔ごとに孔内洗浄状況の立会確認や削孔長の段階確認を行う。しかし、ボーリングの削孔速度は岩盤の状態に左右され、削孔終了時間を正確に見通すことは難しく、立会や段階確認までの手待ち時間が生じる。また、特に立会場場所が監査廊内の場合、現場への移動時間を多く要し、狭隘かつ急勾配な監査廊と事務所を往来しなければならない。

遠隔臨場によって移動時間や手待ち時間が削減されたことで、スケジュールの都合上受注者による自主管理とせざるを得なかった場面でも、立会や段階確認が可能となった。さらに、映像や音声の双方向通信によって、机上においても現場臨場と同様の現場確認が維持できた。場所の制約を受けないことから、遠隔地にいる熟練技術者が現場状況を把握でき、その技術知見や経験を活用できるようになった。

事務所から臨場箇所までの移動時間は、施工場所にもよるが片道約15分を要する。基礎処理工では、最盛期に1日で4回の立会があると見込まれており、遠隔臨場の活

用でこの移動時間が1日で約2時間、1ヶ月で約40時間削減される。さらに、手待ち時間の削減で、打設工程に影響を及ぼさない施工監理が求められるコンソリデーションクラウドの施工迅速化が実現し、川上ダム的高速施工に貢献している。副次的には、立会や段階確認における3密（密閉・密集・密接）の回避が可能となり、新型コロナウイルスの感染拡大の防止効果も得られた。

4. まとめ

ICTの活用により、川上ダムの施工監理にて得られた効果を、以下に取り纏める。

○数多くの施工データ管理の省力化や、遠隔地にいる熟練技術者との随時データ共有にて可能となった技術支援の円滑化により、基礎処理工の施工監理で重要な施工データの収集分析、計画の検証、必要に応じた計画見直しのサイクルの効率化や技術知見の伝承が実現した。

○遠隔臨場により、削孔終了から立会までの移動時間が最盛期で1ヶ月あたり約40時間削減され、少人数の職員で施工監理業務を行う中、大幅な業務の効率化が実現される。机上においても現場臨場と同様の現場確認が可能となり、出来形管理の水準を維持しつつ施工監理の効率化が得られた。

○ICTを活用したツールがクラウド管理システムに集約され、本システム一つで出来形管理、施工データ管理、遠隔臨場による現場確認が可能となり、さらに遠隔地にいる経験豊富な技術者も施工データや現場状況が常に把握できることで、熟練技術者が減少する中、技術知見や経験の伝承が可能となった。

今後、本取り組みを経て得られた知見を他工種へ積極的に展開し、更なる施工監理の効率化や高度化を目指したい。

参考文献

- 1) 財団法人国土技術研究センター. 2003. グラウチング技術指針・同解説.
- 2) 水資源開発公団. 2000. ダム設計指針 第6編 基礎処理.
- 3) 水資源開発公団第一工務部. 1993. ダム施工要領・同解説 (案) ー共通編ー.
- 4) 国土交通省大臣官房技術調査課. 2020. 建設現場の遠隔臨場に関する試行要領 (案) .

画像認識技術を活用した 浸水把握システム実証の取組について

梶本 秀樹

近畿地方整備局 福知山河川国道事務所 綾部国道維持出張所（〒623-0031綾部市味方町字中ノ坪10-1）。

近年の情報通信技術の発展やAI技術の向上により、カメラ画像から自動的に様々な情報を抽出、分類可能となってきた。一方、河川分野において、災害の激甚化や担い手不足などの問題を抱えている。特に災害時において河川管理者は効率的な状況把握やきめ細やかな情報発信が求められており、ICT技術の積極的な活用が望まれる。そこで、著者らは、汎用的な監視カメラからAI技術を用いて水面を認識し、浸水把握を自動でリアルタイムに行うシステムの実現を目指し、実証に取り組んだ結果、一定の成果を得たので本論文において報告する。

キーワード 浸水把握, AI, 画像認識, リアルタイムシステム

1. はじめに

近年、ICT技術、AI技術が急速に発展しており、様々な分野で研究開発や社会実装の取り組みがなされている。気候変動による災害の激甚化や担い手不足などの課題を抱える河川の分野においても、これらの技術を活用し、河川管理の効率化や防災、減災につなげていくことが期待されている。

災害時の状況把握においても、観測機器や監視設備などから得られるデータを通じて、情報収集の自動化による効率化、高度化などにより、より迅速かつ精度よく行うことができる可能性があり、研究・実証の取組が進められている。

例えば国土交通省の取組である「革新的河川技術プロジェクト」¹⁾では、「洪水時の観測に特化した低コストの水位計（危機管理型水位計）」や「簡易型河川監視カメラ」等の開発を行い、中小河川への普及展開を進めることで、地域住民の避難行動を促す情報提供のニーズに対応しつつある。

著者らは、これらの背景を踏まえ、画像認識技術を活用した洪水による浸水状況の自動把握に注目し、実証の取組を行った。

2. 浸水把握の有効性

豪雨災害による洪水被害を防ぐ、または軽減するため

には、住民主体の避難行動の推進と、自助・共助・公助による防災意識の高い社会の構築を進めることが重要である。

そのために、河川管理者や自治体には、特に災害発生時において、住民主体の避難行動に結びつく切迫感のある情報をタイムリーに、かつ真に情報を必要とする人へ届ける仕組みの構築が求められている。

現在、姫路河川国道事務所においては、管轄する加古川、揖保川において洪水時の自治体における避難指示等の発令の判断に資する洪水予報や水防警報の発表を行っている。また、代表地点の水位情報や河川状況の画像等をHP等²⁾にて公開している。これらの情報に加えてリアルタイムに浸水発生状況を把握することができれば、①河川管理者にとって、効率的に情報を把握でき、よりきめ細やかで迅速な災害対応や情報発信につなげることが可能となる②自治体による避難情報発信の際に重要な参考情報となる③住民にとってより身近な地域の浸水情報を切迫感をもって受信し、避難経路を選択できるようになる、といった効果が期待できる。

現状、浸水情報の把握については、住民からの情報提供が中心であるが、連絡を受けた自治体等は災害対応で煩忙を極めている場合がほとんどであり、浸水情報をリアルタイムに整理し、発信することは容易ではない。

よって、浸水の発生状況をリアルタイムに把握できる技術が実現できれば画期的である。一方で、河川管理者、自治体にとっては、予算が限られる中、広い範囲を比較的容易で安価な技術が望まれる。

また、近年各分野においてIoTの導入が進み、パソコンや携帯電話に限らず様々なモノがネットワーク網を介

してつながり、通信することが一般化している。カメラも例外ではなく、撮影画像を無線回線を含むネットワーク回線により、遠隔地のサーバーに送信し、サーバー上で画像を処理、他の端末に配信することが可能となっている。このようなネットワーク機能に対応したカメラ（IPカメラ）の市場規模は、近年約300億円超との調査結果³もあり、普及が進んでいるものとみられる。工場のような屋内利用だけでなく、防犯目的の監視カメラとして家屋、マンション、駐車場など市街地中に設置されているカメラが増加していると考えられる。自治体がIPカメラを活用する事例もある。例えば兵庫県加古川市においては「安心して子育てができるまち」を目指し、1400台を超えるカメラを市中に設置している⁴。

また、AI技術に代表されるように画像認識技術の進歩により、画像から様々な特徴・情報を自動で抽出・分類することが可能になってきた。人やモノの検知⁵など様々な方面で研究や活用の取組がなされている。

これらの技術は河川防災への活用も期待できる。水面の上昇下降や浸水の発生状況の把握へ画像認識技術を応用し、地形データ等と照らし合わせることで、浸水範囲や浸水深をリアルタイムに推定することができれば、素早い浸水発生情報の発信や適切な避難経路の割り出し、救助活動の円滑化など、災害対応の高度化に大きく寄与でき、住民の命や財産を守る重要な情報となり得る。

このような背景の中、著者らは汎用監視カメラ等の画像を用いてAIによる画像解析により浸水状況を把握することを目指し、検討・実証の取組を行った。

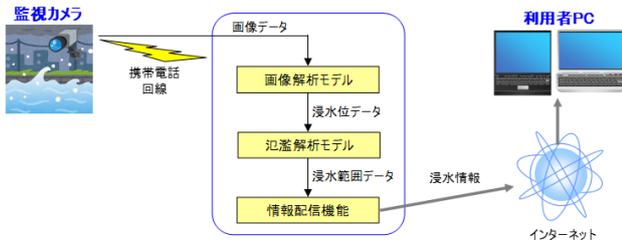


図-1 浸水把握システムの全体構成



図-2 監視カメラの外観

3. 実証内容の紹介

(1) 浸水把握システムの構成

本研究では、監視カメラ画像から地先の水位を解析し、かつ浸水範囲をリアルタイムで把握できる浸水把握システム（以下「本システム」）を構築した。本システムの全体構成を図-1に示す。

(2) カメラ設置

市中の監視カメラにより撮影された画像を想定した、画像解析による浸水位検出および精度確認を行うため、加古川沿川の5箇所にカメラ（図-2）を設置した。カメラの仕様をに表-1に示す。設置位置は用地の確保のしやすさや浸水実績に留意しながら、水路の規模や量水標の有無等検討パターンが多様となるように選定した（図-3、表-2）。

表-1 設置カメラの仕様

	仕様
有効画素数	1920×1080
F値	F1.6
水平画角	30° ~112.5°
最低被写体照度	0.005ルクス
圧縮方式（静止画）	JPEG 対応
電源	DC 12V/1.5A（変圧器内蔵）
動作温度	-30℃~60℃
動作湿度	90%以下

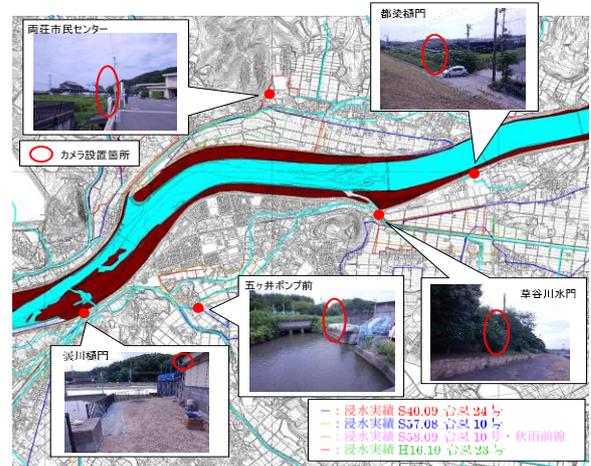


図-3 監視カメラの設置位置

表-2 設置カメラの仕様

設置箇所	検討パターン		
	河川の川幅	目標物	監視する周辺の状況
曇川樋門	10m程度	量水標	水面が良好に確認できるが、水面付近がアスファルトで覆われ、周辺状況の変化が小さい
草谷川水門	10m以上	量水標	水面が確認できるが河道内植生の影響あり
都染樋門	5m未満	ポール	水面が確認できるが河道内植生の影響あり
両荘市民センター	5m未満	ポール	水面に加え、近傍の市民センター、畑の浸水状況を監視 平常時に水が流れていない
五ヶ井ポンプ前	10m以上	ポール	水面に加え、近傍の住宅地の浸水状況を監視

(3) 画像解析モデル構築

本研究では、他河川流域への適用・展開を考慮し、汎用性が高いモデルの作成を目指した。

画像解析モデルによる水位算定の流れを図-4に示す。画像解析モデルとして深層学習手法のひとつであるCNN (MobileNetV3[®]) を用いたモデルを適用した。本モデルにカメラ画像を入力し、水面として認識した箇所の結果を出力した。併せてカメラ設置箇所毎に測量を行い、画像データのピクセル毎の水位を把握し、写真の画角の中に仮定の量水標を設け、検知した水面が写真のどの位置にあるかにより、水位を把握した。

水面検知のモデルについて、汎用性を高めるため、インターネット上に公開されている全国のCCTVカメラ画像1,000枚を収集し、水面域を手動でラベリングすることで学習用データを作成した。学習用データの概要を表-3に示す。

学習枚数による精度への感度を確認するため、学習用データの枚数を250枚、500枚、750枚、1,000枚としたモデル1_1~1_4の4モデルを作成した。なお、9割を訓練用データとしてモデル学習 (モデルにおける各種重みの更新) に用い、1割を検証用データ (汎化能力の向上を狙いとしたハイパーパラメータの調整段階における評価を行うためのデータ) とした。また、検証用データの精度向上に過剰に偏ったモデルとなっていないか、学習用データとは別にテストデータを用意し、次節において評価を行った。

表-3 学習データ概要

項目	内容
河川状況	平常時, 増水時, 洪水時
時間帯	日中, 夜間
気象条件	晴天, 曇天, 雨天
画像枚数	1000 枚

(4) 全国の監視カメラ画像を用いたAIモデル

一般的に、AI の学習において、学習用データに対しては、精度よく出力するが、実用上使用するデータに対しては不十分な精度となる問題 (過学習とよばれる) がしばしば起こることがある。このため、構築した AI モデルが実用上十分な精度を有するか定量的な評価を行った。精度の評価に際して、表-4 に示す指標値を用いた。学習用データの枚数を変えた4モデルについて、加古川市内 (水位計が設置されている曇川樋門近傍) のカメラによるテスト画像450枚 (晴天時150枚, 荒天時150枚, 夜間時150枚) を用いて各モデルの定量的な評価を行った結果を表-5 に示す。なお、水位計による観測値を正値として評価を行った。

表-4 精度評価指標

No.	評価指標	概要	最適値
1	正検知率	正解値のクラスに対してAIが正しく正解値と予測したクラス数の割合	1.0
2	誤検知率	不正解値のクラスに対してAIが誤って正解値と予測したクラス数の割合	0.0
3	未検知率	正解値のクラスに対してAIが誤って不正解値と予測したクラス数の割合	0.0

表-5 精度評価指標

No	モデル	学習	テスト用データ	正検知率	誤検知率	未検知率
1	モデル1_1	250枚	日中 晴天時: 150枚	0.630	0.074	0.296
			日中 荒天時: 150枚	0.650	0.082	0.268
			夜間 150枚	0.227	0.350	0.423
2	モデル1_2	500枚	日中 晴天時: 150枚	0.695	0.053	0.252
			日中 荒天時: 150枚	0.785	0.076	0.139
			夜間 150枚	0.238	0.283	0.479
3	モデル1_3	750枚	日中 晴天時: 150枚	0.749	0.076	0.175
			日中 荒天時: 150枚	0.849	0.085	0.066
			夜間 150枚	0.283	0.279	0.438
4	モデル1_4	1000枚	日中 晴天時: 150枚	0.786	0.068	0.146
			日中 荒天時: 150枚	0.852	0.082	0.066
			夜間 150枚	0.291	0.244	0.465

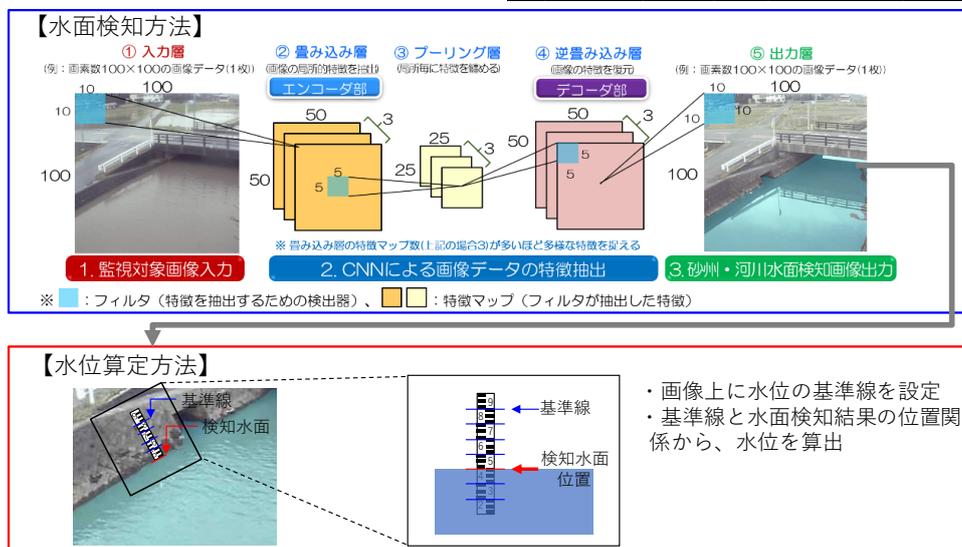


図4 画像解析モデルによる水位算定の流れ

モデル 1_4(訓練 900 枚, 検証 100 枚)が最も精度が良いことから, 学習枚数が多い程, 水面検知精度は向上した。モデル 1_4 は, 晴天時, 荒天時であれば 8 割程度で水面検知が可能であった。一方で, 以下のような課題が明らかになった。

- ・朝日や夕日といった日照条件の違いによる誤検知, 未検知。
- ・夜間の誤検知, 未検知。
- ・水たまり等の誤検知。
- ・水際箇所での未検知。

特に, 水際箇所の未検知は, 水位算出精度に影響するため, 今後精度向上を図る必要があると考えられる。

(5) 転移学習を用いたAIモデルの精度改善

カメラ設置箇所毎の特性を転移学習によりモデルに反映し精度向上を試みた。最後に転移学習させたモデルを用いて, 加古川市内に設置したカメラによる画像に適用し, 精度を確認した。

水面検知の向上策として「転移学習」を適用し, 現行モデルに水面検知箇所の画像を追加学習する方法を試み, 改良モデル (モデル2) を構築した。改良モデル構築には, 前節で最も精度が良いモデル1_4をベースとし, 加古川市内に設置したカメラの画像データ500枚 (各地点100枚) を追加学習用データとして用いた。

転移学習とは, 既存モデルをベースとして別の領域に適用させる方法であり, モデルの最終層を削除し, 新しい層を追加して別の領域のデータを学習させてモデルを構築するものである。図-6に転移学習のイメージを示す。

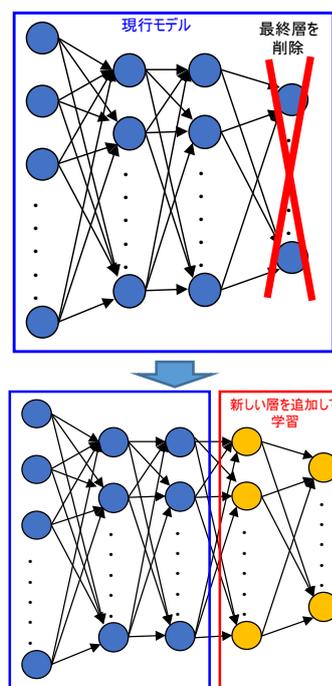


図-6 転移学習のイメージ

転移学習前のモデルと, 転移学習を用いたモデル 2 の水面検知の精度検証結果を図-5 および表-6 に示す。モデル 2 の水面検知精度は, 95%程度まで向上した。該当地点におけるコンクリート面と水面との写り方の違いといった, 各地点のカメラ画像における特性を反映したモデルとなり, 日照条件等の影響による誤検知や未検知が減少した。

表-6 転移学習前後におけるモデル1_4とモデル2の精度検証結果

モデル	モデル1_4		モデル2	
	全国のカCTV画像を学習したモデル		転移学習後のモデル	
テスト用データ	日中90枚	夜間60枚	日中90枚	夜間60枚
正検知率	0.8	0.32	0.96	0.95
誤検知率	0.02	0.19	0.01	0.01
未検知率	0.18	0.5	0.04	0.04

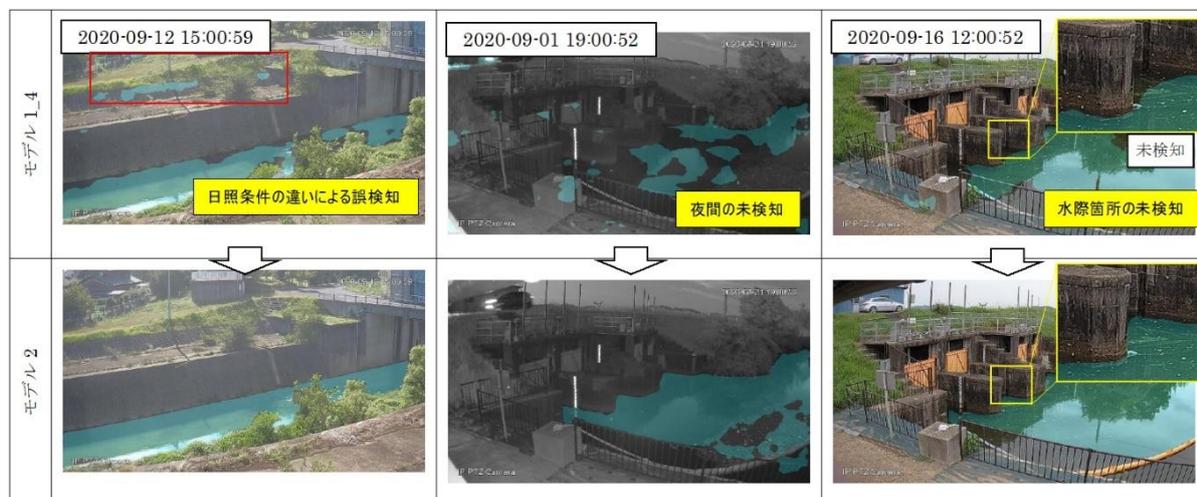


図-5 水面検知の精度検証結果 (モデル 1_4/モデル 2)

次に、カメラ画像取得期間中に水位変動が確認できた曇川樋門地点について、水位算定の精度検証結果を図-7に示す。晴天時における絶対値誤差の平均は転移学習前のモデル1_4が0.41m、改良モデルが0.04mであり、改良モデル（モデル_2）はモデル1_4と比べて大幅に水位算定精度が向上した。以上より転移学習の有効性が確認された。

(6) 氾濫解析モデルの構築

カメラ画像から把握した水位をもとに浸水範囲を把握するため、氾濫解析モデルを構築した。本実証地域が貯留型の氾濫域であることから、氾濫解析モデルは浸水位レベルバックモデルとした。図-8に氾濫解析モデルのイメージを示す。

画像解析モデルと氾濫解析モデルを組み合わせて浸水把握システムを構築した。本システムは、図-8に示すように、設置した監視カメラから得られるリアルタイム画像データから水位および浸水範囲を算定し、情報提供する事を考慮した。

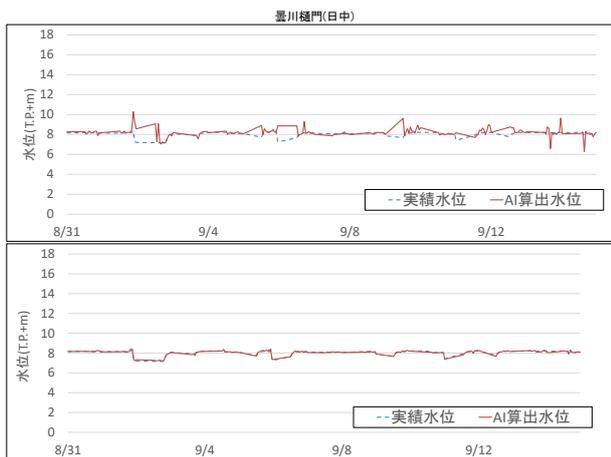


図-7 水位算定の精度検証結果（モデル1_4/モデル2）

4. 実証の結果

(1) 実用化の可能性

本研究において加古川沿川に設置したカメラについては、本システムによる浸水把握の結果を、図-9に示す出力画面にて試験的に表示した。

本システムの将来的な実用化に向けた検討として、監視カメラによる浸水把握を自治体等他機関で活用する場合を想定し、カメラ設置箇所近隣のエリアとして加古川市を事例として、既設カメラ活用やカメラの新規設置を想定した設置密度等の検討を行った。

手順は①カメラ選定の目安として一定範囲に1箇所設置することを想定して、メッシュ状にカメラを選定。

(0.5km²に1箇所設置, 1.0km²に1箇所設置など) ②加古川の想定最大規模の浸水深と監視カメラ設置位置の重ね図を作成し、カメラ設置位置のメッシュの浸水深を抽出。③抽出した浸水深を用いて簡易法（図-10）により地点の浸水位を算定する。元の浸水深（想定最大規模）を検証材料として、簡易法により算定した浸水深と比較し、浸水深算定結果の妥当性を評価した。

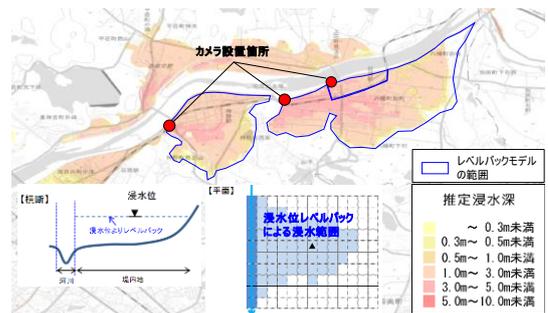


図-8 氾濫解析モデルのイメージ

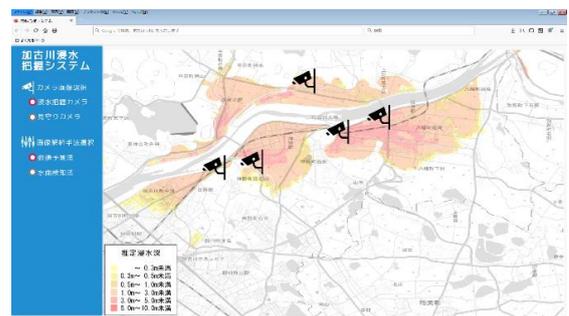


図-9 浸水把握システム画面例

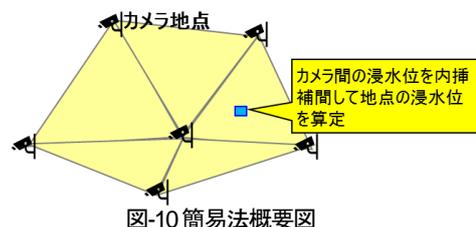


図-10 簡易法概要図

対象エリア（想定最大規模浸水想定区域図の範囲内）の地域について、同心円面積が0.5km²～10km²の範囲で5ケース適用した。浸水想定区域図と簡易法における氾濫ボリュームの算出結果を図-11に示す。この結果から、10%程度の誤差を許容としたとき、2km²以内に1箇所の間隔とすればよいことがわかった（今回事例とした加古川市の場合54箇所となる）。

地形特性や土地利用特性を踏まえ、適用地域ごとに上記のような精度確認を行うことが望ましいが、多くの地域で実用可能であると考ええる。

(2) 今後の課題

①今年度は、AIのテストデータとして用いた9月～10月において洪水を経験していない。そのため、大雨時や水位上昇時における画像解析モデルの精度検証が不十分である。異なる季節にモデルを適用した場合、日照条件による画像の見え方の違い等により、画像解析モデルの精度が低下する可能性がある。従って、年間を通じてカメラ画像を取得し、洪水時や積雪時等異なる季節における諸条件の画像を追加学習、精度検証を行うことが望ましいと考えられる。

②現状収集できた全国のカメラ画像数で学習した画像解析モデルに、当該地点のカメラ画像を追加学習（転移学習）する方法では、カメラ毎の学習速度は高まるものの、画像解析モデルの構築に手間がかかる。そのため、全国のカメラ画像をより多く収集し、AIに学習させることで、転移学習にかかるコストを低減し、より汎用性が高まることが期待できると考えられる。

③本研究において検討した画像解析モデルは、各カメラ画角（固定画角）の範囲で簡易測量を実施し、水面位置と浸水位の関係を予め定めておく必要がある。しかし、カメラ地点が増えた場合にカメラ地点毎に測量を実施することは困難と考えられる。

④本研究において検討した画像解析モデルは、ある一定性能のカメラを用いて検証した。今後様々なカメラを浸水把握に適用する場合に際して、必要なカメラ性能の要件を確認する必要があると考えられる。

5. システム導入に向けた留意点・課題

本研究は、一般的な監視カメラで捉えた画像から浸水の発生状況をリアルタイムで検知するシステムの実証を行ったものである。一定の条件を満たしていれば基本的にどのようなカメラ画像からでも浸水把握ができるため、既存の監視カメラを活用することが技術的には可能である。一方で、住民の肖像権やプライバシー保護の観点を考慮すると、適切な閲覧権限やプライバシーマスクの設定、セキュリティの確保にも配慮することが求められる

場合が考えられる。また、自治体等に導入する場合、監視カメラ運用に関する条例や各種規定を踏まえた運用が必要である。また、将来的に自治体等への情報提供を考えると、サーバー運用の方法や保守・管理の方法を検討する必要があると考えられる。近年ではWEB-APIの活用⁷⁾が進んでおり、この手法は自治体において、浸水表示システムの機能を、APIを利用して構築でき、システムの構築の負担が小さいなどメリットが大きい。また、浸水把握システムへ接続する自治体等が増大した場合に、構築したWEB-APIを共通的に利用できる利点もあるが、不正侵入や情報漏洩等の対策が必要であり、専用回線による接続方法など代替手法と比較しながら検討をおこなう必要があると考えられる。

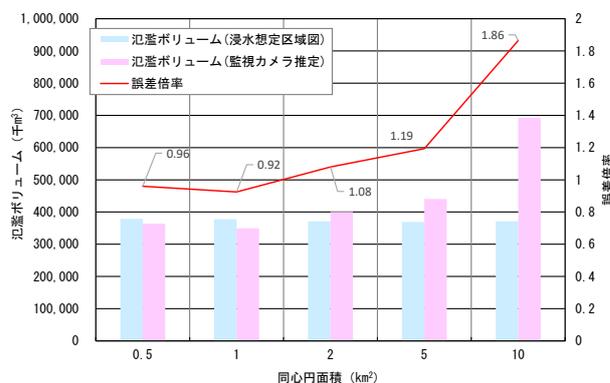


図-11 氾濫ボリュームの比較

謝辞：本論文を作成するにあたり、ご協力いただきました加古川市、建設技術研究株式会社のご担当者様、また関係者の皆様へ感謝いたします。

6. 参考文献

- 1)国土交通省. 革新的河川技術プロジェクト. https://www.mlit.go.jp/river/gi_jutsu/innovative_project/index.html
- 2)国土交通省川の防災情報. <https://www.river.go.jp/index>
- 3)富士経済. マーケット情報. https://www.fuji-keizai.co.jp/market/detail.html?cid=18104&view_type=2
- 4)加古川市. 見守りカメラについて. <https://www.city.kakogawa.lg.jp/soshikikarasagasu/shiminbu/shiminseikatsuanshinka/ICT/mimamori.html>
- 5)Ren, Shaoqing, et al. "Faster r-cnn: Towards real-time object detection with region proposal networks." arXiv preprint arXiv:1506.01497 (2015).
- 6)Howard, Andrew, et al. "Searching for mobilenetv3." Proceedings of the IEEE/CVF International Conference on Computer Vision. 2019.
- 7)総務省. APIによるデータ収集と利活用 https://www.soumri.go.jp/ict_skill/pdf/ict_skill_1_5.pdf

UAV搭載型レーザスキャナを活用した 砂防堰堤の設計について

西島 権¹・野村 雅俊²

¹和歌山県 県土整備部 砂防課 (〒640-8585和歌山県和歌山市小松原通一丁目1番地)

²株式会社 日進コンサルタント 設計課 (〒644-1122和歌山県日高郡日高川町高津尾1077) .

現在、建設現場の抜本的な生産性向上を目指して、i-Constructionの導入が全国的に進められている。特に、国土交通省では調査・設計の段階からBIM/CIMモデルの導入が図られており、直轄砂防事務所で実施されたCIMモデルによる砂防堰堤の設計事例が、砂防学会誌等で報告されている。和歌山県砂防課においてもこの技術に注目し、地すべり対策の調査解析にCIMモデルを導入するとともに、砂防事業への活用も検討している。今回は、砂防堰堤の調査設計において、UAV搭載型のレーザスキャナにより取得した地形データと従来の地形測量について、省力化等の比較を行ったので報告する。

キーワード UAV搭載型レーザスキャナ，地形測量，作業効率

1. はじめに

和歌山県には土石流による土砂災害のおそれのある土砂災害警戒区域が5,504箇所存在し、現在、砂防事業により土石流対策を実施している。事業の進め方としては、既存の砂防基盤図や森林基本図等を用いて現場調査を行い、流域概要図を作成した上で基本量を決定し砂防全体計画を策定した後、地形測量、地質調査そして詳細設計を実施している。

現在、国土交通省では、i-Constructionの一つとして、調査・設計段階からBIM/CIMモデルの導入が図られており、本県砂防課としてもこの技術に注目し、地すべりの調査解析や対策施設配置計画検討のための地すべりCIMを開発し、今後、例えば時間軸を持った地下水面の変化等を把握したうえで対策工の配置計画を策定したいと考えるとともに、砂防全体計画の策定や砂防堰堤の詳細設計へのCIMモデルの導入を検討している。

今回、その第一段階として、本県の土石流のおそれのある溪流の流域面積が平均約0.10km²と小さい点に着目し、砂防堰堤の設計業務にUAV搭載型レーザスキャナにより取得した地形データを試行的に活用したので、測量調査設計業務の効率化等の影響や今後の課題等について報告する。

対象流域として、UAV搭載型レーザスキャナを所有する株式会社日進コンサルタント (<https://nisshincon.com/>) が砂防堰堤詳細設計業務を受注した和歌山県日高郡日高川町山野地内の岡の谷川 (流域面積0.04km²) を選定した。流域および溪流の状況を写真-1に示す。

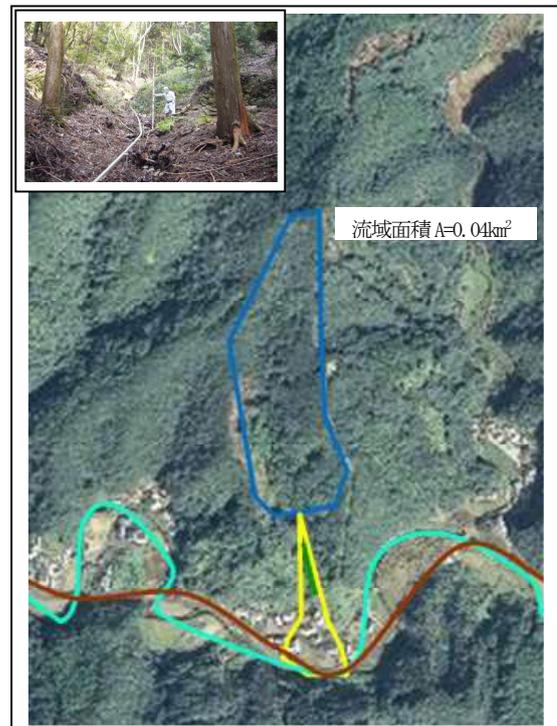


写真-1 流域と溪流の状況

2. 対象流域の概要

3. 使用した機器の性能

地形データ取得のために使用した機器の性能を下記に示す。

- UAV : YELLOWSCAN 社製 VX-15+
- レーザセンサ : RIEGL社製 Mini VUX-2 UAV
- IMU : Applanix社製 APX-15 測位精度 (m) 0.02~0.05
- 計測精度 : 5cm
- 計測点数 : 200,000点/秒
- 取得パルス : 5エコー/1sec
- システム重量 : 2.6kg
- 連続航行可能時間 : 20分



写真2 業務で使用した機器 (UAV)

4. UAVレーザ測量

岡の谷川の砂防全体計画の策定と砂防堰堤の設計に当たり、流域の地形状況を把握するため、UAV搭載型レーザスキャナを用いて流域全体の3次元点群データを取得した。データの取得に際しては、国土地理院のUAV搭載型レーザスキャナを用いた公共測量マニュアル（案）を準拠し、2点の調整点と2点の検証点の計4点を谷出口部に設置したうえで測量を実施した。

UAVレーザ測量の手順をフローチャートにまとめたものを図-1に示す。

UAVレーザ計測に際しては測定する点密度等の仕様を策定するために、3次元点群データの使用目的を決定することが必要であるが、今回は、この測量手法と従来の地形測量を比べた場合の有効性等の確認を行うことを主な目的としたため、砂防全体計画において堰堤に求められる機能（計画捕捉量や計画発生抑制量等）を決定できるレベルを目標とした。

このため、取得する地図情報レベルとしては、公共測量マニュアル（案）の地図情報レベル1,000（取得するオリジナルデータの点密度が100点/㎡）を目標とし、岡の谷川流域全体において点群データの取得を行った。結果としては、796点/㎡のオリジナルデータと3.8点/㎡の

グラウンドデータを取得した。点密度としては、作業計画で策定した仕様を満足するとともに、主曲線間隔1mの等高線データを作成する場合に標準的な値である概ね4点/㎡に近いデータを取得した。また、このUAVレーザ計測（外業）に要した時間は3人日であった。

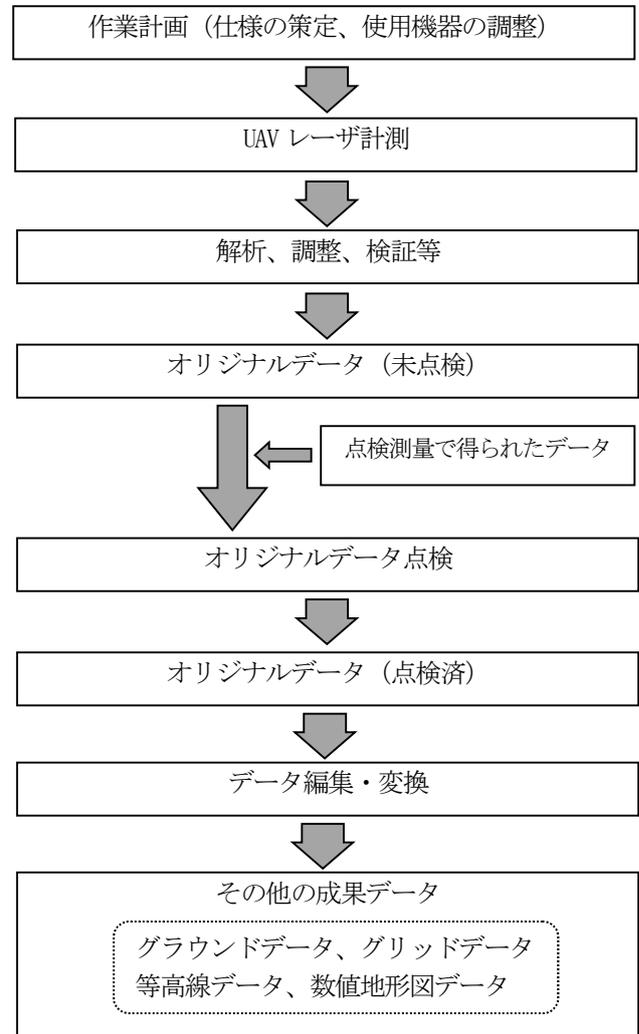


図-1 UAV測量の手順

UAVレーザ計測後、内業に移行し、上記手順に従い、解析、調整、検証等および点検を実施し、点検済みのオリジナルデータを作成した。レーザ計測後、点検済みのオリジナルデータ作成までに要した日数は1.5人日である。

その後、4人日をかけてオリジナルデータの編集・変換を行うとともに、UAV航空写真データと合わせて、グラウンドデータ、グリッドデータ、等高線データを作成した。

3次元に作成したグラウンドデータと等高線データの成果を図-2および図-3に示す。今までの砂防基盤図等と比べて、両データの成果の重ね合わせによって流域を囲む山地斜面の微地形がより明確に把握できることから、地すべり地形を有するような流域の場合、UAVレーザ測

量は砂防全体計画の策定や砂防堰堤の配置計画の検討に有効な手段であると考えられる。

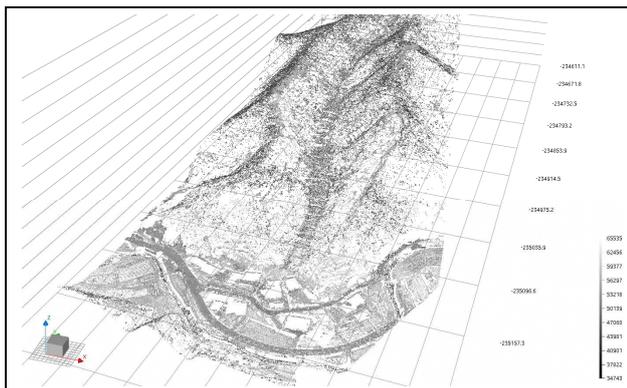


図2 グラウンドデータ

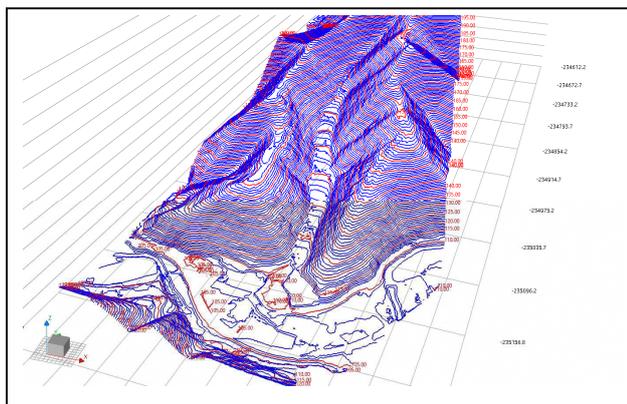


図3 等高線データ

5. 従来の地形測量との比較と考察

岡の谷川の詳細設計に当たっては、従来どおりに別途測量業務を発注し、その成果品をベースとして設計することとしていた。UAVレーザ測量は面的に地形を計測するものであることから、従来から平面図の作成に用いられている現地測量と比較を行った。

現地測量については、測量法第34条で定められる作業規程の準則第122条では、「地形は、地性線及び標高値を測定し、図形編集装置によって等高線描画を行うものとする」また「標高点の密度は、地図情報レベルに4cmを乗じた値を辺長とする格子に1点を標準とし」と規定されており、平面座標値の数については規定されていない。また標高点密度については、地図情報レベル500の場合、1点/400㎡となる。

測量業務の受注者への聞き取りの結果、岡の谷川の現地測量では、4級基準点を10点設置した後、砂防設備の設置に必要な面積0.021km²の範囲において、地図情報レベル500の地形図（平面図）を作成するためにトータルステーション（TS）を用いて実施され、4,000点の平面座標値と標高値が計測された。また、これらのデータの計測に要した外業日数は80人日、地形図の作成に要

した内業日数は40人日であった。

UAVレーザ測量による等高線データと現地測量による地形図の作成との比較を表-1に示す。

表-1 UAVレーザ測量と現地測量の比較

比較項目	UAVレーザ	現地測量
基準となる点の数 (基準点・調整点・検証点)	調整点2点 検証点2点	基準点10点 (4級)
点密度 (平面座標値)	796点/㎡ (オリジナル) 3.8点/㎡ (グラウンド)	0.19点/㎡
点密度 (標高値)	796点/㎡ (オリジナル) 3.8点/㎡ (グラウンド)	0.19点/㎡
外業に要した人日数	3.0人日	80.0人日
内業に要した人日数	5.5人日	40.0人日

UAVを用いることで外業に係る人日数の縮減が図れることは、作業員が実施していたTSのターゲットを不要とするものであるため予想できたことではあったが、大幅に人日数を縮減できることが明らかになった。また、UAVレーザ測量では数値地形図データを作成していないため一概に比較できないが、内業の人日数についても縮減が予想できる。このことは、測量作業の迅速化・省力化が図れることを意味しており、災害等の緊急対応が必要な場合において、UAVレーザ測量は従来の手法に比べ著しい利点を有している。

また、建設現場の生産性向上を図るうえでは作業の省力化が大切な要素であることから、今後のUAVレーザ測量の導入・展開が期待されるものであるといえる。さらに、砂防分野の場合、急斜面における測量が必須であることから、作業の安全性を考えた場合、斜面上での測量作業を少なくできることは労務災害防止の観点からも非常に大きい利点であると考えられる。

測量成果の精度については、単純に点密度の比較だけで両手法の優劣を判断することは出来ないと考えるが、地形図（平面図）に等高線を明示するうえでデータ数が多いほど詳細な地形が表現できると仮定すると、両手法の間には点密度に明らかな違いがみられ、これもUAVレーザ測量の利点の一つであると考えられる。

以上、UAVレーザ測量の利点について考察を行ったが、欠点も有していると考えている。例えば、建物等が斜面に隣接している場合などでは、レーザが届かないケースがあり、その場合、平面図作成に必要な点群データが取得できない。また、建物等の構造物については、実際に現地において測量する従来の手法の方が精度が良いと考える。その他にも、対象とする測量面積によっては、従来の手法の方が効率的に作業ができる場合があると想定できる。

“標準化”は生産性向上の非常に大切な要素であり、建設産業においても標準化のプロセスが進められているが、現場毎により作業条件等が異なるという建設産業の特徴を考慮した場合、様々な手法を最適に組み合わせて作業を行うこと、そしてその作業をとおして得られた課題等を記録に残して手法の改善等を図り続けることが大切であると考えている。

6. 今後に向けての取り組み

本県の砂防分野における航空レーザ測量技術の活用は、2003年に地すべり対策のための平面図作成に点群データを取得したものであり、その当時は航空機に搭載された機器を使用したと聞いている。

それ以降の技術革新により、現在では航空レーザ測量技術が大変身近な技術となってきた。本県では、今後もこの技術は日進月歩の進化を遂げ、利便性等の向上や様々な分野での活用が予想されることから、この技術の活用に取り組んでいる。

取り組みの事例を紹介する。まずは、「1.はじめに」でも述べているが、地すべりCIM開発の基盤データとして航空機によるレーザ測量の成果を活用している。開発途上の地すべりCIMを図-4に示す。

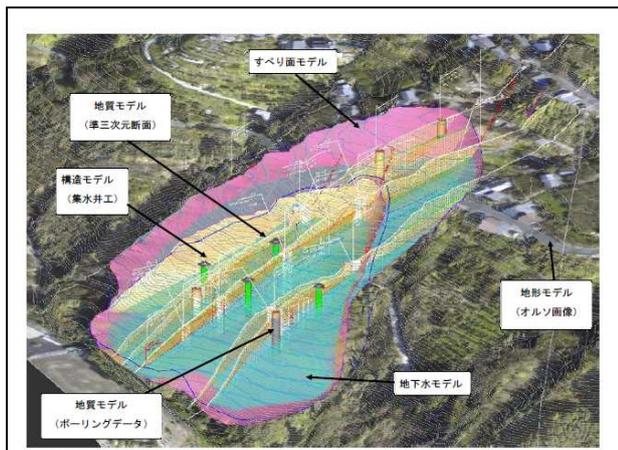


図4 地すべりCIMモデル

次に、「防災・減災、国土強靱化のための5か年加速化対策」を受けて、事業進捗の迅速化を図るため、砂防分野の新規事業箇所の測量業務にUAVレーザ測量を活用

するとともに、今後のUAVレーザ測量技術の活用のため、作業の効率等のデータ取得を実施している。

さらに、砂防堰堤詳細設計のために砂防CIMの活用も検討中であり、UAVレーザ測量による3次元点群データを取得する予定である。

7. あとがき

今回の研究発表は、企業が自主研究としてUAVレーザ測量を実施したことに始まる。行政としては、この技術に注目していたところであり、企業の取り組みの情報を入手した時点で、今回の発表のための資料の収集分析および技術活用の検討を始めた。その結果、現在ではUAV搭載型レーザスキャナを活用した測量業務に係る積算基準の作成まで進んでいる。今後は、データを蓄積し積算基準の精度向上を図るとともに、UAVレーザ測量の普及に努めてゆきたい。

また、この事例のように企業と行政が情報を交換しながら技術開発に取り組む姿勢が、今後より一層大切になってくると考える。

今回の取り組みが本県における先駆け事例となることを期待したい。

謝辞：本論文の作成および本県で実施しているUAVレーザ測量の積算基準の作成等にご協力いただいた関係者にこの場を借りて感謝を申し上げます。

参考文献

- 1) 国土交通省国土地理院：UAV 搭載型レーザスキャナを用いた公共測量マニュアル (案) 令和2年3月改正
- 2) 菊池瞳ら：富士川砂防における CIM 活用への取り組み状況について 砂防学会誌, Vol. 73, No. 4, P. 51-54, 2020
- 3) 国土交通省：BIM/CIM 活用ガイドライン (案) 共通編 令和2年3月
- 4) 国土交通省国土地理院：作業規程の準則 令和2年3月31日 国土交通省告示第461号

北近畿豊岡自動車道における 3次元地形測量の取り組みについて

野瀬井 雅徳

近畿地方整備局 豊岡河川国道事務所 計画課 (〒668-0025兵庫県豊岡市幸町10-3)

今後、我が国において生産年齢人口が減少することが予想されている中、建設分野において、生産性向上は避けられない課題であり、国土交通省として建設現場における生産性を向上させ、魅力ある建設現場を目指す新しい取組であるi-Constructionを推進している。

豊岡河川国道事務所はi-Constructionを先導するモデル事務所に指定されており、調査・設計から維持管理まで3次元データを活用して事業の効率化を目指す中で、3次元地形測量の取り組み事例を紹介する。

キーワード 3次元地形測量 3次元地形モデル UAV BIM/CIM

1. はじめに

(1) 全国的な取り組み

建設業界は、我が国の人口減少に伴う高齢化の進展により、労働力の大幅な減少が懸念されるとともに、休日や職務内容などの労働環境も他産業に比べ厳しく、若手が入職・定着しづらい状況にある。

このような建設業界の現状を踏まえ、国土交通省では労働者の減少を上回る生産性向上を目的とした生産性革命を行う『i-Construction』の取り組みとして、ICT施工や施工時期の平準化、令和5年度にはBIM/CIM本格運用を目指しており、表1のように一般土木・鋼橋上部にて小規模を除くすべての公共工事におけるBIM/CIM原則適用を掲げています。令和2年度は「3次元モデル成果物作成要領(案)」が策定され、今後は本要領に基づく詳細設計での適用が必要となる。

表1 BIM/CIM原則適用拡大の進め方(案)

	R2	R3	R4	R5
大規模構造物	(全ての詳細設計・工事で活用)	全ての詳細設計で原則適用(※) (R2「全ての詳細設計」に係る工事で活用)	全ての詳細設計・工事で原則適用	全ての詳細設計・工事で原則適用
上記以外 (小規模を除く)	—	一部の詳細設計で適用(※)	全ての詳細設計で原則適用(※)	全ての詳細設計・工事で原則適用
		R3「一部の詳細設計」に係る工事で活用		

(2) 豊岡河川国道事務所の取り組み

豊岡河川国道事務所は、平成31年3月に決定したi-Constructionモデル事務所(以下、「モデル事務所」という)(全国10事務所)であり、業界内におけるBIM/CIM技術の拡大・利活用を先導している。

現在、当事務所の設計段階にある北近畿豊岡自動車道

豊岡道路Ⅱ期(以下「豊岡道路Ⅱ期」という)では、今後の設計・施工・維持管理段階に活用できるBIM/CIMモデルを作成し、事業の品質向上・効率化を図ることを目的として検討を進めており、本稿ではICT技術の全面的な活用にあたり、3次元地形測量から設計への活用事例を報告する。(図1)

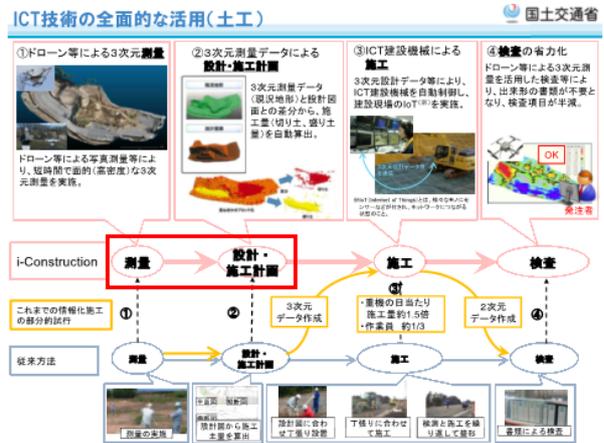


図1

2. 測量

(1) 3次元地形測量

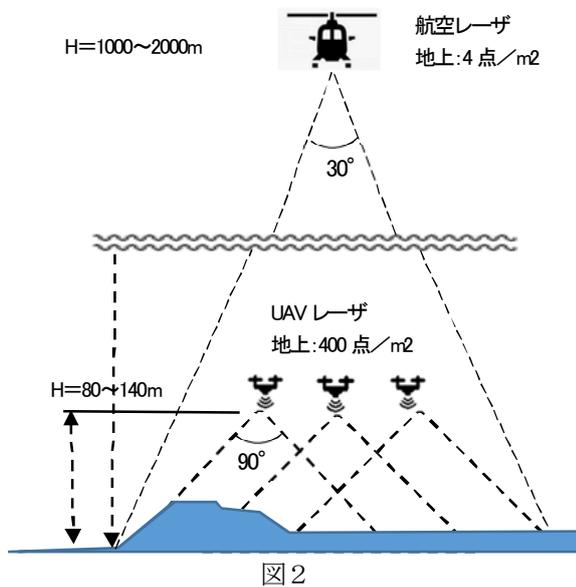
豊岡道路Ⅱ期の地形測量ではBIM/CIM対応の新手法で、道路予備や詳細設計に対応できる3次元地形図を作成するため、UAVを用いたレーザ測量を基本に地形測量を実施している。

なお、豊岡道路Ⅱ期の近くには但馬コウノトリ空港による飛行制限区域が存在するが、協議にてUAV測量の飛

行区域は空港の飛行制限面より下であることを確認し、今回の測量については支障がないことを確認している。

ちなみに従来の地形測量は航空レーザ測量にて実施していたが、高高度からのレーザ照射となるため1回の飛行コースで広範囲の測量が可能で、レベル500では4点/m²、レベル1000では1点/m²以上となるようレーザを照射し、地形データを取得している。

一方、UAVを用いたレーザ測量では飛行高度が低く、地表面に近いことから、1回の飛行コースで狭い範囲の測量となるが、高密度の地形データを取得することが可能であり、今回のUAVレーザ測量ではレベル500に対応した400点/m²となるようレーザを照射し、地形データを取得している。(図2)



豊岡道路Ⅱ期のルートは大部分が山間部(図3)である。山間部では照射したレーザが樹木や葉により阻害されやすく、山の傾斜が厳しい箇所では照射したレーザと地表面の角度が小さくなり、取得できる地表データの密度が粗くなる。そこでUAVの飛行コースをラップさせたり、飛行方向を変える(図4図5)ことにより、レーザの入射角、方向が複数となることで確実に地形データを取得し、図6のように厳密な地形図を作成することができる。

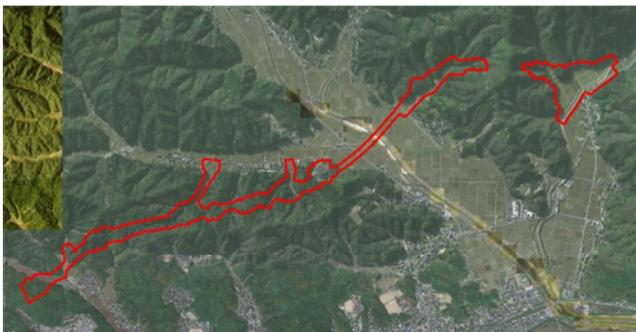


図3

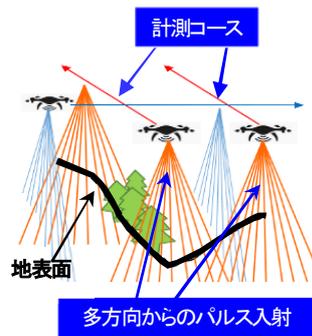


図4



図5

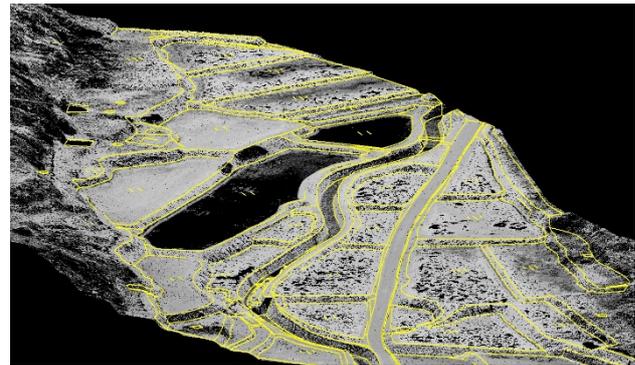


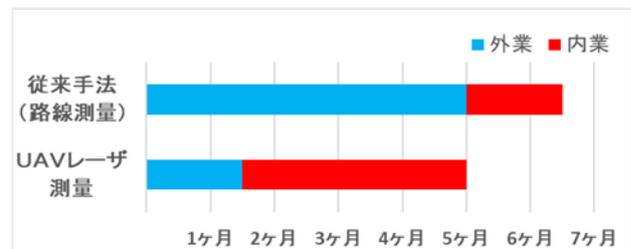
図6

(2) 縦横断面図作成

地形測量が完成した後、縦断面図、横断面図を作成する工程になる。従来手法であれば現地に測量作業員が入り、仮B設置、中心線測量、縦断測量、20mピッチの横断測量を実施し、地形測量で作成した平面図と縦横断面図を合わせて予備設計に進むことになる。

一方、UAV等を用いた3次元測量では、図6のように3次元で地形がデータ化されていることから、地形モデルデータを用いて縦断測線・横断測線データで断面生成することが可能である。なお、構造物などの変化点での補備測量は必要となるものの、表2のように外業が多くを占める従来手法と比較して天候に影響されることも少なく、作業日数の短縮、労働環境の改善が図れる。

表2 作業日数の比較



(3) UAVレーザ測量の適用

地形測量については豊岡道路Ⅱ期にて実施したように近年UAVレーザ測量が一般的となっているが、地形や利用環境による制約が存在しており、適用条件について表3、表4に示す。

表3 地形条件

(凡例) ○: 適切 △: 適応可能 ×: 適応困難

地形	UAVレーザ	地上レーザ	MMSレーザ	
平地	市街地	×	△	○
	都市近郊	△	○	△
	耕地	○	△	×
	森林	○	△	×
丘陵地 低山地	市街地	×	△	○
	都市近郊	△	○	△
	耕地	○	△	×
	森林	○	△	×
高山地	○	×	×	
備考	森林/低山地、森林/高山地の計測には高高度かつ高密度な計測が可能な機器 (VUX1など) が必用	地上測量であり、現地立ち入りが必要であるため、捕測などの限定範囲の計測に適している	車両に搭載した計測機器であるため、道路からの計測が基本である	

表4 環境条件

(凡例) ○: 適切 △: 適応可能 ×: 適応困難

環境条件	UAVレーザ	地上レーザ	MMSレーザ	
法律	空港周辺の空域など※1	△	○	○
	重要施設の周辺※2	×	○	○
インフラ 施設	送電線	×	○	△
	鉄道	△	△	×
	道路	△	○	○
	港湾施設	△	○	×
その他	高塔 (ラジオ局、等)	△	○	○
	携帯電話アンテナ	△	○	○
	猛禽類の生息	△	○	○
備考	△は対象地域の対象条件により異なる	立ち入りの可否に左右される	道路上からの計測視通がとれることが条件	

※1: 航空法 (昭和27年法律第231号) 第132条第2項第2号の規定による許可及び同法第132条の2第2項第2号の規定
 ※2: 重要施設の周辺地域の上空における小型無人機等の飛行の禁止に関する法律 (平成二十八年法律第九号)

豊岡道路Ⅱ期の大部分は地形や環境の制約を受けない森林、耕地であるため、UAVを用いてレーザ測量を実施している。なお、一部高圧線と交差する箇所 (図7図8) については飛行高度が干渉することから、地上レーザ測量としている。

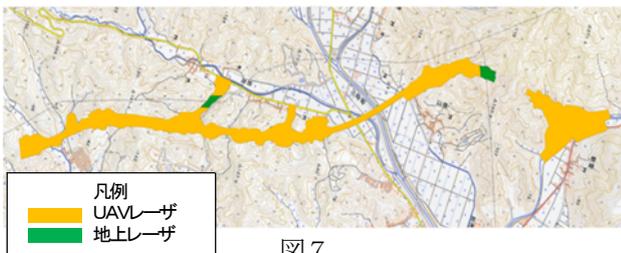


図7

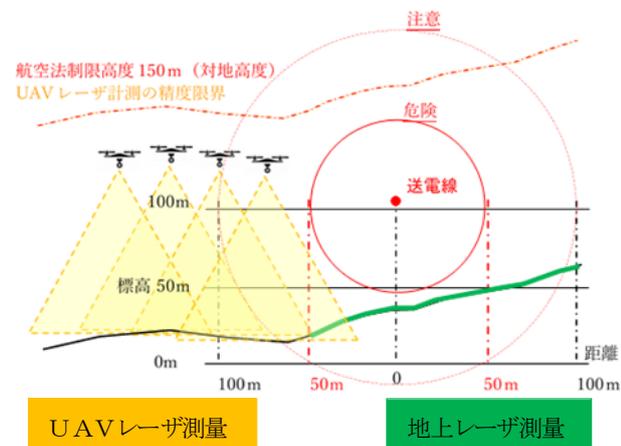


図8

ちなみに豊岡道路Ⅱ期はUAVレーザ測量の適正地域であるが、山地部であるがゆえに猛禽類の攻撃を受けそうになるトラブル (図9) も発生しており、事前に猛禽類の生息や活動エリアを確認しておく必要がある。

この他、市街地や都市近郊においては墜落時の第三者被害リスクからUAVは採用できず、今回用いた地上レーザ (図10) やMMS (車載レーザ) (図11) 等、現地の条件に合わせて3次元地形測量を計画することになる。



図9



図10

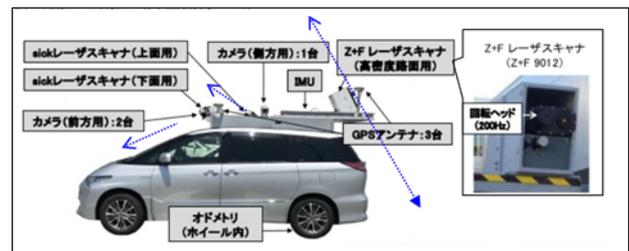


図11

(4) 地質リスク低減に向けた活用

事業の構想・計画段階から地質情報を把握し、計画や設計に反映することは将来的な維持管理段階の地質リスクの低減に繋がるので望ましいことではあるが、事業の開始時点では地質に関わるデータが不足しているため、国土地盤情報検索サイト「KuniJiban」や地質図Navi、既存文献や地質資料を引用することになる。

ただ近年3次元地形データを用いて微地形解析を行えば、地滑りや崩壊跡、リニアメントなどの判読が容易になることが確認されている。そこで構想・計画段階の初期に3次元地形モデルを作成して微地形解析の結果を活用すれば、より正確な地質情報の把握が可能となり、将来の設計、施工時のリスク低減、また事業完了後の地震や風水害時においても被災リスク、被災規模の低減が期待される。

3. 設計段階における3次元地形測量データの利用

(1) はじめに

道路、河川や構造物の設計においては地形データは最も基礎的な資料であり、その地形データが精度の高いものであれば設計全般における高さ、位置や形状に関する精度も向上することになる。

3次元地形測量は地形データの精度向上はもちろんのこと、それを広範囲に短時間で取得できることが長所として挙げられるが、これは設計段階での早期着手や手戻り防止にも繋がるものである。

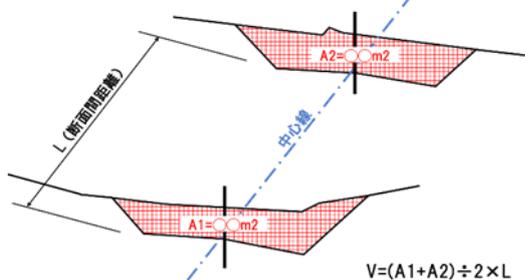
道路設計に関して具体例を説明する。

(2) ルート検討における活用イメージ (道路予備A)

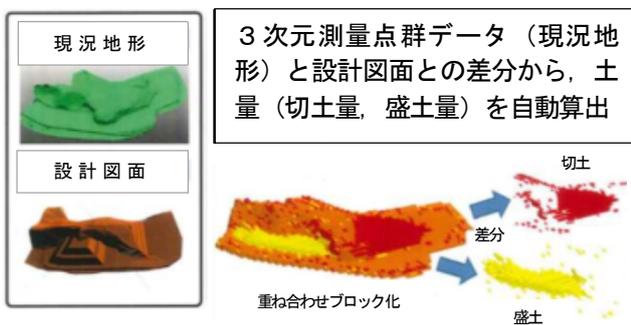
道路のルート検討段階において3次元地形測量データに基づく3次元地形モデルを利用することにより、切土/盛土の土工バランスを容易に把握することが可能となる。そのため平面・縦断線形を変化させた場合に切土量、盛土量がどのように変化するかを簡単に把握することができ、コントロール条件に則した複数のルートを高い精度で、かつ短時間で立案できる。道路設計者側としては複数の選択肢から優れたルートの選定が可能となる。

(従来手法)

平均断面法により施工量を算出



(3次元データを用いた手法)



(3) 幅杭設定における活用イメージ (道路予備B)

道路の平面・縦断線形が決定した後は用地取得範囲を決めるための幅杭設計 (幅杭位置を決定する) を実施するが、その幅杭位置の根拠となる切土や盛土の端部と現地盤が接合する位置を精度良く確認することが可能となる。

従来手法では平面図上、切土や盛土の端部が用地範囲内において収束するよう幅杭を設計しているが、基本的に地形図自体が1~4点/m²の精度で作成されているため、局所的な地形の凹凸は反映されておらず、また平面図 (2次元) と20mピッチの横断面図での幅杭設計となる。この状態で工事を進めていくと施工計画策定時や工事に着手した段階で用地を侵していることが判明し、手戻りや事業進捗に影響が発生する可能性がある。

一方、3次元地形測量データを用いた地形図は精度が高く、また3次的に切土や盛土の端部と現地盤が接合する位置を立体的に確認できることから、より確実な幅杭設計を短時間、効率的に実施することが可能となり、手戻りリスクを回避することができる。

図1 2は従来手法で設計した区間において、後から3次元地形モデル作成し、設計した図面になる。従来の地形測量で設定した切土、盛土の法片、法尻端部ラインから3次元モデルで作成した切土、盛土の法片、法尻端部ラインが越えていることが確認され、従来の2次元設計の再確認が必要となっている。

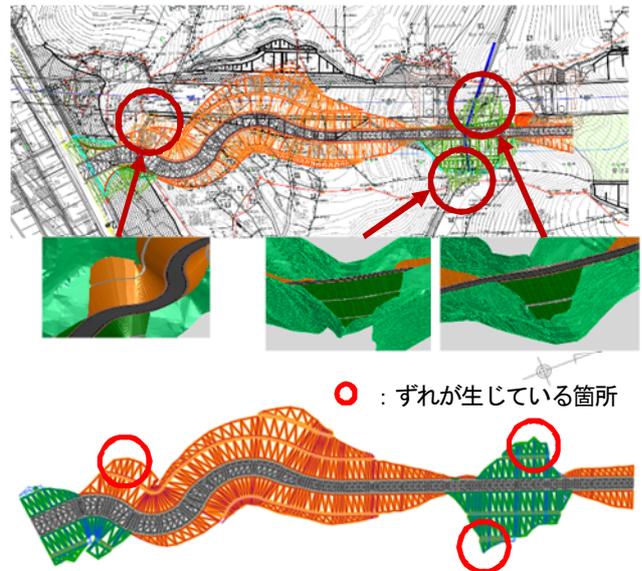


図 1 2

また、トンネルとして計画された区間内で交差する谷地形部において、土被り厚が不足している事が後から発覚し、幅杭設計を実施したうえで用地買収が必要となる場合 (図 1 3) も考えられる。このようなケースも3次元地形測量データに基づいた3次元モデルを用いて設計を行うことで、手戻りを回避することが可能となる。

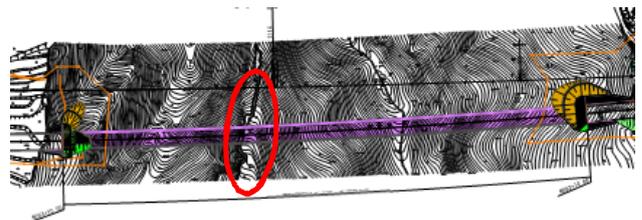


図 1 3-1

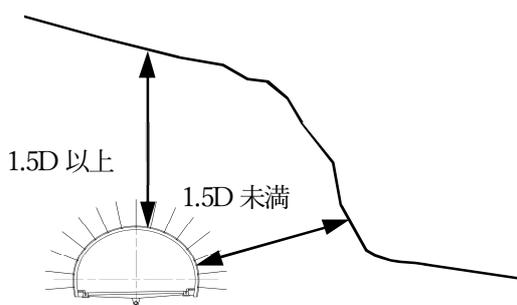


図1 3-2

(4) 構造物設計における活用イメージ

道路設計においては3次元地形モデルに合わせた切土、盛土工形状が再現できることから、法面形状や小構造物の高さ設定などの精度向上に活用できる。

橋梁設計においては橋台施工時の掘削形状や埋戻し後形状の精度が向上し、橋台位置を決定する際の最適な位置決定として活用できる。

またトンネル設計においても坑口位置の設定や、坑口付近の切土、擁壁等の形状についての精度向上に活用でき、図1 4の例では設計当時はBIM/CIM導入前であったため、従来の2次元での設計図面が作成されていたが、その後3次元モデルを作成した結果、トンネルと橋台間の擁壁形状に不整合がある事が確認され、設計内容の照査にも活用することが可能である。

他に図1 4のようにトンネルと橋台が近接する箇所においてはトンネルと橋台のどちらを先行するかにより完成形状や設置位置が変わるため、施工順序を踏まえた設計の精度も向上する。



図1 4

4. 3次元地形図作成・活用における課題

(1) 高性能機器

3次元地形図の精度が高いことからデータ量も大きく、高性能PCや周辺機器が必要となる。このハードの問題については時間の経過とともに改善されていくと思われるが、測量会社やコンサルタントにおいてはその投資費用の大きいことが重荷となっている。

(2) 技術者不足

従来から建設業界は人手が不足している中、3次元モデルの作成という新しい分野に従事する人手不足も同様

である。熟練技術者にとって3次元地形測量やそれを用いた設計については新たな分野で、従来作業工種の大幅な減少、そして基礎的な技術から取得する必要がある。

また会社側としても人材を育成する時間と費用が必要となるが、そもそも新たな技術を指導する側も人材が充実しているとは言いがたい状況である。従ってコンサルタント側からは、そもそもやり方、進め方が判らないという意見も聞かれる。

(3) 地質の3次元モデル

3次元地形測量の地形図を用いた道路予備設計、構造物設計への適用事例について説明してきたが、通常の設計の流れでは地質調査も存在する。今回地質調査の3次元モデルについても検討したが、地形測量のようにm2当たり何点のような密度でデータ取得(地質調査)は不可能なことから、従来の推定地質縦断面図、横断面図を3次元に進化させても、不確実な要素を多分に有する推定3次元地質断面図にしかならない。単に推定の範囲が2次元から3次元に広がったものであることから、設計への波及効果は従来手法の域から脱せず、現時点ではあまり効果が見込めなかった。

5. 今後の活用・取り組み

豊岡河川国道事務所はモデル事務所として、設計段階から施工段階、維持管理段階での3次元モデルの活用事例として以下を検討している。

- ・設計段階・・・3次元図面による鉄筋干渉や不整合確認で手戻り防止 数量算出や工程算出、工事費算出の自動化
- ・施工段階・・・出来形や品質管理の省力化 ITC建機への設計データ提供による工事の省力化や効率化
- ・維持管理段階・・・出来形を台帳にリンクさせる事による点検や観測の省力化や効率化

これらの効果は課題で述べた3次元地形図作成時や設計段階における費用や労力の増加を加味しても積極的なフロントローディングと捉える事ができる。そしてその波及効果は建設事業全体としてコストの削減、人手不足の解消策として生産性向上に繋がり、課題を克服するものと期待される。

ただi-Constructionという新たな取り組みの初期時点において、測量会社やコンサルタントに費用や人手の負荷が生じていることは事実であり、官民が協力して情報交換、支援、課題解決に努め、建設業界によりよい効果を波及させるものにしていく必要があると思われる。

謝辞：論文を作成するにあたりご協力いただきました国際航業株式会社(UAVレーザ測量業務)、パシフィックコンサルタンツ株式会社(BIM/CIM活用業務)のご担当者様 また、関係各位に感謝を申し上げます。

後工程に活用できるBIM/CIM構築に向けた 取り組みについて

大橋 幸一郎¹・井上 愛久²

¹近畿地方整備局 豊岡河川国道事務所 工務第二課 (〒668-0025兵庫県豊岡市幸町10-3)

²近畿地方整備局 豊岡河川国道事務所 工務第一課 (〒668-0025兵庫県豊岡市幸町10-3) .

豊岡河川国道事務所は、平成31年3月に決定したi-Constructionの取組をリードするモデル事務所（全国10事務所）であり、後工程に活用できるBIM/CIM構築に向けた取り組みとして実施した、「建設生産性向上のための3次元データの契約図書化の検討」、「ICT施工に活用できるシームレスな3次元データ受け渡しに関する検討」、「3次元データを活用した道路台帳等の整備」について、確認できた効果や課題等について、報告する。

キーワード i-Construction, BIM/CIM, 建設生産・管理システム, 3次元モデル

1. はじめに

(1) 全国的なBIM/CIMの取り組み

建設業界は、我が国の人口減少に伴う高齢化の進展により、労働力の大幅な減少が懸念されるとともに、休日や職務内容などの労働環境も他産業に比べ厳しく、若手が入職・定着しづらい状況にある。

このような建設業界の現状を踏まえ、国土交通省では、労働者の減少を上回る生産性向上を目的とした生産性革命を行う『i-Construction』として、ICT施工や施工時期の平準化などの様々な取り組みを行っている。

これまで建設業（土木）では、2次元の紙の図面が主流となっているが、製造業などでは3次元の電子データ（3次元モデル）を利活用して生産性を向上させている。同様に建設生産・管理システムでも、対象とする構造物等の形状を3次元で立体的に表現した「3次元モデル」を利活用すれば、生産性の向上が期待でき、さらに3次元モデルに「属性情報」（部材等の名称、形状・寸法、物性及び物性値（強度等）、数量、維持管理に必要な情報など）を結びつけ、生産性の向上のみならず品質の向上も期待されている。この3次元モデルに各種の情報を結びつけ利活用していくことをBIM/CIM（Building / Construction Information Modeling, Management）という。国土交通省は令和5年度にはBIM/CIM本格運用を目指しており、一般土木・鋼橋上部に関する工事については、小規模な工事を除いて、すべての工事におけるBIM/CIM原則適用を掲げている。

表-1 BIM/CIM原則適用拡大の進め方(案)¹⁾

	R2	R3	R4	R5
大規模構造物	(全ての詳細設計・工事で活用)	全ての詳細設計で原則適用(※) (R2「全ての詳細設計」に係る工事で活用)	全ての詳細設計・工事で原則適用	全ての詳細設計・工事で原則適用
上記以外 (小規模を除く)	—	一部の詳細設計で適用(※)	全ての詳細設計で原則適用(※) R3「一部の詳細設計」に係る工事で適用	全ての詳細設計・工事で原則適用

(2) 豊岡河川国道事務所の取り組み

豊岡河川国道事務所は、平成31年3月に決定したi-Constructionモデル事務所（全国10事務所）であり、業界内におけるBIM/CIM技術の拡大・利活用を先導している。

当事務所の施工段階にある「円山川中郷遊水地整備事業」と「北近畿豊岡自動車道豊岡道路・日高豊岡南道路」を通じて、設計・施工・維持管理段階におけるBIM/CIMモデルを作成・活用し、事業の品質向上・効率化を図ることを目的として検討を進めている。

本稿では、後工程に活用できるBIM/CIM構築に向け、実際の工事の試行を通じて深度化を図っている「建設生産性向上のための3次元データの契約図書化の検討」、「ICT施工に活用できるシームレスな3次元データ受け渡しに関する検討」、維持管理での利活用を見据えた「3次元データを活用した道路台帳等の整備」について検討した内容を報告する。

2. 建設生産性向上のための3次元データの契約図書化の検討

現在の土木工事において、契約図書は2次元成果をもとに発注がなされることが一般的である。3次元モデルの検討においては、令和2年度のリクワイヤメントの趣旨を汲み、中期的な目標である「3次元データおよび2次元図面」を用いた工事発注を行うにあたっての課題等の検証を実施した。

対象工事は橋梁上部工事とし、3DAモデルを工事契約図書として試行した工事において確認された効果・課題について、設計者および工事業者の視点で整理した。対象工事の3DAモデルを図-1に示す。

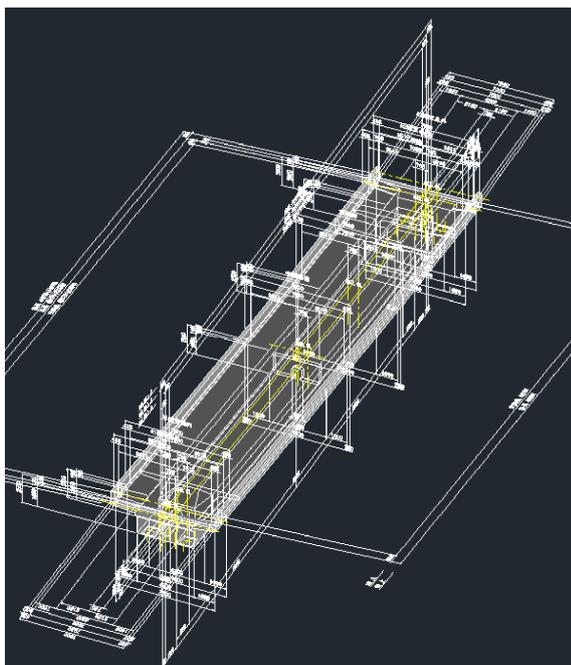


図-1 検証モデル（豊岡IC OFFランプ上部工）

(1) 効果・課題の抽出

定性評価における主な効果は図面間の不整合が回避できることが挙げられ、主な課題としては作成モデルの編集が困難なことやデータ容量の増加による作業効率の低下が挙げられる。

一方、定量的評価としては、活用により見込まれる削減人工とモデル作成により生じる追加人工を確認した。本検討では設計・施工段階で通常発生する人工よりも約7人工程の追加作業が生じる結果となった。後工程での活用効果を把握し、適切に3次元モデルを併用する必要がある。

(2) 改善手法の検討

改善手法の検討として、契約図書化を見据えたうえで2次元成果と3次元成果の棲み分け範囲を検討した。一般に作成事例が最も多いLOD300相当の3DAモデルを対象に、設計図面および工事数量としての3次元モデル活用可否および2次元図面の省略可否について検証した。

a) 設計図面

結果を表-2に示す。設計図面に関しては一般図程度までの図面が省略可能であることを確認した。詳細図のうち、特に配筋図については、鉄筋加工図が現場では求められるため、建設生産性を考慮するとLOD400相当のモデルを作成しても配筋図は省略不可能と考えられる。

表-2 設計図面の省略可否

No.	図面名称	活用可否	省略可否
1	位置図	△	×
2	橋梁一般図	○	○
3	上部工構造一般図	○	○
4	主桁断面詳細図	○	△
5	PC鋼材配置図	△	×
6	床版横締配置図	△	×
7	横桁横締配置図	△	×
8	主桁配筋図	△	×
9	横桁配筋図	△	×
10	A1橋台支承配置図	○	○

○：可能
△：部分的に可能
×：不可

b) 工事数量

本体構造については3次元モデルから数量算出が可能のため省略可能であると判断した。今回の事例では、コンクリートの数量について従前の2次元設計成果における工事数量との誤差が約0.03%程度であった。一方、付属物については、3次元モデルを作成する設計段階では付属物図面は参考図であるため、省略は不可能である。詳細度300で表現した3次元モデルでも構造高や数量の確認は可能であるため、活用可能と整理した。

3. ICT施工に活用できるシームレスな3次元データ受け渡しに関する検討

ICT技術の全面的な活用（土工）における施工用の3次元データ作成は、「情報化施工の部分的試行」として、主に施工会社で作成されており、施工会社側で大きな手間となっていた。

また、近年3次元モデルを設計段階で作成している事例が増えていることから、設計段階で作成した3次元モデルをICT施工に活用することで、ICT施工用3次元データ作成の効率化につながり、フロントローディングに寄与するか検証を実施した。

以下(1)～(4)に示す検討を実施した。

(1) ICT土工の実施状況ヒアリング

まず、施工業者を対象にICT土工の実態についてヒアリングを行った。ICT土工のメリットは極めて大きく、施工効率、施工管理、出来形・品質確保(オペレーターの技量によらず均一な施工可能)などで大きなメリットを実感できていると回答いただいた。一方、施工者で作成されるICT施工用3次元設計データ作成(2次元図面から必要な3次元データへの変換)に手間が生じている状況であることが指摘された。

(2) ICT土工データの確認

ICT土工用の3次元データとして登録されている情報を確認した。施工に必要な横断面の法肩、法尻の端点の3次元座標(x, y, z)というシンプルなデータから構成されたLandXML(サーフェイス)であった。ICT土工用の3次元データを図-2に示す。



図-2 ICT土工用データ

(3) 設計からICT土工に提供するデータによる検証

設計データがICT土工に活用可能なデータとするために、既存交換用データの課題を把握し、発注者、施工側、設計側で協議を行い、データ受け渡しによる検証を実施した。

検証にあたっては、以下a)～i)に示す検証を行った。

a) ICT施工用データの作成状況

これまでのICTデータ作成にあたっては、施工者が労力を掛け、2次元設計図からICT施工(情報化施工)用データを作成していた。

b) 既存のデータ交換ファイル形式の確認

既存の交換ファイル形式としては、LandXML1.2に準じた3次元設計データ交換標準(案)で示される、中心線形と横断形状を組み合わせたファイル交換形式(通称J-LandXML)で納品される。データ形式について図-3で示す。

c) 既存データ交換ファイルの課題

既存データ交換ファイルには、下記①～④の課題があり、データ交換が積極的に行われていないことが確認できた。

- ①: 対象外区間(複数線形, 交差点, 構造物等)が多い
- ②: 垂直など表現できない形状がある

表 2-2 各 CIM モデルの納品ファイル形式

CIM モデル	納品ファイル形式
線形モデル	LandXML ^{※2} 及びオリジナルファイル
土工形状モデル	LandXML ^{※2} 及びオリジナルファイル
地形モデル	LandXML ^{※2} 及びオリジナルファイル
構造物モデル	IFC 2x3 ^{※1} 及びオリジナルファイル
地質・土質モデル	オリジナルファイル
広域地形モデル	LandXML ^{※2} 及びオリジナルファイル
統合モデル	オリジナルファイル

※1 BuildingSMART JAPAN「土木モデルビュー定義」(利用可能となった場合は「土木モデルビュー定義 2018.1」)
 ※2 国土交通省国土技術政策総合研究所「LandXML1.2に準じた3次元設計データ交換標準(案) Ver.1.2 平成30年3月」

※現在はLandXML1.2に準じた3次元設計データ交換標準の運用ガイドライン(案) Ver.1.3
 出典: 国土交通省 大臣官房技術調査課 CIM事業における成果品作成の手引き(案)
 データ交換標準(案)の3次元設計データは、図4-1に示すようにAlignmentsを構成する子要素である中心線形(平面線形、縦断線形)と横断形状とを組み合わせてモデル化を行っている。

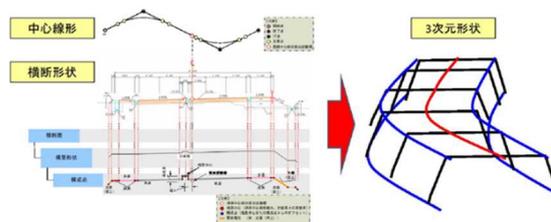


図 4-1 中心線形と横断形状とを組み合わせたスケルトンモデルのイメージ図
 出典: LandXML1.2に準じた3次元設計データ交換標準の運用ガイドライン(案) Ver.1.3

図-3 既存のデータ交換ファイル²⁾

- ③: 施工者で断面の追加や、別線形等の断面の追加や修正作業が必要など、施工用形状作成にあたり手間が生じる。
- ④: 横断形状等ICT土工相当のデータに対応するソフトウェアが限定的。

d) 課題解決方法の試行

c)で示した①～④の課題について、別のデータ形式であれば解決可能なかどうか、実際に作成した3次元モデルから、幅広く流通しているデータ形式として、LandXML(サーフェイスデータ)、csv(3Dモデル構成点)を抽出し、ICT建機に取り込み可能か試行した。

e) 試行用データ

試行にあたり、豊岡道路の豊岡ICを対象に、3次元データを受け渡した。モデルについて図-4に示す。

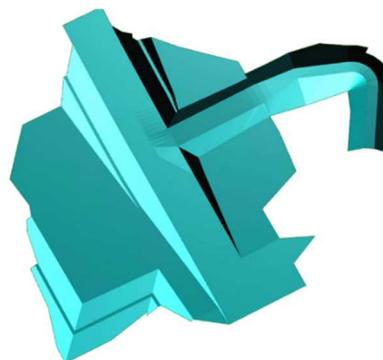


図4 試行用の3次元モデル

f) 試行①LandXML(サーフェイスデータ)

試行用データから設計業者A社によりLandXMLサーフェイスモデルを作成し、データを施工者に受け渡し、検証を行った。結果を図-5に示す。



図-5 試行①LandXML(サーフェイスデータ)

g) 試行②csv(3Dモデル構成点)

試行用データから設計業者B社によりcsv(3Dモデル構成点)を作成し、データを施工者に受け渡し、検証を行った。結果を図-6に示す。



図-6 試行②csv(3Dモデル構成点)

h) 試行結果

試行①LandXMLおよび試行②csvの共通する課題としてサーフェイス構築時の課題(不要面が作成される)が確認された。これらは、TINを構成しない面を構築する等のプログラムルールがなく、意図していない範囲までサーフェイスが形成されるものと考えられる。



図-7 LandXML, csvに限らない課題

csvにおいては、上記に加え構成点が複雑かつ離れた区間で正確に表現されなかった。

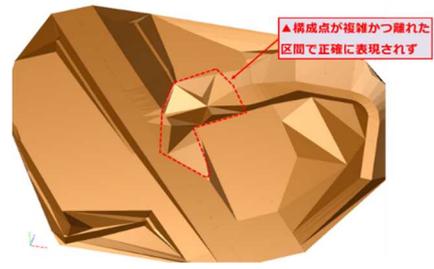


図-8 csvの課題

i) 試行結果の整理

試行モデルから広く活用可能なデータを作成・試行することによりICT施工に活用できるデータの特徴を図-9の通り整理した。ICT施工に活用できるシームレスな3次元データ受け渡しに向けて特色に応じた交換ファイル形式を用いることが望まれる。

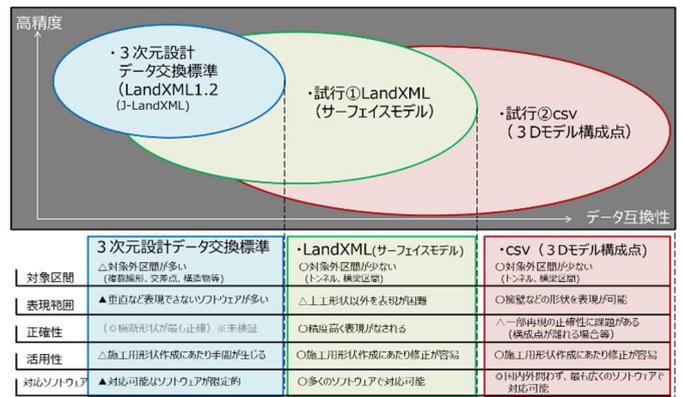


図-9 データ形式の整理

(4) 設計3次元モデルデータ提供による効果ヒアリング

設計3次元モデルデータ提供により後工程でどのような効果が得られるかについて施工業者へヒアリングを実施し、今後本検討を深度化を図る上での要点(課題や効果、検証方針)を抽出した。

意見としては、

- ・契約当初の段階で3次元データがもらえれば完成形状の理解が早まる、必要な計測計画の確認が早まる等、メリットが大きい。
- ・施工準備段階においては、発注ロット単位のモデルがあるとありがたい。頂いた3次元モデルがそのままICT建機に使えるとありがたい。

等いただいた。施工業者側も大きなメリットを感じている状況であり、ICT建機にそのまま受け渡し可能なデータ形式の成果を望んでいることが改めて確認できた。今後の検証には本ヒアリング内容等も反映させていく。

4. 3次元データを活用した道路台帳等の整備に向けた検討

(1) 目的

北近畿豊岡自動車道 日高豊岡南道路の開通に合わせ、全線の3次元データを取得し、100m~200mの3D道路台帳を試作して、活用方策を検証して一元管理できるような手法を検討した。検討にあたっては、検索性・操作性・機能性を検証して構築し、3次元データの良いところを伸ばすことに着眼し、将来目的としては、下記①~④を将来的な目的として検討した。

- ①：脆弱な工事完成図書管理の代替手段の構築
- ②：3D道路台帳機能要件抽出
- ③：有事（災害，事故）対応の迅速化
- ④：将来展開の想定

(2) 検討手順

検討にあたっては、下図に示す検討を実施した。

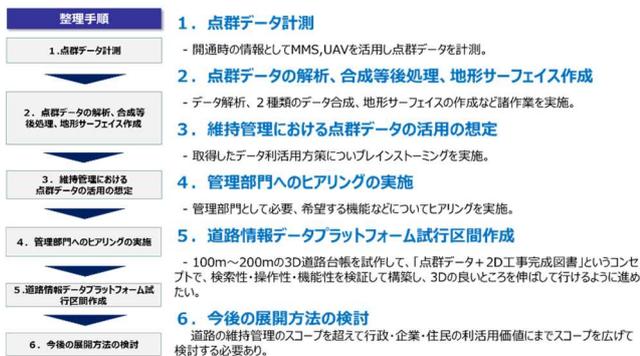


図-10 検討手順

(3) 調査実施

a) 調査概要

日高豊岡南道路L6. 1kmのうちトンネル区間(約2.9km)を除く約3.2km区間について、以降に示す調査を実施した。

b) 飛行型計測機(UAV)によるレーザー計測

調査：2020年10月27日~10月28日(作業時間約1.5日)



図-11 点群データ計測：UAVレーザー計測

c) 走行型計測機(MMS)によるレーザー計測

調査：2020年11月5日(作業時間約0.5日)

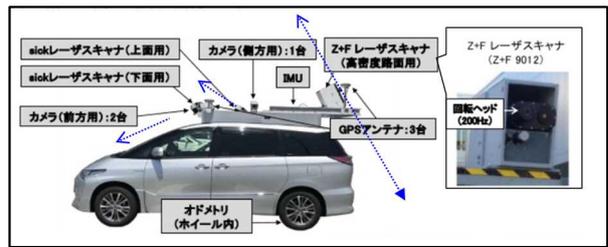


図-12 点群データ計測：MMSレーザー計測

d) 取得した点群データの諸元

国土地理院車載写真レーザ測位システムを用いた3次元測量マニュアル(案)に準拠しデータ整理を行った。

(4) 管理に向け作成した成果

a) 点群データ

UAVとMMSによって取得した点群と画像を合成した点群データ成果を作成した。なお、データからは距離、高低差、面積、横断(形状が不安定)等の抽出が可能である。

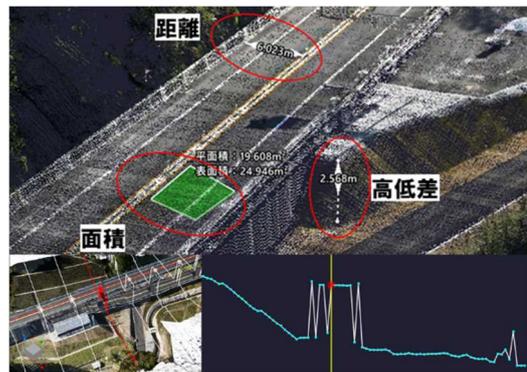


図-13 点群データ

b) メッシュデータ

合成した点群データから地形形状のみを取得し、メッシュ状(TIN: triangulated irregular network)成果を作成した。なお、作成したメッシュデータは安定した横断形状の出力が可能である。

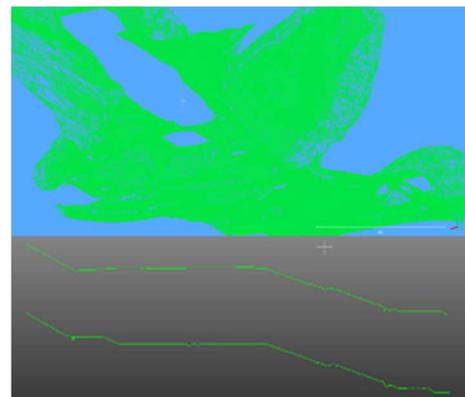


図-14 メッシュデータ

c) 3Dラインデータ

上述の点群データ及びメッシュデータには、データ容量が非常に大きいという欠点がある。日常的に使いやすくするために、合成した点群データから模式的に3次元の線状の成果を汎用CAD (AutoCAD) により作成した。なお、道路施設別にグループ化した線情報をクリックすると任意のフォルダが立ち上がり、内容の確認や追加データの保存が可能になるよう作成した。

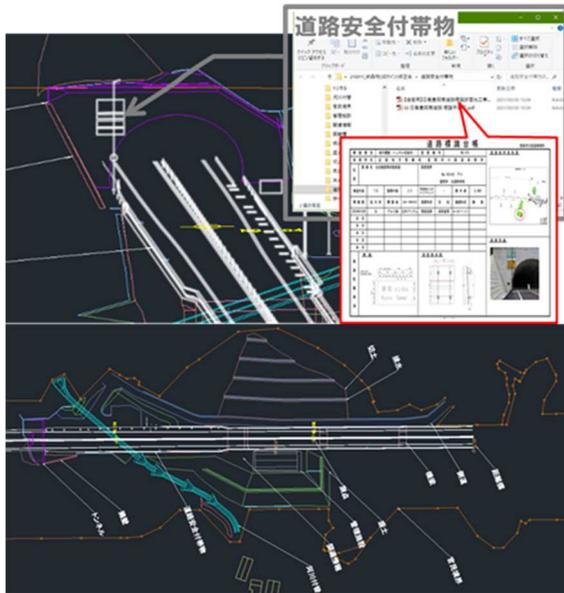


図-15 3Dラインデータ

5. まとめと今後の取り組み方針

今回報告した項目について、今後の取り組み方針を以下に示す。

(1) 建設生産性向上のための3次元データの契約図書化の検討

2021年(令和3年)3月に、「3次元モデル成果物作成要領(案)」が策定され、その中で3次元モデルから契約図書のための2次元図面の作成方法等記載されており、3次元モデルをベースにした2次元図面による契約図書

化に向け、一定方針が定められた。次の段階である、3次元モデル+2次元図面での契約図書化に向け、2020年度(R2年度)は橋梁上部工で試行的に検討を行ったが、今後は土工工事等対象工種を増やして検討を深度化していく予定である。

(2) ICT施工に活用できるシームレスな3次元データ

受け渡しに関する検討

今後は、土工部や構造物等ユースケース別で検証を行い、深度化させる。また、施工者側の流通ソフトの調査を行い、受け渡し用3次元モデル設計データ形式の検討を行う。本課題はソフトウェアのアップデートによって解消されるものもあるため、各ソフトウェアの進展や対応状況についても比較とりまとめを実施する。様々な課題点があるが、将来的な課題解消に向け検討を進めていく一方で、現状で対応可能な合理的な方法を整理し検証していく。

(3) 3次元データを活用した道路台帳等の整備に向けた検討

2020年度(令和2年度)で試行的に作成した3次元道路台帳(案)をもって、維持管理担当にヒアリングを実施した。高架下や埋設物の情報を追加すべき等意見があったので、今後はヒアリングで確認した課題点の検証・反映や、実際に現場で試行的に活用しながら、新たな課題点を抽出し、より現場で活用しやすくなるようアップデートを行っていく。また、今回作成した3Dラインデータには、手作業がかなり多く、熟練するまで作成に時間を要するという課題があるため、より簡易に作成できるような手法についても検討を続けていく。

参考文献

- 1)国土交通省：令和5年度のBIM/CIM原則適用に向けた進め方(第5回BIM/CIM推進委員会より抜粋)
- 2)国土交通省：LandXML1.2に準じた3次元設計データ交換標準(案)Ver1.3 令和2年3月

ロボット除草機による堤防除草の効率化について

今吉 紘頌¹

¹近畿地方整備局 淀川河川事務所 調査課 (〒573-1191大阪府枚方市新町2-2-10)

現在福井河川国道事務所では河川巡視や堤防点検などによる河川の状態把握のための環境整備及び堤体の保全を目的に、堤防の除草を行っている。堤防除草については機械化等が進められているが、費用の削減をはじめとした更なる効率化が求められている。

そこで本稿では、費用削減や省力化といった堤防除草作業の効率化の試みとして、自律走行型のロボット除草機を九頭竜川水系の既設堤防や堤防拡築事業区間に試験導入し、費用削減効果等の観点から堤防除草作業への適用の可能性について中間報告としてとりまとめた。

キーワード 新技術, 維持管理, コスト削減

1. 序論

国土交通省では、国土交通省河川砂防技術基準維持管理編（河川編）に基づき、堤防等の河川管理施設を定期的に、あるいは出水や地震等の大きな外力の作用後に点検し、機能状態を評価して必要な対策を実施しており¹、福井河川国道事務所においても、九頭竜川水系及び北川水系において、河川管理施設の点検、評価を行っている。河川管理施設の中でも堤防の点検を適切に行うためには、環境整備として堤防の除草を行う必要があり²、福井河川国道事務所においては、維持修繕費の大部分を堤防除草が占めている。維持修繕費は、今後も労務単価の上昇³や、増税、施設の老朽化等により増大が見込まれるため、その大部分を占める堤防除草の効率化や、戦略的なコスト削減の推進は非常に重要である。

2016年度、河川維持管理計画の見直しに伴い、近畿地方整備局管内では堤防除草のコスト削減WGが開催され、短期的なコスト削減対策として、「遠隔草刈機による除草」、「堆肥化」、「ロール化」、「刈放し」、「野焼き」、「動物除草」等の導入、また、中・長期的なコスト削減対策として「低草丈草種による植生転換」の試行が位置づけられた⁴。福井河川国道事務所においても、上記のコスト削減対策を行っており、ロール化では約8%のコスト削減を実現した⁵。一方で、先述のとおり今後も除草コストの増大が予測されるため、更なるコスト削減対策が必要である。

ロボット除草機による除草（以下“ロボット除草”）は既に新技術として高速道路⁶やサッカーコートなどで導入されているものの、堤防においては導入されていなかった。そこで、福井河川国道事務所は全国初の取り組みとして、九頭竜川水系の堤防において、ロボット除草を

行った。本稿では、ロボット除草と従来人が機械を操作して行ってきた除草（以下“人力除草”）について治水性、経済性、安全性の観点から比較・整理を行った。

2. 試行概要と試行方法

2-1. ロボット除草機の概要

ロボット除草機（図1）は、遠隔操縦式とは異なり、GPSを活用した無人自律走行を基本としており、事前に設定した作業範囲を全自動で駆動し、除草を行うものである。天候や時間にかかわらず作業可能であるため、除草作業を効率的に実施することが出来る。

2-2. 試行地点及び試行範囲

九頭竜川は、その源を福井県と岐阜県の県境の油坂峠に発し、その流域は九頭竜川、日野川、足羽川の三川に大きく区分される。福井河川国道事務所では、九頭竜川の河口から福井県吉田郡永平寺町までの31.2kmとその支川日野川の九頭竜川合流点から福井県福井市下江守町ま



図1 ロボット除草機

での11.0kmを管理している(図2)。

本試行では図3に示す3地点においてロボット除草機を設置した。各地点の特徴及び除草の目的については以下のとおりである。

- ①②: 新設堤防であり、堤防養生工として稼働する。
- ③: 既設堤防であり、堤防除草工として稼働する。

また、ロボット除草機1台で1日に作業可能な範囲は約3,500㎡のため、試行面積も各地点約3,500㎡とした。地点①は1台、地点②及び③は上流側と下流側に1台ずつ設置した。

2-3. 試行期間

芝の休眠期は芝の生長が遅くなり、作業効率が悪く検証材料として有意でないと考えられたため、2020年4月1日～2020年11月30日を試行期間とし、期間中は24時間連続稼働とした。なお、大きな出水が予想される際には、故障等の不具合を防ぐため、事前に回収し出水後再度設置することで対応した。

2-4. 環境整備

ロボット除草機は本体に内蔵しているバッテリー(リチウムイオンバッテリー)をチャージステーションにて定期的に充電して作業を行うため、作業範囲近辺にチャージステーションを用意する必要がある。電源は商用を基本とし、商用が用意できない地点については太陽光発電(図4)で対応した。さらにロボット除草機はガイドワイヤーで囲まれた範囲内をランダムに移動し除草を行うため、その敷設についても事前に実施した。

また、ロボット除草機は草丈が10cmを超える箇所での使用が難しいため、草丈が10cmを超えていた地点③では、適切な草丈になるよう、事前に除草を行った。

2-5. その他

一般的に堤防除草は除草、刈草の集草、刈草の運搬及び処分を1セットとして行うが、ロボット除草機は24時間連続稼働により、非常に高頻度で除草を行うことが可能であるため、長大な刈草が発生しないといった特徴がある。そのため刈草については集草や運搬、処分は行わず刈放しとした。

3. 結果及び考察

3-1. 治水性について

堤防は降雨等により損傷が発生する可能性があるが、それを防ぐためには、植生の維持が必要である。堤防の植生は図5に示す5タイプに分類されている。その中に

おいてシバタイプは耐侵食性が高く、草丈が低いため、堤防植生として望ましいとされている。一方でイネ科を



図2 九頭竜川流域図

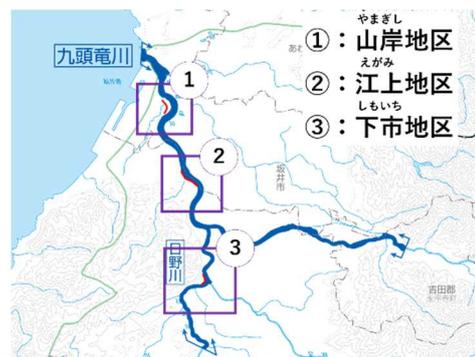


図3 ロボット除草機設置箇所

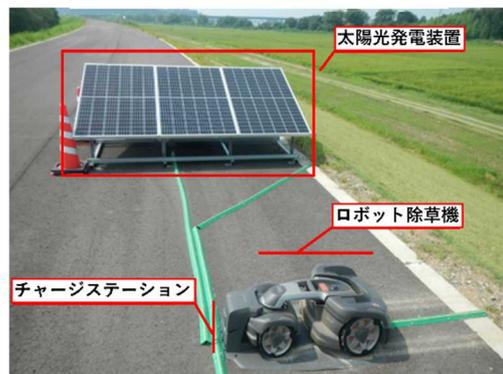


図4 チャージステーションと太陽光発電装置

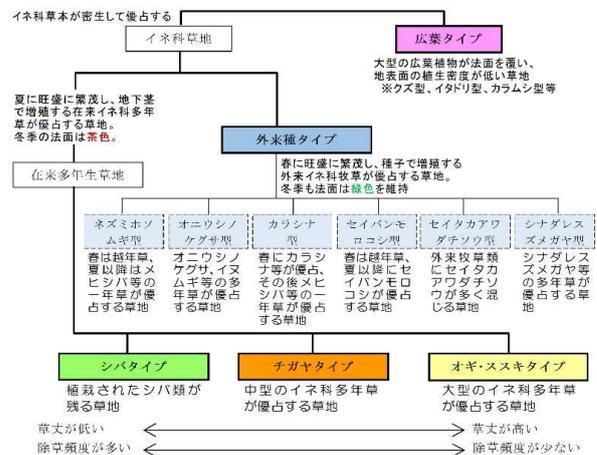


図5 堤防植生タイプの区分

はじめとする外来種タイプは耐侵食性が低く、草丈も高いことから堤防植生として望ましくないとされている⁷⁾。

本試行地点の植生は全てシバタイプが主であるため、本節ではシバタイプ以外の植生の侵入状況を治水性を評価する指標とした。さらに堤防点検の観点から、堤防で発生している異常の発見のしやすさについても治水性を評価する指標とした。

各地点の除草効果と除草状況を表1及び図6に示した。草丈については、概ね均一に刈られていた。

堤防の異常については、ロボット除草機では常に草丈が低い状態を維持できることから全地点で問題なく確認することができた。

芝の生育については、地点①及び③下流においてムラや裸地化が確認された。これはランダム除草により特定の箇所が重点的に刈り取られたためと考えられる。

別種の侵入については、地点③以外においてイネ科の植物の侵入が見られ、地際を這う形状で開花・結実状況が確認された。これはロボット除草機の刈刃の位置では、地際近くを這う植物を刈り取ることができないためだと考えられる。また、侵入したイネ科植物の下部においてシバ枯れが確認されており、別種の侵入・繁茂による芝の生育への影響が見られた。

以上の結果から、ロボット除草機の活用によって堤防の異常については確認が容易となったものの、必要以上に同一箇所を除草しないように、同一地点の除草時間を減らす等の工夫が必要である。またロボット除草機ではシバ以外の侵入を完全に防ぐことはできないため、伐根除草や別途機械による除草が必要である。

3-2. 経済性について

本節では、堤防養生及び堤防除草について、ロボット除草機を導入することによる総費用と、従来の人力除草による総費用の比較を経済性の項目として評価した。ロボット除草と人力除草について1000㎡あたりにかかるコストを比較した結果を図7に示した。ロボット除草機については、その電源が商用と太陽光発電の2種類としているため、各々の結果を記載した（以下“商用”及び“太陽光”）。なお従来の堤防養生費用は渡良瀬川の実績を基に算出しており、堤防除草費用は九頭竜川の実績から算出している。労務単価は2020年度のものに統一した。

堤防養生は3年間実施するため、3年間でかかる総費用を比較した。その結果商用による堤防養生が、人力による堤防養生と比較し、安価であることが分かった。その要因として、ロボット除草機は導入に必要となる初期費用（以下“イニシャルコスト”）がかかるものの、年間の維持費（以下“ランニングコスト”）は人力と比較し安価であるため、総費用としては商用の方が、人力よりも経済性で優位となったと考えられた。なお太陽光につ

いては、発電装置が高価であったため、人力と比較し経済性で劣位となった。

次に堤防除草については、Ⅰ：肩掛け式、Ⅱ：ハンドガイド式、Ⅲ：遠隔操縦式との比較を行った。その結果Ⅰとの比較では商用は6年目、太陽光は10年目で安価に転じることが判明した。しかしⅡ、Ⅲとの費用が逆転す

表1 ロボット除草機による除草効果

地点 項目	①	②	③下流	③上流
草丈	均一	均一	均一	均一
堤防の異常	確認できる	確認できる	確認できる	確認できる
芝の生育	ムラがある	良好	一部裸地化	良好
別種の侵入	多く見られる	散見される	散見される	見られない



図6 除草状況

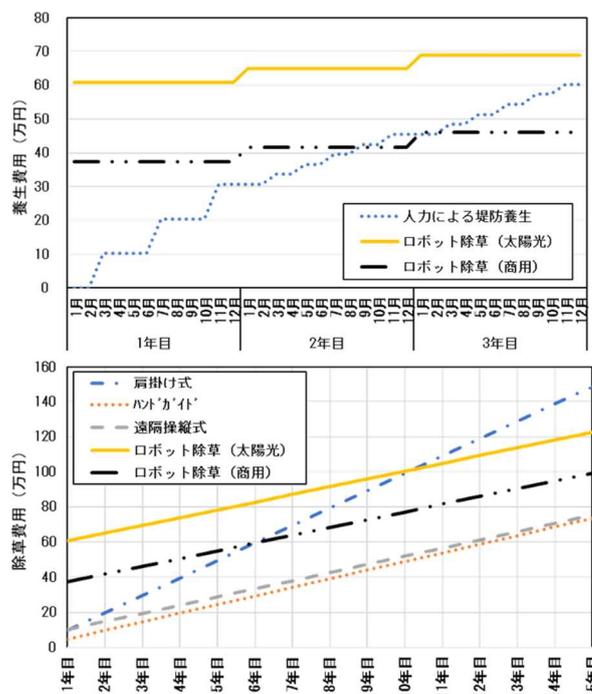


図7 1000㎡あたりのコスト比較
(上：堤防養生 下：堤防除草)

るのは70年以上かかることが判明した。これはロボット除草機のイニシャルコストが高価で、ランニングコストにはほとんど差がないことから、経済性で劣位となったと考えられた。なおⅢについても1台あたりのイニシャルコストは高額であるが、1台の遠隔操縦式の作業実施範囲が約120万㎡であるため⁸⁾、単位面積あたりではロボット除草機と比較し非常に安価となっている。また、図8に示すように、福井河川国道事務所管内での堤防除草はⅡとⅢが全体の75%以上を占めている⁹⁾。したがって、経済性の観点からは従来の人力除草に優位性があると考えられる。

以上の結果を踏まえると、ロボット除草が人力除草と比較し経済的に劣位であった。理由は以下の2つであると考えられる。

- (1) ロボット除草機の運用範囲が狭い(約3,500㎡)
- (2) イニシャルコストが高価

(2)については、本体料金の他に、チャージステーションやガイドワイヤーの敷設費用も含まれている。

そこでロボット除草機の経済的な活用方法として以下の2つを提案する。

- 〈1〉複数の作業エリアを設けて、定期的にローテーションさせることで、単位面積あたりのコストを削減する
- 〈2〉給電方式を充電式からバッテリー交換式にすることで、イニシャルコストを削減する

〈1〉について、ロボット除草機は約3,500㎡を作業範囲として設定しているが、3-1でも確認できるように堤防点検において芝の1-2cm程度の生長であれば大きな影響はないと考えられる。そこで最低限の草丈を維持できる頻度で除草ができるよう、複数エリアをローテーションさせる方法である。なお、配置換えを行う際に必要な人員は巡視業務でまかなうことを想定しているため、これに関する費用は計上していない。〈2〉について、ロボット除草機はチャージステーションにおいて、商用電源や太陽光発電による充電を基本としているが、〈1〉のローテーション方式にあわせて、配置換えを行う際に別途充電していたバッテリーに交換することで、チャージステーションの設置費用を削減する方法である。これら二つの方法を実施した場合のコスト比較を図9に示す。なおローテーションは1台当たり月10箇所とし計35,000㎡/月、バッテリーは毎日交換を主とし、24時間分(1000Wh)の蓄電が可能なものとした。この結果、堤防養生及び堤防除草どちらもロボット除草機が経済的に優位である結果となった。なお、バッテリー交換にかかる人工や、傾斜のある堤防において大容量バッテリーを搭載時の稼働状況については今後確認する必要がある。

3-3. 安全性について

本節では、ロボット除草機の導入において発生した不

具合を整理し、導入にあたっての条件や安全性等について評価した。ロボット除草機の導入によって発生した不具合を図10に示した。ガイドワイヤー関係、除草範囲周辺の草や土の巻き込み、段差に乗り上げるといった不具合が全体の8割以上を占める結果となった。また、全ての不具合発生時にロボット除草機は非常停止したため、

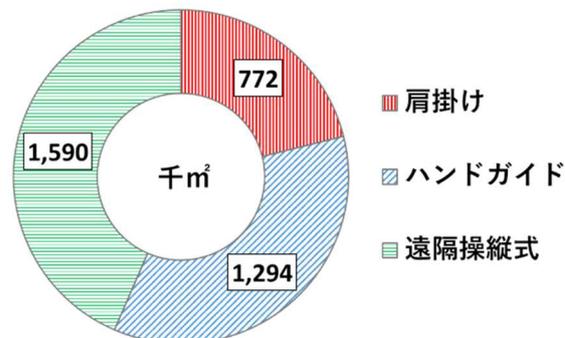


図8 除草手法割合

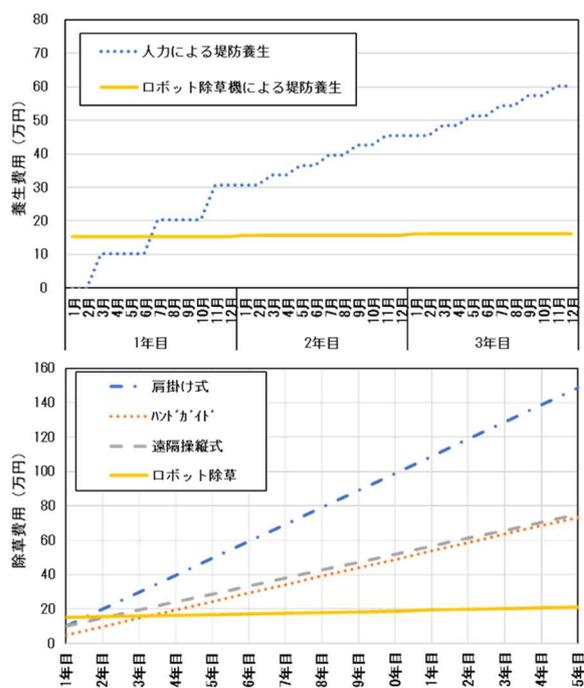


図9 1000㎡あたりのコスト比較 (改善案)
(上: 堤防養生 下: 堤防除草)

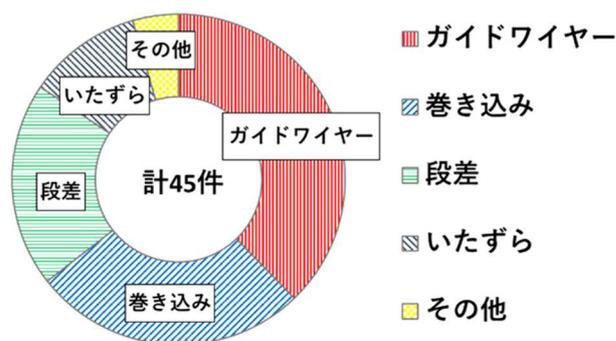


図10 不具合一覧

人身や器物への影響は確認されず、安全性については問題ないと考えられた。なおいたずらによる不具合が少なかった要因は対象地点周辺の人口が都市部と比較が少ないことが考えられる。

地点別での不具合発生回数を図11に示した。地点①・②での不具合発生回数が全体の75%程度を占めており、地点③では少なかった。これは地点③は他の2地点と比較し、周辺に草丈の短い草が多く、巻き込みによる不具合が一切なかったことが要因と考えられる。

これらの結果から、ロボット除草機の運用における不具合は除草範囲周辺の利用状況や植生によるところが大きく、ロボット除草機の導入にあたっては現場の状況を事前に調査し、検討する必要があると考えられる。

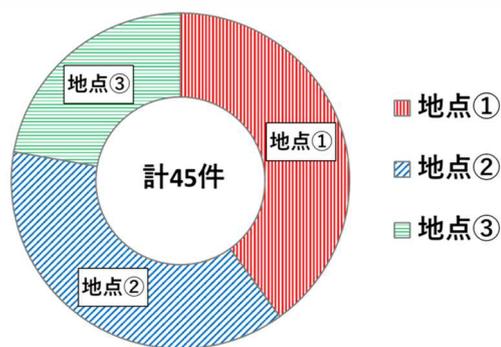


図11 地点別不具合一覧

を行い、経済性と治水性の観点から最適な除草頻度を検証する予定である。

4. 結論

堤防除草の効率化を目的に除草ロボットを導入し、従来の人力除草との比較を行った。その結果を以下に示す。

- 堤防の草丈を均一に保ち、堤防の異常の確認は容易となった。しかし必要以上に同一箇所を除草することでムラや裸地化が発生することがあるため、作業時間の設定等の工夫が必要である。
- ロボット除草機による堤防除草ではシバ以外の植生の侵入を完全に防ぐことはできず、人力での抜根除草が必要となる。
- 経済性の観点において商用と太陽光では、商用の方が優位である。
- 小規模な範囲への適用では、人力除草と比較し経済的ではないものの、大容量バッテリーの搭載や除草のローテーション化によってコストを削減できる可能性がある。
- ロボット除草機の運用にあたって対人への傷害は発生せず、安全性は確認された。
- ロボット除草機の導入にあたっては現場の状況を事前に調査し、検討する必要がある。

5. 今後の方針

現在も本試行は継続中であり、今後は同一箇所の除草頻度を低下させ、今回行ったロボット除草との結果比較

6. 謝辞

最後に、本稿の執筆にあたってロボット除草機による効果検証に御協力いただいた大勢の皆様へ謝意を表す。

7. 参考文献

- 1) 国土交通省 水管理・国土保全局 河川環境課 (2019) : 堤防等河川管理施設及び河道の点検・評価要領, pp.01.
- 2) 国土交通省 水管理・国土保全局 (2011) : 河川砂防技術基準維持管理編(河川編), pp.32.
- 3) 国土交通省 土地・建設産業局 建設市場整備課 (2019) : 新労務単価は公表以降最高に!, 記者発表資料.
- 4) 国土交通省 近畿地方整備局HP 河川維持管理計画, <https://www-1.kkr.mlit.go.jp/river/kanri/genjyou.html> (2020/1/22閲覧) .
- 5) 国土交通省 近畿地方整備局 福井河川国道事務所 (2020) : 令和元年度九頭竜川河川管理レポート.
- 6) 公益社団法人土木学会 (2020) : 高速道路へのロボット芝刈機の導入, 土木学会誌 10月号, pp.38.
- 7) 佐々木寧ら (2000) : 堤防植生の特性と堤防植生管理計画, (財)河川環境総合研究所報告第6号.
- 8) 令和2年度福井河川国道事務所管内堤防維持作業実績

3次元点群データを用いた森林管理

坪倉 真

林野庁 近畿中国森林管理局 森林技術・支援センター (〒718-0003 岡山県新見市高尾786-1)

森林調査において、正確かつ効率的な調査手法の確立を目的として、3次元点群データに着目して、様々なICT機器から取得した3次元点群データを、フリーソフトであるQGISを用いて解析を行い、比較し、精度検証を行った。

地上型三次元レーザースキャナにより取得したデータ、UAVによる空撮写真の解析により取得したデータ、航空レーザー計測により取得したデータ、それぞれの特性を組み合わせる結果、調査対象の森林の状態を正確に把握する事が出来た。このことにより、森林の目標林型の設定や、森林づくりの構想段階において、有効な資料として活用可能であると考えられる。

キーワード 3次元点群データ, ICT機器, UAV, 森林調査, 省力化,

1. はじめに

戦後造成された人工林の本格的な利用期に突入している現在、それを利用するためには精度の高い森林基礎データが必要となっている。

そのような中、林業成長産業化に向けた、林業イノベーションすなわち林業の新たな基軸を構築することも重要な課題である。

近畿中国森林管理局 森林技術・支援センターでは、2018年度、地上型三次元レーザースキャナ(以下「TLS」という)の精度検証を行い、樹高補正が必要であるとの結論に至った。2019年度は、TLSとUAVを連携させることにより、正確な樹高データの取得に取り組んだ。

今回は、さらに発展させ3次元点群データの活用に着目して、より正確に、また、調査にかかるコスト面についても考慮しながら検証を行った。

2. 調査手法

(1) 3次元点群データの取得環境

森林管理のための3次元点群データの取得環境は、航空レーザー計測によって得られるDSMと呼ばれる樹幹上部の表層面のLiDARデータ、DEMと呼ばれる地表面のLiDARデータ、woodinfo社の「3DWalker」という歩行式のTLSを用いて計測を行う事により得られるLiDARデータを取得した。図-1

また、DJI社のFANTOM4 PROというUAVにより得られる連続空撮写真をAgisoft社の「Metashape」というソフト上で写真データから3次元点群データに変換する事により得られる「SfMデータ」の2種類の3次元点群データを取得した。図-2



図-1 TLSにより取得した3次元点群データ(LiDAR)



図-2 UAVにより取得した3次元点群データ(SfM)

(2) 3次元点群データ調査方法(機器)の比較

それぞれの機器から得られるデータの特徴は下表のとおりとなる。表-1

地表データ, 樹冠上部データ, 樹種の判別, 胸高直径(山側地際から1.2mの高さの直径), 下層木の状況等, いずれの機器も, 単体でカバーできる範囲には限界があり, それぞれの長所を組み合わせながら利用することで, より詳細な森林情報の把握が可能となる。

表-1 調査方法(機器)の比較

	航空レーザー計測	地上レーザー スキャナによる計測	UAV空撮写真の 3次元解析
概算経費(円)	3600万円/1万ha	500万円/1基	20万円/1基+ 解析ソフト50万円
地表データ	○	○	×
樹冠上部データ	○	×	○
樹種判別	△	×	△
胸高直径	×	○	×
樹高	○	△	×
下層木情報	×	○	×
計測範囲	広大	1ha以下	数10ha

標準的な箇所の現地調査を行い, 全体面積に按分する従来の調査と比べて精度の高いデータを効率的に取得可能となった。

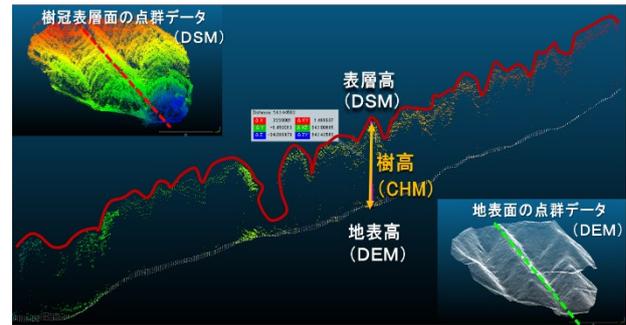


図-4 樹高算出のイメージ(DSM - DEM = CHM)

(2) 樹高, 抽出本数データの比較(航空レーザー, UAV空撮, 地上レーザースキャナ)

岡山県新見市内の国有林における様々な林分において樹高, 抽出本数データを比較した。

a) 水昌山国有林 48年生ヒノキ林分 図-5

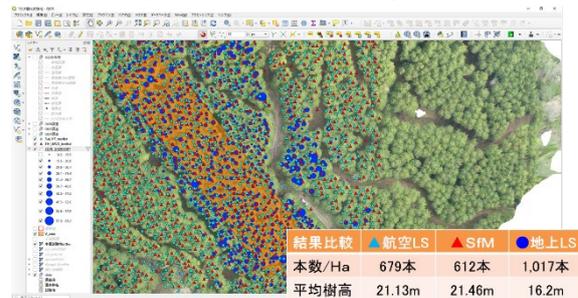


図-5 48年生ヒノキ林分のデータ比較

3. 取得データの活用

取得した3次元点群データはフリーソフトのQGISで様々な解析を行い, 森林情報を得ることができた。

(1) 樹高と立木本数の抽出(航空レーザー計測データ)

a) 立木本数の計測

表層高(DSM)の3次元点群データをQGISのプラグイン機能の1つであるFUSIONを使用して樹頂点を自動抽出し, 立木本数を求めた。図-3

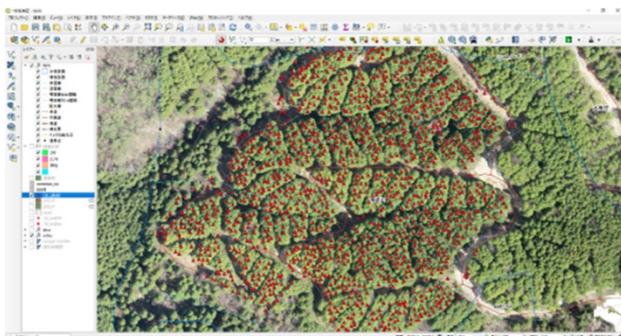


図-3 QGISによる樹頂点の抽出(赤丸が抽出した樹頂点)

b) 樹高の算出

抽出した樹頂点の表層高(DSM)から地表高(DEM)を引いてQGIS上で自動計算させて立木1本1本の樹高を求めた。図-4

これにより広範囲の樹高と本数を計測することができ,

b) 小吹山国有林 91年生スギ・ヒノキ林分 図-6

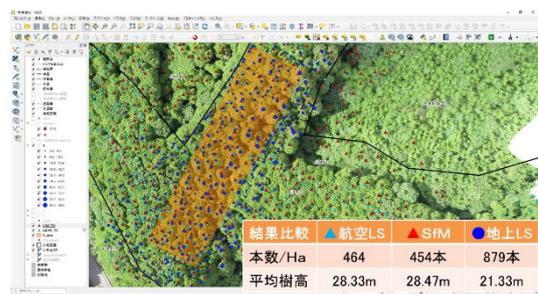


図-6 91年生スギ・ヒノキ林分のデータ比較

c) 釜谷国有林 28年生スギ・ヒノキ林分 図-7

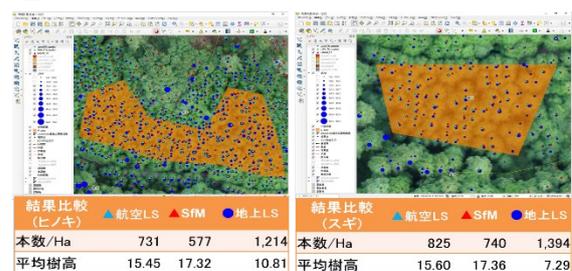


図-7 28年生スギ・ヒノキ林分のデータ比較

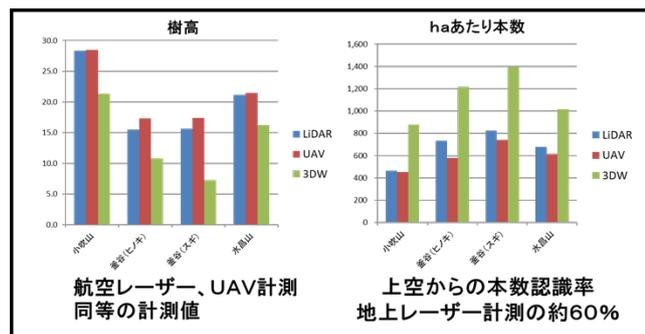
d) 精度と課題

図-5, 図-6, 図-7の結果をまとめると表-2のとおりとなる。

樹高に関しては、航空レーザー計測とUAVによる計測では同等の計測値が出ており、地上レーザースキャナによる計測値は約4割低く樹高が計測される事がわかった。

haあたりの本数では、UAVや航空レーザーなど上空からの情報は、実測値に近い地上レーザースキャナ計測による本数の約60%の認識率となった。

表-2 データ比較まとめ



樹高計測精度に関しては、航空レーザー計測、UAV空撮データとも、誤差、ばらつきは少なく十分に使用できるものと判断できる。

課題としては、UAV空撮により抽出された樹頂点は、航空レーザー計測に比べ抽出漏れが多い傾向にあり、GIS上でのオルソ画像との目視により樹頂点を確認し、補完する必要がある。

森林の計測にあたっては、入手コストは高いが、比較的变化の少ない航空レーザー計測による地表面のDEMデータを中長期的に使用しながら、成長等で年々変化する森林の表層面は、比較的安価なUAV空撮により計測することで十分対応できると考えられる。

4. これからの森林計測

これまでの検証結果を踏まえて実務への応用について考察した。

(1) UAV空撮データと航空レーザー (DEM) データの活用

a) UAVによる空撮データと航空レーザーによる地表 (DEM) データによる森林資源量の算出

上空から得られる空撮データの解析から樹高と本数を把握し、本数については先ほど導き出された補正係数0.6を与えて補正を行うことで森林の資源量を大まかに把握することが可能となる。 図-8

b) 林分密度管理図の曲線式を使った森林資源量の算出

a)により算出したhaあたり本数と、上層木平均樹高の

値を、一般的に用いられる林分密度管理図の曲線式に代入してhaあたりの材積を算出した。

図-4の水山山国有林48年生ヒノキ林分で見ると、haあたり算出本数1,021本と平均樹高21.46mを代入して計算したところ、haあたり材積が584.13m³となった。実測値は530.28m³であり、約90%の精度となった。 図-9

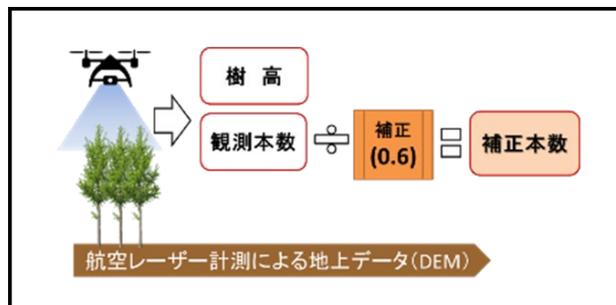
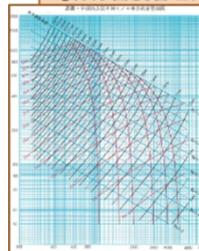


図-8 UAV空撮データと航空レーザーDEMによる森林計測概念図

上層木平均樹高と本数密度からの資源量算出
[林分密度管理図の曲線式より、現実に近い蓄積が導き出せるか]



● $V = (0.042236 H^{-1.190866} + 12211.7 H^{-3.220638} / N)^{-1}$
 ✓ N: haあたり本数(本)・・・1,021本/ha
 ✓ H: 上層木平均樹高(m)・・・21.46m
 ● V: haあたり幹材積・・・584.13m³/ha
 [実測値・・・530.28m³/ha]

図-9 林分密度管理図曲線式の応用

UAVによる空撮から得られるデータのみで森林資源量の大まかな把握が可能となり、森林計画樹立時などにおいて有効に活用できるものと考えられる。

(2) QGIS上での林分密度管理

平均樹高の値と生立本数により、林分密度管理の判断を行うことが出来る。区域面積2.73ha、haあたり抽出本数に係数0.6を代入し625本、上層木平均樹高23.54m、そこから導き出された相対幹距比は17%となった。

相対幹距比は20%以上が理想的とされているので、少し込み入っている林分であると判断できる。 図-10

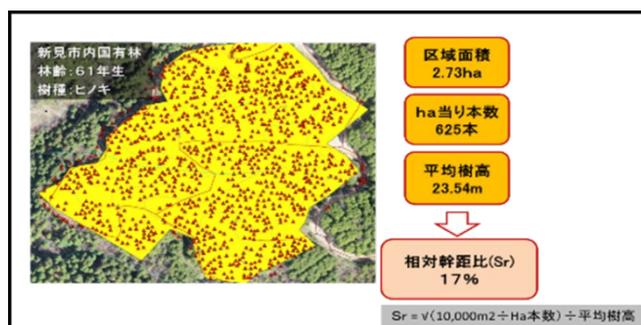


図-10 QGIS上での林分密度管理の実例

(3) QGIS上での地位判定

区域内の平均樹高、樹種、林齢の属性情報から、収穫予想表を用いて詳細な地位判定を広範囲で行う事が可能となる。図-11

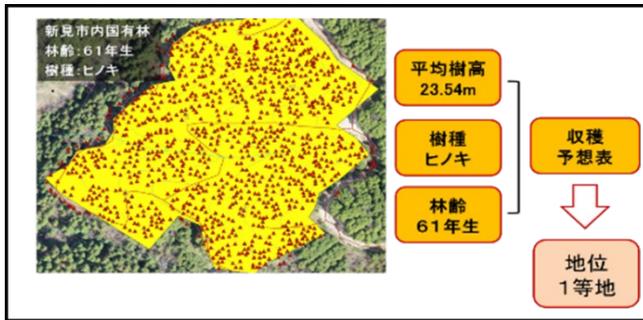


図-11 QGIS 上での地位判定の実例

ランスがとれたサプライチェーンの構築の基礎となるものと考えられる。

今後も、林業の成長産業化に向けて技術開発を進めて参りたい。図-13



図-13 実際の森林調査風景

(4) QGIS上での地位判定を活用したゾーニング

QGIS上で1本1本の樹高を視覚的に色分けし、広範囲にわたり地位を判定することで、「木材生産林」とするか、または公益的機能も視野に入れた「針広混交林」に導くかなど、ゾーニングの判断根拠となり得る。図-12

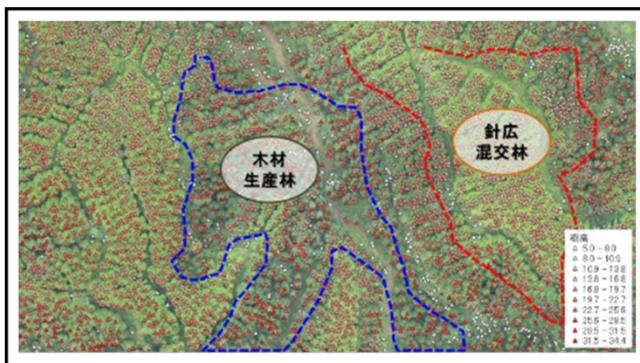


図-12 QGIS 上でのゾーニングの実例

5. まとめ

今回の検証結果から、3次元点群データの活用により、現地調査にかかる負担を大幅に軽減できるとの結論に至った。

航空レーザー計測の成果等は新たな森林経営管理制度を進めるうえでの判断材料として、公的機関がこのようなデータを整備し、そのデータを公開することにより森林調査分野でのICT化が達成できるものと考えられる。

そのためには、機器やデータを扱える人材が必要であり、利用方法等を普及する等のソフト的な取組も同時に進める必要がある。

信頼性の高い森林資源情報を管理することで、需給バ

ETC2.0を活用した新型コロナ禍における 道路交通への影響の把握について

小山 基史¹・金崎 智也²

¹近畿地方整備局 道路部 道路計画第二課 (〒540-8586大阪府大阪市中央区大手前1-5-44)

²一般社団法人システム科学研究所 調査研究部 研究員
(〒604-8223京都府京都市中京区新町通四条上ル小結棚町428番地新町アイエスビル)

2020年4月、新型コロナウイルス感染症の拡大防止のため全国に緊急事態宣言が発令され、移動の自粛要請が行われ大規模かつ長期的な交通需要の減少が発生した。これに伴う道路交通の速度変化は、交通需要調整により渋滞緩和を目指す交通需要マネジメント（TDM）の効果的な対策方針を検討するうえで極めて貴重な観測データと言える。そこで、本稿では、ETC2.0プローブデータを活用し、コロナ禍による道路交通需要変化とそれに伴う平均旅行速度へ影響に関する基礎的な分析を行い、その結果を報告する。

キーワード ETC2.0プローブデータ、交通需要マネジメント、交通需要特性、渋滞緩和

1. はじめに

新型コロナウイルス感染症の拡大により、我が国において新型インフルエンザ等対策特別措置法に基づく初めての緊急事態宣言が2020年4月7日に大阪・兵庫を含む7都府県に発令され、4月16日には対象が全国に拡大した。宣言の解除は感染者数の状況を鑑みて5月14日から段階的に解除され、全国の解除まで1ヶ月半を要した。宣言下では生活・健康維持に必要なもの以外の外出自粛要請、施設休業要請や出勤者数の削減目標等が掲げられた。

また、宣言解除後も出勤については引き続きテレワーク・時差出勤が推奨される等、人との接触機会を減らし、感染拡大防止対策を継続する「新しい生活様式」が提唱された。

未曾有の事態に対する人々の恐怖心・不安感の高まりから最初の緊急事態宣言による移動の自粛要請の影響は非常に大きく、人々の移動が著しく抑制された。宣言下における人流の変化は、携帯電話の位置データをもとにした統計データを各キャリアが提供し、増減率等の変化として連日メディア等で示されることにより広く知られるようになった。

自動車交通については、全国的高速道路・主要国道の交通量や増減率が国土交通省のHP上にて毎日報告されている。また、2020年6月には新型コロナウイルス感染拡大による道路交通への影響を把握するため、ETC2.0プ

ローブデータを活用した交通状況（平均速度・発生トリップ数、府県間移動量）の分析が行われ、緊急事態宣言下での平均旅行速度の向上が確認された。

こうした通常では起こり得ない交通需要の減少に伴う速度変化は、交通需要の調整により道路交通混雑の緩和を目指す交通需要マネジメント（TDM）の効果的な対策方針を検討するうえで極めて貴重な観測データと言える。

本稿では、交通需要マネジメントによる渋滞解消の可能性について検討していく基礎資料として、令和2年4月の緊急事態宣言下における近畿管内の交通状況について、ETC2.0プローブデータを活用した分析結果を報告する。

なお、いずれの分析も、緊急事態宣言前の状況を比較基準として変化を捉えているが、基準とした期間は使用データの利用可能期間によって異なる。

2. 人々の移動状況の変化

(1) 外出の自粛率

まず、緊急事態宣言によって抑制された人流の変化を外出の自粛率から捉える。人流を捉えるデータは携帯のキャリアデータを利用することが一般的であるが、ここでは、水野¹⁾が算出しているドコモの携帯電話、約780万台の基地局情報から推定されたリアルタイム人口

表-1 管内の平日における外出自粛率の推移

期間	福井県	滋賀県	京都府	大阪府	兵庫県	奈良県	和歌山県
2020/3/2~	12.2%	15.1%	13.2%	13.8%	12.0%	14.3%	13.5%
3/9~	13.3%	15.1%	14.9%	14.1%	12.9%	14.9%	13.9%
3/16~	13.3%	14.4%	12.5%	13.0%	11.7%	13.8%	12.6%
3/23~	12.4%	13.2%	12.5%	12.5%	11.1%	13.7%	12.4%
3/30~	15.3%	15.2%	16.3%	16.5%	13.4%	16.2%	14.2%
4/6~	21.9%	16.1%	19.9%	25.4%	21.0%	21.2%	17.6%
4/13~	24.8%	23.3%	26.8%	35.8%	32.0%	29.8%	21.3%
4/20~	28.5%	31.2%	35.2%	39.6%	36.1%	36.4%	25.4%
4/27~	31.5%	36.3%	37.5%	41.0%	38.7%	38.3%	28.7%
5/4~	25.8%	31.4%	32.7%	36.3%	32.9%	34.2%	25.9%
5/11~	24.9%	30.1%	33.2%	36.5%	33.8%	34.9%	25.3%
5/18~	21.7%	26.3%	29.8%	32.9%	30.5%	30.2%	21.8%
5/25~	18.7%	23.1%	24.1%	26.8%	25.1%	25.5%	18.7%
6/1~	10.5%	15.6%	16.9%	18.8%	17.5%	18.6%	13.1%
6/8~	9.9%	11.9%	15.0%	18.2%	17.1%	17.6%	13.5%
6/15~	8.2%	10.3%	13.1%	12.4%	12.3%	13.3%	7.0%
6/22~	8.6%	9.5%	11.7%	10.8%	10.7%	11.1%	6.0%
6/29~	7.6%	9.6%	12.2%	11.5%	11.1%	10.8%	8.5%

分布（オープンデータ）を利用した。ある地域住民の「外出の自粛率」は、「1-（ある日の9時から18時までの"外出者数×平均外出時間"） / （平常時の9時から18時までの"外出者数×平均外出時間"）」によって定量化された指標であり、外出者数は「昼間人口-夜間人口」によって定義されている。

表-1は近畿管内の各府県における平日の外出自粛率を週ごとに単純平均したものである。4月7日の特定警戒都府県への緊急事態宣言の発令に伴い、大阪府・兵庫県を中心に自粛率は約2割に達しており、全国発令後には大阪・兵庫・京都・奈良では約4割に達している。一方、和歌山県や福井県では都市部に比べて自粛率は低い傾向にあるが宣言発令にあわせて自粛する動きが見られる。

(2) 自動車交通量の変化

次に緊急事態宣言による自動車交通量の変化を捉える。近畿管内の高速道路（主要18断面）の車種別平均交通量は、全国を対象とした宣言発令により小型車では3割以上減少。一方、大型車は約1割の減少に留まっている。宣言解除後は小型車では回復傾向に転じているが大型車ではそのような傾向がみられず約1~2割の減少で推移している。

直轄国道（83断面）の車種別平均交通量は、高速道路と同様に全国を対象とした宣言発令により小型車では約1~2割減少している。一方、大型車では宣言の発令に伴う減少が軽微であり、GW周辺期間を除くと概ね横ばいで変化は見られない。宣言解除後、小型車は回復傾向にあり、6月19日の都道府県間移動の制限解除以降は基準週まで回復し、高速道路の傾向とは異なる。

高速道路における大型車の減少傾向背景にある物流動向については、企業物流短期動向調査²⁾から捉えることができる。2020年4~6月の国内向け出荷量について製造業、卸売業ともに企業全体の約7割が減少と回答。また、国内物流のうちBtoB物流については、工場等での生産活動が停滞したことで素材や部品等の需要が減少し、海外からの原材料等の輸入も減少したことで荷動きが低調³⁾であった影響の可能性が考えられる。

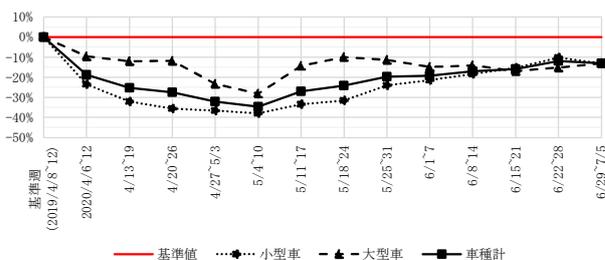


図-1 管内の高速道路の平均交通量の推移（対基準週比）

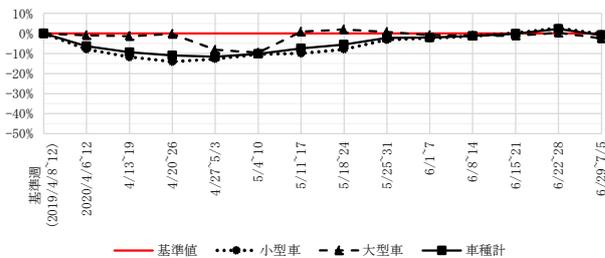


図-2 管内の直轄国道の平均交通量の推移（対基準週比）

3. 自動車移動需要変化の詳細分析

前章では、緊急事態宣言期間前後での交通需要変化を外出の自粛率と断面交通量の変化から概観したが、ここでは、トリップ長や運行頻度などの交通属性による交通需要変化に着目した詳細な分析を行う。この分析には、発着地や利用経路等、車両毎の日々のトリップ情報が収集されたETC2.0プローブデータを活用して行う。

(1) ETC2.0プローブデータの概要と分析に向けた処理

分析に使用するETC2.0プローブデータは、2020年1月に従来の仕様と大きく変更された点があるため、先ず初めにデータ概要を述べることにする。

ETC2.0対応車載器は全国的に普及が進み、自動車保有台数⁴⁾に対するETC2.0対応車載器の全セットアップ件数⁵⁾の割合（以降、普及率とする）は、近畿地整全体では9.4%(約108万台)である。府県別の普及率の推移（図-3）をみると、大阪府が最も高く、13.2%であり、次いで兵庫県9.1%、京都府8.5%である。一方、福井県は管内で最も低く4.5%であり、府県により普及に差がある状況である。なお、ここで示した普及率はあくまで車載器の搭載有無を示す割合であり、実際に分析できるデータはETC2.0対応車載器を搭載した車両のうち、アップリンク許可を行っている車両に限られるため、分析上利用できる車両のサンプル率はここで示した値よりも低くなることに留意されたい。

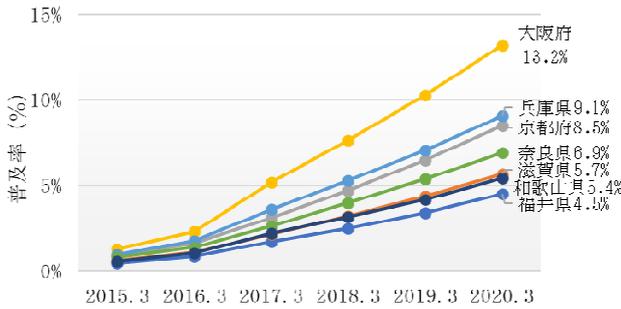


図3 ETC2.0対応車載器の府県別普及率の推移⁴⁵⁾

2020年1月に変更されたETC2.0プローブデータの仕様の主な変更点は以下の通りである。

①車種情報の拡充

ナンバープレートの車両分類番号がデータとして収録された。これにより車籍地を活用した分析やナンバープレート上1桁番号をもとにした車種分類が可能となった。

②車両の同一運行ID保持期間の変更

これまで運行ID（個別の車両特定ができない運行識別番号）は日別で付与されていたため、大型車に多い日を跨ぐ夜間移動のトリップを適切に捉えることができなかった。しかし、運行IDの保持期間が1週間に変更されたため、日を跨ぐトリップの分析だけでなく、運行頻度（例えば、1週間における運行日数）の違いに着目した分析が可能となった。ここでは、上記に示すデータ仕様の変更を踏まえ、次のように分析対象車種及び分析対象期間を設定し、分析を行うこととした。

なお、この分析にあたっては、トリップの連続性や走行速度の妥当性に留意し、必要なデータ処理（経路マッチング、異常値除去等）を施したETC2.0プローブデータを使用する。

a) 分析対象車種

車両分類番号に基づき、上1桁が3,5,7の車両を乗用車、上1桁が1,8,9,0の車両を大型車（バスを除く）として定義した。

b) 分析対象期間

ETC2.0の仕様変更及び車載器の普及ペースに鈍化がみられないことを踏まえて、分析比較時点はなるべく時系列に近い時点同士を設定することが望ましいと考え、緊急事態宣言発令前の2020年3月20～26日の1週間を感染拡大前の基準週とした。

(2) 発生トリップ数の推移

ここでは、近畿地整管内を出発地とするトリップに着目し、緊急事態宣言前後における発生トリップ数の推移を車種別、トリップ長別に捉える。図4、図5は平日における管内府県を出発地とする発生トリップ数から週単位の日平均発生トリップ数を算定し基準週からの増減率

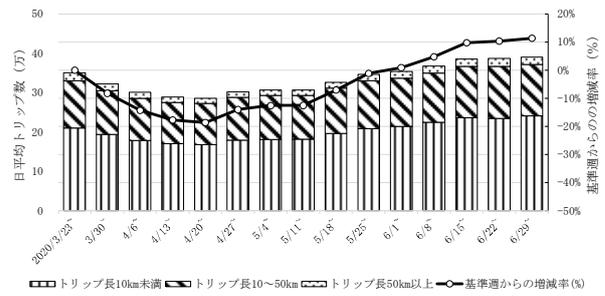


図4 平日における管内発生トリップ数の推移（乗用車）

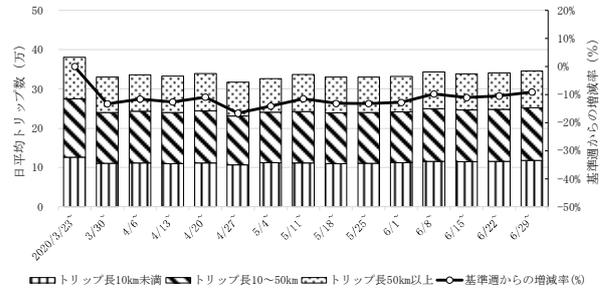


図5 平日における管内発生トリップ数の推移（大型車）

の推移を車種別に示したものである。まず、乗用車であるが、緊急事態宣言発令に伴い、発生トリップ数は減少傾向にあり、4月20～26日の週に減少率は約2割となった。大阪・兵庫県の宣言が解除された5月18～24日からトリップ数の回復傾向が見られ、5月25～31日に基準週と同程度まで回復している。6月以降は増加傾向にあり、都道府県間移動の制限が解除された6月15～21日は発生トリップ数の増加量が大きくなり基準週から約1割増加している。

一方、大型車をみると、宣言後の減少割合は約1割と乗用車より小さいものの、宣言の解除による回復傾向はみられず、横ばい傾向が継続しており、乗用車とは異なる傾向を示している。

(3) 距離帯別の需要の変化

図6は、図4.5のうちトリップ長別の乗用車の発生トリップ数について基準週からの増減率の推移を示したものであるが、トリップ長によってトリップ数の変化の傾向が著しく異なることがわかる。50km以上の長距離トリップをみると、緊急事態宣言の発令に伴い、4月20～26日に約4割減少している。一方、日常的な移動を想定した10km未満の短距離トリップは、宣言下では約2割の減少であり、宣言の解除後は、50km以上のトリップより回復が早く、6月以降では基準週よりも増加傾向を示している。

図7はトリップ長別の大型車の推移を示したものであるが、乗用車に見られるようなトリップ長の違いによる減少回復傾向の違いは見られない。いずれのトリップ長も宣言後に概ね1割減少し、宣言解除後も基準週のトリップ数を下回っている。

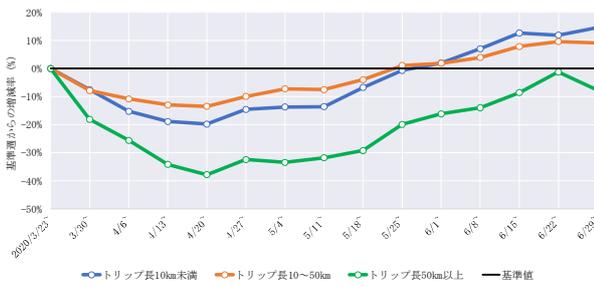


図-6 発生トリップのトリップ長別の増減率の推移 (乗用車)

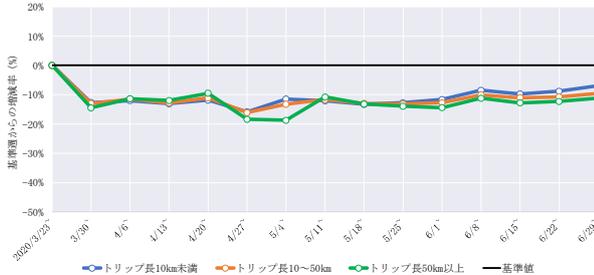


図-7 発生トリップのトリップ長別の増減率の推移 (大型車)

(4) 自動車の利用頻度の変化

緊急事態宣言による交通需要の減少傾向を確認したが、自動車の利用頻度の違いに着目した分析を次に行う。

利用頻度の違いによる自粛傾向の特徴を捉えることは、TDM 施策において対象車両の特性に応じた働きかけを行う上で重要であると考えられる。

ここでは、1週間のうちに5日以上利用する車両を多頻度運行車両として、車籍地ごとに割合を整理した。

利用頻度の算定は運行ID(車両)ごとに1週間内のデータの有無を整理し、1日に1トリップ以上運行していれば1日利用とした。なお、分析に用いたデータは、前述したように車両IDを一定期間しか固定されないため、車両毎に各週の運行頻度の変化(例えば、週5日利用から週4日利用に変更)は把握することができない。

表-2、表-3は基準週における多頻度運行車両の割合と各週における割合の基準週との割合の増減をそれぞれ車種別に示したものである。乗用車において感染拡大前(基準週)は多頻度運行車両が約3~5割であり、地域差がみられるが地方部ほど割合が高い傾向にある。緊急事態宣言が大阪・兵庫に発令された4月6日~12日では管内のすべての府県で多頻度運行の割合が減少していることがわかる。次に、全国発令後の4月20~26日ではより減少幅が大きくなっている。宣言解除後は解除の段階にあわせて多頻度運行の割合が回復傾向にあり、都道府県間移動の制限が解除された6月15~22日では基準週と同程度の水準まで回復している。大型車を見ると、感染拡大前(基準週)では多頻度運行車両の割合は約6~7割であり、乗用車よりも高い傾向にある。乗用車と同様に緊急事態宣言の発令に伴いすべての府県で多頻度運行の割合が減少している。ただし、宣言解除後も回復傾向はみられず、時間経過とともに減少幅が大きくなっ

表-2 多頻度運行車両の割合の変化 (乗用車)

車籍地	基準週	宣言発令①	宣言発令②	宣言解除①	宣言解除②	府県境移動解除
	3/23~29	4/6~12	4/20~26	5/11~17	5/18~24	6/15~22
福井県 福井	48.4%	-3.8%	-6.0%	-3.6%	-4.8%	-1.1%
滋賀県 滋賀	44.0%	-1.8%	-4.5%	-4.6%	-2.3%	0.9%
京都府 京都	38.4%	-3.3%	0.6%	1.1%	2.4%	5.5%
大阪府 大阪	36.8%	-2.9%	-3.8%	-2.9%	-1.7%	0.2%
	なにわ	32.7%	-1.6%	-1.9%	-1.5%	-0.8%
和泉	41.5%	-3.0%	-4.5%	-3.5%	-2.1%	0.4%
	兵庫	37.2%	-2.7%	-4.0%	-2.8%	-1.8%
奈良県 奈良	41.4%	-2.3%	-4.2%	-3.4%	-2.5%	0.4%
	和歌山	42.0%	-1.4%	-3.1%	-2.0%	-1.2%
和歌山県 和歌山	46.7%	-1.8%	-4.1%	-3.2%	-1.1%	1.3%

表-3 多頻度運行車両の割合の変化 (大型車)

車籍地	基準週	宣言発令①	宣言発令②	宣言解除①	宣言解除②	府県境移動解除
	3/23~29	4/6~12	4/20~26	5/11~17	5/18~24	6/15~22
福井県 福井	69.3%	-2.6%	-3.6%	-5.2%	-6.3%	-7.7%
滋賀県 滋賀	68.5%	-3.9%	-4.3%	-5.9%	-5.2%	-7.5%
京都府 京都	69.2%	-3.4%	-1.5%	-2.0%	-1.8%	-2.3%
大阪府 大阪	70.5%	-3.6%	-3.6%	-3.9%	-4.2%	-5.2%
	なにわ	66.9%	-2.9%	-3.9%	-3.9%	-4.9%
和泉	67.8%	-2.5%	-3.6%	-4.3%	-5.1%	-5.9%
	兵庫	65.2%	-2.8%	-3.4%	-3.4%	-3.5%
奈良県 奈良	72.9%	-2.5%	-1.9%	-3.0%	-4.7%	-5.6%
	和歌山	67.6%	-1.3%	-1.2%	-3.1%	-3.7%

ている点が乗用車とは異なる。これは先述のとおり、荷動きの低下が要因として考えられる。

4. 緊急事態宣言下における平均旅行速度の変化

続いて、緊急事態宣言下での交通需要減少に伴う平均旅行速度の変化について分析を行う。

具体的には、市町村別・道路種別の平均旅行速度を緊急事態宣言前の2020年3月23日の週と最も交通需要が減少した4月27日の週について比較した。

図-9~図-12に、直轄国道、補助国道、主要地方道、その他一般道(府県道・指定市市道)別の基準週からにおける平均速度の増減について市町村別に示す。また、図-13は、出勤目的の自動車分担率を市町村別に示したものの⁶⁾である。

直轄国道(図-9)の場合、5km/h以上の速度上昇が見られるのは、京阪神都市圏周辺の大津市や奈良市、その他では、福井市や姫路市などであり、自動車分担率が4割以上であり、県庁所在地など比較的人口の多いエリアとなっている。補助国道(図-10)、主要地方道(図-11)についても概ね似たような傾向を示しているが、5km/h以上速度が上昇する市町村は直轄国道で多く見られる。

一方、速度変化が見られないのは、都市部と比べて人口の少ない地方部の自動車分担率の高い地域であり、公共交通手段の利用を控える状況下では、自動車利用の自粛は少なく速度変化が起きにくいと考えられる。その他、特徴的なのは自動車利用割合の低い大阪市の変化であり、いずれの道路種別も速度変化があまり見られない。これは、公共交通サービスが充実する都心部で敢えて自動車を利用する交通の特殊性を示していると考えられる。

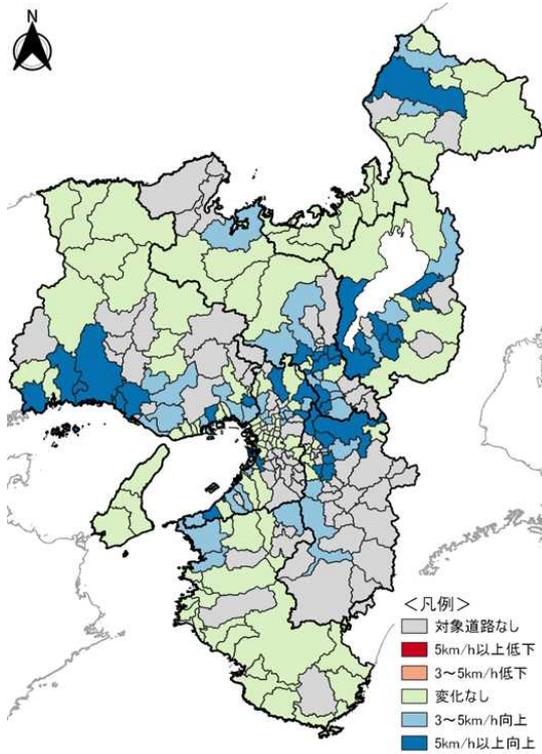


図-8 宣言発令時の平均旅行速度の変化率（直轄国道）

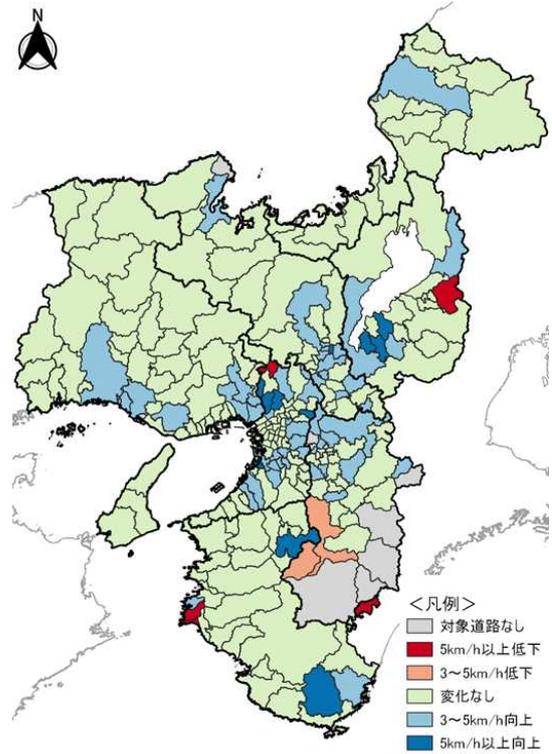


図-10 宣言発令時の平均旅行速度の変化率（主要地方道）

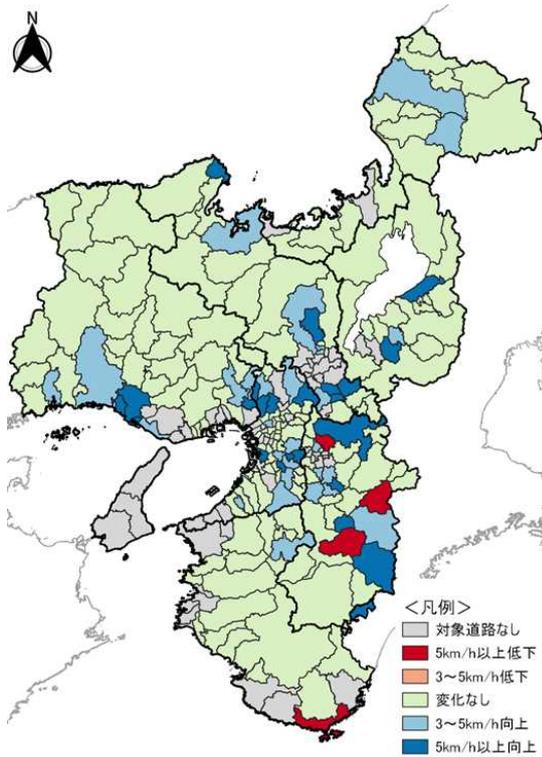


図-9 宣言発令時の平均旅行速度の変化率（補助国道）

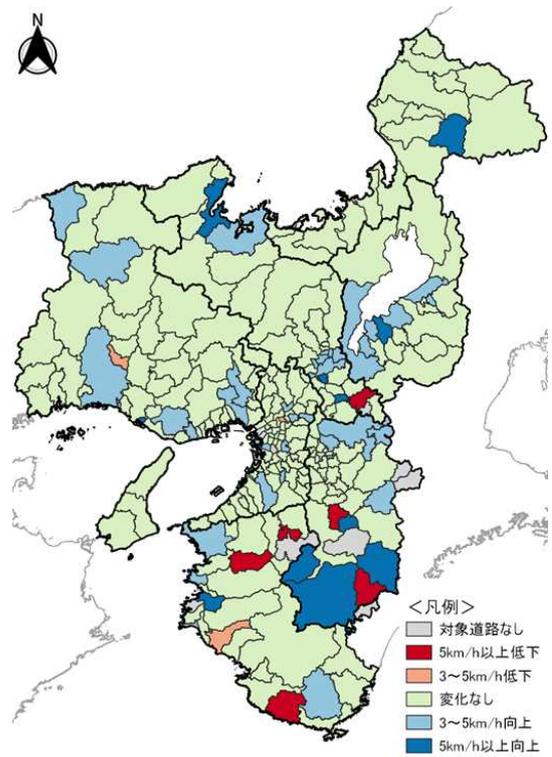


図-11 宣言発令時の平均旅行速度の変化率（その他一般道）

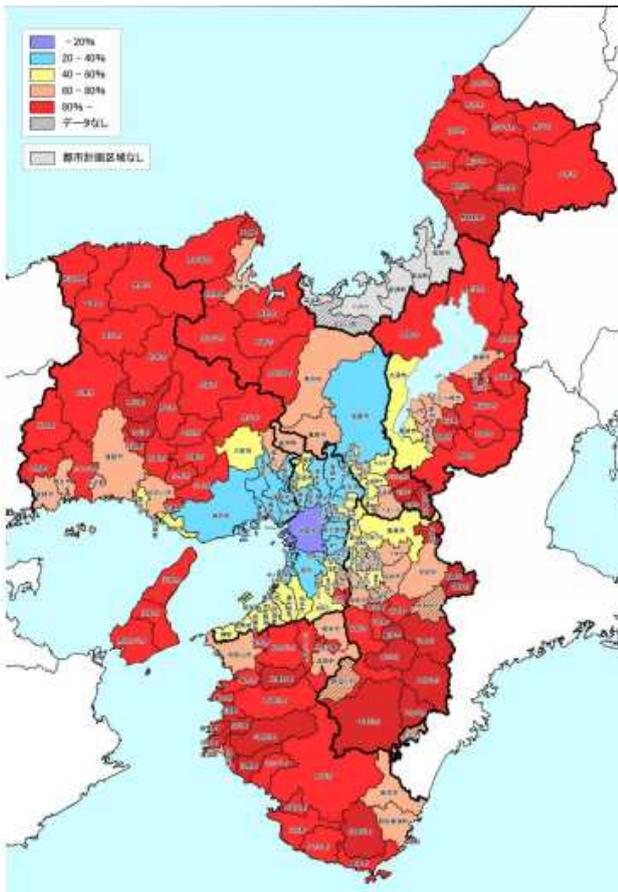


図-13 出勤目的の自動車分担率（自動二輪含む）の分布

度変化は見られず、緊急事態宣言による交通需要の減少を伴いながらも、速度改善を図りやすいエリアとそうでないエリアの違いをおおよそ捉えることができた。

今後、交通需要マネジメントの効果的な運用方法を検討するためには、運行調整のしやすい交通属性とそうでないものがあることに着目し、今回の新型コロナ禍における様々な交通データを蓄積するとともに、引き続き需要変化の特性と速度変化の関係性を交通属性毎に詳細な分析を行うことが重要であると考えます。

参考文献

- 1) COVID-19 特設サイト：外出の自粛率の見える化：<http://research.nii.ac.jp/~mizuno/>
- 2) 日通総研：企業物流短期動向調査 調査結果(抜粋) (2020年6月調査)
- 3) 国土交通省：2020年代の総合物流施策大綱に関する検討会提言
- 4) ETC 総合情報ポータルサイト GO!ETC セットアップ件数の推移：<https://www.go-etc.jp/fukyu/etc2/index.html>, 2020.3
- 5) (一財)自動車検査登録情報協会 統計情報 自動車保有台数：<https://www.aria.or.jp/publish/statistics/number.html>, 2020.3
- 6) 近畿地方整備局建設部都市整備課：近畿コンパクトシティガイダンス-交通編-

5. まとめ

本研究では、第1回緊急事態宣言下での近畿管内での交通状況の変化について、ETC2.0プローブデータを活用した基礎分析を行った。その結果から得た第1回緊急事態宣言下における交通量減少の特徴を以下に示す。

乗用車は宣言下では大幅に交通量が減少しており、特に高速道路を利用するような長距離トリップの減少が著しい。宣言解除後は、短中距離トリップの回復が早く、長距離トリップの回復には一定の時間を要している。これは都道府県間を跨ぐ移動の自粛要請が影響している可能性も考えられる。また、利用頻度は宣言前後で目立った大きな変化はみられない。

大型車は、トリップ長による減少割合の違いは見られず概ね1割減少となり、宣言解除後も続き、乗用車とは異なる変化の特徴が見られた。

こうした交通需要変化に伴う速度変化は、地域によってその特徴が異なり、自動車利用割合が高く、県庁所在地等の比較的人口の多いエリアで5km/h以上の速度上昇が見られた。その一方で、自動車利用割合が高く、都市部ほどの人口集中が見られない地方部では、ほとんど速

AI（人工知能）技術を活用した河川監視の高度化に向けた取り組みについて（中間報告）

平山 岳弥¹

¹近畿地方整備局 河川部 河川計画課（〒540-8586大阪府大阪府中央区大手前1-5-44）

淀川河川事務所管内の各河川では、多様な河川利用形態が見られる一方、一部利用者によるごみの投棄や車両侵入などの迷惑・不法行為が散見されている。巡視や看板などの注意喚起をしているが、これら行為は跡を絶たない状況にあり、河川管理上の負担となっている。

淀川河川事務所では、近年、急速な実用化が進んでいるAI（人工知能）による画像認識技術に着目し、河川管理の負担軽減や迷惑・不法行為の網羅的な把握を目的とし、これら行為の検知・警告及び証拠保全等の自動化に向けた取り組みを試行することとした。本稿は、その初年度の取り組み内容について報告を行うものである。

キーワード AI、河川監視

1. 淀川河川事務所管内の概要

淀川は、その源を滋賀県山間部に発する大小支川を琵琶湖に集め、大阪市から河谷状となって南流し、桂川と木津川を合わせて大阪平野を西南に流れ、途中神崎川及び大川（旧淀川）を分派して大阪湾に注ぐ、幹川流路延長75km、流域面積8,240 km²の一級河川である。

このうち、淀川河川事務所は淀川37.0km、宇治川16.2km、桂川18.6km、木津川37.2km、その他支川9.5kmの計118.5kmを管理している。管内は世界的な観光地である嵐山地区や塔の島地区を擁する他、公園やキャンプ場、サイクリングなど多様な利用形態が見られ、多くの沿川住民や観光客に日頃から親しまれている。



図1-1 淀川管内の河川利用

2. 管内の迷惑・不法行為の実情と課題

淀川河川事務所管内では多様な河川利用形態が見られる一方で、迷惑・不法行為も散見されている。

図2-1は、2017年4月～2020年8月（約3年半）を対象に河川維持管理データベースシステム（Rimadis）から抽出した迷惑・不法行為の件数をグラフ化したものである。

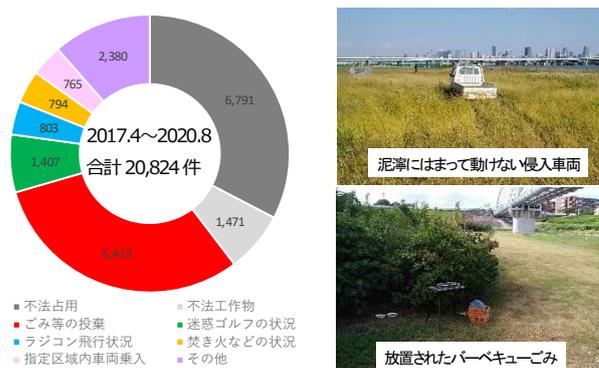


図2-1 2017年4月～2020年8月の迷惑・不法行為件数

約3年半の間に河川パトロール等で確認された迷惑・不法行為は約2万件にも及ぶ。このうち、不法占有・工作物設置（ホームレスや不法耕作等）など、継続監視・指導が必要な案件については毎回の河川パトロールにおいて状況を記録するため件数が必然的に多くなっているが、それ以外ではごみ等の投棄や指定区域内への車両侵入が多い。こうした不法行為は、自由使用を原則とする河川空間の安全な利用を妨げるものである。これまで

巡視員による声かけ、出張所職員による指導や注意喚起看板の設置、不法投棄防止啓発のため毎年のごみ投棄件数及び発生場所をお知らせするごみマップの作成・周知をしているものの、顕著な改善は見られない。こうした迷惑・不法行為は証拠保全が難しいため行為者の特定にも至らず、抜本的な対応が困難な状況である。

一方で、限られた人員・予算の中で投棄されたごみの収集・処分や車両の侵入対策を講じているところであり、現場の出張所では対応に苦慮している。

3. 本稿で報告する取り組みの内容

(1) AIを活用した河川監視システムの概要

以上の実情と課題をふまえ、迷惑・不法行為の証拠保全や即時通報・現場での警告発報などの自動化を図るため、AI（人工知能）を活用した河川監視システムの構築・現場への実装を試行することとした。これにより、常時監視による迷惑・不法行為の網羅的把握、巡視の目を盗んでの迷惑・不法行為の抑止などによる河川管理行為の省力化を期待するものである。

当該システムは、現地に設置したカメラ画像から得られる画像を元に現場の迷惑・不法行為を分析・検知する「監視映像分析及び検知システム」と、検知した行為に対する現場での警告発報及び河川管理者に通報を行う「警告発報及び即時情報伝達システム」で構成する。各々の検討内容については、4.以降に詳述する。

なお、本取り組みは、初年度（2020年度）に当該システムの構築、次年度（2021年度）に当該システムを用いた実証実験を実施する予定である。本稿では、初年度の取り組み内容及び課題・工夫した点について報告するものである。

(2) 試行対象箇所及び検知対象行為

本取り組みの試行対象箇所及び検知対象とする不法行為は、Rimadisデータに加え、各出張所の担当者から特に問題と捉えている行為についてヒアリングを行い、表3-1のとおりとした。

表3-1 試行対象箇所及び検知対象行為

河川・kp	場所	検知対象行為	理由
淀川 L9.6kp	長柄中	ごみの投棄、 ゴルフ行為	河川公園がありごみの投棄が多い 公園内のゴルフ行為が危険
桂川 R15.8kp	松尾橋	BBQごみの投棄	BBQのごみの投棄が多く、看板設置などもしている
宇治川 R49.6kp	京滋BP	BBQごみの投棄	BBQのごみの投棄は自治体からの 対策も求められている
木津川 L7.4kp	岩田松原	指定区域車両進入、 踏み荒らし	堤防法面にも走行跡が確認されており、 警察に相談した経緯あり

4. 監視映像分析及び検知システムについて

(1) システムに用いるモデルの概要

監視映像分析及び検知システム（以下、検知システム）には、AI（人工知能）技術を活用することとし、物体検出用CNNモデルを用いる。CNN（Convolutional Neural Network）はディープラーニングの一種であり、自動運転や医療診断等の分野で高度な画像解析能力を発揮している。解析手順は下記及び図4-1のとおり。

1. 入力層で認識・検知したい画像を入力
2. 中間層で「フィルタ」を用いて画像の局所的特徴の抽出と、検知の可否を判断
3. 出力層で検知対象を出力
4. 出力結果と正解を比較し、正解を予測できるように「フィルタ」のパラメーターを更新
5. 指定した学習回数分1~4.の処理を繰り返す

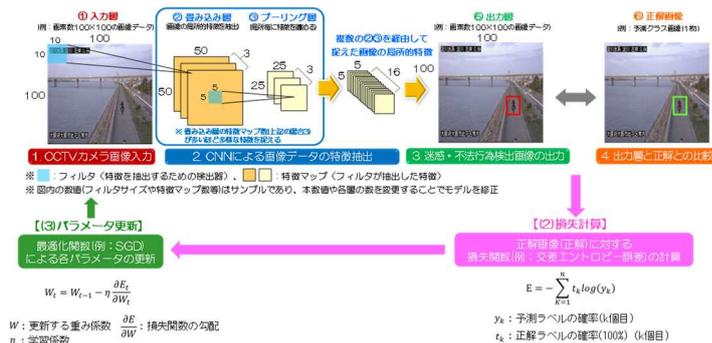


図4-1 CNNモデルの解析手順図

(2) 検知システムの構築

上記のとおり、CNNモデルは画像の入力・検知・出力・正解との比較を繰り返し、検知精度を向上する性質がある。この性質をもって「人工知能」と呼称されているものである。CNNモデルの学習には、WEB公開のフリー画像やRimadis上の写真・画像の中から、車・人・ゴルファー・不法投棄ごみ等の画像を抜粋し、「教師データ」として使用した。（図4-2）

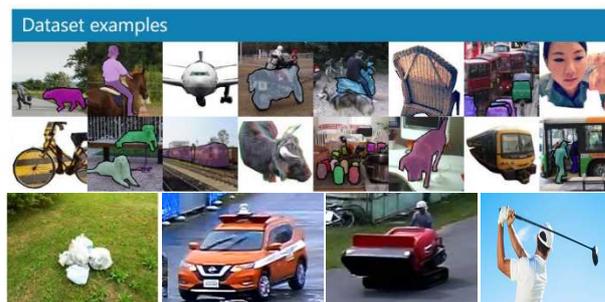


図4-2 使用した教師データの一例

なお、このうち検知する行為の主体であり、かつ多種多様な形状を有する車・二輪車・人については約10万枚の画像データをCNNモデルに繰り返し学習させ、検知精度の向上に努めた。特に、車については一般車両と河川パトロール用車両やハンドガイド式草刈り機を同一に検知しないよう学習させた。その後、試行対象箇所近傍の既設CCTVカメラ映像1週間分を対象に、検知性能の

テストを行った。検知対象行為がCCTVカメラで捉えられなかったものについては現地にてごみの不法投棄等の模擬映像を撮影し、これを対象に検知性能のテストを行った。テスト結果の一例を図43に示す。



図4-3 CCTV映像の検知結果

(2) 行為検知の課題と対応

上記テスト結果から、下記のとおり対象行為の検知にあたって課題を把握した。これら課題及び対応方針について、下記に述べる。

a) 誤検知

図43において検知システムのCNNモデルは、カメラ画像内の人とごみを検知している。CNNモデルには河川パトロールで撮影したビニール袋や家電製品などをゴミとして学習させているが、色や形の似ているものについては誤検知することがある。例えば、図44は現地で鞆を持ち犬を散歩させている人と、その背後でゴミ袋を持った人を撮影した画像だが、ゴミ袋を持った人は正検知しているものの、鞆と犬をゴミと誤検知している。



図44 検知システムの誤検知

このような誤検知は、システムの学習量を増やし、検知性能が習熟することで少なくできると考えられるが、完全に無くすことは困難である。このため、単にごみを持つ人の検知をもってごみの不法投棄と判断するのではなく、実際に不法投棄が行われたことをより精度よく捉えるための検討を行うこととした。

具体的には、不法投棄行為の開始・完了に至るまでの一連の動作を5パターン想定し、これらのいずれかに該当する動作を完了した場合に不法投棄行為と判定することとした。(図4-5)

【不法投棄と判定する基準】

- ①ごみを持った人がごみを放置してその場から5m離れた場合
- ②人が持つごみが人より50~200%と大きな場合(相大ごみ)
- ③深夜・早朝(23時~6時)にごみを持つ人がいた場合
- ④不法投棄が頻発する場所でごみを持つ人がいた場合
- ⑤自動車からごみの積み卸しをしていた場合

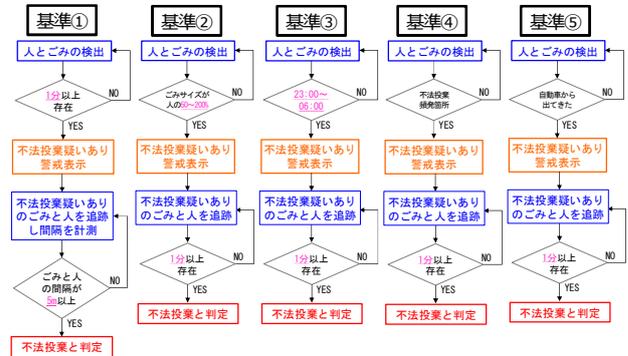


図4-5 不法投棄行為を判定する動作パターン(案)

上記の動作パターンを検知システムに組み込み、ごみの不法投棄が完了したと判定するまでの検知結果を図4-6に示す。このケースは、図4-5に示す判定基準のうち①に該当する動作パターンを現地で模擬的行ったものである。図44に示したとおり、単一画像から迷惑・不法行為の判定を行う場合には誤検知が発生しているのに対し、図4-5に示したように時間の概念を導入し、連続した複数の画像によって動作パターンを認識することにより、誤検知を回避して迷惑・不法行為を判定することができた。

なお、これらの動作パターンの想定(ごみを持った人の現地滞在時間やごみと人の離隔など)はあくまで今回仮に定めた参考基準であり、また、動作パターンの数も5パターンと限定的であることから、実証実験等を通じてより詳細かつ適切な判定基準を定めていく必要がある。

今回のシステム構築にあたっては、不法投棄以外にも車両の不法侵入及びゴルフ行為についても同様に判定基準・動作パターンを設け、誤検知防止を図ることとした。

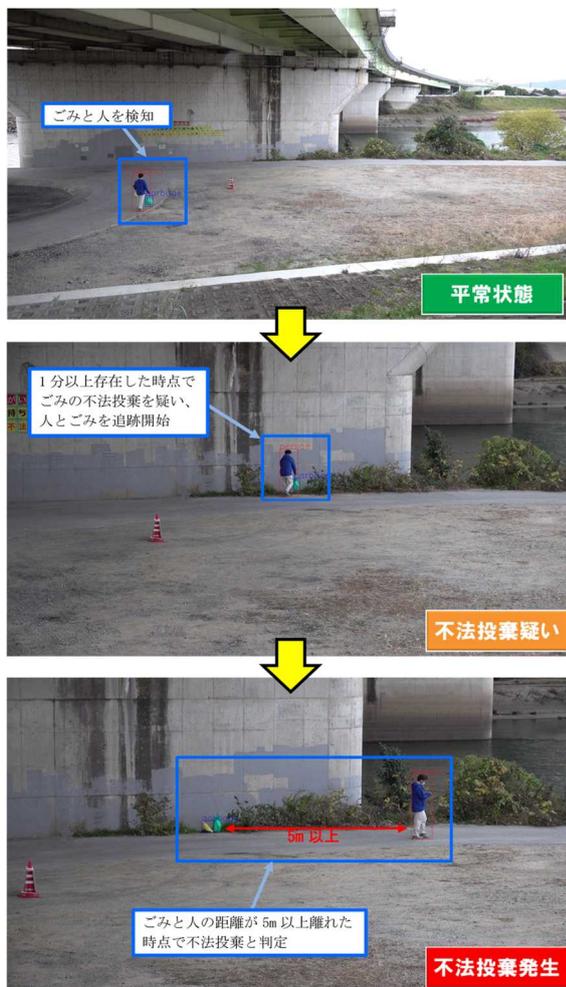


図4-6 動作パターンの検知による不法投棄の判定

b) 夜間の検知精度

CNNモデルは、画面内に表示された画像を認識して検知を行うことから、検知対象がある程度鮮明に写らなければ検知精度が低下する。しかしながら、大型家電や自転車など、大物の不法投棄は夜間に発生することが多いと想定されることから、夜間の検知精度も確保することが必要である。



図4-7 夜間における人・ごみの未検知例

図4-7に夜間の検知精度を確認した結果を示す。この写真は、夜間に白・黒・緑色のごみ袋を持った人を撮影したものであるが、CNNモデルは白いごみ袋は検知で

きているものの、人及び黒と緑色のごみ袋については反応が無い。このため、夜間の検知精度向上を図るための検討を行うこととした。

検知精度の向上にあたり、検知対象となる画像の鮮明化を図ることとした。鮮明化のためには、画像鮮明化装置の取付けや夜間監視が可能な赤外線カメラの導入など機械器そのものの改良・取り替えが考えられる。しかしながら、初期投資に数十万円～数百万円/台かかることがデメリットである。これに対し、既存のCCTVカメラ等で撮影した画像を画像処理技術によって鮮明化する手法が存在する。当該手法は、数万円～数十万円のコストでモデル構築が可能であり、CNNモデルによる検知作業の前段に組み込むことによって画像の鮮明化・検知精度の向上が期待できることから、夜間カメラ画像鮮明化モデルを構築した。

夜間カメラ画像を鮮明化する画像処理技術の一つとして、「ガンマ(γ)補正」がある。この技術は、 γ 値(画像の階調の応答特性を示す数値)を用いて、画像の明るさ・階調性を人間の見た目に最適なものに補正するもので、液晶テレビで自然な明暗の再現にするためにも用いられている。この技術を実装した画像鮮明化モデルを構築し、CCTVカメラ映像の鮮明化とCNNモデルの検知を行った結果を図4-8に示す。



図4-8 ガンマ補正後の検知結果

ガンマ補正の活用により、画像の鮮明化及び検知精度の向上を図ることができた。しかしながら、道路照明の多少など、光が少ない、又は全く無い場所においては誤検知の発生やガンマ補正が適用できないことも想定され、実証実験等を通じ実用性について検証が必要である。

5. 警告発報及び即時情報伝達システムについて

(1) システムの概要

警告発報及び即時情報伝達システム（以下、警告発報システム）は、CCTVカメラ映像から検知システムが検知した迷惑・不法行為の信号を受信し、現地での警告発報及び河川管理者への通報を行うものである。

河川管理者への通報を受信する機器類は、淀川河川事務所内に専用のパソコンを設置することとし、通報を受信した際には、予め登録した職員のメールアドレス宛に通報メールの配信が可能とした。（図5-1）



図5-1 警告システム通報イメージ

また、検知・通報した映像については、迷惑・不法行為の証拠保全が可能となるよう、図5-2に示すように証拠保全画像の自動保存・出力、現地警告発報の制御等を行う操作システムのプロトタイプについても構築した。証拠保全画像の自動保存により、通常巡視だけでは把握できない迷惑・不法行為の網羅的な把握が期待できる。



図5-2 操作システム画面（プロトタイプ）

現地での警告発報に用いる機器類については、下記のとおりである。

(2) 現地での警告発報

現地での警告発報は、図5-3に示す機器類を現地に設置して行う。



図5-3 警告発報機器類現地設置イメージ

現地で検知した迷惑・不法行為に対して、これらの表示板・パトランプ及び音声による警告を行うことを想定しているが、次年度に実施する実証実験においては、出張所とのヒアリングや地元説明をふまえて、音声による警告を控える場所、現地の機器は設置せず管理者への通報のみとする場所など、現場状況に応じた配置計画を立案し、警告発報・河川管理者への通報等を実験・検証する予定である。

6. まとめ及び今後の予定

初年度における取り組みにより、AI技術を活用した河川管理のためのシステム構築を行い、既存のCCTV画像を用いた検証によって、一定の精度をもって迷惑・不法行為を検知できることを確認出来た。次年度の取り組みとして、河川監視システムの実装及び実際の現場での活用を試行的に実施する。

実証実験においては、CCTVカメラ映像を実際に監視し続けることにより、検知システムの精度の向上を図るとともに、自動警告発報の実運用上の課題などを明らかにし、システム全体の更なる改善に繋げる予定である。

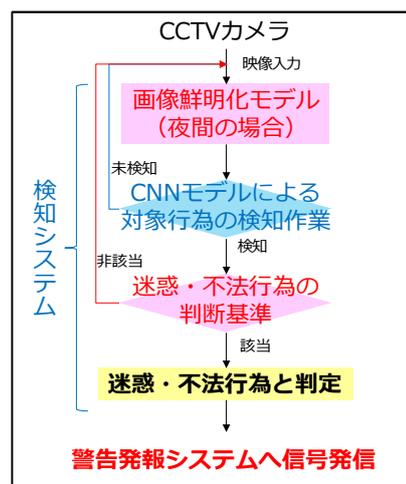


図6-1 河川監視システム全体像

本取り組みが河川監視の高度化の実現に活かされ、適正な河川利用及び河川管理行為の負担軽減に繋がれば幸いです。

本稿は従前の所属である淀川河川事務所調査課在籍中の所掌内容をとりまとめたものである。

謝辞：本取り組み及び本稿をまとめるにあたりご指導・ご協力頂いた全ての方に感謝致します。

河川堤防維持管理におけるリモートセンシング技術の活用可能性の検討について

櫻澤 崇史¹

¹近畿地方整備局 姫路河川国道事務所 調査課 (〒670-0947 兵庫県姫路市北条1丁目250)

国土交通省では目視点検を通じて河川堤防・高水敷等の変状を把握している。人の目による直接の点検では確実に変状を把握できる一方、人が河川全域を巡回する必要があることから労力・時間を要する。将来的な日本の人口減少に伴う河川巡視の担い手不足やコスト削減要請などの事態に備え、堤防・高水敷等の変状リスクに応じた点検箇所・項目の優先順位付けや箇所毎の点検頻度の傾斜付けにより、点検の効率化や変状把握の迅速化を図ることは重要である。上述の目視点検を補完し変状リスクの把握を効率化する手法として、広範囲を簡易に観測できるリモートセンシング技術の活用可能性を、加古川をパイロットサイトとして検討した。

キーワード 衛星画像, SAR 画像, リモートセンシング, 河川維持管理, 河川巡視, 変状把握

1. はじめに

河川管理者として河川の維持管理を行う上で、河川状況、特に洪水対策や河川利用に密接に関係する堤防や高水敷のような河川管理施設の現況を常に把握しておくことは重要である。そのため国土交通省では出水期前後の堤防点検や毎週の河川巡視等を、河川全体を人が巡回し目視により実施している。点検の様子は図-1のとおり。

しかしながら、目視点検である以上、河川全体を徒歩等によりくまなく巡回するという労力を要する。また、災害発生後など河川状況によっては人の足では踏み入ることの出来ない箇所が出てくるため、変状発生後から把握まで時間を要するケースがある。

そこで本稿では、目視点検に加えてリモートセンシング技術を活用することにより、点検の効率化や変状把握の迅速化を図れるかどうかを検討した。



図-1 堤防点検の様子

2. リモートセンシング技術の概要

本稿ではリモートセンシング技術として、衛星画像、特に合成開口レーダ（以下SAR と表記する）画像の活用による堤防や高水敷の変状把握の効率化について検討を行った。以下にSAR 画像分析による変状把握手法の概要を示す。

(1) SAR 画像分析による変動の抽出メカニズム

SAR 画像は衛星より地上にマイクロ波を掃射し、反射波を受信することで得られる。同じ箇所について二回目の撮影でも同様に反射波を受信しSAR 画像を得る。この時、図-2のように反射物体が下図のように移動（沈下）した場合、 ΔR の変動が発生する。この変動量が正弦波カーブのずれとして観測される。SAR 画像の解析では、このように二回の撮影の位相差（正弦波のピー

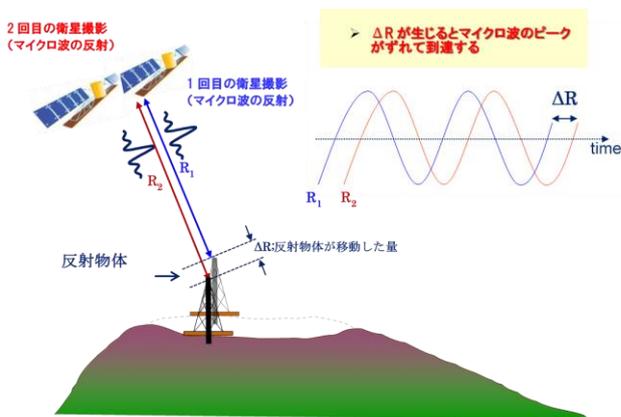


図-2 SAR 画像取得メカニズム

日本で適用できるSAR衛星

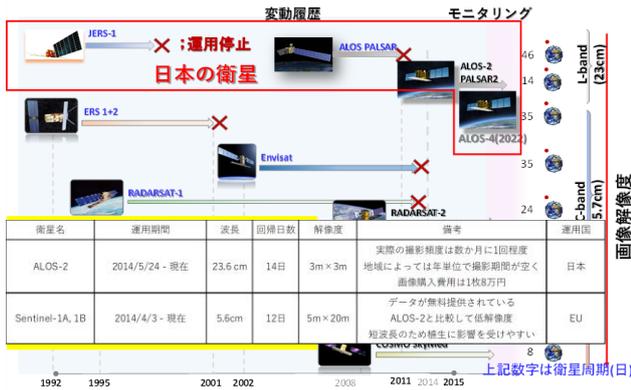


図-3 衛星の詳細及びSAR画像の諸元

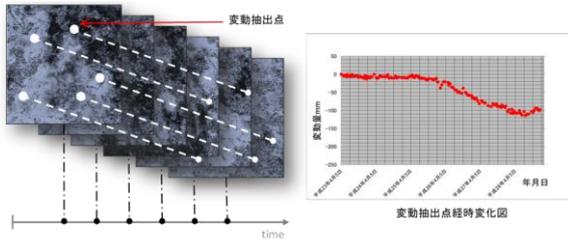


図-4 干渉SAR時系列分析

(2) 使用したSAR画像について

SAR画像を取得する衛星は、現在6機程度が運用されており、将来的にも継続的に運用が計画されている。今回は衛星周期やレーダの周波数帯、SAR画像の解像度、撮影範囲、画像の取得料金等の兼ね合いから衛星ALOS-2及びSentinel-1のが撮影したSAR画像を使用した。図-3にALOS-2及びSentinel-1の含む衛星の詳細及びSAR画像の諸元を示す。

(3) SAR画像分析の精度向上手法について

2枚以上のSAR画像から地表の変動量を求めることを微分干渉合成開口レーダ画像分析(DInSAR)という。分析手順は以下のとおり。

- ①異なる2時期に撮影されたSAR画像について位置合わせを行う。
- ②画像に含まれる位相情報を干渉させる。
- ③空間的な変動分布を把握する。

この手法では衛星から掃射されたマイクロ波が地上の間を往復する際に気象条件や電離層の影響を受けるため、干渉SARの精度はマイクロ波の波長に依存するがDInSARの一般的な精度は数cm程度であるとされる。また衛星が、地球の南側から北側に向かう時をアセンディング、北側から南側に向かう時をディセンディングと呼び、それぞれ撮影向きが異なることにより得られるSAR画像の特徴が異なるため別々に分析する必要がある。

さらに精度を向上させるため、複数枚の画像を統計

的に処理する時系列解析手法を用いる。同手法の手順は以下及び図-4のとおり。

- ①解析に使用する全ての画像に共通するコヒーレンス(正弦波の相関性)の高い点を特定する。
- ②大気によるレーダ波への影響を除去する。
- ③各地点における経時変化図を作成する。

この補正により、変動検出精度をmm単位まで向上させることができるが、解析のためには同一地点での撮影画像が20枚程度以上必要となる。また、コヒーレンスの高い地点のみが分析対象となることから、ピンポイントに特定箇所の変動分析を実施することが難しい。よって変動を抽出したい箇所について、付近の変動状況から同箇所の変動を類推する必要が生じる可能性がある。

3. 加古川におけるSAR画像の分析結果

本稿では2015年から2020年の期間において、加古川流域周辺に位置する水準点の定期測量結果を用いたSAR画像分析の精度確認と、加古川の直轄管理区間における変動の抽出を行った。以下に詳細を示す。

(1) SAR画像分析の精度確認

加古川流域周辺の水準点の位置は図-5のとおり。直轄区間内流域に位置するのは加古川、滝野のみである。その他3地点を含めて定期水準点測量結果とALOS-2及びSentinel-1のSAR画像分析による各水準点の垂直方向変動

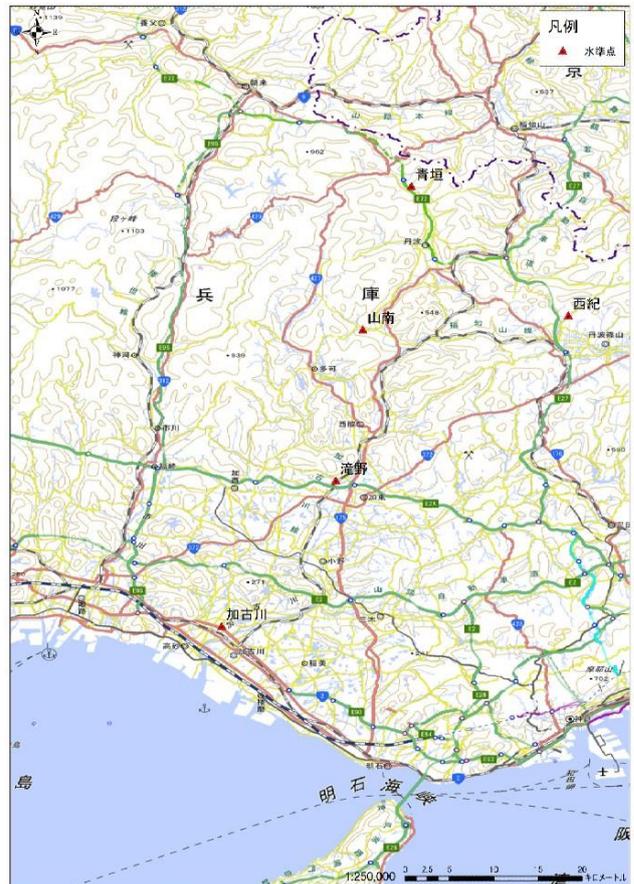


図-5 加古川流域周辺水準点位置

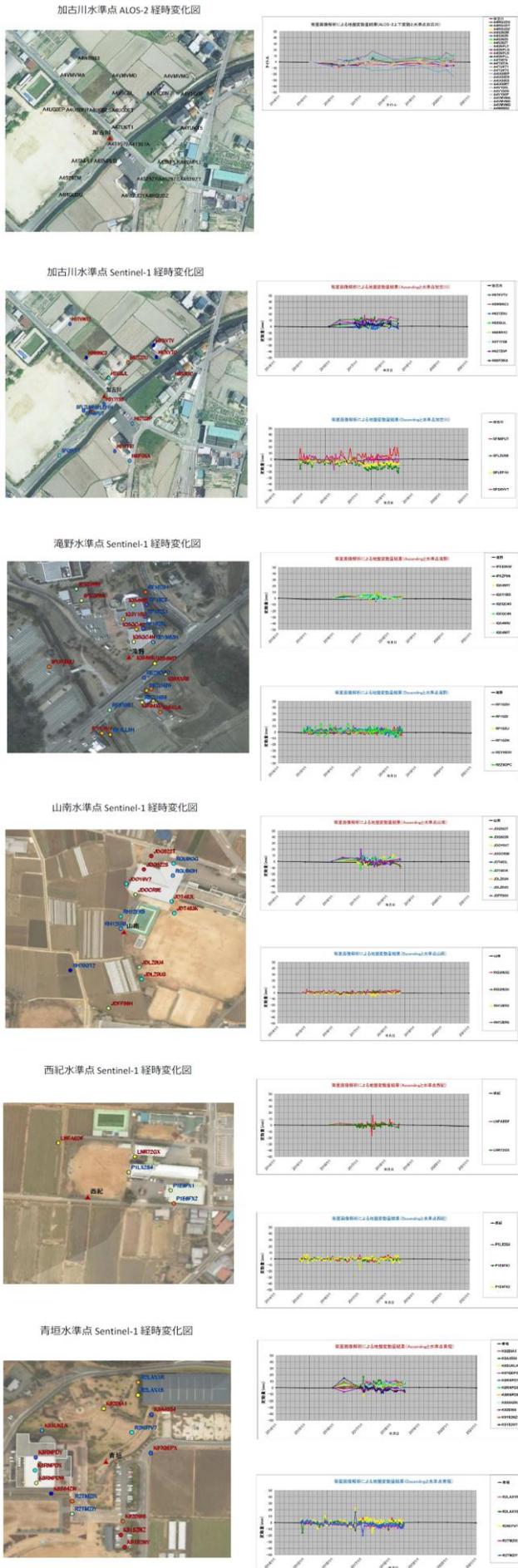


図-6 水準点位置における SAR 画像分析結果

果は図-6のとおり。

各水準点において水準点測量結果からほとんど変動が見られず、加古川流域周辺においては一律的な地盤変動は起こっていないと考えられる。よって各変動抽出点において一律的な地盤変動を考慮した補正は不要と判断した。

各水準点におけるSAR 画像分析により抽出した変動値は、箇所によっては年単位で見ると水準点測量結果変動値に対し数mm程度の差が見られるが、水準点周辺のSAR 画像分析対象箇所の変動値を平均すると水準点測量結果と概ね一致、つまり変動はほとんど見られないという結果になる。SAR 画像分析対象箇所と水準点位置の大きな違いとして、土地利用状況が挙げられる。水準点は測定の基準点かつ定期測量地点として利用されるため土地の形状変化は生じないのに対し、分析対象箇所は農地や住宅、道路等様々な土地利用形態がとられており、利用状況によって変動にばらつきが生じている可能性が高い。ただし、比較期間全体でみるとSAR 画像から抽出した変動値が水準点測量結果と同程度の値に収束する傾向が見られる箇所がほとんどであり、数年単位の変動の傾向は抽出可能と考えられる。

(2) 加古川直轄管理区間における垂直方向変動の抽出

加古川流域（直轄区間）において、SAR 画像分析により堤防や高水敷の変状を把握することが可能か検討すべく、垂直方向（上下）変動の抽出を行った。2015年から2020年の期間での流域全体の変動抽出結果の傾向は図-7のとおり。加古川の17k~21k付近では比較的大きい変動傾向が見られるが、その他地域では変動は1cmに満た

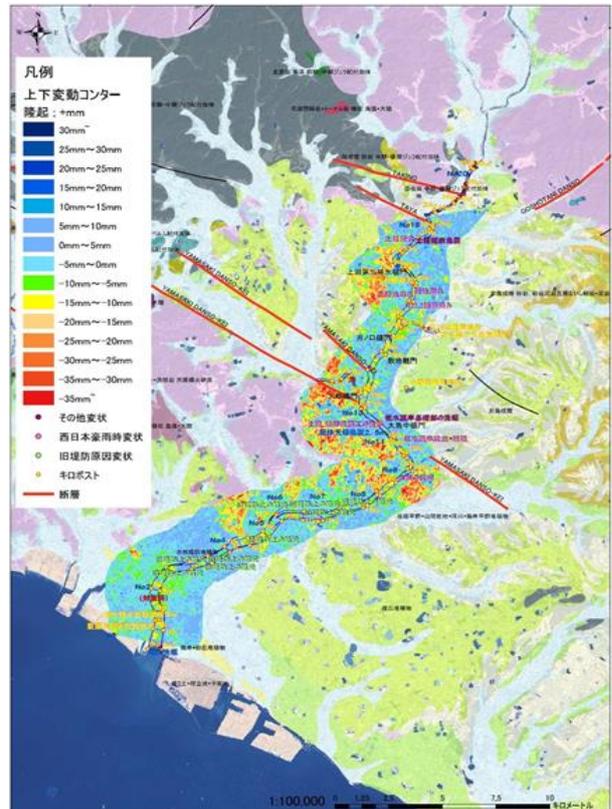


図-7 加古川流域における上下変動抽出結果

ないところがほとんどである。変動が大きい箇所は断層近くであり、断層の存在が地盤変動に影響を及ぼしている可能性はあるが、数cm程度の変動かつ堤防付近ではなことから河川維持管理上影響はほとんどないと考えられる。

(3) 個別箇所における垂直方向変動量の抽出

個別の堤防の変状や高水敷の陥没状況を把握可能か検討すべく、実際の変状・陥没箇所付近の垂直方向変動量の抽出を行った。抽出箇所は変状・陥没実績と十分なALOS-2によるSAR画像撮影枚数が確保された分析可能箇所を考慮した結果、平成30年7月豪雨の際に洗堀された加古川左岸15.8kの水制工裏側付近、過去に陥没が見られた加古川右岸10.0k+100m付近、左岸5.2k付近を選定した。

SAR画像の分析結果はTREMAPSというアプリケーションにてとりまとめ、光学衛星画像による地図や距離標位置と合わせて分析箇所及び2015年から2020年にかけての2015年時点を基準とした変動量の変化を表示できるようにしている。それぞれの箇所における上下変動量の抽

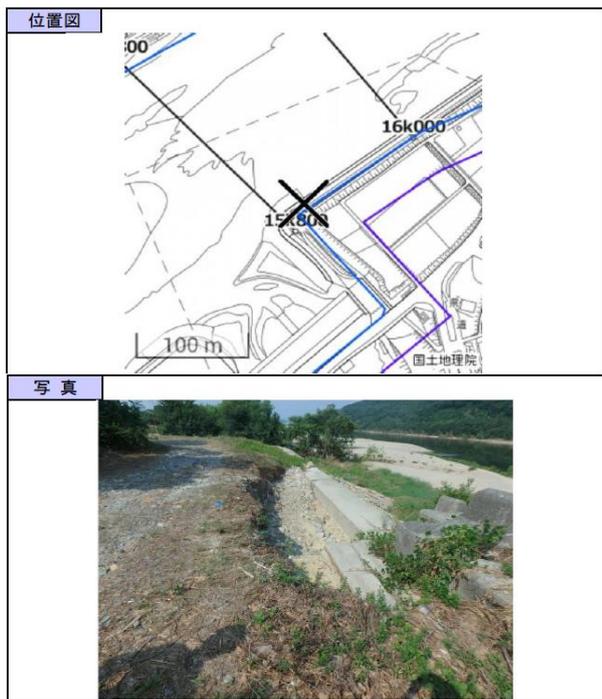


図-8 加古川左岸 15.8k被災箇所位置・状況

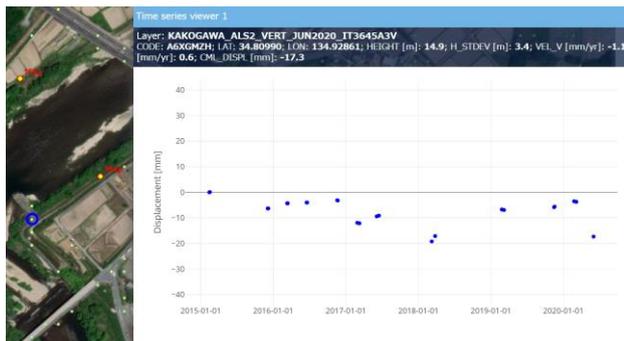


図-9 加古川左岸 15.8k 付近 SAR 画像分析結果

出結果は以下のとおり。

(i)加古川左岸15.8k（水制工裏側洗堀箇所）

平成30年7月豪雨による被災箇所及び被災直後の状況は図-8のとおり。水制工の裏側が大きく洗堀されている。そして同箇所付近の垂直方向変動量分析結果は図-9のとおり。図-10中の黄緑色の点がSAR画像分析対象箇所、SAR画像の解像度と同様3m×3mメッシュでの表示となっている。また、青丸に囲まれた点が変動量の経年変化の表示箇所である。縦軸が変動量を表しており、上方向にプロットされると隆起、下方向にプロットされると沈下を示す。横軸は時系列を表している。分析に要するSAR画像枚数の制約から変動量を得ることのできる頻度は年2、3回程度が現状の限界である。

2017年、2018年から沈下が大きくなっているが、変動量が2cm程度しか見られないため、洗堀箇所と分析箇所が完全に一致していないことからうまく洗堀による変動を捉えられていない可能性が高い。また、実際に被災し



図-10 加古川右岸 10.0k+100m 高水敷陥没状況



図-11 令和2年度高水敷試験掘結果

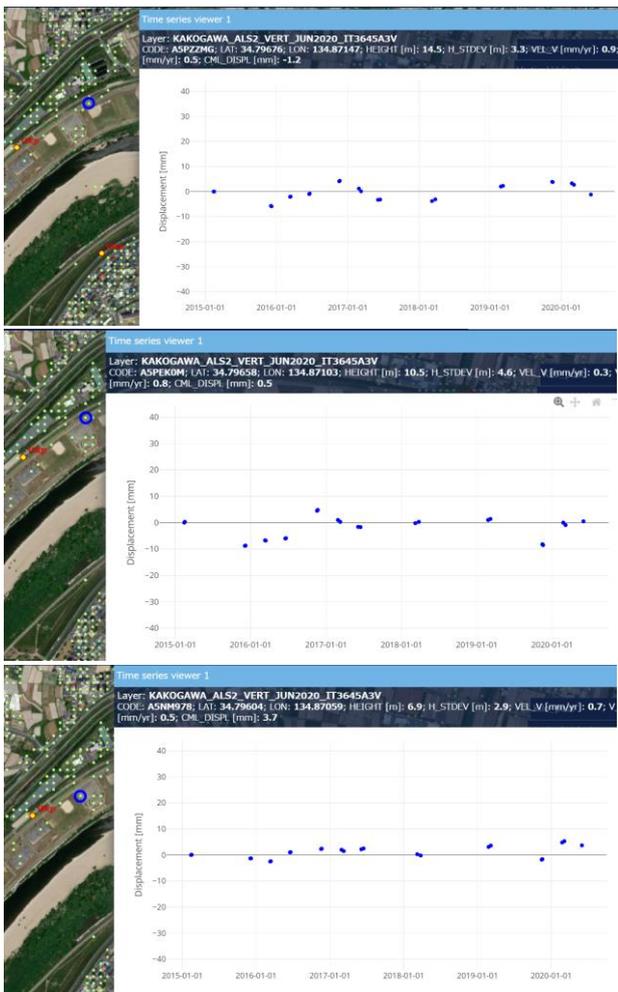


図-12 左岸 10.0k+100m 付近 SAR 画像分析結果

た2018年7月前後で変動量に大きな差が見られないことから、洗堀による変動量を抽出できていないと考えられる。

(ii)加古川右岸10.0k+100m (高水敷の陥没箇所)

高水敷の陥没箇所位置及び平成27年度時点の陥没状況、陥没メカニズムについては図-10のとおり。旧護岸の上に盛土を実施し高水敷を造成したことにより、旧護岸の石積みの隙間などに土砂が吸い出され空洞が生じた結果高水敷の陥没が発生したと考えられている。令和2年度には同箇所付近を複数点試掘し、図-11のように想定どおり旧護岸の埋設状況が確認された。そのため80m程度の区間を掘り返して旧護岸石積みを撤去し、良質土で埋め戻している。

埋設構造物が確認された箇所付近の垂直方向変動量分析結果は図-12のとおり。分析対象箇所と陥没箇所が一致していないため大きな変動は見られず、また付近のどの箇所においても分析期間中に垂直方向に変動がほとんど生じていない傾向が見られた。陥没箇所の抽出はできなかったものの、旧護岸の存在により大きな沈下が生じていないことが確認された。このことから同箇所付近での陥没は徐々に引き起こされるものではなく、スポット的に生じるものと考えられる。今後変動量の傾向に大き



図-13 加古川左岸 5.2k 高水敷陥没状況



図-14 加古川左岸 5.2k 付近 SAR 画像分析結果

な変化が生じた場合は、陥没リスクが高まっている可能性がある。このように、SAR 画像分析による変動量のモニタリングが陥没箇所への警戒度の引き上げ等の判断に資すると考える。

(iii)加古川左岸5.2k (高水敷陥没箇所)

同箇所でも右岸10.0+100m付近と同様に高水敷の陥没が平成24年度に確認された。陥没の詳細は図-13のとおり。同箇所の陥没のメカニズムは基本的に右岸10.0k+100mの陥没箇所と同様で、高水敷に埋設された旧護岸根固めの巨石の隙間に盛土が吸い出され、空洞化が生じたことで引き起こされたと考えられている。

同箇所付近の垂直方向変動量分析結果は図-14のとおり。陥没箇所から離れた堤防天端付近の箇所は下方の変動はなく、むしろ上方へわずかに変動している傾向が見られる。一方、巨石が埋設されていると考えられる陥没箇所付近は大きな変動は見られないものの、2016年より下方に変動している傾向が確認された。陥没を直接抽出できてはいないが、埋設巨石の存在により高水敷が沈下している様子を捉えている可能性がある。ただし、2016年に1、2cm程度変動し、その後はほとんど変動していないため、現状陥没リスクは高まっていないと考えられる。SAR 画像分析により得られたこれら情報をもとに、今後のモニタリングにて大きく変動が見られた場合は巡視頻度を強化するなどの検討が可能となると考える。

4. 河川堤防・高水敷等の維持管理へのリモートセンシング技術の適用可能性の検討

前章に示したSAR 画像の分析結果と実際の堤防の変状や高水敷の陥没状況を比較した結果や、SAR 画像分析の条件等から、現時点でSAR 画像分析技術を河川維持管理へ活用するために解決すべき課題及び適用可能と考えられる事項について以下のとおり整理した。

(1) 現時点におけるSAR 画像分析の技術的限界について

第2章、第3章の中で示した現状のSAR 画像分析の技術的限界は以下のとおり。

- ・ SAR 画像の分析方法、撮影方法の特徴より分析対象箇所を任意に設定することが難しい
- ・ 分析の精度向上のため一定枚数の画像が必要となることから、撮影周期との兼ね合いにより変動量の分析可能頻度が年2、3回程度が限界である
- ・ SAR 画像自体のメッシュがALOS-2の画像でも3m×3mであるため、狭い範囲での変状・陥没を分析で捉えることは難しい
- ・ 分析結果がmm単位で得ることができる反面、土地利用状況等様々な要因による変動が抽出されてしまう
- ・ 分析結果を水平・垂直方向の変動量として表すことが一般的であるため、変動量から変状・陥没を詳細にかつ妥当性を持って評価するためには別途異なる技術が必要となる

(2) SAR 画像分析に要する費用について

- ・ Sentinel-1のSAR 画像は無料で取得できるが、解像度が粗いこと、レーダ波長が短く植生による誤差が大きくなることから、河川状況の把握に適用することが難しい
- ・ ALOS-2のSAR 画像は有料で一枚当たりの取得価格が10万円程度であるため、分析に必要な枚数を確保するために要するコストが大きくなる
- ・ 分析に要する労力、特に精度向上のための作業コストが大きい

(3) SAR 画像分析による高水敷陥没箇所の点検・対策実施優先順位付けに係るスクリーニングの実現可能性

- ・ 広範囲での沈下傾向を分析により把握することは可能
- ・ 埋設構造物の存在を把握している場合などでは、分析により確認された沈下傾向の原因を推定することが可能
- ・ 広範囲で沈下のリスクを抱える加古川下流部高水敷などにおいて、通常の沈下傾向から外れた動きが見られる箇所について、重点的に巡視等による点検や対策を実施するなどの検討は可能

5. まとめ

第4章で整理したように、河川堤防等の変状を現時点でSAR 画像分析により直接抽出することは困難であり、抽出を実現するためには解決すべき技術的課題は多い。しかし、ピンポイントの変状の抽出には現状SAR 画像分析は向いていないが、河川巡視等であらかじめ変状の傾向や原因が分かっている個所でかつ変状が断続的に表れるような箇所については、点検や対策の優先順位検討に際してのスクリーニングのために活用可能と考える。とはいえ、SAR 画像分析結果を用いた河川堤防等維持管理に係る行政判断を行うための経験や知見はまだ蓄積されていないことから、河川維持管理へ直ちに適用するにはハードルが高い。SAR 画像分析の導入による河川維持管理の効率化を実現するためには、現状の巡視等の河川状況把握手法と並行してSAR 画像分析結果による河川堤防等の変状評価を試行的に取り組んでいき、現場での意見をフィードバックしながら技術を改良していく必要があると考える。本稿はその第一歩として、リモートセンシング技術の活用に係る経験・知見を蓄積するという観点から取りまとめた。今後同様の取り組みが行われる際の一助となれば幸いである。

謝辞：近畿地方整備局企画部施工企画課が募集した「新技術の現場試行」において、本稿で紹介した取り組みに多大なご支援・ご協力をいただいた株式会社応用地質水野様、塚原様、石垣様他関係者の皆様に、この場を借りて感謝の意を表す。

道の駅を拠点とした 自動運転サービス実証実験について

堀家 裕子

近畿地方整備局 滋賀国道事務所 管理第二課 (〒520-0803滋賀県大津市竜が丘4-5)

国土交通省では、地域の拠点機能を備えた道の駅等を核として、技術の進展が著しい自動運転車両を活用することにより、高齢者の移動手段の確保、農産物の集荷や物流の確保等、地域の生活を維持し、地方創生を果たしていくための移動システムの構築を目指して、自動運転の実現に向けた実証実験を進めている。

道の駅「奥永源寺溪流の里」は2017年4月に技術検証を行う地域として選定され、同年11月に短期実験を実施した。今回はビジネスモデルとしての検証を行う為、2019年11月から12月にかけて長期実験を行った結果及び、その後の社会実装の状況について報告をするものである。

キーワード 自動運転 住民参加 公共交通

1. 背景・目的

(1) 地域の状況

滋賀県東近江市奥永源寺地域は、滋賀県と三重県の県境付近に位置しており、日本の原風景が色濃く残る山村で、琵琶湖の源流のひとつである愛知川、鈴鹿山系に属する日本コバなど、豊かな自然・景観に恵まれた地域である。(図-1)

道の駅「奥永源寺溪流の里」は、廃校となった政所中学校の校舎をリノベーションすることで2015年10月に東近江市により開業された道の駅であり、従来の道の駅機能に加えて、市役所出張所や出張診療所が併設されており、地域の生活拠点として重要な役割を担っている。

また、東近江市では、市内外を結ぶJR琵琶湖線、近江鉄道及び路線バスにおける幹線交通を補完するため、「ちょこっとバス」や「ちょこっとタクシー」が運営されている。奥永源寺地域においても、「ちょこっとバス」により市中心部である八日市市街に至る路線「政所線」が運行されており、道の駅「奥永源寺溪流の里」にもバス停留所が設置されている。この「政所線」では、貨物運搬が可能であり、農産物生産者が道の駅「奥永源寺溪流の里」まで商品を納める手段としても利用されている。



図-1 東近江市奥永源寺地域位置図

(2) 地域の課題

東近江市の人口は、2005年の116,797人をピークに減少に転じており、2045年には10万人を割り込むと予想されている。また65歳以上の高齢人口も、高齢化の進行により、総人口に占める割合が30.4%になると予想されている。

特に、奥永源寺地域においては、人口360人に対して65歳以上の高齢人口が187人を占め、高齢化率は52%と東近江市全体の高齢化率の約2倍となり、高齢化が深刻な地域といえる。(図-2)

奥永源寺地域において、今後更に超高齢化社会が進行する中で、自動車等の運転が出来ない高齢者の増加が見込まれており、交通弱者の生活を支える地域に密着した

公共交通の需要が高まることが予想される。

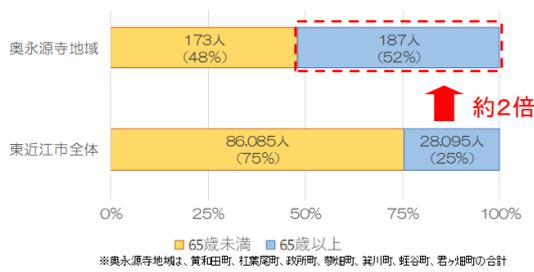


図-2 東近江市及び奥永源寺地域の人口構成 (H27国勢調査)

(3) 目的

超高齢化が進行する奥永源寺地域において、高齢者の移動手段の確保、農産物の集荷など物流の確保、観光への活用や新たな働く場の創出など、地域生活を維持し、地方創生を果たしていくための移動システムを構築することを目的とし、道の駅「奥永源寺溪流の里」を拠点とした自動運転サービスの短期実証実験を2017年11月に行った。

長期実証実験では、過年度の短期実証実験を踏まえ、ビジネスモデルとして、本格的な社会実装に向けたより具体的な課題の抽出を目的とした。

2. 長期実証実験の概要

(1) 地域の目指す方向性

自動運転サービスの長期実証実験を通して目指す地域の方向性としては、地域で「シェア」するような移動サービスを確保し、免許返納等により移動が困難な高齢者の移動手段を確保すること及び「道の駅までのちょっとした移動は自動運転」、「道の駅から永源寺支所までの移動はちょこっとバス」等の使い分けを行い、「気軽に道の駅に行ける」を目的に道の駅への移動環境を整える。

(図-3)

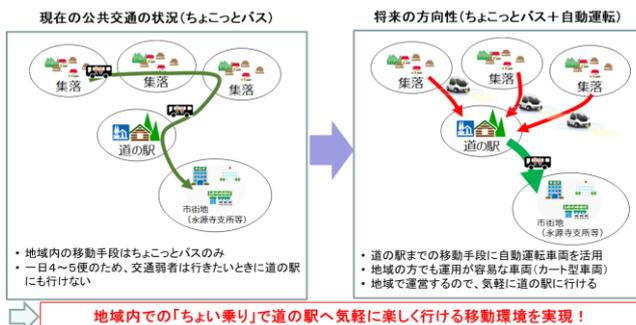


図-3 目指す方向性イメージ図

(2) 地域実験協議会

有識者、滋賀県、滋賀県警察、東近江市、道の駅、地域住民、道路利用者団体などにより構成される地域実験協議会を短期実証実験の際に設立しており、長期実証実験実施においても、継続して情報共有、意見交換を行った。(表-1)

表-1 協議会構成員 (2019年10月時点)

所 属 等
京都大学大学院 工学研究科 教授
京都大学大学院 工学研究科 准教授
滋賀県 土木交通部 技監
滋賀県 土木交通部 交通戦略課長
滋賀県 土木交通部 道路課長
滋賀県 東近江土木事務所長
東近江市 都市整備部長
東近江市 永源寺支所長
滋賀県警察本部 交通規制課長
滋賀県東近江警察署長
奥永源寺溪流の里運営協議会 会長
道の駅「奥永源寺溪流の里」 駅長
永源寺東部地区自治会長会代表 萩原尾町自治会長
黄和町自治会長
藤野町自治会長
政所町自治会長
箕川町自治会長
蛭谷町自治会長
君ヶ畑町自治会長
一般社団法人滋賀県バス協会 専務理事
一般社団法人滋賀県タクシー協会 専務理事
一般社団法人滋賀県トラック協会 専務理事
ヤマハモーターパワープロダクツ(株)取締役 LLV事業推進部長
国土交通省 近畿地方整備局 道路部 交通対策課長
国土交通省 近畿地方整備局 滋賀国道事務所長
国土交通省 近畿運輸局 自動車交通部 旅客第一課長
国土交通省 近畿運輸局 自動車技術安全部 技術課長
国土交通省 近畿運輸局 滋賀運輸支局 首席運輸企画専門官
国土技術政策総合研究所 道路交通研究部 高度道路交通システム (ITS) 研究室長

(3) 実験ルート・自動運転車両

実験ルートは、より集落と直結した運行や登山客の需要獲得を目指し、道の駅「奥永源寺溪流の里」と南側の黄和町・萩原尾町を結ぶ往復4.4kmの区間とし、自動運転車両は狭隘部を走行可能なゴルフカート型車両を使用した。(図-4)

この実験車両は、地中に埋設されている誘導線を感じ取り、コンピュータが誘導線の位置を解析し、設定されたルートを走行するものである。また、埋設されたRFIDタグ上を走行すると、タグ情報を読み取り加速・減速等の情報に基づき車両を制御することも可能である。

また、歩行者や通行車両の安全対策として、周知チラシの配布・路面標示の設置・待機所の周知・情報板の設置を実施した。(図-5)



図-4 実験ルート図



図-5 周知チラシ

(4) 実験日時

実験日時は、2019年11月15日から同年12月20日の36日間である。

運行ダイヤは表-2のとおりである。

表-2 運行ダイヤ（長期実証実験）

運行ダイヤ		
道の駅 ⇒	銚子ヶ口 ⇒	道の駅
9:05	9:20	9:35
10:25	10:40	10:55
12:30	12:45	13:00
13:30	13:45	14:00
14:50	15:05	15:20
15:40	15:55	16:10

期間中、ダイヤを変更することがあります

(5) 運行管理・徴収料金

自動運転車両の運行管理については、道の駅内に運行管理センターを設置し、運行状況のモニタリングや予約管理を実施した。また、将来の実装を見据え、地元の方に乗務員・オペレータとして体験して頂いた。乗車料金としては、一定金額（20円）を徴収した。（図-6）

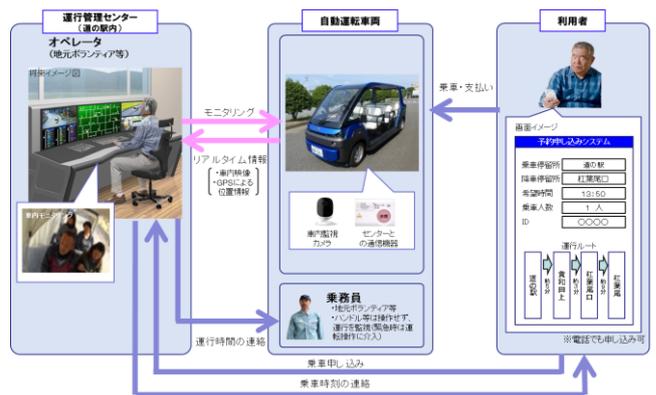


図-6 運行管理のイメージ図

3. 長期実証実験結果

(1) 運行本数・利用者数

実験期間中、216便を運行し、延べ501人が乗車し、

うち半数以上の265人が地域住民となっている。なお、地域住民とはルート周辺の黄和田町・杠葉尾町・政所町・蓼畑町・蛭谷町・箕谷町・君ヶ畑町の住民のことをいう。

日別の利用状況を見ると、11月は紅葉の見頃であったことなどから、観光客の方の利用が多く見られた一方、12月に入ってから奥永源寺地域の住民の方に徐々に実験が浸透してきたこともあり、地域住民の方を中心とした利用がみられた。

(2) 検証項目

長期実証実験を通して、中山間地域の特性に応じた走行空間の確保方策、運行管理センターの設置といった技術面や、将来の運営体制を想定した事業実施体制、高齢者の利便性の向上・外出機会の増加、観光客の利便性向上、貨客混載の需要喚起など多様な連携方策の検討、事業としての採算性・持続可能性といったビジネスモデル面の検証を実施した。

各項目を検証するため、近隣住民や乗客に対するアンケート調査、関係機関へヒアリング調査及びカメラ映像やシステムログの分析も併せて実施した。

(3) 走行空間の確保について

安全対策の認知度について、実験終了後に地域住民に実施したアンケート調査によると、特にチラシと看板の認知度が高いという結果が得られた。今回のように道路利用者の多くが地域住民の場合、チラシ・看板を中心とした周知が有効と考えられる。(図-7)

また、自動走行を中断して手動走行に切り替える介入や障害物等を認識して自動で減速・停止する検知の発生状況について分析した結果は以下のとおりである。(図-8)

対向車とのすれ違いが要因の45%を占めており、幅員の狭いルートでの介入・検知の削減には限界がある。外的要因に起因する急挙動が多いことから、安全性については概ね問題なく、手動介入や自動運転走行への復帰を行うためのドライバーが乗車すれば、実用化は可能と考えられる。

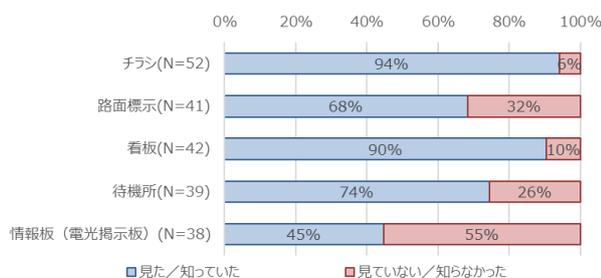


図-7 各安全対策の認知度 (地域住民)

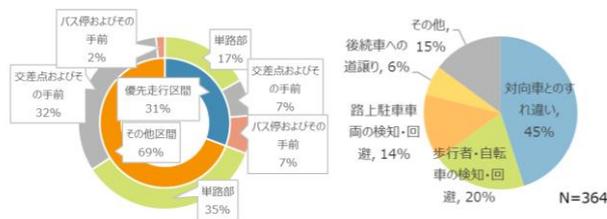


図-8 手動介入が発生した区間とその要因

(4) 運行管理システムについて

運行・予約管理面で大きなトラブルはなかったが、ほとんどの利用者が予約システムを利用せずに、電話予約を利用した。

(5) 事業実施体制について

関係機関等へのアンケート及びヒアリング結果をもとに、実用化時に想定される運営体制のパターンについて整理した。検討に際しては、ドライバー・オペレータを地域内の個人が担う事を前提に検討を行った。

自動運転サービスの運営に必要なドライバー・オペレータとしての地域住民の協力意向について、アンケート調査の結果、協力意思を示している人はドライバー・オペレータともに10名以上おり、長期実験と同程度(週1, 2回程度)の運用であればシフト調整が可能と考えられる。

地域内の既存団体である道の駅運営協議会や地元自治会が運営する場合、自動運転以外の事業も含めた組織全体で採算性が確保できればよいが、いずれも有志団体であり、有事の際の責任の所在等の明確性に課題がある。新たに自動運転サービスを運営するための地域組織を立ち上げる場合、調整に時間を要するという課題がある一方、輸送サービスの運営に注力可能であることや、法人格をもつ団体であれば、責任の所在や会計面が明朗になるといったメリットがある。さらに、東近江市が主体として運行する場合、ちょこっとバスとの連携が容易といったメリットはある一方、行政負担・コスト面の課題が大きいと言える。

(6) 多様な連携方策について

多様な連携方策について、事後アンケート調査によると、自動運転サービスによって、約半数の住民が外出の機会・範囲は増えると考えており、実用化によって、住民の外出頻度増加が期待される。一方、長期実験では道の駅の施設から自動運転の乗り場まで200mほど歩く必要があったことから、道の駅の施設まで行ってほしいといった意見が多く聞かれるなど、道の駅等への移動ニーズを踏まえた利便性向上策等の検討が必要である。

地域住民の移動目的以外での多様な連携方策として、長期実験期間中、朝市への商品出荷や登山客の輸送、観光イベントとの連携を実施した。出荷物輸送については、

毎週日曜日に道の駅で実施される朝市である山里市場と連携し、出荷物の配送を行う早朝便を設定した。(図-9) 各回とも多くの方が利用し高い満足度が得られたことから、実用化時にも有効なサービス形態として考えられる。また、長期実験時は出荷物の輸送のみの利用は無償としていたが、支払意思額として50円~100円が多く、実用化時には収益確保策としても活用できると考えられる。(図-10)



図-9 出荷物輸送サービスの利用状況

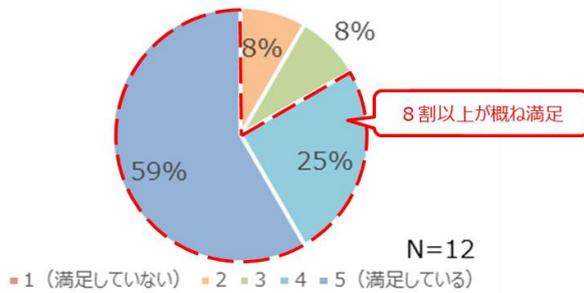


図-10 出荷物輸送サービスへの満足度

観光客による利用については、長期実験が11月の紅葉シーズンと重なっていたことから、自動運転車両に乗りながら紅葉を鑑賞する利用者が多くみられたほか、鈴鹿十座の1つである銚子ヶ口の登山口への移動手段としても活用された。さらに、12月1日には、東近江市観光物産課とのコラボイベント「戦国きわんだーランド〜ゆずり王の謎を解け!」が実施され、武将のコスプレをしたガイドの話聞きながら自動運転車両を体験するというツアーが実施された。(図-11) このような観光客利用のニーズとして、特に紅葉シーズン中の休日には1日あたり13.7名の利用があったことから、実用化の際にも観光客利用は重要な収益源となると考えられる。



図-11 観光客による利用状況

(7) 事業採算性について

事後アンケートの結果から、自動運転サービスの実装時には、住民の5割近くが週1回以上利用したいと考えていることがわかった。(図-12) また、利用したいと思わない人のほとんどが「まだ自分で運転できるから」という理由であり、将来的に免許返納を実施した際には自動運転を利用する可能性があると考えられる。(図-13)

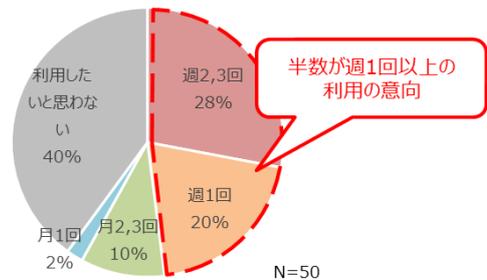


図-12 サービス実装時の利用意向 (地域住民)

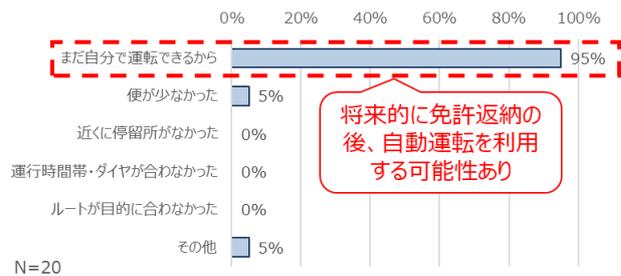


図-13 利用したいと思わない理由

運賃設定に関して、1回あたりの運賃については、地域住民は200円、観光客は300円で、8割以上が高いと感じることがわかった。(図-14) 実用化に向けて事業採算性を確保するためには、実験期間中に試行した定期券や1日乗車券、回数券、デマンド券といった多様な乗車チケットの導入も含め、料金体系について引き続き検討が必要と考える。



図-14 1回あたりの運賃設定 (高いと感じる金額)

以上のことから、長期実証実験結果で得られた知見を踏まえ、自動運転サービスの活用も含めた地域の公共交通の望ましいあり方の検討を進めた。

4. 社会実装の概要

(1) 運営体制

社会実験で得られた知見を踏まえ、東近江市において事業実施体制を構築し、社会実装を2021年4月23日から開始したところである。以下は、現段階の運営状況である。

運営体制としては、2020年12月より施行された「交通事業者協力型自家用有償旅客運送」制度を活用しつつ、運行主体は東近江市、運行管理者として運行業務を永源寺タクシーが実施、ドライバー・オペレータ業務は地域住民が担い、地域と連携した運営を行っている。(図-15)

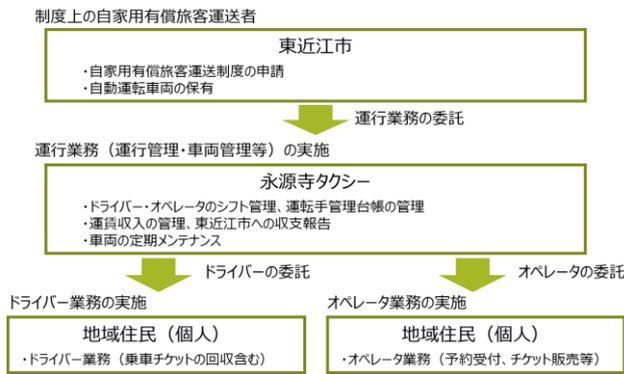


図-15 運営体制のイメージ図

(2) 運行ルート・自動運転車両

社会実装の運行ルート及び自動運転車両については、長期実証実験時と同様である。

(3) 運行ダイヤ・徴収料金

運行ダイヤは、前述で「地域の目指す方向性」を示したとおり、将来的には自動運転車両が「道の駅と集落間の輸送」を担い、「道の駅と市街地間の輸送」はちよこっとバスが担うという役割分担を図った運行を目指す。社会実装開始当初は、ちよこっとバスの既存ダイヤは継続した上で運行するため、自動運転車両の運行時間と重複しないようダイヤを設定した。(表-3)

表-3 自動運転車両の時刻表

時刻表【運行曜日：水・金・土・日】※早朝便は日曜のみ ※ちよこっとバスは永源寺支所方面	※早朝便は日曜のみ ※ちよこっとバスは永源寺支所方面						
	早朝便	第1便	第2便	第3便	第4便	第5便	第6便
奥永源寺溪流の里	7:30	9:05	10:25	12:30	13:30	14:50	15:40
日枝神社前	7:32	9:07	10:27	12:32	13:32	14:52	15:42
黄和田上	7:33	9:08	10:28	12:33	13:33	14:53	15:43
紅葉尾口	7:36	9:11	10:31	12:36	13:36	14:56	15:46
紅葉尾	7:38	9:13	10:33	12:38	13:38	14:58	15:48
鏡子ヶ口入口	7:43	9:18	10:38	12:43	13:43	15:03	15:53
紅葉尾	7:47	9:20	10:40	12:45	13:45	15:05	15:55
紅葉尾上	7:53	9:22	10:42	12:47	13:47	15:07	15:57
黄和田上	7:56	9:25	10:45	12:50	13:50	15:10	16:00
日枝神社前	7:59	9:26	10:46	12:51	13:51	15:11	16:01
奥永源寺溪流の里	8:10	9:35	10:55	13:00	14:00	15:20	16:10
連絡するちよこっとバス ※永源寺支所到着時刻		9:51	11:56			15:33	
		※10:17	※12:22			※15:59	

1乗車あたりの料金は、長期実験時のアンケート結果を考慮し、基本150円徴収する。その他、回数券や定期券、一日乗車券といった多様な乗車チケットを用意し、より地域住民が利用しやすいよう工夫した。

5. 社会実装経過報告

社会実装を2021年4月23日から開始し、5月9日までの乗車人数は合計162人となった。GW期間ということもあり、観光客が大半を占める結果となった。(図-16)

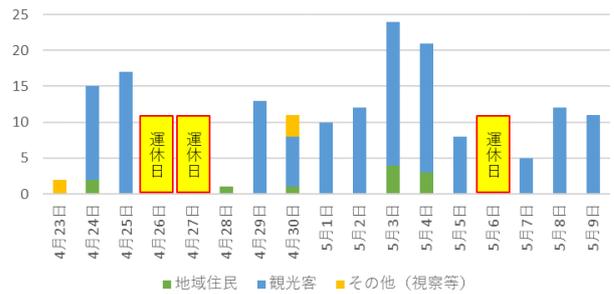


図-16 利用状況

6. 今後の進展

今後、東近江市において自動運転による社会実装を継続していく上で、「高齢者等を道の駅「奥永源寺溪流の里」や支所・診療所等へ送迎し、高齢者の日常での移動支援」「紅葉狩りやキャンプ等で地域に来る観光客の利用促進や、登山客の輸送サービスの実施」「貨客混載による山里市場への農産物輸送、道の駅からの商品配送で利便性の確保」などを適宜検討・実施し、自動運転による安定した運賃収入の確保、その他の収益向上策もあわせながら、自治体からの補填金を極力減らし、継続して地域が主体的に運営出来るビジネスモデルの確立を運行主体である東近江市と共に図りたい。(図-17)

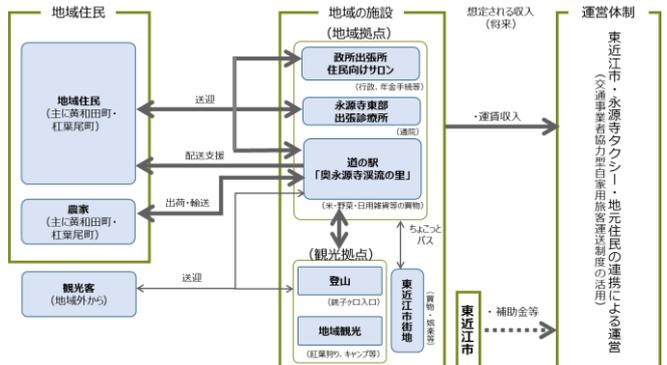


図-17 想定するビジネスモデル

ネットワーク型RTK法による境界杭の復元について

山岡 夕紀¹

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

当管理所が管理する琵琶湖開発施設の周辺には、境界杭を約4,000本設置しているが、管理開始から約30年経過した現在では、経年による劣化や損傷又は消失が散見しており、事業用地保全のため、損傷等が確認された境界杭の復元を順次実施している。

境界杭の復元では、復元箇所の周辺に設置した公共基準点からトータルステーション（測量機器）を用いる方法が一般的であるが、復元にかかる費用のうち、基準点測量等の占める割合が大きく、限られた予算の中では復元が進まないという課題を解決するため、当管理所で新たに導入したネットワーク型RTK法による境界杭の復元について、報告する。

キーワード 境界杭, トータルステーション, ネットワーク型RTK法, GNSS測量機

1. 琵琶湖開発施設の概要及び境界杭の設置状況

(1) 琵琶湖開発施設の概要

独立行政法人水資源機構（以下、「機構」という。）琵琶湖開発総合管理所（以下、「琵琶湖総管」という。）では、琵琶湖湖岸線の延長235.2kmのうち、50.4kmに及ぶ湖岸堤・管理用道路をはじめ、図-1の施設を管理している。

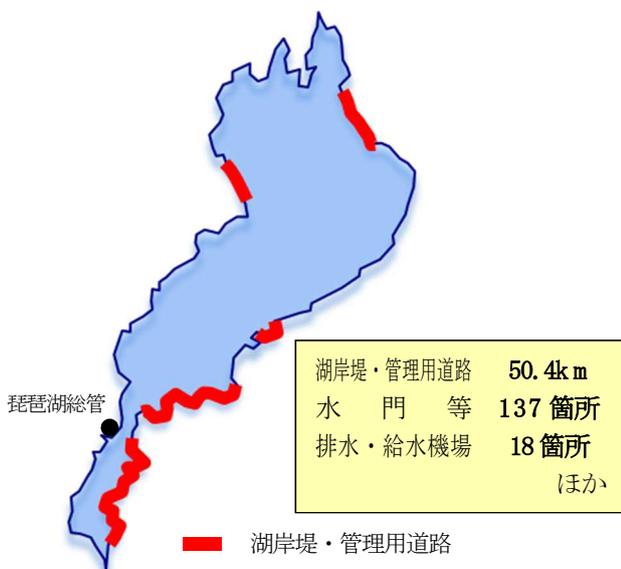


図-1 琵琶湖開発施設の概要

(2) 境界杭の設置状況

琵琶湖総管が管理する琵琶湖開発事業により生じた施設（以下、「琵琶湖開発施設」という。）の周辺には、隣接民地との境界を明示する用地境界杭（赤色）及び琵琶湖の河川管理者である滋賀県との協定に基づく管理地を明示する管理境界杭（青色）（以下、「境界杭」という。）を4,075本設置している（写真-1）。

境界杭は1992年4月の管理開始までに設置しており、管理移行後は、図面の電子化や測量法改正に伴う世界測地系への座標変換を行っている。



写真-1 境界杭の設置状況

(3) 境界杭の設置状況

管理開始以降、経年による劣化や損傷又は消失が確認された境界杭(写真-2)について、その都度、復元作業を実施してきたところである。2012年度には、民有地と接する堤内側に設置した約3,500本の境界杭について、現状を把握し、以降の適正管理を目的として杭写真台帳を整備した(写真-3)。杭写真台帳は、琵琶湖総管独自のものであり、図面や杭の番号、座標値、杭の状況及び現況写真を整理したものである。

琵琶湖総管では、頂面及び全側面の上端を着色した境界杭を使用しているが、過去に設置した境界杭の中には無着色(コンクリート色)のものがあり、目視では確認しづらい状況であったため、視認性を高めるための着色作業を行う等、損傷の予防にも努めている。

2. 境界杭の復元作業

(1) 復元作業の手順

琵琶湖総管での境界杭の復元作業は、業務発注により対応しており、業務の実施手順は、図-2のとおりである。

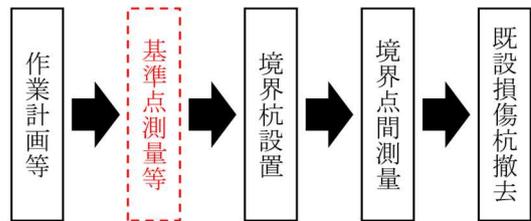


図-2 復元業務の実施手順

境界杭設置を始めとする用地測量における全般の測量は、トータルステーション(写真-4)と呼ばれる測量機器を用いるのが一般的である。琵琶湖総管で過去に実施した復元業務においても、水門等に設置した2級・3級基準点(写真-5)を用い、境界杭復元箇所付近に4級基準点(補助基準点を含む)を設置し、境界杭を復元している(写真-6)。

手順にある基準点測量等とは、境界杭を設置するための準備の測量である。復元する境界杭の近隣に既設基準点がある場合は、その基準点を使用して境界杭を設置できるため、基準点測量等の項目を計上する必要はない。



写真-2 損傷した境界杭



写真-4 トータルステーション



写真-5 2級・3級基準点(水門等に設置)

用地境界杭等詳細写真					隣接地区
図面番号	N0.3	点名	3-30	標識の種類	コンクリート杭
規定座標 X	42196.211	Y	21124.187	境界の区分	閉鎖境界
実測座標 X	42196.211	Y	21124.187	隣接地権者	〇

測量(撮影方向) 北(真北) 上

撮影 上

この杭 撮影位置
測量日: 1024.1.26

業務名 琵琶湖総管湖北
用地境界杭等
業務内容 用地境界杭等
杭番号 3-30
(7) 錦川地区
コンクリート杭

- ・ 図面番号
- ・ 杭番号
- ・ 座標値
- ・ 標識の種類等

写真-3 杭写真台帳の整備



写真-6 トータルステーションによる復元作業

(2) 進捗状況と課題

杭写真台帳整備後から2020年4月までの復元作業の実施及び進捗状況は、図-3のとおりであり、近年は他業務との兼ね合いから、境界杭の復元業務に充当できる予算が限られているため、復元作業の完了までに時間を要している。

2.(1)で述べたとおり、既設の4級基準点を使用できれば、基準点測量等の項目を計上せずに業務発注することが可能となる。しかし、既設の4級基準点は、設置後年数が経過したことによる劣化や道路維持作業（除雪）等による亡失が多数見受けられ（写真-7）、基準点測量等の項目を計上しなければならない場合が多かった。既設の4級基準点が亡失している場合、水門等に設置した2級・3級基準点をつなぐ形で新たに4級基準点を設置しなければならない。復元作業は、損傷等を確認した境界杭を対象としており、復元数に関係なく、現地の状況に応じて必要となる基準点測量等の数量を計上する必要があるため、復元にかかる費用のうち、基準点測量等の占める割合が大きく（図-4）、限られた予算の中では復元作業が進まないことが課題であった。

また、業務発注にあたり既設4級基準点の踏査が必要であり、確認に時間を要することも課題であった。

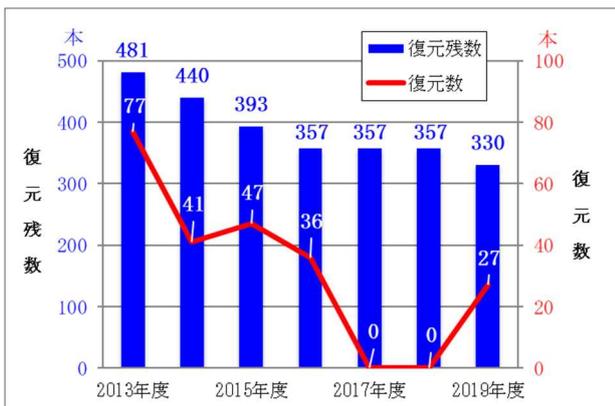


図-3 境界杭復元作業の進捗状況



写真-7 損傷・亡失した4級基準点



図-4 直接測量費に占める基準点測量等の割合 (復元1本あたり)

(3) 測量手法の検討

機構の公共測量作業規程では、2008年5月の全部改正以降、ネットワーク型RTK (Real Time Kinematic) 法による観測が応用測量 (用地測量を含む) においても可能となっている。

国土地理院のホームページによると、ネットワーク型RTK法による観測は、GNSS (Global Navigation Satellite System/全球測位衛星システム) 測量機 (写真-8) を使用し現場で取得した衛星データと、周辺の電子基準点 (写真-8) の観測データから作成された補正情報を組み合わせることで位置情報を取得し、直接、当該位置を観測することができるものである (図-5)。この観測方法により、境界杭の復元ができれば、発注前の既設4級基準点の踏査や復元業務での基準点測量等の項目が不要となり、発注までの時間短縮及びコスト縮減につながると考えた。



写真-8 GNSS測量機及び電子基準点

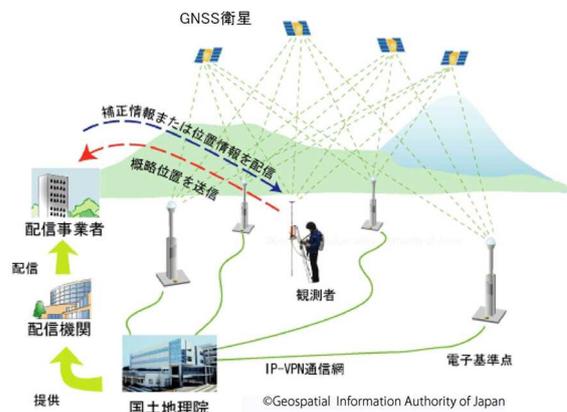


図-5 ネットワーク型RTK法による観測¹⁾

(4) ネットワーク型RTK法を導入するための要件

ネットワーク型RTK法による観測は、技術的な面や導入の効果等について周知が進んでいないこと及びトータルステーションによる観測ほどの精度が確保できないという懸念から十分に利活用されていない現状がある。

2016年6月に国土交通省土地・建設産業局地籍整備課がネットワーク型RTK法の活用促進を目的として「ネットワーク型RTK法による単点観測法マニュアル 改訂版- Ver.2.1」²⁾ (以下、「マニュアル」という。) を公表しており、農地、果樹園及び海浜部での測量事例が多数掲載されていた。マニュアルでは、ネットワーク型RTK法による単点観測法の精度検証結果が示されており、地籍測量において必要となる精度を満たしていることが確認できた。

ネットワーク型RTK法による観測を行うにあたっては、上空視界の確保が要件となる。湖岸堤・管理用道路の周辺は農耕地が広がっており、一部住宅地が連担した地域や樹木が生い茂っている地域も見られるが、上空視界は良好である。これは、湖沼事業の地域柄の特性であるといえる。

また、既設基準点との整合確保も要件となるが、湖岸堤・管理用道路沿いの水門等には約120点の2級・3級基準点を設置している(写真-5)ため、これを既知点として、ネットワーク型RTK法による観測と既設基準点との整合の確認が容易である。

琵琶湖総管で2020年度に予定していた復元業務の対象地域は、これら要件を満たしていたため、ネットワーク型RTK法による境界杭の復元を導入することとした。

(5) ネットワーク型RTK法による境界杭の復元結果

2020年度に実施した境界杭の復元業務では、ネットワーク型RTK法による観測を導入したことにより、基準点測量等にかかる費用が不要となり(図-6)、従来の復元業務に比べ、コストを削減することができた。

また、基準点測量等の項目を計上しないため、既設4級基準点の踏査が不要となる。現地への移動時間及び踏査にかかる時間を短縮することができ、業務の効率化にも寄与した。

なお、今回実施した復元業務の結果として、ネットワーク型RTK法による境界杭の復元は、機構の公共測量作業規程の許容範囲内の精度であることを確認している。



写真-9 GNSS測量機による復元作業

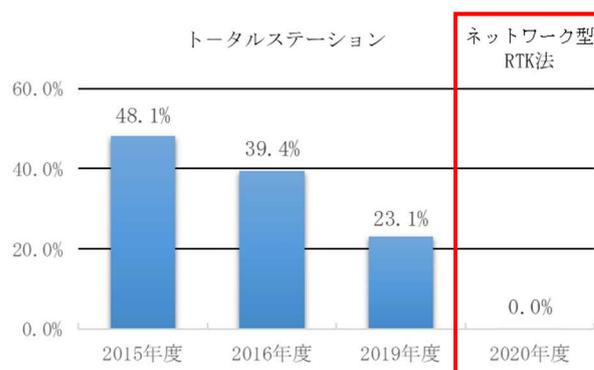


図-6 直接測量費に占める基準点測量等の割合 (復元1本あたり)

3. まとめ

ネットワーク型RTK法による観測を行うためには、上空視界の確保や既設基準点との整合確保が必要となるほか、受注者がGNSS測量機を有していること及びネットワーク型RTK法を利用するためのデータ配信業者と契約していることが要件となる。これら要件を満たせば、境界杭の復元作業においても大いに活用できる方法ではないかと考えている。

今後の境界杭復元業務においても、要件を満たす箇所には積極的に導入し、復元作業の進捗を図ることとする。

また、復元作業と並行して境界杭の保全作業を行うなど、今後も事業用地の適正管理に努めていきたい。

参考文献

- GNSSを使用した測量のいろいろ (<https://www.gsi.go.jp/denshi/denshi45009.html>) を加工して作成
- 国土交通省地籍Webサイト 関連する規程・通知等 一筆地測量におけるネットワーク型RTK法による単点観測法マニュアル(Ver2.1) (<http://www.chiseki.go.jp/law/tuuchi/index.html>)