

御堂筋におけるインフラDX・GXによる 道路空間の利活用について

中世古 蓮汰

大阪国道事務所 地域調整課 (〒536-0004 大阪府大阪市城東区今福西2-12-35)

本稿では、大阪市の御堂筋にて実施した道路空間の利活用を目的としたDX・GX技術による社会実験について、実験内容と検証結果について紹介するものである。併せて、今後取り組むべき課題とその対応についての所見を示す。

キーワード インフラDX, GX, 社会実験, 御堂筋チャレンジ

1. はじめに

(1) 御堂筋チャレンジの実施概要

大阪国道事務所では、歩行者の利便性を高める「ほこみち」制度の活用などにより歩行空間の改善や高度利用を図っている。また、道路空間のデジタル化(DX化)や道路空間での自給自足(GX化)といったインフラDX・GX技術の実用化に向けた検討を積極的に取り組んでいる。最先端技術の実用化は、実証実験による導入可能性の検証を踏まえた検討が必要であり、実験フィールドの選定が重要である。

大阪市では、メインストリートである御堂筋において、2037年を目標に側道区間を完全歩道化する構想「御堂筋将来ビジョン」を発表しており、今後着実に整備を進めるとともに、賑わい空間創出を目指している¹⁾。御堂筋では2017年に開催された80周年記念事業をきっかけに将来の魅力ある滞在空間の可視化を目指し、官民連携による社会実験である「御堂筋チャレンジ」が開催された。御堂筋チャレンジ2023では長堀通からなんば駅前までの側道歩行者空間化整備により広がった歩道空間などを活用し、道路空間の利活用内容やエリア周辺の回遊状況などが検証されている。

インフラDX・GXの導入の可能性の検証を目的として、御堂筋チャレンジ2023に参画し、社会実験を行った。

(2) 社会実験の実施概要

御堂筋は道路空間再編により歩行空間が広がったが、歩道内で歩行者と自転車が錯綜しており、今後

整備が進む箇所は同様の課題が生じると考えられる。

そこで、御堂筋において歩行者の整流化や自転車通行ゾーンと歩道との分離を目的に、DX技術であるプロジェクションマッピングを用いた通行位置の明示を行った。

また、歩行空間におけるDX技術の活用を持続的に行うためには、エネルギー確保が課題となる。

そこで、道路空間での電力の自給自足を目的に、GX技術として、人が通過する際の振動エネルギーを電気エネルギーに変換する床発電と路面太陽光発電パネルを公道上に初めて設置した。さらに、路面太陽光パネルで発電した電力を活用し、ガラス導光板を発光させることで歩きスマホに対する注意喚起を行った。社会実験は、御堂筋チャレンジ2023の実施期間である2023年11月10日～11月30日に行った。社会実験の実施場所及び内容は図-1に示す。

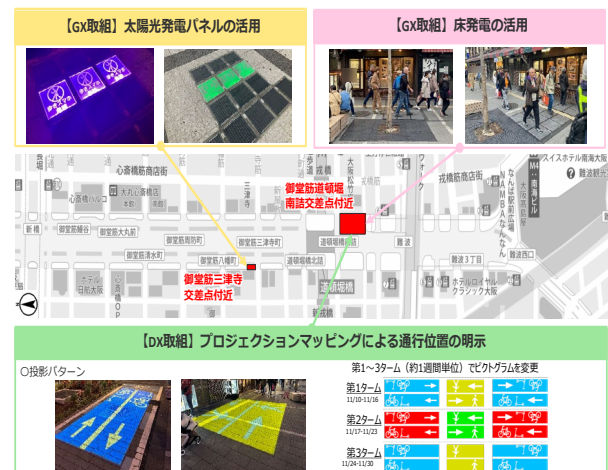


図-1 社会実験の実施場所及び内容

2. プロジェクションマッピングを活用した交通誘導案内について

(1) プロジェクションマッピングを活用した交通誘導案内についての概要

歩行者の整流化や自転車の走行快適性の向上を目的として、3機の投影装置を設置し、プロジェクションマッピングにて、交通誘導案内の投影を行った。投影位置は御堂筋東側の歩道区間である道頓堀南詰交差点～法善寺こいさん通りの間とした（図-2参照）。日中は光度不足で投影できないため、17時以降に投影した。プロジェクションマッピングの投影状況は図-3に示す。

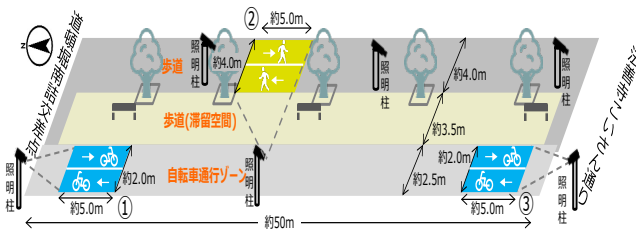


図-2 プロジェクションマッピングの投影位置

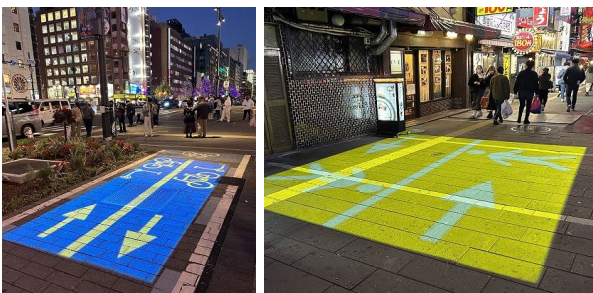


図-3 プロジェクションマッピングの投影状況

(2) 投影内容の検討について

御堂筋では、歩行者が自転車通行ゾーンを通行しており、自転車と歩行者の錯綜が課題であった。また、近年は電動キックボードの利用も進んでいるため、自転車に加え、電動キックボードに対しても自転車通行ゾーンを通行するように促す必要があった。そこで、自転車通行ゾーンの2箇所に自転車及び電動キックボードのピクトグラムと通行方向を示す矢印を表示した。さらに、歩行者同士の錯綜も課題であったため、歩道の1箇所に歩行者のピクトグラムと通行区分を示す矢印を表示した。ピクトグラムの色・表示内容は1週間単位で変更した（図-4参照）。また、歩行者・自転車利用者の気づきやすさを高めるため、点滅表示とした。

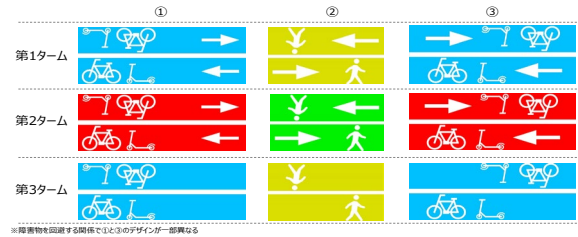


図-4 プロジェクションマッピングの投影パターン

(3) 効果検証結果について

交通誘導案内の効果検証はWebアンケートによる調査結果およびAIカメラや3D-LiDARを活用した通行位置の分析結果より評価した。

a) Webアンケート調査

Webアンケート調査は御堂筋を徒歩もしくは自転車で通過し、社会実験を見た人を対象に社会実験後の12/2～12/4に行い、400サンプルの回答を得た。Webアンケートによる調査結果は図-5に示す。調査の結果、約9割の人が、プロジェクションマッピングが見やすい、歩行者と自転車の通行区分の分離や通行位置を示す意図が伝わったと回答があった。ただし、内容を見た上で通行位置の変更に至った人は約6割だった。

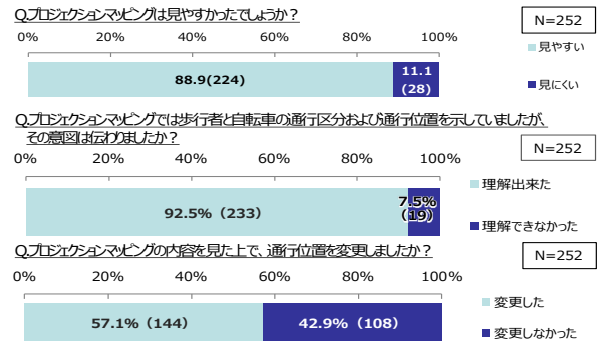


図-5 プロジェクションマッピングWebアンケート調査結果

b) AIカメラによる人流解析

社会実験期間前後の歩行者の通行位置を、大阪市が設置しているAIカメラで取得した動画データを用いて図-6のとおり、解析を実施した。実験期間前後では、南進する歩行者が歩道である東側（店舗側）を通行していたが、歩行者が多いことから、広がって通行する傾向がみられた。



図-6 社会実験前後の歩行者の通行位置

そのため、北進する歩行者が歩道である東側（店舗側）を通行できず、西側（自転車通行ゾーン）を通行する傾向が見られた。

実験期間中では、プロジェクションマッピングを確認することで、北進する歩行者においても西側（自転車通行ゾーン）を避け、歩道である東側（店舗側）を通行する傾向が見られた。

c) 3D-LiDARによる人流計測

社会実験中と実験後の歩行者の通行位置を3D-LiDARより取得した歩行者の緯度経度から分析した。3D-LiDARは、図-2の②の投影機と同じ場所に設置した。

3D-LiDARでは、御堂筋東側の歩道を通行する歩行者・自転車の緯度経度、時刻、IDが取得できるため、通行位置や軌跡を詳細に把握することが可能である。図-7より、北進する歩行者を対象に社会実験中と社会実験後の通行位置を比較した結果、社会実験後は自転車通行ゾーンを通行する歩行者が多い傾向であったが、社会実験期間中は実験後と比較して自転車通行ゾーンを通行する歩行者が少ない傾向であった。

また、各グリッドの進行方向を8方位で表現し、最も多い方向を分析した（図-8参照）。その結果、社会実験期間中は北進する歩行者が自転車通行ゾーンを避けて通行しており、プロジェクションマッピングによる歩道と自転車通行ゾーンの分離の効果が確認できた。

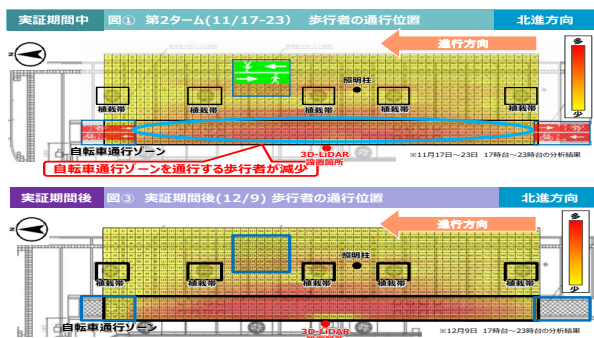


図-7 北進方向の歩行者の通行位置

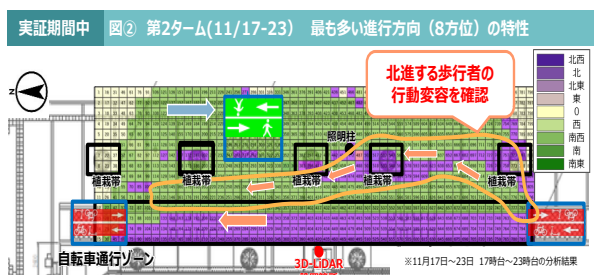


図-8 北進方向の歩行者の通行方向の特性

3. 歩道空間での床発電の活用について

(1)歩道空間での床発電の活用についての概要

道路空間での自給自足を目的に床発電パネルを公道上の歩道空間に初めて設置した。床発電は、人や車両が通過する際に発生する振動のエネルギーを電気エネルギーに変換する発電機である。床発電パネルによる発電イメージは図-9に示す。本社会実験では、55cm×55cm（約0.3㎡）の床発電パネルを用いた。

床発電の発電量は歩行者通行量に依存するため、歩行者通行量が多い御堂筋東側の歩道区間を実験フィールドとした（図-10参照）。歩道空間の幅員は約4mのため、横断方向に5枚、縦断方向に3枚の計15枚の床発電パネルを設置した。設置状況は図-11に示す。

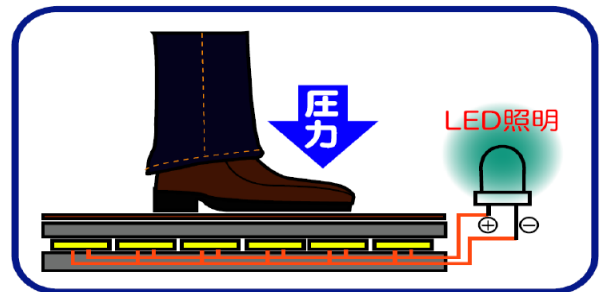


図-9 床発電による発電イメージ

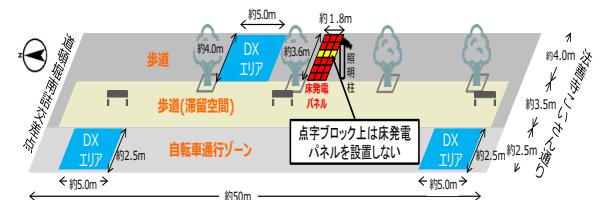


図-10 床発電パネルの設置位置



図-11 床発電の設置状況

(2)効果検証結果

歩行空間における床発電の活用に係る効果検証は、Webアンケート調査結果及び発電量を用いて行った。

a) Webアンケート調査

Webアンケート調査の対象者や期間は、プロジェクトマップの効果検証と同様であり、400サンプルの回答を得た。床発電に関するWebアンケート調査結果は図-12に示す。

約8割の人が、床発電を設置しても通行のしやすさは問題ないと回答した。また、約6割の人が、床発電の今後普及に期待できると回答しており、将来的な活用に向けての期待を確認できた。

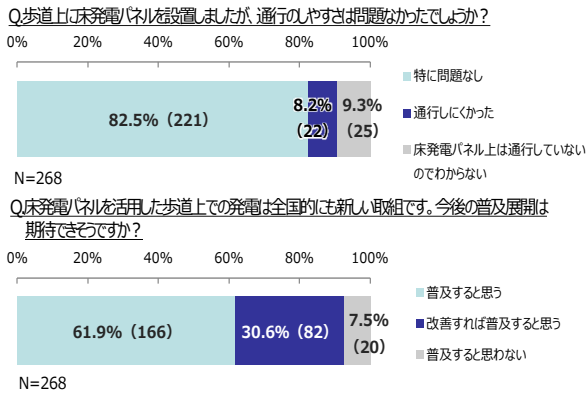


図-12 床発電のWebアンケート調査結果

b) 発電量

社会実験期間中の発電量を計測し、発電した電力の活用に向けた床発電の必要設置枚数を検討した。発電量は歩行者通行量に依存するため、御堂筋の歩行者交通量が比較的多い土曜日のうち、11月18日（土）20時台の発電量を用いて検証を行った。その結果は表-1に示すとおりであり、1時間で発電した電力は457.0mWhであった。当該時間帯に正常に稼働していた床発電パネルは11枚（約3.3㎡）であったため、1㎡あたりの発電量を算出すると約137.3mWh/㎡となる。

簡易的な基準の一つとして、モバイルバッテリーを満充電する際に必要な電力量と比較すると、モバイルバッテリーのバッテリー容量（100,000mWh）÷床発電パネル1㎡あたりの発電量（137.3mWh/㎡）÷床発電パネルの面積（0.3㎡）より約2400枚必要となり、1㎡あたりの発電量が低いことが確認できた。

表-1 床発電の計測結果

計測項目	実験結果（1時間あたり）
平均電圧(V)	2.8
電流値(mA)	161.6
電力(mWh)	457.0

4. 歩道空間での太陽光発電の活用について

(1)歩道空間での太陽光の活用についての概要

道路空間でのエネルギーの自給自足を目的に、公道上に初めて路面太陽光パネルを設置し、発電したエネルギーを用いて歩行者への注意喚起を行った。また、路面太陽光パネルにより発電し、発電した電力を用いてガラス導光板を発光させることで注意喚起を行った。

注意喚起による効果を検証するため、ガラス導光板の点灯内容は1週間単位で変更した。ガラス導光板の投影パターンは図-13に示す。

路面太陽光パネル及びガラス導光板については、歩行者の通行を考慮して埋設施工を実施した。設置箇所として、道路空間再編の事業中である御堂筋西側の三津寺町交差点付近に設置した（図-14参照）。

本社会実験ではガラス導光板3枚、ソーラー発電パネル12枚を設置した。ガラス導光板及びソーラー発電パネルの大きさは、40cm×40cm（0.16㎡）である。現地での設置状況は図-15に示す。



図-13 ガラス導光板の投影パターン

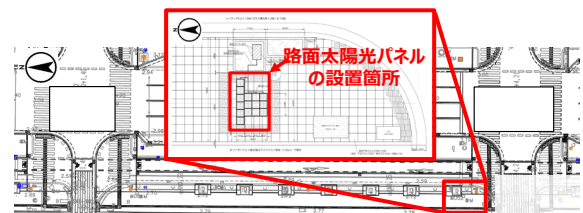


図-14 路面太陽光パネルの設置箇所



図-15 路面太陽光パネルの設置状況

(2)効果検証結果

歩行空間での太陽光発電の活用に係る効果検証は、Webアンケート調査結果及び発電量を用いて行った。

a) Webアンケート調査

Webアンケート調査の対象者や期間はプロジェクションマッピングの効果検証と同様であり、400サンプルの回答を得た。発電した電力を活用した、歩きスマホへの注意喚起に関するWebアンケート調査結果は図-16に示す。

ガラス導光板による注意喚起は約8割の人が見やすいと回答した。また、約5割の人が注意喚起を見たうえで歩きスマホをやめたと回答しており、太陽光発電を活用した注意喚起の効果が確認できた。

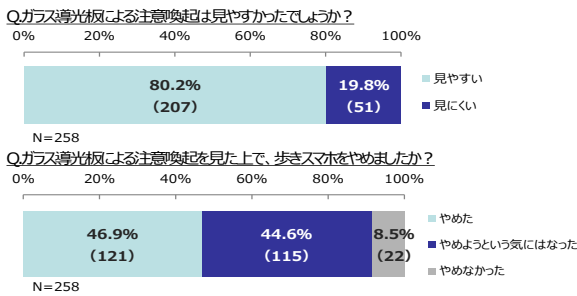


図-16 路面太陽光パネルのWebアンケート調査結果

b) 発電量

社会実験期間中の太陽光発電による発電量を計測し、道路での自給自足が可能であるか検証した。路面太陽光パネルによる発電量は図-17に示す。発電量の計測をした結果、太陽光により発電した電力量が注意喚起に用いる消費電力を上回ることがないことが確認できた。さらに、雨天の日などについては、発電できていないため、電力量が減少し続けており、定期的にバッテリー交換が必要であった。1時間当たりの発電量は図-18に示す。設置した箇所が御堂筋西側の歩道であり、周辺に高層ビルが建ち並ぶ環境であったため、10時~12時の2時間のみ発電できる状況であった。

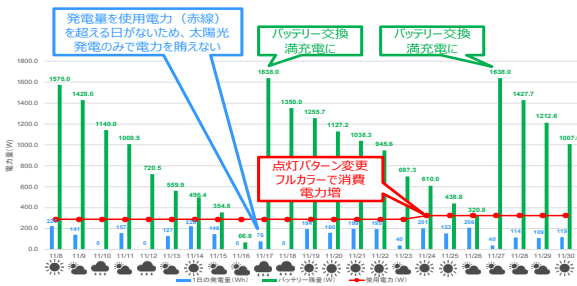


図-17 路面太陽光パネルによる発電量の計測結果

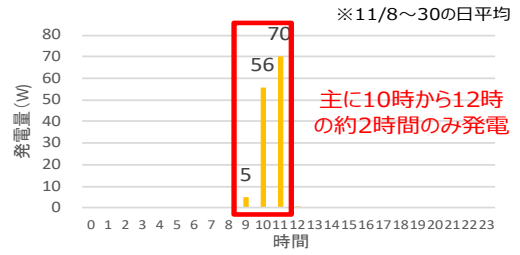


図-18 路面太陽光パネルによる1時間当たりの発電量

5. 今後取り組むべき課題とその対応について

(1)今後の課題とその対応

インフラDX・GXの導入可能性を目的として、御堂筋チャレンジ2023に参画し、社会実験を行った。その結果、新技術導入に向けた以下の知見が得られた。

a) プロジェクションマッピングを活用した交通誘導案内

Webアンケート調査結果より、プロジェクションマッピングを活用することで、歩道や自転車通行ゾーンの通行位置を明示する意図が伝わり、行動変容の効果もみられた。また、自転車通行ゾーンの端部で自転車のピクトグラムを見た人の行動変容を確認でき、歩道と自転車通行ゾーンの分離に効果があった。

しかし、今回は歩道の一部区間だけでの実施であり、局所的な交通誘導案内であったため、行動変容が見られた範囲は局所的であった。今後は、連続的に交通誘導案内を行い、行動変容を促す範囲を広げていくことが重要だと考えられる。

そのためには、投影機の設置台数を増やし、連続的に交通誘導案内を行うことで、交通誘導案内を視認する回数が増え、局所的ではなく、広範囲での行動変容に繋がれると考えられる。

b) 歩道空間での床発電の活用

公道上に初めて床発電を設置した結果、Webアンケート調査結果より、床発電パネルの設置により通行の支障になったと感じる人は少なく、道路上での床発電の普及を期待する声を確認できた。また、床発電による発電量を計測した結果、歩行者通行量に比例して一定の発電が可能であることが確認できた。

ただし、床発電で発電できる電力量は非常に小さく、道路上で電気を利用するニーズを満足できるほどの発電量は得られなかった。

そのため、現状の技術で実用化するには、設置枚数を大幅に増やす必要があると考えられる。

床発電で十分な発電量を確保するには、床発電の発電効率の向上や発電した電力を蓄電する技術の開

発が必要になると考えられる。

c) 歩道空間での太陽光発電の活用

公道上に初めて路面太陽光パネルを設置し、発電した電力を用いて歩行者への注意喚起を行った。Webアンケート調査結果より、注意喚起により約半数が歩きスマホをやめたと回答した。また、発電量の検証結果より、公道上に設置した路面太陽光パネルで発電できることが確認できた。

しかし、路面太陽光パネルの設置箇所は、歩きスマホの注意喚起をする上で、人通りの多い箇所を選定する必要があったため、都心部での実施となり、周辺に高層ビルが建ち並ぶ環境となった。そのため、午後には日光が入りにくい場所での実験となってしまう、十分な発電時間を確保できず、想定していた発電量に達しなかった。

今後、太陽光発電で十分な発電量を確保するには、太陽光発電パネルを橋梁部のような周辺に建物が立地していない箇所に設置する等、日照時間を考慮した上での設置箇所の選定を行う必要があると考えられる。

6. まとめ

最先端技術の実用化に向けては、実証実験による導入可能性の検証が必要となるため、道路空間活用

の先進地域である御堂筋にて開催した「御堂筋チャレンジ2023」に参画し、インフラDX・GXの導入可能性の検証を目的とした社会実験を行った。

DX技術として、プロジェクションマッピングを活用した交通誘導案内の効果を検証し、GX技術として、床発電及び路面太陽光パネルを公道上に初めて設置し、発電量等の検証を行った。

社会実験結果より、DX技術による行動変容の効果は確認できたものの、効果が限定的であったため、今後、広範囲でのプロジェクションマッピングの活用が必要であると考えられる。GX技術は両者とも公道上での発電は可能であったが、道路上での電力の利活用ニーズを満足できる発電量は得られなかった。

道路上での電力の活用ニーズを踏まえ、設置箇所や設置枚数の選定を工夫する等を行うことにより、道路での自給自足に資する活用ができる可能性があると考えられる。

大阪国道事務所では、今後も継続してインフラDX・GX技術の実用性向上策等を深化させ、持続可能かつ安全安心で賑わいがある道路空間の実現を目指す。

参考文献

- 1) 大阪市：「御堂筋将来ビジョン」を策定しました（2019年3月）

ドローンを活用した 瀬田川洗堰放流前巡視の検討について

安田 有佑¹・松田 政裕²

¹近畿地方整備局 河川部河川環境課 (〒540-8586大阪市中央区大手前3-1-41)

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

琵琶湖河川事務所では、瀬田川洗堰の操作により堰上下流の水位が上昇、低下し、流速が変化することにより起因する事故の防止を目的とし、河川の巡視を行っている。巡視範囲は洗堰下流域が洗堰～大石川合流点、洗堰上流域が洗堰～洗堰上流5kmである。上流・下流ともに徒歩班と警報車両班を出し、多くの要員で巡視に当たっているが、この要員の確保が課題となっている。この河川巡視の効率化・省人化を図るため、ドローンを活用する方策を検討した。

キーワード 河川巡視, 河川DX, ドローン, 効率化, 省人化

1. 検討の背景

(1) 瀬田川洗堰放流前巡視の現状

「瀬田川洗堰操作細則」より、瀬流水位観測所の水位上昇量が10分間に5cmを越える場合、または千町水位観測所の水位上昇量が30分間に30cmを越える場合、一般に周知させるために拡声器、警報車及びサイレンまたは疑似音による警報を行う。

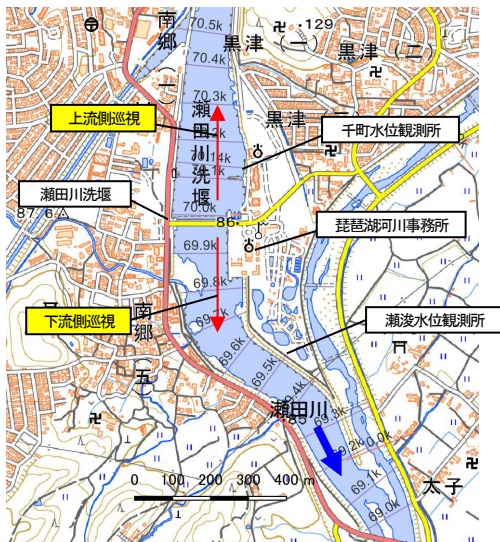


図-1 瀬田川洗堰と観測所位置図

放流規模に応じて、以下のとおり巡視を行っており、特に①と②の同時巡視の頻度が高い。

- ①下流徒歩巡視 2名×2班 4名
- ②下流警報車両巡視 3名×1班 3名
- ③上流徒歩巡視 2名×1班 2名

- ④上流警報車両巡視 3名×2班 6名
- その他、ゲート点検 2名, 堰操作 3～6名
- 1回当たり5～23名の人員を必要とする。

表-1 体制要員一覧

班名	必要要員	適用
操作班	6名	総括1, 操作・無線・記録3, モニター操作1, 情報連絡1
ゲート点検班	2名	点検
巡視班	15名	下流 左岸徒歩巡視班2名 堰～大戸川導流堤先端
		下流 右岸徒歩巡視班2名 堰～大戸川導流堤先端
		下流 警報車両班3名(巡視2名+運転手) 堰～大石川合流点
		下流 徒歩巡視班(左右岸)2名 堰～宇治発電所取水口
上流	15名	上流 左岸警報車両班3名(巡視2名+運転手) 堰～上流5km
		上流 右岸警報車両班3名(巡視2名+運転手) 堰～上流5km
計	23名	

表-2 エリアごと巡視回数(H29～R5年度)

年度	下流域のみ		上流域のみ		全区間	
	回	延べ人数	回	延べ人数	回	延べ人数
H29	8	56	3	24	3	45
H30	4	28	3	24	4	60
R1	6	42	1	8	1	15
R2	6	42	2	16	6	90
R3	12	84	3	24	3	45
R4	7	42	2	12	2	24
R5	6	36	2	12	2	22

表-3 全巡視記録集計(H29～R5年度)

年度	巡視回数	平均巡視時間(分/回)	巡視員数(人、延べ)			1回当り平均(人)
			徒歩	警報車	計	
H29	14	131	56	69	125	9
H30	11	241	46	66	112	11
R1	8	153	32	33	65	8
R2	14	250	64	84	148	11
R3	18	169	72	81	153	9
R4	11	136	44	34	78	7
R5	10	157	38	32	70	7

(2) 瀬田川洗堰放流前巡視の課題

放流前巡視の大きな課題は巡視要員の確保であり、ま

とまった雨の後に多くの職員を集める必要がある。

毎年多数が動員されており、地球温暖化で短時間強雨の増加も懸念される中、省人化は喫緊の課題である。

2. 河川DXによる効率化・省力化検討

(1) 河川DXとは

「河川・ダム管理における新技術導入について」(令和4年3月、国土交通省水管理・国土保全局)において、新技術を活用した整備・管理DXの推進による河川管理の高度化・効率化を示している。特にドローン等によるデータ取得、三次元データの活用、AI技術を活用した調査などが代表例として挙げられている。

また革新的河川技術プロジェクトでは、『河川巡視の高度化』として次のように示している。

<p>現在は、パトロール車等からの目視による河川巡視を基本としつつ、河岸等の車の進入が困難な場所等は、ドローン画像を活用したり、徒歩や船により異常箇所等の状況を確認</p>
<p>このため、画像解析技術を活用して異常箇所を自動抽出する技術開発を推進し、河川管理の効率化・高度化を図る</p>

河川巡視へのドローン活用は大きな可能性が期待されており、本検討についても同様に、放流前巡視の効率化(省人化)・高度化(AI自動検知)を目指している。

(2) ドローン巡視の概要

本検討において、ドローンを巡視に活用する最大の目的は省人化である。多くの巡視員が現場まで足を運んで、毎年8~18回程度実施している放流前巡視に代わって、ドローンから送られてくる映像を大画面モニターに映して、河川内に取り残されている人がいないか確認を行う。

最大で徒歩巡視に6名(下流4, 上流2), 警報車両巡視が9名(下流3, 上流6)という現状において、ドローン巡視3名(レベル3.5飛行)に置き換えることへの省人化の効果は大きい。(なお、レベル3.5ではない場合は、立入管理措置の補助者等の配置が必要となり省人化の効果は僅か)

また、効率化についても、警報車両巡視の場合、上流側は左右岸の移動効率が悪く2班必要だが、空中を飛ぶドローンでは河川内を往復して1班で効率的に実施できる。さらに下流側は、左岸側導流堤付近や溪谷部などのアクセスしにくい場所も効率的に確認できる。

将来的な理想形の模式図を図-2に示す。操作室の指令用PCで巡視開始ボタンを押せば、屋上のドローンポートに格納された巡視ドローンが自動離陸し、決められたルートを自律飛行しながら操作室の大画面モニターにハイビジョン画質で映像伝送し、自動帰還してドローンポートに格納される仕組みである。

これにより、河川内立ち入り者の確認が速やかに実施でき、省人化も期待できる。さらにリアルタイム映像伝送だけでなく動画ファイルとして録画もするため、データ保存し、気になる点があれば見直すことも可能である。

オプションとして、AIで映像分析して立ち入り者を判

別する機能も将来的には考えられる。

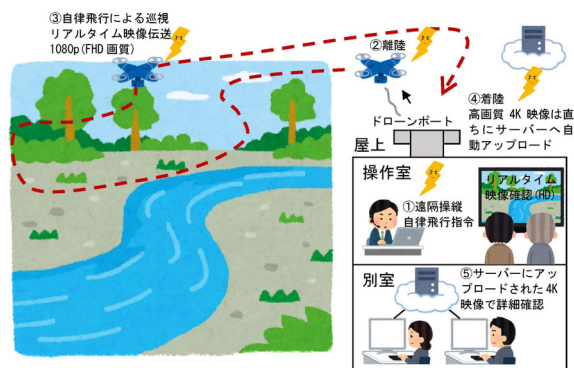


図-2 ドローンによる河川巡視の将来像

(3) 琵琶湖河川事務所の優位性

ドローンの活用で最も課題となるのが第三者上空を飛行させないことであるが、琵琶湖河川事務所では巡視対象である瀬田川との間に第三者物件がなく、事務所から離着陸が可能である。第三者の立入を制限する「立ち入り管理措置」なしに瀬田川へアクセスできることにより、将来的に完全自動化へ発展できる可能性も有しており、ドローンによる巡視を行うための立地条件は良い。さらに、巡視開始のタイミングは出水後の平時が多いことも優位性が高いと言える。

(4) ドローンによる河川巡視DXの導入ビジョン

まず、ドローンによる河川巡視の段階的な導入ビジョンについて、4つの段階分けを行った。(表-4)

巡視の実現には技術的ハードルと航空法等の法的ハードル、そして機種選定上の行政的ハードルがある。

第1段階は既に現状の市販ドローンで実現可能である。

第2段階は数kmの長距離飛行で、一部のLTE(携帯電話回線)対応ドローンに限られるが可能である。

第3段階では操作室から屋外のドローンに自律飛行の指示を出す。法的にクリアするには飛行範囲内全域に補助者を配置する必要がある。WiFi電波は屋内から屋外へつながらないため、LTE対応ドローンまたは通信機能が搭載された屋外用ドローンポートを設置して対応する必要がある。なお、現状で通信機能と監視カメラ付きドローンポートは中国製以外にほとんど量産品がなく、行政機関では国産の特注品対応となる。よってLTE対応ドローンのほうがハードルが少なく比較的導入しやすい。

第4段階は現場内に補助者を配置せず、事務所からの操作だけで完結する省人化のための最終目標の形である。補助者を置かない飛行は、航空局の許可申請の審査が非常に厳しくなり、無線航空機操縦士資格を取得した上で、レベル3.5あるいはレベル4での申請が必要である。

技術的には第4段階まで可能なドローンやドローンポートが開発されているが、レベル3.5やレベル4には常時資格者を確保することが必要であるが、現状において容易ではないため、第3段階までが限界である。

表-4 河川巡視の段階的な導入ビジョン

段階	概要	補助者
第1段階	WiFi電波の届く範囲で自律飛行 当地では最大500~600m程度までが目安	必須
第2段階	LTEによりWiFi電波不通区間の自律飛行を可能にし、全巡視区間(最大5km)から映像伝送	必須
第3段階	操作室から操縦、現地に補助者あり 屋内はWiFiが届かないのでLTEもしくは通信アンテナ付きのドローンポートが必須	必須
第4段階	ドローン巡視の全自動化 操作室から操縦、現地に補助者なし	任意

表-5 ドローンによる巡視の技術段階整理表

項目	内容	段階			
		1	2	3	4
自律飛行	プログラムされたルート簡単な操作で自動離陸・飛行・着陸	○	○	○	○
映像確認	決められた方法や頻度で自動撮影し、メモリーカードに収録	○	○	○	○
	撮影中の映像を現場からリアルタイム伝送	○	○	○	○
長距離通信	プロボの 2.4GHz 電波が届かない距離でもLTEで送受信継続		○	○	○
屋内から操縦	操作室から操縦し、離陸~巡視~着陸を完結(現地に補助者あり)			○	○
完全な自動飛行	レベル 3.5 または 4 で操作室から全自動飛行(現地に補助者なし)				○

3. ドローンを用いた実証実験

(1) 飛行高度と人物の判別検討

河川内にいる人物を判別できる飛行高さやカメラ角度を確認するために、実際に人を配置して高さや角度の異なる条件で試験飛行を実施した。

- ・カメラ条件：FOV94°，20mm(35mm換算)
- ・動画：FHD(1920×1080)
- ・飛行高度：30m, 50m, 80m

結果として、焦点距離20mmの広角レンズの場合、80mは目立つ人物のみ確認、50mは大半の人物が確認でき、30mでは服の色がわかりにくい人でも識別できた。

表-6 飛行高度と人物の判別検討結果

対地高度	カメラ俯角	速度	一般的な人物	服の色が背景に近い人物
30m	35度	18km/h	○	○
50m	40度	18km/h	○	△
80m	45度	18km/h	△	×

(2) 飛行における支障物件の確認

琵琶湖河川事務所から下流側には高圧線が横切っており、関西電力に問い合わせたところ、次の2点を条件として飛行可能との回答があった。

- ①高圧線からの離隔を30m確保すること
- ②高圧線の下をくぐらないこと

高圧線の下をくぐってはいけない理由は、電圧降下や電波途絶等のフェイルセーフが作動した際、ドローンが勝手に上昇して高圧線に接触するのを防ぐためということであった。関西電力から鉄塔の高さ情報を入手し、3Dレーザースキャナによる現地計測で高圧線の配置も

確認した。その結果を元に堤防天端からのドローン必要高さを高圧線の最大高さ42m+30m=72m →80mとした。



図-3 調査地内の高圧線(3Dスキャナによる点群)

ここで問題となるのが人物を判別する上での適正高さである。映像による人物判別検討の結果、焦点距離20mmでは高さ50m以下、できれば30m以下とすることが望ましいが、高圧線に対しては80m以上の高さが必要となった。30mもしくは50mの高さで飛行し、高圧線のところだけ80mまで上げて越える実験を行ったところ、時間やバッテリーロスが大きく、非常に非効率であった。

そこで、2~3倍のズームレンズを搭載したドローンを、80mの一定高度で飛行させるのが最も効率的と判断した。

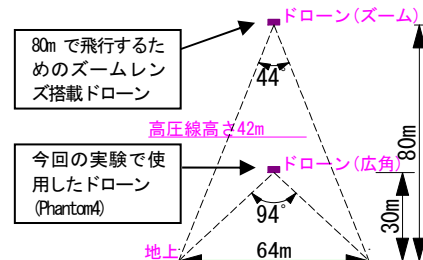


図-4 ドローンの飛行高度と必要な視野角

(3) 電波条件の確認

一般的なドローンを、琵琶湖河川事務所の駐車場から離着陸させた場合と、操作室横の屋上から離着陸させた場合の2通りで飛行させ、フライトログに記録されたWiFi電波強度データから電波条件の確認を行った。高度は全区間80mとした。



図-5 離着陸地点と電波障害物件の位置

駐車場から離着陸した場合は、部分的に構造物で電波が遮られて映像のコマ落ちが見られたものの、上下流それぞれ600mの範囲でWiFi電波の途絶はなかった。

屋上から離着陸した場合は、事務所の建物の陰に入るとわずか100mでWiFi電波が不安定になり、約200m離れると映像電波は完全に途絶した。一般的なドローンを実験室横の屋上から離着陸させたい場合は、中継装置や外部アンテナを立てるなど電波対策が必要である。

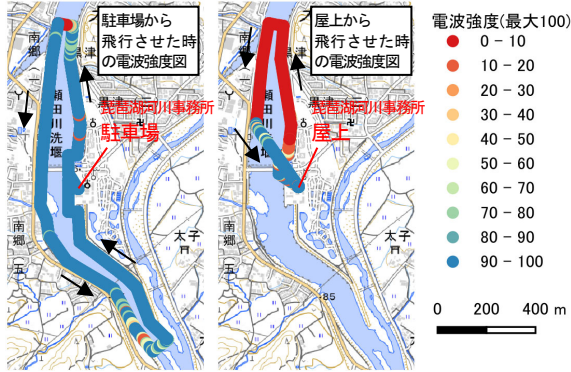


図-6 映像電波強度図

(4) リアルタイム映像伝送

ドローン飛行中のリアルタイム映像伝送方法は、大別すると、操縦者の画面を直接Web会議システム等で共有する方法と、ドローンからクラウドサーバーにアップロードしてWeb配信する方法が挙げられる。

後者はURLを入力するだけで簡単に閲覧できるメリットがある反面、配信側には煩雑な手続きや初期設定、ならびにその後の維持管理などのデメリットもある。今回はどのドローンが採用されても対応可能な方法として、AndroidとWindows標準のミラーリング機能と、一般的なWeb会議システム(Zoom)の組み合わせを採用した。



図-7 今回採用したリアルタイム配信

(5) 新技術による課題検討

日本国内は5GHz帯がETC等で使用されている関係で屋外では許可なく使用できず、ドローンの通信には2.4GHz帯のWiFiを利用するのが一般的である。2.4GHz帯は構造物や樹木等の遮蔽物によって電波状況が大幅に低下しやすいことに加え、多くの家電製品や電子機器に使用されている周波数帯であり、それらの干渉も通信品質に影響する。河川巡視DXの将来像として考えている長距離通信や操作室からのドローン通信を実現するには、

以下のいずれかが考えられる。

- ①通信機能付きドローンポートやWiFi中継局の設置
- ②LTE(携帯電話回線)に対応したドローン

なお、現状(2024年5月時点)ではLTE対応ドローンが市販されており、その新技術を用いれば長距離通信や屋内からのドローン制御も可能である。



図-8 リアルタイム配信画像キャプチャ(下段)

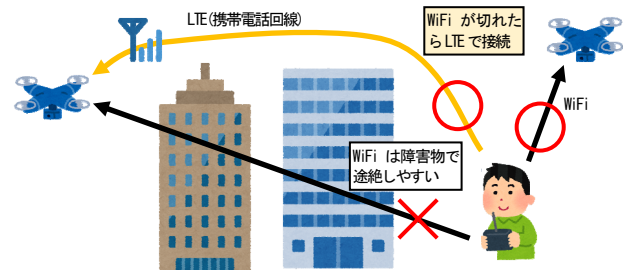


図-9 LTEによるドローン通信モード図

(6) LTEドローンの実証実験

将来へ向けた新技術の可能性を確認するためにLTE通信可能なドローンを用いて3種類の実験を行った。

表-7 LTEドローンの実験内容

項目	内容
1	長距離飛行でリアルタイム映像配信 標準的なドローンでは途中でWiFi映像電波が途絶した範囲において、LTE通信による片道1kmの長距離飛行を行う。合わせて、リアルタイム映像を複数箇所に配信する。
2	飛行しながら動画をクラウド保存 通常は着陸後に機体のmicroSDを抜いて取り出す録画データを、飛行中にクラウドへ送信する。閲覧者はそのクラウドにアクセスする。
3	操作室から屋外のドローンを制御 操縦者が操作室からドローンへ指令を出し、離陸～自律飛行～着陸の一連の流れが正常に実施できるかどうか確認する。

- a)使用機器：ANAFI Ai (Parrot社, フランス製)
 サイズ：320×440×118mm, 898g
 飛行性能：最大飛行時間32分, 耐風性能12.7m/s
 カメラ：48MP, 24mm(FOV73°), 6倍ズーム, 4K動画
- b)映像配信方法
 ドローンのプロポ(コントローラー)に装備されているHDMI端子に有線でPCに接続し, Web会議システムを通じて関係者にリアルタイムな映像配信を行った。
- c)長距離飛行ならびにリアルタイム映像配信実験

琵琶湖河川事務所の屋上を離陸し, 瀬田川の中央付近を約1km離れた地点まで往復。WiFi電波途絶時のLTEへの自動切り替えなど, リアルタイム映像伝送が切れ目なく行えるかどうかの確認を行った。

洗濯を超えた時点でWiFi電波が弱くなり, その後自動的にLTEへ切り替わったが, 映像の乱れはなくスムーズに移行した。全区間にわたり途切れることなく映像伝送が行われた。携帯電話のエリアであれば長距離伝送が可能であることが確認できた。



図-10 長距離飛行実験ルート図

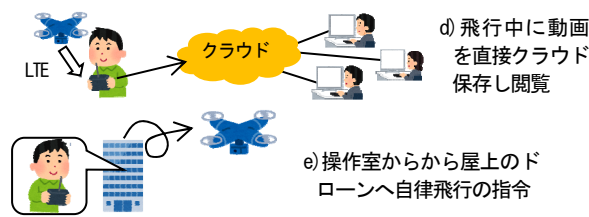


図-11 各実験の模式図

- d)飛行中ドローンからの動画を直接クラウド保存
 NTT関連企業が開発中のSDカードレス伝送アプリを使用して, SDカードに収録されるデータを飛行中にクラウドへアップロードする実験を行った。アップロードした動画はほとんど時差なくFHDの高画質で閲覧できた。
- e)操作室からドローンを制御
 操縦者は操作室に配置し, ドローンは補助者が屋上にセッティングした。飛行エリア周辺に複数配置した補助者から安全確認の連絡を受けた後, 操縦者が自律飛行の

指令をドローンに送信し, 巡視飛行後に着陸した。

4. 運用に向けた課題

(1) ドローン巡視に向けた克服すべき課題

ドローンによる巡視の実現には大きく3つの課題, 技術的要因, 航空法等の法的要因, そして機種選定上の行政的要因をクリアする必要がある。

表-8 ドローン巡視に向けた現状と課題

種別	項目	内容
技術的要因	映像品質	FHD(1920×1080)の映像伝送が可能
	長距離通信や屋内から制御	LTE ドローン, 通信機能付きドローンポート, WiFi 中継局等により対応可能
法的要因	特定飛行	目視外等の特定飛行には航空局へ許可申請が必要(要10時間以上の飛行経験)
	立入管理措置	補助者を置かない場合, レベル3.5またはレベル4の許可申請(要国家資格)
	補助者の配置	立入者を柵等で排除できない場合の特定飛行では補助者が必須
行政的要因	中国製ドローンの調達不可	高性能な小型ドローンの選択肢が少ない現状で通信機能付きドローンポートは中国製しか市販品がなく, 国産を特注対応

(2) 実務レベルでの現状と課題

職員により運用したい場合, いくつか課題がある。

a) 操縦者の課題

目視外飛行は避けられないので, 無人航空機操縦士によるレベル3.5飛行, あるいは補助者等による立ち入り管理措置をした上で, 特定飛行の許可申請が必須である。

特定飛行の許可は基本的に10時間以上の飛行経験が必要であり, 常に教育訓練で操縦者を確保しておく必要がある。包括申請は有効期限1年間で, 毎年許可申請が必要である。操縦士資格は教習所の相場が30万円〜と高額で, 許可申請無しで特定飛行できる機体も限られている。

b) 機体管理の課題

機体は航空局への登録が義務付けられ, 固有の番号を持つ。機体登録は3年更新で, 登録忘れて飛行させると刑事罰の対象となる。異動の際はDIPS2.0の管理と合わせて確実な引継ぎが必要である。

c) 機種選定

2020年9月14日に内閣府より出された「政府機関等における無人航空機の調達等に関する方針について」により, 政府機関においては事実上, 中国製のドローンが調達不可能となった。中国製は価格面だけでなく飛行安定性やカメラ性能や伝送技術も非常に優秀だが, 情報漏洩の観点から調達しない方針となった。

そこで国産あるいは安全保障上の問題がない欧米製から機種選定する必要があるが, 国内メーカーは高性能の小型機を製造している中国製との競合を避け, 現況は運送用を初めとする大型機に注力しているようである。

今回の河川巡視では映像伝送が主目的で, 将来的に職員でも操縦できることを考えると, 操作性の良い小型機

のほうが良いが、国産小型機はACSL社のSOTENくらいしか選択肢がないのが実状である。(2024年5月時点)

現時点で近畿地方整備局管内で保有されている国産ドローンはSOTEN, その他で保有されている中国製以外の機種はフランスParrot社のANAFIくらいである。Parrot社は他省庁でも調達実績がある。図-12にサイズ感を示すが、国産から選定する場合は比較的大きな機体となる。

表-9 SOTENとANAFIのスペック概要

名称	SOTEN	ANAFI
寸法(本体)	約380×300	240×175
離陸重量	2000g	320g
飛行時間	25分	25分
最高速度	15m/s	15m/s
カメラ	動画 : 4K 静止画 : 2000万	動画 : 4K 静止画 : 2100万



図-12 SOTENとANAFIの大きさ概略比較

5. まとめと今後の展望

今回の各種検討と実験により、技術的な面だけで言えば直ちにドローンで河川巡視を実行できるレベルまで市販品の開発が進んでいることが確認できた。

最も課題となるのは航空法への対応で、目視外飛行の時に必須の立入管理措置である。飛行エリアの周囲に補助者を置けば航空法の条件はクリアできるが、これでは河川内の立入者を人が巡回して確認する従来手法と比べてほとんど省人化になっていない。

河川DXでは効率化・省人化が大きな目的の1つであり、補助者を置かず河川内を自律飛行で巡回して帰還する仕組みができれば今後につながる事となる。

現行法では、工場や工事現場の敷地のようにフェンスや看板などで完全に立入防止措置ができていない場合のみ、比較的簡単な申請で補助者なし目視外飛行が認められる。少しでも立入の可能性がある場合は立入管理措置に厳しい審査のあるレベル3の許可申請が必要となる。

レベル3では補助者を置く代わりに監視カメラで常時監視する方法もあるが、監視担当を配置する必要があり、上空の航空機監視や気象監視要員も条件になる。さらに万一の墜落時の火災防止機構なども要求され、本件をレベル3で許可申請するのは現実的ではない。

この厳しい航空局の条件は他の業界からも活用の足かせとなっているとの意見が出ていたこともあり、2023年11月に航空局からレベル3.5飛行の新設が発表された。これによって、無人航空機操縦士資格を保有している場

合に限り、補助者を置かずに操縦者がモニター画面で第三者の立入を監視することも認められることとなった。

無人航空機目視外飛行(レベル3飛行)の事業化に向けた改革(その1) 国土交通省

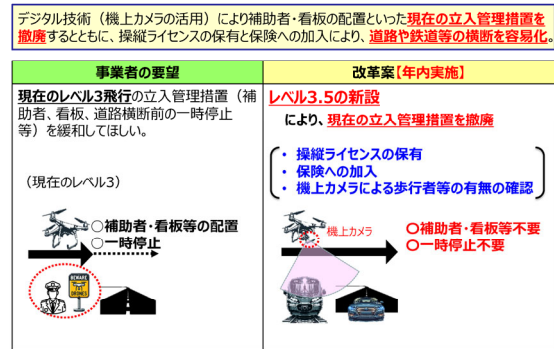


図-13 レベル3.5の新設について(航空局 2023/11/17)

以上を整理すると現行法において、当地でドローンを河川巡視に活用する体制は次のいずれかが考えられる。

- ①無人航空機操縦士資格取得の上、レベル3.5飛行
 - ②従来の特定飛行許可申請し補助者を配置して飛行
- いずれも一長一短があり、①は有資格者を常に確保する必要があること、②はわずかな省人化しか期待できないこと、など、状況に応じて判断が必要である。

また、行政的な要因(中国製の調達不可)についても課題があり、今後も少ない選択肢から機体や周辺機器を選ばざるを得ない状況は変わらないものと考えられる。

加えて、河川巡視は航空法適用除外(航空法132条92 捜索・救助等のための特例)に該当しないと解釈されていることから、通常の航空法申請において厳格な審査が必要であり、ドローン活用の大きなハードルとなっている。

それらの課題を含めても、ドローンによる効率化・省人化は以下のようにさまざまな提案の余地があり、課題を克服し今後の展開に期待したい。

- ・ドローンに大音量スピーカーを搭載し、要救助者のところへ急行して呼びかける。
- ・道路沿いの巡視では樹木繁茂し河川内が見にくい渓谷部でも、ドローンなら川の中央から容易に見ることができる。
- ・AIの映像認識で取り残された人を自動検知する。

- ・堤防や護岸天端等に100~200mピッチで標定ポイントの塗装をして座標付けておけば、ドローン巡視時に撮影した連続写真から点群やオルソが簡単に作成できる。他業務でも使用でき効率化とコスト削減が期待できる。
- ・赤外線カメラを搭載することで、人の判別をより確実に行うことができる。

図-14 ドローン巡視で見込まれる今後の展開例

豊岡河川国道事務所における BIM/CIMの取り組み

中村 歩夢¹

¹近畿地方整備局 河川部 水災害予報センター (〒540-8586大阪府大阪市中央区大手前3-1-41)

本稿では、豊岡河川国道事務所で行っている豊岡モデルという点群とラインデータを組合せた統合プラットフォームにおける効果と実現に向けた課題を紹介する。

キーワード 点群, ラインデータ, 一元管理, 統合プラットフォーム

1. はじめに

一般国道483号北近畿豊岡自動車道は、豊岡市を起点とし丹波市に至る延長約73kmの高規格道路であり、兵庫県北部の但馬地域と丹波地域を直結し、さらには京阪神都市圏との連結を強化し、地域の活性化を支援する自動車専用道路である。北近畿豊岡自動車道は、事業毎に整備を進めており、2020年11月には日高豊岡南道路まで暫定2車線で開通している。引き続き豊岡道路、豊岡道路(Ⅱ期)の整備を推進し、豊岡道路については2024年9月23日に開通予定である。

また、兵庫県朝来市生野町円山を水源とした一級河川円山川では、2004年の洪水被害を契機に河川改修事業が本格化し、その一環として洪水時における下流部や豊岡市街地の河道水位低減を図るため、中郷遊水地の整備を行っている。

国土交通省近畿地方整備局豊岡河川国道事務所は、2019年3月にi-Constructionの取り組みをリードするモデル事務所に指定されてから今日まで、BIM/CIM活用による建設プロセスの改善に取り組み、建設生産システム全体の効率化・高度化に向けた改善を図るため様々な検討を行っている。本稿では、日高豊岡南道路及び中郷遊水地におけるBIM/CIM活用の取組の一例を紹介する。

2. 豊岡モデルの概要

当事務所では、高度かつ効率的な維持管理に繋がるBIM/CIM構築を目標に見据えている。

北近畿豊岡自動車道日高豊岡南道路L=6.1kmの開通に合わせ、MMS, UAVによる全線の3次元点群データを

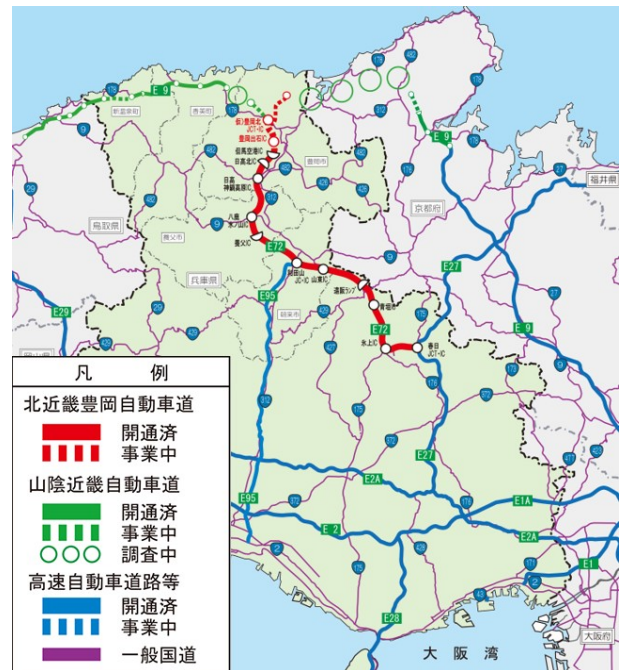


図-1 北近畿豊岡自動車道の概要

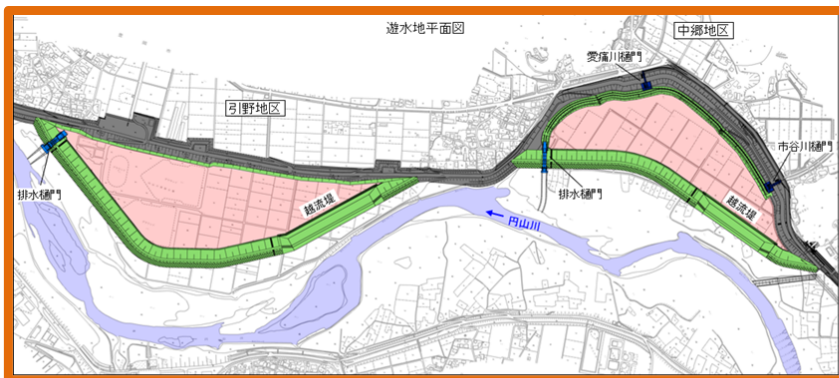


図-2 中郷遊水地事業の概要

取得した、3次元点群データは数億もの点の集合であり、取得した箇所の現地状況確認や二時期での比較による変状確認などに優れるが、データ容量が大きく一般的なPCでは動作に時間がかかるといった課題がある。

そこで、取得した点群データのうち、橋梁、擁壁、法面などの道路施設を3次元の線データ（以後、ラインデータと呼ぶ）で表現し、データ容量を小さくするとともに、各種維持管理データを紐づけることで情報の一元管理を可能とした。この相性を補完し合う点群データとラインデータを組合せた統合プラットフォームを「豊岡モデル」と呼ぶ。（図-3）

3. 豊岡モデルの機能と効果

豊岡モデルでの点群・ラインデータの機能を紹介する。

(1) 点群の機能

a) 現地状況確認機能

点群データを活用することで、確認困難部などの通常

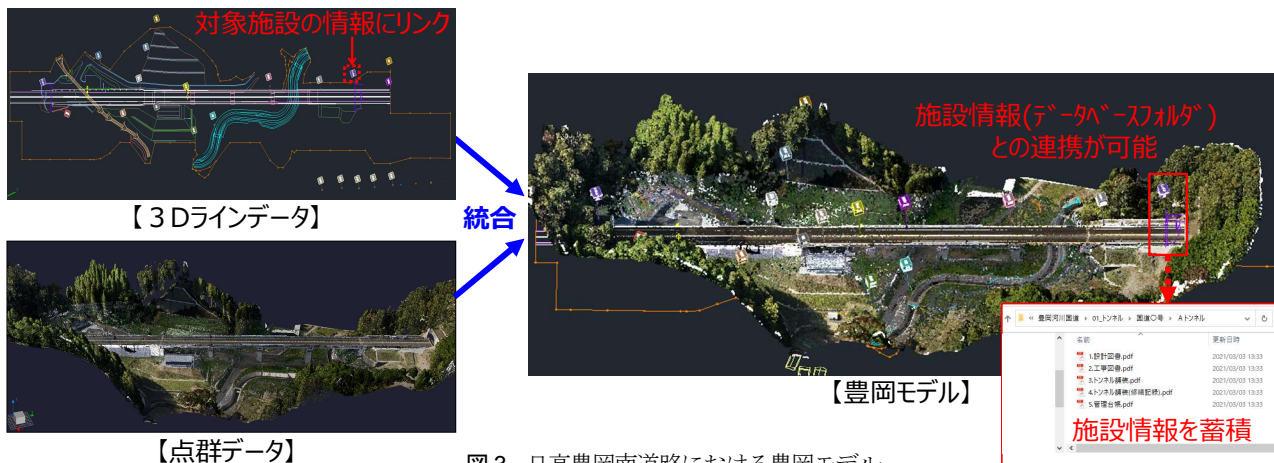


図-3 日高豊岡南道路における豊岡モデル

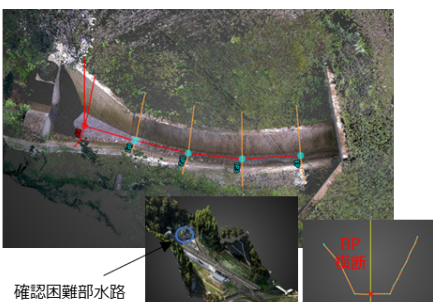


図-4 点群での現地状況確認

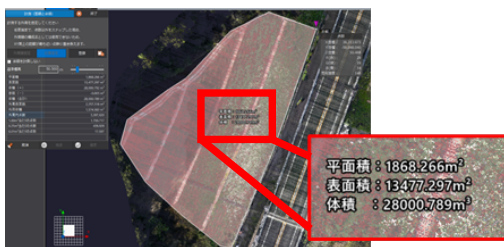


図-5 点群での土量算出例

時立ち入り出来ない箇所でも現地状況の確認ができる。

また、点群データ上で簡易な横断図の出力が可能であることから、任意の箇所での延長計測や断面などの確認ができる。（図-4）

b) 二時期での点群比較による変状確認

通常時の点群を取得した上で、UAV等で災害後の点群を取得することで、二時期での点群データの比較が可能となり、机上で現地状況や崩落土量等を迅速に把握することができる。（図-5）

(2) ラインデータの機能

a) 情報の一元管理

維持管理に関わる各種データをラインデータ上の各道路施設にフォルダを紐付けることで、デジタルデータとして確実に保管・蓄積することができる。また、データ管理ルール（命名規則・保管場所）を定め、検索機能を用いて必要データに迅速にアクセスできる。（図-6）

b) 地下埋設物の可視化

維持管理における不可視部分として地下埋設物がある。直轄国道の市街地部など様々な地下埋設物が輻輳する箇

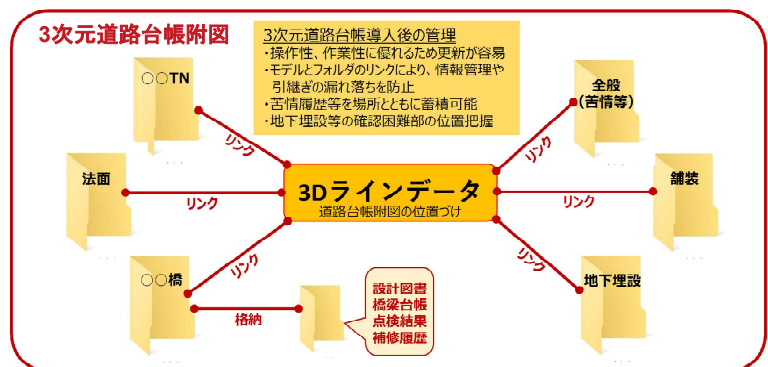


図-6 情報の一元管理の概念図

所についても、ラインデータは線で表現するため不可視部分の可視化が可能である。(図-7)

4. 豊岡モデルの課題

豊岡モデルの機能と効果について紹介したが、実現に向けてはいくつか解決しなければならない課題がある。

(1) ラインデータの構築

点群からラインデータを構築する際、専門ソフトを用いてライン化するが、自動車専用道路の単路部などの定規断面であれば構築手間は少なく、逆にIC部や交差箇所が多い一般道路であれば構築手間が増える。また、ラインデータ構築ノウハウの整備も必要である。このように構築手間や構築手法の課題をいかに解決していくかが重要である。

(2) 確実なデータ更新

構築された豊岡モデルを確実に更新していくには、データ管理体制及び実務レベルでの運用ルール設定が必要である。構築された豊岡モデルを誰が更新するかといった管理体制や、運用していくための維持管理現場に則した運用ルールを設定し、構築後も確実なデータ更新を行う必要がある。

(3) 現場に則した地下埋設物のデータ更新

豊岡モデルの機能と効果の一例として地下埋設物の可視化を紹介したが、地下埋設物は埋設物台帳通りに敷設されていない課題がある。そこで、試掘等で管路位置の更新があった際には、位置(x, y, z)を3次元のライ

ンデータとして確実に更新し将来に残すことで、効果的な地下埋設物の維持管理を行うことができる。参考までに地下埋設物の位置が確定した管路を実線、不確定の管理を点線で示したラインデータの例を示す。(図-8)

(4) 情報管理フォルダの構成

維持管理に関わる各種データの管理フォルダは、直轄国道の法定点検の点検要領の項目に則ったフォルダ名とし、排水、擁壁、占用物件など必要な項目を追加したフォルダ構成としている。また、設計段階(詳細設計)で取得する情報は確実に維持管理に引継ぐべき情報として、フォルダを作成している。情報管理フォルダの運用については、データ管理体制と併せて実務レベルで運用しながら改善していく必要がある。(図-9)

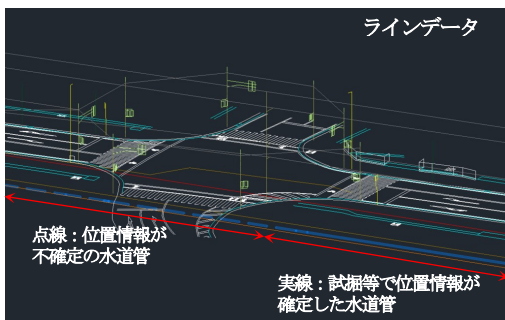


図-7 地下埋設物の可視化例

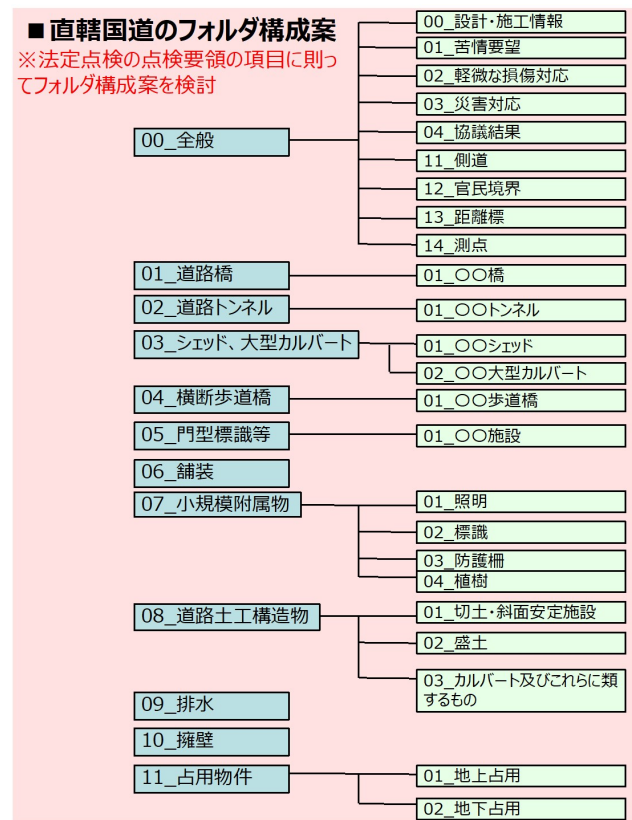


図-9 直轄国道におけるフォルダ構成案

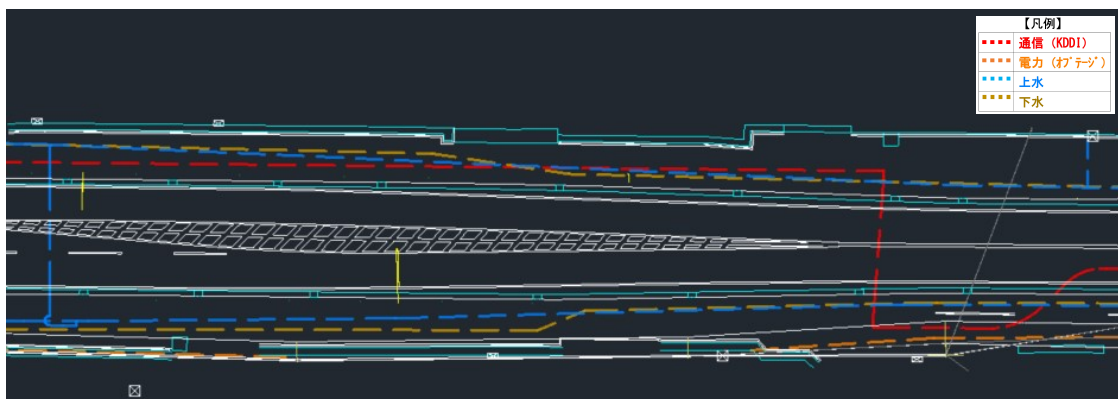


図-8 地下埋設物の点線・実線表示の例

5. 中郷遊水地での統合プラットフォームの活用検討

(1) 既存システムとの棲み分け

河川分野においては、維持管理を行う上でRiMaDISや三次元管内図といった既存システムがある。統合プラットフォームの活用範囲は、これら既存システムとの棲み分けを図る必要があるため、①工事、②治水計画、③環境、④維持管理の4つの観点で網羅的に整理した項目のうち既存システムの活用範囲外となる内容を抽出した。(図-10)

(2) 実務上の課題

遊水地事業において、施工上及び維持管理上課題となる項目について事務所内の実務者に対してヒアリングを実施し、統合プラットフォームの活用が可能な内容を確認した。幾つか課題がある中で、中郷遊水地は軟弱地盤であり、中長期的な堤防高の管理が求められる中で、喫緊の課題である「堤防高不足箇所の把握や、堤防の圧密量の推定」に着目し、点群データを活用した沈下分布の見える化を検討した。

(3) 圧密沈下解析による天端高の把握

a) 中郷遊水地の特徴

広域かつ層厚に分布する軟弱地盤上に遊水地囲繞堤の盛土を施工するため、施工時の沈下だけでなく、施工後も圧密沈下が発生する。一方、遊水地の機能を確保するためには、適正な堤防天端高を確保する必要がある。そのため、中長期的な堤防高の管理が維持管理上の課題となる。ただし、施工位置毎に沈下量も異なるため、堤防

高の不足箇所を把握するためには、全体の測量が必要となる。

b) 検討方針

沈下解析で算出した代表断面での沈下量を、3次元地層モデルの土層厚に応じて沈下量を推定し、沈下の大きい位置を事前に把握する。

維持管理段階では、沈下量が大きくなると想定される箇所について重点的に点群測量等を行うことにより、省力化を図り、堤防高不足箇所の早期発見につなげる。

圧密沈下解析手法は、一次元圧密沈下解析とFEM解析の大きく二通りが考えられる。本検討では、荷重の偏移や、土留めや構造物などの複雑な条件を考慮しないため、一次元圧密沈下解析を実施した。なお、解析位置は、地盤調査を実施した箇所、遊水地で地層の代表断面となる箇所、築堤盛土で沈下量を計測している箇所を考慮した2箇所 (No. 15, No. 28) に設定した。(図-11)

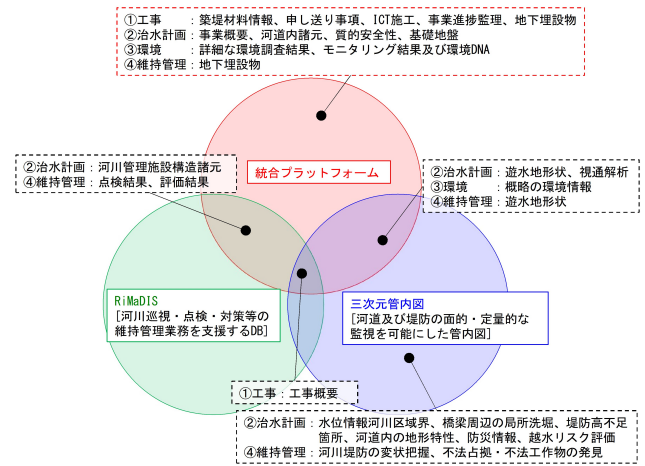


図-10 各システムの活用範囲

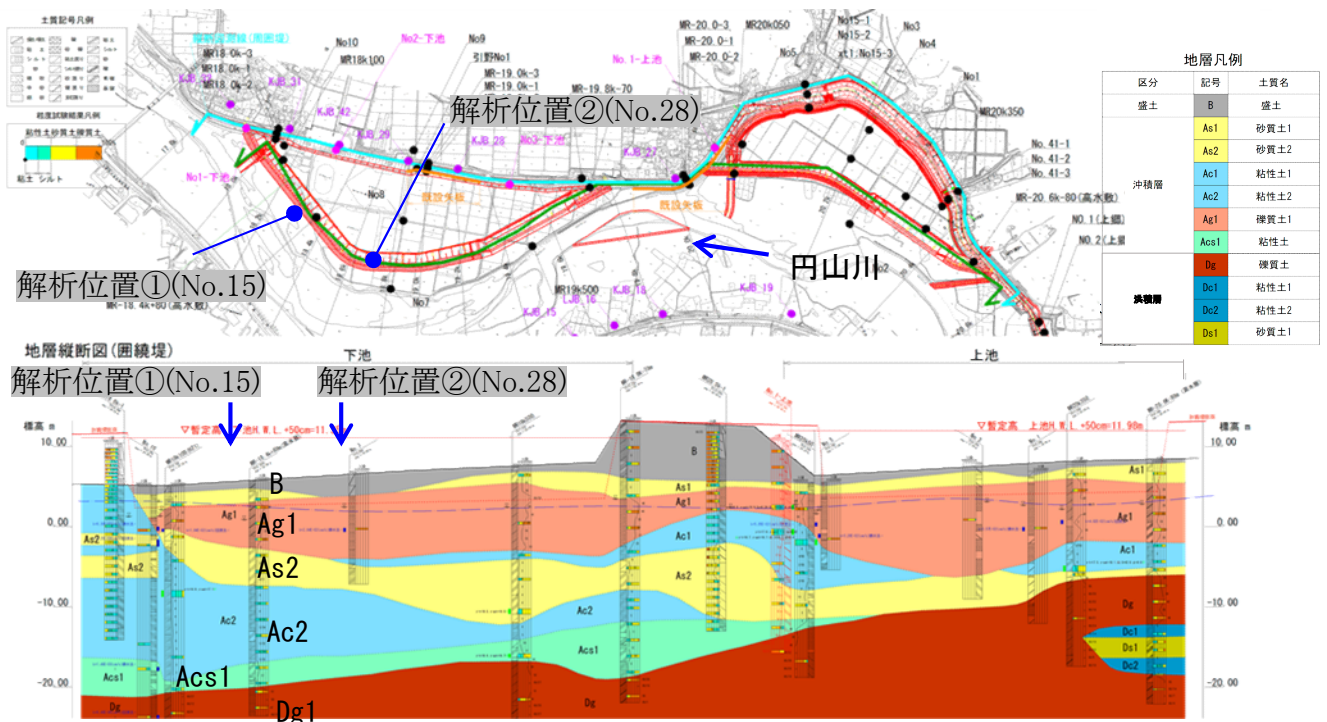


図-11 解析位置の設定

c) 解析結果

計算の結果、いずれも実測沈下量と比較すると、解析沈下量の方が大きい結果となった。

解析での沈下量は、表-1に示すように、解析値と実測値の即時沈下量(砂質土)の差が大きい。

一方、圧密沈下量(粘性土)の差は5cm程度で概ね整合が図れている。

また、粘性土層が厚い箇所は圧密沈下が大きく、粘性土層が薄い箇所は圧密沈下が小さい結果となった。これらの解析結果をCIMモデルに付与し、沈下リスクの高い区間(粘性土の厚い区間)を抽出しやすくする効果が期待できる。

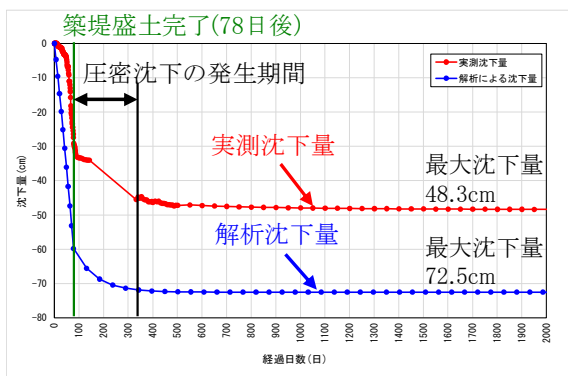
d) 沈下分布の可視化

既往の三次元測量結果を元に、定規断面情報を付与し、堤防高や堤防断面が不足する箇所を視覚的に確認できるCIMモデルを作成した。今後は、定期的に三次元測量を実施し、堤体沈下量を把握する必要がある。

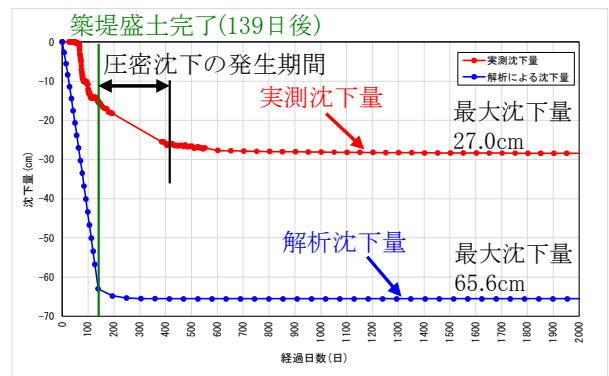
No. 16の横断面図に示すように、堤防天端高位置にラインデータを適用し、現況と暫定計画目標高の差を可視化するなど、活用方法を検討していく。(図-13)

表-1 解析結果

	検討位置①No. 15		検討位置②No. 28	
	解析値	実測	解析値	実測
即時沈下量(砂質土)	48.2cm	29.5cm	48.7cm	15.2cm
圧密沈下量(粘性土)	24.3cm	18.8cm	16.9cm	11.8cm
沈下量合計	72.5cm	48.3cm	65.6cm	27.0cm



No. 15



No. 28

図-12 解析と実測の沈下量

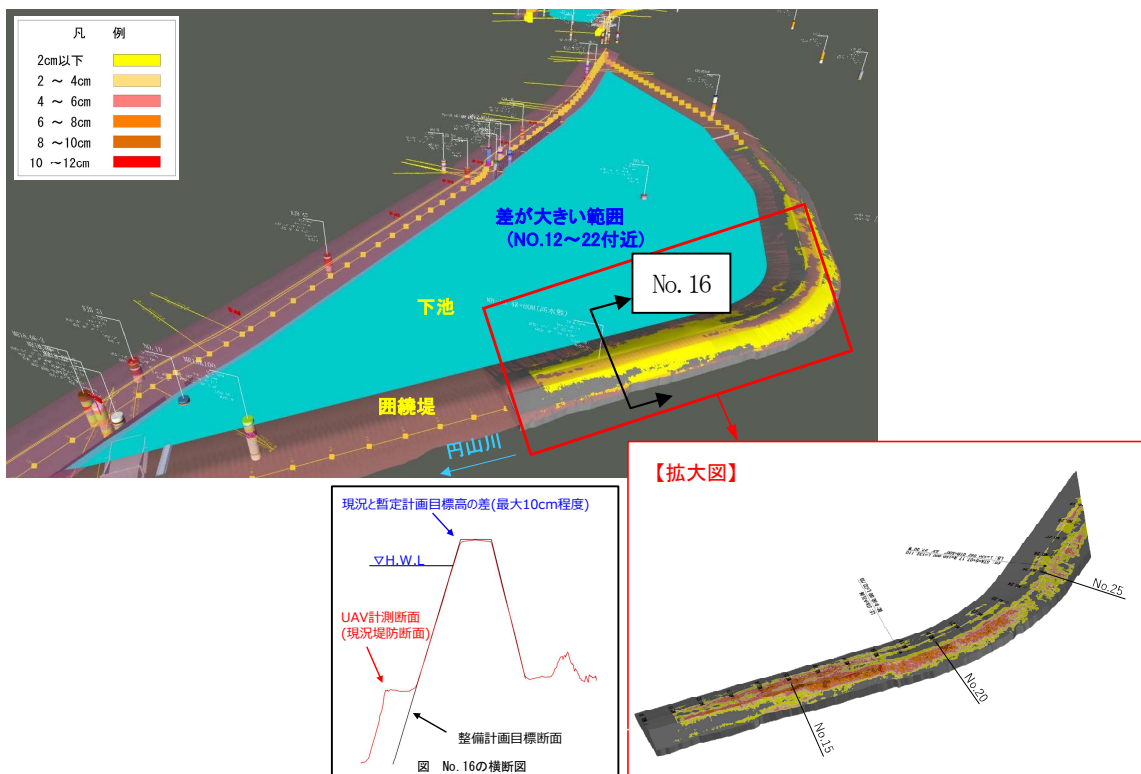


図-13 沈下分布の可視化

6. おわりに

豊岡河川国道事務所での高度かつ効率的な維持管理に繋がるBIM/CIM構築を目標に、北近畿豊岡自動車道での豊岡モデルの効果と課題を紹介した。一方、円山川の中郷遊水地では、点群データを活用した堤防沈下分布の見える化に取り組んでおり、今後は、円山川での豊岡モデルの活用も検討していく予定である。豊岡モデルの実現に向けては解決すべき諸課題はあるが、道路及び河川ともに、全国の関連する最新動向（道路：xROAD、全国道路基盤地図等データベース等、河川：三次元管内図、RiMaDIS等）に留意しつつ、引き続きi-Constructionの取り組みをリードするモデル事務所として、豊岡モデルの展開に向けた検討の深度化に取り組んでいく。

本論文は前任地である近畿地方整備局豊岡河川国道事務所での、道路・河川におけるBIM/CIMの取り組みについてまとめたものである。

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

構造物等の変状に対するAI画像解析 によるリアルタイム把握に向けて

植前 成美

近畿地方整備局 近畿道路メンテナンスセンター 技術課 (〒573-0094 大阪府枚方市南中振3丁目2-3)

従来のモニタリング手法では、変状の進行状況を正確に把握することが難しいコンクリート構造物のひび割れについて、タイムラプスカメラと既存のAI画像解析技術を組み合わせることで伸長量を定量化することを試みた。変状画像は、変状が顕著なトンネル覆工と人工的にひび割れを発生させる模擬変状装置で取得した。模擬変状を使用した実験の結果では、ひび割れの伸長に合わせAI画像解析で抽出したひび割れ量が増加することが確認できた。一方、解析モジュールや撮影条件によってひび割れ抽出精度が異なるため、今後は撮影方法の検討やAI画像解析の追加学習による精度向上を進める。

キーワード AI画像解析, 道路構造物, モニタリング, 異常検知, DX

1. はじめに

2012年12月に発生した中央道笹子トンネルの天井板落下事故を契機に、道路構造物の定期点検が開始された。5年に1回の頻度で近接目視点検が実施された結果、多くの道路構造物で早期の措置が必要となった。また、予防保全の観点から計画的に対策を必要とする状態や監視が必要な状態とされる構造物が過半数を占めることがわかった。そのため、限られた維持管理予算の中で計画的に維持修繕を行うためには、経過観察やモニタリング技術の進展や活用が欠かせない。これらの状況を鑑み、内閣府は「戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)」のI期(2014~2018年)でモニタリング技術の活用ガイドラインを取りまとめ、土木学会インフラメンテナンス総合委員会がその内容を引き継ぐ形で「モニタリング技術活用のための指針(案)」¹⁾を出版している。本研究は同指針案を参考とし、これまでリアルタイムモニタリングが困難であったひび割れの伸長等について、タイムラプスカメラとAI画像解析技術を組み合わせることで変状を連続的に検知する手法を検討した。

(写真-1~写真-2), 変状スケッチ図との比較が主体であり、リアルタイムで進行性を確認する方法は、災害箇所等を除き行われていない。

これらの変状に対する計測方法としては、センサを直接対象に設置して計測する方法と画像や電磁波により対象に非接触で計測する方法があり、表-3に示すものが挙げられる。

表-1 のり面・自然斜面の変状例

災害形態	変状の種類
崩壊	浸食・崩落, 表層崩壊, 大規模崩壊・地すべり性崩壊, 岩盤崩壊, 盛土崩壊, 吹付のり面崩壊
落石	抜け落ち型落石, 剥離型落石, その他
地すべり	岩盤地すべり, 風化岩地すべり, 崩積土地すべり, 粘性土地すべり
土石流	渓床堆積土砂・山腹崩壊土砂や地すべり土塊の流動化による土石流, 天然ダムの崩壊による土石流

表-2 構造物の変状例

対象	変状の種類
橋梁	変形・欠損, 腐食, 亀裂, うき, 破断, ひびわれ, 剥離・鉄筋露出, 防食機能の劣化, 漏水・遊離石灰, 漏水・滞水, 補修・補強材の損傷, 沈下・移動・傾斜, 舗装の異常, 路面の凹凸, その他
トンネル	圧ざ, ひび割れ, うき・はく離, 変形, 移動, 沈下, 鋼材腐食, 巻厚の不足または減少, 背面空洞, 漏水等による変状

2. 災害形態と計測技術の適用性

計測対象となる変状としては、表-1に示されるのり面や自然斜面での土砂災害変状と、表-2に示されるトンネルや橋梁といった構造物における変状となる。これらの変状について、通常は定期点検での定点計測や目視確認



写真-1 亀裂間に設置したピン間計測の例



写真-2 目視点検の例

表-3 変状に対する計測技術例

計測対象	計測方法
ひび割れ幅や地盤変位	ピン間計測, 移動杭, クラックゲージ, 伸縮計
傾斜量	スラント, 水管式傾斜計, 傾斜センサ
ひずみ・応力	ひずみ・応力センサ, 画像解析
振動	加速度計
形状変化	目視, 画像解析, 点群差分
水分	土壌水分計, 地下水水位計
気象 (雨量)	雨量計, レーダ雨量
気象 (積雪)	積雪計
気象 (温度)	温度計, サーモグラフィ

これらの計測は、ピンポイントでの計測方法が主体であり、ひび割れの伸長や面的な変化をリアルタイムで取得する方法ではない。

一方、定期点検でⅢ判定となる構造物の変状として、橋梁では、主桁や床版の変状が多い。主桁の変状として腐食、変形・欠損が多く、床版の変状としては、うき、ひび割れ、剥離・鉄筋露出が多い。また、トンネルでは、ひび割れ、うき・剥離、鋼材腐食、滞水や漏水がⅢ判定となっている。これらの変状のうち、コンクリート構造物のひび割れは、外気温の影響を受け収縮することもあり、進行性の判断が困難なことがある。以上を踏まえ、本研究でのモニタリング対象は、コンクリート構造物のひび割れとした。

3. モニタリング方法の検討

これまでコンクリート構造物等のひび割れは「幅」や「ズレの量」をゲージで測定する手法が主体であった。この測定方法では危険度判定に用いられるひび割れの伸長や任意の位置に生じる新たな変状への対応が困難であった。そこで、既に多くの実績があるタイムラプスカメラによる遠隔監視技術や AI 画像解析によるコンクリート構造物等のひび割れ検知技術を組み合わせることで、ひび割れの異常を検知する手法を考案した。モニタリングシステムの概要を図-1 に示す。本研究では、定期点検等で監視対象とされているひび割れに加え、変状を進行させることが可能な模擬変状にタイムラプスカメラを設置し、定期的に画像を取得した。タイムラプスカメラの仕様を表-4、撮影状況を写真-3 に示す。



図-1 モニタリングシステムイメージ

表-4 タイムラプスカメラの仕様

機種名	Hyke ハイカム LT4G
画像解像度	1200万画素 (1.2m×0.9m 範囲で 0.3mm/画素相当)
トリガースピード	0.65 秒
データ保存形式	静止画 : JPG / 動画 : MOV
画 角	52°
赤外線タイプ	ノーグロー (940nm)
赤外線照射距離	20m
タイムラプス機能	30 秒~24 時間
電 源	6V 乾電池 or 外部電源
本体サイズ	15×12×7.5 cm (+アンテナ 17 cm)
重 量	450g
防塵防水規格	IP65
データ無線通信	LTE : Cat4
データ送信	静止画・動画最大 24Mb

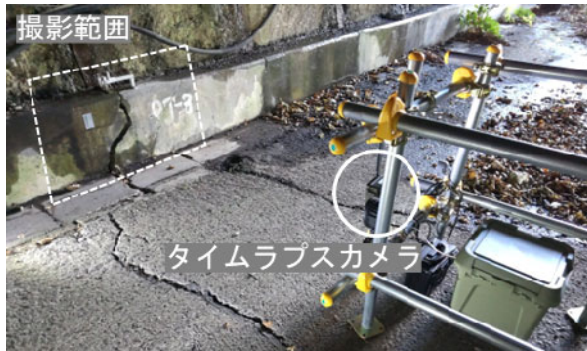


写真3 撮影状況 (上: トンネル覆工, 下: 模擬変状)

つづいて、AI 画像解析モジュールを使用して取得した画像のひび割れを抽出し、そのひび割れ量を EXCEL で集計した。AI 画像解析は畳み込みニューラルネットワーク²⁾をベースとした既存 AI モジュールを 2 モデル使用した (A モジュール, B モジュールとする)。AI 教師データは日本全国のコンクリート構造物におけるひびわれに関する写真に、正解情報を付与したデータを用いた。なお、今回の AI 画像解析では追加学習等は行っていない。

4. 解析結果

図-3にトンネル覆工の画像を用いたAモジュールの解析結果を示す。経時変化図はAI画像解析で抽出したひび割れ長さをひび割れ幅別に積み上げている。この箇所では1時間に1回の画像を3か月間取得し、すべての画像を解析した。既存AI画像解析モジュールは正対画像が推奨されているが、撮影画像は完全に正対した状態ではないため、CAD図と重ね合わせを行いひび割れ延長の補正を行った。図中の破線は実測値を示す。なお、撮影期間中にひび割れ長さを数回実測したが有意な変化は認められていない。

図-3に示したAモジュールの長期間の解析結果では、AI画像解析のひび割れ延長が200~1000mm程度と大きく変化していることがわかる。撮影に使用したカメラは照度により熱赤外線撮影に切り替わるため夜間は既存モジ

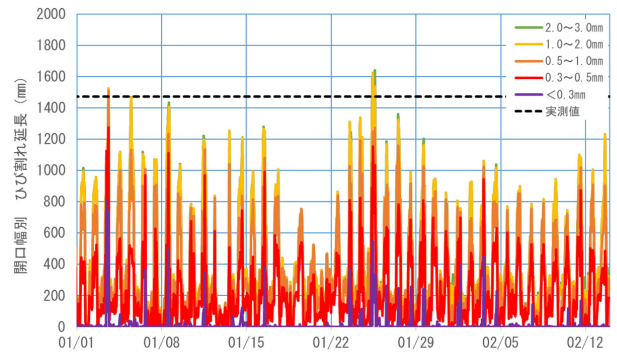


図-3 トンネル覆工解析結果

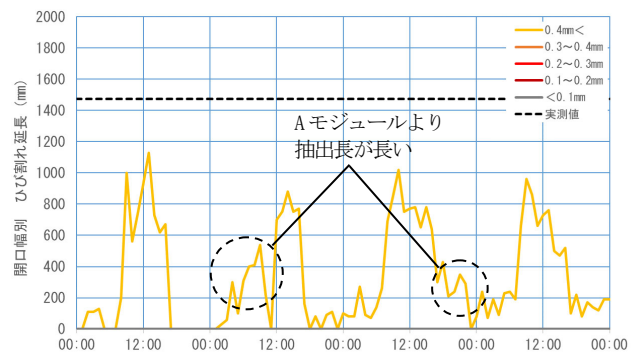
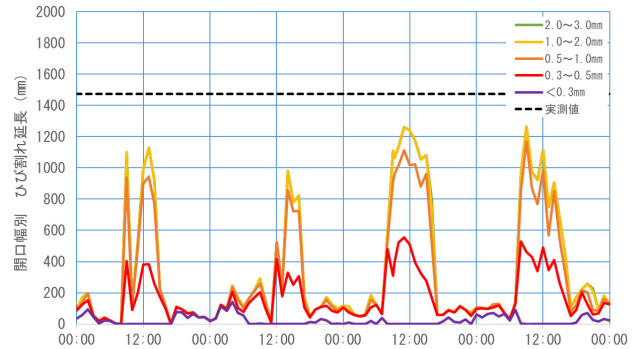


図-4 トンネル覆工解析結果 (短期間拡大)
(上: Aモジュール, 下: Bモジュール)

ジュールによる抽出率が極端に低下する。また、日中も照度や光のあたり方により、抽出されるひび割れ延長が大きく変化すると考えられる。つづいて、短期間の2つのモジュールの解析結果を図-4に示す。2つのモジュールは抽出レンジ (幅の取り方) が異なるが総延長で比較した場合、概ね同様の変動傾向を示した。下記に各モジュールの特徴を示す。

- ひび割れ総延長はBモジュールよりAモジュールの方が相対的に長い。
- Bモジュールは0.4mm未満のひび割れが検出されていない。
- 照度の低い時間帯では、AモジュールよりもBモジュールの方が抽出長が長くなることもある。

これらのことより、比較した画像解析期間では、Bモジ

ジュールよりもAジュールの方が小さな幅のひび割れまで抽出しているが、照度が低い時間帯の抽出長はBジュールの方が大きいことがわかる。

つづいて、模擬変状のひび割れの変化の状況を図-5に示す。模擬変状はモルタル板背後に設置したジャッキで加圧し、ひび割れを伸長させながら1分間隔で画像を取得した。

次に、図-6に模擬変状の二つのジュールの解析結果を示す。いずれのジュールも模擬変状のひび割れ伸長に合わせて変位量が増加していることが確認できるが、右記の特徴が読み取れる。

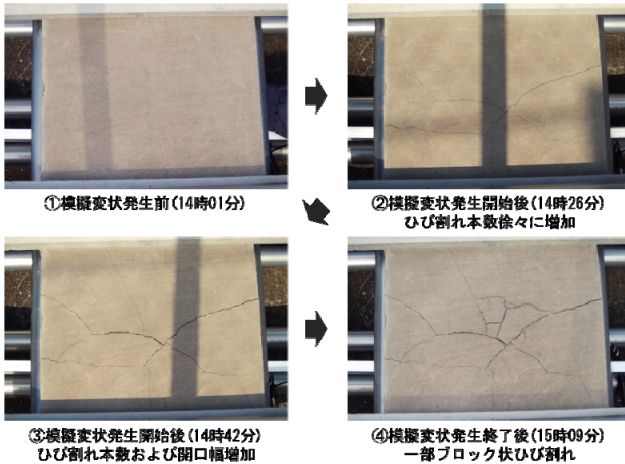


図-5 模擬変状のひび割れ伸長状況

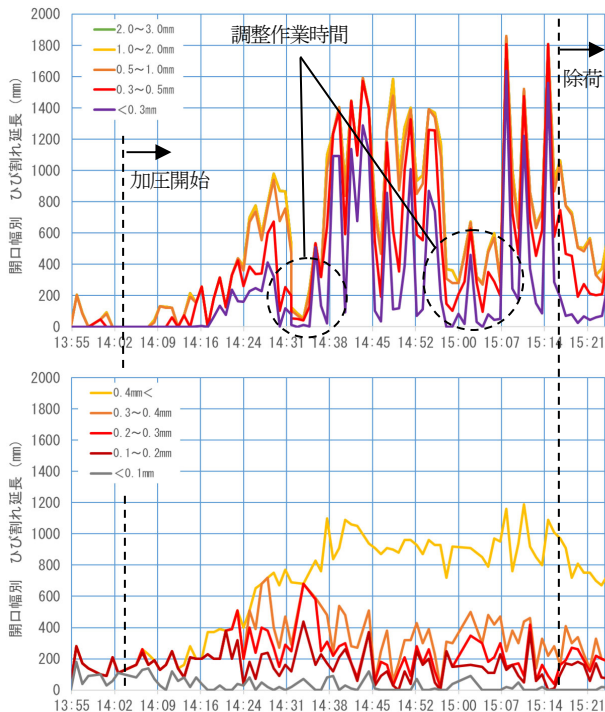


図-6 模擬変状解析結果
(上:Aジュール, 下:Bジュール)

- ひび割れ総延長はBジュールよりAジュールの方が相対的に長い。
- Bジュールは変状を発生させる前から100~200mmのひび割れを抽出している。
- Aジュールは、影の映り込みが多い時間帯(加圧装置の調整時間14:30~14:40, 15:00~15:10)にかけて抽出長が減少している。
- Aジュールは14:40以降も抽出量が大きく変化している。一方、Bジュールは0.4mm未満の抽出長が減少している。

撮影日は、雲の影響により照度が変化している他、日当たりがよい時間帯は影が映りこんでいた。これらのことから、一定の照度条件下ではAジュールの方がひび割れの抽出精度が高いものの、Bジュールの方が照度の影響を受けにくいと考えられる。

5. おわりに

本研究では、これまでリアルタイムモニタリングが困難であったコンクリート構造物のひび割れについて、変状の進行状況を可視化する手法を検討した。安価なタイムラプスカメラと既存のひび割れ抽出ジュールを用いることで、ひび割れの伸長を定量化することに成功した。一方で、既存のひび割れ抽出ジュールは、好条件(照度や正対画像)での撮影を基本条件としているため、同画角であっても照度が異なる画像では、ひび割れ抽出精度が大きく異なる。今後は、撮影条件の変更(撮影時の点灯や照度測定)や異常検知方法の検討(定時比較や移動平均比較)、AI画像解析の追加学習等を行い、社会実装に向けた検討を進める。

謝辞: 本研究にあたり、福井河川国道事務所、姫路河川国道事務所には、現地調査における様々なご協力を頂いた。深く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) インフラメンテナンス総合委員会 新技術適用推進小委員会: モニタリング技術活用のための指針(案), 公益社団法人土木学会, 2022
- 2) Ronneberger, O., Fischer, P., and Brox, T.: U-net: Convolutional networks for biomedical image segmentation, Proceedings of the 18th International Conference on Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention, pp. 234-241, 2015.

土木事務所における 360° カメラと ウェアラブルカメラを活用した取組みについて

曾我 愛実¹・竹内 信²

¹滋賀県長浜土木事務所木之本支所 道路計画課

²(公財)滋賀県建設技術センター 技術課

近年、建設業界ではインフラDXや働き方改革が推進されているが、その一つとして進められてきた現場の遠隔臨場は、これまでスマートフォンを用いた撮影が主流であった。本研究では360°カメラおよびウェアラブルカメラを導入することで、より詳細で広範囲な撮影が可能となり、受信側が臨場感を感じられる遠隔臨場を実現した。

また、この360°カメラを土木事務所での日常業務における様々な場面にも取り入れ、点検・調査業務や災害対応、現場見学会等の幅広い活用方法を試み、その有用性を確認した。本稿では、その詳細について報告する。

キーワード インフラDX、360°カメラ、ウェアラブルカメラ、遠隔臨場、技術伝承

1. はじめに

近年、デジタル技術の普及・拡大による技術革新が様々な業界・業種で急速に進んできたが、建設業界においては、デジタル技術に対応できる人材の不足や業界内でのデジタル格差が課題となり技術革新に遅れをとっていた。しかし、昨今の建設業界が抱える課題である、少子高齢化による担い手不足や、インフラ施設の老朽化、気候変動により激甚化する災害等に対応していくためには、技術革新による生産性の向上や業務効率化が不可欠である。国土交通省では、平成28年度に策定された「i-Construction」を中核としつつ、その後もインフラ分野におけるDX推進に取り組まれており、令和4年3月には「インフラ分野のDXアクションプラン」がとりまとめられ、令和5年8月には第2版が公表された¹。ここではインフラ分野におけるDXの取組方針が具現化され、利用者目線で実現できる事項が示されている。さらに令和6年4月には「i-Construction 2.0 ～建設現場のオートメーション化」が公表²され、建設現場における新たな生産性向上の取組がまとめられた。

その取組方針の一つである”施工管理のオートメーション化”の第一歩となる遠隔臨場は、本県でも平成30年度より試行的に導入され、各現場で徐々に定着してきた。また、新型コロナウイルス感染拡大による職員の働き方の変化も契機となり、リモートワークの導入でさらに実

用性が見直されている。しかし、従来の遠隔臨場では映像範囲が限定的であり、伝達する情報が発信側に委ねられることから、実際に現場へ赴くことの代替までは達していなかった。

そこで本研究では、遠隔臨場におけるよりリアルな情報共有を実現すべく、インフラ分野のDXアクションプラン¹の具体的事例でも示された360°カメラおよびウェアラブルカメラに着目し、(公財)滋賀県建設技術センターにおいて令和3年度より試行的に導入していた360°カメラおよびウェアラブルカメラによるリアルタイム配信サービス²を土木事務所の実業務で活用し、その効果を検証した。

加えて、360°カメラは遠隔臨場以外にも土木事務所での日常業務における様々な場面で活用が期待されたことから、各土木事務所の実務における様々な場面での活用検討、およびその効果の検証を行った。

本稿では、その結果を報告する。

2. 360°カメラおよびウェアラブルカメラの概要

(1) 機器仕様

今回使用した360°カメラおよびウェアラブルカメラの機器仕様を下記に示す。

- ・360°カメラ：RICOH THETA Z1
- ・ウェアラブルカメラ：VUZIX M400 (4K画像)

360°カメラおよびウェアラブルカメラを装着した様子は写真-1のとおりで、ウェアラブルカメラはヘルメットやメガネ型デバイスに取り付けてハンズフリーで利用でき、360°カメラは市販の自撮り棒に取り付けて片手で保持可能である。また、どちらのカメラも市販のスマホやタブレットと接続可能で、映像を確認しながらの撮影も可能である。



写真-1 360°カメラおよびウェアラブルカメラ

(2) 360°映像に期待されるメリット

ここで、360°映像のメリットについて述べる。

- ① 撮影地点における全天球型映像を取得でき、視聴者が自由に画面を操作しながら、まるで現地に立っているかのような臨場感のある映像を見ることができる。
- ② 撮影者の技術力を問わず、撮影漏れを防げる。
- ③ 遠隔による現場指示や現地対応の支援が可能。
- ④ 関係者へ詳細な現地状況を共有することが可能。

(3) リアルタイム配信サービス (RICOH Remote Field) の活用

360°映像は、リアルタイム配信サービス (RICOH Remote Field) を利用することで遠隔臨場に活用できる。360°カメラは全天球型映像を取得するため、受信側が各自で自由に画面を操作しながら全方向を閲覧することができ、立会範囲に限らず現場全体の確認が可能となる。

(4) クラウドサービス (THETA 360.biz) の活用

360°カメラは、リアルタイム配信だけでなく通常のカメラとしても現地状況を把握するのに有用である。撮影した360°画像や動画は、360°映像の閲覧に対応した無料のアプリやブラウザを使用して、市販のPC、スマホ、タブレット等の端末で容易に閲覧できる。

また、クラウドサービス (THETA 360.biz) を活用することで、360°画像や動画と位置情報等をリンクさせたGoogle ストリートビューのようなコンテンツを任意地点で簡単に作成し、webサイト上で公開することも可能である。360°映像のデメリットとして、視聴者の自由操作が可能な反面、撮影者の意図が伝わりにくいという点があるが、THETA 360.bizでは位置情報の他、キャプションや関連の画像・動画等の付加情報を360°映像上に与えることができるため、撮影者の意図を伝えるツールとしても有用である。

3. 遠隔臨場における360°カメラおよびウェアラブルカメラの活用

(1) 法面工事における活用

筆者の所属する長浜土木事務所木之本支所では、長浜市西浅井町菅浦地先にて県道葛籠尾崎大浦線の法面对策工事を実施中であり、当現場での遠隔臨場において360°カメラおよびウェアラブルカメラの導入を試みた。

この工事では、既設法枠の上部法面を安定させるため、路面からの高さが30mを超える位置に吹付法枠工、グラウンドアンカー工、鉄筋挿入工 (無足場工法) を施工する。その施工範囲に立ち入るには、労働安全衛生法の規定によりフルハーネスの装着が必須となり、発注者の監督職員が現地立会で現地の詳細を確認するのは困難であった。そのため、360°カメラを作業箇所下部の足場上に設置して現場全体の様子を映すとともに、ウェアラブルカメラを専門技能者のヘルメットに装着して施工箇所の細部を映す形の遠隔臨場を導入した (写真-2参照)。

従来の遠隔臨場は、スマートフォンを用いて行うことが主であったが、足場上に設置した360°カメラの映像では、スマートフォンによる映像よりも施工中の法面全体を見渡せた他、足場上に置かれた機材や材料の保管状況、足場下の道路交通状況なども同時に確認することができた。加えて、スマートフォンでは撮影者の片手が塞がれるため、フルハーネスの装着や親綱が必要な法面からの映像配信は危険を伴う作業となっていたが、ウェアラブルカメラはヘルメットや眼鏡に装着することで、両手を塞がれることなく撮影者の視点映像を届けることができ、安全性が向上した。また、今回使用したウェアラブルカメラでの配信映像の解像度は4Kと高画質であることから、画面越しでも巻尺の目盛りや計測器の数値等を鮮明に読み取ることが可能であった (写真-3参照)。



<https://f78908498.theta360.biz/tb30d670a-2490-11ef-bcd3-0613720b7bf9-1>

写真-2 法面工事における遠隔臨場の様子



写真-3 ウェアラブルカメラによる目盛り確認の様子

(2) 現場見学会における活用

前項で記載した法面対策工事について、360°カメラとウェアラブルカメラのリアルタイム映像を用いて、立命館大学の授業と連携した現場見学会を遠隔で開催した(写真-4参照)。

立命館大学から現場までは約100kmと遠距離で、高速利用でも片道約1時間30分の移動時間がかかるため、現地へ足を運ぶと半日以上が必要となるが、遠隔開催とすることで授業1コマの時間内で開催が可能であった。加えて、立命館大学以外にも県庁や他の土木事務所など各所からリモート接続し参加できる環境を用意することもできた(写真-5参照)。

内容面でも、従来の遠隔での現場見学会では一方的に現場の映像を届けるだけであったが、360°カメラを導入することにより、各参加者が見たい箇所を能動的に選択し多角的な視点で現場を見学することが可能である。加えて、専用ゴーグルにて現場のVR体験を行うことも可能である。また施工者側にとっても、見学者の安全確保のために施工を中断したり内容を変更したりする必要が無い場合、工程に影響を及ぼすことなく安全に現場見学会を開催でき、普段どおりの作業を見学してもらえるなどの利点が確認できた。

見学後の参加者アンケートでも、「現場の規模感や足場の高さ、作業員間の様子がリアルに伝わった。」「遠隔管理を導入することで、仕事の効率化や経費削減に繋がっていると感じた。」等の意見が寄せられた。このことから、遠隔での現場見学会であっても、360°カメラとウェアラブルカメラを用いて実体験に近い形での開催とすることで、参加者の記憶にも残りやすく満足度を向上することが可能といえる。加えて、このような現場見学会を通して、新技術の導入やそれに伴う業務効率化の取組みを紹介することで、建設業界や公務員の職務に対するイメージアップ効果も期待できる。建設業の魅力を発信するための手法として、現場を間近で見てもらい魅力を伝える従来の現場見学会と並行して、このような形の現場見学会も今後開催していきたい。



写真-4 立命館大学でのリモート現場見学会の様子

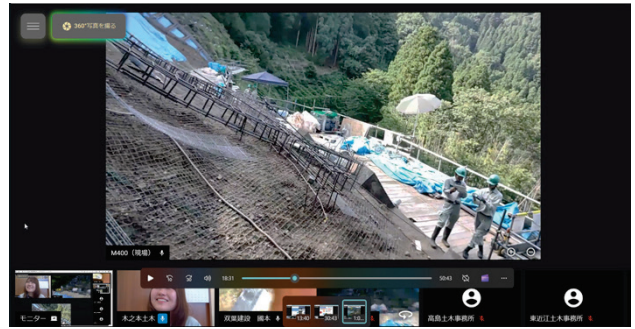


写真-5 リモート現場見学会の実施画面

4. 土木事務所の業務における360°カメラの活用

(1) 道路構造物の調査・点検における活用

橋梁やトンネル等の道路構造物点検において、部材毎や変状が見受けられた部分などのスポット的な記録写真のみでは、部材毎の位置関係など構造物の全体像を把握しにくいという課題があった。そこで、360°カメラを活用して構造物全体の記録を試みた。

今回の試行では、橋梁(東近江土木事務所管内、紅葉橋)とトンネル(長浜土木事務所木之本支所管内、賤ヶ岳隧道)を対象としたが、写真-6および写真-7に示すとおり、どちらも全天球型映像として取得することで構造物全体の状況を把握することができた。さらに、THETA 360.bizを活用して撮影位置との紐付けや劣化箇所のコメントを付与することで、わかりやすい点検資料を作成できた。加えて、360°カメラは動画も撮影可能であり、トンネルのように線的構造物で延長が長い場合は、全区間を途切れず記録に残せる動画撮影も有効であった。また、今後新たに変状等が発見された場合にも、360°映像を過去の状態確認に活用可能である。

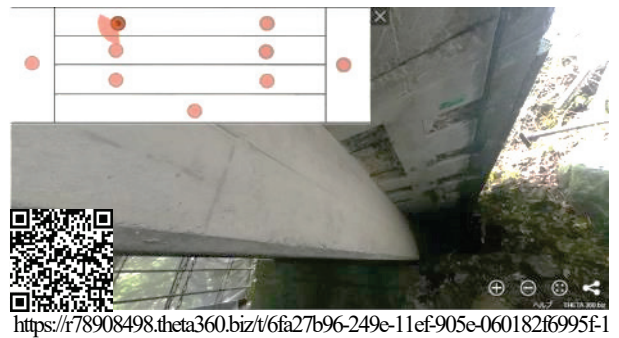


写真-6 橋梁点検での360°カメラの活用(紅葉橋)

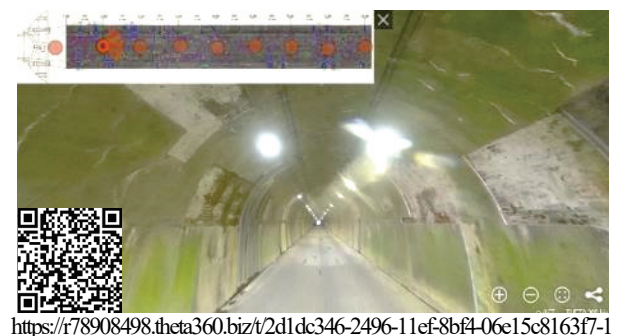


写真-7 トンネル点検での360°カメラの活用(賤ヶ岳隧道)

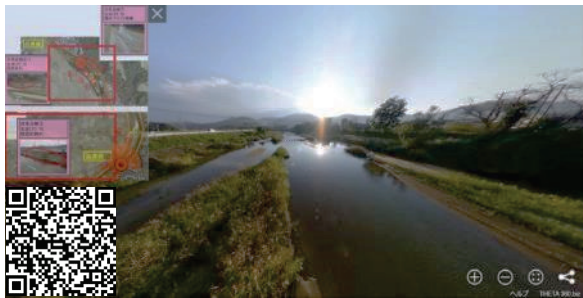
(2) 河川巡視点検における活用

各土木事務所の河川維持管理計画では、管内の管理河川において年一度は直営により河川巡視点検を実施することが定められている。直営巡視では、橋の上流側・下流側などで定点撮影し、過年度の点検写真とも比較しながら河川構造物の異常の有無や、草木の繁茂状況、土砂の堆積状況等を調査する。

従来の巡視点検では、デジタルカメラを用いて現地写真を撮影し、点検終了後は写真とその撮影位置や河川の流向、点検結果を帳票に整理している。流路延長が長く撮影箇所が多い河川では、点検写真の枚数が膨大となり、帳票作成にもかなりの時間と労力を要する。また、河道内を中心に撮影した写真はどこも似たような景色となることが多く、後日改めて撮影位置や流向を判別するのが困難という課題もある。

そこで本研究では、直営の河川巡視点検において試行的に360°カメラを用いて撮影を行った。撮影映像は写真-8に示すとおりで、360°画像とすることで、1枚の写真で河川の兩岸、上下流の全方向を映すことが可能と確認できた。また、河道内だけでなく、堤防道路や背後地の状況等、これまでの点検写真では映しきれなかった範囲も記録に残すことができた。

加えて、THETA 360.bizを活用して撮影位置とリンクさせたり、点検結果をキャプション入力することで、簡単に点検帳票を作成することも可能である。点検写真を360°画像としたことで枚数を縮減し、帳票作成時も位置や流向を正確に判別することができるため、写真整理も容易となった。今後、毎点検時の360°画像を蓄積することで、災害等で変状が発生した場合や地元要望等があった際に、当時の状況を把握した上で対応検討に活かすことも期待される。



<https://r78908498.theta360.biz/t/90c65fc2-248a-11ef-83a6-06e15c8163f7-1>

写真-8 河川巡視点検での360°カメラの活用

(3) 災害時における活用

災害時における被災箇所の調査や関係機関への情報共有、災害査定資料の整理において、360°カメラの活用を検討した。

成果は写真-9のとおりで、被災箇所の調査に360°カメラを活用することで、被災直後の様子を広範囲に記録することができ、後の災害対応を進める上で有用な資料となった。リアルタイム配信サービス（RICOH Remote

Field）利用することで、現地から土木事務所や県庁（災害対策本部）へ迅速に被害状況を共有することも可能である。

さらに、360°カメラは気象条件に影響されず簡単に撮影できるという利点がある。近年、被災箇所の調査にドローンが用いられるケースが増えており、遠隔操作で広範囲を撮影することができる安全な手段として活用されているが、被災直後の悪天候時や強風時には飛行が困難である。このような場合でも、360°カメラを代用すれば被災箇所の全景を撮影することが可能である。



<https://r78908498.theta360.biz/t/ba25acc4-2485-11ef-9840-0a7fdda087bb-1>

写真-9 災害現地調査（法面）での360°カメラの活用

また、試行として昨年度に発生した河川災害箇所を例に360°カメラを活用した査定写真を試作した。査定写真は「公共土木施設災害復旧の災害査定添付写真の撮り方⁴⁾」に基づき、起終点や被災延長が判別できるようボール縦横断写真を作成する必要がある。これに360°画像を用いることで、広範囲の被災箇所でも写真の貼合せ作業が不要となり、1枚で全景を映すことができ（写真-10参照）、対応が急がれる災害後の事務作業の効率化の観点からも有用である。

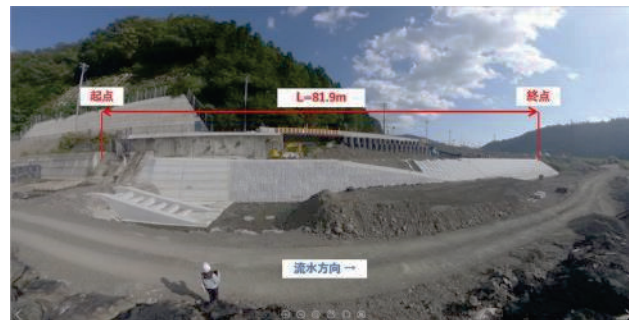


写真-10 災害査定写真の試作

(4) 用地交渉における活用

用地交渉では、地権者が遠方に居住している場合や仕事・家庭の都合等、諸事情により現地での境界確認へ来てもらうことが困難なケースも多い。また、取得対象地が山林等である場合は、境界点が山の中腹や急斜面上に存在しており、地権者が現地で境界点を近接確認するのは危険が及ぶこともある。

そこで本研究では、地権者への境界確認にあたって、

360° 画像を用いた説明を試みた。対象地は長浜市木之本町川合地先の国道303号法面対策予定箇所、急斜面に樹木が密に繁茂しており、法面上部の境界点を近接確認するのは困難な現場であった。そのため、事前に地積測量図等から復元した境界点を現地に杭やカラーテープで明示し、その周囲を360°カメラで撮影した。また、撮影した画像はTHETA 360.bizを用いて境界確認図とリンクして整理し、地権者が各地点における360°画像を閲覧できるようにした(写真-11参照)。

これにより、現地確認が困難な場所においても、地権者へ分かりやすく周辺の状況を確認頂くことができた。特に境界が不明確となりやすい山林等では、地形の変化点や樹木を目印として地権者間で互いの土地境界を認識されているケースもあり、360°画像を用いたことで、よりスムーズな確認作業に繋がった。



<https://t78908498.theta360.biz/t/effid20aa-2e9b-11ef-ac56-0ad00fde431f-1>

写真-11 用地境界確認での360°カメラの活用

(5) その他日常業務への活用

日常業務において現場へ行く際にも360°カメラを持参し、様々な場面で活用を試みた。

事業予定箇所を360°画像で記録することで、工事対象範囲だけでなく、電柱や架線、照明柱等の支障物件や、側溝や柵、マンホール等の付属構造物、植生繁茂状況など、周囲の状況を一度に記録できた。これにより、経験の浅い職員が現地調査を行う場合でも、確認忘れをカバーし、後日机上で360°画像を再確認しながら設計協議や積算を行うことができた。地元要望や事故対応等による現地確認の際にも360°画像を用いることで、上司への状況報告や、対応方針の検討・説明をより明確でスムーズに行うことが可能であった。

また、上司が別業務の予定や在宅勤務などで現場へ同行することが困難な場合でも、担当職員が360°映像を記録して上司へ送信したり、RICOH Remote Fieldを活用してリアルタイムの360°映像を上司へ配信することで(写真-12参照)、上司は現場の360°映像を自由に操作して閲覧しながら、現地の詳細な情報を取得できる。これにより、担当職員の工事監督業務を支援したり、担当職員が見落としがちなポイントを指摘するなど、技術指導を遠隔で行うことも可能となる。多忙な業務の中で若手職員への技術伝承にかかる時間の確保が課題となって

いるが、360°カメラは技術伝承においても有用なツールとして活用できる。



写真-12 リモートを併用した現場パトロールの様子

5. 360°カメラ事例集の作成・公開

本研究において活用検討を行った事例について、THETA 360.bizを用いて撮影した映像を整理し、事例集を作成した(写真-13参照)。この事例集は、土木事務所職員の利用を前提とした目線で360°カメラの特徴と具体的な事例を紹介しており、日常業務における360°カメラの有用性を職員間で共有し、インフラDXのさらなる推進につなげることを目的としている。本研究で試行した事例は、構造物点検や道路パトロール等、各土木事務所に共通した標準的な業務が主であったが、この事例集をきっかけに、各土木技術職員が個々の業務に応じて様々な場面で360°カメラを活用できるようになればと期待している。なお、作成した事例集は(公財)滋賀県建設技術センターのHPにて一般公開している。本県土木事務所のみならず、あらゆる場面においてこの事例集がインフラDX推進の一助となることを期待する。



<https://www.sct.or.jp/work/technic/360-%E3%82%A%B%E3%83%A1%E3%83%A9%E4%BA%8B%E4%BE%8B%E9%9B%86/>

写真-13 360°カメラ事例集

6. 今後の課題

(1) 通信環境に関する課題

夏季期間に遠隔臨場を試行した際は、直射日光により

機器の温度が上昇して通信不良が発生し、パラソルで直射日光を遮り扇風機や保冷剤で機器の温度を下げる等の対応が必要となるケースがあった。また、足場に囲われた橋の桁下空間などでは十分に電波が入らず通信障害が発生する事態もあった。機器の使用にあたっては現場環境を十分に確認し、状況に応じて録画対応とするなど、対策を講ずる必要がある。

(2) 360°映像データの処理に関する課題

360°映像は1枚あたりのデータ容量が大きく（写真1枚あたり約8MB、動画5分あたり約2GB）、枚数が多くなると土木事務所に配備されているPCでは処理に手間を要することもあった。土木事務所の業務では、360°映像以外にも、容量の大きい3次元データの閲覧・編集作業やデータ共有を必要とする機会が増えていることから、セキュリティ保護と両立しながら関係者とのデータ共有が容易にできる端末やサーバの整備が求められる。

(3) 土木事務所の設備に関する課題

360°カメラによる現場の遠隔管理の普及には、土木事務所での映像閲覧環境を整備することも重要である。現在、筆者の所属する長浜土木事務所本支所では、大型モニターは所内の予約制会議室のみに設置されており、通常の遠隔臨場等では個々のノートパソコンやタブレット端末を使用している。そこで本研究では、写真-14に示すとおり執務室内へ大型モニターを試行的に設置して遠隔臨場を実施した。その結果、大画面で360°映像を閲覧することでPCやタブレットの画面での閲覧よりも詳細に現地状況を確認できる点や、個人の閲覧準備作業が不要となり上司や同僚など複数人が手軽に遠隔臨場に参加できる点など、多くのメリットを確認できた。執務室内の大型モニターは、遠隔臨場のみならず360°映像や3次元データ等を閲覧して協議や相談を行う場合にも役立つと考えられることから、配備が推奨される。



写真-14 執務室内への大画面モニター設置の試行

(4) 施工者側への普及に関する課題

360°映像で現場全体を遠隔で確認可能となったことで、施工者側では現場を監視されているような印象を持つ、という意見もあった。施工者側への普及のためには、360°カメラが監視を目的としたものではなく、360°映像による詳細な情報共有を行うことでミスやトラブルを未然に防止したり、受発注者間の協議のレスポンスを早くし円滑なコミュニケーションを図るためのツールである点や、施工者内での技術伝承にも有用である点を強調すべきと考える。

7. おわりに

本研究では、360°カメラおよびウェアラブルカメラの土木事務所への導入を検討した結果、現場の遠隔臨場など様々な場面においてその有用性を確認できた。360°カメラやウェアラブルカメラは、価格や操作性の手軽さから、地方自治体や中小規模企業でも導入しやすい情報通信機器であり、地方の建設業におけるDX推進の有効なツールとして今後も積極的に活用していきたい。

また、本研究で活用を検討した360°カメラやウェアラブルカメラのみならず、現在では様々なデジタル技術が開発されているが、土木事務所の業務に導入し活用するには、前項で述べた課題への対応など、土木事務所のデジタル技術への対応力を向上させることが不可欠となる。これにより、発注者自身の業務の生産性が向上するのはもちろんのこと、受注者側からもデジタル技術を活用した提案が積極的になされるようになり、地域の建設業界全体のDX推進につながると期待されることから、土木事務所そのものをスマート化する「スマート土木事務所」の実現を目指し、今後も積極的に取組みたい。

謝辞

本稿執筆にあたり、ご協力頂いた県庁各課、各土木事務所・支所、(公財)建設技術センター、および各受注者・メーカーの皆様には厚くお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 国土交通省 HP : https://www.mlit.go.jp/tec/tec_tk_000073.html
- 2) 国土交通省 HP : https://www.mlit.go.jp/report/press/kanbo08_hh_001085.html
- 3) 八田尚大、石谷貴英：令和3年度(第43回)滋賀県土木技術研究発表会論文集、pp.31-35、2021.
- 4) (一社)全日本建設技術協会：公共土木施設災害復旧の災害査定添付写真の撮り方(令和5年改訂版)、2023.

砂防事業における遠隔施工の活用と将来性について

藤井 星渚¹・廣澤 元彦¹

¹近畿地方整備局 紀伊山系砂防事務所 工務課 (〒637-0002奈良県五條市三在町1681)

奈良県五條市大塔町赤谷地区では2011年9月の紀伊半島大水害により、斜面延長850m、幅460mに渡る深層崩壊が発生した。崩壊斜面は再崩落の危険性があるため、出水期間中には無人化施工が行われている。そこで、崩壊斜面直下の溪流保全工において、実機の振動や音、傾きなどを再現することで実機搭乗時と同等の操作性を再現する遠隔操作システムである「K-DIVE」を用いて施工を行った。その結果、70 km以上離れた都市部から山間部の現場であっても実用レベルでの遠隔施工が可能であることが確認された。本発表では「K-DIVE」の現場での活用を受け、砂防事業における遠隔施工の活用と土木事業における働き方改革について評価する。

キーワード 遠隔施工, インフラDX, 働き方改革

1. はじめに

建設機械の遠隔操縦は1940年初頭より始まり、雲仙普賢岳や東日本大震災など、人の立ち入りが制限される危険な現場において活発に用いられてきた¹⁾。特に1990年以降は情報技術の発達が目覚ましく、それに伴い遠隔施工技術についても飛躍的に発展した。

2011年9月の台風第12号では、紀伊半島の広い範囲で総雨量1,000mmを超え、3,000カ所で崩壊が発生した。奈良県五條市大塔町赤谷地区においても、延長850m、幅約460mの深層崩壊が発生し、1,138万m³の崩壊土砂が河道を閉塞し、大規模な湛水池（天然ダム）が形成された。本地区の復旧事業に際して、現在まで砂防堰堤及び溪流保全工の施工を行ってきた（図-1）。



図-1 赤谷地区事業全体図

崩壊斜面は不安定土砂が堆積している状況であったため、発災以降も複数回崩落している。2014年8月の台風第11号では、430mmの連続雨量を記録し、76万m³の土砂崩壊が発生した。

上記の理由により、出水期間中である6月15日から10月31日までの期間は3号堰堤より上流は立入規制区域を設定した。本地区では早期の事業完了のため、出水期間中の施工は自動化施工及び遠隔施工を併用した無人化施工を採用した。

2022年度までの施工では、ラジコン式の従来型遠隔操縦システムを活用してきたが、実機の音や振動などは伝わらずモニタからの情報のみで施工を行う必要があり、実機搭乗時よりも生産性が下がってしまうなどの課題があった。

そこで、さらなる生産性向上や工期・コスト低減、現場DX化を目的として2023年6月から2023年10月までの期間、「K-DIVE」を用いた遠隔施工を行った。本技術は実機の振動や傾き・音などをコックピットにフィードバックし、現場にいる感覚で操作することが可能であり、1台のコックピットで複数の重機を切替えて遠隔操作を行うことができる(図-2、図-3)。



図-3 K-DIVEの操作状況

本稿では砂防事業における本技術の内容と結果を総括し、今後の活用に向けた考察について報告する。

2. 方法

(1) 概要

工事名：赤谷地区上流溪流保全工他工事

施工場所：奈良県五條市大塔町赤谷

工期：2022年9月21日から2024年7月31日

工事内容：3号堰堤上流における溪流保全工及び場内整備工

操作箇所：工事現場内事務所及び(株)富島建設本社内(大阪府大阪市福島区海老江)

各箇所の位置関係を図-4に示す。遠隔施工箇所から現場事務所及び富島建設本社までの距離はそれぞれ約1 km、約70 kmである。

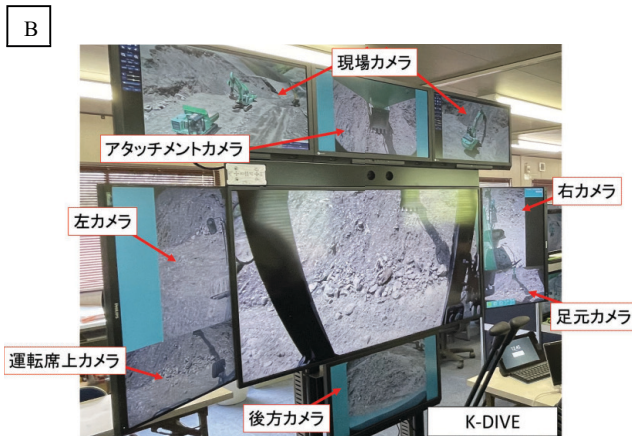


図-2 従来型遠隔施工システムとK-DIVEのモニタ構成比較
(A. 従来型遠隔施工, B. K-DIVE)



図-4 施工箇所及び遠隔施工箇所位置関係



図-5 施工箇所位置関係

(2) 施工範囲

K-DIVEによる遠隔施工を行った箇所を図-5に示す。施工箇所は崩壊斜面の対岸に位置しており、当該箇所にて土砂の掘削積込み、改良土の敷均し、法面整形作業を実施した2023年6月から同年10月にかけて、K-DIVEを用いた施工を行った。図-5に施工箇所の位置関係を示す。

(3) K-DIVEの機能

a) モーションシート

「モーションシート」は、実機に搭載したジャイロセンサから振動や傾きをコックピットへフィードバックが可能である。

b) 音のフィードバック

エンジン動作音や機械動作音、ホーン等がコックピットへフィードバックされ、コックピットにいながら、現場にいる感覚で操作することができる。

c) 可動式メインカメラ

メインカメラはコックピットのレバーで上下左右に動かすことができ、周囲を確認しながら作業することができる。

d) 非常停止機能

コックピットの非常停止スイッチもしくはメイン通信と別系統通信の携帯できる無線非常停止装置を押すことにより油圧ロック状態で停止する。通信が途絶した場合も油圧ロック状態で停止する。

e) オペレータ顔認識機能

顔認識機能によりオペレータを判別する。登録されていない人物は操作することができない。

f) よそ見検知機能

作業中はよそ見と姿勢を検知する機能があり、オペレータの安全な操作をサポートする。よそ見を検知すると油圧ロック状態で停止する。

g) コックピットモニター

合計7枚のモニターを使用して、機械周囲の映像や、現場に設置された俯瞰カメラ映像をみながら作業できる。

h) 多接続機能

1台のコックピットで複数の重機を切替えて、遠隔操作を行うことができる。コックピット搭載の手元モニターにて、あらかじめ登録した作業エリアと遠隔重機を任意に選択することで、簡単に接続することが可能である(図-6)。これにより、オペレータは現場間移動の手間がなくなり、効率的に現場作業を進めることができる。

i) ダッシュボード機能

遠隔操作したデータはクラウドにアップロードされ、日々の業務内容や進捗状況をひと目で確認できる。また、K-DIVEに搭載されているモニター類の説明を図-7に示す。

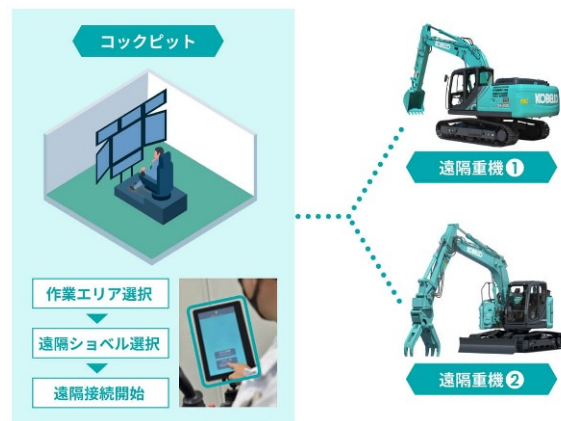


図-6 多接続機能の概要

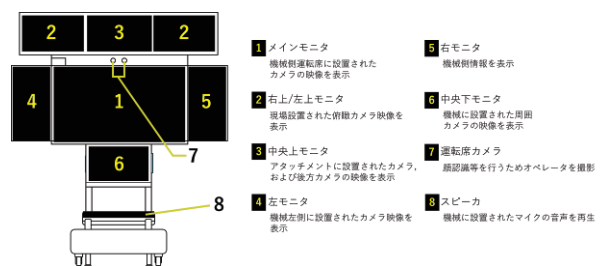


図-7 K-DIVEコックピットのモニター構成

(4) 通信条件

低遅延な遠隔操縦を行うため、(株) 富島建設本社内からの長距離通信手段として既存の施設から工事現場内まで光ファイバにより接続した(図-8)。

従来技術の無人化施工の重機操作や固定カメラの映像は、デジタル無線を用いて通信する設定とした。重機操作のデータ通信には、移動体通信に特化した5GHz帯アクセス無線を採用し、100m間隔に無線LAN基地局を現場内に9機設置した。また、固定カメラの映像データ通信には、大容量かつ高速データ通信が可能な25GHz帯小電力無線を採用し、100m間隔に拠点間通信用無線を設置した。現場内の固定カメラ、無線機の設置箇所を図-9に示す。

(5) 検証項目

以上の条件のもとで、生産性、品質及び出来形、経済性の3項目について実機搭乗による施工、従来型遠隔施工、K-DIVEによる遠隔施工の比較を行った。

特に生産性の比較では、遠隔操作実施箇所と施工箇所間の地理的距離により生産性に変化がないことを確認するため、富島建設本社及び現場事務所から現場内における土砂移動作業、法面整形作業を遠隔で試験施工し行った。また、実機搭乗時及び従来型遠隔施工との生産性の比較は、実際に施工を行った際の土砂積込移動作業、法面整形作業を基に行った。

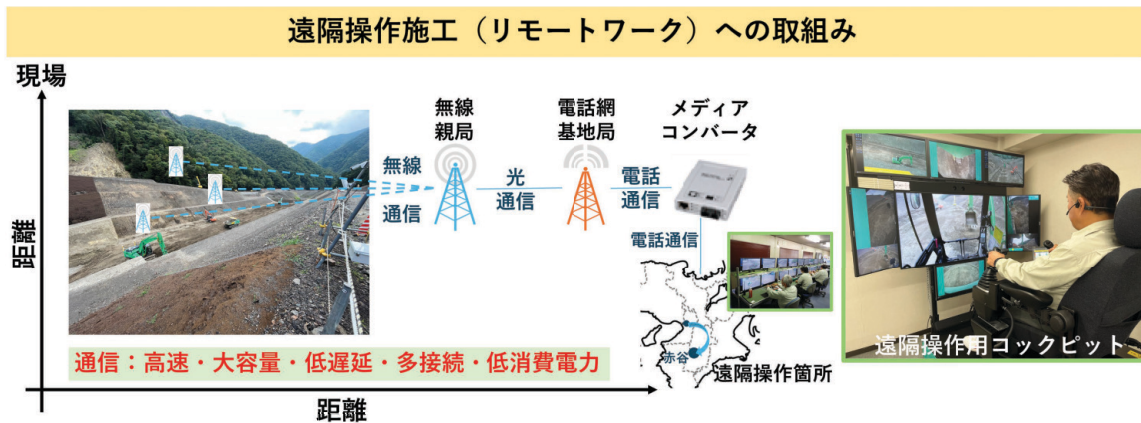


図-8 遠隔施工箇所及び施工現場間の通信環境



図-9 場内機材配置図

3. 結果

(1) 生産性

実機搭乗時を100%とした場合の生産性を比較した結果を表1に示す。

試験施工時の生産性を実機搭乗時及びK-DIVEで比較したところ、K-DIVEによる土砂移動作業は74-78%、法面整形作業は68-70%となった。また、富島建設本社と現場事務所の生産性は、土砂移動作業ではそれぞれ78%及び74%、法面整形作業ではそれぞれ68%及び70%と同程度であった。富島建設本社は施工現場から約70km離れており、現場内事務所より遠距離からの施工であるが生産性に差は認められなかった。

また、実施工時の生産性を実機搭乗時、従来型遠隔施工、K-DIVEで比較すると、土砂積込移動作業は従来型遠隔施工は44%であったのに対しK-DIVEでは83%となり、法面整形面積では従来型遠隔施工は58%であったのに対しK-DIVEでは78%であった。K-DIVEは従来型遠隔施工に対し、20-39%生産性が高い結果となった。

(2) 品質及び出来形

試験施工及び実施工における法面整形工の品質及び出来形比較を行った結果を図-10、11に示す。遠隔施工による出来形と実機搭乗時の出来形に差は確認されなかった。

(3) 経済性

従来型遠隔施工とK-DIVEを用いた遠隔施工について、設備面、安全性、移動費用の3点から経済性の比較を行った。設備費の比較結果を表-2に示す。設備としては無人化設備224,000円、設備の設置及び撤去費用は143,700円、従来型遠隔施工からコストダウンすることができる。遠隔施工の場合は現場で施工を行うことがないため重機オペレータの労災死亡事故の発生リスクを0%にすることができ、約2,800~3,200万円とされる保証費用を削減できる。また、現場への移動費削減による計算例を表-3に示す。現場へ社用車で1カ月通勤（20日稼働、往復）した場合の移動費で算出した。K-DIVEで施工を行う場合、山間部の施工箇所へ移動する必要がなく、操縦者の移動費の削減効果が見込まれる。

表-1 生産性比較

	作業内容	実機搭乗時	従来型遠隔操縦	K-DIVE	
				現場	大阪
試験施工	土砂移動作業	100%	-	74%	78%
	法面整形面積	100%	-	70%	68%
実施工	土砂積込移動	100%	44%	83%	
	法面整形面積	100%	58%	78%	



図-10 試行ヤードにおける法面整形作業出来形比較 (A. K-DIVE (大阪), B. K-DIVE (現場), C. 実機搭乗)



図-11 無人化施工による溪流保全工出来形

表-2 設備費用比較表 (機械費用はレンタルのため補償料を含む。その他は0.8m3バックホウ1台分の積み上げ)

	従来型遠隔施工	K-DIVE	費用差	備考
機械費	¥2,953,000	¥2,953,000	¥0	1台/月
無人化設備費用	¥1,805,000	¥1,581,000	¥224,000	1台/月
設備設置撤去	¥1,125,940	¥982,240	¥143,700	1台

表-3 移動時間削減による効果 (1kmあたり15円で換算)

距離 (km)	月あたりの費用	備考
10	¥6,000	五條市大塔支所
50	¥30,000	五條市
100	¥60,000	
150	¥90,000	富島建設大阪本社

4. 考察

赤谷地区上流溪流保全工他工事ではK-DIVEの設備を現場事務所及び株式会社富島建設本社（大阪市福島区海老江）に設置し、流路護岸のソイルセメント敷均し・法面整形について遠隔施工を行った。そこで本稿ではK-DIVEにおける生産性、出来形、経済性の3項目について実機搭乗時及び従来型遠隔施工時との比較を行った。

今までに光通信を用いた遠隔地からの施工例はあるが従来の遠隔施工技術を基に実施しており²⁾、モニタの情報のみで施工を行う必要があるため実機搭乗時と比較すると生産性が下がってしまう課題があった。実際に本稿の結果においても従来型遠隔施工の生産性は実機搭乗時の44%~58%であった。一方で、K-DIVEによる遠隔施工は従来型遠隔施工よりも生産性が20~39%高く、出来形においても実機搭乗時と差は確認されなかった（表-1、図-10）。この要因として、実機の振動や傾き・音などをコックピットにフィードバックし、実機搭乗時と同等の操作が可能であったこと、データ通信に光回線を使用しスムーズな施工が可能であったことで、従来の遠隔施工よりも大幅に作業効率が高くなったと推測される。本稿で報告したK-DIVEは、従来型遠隔施工よりも生産性が大幅に向上するのみならず経済的でもあるため、より活発に活用されていくと考えられる。

砂防事業の現場は山奥にあることが多く、現場従事者不足や現場への移動時間、交通費などが課題となっていた。本稿の結果より、K-DIVEを活用することで山間部であっても都市部からの施工が可能であることが確認され、居住地と施工箇所の距離に捉われずに施工を行えるようになると思われる。そのためK-DIVEの活用は現場従事者不足や移動時間、経費といった問題を解決できる可能性があり、砂防事業を含めた山間部の工事では特に効果が期待される。

これらの取り組みを通して、場所や時間を問わず労働できる環境を整備することができ、就業者の裾野を広げることによって多様な人材の活用が可能となる。また、土木・建設業の労働人口減少、熟練技能者から若手への技術継承、危険・肉體労働をはじめとした従来の労働環境改善といった様々な課題を解消し、業界全体のイメージアップにつなげることができると考えられる。

最後に、2024年6月23日に実施した赤谷地区の工事完成式典では、記念碑の除幕式を富島建設本社より遠隔で行うことができた（図-12）。本工事での施工者である鹿島建設及び富島建設には、この場を借りて厚く御礼申し上げます。

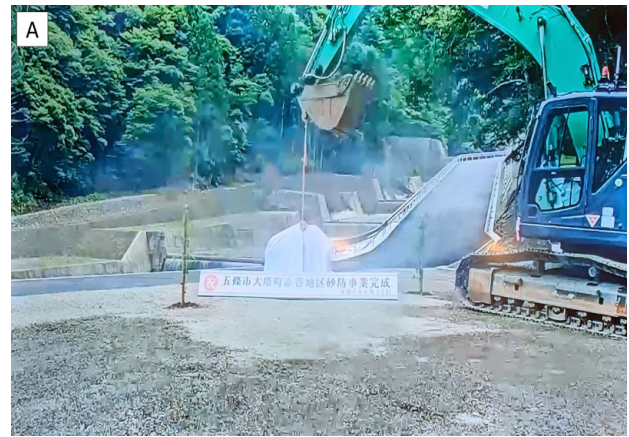


図-12 完成式典の除幕式の様子（A. 現場の様子、B. 遠隔操縦の様子）

参考文献

- 1) 久武経夫, & 中里邦子. (2012). 建設機械等の遠隔施工と電波利用. 建設の施工企画, (747), 33-39.
- 2) 新田恭士, 松尾修, 北原成郎, 黒田昇, 田村圭司, & 下田孝徳. (2012). 超長距離無人化施工技術の適用性に関する考察. 第13回建設ロボットシンポジウム

新宮道路事業の環境保全・景観対策における BIM/CIMの活用について

栗原 慎太郎

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) .

一般国道42号新宮道路において、土工区間・橋梁区間・トンネル区間の各区間のCIMモデルの統合・活用により路線全体のCIMモデル作成・事業進捗の円滑化に寄与した。新宮道路独自の課題・取り組みとして、道路計画が国立公園へ支障し、環境保全・景観対策が必要となっており、その対策案を検討しCIMモデルに反映させることで対外説明を円滑に進めることができた。今後の設計で再活用ができるような統合モデルを作成し、さらに属性情報を付与することなどで維持管理・災害発生時における統合CIMモデル活用により情報管理の効率化が可能となる。

キーワード BIM/CIM, 道路設計, 景観, 環境保護, アカウミガメ

1. 背景

国土交通省では、社会資本の整備・管理の効率化・高度化を目的とし、CIM (Construction Information Modeling, Management) の導入を推進している。紀南河川国道事務所の新宮道路事業区間においてもCIMモデルを作成し、路線としての事業説明、設計・施工への活用、さらには維持管理までの活用を目指している。事業課題として、国立公園を通過するため景観対策が必要となっている。加えて、王子ヶ浜はアカウミガメの産卵場所であり、供用後のヘッドライト等の影響が懸念されている。課題へ対策効果についてわかりやすく説明し、早期の合意形成を図るためBIM/CIMの活用方法について検討した。

2. 新宮道路の概要

一般国道42号新宮道路は、現在施工中の新宮紀宝道路・供用済みの那智勝浦新宮道路と接続し、和歌山県新宮市あけぼの～同市三輪崎を結ぶ延長4.8kmの自動車専用道路であり、平成31年度に事業化された。事業効果としては、輸送時間の短縮・緊急医療活動の支援・渋滞緩和による地域相互の振興に寄与するほか、台風等による土砂災害や南海トラフ地震等の地震災害時に、津波等の影響により道路通行機能が確保可能なネットワークの一部として早期の供用が望まれている。

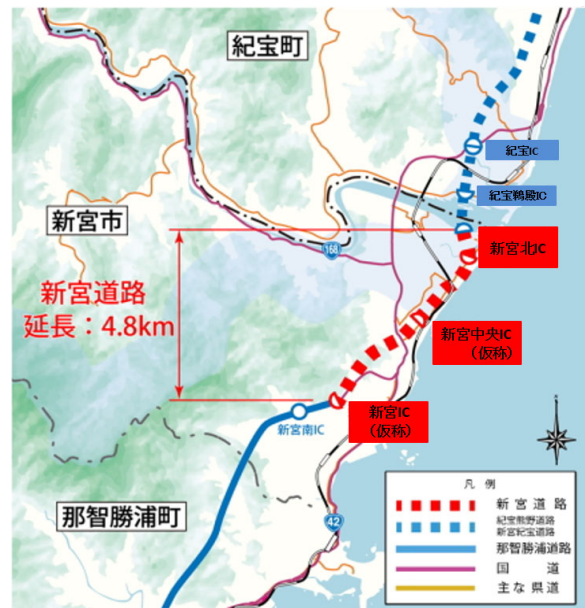


図1 一般国道42号新宮道路の概要¹⁾

3. 新宮道路のBIM/CIM活用検討

新宮道路では、以下について3Dモデルでの検討および対外説明を実施した。BIM/CIMモデルの内容・活用方法について1)新宮道路事業への活用、2)環境保全・景観対策への活用の2項目に分けて述べる。

(1) 新宮道路事業への活用

a) 路線全体の統合モデル作成

新宮道路は土工区間・橋梁区間・トンネル区間で構成されるが、それぞれの区間で3Dモデルを作成しても連続

性がなく活用機会に乏しくなる。今後の施工・維持管理までの活用を目的とし、接続部的那智勝浦新宮道路・新宮紀宝道路を含めた路線全体の統合モデルを作成した。今後の設計での干涉影響の把握、地元・対外協議での説明への活用が可能である。

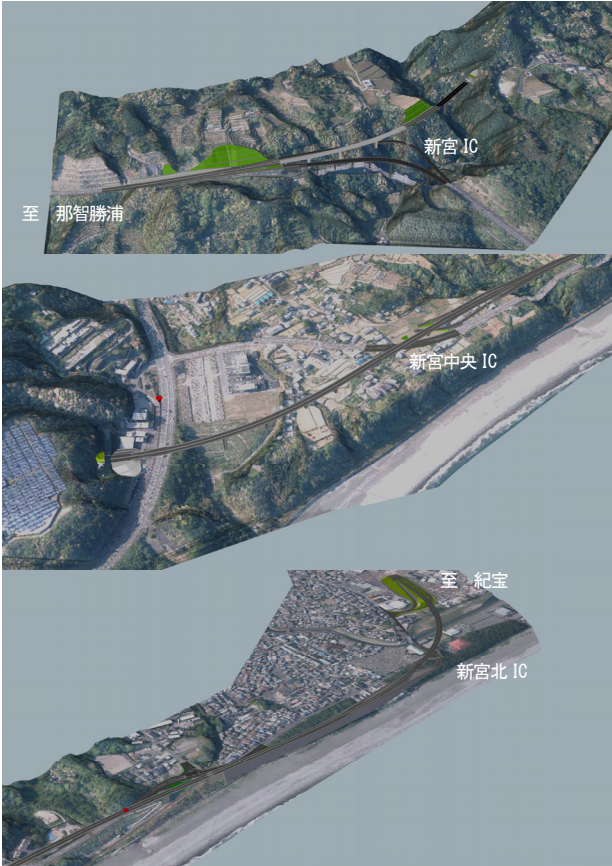


図2 路線全体の統合モデル

b) 属性情報付与

今後の施工・維持管理への活用を目的とし、a)で前述した統合モデルに属性を付与している。属性には階層があり、現段階（設計段階）では構造物を例とすると、「工種→補強土壁（アダムウォール）・選択箇所→コンクリートパネル」のように構造物の構成箇所のどこを選択しているか明確にできている。今後、この階層を深くし、情報を追加していくことにより施工・維持管理への有効活用が期待される。

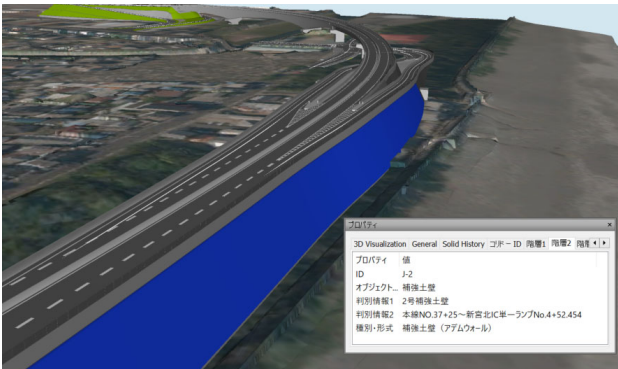


図3 属性付与

c) IC接続交差点のモデル化

a)で前述した統合モデルと同様に、モデルの不連続性を回避することや対外説明の円滑化を目的とし、本路線のIC（新宮IC・新宮中央IC・新宮北IC南）の接続先交差点について3Dで表現した。交差点部での利用状況（運転者・歩行者目線での計画検証も可能となるため、対外協議時で活用することで早期の合意形成を可能にした。



図4 IC接続先交差点モデル（新宮IC）

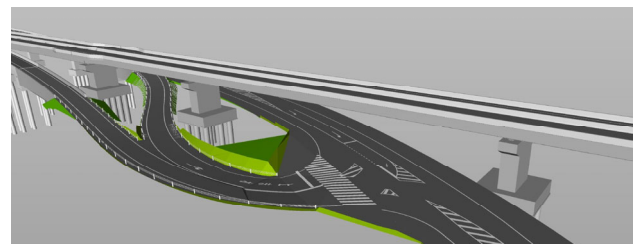


図5 IC接続先交差点モデル（新宮中央IC）



図6 IC接続先交差点モデル（新宮北IC南）

d) 3D施工ステップの作成

対外説明および施工時における活用として3D施工ステップを作成した。全体工事工程を示す路線全体の施工ステップ（図7）、特に工事工程が複雑となる那智勝浦新宮道路接続部（新宮IC）の施工ステップ（図8）、および県道付替部の施工ステップ（図9）を作成した。

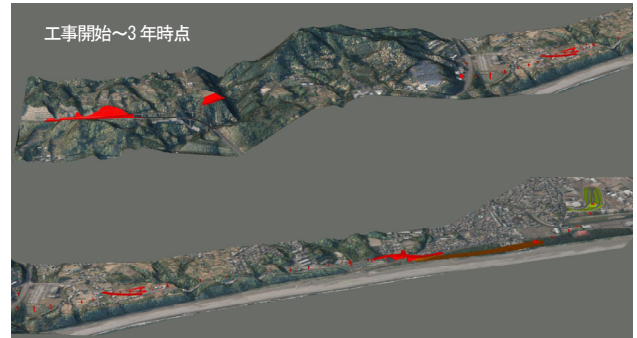


図7 路線全体の施工ステップ

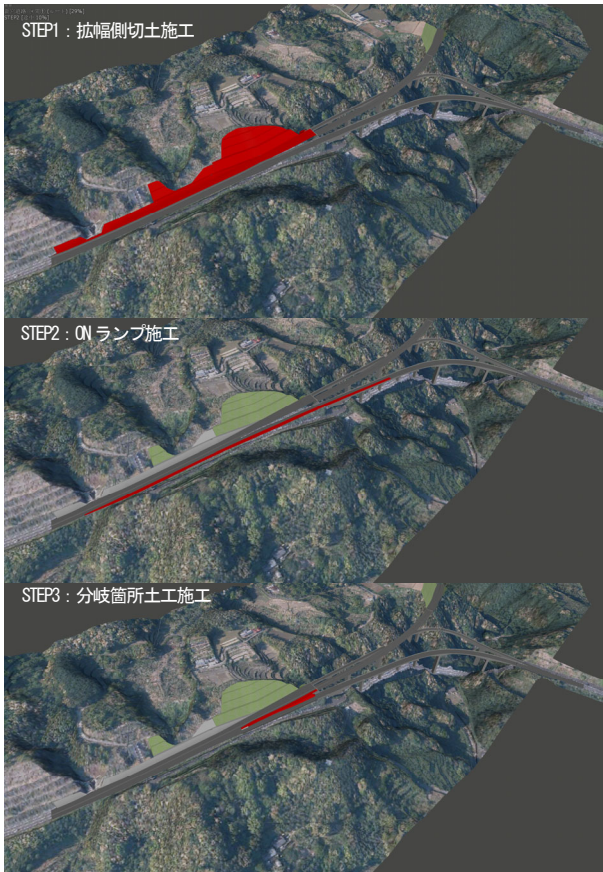


図8 新宮IC付近施工ステップ

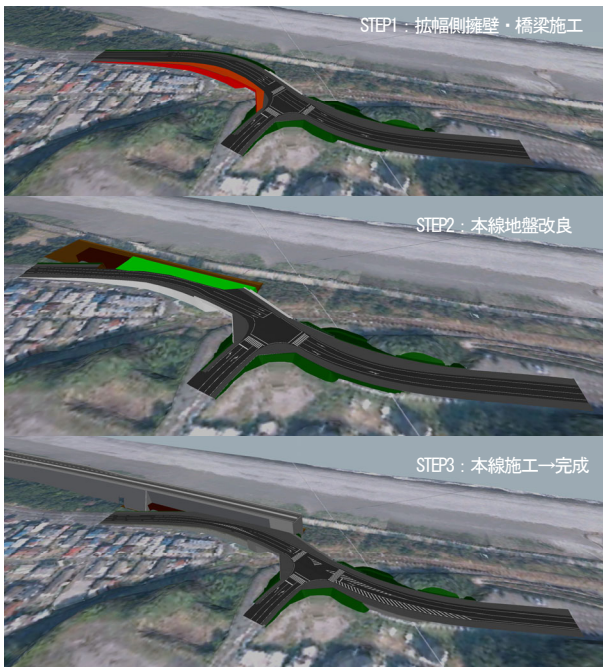


図9 付替県道施工ステップ

e) 最大津波高の表現

近年では南海トラフ地震の発生が懸念されており、新宮市においても最大津波高15mという想定がされている。新宮道路事業では、「災害時に、津波等の影響により流

通が途切れないネットワークを構築する」ことが一つの目的であり、新宮道路の縦断計画高は最大津波高以上で計画を進めている。関係機関および地元住民への説明の際にも明確に説明できるよう3Dモデルに最大津波高のイメージを追加した。津波による影響が民地に及ばないことや災害時にも道路ネットワークが途切れないという説明に活用できる。

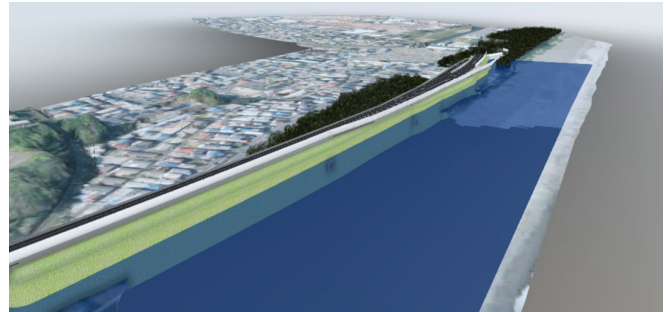


図10 最大津波高の表現

(2) 環境保全・景観対策への活用

a) アカウミガメへの影響対策

本路線のルート付近にはアカウミガメの産卵場所が確認されている王子ヶ浜があり、供用後の車両のヘッドライトや道路照明が、アカウミガメの産卵・産まれたアカウミガメの行動に影響を与える恐れがあると専門家より指摘を受けている。そのため現段階ではヘッドライトの影響を低減させるため、遮光板の設置を計画している。遮光板を3Dモデルへ反映させることで、ヘッドライトの海岸への影響シミュレーション・完成形イメージを施工業者および関係者へ詳細に説明することを可能にした。

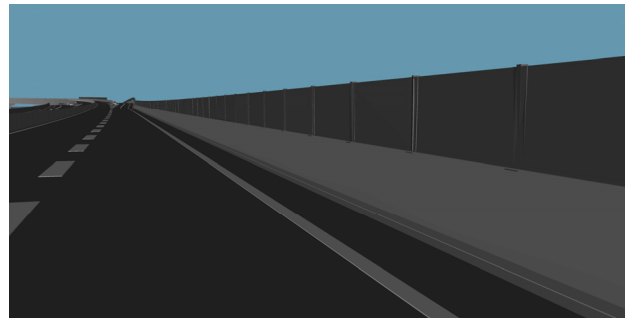


図13 遮光板の3Dモデル

b) 国立公園の海からの景観保全対策

新宮道路は一部「吉野熊野国立公園」の第一種特別地域および第二種特別地域を支障する計画となっており、海からの景観について配慮する必要がある。最も大きく支障する区間では補強土壁計画となっており、補強土壁の壁面デザインを工夫することで景観を保全する計画としている。景観保全案としていくつか提案したが、それぞれについて3Dモデルを作成することだけではなく、点群データを追加で取得し、樹木の高さを詳細に表現し、海側を歩行する人目線のイメージ動画を作成することで、

対外説明時に各計画の完成イメージを明確に伝え、計画の早期合意形成に寄与した。最終的には「灰色案」が採用となり、壁面デザインを「擬石模様」とすることで合意した。CIMを活用することで、多様なパターンの景観表現が可能となり、早期の合意形成を図ることができた。壁面デザインについてはフォトモンタージュで作成し、完成イメージを説明することに活用した。

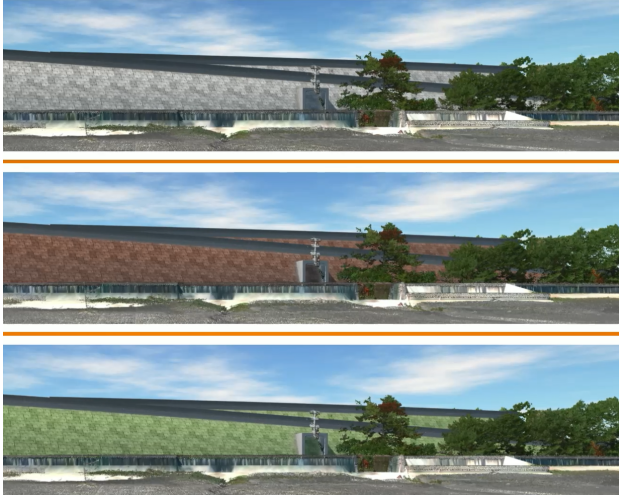


図11 壁面案（灰色案・茶色案・緑色案の比較）



図12 フォトモンタージュ（灰色擬石模様パネル案）

4. 今後のBIM/CIM活用における課題

本事業を通して、BIM/CIMモデル活用の課題として2点明確になった。1点目は作成ソフトの互換性の不足である。設計段階においても一般的に利用される「Autodesk」「V-nas」にはそれぞれ互換性のない場合があり、都度再作成が必要となる。施工段階への活用ともなれば更なるソフト間の互換性の無さが課題になると

想定する。BIM/CIMの全体的な発展の第一歩として、継続的に修正設計を反映させるために、どのソフトでも容易に読み込み・編集ができる互換性の確立を目指していく必要があると考える。2点目は、維持管理の活用が十分でないと考える。「ICT土工」についても測量関係については要領等も充実してきており活用が進んでいるが、ICT建設機械については施工可能な工種が限定されており、全面的な活用はできていない状態である。今後、施工情報の一元管理やBIM/CIMを活用する施工のためにはICT土工の発展は必要不可欠であり、さらに維持管理での活用では、設計段階でも行った属性付与を施工段階、各点検段階において階層を追加・更新していく必要がある。これが可能になれば供用後のデータ管理が集約され、一つのCIMモデルから完成図管理・点検管理・修繕管理・災害対応などが紐づけられ、あらゆる場面での管理の効率化が可能になる。

5. まとめ

今回の業務において、環境省との環境保全・景観対策に対する説明にBIM/CIMを活用する機会を得ることができ、非常に勉強になった。以前に受けた研修等で基本的な知識については勉強させてもらったが、実際に実務で活用することで、より効果を実感することが出来た。

BIM/CIMの活用は他の事業でも実施しているところではあるが、新宮道路事業ほどの活用が出来ていない状態にあると考えられるため、今回の事例を踏まえ、より有効に活用できる手法を検討していく必要があると考える。

謝辞：本稿の執筆にあたり、ご協力をいただきました株式会社オリエンタルコンサルタンツ様に対し厚く御礼を申し上げます。

参考文献

1)一般国道42号新宮道路パンフレット（道の情報）

ミクロシミュレーションを活用した 主要渋滞箇所の対策効果検証について

富山 桃樹¹・菊山 幸輝²

¹近畿地方整備局 滋賀国道事務所 計画課 (〒520-0803滋賀県大津市竜が丘4-5)

²日本工営株式会社 大阪支店 交通都市部 交通システムグループ (〒530-0047大阪府大阪市北区西天満1-2-5 大阪JAビル6階)

ミクロシミュレーションを活用した主要渋滞箇所の短期対策後の対策効果検証を行った成果を報告する。ミクロシミュレーションでは、車両1台1台の車両の動きを確認し、交差点需要率等では表現できない交通事象（車線の割込み、分合流による阻害等）を評価することが可能であり、より実態に即した効果検証が可能である。今回はミクロシミュレーションの活用事例について、対策立案の経緯を含めて報告するものである。

キーワード 渋滞対策, 効果検証, ミクロシミュレーション

1. はじめに

事前に道路整備効果を把握するという観点では、従来より四段階推計法等に代表されるような交通需要予測が主流であり、事業評価の考え方にもなっている。なお、このような交通需要予測については、ODや道路ネットワークを前提とした考え方であり、新設道路による影響等、マクロ的な視点がメインとなっている。

一方で、交差点改良等のミクロな対策による影響についての効果把握の重要性も高まっている。具体的には、より効果の見込まれる対策メニューの立案に繋げるため、関係者間での検討材料とすることや、対外的な説明材料として活用することが考えられる。

具体的な効果の提示方法としては、他の類似事例の検証結果を引用することも考えられるが、より対象箇所の実態に基づいた方策として、ミクロシミュレーションに

よる効果検証方法が存在する。ミクロシミュレーションでは、シミュレーションソフトを用いることで、対象箇所特有の道路構造（車線数、幅員等）を反映しながら、車両1台1台の動きに着目した交通シミュレーションを実施するため、定量的な効果把握が可能となる。

今回、県内の渋滞対策検討箇所においてミクロシミュレーションによる対策効果の事前把握を行い、その結果を受けた今後の展望を整理した。

2. 対象となる交差点の概要

(1) 交差点の概要

近江八幡市に位置する友定町交差点は、南北方向は国道8号であり、重要物流道路にも指定されている。東西方向の滋賀県管理道についても、近江八幡市街から八日市市街を結ぶ路線となっており、交通の要衝である。

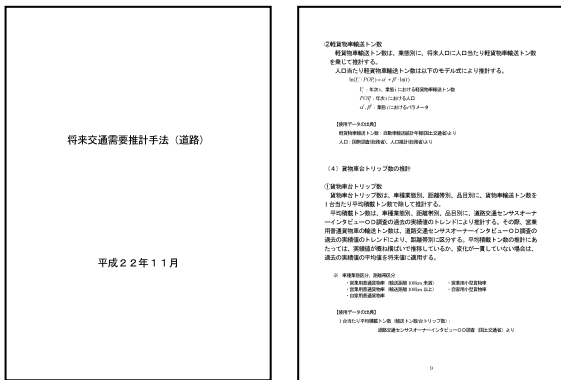


図-1 将来交通需要推計手法（道路）¹⁾

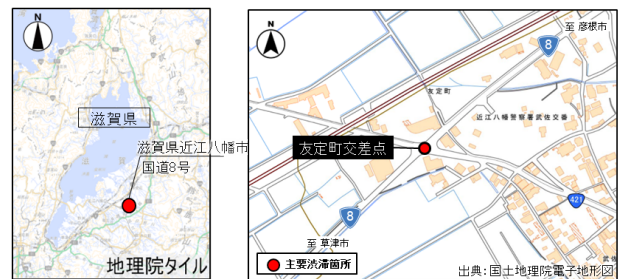


図-2 友定町交差点（左：位置図 右：広域図）

県内の主要渋滞箇所を選定されている。(図-2)

(2) 交通状況・渋滞要因の確認

全流入方向において直進左折レーンが1車線と、右折車線・右折車線相当が設けられている。なお、用地がせり出ており道路幅員も狭いことから、西側流入4と南側流入2については車線の区分線は設けられておらず、右折車線幅員相当のスペースが確保されている状況である。(図-5)そのため、特に右折車両と直進車が同時に滞留・進行する際には、走行中にドライバーに圧迫感が生じ徐行を行うなど、交通流に影響を与える可能性がある。



航空写真：©NTTインフラネット, Maxar Technologies.

図-3 友定町交差点

(2) 右折車線相当幅員の確保

既設道路において種々の制約によって右折車線としての幅員を確保できない場合であっても、右折車両の分離は、交差点における交通処理に重要な役割を果たすので、右折車線相当の幅員として1.5mを確保できる場合には直進車線との境界標示を施さずに単に1.5m以上のふくらみをもたせるとよい(図4-12)。

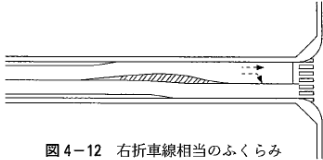


図4-12 右折車線相当のふくらみ

- 497 -

図4 右折車線相当幅員の確保²⁾



図-5 友定町交差点(流入2)の現地状況写真

また交通量調査結果(2023年10月8日(木)実施)を見ると、17時台が総交通量が最も多くなっていることが分かった。さらに、同時間帯における信号サイクル長と平均車頭間隔等から付加車線における必要滞留長を算出したところ、流入1,2において現況よりも不足していることが明らかとなった。

さらに流入4では、交差点に流入してくると、そのまま右折車線に入る線形となっているため、ドライバーの混乱を招いている懸念が考えられた。

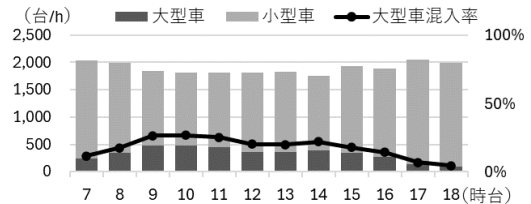


図-6 交通量・大型車混入率の時間帯推移

(3) 対策内容

前項の交通状況や渋滞要因をもとに、交差点全体の交通容量を向上させ渋滞緩和を図ることを目的とし、車両軌跡等の条件、各関係機関と協議結果を踏まえ、以下の対策を行う予定となった。(図-7)

- 流入1: 右折車線の延伸 (15m)
 - 流入2: 右折相当部の延伸 (13m)
 - 流入3: 直進・左折車線の停止線前出し (6.2m)
 - 流入4: 導流帯、矢羽根(自動車用)の設置
- 交差点内: 右折誘導線, ダイヤの設置



航空写真：©NTTインフラネット, Maxar Technologies.

図-7 現状の課題と対策内容

3. 交通シミュレーションの概要

(1) 使用するソフトとモデル

対策の有効性を事前に把握するため、交差点におけるマイクロシミュレーションを実施した。マイクロシミュレーションは、車両1台1台の挙動を再現した交通シミュレーションであり、交差点需要率で表現できないような交通事象として、車線の割込み・分合流による阻害や車線はみだしの影響等を評価することが可能である。

今回用いたシミュレーションソフト『Aimsun (エイムサン)』は、社団法人交通工学研究会HP³⁾に掲載されており、利用実績が豊富なソフトである(全19モデルが紹介)。 (図-8)

Aimsunは総合的な交通解析プラットフォームであるが、その中の機能のうち、マイクロシミュレーションについては、交差点・道路改良の効果影響検討、バイパス道路設置効果検討に活用されている。(図-9)



図-8 国内における交通シミュレーション

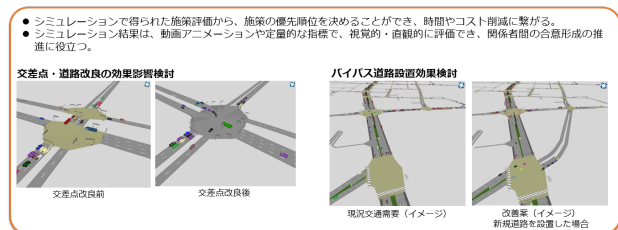
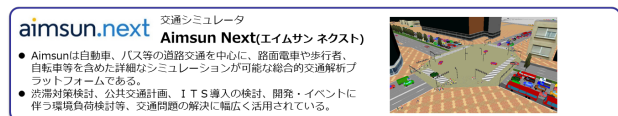


図-9 今回使用したシミュレーションソフトの概要

マイクロシミュレーションでは車両1台1台の挙動を再現するが、その車両挙動を決める一般的な車両挙動アル

ゴリズムとして「追従モデル」と「車線変更モデル」の2つがある。交通シミュレータAimsun Nextでは、主にこの2つのモデルで車両挙動が定義されている。(図-10)

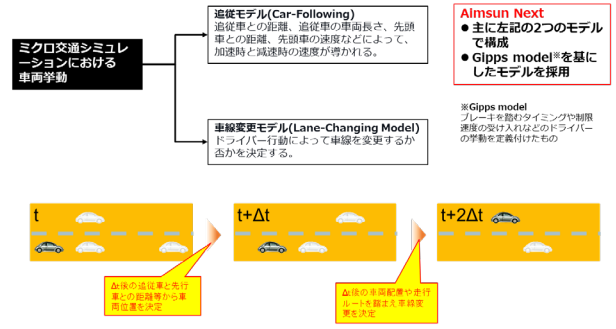


図-10 車両挙動のモデル

(2) 実施手順

まずは、実際の交通量調査結果・信号現示調査結果に対する現況再現モデルを構築し、通過交通量や滞留長の比較による精度確認を行った後に、対策内容を反映したシミュレーションを実施する。

また、モデル構築にあたっては、交差点形状として車線数だけではなく、車線の幅員、付加車線の長さ、横断歩道の有無、停止線の位置等を設定するため、これらの前提条件のうち交差点改良時の対策内容に関わる項目を反映したモデルが対策後のシミュレーション結果となる。

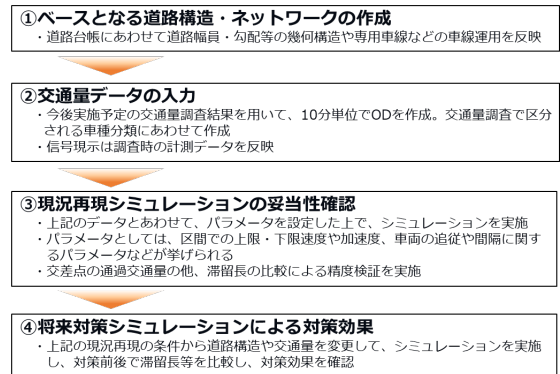


図-11 シミュレーションの実実施手順

4. 交通シミュレーションの適用

(1) 前提条件の整理

まずは道路台帳をベースとし、渋滞長調査結果により渋滞が及ぶ範囲までを道路ネットワークとして設定した。

またシミュレーションを適用する時間帯については、最も総交通量が多く、対策を実施する流入2,3にて断続的に渋滞が発生している平日17時台(17:00~18:00)にて実施することとした。

(2) 現況再現モデルの構築

現況再現モデルでは、現況再現結果と交通量調査結果の10分毎交通量 (N=96) の相関係数が0.9813と高い再現性を確保しているため、このモデルを採用した。

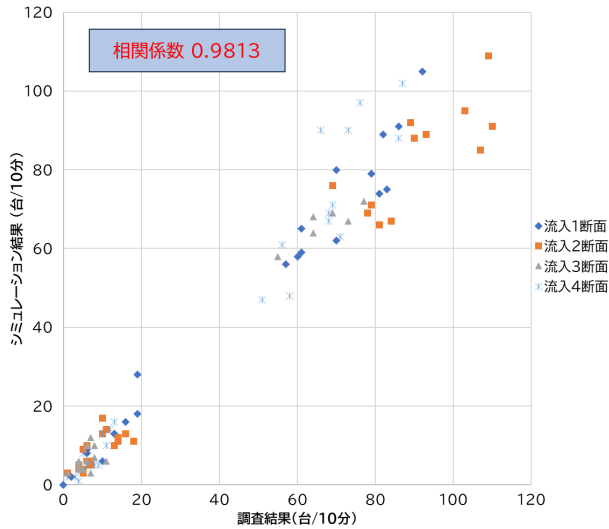


図-12 現況再現結果と交通量調査結果の相関

(3) 将来対策モデルの構築

前項の現況再現モデルをもとに、将来対策モデルの検討を行った。今回、シミュレーション上で対策の反映を行うものは、図-13の通り右折滞留スペースの延伸と、停止線位置の変更である。なお、その他のゼブラや矢羽根、誘導線の設置については、シミュレーション上の条件反映が難しいため行っていない。詳しくは、最終章でも述べる。

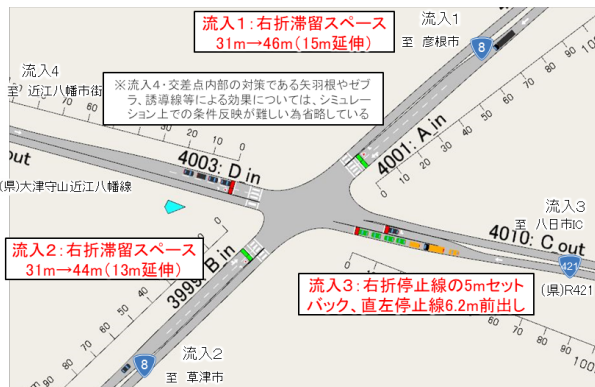


図-13 将来対策モデルにおける対策反映イメージ

(4) 現況再現モデルと将来対策モデルの比較検証

前項までの現況再現モデルと将来対策モデルにおける10分おき滞留長を比較したところ、10m程度の増減がいくつかの時間帯で見られ、流入2・流入3においては最大40m程度の改善効果が見られた。

流入2においては、右折滞留スペースの延伸により、

右折車両が滞留する際、後続の直進・左折車両を阻害することが少なくなったため滞留長が短くなったと考えられる。

流入3においては、直進・左折車線の前出しにより、青時間内に交差点で捌ける交通量が増加したことで、滞留長が短くなったと考えられる。

また、対策反映を行ったものの滞留長の改善が見られなかった流入1については、全体的に滞留長が100m程度で推移しており、現況再現モデルの段階で、右折車両の滞留による後続の直進・左折車両への阻害自体が起こっていないことが想定される。

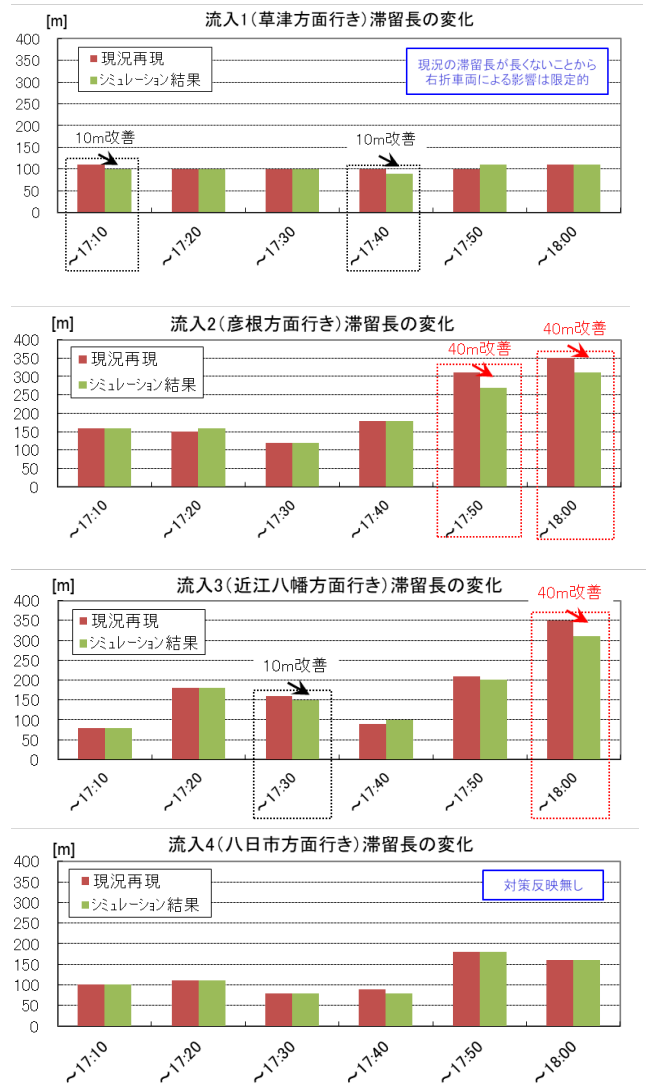


図-14 現況再現モデルと将来対策モデルの滞留長の比較

5. 今後の展望

(1) シミュレーション結果の妥当性検証

今回実施したシミュレーション結果について、実際の施工後に現地調査等を行うことで、効果が発現しているかを確認し、シミュレーションの妥当性を検証していくことが重要である。

(2) 流入部ごとのシミュレーション時間の設定

目立った滞留長の改善効果が見られなかった流入1については、別途の渋滞長調査結果からは、今回シミュレーションを実施した17時台よりも、朝7時台の方が渋滞が発生していることがわかった。そのため、7時台でシミュレーションを行った場合には改善効果を確認できた可能性がある。

今回は交差点全体の混雑時間帯として設定したが、流入方向別の渋滞傾向から、適宜複数の時間帯でのシミュレーションを実施することも考えられる。

(3) 対策反映の精緻化に向けた取組

今回、対策案としてはあがっていたもののシミュレーションには反映していない矢羽根の設置等の対策内容については、対策による効果を定量的に再現することが難しい課題がある。例えば矢羽根の設置については、進行

方向が明示されることで彷徨い交通が減少し、交通が整流化することが考えられるが、具体的な数値としての目安が一般的に定められていないため、シミュレーションのような事前評価として行うことが難しい結果となった。

このような対策内容の効果を事前に提示する際には、他の実際の検証事例から引用する等、個別に対応を行っていく必要があると考えられる。

参考文献

- 1) 将来交通需要推計手法（道路）
<https://www.mlit.go.jp/road/ir/hyouka/plcy/kijun/suikai.pdf>
- 2) 公益社団法人日本道路協会：道路構造令の解説と運用（令和3年3月）
- 3) 一般社団法人交通工学研究会：交通シミュレーションクリアリングハウス <http://www.jste.or.jp/sim/index.html>

ドローン巡視で不法耕作を発見 藻川における簡易代執行

井上 祐希

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

河川敷での工作物設置を伴う不法耕作は、流水阻害になるだけでなく、洪水が起こった際には、設置された工作物が流され、下流の施設に損傷を与えてしまう危険があり、早期に是正を進めていく必要がある。本件不法耕作は、ヨシ等の背の高い植生の繁茂により、目視での確認が困難な場所で行われており、低水護岸の変状を確認する際に活用していたドローンの映像から発見された。

本稿では、ドローンで発見された不法耕作に対して、看板の設置や聞き取り調査を行うとともに、事務所内の関係部署と連携して簡易代執行を実施し、是正を完了させた事例を報告するとともにドローンを活用した今後の河川管理の課題と展望を述べる。

キーワード 不法占用、対策事例、ドローン、簡易代執行

1. 概要

藻川は、淀川水系猪名川からの分派点を上流端とし、兵庫県伊丹市、尼崎市内を流れ、再び猪名川に合流するまでの流路延長 4.8km の一級河川である。藻川の流域は概ね平野部を流れ、阪神工業地帯に密集した市街地が広がる都市河川の様相を呈している。市街地として流域の開発が進んでいることから、河川敷には公園として整備されている箇所もあり、多くの方に利用されている。このように市街地が多く、河川利用も盛んであることから、猪名川・藻川流域においては、治水対策とともに、適正な河川利用の推進も河川を管理していく上で重要な課題となっている。

不法耕作は、藻川右岸 3.0k 付近の低水敷において、植栽柵 11 箇所及び藤柵 2 箇所を設置して、行われていた。耕作者及び耕作が開始された時期を確定させるため、地元自治会長に聞き取り調査及び現地には、看板を設置する等の対応を行って

きたが、確定することができなかった。不法耕作は、河川法第 24 条及び第 26 条第 1 項に基づく許可を、得ることなく行われており、低水敷に工作物を設置することは、洪水時に、流出した工作物が下流の施設を損傷してしまう等の懸念があることから、敷地管理上は是正が必要なものであった。耕作者を特定し、河川法第 75 条第 1 項に基づき、除却を命ずるべきであるが、耕作者を確認することができないため、河川法第 75 条第 3 項に基づき、河川管理者自らが除却した。



↑ 藻川上空写真



↑ 不法耕作物設置状況

2. ドローン巡視

猪名川河川事務所では、樹木繁茂等で目視での確認が困難である箇所、河川管理施設の確認及び不法占用等の確認を行うため、2020年11月から、ドローンを導入した河川巡視を実施している。猪名川は、空港が近くドローン飛行が制限されている箇所が多く、制限された箇所にてドローンを飛行させる際は、航空局等に申請を行う必要がある。災害発生時に速やかに申請を行う訓練を兼ねて、1年に3回程度、ドローン巡視を行っている。

本件不法耕作は、ドローンを飛行させて、対岸の低水護岸の変状を確認していた際に、背の高い植物で囲まれた場所にて、不法耕作が行われている様子が撮影された。堤防天端、高水敷及び対岸からは確認することができないように隠されており、規模や工作物の現況から、長期間不法耕作が実施されていたと思われる。



↑ ドローン写真

3. 不法占用の是正方法

不法占用への対応の基本は、行為者に是正指導し、行為者の手によって原状に回復させることである。しかし、本件については現地に行為者を特定できる物が無かったため、まずは行為者を探索することから着手した。始めに現地に”事情をご存じの方は連絡を下さい”という内容の看板を設置した。一ヶ月以上待ったが、誰からも連絡が無かったため、次に期限を区切って”撤去を求める警告”看板を設置した。それでも何の反応も無かったため、河川法第77条に基づき”是正を指示”する文書を現地に掲げた。これら現地での対応と並行して、地元自治会長への聞き取りを行ったが、いずれも行為者を特定するに至らなかった。

行為者を見つけられないまま出水期を迎えてしまうと、本件工作物が河川の流水疎通を阻害し、又は流出した際に下流の河川管理施設等を損傷させる恐れがあったため、6月15日までに是正を完了させることを目標として定め、そのために河川法に基づく簡易代執行制度を使うこととした。

4. 簡易代執行の手続き

簡易代執行は、河川管理者が河川区域内の財産価値を有する違法物件の撤去等について監督処分を行うにあたり、過失なく当該措置を命ずべき相手方が確知できないときに、相当の期間を定めて公告した上で自らが措置を行うこと等ができる制度である。

本件は、規模や工作物の状態からしてある程度過去から耕作がなされていること、耕作箇所は重機や車両で近づくことが出来ない低水敷であり、相当程度の時間と手間をかけたと考えられることから、財産価値はあると判断した。

簡易代執行の実施にあたっては、相当の期限を定めて当該措置（不法工作物の除却）を行うべき旨、その期限までに当該措置を行わないときは河川管理者又はその命じた者若しくは委任した者が当該措置を行う旨をあらかじめ公告し

なければならぬ（河川法第75条第3項）。公告文は現地、猪名川河川事務所及び園田出張所にて掲示した。当該措置の猶予期間は、主に車両及び船舶を対象として定められた本省事務連絡『「所有者不明の物件に対する代執行制度」の運用について』（平成7年11月）」に準じて30日間とした。

公告後、30日間が経過しても所有者等による是正の措置が行われなかったため、令和5年4月下旬に簡易代執行による措置を実施した。

除却した工作物等は豊中市原田西町の原田緊急資材置場に搬入、保管し、河川法第75条第5項及び同施行令第39条の3第1項一号の規定に基づき、所有者等に保管した工作物を返還するための公示と保管工作物一覧簿の作成を行った。公示文は、現地、事務所及び出張所に掲げ、一覧簿は事務所に備え付けて閲覧に供した。

上記公示後14日を経過してもなお当該工作物の所有者等を知ることができなかつたため、河川法施行令第39条の3第1項二号の規定に基づき、公示の要旨を官報に掲載した。

その後、公示から6ヶ月を経過してもなお返還できなかつたため、河川法第75条第10項の規定により、本件工作物の所有権が国に帰属した。河川法の規定上は、売り払いすることが可能だが廃棄処分を行った。



↑資材置き場保管状況



↑簡易代執行実施後状況

5. 反省点

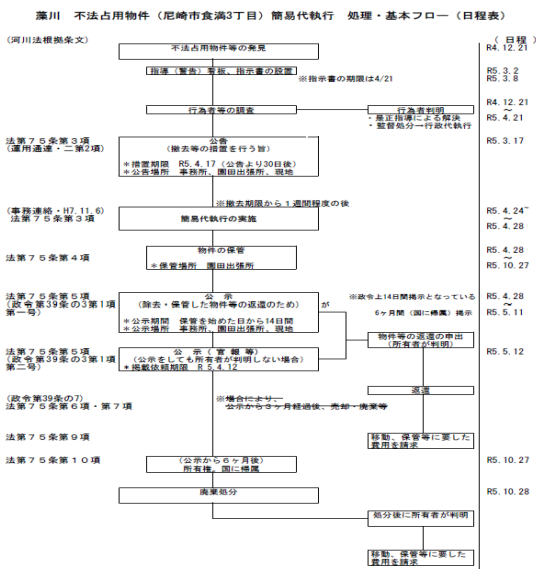
不法占有は、本来、行為者の負担で是正させるべきであるが、行為者を確定させることができなかつたこと及び同じ箇所を同じ手段で巡視していたため、不法占有の発見が遅くなつてしまったことが反省点と考えられる。

6. ドローン巡視の成果

過去に行われたドローン巡視により、護岸の変状、護岸の沈下箇所、矢板護岸上部コンクリートの破損を確認することができており、主に目視での確認が困難な箇所の変状を確認することに役立っている。一方で、猪名川では月に2度、余野川ダム事業地の目視巡視を実施しており、ドローンで法面上部の確認を代行することができないか試みているが、今のところ樹木等の障害があり、成果をあげることが出来ない状況にある。

7. 課題

ドローン巡視は、目視での巡視より細かく確認



↑簡易代執行フロー図

することができないため、ドローンの映像だけでは河川管理施設に損傷が起きているかどうかの判断をすることが困難であること。また、ドローン操縦の免許があれば、遠くまで飛行させることが可能であり、移動回数及び人員を削減することにより、費用を抑えることができるため、免許を持った操縦士を増やすことが課題となっている。

8. 今後の期待

ドローン操縦自体は、操縦免許を所持していなくても飛行させることが可能であることから、免許を所持していないドローン操縦士が大半であるが、免許を所持しているドローン操縦士であれば、監視員を配置させる必要がなくなり、また、広範囲の飛行も可能となるため、人員及び移動回数を減らすことが可能となる等、ドローン巡視の効率化が図れる。このため、河川巡視員のドローン操縦士を対象としたドローン研修を設けることにより操縦免許の所持を積極的に進める事を行うことが望ましいと考える。また、職員も研修に参加し操縦免許を所持するドローン操縦士となることで、より一層の巡視の効率化が期待できる。

携帯電話不感地域におけるUAVを活用した 砂防設備点検の一手法について

田中 音羽¹

¹福井河川国道事務所 工務第一課 (〒918-8015福井県福井市花堂南2-14-7)

砂防施設の点検については、これまで目視により実施してきたが、近年は現場までのアクセシビリティや点検時の安全性などから、UAVを活用した点検が実施されるようになってきた。当事務所が進めている真名川砂防事業のエリアは山間部のため携帯電話不感地域であることから、UAVの活用に必要な制限があったが、今回現場において高高度飛行やズームカメラ使用などの検証実験を行ったところ、点検への適用性が確認されたため一手法として報告する。

キーワード インフラDX, UAV, 効率化, 点検, 維持管理

1. はじめに

近年、砂防設備点検におけるUAVの活用が進んでおり、福井河川国道事務所が実施する真名川砂防事業においてもUAVを用いて点検を実施してきた。しかし、管内（以下、真名川上流域）ではほぼ全域が携帯電話不感地域であることから、携帯通信を介した長距離のUAV飛行を行うことができず、近距離からのUAV点検に留まっていた。大規模出水後などに実施する臨時点検では設備までのアクセス路が寸断や、二次災害のリスクが高くなることも想定され、平常時の定期点検においても施設までアクセスすることが難しいことから、遠方より安全に設備点検を行う手法を確立することが課題であった。

携帯電話不感地域においても実施可能な手法として、UAVを上空150m以上の高高度まで飛行させることで地形等による通信障害の影響を軽減し、より遠方まで飛行させる手法を検討し、検証実験を実施した。また、高高度飛行と相性の良い機器・機能としてズームカメラの検証実験を併せて実施した。検証実験を通して、点検への適用性が確認された。

2. 検証項目の設定経緯

(1) 高高度飛行

表-1 UAV・プロボ間の通信手法

携帯通信の活用	
概要	携帯通信を利用しUAV・プロボ間の通信を行う
有効距離	携帯通信圏内であれば無制限
真名川上流域での適用性	×：携帯電話不感地域であり、使用できない
衛星通信の活用	
概要	携帯通信を利用しUAV・プロボ間の通信を行う
有効距離	衛星通信が受信可能な範囲であれば無制限
真名川上流域での適用性	×：検証実施時点で使用可能な衛星通信サービスや機器が確認できなかった
高出力通信の活用	
概要	プロボと高出力アンテナを接続し、アンテナを介してUAVと通信を行う
有効距離	6km程度
真名川上流域での適用性	△：対応機器が乏しく、汎用的なUAVで使用できない
中継用UAVによる通信の中継	
概要	調査用のUAVとは別に通信中継用のUAVを飛行させ、調査用UAV・プロボ間の通信を中継用UAVにて中継し通信を行う
有効距離	6km程度（先行事例より）
真名川上流域での適用性	△：先行実績に限られ、汎用的なUAVで使用できない
UAV・プロボ間の直接通信	
概要	点検業者が容易に導入可能で、資格も不用
有効距離	1km程度
真名川上流域での適用性	○：検証実験で使用

UAVをより遠方まで飛行させる場合、UAV本体と操縦装置（以下、プロポ）との通信をいかに確保するかが課題となる。UAV・プロポ間の通信について、砂防分野で実績のある手法や将来的に使用可能と思われる手法を収集し、真名上流域での適用性を表-1に整理した。

収集した5手法のうち、携帯通信・衛星通信を活用する2手法は真名川上流域において使用できないことを検証実験にて確認した。残りの2手法は砂防設備点検での使用実績が最も多いDJI製のUAV等の汎用的なUAVで使用できない手法であり、点検業者にとって導入ハードルが高いと推測される。そこで、検証実験では、点検業者が容易に導入可能な汎用的な機器・手法に限定して、より遠方の施設まで点検可能な手法を検討し、高高度飛行で実験を行った。

(2) ズームカメラ

高高度飛行では、地形によるUAV・プロポ間の通信への影響を軽減するだけでなく、UAV・対象施設間の見通しが向上するため、UAVからより遠方の施設まで撮影可能になると考えられる。通常のカメラでは遠方の撮影時に解像度が不足するため、高倍率のズーム機能を有したカメラ（以下、ズームカメラ）による撮影を実施し、点検に適するUAV・対象施設間の距離についても検証実験を行うこととした。

3. 使用機器

(1) UAV

砂防設備点検で最も使用実績の多いDJI製のUAVのうち多様なカメラを搭載可能な機種としてMatrice 300 RTK（図-1）を使用した。

(2) ズームカメラ

Matrice 300 RTKに搭載可能なカメラのうち高倍率のズーム機能を有するものとして、DJI製のZENMUSE H20T（図-1）を使用した。最大23倍までの光学ズームが可能なカメラである。

4. 高高度飛行の検証実験

(1) 検証方法

従来の砂防設備点検は対地高度30-50m程度の低い高度で実施されており、通信や見晴らしを考慮して高度を上



図-1 Matrice 300 RTK及びZENMUSE H20T

げる場合も航空法上の特定飛行に該当する対地高度150mを限度としていた。本検証実験では、対地高度250mまでの飛行を行う手続きを実施し、高高度飛行を実施した。

対象地は真名川上流域の中でも3基の砂防設備を有する大雲谷（図-2）で行った。国道157号上に位置する本川との合流部から300m程度上流側の地点を離発着地点とし、上流に向かってUAVを飛行させることとした。

(2) 手続き及び安全管理

本検証実験では150m以上の上空までUAVを飛行させるにあたって必要な事前手続き及び安全管理を実施した。

特定飛行を実施する場合は原則として航空法上の許可申請が必要となるが、特定飛行の中でも150m以上の上空の飛行を行う場合は許可申請に加えて事前に空域管理者との調整を行う必要がある。真名川上流域では東京航空管制部が空域管理者となるため、事前調整を行ったうえで航空法上の許可申請を行った。

(3) 検証結果

離発着地点から水平距離で600m程度の地点で通信が微弱となり、安全なUAV飛行が不可能となった（図-3）。

離発着地点とUAVの到達点を結んだ見通し線に沿って縦断図（図-4）を作成すると、見通し線が植生に接触する地点でUAVとの通信が微弱になることが分かった。離発着地点からの視認性（図-5）を確認しても到達点周辺を飛行時のUAVは右岸側斜面の境界部を飛行している状況であった。直接通信の最大通信距離である1kmより大幅に手前の地点で通信が微弱となったことも踏まえて、本検証実験では距離ではなく植生に遮られたことで通信が微弱となったと考えられる。

(4) 結果の考察

本検証実験では、下記の知見が得られた。

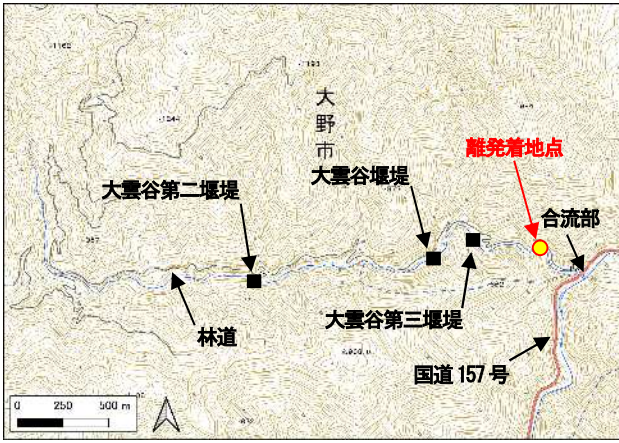


図-2 検証実験 実施位置図

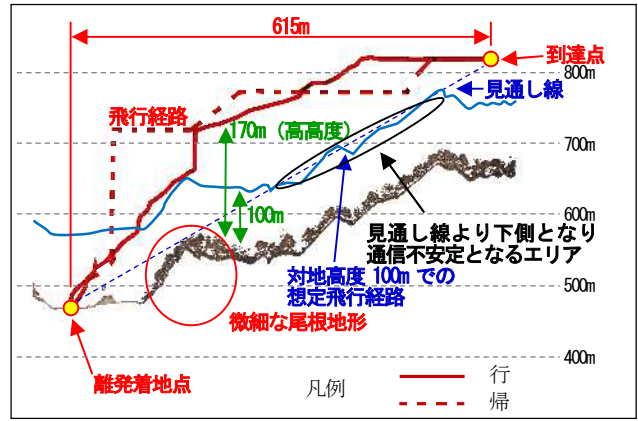


図-4 飛行経路 縦断面図

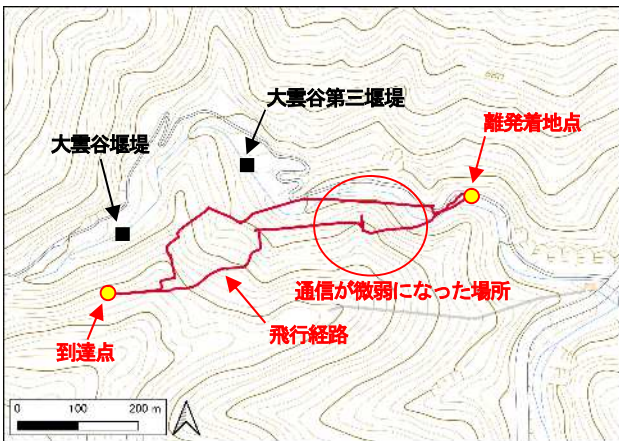


図-3 飛行経路 平面図



図-5 離発着地点からの視認性

a) 飛行高度について

本検証実験は対地高度250mまでの飛行許可を得たうえで実施したが、検証実験後に確認した到達点周辺での対地高度は170m程度であった。これは、プロポに表示される高度は離発着地点からの相対高度のみであり、飛行中の対地高度を確認することができないため、安全に飛行できる高度で行ったためである。

臨時点検では手動操縦により概括的な点検を実施することが想定され、余裕を持った対地高度で飛行許可を得ることが重要と考えられる。定期点検では予め地形の起伏等を考慮して飛行高度を設定した自律飛行にて実施することで、飛行許可を得た対地高度内で安全かつ確実な点検が実施可能であると考えられる。

b) 高高度飛行の評価について

本検証実験と同様に安全を考慮して対地高度100mで飛行することを想定すると、離発着地点から水平距離300m程度の位置で植生に遮られてしまい視認・通信ができなくなると推測される(図4)。よって、本検証実験では高高度飛行により植生によって視認・通信が遮られることなく飛行できる範囲が拡大し、対地高度100mでの飛行と比較して水平距離で2倍程度の地点まで飛行することができたと評価できる。

c) 飛行ルートの事前検討について

本検証実験では離発着地点から100-200m程度に位置する微細な尾根地形により見通し線が遮られることとなった。見通し線は地形だけでなく植生によっても遮られ、地形・植生の影響を等高線から把握できないため、事前に植生等を考慮した点群データを活用することが望ましいと考えられる。

5. ズームカメラの検証実験

(1) 検証方法

対象施設から水平距離で200m程度離れた地点にUAVを飛行させ、光学1倍での基準写真及び光学2倍、5倍、10倍及び20倍でのズーム写真の撮影を行った。対象施設の右岸袖部にはスケール比較のためリボンロッドを設置した。

(2) 検証結果

撮影写真は次頁の図-6に整理した。基準写真では対象写真を含めた広域の写真が撮影されたのに対して、5倍ズーム写真では対象堰堤の全景が収まる程度の写真が撮影され、20倍ズームでは対象施設の右岸側袖部が大きく写る写真が撮影された。



図-6 基準写真及びズーム写真 (上：撮影写真，中：20倍相当に拡大，下：200倍相当に拡大)

それぞれの写真をPC上で20倍相当及び200倍相当に拡大を行った。20倍相当に拡大した結果、基準写真は解像度に不足が見られたが、2-20倍ズームした写真には大きな差異はなく、2倍ズームでも十分に鮮明な画像が得られた。200倍相当に拡大した結果、5倍ズーム写真ではリボンロッドの着色、10倍ズーム写真では数値、20倍ズーム写真ではcm単位の日盛りまで判読できた。20倍ズーム写真における1ピクセルのサイズは0.5cm四方程度であり、対象物が写真上にて複数ピクセルで構成されていれば判読可能と考えられる。

(3) 結果の考察

本検証実験では、以下の知見が得られた。

a) 撮影可能な距離について

本検証実験では対象施設の200m遠方から撮影を実施し、20倍ズームでは1ピクセルおよそ0.5cm四方程度の写真が撮影された。ピクセルのサイズは撮影距離及び倍率と比例関係にあることを考慮すると、20倍ズームを使用した場合、臨時点検において早急に把握が必要な変状（10cm以上の規模を想定）であれば2km程度遠方からの撮影でも写真上では複数ピクセルで構成され、把握可能と推測される。

b) 撮影可能なアングルについて

本検証実験では対象施設の下流側から撮影を行ったため、対象施設の水通し天端や下流法面は撮影可能であったが上流法面は撮影できなかった。また、植生の陰となり側壁護岸についても撮影できなかった。遠方から撮影を行う場合、撮影可能なアングルが強く制限されることに注意が必要である。定期点検においては設備の各部位を網羅的に撮影する必要がため、遠方からズームカメラによる撮影では代用が難しいと考えられる。臨時点検であっても、事前に植生まで考慮した3Dモデルを用いて、撮影写真のイメージや周辺の支障物の影響を検討することが望ましい。

6. おわりに

本稿における高高度飛行の検証では、UAV・プロボ間の通信に2.4GHz帯の直接通信を使用した。2.4GHzの直接通信における最大通信距離は1km程度であるが、特に山岳地帯においては地形等の影響により実際の通信距離が短くなる。その対策として高高度飛行により地形等の影響を軽減し、より遠方までの飛行が可能となった。また、ズームカメラの検証では2km程度遠方からでも実施可能と推定した。臨時点検において道路が寸断された場合でも高高度飛行とズームカメラを併用することでより遠方からの点検が可能となり、移動時の効率性や安全性が向上すると期待される。また、検証で用いた機器は汎用的な機器で実施可能であるため、多くの点検業者等に

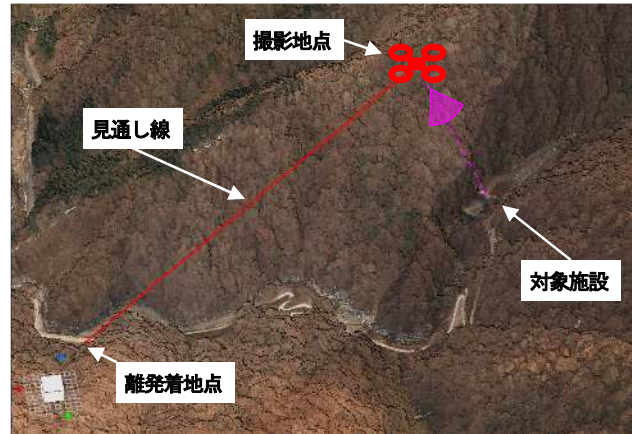


図-7 3Dモデルでの飛行経路の確認例



図-8 3Dモデルでの撮影イメージの確認例

とって実施可能なものであると考えられる。

一方で、高高度飛行やズームカメラによる遠方からの撮影では撮影アングルが制約されることが確認され、設備の各部位を網羅的に撮影することは困難と考えられることから、定期点検には不向きであると考えられる。

また、施設に近接したUAV点検と比較して高高度・遠方からのUAV点検では地形や植生等を事前確認する必要性が大きいことが示唆された。平面図や縦断図だけでなく3Dモデルを用いた事前確認が重要となる。例として、三次元点群データ上でUAV飛行時の見通し線（図-7）及び撮影される写真（図-8）のアングルを検討した例を示す。使用した三次元点群データは測量データに含まれるオリジナルの点群データをオルソ画像で着色したものであり、植生まで含めたモデルであるためより実際の現地条件に近い検討が可能である。

謝辞：本稿をまとめるにあたりご指導・ご協力を頂きました皆様へ心から感謝致します。

参考文献

- 1) 第72回砂防学会研究発表会概要集 2023.5：常願寺川流域におけるVTOL型ドローンを用いた流域調査手法の検証
- 2) 国土交通省近畿地方整備局大規模土砂災害対策技術センター 2023.5：UAVの自律飛行による砂防関係施設の自動巡視・点

検に関する手引き

2) 国土交通省近畿地方整備局福井河川国道事務所 2024.2 : 砂防
設備点検マニュアル(案)

多自然川づくり支援ツール及びAIを活用した 河川の環境変化予測 について

平田 元気¹・藤村 善安²

¹大戸川ダム工事事務所 調査設計課 (〒520-2144滋賀県大津市大萱一丁目19番32号)

²日本工営株式会社 中央研究所 先端研究センター (〒300-1259 茨城県つくば市稲荷原2304番地)

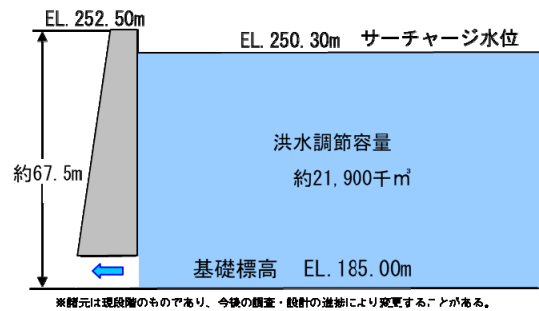
大戸川ダムは、法令等に基づく環境影響評価の対象事業ではないものの、事業実施による環境への影響について自主的な検討を行っている。これまで、ダム建設による下流河川への影響については、河床や水質及び冠水頻度の変化などについて横断面毎に検討を行い、主に経験則を基に評価が行われてきたが、より定量的かつ効率的な検討となるよう、「多自然川づくり支援ツール」及びAIを用いてダム下流河川における環境変化予測を試行した事例を報告する。

キーワード 環境変化予測, 多自然川づくり支援ツール, AI, 効率化

1. 大戸川ダム建設事業の概要

大戸川ダムは、淀川水系淀川、宇治川及び大戸川に対する洪水被害の軽減を目的とし、淀川水系瀬田川の支川大戸川（滋賀県大津市上田上桐生町及び牧町地先）に建設する、堤高67.5m、堤頂長200.0m、洪水調節容量21,900千 m^3 の重力式コンクリートダムである（図-1、図-2）。

ダム地点の基本高水流量1,350 m^3/s に対し、280 m^3/s 一定量放流により、1,070 m^3/s の洪水調節を行う（図-3）。



※貯元は現段階のものであり、今後の調査・設計の進捗により変更することがある。

図-2 大戸川ダム貯水池容量配分図



図-1 大戸川ダム位置図

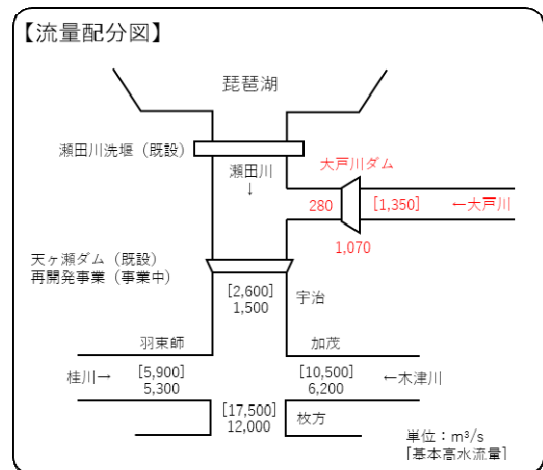


図-3 大戸川ダム流量配分図

当初は、多目的の貯留型ダムとして計画されたが、水需要など社会情勢の変化により、現在は洪水調節専用の流水型ダムとして事業を実施している。

2009(H21)年3月に策定された淀川水系河川整備計画で

は、「ダム本体工事については、中・上流部の河川改修の進捗状況とその影響を検証しながら実施時期を検討する」とされていたが、2021(R3)年8月の整備計画変更により、「環境影響をできる限り回避・低減するための環境調査を含め、必要な調査等を行ったうえで本体工事を実施する」とされたことを受け、2022 (R4) 年度より、ダム本体工事の実施に向けた調査設計を開始した。

現在はダムサイトの地質調査やダム本体設計、付替道路の調査設計、ダム事業の実施による環境への影響検討、ダム周辺整備や地域振興についての検討などを並行して実施しており、早期のダム本体工事着手と、2033 (R15) 年度の事業完了を目指している。

2. ダム本体工事の実施に向けた環境影響の検討

大戸川ダムは、法令等に基づく環境影響評価（法アセス）の対象事業ではないものの、過去から事業実施による環境への影響について自主的な検討（自主アセス）を行っており、1992 (H4) 年に「大戸川ダム建設事業の環境への影響について」を、2005 (H17) 年に「大戸川ダムにおける環境調査結果」を公表しているが、ダム本体工事の実施に向け、周辺環境の経年変化や貯留型ダムから流水型ダムへの計画変更を踏まえた環境への影響について再確認することとした。

今回の自主アセスでは、ダム事業で一般的に行われている項目及び手法により環境への影響について検討を行うが、ダム下流河川における魚類と植生を対象に、多自然川づくり支援ツール及びAIを活用した評価を別途試行した。

(1) 多自然川づくり支援ツールを用いた魚類への影響検討（魚類生息場評価）の試行

ダム下流河川の環境については、ダム建設による水質や流況、河床の変化による影響について予測が行われることが一般的であるが、これまでは河川の横断面毎に予測結果に対する評価が行われており、河川を平面的に捉えた評価が行われていないことが課題であった。

大戸川ダムでは多自然川づくり支援ツールのうち、iRICソフトウェアとEvaTRiPを活用することで、魚類生息場としての良好度の変化から魚類に対する影響を平面的に評価することを試みた。

a) 多自然川づくり支援ツールの概要

多自然川づくり支援ツールは、水工学に係る数値シミュレーションのプラットフォームとして開発された無料で高性能な2次元水理・河床変動計算ソフトウェアであるiRICソフトウェアが河道計画や河道設計にも役立つよう、国立研究開発法人土木研究所自然共生研究センターが開発・公開しているツール群であり、その機能は大きく分けて① RiTER(River Terrain Editor)、② iRIC(International

River Interface Cooperative)ソフトウェア、③ EvaTRiP (Evaluation Tools for River environmental Planning) の3つで構成されている(図-4)。このうち、iRICソフトウェアは水理・河床変動計算や、その結果を直感的でわかりやすいグラフやアニメーションとして生成することができる。また、EvaTRiPはiRICソフトウェアによる計算結果から護岸要否の評価、移動限界粒径の評価、陸生植物生育可否の評価、魚類生息場の評価を行うことができる。



出展：国立研究開発法人土木研究所自然共生研究センターwebサイト

図-4 多自然川づくり支援ツールの全体像

b) 魚類生息場評価

魚類生息場評価は、初期地形及びiRICソフトウェアを用いた二次元河床変動計算後の地形を余条件とし、EvaTRiPを用いて平水流量を与えた流況計算結果(図-5)と、流況計算結果に対して瀬淵分布の可視化を行い(図-6)、そこに対象となる魚種の生息場好適度(SI: Suitability)を定義する選好度曲線(SI曲線)を与えることで評価を行った。

以下、本報告ではスナヤツメを対象として評価を行った結果を事例として紹介する。

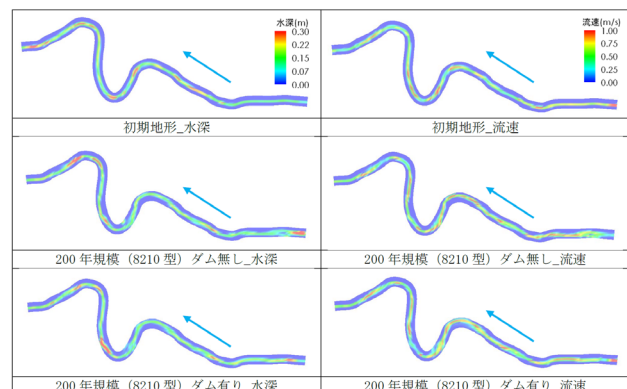


図-5 EvaTRiPを用いた流況計算結果イメージ

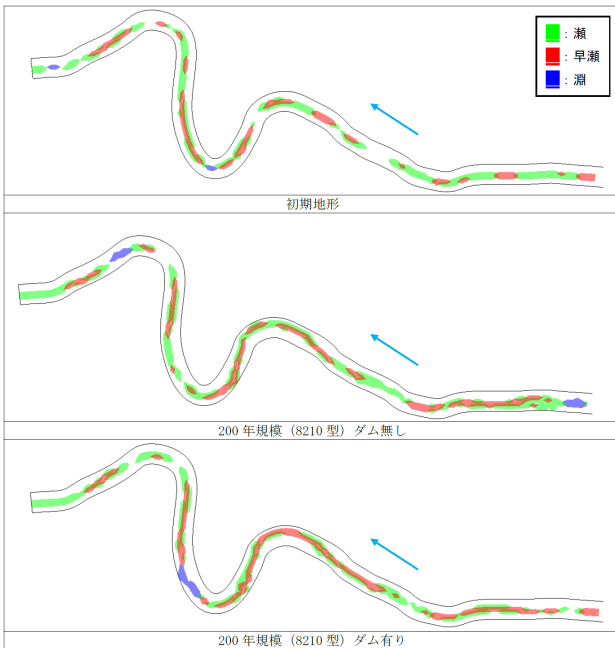


図-6 瀬淵分布の可視化イメージ

スナヤツメはヤツメウナギ目ヤツメウナギ科の底生魚で、主に湧水や伏流水の存在する河川や水路に生息し、砂礫底に産卵する。卵から孵化した幼生は緩やかな流れの泥底で生育する。滋賀県では、絶滅危機増大種として選定されている。

スナヤツメの生息場評価を行うにあたり、文献²⁾や現地調査で確認された地点の環境などを参考に流速と水深、河床材料についてSI曲線を設定し、評価を行うこととした(図-5)。SIが1に近いほど、その種にとって好適な環境であることを示している。

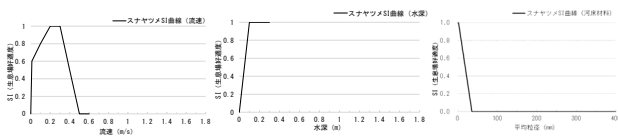


図-5 スナヤツメのSI曲線

EvaTRiPを用いた流況計算結果にSI曲線を与えた計算結果を以下に示す(図-6)。

魚類生息場の評価は、iRICソフトウェアとEvaTRiPを用いた洪水の確率規模別及びダムの有無別の流速・水深・河床材料の平均粒径についての計算結果をもとに、各項目の相乗平均(CSI)によって各計算メッシュ毎のSI値を算出し、洪水の前後やダムの有無で生息適地がどう変化するかという観点で行った。CSIの評価式は下記のとおりである。

$$CSI = \sqrt[3]{(SI_h \times SI_v \times SI_m)}$$

ここで SI_h : 水深適正度
 SI_v : 流速適正度
 SI_m : 河床材料適正度

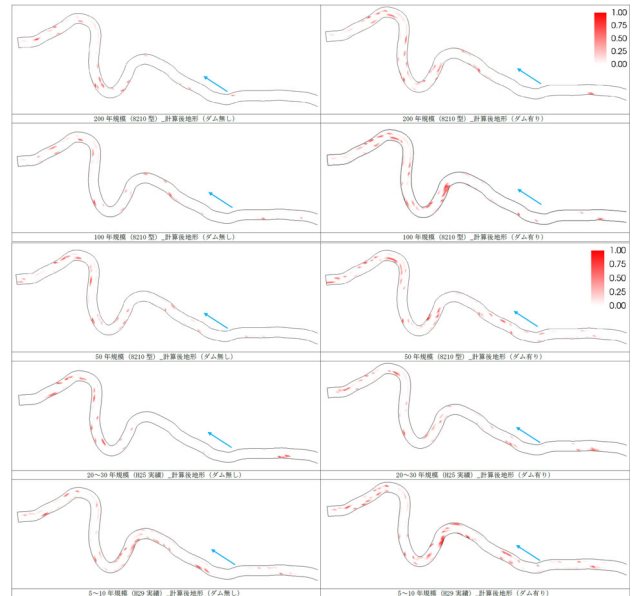


図-6 魚類生息場評価結果

魚類生息場評価結果からは、スナヤツメが好む流速(0~0.4m/s程度)・水深(0.1~0.3m程度)・河床材料(2mm以下)となる環境は左右岸沿いに分布していることが分かる。

洪水の確率規模別に見ると、確率規模が小さいほど生息適地が多い状況が確認された。これは、確率規模が小さいほど洪水後の河床材料の平均粒径が小さくなるためであると考えられる。一方、ダムの有無別に見ると、明確な違いは確認されなかったことから、スナヤツメに対しては大戸川ダム建設による影響は小さいと考えられる。

(2) AIを用いた植生変化予測の試行

通常、ダム下流の植生に対する予測は、ダム下流河川における冠水頻度の変化を踏まえ、特定横断面での植生横断面図上の水位変化を確認して予測を行ってきた。そのため、面的な変化を予測しがたく、樹林化等の大きな植生変化がどこで生じるか等、環境影響の全体像の把握は困難であった。

大戸川ダムでは三次元データ(ALB測量結果や、それを用いた流況解析結果)とAI(深層学習)を組み合わせることで、植生の変化の全体像を予測することを試みた。

a) AIによる植生変化予測の概要

従来の植生予測モデルは、流速や水深といった少ない変数を用いて予測を試みるものや、多くの変数を用いた場合にも変数同士の相互作用を取り込めず、実際の植生分布の再現性に課題があった。

AIを用いた植生変化予測は、AIの一分野である深層学習(ディープラーニング)を用いたもので、説明変数と目的変数の間に中間層を設けることで、植生を決定づける複雑な関係も取り込めるようにしている(図-7)。

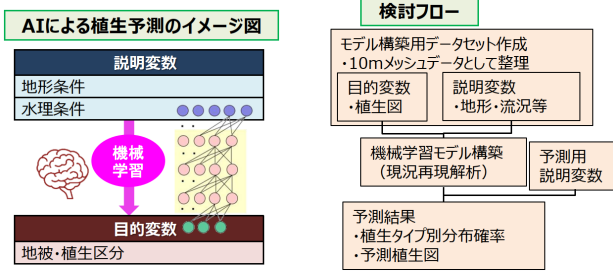


図-7 AIによる植生予測のイメージと検討フロー

b) 説明変数および目的変数

大戸川ダムでは、AI植生変化予測モデルの構築にあたり、目的変数として、現況の植生図の群落区分を大括りにした、8つの植生区分を設定した(表-1及び図-8)。

また、説明変数は植生に影響を及ぼすと考えられる項目を設定した(表-2)。

表-1 目的変数

No	予測モデル用植生区分	R5 大戸川植生図の群落区分
0	予測対象外	果樹園、残存・植栽樹林地、市街地、水田雑草群落、造成地、畑雑草群落
1	開放水面	開放水域
2	水辺植生	オオイヌタデ-オオクサキ群集、ツルヨシ群集、ヨシクラス
3	低木・乾性草本	オギ群集、カナムグラ群落、クス群落、スキキ群団(VII)、セイトカアワダチソウ群落、ネザサ群落、路傍・空地雑草群落
4	タケ類	竹林
5	ヤナギ林	アカメヤナギ群集、タチヤナギ群集
6	その他樹林	アカメガシワ-カラスザンショウ群落、アベマキ-コナラ群集、シイ・カン二次林、スギ・ヒノキ・サワラ樹林、ヒメコマツ-アカマツ群落、ムクノキ-エノキ群集
7	自然裸地	自然裸地

※以降に示す図にはR5大戸川植生図、現況再現結果、予測結果には、No.0 予測対象外を図示しない。

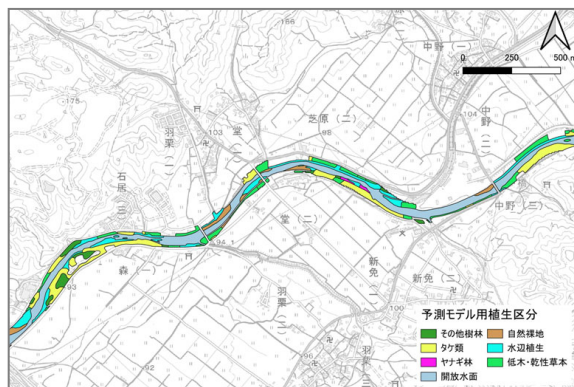
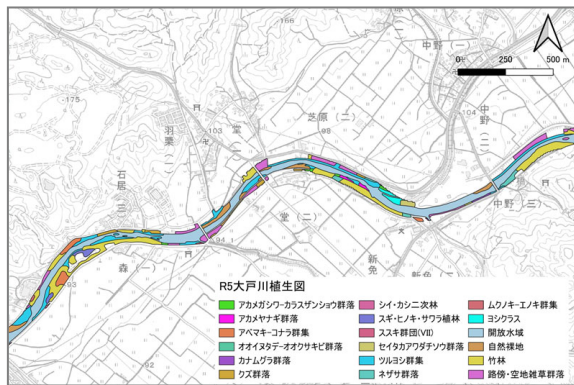


図-8 目的変数の設定(萱尾川合流点付近)

表-2 説明変数(現況再現時)

項目	No	説明変数	備考
現況再現	1	地盤高	LP 測量結果より作成 瀬田川合流点より 8k 付近より 下流側 R2 年度測量結果 上流側 R4 年度測量結果を使用。
	2	傾斜	地盤高データより算出
	3	平水流量時の水際からの距離(m)	水際からの距離は、最寄りの水面との距離を指す。 水面からの比高は、最寄りの水面の水位と各メッシュの地盤高の差を指す。
	4	平水流量時の水面からの比高(m)	平水流量時の水面は、平水流量(3m ³ /s)時の平面二次元流況計算結果から求めた。
	5	平均年最大流量時流速	平均年最大流量(280 m ³ /s)時の流速および水深を平面二次元流況計算により求めた。
	6	平均年最大流量時水深	280 m ³ /s 時に水没しない場所については流速・水深ともゼロとした。
	7	出水時の流速 -平均年最大流量時の流速	出水時の流速・水深は稀すぎない出水として最近10年間で3番目に大きい出水であった445 m ³ /s 時の流速・水深を用いた。
	8	出水時の水深 -平均年最大流量時の水深	その出水時と平均年最大流量(280 m ³ /s)時の差をとった値。

c) モデル構築(現況再現解析)結果

モデル構築(現況再現解析)結果の例を図-9に示す。本モデルは、各植生タイプが分布する確率をメッシュごとに算出している。図-9に示した水辺植生やタケ類の例をみると、現状でそれぞれの植生が分布しているエリアは濃色(高確率)で、分布していないエリアはグレー(低確率)で、まばらに分布しているエリアは中間的な確率となっており、現状をよく再現していた。なお、現状で水辺植生が成立していない場所についても、高い分布確率を示す場所があるが、これは説明変数とした地形や流況が水辺植生成立個所と似ているためである。したがって保全措置が求められる場合には、高い効果が期待できる場所と解釈できる。

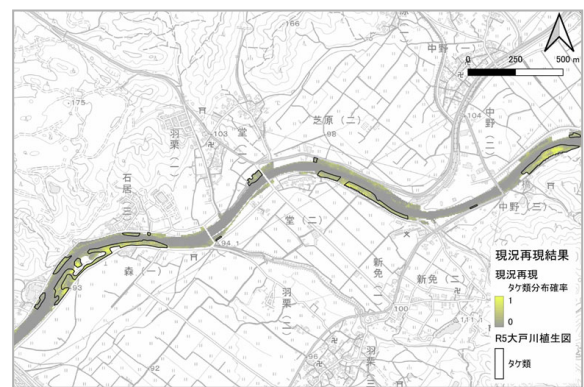
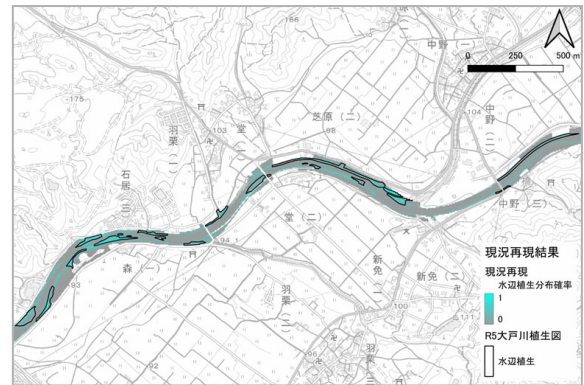


図-9 現況再現結果例(上:水辺植生,下:タケ類)

また、各メッシュで最も分布確率が高い植生タイプになると判別した場合の現況植生（目的変数）との対比を見ると、植生タイプごとの再現率・適合率（図-10）にモデルの特性が表れている（表-3）。例えばタケ類について、再現率に対して適合率が高いことは、取りこぼしよりもハズレ（誤検知）が低いこと、つまり実際にはタケ類であるのにタケと判別しなかった場所はあるものの、モデルがタケと判別した場合は実際にタケである確率が高いことを意味している。様々な要因が複雑に関与する植生分布を完全に予測することは困難であっても、モデルの特性を捉えることで、適切な利用が可能となると考えられる。

表-3 現況再現計算結果

再現実算結果	開放水面	水辺植生	低木・乾性草本	タケ類	ヤナギ林	その他樹林	自然裸地	計	再現率
R5 植生図									
開放水面	36.69%	0.88%	0.43%	0.03%	0.01%	1.27%	0.72%	40.03%	91.7
水辺植生	2.52%	3.29%	1.45%	0.13%	0.01%	0.32%	0.39%	8.09%	40.6
低木・乾性草本	1.01%	0.82%	7.90%	0.48%	0.01%	2.35%	0.06%	12.64%	62.6
タケ類	0.79%	0.55%	3.24%	2.68%	0.00%	2.32%	0.04%	9.61%	27.9
ヤナギ林	0.17%	0.18%	0.14%	0.01%	0.05%	0.00%	0.01%	0.55%	8.9
その他樹林	1.66%	0.15%	1.23%	0.27%	0.01%	20.94%	0.01%	24.27%	86.3
自然裸地	1.85%	0.20%	0.24%	0.03%	0.00%	0.18%	2.30%	4.80%	47.8
計	44.70%	6.06%	14.62%	3.63%	0.08%	27.39%	3.52%	100.00%	
適合率	82.1	54.3	54.1	73.9	58.6	76.5	65.3		

※1. 表中の数字は、解析メッシュ数（34,245）に対する割合で合計100%となる。そのうち黄色セルの合計がモデル全体の正解率73.9%である。
 ※2. 再現率は植生図である区分となっているメッシュのうち再現計算もその区分と判別された割合（%）、適合率は再現計算である区分とされたメッシュのうち植生図でもその区分であった割合（%）。

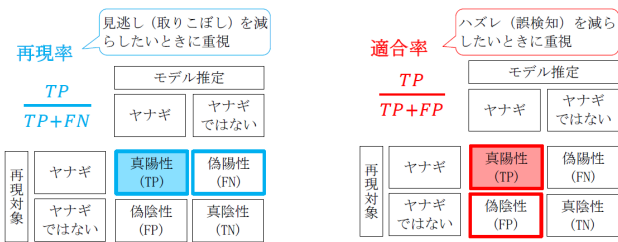


図-10 再現率及び適合率の考え方

構築したモデルによる予測は、予測条件としてダム完成後は地形が変わらず流況のみ変化する条件を与えることとし、説明変数を再設定した。具体的には、説明変数（予測時）の項目は現況再現計算時と同じであるが、NO.7とNO.8については変数を変更した（表-3）。

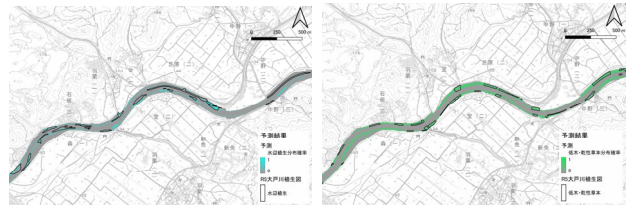
現況の植生図と植生予測結果（分布確率）を比較すると、予測結果の全体的な傾向として、現在ある植生区分が成立している場所の予測結果は分布確率が高くなっていくことから、大戸川ダム建設後も植生に大きな変化は起きない可能性が高いと考えられる（図-11）。

3. まとめ

試行の結果から、河川環境に対する影響の予測や評価はより検討のレベルが進化し、平面的な予測も実務レベ

水辺植生

低木・乾性草本



タケ類

その他樹林

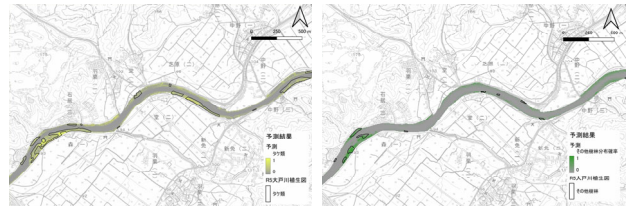


図-11 現況の植生図とダム完成後の植生予測分布確率の比較

ルで十分可能であることが確認された。

今回用いた予測手法では、ダム事業による環境への影響を予測・評価する際に用いられてきた従来のスポット的な手法とは異なり、対象とするエリアについて予測結果を平面的にわかりやすく表現することができた。また、同一のツールを用いて平面二次元河床変動計算と生物生息場の評価を行うことで効率的な評価が可能となることに加え、充実した可視化ツールにより説得力のある結果を提示することが可能となる。AIによる植生変化予測についても従来の横断面毎の評価とは異なり、下流河川全体での面的な将来予測が可能であることから、環境への影響予測・評価だけでなく、河道内樹木の繁茂予測など河川の維持管理においても活用できると考える。

なお、多自然川づくり支援ツール及びAIによる植生変化予測ともに、入力条件として対象範囲の面的な地形及び植生データ等が必要となる。現時点ではこれらのデータ取得には相応のコストを要するため、広域への適用にあたっては効率的なデータ取得が課題となる。

また、EvaTRiPを用いた魚類生息場評価にあたっては、対象種のSI曲線を文献等を基に利用者が個々に設定する必要があり、対象種が同じであっても利用者によってSI曲線が異なる可能性がある。このため、環境への影響を予測・評価する際に対象とされる主な重要種及び注視される水産有用種については、SI曲線があらかじめEvaTRiP内に組み込まれていることが望ましい。

AIによる植生予測については、統計的なモデルであるため、少数派の植生（本検討の場合ではヤナギ林）については正解率が低くなる。本検討で示したようなモデルの特性を把握したうえでの解釈・利用が重要となる。

参考文献

- 1) 滋賀県で大切にすべき野生生物
- 2) 水田開発におけるタモロコとスナヤツメのHISモデルの開発

K X (Kinan Transformation) 始動

池田 理矩

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

近年、インフラ分野においてDX, MX, GXといった業務における効率化を目的とした用語が頻繁に見られるようになった。その取り組みに加えて、紀南河川国道事務所では、これらの横断的かつ一層の取り組み強化に向けて、紀南河川国道事務所での変革を「Kinan Transformation (KX)」と称しR6新年より新たに始動しております。これらの取り組み内容とその結果や今後の展望について、紹介するものである。

キーワード DX, GX, MX

1. はじめに

紀南河川国道事務所では(以下事務所という)、
 ○新宮川水系河川改修、維持修繕及び管理(延べ延長12.7km)
 ○道路改築事業の実施[すさみ串本道路・串本太地道路・新宮道路・新宮紀宝道路・奥漣道路(Ⅲ期)]
 ○国道42号交通安全事業、維持修繕及び管理(延べ延長209.9km、うち紀勢線39.4km)
 の事業を行っている。

一方、事務所は和歌山県田辺市に位置しており、調査・監督を行うため、移動すると半日が経過してしまうという課題がある。

今回、その課題の解決策として事務所にて行っている遠隔臨場やドローンの活用といった業務の効率化についての取り組みを報告するものである。

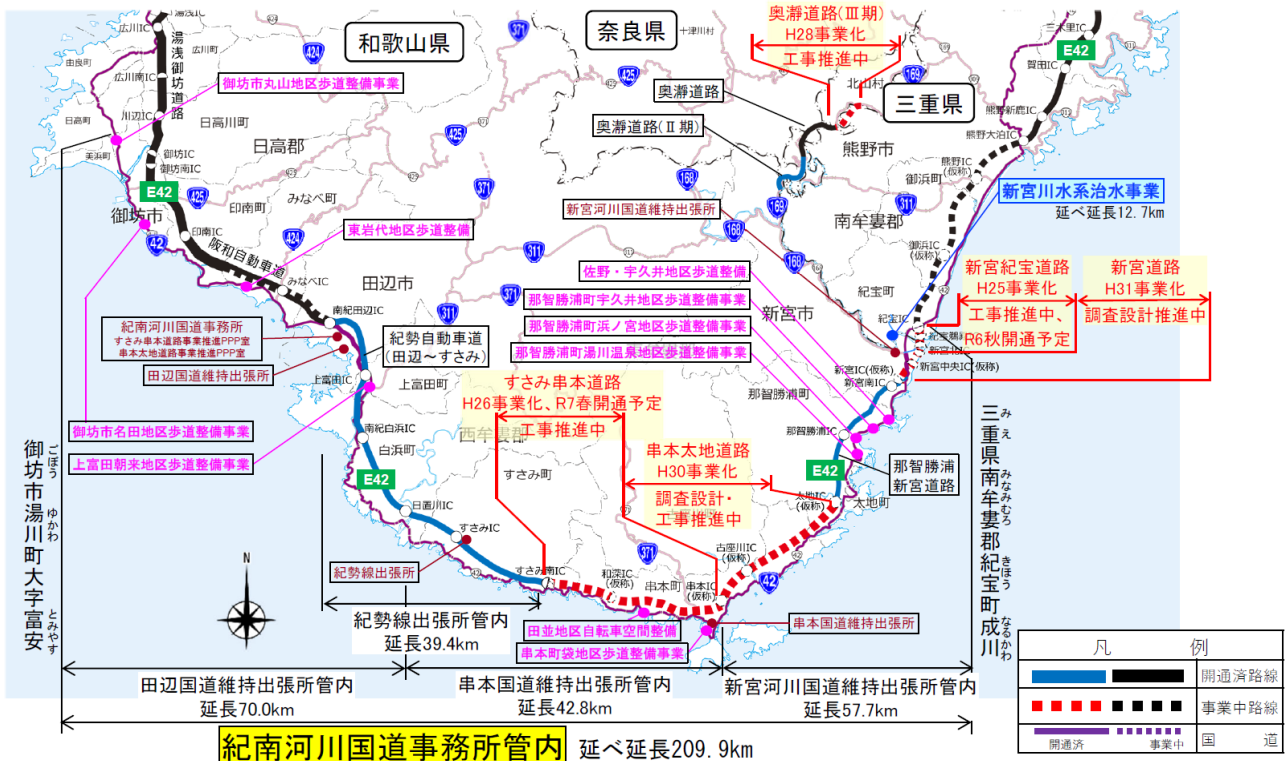


図-1 紀南河川国道事務所の事業概要

2. デジタルトランスフォーメーション（DX）

(1) DXの概要

DXとは、データやデジタル技術を活用して、国民のニーズを基に社会資本や公共サービスを変革すると共に、業務そのものや、組織、プロセス、建設業や国土交通省の文化・風土や働き方を変革し、インフラへの国民理解を促進すると共に、安全・安心で豊かな生活を実現するものである。

(2) DXに関する現状・課題・取り組み状況

新宮川水系では、熊野川の河口に砂州が形成されており、砂州が閉塞すると水位の上昇に影響する。

従来は河床の状況を船舶からの測深や航空機に搭載したレーザを用いて測量を実施していた。船舶や航空機を手配するのに手間やレンタル料が発生するという課題があった。

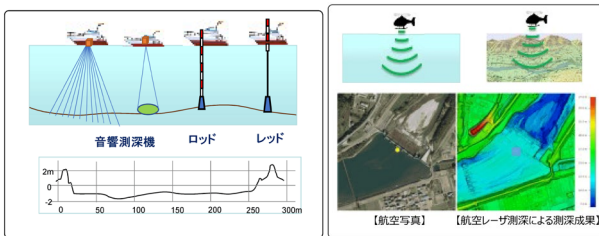


図-2 従来の測深

試行的な取り組みとしてグリーンレーザを搭載したドローンにて航空レーザ測量をした結果、作業の効率化やコストの縮減につながると考えられる。

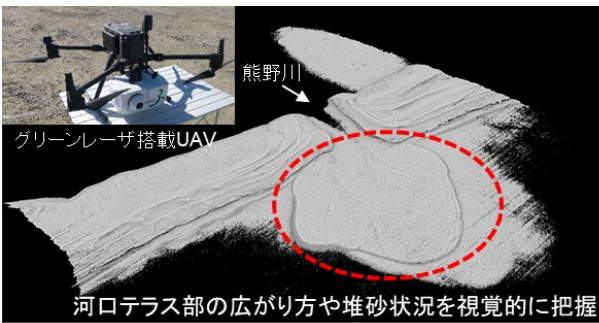


図-3 航空レーザ測深

ウェアラブルカメラによる河川点検も行っており、リアルタイム映像を用いたweb会議に活用することにより移動時間の短縮にもつながっている。今後は被災時におけるウェアラブルカメラを活用し情報共有の迅速化に向けた検討を実施していく。



図-4 ウェアラブルカメラの活用状況

従来はハザードマップを用いて洪水時における浸水想定区域を平面図により確認していた。より分かりやすくするために、ハザードマップを三次元で確認することができる3次元洪水浸水想定区域図の作成も行った。三次元にするにより浸水の状況が立体的に把握することが可能となっている。浸水箇所をクリックすることにより浸水深を確認することもできる。

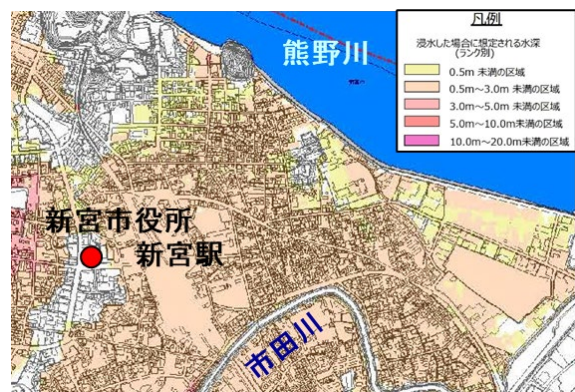


図-5 ハザードマップ

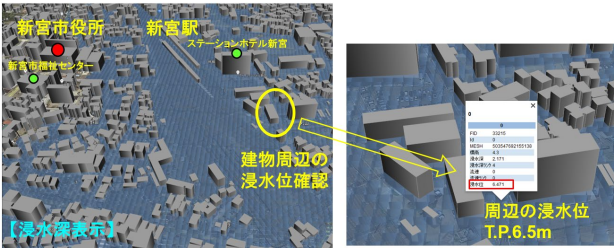


図-6 3次元浸水想定区域図

3. グリーントランスフォーメーション (GX)

(1) GXの概要

クリーンなエネルギーを活用していくための「変革」やその実現に向けた活動のことであり、インフラ分野においても、インフラ空間等を活用した再生エネルギーの導入促進、カーボンニュートラル推進などの取り組みを実施するものである。

(2) GXに関する現状・課題・取り組み状況

市田川排水機場では脱炭素化に資する建設材料の活用と共に、地産地消による経済的な地域貢献等に寄与するため転落防護柵に紀州材の木材を使用している。



図-7 紀州材の活用

4. モビリティトランスフォーメーション

(MX)

(1) MXの概要

自動車をはじめとするモビリティ分野における、産業構造や社会基盤の変革。地球温暖化防止のための自動車の電動化の他、自動運転、カーシェアリングなど、交通手段や移動の方法を変革する取り組みを実施するものである。

(2) MXに関する現状・課題・取り組み状況

和歌山県太地町において中心部は家屋が密集し既存コミュニティバスで通行できないほど道路が狭くまた、バ

ス停まで歩いて行くのも困難であり代替の交通手段が課題となっていた。そこで令和4年11月より運賃は無料とし、地元の拠点となる場所を周回するように、自動運転による公共交通サービスを開始した。路面に敷設した電磁誘導線でカートタイプの車両走行を誘導するものである。老人の外出促進につながったという理由やスムーズに乗りやすいという声などがあり高評価であった。



図-8 自動運転の仕組み

5. 新宮インフラDXセンターの立ち上げ

(1) 新宮DX意見交換会

令和5年3月より新宮河川国道維持出張所にて新宮地域における建設業の魅力向上・発進、担い手不足の解消、生産性向上・省力化などを目的に、DX推進に向けて新宮地方建設業協同組合との意見交換会を立ち上げました。新宮道路VR体験や近畿DX概要動画視聴等を実施。体験後は「将来図が非常にわかりやすく、住民の理解も得やすくなるだろう」との感想をいただいた



図-9 VR体験

(2) 出前授業

新宮地域のインフラDXに関する認知度向上のために、小学校、中学校、高校にて出前授業を実施した。職員が学校等に行き、インフラDXについての概要や取り組み事例を説明するとともに、道路改良工事の施工業者と連携し、MCバックホウやドローンの操縦体験を行った。

インフラDXの概要, 具体事例紹介などについて説明を行うことによってDXについて興味を持っていただいた。



図- 10 DXの概要説明



図- 11 MCバックホウの操縦体験

4. まとめ

KXの取り組みを行うことで以下の結論が得られた

- ドローンやウェアラブルカメラの活用や洪水浸水想定区域図を見学会でも紹介することにより, 新宮市役所や紀宝町の方などに理解を深めてもらうことができた。
- 新宮河川国道維持出張所におけるDXセンターの立ち上げについては, 実際到大勢の方に参加していただき, 体験していただくことにより興味を持ってもらうことができた。

今後の展望としては, 熊野川の河口砂州では継続的に監視していく必要があるため, ドローンによる自律飛行や自動化施工の取り組みを検討中である。

また, 新宮河川国道維持出張所でのインフラDXセンターでは, 現在ウェアラブルカメラの体験を行っているが, いろいろなコンテンツを増やしていくことでさらなる担い手の確保に務めていきたい。

5. おわりに

このように, DXやGX, MXや出前講座や, 幅広い革新を行うことによって, 移動時間の短縮や作業時間の短縮等の業務の効率化がはかれた。これからも, 職員自らが考え (K), 会話し (K), 気づき (K), 声に出し (K), 行動する (K) という「5K」をモットーに新しい取り組みを推進していきたい。

供用中かつ利用頻度の高い岸壁における 予防保全工事の実施について ～大阪港大正内港地区岸壁改良～

中川 元気¹

¹近畿地方整備局 大阪港湾・空港整備事務所 保全課 (〒552-0007大阪府大阪市港区弁天1-2-1)

高度経済成長期に集中的に整備された公共施設は、整備後約50年を経過し、劣化や損傷等の老朽化が進行している。計画的な維持管理を行い、施設の延命化を図ることが求められている。大阪港では、築造から約60年が経過した大正内港地区岸壁において、老朽化が進んでいる部位の補修を行うことで、岸壁施設の延命化を行う老朽化対策事業を行っているところである。本稿では、供用中の港湾施設という現場条件下での老朽化対策事例ならびに施工に関する取組を報告するものである。

キーワード 老朽化対策, 維持管理, 供用中の施設, BIM/CIM

1. はじめに

近年、供用中の港湾施設において、老朽化が進み、我が国の基幹物流を支える港湾機能の低下が懸念されており、効率的かつ効果的な港湾施設の更新・改良が求められている。高度経済成長期に集中的に整備された港湾施設は、老朽化が進行している。岸壁等の係留施設では、建設後50年を経過する施設が2015年3月の約1割から、2040年3月には約7割に急増することとなり、安全性の低下や更新費用の増大などが懸念されている¹⁾(図-1)。

港湾の施設は、塩害などの厳しい環境下におかれることや、海中部等目視では容易に劣化・損傷状況を把握できない部分も多い。海中部の鋼矢板や鋼管杭、栈橋床板の裏側などの劣化・損傷が見逃され、大事故に繋がりにくい事態も発生しているため、適切な維持管理による安全・安心の確保が重要とされている。

こうした中で、港湾局では施設の老朽化状況、利用状況、優先度等を考慮したうえで、港湾単位で予防保全計画を策定し、これに基づいて計画的かつ効率的に改良工事を行うことにより、ライフサイクルコストを抑制しつつ、個々の施設の延命化を図るため、老朽化対策を実施していくことになった(図-2)。

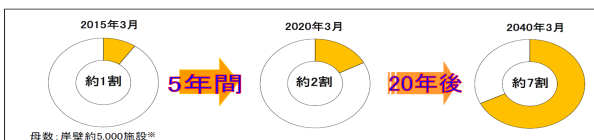


図-1 供用後50年以上経過する岸壁の割合

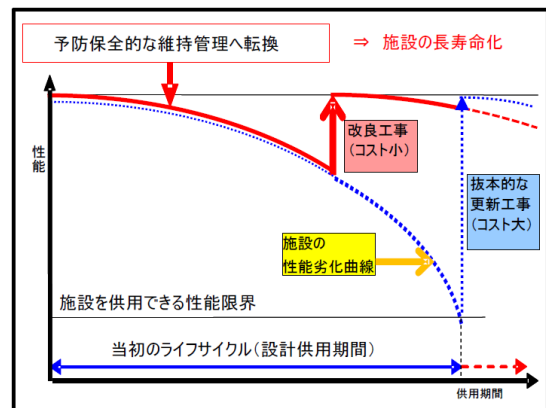


図-2 予防保全的な維持管理

2. 施設の概要と老朽化状況

(1) 施設の概要

大正内港地区岸壁は、大阪市大正区に位置し、築造から約60年経過しており、構造形式は、棚式構造・矢板式構造、延長420m、水深7.5m～9mからなる施設である(写真-1)。当該施設は、鋼材等の荷役を行っており、現在も供用中の港湾施設であり、施設利用が高い状況である。また、維持管理計画に基づき2011年度に実施された点検結果等では、栈橋上部工(下面部)の半数以上、脚柱部の全般において、大きな剥離・剥落・鉄筋露出が認められ、劣化度Aと評価されており、2013年度より予防保全事業として位置づけられている。

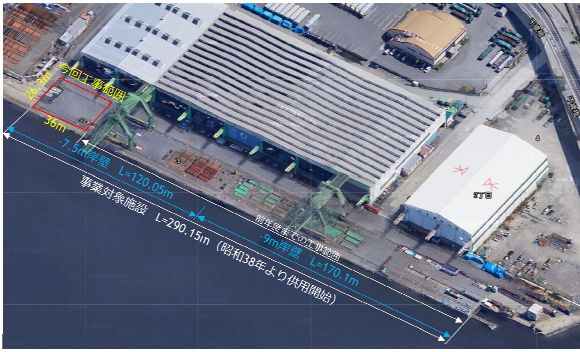


写真-1 大阪港大正内港地区岸壁施工箇所

(2) 老朽化状況

老朽化状況は、2011年度に施設の現況調査を行ったところ、上部工(下面部)では、ほぼ全てのスパンにおいて、剥離・剥落・欠損・鉄筋露出や、ひび割れが見られており、脚柱部では、部材の性能に影響を及ぼす規模の損傷ひび割れ、欠損、鉄筋露出等が発生している状態であることが確認された(図-3、写真-2)。岸壁が著しく老朽化していることが判明し、対策を講じなければ、部材の要求性能が満たせなくなり、施設の崩壊または、施設利用制限の可能性が考えられることから、供用中の施設を大規模な利用制限を行わず早急な施設の更新が必要となった。

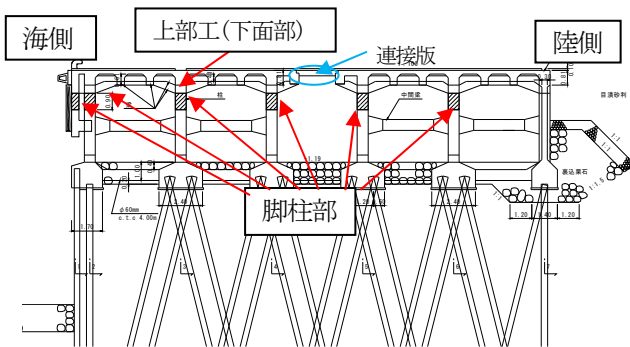


図-3 大阪港大正内港地区岸壁断面図



写真-2 脚柱部老朽化状況

3. 老朽化対策

(1) 対策方針

予防保全事業を実施する際における設計上の適用基準については、明確な規定はないものの、修繕は設計当時

の技術基準、更新・改良については、最新の技術基準が基本とされているが、施設の劣化状況などの工学的な判断だけでなく、行政的な判断も含め、総合的に判断することとなる。

当該施設については、整備から約60年が経過しているが、現在、50年を越えた施設の設計評価については明確な方針が無い状況である。現行基準で検討を行うと、当該施設の老朽化対策として施設の全更新という結果となり、大規模な整備が必要となる。

港湾管理者との協議の結果、老朽化が進んでいる部位の断面修復を行うことにより、設計当時の技術基準における安全性は確保されていると考え、既設部材の耐用年数を延命することとした。

(2) 老朽化対策

工法については劣化面積の大小により、大断面修復(型枠工法)と小断面修復(左官工法)の2種類に分けて補修を行うこととした。

a) 大断面修復(型枠工法)

栈橋下部の脚柱部については、劣化範囲が多く、修復面積が大きい箇所であるため、無収縮モルタル打設による型枠工法を採用した。

始めに、調査時点から老朽化が拡大していないか事前調査を行い、補修箇所を確認する。その後、既設コンクリートを撤去、帯筋を撤去し、主筋を露出させた後、腐食した主筋については、添え筋を溶接することにより、部材耐力を向上させることとした。既設コンクリート面にプライマー塗布、鉄筋に防錆材を塗布し、断面修復部と既設断面境界部の腐食による鉄筋の再劣化を抑えるため、犠牲陽極を設置する。帯筋復旧後、ひび割れ低減材設置し無収縮モルタルを打設する(写真-3)。



写真-3 脚柱部の断面修復施工手順

b)小断面修復(左官工法)

上部工(下面部)については、劣化範囲が少ないため、左官工法を採用することとした。コンクリートはつり後、無機ポリマーセメントによる左官により、補修を行った(写真4)。



写真4 上部工の断面修復施工手順

(3) 本工事の特徴及び留意事項

a)養生方法

本工事は、栈橋下部の柱の補修であり、通常の散水養生等の方法では十分な養生ができずクラック等が発生する懸念があった。そのため、モルタル打設後の養生方法については、型枠脱型後に速やかにモルタル表面へ湿潤養生シートを貼り付け、さらに養生シートの上からストレッチフィルムを巻き付け、吊り足場解体直前まで湿潤養生を行った(写真5)。吊り足場解体直前にストレッチフィルム及び養生シートをはがし、コンクリート浸透性改質剤を塗布した。これらの養生により、十分な養生を行うことができ、クラック等の発生もなく施工を完了することができた。



写真5 脚柱部養生状況

b)潮位に伴う作業時間の管理

本工事の施工箇所は潮間帯であり、潮位により補修範囲の多くが水没した。そのため、維持補修工では作業時間に制約があり、潮位に応じた作業内容を決め、施工時

間を調整する等の工夫が必要であった。当日の潮位に合わせて作業開始～終了時間を調整し、潮位が高い時間帯の作業は梁小断面の修復や胴長を着用して水没しない上部の作業を行うなどして作業時間に制約がある中で工夫して施工を行った。

上記のとおり特異な工事現場であることから、品質管理や工程管理において、施工業者と情報共有を図り、的確に指示する必要があった。また、老朽化状況は調査時よりも変化していたため、補修箇所については的確かつ迅速な判断をすることにより円滑な施工を行うことができた。

(4) 老朽化対策に伴う岸壁利用の調整

老朽化対策に伴い施設利用者と協議を行い、施工中の岸壁利用制限について調整を行った。現在も供用中であることから、長期間、広範囲の施工範囲の占有による施工が難しい。また、岸壁下部という狭隘な箇所での施工であるため、施工期間がかかる状況である。このため施工時には、施設利用者と調整のうえ、施工期間中のクレーン走行範囲を制限することとした。

大正内港地区岸壁においては、2基のクレーンが稼働しており、施工箇所によって、片方のクレーンの走行範囲を制限することで、岸壁の供用を止めることなく、施工を行うようにした。また、クレーン1号機または2号機が故障した場合に、故障していない方のクレーンで荷役を行わなければならない。したがって、1号機と2号機間の範囲を補修するときには、クレーンが補修範囲上を移動できるようにしておく必要がある。そのため、支保工を設置することで、クレーン荷重にも耐えられるようにした(図4、図5)。

また、工事の進捗状況により、工程に影響が及ぶ場合は岸壁ユーザーと調整を図り、船舶の着岸調整等を依頼することにより、円滑な施工を行うことができた。

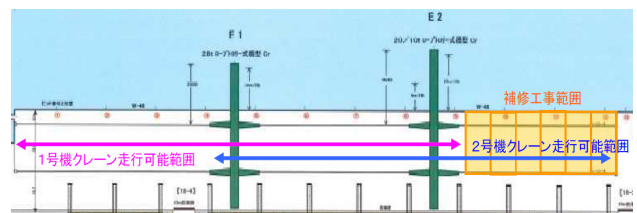


図4 クレーン走行可能範囲図

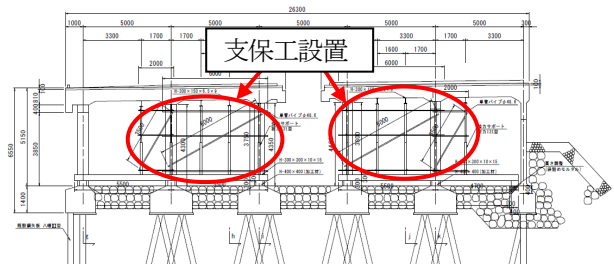


図5 支保工設置図

4. 安全管理

(1) 岸壁ユーザーへの影響防止

工事中は施工範囲内に資材仮置き場を設けて資機材を仮置きする。資材仮置き場においては、施工範囲外への作業員や資材のはみだしを防止し、出入りするトレーラーや頻繁に走行する大型フォークリフトなど岸壁ユーザーの作業への影響を防止する必要があった。このため、資材仮置き場の施工範囲外に面する側に1mの緩衝区間を設け、そこを危険監視エリアとして、モーション検知機能付きwebカメラで作業中は連続監視した。危険監視エリアに資材や作業員が侵入すると、モーション検知機能が作動し現地に設置した回転灯や職員のスマートフォンに警告を発し、緩衝区域への侵入を知らせ、施工範囲外へのはみだしを防止する。カメラ映像はICT技術を活用しクラウド上で管理し、事務所や携帯端末からも確認できる。ICT技術を用いたカメラを用い、岸壁ユーザーへの影響を防止することで、供用中の岸壁作業における安全性の向上が図れるとともに、資材仮置き場で作業する際に監視員等の配置が不要になり生産性が向上につながった(写真-6, 写真-7)。



写真-6 モーション検知機能付きwebカメラ設置状況

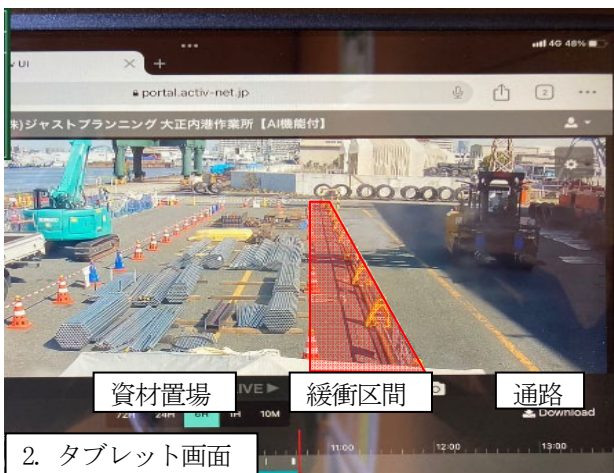


写真-7 タブレット管理画面

(2) 安全教育

狭隘で作業空間がイメージしにくい栈橋下部の補修において、熟練度に差がある作業員に作業の危険箇所や安全作業のポイントを確実に周知させる必要がある。吊足場上の作業箇所360度カメラを使って映像化し、危険箇所や施工上の留意点を体感させる体感型のVR安全教育を実施し、視覚的なイメージを持たせ作業の安全性と効率化を図った(写真-8)。

今後ベテラン技術者の定年・離職が進んでいく中、同じ条件で同じ物をつくることのない土木工事において、外国人労働者や若手技術者への教育や技術の継承といった面で必要性が増すとともに、ネットワーク上での仮想空間の共有など利用の幅はさらに広がることが期待される。

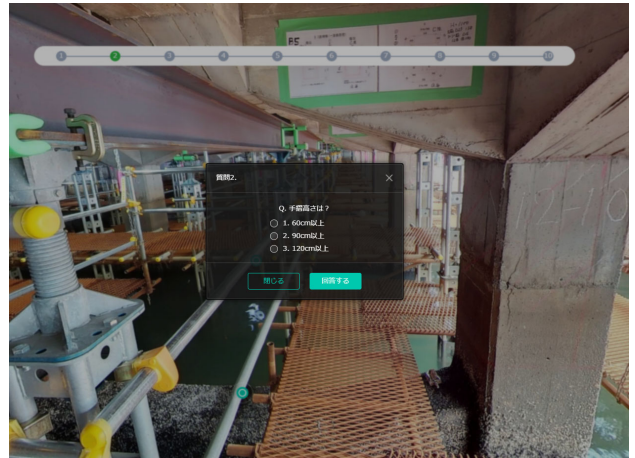


写真-8 VR設問画面

5. CIMデータの活用による施工管理の効率化

今回補修する栈橋構造が複雑で、各部位毎補修範囲、補修パターンが異なることから、各条件に合わせた複雑な仮設工が必要であり、施工にあたっては、効率的な施工管理が求められた。

CIMモデルを導入し、栈橋の3次元モデルを作成することにより、モデルで様々な角度や視点から現場を確認することで、狭隘な施工箇所の施工性や適正な人員、作業手順等を効率的に計画し確実な施工を行った(図-6)。3次元モデル上に作業日、補修形状・内容、使用資材等の情報を属性情報として付与し、電子データとして記録し広く共有することは、BIM/CIMの本格運用と合わせて、今後の技術の伝承やインフラ維持管理における新たな手法となってきている。また、CIMモデルを活用した施工管理情報プラットフォームにより、作業ステップや細分化したパーツ毎に全職員が管理データを一元的に確認することができ、書類作成や工事途上の検討作業の大幅な効率化が図れ、働き方改革や生産性向上につながった。

今後、日本国内の数多くの港湾施設が更新時期を迎える。これらのライフサイクルコストを抑制するためには、いつどのような材料を用いて補修工事を実施したのか、

将来にわたって情報を共有する必要がある。今回のような港湾施設の補修工事において実施した3次元モデルの活用は、補修箇所や補修内容が明確に把握できるため、今後の点検や劣化状況把握と併せて補修工事の可否判断の参考にでき、インフラ設備のライフサイクルコスト抑制につなげられる。

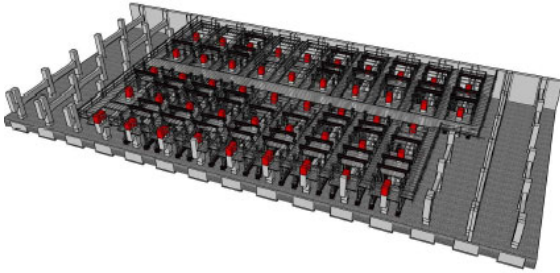


図-6 3次元モデル

6. おわりに

本稿では、供用中の港湾施設の老朽化対策事例および施工に関する取組について報告した。

本工事では、岸壁を供用しながら施工を行うことが条件であったため、施工時はクレーン荷重にも耐えられる支保工を設置することで荷役作業への影響を抑えることができた。また、工事施工時に模型およびCIMデータを活用したことにより、複雑な構造における施工管理の効率化や補修履歴データの共有を行うことができた。施設の維持管理において、CIMデータの属性情報を利用することで、維持管理の効率化を図れるものと考えられる。

供用中の岸壁においても、荷役作業への影響を抑えた施工方法をとることで、岸壁ユーザーの理解が得られ、抜本的な更新工事が必要となる前に、改良工事を行うことができ、施設の延命化ならびにコスト削減を図ることができた。

今後、老朽化が懸念される港湾構造物が増加することが考えられ、施設供用をなるべく制限しないように効率的かつ効果的な老朽化対策が必要となる。今回の事例は、他港の供用中の港湾構造物の老朽化対策の参考になると考えられる。

謝辞：論文作成に当たり多くの関係者の方々にご指導、ご協力いただきました。ここに深く謝意を表します。

参考文献

- 1) 国土交通省港湾局：港湾施設の維持管理の現状と課題

AIを用いた日吉ダム低水管理支援システムの構築

林 良真¹・今 英樹²

¹独立行政法人 水資源機構 日吉ダム管理所 (〒629-0335 京都府南丹市日吉町中神子ヶ谷68)

²独立行政法人 水資源機構 日吉ダム管理所長代理 (〒629-0335 京都府南丹市日吉町中神子ヶ谷68)

日吉ダムの下流では、かんがい用水などの利用が多く、亀岡市から京都嵐山にかけては舟運観光業が盛んであり、水道用水の供給とあわせて日頃からきめ細やかな低水管理が求められる。

しかしながら、日吉ダムの低水管理は、ダム地点から各基準地点までの到達時間が幅広いこと、既得用水取水量の変動や下流残留域の流量変動等を受けることから放流量の決定には、職員の操作経験とこれに基づく高度な判断が求められる。そのため、低水管理における放流量の決定を支援し、職員の習熟や業務の効率化を図り、更なる有効的な利水補給を実現することを目的として、システムを構築した。本稿は、システムの構築内容について、報告するものである。

キーワード 低水管理, AI, 業務改善

1. はじめに

日吉ダムは、淀川水系桂川の中流域に位置する多目的ダムであり、洪水調節、流水の正常な機能の維持及び水道用水の供給（京阪神地域）を目的としている。

日吉ダムの低水管理の運用は、ダム下流の利水基準地点の流量を確保するため、放流位置の異なるダム放流量と新庄発電取水量を決定し放流している。利水基準地点のうち、新町と嵐山は、各取水堰の位置関係等を考慮し、確保流量地点（以下「基準地点」という。）を設けて流量管理を行っている。利水基準点等の位置関係を図-1に示す。

放流量の決定にあたっては、ダム地点から基準地点までの到達時間（図-1）、既得用水取水量の変動、ダム下流残留域の流量変動や降雨状況等による基準地点の流量変動を予測し、新庄発電所の効率的な運用や舟運などを考慮する必要があり、職員の操作経験と既存の流出予測システムを活用して放流量を決定していた。しかしながら、既存の流出予測システムは、主に高水管理の運用に構築されたものであり、低水管理への運用には、精度上の課題があった。

そのため、日々の低水管理における放流量の決定を支援

し、職員の低水管理の習熟と業務の効率化を図り、更なる有効的な利水補給を実現することを目的として、システムを構築した。

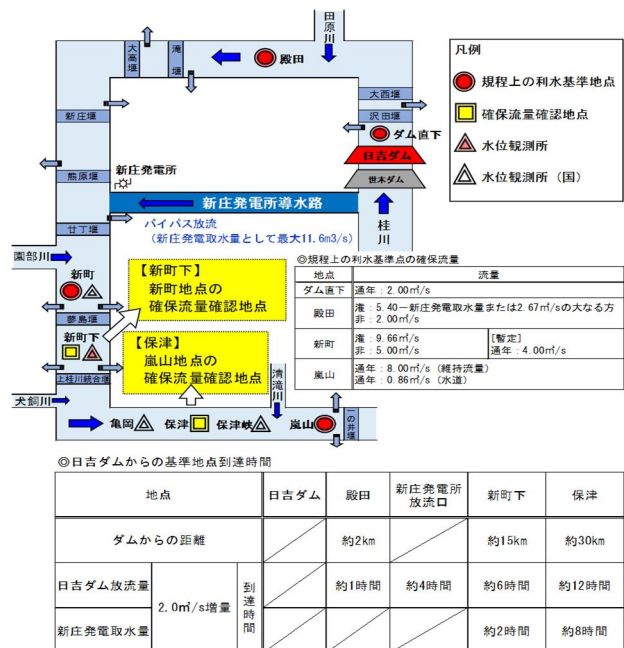


図-1 利水基準地点等の位置図と到達時間

2. システムの構成概要

(1) AI的予測手法の概要

システムは、時系列データなどの連続したデータ解析に特化し、過去の情報を引き継ぐ（記憶する）ことができるRNN（Recurrent Neural Network）を用いて実施した。RNNモデル概要を図-2に示す。

RNNとは、「再帰型ニューラルネットワーク」とも呼ばれ、入力データと出力データとする教師データの組み合わせを隠れ層を介して、その関係性を学習するモデル構造であり、洪水時の流入量予測などの時系列を考慮するタスクに再現性の高いモデルとして用いられている。

(2) システムの概要と計算フロー

日吉ダムの低水管理運用は、ダム下流の基準地点の流量を確保するように放流量（補給量）を決定することから、AI的予測手法を用いたシステムでは、目的変数を基準地点（殿田、新町下、保津）の河川流量、説明変数を低水時の河川流量に大きく影響される雨量、ダム放流量、新庄発電取水水量、支川からの流入量及び取水水量・還元水量とし、現時点から24時間先までの基準地点流量と日吉ダムからの放流量（補給量）を出力するシステムとした。システム概要を図-3に示す。

システムの計算は、日吉ダムの流入量予測と基準地点の流量予測に大別され、それぞれの予測結果を用いて、最適な放流量（補給量）を算出した。システムの計算フローを図-4に示す。

3. 水収支予測の検討

(1) 水収支の算出

日吉ダム下流の水収支を把握するため、取水施設のデータ収集を行ったが、取水口等に観測機器が設置されていない箇所も多く、取水量から水収支を算出することは困難であった。そのため、基準地点間の下流基準地点の河川流量から上流基準地点の河川流量を減じたものは、区間水収支（支川流入量と取水水量・還元水量の総和）として整理した（図-5）。

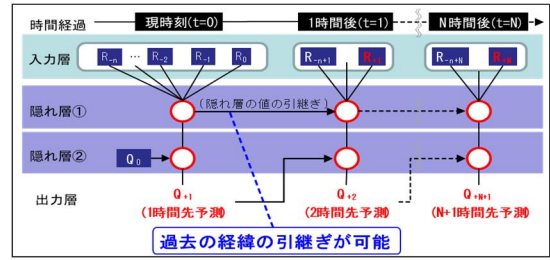


図-2 RNNモデル概要

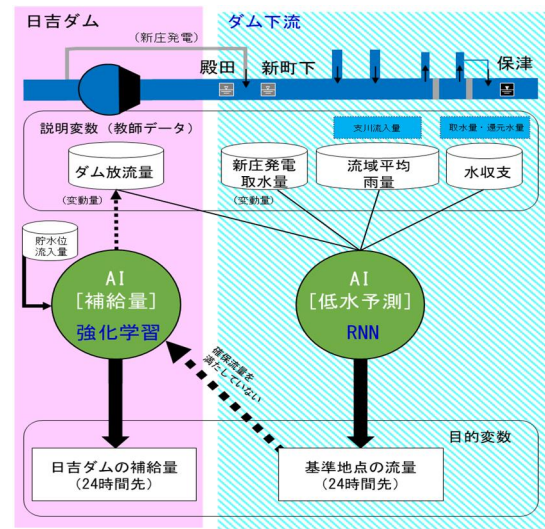


図-3 システム概要

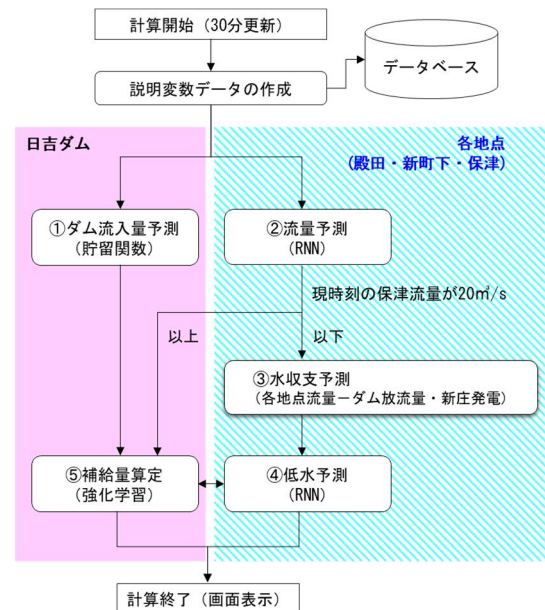


図-4 システムの計算フロー

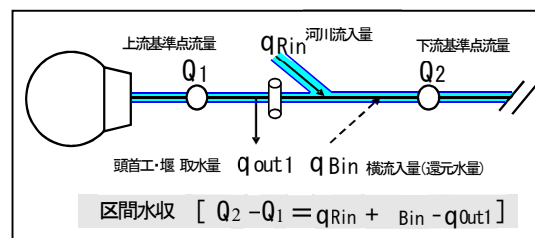


図-5 水収支模式図

(2) 水収支の予測

水収支の予測は、河川流量予測結果と減衰曲線による予測を組み合わせ、基準地点の水収支を予測するものとした。水収支の予測イメージと条件を図-6に示す。

現時刻までの水収支は、現時刻の基準地点の流量からダム放流量と新庄発電取水量を減じたものとして、実績値から算定した。一方、現時刻以降の予測では、降水量がない場合（10mm以下）は、現時刻の水収支を基に減衰曲線を用いて予測した。降水量がある場合（10mm以上）は、減衰曲線を用いると降雨による流出を再現できないため、河川流量予測結果を基に予測した河川流量と到達時間を考慮したダム放流量と新庄発電取水量の流量差を用いて予測するものとした。

4. 低水予測モデルの検討

(1) 説明変数の検討

RNNモデルを用いて、低水管理の基準地点のひとつである保津を目的変数とし、雨量、ダム放流量、新庄発電取水量を基に、水収支を説明変数に追加することで、低水時の河川流量を予測するのに適した説明変数を検討した。

検証期間は2018年の出水以降、下流河川の河道が変化したため、2018年から2021年とし、テスト期間は2021年のかんがい期と非かんがい期で河川流量の少ない期間を選定した。検討した条件を表-1に示し、検討した条件結果を以下に示す。

a) 全期間を対象とした検証結果(Case1)

雨量、ダム放流量及び新庄発電取水量を説明変数とし、全期間（2018年から2021年）を教師データとして計算した。その結果、降雨等による出水期間が含まれているため、常に河川流量が大きくなる予測となった（図-7）。

b) 平常時の期間を対象とした検証結果(Case2)

雨量、ダム放流量及び新庄発電取水量を説明変数とし、Case1の検証結果を踏まえて、降雨による出水の影響が少ないと考えられる平常時を教師データとするため、保津の流量が20m³/s以下の期間を教師データとして計算した。その結果、保津の流量を概ね再現することができたが、ダムからの放流（補給量）を再現できない予測とな

った（図-7）。

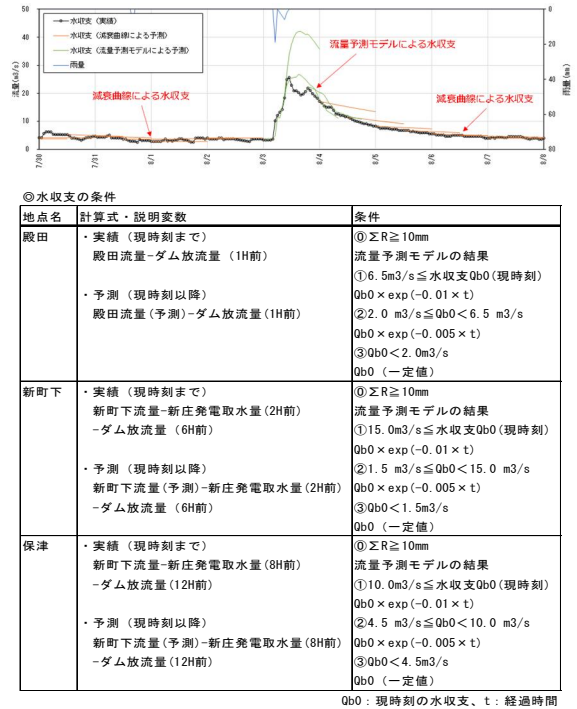


図-6 水収支の予測イメージと条件

表-1 各Caseの計算条件

Case	条件	説明変数	目的変数	備考
1	学習期間（学習：2018年～2020年、テスト：2021年）	雨量 ダム放流量、新庄発電取水量	保津流量	
2	学習期間（学習：2018年～2020年、テスト：2021年） ※保津流量20m ³ /s以下を対象	雨量 ダム放流量、新庄発電取水量	保津流量	
3	学習期間（学習：2018年～2020年、テスト：2021年） ※保津流量20m ³ /s以下を対象	雨量 ダム放流量、新庄発電取水量 水収支（保津流量-（ダム放流量・新庄発電取水量））	保津流量	採用

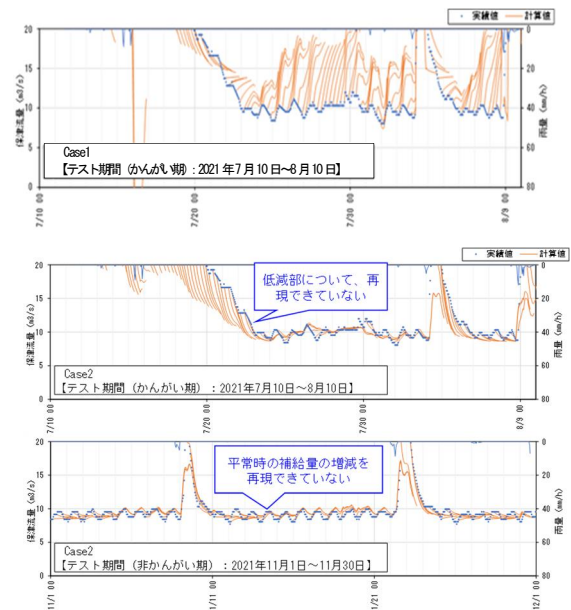


図-7 計算結果 (Case1, Case2)

c) 水収支を説明変数に追加した検証結果(Case3)

Case2 の結果を踏まえ、基準地点の流量と到達時間を考慮したダムからの補給量の差は、支川流量や取水量・還元水量の影響による流量の変化(水収支)であり、これを説明変数に追加した。その結果、平常時においてダム補給量の増減や降雨による流量の増加、減少を再現できる予測となった(図-8)。

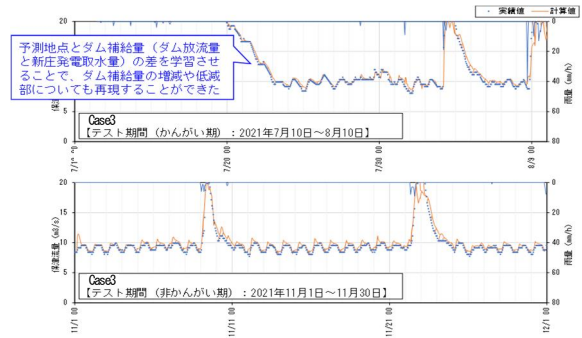
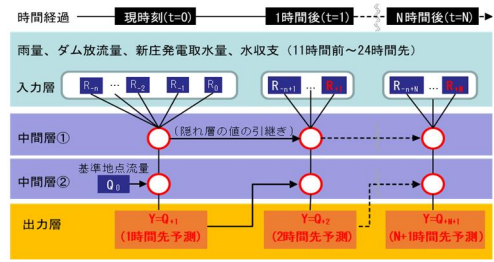


図-8 計算結果 (Case3)

(2) 低水予測モデルの構成

説明変数の検討結果より、降雨の影響が少ないと考えられる平常時の流量である保津の流量が 20m³/s 以下を対象として、基準地点(殿田, 新町下, 保津)の河川流量を目的変数、雨量、ダム放流量及び新庄発電取水水量に水収支予測モデルを説明変数に追加し、RNN を用いて、低水予測モデルを構築した(図-9)。



◎説明変数と目的変数

項目	設定
学習期間	・2018年～2021年(2018年～2021年で学習、2021年で検証)
説明変数	・雨量 殿田：ダム流域平均雨量、新町下：園部、保津：園部 ・ダム放流量 ・新庄発電取水水量 ・水収支 殿田：殿田流量-ダム放流量(1H前) 新町下：新町下流量-ダム放流量(6H前)-新庄発電取水水量(2H前) 保津：保津流量-ダム放流量(12H前)-新庄発電取水水量(8H前)
目的変数	・基準地点流量(殿田・新町下・保津)

図-9 低水予測モデル概略図と変数(RNN)

(3) 低水予測モデルの精度検証

2021 年を対象として、基準地点を計算した結果(図-10)と、RMSE・MAE を用いて精度評価した結果(表-2)を以下にまとめる。

- 基準地点の流量を 24 時間先まで精度良く再現
- 確保流量に対する基準地点流量の不足を再現
- 降雨による基準地点流量の増大や減衰を再現

以上より、低水予測モデルが基準地点流量を精度よく計算できていることを確認した。

表-2 精度検証結果(保津流量 20m³/s 以下対象)

地点名	評価手法	6時間後	12時間後	18時間後	24時間後
殿田	RMSE	0.83	0.894	1.425	1.417
	MAE	0.199	0.222	0.452	0.489
新町下	RMSE	1.006	1.118	1.543	1.492
	MAE	0.332	0.371	0.601	0.552
保津	RMSE	1.204	1.38	1.918	1.869
	MAE	0.392	0.454	0.795	0.82

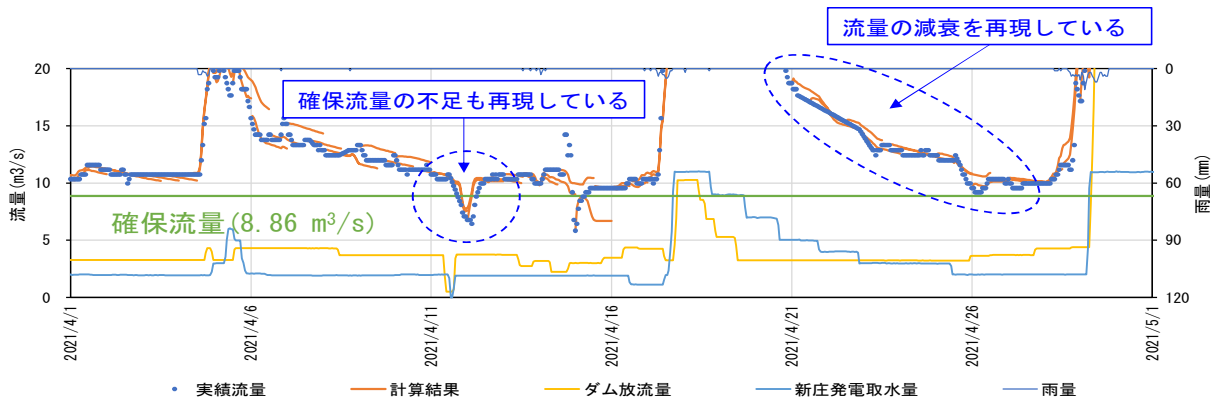


図-10 低水予測結果(保津)

5. 放流量（補給量）算定モデルの検討

これまでの予測を踏まえ、最終的なダムからの放流量を決定するため、放流量（補給量）を算定するモデルを構築した。

算定モデルは、動的計画法を採用し、管理目標（補給量のネックとなる保津地点河川流量や確保流量等）に応じて最適な放流量を算出した。算定例を図-12に示す。その結果、確保流量を満足する放流を行うことができた。しかしながら、放流量は毎時間変更する必要があり、ダム操作の実状とかけ離れていた。そのため、低水管理時の放流量の変更操作は、ダム操作の実状と合わせて24時間先まで確保流量を常に満たすように放流量を算定した。放流量の算定方法を図-13に示す。

なお、動的計画法は、R. Bellma（1957）によって開発された数理計画法である。多段決定問題に適しており、全体の最適化問題を小さな部分に分割して、それぞれの解を組み合わせ、全体的な最適解を得る手法である。

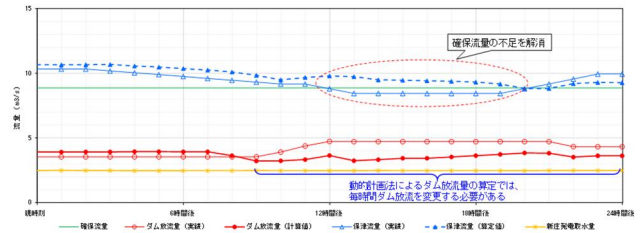


図-12 放流量の算定例

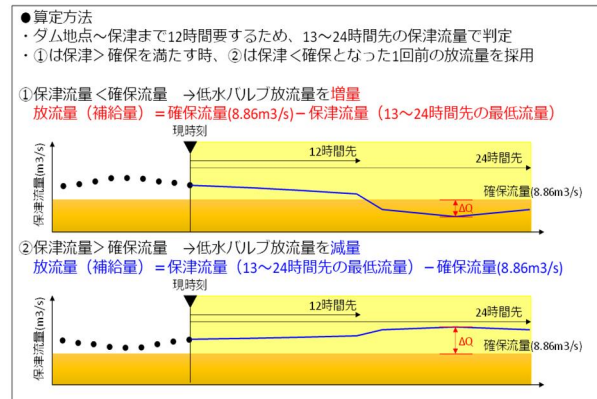


図-13 放流量の算定方法

6. システム画面

システム画面を図-14, 15に示す。ダムからの放流は基準地点に一定時間後に到達するため、到達時間後の結果がわかるように流域図を作成した。

また、到達予測では、AI的手法を用いた最適放流量と現時刻の放流量を継続した場合の継続放流量を切り替えて表示できるように作成した。

さらに、日吉ダムと基準地点（殿田、新町下、保津）を比較できるようにグラフ表示や数値表を作成した。

7. 2023年度のシステム活用

本システムを2023年度(令和5年度)より試行的に運用を導入し、日々の低水管理における職員のダム放流量を決定するための操作支援や利水補給の判断に活用した。

2023年度は9月、10月にかけての小雨傾向により、ダム下流への補給を行ったため、日吉ダムの管理開始以降、最も



図-14 システム画面（流況図）

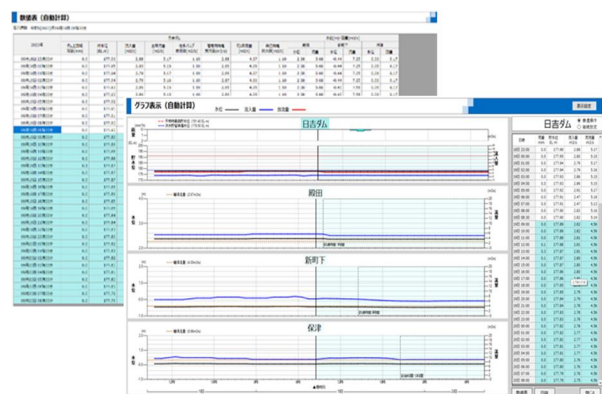


図-15 システム画面（数値表、グラフ）

低い水位まで到達した(図-16)。日吉ダムの貯水量の低下に伴い、11月4日から2月22日までの111日間、水道用水・かんがい用水の取水制限及びダム放流量制限などの渇水調整を行った(図-17)。渇水時についてもシステムを用いて放流量の決定を検討したが、本システムには、学習データに渇水時の流量データが含まれていなかったため、精度に課題があることがわかった。

8. まとめ

AI的予測手法(RNN)を用いて、基準地点の確保流量を満足させるように放流量(補給量)の決定を支援する低水管理支援システムを構築した。

低水予測モデルは、放流量を決定する因子(ダム流入量、河川流量及び水収支等)を明らかにした上で、基準地点流量を再現計算し、職員の操作支援と利水補給の判断に活用することができ、業務の効率化となった。

しかしながら、渇水時の基準地点の流量予測については、学習データに渇水時の流量データが含まれていなかったため、渇水時の予測精度に課題があることがわかった。

今後、渇水時の実績データや予測結果を検証し、更なる効率的な利水補給の実現と桂川の河川利用実態に応じた

システムの実装を進めていきたいと考えている。

参考文献

- 1) 日吉ダム低水管理支援システム構築業務報告書(2023年3月)

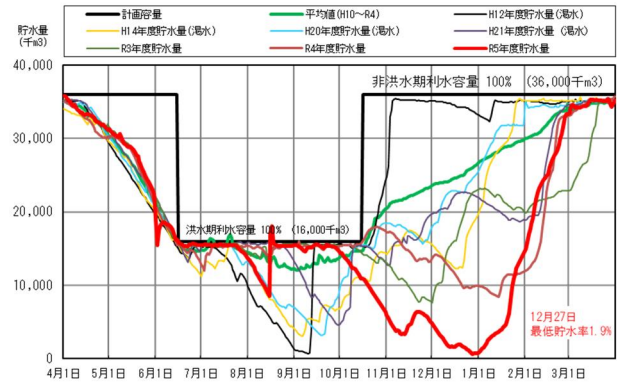


図-16 日吉ダム貯水量

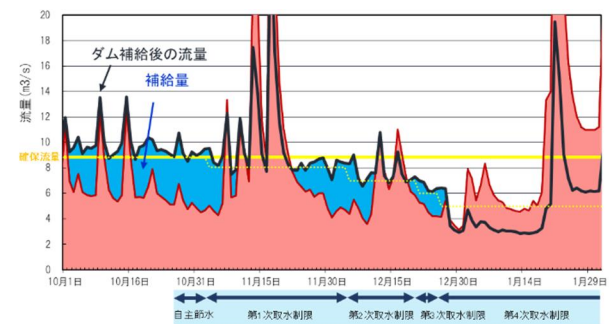


図-17 基準地点(保津)の流量

土木事務所の道路維持補修業務に関する DXの提案

濱田 真帆¹・竹内 信²

¹滋賀県東近江土木事務所 道路計画課（〒527-0023滋賀県東近江市八日市緑町7-23）

²（公財）滋賀県建設技術センター 技術課（〒525-0059滋賀県草津市野路6丁目9-23）

土木事務所での道路維持補修業務では、土木系技術職員の欠員が発生するなど人材不足に苦しむ現状において、多数の苦情・要望に対応しながら全ての現場を直接確認し、若手職員が技術的な勉強を行う時間まで確保することは困難な状況となってきた。また、既往資料のデータベース化が進んでおらず、過去の経緯の確認に労力を要することも多い。

本研究では、これらの道路維持補修業務における課題の解決に向け、地方自治体や維持補修工事を担う中小規模の会社でも利用可能な安価でかつ操作が容易なデジタル技術に着目し、スマートフォンの3次元測量アプリ、360°カメラ、台帳管理システムなどの活用を検討した。

キーワード インフラDX，土木事務所，道路補修，スマートフォン，360°カメラ，資料管理

1. はじめに

建設業界は、施設老朽化や災害リスクの高まりによって業務量が増加していることに加え、技術者の高齢化も進行し、担い手の不足に悩まされている。本県の総合土木職も、建設業全体の傾向と同様に人材不足に悩まされる中、土木未経験で入庁する職員の増加や働き方改革推進の流れもあり、業務の対応人員確保に苦慮している。

このような状況を改善するには、担い手の確保に向けた取組が求められることに加え、業務プロセスの省人化・効率化が必要である。建設業界においても、平成28年度から「i-Construction」が推進されており、令和4年3月には「インフラ分野のDXアクションプラン¹⁾」が、さらに令和6年4月には「i-Construction 2.0 ~ 建設現場のオートメーション化²⁾」が公表されるなど、取組が進展している状況にある。しかし、土木事務所の道路維持補修業務においては、その業務特性からDXを進展させる上での課題が多く、省人化・効率化が進みにくい状況にある。

ここで、土木事務所の道路維持補修業務において省人化・効率化を進める上での課題を以下(1)~(3)に述べる。

(1) 現地確認

筆者の所属する東近江土木事務所道路計画課維持補修係では、除草・剪定、構造物の修繕等の日常の維持管理から、倒木や道路の陥没、法面崩壊等の緊急での補修対

応まで、パトロールでの報告数だけでも年間4,000件を超えるなど、様々な事案が毎日多数発生する。これらの事案に対応する際は、状況の把握、通報者・要望者との対応、補修作業を担う受注者とのやり取り等で現地確認を要することが多く、現地への移動時間に多くの時間を費やしている。現地確認に時間を要した分だけ、内業など他の業務に充てられる時間が削られることから、土木事務所の道路維持補修業務の省人化・効率化を進めるためには、現地確認の効率化が重要となる。

(2) 技術伝承

(1)で述べた事案に対応する際には、現地の状況に応じた判断が求められるため、豊かな経験と豊富な知識を有すること、および技術的な知識を現場で活用できる応用力が求められる。加えて、事案数が多くかつ緊急対応を求められることも多いため、対応方針についてじっくり思案したり調べたりすることは困難で、経験の浅い若手職員はベテラン職員へ対応を相談するケースも多い。これらが省人化を進めにくい要因の一つとなっていることから、土木事務所の道路維持補修業務の省人化・効率化を進めるためには、ベテラン職員から若手職員への技術伝承を効率的に行える手法の導入も重要となる。

(3) 資料検索・履歴確認

(1)で述べた事案への対応を決定するにあたっては、

パトロール結果や過去の補修履歴を確認した上で検討を行うことが不可欠であるが、筆者の所属する東近江土木事務所道路計画課維持補修係では、パトロール日誌や対応記録簿等を紙で保存していたり（写真-1参照）、データで保存する場合も整理されないままフォルダ内に一纏めにしているのが現状である。そのため、過去の履歴を確認する際には、膨大な記録資料の中から個々の資料の中身を一つずつ確認することとなり多大な手間を要しており、過去の記録が存在するか否かの判断もしにくい状態となっている。よって、土木事務所の道路維持補修業務の省人化・効率化を進めるためには、資料検索や履歴確認の効率化も重要となる。



写真-1 1週間分のパトロール記録簿

以上より、土木事務所の道路維持補修業務の省人化・効率化を進めるためには、(1)～(3)で述べた課題を考慮した上で、DXを推進していく必要があるといえる。そこで本研究では、地方自治体や維持補修工事を担う中小規模の会社でも利用可能な、安価でかつ操作が容易なデジタル技術として、スマートフォンの3次元測量アプリ、360°カメラ・ウェアラブルカメラ、台帳管理システムに着目し、これらの技術の道路維持補修業務への活用について検討を行った。

2. 検討技術の概要

(1) スマートフォンの3次元測量アプリ

道路の維持補修作業において、現地へ出向くことの多い業務プロセスの一つとして、作業指示や完了検査での寸法計測が挙げられる。現状では、作業指示や完了検査の度に職員が現地に出向き寸法計測を行っているが、計測作業自体は巻尺等を使用して行うため技術力を要しないものがほとんどである。そこで本研究では、道路の維持補修作業に3次元計測技術を活用した点群での寸法計測を導入することで、作業指示や完了検査を遠隔で実施でき現地確認の効率化に繋がると考え、(公財)滋賀県建設技術センターに導入されているスマートフォン（iPhone）の3次元測量アプリ「OPTiM Geo Scan」³⁾に着目し、道路の維持補修作業における作業指示や完了検査への適用について検証を行った。システムの概要は図-1に

示すとおりで、iPhoneに内蔵されているLiDARセンサーを活用するため他の3次元計測機器よりも比較的安価で導入可能であることや、特別な操作訓練を必要としないため測量未経験者でも30分の操作説明を受ければ計測可能なことなどが特徴である。また、OPTiM Geo Scanには計測した点群をGIS上に自動登録できる「Geo Log」機能が付属されており、取得した点群データをクラウドの地図上で即時に関係者間で共有できるほか、Geo Log上での点群データによる寸法計測や、メモ・写真・帳票などの登録・編集も可能である。

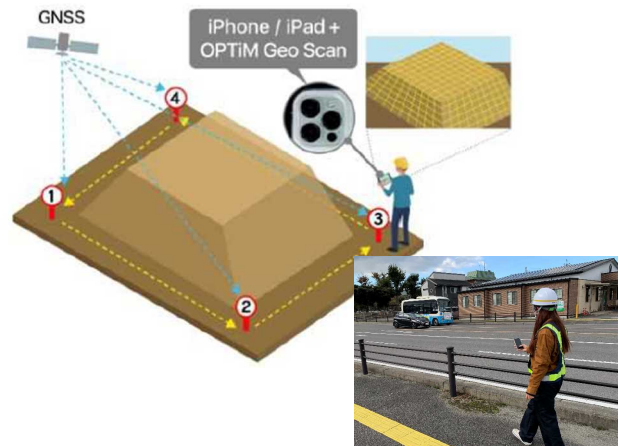


図-1 スマートフォンによる3次元測量 (OPTiM Geo Scan)

(2) 360°カメラ

土木事務所の道路維持補修業務における現地確認は、ベテラン職員が若手職員に同行して支援を行う場面が多い上、現地への移動にも時間を要するため、多大な労力を費やしている。また、経験の浅い若手職員だけでは写真の撮影箇所や撮影範囲に漏れが生じて必要な情報を記録できないという課題もある。そこで本研究では、経験の浅い若手職員でも現地の状況を漏れなく撮影できるカメラを導入することで、ベテラン職員があたかも現地へ赴いて確認したかのように現地状況を把握して若手職員の支援を遠隔で効率的に行うことが可能と考え、別報⁴⁾にて本県の各土木事務所での活用検討が報告されている360°カメラ（RICOH THETA）（写真-2参照）に着目し、土木事務所の道路維持補修業務における現地確認への適用について検証を行った。システムの詳細は、別報⁴⁾に記載のとおりである。



写真-2 360°カメラ (RICOH THETA)

(3)台帳管理システム

土木事務所の道路維持補修業務では、施設の補修を行う前段階として、道路管理者の管理する施設が否かを確認する必要があり、道路台帳や官民境界確定資料を確認する機会が多い。しかし、これらの台帳は、紙ベースでしか存在しないものや、データで保管されていても位置情報に紐づいていないものがほとんどで、必要な時にすぐに見つけ出せないことが多い。また、既存の技術でも台帳を管理するためのシステムは多く存在するが、新規導入には高額な費用を要することや、更新作業が滞るなど運用に関するリスクも懸念された。そこで本研究では、河川の3次元管内図作成業務の成果品として本県に納品済のGISシステム（中日本航測(株)社製 Survey View）を流用することで、台帳を管理できるシステムを安価にかつ容易に仮導入可能と考え、台帳検索の効率化や台帳管理システムの運用方法について本システムを用いて検証を行うこととした。システムの概要は図-2に示すとおりである。本システムでは、簡単な作業手順で地図上の任意地点にマークをプロットすることが可能で、台帳のスキャンデータを地図上のマークとリンクさせることで、位置情報と結びつけることが可能である。また、登録した台帳のスキャンデータは、地図上での検索に加えて、登録した各種属性情報からの入力検索も可能である。



図-2 Survey Viewによる地図上での道路台帳検索

ここで、1.(1)~(3)で述べた課題と、2.(1)~(3)に示した検証技術との対応を表-1に示す。本研究での検証技術が導入できれば、土木事務所の道路維持補修の業務プロセスの効率化・省人化に関して、様々な効果が期待される。

表-1 本研究での検証技術の導入により期待される効果

課題 技術	(1)現地確認	(2)技術伝承	(3)資料検索
(1)スマホ測量	(遠隔実施)	○ (時間確保)	○ (履歴蓄積)
(2)360°カメラ	(遠隔実施)	(遠隔実施)	○ (履歴蓄積)
(3)台帳管理システム	○ (時間確保)	○ (時間確保)	(効率化)

【凡例】 : 直接的な効果 ○: 間接的な効果

3. 検討結果

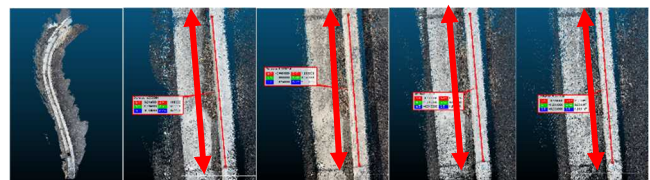
(1) スマートフォンの3次元測量アプリ

まず、OPTiM Geo Scanでの計測精度を確認するため、延長が既知のリボンテープを計測し比較検証を行った。結果は図-3に示すとおりで、リボンテープの延長を正確に計測できることを確認した。



図-3 計測精度の検証 (リボンテープ延長との比較)

次に、測定者の違いによる計測誤差を確認するため、東近江土木事務所職員4名で同一箇所を計測し、取得した3次元点群の比較を行った。結果は図-4および表-2のとおりで、点群の重ね合わせを行ってもズレが無いことや、同一の縁石（延長2m）をそれぞれの点群で計測した結果も、最も大きい誤差が生じた計測結果でも-11mmと、全ての計測者の取得データで道路の維持補修作業の寸法計測に活用できる精度を有することを確認できた。



重ね合わせ 計測者A 計測者B 計測者C 計測者D

図-4 計測者の違いが計測精度に及ぼす影響の検証

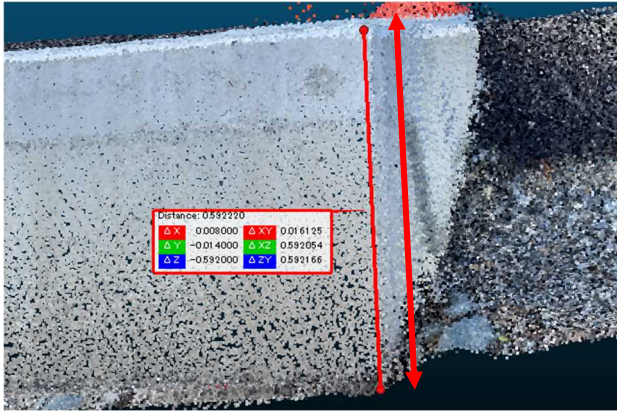
表-2 計測者の属性と計測結果

計測者	測定者A	測定者B	測定者C	測定者D
計測者の職種	事務	事務	技術	技術
計測結果	2.000m (±0mm)	1.989m (-11mm)	1.990m (-10mm)	2.005m (+5mm)

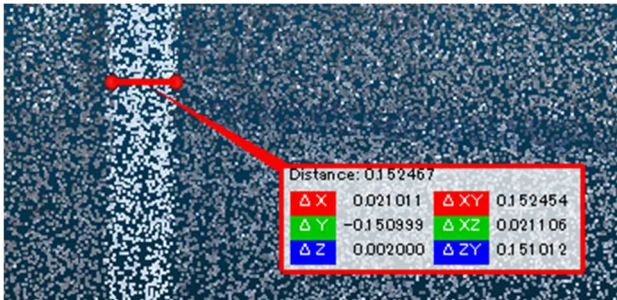
次に、日常の道路補修工事で施工することの多い小規模構造物の寸法計測を試行した結果を図-5および表-3に示す。スマートフォンでの3次元測量について、土工に関しては国土交通省が出来形算出要領⁹⁾を既に定めているが、その他の小規模構造物の寸法計測への適用性を検証するため、補修工事実施箇所計測を行い、メジャーでの直接計測結果との比較を行った。

図-4、図-5および表-3より、縁石、コンクリート擁壁、

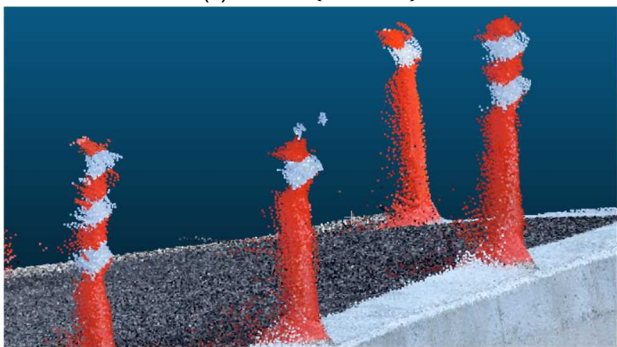
区画線などの平面部分の計測については、精度良く計測可能であると確認できた。ただし、計測対象のサイズが小さくなると、点と点の間距離（点間距離）が寸法計測の誤差として影響するため注意が必要である。OPTiM Geo Scanでは、計測時に点密度を3段階で設定可能なため、区画線の幅のような短い寸法を計測する場合には、高い点密度で計測行うことが推奨される。また、ポストコーンのように円柱形の細長い形状の構造物は、形状を捉えることが困難であったことから、標識柱や車止めなどの径の確認が可能となるような計測方法の確立や、スマートフォンのLiderセンサーのさらなる機能向上が待たれる。



(a)コンクリート擁壁（高さ0.59m）



(b)区画線（幅0.15m）



(c)ポストコーン（直径80mm）

図-5 計測対象の違いが計測精度に及ぼす影響の検証

表-3 計測者の属性と計測結果

計測対象	縁石	擁壁	区画線	ポストコーン
直接計測	2.000m	0.590m	0.150m	0.080m
計測結果	2.000m (±0mm)	0.592mm (+2mm)	0.152m (+2mm)	計測不可

次に、Geo Log機能によりGIS上で道路維持補修業務全体の管理を試行した例を図-6に示す。

Geo Log機能を活用すると、OPTiM Geo Scanで取得した3次元点群が地図上に自動で保存され、関係者全員が直ちに点群データを共有できる。これにより、パトロール、補修工事、道路管理者など、受発注者の全ての関係者の連携がスムーズになり、担当職員のフォローも容易になる。また、点群以外にも写真や各種帳票を位置情報と紐づけて保存することが可能であり、対応履歴が地図上に蓄積されるため、過去の経緯の確認も容易となる。

以上より、OPTiM Geo ScanおよびGeo Log機能を土木事務所の道路維持補修業務に導入することで、その生産性は向上するといえる。

導入に向けた課題としては、受注者への普及を同時に進めていく必要がある点が挙げられる。対応策としては、パトロール委託や単価契約工事において、利用料の計上を行ったり、OPTiM Geo Scanを導入済のスマートフォンを貸与する等の対応が有効と考えられる。その他、様々な小規模構造物での試行を継続するなど、導入に向けた検討を今後もさらに進めていきたい。



図-6 Geo Log機能によるGIS上での道路補修業務の管理

(2) 360°カメラ

本研究では、360°カメラの導入検討として、土木事務所道路計画課維持補修係の担当業務の一つである通学路合同点検の現地確認を対象に試行を行った。

まず、通学路合同点検において、令和4年度に東近江土木事務所道路計画課維持補修係が現地確認を実施した日数を表-4に示す。管内の市町別の内訳では、東近江市内で5日、近江八幡市内で3日、日野町内で3日、竜王町内で2日となっており、1年間で計13日の日数を費やしている。また、現地確認では各学校の教員や公安委員会等の関係者が一堂に会して通学路の安全対策を思案するが、道路管理者は現地の状況を踏まえてどのような対策が最適かを判断し関係者に提案する必要があるため、経験の浅い担当職員は、技術力を有するベテラン職員にも同行してもらうことが不可欠となる。そのため、対応人員は毎回2名必要で、合計で26人日（2人×13日）を費やしていることとなり、補修業務と並行して対応するのは大きな負担となっている。

この通学路合同点検の現地確認において、360°カメラの活用を検討した結果を写真-3に示す。360°カメラで撮

影した映像は、360°映像の閲覧に対応した無料のソフトを使用して、PC、スマホ、タブレット等の端末で容易に閲覧できることに加えて、クラウドサービス（THETA 360°biz）を活用することにより、撮影した360°画像を撮影位置とリンクさせたり、現地確認の所見や対策案の内容を記載したキャプションや関連画像等の付加情報を360°映像上に与えることも可能である。

今回の検討対象は交差点であったが、360°映像を閲覧すると、あたかも現地へ赴いて確認したかのように現地状況を把握可能であった。これにより、ベテラン職員が現地へ同行せずとも遠隔で若手職員への助言を行うことができれば、対応人員を2名から1名に削減できるため、表-4に示すとおり単純計算で年間13人日（1人×13日）の生産性向上効果を得ることが可能となる。炎天下や悪天候など現地が悪条件の場合には、現地での対応検討を省略して360°映像を撮影して持ち帰り、遠隔で現地確認そのものを行うことができれば、心身の負担軽減効果も非常に大きい。

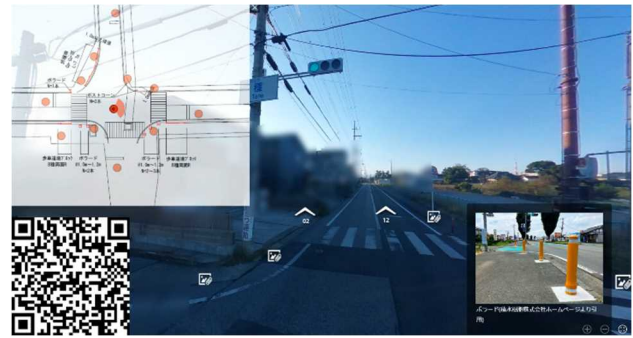
現地での撮影作業においても、撮影地点の周囲全体の映像を取得可能であるため、カメラの画角や傾きを気にする必要が無く、撮影者が経験の浅い若手職員であっても撮影漏れを防止できるメリットも確認できた。加えて、点検箇所が交差点であれば、車の停止位置でドライバーの目線の高さから撮影を行うと、ドライバーの視点からどのように見えるかを記録でき、対応策の詳細検討にも活用可能であった。

さらに、現地確認の所見や対策の提案を記録したり、対外的に説明したりする際にも、THETA 360°biz を活用することで、言葉での説明ではイメージの湧きにくい内容等をわかりやすく記録し説明できる利点も確認できた。

また、THETA 360°biz の作成成果は、写真-3 に示すようにURLやQRコードで手軽に共有可能である。そのため、360°カメラなどを活用して将来的に現地点検そのものをデジタル空間上で実施することができれば、通学路合同点検の関係者であり建設業界と同様に働き方改革が推進されている教員や警察官も含めて、業務の生産性を大きく向上させることが可能となる。今後も、その他あらゆる業務での現地確認を含めて、360°カメラを積極的に活用していきたい。

表4 東近江土木事務所通学路合同点検での現地確認人員数と360°カメラ導入で期待される生産性向上効果

管内市町	東近江市	近江八幡市	日野町	竜王町	合計
現地確認人員数 (R4実績)	10人日 (2人×5日)	6人日 (2人×3日)	6人日 (2人×3日)	4人日 (2人×2日)	26人日
360°カメラでの遠隔確認人員数 (想定)	5人日 (1人×5日)	3人日 (1人×3日)	3人日 (1人×3日)	2人日 (1人×2日)	13人日
360°カメラでの生産性向上効果 (想定)	5人日	3人日	3人日	2人日	13人日



<https://r78908498.theta360.biz/t/760174a8-2465-11ef-8075-0ad00fde431f-1>

写真-3 通学路合同点検での360°カメラ活用事例

(3)台帳管理システム

土木事務所の道路維持補修作業で検索する機会が多い台帳類は道路台帳と官民境界確定資料の2つであることから、筆者の所属する東近江土木事務所においてこの2つの台帳類の検索にどの程度の時間を要しているか、担当職員へのヒアリングにより確認した結果を表-5に示す。

道路台帳は、道路の構造や幅員の確認等で必要となるが、東近江土木事務所では道路台帳を探す作業を1日あたり約3件行っていることを確認した。検索1件あたりの所要時間については、東近江土木事務所の道路台帳は全てデジタルデータで保管されているものの、地名や位置情報にはリンクされていないことから、目的の位置の台帳データを探す際には一つ一つファイルを開き中身の確認を行っており、現状では約5分の時間を要している。これを1日当りに換算すると5分×3件＝約15分の時間を要していることになり、さらに出勤日のみの1年間の250日で換算すると、15分×250日＝約3,750分＝約62.5時間もの時間を道路台帳の検索に要していることとなる。

官民境界確定資料は、道路の管理範囲を確認等で必要となるが、東近江土木事務所では官民境界確定資料を探す作業を1日あたり約5件行っていることを確認した。検索1件あたりの所要時間については、東近江土木事務所の官民境界確定資料は電子化されておらず紙ベースで保存されており、現状では約10分の時間を要している。官民境界確定資料については、これを1日当りに換算すると10分×5件＝約50分の時間を要していることになり、さらに出勤日のみの1年間の250日で換算すると、50分×250日＝約12,500分＝約208.3時間もの時間を官民境界確定資料の検索に要していることとなる。これに加えて、資料が文書庫に保管されている場合は文書庫に移動して検索する時間も追加になることや、台帳自体が見つからない場合、資料が存在しているか否かの最終的な判断に至るまでさらに検索時間を要するため、実際には計算結果よりさらに多くの時間を費やしていると想定される。

次に、台帳管理システムを導入した場合の生産性向上効果について検証を行った（表-5参照）。Survey Viewに試験的に登録した道路台帳および官民境界確定資料をシステム上で検索したところ、両資料ともに1分あれば検

索可能であることを確認できた。この結果を東近江土木事務所の道路台帳および官民境界確定資料の検索時間の試算に反映したところ、道路台帳が1日当たり1分×3件＝約3分で年間出勤日250日あたり3分×250日＝約750分＝約12.5時間（-50.0時間）、官民境界確定資料が1日当たり1分×5件＝約5分で年間出勤日250日あたり5分×250日＝約1,250分＝約20.8時間（-187.5時間）と、大きな効率化が見込める結果が得られた。

本格導入を進めるにあたっては、システム導入費用も考慮する必要があるが、別途業務で納品済のSurvey Viewを活用すればライセンス追加のみの1件当たり数十万円程度で導入可能であり、県内全8土木事務所・支所へ1ライセンスずつ導入しても合計数百万程度の費用で配備が可能である。表-5に示す検索時間の試算から、県内全8土木事務所・支所で削減される人件費を考慮すると、費用面からも導入のメリットは得られると推測される。

もう1点、Survey Viewの流用にあたっては、資料の登録・更新作業を考慮する必要がある。システムによる台帳管理をスムーズに導入するには、導入の初期段階において、東近江土木事務所の道路台帳のように既にデータ化されていたり更新作業を業務委託で毎年実施しているものや、官民境界確定資料のように高頻度で検索作業を実施しているものなど、効果が高いものや登録・更新のハードルが低いものに対象を絞り込むことが有効と考えられる。また、Survey Viewでの台帳登録作業は、オートシェイプでの図形入力機能や登録フォルダの自動作成機能などを活用でき、土木技術やデジタル技術に関する専門知識を必要としないことから、土木技術職員やデジタル技術を有した職員でなくとも対応可能である。登録したデータも外付けの記憶媒体に保存されるため、全ての台帳を統合したシステムなど、今後別の台帳管理システムの導入を検討する機会が生じた場合も、登録成果を流用可能で手戻りが生じない利点もある。

今後は、県内全8土木事務所・支所や県庁道路保全課とも本研究で得た知見を共有し、台帳管理システムの最適な導入方法について関係者で連携しながら検討を継続し、早期のシステム導入を目指したい。

表-5 東近江土木事務所が台帳類検索に費やしている時間と台帳管理システム導入で期待される生産性向上効果

台帳名	道路台帳	官民境界確定資料	合計
現状 (ヒアリング結果)	年間 約62.5時間	年間 約208.3時間	年間 約270.8時間
台帳管理システム 導入後(試算)	年間 約12.5時間	年間 約20.8時間	年間 約33.3時間
台帳管理システムでの 生産性向上効果(試算)	年間 約50.0時間 (80%削減)	年間 約187.5時間 (90%削減)	年間 約237.5時間 (88%削減)

4. 今後の課題

本研究での検証技術の活用効果を高めるには、土木事務所のデジタル化設備を整備することが必要である。費用の問題もあり、短期間で整備することは困難であるため、計画的で先見性のある設備投資が重要と考える。

また、本研究での検証技術の選択にあたっては、操作が容易であることを重要視していたものの、土木事務所での試行を実施する中では、やはり職員のデジタル技術への対応力が高いほど新技術採用に関する心理的ハードルも低く、導入がスムーズな印象を受けた。このことから、土木事務所にデジタル技術対応を専門とする部署を設置したり、土木技術職以外に情報系技術者の活用を促進するなど、土木事務所にデジタル技術を普及できる「デジタル人材」を増やすための取組みが望まれる。

5. おわりに

本研究では、土木事務所の道路維持補修業務におけるDX推進に向けて、スマートフォンの3次元測量アプリ、360°カメラ、台帳管理システムの活用を検証し、その有用性を確認した。本稿では、筆者の所属する東近江土木事務所の道路維持補修業務での事例を対象としたが、他の土木事務所の道路維持補修業務でも同様の課題を抱えていると推測されることから、本研究での成果を共有し、県全体での生産性向上に繋げていきたい。

また、資料検索等の付帯業務への対応時間を削減することや、新技術の導入による業務の改善を積極的に検討することは、単に業務が効率化されるだけでなく、土木技術者としての本質的な業務により多くの時間を投入できることにつながり、若手技術職員のモチベーションの向上やスキルアップにも繋がると期待される。インフラメンテナンスの重要性は今後さらに高まると考えられることから、土木事務所における道路維持補修業務がより魅力的なものとなるよう、今後も取組みを継続したい。

謝辞

本稿執筆にあたり、ご協力頂いた県庁各課、各土木事務所・支所、(公財)滋賀県建設技術センター、および各施工者・メーカーの皆様には厚くお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 国土交通省 HP : https://www.mlit.go.jp/tec/tec_tk_000073.html
- 2) 国土交通省 HP : https://www.mlit.go.jp/report/press/kanbo08_hh_001085.html
- 3) 八田尚大, 石谷貴英 : 令和3年度(第43回)滋賀県土木技術研究発表会論文集, pp.31-35, 2021.
- 4) 曾我愛実, 竹内信 : 令和6年度近畿地方整備局研究発表会, 投稿中.
- 5) 国土交通省 : 3次元計測技術を用いた出来形管理要領(案)(令和6年3月版), 2024.

AI(人工知能)を活用した片側交互通行の 実証実験について

龍見 大貴¹

¹奈良県五條土木事務所 工務第二課 (〒637-1103 奈良県吉野郡十津川村上野地221)

昨今、日本では労働者不足問題が露呈している。工事を実施する際は、安全対策として交通誘導員を配置することは非常に重要であるが、必要な交通誘導員を確保することが難しくなりつつある。本稿では、五條土木事務所管内で発生した崩土により、片側交互通行を行っている現場において、奈良県内では初となる、人に替わるAI(人工知能)を搭載した交通誘導システムを用いて適切な誘導ができるのかを実証実験し、その結果と考察を報告する。

キーワード AI(人工知能), 機械学習, 交通誘導システム, 片側交互通行

1. はじめに

日本は、少子高齢社会の影響で、生産年齢人口と呼ばれる世代の人口が減少している。本稿の主題である交通誘導員等の警備業界においても、高齢化が進み、就業者が減少しているのが現状である。また、誘導員と車両との事故のリスクや悪条件化での長時間による誘導を余儀なくされるなど、労働環境の問題もある。

2023年7月の警備業界を含めた「保安の職業」の有効求人倍率(6.63倍)は、全職種の有効求人倍率(1.26倍)より高くなっており、求人数に対しての求職者数が少ない状況となっている。

この誘導員不足の問題は、土木行政にも影響し、急な災害で、道路が通行止めや交互通行を余儀なくされた時、誘導員の手配をするのが難しく、誘導員の手配ができないと職員が夜通し誘導しなければいけないことも起こり得る。

これらの誘導員不足による警備業界の負担を軽減するために、AIを搭載した交通誘導システム(以下:システム)が開発されている。このシステムは、今まで人に頼っていた交通誘導をシステムに任せて、交通誘導員の負担を軽減するのが目的である。

本稿では、私が所属する五條土木事務所管内で2日間に渡り、本システムを使用した実証実験を行い、その結果と考察を報告する。

2. 交通誘導システムの概要

本システムは、道路上での片側交互通行を人で行うのと遜色なくできるよう開発され、交通誘導員の負担を軽減することが目的である。

本システムは機械学習における「教師あり学習」と「深層学習」を応用したものである。本システム開発の段階で、車両、歩行者の写真や滞留(渋滞)状況、夜間や悪天候時、危険な走行をする車両などの交通状況も含めた写真のデータ(教師データ)をAIに学習させ、深層学習による映像解析で車両を識別できるようにする。システムを稼働後もAIが学習し続け、現場に適した信号切替の時間調整を行うことができる。

片側交互通行を行う工事現場において、中央部と両端部にAIを搭載したカメラを設置し、常に道路状況を監視し、AIにより映像解析を行う。車両や歩行者の有無に加え、道路の通行量等を確認し、その道路状況に合わせて表示ディスプレイにより「止まれ」「進め」の誘導を指示する。規制区間に車両が存在した場合、ならびに万が一、「進め」で進行している車両が連なっているときの「止まれ」表示で車両がそのまま進行してしまっているような場合でも、車両が抜きさるまで反対側が「進め」の表示にならないよう自動で制御し、両車線とも一切の通行がない場合は両端を「止まれ」の表示にし、片側車線から車両が通行すると、工事区間内ならびに反対側のAIと通信し、安全を確認した上で表示を「進め」にする。

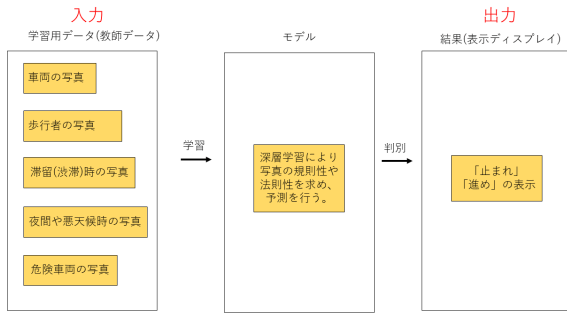


図-1 交通誘導システムの構成

3. 五條土木事務所管内における実証実験

一般国道168号奈良県吉野郡十津川村長殿地内において、2023年4月9日に崩土が発生したことで道路の両車線が塞がり、終日通行止めとなった。同27日に片側交互通行での交通解放を行い、復旧工事が終わるまでの間、24時間体制で交通誘導員を配置し、片側交互通行を行っている。同年8月28日から29日の2日間、本システムを導入しての実証実験を行った。



図-2 長殿の崩土被災状況



図-3 交通解放時の誘導状況

4. 実験条件

路線名 : 一般国道168号
 実施箇所 : 奈良県吉野郡十津川村長殿地内 崩土発生箇所
 実施日時 : 2023年8月28日 9~19時
 2023年8月29日 8~12時
 規制範囲 : 80m
 誘導形式 : 片側交互通行
 誘導形態 : 誘導システム2台(両端に2名の補助員を配置)、AIオペレーター1名

現場での非常時やイレギュラーの対応、緊急車両を誘導する為に特別な訓練を受けたAIオペレーターがリモコン操作を行い信号を制御する。ただし、今回の実験では、安全面のため両端に補助員を2名配置した。



図-4 「止まれ」の表示



図-5 「進め」の表示

5. 実験結果

8月28日の通行量は9時から19時まで五條方面が612台、新宮方面は501台の総計1113台であり、29日は8時から12時まで五條方面が169台、新宮方面は263台の総計432台であった。また、2日間の実験で、AIによる誤った誘導をすることはなかったが、交通誘導の信号を無視した車両の台数は2日間で18台であった。(表-1、表-2参照)

表-1 8月28日の通行量

時間帯	五條方面(台)	新宮方面(台)	総計(台)
9時~10時	24	29	53
10時~11時	41	70	111
11時~12時	45	84	129
13時~14時	46	76	122
14時~15時	76	70	146
15時~16時	84	48	132
16時~17時	81	43	124
17時~18時	84	39	123
18時~19時	102	37	139
合計(台)	1112	501	1113

表-2 8月29日の通行量

時間帯(時)	五條方面(台)	新宮方面(台)	総計(台)
8時~9時	39	40	79
9時~10時	56	72	127
10時~11時	50	100	150
11時~12時	26	51	76
合計(台)	169	263	432

6. 実証実験における考察

2日間の実験を終え、導入する上での利点と課題となる点を発見することができた。利点に関しては、交通誘導員が通行車両との接触による交通事故のリスクを防ぐことができることだ。現場に配属する誘導員の数が増えることと車両との一番接触しやすい規制区間の両端に機械を設置することで接触事故のリスクを軽減できること、ならびに猛暑や真冬といった悪条件化でも常時誘導しないで済み、誘導員の負担を軽減することも可能になる。

また、今回の実験では、AIが誤った信号表示をしていなかったことが判明できた。従来の工事用信号とは異なり、AIが自動で道路状況を解析し混雑予測をすることで渋滞の緩和に努めることもできていたので、人が誘導するのと、遜色なく誘導ができると考えられる。

課題点として、AIによる交通誘導がまだ、世間一般に認知されていないことが挙げられる。実験中に信号無視が生じた原因は、事前に周知等を行わず、本システムを設置し交通誘導を行ったため、表示の指示に気づかず誤って停止せずに進行したと予想される。走行中はディスプレイの文字を瞬時に認知することが困難なので、表示ディスプレイの視認性向上(文字や色彩等の工夫)や、機械による交通誘導を通行車両に早く気づかせ見落としを防ぐよう、予告看板を追加設置することが有効だと考える。

最後に、当該現場のような山間部だけでなく、交通量が多い市街地や夜間時での実証実験も検討する余地はあると考える。今後、県内で本システムを導入するにあたり、交通条件が異なる箇所ですべて実際にシステムを稼働させて、前述の課題点の対策を講じながら最適な導入形態の検証をしなければならないと考える。

7. 実際の工事現場での稼働状況

実証実験後の2024年より、長殿の崩土現場において本復旧工事を着手し、同年の7月から本システムを用いての片側交互通行を実施中である。規制条件としては、規制区間前後に誘導システムと専用カメラを設置し、オペレーター1名とその交代要員1名を配置している。

(図-9参照) 本現場は、誘導員3名、交代要員1名の4名体制を想定していたが、システムを導入することで2名の人員を削減することができた。

現場には、実証実験時の課題点を踏まえて、システムでの誘導を認識させるための予告看板を設置と、視認性向上のために表示ディスプレイに文字だけでなく点灯信号を表示しており、その結果、安全な交通誘導が行われている。(図-7、図-8参照)



図-6 工事中の誘導状況



図-7 予告看板の設置状況

8. 実証実験後のアンケート調査

実証実験終了後、建設会社および警備会社の関係者39人に本システムを実際に導入したいかのアンケートを実施した結果、「実施を前向きに検討したい」という会社が41.0%、「今後検討していきたい」という会社が59.0%であり、導入に向けた肯定的な回答があった。これらの意見から、AIによる交通誘導が業界全体の人手不足解消となるように、前向きに導入に向けた取り組みをしていく必要があると考える。

9. おわりに

私自身、本システムによる誘導を受けてみたが、特段問題なく通行できたため、安全性を確認することができた。今後、本システムの様な交通誘導システムを活用できれば、交通誘導員の人員不足を補えるだけでなく、交通誘導員の接触事故削減による安全向上や、猛暑や真冬、夜間、悪天候等の体力消耗が大きいときの安全誘導業務の助けにつながることを期待される。

謝辞

本稿作成のあたりご協力いただいた関係者の皆様に深く感謝を申し上げます。

参考文献

厚生労働省「一般職業紹介状況(令和5年7月分)」について

https://www.mhlw.go.jp/stf/newpage_34815.html



図-8 表示ディスプレイ内の点灯信号

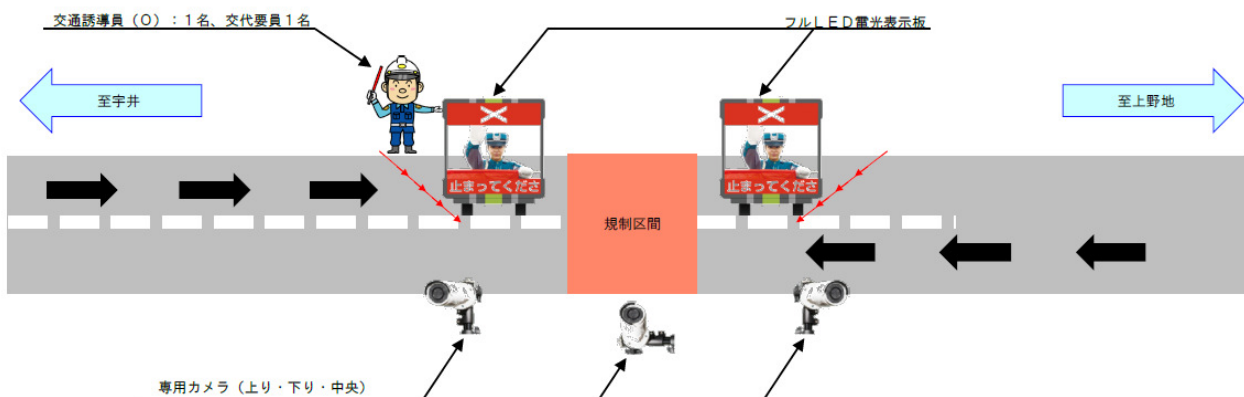


図-9 交通誘導配置図

急斜面における3つのICT技術の導入について

瀧沢 学¹

¹近畿中国森林管理局 滋賀森林管理署 治山グループ (〒520-2134滋賀県大津市瀬田3-40-18)

平成30年7月の西日本豪雨災害により被災した兵庫県宍粟市の戸倉東山国有林において、山腹崩壊地の復旧を令和4年度に着手した。崩壊から4年が経過し、現地は降雨による侵食の発達や土砂の一部崩落などが発生し、斜面は複雑かつ急傾斜となっていた。複雑な急傾斜法面での作業は危険を伴い、作業期間が長くなる傾向があることに加え、当施工地は豪雪地域であり施工期間が限られる。こういった制約のある急傾斜法面での工事において3つのICT技術導入して効果を検証した結果、掘削時間の短縮による生産性の向上、測点数の増加により施工管理の向上、急傾斜法面作業の削減による安全性の向上といったメリットを確認することができた。

キーワード 急傾斜法面、施工期間の制約、3つのICT技術の導入

1. 課題を取り上げた背景

急傾斜法面の山腹工事に3つのICT技術を導入して、生産性の向上と、安全性の確保に関する取組を行ったので報告する。

兵庫県中西部の宍粟市に所在する戸倉東山国有林において、平成30年7月の西日本豪雨災害により発生した林地崩壊及び荒廃溪流の復旧工事を実施している。

(図-1)

先行して荒廃溪流の溪間工等を整備して、崩壊発生から4年経過後に崩壊発生源に着手すべく現地確認したところ、傾斜が約45度（一部では60度を超える）あることや、降雨等の影響により斜面内に複数のガリーが発生し複雑な斜面を形成していることが判明した。(図-2)



図-1 崩壊発生直後(平成30年7月)

このため、対策工の立案に必要な斜面形状を正確に把握できる測量手法や、急傾斜かつ不安定土砂が堆積している斜面における工事の安全確保、また積雪時期(現地標高約700m)を考慮すると、施工時期が限定されることから、現地測量と法面掘削を効率よく、かつ手戻りなく実施する必要があった。

2. 経過

(1) 施工方法の検討

工法の検討にあたり、以下の課題があった。

- 複雑な地形を踏まえた、正確な地形把握。
- 急傾斜で土質が悪いことから、安全の配慮。
- 施工時期の制限があることから、短期間での施工。



図-2 複数のガリーが発生した複雑な斜面

これらの課題に対応するため、急斜面での地形計測から法面掘削工までの一連の作業を安全確保した上で効率的に施工することができる施工方法を検討した結果、法面工事に特化した3つのICT技術(①UAV写真測量、②3次元設計、③マシンガイダンス法面掘削工)を導入し施工上の課題に対する効果を検証することにした。

(2) 導入するICT技術

a) UAV写真測量

ドローン写真測量により、対地高度30m、ラップ率80%を確保して、斜面地形に沿って飛行・測量を行うことにより詳細な地形データを取得できる測量方法である。

飛行ルートはあらかじめ登録し、正確な飛行を確保しつつ測量することができる。(図-3)



図-3 UAV写真測量状況

b) 3次元設計

UAV写真測量による撮影情報から、オルソ画像等の作成や5cm四方に1点の密度の3次元点群データを作成可能であり、作成した3次元点群データから掘削土量を予想できる掘削シミュレーションの作成が可能となる。(図-4)

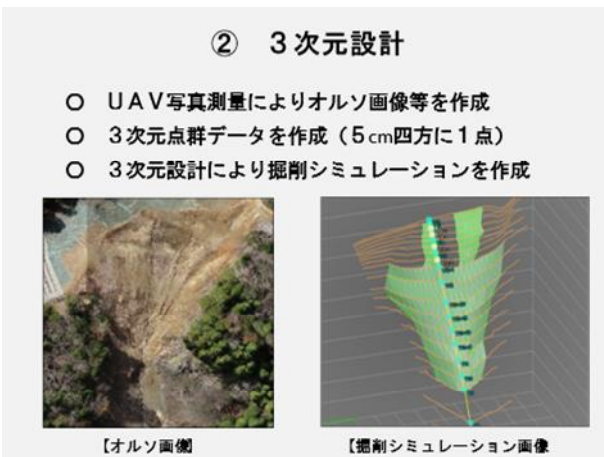


図-4 3次元測量設計画像

掘削シミュレーションにより、施工範囲や土工量を決定する際の重要な判断材料が得られ、施工期間と予算の想定が立てやすくなるメリットがあった。

c) マシンガイダンスによる法面掘削工

3次元設計によりシミュレーションした掘削位置情報を法面掘削機に搭載したマシンガイダンスにセットアップすることにより、マシンガイダンスが法面掘削機の位置情報、掘削深さをリアルタイムに把握して、掘削場所と深さをガイダンス画面に表示してオペレーターに指示する仕組みになっている。

オペレーターはガイダンス画面に従い、計画した深さまで掘削すれば良いため、設計図を確認する作業がなくなり、掘削作業に専念できることや、丁張設置、施工途中の確認測量が不要となることから、作業中の待ち時間が削減でき施工時間の短縮が可能となる。(図-5)



図-5 MG法面掘削工の施工状況

(3) マシンガイダンス法面掘削機のシステム概要

a) 法面掘削機の位置把握方法は、RTK測位方を採用しており、固定局と移動局の2つの受信機がそれぞれ4つ以上の衛星から信号を受信する技術で、2つの受信機の間で位置情報をやり取りして測位のズレを補正するため、単独測位よりも位置精度が高い情報を得ることが可能で測位誤差は数cm以内となっている。

また、ネット環境が不要であり携帯電波等の受信が難しい山間部でも、上空の開けた場所があれば測位が可能である。(図-6)

b) マシンガイダンス法面掘削機の施工に際し、正確なバケット位置の把握が重要となり、バケットの高さ、前後、左右の3次元位置の把握を爪先で正確に把握するため、爪先の精度を5cm未満まで調整する必要がある。

このバケット位置情報は掘削場所を特定するため必要

な基礎情報となる。(図-7)



図-6 MG法面掘削機の施工状況



図-7 バケットの爪先調整

(4) 施工状況

a) R T K基地局は、掘削現場から200m離れた上空の開けた川の対岸に設置した。肉眼ではマシンガイダンス法面掘削機が確認できない場所であったが、問題なく測位でき、掘削作業を計画どおり施工できた。(図-8)



図-8 R T K基地局と施工地

b) 掘削作業は、マシンガイダンスから掘削位置と深さについて指示があることから、オペレーターの判断時間が短くなり掘削時間を短縮することができた。また、丁張設置、施工途中の確認測量が不要となり、機械の待機時間が無くなったことから、約半月という短期間で完了することができた。(図-9)



図-9 MG法面掘削機の掘削状況

3. 考察

I C T施工と従来工法を生産性、施工管理、安全性の3つについて、比較して考察した結果を報告する。

(1) 生産性

生産性は、測量、設計、掘削の各段階の作業日数により比較した。(図-10)



図-10 生産性の対比

測量は、従来工法の13日間にに対し、I C T施工では2日間となった。

設計作業では、従来工法の13日間にに対しI C T施工では17日間となった。

掘削作業では、従来工法の30日間にに対し、I C T施

工では17日間となった。

測量から掘削までの一連の作業を合計すると20日間の短縮となり、全体で約60%の生産性向上につながった。

(2) 施工管理

施工管理は、土工量の計算精度により比較した。(図-11)



図-11 施工管理の対比

3次元設計では横断数が5断面の追加、測点数は約1,176点の追加となった。横断数、測点数の増加により、土工量計算が詳細となり、従来工法と比較して63m³の土工量の差が確認できた。

出来形等の地形を反映した横断数の追加や、UAV写真測量による測点数の増加による測点数の増加により、土工量計算の精度が向上したためと推測される。

(3) 安全性について

安全性は、リスクの高い法面内の作業回数により比較した。(図-12)

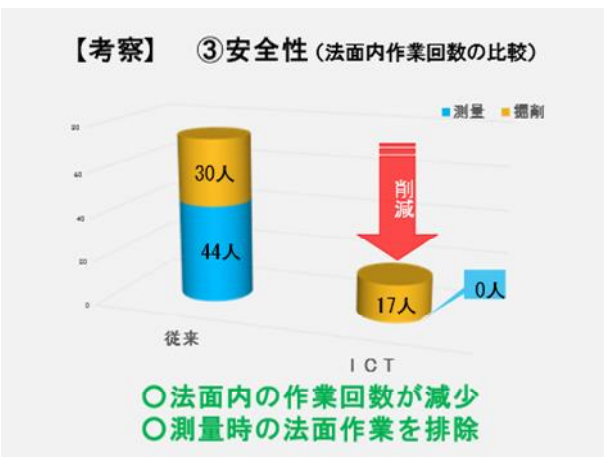


図-12 安全性の対比

測量は、従来工法で延べ44人、ICT施工で0人となり、法面内作業を排除できた。

掘削は、従来工法で延べ30人、ICT施工で延べ17人となり法面内作業回数を削減することができた。

高いリスク作業である法面内作業を削減でき、安全性においても有効な手段であると推測される。

4. まとめ

2(1)で述べた急傾斜で工期に制約がある山腹斜面の法面掘削工の課題を、3つのICT技術の導入により解決することができた。

ICT技術導入の結果、以下の3つのメリットも確認できた。

- 掘削時間及び待機時間短縮による生産性の向上。
- 測点数の増加及び横断数の柔軟な測定による施工管理の向上。
- 急傾斜法面内の作業の削減することによる安全性の向上。

一方、ICT技術の導入に関する課題として、ドローンや3次元設計に使用するソフトがあり、面積の大小に関わらず発生する基本料金が必要なことから、施工面積が小さい場合はコスト面で費用対効果が相対的に低くなることがあげられる。

あわせて、新技術が多いことやメーカー等により仕様等が異なることから、施工にあたりICT技術を完全に理解することが困難であることから、発注者側の知識の取得やマニュアル類の整備が不足している。

今後、ICT活用工事の監督検査を適切に行うことを目的に、ICT施工技術の研修等により、ICT技術に精通した監督・検査職員の体制構築を速やかに整える必要がある。

笠波トンネルの開通とBIM/CIMモデルを使った維持管理について

辻 優希¹

¹近畿地方整備局 大阪国道事務所 管理第二課 (〒536-0004大阪府大阪市城東区今福西2-12-35)

豊岡河川国道事務所はBIM/CIM推進モデル事務所である。今般、兵庫県美方郡香美町において、2023年10月22日に国道9号笠波峠除雪拡幅事業のトンネル区間である、笠波トンネルが開通した。本稿では、トンネル施工段階で作成済みであったBIM/CIMモデルを基礎データとして作成したトンネル供用後の効率的・効果的な維持管理を目的とするBIM/CIMモデルによるデータプラットフォームについて紹介する。

キーワード 開通, 維持管理, CIMモデル

1. はじめに

BIM/CIM は、調査・計画、設計、施工、維持管理の各段階において、3次元モデルを一元的に共有、活用、発展させることで、建設生産システムにおけるリスク管理や業務効率化を図るものである(図-1)。

国土交通省では、2023年度からBIM/CIM原則適用となり、建設生産システムにおける各プロセスで3次元モデルの作成や属性情報の付与が進められている。一方、維持管理に関して、施工から維持管理に効率的な活用方法が確立されておらず、実績も少ないのが実情である。業務効率化やコスト削減効果を発揮するためには、数十年にもわたる維持管理段階での有効活用が重要である。

本稿では、施工段階で作成されたBIM/CIMモデル(図-2)を基礎データとし、完成後に取得した最終的な覆工形状となる3次元レーダ測定の結果を反映した維持管理での活用を目的としたBIM/CIMモデルによるデータプラットフォームを紹介する。

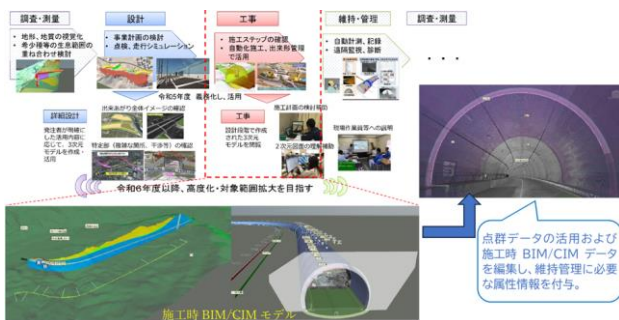


図-1 維持管理におけるBIM/CIM

2. トンネルの概要と竣工後の点検

笠波トンネルは国道9号の笠波峠付近において、冬期の安全で円滑な交通を確保するとともに、線形不良の解消、縦断勾配の緩和及び地すべりブロックの回避を目的としたものである。

笠波トンネルの概要について、表-1に示す。点検では、竣工直後の笠波トンネルに対して、走行型計測による現地計測・解析を実施し、BIM/CIMモデルの属性情報として付与し、一元管理となりうる資料を構築、さらに補修が必要な初期欠陥の把握(修補)と今後のトンネル点検に必要な健全度判定のための基礎資料を作成した。

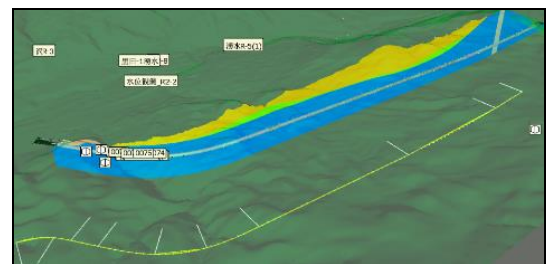


図-2 施工時におけるBIM/CIMモデルの全景

表-1 笠波トンネルの概要

トンネル名	笠波トンネル	管理	豊岡河川国道事務所
トンネル延長	1744m	照明	あり
竣工年(経過年)	2023年	ジェットファン	あり
施工法	NATM	標識等	あり
路線名	一般国道9号	吸音・内装板	なし
地名	美方郡香美町村岡区福岡～日影		
トンネル等級	人等線		
地質	村岡層凝灰岩 (黒色泥岩及び細粒砂岩互層) 猿尾滝ひん岩類		
計画交通量	8,800台/日		
設計速度	60km/h		
幅員構成	0.50m+3.50m+3.50m+0.50m (8.00m)		
覆工厚	30cm～35cm		
特殊構造	No.111+8.0付近 複鉄筋構造		

3. 走行型計測技術による竣工データの取得

走行型計測技術を活用し、竣工初期の覆工データを取得した。技術は以下である。

(1) 走行型画像計測(画像計測技術)

覆工コンクリートならびに附属物の可視化(画像)により、画像から変状展開図(ひび割れ・変状解析)を作成し、正確な位置情報の把握、基礎データの取得を行う(図-3)。

(2) 走行型レーザ計測(計測モニタリング技術)

トンネル壁面の3次元点群測量を実施する。経時的な外力作用のモニタリングや外力影響の有無を可視化による高精度化を図る(変形モード解析)。

また、覆工コンクリートの出来形図等は、設計図書を基本としており、実施工における覆工コンクリートの正確な形状(出来形)は、3次元点群データとなる(図-3)。

今回の点検では、走行型計測技術の性能が備わっており、1回の走行で計測可能である「走行型高速3Dトンネル点検システム(MIMM-R) (NETIS番号; KK-130026-VE)」(表-2, 3)を活用し、現地計測を実施した。



図-3 覆工データ 左：画像展開図 右：点群データ

表-2 MIMM-R 車両仕様

走行型計測車両(MIMM-R)仕様		
車両部	幅	2.08m
	高さ	3.70m
	長さ	5.99m
MMS部	GPS アンテナ	3台
	IMU	1台
	標準レーザー	2台
	レーザー計測点数	27100点/sec (180度)
	カメラ	3台
高精度レーザー部	カメラ画素	最大500万画素 (8bit Raw)
	回転速度	200回転/sec
MIS部	レーザー計測点数	100万点/sec (360度)
	記録方式	カメラ方式
	搭載数	20台
	有効画素数	38万画素
	分解能	設定により可変
照明部	計測速度	最大80km/h (高速道路計測可能)
	実計測例	70km/hで0.2mmのひび割れ検出
	記録画像	カラー
照明部	照明器	LED 投光器 64W
	搭載数	60台

4. 維持管理に対する3次元モデルにおける活用場面の整理

(1) 関連基準要領等における維持管理の活用場面

2023年度業務・工事における原則適用でのBIM/CIM関連基準要領等では、3次元モデルの活用内容(義務項目(表-4)、推奨項目(表-5))について、維持管理に該当する項目は推奨項目にはあるものの、現状は維持管理での効率的な活用方法が確立されておらず、今後の検討により維持管理への拡大を考えている段階である。そのため、関連基準要領等に記載される活用場面は、干渉チェックや景観検討、関係機関協議、施工手順の確認等の3次元可視化の利用が中心である。一方、維持管理段階では、すでに構造物が構築されているため、立体的イメージ等の把握は現場で容易であるため、設計・施工と比較して、わざわざ附図等において3次元の図として活用するニーズが明確ではない。

表-3 MIMM-R 機能概要

機器項目	概要説明(機能)
走行型画像計測法(MIS)	複数台のCCDカメラ・照明を自走式車両に搭載し、トンネル壁面を撮影する手法。 交通規制を必要とせず、一般走行を妨げない速度で計測可能。
ペガサス2U(MMS)	衛星から発する電波を受信するアンテナ。現在の緯度、経度、高度を算定することができ、IMU(慣性計測装置)と合わせて正確な位置情報を検出。高精度レーザーを搭載。
高精度レーザー(MMS)	1秒間に最大100万点の点群データを取得可能な装置。 1台で横断方向360度の範囲を取得可能であり、追加スキャナーでより高精度な計測を行う。
巻厚・空洞レーダ(MRS)	交通規制を行うことなく、一般車両と同程度のスピードで、走行しながらトンネルの巻厚・覆工背面を探索する。
内部欠陥レーダ(MRS)	交通規制を行うことなく、一般車両と同程度のスピードで、走行しながらトンネルの内部欠陥を探索する

表-4 3次元モデルの活用義務項目

	活用目的	活用内容の詳細	業務・工事の種類
視覚化による効果	出来あがり全体イメージの確認	出来あがりの完成形状を3次元モデルで可視化することで、関係者で全体イメージの共有を図る。 活用例:住民説明・関係者協議等での活用、景観検討での活用	詳細設計
	特定部の確認(2次元図面の確認補助)	2次元では表現が難しい箇所を3次元モデルで可視化することで、関係者の理解促進や2次元図面の精度向上を図る。 ※ 特定部は、複雑な箇所、既設との干渉箇所、工種間の連携が必要な箇所等。 詳細度300まで確認できる範囲を対象	詳細設計
	施工計画の検討補助 2次元図面の理解補助 現場作業員等への説明	詳細設計等で作成された3次元モデルを閲覧し、施工計画の検討、2次元図面の理解の参考にしたり、現場作業員等の理解促進を図る。 ※ 3次元モデルを閲覧することで対応(作成・加工は含まない)	施工

- ・施設を格納する箱抜きとの干渉
- ・スライドセントルの割付け
- ・配筋等施工都合による覆工スパン

今回特に、トンネル維持管理では覆工スパン管理(コンクリート 1 打設長)であることに留意し、覆工スパンを反映表現し、変状情報と覆工背面の情報(地山や支保工構造)との関係性が明らかかつ、把握のしやすさ改善に努めた(図-4)。

(4) 施工時のBIM/CIMモデルの活用

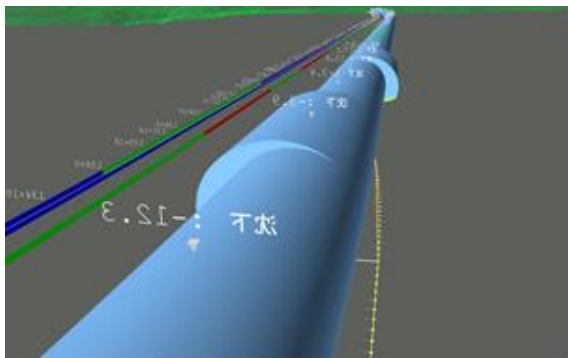
本トンネルでは、施工時に作成した BIM/CIM モデルが納品されており、維持管理に必要な地質情報、変位計測結果、切羽観察記録等の情報が既にモデルに付与されている状態であった。

そのため、施工時の BIM/CIM モデルを基礎データとして、点検時に取得した 3 次元点群データを合成した(図-5)。

(5) 3次元点群データの活用

トンネル内の変状や附属物等の位置情報を日常管理等で瞬時に把握可能であるモデルを作成することは、維持管理において効率的かつ効果的である。しかし、3次元モデルの詳細度(作り込みレベル)を上げ、精緻かつ膨大な附属物施設をモデル化することは、更新頻度(附属物)や日々状況が変化するトンネル坑内において、費用対効果を得ることは困難である。

【施工時モデル】1チューブでモデルを作成



【維持管理モデル】スパン毎にモデルを作成

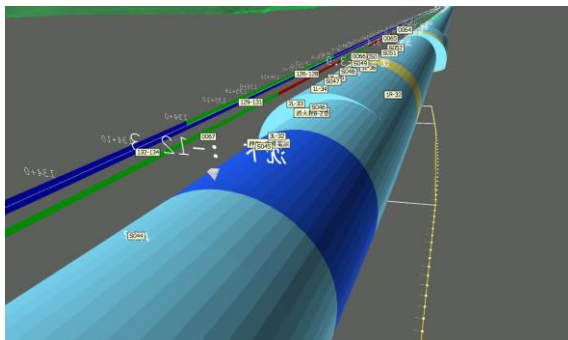


図4 覆工コンクリートのモデル

近年、点検支援技術の活用促進に伴い、定期点検(5年に1度)で規制を必要としない走行型計測技術活用した覆工画像や3次元点群データの取得が一般化しつつある。3次元点群データを取得し、3次元モデルに反映することで、附属物の可視化やトンネル坑内(覆工コンクリート)の状況を正確に再現できる。

また、補修・補強工事で必要となった場合(建築限界への干渉や施工計画立案時等)、取得している3次元点群データを活用し、必要な区間のみをモデル化することが効率的である。

(6) 監視員通路および監査歩廊内の埋設管

本トンネルは、トンネル延長および交通量からトンネル等級 A に分類され、非常用設備(消火栓や火災検知器等)が多く、監視員通路および監査歩廊に設置される埋設管も多く設置される。不可視部分をモデル化することは、更新や管理時に優位性が高い(図-6)。

(7) 施工時の問題箇所

外力性が懸念される変状や変形モード解析等から変形挙動が懸念された場合、変状と施工記録や地山情報との相関性を鑑みて、変状要因を推察する必要がある。

本トンネルでは、破砕帯に起因した天端崩落が発生しており、空洞充填工や補強対策(増し打ちロックボルト工等)が実施されており、今後の維持管理や変状要因推察に重要な情報であるため、モデル上で判別できるように情報を記載した(図-7)。

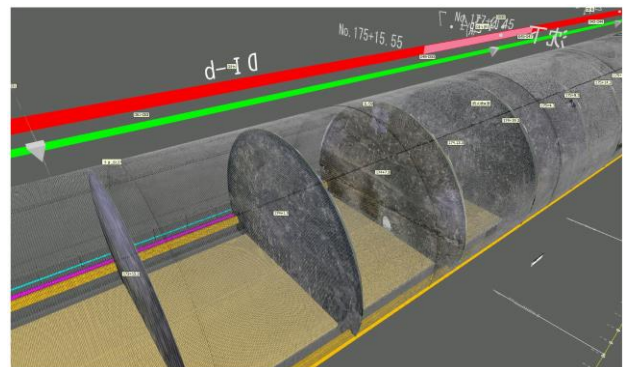


図5 施工時のBIM/CIMモデルと点群データの合成

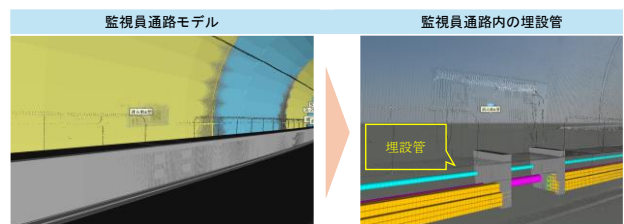


図6 監視員通路内の埋設管モデル化

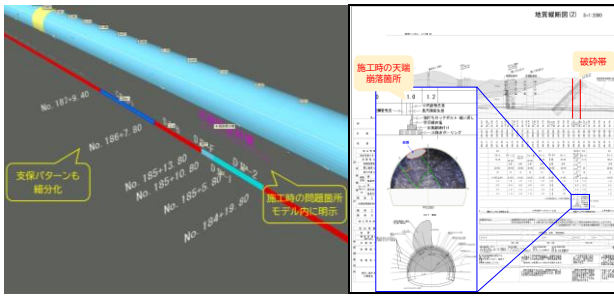


図-7 施工時の問題化箇所のみ示

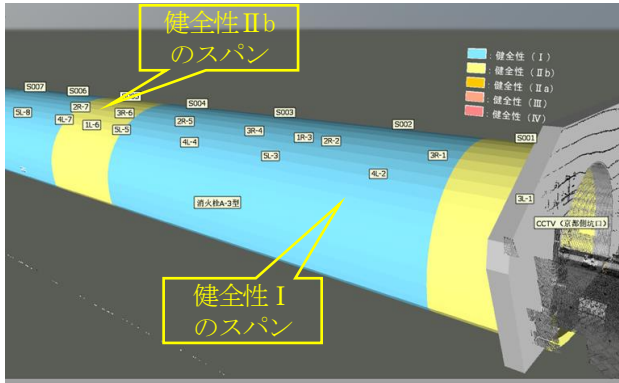


図-8 点検結果の可視化

(8) 点検箇所の可視化

トンネルの定期点検では、覆工スパン割(1打設長さ)で管理する。対策区分および健全性の診断についても、変状毎に診断・評価を行い、覆工スパン毎で評価を行う。変状による利用者への影響度合や範囲等を正確かつ早期に把握可能とするため、健全性の診断結果毎に覆工モデルを着色、またひび割れやうき等の変状をモデル化・可視化した(図-8)。

6. 維持管理で必要となる属性情報と付与方法

(1) トンネルの維持管理に必要な属性情報

山岳トンネルの維持管理・更新に必要な属性情報を表-7に整理した。

山岳トンネルの変状要因は、外力作用(緩み土圧、膨張性土圧等)等の外因と使用材料等の内因に大別ができ、一般的には外因と内因それぞれの変状原因が複合的に作用して、変状が発生する。そのため、変状要因の推察には、地山情報、施工記録(計測結果や支保構造等)、点検履歴(変状の進行性)、計測結果(画像計測、点群計測)等の情報が必要である。

(2) 附属物に必要な属性情報

消火栓等の非常用設備や照明設備における維持管理・更新に必要な情報について、メーカーヒアリングを行い、必要な情報を整理・抽出した。

メーカーヒアリングした結果、以下の情報を整理し、属性情報としてモデルに付与した。

表-7 維持管理に必要な属性情報

活用場面(ユースケース)	活用する属性情報等	モデル	属性情報	作成・更新時期	本業務のBIM/CIM構成
資料検索の効率化(3次元可視化モデルをプラットフォームとした情報の集約、統合)					
施工時のBIM/CIMモデル		●	基礎モデル(更新)	施工時のBIM/CIM(基礎データ)	※覆工スパン割でモデル加工
点検履歴**1	点検調査	●	点検時に反映	本点検の結果を付与(属性)	
	変状履歴	●	点検時に反映	本点検の変状履歴を付与(属性)	
補修・調査履歴	補修・調査計画	●	更新時に反映	補修履歴報告書を付与(属性)	
	施工図(構架)	●	更新時に反映	※現状なし	
	調査結果	●	調査時に反映	※現状なし	
附属物	照明	●	更新時に反映	竣工図を反映	
	ジェットファン	●	更新・点検時に反映	竣工図を反映	
	非常用施設	●	更新・点検時に反映	竣工図を反映	
	CCTVカメラ	●	更新・点検時に反映	竣工図を反映	
	埋設物(給排水管等)	●	基礎モデル(更新)	竣工図からモデル化	
点検結果の視覚化による維持管理の効率化・高度化を図る。					
三次元点群データ		●	計測データ取得時に反映	本計測結果をモデルに反映	
覆工画像		●	計測データ取得時に反映	画像履歴報告書を付与(属性)	
変状位置・形態	ひび割れ	●	点検時に反映	本点検結果をモデルに反映	
	うき	●	点検時に反映	本点検結果をモデルに反映	
	湧水	●	点検時に反映	※現状なし	
不可視部分の把握	覆工コンクリート表面に関する諸課題への対応(変状要因推察、補修・補強計画の立案)				
地山情報(施工時)	地質断面図	●	基礎モデル	施工時のBIM/CIM(基礎データ)	
	地形モデル	●	基礎モデル	施工時のBIM/CIM(基礎データ)	
計測記録(施工時)	A1計測	●	基礎モデル	施工時のBIM/CIM(基礎データ)	
	切羽観察記録	●	基礎モデル	施工時のBIM/CIM(基礎データ)	
	地中変位	●	基礎モデル	施工時のBIM/CIM(基礎データ)	
	水位観測	●	基礎モデル	施工時のBIM/CIM(基礎データ)	
竣工図	標準断面図	●	基礎モデル	竣工図を反映	
	支保(バターン)図	●	基礎モデル	竣工図を反映	
	防水工図	●	基礎モデル	竣工図を反映	
	覆工骨筋図	●	基礎モデル	竣工図を反映	
	補助工法	●	基礎モデル	竣工図を反映	
外力作用時(地震、偏圧作用等)の計測調査	外力作用に対する振動の発生と振動調査				
三次元点群データ	変形モード解析	●	計測データ取得時	本振動結果を付与(属性情報)	
点検履歴	※1	●	点検時に反映	本点検結果を付与(属性)	
覆工画像		●	計測データ取得時	画像履歴報告書を付与(属性)	



図-9 属性情報の付与

- 納入時期
- 器具の型番および姿図
- 納入メーカー
- 取付角度(照明) ※車両接触時や更新時に必要なため
- 電圧
- 設計条件

(3) 属性情報の付与方法

維持管理での活用を目的とした BIM/CIM によるデータプラットフォームは、今後取得するデータの蓄積や更新履歴も重要である。今後、日々の日常管理や定期点検、緊急時の活用において、最新の情報を含んだモデルを保持することで、本モデルのやり取りのみで、必要な情報の共有化が図れる(資料収集整理や現地踏査の削減)。そのため、今後簡易にデータが蓄積できることを念頭に、格納フォルダと3次元モデルを紐づけすることで、決められたフォルダ内にデータを追加保存するだけで、3次元モデル内で閲覧可能となる一元管理の方法を採用した。3次元モデル内の対象要素を選択すると関連するフォルダが開く仕様である。今後の点検結果(調書や展開図)、

走行型計測画像や竣工図(補修)をスパンや変状別のフォルダに追加保存する。

今後は、前項一覧の更新と記載される項目、また日常点検で気になった項目については、適宜、変更可能な領域のフォルダを作成し、保存する(図-9)。

7. おわりに

今回、笠波トンネルにおいては、竣工後点検により3次元モデルの作成、データプラットフォームの構築を行った。これにより今後、点検時等における状況把握、情報収集等が容易となる。

効率的・効果的に維持管理につなげるためには、データプラットフォームを長期的に活用していく必要があり、それには以下の2点を改善していく必要がある。

(1) BIM/CIMモデルの継続的な更新

今回、活用場面を検討し、維持管理に必要な情報を整理した。今後、実績が増えるとともに、必要な情報や活用場面が更新されることが予想されるため、BIM/CIMモデルを業務毎に継続的に更新することが重要である。

また、メンテナンスサイクルで更新される情報(点検結果や補修履歴等)は、適宜 BIM/CIM モデルを更新し、活用する業務に引き継ぐことも重要である。そのため全

国道路施設データベースに保管し、継続的に更新できる環境を整備していく必要がある。

(2) 正確な変状位置の自動モデル化

本業務で確認されたひび割れやうきについて、覆工コンクリートモデルに再現したが、走行型計測で撮影した覆工画像からトレースしたものである。

近年、3次元点群データ等から変状の正確な位置をプロット、モデル化する技術も存在するが、3次元点群データの処理やアーチ形状に対する正確な位置のプロットには、時間と労力を要し、費用対効果が得られない。また、専用ソフトを活用するため、汎用性が低い。

走行型計測の画像や変状展開図等で二次元として正確な位置は把握可能であるが、アーチ形状に対する正確な位置への変状プロットは、今後の課題である。

謝辞：「笠波トンネルの開通とBIM/CIMモデルを使った維持管理について」の取組でご協力いただいた関係者の皆様に感謝申し上げます

本論文は著者が豊岡河川国道事務所工務第二課所属時の業務内容である。