

令和 5 年度
国土交通省 国土技術研究会
概要論文集
～イノベーション | 部門～

研究会 1 日目（12 月 7 日（木））

10：15～15：15

自由課題（イノベーション部門Ⅰ）

12月7日（木）10:15～15:15 ①A会場

発表 開序	発表時間	課題名	発表者所属	発表者名
1	10:15～10:30	UAVを活用した実河川流速の面計測手法の開発と準リアルタイムモニタリング化に向けた試行	国立研究開発法人土木研究所 河道保全研究グループ 河道監視・水文チーム	萬矢 敦啓
2	10:30～10:45	建設ダムにおけるDXの取り組み ～国内初の自律型コンクリート打設システムに挑戦～	中部地方整備局 新丸山ダム工事事務所 工務第一課	小島 悠吾
3	10:45～11:00	加速度応答解析技術を活用した舗装の品質向上に関する提案	中国地方整備局 松江国道事務所 工務課	佐藤 佑樹
4	11:00～11:15	(仮称)京都エリアにおける観光渋滞対策について	近畿地方整備局 京都国道事務所 計画課	石田 拓也
5	11:15～11:30	街路樹再生なごやプランの策定について～街路樹のアセットマネジメントと次世代につなぐ持続可能な街路樹づくり～	名古屋市 緑政土木局 緑地部 緑地維持課	彦坂 靖子
6	11:30～11:45	港湾工事におけるDX推進による私たちの取り組み	四国地方整備局 小松島港湾・空港整備事務所 保全課	上邨 知輝
7	11:45～12:00	オフィスDXはじめました。 ～企画部若手の執務室環境改善～	東北地方整備局 企画部 企画課	千葉 日可里
-	12:00～13:00	休憩		
8	13:00～13:15	環境DNAを用いた生物多様性評価：現場実装への期待	国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所港湾空港技術研究所 インフラDX研究領域 ビッグデータ研究グループ	本間 翔太
9	13:15～13:30	道路事業と希少猛禽類の共存を目指して ～AI等の新技術を活用した取り組みについて～	北陸地方整備局 金沢河川国道事務所	坂口 莉緒
10	13:30～13:45	茂辺地木古内道路における希少猛禽類の保全対策事例と事業影響評価について	北海道開発局 函館開発建設部 江差道路事務所	柴田 寛和
11	13:45～14:00	道路維持管理の効率化とコスト縮減策について	東北地方整備局 仙台河川国道事務所 岩沼国道維持出張所	渡辺 菜里
-	14:00～14:15	休憩		
12	14:15～14:30	ウェアラブルカメラを用いた道路の点群データ取得手法に関する研究について	国土技術政策総合研究所 社会資本マネジメント研究センター 社会資本情報基盤研究室	柴田 直弥
13	14:30～14:45	三重河川国道事務所における3次元河川管内図の利活用と今後の展開	中部地方整備局 三重河川国道事務所 流域治水課	平野 唯宇
14	14:45～15:00	三次元河川管内図を用いたDXの取組み	九州地方整備局 企画部 九州インフラDX推進室	久保田 大輔
15	15:00～15:15	荒川第二・三調節池における建設DXの取り組み	関東地方整備局 荒川調節池工事事務所 工務課	園田 光紀

UAV を活用した実河川流速の面計測手法の開発と 準リアルタイムモニタリング化に向けた試行

萬矢 敦啓¹・工藤 俊¹・田澤 信行²

¹ 国立研究開発法人土木研究所 河道保全研究グループ 河道監視・水文チーム 主任研究員

² 北陸地方整備局 富山河川国道事務所 副所長

著者らは UAV を用いた実河川における面的な流速場を取得するための手法を開発した。本手法は標定点を必要としない幾何変換技術により、UAV 搭載ビデオカメラで撮影した任意地点における流速場を面的に計測するものである。また UAV の撮影状況をリアルタイムで防災対策室等に転送する手法を有する。ここでは両者を組み合わせることで準リアルタイムモニタリング化に向けた実装研究を試行した。本報告は本技術の概説とその適用事例を紹介する。

キーワード 実河川の計測, UAV, 準リアルタイムモニタリング, 流速の面計測

1. はじめに

近年、気候変動の影響化において大規模出水が頻発している。現状において防災情報は水位計測値と CCTV カメラの映像が利用されているが、それに加えて河川水の流速場、水面・堤防周辺の近距離撮影動画を得ることができれば、防災・減災対策として新たな判断と行動を創出することが可能になる。

UAV の技術は、近年、目覚ましい発展を遂げてきた。その結果、飛行時間の延長や搭載可能重量の増加など、さまざまなメリットをもたらしている。例えば、飛行時間の延長により、一回の飛行で広範囲のエリアを監視することが可能になる。例えば九州地方整備局は VTOL 型の UAV を用いて、25km 区間を 25 分程度の時間で巡視を、その間に Structure from Motion (SfM) 技術を用いて山国川の縦断的な水面及び河床形状を計測した¹⁾。また、搭載可能重量の増加により、より高性能なカメラやセンサーを搭載することが可能になる。現に一般公共測量に関して UAV の活用がすでに実施されている。

著者らは UAV を用いた実河川における面的な流速場を取得するための手法を開発した。本手法は標定点を必要としない幾何変換技術により、UAV 搭載ビデオカメラで撮影した任意地点における流速場を面的に計測するものである。一方で著者らは UAV の撮影状況をリアルタイムで防災対策室等に転送する手法を有する。著者らは両者を組み合わせることで準リアルタイムモニタリン

グ化に向けた実装研究を試行した。本報告は本技術の概説とその適用事例、それらの技術の活用方法の展望を示す。

2. 実河川流速の面計測手法と結果の一例

(1) 実河川流速の面計測手法の概要

本手法は、映像から取得した連続した画像データから粒子画像流速測定法 (Particle Image Velocimetry : PIV) を活用し、実河川表面の流速場を算出するものである。本手法は、近年開発環境が充実しているコンピュータ言語である Python を採用している。

本手法の最大の特徴は、評定点を使用せずに幾何変換を実施することにより、計測の自由度を向上させた点である。従来の手法では、画像解析を行うために画像内に複数の評定点を設定し、それらの点を撮影した画角により幾何変換を実施してきた。しかし、評定点は河岸等に設定する必要があるため、水面だけを撮影した映像では幾何変換を実施することができなかった。一方、本手法では、撮影するビデオカメラのアングルデータ、撮影位置、水面からカメラまでの比高を用いることで、撮影した動画から幾何変換を実施し、画像解析を実施することができる。さらに本手法は合成機能を有し、河道一部で撮影した複数の画像から河道全体の流速場を算出することができる。

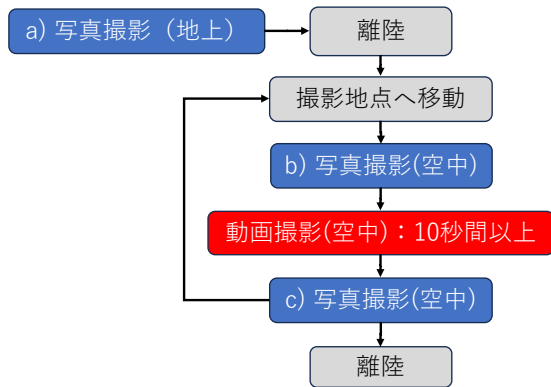


図-1 操作フロー

本手法は複数のプラットフォームで利用することが可能で、例えばスマートフォンを用いて橋梁の上から撮影した動画を用いて流速場の算定が可能となる。また流量観測ロボットにも活用してきた²⁾。さらに UAV での活用も期待される。本報告においては特に UAV を用いた手法を例として紹介する。以下、本章では撮影プランの考え方、幾何変換、PIV 手法に関して概説するとともに、結果の一例を示す。

本報告では現段階において公共測量で使用頻度が高い DJI 社の産業用 UAV を使用することを前提としている。

なお、同プログラムは著作物の題号：「画像解析技術を用いた河川流速場の計測方法」として一般財団法人ソフトウェア情報センターに登録されている。

(2) 機体特性と撮影に対する考え方

本手法は自然河川の乱流状態における河川水表面の面的な流速場を算出するものである。そのような計測を実施するにあたっては必要なデータは、映像、撮影時の UAV の位置情報、カメラのアングルデータとなる。なお機体の飛行時の位置情報に関しては RTK-GPS と同等又はそれ以上の精度を持つことが必須となる。またこのような機体情報を保存することができる UAV でなければならない。そのような前提において、画像解析を実施するために図-1 に示すフローに従い操作する必要がある。

図の青枠で示したものが写真撮影のタイミングを示し

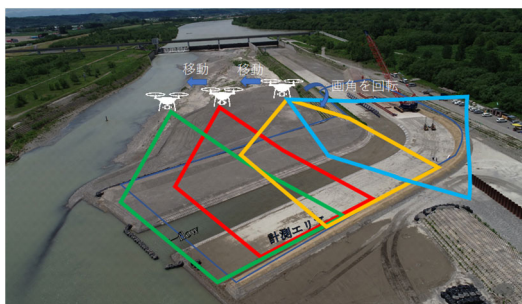


図-2 画角の概要

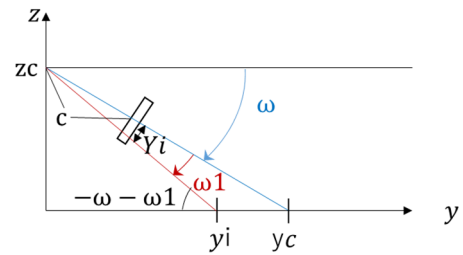


図-3 俯角方向の幾何変換の概念図

たものであるが、これらは写真データ内の画像データ以外の情報である Exif にテキストを保存するための作業となる。特に a) の写真撮影は機体の高度を含めた座標値、b), c) は UAV の座標値とカメラアングルデータを保存することを意図している。これらの情報は自動的に機体に保存されている機種もある。その場合、これらの写真撮影が不要となり、より単純な操作フローとなる。

赤枠で示した動画撮影は PIV 解析を実施するための動画で、対象とする乱流場を考慮してその現象の一波長を平均する程度の撮影が必要となる。その間に UAV は高い精度でホバリングしなければならない。

動画撮影の回数に関しては、ビデオカメラの解像度、対象とする河川のスケール、撮影高度に依存する。この三者で最も支配的な要素は、撮影された動画が PIV に資する流況を撮影していることである。このようなフライト情報を一般化することは簡単ではないが、今までのところ 4k 動画で高度 50m、俯角 30 度で成功している³⁾。また解像度が上がれば撮影高度を高くすることで、一度の対象領域のカバー率が広がり、撮影回数を減らすことが可能となる。

(3) 撮影プラン

多くの計測手法と同様に動画を撮影するにあたり明確な撮影プランを作成しなくてはならない。本節においては千代田実験水路において縦断的な流速分布を求めることを目的とした観測における撮影プランの考え方を概説する。ここでは 2022 年に実施した千代田実験での計測を用いて概説する。

図-2 は千代田実験水路の全景である。実験水路は縦断距離 1km、水路幅 40m である。ここでは湾曲部から直線部にかけての領域で全体としては縦断方向に 500m 程度の水路を観測の対象とする。ここでは横断方向に一つの画角を用い、また縦断方向には 4 つの画角を採用することとした。

(4) 撮影動画の幾何変換

撮影動画を物理座標に投影するための幾何変換を行う。今回はピンホールカメラモデル⁴⁾と前述の Exif 情報とし

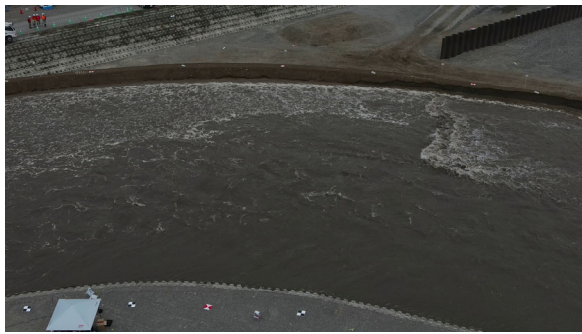


図-4 撮影画像の一例

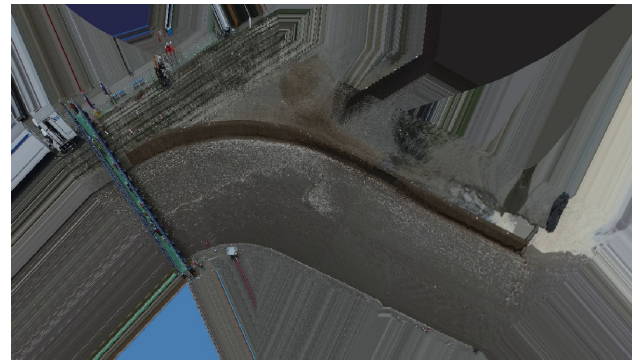


図-6 写真の合成

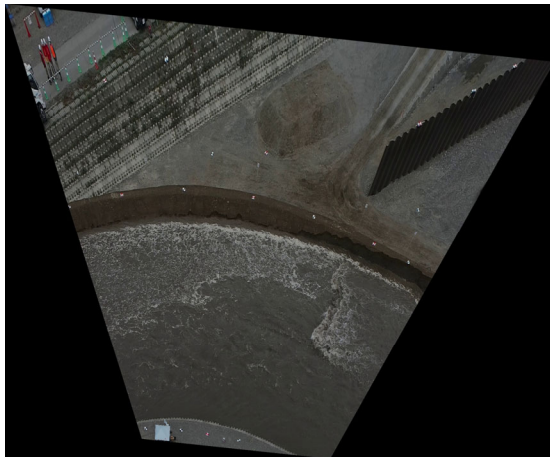


図-5 幾何変換後の写真

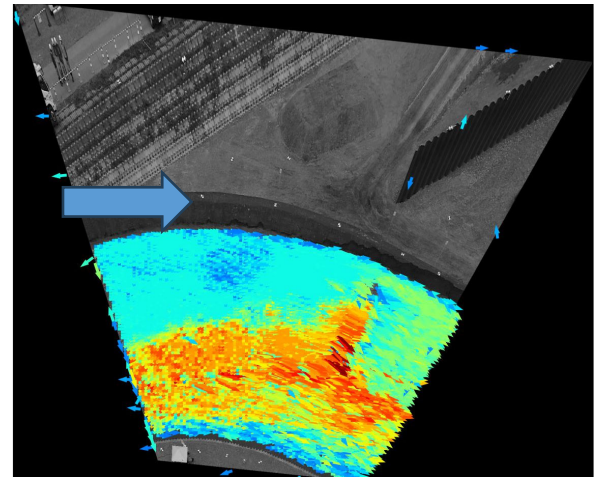


図-7 PIV 解析の結果

て保存された俯角・方位角等の撮影画角，カメラから水面までの比高の情報を採用する。

図-3に俯角方向の幾何変換の概念図を示す。高さ z_c から下向きに俯角 ω で撮影した画像について，画像の各ピクセルの情報を物理座標に投影することを考える。撮影画像の中心に相当する物理座標 y_c については， $y_c = z_c / \tan \omega$ で単純に求まるが，画像中心以外のピクセルに相当する任意の y_i については，以下の式により求まる。

$$y_i = z_c / \tan(\omega + \omega_1)$$

$$\omega_1 = \tan^{-1} (Y_i / c)$$

ここで， Y_i は画像の中心から画像の任意点までのピクセル数である。 c はカメラ固有のパラメータで，これを導入することで y_i を y_c と同様の算出方法で求めることができる。

パラメータ c は，図-3 から，原点と画像中心までのピクセル数を意味することが理解できるが，これは物理的に実測できるものではないため，同定する必要がある。今回は実験水路の左右岸に設置された水位計の位置と幾何変換画像における当該水位計の座標が整合するように同定した。なお，パラメータ c はカメラ毎に固有のもの

であるため，使用するカメラにおいて一度設定すれば良く，撮影する度に毎回設定する必要はない。また同定に際しては屋内の環境で実施することも可能である。撮影画像の横方向についても，同様の考え方で方位角から物理座標に変換した。

図-4 は画像解析を実施するために撮影した動画から抜き出した写真の一例である。図が示すように左右岸の堤防と，洪水敷上の床止め上に発生する乱れが撮影されている。図-5 は図-4 で示した撮影画像を幾何変換したものである。幾何変換においては，画像内のすべての物体を平面と仮定する。水面に凹凸があるような場合や，空間的に大きな高低差があり，そこから正しい流速値を算定する必要がある場合，俯角を大きくするなど工夫が必要になる。例えば図-4 の写真左上には四人の人間が撮影されている。これらは図-5 では影のように再現されていることが特徴的である。

図-2で示したように，本報告では計測対象を4つの画角でカバーすることを示した。図-6 は図-5 で示した幾何変換後の写真をすべて合成した結果である。合成語の写真を長方形に整えている。また幾何変換後のそれぞれの画角が必ずしも長方形ではないために，4枚の画角から存在しない場所は空間補間をしている。

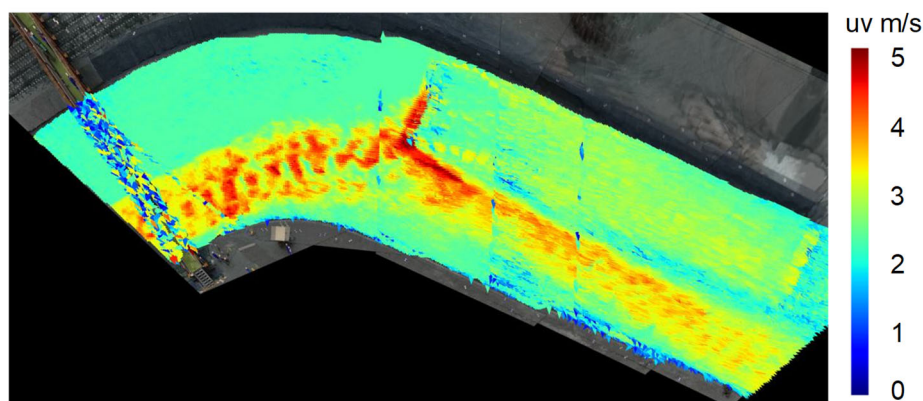


図-8 合成された PIV 解析の結果

(5) PIV 解析

撮影動画を各フレームに分解した上で、それぞれのフレームの画像の幾何変換を実施し、時間的に隣り合う2つのフレームにPIV解析を適用することで、平面的な流速分布を計算する。PIV解析は、検査領域と候補領域で輝度の相関が高い箇所を抽出するもので、相関の高さの指標は、今回は正規化相互相関係数を採用した⁴⁾。なお、幾何変換画像に対してPIVを適用する技術は河川の表面流速計測において従来から適用事例がある手法である⁵⁾。また同手法の精度評価に関しては著者らの論文を参照していただきたい³⁾⁶⁾。

今回はフレームレート 60 fps の映像を用いており、10 秒間 (600 フレーム) の画像について PIV 解析を適用し、それらを平均して流速の平面分布を得た。図-7 は図-5 に代表される複数の幾何変換後の画像から取得した流速分布の結果である。

本実験においては、写真上部の左岸側が高水敷きで右岸側は低水路とである。また高水敷き上には低水路護岸がある。実験条件や流況の詳細は萬矢(2023)を参照していただきたい³⁾。図-7 が示す PIV の結果は、低水路の早い流速、高水敷き上の遅い流速、床止め直下流部の

遅い流速を再現している。また湾曲部の下流端付近では高水敷に乗り上げるような流れになることで、高水敷にも流速が大きい範囲が広がっている様子がわかる。

図-8 は図-6 の合成同様に、図-7 に代表される PIV の結果を合成したものである。このように合成することで、対象領域全体の流速場を俯瞰することが可能となる。

3. 画像伝送システムを活用した準リアルタイムモニタリングシステムの試行

(1) 画像伝送システムの概要

図-8 はドローン画像伝送システムの全体像を示す。これらは、操作器、二つの画像伝送システム、Wifiルーターで構成されている。ここでは撮影現場において空撮をしている UAV の UAV 操作器と画像伝送システムを HDMI で直接的に接続し、公共の無線 LAN を用いて、防災対策室等に設置した画像伝送システムで受信するものである。富山河川国道事務所では、本システムを用い、実際の洪水を想定し、リアルタイム動画を取得するための訓練を実施している。



図-9 ドローン画像伝送システムの概要

表-1 UAVを用いて実河川出水時のリアルタイム(R), と準リアルタイム(Q), バッチ(B)のモニタリング項目例

項目	R	Q	B
任意地点*1における河川の状況	○	○	○
任意地点*1の堤防近傍の水位	定性	△	○
河川構造物の被災状況	定性	定性	定量
流速場	×	○	◎

*1: 任意地点とは CCTV がない場所, その死角, ヘリコプターが入れない山間部等を示す。

表-2 流速面計測に関するバッチ(B)と準リアルタイム(Q)の違い

	B	Q
画質	4K,FHD 等 (カメラ性能に依存)	HD (伝送画像に依存)
情報	撮影した画像の exif 情報	UAV 情報からの直読
指示	撮影箇所	伝送システムにおける映像及び音声

(2) 実河川出水時のモニタリングの一例

実河川出水時の今後要求されると想定されるモニタリング項目を抽出し表-1 にまとめた。ここではリアルタイムで UAV が提供できる項目を R(Real-time), 準リアルタイムの項目を Q(quasi-real-time), 計測後バッチ処理によるモニタリングの項目を B(Batch processed)とした。R の項目は映像から定性的に状況を把握することを目的とした項目である, これまでの水位と固定カメラに代表される防災情報と比較すると, UAV を活用することでより多くの情報が取得できるようになることが想像できる。これらを拡張して Q は, 取得された映像を解析する必要がある項目である。流速場に関しては, 得られた映像から 2 章で説明した手法を用いることになるが, (1)で説明した画像伝送システムを用いて着陸することなく撮影後おおよそ 10 分後に流速場を表示することを目標としている。また表の△は, 画像解析による算定結果の質が B と比較すると劣ることを意味している。これは後述のように画像伝送システムによる伝送された画像が, UAV 本体に保存されている画像と比較すると同等の品質を確保できないことに起因している。また水位計測に関するバッチ処理の例としては, 前述の山国川の例が挙げられる。ここでは着陸後 30 分程度で水位の縦断分布を作成しているが, 着陸後, 画像データを機体から取り出し, SfM(Structure from Motion)を用いて点群データを作成した。これらを流速同様に Q として実施できるかどうかは今後の課題である。



図-9 UAV 情報を表示している操作者の伝送画像の一例



図-10 計測画像

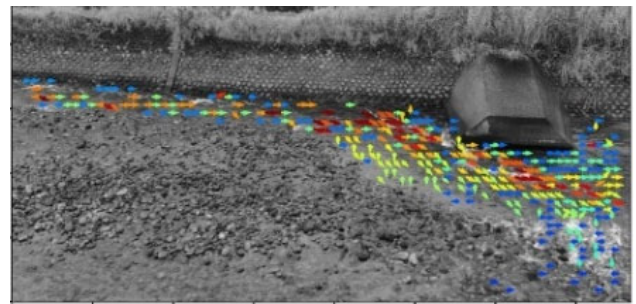


図-11 PIV 解析結果

(3) 流速面計測の準リアルタイム化に向けた試み

流速面計測の準リアルタイムモニタリング(Q)を完成させるためのコア技術は 2 章で示した実河川流速の面計測手法と, (1)に記述した画像転送システムである。Q と計測後に処理をする通常の計測であるバッチモニタリング(B)の違いを表-2 に示す。

表-2 が示すように, B は 2 章で説明した通りであるが, Q を実施するには以下の工夫が必要となる。映像に関してはリアルタイムで伝送されてくる映像をデジタル録画し, PIV 解析を実施する。そのために(1)で採用している現在の伝送技術においては HD 相当の画質を使用することになる。また電波の通信状況においては一定の時間毎のフレーム数を確保できない場合も発生した。そのために Q の品質は B と比較すると質があまりよくない。

表-2 の情報は, 機体の位置情報, カメラのアングルデータを意味する。これは撮影した写真を転送することができないことから派生する工夫である。すなわち伝送されてくる映像を直接人の目で読む必要がある。

図-9は伝送される画像の一例である。これらの UAV 情報は直読後、非表示にすることができ、その非表示画像をデジタル録画し映像として保存し、PIV 解析を実施することになる。

(4) 富山河川国道事務所での試行

急流河川が多い富山では、洪水時の河岸の洗掘・侵食状況の把握が重要であることから、急流河川におけるリアルタイム映像による画像解析を著者らと合同で試行した結果を図-10、11に示す。

PIV 解析結果では、流水の流向・流速の確認ができた。特に、構造物周りの流向変化を的確に捉えていることが分かる。本検討ではこのようなシステムにより、特に災害発生リスクの高い場合における河道監視での活用を期待している。

4. 技術の活用方法と課題

本技術を用いて今後、表-1 以外の項目として以下の活用法が考えられる。

- a) 計測データに応じた災害対応策の作成
- b) 堤防破堤時の破堤幅の取得
- c) 応急復旧計画の策定
- d) 水位、流量値の取得

また以下、今後の課題を以下にまとめた。

- a) 夜間の撮影：低照度カメラを採用することで夜間における表-1 の項目を取得できるようになることが望ましい。
- b) 任意地点における水位のリアルタイムモニタリング：堤防からの越水を判断するためには、リアルタイム化が必須である。画像解析を採用する以上、準リアルタイム化にならざるを得ない。一方で萬矢らは UAV に搭載できる電波式流速水位計を紹介した。本課題を解決するためにはこのような技術の採用を検討すべきである。
- c) UAV の運用：UAV の運用は市街地等の家屋密集地区、河川近傍での国道の橋梁上空、空港近傍等、飛行禁止区域が設定されている。また夜間飛行に関しては特別な許可が必要となる。一方水害発生時には、現在の禁止区域によらず UAV による情報収集が必須になる。そのような観点から規制ルールの整理が必要である。また災害発生時の飛行禁止区域の縮小を期待したい。

5. まとめ

本報告を以下にまとめる。

- 1) カメラの角度及びカメラと水面の距離の情報による幾何変換を行い、PIV 解析することで、河川水表面の流速分布を得ることができるようになった。
- 2) UAV による撮影画像をリアルタイムで伝送するシステムを概説した。それらは、災害対策室等のモニターに撮影画像を表示することが可能となる。
- 3) 災害を伴うような洪水時に UAV で河道監視を実施し、画像伝送システムで情報を得た場合、リアルタイムで得られるもの、準リアルタイムで取得できることを概説した。
- 4) 準リアルタイムとして取得されるものとして、河川水の流速場を提案した。これらは、洪水時の流速の集中箇所等を判定することができることから、河岸浸食の発生箇所を高い精度で準リアルタイムに予測することができる。
- 5) 富山河川国道事務所での試行を紹介した。
- 6) 最後に今後の課題としていくつか記述したが、その中でも UAV の運用に関して、災害時の飛行禁止区域の縮小が今後大きく期待される場所である。

謝辞：本研究を実施するにあたり、北海道開発局帯広開発建設部から千代田実験水路における通水実験のデータを提供して頂いた。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 国土交通省九州地方整備局、記者発表資料：新型ドローンを用いた DX 実証実験の公開、2023 年 3 月 2 日
- 2) 萬矢敦啓、埴原学、橘田隆史：大規模洪水に適応する水文観測ロボットの開発、土木技術資料、64-11, pp.16-21, 2022.
- 3) 萬矢敦啓：実河川における流速・水位の面計測手法の開発とその活用、土木学会論文集（Japanese Journal of JSCE）特集号（水工学）、2023（掲載決定）
- 4) 可視化情報学会編：PIV ハンドブック、森北出版株式会社、pp.250-251, 2002.
- 5) 藤田一郎、椿涼太：小俯角のビデオ画像に対応した河川表面流計測手法の開発、河川技術論文集、第 7 巻、pp.475-478, 2001.
- 6) 工藤俊ら：河道の流速平面分布情報に基づく流量把握技術、土木学会論文集（Japanese Journal of JSCE）特集号（水工学）、2023（掲載決定）
- 7) 小関ら：UAV 搭載型電波式流速・水位計を用いた流量推定手法の提案、河川技術論文集、pp.219-224, 2019.

建設ダムにおけるDXの取り組み ～国内初の自律型コンクリート 打設システムに挑戦～

小島 悠吾¹

¹中部地方整備局 新丸山ダム工事事務所 工務第一課 (〒505-0301 岐阜県加茂郡八百津町八百津3351)

新丸山ダム建設事業は、既設丸山ダムを嵩上げすることによって機能アップを図る再開発事業である。本事業は設計段階からBIM/CIMを活用しており、今後、新丸山ダム本体工事では骨材の製造からコンクリート打設までの一連の工程を自動・自律化することを目指している。現時点や今後の建設DXの取り組みやその課題を紹介する。

キーワード DX, 自動・自律化, 安全性向上, 生産性向上

1. はじめに 背景と経緯

建設業就業者数は、令和2年に492万人でピーク時の平成9年の685万人から約3割減少し、今後、さらに建設業就業者数の減少が見込まれている。また、建設技術者の年齢別を比べると60歳以上の割合が全体の25%を占めており、29歳以下の若者の割合は全体の11%と高齢化が進んでいる状況である。そのため、本事業で建設ダムのコンクリート打設において自動・自律化施工に挑戦し建設現場の生産性向上を図り、発注者・受注者相互の働き方に変革を起こすとともに、次世代のダム建設技術につなげる先導的役割を果たしたい。

2. 事業概要

本事業は、既設丸山ダムの下流47.5mの位置に20.2mの嵩上げすることにより、洪水調節機能の強化、流水の正常な機能の維持、発電能力の強化を目的とする多目的ダムを建設する事業である。(図-1)洪水調節容量として、既設ダムの約3.6倍となる7,200万 m^3 を確保する。河川環境の保全として、新たに1,500万 m^3 の不特定容量を確保するとともに、貯水量の増加による水位上昇を利用して発電の増強を図るものである。

新丸山ダム建設事業の特殊性として、大河川である木曽川本川に位置する丸山ダムの洪水調節機能を確保しながら、その直下流で新丸山ダムを安全に施工する必要がある。そのため施工手順としてまず、丸山ダムの放流に影響がない左岸側を先行して打設し、その後左岸側で洪水調節をしながら(左岸活用)

右岸側の打設をするという他に類を見ない特別な施工方法である。(図-2)

このように、本事業は非常に難易度が高く、複数の条件が絡み合う厳しい工事であるため設計段階からDXを取り入れ、円滑な事業管理を行っている。



図-1 事業概要

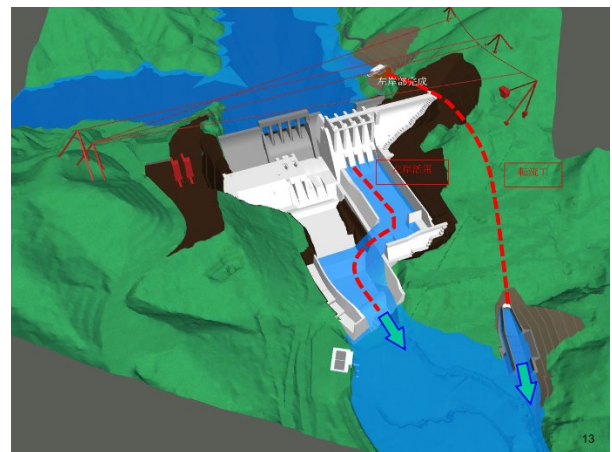


図-2 左岸活用のイメージ

3. CIMモデルの活用（統合モデル）

施工計画を検討する上で、各種施設や仮設設備、既設丸山ダムへの影響等、様々な要因を考慮する必要がある。そのため、地形・設備・地質・堤体の3次元モデルを重ね合わせた統合モデルを作成し、施工の妥当性及施工段階ごとに施設に干渉がないか確認をしている。(図-3) 実際にあった事例として、放流管設置時の仮設足場が監査廊と干渉していることがわかったため、施工前に仮設計画を見直すことができた。(図-4)

上記のことから統合モデルを活用することにより、視覚的に確認出来るためミスを発見することや受発注者の調整等に役立っており、時間の効率・省力化が図られた。また、統合モデルは施工段階において自動・自律化施工を可能とし、建設現場の生産性向上を目指している。

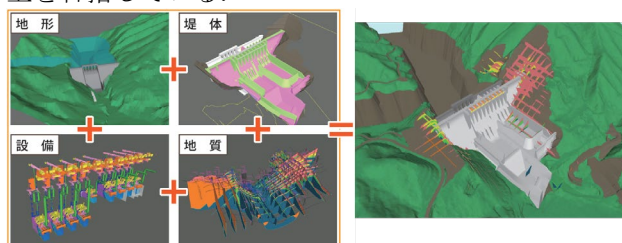


図-3 統合モデル

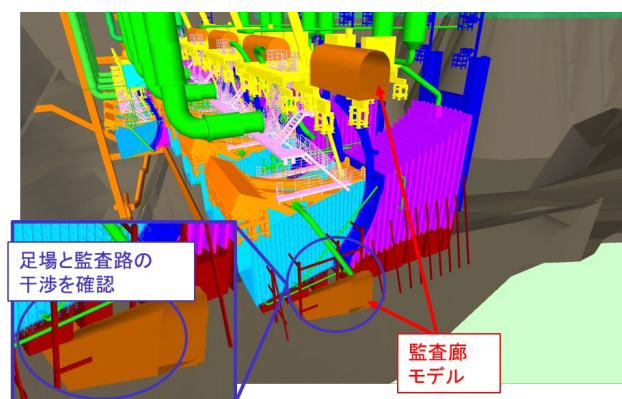


図-4 活用事例

4. コンクリート打設自律型システムに挑戦

新丸山ダム本体工事では、骨材製造からコンクリート打設までの一連の工程を自動・自律化する自律型コンクリート打設システムの構築することにより生産性向上を目指している。(図-5)

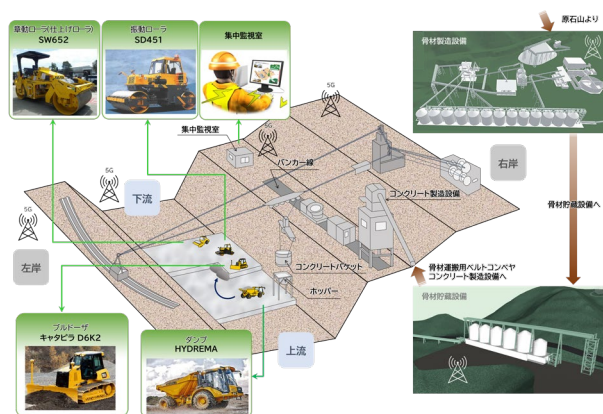


図-5 自動・自律化のイメージ図

(1)用語の定義について

自動運転：事前に用意したプログラムに従い、複数の建設機械がオペレーターに操作されることなく動作すること。

自律運転：周辺状況や目的物の情報等をカメラやセンサーから取得し、次の行動を最適になるよう判断し、動作すること。

CMS：施工計画の概要と設計図書を入力することで
自動で施工計画の作成を行う。

建機FMS：施工計画を自動で建設機械に命令し、操作・管理・連携をおこなうこと。

(2) 新丸山ダムにおける自動・自律化の取り組み

これまで、他のダムにおいては各種重機自動・自律化、コンクリート打設や骨材製造設備等、単体の自動・自律化の取り組みは行われてきたが、新丸山ダムでは骨材製造からコンクリート打設までの一連の工程を全て自動・自律化することを目指している。この取り組みは国内初であり、先進的となる取り組みである。各重機の自動・自律化はもちろん施工計画・施工・品質管理を含めた統合管理システムを構築することで施工の効率化・高度化・省人力化に加え、作業員の安全性や利便性を向上させ、魅力ある職場環境を目標としている。これらを達成するために、コンクリート打設前の段階から実証実験を行っており、課題克服に努めている。

(3) 第1回実証実験について

ダンプでの荷卸し方法やブルドーザーの敷き均し方法を検討するため、2023年2月に第1回実証実験を行った。その取り組み内容について紹介する。

a) グリット割

本実証実験では、ダンプトラックで運搬した材料をどのような間隔・量で降ろすことができれば、最適な施工手順や効率の良い敷き均しが行えているか検証を実施した。(図-6) まず、前提条件として横寸法は自動ブルドーザーのブレード長さが3mのため

一度で敷き均しが行えるよう3mに設定した。次に、最適な縦寸法を決定するため横3山×縦2山の合計6山にして敷き均しを実施した。まず、縦寸法を4.5mに設定して敷き均しを実施したところ、1山目の余った土を抱えながら2山目の敷き均しに突入したため、ブルドーザーが押し負けて敷き均すことができなかった。改善のため、縦寸法を5mに変更することで効率の良い敷き均しをすることができ最適なグリット寸法は3m×5mであると判断することができた。

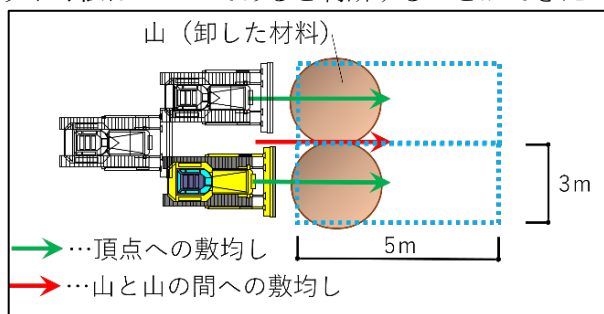


図-6 グリット割

b) 複数山敷き均し作業

実際の現場では複数の山を一度に敷き均しを行うため、一方向敷き均しと退避動作の運転プログラムを組み合わせることで複数の山を一度の指令で敷き均すプログラムを作成し、実証実験を行った。（図-7）

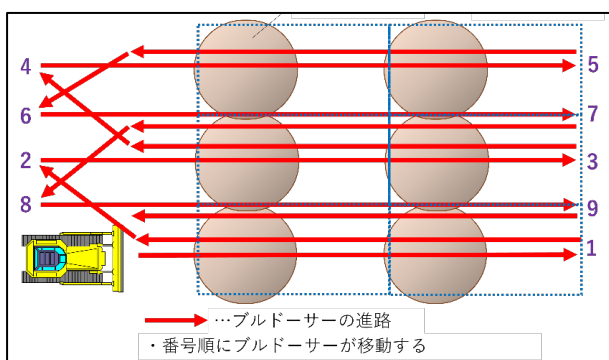


図-7 敷き均し動作イメージ

c) まとめ

本実証実験により得られた成果として、CMSモデルの基本グリット寸法を横3m×縦5mが最適であると分かった。また、複数の山を同時に敷き均すプログラムを作成することができ、3山×3山を均一に敷き均すことができた。

d) 今後に向けて

今回の実証実験では、単独重機での実験であったが、今後は複数重機の操作や品質管理も行っていく。また、今回は敷き均しを行ったが、今後はコンクリート打設で使われるケーブルクレーンや締固め機械等も実証実験の対象となり、精度向上を引き続き実施していく。

(4) 第2回実証実験について

第1回実証実験の成果を基にダンプトラックの自動運転からブルドーザーや振動ローラーによる自動運転を今後予定している。本実験では掘削土を残土処分場内での自動運搬、ブルドーザーや振動ローラーで自動敷き均しを行うための実験である。

a) 施工計画の作成・建設機械の命令

従来、施工をする前に、人が施工計画を作成しそれに基づき重機のオペレーターが作業を行っていたが、本体工事ではCMSを活用することで自動で施工計画の作成を行うことができる。また、CMSで作成された施工計画を建機FMSを用いることで自動で建設機械に命令し操作・管理を行うことができる。

b) 複数重機での建機FMS操作の確認

第1回実証実験では、ブルドーザーのみの操作であったが、第2回実証実験は、ダンプトラック・バックホウ・ブルドーザー・振動ローラーの4種類の建設機械を同時に操作する。連動して操作することによる動作に遅れや不具合を確認する。

c) 遠隔操作の実施

上記で紹介した内容は、集中監視室で一括管理されるが、実際の施工を行っている際に不具合が起きた場合は緊急停止を行い遠隔操作に切り替えを行うことも含め本実証実験で検証を行う。

d) 施工計画・施工・品質管理までを含めた統合管理システムの構築

CMSで作成した施工順序を建機FMSによって命令し重機が自動で施工を行い、品質管理を自動でリアルタイムに行う。その結果を自動で帳票に打ち出される一連のシステムを構築する。そうすることで、施工管理の効率化が図られ、工事進捗状況の確認が容易になる。（図-8）

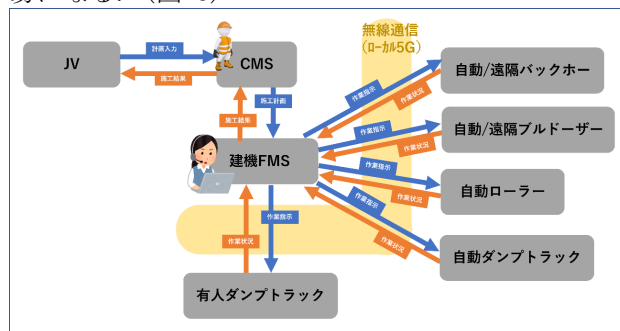


図-8 自動施工サイクルイメージ

(5) 今後の課題

現在自動・自律化を実現するに当たって挙げられる課題として、現在のところ以下が考えられる。

a) 通信環境の整備（ローカル5G）

現在のダムサイトでは、通信環境が非常に悪い。そのため自動・自律化に対応する重機の運転や連携、品質管理も含めたリアルタイムで情報を更新するには新たな通信環境の整備が必要である。通信環境の選定として、自動・自律化の高通信に耐えられる通信速度、ダムの堤高が100mを超えるため通信距離が長いこと、天候に左右されない安定した通信が必要であ

ること、このような条件を満たしたローカル5Gが最良であると判断した。（表-1）

表-1 ローカル5G比較表

	Wi-Fi6	STARLINK	ローカル5G
最大通信速度 (理論値)	9.6Gbps	25Mbps	430Mbps
最大通信速度の 接続可能距離	30m	30m	200m
通信の安定性	▲	×	◎
セキュリティレベル	低い	低い	高い
補足	①移動で切れやすい ②パスワード突破されやすい	①天候に左右される/ 移動で切れやすい ②パスワード突破されやすい	①移動で切れにくい ②SIM認証 (個別に発行される識別カードにより 高いセキュリティを確保)

b) コンクリート打設時の締め固め機械の自律化

現在のダム工事では、コンクリート打設時の締め固めは作業員の目や感覚で行っている事が多いため、均等に締め固めができていないか判断することが自動化では困難である。今後は、締め固めをした際のコンクリートの挙動や高さを見て適切な箇所に締め固めを行う自律運転の開発を実証実験を行いながら進めていく。（図-9）



図-9 締め固め機械

(c) その他の課題

その他の課題として、自動機械のスムーズ化、ケーブルクレーンのバケットブレ防止が挙げられるが、今後検討していく。

5. 成果

(1) 自動・自律化することによって得られる成果

従来、ダム本体工事では、24時間コンクリート打設時を行っていたため、3交代等を活用し工事を進めるため、多くの人が必要であった。現在は技術が進歩し重機を使った施工が基本となっているため、昔に比べて作業員が少なく施工を行うことが出来るようになった。本事業は、自動・自律化に取り組むことで最終的に丸山ダム建設時（約70年前）と比べて約10分の1の作業員になると現在想定している。併せて作業員の安全性向上にも効果を発揮することができると考えている。

(2) 自動・自律化を挑戦することによって発注者が得られる効果

中部地方整備局内では、最後に建設した小里川ダムの完成から15年以上経過しており、ダム建設に関わった技術者が少なくなったため、経験不足が問題となっている。今回、本事業を経てダム技術と次世代技術（自動・自律化）のデータを蓄積し技術を伝承することで、経験不足を解消できると考えている。

6. おわりに

今後、自動・自律化について、成果・課題を整理し、技術の発展に努めていきたい。また、自動・自律化を実現することにより生産性向上に加え現場環境の改善にも寄与するため建設業界の3k（きつい、汚い、危険）を払拭できると考えている。

新丸山ダム工事事務所は、i-Constructionモデル事務所（全国13事務所）としてCIMモデルとデジタル技術を活用し、一連作業による「自律型コンクリート打設システム」に挑戦することで、ダム建設技術における先導的役割を果たしたいと考えている。先進的役割を果たすことで、他の事務所も進んでDXに取り組むことができ魅力ある建設現場の実現につながると考えている。

加速度応答解析技術を活用した舗装の 品質向上に関する提案

佐藤 佑樹¹・近藤 弘嗣²

¹中国地方整備局 松江国道事務所 工務課 (〒690-0017 松江市西津田2丁目6番28号)

²中国地方整備局 松江国道事務所 事務所長 (〒690-0017 松江市西津田2丁目6番28号)

デジタル技術の進展に伴い、舗装工事の高度な品質管理や効率的な維持管理の実現に向けて、非破壊、迅速性、面的、リアルタイム等の手法を活用した新たな施工管理の方法が求められている。そこで、当事務所においてもこれに資するため、「令和3年度大田静間道路久手地区舗装工事」を対象に、加速度応答技術を用いた路床・路盤の地盤剛性の面的管理方法について検討および実証試験を行った。

キーワード 加速度応答, CCV, ICT, 路床・路盤, 地盤剛性

1. はじめに

国土交通省道路局が策定した「令和5年度新技術導入促進計画¹⁾」では、ICTの導入による舗装の品質向上をもたらし「舗装工事の品質管理を高度化する技術」の導入を促進すべき新技術の一つと位置付けている。ここでの品質管理の高度化とは、施工箇所全体を面的に品質管理することで、一定区間毎に試料を抽出することによる従来の品質管理と比べて品質を向上させることを企図するものである。

そこで当事務所では、従来は直接測定する手法がないことから管理の対象とされていなかった路床・路盤の地盤剛性を、加速度応答解析技術を活用して面的に測定した上で施工管理の対象とすることで、舗装の品質を向上させることを見据え、加速度応答解析技術の地盤剛性の計測装置としての適用性を検証した。検証は山陰道の建設現場において実施され、加速度応答解析技術にはCCVシステムを利用した。

2. 実証試験

(1) 振動ローラの加速度応答解析による地盤剛性の評価

振動ローラの加速度応答解析は、振動ローラに加速度センサを取り付けて、地盤の締固めにより変化する振動ローラの鉛直加速度を計測して解析することで、地盤の締固めの程度を把握する技術である。締固めの初期では、振動ローラの振動に地盤が追従することにより、振動ローラの加速度は振動ローラ自身の振動とほぼ同一となる。締固めが進行すると、振動ローラは締め固まった地盤から跳ね返るように振動する。加速度センサによりこの変

化を計測することで、地盤の締固めの程度を把握する。

地盤の締固めを評価するために加速度を解析する方法は複数提案されているが、本研究では使用機械で利用可能な、内山ら(2002)²⁾によって提案されたCCV(Compaction Control Value)を用いる。CCVは、振動ローラの加速度の変化を高速フーリエ変換して得られた振幅スペクトルから算出される値である。振動ローラの周波数を f_0 、周波数解析により得られた振幅スペクトルを S_2 として、周波数が $1/2f_0$, $3/2f_0$, $2f_0$, $5/2f_0$, $3f_0$ の振幅スペクトルをそれぞれ S_1 , S_3 , S_4 , S_5 , S_6 とすると、CCVは式(1)で定義される。

$$CCV = \frac{S_1 + S_3 + S_4 + S_5 + S_6}{S_1 + S_2} \times 100 \quad (1)$$

式(1)は締固めの進行により、振動ローラの周波数 f_0 の1/2の整数倍の周波数が出現してくる現象を検出することができる。締固めが進行すると f_0 以外の周波数の振幅が増加するため、締固めの進行によりCCVは上昇することが期待される。

(2) 使用機械

本研究において使用した振動ローラは、図-1に示す6.5t振動タンデムローラ(SW654)と、図-2に示す4t振動コンパインドローラ(TW504)の2つである。これらの振動ローラには、図-3に示す通り、GNSSアンテナや車載モニタが搭載されており、機械に搭載されたシステムによる解析で得られたCCVを位置情報と共に記録し、それらをリアルタイムで確認することが可能である。これにより非破壊、面的、リアルタイム等の要請を満たすことが可能である。



図-1 6.5t 振動タンデムローラ(SW654)



図-2 4t 振動コンバインドローラ(TW504)

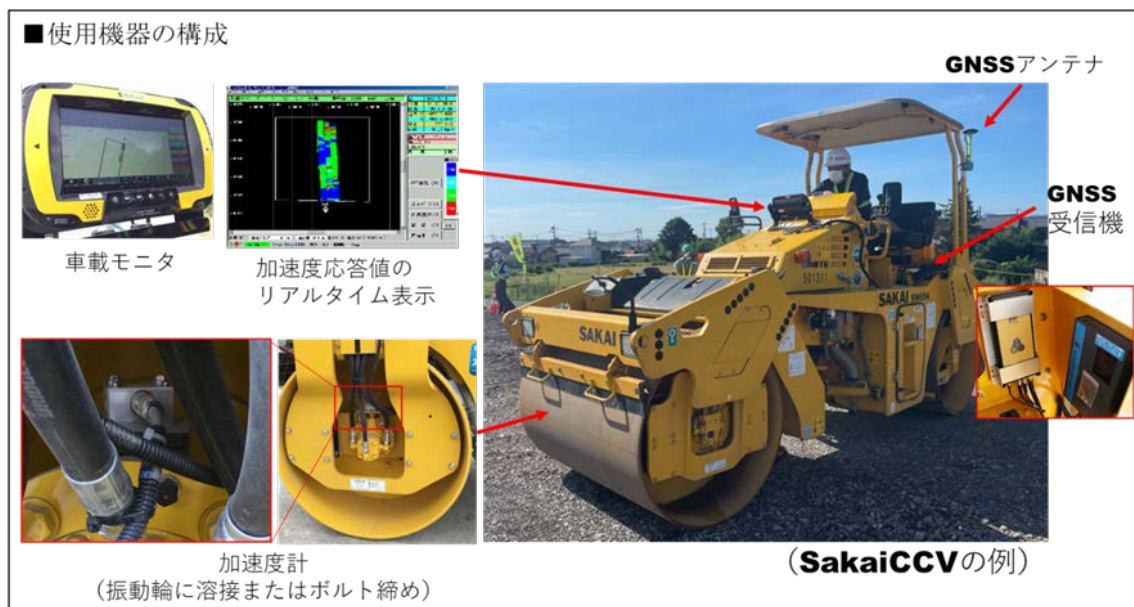


図-3 振動ローラに搭載されている使用機器の構成

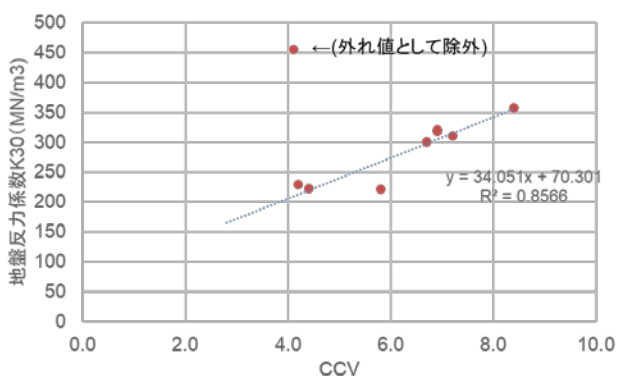


図-4 CCV と地盤反力係数 K30 の関係 (路床)

(3) 試験方法

本試験は、島根県大田市において建設中の山陰道大田静間道路における、令和3年度大田静間道路久手地区舗装工事で実施した。

路床におけるCCVと小型FWD試験の結果を比較するため、完成路床面のCCVをSW654により測定した後、小

型FWD試験による地盤反力係数K30を測定した。

路盤においては、最初に、路盤工の転圧作業で使用するSW654の最終転圧時(6回目)にCCVを測定した。その後、機械重量の差による影響を検証するため、TW504を使用して、加速度応答値を測定した。CCV測定後、小型FWD試験による地盤反力係数K30の測定した。

試験施工範囲は、地盤剛性の差が顕著であることを期待して、切盛境を中心に、切土側50m、盛土側50mの計100mの2車線(上下線)とした。

3. 試験結果および考察

(1) 路床の地盤剛性

路床におけるCCVと小型FWD試験による地盤反力係数K30の計測結果を図-4に示す。1点の外れ値を除くと、決定係数が0.86となり強い相関が認められ、路床におけるCCVの有効性を示唆する結果となった。測定されたCCVは試験区間全域では図-5のようになっており、管理ブロックサイズは50cm四方である。赤色がCCVが低い

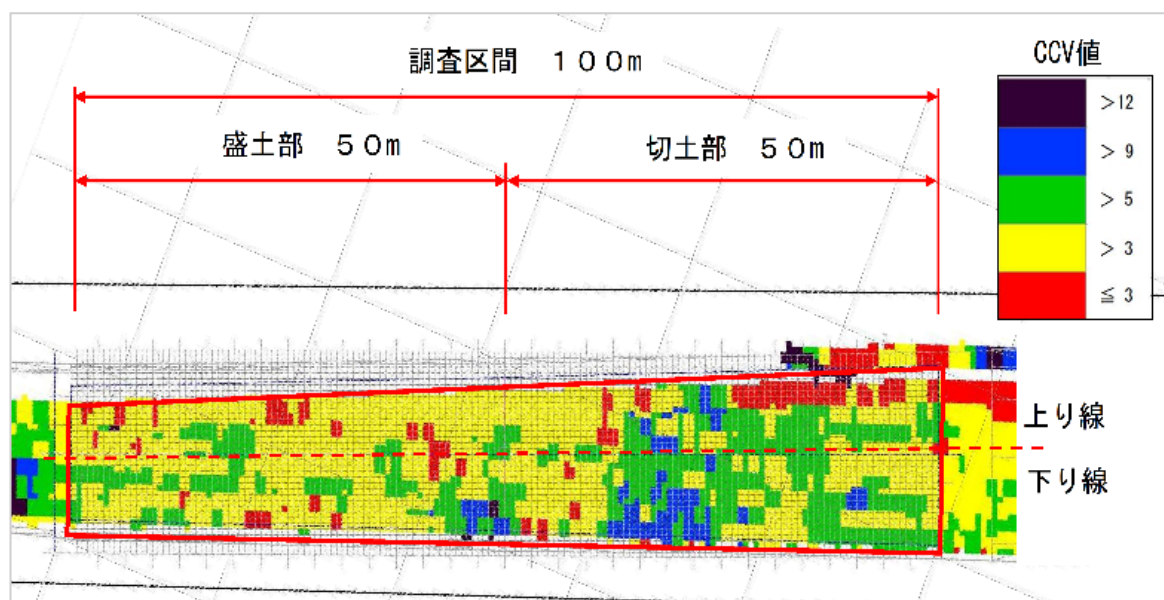


図-5 路床のCCV測定結果のヒートマップ(SW654)

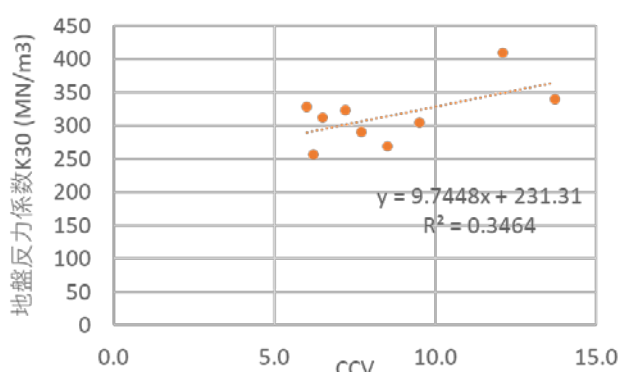


図-6 地盤反力係数とCCVの関係(路盤・SW654)

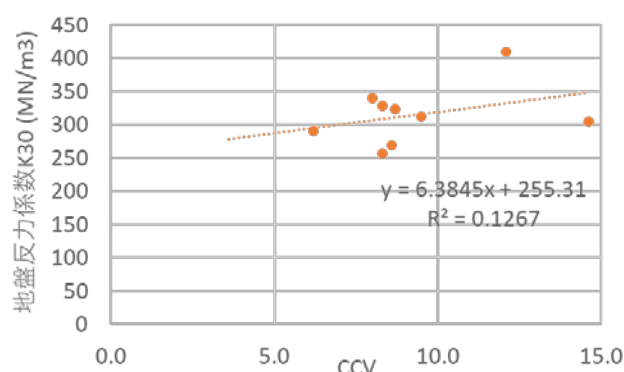


図-7 地盤反力係数とCCVの関係(路盤・TW504)

箇所、青色がCCVが高い箇所を示しており、CCVとK30の相関結果から、赤色の箇所は地盤反力係数が低い箇所すなわち剛性が低い箇所、青色の箇所は剛性が高い箇所であるといえる。

この結果から、加速度応答システムを用いることによって、代表点では確認できなかった面的な剛性のばらつきを確認することができ、路床改良の要否等を判定する管理方法としての適用が期待できることが示された。今後は、更なる検証データの追加と利用機械と適用可能な地盤条件などの整理を進めていく必要があると考える。

(2) 路盤の地盤剛性

図-6、図-7に路盤締め後のSW654とTW504で計測したCCVと地盤反力係数K30の関係を示す。SW654での計測結果およびTW504での計測結果について、関係する傾向はみられるものの、明確な相関関係は得られなかった。加速度応答法の評価深さが概ね60cm(SW654の場合)と想定されるため、厚さ20cmの路盤のCCVは路床の影響を受けているものと推測され、それぞれの試験方法で評価深さが異なっていることから直接的な関係性が評価できないものと考えられる。路盤に関しては、既存の試験方

法との明確な相関性は見られなかったが、試験の影響深さや路床の影響を考慮した解析方法など、さらなる検証に向けて課題が残った。

4. まとめ

舗装の施工段階における路床および路盤の地盤剛性の面的な評価手法として、振動ローラを使用した加速度応答解析技術の適用性を検討した。少なくとも路床については、本管理手法によって効率的かつ面的に地盤剛性を計測できる可能性が見いだされた。路床の弱部把握のために活用し、路床改良の端緒となる情報を漏れなく得られることになれば、舗装の耐久性向上にもつながることが期待できる。今後、加速度応答技術の路盤の地盤剛性への適用性の検証に引き続き取り組むだけでなく、路床の地盤剛性と将来発生する不具合との関係性など、長期的な視点での評価や検証にも積極的に取り組んでいきたい。

謝辞：本研究を遂行するにあたり、奥村組土木興業株式

会社の皆さまと，一般社団法人日本建設機械施工協会施工技術総合研究所の藤島崇氏から多大なるご協力を賜りました．ここに感謝の意を表します．

参考文献

- 1) 国土交通省：令和5年度新技術促進計画，
<https://www.mlit.go.jp/road/tech/pdf/r5-promotion-plan.pdf>，

2023. (2023年11月17日参照)

- 2) 横田聖哉，吉田武男，藤井弘章，内山恵一：振動ローラの加速度を利用した締固め管理の検討—大規模土工における情報化施工に関する研究(3)，第37回地盤工学研究発表会，2002.

(仮称) 京都エリアにおける観光渋滞対策について

石田 拓也

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

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

キーワード エリア観光渋滞対策、AI渋滞予測、TDM

1. はじめに

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

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

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

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

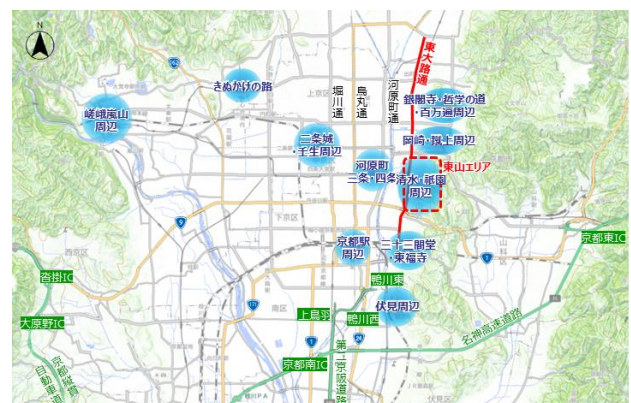


図-1 位置図

2. ICT・AIを活用した現地実証実験の概要

(1) 現地実証実験の目的

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

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

(2) WEB上での情報提供

a) 情報提供内容

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



図-2 情報提供画面（スマートフォン）

b) 特設WEBサイトの利用を促す広報

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

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

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



図-3 ディスプレイ広告のイメージ

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



図-4 ターゲティング機能のイメージ

表-1 東山に流入する京都市外自家用車の車籍地

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

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

(3) 現地での情報提供

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

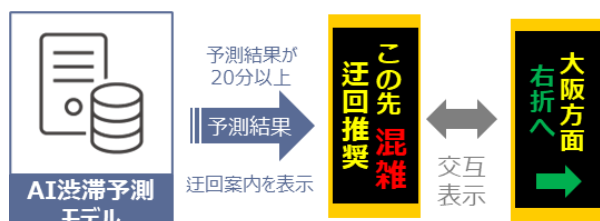


図5 LED表示板での表示イメージ

(4) AI渋滞予測モデルの概要

a) 将来の渋滞予測モデル

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

b) 当日の渋滞予測モデル

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

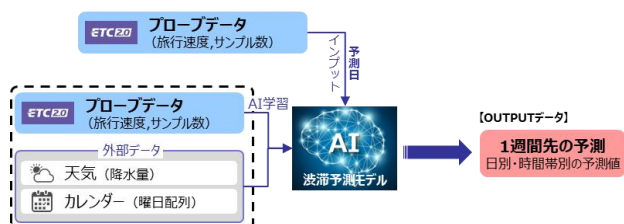


図6 「将来」渋滞予測モデルの概念図

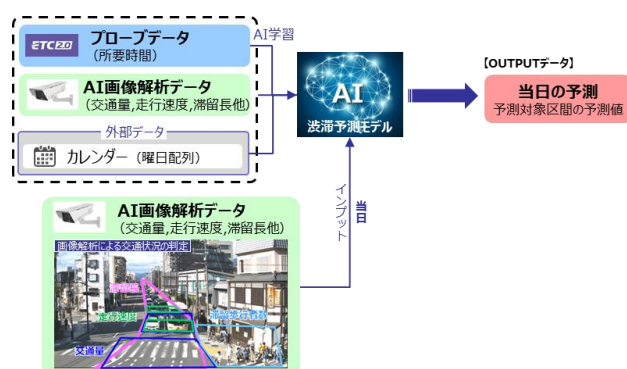


図7 「当日」渋滞予測モデルの概念図

3. 秋の観光シーズンにおける取組みによる効果

(1) 東山地域周辺での混雑緩和対策

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

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

(2) 2022年の観光需要や交通状況

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

(3) 混雑緩和に関する取組み全体による効果

a) 流入抑制効果

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

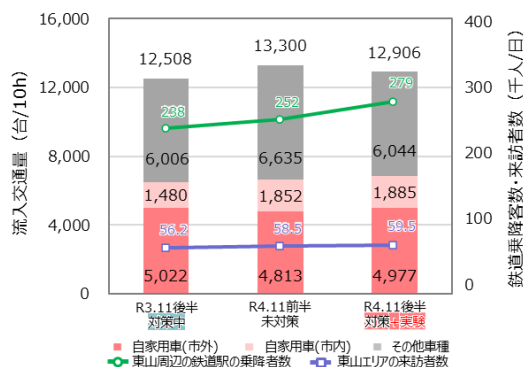


図-8 東山地域の流入交通量と来訪者数，鉄道乗降客数

b) 時間分散効果

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

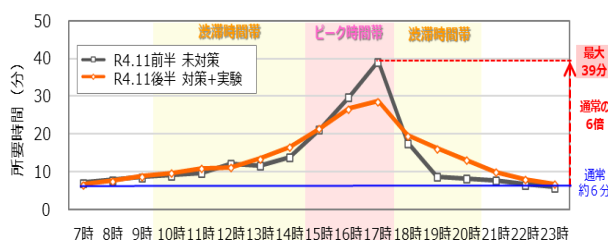


図-9 東大路通南行きの所要時間

c) 経路分散効果

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

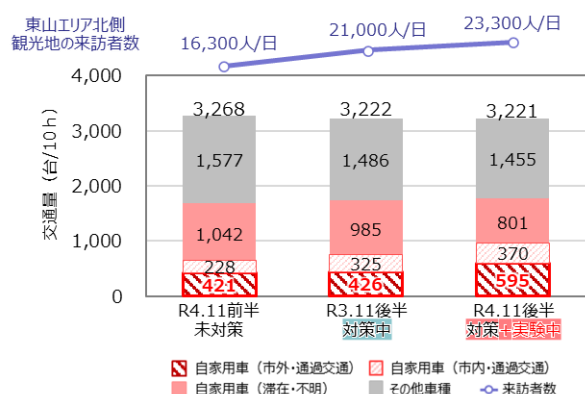


図-10 三条から流入する交通内訳と北側観光地の来訪者数

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

4. 現地実証実験の評価

(1) 特設WEBサイトの有効性

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

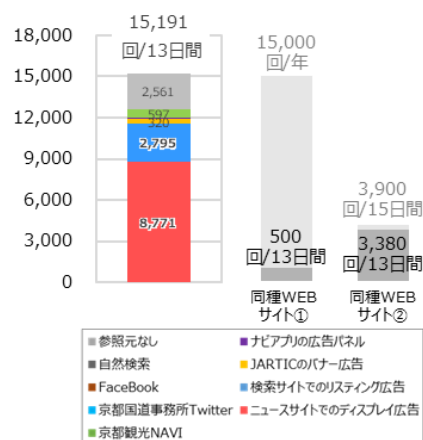


図-11 特設WEBサイトと同種サイトの累計閲覧者数

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

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

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

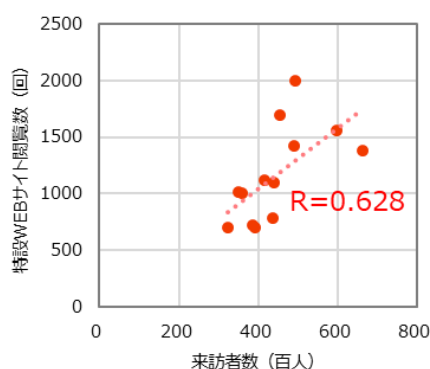


図-12 特設WEBサイトの閲覧者数と来訪者数の関係

(2) LED表示板での情報提供の有効性

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

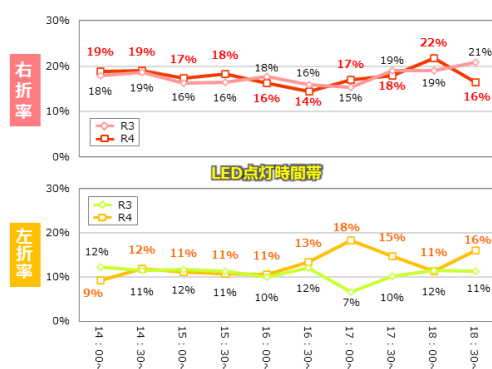


図-13 東山丸太町交差点の右左折率の変化

(3) 京都市外自家用車の削減量

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

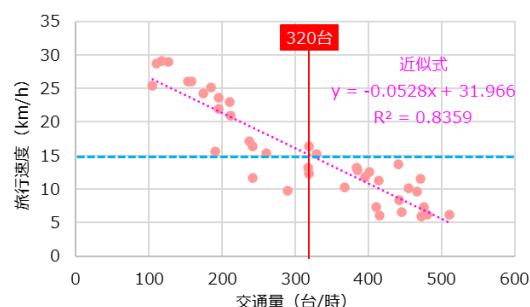


図-14 京都市外自家用車の交通量と旅行速度の関係

5. 実証実験を踏まえた観光渋滞対策の方向性

(1) 各行動変容による渋滞緩和の余地

a) 経路分散

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

b) 時間分散

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

c) 交通手段の転換

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

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

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

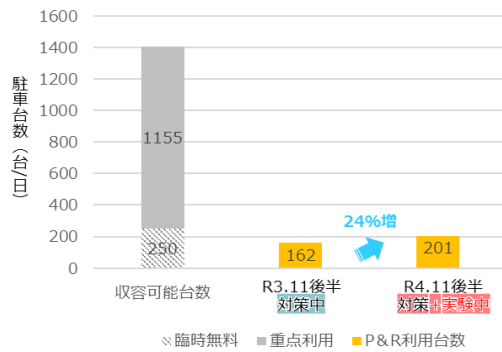


図-15 東山エリア来訪者のP&Rの利用状況と収容可能台数

(2) 情報提供サイトの課題と対応策

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

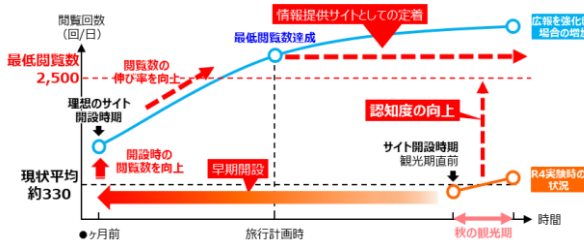


図-16 現状の閲覧状況と最低閲覧数を達成するまでの概念図

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

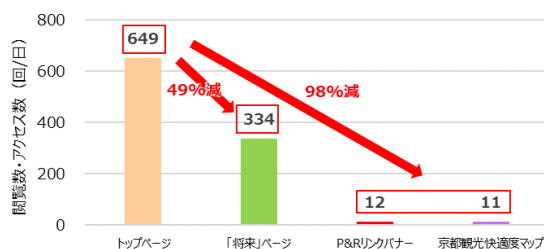


図-17 特設サイトのページ遷移状況

(3) 目標達成に向けた今後の方向性

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

6. おわりに

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

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

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

参考文献

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

街路樹再生なごやプランの策定について ～街路樹のアセットマネジメントと次世代につ なぐ持続可能な街路樹づくり～

彦坂 靖子¹

¹名古屋市 緑政土木局 緑地部 緑地維持課 (〒460-8508 名古屋市中区三の丸三丁目1-1)

名古屋市では、緑のまちづくりの実現のために、多くの街路樹を植栽してきたが、時間の経過とともに大木化・老木化が進み、倒木や根上がりが発生するなど、市民生活に影響を及ぼすようになってきた。道路の安全性の確保とともに都市魅力の向上を図り、都市の貴重な緑である街路樹を次世代へとつないでいくために、街路樹再生の重要性が高まってきた。こうした中、本市では5年間の実行計画として「街路樹再生なごやプラン」を策定し、更新・撤去・剪定の三つの取組手法を用いて、市内の街路樹を、将来にわたって健全に維持管理していくこととした。本稿は、街路樹のアセットマネジメントと持続可能な維持管理について考察するものである。

キーワード 街路樹、持続可能な維持管理、予防保全、アセットマネジメント

1. はじめに

本市では、高度経済成長期の道路整備等に合わせて街路樹を植栽し、早く・大きく育てて緑を増やす方針で早期緑化に取り組んできた結果、現在では高木本数は約9万6千本（2022年4月1日現在）となり大都市でトップクラスとなっている。しかし、植栽から40年を超える樹木が増え、その一部は大木化や老木化が進み、倒木や根上がりによる事故が発生するなど、市民生活への影響が顕在化してきた。

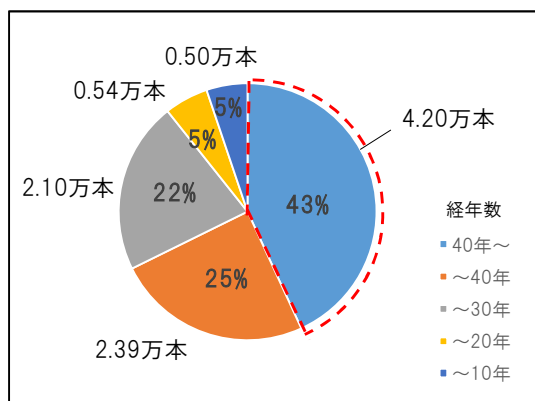


図-1 本市の街路樹の経年本数とその割合

街路樹の維持管理予算が減少する中、こうした課題に対応するため、2013年3月、名古屋市緑の審議会へ「都市空間における街路樹のあり方について」を諮問し、その答申を経て、早期緑化による「量の拡大」から「質の向上」へと街路樹管理の方針を転換し、健全な街路樹と

して再生することを目標とした「街路樹再生指針」を2015年8月に策定した。その後、実行計画である「街路樹再生プログラム(案)」を策定し、2016年度から2020年度までの5年間、更新・撤去の対象路線や優先順位を定めて街路樹再生に試行的に取り組んできた。

街路樹再生の試行で得られた検証結果を受け、災害などへの対策を含め、持続可能な維持管理の視点を明確にし、2021年度から2025年度までの5年間の実行計画として策定したものが「街路樹再生なごやプラン（以下、「なごやプラン」という）」である。本稿は、なごやプラン策定時に検討した内容とあわせ、街路樹のアセットマネジメントと持続可能な維持管理について考察するものである。

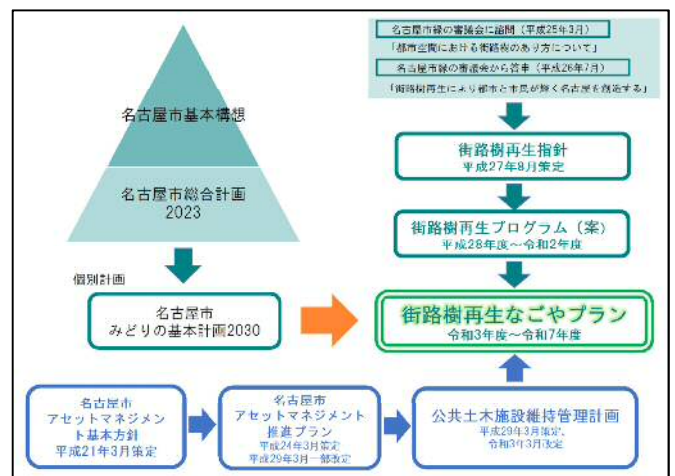


図-2 街路樹再生なごやプランの位置付け

2. なごやプランの概要

なごやプランは、街路樹のアセットマネジメント計画として策定したもので、次世代につなぐ持続可能な街路樹づくりを目指し、「道路空間との調和を保ち、果たすべき機能や役割を十分に発揮できる健全な街路樹」として更新、撤去及び保全・育成していくこと、「街路樹により美しい道路景観を創出し都市空間の価値を向上させるとともに、市民・事業者等と共に育て、地域に愛される街路樹」としていくこと、の二つを取り組みの方向性として定めている。

持続可能な維持管理を進めるため、植栽から更新までを前提とした「維持管理の最適化」や、植栽間隔など現行の法令や基準に適合させるための「道路空間への適正配置」、市民が親しみや誇りを持てる街路樹を育成する「維持管理の質的向上」の3つの視点で街路樹再生を進めることとし、更新・撤去の対象となる路線については、優先順位を定めて計画的に再生を進め、保全・育成すべき路線については、適切な剪定管理を行うこととしている。5年間の計画本数は、更新5,500本、撤去3,800本、剪定は毎年23,800本である。

3. 街路樹とアセットマネジメント

(1) これまでの街路樹管理

アセットマネジメントとは、公共施設等を資産（アセット）として捉え、財政面の課題も踏まえながら安全性・利便性・快適性等を確保し、資産全体の効用を最大化するための総合的かつ戦略的なマネジメント手法である。

本市では、名古屋市アセットマネジメント基本方針（2009年3月）に基づき、公共施設等に対するアセットマネジメントの取り組みを進めている。採用している手法は、「予防保全型維持管理（図中、予防維持管理）」が主流であり、ライフサイクルコストの最小化を目指し、計画的な調査・点検を行い損傷が深刻化する前に修繕・補修・補強などを行って施設を長寿命化し、施設整備と併せ経費の平準化と抑制を図るものである。（以下、予防保全型アセットマネジメントを「アセットマネジメント」と記載する。）

しかし、街路樹は生き物であるため他の施設とは異なるものとして、長寿命化は考慮せず、機能を失い管理の限界まで使い続ける「観察維持管理」という管理手法をこれまで採用してきた。具体的には、「目視を主体とし、枯死した場合や、腐食や傾斜して危険な状態になった場合など、街路樹としての機能を失うまで使い続ける」「街路樹の生長状況により、随時、根囲修繕を実施」「樹木更新については、植栽ますの拡大、修繕が不可能なまでに生長するなど、その管理限界まで使い続ける」として、街路樹管理を行ってきた。

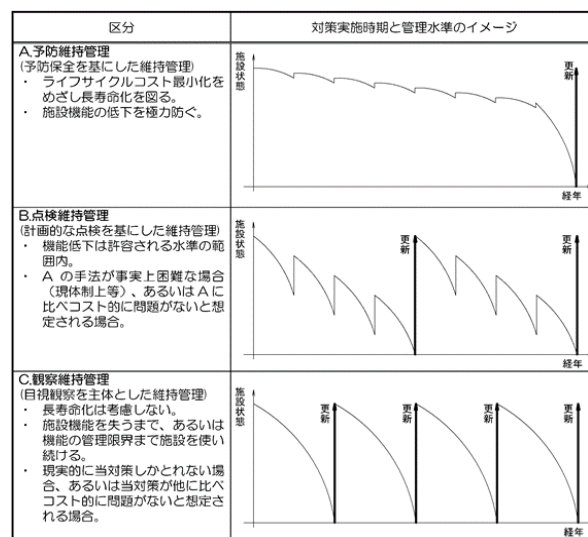


図-3 維持管理区分と管理水準のイメージ¹⁾

(2) アセットマネジメントがなじまない理由

アセットマネジメントが街路樹になじまない理由として、第一に挙げられるのは、予防保全として枯死などして機能を失う前に事前に樹木を更新するという考え方が、街路樹を一つの命としてとらえる市民から理解が得られにくい点にある。老朽化した施設の更新は、街路樹では「生きているのに、なぜ、伐採するのか」と人が感情を移入してしまう点が他の施設と大きく異なる。また、大きく生長した樹木を小さな若木と植え替えることで、近視眼的には緑のまちづくりという視点から逆行するように感じられることも、市民の理解が得られにくい理由の一つとなっている。

二つめの理由として、街路樹の機能の特性が他の施設と異なり、徐々に向上していくという点が挙げられる。街路樹は、新緑や紅葉などで景観に彩りを与えるだけでなく、大気浄化やヒートアイランドの緩和、生態系の保全など「生きている施設」だからこそ発揮できる様々な機能を有している。他の施設では設置当初が施設としての機能の最大値であり、経過年数を経るに従い徐々に低下していくのに対し、樹木は植えた当初の若木から樹幹が広がり大きく生長するにつれ、その機能が向上していく。樹木そのものの寿命は百年を優に超すものがある中で、道路に植栽されている樹木は、建築限界を侵すことなく限られた道路空間の中で管理する必要がある、樹木としての機能の低下が、街路樹としての管理の限界と一致していないことが挙げられる。

三つ目は、アセットマネジメントにおける施設の修繕というものを、街路樹ではどのような定義するかがあいまいであることが挙げられる。本市では、従来、樹木の根上がりによる根囲ブロック修繕を施設の修繕と考えてきた。しかし、街路樹では樹木が生長するにつれ根囲修繕の頻度が高まること、また、支持根を切断することで逆に倒木しやすくなることから、修繕が経費の抑制にはつ

ながら、施設としての樹木そのものの機能を低下させることとなり、他の施設の修繕と同様に「修繕」をとらえることが難しい点が挙げられる。

4. アセットマネジメントの必要性

本市の街路樹の維持管理予算は、1997年度をピークに減少を続け、2013年度にはピーク時の約4割となり底を打ち、なごやプラン策定時の2021年度にはピーク時の約6割となっていた。近年、予算は徐々に増加しているが、労務単価等の経費の上昇により、実際に施工できる作業量は2013年度との比較では約5割と大きく減少している。今後、時間の経過とともに、樹木の大木化や老木化が一層進むことや、労務単価等の上昇を考慮すると、予算的にはますます厳しい状況になることが想定された。

街路樹の安全性を確保し、持続可能な維持管理を行うためには、将来にわたる維持管理費を予測し、平準化し、確保していくことが必要不可欠である。これまでの街路樹を限界まで使い続ける観察維持管理を見直し、街路樹の「資産全体の最適化」を目指し、樹木の更新を前提として、植栽から更新までの維持管理を最適化することで街路樹を健全な状態に保ち、緑の効果や機能を最大化しつつライフサイクルコストの最小化を図るアセットマネジメントに取り組む必要性が生じた。

5. なごやプラン策定時の検討内容

アセットマネジメント計画としてなごやプランを策定するために、①街路樹更新の考え方、②修繕の考え方、③事業量の把握、④事業期間の設定、⑤事業費の算出、⑥長寿命化とライフサイクルコストの試算、⑦縮減額の試算について検討を行った。

(1) 街路樹更新の考え方

施設としての街路樹の耐用年数をどのように考えるのか、街路樹の更新はどのような場合行うべきか検討した。

街路樹を限界まで使い続ける観察維持管理を続けてきた結果、大木化・老木化が進み、枝落下、根上がり、幹

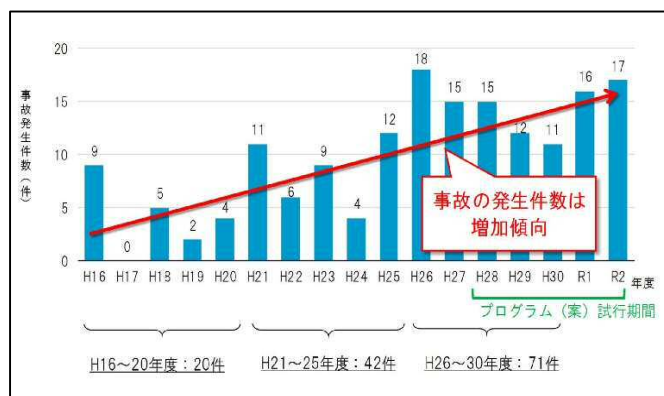


図3 街路樹による事故発生件数の推移

折れ、倒木などの事故発生件数が増加した。

樹木の機能は生長とともに向上していくが、限られた道路空間の中で際限なく大きく育てていくことはできない。事故発生件数の増加は街路樹としての機能の低下ととらえられることから、リスクが樹木の機能を上回り、果たすべき機能や役割が発揮できる健全な状態でなくなった場合、一定年数をめどに更新することとした。一定年数とするのは、樹種によって生長の速度が異なることや、道路空間の大きさなどにより健全に生育できる環境が異なるためである。

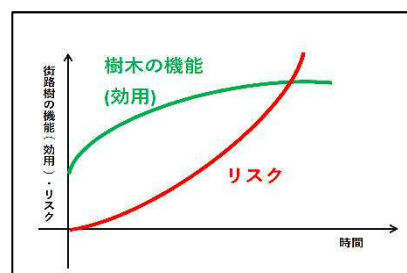


図4 街路樹の機能とリスクの経年変化

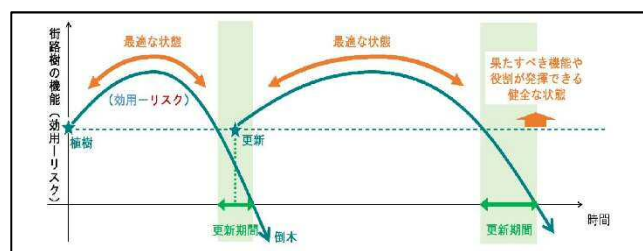


図5 街路樹の更新と管理水準のイメージ

実際の更新にあたっては、本市の街路樹の樹種別事故事例から、花木を除き1,000本あたりの事故件数が1件以上(事故発生率0.1%以上)発生している樹種を事故リスクの高い樹種として定め、これを優先して更新することとした。

表-1 樹種別事故発生率 (2001年度～2019年度)

樹種名	19年間の事故件数(件)	樹種別本数(R2.4.1現在)(本)	事故発生率(事故件数/本数)
ユリノキ	5	314	1.59%
ケヤキ	38	3,657	1.04%
プラタナス	3	338	0.89%
アキニレ※1	1	141	0.71%
エンジュ	4	1,230	0.33%
クスノキ	5	1,566	0.32%
サクラ等	24	8,103	0.30%
ナンキンハゼ	11	4,722	0.23%
アメリカフウ	7	4,219	0.17%
アオギリ ※2	2	2,665	0.08%
イチヨウ ※3	9	14,327	0.06%

※1 アキニレは植栽本数が少ないが、倒木事故が発生しているため事故リスクが高い樹種とする

※2 街路樹再生プログラム(案)対象樹種のため対象とする

※3 イチヨウはギンナン着果のため対象とする

(2) 修繕の考え方

修繕については、これまでの根囲修繕とする考え方を見直し、街路樹を健全に育成するための定期的な「剪定」を修繕（メンテナンス費用）にあたるものとして位置付けることとした。剪定は、限られた道路空間内で建築限界を侵さないよう街路樹を維持するために必要な作業でもあり、施設としての街路樹の機能の維持に寄与すると考えた。

(3) 全体事業量の把握

全体事業量を把握するために、まず、本市の「改訂道路空間緑化基準（2013年）」に定められている歩道の有効幅員2.5m以上を確保できていない狭幅員歩道の街路樹路線をリストアップし、撤去の対象路線とした。撤去対象路線の本数は約1万2千本あることが判明した。

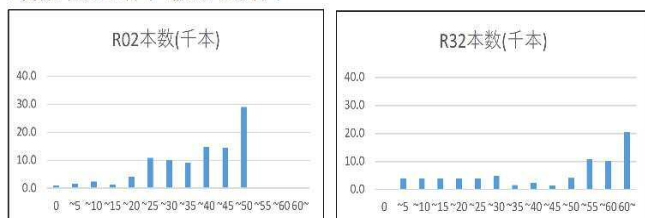
次に、更新の対象路線を把握するために、評価の視点を定め、全ての路線の評価を実施した。評価の視点は、「倒木の危険が高く、老木化等の課題が多い路線」、「道路空間や沿道とのバランスを超えて大木化している路線」、「市民生活に過度な影響を与えている路線」、「地域要望、維持管理コストを考慮すべきものの路線」の4つである。路線ごとの評価の結果、更新の対象本数は約3万5千本であることが判明した。

また、剪定については、現在の本市の街路樹のうち定期的な剪定が必要な樹木の総数は約6万本であるが、標準的な剪定の頻度（1~3年に1回）を考慮し、約4割の2万4千本について剪定が必要であると判断した。

(4) 事業期間の設定

事業期間の設定にあたっては、過去5年間の街路樹再生試行時の計画本数である更新1,000本/年、撤去480本/年をベースとして検討を行った。年間の事業量は、将来にわたる事業および経費の平準化を左右する重要な要素である。本市の街路樹の経年本数のグラフを用いて、事業量を撤去は400本/年と固定し、更新は1,000本/年の場合と、

■更新1,000本/年+撤去400本/年



■更新2,000本/年+撤去400本/年

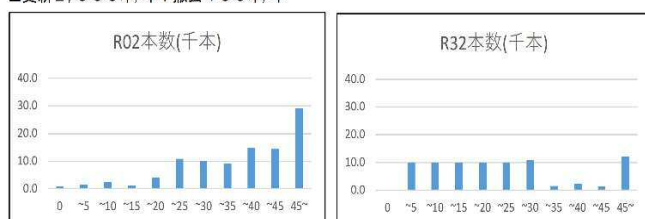


図6 更新本数の違いによる経年本数の変化

2,000本/年の場合を比較検討した。

植栽年数の古いものから順次更新撤去したと仮定して、その後の経年本数の変化を調べたところ、更新1,000本/年の場合では、30年経過後も植栽から50年以上経過する樹木が約4万本残るのに対し、更新2,000本/年の場合、植栽から50年を経過する樹木はなくなる結果となった。このことから、事業量の平準化を目指す場合、更新1,000本/年のペースでは本数が不足することが明らかとなった。

しかし、現実的に更新を2,000本/年のペースで進めることは、試行で行ってきた街路樹再生の計画本数の2倍、実績本数の10倍程度となることから、地域への影響が大きく市民の理解が得られにくいこと、また、電線共同溝工事など他の実施主体による工事でも別途、街路樹の更新が行われることから、なごやプランによる更新については1,000本/年、撤去は400本/年を計画本数とすることとし、進捗状況や市民意見を注視しながら事業を実施することとした。

全体事業量の本数を年間の計画本数で割り、事業期間は、更新は35年間、撤去は30年間とすることとした。

(5) 事業費の算出

1本あたりに係る施工単価は、更新及び撤去については幹周り90cm以上の本市の街路樹本数の割合をもとに算出し、剪定については幹周り40cm以上の街路樹本数の割合をもとに算出した。5年間の事業費は、更新は20億5千5百万円、撤去は8億7千4百万円、剪定は毎年6億9千7百万円となった。（更新については、地域に親しまれている並木道の更新500本、撤去については信号機等の見通しを妨げる樹木の撤去800本及び街路樹診断等による不健全木の撤去1,000本を含む）

表-2 目標事業量及び事業費（2021年度～2025年度（5年間））

種別	事 項	目標事業量	事業費
更新	道路空間と調和した街路樹への更新	5,000本	1,700百万円
	地域に親しまれている並木道の更新	500本	355百万円
	合 計	5,500本	2,055百万円
撤去	狭幅員歩道の通行確保のための街路樹撤去	2,000本	460百万円
	信号機や標識等の見通しを妨げる街路樹の撤去	800本	184百万円
	街路樹診断等による不健全木の撤去	1,000本	230百万円
	合 計	3,800本	874百万円
剪定	街路樹の健全育成のための剪定	21,400本/年	627百万円/年
	災害時の安全確保のための剪定	2,400本/年	70百万円/年
	合 計	23,800本/年	697百万円/年

事業費の内訳から、街路樹では一般施設と異なり、施設の整備費にあたる5年間の更新及び撤去の事業費29億2千9百万円と比較して、修繕費にあたる剪定の事業費は5年間では34億8千5百万円（約119%）と割高となっており、剪定費用を削減することが街路樹の維持管理全体のコストの削減につながる事がわかる。

(6) 街路樹の長寿命化とライフサイクルコストの比較

樹木更新を前提とした街路樹管理を進めるにあたり、

更新年数とライフサイクルコストの比較²³⁾検討を行った。一般的な施設では、修繕を実施して更新のサイクルをなるべく長く保つ長寿命化がライフサイクルコストの縮減につながるが、街路樹では、更新のサイクルを長くすること、つまり、街路樹を長期間大きく育てることが、ライフサイクルコストの縮減につながるか試算した。

プラタナスを例に、更新のサイクルを30年ごと、50年ごとと仮定し、それぞれ150年間の剪定費用と更新費用を含めたコストを試算した。樹木の経年の生長量については、樹種における樹木生長量の回帰式⁴⁾により幹周りを算出し、幹周り40cm以上となった時点で以降の剪定費用を計上し、30年及び50年となった時点での更新費用を計上した。

50年サイクルの更新の場合は累計約700億円、1本1年あたりの費用は約4万7千円となるのに対し、30年サイクルでの更新の場合は累計約360億円、1本1年あたり約2万4千円となり、約2倍の差が開くことがわかった。



図-5 更新年数によるライフサイクルコストの比較

街路樹では、植栽時の若木の単価は他の施設と比較して安価である。しかし、生長とともに修繕にあたる剪定の単価が次第に増加するだけでなく、更新する際の工事費用も増大していく。他の施設と異なり、長寿命化を図ることが必ずしもライフサイクルコストの縮減にはつながらないことが明らかとなった。しかし、コストを重視するあまり、短いサイクルで次々と小さな若木に更新することは、街路樹の機能面や市民感情を考慮すると適切ではないと考えられる。

(7) 縮減額の試算

街路樹再生を35年間継続して行った場合、2021年4月1日現在、約9万7千本ある本市の街路樹は、2055年度には約7万4千本に減少する。これは撤去した本数が減少するのに加え、更新する場合にも「道路空間への適正配置」を行うことで植栽する本数は、植え替え前の8割程度に減少することを見込んでいるためである。

また、更新にあたっては、植え替え前の生長の早い樹種ではなく、生長の遅い花木など道路空間に見合った樹種を選択することとし、機能やコストを考慮しながら

「維持管理の最適化」を図ることとしたため、その後の剪定費用を縮減することができる。

表-3 街路樹再生実施後の街路樹本数の変化

R3年度			R37年度		
街路樹本数(R3.4.1現在) (本)			街路樹本数 (本)		
計画	撤去本数 (本)	狭幅員	撤去本数 (本)	更新本数	更新に伴う撤去本数
		12,000			
		信号・標識			
		3,300			
		診断			
		7,000			
	更新対象本数 (本)	道路空間		更新対象本数 (本)	更新に伴う撤去本数
		35,000			7,700
		魅力			
		3,500			
残置本数 (本)			残置本数 (本)		
97,290 (100%)			74,290 (76%)		

これらに取り組むことによって、剪定が必要な樹種の割合は全体の6割の約6万本から、35年後には全体の4割の約3万1千本へと減少し、また、樹種構成についても、現在、生長の早い樹種、中程度の樹種が全体の7割を占めているが、35年後にはその割合は約3割に減少することが予測される。

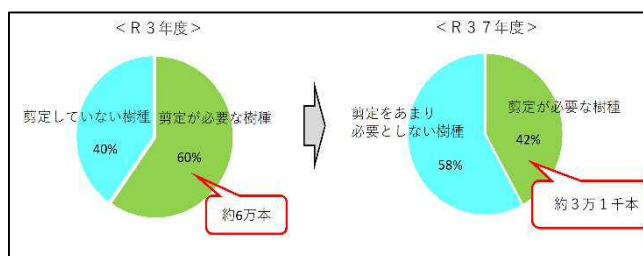


図-6 剪定が必要な樹種の割合変化

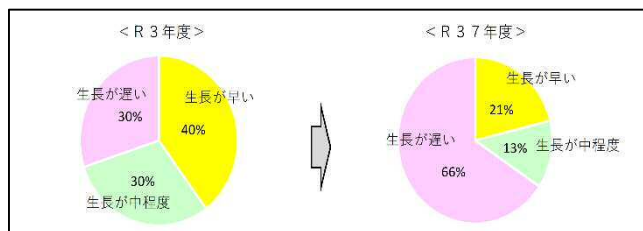


図-7 樹種構成の変化

街路樹再生を行わない場合、樹木生長量の回帰式により今後の樹木の生長量を予測し、剪定費用を試算したところ、現状の予算ベースで約5億4千万円である剪定費用が、14年後には約12億円と倍増することが判明した。

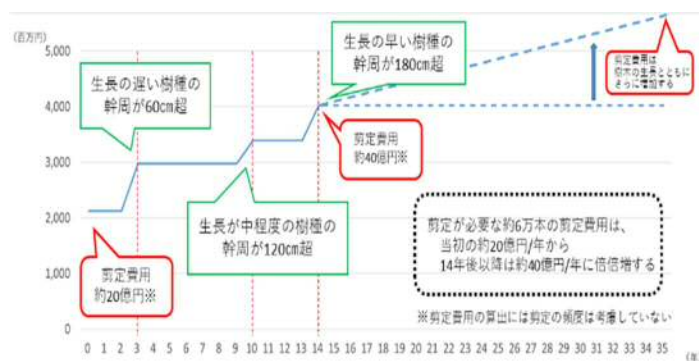


図-8 街路樹再生を行わない場合の剪定費用の推移

街路樹再生を行った場合の剪定費用は、現状と同程度の頻度で剪定を実施すると仮定した場合、現状予算の約5億4千万円から35年後には3億円程度に縮減されることがわかった。



※剪定頻度は3年に1回、剪定単価は29.3千円/本で固定とする。
 ※労働単価や経費率の上昇、幹回り成長による単価増等は考慮しないものとする。
 ※R33からR37で本数が増えるのは、プラン上の撤去工事が一部を除きR33までで終わるため。

図-9 剪定対象本数の推移とそれに伴う必要額

次に、縮減する剪定費用を利用して、工事費がどれくらいの期間で回収できるか試算した。街路樹再生には更新や撤去の工事費が初期費用として必要となるが、撤去に加えて更新によっても植え替え後の若木が生長するまでの期間、剪定費用が不要となることから、縮減する剪定費用で初期費用を回収することができる。



図-10 剪定費用の縮減額と工事費の回収（5年間）

なごやプランの計画本数で単年度（1年間）のみ街路樹再生を実施した場合、工事費は約5億円、縮減できる

剪定費用は約5千万となり、工事費は約10年で回収することができる。しかし、5年間継続した場合は、工事費は約28億円となるが、縮減される剪定費用の累積効果により工事費を約12年で回収することができ、事業を継続することでより高い回収効果が得られることがわかった。

6. 持続可能な街路樹管理を目指して

街路樹再生を実施することで、更新や撤去の初期費用はかかっても縮減される剪定費用で回収することができ、その先の剪定費用が縮減されることで、財政的な負担を減らし、将来にわたって予算を増大させることなく街路樹の維持管理を可能とする予測をたてることができた。

なごやプランは、樹木の更新を前提とした街路樹の維持管理計画であり、事故を未然に防ぎ、安全性を確保しながら街路樹本来の機能や役割を発揮させるとともに、緑の効果や機能を最大化しつつライフサイクルコストの最小化を図ることを目的としており、これは街路樹のアセットマネジメントとして他都市にない独自の視点であると考えている。

今後は、より一層の安全性確保や経費の平準化の観点から、点検費用をアセットマネジメントの経費として盛り込むこと、更新や撤去の事業量及び事業期間の見直しを行うことが必要であると考えている。また、事故事例を細かく分析することで事故発生率の高い樹種を見直し更新のサイクルの目安を定めることにも取り組んでいく必要があると考えている。

本市では、着実になごやプランをより一層進めることにより、次世代へとつなぐ持続可能な街路樹づくりを目指して、「街路樹のまち名古屋」として誇れるよう取り組みを進めていく。

参考文献

- 1) 名古屋市アセットマネジメント基本方針 平成21年3月
- 2) 樹木医学研究第11巻4号 2007年 合意形成・アセットマネジメントを取り入れた街路樹管理のあり方について
- 3) 2010年日本造園学会名古屋大会分科会パネリスト発表要旨 街路樹のアセットマネジメントとリスクマネジメント
- 4) 国土技術政策総合研究所資料第663号 公園樹木管理の高度化に関する研究

港湾工事における DX推進による私たちの取り組み

上邨 知輝¹

¹四国地方整備局 小松島港湾・空港整備事務所 保全課（〒773-0001 徳島県小松島市小松島町字外開1-11 小松島みなと合同庁舎2階）

工事監督に関わる担当係長の職務は工事内容を十分に理解し、現場担当者と綿密にやりとりを行うことで、監督業務を円滑に進めることが必要である。一方で、近年では業務内容の多様化や煩雑さから内業の負担が大きくなり、十分に現場に足を運ぶことができていないことが課題となっている。ここでは、建設業界において活用されているインフラDXのメリットである生産性向上・省力化実現に着目し、徳島小松島港 金磯地区岸壁（水深11m）工事における請負者のDX活用の取り組みを元にした、“見て”理解する私たちの取り組みと、現場におけるさらなるDX活用の発展を報告する。

キーワード 業務効率化の取り組み、CIM施工・安全管理、4Dシミュレーション（3D+時間軸）

1. はじめに

工事担当係長として、職務実施には工事内容を十分に理解し、現場における施工管理、安全管理、品質管理が健全に進むよう監督業務を行う必要がある。また、昨今のインフラDX推進による、現場の変革に合わせ積極的に学習・活用を行うことが求められている。

徳島小松島港 金磯地区岸壁（水深11m）（写真-1）では、2019年から請負者において積極的にDX活用の取り組みが進められており、図面を3D化した絵図や品質管理情報を一元的にまとめた資料を活用している。

そこで、これまでのDX活用事例を職員の技能習熟の材料として利用することで、職務実施の基礎となる現場の情報をまずは“見て”理解し業務の効率化を図り、現場に足を運ぶことで監督業務の高度化を進めたいと考えた。

本稿では、岸壁（水深11m）老朽化対策工事における、DX活用の事例を元にした私たちの取り組みと、現場におけるDX活用の発展について報告を行う。

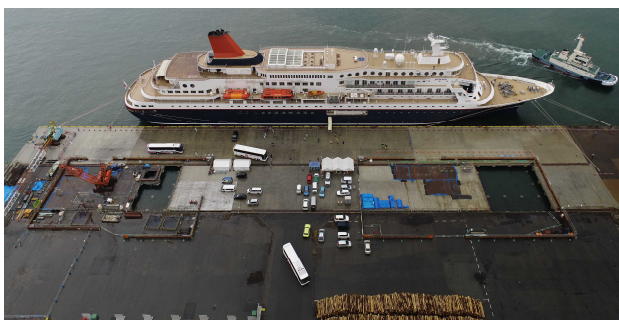


写真-1 金磯地区岸壁（水深11m）全景（撮影 2022.11）

2. 工事概要

当施設は、昭和40年代に整備された施設であり、近年は原木やPKSの荷役やクルーズ船の寄港等に利用されている。しかし、老朽化により一部の区画では利用制限が設けられる等、機能が低下していることから、2016年から予防保全事業による老朽化対策工事を進めている。

構造は本体工の鋼管杭と上部工の床版ブロック（約20m×約20m）合計20ブロックで構成される栈橋式の岸壁である。（図-1）本工事は、老朽化した既存上部コンクリートを撤去し、現場打ち等のコンクリートによる上部工の新設、鋼管杭の被覆防食等を行うものである。

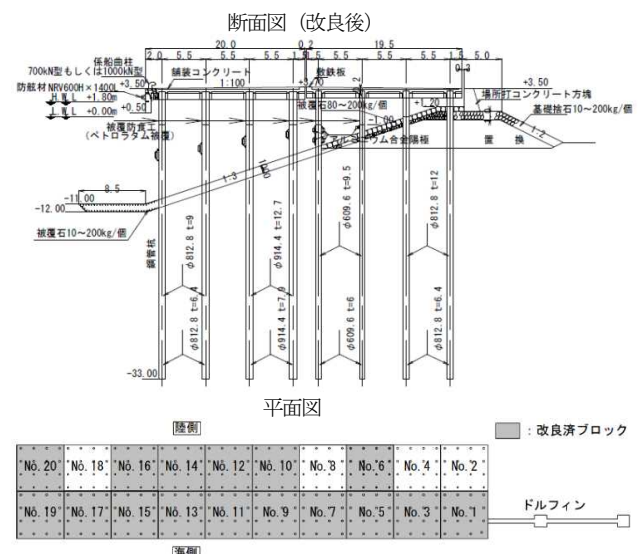


図-1 金磯地区岸壁（水深11m）概要

3. DX推進の事例と業務効率化への足掛かり

本節では、2019～20年にかけてのDX推進の取り組みと成果を確認し、業務効率化への足掛かりを得るとともに、振り返りの中で見えた課題を整理するものである。

(1) これまでのDX活用事例とその成果

本工事は、施設を供用しながら老朽化箇所の撤去・復旧を行う必要があり、現場においては緻密な施工管理と適切な安全管理が求められる。

a) 施工管理業務に対する課題解決の取り組み

施工管理業務は、一般的に施工管理項目（品質、出来形、写真、材料等）毎に分担して管理する場合が多く、データの管理・共有に多大な労力を要している。そのため、データを一元的に管理・確認が可能な「CIM施工管理情報プラットフォーム」（図-2）の構築が行われた。また、現場の3Dモデルに施工進捗に応じた施工管理項目毎の属性情報を付与することで、工事関係者がリアルタイムの管理データを確認・活用できるようになり施工管理業務の高度化・効率化が図られた。

b) 安全管理業務に対する課題解決の取り組み

安全管理業務は、工事内容を十分に理解し危険箇所を事前に予測する必要がある。そのため、CIMモデルを活用することで、施工過程の作業ステップ毎に現場を再現した絵図（図-3）を作成し、施工手順の検討・安全教育を実施することで、経験に頼らない安全管理を図った。また、Webカメラを用いて、請負者の本社、支店と発注者をオンラインでつなぎ遠隔臨場による多元的なパトロールを行うことで多人数による確認の機会を増やすことができたほか、スペース上の制約から、直接確認し難い栈橋下の施工状況が確認できるようになり、安全管理業務の高度化・効率化が図られた。（写真-2）

(2) 業務効率化への足掛かり

a) CIM施工管理情報プラットフォームの活用

施工管理、品質管理における配筋の確認作業は、図面情報と配筋規格を把握し、それぞれの資料を照らし合わせながら作業を行う必要があったが、使用材料の情報を3D図面上から確認することができるため、確認時間の短

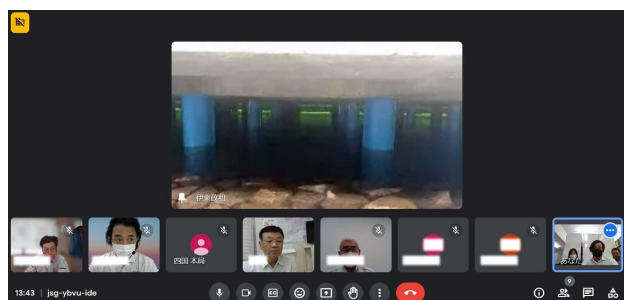


写真-2 遠隔臨場の実施

縮や竣工検査におけるペーパーレス化、会議時間短縮につながると考えた。

b) CIMモデル作業ステップ図の活用

安全管理業務には、工事への理解が必要である。十分な理解には写真・図面の確認や前任者へのヒアリング等の作業が必要であり、多大な労力を要していた。そこで、「CIMモデル作業ステップ図」を活用することで、施工状況の理解に効果的であると考えた。

(3) 業務効率化に向けて浮き彫りになった課題

a) CIMモデルへ付与する属性情報の課題

施工管理のさらなる高度化には週間の工程会議において、作業進捗を十分に理解し、後れがある箇所の理由と対策を確認・提案することが必要である。これまではCIMモデルと時間軸の情報が連動できておらず、会議の度に全体工程とつきあわせた別途の資料作成が必要であった。また、十分に理解するには週間工程表とCIM図面を交互に確認し担当者から説明を受ける必要があり、効果的な属性情報付与による業務の効率化が課題となった。

b) CIMモデル作成の労力・時間の課題

適切な安全管理を行うためには、現場着手以前の施工計画段階からCIMモデルを活用し、施工手順の確認や安全管理の危険予測を行うことが望ましい。一方で、契約後工事着手までの準備期間は45日間であり、モデル作成が施工計画段階では間に合わず、工事期間全体を通じた運用を行うことができなかった。このため、モデルの作成に時間を要することが課題となっている。



図-2 CIM施工管理情報プラットフォーム

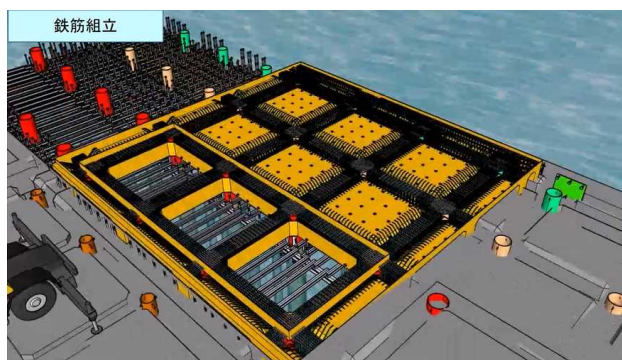


図-3 CIMモデル作業ステップ図（支保を含めたモデル図）

4. 業務効率化の私たちの取り組みと職員の反応

本節では、これまでのDX活用事例から学び、実施した4つの業務効率化の取り組みを報告する。また、取り組みに対して得た職員の反応を併せて紹介をする。

(1) 業務効率化の私たちの取り組み

a) 発注手続きでは

CIMモデルを活用し工事内容の説明を行うことで、説明資料を削減できたほか、具体的な工事内容や危険箇所の理解や周知に必要な説明時間を短縮することができた。

b) 竣工検査受検時では

CIMモデルを活用し説明を行うことで、品質管理、出来型管理の説明に要する時間を大幅に短縮できた。

c) 現場説明会では

CIMモデルを活用し資料作成を行うことで、視覚的・感覚的に理解しやすいものとなり資料の高度化を図るとともに、細部の解説等の詳細な作りこみが必要がなくなり、資料作成時間を短縮することができた。

d) DX活用事例の動画化と共有

これまで行ってきたDX活用事例の一部を動画化し共有を行った。動画の活用により幅広く手軽に学習できるようになったほか、学生等を対象とした対外的な資料としても活用することで、新たな資料作成業務の省力化を図った。

(2) 職員からの反応と今後の期待

- ① 竣工検査の場でCIMモデルを活用した概要説明を受け、以前では個別のデータ毎に確認する必要があった情報をPC上で確認することができ、内業に関わる手続きを省力化できていると感じている。また、モデルの資料共有により、請負者においても現場担当者のみならず支店担当者でも十分な確認がとられており、チェック体制の高度化が感じられた。
- ② 動画では実際の写真とCIMモデルを組み合わせ整理されており、工事の流れをつかみやすいと感じたほか、海中の工事風景も確認できるため、工事の理解がより深まった。今後は、図面とのつながりの解説や、説明のナレーションを加えることで、より幅広く活用できると考えた。
- ③ 実際に現場を歩くときには見えない箇所を確認でき、パトロールの事前勉強につながると感じたため、パトロール前に視聴時間を設けるなどの工夫が考えられる。また、ドローン撮影による動画も取り入れられており対外説明や学生向けの説明にも活用することで、工事への理解と関心の向上につながると考える。
- ④ 実際の現場を短期間で経験することは難しいが、手軽に様々な工事の勉強が出来ると感じた。今後は動

画化したCIMモデルを教材として利用するだけでなく、ビューワーソフトの操作習熟等が必要である。多くの職員がこれを可能とすることで、施工管理や維持管理の効率化が図られ、BIM/CIM導入の真の目的である生産性の向上に繋がると考えられる。

以上の反応を受け工事担当係長として、業務効率化の成果を確信するとともに、今後の期待についても確実に継承していくことで、更なる業務改善の取り組みを推進したいと考える。

5. 現場におけるDX活用の発展と担当者の反応

本節では、2021年以降の請負者の現場における課題解決に向けたDX活用の発展事例を報告する。また、新たな発展に向けた現場担当者のコメントも併せて紹介を行う。

(1) 現場におけるDX活用の発展

a) 4Dシミュレーション対応のCIMモデル活用

現在、CIMモデルはより多くの情報を一元的に管理できるモデル作成が求められている。2021～22年の工事では、従来の3Dモデルに工程表の情報を加えることで、4Dシミュレーション対応（3D+時間軸）のCIMモデル（図-4）作成・活用を進めた。全体工程と進捗管理を連動させることで、施工管理業務のさらなる効率化を図った。

現場では、週間工程会議において、進捗状況の確認に使用された。また、従来と同様にCIMモデルから施工進捗に応じた施工管理項目の情報確認・利用ができるように情報を付与することで、工事関係者が管理データを一元的に確認・活用できることを可能としている。

b) 鉄筋干渉チェックの自動化

上部工の施工においては、場所打ちコンクリート部に、プレキャスト部材をクレーンで設置する際に、特に密な配筋であることから、鉄筋の干渉を事前に確認する必要があった。そこで、鉄筋に関する情報をモデル化し、施工前の干渉チェックや組み立て状況の確認を行うことで作業効率と精度の向上を図った。（図-5）

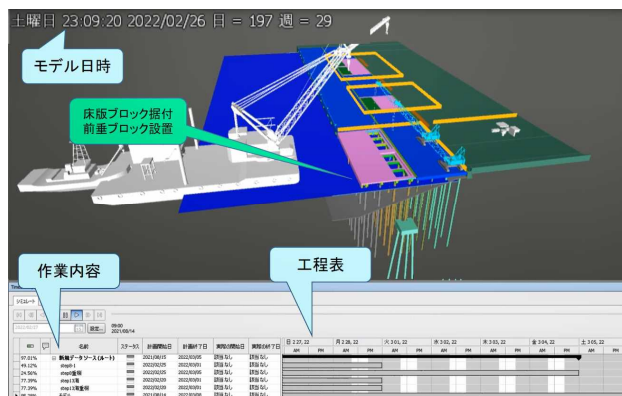


図-4 4Dシミュレーションの活用

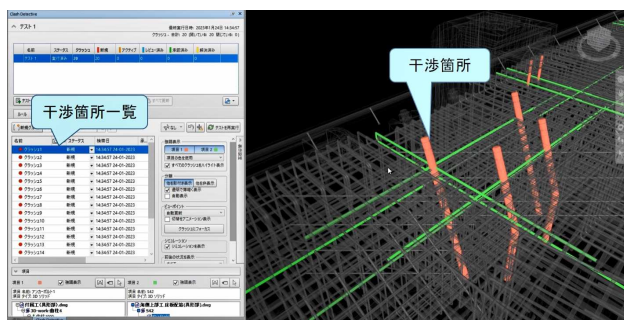


図-5 鉄筋干渉チェックの自動化

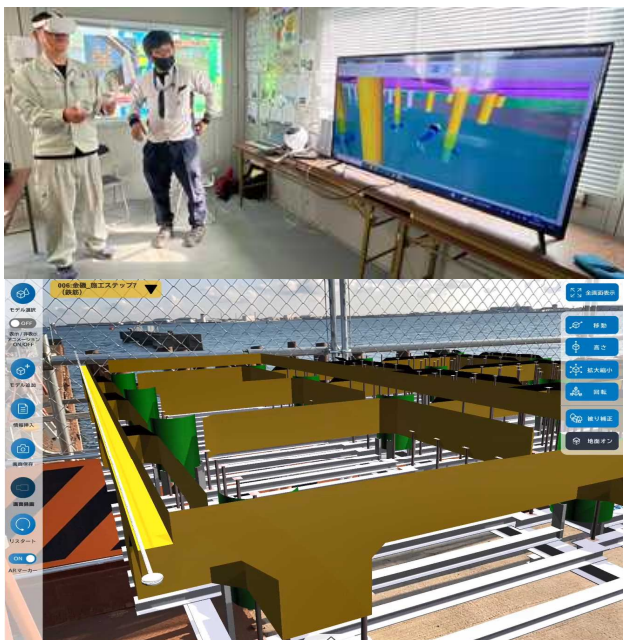


写真-3 AR/VRを活用した安全教育の実施

c) AR/VRを活用した安全管理の高度化

AR/VRを取り入れた施工イメージの共有と安全管理の高度化の取り組みを進めた。（写真-3）

ARを利用して作業の段階毎に実際の現場に重ねて表示することで、ステップ毎の現場の状況を視覚的に確認し、イメージの共有を行った。また、CIMモデルをVRで再現することで、若手の職人に対して施工箇所の様子を視覚的に体験させ安全管理の意識向上を図った。

(2) 請負者の現場担当者の反応と今後の期待

- ① BIM/CIM活用工事の経験者は未だに少なく、モデル作成に重きが置かれ、効果的に活用するための十分なノウハウが蓄積されていない状態である。そのため、受発注者を問わず効果的なノウハウを共有する機会の提供が重要である。
- ② CIMモデルの作成は、モデル作成のみではなく複数のソフトを介して作成するため、CADオペレータだけでなく、BIM/CIMマネージャーの存在が不可欠である。一方で、十分な知識と技能を有した人材が少なく、リアルタイムの施工状況のモデルを更新・活用することが困難な状況にある。そのため、BIM/CIM活用を

念頭に置いた組織・体制づくりが必要となっている。

- ③ CIMモデルを幅広く活用していくためには、モデル作成段階におけるファイル形式や、使用するソフト選定、モデルに付与する属性情報の種類及び付与方法に統一的なルールや基準の整理が必要となっている。

以上の反応を受け工事担当係長として、ノウハウを共有できる場の提供や、過去事例を元にしたファイル形式や付与する属性情報のアドバイス等を行うことで解決を図っていきたいと考えている。

6. 2023年工事におけるDX活用の期待

これまでに、業務効率改善の取り組みと現場におけるDX活用の発展を報告したが、2023年工事ではさらなる発展を進めている。課題となっていたCIMモデルの作成に時間を要し、工事着手時点から十分にモデルが活用できなかった点についても、過年度データを遅滞なく手配・提供し、データの蓄積を活用することで一定の解決が図られた。「4Dシミュレーションの工事着手時点からの活用による工期全体を通じた施工管理の高度化」により、事前に繁忙期や輻輳施工時期を可視化し、関係者間で共有、早期の対策措置を実施している。新たな活用方法の提案に向けて現場担当者やりとりを進め発展を目指したいと考える。

7. おわりに

今回の取り組みを経て、工事を“見て”理解を進めることで、監督業務を効率化できたと感じている。一方で、現在のCIMモデルでは作業手順等、細部の落とし込みは出来ておらず、監督業務を十分に行うためには、DXを活用する内容と、実際の現場を見る内容をしっかりと吟味する必要がある。そして、DX活用により効率化した時間を利用し現場に足を運ぶことで、工事担当係長として現場と向き合った職務実施に務め、品質向上を目指していきたいと考える。

また、今後もインフラDXは日進月歩で発展するため、デジタルネイティブ世代の先輩世代として、若手の意見をしっかりと聴き、適切かつ柔軟に取り入れることで業務効率化を牽引していきたいと考える。

さらなる効率化に向けては、現在の業務をどう置き換えるかを常に考えることが重要である。「BIM/CIMモデルから二次元の平面図・配筋図等の作成」によって内業の負担軽減を図り、「金額情報付与による5Dシミュレーションの対応」によって予算管理の効率化を進める等、技術活用により実現したい具体的な省力化のビジョンを持って職務に携わり、仕事を進めていきたいと考える。

オフィスDXはじめました。 ～企画部若手の執務室環境改善～

千葉 日可里¹・南雲 佳純¹・鈴木 啓太²・齋藤 大輝³・山蔭 梨紅⁴

企画部 ¹企画課 ²広域計画課 (〒980-8602 仙台市青葉区本町3丁目3番1号 仙台合同庁舎B棟)

³現：仙台河川国道事務所 工務第二課 (〒980-8602 仙台市太白区あすと長町四丁目1-60)

⁴現：岩木川ダム統合管理事務所浅瀬石川ダム管理支所 (〒036-0404 青森県黒石市大字板留字杉の沢2)

建設業界の働き方改革実現に向けて、国土交通省東北地方整備局ではインフラ分野DX（デジタルトランスフォーメーション）を推進している。令和5年3月28日、インフラDX推進の拠点として企画部11階フロアにDXルームが設置されたが、これに伴い執務室の面積が縮小されるという課題があった。

本稿は、省スペース化に対応した執務室環境改善を図るとともに、オフィスDX化に向けた業務効率化を目指した企画部若手チームの検討過程と実施の成果を報告するものである。

キーワード 働き方改革, DX, 業務効率化, 若手職員

1. はじめに

(1) 実施に至る経緯

令和3年11月18日に東北地方整備局DX推進本部が設立され、当該組織によりインフラDXのより一層の推進が図られることとなった。推進本部を構成する部会のひとつであるDX企画部会では、検討テーマとして本局インフラDX推進の核となるDXルームの設置や職場の業務効率向上等が設定されていた。本局11階企画部フロア内に設置する「DXルームⅠ・Ⅱ」の設置は、企画部内の執務室のレイアウト変更（各課の面積縮小等）を伴うものであり、DXルームの対面にあたる企画課・広域計画課において、省スペース化とあわせ、インフラDXの実践及び業務効率向上に必要な日常業務のDX推進のため、東北地方整備局先行モデルとして執務室の環境改善を行うこととなった。

(2) 若手DXチームの発足

令和4年度、11階フロアの整備を行う業務「机・椅子及びパーティション外購入」（以降、本業務とする。本業務は、DXルーム設置とそれに伴い必要な空調・消火設備、電気設備等の付帯工事のほか、DXルーム及び執務室に導入する机椅子等新規什器の購入、設置、既存什器の撤去を行うものである。）を発注すると同時に、4月下旬から「どのようなオフィスにするのか」を検討するにあたり発注担当係による勉強会を開始。ブレインストーミングや民間企業のオフィス見学を行い、執務室改善における現状の課題と目指す姿をまとめていったが、働きたくない執務室を目指す上で、より広い視野と柔軟

な企画・発案が求められ、企画課、広域計画課、情報通信技術課の若手職員をメンバーとした若手勉強会が発足した。（写真-1）メンバーは入省3年目以内であり、他課の職員との交流の機会増加という副次的効果もねらっていた。



写真-1 若手DXチームによる民間企業のオフィス見学

2. 検討内容（課題抽出と改善策検討）

(1) 省スペース化に向けて

企画課、広域計画課の省スペース化には、書類キャビネットの大幅削減に併せて、引き出しの無い省スペースデスクの導入、さらに建設専門官・補佐クラスを島に吸収する配置にて対応した。企画課、広域計画課の職員を対象に行った聞き取り調査によると、「紙資料の整理作

業が追いつかない」「保管スペースが足りない」といったペーパーレスへの不安が共通して挙げられた。従前の執務室は、机上が膨大な紙資料にあふれ、雑然とした状態であった。（写真-2）また、DXルーム設置予定箇所には男性職員のロッカーや書類棚、パネル等の広報資料が保管されており、整理を行う必要があった。（写真-3）各係に文書保存期間基準に則った保管文書の整理を呼びかけ、文書の廃棄と移管を進めた。紙資料が無い状況下での業務支援として、資料閲覧、共有を行うためのモニターを各席配備し、予約なしで使用できるWEB会議ブースを新たに設けた。（写真-4）情報通信技術課によるWi-Fi（無線LAN）設備試行運用が始まり、自席PCを気軽に持ち運び、打ち合わせをすることも可能になった。WEB会議場所に苦慮している現状の打破と、テレワーク時のミーティングの実施場所として活用するなど、遠隔業務の促進にも効果が期待される。



写真-2 改善前の執務室



写真-3 DXルーム設置個所にある膨大な行政文書



写真-4 WEB会議ブースでの打ち合わせ

(2) 執務室のレイアウト

執務室のレイアウトを考えるにあたり、働きたいオフィスのイメージを膨らませるため民間企業等のオフィス見学に何度も足を運んだ。見学に行ったとある民間企業では、「DX×健康」をテーマにオフィス環境の改善を実施していた。昇降デスクで座りっぱなしを防止したり、快適な睡眠を促す照明システムを採用したりと、職員の健康にも考慮することは新たな着眼点だった。実体験として「執務環境を変えてはじめてのころは職員から不満が出ることもあるが、1,2か月ほどで慣れていく」というお話を聞くことができ、執務室の環境改善には時間をかけて取り組む必要があると学んだ。また、東北地方整備局と同じ仙台合同庁舎B棟に所在する東北経済産業局では、什器や備品のデザインで統一感を出し、おしゃれなオフィスを演出していた。そのきれいな執務室に惹かれ、入庁を決めたという新規採用職員も存在し、執務環境の魅力向上は人材確保にもつながると気づかされた。

オフィス見学を踏まえ、11階フロアの机や複合機、棚の配置を検討した。現況の執務室における机と机の間隔や背中合わせに座った際の椅子同士の間隔を計測し、実際の利便性を損なわないよう気を付けた。まず、執務室を日常の業務を行う執務スペースとコミュニケーションスペースに分けた。二つのスペースの間仕切りには空間が広々と感じられるよう、リラックス効果もかねた植物を配置することを提案した。配色については、課内職員や什器メーカーの方から助言をいただき、執務スペースは落ち着いた色合いに、コミュニケーションスペースは明るく話しやすい雰囲気になるよう検討を進めた。4人机の間は通路となるよう配置して、円形ハイテーブルを取り入れた。円形に集まり、立って打ち合わせをすることで、話やすく健康にも良い効果があると考えている。（写真-5）新しく導入したカフェスペースでは、従来、課毎で管理していたポットや文房具類を一箇所のカウンターに集約することで、余計なものを置かずすっきりとしたオフィス環境を意識した。人が自然と集まってくるマグネットスペースとして機能し、コミュニケーションの活性化を目指している。



写真-5 Wi-Fiを活用した円形ハイテーブルでの打合せ
(3) スマートな働き方・多様な働き方実現のために

令和4年12月には、既存什器の撤去と新規什器の搬入が完了し、新しい執務環境となった。(図-1) 形が整ったとはいえ、今後快適に働き続けるためには使い方が重要となる。そこで、若手が考える新しいスマートな働き方と、それを実現するためのルールを職員に提案、共有した。「すぐに打ち合わせができる＝気軽なPCの持ち運び、デュアルモニターの活用」「どこでも仕事ができる＝紙に頼らない(ペーパーレス)」「整理整頓がされた、きれいな職場」の3点をスマートな働き方として挙げた。(写真-6) これを実現させるためのルールは、実際に働き始めてから気づく良い点や改善すべき点があるため、意見を募集しつつ、適宜修正していくことにした。

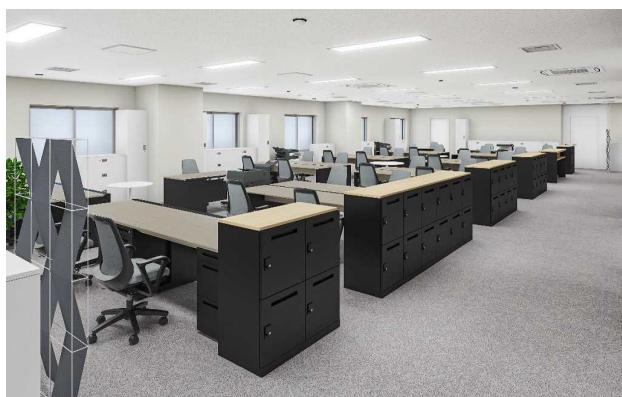


図-1 改装後の執務室(イメージパース)



写真-6 カフェスペースで活発に議論する職員

3. 実施の成果

(1) KPI測定

執務室環境改善の効果を測定し、定量的に「見える化」をするため、KPI測定を実施した。KPI(Key Performance Indicator)とは、「重要業績評価指標」と訳され、目標達成の度合いを測る指標である。本業務では、収納量(ストック削減率)、紙消費量(フロー削減率)、クリアデスク定着度の3つの項目について目標を設定し、

測定・記録をしている。なお、職員の執務室環境改善に対する意識向上のため課内の定例会議で毎月の結果を共有することとした。収納量については、改装によって実現される削減率60%を維持することを目標とした。現在は維持し続けている。紙消費量については、削減率20%を目標として複合機のメーターカウンタから改装前後のカウント数を比較している。改装前は令和2年4月～令和4年12月までの月平均とし、複合機を減らした1月以降を改装後として毎月記録している。9月末時点では、改装前と比べて47%削減を達成。(図-2) 平均値を比較するため、今後も計測を続ける。クリアデスク定着度は、退勤後の机上の状況を写真で記録し、書類・物品を積み上げたメートル数を、収納量を表す単位fm(ファイルメーター)で計測する。毎月1人あたりの平均値を出して、露出ゼロ(0fm/人)を目標と設定した。(図-3) 改装前の12月時点では、0.31fm/人であったのに対し、改装後の1月末には0.0fm/人(測定値0.0046)を達成した。2月、3月も露出ゼロを継続した。4月からは机下の収納ラック外(床置き等)にある書類も含めて計測を行うこととした。人事異動により職員が入れ替わり、意識改革を進める必要があったため課内の全体引継ぎの場で、これまでの執務室改善の取り組みを紹介。今年度も継続して執務室環境の維持を図っている。

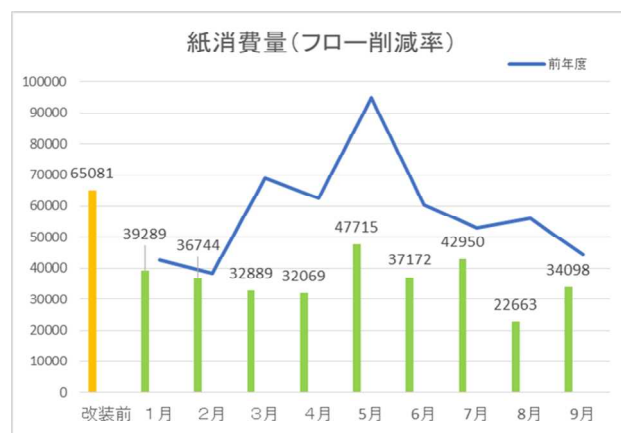


図-2 紙消費量の推移(9月末時点)

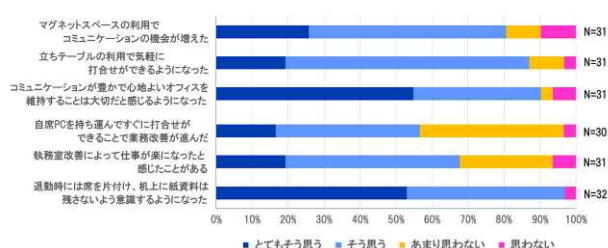


図-3 クリアデスク定着度の事例

(2) 職員が感じる執務室の改善効果

執務室の環境が変化して1か月後に、ルールの見直しや今後の改善に生かすために企画課・広域計画課フロアの職員に対してアンケート及びヒアリングを実施した。

アンケートの結果を見ると、立ちテーブルやマグネットスペースの利用によりコミュニケーションが増えたと8割以上の職員が回答し、コミュニケーションの必要性を再認識している職員が9割以上存在した。また、執務室改善によって仕事が楽になったと約7割の職員が実感していた。(図4) ヒアリングでは、良い点として「Wi-Fi環境となったことで、紙ではなくPCによる説明が増え、ペーパーレスにつながっている。」「開放的な空間となり室内の圧迫感がなくなったことで気持ちの面でも余裕が感じられ、精神衛生上でもプラスになっていると感じる。」といった言葉をいただいた。困った点としては、「PCの持ち運びはワイヤーケーブルの取り外しが必要で、取り外し鍵の個数が部で一つのため、簡単に持ち運びできない」「今後どの書類がペーパーレスとして取り扱いして良いのかが分からない」ということが挙げられた。

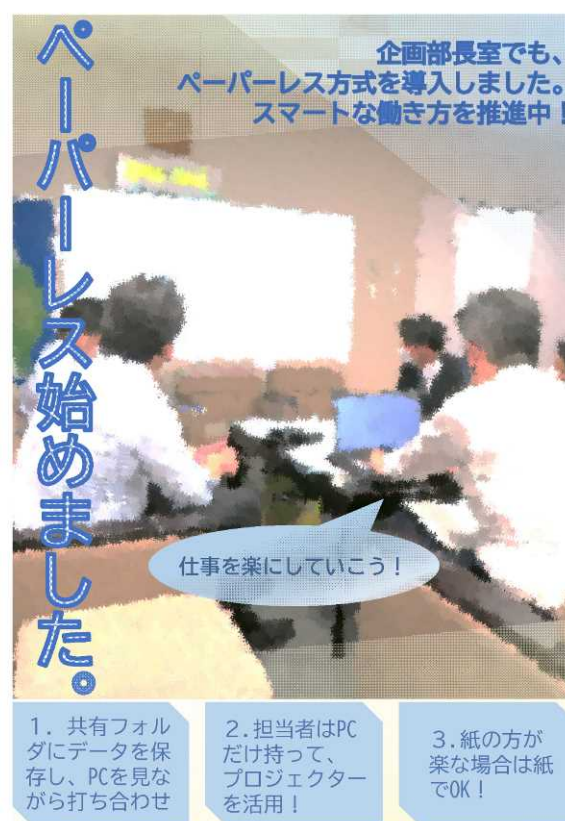


(図4) アンケート結果

4. まとめ

KPI測定やアンケートの結果から分かるように、執務室改善によって職員の意識変化や業務効率化に良い効果が出ている。はじめは新しい執務環境に合わせて働く意識が強かったが、次第に慣れていき、紙資料を用いない打ち合わせやDXルームの使い方も身についてきた。使い方が身につくと、利便性が分かり、状況に合わせてどのやり方で行うのが効率的で働きやすいのかを選択することができるようになる。職員自身が、働きやすさを求めて考え、行動できることが大切だと実感した。令和5年の4月18日からは、企画部長室にプロジェクターが設置

され、ペーパーレス推進の取り組みをはじめた。(図-5) 企画部長からは「DXは若手に任せた」はNGワード、として全員でお手本となる働きを目指すよう声かけがあった。組織全体で取り組むことで一体感が生まれ、よりよい働き方の実現も進みやすくなる。11階企画部フロアには、外部の来客者が見学に來たり、他フロアの職員が立ち止まって見ていたりすることが増えた。この執務環境作りに携われたこと、働いていることは職員にとって誇りにもなると思う。今後もよりよい執務環境を目指して課題の対応、職員の意識向上に努めていく。



(図-5) ペーパーレスははじめましたステッカー

謝辞：今回、若手勉強会として執務室改善に取り組む中で、上長の皆さま、11Fフロアの皆さまにはご理解とご協力をいただきました。心より感謝申し上げます。

環境DNAを用いた魚類多様性評価 現場実装への期待

本間 翔太¹・細川 真也^{1,2}・大倉 翔太²

¹ (国研) 海上・港湾・航空技術研究所 港湾空港技術研究所 ビッグデータ研究グループ (〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬3-1-1)

² 港湾空港技術研究所 海洋環境情報研究グループ

環境DNAメタバーコーディングは、環境中に含まれる生物由来のDNAを、採水と室内分析により種網羅的に検出する技術であり、これを用いることで非破壊的かつ低コストな生物調査の実現が期待できる。しかし、潮汐や河川流入などにより環境DNAの空間分布が複雑になる港湾・沿岸域では、適切な調査方法が未だ確立されていない。本研究では、魚類を対象に、久里浜湾における環境DNAの空間分布を調査した。この結果、本技術は久里浜湾周辺であれば数km程度のスケールで種組成の差を検出する解像度を有することが示された。環境勾配の大きな地点に調査サイトを配置することで、港湾における生物多様性評価にも適用できる可能性がある。

キーワード 環境DNA, 魚類多様性, 空間解像度, 生物共生型港湾構造物

1. はじめに

環境DNA調査は、生物から環境中へ放出されるDNA（以下、環境DNA）を分析することで生物の存在を推定する調査である。近年、水中の環境DNAに関する研究開発が進んでおり、1つの水サンプルから種を網羅的に検出可能な環境DNAメタバーコーディング技術が注目を集めている。これを用いることで、従来の採捕などによる調査手法と比べて非破壊的かつ低コストな生物調査が実現することが期待されている。現在、本技術を河川水辺の国勢調査へ導入する取り組みが進んでいるほか、港湾・沿岸域分野においても、生態系モニタリングや多様性評価に活用することが期待できる。

水中の環境DNAは、水の流れにともなって拡散するが、その過程の中で劣化が進むと検出されなくなり拡散の範囲に限界が生じるため、調査結果はある程度の空間代表性を持つと考えられる。例えば、流動が比較的穏やかな舞鶴湾では、800 m程度離れた場所間で魚類の種組成に相関がみられなくなったことが報告されている (Yamamoto et al., 2017)。しかし、潮汐や河川流入の影響により流動の変化が激しい港湾や沿岸域では、調査結果は河川や湾外の群集に由来する環境DNAから強く影響を受けると考えられる。本技術を、生物共生型港湾構造物などの事業評価に適用することを考えた場合、その空間解像度を把握しないまま調査サイトを選定すれば、多様性評価を誤る可能性がある。こうした環境下におい

て適切な調査方法は未だ確立されておらず、現場実装への課題の一つとなっている。

港湾・沿岸域における環境DNAの空間構造は、場所特有の流れとDNAの劣化プロセスに依存すると考えられるが、その複雑性から機構の解明には至っていない。しかしデータから場所間の多様性を比較可能な空間解像度を把握することは可能であり、その知見を蓄積することで調査方法の確立に寄与できる。

本研究では、港湾・沿岸域の魚類多様性評価における環境DNA調査の空間解像度の把握を目的とし、数km程度と数百m程度の2つの空間スケールで場所間の統計的な差が見出せる限界について調査した。さらに、港湾で活用する際の調査サイトの配置方法について検討した。

2. 方法

(1) 環境DNAメタバーコーディング

本節では、環境DNAメタバーコーディングを用いた調査方法の概要を紹介する (図1)。詳細な方法は、環境DNA学会が発行する調査・実験マニュアルに詳しい (環境DNA学会, 2022)。調査は、主に以下の2つの過程によって行われる。

1) 採水・ろ過: 採水用のバケツやサンプラーを用いて、1~2 L程度採水を行う。その後、フィルターに水を通してろ過を行い、フィルターにDNAを吸着させる。

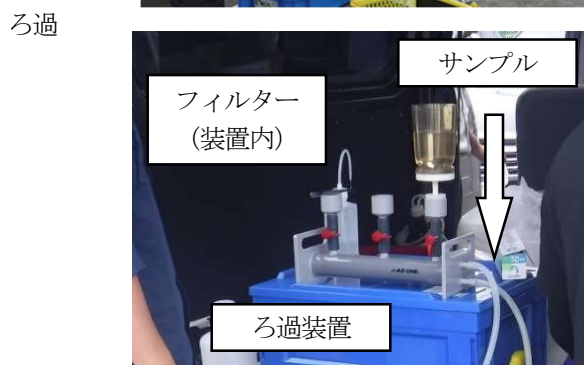
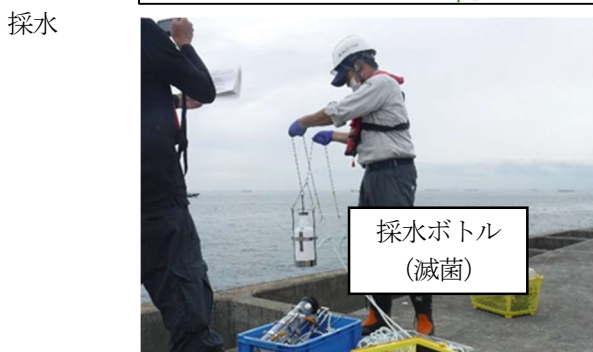
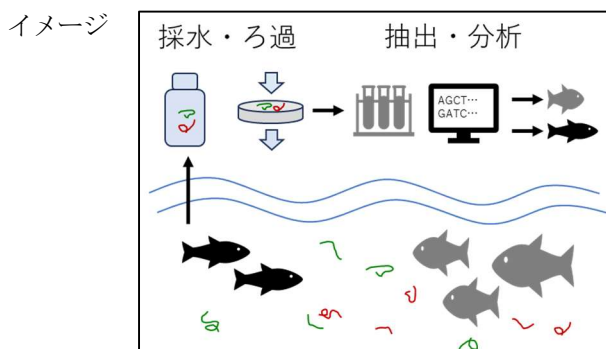


図1：調査イメージと採水・ろ過の様子

2)抽出・分析：薬液等により細胞からDNAを分離し、不要物などからDNAを精製、濃縮したのち、PCRによってDNAを増幅させる。得られた塩基配列と、データベースを照合することで、種の存在を推定する。

(2) 調査地点

環境DNA調査により得られた結果を、2つの空間スケールにおいて比較することにより空間解像度を検証した。調査は、神奈川県久里浜湾およびその周辺の水域で行った。

数km程度の空間スケール（湾周辺スケール）として、久里浜湾内の調査サイト（湾内：S1～S7）と、湾に接続する平作川のサイト（河川：RA～RE）、および湾より約2 km沖のサイト（湾外：S8）を選定した（図2-a）。また、湾内のサイト（S1～S7）を、数百m程度のスケール（湾内スケール）とした（図2-b）。なお、S7とS8は、上層（水深1m）と下層（水深5m）でサンプルを取得しており、それぞれサイト名+U/Bという記号で表す。

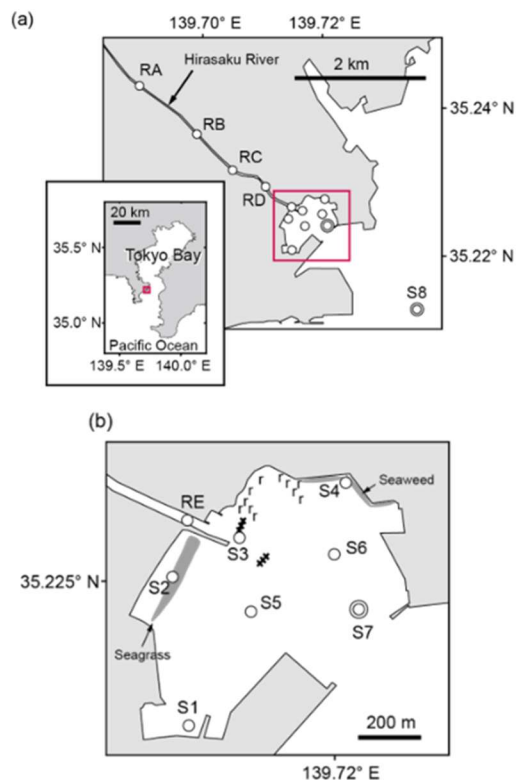


図2：調査サイト

(a) 湾周辺スケール、(b) 湾内スケール。

(3) 調査条件

RAからS8_Bまでの15サイトで各2サンプル、合計30サンプルを取得した。調査は2021年1月に実施し、ハイロート採水器を用いて、満潮時（9時）と干潮時（14時）に、各調査地点でそれぞれ2 Lの採水を行った。ガラス繊維フィルター（GF/F）を用いてろ過を行った後、MiFish-U、MiFish-U2、MiFish-Ev2のユニバーサルプライマーを組み合わせ、メタバーコーディング解析を行った。同時に、各地点における水温、塩分、濁度、クロロフィルaを、多項目水質計を用いて測定した。

(4) 統計解析

DNAの増幅を標準化するため、検出された種のリード数の割合に基づいて、得られたデータをサンプル内の最小リード数に希薄化した。その後、群集の非類似度に基づく非計量多次元尺度法（NMDS）により、種組成を解析した。非類似度は、種の存在量に基づき0から1の値をとるBray-Curtisの非類似度を用いた。また、群集の非類似性と地理的距離との相関関係を分析するため、Mantel検定を行った。さらに場所や潮汐による種組成の非類似性を評価するため、順列多変量分散分析（PERMANOVA）を行った。以上の統計解析には、R packageであるvegan(v.2.6-4, Okansen et al., 2022)を用いた。

3. 結果

(1) 結果の概要

15地点から、30サンプルを取得し、得られたデータを最低リード数であった27910リードに希薄化した結果、合計212種が検出された。また、久里浜湾内のサイト（S1からS7U/Bの計8サイト）では、170種が検出された。

(2) 群集組成の解析

平作川、湾内および湾外における数kmの湾周辺スケールにおける魚類の種組成は、有意に異なっていた（PERMANOVA ; $\text{psedo-}F=4.46$, $p=0.001$, 図3-a）。また、種組成の非類似度と、地理的距離の間には、強い相関関係が示された（Mantel test ; $r=0.75$, $p=0.001$, 図4-a）。

一方で、数百mスケールに着目した湾内スケールの場合、調査サイト間での魚類の種組成の違いは示されず（PERMANOVA ; $\text{psedo-}F=0.97$, $p=0.55$, 図3-b）、種組成の非類似度と、地理的距離との相関も示されなかった（Mantel test ; $r=0.024$, $p=0.39$, 図4-b）。

湾内の調査サイトの環境条件に着目すると、調査サイトを北部の水深が浅い地点（水深2-3 m程度：S2, S3, S4, S6）と南部の水深が深い地点（水深5 m程度：S1, S5, S7）の2群に分けた結果、種組成は群間で有意に異なっており、また、潮汐条件による種組成の差も示された（PERMANOVA ; $\text{psedo-}F_{\text{depth}}=2.73$, $p_{\text{depth}}=0.022$, $\text{psedo-}F_{\text{tide}}=2.45$, $p_{\text{tide}}=0.035$ ）。各調査サイトで取得した水温、塩分、濁度、クロロフィルaの中で、濁度は種組成に強く影響を与えていた（PERMANOVA ; $\text{psedo-}F=2.67$, $p=0.020$ ）。

4. 考察

(1) 環境DNAの空間解像度

平作川から久里浜湾沖にかかる数kmの湾周辺スケールにおいて、種組成の明確な差が見出され、環境DNA分析による多様性評価の空間解像度が数km程度あることが示された（図3-a）。この差は地理的距離と相関があることから、河川と湾内および湾外の水塊構造の違いによるものと考えられる。一方で、数百m程度の湾内スケールにおいて、種組成は場所間で異なるとは言えず、種組成と地理的距離との空間相関も見られなかった（図4-b）。

湾内スケールにおいて、サイト間での種組成の差は見出されなかったが、環境条件に着目すると、湾内においても環境勾配の大きなサイト間の種組成の差が見出された。久里浜湾は湾北部から中央部にかけて深度が深くなり、また北部の一部で岩礁が発達している複雑な地形で

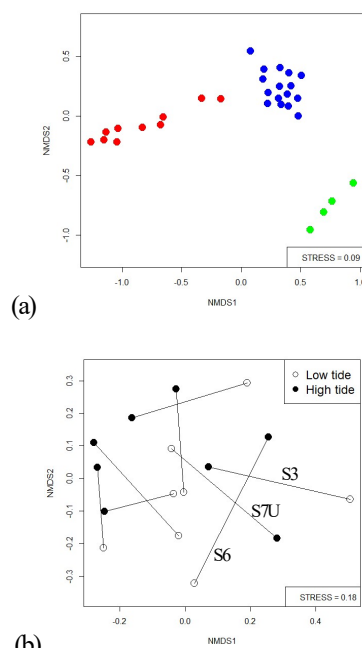


図3：非計量多次元尺度法に基づくプロット
種組成が似ているサイトが近くに配置されている。
(a) 湾周辺スケール。赤：河川、青：湾内、緑：湾外を示す。(b) 湾内スケール。黒：満潮、白：干潮で、同サイトは線で繋がれている。

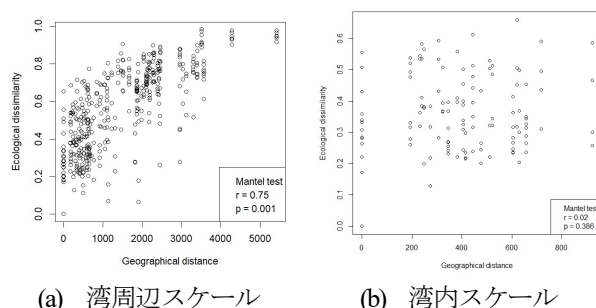


図4：組成の非類似度と地理的距離の関係
横軸がサイト間の距離を、縦軸がサイト間の種組成の非類似度を示している。

ある。満潮から干潮にかけては、湾北部のS4やS6サイトで渦を巻くような局所的な流動特性がみられる（日比野ら、1999）。一方で、湾内の中央部から南部は水深が深く、湾口からS1サイト周辺にかけては、東京湾を横断するフェリーが毎時刻航行するなど、南北に異質な構造である。この南北間で、水深は3 m程度異なるほか、底質も均一ではないため、種組成も異なると考えられる。濁度が種組成に影響を与えたことが示されたことも、この場所間の環境差を反映したもののだろう。湾内において群集の非類似度と地理的距離との相関が示されなかったことは、この地形勾配が湾北部において局所的なためだと考えられる。

湾内スケールの調査結果は、湾内における環境DNAの空間分布の複雑性を示しているものの、環境DNA調査の空間解像度の限界を示しているとは言えない。メタバーコーディングを用いた調査により、S2サイト付近におけるアマモ場において、鉛直方向に配置した場所間で魚類の種組成が異質であったことが報告されている (Momota et al., 2022)。これは各場所12サンプルずつという比較的サンプル数の大きいデータから得られた結果ではあるものの、環境DNA調査は、港湾という流動の変化が大きな環境においても、特定の底質における数m以内の魚類相の差も検出できるポテンシャルを持つことを示している。今回の結果では、空間的に広くサンプルを取得し、サイトごとのサンプル数が少なかったことで、有意性が検出されにくかったと考えられる。関心のある空間スケールに応じて調査サイトを適切に配置する調査方法の検討が求められる。

(2) 潮汐による組成の変動

湾内スケールにおいて、潮汐条件による種組成の有意な差が示されたことから、湾内の環境DNAは潮汐により短時間で変動していたと言える。本調査では、満潮時と干潮時のタイミングでサンプルを取得した。したがって、この短時間変動の要因は、潮汐による湾内の種組成そのものの変化と、河川からの淡水魚の環境DNAの流入が考えられる。後者は特に多様性評価を誤る原因となるため、結果の解釈に注意する必要がある。

NMDSプロット (図 3-b) で、河口から湾口を結んだ湾中心部のサイト (S3, S6, S7U) が潮汐条件間で遠くに配置されたことは、河川からの環境DNAの流入を反映している可能性がある。本稿では空間解像度の把握を目的としたため、詳細なデータは割愛するが、湾内でも淡水魚が多く検出されていた。このような河川からのDNAの流入は、沿岸域で度々報告されている (例えば、細川ら, 2020)。適切な調査サイトを選定するために、淡水の流入を考慮することの重要性は、本調査からも示唆された。淡水からの環境DNAの流入が、湾内の多様性評価に与える影響を評価することは今後の課題である。

(3) 港湾・沿岸域における調査サイトの配置

環境DNAは水の移流とともに拡散することから、港湾・沿岸域で多様性評価を行う場合、調査サイトの選定は重要な検討事項である。本調査で得られた結果から、港湾における調査サイトの配置方法について検討した。

環境DNAを用いて、河川、湾内、湾沖という水塊が異なる数kmスケールにおける地点間の多様性を評価したい場合、少ないサンプルでも種組成の差を検出できることが期待できるため、空間的に広くサンプルを取得し

た方が経済的メリットを得やすい。

また、数百メートルの湾内において、地点間の多様性を評価することを目的とする場合には、小サンプルではその差を見出しにくいいため、空間的にたくさんのサンプルを配置するよりも、調査サイトを湾内の環境勾配の大きなサイトに絞り、複製サンプルの取得を優先した方がいいだろう。また、環境DNAが流動により拡散することを考慮し、調査サイト選定の際には、環境DNAの挙動を予測することが重要である。本調査で示唆されたように、河川からの流入の影響を考慮し、淡水魚のDNAに影響を受けにくいサイトを選択する必要がある。また、環境DNA分布が潮汐で短時間に変動することを考慮し、サイトにより潮汐条件に偏りが生じぬように調査を計画することも重要である。

5. 結論

本研究では、港湾・沿岸域における環境DNAを用いた調査の空間解像度を把握することを目的として、魚類の環境DNAの空間分布を調査した。その結果、久里浜湾とその周辺水域の数kmスケールにおいて、種組成の差を見出すことが示された。また、久里浜湾内の数百mスケールでは、空間に均等に配置されたサイト間で種組成の差は検出されなかったものの、湾内の環境勾配の大きなサイト間では水塊の違いに起因すると考えられる差が示された。調査サイトを環境勾配の大きな地点に配置することで、港湾における多様性評価に適用できる可能性がある。

謝辞：本調査を実施する機会を頂いた、関東地方整備局横浜港湾空港技術調査事務所に感謝いたします。

参考文献

- 1) 日比野忠史ほか: 久里浜湾の流れ特性と生態系に関する研究, 港湾技術研究所報告 VOL.38, NO.2, 1999.
- 2) 細川真也ほか: 環境DNAによる沿岸域魚類の網羅的な推定と多様性評価, 港湾空港技術研究所資料 No.1373, 2020.
- 3) 環境DNA学会: 環境DNA調査・実験マニュアル ver2.2, 2020.
- 4) Momota et al.: Small-scale heterogeneity of fish diversity evaluated by environmental DNA analysis in eelgrass beds, Marine Ecology Progress Series, 688:99-112, 2022.
- 5) Oksanen et al.: vegan: Community Ecology Package, R package version 2.6-2, 2022.
- 6) Yamamoto et al.: Environmental DNA metabarcoding reveals local fish communities in a species-rich coastal sea, Sci. Reports, 7: 40368, 2017.

道路事業と希少猛禽類の共存を目指して ～AI等の新技術を活用した取り組みについて～

坂口 莉緒¹・水野 力斗¹・小坂 豊¹

¹金沢河川国道事務所 計画課 (〒920-8648 石川県金沢市西念4丁目23番5号)

石川県能登地域における自動車専用道路の事業区域周辺は絶滅の恐れがあるオオタカ・サシバ等の希少猛禽類が多く生息している。このため、調査の実施にあたっては繁殖活動を阻害しないよう様々な環境配慮を講じている。

本稿では、希少猛禽類への影響を適切に調査・解析し工事を円滑に進めて行くため、調査段階及び工事段階での課題に対し、「遠隔監視カメラ」、「レーザー観測システム」、「AI 技術による鳴き声声紋解析システム」を用いた新たな調査手法の導入や、電子版環境配慮ブック等を活用した関係者の意識向上により解決を図った事例を報告する。

キーワード 道路事業、希少猛禽類、AI、鳴き声声紋解析、レーザー観測システム

1. はじめに

石川県能登地域における自動車専用道路の整備事業は、高規格幹線道路網の形成、災害に強いネットワークの形成、第三次医療施設へのアクセス向上、地域の発展・観光の活性化等を目的としており、高規格幹線道路の整備が進められている(図-1)。

当該事業区域が位置する能登地域には、棚田やため池など、希少猛禽類の餌場となる豊かな里山が広がっており、ミサゴ(環境省・石川県準絶滅危惧種)、サシバ(環境省絶滅危惧Ⅱ類・石川県準絶滅危惧種)、ハチクマ(環境省・石川県準絶滅危惧種)、ノスリ(石川県準絶滅危惧種)やオオタカ(環境省・石川県準絶滅危惧種)等の希少猛禽類が生息している。近年、その生息数が著しく減少していることが問題となっていることから、対象道路の工事实施にあたっては細心の注意が求められている。

事業区域周辺では、ミサゴ、サシバ、ハチクマ及びオオタカの4種の営巣が確認されており、工事实施にあたっては、これら希少猛禽類の生息及び繁殖活動を阻害しないよう、継続的に希少猛禽類調査を実施するとともに、有識者からの指導・助言を得ながら様々な環境配慮を講じている。本稿では、希少猛禽類と共存した道路事業とするため、調査段階及び工事段階での課題に対して、AI等を活用した新たな調査手法の導入や、電子版環境配慮ブック等を活用した関係者の意識向上により解決を図った事例を報告する。

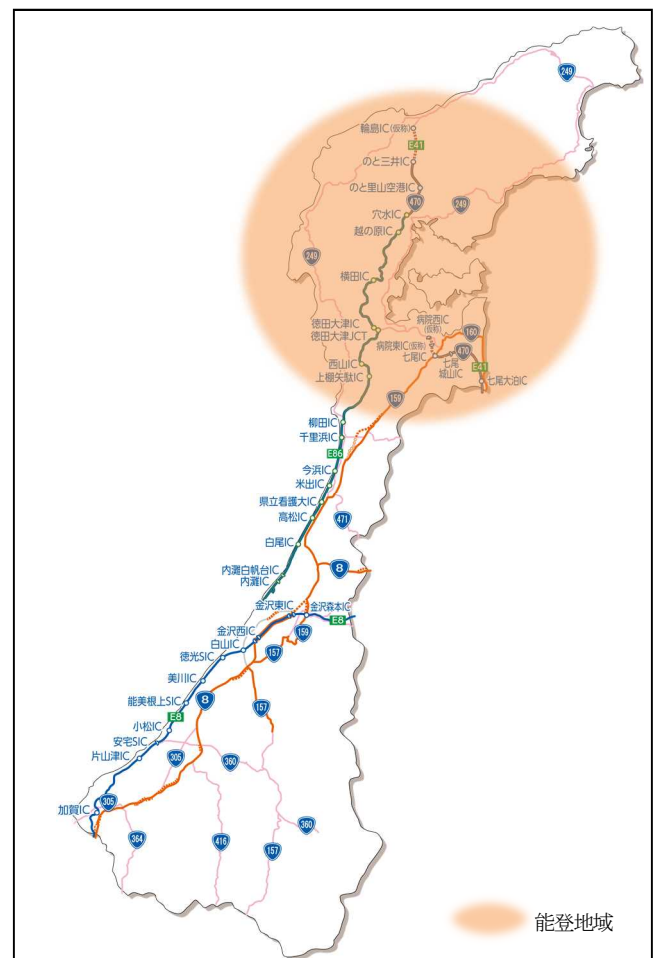


図-1 位置図

2. 事業区域周辺の希少猛禽類の生息状況

本事業は、国の要綱に基づく環境アセスメント（閣議アセス）が実施されており、平成11年度に手続きが完了している。環境アセスメントでは「希少な動植物に対して、事業実施段階に調査を実施し、関係機関協力のもと適切な措置を講じるとともに監視に努める」と記載されており、平成25、26年度に工事前の調査を、平成27年度から工事の影響を把握することを目的とした希少猛禽類調査を実施している。これまでの希少猛禽類調査では事業区域周辺において、ミサゴ4ペア、サシバ4ペア、オオタカ1ペア、ハチクマ1ペアの営巣が確認されている。

3. 希少猛禽類への影響を適切に調査・解析し、工事を円滑に進めていく上での課題及び対応

工事を円滑に推進するためには、希少猛禽類の保全と両立させる必要があり、そのためには、希少猛禽類に対する工事の影響を適切に調査、把握し、その結果に応じて環境配慮を講じる必要がある。

本事業の工事に際しても調査段階及び工事段階において、環境配慮を実施していく上での課題があったため、新たな調査技術等を取り入れながら対応した。

(1) 調査段階その1

a) 課題：調査圧による希少猛禽類への影響を回避

事業区域周辺にはオオタカ1ペアが営巣しており、令和2年には工事期間中にオオタカの繁殖活動の途中停止が確認された。原因については工事による人為的な影響やテン・カラスによる雛の捕食等の自然的な影響が考えられたが、従来の調査方法は調査員による月2日間の定点観察であったため、オオタカが繁殖活動を途中停止した詳細な時期や原因を特定することができなかった。

オオタカが繁殖活動を途中停止した原因を特定するためには、巣内の状況を詳細に観察して工事との因果関係を把握する必要がある。しかしながら、詳細な観察は営巣林内へ頻繁に立ち入ることとなるため、有識者はオオタカが調査員を嫌がり営巣放棄をする等の調査による影響（以下「調査圧」という。）を懸念していた。

b) 対応：遠隔監視カメラによる繁殖状況の確認

営巣林内への立ち入りを最小限に抑えつつ、繁殖活動の継続状況を詳細に把握することを目的として、営巣木から離れて巣内を観察できる場所に通信機能付き監視カメラを設置し、遠隔地の事務所で確認する無人観察を実施することとした。無人観察では動画撮影も考えられたが、長期間の観察となるため、営巣林縁部において電柱を設置し電源を確保することが必要となり、大掛かりな作業はオオタカへの影響が危惧された。このため、インターバルカメラに望遠レンズを装着し、乾電池式で静止

画を撮影できる通信機能付き監視カメラを使用した（写真-1）。今回の撮影では、営巣木から水平距離で約40m離れた巣内を確認できる場所に令和3年5月13日から8月12日までの92日間カメラを設置し、4時～19時までの15時間を対象に、30分毎に静止画を撮影した。これにより、テンやカラスによる捕食、雛が巣から落下してしまうなどの自然的影響の把握、また、親鳥が巣から長時間離れている状況が確認された場合において、工事との因果関係を速やかに追求できるようにした。



写真-1 遠隔監視カメラ

c) 結果：調査対象種の繁殖を確認

撮影の結果、カメラを設置した5月13からは親鳥を、5月25日からは雛を、6月13日からは羽毛が生え変わり成長した幼鳥を、6月27日には幼鳥の巣立ちを確認し、7月5日まで幼鳥が巣の近くを訪れていたなど、オオタカの行動を時系列に把握することができた（写真-2）。無人観察は調査圧を与えずに継続観察が可能であり、親鳥が巣から長時間離れている状況がなく、工事による影響がなかったことが把握でき、繁殖成功を確認することができた。



写真-2 遠隔監視カメラで撮影したオオタカ

遠隔監視カメラによる観察は、繁殖活動途中停止の原因を追究するための調査手法の一つであり、基本的に無人観察であるため、希少猛禽類に与える調査圧を回避できる。また、長期観察を要する場面においてコスト的にも優れる有効な調査手法である。

(2) 調査段階その2

a) 課題：飛行高度を踏まえた影響の解析

近年、風力発電施設と鳥類との衝突事故が注目されており、希少猛禽類調査では正確な飛行高度の把握が求められている。

本事業では、橋梁工事における移動式クレーンと希少猛禽類との衝突を有識者が懸念していたため、希少猛禽類の飛行に対する工事の影響を解析し、環境配慮を講じる必要があった。しかしながら、従来調査の飛行高度は目視による定性的な記録(低・中・高)でしかなく、正確な飛行高度を把握できず、衝突の可能性を予測できなかった。

b) 対応：レーザー観測システムによる飛行高度の把握

飛行高度を定量的に把握する方法には、希少猛禽類にGPS発信器を装着する方法があるが、この方法では、希少猛禽類を捕獲し機器を装着する必要があるため、少なからず個体に負荷がかかり調査圧を与えることになる。このため、個体に負荷を与えず飛行高度を記録できる調査方法として、飛行する希少猛禽類に2秒間隔でレーザーを照射し、反射波から飛行位置を3次元座標(緯度・経度・高度)で記録するレーザー観測システムを使用した調査を実施し飛行高度を正確に把握した¹⁾(写真-3)。

c) 結果：移動式クレーンとの衝突危険性の確認

調査の結果、ミサゴ1例、サシバ2例、ハチクマ3例、計6例の希少猛禽類の飛行位置の3次元座標を得ることができた。得られた座標データをもとに3次元飛行線を作成した結果(図-2)、希少猛禽類の飛行高度は地上約70mであることを確認することができ、移動式クレーンのブームの高さ(先端部)や稼働範囲、希少猛禽類の飛行ルートから解析を行った結果、希少猛禽類と移動式クレーンとの衝突の危険性が低いことを定量的に確認できた。



図-2 レーザー観測システムより作成した3次元飛行線図

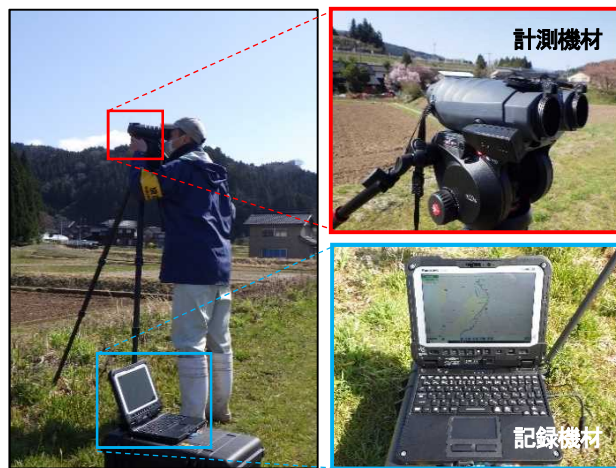


写真-3 レーザー観測システム

(3) 工事段階その1

a) 課題：希少猛禽類の渡去等の時期を踏まえた早期工事着手

事業区域周辺では、伐採木の仮置き場付近にサシバの営巣木が確認されている。サシバを含む希少猛禽類は繁殖活動中、外部からの刺激に対する敏感度が特に高いため、繁殖期間中に伐採木を仮置き場に搬入した場合、工事に伴う重機の稼働や作業員の存在、工事騒音等が繁殖活動に影響を及ぼすことが考えられた。このため、サシバが越冬のために当地から渡去した後、または繁殖活動を途中停止した後に工事着手する計画としていたが、伐採木の仮置き場への搬入の遅れは次工事の遅延に繋がるため、サシバの繁殖活動の途中停止や渡去を速やかに把握する必要があった。しかしながら、従来の手法である調査員による月2日間の定点観察では、渡去把握の遅れが懸念された。

b) 対応：AI技術を用いた鳴き声声紋解析システムによる調査

希少猛禽類は営巣木周辺で鳴き声を発し、鳴き声には種によって特徴(周波数や継続時間等)がある。

このため、サシバの繁殖活動の途中停止や渡去を速やかに把握することを目的として、録音された音声データからAI技術により希少猛禽類の種別を自動検出し、遠隔地に検出結果を転送できる観察装置²⁾を令和4年3月29日からサシバの営巣木近辺に設置した(写真-4)。



写真-4 AI技術による鳴き声声紋解析システム

c) 結果: 調査後、速やかに工事着手が可能に

調査の結果、設置開始から6月7日までは2〜3日に1回程度鳴き声が確認された(図-3)。しかしながら、6月8日から5日間、鳴き声が確認されなかったため6月13日に現地観察を行った結果、繁殖活動の途中停止を確認でき、その後速やかに工事着手することができた。

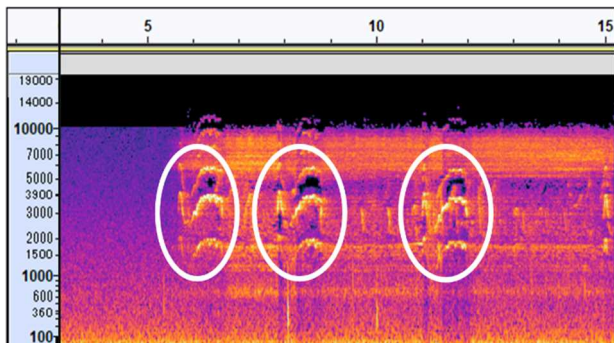


図-3 AI技術による鳴き声声紋解析システムで記録したサシバの鳴き声

(4) 工事段階その2

a) 課題: 環境配慮に対する関係者の意識向上

能登地域では、近年、希少猛禽類の生息数が著しく減少していることが問題となっており、本事業の実施にあたっては細心の注意が要求された。

このため、関係者が希少猛禽類の知識を深めるとともに、環境配慮に対する意識向上が必要であった。

b) 対応: 電子版環境配慮ブック等の活用と合同勉強会の実施

環境配慮に対する意識向上には、関係者が希少猛禽類の知識を深めるとともに、有識者、事業者、施工業者、環境調査実施業者が情報を共有し連携を図ることが必要と考え、表-1に示す2つの取り組みを行った。

4. 取り組みの結果

本事業は工事開始から10年が経過しているが、前述の新しい調査技術等を活用した取り組みや、関係者の連携強化による環境配慮の実施により、現在の希少猛禽類のペア数及び繁殖成功ペア数は、工事前の平成25、26年から減少していない。また、新しい調査技術や環境配慮の取り組みについては有識者からも高い評価を得ており、円滑な道路事業の推進に繋がっている。

5. おわりに

本稿では、道路事業と希少猛禽類の共存を目指し、本事業において実施してきた新しい調査技術等を活用した取り組みについて紹介した。今後も関係者間の連携体制を維持し環境配慮の取り組みを継続していく所存である。

謝辞: 本稿の執筆にあたり、ご協力をいただいた関係者の皆様に心より感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 上野裕介 (2021) 「レーザー観測システムを用いた猛禽類の飛行軌跡の3次元計測」
- 2) 山川将径 (2021) 「猛禽類調査の高度化・効率化を目指した鳴き声による種の自動判別: ニューラルネットワークとノイズリダクションによる精度向上」

表-1 関係者の環境配慮に対する意識向上のための取り組み

① 電子版環境配慮ブック・環境配慮マップの活用

電子版環境配慮ブックには、保全対象となる希少猛禽類に関する情報、工事中の環境配慮に関する情報及び希少猛禽類の営巣場所を発見した場合の対応に関する情報等を掲載している。アドレスを登録した関係者が現場作業時にスマートフォンやタブレット等により、いつでも、どこでも必要などきに閲覧することが可能である。

環境配慮マップには、希少猛禽類の重要な利用域と事業区域との位置関係で区間区分し、区間毎の環境配慮事項を整理している。施工業者は同マップを閲覧することにより、工事箇所が必要となる具体的な環境配慮を把握することが可能である。



② 合同勉強会の実施

合同勉強会は、以下に示す座学と現地観察の2部構成とした。

【座学】

- ・環境影響評価と事後調査の実施状況の把握
- ・希少猛禽類に対する基本的な配慮事項の把握
- ・騒音低減対策における留意点の把握 他



【現地観察】

- ・営巣しているサシバの営巣環境を視察
- ・新しい調査手法の体験 他



茂辺地木古内道路における希少猛禽類の 保全対策事例と事業影響評価

柴田 寛和¹・松原 泰弘²・厚芝 源太郎³

¹ 北海道開発局 函館開発建設部 江差道路事務所 (〒043-0025 北海道檜山郡江差町字泊町172)

² 北海道開発局 函館開発建設部 道路設計管理官付 (〒040-8501 北海道函館市大川町1-27)

³ 株式会社社長大 環境事業部 社会環境 1 部 (〒060-0031 北海道札幌市中央区北1条東二丁目5-3) .

函館・江差自動車道(茂辺地～木古内)周辺は自然豊かな地域でありオオタカやハヤブサ等の希少猛禽類が数多く生息する。本事業のように長期に工事を実施する(平成13～令和3年)にあたって、様々な保全対策を行いつつ希少猛禽類の生息・繁殖状況を把握し、道路事業を円滑に進めてきた事例は、今後他事業においても非常に有用であると考えられる。そのため、本事業での保全対策事例と事業影響評価を含めた取組みについて報告する。

キーワード 自然環境, 影響評価, 希少猛禽類, 保全対策

1. はじめに

函館・江差自動車道は、函館市を起点として江差町に至る高規格道路である。このうち茂辺地木古内道路は、茂辺地から木古内をつなぐ延長16.0kmの事業であり、平成13年に工事着手し、令和4年3月に開通した¹⁾。本事業区域は森林や河川など、様々な環境に囲まれた自然豊かな地域であるため、事業実施にあたっては、その地域に生息・生育している動植物への影響を評価し、必要に応じて保全対策が講じられてきた。

本事業は、特に生態系の安定性、生物の多様性と密接に関係している希少猛禽類に着目して調査や保全対策を実施しており、北海道において長期的に希少猛禽類と向き合いつつ事業を円滑に遂行してきた重要な事例となる。今後、他事業で保全対策等を検討する際に非常に有用な情報になると考えられるため、本稿では、希少猛禽類に対する様々な保全対策事例と共に、供用後の事後調査を経て実施された事業影響評価までを具体的に紹介する。

2. 影響予測の予測基準, 予測結果

本事業区域周辺には、オオタカやハヤブサ等の希少猛禽類が数多く生息しており、路線近傍についても複数箇所継続的に営巣が確認されてきた。そのため、工事前に生息確認調査を行い、工事に係る影響を事前に予測し

た上で保全対策を検討した。

影響予測を行うにあたって着目した点は①営巣地としての利用、②主要な餌場としての利用の2点であり、それに伴い、影響予測の基準を「特定の利用箇所、及び計画路線との位置関係」と設定した(表-1)。平成21年における影響予測・評価の結果、確認された重要な鳥類15種のうち、路線周辺での営巣が確認された希少猛禽類4種(ハチクマ、ハイタカ、オオタカ、ハヤブサ)が影響ありと判断された(図-1)。そのため、事業を進めるにあたって、これらの生息状況及び繁殖状況等に留意することとした。

表-1 重要な鳥類における影響予測の基準

路線との距離	対象種	出典
路線500m以内	猛禽類(ケマ)	参考文献 ²⁾
路線250m以内	猛禽類(ケマ以外)	参考文献 ³⁾
路線50m以内	猛禽類以外の鳥類	参考文献 ⁴⁾



図-1 影響ありと判断された希少猛禽類

3. 保全対策事例

影響予測結果において影響ありと判断された希少猛禽類を対象に、平成13年着手から令和4年供用までの期間中、工事影響評価しつつ様々な保全対策を講じてきた。茂辺地木古内道路で実施された保全対策事例を示す。

(1) 全種を対象とした保全対策事例

a) 保全重点箇所の早期特定

現地調査によって過年度からの希少猛禽類営巣地等を経年的に把握し、各希少猛禽類の生態的特徴を踏まえた上で、工事実施年度における営巣位置の推定を行った。その後、繁殖位置と工事予定箇所を照らし合わせることで、保全重点箇所を早期に設定した。

b) 工事内容・工程の調整

希少猛禽類の繁殖に影響する可能性がある判断された範囲内では、工事内容や工程の確認を行い、繁殖への影響が極大となる抱卵期を中心に①工事規模（車両通行台数等）の急激な増加を抑制した工程管理、②影響極大となる期間（抱卵期）より前から作業を開始する馴化促進、③工事範囲のうち営巣地に最も近い場所での工事を夏季以降（繁殖後期）に実施等の対策を行った。

c) 環境保全勉強会の実施・緊急連絡体制の構築

工事受注者を対象に、猛禽類配慮マップを各工区に配布するほか、具体的な配慮時期や配慮事項等について図表等を用いてわかりやすく説明した。また、配慮マップ作成・配布の際は、希少猛禽類等生息位置の情報漏洩対策についても徹底した。

加えて、調査会社、工事受注者、発注者の三者間で、希少猛禽類の警戒行動等が確認された際に工事の一時休止等を迅速に行うための緊急時連絡体制を構築した。

d) 工事モニタリング

工事実施直前～工事中において、作業開始時や工種切替時に留意して希少猛禽類の警戒行動等をモニタリングし、工事影響の有無を適切に把握した。

e) 騒音・振動の軽減措置、粉塵の防止

工事車両に対して速度制限（約20km/h）を設け、騒音・振動を抑制した。また、乾燥した日には散水車等による散水を実施し、粉塵を抑制した。

f) 調査圧の低減

車内観察やビデオモニタリング等を利用して、繁殖期における希少猛禽類への調査圧を低減し、確認頻度を向

上することで警戒行動や繁殖段階等を適切に把握した。

(2) 特定種を対象とした保全対策事例

営巣箇所や対象種の特性等により、前述した内容とは別に実施した保全対策事例を示す。

a) 非繁殖期における営巣木の伐採

工事前に計画路線（工事範囲内）で営巣したハチクマとオオタカについて、非繁殖期（10月～翌年2月）における営巣木の前倒し伐採を行い、計画的に路線から遠ざけた（次年度営巣忌避）。

b) 営巣地周辺の利用停止

工事実施中において、ハヤブサによる工事車両への警戒行動が確認された（巣内にて伏せた状態で辺りを警戒する、営巣地付近の枯木にとまり車両を注視する等）ため、営巣地周辺における車両停車や人の出入りを即時停止し、繁殖阻害要因を排除した。その結果、当年の繁殖については無事に巣立ちが確認された。

4. 事業影響評価

茂辺地木古内道路における工事前～工事後の調査結果を踏まえ、事業実施による希少猛禽類への影響を考察した。なお、希少猛禽類の繁殖成否には事業要因のみならず自然要因（気象状況、餌資源等）も含まれるため、これらを総合的に判断する必要がある。そのため、事業影響評価を行うにあたって、表-2の項目について経年的な変化を踏まえて評価を行った。

なお、影響評価を行うにあたっては、工事影響範囲内で継続確認された希少猛禽類3種（ハチクマは繁殖実績が少ないため除外）を「保全対象種」として設定し（表-3）、データを詳細に収集した。

表-2 茂辺地木古内道路における事業影響評価項目

評価項目	評価内容
猛禽類確認種数	工事前～後の猛禽類種数を比較
猛禽類繁殖状況	工事前～後の猛禽類（全種、保全対象種）繁殖状況を比較
保全対象種行動圏	工事前～後の保全対象種行動圏及び繁殖成否時の飛翔パターン比較
その他の自然要因	気象、捕食者、餌資源の経年比較

表-3 希少猛禽類 保全対象種一覧

対象種	工事箇所(道路)からの距離
ハヤブサ	工事用道路から約40m
ハイタカ	工事箇所から約90～140m
オオタカ	工事箇所から約40～160m

表-4 茂辺地木古内地区における希少猛禽類確認種数（平成17年～令和4年）

科	種名	確認年度																	
		工事前					工事中												工事後
		H17	H18	H19	H20	H21	H22	H23	H24	H25	H26	H27	H28	H29	H30	R1	R2	R3	R4
ミサゴ	ミサゴ	●		●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
タカ	ハチクマ	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	オジロワシ	●	●				●		●		●				●			●	●
	オオワシ							●			●	●							
	ツミ										●			●			●	●	
	ハイタカ	●		●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	オオタカ	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	サシバ						●				●	●						●	
	クマタカ				●		●	●	●	●		●	●	●	●	●	●	●	●
ハヤブサ	ハヤブサ	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
3科	10種	6種	4種	5種	6種	5種	8種	7種	7種	6種	9種	8種	6種	7種	8種	6種	7種	9種	7種

(1) 希少猛禽類確認種数

茂辺地木古内道路における工事前～後の希少猛禽類確認種数を表-4に示す。工事前は調査規模も小さく、確認種数がやや少ない結果となっているが、全体を通して希少猛禽類確認種数に目立った変化はなく、工事前に確認されていたが、工事中～工事後に確認されなくなった希少猛禽類はいなかった。よって、工事前～後にかけての本事業地域における猛禽類種構成はあまり変化がないと推察された。

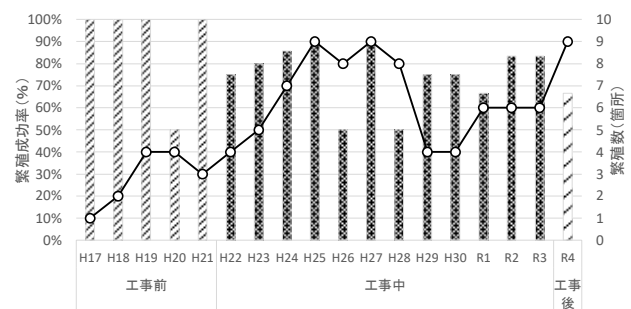


図-2 希少猛禽類繁殖数、繁殖成功率（平成17年～令和4年）

(2) 希少猛禽類繁殖状況

茂辺地木古内道路における工事前～後の希少猛禽類繁殖状況（繁殖成功率、繁殖数）を図-2に示す。工事前は調査規模が少なく、繁殖確認数が少なかったため、繁殖成功率の変動が大きい結果となっているが、全体を通して繁殖数は増加傾向にあった（平成29～30年で一度減少したが、その後増加傾向に転じた）。一般的に自然状態での繁殖成功率は各種猛禽類によっても異なるが、オオタカで69.5%、クマタカで57.6%⁹などと言われる中、本事業地区では工事中の平成22年～令和3年にかけて繁殖成功率が平均で75%と高い値を示した。

また、継続的に本事業区域で繁殖確認されてきたハヤブサ、ハイタカ、オオタカ（以下：保全対象種）における工事の有無と繁殖成功率の関係性について、フィッシャーの正確確率検定により検定したところ（表-5）、いずれの種も工事有無と繁殖成功率の間に有意な差はなく、繁殖成功率は工事有無に関わらないということが確認された（ p 値は工事有無による繁殖成否の違いをフィッシャーの正確確率検定により導出。なお、繁殖成否不明や捕食による繁殖失敗のデータは結果から除外。）。

実際のモニタリング結果においても、平成27年に一度だけハヤブサの工事用車両に対する警戒行動がみられた以外、特に目立った警戒行動は確認されておらず、工事の実施によって繁殖に影響を与えたとは考えにくい結果となった。

表-5 工事有無と保全対象種の繁殖成功率の関係

対象種	工事	繁殖成否（営巣数）			p 値
		成功	失敗	成功率	
ハヤブサ	あり	5	4	56%	0.620
	なし	6	2	75%	
ハイタカ	あり	4	1	80%	0.273
	なし	6	1	86%	
オオタカ	あり	7	1	88%	0.231
	なし	5	1	83%	

(3) 保全対象種の行動圏

保全対象種の繁殖期における行動圏（最外郭法）を工事前～工事後にかけて確認したところ、各種共に行動圏の大きな変化は確認されなかった。また、繁殖成功年と失敗年の飛翔状況をそれぞれ比較して確認したところ、成功年による集中利用箇所の特徴（特定のとりみ木を利用、林道等の開けた箇所を頻繁に飛翔する等）はみられたものの、工事箇所や工事用道路を避けて飛翔するような特徴はみられなかった。

(4) その他の自然要因

a) 木古内町の気象状況

希少猛禽類の繁殖期⁹にあたる4～7月の間で異常気象等による繁殖阻害があったかどうか、工事前～工事後（平成17～令和4年）までを経年的に確認した（図-3）。

平均気温については、調査期間中概ね安定的に推移していた。最低気温は平成24年4月上旬に-0.7度が確認されたが、当年の繁殖成功率は86%と高い値を示した（ハヤブサのみ繁殖失敗しているが、5月中旬に抱卵交代が確認されているため繁殖失敗の要因とは考えにくい）。また、最高気温は令和元年と令和3年の7月下旬に26℃以上が確認されたが、繁殖後期または巣立ち後のため繁殖成否に関わるものとは考えにくい。

日降水量平均については、年度によってばらつきがあり、明確な傾向はみて取れなかった。また日降水量が30mm以上を超えた日数を年度毎にみると、平成21年においてまとまった降水が繁殖期の4～7月の間に9日間観測されたが、その年の繁殖成功率は100%（全3地点）であった。よって、本地区の調査期間中において、低温や大雨などの異常気象による繁殖阻害はみられず、希少猛禽類の繁殖状況に影響していないと推察された。

b) 捕食者の出現状況

繁殖失敗の自然要因として、捕食者の存在についても懸念されていたため、これまで確認されてきた希少猛禽類の繁殖（成否問わず）のうち、捕食者が関わっていると思われる事例を経年的に整理した。なお、本調査は平成28年から7年間実施、自動撮影カメラは令和元年から4年間設置し確認してきた。

捕食者調査の結果、繁殖失敗が確認されたうち少なくとも4例（平成28、令和元、3、4年）が捕食者による失敗であることが目視確認されており（図-4）、また営巣地付近にとまるクマタカや、繁殖中の営巣木に登るホンドテンが確認されている（図-5）。ホンドテンについては、営巣木を登っていても繁殖成功している事例があるため、必ずしも捕食していると断定することはできないが、テンが鳥類を捕食することは知られており⁹⁾、繁殖阻害要因の可能性は否定できない。

これらのことから、本地区の希少猛禽類の繁殖阻害要因として捕食者（大型猛禽類や肉食哺乳類等）の存在が関係していると推察された。

c) 餌資源量の変化状況

調査実施時に得られた情報を活用して、4～7月において当該地域に生息する鳥類の種数を整理し、餌資源の現状把握を行った。なお、本調査については平成28年から7年間調査を実施している。確認された一般鳥類種数の経年変化を表-6に示す。

年度毎の一般鳥類確認種数については、令和元年及び4年は調査月が少ないため種数がやや少ない結果となったが、それ以外をみると年々増加傾向にある。一方で、月毎の確認種数を経年的にみると、年度毎にばらつきがみられた。しかしながら、巣内育雛期にあたる4～5月に

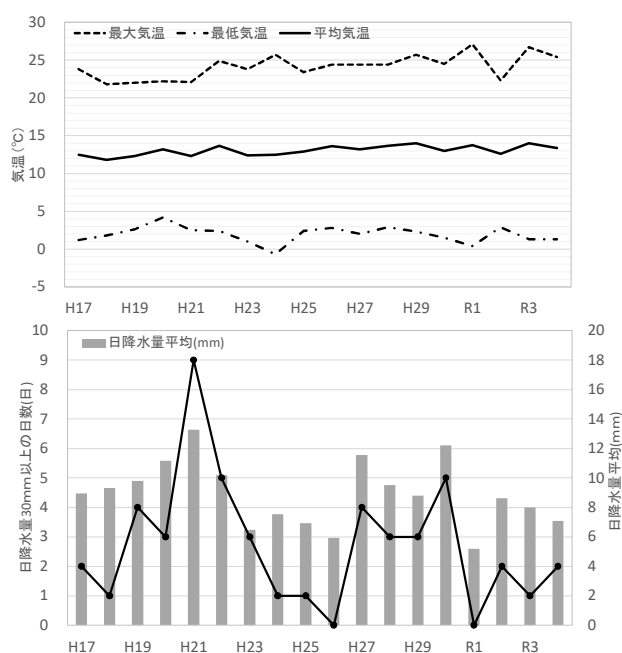


図-3 木古内町における最大・最低・平均気温（上）および日降水量（下）の経年変化（平成17年～令和4年）



図-4 ハイタカ雛の捕食状況



図-5 営巣木に登るホンドテン

表-6 一般鳥類確認種数（平成28～令和4年）

年度					単位:種
	4月	5月	6月	7月	合計
H28	57	47	54	51	71
H29	37	49	51	44	70
H30	57	59	60	48	79
R1	54	58	62	-	73
R2	60	62	57	22	85
R3	51	68	65	29	92
R4	-	54	56	55	74
平均	53	57	58	42	78

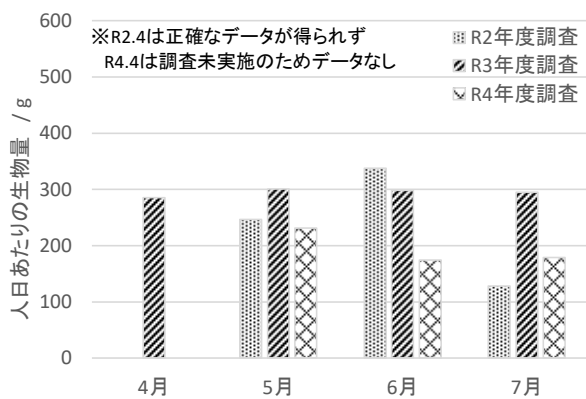


図6 餌資源量の経年変化 (令和2年～令和4年)

確認種数の少ない平成29年や、巣外育雛～巣立ち期にあたる7月に確認種数の少ない令和2年などについて、繁殖成功率はいずれも75%, 83%と高い値を示した。

また、定点調査時に一般鳥類の出現個体数を毎回10分計測し、人日あたりの餌資源量を計算した(図-6)。なお、本調査については令和2年から3年間調査を実施しており、収集データはハイタカ以上の大きさの猛禽類餌資源と仮定し、有識者の助言から平均重量がツグミ以下(86g)の種のみを抽出した。さらに群れで飛翔することで調査結果に大きな差異を与えるイワツバメについては今回の結果から除外した。

調査の結果、令和4年の餌資源量は令和2～3年と比較して、いずれの月も最も少ない結果となった。また、繁殖成功率(R2: 83%, R3: 83%, R4: 67%)についても令和2～3年と比較すると低い結果となった。しかしながら、これについては反復数が少なく、餌資源量と繁殖成功率が直接的に関わっているか定かではない。また、調査方法についても多くの課題があるとされ(繁殖個体の採食地と調査地点の関係や各観察者の技術力の違い、観察時間等)、あくまで参考値として本稿に示す。今後餌資源の把握に関する知見を蓄積・共有して定量的な餌資源の評価手法を開発する必要がある。

5. まとめ

前述した事業影響評価の結果、工事前～工事後における希少猛禽類の生息・繁殖状況は大きく変化しておらず、本事業による影響は少なかったと判断された。

その要因の1つとして、長年継続して行ってきた環境保全措置が機能していた可能性が挙げられる。実際に、保全対策によってオオタカの繁殖成功率を向上させる事例⁹⁾も確認されており、本事業についても、過年度実績

や有識者の助言等を基に予防的保全対策を行うことで、工事影響範囲内であっても繁殖成功率を維持できたのではないかとと思われる。

もう1つの要因として、工事などの騒音に耐性のある個体が存在した可能性も挙げられる。特に本地区に継続繁殖していたハヤブサペアについては、元々営巣地が住宅地に近く、人や車に慣れていた可能性が高いと有識者からも言われていた。しかしながら、広域的に調査を行ってきた結果において、当該地区から姿を消した希少猛禽類種はおらず、路線周辺または隣接林での生息・繁殖が継続して確認されている。これら全てのペアが工事騒音等に耐性があつたとは考えにくい。

これらのことから、本事業区域において、安定的な生息環境が維持された状態で事業を円滑に遂行することができたのではないかとと思われる。

6. おわりに

本事業は、多くの希少猛禽類種とその保全対策について、経年的にデータを集めることができた貴重な事例である。今後、これらの事例を活用することにより、より効果的、かつ効率的な保全対策を検討・実施し、他業務に活用されることを望む。結果として、広域にわたる希少猛禽類の保全に役立ち、限られた豊かな自然環境の維持に貢献することができれば幸いである。

謝辞：本事業における調査計画や保全対策の検討に際し、帯広畜産大学名誉教授の藤巻裕蔵氏に多くの助言及びご教授を頂いた。また、工事受注者をはじめとする事業関係者には、約20年に渡り、円滑な事業推進と環境保全の両立に尽力頂いた。ここに記し、感謝の意を表する。

参考文献

- 1)国土交通省 北海道開発局 函館開発建設部:道路改築事業-高規格道路 函館・江差自動車道 茂辺地木古内道路 (<https://www.hkd.mlit.go.jp/hk/douro/mit6nfj000000el23.html>)
- 2)北海道森林管理局:クマタカ・オオタカ生息森林の取扱い方針について,2007
- 3)北海道猛禽類研究会:北海道の猛禽類-クマタカ, オオタカ, ハイタカ, ハチクマ, ハヤブサ, オジロワシ,2020
- 4)北海道森林管理局:クマゲラ生息森林の取り扱い方針,2001
- 5)上野祐介・長谷川啓一・大城温・神田真由美・井上隆司・栗原正夫:メタ解析を用いた環境保全措置の効果検証:全国の道路事業での希少猛禽類3種の繁殖成否,環境システム研究論文集(43),II_65-72,2015
- 6)荒井秋晴・足立高行・桑原佳子・吉田希代子:久住高原におけるテン *Maetes melampus* の食性,哺乳類科学 43(1),19-28,2003

道路維持管理の効率化とコスト縮減策について

鈴木 裕志¹・渡辺 栞里¹

¹東北地方整備局 仙台河川国道事務所 岩沼国道維持出張所

(〒989-2426 宮城県岩沼市末広一丁目6-24)

岩沼国道維持出張所は、延長約7.5 kmを管理しており、仙台市近郊市街地部、多車線区間、豪雪地域でもある山間部、地震被害の大きかった沿岸部など、様々な沿道環境を有する道路を管理している。道路管理に関する意見要望件数も多く、限られた維持費でそれぞれに対応をしていかなければならない状況である。

本報告は、「除草・剪定・清掃」などの日常の道路維持作業について、新技術・新工法に頼らず、既存の維持管理方法を工夫することで、作業効率化・コスト縮減を図ったものである。

キーワード 道路維持管理, 作業効率化, コスト縮減

1. はじめに

岩沼国道維持出張所では、国道4号、国道6号の2路線、延長約7.5 kmを管理している(図1)。

道路管理に関する意見要望件数は、宮城県内の道路維持出張所の中でも例年突出して多く、限られた維持費で多くの案件に対応していかなければならない状況である。



図-1 岩沼国道維持出張所管理区間

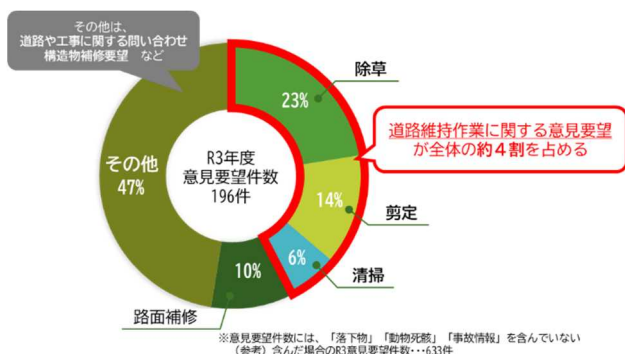


図-2 令和3年度 意見要望件数内訳

意見要望の内訳は、図2に示すように「除草」、「剪定」、「清掃」に関する内容が全体の約4割を占めている。除草であれば「早く刈って欲しい」、剪定であれば「標識が見えない、落ち葉がひどい」、清掃であれば「土砂堆積箇所を清掃して欲しい」といった内容であり、作業のスピード化や人員の確保、予算を捻出すれば対応できるようなものがほとんどではないかと考えられた。

以上より、「除草」「剪定」「清掃」について、初期投資や施工費用がかかる新技術や新工法に頼らずに、既存の維持管理方法を工夫することで、道路維持作業の効率化とコスト縮減を図れないか、検討した。

2. 検討内容

(1) 除草作業における雑草の刈りっぱなし

管内の除草面積は、路肩と緑地帯、合わせて約95,000㎡あり、年1回の除草作業に約7ヶ月という長い時間を要している。除草は、刈った草の集草、トラック等への積込、処分場への運搬・処分という流れで行っているが、例年「伸び放題で歩きにくい」等の意見が寄せられており、作業のスピードアップを図るために、盛り土部や、家屋等からある程度離隔のある場所は「刈りっぱなし」とすることで、集草から処分までの作業省力化を試行した。

除草面積全体の5割近くで「刈りっぱなし」を実施した結果、作業期間は約2ヶ月短縮された。またコスト面においても、集草・処分時と比べ年間約1,100万円のコスト縮減に繋げることができた。

(2) 法面樹木の抜本的伐採による倒木対策

切り土部の多い国道6号は、法面から生える樹木が、道路上空を覆うように生長しているところが多々有り、倒木や倒木による通行障害発生リスクが比較的高い路線である。そのため、地域住民から度々伐採の要望を受け、その都度1本1本対応していたが、長期的に管理瑕疵の未然防止を図ることを目的に、危険性が高いと判断した箇所について、法面単位で根元から伐採を実施した。伐採の範囲は、図3のとおり車道路面から約5mまでの高さの用地内として設定した。

伐採を実施した結果、対象の樹木の年輪は1本あたり概ね15本から20本であった。そのため、作業対象となった切り土法面は、少なくとも向こう15年間は従前より維持管理が軽減され、加えて、道路空間が広く開放的となったことにより、利用者の快適な利用にも繋がったと考えている。

(3) 沿道環境に合わせた高木管理の工夫

管内の管理対象の高木は約800本あり、数が多いことや予算状況から、維持管理基準である3年に1回程度の剪定は実施できていない状況である。そのため毎年現地状況等から優先度の高い地域を判断し、施工しているのが実態である。令和4年度は、剪定が行き届いていないことで、道路利用者や周辺住民の方から、「交差点や標識等道路施設の視認性が悪い」「落ち葉が堆積している」など意見要望が多く発生していた、国道4号柴田町槻木～四日市場地区を施工箇所とした。

当該地区は、1級河川である阿武隈川の河川堤防と国道4号とが、約2.7kmにわたって併走する区間であり、堤防上は桜並木となっている。柴田町は河川堤防の桜並木を観光名所として位置づけており、「桜の楽園」とPRするなど積極的に魅力発信している(図4)。

このような地域状況を考慮し、桜並木をなるべく阻害しないような高木の維持管理を第一に考えることとした。剪定は、これまで樹形を重視し行ってきたが、剪定サイ



図4_「桜の楽園」広報ポスター
(柴田町HPより引用)

クルを長周期化する「強剪定」へ転換することにより、定期的な作業で管理が行き届くよう工夫し、また、視認障害箇所や根上り等が生じている高木については、抜本的に伐採を行い原因排除するよう、出張所として方針を定めた。

以上の方針にて施工後、桜開花時期に確認した状況が写真1である。

造園に精通した施工業者に聞き取りをしたところ、当該地区の街路樹(トウカエデ)は、従来だと2～3年に1回の剪定作業が必要であったところ、強剪定により5年に1回まで長周期化可能との見解であった。また、剪定サイクルが5年に1回となることで、従来剪定の場合と比較し、約2千万円のコスト削減が可能になると試算された。

維持管理上の効果のほか、写真1のように道路利用者からも桜並木がきれいに見えるようになり、景観の良い道路空間の形成にも寄与したと考えている。今後も周辺環境等に合わせた柔軟な高木管理を実施していく方針である。



図3_法面樹木伐採範囲



写真1_高木剪定・高木伐採状況

(4) 寄植剪定と併せた抜根除草の廃止

管内の寄植は、全体で約13,000㎡あり、寄植剪定作業と併せて、周辺の抜根除草を毎年実施してきた。抜根除草は地表面に草が残らないことで、施工後の見た目が良くなり、また、寄植の生育障害防止の処置であるが、寄植の中に手を伸ばし内部の除草を行うというもので、作業時間とコストを費やすのが課題となっていた。そのため、令和4年度は寄植周辺の雑草は根から抜くのではなく、肩掛け式の機械除草に変更し、また、寄植内部の除草は完全に廃止し施工を行った。

その結果、作業日数は例年と比較し8日短縮され、約600万円のコスト縮減が可能となった。現在寄植剪定と除草は同一工事で実施しているため、寄植剪定作業の効率化は、除草工程の前倒しにも繋がっており、翌年度以降も継続して実施していく方針である。また、併せて寄植の生育状況も確認していく。

(5) 路面清掃速度の高速化

路面清掃速度は、現場の塵埃量により異なるが、当出張所では現場状況を確認の上、これまで5km/hの速度で作業を行ってきた。

路面清掃速度は、施工費用に関わる積算要素であり、10km/hへ高速化することで、コスト縮減に繋がることから、現場試行を行い、その清掃状況の違いを検証した。

結果は写真2のとおりである。清掃後の状態を比較すると、路面状態に大きな差はなく、路肩に堆積していた塵埃は十分に除去されていることが確認できた。また、清掃速度の高速化により、5km/hでの作業時と比べて、

単価は約7千円/km安くなり、施工費全体で200万円以上縮減されるほか、作業日数も5日間短縮された。

この縮減分は、要望を受けて都度対応している、管渠清掃や側溝清掃などの清掃作業に予算や日数を当てることができ、清掃作業全体の効率化に繋がった。



写真2_各清掃速度の清掃状況

3. まとめ

維持管理方法の工夫を上記5例にて試みた。課題であった意見要望件数の多さについて、従前の作業方法で維

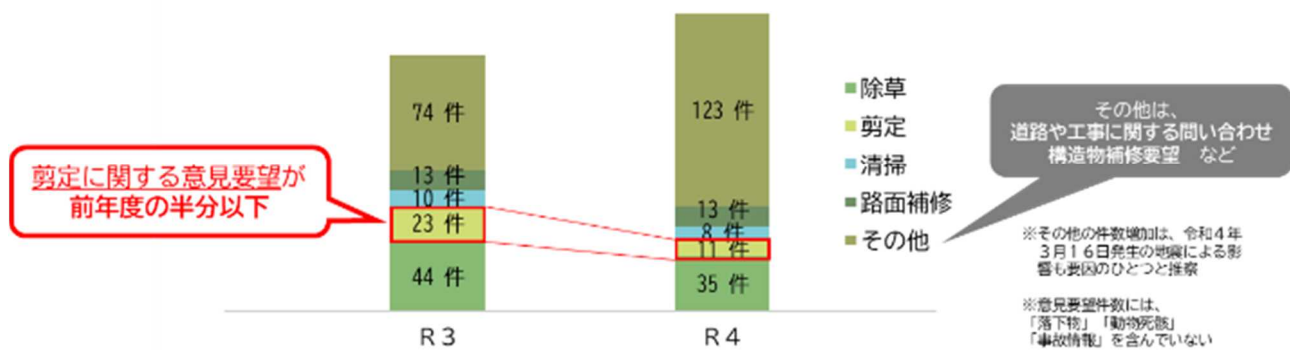


図5_令和3年度・令和4年度の意見要望件数（第3四半期まで）

持管理をしていた令和3年度と、作業を工夫した令和4年度の第3四半期時点を比較してみた（図5）。すると、「剪定」作業については、令和3年度の半分以下の意見要望件数となっており、「除草」「清掃」についても、件数の減少傾向が確認できた。作業効率化やコスト縮減の効果もあったが、そのほか、道路利用者の視点でも、一定の効果が発現していると言えるのではないかと考えている。

新技術や新工法により、初期投資をすることで長期的に維持管理コストを縮減したり、新工法により効率的に維持管理していく方法もあるが、今回は従来の維持管理

の方法を見直し、内容を工夫することで、予算を新たに投入することなく、道路維持管理の効率化を図ることができた。

昨今の物価上昇、人件費の上昇により、実作業としての維持費が圧迫されていく中で、作業の効率化やコスト縮減策は常に模索する必要があると考えている。

今回得られた成果は、全ての沿道環境に適用できる訳ではなく、各地にあった道路管理が必要ではあるが、限られた予算で維持管理を続けていくための一方法として、道路管理者の参考になり得るものであればよいと考えている。

ウェアラブルカメラを用いた道路の点群データ 取得方法に関する研究について

柴田 直弥¹

¹国土技術政策総合研究所 社会資本マネジメント研究センター 社会資本情報基盤研究室
(〒305-0804 茨城県つくば市旭1)

国土交通省では、道路管理の効率化を図るため、2018年度よりモバイルマッピングシステム（以下、MMSという。）による3次元点群データ等の収集・活用に取り組んでいる。本研究では、工事等で道路改変があった場合に、高価なLiDARのかわりにウェアラブルカメラを用いて、簡易かつ迅速に点群データを取得する手法の検討を行った。その結果、ウェアラブルカメラからの点群データでも、MMSによる点群データと重ね合わせて利用できる精度を確保できることがわかった。また当該手法により取得した点群データを全国のMMSデータを一括集約しているシステムへ登録が可能なように、「車両搭載センシング装置取得データ納品仕様」の改定案を作成した。

キーワード 点群データ、MMS、道路改変、ウェアラブルカメラ、SfM・MVS

1. はじめに

国土交通省では、2018年度よりモバイルマッピングシステム（以下、MMSという。）による3次元点群データ等（以下、点群データという。）の収集を開始し、特車通行許可の審査の迅速化や道路管理の効率化に資する活用等を図っている。また各地方整備局等（以下、各地整という。）が収集した点群データを広く公開し、民間企業等による多様なアプリケーション開発の促進を図ることを目的に、2022年8月から提供事業者（（一財）日本デジタル道路地図協会）を通し、データ提供を開始している¹。このように官民の様々な目的での活用が期待される中、提供データは道路の現況を示す最新のデータであることが重要である。

一般的に道路での工事は、道路新設工事から承認工事や占用工事まで種類・規模は様々であるため、最新データを取得する際、工事種類・規模に応じた計測が効率的である。しかしMMSによる計測は、各地整において管内の数百km程度を単年度ごとに業務発注し計測されており、道路改変があるたびにMMSにより再計測するのは効率性や予算面から現実的ではない。

簡易に点群データを取得する技術として、スマートフォンやデジタルカメラにより動画・画像を撮影し、画像からSfM (Structure from Motion)・MVS (Multi-View Stereo) 処理により点群データを生成する手法がある。計測可能な範囲はMMSに比べると狭小ではあるが、小規模な道路改変の際には効率性や経済面から有利な可能性がある。

本研究では、小規模な道路改変があった場合にウェアラブルカメラを用いて、簡易に点群データを取得する方

法の検討を行った。取得された点群データをMMSによる点群データと重ね合わせて利用する際の精度評価方法について整理するとともに、国土技術政策総合研究所（以下、国総研という。）で試験的に運用している各地整が取得した全国のMMSデータを一括集約するシステムへの登録が可能なように、「車両搭載センシング装置取得データ納品仕様」の改定案を作成した。

2. 工事による道路改変と点群データの取得

工事による道路改変には、道路管理者が行う「道路整備・維持管理等による改変」と申請者が行う「その他による改変」がある（表-1）。「道路整備・維持管理等による改変」には、改築事業による道路の改築・新設、交通安全対策事業による歩道設置や区画線設置等、及び維持修繕事業による路面・構造物・交通安全施設等の補修、修理及び更新等がある。舗装工における3次元計測技術を用いた出来形管理（面管理）では、「地上型レーザースキャナー」、「地上移動体搭載型レーザースキャナー」及び「TS（ノンブリズム方式）」が活用可能となっている²。「その他による改変」には道路法第24条による承認工事や水道管敷設等の占用工事がある。工事完了後には、出来形図、写真（施工前・施工状況・完了）などを完了届に添付するのみであり、3次元計測技術を用いた出来形計測に関する規定はない。「その他による改変」のような小規模な道路改変の際に、点群データを取得するためには作業者の手間を考慮すると、極力簡易かつ迅

表-1 工事による道路の改変と3次元計測技術による出来形管理

原因者	道路管理者			申請者	
改変	改築	交通安全対策	維持・修繕	24条	占用
					
	道路新設	右左折レーン設置等	舗装修繕等	付加車線設置等	水道工事等
3次元計測技術	地上型レーザースキャナー等			規定なし	

速に取得できる方法が望ましい。そこで本研究では、承認工事や占用工事などの小規模な道路改変が実施された際に、点群データを簡易かつ迅速に取得する方法の検討を行った。

3. 実験結果と考察

(1) 機器選定

一般的に施工現場において点群データを取得する機器として、地上型レーザースキャナーやハンディレーザースキャナー等が利用されている。面的な広範囲の計測を容易に行うことができるが、購入であれば数百万円～数千万円程度、レンタルでも週あたり数十万円と高価であり、小規模な施工現場での導入にはハードルが高い。

一方で、UAVを用いた写真点群測量で行われるように、撮影した動画・画像からSfM・MVS処理によって点群データを生成する技術がある。この技術は、高価な機材を用いずとも比較的容易に高密度な点群データを取得することが可能である。本研究では、SfM・MVS技術に着目し、施工現場において工事完了後、ウェアラブルカメラ等の小型のカメラにて動画・画像を撮影し、点群データを生成することを想定して実験を行った。カメラについては、

小型で高精細な画像を撮影可能なものが多数あるが、画角が広角であり、また多様な撮影モード（解像度、フレームレート等）を選択可能なGoProを採用した。また本稿においては対象外としたが、別途スマートフォン等に搭載されている簡易LiDARを利用した点群データ取得実験も行っている。

(2) 実験方法

点群データ取得実験は、国総研の試験走路内南ループ交差点で実施した。実施条件については、表-2に示すとおりである。なお、真下に向け撮影する際は延長ポールを利用して撮影することで、撮影者が映り込まないようにした。また撮影を画像でなく動画とし、後に動画から画像を切り出すことで撮影時のオーバーラップを考慮した撮影速度設定等の手間を減らした。

(3) 実験結果及び考察

a) 真下（俯角-90度）に向け撮影した際の点群データ出力結果

カメラを真下に向け撮影した際の点群データ出力結果を図-1に示す。全体が接続した点群データを取得することができた。延長ポールを利用することで、撮影者が映り込まないだけでなく、撮影範囲も広がるため、撮影

表-2 取得実験の実施条件

作業場所	国総研南ループ交差点 (50m×30m)
取得方法	
OL / SL	90% / 60%
撮影角度	真下（俯角-90度） 斜め下（俯角-45度）
解像度	4K (3,840×2,160)
フレームレート	100fps
データ処理	
SfMソフト	PIX4Dmapper

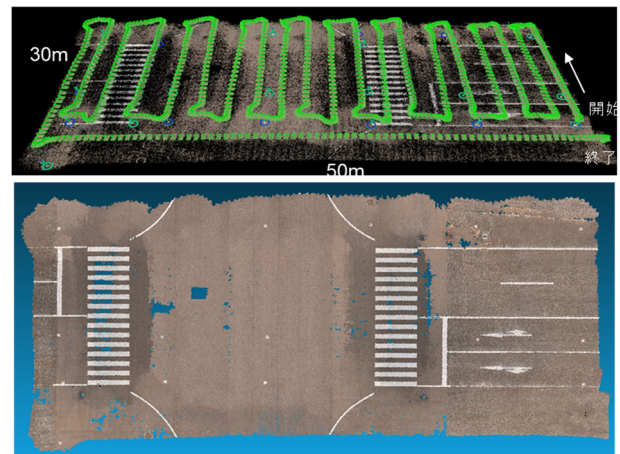


図-1 真下（俯角-90度）に向け撮影した際の点群データ出力結果



(a)大きな穴のような欠損 (b)細長く撮影方向に連続した欠損

図-2 点群データの欠損例

距離や撮影時間の短縮が図られ、データ容量の縮小にもつながった。課題として、点群データに一部欠損箇所が確認された。欠損箇所は大きく2種類に分類され、大きな穴のような欠損は、動画から画像を抽出する際、25フレームにつき1枚抽出したが、歩行スピードが安定していなかったことにより、進行方向で十分な特徴点の重なりが得られずに点群生成に失敗したためと考えられる(図-2(a))。また細長く撮影方向に連続した欠損は、撮影時のブレ等により部分的に撮影経路間の重複率(サイドラップ)が満足されず、点群が欠損したのと考えられる(図-2(b))。

b) 斜め下(俯角45度)に向け撮影した際の点群データ出力結果

カメラを斜め下に向け撮影した際の点群データ出力結果を図-3に示す。全体が接続した点群データを取得することができなかった。斜め下に向けた画像は、手前と奥で解像度が異なることも影響して、連続する画像間や経路間で共通地物の写り方が異なり、画像間の特徴物の抽出が適切に行われなかったためと考えられる。

c) 良質な点群データを取得するための留意点

良質な点群データを取得するための留意点として、カメラの向きは真下(俯角-90度)を基本とし、延長ポール等を用いて高い位置から撮影することで、撮影者が映り込まないようにするとともに、なるべく多くの特徴物が入るように広範囲の画像取得が望ましいと考えられる。また適切なラップ率が確保されるよう、事前にカメラの諸元に合わせた作業計画を作成し、計画した撮影経路をたどれるように現地にマーキングを設ける等の検討を行う必要があると考えられる。



図-3 斜め下(俯角45度)に向け撮影した際の点群データ出力結果

4. 精度検証方法の検討

(1) 精度検証方法の検討

取得した点群データとMMSにより計測された点群データの共通地物の座標値を取得して位置合わせを実施し、MMSデータを正として、位置ずれの度合いを評価する際の判定基準案を定めた(表-3)。測定精度の基準値については、3次元計測技術を用いた出来形管理要領(案)²⁾を参考にし、点群データの利用者がMMSデータと比較した際の精度が分かるようA~C判定の3段階を設定した。

(2) 検証結果

計測範囲内に標定点を4点、検証点を9点設置した。取得した点群データの精度検証結果は図-4及び表-4のとおりであり、概ねA判定(±20mm以内)となった。現地の測量した座標(MMSや他の測量データ)を用いて位置精度を確保することによって、一定程度の精度を確保できると考えられる。

表-3 精度検証の判定基準案

A	鉛直方向・平面方向	±20mm以内
B	鉛直方向・平面方向	±50mm以内
C	A, B以外	

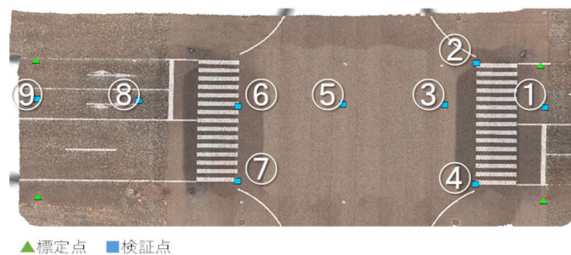
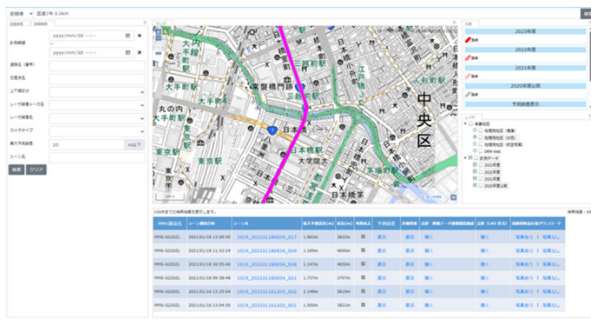


図-4 標定点及び検証点の設置状況

表-4 精度検証結果

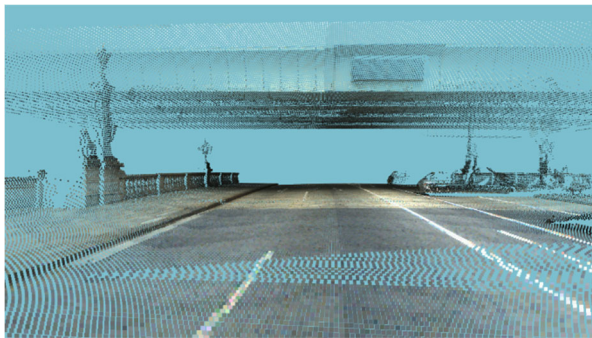
	DX	DY	DZ
①	0.006	0.018	-0.001
②	0.026	-0.020	0.018
③	0.009	-0.026	0.035
④	-0.009	-0.028	0.036
⑤	-0.012	0.006	0.022
⑥	-0.005	0.001	0.009
⑦	0.014	0.007	0.002
⑧	0.078	-0.082	-0.061
⑨	-0.011	-0.054	0.014
平均	0.011	-0.020	0.008



(a)提供システムでの検索画面



(b)画像データ表示



(c)点群データ表示

図-5 データ提供システムの利用イメージ

5. 納品仕様の検討

国総研では、各地整が取得した全国のMMSデータを一括集約する「データ保管・管理・処理システム（以下、システムという。）」を開発し、試験的に運用している。

また各地整のMMSで取得したデータをシステムに容易に登録できるよう、「車両搭載センシング装置取得データ納品仕様（案）」を策定している。今後のデータ更新に今回の研究で得られた点群データを反映していくことを目的として、納品仕様書の改定案の検討を行った。

(1) データ保管・管理・処理システム

本システムは、「データ処理システム」、「データ保

管・管理システム」、「データ提供システム」の3つのサブシステムによって構成されている。「データ処理システム」はMMSで取得した画像データに含まれる個人情報（人の顔、車のナンバープレート）のマスキング処理を行う。「データ保管・管理システム」は点群データ等を登録・保管するとともに、「データ提供システム」で検索されたデータを抽出する機能がある。「データ提供システム」では登録された点群データ等を検索し、ビューワ機能により閲覧が可能である（図-5）。

(2) 納品仕様の改定案の検討

各地整で取得される点群データ等は「車両搭載センシング装置取得データ納品仕様（案）」に基づき納品がされる。これにより国総研のシステムへ一括集約が可能となっており、簡易手法で取得した点群データもシステムへ登録が可能となるように納品仕様の更新検討を行った。データ成果品フォルダ構成について、MMSデータと同一のフォルダ構成とし、納品に必要なデータが分かるように明示した。またシステム上で、MMSにより取得したデータと簡易手法で取得したデータを識別可能なよう、メタデータ内にフラグ設定を行った。

6. まとめ

本研究では、MMSにより取得した道路の点群データを最新に保つため、小規模な工事等で道路改変があった場合でも、MMSや地上型レーザースキャナーを使用せずに簡易に点群データを取得する方法を検討した。ウェアラブルカメラを用いた場合でも、MMSによる点群データと重ね合わせて利用できる精度が確保できることがわかった。また取得した点群データを全国の直轄国道のMMSデータを集約するシステムへ登録できるよう「車両搭載センシング装置取得データ納品仕様（案）」の改定案を作成した。

今後は場所や環境の条件を変更して検証回数を増やし、現場での取得作業、データの処理、納品までの一連の作業にかかるガイドラインを作成する予定である。

参考文献

- 1) 国土交通省：MMSによる三次元点群データ等の提供事業を開始、https://www.mlit.go.jp/report/press/road01_hh_001577.html
- 2) 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5年3月版

3. システム構築のプロセスと課題

3D河川管内図は、河川管理用三次元データ活用マニュアル（案）（以下、「三次元データ活用マニュアル」という）に示された必要となる機能・データを具備可能なソフトウェアにおいて構築することとした。職員が現場からアクセスが可能なこと、将来の機能拡張性があること、汎用データを具備できることなどを総合的に評価し、「ArcGISエンジン」を用いてクラウド環境上に構築した。

(1) 搭載データの課題

ヒアリング結果から、3D河川管内図上に搭載するデータは計50種類程度が考えられた。しかし、電子化されていてもPDF画像データのみであったり、地図（ArcGIS）上に表示するための位置座標が付与されていない等の課題があった。そのため、PDF画像データへの位置情報の付与、工事図面では工種毎に分割してshapeファイルを作成するなど地図（ArcGIS）上に表示出来るよう加工を行った。

また、河川管理施設及び横断工作物においても3次元データとして表示することが望ましいが、それら施設におけるBIM/CIM設計や点群データ類の作成は未だ少ない。

そのため、河川管理施設（樋門・樋管）や横断工作物（橋梁等）の一部の施設についてUAVレーザ測量、UAV写真測量、iPhone LiDARを活用した測量を試行的に実施し3D河川管内図への適用性があることを確認した。



UAVレーザ測量 UAV写真測量 iPhone LiDAR

図-2 測量の試行例（河原田排水樋管）

4. 3D河川管内図の構築

具備した機能を表-1に示す。三次元データ活用マニュアルに基づき、「必要となる機能」は原則具備するものとした。また、各課・出張所からの要望を踏まえた機能についても具備している。

搭載したデータを表-2に示す。3D河川管内図に搭載するデータについても、三次元データ活用マニュアルに基づき、「必要となるデータ」は原則搭載するものとした。

具備した機能、搭載したデータにより、工事発注に向けた施工範囲の距離や面積を計測や、巡視・点検時に河道内の任意の横断面を表示して堆積状況の確認、管理施設の詳細情報の閲覧、浸水想定区域図の3D化に伴う家屋・施設の浸水高さを立体的に把握することが可能となった。（図-4、図-5）

表-1 3D河川管内図に具備する機能

分類	No.	今年度具備する機能	内容
閲覧機能	①	三次元点群データ表示	三次元点群データを表示する
	②	オーバーレイ表示	各種データを重ね合わせて表示する
	③	タブレットによる表示	タブレットにより三次元管内図を表示する
	④	ラベル表示	地図上に表示される地物に名称等のラベルを表示する
	⑤	画像添付	地物に現地写真等の画像を紐づけて表示する
	⑥	ファイルへのリンク・ファイルダウンロード	図面ファイル等取得可能とする
	⑦	ポップアップ表示	地図上で地物を選択することで属性情報を表示する
GIS機能	⑧	一覧表示	情報を一覧表示する
	⑨	位置座標計測	任意に指定する箇所の位置座標を計測する
	⑩	距離計測	任意に指定する点間距離を計測する
	⑪	面積計測	任意に指定するエリアの面積を計測する
	⑫	断面表示	任意に指定する2点間の断面を作成する
	⑬	断面のカスタマイズ表示	⑫の断面作成にあたっての縦横表示比率を任意のものとする
	⑭	断面データ出力	⑬で作成した断面を、三次元断面データおよび図面として出力する
検索機能	⑮	注記（コメント）作成	簡易な図形や文字を入力する
	⑯	属性検索	属性情報から距離標や河川管理施設などを検索し、位置を表示する
	⑰	データ検索	任意に指定する箇所のデータ概要を表示する

必要となる機能 搭載すると利便性が向上する機能 所内ヒアリングを踏まえた機能

表-2 3D河川管内図に搭載するデータ

分類	No.	データ	内容
調査	①	河川整備計画附図	河川整備計画に記載された整備箇所を3D河川管内図上に表示する。整備計画に位置付けられた項目の進捗管理。
	②	河川環境情報図	河川水辺の国勢調査から得られたデータを基に作成した河川環境情報図を掲載し、計画・設計・施工のプロセスへ反映
計画	③	河川環境基図	河川水辺の国勢調査から得られたデータを基に作成した河川環境基図を掲載し、計画・設計・施工のプロセスへ反映
	④	堤防整備状況	堤防整備状況（完成堤・暫定堤・カミソリ堤）を表示するとともに幅不足・高さ不足などの情報を併せて表示。
	⑤	計画高水位	距離標毎に計画高水位を横断的に表示。また、計画洪水位下時のイメージ（HWL下時の水面を表現）を表示する。
	⑥	河川堤防点検評価結果	河川堤防の浸透に対する点検結果を表示。
	⑦	グリッドデータ（航空レーザ測量成果）横断測線（航空レーザ測量成果）	河川定期横断測量成果（横断図の確認や距離標座標を管理する）
	⑧	オルソ画像（空中写真）	航空レーザ測量から得られたオルソ画像や過去の垂直写真を表示。
設計	⑨	治水地形分類図	国土地理院が公表するタイルデータを使用し治水地形分類図を表示。
	⑩	人流データ	人流データ（オープンデータ（無料））を使用し、河川利用者の把握を試行
	⑪	その他、港湾区域、漁港区域等（人口集中地区（DID））	国土数値情報から得た人口集中地区（DID）を掲載し、ドローン飛行時の確認に用いる。
	⑫	工事履歴	工事箇所の履歴、竣工図、工事写真を表示。
施工	⑬	堤防地質調査結果	堤防地質ボーリング調査結果を掲載し、詳細設計等に使用。
	⑭	光ケーブル埋設位置	光ケーブル埋設位置を表示し、円滑な工事施工へ寄与。
維持・管理	⑮	河川区域（指定告示添付図面）	出張所・事務所職員の負担軽減を目的に河川区域指定告示添付図面を表示※河川区域の現地での詳細な位置については引き続き対応
	⑯	官民境界杭に関する情報	官民境界杭の座標値、写真（可能な範囲で）を表示
	⑰	河川占有図	現状、紙ベースで整理されている河川占有者・占有範囲を表示
	⑱	河川距離標	距離、河川距離標座標値を表示
	⑲	雨量・水位観測所	雨量観測所・水位観測所の位置情報・設置年度・修繕履歴・雨量計検定時期を表示
	⑳	河川管理施設（堰・水門等）	構造物名を表示
	㉑	許可工作物	構造物名を表示
	㉒	橋梁等主要構造物（ランドマーク）	構造物名を表示
	㉓	浸水想定区域図	H28告示の浸水想定区域図（計画規模、想定最大規模）を三次元的に重要水防箇所の所在地・重要性・対策計画・重要水防箇所となっている理由を表示
	㉔	重要水防箇所	破壊以外の被災履歴の内容（浸食・護岸損傷・浸透等）写真を表示
防災	㉕	被災履歴	破壊以外の被災履歴の内容（浸食・護岸損傷・浸透等）写真を表示
	㉖	過去の破壊箇所	過去の破壊箇所を表示
	㉗	アクセサルト	橋梁からの堤防先端へのアクセス性や天端道路の両側通行の可否、立体交差のクリアランス（高さ制限）を表示
基礎データ	㉘	地理院地図	橋梁からの堤防先端へのアクセス性や天端道路の両側通行の可否、立体交差のクリアランス（高さ制限）を表示
	㉙	行政界	国土数値情報から得た行政界のデータを表示

必要となるデータ 所内ヒアリングを踏まえ搭載するデータ

- ①：3D河川管内図のために整備したデータ閲覧画面操作に必要な機能
②～④：地図の移動、拡大縮小、場所の検索等の基本的な閲覧やGISの機能



図-3 3D河川管内図の基本機能



図4 3D河川管内図 浸水想定レイヤの表示

5. 3D河川管内図の運用について

3D河川管内図の構築後も継続的に運用するためには、随時データを更新し、最新の状態に保つことが重要となる。しかしながら、データ更新作業が煩雑化し職員の負担が増加することは望ましくない。したがって、データ更新作業の工程と作業分担案を整理し、煩雑化を防ぐことを考えた。(図-5)

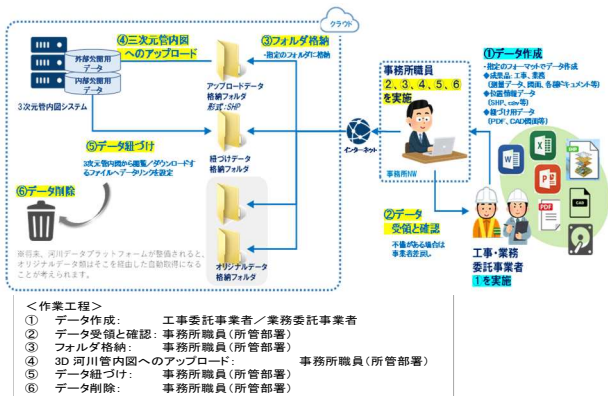


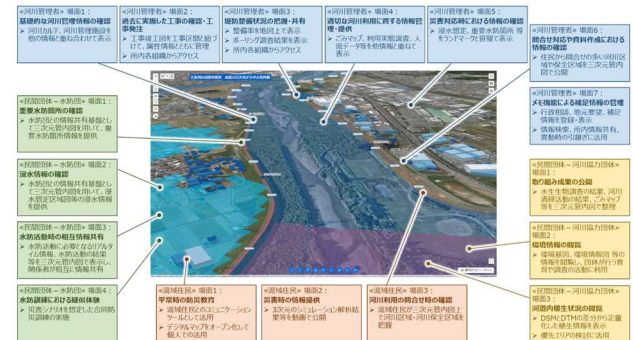
図-5 データ更新の作業工程および作業分担イメージ

5. 3D河川管内図に期待する効果

3D河川管内図を各プロセス（調査・計画、設計、施工、維持管理、被災調査等）に係る情報を一元化するプラットフォームとして活用することで、情報の検索や共有を効率化し、各課・出張所の情報を横断的に活用することで計画の立案や工事発注、維持管理におけるリソースの効率的な配分等に繋がることを期待する。また、UAV点検と組合せることで点検・巡視の結果から重点

的に確認すべき箇所の1次スクリーニングになるなど新たな河川管理方法導入の可能性も考えられる。また、三次元表示は、従来の平面表示よりもリアルに地形や地物を表現できるため、河川の流れ、地形の起、水位などが直感的に理解しやすくなり、若手職員とベテラン職員のコミュニケーションや関係者への説明がスムーズになり、事業促進効果が期待される。

さらに、流域住民への公開により地域防災教育での活用やマイタイムラインの作成等にも利用することが出来る。このように、河川管理者にとどまらない幅広い範囲での活用が期待される。



注：すべての画面が1枚の画面に紐づく訳ではないことから、画面によっては引き出し線表示していない。

図-6 3D河川管内図の活用イメージ

6. 今後の展開

今後、私たちの働き方はIT技術のさらなる発展とともに変化していくことが考えられる。その1歩目として今回構築した3D河川管内図を効果的に活用していきたい。

また、今後も機能や搭載データに関する議論を関係各課・出張所が連携し継続的に取り組む必要がある。電子化されていないデータ等は電子化し、3D河川管内図の一般公開に向けた環境整備を実施する。

さらに将来的には、他システム（RiMaDISや電子納品保管管理システム等）との連携をデータ更新の省力化・自動化等にも取り組む必要がある。

謝辞：本稿の執筆にあたり、ご助言をいただきました日本工営株式会社様に、本紙面をお借りして深く御礼申し上げます。

参考文献

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

三次元河川管内図を用いたDXの取組み

久保田 大輔¹・房前 和朋²・津田 匠³・佐藤 隆洋⁴

¹九州地方整備局 インフラDX推進室 係長（〒812-0013 福岡県福岡市博多区博多駅東2-10-7）

²九州地方整備局 インフラDX推進室 建設専門官（〒812-0013 福岡県福岡市博多区博多駅東2-10-7）

³九州地方整備局 河川部 河川管理課 係長（〒812-0013 福岡県福岡市博多区博多駅東2-10-7）

⁴日本工営株式会社 中央研究所 技術開発センター 副センター長

九州地方整備局では、簡単に短時間で様々な情報を活用した業務を行うことが可能な三次元河川管内図の整備を進めている。九州地方整備局の三次元河川管内図の特徴は、インフラの維持管理に特化した独自の三次元GISシステムを新たに構築し、データフォーマットも新たに定義することで、様々な情報を高い精度で「重ね合わせ」が可能な点である。

また、オンラインで動作する方式を採用したことで職員は自席や外出先でも使用可能となる。

さらに、オープンデータ、オープンソースソフトウェアとすることで、官民誰もが入手・改良でき、インフラ分野だけでなく様々な分野での活用や課題解決の一助となることが期待される。

キーワード：DX、三次元河川管内図、GIS、オープンデータ、オープンソースソフトウェア

1. はじめに

近年、データとデジタル技術を活用して国民のニーズを基に社会資本や公共サービスを変革するインフラ分野のDX（デジタルトランスフォーメーション）が注目されている。DXとはデジタル技術自体ではなくデジタル技術を用いた「働き方の改革」のことである。どのような優れた技術を用いても、働く人の負担が増えるものはDXではないと考える。

三次元河川管内図（以下、3D管内図）の取組みにおいても、単なるデジタル化にとどまらず、DX（働き方の改革）となることが重要である。

河川管理には膨大なデータが用いられているため、デジタル化に様々なコスト（費用、時間、思考力、体力、ストレス等）が生じる。デジタルを用いた働き方の改善効果がコストを上回らなければ、DXとして意味が無い。

DX導入時や運用時及び更新時を含めてコストを最小とし、効用を最大にすることが重要である。さらにはプロセスを変革し大幅な効率化や省略化する観点も必要である。

九州地方整備局における3D管内図の取組みは、低コストかつデータの整理、検索、可視化、重ね合わせ等を簡易な操作で実施可能で、オンライン化、オープンデータ化、オープンソース化することで、インフラ分野だけでなく様々な分野での活用や課題解決の一助となることも視野に入れている。

2. 三次元河川管内図における課題と解決策等

(1) 課題

国土交通省で現在進められている3D管内図整備は、各事務所毎に検討・システム構築を行っている。3D管内図の検討には、GISやBIM/CIM、デジタルデータ取り扱い等の高度な知識が必要であり、システム構築には高価なハード・ソフトウェアの調達が必要となるため、難易度が高く一定のコストを要した。

また、事務所にはBIM/CIMやGISが動作するPCが数台程度しか無いため、それらの作業で使用中の場合、3D管内図が使用できないといった課題もある。

また、3D管内図においては、様々なデータ（数値、画像、リアルタイムデータ等）を活用するが、これらのデータのフォーマットは非常に種類が多く、互換性が十分でない。座標も様々な種類があり、重ね合わせができないことが多いといった課題がある。

さらに、3D管内図に用いることが可能なシステムは多くの種類があるが、特に3D表示の技術が独自であるため互換性が低く、特定のシステムを利用し続けなくてはならなくなる状態（ベンダー・ロックイン）になるリスクが大きい。

(2) 課題に対する検討事項・解決策等

九州地方整備局では、低コストで生産性・業務効率向上が可能な新たな仕組みの3D管内図を作成するため、九州三次元河川管内図ガイドブック（第1版）、三次元河川管内図データ作成業務仕様書を令和4年8月に作成し、九州管内の各河川事務所に配布した。

システムやデータフォーマットを整備局全体で統一することで、事務所での作業を大幅に削減した。さらに1つのシステムで九州の全ての国管理河川に対応することでサーバー数を大幅に減らすことができた。

また、WebGISの採用で自席や外出先でも使用可能となり大幅な働き方の改革となる。

a) システム構築について

九州地方整備局では、GISとBIM/CIMの役割を図-1のように整理し、3D管内図の用途は維持管理サイクルが主体であることから、システムにWebGISを用いることとした。

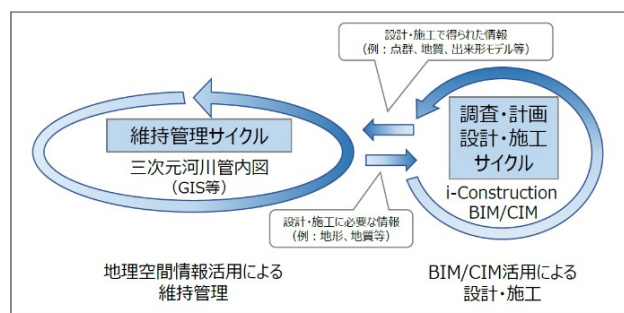


図-1 GISとBIM/CIMの関係性

WebGISとは、地理院地図やGoogleMapのような、インターネット上で動く電子地図である。通信回線がつながっていればどこからでも使用することができるため、九州地方整備局全体で図-2のような3D管内図のシステムを本局河川部にて構築・統合・作成することで、河川系事務所で使用することが可能となり、運用面においてもサーバ・データ管理に要する費用や職員の作業・技術習得

のためのコストが不要となり、DXにつながる。

また、システムを統合することで、職員が他の事務所に異動した場合でも、3D管内図の操作を新たに覚える必要が無く、DXにつながる。

さらに、高価なハード・ソフトウェアを必要としない上に、ネットワークがあれば多くの情報機器で動作するため、職員が自席のPCで使用可能である。

これにより、事務所と出張所間の移動コストを削減することができる。また、インターネットを用いて外出先でも利用可能となることから、住民への説明や自治体での活用も可能となる。

b) データ作成（標準データフォーマット）について

データを作成する上で重要なのが、確実にデータが更新されることである。データの更新はコストを要するため、むやみにデータの種類を増やすと継続性が低くなる。

そこで九州地方整備局では3D管内図で整備するデータ（情報）を、図-3のように全河川で必須となる「基本情報」と各事務所が抱える問題やニーズに応じて整備する「応用情報」に分類した。

「基本情報」は距離標、管理施設、過去の測量結果、流域界、行政区、治水地形分類図、点群データなどが分類される。また、「応用情報」は事務所独自に搭載を選択するものであり、河川現況台帳、河川管理基図、河川占用図、被災実績、工事履歴、道路・鉄道情報、三次元モデル、河川環境情報、360°写真などが分類される。

上記の「基本情報」「応用情報」の考え方を採用し、事務所独自に必要な最小限のデータのみ整備することで、データ更新のコストを最小とすることができる。

また、データによっては複数のフォーマットがあることも多いため、標準となるデータフォーマットを厳格に定義した。

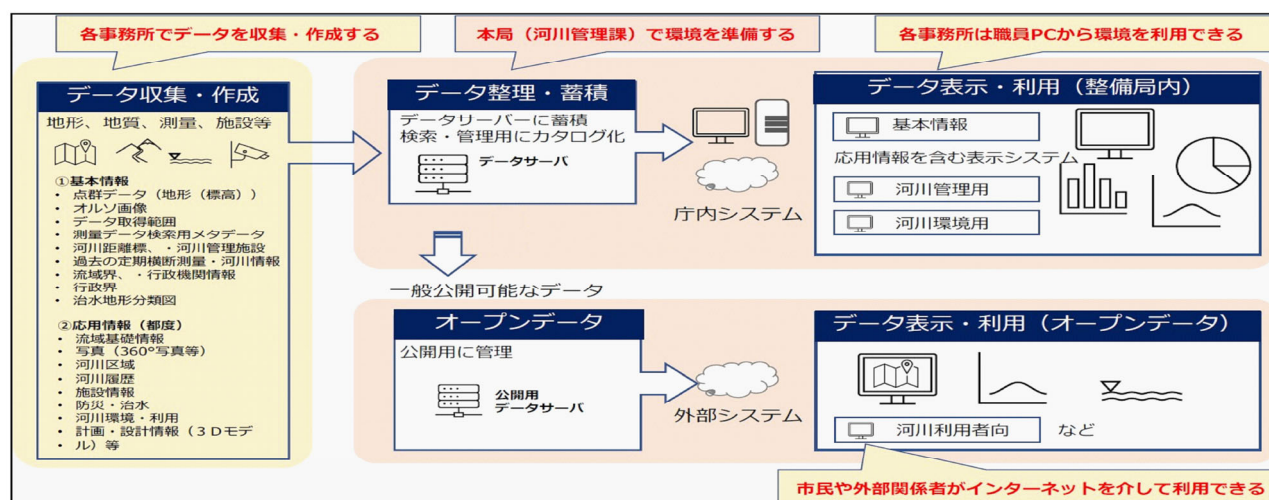


図-2 3D管内図のデータ収集・作成～整理・蓄積～表示・利用までの一連の流れ

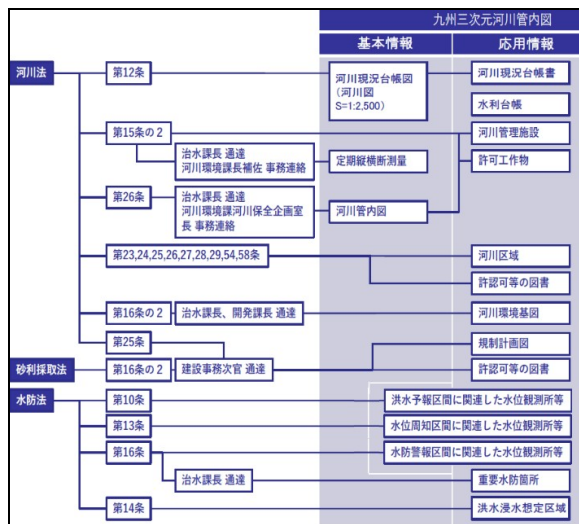


図3 関連法と3D管内図の関係性（基本情報・応用情報）

c) 3D管内図に用いるGISについて

3D管内図に用いるGISは、地理院地図Globe や国土交通省のProject PLATEAUにも使われているオープンソースの3次元GISである「セシウム(Cesium)」を用いた。

オープンソースとは、プログラムの設計図が公開され、それを利用し改良・修正・配布ができる、利用する者の努力や利益を遮ることがないソフトウェアのことである。

誰でも使用でき、改良、内容のチェックやテストが可能であるため、一般的には、透明性、信頼性、柔軟性が高いと言われている。また、特定の事業者を利用し続けなくてはならない状態（ベンダー・ロックイン）を防止できるという利点がある。

d) メタバースとの連携

セシウム(Cesium)は、Webブラウザで動くデジタル地球儀であり、様々なデータを可視化、重ね合わせて分析することが可能である。

また、仮想空間（メタバース）作成に欠かせないゲームエンジンソフトと連動して動作する事も可能である。

九州地方整備局では、図4のように山国川を仮想空間に再現し、住民との合意形成等に活用している。

従来の技術では、作成した世界の外側には何も無かったが、セシウム(Cesium)という仮想世界の地球に、作成した世界を重ねることで、遠くの山並みまで簡単かつ忠実に再現することができる。仮想世界の山国川（図4）の赤枠の内側をUnreal Engine（ゲームエンジン）を用いてメタバースとして作成した。赤枠の外側はセシウム(Cesium)を用いている。

セシウム(Cesium)は、インフラ分野においても多く活用されている。このため3D管内図についても、メタバースとの親和性が高く、簡易的なメタバースとしても活用可能と考えている。



図4 山国川メタバース（九州地方整備局作成）

3. 3D管内図の様々な活用手法

3D管内図は、図5のように様々な分野の職員が利用することを想定している。そのため、職員によって見たいこと・知りたいことが異なる。

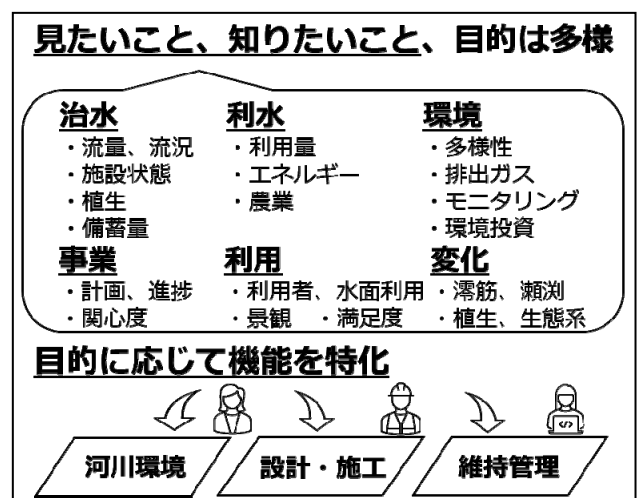


図5 3D管内図のデータ利用・使用例

こうした様々なニーズに対応するため、使い方に関するアンケートを実施した。技術系・事務系職員を問わず広く活用を行うため、アンケート対象は技術系・事務系問わず実施し、その対象勤務先は整備局全体（本局・事務所・出張所）とした。

回答は92件で、ニーズの高い機能は「基本的な河川情報の確認」「河川区域・河川履歴の確認」「河川管理施設の管理」「河道の状況把握・分析」であった。

以下にこれらの項目について、九州地方整備局の3D管内図での活用イメージを示す。

(1) 基本的な河川情報の確認

図6は、基本的な河川情報の表示例である。

3次元の地形にオルソモザイク写真や距離標等の基本情報を重ね合わせることで、写真のような3Dモデルを自由に動かし様々な方向から確認することができる。



図-6 基本的な河川情報の表示例

(2) 河川区域、河川履歴の確認

図-7は、河川区域、河川履歴（工事履歴）の表示例である。地図上でクリックした箇所の工実施年次や竣工図などの情報を3D管内図上で容易に確認できる。

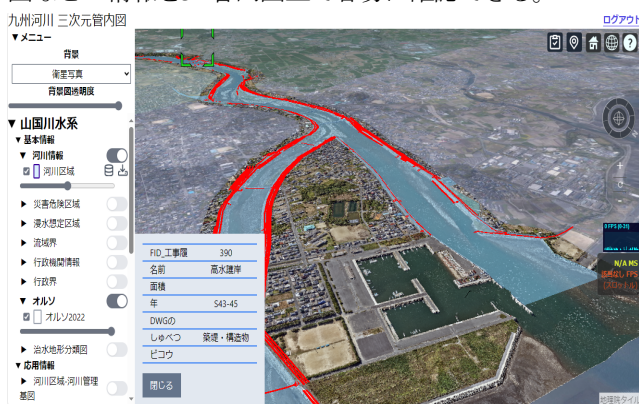


図-7 河川区域・河川履歴の表示例

(3) 河川管理施設の管理

図-8は、河川管理施設の管理の活用例である。河川管理施設や許可工作物をクリックすると、施設のデータなどが表示される。国土交通省の河川維持管理データベース（RiMaDIS）との連携も検討中である。



図-8 河川管理施設の表示例

(4) 河道の状況把握・分析

図-9は、3次元の地形にオルソモザイク写真、浸水想定区域の重ね合わせを行ったものである。メニューをクリックするだけで、河道内外の情報を重ね合わせて自由な方向から確認することが可能である。

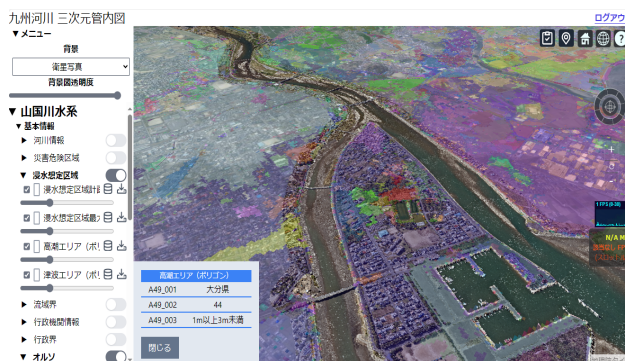


図-9 浸水想定区域とオルソモザイク写真との重ね合わせ

4. まとめ

今回、オープンソースのセシウム(Cesium)をベースに独自の3次元GISシステムを構築、またデータフォーマットも新たに定義することで、様々な情報を高い精度で重ね合わせすることが可能となった。

また、本局にて九州全域を統合した3D管内図のシステムを構築した。このため、従来では管内14事務所で整備が必要であったものが、1つのシステムとなり、導入・運用コストの大幅な縮減が図られた。

さらに、専用PCを必要とせず、オンライン上で動作する方式を採用したことで、職員が自席PCで簡単に操作が可能となり、また外出先でも使用可能となる。

オープンデータ、オープンソースソフトウェアの普及が進み、インフラ分野に様々な組織や個人が参加し多様なサービスが提供されることで、業界全体の働き方の改革や想定していない分野での活用によるイノベーションが生じやすくなることを期待している。

謝辞：整備局で実施している3次元管内図勉強会に参加頂き貴重な意見を頂いた、(株)EARTHRAIN、アジア航測(株)、いであ(株)、(株)建設技術研究所、日本工営(株)、北海道地図(株)、(株)MIERUNE、の皆様へ深謝いたします。

荒川第二・三調節池工事における 建設DXの取り組み

園田 光紀¹・柴田 直弥²

¹関東地方整備局 荒川調節池工事事務所 工務課 (〒338-0837 埼玉県さいたま市桜区田島8-17-1)

²元 関東地方整備局 荒川調節池工事事務所 工務課 (〒338-0837 埼玉県さいたま市桜区田島8-17-1)

現 国土技術政策総合研究所 社会資本マネジメント研究センター 社会資本情報基盤研究室
(〒305-0804 茨城県つくば市旭1)

荒川調節池工事事務所は、2021年2月に3次元データ等を活用した取り組みをリードするi-Constructionモデル事務所に認定され、BIM/CIM活用、ICT施工、遠隔臨場を推進し、建設業界の働き方改革や生産性向上に向け、建設DXの取り組みを実施している。これらの取り組みにより作業時間の短縮が図られた他、CO2排出量が削減されたことにより、建設DXの取り組みは生産性向上による働き方改革だけでなく、カーボンニュートラル実現にも貢献できることが確認された。

キーワード 建設DX, BIM/CIM, ICT, 遠隔臨場, 働き方改革, カーボンニュートラル

1. はじめに

国土交通省では、建設業界における高齢化や若年者の入職減少による人員不足等に対応するため、3次元データとデジタル技術を活用したDXによる働き方改革を進めている。2016年の第1回未来投資会議において、建設現場の生産性を、2025年度までに2割向上させる目標が示され、BIM/CIM活用やICT施工を推進していく中で、実際の効果を評価し、改善を図っていくことは極めて重要である。

当事務所は、2021年2月に3次元データ等を活用した取り組みをリードするi-Constructionモデル事務所に認定され、全ての構造物設計においてBIM/CIMモデルを活用し、生産性向上や事業プロセスの改善に向けた取り組みを実施している。施工においても、BIM/CIM活用工事やICT施工など建設DXの取り組み事例が蓄積されつつある。

本稿では、荒川第二・三調節池工事における建設DXの取り組みと、その効果や課題について報告する。

2. 荒川第二・三調節池工事における建設DXの取り組み

当事務所発注工事において、担い手不足が加速する建設現場の生産性向上を図るため、建設DX推進の観点から積極的にICT施工やBIM/CIM活用の発注者指定を実施している。また段階確認や材料確認においても、遠隔臨場を活用することで、受発注者の作業効率化を推進してい

る。

(1) BIM/CIM活用工事

BIM/CIM活用工事において、円滑な事業執行を目的に発注者から受注者への要求事項であるリクワイヤメントが設定される。本事務所でも「BIM/CIM活用工事実施要領」に基づき、①BIM/CIMを活用した監督・検査の効率化、②BIM/CIMを活用した変更協議等の効率化、③リスクに関するシミュレーション、④対外説明、⑤その他の5項目をリクワイヤメントとして設定している。各社の実施内容については、受発注者間で打ち合わせを行った上で実施計画を策定し、施工中には適宜状況の報告を受けるとともに、取り組み内容については当事務所発行の情報誌「DXだより」等を通し、広報を実施している。2022年度までの既契約工事23件の内、土砂改良工事等を除く

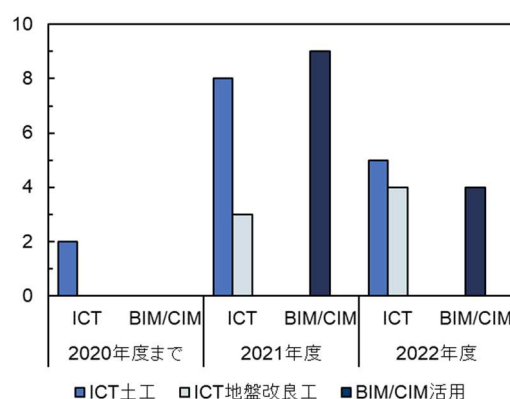


図-1 ICT活用及びBIM/CIM活用工事の実施状況

13件がBIM/CIM活用工事である（図-1）。

(2) ICT施工

a) ICTの全面的な活用

2016年度の土工を皮切りに基準類が拡充され、年々対象工種が拡大されてきている。荒川第二・三調節池事業においても、ICT土工とICT地盤改良工を活用している（図-1）。

b) 普及に向けた取り組み

ICT施工の普及展開には、中小規模工事における普及が課題である。本事務所ではICT技術の取り組みを普及促進させることを目的に、中小企業や地元自治体を対象に「ICT技術の体験会」を開催している。2022年度は新型コロナウイルスの感染拡大により中止としたが、2021年11月に開催した体験会では、埼玉県内の自治体等から約30名が参加し、ICT建設機械の操作体験、自動追尾型測量機などのICTツールの実演、ドローン操縦体験などを実施した。

また工事現場に設置している広報施設「あらいけDX体験館」の展示内容を自宅にいたながらも見学できる「バーチャルあらいけDX体験館」を事務所HP上に公開するなど、荒川第二・三調節池事業の概要や現場における建設DXの取り組みをWeb上で閲覧することが可能となっている。

(3) 遠隔臨場

関東地方整備局では、受発注者の建設現場の働き方改革や生産性の向上を目的に、2020年度より建設現場の遠隔臨場の試行に取り組んでいる。

本事務所においても段階確認、材料確認、立会における遠隔臨場の適用については、受発注者間で協議の上、適用する工種・項目を選定している。表-1にこれまでの工事の事例を示す。確認頻度が多くある河川土工や付帯道路工における立会については、遠隔でも検尺や目視確認が可能であったため、現場作業の調整の効率化を図るため遠隔臨場により実施した。一方で、路盤面のたわみ

や亀裂等は映像からの判断が困難なため、下層路盤のブルーフローディング試験は現場臨場での実施とした。また地盤改良工のキャリブレーションや施工サイクルの確認については、立会時間が長時間になるため、機器等のバッテリー容量を考慮し、現場臨場での対応とした。その他、地質調査業務におけるボーリングの検尺も遠隔臨場を実施した。

3. 取り組みの効果

(1) BIM/CIM活用工事

2022年度には荒川第二・三調節池事業では初めて地盤改良工事でBIM/CIMを活用した（図-2）。以下に活用事例を示す。

a) 監督・検査の効率化

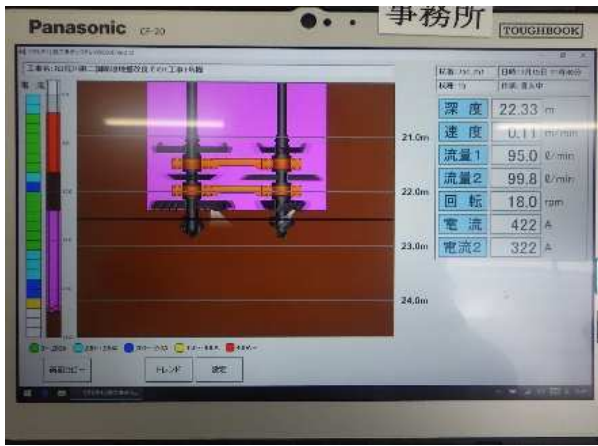
地盤改良工法の施工管理システムを活用することで、改良機のオペレーター室に表示される画面をリアルタイムで現場事務所等の外部モニターに表示し、遠隔での施工状況が確認可能となり、立会や工程管理を効率的に進めることに繋がった。当該システムを活用することで、改良体の深度・電流値・セメントミルク注入量の施工により得られた施工管理データをCIM化により視覚的に把握できるようになり、監督・検査が効率的に実施された。また従来は出来形・品質は作業員2人以上で確認をしていたが、CIMを活用することで1人での確認が可能となった。

b) 災害時のリスクに関するシミュレーション

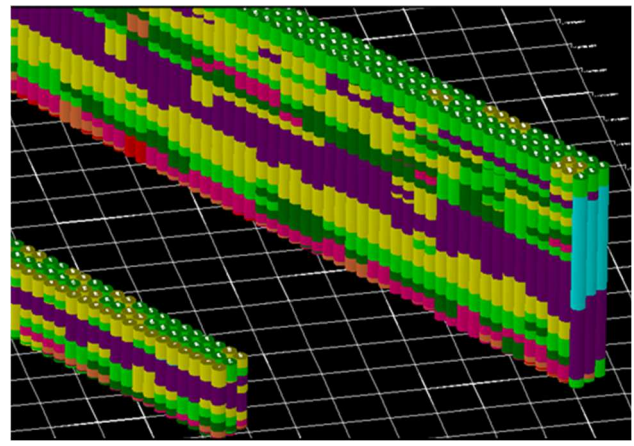
リスクシミュレーションとして、地盤改良機の転倒範囲の検証や出水期の施工であったため、豪雨時の影響範囲の可視化を実施した。従来の方法では、2次元図面等を用いた室内での危険個所の説明や現地での確認作業を含めると30分かかっていたが、CIMを活用することで施工現場へ移動することなく室内にて10分で検証が可能となり、所要時間が20分短縮された。3次元シミュレーションを行うことにより、2次元図面では実施困難な危険個所の

表-1 遠隔臨場の適用範囲

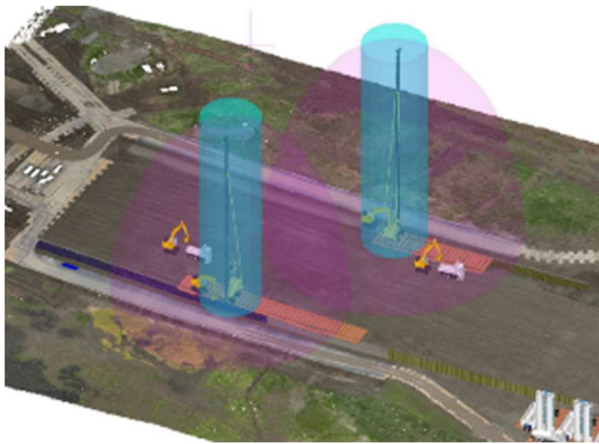
遠隔／臨場	適用種別	工種	細別	確認時期	確認項目	適用理由
遠隔	立会	河川土工	路体盛土・路床盛土	実施状況・出来形・品質	土質・含水比・まき出し・厚寸法・品質管理	検尺及び目視確認が可能だったため ・確認頻度が多くあり、現場作業の調整の効率化を図るために実施
	立会	地盤改良工	ロード検尺	改良機組立前	ロード長	・目視確認が可能だったため
	立会	付帯道路工	下層路盤・上層路盤 基層・表層	実施状況・出来形・品質	寸法・品質管理	・検尺及び目視確認が可能だったため ・確認頻度が多くあり、現場作業の調整の効率化を図るために実施
	立会	構造物撤去工	現場発生品	現場発生品搬出前	重量	・検尺及び目視確認が可能だったため ・現場作業の調整の効率化を図るために実施
	材料確認	排水路工	仮排水路	材料確認	寸法検尺	・検尺及び目視確認が可能だったため ・確認頻度が多くあり、現場作業の調整の効率化を図るために実施
臨場	立会	地盤改良工	キャリブレーション	プラント設備設置完了後	キャリブレーション ケーシング長	・長時間のため、機器等のバッテリーがもたない ・確認項目の中に遠隔臨場では視認できないものがあるため（杭打機 鉛直度確認など）
	段階確認	地盤改良工	セメントミルク攪拌	施工時	施工サイクル	・長時間のため、機器等のバッテリーがもたない ・確認項目の中に遠隔臨場では視認できないものがあるため（レベルに よるOセット確認、完了残尺確認など）
	段階確認	付帯道路工	下層路盤	ブルーフローディング試験	実施状況	・路盤面のたわみや亀裂等は映像で判断することが困難なため



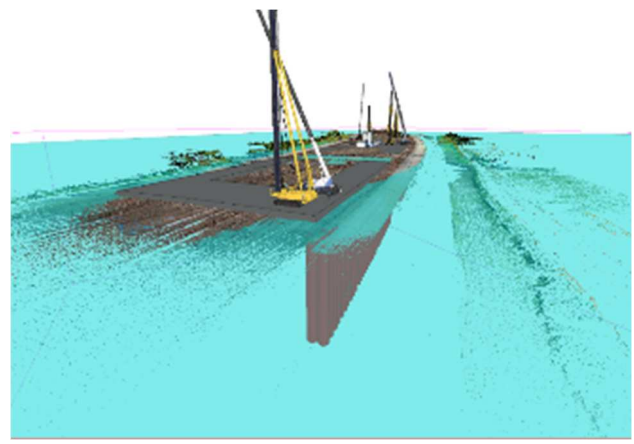
(a)深度や速度等の表示画面（外部モニターの表示画面）



(b)地盤改良の施工管理データをCIM化



(c)改良機の転倒範囲の検証



(d)豪雨時の浸水範囲の検証

図-2 地盤改良工事におけるBIM/CIM活用事例

検証も可能となり、より細やかな安全対策の実施につながった。

(2) ICT施工

ICT施工の導入による作業時間短縮効果による生産性向上については、ICT活用工事の活用効果等に関する調査により全省的な把握が実施されている。土工については、2020年度の調査結果によると約3割の作業時間の縮減効果が確認されている¹⁾。しかしながら、本調査は受注者へのアンケート調査であり、特に従来の労務については受注者の想定値である。

そこで、新たに情報を収集することなく発注者側の作業により活用効果の確認する手法として、品質管理図表により、施工日数と二酸化炭素排出量の変化の観点からICT活用の効果を考察する。

a) 日当り作業量

品質管理図表には、施工範囲や締固め回数の他、走行時間が記載されている。これを積み上げることによりICT土工による作業時間を算出し、日当り作業量を求めた（表-2）。従来施工については、土木工事標準積算基準書の作業日当り標準作業量とした。従来施工による日

当り作業量を γ_0 、ICT施工による日当り作業量を γ とすると、日当たり作業量の変化量 $\Delta\gamma$ は以下により示される。

$$\Delta\gamma = \frac{\gamma}{\gamma_0} \quad (1)$$

b) 二酸化炭素の排出量

従来施工による二酸化炭素排出量 E_0 は式(2)、ICT施工による二酸化炭素排出量 E は式(3)により求められる。

$$E_0 = \alpha \frac{V}{\gamma_0} \quad (2)$$

$$E = \alpha \frac{V}{\gamma} \quad (3)$$

従来施工からの二酸化炭素排出量の変化量は以下のように示される。

$$\Delta E = \alpha \frac{\gamma - \gamma_0}{\gamma_0 \gamma} \quad (4)$$

c) 実際の効果

「R 3 荒川第二調節池基盤整備その1工事」および「同その2工事」における各諸元は表-2の通りである。両工事合計で施工日数は42日間短縮でき、日当たり作業量の変化は1.20となり、従来より施工効率が約2割向上した。

表-2 諸元表 (ICT土工)

		値		単位
		その1工事	その2工事	
γ_0	日当り作業量 (従来)	540		[m3/日]
γ	日当り作業量 (ICT)	635	680	[m3/日]
V	施工土量	183,100	83,000	[m3]
α	建機のCO2排出 係数	0.2		[tCO2/日]

表-3 諸元表 (遠隔臨場)

		値		単位
		その1工事	その2工事	
n_A	現場臨場回数	33	35	[回]
n_B	遠隔臨場回数	72	42	[回]
α_A	車両の燃費	10		[km/L]
β_A	ガソリン使用による CO2排出係数 ²⁾	2.32		[kgCO2/L]
α_B	パソコンの消費電力	0.1		[kW]
β_B	電力消費によるCO2 排出係数 ³⁾	0.441		[kgCO2/kW]

また二酸化炭素 (CO2) の排出量は16.8t削減された。

(3) 遠隔臨場

遠隔臨場を実施した際の効果を所要時間と臨場に伴う二酸化炭素の排出量の変化により考察する。以下では、現場臨場のみ実施した場合を従来型、現場臨場・遠隔臨場ともに実施した場合を併用型と記述する。

a) 所要時間

現場臨場回数を n_A [回]、遠隔臨場回数を n_B [回]とすると、総臨場回数 n [回]は以下のように示される。

$$n = n_A + n_B \quad (5)$$

立会に要する時間は現場臨場でも遠隔臨場でも同一であると仮定すると、従来型からの所要時間の変化は以下のように示される。

$$\Delta T = (n - n_A) \frac{L}{V} \quad (6)$$

ここに、 L は事務所・現場間の往復距離[km]、 V は車両の平均速度[km/h]である。

b) 二酸化炭素の排出量

従来型の二酸化炭素排出量 E_0 は式(7)、併用型の二酸化炭素排出量 E は式(8)により求められる。

$$E_0 = nL \frac{\beta_A}{\alpha_A} \quad (7)$$

$$E = n_A L \frac{\beta_A}{\alpha_A} + n_B T \alpha_B \beta_B \quad (8)$$

ここに、 T は遠隔臨場にかかる総所要時間である。

従来型からの二酸化炭素排出量の変化量は以下のように示される。

$$\Delta E = (n - n_A) L \frac{\beta_A}{\alpha_A} - n_B T \alpha_B \beta_B \quad (9)$$

c) 実際の効果

「R3 荒川第二調節池基盤整備その1工事」および「同その2工事」における各諸元は表-3の通りである。所要時間は72時間短縮でき、また二酸化炭素排出量は1.3t削減された。臨場を併用型とすることで、従来型（二酸化炭素排出量1.6t）と比較すると約8割の二酸化炭素排出量削減効果があった。

4. おわりに

監督・検査、リスクシミュレーションなどにBIM/CIMを活用することで、従来2次元図面等を用いて説明や検証等を行っていた内容が可視化されることで、理解しやすくなり、受注者の作業効率の向上や受発注者の打合せの効率化につながった。

2021年度工事において、ICT土工により従来施工と比較すると施工効率が約2割向上していることが確認された。これにより建設機械の総運転時間が短縮され、二酸化炭素排出量の削減にも貢献していることが確認された。

臨場についても、映像での判断が難しい場合や現地での確認が好ましい場合を除き、遠隔で実施することで、移動時間や待機時間の削減につながった。またこれにより現場臨場のみ実施の場合と比較すると、二酸化炭素排出量が約8割削減されたことが確認された。

建設DXの取り組みは発展途上である。あらいけDX体験館や情報誌DXだより等の広報を通して実施例を共有したり、普及が広がっていない中小企業や地元自治体を対象に講習会を開催することは、新規参入しやすしたり、新たな発想を生む契機となる。建設DXの推進は、生産性の向上による働き改革につながるとともに、環境面への負荷を低減し、カーボンニュートラル実現に向けた取り組みともなるので、継続的に効果を評価していくことが今後の課題である。

参考文献

- 国土交通省：令和3年度政策レビュー結果（評価書）i-Constructionの推進
- 環境省：温室効果ガス排出量算定・報告・公表制度における算定方法及び排出係数一覧
- 環境省：電気事業者別排出係数（特定排出者の温室効果ガス排出量算定用）