

AIを活用した道路異常事象の検知

菅野 将太¹・坂本 淳一¹・荒木 和政¹・今村 舞¹

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

本論文は、九州地方整備局道路計画第二課と地域道路経済戦略九州地方研究会にて研究を行っている「AIを活用した道路異常事象の検知」について、研究内容及び試行運用の結果を報告する。

キーワード ETC2.0プローブデータ, AI

1. はじめに

近年九州管内では、大規模化かつ常態化している豪雨等の災害や事故発生等に伴う通行止めの道路交通に係る事象に対して迅速な初動対応が求められている。

しかし、これまでの道路交通における異常の把握は、CCTVやトラフィックカウンタ（以下、監視装置という）による確認、監視が主であり、監視装置の設置箇所における異常の把握は可能であるものの、未設置区間における異常の把握が課題となっていた。

本研究は、リアルタイム性の高いETC2.0データをAIで分析することで、監視装置の未設置区間における異常を早期に把握する仕組みの構築に向けた手法の立案と評価を行うものである。

2. 研究方法

(1) 評価対象区間

本研究では、過去3か年（2020～2022年度）の事故等による通行規制実績を基に、全面通行止または片側交互通行の発生頻度が高い国道3号（千鳥橋～太宰府IC付近）、201号および201号バイパスをAIによる異常事象検知の評価対象区間として選定した（図-1）。

(2) 使用するデータ

ETC2.0データには、主に統計値としての活用を目的として、車両の走行日から30日間の間に路側機からアップリンクされた走行データを基に、車両台数、平均旅行速度等を集計した様式データ（確定値）と、災害時等の利用を想定した、短時間にアップリンクされた走行データを集計した逐次処理データがある。さらに逐次処理データでは、1時間単位、15分単位、5分単位でそれぞれ集計される3種類のデータが生成されている。

異常事象への迅速な初動対応のためには、車両の走行



図-1 評価対象区間

日時から極力時間差なくデータを取得し、より迅速に異常事象の検知を行うことが必要ことから、本研究では、逐次処理データの5分単位リンク集計値（以下、リアルタイムデータという）を使用することとした。

(3) 異常事象の検知手法

a) AI手法の検討

異常事象を検知するためのAIの手法には、AIに正常時のデータのみを大量に学習させ、正常時のデータと特徴が異なるデータを、正常ではない状態＝異常と判定する「良品学習」を採用した（図-2）。

b) 入力データの検討

前項のAI手法への入力データとして異常事象検知に用いるデータには、道路交通状況を表すデータとして、リアルタイムデータから得られる平均旅行速度と走行台数を用いることとした。また、道路交通の異常は時系列で連続的に生じる特性を考慮し、過去24時間の時系列の波形を、異常事象検知に用いる1つのデータとして取扱うこととした。



図-2 良品学習の概要

なお、AIモデルの学習においては、極力データ量を確保することが重要なため、データを交通調査基本区間（センサス区間）単位に集約し、上下線が分離されている区間においては、上下線のデータを合成することでデータ量の確保することとした。

c) 異常事象の判定指標の検討

a)に示すAI手法で再構成されたデータと入力した異常検知対象データとの差異の算出では、平均旅行速度と走行台数の2つのパラメータを使用することとしたが、単位やスケールが異なるため、データの平均0、標準偏差が1となるように標準化を行い、平均旅行速度と走行台数を同じスケールで扱えるように変換した上で差異の算出を行うこととした。

標準化を行った平均旅行速度と走行台数は、それぞれの最新の1時点における再構成データと異常検知対象データの絶対誤差を算出し、両者の絶対誤差の合計値を「差異を表す指標（以下、異常度という）」として扱うこととした。

また、リアルタイムデータにおける異常事象の判定では、複数の路線・区間で共通の尺度でわかりやすく異常事象の発生状況を判断する必要があるため、異常度をさらに閾値で階級分けし、異常の可能性の大きさに4段階の異常ランクとして判定することとした。異常ランクは、AIモデル構築時の学習データを用いて異常度を算出した際の、上位1%、5%、10%の値をそれぞれ表-1に示すように異常ランク1～3の閾値として設定し、これらに当たらない場合は異常なしと定義した。

表-1 異常ランクの定義

異常ランク	説明	異常度閾値
0	異常なし	—
1	異常の可能性あり（低）	上位 10%
2	異常の可能性あり（中）	上位 5%
3	異常の可能性あり（高）	上位 1%

(4) 検知結果の評価方法

AIによる異常事象検知結果の評価は、大きく以下の2つの視点で評価を行うこととした。

- ・発生した異常事象の検知状況・検知漏れ
- ・過剰検知の発生状況

このうち、発生した異常事象の検知状況に関する評価では、実際に発生した異常事象に対するAIでの異常事象検知結果の突き合わせによる評価が必要となる。これより評価対象期間を2024年3月から7月と設定し、この期間に図-1に示す評価対象区間で発生した事故、占用工事による規制について評価対象とし、異常事象検知AIの評価を行った。

過剰検知の発生状況の評価においては、事故等による規制、占用工事による規制ともに発生していない時期において、異常事象検知の状況を確認、評価した。

3. 結果および考察

評価対象の規制の発生場所、規制期間において、AIによる異常検知を行い、規制の発生時間帯と異常の検知状況を突き合わせることで、検知精度の評価を行った。その結果、異常を捉えることができた事例と、検知漏れや過剰検知などの課題が確認された。課題等に関連する代表的な評価結果と考察、改善方をそれぞれ示す。

(1) 異常事象を検知できた事例

図-3に示すのは、上り線2車線、下り線3車線の上下線が完全分離した道路構造において、下り線で大型トラックの車両火災により下り線が規制された事例である。

この事例では、8:40頃の規制開始に先立ち、異常ランクが上昇しており、規制期間中は継続して異常として検知されている。

これより、ETC2.0データのリアルタイムデータを用いて、AIにより事故等の異常事象検知を行うことは、一定の実現可能性があると考えられる。

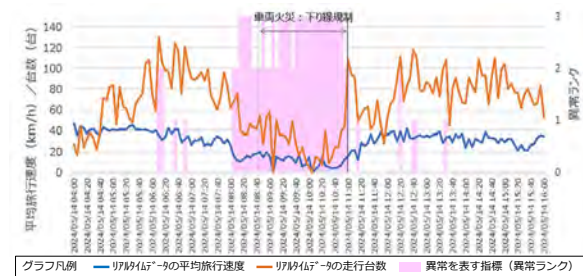


図-3 異常事象を検知できた事例

(2) 検知漏れの事例

図-4に示すのは、上り線2車線、下り線3車線の上下線が完全分離した道路構造において、占用工事により上り線1車線が車線規制された事例である。

この事例では、規制期間において異常事象の検知は見られなかったが、詳細にデータを確認すると、上り線において、規制期間中に普段とは異なる平均旅行速度の低下が見られることが確認された。

この事象は、本来であれば異常として検知されるべきと考えられるが、1車線規制のため平均旅行速度の低下が限定的であった点と、データ量の確保の観点から上下線のデータを合成して評価していたため、上り線における平均旅行速度の低下が上下線の合成で相殺され、異常として検知できなかったと推察される。

(3) 過剰検知の事例

図-5に示すのは、上下線が各2車線の完全分離した道路構造において、事故等による規制、占用工事による規制ともに発生していない正常時における検知の事例である。

この事例では、規制等のない正常時にも関わらず、終日断続的に異常が検知される状況（過剰検知）であった。断続的な過剰検知が発生した理由としては、特にリアルタイムデータの平均旅行速度とAIモデルで再現した平均旅行速度に大きな差異が頻繁に生じたためと考えられるが、この差異の発生要因は以下が想定される。

- ①走行台数が定常的に1～10台程度と少ないため、平均旅行速度の算出時に一部の車両の速度の影響を受けやすく、急な速度変化が発生し、異常と検知された。
- ②リアルタイムデータの一時的な欠測（走行台数0台）を平均旅行速度の急減と誤認識し、異常として検知された。

(4) 増加傾向の異常検知の事例

図-6に示すのは、事故等による規制、占用工事による規制ともに発生していない正常時における上下線が各3車線の完全分離した道路構造の検知の事例である。

この事例では、一般的に、異常発生時には平均旅行速度や走行台数は減少する傾向を示すものだが、平均旅行速度、走行台数の増加時も異常として検知される状況であった。平均旅行速度、走行台数の増加を異常と検知した要因は、増減の方向によらず、リアルタイムデータとAIモデルで再現されたデータとの差異を基に異常を判定していたため、平均旅行速度や走行台数が増加する場合も異常として検知されたと考えられる。

(5) 異常事象検知における課題への改善方策について

異常事象検知の各事例から、ETC2.0データとAIを用いた異常事象検知における課題と要因が抽出された。これ

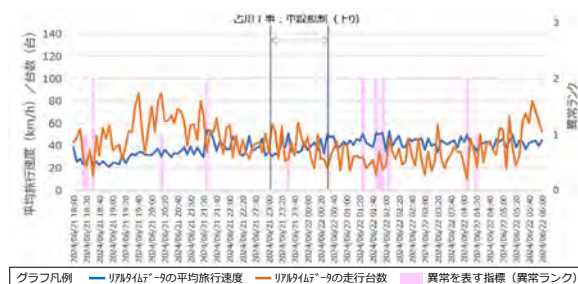


図-4 検知漏れの事例

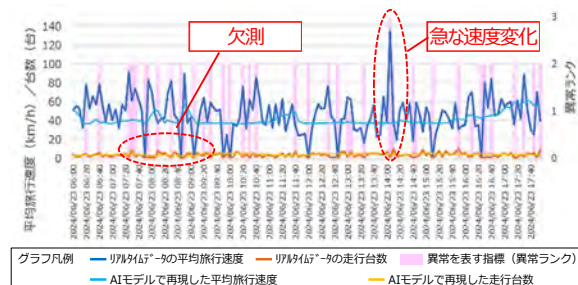


図-5 過剰検知の事例

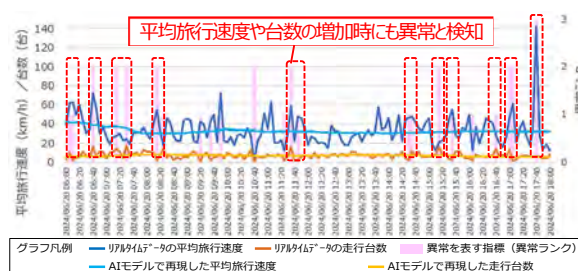


図-6 増加傾向の異常検知の事例

より、今後の異常事象検知の精度向上に向けて、各課題に対する異常事象検知AIおよびその前後での処理による改善方策をまとめた（表-2）。

検知漏れの事例においては、上下線のデータを合成していたことが検知漏れの要因であるため、上下線が完全に分離されている区間では、AIモデルを上下線で分けて検知を行う事で、片側のみに影響のある事象に対して検知が行えると考えられる。

過剰検知の事例においては、データ量の少なさや、一時的な欠測による影響が要因であるため、データのスムージングを行う事で急激な変化の影響を軽減する方法、一時的な欠測を前後の値で補完し、欠測の影響を低減させる方法で改善が図られると考えられる。

増加傾向の異常検知の事例においては、AIモデルの検知後の処理として、増加傾向で異常と判定された場合に、検知結果を異常なしに変換することで、改善が図られると考えられる。

表-2 異常事象検知 AI の評価結果と課題、及びその改善方策

課題	課題の生じる要因	改善方策
検知漏れ	● 上り線のみで速度低下に対して、<u>異常検知では上下線のデータを合成して判定</u>していたため、異常として検知できなかった。	◆ 上下線分離区間では片側のみ災害による影響を受ける可能性もあるため、上下線分離区間は<u>上下線でAIモデルを分けて構築</u>する。
過剰検知	● 台数が少ないことで、<u>平均旅行速度に急な上下変化</u>が生じ、異常として検知。 ● リアルタイムデータの<u>一時的な欠測（走行台数0台）を平均旅行速度や走行台数の急減と誤認識</u>し、異常として検知。	◆ リアルタイムデータの<u>スムージング</u>（移動平均等）などの統計的手法により<u>平常時の細かい変化の影響を低減</u>し、台数が定常的に少ない区間でも異常検知できるようにする。 ◆ リアルタイムデータに含まれる<u>一時的な欠測値を前後の値で補完</u>（直線回帰等）し、<u>欠測の影響を低減</u>する。（連続した欠測は異常として検知が必要）
増加傾向の異常検知	● <u>リアルタイムデータとAIモデルで再現されたデータとの差異を基に異常を判定</u>していたため、平均旅行速度や走行台数が増加する場合も異常として検知。	◆ 平均速度や走行台数が<u>増加傾向で異常と判定された場合は、異常検知結果を“異常なし”に変換</u>する処理を行い、異常として扱わないようにする。

4. まとめ

本研究で採用した良品学習によるAIモデルを活用した異常事象検知の手法では、ETC2.0データのリアルタイムデータを基データとした事故等の異常事象検知への適用可能性を一定程度確認することができた。

一方で、課題としてリアルタイムデータ不足や、データの取り扱い方法に起因した検知精度に課題があることが確認された。また、リアルタイムデータの特性として、検知対象区間とETC2.0路側機との位置関係からリアルタイムデータが取得されず、AIによる異常事象検知の適用が困難な区間があることも把握された。

今後、表-2にまとめた改善方策を実施し、異常事象検知の精度向上を図り、有用性の確認を行う。

伊万里湾大橋における 新技術を用いた修繕について

田鍋 輝¹・木田 笙苒²・竹林 沙織²・小林 孝伸²

¹九州地方整備局 唐津港湾事務所 工務課 (〒847-0861 佐賀県唐津市二タ子3丁目214番地6)

²九州地方整備局 唐津港湾事務所 保全課 (〒847-0861 佐賀県唐津市二タ子3丁目214番地6)

我が国の橋梁インフラの多くは高度経済成長期に整備され、現在その再塗装や補修が急務となっている。一般的な塗装による補修工事は、耐久年数が10～15年と塗替周期が短く維持管理上の課題となっているが、鋼道路橋の塗替塗装時に重防食塗装の補修にすることで耐久年数を30～60年に延ばすことが可能となる。しかし、旧塗膜に鉛を含有する橋梁の再塗装等においては、作業員の健康被害や粉塵飛散による安全あるいは環境への対策が求められる。本稿では、鉛含有旧塗膜を有する伊万里湾大橋において、新技術を用いた実施に基づく評価結果について報告する。

キーワード 循環式ハイブリッドブラストシステム工法、伊万里湾大橋、老朽化対策、安全対策

1. 伊万里湾大橋の概要

伊万里湾大橋は、伊万里港久原南地区と瀬戸地区を結ぶアーチ橋であり、円滑な物流を確保するとともに、輸送コスト及び輸送時間を削減し、さらなる港湾機能の向上を図ることを目的として整備された。1988年に整備着手され2003年に暫定2車線で供用を開始してから20年以上が経過している。写真-1

2019年に実施した橋梁定期点検の結果、塗装の剥離や部材の腐食が進行していることが判明し、2021年に実施した詳細調査で旧塗膜に鉛の含有が検出された。鉛含有塗料については、鉛中毒予防規則に基づき、鉛等有害物を含有する塗料の剥離等作業が必要となるため、2022年より老朽化対策として補修工事を実施している。写真-2



写真-1 伊万里湾大橋全景



写真-2 伊万里湾大橋老朽化状況

2. 橋梁の補修

橋梁の一般的な老朽化対策には、劣化した部材を修理・復元する補修工事、強度・耐荷力を向上させる補強工事、防錆・防食を目的とした塗装塗替工事等がある。

今回着目する塗装塗替工事は鋼橋部の塗膜剥離に対する鋼材の腐食防止、塗膜の劣化防止、有害塗料(旧塗膜に鉛を含む塗料)の除去・無害化をするものであり、旧塗膜の除去し防錆・耐久性能の高い塗料へ塗り替える工事である

塗装工事において、塗料塗り替え前の旧塗膜を除去する素地調整作業が鋼構造物の長期化に最重要となる。本稿では、鋼橋の長寿命化を実現し、ライフサイクルコストを実現させる、素地調整工法の比較・評価についてまとめる。

3. 素地調整の従来工法と課題

従来の工法は剥離剤で塗膜を軟化させ、スクレーパーで旧塗膜を除去し、オープンブラストやサンドブラスト等の乾式ブラスト工法で非金属製の研削材を吹きつけて錆、塗膜を除去し素地調整を仕上げた後に、塗装塗替をする工法である。図-1

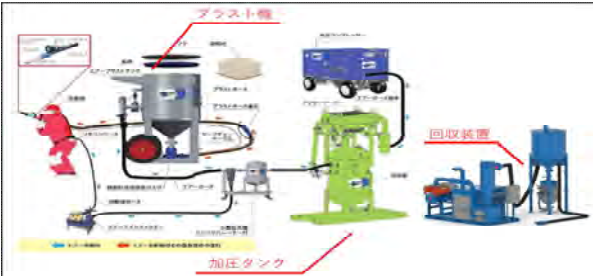


図-1 従来工法の概略図

しかし、剥離剤での塗膜除去は狭隘部、端部、くぼみ等は施工困難であり、有機溶剤中毒や火災・爆発のリスクや鉛が剥離剤に不溶で残存する問題がある。また、従来工法は研削材(珪砂・スラグ等)が粉塵化するため使い捨てとなり、産業廃棄物の排出量が非常に多く、環境への負荷や高額な処分費が問題となっている。さらに、研削材の破碎粉塵による遊離シリカの吸引及び鉛含有塗膜粉塵の吸引や飛散による健康被害や火災等の事故が多発している。

3. 循環式ハイブリッドブラストシステム工法の概要と従来工法との比較

循環式ハイブリッドブラストシステム工法は、研削材の再利用機構を備え、鉛粉塵の飛散抑制と施工効率の両立を図る工法である。図-2



図-2 循環式ハイブリッドブラストシステム工法の概略図

研削材には、耐摩耗性・靱性に優れた金属系研削材を採用し、回収・分別サイクルによる再利用により産業廃棄物を削減する。併せて、鋼材表面に適切な粗さを確保する事で塗装の密着性が高まり、塗膜

形成の信頼性と防錆性の向上に貢献する。さらに、高耐久な研削材により破碎が抑えられ、粉塵の発生が低減される事で、作業環境の改善にも寄与する。

循環式ハイブリッドブラストシステム工法と従来工法との比較を、安全性、施工性、経済性、品質の4つの観点で評価し、循環式ハイブリッドブラストシステム工法を適用した経緯について整理する。

(1) 安全性

従来工法には、研削材に非金属系(天然砂・スラグ等)が使用されており、これらには人体に有害な遊離シリカが含まれることが多く、作業中に発生する粉塵を吸い込むとじん肺や肺がんなどの健康被害を引き起こすリスクがあった。循環式ハイブリッドブラストシステム工法は金属系(スチールグリッド等)の研削材を使用することで、遊離シリカの混入を防ぎ、健康被害リスクを軽減できる。また、金属系研削材を使用することで、研削材が鋼材に衝突する際に発生する破碎粉塵を抑えることができ、従来のブラスト工法に比べ約95%削減することが可能であることから、鉛中毒のリスクも低減される。さらに、剥離剤のような有機溶剤を使用しないため、起因する中毒や火災・爆発事故の発生を防ぐことができる。

(2) 施工性

従来工法はブラスト機、加圧タンク、回収装置などそれぞれの機器が分かれているため、設置スペースを10m×5m確保し、それぞれをコントロールしながら施工をする必要がある。一方で、循環式ハイブリッドブラストシステム工法は、ブラスト機および回収分離機がユニット化されており、3m×5mのスペースで設置することが可能である。制御盤によって自動制御されるシステムであるため、作業の熟練度に左右されにくく少人数での作業が可能である。また、電動工具や塗膜剥離剤に比べ、狭隘部や端部などの施工が簡単である。さらに、従来工法では必要である塗膜剥離工程が不要となるため、工期の短縮にも寄与する。表-1

表-1 従来工法と循環式ハイブリッドブラストシステム工法の工程効率比較

工程効率 (1000m2当り)					
作業内容	数量	従来ブラスト工法		循環式ハイブリッドブラストシステム工法	
		日当り施工量	施工日数	日当り施工量	施工日数
素地調整	1,000 m2	55m2/日	18.2日	60m2/日	16.7日
ケレンかす回収・横込	1,000 m2	70m2/日	14.3日	0m2/日	
塗替塗装Rc-1	1,000 m2		11.8日		11.8日
合計			30.0日		28.5日

(3) 経済性

従来工法と循環式ハイブリッドブラストシステム工法の大きな違いは素地調整にて発生する廃棄物の量が従来比で少なくなることにより、処理にかかる費用が格段に減少することである。

表の通り施工数量1,000m2当たりで比較すると、循環式ハイブリッドブラストシステム工法は従来工法に対して素地調整1種に係る金額は高くなるが、産廃(鉛)塗膜くずの処分費は96.5%程度の縮減が期待できる。また、作業効率の工程短縮により使捨化学防護服やフィルター類などに起因する廃棄物やコスト削減が期待される。表-2

表-2 従来工法と循環式ハイブリッドブラストシステム工法の初期費用比較

初期費用 (1000m2当り)						
作業内容	従来ブラスト工法			循環式ハイブリッド ブラストシステム工法		
	数量	単価	金額	数量	単価	金額
素地調整	1,000 m2	¥6,629	¥6,629,000	1,000 m2	¥12,251	¥12,251,000
ケレンかす回収・横込	1,000 m2	¥3,660	¥3,660,000	1,000 m2	¥0	¥0
塗替塗装Rc-1	1,000 m2	¥4,877	¥4,877,000	1,000 m2	¥4,877	¥4,877,000
安全・環境対策費(概算)	1 式		¥10,161,220	1 式		¥6,166,080
産廃(鉛)塗膜くずのみ	40,000 kg	¥130	¥5,200,000	1,370 kg	¥130	¥178,100
合計			¥30,527,220			¥23,472,180

(4) 品質

品質として、表面の粗さは同等の施工ができるが、粉塵濃度及び粉塵付着量は従来工法に対して95%減少しているため、循環式ハイブリッドブラストシステム工法の方が作業中の視界と環境性が良く、不純物の付着量も少ない。また、施工ムラについても循環式ハイブリッドブラストシステム工法が優れている。

表-3

表-3 品質の比較

項目	従来工法	循環式ハイブリッド ブラストシステム工法
求める品質	素地調整程度1種	素地調整程度1種
品質①：表面の粗さ	80μmRzjis以下	80μmRzjis以下
品質②：粉塵濃度	7,600mg/m3	380mg/m3
品質③：粉塵付着量	191.2mg/m2	9.4mg/m2
施工ムラ：粉塵の残留	清掃除去できず表面に残る	粉塵が少なく優れている
施工ムラ：微粉塵の再浮遊	清掃中に舞い戻る	粉塵が少なく優れている

以上の検討結果より、上記4つの課題に対して優れた工法として、循環式ハイブリッドブラストシステム工法を採用した。

5. 伊万里湾大橋の工事内容

工事名：令和6年度伊万里港(久原南・瀬戸地区)道路(改良)工事

工 期：令和6年7月26日～令和7年3月21日

工 種：橋梁塗装工

施 工：塗装塗替973m2

6. 評価

(1)安全性評価

本施工では、鉛の管理濃度(0.05 mg/m3以下)を遵守するために、局所排気装置を併用し、作業従事者の鉛ばく露を低減する措置を実施した。

作業時には、全作業員に対し呼吸用保護具や使い捨て化学防護服等の防護装備の着用を徹底し安全対策を講じた。また、作業空間内の安全性を確保するため、密閉空間においては負圧集塵機を設置し、1時間あたり4回以上の換気能力を確保することで、粉塵の外部飛散を抑制することができた。写真-3



写真-3 粉塵飛散状況(作業状況)の比較

(2)施工性評価

本工法に使用する機械装置は、設置スペースが約3m×5mと比較的コンパクトであり、設置作業も容易である。伊万里湾大橋においては、歩道拡幅部を活用して機械を設置することが可能であり、現場条件の制約にも柔軟に対応できた。写真-4



写真-4 機械設置状況

また、操作系統は制御盤による自動化が図られており、熟練度に依存することなく、圧縮空気の排出量や研削材の吐出量など、品質や工程に関わる要素がシステム管理されている。これにより、安定した素地品質の確保が可能となった。

さらに、本現場では素地の表面粗さを数値で測定・管理することで、目視による評価のばらつきが排除され、品質の均一性が維持された。

作業速度の比較においても、従来ブラスト工法が約55m²/日であるのに対し、本工法では約60m²/日と、同等以上の施工速度を達成した。実際の施工工程も計画通り17日で完了し、従来の工法を採用した場合と比較すると、約40日の工程短縮が見込まれる結果となった。表-4

表-4 従来ブラスト工法と循環式ハイブリッドブラストシステム工法の工程比較

工程比較（伊万里湾大橋：A=973m ² 当り）						
	塗膜剥離剤2回と従来ブラスト工法			循環式ハイブリッドブラストシステム工法		
作業内容	数量	日当り施工量	施工日数	数量	日当り施工量	施工日数
塗膜除去(剥離剤1回目)	973 m ²	50m ² /日	19.5日			
廃材の回収・横込	973 m ²	50m ² /日	19.5日			
塗膜除去(剥離剤2回目)	973 m ²	50m ² /日	19.5日			
廃材の回収・横込	973 m ²	50m ² /日	19.5日			
素地調整1種	973 m ²	55m ² /日	17.7日	973 m ²	60m ² /日	16.2日
ケレンかす回収・横込	973 m ²	70m ² /日	13.9日	973 m ²	0m ² /日	
塗替塗装Rc-1	973 m ²		11.4日	973 m ²		11.4日
合計			68.0日			27.6日

(3)経済性評価

本工法では、研削材と塗膜片の分離回収が可能であるため、研削材の再利用が実現され、研削材消費量および産業廃棄物処分量の大幅な削減につながった。また、粉塵発生量の抑制効果により、負圧集塵機や局所排気装置に使用するフィルター類の交換頻度も減少し、それに伴う消耗資材費および廃棄物処理費用の削減効果も得られた。

これらの結果として、施工全体にかかる実行コストは、従来ブラスト工法と比較して概算で約61.5%のコスト低減ができた。表-5

表-5 従来ブラスト工法と循環式ハイブリッドブラストシステム工法のコスト比較

コスト比較（伊万里湾大橋：A=973m ² 当り）						
	塗膜剥離剤2回と従来ブラスト工法			循環式ハイブリッドブラストシステム工法		
作業内容	数量	単価	金額	数量	単価	金額
塗膜除去(剥離剤2回)	973 m ²	¥17,594	¥17,118,962	0 m ²	¥0	¥0
素地調整1種	973 m ²	¥6,629	¥6,450,017	973 m ²	¥12,251	¥11,920,223
ケレンかす回収・横込	973 m ²	¥3,660	¥3,561,180	973 m ²	¥0	¥0
塗替塗装Rc-1	973 m ²	¥4,877	¥4,745,321	973 m ²	¥4,877	¥4,745,321
安全・環境対策費(概算)	1 式		¥22,220,726	1 式		¥5,999,596
産廃(鉛)塗膜くずのみ	39,698 kg	¥130	¥5,160,792	1,333 kg	¥130	¥173,290
合計			¥59,256,998			¥22,838,430

(4)品質評価

本工法の採用により、重防食塗装系に必要な素地調整程度1種（旧塗膜の完全除去）が達成され、国際規格に基づく除錆度確認で品質規格を満たした。

また、負圧集塵機・局所排気装置併用で粉塵付着量試験により問題がないことを確認し、不純物混入

はなく、結果として95%以上低減できたと評価できる。表面粗さも測定機で数値化し、80 μ mRzjis以下を確保したことで施工精度を客観的に確認した。写真-5



左:素地調整前、右:素地調整後

写真-5 素地調整実施状況

結果として、作業中の視界と環境性が良く、不純物の付着量も少ない。また、施工ムラについても循環式ハイブリッドブラストシステム工法が優れている。

7. 結論

鉛含有旧塗膜を有する伊万里湾大橋の塗替塗装において、循環式ハイブリッドブラストシステム工法は、従来工法と比較して、安全性・施工性・経済性・品質の各方面において優れた効果を示した。表-6

表-6 伊万里湾大橋工事における従来ブラスト工法と循環式ハイブリッドブラストシステム工法の全面比較

項目	従来ブラスト工法	循環式ハイブリッドブラストシステム工法
研削材	非金属系（珪砂・スラグなど）	金属系（スチールグリット）
研削材の再利用	できない（使い捨て）	可能（循環して繰り返し使用）
粉塵の発生量	多い（破碎粉塵の発生）	少ない（破碎しにくい）
作業環境への影響	悪い（視界不良・呼吸リスク）	良い（視界良好・飛散も少ない）
環境負荷	高い（粉塵飛散・廃棄物多い）	低い（粉塵・廃棄物が少ない）
安全性	粉塵による健康被害のリスク	粉塵を抑え健康被害リスク減少
施工速度	遅い	塗膜剥離工が不要のため早い
導入コスト	初期費用が安い	ブラストに係る初期費用が高い
運用コスト	研削材が使い捨てのため継続的にかかる	研削材を再利用できるため長期的にはコスト削減が可能となる

特に、産業廃棄物排出量の大幅な削減や粉塵の抑制、作業従事者の安全確保といった点において、鉛対応工法としての実用性の高さが確認された。一方で、本工法は類似する循環型工法が多く存在することから、工法ごとの性能差や適用条件の選別が難しく、現状では広く普及していない側面もある。

今後は選定基準の明確化を含め、インフラ維持管理分野への適用拡大が期待される。

参考文献

- 1) 公益社団法人日本道路協会発行「鋼道路橋防食便覧」
- 2) 公益社団法人日本道路協会発行
「鋼道路橋塗装・防食便覧資料集」

福岡高速道路における維持管理の高度化 ～恒久足場におけるBIM/CIMの活用～

千々和 辰訓¹

¹福岡北九州高速道路公社 企画部 技術管理課 (〒812-0055 福岡市東区東浜2-7-53)

福岡高速道路（以下、福岡高速）では、維持管理の高度化を進めるうえで有効な対策として、令和2年度より幹線道路の主要交差点上の橋梁および特異損傷¹⁾の床版を有する橋梁を対象に恒久足場の設置を進めている。本稿では、福岡高速4号線の橋梁に設置する恒久足場の計画・設計・施工段階におけるBIM/CIMの活用事例について報告する。

キーワード 恒久足場, BIM/CIM, 維持管理, 合意形成, 生産性向上

1. はじめに

福岡高速は、図-1の路線図に示すように、放射環状道路網の枢要を担う自動車専用道路であり、全路線が第1次緊急輸送道路ネットワークに指定されている。また、市街地の渋滞緩和のみならず、九州自動車道や西九州自動車道と接続すること等により北九州方面や佐賀方面、熊本方面のアクセス向上にも大きく寄与している。現在の供用延長は59.3km、整備中延長は1.2kmであり、平均通行台数は約19万台/日（令和6年度）である。

図-3に老朽化の状況写真を示す。このような損傷が随所で進行し顕著化していることから、平成24年度から福岡高速1号線～福岡高速5号線を対象とした老朽化・予防保全事業を実施している。現在、1号線（香椎～千鳥橋JCT）については令和4年度までに概ね工事を完了しており、引き続き福岡高速2号線および福岡高速4号線の鋼製桁の塗替などの橋梁補修を進めている。さらに、維持管理の高度化に向けた取組みとして令和2年度より恒久足場の設置を進めている。



図-1 福岡高速道路 路線図

福岡高速は都市内高速道路であることから、供用延長のうち約9割にあたる55kmが橋梁構造となっている。図-2に経年別延長割合を示す。路線延長の約3割が供用から30年以上経過したことや交通量の増加に伴い、橋梁などの老朽化や劣化が進んでいる。

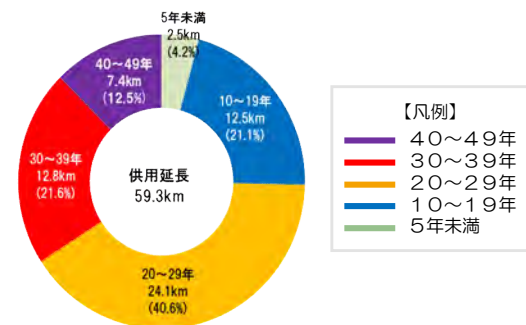


図-2 経年別延長割合



< コンクリート床版 >

疲労によるひび割れ・漏水

< 鋼製桁 >

経年劣化による塗膜の剥がれ

図-3 老朽化の状況写真

2. 恒久足場の概要

(1) 恒久足場の採用目的

都市内高速である福岡高速は93%が高架橋であり、そのほとんどが主要幹線道路路上に架橋されている。そのため、交差点上の橋梁および隣接橋梁や、ダブルデッキ上層と下層の位置が橋軸直角方向にずれている橋梁は、交差点部の交通規制形態が特に複雑化する。このため、特に交差点上の橋梁における点検作業や緊急補修作業を実施する際は、交通量の少ない深夜帯での交通規制となること、また、交通規制帯内における作業範囲が限定的となり高所作業車による作業効率が著しく低下することから、維持管理の効率化が課題であった。

また、近年は構造物の老朽化に伴うコンクリート片の剥離損傷など、第三者被害が発生するリスクも高まっていることから未然の安全対策が急務であった。また、一部の区間では、建設時の急速施工による影響で、RC床版の損傷が顕著化しており、特異損傷¹⁾の床版を有する橋梁への対策実施や対策効果のモニタリング等、さらに、老朽化・予防保全の観点から橋梁の長寿命化への対策も必要であった。

このような背景から、交差点上や高架下の施工条件によって交通規制に制約をうける橋梁や、特異損傷¹⁾の床版を有する橋梁に対して、表-1に示す恒久足場の利点を活かすべく、維持管理の高度化に向けた取組みとして恒久足場の設置を進めることとした。

表-1 恒久足場の利点

① 橋梁アクセス改善効果
交通規制が不要となり恒久足場内へ常時アクセスできることから、橋梁点検や補修工事を効率的に実施することが可能となる。
② 安全性向上効果
コンクリート片の落下に耐えるパネルを設置することで、床版下面に剥落対策を施すことなく第三者被害を防止することが可能となる。
③ 新技術検証容易効果
恒久足場内で、床版の補修技術の試験施工やモニタリングなどの長期的な検証を行うことが可能となる。
④ ライフサイクルコスト縮減効果
恒久足場で橋梁全面を覆い劣化因子を遮断して桁の腐食進行を抑制することで、塗装サイクルの長期化が可能となる。

(2) 恒久足場の設置方針および設置種別

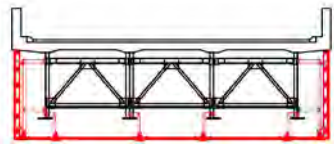
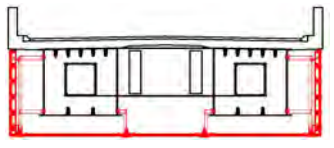
2. (1) で述べた橋梁の維持管理における課題や対策に対応するために、表-2に示す恒久足場の設置方針を策定し、これに基づき恒久足場を設置することとした。

また、表-3に示す恒久足場の設置種別のとおり、各々の設置条件に応じて桁種別毎に選定した恒久足場タイプを設置することとした。なお、鋼鈑桁の桁間足場タイプは、恒久足場内で橋梁横断方向への移動ができないことから採用しないこととした。

表-2 恒久足場の設置方針

① 交差点上の橋梁および高架下の使用制限がある橋梁
規制に伴う作業時間や作業範囲に制約があるため、橋梁の維持管理機能を向上させるために設置する。
② 交差点上の隣接橋梁
信号停車部や交差点滞留部であることから、交差点上と一体的に管理するために設置する。
③ 特異損傷の床版を有する橋梁
床版の調査・補修・モニタリングを実施するために設置する。

表-3 恒久足場の設置種別

設置条件		桁種	
		鋼鈑桁	鋼箱桁
		恒久足場タイプ	
① 交差点上の橋梁		全面	全面
② 交差点上の隣接橋梁	路下：国道	全面	桁間
	路下：中央分離帯	なし	なし
③ 特異損傷の床版を有する橋梁		全面	桁間
恒久足場タイプ（概略図）			
鋼鈑桁	全面足場タイプ		
	全面足場タイプ		
鋼箱桁	桁間足場タイプ		

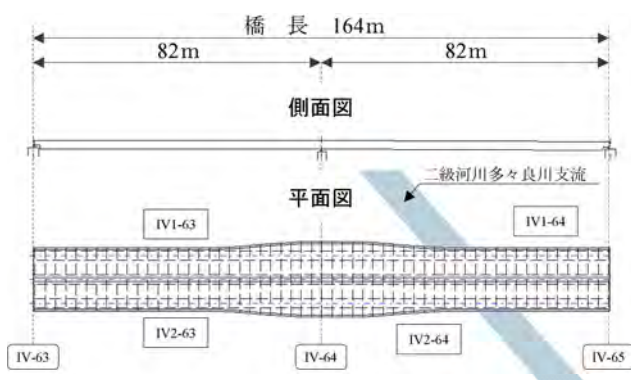
3. 橋梁に設置する恒久足場のBIM/CIM活用事例

3.1 橋梁諸元

表－4に橋梁諸元，図－4に一般図を示す．本橋梁は，国道3号松島交差点直上に位置しており，当該交差点は，計9車線（流入6，流出3），交通量は約4.5万台/日（H27年度道路交通センサス）となっている．また，IV1-64およびIV2-64径間の直下を二級河川多々良川の支流が横断する．

表－4 橋梁諸元

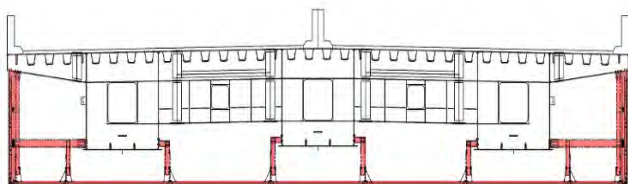
供 用	1999年3月27日（9次供用）約26年経過
号 線	福岡高速4号線
橋 梁 名	IV1-63～64、IV2-63～64
橋 梁 形 式	2径間連続鋼床版箱桁（上下線一体構造）
橋 長	164m（82m＋82m）



図－4 一般図

3.2 恒久足場概略図

図－5に本橋梁に設置する恒久足場概略図を示す．本橋梁は，交差点上の橋梁かつ鋼箱桁橋であることから，「全面足場タイプ」を採用する．全面足場タイプは，パネル部材（裏面，側面）および支持材を主な部材として，構造形式は床版から下側の橋梁本体構造を覆う構造とし，パネル材はアルミ合金製を採用した．施工数量は裏面パネル約2,870㎡，側面パネル約930㎡である．



図－5 恒久足場概略図

3.3 BIM/CIMモデルの作成

(1) 現地計測

BIM/CIMを構成する3Dモデルを作成するために，3次元計測を実施して橋梁および当該交差点を含む周辺地形の点群データを取得した．計測にはスキャンスピード最大100万点/秒の機能を有する3Dレーザスキャナーを使用した．計測時間は約50分/計測点であり，約40箇所の計測点に計測機を据え替えながら計測した．

(2) 地形モデルの作成

図－6に地形モデルを示す．3次元計測によって取得した点群データをもとに，不要となる街路走行車両の点群データを消去処理した後，橋梁直下の交差点を含む周辺地形をモデル化した．さらに，国土交通省の道路台帳をCAD化して路面標示に色彩を付与することで路面標示を明瞭に表現した．



図－6 地形モデル

(3) 構造物モデルの作成

図－7に構造物モデルを示す．恒久足場は橋梁の主要部材，二次部材，付属物および床版形状等に対して線形座標から作成した2次元詳細図面（CAD）を基に設計する．よって，実用性かつ効率性の観点から，これらの2次元詳細図面（CAD）を活用して，橋梁の上部工を400，下部工を300の詳細度で作成した．なお，橋梁の点群データは作成した構造物モデルと照合して部材形状や線形等の照査に活用した．



図－7 構造物モデル

(4)BIM/CIMモデルの作成

図-8にBIM/CIMモデルを示す。BIM/CIMモデルは、地形モデルと構造物モデルを統合して作成した。

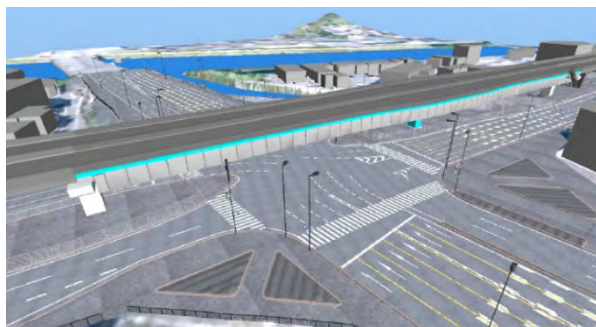


図-8 BIM/CIM モデル

3.4 恒久足場の計画・設計

(1)恒久足場構造の計画・設計

恒久足場の計画・設計にBIM/CIMモデルを活用した。図-9に受発注者間の協議状況を示す。図に示すようにモニター上のBIM/CIMモデルを共有して、移動導線や作業空間をシミュレーションしながら、恒久足場の部材配置等の計画・設計を行った。

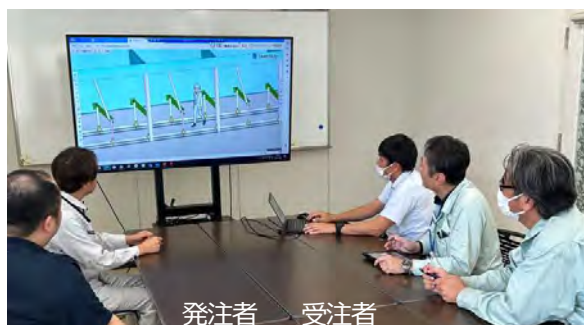


図-9 受発注者間の協議状況

当初計画は、図-10の当初計画モデルに示すように、側面パネル支持材（以下、支持材とする）を1.5m間隔に配置してブラケット中間部（以下、中間部とする）に斜材を設ける一般的構造であった。しかしながら、部材数が多く、点検や補修等の作業空間が狭隘となり施工性や移動性に劣ることが懸念されたため計画変更を行った。

図-11に変更計画モデル、図-12に施工完了写真（張出床版部）を示す。変更計画として、支持材高さ（ $H=1.0\text{m}$ ）に沿って橋軸方向に縦梁を設置して吊材を全て連結させることで剛性の向上を試みた。その結果、中間部の支持材および斜材の省略が可能となり、支持材を3.0m間隔に設置することで、作業空間の確保や施工性および移動性を改善できた。さらに、材数減に伴い鋼材費用、部材取付費用が減工となりコスト削減に繋がった。

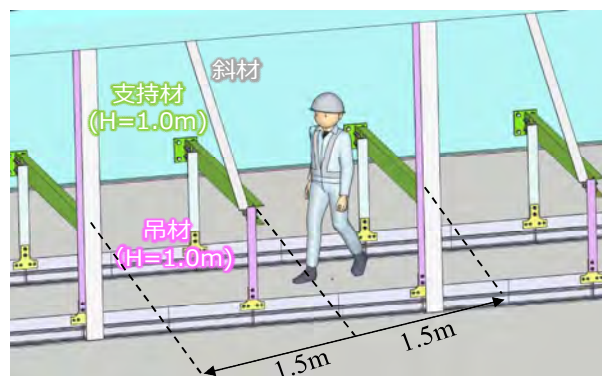


図-10 当初計画モデル

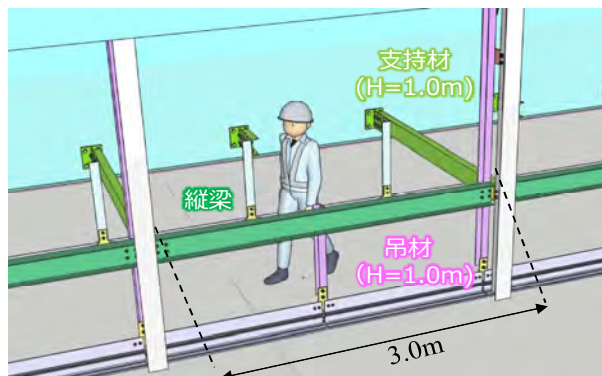


図-11 変更計画モデル

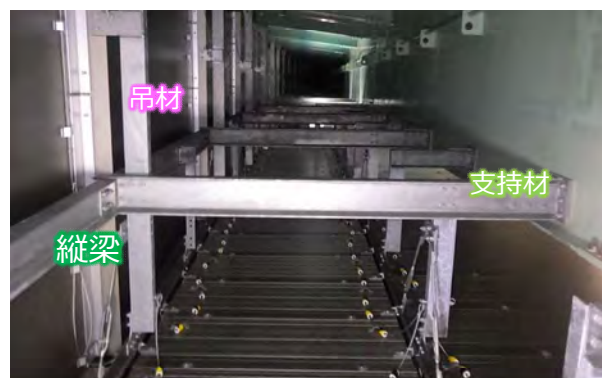


図-12 施工完了写真（張出床版部）

(2)部材の干渉確認

恒久足場のパネル材は工場で決められた寸法および形状で製作された後、現場に搬入される。よって、施工の段階で仮に他部材と干渉した場合、現地での修正加工ができないため、高精度なパネル材の設計が必要となる。

以上のことより、BIM/CIMモデルを活用して恒久足場のパネル材や支持材を配置した場合の他部材との干渉確認を行い設計に反映した。図-13にBIM/CIMモデルにおける干渉確認および施工完了写真（干渉部）を示す。パネル材の配置計画の段階で主桁に設置されているブラケット材と干渉することが確認されたため、BIM/CIMモデル上でパネル材に切欠きを設ける形状へ修正設計を行った。



(a) BIM/CIMモデルによる干渉確認



(b) BIM/CIMモデルによる修正設計



(c) 施工完了写真（干渉部）

図－13 干渉確認および施工完了写真（干渉部）

(3) 点検・作業シミュレーション

恒久足場設置後の維持管理性の向上を図るため、点検や補修作業など、恒久足場内で想定される作業をBIM/CIMモデルでシミュレーションし、点検可能範囲の明示や足場内作業を考慮した設計であるか確認を行った。結果の一例として、恒久足場内でローリングタワーを使用した補修作業をシミュレーションしたものを図－14示す。主桁間に幅広の作業床を有するローリングタワーを2機配置した場合においても移動導線を確保でき、補修作業に支障がないことを確認できた。



図－14 足場内作業シミュレーション図

3.5 恒久足場の施工

(1) 交通規制計画および施工計画

恒久足場の施工において交差点部は規制形態が特に複雑化する。そこで、図－15に示す交通規制計画および施工計画モデルを作成し、事前の計画・検討に活用した。当該モデルは時間情報を付与したモデルとし、時間経過に応じた検討を可能とした。交通規制計画については、規制車両や交通誘導員等の適切な配置位置の事前検討に

活用した。その結果、規制形態の視覚的認識が容易となり、受発注者間や関係機関との協議に有効活用することで円滑な合意形成が図れた。施工計画については、恒久足場の施工方法・手順、施工時の留意点等の事前検討に活用した。



図－15 交通規制計画および施工計画モデル

図－16に受注者と作業員による施工前の打合せ状況を示す。作業開始前に、出来高目標として施工範囲を表示・周知し、目標意識を共有して施工を行うことで、生産性向上に寄与することができた。

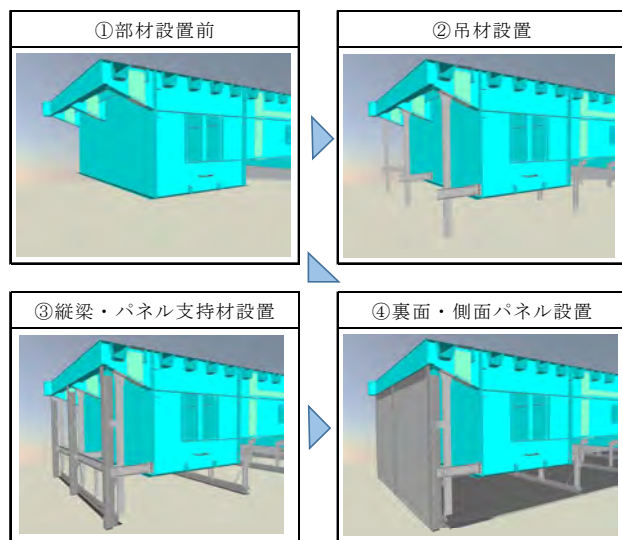


図－16 施工前の打合せ状況

(2) 恒久足場の施工

恒久足場は多種多様な部材を緻密に組立てて完成させる構造物であることから、施工手順を十分に理解することが特に重要である。そこで、図－17に示す施工工程モデルを作成し、施工手順の確認に活用した。その結果、施工工程に応じた構造変化を立体的かつ多角的に認識できるため、施工手順を容易に理解および共有することができ、現場で組み立て手順に迷うことなく迅速に施工できた。また、施工工程における危険作業や危険箇所を共

有して安全管理意識の向上を図り、事前に対策を講ずることができた。



図－17 施工工程モデル

図－18に施工管理状況を示す。従来の2次元施工図面とタブレット端末内に取り込んだBIM/CIMモデルを併用して施工管理を実施した。特に、2次元施工図面では認識が難しい支持部材の細部構造は、タブレット端末でBIM/CIMモデルを任意に回転・拡大して確認することが可能であるため、部材の識別や接続構造などの確認に対して非常に有効であった。図－19に本橋梁に設置した恒久足場の設置完了写真（外観）を示す。施工管理にBIM/CIMモデルを活用することで、手戻りなく安全に施工を完了することができた。



図－18 施工管理状況



図－19 恒久足場設置完了写真

4. おわりに

福岡高速4号線の橋梁に設置する恒久足場の計画・設計・施工段階にBIM/CIMを活用し、施工を完了することができた。以下に得られた知見を記す。

- ① 恒久足場の計画・設計にBIM/CIMを活用することで、点検や補修等の作業空間の検討、パネルおよび部材の配置や干渉確認等の事前の詳細シミュレーションを可能とした。これにより、設計イメージを理解および共有することで迅速な合意形成を図り、合理的かつ高精度な設計を行うことができた。
- ② 恒久足場の施工にBIM/CIMを活用することで、交通規制計画や恒久足場における施工工程等の事前の確認や共有を可能とした。これにより、手戻りなく安全に作業を完了することができた。また、出来形管理や工程管理に活用することで生産性向上に寄与することができた。

BIM/CIMは、迅速な合意形成、設計・施工の作業性向上など、生産性向上を図るうえで非常に有効な手段といえる。引き続き、BIM/CIMの活用に取り組みたい。

参考文献

- 1) 都市内高速道路における低品質 RC 床版の補修事例報告,第11回道路橋床版シンポジウム論文報告集,土木学会,2020

連続鉄筋コンクリート舗装施工における鉄筋のユニット化を用いた工期短縮事例について

宮田 宏夢¹・吉開 亮介²

¹九州地方整備局 大分河川国道事務所 工務第二課 (〒870-0820 大分県大分市西大道1丁目1番71号)

²九州地方整備局 大分河川国道事務所 建設監督官 (〒870-0820 大分県大分市西大道1丁目1番71号)

三光本耶馬溪道路の田口ICから青の洞門・羅漢寺IC間は、令和5年度中の開通を目標に鋭意工事を行っていた。その中で八面山トンネルの舗装工事は、連続鉄筋コンクリート舗装の鉄筋のユニット化、養生材の変更などの新技術活用やICT施工を取り入れた結果、後発工事に遅延なく現場を引き継ぐことができた。今回、連続鉄筋コンクリート舗装における工期短縮について報告するものである。

キーワード 連続鉄筋コンクリート舗装, 鉄筋のユニット化, 工期短縮,

1.はじめに

中津日田道路は、重要港湾中津港と日田地域を結ぶ延長約50kmの地域高規格道路として1994年12月に計画路線に指定された道路である。

そのうち三光本耶馬溪道路は、中津日田道路の一部を構成し、大分県中津市三光から同市本耶馬溪町に至る延長12.8kmの自動車専用道路で、2008年に事業化され災害に強いネットワークの構築や、円滑な緊急搬送の支援、広域観光ネットワークの形成を目的とし、直轄権限代行により整備を行っている。



図-1 三光本耶馬溪道路位置図

これまでの事業経緯は、2019年に中津IC～田口IC間の延長2.8kmが開通し、2024年3月24日に田口IC～青の洞門・羅漢寺IC間の延長5.3kmが開通している。

現在は青の洞門・羅漢寺IC～本耶馬溪IC間の延長4.7kmについて早期開通に向けて工事を進めているところである。



図-2 八面山トンネル位置図

今回の発表は、三光本耶馬溪道路の田口ICから青の洞門・羅漢寺IC間の八面山トンネル (L=1834m) で施工した連続鉄筋コンクリート舗装における工期短縮について報告するものである。



写真-1 八面山トンネル（起点側より望む）

2. 工事概要

本工事は令和5年1月から7月の6ヶ月にわたり、三光本耶馬溪道路の三光田口地区におけるトンネル舗装工事にて、新しく開通するトンネル上り線の舗装をコンクリート舗装にて行ったものである。

一般にトンネル内の舗装はコンクリートで行われる。理由としては、耐久性、耐摩耗性、視認性の高さが挙げられる。トンネル内は暗く視認性が低くなるため、明るい色のコンクリート舗装がトンネル内の安全確保に役立っている。また、アスファルト舗装に比べ、耐久性が高いため補修工事の頻度を減らすことが出来る。

コンクリート舗装工事の工事手順としては鉄筋の組立、コンクリートの打設、締固め、養生、目地工という流れで行われている。

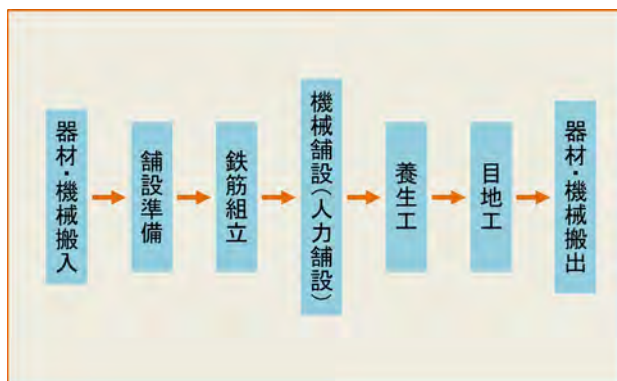


図-3 コンクリート舗装の施工順序

3. 連続鉄筋コンクリート舗装について

舗装には大きく分けて、アスファルト舗装とコンクリート舗装の2種類がある。コンクリート舗装はアスファルト舗装に比べて耐久性に優れているため、長期的に見

たときの維持修繕コストを抑えることにつながる。また、アスファルト舗装と比較して路面温度の上昇を抑制することができるため、近年問題となっているヒートアイランド現象の対策につながる。

しかしながら、コンクリート舗装には課題もある。まず、コンクリート舗装はその強度を確保するための養生期間が施工後に必要なため、交通開放を行うまでに長い時間が必要となる。

また、コンクリート舗装は適切な間隔で設けられた横収縮目地が走行時の振動や騒音を発生させることから、周辺に住宅の多い場所では使用しづらく、施工後の補修が難しいことも課題として挙げられる。

連続鉄筋コンクリート舗装は、このようなコンクリート舗装の課題に配慮した舗装である。連続鉄筋コンクリート舗装では、縦方向に鉄筋を連続的に配置し、縦方向鉄筋の抵抗力によってひび割れ幅が小さくなるように制御している。これにより、横目地を省略することができるため、コンクリート舗装を走行する際の振動や騒音の抑制につながっている。

4. 工期短縮のための技術活用

本工事では、当該区間全線開通に向け、設備工事などに引継ぐため、1日でも早い完成を目指し工期短縮の様々な技術活用を行った。

連続鉄筋コンクリート舗装における鉄筋組立ては、配力筋を主鉄筋に対して60度斜交させて配置する。一般的にはバラバラな状態の生材鉄筋を現場で配筋し、その交点を人力で結束する作業を行っていたため、多大な時間を費やしていた。今回は、現場で行っていた鉄筋の組立て作業に替わり、新技術によって工場でユニット化された鉄筋を使用した。

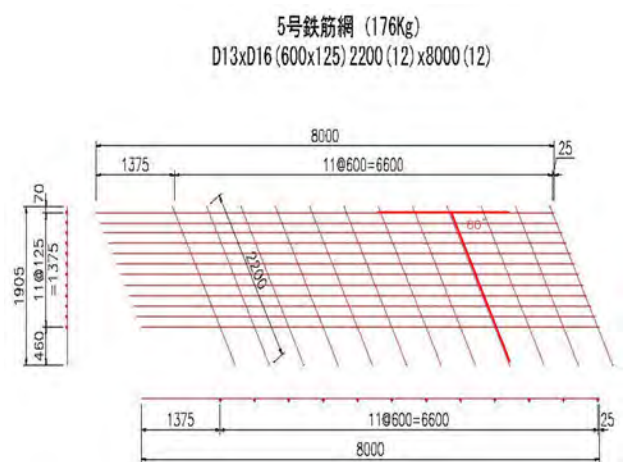


図-4 ユニット化鉄筋の配筋図

現場ではユニット化鉄筋を割付図の位置まで吊り下ろし

敷設した後、継ぎ手部を結束しながら組立てを行った。
これにより鉄筋の配置と結束作業が省力化され時間を大幅に短縮することが出来、コストの削減につながった。

また、工場製作のため、正確な寸法での施工が可能となり、品質の向上につながった。



写真-2 ユニット化鉄筋荷下ろし状況

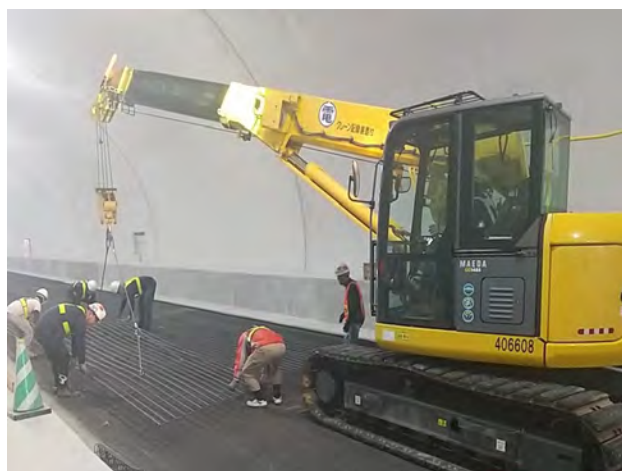


写真-3 ユニット化鉄筋配置状況

本技術は工場での製造日数を考慮する必要があるが、ユニット化鉄筋を活用した本工事の施工日数は、一般的な工程（現場での人力作業）に比べて約60%短縮された。

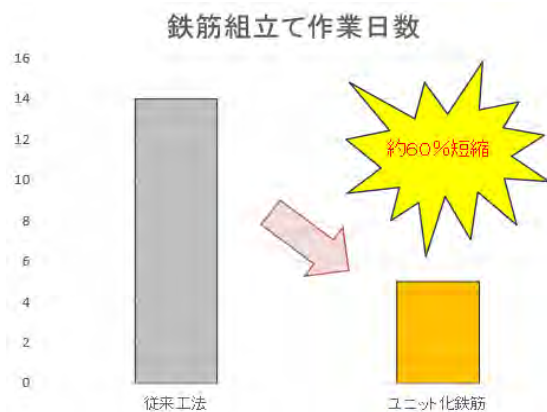


図-4 鉄筋組立作業日数の比較

また、従来は10m程度の生材鉄筋をトレーラーで搬入していたが、鉄筋をユニット化することで一般的なトラックでの搬入が可能となり、大型車両が通行出来る道路を経由せずに運搬することで他の工事工程も効率的に進めることが出来た。

本工事では、現場の創意工夫にてコンクリートの配合を高炉コンクリートから普通コンクリートに変更しており、工期の短縮と同時に、コンクリートの耐久性などの向上にもつながっている。



写真-4 運搬トラック比較

その他、電動式結束機の使用やコンクリート打設後の養生に被膜型一貫式の養生材を使用することで養生マットの際に必要であった敷設・撤去作業や散水養生が不要となり、コンクリート舗装打設完了後の後片づけ作業工程の削減を図ることができ作業時間の短縮、経済性の向上を図った。また、散水作業、養生マットの廃棄が不要になるため、省資源化、周辺環境への影響の軽減などのメリットも得られる。

被膜型一貫式の養生材については品質の面では水分蒸発を抑制することで圧縮強度の向上、乾燥収縮が軽減され、コンクリート表面のひび割れの軽減などの効果も期待できる。



写真-5 結束機械比較



写真-6 従来工法養生マット



写真-8 ICT施工状況モーターグレーダー



写真-7 被膜型一貫式の養生材での養生

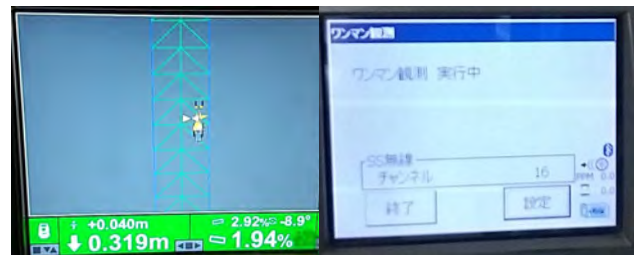


写真-9 3次元マシンコントロール



写真-10 ICT施工状況スリップフォーム

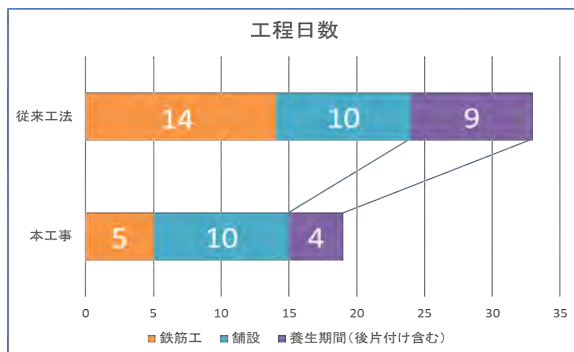


図-5 工程日数の比較

路盤の整正においては、自動追尾式トータルステーション技術を用いた3次元マシンコントロール技術を搭載したモーターグレーダーで施工を行うことで丁張りの設置が不要となり測量作業に要する時間を大幅に短縮することが出来た。

また、コンクリート敷き均し、締固め、表面仕上げを行う舗設機械についても、コンクリート舗装表面の高さや舗設機械の走行位置をICTで自動制御することで作業の効率化とともに品質の向上に努めた。

5. まとめ

連続鉄筋コンクリート舗装は、一般的に施工期間が長くなる傾向にあるが、今回、ユニット化鉄筋の使用とその他新技術の活用やICT施工を組み合わせることで、工期を短縮し、後発の工事に支障なく現場を引継ぐことができた。また、走行性が向上するとともに、振動や騒音の軽減が期待できる。

最後に、連続鉄筋コンクリートの工期短縮（省力化等）において更なる技術開発が進むことで、高い耐久性やライフサイクルコストの低減などのメリットを活かした舗装として、環境負荷の低減といった社会的な課題に対応していくことを期待する。

社会環境リスクに対する デジタルツインを活用した取り組みについて

田中 大智¹・松本 佳之¹

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

本明川ダム建設事業では、ダム本体工事で発生する土砂を事業地外のダムサイト下流へ搬出する計画となっている。ダムサイト下流の住民から寄せられた交通渋滞発生および騒音振動の抑止に対応するため、本事業では土砂運搬車両をリアルタイムで運行管理・記録できるシステムを導入し、通行台数や車間、運行時間帯を精密に制御する仕組みを構築すると共に、法定速度超過や通学路等での減速なども監理した。搬出を行う複数業者より得られたデータは一元管理するので、関係者間での情報共有や運行調整を可能にしている。またその他にも、ダムサイト周辺住民に対する騒音への対応として、音源探査システムと騒音予測システムを活用し、集落環境への配慮と即応的な対策を実施した。本論文では、これらの社会環境リスクに対する取り組みの背景とシステムの導入概要、効果を紹介する。

キーワード 社会環境リスク、運行監理システム、騒音予測システム、DX、デジタルツイン

1. はじめに

本明川ダム建設事業は、地域における重要な社会資本整備として位置付けられており、その規模や工期の長さ、工種の多様性から、多くの関係者が関わる大規模プロジェクトである。その一方で、周辺住民にとっては、工事車両の往来、建設機械の稼働による騒音・振動・粉塵などの生活環境への影響が日常的に生じ得る状況にある。

このような状況においては、従来のように工事が始まってから問題が発生し、住民からの苦情に対応するという「事後対応型」の対策では、関係性の悪化や工事の遅延を招くおそれがある。そのため、こうした環境リスク

に対しても、事前に把握し、見える化し、必要な対策を迅速に講じる「予防・合意形成型」のアプローチが求められている。

本事業では、ダム建設に伴う多様な環境リスクを的確に捉え、適切な現場監理が可能となるようにデジタル技術を活用した「可視化」と「情報共有の強化」に積極的に取り組んできた。本論文では、本事業が実施している取り組みの中から、DXを活用したダンプ運行監理および工事中の騒音対策の事例を中心に紹介するとともに、将来的には振動や粉塵といった環境負荷のリアルタイム監視と地域社会との協調的な工事推進の可能性についても展望を示すものである。



図-1 本明川ダム建設事業における土砂運搬ルート

2. 課題と背景

本明川ダム本体工事では、令和7年から令和12年にわたって約80万m³もの掘削土砂が発生し、これらの土砂の処理については、当初は事業地内（ダムサイト上流）の土捨て場で処理する計画であった。しかし、関係機関等との協議の結果、事業地内の土捨て場を縮小せざるを得ず、事業地外のダム下流地域での残土処理が必要となり、大量の土砂を場外へ搬出することとなった。これらの大幅な施工計画の変更に伴い、ダムサイト下流の住民から、以下の多くの心配ごとや要望が寄せられた。

- ・法定速度を順守する、追い越し等を行わない
- ・登下校時のスクールゾーンの安全確保に努める
- ・現道上での駐停車（待機を含む）を行わない
- ・地元車両を優先する
- ・土砂搬出に伴う交通渋滞を発生させない（特に通勤・通学時間帯の一般交通に影響を与えない）
- ・現場への入退場時間帯についても配慮する
- ・連続走行による騒音・振動・粉じんを抑止する

これらを踏まえ事前に「PTV Vissim」を用いた渋滞シミュレーションを実施し、時間当たり50台までであれば渋滞は発生しないとの結論を得た。この結果を確実に遵守し、安全かつ計画的な搬出を実現するために、本事業では運行管理システムの導入を決断した。

3. ダンプ運行監理システムの概要

本明川ダム建設事業で用いたシステムは、「D-safety」というダンプ車両の運行をリアルタイムで監視・記録し、安全走行と効率的な運行管理を支援する多機能な管理基盤である。

主な機能は以下のとおりである。

(1) 音声による注意喚起

運行データが記録され、運行時の危険箇所やスクールゾーンなどの注意情報が運転者に音声で伝達される。これにより、運転者自身が状況を即座に把握し、安全走行への意識向上に繋がっている。

(2) 車両挙動の記録

記録された運行データを基に、往路・復路の各車両の挙動（速度、急加減速など）を後から確認できるため、運転傾向の分析が可能となる。

(3) 運行データの記録

車両の速度超過や急加速・急ブレーキ、工事現場の入退場時刻といった情報が自動的に記録され、日報・月報の帳票として出力することもできるため、運行実績の管理や報告業務の効率化にも寄与してい

る。

(4) 情報の一元化と共有

クラウドベースでの情報共有により、関係者間の判断と対応を迅速化できる。特に通学時間帯には入場制限を設けるなど、安全への配慮も行う。

(5) 危険挙動と運転状態の検知

車両には急加速・急減速・急旋回を検知する機能が搭載されており、異常な運転挙動があれば音声やディスプレイで運転者に即時注意喚起を行う。また、車内カメラによりわき見や居眠りの兆候を検知し、注意喚起を行う機能も備える。

(6) ゾーン制御とエリア管理

予め設定されたエリア（通学路や生活道路など）を通過する際には、音声による注意喚起が行われ、元請業者にはメール等で通知される仕組みとなっている。これにより、住民生活への配慮が自動化されている。

(7) ヒヤリハットマップの自動生成

検知された危険挙動データを基に、走行ルート上の危険箇所をマッピングした「ヒヤリハットマップ」を自動生成し、後続車両への注意喚起や安全教育資料として活用できる。

(8) 通信圏外対応とデータ保存

山間部などの通信不感地帯においても、端末が情報を一時保存し、通信回復後にサーバへ送信することで、データ欠損を防ぐ構造となっている。クラウドベースでの情報共有により、関係者間の判断と対応を迅速化することができる。特に通学時間帯には入場制限を設けるなど、安全への配慮も行っている。



図-2 運行データの監視



図-3 危険挙動と運転挙動の検知

4. 運行監理システムの導入効果と成果

本取り組みは、いわば工事用車両に対するIoT（Internet of Things）の実装とも言え、運行管理を単なる車両把握にとどまらず、施工全体の高度化・効率化を推進する要素として位置付けている。また、収集されたデータは安全教育にも活用されており、運転者の意識向上と行動変容に繋がっている。本事業では、土砂搬出を複数の施工業者が担当している状況に対応し、全ての業者に共通の運行管理システムを導入させている。これにより、運行データを一元的に取得・集約し、台数や通行時間帯の調整をリアルタイムで実施することで、最適化された全体の搬出スケジュールを確実に運用している。

さらに、これらの運行データをクラウドベースの情報共有システムと連携し、施工業者間および発注者が同一のプラットフォーム上で運行状況を共有・確認できる体制を構築している。これにより、情報の即時共有と的確な対応が可能となり、関係者間の連携強化と情報伝達の効率化を実現している。

本明川ダム事業におけるダムサイト下流への土砂搬出は6ヶ月間が経過し最大時間あたり35台を記録した。今後、ダムの堤体基礎掘削が本格化すると、時間当たり50台規模での搬出を計画している。こうした運行量を的確に管理し、住民からの要望に応えつつ事業を円滑に進めるため、導入したシステムは以下のような効果が確認できた。

(1) ダンプ間隔の監視と管理

特定地点を通過する車両時刻を記録し、ダンプ間隔が常に1分以上確保されているかを確認。住民への説明と整合した運用が可能となった。また、ダンプの連続走行や急発進・急停車による騒音が軽減した。

(2) 苦情対応の迅速化

住民からの「連なっている」「速度超過」といった指摘に対し、データで即時検証が可能となった。信頼性と説明力が向上した。

(3) 事故リスクの低減

車両間隔の維持により、接触リスクの軽減と通学時の安全確保に寄与した。

(4) 管理業務の効率化

運行計画と実態の差を常時把握でき、即応的な配車調整が可能となり、管理者の負担が軽減した。

また、土砂搬出台数を正確に把握できるようになったことにより、搬出された土砂の総量についても日別・時間別に容易に集計でき、運搬土量の管理の簡素化にもつながっている。これにより、現場からの報告や進捗管理が効率化された。

さらに、土砂搬出を開始した当初は、多くの苦情が寄せられたものの、システム導入による前述のデータ記録や共有により、原因の特定や対応が迅速化出来たこと、また、地域住民からの要請を逸脱した運行をいち早く発見して逐次運搬車両のドライバーに対して振り返りや指導を行ったことが効果として上がっている。土砂搬出開始以降の6ヶ月間に、現場には総勢308名のドライバーが出入りして土砂運搬を継続しているが、運行の質が向上して苦情も減少している。また、ダム工事車両は、丁寧な運行が成されているとの地域住民の声も頂いた。

また、これまで説明したシステムに加えて、ダム工事車両には、ダム事業に関係する車両であることが一目で分かるように識別用プレートを貼付して、地域住民が通行する工事車両の出所を明確に把握でき透明性を確保するとともに、小学生に対する大型車両通行に関する安全教室の開催などソフト対策も併せ持つて信頼性の向上を目指している。

車両間隔		施工業者	
作業日	エリア通過時刻	車両	施工業者
2025/4/14	10:07:13	0:01:09	施工業者A
2025/4/14	10:07:49	0:00:35	施工業者B
2025/4/14	10:09:59	0:02:10	施工業者B
2025/4/14	10:12:35	0:02:36	施工業者A
2025/4/14	10:16:05	0:03:30	施工業者B
2025/4/14	10:37:53	0:21:48	施工業者C
2025/4/14	10:41:20	0:03:27	施工業者A
2025/4/14	10:43:59	0:02:39	施工業者C
2025/4/14	10:47:08	0:03:09	施工業者A
2025/4/14	10:50:44	0:03:36	施工業者A
2025/4/14	10:54:22	0:03:38	施工業者A
2025/4/14	10:56:01	0:01:39	施工業者A
2025/4/14	10:59:52	0:03:51	施工業者A
2025/4/14	11:00:12	0:00:01	施工業者C
2025/4/14	11:00:17	0:00:05	施工業者C
2025/4/14	11:02:35	0:02:18	施工業者A
2025/4/14	11:03:47	0:01:12	施工業者B
2025/4/14	11:04:03	0:00:16	施工業者A
2025/4/14	11:10:29	0:06:26	施工業者A
2025/4/14	11:19:10	0:08:41	施工業者B
2025/4/14	11:19:40	0:00:30	施工業者A
2025/4/14	11:21:46	0:02:06	施工業者B
2025/4/14	11:22:29	0:00:43	施工業者C
2025/4/14	11:23:59	0:01:30	施工業者B
2025/4/14	11:26:22	0:02:23	施工業者A
2025/4/14	11:31:35	0:05:13	施工業者B

図-4 車両間隔のデータ

5. 社会環境リスクに対する更なる取り組み

ここまでの章ではダムサイト下流地域へ与える社会環境リスクへの取り組みについて報告したが、本章ではダムサイト周辺へ与える社会環境リスクに対する取り組みを報告する。

本事業では、ダムサイト周辺に集落が近接しており、かつ約7年間という長期に渡って工事を進めなければならないことから、ダムサイトにおける社会環境負荷軽減にも努めなければならない。これまでにもダム本体工事以前に行っていたダム付替道路や工事用道路等の工事において、転石の破砕や石灰改良といった盛土材製造作業により発生する騒音に関して、地域住民からの注意や苦情が寄せられた経緯がある。それらの経緯から、ダム本体工事ではダムサイトから発生する騒音に対してシステムを用いた取り組みを行っている。

本事業で用いたシステムの特徴は、既存の汎用的なモニタリング機器とは異なり、「音源探査機能」および「騒音予測機能」を備えている点にある。具体的には、音源探査システム「TSounds-Radar」により、複数の騒音発生源が存在する掘削現場においても、反響音の多い谷あいの地形条件下で正確に音源を特定することができる。これにより、騒音の主因に対してピンポイントで防音対策を講じることが可能となり、無駄な設備投資の抑制や対策の即応性向上につながった。

また、工事騒音予測システム「TANAS」を活用し、施工進捗に応じた騒音の発生位置や到達範囲を事前に把握することで、リスクの先取りと計画的な防音設備配置を実現している。

このように、リアルタイムの計測結果と将来的なリスク予測を組み合わせてることにより、ダム工事における住民環境への配慮を高度化している点が、本事業で用いたシステムの大きな特長である。

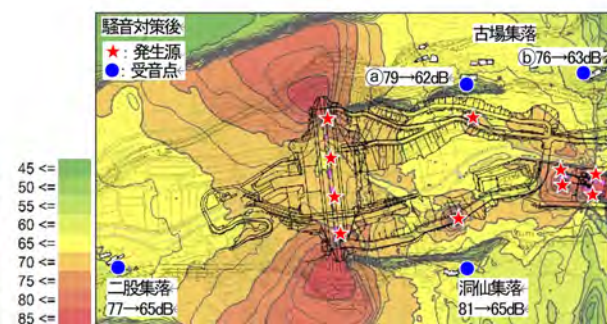


図-5 騒音予測システムの概要

6. 今後の展望

本事業では、これまでの取り組みを「デジタルツイン」の概念に基づいた工事マネジメントへと発展させることを見据えている。現場での実際の運行状況や環境リスクの数値をリアルタイムで収集・可視化し、仮想空間上に再現することで、状況予測や最適配車、リスクの先読みが可能となる。このような取り組みにより、工事現場全体の「双子モデル」としての管理体制が確立され、持続可能で住民にも配慮した施工の実現を目指している。

今後は、実際には現場で見えない振動や粉塵といった環境リスクの「見える化」も進める計画である。これらは騒音と同様に工事に伴う住民との軋轢の原因となりやすく、従来は定性的な苦情に留まっていた。今後、本明川ダム本体工事では、掘削の本格化、ダム本体打設と進んで行くが、騒音や振動の実態を定量的に把握するため、官民境界などの住民から見える場所に騒音計と連動したモニターを設置し、常時計測・掲示を行う体制の構築を準備している。さらには、あらかじめ設定した騒音管理基準値を超えた場合には、担当者へ自動的に通知が届く仕組みの構築も準備している。

これにより、環境影響を数値的に「見える化」し、住民の安心感につながると考えている。

得られたデータは今後報告するとともに、他の施工管理情報と連携させ、施工全体の高度化・最適化を図ることで、今後のダム建設における持続可能なDX推進の一助としたい。

7. おわりに

本明川ダムにおける運行監理システムの導入による現場対応は、地域住民の安全確保と環境負荷の低減という社会的要請に応えるものであり、DXを活用した施工の高度化に向けた先進的な取り組みの一例である。単なる運行監理にとどまらず、可視化・記録・共有を通じて関係者全体の施工マネジメントに寄与しており、今後の大規模土木工事におけるモデルケースとしての意義を有している。引き続き、地域との信頼関係を大切にしながら、環境リスクの見える化と持続可能な社会資本整備の実現に向けて取り組みを継続していきたい。

国道3号黒崎バイパス黒崎西ランプ橋架設工事に伴う 多軸式特殊台車を使用した橋桁の一括架設について

立山 煌士¹・中村 慎吾¹・村崎 修司¹

¹九州地方整備局 北九州国道事務所 工務課 (〒802-0803 福岡県北九州市小倉南区春ヶ丘10-10)

国道3号黒崎バイパスは、八幡駅・黒崎駅周辺の渋滞緩和や北九州都市高速道路とのネットワーク形成を目的とした延長5.8kmの自動車専用道路として整備が進められている。最後の未開通区間である黒崎西ランプは、黒崎駅に近く周囲には店舗やマンションがある中心市街地であり、施工ヤード、交通規制、作業時間の制限等が課題となっている。黒崎西ランプのうち、国道3号と国道200号が交差する筒井町交差点の上空に建設される橋梁（鋼2径間連続非合成箱桁橋の上部工架設について、前述の課題に対する検討を行い、多軸式特殊台車による橋桁の一括架設までの経緯について報告する。

キーワード 自専道ランプ橋、多軸式特殊台車、都市部の一括架設工法、BIM/CIM、工事広報

1. 路線概要

国道3号黒崎バイパスは、JR黒崎駅周辺の国道3号をはじめとした沿線地域の渋滞の緩和や北九州都市高速道路と一体となった自動車専用道路ネットワークを形成することを目的とした延長5.8kmの自動車専用道路である。

平成20年10月に黒崎北ランプから陣原ランプ間が暫定2車線で開通して以降、平成24年度までに北九州都市高速道路への接続を含む延長5.2kmが開通し、令和5年3月には春の町ランプ及び陣原ランプが開通したことで、国道3号東西方向のバイパスが連結している。現在は、最後の未開通区間となる黒崎西ランプの整備を進めており、本稿では、RP1～RP2間の橋梁架設工事を報告する。

2. 工事概要

本工事（表-1）は、黒崎バイパスと国道200号を接続する黒崎西ランプのうち、A1～RP2間を構成する鋼2径間連続非合成箱桁橋（橋長：106m）の製作・架設工事である。そのうち、RP1～RP2間については、国道3号と国道200号が交差する筒井町交差点上空に桁を架設することから、夜間通行止めを行っての多軸式特殊台車による一括架設工法を採用した。

表-1 工事概要

工事名	福岡3号黒崎西ランプ橋上部工（A1-RP2）外工事
施工者	JFEエンジニアリング㈱九州支店
施工場所	福岡県北九州市八幡西区黒崎地先
工期	令和5年2月2日～令和6年12月27日
工事内容	鋼2径間連続非合成箱桁橋（2主桁・橋長106m）の製作・架設、張出式鋼製橋脚(RP1)の製作・設置

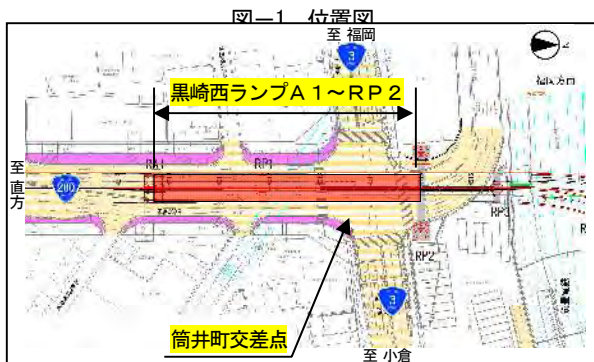


図-3 施工箇所

3. 桁架設工法の検討

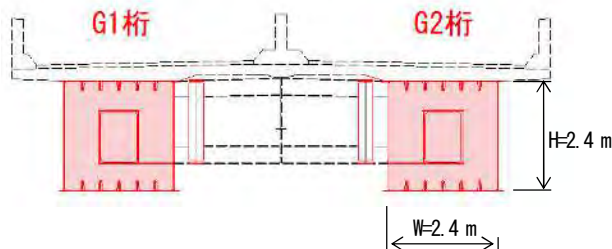
(1) 桁架設を行う上での施工条件

工事対象箇所は、JR黒崎駅の近接地域であり、店舗やマンションなどが密集する中心市街地である。そのため、施工ヤードを用地外に確保することも困難であることから、土工部となるA1橋台背面部において桁地組を行った。

A1橋台背面で桁地組を行ったことから、RP1～RP2間の架設を行うには桁（表-2）を運搬する必要があり、運搬の際は国道の通行止めが必要であった。しかしながら、当該現場は交通量が非常に多い国道3号及び国道200号の囲まれた場所であるため、国道の通行止めには、規制時間や路線バスの運行等を考慮する必要があった。

国道の規制に関して関係機関等と協議を行った結果、国道3号の通行止め時間は、深夜0時から5時までとなり、時間的制約が厳しい施工条件であった。

表-2 運搬する桁の諸元

桁長	77.5 m
桁高・桁幅	2.4 m
重量	165 ton
【桁側面図】	
	
【桁断面図】	
	

(2) 架設工法の検討

前述の施工条件を踏まえ、以下のa)～c)に示す工法で桁架設の検討を行った。3工法の中で施工条件を満足できる『多軸式特殊台車による一括架設工法』を選定した。

a) トラッククレーン一括架設工法

トラッククレーン一括架設工法は、玉掛けやテンション調整に12時間程度を要し、国道3号の夜間通行止めの時間内に架設が完了しないことから適用不可とした。

b) 送り出し架設工法

RP1～RP2間の縦断勾配が7.0%程度あり、送り出し架設時の勾配を仮設材で調整する必要があり、桁到達後に降下作業が生じる。そのため、国道3号の夜間規制時間内に桁と橋脚を接続することができず、8日程度を要し、交通開放が不可となることから、送り出し架設工法も適用不可となった。

c) 多軸式特殊台車による一括架設工法

A1橋台背面の地組ヤードから多軸式特殊台車により架設箇所まで輸送し、そのまま一括架設する工法（図-4）であれば、5時間以内で桁と橋脚を接続することが可能であることから、多軸式特殊台車による一括架設工法を採用した。



図-4 多軸式特殊台車による一括架設

4. 地下埋設物（函渠）への影響検討

(1) 既設埋設函渠への影響検討

国道200号の直下には、撥川の函渠が横断しており、桁運搬の際は、多軸式特殊台車が通行することになる（図-5）。しかしながら、撥川の函渠は、桁運搬の多軸式特殊台車の荷重(1軸当たり約52t)に函渠(頂版等全ての部材)が耐えることができないため、函渠に荷重を作用させない仮防護を行う必要があった。

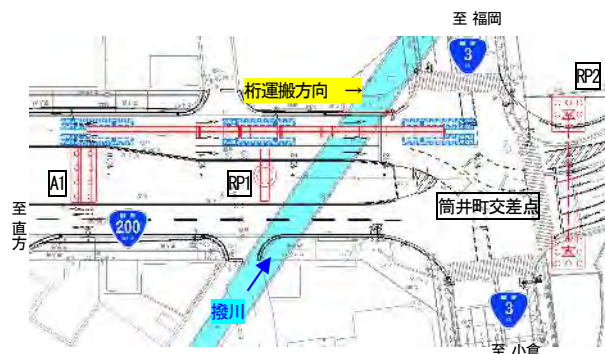


図-5 埋設函渠（撥川）の位置図

表-3 桁運搬方法

表-3に示す仮防護を行った場合、交通規制をかける等の大規模な施工を行う必要が生じることから、比較検討を行った結果、経済性と工期で有利となる多軸特殊台車3台を使用した工法を採用することとした。

当初		変更	
【平面図】 【側面図】		【平面図】 【側面図】	
概算工事費	約3.1億円	概算工事費	約2.3億円(約8千万コスト縮減)
工事期間	約8ヶ月(仮橋・擦り付け舗装・地組・架設等)	工事期間	約4ヶ月(地組・架設等)(約4ヶ月工期短縮)

(2) 埋設函渠への影響照査

多軸式特殊台車による一括架設工法を採用するにあたり、台車単独の荷重に対して、函渠が影響を受けな
いことを確認した。その結果、函渠の頂板・底板・側壁
のすべて部材において、許容応力度以内に収まることが
確認できた。これにより、桁の荷重が掛からない状態
であれば多軸式特殊台車が函渠上を通行しても問題
ないと判断した。多軸式特殊台車2号車と3号車の桁受
け点を決定する際、受け替え時において、2・3号車の
両方が函渠に影響を与えない位置とした(図-6)。

また、函渠を挟んで桁を受け替えるためには、受け
替え前は張り出し構造での運搬となるため(図-7)、
1・2号車にて桁運搬を行っている状態において、2号
車を支点とした転倒について照査を行った結果、張り
出し構造での運搬が可能と判断した。

以上より、3台の多軸式特殊台車を使用して、函渠を
挟んで桁を受け替えることによる一括架設が可能であ
ると判断した。

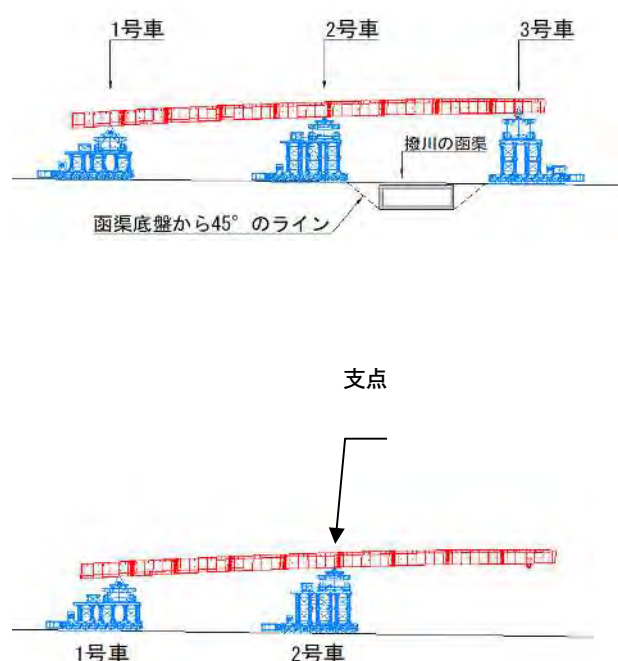


図-7 1・2号車での桁運搬時の状態

(3) 施工ステップ

架設の流れを下記（図-8、9、10）に示す。なお、台車を桁地組箇所から架設箇所に向かって、1号車・2号車・3号車とする。

a) STEP.1：規制前

ベントで支えていた桁を多軸式特殊台車（1号車・2号車）に載せ替え、国道200号の通行止め前に点検を実施した。国道200号を通行止め規制を行い、多軸式特殊台車の通行位置を路面にマーキングしたのちに、1号車・2号車にて桁の運搬を実施。筒井町交差点手前にある函渠は桁を支えたままでは通行できないため、函渠に影響の無い範囲まで運搬を行う。

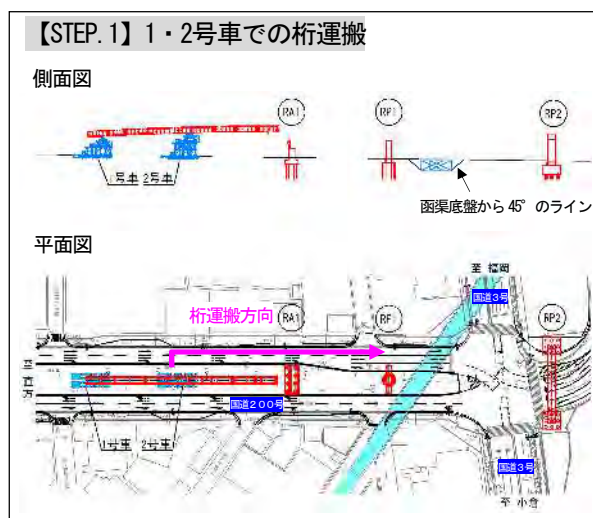


図-8 STEP.1の計画図

b) STEP.2：2号車から3号車に桁を受け替え

午前0時より国道3号の通行止め規制を実施し、撥川の函渠前後で2号車から3号車へ桁の受け替えを行った。

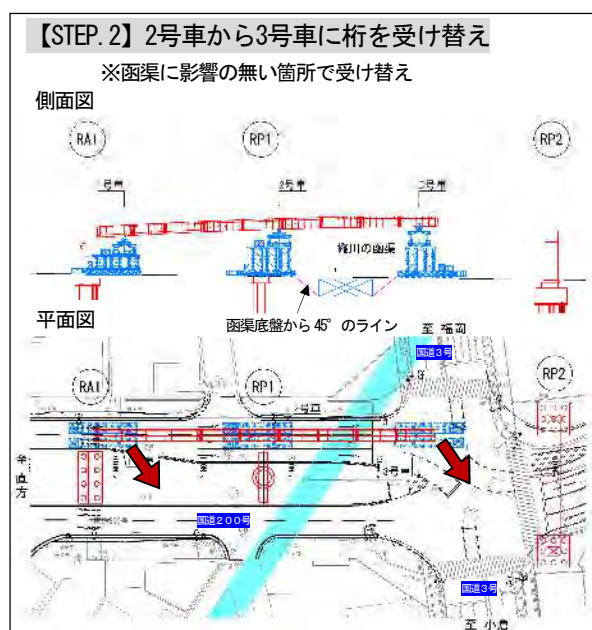


図-9 STEP.2の計画図

c) STEP.3：1・3号車にて架設箇所までの運搬・架設

桁の受け替え後、1号車・3号車にて桁の架設位置まで運搬を実施。架設位置を調整した後に橋脚に桁を架設した。

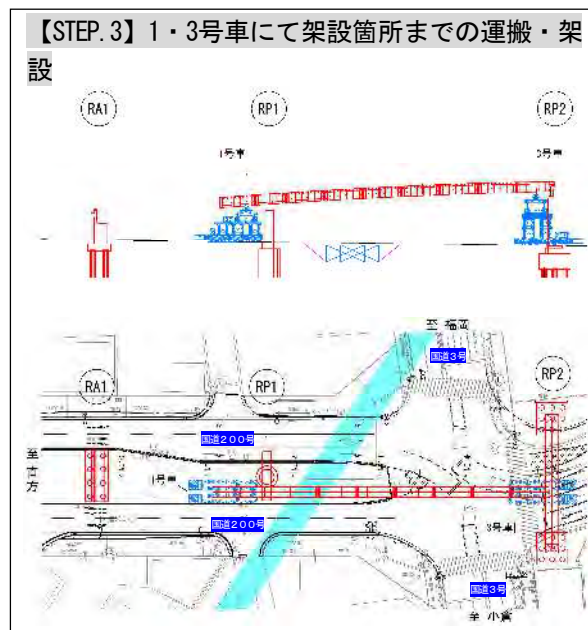


図-10 STEP.3の計画図

5. 施工にあたっての工夫

(1) BIM/CIMの活用

本工事の架設作業は、市街地における狭隘なヤードでの施工かつ、国道3号の通行止め時間が0時から5時となることから、短時間での確実な施工が求められる工事であった。確実な施工を実施するには、事前の施工計画の精度向上が必要不可欠であったため、BIM/CIMを活用した統合モデルを作成し、施工ステップごとの作業スペースや資機材や人員の配置を確認した。

また、タイムライナー機能を活用することで、モデル上で時間ごとの作業内容を可視化することができ、限られた時間内で効率的な工事工程を立案することができた。工事実施前には、作成した架設シミュレーション動画（図-12）により、作業員へ作業手順を視覚的に周知することが可能となり、施工時のロスを軽減し、効率的な作業を行うことができた。



図-12 架設シミュレーション

(2) 安全対策

a) ジャッキを使用した台車と桁の固定

1・2号車での桁運搬時における転倒に対する安全性向上のため、1号車の荷重が転倒に対する抵抗モーメントとして作用する効果に期待し、通常のレバブロックによる固縛に加え、PC鋼棒を用いた固定を行った。桁上にH鋼と台車を両側2本ずつ計4本のPC鋼棒を用いて連結した(図-13)。このPC鋼棒にセンターホールジャッキにより緊張力を加え、桁を挟み込む形で固定した。

この方法により、ジャッキ反力によって固定力をコントロールできるだけでなく、桁運搬中に反力の変化によって、異常発生時の確認ができることとなった。



図-13 多軸式特殊台車と桁の固定状況

b) 桁運搬時における3号車の並走

1・2号車での桁運搬時、桁の張り出し部先端直下に3号車を配置し、荷重をかけない状態で並走させた(図-14)。これにより、想定外の事象により桁が異常な挙動や反力を示した際は、すぐに3号車で張り出し部を受けられるようにした。また、一括架設時においては一般の見物人が多くみられることも予想されたため、視覚的な安全性・安心感の向上にも寄与すると考えた。ただし、この方法を実施するにあたっては、同時に動く多軸式特殊台車が2台から3台に増えるため、台車のオペレータ・監視員含めた作業員の増強や、3台同調運搬による施工の難化が想定されるため、移動速度の低下によりタイムスケジュールにも影響が懸念されたが、安全性を優先する観点から3号車の並走を行うこととした。



図-14 3号車の並走状況

6. 広報の取り組み

今回の工事では、車両が通行する国道200号の中央帯部分で桁や多軸式特殊台車の組立を行っていることもあり、桁架設前から地域の方々の関心が高い状況であったが、ヤードの関係で見学スペースを設けることが難しいことから国道の通行止めを周知する記者発表にあわせて、一括架設工事の実施日時や工事スケジュールに加え、見学の際の注意事項等を周知することとした。工事の周知のみであったが、工事を実施した令和6年6月15日と7月6日の両日は、深夜にも関わらず沿線住民など多くの方々が見学に訪れ工事に対する地元住民の関心が高いことが伺えた。(図-15)



図-15 一般住民の見学状況

なお、6月15日にはマスコミ4社が取材に来られ、新聞、雑誌、ローカルテレビを通じて工事の様子が発信された。

一方で、6月15日に現地で見学いただいた方から、いっつのような工事が行われるのか、詳細な工事工程が知りたいとの声が現場で聞かれた。そのため、急遽、6月15日深夜の工事を時系列にまとめたタイムラプス動画を作成し、7月6日深夜の工事ではその動画を見ることができのQRコードをつけた看板を現地に設置することで、詳細な工事スケジュールを見学者に提供できた(図-16)。



図-16 今回工事の動画

また、両日の工事の様様をまとめた動画(図-17)を作成し、本工事以降もクレーンを使用した上部工架設に加え、足場設置、ボルトの本締めや塗装などの工事について、SNSにて積極的に発信したところ、地域の方々から多くの反響をいただいている。

他にも、北九州国道事務所の活動として現場情報を独自の目線で紹介をする、SNSに特化した動画制作プロジェクトチーム「北国広報チーム」を設立しており、多くの方々に向けた広報に取り組んでいる。



図-17 今回工事の動画

6. まとめ

今回の工事では、BIM/CIMを活用した4Dシミュレーション、関係機関との調整、地元への周知を実施したことで、厳しい施工条件下の工事を無事に完了することができた。

黒崎西ランプの整備により、国道200号から黒崎バイパスへのアクセスが可能となり、周辺道路からの更なる交通転換がなされ、黒崎地域全体の交通混雑緩和や交通安全の向上が見込まれる。

黒崎バイパス全線供用までの残工事も少なくなり、地域住民の期待も高いことから、早期供用を目指し工事を推進していきたい。

謝辞

最後に、今回の工事を安全に進めるため、諸課題の解決に向け真摯に取り組むだけでなく、広報活動にも積極的に協力いただいた施工者であるJFEエンジニアリング(株)の関係者の皆様に深く感謝の意を申し上げます。

付録



【黒崎西ランプ】多軸式特殊台車による橋梁一括架設
国土交通省 九州地方整備局
チャンネル登録



UAV運搬×IoT調査ユニット等による 火山噴火時の遠隔監視手法の開発について

木下 響¹・矢野 敦久・井上 遥・立石 葉香

¹九州地方整備局 九州技術事務所 火山防災減災課 (〒830-8570 福岡県久留米市高野1-3-1)

火山噴火に伴い重大な土砂災害が急迫している場合、土砂災害防止法に基づき国土交通省が緊急調査を実施することとなっているが、火山噴火時には噴火警戒レベルの引き上げ等によって立入禁止区域が指定されるため、人が直接立ち入って現地調査をすることは難しい。そこで、降灰厚等を遠隔で観測できる機器（IoT調査ユニット及び降灰マーカー）及びそれらをUAVで運搬・設置する手法を開発した。これにより、火山噴火時の現地調査の安全かつ的確な実施が期待される。

キーワード 火山噴火、降灰後土石流、緊急調査、UAV運搬、IoT調査ユニット、降灰マーカー

1. はじめに

火山噴火によって、火山灰が山腹・山麓の斜面に堆積し、地表面を被覆すると、雨水が地盤に浸透する能力が低下する場合がある。火山灰は粒径が細かく根詰まりしやすいため、表面流が発生しやすく、少ない雨量でも火山灰と水が混じり合った土石流が発生すると考えられている。このようなメカニズムで発生する降灰後土石流は、広範囲に多大な被害をもたらす恐れがあるとともに、そのリスクは時々刻々と変化する。そのため、降灰後土石流による重大な土砂災害が急迫していると判断された場合には、国は土砂災害防止法に基づく緊急調査を行い、被害の想定される区域・時期の情報（土砂災害緊急情報）を市町村長などの自治体に通知及び一般・マスコミ等へ周知することになっている。

降灰後土石流のリスクを把握するためには、山腹の発生源斜面の表面状況が重要な手掛かりとなるが、火山活動が活発な状況下においては、火口から数kmには立入禁止区域が設定され、人が直接立ち入ることができないため、遠隔監視手法の確立が課題である。

近年、無人航空機（以下、「UAV」という）に関する技術が大きく進歩し、災害対応、インフラ点検等において活用されており、国土交通省及び関係企業等でもUAVを保有している状況である。実際に、2014年箱根山噴火や2018年草津白根山噴火等においてもUAVによる立入禁止区域での調査が実施されてきた。なお、当時はUAVによる降灰状況等の撮影のみを行っている。

また、立入が困難な箇所において、降灰状況等の調査・観測を行えるよう、火山灰の堆積状況（降灰厚・降灰量）及び土壌がその地表にある水分を一定の時間

で吸収する（浸透させる）ことのできる割合（以下、「浸透能」という）を推定する観測機器「IoT調査ユニット」や、緊急調査の要件のひとつである降灰厚1cm以上を把握する観測機器「降灰マーカー」を開発した。

本稿では、火山噴火時の遠隔監視手法として過年度開発した観測機器の概要と、UAVを用いた観測機器の運搬及び設置に関する現地検証の結果を報告するとともに、当該業務に必要な無人航空機操縦の資格を取得したことによる経験を記載する。

2. 火山噴火時の遠隔監視手法について

(1) 火山噴火時の遠隔監視手法

現在の火山噴火時の遠隔監視手法としては、事前に設置した地上観測装置（カメラ、地震計・傾斜計・空振計、GNSS観測）や、UAVによる撮影、衛星リモートセンシング等、複数の技術を組み合わせて運用されている。しかし、こういった遠隔監視体制は、火山活動が活発な火山等に限られるとともに、速やかに噴火状況を把握するための概略的なものでしかない。また突如発生する火山噴火時の措置として火口周辺や急峻な斜面などに、有人での地上観測装置の設置を行うとしても困難または危険な地域も多く存在する。こうした状況下で、今回報告するUAVを活用した観測機器の運搬・設置は、安全かつ的確な監視体制の構築に資する極めて有効な手段である。

(2) IoT調査ユニット

IoT（Internet of Things）調査ユニットは、降灰厚や降雨

浸透状況の変化を把握するために距離センサーや土壌水分センサー等の2つのセンサーを搭載しており、UAVで立入禁止区域内に運搬設置し、時間分解能の高い降灰状況等の情報を取得する観測機器である。IoT調査ユニットは、図-1の通り3種類あり、現地状況や観測目的に応じて使い分ける（図-2）。LoRa版は、2つのセンサーを搭載し、携帯電話通信圏外からもデータを伝送できるよう、LoRa 通信で親機へデータを送信し、親機から携帯電話回線でデータを伝送する。LTE ダイレクト版は、LoRa版同様に2つのセンサーを搭載しており、携帯電話回線が入る領域であれば単独で観測、伝送が可能であり、太陽光パネルにより充電しながら運用が可能である。インターバルカメラは、撮影画像が携帯電話回線で直接クラウドサーバー上にアップロードされ、撮影画像から調査ユニットに取り付けたスケール等を読み取ることができる。

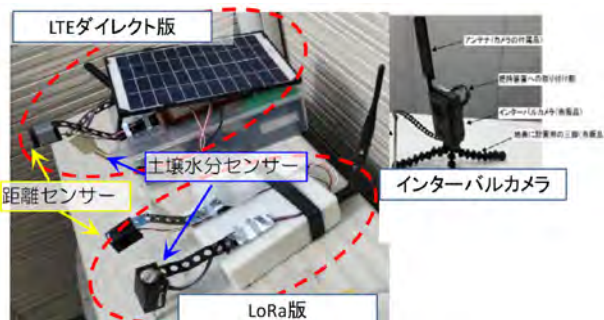


図-1 IoT調査ユニット

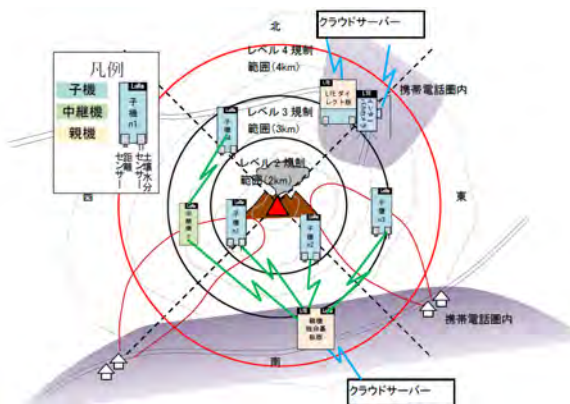


図-2 IoT調査ユニットによる監視体制

(3) 降灰マーカー

降灰マーカーは、火山噴火後の緊急調査着手の判断およびその後の初動期・継続監視期の調査等で、火山灰等が1cm以上の厚さで堆積しているか把握するための観測機器である。平板（土台）の上に高さ（1cm・2cm・3cm）ごとに色と形状を変えたマーカーを設置し、火山灰が堆積した際にUAV やCCTV カメラ等で撮影を行い、おおよその堆積厚を把握している。例えば、1cm

以上2cm以下の降灰があった場合には、1cmのマーカー（赤・円形）は降灰で覆われ見えなくなり、2cmのマーカー（青・三角形）は視認できることから降灰厚の把握が可能である（図-3）。



図-3 降灰マーカー（左：降灰前、右：降灰後）

降灰マーカーは大きさ50cm × 50cm × 4cm、重量3.2kgの「従来型」と、従来型降灰マーカーの2分の1の縮尺とした大きさ25cm × 25cm × 2cm、重量0.84kgの「小型・軽量式」、従来型降灰マーカーを3分割するとともにマーカー部裏側内部を切削し、単体でも使用可能とした重量0.61kgの「組立・軽量式」、従来の土台にマーカー部裏側内部を切削した、重量1.83kgである「従来型・軽量式」の4つの降灰マーカーがある。（図-4）

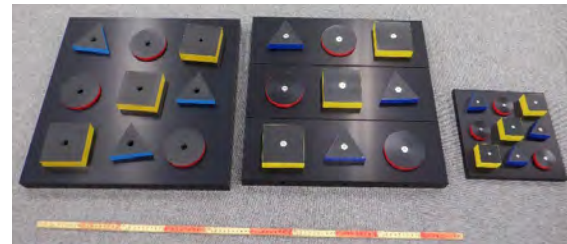


図-4 降灰マーカーの比較
(従来型、組立・軽量式、小型・軽量式)

3. UAVによる運搬+設置

(1) IoT調査ユニットの検証

近年、活発な噴火活動を続けている諏訪之瀬島において、2024年12月にUAVを活用したIoT調査ユニットの運搬を行い、2024年12月～2025年2月の3ヶ月間で、降灰時の観測及びその後の降雨・強風下での適用性等の検証を行った（図-5）。



図-5 IoT調査ユニット設置状況

運搬機はMatrice600を用い、チェイス機による対地高度の確認を行いつつ、安全に機器の設置ができた。

UAVにより運搬・設置したIoT調査ユニットを用いて、継続的なデータ伝送、観測データから降雨に伴う土壌水分の変化等を把握した。期間内に降雨に対する土壌水分の応答関係が顕著に変化していないこと、距離センサーの観測値にも変化がなかったことから、期間内に顕著な降灰はなかったと考えられる。なお、2023年1月の積雪時に、阿蘇山へIoT調査ユニットを設置した際は、距離センサーにより積雪深が計測できていることを確認しているため、精度には申し分ないことを付記する（図-6）。

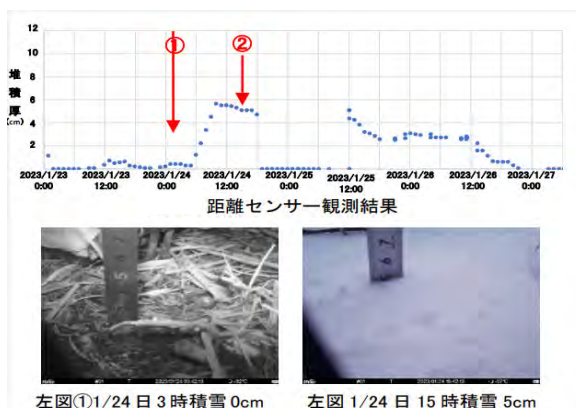


図-6 2023年1月阿蘇山における観測結果

(2) 降灰マーカーの検証

離島火山においては、火山噴火に伴う立入規制により島内に立ち入ることができない可能性も考えられるため、遠隔での情報取得ができるよう、UAVを活用した降灰マーカーの運搬・設置・撮影・判読について現地検証を行った。現地検証は、段階別に3つのステップに分けて行うこととした（図-7）。



図-7 ステップ別の現地検証

STEP1は陸上での検証とし、UAVによる降灰マーカーの吊り下げ、運搬時・切り離し時の適用性の検証を行う。STEP2は島での検証とし、STEP1の検証を踏まえて、島

内から島内へ約1kmの運搬・設置の検証を行う。STEP3は船上からの検証とし、船舶上からUAVを離陸させ、島内に設置した降灰マーカーを撮影し、船舶上に着陸する検証を行うとともに、船上からUAVを用いて降灰マーカーを運搬し、島内へ設置する検証を行う。本件は、検討途中のため、STEP1とSTEP2について記載する。

運搬機は、汎用性が高いMatrice 300RTKと配送に特化したFly Cart30を用い、STEP1では九州技術事務所のグラウンドで目視内飛行での運搬設置、STEP2では桜島の黒神川で目視外飛行での運搬設置を実施した。UAVの最大積載量の関係上、小型マーカー（約0.65kg）はMatrice 300RTK（最大積載量2.7kg）を使用し、従来の降灰マーカー（約3.2kg）に対してFly Cart 30の専用ウインチシステムの適用重量（5kg以上）を満たすように裏面に約4kgの鉄板を取り付ける等して重量化した降灰マーカー（約6.1kg）はFly Cart30を用いて運搬・設置をした。Matrice 300RTKはランディングギアにロープを引っ掛け、ロープの先にフックを取り付けて、吊り下げを行った。Fly Cart30は専用のウインチシステムを用いて運搬を行った。いずれも降灰マーカーをフックおよびウインチシステムに吊り下げることでテンションにより自動的にロックがかかり、降灰マーカーが地上に到達してテンションが緩むことでフックが開放される仕組みとなっている（表-1）。

表-1 各降灰マーカー及びUAVの吊り下げ状況

	MATRICE 300 RTK+小型化した降灰マーカー	Fly Cart 30+重量化した降灰マーカー
吊り下げ状況	ランディングギアにロープを吊下げ ロープの先にフックを取り付け	専用ウインチに直接降灰マーカーを取り付け

STEP1及びSTEP2の検証の結果、どちらも多少揺れが生じたものの、安全に機器の設置ができた。なお、STEP2では、実際の有事を想定し、遠隔での状況確認を想定した中継の実演を行いつつ、降灰マーカーを吊り下げた状態での最大航続距離（バッテリー残量が30%になるまでの航続距離）も検証した。Matrice 300RTKは10km程度、Fly Cart30は12km程度の運搬が可能であることやバッテリーの消費量についても大きく変わらないことが確認できた。

4. 無人航空機操縦の資格取得における体験記

上記の検証を通じて、UAVの安全かつ適切な運用には、飛行に関する体系的な知識が不可欠であることが明らかとなった。なお、九州技術事務所においては、「航空局の包括許可承認書」を取得するための法令上の講習として、職員向けに学科および実技を含むUAV講習会を実施していたため、UAVでの運搬・設置に関する本検証に資するものと判断し、当該講習を受講した(図-8)。



図-8 UAV講習会(実技講習)の様子

「航空局の包括許可承認書」を取得すると、飛行が規制されている特定飛行のうち、「人口密集地(DID)による飛行禁止空域での飛行」、「第三者や第三者の物件から30m以内の飛行」が飛行可能となるB級の内部資格等が取得できる。なお、従来であれば、資格者証で本人の技能証明がなされ、包括許可承認書を1年毎に更新することで、特定飛行が可能となっていたが、令和7年12月5日をもって、技能認証制度が現行制度から「国家技能証明」に移行することから、取得された技能認証での更新はできなくなることとなっている。

昨年、UAV講習会を受けることで自分たちの糧となると見込み、目視外飛行(150m以遠やFPVゴーグルを掛けての飛行)が可能なA級の資格まで取得した。UAV講習会を受講し、UAVを飛行する際に必要な手続きや、実際に飛行する際の注意事項等、専門的な知識について学ぶことができた。また、日々の業務内でもUAVを活用する際に、作業計画書に必要な記載はされているか、飛行する際に考えられるリスクについて共通認識ができているか等、今までとは違う視点で関わることができている。防災やインフラ維持管理のような公共的な分野でUAVの活用は今後もますます重要となってくるため、引き続き国家技能証明もとれるよう勉強していく。

5. 終わりに

火山噴火時の立入禁止区域内における遠隔監視手法として、UAVによる観測機器の運搬設置・観測等についての現場検証を行い、立入禁止区域内を安全かつ的確に調査をするためには、UAVでの運搬設置が有効と確認できた。引き続き精度および運用の可能性の検証を進めるとともに、緊急調査への適用性・運用体制の構築を検討していきたい。

参考文献

- 1) 土砂災害防止法に基づく緊急調査実施の手引き(噴火による降灰等の堆積後の降水を発生原因とする土石流対策編), 平成28年3月一部改訂
- 2) 土砂災害防止法に基づく緊急調査実施の手引き 実務マニュアル(噴火による降灰等の堆積後の降水を発生原因とする土石流対策編), 平成7年3月改定
- 3) 家田ら(2023): 火山地域におけるUAV及びIoT調査ユニットを活用した危険区域調査手法の開発, 令和5年度砂防学会研究発表会概要集
- 4) 家田ら(2024): 火山地域におけるUAV等を活用した危険区域調査手法の開発, 令和6年度砂防学会研究発表会概要集
- 5) 家田ら(2025): 火山地域におけるUAV・IoTセンサー・SfM技術等を活用した危険区域調査手法の開発, 令和7年度砂防学会研究発表会概要集
- 6) 田方ら(2025): UAVに搭載したカメラを活用した降灰範囲の把握およびUAVによる降灰マーカーの運搬設置に関する実証試験, 令和7年度砂防学会研究発表会概要集

ごみ処理施設(宮ノ陣・上津CC)で発電した電力 の地産地消について

鹿田 大貴¹・高木 一郎²・香月 雄志郎³・清水 淳⁴

¹久留米市環境部施設課 (〒839-0805福岡県久留米市宮ノ陣町八丁島2225)

²久留米市都市建設部設備課 (〒830-8520 福岡県久留米市城南町15番地3)

³久留米市企業局上下水道部浄水管理センター (〒839-0827 福岡県久留米市山本町豊田614)

⁴久留米市企業局上下水道部営業管理課 (〒839-8501 福岡県久留米市合川町2190-3)

常時発電するごみ処理施設と常時電力を消費する久留米市企業局上下水道部（以下、「上下水道部」という。）所管のプラント系施設（浄水関連施設、浄化センター等）はごみ処理発電による電源（以下、「ごみ処理電力」という。）の有効活用において大変親和性が高く、特にCO₂排出係数“0”での扱いとなるごみ発電電力を活用した取組みは、CO₂排出量削減、低位安定電源の確保、エネルギー地産地消の実現など大変有効なものとなる。本市では環境部・上下水道部両部の連携のもと2024年5月よりごみ処理電力を上下水道部所管のプラント系施設等へ供給する事業を開始した。本市の取組みが、他自治体での取組みの参考になれば幸いである。

キーワード 自己託送、ごみ処理電力、エネルギー地産地消、CO₂排出量削減

1. 本市地球温暖化対策実行計画の概要

国の2050年カーボンニュートラル宣言を踏まえ、本市も2021年2月に、2050年二酸化炭素排出実質ゼロ（ゼロカーボンシティ）を表明し、2021年3月に策定した「第三次久留米市環境基本計画」の中でも、2050年に市域からの二酸化炭素排出実質ゼロに向けて取り組むことを明記している。

改正温対法及び地球温暖化対策計画を踏まえ、2019年度に策定した久留米市地球温暖化対策実行計画（ここでは事務事業編のみ記載）について、以下のとおり2023年度に改定を行った。

【数値目標】

- ・計画期間 2024年度～2030年度
- ・基準年度 2013年度
- ・目標年度 2030年度
- ・数値目標 エネルギー起源CO₂ 71%削減

【目標達成に向けた主な取り組み】

市役所業務全般において、職員の環境配慮行動を基本としながら、再生可能エネルギー等の導入と技術の活用によるエネルギー利用効率化等を図ることで、温室効果ガス排出量の削減に取り組んでいく。

①太陽光発電設備を設置

- ・再生可能エネルギーの最大限導入

②公共施設の省エネルギー対策の徹底

- ・改修・新築におけるZEH・ZEB 化実施
- ・BEMS等の導入によるエネルギー管理の最適化
- ・高効率設備機器や節水型機器、CO₂削減効果の高い機器の導入推進
- ・建築物の断熱性能の向上

③電動車の導入

- ・公用車の新規導入・更新時の電動車切替により2030年度までに全ての公用車を電動車化

④LED照明の導入

- ・高効率設備機器（照明設備・空調設備・変圧器等）や節水型機器、CO₂削減効果の高い機器の導入を推進

⑤再エネ電力調達の推進

- ・CO₂排出係数ができる限り低い電力供給事業者を推進
- ・一般廃棄物焼却の際に発生する熱を、高効率発電や熱供給設備（空調・温水利用等）に最大限活用
- ・自己託送等の手法による再生可能エネルギーの有効活用推進

2. 本市のごみ処理発電の状況

久留米市では2か所の一般廃棄物処理施設（図-1、図-2）でごみ処理発電を行っている。各施設概要を表1に示す。宮ノ陣クリーンセンターではFIT売電（バイオマス分）と非FIT売電（非バイオマス分）（バイオマス分と非バイオマス分は投入したごみの組成分析結果によって区別される）、上津クリーンセンターではRPS法適用売電が終了し通常の余剰売電を行っている。

今回、市有の他の施設へ供給できる電源となる宮ノ陣クリーンセンターの非FIT余剰、上津クリーンセンターの通常余剰電力を用いたごみ処理電力供給事業に取組んだ。ちなみに、ごみ処理電力の非FIT余剰及び通常余剰の電源としてのCO₂排出係数（kg-CO₂/kWh）はごみを焼却処分する際に排出されるCO₂排出量として別に計上されるため、“0”として扱うことができる。

このため、これらのごみ処理電力の供給を受けた施設については、電力使用でのCO₂排出量の大幅な低減に繋がることになる。

なお、宮ノ陣クリーンセンターにおけるFIT電源分については、「電気事業者による再生可能エネルギー電気の調達に関する特別措置法（2016年6月3日公布）」改正により買取義務者が小売電気事業者から送配電事業者に変更されたことから、現在送配電事業者による買取となっている。このFIT電源を他の施設への供給電源として使うには、再生可能エネルギー電気卸供給制度を利用する方法があるが、今回は検討対象外とした。



図-1 宮ノ陣クリーンセンター



図-2 上津クリーンセンター

表-1 久留米市所有の一般廃棄物処理施設

	宮ノ陣CC	上津CC
炉形式	全連続燃料式（ストーカ炉）	
処理能力	163 t/日（2基）	300t/日（3基）
稼働年月日	2016年6月	1993年4月
余熱利用	発電出力 3,560kW	発電出力 1,500kW
余剰電力取扱い	バイオマス分 FIT売電 非バイオマス分 非FIT売電 ①	RPS法適用売電 （※終了済み） ②
年間余剰発電量（2022年度実績）	約10,988MWh/年 （非FIT 4,182MWh/年）	約1,783MWh/年

①② この電源分を自己託送電源として利用。CO₂ 排出係数を“0”（kg-CO₂/kWh）として取り扱うことができる。

3. 最近の電力料金単価の推移

電力料金に関しては、電源構成の変化や託送料金の改定、燃料調整費高騰など電力需給環境の変化による変動が大きく、2016年度頃から、全体として上昇傾向となっている。上下水道部が所管している浄化センター等のプラント系施設は、電力消費量も膨大であり年間の電気料金は億レベルとなっているため、低位安定電源の確保については経営的視点からも重要であると考えられる。

4. ごみ処理電力の活用方法、自己託送の仕組み、インバランスリスクへの配慮

ごみ処理電力を他の施設に供給する方法は、量だけ紐付けて供給する“託送供給”と、発電と受電の同時同量を監視するよりレベルの高い“自己託送供給”がある（表-2参照）。自己託送は同時同量が計画値通り達成した電力分のみ自己託送供給として見なされる。また、発電・受電の自己託送計画値からのズレをインバランスと呼び、インバランス発生分については送配電事業者がその瞬間の電力卸市場における時価にて補填又は買取する制度となっている。そのため、市場の価格によっては

多額の損失を発生させてしまう恐れがあるため、自己託送事業の計画の際に送配電事業者に申請する自己託送計画上限値については、インバランスの発生リスクを十分考慮し、発電・受電ともそれぞれの発電上限、受電上限の内側で余裕をもった値を設定する必要がある。

表-2 ごみ処理電力の活用方法

	説明
託送供給	市（ごみ処理発電）⇒小売電気事業者⇒供給施設（量だけ紐付けて供給する形式で、ベース部分を除いた負荷追従分）
自己託送供給	市（ごみ処理発電）⇒供給施設（同時同量の監視が必要、インバランスリスク有一般的にベース部分の供給となる場合が多い）

5. 部局連携の取組み

ごみ処理電力の活用のためには、ごみ処理施設運営事業者との協議、電源規模に応じた供給対象施設の選定、託送供給と自己託送供給の割合、自己託送実施における送配電事業者との協議、自己託送でのインバランスリスクを誰が負うか、市役所内での役割分担など様々な検討項目が必要となる。本市では、環境部・上下水道部が連携して検討を進め、2022年度当初から検討を開始し2024年5月から事業を開始する事ができた。（それぞれの主な検討項目の対応については以下）

【課題1：ごみ処理施設運営事業者協議】（担当：環境）

協議期間	2022.4～2024.3
協議課題	DBOの契約変更 売電収入スキーム

【課題2：ごみ処理発電電源規模】（担当：環境）
（2022年度時想定量）

電源	宮ノ陣CC	非FIT分	上限約	4,182MWh/年
	上津CC	通常余剰	上限約	1,783MWh/年
供給	託送供給	約3,911MWh/年	(負荷追従分)	
	自己託送供給	約1,930MWh/年	(ベース分)	

【課題3：送配電事業者協議】（担当：環境）

協議期間	2023.9～2024.3
協議課題	自己託送の制度運用に問題が無い発電施設か、 発電・受電施設の安定性 自己託送送電量 インバランス発生見込

【課題4：供給対象施設消費電力量】（担当：両部）

約5,697MWh/年（環境部3施設、上下水道部6施設） ※表-3参照
--

【課題5：インバランスリスク対応整理】（担当：上下）

発生見込額を考慮し需給管理者負担等して整理

表-3 両部による課題整理（2022年度時想定量・参考値）

	所管	施設名	契約電力 /自己託送規模 (kW)	消費電力量 /自己託送分 (MWh/年)
1	環境	環境部庁舎	46 / 2	22 / 12
2		斎場	122 / 20	226 / 66
3		杉谷埋立地	46 / 4	149 / 35
4	上下	中央浄化センター	641 / 174	4,040 / 1,524
5		田主丸浄化センター	105 / 10	406 / 88
6		企業局合川庁舎	86 / 20	286 / 66
7		清掃津福工場	46 / 6	149 / 53
8		芝刈浄化センター	42 / 8	188 / 35
9		藤山配水場	81 /36	230 / 53
計			1,215 / 280	5,696/1,932

6. 本市でのごみ処理電力活用のイメージ

図-3に本市自己託送のイメージを示す。インバランスの発生を出来るだけ抑えるため、図に示す自己託送の規模として計画値上限を280kWに設定して事業を開始した。また、会計が別である（環境部：一般会計、上下水道部：企業会計）ことから、環境部・上下水道部間で電源料金等に関する覚書を締結し運用している。

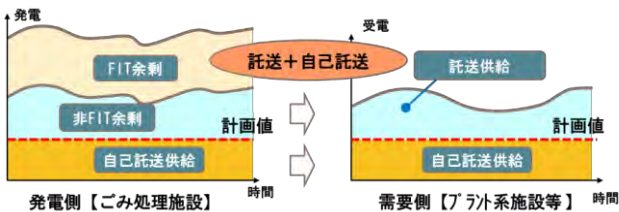


図-3 本市自己託送のイメージ

図-4に自己託送供給実施の電気料金負担イメージを図を示す。

通常の電力供給においては、電気料金、燃料調整費、再エネ賦課金の合計を負担することとなる。託送供給分については通常の小売り供給と変わりなく、電気料金、燃料調整費、再エネ賦課金の料金負担となる。

自己託送供給が加わると、自己託送分だけ託送供給分の料金負担が少なくなり、代わりにイメージ的には2階建ての様な料金負担となり、自己託送部分について、発電側に支払う電源料金、需給管理者へ支払う需給管理料金、送配電事業者へ支払う託送料金の負担が加わる。

今回の本市における自己託送は、電源側が環境部、供給対象施設側が環境部及び上下水道部の施設となるが、上下水道事業が一般会計と異なる会計となるため、環境部側から供給した電源分については、会計間で電源料金として料金の授受を行っている。電源料金単価の設定においては、それぞれの事情で単価を設定することになると思われるが、その料金設定の額によっては金額的なメ

リットも得られることになる。今回、両部にとって双方メリットがある料金単価を設定することになっている。結果、本事業ではごみ処理電源分の電力消費に伴うCO₂排出量がゼロとなるだけでなく、低位安定電源の確保も達成している。（黄色部分がコスト削減効果のイメージ）

また、今回、本市にとっても初めての取組みとなるため、自己託送の最大のリスクであるインバランスの発生を極力抑えることに考慮した自己託送の規模で開始することとし、インバランスリスクについては、自己託送事業の需給管理を実施する事業者（※本市の場合は新電力事業者）の負担とした。

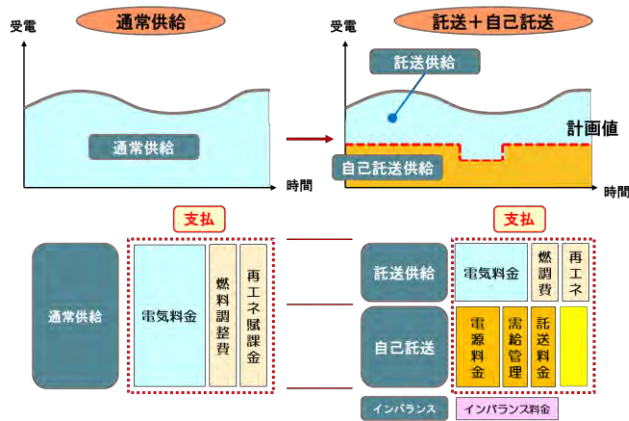


図-4 自己託送料金イメージ

7. 実施結果

表-4に本取組の効果を示す。2024年5月から2025年4月までの1年間において、環境部所管施設で504(t-CO₂)、上下水道部所管施設で2,749(t-CO₂)、市全体で3,253(t-CO₂)ものCO₂排出量の削減を達成した（0.617kg-CO₂/kWh:2013年度九州電力排出係数使用）。電気料金については、ごみ処理施設から提供を受ける電源料金の設定単価にも大きく左右されるが、本市の場合、自己託送による電気料金（ごみ処理施設側への電源料金、需給管理料金、託送料金の合計）は、旧一般電気事業者からの供給単価と比較して安価であり、事業全体の削減効果として約5,133（千円）程度の削減を達成している。

ごみ処理施設側へ支払う電源料金単価は低位安定しているため、託送料金の大幅な改定などが無ければ、自己託送料金に必要な料金単価は大きな変動はなく、低位安定電源となるため、各施設の電力調達コストの削減にも寄与するものと考えられる。

表-4 CO₂削減量

	所管	施設名	CO2排出量 (実施前→実施後) (t-CO2/年)
1	環境	環境部庁舎	23 → 0
2		斎場	120 → 0
3		杉谷埋立地	43 → 0
4		上津クリーンセンター	318 → 0
5	上下	中央浄化センター	2,057 → 0
6		田主丸浄化センター	295 → 0
7		企業局合川庁舎	61 → 0
8		清掃津福工場	88 → 0
9		芝刈浄化センター	108 → 0
10		藤山配水場	140 → 0
計			3,253 → 0

8. まとめ

今回、ごみ処理電力を上下水道部所管のプラント系施設で有効活用する取組みを開始し、CO₂排出量の大幅な削減を達成することができた。ごみ処理電力の活用はエネルギーの地産地消・CO₂排出量の削減・電気料金負担低減等、浄水場等のプラント系施設にとって多くのメリットがある。

今回のごみ処理電力の活用事業は、本市にとっても初めてとなる取組であったことから、自己託送の最大のリスクであるインバランスの発生を極力抑えることを考慮した規模での開始としたが、今後、実績を積み重ねることによって、インバランスの発生リスクに配慮しつつ、自己託送の規模拡大について検討する事としている。

このような環境部門・上下水道部門の連携した同取組みは、両部門にとってWIN-WINの関係を築ける大変良い取組みになると考えている。本市の取組みを他市においても参考にして頂ければ幸いである。

カーボンニュートラルポート（CNP）の推進 ～下関港を活用した LNG バンカリング拠点の形成～

柴田 走大¹・藤木 敏治¹

¹ 九州地方整備局 下関港湾事務所 企画調整課（50-0066 山口県下関市東大和町 2-29-1）

国際的に地球温暖化への意識が高まる中で、よりクリーンなエネルギーが求められており、船舶燃料が重油から LNG にシフトしている。下関港は、温室効果ガスの排出を全体としてゼロにすることを目指す「カーボンニュートラルポート(CNP)」の形成を推進しており、その一環として、船舶燃料の LNG 化を進めるとともに国際競争力を強化するため、LNG バンカリング拠点形成の支援を行っている。本論文は、下関港を活用した LNG バンカリング拠点形成に向けた問題と解決策、今後の展望について報告するものである。

キーワード カーボンニュートラルポート（CNP）、LNGバンカリング、脱炭素化、地球温暖化

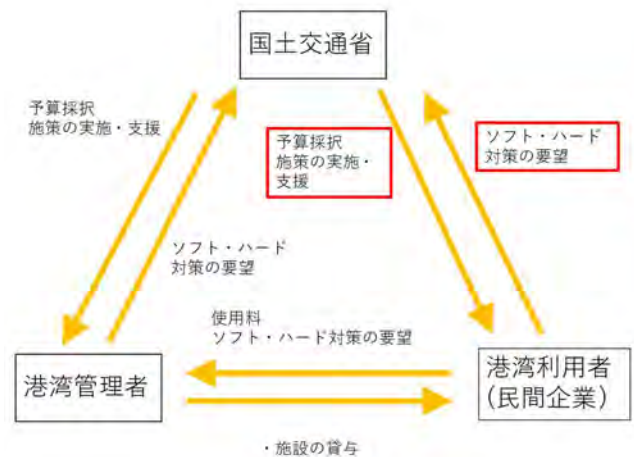
1. はじめに

日本では、積極的に地球温暖化対策を行うことで産業構造や経済社会の変革をもたらし、大きな成長につなげるという考えの下、2050 年までに温室効果ガスの排出を全体としてゼロにする「2050 年カーボンニュートラル」の実現を目指している。港湾は、発電、鉄鋼、化学工業等の多くが立地する臨海部産業の拠点、エネルギーの一大消費拠点であり、CO₂排出量の約 6 割を占めている（図-1）。

CO₂ 削減の余地が大きい港湾地域において、脱炭素化に向けた先導的な取組を集中的に行うことは、2050 年カーボンニュートラルの実現に効果的・効率的であると考えられている。下関港では、温室効果ガスの排出量や脱炭素化の取組み状況等を共有し、官民で連携して港湾内及び臨海部の脱炭素化を図るため、下関港港湾脱炭素化推進計画を取りまとめ、2025 年 6 月に公表したところである。その計画に先立ち、船舶の脱炭素化を推進するため、LNG バンカリング拠点形成を位置づけ、官民一体でソフト面、ハード面の取組を実施した（図-2）。



（図-1）CO₂ 排出量に関するデータ



（図-2）LNG バンカリングの推進体制

2. LNG バンカリングと拠点形成の支援

LNG バンカリングとは、液化天然ガス「LNG」とバンカリング船（船舶に燃料（バンカー）を供給するための船）と呼ばれる専用船を用いて洋上の船に燃料を補給する行為である。

LNG バンカリングには、以下の 3 つの手法（図-3）がある。

①Truck to Ship バンカリング

岸壁に係留中の LNG 燃料船に対して、岸壁に駐車した LNG タンクローリーから LNG を供給する手法。

初期投資が少なく、小型船への燃料供給に最適。

②Shore to Ship バンカリング

岸壁・栈橋に係留中の LNG 燃料船に対して、陸上にある LNG ターミナル等から LNG を供給する手法。一度に大量の燃料供給が可能であり、燃料のターミナル等の近傍での燃料供給に適する。

③Ship to Ship バンカリング

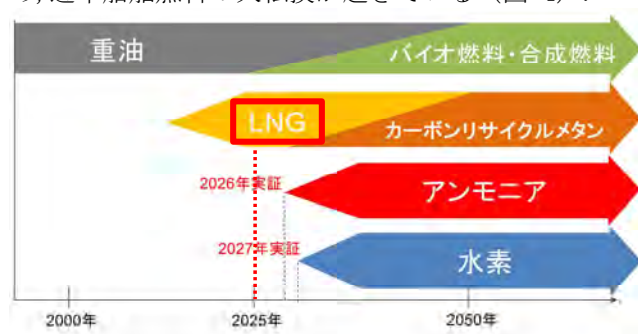
岸壁に係留中もしくは錨地に停泊中の LNG 燃料船に対して、LNG バンカリング船が接舷して LNG を供給する手法。Truck to Ship 方式と比べて一度に大量の燃料供給が可能。効率的な運行との両立の観点から、荷役等と同時のバンカリングの並行作業として実施されることが一般的。ただし、海外では広く普及している錨泊バンカリングについて、日本ではまだ実績はない。



(図-3) LNG バンカリングの手法

①Truck to Ship は初期投資が少なく導入しやすい手法であるが、大型船へのバンカリングとなると何十台もの LNG タンクローリーが必要となり、効率が悪い。②Shore to Ship はバンカリングのために LNG タンク付近に出荷設備を兼ね備えた施設が必要となるが、対応可能な施設は少ない。このため、大型船に対しては荷役作業をしながら、一度に大量の燃料供給が可能な ③Ship to Ship が有望なバンカリング手法と考えられる。

元来、船舶燃料の多くは重油に依存しているが LNG (液化天然ガス) は、重油と比較して、CO2 排出量が 25%削減できる上に SOX (硫黄酸化物) を殆ど排出しないクリーンな燃料として注目されているため、近年船舶燃料の大転換が起きている (図-4)。



(図-4) 船舶燃料の大転換

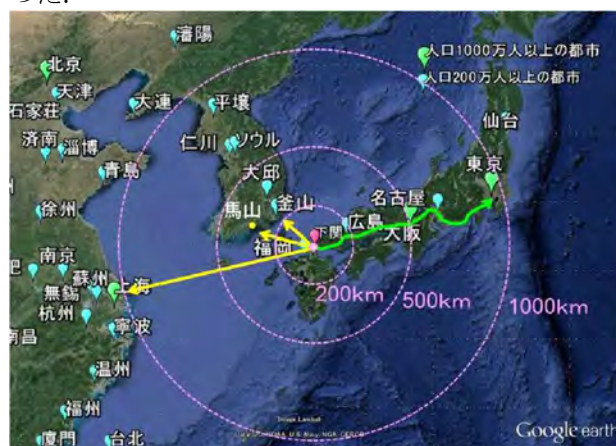
日本は世界トップの LNG 輸入国であり、LNG ターミナルが全国の港湾に多数立地するなど、LNG バンカリング拠点の形成に向け有利な環境が整っている。

このため国土交通省では、LNG 燃料船の寄港増加による国際競争力強化や国内外の船舶の LNG 燃料への転換を目的として、LNG バンカリング拠点形成の支援を行っており、平成 30 年度には LNG バンカリング拠点の形成に向けた支援制度を創設している。これは、LNG バンカリング船の建造、同船が利用するターミナルの改修等といった LNG バンカリング拠点の形成に必要な施設の整備を対象として、民間事業者に対して財政的に支援を行うものである。この支援制度により、LNG バンカリング拠点の形成

に必要な初期投資を低減することで日本港湾における LNG バンカリング拠点の早期形成を目指している。

3. 下関港における LNG バンカリングの取組

下関港は、本州から大陸への最短距離に位置し、本州と九州の結節点である地理的優位性 (図-5) を活かして、LNG 燃料船の寄港を誘致するなど官民一体となって LNG バンカリング拠点の形成による船舶の脱炭素化を目指しているところである。九州電力 (株)、日本郵船 (株)、伊藤忠エネクス (株)、西部ガス (株) の 4 社は、LNG 需要に対応するため 2022 年に、KEYS Bunkering west Japan (株) を設立し、令和 3 年度より国の支援制度を活用して建造された九州・瀬戸内地域で初の LNG バンカリング船 (KEYS Azalea) を運航している。世界初の LNG 燃料パナマックス型石炭専用船「松陽」来港を契機に、令和 6 年度から長州出島 (下関港新港地区) において、Ship to Ship による LNG バンカリング (写真-1) を行うこととなった。



(図-5) 下関港の地理的特性



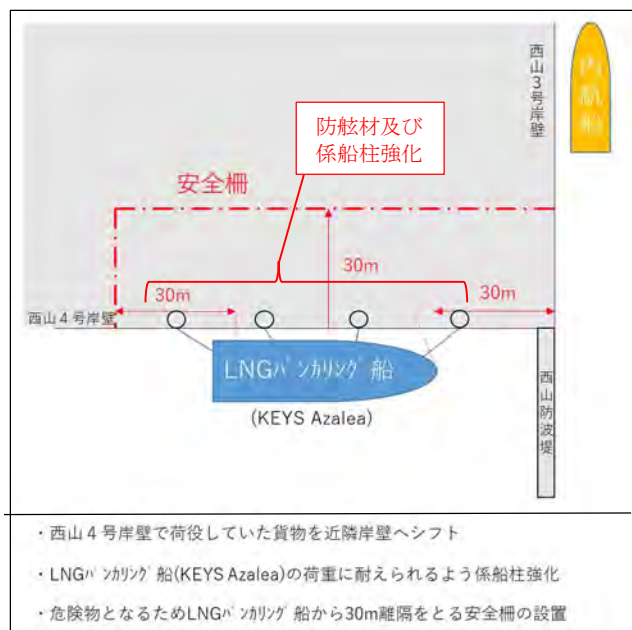
(写真-1) LNG バンカリング (Ship to Ship) の様子
左 LNG バンカリング船 (KEYS Azalea) 右 LNG 燃料船 (松陽)

4. LNGバンカリング実施のための課題と解決策

下関港を活用した LNG バンカリングを実施するために乗り越えるべき課題として、1) 定係地の確保 2) 大型船が係留できる岸壁の確保 3) 効果的な広報があった。それぞれについて、以下の通り詳述する。

1) 定係地の確保

LNG バンカリング船(KEYS Azalea)を建造したKEYS Bunkering West Japan (株)は、戸畑 LNG 基地に近い下関港西山 4 号岸壁を LNG バンカリング船の定係地として想定していた。官民協働でハード面の取組として、社会資本整備総合交付金の制度を活用し、防舷材、係船柱を改修するとともに、港則法第 22 条及び同法第 23 条の規定を補完する形で危険物積載船舶の運用に関する具体的な事項を定めた「危険物積載船舶の停泊場所指定及び危険物荷役許可の基準について」（平成 17 年 10 月 11 日付 保安第 49 号）の一部改正により、バンカリング船が停泊する場所では、海上部分のみならず陸上側にも 30m の隔離距離を設けることとされたため、安全柵を設置し対策を実施した(図-6)。併せて西山 4 号岸壁を利用していた内航船は近隣岸壁へシフトした。なお、現在も関係者間で規制緩和に向けた検討が進められている。



(図-6) 西山 4 号岸壁 (KEYS Azalea 定係地) の安全対策

また、九州管内では Ship to Ship による LNG バンカリングの事例がなかったため、「九州海域における LNG バンカリング事業に係る航行安全調査専門委員会」を開催し、「Ship to Ship 方式 LNG 移送のオペレーションガイドライン及びオペレーションマニュアル」を参考に、LNG 燃料船、LNG バンカリング船、LNG の安全な移送・対策をとりまとめるとともに、

に、バンカリング実施当日は、海上保安庁立ち会いの下で入念な安全チェックを実施した。

2) 大型船が係留できる岸壁の確保

自動車運搬船、クルーズ船、RORO 船など、長州出島（新港地区）を利用する船舶が増える中で、大型 LNG 燃料船の入港にあわせて係留できる岸壁を確保する必要があった。港湾管理者（下関市）は、ソフト面の取組として、従来からバースウィンドウ（表-1）を作成して、船舶の出入港管理をしている。30,000～50,000 GT 級の大型船の場合、入港料、係船料ともに高額となり、LNG 燃料船が前港を出港するまでに係留できる岸壁を確保できなければ、高額の機会損失が生じるため、何度も船会社に入港予定日を確認するとともに、複数の予備日に仮予約を入れ、支障となる船舶について、他施設の利用を検討した。海の時化や天候不順を考慮の上、下関港への入港はないと確認できた日から徐々に解放した。

(表-1) バースウィンドウ例

バースウィンドウ	月	火	水	木	金	土
新港地区 1W 岸壁(-12m) 328m	8:00～12:00 コンテナ船	8:00～18:00 外航RORO船		7:30～19:00 内航船	7:30～19:00 内航船	7:00～19:30 内航船
新港地区 2W 岸壁(-12m) 385m		7:00～19:00 外航自動車運搬船	7:30～17:00 LNG燃料船	7:30～17:00 LNG燃料船	予備日	予備日
長府地区 岸壁(-11m) 190m		0:00～7:30 内航船				0:00～13:20 内航船
	12:30～23:59 内航船				12:50～23:59 内航船	



船社への確認

バースウィンドウ	月	火	水	木	金	土
新港地区 1W 岸壁(-12m) 328m	8:00～12:00 コンテナ船	8:00～18:00 外航RORO船		7:30～19:00 内航船	7:30～19:00 内航船	7:00～19:30 内航船
新港地区 2W 岸壁(-12m) 385m		7:00～19:00 外航自動車運搬船	7:30～17:00 LNG燃料船	解放		
長府地区 岸壁(-11m) 190m		0:00～7:30 内航船				
	12:30～23:59 内航船				12:50～23:59 内航船	0:00～13:20 内航船

3) 効果的な広報

LNG バンカリングというものが一般的に分かりにくく、どのようなものか、伝えることが難しいと港湾管理者（下関市）から相談があった。そこで、ソ

フト面の取組として、国土交通省、港湾管理者（下関市）、KEYS Bunkering west Japan（株）で連携した広報チームをつくり、下関港 長州出島（新港地区）、定係地（西山地区）、戸畑 LNG 基地の位置関係が分かる LNG バンカリング拠点形成図（図-7）を作成し、関門海峡及び対馬海峡から日本海を航行する船舶への LNG バンカリング拠点を つくることを明確化した。併せて、LNG バンカリング拠点形成は、陸上におけるガソリンスタンドと同じ役割を果たしているなど、分かりやすく伝えられるよう工夫した。



（図-7）LNG バンカリングにおける拠点形成図

5. 成果

下関港を活用した LNG バンカリングを実施した成果として、定係地（西山 4 号岸壁）や Ship to Ship による LNG バンカリングの安全かつ効率的な運用が開始されるとともに、多くのメディアに掲載していただくことができ、世の中に広く周知することができた（表-2）。

（表-2）LNG バンカリング報道一覧

メディア	報道日	見出し
KRY山口放送	2024/12/25	(TV) 船舶の脱炭素化を目指し長州出島で初のLNG燃料供給
	2024/12/26	(WEB) LNG燃料供給拠点の形成をめざして 下関市・長州出島で初となる液化天然ガスLNGを供給する「LNGバンカリング作業」
日本経済新聞	2024/12/25	LNG燃料を船から船に補給 下関港で初、現場公開
毎日新聞	2024/12/26	船舶へのLNG海上供給、下関・長州出島で開始 / 山口
山口新聞	2024/12/26	バンカリング船がLNG燃料供給 下関・長州出島で初、拠点形成へ
日本海事新聞	2025/1/8	九電・郵船など 下関港で石炭船にLNG供給 バナマ型STSは初
電気新聞	2024/12/26	九州電力など 石炭船にLNG供給 所有バンカリング船から
港湾新聞	2024/12/25	下関港で九州地整管内初のLNGバンカリングを実施
港湾空港タイムス	2025/1/13	下関港でLNGバンカリング 九州管内初、拠点形成に大きな期待
輸送経済新聞	2025/1/21	LNG燃料船 手厚い導入支援が必要 経営のメリットはまだ薄く

国土交通省、港湾管理者（下関市）、KEYS Bunkering West Japan（株）で連携したチームは、従来の縦割りを超え、信頼性の高い報道を行ったことによって、長州出島岸壁の魅力向上に貢献し、新たな

自動車運搬船等の岸壁利用の予約が続々と入り、下関港周辺地域の活性化に貢献することとなった。

6. おわりに

LNG バンカリング拠点形成によって、脱炭素化を目指している下関港だが、LNG 燃料船は入港料なしとする港（例：博多港 表-3）もある中で、環境配慮型船舶に対するインセンティブ制度がない。下関港でインセンティブ制度があれば、下関港の脱炭素が進むのではないかと考えられる。ただし、新たな貨物の取扱が進むなど、利用が活発化する長州出島においては、今後更に LNG バンカリングを進めていくためには、新たな係留施設が必要となる可能性がある。

（表-3）環境配慮型船舶に対するインセンティブ制度（博多港の事例）

○対象船舶・減免額	
対象船舶	減免額
・LNG燃料船 ・水素燃料船(燃料電池船を含む) ・バッテリー推進船 ・アンモニア燃料船 ・合成燃料(グリーンメタン、グリーンメタノール)を使用する船舶	入港料 全額免除
・バイオ燃料を使用する船舶 ・合成燃料(重油、軽油)を使用する船舶	入港料 燃料の混合割合に応じて減免割合を決定

現在、瀬戸内海～九州一円を KEYS Azalea 1 隻で賄っている状況であり、LNG 基地から海上に再出荷できる施設は関門周辺では戸畑 LNG 基地のみである。今後、LNG 燃料船が増えていく中で、LNG 基地から海上への再出荷施設の整備が進めば、LNG バンカリング船が稼働しやすくなり、Ship to Ship バンカリングは増えていくと考えられる。

日本では、2050 カーボンニュートラルに向けて脱炭素化の取組は、ますます需要性が高まると考えられており、最近では、港湾においても CNP 形成に向けたロードマップの作成が議論されるなど、脱炭素化の動きが加速化している。このような情勢の中で、下関港においても脱炭素化に向けた取組を進展させる必要があるが、その代償として経済が低迷することになってはならない。この点、**4. LNG バンカリング実施のための課題と解決策**で詳述した取組を通じた LNG バンカリング拠点の形成は、船舶の寄港増加や周辺地域も含む航路増加に伴う地域の経済活性化、ひいては日本の国際競争力の強化につながり、将来的に転換が進むメタノールやアンモニア、水素等の燃料供給拠点としてのベースとなる。拠点を形成するための新たな施設整備は、地元建設業の活性化（副次的な効果）などとも関係しており、引き続き国としても港湾管理者と連携しつつ、下関港における LNG バンカリング拠点の形成を推進していく、経済活性化にも貢献する所存である。今回、官

民一体となる取組を行って、LNG バンカリング拠点形成を支援したが、事前段階で、国土交通省、下関市（港湾管理者）、KEYS Bunkering west Japan（株）の三者で合意形成を図り、かつ意思統一ができたため、LNG バンカリング拠点形成のハード面、ソフト面の充実をより幅広く効果的に世の中に伝えることができたと考えている。

謝辞：本稿作成にあたりご教授いただいた全ての方々、下関港を活用したLNG バンカリング拠点形成の取組に関わった全ての方々に、心から感謝致します。

参考文献

- (1)国立環境研究所 HP 資料より、国土交通省港湾局作成
- (2)Google earth
- (3)国土交通省港湾局 港湾用語の基礎知識
- (4)国土交通省海事局 海事分野の低・脱炭素化に向けた取組
- (5)福岡市 港湾空港局 環境配慮型船舶に対するインセンティブ制度の導入について

UAVによる桜島砂防施設の点検について

石橋 朋也¹・有嶋 哲朗¹・下田 勝典¹・田知行 志保¹

¹九州地方整備局 大隅河川国道事務所 工務第一課 (〒893-1207 鹿児島県肝属郡肝付町新富1013-1)

桜島では、現在も噴火活動が活発に行われている。それにより灰や噴石等が山体に積もり、降雨で流され土石流も多く発生する。そのため、それらから被害を守る砂防施設等の損傷も激しいため、施設に異常がないか点検をする必要がある。現在に至るまで点検は、車や徒歩で移動しながら、目視により施設の状態を調査していた。しかし、現地作業には噴火に伴う噴石の飛散や降雨により発生する土石流等の危険が伴う。土石流は雨量計で観測されない降雨により発生する場合もある。点検中に噴火が起きる場合もある。また、施設間の移動も時間を要し、点検の疲労だけでなく移動の疲労もあり作業員の体の負担が大きい。このような作業環境に対して効率的かつ安全な点検を行うため、UAVによる点検の方針案の策定とUAVによる点検の検証を実施したため、報告する。

キーワード UAV、噴火警戒レベル、自律飛行、飛行レベル

1. 桜島の概要

桜島には、北岳山頂の火口、南岳山頂の火口、昭和火口の3つの火口があり、近年の噴火状況として、2006年から2017年は昭和火口からの噴火が主で、2018年以降は南岳山頂からの噴火が主で起きている。北岳は活動休止中である。噴火が起きると火山灰や噴石等が噴出され、それらが降雨により流され土石流となり、川を流れる。近年噴火や土石流の回数は、年々減少傾向になりつつある。しかし、今年の2025年は6月2日時点で噴火が合計402回発生しており、これは昨年の1年間で起きた噴火回数135回を大幅に更新している。

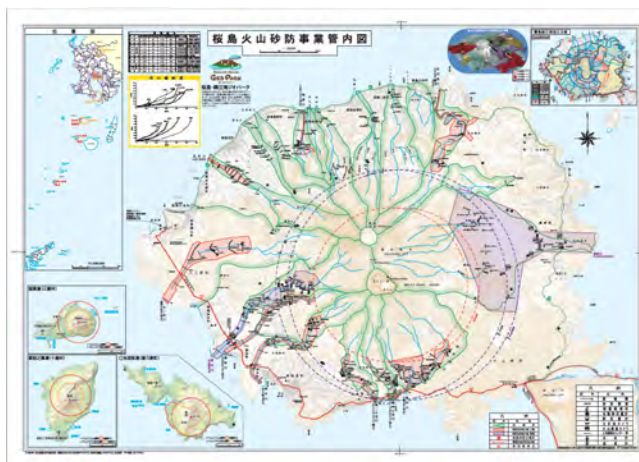


表－1 各年の爆発的噴火・噴火及び土石流の発生回数

火山には活動の状況に応じ、噴火警戒レベルというものが設けられ、レベルは最大5までである。現在の桜島は噴火警戒レベル3であり、南岳の火口と昭和火口の両火口から2 km圏内は立入を禁止されている。

噴火と聞けば恐ろしいイメージを持つと思うが、大地に恵みをもたらす良い一面もある。その事例として桜島大根があり、世界で1番大きな大根としてギネス認定されるほどの大きい大根である。この成長を遂げる要因の1つとして、噴火で出た灰を含んだ土を利用していることが挙げられている。

島内には全部で19河川あり、雨が降る時以外は川の中の水がほとんど流れていない水無川である。その19河川の内11河川を直轄で工事・管理している。内容として砂防施設の建設、土石流で流れてきた土砂等を川から取り除く工事、砂防施設の整備点検等を行っている。直轄範囲における流域面積は、島内面積が約77 km²あるのに対し、約36 km²とおおよそ半分程度を占めている。



図－１ 桜島火山砂防事業管内図

2. 施設の数とその現状

2020年に桜島へ設置されている砂防施設等の健全度を評価するための調査を実施した。その際調査した施設数は、施設の種類のりず算出をすると全河川で265施設もある。

事務所では施設の健全度を評価するにあたりその区分を大きく分けて3種類設けており、A評価は対策不要、B・B－評価は経過観察、C・C－評価は要対策となり、AからCへ評価が上がるにつれて施設の健全度が損なわれていく評価としている。2020年度の調査では、A評価173施設、B・B－評価59施設、C・C－評価33施設である。河川ごとでB・B－・C・C－評価の合計が多い河川は、1番に野尻川で全59施設に対し30施設、次に黒神川で全28施設に対し18施設、その次に有村川で全22施設に対し9施設である。（表－2参照）

このような結果に至る要因として、1976年から2025年にかけて発生した土石流の回数を取りまとめた表－3を見ると、発生回数が多い川は、1番に野尻川で718回、次に有村川の408回、その次に黒神川で349回である。（表－3参照）このことから、土石流の発生回数が多いほど損傷した施設数も多く損傷も激しいものとなる。

また、それぞれの評価がどのように分布しているかを図－2に示す。青がA評価、橙色がB・B－評価、赤がC・C－評価となった施設である。健全度が損なわれているものはそのほとんどが川の上流側に集中しているが、その反面下流側には大きな損傷はなく健全な施設が多く分布しているのが分かる。（図－2参照）

これらを整理し、点検時には特に土石流の発生が多い川の上流側においては損傷の有無や損傷の大きさの変化具合を抑え、評価においては慎重にその度合を検討する必要がある。

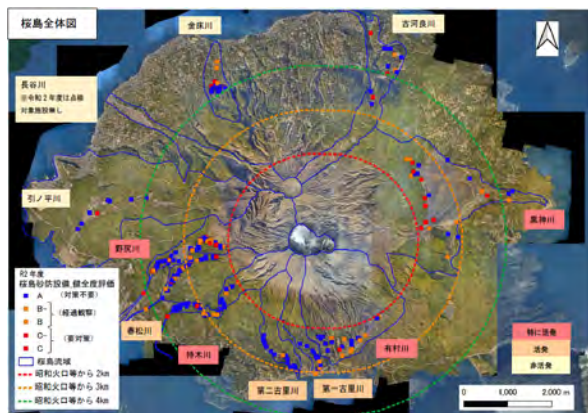
河川	施設	健全度評価			合計
		A	B・B－	C・C－	
野尻川	堰堤工	2	5	2	9
	堤防工	3	3	2	8
	停止工	5	5	1	11
	護岸工	10	5	1	16
	護流工	0	0	1	1
	護流堤	5	1	0	6
	海石防護・転落防止柵	3	1	2	6
	橋梁	0	1	0	1
	合計	29	19	11	59
	堰堤工	7	1	0	8
春松川	堤防工	7	2	1	10
	護岸工	1	0	0	1
	護流工	1	1	0	2
	護流堤	3	2	0	5
	その他	2	1	1	4
	合計	21	7	2	30
	堰堤工	2	5	0	7
持木川	堤防工	7	1	1	9
	護岸工	6	0	0	6
	護流工	0	0	1	1
	護流堤	18	0	0	18
	合計	23	6	2	31
	堰堤工	3	0	0	3
	堤防工	6	0	0	6
第二古里川	護流工	2	1	0	3
	護流堤	6	0	0	6
	合計	19	1	0	20
	堰堤工	3	0	0	3
第一古里川	堤防工	4	2	2	8
	護流工	0	1	0	1
	護流堤	2	0	0	2
	合計	6	3	2	11
有村川	堰堤工	6	3	0	9
	堤防工	1	2	0	3
	護岸工	1	1	1	3
	護流工	23	0	0	23
	護流堤	0	1	0	1
	護流堤	0	1	1	2
	海石防護・転落防止柵	0	0	1	1
	合計	24	6	2	32
	堰堤工	2	0	0	2
	堤防工	2	0	0	2
黒神川	護流工	1	0	0	1
	護流堤	1	0	1	2
	橋梁	1	0	0	1
	合計	3	0	1	4
	堰堤工	7	0	1	8
古河良川	堰堤工	6	3	0	9
	堤防工	1	2	0	3
	護岸工	1	1	1	3
	護流工	23	0	0	23
	護流堤	0	1	1	2
金床川	堰堤工	2	0	0	2
	堤防工	2	0	0	2
	護岸工	1	0	0	1
	護流工	23	0	0	23
	護流堤	0	1	1	2
長谷川	堰堤工	2	0	0	2
	堤防工	2	0	0	2
	護岸工	1	0	0	1
	護流工	23	0	0	23
	護流堤	0	1	1	2
引ノ平川	堰堤工	2	0	0	2
	堤防工	2	0	0	2
	護岸工	1	0	0	1
	護流工	23	0	0	23
	護流堤	0	1	1	2
合計	堰堤工	2	5	2	9
	堤防工	3	3	2	8
	停止工	5	5	1	11
	護岸工	10	5	1	16
	護流工	0	0	1	1

表－2 河川別の施設数及び健全度の集計表

	野尻川	春松川	持木川	第二古里川	第一古里川	有村川	黒神川	古河良川	金床川	長谷川	引ノ平川	合計
合計※3	718	87	283	108	145	408	349	0	0	0	7	2,105
平均※4	147	19	58	23	30	83	71	0.0	0.0	0.0	0.3	432
過去10年間の平均※5	120	0.0	2.3	0.3	0.6	8.5	3.8	0.0	0.0	0.0	0.0	27.5
過去5年間の平均※6	9.8	0.0	2.2	0.2	0.6	5.8	3.2	0.0	0.0	0.0	0.0	21.8
過去最大	39	16	24	13	13	24	22	0	0	0	4	111

※1) 観測停止
 ※2) 引ノ平川はH0、金床川はH2、古河良川はH8、長谷川はH0より観測開始
 ※3) 合計は、S51～R6
 ※4) 平均はS51～R6（古河良川はH8～R6、金床川はH2～R6、長谷川はH0～R6、引ノ平川はH0～R6）
 ※5) 過去10年間はH2～R6
 ※6) 過去5年間はR2～R6
 ※7) 過去最大は文字

表－3 河川ごとの1976年から現在まで発生した土石流の累計等



図－2 健全度評価分布図

3. 点検に使用するUAVの選定

(1) 点検の種類

砂防関係施設の点検には、「砂防関係施設点検要領（案）：令和4年3月 国土交通省 砂防部 保全課」において定期点検、臨時点検、詳細点検の3種類が位置付けられている。定期点検は点検計画に基づき実施し損傷の有無について点検、臨時点検は災害が起きた直後で

現場の安全が確保された状況下でできるだけ早く実施し施設の損傷の有無について点検、「詳細点検」は定期点検や臨時点検では把握できない変状の程度や原因を把握する点検である。（表－４参照）

点検の種類	目的	実施時期(頻度)	実施方法
近接点検	砂防関係施設の漏水・湧水・洗掘・亀裂・破損・地すべり等の有無などの施設状況及び施設に直接影響を与える周辺状況について把握、確認する。	点検計画に基づき実施する。	・徒歩もしくはUAV等により施設に接近し点検を行う。 ・点検結果は点検個票にそれぞれとりまとめる。 ・施設の種類ごとに点検項目を定めるものとする。
遠望点検	砂防関係施設の損傷の有無などの施設状況及び施設に直接影響を与える周辺状況把握、確認する。	点検計画に基づき実施する。	・UAV（自律飛行含む）等により上空等から広域的な視点で点検を行う。 ・点検結果は点検個票にそれぞれとりまとめる。 ・施設の種類ごとに点検項目を定めるものとする。 ・遠隔点検による施設の変状等の把握には限界があることから、遠望点検を実施する施設については、5～10年に1度、近接点検又は近接点検と同等の評価を行う方法による点検を実施すること。
臨時点検	出水や地震時などによる砂防関係施設の損傷の有無や程度及び施設に直接影響を与える周辺状況を把握、確認する。	出水時や地震時などの事象の発生直後の出来るだけ早い時期に実施する。	・安全性を確保したうえで、定期点検に準じて近接点検もしくは遠望点検により実施する。 （安全性・機動性からUAVのメリットを活かすことができるケースが多い。）
詳細点検	定期点検や臨時点検ではその変状の程度や原因の把握が困難な場合に実施する。	必要に応じて実施する。	・必要に応じその状況に適切した計測、打音、観察などの方法で確認するものとする。

表－４ 点検の種類と概要

これら点検の主旨と桜島の噴火警戒レベルを加味し、UAVの選定方針を検討した。しかし、詳細点検は、定期点検の中で必要に応じて実施する方針であるため検討していない。

(2)噴火警戒レベルが3以下での定期点検

本点検では、変状の有無の把握、変状レベルの判別、経年的な変状の進行具合の把握を目的とし、効率的に調査を実施したい。そのため、機体の選定条件として、飛行ルートや画角の設定ができる自律飛行の機能があること、LP等の計測機器を搭載可能であること、1フライトで30分以上の飛行が可能であること、汎用性・調達性が高く安価なこと、そして、UAVの操縦は操縦者の目視内で実施が原則となるため、遠距離でも視認可能な700mm程度のサイズであることを条件とした。1フライト30分以上の理由として、過去巡視点検でUAVの飛行時間を検討し、20分程度必要なことが分かった。しかし、飛行回数を少なくすることによる効率化また飛行を安全に実施できるよう時間に余裕を持たせ、30分以上とした。（表－５参照）

(2)噴火警戒レベルが3以下での臨時点検

本点検では、施設の損傷の有無や程度、周辺の状況の確認を目的とし、広い範囲の点検を安全にかつ迅速に実施したい。そのため、機体の選定条件は、定期点検とは違い計測を搭載する必要性はないと考えた。これにより、

計測機器の搭載は条件から外し、その他機能・性能、汎用性・調達性、視認性の条件については、定期点検と同様とした。（表－５参照）

項目	中型機
機能	自律飛行ができる機体
性能	カメラの解像度（2000万画素以上） 飛行時間 30分以上
汎用性・調達性	レンタルできる機体
視認性	機体サイズ 700mm 程度以上の機体
機能	自律飛行ができる機体
性能	カメラの解像度（2000万画素以上） 飛行時間 30分以上 センサー(LP等)が搭載できる機体
汎用性・調達性	レンタルできる機体
視認性	機体サイズ 700mm 程度以上の機体

表－５ 機体の選定方針一覧（噴火警戒レベル3以下）

(4)噴火警戒レベル4以上での臨時点検

現在の桜島は噴火レベル3程度の活動ではあるものの、今後活動が活発化していけば、噴火警戒レベルが4や5に引き上げられる可能性もある。この場合、両火口から3km以内は立入禁止となり、第一古里川、第二古里川、有村川の3河川が全線立入禁止となる。そのため、噴火警戒レベルが4以上になった場合の点検における機体選定の方針も検討した。しかし、噴火警戒レベル4以上における定期点検は、噴火警戒レベルに伴う噴火の危険性、作業員の安全、現場作業日数等を考慮すると現実的でないと判断し、検討していない。

噴火警戒レベル4以上における臨時点検では、先ほど現場に立ち入れない第一古里川、第二古里川、有村川の3河川については、島外からの離着陸となり、調査時間に加え島外から島内への移動時間を確保する必要があるため、1時間以上の飛行が可能であることを条件とした。また、噴火警戒レベル4と高い基準であるため、過去に火山地域で作業をした実績の有無も選定条件とした。その他飛行高度の自由設定、自律飛行、緊急時における調達が可能であることも選定条件とした。

4. UAVの飛行ルートの検討

UAV選定の条件の1つに自律飛行とあり、飛行のルートや画角の設定が可能であるため、これについても検討を行った。まず、UAVが安全に離着陸するための場所を選定するための条件として、架空線等の障害物がない場所や土地平坦に近い形状か、土地所有者を考慮する必要がある。次に飛行ルートや画角の設定については、現場条件でルートの形は変化するものの基本的には川の左岸と右岸を回るようなルートとし、回る途中に横断構造物があれば、それを撮影する。撮影の方法は施設の種類に応じて変化させ、砂防堰堤等の横断構造物の場合は施設の上下流から斜め写真で撮影（図－3参照）をし、流路工等の縦断構造物は動画による撮影を行う。



図-3 横断構造物の撮影画角のイメージ

噴火警戒レベル3以下で定期点検の場合は、この通り実施する方針だが、噴火警戒レベル3以下また4以上の場合における臨時点検では、迅速な対応が必要になるため、動画のみ撮影の方針とした。また、噴火警戒レベルが4以上の場合は島外からの離着陸としており、その候補地として現場である桜島から近い「道の駅たるみず」、「荒崎パーキング」、「大隅河川国道事務所垂水国道維持出張所」の3ヶ所を選定した。この場合は関係者と調整を図る必要がある。もし、この調整がうまくいかない場合は、鹿児島市の海沿い付近を候補地として選定した。(図-4参照)



図-4 島外離着陸の候補地位置図

5. 点検時の体制

UAVを飛行し点検をするにあたって必要な人員は、噴火警戒レベルや点検の種類を問わず、UAVの操縦者1名、画像モニターの操作、機体監視等の操縦者の補助1名、天候、他の航空機の監視を1名の計3名とした。しかし、架空線や道路の上空を横断する等の現場条件から作業員や第3者の安全確保する等により人員を増やすことも必要である。

6. UAVの目視外飛行による点検の検証

UAVの飛行は、原則目視内で飛行を監視しながら行わなければならない。しかし、申請をして許可を受ければ、目視外での飛行が可能となる。そのため、今回検証

もかねてレベル2飛行（自律飛行・目視外飛行・操作補助者有）とレベル3飛行（自律飛行・目視外飛行・操作補助者無）を実施した。飛行レベルは全部で4種類あり、現場の状況、目視内か目視外か、補助者の有無によりレベルが変化する。（表-6参照）飛行は検証では何事もなく安全に実施できた。



表-6 飛行レベル区分

7. UAV飛行に伴う関係法令

この検証において、UAVを飛行するにあたり様々な場所で作業を実施しているため、法令の該当範囲となり、申請や使用するものの規格を遵守する必要がある。作業場所や作業内容によって申請の要否は異なるが、桜島の直轄範囲でこの作業をする場合は、4法に基づく申請と1つの法令を遵守しなければならない。まずは申請について、航空法、道路法、道路交通法、港則法において管理者への申請が必要である。

航空法は、UAVの飛行は原則目視内で行うようになっている。そのため、目視外での飛行する際は申請の対象となり、レベル2飛行（自律飛行・目視外飛行・操作補助者有）とレベル3飛行（自律飛行・目視外飛行・操作補助者無）を実施したため必要となった。

道路法は、道路上に物等を設置する際道路の占用許可が必要となり、噴火警戒レベル4以上の臨時点検にて島外から点検作業をする際、その旨を示す看板を道路へ設置したため必要となった。

道路交通法は、道路からの離着陸や道路上空を横断する作業がある場合道路使用許可が必要で、港則法は、UAVを港の上空を通過させる場合に必要になる。これらは、噴火警戒レベル4以上の臨時点検で島外からのUAV飛行の際に道路上での離着陸や最短で桜島へ到着するため海上を通過するにあたり必要となった。

遵守する法令は電波法であり、UAVを操作するにあたり無線設備の規格が規定違反をしていないか確認する必要がある。（表-8参照）

法律等	概要	事前手続き等	備考
航空法	UAV 飛行に関して飛行禁止空域や飛行方法等が定められており、事前の許可申請手続きが必要となる。 申請内容によっては、1 年間の飛行許可・承認を受けることができる。（年間申請）	必要 （10 開庁日前）	
道路法	道路に作業中の看板などを設置し、離着陸を行う場合、道路法第 32 条の道路の占用許可申請が必要となる。	該当なし 3 週間程度	
道路 交通法	道路からの離着陸や道路上空を横切る場合には、道路使用許可申請書で許可を得る必要があるが確認する。また、不要な場合も住民等からの通報に対応するため、事前に連絡しておくことが望ましい。	該当なし （3 開庁日前）	
電波法	無人機の操縦・管制に使用される無線設備は電波法に従ったものでなければならない。	技術確認	技術基準適合証明を受けた機体を使用
港則法	港上空での UAV 飛行は港則法での作業行為に該当するのが通例であるため、港上空を飛行させる場合は、「許可申請書」を管轄する海上保安庁港長に提出する必要がある。	必要 （手続きの期間は管轄する海上保安庁に確認）	

表－7 関連法令の概要と必要な手続き

7. 今までの検討を整理して

これまで機体の選定や調査方法等の検討から主に次の 4 項目を決定し、桜島オリジナルの点検要領である「UAV による砂防施設点検要領（案）：令和 6 年 1 2 月九州地方整備局 大隅河川国道事務所」を策定した。①対象とした点検：噴火警戒レベル 3 以下での定期点検、噴火警戒レベル 3 以下及び噴火警戒レベル 4 以上での臨時点検。②UAV の選定：噴火警戒レベル 3 以下の定期点検と臨時点検は、レーザ測距機能を有するカメラを搭載した UAV 推奨し、噴火警戒レベル 4 以上の臨時点検では 4K カメラを搭載した UAV を推奨。③飛行ルート：横断構造物以外では川の右岸、左岸に沿って動画にて状況を収め、横断構造物があれば、図－3 のアングルで撮影できるようルート設定をする。④飛行方法：噴火警戒レベル 3 以下の定期点検と臨時点検では、全河川レベル 2 飛行（自律飛行・目視外飛行・操作補助者有）で、噴火警戒レベル 4 以上は立入禁止区域に施設がない場合はレベル 2 飛行（自律飛行・目視外飛行・操作補助者有）、ある場合はレベル 3 飛行（自律飛行・目視外飛行・操作補助者無）で実施。

今回策定した要領を日々の砂防設備の点検や今年度実施予定である砂防設備健全度評価の現地調査に活用したいと考えている。

8. 終わりに

現在、建設業界では技術者の減少が問題になりつつある。しかし、今回のような検証を実施し続け現実化することにより省人化や作業員の心身への負担軽減が図られ些細ながらも技術者の減少を抑制、場合によっては増加のきっかけにもなりうるのではないかと思った。

洋上風力促進区域巡視における新技術の活用 (固定翼ドローン)

山田 しおん¹・梅山 崇¹

¹九州地方整備局 長崎港湾・空港整備事務所 工務課 (〒850-0961 長崎県長崎市小ヶ倉町3丁目76-72)

九州地方整備局 長崎港湾・空港整備事務所では、五島市沖で事業化された洋上風力発電設備の整備に伴い、海域管理者として定期的に海上巡視を行っている。今後の海上巡視の効率化、合理化に加え、担当職員の負担軽減を図ることを目的とした、UAV（無人航空機）やAI技術などの新技術の活用について発表する。

キーワード 新技術の活用、職場環境改善、海上巡視、UAV、監視の合理化

1. はじめに

長崎県五島市沖は、海洋再生可能エネルギー発電設備の整備に係る海域の利用の促進に関する法律（再エネ海域利用法）に基づいて、洋上風力発電設備を優先的に整備する「促進区域」として、令和元年に全国で初めて指定されている。

この促進区域においては、応募により選定された選定事業者が促進区域内海域の占用について国土交通大臣の許可を受けて整備を進めているところである。そのため、五島市沖を管轄区域にもつ長崎港湾・空港整備事務所にて促進区域内海域の状況を把握するための巡視を行わなければならない。

巡視は、

- a) 制限行為の有無
- b) 制限行為が許可を受けているか否か
- c) 当該制限許行為が許可の範囲及び条件に従っているか
- d) 選定事業者が行う発電設備の設置工事等が促進区域内海域の利用若しくは保全又は周辺港湾の機能の維持に著しく支障を与えていないか
- e) 促進区域内海域における禁止行為がされていないか

等を把握することを目的に、原則として2人以上で目視により行うこととしており、年間4回の海上巡視を行っている。

2. 促進区域巡視の現状と問題点

促進区域の海上巡視は、巡視区域が長崎港湾・空港整備事務所がある長崎市から約 100km と遠距離であり、現在は担当職員が五島市福江港へ高速船等で移動した後、海上タクシーに乗り換えて海域を巡視する方法で行っている(図-1)が、担当職員に対して拘束と負担が大きいのが現状である。また、海上巡視は広範囲の海域を担当職員が目視により監視し、異常があった場合は船上から撮影した写真で確認を行うため、異常箇所や状況が分かりづらい問題がある。これらのことから、今後の海上巡視の効率化、合理化に加え、担当職員の負担軽減を図るため、UAV や AI 技術などの新技術の活用を検討した。



図-1 海上巡視区域図

3. 新たな巡視方法の抽出

(1) 巡視方法の抽出・比較

促進区域の巡視における確認内容及び法令等を基に必要要件を考慮した上で、現状の海上タクシーによる海上巡視に変わる効率的、合理的な巡視方法の候補を抽出し、適用性について、評価・比較を行った。候補は、回転翼型、固定翼型、ヘリ型の3種類のUAV、フルカラー画像である光学画像、モノクロ画像であるSAR画像の2種類の人工衛星画像、そして、ヘリコプターである。評価は、各技術の開発動向及び国土技術政策総合研究所、UAVの運用会社並びに衛星画像販売会社へのヒアリング結果を踏まえ、「飛行性（長距離、夜間巡視、悪天候）」、「迅速性」、「費用」等の観点から海上巡視への適用性を整理することとした。

UAVのうち回転翼ドローンは、飛行時間・距離が短く、今回の巡視区域を周回することができない。ヘリ型ドローンは最大飛行時間180分の能力はあるが、機体本体が高価であり費用面が課題となる。人工衛星画像は、確認箇所を注文してから納品までに数週間の時間を要し、迅速な確認ができない。ヘリコプター(防災ヘリコプター想定)は、フライト費用が高価であり、巡視時には担当職員が同行する必要があるため、費用面と効率化の面が課題となる。

以上の結果より、昼夜を問わず長距離飛行が可能であり、撮影した動画データの伝送による遠隔監視が可能と考えられる「固定翼ドローン」による巡視方法を選定した(図-2)。

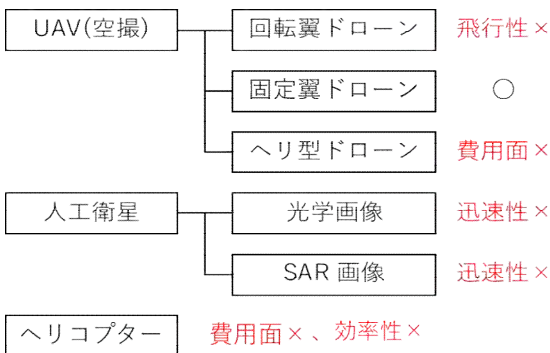


図-2 新たな巡視方法の評価

(2) 民間事業者所有ドローン活用の可能性

本促進区域の近郊では民間事業者による固定翼ドローンを使用した物流サービスが行われている。新規で技術開発を行うには時間とコストがかかることから、民間事業者所有のドローン技術を活用し、促進区域内の遠隔巡視の有効性や可能性、課

題の抽出を行う方針とした。

- a) 民間事業者所有ドローン(写真-1)について
所有者；そらいいな 株式会社
(豊田通商株式会社の100%子会社)
所在地；〒853-0011 五島市下大津町 708-29
事業概要；自動飛行のドローンを用いた、離島地域への物流の取り組み
飛行経路；23ルート
総飛行回数・距離；2,800回超え, 25,020km
総飛行時間；2,600時間
(2025年6月1日現在)



写真-1 機体写真

表-1 機体の諸元一覧

機体	Sparrow
製造者名	Zipline International inc.,
総重量(最大離陸重量)	19.25kg (21kg)
全幅(翼の長さ)	約3.3m
飛行速度	約100km/h
航続距離	約160km
耐候性	風14m/s、雨50mm/h
操縦	自動飛行

b) 動画カメラ取付

ドローン飛行のバランスを考慮し、両翼にカメラ(写真-2)を取り付け、正面側と側面側の動画撮影を行うこととした(写真-3)。



写真-2 動画用カメラ

表-2 カメラの諸元一覧

カメラ機材	GoPro HERO11
製造者名	GoPro inc.,
総重量(バッテリー含)	154g
サイズ	幅71.8×高さ50.8×奥行き33.6 (mm)
イメージセンサー	1/1.9インチCMOS27.6MP
	有効画素数(5599x4927)
撮影ビデオ解像度	5.3K: 16:9 (5312x2988)

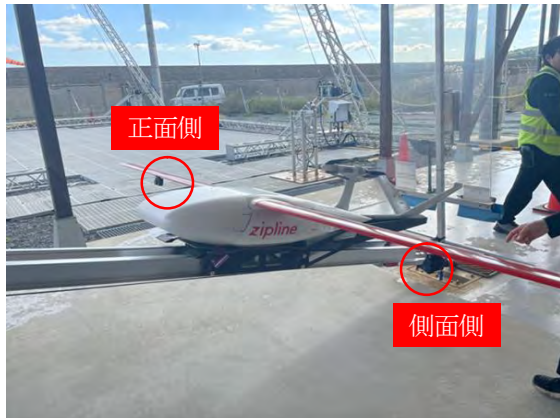


写真-3 飛行準備



図-3 福江～奈留島ルート図



写真-4 離陸状況

4. 試験飛行及び飛行ルートの設定

(1) 試験飛行（安全飛行の確認）

民間事業者によるこれまでの飛行は、機体中央部にある格納ボックスに医療品や食料品などを積み込み、所定の目的地上空で落下させる仕組みであり、物資は、機体の中に安定して格納された状態での飛行であった。今回、同機体を活用し、促進区域内の動画撮影を行うが、両翼にカメラを取り付けるなど、これまでの飛行条件と状況が異なる。

そこで、試験飛行では、両翼にカメラを取り付けた状態で、確実な離発着、安定した飛行が可能か検証を行った。検証にあたっては、民間事業者によるドローン物流サービスで使用されている既存のルートのうち、洋上風力設備が確認でき、比較的船舶の往来が多い「福江～奈留島ルート」を選定した(図-3)。

試験飛行は、ドローンポート（離発着地点）にて立ち会いを行い、確実な離発着、安定飛行を確認することができた(写真4、写真5)。また、収録した動画では、洋上風力設備や周辺を航行する船舶、防波堤等の海上構造物の状況も確認することができた。



写真-5 着陸状況

(2) 飛行ルートの設定

試験飛行において、促進区域の遠隔巡視への活用が可能と判断されたため、洋上風力設備などの構造物に支障がない飛行ルートの設定を行った。飛行ルートは、洋上風力設備から 1,100m 以上の離隔を確保した、北側ルート(図-4)を計画した。

北側ルート；飛行距離約 51km、約 40 分

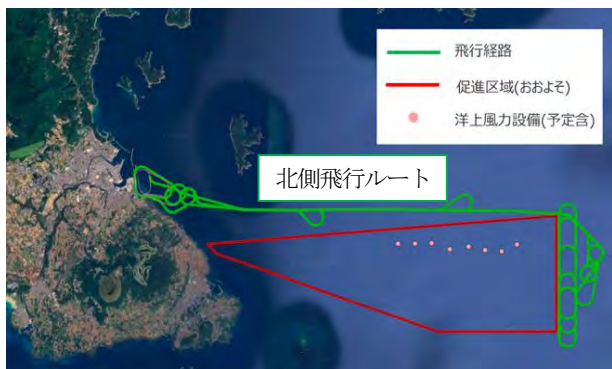


図-4 北側ルート図

ルート設定にあたっては、洋上風力設備の位置、最大飛行速度、最大風速(飛行許容範囲における)、飛行高度を基に、ドローンのモーターが止まった場合、海面に落下する間にどこまでドローンが移動する可能性があるかを計算し、万が一の場合でも洋上風力設備に支障が出ないルートの設定を行った。

また、異常が発生した際にドローンポートにリターンしやすいように回転できるスポットをルート内に複数箇所設定した。

5. 実証飛行

(1) 飛行計画

実証飛行は、通常の海上タクシー巡視と合わせて実施する計画とし、海上巡視チェック項目(表-3)の確認を行うとともに、容易性(効率性)や安全性、状況確認までの時間などを比較するものとした。実証飛行実施日は、2024年10月23日及び11月12日とした。

表-3 海上巡視チェック項目

確 認 項 目	有	無
区域内で土砂の採取している作業船はないか	☐	☐
区域に洋上風力施設以外に何らかの施設がないか	☐	☐
区域に海底を掘削するような作業船はないか	☐	☐
区域に廃棄物の投棄しているような作業船はないか	☐	☐
その他区域内海域の利用又は保全に支障を与える恐れのある行為はないか	☐	☐

(2) 飛行結果

10月23日の五島市沖は海象状況が悪く(高波浪)、海上タクシーの航行が難しくなったため、海上巡視はできなかった。しかし、ドローンによる実証飛行は、波浪の影響を受けないこと、ドローンの耐候性能；風14m/s、雨50mm/h以内の気象状況であったこと

から、計画通りに実施することができ、飛行の確認と動画の収録、動画確認を行った。11月12日は、海上タクシーの航行及びドローンの飛行、どちらも可能であった。

実証飛行の実施状況は表-4のとおり。

表-4 気象海象条件及び各巡視の実施状況

実施日	天候	風向	風速	波高	巡視方法	
					海上巡視	飛行巡視
10/23	晴れ	北	11m/s	0.88m (NW)	×	○
11/12	晴れ	北	7m/s	0.59m (NNE)	○	○

11月12日の実証飛行により取得した動画について、海上巡視後に事務所担当職員にてドローンポートで視聴した結果、海域全体の状況(写真-6)が確認でき、表-3に示すチェック項目は全て網羅できた。

また、起重機船の停泊状況(写真-7)、洋上風力設備の作業状況(写真-8)、既設護岸状況(写真-9)なども把握することができた。

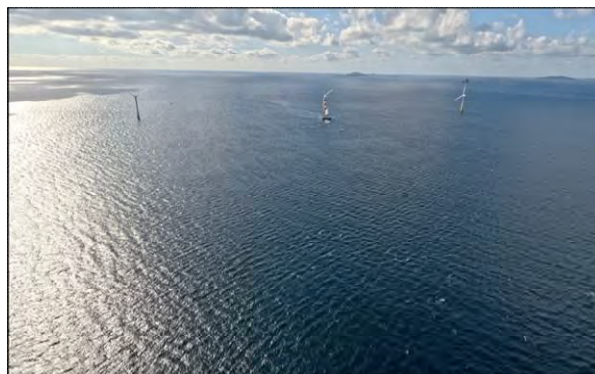


写真-6 海域および洋上風力設備の状況

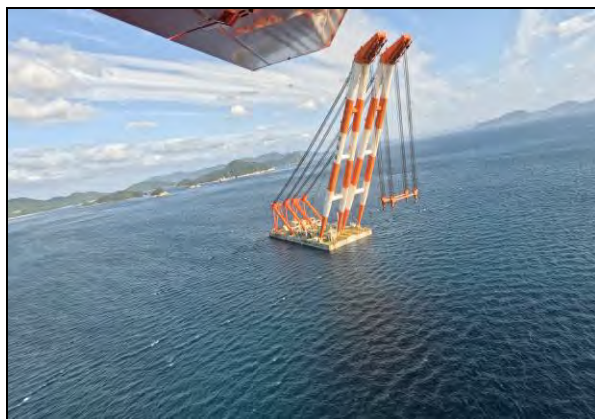


写真-7 大型起重機船



写真-8 洋上風力設備作業状況



写真-9 既設護岸状況

実証飛行及び動画確認を行った結果から抽出した利点、課題を以下に示す。

■実証飛行で得られた利点

- a) 担当職員の業務環境改善、安全性が担保
現地までの移動や海上タクシーの乗船がなく、負担軽減、安全性が確保される。
- b) 高波浪、強風時での飛行及び動画撮影が可能
悪天候時でも耐候性能以内であれば状況確認ができる。
- c) 巡視時間の短縮
所要時間が約 40 分のため、作業効率がよい。
- d) 同じ目線での確認
プログラミング化された飛行ルートであり、常に同視角にて確認でき、必要に応じ複数回の巡視が可能。

■実証飛行で得られた課題

- a) 飛行中、リアルタイムで状況確認ができない
- b) 大容量データの受け渡し、保存
- c) 動画(異常箇所)の確認方法
- d) 飛行コスト
上記の様に、飛行巡視による今後の課題はあるが、

事務所担当職員の負担軽減、安全性確保などの労働環境改善、データ取得の効率化等の観点から飛行巡視の有効性が高まると考えられる。

6. 今後の課題および対応策

実証飛行で得られた課題 4 項目に対する対応策案を示す。

(1) リアルタイムでの状況確認

ドローンにて撮影した動画をリアルタイムに確認することは、現在の通信技術では難しく、大きな課題となっている。

そこで、段階的な対応策として、海上における LTE 通信の通信状況検証を行うことが挙げられる。LTE 通信が促進区域内で使用可能か、どの程度の通信が可能かを、今後検証することとしたい。LTE 通信の通信状況が良好であれば、動画の伝送が可能なドローンを用いて、リアルタイムに状況確認を行うことができると考えられる。

また、近年、導入が検討されているスターリンク及び HAPS といった高速衛星通信技術の活用も考えられる。これらの通信エリアは、海上をカバーする予定となっているため、引き続き海上における通信環境整備の動向を注視し活用可否を検証していきたい。

(2) 大容量データの受け渡し、蓄積データの管理

実証飛行で撮影した動画データ容量は、2 方向の動画で約 20GB と大容量のため、データ受取時間は下記のとおりであった。担当者では 2.5 時間、関係者への共有は 7.5 時間（業務請負業者での実証）。また、事務所担当職員への共有においては、インターネットセキュリティの関係でデータの受け渡しは不可能であった。さらに、今後のデータ保管期間にもよるが、蓄積される大容量データの管理も課題となる。

- a) ドローンポートでのデータ受取；0.5 時間
- b) データアップロードファイル受取；2.0 時間
- c) データのサーバー移行；5.0 時間

この対応として、大容量システムの容量増大化、事務所担当職員、動画データ収録者、データ確認者等でクラウドシステムを構築し、共有する方法が考えられる。

(3) 動画撮影後の海域状況確認

現時点では、洋上風力設備の状況、海域異常箇所、不審船などの確認作業は、ドローン着陸後にカメラ

から撮影データを収集し、担当職員の目視により動画内容を確認する方法しかない。今後、本格的に遠隔巡視を実施した場合、膨大なデータ量を収集することとなり、確認作業を行う担当職員の負担が大きくなる。この対応として、撮影された動画を基に画像解析処理等の AI 技術を使用し、異常箇所の検知、海域侵入船舶種類の識別、隻数集計などを自動で行うことで更なる担当職員の負担軽減、効率化を図ることが可能と考えられる(写真-10)。



写真-10 AIによる船舶識別イメージ

(4) 飛行コスト抑制

年 1～2 回の不定期飛行とすると、その都度準備等が発生するため、フライト費用が高額となる。今後は年次計画を踏まえた定時運航や物流事業、医療機関、自治体事業などと共働することで飛行コストを抑制できると考えられる。

7. 今後の展望

(1) 異常検知の自動化

撮影した動画からの異常箇所の検知については、AI 技術と組み合わせることで、自動化、効率化が見込まれるが、航行船舶の情報や船舶の速度、水面からの反射、天候などにより誤検知する可能性が高いため、教師データの更新を行い、天候や時間帯による見え方等を学習する必要がある。(写真-11)



写真-11 AIによる異常検知（画像が暗く未検知）

(2) 海上巡視範囲の拡大

長崎県内では、五島市沖及び西海市江島沖の 2 海域が促進区域に指定されている。

ドローンの現航続距離は、160km（半径 80km 範囲）(図-5)であり、五島列島～西海市沖の範囲での飛行が可能のため、今後、西海市江島沖の海上巡視にも活用が期待できる。



図-5 現在の航続距離

8. おわりに

再エネ海域利用法に基づく促進区域等は、2025 年 1 月時点で、【促進区域】10 海域、【有望区域】9 海域、【準備区域】11 海域の指定があり、今後、促進区域の更なる拡大、沖合展開が求められ、海域管理者の巡視負担が大きくなるのしかかってくる。そのようななか、近年、UAV の技術が飛躍的に向上し、様々な分野での活用が進んでいる。遠隔監視分野においても、UAV 技術の活用により、人が立ち入ることが困難な場所や広範囲にわたるエリアを短時間で巡視することができる。本検討をとおしても、従来の手法と比較して効率性や安全性が大幅に向上する可能性があることが確認できた。

UAV や AI 技術などの新技術を活用した巡視は、現時点ではまだ課題があるが、今後の海上巡視の効率化、合理化に加え、担当職員の負担軽減を図るため、引き続き検討を進めていきたい。

能登半島地震の港湾施設の災害復旧における DXを活用した設計支援のあり方 ～南海トラフ地震に備えて～

江藤 翼¹・古家 雅彦¹

¹九州地方整備局 下関港湾空港技術調査事務所 設計室（〒802-0001 福岡県北九州市小倉北区浅野3-7-38）

令和6年1月1日に発生した「令和6年能登半島地震」では、能登半島地域の港湾施設に甚大な被害が発生し、国土交通省は権限代行制度により直轄施設のみならず港湾管理者施設の一部も復旧事業を担うことになった。しかし、昨今の地方整備局職員の減少から従来の大規模災害復旧時のように職員を長期間派遣して対応することが困難となっている。下関港湾空港技術調査事務所では、石川県珠洲市にある飯田港の復旧設計の依頼を受け、DXを活用した遠隔による設計支援を行った。本論文では、遠隔による設計支援における情報伝達体制の重要性および設計上の工夫や改善点を整理し、今後の南海トラフ地震等の大規模災害への備えとして報告する。

キーワード 令和6年能登半島地震、石川県飯田港、災害復旧、DX、設計支援

1. はじめに

令和6年1月1日16時10分頃に発生した「令和6年能登半島地震」（以下、能登半島地震とする）は、石川県能登地方を震央にマグニチュード7.6、最大震度7を観測し、北陸地方整備局（以下、北陸地整とする）管内の全ての港湾で震度4以上を記録し、多くの港湾施設が被害を受けた。

阪神淡路大震災や東日本大震災の際は、地方整備局から設計に関する専門知識と実務経験のある職員を現地に長期間派遣し、被災した港湾施設の設計・復旧にあたっていたところであるが、昨今の地方整備局職員数の減少に伴い、支援を行う側の業務に支障をきたすなどの理由

から、近年普及したWeb会議等を活用した遠隔による設計支援の体制を取ることになった。

下関港湾空港技術調査事務所（以下、下関技調とする）では、能登半島の先端に位置する石川県珠洲市にある震央に最も近い飯田港（図-1）を担当した。

近い将来に発生すると言われている南海トラフ地震では、能登半島地震と同等以上の被害が生じることが考えられ、今回と同じようにDXを活用した災害復旧設計支援の体制を構築する必要があると考えられる。本論文では、飯田港での支援経験をもとに、DXを活用した遠隔による設計支援における情報伝達体制の重要性および設計上の工夫や改善点を報告し、南海トラフ地震といった今後の大規模災害に備える。

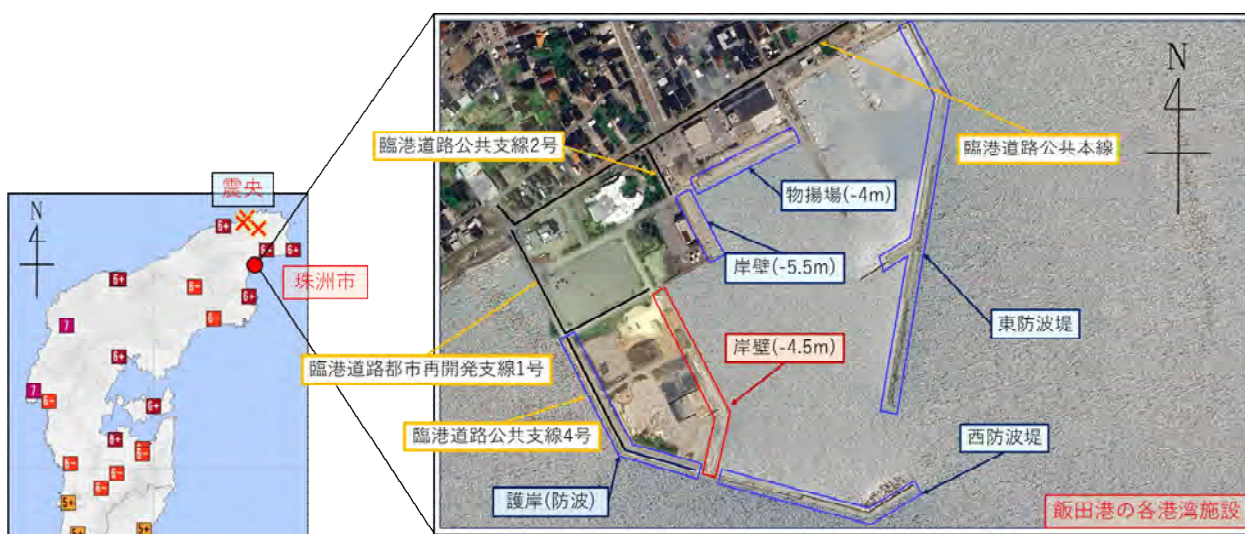


図-1 航空写真（飯田港）

2. 飯田港における港湾施設の被害状況

(1) 港湾施設の被災状況の概要

飯田港のある石川県珠洲市では、震度 6 強を記録し、地殻変動も確認された。各港湾施設の被害状況は表-1 のとおりである。

また、飯田港は津波による被害も確認された地域である。痕跡から津波高さ 4.3m が推定され、外郭施設（防波堤）が一部被災し、外洋からの波浪が直接港内に侵入したことにより、漁船等が岸壁に打ち上げられ、港内でも転覆している漁船等が確認される状況であった。（写真-1）

表-1 飯田港における港湾施設の被災状況

施設名	被災状況
岸壁（-4.5m）	岸壁法線の変位 ケーソン背後の地盤沈下 ケーソン間の目地開き
護岸（防波）	護岸背後の沈下
岸壁（-5.5m）	岸壁法線の変位 ケーソン背後の沈下
物揚場（-4.0m）	岸壁法線の変位
西防波堤	上部パラベットの倒壊 ケーソン3箇の転倒
東防波堤	本体ブロックの倒壊・水没
臨港道路 公共本線	道路（舗装）に段差及び陥没
臨港道路 公共支線2号	
臨港道路 公共支線4号	
臨港道路 都市再開発支線1号	

※下関技調では、岸壁（-4.5m）の復旧設計を主として実施した。

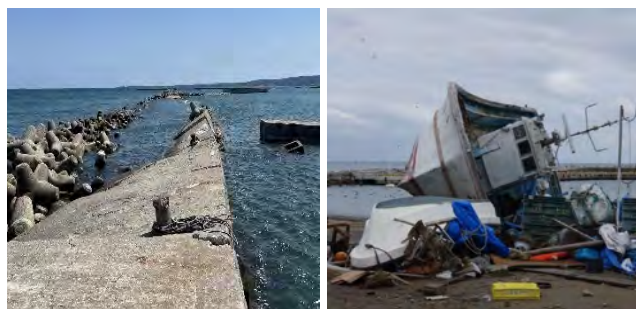


写真-1 津波による被災状況
（左：東防波堤，右：岸壁に打ち上げられた漁船等）



写真-2 岸壁法線の変位



写真-3 ケーソン背後の地盤沈下



写真-4 ケーソン間の目地開き

(2) 飯田港 岸壁（-4.5m）の被災状況

本論文では、飯田港の中でも復旧優先度の高かった岸壁（-4.5m）について紹介する。

被災状況としては、岸壁法線のはらみ出しによる変位、ケーソン背後の地盤沈下およびケーソン間における目地の開きといった被災が複数箇所で確認された。これらの被災状況を写真-2～写真-4に示す。

3. 復旧設計の支援体制

(1) 設計支援に至るまでの経緯

能登半島地震発生から下関技調による飯田港の設計支援に至るまでの経緯について論述する。

1 月 1 日、能登半島地震が発生し、能登半島地域の港湾全体に大きな被害が発生した。

1 月 2 日には、石川県からの要請により、国土交通省が「港湾法」に基づいて港湾施設の一部管理を開始した。また、同日、国土技術政策総合研究所および港湾空港技術研究所が現地 TEC-FORCE とともに被災した係留施設の利用可否判定と応急復旧に向けた支援を開始した。

1 月 5 日、係留施設の利用可否判定において、飯田港の岸壁（-4.5m）で「利用可」の判定がなされたことから、緊急物資を搬入するために岸壁周辺の障害物を撤去する応急復旧工事が 1 月 8 日～2 月 17 日の期間で実施された。

1 月 19 日には、石川県等からの要請を受け、飯田港を含む 8 つの港湾で「大規模災害からの復興に関する法律（復興法）」に基づく、国の権限代行による本格復旧事業を実施する決定がなされた。

3 月には、下関技調から新潟港湾空港技術調査事務所（以下、新潟技調とする）に復旧設計の業務発注のため、高度技術指導班として 1 名を 1 ヶ月間派遣した。

4 月には、被災した多くの港湾施設の設計支援に向けて、新潟技調に全国の 7 つの技術調査事務所から設計担当者が集まり、役割分担および復旧方針等の説明会が開催され、下関技調は、飯田港を担当することが決定し、4 月～12 月の期間で設計支援を行うことになった。

(2) 遠隔での設計支援体制

図-2に能登半島地震における設計支援体制を示す。

設計に関する協議・打合せは、新潟技調・下関技調・設計業務受注者（以下、受注者とする）の三者で行い、特に、新潟技調においては下関技調・受注者との連絡・調整だけでなく、北陸地整の本局、被災港湾の現場事務所および自治体との連絡・調整も担当した。更に、他の地方整備局の技術調査事務所も同様の支援体制が取られていたことから、新潟技調における業務の負担は非常に大きなものであったと推測される。

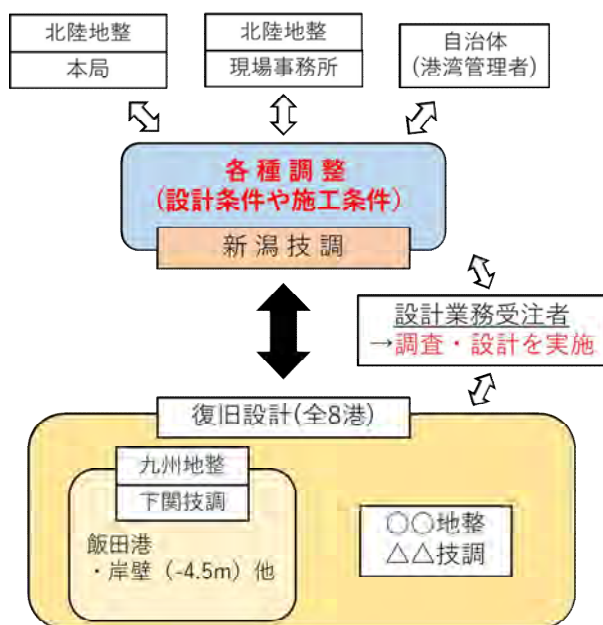


図-2 能登半島地震における設計支援体制

4. 被災メカニズムの解明と復旧方針の策定

(1) 被災のメカニズム

飯田港の岸壁（-4.5m）はケーソンを用いた重力式構造物である。重力式構造物の被災イメージを図-3に示す。

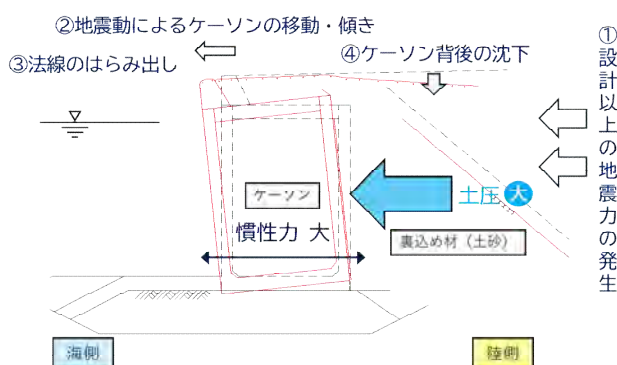


図-3 飯田港 岸壁（-4.5m）の被災イメージ

重力式構造物に対して能登半島地震のような想定以上の地震力が発生した場合、設計条件を上回る土圧や慣性力などの外力を受けることで、構造物の自重のみで安定できる許容値を超えてしまう。その結果、ケーソンの移動や傾斜が発生する。

岸壁（-4.5m）においても、前述の一般的なメカニズムにより、ケーソンの移動による岸壁法線のはらみ出し、ケーソン間の目地開きが生じ、隙間から背後土砂が吸い出され、背後地盤の沈下といった被害が発生した。

(2) 復旧方針の検討

飯田港の岸壁（-4.5m）の復旧方針のイメージを図-4に示す。

対象岸壁の復旧にあたっては、被災後の安定性照査の結果、ケーソンの基礎マウンドの支持力と端趾圧が許容値を超過していたことから、土圧低減対策を講じることとした。また、岸壁法線のはらみ出しによる水平変位に対して新たに復旧法線を設定し、ケーソン背後の地盤沈下およびケーソン間の目地開きには吸い出し対策を講じることとした。

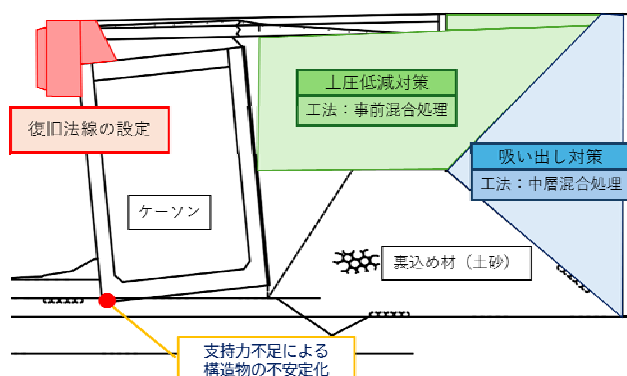


図-4 飯田港 岸壁（-4.5m）の復旧方針のイメージ

5. 設計上の課題と対応策

(1) 設計上の課題

地震によってケーソンが水平方向に不均等に変位し、岸壁法線に凹凸が生じたことで、船舶の安全な接岸が困難な状況となった。このため、港湾施設としての機能回復を図るには、岸壁法線を直線的に再設定する必要がある。岸壁法線の凹凸による船舶の接岸への影響のイメージを図-5に示す。

また、ケーソン自体が地震の影響により沖側へ傾いており、既にケーソンマウンドの支持力不足によって構造的に不安定な状態となっていることから、復旧法線の設定にあたって、上部コンクリートの拡幅は可能な限り軽量なものにする必要があった。

加えて、ケーソン背後に作用する土圧を低減する必要もあった。しかし、岸壁（-4.5m）背後のヤードは暫定的に利用可能と判定されており、災害支援物資の搬入や災害廃棄物の搬出に活用されることとなっており、復旧工事にあたっては、岸壁背後のヤードの活用に配慮して、施工範囲を極力縮小することが要請された。したがって、岸壁背後の地盤改良については、施工範囲を考慮した工法の選定が重要な検討事項となった。図-6に設計上の課題のイメージ図を示す。

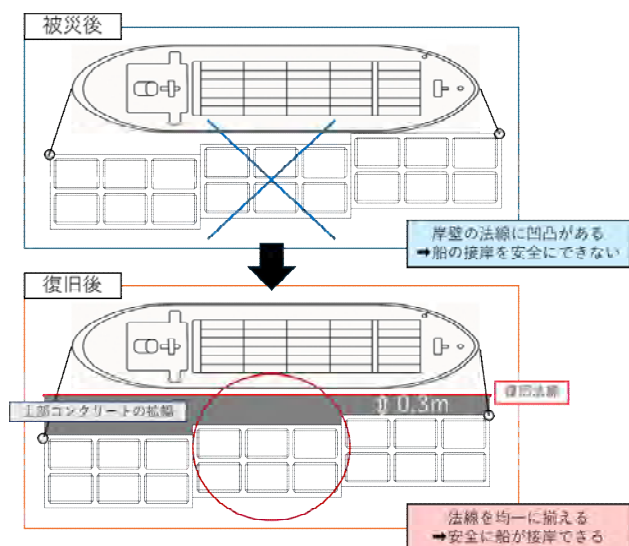


図-5 岸壁法線の凹凸による船舶の接岸への影響イメージ

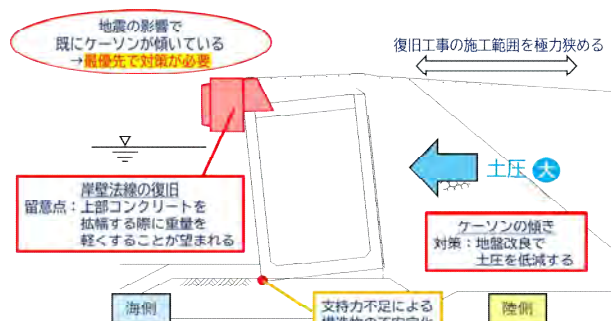


図-6 設計上の課題のイメージ図

(2) 設計上の課題への対応策

設計上で問題となった項目への対応策を2つ論述する。

1つ目として、上部コンクリート拡幅の際、重量を軽くするための工法の選定にあたり、上部工に取り付ける防舷材の台座は、施工性などの観点からコンクリート台座とH形鋼台座の2パターンを提案した。表-2に防舷材設置台座の比較を示す。H形鋼を用いた際に、ケーソンにかかる負担を軽減することが可能となる。

そこで、被災地周辺での特注品となるH形鋼の調達が可能であるか、専門会社・工場へのヒアリングを行い、調達が可能であることを事前に確認した。

2つ目として、背後土圧を低減するための地盤改良工法の選定にあたり、施工範囲の縮小などを考慮し、複数の工法案の比較検討を行った。中でも経済性や施工性などを考慮した上で総合的に優れており、設計上有効であると判断された工法については、被災後の現場条件において実際に適用できるか事前の確認が必要であった。

そこで、各工法の専門会社・協会へのヒアリングや施工手順の検討を行い、選定工法の被災後現場への適用性を事前に確認した。その結果、土圧低減対策においては、事前混合処理工法と中層混合処理工法を組み合わせた工法が実現可能であることを確認し、その他の工法よりも経済性、施工性に優れた対応策であると判断した。図-7に従来とヒアリング後の施工手順の比較を示す。

以上の2つのように、被災地における資機材の調達を含めた施工実現性を事前に確認することや、複数の案を提示し、現地状況に応じて工法を選定するといった設計を心掛けた。

表-2 防舷材設置台座の比較

形式	コンクリート台座	H形鋼台座
断面図	防舷材 コンクリート打設	防舷材 H形鋼 コンクリート打設
構造形式	・コンクリートによる防舷材台座 ・台座は上部工につなげて一体化	・H形鋼による防舷材台座 ・H形鋼台座はボルトでケーソン本体に固定
メリット	・現場の変形状態に合わせてコンクリート形状を変形可能 ・多くの施工実績がある	・工場で作成したH形鋼を取り付けるのみで施工が容易 ・軽量であり、ケーソンへの負荷が小さい
デメリット	・足場の設置が必要であり施工性に劣る	・H形鋼製作のための現地計測が必要 ・事前に工場で特注品を製作する必要がある

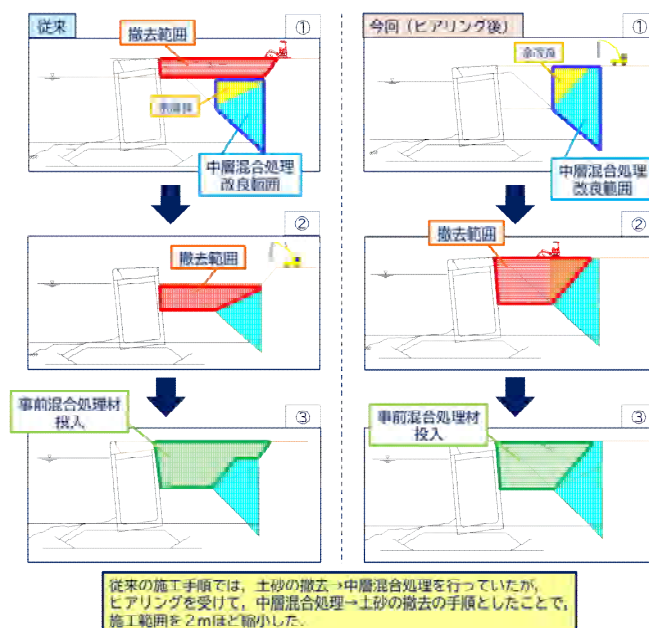


図-7 地盤改良工法における施工手順の比較

6. 遠隔による設計支援の課題と対応

本章では、遠隔による設計支援を行う中で直面した主な課題と、その対応策について論述する。

(1) 設計に必要な詳細情報の不足とその対応策

遠隔による設計支援における課題の1つが、「設計に必要な詳細情報の不足」である。復旧断面を検討する際、主な情報源が地震発生直後の被害状況調査資料や現地写真のみであり、被災箇所の詳細な損傷状況などの設計の前提となる情報が不足しており、具体的な設計を行うには十分ではなかった。

その対応策として、限られた情報の中で現場の被災程度に合わせた複数パターンの設計提案を行った。現場の詳細状況が不明な中でも、前述 5.の表-2 および図-7 のように施工実現性を事前に確認することや、複数の案を提示し、現地状況に応じて工法を選定するといった設計を行った。

(2) 遠隔設計支援における情報伝達遅延とその対応策

2 つ目の課題は、「遠隔設計支援における情報伝達の遅延」である。

今回の遠隔による設計支援において、新潟技調・下関技調・受注者の三者間で円滑かつ迅速な情報共有体制を構築することは重要である。しかし、実際の対応においては、被災地域の自治体やその他関係機関との調整に関する情報が新潟技調から下関技調にリアルタイムに伝達されず、設計への反映が後手となるケースが生じた。

具体例として、岸壁背後のヤードの作業スペースの確保状況や資機材の調達状況など、設計検討に影響する情報の取得が遅れる場合があった。原因としては、図-2 に示したように新潟技調に多くの業務が集中し、下関技調だけでなく、他の地方整備局とのやり取りで生じた膨大な情報量を取り扱っていたことから、必要な情報を地方整備局毎に振り分けて伝達する余裕がなかったことが挙げられる。このような状況に対しては、新潟技調に情報収集・伝達の過度な負担をさせず、設計に必要な情報を適宜入手できる体制を構築すること求められる。

その対応策として、短時間・高頻度での Web 会議の開催を実施した。当初は、1 回あたりの打合せ時間を 1 ～2 時間としていたが、事前に検討項目を整理し、明文化することで、20 分程度の打合せ時間に短縮した。これによって、新潟技調および受注者の負担を最小限に抑えることができた。

また、検討内容を事前に整理し、確認事項を明確にした上で打合せに臨むことで会議時間を短縮しながら質を保ち、高頻度での開催とすることで、リアルタイムに情報が伝達され、情報の質と量を確保することができた。

(3) 受注者への過度な業務負担の集中とその対応策

3 つ目の課題は、「受注者への過度な業務負担の集中」である。

今回、被災した多数の港湾施設の復旧設計業務に限られた受注者が同時並行して担当する体制となっていた。この結果、受注者側の人的・時間的負担が増加し、円滑な業務遂行が困難な状況となっていた。

その対応策として、下関技調が主体となって復旧断面の提案や図面の作成を実施した。

具体的には、基本的な地形条件や構造条件から下関技調が復旧断面案を提示し、それをもとに受注者が安定性照査等を進める形式とした。この対応によって、効率的に適切な復旧断面を設定することが可能となった。

7. 遠隔での設計支援を終えて

(1) 遠隔設計支援による業務負担の軽減効果

遠隔設計支援がもたらした効果として、「整備局職員の業務負担の軽減」が挙げられる。

東日本大震災などの大規模災害時には、前述 1.の通り、設計業務に精通した職員が半年～1 年間ほど現地に派遣され、発注された設計業務を担う体制を取っていた。しかし、職員の人員不足を問題に抱えた現状、豊富な設計実務経験を有する職員を長期間派遣することは、通常業務の影響を考慮すると困難な状況にある。

今回、DX を活用した遠隔地からの設計支援を実施したことにより、長期間の派遣を必要とせずに通常業務と並行して設計支援を行うことができた。具体的には、復旧断面のアイデアを検討することは勿論、業務帳票管理システムを用いた受注者との電子上での書類のやり取りのほか、土質調査の検尺を Web で遠隔臨場を行うなど、発注者である北陸地整に対して、地整間を越えての業務代行を実施することができた。図-8 に土質調査における検尺の遠隔臨場の様子を示す。このように、DX を活用した設計支援だからこそ実現できた点も多くあり、災害時における設計支援の新たな体制として、人材および時間の有効活用として効果的であった。



図-8 土質調査における検尺の遠隔臨場の様子

(2) 遠隔設計支援の課題と改善案の提案

a) 遠隔設計支援に対応した調査項目の事前準備

今回の遠隔による設計支援においては、被災施設の詳細な状況が把握しきれず、復旧断面の検討が進まなくなる場面があった。特に、設計業務発注時の被害状況調査資料や現地写真のみでは設計条件・施工条件などの把握に限界があった。

改善案としては、設計目線であらかじめ災害時に必要となる被災状況毎の調査項目を整理しておくことが挙げられる。また、Web会議中にドローンを飛行させ、遠隔地からリアルタイムで施設状況を確認する体制を構築できれば、遠隔での設計支援がより効率的かつ有効的になると考えられる。

b) 関係者との情報共有体制の強化

遠隔地からの設計支援において、設計に必要な現地状況や自治体との調整事項などの情報は、関係者でタイムリーに共有できる体制を整えることが必要である。前述したように、今回の遠隔による設計支援においては情報共有の迅速化に課題があった。

改善策としては、短時間・高頻度でのWeb会議の実施やチャット型ツールのアプリケーションを用いての情報共有の簡素化と蓄積が挙げられる。

今回の設計支援では、新潟技調・下関技調・受注者の三者間における情報共有の手段として、連絡事項の伝達にはOutlook、データの共有にはMicrosoft Teamsを用いた。Teamsでは被災した施設毎にチャンネル（※作成したチーム内で特定のテーマ別に情報を分類・共有できるフォルダのような機能）を分けて情報を管理することで、データを整理する手間が省け、非常に効率的であった。図-9にTeamsのチャンネル機能の表示画面を示す。

今後は、Teamsのチャンネル機能を更に活用し、他の地方整備局が復旧設計を担当している港湾施設に関する情報も共有対象に含めることで、検討の新たな気付きや横並びを図ることが容易となる。このように、情報共有の手段として様々な情報ツールの機能を活用することで、遠隔での設計支援がより効果的になると考えられる。

c) 遠隔設計支援における負荷分散体制の確立

今回の災害支援体制では、被災した多数の港湾施設の復旧設計業務を限られた受注者が同時並行して担当する状況であった。また、遠隔支援体制では対面で調整する機会が限られることから、円滑に業務を進めることが困難であった。

改善策としては、遠隔での設計支援を効率的に行うために、業務負担を分散できるような災害復旧体制を事前に確立しておくことが挙げられる。

今後は、復旧設計業務の発注段階において、支援体制全体を見据えた業務負荷の平準化の体制を構築することが求められる。

8. おわりに

本論文では、南海トラフ地震など今後想定される大規模災害への備えを目的として、能登半島地震において下関技調が担当した飯田港の港湾施設の復旧設計を対象に、遠隔設計支援によって得られた効果と課題および改善策について、実際の支援経験をもとに整理した。

遠隔による設計支援は、設計支援を受ける側のみならず、支援を行う側の通常業務の負担も軽減する効率的な支援体制の1つであることが確認できた。一方で、情報共有体制の整備や業務負担の集中といった課題も明らかとなった。

今後は、DXの更なる活用により、情報共有体制を強化し、効率的な設計支援体制を確立していくことが求められる。

なお、飯田港（-4.5m）では、令和7年3月から本格的な復旧工事を開始している。他の港湾施設に関しても段階的な復旧が進んでいる。

本論文が今後の災害対応における設計支援のあり方への参考になれば幸いである。被災地域の日も早い復旧・復興と、皆様の安全・安心な暮らしの再建を心より願うものである。



図-9 Teamsのチャンネル機能の表示画面

ふっこく出張所 DXの取り組み —道路巡視・異状発見の省力化・省人化—

島田 駿¹・元水 孝樹¹・奥村 寛²・古賀 健作³・倉永 利明⁴

¹九州地方整備局 福岡国道事務所 防災情報課(〒813-0043 福岡県福岡市東区名島3-24-10)

²九州地方整備局 福岡国道事務所 管理第一課(〒813-0043 福岡県福岡市東区名島3-24-10)

³九州地方整備局 福岡国道事務所 管理第二課(〒813-0043 福岡県福岡市東区名島3-24-10)

⁴九州地方整備局 筑後川河川事務所(〒830-8567 福岡県久留米市高野1-2-1)

福岡国道事務所は交通量が多い福岡都市圏の国道を管理しており、設置しているカメラ台数も多く監視に時間を要する。また、職員数の減少及び業務の複雑化や多様化により職員一人あたりの業務量が増加している状況である。

このような状況を改善すべく、“ふっこく出張所DXの取り組み”として、福岡国道事務所で行っているAI技術を活用した道路管理業務の変革に向けた取り組みの内容及び将来的な社会実装に向けた課題についての報告を行う。

キーワード DX, AI技術, 道路管理の省力化, エッジ AI カメラシステム

1. ふっこく出張所DXのめざすところ（5UP！）

福岡国道事務所は国道3号、201号、202号、208号、209号、210号の改築、維持管理、交通対策、防災対応を担っている事務所であり、福岡都市圏を中心とした国道の維持管理を行っていることから以下の課題がある。

（課題1）交通量が多い都市部であり渋滞や事故が多い。

（課題2）管内に164台のCCTVカメラを設置しており映像の確認に時間を要する。

（課題3）事務所や出張所の職員が減ってきている一方、業務が複雑化・多様化している。

また、災害や道路損傷などの道路異状の対応は、図-1のように、CCTVカメラ・巡回車・発見者からの通報等により異状事象を検知→現地確認→関係各所へ連絡の流れで行っており、異状事象等の検知範囲が局所的であり、異状事象検知から情報発信まで全て人が介在するため時間を要している。

上記の課題を解決すべく、AI技術（デジタル）を活用し道路管理業務を変革（トランスフォーメーション）して、交通障害の早期発見や迅速な対応により大規模な車両滞留を防止し、管理瑕疵を未然に防ぐとともに、省人化・省力化することで業務を効率化し職員の働き方改革につなげるため、福岡国道事務所では「DX出張所設立後の5UP！」を掲げて5つのUPの取り組み（図-2）を推進することとした。



図-1 従来の道路異状検知・確認・連絡のプロセス

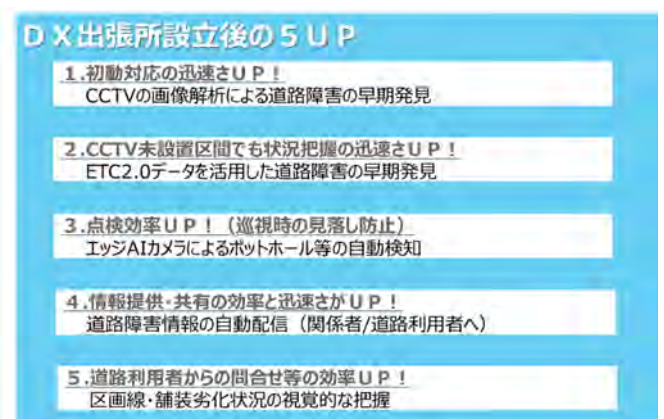


図-2 DX出張所設立後の5UP！

DX出張所設立後の5UPを達成するため、図-3のイメージのとおり、AI技術を用いて交通障害や道路異状を「検知・抽出」し、その情報を福岡国道情報収集提供設備にて「集約・分析」を行い、関係者へ「発信・提供」する一連の流れを実現して、道路管理業務を高度化し、最終的には職員の省人化・省力化に寄与するよう取り組みを進める。



図-3 DX出張所設立後の5UPの実現イメージ

2. 取り組んだ内容及び導入後の課題

「DX出張所設立後の5UP！」の取り組みや課題について説明する。

(1) 初動対応の迅速さUP！

初動対応の迅速さUPとして、CCTVカメラ映像を活用したAI事象検知システムを利用した取り組みを行っている。

既設の「道路事象検知装置機器仕様書（案）」に準拠したシステムに、福岡国道事務所管内の既設CCTVカメラを登録し、AI解析にて映像から道路異状（停止、低速、避走、逆走、冠水、混雑、落下物）の検知を行い、検出結果を福岡国道情報収集提供設備に配信する。

課題として、路側帯に停車している車両を「停止」と検知したり（図-4）、変則的な交差点の右折車両を「避走」と検知したり（図-5）と誤検知が多くみられる。



図-4 路側帯に停車している車両を「停止」と検知した例



図-5 変則的な交差点の右折車両を「避走」と検知した例

(2) CCTV未設置区間でも状況把握の迅速さUP！

状況把握の迅速さUPとして、CCTVカメラ未設置区間におけるETC2.0のプローブデータを活用したAI事象検知システムを利用した取り組みを行っている。

ETC2.0にて収集しているプローブデータのうち、旅行台数とサンプル数をAIに取り込み、データの変化量を基にAIが「異常度」を算出し、福岡国道情報収集提供設備に配信する（図-6）。

課題として、工事など通常の交通規制を行った場合でも旅行速度が大きく変化して異常度が高くなるため、実際に起きている事象は現地確認しないと確定できない点や、ETC2.0のプローブデータの収集周期によりタイムラグが発生し、現場では既に渋滞や停止などの異状が解消している可能性があるという点がある。

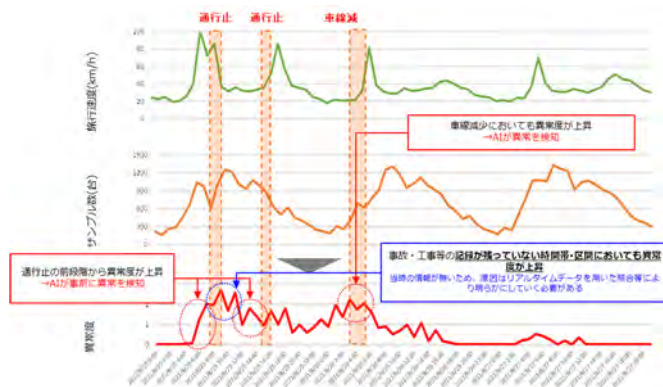


図-6 ETC2.0データを活用したAI事象検知システム

(3) 点検効率UP！（巡視時の見落とし防止）

点検効率UPとして、エッジAIカメラシステムを活用したAI事象検知システムを利用した取り組みを行っている。

エッジAIカメラシステムによるAI事象検知システムについての詳細及び課題については(5)にて説明する。

(4) 情報提供・共有の効率と迅速さがUP！

情報提供・共有の効率と迅速さUPとして、道路障害

情報の自動配信の取り組みを行っている。

現在は、CCTVカメラ映像を活用したAI事象検知システムの検知情報を関係者にメール通知する試行運用を行っている。将来的には、ETC2.0やエッジAIカメラシステムによるAI事象検知システムのメール通知や道路情報板、SNSなどへの自動配信も実施していく予定である。

課題として、検知・誤検知問わず情報が大量に自動配信されることから、不要な情報を関係各位に配信しないよう誤検知を減らし精度を高めた上で実運用を行う必要がある。

(5) 道路利用者からの問合せ等の効率UP！

道路利用者からの問い合わせ等の効率UPとして、道路異状の検知及び蓄積を行うため、エッジAIカメラシステムを活用したAI事象検知システムを利用した取り組みを行っている。

エッジAIカメラシステムは、ポットホール、舗装劣化、樹木はみ出し、区画線劣化の4つの異状検知を行うAI学習済みのミニコンピュータ、カメラ、LiDARセンサ、9軸センサ、タブレット端末を搭載した道路パトロール車にて、道路を巡視しながら自動的にAIが異状を検知しタブレット端末にデータを蓄積し、出張所帰還後にドッキングステーションにて自動的に福岡国道情報収集提供設備に位置情報や静止画像などとともに保存されるシステムである（図-7）（図-8）。

保存されたデータはWEB画面にて事務所や出張所で確認することができる仕組みとなっている（図-9）。



図-7 エッジAIカメラシステムの構成



図-8 エッジAIカメラシステムの異状検知の流れ



図-9 WEB画面での確認画面

課題として、法面の木の陰を「ポットホール」と検知したり（図-10）、壁面の蔭を「舗装劣化」と検知したり（図-11）、低い位置の雲を「区画線劣化」と検知したり（図-12）と誤検知が多くみられる。



図-10 法面の木の陰を「ポットホール」と検知した例



図-11 壁面の蔭を「舗装劣化」と検知した例

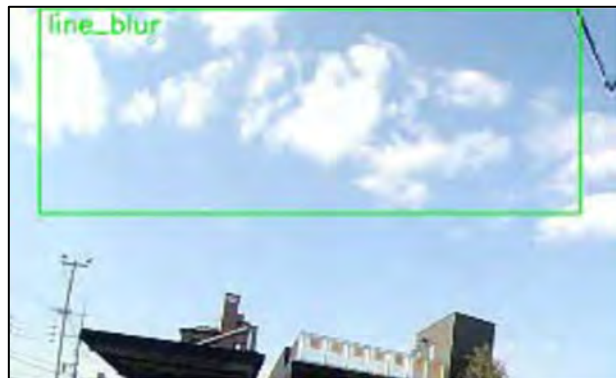


図-12 低い位置の雲を「区画線劣化」と検知した例

(6) 出張所職員からの意見

実際に道路パトロールを実施している出張所職員より、本取り組み導入後の意見を収集した。

「カメラ映像を逐一確認しなくても通知がくるため道路の異状に気づきやすくなった」や「事象検知した地点の履歴を振り返られるため経過観察がやりやすくなった」という意見がある一方で、「敷地内の植木を樹木はみ出しとして検知するため、緯度経度やエリアなどを判断して検知対象から除外できる機能が欲しい」や「区画線劣化や舗装劣化の検知件数が多すぎるため、検知する閾値などを職員で設定できる機能が欲しい」といった改良に向けた意見もあった。

3. まとめ(さらなるDXを目指して)

5UPの実現に向けて取り組んだ3つのAI技術の課題に対しての改善案をそれぞれ記載する。

(1) CCTVカメラ映像を活用したAI事象検知システム

- ・路側帯に停車している車両を「停止」と検知
→検知範囲を道路に沿った多角形で設定できるよう検討
- ・赤信号による低速走行車両を「低速」と検知
→周期的に発生する渋滞を除外できるようAIを改良
- ・変則的な交差点の右折車両を「避走」と検知
→振る舞いを検知し正常な動きの車両を除外できるようAIを改良

(2) ETC2.0データを活用したAI事象検知システム

- ・異状判断の精度向上
- ・データ検知から通知までの時間短縮
→異常度の変化で道路の異状事象が確定できるようAIの精度を向上

(3) エッジAIカメラシステムによるAI事象検知システム

- ・職員が見て明らかに分かる誤検知
→全体的に事象の学習量を増やすとともに職員が正否判定した結果にてAIを再学習
- ・道路区域以外を道路と認識し異状判定する誤検知
→道路区域を自動で判別する検知範囲の限定化に向けたAIの精度向上

他にも、DXを推進するための取り組みとして、

- ・現在運用している技術を周知することで、もっとDXの取り組みに関心を持って頂き積極的に利用してもらう。
- ・実際に利用している出張所などの現場職員からの意見にさらに耳を傾けて改善案を提案する。
- ・異状事象検知の精度を向上させることで、汎用的なカメラ1台でAI事象検知を実現し導入コストの縮減を図る。
- ・巡回報告をAIが自動的に作成できるようにして、さらに仕事の効率を上げる。

など、省力化・省人化につながるアイデアを提案したり、職員同士で意見交換することで、今後も精度を上げてコストを下げていくことに留意しつつ、さらなるDXを目指していく所存である。

謝辞：本論文の作成にあたりご協力いただいた皆さまに心より感謝申し上げます。

業務効率化における マルチモーダルAIの有用性について

岩間 拓樹¹・南竹 知己²・高木 耕太郎¹・
久保田 大輔¹・砥上 達也¹・吉村 拓朗¹

¹九州地方整備局 九州技術事務所 品質調査課 (〒830-8570 福岡県久留米市高野1丁目3番1号)

²九州地方整備局 九州技術事務所 (〒830-8570 福岡県久留米市高野1丁目3番1号)

本論文は、多様な分野で業務効率化を実現することが期待されるマルチモーダルAIを、巡視結果の評価、異常検知と簡易計測、対象物の識別といった業務で活用する方法について検討し、その有用性や、導入および活用にあたっての課題について整理し、報告するものである。

キーワード 業務効率化, DX, マルチモーダルAI, プロンプト, セキュリティ

1. マルチモーダルAIについて

(1) 人工知能 (AI) の潮流

人工知能 (AI, Artificial Intelligence) とは、言語理解や推論など、ヒトに見られる知的行動を行うコンピュータを指す。1950年代のAI誕生以来、数度のブームが起こった。

60年代に始まった第1次AIブームでは、決められたルールの中で結論を導いたり、場合分けによってゴールに至るパターンを探したりするという、「推論と探索」が注目を集めたが、決められた枠組みの中で簡単な問題しか解けないことが明らかになり、AIは冬の時代を迎えた。

次いで80年代には専門家の知見を蓄積して、問題解決能力を高めた「エキスパートシステム」の登場により第2次AIブームが到来したが、膨大な知識の手入力が負担となり、2度目の冬の時代を迎えた。

その後、インターネットとビッグデータの登場により、エキスパートシステムの弱点が克服され、現代まで続く第3次AIブームが起こった。機械学習や深層学習の後押しで、AIの性能は飛躍的に向上した (図-1)¹⁾。

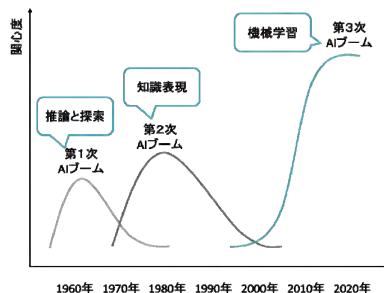


図-1 注目を集めるAI技術の変遷

現代においては、新型コロナウイルスの感染拡大という社会的要請によるリモートワークの浸透を背景に、AIは製造業や医療など、様々な業界で急速に普及している。

(2) シングルモーダルAIとマルチモーダルAI

シングルモーダルAIとは、特定の情報形式に特化したAIであり、画像のみを処理する画像認識AIや、音声のみを処理する音声認識AIなどが該当する (図-2)。



図-2 シングルモーダルAIの処理のあり方

第3次AIブーム以前に登場した従来のAIはシングルモーダルAIであり、データごとに「何のデータか」を示す情報をタグ付けしなければ求める出力を得られない。

近年、マルチモーダルAIと呼ばれるAIが現れ、社会的関心を集めている。マルチモーダルAIは、テキスト・画像・音声といった複数の種類のデータを統合的に処理するAIを指す (図-3)。



図-3 マルチモーダルAIの処理のあり方

マルチモーダルAIは処理するデータが互いに特徴を補完し合うことで、情報付加のコストを削減しながら、シングルモーダルAIに比して高い精度での出力を実現できる。

対話型AIの一角を占めるChatGPT²⁾も、2023年に発表されたGPT-4以降マルチモーダル化し、テキスト入力に加えて、画像や音声にも対応した（図-4）。

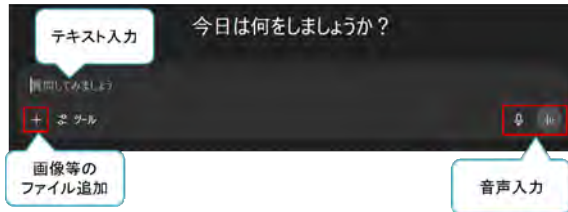


図-4 ChatGPTのチャット画面

シングルモーダルAIのGPT-3と比較すると、GPT-4は処理できるデータの種類が増えたのに加え、予測や分類の手がかりとなるデータの要素（特徴量）を抽出する重みやアルゴリズムの変数を意味する「パラメータ数」が増えていることも性能向上に寄与しており、テキストだけでも精度の高い出力が可能である（図-5、表-1）。

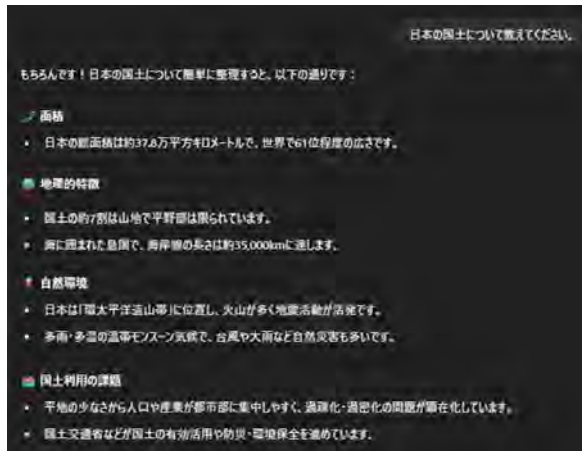


図-5 ChatGPTによる出力の例

表-1 GPT-4とGPT-3の性能比較

比較項目	GPT-4	GPT-3
主な機能	マルチモーダル処理による テキスト等の生成	自然言語処理による テキスト生成
推定パラメータ数	約1兆個	約1750億個
処理可能な文の基本単位	32,768	2,048

実際に、GPT-3はアメリカの司法試験で下位10%の成績に留まったのに対し、GPT-4は上位10%の成績を収めたことからマルチモーダルAIの性能の高さがうかがえる。

（3）AIの回答生成プロセスとハルシネーション

マルチモーダルAIは、学習したデータに基づいてテキストや画像等を新たに作り出す生成AIとして運用されている。前述のChatGPTも生成AIである。

テキストを生成するAIは、膨大なテキストデータを学習した「大規模言語モデル（LLM）」に基づいて出力を行う。LLMは、内部で数値変換されたデータを出力する際、人間が理解できるようなテキストにするために、次に来る可能性が高い単語や自然な言い回しを選択する。この確率論的なテキスト生成のプロセスによって、AIは一見もっともらしいが事実とは異なる内容を出力したり、矛盾した応答をしたりすることがある。この現象は「ハルシネーション」と呼ばれ、LLMを基盤にテキストを生成する以上、その発生を完全に回避することはできない（図-6）。

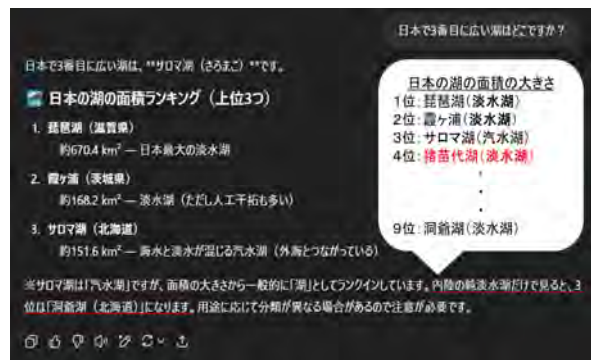


図-6 ハルシネーションの実例

しかし、ハルシネーションを抑制することはできる。例えば、使用者がもつ固有のデータや専門性の高い知識を追加学習させることで、活用する業界やシーンに適する形にカスタマイズするファインチューニングが挙げられる。さらに、生成AIにおいては、信頼性の高い情報を学習させるのではなく、データベースに外部知識として保存するRAG（Retrieval Augmented Generation）の導入によって、AIの環境を構築する段階で対策が講じられている（図-7³⁾）。

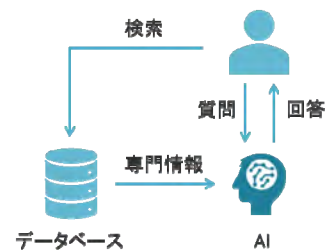


図-7 RAGの概念図

また、AIへの指示文（以下、プロンプトと呼ぶ）を工夫することで、求める回答を得られる（図-8）。

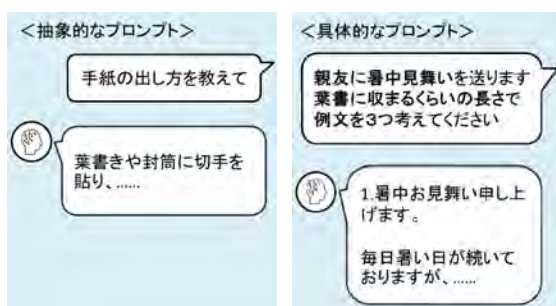


図-8 プロンプトによる出力の違いのイメージ

具体的に記述することで、AIがプロンプトに対して誤った解釈を与えることを防ぐことができる。また、出力の範囲に制限をかけ、不必要な情報を減らすことで、ハルシネーションが起こるリスクも軽減できる。

しかし、前述のとおり、ハルシネーションを完全になくすることができないため、出力された結果が妥当であるかは最終的に人が確かめなければならない。

（4）多様な業務でのマルチモーダルAIの活用

マルチモーダルAIは高精度であると同時に、処理も速く、（図-8）のようなテキスト生成の場合、概ね10秒以内には回答を出力し終える。そのため、マルチモーダルAIは業務の効率化・高度化を実現することが期待される。そこで、マルチモーダルAIを試験的に利用して性能の高さを検証するとともに、有用性と課題の整理を行った。

2. マルチモーダルAIの業務活用検討

（1）検証の手法

検証に使用するマルチモーダルAIは、現在広く使われているChatGPT-4oとし、過去の内容が生成結果へ影響を及ぼすのを避けるために、指示の内容を変更する場合については、新規のチャットでプロンプトを作成した。プロンプトに組み込むデータはテキストと画像に限定した。

なお、検証に使用した画像はインターネット上で一般に広く公開されているものであり、画像を一度スクリーンショットしたのちに入力した。

（2）一定の規則に基づく巡視結果の自動評価

現在、河川巡視は、巡視員が目視で確認した異常や変状を記録に残し、出張所が巡視日報の内容を確認・承認するという流れで行われている。出張所には多くの報告が寄せられ、内容の確認のみならず異常の評価が必要で

あるため、職員にとって負担となっている。また、評価者の業務精通度や知識量により差が生じる可能性もある。

そこで、河川巡視で報告される変状の評価を想定して、「a：異常なし」から「d：措置段階」までの評価を下せるかを確認するため、表で変状の種別やその詳細を、画像で評価区分の判定目安⁴⁾を与えた（図-9）。



図-9 自動評価のプロンプト

画像で与えた評価基準の表も文字情報を読み取ることができ、結果としてAIは変状に対して概ね妥当な評価を下すことができた。しかし、「樹木の侵入」や「護岸ブロックの段差」など、文字情報だけでは判定が難しいものについては、深刻度が高いと判断する傾向にあった（表-2）。

表-2 ChatGPTによる自動評価の結果

こちらです。更新後のデータを表形式で以下に示します（主要な列のみ表示します）：					
番号	河川名	点検箇所	変状の種類	詳細	評価
1	A川	土堤	陥没や不陸	東法面に陥没。陥没長0.2m、陥没幅0.2m、陥没深0.1m。堤防機能に影響なし。	b
2	A川	土堤	亀裂	補修工事了。	a
3	A川	土堤	樹木の侵入	表法面に低木を確認。	c
4	A川	土堤	勾配	延長15mの法崩れが発生。	d
5	A川	低水護岸	護岸・被覆工の破損	鉄筋の露出あり。	c
6	A川	土堤	沈下	天端舗装が沈下。延長3m、幅0.3m、沈下高3cm	c
7	A川	低水護岸	護岸・被覆工の破損	低水護岸に延長1.1m、幅3mmのクラック	c
8	A川	低水護岸	護岸・被覆工の破損	川床の低水護岸ブロックに2cmの段差。	c
9	A川	土堤	はらみ出し	（進行なし）川床土留護岸ブロックのはらみ出し。延長4m、法長0.28m、高さ1.8cm	b
10	A川	土堤	漏水・噴砂	先日の洪水による噴砂を法面に確認。	d

このテーブルで全データを一覧できます。必要であれば他の形式（CSV、PDFなど）での出力も可能です。

巡視日報や画像は外部公開されていない。そのため、今回の検証では点検箇所の写真のプロンプトに含めず、表形式のテキストだけで評価を行わせた。なお、判定の対象とした表の中のデータは検証のために作成したダミーである。巡視で実際に撮影された写真を活用すれば精度が上がると思われる。

写真の活用を想定し、河川の画像⁵⁾⁶⁾から異常をAIが認識できるかを追加で検証した。河川に異常があるか、また、発生箇所がどこにあるか問うと、AIは流下阻害と堤防の崩れを指摘するとともに、その位置を赤の破線で囲むことで示すことに成功した（図-10）。



図-10 流下阻害（左）と堤防の崩れ（右）の指摘

樹木による流下阻害や堤防の崩れを認識していることから、AIは河川についての基礎的な知識も学習済みであることがわかる。したがって、画像も点検結果の評価をするうえでの判断材料になりえるといえ、河川分野での維持管理においてマルチモーダルAIを活用することが期待される。

ただし、（図-10）のように画像上で異常箇所を指摘する際、AIは図示のみの加工をしているのではなく、全体を生成している点には留意しなければならない。すなわち、出力された画像が実際と異なる可能性があることを認識し、AIによって出力された画像であることがわかるようにする必要がある。

（3）異常検知と簡易計測

近年、道路管理の省力化を目的として、シングルモーダルAIによってCCTVカメラの画像から異常事象を検知することが試みられている。しかし、AIの検知率を向上させる必要があり、現状は機械学習や深層学習によって改善が図られている。

そこで、実際に異常のある路面を撮影した画像からマルチモーダルAIが道路の異常事象検知にも活用できるかを検証した（図-11）。



図-11 路面の異常検知

AIはクラックを路面の異常として認識しており、問題点やとるべき対応とともに報告することができた。また、クラック部分を強調した画像の作成を提案しており、赤線でクラックをなぞってその位置を示すように指示すると、複雑に分岐したクラックの大部分について、高い精度でその存在領域を示すことに成功した。

続いて、手がかりとして道端の草の背丈と道幅をそれぞれ与え、赤線でなぞったクラックのサイズを見積もるよう指示したところ、以下の結果を出力した（表-3）。

表-3 異なる基準を用いたクラック長さの推定

基準	推定クラック長
草の高さ1.3m	約2.6m
道幅2.8m	約4.1m

与える情報によって大きな差が生じた。実際のクラックの長さは4.09 mであり、道幅を基準にした推定値と実測値との差は極めて小さかった。クラックの長さを求める際に画像のピクセルの数を利用していることから、クラックと鉛直に伸びる草よりも、同一平面上にある道幅の方が遠近感によるスケールの変化を正確に反映できたことによる差であると推察される。

以上のことから、異常箇所の検知や規模の推定を行うことは技術的に可能であると結論付けられ、道路分野の

維持管理において活用することが期待される。また、長さや面積を見積もる際には適切なスケールバーを与えたり、遠近感になるべく小さくなるような角度で撮影したりするのが望ましいといえる。

（４）対象物の識別

火山の噴火時には、降灰分布を把握するために、多数の地点へ赴いて現場調査を実施するが、多くの労力と期間を要するうえ、調査には危険が伴う。

そこで、省力化・省人化のため、各地に設置したCCTVカメラやドローンを活用した遠隔での降灰量調査を想定して、道路に降り積もった火山灰⁷を認識可能か確認した（図-12）。



図-12 火山灰の画像認識の検証

一目で雪と火山灰を見分けることが難しい画像を入力しても、AIは降灰によって路面が白くなっていることを指摘できた。しかし、雪であっても火山灰と判断する可能性があるため、雪が積もった路面の画像⁸を使い、同様の検証を行った（図-13）。



図-13 積雪の画像認識の検証

AIは路面に積もった白い物体が雪であると正しい判断を下すことができ、両者の色調や質感の違いが伝わりにくい画像であったにもかかわらず、雪と火山灰の識別が可能であることを確認することができた。降灰量調査での活用可能性が期待される。

空中に灰が舞う様子に加えて、走行する車両の車体、木々の葉といった様々な情報を読み取っていることがうかがえることから、路面以外にも周囲の環境もよく分かるような画角で撮影し、より多くの情報が含まれている画像を解析に使用するのが望ましいと考えられる。

3. マルチモーダルAIの導入・活用における課題

マルチモーダルAIを行政で活用するにあたって、課題がいくつかあるが、その最たる例は機密性情報の漏洩というセキュリティ上の問題である。ChatGPTのようなAIでは入力したデータが学習に使用され、他のユーザーへの回答に学習結果が反映される。よって、AIサービスの提供元のセキュリティ対策が万全なものであっても、機密性の高い情報が外部へ漏洩する恐れがある。2025年5月に策定された生成AIに関するガイドライン⁹にも、個人情報や要機密情報は取り扱ってはならないことが明記されている（図-14）。



図-14 デジタル庁が公開する生成AIのガイドライン

機密性情報の取り扱いについて指針が示されている一方で、個々のデータがどの機密性区分に該当するかについては不明瞭なところもあり、その線引きをあらかじめ整理しておかなければならない。

また、マルチモーダルAIをクラウド運用する場合は、データを送る際に輻輳しないようなネットワーク環境の整備・構築が求められる。しかし、ネットワークシステムの大幅な改変は困難を極めるため、運用の方法や活用の場面を慎重に選ぶ必要がある。

AIを活用するにあたっては、一度に大量のデータを処

理させるとハルシネーションのリスクが高まるため、複数回に分けて逐次入力するのが望ましい結果を得やすく、膨大なデータの入力・処理の方法についても検討が必要である。

テキストに限らず生成された画像や図表も、プロンプトの情報と異なる内容が含まれる可能性がある。生成された画像や図表をそのまま使用すると誤解を招きうるため、AIで生成したことを明記したうえで使用しなければならない。

4. まとめ

本論文で述べた業務効率化におけるマルチモーダルAIの有用性をまとめると、①高精度かつ高速で複数のデータを処理できることから、業務の省力化・省人化が図れる点、②点検結果に対する評価など、個人によってばらつきが出る作業について、客観的かつ一貫性のある判断が可能となる点が挙げられる。マルチモーダルAIを活用して作業を肩代わりさせるだけでなく、作業者間の差を埋めることにより、複数人でのチェックや作業者の教育、基準の修正や改訂への対応といった負担を軽減することが期待される。

今後は、業務にてAIサービスへデータを引き渡すために必要なネットワーク環境を検討し、セキュリティ上の課題を整理することを予定している。

社会の高度化・複雑化が進むにつれて、行政職員が担う業務は多様になり、職員が抱える負担は重くなっている。現在、我が国は革新技術を取り入れた未来社会のあり方としてSociety 5.0 という目標を掲げており、行政に

においてもビッグデータを活用したAIによる業務支援を図るべき段階にあるといえる。今後もセキュリティや費用といった制約の中で効果的なマルチモーダルAI利用の検討に取り組み、DXを推進していきたい。

参考文献

- 1) 松尾豊、2015年、「人工知能は人間を越えるか」、角川選書
- 2) 「ChatGPT」は米国及びその他の国と地域における OpenAI OpCo, LLC の商標または登録商標です。
- 3) 南龍太、2024年、「ITの仕事に就いたら最低限知っておきたい 生成 AI の常識」、ソシム
- 4) 国土交通省 水管理・国土保全局 河川環境課、2023年、「堤防等河川管理施設及び河道の点検・評価要領」、国土交通省、https://www.mlit.go.jp/river/shishin_guideline/kasen/pdf/01_teibou_tenkenhyouka_youryou_r503.pdf (2025年7月1日取得)
- 5) 武雄河川事務所、「河道掘削 武雄市 六角川」、https://www.qsr.mlit.go.jp/takeo/rokkaku_project/shinchoku/kanryo/kk_takeo_rokkaku/index.html (2025年6月30日取得)
- 6) 大隅河川国道事務所、「護岸：大隅河川国道事務所」、<https://www.qsr.mlit.go.jp/osumi/river/chisui/chisui-gogan.html> (2025年6月30日取得)
- 7) 政府広報オンライン、2024年「火山灰が降る地域と量を迅速に予報する「降灰予報」」、<https://www.gov-online.go.jp/useful/article/201502/1.html> (2025年6月30日取得)
- 8) 鹿児島国道事務所、2024年、「記者発表「雪寒対応出陣式」と「立ち往生車両移動訓練」を実施します ～冬の大雪・路面凍結に備えて～」、<https://www.qsr.mlit.go.jp/kakoku/hodo/r6/241127.pdf> (2025年7月1日取得)
- 9) デジタル社会推進会議幹事会、2025年、「行政の進化と革新のための生成 AI の調達・利活用に係るガイドライン」、デジタル庁、https://www.digital.go.jp/assets/contents/node/basic_page/field_ref_resources/e2a06143-ed29-4f1d-9c310f06fca67afc/80419aea/20250527_resources_standard_guidelines_guideline_01.pdf (2025年7月1日取得)

志布志港における防波堤施工の効率化に向けた 上部エプレキャスト工法導入の取組

中原 菜子¹・島田 雅志¹

¹九州地方整備局 志布志港湾事務所 工務課 (〒899-7102 鹿児島県志布志市志布志町帖6617-182)

志布志港は南九州地域における国内外との物流拠点、飼料供給基地として重要な役割を担っており、現在、港内静穏度を確保するために防波堤(沖)の延伸工事が行われている。当該防波堤の上部工は、防波堤上にアジテータを輸送してコンクリートを打設しているが、防波堤(沖)の現場は施工箇所が陸上から遠く、限られた時間でしか施工できない。また、施工箇所が平場の少ない狭隘な場所という課題がある。一方で、建設業界を取り巻く状況として生産性の向上や担い手不足の解消、安全性の向上が求められている。本報告では志布志港の防波堤における現場作業の効率化および安全性向上を目的としたプレキャスト工法導入の取組と今後の展開について報告する。

キーワード 防波堤, プレキャスト, 上部工, 安全性, 効率化

1. はじめに

(1) 志布志港の概要

志布志港は、鹿児島県東部に位置し、本港地区、外港地区、若浜地区、新若浜地区の4つの地区から構成される南北約6kmにおよぶ重要港湾である。日本有数の農畜産地帯である南九州地域への飼料等の供給基地として重要な役割を果たしている。現在、国内主要港（東京、大阪、那覇他）との長距離フェリー・RORO船が就航するとともに、中国、韓国、台湾などのアジア各国とコンテナ定期航路で結ばれる貿易港として発展している。また、原木の輸出量が全国1位、とうもろこし（飼料用）の輸入量が全国2位であり、2011年5月には国際バルク戦略港湾に選定され、現在港湾整備が進められている。

一方、背後では、東九州自動車道や都城志布志道路などの交通ネットワークの整備が着実に進展し、志布志港の利便性が年々向上している。（図-1）



図-1 志布志港と背後の道路ネットワーク

(2) 取組の背景

建設現場における担い手不足や高齢化、作業環境の厳しさなどの課題を背景に、国土交通省では、現場施工の省力化や生産性の向上、安全性の確保を目指したプレキャスト工法の導入を推進している。

2024年6月には、品確法・建設業法・入契法の三法が一体的に改正され、建設現場における新技術の積極的活用が明記された。また、2023年7月には「港湾工事におけるプレキャスト工法導入検討マニュアル（試行版）」が公表され、現場への導入が求められている。

(3) プレキャスト工法の取り組み

プレキャスト工法とは、従前現場で行っていたコンクリートを打設して港湾構造物を構築する工法に代えて、構造物の一部又は全部を背後の作業ヤードや工場で製作し、現地に運搬・据付する工法である。過去には秋田港などで採用されているが、防波堤上部工の設計・施工方法が標準化できていない。（図-2）



図-2 防波堤プレキャスト化の事例¹⁾（秋田港）

2. 志布志港の現状

(1) 施工環境と課題

志布志港では、大型船舶やコンテナ需要の増加に対応するため、国際物流ターミナルの整備が進められている。その一環として防波堤(沖)の延伸工事が行われている。

(図-3) しかし、防波堤の上部工は、防波堤上にアジテータを輸送してコンクリートを打設しているが、整備箇所は陸上から離れ、作業船の移動時間が長くなるとともに、作業可能時間帯も潮位や天候の影響を受けて大きく制限される。また、現場は平場が少ない上部斜面堤構造(図-4)であり、型枠作業やコンクリートの搬送・打設といった工程を極めて狭隘な環境で行う必要があり、施工の効率化や安全確保が大きな課題となっていた。



図-3 新若浜地区国際物流ターミナル整備事業の整備箇所

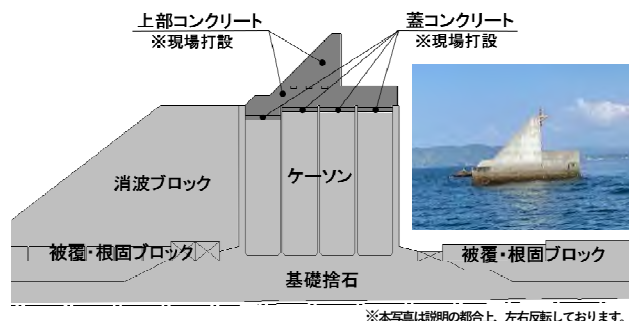


図-4 防波堤(沖)の上部斜面堤構造

施工にあたっては、フェリーバージの調達が困難であること等を背景に、従来の台船バケット方式やミキサ船方式に加え、起重機船にアジテータ車を搭載して生コンクリートを運搬するなど、より柔軟な施工手段への見直しが求められている。(図-5) 特に、生コンクリートの品質を確保するためには、出荷から荷下ろしまでを概ね2時間以内に終える必要があり、これにより1日あたりの打設量は最大でも140m³以下に制限されている。

さらに、防波堤上の狭隘な作業場所では、アジテータ車が約500mをバック走行せざるを得ない状況であり、転落防止措置や誘導員の配置などを講じてはいるものの、仮に事故が発生した場合には、当該工事への影響だけでなく、港湾利用にも大きな被害が発生する恐れがある。

(図-6)

このような厳しい施工条件の下、施工者からは現場作業の省力化や安全性の向上を目的としたプレキャスト化への期待が高まっており、建設業界からもプレキャスト工法の導入による施工合理化への意見が寄せられた。



図-5 フェリーバージによるアジテータ車の海上運搬



図-6 防波堤でのアジテータ車バック走行

(2) プレキャスト工法の利点

プレキャスト工法には、従来の場所打ち工法と比較して多くの利点がある。第一に、あらかじめ工場や陸上ヤードで製作された部材を使用することで、現場での型枠組立やコンクリート打設といった作業が削減され、施工の省力化および作業時間の短縮が可能となる。これにより、施工環境が厳しい海上工事においても、作業の効率性が大幅に向上する。

第二に、工場製作によるプレキャスト部材は、品質の均等性や精度が高く、天候や現場条件に左右されにくい。そのため、構造物全体の品質確保に寄与する。第三に、狭隘な現場での危険作業が減少することから、作業員の安全性が向上するほか、作業環境の改善にもつながる。

さらに、施工期間の短縮により海上作業日数が減少し、燃料や資機材運搬に伴うCO₂排出量の削減にも貢献するなど、環境負荷の低減にも資する工法である。

これらの利点を活かすことで、志布志港における施工の効率化、安全性の確保、そして将来的な施工体制の持続可能性に寄与することが期待されており、生産性向上を目指したプレキャスト工法の導入を進めることが可能となる。

3. 志布志港におけるプレキャスト化への取組

(1) 上部工のプレキャスト化

志布志港における上部工のプレキャスト化に関する検討および施工の工夫については、以下のとおりである。

a) 導入経緯と構造概要

志布志港では、上部斜面堤を有する防波堤の施工において、省力化および安全性の向上を目的として、2023年より上部工へのプレキャスト工法の導入に着手した。プレキャスト部材には、セルラーブロックに類似した形状を採用し、中央部に開口を設けた構造とした。これにより、プレキャスト部材の設置後に中詰コンクリートを打設することで、上下部構造を一体化させる設計である。

本構造は、多段積みを前提とし、各段のプレキャスト部材を中詰コンクリートにより順次連結する方式とした。特に、開口部へのコンクリート打設に際しては、下部を先行して打設し、上部の打継ぎ位置をホゾ形状とすることで、せん断耐力を付加し構造的な連結性能の向上を図った。（図-7）

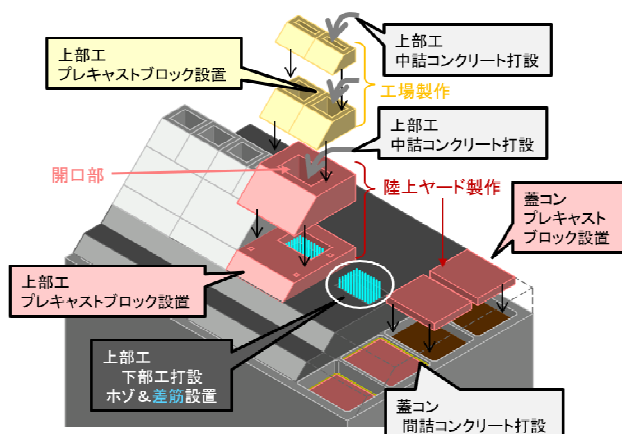


図-7 プレキャスト工法概要

b) 課題と対応

2023年の初期検討において、以下のような構造的・施工的課題が顕在化した。

（課題①：目地配置に伴うひび割れの懸念）

当初、プレキャスト部材は等分割により構成したため、上部工がケーソン目地を跨ぐ配置となった。この配置では、ケーソンの不等沈下や波力による水平方向の変形が、上部工に直接影響を及ぼす可能性が高く、結果として構造ひび割れなどの長期的な損傷リスクが懸念された。

これに対応するため、ケーソンの変形に配慮し、ブロック割付を再検討することとした。具体的には、プレキャスト部材の目地がケーソンの目地を跨がないよう調整し、構造連続性と可撓性の両立を図る構成とした。（図-8）

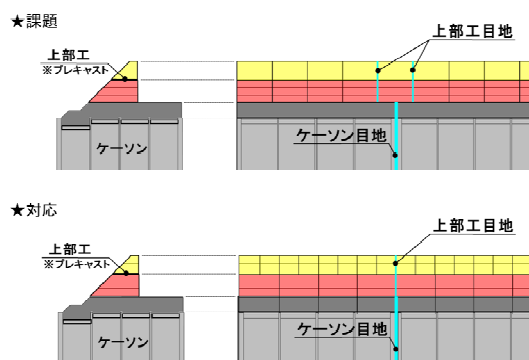


図-8 上部工プレキャスト化の課題①と対応

（課題②：波浪・揚圧力に対する安定性の不足）

プレキャスト構造単体では、海上施工において波浪や揚圧力に対する安定性が十分でないことが課題として認識された。特に底面摩擦抵抗が小さい場合、設置された部材にせん断力や揚圧力による回転モーメントが作用しやすく、構造的に不安定となる恐れがある。（図-9）

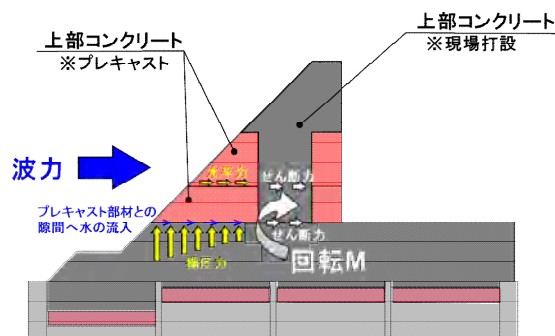


図-9 上部工プレキャスト化の課題②

これに対しては、開口部への中詰コンクリートの打設により、上下段間の一体化を図るとともに、差筋を設けることで、上下方向および水平方向の連結性能を向上させている。また、大型の陸上ヤード製作部材と小型の工場製作部材を組み合わせた四段構成とし、全体の重量と形状バランスによる安定性の確保を図った。さらに、中詰コンクリートの打継ぎ位置をプレキャスト部材接合部よりも数十センチ下方に設定し、ホゾ効果を付加することで構造の拘束力を高める設計とした。これらの対策により、浮き上がりやズレの抑制を図り、構造全体の波力抵抗性を確保する構造とした。（図-10）

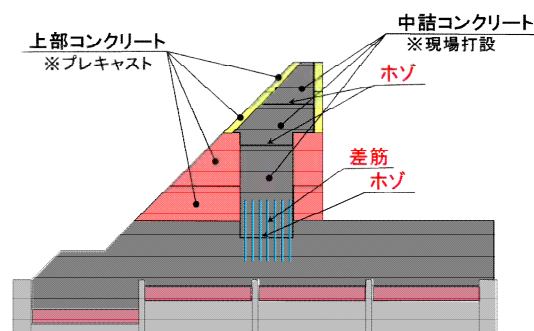


図-10 上部工プレキャスト化の課題②への対応

(2) 蓋コンクリートのプレキャスト化

従来は、ケーソンの蓋コンクリートも現場でコンクリートを打設しており、波浪条件が厳しく、打設したコンクリートが固化する前に洗掘されるおそれがある。そこで、上部工と同様にプレキャスト化を検討した。(図-11) 蓋コンクリートをプレキャスト化するにあたっては、ケーソン隔室に対して若干小さめに製作し、据付後に現場で間詰コンクリートを充填する構造とした。

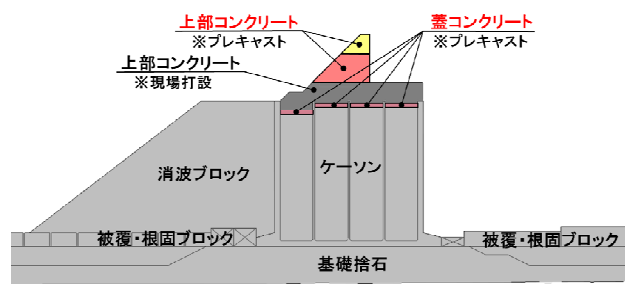


図-11 防波堤断面図（プレキャスト化後）

4. プレキャスト工法の評価

(1) 評価方法（V f M評価）

プレキャスト工法の導入判断にあたっては、経済性のみでなく、工期短縮や施工の容易さ、労働環境の改善なども含めた総合的な観点から評価を行う必要がある。こうした背景のもと、2023年7月に策定された「港湾工事におけるプレキャスト工法導入検討マニュアル（試行版）」に基づき、志布志港においてもVfM（Value for Money）評価を導入した。

VfM評価は、工事費を50点、費用以外の要素（施工性、省力化、安全性、環境配慮など）を50点とし、合計100点満点で工法の総合評価を行うものである。これは従来の単純な費用比較に代わり、より現場実態に即した合理的な工法選定を可能とする手法である。(図-12)

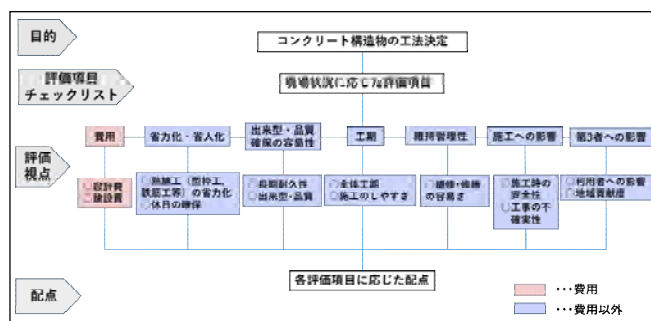


図-12 VfMによる評価の概念図²⁾

(2) プレキャスト工法導入の効果

志布志港における防波堤（沖）の整備において、上部工および蓋コンクリートに対しプレキャスト工法を導入した結果、現場施工に関する様々な面で効果が確認された。

まず、現場でのコンクリート打設量については、上部工

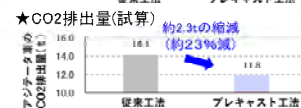
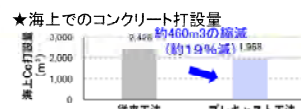
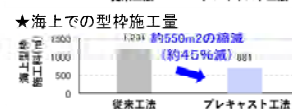
で約460m³、蓋コンクリートで約246m³の削減が見られ、合計で700m³を超える打設量の削減が達成された。これにより、打設に必要な準備作業や施工時間が大幅に短縮されただけでなく、限られた作業時間内での確実な施工が可能となった。また、型枠施工量も全体で約550m²削減されており、高所や狭隘な場所での危険な型枠組立・解体作業の低減にもつながった。

海上作業日数についても、プレキャスト化によって作業の効率化が進み、上部工で16日、蓋コンクリートで2日の短縮が実現された。特に、波浪や潮位の影響を受けやすい外洋部での作業において、工程の短縮は施工リスクの低減や施工計画の柔軟性向上に大きく貢献した。

さらに、環境面においては、CO₂排出量の削減効果も確認されており、上部工で約2.3t、蓋コンクリートで約1.3t、合計で約3.6tの削減となった。これは施工機械の稼働時間短縮や、資材運搬回数の削減によるものであり、今後の脱炭素社会の実現に向けた取組としても評価できる成果と言える。(図-13)

これらの結果から、プレキャスト工法は施工の省力化、安全性向上、環境負荷の低減といった複数の観点から、有効性の高い工法であることが確認された。

〈上部工〉



〈蓋コンクリート〉

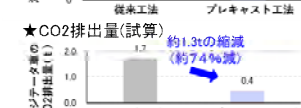
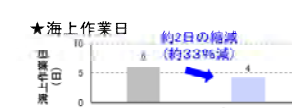
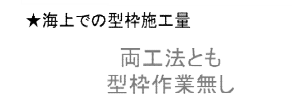


図-13 従来工法との比較

(3) V f M評価結果

志布志港の上部工および蓋コンクリートについてVfM評価を実施した。その結果は、いずれもプレキャスト工法が従来工法を上回る総合評価点を獲得した。具体的には、上部工では、工事費評価点が従来工法で50.0点に対し、プレキャスト工法は38.2点と劣後したものの、費用以外の評価ではプレキャスト工法24.5点、従来工法が6.3点と大きく上回り、総合点ではプレキャスト工法が62.7点、従来

工法が56.3点と明確な差が生じた。

蓋コンクリートでは、同様にプレキャスト工法が工事費で30.3点、従来工法が50.0点であったが、費用以外の評価ではプレキャスト工法が26.6点、従来工法が6.3点となり、総合点ではプレキャスト工法が56.9点、従来工法が56.3点と僅差で上回った。（図-14）

これらの評価結果から、プレキャスト工法は初期費用が増加する傾向にあるものの、作業の安全性や効率性、工程の安定性といった点で大きな利点を持ち、総合的に見て現場条件に適した工法であると判断された。

今後、同様の港湾工事においても、VfM評価を活用することで、単なるコスト比較ではなく、施工環境や持続可能性を重視した合理的な工法選定が進められることが期待される。

〈上部工〉			
比較項目	VfM評価の導入（費用）	VfM評価の導入（費用以外）	合計
①従来工法	50.0点／50点	6.3点／50点	56.3点／100点
②プレキャスト工法	38.2点／50点	24.5点／50点	62.7点／100点

〈蓋コンクリート〉			
比較項目	VfM評価の導入（費用）	VfM評価の導入（費用以外）	合計
①従来工法	50.0点／50点	6.3点／50点	56.3点／100点
②プレキャスト工法	30.3点／50点	26.6点／50点	56.9点／100点

図-14 VfM評価の結果

5. おわりに

志布志港における防波堤（沖）の整備では、厳しい施工条件や担い手不足といった課題に直面する中で、現場作業の効率化や安全性の向上を目的に、上部工および蓋コンクリートへのプレキャスト工法の導入を試みた。その結果、コンクリート打設量や型枠作業量の縮減、海上作業日数の短縮、さらにはCO₂排出量の削減といった具体的な成果が確認され、施工環境の改善に一定の効果が認められた。

また、VfM評価を活用することで、工事費のみならず施工性・安全性・環境負荷低減といった多面的な観点から工法の総合的な評価が可能となり、プレキャスト工法の導入が現場にとって合理的な選択であることが定量的に示された。

こうした総合評価の視点は、今後の港湾整備における工法選定の在り方において、ますます重要性を増すものと考えられる。引き続き、施工条件に応じた最適な工法の選定とともに、構造的な信頼性を確保するための技術的検討を継続し、安全で効率的かつ持続可能な港湾インフラ整備を推進していくことが求められる。

最後に、本取組がプレキャスト工法の有効性を現場レベルで裏付ける一例となり、今後の港湾工事のみならず、国土交通行政全体における施工技術の高度化・標準化に寄与していくことを期待している。

参考文献

- 1) 共和コンクリート工業株式会社：防波堤上部工プレキャスト製品化
- 2) 国土交通省 港湾局：港湾工事におけるプレキャスト工法導入検討マニュアル（試行版）令和5年7月。

国道34号大村諫早拡幅事業における

BIM/CIMの活用について

吉永 夢絆・藤野 貴範・古賀 克久

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

大村諫早拡幅事業は現道拡幅及びバイパスで構成された国道34号の4車線化事業である。現道拡幅部は、現道交通を確保しながらの工事となり施工ヤードが限られ、また幹線道路であるため電柱や地下埋設の通信管路等の支障物が多数存在している。本報告では、困難が想定される区間において工事を円滑に進めるために、設計段階でのBIM/CIMを活用したフロントローディングを行った事例を紹介する。

キーワード BIM/CIM 3次元モデル 現道拡幅事業 フロントローディング

1. はじめに

国道34号は長崎県内を縦貫し、地域の経済・産業・生活を支える重要な幹線道路である。大村諫早拡幅事業（以下、「本事業」と言う。）は、大村市久原から諫早市下大渡野町に至る延長4.4kmの現道拡幅及びバイパスで構成された4車線化事業であり、平成30年4月に新規事業化された。当該事業区間の交通量は1日あたり3.3万台あり、2車線道路としては九州トップクラスの交通量であることから、朝夕の通勤時間帯をはじめ、交通混雑が慢性化している。また、縦断勾配が最大5.9%ある鈴田峠は冬期に凍結しやすく、過去にスタック車両が発生するなど交通安全上の課題も有している。このため、本事業では4車線化による混雑緩和及び鈴田峠付近をトンネルによりバイパス化することで冬期の交通安全性の向上を主な目的としている。（図-1）



図-1 事業概要場所

前述の通り、本事業は現道拡幅に加え、鈴田峠付近をトンネルによりバイパス化するものである。現道拡幅工事は、現道の交通を確保しながら進める必要があるため、工事中に道路の切り回しが必要となる。この際、電柱や架空線、地下埋設物、占用物件等が支障になることが多く、施工ステップの検討が十分にされていない場合は、工事着手後に支障物が明らかになることもあり、突発的な支障物の移設が工程遅延の要因となることもある。

本事業の現道拡幅部についても、施工区域に電柱や架空線があり、また地中には下水管、NTTの通信管路等が埋設されていることから、これらの支障物を予め適切に把握することが、今後工事の円滑な推進に資することになると考え、本事業では設計段階においてBIM/CIMを活用し、施工ステップに応じた道路の切り回し、施工手順を確認し、合わせて支障物の位置を確認することとした。この他、2次元の設計データを3次元モデルで表現することで、平面図と20m毎の横断図、縦断図では見えない部分が「見える化」され、事業用地の不足を予め確認し、対応することができた。

本報告では、本事業を進める上での課題等の詳細を述べつつ、BIM/CIMの活用によるフロントローディングの事例を紹介する。

2. 本事業を進める上での課題

(1) 支障物の把握

本事業は幹線道路の現道拡幅という性質上、道路沿線に数多くの支障物（地下埋設物・電柱・電線・標識・信号照明）が存在している。（図-2）

従来の2次元設計成果である平面図・横断図の情報のみでは上空・地下の支障物と計画の干渉を正確に確認するには限界がある。工事施工中に想定されていない埋設管等の支障物が確認された場合には再設計や工事一部中止のリスクも発生する。そのため、事業用地内および施工範囲付近における支障物の位置や高さ等の情報を把握し、施工ステップごとの工事実施時期を踏まえた移設時期等の検討を行い円滑に工事を進める必要がある。



図-2 現況の支障物

(2) 段階的な施工ステップの検討

本事業のバイパス前後区間の現道拡幅部については、現道より計画の道路高さが高くなるため、段階的な施工ステップが必要となる。（図-3）

また、現道の交通を確保しながら、隣で擁壁を施工することとなるため、限られた範囲内での施工ヤードを検討、施工計画を作成し段階的な施工ステップに応じた支障物の確認を行う必要がある。

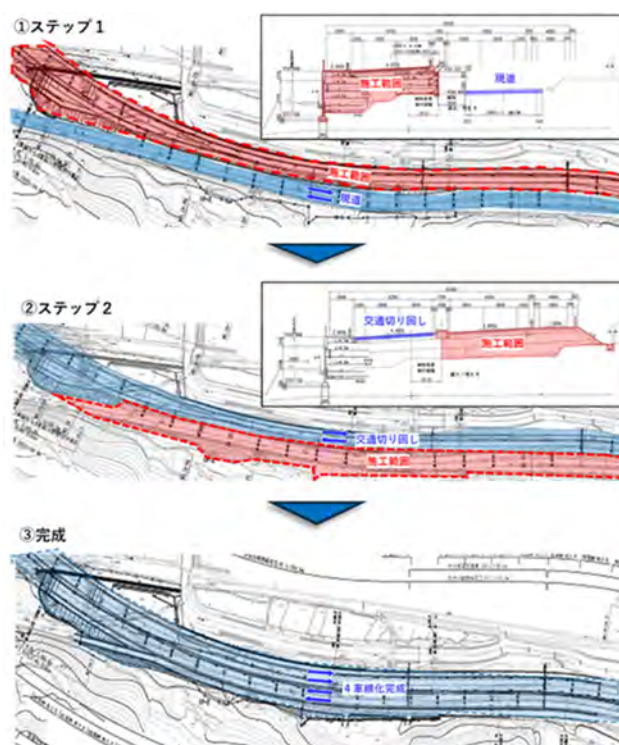


図-3 2次元図面での施工ステップ図

(3) 事業用地の不足

山間部などの複雑な地形の場合は、従来の平面図と横断図では事業用地が十分かどうかを完璧に把握するには限界があり、施工時点で事業用地不足が判明するリスクがある。（図-4）

事業用地不足が確認されると、追加買収もしくは事業用地内に収めるための設計・施工が必要となりコスト増が生じる。

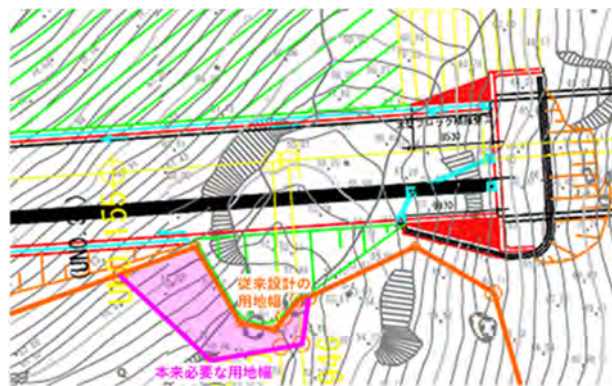


図-4 複雑な地形での事業用地不足の事例

3. BIM/CIMによるフロントローディング

(1) 3次元モデルによる支障物の確認

MMS（注釈1）やUAV測量によって得られる3次元点群データおよび埋設物台帳の情報の設計データを用いて支障物（電柱・電線・信号・標識・マンホール）を含めた現況の3次元モデルを作成した。

従来の2次元設計データでは管路部の位置や高さは把握できるものの、埋設物が施工中どのように支障になるかを把握することは2次元のデータでは限界があるため、地下埋設物のモデル作成にあたっては、埋設物が道路計画とどのように干渉するのか明確にするために、特殊システム(注釈2)を使用し、埋設物のモデル化を行った。(図-5)

従来の2次元設計時の計画では電柱移設をした後拡幅区間に盛土、擁壁設置をしようとしていたが、3次元照査の結果、暫定供用時の擁壁と埋設物（マンホール）が干渉することが設計段階で確認でき、干渉の有無や、移設時期を踏まえた施工手順などが明確となった。

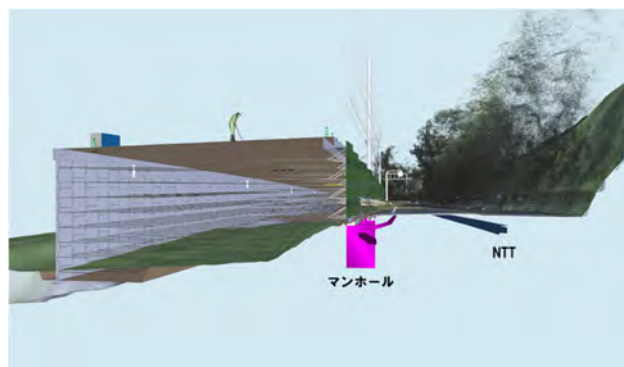


図-5 計画と埋設管の干渉確認

また、3次元モデルを作成することで、支障物の影響などがわかりやすく「見える化」できたため、支障物の移設協議にも有効な資料作成が可能となった。

(2) 3次元モデルによる施工ステップの検討

現道交通を供用しながら拡幅部を施工する際、現道と近接する施工ヤードの計画をするにあたり3次元モデルを活用することで、近接施工の妥当性を精

査することが可能となる。施工ヤードの検討や工事用道路計画では、TREND-COREソフト（注釈3）を利用し、平面図や横断図を元に3Dモデルを迅速かつ正確に作成できるため、施工時に条件が変化しても臨機応変に対応ができ、簡易的に工事用道路のルートや縦断勾配のチェックすることができる。また、3次元に時間軸を足したモデルを作成することで、施工の移り変わりを表現することで、施工ステップを詳細に検討でき、施工計画を効率化・省力化することが可能である。(図-6) (図-7)



図-6 施工計画をモデル化

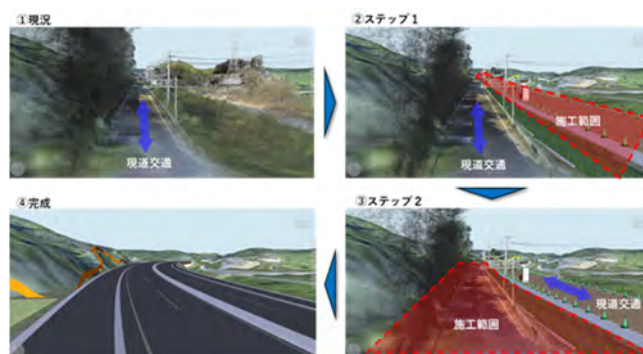


図-7 3次元モデルによる施工ステップ

また、警察や関係機関、地域住民などに工事の進捗を説明していく必要がある場合は、前述した3次元に時間軸を足したモデルや施工ステップ毎のドライバー目線での走行シミュレーションを活用することで、近接工事の作業のイメージを把握することが可能となり、従来と同等な走行ができるのか（信号や対向車の視認性）を確認することができるため、工事の進捗説明や、外部協議で合意形成を図るうえで有効な資料となる。(図-8)



図-8 走行シミュレーションの様子

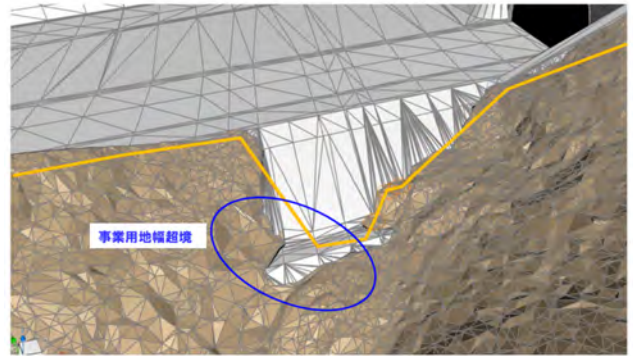


図-10 事業用地の把握

(3) 3次元モデルによる事業用地の確認

地形モデルの作成にあたり MMS、地上3次元レーザーや UAV レーザーなどによる3次元測量が有効であるが、山間部では樹木や下草が繁茂しているため、通常の機器では正確なデータが取得できない場合がある。今回は、高機能 UAV レーザーの使用により精度の高い地形モデル（グラウンドデータ）の作成が可能となった。（図-9）



図-9 高性能レーザースキャナ UAV

鈴田峠付近の勾配が大きい複雑な地形に対応した正確な法面展開を、精度の高い3次元地形データを元に作成すると、必要な事業用地を正確に確認することができた。2次元設計では精度に限界があるが、3次元モデルの作成により、施工時に発覚したであろう課題を設計時にフロントローディングでき課題の「見える化」も可能となるため、従来の2次元図面より視覚的に分かりやすく課題を共有できる。（図-10）

また、3次元測量技術を活用することで、測量成果作成の時間が大幅に削減でき、従来よりも高品質な成果作成が可能となる。今回の BIM/CIM を従来の平板測量や路線測量を実施した場合と、3次元測量を実施した場合を比較した。従来方法に比べ約8割の人工削減が可能となり作業効率も向上することができた。（図-11）

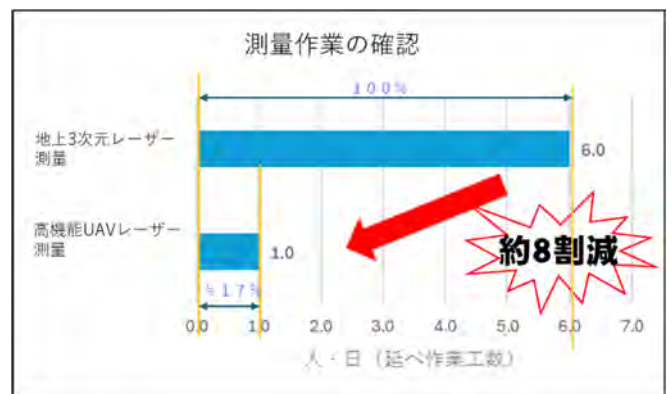


図-11 作業量削減グラフ

4. まとめ・今後の展開

本報告では、事業を推進する上で課題となる事項に対し、設計段階で BIM/CIM を活用してフロントローディングすることにより得られる効果を述べた。

本事業では、今後、現道の橋梁架設やそれに伴う現道切回しにおいて、施工ステップを踏まえた検討が必要となるため、BIM/CIM モデルを活用することで、実現性のある施工ステップ毎の施工計画が期待できる。

さらに、本事業は今年度に工事着工する予定であり、工事着工にあたっては地元説明等も必要になる。作成したモデルを積極的に活用し、地元の方や、関係機関協議の合意形成等を円滑に進める予定である。

今回初めて BIM/CIM 活用に携わり、2 次元の図面ではわかりにくい部分を 3 次元モデルにすることで「見える化」ができ、図面を見慣れていない新規採用職員や、地域住民の方たちなども理解しやすくなると考えた。

一方で、BIM/CIM の活用は有効なものということは理解できたが、土木業界で推進していくためには、主に 3 つの課題があると考えた。1 つ目は、3 次元モデルのデータが重いこと。解決策として、コンサルタント等の打合せで事前に要求するデータを必要以上に求めるのではなく、必要最小限で作成するように指標から選択し、指示することでデータが軽くなると考える。2 つ目は、BIM/CIM 活用する際のコストが大きいこと。BIM/CIM を活用することでコストが大きくなり、導入に抵抗があるが、設計の段階からフロントローディングが可能となり、設計・工事の手戻りを減らすことができ、全体（設計・施工・管理等）のコスト縮減に繋がると考えられ、もっと全体のコスト縮減ができるということを定量化し、PR していくことが必要だと考える。3 つ目は、発注者に操作方法が身についておらず、納品後のデータ利用が難しいあることである。対策として、システム操作のマニュアル作成、講習会や研修の実施をすることで操作ができるようになり、受発注者間で良い連携ができると考える。

これらの課題を解決していくことによって、現在よりも BIM/CIM を身近に操作できるようになり、更に BIM/CIM の普及が進んでいくと考える。

今回の取り組み結果も踏まえ、コンサルタントなどと共に引き続き BIM/CIM の普及向上に向け、取り組んで参りたい。

レーザースキャナ・IMU・GNSS 受信機を含む測量機器。3 次元レーザ計測機とデジタルカメラによって、道路面および道路周辺の 3 次元座標データと連続カラー画像を取得する車両搭載型測量システム。

（注釈 2）「MAISETU__Kit」・・・CAD ソフトの機能拡張システム

（注釈 3）TREND-CORE ソフト・・・発注図の取り込みから 3D モデルの作成、点群データの活用など幅広い機能を持っている。

（注釈 4）道路・鉄道・区画整理・土地開発などの 3 次元計画モデルを作成できる。

（注釈 1）Mobile Mapping System・・・車両に 3 次元