

令和 7 年度
国土交通省 国土技術研究会

概要論文集
～イノベーション部門Ⅱ～

研究会 1 日目（11月27日（木））：B会場
16:00～18:15

研究会 2 日目（11月28日（金））：B会場
9:45～12:00

A会場						
部門	セッション	発表 順序	課題 区分	発表時間	課題名	発表者所属 発表者名
一般部門 (安全・安心Ⅰ)	A1	1	審査 課題	9:45～10:00	大沼トンネル避難坑の施工についてー熱水変質を受けた低強度地山と多量湧水への対応ー	北海道開発局 港湾空港部 港湾計画課 宮澤 駿
		2		10:00～10:15	流域治水認知拡大のための住民参加型出前講座の取り組みについて	東北地方整備局 仙台河川国道事務所 流域治水課 三原 魁人
		3		10:15～10:30	地質リスクを考慮した道路災害復旧案の検討について	近畿地方整備局 奈良国道事務所 奈良南部災害復旧対策出張所 冷水 孝太郎
		4		10:30～10:45	橋橋上部工点検用ROV/ASVとその運用支援技術の開発	国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所 港湾空港技術研究所 インフラDX研究領域 メタロボティクス研究グループ 田中 敏成
	A2	5	審査 課題	11:00～11:15	メンテナンスに優れた橋梁伸縮装置の研究開発について	福井県 産業労働部 工業技術センター 建設技術研究部 林 泰正
		6		11:15～11:30	オーバーツーリズム渋滞に対する社会実験の試行及び対策工の効果	山梨県 企業局 早川水系発電管理事務所 中沢 翔太
		7		11:30～11:45	地区全体を対象とした耐震改修による復興枠組みの提案～BBBから改修中心へ～	国立研究開発法人 建築研究所 所付 片山 耕治
		8		11:45～12:00	九州地方整備局管内の道路橋定期点検結果(1・2巡目)を踏まえたメンテナンスサイクルの留意点	九州地方整備局 九州道路メンテナンスセンター 萩原 頼徳
	A3	9	審査 課題	13:00～13:15	木下川排水機場の耐震化について	東京都 建設局 江東治水事務所 特定施設建設課 福永 龍佑
		10		13:15～13:30	解釈可能AIを用いた木造建築物多目的最適設計に向けた基礎的研究	国立研究開発法人 建築研究所 材料研究グループ 難波 宗功
		11		13:30～13:45	氾濫シナリオ別水害ハザード指標分布を用いた地域の脆弱性評価に関する研究	国土技術政策総合研究所 河川研究部 水害研究室 大野 純暉
		12		13:45～14:00	無信号横断歩道における歩行者及び車両の挙動分析と対策の方向性	四国地方整備局 道路部 道路計画課 三島 晃平
		13		14:00～14:15	【SBIR建設技術研究開発助成制度成果報告】 ICTによる潜水士の労働負荷の実態把握と労務最適化による生産性向上に関する実証研究	星薬科大学 児玉耕太 藤山遼行
	A4	14	審査 課題	14:30～14:45	小開口付き面材耐力壁のせん断性能に関する研究	国土技術政策総合研究所 建築研究部 材料・部材基準研究室 酒井 優太
		15		14:45～15:00	吉野川水系における流域治水の自分事化に向けた取り組み ～洪水と水害の「勘どころ」作成～	四国地方整備局 徳島河川国道事務所 流域治水課 高野 稜馬
		16		15:00～15:15	恵那市街地の水害軽減に向けた取り組み ～阿木川ダム下流残流域の流出特性～	独立行政法人水資源機構 木曽川上流ダム総合管理所 管理課 向井 健朗
		17		15:15～15:30	旭川水系における既存ストックの有効活用検証	中国地方整備局 岡山河川事務所 開発調査課 福井 文菜
		18		15:30～15:45	【SBIR建設技術研究開発助成制度成果報告】 液化炭酸ガスと3次元曲リポーリングを組み合わせた地盤凍結システムの高度化に関する研究	ケミカルグラウト株式会社 相馬 啓

A会場						
部門	セッション	発表 順序	課題 区分	発表時間	課題名	発表者所属 発表者名
一般部門 (安全・安心Ⅱ)	A5	1	審査 課題	16:00～16:15	弘川流域(水防災)緊急対応タイムラインの取組 ～水害の教訓から流域が一体となった防災対応を目指して～	四国地方整備局 大洲河川国道事務所 工務第一課 北島 瑛介
		2		16:15～16:30	寺内ダム再生事業 非常用洪水吐きゲート設備の改造	独立行政法人水資源機構 筑後川上流総合管理所 設備課 徳田 克也
		3		16:30～16:45	模型やボードゲーム活用 の体験型学習による地域防災力向上の取組について	長野県 安曇野建設事務所 整備課 手塚 凱斗
		4		16:45～17:00	大谷トンネルの被災状況と応急復旧について	北陸地方整備局 能登復興事務所 工務第三課 高井 静也
	A6	5	審査 課題	17:15～17:30	4脚4輪走行式油圧ショベルによる能登半島地震被災現場対応について	国土技術政策総合研究所 社会資本マネジメント研究センター 社会資本施工高度化研究室 矢野 祥吾
		6		17:30～17:45	室内試験と実橋応力計測に基づく床版の土砂化進展予測に関するケーススタディ	寒地土木研究所 寒地基礎技術研究グループ 寒地構造チーム 角間 恒
		7		17:45～18:00	3D都市モデル(PLATEAU)を活用した“動く”水害リスク情報による水災害の自分事化	北陸地方整備局 信濃川河川事務所 流域治水課 下村 魁晟
		8		18:00～18:15	ETC2.0を用いた渋滞情報提供の精度向上に関する取組	本州四国連絡高速道路株式会社 本州保全部 電気通信課 入江 桃子

SBIR建設技術開発助成制度とは

国や地域の諸課題(地球温暖化、社会インフラの老朽化、少子高齢化等)の解決に資するための技術開発テーマを国土交通省が示し、そのテーマに対し民間企業や大学等の先駆的な技術開発提案を公募し、優れた技術開発を選抜し助成する競争的資金制度です。
令和6年度に実施された研究開発等の成果について報告します。

B会場						
部門	セッション	発表 順序	課題 区分	発表時間	課題名	発表者所属 発表者名
イノベ ーション部門 Ⅰ	B1	1	審査 課題	9:45～10:00	除雪支援システムについて	岩手県盛岡広域振興局土木部 岩手土木センター 道路河川整備課 菊地 和久
		2		10:00～10:15	工事監督業務における生成AIの活用検討について	滋賀県 南部土木事務所 道路計画第二課 太田 宏生
		3		10:15～10:30	屋内無線LANの整備とデータ通信の高速化の検討	関東地方整備局 関東技術事務所 品質調査課 渡部 大輔
		4		10:30～10:45	SLAM技術を活用した効率的な河川管理について	中国地方整備局 岡山河川事務所 管理課 長屋 明里
	B2	5	審査 課題	11:00～11:15	CSGダムにおける規格外フライアッシュの活用について	東北地方整備局 成瀬ダム工事事務所 工事課 小田島 嵩
		6		11:15～11:30	ダム建設現場におけるi-Construction 2.0～足羽川ダムの挑戦～	近畿地方整備局 足羽川ダム工事事務所 糸 純司
		7		11:30～11:45	品川における重層的な制約条件下での国道上空の交通広場デッキの設計について	関東地方整備局 東京国道事務所 交通ターミナル整備課 岩柳 智之
		8		11:45～12:00	松沢川第2砂防堰堤におけるICT施工の取り組み	中部地方整備局 富士砂防事務所 調査課 船橋 良太
	B3	9	審査 課題	13:00～13:15	樋門改築工事におけるBIM/CIM技術の有効活用事例と課題について	北海道開発局 札幌開発建設部 千歳川河川事務所 第2工務課 大塚 康平
		10		13:15～13:30	大崎出張所管内におけるUAVを用いた河川巡視の試行について	東北地方整備局 北上川下流河川事務所 大崎出張所 太田 なお子
		11		13:30～13:45	徳島河川国道事務所における皆で早くお家に帰ろうプロジェクトの取り組み	四国地方整備局 香川河川国道事務所 工務第二課 岡井 大三郎
		12		13:45～14:00	トンネル内面調査の省人化・効率化に向けた実証試験	独立行政法人水資源機構 総合技術センター水路グループ 小林 志歩
		13		14:00～14:15	【SBIR建設技術研究開発助成制度成果報告】 長期保証を見据えた地方建設会社による効率的な路面情報管理技術の構築 —動圈を活用した路面評価手法『路面情報カルテ』の開発—	株式会社 建設IoT研究所 可児 憲生
	B4	14	審査 課題	14:30～14:45	XAI(Explainable AI)による道路附属物点検の高度化 —北大との連携協定に基づくインフラ管理のイノベーション「NORTH-AI/Eye」の推進—	北海道開発局 小樽開発建設部 小樽道路事務所 今西 将也
		15		14:45～15:00	のり面に繁茂した外来種「ヨシスキ」対策について	中部地方整備局 紀勢国道事務所 管理第二課 藤井 秀一郎
		16		15:00～15:15	水中ロボを活用した橋樑式岸壁における効率的な点検手法の検討	四国地方整備局 高松港湾空港技術調査事務所 調査課 中澤 祐飛
		17		15:15～15:30	長大トンネルへの坑内Wi-Fi導入による費用対効果の検証と総括	独立行政法人水資源機構 水路事業部設計課 渡辺 樹也
		18		15:30～15:45	【SBIR建設技術研究開発助成制度成果報告】 GEOTETS工法(土留材引抜同時充填工法)を活用した環境保全技術の開発	株式会社CivilAssist 西 靖彦

B会場						
部門	セッション	発表 順序	課題 区分	発表時間	課題名	発表者所属 発表者名
イノベ ーション部門 Ⅱ	B5	1	審査 課題	16:00～16:15	最先端技術を体験出来る「中国インフラDXセンター」の開設と運営	中国地方整備局 中国技術事務所 品質調査課 小柳 忠史
		2		16:15～16:30	ドローン点群データによる道路施設管理	中部地方整備局 静岡国道事務所 管理第二課 加藤 歆大
		3		16:30～16:45	梯川水系における内外水統合型水害リスクマップの検討について	北陸地方整備局 金沢河川国道事務所 流域治水課 徳坂 文音
		4		16:45～17:00	暴風雪・大雪時の災害デジタルアーカイブを用いた道路管理判断支援システムの試作	寒地土木研究所 寒地道路研究グループ 雪氷チーム 原田 裕介
	B6	5	審査 課題	17:15～17:30	徳山ダム・横山ダム連携による水位運用高度化の取組	独立行政法人水資源機構 揖斐川・長良川総合管理所 石黒 順司
		6		17:30～17:45	電子基準点リアルタイム解析システム(REGARD)の役割と発展	国土地理院 測地観測センター 電子基準点課 橋本 蘭未
		7		17:45～18:00	令和6年能登半島地震後の道路橋点検における点検支援技術の試行と検証	国立研究開発法人 土木研究所 構造物メンテナンス研究センター 小林 巧
		8		18:00～18:15	空港(土木施設)のBIM/CIMの取り組みについて	国土技術政策総合研究所 空港研究部 空港施エシステム室 久保田 卓

C会場						
部門	セッション	発表 順序	課題 区分	発表時間	課題名	発表者所属 発表者名
一般部門 (活力)	C1	1		9:45～10:00	道路空間を活用したEV路上カーシェアリング社会実験における効果検証 (中間報告)	近畿地方整備局 浪速国道事務所 計画課 中世古 蓮汰
		2	審査 課題	10:15～10:30	効果的な合意形成を目指して ～BIM活用の検証と営繕事業の円滑化～	関東地方整備局 営繕部 整備課 小野塚 裕
		3		10:30～10:45	全国都市交通特性調査データを活用したアクティビティ・ベースド・シミュ レータ(ABS)の開発と活用	国土技術政策総合研究所 都市研究部 都市施設研究室 小笠原 裕光
		4	報告 課題	10:45～11:00	【SBIR建設技術研究開発助成制度成果報告】 カーボンニュートラルに資する火山ガラス微粉末コンクリートの実用化研 究	金沢工業大学 工学部 環境土木工学科 花岡 大伸
	C2	5		11:00～11:15	歴まち都市への誘客に向けた観光連携事業～歴史と観光をつなぐ2つの 要素～	中部地方整備局 建政部 計画管理課 深谷 有沙
		6	審査 課題	11:15～11:30	縦型密閉発酵槽を用いた下水汚泥の肥料化、エネルギー化技術実証と導 入効果検討	国土技術政策総合研究所 上下水道研究部 下水処理研究室 青葉 隆仁
		7		11:30～11:45	企業のリクルート活動に着目した産官学協同の渋滞緩和プロジェクト松江 Good Morning Projectについて	中国地方整備局 松江国道事務所 計画課 桃住 蓮太
		8	報告 課題	11:45～12:00	【SBIR建設技術研究開発助成制度成果報告】 非構造部材を含めたBIMからFEMへの汎用変換システムの開発と検証	東京大学 浅井 竜也
	C3	9		13:00～13:15	次世代自動車の普及を見据えた走行時の二酸化炭素排出係数の試算	国土技術政策総合研究所 道路交通研究部 道路環境研究室 根津 佳樹
		10		13:15～13:30	マンション等を対象とした外装仕上材の劣化度判定支援AIの開発	国立研究開発法人 建築研究所 材料研究グループ 中田 清史
		11	審査 課題	13:30～13:45	国道41号名濃バイパス6車線化による整備効果	中部地方整備局 愛知国道事務所 計画課 澤 圭斗
		12		13:45～14:00	九州初の「道路シールドトンネルの中間報告(市街地部を通過)」 ～鹿児島3号東西道路シールドトンネル(下り線)新設工事～	九州地方整備局 鹿児島国道事務所 工務課 樋口 昌宏
		13	報告 課題	14:00～14:15	【SBIR建設技術研究開発助成制度成果報告】 木材入りCFT部材の開発とその実用化	長崎大学 中原浩之

C会場						
部門	セッション	発表 順序	課題 区分	発表時間	課題名	発表者所属 発表者名
アカウント ビリティ部 門	C4	1		14:30～14:45	アイヌ文化振興に資する河川整備の取組～北海道特有の観光地域づくり を目指して～	北海道開発局 札幌開発建設部 夕張川ダム総合管理事務所 管理課 橋本 武幸
		2	審査 課題	14:45～15:00	地域や観光に配慮した公共工事 ～建設業における「おもてなし」の心～	山形県村山総合支庁 建設部 西村山道路計画課 小山 祐伍
		3		15:00～15:15	都市河川における不法投棄Oをめざした多面的なソフト対策について ～事務所と出張所 1年間の奮闘～	近畿地方整備局 淀川河川事務所 福島出張所 伊豆野 史皇子
		4		15:15～15:30	災害に立ち向かう「空の眼」九州地整UAV登録講習機関設立と挑戦	九州地方整備局 九州技術事務所 総務課 山本 伸也
		5	報告 課題	15:30～15:45	【SBIR建設技術研究開発助成制度成果報告】 職人と小型ロボットが協働する新しい湿式施工法の開発	京都工芸繊維大学デザイン・建築学系 村本真
	C5	6		16:00～16:15	留萌地域における「ほっかいどう学」の実践と今後の展望―留萌地域のみ ち学習―	北海道開発局 留萌開発建設部 道路計画課 堀田 孝也
		7	審査 課題	16:15～16:30	首里城正殿の「見せる復興」 ～今しか見られない復元現場のPR～	沖縄総合事務局 国営沖縄記念公園事務所 首里出張所 内間 安朗
		8		16:30～16:45	「おかくぼっけえ教え隊！」の活動報告	中国地方整備局 岡山国道事務所 交通対策課 西海 こころ
		9	報告 課題	16:45～17:00	【SBIR建設技術研究開発助成制度成果報告】 「改良前後の地盤の耐震性能評価ができる原位直繰返しプレッシャー メータ試験の実用化」	川崎地質(株) 風間 基樹
	C6	10		17:15～17:30	白川ダムのオープン化と地域の活性化	東北地方整備局 最上川ダム統合管理事務所 白川ダム管理支所 相馬 宏丞
		11	審査 課題	17:30～17:45	建設産業の魅力向上に向けたインフルエンサーとの協働 ～オフィシャル広報パートナー制度～	四国地方整備局 企画部 企画課 高橋 加奈子
		12		17:45～18:00	「苦情」から「協力」へ！～VSPを活用した地域連携～	関東地方整備局 宇都宮国道事務所 管理第一課 三野 将明
		13		18:00～18:15	3次元モデルを用いた用地境界立会いについて	長野県 建設部 河川課 諏訪 有祐

A会場							
部門	セッション	発表 順序	課題 区分	発表時間	課題名	発表者所属	発表者名
一般部門 (安全・安心Ⅱ)	A7	9		9:45～10:00	大規模災害を想定した関係機関との合同訓練	九州地方整備局 宮崎河川国道事務所 防災課	西 晃希
		10	審査 課題	10:00～10:15	山岳トンネルの変状の診断精度向上に向けた施工時情報の活用と引継ぎ	国立研究開発法人土木研究所 道路技術研究グループ(トンネル)	菊地 浩貴
		11		10:15～10:30	長時間(168時間)運転可能な簡易型非常用発電装置について	沖縄総合事務局 南部国道事務所 防災情報課	内間 航一郎
	12	報告 課題	10:30～10:45	【SBIR建設技術研究開発助成制度成果報告】 自治体間で円滑に横展開可能な共同利用型の地域デジタルツインの開発	一般社団法人 社会基盤情報流通推進協議会	関本 義秀	
	A8	13		11:00～11:15	名古屋国道管内初！スムーズ横断歩道の整備とその効果	中部地方整備局 名古屋国道事務所 交通対策課	堤 悠大
		14	審査 課題	11:15～11:30	サザンゲートブリッジRC床板における詳細調査および補修方法の検討について	沖縄総合事務局 石垣港湾事務所 工務課	後上里 友晴
		15		11:30～11:45	災害リスク情報を企業活用へ～白川水害リスクマップ公表の取り組みと活用事例～	九州地方整備局 熊本河川国道事務所 流域治水課	齊木 愛菜
		16	報告 課題	11:45～12:00	【SBIR建設技術研究開発助成制度成果報告】 建物のライフサイクルマネジメントを目的とした3次元点群データを用いたBIMデータ自動構築システムの開発	株式会社エリジオン	渡辺友彦

A会場							
部門	セッション	発表 順序	課題 区分	発表時間	課題名	発表者所属	発表者名
各局等 提案課題	A9	1		13:00～13:30	日本の現場力、世界へ。～ウクライナ復興に挑む遠隔施工～	国土交通省 大臣官房 参事官(イノベーション)グループ 国土交通省 総合政策局 海外プロジェクト推進課	中根 亨 松尾 健二
		2		13:30～14:00	PODIに基づく縮約モデルの適用とそのAIC の提案 ―重力式岸壁の2D地震応答解析への適用性評価―	港湾空港技術研究所 地震防災研究領域 地震動研究グループ	福永 勇介

B会場							
部門	セッション	発表 順序	課題 区分	発表時間	課題名	発表者所属	発表者名
イノベーション部門Ⅱ	B7	9		9:45～10:00	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	久留米市 環境部 施設課	鹿田 大貴
		10		10:00～10:15	地図作成における高分解能光学衛星画像の利用可能性	国土地理院 基本図情報部 地図情報技術開発室	神山 優恵
		11	審査課題	10:15～10:30	UAV自律飛行を活用した手取川流域における砂防施設等の点検手法の構築	北陸地方整備局 金沢河川国道事務所 流域対策課	中野 光
		12		10:30～10:45	主ケーブル外装モニタリングシステムの開発	本四高速道路ブリッジエンジニア株式会社 技術事業本部 技術開発部 技術3課	大淵 慶大
	B8	13		11:00～11:15	AI技術を用いたCo吹付法面及び橋梁の健全度診断に関する技術手法について	北陸地方整備局 能登復興事務所 計画課	長谷部 佑太
		14		11:15～11:30	「だいち4号」を活用した地殻・地盤変動監視と地盤沈下調査への活用に向けた取組	国土地理院 測地部 宇宙測地課	室山 怜太郎
		15	審査課題	11:30～11:45	沖縄管内における物流推進の検討	沖縄総合事務局 開発建設部 港湾計画課	山田 廉太郎
		16		11:45～12:00	床版コンクリート耐久性確保の取り組み～施工現場と取り組み内容の紹介～	東北地方整備局 岩手河川国道事務所 工務第二課	瀬倉 英

B会場							
部門	セッション	発表 順序	課題 区分	発表時間	課題名	発表者所属	発表者名
各局等 提案課題	B9	3		13:00～13:30	下水道等に起因する大規模な道路陥没事故を踏まえた管路マネジメントの動向や方向性等について	国土交通省（上下水道審議官グループ）大臣官房参事官（上下水道技術）付	辻 亮水
		4		13:30～14:00	群マネ、知ってる？新たなヒーローは動いている	国土交通省 総合政策局 公共事業企画調整課	伊藤 瑞基

D会場	
15:00～16:00	【特別講演】 早稲田大学教授 土木学会第112代会長 佐々木 葉 様 「インフラの広がりと風景」
16:05～16:35	【表彰式】
16:35～16:50	受賞者記念撮影

最先端技術を体験出来る 「中国インフラDXセンター」の開設と運営

小柳 忠史¹・舩迫 和弘¹

¹中国技術事務所 品質調査課 (〒736-0082 広島県広島市安芸区船越南 2-8-1)。

中国地方整備局の『中国インフラDXセンター』は令和5年7月から暫定運用を開始し、令和6年12月18日に本格運用を開始したところである。

本報告では、『中国インフラDXセンター』の役割と構成施設、DX体験メニューの内容、運用の方法、現在までの体験状況、今後の取り組み予定等について報告するものである。

キーワード インフラDX, DXセンター, DX体験, i-Construction2.0

1. はじめに

今後20年間で生産年齢人口が2割減少すると見込まれるなか、頻発化する災害などを受け建設業のニーズは高まる状況である。この状況を受け、建設現場の省人化や安全で快適な環境確保を図るため、国土交通省は『i-Construction2.0』の施策を打ち出したところである。

中国技術事務所では、この施策をより推進するため、先進的なデジタル技術の体験から技術習得までを目標に掲げた研修・講習会等による人材育成、広報などDX技術の拠点として、中国技術事務所内に『中国インフラDXセンター』（以降、『DXセンター』という）を開設した。

2. DXセンターの目的・役割

『DXセンター』は、インフラ分野のDX技術に関する『広報』『体験』『育成』を行う施設である。

自治体の職員やインフラ関連企業の関係者に対し、最新のDX技術を実際に体感・体験してもらうことで、業務の効率化や、災害対応、建設現場での活用を促進することを目的としている。

(図-1)



図-1 中国インフラDXセンターの役割

3. 暫定運用を経て本格運用へ

『DXセンター』は、中国技術事務所の3階講堂を改装し、令和5年7月に暫定運用を開始した。

暫定運用期間中には、約500名の方々に体験会が参加し、得られたニーズや意見・課題等をもとに、本格運用に向けて改良・改善を進めた。(図-2, 3)

約17ヶ月の暫定運用を経て、別棟2階の資料室を改装・設備移設し、令和6年12月18日に開所式を行い、本格運用を開始した。(図-4)

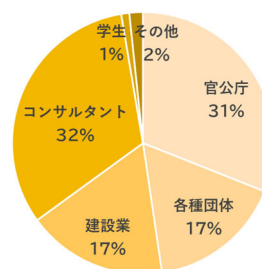


図-2 参加者の属性【暫定運用期間】

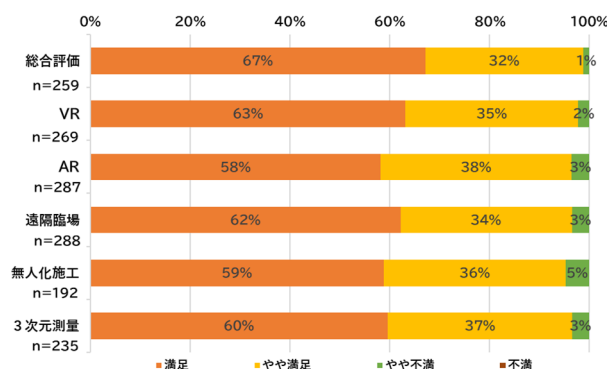


図-3 アンケート結果のまとめ【暫定運用期間】



図-4 開所式

暫定運用期間からの改善・改良点としては、『バックホウシミュレータの導入』や『ICT施工コースの新設』および『タブレットによるAR体験の追加』や『VR体験における新規モデルの追加』等があげられる。これらの改善により、年齢や所属の異なる参加者に対してもより質の高いDX体験を提供できるようになった。

資機材やソフトウェアの選定にあたっては、アンケート結果に基づくニーズ把握、ランニングコストの把握や運営コストの削減・効率化および既存資機材の有効活用を図ることを重視したうえで、各体験の「トップランナー」を目指した構成とした。

4. DX体験コース（一般向け）

『DXセンター』では、行政従事者、学生、一般市民、そして民間建設技術者など幅広い層に向けて『DX体験コース』を提供している。

このコースでは『3次元測量・設計体験』、『AR(拡張現実)体験』、『VR(仮想現実)体験』、『無人化施工体験』、『遠隔臨場体験』の5つのメニューを体験することができる。（図-5）



図-5 DX体験コース（一般向け）の流れ

(1) 3次元測量・設計体験

地上型レーザースキャナやLiDARによる3次元計測体験および3次元設計ソフトを用いて道路の概略計画を比較的短時間で作成できることが体感できる。

また、測量作業の効率化・省力化や設計・施工への3次元データの連携・共有、設計作業における数量算出や工程計画・施工計画等の省力化等について体験することができる。（図-6）



図-6 3次元測量・設計体験

(2) AR(拡張現実)体験

現実の風景の中に計画する構造物の3次元モデルを重ね合わせて、タブレットやARグラスにより完成後のイメージの可視化ができる。（図-7）



図-7 AR体験

(3) VR(仮想現実)体験

VRゴーグルと構造物の3Dモデルデータを用いて、3次元モデルを活用し、完成後のイメージを事業関係者と共有することで、早期の合意形成やトラブル防止につながる。施工の各段階や構造物の可視化による手戻り防止などにより、建設現場でのコストダウンや作業効率アップにつながることを体感できる。（図-8）



図-8 VR体験

(4) 無人化施工体験

近年頻発する、台風や集中豪雨、地震などによる災害現場など、人の立入りができない危険な作業現場に対して、安全な場所に設けた操作室でカメラ映像を見ながらICTバックホウを遠隔操縦する技術を体験できる。

また、ICTバックホウの操作ガイダンスや半自動制御を模擬体験できるなど、全国初の機能を搭載したバックホウシミュレータ（VRシステムオブザイヤー2024受賞）の操作を体験できる。（図-9）

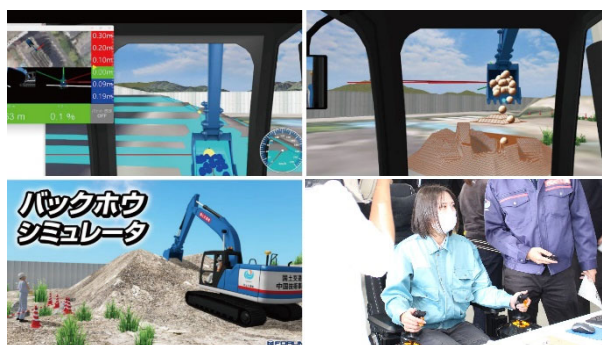


図-9 バックホウシミュレータ操作体験

(5) 遠隔臨場体験

ウェアラブルカメラやタブレットとWeb会議システムを用いて、現場に行かずとも遠隔地から現場のコンクリート構造物の品質・出来形確認や配筋検査等ができる技術を体験できる。

5. ICT施工コース（実務者向け）

『DXセンター』では、『DX体験コース』のほかに『ICT施工コース』を設けている。このコースはICT施工実務者のための体験コースであり、次の体験ができる。

(1) ワンマン測量体験

自動整準と追尾機能を備えた作業員1人での杭打ちが可能なトータルステーションによる測量体験ができる。

(2) 3次元設計体験

取得した3次元地形データ等を基に3DCAD等のソフトウェアを用いた3次元設計が体験出来る。

(3) バックホウシミュレータ体験

操作ガイダンスや半自動制御の模擬体験などの機能を搭載したバックホウシミュレータの操作を体験できる。

(4) 無人化施工体験

安全な場所に設けた操作室でカメラ映像を確認しながらICTバックホウを遠隔操縦する技術を体験できる。

(5) 3次元出来形管理体験

3次元点群処理システムを用いて、設計データと現場で取得した点群データを比較し、出来形の差異を3Dで可視化したり、出来形管理図表を自動作成したりする機能を体験できる。

6. 運営体制

中国技術事務所の『DXセンター』運営における最大の特徴は、体験の講師を技術事務所の職員および期間業務職員自らが行っていることである。

体験講師は通常業務を行いながらとなるため、基本的に開設日は毎週木曜日に限定し、午前と午後の2回を限度としている。また、実際に体験することを重視し1班10名程度を上限としている。

運営には総務課を含む全ての課が参加しており、事務所が丸丸となって取り組んでいる。

(1) PM会議

『DXセンター』の運営に関し、年間4回のPM会議を実施する予定としている。

この会議には、副所長以下運営担当者が出席し、外部からの予約の方法や当日の運営など所内で共有すべき課題を取り上げて、認識の一致を図っている。

令和7年度の第1回会議では、運営ルールの周知、年間スケジュールの確認等を行った。（図-10）

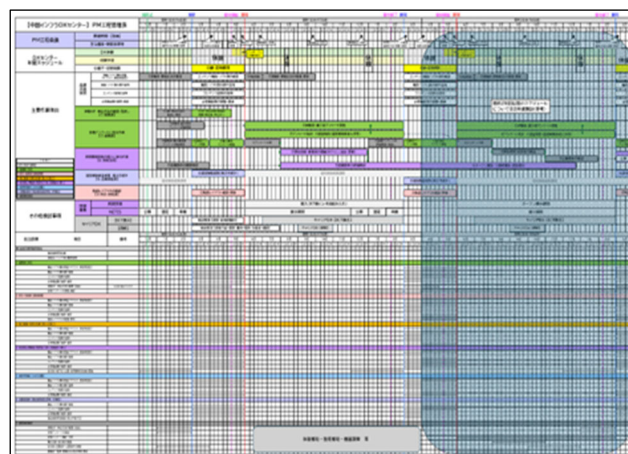


図-10 PM会議の資料（PM工程管理表）

(2) 各体験の講師

先に述べたように、『DXセンター』では大きく5つのメニューを体験することができるが、主に次のような分担としている。（表-1）

各担当内ではできるだけ属人化を避けるため、説明できる職員が複数となるよう体験毎に主な説明担当を入れ替えるなどして力量の向上に努めている。

表-1 『DXセンター』運営体制

NO	内 容	担当者	アテンド・班編成
	イントロダクション	1名	総括技術情報管理官
1	3次元測量・設計体験	2名	維持管理技術課
2	VR体験	2名	新技術L(専調官・監督官)
3	AR体験	2名	総務課
4	無人化施工体験	2名	施工調査・技術活用課
5	遠隔臨場体験	2名	防災・技術課

また、中国技術事務所として運営支援業務を発注しており、職員が対応できない場合などに備えている。

(3) 運営マニュアルの作成

事務所が一丸となって取り組んでいる『DXセンター』の運営であるが、年度が変わると職員の異動が避けられない。

このため、『運営ガイド』を作成している。このガイドには施設運営の目的や基本的な手法等をまとめており、通常の運営にも活用できるよう工夫している。

また、運営ガイドでは保有資材や既往データの有用活用等を通じて運営コストの把握・管理をするためのツールを作成して随時更新しており、担当者の異動に際する引き継ぎ作業の確実な実施と負担軽減に活用する。

7. 現在の運用状況

『DXセンター』は、暫定運用期間に約500名の来場者を得た。

本格運用を迎えてますます活況を呈し、令和7年度は3月18日から予約を開始し、6月5日から稼働を始めたところである。令和7年度（9月末時点）には、予約を含めて約1,400名の来場者を見込んでいる。来場者は暫定運用時に比べ約2倍のペースで増加し、9月2日には来場者1,000人を達成した。（図-11、12）

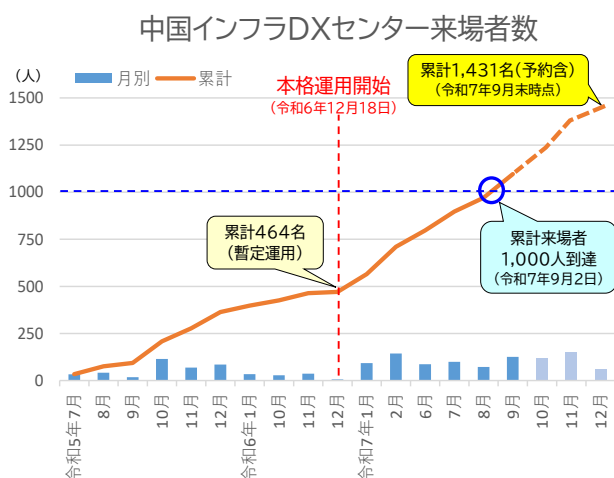


図-11 予約を含む来場者数の推移



図-12 来場者1000人達成時（令和7年9月2日）

8. 最新でありつづけるために

『DXセンター』はまだ本格運用して1年に満たないものの、DX技術は秒進分歩しており、インフラ分野に限らず、各分野において相互に関係しながら、勢いを増し技術の開発が進んでいる。

開発された技術の中からインフラ分野のDXに活用可能な優れた技術を発掘し迅速に導入するには、技術を利用する側のニーズと技術を開発する側のシーズの把握とマッチングが重要となる。

そのため体験者へのアンケート等により意見・要望・感想等を収集・分析することで客観的データに基づく施設改善やコンテンツ改良（EBPM）を行い、体験～導入～開発の各段階における『DX推進サイクル』を回して体験のスパイラルアップを図る。（図-13、14、15）

これらの取り組みに加えて職員を全国的なDXに関する展示会に派遣して最新のトレンドを吸収し、『DXセンター』の運営に反映することにも取り組んでいる。

また、インフラ分野以外の業界や大学などの研究機関、そして他の地方整備局等とも組織を超えて連携することも不可欠である。

これらをもとに、持続的に最先端のDX技術を体験できる施設とするための仕組みづくりを進めたいと考えている。

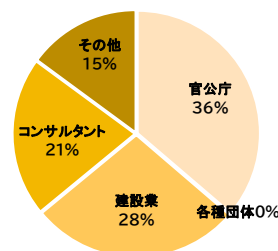


図-13 参加者の属性【本格運用開始後】

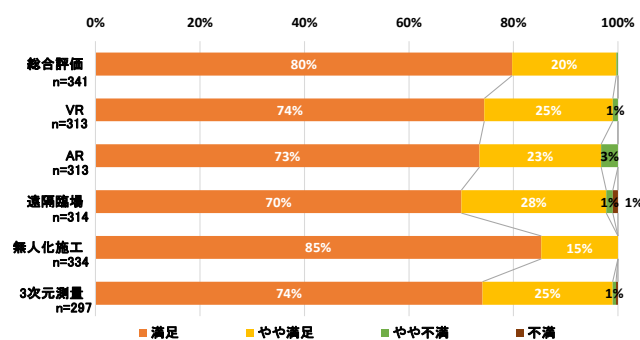


図-14 アンケート結果のまとめ【本格運用開始後】



図-15 『DX推進サイクル』のイメージ

ドローン点群データによる道路施設管理

加藤 歓大¹

¹中部地方整備局 静岡国道事務所 管理第二課 (〒420-0054 静岡県静岡市葵区南安倍2丁目8-1)

静岡国道事務所管内東部地区の構造物点検において、新たに海岸保全施設（防潮堤等）を特定道路土工構造物の海岸隣接区間として点検を行った。本点検では施設前面に設置された消波工においてドローン（以下「UAV」という）を用いた3次元計測を実施することで、作業日数の削減、安全性の向上を図った。3次元計測の手法、計測結果、留意点などについて報告する。

キーワード UAV計測、点群データ、特定道路土工構造物、海岸保全施設、構造物点検

1. 背景

建設業では生産年齢人口の減少や高齢化、災害の激甚化、インフラの老朽化などの様々な課題を抱えている。そこで、国土交通省はi-Construction2.0を推進し、建設現場で働く一人ひとりが生み出す価値を向上し、少ない人数で安全に快適な環境で働くことができる建設現場を実現することを目指している。

本報告では、特定道路土工構造物の海岸隣接区間の点検にUAVを用いた3次元計測を行い、点群データを取得することで、点検作業の効率化と安全確保、及び3次元点群データの活用について検証した。

本検証を踏まえて、今後の点検にUAVを用いる際の有効性、留意点、課題等をまとめた。

2. 点検概要

2023年3月に「道路土工構造物点検要領」¹⁾が改定された。要領には近年の重大被災事例を考慮し、特定道路土工構造物に河川隣接区間が追加されて点検の対象範囲が拡大された。河川隣接区間の盛土又は擁壁については、洗掘等による被災が道路機能に大きな影響を及ぼす事がわかっており、海岸に隣接する擁壁等で波浪による浸食や洗掘の影響が著しい区間も特定土工構造物に準じて点検が必要となる記載が点検要領に追加された。それに伴い、静岡国道管内東部構造物点検業務では国道1号に隣接する海岸保全施設を特定道路土工構造物の海岸隣接区間として新たに点検対象とした。詳細な点検方法は「海岸保全施設維持管理マニュアル」²⁾を参考にした。

本点検の対象範囲として、国道1号に隣接する海岸の管理協定等を確認した結果、「由比海岸」、「興津海岸」のうち道路管理者の管理区分である海岸保

全施設（延長：2099m）とした。図-1に点検対象箇所及びUAVのフライトコース、図-2に施設標準断面図及び調査範囲、図-3に現地写真を示す。

海岸保全施設の点検は、施設の健全度評価、長寿命化計画策定、修繕等に必要な各部材の変状の把握等を目的として実施した。従来は作業員による目視点検及び測量が一般的な手法である。特に、消波工の沈下・消失した後は、表法被覆の劣化が進行し、堤体に空洞が生じるおそれがあるため、点検で把握することが必要である。

従来は陸上および海上からの目視調査、トータルステーションを用いた横断測量が必要であったが、施設前面に設置されている消波ブロックに空隙があり転落の危険性がある事、施設天端に越波防護柵が設置されている事、消波ブロック前面が波打ち際であり船上での作業が難しい等の危険箇所への立ち入りを回避するため、UAVを用いた3次元計測を実施した。

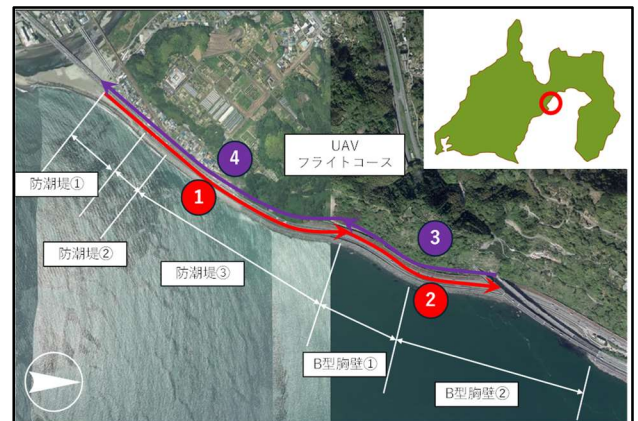
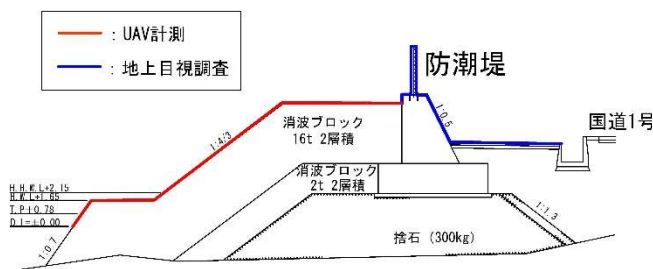


図-1 点検対象箇所



3. UAV計測の手順

UAVを用いた計測の手順を図4、使用した機器の性能を表1に示す。消波工の劣化度（消波工の移動、散乱、沈下等）を把握することのできる計測精度3cmのレーザースキャナを選定した。

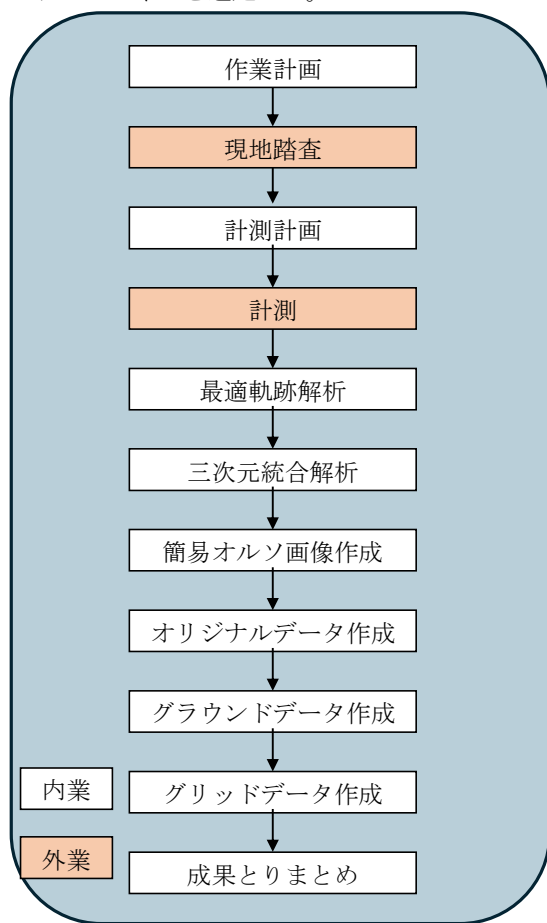


図4 UAV計測フロー図

表-1 UAV及びレーザースキャナの機器性能

項目・名称		諸元
無人航空機 (UAV)	Matrice300RTK	メーカー： DJI
	展開時寸法	810×670×430 (mm)
	重量	3.6kg (バッテリー除く)
	最大飛行時間	45分
レーザー スキャナ (LiDAR)	Surveyer Ultra	メーカー： Yellow Scan
	計測精度	3 (cm)
	最大計測距離	140 (m)
	重量	1.32 (kg)
使用機器 写真		

4. 点検結果および整理について

3次元計測により得られた点群データの一部を図-4、同じ箇所をUAVで撮影した写真を図-5に示す。

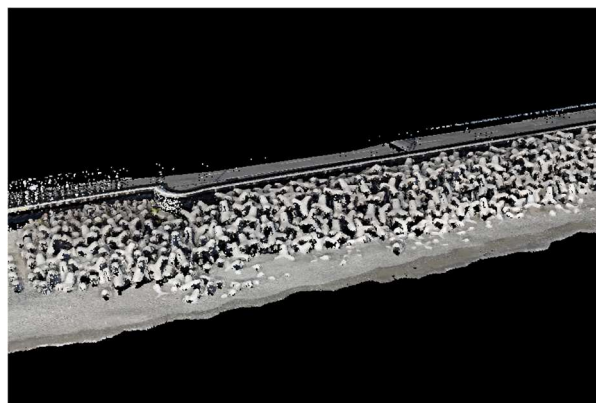


図-5 UAVで撮影した写真

図-6の赤の破線で囲んでいる部分の消波工が極端に減少し、空洞になっていることがわかる。図-7に標準断面図とUAV計測の重ね合わせを示す。標準断面に比べてUAV計測の方が消波工の高さが低くなっている

部分があり、ブロック1層未満の減少があることが確認された。また、防潮堤区間ではこの他にも同程度の沈下が3箇所確認された。

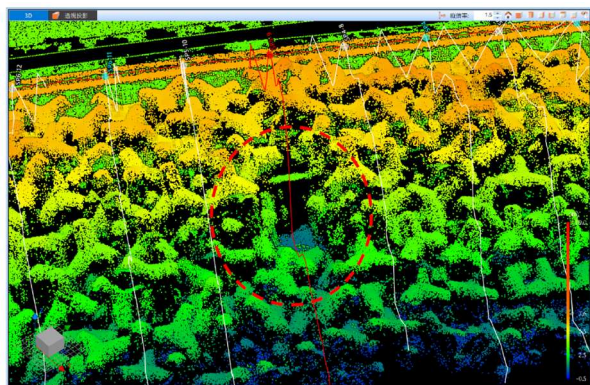


図-6 UAV測量結果による消波工の形状

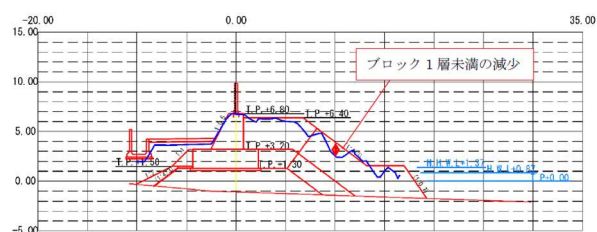


図-7 UAV測量結果による消波工の形状

点検の評価は、「海岸保全施設維持管理マニュアル」²⁾および「港湾の施設の点検診断ガイドライン」³⁾を準用して施設を約10m程度のスパンを区切り、図-8に基づき構造物・スパンごとにa、b、c、dで変状ランクを評価した。次に変状および変状ランクを踏まえて対象施設の健全度をA、B、C、Dランクで評価をした。その後、「道路土工構造物点検要領」に基づきⅠ～Ⅳの4段階の健全性の診断を行い、記録様式に整理した。

健全度の評価について、「海岸保全施設の維持管理マニュアル」、「道路土工構造物点検要領」の双方とも4段階評価となっているが、それぞれ評価の関係は対応していない。本点検で検討した対応関係の模式図を図-9に示す。海岸の基準におけるC、D評価はそれぞれ「要監視段階」、「異常なし」とされ、これは道路の基準におけるⅡ（経過観察段階）、Ⅰ（健全）に相当するものと考えられる。

一方で海岸の基準におけるA、B評価はそれぞれ「措置段階」「予防保全段階」とされるため道路の基準に対応していない。そのため、B評価になった施設のうち、次回点検までの劣化シナリオがある程度予想され、道路土工構造物への影響が少ない施設をⅡ判定（経過観察段階）とし、次回点検までに適切な措置を取る必要がある施設をⅢ判定（早期措置段階）とした。また、A評価のうち、通行止め等の緊急的な対策が必要となるものをⅣ判定（緊急措置段階）

とし、それ以外をⅢ判定（早期措置段階）とした。点検の結果、消波ブロックの移動や沈下はブロック1層を大きく超えるような変状は無く、要対策箇所は4つのスパンに限られることから道路土工構造物に与える影響は限定的と考えられるため、健全度評価はⅡ（経過観察段階）とした。

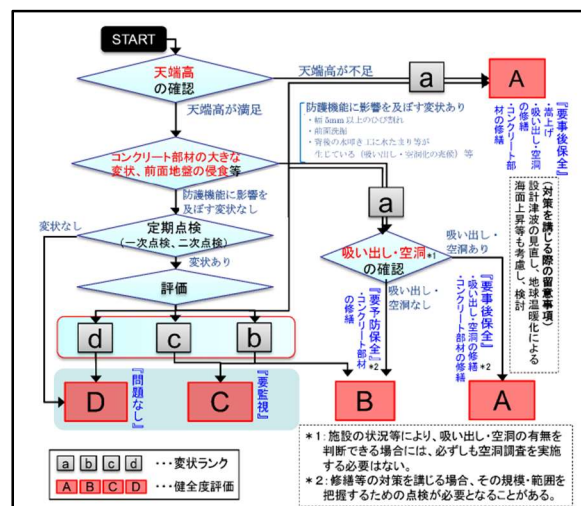


図-8 健全度評価のフロー

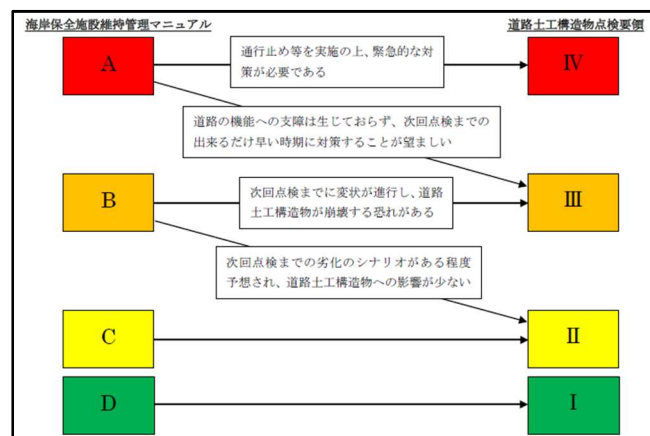


図-9 本点検での健全度評価の考え方

5. UAV計測および点群データ活用の有効性

① UAV計測の有効性について

UAVを用いた3次元計測では、従来の計測方法に比べて大幅に現場作業の時間を減らすことができた。本点検では、船上および護岸擁壁上からの目視、トータルステーションを用いた横断測量をUAV計測に替えることで7日程度の作業を1日に削減することができた。作業日数の削減により、直接人件費で約60%程度のコストダウンを図ることができた。また、人が立ち入ることが難しい現場や、作業員に危険が及ぶような作業の場合でもUAVを用いることで安全に作業を行うことができた。さらに、目視調査や横断測量などの従来の点検方法では点的、線的にしか変状

を把握することができなかったが、3次元計測では面的に変状を把握することができるため、消波工の密度が局所的に低い箇所を特定できるなど、今まで把握しきれなかった変状に対しても評価が可能となった。

②点群データの活用について

静岡県では「VIRTUAL SHIZUOKA³⁾」により3次元点群データをオープンデータとして公開している。本点検で得られた沿岸部の点群データと「VIRTUAL SHIZUOKA」のデータを組み合わせることでより広範囲かつ精度の良いデータを取得することが可能となる。

昨年発生した能登半島地震では、2022年に取得された航空測量と震災後のデータを比較することで、海底地形の隆起や移動を発見している。このように震災前後の点群データを比較することで被害状況を容易に把握することができる。特に沿岸部などの津波被害が想定されるエリアでは詳細な点群データの活用が期待される。

6. UAVを使用する際の留意点および課題

① UAV使用時の申請について

UAVを使用する際は、航空法に基づく飛行許可・承認手続きが必要である。飛行する空域や飛行の方法により手続きは異なるが国土交通省航空局へ飛行許可申請をドローン情報基盤システム（以下「DIPS」という）より申請する必要がある。本点検では飛行する空域は特定飛行に該当しなかったが、飛行の方法において目視外の飛行を行う可能性があったため申請を行った。

また、他の無人航空機との衝突を未然に防ぐために、飛行計画（飛行時間、飛行経路等）をDIPSの飛行計画通報機能より事前に通報する必要がある。これは特定飛行を行わない場合も必要なため実施した。

②UAVの性能について

本点検で使用したUAVの計測精度は3cmであり、消波工の変状を把握するには十分な性能である。しかし、より正確な施設の変状を確認する際には、精度がより高度なUAVを用いる必要がある。

また、本点検では施設のひびわれについては地上目視調査により実施したため、UAVでは実施していない。UAVでひびわれを確認するためには低空（5m程度）で飛行し、画像の解像度を調整することで図-10に示すような幅0.8mmのひびわれを確認することができる⁴⁾。

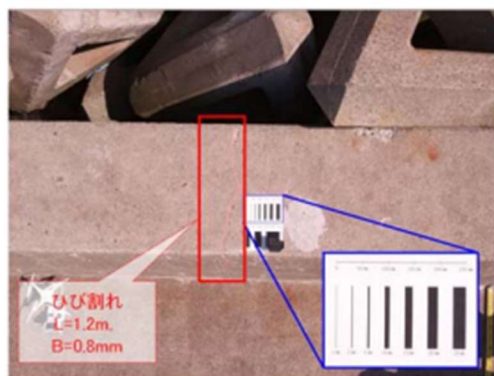


図-10 施設のひび割れ確認例

③気象条件について

UAVを使用する際は風の影響や降雨の影響を考慮し、安全な飛行を心掛ける必要がある。航空局の無人航空機飛行マニュアル⁶⁾では風速5m/s以上ある場合の飛行は禁止されている。実際に現地では飛行前に地上風速を確認するとともに、地上と上空で風の影響が違うことを踏まえて飛行する必要がある。また、山間部、沿岸部等は強風になりやすいため、留意が必要である。

④点群データの取扱いについて

点群データは使用目的に応じて点群処理ソフトを使用し解析・モデリングを行う必要がある。現状、点群データの活用については進歩している一方、処理ソフトの使用方法については普及していない。そのため、点群データ使用の実技講習等を行い、作業熟度を向上させることが今後の課題となる。

7. まとめ

陸上施設と比べて点検や修繕が容易ではない沿岸施設は、適切な状態把握のもとに維持管理を行うことが重要である。今回の海岸施設は沿岸道路を守る道路施設でもあり、健全度評価方法については道路施設としての評価を含めた内容としたがこの評価方法については今後も検討の必要がある。

今回の点検を通じてUAVを用いた計測は、現場の作業時間を大幅に削減することと同時に作業員の安全確保を図ることができた。また、計測結果を積み上げることで、施設ごとの変位やその変状の進行状況を具体的に把握することができる。UAVを用いた点検は海岸保全施設に限らず、ほかの道路施設にも適用することができる。特に今回計測した消波工のように立ち入りが困難な施設について安全かつ効率的に点検を実施することが可能となる。

謝辞：本稿を作成するにあたり、情報提供や助言等多大なご協力を頂きました日本工営（株）並びに関係者の皆様に感謝いたします。

参考文献

- 1) 国土交通省道路局国道・技術課：道路土工構造物点検要領 ,2023年3月
- 2) 国土交通省港湾局海岸・防災課：海岸保全施設維持管理マニュアル ,2020年6月
- 3) 国土交通省港湾局：港湾の施設の点検診断ガイドライン ,2021年3月
- 4) 水産庁漁港漁場整備部整備課：無人航空機（UAV）を活用した水産基盤施設の点検の手引き ,2019年3月
- 5) 静岡県交通基盤部政策管理局建設政策課：VIRTUAL SHIZUOKA, <https://virtualshizuokaproject.my.canva.site/>
- 6) 国土交通省航空局：無人航空機飛行マニュアル, 2025年3月31日

梯川水系における内外水統合型 水害リスクマップの検討について

徳坂 文音¹・福嶋 祐樹¹・北村 秀之¹

¹北陸地方整備局 金沢河川国道事務所 流域治水課 (〒920-8648 石川県金沢市西念4丁目23番5号)

流域治水の取組を推進するため、梯川では、比較的発生頻度が高い複数の降雨規模毎に浸水範囲と浸水深を図示した「多段階浸水想定図」と、それらを重ね合わせて浸水範囲と浸水頻度の関係を図示した「水害リスクマップ」を作成・公表している。しかし、現在は外水氾濫のみを考慮したモデルであり、内水氾濫のメカニズムをモデル化できていないため、主要河川以外の支川や下水道からの氾濫を考慮する氾濫モデルを構築し、内外水統合型の水害リスクマップを作成する必要がある。今回、2022年8月豪雨にて甚大な被害が生じた梯川水系における内外水統合型水害リスクマップの検討について報告する。

キーワード 流域治水、多段階浸水想定図、内外水統合型水害リスクマップ、内水氾濫

1. はじめに

(1) リスクマップの経緯

「リスクマップ」とは、災害に伴う被害の程度や可能性を地図上に示したものであり、関係機関や住民が災害リスクを的確に把握し、防災体制の構築や適切な避難行動を行ううえでとても重要なツールである。

近年は、気候変動の影響による水災害の激甚化・頻発化を踏まえ、水害リスクの増加に対応するため、上流から下流にわたる流域全体のあらゆる関係者が、協働してハード・ソフトの治水対策を行う「流域治水」が推進されている。

一方で、国や県において、河川管理者毎に公表している洪水浸水想定区域図は、想定最大規模の大雨による洪水が起きた場合、河川から水が溢れる外水氾濫による浸水深を示している。これは、最悪の事態を想定した、命を守るための避難計画の検討には有効であるが、浸水の生じやすさや発生頻度が示されておらず、早期の避難判断、まちづくりや住まい方の工夫、企業の立地選択、BCP（事業継続計画）の作成等には使いづらいという課題があった。

以上を踏まえ、全国の河川において、比較的発生頻度が高い降雨規模に対する浸水範囲や浸水深を算定し、浸水の生じやすさや発生頻度を面的に示す「多段階の浸水想定図及び水害リスクマップ」が検討された。梯川水系については、2022年12月に追加で公表した。

(2) 現況水害リスクマップの課題

この「多段階の浸水想定図及び水害リスクマップ」は、梯川の大谷管理区間からの氾濫のみを対象としており、流域内の支川からの氾濫や下水道等の排水先となる河川水位が排水能力に及ぼす影響は考慮されていない。

そのため、梯川本川の水位上昇に伴う外水氾濫による危険性は把握できる一方で、局地的な降雨による支川からの溢水や下水道等の排水能力を超える内水氾濫といった身近なリスクは十分に評価できない。

また、従来は河川管理者毎に個別に浸水域を設定しており、重複する地域における浸水リスクが明確でなく、流域全体のリスク把握が困難となっている。

以上のことから、外水氾濫と内水氾濫による地域の浸水リスクを一体的に評価出来る内外水統合型氾濫解析モデルを構築し、国や石川県、自治体といった河川等管理者による区分けを意識せず、より実態に即した解析結果を表示できる「内外水統合型水害リスクマップ」の作成が必要とされている。

2. 梯川流域の概要

梯川は、その源を石川県小松市の鈴ヶ岳（標高1,175 m）に発し、郷谷川、鍋谷川等の支川を合流しながら小松市を流れ、河口付近で前川と合流して日本海に注ぐ流域面積271 km²、幹川流路延長42 kmの一級河川である。

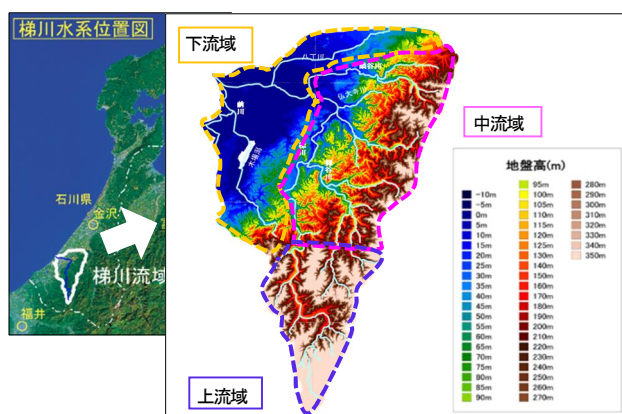


図-1 梯川流域の位置図(左)と流域地盤高コンター図(右)

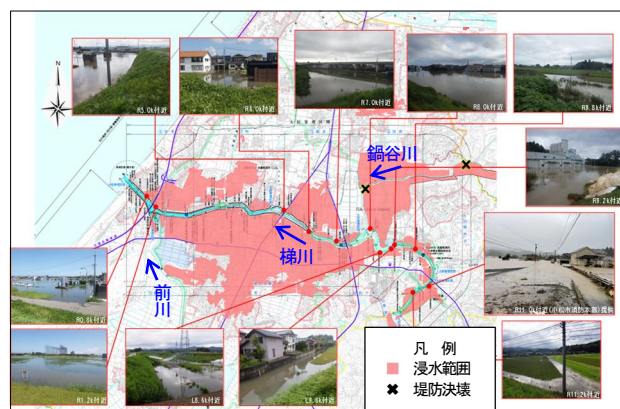


図-2 2022年8月4日洪水の実績浸水範囲

(1) 地形の特性

図-1に示すように、梯川の地形は、上流域は急峻なV字谷であるのに対し、中流域は、河岸段丘による平坦地があり、集落や水田として利用されている。下流域は、山間地と海岸砂丘に囲まれた低平地が広がっており、内水氾濫が発生しやすく、浸水が長時間継続する恐れがある。また、低平地には小松市街地が形成され、北陸新幹線等の主要交通網が発達しており、石川県加賀地域の社会経済基盤の中心となっている。

このため、ひとたび浸水が発生すると人命や地域経済に甚大な被害が発生するリスクが高い。

(2) 過去の洪水実績

梯川では、過去から何度も内水氾濫による浸水被害に見舞われている。浸水被害が著しい洪水として、1998年9月洪水、2004年10月洪水、2006年7月洪水、2013年7月洪水、2022年8月洪水等が挙げられる。

特に2022年8月4日の豪雨では、梯川の主要な地点である埴田水位観測所で観測史上最高水位を記録し、本川の一部区間では越水、支川では溢水、堤防決壊が発生するとともに、梯川沿川で大規模な内水被害が発生し、約1,680 haの浸水が確認された(図-2)。

3. 梯川における内外水リスク統合の重要性

過去の洪水実績や2022年8月洪水で生じた、内外水が混在した氾濫による大規模な被害を踏まえると、梯川流域の内水氾濫が発生しやすく、浸水時間が長期化しやすい地形特徴による危険性と、それに伴う比較的高頻度の降雨による浸水リスクを地域住民に認識して頂くことが重要である。

梯川水系では2022年8月4日の豪雨を受けて、2022年11月に「梯川水系緊急治水対策プロジェクト」をとりまとめ、国、県、市が連携して一体となってハード対策及びソフト対策を実施することで、浸水被害の軽減を図るこ

ととしている。大きな浸水被害を受けた小松市では、「小松市雨水管理総合計画」を策定し、下水道の排水能力を超える降雨により浸水が発生する内水氾濫を対象に、段階的な浸水対策目標を設定することで、計画的な浸水解消を図っている。この段階的な対策方針の設定には、比較的高頻度の降雨による浸水リスクの評価が不可欠であり、内水氾濫解析モデルが事業計画検討の参考になることが期待される。

このような検討に資するため、梯川流域において、内水氾濫と外水氾濫による地域の浸水リスクを一体的に表現出来る内外水統合型の氾濫解析モデルを構築することとした。

4. 内外水統合型氾濫解析モデルの構築

内外水統合型氾濫解析モデルは、「多段階の浸水想定図及び水害リスクマップの検討・作成に関するガイドライン 令和5年1月」⁹⁾に基づき検討した。

(1) 降雨シナリオの設定

氾濫解析モデルの外力条件として与える降雨シナリオは、流域内の降雨の時間分布や空間分布を考慮し、「主要河川の氾濫が卓越する降雨シナリオ」「その他河川の氾濫が卓越する降雨シナリオ」「下水道等の氾濫が卓越する降雨シナリオ」の三つのシナリオとした。主要河川、その他河川、下水道等、それぞれを対象に降雨波形や確率規模別降雨量等を検討し設定した。

ここで、梯川流域における主要河川は梯川本川のほか県管理の洪水予報河川とし、その他河川は主要河川以外の一級河川、下水道等は用水路や各種排水路及び下水道とした。降雨の確率規模は、年超過確率(その規模の雨が1年に一回以上降る確率) 1/10, 1/30, 1/50, 1/100とした。

(2) 氾濫解析

a) 流出解析

主要河川やその他河川，下水道等における各支川・用水路の降雨条件については，梯川流域の雨量観測所から得られたデータを基に，氾濫域に流入する流域平均雨量を算定した．そのうえで，主要河川の当該降雨を流域全体，その他河川及び下水道等の当該降雨を流出域及び氾濫域に与える．氾濫域には，地表に直接降雨を与えることとした．

そして，各降雨シナリオで設定した確率規模別雨量を対象に，貯留関数法を用いて本支川一体の外力による流出計算を行い，ハイドログラフ（時系列の流入量）を作成する．そのハイドログラフを氾濫解析の境界条件とした．なお，主要河川の流出計算モデルの条件は，梯川水系の基本高水を検討した条件を採用し，流域内の上流部に位置する赤瀬ダム（石川県管理）の洪水調節を考慮した．

b) 氾濫解析モデルの概要

本検討で用いた内外水統合型氾濫解析モデルの概念図を図-3に示し，基本条件は表-1に示す．

今回の氾濫解析モデルでは，従来の外水氾濫を対象とした氾濫解析モデルをベースに，流域内の梯川本川及び支川，幅3 m以上の用水路及び各種排水路をモデル化し，氾濫域ではモデル化した河道からの越水，溢水，堤防の決壊を考慮する．これに加え，下水道等の排水区域における内水氾濫や地表への湛水を考慮できるよう内水氾濫解析モデルを追加した．主要河川，その他河川，水路等の水位上昇に伴う外水氾濫と，氾濫域に直接降った雨の排水能力超過による内水氾濫を同時に解析するモデルである．

c) モデルの拡張

まず河道モデルの拡張を行った．梯川流域には，前川，鍋谷川，八丁川といった支川のほか，低平地には下水道排水幹線となる排水路が多数存在しており，下水道排水区からの排水先河川となっている．また，梯川本川右岸側では，宮竹用水が手取川から梯川へ向かって流入している．このように梯川流域の内水排除は，梯川本川に限らず支川や用水路，排水路等の開水路へ分散して行われる．そのため，排水先河川の水位状況を精密に評価することが重要である．そこで，梯川本川に加え，県管理の支川及び川幅3 m以上の排水路（9河川），宮竹用水を一次元不定流でモデル化した（図-4）．

d) 内水氾濫モデルの解析方法

梯川流域の内外水統合型氾濫解析モデルを構築するためには，前述のとおり内水域（下水道等のうち排水区域の管路や幅3 m以下の水路）の降雨が排水される過程で重要となる排水先河川の水位を時系列で評価し，内外水を一体として解析する必要がある．

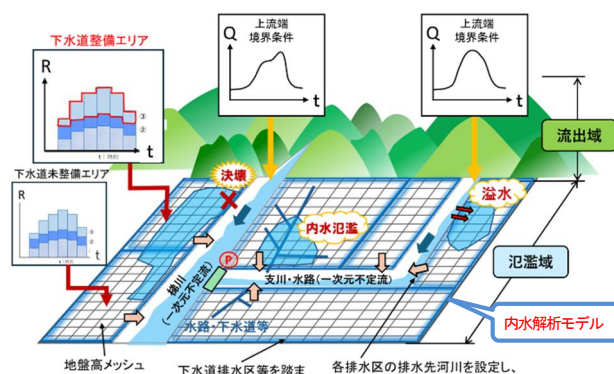


図-3 内外水統合型氾濫解析モデルの概念図

表-1 梯川における内外水統合型の氾濫解析モデルの基本条件

項目	条件
河道	計算手法：一次元不定流 【モデル化対象河川】 ・主要河川：梯川，八丁川，鍋谷川，前川 ・その他河川：仏大寺川，津上川，木場潟，栗津川，日用川 ・下水道等：九竜橋川，石橋川，川幅3m以上の排水路（9河川），宮竹用水（山川用水，得橋用水等の5用水路）
堤内地（地盤高）	計算手法：平面二次元不定流解析 25mメッシュ
排水施設	樋管断面・ポンプ能力を考慮
内水域	・計算メッシュに直接降雨を与えて湛水深を評価する簡便法 ・各排水区の流量計算書から排水区内の最小流下能力を設定 ・河道水位が低下したあとは，排水能力に応じて接続先河川に排水し，その分のメッシュ湛水ボリュームは排水区内で一律減少させることで排水過程を算定
氾濫域	・河道の一次元不定流モデルからの越水・溢水，決壊を考慮 ・下水道からの内水氾濫や降雨による地表への湛水を考慮

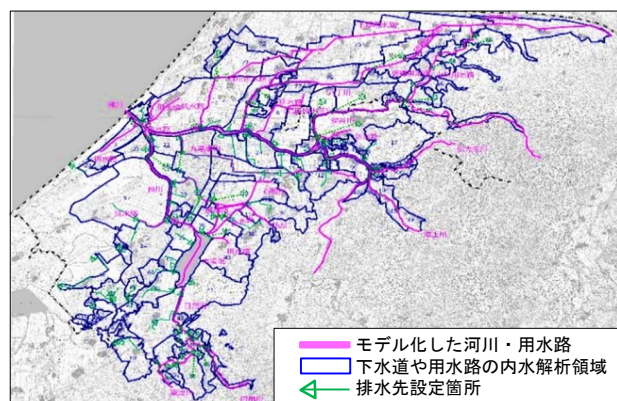


図-4 一次元不定流のモデル化河川位置図

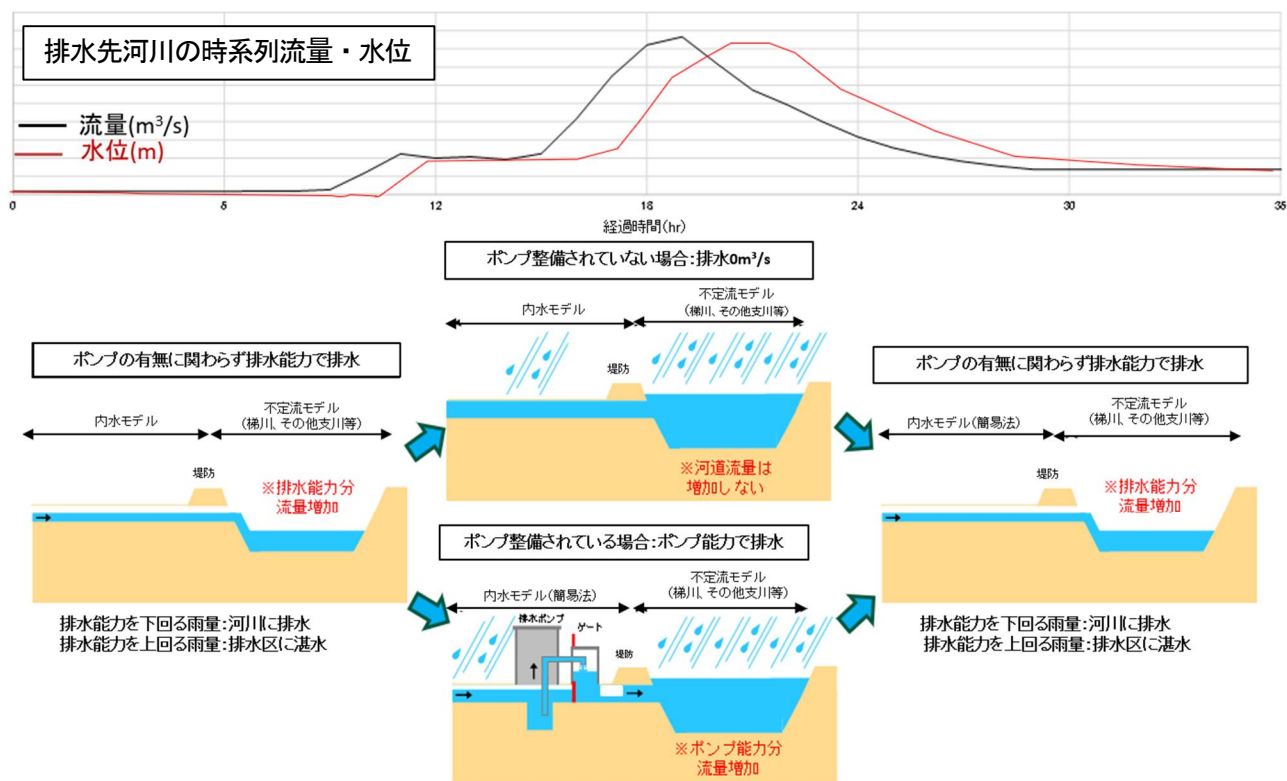


図-5 排水先河川の水位と内水モデルの関係

内水域の流出解析は、ガイドラインに準じて、簡便法を採用した。各排水区から収集した資料から設定した各排水区の排水能力を時間雨量に換算し、その値を差し引いた降雨量を直接内水域のメッシュに与えることで湛水量を算定する。

排水先河川の水位と内水モデルの関係は、図-5に示すとおりである。平常時や雨の降り始めは、排水ポンプの有無に関わらず各排水区の排水能力で排水できる。降雨時間が経過し、各排水区の排水先となる河道（一次元不定流モデル）の水位が高い場合は、自然排水できず排水能力以下の降雨でも湛水が生じる。また、排水区に排水ポンプがある場合は、ポンプ能力分をメッシュの湛水量から控除し、河道へ排水される条件とした。

5. 2022年8月洪水の再現計算

構築した内外水統合型の氾濫解析モデルの精度検証のため、既往洪水のなかでも浸水被害の大きかった2022年8月洪水を対象とした再現計算を実施した。検証材料として、罹災証明書や実際の家屋浸水が生じた箇所における床上・床下浸水の分類等により想定浸水深を推定した。また、河道の痕跡水位を用いた粗度係数の調整や内水解析モデルの排水区の排水能力の精査等の調整を行い、氾濫解析による浸水区域は、浸水実績を十分な精度で再現していることを確認した（図-6）。

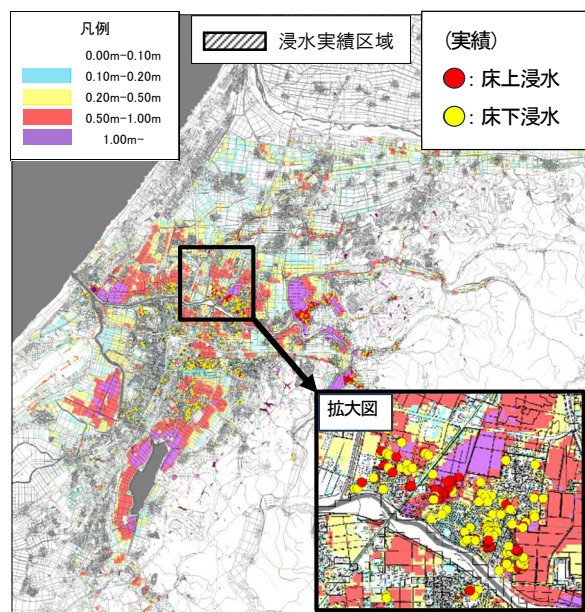


図-6 令和4年8月洪水実績浸水区域と氾濫解析結果の比較

6. 内外水統合型水害リスクマップの作成

(1) 浸水リスクの評価

構築した内外水統合型氾濫解析モデルに、確率規模別の雨量を与え、氾濫解析を実施した。

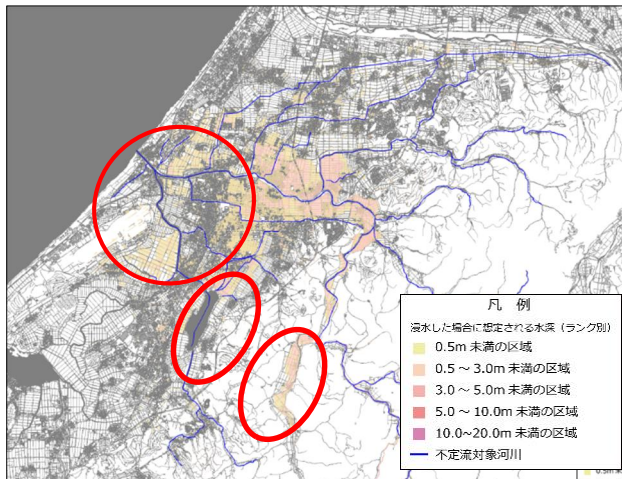


図-7 多段階浸水想定図（1/10規模）（案）

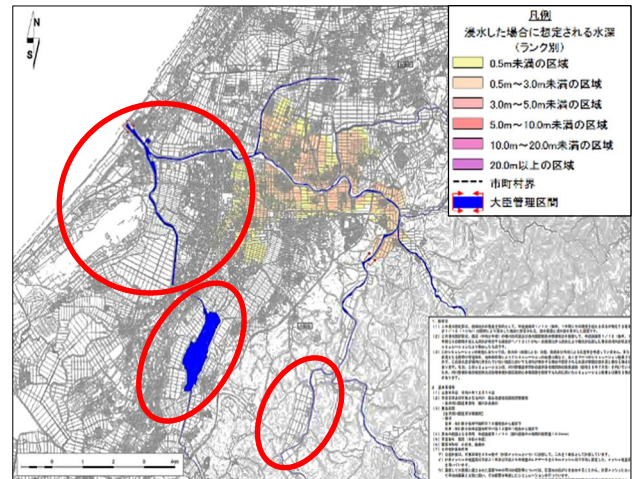


図-8 公表している多段階浸水想定図（1/10規模）²⁾

する内外水統合型の多段階浸水想定図を図-7に示す。従来の外水氾濫のみを考慮した多段階浸水想定図（図-8）と比較し、梯川下流部、梯川から離れた支川の前川上流部で新たに浸水域が確認された。内水排除システムを考慮した排水先河川の水位状況を時系列で評価したことで、より現実的な浸水リスクを示すことができたと考えられる。

この多段階浸水想定図を用いて、浸水する区域を確率別に色分けすることで、内外水統合型水害リスクマップを作成し、現在公表に向けて作成中である。図-9に多水系による公表事例を示す。

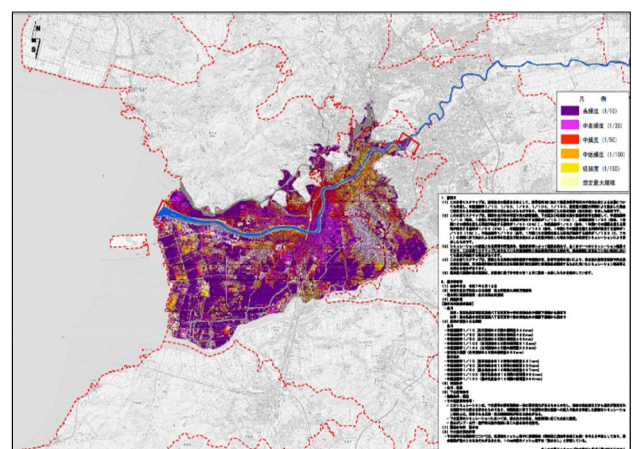


図-9 白川水系の内外水統合型水害リスクマップ³⁾

7. 内外水統合型水害リスクマップの活用

梯川流域において、国管理河川に加えて支川からの氾濫や内水氾濫を考慮した内外水統合型氾濫解析モデルを構築した。また、2022年8月洪水の浸水実績を十分な精度で再現できたことから、本モデルの妥当性を確認した。その結果、現状の多段階浸水想定図では把握できなかった、排水先河川水位の影響を踏まえた浸水リスク示すことが出来た。

さらに、2022年8月洪水で甚大な被害を受けた小松市の「雨水管理総合計画」の検討において、今回構築したモデルを基盤に、より高頻度な降雨確率規模の氾濫シミュレーションを実施され、小松市街地の内水対策に活用される予定である。そのほか、河川管理者毎に設定していた浸水区域を統一して表示することで、防災ガイドマップの更新や住まい方の工夫、企業の立地選択、詳細な避難計画等といった流域治水の進展に資する様々な減災対策に活用できる可能性を示すことができた。

内水被害が甚大化しやすい地形特性を持つ梯川流域では、地域住民や企業などが自らの水災害リスクを認識し、

自分事として捉え、主体的に行動出来るようソフト対策に取り組むことが必要である。

そのため、引き続き関係自治体と綿密な情報共有・連携を行うことで、氾濫解析モデルの精度や信頼性の向上に努め、流域全体で水害に強い地域づくりに努めていきたい。

謝辞：本論文を作成するにあたり、ご指導・ご協力いただいた関係者の皆様に感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 水管理・国土保全局 河川環境課 水防企画室、国土技術政策総合研究所 河川研究部 水害研究室：多段階の浸水想定図及び水害リスクマップの検討・作成に関するガイドライン，2023。
- 2) 国土交通省北陸地方整備局金沢河川国道事務所：梯川水系多段階浸水想定図（1/10），https://www.hrr.mlit.go.jp/kanazawa/tmb3_bousai/suigairiskmap/index.html（閲覧日：2025年7月25日）。
- 3) 国土交通省九州地方整備局熊本河川国道事務所：白川水系内外水統合型多段階浸水想定図（1/10），<http://www.qsr.mlit.go.jp/kumamoto/bousai/tadankaisinsuisouteizu.html>（閲覧日：2025年7月25日）。

暴風雪・大雪時の災害デジタルアーカイブを用いた道路管理判断支援システムの試作

原田 裕介¹・武知 洋太¹・越國 一九¹・松下 拓樹¹

¹国立研究開発法人土木研究所 寒地土木研究所 雪氷チーム（〒062-8602 札幌市豊平区平岸1条3丁目1-34）

自然災害の激甚化・頻発化，生産年齢人口が減少する中，冬期道路管理の熟練者の経験に基づく暗黙知を引き継ぐために，北海道の国道を対象とした暴風雪・大雪時の災害デジタルアーカイブの要件整理と基本設計を行い，過去38冬期185事例の道路管理，気象，交通障害・災害の各履歴情報を収集のうえ，デジタルアーカイブのデータセットを作成した．このデータセットおよび暴風雪や大雪の評価技術（警戒レベル・障害度）を用いて，気象予測資料から暴風雪・大雪災害が想定される場合に，過去の類似事例を抽出する技術を開発し，交通障害の可能性を示す情報と併せて，想定される留意事項などを提示する道路管理判断支援システムを試作した．

キーワード 暴風雪・大雪，デジタルアーカイブ，技術の伝承，判断支援システム

1. はじめに

近年，気象変化の影響による極端な暴風雪や大雪に伴い，立ち往生による渋滞，多重事故などの交通障害が度重なって発生しており，道路管理者による適確な対応が求められている．一方で，道路管理者や維持作業従事者の高齢化や人員減少により，培われた暗黙知（現地での天候や道路状況を確認する際の着目点や留意事項，現場での各種対応の経験など）の継承が停滞し，さらには負担の増加につながっている．このため，新たな手法により

徹底した一連の冬期道路管理作業の効率化・省力化を目指す必要がある．

このような背景の中，冬期道路管理の熟練者の経験に基づく暗黙知を引き継ぐために，筆者らは北海道の国道を対象とした暴風雪・大雪時の災害デジタルアーカイブの要件整理と基本設計を行い，過去38冬期185事例の道路管理，気象，交通障害・災害の各履歴情報を収集のうえ，デジタルアーカイブのデータセットを作成した（図-1）¹⁾．つぎに，このデータセットおよび暴風雪や大雪の評価技術（警戒レベル・障害度）²⁾⁻⁴⁾を用いて，気象予測資料から暴風雪・大雪災害が想定される場合に，過

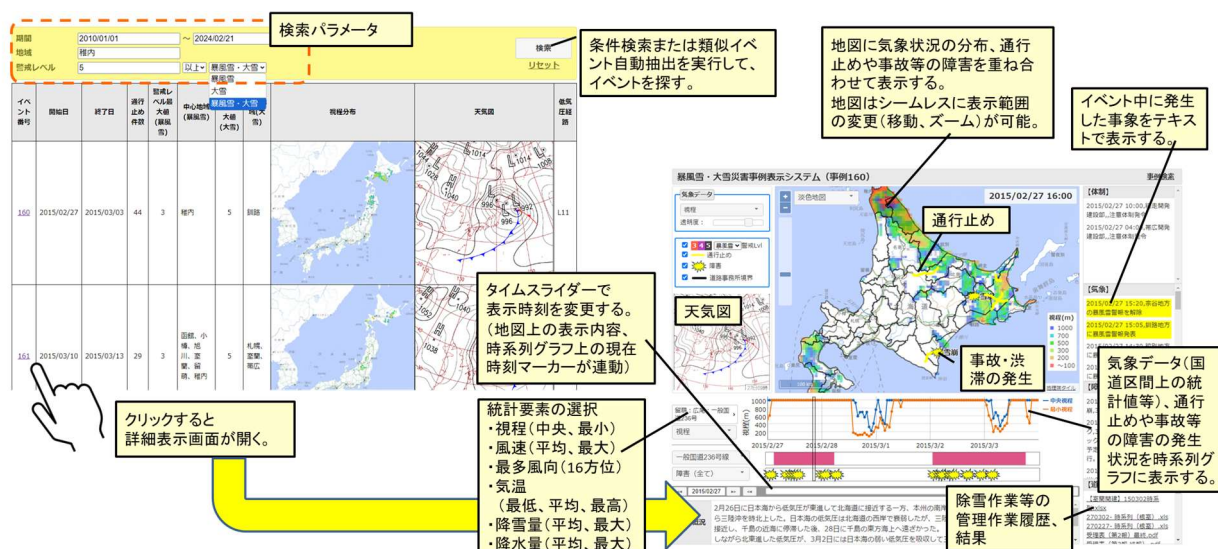


図-1 Web システムによるデジタルアーカイブの表示ツール（左；事例一覧画面，右；事例詳細画面）¹⁾

去の類似事例を抽出する技術を開発し、交通障害の可能性を示す情報と併せて、想定される留意事項などを提示する道路管理判断支援システム（以下、システムという）を2024年度に試作した（図-2）。本稿では、試作したシステムの概要、および2025年度試行に向けたシステムの改善方針について示す。なお、デジタルアーカイブのデータセットの詳細は既報「暴風雪・大雪時の災害デジタルアーカイブの作成（寒地土木研究所月報第863号）」¹⁾、評価技術（警戒レベル・障害度）の詳細はWebサイト「暴風雪・大雪の評価技術資料⁴⁾」を参照されたい。

2. 判断支援システムの概要

暴風雪・大雪時の道路管理判断支援システムは、(1) メイン画面、(2) 過去事例一覧画面、(3) 過去事例詳細画面の3要素で構成される（図-3、図-5、図-6）。

(1) メイン画面

図-3に示すメイン画面では、最大72時間前より暴風雪・大雪を予測した場合に、デジタルアーカイブから類似する上位3位の事例を自動的に抽出する。抽出手法は、北海道において暴風雪は視程50m未満の暴風雪、大雪は降雪量40cm以上/24時間の条件が予測される場合に、デジタルアーカイブ185事例と、予測値のピーク日時（暴風雪は視程200m未満の面積が最大、大雪は1時間降雪量が最大となった日時）前後における視程・降雪量の多次元データを、次元削減手法（機械学習）により2次元とする。つぎに、予測値による結果とデジタルアーカイブ各185事例による結果とのユークリッド距離が小さい、上位3位の過去事例の年月日と事例No.を表示する（図-3左中、図-4）⁵⁾。また、風速、気温、降水量の他、視程、降雪量、障害度、警戒レベルの予測値の分布図や時系列グラフ（1時間ごと）、および気象警報発表の有無が表示される。加えて、チェックボックス機能により、風向、道路事務所の境界が任意に表示される。

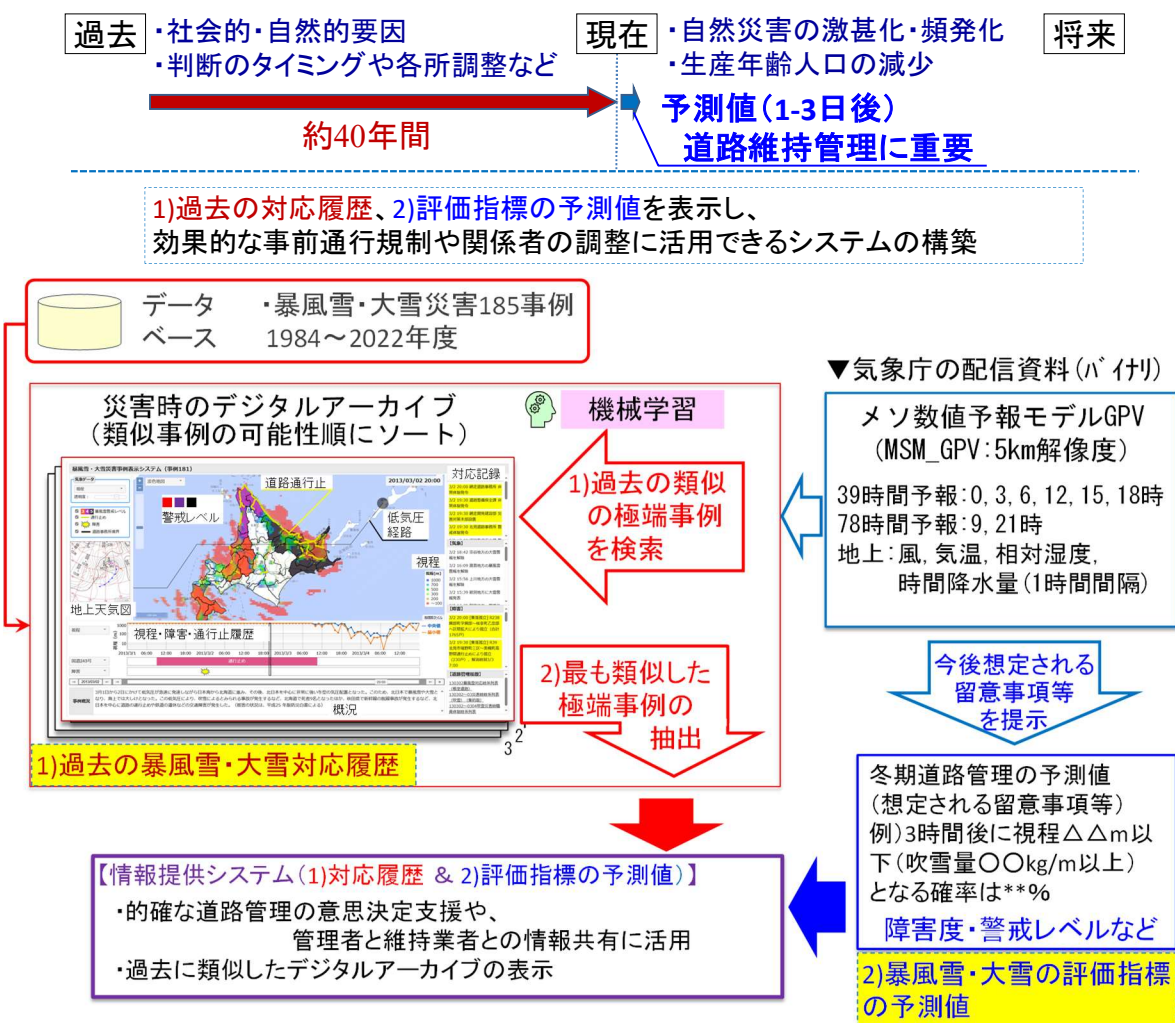


図-2 判断支援システムの概念

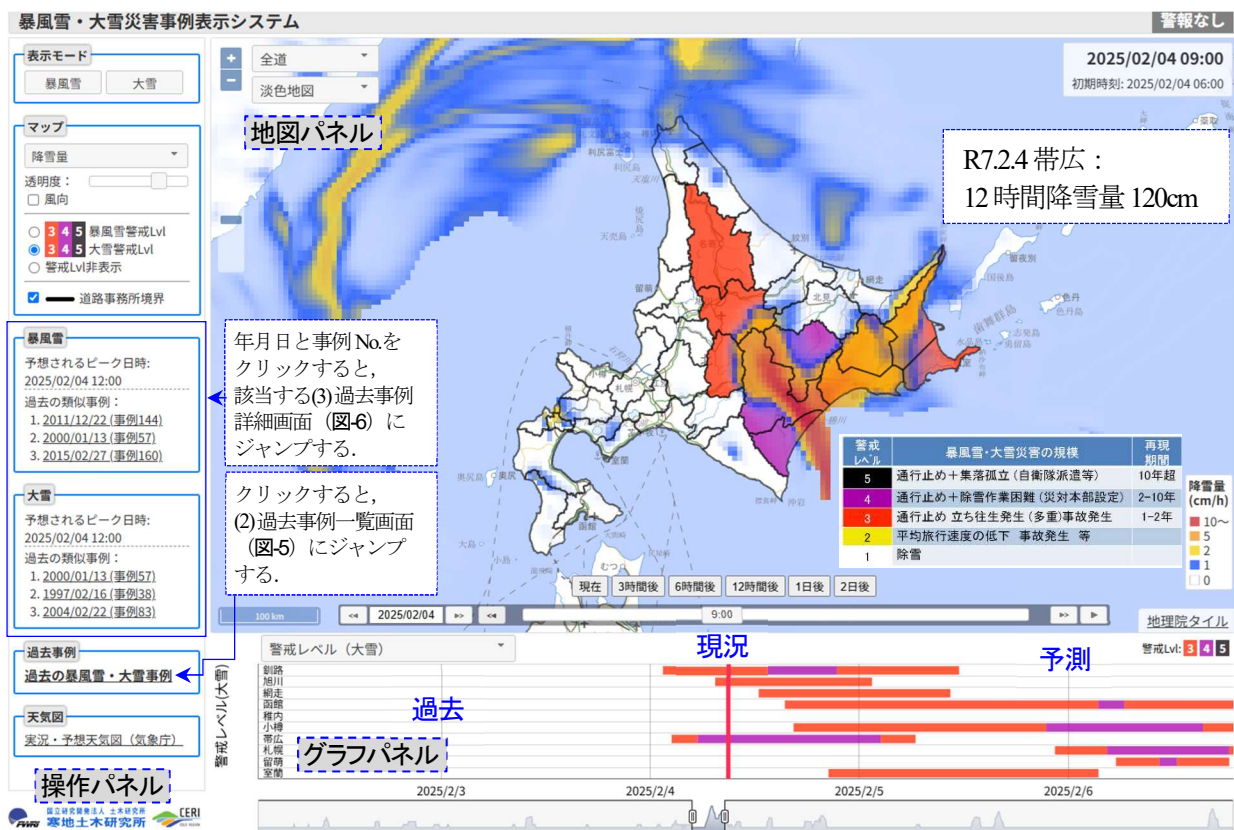


図3 メイン画面 (加筆) および警戒レベル

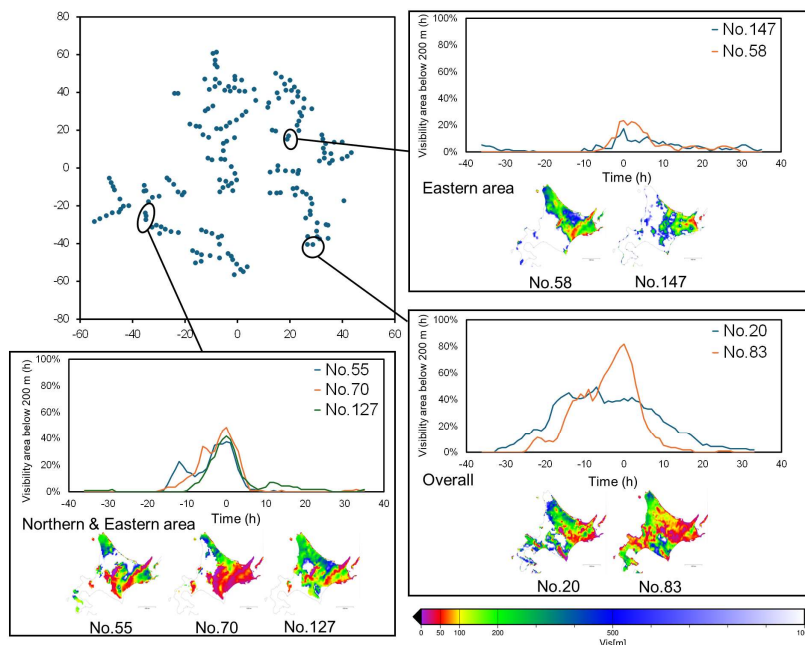


図4 次元削減手法 (機械学習) による類似した過去アーカイブ事例の抽出結果例⁵⁾

(2) 過去事例一覧画面

図-5に示す過去事例一覧画面では、暴風雪・大雪時の災害デジタルアーカイブ (過去185 事例) を一覧で表示する。一覧画面では、事例番号、開始日と終了日、国道通行止め件数、警戒レベルの最大値 (暴風雪・大雪) と

これらの該当地域、ピーク日時の視程分布および地上天気図、地上低気圧経路分類⁹⁾の各要素が閲覧できる。また、検索ウィンドウにより、期間、地域 (北海道開発建設部の10管内)、警戒レベル (暴風雪・大雪) の条件を指定して事例を絞り込むことができる。

図-6に示すデジタルアーカイブの詳細画面（過去185事例のうち事例No.160を例示）では、各暴風雪・大雪事例期間中における風速、気温、降水量、視程、降雪量、障害度（暴風雪・大雪）、警戒レベル（暴風雪・大雪）の分布図および時系列グラフ（1時間ごと）、地上天気図（1日ごと）、概況（主に地上低気圧の位置および発

達の程度)が表示される。また、チェックボックス機能により、風向、道路事務所の境界、国道通行止め、障害、低気圧経路⁹⁾が任意に表示される。加えて、図-6右側の情報パネルでは、道路管理体制の履歴、気象警報(暴風雪・大雪関連)の発表状況の履歴、交通事故等障害の情報、道路管理履歴資料、気象庁の災害概況資料などが表示される。



図-5 過去事例一覧画面 (加筆)

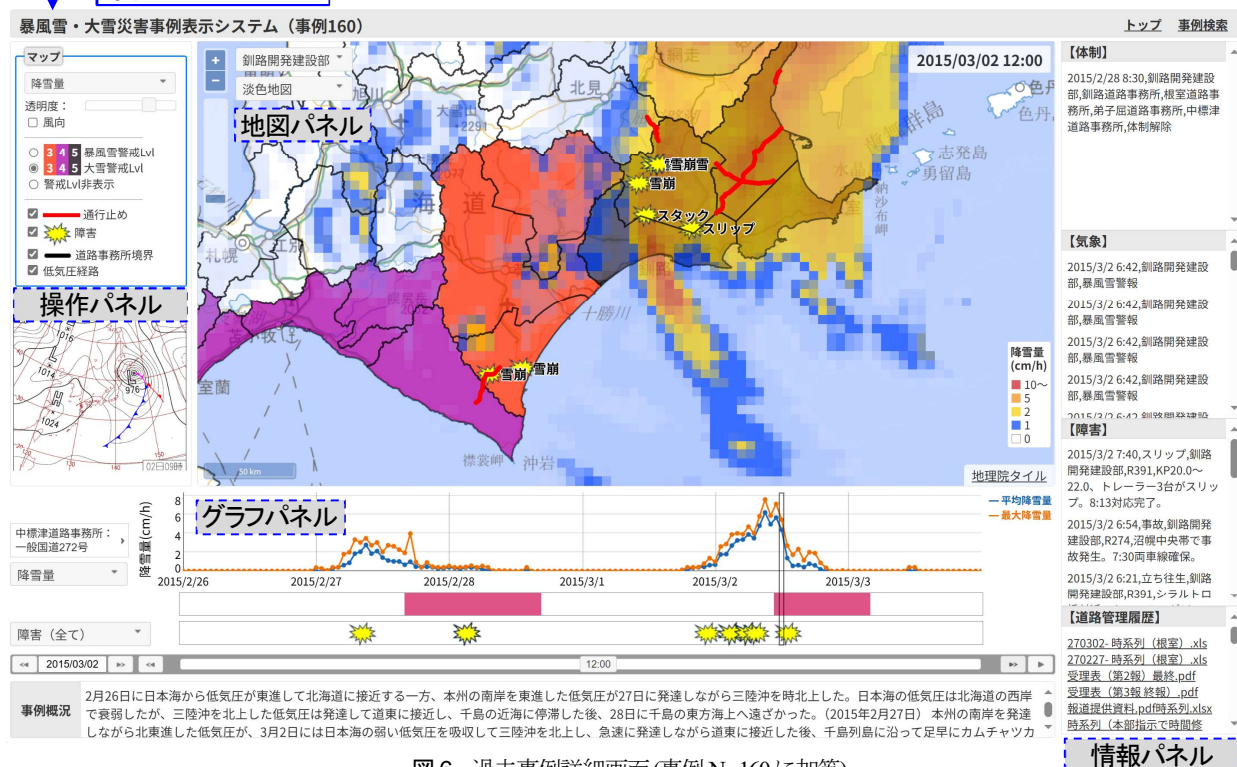
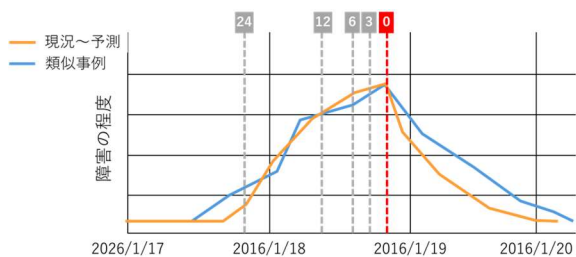


図-6 過去事例詳細画面(事例 No.160 に加筆)

3. 2025年度冬期試行に向けたシステムの改善方針

2025年2月から3月にかけて、本システムを道路管理者等に試用いただき、試用後のフィードバックに基づく、2025年度冬期試行に向けた改善項目を以下①～④に整理した。メイン画面について、①システムの特色を明確にして、対応を急ぐ状況では情報を絞ったうえで、担当者

が必要とする詳細な情報（報道発表、障害、通行止め）を選択的に参照可能なインターフェースとする（図-7左上）。②大雪時の予防的通行規制区間⁷⁾における、3日程度先までの気象状況を一覧形式で確認可能とする（図-7左下）。③気象警報（暴風雪、大雪）の発表状況を確認可能とする（図-7右上）。過去事例一覧画面（図-8）について、④低気圧経路⁸⁾や冬期道路管理方針の変化などで事例をフィルタリングする機能や、各事例期間の最低



現況～予測・類似事例の障害の程度
(ピーク日時を合わせる)と、過去の類似
事例の対応や発生事象(イメージ)

時間降雪量	累積降雪量	視程	風速	気温		
累積降雪量 (cm/24h)		表示の更新				
1	2	3	4	5	6	7
距離峠 5	俣知安峠 5	目名峠 5	峠野峠 37	三の山峠 38	狩野峠 38	石北峠 39
KP201.1 ～KP209	KP185.1 ～KP190.7	(KP132 ～KP139.3)	(KP10 ～KP23.9)	(KP90.7 ～KP97)	(KP109.1 ～KP124.8)	(KP88 ～KP101.4)
1/17 21:00	0	8	2	1	0	0
1/17 22:00	0	8	2	1	0	0
1/17 23:00	0	6	2	1	0	0
1/18 0:00	0	6	2	0	0	0
1/18 1:00	0	6	2	0	0	0
1/18 2:00	0	7	2	0	0	0
1/18 3:00	0	2	2	0	0	0
1/18 4:00	0	0	2	0	0	0
1/18 5:00	0	0	1	0	0	0
1/18 6:00	0	0	0	0	0	0
1/18 7:00	0	0	0	0	0	0

予防的通行止区間の気象値(イメージ)



気象警報の発表状況(イメージ)

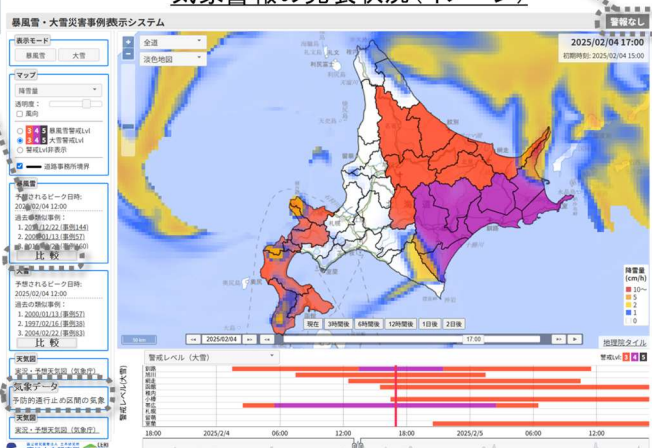


図-7 メイン画面の改善 (イメージ)

暴風雪・大雪災害事例表示システム											
期間	2010/01/01 ~ 2025/09/08		フィルタリングなし	検索							
地域			検索	リセット							
警戒レベル	3		以上	暴風雪・大雪							
通行止め件数	0		以上								
イベント番号	開始日	終了日	通行止め件数	警戒レベル 最大値(暴風雪)	中心地域(暴風雪)	警戒レベル 最大値(大雪)	中心地域(大雪)	視程分布	天気図	低気圧 経路	最低 気圧
130	2010/01/04	2010/01/06	7	4	函館、室蘭	4	函館、室蘭			L12	??? hPa

図-8 過去事例一覧画面の改善 (イメージ)

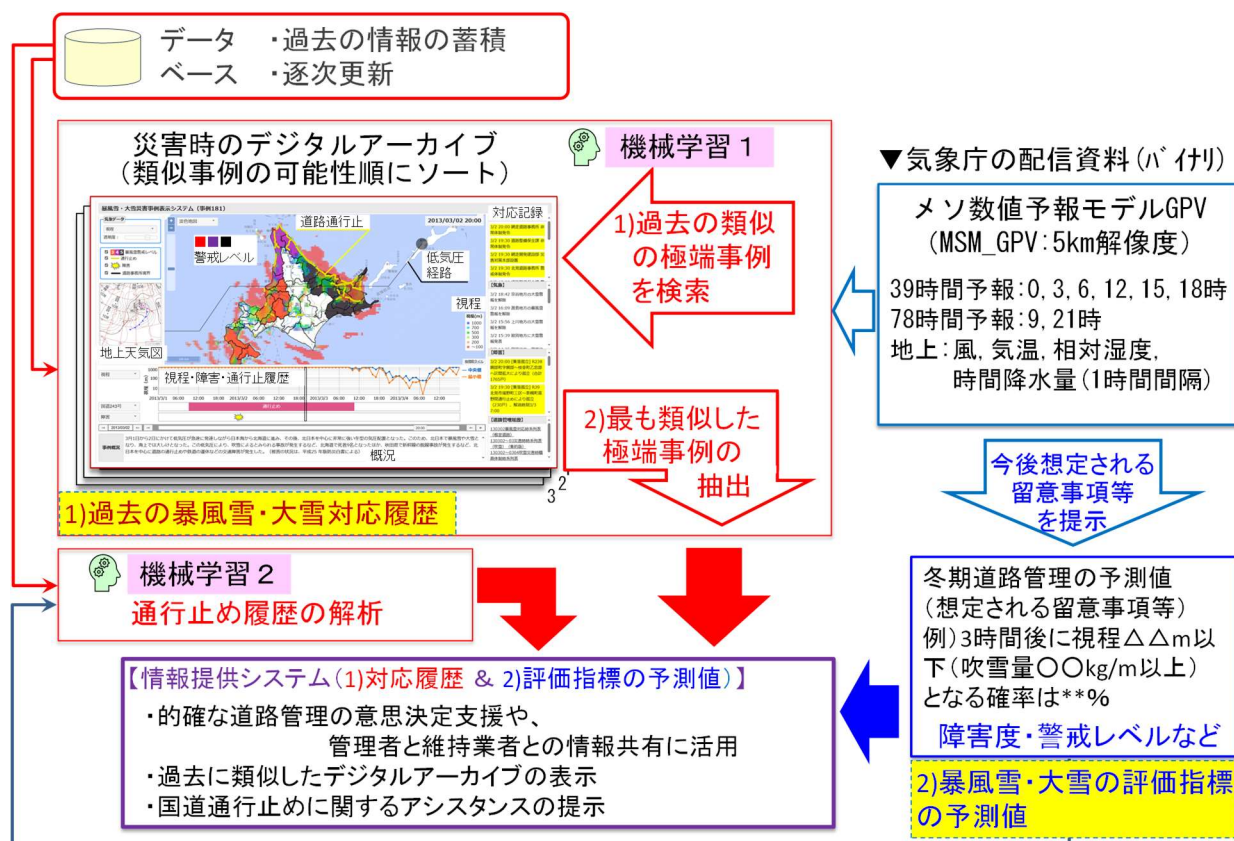


図-9 改善後(2025年度冬期試行時)における判断支援システムの概念

気圧を付加する。また、⑤未収録の2023年度以降の暴風雪・大雪時の災害デジタルアーカイブを追加する。その際、自動で収集可能な項目および手動で対応する項目を整理し、各項目で収集したデータを都度データベースに蓄積する方法を、今後のシステム運用を念頭に検討する。併せて、⑥気象予測資料から暴風雪・大雪災害が想定される場合に、過去の類似事例を抽出する技術の精度向上の検討結果を実装する(図-4参照)。加えて、⑦過去の国道通行止め履歴と該当期間の気象データを用いて、機械学習によりこれらの関係を学習したモデル(通行止め判断支援モデル)を作成する。このモデルに気象予測値を代入することで、132時間先までの通行止め発生確率を推定した結果を、メイン画面(図-3)にて選択表示が可能となるよう試験的に導入する。

今後、2025年11月下旬からの試行開始までに①～⑦の改善項目に対応した判断支援システムとしたうえで、2026年3月にかけて道路管理者等に試用いただく(図-9)。また、試用後の道路管理者等からのフィードバックに対応することで、冬期道路管理に有用なシステムとなるよう、さらなる改善を図る予定である。

謝辞: 本システムの開発および試行に際し、北海道開発局道路維持課および各開発建設部に多大なご協力をいただいた。記して御礼申し上げる。

参考文献

- 1) 原田裕介, 大宮哲, 武知洋太, 西村敦史: 暴風雪・大雪時の災害デジタルアーカイブの作成. 寒地土木研究所月報, No.863, pp.46-57, 2024.
- 2) 原田裕介, 大宮哲, 武知洋太, 西村敦史: 一回の暴風雪や大雪の厳しさを評価する指標の検討(その1). 日本雪工学会論文集, Vol.39, No.2, pp.24-40, 2023.
- 3) 原田裕介, 大宮哲, 武知洋太, 西村敦史: 一回の暴風雪や大雪の厳しさを評価する指標の検討(その2). 日本雪工学会論文集, Vol.39, No.3, pp.22-36, 2023.
- 4) 寒地土木研究所雪氷チーム: 暴風雪・大雪の評価技術資料. <https://www2.ceri.go.jp/snowstorm/>; 2025年10月27日閲覧.
- 5) Harada, Y., et al., 2026: Development of a system to support decision-making on winter road management using digital archives of severe blowing-snow and heavy snowfall disasters. 17th World Congress on Road Winter Service, Resilience and Decarbonisation (submitted).
- 6) 原田裕介, 上田真代, 松下拓樹, 松澤勝: 冬期の気圧配置と北海道における大雪・暴風雪の地域別発生状況. 寒地土木研究所月報, No.719, pp.33-41, 2013.
- 7) 国土交通省: 大雪時の予防的通行規制区間(北海道開発局). <https://www.mlit.go.jp/road/bosai/fuyumichi/list/list81.pdf>; 2025年10月27日閲覧.

徳山ダム・横山ダム連携による 水位運用高度化の取組

石黒 順司¹

¹独立行政法人水資源機構 揖斐川・長良川総合管理所 徳山ダム管理所

(〒501-0815 岐阜県揖斐郡揖斐川町開田448)

ハイブリッドダムの取組の一環として、2024年6月24～26日にかけて徳山ダム（水資源機構管理）と下流にある横山ダム（国土交通省管理）が連携し、発電に資する水位運用高度化操作の試行を初めて実施した。その結果、通常のダム運用と比較し、洪水調節容量に約275万 m^3 の水を貯留し水力発電に有効活用したことで、両ダムの水力発電所（中部電力（株）管理）合計で約1,581MWh（6,080戸が1ヶ月に消費する電力に相当）の増電効果があったと試算された。

本報では、両ダムの連携操作の必要性、操作に向けた事前準備（基本方針や運用ルール の作成）、試行運用の状況、増電効果及び今後の留意点等について報告する。

キーワード ハイブリッドダム、水位運用高度化操作、徳山ダム、横山ダム、増電効果

1. はじめに

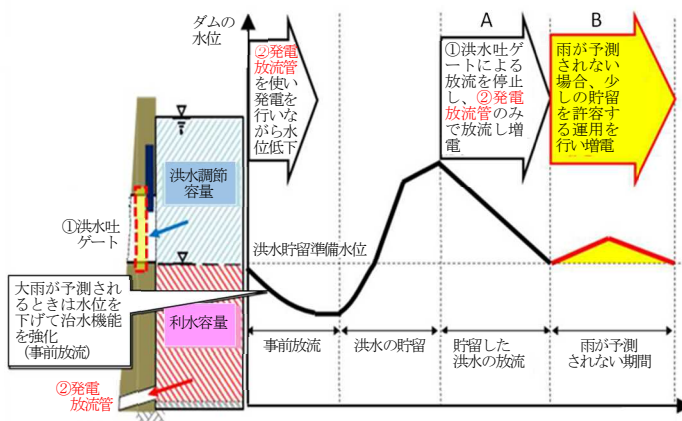
近年の気候変動の影響による水害の激甚化・頻発化を踏まえ、国土交通省所管ダムでは、治水機能の強化、水力発電の増強のため、気象予測も活用し、ダムの容量等の共有化など、ダムをさらに活用する「ハイブリッドダム」の取組を全国で推進している¹⁾。

徳山ダムのある木曽川水系においても、治水機能の強化として2020年5月29日に治水協定を締結し、同年の洪水期から「事前放流」の取組を開始している一方、既存ダムの水位運用高度化による増電の取組についても、2022年度より横山ダム、2023年度に国交省所管の4ダムが試行を開始しており、2024年度から徳山ダムにおいて

もこれらの取組を開始している。本報では、徳山ダムと下流にある横山ダムが連携した水位運用高度化による増電の効果的な取組について紹介する。

2. 発電に資する水位運用高度化操作

徳山ダム及び横山ダムでは、発電に資する水位運用高度化操作の試行として、最新の気象予測技術（気象庁より発表される比較的長時間の雨量予測（GSM）など）を活用し、洪水対応に支障がないと判断した場合、治水容量の水力発電への活用を図る取組の一つである「洪水後期放流の工夫」を行った操作を試行している（図-1）。



従来の操作	洪水後期放流の工夫を行った操作
治水を目的としたダムでは、出水に伴いダムに一時的に洪水を貯留した後、洪水吐ゲートを使用し、速やかに貯水水位を洪水貯留準備水位まで低下させることで、次の出水に備える操作を行う。	A：洪水吐ゲートによる放流を停止し、発電放流管のみで放流し貯水水位を低下させることで増電。 B：一時的に洪水貯留準備水位以上で貯留し、この貯留水を発電放流管のみで放流することで増電。

図-1 洪水後期放流の工夫

3. 徳山ダム・横山ダムの概要

(1) 徳山ダム・横山ダムの概要

徳山ダム・横山ダムは、岐阜県西部を水源とし伊勢湾に流れ込む木曽川水系揖斐川（流域面積1,840km²、延長121km）に位置し、直列に配置されたダムである（図-2、表-1）。

(2) 徳山発電所・横山発電所の概要

両ダムには中部電力（株）により設置・管理されている水力発電所があり、特に徳山発電所は中部電力（株）において一般水力発電所では最大規模となっている。

今回の取組で貯留される水は徳山発電所の1号機を通じ発電される。徳山発電所（1号機）の有効落差は横山発電所の約3倍のため、徳山ダム・横山ダム連携の取組を行うことで更なる増電効果が期待される（表-2）。



図-2 木曽川水系流域図

4. 徳山ダム・横山ダムの試行要領

発電に資する水位運用高度化操作の試行を行うため、両ダムでは試行要領を作成し取組を行っている。

試行を行う上でのポイントは、横山ダムの試行要領に試行日数を「3日を超えないこと」と定めていることで、本条件は全国で試行実施されている他の要領には見られない条件であり、釣り客などの河川利用者への影響や職員の負担軽減などを踏まえ定められている。

徳山ダムの試行要領には、同様な条件の定めはないものの、連携操作を行う横山ダムにおける条件であることと、下流河川への影響から、実運用のための放流計画を立案する際には、横山ダム同様に「3日を超えないこと」を条件に作成している（表-3）。

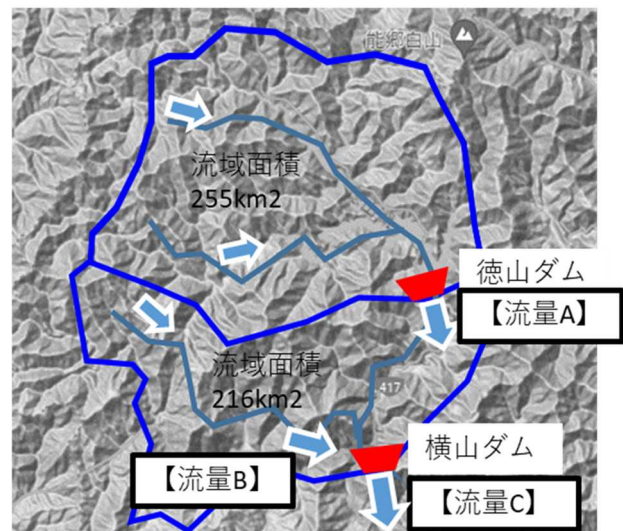


図-3 徳山ダムと横山ダムの関係

表-1 ダムの諸元

	横山ダム	徳山ダム
管理者	国土交通省※1	水資源機構
河口からの距離	約80km上流	約90km上流
流域面積	471.0km ² ※2	254.5km ²
総貯水容量	40,000千m ³	660,000千m ³

※1 2024年4月1日より水資源機構がダム管理を業務受託。

※2 横山ダムの流域面積は、徳山ダムの流域面積を含んだ値。

表-2 発電所の諸元

	横山発電所	徳山発電所
管理者	中部電力(株)	中部電力(株)
最大出力	70,000kW	164,200kW
最大使用水量	104m ³ /s※1	100.4m ³ /s
有効落差	63.3m	1号機：181.96m 2号機：144.50m

※1 発電施設の最大使用水量は129 m³/sであるが、水位運用高度化操作の試行時の貯水位（洪水貯留準備水位付近）の場合は約104m³/s。

表-3 試行要領の概要

	横山ダム	徳山ダム
要領の有効期間	2022.6.16～2024.10.15	2024.3.21～2027.3.31
試験期間	洪水期 (6.16～10.15)	同左
試験容量	最大250万m ³	最大342万m ³ ※1
試験水位	3.0m EL. 190m～EL. 187m(制限水位)	0.3m※2 EL. 391.3m～EL. 391m(制限水位)
試行条件(雨量)	10mm未満 (GSM 72時間累計)	20mm未満 (GSM 72時間累計) (MSM 39時間累計)
試行条件(日数)	3日を超えないこと	なし
中止条件	試行条件に同じ	試行条件に同じ
その他	「洪水に達しない流水の調節」後の試行も可能	同左

※1 試行要領には、運用上の余裕を見込み「最大571.4万m³」と規定。

※2 試行要領には、運用上の余裕を見込み「0.5m」と規定。

5. 徳山ダム・横山ダムの連携操作

(1) 連携操作の必要性

徳山ダムと横山ダムは上下流に直列に配置されたダムであり、横山ダムへ流入する水【流量C】の内、約54%（流域面積比換算）は徳山ダムから放流した水【流量A】、約46%（流域面積比換算）は徳山ダムの残留域から流出した水【流量B】となるため、横山ダムの貯水池運用は徳山ダムからの放流の影響を大きく受けることとなる。（図-3）

本取組は「3日を超えないこと」を条件に試行するため、「本取組で貯留した水」と「試行期間中に流入する水」の全てを水力発電により放流するには、横山発電所の放流を最大量（約104m³/s）の一定量放流とした上で、【流量B】は自然流況のため、徳山ダムからの【流量A】を細かく調整する必要がある。

以上より、両ダムへの3日間の流入量を精度よく予測した上で、両ダム連携の運用計画の作成が必要となる。

(2) 連携操作における基本方針

徳山ダムと横山ダムの連携操作による試行を行うため、事前に以下に示す3つの基本方針を整理し、関係機関（国土交通省中部地方整備局、中部電力（株）、水資源機構）において確認を行った上で、下流自治体・漁業関係者へ説明を行い試行運用を開始した。

a) 貯留の順序

方針：徳山ダム先行貯留

理由：増電量を最大限発揮するため、上流の徳山ダムに先行貯留。

b) 試行の有無と貯留量（試験水位）の判断

方針：徳山ダムへの流入予測を活用し、試行開始のタイミングから3日間の平均流入量と、両ダムの発電放流能力上限を考慮し、試行実施の有無と試験水位を判断フローにより定める。（詳細(3)参照）

理由：増電効果を最大としつつ一度停止したゲート放流を再度実施しない計画を立案するため。

c) 安全率と見直し

方針：運用計画作成時には予測流入量を1.2倍（安全率）する。また、ルールの見直しも実施する。

理由：2024年度からの試行であり、かつ、最も重要な判断材料である流入量は予測であるため。

(3) 試行の有無と貯留量の判断フロー

水位運用高度化操作の試行を行うタイミングは、防災対応直後の人員や時間が限られた状況において、両ダムにおける様々な状況が想定されるなかで、試行の有無や貯留量を判断し、速やかに両ダム連携の貯水池運用計画を作成する必要があるため、基本方針を踏まえた判断フローを事前に整理することが重要となる。

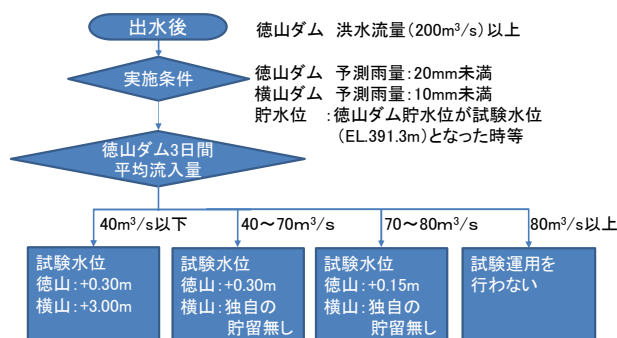


図-4 試行の有無と貯留量の判断フロー

判断フロー作成における創意工夫した点は、限られた時間内に限られた情報から判断できるように、徳山ダムへの流入量の予測（3日先までの平均値）のみを指標とした点であり、本フローにより徳山ダム・横山ダムの試験容量への貯留量を予め定めることが可能で、これにより両ダムの貯水池運用計画作成をスムーズに行うことが可能となった。

なお、判断フローにおける閾値は、発電放流能力のみで放流可能（試行後に再度のゲート放流とならない）であるか否かの感度分析を行い決定した。

6. 水位運用高度化操作の実績（2024年6月前線）

(1) 連携操作の状況

2024年6月の梅雨前線に伴う降雨により、徳山ダムの流域で総雨量223mmを観測した。この降雨の影響で、ダムへの流入量は洪水流量（200m³/s）を2度にわたり超える出水となり洪水調節を実施した。

その後、従来のダム操作では、次の洪水に備えて貯水位を洪水貯留準備水位以下に低下させるが、最新の気象予測技術（GSM、MSM）を活用しその後の降雨の状況を踏まえ、275万m³（徳山ダムの貯水位で24cm）の水を一時的に徳山ダムに貯留し、これらの水すべてを徳山ダム及び横山ダムの水力発電施設により放流する連携操作の取組を初めて実施した（図-5）。

実運用では、徳山ダムへの3日先までの平均流入量を54m³/sと試算した上で、判断フローに基づき、徳山ダム・横山ダムの貯水池運用計画を作成し、24日10:00に両ダムのゲートを閉じ試行を開始したが、試行期間中（24日10:00～26日4:30）4回に渡り運用計画の見直しを行い、併せて、徳山ダムからの放流量を5回、横山ダムからの放流量を1回変更するなど細やかな操作を行い貯留した全ての水を水力発電施設により放流した。

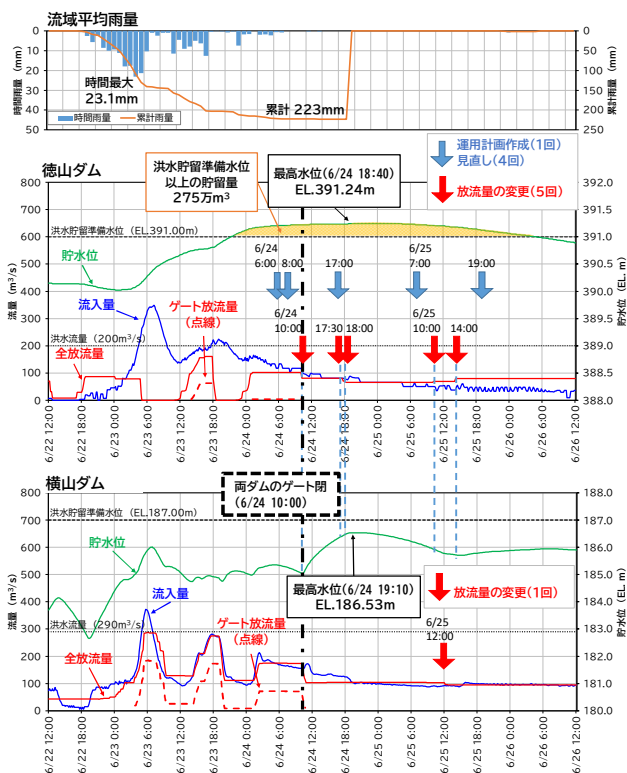


図5 徳山ダムと横山ダムの試行時の貯水池運用

(2) 連携操作による増電効果

今回の一連の操作により徳山ダムと横山ダムにおける合計の増電量は約 1,581MWh（中部電力（株）により試算）となった。これは、一般家庭約 6,080 戸が 1 か月に消費する電力に相当し、2024 年度に全国の国土交通省、水資源機構管理ダムで実施された同取組による総増電量 16,550MWh¹⁾の約 10%にあたる量であった。（表5）

また、2023 年度までの横山ダム単独での取組と比較し、活用した量が同じであれば約 4 倍の増電となっており徳山・横山ダム連携による取組の効果となった。

7. 予測精度の検証

連携操作を行うに際し最も重要となる徳山ダム・横山ダムへの流入量予測は、降雨が概ね収まった後の流入量実績から低減式（指数関数）を作成することで算定している。今回の取組の中では運用計画見直しを 4 回行っており、これは、予測した流入量が時間の経過とともに実績と異なったことが原因であった。

今回の取組における予測精度を検証したところ、試行期間（3 日間）の取組を行うために必要となる信頼性のあるデータを得るためには、24 時間（10 分データで 144 データ）程度のデータが必要な状況であった。（表6）

一方で実運用においては今回のように 6 時間程度のデ

表-5 試行操作による増電量

試行日 ^{※1}	活用した量(万 m ³)	増電量(MWh)	対象ダム	備考
R4.8.7～8	約 250	約 350	横山	※2
R4.9.20～22	約 120	約 160	横山	※3
R5.7.1～2	約 8	約 9	横山	※3
R5.8.17～19	約 197	約 230	横山	※2
R6.6.24～26	約 275	約 1,581	徳山・横山	※2

※1 開始はゲート放流停止、終了は洪水貯留準備水位以下となった時

※2 洪水後の貯留水を活用

※3 洪水とならない出水を活用

表-6 予測精度の検証結果^{※1}

計画作成	データ収集の時間と数	横山ダム	徳山ダム	見直し必要性
6/24 6:00	6 時間 (36 データ)	294cm 上振れ	18cm 上振れ	あり
8:00	8 時間 (48 データ)	151cm 上振れ	3cm 上振れ	あり
17:00	15 時間 (90 データ)	52cm 下振れ	6cm 上振れ	あり
6/25 7:00	29 時間 (174 データ)	9cm 上振れ	1cm 上振れ	なし

※1 見直しを行わなかった場合の 72 時間後の貯水位のブレを試算

ータで当初運用計画を作成することが必要となる場合もあり、24 時間程度のデータ収集が終了するまでは、6 時間に 1 度の頻度で、流入量予測と運用計画の見直しを行うことが重要であることを把握した。

8. おわりに

今回、初めて徳山ダム・横山ダム連携による発電に資する水位運用高度化操作を試行し、以下を確認したことは大きな成果であり、今後、上下流に連続して配置されている他ダムにおいても参考となるものである。

①防災対応直後の人員や時間が限られたなかでも、今回作成した基本方針や判断フローを事前に準備することで効率的な水位運用高度化操作が可能となった。

②横山ダム単独での実施と比較し、連携操作を行うことで、約 4 倍もの増電効果が得られた。

③運用計画作成に必要な流入量の予測を必要な精度で行うには 24 時間程度のデータが必要なことを把握した。

謝辞：今回の取組に際し、様々な意見助言を頂いた国土交通省中部地方整備局や中部電力（株）の関係者の皆様には深く感謝するものです。

参考文献

1) 国土交通省ウェブサイト：令和 8 年度水管理・国土保全局関係予算概算要求概要 P42

電子基準点リアルタイム解析システム (REGARD)の役割と発展

橋本 繭未¹・大野 圭太郎¹・阿部 聡¹

¹国土地理院 測地観測センター 電子基準点課 (〒305-0811 茨城県つくば市北郷1番)

国土地理院の「電子基準点リアルタイム解析システム (REGARD)」は、全国約 1,300 か所の電子基準点で観測した GNSS データをリアルタイムで解析して位置の変化を即時に計算し、地震時の地殻変動量を把握するとともに、この変動から地震を引き起こした地下の断層の位置、規模及び動きを推定するシステムである。これらの REGARD による情報は、気象庁の津波予測の支援や災害対応における早期の状況把握に活用されており、減災において既に重要な役割を果たしている。2016 年の運用開始以降、災害対応で果たした役割、品質・信頼性向上のために継続的に実施してきた開発について報告する。

キーワード GNSS, 電子基準点, 測位, 地震, 津波

1. はじめに

国土地理院では、国土のどこでも正確な国家座標へアクセスを可能とする位置情報の基盤としてGNSS (Global Navigation Satellite System) 連続観測システム「GEONET」を運用しており、日本全国約1,300か所にGNSS連続観測点「電子基準点」を設置している。また、電子基準点のリアルタイムデータを解析することで、地殻変動量を即時的に計算し、地震時にはこの変動量から地震を引き起こした地下の断層の位置、規模及び動きを推定する「電子基準点リアルタイム解析システム (Real-time GEONET Analysis system for Rapid Deformation Monitoring ; 以下「REGARD」という。)」を、2016年から運用している。

REGARDは、平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震を契機として、国土地理院と東北大学との共同研究により開発された¹⁾。この地震では、緊急地震速報に用いられる短周期地震計が大規模地震で卓越する長周期成分を十分に捉えられなかったことから、地震規模及び津波予測が過小評価される「マグニチュード飽和」が生じた。一方で、REGARDでは、リアルタイムGNSS測位によって直接計測した地表の変位量を用いることで、大規模地震であっても飽和することなく地震規模(モーメントマグニチュード; Mw)を迅速に推定することが可能である。この特性により、

REGARDは地震発生時における地殻変動の即時的な把握と津波予測を支援し、従来の地震観測を補完することで、迅速かつ的確な災害対応を実現する基盤技術となっている。

2. REGARD情報の活用

REGARDは、地震時の地殻変動量・断層モデル・地震規模Mwを推定する。これらの情報を、表-1に示すとおり国土地理院内のほか、関係機関に送付しており、各機関でその目的に応じて活用されている。

表-1 REGARDによる推定結果の送付先とその目的。

送付先	目的
気象庁	津波警報更新の判断を支援する情報の一つ
内閣府	津波浸水被害推計システム
JR東海／東北大	列車運行計画策定
水管理・国土保全局 防災課災害対策室	被害状況把握
国土地理院内	被害状況把握 災害時初動対応

REGARDにより計算された地殻変動量は、地震発生時には、国土交通省内での被害状況把握に活用される。加えて、大規模地震においても飽和することなく地震規模を推定可能であるREGARDの特性を生かし、気象庁では津波警報の更新に際して判断を支援する情報の一つとして利用されている。また、地震規模だけでなく有限な大きさを持つ断層モデルの推定が可能であることから、内閣府の防災情報システムの一機能である津波浸水被害推計システムにおいて、入力断層モデルとして活用されている。さらに、国土地理院、東海旅客鉄道株式会社及び東北大学の三者間において、災害発生時の津波対応力強化を目的として産学官連携協定を締結しており²⁾、協定に基づき、REGARDの推定結果は鉄道運行計画等の策定に活用されている。

このように、REGARDは地震発生時における地殻変動の即時的な推定と津波予測を支援する手段として、減災の観点から極めて重要な役割を果たしている。

3. システム概要

REGARDは主に三つの要素から構成されている(図-1)。①全国の電子基準点の座標値をリアルタイムキネマティック(RTK)測位によって常時算出する要素、②気象庁の緊急地震速報を受信し、地震発生を検知した際に、地震発生前後の座標値の差から各電子基準点の地殻変動量を計算する要素、③地殻変動量を説明する断層モデルを推定する要素である。推定結果は、前章のとおり関係機関へ迅速に提供される。この一連の処理が全て自動で、地震発生から10分以内に実施される即時性がREGARDの特徴である。

要素①について、RTK測位は、固定点と観測点の相対位置を求めることで共通誤差を打ち消し、高精度な測位を実現する手法である。REGARDでは、電子基準点1点を固定点として選定し、他の全観測点との

RTK測位を行っている。しかし、大規模地震や固定点近傍での地震発生時には、固定点自体が地殻変動の影響を受ける可能性があり、正確な変位量の算出が困難となる。この課題に対応するため、REGARDでは北日本・中日本・南日本からそれぞれ1点を固定点として選定した独立な3クラスタを冗長的に運用している。

要素②について、地震発生前後の座標値として、それぞれ20秒間の時間窓における平均値を用いている。地震後の時間窓を移動させながら、5分間にわたり30回の繰り返し計算を行うことで、大規模地震においても破壊伝播が完了した後の地殻変動量を抽出できるようにしている。

要素③について、断層モデル推定では矩形断層モデルとすべり分布モデルの2種類について推定を実施している。矩形断層モデルは、断層すべりを1枚の長方形で近似したモデルであり、日本全国で発生した地震に適用可能である。一方、すべり分布モデルは、プレート境界面上の断層すべりの不均質を表現するモデルであり、千島海溝・日本海溝・相模トラフ・南海トラフ・琉球海溝付近のプレート境界面で発生し得る大規模地震を想定していることから、推定できるエリアが限られる。これら2種類のモデルを併用することで、様々なタイプの断層すべりをより適切にモデル化することが可能となり、津波予測や被害想定的高度化に寄与している。

図-2は、平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震が発生した当時の観測データを用いたREGARDのシミュレーション結果である。緊急地震速報のM(マグニチュード)がM8.0程度で頭打ちとなっているのに対して、REGARDが推定した結果では、矩形断層モデル及びすべり分布モデルの両モデルにおいて、地震発生から150秒程度で真値とされるMw9.0に近い値を推定している。これは、REGARDではマグニチュードの飽和が生じずに、大規模地震の地震規模をより正確に捉えられることを示している。

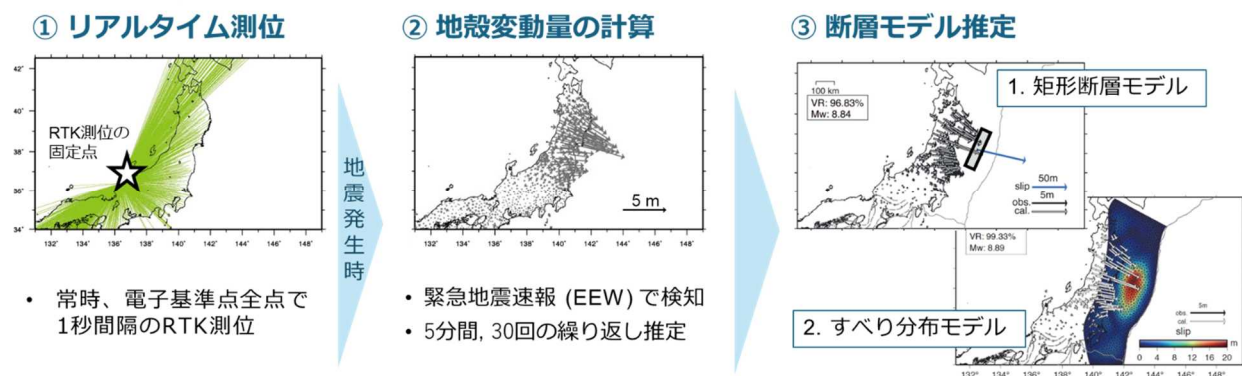


図-1 REGARDの概要。

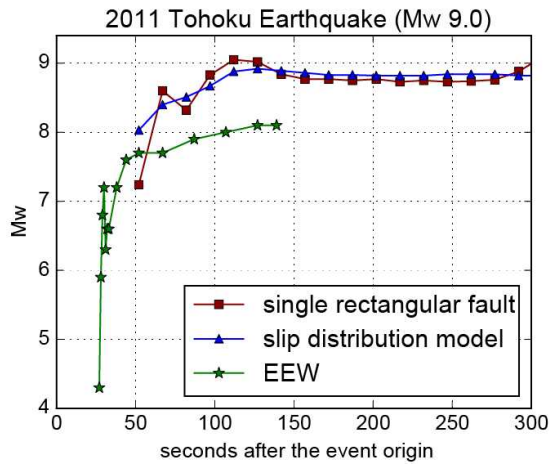


図-2 平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震(Mw9.0)の推定マグニチュードの時系列。赤四角が矩形断層モデル、青三角がすべり分布モデルのMwを示す。緑星印は緊急地震速報のマグニチュードを示す。

4. これまでの動作事例

運用開始以降、REGARDは令和6年能登半島地震に代表されるような複数の大地震において、関係機関にリアルタイムで情報提供をしてきた³⁾。本章では近年発生した2件の動作事例を紹介する。いずれの地震でも、REGARDは、後処理解析によって推定された断層モデルと整合する情報を、地震発生後10分以内に迅速に提供することに成功した。

(1) 令和6年能登半島地震

本地震は、2024年1月1日に石川県能登地方を震源として発生し、最大震度7を観測した。REGARDでは、リアルタイムに能登半島を中心とした広い範囲で地震による地殻変動を捉え、推定した断層モデル結果を地震発生後約8分で関係機関に自動的に情報提供を行った。

REGARDで観測した最大水平地殻変動量は震源近傍の電子基準点「輪島」の約1.3mで、地震発生後約4分で北東-南西走向、南側隆起の逆断層を持つ断層モデルを推定した(図-3)。同推定による断層モデルの地震規模はMw 7.43であり、これは後処理で国土地理院が解析した結果³⁾であるMw 7.44と整合する結果である。地震の際、電子基準点3点が通信回線の不通によりリアルタイムデータ通信が停止したが、正常にデータ伝送された電子基準点(能登半島の2点、新潟・富山の複数点)で有意な地殻変動が観測されたため、後処理と整合的な断層モデル推定結果が得られた。

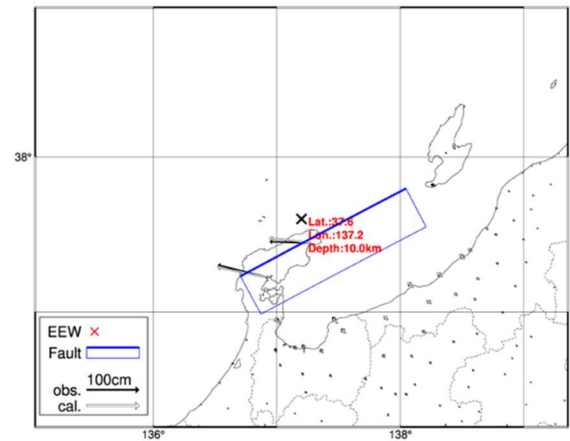


図-3 令和6年能登半島地震においてREGARDが検出した水平変動と推定した断層モデル。青四角が断層モデル。黒矢印は観測した水平地殻変動ベクトル、白矢印は推定した断層モデルから算出した水平地殻変動ベクトルを示す。

(2) 令和6年8月日向灘を震源とする地震

本地震は、2024年8月8日に日向灘を震源として発生し、最大震度6弱を観測した。REGARDでは、震源近傍の電子基準点「宮崎」において約9cmの東南東方向の水平変動をはじめとして、周辺の電子基準点で東～南東向きの水平方向の地殻変動を検出した。また、地震発生後約2分で、走向が北東-南西の逆断層すべりを持つ断層モデルが推定された(図-4)。同推定による断層モデルの地震規模はMw 6.91であり、これは国土地理院による後処理モデルの推定結果⁴⁾Mw 7.10と概ね整合的である。

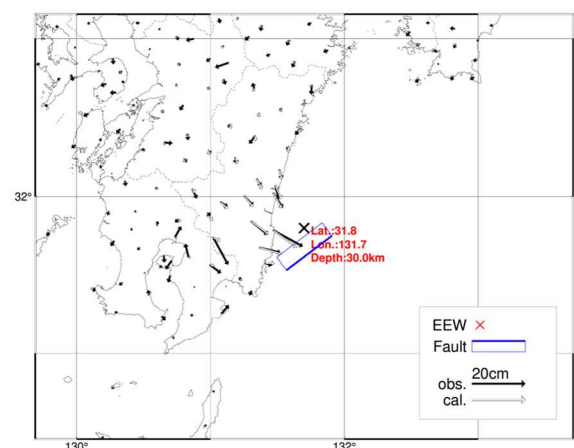


図-4 令和6年8月日向灘を震源とする地震においてREGARDが検出した水平変動と推定した断層モデル。青い四角が断層モデル。黒矢印は観測した水平地殻変動ベクトル、白矢印は推定した断層モデルから算出した水平地殻変動ベクトルを示す。

5. REGARDの改良

ここまでで述べたとおり、REGARDは、運用開始以降24時間365日にわたり毎秒のリアルタイム解析を維持しており、有意な地殻変動が確認された地震では、後処理解析の結果と整合的な地殻変動量と断層モデルの情報提供を迅速に実施してきた。しかし、運用を通じて様々な課題も明らかとなっており、提供データの品質や安定性の向上を目的として、推定結果の品質評価項目の追加や、断層モデル推定手法及び測位手法の改良・開発を継続的に実施してきている。本章では、これまでに行ってきた改良開発の内容について概説する。

(1) データ品質評価の導入

推定結果の確からしさは、その推定を災害対応において活用する際に欠かすことのできない情報で、従来REGARDでは、推定した断層モデルによる観測データの説明度合いを百分率(%)で表現するVariance Reduction(以下「VR」という。)を推定結果の評価指標として使用してきた。VRは、観測変位と推定した断層モデルから算出される計算変位との残差から計算しており(式(1))、VRが高いほど観測値をよく説明する断層モデルが推定されたことを示す。

$$VR [\%] = 100 \left(1 - \frac{r^T r}{d^T d} \right) \quad (1)$$

d: 観測値, r: 残差

一方で、VRが意図せず高くなる不適切な事例がこれまで存在した。VRは観測値そのものの品質を評価する指標ではないために、リアルタイムGNSS測位の不安定性に起因した誤差を含むノイズデータを断層モデルで説明できてしまう事例が生じる可能性が高くなる危険性がある。

代表的なノイズ事例を図-5に示す。第1の事例は、全国の観測点において同様の変動傾向が確認された並進ノイズである。このノイズは、RTK測位において固定点は不動であるという前提の下で解析を行うが、その固定点で発生した解析上のノイズに起因して、他の観測点全点に見かけ上の変動が発生した事例である。第2の事例は、全国各地で解析結果の荒れが確認されたノイズである。このノイズは、解析に使用したGNSS衛星の軌道情報の不足に起因して発生したものであり、入力情報の不足が測位解析に影響した事例である。

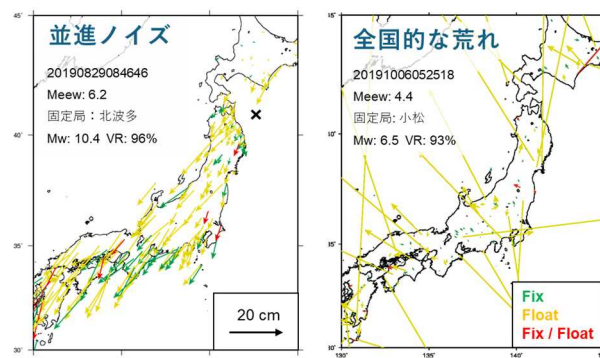


図-5 有意な地殻変動がない地震にもかかわらず、大きなノイズ変位が計算された事例。

この課題解決のため、2021年度から、推定結果の評価指標として、VRに加え、新たに観測データに対する品質評価指標を導入した⁵⁾。データ品質評価の処理では、データ数、変位量、外れ値などの観点から、観測値の品質そのものを定性的な2段階 (Good / Bad) で評価する。VRとデータ品質の複数の側面から推定結果の品質を評価することで、REGARDの誤報が減少し、信頼性・安定性を向上させることに成功した。

(2) MCMC (マルコフ連鎖モンテカルロ法) の導入

REGARDの矩形断層モデル推定は非線形問題であり、その推定手法には、最尤法を使用してきた。最尤法は、観測されたデータを最もよく説明するモデルを推定する手法である。しかし、この方法で得られる断層モデルの推定結果は、初期値に強く依存した単一解のみであり、推定値の不確実性を定量的に示すことができない課題があった。これは自動的に動作するシステムにおいて、不確実性を内在した一つの推定値が、あたかも真実かのように独り歩きしてしまう危険性があることを示す。

この課題解決のため、矩形断層モデルにおいてMCMC(マルコフ連鎖モンテカルロ法)という手法を導入する開発を東北大学と共同で行った⁶⁾。MCMCは、観測データを説明する断層モデルを、乱数を用いて多数生成し、集合として統計的に解を表現する手法である。その乱数性から、初期値依存性が小さいという特徴を持ち、従来の最尤法では単一の値であった推定が事後確率分布として定量的な幅を持って可視化される。一般にMCMCは、計算時間の長さから、リアルタイム解析システムに実装した測地学研究の事例は存在しない状況であったが、開発したアルゴリズムはこれらを克服し、MCMCのリアルタイム活用を実現した⁶⁾。

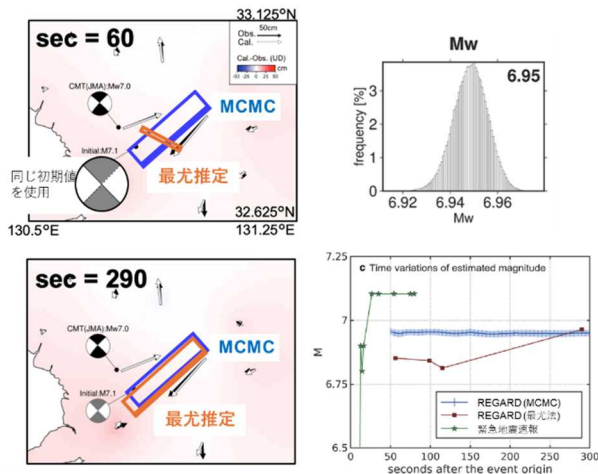


図-6 平成28年(2016年)熊本地震においてREGARDが推定した矩形断層モデル。左上図が地震発生から60秒後、左下図が290秒後の推定結果を示す。橙色が最尤法、青がMCMCで推定された矩形断層モデルを示す。右上図は地震発生60秒後のデータを用いてMCMCで推定したMwの事後確率分布を示す。右下図は緊急地震速報、REGARDの最尤法及びMCMCで推定したマグニチュードの時系列を示す。

特に、平成28年(2016年)熊本地震では、北東-南西方向の右横ずれ断層すべりが発生していたとされるが、従来のREGARDでは地震発生後60秒後では初期値モデルに近い、北西-南東方向の断層を推定していた(図-6)。地震発生後290秒後では北東-南西方向の断層の推定に成功している一方で、MCMCを用いた断層推定では地震発生60秒後には既に北東-南西方向の断層の推定に成功している。Mwの事後確率分布(図-6)からも、一意に収束した解が、確率分布として安定して得られていることが分かる。

矩形断層モデル推定にMCMCを導入することで、初期値に依存しない、より安定したモデル推定が可能になった。加えて、不確実性を確率分布として可視化することで、結果の信頼性を定量的に議論できるようになった。MCMCによる推定は、試験運用を経て、2025年7月に正式運用を開始した。

(3) リアルタイムPPP(精密単独測位)の導入

本章(1)でも述べたとおり、REGARDのリアルタイム測位には安定性の課題がある。従来REGARDが用いているRTK測位は、固定点に対する相対位置を測位する手法であるため、固定点で観測が停止した場合全基線の測位に影響するほか、地震や解析上のノイズによる変位が固定点で生じた場合、全国で見かけ上の並進成分が卓越し、断層推定に悪影響を及ぼす(図-5、並進ノイズ)。この固定点に起因する測位の不安定

性を根本的に解決するために、リアルタイム精密単独測位(PPP)の導入を検討している。PPPでは、1点の観測データのみで測位解析を行うため、各観測点で独立した計算が可能となり、固定点への依存が解消する。

PPPは、2観測点のデータで共通誤差を打ち消すRTK測位と比べ、リアルタイムの精密な衛星軌道情報(精密暦)に代表される様々な補正情報を与えることで、高精度な測位を実現する手法である。従来、リアルタイム精密暦の安定した取得に困難性があり、REGARDへの導入には至っていなかったが、現在、REGARDでは国土地理院で独自算出したリアルタイム暦を使用することでこの課題を解決し、PPPの導入検証を進めている⁷⁾。令和6年能登半島地震を例に、RTK測位とPPPによって得られた地殻変動量を比較すると、両者で同様の地殻変動量を計算できることが分かる(図-7)。現在、PPPの導入は最終調整作業を進めているところであり、RTKに加えた新しい解析クラスタとして今年度末に正式運用予定である。

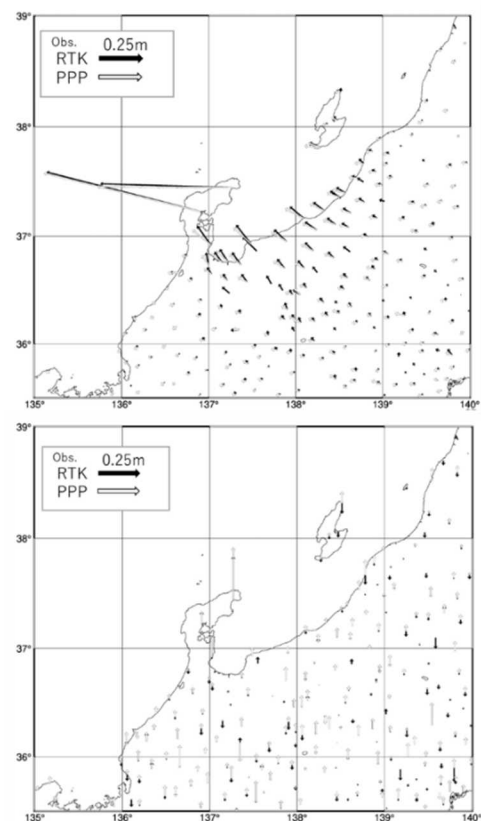


図-7 RTK測位とリアルタイムPPPで得られた令和6年能登半島地震時の地殻変動ベクトル。上図は水平変位、下図は上下変位を示す。

6. おわりに

REGARDは、2016年の運用開始以降、全国の電子基準点の常時測位を継続し、地震時には地殻変動量及び断層モデルの自動的な推定により、迅速な情報提供を実施してきた。これにより、地震発生直後の状況把握や津波予測の精度向上に貢献し、減災の観点から極めて重要な役割を果たしている。一方で、リアルタイムで自動動作するシステム特有の課題も存在しており、データ品質評価指標・MCMC・PPPの導入など、信頼性・安定性を高めるための継続的な改良を進めてきた。これにより、提供情報の信頼性の向上が達成されたが、引き続き地震災害への迅速かつ的確な対応を支える基盤技術として、REGARDの運用・開発を推進していく。

参考文献

- 1) Kawamoto et al. (2017): REGARD: A new GNSS-based real-time finite fault modeling system for GEONET, *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 122, 1324–1349, doi:10.1002/2016JB013485.
- 2) 国土地理院：電子基準点リアルタイム解析システム (REGARD) 情報の提供及び活用に関する国土交通省 国土地理院、国立大学法人 東北大学及び東海旅客鉄道株式会社の産学官連携について, <https://www.gsi.go.jp/denshi/denshi65009.html> (2025 年 10 月 7 日 確認)
- 3) 水藤ほか(2024)：令和 6 年能登半島地震の震源断層モデル, 国土地理院時報, 138 集, doi: 10.57499/JOURNAL_138_05
- 4) 国土地理院：令和 6 年(2024 年)宮崎県日向灘を震源とする地震に関する情報_2. 震源断層モデル, <https://www.gsi.go.jp/common/000260639.pdf> (2025 年 10 月 7 日 確認)
- 5) 大野ほか(2021)：REGARD 推定結果へのデータ品質評価の導入, 日本測地学会第 142 回講演会要旨集, 17
- 6) Ohno et al. (2021)：Real-time automatic uncertainty estimation of coseismic single rectangular fault model using GNSS data, *Earth Planets and Space*, 73 (127), 1–18, doi:10.1186/s40623-021-01425-0
- 7) 多田ほか(2021)：リアルタイム PPP 測位を用いた断層推定の評価, 日本測地学会第 142 回講演会要旨集, 18

令和6年能登半島地震後の道路橋点検における 点検支援技術の試行と検証

小林 巧¹・大住 道生¹

¹（国研）土木研究所 構造物メンテナンス研究センター （〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6）

大規模地震発生後には、多くの制約条件が顕在化する中で迅速で確実な復旧を行うことが社会的に要請される。本研究ではこれら危機的状況下で点検支援技術を積極的に活用し、その要請に対応するための基礎的な検討を実施した。多種多様な点検支援技術には向き不向きが明確にあり、初動～本復旧まで段階的に進む震災復旧において、適材適所に技術を活用することの重要性、及び、日常点検で様々な技術を用いることが震災対応の準備にも繋がることを述べた。

キーワード 震災復旧、道路橋、点検支援技術、令和6年能登半島地震

1. はじめに

大規模地震発生後には、1) 時間的制約（たとえば、人命救助の壁：72時間）、2) 機材や資材の制約（たとえば、橋梁点検車や足場がない条件での点検、復旧のための資材の不足）、3) 人材の制約（たとえば、行政職員や点検技能者が十分に参集できない状況、技術者数の不足）、4) ライフラインやインフラの途絶（たとえば、電気・通信・水等の供給の途絶、道路交通網の途絶）等の制約条件が顕在化する¹⁾。道路橋の震災復旧では、このような制約条件下で、迅速な交通開放と確実な措置を両立することが社会的に要請される。

実際に2016年の熊本地震では震度6弱以上が推定された地域に約15,700橋²⁾の道路橋が存在し、2024年の能登半島地震では3,018橋³⁾の道路橋が存在した。これらに対し技術者が点検・調査～措置等を可能な限り効率的に、かつ、確実にいき一刻でも早く交通開放を行わなければならない状況が存在した。

いつ発生するかわからない地震に対して、事前に所要の人員や機材等を確保することが困難な場合も多く、道路の早期機能回復を行うための方策を事前に考えておく必要がある。一方、地震後の厳しい制約条件下で、人間のみで迅速で確実な復旧を達成することには限界がある。

そこで本研究では、点検支援技術（以下、点検技術と呼ぶ。）を活用し、震災対応を効率化するための検討を紹介する。初動～本復旧まで段階的に進む震災復旧において、各段階で点検技術に求められる要件の例⁴⁾を示したうえで、実際に令和6年能登半島地震で様々な点検技術を試行的に活用した事例⁵⁾を述べる。

2. 震災復旧のフェーズの移行に伴って変化する点検技術に求められる要件の例

現行の地震後の異常時点検（以下、震後点検と呼ぶ。）は、一般に「地震発生後、速やかに道路構造物の被害の概要を把握するとともに、重大な二次被害につながる可能性のある被害を発見するために行う」緊急調査と、「全体的な被害状況を把握するとともに、応急復旧の実施および復旧方針の決定のために行う」応急調査、本復旧のための調査で構成される場合が多い⁶⁾。緊急調査は車上からの目視や、徒歩移動による目視が行われ、応急調査や本復旧のための調査は近接目視が行われる場合が多い。（図-1）

このように、震後点検には様々な調査が存在しており、それら調査の全てに、点検技術の活用による効率化や高度化の余地があると同時に、それぞれの調査に各種点検技術の向き不向きが存在する。たとえば、低精度であっても、道路網の広い範囲のおおよその状態を把握できる衛星等の点検技術、道路橋の特定の部材の状態を高精度に把握できる点検技術等がそれに該当する。

たとえば、緊急調査では(i) 落橋により道路網が寸断されている場所や、落橋に至っていないくとも段差や線形不良により通行に支障が生じている可能性がある道路橋を把握するフェーズ、(ii) 支承部の損傷等の二次被害に繋がる変状が生じていることを把握するフェーズが存在する。その後の応急調査では、(iii) 変状の原因となっている損傷を把握し、残存性能を把握するフェーズ、(iv) 監視を行いながら交通開放を行うフェーズ等が存在する。

図-2に震災復旧のフェーズ毎の点検ニーズの変化のイメージを示す。おおまかに、初動では精度が悪くとも

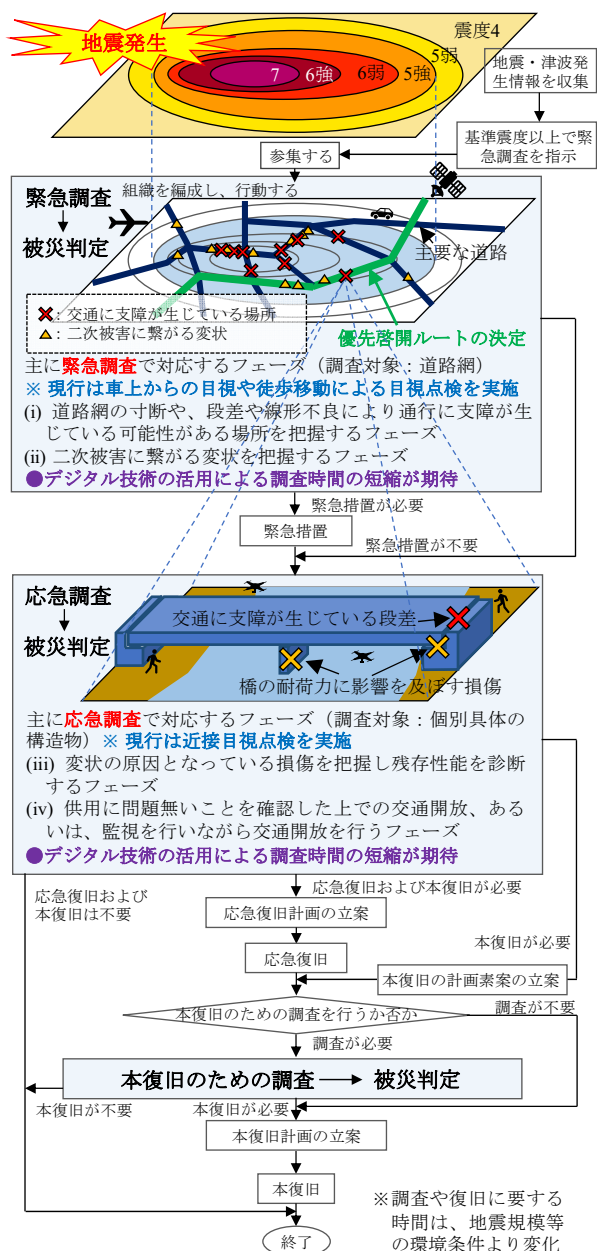


図-1 震後復旧の基本的な流れとデジタル技術の活用⁴⁾⁶⁾

道路網全体の状態を把握できる情報が必要であり、時間経過とともに、より詳細な情報の取得が必要とされる。そのため、点検技術を用いて震後点検を効率化・高度化するためには、各フェーズのニーズに沿った点検技術の開発を行い、適切に活用する必要がある。震後点検では点検技術に対して、全てのフェーズにおいて迅速な調査であることが要求され、調査対象に応じた所要の損傷検知精度が要求され、さらに、発災後の状況（道路網の寸断、天候、夜間等の点検の時間帯、人員配置、使用できる機材等の制約条件）に対応できる適用範囲を事前に明確化することが要求される。

これらを念頭に置き、3章では実際に様々な点検技術を活用した事例を示し、4章ではそれら点検技術の特性に応じた、震災復旧における適用タイミング及び類型の例を示す。

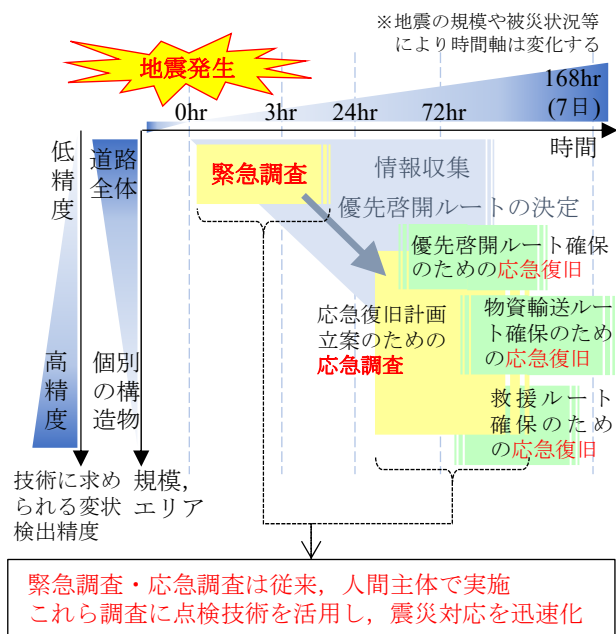


図-2 震災復旧のフェーズ毎の点検ニーズの変化のイメージ⁵⁾

3. 点検技術の活用事例

3章では、共同研究⁵⁾の一環で、令和6年能登半島地震において試行的に実施した各種点検技術を活用した震後点検事例を紹介する。なお、当該共同研究⁵⁾では、実際の調査に加え、各種技術の損傷検出能力等についても調査している。能力評価を厳格に行うことで、地震後の致命的な変状の見逃しリスクが低減でき、より確実な復旧に繋がる。この結果も併せて示す。

(1) 画像撮影技術

a) UAV⁷⁾

震後点検では足場等が無い条件で近接が困難な箇所（たとえば、支承部、トラスの上弦材、ケーブル、主塔等）の点検が必要となる場合も多い。それを補うことを想定してUAVを使用した。写真-1にUAVの使用状況、写真-2にUAVで撮影した支承部の様子を示す。図-3（今回用いたUAVはUAVaである。）の通り事前にUAV等に搭載されたカメラの能力を把握⁴⁾しており、たとえば、標準的な撮影環境では2m離れた位置からは0.3mm以上のひび割れ、1°以上の変形角、2mm以上の変形量や移動量を把握できる能力がある。撮影された写真からは写真-2に示す通りの変状が確認された。

b) 自撮り棒+アクションカメラ⁷⁾

UAVと同じ使用目的（近接困難箇所の点検）で5mの長さの一般的な機能の自撮り棒を用い、棒の先にアクションカメラを取り付けた。今回用いたアクションカメラは図-3のUAVaとほぼ同じスペックであり、広角や魚眼レンズではなく部材が湾曲せず写るカメラを使用した。写真-3に自撮り棒の使用状況および撮影写真を示す。



写真-1 UAVの使用状況

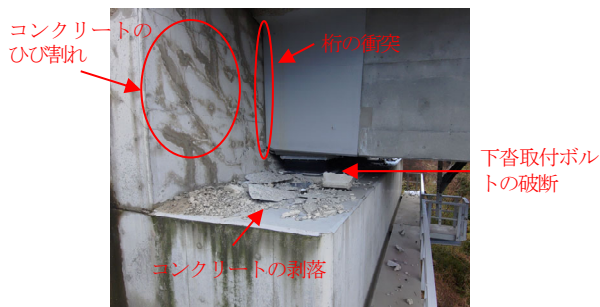


写真-2 UAVで撮影した支承部の様子

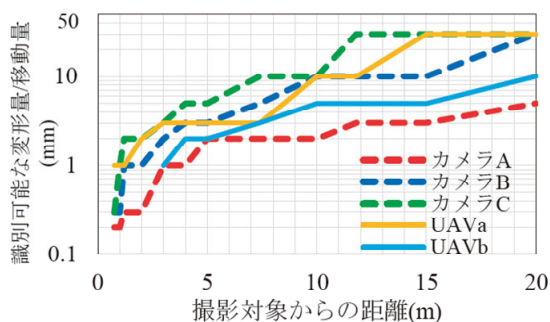


図-3 撮影距離と識別可能な変形量/変位量の関係⁴⁾

カメラスペックはUAVaに搭載されているものとはほぼ同等であるため、UAVで撮影した写真と同様の大きさの変状の有無が確認された。

c) ファイバースコープ

後傾し、打継目が開いている橋台の内部の鉄筋の破断の有無を確認する目的でファイバースコープを使用した。写真-4にファイバースコープの使用状況及び撮影した内部鉄筋の様子を示す。ファイバースコープはこのような狭隘で人が目視できない位置の変状の把握に役立った。

d) 画像解析

主桁の変形が生じ支承部にアンカーバーの抜け出しや杏座モルタルの割れ等の変状が生じた道路橋の点検に画像撮影による微小変位計測を行った。本技術は画像内の任意の位置での撮影時間内の相対変位量を計測できる。

写真-5の画像解析結果はある撮影時刻における代表点の変位を、撮影開始時の代表点の位置を基準とした変位ベクトル（変位量と方向）で表現し、変位を400倍にして示している。この結果から桁が変形した後も車両の通



(a) 橋面から自撮り棒を降ろす使い方 (b) 地表から自撮り棒を上げる使い方

写真-3 自撮り棒の使用状況



写真-4 ファイバースコープの使用状況及び撮影した内部鉄筋の様子



【凡例】→ : 変位ベクトル □ : 不動点

写真-5 画像解析結果

行に応じて0.2mm程度動いている様子が確認された。

損傷検出精度を検証した範囲では、正解値とのずれは平均0.07 mm程度であった⁹⁾。この精度に照らせば、計測精度を超えて支承部周辺が挙動しているため、この解析結果（写真-5）は妥当であることが推測される。

(2) 3次元点群レーザー計測技術

a) ハンディタイプのスキャナー⁸⁾

支取付ボルトが破断し、上部構造の橋軸方向への移動が確認されたランガー橋で、上部構造のゆがみ程度を把握する目的で3次元点群計測を行った。

写真-6に調査の様子、図-4に取得した点群モデルを示す。本試行では点群の相対位置から上部構造のゆがみを



写真-6 調査の様子



図-4 取得した点群モデル

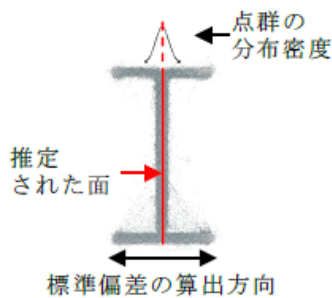


図-5 標準偏差の算出イメージ

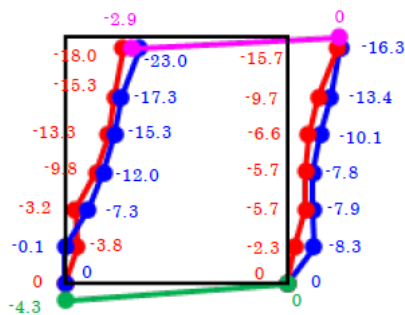


図-6 上部構造のゆがみ推定結果の例 (単位: mm)

推定した。鋼部材は面で構成されることができると考えることができる。一方、点群には計測上の誤差があり、ある面を計測した場合でも空間的にばらつきが発生する。その点群から面の位置を推定する際、面からの距離の誤差が最小となるように推定した。その標準偏差は計測データにより異なり、おおよそ3~8mm程度であった。

図-5に標準偏差の算出イメージ図、図-6に上部構造断面のゆがみの推定結果の例を示す。技術者が近接目視を行った際には上部構造のゆがみがわからなかったが、3次元点群計測を行うことでばらつきがあるものの上部構

造にゆがみがある可能性を把握することができた。

b) 3脚タイプのスキャナー

近接目視点検で数cm程度のはらみ出しが確認された補強土壁に対し3次元点群計測を実施した。図-7に取得した点群モデル及び断面の変位分布を示す。技術者による近接目視点検では部分的な変位しかわからなかったが、3次元点群計測を行ったことで面的な変位の分布が計測できた。補強土壁の倒れこみが生じている可能性がある。

損傷検出精度を検証した範囲では、計測対象から10~60 m離れた位置での正解値とのずれは0.07 m程度であった⁹⁾。この精度に照らせば、計測精度を超えて補強土壁のはらみ出しが生じているため、この倒れこみを示す計測結果(図-7)は妥当であることが推測される。

(3) 弾性波計測技術⁹⁾

A1橋台上の8基のゴム支承の内、6基に外観目視で内部の破断が疑われた道路橋において、弾性波計測を実施した。図-8にその概要を示す。この計測を外観目視で破断が疑われたゴム支承と、外観には変状が確認されなかったゴム支承を対象に計測を行った結果が図-9である。

ゴム支承内部の状態は現時点で直接確認されていないが、少なくとも外観目視で破断が疑われたゴム支承では卓越周波数が小さい傾向があることが確認された。外観からは確認できない変状を検知するためには、この傾向が実際にどのような変状を意味している計測結果であるか判別する技術が必要となり、今後の検討課題である。

(4) 人工衛星による橋面の変位計測¹⁰⁾

構造物に生じた重大損傷の人工衛星による検知を試行した。12日間隔で観測される衛星データから対象へのマイクロ波の反射時間から推定した伝播距離を地震前の45回観測分と地震後の3回観測分(12日×3回分)使用した。全般にt回目とt+1回目の観測データは交通荷重等により発生する微小変位による差が生じる。一方で地震により観測対象が変位した場合、観測データの差は通常の微小変位による差とは異なる傾向が生じる。この変位傾向の変化(衛星見え変位)を「見え変位の違い指標」として数値化し、地震発生前後の道路橋の橋面の変位の変化の傾向を分析した。

図-10に分析対象275橋に対する地震前後の変位の変化の程度を示す指標(見え変位違い指標)の累積相対度数による分布を示す。地震発生後1か月程度のデータを使用するため、地震発生後の迅速な情報提供というニーズに応えるためには課題があるが、広範囲の変状把握できる可能性が示唆された。実際の変状と比較して「見え変位」が何を意味しており、どのような精度で変状を検知可能であるかは今後の課題である。なお、損傷検出精度を検証した範囲では、衛星SARの観測データには、GNSSスタティック測位と比べ、標準偏差5 mm程度のノイズ成分が含まれることを確認している⁹⁾。

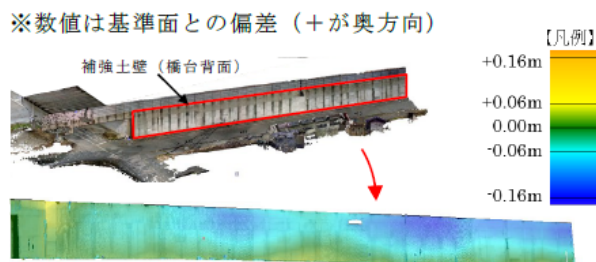


図-7 取得した点群モデル及び断面の変位分布

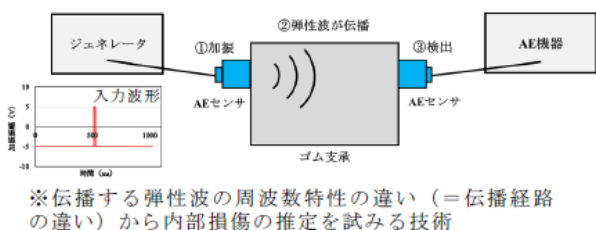


図-8 弾性波計測の概要

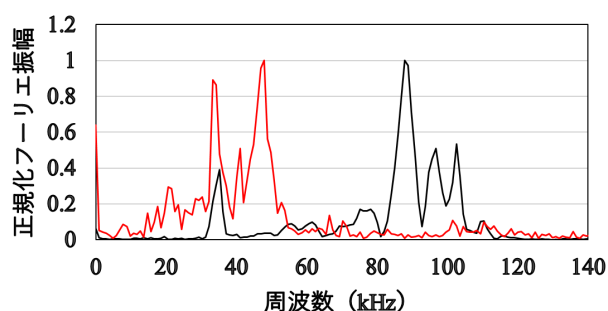


図-9 正規化フーリエスペクトルの比較結果

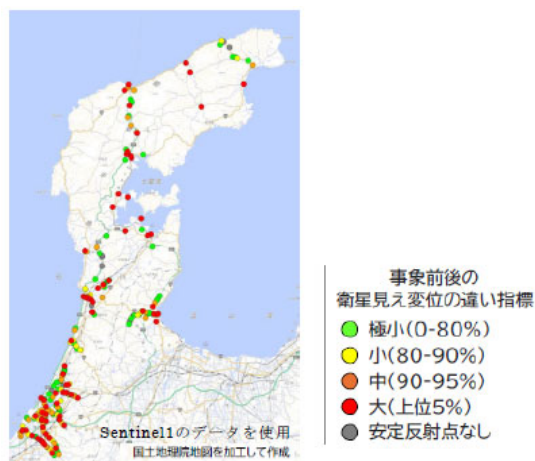


図-10 分析対象275橋に対する地震前後の見え変位の違い指標の分布

4. 点検技術の用途に応じたタイプの例

図-11に共同研究で扱った技術の震後点検における適用タイミングの例⁹⁾を示す。3章では実際に令和6年能登半島地震で被災を受けた道路橋に対して、試行的に点検技術を適用した事例を述べた。図-11には、それら点検技術に加え、フェーズドアレイや記入様式作成自動化ソ

フトウェア、生成AI (LLM, Large Language Model) による診断補助等の共同研究内で扱った全ての技術を図-2に追記・編集し作成している。なお、本研究で述べた技術以外の詳細は文献5)に記載がある。

多種多様な点検・診断を支援する技術が存在するが、技術者の能力を基準に類型化すると、1) 人間が行うよりも一般に広範囲／低精度のデータを収集する技術群（類型Ⅰ）、2) 人間程度の範囲／精度で作業を補助する技術群（類型Ⅱ）、3) 人間が行うよりも一般に狭い範囲／高精度のデータを収集する技術群（類型Ⅲ）に大別できる。

類型Ⅱは、現行の部材単位での近接目視点検が義務付けられている定期点検でもスクリーニング的な用途で活用できる可能性があり、震後点検に特有の時間的制約が厳しいという条件下では更に力を発揮する可能性がある技術群である。精度が低くとも、広範囲の概況を迅速に把握できるのであれば震災復旧の迅速化に貢献できる。UAVや衛星SARのような空中から広範囲の情報を取得できる技術が類型Ⅰに分類できる。

類型Ⅲは、現行の定期点検の延長上で取り入れやすい技術群である。なお、本研究の主題は震後点検であるが、定期点検では近接目視以外の方法を用いる場合、必要な仕様、精度について、誤差等の評価ができるようにキャリブレーションを行うものとし、キャリブレーション方法はデータ収集の目的に照らして適切に設定する必要がある¹¹⁾。震後点検に特有の条件として、1) 橋梁点検車や足場の手配がない状況で点検しなくてはならない場合や、2) 短時間で膨大な点検等を実施する必要がある。1)については、遠望カメラや自撮り棒付きカメラ、UAV等が有効であった。2)に対しては、記入様式自動化ソフトウェアやLLMの活用に向けた研究開発が進められている⁹⁾。

類型Ⅲは、現行の定期点検の非破壊試験等に近い位置づけの技術群であり、目視や触診では把握が困難な微細な損傷検出に強みがある。特に震後点検では、地震動が作用した部材等の点検を実施するため、死荷重や活荷重による変状とは異なる変状が生じる場合が多い。たとえば、地震動の動的作用を受けた後に各部材が設計で想定する挙動（支承部は可動し、それ以外の部材は静的に留まっているか等）を把握するための画像による微小変位計測、部材の内部の損傷検出に寄与できるAE計測システムやフェーズドアレイ等が類型Ⅲに該当する。

なお、本章の議論で定期点検と比較してきた理由は、大規模地震発生後に迅速で確実な交通開放を実現するための点検手段として、多種多様な点検技術から即座に適切な手段を選択するには、日頃からそれら点検技術を活用することが重要であるためである。大規模地震は突発的に生じ、その被災地域の特定の行政や個人に社会的への影響が大きい判断を迫られる状況も多く生じるため、日ごろから準備を行うことが重要である。

東北地方整備局が発刊している「東日本大震災の実体験に基づく災害初期指揮心得」¹²⁾では、「備えていた

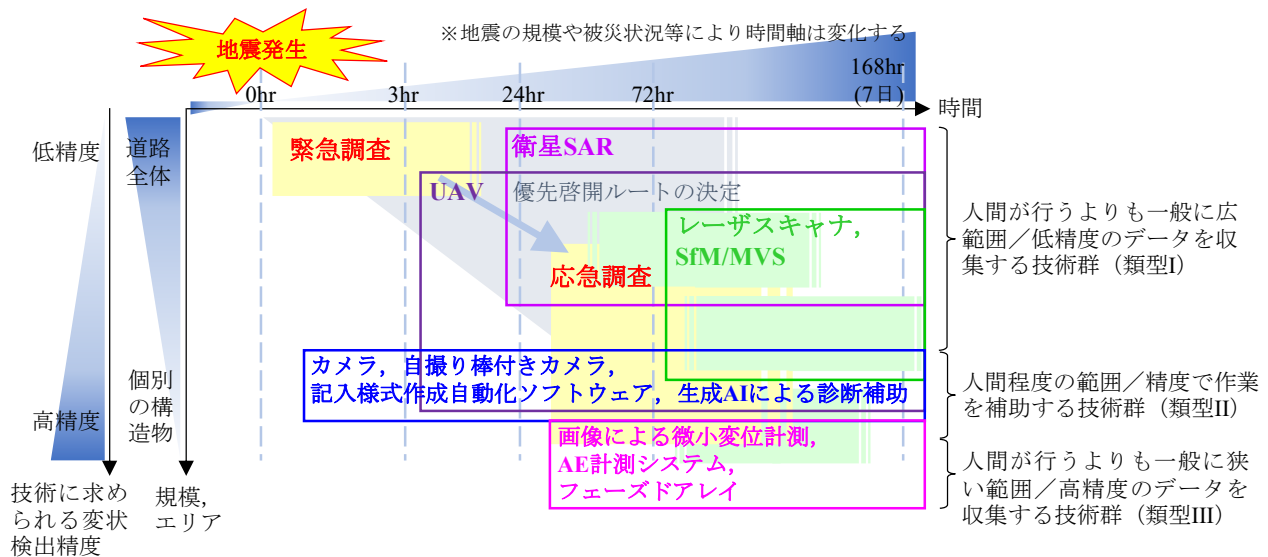


図-11 共同研究で扱った技術の震後点検における適用タイミングの例⁹⁾

ことしか、役には立たなかった。備えていただけでは、十分ではなかった。」と当時を振り返っている。備えの重要性を提言していると同時に「備えあれば憂いなし」とはならないことも述べている。大規模地震発生後には迅速で確実な交通開放が社会的に要請されるが、それへの備えはまだ途上である。本研究が、地震により被災した道路橋の管理者や、震後点検等を実際に行う方々の一助になれば幸いである。

5. さいごに

大規模地震発生後には一刻も早く、かつ、確実な措置を取ることが社会的に要請される。本研究では、これら状況に対し、点検支援技術を活用し、その社会的要請に対応するための基礎的な検討を実施した。実運用にあたっての用途と求められる点検支援技術の能力の検証は途上であり、今後拡充する必要がある。リクワイアメント（技術への要求事項）の明確化とそれに応える技術開発により、大規模地震発生後の迅速な交通開放と確実な措置の両立が、より迅速に、より確実に遂行されることが今後期待される。

謝辞：本研究の遂行にあたり、北陸地方整備局や石川県等に調査の許可を頂きました。また、本研究は「道路橋の震後点検の効率化・高度化に向けた新技術の利活用に関する共同研究（令和5～6年度）」の一環で行われたものです。また、本研究では共同研究に参加している各社の技術も掲載させていただきました。記して謝意を示し

ます。

参考文献

- 1) 吉谷薫, 小林巧, 大住道生：道路橋の震後点検の効率化・高度化に向けた新技術の適用性、～令和6年能登半島地震での試行事例～, 土木技術資料, 66-9, 2024.
- 2) 国土交通省：道路構造物の被災状況のとりまとめ, 第5回道路技術小委員会, 資料2, 2016.
- 3) 国土交通省：令和6年能登半島地震を踏まえた道路構造物（橋梁, 土工, トンネル）の技術基準の方向性（案）, 社会資本整備審議会, 道路分科会, 道路技術小委員会, 資料-1, 2025.
- 4) 小林巧, 大住道生：道路橋の震後点検の効率化・高度化に向けたデジタル技術の利活用に関する検討, 土木技術資料, 特集, 関東大震災から100年後の耐震技術, 65-9, 2023.
- 5) 土木研究所, 橋梁調査会, 川金コアテック, ニコン・トリニプル, 日本電気, パナソニックコネクト：道路橋の震後点検の効率化・高度化に向けた新技術の利活用に関する共同研究報告書, 土木研究所, 共同研究報告書, 第611号, 2025.
- 6) 日本道路協会：道路橋震災対策便覧（震災復旧編）, 令和4年度改定版, 2023.
- 7) 小林巧, 吉谷薫, 大住道生：道路橋の震後点検におけるUAVや自撮り棒の活用方法に関する実践的研究, AI・データサイエンス論文集, 2024.
- 8) 吉谷薫, 小林巧, 大住道生：震後点検における点群計測による鋼アーチ橋のゆがみ調査, AI・データサイエンス論文集, 2024.
- 9) 室田亮馬, 川崎佑磨, 後智貴, 井上和真, 姫野岳彦, 高畦武志：令和6年能登半島地震で被災した橋梁用ゴム支承の損傷評価, 地震工学研究発表会, 2024.
- 10) 久村孝寛, 木下耕介, 矢野友貴宏：人工衛星による橋梁の異常検知に関する検討 令和6年能登半島地震を事例として, AI・データサイエンス論文集, 2024.
- 11) 国土交通省：橋梁定期点検要領, 令和6年7月, 2024.
- 12) 東北地方整備局：東日本大震災の実体験に基づく災害初期指揮心得, 2013.

空港（土木施設）のBIM/CIMの取り組みについて

久保田 皐※¹ 畑 伊織※²

※¹国土技術政策総合研究所 空港研究部 空港施工システム室 係長

※²国土技術政策総合研究所 空港研究部 空港施工システム室 室長

（ 〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬3丁目1番1号 ）

令和5年度からBIM/CIM活用が義務化されており、国土交通省航空局及び国土技術政策総合研究所においてはBIM/CIMに関する適用基準の策定やBIM/CIMデータを格納する情報管理プラットフォームの構築を実施している。さらに地方整備局等においては、CIMデータの作成とその利活用を実施している。なお、空港土木施設では、それらのデータを取りまとめたものがないため、空港全体を俯瞰的に3次元データで視覚化し、保存活用するためのプラットフォームとして空港施設BIM/CIMプラットフォームを作成し、空港分野の生産性向上を図る取り組みを行っている。

キーワード BIM/CIM, 空港工事、空港業務

1. はじめに

1.1 背景と目的

国土交通省においては、建設事業で取扱う情報をデジタル化することにより、調査・測量・設計・施工・維持管理等の各段階に携わる受発注者のデータ活用・共有を容易にし、建設事業全体における一連の建設生産・管理システムの効率化を図ることとして、BIM/CIMの取組を進めているところである。

これを踏まえ、空港の土木施設においては、空港分野の生産性向上を図るため、航空局及び国土技術政策総合研究所においてBIM/CIMに関する適用基準の策定やBIM/CIMデータを格納する情報管理プラットフォームの構築を実施している。また地方整備局等においては、CIMデータの作成とその利活用を実施しており、本稿では、それらの取り組みについて紹介する。

1.2 適用基準について

空港土木施設の BIM/CIM に関する基準類の策定は、令和2年度からなされており、現在においては以下の基準類が策定・改定されている。

- ・BIM/CIM 活用業務実施要領(案) 空港編(空港土木施設) (令和7年3月改定)
- ・BIM/CIM 活用工事実施要領(案) 空港編(空港土木施設) (令和7年3月改定)

- ・BIM/CIM 活用ガイドライン(案) 空港編(空港土木施設) (令和4年3月改定)
- ・BIM/CIM モデル等電子納品要領(案)及び同解説 空港編(空港土木施設) (令和5年3月策定)

上記はいずれも BIM/CIM を推進し、またその取組のルールを定めたものであり、今後も使用者が使いやすい基準を目指し、上記基準の改定が航空局により実施される。

なお、上記の基準については、航空局のウェブサイト¹⁾から閲覧することができる。

2. CIMデータの作成・活用の取り組みについて

次に、空港(土木施設)の CIM データの作成・活用の取組について紹介する。今回はユースケースとして、「地盤改良工事における地下埋設物との干渉確認」及び「建設機械と制限表面との干渉確認」といった空港特有の事例について記載する。

なお、下記の事例については、「BIM/CIM 事例集(空港編)」としてまとめられており、航空局のウェブサイト¹⁾から閲覧することができる。

【事例1】地盤改良工事における地下埋設物との干渉確認

空港は、様々な事業主体(空港管理者、エアライン、給油事業者等)の施設が共存するため、多種多様な地下埋設物(共同溝、排水管、オイルパイプ等)が存在する。

また、空港は地震等の災害が発生した際は、救急・救命活動の拠点や緊急物資・人員等の輸送を受け入れる拠点とな

ることから、災害発生後、早期にその機能回復が求められる。そのため、地震による液状化の対策として地盤改良が必要となり、その取組を進めているところである。

地盤改良工事を行う際は、その施工箇所と既存の地下埋設物が干渉しない様に設計・施工を行う必要があるが、従前は紙ベース(2D)の確認となっていたため、干渉確認が難しい状況であった。そのため、CIM データを作成することにより、その干渉位置・形状を把握し、設計・施工の手戻りを少なくする取り組みを行うことにより、業務の効率化に繋げている。(図-1)

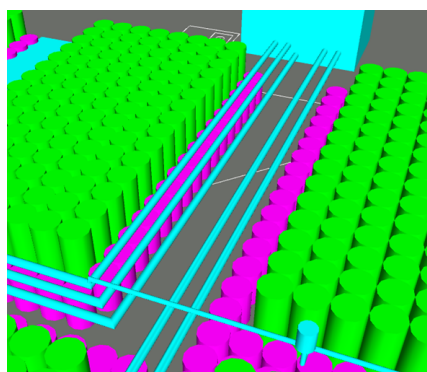


図-1 地盤改良と地下構造物との干渉確認のイメージ化

【事例2】建設機械と制限表面との干渉確認

空港においては、各種の制限表面が設定されている。制限表面とは、「空港及びその周辺に障害物のない空域を確保し、航空機が安全に運航するために設けられた障害物を制限する表面」であり、工事を施工する際においても建設機械(工事用車両や工事用船舶)がその表面を突出して工事を実施してはならない。

そのため、従前においては、上記の事例1と同様に紙ベース(2D)による確認を行っていたが、制限表面を3D化することにより、任意の場所の制限表面高さを容易に確認できようになることで、建設機械が制限表面を突出するかの確認・検討を効率的に行えるようになった。

また、3Dによる可視化により、構造物モデルに制限表面を重ねて表示させることで、目に見えない制限表面と、見える構造物の干渉イメージを容易に共有することが可能となることから、それらを関係者協議等の資料作成に活用するなど、業務の高度化・効率化につながる取組を行っている。(図-2)

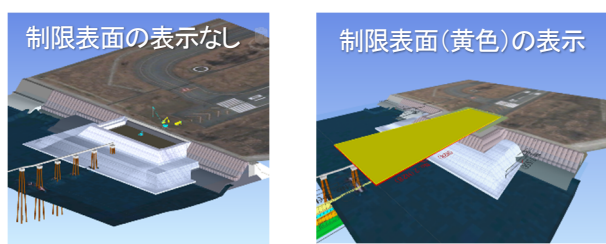


図-2 3Dによる制限表面のイメージ化

【事例3】工事の活用例

空港工事は空港の特性上、運航が終了した深夜から早朝にかけての工事が多い。また、現地確認も夜間に実施することが往々にしてある。そのため、発注者・受注者ともに工事の進捗、実施手順のイメージが難しく、認識共有のための打合せ・協議が多くなる傾向がある。CIM データを活用することにより、施工ステップごとに3次元で確認することができるので受発注者間の認識共有、ひいては業務の時短にもつながる。(図-3)

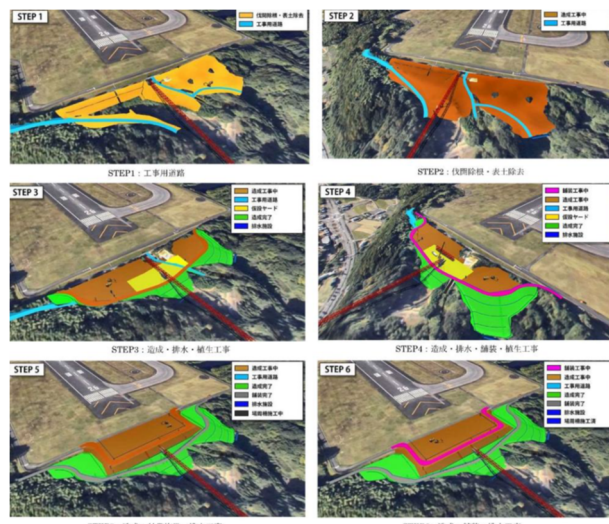


図-3 3Dによる制限表面のイメージ化

3. 空港施設BIM/CIMプラットフォームの構築について

3.1 プラットフォームの構築

ここからは、空港全体の取組として、国土技術政策総合研究所がシステム構築・運用を行っている東京国際空港(羽田空港)のBIM/CIMプラットフォーム(以下、「プラットフォーム」という。)について記載する。

プラットフォームは、国交省の空港分野に携わる直轄職員(地方整備局及び地方航空局の職員等)が使用し、職員が実施する業務の効率化・省力化を図ることを目的としたシステムである。

プラットフォームに必要な機能について以下の3点と定義し、システムの構築を行った。

- ①BIM/CIMデータの格納:BIM/CIMデータの作成年度、内容等が容易に把握できるよう、格納する機能。
- ②BIM/CIMモデルの閲覧:BIM/CIMモデル(地形モデル等)を利用者が閲覧する機能。
- ③BIM/CIMデータの共有:BIM/CIMデータを関係者(受発注者等)に共有する機能。

また、プラットフォームは、空港の3D地形データを構築しそのデータに毎年作成される工事成果品のCIMデータを追加していくことで、データの拡充を図るものであり、格納場所

を「管理ルーム」と呼ぶこととした。図-4 はプラットフォームの管理ルームであり、3D地形データに各工事のCIMデータ（青マークの箇所）を格納しているものである。

また、受発注者間でデータのやり取りをするための「個別案件ルーム」と呼ばれる格納場所を構築した。個別案件ルームでは、受発注者間で BIM/CIM データの受け渡しや協議資料の共有を行うことが可能である。（図-5）

なお、本プラットフォームは、3 次元マップの利用に特化したオープンプラットフォーム(3次元ソフト)を採用し、構築を行った。当該オープンプラットフォームの使用上の利点は、高性能PCや専用ソフトを個別に使用することなく、WEBブラウジングできる環境があれば一般的なPCにて操作・閲覧することが可能な点である。



図-4 東京国際空港のBIM/CIM プラットフォーム管理ルーム(3D データの格納)

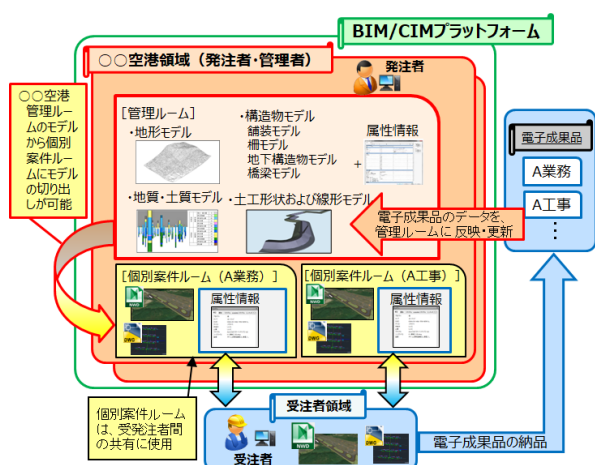


図-5 プラットフォーム構築のイメージ

3.2 プラットフォームの今後の取り組みについて

本プラットフォームは令和7年7月から運用を開始しており、7月初旬には利用者に対してプラットフォームのオンライン講習を行った。さらに秋には今後の運用に向けたシステム改良検討を行うためのアンケートを実施し、結果を取り纏めた。アンケートについては操作に関わるキーワードを抽出し、実操作の中で感じた操作性や

インターフェースなどの分かり易さについて把握することを主眼として、設定した。

アンケートに関するキーワードは表-1 のとおりであり、表-1 をもとに作成したアンケート項目の一例を表-2 に掲載する。

表-1 キーワード

No.	キーワード
1	操作マニュアル
2	ログイン認証
3	ビューア（WebGIS）起動
4	ビューア（WebGIS）画面説明
5	ビューア（WebGIS）画面操作
6	地図設定
7	個別案件ルームの作成
8	BIM/CIM モデルのアップロード
9	BIM/CIM モデルのダウンロード
10	BIM/CIM モデルの閲覧・操作
11	属性情報の閲覧・操作

表-2 アンケート項目（例）

3. いつ、どのタイミングで操作に迷ったり困ったりしましたか。その場面を選択してください。（複数選択可）*

- ☐ ログインや認証
- ☐ ビューアの起動
- ☐ 画面の操作（回転・拡大縮小・断面表示など）
- ☐ 地図設定
- ☐ 個別案件ルームの作成
- ☐ BIM/CIMモデルのダウンロード/アップロード
- ☐ BIM/CIMモデルの閲覧・操作
- ☐ 属性情報の閲覧・編集

表-3 アンケート結果

アンケート結果
使い難さの場面・機能は「画面の操作（回転・拡大縮小・断面表示など）」、「ログインや認証」であった。
サポート体制の希望では「オンラインヘルプ/チャットサポート」と「操作マニュアルや FAQ」がともに最も多かった。
改善希望内容では「操作手順を簡単にしてほしい」「画面表示やボタン配置を分かりやすくしてほしい」という意見があった。

アンケート結果（表-3）により利用者はインターフェースデザインを含む操作性やサポート体制の充実に関心があることが分かった。

今後、プラットフォームのシステム改良を行う際には、アンケート結果を踏まえた改良を実施予定である。

4. 終わりに

令和5年度にBIM/CIM原則適用が始まり、空港（土木施設）においては、個々の設計・工事の案件にてBIM/CIMデータの作成と活用が取組が先行して行われているものの、東京国際空港のBIM/CIMプラットフォームのような空港全体の実組についてはまだ始まったばかりである。

空港（土木施設）のBIM/CIMについては、試行錯誤しながら取組を進めているところであり、このような新しい取組が当たり前のものになり、さらに一層の生産性の向上になるように、微力ながら取組を進めてまいりたい。

また、プラットフォームは令和8年度以降順次他空港へも拡大を予定しており、プラットフォームの構築・改良を行うことにより受発注者間のさらなる業務改善につながることを期待する。

参考文献

1) https://www.mlit.go.jp/koku/koku_tk9_000019.htm

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)

本市は、久留米市地球温暖化対策実行計画でエネルギー起源CO₂を2013年度比で71%削減目標とし、CO₂排出係数“0”の扱いとなるごみ処理電力を活用し、ごみ処理発電施設を所管する環境部と、常に多くの電力を消費するプラント系施設を所管する上下水道部が連携し、71%削減目標の内、残りの必要削減量(14,191t-CO₂/年)の約22%(約3,200t-CO₂/年)ものCO₂を削減する、自治体において九州初となるごみ処理電力を活用した「自己託送・託送のベストミックス方式」での電力供給事業を開始した。初期投資不要でCO₂排出量削減・エネルギー地産地消・電源価格の低位安定を達成することが出来る、本市の取り組みについて報告する。

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. 久留米市の概要

久留米市は九州北部、福岡県の南西部に位置し、人口約30万人の中核市で福岡県内では福岡市、北九州市に次ぐ第3の都市で、九州一の大河である筑後川の恵みに育まれた自然豊かなまちである。図-1に久留米市の位置を示す。江戸時代には久留米有馬藩の城下町、近代以降は久留米絨に代表される伝統工芸やゴム産業など「ものづくりのまち」として発展してきた。

また、人口10万人あたりの医師数は、全国の政令市、中核市でトップクラス。古くから「医者のまち」として知られ、市内には、32の病院と300を超える診療所があり、医療環境が充実している。ラーメンや焼きとり、日本酒、フルーツなどの多彩なグルメがあり、とんこつラーメンは久留米発祥である。



図-1 久留米市位置図

2. 背景

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)を2023年度に改定した。

改定時に目標として掲げた「エネルギー起源CO₂を2013年度比で71%削減」を達成するためには、CO₂排出量削減のための取り組みを推進しなければならない。

そこで、CO₂排出係数“0”での扱いとなるごみ発電による電源(以下「ごみ処理電力」という。)に着目し、常に多くの電力を消費する上下水道部所管施設にごみ処理電力を供給する事業に環境部・上下水道部が連携して取り組みCO₂排出量の削減を目指すこととした。

2023年度に改定した久留米市地球温暖化対策実行計画の主な内容は以下のとおりである。

【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
- ・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）、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

- ・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

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。

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	・FIT売電（バイオマス分） ・非FIT売電（非バイオマス分）（①）	RPS法適用売電終了のため通常余剰売電（②）

- ①② この電源分を他施設への供給用電源として利用。CO₂ 排出係数“0”（kg-CO₂/kWh）で取り扱うことができる。



写真-1 宮ノ陣クリーンセンター



写真-1 上津クリーンセンター

3. 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（写真-1、写真-2、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「電気事業者による新エネルギー等の利用に関する特別措置法（平成14年6月7日法律第62号）」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り組んだ。なお、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

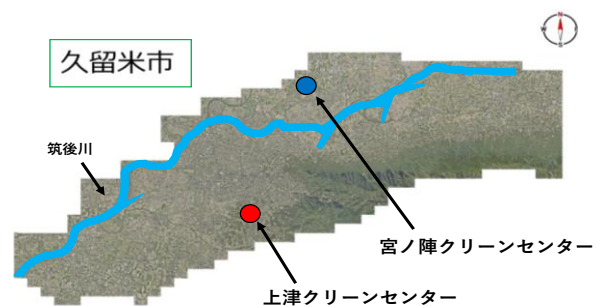


図-2 一般廃棄物処理施設位置図

4. ごみ処理電力の活用方法

ごみ処理電力を他の施設に供給する方法として、まずは送配電事業者の送電網を利用し、小売電気事業者を介さずに発電所から受電施設へ直接送電する“自己託送供給”がある。自己託送供給では予め申請する計画値通りに同時同量を達成した電力分のみ自己託送供給として見なされる。発電・受電それぞれ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や需給調整市場の価格をベースに算出されたインバランス単価にて補填又は買取する制度となっている。例えば発電と消費の電力量が同量の見込みでも、同時同量が達成できない部分の電力量分はインバランスとなり、インバランスの発生量とインバランス単価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（契約電力）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。

また、インバランスの発生によるリスクを考慮すると、消費側の電力の全てを自己託送供給で行うことは難しく、不足分の電力供給を別に行う必要がある。一般的には、その不足分の電力供給は小売電気事業者に別に供給をお願いするケースが多いと思われるが、本市の場合、他施設への供給が可能なごみ処理電力の活用を出来るだけ行うため、発電側で見た場合の自己託送供給で消費した残りの電力を、小売電気事業者を介して供給する仕組みである“託送供給”を活用することにした。（表-2参照）

一般的に、小売電気事業者が間に入り電力売買により自己電源を供給する“託送供給”と比較し、同時同量のコントロールを行う需給管理経費と送電線利用費用（託送料金）のみの負担で行う“自己託送供給”の方が、コスト面でのメリットが大きいため、出来るだけ自己託送供給の規模を大きくすることが望ましいが、多大なインバランスの発生は経費面でのリスクが大きいため、リスクとメリットの双方を十分に考慮して自己託送の規模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
自己託送供給	発電側 ⇒ 受電側 (発電側と受電側の同時同量監視が必要) メリット：コストメリット大 デメリット：インバランスリスク有
託送供給	発電側 ⇒ 小売電気事業者 ⇒ 受電側 (小売電気事業者を介した供給) メリット：インバランスリスク無 デメリット：コストメリット小

5. 検討項目への部局連携の取組み

2022年頃よりごみ処理電力の活用に向け、環境部・上下水道部では連携して、まずは担当レベルでの勉強会から開始した。ごみ処理電力の活用手法の一つである“託送供給”については、小売電気事業者にごみ処理電力を電源として活用して頂けば良く、実施は比較的容易である。一方、ごみ処理電力活用のベースとなる“自己託送供給”についてはその実施に向け整理すべき課題も多く難易度が高い供給方式となる。

ごみ処理電力供給事業実現のため、特に重要となる課題を表-3～表-5示す。それらの課題の洗い出しやその整理に向け、供給の仕組みに関する検討会を開催したり、他市事例や小売電気事業者へのヒアリングなどを通して伴に検討を進めた。

約2年の合同検討・調査を通じ、発電・受電側それぞれの施設を熟知した両部の職員による、部局の垣根を超えた連携で、2024年5月より宮ノ陣クリーンセンター、上津クリーンセンターのごみ処理電力を電源とし、環境部及び上下水道部所管の施設へ、“自己託送供給”“託送供給”を組み合わせで供給する、ごみ処理電力供給事業を開始することができた。

表-3 供給対象施設の選定

課題	発電側が供給する電力を過不足なく使用するための供給対象施設選定
解決	昼夜問わず発電しているごみ処理電力は、昼間がメインの庁舎系施設だけでは夜間の電力が余ってしまう。そこで昼夜とも過不足なく電力を消費する施設の組み合わせを両部で検討し、供給対象施設を選定した（表-6）

表-4 一般送配電事業者との協議、自己託送計画値の設定

課題	自己託送電源として適格性の担保（電源安定性の確認等、適切な自己託送計画値上限値（契約電力）の設定
解決	ごみ処理施設の運営事業者と電源の安定性を確保するよう施設運営の協議を実施。また、自己託送送電量は供給対象施設の電気使用量実績からシミュレーションを行い、インバランスの発生を抑えるため、計画値上限値（契約電力）を280kWに設定し、一般送配電事業者との契約締結に至った。

表-5 インバランスリスクについて

課題	インバランス発生時の経費負担の対応
解決	変動が大きく予想が困難であるインバランスリスクを回避するため、需給管理とインバランス費用の支払いを需給管理業者の負担とし、その対価として需給管理費用を支払う手法を選定した。

6. 本市でのごみ処理電力活用方法

本市では“自己託送供給”をベースとしつつも、インバランスリスクも十分に考慮し、“自己託送供給”と“託送供給”とを上手く組み合わせた「自己託送・託送のベストミックス方式」で、ごみ処理電力を最大限活用できるようにした。このことは本市のごみ処理電力の活用における取組みにおけるPRポイントにもなっていると考えている。

図-3に本市自己託送の方法を示す。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。前述のとおり、計画値の設定はインバランスの発生リスクに直結することから、発電側の発電状況と受電側の使用状況を30分単位で詳細に確認し、発電側は最低発電量、受電側は最低使用量を基に、インバランスの発生を極力抑えることが出来る計画値を設定した。

また、自己託送を実施するために発電側は「発電計画値」を、受電側は「受電計画値」を事前に一般送配電事業者提出しなければならない。この計画値と実際の実績値との差がインバランスとなるため、この計画値の設定がインバランスリスクを低減するために非常に重要である。本市は変動が大きく予想が困難であるインバランスリスクを回避するため、需給管理とインバランス費用の支払いを需給管理者の負担とし、その対価として需給管理費用を支払う手法を選定した。

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。

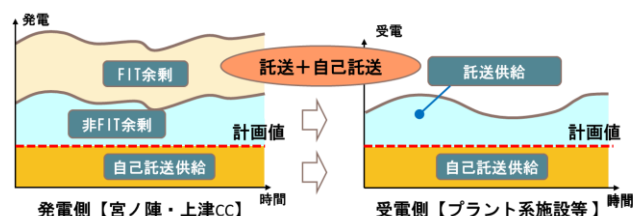


図-3 本市自己託送の活用方法

図-4に自己託送供給実施の料金体系を示す。

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、送配電事業者に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、発電側が環境部、受電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）

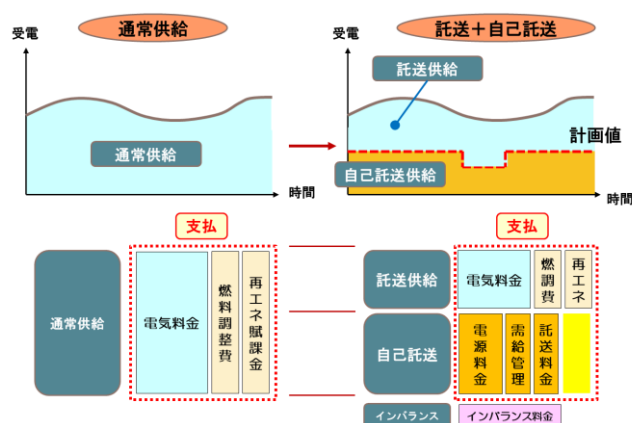


図-4 自己託送料金体系

7. 結果

表-6に本取組の効果を示す。2024年5月から2025年4月までの1年間に於いて、市全体で約3,200(t-CO₂/年)ものCO₂排出量の削減を達成した（0.000599t-CO₂/kWh:2012年度九州電力排出係数使用）。これは、本市が目標として掲げる「2030年度までにエネルギー起源のCO₂を2013年度比で71%削減」のうち残りの必要削減量（14,191t-CO₂/年）の約22%を初期投資不要で削減したことになり非常に大きな成果である。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5,800（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-6 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	22 → 0
2		斎場	117 → 0
3		杉谷埋立地	42 → 0
4		上津クリーンセンター	313 → 0
5	上下	中央浄化センター	1,997 → 0
6		田主丸浄化センター	287 → 0
7		企業局合川庁舎	59 → 0
8		清掃津福工場	85 → 0
9		柴刈浄化センター	105 → 0
10		藤山配水場	136 → 0
計			3,163 → 0

8. まとめ

今回、上下水道部所管のプラント系施設等に、ごみ処理電力を供給する事業に本市として初めて取り組んだ。ごみ処理電力を市有施設で利用するの取組みは、CO2排出量削減・低位安定電源の確保・エネルギー地産地消等多くのメリットがある。また常時発電するごみ処理発電と、常時電力を使用するプラント系施設は、電力利用での相性がよく発電側部門と消費側部門の部局間の連携が重要であるが、本市では環境部・上下水道部が部局の壁を越え連携することで、自治体において九州初となるごみ処理電力を活用した「自己託送・託送のベストミックス方式」での電力供給事業を実現し効果を上げた。

また、ごみ処理電力の活用の中でも“自己託送供給”の実施には、発電と消費の同時同量の達成が必要になることから“託送供給”と比較して実施の難易度が高く、供給対象施設の選定、送配電事業者への協議・申請手続きや、必要に応じてごみ処理施設運営事業者との協議が必要となり、より部局間での協議・検討が重要であると考えられる。（久留米市の協議・検討期間は約2年）

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。

地図作成における 高分解能光学衛星画像の利用可能性

神山 優恵¹・長野 玄¹
大久保 弘樹¹・藤原 博行¹・野口 真弓¹

¹国土地理院 基本図情報部 地図情報技術開発室 (〒305-0811 茨城県つくば市北郷1)

国土地理院では、衛星画像を用いた地図作成に関する調査研究を継続的に実施している。光学衛星は小型化が進み、小型衛星コンステレーションの構築により、観測頻度及び観測範囲の向上が図られている。2024年に打ち上げられたWorldView Legionは、従来のWorldViewシリーズより小型化した衛星によるコンステレーションの構築により、高い空間分解能を確保しつつ、観測頻度にも優れており、地図作成分野においてもその利用が期待されている。本稿ではWorldView Legionのステレオペア画像を使用し、画像の位置精度、画像から生成される3次元情報の精度及び図化精度の評価結果をまとめるとともに、地図作成への利用可能性を検証した。

キーワード 衛星画像、電子国土基本図（地図情報）、地図作成

1. はじめに

国土地理院では、測量及び地図分野における最新技術を活用し、地理空間情報を整備して各種地図の基盤となる「電子国土基本図（地図情報）」（以下「電子国土基本図」という。）を提供している。電子国土基本図は、行政機関や民間事業者によるサービスの共通基盤として、ベース・レジストリ（デジタル社会形成基本法第31条に規定する「公的基礎情報データベース」）に位置づけられ、内容の正確性と最新性を維持することが求められている。

そのため国土地理院では、電子国土基本図の整備及び更新を目的として、衛星画像を活用した地図作成に関する調査研究を継続的に実施している¹⁾²⁾³⁾。これらの研究は、航空機による空中写真撮影が困難な地域における地図情報の整備・更新において、衛星画像の活用が期待されるものである。また、衛星画像は空中写真と比較して一度に広範囲の地表を撮影できるという特性を有しており、この特性により、一度に広範囲の整備・更新が可能となり、地図作成作業の効率化が図られる可能性がある。

2024年に打ち上げられたWorldView Legionは、従来のWorldViewシリーズと比較して衛星本体の小型化が進められている。これに加え、コンステレーション構成が採用されており、高い空間分解能を維持しながら、観測頻度の向上を可能にしている。これにより、地表の変化を高精度かつ高頻度で把握することが可能となり、地図作成業務への活用が期待されている。

本稿では、WorldView Legionによって取得されたステ

レオペア画像を用い、画像の位置精度、画像から生成される3次元情報（DSM）の標高の精度及び図化結果の水平位置精度における実用性の評価を行い、地図作成業務における利用可能性について報告する。

2. 作業対象地域

本研究では、茨城県つくば市と山口県岩国市を対象地区とし、WorldView Legionで撮影されたステレオペア画像を使用した。WorldView Legion衛星の諸元について表-1に示す。また、今回使用したWorldView Legion画像の諸元を表-2に示す。

表-1 WorldView Legion 衛星諸元⁴⁾

打上げ	2024年～2025年
運用基数	6
軌道	太陽同期軌道 / 中傾斜軌道
高度	518 km
重量	～630 kg
回帰数	最大 15 回 / 日
地上分解能	34 cm (パンクロマティック) [※] 1.36 m (マルチスペクトル) [※]
観測幅	10.0 km [※]

※直下観測時

表-2 衛星画像諸元

地区	撮影日	雲量 [%]	オフナディア角 [度]
つくば	2024/12/27	1.5	15.0
		2.6	13.2
岩国	2024/11/11	6.2	19.6
		7.0	23.1

また、作業対象地域と、位置の標定及び精度検証に用いた画像基準点を図-1及び図-2に示す。

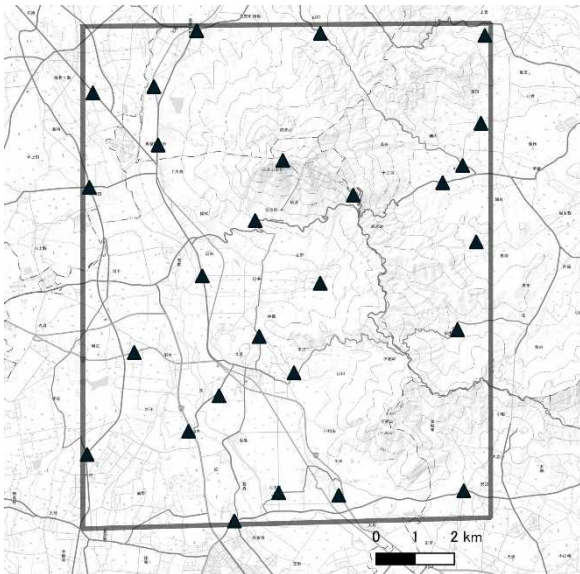


図-1 作業対象地域と画像基準点（つくば地区）

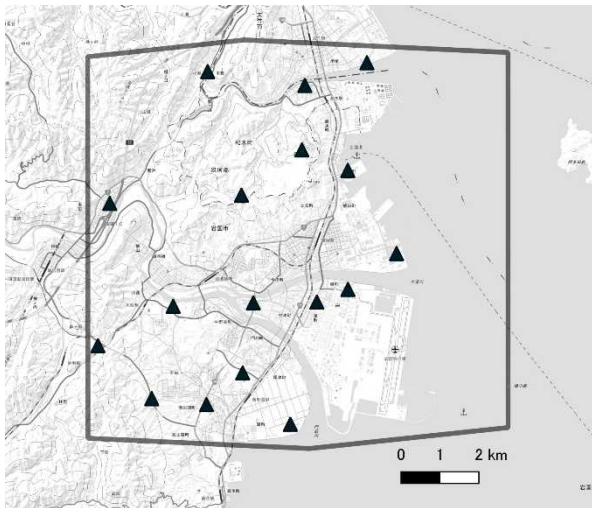


図-2 作業対象地域と画像基準点（岩国地区）

本稿では、標定精度はつくば地区と岩国地区の検証結果を示し、画像から生成される3次元情報（DSM）の標高の精度及び図化結果の水平位置精度はつくば地区の検証結果を示す。

3. 標定精度の評価

本検証ではつくば地区と岩国地区において、ステレオペア画像とRPCファイルを用い、画像の位置精度を検証した。また、位置精度の確保のために必要な標定点（以下「GCP」という。）数を検討するため、GCP数をつくば地区では0・1・3・5・9点、岩国地区では0・1・3・5点と変化させて標定を実施した。

GCP及び検証点は対象地域全体に配置し、つくば地区では合計27点、岩国地区では合計17点設置した。なお、GCPと検証点の位置座標の取得は、VRS方式のRTK-GNSS測量で実施し、WorldView Legion画像の標定には、ERDAS IMAGINE 2023のPhotogrammetryを用いた。検証結果は図-3及び図-4のとおりである。

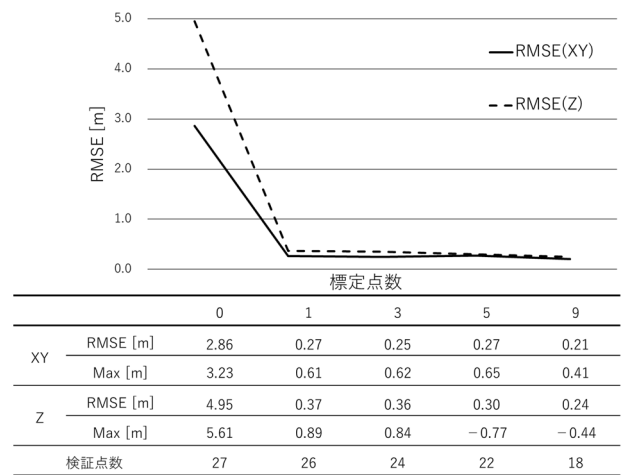


図-3 検証点較差（つくば地区）

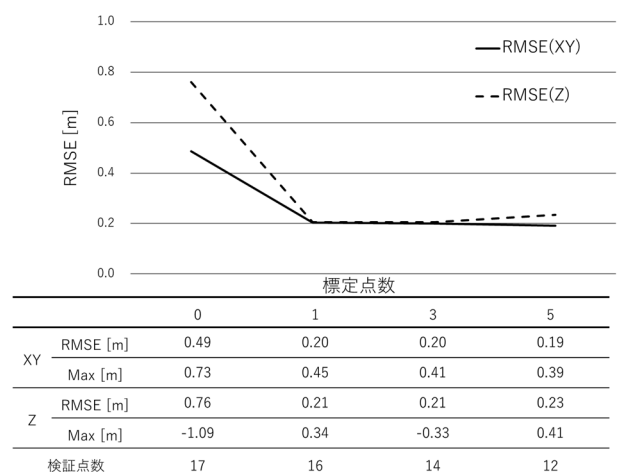


図-4 検証点較差（岩国地区）

図-3及び図-4の結果より、つくば地区、岩国地区のどちらにおいてもGCPを1点以上用いることで位置座標較差のRMSEは水平方向で0.2~0.3m、鉛直方向で0.2~

0.4mの間に収束していると確認できる。これより、GCPを1点以上使用することで水平及び鉛直方向の位置座標較差のRMSEは1m以内に収まり、標定精度が向上することが確認できた。したがって、過去の研究でも確認された上記の傾向が、WorldView Legion 画像においても認められた¹²⁾。なお、GCPを1点のみ用いて標定を実施した場合において、標定に利用する点を変更しながら検証を行った結果、いずれの点を用いた場合でも水平及び鉛直方向の位置座標較差のRMSEは1m以下に収まっており、標定精度はGCPの標高に依存していないことが確認された。

GCPが0点の場合では、つくば地区における水平及び鉛直方向の位置座標較差のRMSEは2mを超えているのに対し、岩国地区では1m以内に収まっている。本研究では2地域のみでの検証となったため、つくば地区と比較して、岩国地区においてGCPが0点の場合でも標定精度が優れていた要因の特定までは至らなかった。そのため、他地域での更なる検証が必要であると考察される。

4. 3次元情報の精度検証

本章ではつくば地区でのWorldView Legionのステレオペア画像から作成したDSMの標高の精度検証結果について報告する。第3章においてGCP1点で標定を実施した結果を使用し、ERDAS IMAGINE 2023のAutomatic Terrain Extraction(ATE)機能を用いて1mメッシュのDSMを作成した(図-5)。光学衛星画像では、雲やその影が画像上に写り込むことがあり、DSMの品質に影響を及ぼす。作成した1mメッシュのDSMでは雲が地表を覆っている部分や、雲によって生じた影の領域では、地形の連続性が失われている箇所が散見される。

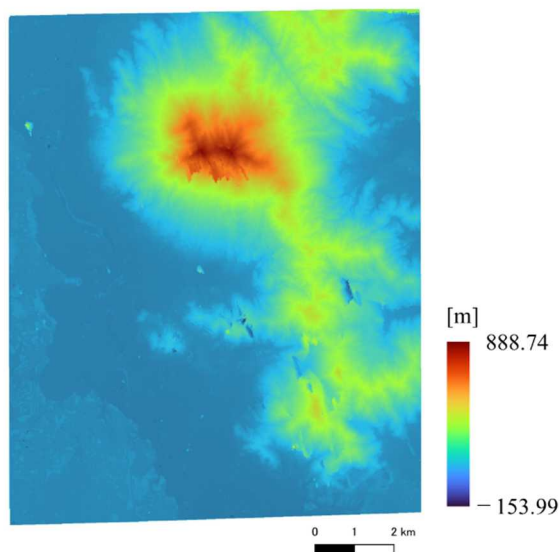


図-5 作成した1mメッシュのDSM(つくば地区)

DSMから得られた標高の精度評価では、平成21年度の航空レーザ測量成果に含まれるオリジナルデータのファーストパルスと比較した。検証では、図-6に示すようにGCP及び検証点から半径1m以内のオリジナルデータを抽出し平均値を求め、GCP及び検証点の座標位置のDSMから得られた標高値と比較した。結果は表-3に示す。この結果からWorldView Legion衛星画像から得られる標高値により、地図情報レベル5000の標高点の精度を満たす標高点を取得できる可能性があることが示唆される。



図-6 DSMの精度検証手法

表-3 DSMとオリジナルデータの平均値の較差

平均値[m]	RMSE[m]	標準偏差[m]
0.55	0.96	0.94

※平均値は較差の絶対値の平均値

5. 図化精度評価

ここではつくば地区において、GCP9点で標定を行ったWorldView Legionのステレオペアのパンクロマティック画像を用いて図化を行い、水平位置の比較を行った結果を報告する。

つくば地区では建物の大きさや道路幅が多様である約1km²の範囲を選定し、359棟の建築物の外周線とライン数2,686の道路縁の図化を行った。水平位置精度評価は、基盤地図情報(地図情報レベル2500)を真値として、図化結果と比較することにより実施した。

まず、道路縁の精度評価は、図-7に示すように図化結果の頂点をポイントデータAとし、基盤地図情報のラインデータ上でAから一定のしきい値の探索距離(つくば地区では4m)内かつ最短距離にあるポイントデータBを作成し、AとBのXY座標差を算出して、図化結果と地図情報の水平位置の較差とした。道路縁の図化精度の検証結果について表-4に示す。

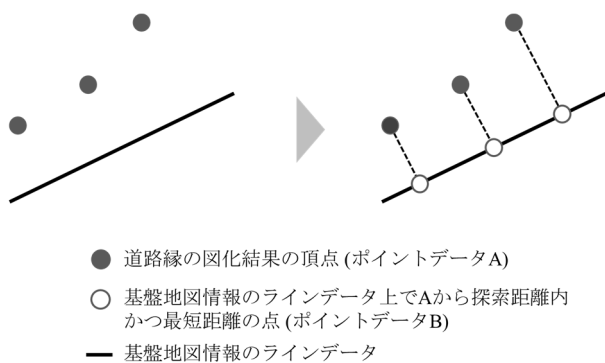


図-7 道路線の図化精度検証方法

表-4 図化精度検証結果（道路線）

平均値[m]	標準偏差[m]
0.61	0.67

次に建築物の外周線の図化検証結果について示す。建築物の外周線の図化検証は、図-8に示すように外周線の各頂点のうち、XY座標値の和が最も小さい頂点（建築物の南西端に位置する頂点）を抽出し、その頂点における図化結果と地図情報のXY座標差を算出して、それを水平位置の較差とした。なお、この手法で抽出した図化結果の頂点が基盤地図情報の頂点に相当することを目視で確認し、相当しない場合は該当する頂点を除外して検証評価を実施した。建築物の外周線の図化精度の検証結果について表-5に示す。

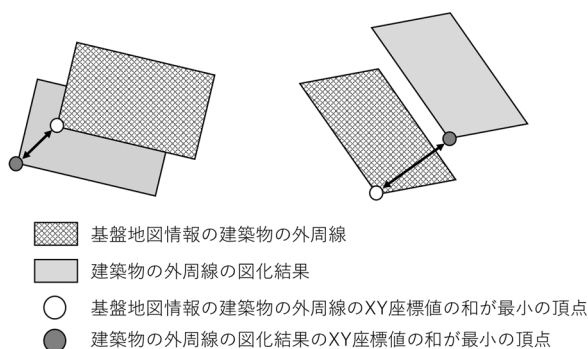


図-8 建築物の外周線の図化精度検証方法

表-5 図化精度検証結果（建築物の外周線）

平均値[m]	標準偏差[m]
0.94	1.14

これより、WorldView Legion画像から地図情報レベル2500の数値地図データに求められる水平位置を取得できる可能性があることが確認できた。

6. まとめ

本研究では、WorldView Legionのステレオペア画像を使用し、画像の位置精度、画像から生成される3次元情報（DSM）の標高の精度及び図化結果の水平位置精度の評価を行った。

まず、画像の位置精度については、過去の研究成果と同様にGCPを1点以上設置することで標定精度が向上する傾向が確認され、安定した位置精度が得られることが示された。一方でGCPが0点の場合の標定精度については2地域で異なっており、さらに検証が必要であると考えられる。これに加え、ステレオペア画像から作成したDSMでは、地図情報レベル5000の精度を満たす標高点を取得できる可能性があることが示唆された。また図化精度では、地図情報レベル2500を満たす水平位置を取得できる可能性があることが確認できた。

従来よりも衛星が小型化されたことによる画像の位置精度や3次元情報及び図化精度への影響は見られなかった。この点に加えて、コンステレーションによる画像取得の機会が増大することから、WorldView Legion画像が地図作成に大いに利用できることが期待できる。

今後は岩国地区を含む他地域においても詳細な検証を進め、衛星特有の傾向の把握を図るとともに、衛星コンステレーションを活用した地図作成手法について検討を重ねていく予定である。

謝辞：本研究の一部は、令和7年度に実施された国土地理院と陸上自衛隊地理情報隊との交流研究「小型光学衛星画像による地図作成に関する研究」で得られた成果を基にしている。ここに深く感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 藤原博行，瀧繁幸，大塚力，大野裕幸（2013）：Pleiades画像を用いて作成した地図情報の精度評価，国土地理院調査研究年報（平成25年度），pp. 66–69.
- 2) 高橋祥，早坂寿人，中村孝之，南秀和（2017）：地上画素寸法30cm級の衛星画像を用いた地図作成に関する共同研究，国土地理院時報，129，pp. 133–146.
- 3) 早坂寿人，瀧繁幸，山田美隆，大野裕幸，筒井健，市川真弓（2016）：WorldView-3のステレオペア画像を用いた標定精度検証，日本写真測量学会平成28年度年次学術講演会発表論文集，pp. 37–40.
- 4) Vantor：WorldView Legion® Datasheet，<https://vantor.com/resources/worldview-legion-datasheet/>，（2025年10月29日閲覧）

UAV自律飛行を活用した手取川流域における 砂防施設等の点検手法の構築

中野 光¹・杉崎 亮太¹・甚田 隆光¹

¹金沢河川国道事務所 流域対策課 (〒920-8648 石川県金沢市西念4丁目23番5号)。

砂防施設の点検について、これまでUAV点検は目視操縦を基本としていたが、手取川上流域においては、現場へのアクセスが困難で作業時の安全面でのリスクが高いという課題がある。これらの課題の解消および更なるDX化の推進を図るために実施した、ドローンポートを活用した自律飛行試験および高高度からの写真撮影での精度検証試験について実施概要を報告する。

また、今後実施予定の可搬式基地局による通信試験、VTOL機を用いた長距離飛行試験について報告し、最後にUAV自律飛行を活用した手取川流域の砂防施設における点検手法の課題や今後の展望について整理する。

キーワード UAV、自律飛行、砂防施設点検、実証試験、LTE不感地帯、長距離飛行、高度化

1. はじめに

砂防施設点検には、計画的に定めた時期毎に実施する定期点検および豪雨や地震後に緊急的に実施する臨時点検がある。定期・臨時点検はこれまで、UAV点検が可能な場合は目視操縦を原則としていたが、点検にかかるコストや時間、危険を伴う作業が多いことが課題となっている。技能保有者による目視外飛行であれば危険は回避できるが、人員体制の制約による労力や、箇所ごとのセッティングに時間を要するという課題が残る。これらの課題解消には、事前に飛行ルートを設定し、操縦者による操縦を行うことなくUAVが自律的に飛行し点検を行うことが必要である。

手取川上流域(図-1)においてもUAVを活用した点検を実施してきており、最終的には白山砂防出張所から別当谷・甚之助谷源頭部までの砂防施設をUAV自律飛行により点検することを目標としている。

2025年4月に改訂された「砂防関係施設点検要領(案)ⁱ⁾」および「砂防現場におけるUAV自律飛行点検マニュアル(案)ⁱⁱ⁾」には最新のUAV技術を積極的に導入することと記されている。効果的なUAV技術の検証を重ねることが重要となる中で、本報告ではドローンポートを活用した自律飛行試験、高高度からの写真撮影での精度検証の結果ⁱⁱⁱ⁾、今後実施予定の携帯電話不感地帯における可搬式基地局による通信試験およびVTOL機による長距離飛行の実証試験の計画を報告する。上記を踏まえ、UAV自律飛行を活用した手取川流域の砂防施設における点検手法の課題や今後の展望について整理する。

2. 手取川上流域の課題

手取川上流域は、源頭部に大規模な崩壊地が存在し、流域内には多数の砂防施設が階段状に配置されており、市ノ瀬から甚之助谷上流までは約1,000mの標高差がある。これらの特徴によって生じる課題およびUAV通信環境における課題を以下に示す。



図-1 位置図(手取川上流域)

(1) アクセス困難な山間部

定期・臨時点検の課題として、アクセスの困難さがある。砂防施設の多くは山間部に配置され、特に甚之助谷や別当谷は溪流自体が急勾配であり落石の危険性が高く、人の接近が困難な環境である。

(2) 交通途絶のリスク

臨時点検の課題として、交通途絶のリスクがある。源頭部までの道路が1本のみのため、大規模出水に伴う道路寸断より通行止めとなる。また、主要地方道白山公園線（風嵐～別当出合）は、連続雨量90mm、当日雨量90mm、3日先行雨量210mmで規制（通行止）される。

(3) 携帯電話不感地帯の存在

UAV点検の課題として、携帯電話不感地帯の存在がある。白山砂防出張所から市ノ瀬ビジターセンターまでの約10km区間は、携帯電話の電波が届かない不感地帯であり、UAV飛行の通信環境に制約が生じる。

3. 実証試験の実施

(1) 実証試験の目的と方法

手取川上流域におけるアクセス困難な箇所での点検を解消するために、近年のUAV技術（表-1）から、電池交換も含めた連続点検を自動で実現できる「ドローンポート」を用いる。基地の設置、事前に飛行ルートを設定する「自律飛行」による空中写真の撮影および撮影画像から三次元形状を復元するSfmモデル化について検証する。また、高高度から撮影した写真の精度を検証する。

(2) 対象箇所

源頭部に近く、溪流沿いの工事用道路脇に基地の配置が可能な「別当谷堰堤群」を選定した。当区域は基地に必要な電源が存在しないため発電機を使用する。現地地形および基地の位置との関係より、試験対象区間をA～Cに分けた（図-2）。

(3) 実証試験の内容

試験の実施時期は、落葉後かつ降雪前の11月とした。

UAVの通信状態は、見通しが確保できないと通信が途絶する恐れがあり、基地より低い位置を飛行させると機体下部にアンテナがあることが多いことから通信が不安定になりやすいという特徴があるため、各区分で試験項目を設定した(表-2)。基地より高標高の区分Aではドローンポートを用いたUAV自律飛行試験、基地より低標高の区分B、CではUAVをマニュアル操作した飛行試験を実施した。特に、区分Cは湾曲しており見通しが悪いため、見通し可能範囲の確認、ズーム撮影試験を実施した。

(4) ドローンポートの概要

急峻な地形に連続配置された砂防施設が存在し、アクセスが困難で人力点検に危険が伴う箇所は、ドローンポートを活用したUAV点検の有用性が発揮されると考える。

ドローンポートとは、電源とインターネット環境は必要になるが、基地内にUAVを格納し、遠隔地からボタン1つで「自動離着陸」「自動充電」「撮影データの自動転送」を実現できる完全自動運用型システムである。本試験では、これまでの実績や運用時における汎用性からDronNESTを選定した。

表-1 近年のUAV技術を活用した調査方法

調査方法	目的	手取川流域における 適地
ドローンボートを用いた調査 〔DronNEST〕	電池交換も含めた連続自律飛行を実施し、連続配置された砂防施設や周辺の概況等を把握	別当谷砂防堰堤群 3(1) 実施済
可搬式基地局を用いた調査 〔Smart River Spot〕	携帯電話不感地帯を含む下流域から源頭部までを飛行	牛首川（風嵐～市ノ瀬） 4(1) 2025年実施予定
VTOL・長距離飛行機材を用いた調査 〔エアロボウイング〕	施設直近へのアクセスが困難な、地域を指定した長距離飛行	牛首川（市ノ瀬～甚之助谷源頭部） 4(2) 2025年実施予定
Visual SLAM（自己位置推定）を用いた調査	狭隘な谷地形や植生の被覆等により接近が危険な施設の近接写真を撮影	中ノ川 5(2) 実施時期未定



図-2 実証試験の対象箇所

表-2 各区間の試験項目

区分	試験項目	使用するUAV
A	ドローンポートを用いた自律飛行による点検・SfMの検証	Mavic2Pro
B	マニュアル操作による基地より低い標高の範囲での飛行試験	Mavic3E
C	マニュアル操作による見通し可能範囲の確認、ズーム撮影試験	Mavic3E

(5) 実証試験結果（区間A：ドローンポートを用いた自律飛行）

区間A（別当谷上流域）での実証試験の検証結果について以下に示す。

a) 成果

- ・基地の準備～撤収まで4時間で、補助者を配置しない目視外自律飛行による点検写真の撮影に成功（図-3）
- ・約800m区間を2m/sで飛行し、3秒に1回のインターバルシャッターでの撮影に成功
- ・無電源状態での発電機を用いた運用
- ・撮影写真は過年度点検成果と同精度（図-4）
- ・Sfm処理による三次元点群の復元に成功（図-5）

b) 課題と対応策

UAVの自動帰還後の着陸時に基地内の着陸用マーカが認識されず、自動帰還からマニュアル操作に切り替えて着陸させる必要が生じた（図-6）。

これは全球測位衛星システム「GNSS」の受信環境によりUAVと基地の位置情報に誤差が生じたことによるもので、状況・原因を踏まえた解決策は以下のとおりである。

- ・当時のGNSSシミュレーターでは、GNSS捕捉数は10～13機と自律飛行に必要な10機以上ではあったが、谷の中のため上空の仰角が取れず、時間によるGNSSの捕捉数のバラツキから位置精度の低下に繋がった可能性がある（図-6）。
- ・使用するUAV機について、固定局と移動局を用いてGNSSの誤差をリアルタイムで補正する「RTK機能」を付与できる機体を使用することで、機体位置の精度を上げられズレを抑制することが考えられる。

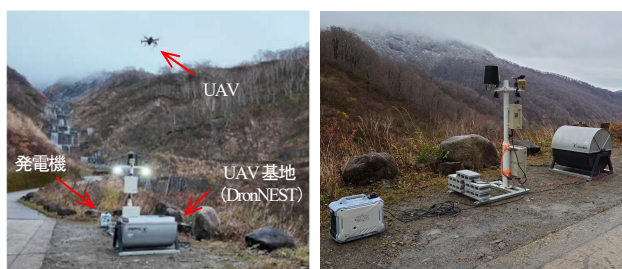


図-3 実証試験状況

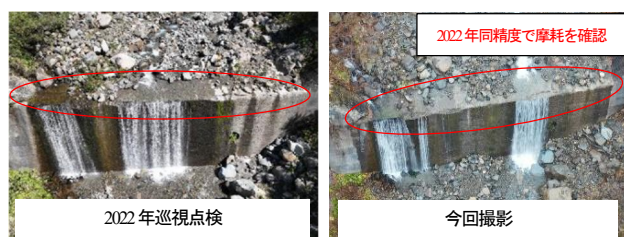


図-4 実証試験成果（別当谷堰堤群）

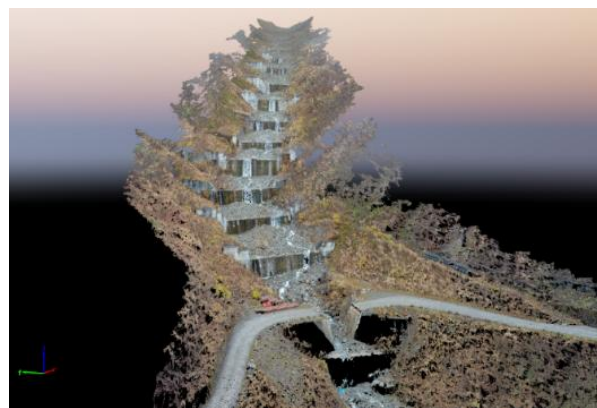


図-5 SfM処理による三次元点群（別当谷堰堤群）

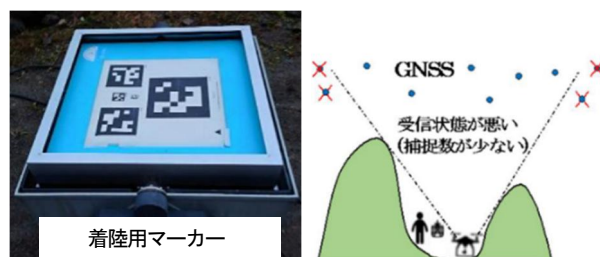


図-6 着陸用マーカとGNSS捕捉数

(6) 実証試験結果（区間B, C：高高度から写真撮影での精度検証）

区間B, C（別当谷中・下流域）での実証試験の検証結果について以下に示す。

a) 成果

- ・基地を設置した標高1,460mから+35mの高度で水平飛行させ、標高1,350m（対地高度135m）の施設を撮影
- ・光学7倍ズーム撮影により、施設より135m上空からでも過年度の点検成果と同様の精度で写真撮影が可能であることを確認（図-7）

b) 課題と対応策

基地から400m下流の区間C途中まで通信可能であったが、更に下流の湾曲部では通信が途絶え、飛行の継続が不可能となった。今回配置した位置からの飛行限界の範囲が確認でき、下流からの飛行や中継機を活用する必要がある。

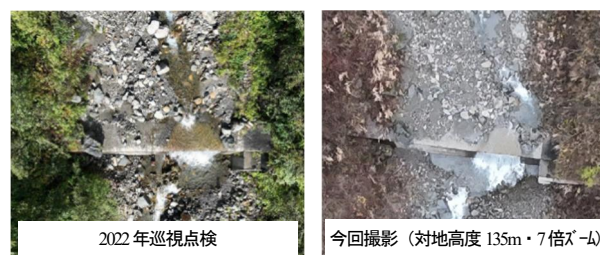


図-7 点検写真との比較

4. 2025年の実証試験の計画

2025年には、砂防施設点検の更なる高度化と災害時対応能力の向上を目指し、可搬式基地局による通信試験およびVTOL機を用いた長距離飛行を実施する。

(1) 可搬式基地局による通信試験

白山砂防出張所から市ノ瀬ビジターセンターまでの約10km区間は、携帯電話の電波が届かない不感地帯（図-8）であり、UAV飛行の通信環境に制約が生じる。試験では、不感地帯において可搬式基地局の1つであるSmart River Spot (SRS)（表-1）を活用し、通信試験を実施する。UAV（Matrice300RTK）を使用し、上空の電波感度および照射範囲を確認する。

本試験により期待される成果として、UAVの飛行に必要な携帯電話の不感地帯が解消されることにより、下流域から源頭部までUAVの飛行が可能になる。

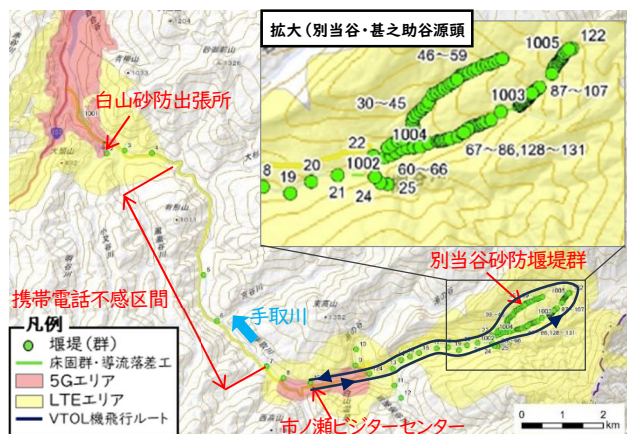


図-8 位置図（携帯電話不感地帯）

(2) VTOL機を用いた長距離飛行試験

LTE回線が整備されている市ノ瀬ビジターセンターから甚之助谷源頭部までの約13km（往復の飛行距離28km）（図-8）を対象に、VTOL機（エアロボウイング）（図-9、表-1）により、溪流および砂防施設の写真・動画撮影を行う。大規模災害後の状況把握におけるVTOL機の有用性を検討する。

期待される成果として、豪雨や地震後での臨時点検において、広範囲の被災状況等を迅速に把握することが可能になる。

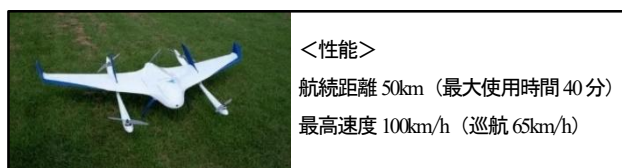


図-9 VTOL機（エアロボウイング）の性能

5. おわりに

(1) 考察

ドローンポートを活用した自律飛行試験により、山間部でありながら、ネットワーク環境が良好で着陸時を除き通信トラブルは発生しなかったことから、手取川上流域でのドローンポートの有用性が確認できた。また、2025年に実証試験を計画している可搬式基地局による通信試験では携帯電話の不感地帯が解消、VTOL機を用いた長距離飛行試験では広範囲の砂防施設点検や被災状況等を迅速に把握することが可能になると考える。

上記点検が確立することで、定期・臨時点検の課題である手取川上流域の一部の現場のアクセスの困難さや、臨時点検の課題である作業時の安全面のリスク、UAV点検の課題である携帯電話不感地帯の存在は解消につながる。別当谷の厳しい環境で確立した点検手法は、他の溪流にも汎用させることができると考える。

(2) 砂防施設点検の確立に向けて

今後は、効率的かつ安全に施設や周辺の状況を確認することに加え、点検結果の品質の均一化を図ることが求められる。品質の均一化のためには、空中写真およびLPデータを基にした地形条件や障害物等を踏まえた飛行ルート設定方法の標準化、地形条件の変化に合わせた飛行ルートのプログラミングの修正およびUAVの制御システムやAI統合等の技術革新が必要である。また、狭隘な谷地形や植生の被覆等により接近が危険な施設の点検には、カメラの位置と姿勢を同時に推定する技術「Visual SLAM」による植生・障害物の回避性能の検証が効果的であると考えられる。

砂防施設点検の効率化による労働時間の減少および安全性の確保は、社会問題である担い手不足の解消にも寄与されると考える。

UAV関連の技術や制度は日進月歩のため、最新の動向を把握し、効果的な技術については積極的に検証し、確実性を高めていくことが望まれる。

謝辞： 本論文を作成するにあたり、ご指導ご協力いただいた関係者の皆様に感謝申し上げます。

参考文献

- i) 国土交通省砂防部保全課：砂防関係施設点検要領（案），2025年4月
- ii) 国土交通省砂防部保全課：砂防現場におけるUAV自律飛行点検マニュアル（案），2025年4月
- iii) 株式会社建設技術研究所 笹山隆ら：UAV 基地と汎用機による砂防施設点検自動化の実証試験，令和6年度砂防学会研究発表会

主ケーブル外装モニタリングシステムの開発

大淵 慶大¹・永島 源士²・大浦 義司¹

¹本四高速道路ブリッジエンジニア株式会社 技術事業本部 技術開発部 技術3課

(〒655-0047 兵庫県神戸市垂水区東舞子町4-115)

²本州四国連絡高速道路株式会社 しまなみ今治管理センター 施設課

(〒794-0072 愛媛県今治市山路751-2)

道路橋は、道路橋定期点検要領で定められた近接目視による状態把握（点検）が必要である。海峡を跨ぐ吊橋などの長大橋も同様であるが、これら長大橋は主ケーブルやハンガーロープなど、高所かつ海上部に位置した近接困難な部材が多数存在する。これらの部材のうち吊橋の主ケーブルについて、簡易かつ効率的に点検を行うことができるよう、主ケーブル全周方向画像の撮影および画像解析による変状把握が可能な主ケーブル外装モニタリングシステムを開発した。本文ではこれまでの取組み、現状の課題と対策について述べる。

キーワード 吊橋、主ケーブル、モニタリング、外装点検

1. はじめに

本州四国連絡高速道路（株）（以下「本四高速」という。）では、17橋の長大橋の維持管理を行っている。これらの長大橋は構造が複雑かつ部材数が多く、海上部に橋梁があることから接近手段が限られるなど点検業務に多くの時間を要している。そのため、本四高速では技術開発や共同研究に取り組み、長大橋の維持管理の高度化、効率化を進めている。その1つとして近接目視や接近に多大な労力を要し、また一般交通への影響がある吊橋の主ケーブルについて新たな点検手法の開発を進めている。現在、主ケーブルの点検では主ケーブル上へケーブル作業車を架設し行っている（写真-1）。ケーブル作業車による点検は、ケーブル全周を安全かつ確実に点検できる利点はあるが、架設に際して交通規制を伴うため一般交通への影響や作業者の安全確保に配慮する必要がある。また、ケーブル作業車の作業足場は狭く、搭乗人員が限られることから作業の効率においても課題がある。



写真-1 ケーブル作業車架設状況

2. 装置の構想

前章の課題解決に向けて、まずは明石海峡大橋のゴムラッピングにおける10mm×10mm以上の塗膜はく離を対象にシステムの確立を目指すこととした。近接目視に代わる点検装置の試作機について当面の開発目標を以下に示す。

- ①可搬性：装置は人力での運搬を実現するため、部品単位で分割が可能
- ②組立性：人力のみで装置の組み立てが可能であり、クレーンや交通規制が不要
- ③走行性：ハンドロープ上に台車を設置し、人力で装置を押すことで移動が可能
- ④安全性：急傾斜部でも構造的に脱輪しない

- ⑤安全性：点検員が装置から手を離れた状態でも、ブレーキによりその場で静止が可能
- ⑥機能性：カメラを複数台配置し、主ケーブル全周の画像撮影が可能
- ⑦機能性：撮影画像から自動で変状判定が可能
(10mm×10mm以上の塗膜はく離を対象)
- ⑧機能性：撮影画像から展開図を作成し、変状面積の算出が可能

なお、今回の装置は乾燥環境下での使用及び点検ごとの架設撤去を想定しており、雨天時等の湿潤環境下での使用並びに主ケーブル上への常設や長期間の仮置きはしないことを条件とした。これらの項目及び条件を満たすことで、安全かつ簡易に点検が可能になることを目指して開発を行うこととした。

3. 試作機の開発

(1) 試作機の概要

前章の項目を基に主ケーブル点検装置の試作機（図-1）の開発を行った。

試作機は大きく分けて、①台車、②アーム、③ビームの3種類の部品で構成され分割できる構造になっている。

可搬性及び組立後の人力による移動を考慮し、素材は軽量かつ強度のあるアルミ素材（A6063）を選定した。

台車には走行を補助する電動アシスト装置を搭載するとともに、走行時はブレーキハンドルを把持することでブレーキが開放され点検員が装置から手を離れた時は逸走を防止するデッドマンブレーキ機構を採用した。また、急傾斜部でも装置の脱輪が発生しないよう、車輪下部へ浮き上がり防止装置を取り付けた。アームには6台のカメラを取り付け、主ケーブルの全周撮影を行うこととし、台車上部にはPC及び給電のためポータブル電源を設置した。点検装置試作機構想図の台車部上面図を図-2に示す。

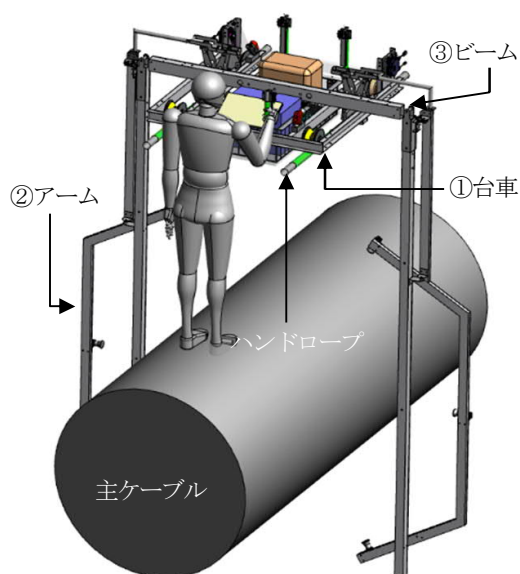


図-1 点検装置試作機構想図

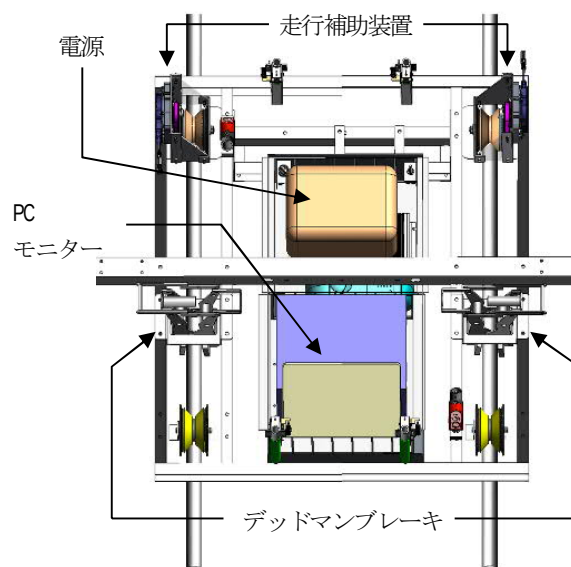


図-2 台車部上面図

(2) 走行補助装置

本四連絡橋では、主ケーブルの傾斜角が最大33度に達する。人力での装置移動は傾斜角が大きくなると点検員の負担増加となるため、電動アシスト装置を搭載した。電動アシスト装置は100Wのモーターを搭載し、前輪側へ駆動力を伝達することで、33度の傾斜角でも平地（0度）と同程度の力で装置の移動が可能になるよう選定した。電動アシスト装置を図-3に示す。100Wモーターはベルトを介して車輪につながっており、駆動力を伝達する。駆動車輪はハンドロープとの摩擦力を確保するため、ケーブル作業車のキャタピラで使用されているゴム材を選定し、強度やメンテナンス性を考慮して50mm厚の車輪形状に削り出し、アルミ製の外輪で挟み込む形とした。

また、電動アシスト装置は装置全体の前後重量バランスを考慮し前方へ配置することとした。更に、後述するデッドマンブレーキを解放した状態でも、下方の点検員に過度な負荷がかからないこと、装置が降下することがないように、ハンドルを把持した時点でモーターが駆動し重力補償力を発生するようにした。電動アシスト装置の仕様を表-1に示す。

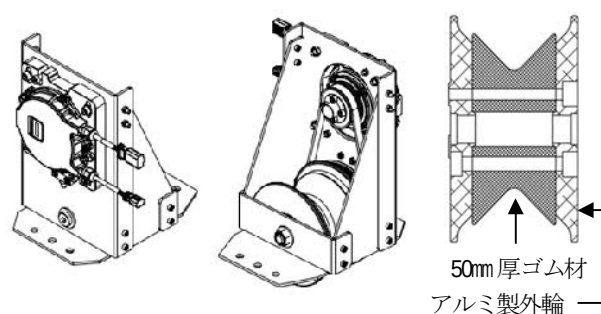


図-3 電動アシスト装置

表-1 電動アシスト装置仕様

大項目	小項目	仕様	備考
必要性能	駆動力	890N以上	重力補償力 534N, 効率 60% 装置重量 980N, 傾斜角 33度を想定
	ブレーキ力	800N 以上	重力補償力 534N×150%以上
	バッテリー	250Wh 以上	平均角度 12 度と想定 10m/min で 5km 走行可能な容量
以下部品の選定			
1)ベルト駆動	減速比	1 : 2.4	
2)モータ	出力	100W	
	トルク	定格 5Nm 最大 10Nm	駆動力 600N 相当 駆動力 1200N 相当
3)バッテリー	公称電圧	25.2V	416Wh
	電流容量	16.5Ah	

(3) 浮き上がり防止装置

主ケーブル点検装置は、長いアームにカメラが配置されている構造上、重心位置が前方にある。各搭載物の配置・重量分配により33度の傾斜角でも装置の浮き・脱輪はしないよう機器配置したが、傾斜が大きくなると装置の後輪が浮き上がる可能性がある。そこで、万が一の浮き上がりに備えすべての車輪に浮き上がり防止装置（図-4）を設置し、物理的に浮き・脱輪を防ぐ機構とした。浮き上がり防止装置はスプリングによって可動する仕組みとし、ハンドロープ支柱乗り越え時でも前方または後方どちらか一方は必ず機能を保持する機構となっている。

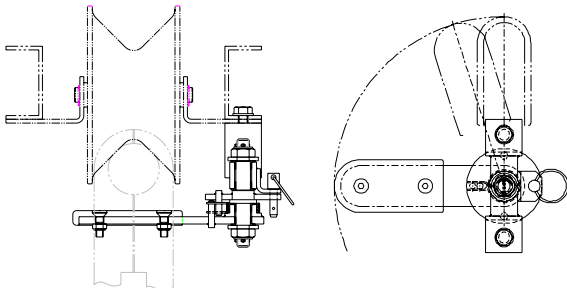


図-4 浮き上がり防止装置

(4) デッドマンブレーキ

装置は点検員が人力にて移動させる装置であることから、下方への滑り・自由降下を確実に防止する必要がある。ブレーキは通常時ハンドロープを挟み込み制動力にて装置を保持し、点検員がハンドルに取り付けられたレバーを握りこんだ場合にブレーキを解放するデッドマンブレーキ方式とした。点検員がレバーを離すと即時制動力がかかり、不意の降下を防止することができる。また、レバー操作力は一般的な自転車のブレーキレバー解放力を参考¹⁾に、49N以下を目標に開発を行った。図-5にデッドマンブレーキの機構を示す。

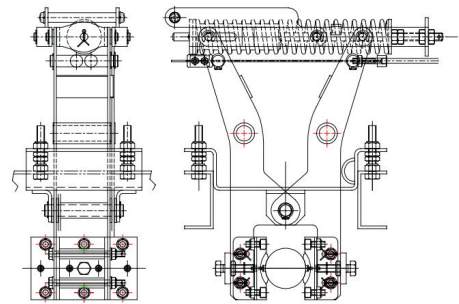


図-5 デッドマンブレーキ

(5) 画像取得及び撮影システム構成

撮影に使用するカメラはアーム上に6台設置し、1台あたり主ケーブル円周方向の60度範囲を撮影することで全周撮影に対応できる。また、ロータリーエンコーダとカメラの静止画撮影を同期させることで移動距離に応じた連続撮影を行うこととした。カメラは軽量かつ10mm×10mm以上の塗膜はく離変状の判定に必要な解像度を有した工業用カメラを選定した。撮影距離は1台あたり60度範囲を撮影するために画角や焦点距離から500mmとした。全カメラの撮影距離を統一し、同じ画角の画像を取得することで、撮影後の画像処理の効率化を図った。撮影システムの概要を図-6に、使用機材を表-2に、カメラの配置を図-7に示す。

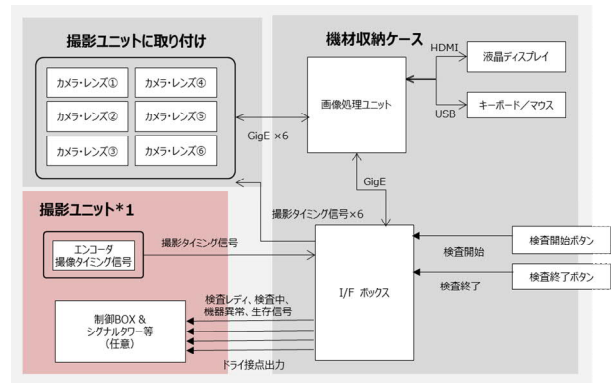


図-6 撮影システム概要

表-2 撮影システム機

項目	品目/型式	数量	主な仕様
撮影部分	カメラ a2A1920-51gcBAS	6台	W=1920 pixel, H=1200 pixel
	レンズ LM5JCM-V	6本	f=5mm
機材部分	ロータリーエンコーダ DFS60A-S4PL65536	1台	
	エンコーダプログラミングケーブル PGT-08-S	1台	DFS60A 用エンコーダの接続・プログラミング用ケーブル
	エンコーダプログラミング装置 PGT-10-Pro	1台	DFS60A 用エンコーダのプログラミング用装置
	画像処理 PC	1台	OS : Windows10
	I/F ボックス	1台	エンコーダ信号の6分岐機能 外部入出力 物理ボタン2個（検査開始, 検査終了）
	ディスプレイ	1台	タッチパネル対応 14 インチ

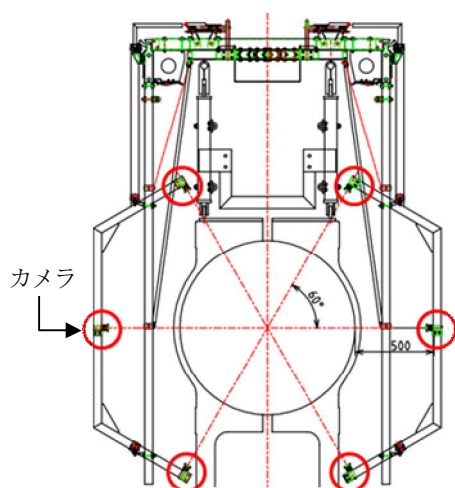


図-7 カメラ配置図

撮影画像に関して、レンズの収差やボケを排除し、高い解像度の画像を取得するためカメラセンサの撮影範囲1200pixelのうち中央の8pixelのみ使用し、撮影した短冊状の画像を合成して1枚の画像を生成するパーシャル撮影方式を採用した。撮影方式のイメージを図-8に示す。

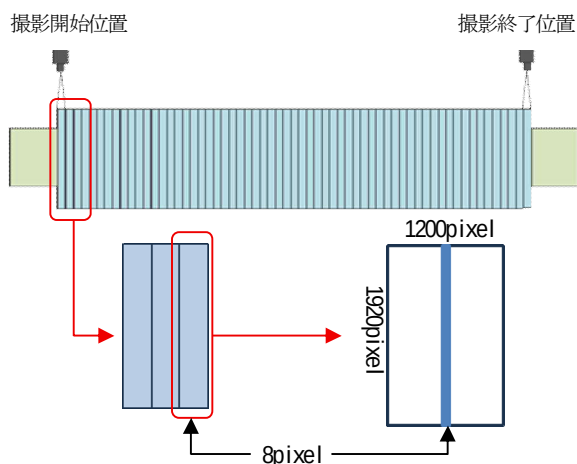


図-8 撮影方式イメージ

4. 実橋試験と結果

(1) 来島海峡第三大橋での実橋試験

実橋における試験は、急傾斜角であり、ケーブルへのアプローチがしやすい場所、一般者に影響の少ない場所を検討した結果、来島海峡第三大橋の9P-10A側径間の10A付近の管理用地内にて2パネル×16m（約32m）において試験を実施することとした。（写真-2）

来島海峡第三大橋の側径間では傾斜角が24度あるため、主に急傾斜部におけるブレーキ性能、台車浮き上がり防止機能、走行補助機能、撮影システムに関する試験を実施した。



写真-2 来島海峡第三大橋実橋試験

(2) 明石海峡大橋での実橋試験

来島海峡第三大橋での実橋試験後、当初の目標としていたゴムラッピングのある明石海峡大橋の4A付近にて3パネル×13m（約39m）において2回目の試験を実施した。明石海峡大橋での試験は主に装置の可搬性、走行性及び撮影システムの確認を目的として実施した。（写真-3）

試験に際しては、直下の道の駅を管理する兵庫県公園管理事務所とも打合せを行い、試験箇所直下のスペース

にガードマンを配置して安全管理を行うこととした。

また、今回の試験では10mm×10mmの塗膜剥がれを変状把握対象としていたが、両橋梁とも今回の撮影箇所には変状が認められない位置であったため、黒色ビニールテープを数種類の形状に加工して模擬変状を作成し、カメラによる画像撮影を行った。



写真-3 明石海峡大橋実橋試験

(3) 試験結果

a)可搬性の評価

装置を人力運搬可能な重量やサイズに分割することで、管理用通路及びマンホールを想定通り運ぶことが可能であったが、台車部は重量が約40kgあり運搬性は改善する必要がある。

b)組立性の評価

人力での主ケーブル上での組み立て設置が可能であった。設置に必要な時間は、設置場所・環境によって変動するが、今回の試験では作業員3人で地上から主ケーブル上への運搬40分、組立20分で、計1時間必要であった。なお、点検初日のみカメラの取り付け及びピントの確認・調整を行い別途1時間必要となった。部品の分割・接続方法の改良や設置手順を効率化及びマニュアル化することで、更に省力化を目指す必要がある。

c)走行性の評価

来島海峡第三大橋、明石海峡大橋における実橋試験では、主ケーブルの傾斜角が24度（走行距離延べ365.3m）及び0度～4度（走行距離延べ291.7m）の2ケースで走行試験を行った。

走行補助装置は十分に機能しており、勾配抵抗を感じないほどスムーズに走行が可能で、いずれのケースでも人力走行が可能であった。また、前述の重力補償力に関しても問題なく、ハンドル把持、ブレーキ解除状態でも装置は降下することなく点検員に負荷がかかることはなかった。

ただし、来島海峡第三大橋ではハンドロープ間隔が一部標準図より狭い箇所があり、車輪との接触面がずれることで抵抗が増加した。また、デッドマンブレーキの隙間調整不足に伴う解放量不足により、ブレーキがハンドロープ表面に一部接触する状態となったことで、一部区

間で走行時の負荷が大きくなる課題が残った。

d)安全性の評価

浮き上がり防止装置は問題なく機能し、ハンドロープ支柱乗り越え時においても装置の浮き上がりや脱輪のリスクはなかった。

デッドマンブレーキは傾斜角が33度（室内試験：鋼管）、24度（実橋試験：主ケーブル）いずれにおいても完全な停止が可能で、室内・実橋での両試験にて1180N(必要制動力の150%以上)の力で下降方向へ引っ張り試験を行っても装置が動くことは無く、十分な制動力を確認した。

e)機能性の評価

主ケーブルの全周撮影に関して、カメラ6台で問題なく撮影が可能であった。撮影時はリアルタイムで撮影した変状がモニター上へ表示されるとともに、ロータリーエンコーダと同期させているため、変状位置に関しても走行距離から算出が可能となった。各パネルの検査終了後には自動で各カメラの撮影画像が1パネル分合成され、点検後の確認も容易となった。点検中の表示画面を図-9に、点検後の画面を図-10に示す。



図-9 点検中表示画面（例）

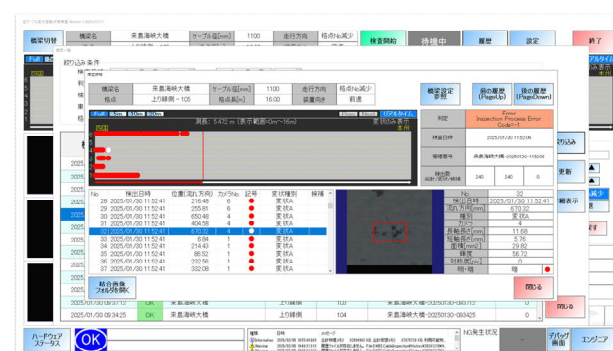


図-10 点検後表示画面（例）

点検中は、撮影された画像幅1000pixel（8pixel*125枚）ごとにリアルタイムで結合し変状判定を行い、概ね時差なく最大9箇所分の変状が画面に表示される。各変状は位置（検査開始位置からの距離）、撮影カメラNo、長さや面積などのサイズが同時に計算され表示される仕組みとした。

点検後は、検出した変状を個別に確認できる仕組みとした。また、点検終了後、約30秒で各カメラの撮影した画像の合成が完了し、現場または事務所で確認が容易にできる。

塗膜剥がれ変状について、今回は写真-4のように黒色ビニールテープで模擬変状を撮影したが、10mm×10mm以上の変状検出が可能であることが分かった。

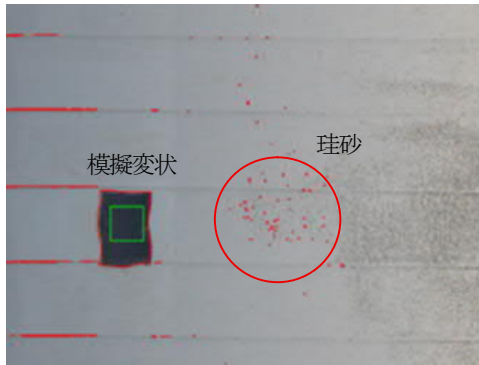


写真-4 模擬変状撮影状況

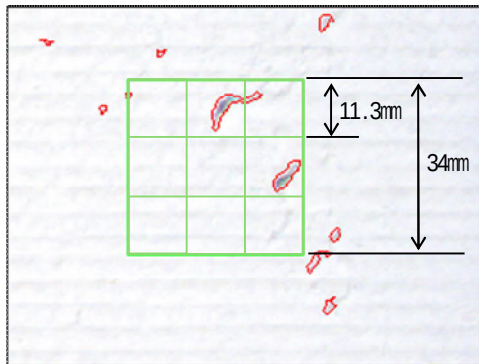


写真-5 変状判定画像

今回は、ルールベースで変状判定を行った。変状記録を優先させるため、高感度設定とし、正常な主ケーブル外装から逸脱しているものをすべて検出することとした。その結果、写真-5のように10mm×10mm以下の汚れやノンスリップ塗装の珪砂なども変状として判定しており、今後は変状判定の精度を向上させる必要がある。

また、今回の装置仕様では屋外での外乱光の影響は一定程度想定していたが、大がかりなカバーや照明を配置せずに撮影した画像から画像解析のみで変状判定可能な装置を目指し、手動での露光時間調整機能のみ搭載する構成とした。しかし、実橋試験において、晴天状態から曇天により太陽光が遮られる状態が短時間に繰り返し変化する状況下では、主ケーブルの側面範囲を撮影した画像において、写真-6のように一部白飛びをしてしまう状態が確認されたため改良を検討する必要がある。

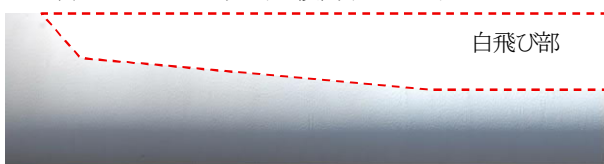


写真-6 主ケーブル自動合成画像

5. 実橋試験結果を踏まえた検討課題

実橋試験結果を踏まえた主な課題を下記に整理する。

(1)可搬性

台車部重量が約40kgと重く、地上からケーブル上への連続運搬を考慮すると全体的に軽量化を行う必要がある。

(2)走行性

デッドマンブレーキの構造を見直し、解放量の拡大を行う必要がある。また、ハンドロープ間隔の変動に対応するため、車輪及びブレーキへ追従性を持たせ不要な抵抗の削減に努める必要がある。

(3)機能性

白飛び、黒つぶれなど画像データの損失を防ぐため、自動露光調整機能及び影部処理の強化を検討する。

また、変状判定については、より判定精度を向上させるため、AIの導入検討を進め深層学習による判定精度向上を行う必要がある。

6. 今後の取組

本開発検討は、今後明石海峡大橋での実用機の製作並びに運用を予定しており、現場での運用を通してより良い装置への改良、開発について検討を行う。

また、今回開発した台車部はケーブル上での資材運搬にも活用が見込めるものであるため、電動化にも取り組んでいく。

7. おわりに

本稿では、業務効率化のために検討・開発を進めている主ケーブル外装モニタリングシステムの開発について記述した。従来のケーブル作業車による点検と比べ、非常に簡易かつ効率的に点検が可能となった。より良い装置とするための課題は残っているが、海上高所でのケーブル外装点検を画像取得から変状判定、記録、整理、一覧表示までの工程をすべて自動化できたことは、点検作業の効率化のみならず、カーボンニュートラルにも寄与するものであり、吊橋主ケーブルの点検管理における課題解決に貢献できれば幸甚である。

また、今後の取組を通してより良い装置を開発し、明石海峡大橋以外の吊橋にも展開を進め、橋梁の維持管理の効率化及び高度化に関する開発を進めていく所存である。

参考文献

- 1) 松田文子 他：自動車のブレーキレバーと手の大きさの関係に関する研究，一般社団法人日本人間工学会，人間工学33巻，1997

AI技術を用いたCo吹付法面及び橋梁の健全度診断に関する技術手法について

長谷部 佑太¹・松田 衛¹・田中 義太郎¹
藤生 慎²・峰松 優祈²・中林 弘貴²・野津 秀太²

¹能登復興事務所 計画課（〒926-0046 石川県七尾市神明町ロ12番地2）

²金沢大学 融合研究域融合科学系（〒920-1192 石川県金沢市角間町）

令和6年能登半島地震及び令和6年奥能登豪雨は、能登地域の社会インフラに甚大な被害をもたらした。被災を受けた箇所は数多であった。能登半島の地域経済や産業は資材や観光客の輸送といった面で道路インフラと密接に関係していることから、早期復旧・復興が強く求められている。一方で、半島地域特有の道路特性に加えて、数多の被災箇所の状況全てを従来の点検技術により把握することは、時間や人手、再度災害リスクの観点から困難であることが課題として挙げられる。そこで、能登復興事務所では、AI技術とUAVを組み合わせた新たなインフラ点検技術を採用し、その実用性を検証するため現地調査を行った結果、AI診断の高い精度と大幅な時間短縮が可能であり、点検技術としての有効性を確認できた。

キーワード 国土交通省、令和6年能登半島地震、AI、UAV、インフラメンテナンス

1. はじめに

2024年1月に発生した令和6年能登半島地震及び同年の9月の記録的な豪雨は、石川県における能登半島地域の社会インフラに甚大な被害をもたらした。

金沢や富山から能登半島へ直結する「のと里山海道」や「能越自動車道」、能登半島を周回する幹線道路の「国道249号」などは、物流及び人流の基盤を担っており、地域経済や産業を支える上で極めて重要である。特に産業面では、漁業、農業、観光業などの第一次産業、第二次産業及び第三次産業が地域経済の中核を担っている。これらの産業は、資源や観光客の輸送といった面で道路インフラが不可欠な要素となっていることから、迅速な復旧・復興が強く求められている。一方で、能登半島は三方を海に囲まれ、陸路によるアクセスが限られている。加えて、地震や豪雨による斜面崩落や地すべりの影響により多数の道路被災が発生したことで、被災箇所に対する復旧作業は、物理的・時間的制約のもと実施されなければならない。このような背景から、従来の近接目視点検では早期の被災状況の把握が難しく、より効率的かつ高精度な点検技術の導入が必要とされている。

近年、AI（Artificial Intelligence：人工知能）技術やUAV（Unmanned Aerial Vehicle：無人航空機）をはじめとするICTの進展により、構造物点検の高度化が進んでいる。特に画像処理や特徴抽出に特化したAI技術は、従来の人

手に依存した構造物点検を補完・代替する役割がある。

そこで能登復興事務所では、AI技術とUAVを組み合わせた新たな点検手法を活用し、能登半島地震で被災したインフラに対しての迅速かつ安全な診断を試みた。

本稿では、AI技術とUAVを活用したインフラの健全度診断について紹介するとともに、被災地における被災状況調査の適用結果および今後の展望について報告する。

2. 地震・豪雨の被害概要

令和6年能登半島地震では、石川県輪島市や志賀町において震度7を観測し、大津波警報も発令された。地震



写真-1 被災状況（上：地震による被害，下：豪雨による被害）

により建物の倒壊、火災、市街地の複合災害が発生し、多数の被害が報告された。特に道路インフラの被害は深刻であり、能越自動車道では全178箇所が被災が発生し、国道249号では全231箇所の被災が確認された。

さらに、同年9月には、能登地方を中心に記録的な豪雨が発生した。これにより、新たな被災や復旧中の道路が二次災害により再び被災するなど、地震と豪雨が重なることで被害が拡大した（写真-1）。

3. 地震・豪雨被害による課題

能登半島地域における復旧・復興を進める上では、三つの課題が挙げられる。

第一に、地理的制約に起因する交通アクセスの制限である。発災前には高規格道路を経由することで拠点間の移動速度はおおむね60km/hを維持しており、能越自動車道などでは80km/hで走行可能であった。ただし、地震による道路の寸断により、移動速度は珠洲市や輪島市などでは40km/h以下となった(図-1)。また、能越自動車道、のと里山海道及び国道249号の通行止めにより、避難車両や緊急車両が代替路線の県道1号七尾輪島線や市道などに集中することで大幅な時間を要することとなった。結果、一日に復旧活動できる時間が制限される(写真-2)。

第二に、多数の被災箇所を対象とした点検及び調査の負担が極めて大きいことが挙げられる。能越自動車道では178箇所、国道249号では231箇所の被災が報告されており、これらすべてを従来の近接目視や専用車両を用いた点検により行うことは、膨大な時間と多くの人手を要

する。また、橋梁点検には片側交互通行が伴うことが多く、点検作業が交通に与える影響も無視できない。

第三に、再度災害が発生するリスクの下で作業となる点である。地震発生後も震度1以上の有感地震が2025年1月末までに2,130回以上観測（気象庁:令和7年1月31日時点）⁹⁾されている。さらに、2024年9月には輪島市や珠洲市を中心に局地的な豪雨が発生し、河川氾濫や浸水被害が発生した。高所作業が伴う法面や橋梁点検において余震や豪雨による再度災害の危険性がある中で点検では、状況によっては逃げ遅れるなどの重大な危険が伴う。

以上のように、被災地のインフラ点検・復旧においては、地理的要因に起因する制約、交通アクセスの制限や作業量の膨大さに加えて、再度災害が発生する危険性という複数の課題が存在し、これらを解決するためには従来とは異なる画期的な技術的アプローチが求められる。

4. AI技術とUAVを活用した点検手法の概要

前述した多数の課題を解決するために、能登復興事務所は、金沢大学が開発を進めるAI技術とUAVを活用した自動診断システムによる点検手法を導入した。本手法は、従来の人手に依存した点検作業に比べて、飛躍的に効率性と安全性を向上させるものである。

本技術は、構造物の損傷を画像解析によって自動的に検出・可視化する技術であり、ドローンによって撮影された高解像度画像や赤外線画像をクラウド上に送信し、現場でリアルタイムに解析を行うことで、技術者が遠隔地からでも的確な診断を行える仕組みとなっている。

本技術には、橋梁に対する複数損傷の自動検出システムと法面に対する赤外線画像を用いた浮き部の自動検出システムが存在し、本章では2つのシステムを詳述する。

(1) 橋梁の複数損傷自動検出システム

(a) システムの概要

本システムでは、ドローンまたは定点撮影によって取

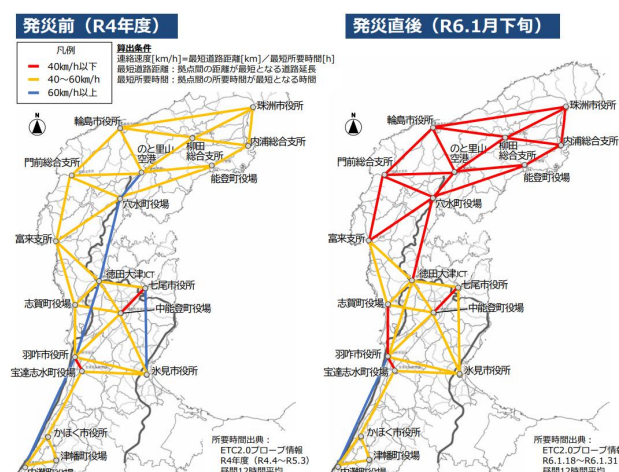


図-1 拠点間連絡速度



写真-2 被災直後の交通状況

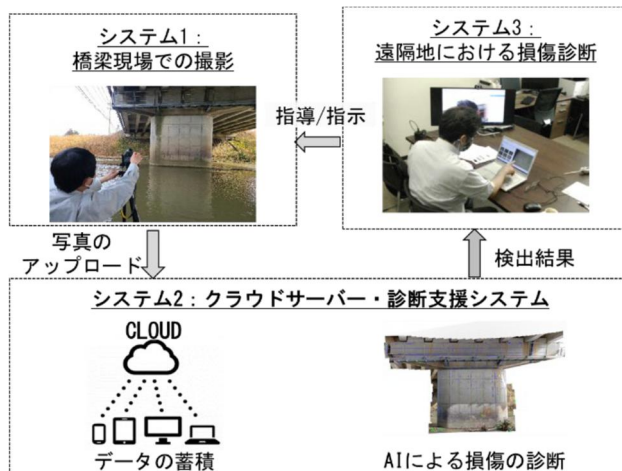


図-2 遠隔点検システムの概要²⁾

得した橋梁画像をクラウド上にアップロードし、AIがリアルタイムで損傷部位を検出し、遠隔地での損傷診断が可能である(図-2)²⁾。対象損傷はひび割れ、剥離、鉄筋露出、遊離石灰である。

(b)橋梁の撮影と画像の合成

対象構造物の撮影には、約1.5億画素、約2000万画素、フルHD(1920×1080pixel)の解像度のカメラにより画像取得を行う。撮影には、現地の作業員による定点撮影のほか、ドローンによる空撮にも対応しており、撮影機材の選定は対象構造物の規模や環境に応じて柔軟に行われる。取得した画像は、現場からクラウド上の自動判定システムに送信することで、AIによる解析が開始される。画像は、256ピクセル四方のメッシュに分割され、各領域ごとに損傷の有無をAIが自動判定する。判定結果は再構成・合成され、橋脚一面につき1枚の診断画像として出力される。これにより、橋脚上のどこに損傷が発生し

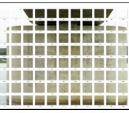
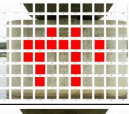
ひび割れ判定フロー	概要
Step1 	➤ 部材全体を1億画素カメラで撮影。 ➤ 現場から自動ひび割れ判定システムに画像を送信。
Step2 	➤ 1億画素画像を256ピクセル四方のメッシュに自動分割。(縦34メッシュ、横45メッシュ)
Step3 	➤ 各メッシュに対してAIがひび割れ判定し、自動でひび割れ箇所の色付け。 ※AI: 4万枚の画像を200万枚に水増しした学習データを使用し、CNNを用いて学習。
Step4 	➤ ひび割れ判定を行った画像(メッシュ)を合成し、ひび割れ箇所が色付けされた部材全体画像の作成。

図-3 AIによる画像診断フロー²⁾

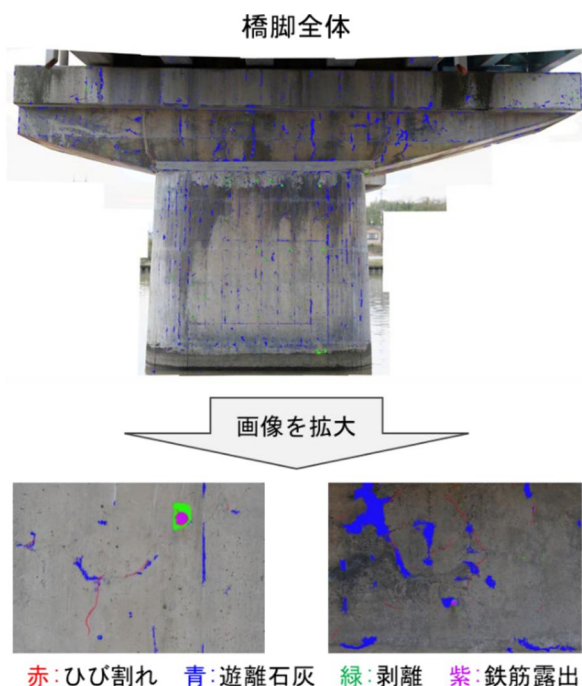


図-4 橋梁の損傷箇所表示²⁾

ているかを一目で把握できる視覚的診断が可能となる。さらに、対象構造物の規模にもよるが、撮影からAIによる自動判定、診断画像の出力までの一連処理は短時間で完了するため、現場で迅速な損傷確認が実現する(図-3)²⁾。

(c)複数損傷の自動検出手法

構造物に生じる損傷をAIで自動検出するためには、大量かつ多様な学習データが必要となる。本システムでは、深層学習の一種であるCNN(Convolutional Neural Network: 畳み込みニューラルネットワーク)を採用しており、画像に対する高度な特徴抽出と分類を可能としている。CNNは畳み込み層とプーリング層を含む多層構造を持ち、損傷領域の抽出において高い精度を発揮する。橋梁損傷検出モデルの構築に際しては、実際の点検記録から収集した約4万枚の損傷画像をもとに、疑似ひび割れ画像を生成し、さらに水増し処理(水平・垂直反転、移動、拡大・縮小、回転等)を実施して、最終的に約200万枚の学習データを作成した²⁴⁾。

学習は、画像を一定の領域に分割し、各領域に「損傷あり/なし」のラベルを付与して行われる。AIは、これらのラベル情報に基づき領域の特徴を学習し、判定時にはピクセル単位で損傷の有無を推定する。損傷領域の分類は「損傷あり」と「健全部」に二分され、モデルの判定結果は橋脚画像上に色分けレイヤーで表示される。具体的には、ひび割れを赤、遊離石灰を青、剥離を緑、鉄筋露出を紫とし、複数の損傷が重複している場合にも視認性を確保できる表示形式としている(図4)²⁾。

このレイヤ表示では、損傷単独の可視化はもちろん、複数の損傷を重ねて表示することも可能であり、診断画像の階層表示を切り替えることで、複数損傷を視覚的に確認することが容易である。高解像度であることから、画像を拡大することで細部の損傷状態も把握でき、技術者による遠隔評価の質と効率を大幅に高めている。

(d)AIによる診断の正確性

AIによる橋梁の損傷診断結果と、技術者による近接目視点検の結果を比較したところ、約98%の損傷箇所が検出⁴⁾できており、高い精度で損傷を自動検出できること

UAV	赤外線カメラ
	
センサー	非冷却VOxマイクロボロメータ
FPA/デジタルビデオ表示フォーマット	640×512 or 336×256
画素ピッチ	17μm
フルフレーム率	30Hz
温度分解能	<50mK at f/1.0

図-5 赤外線カメラの性能⁵⁾⁶⁾

が確認された。

(2)赤外線画像による法面の損傷自動点検システム

(a)システムの概要

法面吹付における浮き部の自動診断を目的として、赤外線画像とAIを活用した点検システムを構築した。本技術は、浮き部と健全部の間で異なる熱容量を有するという物理的特性を活用し、対象面の温度分布を赤外線画像として取得・解析するものである。

赤外線画像は、構造物表面における温度の微細な差異を視覚的に表現することが可能であり、浮きや空洞など異常箇所を非接触・非破壊で検出できる特徴を持つ。加えてUAVによる空撮と組み合わせることで、足場の設置が困難な急傾斜地や広範囲の法面に対しても迅速かつ効率的な点検が可能となる。

(b)法面の撮影

撮影に使用するUAVはDJIのMATRICE200V2³⁾、赤外線カメラはDJIとFLIL共同開発のZenmuseXT⁶⁾を使用した。赤外線カメラの主な使用として、センサーは非冷却Voxマイクロボロメータ、FPAは640pixel×512pixelもしくは、336pixel×256pixelある。また、画素ピッチは17μm、フレーム率は30Hz、温度分解能は<50mK⁷⁾と、高い精度で温度差を捉える性能を有している(図-5)³⁾。

(b)浮き部の自動検出

浮き部の自動検出には、橋梁点検と同様にCNNを応用した深層学習モデルを採用している。学習には、正解データとして、コンクリート診断士による打音検査の結果を基に、浮き部の境界にアルミニウム板を設置し、赤外線画像上でその位置が明確に認識できるようにした(図-6)³⁾。

開発されたAIモデルはmodel-1、model-2の2種類である。model-1は赤外線画像を128pixel×128pixelの領域に分割し、それぞれに「浮きあり」、「浮きなし」のラベルを付けて学習を行う。学習には、浮き部の画像を65枚、健全部の画像を73枚を使用し、明確な領域分類が可能なモデルとして構築した³⁾。

一方、model-2はさらに広範な特徴抽出を可能とするため、評価対象領域(64pixel×64pixel)に隣接する8つの領域(192pixel×192pixel)を含めて分析を行う。学習には浮き部画像を689枚、健全部画像を805枚を使用し、より高精度な領域識別を実現した。これにより、法面全体に微細な異常も高い精度で検出可能となっている(図-7)³⁾。

(c)AIによる診断の正確性

本技術の診断正確性について、金沢大学において検証を行った結果、AIによる浮き部検出の再現率は1.00であり、適合率は0.92となった。すなわち、実際に存在する損傷はすべて検出されており、見逃しが無いことが確認された。一方でAIが浮きと判定した30箇所を対象にコアサンプリングを実施したところ、浮き以外にも脆弱化や二層化など確認された⁴⁾。

なお、赤外線画像はオルソ画像として処理されており、現地写真とAIによる検出結果を重ね合わせて表示することが可能である。これにより損傷の発生位置や周辺環境との位置関係を視覚的に把握でき、橋梁診断と同様に視認性・判断性に優れた表示が可能となる(図-8)。

5. 被災箇所での適用事例と実用性の検証

(1)調査箇所

令和6年能登半島地震により被災が見られた能越道のモルタル法面及び国道249号の烏川大橋を対象とした。

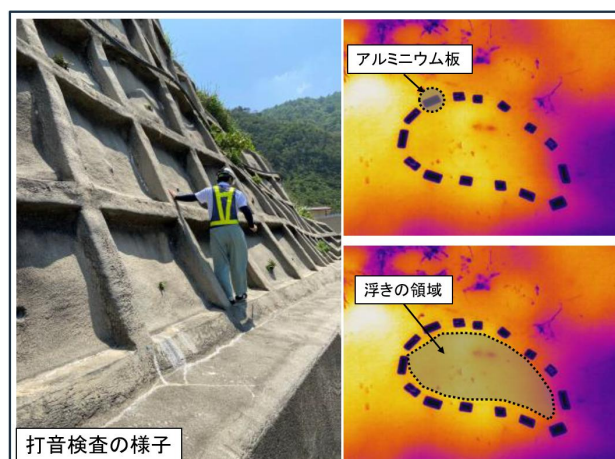


図-6 打音調査及び浮き領域の把握の様子³⁾

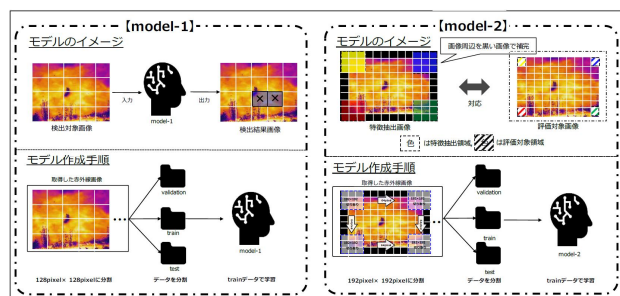


図-7 AIモデルイメージ³⁾

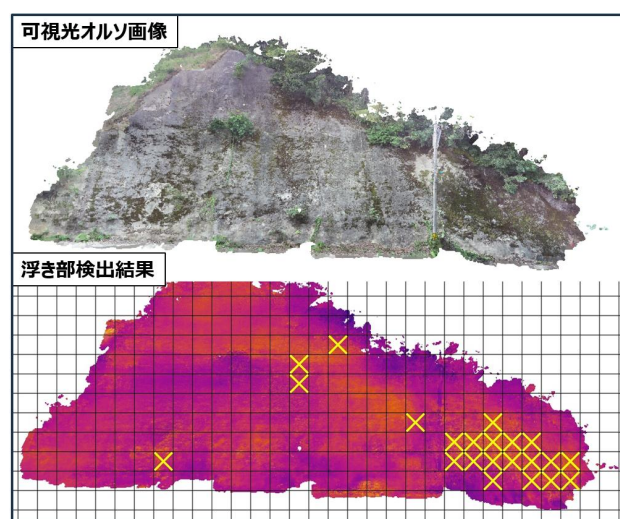


図-8 オルソ画像による比較³⁾

全体的に健全なモルタル吹付法枠だが、法肩の立入防止柵付近で浮きや変状が目視され、背面の空洞化を確認するため調査対象とした。また、烏川大橋は桁や橋脚では大きな損傷が確認されなかったが、両橋台は桁側へ移動、橋台背面アプローチ部の崩落が確認され、その他の損傷確認のために調査対象とした。調査当日は豪雨の影響により一部箇所でのみの調査とした(図-9,10)。

調査対象は能越道のモルタル吹付法面で約230m²、烏川大橋ではP1橋脚の高さ約28mを対象とした。

(2)調査結果

調査で得られた知見を以下に示す。

- ・法面及び橋梁の調査において、従来の打音調査や点検車両を用いた点検手法では多く時間を要する箇所、本技術により現地到着から撮影完了まで法面では約30分、橋梁では約10分で撮影した。
- ・橋梁点検では動画解析により結果を取得することから、画像解析により結果を取得する法面に比べて、早く調査が可能である。
- ・UAVの活用により図-9、10に示すように安全な位置からの非接触で点検が可能である。
- ・少人数かつ短時間で調査を行えるため、長時間の現場滞在が不要となり、調査員の安全性に繋がる(表-1)。
- ・法面では雨により表面温度が下がり低温判定されることがなく一定の表面温度が確認できた。橋梁においても、

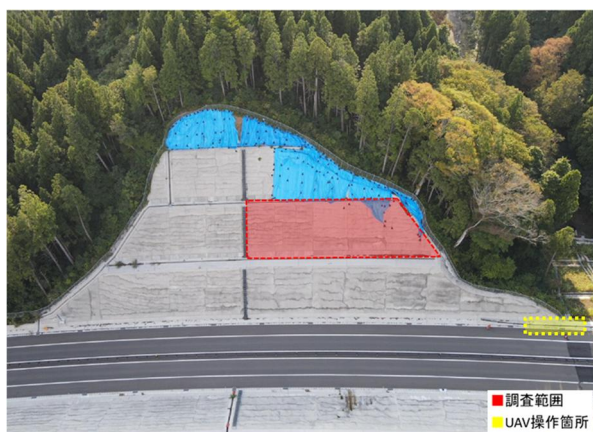


図-9 調査箇所(法面)



図-10 調査箇所(烏川大橋)

ひび割れや遊離石灰など、被災後の点検結果と同様の損傷が確認できたことから、完全な乾燥状態でない条件下でも診断精度が保たれていると推測できる(図-11,12)。

- ・従来の打音調査や近接目視は、雨天環境下において現地調査の実施を制約されるが、本技術では損傷の抽出は可能であり、環境条件に左右されにくいことが示された。

(3)現地調査から見えた課題・改良点

- ・作業員によるUAVの手動操作では、撮影位置や角度の調整が難しく、調査結果のばらつきが生じる可能性が考えられる。
- ・UAVの自動操縦機能を導入することで、安定した飛行経路の確保と精度向上に期待できる。
- ・自動撮影機能を組み合わせることで、構造物全体を効率的かつ均一に撮影が可能となる。
- ・本調査では、十分なデータ数を確保できず、AI診断結果の精度を体系的に検証することはできなかった。
- ・外観変状が乏しい箇所に対して現地調査を行い、AIによる損傷検出の有効性を確認する必要がある。
- ・雨天・降雪など環境条件が悪い状況で調査を実施し、判定結果の影響を検証することが求められる。
- ・より多様な構造物や被災箇所での調査を行い、データを蓄積することで、診断精度の向上を図る。

表-1 対象調査箇所における調査人数及び時間

調査箇所	モルタル吹付法面	烏川大橋
調査範囲	約230m ²	P1橋脚(高さ28m) 約580m ²
現地調査(人数・時間) ※現地到着から撮影完了まで	2人・約30分	2人・約10分

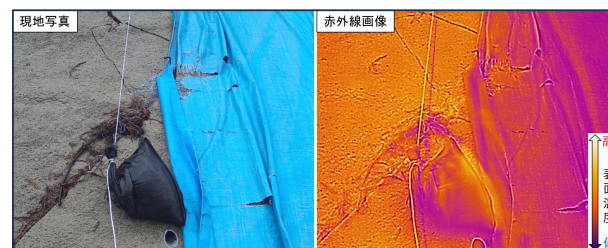


図-11 現地写真とAIによる画像抽出結果⁷⁾

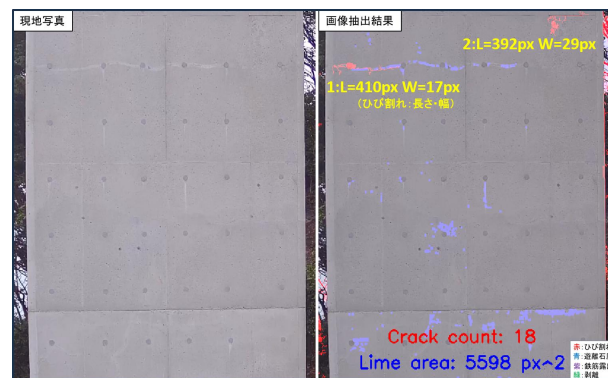


図-12 現地写真とAIによる画像抽出結果⁷⁾

6. 今後の展望

(1) 復旧・復興のさらなる迅速化

被災直後のインフラ調査において、本技術を標準化や常備化することにより、現場での人手不足や危険回避といった課題に対する解決策となり、行政のみならず、民間企業においても迅速な復旧作業に資することが期待できる。特に初動対応の迅速化は、交通網の寸断や再度災害リスクが高い状況下において極めて重要であり、点検から復旧計画立案まで時間短縮に直結する。

さらに、AI技術およびUAVに加え、点群データ解析、現場作業機械、VRなどの新たな技術と統合を進めることで、被災構造物の状態把握から復旧設計までの一連の作業を一体的に支援するシステムの構築が期待される。これにより、将来的には全国どの地域においても、発災直後から迅速なインフラ復旧体制を立ち上げることが可能となり、災害に対する社会全体の強靱化が大幅に向上する。

(2) 平常時のインフラ点検への応用

本技術は災害時の緊急対応だけでなく、平常時におけるインフラメンテナンスにも有効である。従来、橋梁や法面の定期点検は目視や打音による調査に依存しており、作業員の安全確保や点検品質のばらつきが課題となっていた。また、高齢化や人手不足により熟練技術者の確保が難しくなる中、点検の効率化と継続的な品質維持が求められている。対して、AI技術およびUAVを活用した本技術は、遠隔や非接触での高精度診断を可能とし、対象構造物の損傷を数値化かつ客観的に評価できる点で、平常時の予防保全型の点検体制への転換を促進するものである。

さらに、取得したデータの蓄積とAIによる継続的な学習により、損傷の発生傾向や劣化するメカニズムを分析することが可能となり、最適な点検や補修計画の立案に活用でき長期的な維持管理に寄与する。

(3) 日本全体・海外展開の可能性

本技術は能登半島のような地理的制約のある被災地において有効性を発揮したことから、今後は国内の他地域における災害対応やインフラ維持管理にも広く適用可能である。特に、山間部や離島など、人力での点検が困難な地域においては、AI技術とUAVを組み合わせた点検手法の有効性が高い。

また、地震・豪雨・土砂災害といった自然災害の頻度が高いアジア諸国をはじめとする海外地域においても、本技術の展開は有望である。機材と診断技術が遠隔で連携可能であることから、災害発生時の国際支援や技術的協力に適しており、インフラメンテナンスや災害支援の課題解決に貢献することが期待できる。

7. まとめ

本稿では、令和6年能登半島地震及びその後の豪雨災害により甚大な被害を受けた能登地域において、AI技術とUAVを活用した新たな構造物点検手法の有効性を検証した。調査対象とした法面では赤外線画像による温度変化からの特徴抽出、橋梁ではひび割れや遊離石灰などの損傷を、短時間かつ高精度で抽出・可視化することが可能であると確認できた。特に高所部や足場確保が困難な箇所において、本技術は効果を発揮するとともに、現場における人的負担を大きく軽減できる。さらに、雨天や視界不良といった制約下においてもAIによる診断は一定の精度を維持できることが確認され、今後のインフラメンテナンスの高度化に資する有力な技術手法となる。

以上より、本稿で紹介したAI技術とUAVを組み合わせた点検手法は、災害直後の初動対応における迅速な点検のみならず、平常時の定期点検への適用、日本全体や海外への展開も視野に入れたインフラメンテナンス技術として期待できる。

8. おわりに

能登半島では地震と豪雨により甚大な被害を受け、これまででない困難が続く中、技術の力が地域経済や災害対応の支えとなるよう本技術を能登半島で採用した。今後も現場と技術の融合により、災害に強い社会インフラの構築に貢献していきたい。

参考文献

- 1) 気象庁：「令和6年能登半島地震」の最大震度別地震回数表
- 2) 吉倉 麻衣，福岡 知隆，諏訪 太紀，藤生 慎，高山 純一：
橋梁の橋脚全体画像に対する複数損傷の自動検出表示と技術者の評価，AI・データサイエンス論文集，3巻，J2号，p.398-405，2022.
- 3) 諏訪 太紀，藤生 慎，森崎 裕磨，福岡 知隆，石塚 久幸，田中 尚人，多田 完人：赤外線画像を用いたモルタル吹付のり面に存在する浮きの自動検出に関する基礎的分析—浮き部周辺の特徴量を考慮した検討—AI・データサイエンス論文集，2巻，J2号，p.251-260，2021.
- 4) 金沢大学 藤生 慎教授 講義資料：AIを用いたインフラメンテナンス技術に関する研究 ～橋梁・モルタル吹付法面・下水道管を対象として～
- 5) dji HP： <https://www.dji.com/jp/matrice-200-series-v2>（最終閲覧日：2025年7月25日）
- 6) F L I R HP(Zemuse XT2)： <https://www.dji.com/jp/zenmuse-xt2>（最終閲覧日：2025年7月25日）
- 7) 金沢大学の現地調査による解析結果

「だいち4号」を活用した地殻・地盤変動監視 と地盤沈下調査への活用に向けた取組

室山 怜太郎¹・市村 美沙¹・中島 正寛¹・上芝 晴香¹
雨貝 知美¹・若杉 貴浩¹・石本 正芳²・

¹国土地理院 測地部 宇宙測地課 (〒305-0811 茨城県つくば市北郷1番)

²国土地理院 地理地殻活動研究センター 宇宙測地研究室 (〒305-0811 茨城県つくば市北郷1番)

国土地理院では、これまでJAXAの衛星「だいち2号」等の観測データを用いて地震・火山活動に伴う地殻変動や全国の定常的な地盤変動を監視してきた。2024年7月1日に打ち上げられた「だいち4号」は、「だいち2号」と比べて観測頻度が約5倍となることから、変動の全体把握に要する期間の短縮や時間分解能の向上が期待できる。本発表では、地殻・地盤変動監視における「だいち4号」の観測データの活用について報告する。

キーワード だいち2号, だいち4号, 干渉SAR, 干渉SAR時系列解析, 地殻・地盤変動監視

1. はじめに

国土地理院では、宇宙航空研究開発機構（JAXA）が運用する地球観測衛星の観測データを用いたSAR干渉解析を実施し、火山活動の活発化や地震に伴う地殻変動の監視や、日本全国の定常的な地殻・地盤変動の監視を行ってきた。

SAR干渉解析は、異なる2時期に観測されたSARデータに含まれる電波の位相差を計算することにより、2回の観測間に発生した地表変位を計測できる技術である。SAR干渉解析では数cmの地表の変位を面的に高い空間分解能で把握することができるため、地震や火山噴火等の時間スケールが短く変動量が大きな地殻変動を把握するのに有効な手法として、1990年代から使用してきた。

さらに、2020年代には、SAR干渉解析により得られる結果（SAR干渉画像）に含まれる誤差を低減するため、多数のSAR干渉画像を統計的に処理し計測精度を向上させる干渉SAR時系列解析（以下「時系列解析」という。）を導入し、従来の干渉画像では捉えることが困難であった微小な変動やその時間変化の把握も可能となり、火山活動の推移把握や地盤沈下等の監視への利用も開始されている。

一方で、2014年に打ち上げられ、これまで多くの観測を積み重ねてきた陸域観測技術衛星2号「だいち2号」（ALOS-2）は設計寿命を超えた運用を継続している。また、2024年1月1日に発生した令和6年能登半島地震では、地震発生直後からだいち2号による緊急観測を実施したが、能登半島全体の様子を捉えるためには複数回の観測を要し、最終的に半島全体の変動を把握できたのは

地震発生18日後であった。さらに、時系列解析を用いての国土全体を対象とした地殻・地盤変動の監視では、だいち2号の観測頻度の都合上、季節変動のような年間の詳細な変動までは捉えることができない等、課題も露見している。

このような中、だいち2号の後継機である先進レーダ衛星「だいち4号」（ALOS-4）が2024年7月1日に打ち上げられた。だいち4号は、だいち2号の観測データとも干渉解析が可能であり、これまでのデータの継続性を維持しつつ、だいち2号に比べ観測幅が4倍となる等、地殻・地盤変動監視の高度化が期待される。

本報告では、国土地理院が実施する地殻・地盤変動監視事業におけるだいち4号への対応状況、また、地盤沈下調査等を含めたその活用のための取組について報告する。

2. 「だいち4号」の活用に向けた取組

だいち4号は、だいち2号の後継機として開発されたSAR衛星である。だいち4号の最大の特徴は、だいち2号の観測精度を維持したまま、一度に観測できる幅がだいち2号の4倍となる200kmに拡大されたことである。これにより、年間4回程度であった観測頻度が、5倍の20回程度になる。この観測頻度の増加により、時系列解析による変動検出精度の向上や、より詳細な時間変化の把握が期待できる。また、だいち4号はだいち2号と共通する運用軌道をとることで、だいち2号とだいち4号の観測データを組み合わせて干渉解析を行うことが可能となってい

る。この特徴により、だいち2号から引き継がれた長期的な変動の把握を、途切れることなく実施することが期待される。

JAXAでは、2024年7月のだいち4号の打上げ後、衛星や搭載機器の機能を確認する初期機能確認期間を経て、2024年10月から2025年3月まで、観測データの校正検証を行う初期校正検証運用を行ってきた。この間、国土地理院では、JAXAから校正データを受領し、だいち2号とだいち4号の組合せ及びだいち4号同士による試験的なSAR干渉解析を実施した。だいち2号とだいち4号の組合せによるSAR干渉解析は、2024年4月以降火山活動が活発化している岩手山を対象に実施した。岩手山周辺では、だいち2号同士の干渉解析により、大地獄谷周辺において火山活動に伴う地殻変動が検出されていたが、だいち2号とだいち4号の組合せによる干渉解析でも同様の地殻変動を捉え、だいち4号の有効性を示した(図-1)。この結果はだいち4号で検出された初めての地殻変動であった。

観測幅200kmのだいち4号の観測データは、レンジ方向(衛星が電波を照射する方向)に4シーンに分割されて提供される。そのため、200km幅の干渉画像を得るためには、レンジ方向に結合する必要がある。だいち4号同士の試験解析では、結合した観測データで干渉解析を実施し、200km観測幅の干渉画像を得た(図-2)。これにより、だいち4号同士の観測データでも干渉可能であることが確認できた。

これらの校正検証作業を経て、だいち4号は2025年4月から定常観測が開始され、国土地理院においてもSAR干渉解析事業におけるだいち4号の観測データの本格的な活用を開始した。

3. 「だいち4号」を活用した地殻・地盤変動の監視

(1) 「だいち4号」の活用で期待される効果

前述のとおり、だいち4号の最大の特徴は、観測幅の拡大とそれに伴う観測頻度の増加である。本章では、国土地理院による干渉SARを用いた地殻・地盤変動監視において、だいち4号の活用によってどのような効果が期待されるのかを、事例も含めて紹介する。

まず、地震の発生や火山活動の急激な活発化等に対応した緊急的な解析である。このような事例に対しては、観測幅の拡大により、一度の観測で広域の地殻変動を把握することが可能となることで地殻変動の全体把握に要する期間が短縮され、より迅速な地殻変動情報の提供が期待できる。例えば、2024年1月1日に発生した令和6年能登半島地震では、だいち2号の観測データを用いて、地震翌日には輪島市西部で約4mの隆起を検出したが、この時は能登半島の先端部や西端の海士岬周辺は観測す

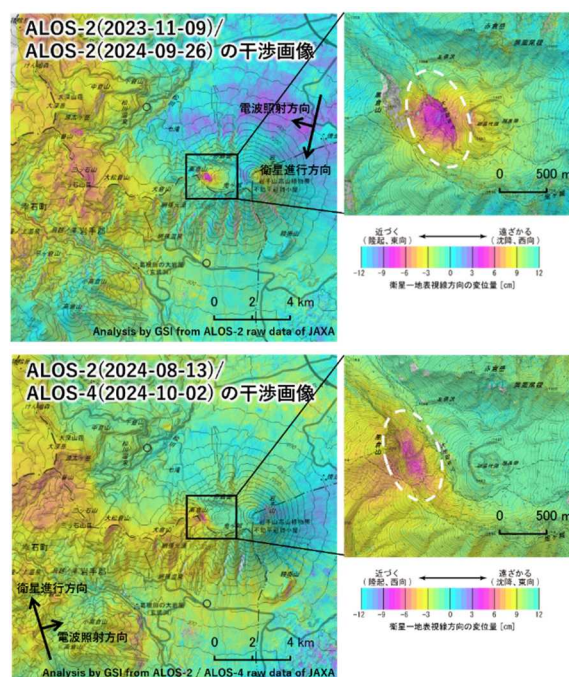


図-1 岩手山周辺における SAR 干渉画像及び大地獄谷周辺の拡大図。上図は ALOS-2 同士による変動量(南行軌道)、下図は ALOS-2/4 による変動量(北行軌道)。

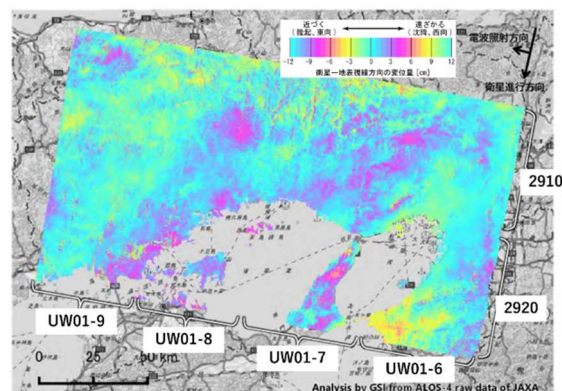


図-2 ALOS-4 同士の 200km 幅の干渉画像(南行軌道による衛星-地表視線方向の変動量)

ることができなかった。能登半島全体の様子を捉えるためには更に複数回の観測を要し、これらの観測を用いて、能登半島全体の上下方向・東西方向の変動を把握できたのは地震発生18日後であった。一方、観測幅200kmのだいち4号であれば、一度の観測で能登半島全体の観測が可能となる。

次に、多数のSAR干渉画像を統計的に処理し微小な変動やその時間変化の把握を可能とする時系列解析においても、だいち4号の活用による高度化が期待できる。

例えば、これまで火山を対象とした時系列解析は、観測頻度の制約から、実施回数は年2回程度であり、解析

対象の火山も限定的であったが、だいち4号の高頻度観測により、解析頻度の向上と対象火山の拡大が可能となる。図-3は口永良部島における干渉SAR時系列解析結果である。口永良部島では、火山活動の活発化により2023年6月27日に噴火警戒レベルが3（入山規制）に引き上げられた。これを受けて緊急的に実施しただいち2号による高頻度観測により、変動の時間変化を詳細に捉えることができた。だいち4号の観測頻度であれば、国内の111活火山のうち、SAR干渉解析が可能な陸域にある99火山全てにおいて、特別な対応がなくとも同様の監視が可能となる。

また、全国を対象とした時系列解析（全国時系列解析）において、だいち2号の観測データのみで必要な干渉画像数を確保するためには、2014年の打上げ以降の10年間分の観測データが必要である。さらに、そこで算出される変位速度は、全期間を通しての1年当たりの平均的な変位量となり、数年のような短期間で傾向が変化する変動を定量的に捉えることは困難である。一方、だいち4号を併用することで、数年程度で十分な干渉画像を確保でき、その期間での平均的な変位量が算出される。そのため、変動の傾向が変化するような現象に対しても詳細の把握が可能となる。

(2) 地盤沈下調査への活用に向けた取組

前節において、だいち4号の活用により、時系列解析においてその高度化が期待されることを述べた。本節では、その具体的な事例として、地盤沈下調査への活用について紹介する。

国土地理院におけるSAR干渉解析事業は基本測量に位置づけられており（衛星合成開口レーダー地盤変動測量）、全国時系列解析で得られる全国の変位速度分布を基本測量成果として2023年3月から公開・提供している。

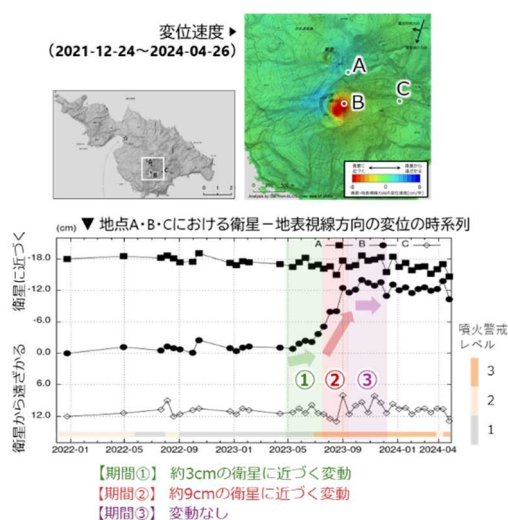


図-3 口永良部島における干渉SAR時系列解析結果
（解析期間：2021-12-24～2024-04-26）

提供している測量成果は、衛星視線方向の変位速度（南行）及び衛星視線方向の変位速度（北行）に加えて、これらの変位速度を合成して上下・東西方向に分離することで得られる準上下方向の変位速度及び準東西方向の変位速度の合わせて4種類の変位速度である。なお、SAR衛星の軌道が南北方向から僅かにずれているため、実際の上下方向及び東西方向から数度ずれていることから、準上下方向・準東西方向と称している（図-4）。これらの測量成果では、電子基準点等地上に設置した基準点では把握できていなかった様々な局所的な変動を捉えている（図-5）。

これら測量成果を活用する場面の一つとして期待されるのが、地盤沈下調査である。これまで、地盤沈下の監視には水準測量が用いられてきたが、それには多くの費用や人員が必要となるため、効率化・省人化が求められていた。このため、人工衛星データの活用は、地盤沈下

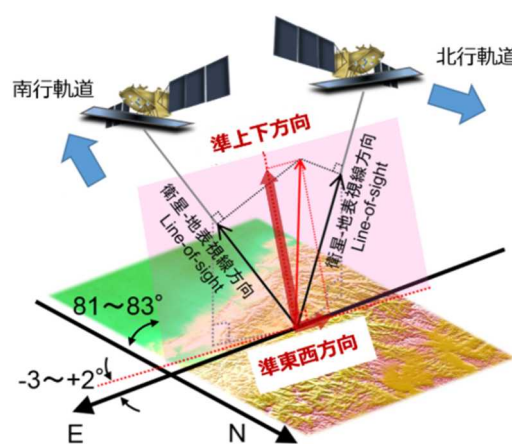


図-4 準上下方向・準東西方向への分離のイメージ

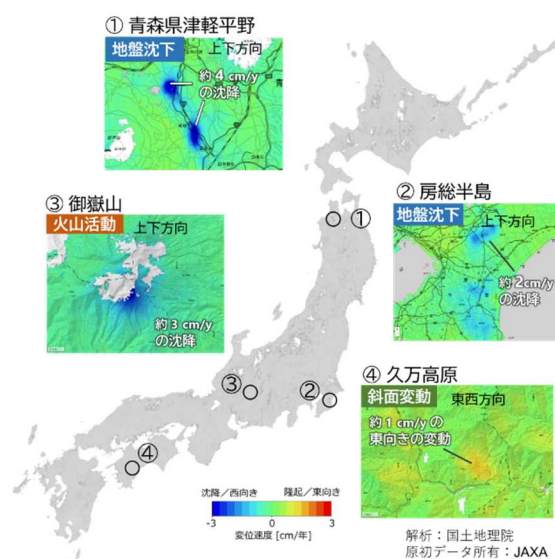


図-5 全国時系列解析により捉えられた様々な局所変動

の監視体制を維持・向上し、効率的かつ効果的な地盤沈下の観測技術の一つとして期待されている。このような背景も踏まえ、国土地理院では、地盤沈下調査における衛星SARの活用に向け、さまざまな取組を行っている。2024年6月には、衛星SARの観測データを用いた干渉SAR時系列解析結果を地盤沈下調査に活用するための「衛星SARによる上下変動測量マニュアル」¹⁾（以下「マニュアル」という。）を策定した。また、測量成果である全国時系列解析結果の数値データを提供するためのウェブサイト²⁾を構築し、マニュアルと同時に公開した。さらに、2025年8月には、マニュアルの更なる利用促進のため、測量成果の中間生成物である干渉画像等の数値データを測量記録として提供を開始した。

マニュアルでは、これまで地盤沈下調査の主要な測量手法である水準測量に加え、衛星SAR時系列解析結果による上下方向の変動量を併用することで、従来と比較して、効率的かつ稠密な上下変動分布を得る手法を規定している（図-6）。マニュアルでは、衛星SARによる面的な情報を、より精緻な水準測量結果を用いて補正することとしており、これにより、精密で面的な上下変動分布を効率的に算出することが可能となる。

水準測量のみで上下変動分布を求める場合、地盤沈下等が予想される地域を網羅する形で水準測量を実施する必要があり、また得られる結果は水準路線上的変動に限られる。一方、マニュアルを活用した場合、干渉SAR時系列解析による面的な変動が組み合わされるため、詳細な上下変動分布を把握することが可能となる。これにより、水準測量を実施しなければならない地域が鮮明となり、測量作業の効率化が図られるだけでなく、これまでより短期間で効果的に変動を捉えることが可能となる。

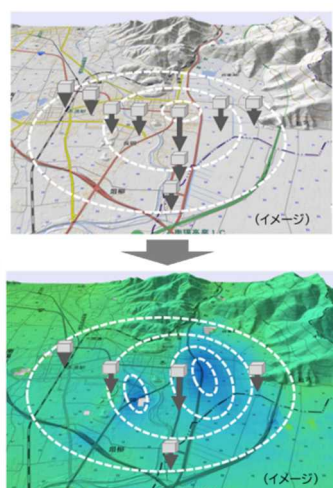


図-6 マニュアルによる手法のイメージ。上図が水準測量のみの場合、下図が水準測量と干渉SAR時系列解析結果を組み合わせた場合。

本マニュアルは、作業規程の準則（平成20年 国土交通省告示 第413号）第17条第3項に規定されている、国土地理院が定める「新しい測量技術による測量方法に関するマニュアル」の一つであり、本マニュアルに従った作業を行うことで、地盤沈下調査等の公共測量に衛星SARを活用することが可能となっている。

マニュアルで利用可能な測量成果及び測量記録を取得できるウェブサイト「衛星SAR地盤変動測量成果ダウンロードサービス」²⁾では、地図画面からユーザーが任意の領域を指定してデータを取得することが可能である。また、グラフ表示機能を使うことで、任意の地点における変動の時間変化を確認することや、任意の地点間の変動速度の断面図を確認することもできる。

一方で、前述のとおり現在提供している測量成果は長期間の観測データから算出した1年当たりの平均的な変位量である。地盤沈下調査においては、直近1年程度の間における詳細な地盤変動の情報が求められることから、現状では扱いにくい側面もある。今後だいち4号の多量の観測データを用いた測量成果を公開することで、より短期間の変動量や季節的な変化の把握等、ニーズを踏まえた対応を図っていく予定である。

4. まとめ

国土地理院では、SAR衛星の観測データを用いて、地震・火山活動に伴う地殻変動や全国の定常的な地盤変動を監視しており、従来のだいち2号に加え、2024年7月に打ち上げられただいち4号の活用を進めている。だいち4号は、だいち2号に比べ観測頻度が約5倍であり、観測機会の増加や時間分解能の向上が期待される。だいち4号の観測データの活用を通じて、地震・火山活動に伴う地殻変動情報の早期把握や衛星SAR時系列解析結果の地盤沈下調査への活用等、地殻・地盤変動監視の高度化を進めていく。

謝辞：本研究で用いたALOS-2データ及びALOS-4データは、「陸域観測技術衛星2号観測データ等の高度利用に関する協定」、「先進レーダ衛星観測データの高度利用に関する協定」及び火山噴火予知連絡会衛星解析グループ（当時。現在は火山活動衛星解析グループに変更）の活動を通じて宇宙航空研究開発機構（JAXA）から提供を受けた。原初データの所有権はJAXAにある。数値気象モデルは「電子基準点等観測データ及び数値予報格子点データの交換に関する細部取り決め協議書」に基づき、気象庁から提供を受けた。

参考文献

- 1) 国土地理院：衛星 SAR による上下変動測量マニュアル
https://www.gsi.go.jp/KOUKYOU/koukyo0042_sar.html
- 2) 国土地理院：衛星 SAR 地盤変動測量成果ダウンロードサービス
<https://sarprod.gsi.go.jp>

沖縄管内における物流推進検討

山田 廉太郎¹

¹内閣府沖縄総合事務局 開発建設部 港湾計画課 (〒900-0006 沖縄県那覇市おもろまち2-1-1)

沖縄県の主要な物流拠点である那覇港では、RORO船の大型化や取扱貨物量の増加に伴い、ヤードの狭隘化や蔵置場所の点在が荷役の非効率化を招き、労働力不足も深刻である。そこで、次世代高規格ユニットロードターミナルの形成を目指し、物流動向分析、関係者ヒアリングを実施した。さらに、新港ふ頭で車番認識カメラを用いたシャーシ管理の実証試験を行い、その有効性を検証した。結果に基づき、短期のペーパーレス化から、14号岸壁整備を契機とする中期のヤード再編とICT導入、長期のふ頭全体のシステム化と立体駐車場等のハード整備に至る段階的計画、及び関係者の役割分担を提案する。

キーワード モーダルシフト、ユニットロードターミナル、荷役効率化、港湾物流DX

1. はじめに

日本のような島国において、安定的かつ効率的な海上物流は、国民生活と経済活動を支える生命線である。特に、離島県である沖縄や全国に点在する島嶼地域にとって、港湾は社会インフラの根幹をなし、その機能性が地域全体の持続可能性に直結する。近年、我が国の物流業界は、ドライバーの労働時間規制強化に端を発する「2024年問題」や、それに伴う労働力不足という構造的な課題に直面している。この課題は、海上輸送とその結節点である港湾の効率化を一層強く要請するものである。

このような国家的課題に対し、国土交通省は「港湾の中長期政策『PORT2030』」¹⁾を策定し、ICT技術等を活用して生産性を抜本的に向上させる「次世代高規格ユニットロードターミナル」の形成を全国的に推進している。この政策は、特に地理的制約から陸上輸送の代替手段が

無く、海上輸送への依存度が高い沖縄県において、極めて重要な意義を持つ。

沖縄県の経済と生活を支える主要な物流拠点である那覇港は、まさにこうした日本の港湾が抱える課題を象徴するモデルケースと言える。那覇港のユニットロード貨物の8割以上はRORO船が担っており²⁾、近年の貨物取扱量の増加と船舶の大型化に伴い、ふ頭の狭隘化が深刻化している(図-1)。現在14号岸壁等のインフラ整備を進めているところではあるが、貨物の蔵置場所が点在しているため、シャーシ等の非効率な横持ち輸送が常態化し、ターミナル運営全体の生産性を低下させる主要因となっている。現場では、依然として紙の帳票を用いた手作業でのシャーシ管理や、目視によるダメージチェックが主流であり、作業員の負担増に加え、情報のリアルタイム共有を阻害している。

これらの課題は那覇港に特有のものではなく、限られた



図-1 新港ふ頭における岸壁利用状況

用地の中で荷役作業が強いられている国内の多くの港湾に共通するものであり、那覇港における課題解決の取り組みは、他の港湾への展開が期待できる重要な先事例となり得る。

港湾計画に基づくふ頭再編といったハード面の整備には長期間を要するため、まずは既存施設を最大限に活用し、その運用を高度化するソフト面の対策、すなわちデジタルトランスフォーメーション（以下、DX）の推進が、即効性のある現実的な解として急務である。特に、情報通信技術を活用してターミナル内の車両動態を正確かつリアルタイムに把握することは、作業の省力化、ヤード利用の効率化、安全性向上に直結するDX技術の根幹となる。

そこで本検討では、「次世代高規格ユニットロードターミナル」実現に向けた具体的方策として、ターミナル運営のボトルネックとなっているシャーシ管理に着目した。その実現可能性と効果を検証するため、那覇港新港ふ頭シャーシヤードにおいて、車番認識カメラを活用した車両の入退場及び在庫管理に関する実証試験を実施した。本稿は、この実証試験から得られた定量的・定性的な評価結果を分析し、那覇港という具体的なフィールドから、日本の多くの港湾に応用可能な港湾物流DXの将来計画と、その実現に向けた段階的な方策を提言するものである。

2. 次世代技術の適応可能性の検証

2.1 実証試験の概要と目的

沖縄県における港湾物流の効率化を図るため、令和4年度に那覇港において実証試験を実施した。本実証試験は、港湾荷役で利用されるシャーシの動態管理の取り組みとして、カメラの活用による動態管理とそれに伴う作業軽減の可能性、そして他施設への適用性について検証することを目的とした。

(1) 実証試験の具体的目的

本実証試験は、より具体的には以下の2点を検証した。

a) ナンバープレート自動認識精度の検証

対象施設（那覇港新港ふ頭シャーシヤードA）（図-3）に入退場するトラクターヘッド及びシャーシのナンバープレートを車番認識カメラ等を用いて自動認識・撮影し、画像データをテキストデータへ変換する技術の識別率（正確に変換できたデータの割合）を検証する（図-2）。

b) 在庫管理及び情報配信の実用性検証

特定時点におけるヤード内の在庫シャーシ（貸出用・船積み用）について、数量、車両登録情報（車両ナンバー、車体形状、航路）、入場時刻等をリスト形式で正確に整理する仕組みを在庫実態率で評価した。さらに、これらの情報を施設管理者へリアルタイム（管理ソフト経由）及び

定時（メール経由）で配信する仕組みの実用性を検証した。

(2) 実証試験の概要

a) 対象施設

那覇港新港ふ頭 シャーシヤードA（以下、Aヤード）. Aヤードは主に特定の船社（A社）のシャーシ専用ヤードとして利用され、荷主への貸出用シャーシと本州等への返却用シャーシが蔵置されている（図-3）。

b) 対象車両

Aヤードに入退場するトラクターヘッド及びシャーシ。作業員車両等も撮影対象としたが、あらかじめ管理ソフトに該当車両を登録し結果に反映させないことで、分析からは除外した。

c) 使用技術

・車番認識カメラ

ナンバープレートの自動認識・撮影を行う（KOMOTO社製を選定）。ナンバープレートの状態（取付位置、角度、汚れ、変形）や付帯装備（バンパー、ライト等）による識別率低下の可能性を考慮し、最適なカメラ性能（撮影可能幅、角度設定等）と設置台数（入口・出口各4台、計8台）を検討した。設置イメージは写真-1の通りで、配置箇所は図-3の通りである。

なお、写真-1において赤は車両のフロントナンバーを撮影するカメラを示し、青は車両のバックナンバーを撮影するカメラを示している。



写真-1 カメラの配置イメージ（入口側個別）

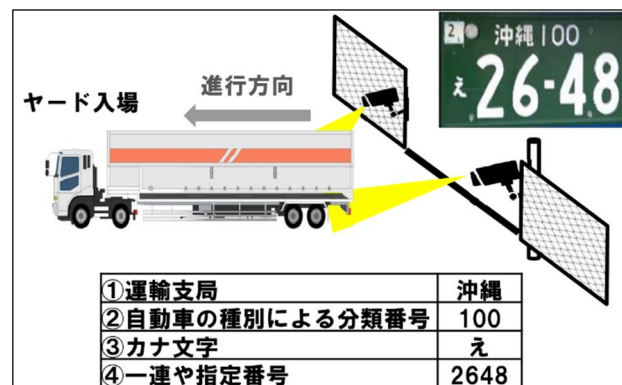


図-2 車両識別のイメージ

d) 実施期間

・第1段階

令和4年11月1日～2日（基本動作確認）

・第2段階

令和4年11月21日～25日（ナンバー読取・文字変換・管理者送付の仕組み検証）

e) 収集・提供データ

・収集データ

カメラ撮影時の状況、撮影画像、自動検知・文字変換の可否

・提供データ（施設管理者向け）

リアルタイム配信（車両ナンバー、航路、車体形状、入退場時刻、写真）、定時配信（11時、14時、16時、18時に車体形状別・航路別の在庫シャーシ台数をメール送付）。

本実証試験を通じて得られたデータは、主に車両ナンバーの読取精度（識別率）とヤード内の在庫シャーシ情報の精度（在庫実態率）の2つの指標に基づいて分析が行われた。施設管理者からのフィードバックは、次世代高規格ユニットロードターミナル実現に向けたカメラシステムの有効性と課題を評価するための基礎資料とした。

2.2実証試験結果の分析と評価

(1) 分析方法

a) データの収集と整理

・事前登録情報

Aヤードを利用する船社（A社）が保有するシャーシ645台の車両ナンバー、使用航路、車体形状情報。

・実証試験データ

車番認識カメラ（計8台）による営業時間中の撮影画像データ、タブレット端末による営業時間前の在庫シャーシ撮影画像データ、車番認識カメラシステムによる文字変換データ、車番認識カメラシステムによる在庫シャーシ情報

b) 評価指標の定義と算出

・識別率(%)

車番認識カメラが撮影したトラクターヘッド及びシャーシのナンバープレート画像が、システムによってどの程度正確にテキストデータへ変換されたかを示す指標である。算出式は以下の通り定義した。

$$\text{識別率 (\%)} = \frac{\text{正常識別数}(E)}{\text{撮影総数}(A)} \times 100$$

・在庫実態率(%)

ある時点において、ヤード内に実際に存在する在庫シャーシに対し、システムがどの程度正確に「在庫シャーシ」として検知し、その車両情報（ナンバー、車体形状、航路、入場時刻等）をリストとして整理できたかを示す指標である。システムは、「入場のみ車両」（入口カメラ記録はあるが出口記録なし）と「待機車両」（営業開始前のタブレット記録はあるが出口記録なし）を「在庫シャーシ」として検知する設計とした。算出式は以下の通り



図-3 実証試験のカメラ配置（Aヤード）

定義した。

$$\text{在庫実態率 (\%)} = \frac{\text{正常検知数}(M)}{\text{実際の在庫数}(L)} \times 100$$

ここで、「正常検知数 (M)」は、「実際の在庫数 (L)」(システム検知数から誤検知・不良識別を除き、検知漏れを加えた数) から「検知不良数 (K)」(誤検知、不良識別、検知漏れの合計) を除いた件数を示す。検知不良の判定は、撮影画像、文字変換データ、ビデオ動画を突き合わせて行われた。

(2) 試験の分析結果

実証試験期間中(第2段階)における識別率は以下の通りであった。

a) 識別率

・トラクターヘッド

撮影総数395台に対し、正常識別数は395台となり、識別率100%を達成した。前方ナンバープレートは、後方と比較して設置位置が一定で、遮蔽物も少ない傾向にあること、また、Aヤード進入前の前面道路で撮影したことで多様な進入軌道に対応できたことが高精度に繋がったと考えられる。

・シャーシ

撮影総数325台に対し、正常識別数は324台となり、識別率99.7%であった。この高い識別率は、適切なカメラ台数・設定(入口・出口各4台、計8台配置し、死角を減らしたこと)、対象車両のナンバープレートの状態が良好であったことが要因と考えられる。特に、Aヤード入口は約20mの間口があり、待機車両が端に寄る場合もあったが、カメラ2台体制(認識可能幅15m)で対応できたことが有効であった。

1台のシャーシについて、ナンバープレートのひらがな「え」を「へ」と誤って文字変換する事例が発生した。ナンバープレートの状態やカメラ角度等、考えうる要因を検証したが、特定には至らなかった。

b) 在庫実態率

実証試験期間中における在庫実態率は、実際の在庫数791件に対し、正常検知数は782件となり、在庫実態率98.9%であった。高い精度を示した一方で、以下の検知不良が9件確認された。

・誤検知

システムが車両状況を誤って判定したケースが7件確認された。主な要因は、ヤード内での荷繰りや点検のため、場内移動車両を、入口側カメラが再度「入場」として重複認識し、システムロジック上、本来「在庫」であるべき車両を「入退場済」と誤判定したことであった。

・検知漏れ

本来検知されるべき車両がシステムで認識されなかったケースが2件確認された。ビデオ映像ではナンバープレートの詳細が確認できず、断定はできないものの、事前登録されていない車両であった可能性、あるいはカメラの認識範囲外を走行した可能性が考えられる。

・その他

上記の検知不良とは別に、トラクターヘッド39台について、入場記録のみで退場記録がない事例が確認された。これは、ヤード内でシャーシを切り離した後、トラクターヘッド単体が本来の走行レーン外(カメラ認識範囲外)を通過して退場したためと分析された。

(3) 結果の評価

本実証試験の結果、車番認識カメラシステムは、識別率(トラクターヘッド100%、シャーシ99.7%)及び在庫実態率(98.9%)において極めて高い精度を示すことが確認された。これは、同技術が那覇港のような実際の港湾環境下においても、車両の自動識別と基本的な在庫管理に十分適用可能であることを示している。

また、実証試験期間中には、本システムの情報提供により、船社から港運会社への在庫確認等の問い合わせ回数が半減する効果も見られた。これは、情報共有のリアルタイム化・自動化が、関係者間の連携コスト削減と業務効率化に寄与する可能性を示している。

一方で、実用化に向けては、以下の運用上の課題が明らかになった。

a) 場内移動車両の誤検知

ヤード内での荷繰り等が誤認識される問題への対策(ハード・ソフト両面)が必要である。

b) 視角範囲外・逆走車両

カメラの死角や想定外の走行ルート(逆走含む)への対応が必要である。

c) 情報連携の必要性

車両ナンバー情報だけでは不十分であり、実入り・空情報、ダメージ情報等とのリアルタイム連携が実務上不可欠である。

これらの課題に対する解決策として走行レーンの明確化、システムの改善、タブレット端末等を用いた情報入力・連携等を講じることが、本格導入の鍵となる。

3. 那覇港における段階的導入計画の提案

前段の実証試験の分析・評価により、車番認識カメラ

システムは那覇港の車両動態管理において高い有効性を示すと実証された。しかし同時に、ヤード内での不規則な車両移動の誤検知や、実務上不可欠な「実入り・空」「ダメージ情報」との連携不足など、単体技術のみでは解決できない運用上の課題も明らかになった。

これを踏まえ本章では、那覇港が抱える根本課題（慢性的なヤードの狭隘化、蔵置場所の点在）の解決と、将来の労働力不足に対応する物流DXの実現に向け、短・中・長期の3段階による（表-1）道筋を提案する。

(1) 実現に向けた方策と関係者の役割

提案したロードマップ（表-1）の実現には、技術的課題のみならず、導入範囲の策定や関係者の合意形成が不可欠である。

a) システム化の範囲

那覇港のユニットロードターミナルは、新港ふ頭（本土・先島航路）、那覇ふ頭（九州航路）、泊ふ頭（周辺離島航路）、浦添ふ頭（九州・大阪航路）など、機能が分散している。全ふ頭を単一システムで一元管理することは、取扱う荷姿や事業者が異なるため効率的ではない。

したがって、システム導入は、最も課題が集中し、かつRORO船物流の中核である新港ふ頭から集中的に進めるべきである。短期的・中期の段階では、12号背後地や14号背後地といった「野積場単位」での導入から開始し、トライ&エラーを重ねて、最終的に、長期的段階で「新港ふ頭単位」でのシステム化を目指し、その成果を他ふ頭へ普及させていくことが望ましい。

b) 関係者の役割分担

本計画の推進は、特定の主体のみでは不可能であり、官民の明確な役割分担に基づく連携が必須である。各主体

の主要な役割を以下に提案する。

・那覇港管理組合（港湾管理者）

基盤整備（岸壁背後埋立等）及びハード整備（ゲート、柵、監視カメラ設置）の実施主体となる。また、事業者間の利害を調整し、各種システムの統一化に向けた合意形成を主導する。

・沖縄総合事務局（国）

計画の推進・支援者として、14号岸壁等の基幹インフラ整備（直轄工事等）を着実に推進する。また、「高度化検討のための実証試験」や「立体駐車場建設に向けた実態調査と設計」を支援し、新技術導入の技術的・財政的リスクを低減させる役割を担う。

・船社

システムの主要ユーザーとして、ソフト整備を牽引する。12号背後地での実証・実装への積極的な参加、中期の段階でのカメラ設置への協力・投資が求められる。特に、事業者間の壁を越えた効率化の鍵となる各種予約システムの統一化においてシステム導入に積極的に取り組む役割を果たす必要がある。

・港運事業者

現場運用の担い手として、計画の初期段階から参画し、12号背後地での実証・実装に協力することで、現場の視点から「無駄のない物流」に向けた具体的な要望を提示する役割が求められる。また、システムが実務に即した形で構築されるよう貢献する。

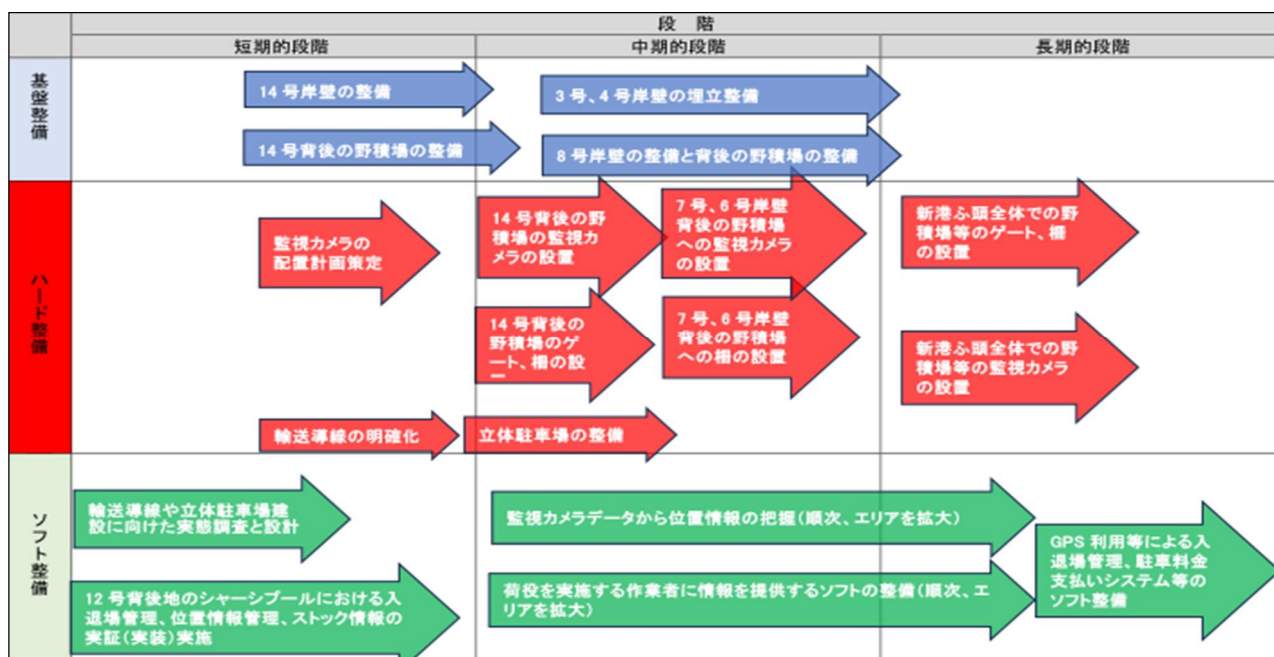


表-1 段階別の整備イメージと高度化の目標

4. 結論

(1) 本稿の結論と要約

本稿は、沖縄県の経済・生活を支える主要な物流拠点である那覇港が直面する、ヤードの狭隘化・蔵置場所の点在化、労働力不足、アナログな管理体制といった複合的課題に対し、国土交通省が推進する「次世代高規格ユニットロードターミナル」の実現に向けた具体的な道筋を検討した。

本稿の分析から得られた主要な知見は、以下の3点に集約される。

第一に、那覇港、特に新港ふ頭の物流非効率性は、物理的な施設不足に加え、紙帳票による受付や目視確認といった旧来の運用慣行、事業者間の情報分断によって深刻化している実態が明らかになった。

第二に、車番認識カメラシステムの実証試験は、極めて高い技術的精度（シャーシ識別率99.7%、在庫実態率98.9%）を示し、情報通信技術（ICT）が那覇港においても動態把握の自動化に十分適用可能であることを示した。

第三に、実証試験は、技術単体での導入の限界も露呈させた。場内での荷繰り移動による誤検知や、実務上不可欠な「実入り・空」情報、「ダメージ情報」との連携がなされなければ、現場の業務効率化には直結しないことが強く示された。

以上の分析に基づき、那覇港における次世代高規格ユニットロードターミナルの実現は、港湾計画に基づく長期的インフラ整備を待つのではなく、実証済みの情報通信技術を基盤とした業務プロセスの変革（DX）に即時着手し、これを段階的に拡大・高度化させていくアプロ

ーチが最も現実的かつ有効であると結論付ける。

具体的には、まずは12号岸壁背後地シャーシプール等の限定的なエリアにおいて、車番認識カメラとタブレット端末等を連携させた「入退場・在庫・位置情報管理」を先行導入しながら有用な新技術システムを確立させる（短期的段階）。次いで、14号岸壁等のインフラ整備に合わせて、ゲート・柵の設置とシステム適用範囲を拡大し（中期的段階）、最終的にGPS利用等も含むふ頭全体の一元管理システムへと発展させる（長期的段階）ことが、着実な物流改革の道筋となる。

(2) 今後の展望：那覇港から「次世代港湾モデル」へ

大規模コンテナターミナルのような完全自動化が財政的・物理的に困難な港湾において、本稿で示した「既存ストックの最大活用」と「段階的な情報化・自動化」という手法は、2024年問題に直面する国内物流網全体にとって、現実的かつ効果的な処方箋の一つとなり得る。

したがって、那覇港における本計画の推進は、沖縄の物流革新であると同時に、『PORT2030』の理念を具現化し、日本の将来的な港湾DXのあり方を示す「次世代港湾モデル」の先駆的事例としての意義を持つものと期待される。

参考文献

- 1) 国土交通省港湾局(2018)『港湾の中長期政策「PORT 2030」』
- 2) 国土交通省総合政策局(2023)『令和4年 港湾統計(年報)』

床版コンクリート耐久性確保の取り組み ～施工現場と取り組み内容の紹介～

伊藤 誉人¹・大場 右京¹・〇瀬倉 英¹・佐々木 大祐²・菅原 一樹³

¹岩手河川国道事務所 工務第二課 (〒020-0066 岩手県盛岡市上田四丁目2-2)

²仙台河川国道事務所 工務第二課 (〒982-8566 宮城県仙台市太白区あすと長町四丁目1-60)

³仙台河川国道事務所 道路管理第一課 (〒982-8566 宮城県仙台市太白区あすと長町四丁目1-60)

東北地方のコンクリート構造物が目指すべき方向として、東北地方の自然環境や構造物の供用される様々な環境を踏まえて、設計、施工、維持管理の各段階で丁寧に対応し、十分な耐久性を持つコンクリート構造物の創造が重要である。現在、それらは各種「手引き」で纏められ、コンクリート構造物の品質確保・耐久性向上に取り組んでいるところである。

本報告は、国道46号盛岡西バイパス「西大橋」のRC床版工において実施した”施工段階“における高耐久床版の試行工事についてその取り組み内容を報告するものである。

キーワード 工事報告, 橋梁床版

1. はじめに

一般国道46号盛岡西バイパスは、盛岡市内の国道4号および国道46号の交通混雑の緩和や、沿線都市開発支援、救急医療施設へのアクセス向上などを目的として昭和59年より事業に着手し、現在は暫定2車線で供用中の3.6km区間について4車線化を進めており、西大橋(以下、「本橋」と記載)はバイパス終点部に位置する橋長442.1mの鋼10径間連続鈑桁橋である。(図-1)

本橋は岩手県の内陸中部に位置し、冬期は氷点下となる寒冷地域で、多量の凍結抑制剤散布が必要な環境であり、新設するRC床版の高耐久化が求められている。

本取り組みを実施した床版工事は、同年度工事において上部工架設まで完了しており、令和6年度 西大橋床版工事にて、「東北地方におけるRC床版の耐久性確保の手引き(案)(R5.3)」(以下、「手引き」と記載)に基づいて施工を行ったものである。(図-2)



図-1 西大橋位置図



図-2 本施工までの流れ

2. 東北地方のコンクリート構造物の課題

東北地方整備局管内では東日本大震災以降、復興道路・復興支援道路を短期間で整備しており、トンネルと橋梁合わせて、約158kmの大規模構造物が、将来、同時期に寿命を迎える事が想定されている。東北地方のコンクリート構造物の目指すべき方向として、寒冷地域特有の過酷な環境と向き合っていくために、施工上の不具合や課題を事前に把握することが重要である。

(1) 耐久性の現状と課題

東北地方で確認されている代表的な劣化は以下にあげられる項目となっている。(写真-1)

- 凍結防止剤の影響でコンクリート構造物には塩害が確認されている。
- 凍結防止剤由来のアルカリが追加供給されるために、ASRが確認されている。
- 寒冷の影響に比べて、コンクリート構造物の凍害に対する抵抗性能が低い場合に凍害が確認されて

いる。

(d) 路面排水の影響や凍結防止剤の影響を複合的に受け、RC床版には砂利化が確認されている。



写真-1 劣化の例

(2) コンクリート構造物の品質確保の取り組み

RC床版に劣化が生じないように、手引きではRC床版に発生する4つの劣化に対し、それぞれに複数の対策が機能するように複合防護網を施し、合理的かつ効率的に劣化するリスクを極力軽減させている。(図-3)

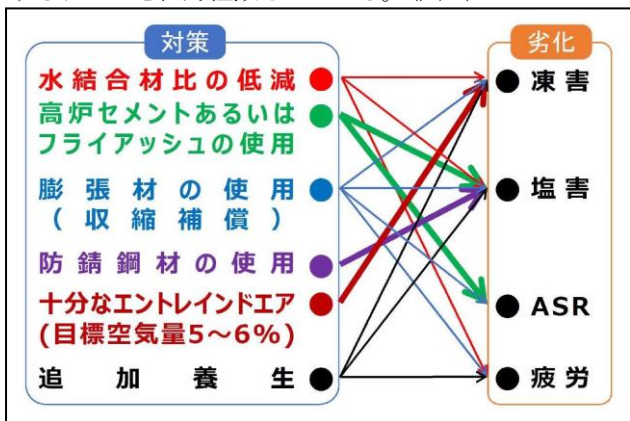


図-3 RC床版の複合防護網の考え方

(3) 本工事での取り組み

新設橋である本橋のRC床版では、「施工に起因する初期不良を抑制」することで高耐久性を目指し、手引きに基づいて打設計画の検討を実施することとした。

コンクリート構造物の品質は、使用材料の品質・性能はもちろんのこと、打設・締固めを適切に行い、密実なコンクリートを打設できるかが重要である。

このため、本橋のRC床版の打設計画立案にあたっては、施工上の不具合や課題を事前に把握するために、本施工前に現地において模擬床版を実際に打設し、発生した課題等を打設施工計画にフィードバックすることで確実な施工を目指すこととした。

3. 模擬床版

(1) 実施目的

実際の本施工を想定し、全ての床版作業員への意識改革及び打設計画確立を目的に、施工方法・品質管理方法を検証するため、模擬床版による試験施工を実施した。

(2) 検討事項

(ア) 気候条件による品質への影響が懸念されるため模擬床版の養生温度を記録し、本施工時での養生計画を確立させること。(図-4)

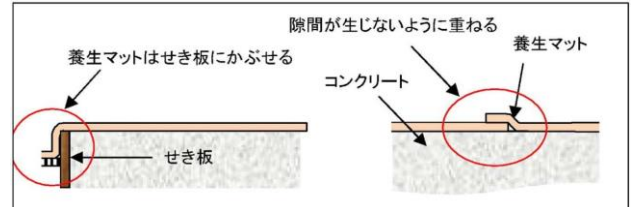


図-4 養生マット設置詳細図

(イ) 打設箇所毎の適切な人員配置や施工順序の詳細計画を確立、打設時間を記録し本施工への活用。また、配管打設の際の空気量・スランプの変化の確認、配管撤去に要する時間、必要人員等を記録し、本施工計画へ活用。(図-5)

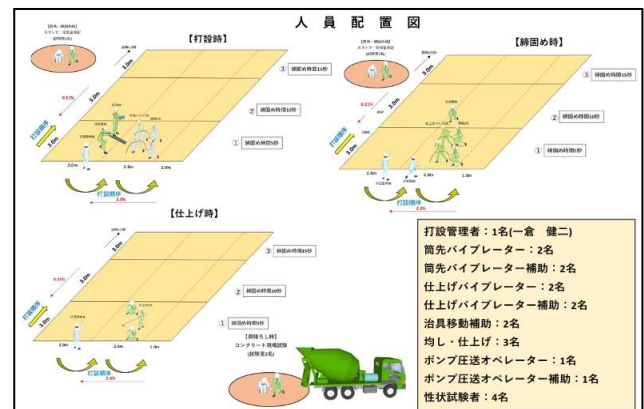


図-5 人員配置図

(ウ) 凍害、塩害によるコンクリートの変状対策のための残空気量を確保する締固め時間の検証。

(エ) 排水樹下の残留気泡の除去方法を、3種類(軽便パンチ・ピカコン・ハエ叩き)で検討し、適切な施工方法の決定。(図-6)



図-6 残留気泡対策の検討

(3) 施工の流れ

実際の施工に近い形で型枠・鉄筋を配置し、本施工に参加する作業員、資機材により、本番を想定しながら施工を行った。

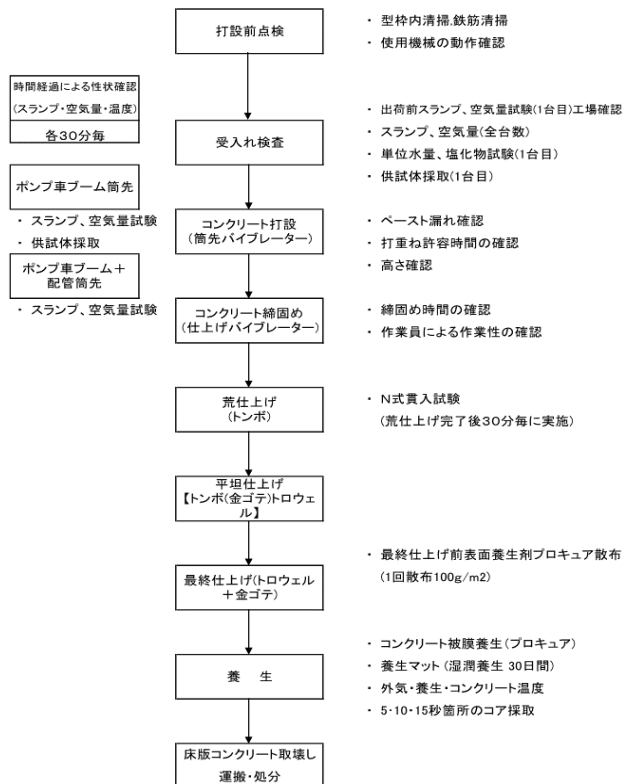


図-7 試験施工(模擬床版)打設フロー

(4) 検討事項結果

- (ア) 標準的な湿潤養生期間(打込みから7~12日)の追加養生として、合計で1ヶ月程度の給水養生(養生シート)を行うこととした。
- (イ) 本施工では模擬床版を踏まえて、鉄筋清掃・型枠確認の人数を増やして効率よく回るように調整した。
- (ウ) 気泡間隔係数測定結果より、5秒~10秒の間で空気量約3.0%程度確保できているが、10秒~15秒の間で急激に低下しているため、10秒以降の秒数では望ましくないと考え、本施工での締固め秒数は「8秒」に決定した。(図-8)(写真-2)

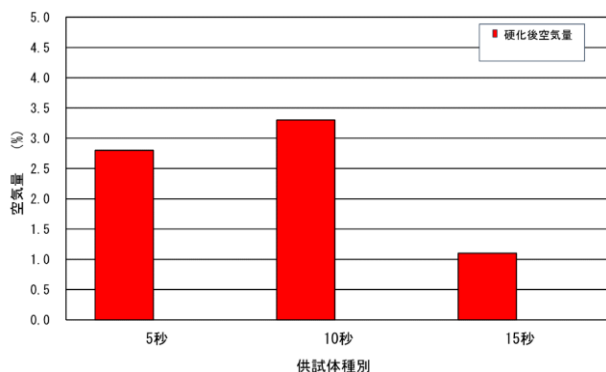


図-8 空気量測定結果

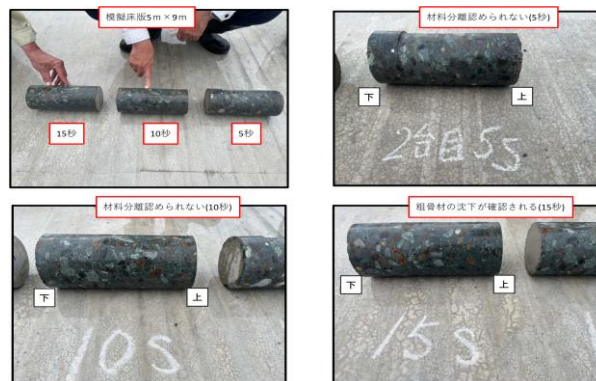


写真-2 供試体の状況

- (エ) 排水樹下の残留気泡の除去について、下記模擬排水樹の試験施工結果に基づき、ハエ叩き改良を使用する。(写真-3)

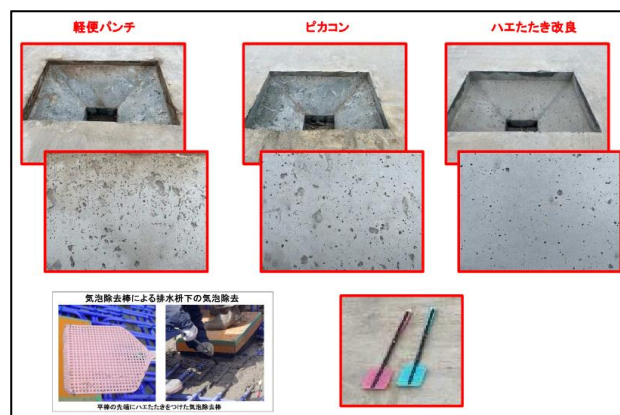


写真-3 模擬排水樹の状況

(5) 考察

- ・ 配管打設は通常より 1 時間(準備 30 分・撤去 30 分)多く要することを確認
- ・ 配管打設によるスランプ・空気量の影響はほぼ見られない
- ・ ポンプ車圧送による空気量の変化は高低差約 5m で 0.5%程度の低下がみられることから、本施工時は 5.5%~6.0%を目標に出荷するよう AE 剤を調整

(6) 課題及び対策

模擬床版後に産官学での反省会を行い、課題・対策を議論した。

a) 課題(意見交換会より抜粋)

- ① 作業員の意識改革が必要
- ② 試験器具、発電機等の予備が必要
- ③ スランプロスが大きい打設のため、1 レーン 30 分以内の打設が必要
- ④ パイプレーターの引き抜きが早く穴跡が残る
- ⑤ 生コン車の遅れにより硬化が始まっていたため、コンクリートタンパ等が必要
- ⑥ 端部にコンクリートが足りていない箇所があったため、計画高さまで打ち込めるような改善が必要

b) 対策

- ① 元請職員及び作業員全員への周知会等を実施し

意識改革に努める

- ②試験器具、発電機等の予備を準備し、すぐ使用できるように作業箇所の近くに準備
- ③本施工時は打設幅 3m、締固め幅 2m とし、締固めに入るタイミングを早める
- ④バイブレーター引き抜き時間を 2 秒とし、作業員へ周知
- ⑤本施工時はポンプ車に生コン車を 2 台付けし、1 台目と 2 台目が 5 分間隔となるよう納入計画を行う。また、現場にコンクリートタンパを配置する
- ⑥締固めにより高さが 1cm 程度沈下することが判明したため、本施工時は 1cm 上げ越して打設する

4. 本施工

模擬床版で得られた課題等を反映し、本施工の打設計画を立案した。

(1) コンクリート配合検討

模擬床版打設は 6 月に計画していたため、標準配合としたが、試験当日は外気温が 30℃の真夏日で、本打設が始まる 9 月も外気温が高い可能性があることから、標準配合と夏季配合を比較した。(表-1)

生コンクリートの時間経過による性状確認(標準配合)

経過時間	スランプ (cm)	空気量 (%)	温度 (℃)	外気温 (℃)
出荷前	13.0	5.5	25.0	28.0
荷降ろし時	12.0	5.4	26.0	28.0
30分	8.5	4.6	28.0	30.0
60分	4.0	3.8	27.0	30.0
90分	4.0	3.7	28.0	31.0
120分	4.0	3.3	29.0	31.0
150分	2.5	3.1	29.0	31.0

生コンクリートの時間経過による性状確認(夏季配合)

経過時間	スランプ (cm)	空気量 (%)	温度 (℃)	外気温 (℃)
出荷前	15.0	6.1	27.0	26.5
荷降ろし時	14.0	5.8	28.0	31.3
30分	11.5	5.2	29.0	33.6
60分	8.5	4.9	29.0	34.0
90分	7.5	4.8	29.0	34.8
120分	6.5	4.8	31.0	35.2
150分	4.5	4.4	31.0	36.3

表-1 配合の比較

標準配合は 30 分から 60 分で急激にスランプ値が低下しているのに対し、夏季配合は 30 分毎の低下が緩やかで、60 分後のスランプ値は標準配合が 4.0cm に対して夏季配合は 8.5cm で約 2 倍の差があることから、9 月 1 日から 30 日までの打設は、夏季配合による計画とした。

(2) 打設計画

模擬床版の施工や反省会から得られた課題及び対策を反映した打設計画を策定した。

(3) 施工結果

緻密性の確認のため、コンクリートの透気係数を計測した結果、透気性評価は「一般～優」で、おおむね高評価となった。模擬床版により事前に課題を抽出し対策を

講じることで耐久性の高い RC 床版を造ることができた。(表-2)

橋梁名	測定位置		測定時 表面水分率 (%)	透気係数 KT (×10 ⁻⁶ m ²)	影響深さ L (mm)	透気性 評価
西大橋	P1 床版上面	測点1	4.3	0.061	12	良
		測点2	4.2	0.169	20	一般
		測点3	4.3	0.052	11	良
	P3-P4 床版上面	測点1	4.2	0.019	7	良
		測点2	4.1	0.019	7	良
		測点3	3.8	0.032	9	良
	P6-P7 床版上面	測点1	3.7	0.016	6	良
		測点2	3.8	0.007	4	優
		測点3	3.7	0.008	4	優
	P9-A2 床版上面	測点1	3.8	0.030	8	良
		測点2	3.8	0.011	5	良
		測点3	3.7	0.022	7	良
	P3-P4 床版下面	測点1	4.9	0.569	37	一般
		測点2	4.7	0.727	37	一般
		測点3	5.0	0.522	35	一般

表-2 透気性評価



写真-4 本打設の様子

5. おわりに

模擬床版施工を通して確認された課題・不具合については、有識者の意見や改善策を反映した施工計画を策定し、万全の体制で本施工を実施する計画とした。そのほか、今回感じたのは、やはり大事なのは発注者側はもとより、受注者側の施工に携わる全ての作業者の「良いコンクリート」に対するイメージの共有が必要と思ったところである。それらについても日頃のやり取りや勉強会、作業員への周知会などを行いながら、品質向上への意識改革に努めていくのも必要だと考えた。

今後携わる床版工事でも、発注者・受注者全員でイメージの共有・良いものをつくるという共通の意識をもって、より高品質・高耐久性を確保した RC 床版の施工を目指していきたい。

参考文献

- 1) 東北地方における RC 床版の耐久性確保の手引き(案)

2023 年改訂版

[https://www.thr.mlit.go.jp/road/sesaku/tebiki/R4/tebiki\(RC\)_2023.pdf](https://www.thr.mlit.go.jp/road/sesaku/tebiki/R4/tebiki(RC)_2023.pdf)