

が ぞ う に ん し き か つ よ う ど う ろ と う ぼ く し ん だ ん 画像認識AIを活用した道路倒木リスク診断

大澤 徳真¹・久米 啓介²

¹近畿地方整備局 奈良国道事務所 管理第二課 (〒630-8115 奈良県奈良市大宮町3-5-11)

²修成建設コンサルタント 道路交通グループ (〒530-0055 大阪市北区野崎町7番8号 梅田パークビル)

近年、名阪国道では倒木による通行止めが相次いでおり、効率的な樹木管理計画の策定が喫緊の課題となっている。しかし、名阪国道は山地を通過する自動車専用道路であり、目視による枯れ木調査には危険を伴ううえ、多くの時間と労力を要する。そこで、作業者の安全を確保しながら効率的に調査を行うため、「ドローン空撮」と「画像認識 AI による枯れ木自動検知」を活用した新たな枯れ木調査を実施した。さらに、調査結果に地形・地質、道路線形などの条件を組み合わせる「道路倒木リスク診断」を行った。本稿では、これらの調査手法と診断結果、および道路維持管理計画への反映に向けた取り組みについて報告する。

キーワード 枯れ木調査, ドローン空撮, 画像認識AI, 道路倒木リスク診断

1 背景

近年、豪雨や台風などの自然災害が頻発しており、供用年数を重ねた道路沿線では、倒木による事故や通行障害の発生が顕在化している。

奈良国道事務所が管轄する名阪国道（針 IC～天理東 IC 間）では、「Ωカーブ」に代表される急カーブや急勾配区間が連続する自動車専用道路であり、これまで各種の交通安全対策により事故削減が図られてきた。

一方で、近年は道路区域内への倒木が増加傾向にあり、新たな道路維持管理上の課題となっている。

このため、奈良国道事務所では、倒木の危険性を有する枯れ木の本数および分布を早期に把握するため、枯れ木調査を実施することとした。さらに、調査結果に基づき、道路への影響を踏まえた倒木リスクを診断し、具体的な伐採計画を策定するとともに、次年度以降の計画的な伐採事業へ反映させる方針とした。

2 技術的な課題

伐採事業を具体化するに当たり、本調査では主な技術的課題を以下の三点に整理した。

(1) 効率的な枯れ木調査の実施

対象区間は延長約 12.6km で、急峻な山地を通過する区間である（図-1）。この区間で、従来の専門技術者による目視点検により枯れ木調査を行う場合、多くの調査

期間を要し、迅速な対策事業の立案・実施に支障を来すおそれがある。また、名阪国道には側道がない区間もあり、山地を移動しながら直接目視で踏査する必要があるため、作業上の危険性も高い。



図-1 対象区間（名阪国道 針 IC～天理東 IC）

(2) 道路倒木リスク診断手法の確立

既存の道路倒木リスク評価手法は、街路樹など、比較的少数で平坦部にある樹木を対象としたものが多い。

一方、名阪国道の沿線は、急勾配の斜面や法面、沢地形に面している。そのため、道路に到達する倒木には、斜面や法面を滑落してくるものも含まれる。反対に、本線下部の法面に生育する樹木は、倒木しても本線に到達する可能性が低い場合がある。

また、対象区間には、街路樹のように整備された土壌で管理されている樹木ではなく、崩壊地形や崖錐堆積物など、不安定な地形・地質条件下に生育する樹木が多く存在する。これらの樹木は生育不良となりやすく、倒木に至るおそれが高いと考えられる（図-2）。

このように、急勾配斜面や法面に面する自動車専用道路という名阪国道特有の条件を踏まえて、道路倒木リスクを診断することが、適切な事業計画を策定する上で重要となる。



図-2 名阪国道で見られる危険木

(3) 調査・リスク診断を踏まえた伐採計画の策定

名阪国道は 5 万台/日を超える交通量があり、通行規制を伴う作業は容易ではない。

そのため、伐採事業は、他の維持管理工事との調整を図りながら、計画的に進める必要がある。

具体的には、倒木リスクに応じて区間の優先度を設定し、年度ごとの伐採区間を整理するなど、実施可能な事業計画をあらかじめ策定しておくことが重要である。

3 ドローンとAIを活用した枯れ木調査

これらの課題に対応するため、本調査では「ドローン空撮」と「画像認識 AI による枯れ木自動検知」を組み合わせた新たな枯れ木調査を実施した。

(1) 調査概要

本調査では、枯れ木画像を教師データとして学習した画像認識 AI に、ドローンで撮影した空撮画像を解析させ、画像上から枯れ木を抽出する「枯れ木検知 AI サービス」（技術提供：九電ドローンサービス株式会社、株式会社オプティム）を使用した。

調査技術の概念図を図-3 に示す。

本技術は、オルソ画像（地形やカメラの傾きによる幾何学的な歪みを補正し、地図と同じ位置関係で利用できる画像）を用いる。

一般的な空中写真測量で作成される RGB オルソ画像（Red, Green, Blue の 3 バンドから作成したオルソ画像）による枯れ木検出に加え、NDVI オルソ画像（Red および NIR バンドから作成したオルソ画像）からも枯れ木を検出する点に特徴がある。

NDVI オルソ画像は、マルチスペクトラルカメラで取得した Red（赤色）バンドおよび NIR（近赤外）バンド

の反射率から各画素の正規化植生指数（NDVI）を算出し、その値をオルソ画像として可視化したものである。

NDVI は植生の反射特性に基づき、植生の健全度や衰弱傾向を推定するための指標であり、RGB オルソ画像では判別が難しい健全木と枯れ始めの樹木の識別が期待できる。

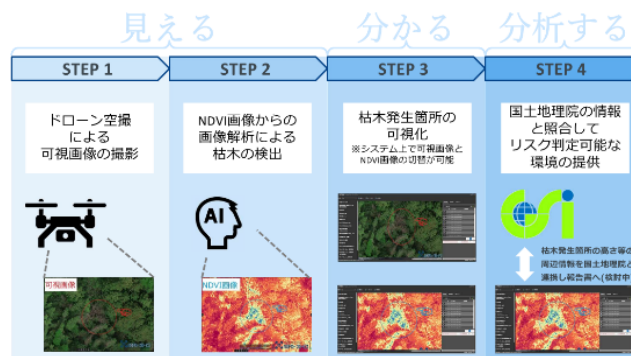
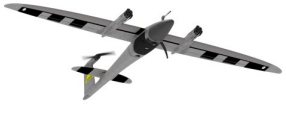


図-3 画像認識 AI を用いた枯れ木調査の概念図

本手法により、現地踏査や樹木の健全度判定に要する人的負担を大幅に軽減でき、調査の効率化と安全性の向上が期待できる。本調査の概要を表-1 に示す。

表-1 枯れ木調査概要

項目	内容
調査区間	名阪国道 針IC～天理東IC 上下線 (約12.6km)
調査範囲	約 1.26 km ² (道路端部から50m×2, 延長は上記)
ドローン飛行期間	2025/10/13-23 ※うち 作業日5日(雨天等は中止)
使用機器	VTOL固定翼(直線区間で使用)  長距離航行が可能で作業効率が高い。急カーブが苦手なため、直線区間で使用。 マルチコプター回転翼(カーブ、起伏が多い区間)  ホバリング時でも安定した航行が可能。カーブや地形の起伏が激しい区間で使用。

(2) ドローン空撮による画像取得

枯れ木検知 AI の解析精度を確保するには、撮影位置の正確性と取得画像の品質が重要である。

本調査では、九電ドローンサービス株式会社が有する特許技術を用いた自動操縦システムにより、ドローンを地形に追従させながら、操縦者が視認できる安全で確実な範囲内を飛行させた(図-4)。これにより、写真画像の地上解像度を一定に保ち、適切に重複させた飛行ルートを設定して、高品質な解析用画像を取得した。

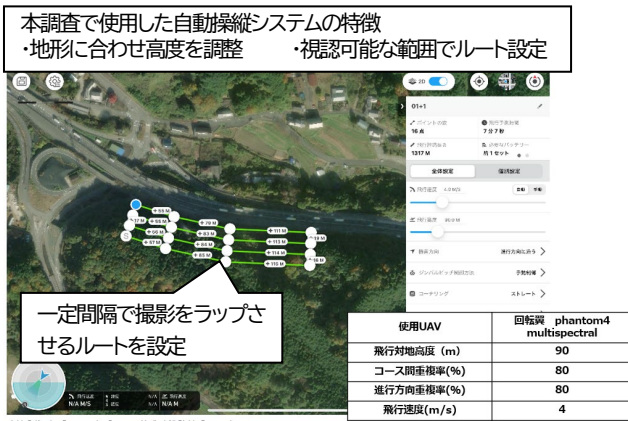


図4 ドローン自動操縦システムの概要

(3) 画像認識 AI による枯れ木検出手法

枯れ木検出 AI による画像解析は、前述のとおり「RGB オルソ画像」と「NDVI オルソ画像」の 2 種類を用いて実施した。

RGB オルソ画像解析は、一般的な RGB 画像を教師データに基づいて解析し、枯れ木または倒木と考えられる箇所を抽出するものである（図-5）。

これは、専門技術者が空中写真を目視して枯死木を判読する作業を AI に代替させるものであり、葉の色調、枝や幹の露出状況などを手掛かりに枯れ木を検出する。

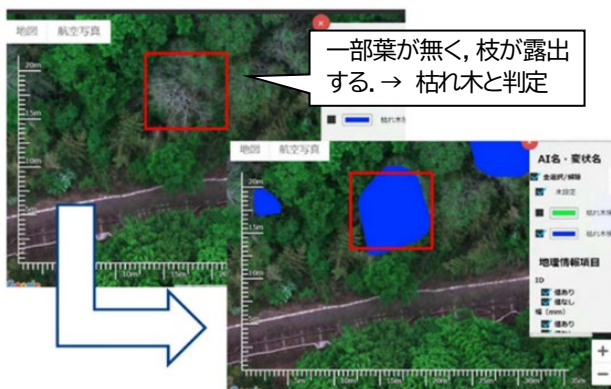


図-5 AI による RGB オルソ画像解析結果例

NDVI 画像とは、マルチスペクトルカメラで取得した Red (赤色) バンドおよび NIR (近赤外) バンドの反射率から、各画素の正規化植生指数 (NDVI) を算出し、その値を画像として可視化したものである（図-6）。

NDVI は植生の反射特性に基づき、植生の活性度や健全度を評価する指標であり、通常のカラ画像だけでは把握しにくい植生の健全度を推定することができる。

このため、NDVI オルソ画像は、専門技術者が近接目視や触診により判断していた樹木の健全度を、画像上で推定するための有効な情報となる。RGB オルソ画像と併用することで、枯れ木検出 AI による解析精度の向上が期待できる（図-7）。

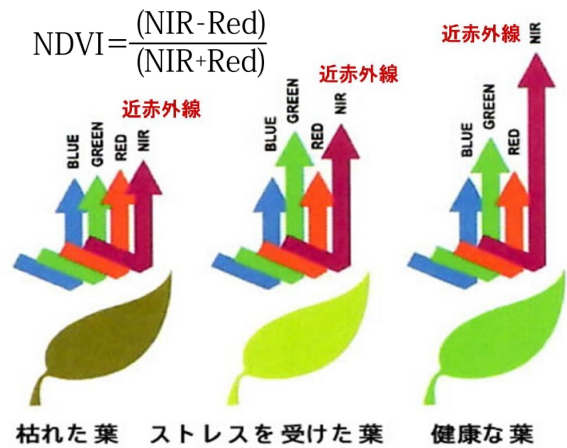


図-6 NDVI (正規化植生指数) の概念

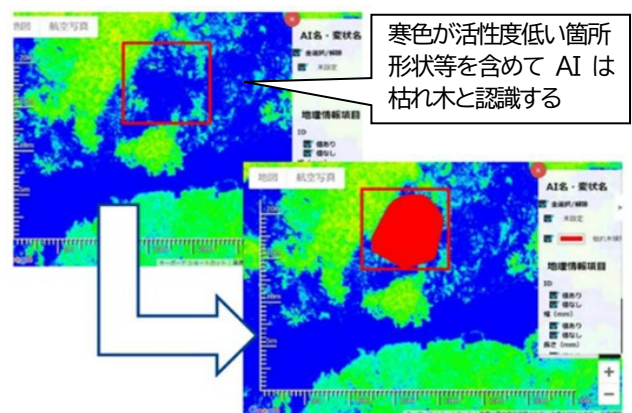


図-7 NDVI オルソ画像解析結果例

これらの AI により抽出された枯れ木箇所は、ドローン空撮画像に基づくため位置情報を有している。そのため、従来の近接目視点検で課題となりやすい「枯れ木位置の曖昧さ」を低減できる。

一方で、AI 解析では構造物等を枯れ木と誤認する可能性がある。このため、RGB オルソ画像および NDVI オルソ画像による検出結果については、人の目による確認を行い、最終的な抽出箇所を精査した。

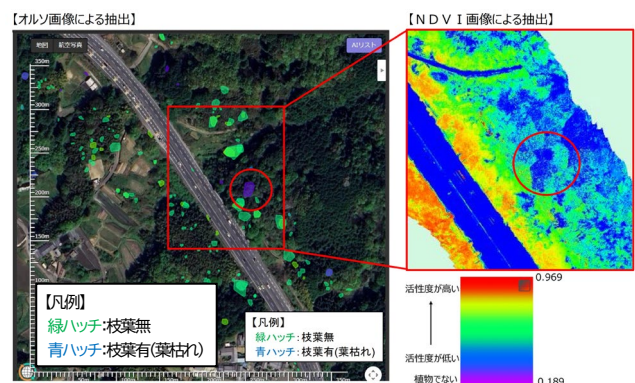


図-8 名阪国道における枯れ木検出 AI 抽出結果一部抜粋

(4) 調査結果

「画像認識 AI による枯れ木自動検知」を用いた調査の結果、対象区間（針 IC～天理東 IC、約 12.6km）において、枯れ木の可能性がある箇所は上下線合計で 1,596 箇所検知された。

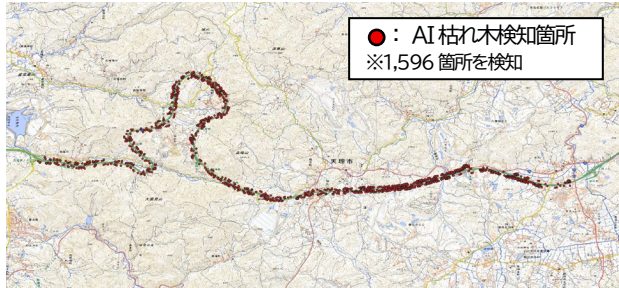


図-9 枯れ木検知 AI による抽出箇所分布状況

なお、枯れ木検知 AI では、道路両端からそれぞれ約 50m を調査範囲として解析を行った。そのため、抽出箇所には、倒木しても道路本線へ到達する可能性が低い樹木も含まれる。そこで、道路事業として優先的に対処すべき区間や本数を絞り込むため、枯れ木分布数、名阪国道の自然条件、道路構造を踏まえた「道路倒木リスク診断」を新たに検討し、実施した。

4 道路倒木リスク診断

道路倒木リスク診断では、道路本線への影響を考慮し、道路事業として優先的に対応すべき枯れ木および区間を抽出することを目的とした。

具体的には、道路への到達可能性を踏まえて「枯れ木対象範囲」を設定し、検知された枯れ木のうち、道路防災上の管理対象となるものを絞り込んだ。

その上で、地形・地質などの自然条件や、落石防護柵などの既存道路施設による防護効果を考慮し、区間ごとの倒木リスクを評価した。

(1) 枯れ木対象範囲の設定

道路周辺に分布する枯れ木のすべてが、道路本線に影響を及ぼすわけではない。平坦地では、樹高以上に道路から離れた樹木は、倒木しても道路に到達する可能性が低い。一方、斜面・法面では、倒木後に斜面を滑落し、道路本線へ到達する可能性がある。

そこで、本検討では、樹高、尾根・谷地形および道路用地境界を踏まえ、道路横断方向における「枯れ木対象範囲」を設定した。これにより、道路事業としての対象を 1596 箇所から 1080 箇所に絞り込んだ（図-10）。

また、対象範囲内であっても、道路端部に近い樹木ほど倒木時の影響が大きく、早期対応の必要性が高いと考えられる。そこで、枯れ木対象範囲を道路からの位置関係で「短期」、「中期」、「長期」に区分した。

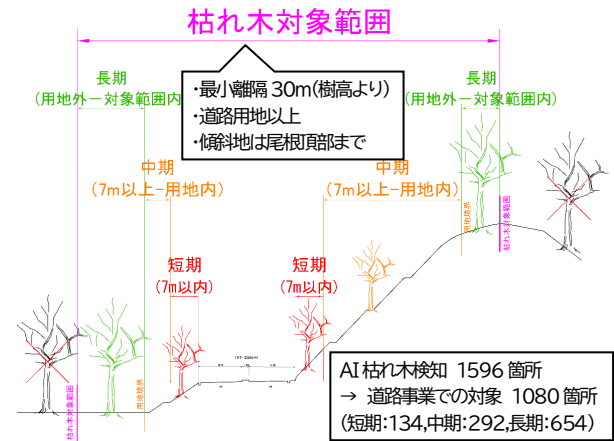


図-10 枯れ木対象範囲の設定内容

(2) 倒木リスク評価

倒木リスク評価では、倒木の発生しやすさと、倒木後の道路影響を分けて整理した。

前者は、地形、地質および土砂災害リスク箇所等の自然条件を踏まえた「倒木発生度」とし、後者は、落石防護柵等の既存施設の有無による防護効果を考慮した「倒木危険度」とした。

これら二つを組み合わせた二軸マトリクスに整理し、リスクレベルを3段階に評価した（表-2）。

倒木リスク評価は、対象区間 12.6km を土工区分（切土、盛土、自然斜面）毎に実施した（図-11）。この評価結果と枯れ木検知 AI 解析結果を重ね合わせることで、例えば「倒木リスク 高」と判定された土工区間に AI 枯れ木検知箇所が多数分布する場合には、当該区間を優先的に伐採すべき箇所として抽出できる。

表-2 倒木リスク評価マトリクス と 評価指標の一例

リスク評価マトリクス		倒木危険度		
		A(危険度大)	B(危険度中)	C(危険度小)
倒木発生度	a(確率大)	Aa	Ba	Ca
	b(確率中)	Ab	Bb	Cb
	確率小	Ac	Bc	Cc

■ : 倒木リスク 高 ■ : 倒木リスク 中
■ : 倒木リスク 低

①倒木発生度(地形、地質、二次災害を指標 ※下記は地質)

項目	詳細	配点	判定理由
地質状況	岩盤(風化岩)	3	岩盤は根の侵入が困難であり、保水性土壌の層厚が薄いため、生育環境が良好でない
	盛土	2	道路盛土の植生工は、草本導入を基本としており、保水性や透水性を考慮した十分な基盤が確保されていない。
	崖壁	2	土壌水分が多い土壌は土壌の支持力が弱く、根返りが発生しやすい環境である
	洪積層	1	主に礫質土が分布し、適度な透水性と保水性を持つ土壌となり、生育環境が良い
	強風化帯・マサ土	0	名阪国道周辺は花崗岩が分布し、表層には細粒化したマサ土となる。透水性と保水性を良い土壌となる

②倒木危険度(既存施設を指標)

項目	詳細	配点	判定理由
既存施設	路側施設なし	3	倒木発生時に被害軽減が可能となる既存施設無し
	遮音壁、フェンス	2	倒木発生時に衝撃力は考慮できないものの、一時的な防除可能な施設有り
	落石防護柵、防護網、橋梁	1	直接落下およびズレ押し等による倒木を防除可能な施設有り。橋梁部は本線に到達しない。

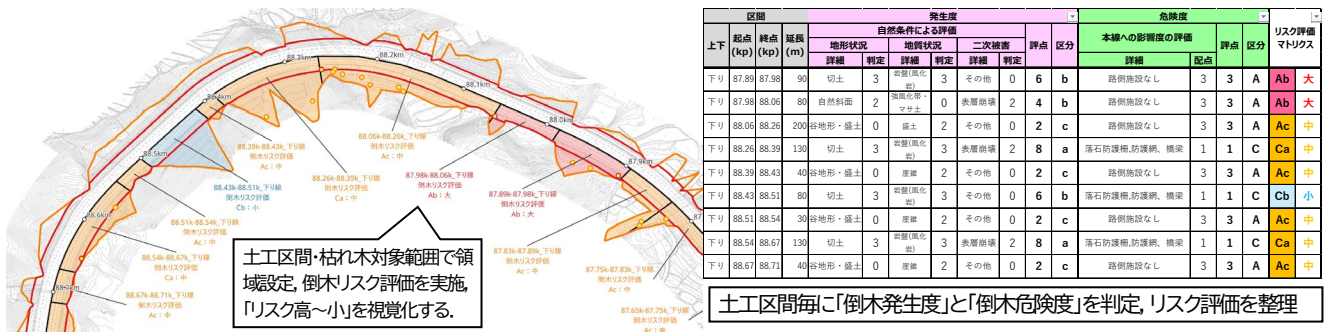


図-11 倒木リスク評価 実施例

(3) 区間優先度の設定

対象となる枯れ木は 1,080 箇所及び、対象区間全体に広く分布している。このため、名阪国道における伐採事業では、工事区間と通行規制期間を計画的に設定し、長期的な視点に基づき段階的に事業を進める必要がある。

そこで、本検討では、名阪国道における伐採対象区間の優先度を定量的に設定するため、「樹木指標」と「道路指標」の 2 つの評価軸を設定した（図-12）。

「樹木指標」は、枯れ木検知 AI 解析での分布密度（箇所/km）および前述した倒木リスク評価の結果を相対的に評点化し、樹木側の危険度を示す指標とした。

一方、「道路指標」は、倒木が発生した場合に、運転者による回避が困難となり、事故や交通規制につながる可能性を示す指標である。本検討では、縦断勾配およびカーブ半径を採用し、視認性や制動性に影響する道路構造条件を評点化した。

表-3 区間優先度マトリクス と 評価指標の一例

優先度区分		樹木指標による危険度		
		×	△	○
道路危険度による	高	×	△	○
	中	×	△	○
	低	×	△	○

■ : 優先度 高 ■ : 優先度 中
■ : 優先度 低

樹木指標(枯れ木分布密度, 倒木リスク評価 ※下記はリスク評価配点)

項目	詳細	配点	判定理由
倒木リスク評価	倒木リスク評価で「高リスク_Aa,Ab,Ba」と評価された領域の占める割合	5	高リスク30%以上
		4	高リスク25%以上-30%以下
		3	高リスク20%以上-25%以下
		2	高リスク15%以上-20%以下
		1	高リスク10%以上-15%以下
		0	高リスク10%以下

道路指標(縦断勾配, カーブ半径 ※下記は縦断勾配の評点)

項目	詳細	配点	判定理由
縦断勾配	区間における最大縦断勾配。下り勾配が危険と判断。	5	5%以上の下り勾配
		4	4-5%の下り勾配
		3	3-4%の下り勾配
		2	2-3%の下り勾配
		1	2%未満の下り勾配
		0	上り勾配or平坦

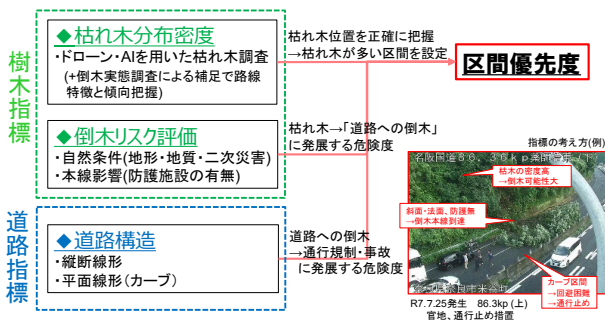


図-12 区間優先度の設定 概要図

本検討では、倒木危険度を構成する「樹木指標」と「道路指標」を二軸マトリクス（表-3）として整理し、区間ごとの優先度を明確化した。

これにより、枯れ木分布数の多少のみで判断するのではなく、倒木の発生しやすさや、倒木が車両事故・交通規制につながる可能性など、道路維持管理への影響を定量化した上で、伐採対象区間の優先度に反映させることが可能となった。

図-13に「短期」（道路端部から 7m 以内）における区間優先度の設定結果を示す。なお、工事における通行規制は IC 間で実施するため、対象区間を IC・上下線で 10 区間に区分した。

区間優先度設定の結果、名阪国道で事故リスクの高い「Ωカーブ」が伐採事業の優先度が高い区間となる。

(4) 道路倒木リスク診断 まとめ

倒木リスク評価に基づき区間優先度を設定する「道路倒木リスク診断」を実施し、枯れ木検知 AI 解析と組み合わせることで、検討開始から約 4 ヶ月という短期間で、危険度の高い区間を定量的に選定することができた。

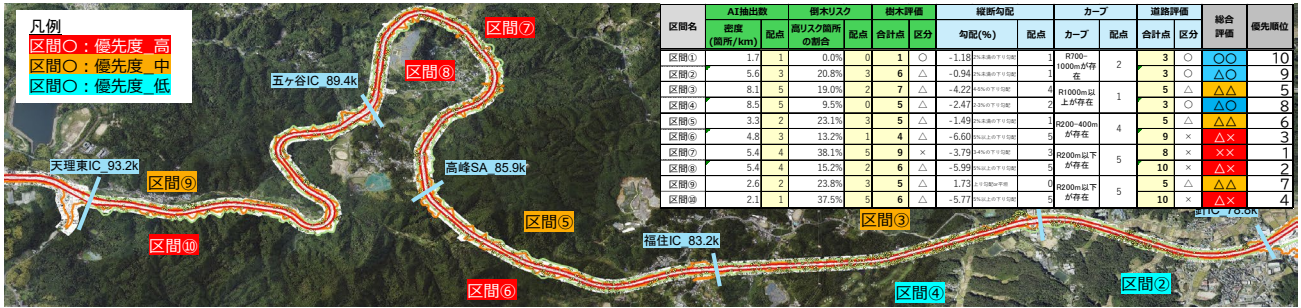


図-13 区間優先度(短期)

5 名阪国道における伐採事業計画(案)

道路倒木リスク診断により、伐採対象区間の優先度を設定するとともに、伐採が必要となる枯れ木箇所数を推定した。本章では、これらの診断結果に基づき、名阪国道における具体的な伐採事業計画(案)を設定した。

伐採事業を計画的に実施するためには、単年度で対応可能な作業量および事業費を把握し、年度ごとの事業量に大きな偏りが生じないように調整する必要がある。そこで、本検討では、単年度に想定する事業規模(表-4)を設定し、区間優先度を踏まえて10区間における事業量の平準化を行った(図-14)。

これにより、倒木リスクの高い区間を優先的に対策しつつ、計画的な伐採事業の実施方針を整理した。

表-4 名阪国道における枯れ木伐採に係る日数・費用

項目	内容	備考
伐採作業効率	2箇所/日	1箇所当たり2本伐採を想定
伐採費用	50万円/箇所	工事実績より推定
年度事業規模	100箇所	単年度予算5,000万と想定

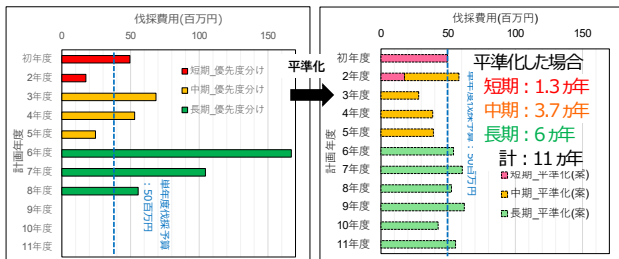


図-14 伐採事業 ヒストグラム

6 まとめ

(1)新技術「枯れ木検知 AI」の活用成果

ドローン空撮と枯れ木検知 AI を併用した調査により、従来手法と比較して、現場作業の効率は約 10 倍、結果整理の効率は約 2 倍に向上した(表-5)。

名阪国道を対象とした本調査では、調査期間を約 90%短縮し、費用についても約 30%削減した。

以上より、本手法は、調査期間および費用の両面において有効な枯れ木調査手法であることが示された。

表-5 枯れ木検知AIの活用効果

調査内容	準備期間	現場作業	結果整理	直人費 ※名阪国道の場合
従来調査 (近接目視)	約1週間	約0.025km ² /日 ※2人/日	約15箇所/日 ※1人/日	40万円/km
枯れ木検知AI (ドローン空撮併用)	2-3週間	約0.290km ² /日 ※2人/日 効率 約10倍	約30箇所/日 ※1人/日 効率 約2倍	27万円/km 23%に減少

(2)「枯れ木検知 AI」 今後の課題

今後の課題として、従来調査と比較した危険木検知率が約 70%にとどまる点が挙げられる。その主な要因は、生木における幹の異常、空中写真に写りにくい低木の未検知、落葉期で紅葉の誤検知がある。その改善策は、新緑期に撮影し紅葉の誤検知回避と低木を検知しやすい画像の取得、教師データ蓄積で検知精度向上が挙げられる。

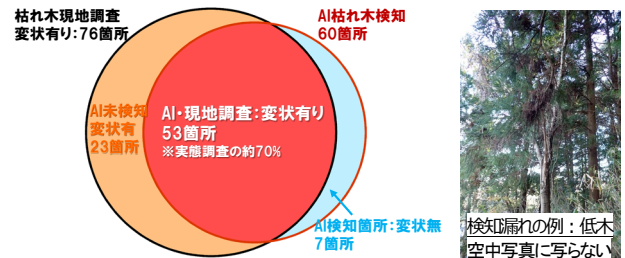


図-15 従来調査での変状箇所と AI 検知箇所の比較

(3) 今後に向けた取り組み

今後、伐採事業を効率的に進めるには、枯れ木の位置情報、区間優先度および伐採状況を一元管理し、随時更新できる仕組みが重要である。そこで、本調査・診断結果を GIS や CIM に格納し、伐採事業の進捗管理と道路維持管理に活用可能な管理基盤を整理した(図-16)。

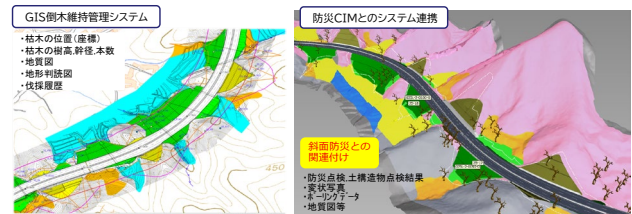


図-16 道路倒木リスク診断結果を格納した GIS・CIM の作成

枯れ木調査に関する新たな手法を実践し、具体的な事業計画を短期間で策定した。今後は、伐採事業の円滑な推進を図るとともに、倒木災害対策の先事例としてデータの蓄積を図り、手法の体系化を進める。

奈良県高田土木事務所管内における 防草対策について

新 凌

奈良県 東部農林振興事務所 農村地域振興課 (〒633-2221奈良県宇陀市菟田野松井486-1)

奈良県の管理する道路・河川等の維持管理業務において、雑草・雑木の対応は大きな課題となっている。工事発注等により定期的な維持管理に努めているが、近年、気温上昇等により雑草の繁茂する期間が長期化し、また、高齢化等により除草範囲の追加要望も増加しており、従来の維持管理では対応しきれない状況となってきた。以上の課題に対して、本県では「ならの道リフレッシュプロジェクト」という施策で、道路での雑草の発生を抑制する防草対策を実施しており、高田土木事務所においても様々な工法での防草対策工事や新技術の活用等により効果的な方法を模索しながら、日々、対策に取り組んでいるところである。

キーワード 維持、管理、交通安全、環境

1. 維持管理業務の現状と課題

本事務所では道路で約164km、河川で約185kmを管理しており、そのなかで車両や歩行者の通行に支障のある区間等において年1回、また、自転車道等の特に利用者の多い区間においては年2回の除草工事を行っている。2025年度の実績としては、除草工事の発注件数は約100件、総工事費として約3.3億円を投じて実施しているが、除草後1～2ヶ月程経過すると雑草が再び繁茂してしまうため、場所によっては除草工事の頻度を増やしてほしいという要望が多くある。また、これまで地元自治会等に対応していただいていた除草が高齢化により対応できないなど、除草範囲の追加要望も増加している。これらの課題に対して、年々上昇する人件費等の影響もあり、除草工事の頻度や範囲を拡大できていないのが現状である。

除草対策に加えて、雑草を生えないようにする防草対策を計画的に実施することで、利用者の不快感の軽減を図っている。

3. 防草対策の工法について

道路において雑草が繁茂するのは、沿道の法面や目地、中央分離帯など場所により様々であり、防草対策も工法により材質や施工方法等が異なるので、現場条件に応じた適切な対策を行うことが重要である。本事務所では、どの工法がこういった現場条件で効果的であるかを整理し施工している(図-1)。また、主な施工事例は以下のとおりである(表-1)。

表-1 施工事例

工法	埋設 タイプ	塗装 タイプ	簡易 舗装材
場所	国道309号 御所市宮戸	国道166号 葛城市太田	中和幹線 香芝市穴虫
施工前			
施工後			

2. ならの道リフレッシュプロジェクトについて

前章の現状と課題に対して、本県では2024年度～2028年度の5ヶ年計画として、道路の計画的な維持管理を行うことで快適な道路空間を道路利用者に提供することを目的とした「ならの道リフレッシュプロジェクト」に取り組んでおり、舗装の耐久性向上・区画線の維持修繕・草刈りのメリハリ化・道路維持管理のDXを実施している。草刈りのメリハリ化としては、従来の草刈りによる

防草対策工法選定フローチャート (一部抽出)

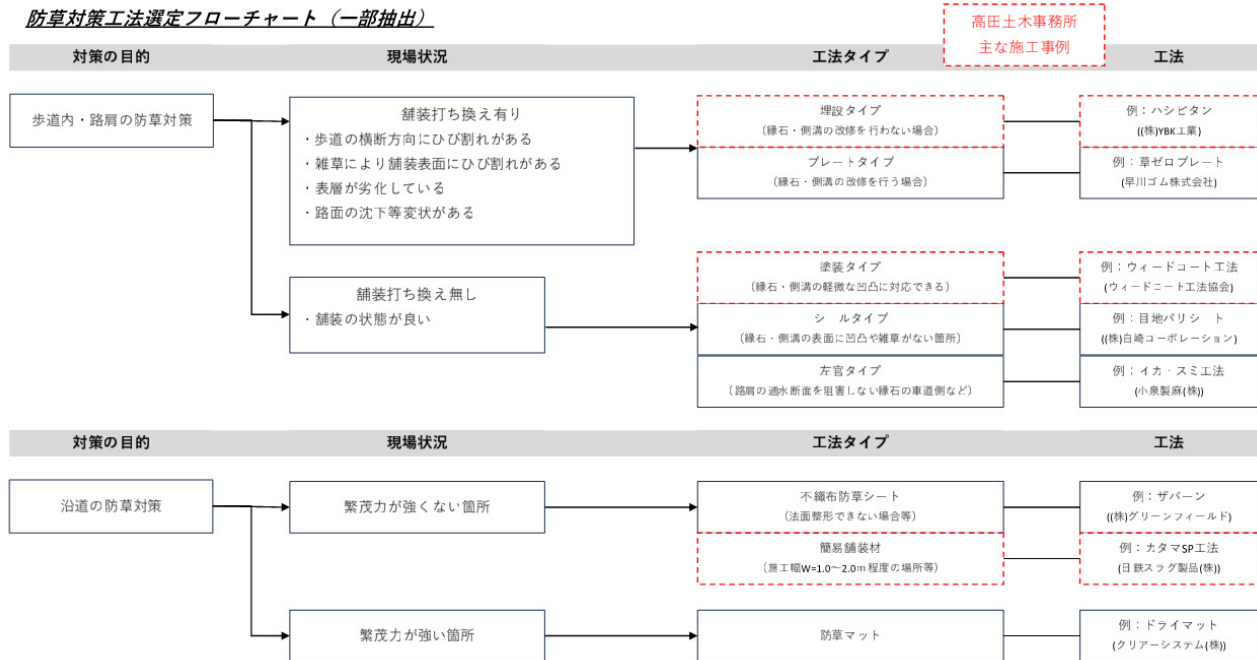
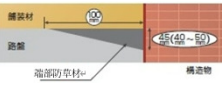
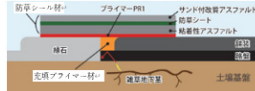
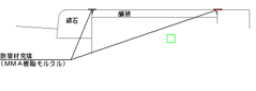
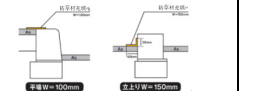


図-1 防草対策工法選定フローチャート

表-2 過年度施工事例

路線	御所香芝線	河合大和高田線	大和高田斑鳩線	河合大和高田線
場所	葛城市山田	河合町池部	広陵町三吉	大和高田市大和東町
工法	埋設タイプ 	シルタイプ 	塗装タイプ① 	塗装タイプ② 
施工時期	2020年3月	2020年3月	2020年3月	2023年3月
施工直後				
経過年月	5年5ヶ月	5年5ヶ月	5年5ヶ月	2年5ヶ月
現況 (R7.8)				
施工延長	928m	1,217m	1,764m	1,228m
効果延長	906m	1,088m	604m	1,153m
抑制率	97.6%	89.4%	34.2%	93.9%

4. 過年度に施工した防草対策工事

防草対策の効果については、施工後の経過状況を確認することで、工法の課題や現場条件に適していたかなどを検証できる。本事務所では、除草の苦情・要望の多い箇所や車両の通行や通学路などの歩行者の通行に支障を及ぼす恐れのある箇所を中心に選定して、2019年度から防

草対策に取り組んでおり、各工法における2025年8月時点の状況を確認し防草対策の効果を整理した(表-2)。また、施工延長のうち確認時点において雑草が生えていない区間を効果延長として、雑草の抑制率を算出した。

各工法の経過状況を確認した結果、塗装タイプ①以外の工法の抑制率は約90%以上であり、十分に効果を発揮している。特に埋設タイプは施工から5年以上経過した

時点においても、目地から生えている雑草はほとんど見られなかった。抑制率の低い塗装タイプ①では、塗装にひび割れや浮きが生じている箇所において雑草の発生が確認された。

各工法で雑草が発生していた箇所の原因と対策について考察する。埋設タイプ及びシールタイプについては、既設の舗装や縁石にひび割れやかけ等の劣化がある部分において目地や接着部に隙間が生じたことで、土砂が流入して雑草の発生に繋がったと考えられる(図-2)。対策としては、防草対策工事と同時に舗装や縁石も更新し、隙間を残さないことが効果的である。塗装タイプについては、施工時の除根作業で深い根が除去しきれず、施工後に成長して雑草が発生したと考えられる(図-3)。対策としては、従来の除根作業だけでなく熱湯散布等により深い根を枯らしてから防草対策を行うことや、路盤で除根作業を行う埋設タイプによる防草対策が効果的である。

また、どの現場においても路肩等に堆積した土砂から発生する雑草が確認された(図-4)。防草対策を行っても、対策箇所の上部や周辺等に土砂が堆積すると雑草が発生するため、定期的に路肩清掃を行い土砂が堆積しないようにする必要がある。



図-2 雑草繁茂状況 (シールタイプ)



図-3 雑草繁茂状況 (塗装タイプ②)

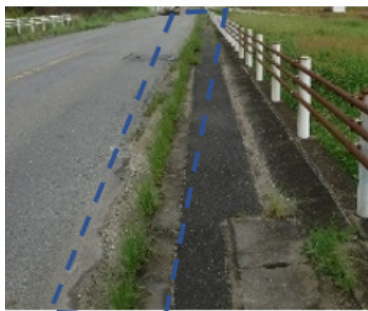


図-4 雑草繁茂状況 (路肩)

5. 防草対策工事のコストとメリット

防草対策工事のコストについて、各工法の施工費用と通常の維持管理で行う除草工事の費用を比較した(表-3)。除草工事の費用は、雑草による通行等への影響が全くでない理想の頻度として1年あたり3回の除草を想定しており、工法にもよるが主な防草対策の耐用年数と同じく10年間行うこととして算出した。

除草工事より防草対策工事にかかるコストの方が高価となるが、防草対策の一番のメリットとして、効果持続中は雑草の発生が常に抑制されるため、年間を通じて快適な道路空間を維持することができる。これにより、除草工事の頻度の拡大という課題の解消に繋がると考えられる。

6. 新技術の活用

防草対策の一環として、新技術を用いた除草作業の試験施工を行った。専用の機械を用いて高温・酸性の泡を散布することで、雑草を根まで枯らす効果がある工法を使用した。

試験施工を実施した結果、施工一週間後には雑草の色が変わり枯れていることが確認できた(図-5)。散布した泡により、長時間、雑草に効果的にダメージを与えられたと考えられる。しかしながら、施工箇所周辺の田畑等からすぐに雑草の種子が飛来したためか、施工一ヶ月後には除草作業のみを実施した箇所と同程度の雑草が発生してしまった。市街地での使用など、周辺の環境を配慮することで、より効果を持続することができると考えられる。また、防草対策工事の除根作業での使用など、他の工法と併用することで効果を高めることができると考えられる。

表-3 工事費の比較

工法		直接工事費	備考
除草工事		1,290円/m	0.3m ² /m・10年 除草・集草・運搬
防 草 対 策 工 事	埋設タイプ	3,050円/m	舗装更新含む (幅0.7m)
	シールタイプ	1,244円/m	平型
	塗装タイプ①	1,955円/m	平場 W=100mm
	塗装タイプ②	2,729円/m	平場 W=100mm

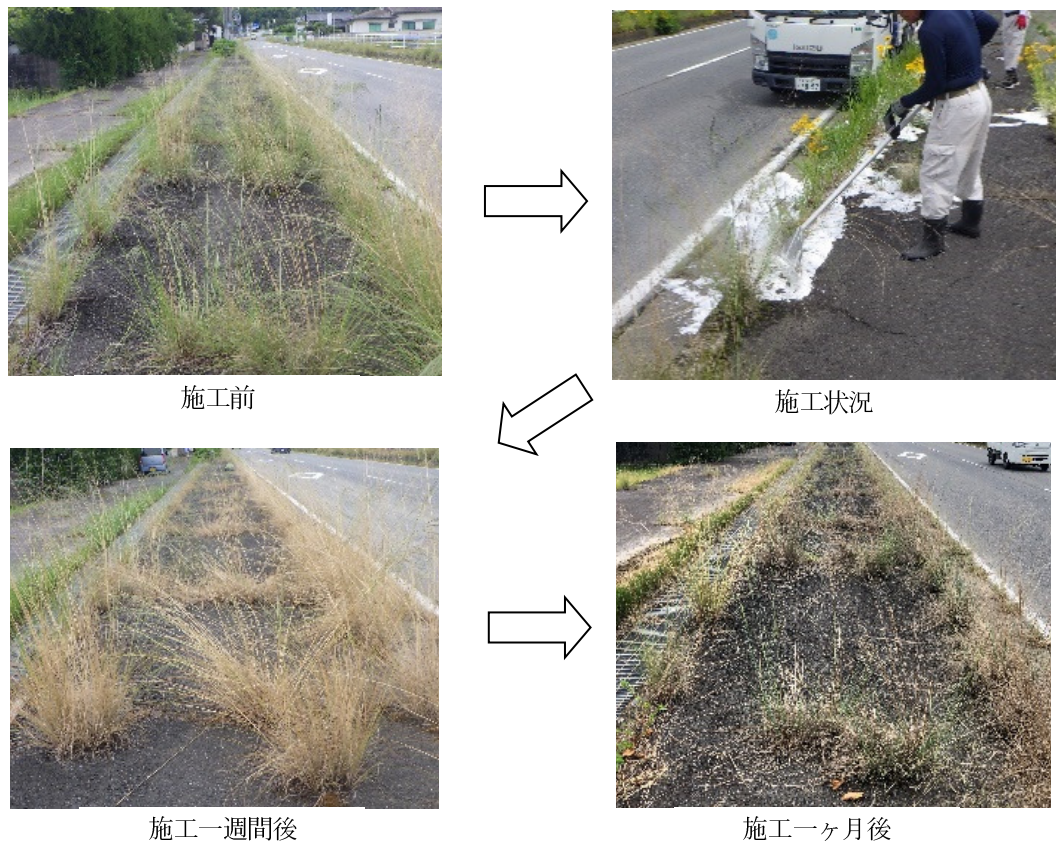


図-5 新技術による除草作業の経過状況

7. おわりに

防草対策の効果をできるだけ長期間発揮し快適な道路空間を維持し続けるためには、現場条件に応じて適切な工法を選定することが重要であり、そのためには対策後の効果や工法の課題について検証し、防草対策の知識を蓄積していくことが必要である。

今回の効果検証では、埋設タイプの防草対策が抑制率が最も高い結果となったが、防草対策工事のみを単独で行うことができず舗装の更新を同時に行う必要があり、他の工法に比べてコストが高くなるため、舗装や縁石の状態等の現場条件をよく精査して工法を選択していく必要がある。他の工法についても、これまでの工事での課

題や経験を反映させて、効果がより持続するように改善を重ねていきたい。また、防草対策や除草工事だけでなく、定期的な路肩清掃も行い、快適な道路空間を維持していきたい。

さらに、様々な工法での施工や新技術等も試行的に活用し、今後もより良い防草対策を実施できるように取り組みを続けていきたい。

付記

人事異動により、2026年4月付けで高田土木事務所から東部農林振興事務所へ異動。

河道閉塞湛水池の迅速な水位観測に向けた UAVによる水位計ブイの設置実証

青野 友哉¹・山田 啄也¹

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

河道閉塞形成時には、決壊等に伴う二次災害に備え、発災後速やかな水位観測の開始が求められる。従来の投下型水位観測ブイの設置は有人ヘリコプターに依存し、災害発生直後の機体確保が課題となっている。本研究では、UAVによる小型水位観測ブイの空輸・設置手法について、予備実験および猿谷ダムにおける実証実験により検証した。その結果、UAVによるブイの空輸・設置、衛星通信による水位データの安定受信および安全な回収が可能であることを確認した。さらに、現地到着から約75分で観測を開始できることを実証した。本手法は、災害初動における迅速な水位観測の省力化と安全性向上に寄与する有効な手段であることが示された。

キーワード UAV, 河道閉塞, 災害初動対応, 水位観測

1. はじめに

2011年（平成23年）9月の台風第12号に伴う紀伊半島大水害では、紀伊山地を中心に深層崩壊が多発し、赤谷、長殿、栗平、北股、熊野等の各地区で大規模な河道閉塞（天然ダム）が形成された¹⁾。河道閉塞が生じると、上流側では湛水による浸水被害、下流側では閉塞部の越流侵食や決壊に伴う土石流等の二次災害の発生が懸念される。このため、土砂災害防止法に基づく緊急調査等においては、湛水池の水位を発災後できる限り早期に観測し、越流までの時間や被害の生じるおそれのある区域を想定することが求められる²⁾。

現地への機器搬入が困難な状況下での湛水池の水位観測には、ヘリコプターから投下するだけで直ちに水位計測とデータ送信が可能な「土研式投下型水位観測ブイ」が実運用されている³⁾。同ブイは2008年の岩手・宮城内陸地震を契機に開発され、紀伊半島大水害においても赤谷・長殿・栗平・熊野の各地区に設置されるなど、湛水位監視に大きな役割を果たしてきた⁴⁾。しかし、有人ヘリコプターによる設置には、①災害時にヘリコプターの確保が容易でないこと、②天候によりヘリコプターの飛行が不可能なこと等の課題がある。

一方、近年のUAV（無人航空機）の性能向上は著しく、物流分野では可搬重量20kgを超える運搬用UAVが市場導入されつつある。紀伊山系砂防事務所において

も、UAVの自律飛行を活用した河道閉塞の緊急調査手法について検討し、その成果を手引きとして整理している⁵⁾ところであり、水位観測ブイの空輸・設置へのUAVの適用は、有人ヘリコプターに依存しない新たな設置手法として現実的な選択肢となりつつある。

そこで本研究では、河道閉塞湛水池の迅速な水位観測の実現に向け、UAVによる投下型水位計の空輸・設置手法を検証した。具体的には、(1)UAVで運搬・設置可能な小型水位観測ブイおよび運搬用UAV機体の選定、(2)吊下げ・切離し等の基本動作を確認する屋外・室内の予備実験、(3)猿谷ダム（奈良県五條市）を河道閉塞湛水池に見立てた実証実験、を段階的に実施し、一連の手順の実現性、所要時間および留意事項を明らかにした。

2. 水位観測ブイの投下実績と課題

(1) 投下実績の整理

本研究に先立ち、投下型水位観測ブイの投下実績を整理した（表-1）。2008年以降、訓練を含め8回の投下実績があり、2013年のインドネシア・アンボン島の事例（ボートによる人力投入）を除き、いずれも有人ヘリコプターにより設置されている。2024年の能登半島地震では小型に改良された投下型水位計が消防ヘリコプターから投入され、2025年には台湾の堰塞湖にも日本から提供されたブイが投入されるなど、機器の小型化と適

用場面の拡大が進んでいる。

表-1 投下型水位観測ブイの投下実績

年月	場所	概要
2008年7月	宮城県 湯浜地区	岩手・宮城内陸地震で形成された河道閉塞に、投下型ブイをヘリコプターから初適用
2010年4月	群馬県 相俣ダム	ヘリコプターによる投下訓練（関東地方整備局）
2011年9月	奈良県 栗平・赤谷・ 長殿地区 和歌山県 熊野地区	紀伊半島大水害で形成された河道閉塞に、各地方整備局保有のブイをヘリコプターから投下し水位観測を実施
2013年3月	インドネシア アンボン島	ヘリコプターの確保・運用が困難なため、ボート・筏により人力投入（決壊まで観測）
2014年8月	奈良県 栗平・赤谷 地区	台風第11号により観測機器が流出したため再投下し観測
2018年9月	北海道 日高幌内川	北海道胆振東部地震で形成された河道閉塞に投下し水位観測を実施
2024年1月	石川県 牛尾川地区	能登半島地震の河道閉塞に、小型に改良された投下型水位計を消防ヘリコプターから投入
2025年10月	台湾 花蓮県萬馬太 鞍溪	台風豪雨に伴う堰塞湖の越流被害を受け、災害支援として日本から提供されたブイをヘリコプターから投入

これらの実績から、ブイ投下位置の選定条件として、①衛星通信を確保しやすい天空の開けた場所であること、②水位計の測定可能水深（40 m）未満であること、③湖底勾配が緩やかで水位計が経時的に移動しにくいこと、等が確認されている。他方で、有人ヘリコプターによる運搬・設置には前述の課題があることから、UAV による代替・補完手法の確立が求められる。

3. 機材の選定

(1) 小型水位観測ブイの選定

市販されている水位観測ブイについて仕様調査を実施した。結果、天然ダムの水位観測を想定した製品は「小型水位観測ブイ BCPS-40R」（株式会社拓和）の1種類であった。同製品は、土研式投下型水位観測ブイと同等の機能（衛星・携帯通信、水中音響通信、圧力式による水位計測、測定範囲 0～40 m、総合精度±0.08 m）を

有する後継機種的位置づけであり、ブイ部（φ250×1,002 mm、質量 14 kg 以下）とアンカーケーシング部（512×512×867 mm、質量 10 kg 以下）で構成される。総重量約 24 kg と UAV による運搬が可能であることから、本研究では、当該機器を採用した（図-1）。

図-2 に活用イメージを示す。ブイは着水後にブイ部とアンカーケーシング部が分離し、アンカーケーシング部が湖底に沈降・着床するとともに、ブイ部が水面に浮上して観測を開始する。あわせて、水位センサーとワイヤーリール・フロート部で構成される軽量（約 2.5 kg）の「水位計単体投下装置（図-3）」も導入し、比較検証の対象とした。図-4 に水位計単体投下装置の運用イメージを示す。

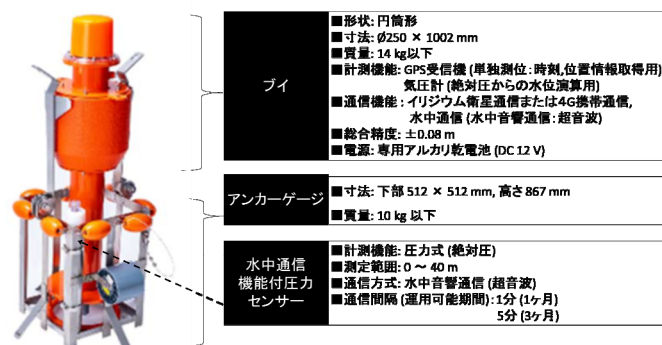


図-1 小型水位観測ブイの概要

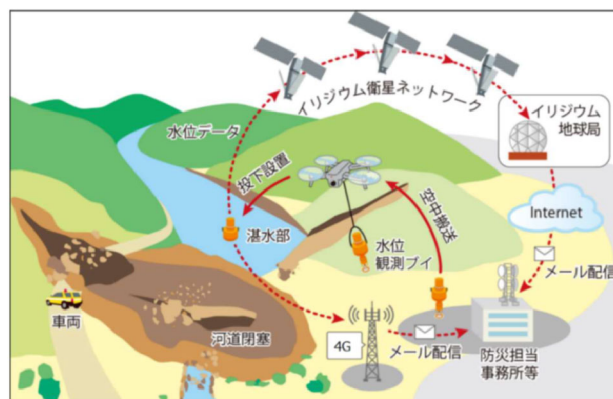


図-2 UAVによる小型水位観測ブイの設置・観測の活用イメージ

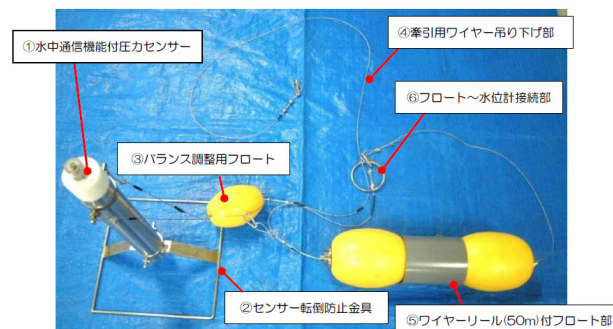


図-3 水位計単体投下装置の概要

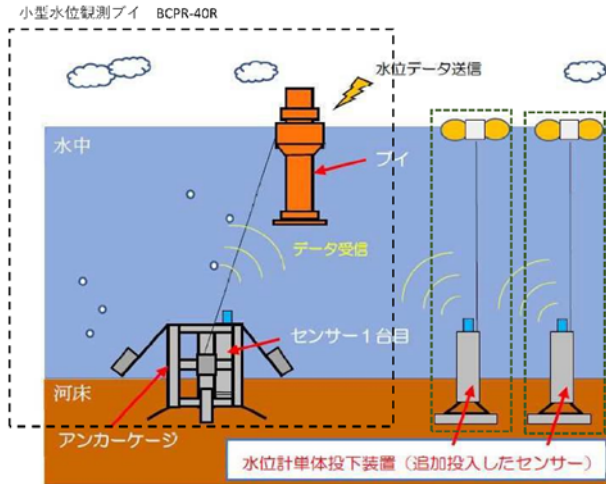


図-4 水位計単体投下装置 運用イメージ

(2) 運搬用UAV機体の選定

物流・運搬用 UAV を対象に、①小型水位観測ブイの総重量 24 kg を運搬可能なペイロード、②遠隔で吊下げ・切離しができる把持装置、③遠隔でワイヤー長を操作できるウインチ、④運搬設置状況を監視できるカメラ、の4条件について各機体の仕様を確認した。その結果、全条件を満たす機体のうち、市場導入が進み災害時対応業者の増加が見込まれる「DJI FlyCart 30」を第1候補、衛星通信仕様により適用範囲が広い一方で災害時対応業者が限定される「FAZER R G2」を第2候補として選定した。本実証実験では、第1候補の DJI FlyCart 30 を使用した。

4. 予備実験

(1) 屋外予備実験（吊下げ・運搬・切離し）

広島ドローン練習場（広島県広島市）において、ブイと同等重量のウェイト（約 25 kg）を用い、UAV と3種類の把持装置（機体付属のウインチシステム、および着地時に自動開放するフック2種）による吊下げ～運搬～設置～切離しの一連の動作を確認した。その結果、①把持装置2種で目的地への設置・切離しが可能であること、②運搬時の飛行速度を 6 m/s 以下とし急停止・急旋回を避けることで荷の揺れ（スイング）が機体側で自動制御されること、③荷を降ろす際の対地高度は把持装置により 9～16 m となること、等を確認した。また、安全確保の観点から、UAV と荷までの離隔は離陸時の風圧やワイヤー長を考慮して 8m 程度とすることとした。

(2) 室内予備実験（水槽での浮体・切離し）

実機の小型水位観測ブイおよび水位計単体投下装置

を用い、深さ 5 m の水槽において浮体・切離し実験を実施した。その結果、①トリガーを固定した状態のブイは着水後に沈むこと（切離し不能時に機体ごと引き込まれないよう操縦上の配慮が必要）、②水位計単体投下装置は浮くこと、③着地時自動開放式の把持装置は緩速で着水させると作動せず、自由落下に近い速度で着水させることで確実に切離せること、④切離し後はアンカーケーシング部が着床しブイ部が浮上して所定の観測姿勢に移行すること、を確認した。また、アンカーリール内のワイヤーの巻き状態が不良の場合はブイ部が引き込まれて沈むため、投下前の点検が重要であることも確認した。これらの結果を踏まえ、実証実験では一定以上の下降速度で着水させる運用とした。

5. 猿谷ダムにおける実証実験

(1) 実験の概要

2011 年紀伊半島大水害で河道閉塞および湛水池が発生した状況下の初動対応を想定シナリオとし、猿谷ダム（奈良県五條市大塔町）において、実証実験を実施した。着目点は、①UAV による小型水位観測ブイの投下設置の可否、②水位観測データの受信可否とデータの妥当性、③ボートによるブイ回収の可否、の3点である。

本実験で使用した把持装置は着水後にブイの自重で切り離される構造であり、航空法上の物件投下に該当しないため、物件投下に係る飛行承認申請は不要であった。飛行はいずれも目視内とし、運搬は自律飛行、投下時は手動飛行とした。

(2) 空輸・投下の結果

本番実験では、離陸後に相対高度 40 m・速度 7～8 m/s で湖面上を運搬し、投下地点上空でホバリングした後、下降速度約 2.5 m/s で着水させることで把持装置が確実に作動し、小型水位観測ブイの切離し・設置に成功した。水位計単体投下装置についても同様の手順で投下・設置に成功した（下降速度約 2.0 m/s）。図-5に飛行経路と投下地点を、図-6に投下・設置状況を示す。

現地での UAV およびブイの準備に要した時間は約 65 分、空輸・設置は約 10 分であり、UAV による空輸・設置時間は約 10 分であり、従来の有人ヘリコプター手法の代替手段として実用性を有することが確認された。また、投下地点は、操縦装置の画面を Web 会議システムで共有し、流木等の浮遊物がないことを確認のうえ事務所職員の指示により最終決定した。これは災害時に災害対策本部が遠隔で投下判断を行う運用を模擬したものであり、その実現性も確認できた。

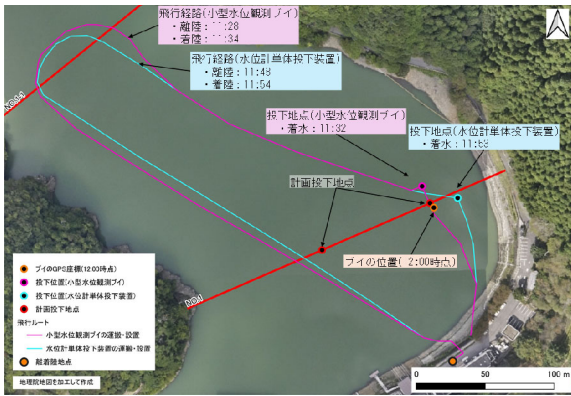


図-5 小型水位観測ブイの運搬・設置位置

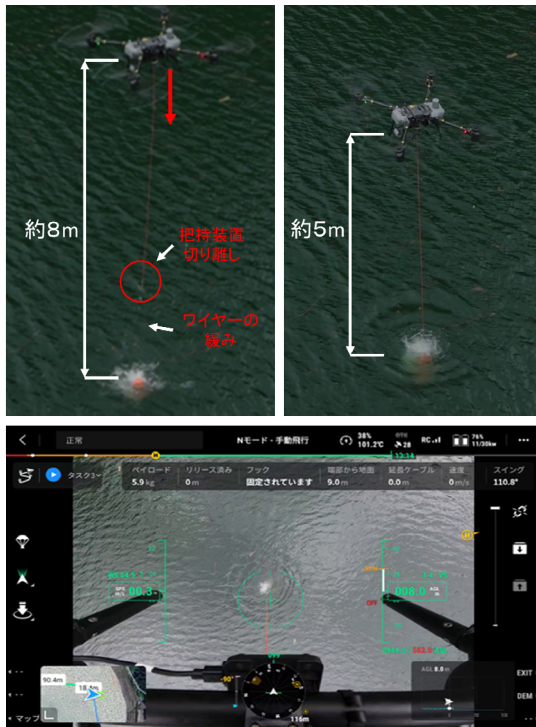


図-6 小型水位観測ブイ投下・設置状況

(3) 水位観測データの受信・妥当性

災害時の携帯電話圏外を想定し、通信にはイリジウム衛星回線を使用した。投下後、小型水位観測ブイ・水位計単体投下装置とも、設定間隔（10 分）で観測データが安定して受信されることを確認した。計測水深の妥当性は、横断測量成果と当日の貯水位（EL.433.17 m）から求めた投下地点の水深との比較により検証した（図-7）。小型水位観測ブイは実水深 30.68 m に対し計測値 31.40 m（+約 0.7 m）であり、河道閉塞監視を目的とした水位変化把握の観点からは実用上許容できる精度であると考えられる。一方、水位計単体投下装置は実水深 19.33 m に対し計測値 25.83 m（+約 6.5 m）と差が大きかった。投下地点の河床勾配が比較的急であり、急勾配河床では設置位置が安定しない可能性が示唆された

また、ブイの GPS 座標は投下地点から約 9 m 離れた位置を示した。これは、ブイ部とアンカーケーシング部を接続するアンカーリール（長さ 50 m）の余長により、ブイ部が水流で流されたためであり、受信座標はブイ部の位置であって水位計（センサー）の位置を必ずしも示さない点に留意が必要である。

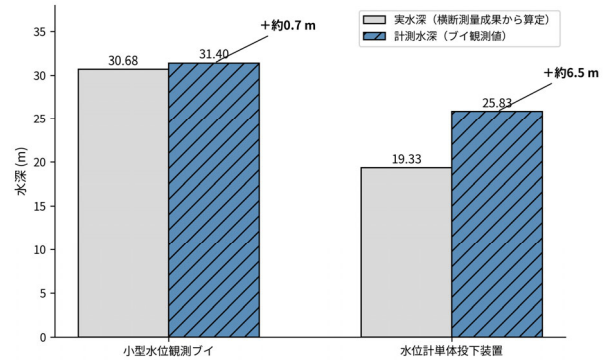


図-7 実水深と 計測水深の比較

(4) ブイの回収

運用終了後を想定し、エンジン付き小型ボート（2 名体制）によりブイの回収を実施し、約 15 分で回収を完了した。回収にあたっては、①ブイ部（約 14 kg）引上げ時の転覆防止のための体重移動、②アンカーケーシング部（約 12.5 kg）をワイヤーで手繰り寄せる際の手袋およびライフジャケットの着用、が必須であること、③ワイヤーとの摩擦による船縁の損耗対策が望ましいこと、④パンクのおそれのあるゴムボートは避けるべきこと、等の留意点を確認した。

6. 実運用に向けた課題

本実証により一連の手順の実現性を確認した一方、実災害での運用に向けては以下の課題がある。

- (1) **飛行形態の拡大**：本実証は目視内飛行（運搬：自律、投下：手動）で実施した。実災害では発災箇所までの長距離飛行や目視外飛行が想定されるため、目視外飛行に係る制度への対応と飛行申請の事前準備が必要である。
- (2) **気象条件の整理**：降雨・降雪時は飛行できず、機体の耐風性能（使用機体で風速 12 m/s）を超える強風時も運用できない。悪天候時の代替手段を含めた運用条件の整理が必要である。
- (3) **体制・契約の事前準備**：災害時に対応可能な UAV 操縦体制（対応業者の確保等）の構築が必要である。また、通信契約は申込みから利用開始までイリジウム回線で 8 日、4G 回線で 4 日を要したことから、災害時に備

えた事前契約等の検討が必要である。

(4) **適用条件の検証**：本実証はダム貯水池の 1 地点における検証である。実際の河道閉塞湛水池では流木等の浮遊物や複雑な地形条件が想定されるため、浮遊物がある場合の投下可否判断等、適用条件の検証を継続する必要がある。

7. おわりに

本研究では、UAV による小型水位観測ブイの運搬・設置および衛星通信によるデータ取得が可能であることを確認した。また、現地到着から約 75 分で観測を開始できることを実証した。

本手法は、有人ヘリコプターの確保が困難な災害初期においても、迅速かつ安全に湛水池の水位観測を開始できる有効な手段であり、災害対応の省力化・安全性向上に寄与する。今後は、前章の課題への対応を進めるとともに、訓練を通じた手順の習熟を図り、実災害で確

実に機能する運用体制の構築につなげていく。

謝辞：本検討課題においては中電技術コンサルタント株式会社に受託いただきご尽力いただいた。また、本実証実験の実施にあたり、猿谷ダム管理支所をはじめとする関係各位に多大なご協力をいただいた。ここに記して感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 近畿地方整備局：2011 年紀伊半島大水害 国土交通省近畿地方整備局災害対応の記録，2013.
- 2) 国土交通省砂防計画課：緊急調査実施の手引き（河道閉塞による土砂災害対策編），2011.
- 3) （独）土木研究所：天然ダム監視技術マニュアル（案），2008.
- 4) 大規模土砂災害対策技術センター：UAV の自律飛行による天然ダムの緊急調査及び被災状況把握に関する手引き，2021.

無人航空機の写真撮影による砂防堰堤の堆砂量の把握について

嶋田 圭悟¹・木村 洋郎²

¹和歌山県土砂災害啓発センター (〒649-5302 和歌山県東牟婁郡那智勝浦町市野々3027-6)

²和歌山県土砂災害啓発センター (〒649-5302 和歌山県東牟婁郡那智勝浦町市野々3027-6)

令和7年度から、砂防堰堤等が土石流を捕捉した場合の早期機能復旧を目的として、緊急除石が災害復旧事業の対象に追加された。当該事業を活用するにあたっては、定期点検による堆砂量の現状把握と被災時の迅速な堆砂量の推計が必要となる。しかしながら、県が管理する全砂防堰堤について実測等により堆砂状況を把握するには、膨大な時間と費用を要する。

本研究では、各出先機関に配備されている無人航空機（UAV）を活用した、堆砂量の効率的な推計手法を検討する。

今回は疑似堆砂を用いた空撮を行い、撮影データから堆砂量の算出を試行したので報告する。

キーワード インフラDX 土砂災害 維持管理

1. はじめに

令和7年度より、砂防堰堤等が土石流を捕捉した後の早期機能復旧を目的とした新規制度が導入された。本制度では、異常な天然現象によって発生した土石流等の捕捉後において、平常時から砂防堰堤の適切な除石管理等を実施しているものに限り、災害復旧事業として緊急的な除石が可能となった。これにより、被災後の施設の早期機能回復が期待されている。

一方で、和歌山県は急峻な山地が多く、土石流に対する土砂災害警戒区域は5,505箇所¹に及ぶ。また、県が管理する砂防堰堤は1,059基（令和6年3月時点）に上る。これら膨大な数の砂防堰堤について、実測等による堆砂状況を把握するには多額の費用と多大な時間を要するため、限られた予算と人員の中で効率的な管理手法を確立することが求められている。

本研究では、県の各出先機関に配備されている無人航空機（以下、UAV）を活用し、堆砂量を効率的かつ迅速に推計する手法を検討する。今回はその第一歩として、疑似堆砂を用いた空撮を実施し、得られたデータから堆砂量の算出を試行したので、その結果について報告する。

2. 調査および手法

（1）研究方法

和歌山県において、汎用的に配備・運用されているUAVの一つである「DJI製 Phantom 4 Pro+」を使用して研究を実施した。具体的には、疑似堆砂モデルの設置前後にそれぞれUAVによる写真撮影を実施し、SfM（Structure from Motion）処理により各段階の3次元モデルを作成した。次に、設置前後のモデルの差分から疑似堆砂量を推計し、実測値と比較することで推計精度を検証した。

（2）対象箇所

本試行は、那智勝浦町に位置する和歌山県土砂災害啓発センター（以下、当センター）に隣接する鳴子谷川において実施した。当該地は、平成23年紀伊半島大水害の被災地であり、現地には、砂防堰堤等の砂防施設が整備されている。現在は、土砂災害の脅威や砂防施設の重要性を伝える啓発活動の場として活用しており、山間部における砂防施設の堆砂状況を模擬した検証を行うのに極めて適した環境である。

（3）飛行条件

空中写真撮影にあたっては、被写体となる疑似堆砂モ

デルの詳細な凹凸形状を高精度に捉える必要があるため、カメラの向きを鉛直下向きに固定した。また、対地高度を20 m、飛行速度を約0.8 m/s、飛行ルートの間隔を8.0 m、シャッター間隔を5 秒枚に設定し、連続撮影により画像データを取得した。これらの飛行条件は、3次元モデルの作成精度を確保するために設定したものである。同一地点が多くの写真に含まれるほど点群精度が向上することから、オーバーラップ率80%以上、サイドラップ率60%以上を目標とした。

なお、これらの条件で試行した結果、オーバーラップ率は80%、サイドラップ率は73%となり、いずれも目標値を達成した。

(4) 疑似堆砂の設置および実測値の算定

本試行では、砂防堰堤における堆砂形状を再現するため、鳴子谷川の流路工内においてブルーシートを用いた疑似堆砂モデルを構築した。

a) 疑似堆砂の構築と構造

左右兩岸の既設護岸の天端を基準面とし、その上に木材(角材)による格子状のフレームを構築した。具体的には、護岸天端上に枠組みを設置するとともに、ブルーシートの自重によるたわみを抑制するため、流路を横断する方向に約2.0 m間隔で梁を架設し、枠組みと連結した(図-1)。このフレーム上面にブルーシートを隙間なく張設することで、流路を横断する平坦な堆砂面を模擬した(図-2)。



図-1 疑似堆砂モデルの設置状況



図-2 疑似堆砂モデル完成状況

b) 実測による基準値の算定

UAVによる推計精度の検証基準とするため、設置した疑似堆砂モデルの体積を実測に基づき算定した。算定にあたっては、梁を渡した各箇所計測断面を設定し、各断面における天端幅、敷幅および高さを実測した。

得られた値を基礎データとし、平均断面法により容積を算定した。算定の結果、疑似堆砂モデルの容積は67.556 m³であった(表-1)。

ただし、現地確認の結果、ブルーシートの一部に自重によるたわみが生じており、当該部分の体積は堆砂量として計上できないと判断した。そのため、たわみ部分の体積算定にあたっては、後述する Reality Capture (Capturing Reality社, Epic Games) のオルソ2D表示におけるMeasure機能を用い、各梁の設置断面および梁間の縦断方向に計測線を設定した。出力された断面プロファイルから0.1 m間隔の標高値を記録し、各断面のたわみ面積を算出した後、平均断面法により体積を算定した結果、たわみ部分の体積は3.171 m³であった(図-3)。

以上より、補正後の実測体積は、67.556 m³から3.171 m³を差し引いた64.385 m³を基準値として採用した。

表-1 疑似堆砂モデルの諸元および堆砂量計算結果

各断面(下流→上流)								
断面	天端幅 (m)	敷幅 (m)	高さ (m)	断面積 (m ²)	断面積 平均(m ²)	右岸 (m)	左岸 (m)	体積 (m ³)
1	5.45	2.50	2.96	11.766	11.127	1.96	1.75	20.641
2	5.10	2.50	2.76	10.488	9.721	1.93	1.90	18.616
3	4.90	2.50	2.42	8.954	8.167	2.04	1.85	15.885
4	4.70	2.50	2.05	7.380	6.765	1.75	1.92	12.414
5	4.45	2.50	1.77	6.151				
合計								67.556

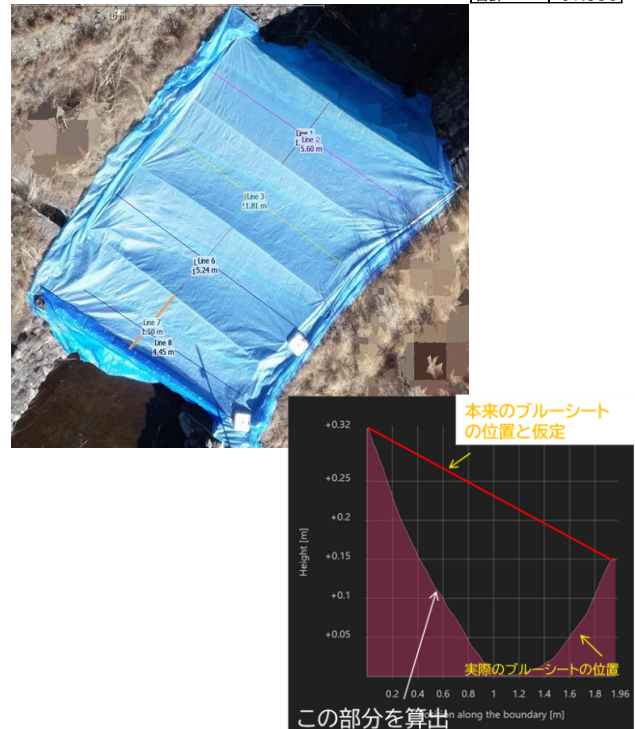


図-3 オルソ 2D 画像上の Measure 機能による計測線と断面プロファイル

(5) 解析手法

a) 3次元モデルの作成

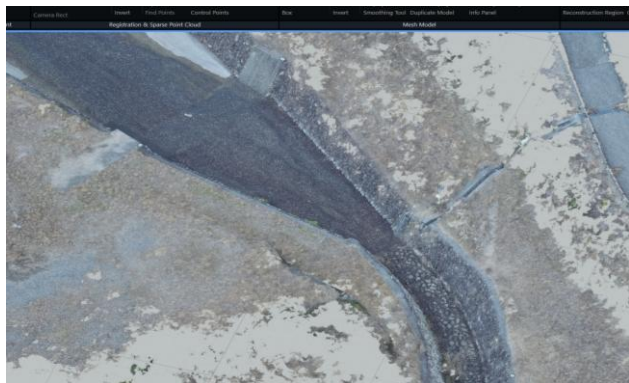
疑似堆砂モデルの設置前後に取得した空撮画像を、フォトグラメトリソフトウェア Reality Captureにより処理し、それぞれの3次元点群データを作成した(図-4)。なお、Reality Captureはオルソ2D表示におけるMeasure機能を備えており、前述のブルーシートのたわみ量の算定にも使用した。

また、本試行では、各出先機関が特別な測量機材を用いずに実施可能な手法を検討することを目的としているため、RTK測位や地上基準点(GCP: Ground Control Point)の設置は行わず、各写真に記録されたGPS情報(EXIFジオタグ)のみに基づき位置情報を付与した。

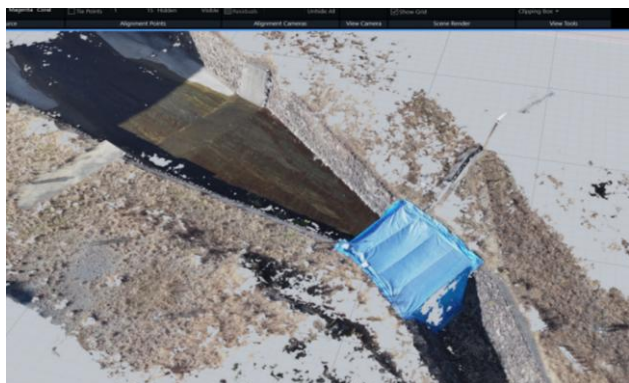
b) 点群データの位置合わせ

GPS情報のみによる位置付与では、モデルの設置前後の点群データ間に水平方向および垂直方向の双方において無視できない位置ずれが生じた(図-5)。このため、点群処理ソフトウェアCloud Compare(オープンソースソフトウェア)のAlignment機能を用いて位置合わせを行った。

位置合わせにあたっては、まずReality Capture上で設置前後それぞれの3Dモデルを表示し、砂防堰堤の天端角部等、設置前後で形状が変化しない特徴点を目視により4点選定した。次に、選定した各特徴点の座標(X, Y, Z)をReality Capture上で読み取り記録した。Cloud



(a) 疑似堆砂モデル設置前



(b) 疑似堆砂モデル設置後

図-4 3次元モデル作成結果(キャプチャ画像)

Compareの「Align (point pairs picking)」ツールにおいて、一方の点群データをReference entities(基準)、他方をAligned entities(移動対象)として設定し、記録した座標値をそれぞれの対応テーブルに手動で入力した(図-6)。その後、4組の対応点に基づく位置合わせを実行した(図-7)。

なお、使用した座標値は測量による実測値ではなく、Reality Captureの3Dモデルから読み取った値である。このため、位置合わせの精度はモデルの再構築精度および特徴点の選定精度に依存する。

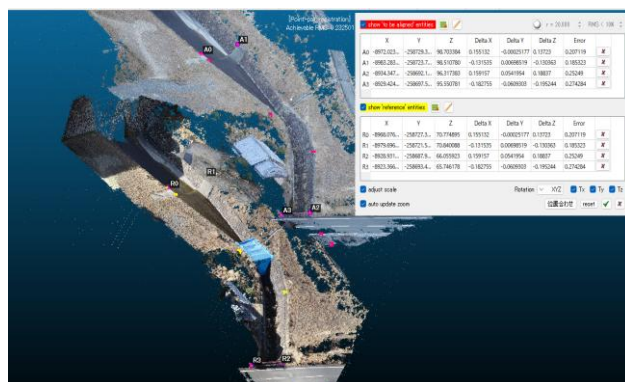


図-5 Alignment機能における対応点の設定(Cloud Compare)(キャプチャ画像)



図-6 位置合わせ前の点群データの比較(Cloud Compare)(キャプチャ画像)

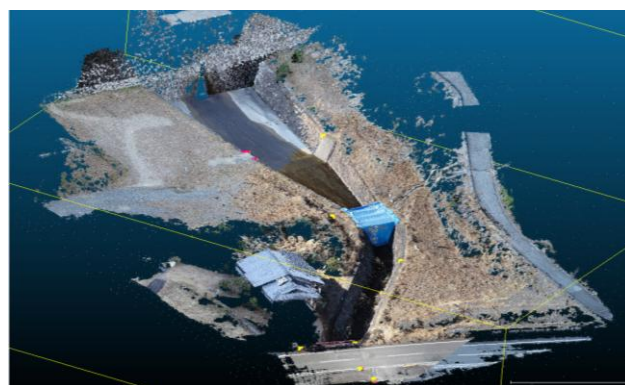


図-7 位置合わせ後の点群データの比較(Cloud Compare)(キャプチャ画像)

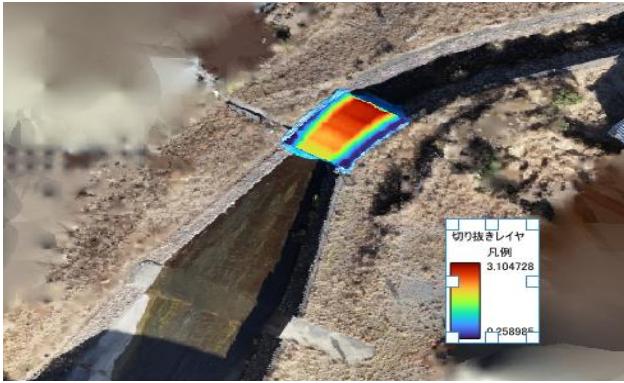


図-8 ラスタの抽出結果 (QGIS)
(キャプチャ画像)

c) 標高ラスタの作成と標高差分による体積算出

位置合わせ後の点群データについては、Cloud CompareのRasterize機能を用いて標高ラスタとして出力した。出力にあたっては、セルサイズを0.05 m (5 cm)、各セル内の点群の平均標高 (average height) を標高値として採用した。

作成した設置前後の標高ラスタをGISソフトウェアQGIS (オープンソースソフトウェア) に読み込み、ラスタ計算機を用いて差分 (「設置後ラスタ」 - 「設置前ラスタ」) を算出した。次に、疑似堆砂の設置範囲をポリゴンとして作成し、マスキングレイヤによる切り抜きにより当該範囲の差分ラスタを抽出した。抽出した差分ラスタに対し、QGISの「ラスタのサーフェス体積」機能を適用した。基準面の標高を0 mに設定し、差分ラスタの全セルの値の総和から体積を算出し、UAVによる疑似堆砂の推計体積とした (図-8)。

3. 結果

今回の手法による結果について、実測体積は64.385 m³であった。一方、UAVの写真データから算出した疑似堆砂の推計体積は65.276 m³であり、実測体積との差分は+0.891 m³、相対誤差は+1.38%であった。UAVによる推計体積は、実測体積に対してわずかな誤差であり、概ね良好な一致を示した。

4. 考察

UAV推計値と実測値の相対誤差は+1.38%と小さく、GCPおよびRTKを使用しない簡易手法としては十分な推計精度が得られたと考える。

一方、本手法における推計精度は、Cloud Compareの「Align (point pairs picking)」ツールを用いた位置合わせの精度に依存している。位置合わせにあたっては、Reality Capture上で設置前後の3Dモデルを表示し、砂防堰堤の天端角部等、設置前後で形状が変化しない特徴点を目視により4点選定している。そのため、選定する特徴点の位置や組み合わせによって位置合わせの精度が変化し、推計誤差に影響を与える可能性がある。特徴点の選定が適切でない場合には誤差が増大することが懸念されるため、より安定した精度を確保するためには、特徴点の選定基準の明確化や選定点数の増加が有効と考えられる。

また、本試行は疑似堆砂モデルを用いた小規模な検証であり、実際の土石流によって生じるような大規模な堆砂を対象としたものではない。実規模の堆砂量を対象とした場合、堆砂範囲の広域化や地形の複雑化に伴い、点群データの欠損や位置合わせ精度の低下など、本試行では顕在化しなかった誤差要因が生じる可能性がある。今後は実際の砂防堰堤における堆砂を対象とした検証を実施し、本手法の適用範囲と精度の限界を明らかにすることが課題である。

5. まとめ

本研究では、GCPおよびRTKを使用しない簡易手法として、UAVによる空撮画像からSfM処理を経て3次元点群データを作成し、差分解析により疑似堆砂の体積を推計した。実測値64.385 m³に対し推計値は65.276 m³であり、相対誤差は+1.38%と良好な結果が得られた。これにより、各出先機関が特別な測量機器を用いずにUAVで堆砂量を推計する手法の実用可能性が示された。今後は、実際の土石流による堆砂のような大規模な対象に対して本手法を適用し、対象スケールの違いが体積推計精度に及ぼす影響を検証することが課題である。

参考文献

- 1) UAVを用いた公共測量マニュアル (案) 平成28年3月 (平成29年3月改正) 国土交通省国土地理院 P.26

類似橋梁の比較による床版防水の効果検証と 「橋梁防水・排水対策ノウハウ」の取りまとめ

近江 啓輔¹・竹内 信²

¹滋賀県長浜土木事務所木之本支所 道路計画課 (〒529-0426 滋賀県長浜市木之本町黒田1234)

²滋賀県長浜土木事務所木之本支所 河川砂防課 (〒529-0426 滋賀県長浜市木之本町黒田1234)

平成14年の道路橋示方書改訂により、床版防水層等（以下、床版防水）の設置が義務化されたが、それ以前に設計された橋梁には床版防水が設けられていないものもあり、床版の劣化・損傷が課題となっている。本研究では、床版防水の有無以外の条件が類似する2橋を対象として床版の劣化状況を比較し、床版防水の有効性を検証するとともに、床版を含めた橋梁の防水・排水対策の適切な実施に寄与する取組として、「橋梁防水・排水対策ノウハウ」の取りまとめを行った。ノウハウの取りまとめにおいては、経験の浅い技術者でも現場ですぐに実践できる簡便な内容をコンセプトとし、発注者・受注者の知見を融合し体系化を図った。

キーワード 橋梁長寿命化、橋梁修繕、床版防水、橋梁防水・排水、技術伝承

1. はじめに

我が国において、高度経済成長期に急速に整備された橋梁、トンネル等の交通インフラは、建設から約半世紀を経過している。これらの交通インフラは、適切な維持管理を実施しない場合、50年程度が寿命の目安とされている。うち橋梁については、2030年には道路橋の約54%、2040年には約75%が建設後50年を経過すると予測されており、そのメンテナンスは喫緊の課題である。

橋梁の劣化現象の代表例には、「床版の損傷」が挙げられる（写真-1²参照）。床版の劣化は、大型車等の活荷重が繰り返し作用することで進行する。コンクリート床版を例に挙げると、まずコンクリートのひび割れが進展・増加し、剥離、抜け落ち、土砂化といった重大な損傷へ発展する。また、床版に水が存在すると、ひび割れに水が浸透し、ひび割れ幅は急速に大きくなる。さらに、筆者らの所属する長浜土木事務所木之本支所管内のように路面凍結の恐れのある地域では、ひび割れに浸透した水の凍結膨張や、凍結防止剤の散布に伴う塩分供給により、床版の損傷が加速度的に進展する。松井らの実験でも、床版が湿潤状態の場合、乾燥状態と比べ50～300倍の速さで破壊に至ったと報告されている³。

以上のことから、床版の長寿命化には防水性の確保が極めて重要で、平成14年の道路橋示方書改訂において、床版防水を設けることが義務化されている⁴。そのため、平成14年の改訂以降に設計された橋梁では、床版防水が必ず設置されている。一方、平成14年の改訂以前に設計

された橋梁では、床版防水が設置されていないケースも存在し、改訂から20年以上が経過した現在では、床版防水の有無で床版の劣化状況に差異が生じているものと推察される。しかし、同一の道路管理者において、床版防水の有無以外の諸条件が類似した橋梁を同時期に調査・設計・補修まで実施する事例は限定的であり、詳細な比較検証を行った例は十分ではない。

筆者らは、床版防水の設置義務化以前の約40年前に施工された鉄筋コンクリート床版（以下、RC床版）を有し、床版防水の有無以外の諸条件がほぼ類似している2橋について、調査・設計・補修を同時期に担当する機会を得た。本研究では、これら2橋の床版劣化状況の比較、および床版防水の初期設置費用と床版損傷後の修繕費用との比較を行い、床版防水の有効性を検証した。

また、防水・排水の重要性は、桁端部や支承部等の床版以外の部材においても同様であり、橋梁の長寿命化を図る上では、橋梁全体における防水・排水対策の適切な実施が不可欠となる。そこで本研究では、橋梁の新設・補修現場における防水・排水対策の適切化に寄与する取



写真-1 床版の損傷事例（コンクリート床版の抜け落ち）²

組として、「橋梁防水・排水対策ノウハウ」の構築を試みた。ノウハウの取りまとめにおいては、経験の浅い技術者でも現場で即座に実践できる簡便な内容を理念とし、発注者および受注者双方の知見を融合し整理を行った。

本稿では、これら一連の検証結果および取りまとめたノウハウとその活用方法について報告する。

2. 床版防水の概要と既往の知見

(1) 床版防水の概要

床版とは、橋を通行する車両や歩行者等を直接支え、それらの荷重を下部の橋げたへと伝えるための部材である(図-1²⁾参照)。1.で述べたとおり、床版内への水の流入は劣化を著しく促進するため、長寿命化には床版の防水が極めて重要となる。

図-2²⁾は、床版防水の模式図である。床版防水は、床版防水層、排水設備など、床版を水から保護する全ての防水機構の総称である。このうち床版防水層は、床版の防水を目的として設ける層であり、一般的に床版との接着剤、床版防水材、舗装との接着剤から構成される。また排水設備は、橋面及び床版防水層上の雨水等を滞水させることなく、速やかに排水するための設備を指す。

床版防水は、施工後に舗装に覆われるため大部分が不可視となり、施工中でなければ実物に触れる機会を得られない。そのため、筆者らも自身の経験から、想像が湧かない工種と感じていた。そこで本研究では、床版防水への理解促進を目的とした模型を作成し、(公財)滋賀県建設技術センター(以下、センター)にて展示を行うこととした(写真-2参照)。模型は原寸大とし、床版防水部分は実材料を用いて製作した。分解・組立が可能な構造とすることで、床版防水への理解促進に寄与している。

(2) 床版防水の設計基準の変遷と関連する技術資料

床版防水の設計基準の変遷については、昭和47年に制

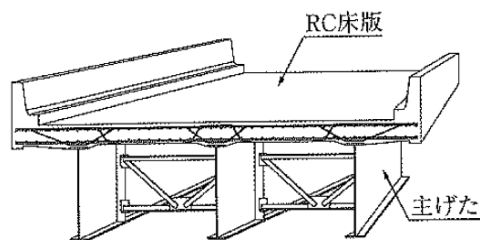


図-1 RC床版の模式図²⁾

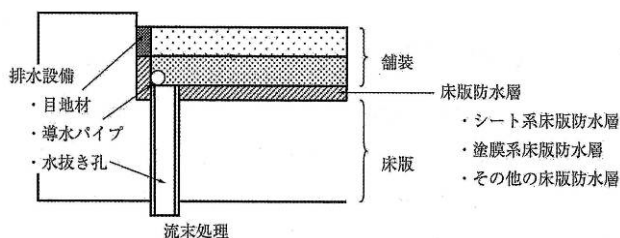


図-2 床版防水層および排水設備の模式図²⁾

定された道路橋示方書³⁾に防水層に関する初の記載があり、「必要に応じて防水層を設ける」と示された。その後複数回の改訂を経た後、平成14年に改訂された道路橋示方書⁴⁾では、「アスファルト舗装とする場合は、橋面より浸入した雨水等が床版内部に浸透しないように、防水層等を設けるものとする」と、床版防水の設置を義務付ける形に変更された。言い換えれば、平成14年の道路橋示方書改訂以前に設計された橋梁では、床版防水が設置されていないケースも存在することとなる。その他、床版防水に関して道路橋示方書を補完し、技術者の理解を深めるための資料として、昭和62年に道路橋鉄筋コンクリート床版防水層設計・施工指針⁶⁾、平成19年に道路橋床版防水便覧⁷⁾が発刊されている。

3. 類似橋梁の比較による床版防水の効果検証

(1) 対象橋梁の概要

筆者らは、所属する長浜土木事務所木之本支所で修繕工事を行った橋梁のうち、床版防水の有無以外の諸条件が類似した2橋を対象として検証を行った。この2橋を比較することにより、供用中の道路橋における床版防水の劣化抑止効果を実証するとともに、ライフサイクルコストの観点から費用対効果を比較・評価できると考えた。

対象とした2橋は、国道303号の滋賀県長浜市木之本町音羽地先に架かる一之瀬橋(以下、I橋)と中島北橋(以下、N橋)である。両橋の位置は図-3⁷⁾のとおりで、同一路線上かつ同一河川上に位置し、橋梁間の距離は約2kmと近接しているため、気象条件や凍結防止剤の散布状況などの環境条件はほぼ同一である。また、両橋を結ぶ区間に大型車が通行可能な接続路線は存在せず、大型



写真-2 床版防水の模型



電子地形図 25000(国土地理院)を加工して作成

図-3 本検証で比較対象とした2橋の位置関係⁷⁾

車交通量についても同一である。

表-1は、両橋の主要諸元をまとめたものである。どちらもRC床版を有する鋼橋で、架設年度、橋長、幅員、設計荷重、床版厚、舗装厚、大型車交通量等の主要諸元はほぼ同一である。上部工形式等で一部相違が見られるものの、両橋の類似性は極めて高い。一方、床版防水に関しては、架設時期が設置義務化以前であったため、I橋には設けられていたが、N橋には設けられていなかった。I橋のみに床版防水が設けられていた理由としては、前述の「道路橋鉄筋コンクリート床版防水層設計・施工指針」が、両橋の架設時期の間に発刊されたことが背景にあると推察される。

(2) 対象橋梁の劣化状況詳細調査結果

両橋とも修繕工事に先立ち劣化状況の詳細調査を行っていたことから、その結果をもとに両橋の床版劣化状況などの比較を行った。

a) I橋の劣化状況詳細調査結果

写真-3は、I橋の舗装コア採取部の様子である。I橋は建設時の設計資料が残存しており、シート系の床版防水層が設置されていることを既往資料でも把握できたが、実際の舗装コア採取による床版上面の観察結果からも、防水層が健全に機能していることが確認された。

写真-4は、I橋の詳細調査時の路面状況である。当該地域は凍結防止剤の散布が必要で、床版の劣化が進行しやすい環境にあるが、現時点で舗装や床版に目立った損傷は認められず、健全な状態を保っており、補修も不要と判定された。一方、I橋の桁端部や支承部は、劣化した伸縮装置からの漏水により腐食が進行し、補修が必要とされた（写真-4、写真-5参照）。このように、床版防

水によって保護されていた床版部と比較して、漏水の影響を直接受けた桁端部・支承部の劣化が顕著であった事実は、逆説的に床版防水による劣化抑止効果の高さを示すものである。

b) N橋の劣化状況詳細調査結果

写真-6は、床版防水が設置されていないN橋の詳細調査時の路面状況である。舗装のひび割れは、橋軸直角方向に約1m間隔の等間隔で多数見られ、幅が5～8mmに達しているものまで確認された。また、一部はひび割れが亀甲状となり、ひび割れ内部から砂が滲出するなど、舗装打ち換えが必要な状況であった。

写真-7は、床版下面の劣化状況である。舗装の劣化箇所と対応する位置において、床版下面に亀甲上のひび割れが多数発生し、ひび割れからは遊離石灰も滲出していた。これにより、床版に水が浸入し、劣化が進行していることが裏付けられた。また、舗装や床版下面の劣化が進行している箇所では、舗装はつり調査により床版上面の損傷程度も確認した（写真-8参照）。その結果、床版上面コンクリートの土砂化が確認され、補修が必要な状態まで劣化が進行していることが明らかとなった。



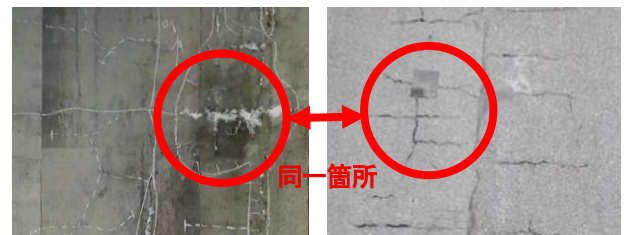
写真-4 I橋の路面状況と伸縮装置の劣化状況 (A1側)



写真-5 I橋の桁端部および支承部の腐食状況 (A1側 G2主桁)



写真-6 N橋の路面状況



(a) 下から撮影した床版 (b) 上から撮影した路面

写真-7 N橋の床版下面の劣化状況と路面状況との対応

表-1 本検証で比較対象とした2橋の主要諸元

諸元	I橋	N橋
架設年度	平成元年 (1989年)	昭和61年 (1986年)
適用示方書	昭和55年	昭和55年
橋長	44.0m	33.5m
全幅員	9.2m	9.2m
上部工形式	単純活荷重合成桁	単純非合成箱桁
下部工形式	逆T式橋台	逆T式橋台
設計活荷重	TL-20 1等橋	TL-20 1等橋
床版	RC	RC
床版防水	有り	無し
床版厚	21cm	19cm
舗装厚	6cm	6cm
大型車交通量	約200台/日 (R3)	約200台/日 (R3)



写真-3 I橋の舗装コア採取による床版防水層の有無確認



写真-8 N橋の舗装はつり調査による床版上面の劣化状況確認

以上より、床版防水が設置されていなかったN橋は、床版防水が設置されていたI橋とその他の条件は類似しているにも関わらず、I橋より床版が著しく劣化していることを確認した。このことから、a)で述べたI橋の床版防水の劣化抑止効果が極めて高いことが実証された。

4. N橋における床版の補修工事について

(1) 工事の内容

N橋では平成30年度から令和元年度にかけ、床版の補修を含む修繕工事を実施済である。当該工事における床版補修にかかる工種を表-2に示す。このうち床版断面修復工では、詳細調査での床版コア抜き調査において上面から50mm程度の位置に水平方向の大きなひび割れが確認されたことから（写真-9参照）、このひび割れ面より上の剥離部を撤去し、断面修復を行うこととした（写真-10参照）。

(2) 工事での苦労と対応策

N橋のように、床版上面の補修まで必要となった場合、施工の際に様々な苦労が生じる。ここで、山岳部の片側1車線道路かつ曲線部に位置する橋梁というN橋の特徴も踏まえつつ、工事での苦労と対応策を以下に述べる。

a) 品質面

床版上面の剥離部の撤去作業では、下部の健全部に損傷を与えてはならない。そのため、振動の少ないウォー

表-2 N橋の修繕工事における床版補修にかかる工種

工種	数量	金額（直接工事費）
舗装工	262m ²	約100万円
床版断面修復工	16m ³	約1,100万円
橋面防水工	262m ²	約100万円
交通管理工	1式	約200万円
合計		約1,500万円

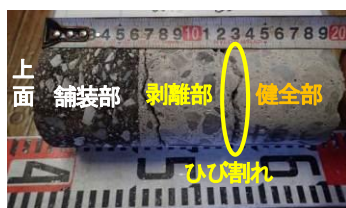


写真-9 N橋の床版コア採取による劣化状況確認

タージェット工法を採用し、慎重かつ丁寧に撤去作業を進めた。また断面修復では、健全部との一体化が重要であるため、補修材料には鋼繊維コンクリートを選定した。

b) 安全面

N橋の架かる国道303号は、岐阜県を起点に滋賀県を通過して福井県に至る幹線道路で、かつN橋周辺の集落へ通じる唯一の生活道路でもあり、工事中も現道交通の確保が必須であった。そのため、床版の断面修復で打設したコンクリートの養生期間中は、作業のない夜間も片側交互通行規制を要した。しかし、図-3に示すとおりN橋は山間部のカーブ中に位置し、通行車両の速度が出やすく見通しも悪いため、仮設信号での片側交互通行では通行車両の安全を確保できず、作業のない夜間も交通誘導警備員を配置する必要があった。そのため、交通誘導警備員の安全確保や労働環境にも十分な配慮を行った。

(3) 工事費用とライフサイクルコストの分析

N橋の修繕工事全体での直接工事費は約4,000万円であったが、うち床版補修にかかる工種の直接工事費は表-2に示すとおりで、その合計は約1,500万円と工事全体の約37%を占めた。うち床版断面修復工は、a)で述べた品質確保対策にかかる費用も含まれ、1,000万を超える費用を要した。さらに、b)で述べた夜間の交通誘導警備員配置費用も必要で、交通管理工にも約200万円を要した。

一方、橋面防水工は約100万円と全体の3%程度で、床版防水が建設当初から設置されていたI橋では床版の補修自体が不要であった。以上より、床版防水を適切に実施し床版の長寿命化を図ることは、ライフサイクルコスト縮減の観点から、極めて費用対効果が高いと言える。

(4) 工事実施後の経過観察

令和7年に撮影したN橋の路面状態を写真-11に示す。床版の補修が完了してから約7年が経過しているが、現時点で損傷はなく健全な状態を保っており、床版断面修復と防水・排水対策を実施した効果が発揮されている。



写真-10 N橋の床版断面修復工（床版上面）の様子



写真-11 N橋の床版補修実施から約7年経過後の路面状況

5. 「橋梁防水・排水対策ノウハウ」取りまとめ

(1) ノウハウ取りまとめの背景

ここまでに述べたとおり、床版防水は床版の長寿命化に極めて有効である一方、上面コンクリートの補修が必要な状態まで損傷が進行すると、その修繕工事は品質管理、安全対策、費用など様々な面で多大な負担が生じる。

また、写真-5のI橋での事例のように、桁端部や支承部などの床版以外の部材も水の影響で劣化が著しく進行する。そのため、橋梁の長寿命化を図る上では、橋梁全体における防水・排水対策の適切な実施が不可欠となる。

一方、地方自治体や建設業界では特に地方において少子高齢化や技術者不足に伴う、技術伝承が課題となっている。そのため、橋梁メンテナンスに関する技術伝承が途絶えた場合、防水・排水対策が適切に実施されずその効果が十分に発揮されないばかりか、他の部材の劣化を逆に早めてしまうような事例の発生も懸念される。

また、橋梁の防水・排水対策の実施方法については、道路橋示方書⁹⁾や道路橋床版防水便覧²⁾に詳しくまとめられ、滋賀県橋梁修繕マニュアル⁹⁾においても施工手順が整理されているが、現場でノウハウとして実践している工夫も存在すると推察される。

以上より、現場でのノウハウを形式知として整理し技術伝承に役立てることは非常に有意義と考え、本研究でノウハウの取りまとめを行うこととした。

(2) ノウハウ取りまとめの方法

ノウハウの収集は、筆者らとI橋およびN橋の修繕に携

わった施工者が連携して進めることとし、趣旨に賛同頂いた施工会社、コンサルタント、メーカーの技術者、およびセンター、滋賀県の技術職員に対し、ヒアリングの実施や資料提供を依頼し、幅広い立場の技術者から収集した意見を反映した。また、舞鶴工業高等専門学校が主催する「実務家教員育成研修プログラム⁹⁾」の受講者による実践研究会「JP-REIMラボ」を通じ、多様な立場の実務家教員の知見も取り入れて内容を充実させた。

ノウハウの取りまとめにあたっては、橋梁修繕に携わって間もない段階の技術者や、地域でインフラメンテナンスを担う地方自治体や中小規模の建設会社をターゲットに設定した。そのため、経験の浅い技術者でもすぐに現場で実践できるものや、手間や費用がかからず地方自治体管理の小規模橋梁でも導入しやすいものなど、できるだけ簡便な内容を取り上げることとした。加えて、写真や概念図にノウハウの内容を書き加えた解説シートも作成することで、視覚的にもわかりやすい形を目指した。写真には、地域の技術者が自らの業務に結び付けて理解できるよう、滋賀県が管理する橋梁の実例写真を多数用いた。なお、基準書等で詳細が記載されている項目と内容が重複するノウハウについても、基準書等の理解促進につながるものと考え、排除せず取り上げることとした。

(3) 取りまとめたノウハウの概要と活用事例

収集したノウハウは、様々な立場の技術者からの意見を踏まえ、現地調査編と設計・施工編に分類して取りまとめた。その概要を表-3および表-4に示す。また、写真やイラストを用いた解説シートの一例を図-4に示す。

表-3 取りまとめた橋梁防水・排水対策ノウハウの概要（現地調査編）

No.	項目	概要
1	流水跡の確認	流水跡の付いている部材があれば、流水跡の上部を辿って水の供給源を特定する。
2	雨天時の現場確認	雨水の排水状況を現場で確認し、桁や橋台・橋脚への漏水が生じていないか確認する。
3	地覆の劣化	地覆から水が浸入すると床版へ到達するため、地覆のひび割れが無いかな確認する。
4	舗装の劣化	舗装の劣化が進んでいる箇所があれば、舗装下の床版の滞水や劣化も懸念される。
5	床版下面の劣化	床版の下面を見た際に劣化が進んでいる箇所があれば、その上面の劣化も懸念される。
6	排水管の劣化	排水管からの漏水の有無を把握するため、排水管に腐食・破損・流水跡が無いかな確認する。
7	排水柵のつまり	橋面の排水柵が土砂やゴミで詰まると排水不良の原因となるため、日々確認・清掃を行う。
8	排水施設の流末処理	排水施設の流末(末端部)から排出された水が、桁や橋台・橋脚にかかっているか確認する。
9	添架物の劣化	橋梁本体だけでなく、添架物についても漏水や排水がかかっているか確認する。

表-4 取りまとめた橋梁防水・排水対策ノウハウの概要（設計・施工編）

No.	項目	概要
1	地覆の防水	地覆からの漏水防止に表面含浸剤を塗布する。地覆外側を伝う水を遮断する水切り工も効果的。
2	伸縮装置の構造	伸縮装置からの漏水防止を目的に二次止水を設置する。地覆部も伸縮装置の設置を推奨。
3	排水管の長さ・向き	橋面防水の排水管は桁の最下部よりも長くし、流末は桁や橋脚・橋台と反対側に向ける。
4	排水管の形状	排水管に急な曲線部を設けると、土砂やゴミの閉塞の原因となりやすいため注意する。
5	成形目地材の形状	成形目地材を地覆と舗装の両方に密着させるようL型とすることで、水の浸入防止効果が高まる。
6	塗膜型防水層の施工	塗膜型床版防水は地覆にも少し立ち上げるように施工することで、水の浸入防止効果が高まる。
7	溶剤の乾燥時間	床版防水の溶剤(プライマー等)は湿潤状態では効果を発揮しないため、乾燥時間を順守する。
8	既設舗装の撤去	舗装撤去時に床版を傷つけないよう注意する(床版付近は人力でののはつりの併用も推奨)。
9	床版コンクリートの撤去	ブレーカーではつりを行うと周辺部分にマイクロクラックが入る恐れがあるため、ウォータージェット工法の採用等、残置部分に悪影響を及ぼさないような配慮が必要。

現地調査編 No.1 流水跡の確認

流水跡の付いている部材があれば、流水跡の上部を辿って水の供給源を特定する。



図-4 橋梁防水・排水対策ノウハウ解説シートの一例
(現地調査編 No.1 流水跡の確認)



図-5 ホームページでの解説シートとeラーニング動画の公開¹¹⁾



図-6 解説シートおよびeラーニング動画を用いた研修

6. 解説シートの公開と活用

(1) 解説シートの公開

取りまとめた解説シートは、滋賀県内や全国のインフラメンテナンスに携わる技術者に活用頂けるよう、「橋梁防水・排水対策ノウハウ解説シート」としてセンターのホームページ¹⁰⁾で公開している(図-5参照)。

(2) 解説シートを用いたeラーニング動画の作成・公開

解説シートに解説音声を加えたeラーニング動画も制作し、センターのホームページ¹⁰⁾において解説シートとともに公開している。解説音声を加えることで、閲覧者の理解を促すとともに、いつでもどこでも手軽に自主学習を行える環境を構築できている。

(3) 解説シートおよびeラーニング動画を用いた研修

解説シートおよびeラーニング動画は、ホームページでの公開のみにとどまらず、研修での座学や現場確認における教材としても活用可能である。具体的には、筆者らの所属における勉強会や、センターの市町研修生への教育、施工者の社内研修などで、解説シートおよびeラーニング動画が既に活用されている(図-6参照)。

上記の勉強会や研修の事後アンケートでは、「舗装に覆われて見えない床版の急激な劣化(土砂化)写真に衝撃を受け、点検の重要性を再認識した」、「写真や概念図を用いた解説で、水の動きや劣化状況がイメージしやすい」、「動画はナレーションの音声も聞き取りやすく、わからない部分も巻き戻して再生可能で、最後まで集中して視聴できた」などの意見が寄せられており、高い学習効果を得られることが実証された。

7. おわりに

本研究では、供用中の類似橋梁を対象とした比較検証により、床版防水の劣化抑止効果を実証するとともに、ライフサイクルコスト縮減における費用対効果を比較・評価した。また、維持管理において重要となる防水・排水対策のノウハウを体系化し、写真や概念図を効果的に

用いた解説シートおよびeラーニング動画を制作・公開することで、実務への適用性と技術伝承性を向上させた。

なお、本研究では橋梁を対象に水の影響を取り上げたが、水の挙動の把握は、全ての土木構造物の維持管理において重要な項目であり、熟練技術者がパトロールで注視する点でもある。本研究を通じて、著者ら自身も「土木構造物を診る眼」を養うことができた。本研究の成果が、一人でも多くの技術者の技術力向上、ひいては社会資本の適切な長寿命化に貢献することを期待する。

謝辞：本研究の一部は、舞鶴工業高等専門学校社会基盤メンテナンス教育センター(iMec)が主催する「実務家教員育成研修プログラム」によりまとめられたものです。また、本研究の遂行にあたり多大なご協力を賜った(株)アズマの皆様、資料提供ならびに有益な助言を賜った多くの技術者の皆様に、心より感謝申し上げます。

参考文献

- 1)国土交通省：建設後50年以上経過する社会資本の割合，
https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/maintenance/_pdf/50year_percentage.pdf，(参照2026-07-27)
- 2)(公社)日本道路協会：道路橋床版防水便覧，2007。
- 3)松井繁之ほか：RC床版とその損傷(その2)，橋梁と基礎，1998。
- 4)(公社)日本道路協会：道路橋示方書・同解説，2002。
- 5)(公社)日本道路協会：道路橋示方書・同解説，1972。
- 6)(公社)日本道路協会：道路橋鉄筋コンクリート床版防水層設計・施工指針，1987。
- 7)国土地理院：地理院地図，<https://maps.gsi.go.jp/>，(参照2026-07-27)
- 8)滋賀県：橋梁修繕マニュアル(R4.3改訂版)，
<https://www.pref.shiga.lg.jp/ippan/kendoseibi/douro/325487.html>，(参照2026-07-27)
- 9)舞鶴工業高等専門学校社会基盤メンテナンス教育センター(iMec)，実務家教員育成研修プログラム，
<https://www.maizuru-ctac.jp/imcc/jp-reim.html>，(参照2026-07-27)
- 10)(公財)滋賀県建設技術センター：施工解説動画，
<https://www.sct.or.jp/work/technic/建設タイムラプス/施工解説動画/>，(参照2026-07-27)

『奈良県版 道路防災点検の手引き(案)』と これからの奈良県の課題

鷹野 和則

奈良県 県土マネジメント部 道路マネジメント課 (〒630-8501奈良県奈良市登大路町30)

本論文では、道路斜面にかかる点検のうち「道路防災点検」の理解を深めるとともに、2023年12月23日に奈良県吉野郡下北山村上池原で発生した土砂災害をきっかけに作成した「奈良県版 道路防災点検の手引き(案)」の内容に加えて、手引きに採用した新技術「人工衛星(SAR)データを活用した斜面観測」について2025年度で施行した結果の報告や今後の課題とその対応方針を述べる。

キーワード 防災 新技術 安全対策 道路防災点検, 干渉SAR時系列解析

1. はじめに

近年、「能登半島大地震」等の地震や大雨等に関する災害が増加している。さらに「東日本大地震」を超える「南海トラフ大地震」の発生も危惧されており防災対策が重要となっている。

奈良県でも、毎年のように山間部で崩土が発生しており、2023年12月23日には奈良県吉野郡下北山村上池原では土砂災害により2名が死傷する事故が発生した。(図-1参照)

こうした状況の中、事前に土砂災害の兆候を察知し、いかにして対策を取るかが課題となっている。

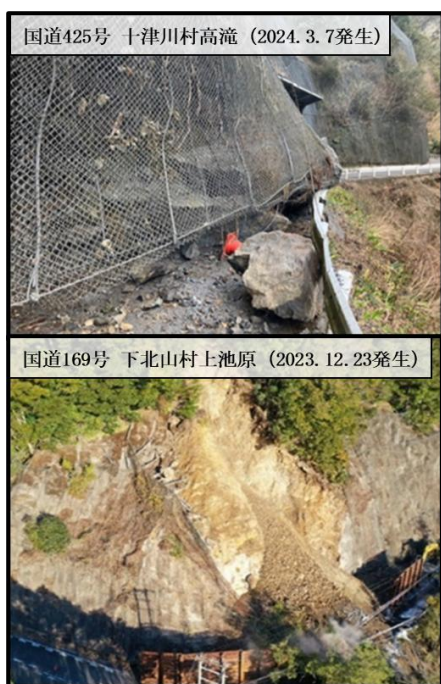


図-1 奈良県で発生した崩土の様子

本論文では、道路斜面にかかる点検のうち「道路防災点検」の理解を深めるとともに、2025年度に奈良県で施行した「奈良県版 道路防災点検の手引き(案)」についての報告や今後の課題を述べる。

2. 「道路防災点検」について

「道路防災点検」は、豪雨・雪害等の災害に対する道路及び道路利用者等の安全確保を理念に、災害リスク箇所の評価(安定度調査)を行うことを目的としている。また、「道路防災点検」は各自治体は道路斜面における危険箇所の抽出手順等を記載している「道路防災点検要領」を基に実施するものである。

安定度調査の箇所は、机上調査において「箇所の危険度」及び「防災管理上の必要性」の判断と、地域特性および災害要因の抽出を実施し、現地調査において道路上から観察し選定する。

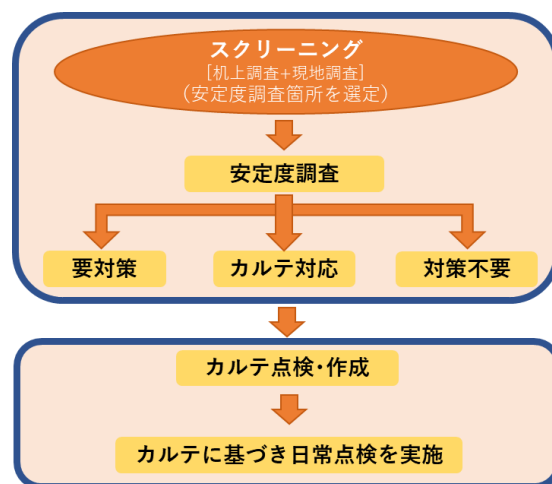


図-2 道路防災点検の流れ

この一連の流れを「スクリーニング」と言う。

後述する「奈良県版 道路防災点検の手引き(案)」では「スクリーニング」に奈良県独自の特色を加えている。

調査箇所の選定後は、安定度調査を実施し、「要対策」、「カルテ対応」、「対策不要」の3つの評価を行う。

また、評価の内至急の対策を必要としないが経過観察の必要がある「カルテ対応」の場合や、対策に日数を要する「要対策」の場合には、「防災カルテ」を作成し、「防災カルテ」に基づき日常点検を行う必要がある。「防災カルテ」には、管理上注意すべき災害の可能性がある箇所、日常的にどのように点検・確認を行うかの対策等が記載されている。

3.「奈良県版 道路防災点検の手引き(案)」とは

道路防災点検では、点検要領の他に、最新技術を用いた点検要領の運用方法を示す「道路防災点検の手引き(豪雨・豪雪等)」が「(社)全国地質調査業協会連合会」(以下、(社)全地連と言う。)より発行されている。

奈良県では危険箇所の抽出を目的とした「吉野・五條土木事務所管内での被災履歴や災害の特徴の記載」及び「点検や日常の道路パトロールで得る情報等のデータベース化」による「(1)データの蓄積・分析」と、科学技術を使用した危険箇所の抽出を目的とした「(2)熱赤外線による目視出来ない吹付背面の変状把握」及び「(3)人工衛星(SAR)データを活用した斜面観測」を特色として(社)全地連の手引きに加え、奈良県独自の点検方式を盛り込んだ「奈良県版 道路防災点検の手引き(案)」を作成した。

(1)データの蓄積・分析による危険箇所の抽出

奈良県では、道路パトロールの記録を紙媒体で保存している。そのため現状では、過去の資料の整理・抽出に手間や時間を要している。

そこで今後の目標としてパトロール時の記録をスマートフォン等の携帯端末で行うことで、記録に伴

表-1 吉野・五條土木管内での各災害種別の発生件数
(2009年～2023年)

災害種別	五條管内	吉野管内
岩盤崩壊	101	54
落石	28	41
表層崩壊	23	24
地すべり	21	16
土石流	14	6
深層崩壊	3	5
その他(斜面)	30	22
その他(道路)	27	8
合計	247	176

う時間と手間を削減するとともに、点検の記録をデータベース上に登録し一元管理することで、落石・崩壊等の多い箇所の抽出(見える化)を行うことを目的とした。

また、同じ目的で「奈良県版 道路防災点検の手引き(案)」に、奈良県南部に位置する吉野・五條土木事務所管内での過去の被災履歴や災害の特徴を、細かく分類しグラフや表などにまとめ、被災や災害の傾向などについても分析し記載した。

(2)熱赤外線による目視出来ない吹付背面の変状把握

これまで、目視出来ない吹付背面における空洞等の変状を把握するため、吹付法面の目視によるひび割れの確認や打音検査や削孔による空洞の確認等の対応をしていたが、法面全体に対して部分的であり実際との差異が見られた。

そこで、吹付背面の全体の劣化・空洞を把握するため熱赤外線調査を採用した。これは、吹付背面が空洞や土砂化している箇所は、健全な箇所に比べて

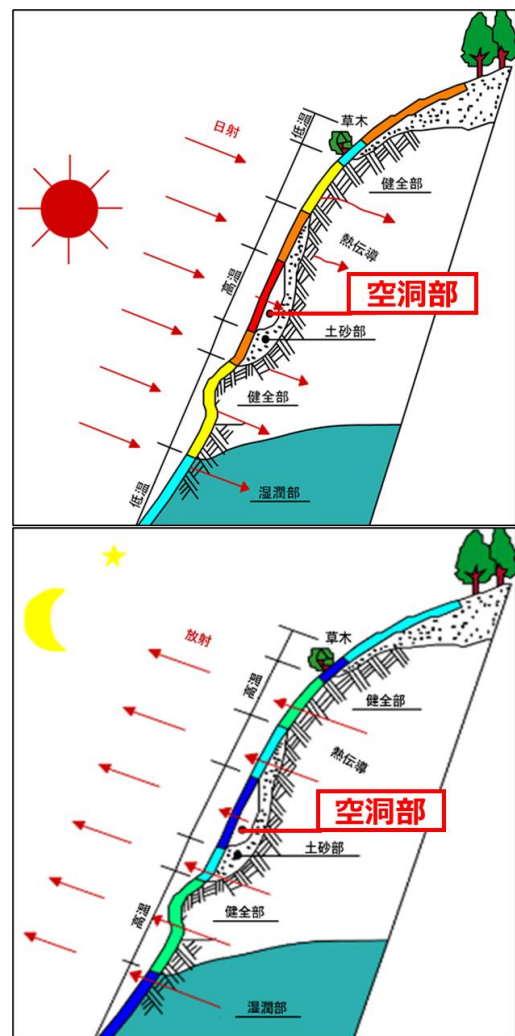


図-3 熱赤外線調査概念図⁽⁶⁾

昼間の温度は高く夜間の温度は低くなる傾向を利用し、熱赤外線カメラで吹付法面を撮影することにより日中の表面温度と夜間の表面温度の温度変化が大きい箇所を空洞部として判断できるため、広範囲の吹付背面の変状把握が可能となる。

(3) 人工衛星(SAR)データを活用した斜面観測

「人工衛星(SAR)データを活用した斜面観測」とは、レーダーを搭載した人工衛星(SAR)からマイクロ波を地表面に照射し、その反射波を観測するものである。特徴として、観測時に電波を使用するため、対象物の有無・材質・変化などが分かる上、雲の有無や昼夜間に関係なく撮影が可能である。さらに、斜面変動を広域且つ過去に遡って定量的に解析することが可能であり、主に大～中規模の斜面変動の発見・確認が出来ることから、変動監視の省力化・効率化の点で有用である。しかし、反射の強度を示す画像はモノクロ画像であり、直感的な把握は難しいといった弱点がある。

また、「干渉SAR解析」を1度行っただけでは、正確な解析ができない為、「干渉SAR解析」を複数回実施し、その結果を時系列順に集計・解析することにより、期間ごとの斜面の変状・推移の傾向等の正確なデータを確認することができる。この手法を「干渉SAR時系列解析」と言う。

「奈良県版 道路防災点検の手引き(案)」では、「スクリーニング」として「干渉SAR時系列解析」を行い下北山村上池原での事故のような大規模な斜面災害の発生箇所を事前に予測することを目的としている。

4. 2025年度に奈良県が実施した取り組み

「奈良県版 道路防災点検の手引き(案)」を踏まえ、

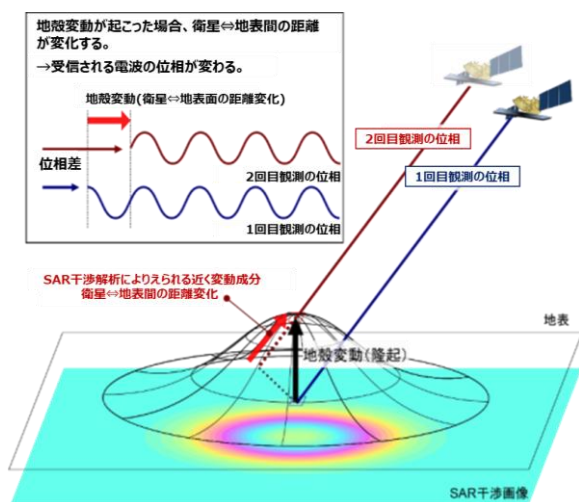


図4 「干渉SAR解析」のイメージ⁷⁾

2025年度に奈良県内の特定の路線を選出し、実際に調査を実施した。

(1) 机上調査の対象区間

2025年度の机上調査で対象に選出された路線は、奈良県の山間部にある国道168号(約79km)、国道169号(約71km)であり、一部例外はあるが、それぞれが五條土木事務所、吉野土木事務所管内に存在し、紀伊半島アンカールートの一部を形成する、重要な路線である。

選出理由について、道路沿いの地形が急傾斜の岩盤や吹付法面が連続し、亀裂や岩石の割れ目が多く発達する付加体の地質が分布している事から不安定な斜面を有している事に加え、災害発生頻度が高く、過去の被災履歴が多い等の理由が挙げられる。

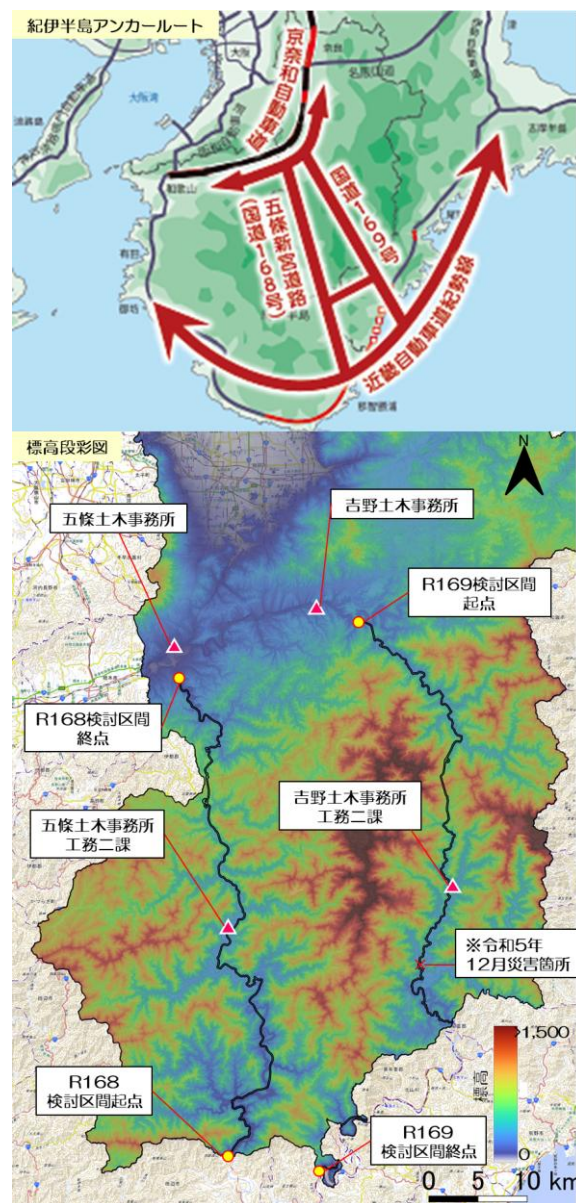


図5 2025年度の調査対象区間

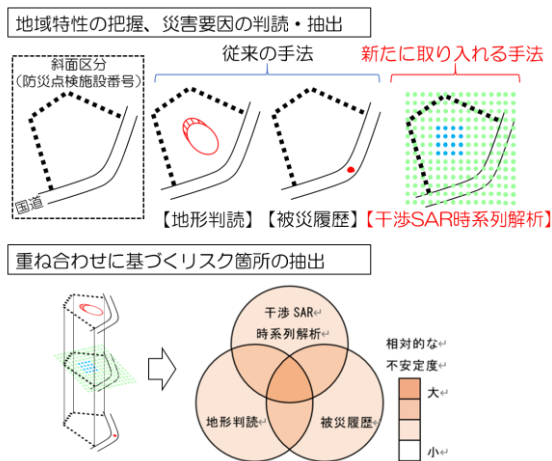


図-6 本検討におけるリスク箇所抽出の流れ

(2) 災害リスク箇所の机上抽出方針

本調査では、従来の手法である「被災履歴分析」，「地形判読」に加え，「干渉SAR時系列解析」の3つの要素を用いてリスク箇所を抽出した。また，「被災履歴分析」では，県職員が実施した道路パトロールの記録(令和1年～令和6年)と専門技術者による緊急法面点検記録(平成21年～令和6年)を，「地形判読」では令和3年に計測した1mグリッドのレーザプロファイラデータを用いた。

(3) 災害リスク箇所の机上抽出結果

3つの要素を重ね合わせたところ，図-7のように箇所の抽出が出来た。今回の調査では，図-7に示すとおり3要素が重なっている箇所以外で，主に2要素が重なっている箇所についても，今後変状が発生する可能性も考えられるため，変状が発生した際の兆候を見落とさない事が重要である考えのもと，点検記録のデジタル化と蓄積を継続で実施する。

また，今回抽出した箇所については全てが道路等に影響する災害を引き起こすものであるかは現時点では定かではなく，また災害が発生しても道路等に対してあまり影響が無い箇所もあると考えられる。

5. 「干渉SAR時系列解析」の課題と対応方針

実際に「干渉SAR時系列解析」を行ったところ，災害リスク箇所の抽出が出来た反面，課題も浮き彫りになった。以下に判明した課題及び対応方針について記す。

(1) 比較的小規模の小さい地すべりについて

今回調査において，比較的小規模の小さい地すべりに対しては，災害リスク箇所の抽出があまりなされていない事実が判明した。原因として，「干渉SAR時

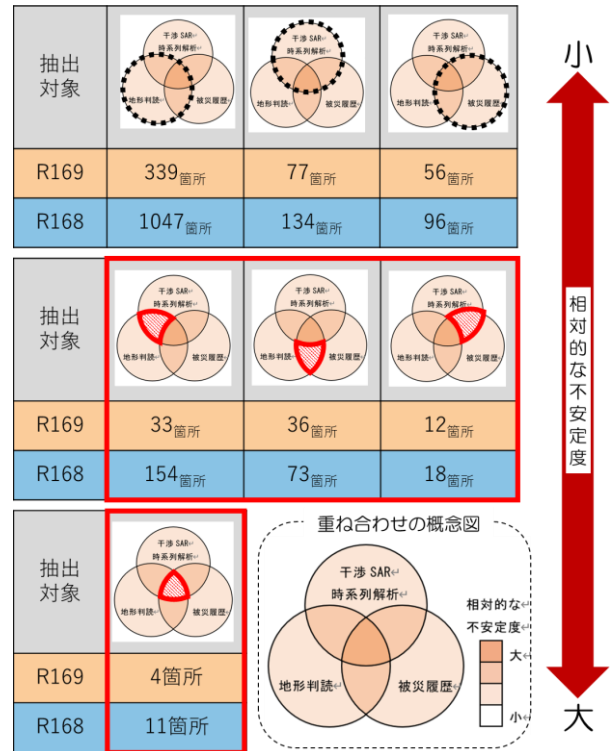


図-7 災害リスク箇所の机上抽出結果

列解析」では，あまりにも小さい変状の場合，それが測定の誤差であるかを判断できない事があるためである。

今後の方針として比較的小規模の小さい地すべりについても捉えることが出来る手法を模索していきたいと考えている。

(2) 岩盤崩壊のリスク箇所抽出について

今回調査で，現状の基準では「干渉SAR時系列解析」による，普段の変位が比較的小さいと考えられる岩盤崩壊の抽出が困難であることが判明した。奈良県では「干渉SAR時系列解析」を実施する際に，地すべり変動判定基準を参考とし6mm/年以上の変動箇所を基準に抽出を行っている。しかしそれでは平時は変動していない，または変位量が6mm/年より小さい変動に対しては抽出が出来ない。岩盤崩壊では，このような平常時の変異が小さい場合の発生も想定される。

今後の方針として，この課題についても「地形判読結果」を活用することで対応したいと考える。具体的には地形判読で不安定の地形が判明した場合，その箇所の「干渉SAR時系列解析」の基準を変え，より小さな変動速度に着目しリスク箇所の抽出を行う。

6. 今後の奈良県の動向

今回調査で，「干渉SAR時系列解析」では比較的小規模の大きな斜面変動箇所を抽出する事が得意な反面，

岩盤崩壊などの突発的な斜面災害の特徴である、比較的規模の小さい異変については発見が困難であることが判明した。こうした課題の解決は非常に重要な事であるが、実際に人の目で確認することも同様に重要な解決方法であり、県職員が実施している日常及び緊急時の道路パトロールは「干渉SAR時系列解析」と同等の重点を置くべき手段と考える。道路パトロールの記録を活用するためにはデータの母数を増やす必要があると考える。

よって、今後は先述の「干渉SAR時系列解析」に関わる課題を解決するだけでなく、継続して道路パトロールの記録をデータベース上に記録し、データの母数を増やして分析を行い、また総合的に判断することで、最終的には、災害リスク箇所の対策優先度の決定に利用することを目標とする。

7.おわりに

今まで述べた解析方法や対策方針だけで無く、災害リスク箇所の正確な抽出や今後の目標である対策優先度の決定に有用な方法がある場合には「奈良県版道路防災点検の手引き(案)」に取り入れたいと考える。

加えて、近年では法面点検について新たな技術が多数開発されていることから、より有用な技術が開発された際には、斜面災害による被害を最小限に抑え、県民の皆様の安心した生活につながるよう「奈良県版 道路防災点検の手引き(案)」に反映したい。

参考文献

- 1) 防災カルテ作成・運用要領[平成8年12月 発行(国土交通省)]
- 2) 道路防災点検講習会関連資料[一般社団法人 全国地質調査業協会連合会]
- 3) 道路防災点検の手引き(豪雨・豪雪)-DXに向けたチャレンジ-[令和4年3月 発行(一般社団法人 全国地質調査業協会連合会)]
- 4) 奈良県道路斜面防災点検検討委員会 資料(第1回～第4回)
- 5) 奈良県版道路防災点検の手引き(案)
- 6) 熱赤外線映像法による吹付法面老朽化診断マニュアル
[平成8年1月 発行(国立研究開発法人 建設省土木研究所)]
- 7) 国土地理院ホームページ
(https://www.gsi.go.jp/uchusokuchi/sar_mechanism.html)

下水道事業における 省エネ・創エネの取り組みについて

須方 勝義

兵庫県 土木部 上下水道課 (〒650-8567兵庫県神戸市中央区下山手通5-10-1)

兵庫県では、下水の安定的な処理を実現するため、老朽化した下水処理施設の改築更新を進めている。一方で、地球温暖化防止の観点から、こうした改築更新を行う際には、設備の省エネ化・創エネ化を検討して消費電力の削減に努めることとしている。本論文では、今後の下水処理施設の改築更新において、どのように消費電力の削減に取り組んでいくかについて述べる。

キーワード 下水処理, 省エネ・創エネ, ストックマネジメント計画

1. はじめに

1980年代に建設のピークを迎えた下水処理施設は、老朽化が進んでおり、兵庫県では、下水の安定的な処理を実現するため、ストックマネジメント計画に基づき、順次これらの施設の改築更新を進めている。一方で、地球温暖化防止の観点から、2021年に閣議決定された地球温暖化対策計画の中で、下水道分野における2030年度の温室効果ガス排出量を2013年度比で208万t削減する目標が掲げられ、消費電力の削減が求められている。そこで、本県における下水処理施設の改築更新を行う際には、設備の省エネ化・創エネ化を検討して消費電力の削減に努めることとしている。

本論文では、本県における今後の下水処理施設の改築更新において、どのように省エネ・創エネに取り組んでいくかについて述べる。

2. 本県の下水処理施設の電力使用状況と電力削減の優先順位

(1) 水処理施設について

本県で管理している流域下水道の水処理施設である武庫川上流浄化センターは、下水道管路を流れてきた汚水を処理し、河川に放流するための施設である。

当該施設では、反応タンクに汚水を流入させ、反応タンク内に存在する活性汚泥と呼ばれる微生物に酸素を供給し、微生物の活動を活性化させることで汚水を処理している(図-1)。

当該施設で使用している電力は大きく分けて、施設に流入してきた汚水を汲み上げる「揚水用」の電力、処理水槽の底面に沈殿した汚泥を掻き寄せる「掻き寄せ機用」の電力、反応タンク内に空気を送るための「送風機

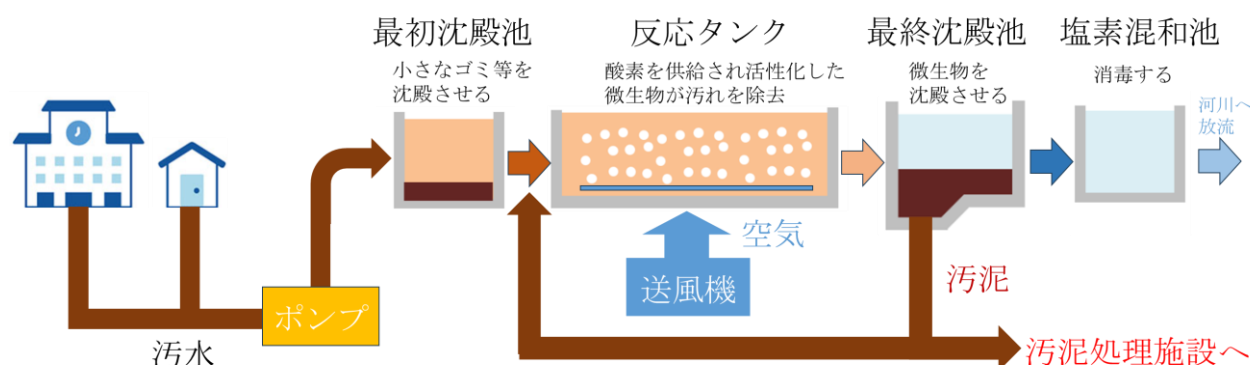


図-1 武庫川上流浄化センターの汚水処理フロー

用」の電力、汚水を処理する際に発生した下水汚泥を汚泥処理施設へ送るための「送泥用」の電力、「照明その他」の電力があり、「送風機用」の電力が46%と最も大きく（図-2）、当該施設の電力削減には「送風機用」の電力の削減が効果的であることが分かる。

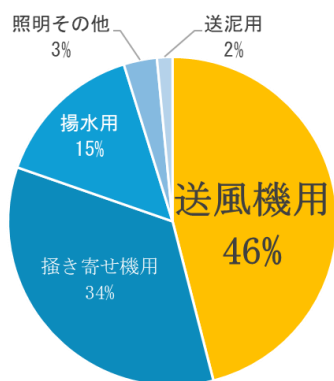


図-2 水処理施設の電力内訳 ¹⁾

(2) 汚泥処理施設について

本県で管理している流域下水道の汚泥処理施設である兵庫東流域下水汚泥広域処理場は、水処理施設で発生した汚泥を濃縮、脱水、焼却する施設である。

当該施設で使用している電力は大きく分けて、汚泥を濃縮・脱水するための「汚泥処理用」の電力、汚泥を焼却するための「焼却炉用」の電力、「照明その他」の電力があり、「焼却炉用」の電力が57%と最も大きく（図-3）、汚泥処理施設の電力削減には、「焼却炉用」の電力の削減が効果的であることが分かる。

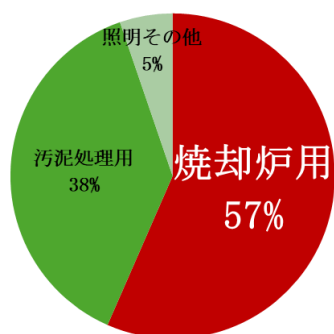


図-3 汚泥処理施設の電力内訳 ¹⁾

3. 省エネ及び創エネについての課題と対応

電力削減の手法として、省エネ・創エネ設備への改築更新とポンプの運転台数の見直し等、運転管理の最適化の二種類の手法がある。電力削減に取り組んでいる他の都道府県では、その二種類の手法を別々に用いて電力削減を行っているケースがあるが、本県では、施設安定稼働の観点から、老朽化設備の更新を行う際に更新設備の省エネ化と関連設備の運転管理の最適化を併せて行っている。ただし設備の創エネ化については、システムの大幅な変更を伴うため、検討する機会は多くない。

(1) 省エネについての課題と対応

神戸市北部、西宮市北部、三田市の下水処理を担う武庫川上流浄化センターでは、散気装置（図-4）と散気装置に空気を供給する送風機（図-5）が設置後30年が経過し、老朽化していたことから、施設の安定稼働と省エネを両立できる設備に更新する必要がある、更新機種の選定が課題となっていた。

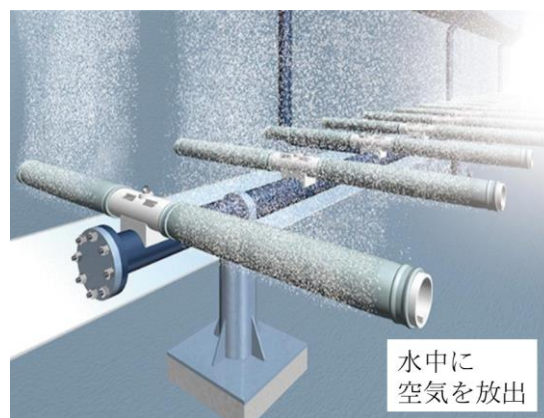


図-4 散気装置 ²⁾

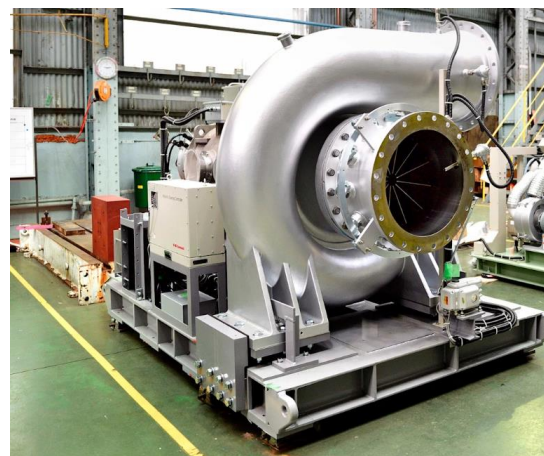


図-5 送風機 ³⁾

a) 散気装置の機種選定

散気装置の機種選定をするにあたり、酸素移動効率、圧力損失、維持管理性、実績の観点から検討を行った。

酸素移動効率は水中に供給された空気のうち、実際に水に溶け込んだ酸素の割合を示す指標であり、酸素移動効率が高ければ、その分送風機から供給する空気を減らすことができ、電力削減につながる。また、圧力損失は散気装置から空気を水中に放出する際の抵抗であり、圧力損失が小さければ送風機の動力を低減でき、省エネにつながる。

検討の結果、微細な気泡の発生により酸素移動効率を大きくでき、圧力損失も小さく省エネ性に優れ、維持管理性と実績においても優位であり、施設安定稼働につながるとの考えから、低圧損型メンブレンパイプ式散気装置を選定することとした（図-6）。

b)送風機の機種選定

送風機の機種を選定するにあたり、省エネの指標である総合効率、重量、維持管理性、イニシャルコストと20年間のランニングコストを含めたトータルコストの観点

から検討を行った。なお、既設の送風機は単段ターボブロアであり、更新機器の重量が既設よりも大きくなる場合は、別途構造計算により建物の構造が送風機の重量に耐えられるかどうか複雑な検討が必要となる。

検討の結果、羽根車の回転軸を磁気で浮上させて運転を行うことから、軸と軸受けの摩擦によるエネルギー損失が少なく高効率であり、重量、維持管理性、トータルコストも優位となる高速軸浮上式ターボブロアを選定することとした（図-7）。

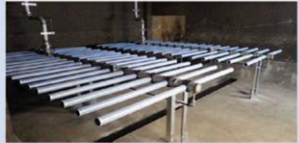
	高密度配置型散気装置		低圧損型メンブレンパネル式散気装置		低圧損型メンブレンパイプ式散気装置	
						
酸素移動効率	23%	△	26%	○	26%	○
圧力損失	8.5kPa	△	6.0kPa	○	6.0kPa	○
維持管理性	・常に送気する必要あり ・目詰まりしやすい	△	・目詰まりしにくい ・交換がしにくい	○	・目詰まりしにくい ・交換がしやすい	◎
実績	・多数採用されている	△	・近年採用が増えている	○	・近年採用が増えている	○
総合評価 ◎；3点 ○；2点 △；1点	△ (4)		○ (8)		◎ (9)	

図-6 散気装置の機種選定

	多段ターボブロア		単段ターボブロア		高速軸浮上式ターボブロア	
						
総合効率	70%	○	67%	△	71%	◎
重量	13,000kg	△	8,400kg (既設と同等)	○	7,600kg	◎
維持管理性	・力率改善対策が必要	△	・補器類が多い ・力率改善対策が必要	△	・補器類が少ない ・力率改善対策が不要	◎
トータルコスト (20年)	905,420千円	○	927,625千円	△	891,635千円	◎
総合評価 ◎；3点 ○；2点 △；1点	○ (6)		△ (5)		◎ (12)	

図-7 送風機の機種選定

(2) 創エネについての課題と対応

武庫川上流・下流域下水道及び尼崎市、西宮市、芦屋市の公共下水道の汚泥処理を担う兵庫東流域下水汚泥広域処理場では、2、3号焼却炉が老朽化しており、汚泥の安定処理及び創エネを目的とした改築更新として、2021年（R3年）より約500億円をかけて消化施設及び固形燃料化施設の建設を行っている。本施設は官民連携により、汚泥から消化ガス（バイオガス）を取り出すとともに固形燃料化を行い発電に利用するものである（図-8）。

本施設の建設は、設計と工事監理を日本下水道事業団に委託し進めているが、更新範囲と工事規模が大きいため、県が直営で管理している他工事へ影響する部分もあり、工事間の調整が課題である。

課題への対応として、今後予定される工事の設計の委託仕様書に本工事との関連する部分について、本工事への影響を十分検討した上で、設計に反映する旨を記載し、関連部署と協力の下、設計を進めることとしている。また、現在進行中の工事については、月に一度の安全協議会で処理場内の通行規制、停電、設備停止に伴う汚泥の受入停止等の情報を共有し、工事間の調整不足によるトラブルを未然に防止することとしている。

4. 今後の方策について

(1) 省エネについて

武庫川上流浄化センターにおける散気装置及び送風機の更新により、汚水1m³あたりを処理するための電力使用量である電力原単位(kWh/m³)が2018年（H30年）に対し2024年（R6年）は8.6%低減できており、省エネ効果があることが確認できた（図-9）。

今後は散気装置及び送風機の更新が必要な他処理場においても今回の内容を水平展開していき、本県が管理する処理場の省エネを進めていく。

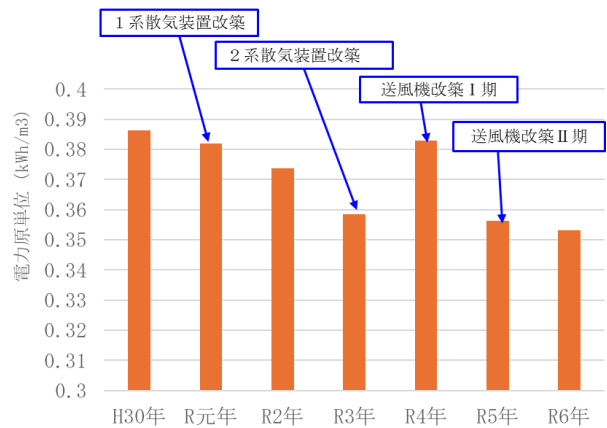
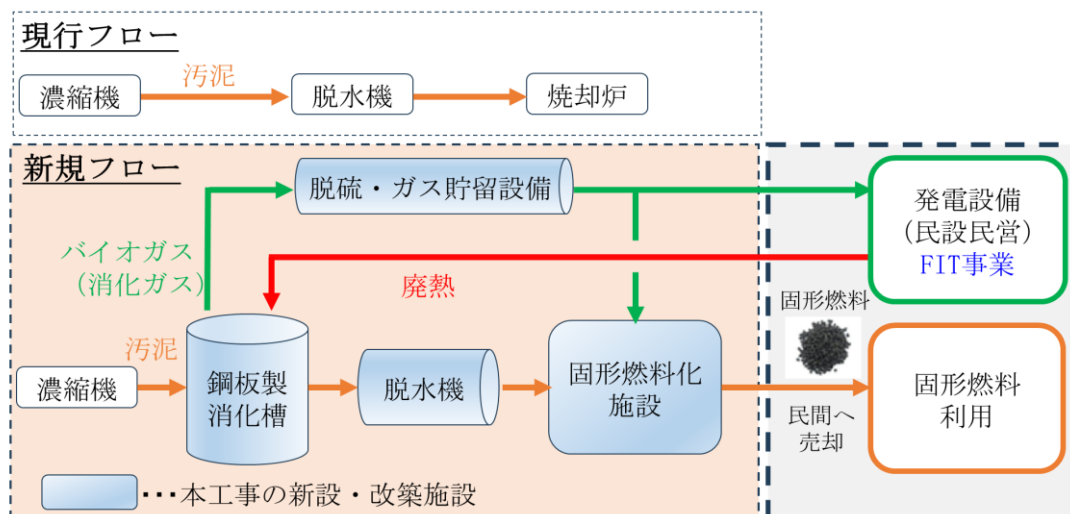


図-9 武庫川上流浄化センターにおける電力原単位

(2) 創エネについて

兵庫東流域下水汚泥広域処理場の消化施設及び固形燃料化施設は2027年（R9年）12月末に本格稼働を開始する予定であり、稼働開始後は、消化ガスを用いた発電により年間15,000MWh（約4,600世帯分）の発電量と火力発電所の補助燃料として9,900t（発熱量；約11MJ/kg）の固形燃料が得られ、年間14,600tのCO₂（22,000世帯分）を削減できる見込みである。引き続き他工事との調整や設計への反映を行っていきトラブルの未然防止に努めるとともに、今後予定している兵庫西流域下水汚泥広域処理場の熔融炉や加古川上流浄化センターの焼却炉の改築工事へ情報共有を行う。



5. おわりに

本論文の作成にあたり，下水処理施設の省エネ・創エネは効果が大きく，まだまだ実施の余地があることを知ることができた．また，下水処理の技術はまだまだ発展途上であり，消化ガスから水素を取り出す技術等，多数の新技術の開発が進められている．このような新技術にもアンテナを張りながら，下水処理の安定処理とさらなる省エネ・創エネに努めていきたい．

6. 参考文献の引用とリスト

- 1) 公益財団法人 兵庫県まちづくり技術センター HP 「下水道事業管理年報」
https://www.hyogo-ctc.or.jp/business/sewer_6/
- 2) 住友重機械エンバイロメント株式会社 HP 「メンブレンパイプ式超微細気泡散気装置「ミクラス」」
https://www.shiev.shi.co.jp/business/sewer/water_treatment/mikurasu.html
- 3) 川崎重工業株式会社 HP 「ANSWERS POWERED BY KAWASAKI」
<https://answers.khi.co.jp/ja/energy-environment/20201031j-01/>
- 4) 株式会社神鋼環境ソリューション HP 「神鋼環境ソリューション技報」
https://www.kobelco-eco.co.jp/development/docs/037_10.pdf

大和川流域における自助・共助を軸とした防災 行動実現に向けた実践的支援

松本 侃大¹

¹近畿地方整備局 六甲砂防事務所 総務課 (〒658-0052兵庫県神戸市東灘区住吉東町3-13-15)

近年、施設能力を上回る洪水が頻発する中、社会全体で洪水に備える取組が不可欠となっているが、住民や要配慮者利用施設職員等が、水害リスクを「自分事」として捉えられる環境づくりが不足している。そこで、今後の職員数減少や働き方改革に適応し、行政主導から住民等主体（By ALL）の防災体制へ転換することを目的に、各主体が自律的に活用できる各種ツールを整備した。本稿では、これらツールの活用を通じた水害リスクの自分事化の推進基盤の構築における有効性と、今後の展望について考察し報告する。

キーワード 自助・共助, By ALL, 水害リスクの自分事化, 自走化, 持続可能性

1. はじめに

近年、全国的に施設能力を上回る洪水が頻発しており、「施設の能力には限界があり、施設では防ぎきれない大洪水は必ず発生するもの」という前提のもと、社会全体で洪水に備える取組が重要視されている。その中で、平成27年12月「水防災意識社会再構築ビジョン」策定では、住民一人一人が自然災害に対する「心構え」と「知識」を備えることが社会全体で求められている。

大和川流域においても、平成28年4月に減災対策協議会を設置し、“避難・防ぐ・回復”の3本柱のもとで防災知識の習得やマイ・タイムライン作成支援等を実施してきた。協議会設立から約10年が経過した現在、国土交通省の「水害リスクを自分事化し、流域治水に取り組む主体を増やす流域治水の自分事化検討会」が示す通り、各主体における「水害リスクの自分事化」への深化がより一層求められている。

こうした背景を踏まえ、大和川河川事務所では各種防災講座に加え、水防災に興味を持つ動機付け（きっかけ作り）を提供するため、親しみやすく楽しめる『防災アニマル診断』を用いた啓発活動を展開し、水害リスクの自分事化を推進している。しかし、これら取組は、今後の働き方改革や職員数減少に伴い縮小を余儀なくされる懸念があり、行政主導から住民主体（By ALL）へ移行するための基盤構築が不可欠である。

そこで本稿では、住民主体（By ALL）への移行および各主体が自助・共助を軸とした防災行動を実践するための基盤構築の有効性と、今後の展望について考察する。

なお、ここで言う「自助・共助」とは、単に行政の啓発活動を受動的に受け入れて防災行動を実践することに

留まらず、各主体が水害リスクを自分事化し、行政に依存することなく自律的・継続的に活動を展開できる状態（自走化）を指している。

2. 住民防災意識の現状

大和川河川事務所では、住民の水害リスクの自分事化を見据え、表-1のWEBアンケート調査（平成30・令和2・6年度）により防災意識を経年把握している¹⁾。本調査は防災への興味に左右されにくく、無関心層の回答も期待できる特徴を持つ。図-1の分析結果を比較すると、全体的な意識構造の劇的な変革には至っていないものの、自治体・河川事務所の取組により、令和6年度はPhase1（無関心層）の割合が減少し、率先避難者が増加傾向にあるなど、緩やかな意識の底上げが確認されている。

表-1 アンケート概要

項目	大阪府域	奈良県域
対象	8市	24市町村
サンプル	800サンプル	400サンプル
	計1200サンプル(精度5%, 信頼度95%)	
実施期間	①H31.1/18~23 ②R2.9/1~6 ③R6.10/18~23日	

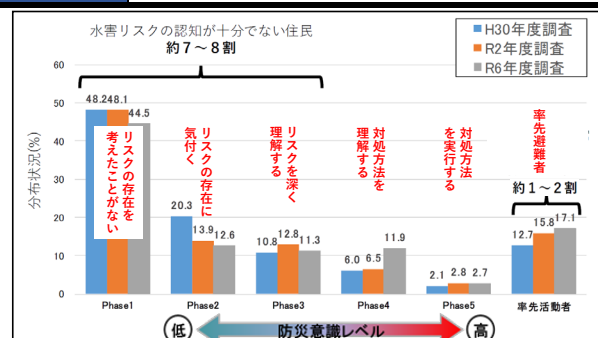


図-1 大和川流域の住民防災意識の分析結果

3. 自助・共助を軸とした「防災行動」の方向性

2章で示した通り、経年的な啓発活動により住民の防災意識は緩やかな底上げ傾向にあるものの、無関心層の意識向上や率先避難者の定着には至っていないのが現状である。この課題を打開し、「住民が主体となって自らを守る（By ALL）」体制への転換を確実なものとするため、大和川河川事務所では、従来の座学や分厚い冊子による画一的な啓発から脱却し、無関心層を含む全世代を巻き込むアプローチへと舵を切った（図-2）。

このような背景のもと、令和8年度から令和12年度を対象とする「大和川の減災に係る第3期取組方針」では、これまでの知見と住民意識調査を踏まえ、各構成機関が取り組むべき重点項目として、①「リスク認知の契機創出」、②「地域防災力の段階的向上」、③「リーダー育成と共助の仕組みづくり」の3方向を新たに提示した。

この第3期取組方針に掲げられた3つの方向性を具体的に現場で実践・定着させるため、住民の行動変容プロセスに着目した「3段階引き上げモデル（図-3）」を整理し、住民や施設職員の関心・習熟度に応じて、段階的な目標を「動機付け（Step1）」、「理解・当事者意識（Step2）」、そして行政に依存しない「自走・継続（Step3）」の3段階で整理したものである。これらは、第3期方針に掲げる①～③の重点項目にそれぞれ対応している。

次章では、本モデルの各ステップに基づき、行政の役割を「教える立場」から「気づきを提供する伴走者」へと変革させるために整備・実践した各種ツールとその有効性について述べる。

比較項目	アプローチ対象	行政の役割	最終ゴール
従来の防災啓発	防災に興味がある層に偏る	教える・計画を作らせる	知識の伝達・イベント実施
↓	↓	↓	↓
住民等主体に向けた防災啓発	無関心層を含む全世代・地域全体	気づきの場を提供し、環境を整備	当事者意識の醸成と、自律的な行動の継続

図-2 従来の防災啓発と住民等主体に向けた防災啓発の特徴



図-3 3段階引き上げモデルの概念

4. ツール構築と行政の役割変革

従来の知識や計画を一方的に「教える立場」という従来の役割から、住民や要配慮者利用施設等職員一人ひとりの自発的な活動を促す「気づきの場を提供する伴走者」へと行政の役割変革を遂げる必要がある。住民等が個別のリスク状況に応じて、自律的に防災活動を展開できるよう、本取組では以下のステップに応じたツールの整備および活用を行った。

(1) 家庭内での自走を目指した教育教材（Step1）

全世代を巻き込む初期段階（Step 1：動機付け）として、次世代を担う児童を対象とした防災教育が有効である。水防災に関する内容は小学校の各学年（4年生の社会科、5年生の理科、4～6年生の総合的な学習の時間）で扱われる。大和川河川事務所では、小学校等からの出前講座を受け付けており、令和7年度においては、9月から11月の期間に流域内の小学校8校を訪問している。

さらに今後、流域内での防災意識の底上げをさらに加速させることが求められるが、すべての学校に対して行政職員が直接アプローチを継続することは、組織のマンパワーの観点から限界があった。

そこで、行政職員による出前講座に依存せず、家庭内で児童と保護者が自主的に水防災を学べる環境を整えるため、夏休みの自由研究等との連動を想定した自己学習型の避難計画キット『もしものための大和川流域の防災学習ノート』を開発した（図-4）。本ノートは、直感的なイラストやステップごとのクイズを配置することで、専門家の解説がなくても児童自らが大和川のリスクを理解し、家族固有の避難計画を書き進められる仕様とした。

本ツールは、600名程度が参加した商業施設でのイベント等を通じて児童・保護者等参加者へ配付され、行政職員が直接対面で説明せずとも、キットの解説に沿って家庭内で自発的にマイ・タイムラインが作成する環境を整備した。その結果、出前講座という『点』の啓発から、家庭内での自走という『面』の展開への足がかりを得た。



図-4 小学生向けの避難計画キット

(2)自治体・地区の自走を目指したツール (Step1)

全世代を巻き込む初期段階 (Step 1: 動機付け) では、特定の層にだけアプローチする仕組みは望ましくない。

従来の地域イベントへの参画や防災講座等では、参加者が高齢者層や防災に関心のある層に偏る傾向にあった。そこで、商業施設等の日常動線上の施設や地域イベント等の「非防災空間」にて全世代の関心を惹くため、動物のイラストを用いた「防災アニマル診断」を作成している²⁾。これまでに計20回の地域イベント等で防災アニマル診断のブースを出展し、啓発活動を実施している。

さらに今後、流域自治体や地域主体による自発的なイベント等へ本診断の出展機会を拡大していくにあたり、従来の『行政職員の現地常駐』を前提とした運用では、職員の労働力的な負担がボトルネックとなり、啓発機会を喪失する懸念がある。そのため、河川管理者のリソースに依存せず、出展希望者が自律的に運営できる仕組みへの転換が求められた。

そこで、職員を常駐させない『完全無人運営』を可能とする自己完結型のバナースタンドを作成した (図-5 左)。これにより、行政側は資材の事前手配・調整のみを担い、当日の運営は地域側とツール自体の誘引力に委ねることで、現場負担が少なく、持続可能な運用の仕組みを確立した。

結果、藤井寺市が地域イベント (図-5右) で、王寺町が地域防災訓練にて、完全無人ブースによる出展を行い、それぞれ83名 (令和7年11月23日)、63名 (令和8年3月23日) の回答が行われた。19歳未満の若年層から80歳以上の高齢層まで幅広い年代が自然と立ち止まり診断が実施された。これにより、従来1イベントあたり最低2名動員していた現場への職員派遣をゼロに削減し、行政の業務負担を事前調整のみに極小化しつつ、無関心層へのアプローチ力を維持する持続可能な啓発モデルを確立した。



図-5 ふじいでら市民まつり2025における展示のようす

(3)住民の当事者意識創出を目指したツール (Step2)

住民主体への移行において、ステップ2 (理解・当事者意識) は、単なる知識の習得を具体的な行動変容へと繋げるための極めて重要なフェーズである。住民自身が

リスクを「自分事」として正しく認識し、必要性を感じて取り組まない限り、持続的な自走は期待できない。従来の冊子形態 (「逃げキッド」等) で、当事者意識創出を促進することは可能であるが、情報量が多く、かつ水防災に詳しい人の補助がない限り、作成することが困難なツールとなっている。

さらに今後、水害リスクの自分事化をさらに推進するためには、自治会等の地区単位での草の根的なマイ・タイムライン講習会の普及が求められる。しかし、従来の冊子形式のツールは情報量が多く、河川管理者が講師として伴走・補助しなければ作成が困難であり、今後の需要増に対して事務所職員のマンパワーのみで対応することには構造的な限界があった。

そこで、従来の冊子形態 (『逃げキッド』等) が抱えていた情報量の多さと専門性の高さを解消するため、記述内容を必要最小限に厳選し、住民が直感的に書き込める『ノート形式』へのスリム化を図った (図-6)。さらに、これまで行政職員 (講師) が口頭で行っていた解説プロセスを代替するため、生成AIを用いた直感的かつ標準的な『マイ・タイムライン作成解説動画 (図-7)』をセットで開発した。それにより、専門知識を持つ講師が不在であっても、住民同士でマイ・タイムラインを完成させられる環境を整備した。

取組の結果、王寺一丁自治会での講習会において、生成AI動画とノートを活用することで、水防災の専門知識を持たない住民自身が、個別の補助なしで能動的に避難計画を書き進めることが可能となった。行政側も講義内容の標準化により説明時間を大幅に短縮でき、住民の主體的な作業と行政の負担軽減を両立した効率的な講習スタイルを実現した。

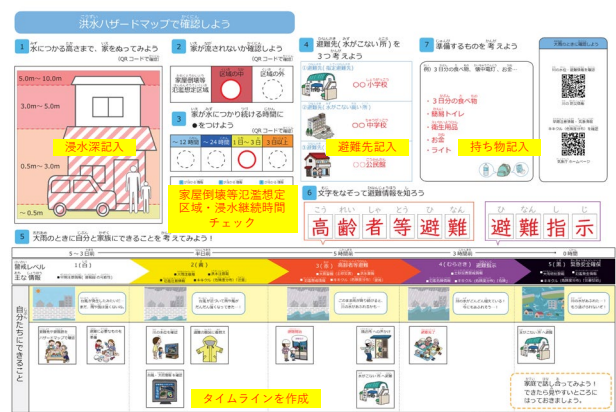


図-6 マイ・タイムラインノート



図-7 マイ・タイムライン作成解説動画のイメージ

(4)施設職員の当事者意識創出を目指したツール (Step2)

近年の法改正に伴い、要配慮者利用施設は避難確保計画の作成や訓練の義務化されている。そうした要配慮者利用施設職員主体への移行するためには、ステップ2

(理解・当事者意識)は、単に避難確保計画の作成を達成とせず、具体的な行動変容へと繋げ、実効性を伴う計画とするための極めて重要なフェーズである。実効性を伴うものとするためには、河川管理者による伴走的な助言が求められる。しかし、施設ごとに異なる勤務体制

(夜間の人員不足等)や要配慮者の特性に対し、河川管理者が個別具体的にオーダーメイドの指導を行うことは物理的・専門的に困難であり、施設職員自らが主体的に検証できる汎用的な教材の整備が急務であった。

さらに今後、河川管理者に対して避難訓練への助言や指導の要請が増加した場合、全施設に対して個別具体的に対応することは事務所職員のマンパワーの観点から極めて困難であった。

そこで、専門的な知識がない施設職員でも、自施設の実態(夜間体制等)に応じたタイムラインを自律的に検討・検証できる『要配慮者利用施設タイムラインシート』および『行動シール』を開発した。タイムラインの各局面に必要な行動(誘導、連絡、備蓄確認など)をシート上に記入していくワーク形式(図-8)とすることで、施設内の各班(情報連絡班・避難誘導班等)の連携の連動性や、人員配置の矛盾に職員自らが気づくことができる設計とした。また、本教材は他流域でも即座に応用可能な『汎用型防災教材』としてパッケージ化した。

取組の結果、東住吉区の施設における訓練において、施設タイムラインシートを用いることで、施設職員自らがタイムライン形式で、『総括指揮者』『情報連絡班』『避難誘導班』『装備品等準備班』の行動を書き出し、行政が個別指導せずとも、施設側が主体的に避難行動を検証できる汎用型教材としての有効性が実証された。

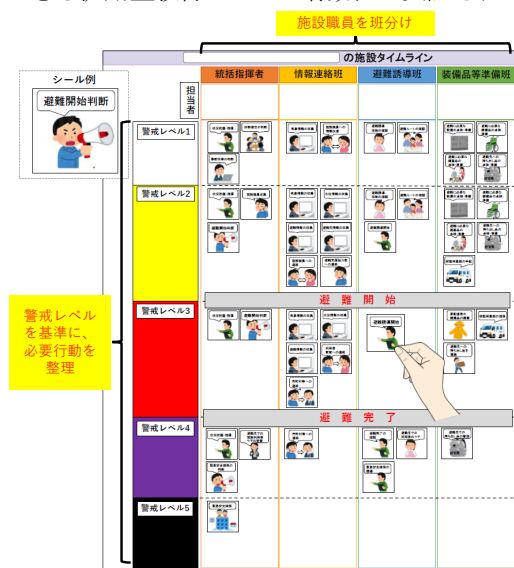


図-8 要配慮者利用施設の避難訓練に係るツール

(5)地域コミュニティの自走・継続を目指した対話型教材 (Step3)

ステップ3(自走・継続)では、自走している枠組みの中で地域リーダーや施設職員が中心となり、行政は地域や組織が自律的に回り続ける環境を裏から支援することが想定される。しかし、従来の行政主導の一方通行な講習スタイルに依存し続ける限り、地域や組織が自立して継続的な防災活動を展開するための対話ノウハウを各主体が獲得することは困難であった。

そこで、行政の介入を最小限に抑えつつ、組織や地域が自律的に防災課題を解決し続けられるよう、参加者同士の能動的な対話を促す『対話型ワールドカフェ教材』を整備した。具体的には、要配慮者利用施設の避難訓練に係る講習会の場を活用し、役職や立場の上下にとらわれず対等に意見を交わせる試行プロセスを導入した(図-9)。ここで蓄積された「問いの立て方」や「気づきを引き出す進行ノウハウ」を汎用的な教材としてパッケージ化し、各自治体や施設が自律的にワークショップを運営できる環境を整えた。

取組の結果、本教材を用いた要配慮者利用施設の講習会においては、職員同士の緊密な対話を通じて、「夜間における避難誘導人員の致命的な不足」といった、個別かつ潜在的な脆弱性を施設職員自らが「自己発見」する契機となった(図-10)。さらに、大和川流域減災対策協議会等の行政担当者会議の場でも同方式を試行したところ、多様な意見をいただくことができ、地域や組織が自律的に回り続ける環境が確立された。



図-9 意見交換会の様子(要配慮者利用施設)



図-10 意見交換会の様子(行政担当者)

5. まとめと今後の展望

(1)まとめ

本報告では、近年の激甚化する豪雨災害や、今後の行政における職員数減少・働き方改革といった社会情勢の変化に対応するため、行政主導から住民主体（By ALL）の防災体制への転換を目指し、「3段階引き上げモデル」に基づく実践的支援およびツールの整備・運用を行ってきた。本取り組みを通じて得られた知見および有効性は以下の通りである。

①行政負担の極小化と持続可能な運用の確立（step1）

従来の「教える立場」から「気づきの場を提供する伴走者」へと行政の役割をシフトさせ、資材の無人貸出化や生成AI動画の活用、教材の簡素化を図った。これにより、行政側の業務負担を事前調整や資材管理のレベルにまで極小化しつつ、啓発の機会や質を維持・向上できる持続可能な運用モデルを確立した。

②各主体における「自分事化」と当事者意識の醸成（step2）

児童を介した家庭内への「面の展開」（Step1）、完全無人ブースによる幅広い無関心層へのアプローチ（Step1）、専門知識を要しないノート形式でのマイ・タイムライン作成（Step2）などにより、住民が能動的に水害リスクを認識し、自発的に行動を起こすための基盤を構築した。

③ 対話を通じた潜在的脆弱性の「自己発見」と自走化（step3）

要配慮者利用施設における「施設タイムラインシート」や、参加者同士の能動的な対話を促す「対話型ワールドカフェ教材」（Step3）の導入により、施設職員自身が主体的に訓練を検証・継続できる自走体制を構築した。これら一連のプロセスを通じ、行政依存を脱却し、地域や組織が自律的に回り続ける環境が確立されたことを確認した。

(2)今後の展望

今後は、本報告で構築した各ツールの有効性をさらに

高め、流域全体へ定着・波及させるため、以下の点に重点を置いて取り組む。

①流域内における「面的展開」の加速と定着

開発した各種ツール（防災学習ノート、アニマル診断無人ツール、施設タイムライン等）を、大和川流域内のより多くの自治体、教育機関、要配慮者利用施設へと横展開する。行政の介入をさらに抑えつつ、地域の防災リーダーや施設管理者が主体となってこれらツールを自律的に運用し続けられるよう、サポート体制の最適化を図る。

②同一氾濫域への汎用的展開

「施設タイムラインシート」や対話型教材は、同一の氾濫域を持つ他河川流域へも即座に応用可能な「汎用型防災教材」としてのポテンシャルを有している。大阪府や奈良県管理河川流域への展開を進め、モデルケースとしての普及を目指す。

③デジタル技術等のさらなる活用とツール改訂

生成AIを用いた解説動画の改善や、住民・施設職員からの意見・要望を基にしたツールの継続的なアップデートを行う。これにより、変化する社会環境や多様化する地域ニーズに即した、より精度の高い行動変容プロセスを確立していく。

謝辞：本稿の作成にあたり、協力いただきました関係各位に、感謝申し上げます。

巻末：本論文は、従前の配属先（大和川河川事務所）における所掌内容を課題として報告したものである。

参考文献

- 1) 竹村仁志，片岡輝之，山下健作，高野瑞己，松岡 一成：水防災意識社会再構築の実現に向けた減災対策の方向性，第 78 回土木学会年次学術講演会講演概要集 第2部門，II-131，2023
- 2) 伊藤瑞基：水害に対する住民の防災意識に資する取組について：令和6年度近畿地方整備局研究発表，一般部門（安全・安心）Ⅱ：No15，2024

スレーキングが生じる土砂を使用した盛土の品質管理方法について

水野 雄介¹, 池田 遼²

¹珠洲市 環境建設課

²高島土木事務所 道路計画課

本工事は、高島市朽木荒川に位置する国道367号において過年度に実施した地山補強土工事にて発生したすべりに対し、大型土のうによる暫定仮設にて供用している状態から、恒久対策を施し道路を構築する工事である。現在施工中の1期工事は、既設河川の振替を行い抑え盛土を構築する。抑え盛土は、河川振替時に生じる床掘土等を利用して構築する計画となっている。一方、本施工箇所は花折断層が施工箇所付近を通過しており、断層の影響による破碎帯が多数存在し、床掘土の約9割はこの破碎帯層を含む。またこの破碎土は、スレーキングが生じることが判明した。今回、このスレーキングが生じる土を抑え盛土として利用する際の品質管理等の方法について紹介する。

キーワード 花折断層, 破碎帯, スレーキング, 品質管理

1. はじめに

(1) 施工箇所の特徴

a) 地理的特徴

本施工箇所である国道367号は、京都府京都市下京区から滋賀県高島市を經由して、福井県三方上中郡若狭町に至る総延長70.5kmの一般国道である。

本施工箇所は、滋賀県高島市朽木荒川の国道367号と慕谷川が交差する箇所であり、付近に花折断層が存在する。

既往資料によれば、花折断層は慕谷川に沿って南北に走るとされており、本施工箇所と重ね合わせると、花折断層との交点になっている(図-1)。

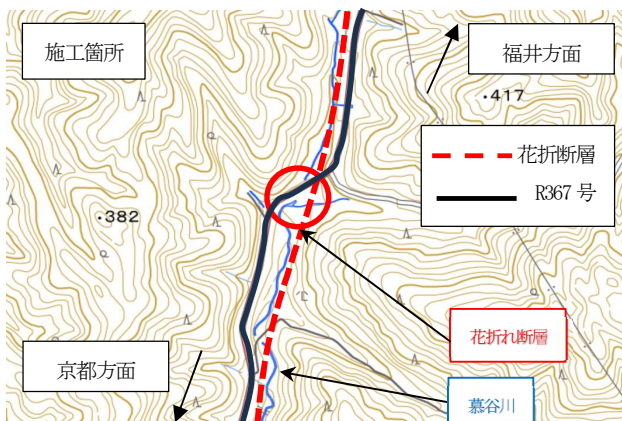


図-1 位置図

b) 地質的特徴

花折断層を境として、西の朽木山地と東の比良山地に区分される。周辺に分布する丹波帯礫川コンプレックスは、主に混在岩相 (Mx) とチャート層が繰り返し露出する特徴が認められる。ボーリング調査の結果では、現在の国道367号は10m程度の盛土層 (B) 下部に礫川コンプレ

ックスの堆積帯である混在岩相 (Mx) が分布することが確認された。また盛土層 (B) は、混在岩相 (Mx) を主体とする盛土と考えられ、盛土内のスレーキングや風化が進み、土砂化していると考えられる。混在岩相 (Mx) は、亀裂が多く破碎している。一部では角礫上コアが主体となり、N値50以上の非常に硬い岩質となっている。

掘削および床掘後に確認した混在岩相 (Mx) は、指で触ればボロボロと崩れてくる頁岩であり、浸水部分は概ね土砂化 (スレーキング) していた (図-2)。



図-2 現場の土質 (混在岩相 (Mx) の状況)

c) 本工事の目的

令和元年度に行った道路拡幅に伴い設置した構造物が施工中に滑動し、現在は、滑動を止めるため大型土のうが設置された状態で道路供用されている。今回の工事では、大型土のうによる仮設から慕谷川を付替えし、抑え盛土を行い滑動を停止させることを目的とした本設工事である。

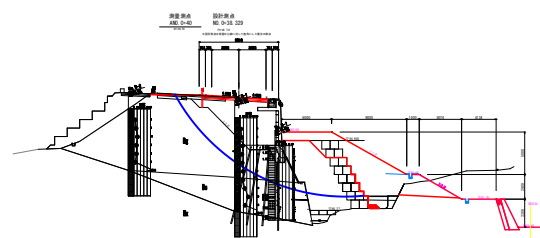


図-3 標準横断面図



図4 ドローンによる現場写真

d) 現場の状況

令和7年4月8日、施工中に仮設の大型土のうの一部が崩壊し、早急に対策工を実施した。また掘削による切土法面が雨水等の浸入により崩壊し、ブルーシート等で対策を行った。このように、施工現場の変状に気を付けながらの施工となっている。ただ、道路側に設置した常時監視データでは、道路自体に大きな変状は見られないことから、令和元年度の活動とは別の要因で、施工現場の変状が起きていると考えられる。



図-5 現場の変状の様子

(2) 本研究の背景・現状

上記の通り、本施工箇所から生じる掘削および床掘により発生する土砂は、スレーキングが生じる土砂（軟岩）である。その土砂を利用して、道路本体のすべりを抑える抑え盛土、各種構造物の埋戻および路体・路床盛土の材料とする計画である。

(3) 本研究の目的

本研究の目的は、このスレーキングが生じる土砂を抑え盛土や埋戻土等に使用する場合における品質管理方法について、計画・調査・検討を行うことである。合わせて、現場にて試験施工等を行い、その結果から評価等を行い、現場に採用するものである。

2. 課題

(1) スレーキングが生じる土砂を使用した盛土の特殊性の把握と対策の検討

スレーキングが生じる土砂を使用した盛土は、通常使用する土砂や軟岩等と比較して、安定性が低下する。例えば、平成21年に発生した東名高速道路牧之原地区の盛土法面崩壊（図-1）では、泥岩がスレーキングにより強度低下したことが崩壊原因の1つと考えられている。

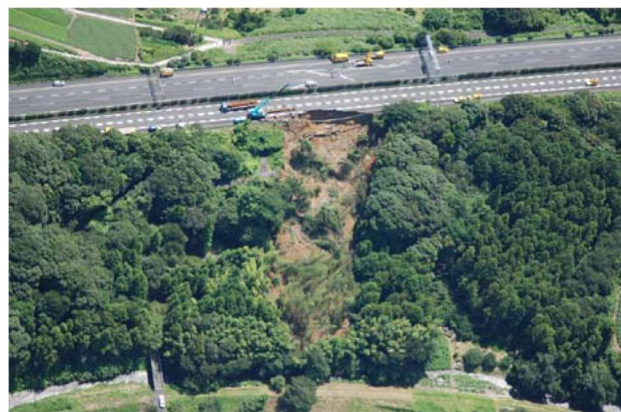


図-6 東名高速道路 盛土のり面崩壊

一般的に、盛土は時間とともに安定化していくが、脆弱岩では、強度低下のほかに長期間にわたって盛土の沈下が発生することがある。盛土の沈下は走行性が悪くなるだけでなく、排水構造物に変形や破損が生じ、盛土内への水の浸入を許してしまう危険性がある（図-2）。これらの事例を鑑みて、スレーキングが生じる土砂を使用した盛土の特殊性を把握し、対策工を検討することが課題である。

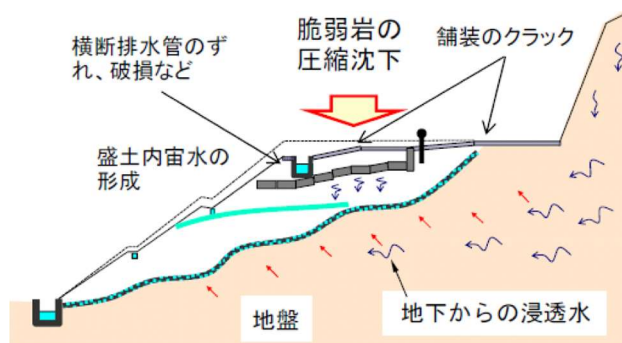


図-7 脆弱岩盛土の変形模式図

(2) スレーキングが生じる土砂を使用する場合の品質管理・規格値の設定

通常、滋賀県における盛土の品質管理とは国土交通省近畿地方整備局の土木工事施工管理基準及び規格値（案）を使用する（表-1）。例えば、道路土工における路体盛土の場合、最大乾燥密度の90%以上、路床盛土の場合、最大乾燥密度の95%以上を満足することが品質管理基準となっている。

表-1 土木工事施工管理基準及び規格値（案）の抜粋

工種	試験項目	規格値
道路土工	現場密度の測定	【砂質土】 ・路体： 次の密度への締固めが可能な範囲の含水比において、1管理単位の現場乾燥密度の平均値が 最大乾燥密度の90%以上 （締固め試験（JIS A

	1210) A・B法) ・路床及び構造物取付け部: 次の密度への締固めが可能な範囲の含水比において、最大乾燥密度の95%以上(締固め試験(JIS A 1210) A・B法)もしくは90%以上(締固め試験(JIS A 1210) C・D・E法))。 【粘性土】 ・路体:自然含水比またはトラフィカビリティが・・・ その他、設計図書による。
--	---

2.(1)で記述したとおり、スレーキングが生じる土砂を使用する盛土は強度低下を示す。その原因の1つがスレーキングによる土砂化にあると考えられていることから、路体盛土でも十分な締固めにより粒子を細かくし、土砂の締まり具合を高めておく必要がある。つまり、通常の盛土の品質管理以上の品質が求められると考えられる。このことから、スレーキングが生じる土砂を使用する場合における品質管理方法や規格値の設定が課題である。

3. 方法・結果

前述2.(1)スレーキングが生じる土砂を使用した盛土の特殊性の把握と対策の検討のため、下記のとおり調査、試験および解析等を行った。

(1) 資料調査

国道367号朽木荒川付近では、過去、様々な工事・業務が行われており、本現場付近の土質や断層の影響など様々な知見が存在すると考えられる。また、各高速道路会社や国交省など、全国規模で工事を行っている箇所では、断層、破碎帯およびスレーキング等に関する様々な実績を有している。そこで特に断層等の影響を多大に受けられていると考えられる日本高速道路株式会社を中心に様々な資料を確認した。

その結果、盛土工指針(H22年)にスレーキング等が生じる土砂を盛土材として使用する場合について、以下のような記載があった4)。

- ①掘削時の盛土材料が小粒径となるような施工方法を選択し、薄層で敷均しした後に破碎転圧するなど、空隙を少なくする施工方法を検討することが望ましい。
- ②空気間隙率が15%以下になると圧縮ひずみは小さく、ほぼ一定になる。
- ③盛土内への地下水、湧水等の浸透に伴う乾燥・湿潤作用の繰返しにより細粒化が促進されること、地震時に被害の要員となることから、**十分な排水施設を設置**する。

施工方法や設計については①③を、品質管理については②を基本方針として、工事を進めることにした。

(2) 簡易浸水膨張試験

現場で採取した頁岩を耐熱容器に入れ、飽和状態にし、電子レンジ(マイクロ波)(図-8)で10分間加熱を3回ほど繰り返した。



図-8 電子レンジ

試験の結果、当該箇所の頁岩の多くは、著しく土砂化(粘土化)することがわかった(図-9)。



図-9 簡易浸水膨張試験の結果(上:前,下:後)

(3) 土質試験

現場では、スレーキングが生じる土砂を盛土として使用することから、土粒子の密度試験や三軸圧縮試験などの各種土質試験を行い、土質定数の算出を行った。各種試験に基づく試験結果を表-2に示す。

表-2 試験結果に基づく土質定数

内容	定数
土粒子の密度 (ρ_s)	2.763 g/cm ³
最大乾燥密度 (ρ_{dmax})	2.176 g/cm ³
湿潤密度 (ρ_t)	21.66 kN/m ³
最適含水比 (w_{opt})	5.20%
粘着力 (C)	5.17kN/m ²
せん断抵抗角 (ϕ)	35.56°

(4) 品質管理

前述2.(2)の品質管理・規格値は、スレーキングが生じる土砂を盛土に使用する際について、盛土工指針には「空気間隙率が15%以下」になると圧縮ひずみは小さく、ほぼ一定になる。」と記載がある。また同指針では、「気象条件の変化（乾燥・湿潤作用）により細粒化（スレーキング現象）しやすい脆弱岩の岩塊を盛土材料に用いる場合にも品質管理に空気間隙率規定が適用されている。これはスレーキング対策として、盛土内にできるだけ空隙を残さないように管理することが望ましいことによるものである4.」と記載がある。

そこで、契約図書である特記仕様書には以下の文章を追加した。

1-2-3-3 盛土工 (発生土) ・・・本工事の建設発生土を使用する場合は、 <u>空気間隙率 15%以下</u> とし、施工を行うこととする。
--

一方、受注者側から空気間隙率による盛土管理の経験不足のため、現場密度で管理を行いたいとの相談があり、空気間隙率を土質試験で得られた式から算出することにした。

$$v_a = 100 - \frac{\rho_{dmax}}{\rho_w} \left(\frac{100}{\rho_s} + w_{opt} \right) \quad \cdots (1)$$

v_a : 空気間隙率

ρ_s : 土粒子の密度(g/cm³)

ρ_w : 水の密度(g/cm³)

式(1)を利用して、路体盛土または路床盛土の品質管理である最大乾燥密度90%もしくは95%で管理した場合の空気間隙率を計算した結果を以下の表に示す（表-3）。

表-3 路体もしくは路床盛土における空気間隙率

項目	最大乾燥密度 密度下限値 (g/cm ³)	空気間隙率 (%)	判定
路体盛土 (90%以上)	1.958	18.95	×
路床盛土 (95%以上)	2.067	14.44	○

表-3から、巻き出し厚30cmの路体盛土として施工した場合には、空気間隙率15%以下を満足しないことがわかった。一方、巻き出し厚20cmの路床盛土として施工した場合には、空気間隙率15%以下を満足することがわかった。このことから、当該現場から発生するスレーキングが生じる土砂を用いた盛土管理には、現行の路床盛土以上の品質管理が必要であることがわかった。

(5) 試験盛土

本工事では、理論上3.(4)の通り路床盛土の品質、つまり最大乾燥密度の95%以上を確保すれば空気間隙率15%以下を確保できることがわかった。しかしながら、スレーキングが生じる土砂を使用した盛土では、盛土材料としての強度低下や細粒化による圧縮沈下など、盛土の品質・出来栄に影響することが考えられる。そのため、密度による品質管理に加えて、転圧による盛土沈下量や転圧完了後ののり面のひび割れ状況などの観点も含めた品質管理を行うことにした。

a) 試験方法

令和7年8月1日に現場付近の借地ヤードを利用し、薄層で破碎転圧ができる振動系の転圧機械を選定し試験を行った。転圧機械は以下のとおりである。

表-4 試験施工に使用した各種転圧機械

機械名	機械幅(m)
4tコンパインドローラー	1.30
前後進コンパクト	0.45
プレート	0.60

試験盛土は、条件を同じにするため、下に水平排水材を敷き、基盤盛土を事前に行った上で、巻き出し厚20cm毎に各転圧機械にて転圧を行った(図-10)。転圧回数が偶数回となった段階で、現場密度試験、基準高計測・盛土面性状確認を実施した。具体的には、現場密度試験は砂置換法を用い、盛土面性状確認には目視確認を行った。また、試験盛土完了後、盛土面の変状や盛土のり面の表層崩壊を確認するため、盛土のり面にはブルーシートにより雨水の浸入等を防止した養生区間と行わない区間を設け、法面の変状を確認した。さらに、降雨等による強度低下を確認するため、簡易貫入試験により強度低下状況を確認した。



図-10 試験盛土および確認の状況写真

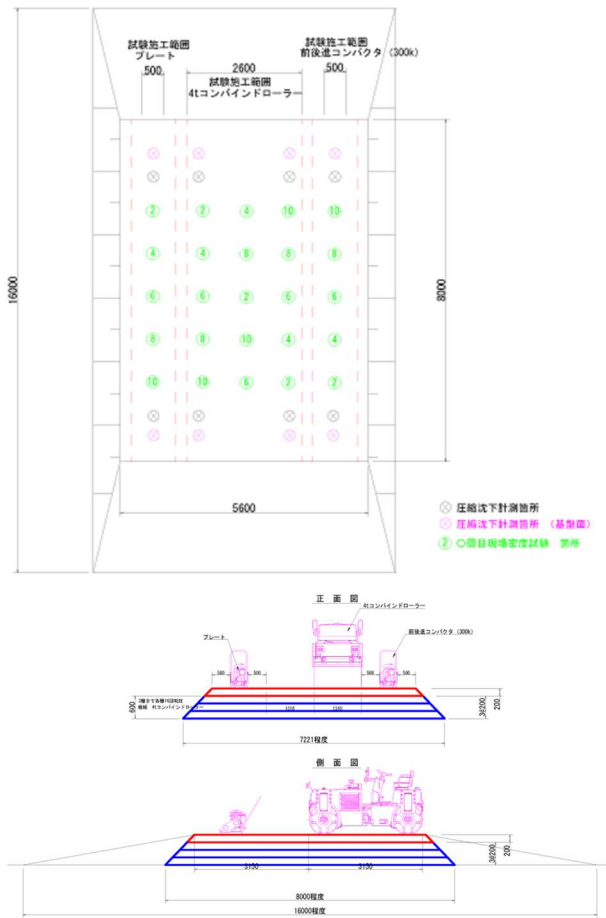


図-11 試験盛土概要図

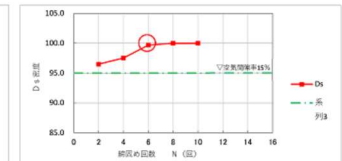
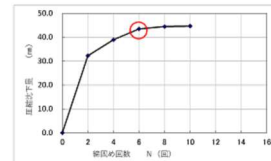
b) 試験結果

各転圧機械における現場密度試験および盛土沈下量の結果を以下に示す(図-12)。

4級振動ローラーでは、転圧回数6回から乾燥密度および盛土沈下量が収束することがわかった。また、前後進コンパクタでは、転圧回数8回から乾燥密度および盛土沈下量が収束することがわかった。一方、プレートでは、10回転圧を行っても収束地点を見つけないことができなかった。

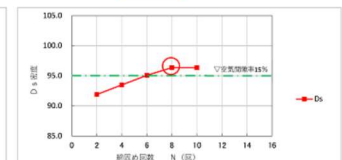
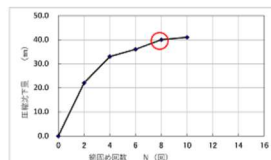
締固め機械 4t級振動ローラー ρ_{dmax} (試験施工) = 2.258

	0	2	4	6	8	10
表面沈下量 mm	0.0	32.3	39.0	43.5	44.5	44.7
密度比 D_c		100.1	101.2	103.4	103.8	103.8
特別規定値 D_s		96.5	97.5	99.7	100.0	100.0
乾燥密度 ρ_d		2.179	2.202	2.251	2.258	2.258
空気間隙率 V_a		13.3	12.4	10.4	11.1	9.3
含水比 w		3.6	3.6	3.6	3.2	4.0



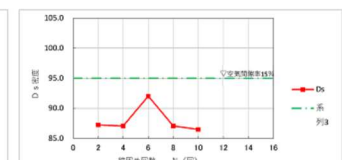
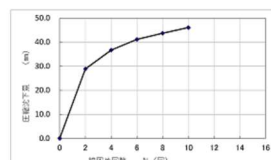
締固め機械 前後進300kプレート ρ_{dmax} (特*施工) = 2.258

	0	2	4	6	8	10
表面沈下量 mm	0.0	22.0	33.0	36.0	40.0	41.9
密度比 D_c		95.4	97.0	98.7	100.0	100.0
特別規定値 D_s		91.9	93.5	95.1	96.4	96.4
乾燥密度 ρ_d		2.075	2.111	2.147	2.176	2.176
空気間隙率 V_a		13.4	15.8	13.7	14.5	15.0
含水比 w		5.6	3.7	4.0	3.1	2.9



締固め機械 プレート ρ_{dmax} (試験施工) = 2.258

	0	2	4	6	8	10
表面沈下量 mm	0.0	28.9	36.7	41.2	43.7	46.1
密度比 D_c		90.5	90.3	95.5	90.3	89.8
特別規定値 D_s		87.2	87.1	92.0	87.1	86.5
乾燥密度 ρ_d		1.970	1.966	2.078	1.966	1.953
空気間隙率 V_a		19.0	20.9	18.9	22.8	23.1
含水比 w		4.9	4.1	2.8	3.1	3.2



※特別規定値 (D_s) : 各転圧回数における収束点を最大乾燥密度(100)とした時の各転圧回数における乾燥密度

図-12 各種試験結果

4. 考察

(1) 試験盛土における考察

a) 転圧機械の制限

試験盛土の結果、4級振動ローラーや前後進コンパクタは、試験盛土結果に基づく転圧回数を満足することで、盛土の品質が確保されることがわかった。一方、プレートは収束点がないことから、今回使用する土砂の場合は、品質が確保が困難であることがわかった。そのため、品質確保の観点から盛土工および埋戻しには、プレートの使用を不可とし、転圧機械の制限を行った。

b) 盛土沈下量を考慮した最大乾燥密度の設定

最大乾燥密度については、3.(3)で得られた2.176g/cm³ではなく、試験盛土の転圧回数時に得られた2.258g/cm³にて品質管理することとした。理由は、2.258g/cm³は盛土沈下量

も考慮した最大乾燥密度となっており、スレーキングが生じる土砂という特殊性を考慮した品質管理となっているからである。また300kプレート時にも、4t級振動ローラで算出された最大乾燥密度を使用することで、より安全側で転圧機械に依存しない品質確保を実現することができた。

c) 出来栄を考慮した施工方法への変更

盛土のり面は、通常土羽打ちすることが一般的である。しかしバックホウのバケットによる法面整形では、十分な締固めとなりやすく、盛土内に雨水等の浸入を許し、盛土崩壊の原因につながる可能性がある。そのため、十分な転圧が行える切土仕上げにすることで、上記の転圧を満たした法面とするとともに、のり面の出来栄に配慮した。

d) 施工方法

本工事では、掘削および床掘後、河川付替工を行った上で盛土工を行う予定である。そのため、使用する土砂は、一時的に現場に仮置きされることから、シート養生を行い乾湿による影響が最小限になるよう配慮した。

また、のり面および盛土表面からの雨水浸入を防ぐため、のり面にはモルタル吹付等の法面保護工を施工し、盛土表面には、補強土壁の管理用通路も兼ねてコンクリート舗装を行うよう、現在設計を変更中である。

さらに、浸入してしまった雨水等が速やかに排水され、盛土内に滞留しないよう、大型土のうと今回の盛土の間に排水層を設ける設計に変更している。

5. 評価

試験盛土数日後、降雨等があったことから、雨上がりに各転圧機械における盛土および盛土のり面の強度低下の確認をコーンペネトロメーターを用いて行った。その結果、4t級振動ローラーおよび前後進コンパクタによる転圧盛土は、強度変化が見られなかった。一方、プレートを使用した空気間隙率15%以下を満たせなかった盛土は、表面にひび割れ等は生じていなかったが、盛土全体の大幅な強度低下が見られた。

このことから、上記で検討した品質管理方法により、スレーキングが生じる土砂を盛土材として有効活用できるとともに、現場での適応性を確認することができた。



図-13 降雨後の盛土強度確認の写真

謝辞：

本工事の受注者である（有）ふくだぐみの小島現場代理人には、今回の品質管理における作業工程の増加だけでなく、仮設の大型土のうや切土のり面の崩壊が随時見られる現場内の安全管理など、今日まで事故なく工事を進めてこられたことに感謝を申し上げるとともに、引き続き事故なく現場を進めていただきたい。また、正和設計の梅村現場技術員には、日頃の立会時に日常的な安全管理を受注者に指示していただくとともに、監督職員の知識不足の部分を様々な角度からフォローしていただき、感謝を申し上げたい。

参考文献

- 1) 高木ほか、東名牧之原地区における盛土のり面災害の実態、第55回地盤工学シンポジウム、地盤工学会、2010
- 2) 地盤工学会（1996）：盛土の挙動予測と実際（地盤工学・実務シリーズ2）
- 3) 緒方健治、中日本高速道路が抱える保全上の課題（土工編）、中日本高速道路リレー掲載（2016）
- 4) 盛土工指針（平成22）：P65,67,221,222

高山ため池におけるICTを活用した 防災機能強化と遠隔監視システム導入について

吉井 裕亮

奈良県宇陀土木事務所 工務課 (〒633-2221 奈良県宇陀市菟田野松井486-1)

近年の豪雨災害の激甚化を背景に、ため池には従来の利水機能に加え、防災機能の強化が求められている。本稿では、奈良県生駒市の高山ため池を対象に、ICT技術を活用した防災機能強化の取組を紹介した。遠隔操作可能な水門システムおよびリアルタイム監視システムの導入により、迅速な情報把握と安全な放流操作が可能となり、決壊リスクの低減と管理業務の効率化が期待される。さらに、施設更新や治水対策と組み合わせることで、防災機能の総合的な向上が図られた。今後は関係機関との連携強化や運用体制の整備を進め、持続可能なため池管理を目指す。

キーワード 維持、管理、安全対策、防災

1. はじめに

近年、地球温暖化の進展に伴い、局地的なゲリラ豪雨や激甚化した台風被害が頻発している。こうした気象変動は日本各地における降雨パターンを大きく変化させ、短時間に集中豪雨が襲うことで、河川や都市排水施設のみならず、地域の農業用ため池にも甚大な影響を及ぼしている。ため池はかつて農業用水の安定供給を目的に築造されたが、近年では地域の治水機能の一翼を担う重要な施設としても認識されている。

しかし、築造から数十年を経過したため池は老朽化が進行しており、これまでの設計基準を超える豪雨の増加しており、決壊リスクが高まっている。農業用ため池の管理は多くの場合、地域の管理者による人的な巡回や点検に頼っており、急激な降雨変化に即応することは困難であった。

こうした現状に対処するため、ICT（情報通信技術）を活用した遠隔監視・制御システムの導入が注目されている。ICT技術を活用することにより、リアルタイムでの遠隔監視・データ収集や遠隔操作を可能にし、防災機能の高度化に寄与することが期待されている。

奈良県生駒市の県営ため池整備事業（高山地区）の事例における、ICT技術を取り入れた最新の防災機能について紹介する。

2. 高山ため池改修事業の背景と概要

ため池は日本全国に約20万箇所存在し、主に農業用水の貯留と供給を担うと同時に、洪水時には雨水の一時貯留による洪水緩和効果も有している。そのため、地域の水循環維持や生態系保全の観点からも重要なインフラと

もいえる。しかし、多くのため池は高度成長期以前に築造されたものであり、老朽化・機能低下が問題となっている。

特に水門設備の老朽化は決壊リスクを増大させており、災害時における住民の生命・財産の安全確保が課題となっている。



写真 1-高山ため池の全景

図 1-高山ため池の位置

高山ため池は、奈良県北西部、大和川流域の丘陵地帯に位置している。戦後まもなく総延長約9kmの東西幹線水路とともに築造され、貯水量580千 m^3 、高さ23.4mの堤を持つ奈良県の四大ため池の一つである。完成時には530haの受益地を持ち、農地転用が進んだ現在も244haの受益地を潤す貴重な水源である。近年、ため池周辺の気象データから、豪雨の頻度・強度が増加傾向にあり、水門機能の劣化や機能低下が指摘されていた。

こうした状況を踏まえ、令和元年度から施設の更新とともにICT機器を導入防災機能の強化を行い、洪水調整

機能を併せ持つため池へと改修事業を実施した。この事業により地域の防災機能の向上を図られることとなった。

3. ICT技術の導入による防災機能強化

本改修事業は単なる施設更新にとどまらず、ICT技術を組み込むことで、災害時の迅速かつ的確な対応を可能にすることが期待されている、先進的な取り組みである。高山ため池において、ため池管理、また、万が一の時のため池周辺の地域との連携による問題があった。対策として、ため池や放流施設を監視するカメラを設置することにより、離れたところからため池の状況を確認することで、災害の発生を未然に防ぎ、安全性の向上につなげることを目的とした。

高山ため池の管理においては、災害時の状況確認を管理者の人的巡回大きく依存している。また、限られた人数で管理を行っているため、市町村や関係機関への連絡が遅れ、結果としてため池周辺住民への情報提供が遅延する恐れがある。さらに、管理者の高齢化に伴い、巡回作業や迅速な対応が求められる業務に遅れが生じる可能性も指摘されている。

また、管理事務所が堤体上部に位置しているため、堤体下部にあるゲート进行操作する際には、急斜面の階段を下りて現場まで赴き、手で開閉作業を行う必要があった。特に豪雨時には足場が不安定となり、作業の安全確保が難しい状況が生じていた。

そのため、カメラによる監視を行い、異常を検知した場合には緊急的な水位低下操作を実施する必要があるが、近年多発する線状降水帯による集中豪雨のように、現場への接近が困難となるケースが想定された。これにより、適切なタイミングでゲート操作ができず、対応が遅れる可能性があることが判明した。

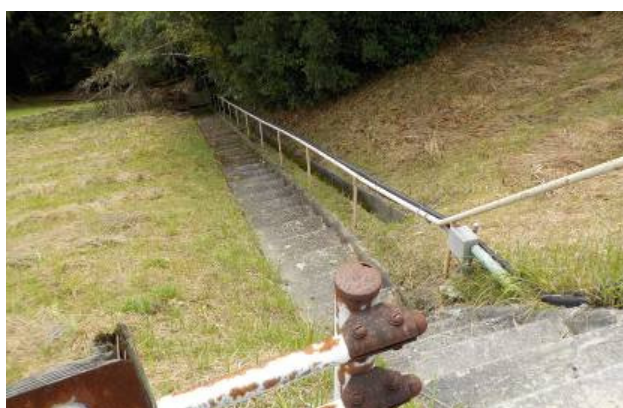


写真2-開閉ゲートまでの階段

これらの課題に対応するため、高山ため池ではICTを活用した新たな管理体制の構築を進めた。具体的には、①遠隔操作可能な水門システムと、②ため池および周辺環境を常時把握できるリアルタイム監視システムの二つの機能を備えたICT機器を導入したものである。これに

より、従来は人的巡回に依存していた状況確認が遠隔で可能となり、豪雨時に現場へ近づけない場合でも安全な場所から水門操作を行うことができるようになった。また、リアルタイムの情報共有により、市町村や関係機関、さらには地域住民への情報伝達の迅速化が期待される。

このICTシステムの導入により、現地での作業に依存しない継続的な監視体制が実現し、さらに関係機関や地域との連携体制が強化されることで、防災面でのリスク低減と管理業務の効率化の両面で大きな効果が期待される。

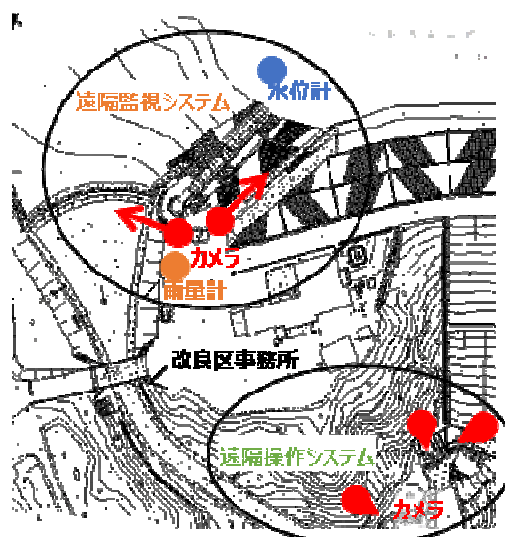


図2-ため池監視カメラ映像及び水位データ

(1) 遠隔操作可能な水門システム

遠隔操作システムは、水門に電動の開閉装置を設置し、インターネットを介して遠隔からの開閉指示を可能とするものであり、停電時など救急時でも動作可能な予備電源を備えた施設となっている。また、現場の状況を監視するためにカメラを設置し、水門の開閉状況をリアルタイムで視聴できる機能を備えている。これにより、豪雨や台風などの気象災害が接近した際にも、管理者は現地に赴くことなく迅速かつ的確な放流調整を行うことが可能となり、その結果、堤体や関連施設にかかる過剰な負荷を回避し、水害の軽減に寄与することが期待される。



写真2-遠隔操作システム、遠隔操作システム画像

(2) ため池監視システム設置

ため池堤体および洪水吐周辺には、高精度カメラ（30分間隔）、水位センサー（10分間隔）、雨量計を配置し、常時データを収集する監視システムを構築した。これらのデータはIoT技術を通じてクラウドに送信され、管理者は複数のスマートフォンやPCからリアルタイムで遠隔監視を行うことが可能となった。

監視システムでは、洪水吐を基準に監視水位・注意水位・危険水位の三段階を設定し、各水位に到達した際に登録されたメールアドレスへ自動的に通知を送信する機能を備えている。これにより、ため池関係者は現地で目視確認を行わなくても状況を即座に把握できるとともに、関係機関への自動通知によって情報提供の迅速化が図られ、適切な判断と初動対応が可能となった。

【高山ため池監視システム 警報基準等設定水位】

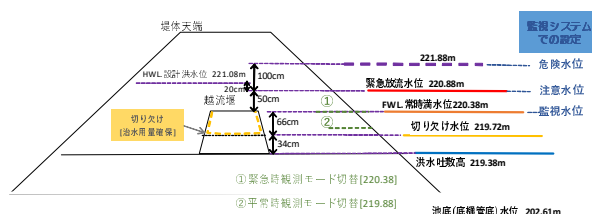


図3-水位計の通知図及び写真での位置関係

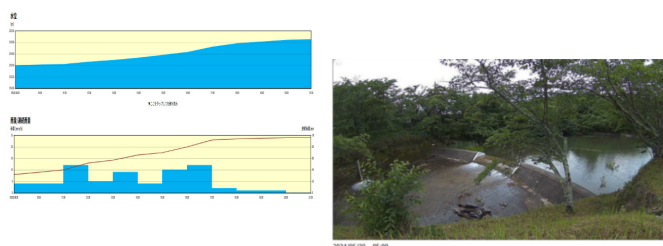


図4-ため池監視カメラ映像及び水位データ

4. ICT活用による効果と地域への影響

ICT機器の導入により、高山ため池の防災能力は情報共有の面で大きく向上したと考えられる。高山ため池が決壊した場合、直下に位置する高山町庄田地区で浸水被害が想定されており、迅速な初動対応が極めて重要である。

遠隔操作によって水門管理が迅速に行えるようになったことで、豪雨時の緊急放流や、地震により堤体にクラ

ックが生じた際など、早急な操作が求められる局面においても、安全な場所から即時に対応することが可能となった。その結果、ため池の水位上昇や堤体への過度な負荷を未然に抑制でき、決壊リスクの大幅な低減が期待されている。

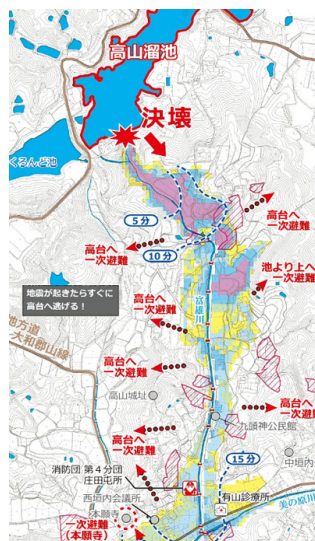


図5-ハザードマップ

5. そのほかの業務

本事業では、ICT機器の導入だけでなく、事業のメインである、ため池更新工事を実施している。今回の更新事業では、老朽化した施設の単純な更新だけでなく、安全性を確保するために新たに緊急放流孔の設置を行い安全性の確保を行った。

また、奈良県が推進している大和川総合治水対策に基づき、洪水吐に「切り欠き」を設置することで、河川への流入量を抑制し、災害リスクである、治水対策を強化するなど、ハード面での対策も実施している。これにより、ため池周辺の地域災害だけではなく、大和川流域周辺住民の水害災害を抑制したことで、防災機能を総合的に向上させることができた。

今回の事業では、切り欠きの設置に伴い、貯水量を低下せざるを得なかった現状であったが、農家の皆様にご理解とご協力をいただいたことで、安全性の確保と治水機能の強化を両立させることができた。

6. ため池改修を行ったことでの効果

これらの施策により管理の効率化が進み、人的ミスや作業遅延の抑制、さらには管理者の負担軽減にもつながっている。巡回負担を軽減しつつ、ため池の健全性を常時把握できる体制が整備されたことは大きな成果である。

今後は、ICTシステムを活用してため池管理者、市、河川管理者など関係機関が連携を強化し、放流時の警戒体制をより高度化することが、地域全体の防災力向上に大きく寄与するものと考えられる。

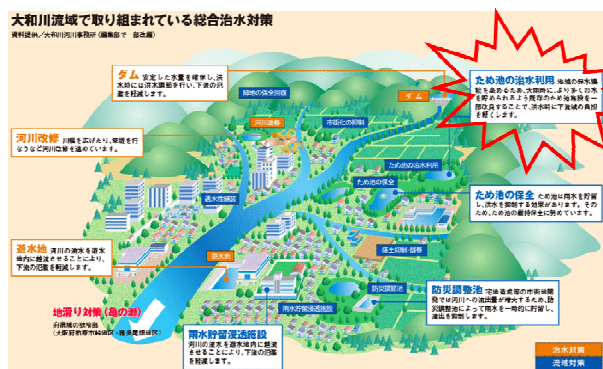


図5-大和川総合治水対策

7. ICT機器の緊急時以外における具体的な活用事例

高山ため池においては、ICT機器を緊急時の対応だけでなく、日常的な維持管理にも積極的に活用している。これにより、管理作業の効率化と精度向上が実現されている。

まず、遠隔操作可能な水門システムは、河川への放流ゲートだけでなく、東部幹線および西部幹線の各ゲートもミリ単位の精度で遠隔操作が可能である。従来は、灌水開始や終了時に管理者が急勾配の階段を毎日昇降し、現地でゲートの開閉調整を行っていたが、このシステムの導入により、管理者は事務所からリアルタイムの水位情報を確認しながら、灌水に適したタイミングでゲートの開閉を正確に制御できるようになった。これにより、無駄な水の放流を防ぎ、水資源の効率的な活用が可能となったほか、管理者の身体的負担も大幅に軽減されたことで心身への負担の軽減が行われた。

このように、日常的なデータの活用によって、万が一の緊急事態に際しても、戸惑うことなく迅速に対応できる体制が整備されている。

監視システムは、日常的にカメラや水位計を活用し、貯水量の監視を行うとともに、異常気象時に監視水位に達した段階で管理者へ直接メールで通知を発する機能を備えている。これにより、管理者は現地で目視確認しなくてもその場の状況を瞬時に把握でき、迅速な対応や適切な判断を下すことが可能となる。

今後の活用案として、毎日の水位変動を記録し、そのデータを基に季節や天候の変化に応じた適切な水位管理計画を立案や雨量の多い時期には、水位の上昇を早期に検知し、適切な放流操作を事前に行うことでため池の安全性を維持することも期待されている。

8. 今後の課題

高山ため池におけるICTシステムの導入は、防災対策の高度化に大きく寄与しているものの、長期的かつ安定した運用を実現するためには、依然としていくつかの課題が残されている。

まず、システムの維持管理体制を強化するとともに、

ため池管理者、市、河川管理者などの関係機関が連携を深めるため、ICT技術に関する理解を一層向上させることが不可欠である。現状では、関係機関同士の情報共有や意見交換の機会が十分とは言えず、ICT技術の具体的な活用方法や運用方針についても明確に整理されていない。今後は、関係機関が連携しながら活用ルールや運用体制を整備することで、システムの効果的な活用と円滑な情報連携を図る必要がある。

さらに、防災情報の共有ルールや運用方法については、関係者間で継続的な協議を行い、明確な基準を策定することが求められる。技術的な整備だけでなく、このような運用面や組織面における体制整備も重要な課題である。特に、防災情報の共有範囲や伝達手順、対応体制などについて関係者間で共通認識を形成することは、システムの安定的な運用に不可欠である。



写真3-操作画面

また、ICTシステムの有効性を最大限に発揮するためには、定期的な訓練や運用確認を実施し、関係機関がシステムを適切に活用できる体制を維持することも重要である。運用を通じて得られた知見を継続的にフィードバックし、システムや運用方法の改善につなげることが求められる。

これらの課題を克服し、地域社会と関係機関が連携した持続可能な防災体制を構築することが、今後のため池管理における重要なテーマである。こうした取組は、ため池の安全性向上と地域防災力の強化に寄与し、災害に強い地域づくりの実現につながるものと期待される。

9. 終わりに

奈良県生駒市の県営ため池等整備事業（高山地区）では、ため池に治水・利水機能を付与するとともに、その機能を最大限に活用するため、ICT技術を積極的に導入している。これにより、単なる老朽化対策にとどまらず、防災機能の大幅な強化が図られている。

特に、遠隔操作システムや遠隔監視システムの導入により、豪雨や台風時における水位や設備状況の把握が容易となり、迅速かつ適切な対応が可能となる。その結果、ため池の決壊リスクの低減や被害の軽減が期待される。

一般部門(安全・安心)Ⅱ :No.10

また、ICT技術の活用は防災力の向上だけでなく、管理業務の効率化や維持管理負担の軽減にも寄与し、持続可能な運用体制の構築につながるものと考えられる。さらに、関係機関間の情報共有や連携強化を促進することで、地域社会の安全・安心の確保にも大きく貢献することが期待される。

今後は、システムの安定的な運用を図るとともに、技術革新への対応や関係機関・地域住民との連携を一層推進していくことが重要である。高山地区における取組を

モデルケースとして活用し、ため池の安全性と機能の維持・向上を図ることで、地域防災力のさらなる強化につなげていくことが求められる。

謝辞：本事業の推進にあたり、多大なるご理解とご協力をいただいた高山ため池管理者をはじめ、受益者の皆様に深く感謝申し上げます。また、事業実施に際し、ご理解とご協力をいただいた地域の皆様に厚く御礼申し上げます。

従前の所属：

奈良県北部農業振興事務所 農村地域振興課
(〒639-1041奈良県大和郡山市満願寺町60-1)

河川版 ストリートビューの構築・ 維持管理業務 の効率化 の提案

濱口 貴仁

滋賀県 甲賀土木事務所 河川砂防課 (〒528-0005滋賀県甲賀市水口町水口6200)

本研究では、ドローンによる360°写真と生成AIを組み合わせ、河川巡視の効率化と質的向上を目的とした「河川版ストリートビューシステム」を構築した。プログラミングの専門知識を持たない土木職員でも、生成AIを活用することでWebアプリを開発可能であることを実証した。実証実験の結果、視認困難箇所を俯瞰的に把握でき、異常がない場合でも記録が残ることで経年変化の追跡が可能となった。また、出水後の巡視において被害を迅速かつ安全に把握でき、災害査定への迅速な対応が可能となる。

キーワード ドローン, 360°写真, 生成AI, 河川巡視, ストリートビュー

1. はじめに

(1) 河川巡視点検の定義と目的

河川巡視点検は、河川法施行令第九条の三に基づき河川管理者が実施する維持管理業務であり、河川及び堤防、樋門等の河川管理施設の異常を早期に発見し、河川の安全性を確保することを目的としている。河川維持管理における「巡視」と「点検」は、河川砂防技術基準¹⁾にその目的と実施内容が明確に区別されている。巡視は、定期的・計画的に河川を巡回し、その異常及び変化等を概括的に把握するものである。一方、点検は、一つ一つの河川管理施設の治水上の機能について異常及び変化等を発見・観察・計測等することを目的としている。そして、河川巡視や点検の結果はその後の維持管理にとって重要な情報となるため、河川カルテ等に適切に記録する必要がある。

(2) 実務における課題

a) 日常的な巡視・点検における課題

実務においては1職員に割り当てられる河川延長が膨大であり、巡視・点検にかなりの時間を要する。また、現行の手法は依然としてアナログ的であり、運転者と点検者の2名体制で現地へ赴き、写真撮影と記録作成を行っている。記録管理の面では、巡視において異常が確認されない場合、記録として残されないことが多い。このため、後に異常が発生した際に、正常時の状況と比較することができず、変化の時期や程度を把握することが困難である。

b) 河川管理用通路通行不能区間における課題

河川巡視・点検を実施する際は河川管理用通路を利用するが、家屋近接や竹木繁茂等により通行不能な区間が約10km存在する。全延長に比べるとわずかではあるが、これらの区間は車両でのアクセスができないため、徒歩による巡視が必要となる。私有地を含む区間では立ち入りが制限される場合もあり、十分な巡視が困難な状況にある。

このように、時間と労力をかけて多数の河川を巡視しているにもかかわらず、通行不能区間の巡視困難、過年度情報の蓄積・活用の不十分さなど、業務全体に多くの課題が内在している。このことから、河川巡視に着目し、効率化と質的向上を目指すこととした。

(3) 課題の整理と本研究の目的

これらの課題を整理すると、以下の3点に集約される。

- ①作業効率の課題：2名体制の必要性、移動時間の負担により、効率的な巡視が困難である。
- ②河道全体把握の課題：視認困難箇所（竹木密生区間、管理用通路通行不能区間等）の存在により、河道全体を把握することが困難である。
- ③データ活用の課題：異常が確認されない場合の記録が残っていないことが多く、過年度データとの比較による経年変化の把握ができていない。

2. 河川維持管理におけるドローン活用の適合性

河川維持管理業務は、除草や草木伐開、浚渫、河川巡視・点検など多岐にわたる。これらの業務に対してドロ

ーンを導入する場合、その効果は業務の性質により大きく異なる。そこで、各業務におけるドローン活用の効果を検討した。

除草や草木伐開では、写真測量により工事前後の面積測量への活用が可能である。しかし、標識の設置や座標取得などの事前準備に手間を要し、従来手法と比較した場合の作業効率の改善は限定的である。また、浚渫では、点群データを用いることにより土量の算出が可能であるが、植生により地表面を誤認識しやすく、実際の浚渫土量との誤差が大きくなる場合がある。このため、実務での適用には精度面での課題が残る。

一方、河川巡視においては、上空から広範囲を俯瞰的かつ短時間で確認が可能となる。特に、地上からは視認困難な箇所や、竹木等により遮られる区間においても、空撮により河道状況の把握が可能となる。

以上の検討から、河川巡視はドローン活用の効果が最も高い業務であると思われた。あわせて、単なる空撮による一時的な確認に留まらず、取得した映像を効果的に活用する方法を試みた。

3. 河川版ストリートビュー構築について

Googleストリートビューは360°写真であるため、任意地点をクリックすることで視点を自由に切り替え、空間を連続的に閲覧できる仕組みとなっており、非常に便利なツールである。しかし、Googleが提供するデータは道路がメインであり、河川は含まれていない。この技術を河川に応用できれば、「現況把握」と「記録保存」の点で有効であり、従来の巡視よりも効率と精度を向上できると考えた。

(1) 撮影手法の検討

既存の商用サービスにおいて360°カメラを用いたストリートビュー作成が可能であることは認識していたため、これを河川映像に応用する方法を検討した。当初、360°カメラ搭載ドローンの活用を検討したが、現在は販売終了しており入手困難であった。次に、ドローンに360°カメラを固定して撮影する方法を検討したが、機体改造に該当し、墜落時等の修理時に保険の適用外となるため断念した。そこで、ドローンの既存機能であるパノラマモード(スフィア)による撮影に着目した(図-1参照)。本機能は、ドローンが自動的にカメラを様々な方向に向けて複数枚撮影し、それらを合成することで360°カメラと同等の映像を生成できるものである。特別な操作は不要であり、通常撮影と同様の手法で撮影できる。

(2) 撮影条件の設定

効果的な河道確認を実現するため、撮影条件を表-1のように設定した。河川空間の360°パノラマ画像取得に

あたり、DJI Mini 3を使用した(図-1参照)。本機種は、パノラマモード(スフィア)を標準搭載していることと土木事務所に配備されていることから誰でも再現可能である点から採用した。

飛行高度は、周囲に樹木等の高い障害物がない場合、河川の全景を効果的に捉えられる50m程度を基本とした。これは航空法に基づく安全基準(人や物件から30m以上の離隔)を満たしつつ、地上解像度と視野範囲のバランスを考慮したものである。

撮影間隔は、画像間の連続性を確保するため50m～100m間隔を標準とした。河川幅が広い場合は、左右岸の端部形状が画角に収まりにくいいため、左右岸別々に撮影する方が望ましい。

ドローン飛行中は機体位置の認識が困難なため、カメラアングルを真下方向(鉛直下向き)に固定した。これにより、コントローラーの画面上で滯筋の中央を画角に捉えることができ、河道の把握が容易になった。

表-1 撮影条件

機体	DJI Mini 3
飛行プラン	通常の写真撮影と同様
撮影モード	パノラマモード(スフィア)
飛行高度	障害物がない場合 50m 程度(樹木等の高い障害物がある場合は適宜調整)
撮影間隔	50m～100m(適宜調整)
カメラアングル	真下方向に固定し、滯筋中央にドローンを配置



図-1 DJI Mini 3の機体(左)とパノラマモード(右)

(3) データ管理手法の検討

撮影した360°写真は、商用サービスであるRICOH THETA 360.bizに取り込むことで河川版ストリートビューの作成に成功した(図-2参照)。しかし、本サービスは1地点ごとに1ファイルとして管理されるため、データ量の増加に伴い撮影場所の把握が困難になるという課題が生じた。また、1ファイルあたりの写真枚数が10枚に制限されているため、写真が多いと途切れてしまい連続的に確認できないことが判明した。

データの長期蓄積と効率的な活用を考慮すると、

Googleストリートビューのように地図上に撮影地点をプロットし、視覚的に撮影位置を把握できる仕組みが必要である。連続的なデータの確認や経年的に蓄積されたデータの差分比較を行うには、RICOH THETA 360.bizでは困難であるため、他の手法を検討した。



図-2 河川版ストリートビュー

(4) その他手法の検討

別の手法として、写真枚数制限がなく、GIS上に撮影地点をプロットできる無料ソフトウェアQGISを用いて360°写真を閲覧する方法を試みた。しかし、QGISへの撮影地点のプロット自体は可能であったが、拡張機能の制約により360°写真の直接閲覧機能は実現できなかった。

4. 生成AIによるプラットフォーム開発

(1) 開発ロードマップの策定

既存ソフトウェアでの実現が困難であることから、生成AIを活用して独自プラットフォームを開発できないか検討した。開発着手にあたり、生成AIに対して「ドローンで撮影した360°写真を地図上に配置し、Googleストリートビューのように閲覧できるWebアプリを構築したい」という要求を提示し、実現までのロードマップを出力させた。

生成AIが提示したロードマップは、以下の5段階で構成された。(表-2参照)

表-2 プラットフォーム作成までのロードマップ

第 1 段階 計画づくり	地図表示、360°写真の閲覧、フィルタなどの機能など仕様を決定する。
第 2 段階 360°写真の連携	無料のアプリ「Marzipano」 ²⁾ を使って、撮影地点ごとに360°写真を配置し、地点間をリンクでつなげて、移動しながら連続的に見られる仕組みを作成する。
第 3 段階 写真データの整理とCSV化	写真ファイルから撮影日やGPSによる位置情報を抽出し、CSV形式の一覧表として保存する仕組みを構築する。(生成AI)
第 4 段階 地図表示と連携	作成したCSVを読み込み、撮影地点を地図上にプロットする。(生成AI)
第 5 段階 プラットフォーム構築	プロットした撮影地点と360°写真を関連付け、クリックするとストリートビューが閲覧できる独自のWebプラットフォームを構築する。(生成AI)

(2) 本システムの特徴

本システムの特徴は、以下の3点である。

a) 生成AIによる開発支援

プログラミングの専門知識がなくとも、生成AIに「実現したい機能」を伝えることで、Webアプリのコードが自動生成された。本研究では、地図表示・CSV読込・フィルタ・ポップアップ表示などをAIとの対話を通して実装し、エラーが生じた際も、AIの修正指示に従うことで対応した。

b) CSVベースのデータ管理

撮影地点の情報(ID, 名称, 日付, 座標, 住所など)に加えて写真の保存場所をCSV形式で管理する方式を採用した。CSVの内容を更新するだけで、新たな撮影地点の追加が可能となっている。本システムではCSVを動的に読み込み、地図上にマーカーとして表示している。

c) ユーザインターフェース

地図上で、撮影日・カテゴリなどによる絞り込みが可能で、目的の地点を素早く検索できる。マーカーをクリックすると、その地点の詳細情報とストリートビューが表示され、Googleストリートビューのように河川を仮想的に巡視できる環境を実現した。また、ストリートビュー画面のみでは現在地が分かりにくくなるため、Googleと同様にMiniMapを追加し、現在地の把握と地点間の移動を可能とした(図-3参照)。

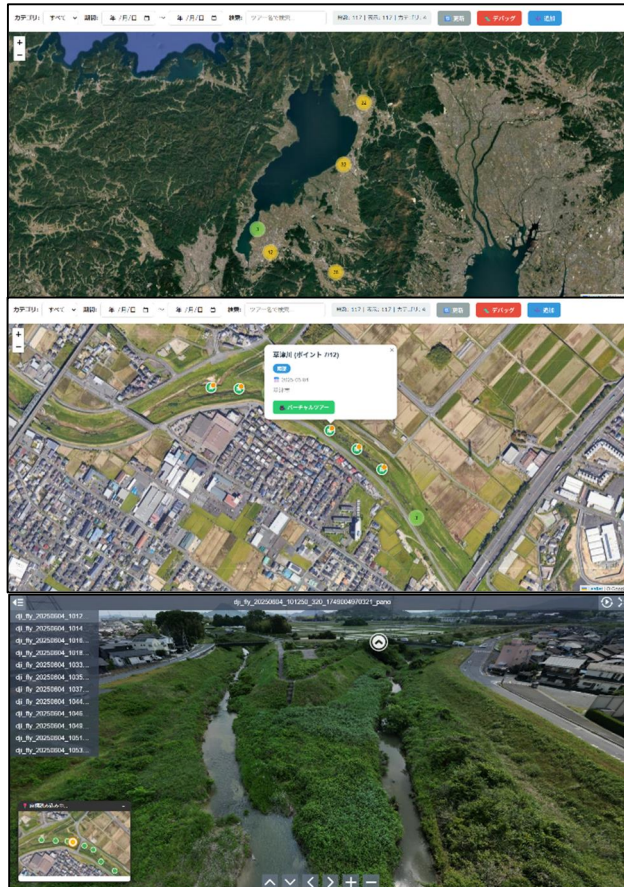


図-3 GIS(上・中)とストリートビュー(下)

また、本システムは、Python環境が整っているパソコンであれば、データをコピーするだけで実行可能である。加えて、ソースコードと写真データをGoogleドライブに保存し、Google Colaboratoryを介してプログラムを実行することで、インターネット環境下のパソコンや携帯端末からも閲覧できる仕組みを構築した(図-4参照)。これにより、現場においても過年度の撮影状況や撮影位置の確認が容易となり、作業効率の向上が期待できる。

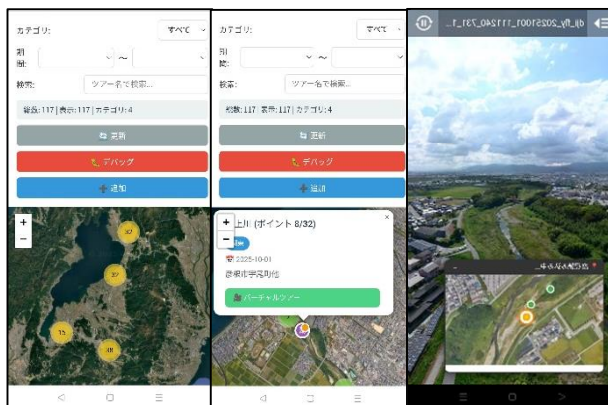


図-4 携帯での参照画面 (GISとストリートビュー)

5. 効果の検証

(1) 検証方法

本システムの有効性を検証するため、従来手法と本手法による点検作業を実施し、作業時間、必要人員について比較評価を行った。南部土木事務所管内の草津川1kmを対象区間とし、筆者が実際に点検を実施した。従来手法は2名(運転者1名、点検者1名)で実施し、本手法は1名で本システムを用いて点検を行った。

(2) 検証結果

a)作業効率化の評価

表-3に示すとおり、ドローン撮影は手動操作で実施し、1kmの区間を20分で撮影した。撮影後のシステム反映作業(「Marzipano」への写真インポート、リンク作成、プラットフォームへの取り込み)は15地点あたり約5分で完了した。

表-3 ドローン撮影とシステム反映

項目	内容
ドローン撮影	20分/1km
システム反映	約5分/15地点

表-4に示すとおり、1km区間の点検において、従来手法では移動時間(往復20分)と点検作業(7分/1km)を2名体制で実施し、総作業時間は54人・分であった。

一方、本手法では移動時間(往復20分、1名)と事前のドローン撮影(20分、1名)とシステム反映(5分、1名)、本システムでの点検(3分、1名)を含めると総作業時間は48人・分となり、作業時間としては限定的な削減効果(11%)に留まった。(表-4参照)

表-4 従来手法と本手法の比較

項目	従来手法	本手法	備考
作業人数	2名	1名	—
移動時間	20分×2名	20分×1名	事務所⇄現地
撮影時間	—	20分×1名	—
システム反映	—	5分×1名	—
点検時間(1km)	7分×2名	3分×1名	—
総作業時間	54人・分	48人・分	11%削減
天候・時間制約	雨天時中止	なし	制約解消
同時確認	不可	複数人可	情報共有性向上
経年比較	困難	容易	データ活用性向上

6. 考察

本研究では、河川巡視業務における3つの課題（①作業効率の課題、②河道全体把握の課題、③データ活用の課題）の解決を目指し、ドローンと生成AIを活用した本システムを構築した。実証実験の結果による考察を以下に示す。

(1)課題に対する対応と成果

a)課題①への対応：作業効率の限定的改善

実証実験の結果、作業時間の削減効果は限定的（11%）であった。本手法では事前のドローン撮影に時間を要するため、作業効率の大幅な改善には至らなかった。

b)課題②への対応：河道全体把握の質的向上

竹木密生や私有地等により地上から巡視が困難であった区間について、ドローン撮影により効率的かつ網羅的に確認が可能となった（図-5参照）。

また、河道の滞筋、樹木の繁茂、土砂堆積など、面的な変化については、上空からの俯瞰的な視点でより正確に把握することが可能となった。

一方で、本手法には限界も存在する。護床ブロック(2tサイズ)の欠損の検出は可能であったが(図-6参照)、構造物の微細なクラックや変異など、近接目視が必要な損傷については確認が困難である。

したがって、詳細な変状の確認が必要な点検には不適合であるが、河道内の堆積、樹木の繁茂、堤防、護岸等の比較的規模の大きな変状の発見を目的とした巡視には有効な手法である。



図-5 竹木の密生区間(管理用通路(左)、本システム(右))



図-6 護床ブロック(2tサイズ)の欠損

c)課題③への対応：データ活用の実現

異常が確認されない場合でも記録が残るため、後に異常が発生した際に正常時の状況と比較することが可能となる。さらに、本手法では撮影位置の座標情報を取得しているため、常に同一地点で撮影でき、異常がない場合でも継続的にデータを蓄積することで経年変化の追跡が可能となる。

出水後の巡視においては、広範囲を迅速かつ安全に確認する必要がある。本手法により、危険区域に立ち入ることなく、護岸破損などの被災を早期に発見できる可能性がある。従来は住民からの通報により初めて発見されていた被災箇所も、本手法により職員自身が早期に発見できる可能性が高まる。また、被災前後の比較も容易であるため、災害査定に向けた迅速な対応が可能となる可能性がある。

(2) 今後の活用可能性

a)維持管理業務全般への活用

工事完了後の状況確認、除草作業や河川愛護活動の実施状況の記録、不法投棄の発見、竹木の繁茂状況の把握など、維持管理上の状況把握という広範な用途に活用できる。

b)他のインフラへの展開

本システムは河川以外のインフラ（砂防施設、法面等）への展開も可能である。特に、広範囲を定期的に巡視する必要がある施設において有効と考えられる。また、道路パトロールの出力結果が反映できるようになれば、さらに活用の幅が広がると思われる。

c)AI技術との融合

AI画像解析技術の発展により、将来的には異常箇所の自動検出が実現すると思われる。その際、差分比較するための比較元データになることや機械学習用のデータセットとして活用できる点も、本システムの副次的価値といえる。

(3)実務適用に向けた課題

今後の展望として、自動飛行の導入により撮影時間の短縮や撮影距離の延伸が可能となる。一方、草木繁茂については生育が乏しい冬季の撮影により多少は解消されるものの、根本的な解決には至らないため、引き続き対策を検討する必要がある。

7. 結論

本研究では、河川巡視業務における①作業効率の課題、②河道全体把握の課題、③データ活用の課題という3つの課題に対して、ドローンによる360°パノラマ撮影と生成AIを活用した本システムを構築し、その有効性を実証した。

実証実験の結果、作業時間の削減効果は限定的（11%）であったが、河川管理の質的向上という観点から以下の成果が得られた。第一に、竹木密生や私有地等により地上から巡視が困難であった区間について、空撮により効率的かつ網羅的に把握可能となった。第二に、異常が確認されない場合でも自動的に記録が残るため、正常時の状況との比較が可能となり、経年変化の追跡ができるようになった。第三に、出水後の巡視において広域被害を迅速かつ安全に把握でき、災害査定への迅速な対応が可能となる可能性がある。

本研究は、土木職員が最新技術を活用して現場の課題を解決し、河川管理の質的向上に貢献できることを示した。今後、他の維持管理業務におけるインフラDXが促進されることを期待する。

8. 参考文献

- 1) 国土交通省河川砂防技術基準維持管理編(河川編)
- 2) Marzipano 公式サイト: <https://www.marzipano.net/>