

# 三次元河川管内図を用いたDXの取組み

久保田 大輔<sup>1</sup>・房前 和朋<sup>2</sup>・津田 匠<sup>3</sup>・佐藤 隆洋<sup>4</sup>

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

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

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

<sup>4</sup>日本工営株式会社 中央研究所 技術開発センター 副センター長

九州地方整備局では、インフラ分野のデジタルデータの整備および利活用を進めている。河川分野においても河川管理に特化した河川管内図を三次元化し、3Dを含む様々なデジタルデータを座標で紐付けることで重ね合わせを容易にする、三次元河川管内図の整備をすべての直轄管理河川で進めている。

また、オンライン化、オープンソース化、オープンデータ化することで、より自由な情報の活用が推進され、イノベーションが生じやすい社会にするとともに、国民へのサービスの向上、業界の効率的で高度な働き方の改革が可能となると考える。

キーワード：DX、3D河川管内図、GIS、オープンソース、オープンデータ

## 1. はじめに

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

河川管理には膨大なデータが用いられているため、デジタル化に様々なコスト（費用、時間、思考力、体力、ストレス等）が生じる。デジタルを用いた働き方の改善効果がコストを上回らなければ、DXとして意味がない。DX導入時や運用時及び更新時を含めてコストを最小とし、効用を最大にする事が重要である。さらには「デジタルを用いたイノベーション」を生じさせ、プロセスを変革し大幅な効率化や省略化する観点も必要である。

三次元河川管内図の取組みは、データの整理、検索、可視化、重ね合わせ等を簡易な操作で実施可能で、オンライン化、オープンソース化、オープンデータ化することで、国土交通省だけではなく社会全体にイノベーションを起こすことも視野に入れ、行っている。

## 2. 三次元河川管内図における課題と解決策等

### (1) 課題

九州地方整備局では、低コストで生産性・業務効率向上が可能で、社会全体のイノベーションを促す新たな仕組みの三次元河川管内図（以下、3D管内図）を作成するため、九州三次元河川管内図ガイドブック（第1版）、三次元河川管内図データ作成業務仕様書を令和4年8月に作成し、九州管内の各河川事務所に配布した。

こうした大規模なデジタル化は、非常に大きなコストを有する。DXの観点からは、削減可能なコストが要したコストより大きくならなければやる価値がない。そこで作成についても効率を重視した。

従来手法では、各事務所毎に3D管内図の検討・作成を行っていたため、各事務所で類似した作業が生じる。また、3D管内図の検討・作成には、GISやBIM/CIM、デジタルデータの取り扱い等の知識が必要である。その知識を有した職員が事務所にいない場合、技術習得には大きなコストを要する。

さらに九州地方整備局では、BIM/CIMをベースにした3D管内図も検討されていた。BIM/CIMは取り扱うのに高度な知識が必要で、ハード・ソフトウェアが高価である。また、事務所には数台程度しかBIM/CIMが動作するPCが無いため、BIM/CIMを使用中には3D管内図が使用できないといった課題がある。

## (2) 課題に対する検討事項・解決策等

### a) システム構築について

従来手法で生じる課題を解決するため、GISとBIM/CIMの役割を図-1のように整理し、システム自体はWebGISを用いることにした。

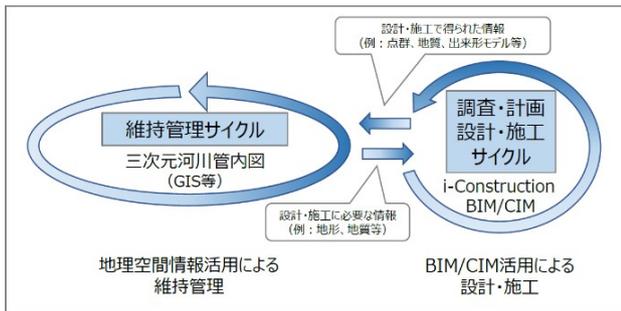


図-1 GISとBIM/CIMの関係性

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

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

さらに、高価なハード・ソフトウェアを必要としない

上に、ネットワークがあれば多くの情報機器で動作するため、職員が自席のPCで使用可能である。これにより、事務所と出張所間の移動コストを削減することができる。また、インターネットを用いて外部でも利用可能となることから、住民への説明や自治体での活用も可能となる。

### b) データ作成 (標準データフォーマット) について

WebGISではさまざまなデータ (数値、画像、リアルタイムデータ等) を利用できるが、これらのデータのフォーマットは非常に種類が多く、処理方法も異なり、地図上に可視化するためには技術・経験を要する。そこで、システムに加え、標準データフォーマットも検討した。

また、データを作成する上で重要なのが、確実にデータが更新されることである。データの更新はコストを要するため、むやみにデータの種類を増やすと継続性が低くなる。そこで九州地方整備局では3D管内図で整理するデータ (情報) を、図-3のように全河川で必須となる「基本情報」と各事務所が抱える問題やニーズに応じて整備する「応用情報」に分類した。「基本情報」は距離標、管理施設、過去の測量結果、流域界、行政界、治水地形分類図、点群データなどが分類される。また、「応用情報」は事務所独自に搭載を選択するものであり、河川現況台帳、河川管理基図、河川占用図、被災実績、工事履歴、道路・鉄道情報、三次元モデル、河川環境情報、360°写真などが分類される。これらの分類により、各事務所はコストと業務改善の効用を鑑み、効率的な整備が可能となり、DXにつながる。

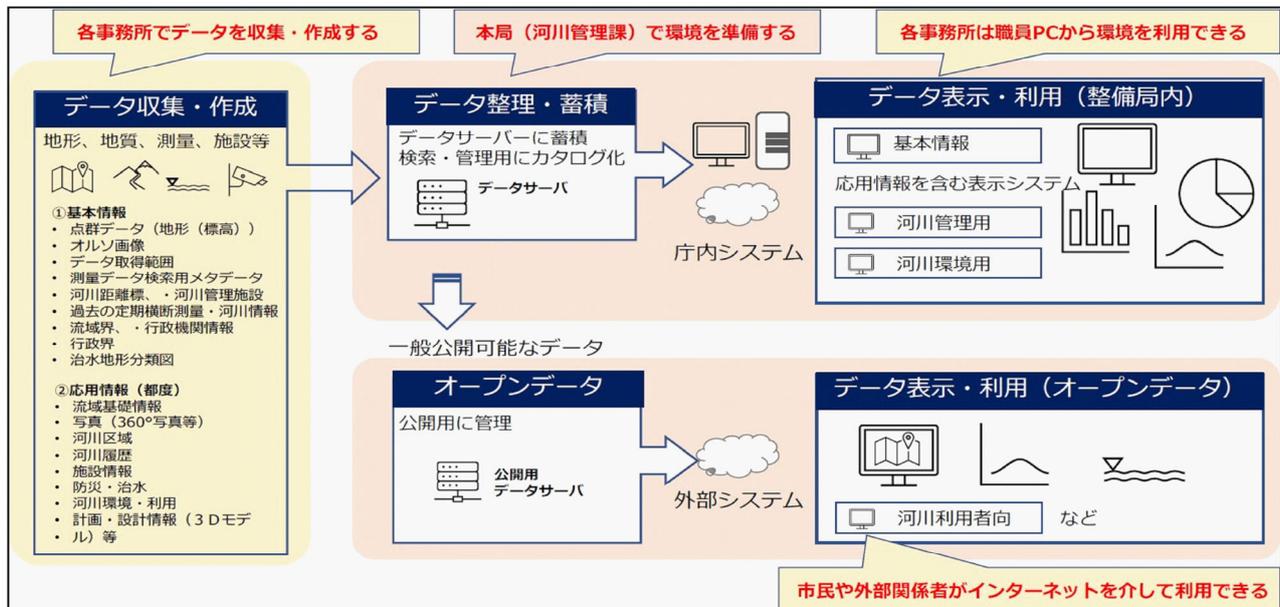


図-2 3D管内図のデータ収集～整理・蓄積～表示・利用までの一連の流れ

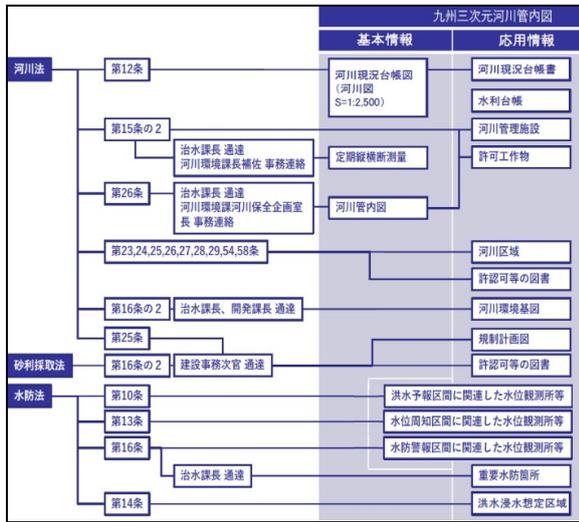


図3 関連法と3D管内図の関係性（基本情報・応用情報）

効率性向上について検討を行っており、優れた3D管内図を用いたDXの取り組みを行いたいと考えている。



図5 住民との合意形成への活用（九州地方整備局作成）

### c) 3D管内図に用いるGISソフトについて

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

オープンソースとは、プログラムの設計図が公開され、それを利用し改良・修正・配布ができる、利用する者の努力や利益を遮ることがないソフトウェアのことである。誰でも使用でき、改良、内容のチェックやテストが可能であるため、一般的には、透明性、信頼性、柔軟性が高いと言われている。また、特定の事業者を利用し続けなくてはならなくなる状態（バンダー・ロックイン）を防止できるという利点がある。

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

また、仮想空間（メタバース）作成に欠かせないゲームエンジンソフトとの相性も良く、九州地方整備局では、図4のように山国川を仮想空間に再現し、図5のように住民との合意形成等に活用している。



図4 山国川メタバース（九州地方整備局作成）

セシウムはインフラ分野においても徐々にその活用が広がりつつある。九州地方整備局ではこれらの取り組みを参考にするとともに、他の取り組みと連携し更なる

### 3. 3D管内図の様々な事例（ユース・ケース）

九州地方整備局では、セシウムを用いた優れた3D管内図等を作成している組織と勉強会を開催し、建設業界や社会にとって、最良となるデジタルデータの利活用について議論を行っている。3D管内図は、図6のように様々な分野の職員が利用することを想定しており、分野によって見たい・知りたい観点や情報が異なる。

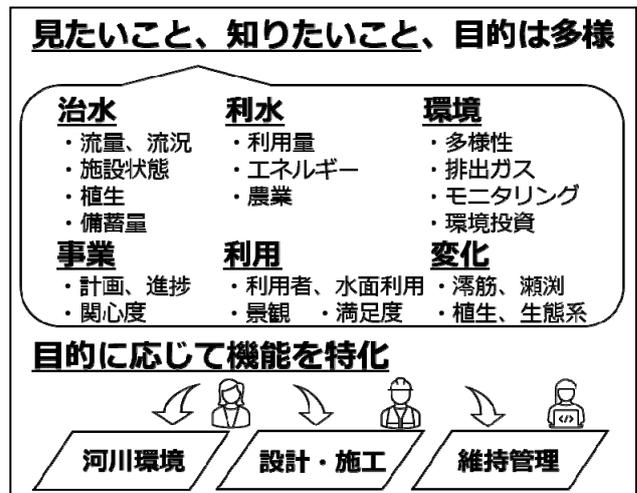


図6 3D管内図のデータ利用・使用例

図7は、砂防分野で作成した環境に特化した3D管内図である。シンプルで使いやすく、動作も軽快である。施設の3Dモデルや360°写真も組み込まれており、環境面で留意すべき事項を簡単に分かりやすく理解できる。

図8は、東京大学、筑波大、北海道大学、日本工営、建設技術研究所等で作成した「河川管理検討プロセスの高度化・省力化システム（X-EVA）」<sup>1)</sup>である。国土交通省の河川維持管理データベース（RiMaDIS）やiRIC（水工学に係る数値シミュレーションプラットフォーム）と3D管内図との連携が可能である。

図-9は調査測量から維持管理までの建設生産・管理の一連の事業の流れを可視化が可能な「Landlog Viewer」であり、雨量・水位などのリアルタイムデータとの連携・解析や3Dデータを用いた土量計算等に使用可能である。



図-7 環境に特化した3D管内図の例

### 三 RiMaDIS(維持管理)データとの連携

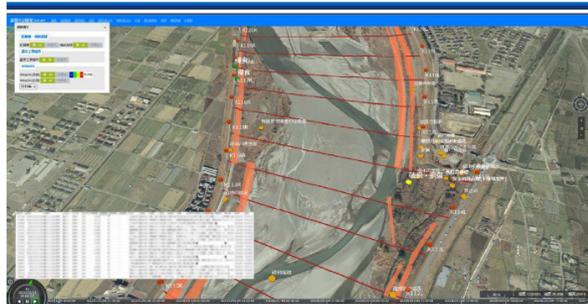


図-8 X-EVAとRiMaDISとの連携例



図-9 3Dデータを利用した土量計算の例

## 4. 3D管内図の今後のあり方について

3D管内図をきっかけにオープンソースの仕組みが普及することで、多様なサービスが提供されるための技術的素地ができるだけでなく、インフラ分野に様々な組織や個人が参加するオープンなシステムやサプライチェーンの形成にも寄与する。

多様な民間企業によるサービスの充実やデータ提供の供給元、コミュニティに関心のある人を増やすためには、市場形成の仕組みの構築も不可欠と考える。

## 5. まとめ

九州地方整備局ではDXの観点から、維持管理が低コストで業務効率の向上が期待できる仕組み（枠組み）やWebGISであるセシウム（オープンソースのソフトウェア）を用いた3D管内図の作成を行った。

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

謝辞：3D管内図勉強会に参加頂き、貴重な意見を頂いた、株式会社EARTHBRAIN、いであ株式会社、株式会社建設技術研究所、日本工営株式会社の皆様に深謝いたします。

## 参考文献

- 1) 「河川管理プロセスの高度化・省力化システム（X-EVA）の提案」藤原他、河川技術論文集2022年28巻

# 道路橋石橋(石造アーチ橋)における 定期点検について(技術資料の紹介)

池田 敏彦<sup>1</sup>・猪狩 名人<sup>2</sup>

<sup>1</sup>九州地方整備局 九州道路メンテナンスセンター 技術課 (〒812-0013 福岡県福岡市博多区博多駅東2-11-1)

<sup>2</sup>九州地方整備局 九州道路メンテナンスセンター (〒812-0013 福岡県福岡市博多区博多駅東2-11-1)

道路橋の定期点検の実施や結果の記録は、法令の趣旨や道路橋定期点検要領に則って、各道路管理者の責任において適切に行う必要がある。道路橋は、様々な材料や構造が用いられ、また、様々な地盤条件などにおかれること、また、これらによって、変状が道路橋に与える影響なども異なることから、道路橋の状態と措置の必要性の関係を定型化し難い。また、記録に残す情報なども、想定される活用方法に応じて適宜取捨選択する必要がある。

今回、アーチ構造の石橋について、健全性の診断を行うために適切かつ効果的に状態の把握が行われるように、その構造や材料の特性を踏まえて個々の石造アーチ橋の状態の把握の方法を計画するための「道路橋石橋の定期点検に関する参考資料[石造アーチ橋]」を作成したので紹介する。

キーワード 定期点検, 石造アーチ橋, 状態の把握, 健全性の診断

## 1. はじめに

道路橋では、5年に1回の近接目視を基本とする法定の定期点検が行われている。道路橋には様々な形式、材料を用いたものがあり、構造や立地条件も異なる。定期点検にあたっては、それぞれの橋の構造や損傷の原因の特性を見極めながら状態を把握し、措置の必要性を診断する必要がある。

本論文では、アーチ構造の道路橋石橋(以下「石造アーチ橋」という。)の定期点検要領を補完する技術資料(図-1)として九州地方整備局が主体となって作成し、健全性の診断を行うために適切かつ効果的に状態の把握が行われるように、その構造や材料の特性を踏まえて個々の石造アーチ橋の状態の把握の方法を計画するための参考資料である「道路橋石橋の定期点検に関する参考資料[石造アーチ橋]」(以下「本資料」という。)の概要を紹介するものである。

## 2. 本資料作成の背景

道路構造令では道路橋は鋼製かコンクリート製とするのが原則であり現在では大半がこのいずれかだが、昔ながらの石橋を道路橋として活用しているところもある。道路橋石橋は全国に約2,400橋あるが、九州地方にはその約半数が存在し、うち約700橋が石造アーチ橋であり、その約9割を市町村が管理している。(図-2~4)

しかし、鋼橋やコンクリート橋に比べて、石橋の構造的な特性や石材の材料特性に関する知見が体系的にまとめられた図書は多くなく、九州地方整備局が管内の市町村に定期点検の運用上の課題についてアンケート調査を実施した結果では、9割を超える市町村が石橋の定期点検や修繕にあたって参考にできる技術図書の必要性を挙げている。

そこで九州地方整備局では市町村支援の一環として、「道路橋石橋維持管理検討委員会」(委員長:山尾敏孝 熊本大学名誉教授)を設置し、学識経験者や管内の道路管理者等、並びに、定期点検に係る法令及び技術的助言の策定に携わる国土交通省の道路局や国土技術政策総合研究所も参画して石橋の維持管理の参考にできる技術資料を作成した。

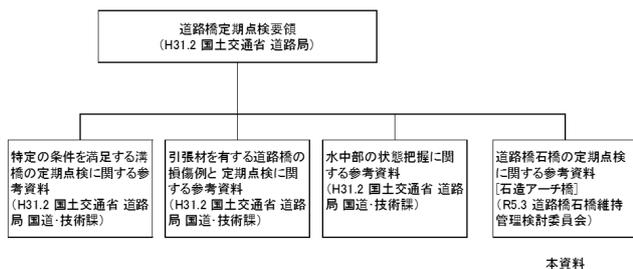


図-1 本資料の位置づけ

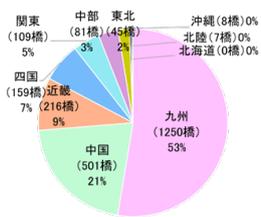


図-2 地域別分布 (全国)  
[N=2,376橋]



図-3 構造形式別 (九州)  
[N=1,250橋]



図-4 管理者別 (九州・石造アーチ橋)  
[N=687橋]

### 3. 本資料の概要

石造アーチ橋は、背面地盤から左右均等に土圧を受け、上部からもアーチ軸線に対して対称に鉛直荷重を受けることで、壁石及び中詰を介して輪石に荷重が伝達され、最終的に、輪石同士は主として圧縮状態となって耐荷機構を發揮し、アーチ軸線に沿って橋台を介して地盤に荷重を伝達する構造（以下、「アーチ機構」という。）である（図-5、6）。

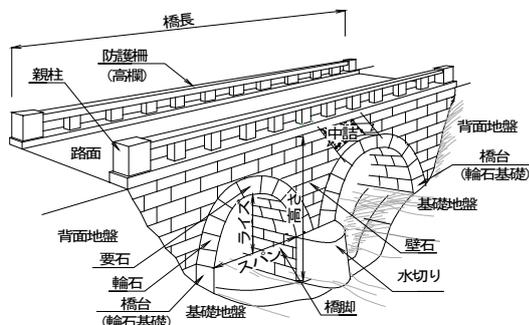


図-5 石造アーチ橋の部材の名称

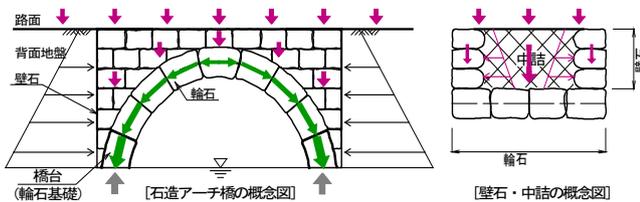


図-6 アーチ機構の概念図

石造アーチ橋における健全性の診断の根拠となる状態の把握では、アーチ機構の構造安全性に対し、影響が懸念されるアーチ・壁石面・輪石基礎・路面などの形状の

変化を捉えることが重要である。よって、本資料においては、形状の変化に影響を及ぼす変状について記録することを記述した。また、記録にあたっては、形状の変化に影響を及ぼす変状について適切に残すと同時に、記録に残す必要のない現地確認時に取得した情報（形状や変状のほか周辺状況などの写真データなど）も将来の変状確認時などの有用な情報として活用できる可能性があるため、データとして保存することを記述した。

本資料の目次構成を表-1に示す。

表-1 本資料の目次構成

1. 石造アーチ橋の構造特性
2. 定期点検における留意点
3. 健全性の診断の留意点
4. 全体形状の計測
5. 記録方法の例
別紙 1. 部材の名称
別紙 2. 定期点検の手順の考え方と変状の例
付録 1. 三次元計測及び画像計測による記録の事例
付録 2. 石材の種類と使用事例

#### (1) 石造アーチ橋の構造特性

石造アーチ橋は、1) 耐久性が高い石材で組んでいること、2) 力学的な強度・安定という観点では石材同士がアーチ形状を保つことで圧縮力を伝達し、耐荷機構を成立させていることという特徴がある。

#### (2) 定期点検における留意点

(1) より、個々の石材の表面やひび割れやうきの有無を調べても耐荷機構の成立性を評価することは困難であり、アーチ形状が保持されていることを確認することが不可欠である。そこで、以下のa)からc)のように、現地で確認する項目や記録すべき事項を示している。

a) アーチ機構を成立させるのに石材（輪石）を組み合わせていることについて、持続的にアーチ形状が保たれているか。または、石材間の開きなど既に形状の変化が始まっている兆候や、基礎地盤の洗掘などにより形状の変化を引き起こす要因が見られないか。（図-7）

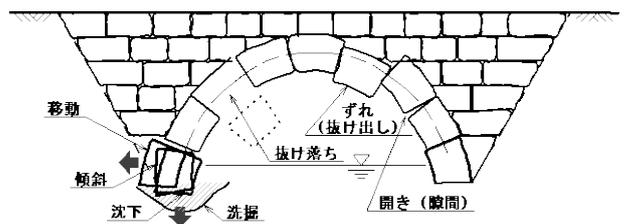


図-7 構造安全性に影響を及ぼす変状事例1

b) 中詰土を保持するためのアーチ側面の壁石にはらみ出しなどの形状の変化や石材間の開きが見られないか。または樹根など、アーチや壁石面などの石組み形状を変化させる要因が見られないか。(図-8)

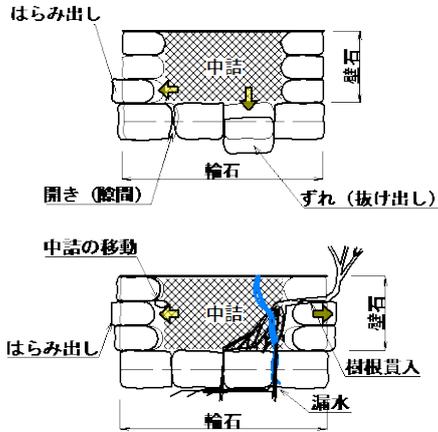


図-8 構造安全性に影響を及ぼす変状事例2

c) 中詰土が輪石・壁石の石組内から流出していないか。または、石材間の開き等により流出の兆候が見られないか。

一方で、アーチや壁石面の変状に影響を及ぼさない変状については、すべての記録を残す必要は低いと考えられる。石造アーチ橋のアーチ形状は、架設当初に対し変わっていくもので、経年により継続的に緩やかな変化をしていく場合と、突発的にアーチ機構などの石組みが変化する場合がある。

ここで、石造アーチ橋の状態の把握で重要なことは、アーチ機構の構造安全性に対し、影響が懸念されるアーチ・壁石面・輪石基礎・路面などの形状の変化を捉えることであるため、石材間の開き等がある場合でも、一様に変状の確認をし、ひびわれ等の位置・長さ・幅について変状図等を作成・記録するのではなく、アーチ機構の構造安全性に対して影響が懸念される変状と所見を記録に残すこと等を示している。

### (3) 健全性の診断の留意点

(1) より、石造アーチ橋における健全性の診断については、アーチ機構の石組みの状態などによる荷重伝達経路を確保する上で必要な構造安全性に対する判断が求められる。この健全性の区分を判定するための画一的な判断基準を作ることは困難であることから、健全性の診断を行う場合の参考となるよう、典型的な変状例のイラスト、写真に対して、状態の把握や健全性の診断にあたって考慮すべき事項の例を示している。(図-9)

■アーチ・壁石の形状確認

アーチ・壁石面の形状	1/9
	<p>例 【アーチ形状の変化】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>目視確認と計測の結果、アーチ形状に変化が見られる。なお、前回までは、健全なアーチ形状であった。</li> <li>アーチ形状の変状が進行すると、アーチ機構が成立しなくなり、輪石軸線の圧縮力が作用しなくなる可能性があるため、形状変化進行箇所の荷重伝達経路の確認が重要である。</li> </ul>
	<p>例 【アーチ形状の変化】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>計測の結果、アーチ形状の変化の進行が見られる。</li> <li>アーチ形状の変状が進行すると、アーチ機構が成立しなくなり、輪石軸線の圧縮力が作用しなくなる可能性があるため、形状変化進行箇所の荷重伝達経路の確認が重要である。</li> </ul>
	<p>例 【壁石面の変化・はらみだし】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>目視確認の結果、壁石の通り(壁石面)に変化が見られ、計測の結果、壁石面にはらみだしの形状変化が見られる。</li> <li>壁石面に異常がある場合、中詰材が粘性土の場合の圧密沈下や、砂礫の場合のゆるされることによる細粒分の間隙充填などによる押し出しおよび空溜等の状況確認や壁石を支持している輪石の形状変化の確認が重要である。</li> </ul>
<p>備考</p> <p>①共通して確認すべき事項</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>アーチ形状に変状がある場合でも、アーチ機構が成立している場合があるため、前回点検と比較して総合的に評価するとよい。アーチ機構は圧縮力を伝達するために石組みの状態や荷重伝達経路が確保されていることの状態確認が重要であり、その状態によっては構造安全性に影響を及ぼす可能性がある。</li> <li>ライズ比が小さくなると、輪石同士の圧縮状態を保持する大きな軸力が必要となり、基礎に生じる水平力も大きくなるため、基礎の変状の影響を受けやすくなる。そのため、洗掘による橋台の沈下・移動・傾斜や石材のひびわれ等が発生していないかを確認することが状態の把握を行う上での重要なポイントになる。</li> <li>壁石面の形状に変化がある場合でも、石積み(積層)としての機能が成立している場合があるため、前回点検と比較して総合的に評価するとよい。壁石面の形状に変化がある場合には、壁石単独の形状変化のほか、壁石を支持する輪石のアーチ機構の変化に伴う変化なのか見極めが重要である。いずれの変化によっても構造安全性に影響を及ぼす可能性がある。</li> </ul> <p>②変状が進行したときに石造アーチ橋の構造安全性に与える影響</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>形状変化が大きい場合、アーチ機構や石積み(積層)としての機能が成立しなくなるため、重車等が通行した際の活荷重、地震や出水等大きな外力により崩壊する可能性がある。</li> </ul> <p>③記録事項のポイント</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>形状の変化状況は、前回点検との比較を行うことになる。従来の計測手法の他、三次元計測等の機器やデジタル測距計等による計測も効率的である。機器の精度には相違があるため、機器の特性、適用範囲、計測条件等を確認する必要がある。</li> </ul> <p>④判定にあたっての留意点</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>判定区分については、各石材の状態(圧縮力の伝達等)をふまえて健全性の診断を行う必要がある。</li> </ul>	

図-9 健全性の診断等にあたって考慮すべき事項例

### (4) 全体形状の計測

(1) より、構造安全性に影響を及ぼす状態とは、アーチを形成する輪石、その輪石に支持され中詰材を保持している壁石面、壁石や中詰材によって保持されている路面などの荷重伝達経路に影響を与える変化が生じていることである。その形状の変化を捉えるため、輪石、壁石、路面などの計測を行い、記録として残すことが重要である。よって、石造アーチ橋の全体形状の変化を捉えるための計測箇所及び計測方法の例を示している。また、石造アーチ橋の壁石面や輪石の全体形状等の面形状については、距離計測で把握するには限界がある。そこで、近年、小規模土工などで試行されつつある、スマートフォンにて点群データを取得する方法や、三次元形状を計測するアプリを用いて石造アーチ橋の三次元データを取得する方法等についても検討することを推奨している。(図-10)



図-10 アプリを用いて三次元データを取得した事例

また、付録Iでは先進的な記録事例を紹介している（図-11、12）。アーチ全体の形状や石材間の配置を三次元測量やオルソ画像として記録・保存することで、次回以降の定期点検の診断の確実性を向上させることができるだけでなく、災害時の健全性の判断にも参考にすることができる。加えて、これまで多くの管理者が行っているような石材間の緩みに関するスケッチの作成や石材ごとの写真記録に置き換えることで、作業の省力化につながることも期待するものである。

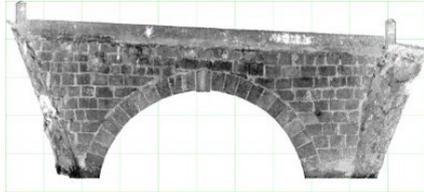


図-11 三次元計測によるオルソ画像の事例



図-12 画像計測によるオルソ画像の事例

(5) 記録方法の例

定期点検においては、技術的助言「道路橋定期点検要領 H31. 2 国土交通省道路局」に示されるように、定期点検の目的に沿って、橋の構造安全性、第三者被害防止、状態を維持するための次回点検までの措置の必要性や将来の維持管理の参考となる情報が把握できるように、橋の現状の状態を記録すること及び定期点検の目的に対応した所見に対して理由を添えて残すことが重要である。

石造アーチ橋の定期点検結果に関しては、記録として残すのが望ましい事項と、各道路管理者が記録様式を策定するにあたって参考にするとよい様式、これらの背景等を示している。（図-13、14）

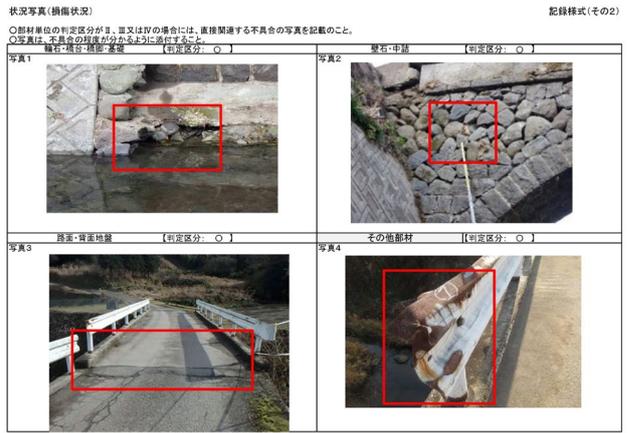


図-13 定期点検記録様式の例 [様式その1]

図-14 定期点検記録様式の例 [様式その2]

(6) 定期点検の手順の考え方

石造アーチ橋の定期点検における重要なことの一つとして、構造安全性に影響するアーチ・壁石面・輪石基礎・路面などの形状の変化を捉えることであるため、本資料では、その構造特性に応じた定期点検の手順の例を示した。（図-15）

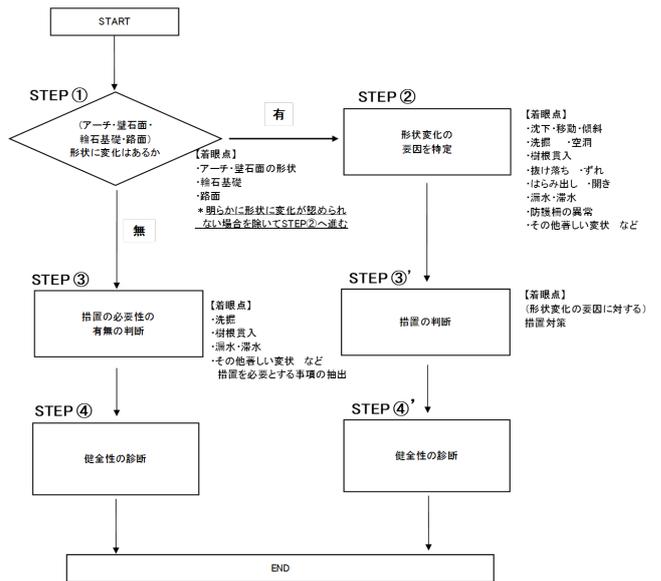


図-15 定期点検の手順の例

(7) 石材の種類と使用事例

石造アーチ橋に使用される石材は、花崗岩、安山岩、凝結凝灰岩、砂岩など採取される地域で様々である。九州の石造アーチ橋で石材の種類による変状の相違は大きくみられないが、砂岩については、板状に剥離したり、ハニカム状の風化が発生した事例がある。そこで本資料では、石材の種類を見分ける参考になるように代表的な石材の写真と特徴を示した。（図-16）

定期点検記録様式の例		記録様式(その1)			
橋名	橋名	所在地	起点側	橋長	橋脚
〇〇橋	橋線〇〇号	〇〇県〇〇市〇〇地区	〇' x' Δ'	〇〇〇〇	〇〇〇〇
管理番号	定期点検実施年月日	踏下条件	代替路の有無	自動車一歩道	区急輸送道路
〇〇県〇〇支庁〇〇市〇〇区〇〇番地	2021.3.0	河川	無	一般道	その他
石材種類		定期点検者		実施年月日	
〇〇〇〇		〇〇〇〇		〇〇/〇〇/〇〇	
石材名	判定区分	変状の種類	写真撮影	変状位置	変状内容
上野構造	〇	樹根貫入	写真2		
輪石	〇	洗掘	写真1		
下部構造	〇	洗掘	写真3		
路床	〇	陥没	写真5		
その他	〇	変形	写真4		
定期点検時の健康性の診断(判定区分1~IV)					
判定区分(所見等)					
(様式その6に基づき記載する)					
全量写真(起点側、終点側を記載すること)					
撮影年次	橋名	橋脚	橋脚	橋脚	橋脚
〇〇〇〇年	〇〇〇〇	〇〇〇〇	〇〇〇〇	〇〇〇〇	〇〇〇〇
橋脚形式	橋脚形式		橋脚形式		
石造一字橋(1径橋)	石造一字橋(1径橋)		石造一字橋(1径橋)		
■文化財の指定(県指定)	■文化財の指定(国指定)		■文化財の指定(国指定)		
■石橋以外の構造(コンクリート等)	■石橋以外の構造(コンクリート等)		■石橋以外の構造(コンクリート等)		
■石橋の種類(凝結凝灰岩)	■石橋の種類(凝結凝灰岩)		■石橋の種類(凝結凝灰岩)		
※定期点検が不明の場合は「不明」、文化財の指定が無い場合は「無」を記入する。抽出し撮影した写真の状況は記載して頂く。※記載等で分岐したコンクリート橋等は留意を付けて作成する。と記入。					

項目	概要・特徴	九州内における石材使用の事例
花崗岩	<ul style="list-style-type: none"> <li>・マグマが地下深くでゆっくり冷えて固まったもの。</li> <li>・みかげ石ともいう。</li> <li>・肉眼で見えるサイズの白っぽい鉱物と黒っぽい鉱物からなる。</li> <li>・花崗岩は全体的に白っぽい岩玉である。</li> <li>・全体的に均質であり、ムラが少ない。</li> </ul> 	眼鏡橋(秋月眼鏡橋)【福岡県朝倉市】 
安山岩	<ul style="list-style-type: none"> <li>・マグマが地表に噴出してできる火山岩である。</li> <li>・やや粘り気が大きく、ガスが抜けにくい。</li> <li>・色は灰色が基本だが、茶色を帯びることもある。</li> <li>・気泡の穴が空いていることが多い。</li> </ul> 	眼鏡橋【長崎県長崎市】  倉洲橋【長崎県佐世保市】 

図-16 石材の種類と使用事例

#### 4. おわりに

本資料では、適切な健全性の診断が行われるよう、石造アーチ橋の構造や材料の特性、変状の特徴についての情報をまとめた。なお、本資料を活用いただく中で、事例等の充実を図っていくものである。なお、本資料は下記で入手できる。

[https://www.qsr.mlit.go.jp/rd\\_mainte/site\\_files/file/gizyutusriryou/bridge\\_check.pdf](https://www.qsr.mlit.go.jp/rd_mainte/site_files/file/gizyutusriryou/bridge_check.pdf)

また、今後は道路橋石橋〔石造アーチ橋〕のデジタル計測や維持管理に関する参考資料についても作成していきたい。

**謝辞：**道路橋石橋の定期点検に関する参考資料〔石造アーチ橋〕の作成にあたり、道路橋石橋維持管理検討委員会委員にはご尽力いただきました。ここに感謝の意を表します。

# 佐賀導水路のポンプ施設における 維持管理について

甲斐 剛<sup>1</sup>・片渕 俊朗<sup>2</sup>

<sup>1</sup>九州地方整備局 佐賀河川事務所 管理課長(〒849-0918 佐賀県佐賀市兵庫南二丁目1番34号)

<sup>2</sup>九州地方整備局 佐賀河川事務所 管理課 施設管理係長(〒849-0918 佐賀県佐賀市兵庫南二丁目1番34号)

佐賀導水路は、筑後川、城原川及び嘉瀬川を導水路で連絡する流況調整河川で、洪水調節、内水排除、流水の正常な機能の維持および水道用水への補給を目的としている。

佐賀導水路のポンプ施設における維持管理は、予算の平準化を考慮した維持管理計画により実施しているが、老朽化等による機器の故障頻発による対応で維持管理計画に支障をきたしている。そのほとんどが、ガスタービンに伴う故障であることから、ガスタービンをディーゼル機関に更新することで適切な施設機能の発揮に加えてライフサイクルコスト縮減及びカーボンニュートラルの効果があり、施設の信頼性が向上することが期待される。

キーワード ポンプ施設、維持管理、コスト縮減、カーボンニュートラル

## 1. 佐賀導水路の事業について

### (1) 事業の経緯

佐賀平野を流下する河川は、日本一の干満の差が大きい有明海の潮位の影響を受けている。さらに、地下水の汲み上げによって生じた地盤沈下による排水不良も加わって佐賀平野の多くは内水常襲地区となっており1980年8月、1990年7月、2009年7月、2012年7月等の洪水で床上・床下浸水などの甚大な被害をうけていた。

一方、佐賀平野は干拓により平野部が拡大したため、山地部とのバランスが崩れ、慢性的な用水不足に悩まされているとともに、佐賀市街地の都市化の進展に伴い、佐賀市内河川の水質汚濁の状況が悪化していた。

このような状況のもと、佐賀導水路事業は洪水調節、内水排除、流水の正常な機能の維持、水道用水の供給を目的とし、筑後川、城原川及び嘉瀬川を結ぶ流況調整河川として計画された。

洪水調節については、通瀬川、切通川、井柳川、三本松川、馬場川、中地江川及び焼原川にポンプ場を建設し内水被害の軽減を図るものである。

流水の正常な機能の維持及び水道用水の供給については、筑後川、城原川及び嘉瀬川を繋ぐ導水路を建設し、1979年2月の筑後川水系水資源開発基本計画の変更において位置づけられた佐賀導水事業と城原川ダム事業が相まった開発見込量1.8m<sup>3</sup>/sのうち、0.65m<sup>3</sup>/sを佐賀導水事業の単独の新規開発量とし、流水の正常な機能の維持(嘉瀬川：0.3m<sup>3</sup>/s・城原川：0.1m<sup>3</sup>/s)及び佐賀市内河川の水質浄化用水と併せて最大2.25m<sup>3</sup>/sを導水するものである。本事業は当時の筑後川工事事務所において1965年4月に予備調査着手、嘉瀬川ダム調査事務所(1973年に設

置)において1974年4月に実施計画調査に着手、1979年4月からは名称変更した佐賀河川総合開発工事事務所において建設に着手した。

以降、2009年3月に総事業費約995億円をもって建設事業が完了し、2009年4月から筑後川河川事務所の所管として管理に移行した。その後、2016年4月1日に武雄河川事務所に移管され、2020年4月1日に現在の佐賀河川事務所が設置された。



図-1 位置図



写真-1 出水状況(佐賀駅周辺)2009年7月

## (2) 事業の歴史

佐賀導水路の事業の歴史は表一のとおり。

年月	主要な事業内容
昭和49年4月	佐賀導水路事業実施計画調査に着手
昭和54年4月	佐賀導水路事業建設に着手
昭和56年1月	筑後川水系フルプランに追加(閣議決定)
昭和61年10月	佐賀導水路事業計画決定 水資源開発公団(当時)との全体受委託協定締結 佐賀導水路事業建設起工式(神埼町(当時)戸井土地区)
平成元年3月	三本松川ポンプ場完成
平成2年3月	馬場川ポンプ場完成
平成2年10月	巨勢川調整池内の工事着手
平成9年3月	水資源開発公団(当時)との全体受委託協定完了 佐賀導水路以東ルート(筑後川～城原川)概成
平成13年4月	一級河川指定(東・西佐賀導水路) 城原川・中池江川直轄管理区間の変更 機能確認試験の開始
平成14年3月	通瀬川ポンプ場完成
平成14年1月	佐賀県から中池江川ポンプ場を移管
平成16年12月	佐賀導水路事業計画変更(事業費、工期)通知
平成17年3月	巨勢川ポンプ場完成、井柳川ポンプ場完成
平成17年10月	切通川ポンプ場完成
平成21年3月	佐賀導水路事業完了
平成21年4月	佐賀導水路管理開始

表一 佐賀導水路の事業の歴史



写真一 巨勢川機場竣工式 (2005.5)

## 2) 内水排除

通瀬川、切通川、井柳川、三本松川、馬場川、中池江川及び焼原川の各内水常襲地区の内水排除を行い、内水被害の軽減を図る。

## 3) 流水の正常な機能の維持

### ア) 不特定用水

城原川、嘉瀬川の下流沿岸における既得用水の補給を行う等、流水の正常な機能の維持を図る。

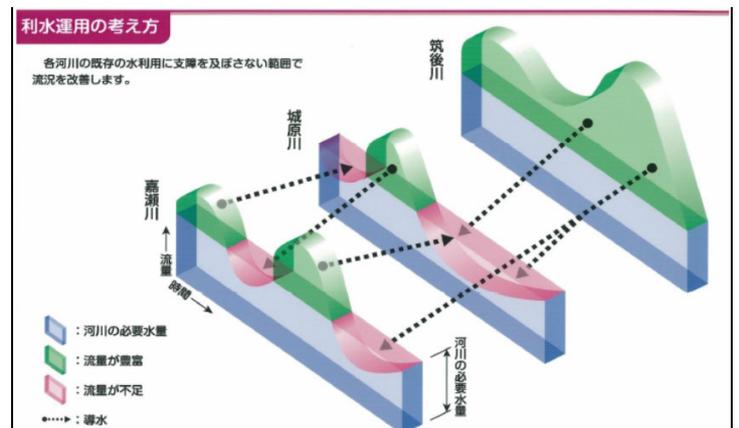
### イ) 浄化用水

都市化の進展に伴い、河川環境が悪化している佐賀市内の水路を含めた市中心部の佐賀市内都市河川浄化用水を導水し、水質浄化を図る。

### ウ) 水道用水

筑後川、城原川及び嘉瀬川相互の流況を調整し、新たに0.65m<sup>3</sup>/sの水道用水の取水を可能とする。

尚、流況調整河川とは、季節によって流れが違う2つ以上の河川を水路で結び、必要に応じてそれぞれの河川のうち、余剰のある河川から不足している河川へ水を移動させて河川の流れを改善するものである。



図一 利水運用の考え方

## (3) 事業の目的

佐賀導水は、筑後川、城原川及び嘉瀬川を導水管(管路、開水路)で連絡する流況調整河川を建設し、洪水調節、内水排除、流水の正常な機能の維持(河川維持用水の補給及び河川水質浄化)並びに水道用水の補給を行い、河川の流水の状況改善を図るものである。

### 1) 洪水調節

巨勢川東淵地点における基本高水のピーク流量200m<sup>3</sup>/sのうち調整池及び導水管により130m<sup>3</sup>/sの洪水調節を行い、下流地域の被害を防除する。

## (4) 流域の概要

佐賀平野は、北の背振山地、南の有明海に挟まれた6万haを超える広大な平野でその殆どが有明海の干満の影響を受け、干拓とガタ土(海洋性粘性土)の堆積により形成された沖積平野である。

その佐賀平野を流れる河川は、低平地のため河床勾配が緩く小河川が多いため、昔から氾濫や内水による浸水被害が頻発してきた。また山地に比べ平野が広く山地は低く奥行が狭いといった特徴がある。水を供給すべき山地が狭く水を使用する平野が広いいため、渇水時には水不



#### (4) 点検結果の不具合箇所一覧表

毎年の点検において以下の表-5のとおり不具合が報告されており、その箇所数は、2020年(計155件)、2021年(計177件)、2022(計178件)と年々増加傾向にある。

尚、不具合の対応については、点検結果において致命的な機器から優先的に交換しているが、予算の都合上、満足に行いきにくい状況である。

施設名	設備設備		主原動機種別	施設完成年度	稼働開始年度	経過年数(P4まで)	不具合箇所数		
	総排水量(m <sup>3</sup> /s)	台数					R2	R3	R4
巨勢川(東濃系)	26	2	GT(横軸)	H18年度	H17年度	18年	29	37	30
巨勢川(徳原系)	4	2	GT(横軸)	H12年度	H13年度	22年	16	22	21
中地江川	12	3	GT(横軸)DE	S81年度	S82年度	36年	14	14	18
馬場川	5	2	DE	H1年度	H3年度	33年	18	22	23
三木松川	5	2	DE	S83年度	H3年度	34年	15	17	18
井瀬川	5	2	GT(立軸)	H18年度	H18年度	18年	17	17	16
切通川	10	2	GT(立軸)	H17年度	H18年度	17年	20	22	22
通瀬川	5	2	GT(立軸)	H13年度	H14年度	21年	26	26	30
備考			※油圧系は取水のための装置 GT=ガスタービン DE=ディーゼル				計155	計177	計178

表-5 治水ポンプ場における不具合箇所数

#### (5) 点検における課題

佐賀導水路の10施設の内ガスタービンを主原動とするポンプが6施設(計11台)あり、各ポンプ施設は設置後約20年が経過し、近年不具合が頻繁に発生している。

そのほとんどは、ガスタービンエンジン、ガスタービン制御設備、操作制御設備によるものに集中しているため、出水時に十分な機能が発揮できない恐れがある。

なかでも、巨勢川(東濃系)ポンプ場のガスタービンは海外製で、部品交換の調達に1~3年かかり、部品の価格は高額で納期にも時間を要している。さらに、昨今、部品・原材料が高騰し、価格は上昇し続けている。

また、毎年の定期点検とは別に、定期整備も必要で、巨勢川(東濃系)ポンプ場の施工業者によるとガスタービンパッケージの整備は、パッケージ内の補機類の整備や交換を実施するGT整備とパッケージ内のエンジン本体を工場へ持ち帰るオーバーホールに大別され、GT整備は概ね10年を目途に、エンジンオーバーホールは運転時間2000時間または起動回数300回ごとに、それぞれ推奨されている。

しかし、堰堤維持費の予算では、GT整備(10年整備)は何とか工面して出来ていても、エンジンオーバーホールは予算の都合上、運転時間2000時間または起動回数300回ごとに整備できていないのが課題である。

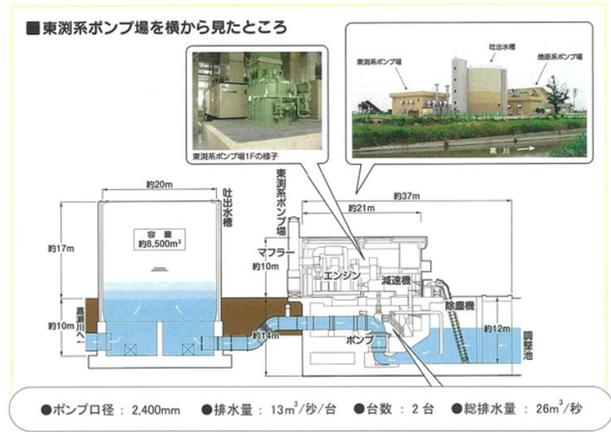


図-5 東濃系ポンプ場を横から見たところ



写真-3 東濃系ポンプ場のガスタービンエンジン

**(6) 今後の方針**

堰堤維持費の予算では、ガスタービンの不具合対応及びメーカー推奨整備（エンジンのオーバーホール）が追いつかず、このままでは利水機能および治水機能が停止してしまう恐れがあり、甚大な被害が発生することが想定される。

ガスタービンは補修部品、維持管理先がメーカー一択となり、部品価格、整備費用、修繕費用が高額となるため、定期整備はもとより故障対応も満足に行にくい状況である。

また、ガスタービンは、専門業者しか修繕、整備等ができないため、不具合が発生しても即時対応ができない。

これらのことから、今後は、新規事業において、ガスタービンをディーゼル機関に更新していく方針である。



写真-4 中地江ポンプ場のディーゼル機関

**(7) ディーゼル機関とガスタービンの特性比較**

ディーゼル機関とガスタービンの特性比較「揚排水ポンプ設備技術基準」を以下の表-6に示す。

機種 (冷卻方式)	ディーゼル機関			ガスタービン	
	冷卻式 (管内クーラ方式) (別置ラジエータ方式)	水冷式 (機付ラジエータ方式)	空冷式	横軸ガスタービン (空冷)	立軸ガスタービン (空冷)
適用の多い機種 (機頭出力)	中大規模機種用 (2,000kW以下)	小規模機種用 (400kW以下)	小規模機種用 (285kW以下)	中大規模機種用 (400~2,000kW)	中大規模機種用 (400~2,000kW)
経済性	建設費 (設備+土木建築)	空冷式よりやや大きい	最も小さい	出力が大きくなると ディーゼル機関と同程度	横軸ガスタービンより小 さい
	維持費	ガスタービンに比べ小さい			ディーゼル機関に比べて大きい
	LCC	ガスタービンに比べ低い			ディーゼル機関に比べて高い
操作性	排水量の調節 (回転速度制御)	2段階程度	一定	連続可変(2軸式)	
	低温時の始動	低温時着火不良の危険あり			通常の外気温度では影響なし
	再始動までの時間	短い			各部温度が安定するまで再始動できない (一部機種を除く)
維持管理	点検整備	地域業者対応	専門業者	専門業者	
	修繕	現場修理可能な範囲が広い			工場持込が必要な場合が多い
環境保全	騒音、振動 NOx	対策難しい			対策容易
	CO2	燃料消費がガスタービンの半分			燃料消費がディーゼルの2倍
危機対応	緊急修繕	製造メーカー以外の対応可能			製造メーカー以外の対応困難
	部品供給	老朽機でなければ安定	海外部品がある		海外部品の確保がある

表-6 ディーゼル機関とガスタービンの特性比較表

これによると、建設費（設備+土木建築）は、ガスタービンが小さいものの、それ以外の1)~7)の特性では、ディーゼル機関が優位なことがわかる。

- 1) 経済性（維持費）  
ディーゼル機関はガスタービンに比べて小さい
- 2) 経済性（LCC）  
ディーゼル機関はガスタービンに比べて低い
- 3) 操作性（再始動するまでの時間）  
ディーゼル機関は短い  
(ガスタービンは温度が安定するまで再始動不可)
- 4) 維持管理（点検整備）  
ディーゼル機関は地域業者対応可能  
(ガスタービンは専門業者対応)
- 5) 維持管理（修繕）  
ディーゼル機関は現場修理可能な範囲が広い  
(ガスタービンは工場持込が必要な場合が多い)
- 6) 環境保全（CO2）  
ディーゼル機関は燃料消費がガスタービンの半分
- 7) 危機対応（緊急修繕・部品供給）  
ディーゼル機関は製造メーカー以外の対応可能  
(ガスタービンは製造メーカー以外の対応困難)

**まとめ**

佐賀導水路の予算はユーザー負担によるものとなっており、予算の平準化を考慮した維持管理計画により実施しているが、老朽化等による機器の故障頻発による対応で維持管理計画に支障をきたしている。

また、計画していた機器の整備を取りやめにし、故障対応に費用を捻出しているのが現状である。

表-6の特性比較のとおり、ディーゼル機関を導入することでライフサイクルコスト縮減及びカーボンニュートラル（CO2削減）の効果があり、施設の信頼性が向上することが期待される。

今後、ガスタービンをディーゼル機関に更新できれば、ポンプ場の信頼性が確保でき、近年の気候変動に伴う豪雨に備える施設として更に期待される。

**参考文献**

- 1) 国土交通省総合政策局公共事業企画調整課水管理・国土保全局河川環境課：河川ポンプ設備点検・整備・更新マニュアル（案）2015.
- 2) 一般社団法人河川ポンプ施設技術協会：揚排水機場設備点検・整備指針（案）同解説 2010.
- 3) 国土交通省：揚排水ポンプ設備技術基 2014.

# 国道57号 中九州横断道路における 連続鉄筋コンクリート舗装の施工事例

前田 大翔<sup>1</sup>・鶴田 健太郎<sup>2</sup>

<sup>1, 2</sup>九州地方整備局 佐伯河川国道事務所 竹田維持出張所

(〒878-0024 大分県竹田市大字玉来字上ノ迫1162-2)

国道57号中九州横断道路では、犬飼IC～千歳IC間（暫定2車線）での舗装修繕工事において連続鉄筋コンクリート舗装を施工した。従来、連続鉄筋コンクリート舗装は施工方法上、2車線を規制する必要があるため、供用されている道路での導入は困難であるが、犬飼IC～千歳IC間の追い越し4車線区間では施工することが可能となった。また、コンクリート舗装の中でも連続鉄筋コンクリート舗装を導入することにより、振動や騒音といったコンクリート舗装の課題に配慮し、さらに、スリップフォーム工法での施工により、人員の省力化、工期の短縮を実現した。

キーワード 舗装修繕工事, 連続鉄筋コンクリート舗装, スリップフォーム工法

## 1. はじめに

国道57号中九州横断道路は、大分県大分市と熊本県熊本市を結ぶ高規格道路で、両県の交流を促進するとともに沿線地域の活性化に寄与する道路である。

犬飼IC～千歳IC区間においては平成19年3月に開通して以降約15年が経過し、1日あたり交通量約11,400台で、大型車混入率も10.2%であることから、近年舗装の劣化が進んできていたところである。本稿は、舗装修繕工事で施工した連続鉄筋コンクリート舗装の施工事例を報告するものである。

## 2. 施工概要

本舗装修繕工事では、犬飼IC～千歳IC区間（上り線）のうち延長480m、幅員8m（4m×2車線）で厚さ20cmの連続鉄筋コンクリート舗装を施工した。連続鉄筋コンクリート舗装の施工には、一般的に2車線以上が必要とされていることから、犬飼IC～千歳IC間の追い越し4車線区間を規制し、施工を行った。

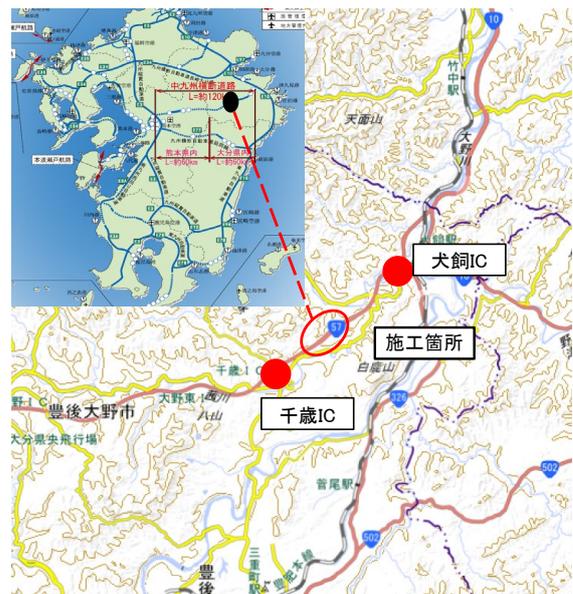


図-1 位置図



図-2 完成状況（写真右側）

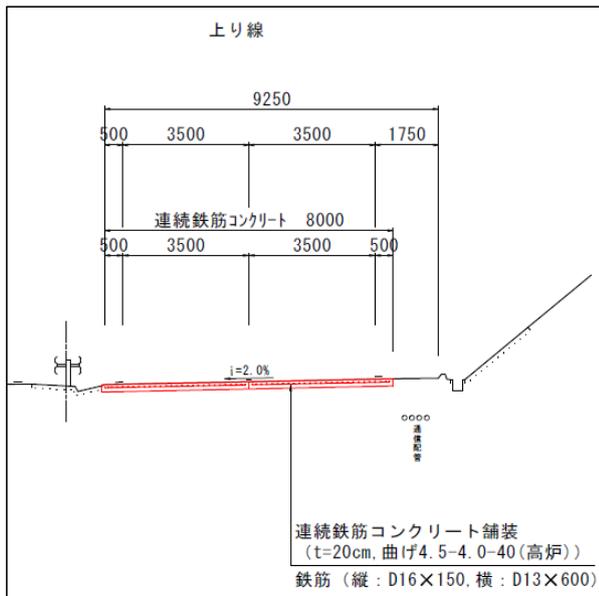


図-3 標準断面図

### 3. 連続鉄筋コンクリート舗装

#### (1) アスファルト舗装とコンクリート舗装の違い

道路の舗装には大きく分けてアスファルト舗装とコンクリート舗装がある。それぞれの舗装の長所として、アスファルト舗装は初期コストの小ささ、静音性が挙げられ、コンクリート舗装は維持修繕コストの小ささ、耐久性の高さが挙げられる。アスファルト舗装は交通開放できるまでの時間が短いということが大きな長所であり、舗装温度が50℃以下になれば通行可能となる。その一方で、コンクリート舗装は一定の強度を確保するために養生期間が必要となり、その結果、交通開放に時間がかかる。そのため、舗装率を上げなければならないという情勢の中ではアスファルト舗装が多く採択されてきた。さらに、コンクリート舗装はアスファルト舗装と比べて騒音や振動が大きいことから、施工できる場所が限られるという短所がある。以上のことから、これまでの道路舗装においては、アスファルト舗装が主に選択されてきた。

しかしながら、アスファルト舗装にも課題がある。それは、コンクリート舗装と比べて強度が低いこと、また熱を保ちやすいためヒートアイランド現象の要因となることである。アスファルト舗装は強度が低いことで、ひび割れやわだち掘れが発生しやすくなり、何度も補修が必要となることからライフサイクルコストの増大につながる。また、アスファルト舗装はコンクリート舗装に比べて路面温度が5～10℃高いため、ヒートアイランド現象の進行につながる。このようなアスファルト舗装の課題を踏まえ、コンクリート舗装は近年、ライフサイクルコストの最小化やヒートアイランド対策として注目されており、積極的な導入が検討されつつある。

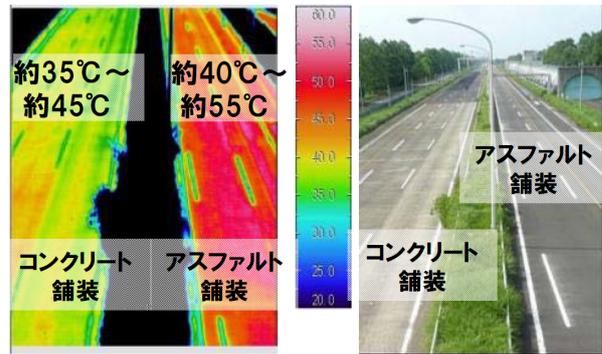


図-4 路面サーモグラフィ写真<sup>2)</sup>

#### (2) 連続鉄筋コンクリート舗装について

連続鉄筋コンクリート舗装は、従来のコンクリート舗装と異なり、縦方向鉄筋を長いスパンで連続的に設置し、目地を設けず一体的なコンクリート舗装版をつくる工法である。コンクリート舗装を走行する際の振動や騒音の原因となる目地を設けないことで、これらの抑制につながる。また、連続鉄筋コンクリート舗装は縦方向に鉄筋を連続的に配置することにより、縦方向鉄筋の抵抗力によってひび割れ幅が小さくなるよう制御することができる。

### 4. 施工について

施工にあたっては、供用中の道路であるため上下4車線のうち下り側2車線を対面通行とし交通を確保したまま施工を行った。以下に規制図の一例を示す。

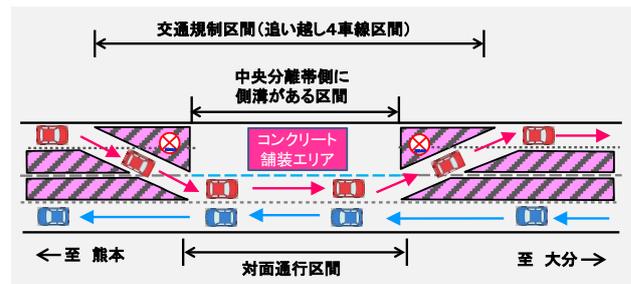


図-5 規制状況

連続鉄筋コンクリート舗装延長480mに対して、中央分離帯側に側溝がない箇所でも車線変更させるために、規制延長は約1,300mとした。また、対面通行区間内は、警察協議により速度規制を70km/hから50km/hに変更した。

#### (1) 配筋について

鉄筋については、縦方向鉄筋(主鉄筋)を150mmピッチで設置し、横方向鉄筋(配力筋)を600mmピッチで設置した。なお、横方向鉄筋は縦方向鉄筋に対して斜めに設置している。このようにすることで、ひび割れに抵抗

する鉄筋量が増し、ひび割れ同士のつながりを抑制することができる。

今回施工箇所の中には、切土部と盛土部との境（切盛境）において長年の沈下により舗装の傷みが一番激しい箇所があった。地盤調査において初期沈下は安定していると判明したものの、今後の管理を考慮し、通常コンクリート版上面に配置する連続鉄筋に加えて、切盛境部のみコンクリート版下面に補強鉄筋を配置し、今後の沈下によるひび割れ等の対策を実施した。



図-6 鉄筋配置状況



図-7 コンクリート版下面の補強鉄筋組立状況

## (2) 連続鉄筋コンクリート舗装の施工について

連続鉄筋コンクリート舗装の施工では、コンクリートを常に供給し続ける必要がある。しかし、コンクリートを打設する機械の進行方向にはあらかじめ配置された鉄筋、進行方向の逆方向には養生中のコンクリートがあるため、1車線のみでの施工は難しい。そのため、連続鉄筋コンクリート舗装の施工には少なくとも2車線が必要となる。

また、コンクリートの打設ではスリップフォーム工法を用いて施工した。このスリップフォーム工法は型枠やレールの設置・撤去作業が不要な工法である。さらに、締め装置と成形装置を備えた自走式施工機械（スリップフォームペーパー）を用いているため、作業の省力化と工期の短縮につながる。スリップフォームペーパーの縦フロートの表面仕上げを行った後は、人力にて横フロート仕上げを行い、端部については左官工により端部仕上げ

を行う。仕上げ完了後、コンクリートの固さが落ち着いた頃合いを見て、人力にて横方向にほうき目を入れる。

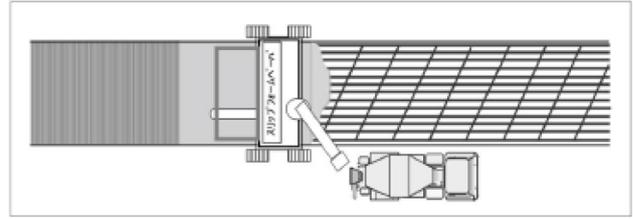


図-8 連続鉄筋コンクリート舗装の施工方法

スリップフォーム工法で使用するコンクリートは、施工性及び仕上げやすさ、エッジランプが生じにくいコンクリート配合とする必要がある。通常のコンクリート舗装のスランブは2.5cmとされているが、スリップフォーム工法においては、スランブは3～5cmが標準値として示されている。本施工では中間の4.0cmを採用することとした。

施工ではアジテータ車にて運搬したコンクリートを横取機で受け、荷卸しを行った。敷均し、成形、表面仕上げ等についてはトータルステーション（TS）を搭載したスリップフォームペーパーにてマシンコントロール技術を用いて施工を行った。マシンコントロールに3台のTSを用い、順次これらを盛り替えることにより、施工を中断することなく連続的に施工が可能となり、工期の短縮等が図れた。また、施工継目が切盛境にならないように1日の打設範囲を設定した。



図-9 アジテータ車によるコンクリート荷卸し状況



図-10 コンクリート敷均し状況



図-11 ほうき目仕上げ状況

## 5. 連続鉄筋コンクリート舗装の課題

これまでコンクリート舗装についてまとめてきたが、供用中の道路での導入においては施工場所が限定されるなどの課題が考えられる。今回施工対象となった区間は4車線あったため連続鉄筋コンクリート舗装の施工が可能となったものの、機械が大きいことから、供用中の2車線道路において同様の施工を行うことは困難である。例えば図-12のように施工方法を工夫することで、1車線のみで施工することは可能である。しかし、アジテータ車からコンクリートを送れる長さには限界があり、またアジテータ車は鉄筋上を当然通行できないため、十数メートルごとに鉄筋配置とコンクリート打設を繰り返し行わなければならない。このようになると、施工性が低下してしまう。また、規制についても、長時間の片側交互通行、幅員減少が予想されるため、交通に大きな影響を与える。このように施工性と交通規制を考慮すると、車線数が少なく、作業スペースが限られる供用中の道路においては連続鉄筋コンクリート舗装の今後の導入に課題があると考えられる。

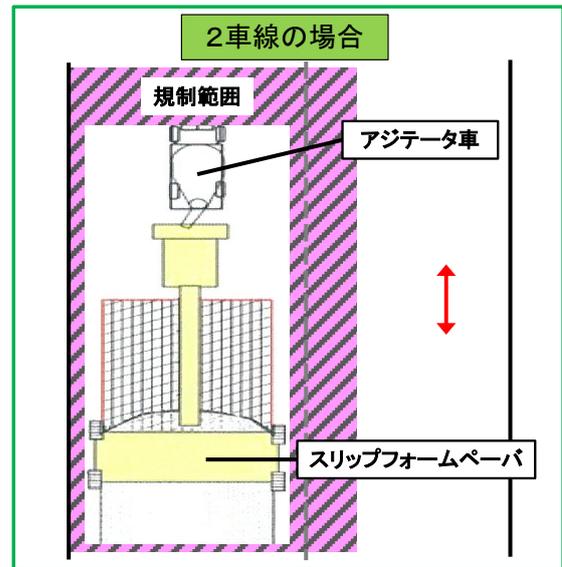


図-12 2車線でのコンクリート舗装の施工例

## 6. まとめ

連続鉄筋コンクリート舗装は横目地がなくなるため、走行性が向上するとともに、振動や騒音を軽減することが期待できる。また、平坦性は出来形管理基準において $\sigma=2.4\text{mm}$ 以下のところを、 $\sigma=1.15\text{mm}\sim 1.19\text{mm}$ の平坦性を確保することができた。

また、関係機関の協力を得ることで供用中の道路における舗裝修繕工事として、一般交通を止めない施工を行ったことにより、物流や観光産業へ与える影響も最小限に抑えて修繕工事ができた。

現在のコンクリート舗装は、ライフサイクルコストの最小化やヒートアイランド現象の対策として着目されているが、すでに供用されている道路での施工・活用にはまだ検討が必要であるといえる。本稿にて、供用中の道路における連続鉄筋コンクリート舗装について取りまとめたが、今後のコンクリート舗装活用の参考になれば幸いである。

### 参考文献

- 1) 日本道路協会：コンクリート舗装ガイドブック 2016
- 2) 日本道路協会：長寿命化のための適材適所の舗装技術「コンクリート舗装の普及に向けて」

# 番匠川の害獣に負けない堤防づくり

藤原 勇氣<sup>1</sup>・中嶋 将之<sup>1</sup>・生田 俊裕<sup>2</sup>

<sup>1</sup>九州地方整備局 佐伯河川国道事務所 佐伯出張所 (〒876-0013 大分県佐伯市弥生大字井崎1244-1)

<sup>2</sup>九州地方整備局 佐伯河川国道事務所 河川管理課 (〒876-0813 大分県佐伯市長島町4丁目14-14)

2015年度の河川巡視報告により、害獣(がいじゅう)と推定される堤防の掘り起こし被害が増加していることが明らかになった。これを受け、現在まで被害に対する調査や分析を実施し、それらを踏まえた対策を積み重ねてきた。

本稿では、その内容を詳述するとともに、対策の効果と今後の方針について報告する。

キーワード 土堤、害獣、掘り起こし、堤防点検、堤防維持管理

## 1. はじめに

河川堤防は、洪水等による氾濫を防ぐ対策として古くから整備が進められており、安全で安心な地域づくりを取り組む上で重要な社会基盤施設の一つである。そして、経済性や材料の入手が容易なことから土砂による築堤が多く、番匠川において多くが土堤で整備されてきた。しかし、掘り起こし等の被害を受けやすく、番匠川流域において2015年度以降の河川巡視報告により、被害が増加していることが明らかになった。

本報告は、2015年度より発生した害獣(イノシシ)による堤防の掘り起こし被害(以下、掘り起こし被害)に対する調査や対策について詳述するとともに、その効果と今後の方針について考察するものである。

## 2. 番匠川の概要

番匠川は、その源を大分県佐伯市の三国峠に発し、急峻で屈曲の多い渓谷を流下し、途中、久留須川、井崎川等を合わせながら東に流れ、山間部を抜けてゆるやかに蛇行し佐伯市街地に至り、さらに堅田川を合わせて佐伯湾に注ぐ、幹川流路延長38km、流域面積 464km<sup>2</sup>の一級河川である(図-1)。番匠川流域は、大分県南部に位置し、番匠川と周囲の山々が調和して緑豊かな景観美を造り、また、その沿川は豊かな自然環境を有するとともに、良好な水質から「清流番匠川」として親しまれている。流域の土地利用は、山地等が約 96%、水田や果樹園等の農地が約 2%となっている。その流域は、大分県南地域における社会、経済、文化の基盤をなすとともに古くから人々の生活、文化と深い結び付きを持っていることから、

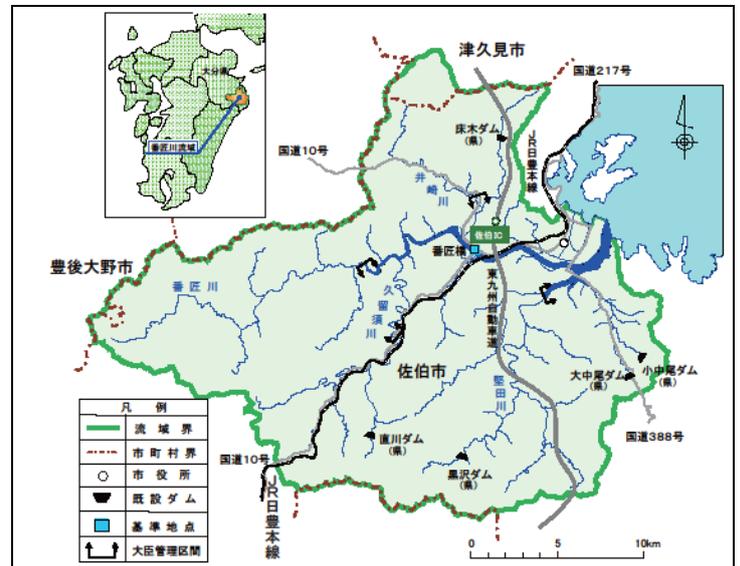


図-1 番匠川流域図

人々に多くの恵みを与えて、番匠川水系の治水、利水、環境における意義は極めて大きいものとなっている。

## 3. 敵を知る

### (1) イノシシ視察

今回の検討を行うにあたり、まず、イノシシの基本的な生物学的特徴を知ることが大事だと考えた。また、イノシシの掘り起こしだと特定するに当たって重要な証拠は足跡(写真-1)だが、これまで実物の蹄(ひづめ)を見る機会がなかった。そこで、実物のイノシシを飼育している大分県九重町の宝八幡宮(写真-2)へ行くことで知見を深めようと考えた。実際に見に行き、特に蹄を重視して観察した。やはり現場に残された足跡と同様に特徴的な主蹄と副蹄を確認することが出来た。今後、河川敷

などで動物のフィールドサインを発見した際に、足の跡の開き具合や副蹄などでイノシシだと判別できると確認した。最後は、堤防の掘り起こしが無くなるよう祈願した。



写真-1 イノシシの足跡



写真-2 イノシシ視察（宝八幡宮）

(2) 猟友会からの情報収集

イノシシの生態を学ぶ、という目的で佐伯市猟友会に協力をいただいた。生態の他にこれまで行ってきた対策など、伺ったことについて次項に示す。

基本に立ち回り知見を得ることは、イノシシの掘り起こし対策に関して深く考える機会になり、課題点を改善していく上で大事な経験であった。（写真-3）



写真-3 佐伯市猟友会事務所における情報収集の様子

a) 生態について

- ①臆病な性格であり、天敵である人やシカを好まない。
- ②たけのこ・カヤの根・イネ・ドングリ・イモ類・ミミズ・ヘビなどを好む雑食性動物。
- ③学習能力に優れている。

b) 河川（堤防）で被害が増加する理由

- ①春から夏（5月～8月）は、山に食料がなくなるため、人の生活圏で食料を求め、山から下りてくる。
- ②堤防も藪になり、ミミズやカヤの根などの食料があるため、生息場所として河川で暮らすようになる。
- ③猟師が対策を行いたい、人の活動が見られる堤防では銃の使用や罠を設置出来ないため、益々、増加していく。これらが秋頃まで続くため、農作物等への被害が多く発生する。

c) 対策について

- ①イノシシが嫌う匂いや成分で対策を行う忌避剤（きひざい）やヒガンバナは、一時的な効果は確かにある。しかし、害がないと理解すれば効果が無くなる。
- ②樹木の伐採は、とても効果的である。藪をなくすことでイノシシの生息場所や隠れ場がなくなる。

4. 掘り起こし被害について

2015年度～2023年度（春）までに番匠川水系直轄管理区間で 282 件の掘り起こし被害が報告された。また、年間被害件数はイノシシの掘り起こしが増加した2015年度と比較すると、2020年度は約 3 倍の被害件数だった（図-2）。

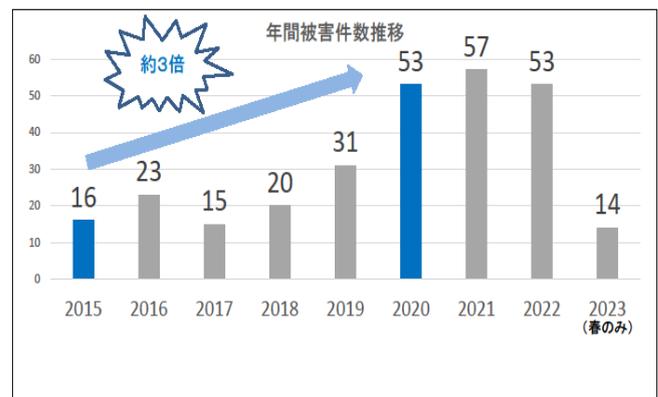


図-2 掘り起こしによる年間被害件数

そこで掘り起こしの季節別の発生時期・被害箇所の実態分析を行った。まず被害発生時期について、春期(3～5月)、夏期(6～8月)、秋期(9月～11月)、冬期(12～2月)として被害件数を分類した。その結果、夏が 5 割と半数を占めており、続いて秋に被害が集中している（図-3）。

次に、被害箇所の多い地区に焦点を当てて分析を行っ

た。過去に調査した2015年度～2020年度の結果からは、番匠川右岸の檜野地区が 20 件, 高島地区が 14 件, 稲垣地区が 15 件, 久留須川の新洞地区が10 件と報告されている。そして新たに2021年～2023年度春までに檜野地区が 5 件, 高島地区が 15 件, 稲垣地区が 8 件, 久留須川の新洞地区が 8 件と報告された。そのうち、堤防の被害位置は、川表が 8 割を超えていることが判明した (図-4)。

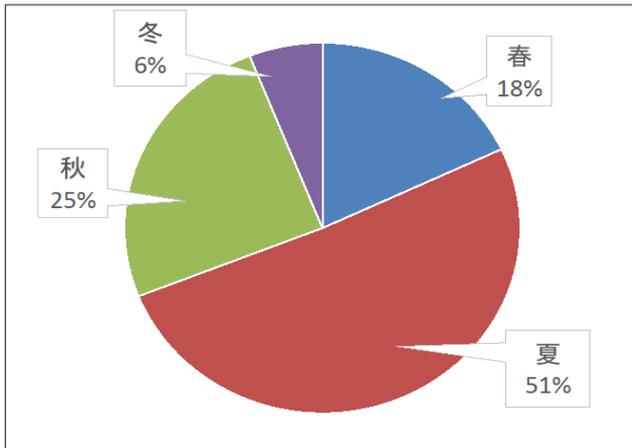


図-3 季節別の被害発生件数 (割合)

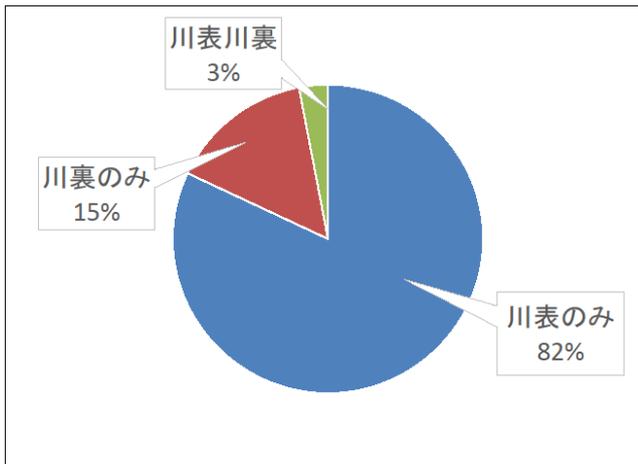


図-4 堤防における被害位置

## 5. 掘り起こし被害の対策内容および効果

### (1) これまでの対策

近年特に件数が増加している掘り起こし被害についてこれまで被害が大きい地区を重点的に対策を行ってきた。対策の内容と効果を下記に示す。

#### a) 忌避剤

イノシシの嫌う竹酢液を竹筒に投入したものを掘り起こしされやすい堤防法面に設置し、堤防に寄せ付けないようにすることが目的であった。設置直後は被害が減少するものの、匂いに慣れて被害が再発してしまった (写真-4)。



写真-4 竹酢液と忌避剤設置状況

#### b) ヒガンバナ植栽

2021年度より細田地区・長崎地区で実証実験としてヒガンバナの植栽による掘り起こし対策を実施した。

2021年度に行われた施工では、0.5m間隔で赤・黄・白のヒガンバナの球根を配置し植栽した。施工してから約半年後に秋の彼岸を迎え、開花は少数の数本だったが、周辺での掘り起こし被害は見られなかった (写真-5)。



写真-5 ヒガンバナ植栽状況 (細田地区)  
開花前(上)と開花後(下)

2022年度には、山梨子地区でのヒガンバナ植栽による実証実験が行われた。約1m間隔で赤・黄・紫のヒガンバナの球根を植栽した。施工して約2ヶ月後に秋の彼岸を迎え、1年前の施工箇所より多く開花したが、周辺の植栽していない法尻付近で掘り起こし被害がみられた。ヒガンバナの植栽は、一定の効果はあると思われるが、開花の不確実性や植栽の範囲の設定など実現性は乏しいと思われる。



写真-6 ヒガンバナ開花付近での掘り起こし (山梨子地区)

c) 伐木・伐竹

2019年度以降、流下能力の向上を図るため、高水敷の樹木伐採を行っている(写真-7)。イノシシの隠れ場や生息場所となる樹木や竹を減少させることにより、施工した周辺での被害は減少した。佐伯市猟友会からの話と調査結果から判断すると掘り起こし対策に寄与するものと思われる(図-5)。



写真-7 榎野地区 樹木伐採 施工前と施工後

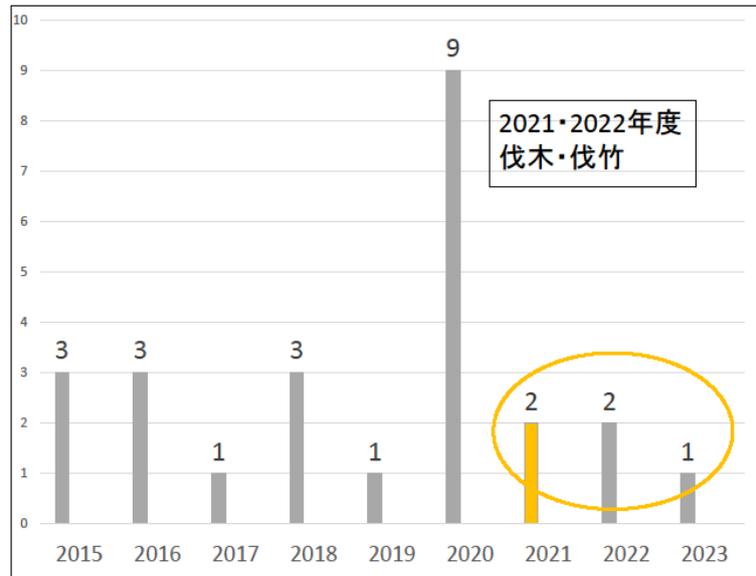


図-5 榎野地区 掘り起こし件数

d) 植生ネットによる法面補修

2019年度から現在まで植生ネットによる法面補修対策を施してきた。過去の経験からネットの選定や施工範囲の検討を行った。ポリエステルモノフィラメント製の落石防護柵用ネット(写真-8)から本来は熊の引っ掻きから木の幹を守る縦横25mmの網目状のポリプロピレン製のネット(写真-9)を堤防法面に埋め込み張芝をする施工を行った。また、H.W.Lライン且つ法面のみ施工範囲を法肩や小段を含めた法尻まで拡大し施工した。

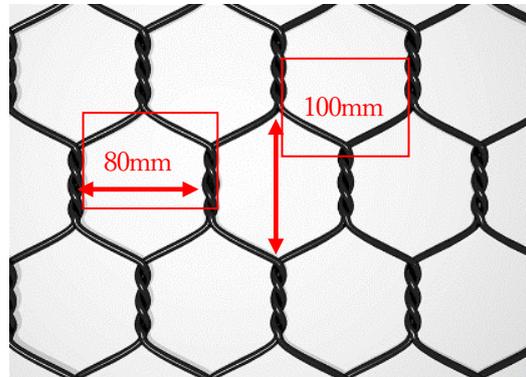


写真-8 ポリエステルフィラメント製 目合 80mm×100mm

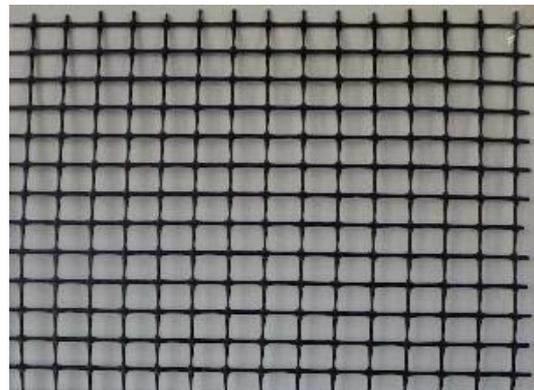


写真-9 ポリプロピレン製 目合 25mm×25mm

法面補修対策を実施した地区では、植生ネットによる対策効果が表れ、年間に1～2件まで掘り起こし数が減少している。今後も継続してモニタリングを行うとともに対策を進めていく。

## 6. まとめ

匂いや成分では、効果はあるものの限定的であることが分かった。また、猟友会の方の協力により掘り起こし被害の多い発生時期や箇所を裏付ける確認ができた。敵を知ることで今後の対策に役立つと考えた。

しかしながら、植生ネットによる法面補修については、対策効果が見られる一方、堤防の法面に埋め込み張芝をする施工だったため、表面を掘り起こされる課題点があった。そのため、今年度から野芝とグリットネットが一体化した野芝付ジオテキスタイルを採用し、今年度の非出水期から施工予定である。これによりイノシシが表面を掘り起こしにくくなり、堤防損傷の減少化が期待される。また、施工が容易であり維持管理面での負担軽減にもなるため有効な対策であると推測する(写真-10)。



写真-10 野芝付ジオテキスタイル  
構成材料と施工状況

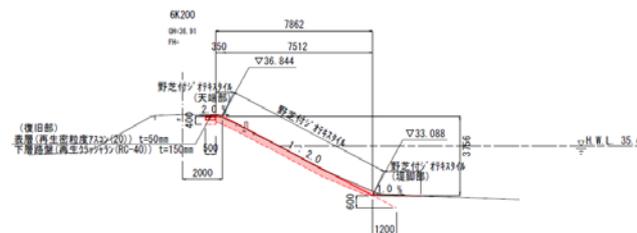


図-6 野芝付ジオテキスタイル 標準横断面図

## 7. おわりに

本論においてイノシシの掘り起こしについて述べてきた。これまで掘り起こし対策を行ってきたが、長年にわたり番匠川で悩まされている課題である。イノシシの生態や掘り起こしが増加する根拠を元に効果的な対策を行うことが害獣に負けない堤防づくりへと繋がるものと考えられる。

謝辞：本論文を遂行するにあたり、宝八幡宮様、佐伯市猟友会様には、貴重な協力をいただきました。ここに感謝の意を表します。

# 国道3号鹿児島東西道路シールドトンネルのシールドマシンの組立てについて

溝口 小梅<sup>1</sup>・佐藤 博信<sup>1</sup>・古寺 大悟<sup>1</sup>・南 隆志<sup>1</sup>

<sup>1</sup>九州地方整備局 鹿児島国道事務所 工務課 (〒892-0812 鹿児島県鹿児島市浜町2番5号)

鹿児島東西道路は、鹿児島市街地部に位置する延長3.4kmの自動車専用道路であり、このうち現在、延長2.3kmの鹿児島3号東西道路シールドトンネル（下り線）新設工事を施工している。本工事は、九州地方で初めてとなるシールド工法による道路トンネルであり、シールド外径11.34mのシールドマシンを用いて、シラス地盤を約2.3km掘進するものである。本稿では、都市部において、狭隘かつ近隣対策を考慮したシールドマシンの組立について報告する。

キーワード 鹿児島東西道路、シールド工法、シールドマシン、狭隘、近隣対策



図-1 鹿児島3号東西道路（下り線）模式図



図-2 シールド機組立部現地全景

## 1. はじめに

鹿児島東西道路は、高規格幹線道路の結節点である鹿

児島ICと鹿児島市中心市街地および鹿児島港を結び、アクセス機能強化と都市交通円滑化・交通混雑緩和を目的とした延長約3.4kmの自動車専用道路である（図-1、2）。

このうち本工事は、九州地方で初めてとなるシールド工法による道路トンネルで、シールド外径11.34mの土圧

式シールドマシンでシラス地盤を約2.3km掘進するものである。

主要幹線道路である市道中洲通線に発進基地を配置することから、資機材搬入用の発進立坑開口は幅19.2m×長さ5.8mに制限され、シールド発進立坑と開口がずれた配置となる。このため、立坑下にシールドマシンを組み立てる際は、立坑内での回転および横移動が必要となる。

本稿では、交通量の多い市道内占用帯において、狭隘かつ市街地部における外径11.3m・総質量1,400tのシールドマシンの組立について報告する（図-3）。

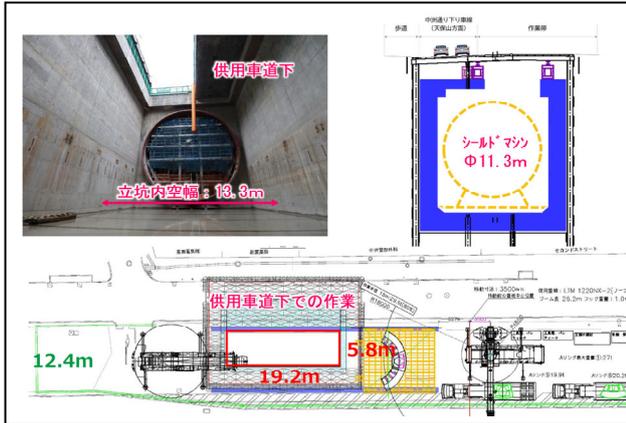


図-3 組立条件概要図

## 2. シールドマシン組立条件

### (1) シールドマシン分割運搬条件

工場にて仮組検査が完了した1,400tのシールドマシンを車両通行制限に応じて約80ブロックに分割し、兵庫県から鹿児島県へ陸路と海路にて輸送を実施（図-4）。

この時、一部材当たりの最大重量は、27tであった。



図-4 工場仮組検査完了（合成写真）

### (2) シールドマシン現地組立条件（図-5）

#### a) 使用クレーン

220 t クレーン：納入分割材現地組立用

550 t クレーン：現地組立部材の立坑下投入用

#### b) 組立条件

220 t クレーン：占用帯内旋回可能

550 t クレーン：占用帯内旋回不可能

定格総荷重の80%での揚重あり

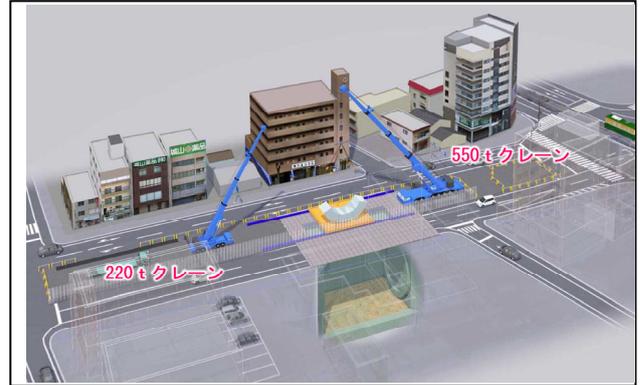


図-5 大型クレーン配置図

### (3) 開口・立坑内壁条件（図-6）

#### a) 開口寸法諸元

トンネル軸方向：19.2m

トンネル軸直角方向：5.8m

#### b) 立坑内壁寸法諸元

トンネル軸方向：21.1m

トンネル軸直角方向：13.3m

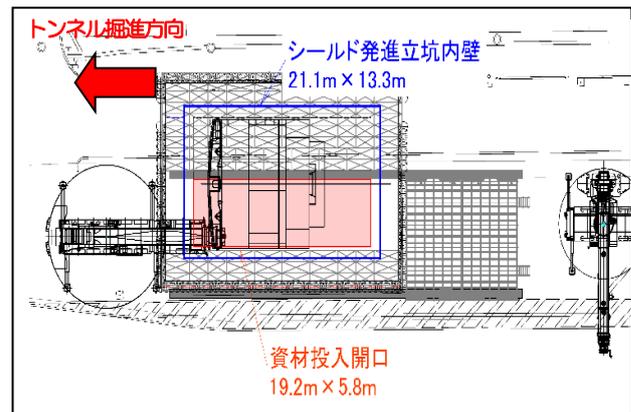


図-6 立坑開口スペース

### 3. シールドマシン組立概要

#### (1) はじめに

立坑下にて組み立てているシールドマシンに順次継ぎ足していく部材の投入位置に制限があるため、立坑下では組立中にシールドマシンを部材投入位置へこまめに動かす必要があった。移動用の作業床として立坑底盤コンクリート上には鉄板を全面敷設した(図-7)。



図-7 立坑下作業床(敷き鉄板全面敷)

#### (2) 前胴組立

シールドマシン前胴部を地上にて地組し、立坑下へ投入しシールドマシン受台上に設置する(図-8)。前胴組立完了後、前胴全体を回転・移動させ、後胴組立てスペースを確保する。

回転時の躯体側壁との最小離隔は667mmとなる(図-9)。計画回転位置から少しでもずれると躯体側壁と接触するため、回転軸がずれないように回転ガイド材を設けて回転させた。

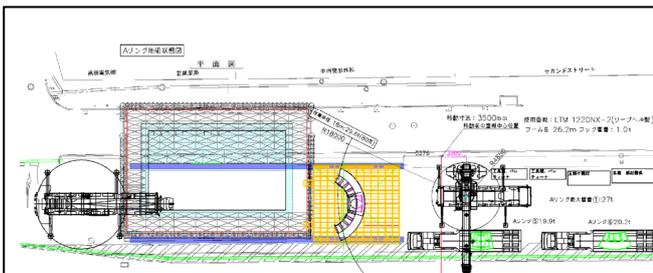


図-8 組立時地上平面図

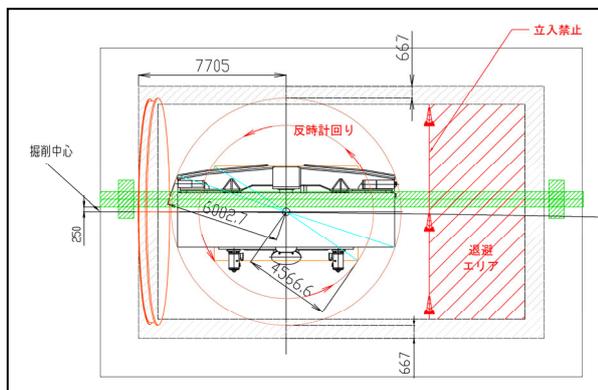


図-9 前胴回転平面図

#### (3) 後胴組立

シールドマシン後胴及び内部設備は前胴と同様に地上にて地組した部材を立坑下へ投入して組み立てる。

回転時の躯体側壁との最小離隔は115mmとなる(図-10)。前胴同様、回転位置がずれると側壁及び前胴と接触するため、回転軸がずれないように回転ガイド材を設けて回転させた。

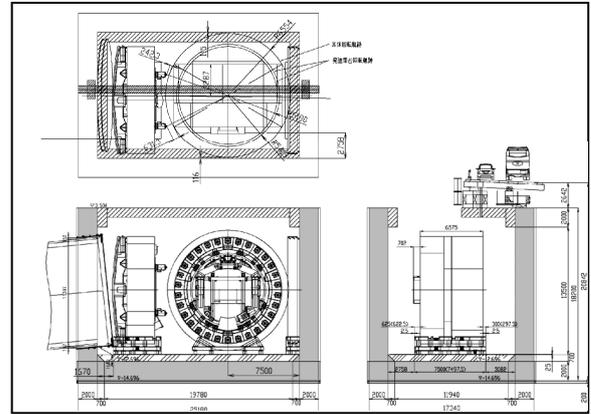


図-10 後胴回転図

### 4. シールドマシン移動方法

#### (1) 組立手順

シールドマシンの組立は、地上で前胴・後胴の2ブロックを組み立て、順次、発進立坑下にて投入して所定の位置まで移動・回転して据え付ける。

開口が狭隘であるため、シールドマシン投入時はトンネル進行方向と直行する方向に降ろし、立坑中心まで移動の後、回転させる(図-11)。

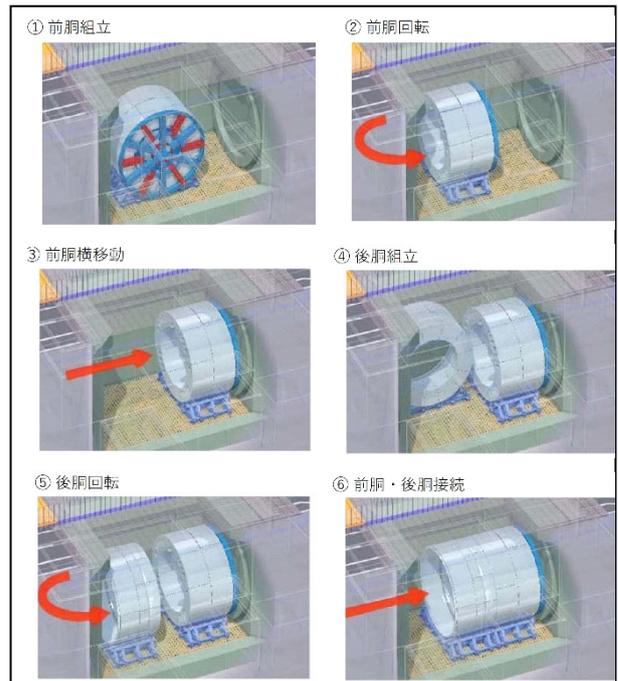


図-11 シールドマシン組立手順

## (2) 移動方法比較検討

移動は複数回行う必要があること、図-12に示すように立坑が狭隘であること、同一作業の繰り返しであることを考慮して、シールドマシンの回転・移動で実績のある工法にて比較検討を行った。評価基準は取り扱いのし易さと重量物移動時における挟まれ事故防止等の安全性、繰り返し移動することによる耐久性と復旧作業の回数（＝経済性）、および摩擦係数（カタログ値）を総合的に判断した。

比較検討の結果、「エアキャスター工法」にてシールドマシン移動を行うこととした（表-1, 2）。



図-12 後胴回転状況

## (3) エアキャスター工法

エアキャスターの作動モデルを図-13に記す。

移動方法	エアキャスター	樹脂プレート
構造		
概要	<ul style="list-style-type: none"> <li>エア駆動のキャスター設置</li> <li>空気膜で摩擦抵抗減</li> <li>全方向に移動可能</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>マシン受台下に樹脂プレートを固定</li> <li>比較的摩擦係数小</li> <li>全方向に移動可能</li> </ul>
特徴	<ul style="list-style-type: none"> <li>エア効果により接触面積小となるため耐久性高</li> <li>設置が容易</li> <li>移動反力が小さい</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>移動の度に樹脂プレート交換が必要</li> <li>樹脂プレート交換時にマシン受台ごとジャッキで押し上げる必要あり</li> </ul>
摩擦係数	0.007	0.040
評価	○	△

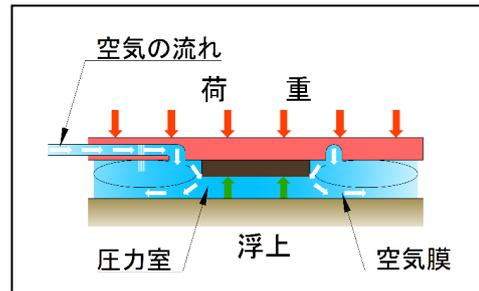


図-13 エアキャスター作動原理

本工事ではマシン形状及び重量バランスを基にエアキャスターに作用する荷重を解析し、配置を決定した。最大重量（マシン1,400 t + 受台100 t = 1,500 t）でのエアキャスター配置を図-14にて記す。

表-2 移動工法比較表 (2/2)

移動方法	ボールベアリング	チルローラー
構造		
概要	<ul style="list-style-type: none"> <li>マシン受台下に鋼球を設置</li> <li>ベアリング効果にて摩擦抵抗減</li> <li>全方向に移動可能</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>受台下にローラー設置</li> <li>車輪効果にて摩擦抵抗減</li> <li>車輪方向のみ移動可能</li> </ul>
特徴	<ul style="list-style-type: none"> <li>移動の度にマシン受台ごとジャッキで押し上げる必要あり</li> <li>鋼球による集中荷重にて底板損傷</li> <li>鋼球破損時の交換困難</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>移動の度にマシン受台ごとジャッキで押し上げる必要あり</li> <li>回転時は回転接線方向にローラーを都度配置する必要あり</li> </ul>
摩擦係数	0.050	0.050
評価	×	×

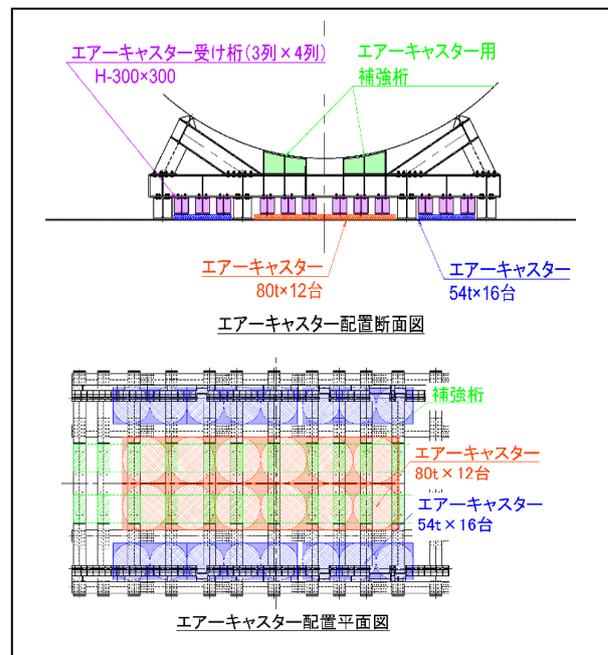


図-14 エアキャスター配置図

エアキャスター配置において、荷重分散に着目し解析を行った。解析結果に基づき補強桁（図-14内の緑着色部）を設けて、マシン受台全体へ荷重分散を行った。

#### (4) エアキャスターによる 移動結果報告

##### 摩擦係数実績値

本施工ではシールドマシンの組立進捗に伴い、移動重量が増加する為、最終的には最大重量1,500 tでの移動を行った。表-3は組立時の移動5回における摩擦係数実績値を記す。

条件理由は立坑コンクリート底盤上に全面敷設した敷鉄板同士の接合面からエア漏れが生じ、エア漏洩によるリフト効果低減＝摩擦係数大となる事象を防ぐ効果的な対策を検証するため、床条件を「PEシート」と「敷き鉄板全周溶接」とした。

表-3 摩擦係数実績一覧

	床条件	移動重量	摩擦係数	移動形態
1回目	PEシート	575 t	0.014	図-14 ①
2回目	敷き鉄板 全周溶接	650 t	0.018	図-14 ②
3回目		600 t	0.022	図-14 ④
4回目		600 t	0.016	図-14 ⑤
5回目		1500 t	0.016	図-14 ⑥

#### (5) エアキャスター工法まとめ

資機材投入開口とシールド機進位置がずれた狭隘な場所において、エアキャスターを用いることで複数回の移動が必要な大断面シールドマシンの組立を行うことができた(図-15)。エアキャスターは適正な配置と漏気の無い基盤ができれば任意の方向への移動が可能となる。

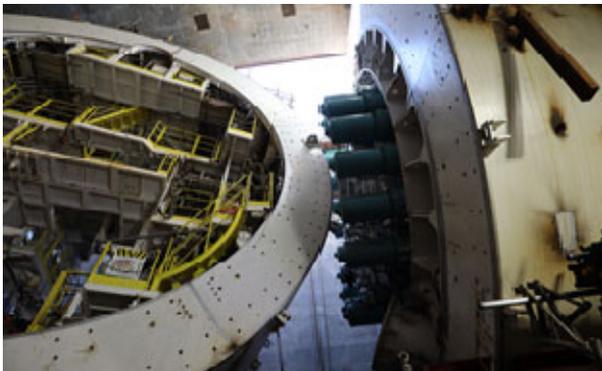


図-15 後胴回転時の前胴との離隔

### 5. 組立時の近隣対策

#### (1) 防音対策の必要性

シールドマシン組立時には、部材同士を接続する際のインパクトレンチを用いたボルト締結音や、溶接部のガウジング作業など大きな騒音が発生する。とくに本工事は市街地での施工であるため周辺環境への影響を考えた対策が必要であり、また工事説明会時の要望でも騒音対策を求められていた。

#### (2) 防音対策施設比較検討

防音対策施設の比較検討を行い、防音テントの採用を決定した。

対策①：伸縮式可動防音テントにて組立部を覆う

対策②：クレーンエンジン部の防音シート設置

対策③：鋼製仮囲いに防音マグネットの貼り付け

対策④：防音マットにて組立箇所を囲う

対策⑤：ボルト締結を機械ではなく人力で行う

上記5項目にて、騒音低減効果・作業工程・経済性を比較検討した結果、対策①にて決定した。

#### (3) 防音テント構造

伸縮型防音テントは幅12.5m×長さ15m×高さ4mの幌部、テント基礎桁はH400×3段×18m×2列とし、敷桁上にテントレール材(H400)をボルト固定した(図-16)。



図-16 防音テント設置状況全景

#### (4) 防音テント効果

図-17はテント内での騒音発生源(インパクトレンチによるボルト締結箇所)からの距離に対する事前騒音測定の結果である。防音テントが無い状態では距離減衰を考慮しても環境基準(75dB)を常時超過していた。

防音テントを設けることで、環境基準を下回り、近隣住民への騒音防止対策として有効であった。



図-17 防音効果事前試験結果

## 6. 広報

市街地部での工事は、前述のとおり、地域の方々のご協力が必須である。その為、皆様からご理解を得られるように、以下に示す方法を用いて、一般の方々への広報活動を多岐に渡って行っている。

### (1) 鹿児島国道事務所HP

当事務所のHPでは、鹿児島東西道路事業に関して、パンフレットや「鹿児島東西道路シールドトンネルバーチャルツアー」等により情報提供を行っている。

このうち、バーチャルツアーでは、普段見る機会のないトンネル工事が、どのような形で進められていくのか、その様子を内部からリアルな視点で見ることができる。スマートフォン等からも簡単にアクセスでき、手軽に閲覧が可能である（図-18）。



図-18 バーチャルツアー（事務所HP）

### (2) 鹿児島東西道路だより

鹿児島東西道路の工事の状況や、今後の予定を、毎月「鹿児島東西道路だより」を発行し、地元の町内会等へ回覧（毎月約600部）、工事現場周辺の看板に掲示及び当事務所のHPに掲載している（図-19）。2018年4月より作成が開始し、今日までに、合計59回発行している。

工事内容	工 程	施工時期	施工内容
中継工作車アリア	海上設置工事(仮設・ハウス設置等)	2月13日～3月中旬予定	概成
真鍮材製型(仮設)	シールドマンの据付準備	3月8日～3月中旬予定	概成
トンネル掘削(掘上)	作業の進捗状況	1月24日～3月上旬予定	概成
	支保脚の撤去状況	3月8日～3月中旬予定	概成

図-19 鹿児島東西道路だより（2023年6月版）

### (3) インフォメーションセンターの設置

工事の内容や工事の状況等を分かりやすく周知する為、施工者である大成・大豊特定建設工事共同体が工事現場付近に「鹿児島東西道路インフォメーションセンター」を設置した（写真-1）。

2021年5月に設置して以来、現在までで約1600名の方々がこのインフォメーションセンターを訪れた。

この施設内には、縮尺25分の1スケールのシールドマシン電動模型があり、トンネルを掘削する際のマシンの動きを見ることができたり、VRでは、専用のゴーグルやコントローラーを用いて、現場の映像を見ることができ、実際に立坑内等の空間に入っているような感覚が味わえる。



写真-1 インフォメーションセンターの外観と施設全景

## 7. おわりに

本稿では、鹿児島3号東西道路シールドトンネル（下り線）新設工事におけるシールドマシンの組立について報告した。

シールドマシン組立の際には立坑内の空間が狭く、移動や回転が必須となる為、全方向に移動可能なエアークャスター工法の採用により、分割して移動が必要な大断面シールドマシンの組立を可能とした。

また、約43,000台/日が通行する市道に隣接し、近くにはビルやマンションが立ち並ぶ為、近隣への住民対策として、防音テント設置により、組立時の騒音を低減させた。

今回のような厳しい現場条件の中でも、最適な工法の選定や入念な施工計画及び対策により、計画工程通りかつ無事にシールドマシンを完成することができた。

本工事は、九州初となるシールド工法による道路トンネルであること、また、シラス地盤での施工事例がないため、シールドトンネル技術検討委員会からの助言や、施工業者との連携を行いながら進めてきた。

なお、年内には発進を予定しているため、今後も継続して、施工計画や影響対策を行っていきたい。

**謝辞：**鹿児島東西道路事業の推進にあたり、大成・大豊特定建設工事共同企業体をはじめ、ご協力いただいている関係各位の皆様には、深く感謝申し上げます。

# A I 冬期道路管理支援システムの開発と試行

田中 一美<sup>1</sup>・田中 宏二<sup>1</sup>

<sup>1</sup>九州地方整備局 九州技術事務所 防災・技術課 (〒830-8570 福岡県久留米市高野1-3-1)

冬期道路管理における凍結防止剤散布は、CCTV画像や気象予測、巡回結果をもとに職員の経験や知見、人的判断をもとに行っており、タイミングのバラツキ等の課題がある。今回、阿蘇国道維持出張所及び小浜維持出張所管内を対象に気象情報、路面温度、CCTV画像等を入力データとして取り込み、AIモデルにより路面凍結予測及び積雪検知を行う「冬期道路管理支援システム」を開発、同出張所管内を対象に試行運用を行った。本稿は、システム概要及び2023年1月24日、25日に発生した低温、大雪における予測等の結果を含めた試行状況について前回発表会の続報として紹介する。

キーワード AI技術、路面凍結予測、路面積雪状態判定、冬期道路管理

## 1. はじめに

道路管理者は、冬期の道路交通安全を確保するため、気象協会の予測情報や気象センサーによる現状の気象情報、また現地状況を踏まえ路面凍結を予測し、塩化ナトリウム等の薬剤散布を判断している。しかし、路面凍結は道路が位置する地形や気象特性等の違いがあり、職員の経験や知見に頼ることが多く、人的な判断のバラツキが懸念される等の課題がある。

近年、短時間で集中的に降雪する豪雪の発生可能性も高まっており、降雪の少ない九州地方でも大雪が発生している。このような状況を踏まえ、道路管理者が突発的な降雪や道路積雪を迅速に発見し、適切なタイミングでの薬剤の散布が求められている。

九州技術事務所では、上述の課題に対し、各事務所・出張所で実施されている冬期道路管理の効率化・高度化を目指して「冬期道路管理支援システム」を開発している。R4年度、阿蘇国道維持出張所および小浜維持出張所管内において試行的に運用した。

## 2. 冬期道路管理支援システムの開発

本システムは「路面凍結予測」と「積雪検知」の2つの機能を有する。路面凍結予測は気象情報及び道路上に設置された路面温度センサー等の入力データをWebにより一定時間ごとに自動で取り込み、AIモデルにより路面凍結温度、凍結有無等を判断する。積雪検知は、AIの深層学習(ディープラーニング)を用い、CCTVカメラ画像内の路面積雪領域を算出し、路面積雪状態を判定する。

### (1) 路面凍結予測

路面凍結は、路面温度と路面乾湿状態(路面水分量)

によって決まる。ここでは凍結・凍結予知・湿潤・乾燥の4つに分類する(図-1)。例えば①路面温度が低く、②湿潤状態である場合に、凍結と予測する。

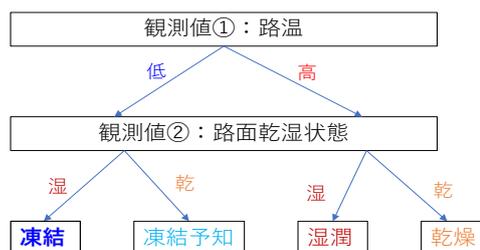


図-1 凍結予測の考え方

気温や降水量などの気象情報と路面温度、その時点における凍結有無との関係性が分かるデータを収集した上で、それらデータの相関関係を整理し、凍結条件を分析する。

表-1に示す教師データをAIモデルに学習させることで、過去～現在の路面温度、気温、降雨量、日射時間、交通量データからディープラーニングの一つである再帰型ニューラルネットワーク(RNN)を用いて、現時刻～12時間後までの路温変化を予測する(図-2)。

表-1 AIモデルへの入力データ

No.	入力項目	データ入手源
1	路温	・九州道路WEB(内部)
2	時間の代替指標	—
3	季節変動の代替指標	—
4	気温	・九州道路WEB(内部)
5	雨量	・九州道路WEB(内部) ・気象庁(WEB)
6	日射時間	・気象庁(WEB)
7	大型・小型交通量	・九州道路WEB(内部)
8	道路交通状況(CCTV)	・事務所HP(WEB)

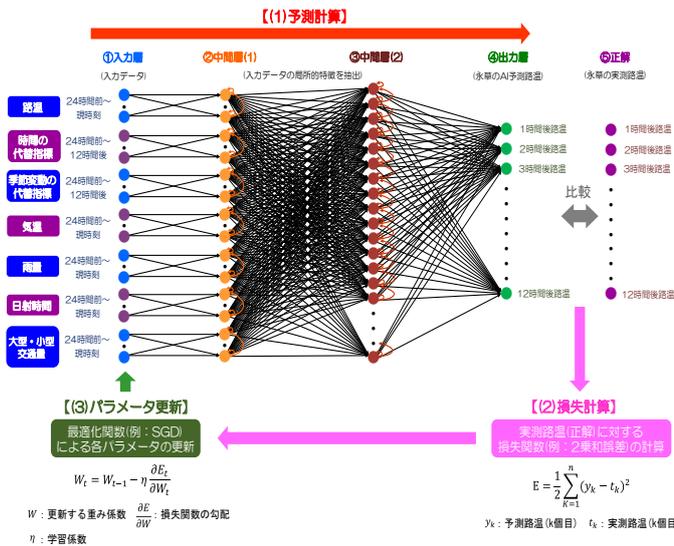


図-2 AIによる路温予測モデルの概要図

### (2) 積雪検知

積雪検知は路面積雪検知モデルと路面検知モデルにより判定する。①路面積雪検知モデルにより、積雪時のリアルタイムカメラ画像に対して路面積雪を検知する。②路面検知モデルにより、保存済みの通常時カメラ画像に対して路面を検知する。①②の結果を基に路面積雪領域を算出し、その値が閾値(20%)を超えた場合に路面積雪状態と判定する(図-3)。



図-3 路面積雪検知モデルの構成図

以上、本システムを構成する「路面凍結予測」と「積雪検知」の2つのモデルについての概略を記した。詳細は「令和4年度国土交通研究会」<sup>1)</sup>を参照されたい。

### (3) システム構成

本システムは、気象庁や九州道路Webデータ、CCTVカメラ画像を国土交通省専用通信回線により、一定時間ごとに自動・連続的に取得し、集計処理を行う。予測等の結果は職員用PCのほか外出時道路管理の現場においても閲覧可能とした。システム構成を図-4に示す。

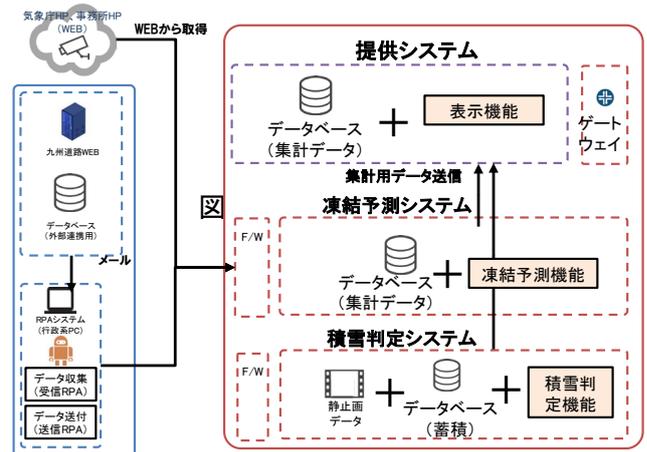


図-4 冬期道路管理支援システム構成図

本システムはプロトタイプシステムのため、行政LANと切り離れた外部のクラウドサーバーを活用した。路温等の九州道路Webデータ(行政LAN内)は行政LANに接続可能なPCを九州技術事務所執務室内に設置した上で、RPAシステムを用いてメール添付による自動配信形式で取得した。

### (4) 画面構成

メイン画面は出力・操作性を第一としてダッシュボードとし、凍結予測されているセンサーを表示した上で、各センサーの実測値、予測値を確認する2段階表示とした(図-5)。実際に操作する職員(主に道路関係出張所)がダッシュボードから予測地点を選択することで、路面状態の予測結果を確認することができる。予測地点は「リストから検索」または「地図から検索」から選択できる。路面状態の予測結果は「テーブル表示」または「グラフ表示」で表示する(図-6)。

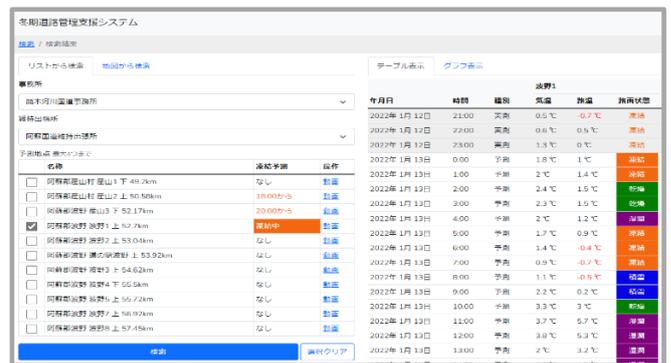


図-5 システムTOP画面

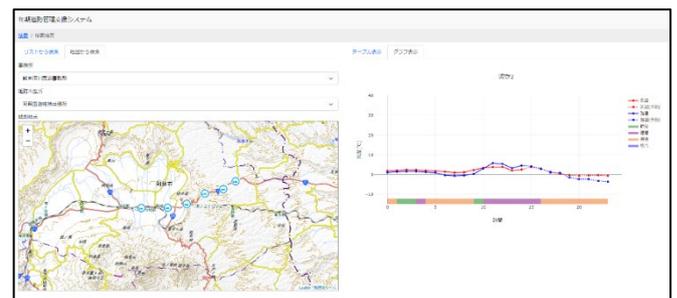


図-6 データ表示画面

また、事前ヒアリングで現地対応時にスマートフォンで閲覧できるものとするよう要望を聞き取り、スマートフォン閲覧可能対応とした（図-7）。



図-7 スマートフォン閲覧画面

### 3. 冬期道路管理支援システムの試行

冬期道路管理支援システムは2022年10月までに事務所・出張所ヒアリング等に基づき、システム機能検討、詳細設計等を行い、12月までに運用テスト等を行った上で、2023年1月から3月までの期間で試行した。

#### (1) 事務所・出張所ヒアリング

システムの対象箇所を管轄する阿蘇国道維持出張所・小浜維持出張所ほか関係事務所各課の職員を対象として令和4年10月に本システムの概要及び操作方法を説明した。説明の中で、操作性、改善点等についても把握した。むろん初めてシステムを稼働したこともあり開発途中においても随時実施してきたところである。改善等については細部にわたり具体的な操作に関する意見が多く寄せられた。結果を右に記載する。

#### ①画面表示・検索方法・予測表示・スマホ版に関する意見

- AI予測で凍結予測する箇所において、地点周辺の降雪・積雪の情報があるとよい。システムにおいて対象箇所付近の降雪・積雪情報を表示できないか。
- システムの「予測結果」「路面状態」は過去の実績値から予測しているが、薬剤散布を実施した場合、直近の散布効果を予測値に反映することができないか。未対応時は現在の画面表示で問題ないが、対応により随時道路状況が変化するため、薬剤散布対応中は当該システムのニーズが低くなると考えられる。
- スマホ版の画面表示について、パソコンだと4箇所同時に箇所情報を確認できるが、スマホの場合はレイアウト的に1箇所ずつ確認したほうがわかりやすい。当該システム運用にあたり、使用方法について補足説明したほうがわかりやすい。

#### ② 凍結防止剤散布に関する意見

- 再散布に関する機能を追加してほしい。出張所としては再散布通知の必要性があるため、融雪剤を散布した後の路面変化を踏まえた予測があると大変よい。現状の路面センサによりリアルタイムでの温度変化等を把握することが難しいとのことだが、経験値に基づく参考判断があるだけで、現場の負担は減ると考えられる。

#### (2) システム機能の追加・改良

ヒアリング結果を集約し、検討の結果、可能なものはシステム機能の追加、改良を実施した。以下にそれらの画面を記載する。

##### ① 降雪・積雪情報表示機能の追加

画面上部検索タブ直下に「雪氷気象予測」のタブを追加。クリックすれば該当地点における降雪・積雪情報が表示されるよう追加した。

##### ② 薬剤散布種別・散布記録表示機能の追加

薬剤散布する際、または散布後に使用した薬剤（塩化ナトリウム・塩化カルシウム）を選択入力できるよう改良した。また、直右列に散布した実績を表示する機能を追加した。

##### ③ 再散布機能の追加

初回散布時及び初回散布後一定時間経過後に画面上に確認画面を表示させる。図-8に画面を示す。

図-8 追加・改良後の画面（誌面の都合上、分割表示としているが、実際は1画面内で表示）

年月日	時間	種別	気温	路面	路面状態
2023年1月24日	5:00	実施	3.7℃	2.4℃	乾燥
2023年1月24日	6:00	実施	3.5℃	2.5℃	湿結
2023年1月24日	7:00	実施	3.1℃	2.0℃	湿結
2023年1月24日	8:00	実施	2.6℃	1.6℃	凍結
2023年1月24日	9:00	実施	1.5℃	1.5℃	凍結
2023年1月24日	10:00	実施	0.2℃	0.1℃	凍結
2023年1月24日	11:00	実施	-0.4℃	-0.5℃	凍結
2023年1月24日	12:00	実施	-0.4℃	1.8℃	乾燥
2023年1月24日	13:00	実施	-3.5℃	-2.5℃	乾燥
2023年1月24日	14:00	実施	-2.7℃	0.6℃	乾燥
2023年1月24日	15:00	実施	-4.1℃	-1.8℃	乾燥
2023年1月24日	16:00	実施	-4.8℃	-2.1℃	乾燥
2023年1月24日	17:00	実施	-5.3℃	-3.5℃	乾燥
2023年1月24日	18:00	予測	-5.6℃	-3.8℃	乾燥
2023年1月24日	19:00	予測	-5.8℃	-4.1℃	乾燥
2023年1月24日	20:00	予測	-6.1℃	-4.3℃	乾燥
2023年1月24日	21:00	予測	-6.2℃	-4.5℃	乾燥
2023年1月24日	22:00	予測	-6.4℃	-4.6℃	乾燥
2023年1月24日	23:00	予測	-6.5℃	-4.7℃	乾燥
2023年1月25日	0:00	予測	-6.5℃	-4.8℃	乾燥
2023年1月25日	1:00	予測	-6.7℃	-4.1℃	乾燥
2023年1月25日	2:00	予測	-2.9℃	-1.3℃	乾燥
2023年1月25日	3:00	予測	0.7℃	2.3℃	乾燥
2023年1月25日	4:00	予測	4.1℃	5.6℃	乾燥
2023年1月25日	5:00	予測	7.1℃	8.5℃	乾燥

(3) 試行結果の検証

1) 令和5年1月24・25日大雪・低温気象時の検証

令和4年度において冬本番となる1月期、特に初めて大雪となった1月24日から25日にかけては、試行の絶好の舞台となった。筆者をはじめ本開発担当課である九州技術事務所防災・技術課一同、そして、開発受注者の株式会社建設技術研究所の清水管理技術者その他関係スタッフ総出でシステム画面に釘付けとなり、帰宅後においてもテレワーク機能を活用しながらシステムの凍結予測、積雪検知の動きに注目し続けた2日間であった。

以下にその結果と検証について記す。なお、検証期間は大雪時の前後を含めて1月全体とした。

① 路面温度予測精度の検証

路温については2023年1月6日～30日までの結果について、実測値と予測値を比較した結果、9時間後予測値まではRMSE（二乗平均平方根誤差）が0.781と1.0以下となり高精度を確保していることを確認した。

しかし、10時間後以降の予想値は熊本阿蘇の黒川高架橋、長崎小浜の宝原橋、南木指ともにRMSEが2.0以上となり、精度が低下した。特に、夜間における10時間後以降の精度低下が顕著であり、放射冷却の影響が要因として考えられる。逆に、日射時間が0に近い天候が曇りの場合、図中赤枠で囲んだ期間においては温度上昇・下降時ともにすべての予測時間において高精度を示しているといえる。

図-9に阿蘇国道維持出張所管内「黒川高架橋」における検証結果を示す。

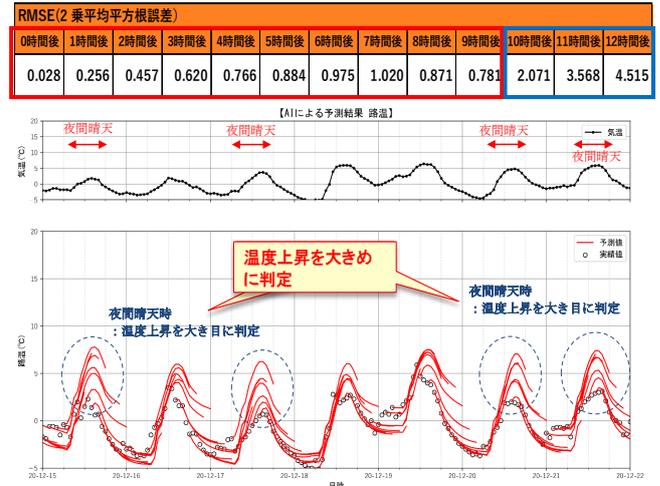


図-9 上段：RMSE（二乗平均ROOT誤差）1時間先～12時間先予測の各誤差値 下段：路面温度の精度（予測値と実測値）

② 路面凍結予測精度の検証

同じく黒川高架橋地点における路面凍結予測の精度について検証した（表-2）。

表-2 路面凍結精度検証（黒川高架橋）

九州道路WEB 路面状態	冬期道路システム AI路面状態予測値												時間別				
	0時間後	1時間後	2時間後	3時間後	4時間後	5時間後	6時間後	7時間後	8時間後	9時間後	10時間後	11時間後		12時間後			
2023/1/24 0:00	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	2023/1/24 0:00
2023/1/24 1:00	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	2023/1/24 1:00
2023/1/24 2:00	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	2023/1/24 2:00
2023/1/24 3:00	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	2023/1/24 3:00
2023/1/24 4:00	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	2023/1/24 4:00
2023/1/24 5:00	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	2023/1/24 5:00
2023/1/24 6:00	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	2023/1/24 6:00
2023/1/24 7:00	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	2023/1/24 7:00
2023/1/24 8:00	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	2023/1/24 8:00
2023/1/24 9:00	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	2023/1/24 9:00
2023/1/24 10:00	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	2023/1/24 10:00
2023/1/24 11:00	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	2023/1/24 11:00
2023/1/24 12:00	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	2023/1/24 12:00
2023/1/24 13:00	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	2023/1/24 13:00
2023/1/24 14:00	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	2023/1/24 14:00
2023/1/24 15:00	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	2023/1/24 15:00
2023/1/24 16:00	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	2023/1/24 16:00
2023/1/24 17:00	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	2023/1/24 17:00
2023/1/24 18:00	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	2023/1/24 18:00
2023/1/24 19:00	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	2023/1/24 19:00
2023/1/24 20:00	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	2023/1/24 20:00
2023/1/24 21:00	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	2023/1/24 21:00
2023/1/24 22:00	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	2023/1/24 22:00
2023/1/24 23:00	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	2023/1/24 23:00
2023/1/25 0:00	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	2023/1/25 0:00
2023/1/25 1:00	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	2023/1/25 1:00
2023/1/25 2:00	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	2023/1/25 2:00
2023/1/25 3:00	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	2023/1/25 3:00
2023/1/25 4:00	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	2023/1/25 4:00
2023/1/25 5:00	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	2023/1/25 5:00
2023/1/25 6:00	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	2023/1/25 6:00
2023/1/25 7:00	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	2023/1/25 7:00
2023/1/25 8:00	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	2023/1/25 8:00
2023/1/25 9:00	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	2023/1/25 9:00
2023/1/25 10:00	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	2023/1/25 10:00
2023/1/25 11:00	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	2023/1/25 11:00
2023/1/25 13:00	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	2023/1/25 13:00
2023/1/25 14:00	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	2023/1/25 14:00
2023/1/25 15:00	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	2023/1/25 15:00
2023/1/25 16:00	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	2023/1/25 16:00
2023/1/25 17:00	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	2023/1/25 17:00
2023/1/25 18:00	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	2023/1/25 18:00
2023/1/25 19:00	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	2023/1/25 19:00
2023/1/25 20:00	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	2023/1/25 20:00
2023/1/25 21:00	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	2023/1/25 21:00
2023/1/25 22:00	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	2023/1/25 22:00
2023/1/25 23:00	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	2023/1/25 23:00

乾燥 湿潤 凍結 積雪



### (3) 路面センサの判定精度

CCTVカメラで目視確認すると湿潤又は凍結状況にあるような場合でも路面センサでは乾燥判定となっている場合がある(図-12, 図-13)。

現場条件との乖離があることにも留意しながら今後、CCTVカメラと路面センサの判定結果を継続的に確認するとともに、今後、現地における凍結状況と路面センサの判定結果を確認する現地調査を実施する必要がある。今後、現地における凍結状況と路面センサの判定結果を確認する必要がある。



図-12 路面センサ判定状況(阿蘇)



図-13 路面センサ判定状況(雲仙)

## 5. 今後の予定

これまでのところ、実務職員が「散布判断には本システムが不可欠」との認識をもつほどの信頼性、貢献度を有するには惜しくも及ばず、本格的な正式運用に堪えるには以下の事項を引き続き実施するとともに、4. に挙げた課題のほか、以下の諸問題についても解決していく必要がある。

### (1) 非凍結要因分類学習

AIによる凍結予測結果と薬剤散布実績に基づき、凍結解消した非凍結状況がAI演算過程において混同しないよう分類学習させる必要がある。

そのためにはリアルタイムでの路面センサ結果の取得やセンサの判定結果精度の向上等が課題となる。

### (2) 再凍結予測AI機能追加

薬剤散布後の再凍結要因となる路温、気象条件は散布前の凍結要因とは異なるため、AIモデルを追加構築する必要がある。

### (3) システムの道路管理対応への検証

管理実務への貢献度と信頼性を数値化し、貢献状況を検証する。

具体的には、システム予測結果と凍結防止剤散布実務の対応状況(的中回数)を比較検証する。システム予測どおりに散布し、的中した頻度またはその逆の回数などを数値的に明確にさせることで本格運用への信頼性を確保する。

本検討ではAI技術を活用し、これまで開発した「路面凍結予測モデル」、「路面積雪検知モデル」をプロトタイプシステムとして改良し、現場への適用性を確認した<sup>2)3)</sup>。AI予測モデルの課題改善に加え、インプットデータの入手、データ精度等の課題があり、さらなる改善、改良が必要であることを確認した。

本検討の実施にあたり、株式会社建設技術研究所九州支社道路・交通部の清水管理技術者ならびに試用面で協力いただいた小浜維持出張所、阿蘇国道維持出張所に感謝の意を表します。

### 参考文献

- 1) 国土交通省九州地方整備局 令和3年度九州国土交通研究会 論文集: AIを活用した冬期道路管理支援技術開発について
- 2) 九州技術事務所: 令和3年度冬期道路管理支援システム検討業務報告書(令和4年3月)
- 3) 九州技術事務所: 令和4年度冬期道路管理支援システム検討業務報告書(令和5年6月)

# 散水車使用による凍結防止剤散布 アタッチメント開発について

中村 海輝<sup>1</sup>・原田 毅<sup>2</sup>・福川 雅章<sup>3</sup>・武藤 美代<sup>4</sup>

<sup>1,2,4</sup>九州地方整備局 九州技術事務所 技術活用・人材育成課 (〒830-8570 福岡県久留米市高野1-3-1)

<sup>3</sup>九州地方整備局 熊本河川国道事務所 品質確保課 (〒861-8029 熊本県熊本市西原1-12-1)

九州技術事務所では、路面凍結を防止するための凍結防止剤（塩化ナトリウム水）の事前散布を散水車にて効率的に行うことを目的として、少ない回数かつ短時間で路面全体に均等に散布できる凍結防止剤散布用アタッチメントの開発検討を行ったので報告するものである。

キーワード 道路維持, 散水車, 凍結防止剤散布, 作業の効率化

## 1. 開発の背景

九州地方整備局管内の冬季における道路管理では、路面凍結防止のために凍結防止剤（塩化ナトリウム水）を事前散布している。散布には散水車を使用しているが、路面凍結防止剤の散布を考慮した構造となっていないため路面に均一に散布できず、同じ箇所を複数回にわたり散布しており作業効率が悪い状況である。降雪予想に対応する中での作業時間が制限される中、作業を完遂しなければならないこともあり、人員確保ならびに資材確保に苦慮している。

今回このような課題に対し、散布の少ない回数かつ短時間で路面全体への均等散布が可能となるように散水車の散水排出口に取り付ける多孔式のアタッチメントの開発を行い、作業の効率化を図ったので報告する。

## 2. アタッチメントの基本構造検討

### 2.1 基本事項

路面凍結を防止するための凍結防止剤（塩化ナトリウム水）の事前散布は、雪寒対応マニュアル記載の①②を目安に実施されている。確実かつ効率的に路面全体に均等散布できるようにするために、下記の機能要件を満足した散水アタッチメントを開発するものとした。

①散水幅3.25m以上を均一に散布可能とする。

②塩化ナトリウム水は1m<sup>2</sup>あたり0.1L（リットル）を散布する。

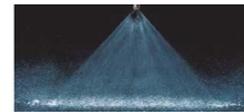
（国土交通省九州地方整備局雪寒対応マニュアル記載より）

## 2.2 使用する既製品

開発する多孔式散水バーアタッチメントに使用する部材は、入手しやすく、コスト面でも優れている市販品からノズル及びバルブの2方式を選定した。ノズルは、3種類（フラットスプレーノズル、斜方フラットノズル、フルコーンノズル）を選定し、室内試験でスプレーパターンにより散布特性を検証し、ノズル形式を選定することとした。

また、現場実証実験では、散布特性や路面散布にあたっての実際の走行風による後続車への巻き上がりの影響も検証することとした。

■フラットスプレーノズル  
一体式



■斜方フラットノズル



■フルコーンノズル  
一体式



図-1 使用する既製品ノズル

出典「株式会社共立合金製作所/エバーロイ商事株式会社」のHPより

## 2.3 散水路面幅、アタッチメントの設定

対象とする散水幅は、一般国道の1車線幅として3.25mに設定した。また、多孔式散水バーアタッチメント幅は、車両走行時の安全性を考慮して、車両幅2.32m

以下の形状とした。

■対象路面幅：3.25m

■対象アタッチメント幅：2.32m以内

なお、対象車両の散水方式は、重力式と圧力式の2つの方式があるが、重力式の場合は水溶液の残量によって、自然配水時の圧力が変化し、一定量を散布することができないため、まず、ノズルの配置と形状を検討するために量を管理しやすい圧力式による散布のアタッチメントを検討した。

### 3. 配置検討

#### 3.1 スプレーパターン

多孔式散水バーアタッチメントは、凍結防止剤を均一に散布可能なノズルを選定する必要があるため、図2のスプレーパターンから広範囲にカバーできるノズルはフラットスプレーノズル若しくはフルコーンノズルが適用できる。

フラットスプレーノズルは、通路径が大きく詰まりにくい、衝突力も高く、粒子径は細か過ぎない等の特性を持つため、設定範囲への散水や車両走行時の巻き上がりが少なくできるノズルである。

一方、フルコーンノズルは、面的に広範囲に噴霧できる特性があり、凍結防止剤散布ノズルへの適用可能である。

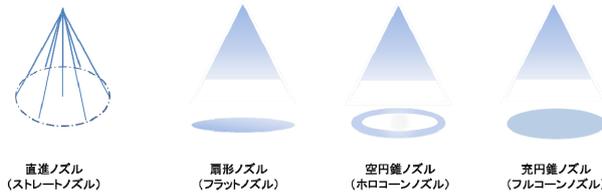


図2 各種スプレーパターン

#### 3.2 噴霧角度

噴霧角度は、ノズル近傍の角度である。切り刃空气中を飛翔する際に次第に勢いを失い、カバー範囲が縮小する。計算上の噴霧幅と実際の噴霧幅は噴霧高さにより異なるため、ノズル配置検討の際に考慮する必要がある。本検討では、後述する水理実験により、噴霧角度の妥当性を検証した。

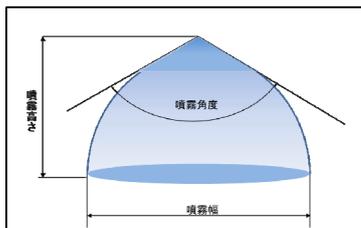


図3 噴射角度

### 3.3 流量分布

流量分布は散布幅方向における散布の水量分配状態を示すものである。山形分布は重ね合わせることで幅全域での均等分布が可能となる。

均等分布は洗浄のような散布幅全域で均一の噴射力を要する場合に適する。

本検討では凍結防止剤を均一に散布することが機能として求められるため、均等分布となるノズルの配置を検討した上で、水理実験を行い適正なノズル形式と配置を検討した。

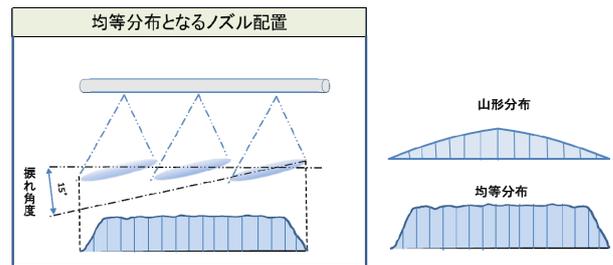


図4 複数配列時のノズル噴霧流量分布

### 3.4 水理実験ケース

本検討では、圧力散水0.49Mpaを基本としてノズル配置検討を行い、水理実験による散布流量分布並びに風による散布の飛散状況を把握した。

検討では、フラットスプレーノズル/フルコーンノズルの2つのノズルについて、均一分布となるように、4つの案を設定した。

◇案1 フラットスプレーノズル(型番3/8KSH25 120)で配置間隔を変化させた配置。

◇案2 フラットスプレーノズル(型番1/2KSH30 120)で配置間隔を変化させた配置。

◇案3 フラットスプレー(型番1/4KSH1665)+両端ノズルに斜方ノズル(型番1/4KSH2790-35-RO)を使用し、散布幅の両端への効果を検証。

◇案4 フルコーンタイプ(型番1/2KSFHS35120)を用いてノズルの違いによる散水効果を検証。

表-1 ノズル配置検証ケース

種元	フラットスプレーノズル			フルコーンノズル	
	全て同一ノズル	全て同一ノズル	両端斜方フラットノズル		
	3/8KSH25120	1/2KSH30120	1/4KSH1665 1/4KSH2790-35-RO		
		案1	案2	案3	案4
配置間隔	mm	400	460	270	540
圧力	Mpa	0.49	0.49	0.49	0.49
流量	L/min	32	38	21, 35	45
噴射角度	°	123	123	69, 90	113
迎え角	°	15	15	15	15
ノズル数	個	7	6	7, 2	5
総流量	L/min	224	228	217	225

### 3.5 流量分布試験

分布試験は、所定距離、噴射圧力、ノズルを複数使用する場合はノズルピッチを等間隔に設置し、アクリル容器に一定時間噴射する。

容器に溜まった水位を基に、水量分布を数値化した。

◆確認項目…設定した振り角度、迎え角度における散水分布状況、均等性の定量把握

①水量分布測定（升目の容器に水を噴射して均等性を確認）②噴射動画撮影（迎え角度、跳ね返り水の確認を横から写真撮影）



図-5 流量分布試験状況

・案1, 案2, 案3, 案4とも車両幅間は、分布割合は75%以上が確認され、均一に散布可能であることを確認できた。

・案1～案3で用いたフラットスプレータイプは、ノズルから路面間の噴射力が強く、狭い範囲の分布となるが、複数配列することで均一に散布可能である。

・案3は端のノズルに斜方ノズルを使用しているため、最も散布範囲が広い結果となった。

・案4で用いたフルコーンノズルは、フラットスプレータイプと比較して、散布時の噴射力は弱いが、広範囲に散布するため、少ないノズル配置で均一に散布可能である。

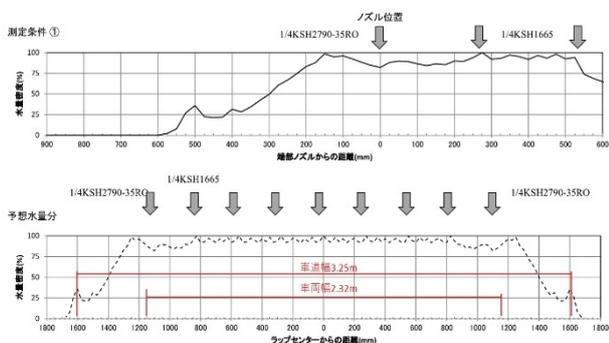


図-6 流量分布検証結果（案3）

### 3.6 風の影響評価試験

散水車からの散布は、走行しながらの散布となるため、走行風や自然風による凍結防止剤の巻き上がりによる後続車への影響がある場合は、巻き上がり防止のための対策が必要となる。

本検討では、室内試験で可能な風速10m/sの風を与え、ノズルから散布される凍結防止剤の飛散への影響を検証した。

検証は、凍結防止剤の代わりに水を使用し、散水ノズルから想定路面間に送風機により一定の風速を与え、暗幕を準備して水の飛散状況の動画を撮影することで、走行風による影響を把握した。

フラットスプレーノズルは噴射力が強く、風による飛散は少ないが、フルコーンノズルは、噴射力が弱く広範囲に散布される特性を持っており、風による飛散の影響が懸念される結果となった。

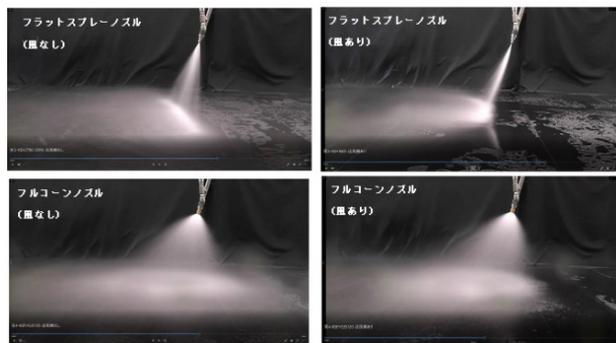


図-7 送風機（風速10m/s）による散水への影響評価

### 3.7 実験結果によるノズルの選定

各案とも重複して配置することで、均一に散布が可能であることが検証できた。また、フラットスプレータイプは噴射力が強く、ノズルから車道間の散布力から走行風等の影響による飛散は少ないが、風によって噴射角が変化し、隣接するノズルと干渉する恐れがあるため、密に配置する案3のフラットスプレータイプは影響が少ないと評価した。多孔式散水バーアタッチメントのノズル配置は、案3のノズル型式のフラットスプレーノズル型番 1/4KSH1665（7個）、両端は斜方ノズル型番 1/4KSH2790-35-RO（2個）を採用した。

## 4. 実証実験

これらの室内試験の検証から選定した多項式散水バーアタッチメント及びノズル型式を用いて試作機を製作した。現場実証実験では、開発した多孔式散水バーアタッチメントについて、現場実証実験で散布機能及び保守性を検証した。

## 4.1 実験概要

現場実証実験では、圧力式ノズル方式及び重力式バルブ方式の2方式を検証した。

圧力式ノズル方式のノズル部材は、フラットスプレーノズル(両端は斜方ノズル)を採用し、材質はSUS304として交換可能な構造とした。重力式ボールバルブ方式は、ボールバルブ及び流量調整可能なニードルボールバルブ、散水幅を調節するためのエルボ配管を使用して散水機能を検証した。

装置製作の実験条件や散水車への取り付け条件を以下に示す。

- ・多孔式散水バー使用部材は、既設車両配管と同等のSUS304。
- ・多孔式散水バーアタッチメントは、交換可。
- ・多孔式散水バーアタッチメント取付治具は、既存車両シャーシ部に固定。
- ・固定治具部材はSUS304とし、車両シャーシ部ボルト穴を使用し、既存車両部材の加工は行わない。
- ・多孔式散水バーは、左右分離タイプ。
- ・不純物対策として、既設車両配管とアタッチメント間にY型ストレーナーを設置。  
(脱着の容易性からフランジ式を採用)

散布機能は①散水量検証と②散水状況検証の2項目について実施した。

①散水量検証は車両を停止した状態で圧力式ノズル及び重力式バルブの2つの方式について、散布の均一性及び散布量を定量的に検証した。併せて重力式ニードルボールバルブ方式を用い貯水量によって散水量が大幅に変わる場合のバルブによる流量調整機能を検証した。

②散水状況検証は重力式のバルブ方式により管理道路において車両を実走し検証した。走行時の散布状況や走行風、自然風による散布の影響を散水車の後続車からビデオ撮影を行い、散布機能への影響を評価した。



図-8 試作機装置取り付け状況

保守性に関しては、取り付け取り外し並びにノズル・バルブ交換、ストレーナー洗浄時の作業性を作業時間で検証した。

## 4.2 現場実証実験結果

### 4.2.1 散水量検証結果



図-9 散水量検証状況

#### ・均一性検証

圧力式ノズルにおけるエンジン回転数(走行速度)1500rpm, 1200rpm, 1000rpmにおける散水量の均一性を検証した結果、各ケースとも均一に散布が可能であることが分かった。また、重量式バルブ方式においてもタンク容量が満タン程度, 1/2程度, 1/4程度の場合の散水量の均一性を検証した結果、均一散布が可能であることが分かった。

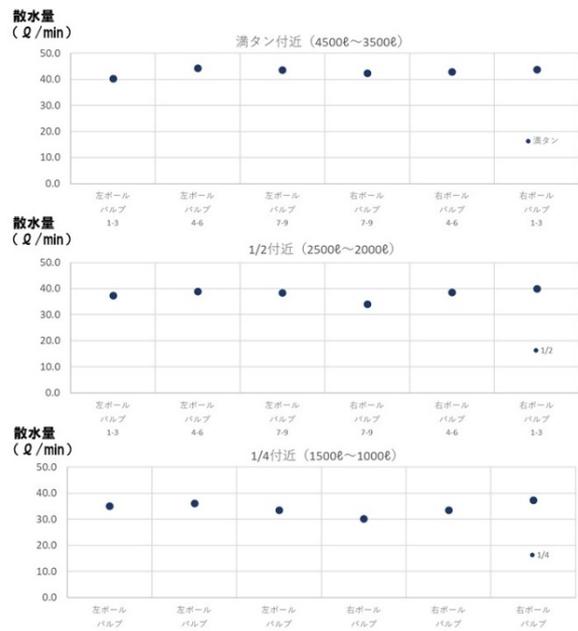


図-10 均一性検証結果 (重力式バルブ方式)

#### ・散水量検証

重力式ボールバルブ方式の場合、タンク内の水量により散水量が異なるため、走行速度とタンク内水量を変化させ散水量を検証した。

タンク容量が満タン程度, 1/2程度, 1/4程度の場合の散水量を検証した結果、満タン時は車両走行速度47km/h, 1/2程度時は42km/h, 1/4程度時は35km/hの走行速度で雪寒対応マニュアル記載目安の凍結防止剤を散布できることが検証できた。また、製作バルブ及び既設ノズルとも

1/2タンク容量を基準とすると満タン時に約110%、1/4時に約90%の散水量となった。

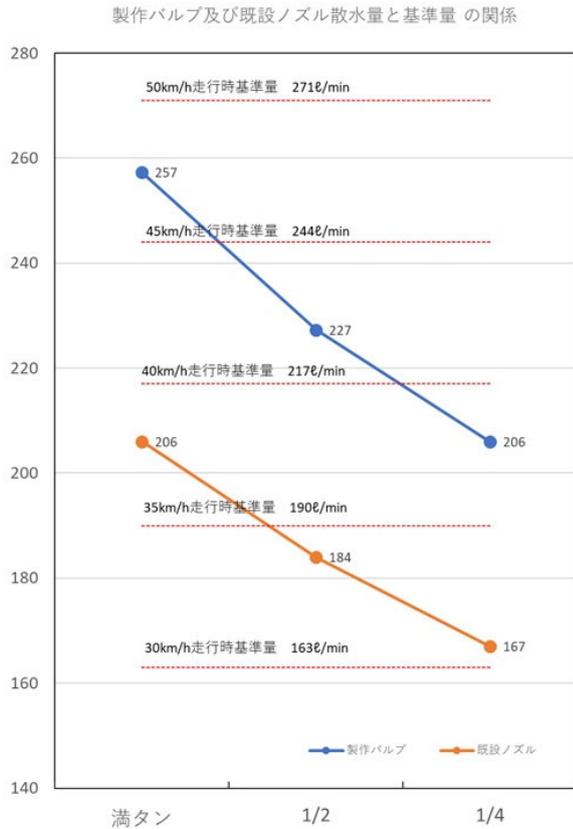


図-11 散水量検証結果 (重力式バルブ方式)

また、重力式ボールバルブ方式においてタンクの水量に合わせ流量調節を行う際のバルブとしてニードルボールバルブの散水量の検証も行った。

開度を100%、80%、60%と変化させた場合の散水量を比較した結果、開度100%に対する散水量は、開度80%で約60%、開度60%で約30%の散水量になり、ニードルボールバルブで散水量調整が可能であった。

表-2 散水量検証結果

(ニードルボールバルブによる散水量調整機能)

タンク容量	バルブ 計測重量 (kg/10s)			
	ニードル 開度60%	ニードル 開度80%	ニードル 開度100%	ホール バルブ
満タン	2.8 (34%)	5.0 (61%)	8.2	8.5 (104%)
1/2	2.5 (32%)	4.8 (62%)	7.8	7.8 (100%)

※ ( ) 内の数値は、ニードル開度100%を基準とした割合

さらに、左右端バルブにエルゴを取り付け、横方向の噴射角を拡大することで、車両幅+50cmの範囲で散布範囲を拡大可能であることを検証できた。



図-12 散水範囲検証状況

現場実証実験の散水量検証結果から圧力式ノズル方式、重力式ボールバルブ方式ともに雪寒対応マニュアル基準散水量を満足する結果となった。しかし、圧力式ノズル方式は、散布する凍結防止剤の巻き上がりが顕著であり、周辺を走行する車両等への影響が大きいと判断し、重力式ボールバルブ方式を採用した。

#### 4.2.2 散水状況検証結果

散水量検証結果及びテスト走行結果を踏まえ、ニードルボールバルブ (開度100%) とボールバルブを条件として、車両走行速度30km/h、40km/h、50km/hの散水状況を検証した。

重力式バルブ方式は、散布直後は筋状に散布しているように見えるが、概ね面的に散布された。

巻き上がりは少なく後続車や周辺車両への影響はない状況であった。

また、走行速度が速くなるにつれ、路面の散布範囲が狭くなった。(特に走行中央付近、車両両端付近)



図-13 散水状況検証 (重力式バルブ方式)

#### 4.2.3 保守性検証結果

保守性検証では、アタッチメント交換、ストレーナー洗浄、ノズル・バルブ部材交換に関する作業性を検証した。アタッチメント交換作業は、特殊工具を必要とせず、15分程度で交換できることを確認した。また、ストレーナー洗浄、ノズル・バルブ交換作業も2分~5分程度での作業できることを確認した。

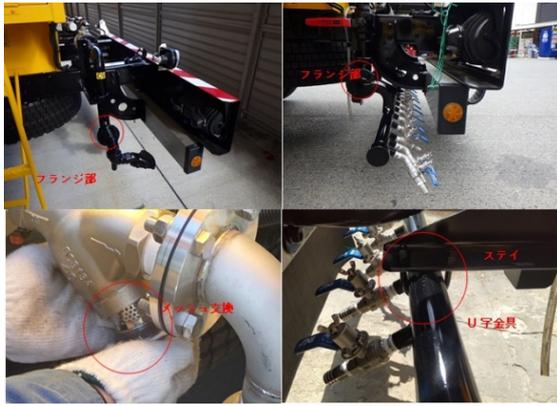


図-14 アタッチメント交換作業箇所

## 5. 試作機改良

現場実証実験結果を踏まえて、重力式バルブ方式を採用するものとして、現場実証実験で得られた車両外側部の散布状況改善の改良を実施した。

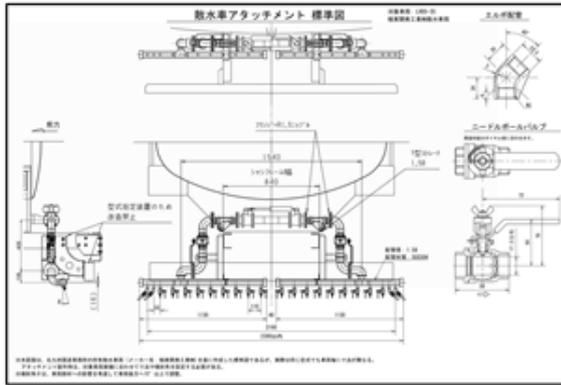


図-15 改良後の凍結防止剤散布用アタッチメント標準図

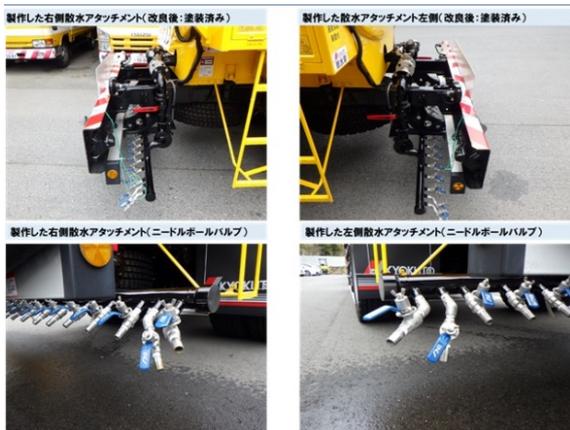


図-16 改良後の凍結防止剤散布用アタッチメント

- ①ニードルボールバルブでの流量調整を採用
- ②噴射角度(走行方向)は $15^{\circ}$ 以上を採用  
(車両の部材に直接噴射しない角度に調節)
- ③バルブ設置個数：左右11個  
(タンクの内水量が $1/2$ 以下の場合を考慮し左右2個

ずつ増設)

- ④両端から2箇所はエルボを設置  
(噴射範囲を広角)

- ⑤ストレーナー部材：メッシュサイズ3mmを採用  
(バルブ径の $1/3$ 程度のメッシュサイズ)

・バルブ増設によって散布量が約1.2倍増大するが、ニードルボールバルブで流量調節は可能であると判断した。

## 6. おわりに

今回、製作した散水車用アタッチメントにおいて散水機能(散布の均一性や適量散布量)並びに走行車両からの散布による散布状況(散布状況や巻き上がり)を確認でき、1回で規定量を均一に散布できることを実証した。また、散水車のアタッチメントは、夏季と冬季において交換して運用されることから、アタッチメントの交換の作業性も評価した結果、容易に取り付け可能な装置であることを確認できた。

実証実験直後、国道での実稼働の機会があり、十分に散布できることも確認できた。



図-17 実稼働状況(北九州国道管内)

今後の試験を考慮し、本散水車用アタッチメントの取り扱いマニュアルとして、アタッチメントの交換手順や運用に関する指標を記載した。

今後も、九州地方整備局管内において冬期に路面凍結防止のために凍結防止剤(塩化ナトリウム水)を事前散布する際、本アタッチメントが活用され、作業の効率化に寄与することを期待する。

**謝辞**：今回の検討・開発にあたりご協力いただいた西日本技術開発株式会社、建設サービス株式会社北九州営業所、極東開発工業株式会社、株式会社エフ・イー・オート、北九州国道事務所の皆様に感謝の意を表す。

# 鶴田ダム貯水池における外来水草の対応について

亀井 慎平<sup>1</sup>・廣松 洋一<sup>2</sup>・有嶋 哲朗<sup>3</sup>

<sup>1-3</sup>九州地方整備局 鶴田ダム管理所（〒895-2102 鹿児島県薩摩郡さつま町神子3988-2）。

川内川中流部に位置する鶴田ダム湖面(大鶴湖)では、過年度来外来水草のボタンウキクサ、ホテイアオイが繁栄していた。

本稿では、大鶴湖における発生状況及び異常繁茂メカニズムについてまとめ、外来水草の回収方法及び今後の外来水草発生状況の予測して今後の回収水草の有益な利用方法の実施について検討したものである

キーワード 外来水草、異常繁栄、回収方法、有益な利用

## 1. はじめに

鶴田ダムでは令和元年から3年にかけてボタンウキクサを優占種としてダム湖全域を覆うほどの繁殖を記録した。

外来水草の繁殖は地球温暖化でダム湖やため池など、全国どこにでも起こりうる新たなダム管理上の課題である。今回外来水草繁茂の知見を取りまとめているので、災害防止のノウハウとして広く共有したい。

なお、取りまとめた知見や対応策は、学識者や鶴田ダムに関するNPOや自治体で構成する「大鶴湖の水環境に係る関係者会議」関係者会議で取りまとめており、今回以降に紹介する。



## 2. 鶴田ダムの概要

川内川は、熊本県の白髪岳に発し、宮崎県を通過して鹿児島県に入り、湯之尾滝を経て曾木の滝から鶴田ダムへ流入し、その後、川内平野を下り東シナ海へそそぐ、流域面積1,600km<sup>2</sup>、集水域805km<sup>2</sup>、長さ137kmの九州屈指の大川である。

その流域は3県、3市2町（薩摩川内市、さつま町、伊佐市、湧水町、えびの市）にまたがり、流域内人口約20万人を抱えている。鶴田ダムは川内川河口から約51kmに位置しており、洪水調節と発電することを目的に建設された多目的ダムである。ダムの高さ117.5m、ダム湖に

貯まる水の量は1億2千3百万m<sup>3</sup>で、九州のダムでは最大規模の重力式コンクリートダムである。

鶴田ダムでは、昭和44～47年に大規模な洪水が3度発生している。特に昭和47年7月洪水では、緊急放流を伴う洪水調節を行い、下流域で大きな被害が生じた。このような状況の中、昭和48年3月に川内川の治水計画の見直しにより計画規模を年超過確率1/80から1/100に変更し、鶴田ダムでは、発電容量の一部を買い取り、洪水調節容量を4,200万m<sup>3</sup>から7,500万m<sup>3</sup>に増強している。

その後、平成18年7月の鹿児島県北部豪雨災害では、鹿児島県北部を中心とした記録的な豪雨に伴い、川内川の上流から下流に至る3市2町にかけて浸水面積約2,777ha、浸水家屋2,347戸という甚大な被害が発生した。この記録的な豪雨を契機に翌平成19年より鶴田ダム再開発事業に着手し洪水調節容量を7,500万m<sup>3</sup>から9,800万m<sup>3</sup>へ約1.3倍に増加させる事業が平成30年度に完了した。



図-1 鶴田ダム流域図



図-2 再開発事業完了後の鶴田ダム

### 3. 鶴田ダムにおける外来水草の発生状況

#### (1) 水草繁栄状況

鶴田ダムでは、ホテイアオイは平成5年度以前から、ボタンウキクサは平成19年度から生育が確認されており、平成22年～23年度にボタンウキクサが大繁殖した。

その後、平成30年頃までは、大鶴湖内支川の馬渡川を中心に繁栄が確認され、令和2年冬には、ダム湖面積の全域を覆うほどの繁殖を記録した。

令和3年度は相対的に増殖速度が小さいホテイアオイが優占したこと、4月の早期から回収作業開始によって回収が順調に進み、令和3年度中に全域で解消した。

その後、令和4年度は外来水草の繁栄は見られない。

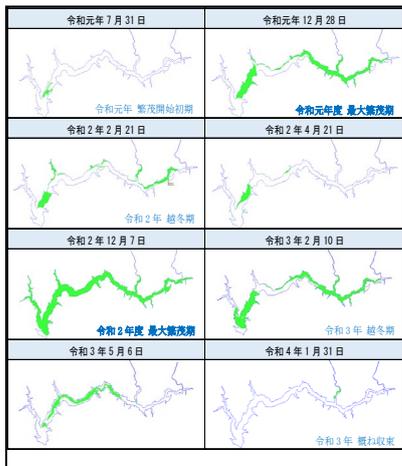


図-3 外来水草の繁茂範囲図

#### (2) 令和元年～3年度における外来水草の優占種遷移

令和元年度は8月から9月にかけてボタンウキクサが増殖を開始し、12月頃をピークに優占する状況だった。

令和2年度も湖内で越冬したボタンウキクサが優占種となり、湖面全域を覆うまでに繁茂域を拡大した。

令和3年度は越冬後の5月時点では、ホテイアオイとボタンウキクサが混在して分布し、その後成長期の終盤11月時点ではホテイアオイが優占種となる場所が増加した。

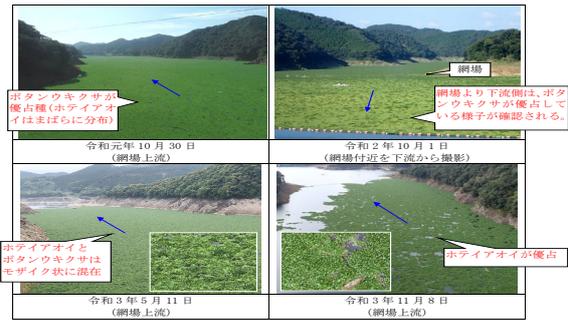


図-4 令和元年度～3年度にかけての水草繁茂状況

以上から、新規に繁茂域を拡大する場合はボタンウキクサが優占種となりやすく、夏季～秋季に著しく成長・増殖する。その後、年度をまたいで生育が継続するにつれて、ホテイアオイに植生遷移し、成長・増殖の速度は鈍化する特徴が読み取れる。

### 4. 外来水草の異常繁茂メカニズム

#### (1) 外来水草の発生供給源

大鶴湖上流の水域(川内川、支川羽月川、ため池・湧水池)において複数年にわたり継続的に外来水草が生息・越冬している場所が確認されている。



図-5 ため池におけるホテイアオイ群落



図-6 湧水池におけるボタンウキクサ群落

#### (2) ダム湖内への水草流入

上流域の外来水草は出水時等に川内川に流出し、塵芥と共にダム湖内に流入している様子が確認されている。

風の吹送等の影響により大鶴湖内の湛水状態の支川に入り込んで集積したまま滞留し続け、塵芥に混じって少量の増殖している様子が確認されている。



図-7 馬渡川における塵芥・外来水草の集積状況

### (3) 大鶴湖内支川での越冬・増殖

大鶴湖内の湛水状態の支川に入り込んだ外来水草は滞留し続け、冬季の気温が高い場合は越冬し、春期までの長期に渡って成長・増殖すると考えられる。大鶴湖内支川では水が滞留しやすいため、外来水草は大鶴湖内よりも残存し越冬しやすいと考えられる。

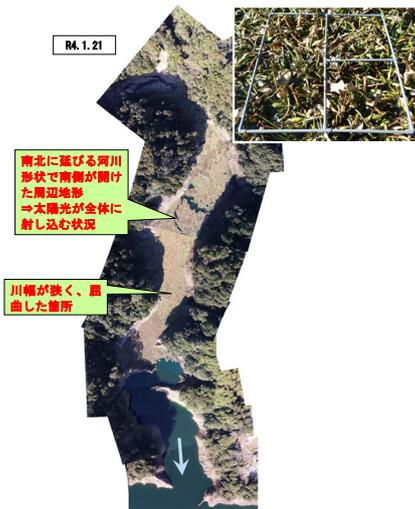


図-8 馬渡川における外来水草越冬状況

### (4) 大鶴湖内支川からダム湖内への水草流出

大鶴湖は洪水期の6月～8月頃に貯水位を下げた運用を行うことで、湖内の湛水域はダムサイト～3.3k区間の範囲まで減少し、上流側に位置する馬渡川等の支川は順流化。馬渡川等支川で集積・増殖した越冬水草は、夏期制限水位期にダム湖内に流出し湖内での水草繁茂の起点となる。



図-9 馬渡川位置図



図-10 馬渡川の順流状態(5月から6月における水位変化)

### (5) ダム湖内での水草繁茂拡大

ダム湖内に流出した外来水草は、個体の成長と個体数の増殖によって生重量を大きく増大させ、繁茂拡大する。令和4年度に囲い込み網場の中で外来水草を生育させて調査した結果(図-11)では、ボタンウキクサ、ホテイアオイともに春期～秋期まで一貫して生重量が増加傾向となっており、5月末を基点に秋期～冬期にかけて累積で1,000～3,000倍程度の繁殖能力を示している。特に、秋季の増殖速度はボタンウキクサ>ホテイアオイとなっているため、大鶴湖内支川から流出した外来水草は、秋季の増殖速度が大きいボタンウキクサを優占種として増殖する可能性が高いと考えられる。

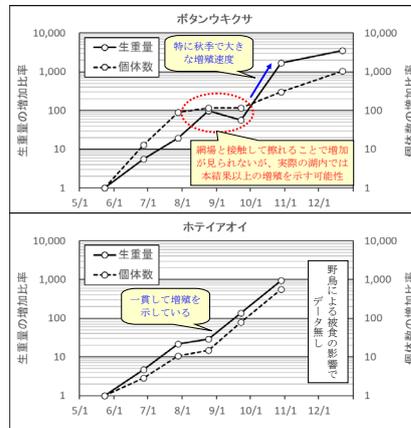


図-11 外来水草の増加比率場合)

湖面での種子発芽はこれまで確認されておらず、種子繁殖が起こっている可能性は小さいと考えられる。

### (6) 種子繁殖の詳細情報

大鶴湖で外来水草の開花・結実を確認されているが、湖面での種子発芽は確認されておらず、湖面での水草増殖に対する寄与はほとんど無いと推察される。

#### a) ボタンウキクサ

大鶴湖においてボタンウキクサの開花は9月～10月頃に確認されて、過年度は1月に結実が確認されている。

発芽の適温(水温20~28℃程度)となるのは春季・秋季と考えられる。

しかしながら、湖面確認やプランクトンネットを用いた調査(図-15)からは、水面・水中を浮遊するボタンウキサの種子及び種子発芽個体は確認されていない。

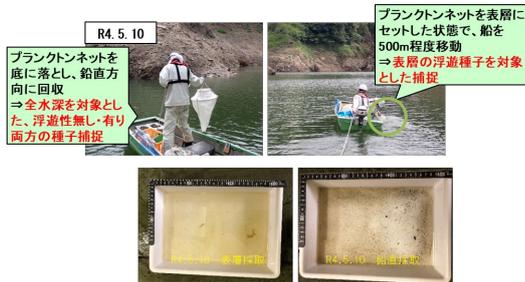


図-12 プランクトンネットによる種子の補足確認調査(令和4年5月~12月)

#### b) ホテイアオイ

大鶴湖においてホテイアオイの開花は6月~8月頃を中心に確認されており、種子形成は12月に確認されている。

開花後に子房が膨らんだ状態となっても、中身が空洞のまま種子が形成されない状況(不稔性)の割合が多く、令和4年度調査によると種子が形成され散布されているのは全体の1割程度と考えられる。

しかし、湖面確認やプランクトンネットを用いた調査(図-12)からは、水面・水中を浮遊するホテイアオイの種子及び種子発芽個体は確認されていない。

また、ホテイアオイの種子・さく果は水中で沈降する比重であるため(図-13)、種子が散布されても湖底に沈んで種子発芽せずに終わるのが大多数と考えられる。



図-13 ホテイアオイ種子・さく果の浮遊性確認

#### (7) 埋土種子の発芽可能性

開花結実して形成された種子は底泥中で休眠した状態となり、長期的な種子発芽の供給源となる可能性が想定される。可能性について令和3~4年度にかけて調査した。ダム湖内とダム上流域のため池での底泥を用いた調査を行った結果、水草増殖の可能性は無いと結論付けられる。

##### ・ダム湖内の埋土種子

水草が繁茂し埋土種子の存在確率が高いと想定される網場地点、馬渡川の流心と岸際において、令和3年度・4年度に底泥を採取し、発芽実験を行った結果、令和3年度採取の馬渡川流心の底泥からボタンウキサの種子発芽が確認された。しかし、他の採取底泥からは種子発芽は確認されていない。

これより、ボタンウキサ種子は底泥中で越冬可能で、

発芽条件(気温、光条件等)が揃った場合に種子発芽するケースが確認されたことになる。

しかし、実際の埋土種子は、水よりも比重が大きくて沈降し、発芽条件が揃った場所に再浮上することはないため、種子発芽の可能性はほぼないと考えられる。

#### (8) ダム湖内での越冬、翌年の大繁茂

外来水草の繁茂域が支川から拡大した年において継続して湖内越冬が起こる場合、翌年の大繁茂に繋がる。実際に令和元年~3年にはダム湖内で大規模な繁茂が確認され、令和2年冬にはダム湖面積の全域を覆うほどの繁茂を記録したが令和2年度~3年度でも外来植物が繁茂していたのは、気温・水温が高く越冬した個体が多く気温が上昇して増殖したものと考えられる。

1月~2月の期間において、日平均気温が5℃以下となった日数が15日以下となる暖冬の年に、外来水草が発生→大増殖する傾向が見られる。

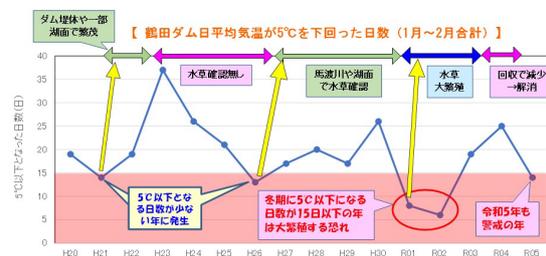


図-14 鶴田ダム日平均気温が5℃を下回った日数(1月~2月合計)

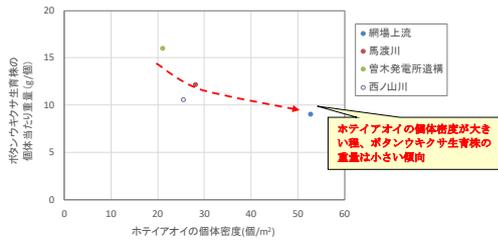
#### (9) ダム湖内での越冬、翌年の大繁茂

令和2年度から3年度にかけて、優占種がボタンウキサからホテイアオイに遷移する現象が見られた。

令和元年度にボタンウキサが優占種となってダム湖内で外来水草が繁茂し、令和2年度もボタンウキサが優占種となりダム湖全域を覆う著しい増殖を示した。しかし、令和元年度から継続して外来水草が繁茂することで、徐々にホテイアオイの生物量も増えており、冬季にともな越冬する状況となっている。ホテイアオイの繁茂場所では水草2種の競合が生じ、ボタンウキサの増殖がホテイアオイの光制限によって抑制されることで、徐々にホテイアオイの割合が増加したことが考えられる。令和3年度になるとホテイアオイが優占種となり、湖内全体においてボタンウキサとの競合関係で勝るようになり、ダム湖内の外来水草生物量はホテイアオイの増殖量で決まるようになったと考えられる。



図-15 大鶴湖におけるボタンウキサ、ホテイアオイ(令和3年10月25日)

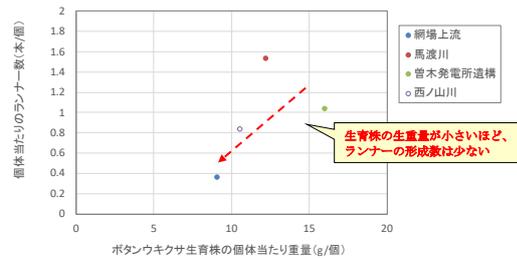


令和3年10月～12月の調査データより作成  
 図-16 ホテイアオイの密度とポタンウキクサの生重量との関係

湖内で複数年来水草が越冬する場合、優占種がポタンウキクサからホテイアオイに遷移する現象が起きやすくなると考えられる。

ポタンウキクサの個体重量とランナー数の関係を図-27に示す。

ポタンウキクサの生重量が小さいほど、ランナーの形成数は少なくなる傾向が見られ、ホテイアオイが高密度の環境ではポタンウキクサの成長が鈍化するため、同時に、ポタンウキクサのランナー株による繁殖も抑制される。



令和3年10月～12月の調査データより作成  
 図-17 ポタンウキクサの生重量とランナー数との関係

### 5. 大鶴湖における外来水草状況の予測(パターン整理)

今後、大鶴湖内の支川及びダム湖内に越冬水草が残存する場合に、外来水草の変動推移は次の3つのパターンに整理される。

パターン①春時点で外来水草の越冬株が大鶴湖内の支川で一定程度残存している場合、増殖が見られるとしたら、秋季の増殖速度が大きいポタンウキクサを優占種として増殖する。

パターン②春時点で外来水草の越冬株がダム湖内に一定残存しておりポタンウキクサが優占種である場合、生息範囲を拡大増殖し大鶴湖全域で繁茂する。

パターン③春時点で外来水草の越冬株がダム湖内に一定程度残存しておりホテイアオイが優占種である場合、ポタンウキクサの爆発的な増殖は抑制され、ホテイアオイの比較的緩やかな増殖で湖内の水草量が推移される。

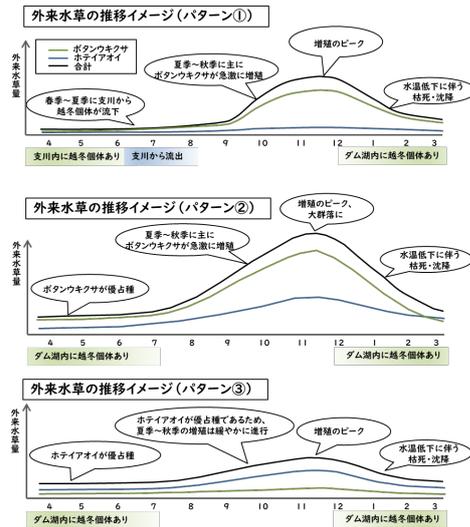


図-18 越冬株が残存する場合の外来水草状況の予測

## 6. 外来水草の回収方法

### (1) 回収方針

湖内の水草量が少ないほど増殖量は小さいため、越冬後の春期には速やかに回収を開始する。

馬渡川等支川に集積した越冬水草は、夏期制限水位期にダム湖内に流出するため、船舶でアクセスが可能な5月頃までを目処に回収を終える。

### (2) 回収方法

#### a) 人為的回収



#### b) 回収船



### (3) 費用対効果

小規模量の場合は機動的に対応可能な人為的回収(巡視・回収、囲い込み回収)を基本とし、人為的回収が困難な量となった場合は、鶴田ダム保有のウィードハンター(刈取幅2.4m)を導入、次に費用対効果が高い順にハイドロモグ、ウィードハンター(刈取幅1.8m)を運用して回収する手順が合理的となる

項目	人為的回収		回収船		
	巡回・回収	囲い込み回収	ハイドロモグ	ウィードハンター (刈取り幅 1.8m)	ウィードハンター (刈取り幅 2.4m) 兼田代人保有機
日回収量 (実績平均)	1t/日	10t/日	45t/日	21t/日	29t/日
日当たり施工費用	10万円/日	20万円/日	82万円/日	64万円/日	59万円/日
費用対効果	0.10t/万円	0.50t/万円	0.55t/万円	0.33t/万円	0.49t/万円

図-19 回収方法の費用対効果

水草面積の増減変化(前日比)を参照し、越冬した水草面積(初期値)毎の回収方法、費用を試算した結果を示す。

#### (4) 合理的な水草回収方法

水草面積の増減方法を参照し、越冬した水草面積(初期値)毎の回収方法、費用を試算した。

8月までに水草全量が回収されるように、3月時点の越冬水草面積に対する回収可能な範囲を表記している。

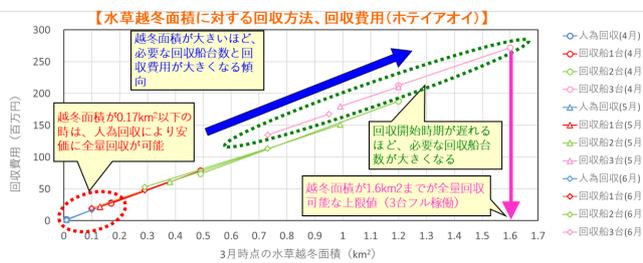


図-20 水草越冬面積に対する回収方法、回収費用(ホテアオイ)

大鶴湖内及び馬渡川等の支川に集積した越冬水草を巡視・点検で把握し早期に人為的回収に努めることで、継続的かつ低予算で大鶴湖内の水草繁茂を抑制可能となる。

### 7. 回収水草の有益な利用方法

#### (1) 堆肥利用

令和元年～令和3年度にかけて回収した外来水草は、暫定的にへらぶな岬に野積して対処してきたが、回収後の外来水草は全て令和4年度時点において土壌化した状態(以下、野積土壌)となっている。

野積土壌について次の2点の有益な性質が分かっている。

既存の野積土壌は堆肥化促進剤として有用であり、特に気温が高い時期においては、野積土壌内に埋設した外来水草は約1か月で全て土壌化する。

野積土壌は作物栽培の堆肥として利用可能であり、特に経年数の長い野積は堆肥としての有用性が高い



図-21 野積土壌によるキャベツ栽培(左: R4. 9. 22、右: R4. 10. 28)

成長の大きさは「市販培養土≒約1年前の野積<約3年前の野積」の順であった。

#### (2) 野積み堆肥化と利活用の方針

野積土壌の堆肥化促進剤、堆肥としての有用性を活かすために、今後も調査を継続し、以下のような対応を検討する計画である。

野積土壌は今後、へらぶな岬の野積場から搬出して、新たに造成した平場(発電所遺構の対岸辺り)に存置し、堆肥利用の希望者に随時配布する方針とする。

配布においては経年数の古い野積(奥部)から優先的に也元還元する。

野積土壌の一部は、水草が今後発生した場合の堆肥化促進剤として利用する。



図-22 野積を今後存置する平場予定地

### 8. まとめ

前述までに外来水草の発生メカニズムや発生時の対応策を記載した。その結果を踏まえた今後の対応として、以下を取り組んでいくことを考えている。

- ・ダム湖上流が発生源であり、関係者全体で啓発活動が必要。
- ・冬場の気温が高い場合(5度以下が15日未満)、越冬個体の監視が必要。
- ・大繁殖する前の早期の対策(5月まで)が重要
- ・堆肥化して有効活用が可能。

なお、取り組みにあたっては「大鶴湖水辺に係る関係者会議」にて意見を伺いながら実施していく。



# 利水者に配慮したポンプ設備更新工事における 工程調整と工程管理の工夫

藤野 好文<sup>1</sup>・藤松 純弘<sup>1</sup>

<sup>1</sup> (独) 水資源機構 筑後川下流総合管理所 福岡導水事業所 (〒830-0002 福岡県久留米市高野1-1-1)

福岡導水揚水機場においては、2021年度に主電動機及び速度制御装置の更新を行ったが、更新工事期間中においても絶えず水道用水を安定して供給するためには、代替水源の使用など利水者側の検討時間を確保することに配慮し、工事工程を早期に立案する必要があった。

しかし、受注者が計画する作業工程は水運用上の詳細な制約までは考慮されておらず、発注者で配水計画を加味し全体工程を最終化するまでには、時間を要することが予見された。

そこで、発注者が工程計画の一部を提示し、早期に利水者と調整が図れたほか、工事期間中の送水上のリスクを共有し、工程遵守に様々な取り組みを行い計画的に設備更新した。

キーワード 工程計画、発注者工程提示、リスクコミュニケーション、工事实績の蓄積

## 1. はじめに

福岡導水施設は、福岡都市圏の10市6町及び佐賀県基山町への水道用水として、計画最大2.767m<sup>3</sup>/sを供給しており、筑後川の河口から約28km上流の筑後大堰湛水域に取水口を設置し、筑後川から取水した水は福岡導水揚水機場のポンプにより圧送され、途中の基山分水工で基山浄水場(佐賀東部水道企業団)へ分水された後に園部接合井に到達する。園部接合井からは自然流下により牛頸浄水場(福岡地区水道企業団)まで送水している。

また、導水路の途中には山口調整池(以下「調整池」という。)があり、筑後川本川の取水制限や水質事故時のほか、取水工・導水路設備の点検整備やトラブル等の場合、調整池から導水路へ利水補給して牛頸浄水場への送水を確保している。

なお、調整池使用後は、筑後川本川からの導水の一部を調整池へ注水(貯留)している。

## 2. ポンプ設備整備工事について

福岡導水施設のうち福岡導水揚水機場ポンプ設備については、表-1のとおり2019年度から2021年度にかけて、1・4号用主電動機と1・4号用速度制御装置の更新並びに関連制御設備の整備を実施した。このうち2021年度の現地工事期間中には、ポンプ設備の一部停止や全台停止作

業など制限が必要となるなか、調整池からの取水切り替え作業に伴う水質変化等の観点から、利水者と早期に綿密な工程調整が必要となり、それに応じた工程管理が必要となった。

表-1 概略工事工程

	令和元年度	令和2年度	令和3年度
工期			
設計			
工場製作			
現地作業			
1号主電動機			-
4号主電動機			-
速度制御装置			-
計装装置			-
試運転			- -

## 3. 工程計画と関係者間の調整

### (1) 工程計画の実情と機械設備工事の特徴

工程計画段階において工事発注段階では、機構と利水者間には概略施工時期の調整に留まるものの、工事实施段階では据付(現場)作業前までに、日時レベルでの詳細な工程をもとにして可能な限り早い時期に工程(日程)調整を行うことが、利水者との信頼関係を維持するためにも重要となる。

受注者が計画する工事工程は作業内容を主眼としているが、機構が利水者との調整に用いる工事工程では、受

注者の工事工程をベースに、水管理を熟知した機構で配水計画を加味した内容に見直している。そのため、調整結果によっては配水計画上の制約などから、工事工程の見直しに伴うなど手戻り作業が受注者の負担となる課題があった。

また、機械設備工事では工事前半を機器の設計・製作に費やすことが多く、工程を計画する監理技術者などの技術者は、設計図書に特段の定めがない限りは据付（現場）工事から専任されることが一般的である。そのため、詳細工程が発注者へ提示される時期は、工場製作の目処が立つ据付（現場）作業前となるなど、必ずしも早い段階とはならず、利水者内部の配水調整が短期間となることも課題であった。

加えて本工事のように、取水減量日などが漸続的に発生する場合は、受注者毎に異なる施工計画に影響されるため、予め日時単位で工程制限を設計図書に明示することは困難であり、契約後に受注者と計画せざるを得ないのが実情である。

## (2) 発注者による工程初案の提示

現実的かつ最適な工程計画を早い段階で導いていくために、契約上の受注者の責務である施工計画や工程計画を逸脱しない範囲で、発注者の全体工程案を詳細な施工条件とともに初案として受注者へ提示することとした。

そこで、発注者の実務範囲は図-1 による日程計画のうち、①全体工事工程の発注者案提示と、②各作業で発生する工事の制約ポイントとなるポンプ設備の一部停止に伴う取水減量日及び試運転作業日における詳細施工条件を提示した。

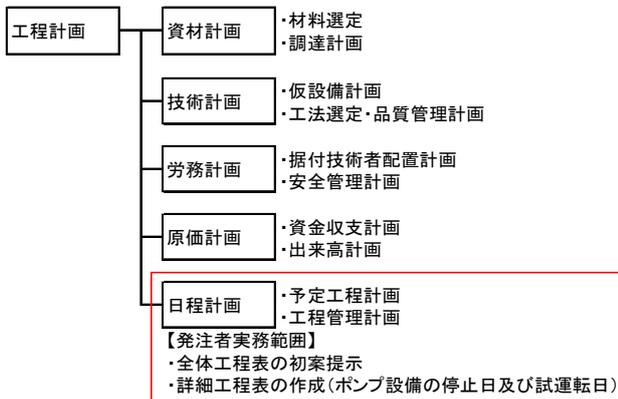


図-1 工程計画の構成と発注者実務範囲のイメージ

## (3) 工程計画の実務

### a) 工事工程の初案提示

早期に利水者と工程調整を開始するために、発注者案の工程で、工程計画の初案となる「全体工程表」（図-2）を受注者へ提示した。

機構の具体的な実務は工事発注段階における標準工法による施工計画から施工内容と所要日数をもとに、機構職員が蓄積した「機械設備整備・更新技術解説書」を活

用し、同機場他号機の作業実績も参考にして全体工程表を作成した。また、工事の詳細な施工条件等を整理したうえで受注者へ提示し、双方で修正を数回にわたり実施し、全体工程表を取り纏めた。

福岡導水揚水機場ポンプ設備整備工事 令和3年度工程表

分類	作業内容	9月												10月																
		27	28	29	30	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21				
		月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	
仮設設置・配線敷設	配線																													
	速度制御装置																													
	整備付																													
電動機	配線																													
	速度制御装置																													
	整備付																													
カッティング分解																														

図-2 発注者にて計画し提示した全体工程表（抜粋）

全体工程表を計画するうえで一つの指標とした調整池の使用量及び使用後の貯水率について、検討段階毎の推移を表-2 に示す。調整池への注水は水利権量から浄水場送水量の差分で行う必要があり、仮に調整池を1日使用した場合、貯水量回復に約10日間を要する。さらに貯留制限時等は注水が出来ないため、取水制限や導水路のトラブル時に備え、貯水量を温存することが重要となる。そこで調整池の使用量を抑えることを念頭に、全体工程表の計画精度を上げ、最終的に貯水量を極力温存する工程計画とした。

表-2 工程計画段階毎の調整池使用率推移

計画段階	山口調整池使用量	使用後貯水率
R2.10.12	3,369,600 m <sup>3</sup>	13.60 %
R2.10.22	3,291,840 m <sup>3</sup>	15.59 %
R2.12.25	2,471,040 m <sup>3</sup>	36.64 %
R3.1.12	2,471,040 m <sup>3</sup>	36.64 %
R3.1.26	2,332,800 m <sup>3</sup>	40.18 %
R3.6.18	2,099,520 m <sup>3</sup>	46.17 %
R3.7.8	2,099,520 m <sup>3</sup>	46.17 %

※有効貯水量は3,900千m<sup>3</sup>

### b) 制約ポイントの計画

工事の制約ポイントとなる取水減量作業及び試運転作業の詳細工程は、受注者毎に異なる施工計画に影響されるため、工事発注時点で一律に定めることは難しい一面がある。今回は受注者へ詳細な施工条件を提示したうえで、事前作業を除く全体81日間のうち、13日分の時間・分単位の「詳細工程表」を作成した。工程を具体化する作業では、工程打合せを工程計画当初から週1回程度の頻度で3ヶ月間に渡って実施した。

### c) 送水上の課題と対処

工事工程の計画は取水に制約のない「通常取水日」、取水量の減量が伴う「減量日」と、ポンプ設備の試運転

を行う「試運転日」のほかに、下記の「限定送水日」と称した送水期間を設けることで、調整池の温存を図る計画とした。

これは2021年3月10月に先発で更新する1号電動機を用い、11月から12月まで試運転が終了するまでの期間、流量調整機能が喪失する速度制御装置更新作業中においても運用を停止するのではなく、定速運転で吐出弁開度絞り運転にて流量調整するもので、管理開始以降は本パターンによる送水実績はない。

検討段階では2.3~2.5m<sup>3</sup>/sの領域で吐出弁（ロート弁）による開度絞り運転が必要と考えられたため、懸念するキャビテーション検討を踏まえて安全性を確認し計画した。

#### d) 利水者との調整

全体工程表は据付（現場）作業の半年以上前に示すことで、利水者の海水淡水化施設などの水源や、調整池使用による粉末活性炭注入計画などの検討時間を確保することに配慮した。

また、更新試運転時は、大きく上下に流量変動を伴うため、本川からの取水量の変動が大きくなれば調整池地点への送水時間のタイムラグと相まって、利水補給の操作が煩雑となる。さらに調整池からの利水・注水管路と取水導水路が合流する山口連絡水槽は、通常通水時と注水時、利水補給時とそれぞれ水位が一定ではなく、水位一定制御を行っても牛頸浄水場への送水量が一定とはならないことから、浄水場による活性炭や薬品注入など浄水処理に影響を与えることが考えられた。

そこで、全体工程表の補完として作成した詳細工程表・操作要領書(図-3)を早い段階で利水者へ丁寧説明し、流量変動・水質変化等が伴うことを共有し理解を得た。

減量作業日の操作イメージ(1号試運転)

区分	設備区分	減量日・令和3年10月21日(木)																										
		8	9	10	11	12	13	14	00	15	30	45	00	15	30	45	00	15	30	45	00	15	30	45	00	15	30	45
福岡導水取水	No.2.3ポンプ	通常送水																										
	No.1ポンプ																											
	No.4ポンプ	通常送水																										
山口調整池利水補給																												
山口調整池注水																												
福岡導水揚水機揚取水量(m <sup>3</sup> /s)		2.7	0.0	1.6	0.7	1.4	2.4	2.5	2.6																			
送水可能量(m <sup>3</sup> /s)		2.7	0.0	1.6	0.7	1.4	2.4	2.5	2.6																			
山口調整池利水補給量(m <sup>3</sup> /s)		0.0		1.7	1.7	1.3	0.3	0.2	0.1																			

図-3 詳細工程表・操作要領書 (抜粋)

## 4. 工事の実施と取組の成果

### (1) 試運転実施上の課題と対処

本工事による試運転では、主電動機や速度制御装置、流量設定器の更新後における機能確認のため、最短15

分間隔で取水流量を変化させる必要がある。利水者は調整池との水質変化に応じた浄水処理を行うため、試運転は時間・分単位の計画工程どおりに進行しなければならず、そのためには受発注者間で常に連絡を取り作業を進める必要があった。

しかし、今回の施工箇所は監視制御装置及び指揮系統の起点となる操作室(2F)と、速度制御装置が設置される電気室(1F)、更に主電動機が設置される地下ポンプ室に渡り、特に地下ポンプ室は携帯電話も無線通信も使用出来ない通信環境のため、3箇所間の同時通話を可能とする手段が課題となった。

そこで、3箇所間にあらかじめ敷設されていた制御ケーブルの予備線を利用し、電話工事用ブレスト(線路試験送受器)を用い、安定した通話のもと、試運転工程を含め予定工程を円滑に進めることが出来た。

### (2) 工程遵守への取組

工事の進捗途中で作業の遅延や労働災害等により、減量日及び取水停止日に変更が生じる場合、利水者との再調整は工程全体に影響する懸念があった。そこで、進捗管理を実施するため、全体工程表の根拠資料となる受注者が作成した日々の作業要領書(図-4)を受発注者間で共有した。

電動機更新作業要領書

日付	項	作業及び試験内容
9月30日	1)	旧カップリングカバー取外し
	2)	旧カップリングボルト取外し 高弾性ゴム取外し番号確認
	3)	更新前芯出し確認・カップリング隙間測定確認
	4)	電動機用サイレンサー取外し
	5)	ベースボルト取外し
10月1日	1)	旧電動機用サイレンサー搬出 地上屋外仮置き
	2)	旧電動機移動 ポンプ室搬入口下仮置き
	3)	カップリングとシャフト隙間測定
	4)	カップリング取外し ガスにて油圧取外し

図-4 主電動機更新作業要領書 (抜粋)

作業予定と実施状況を日々確認することで進捗管理でき、作業の実務レベルまで細分化した工程管理で見える化を図るとともに、更に作業手順書と実施に際して相違が生じる場合は必要に応じ作業を一時中断して最善策を協議し、ワンデーレスポンスを徹底することで方針決定の迅速化と安全面に配慮した。

また、主電動機や速度制御装置など大型重量物作業の前には作業リハーサルを実施するなど、作業の問題点を事前に抽出し、トラブルの発生による工程の遅延を回避した。

そのほか、主電動機の芯出しにはレーザー芯出し計器を使用するなど、作業の合理化により工程を遵守した。

### (3) 限定送水時の課題とリスクコミュニケーション

1号主電動機の更新後の試運転に際して、定速運転と普段流量調整に用いない吐出弁による開度絞り制御を検証したところ、流量制御は正常に出来たが、吐出弁吐出

側に位置する手動仕切弁より、不定期に異音が確認された。(写真-1)

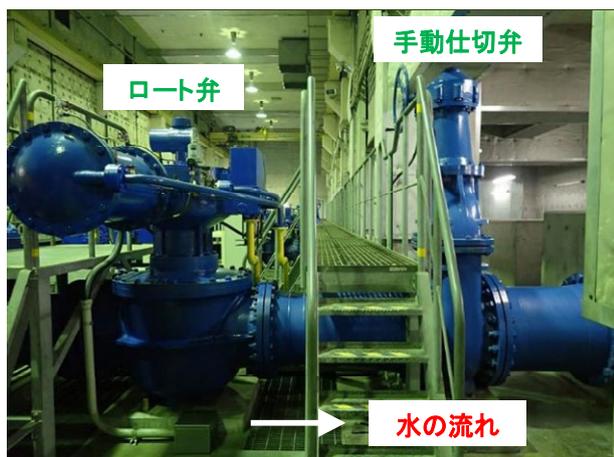


写真-1 吐出弁（ロート弁）及び手動仕切弁

そこで、異音に伴う手動仕切弁の不具合の影響と送水リスクについて、河川管理者及び利水者との協議を踏まえ、2021年11月15日から吐出弁の開度絞りが不要な2.6m<sup>3</sup>/s送水と2.2m<sup>3</sup>/s送水の2パターンに運用を見直した。

2.2m<sup>3</sup>/s送水時は不足分を調整池から利水補給し、2.6m<sup>3</sup>/s送水時は調整池への注水を繰り返す運用とし、取水停止作業期間の開始となる2021年12月7日まで実施した。

#### (4) 工事に伴う山口調整池の使用状況

工事開始から2021年12月7日の取水停止までの間に、延べ10日間の減量が伴う作業を行った。その間は調整池からの利水補給と注水を繰り返し、工事の円滑な進捗と利水者の節水も相まって貯水量の温存を図ることが出来た。

また、各減量日の操作実績を翌日に検証し、次の操作時の改善ポイントを洗い出すことで、牛頸浄水場への流量変動の影響を少しでも低減出来るように努めた。

2021年12月7日からは導水路の空水調査と併行して取水停止を伴う工事を実施し、取水停止及び試運転に伴う減量の終了時点で貯水位111.65m、残貯水量2,435千m<sup>3</sup>(62.4%)と、全体工程の最終計画段階46.17%より大幅に使用量を減らし、調整池の早期回復に繋げることが出来た。(満水位到達は2022年2月13日6時)また、約15日間の注水期間短縮とその分の注水電気代を削減することが出来た。

#### (5) 工事実績の蓄積

福岡導水揚水機場ポンプ設備の更新工事は将来、水管理上の制約は多少変わっても、再び計画し実施していく必要がある。そこで、工事完成図書及び福岡導水機械設備点検整備実施要領には受注者が作成した作業要領書及

び切換手順書、双方で取り纏めた全体工程表及び詳細工程表のほか、水運用実績を含めて整理し、後任へ引き継ぐこととしている。

#### (6) 取組の成果

自ら水管理を行い把握している施設固有の特性など経験を生かし、本工事では利水者とのこれまでの信頼関係を維持するべく事前に課題・リスクを洗い出し、関係者間で共有した。今回の取組成果を以下に示す。

- ・全体工程表は計画当初から水運用を主眼としたことで、関係者間で手戻りなく取り纏め、筑後川以外の水源の準備・検討などの観点から早期に利水者との調整を開始出来たことで、利水者内部の検討時間を確保した。
- ・工程遵守の取組の結果、工事に起因する送水トラブルは無く、送水上のリスク(引渡流量・水質変動等)を共有したうえで水道用水を絶えず安定して浄水場に供給することが出来た。
- ・配置技術者は専任を要しない期間(工場製作期間)で工程の検討が必要となったが、発注者の全体工程案がベースにあったため、作成の負担が大幅に軽減されたと考えられる。

## 5. おわりに

本工事の実施にあたり福岡導水揚水機場のポンプ稼働影響期間を少しでも短期間とするべく、綿密な工程計画を立てた。特に減量日・取水停止日は、利水者との信頼関係を崩さないよう日時を固定し、工事関係者は課題がありながらも予定工程を確実に遵守し、途中、手動仕切弁から異音など新たな課題も生じたが、関係者間でリスクを共有し代替手段にて送水するなど、工程の遅延もなく完成した。

当機構に限らず、設備更新工事は既存設備の運用を継続しながら整備することが多く、水管理や設備には最小限の影響に留めることが求められる。そのため、設備管理・水運用に精通する発注者は工程計画により深く関与し、工事に伴うリスクを利水者等の関係者に丁寧に説明することが重要となってくる。

今回の工程計画や諸課題への取り組みの一部は、様々な工事に水平展開可能であり、発注者の施工計画能力が高まっていくことは工事を円滑に進めるだけでなく、設計積算能力や監督技術の向上など、相乗効果を生むことが期待出来る。

**謝辞:** 工事に対して多大なるご理解・ご協力を頂いた利水者の皆様には、感謝を申し上げる。

# 小石原川ダムの試験湛水及び洪水時におけるGNSS計測による堤体変形挙動

青木 舞<sup>1</sup>・成富 秀樹<sup>1</sup>・西村 丈二<sup>2</sup>・佐藤 仁泉<sup>3</sup>

<sup>1</sup> (独) 水資源機構 筑後川上流総合管理所 小石原川ダム管理所 (〒838-0012 福岡県朝倉市江川2815-20)

<sup>2</sup> 国土交通省 水管理・国土保全局 河川環境課 流水管理室 (〒100-8918 東京都千代田区霞が関2-1-3)

<sup>3</sup> (独) 水資源機構 池田総合管理所 管理課 (〒778-0040 徳島県三好市池田町西山谷尻4235-1)

小石原川ダムでは堤体変形計測にGNSSを全面導入し、ダムの安全管理の高度化を図った。全点GNSS計測による高精度、3次元、毎正時リアルタイム計測によって、試験湛水中のダムの堤体変形挙動を正確に把握するとともに、試験湛水終了直後に発生した2021年8月の大雨において約50m水位上昇した時の堤体変形挙動をリアルタイムに計測し、急激な貯水位上昇時のロックフィルダム堤体の変形挙動の実態を明らかにすることができた。

本報告は、小石原川ダムにおけるGNSSによる試験湛水および洪水時の堤体変形挙動とその分析結果を報告するものである。

キーワード ロックフィルダム、GNSS、堤体変形、安全管理

## 1. はじめに

近年、国土交通省、農林水産省、水資源機構、電力会社等のダムでGPS (Global Positioning System) を用いた変形計測に関する安全管理が積極的に進められている。1) 小石原川ダムは、建設工事時にGNSSを設置し、リアルタイムで堤体変形挙動を観測できる体制を構築した。

本報告は、小石原川ダムにおけるGNSSによる試験湛水および洪水時の堤体変形挙動とその分析結果を報告するものである。



図-1 小石原川ダム位置図

## 2. 小石原川ダムの概要

### (1) ダム概要

小石原川ダムは、①洪水調節、②流水の正常な機能の維持 (異常渇水時の緊急水の補給を含む。)、③水道用水の供給を目的としたダムである。ダムの位置図を図-1に、標準断面を図-2に、ダム諸元を表-1に示す。本ダムの特徴としては、コアゾーンを下流側に傾斜させたこと、盛立施工において冬期休止がなくICT施工技術を活用して盛立期間1年10ヶ月の急速施工であったことが挙げられる。

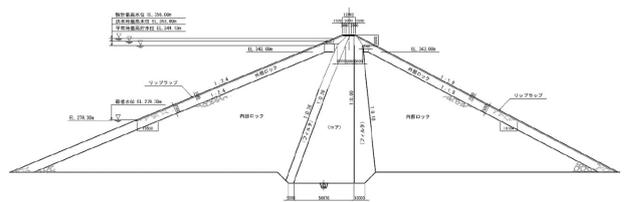


図-2 小石原川ダム 標準断面図

表-1 小石原川ダムの諸元

ダム形式	中央コア型ロックフィルダム
堤高 (m)	139.0
堤頂長 (m)	558.3
堤体積 (m <sup>3</sup> )	約8,700,000
総貯水容量 (m <sup>3</sup> )	40,000,000
有効貯水容量 (m <sup>3</sup> )	39,100,000
天端標高 (EL.m)	359.0
洪水時最高水位 (EL.m)	353.0
平常時最高水位 (EL.m)	349.1
最低水位 (EL.m)	279.3

## (2) 試験湛水

小石原川ダムの試験湛水は、2019年9月23日の盛立完了後、2019年12月14日から開始し、2020年7月14日に貯水位が平常時最高貯水位に達した。その後、秋から冬期の少雨傾向でほぼこの水位を維持し、2021年5月20日に洪水時最高水位EL.353m（以下、「最高水位」という）に達した。その試験湛水の経過を図-3に、最高水位のダムおよび貯水池の状況を写真-1に示す。その後、貯水位を低下させ、2021年8月5日に最低水位EL.279.3mまで下がり、同年8月6日に試験湛水を終了した。なお、小石原川ダムでは、その直後に8月7日～17日の11日間で累計1158mmの豪雨となり、貯水位がEL.332mまで短期間に約50m上昇する急激な貯水位上昇を経験した。

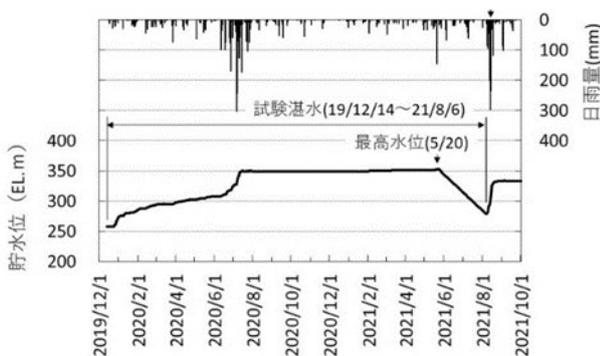


図-3 貯水位、降雨量の経時変化



写真-1 洪水時最高水位到達時の状況 (2021/5/20)

## 3. GNSSによる堤体変形計測の概要

### (1) GNSSによる変形計測技術

GNSSの測位法には、図-4に示すように単独測位法と相対測位法に大別される。単独測位法は、車や携帯電話などに利用され、日常生活に欠かせないものとなっているが、計測精度が数m～10mのため、ダムの堤体変形計測には適していない。相対測位法は2台の受信機で電波を受信し、2点間の相対的な座標を高精度に求める方法であり、ダムの堤体変形量のようにmm単位の高精度な計測に適している<sup>1),2)</sup>。

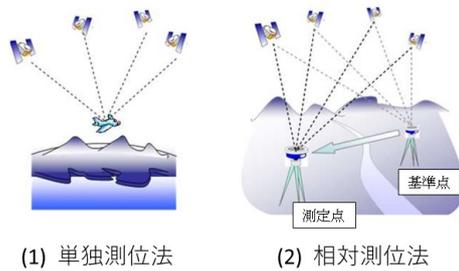


図-4 GNSSの測位法

### (2) 小石原川ダムのGNSS変位計測システム

ダムの堤体変位計測では、高精度に静止体を計測するために、相対測位法のうちスタティック測位法を用いる。また、GNSSによる連続的な計測結果を統計的な平滑化手法であるトレンドモデル<sup>3),4)</sup>によって1～2mm単位の計測精度を確保している事例が多い<sup>2)</sup>。

小石原川ダムでもこのスタティック測位法を採用して堤体変位を計測している。GNSS電波の受信から解析・配信までの流れをGNSSによる変位計測システムの概念図を図-5に示す。堤体に設置したGNSSセンサーで衛星の電波を受信し、無線LAN回線も用いて指定の集約機に自動的に転送し、このGNSSデータを携帯電話回線によって監視センターへ送信して堤体変位量を解析する。解析結果は、インターネットを用いてダム管理者や指定の関係機関に毎正時リアルタイムで配信することで、地震時などの突発的な異常事態に対しても遠隔でダムの状態をリモート監視できるシステムである。

小石原川ダム堤体のGNSSの配置は、図-6に示すように天端測線および下流法面4測線、上流法面1測線の全点配置(47測点)である。基準点は3箇所設置しているが、本報告では天端標高に設置してある右岸K-2基準点の解析結果で示す。



図-5 GNSSによる変位計測システム

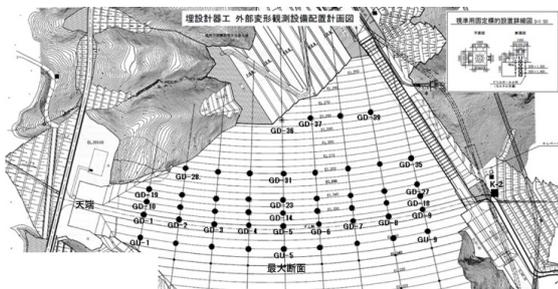


図-6 小石原川ダムのGNSS位置図

#### 4. 試験湛水及び洪水時における堤体変形挙動

##### (1) 試験湛水における堤体変形挙動

天端中央のGD-5測点におけるGNSS計測データならびに平滑化处理したトレンドラインの経時変化を図-7に示す。本分析では、このトレンドライン値をGNSS計測値として、堤体挙動分析に用いることとする。図-8にGNSS計測値と貯水位の経時変化を示す。上下流方向の変位は、湛水開始(2019年12月)から2020年6月頃(EL. 320m付近)までは上流向きに変位し、その後、貯水位の上昇とともに下流向きに変位して洪水時最高水位(2021年5月20日)まで下流向きに累積変位した。

貯水位は洪水時最高水位後に最低水位(2021年8月6日)まで低下し、これに伴って堤体も上流向きに変位した。鉛直方向の変位は、貯水開始から洪水時最高水位までは累積的な沈下傾向を示し、洪水時最高水位から最低水位まで貯水位が低下する期間においては、鉛直変位の沈下速度は貯水位上昇時よりも大きくなった。ダム軸方向の変位は、貯水位の変化に対して殆ど変位せず、右岸向きに少し累積変位している程度であった。

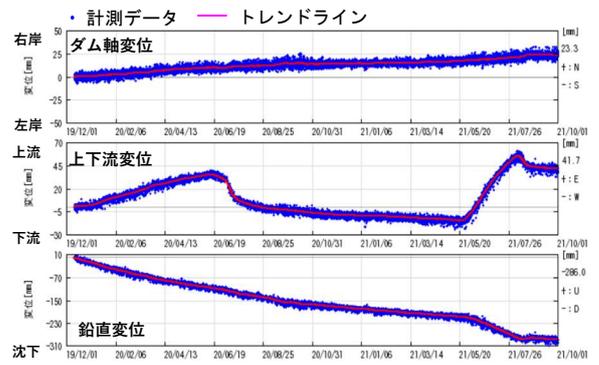


図-7 GNSS計測データとトレンドラインの経時変化

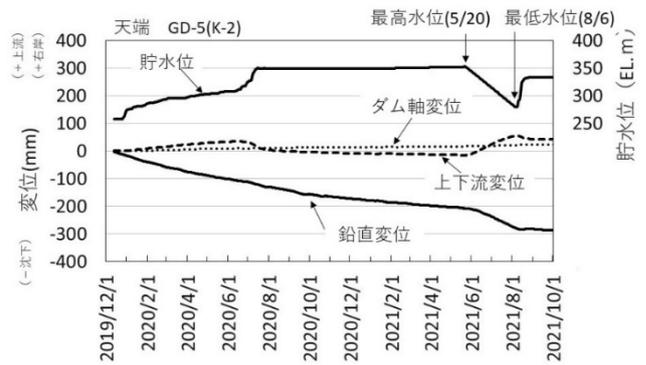


図-8 GNSS計測データと貯水位の経時変化

##### (2) 洪水時における堤体変形挙動

小石原川ダムでは、図-9に示すように最低水位まで低下した翌日8月7日から17日までの11日間で累計1158mmの降水量を記録し、中でも8月12日~14日の3日間には累計739mm/3日の降水量を記録した。貯水位も最低水位のEL. 279. 3mから8月25日のEL. 332. 8mまで53. 5mに上昇し、特に8月14日には貯水位の上昇速度は11m/日であった。

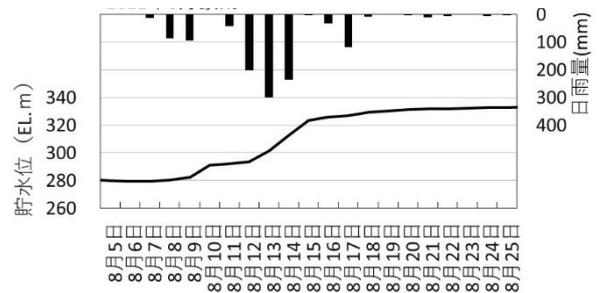


図-9 2021年8月の大雨における降水量

洪水時の天端GD-5の上下流変位と貯水位の経時変化を図-10に示す。最低水位までの低下で上流向きに変位していた堤体は、貯水位の上昇とともに下流向きに変化し、8月13日以降は貯水位の急激な上昇に追従して下流向きに大きく変位し、貯水位の上昇の低下とともに下流向き

変位は鈍化した。

天端縦断測線の上下流変位について、洪水時(2021年8月6日～8月25日)と通常時(2020年6月15日～2021年5月20日)の比較を図-11に示す。最大変位量は経過日数の長い通常時が3倍程度大きくなっているが、天端縦断測線の変位分布形状はほぼ同じ傾向を示した。

小石原川ダムでは、洪水時の短期間における急激な貯水位の上昇ならびに最大11m/日の上昇に対する堤体の下流向きの変位は、通常時の下流向きの変位形態と同じ傾向を示しており、安定した堤体変形の挙動であることを確認できた。

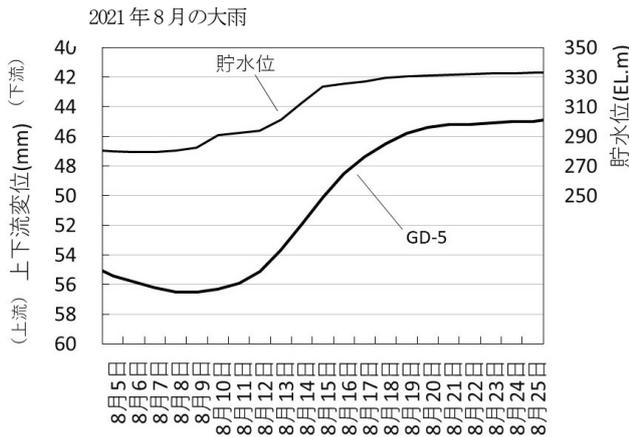


図-10 洪水時の上下流変位と貯水位の経時変化

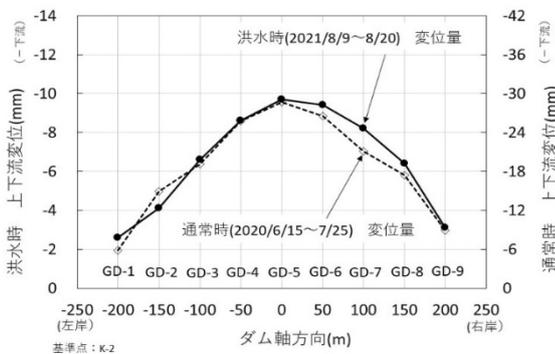


図-11 洪水時の上下流変位と貯水位の経時変化

## 5. おわりに

### (1) 試験湛水における堤体変形挙動

小石原川ダムでは、堤体変形計測の安全管理にGNSSを全面導入し、全点GNSS計測による高精度、3次元、毎正時リアルタイム計測によって、試験湛水における堤体の変形挙動を正確に把握するとともに、その直後に発生した2021年8月の大雨において約50m水位上昇した堤体変形挙動の実態を明らかとした。

GNSS計測は、水平変位および鉛直変位において上空視条件などの影響(周辺の樹木や建物、日射量等)がなければ、全点、mm単位の高精度、毎正時リアルタイムの計測値が得られる。小石原川ダムでは高精度なGNSS計測によって、上流法面部の大きな沈下や天端の上流向きの変位の詳細な堤体挙動を把握することが可能であり、全点のGNSS計測値の分析結果から、試験湛水において堤体挙動は安定していることを確認した。また、従来の光波測量では計測できなかった短期間で大きく水位上昇する洪水時の堤体変形挙動も2021年8月の洪水時の堤体変形挙動をGNSS計測によって明らかにすることができた。

なお、上流法面部の沈下量や天端の上流向きの変位量は、盛立工において通年施工の急速施工で実施したことが影響して、他ロックフィルダムの変位量5)と比較して大きかったと考えられるが、堤体の安定性・安全性に問題はないことを確認している。今後もGNSSを用いてこの堤体変形挙動を計測監視し、堤体変形挙動の安定性を継続的に確認していく必要がある。さらに、小石原川ダムでは、湛水後、まだ大きな地震を受けていないが、近年、九州地方でも熊本地震など大きな地震が発生しており、GNSSによる地震時緊急計測システムを活用して、迅速な地震時のダムの臨時点検を行うなど、確実なダムの安全管理を図っていきたいと考えている。

### 謝辞

本報告にあたり、ご指導頂いた国際航業(株)LBS センシング事業部モニタリング部技術担当部長佐藤氏に深く感謝します。

### 参考文献

- 1)ダム工学会, フィルダムの変位計測に関する GPS 利用マニュアル, 2016. 12
- 2)山口嘉一, 小堀俊秀, 横瀬源治, 大野誠, 岩崎智治, GPS を用いたフィルダム外部変形計測に関する一考察, ダム工学, 15(2), 120-136, 2005
- 3)清水則一, 安立寛, 小山修治, GPS 変位モニタリングシステムによる斜面変位計測結果の平滑化に関する研究, 資源・素材学会誌, 114(6), 9-14, 1998
- 4)松田拓朗, 安立寛, 西村好恵, 清水則一, GPS による斜面変位計測結果の平滑化処理法と変位計測予測手法の実用性の検証, 土木学会論文集, No. 715/III-60, 333-343, 2002
- 5)佐藤信光, 米崎文雄, 大藪勝美, 太田秀樹, 中川浩二: ロックフィルダムの実測変形挙動に関する検討, 土木学会論文集, No. 736/III-63, pp. 179-192, 2003. 6

# 東九州自動車道におけるコンクリート舗装の適用事例について

加世田 悠斗<sup>1</sup>・川内 謙治<sup>2</sup>・稲積 みのり<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>大隅河川国道事務所 工務第二課 (〒893-1207 鹿児島県肝付郡肝付町新富 1013-1)

現在、施工されている舗装工の90%以上はアスファルト舗装である。しかし近年、アスファルトの価格が高騰しており、将来の維持管理を考慮して耐久性の高いコンクリート舗装の積極的活用が求められている。大隅河川国道事務所では、東九州自動車道(志布志IC～曾於弥五郎IC)間にてコンクリート舗装で施工している区間があり、本稿では、大隅河川国道事務所にて検討したコンクリート舗装の条件と課題について紹介するものである。

キーワード コンクリート舗装、アスファルト舗装、ライフサイクルコスト、現状課題

## 1. はじめに

近年、舗装の新設・維持管理におけるライフサイクルコスト(LCC)の最小化と適材適所での舗装種別の選定が求められている。このような中、令和3年7月17日に開通した志布志IC～鹿屋串良JCT間(延長19.2km)で検討したアスファルト舗装とコンクリート舗装の選定について事例報告を行う。

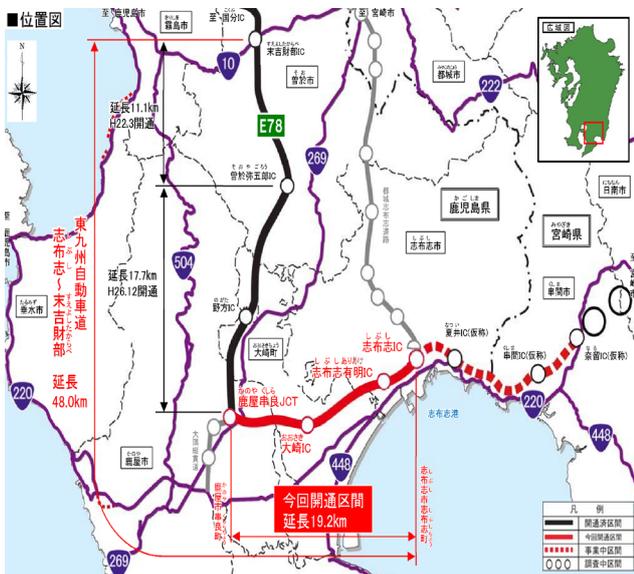


図-1 対象路線の概要図

## 2. コンクリート舗装とアスファルト舗装の現状

コンクリート舗装とアスファルト舗装の特徴を比較すると次に示す(表-1)のように整理される。

表-1<sup>1)</sup> コンクリート舗装とアスファルト舗装の比較

断面図	A s 排水性舗装	コンクリート舗装
初期コスト	○	△
施工性	○	△
騒音・振動	○	△
維持管理	○	△
不等沈下への対応性	○	△
流動わだちへの耐久性	△	○
路面の透水機能	○	△
路面の耐久性	△	○
明色性	△	○
熱環境負荷低減	△	○
走行性	○	△
材料の価格安定性	△	○

コンクリート舗装は、<sup>2)</sup>トンネルにおいては一般的に用いられているが、トンネル以外では上記の(表-1)に示しているように①初期コストが高い、②施工期間が長い、③乗り心地が悪く騒音・振動が大きい、④補修が困難などを主な理由に近年はアスファルト舗装を積極的に用いてきた。



写真-1 トンネルでのコンクリート舗装区間の写真

その結果、1960年頃は70%弱であったアスファルト舗装は90%以上となっており、とりわけ鹿児島県内におけるコンクリート舗装延長比ではわずか3.4%の状況である。(図-2・3)

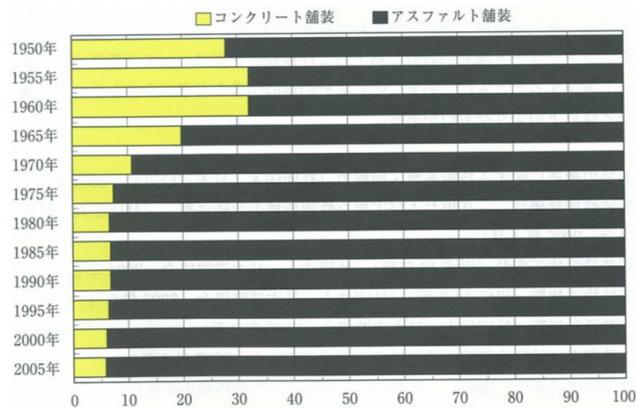


図-2 舗装比率の推移 (道路統計年報より)

一般国道におけるコンクリート舗装の割合 (指定区間)

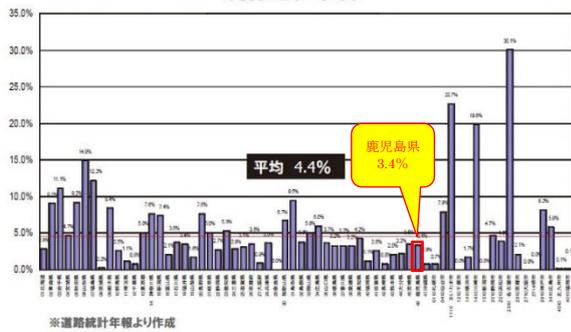


図-3 一般国道におけるコンクリート舗装の割合 (道路統計年報より)

しかし、<sup>3)</sup>アスファルトの原材料である原油は100%輸入に依存しており、近年はアスファルト価格の物価上昇に伴い高騰しているため。(図-4)

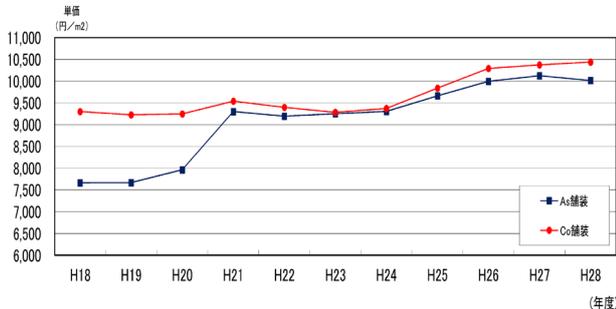


図-4 舗装施工単価の推移

限られた予算で維持管理を行う必要があることから耐久性の高いコンクリート舗装の活用について検討が求められている。(図-5)

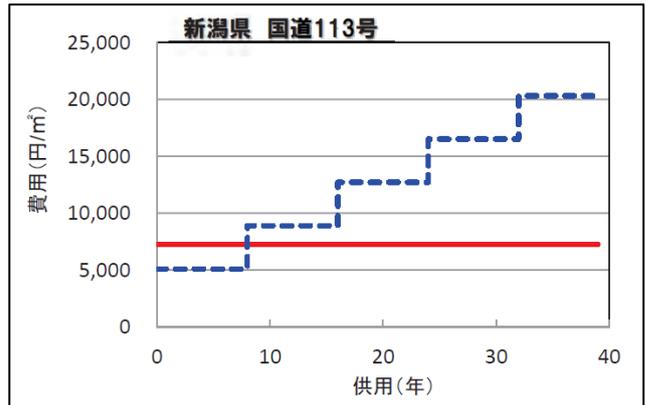
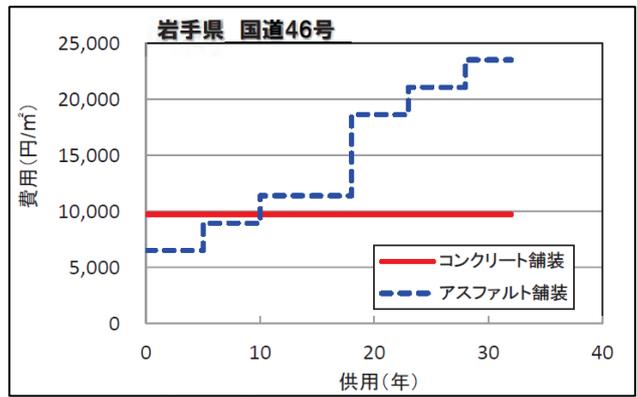


図-5 コンクリート舗装とアスファルト舗装のLCCの推移

3. コンクリート舗装箇所における事故事例

平成26年12月に供用した鹿屋串良JCT~曾於弥五郎IC間からアスファルト舗装とコンクリート舗装を選定して採用しているが、コンクリート舗装施工箇所において交通事故が多発する区間があった。(図-6)

交通事故発生箇所

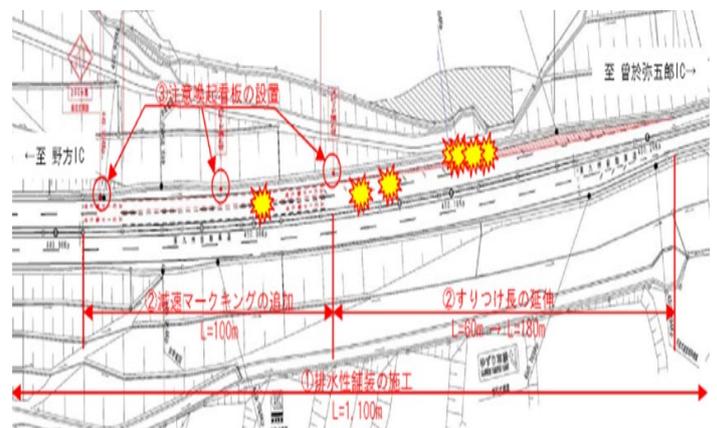


図-6 交通事故発生箇所



写真-1 事故当時の写真

この交通事故は、同一箇所でもって供用してから7か月間ですべて雨天時にスリップ事故10回、玉突き・接触事故3回の計13回も発生した。

交通事故の多発する原因について整理した結果、「縦断勾配が4%~5%の下り勾配となっている」、「ゆずり車線の合流部であり片勾配2.5%の横断勾配に対し逆ハンドルになりながら走行車線と合流する必要がある」の大きく2点と雨天時の排水処理がうまくできていなかったことが要因である。

なお、この区間の舗装を排水性舗装に変えたことで現在まで交通事故は発生していない。



写真-1 排水性舗装施工時の状況写真

過去の事故事例を反映するため、縦断勾配が4%以上となる下り勾配区間、ゆずり車線の下り勾配区間ではコンクリート舗装を採用しないこととした。

#### 4. コンクリート舗装の選定の検討方針

コンクリート舗装を選定するための条件として以下の6項目で検討した。アスファルト舗装区間とコンクリート舗装区間を決定した。

##### (1) 舗装構造の最小延長

路床の設計CBRの設定における留意点を参考に、舗装構造を短区間で変えることは施工が煩雑となり

好ましくないため舗装構造の最小延長は200mとした。

##### (2) 高盛土区間と軟弱地盤区間への配慮

コンクリート舗装は不等沈下に追従しにくく、圧密沈下が生じた場合、空洞や段差が発生して構造的な弱点になることと補修が困難であることから、高盛土区間と軟弱地盤区間ではコンクリート舗装は採用しないこととした。

##### (3) 橋梁区間

橋梁区間は、橋面防水層がアスファルト舗装を原則としているため、橋梁区間ではコンクリート舗装は採用しないこととした。

##### (4) 家屋・家畜舎等からの離れ(騒音への配慮)

当該区間は、農業や家畜が盛んな地域で家屋・家畜舎が多く点在しているため、家屋・家畜舎等と近接する箇所では走行騒音の大きいコンクリート舗装は採用しないこととした。

なお、コンクリート舗装を採用する場合の家屋・家畜舎等との離れは、環境影響評価報告書に基づき、騒音レベルが昼間65dB、夜間60dB以下となる距離を予測式にて算定し、70mと設定した。

(表-2・3)

地域の類型	基準値	
	昼間 6:00~22:00	夜間 22:00~6:00
A地域のうち2車線以上の車線を有する道路に面する地域	60デシベル以下	55デシベル以下
B地域のうち2車線以上の車線を有する道路に面する地域及びC地域のうち車線を有する道路に面する地域	65デシベル以下	60デシベル以下

※採用

表-2 4) 騒音の環境基準

表-3 コンクリート舗装における距離別騒音レベル

音源	パワーレベル L <sub>WA</sub> (dB)	音源点からの距離 r (m)	音源点からの音圧レベル L <sub>A</sub> (dB)	環境基準 上:昼、下:夜 (dB)	判定
コンクリート舗装	105	50	63	65	○
				60	×
		60	61	65	○
				60	×
		70	60	65	○
				60	○
		80	59	65	○
				60	○

##### (5) 縦断間埋設区間への配慮

当該区間では、一部道路内に縦断管が布設されており、コンクリート舗装区間では将来の維持管理が困難となるため、縦断管が布設されている区間ではコンクリート舗装は採用しないこととした。

##### (6) 既供用区間における事故事例を反映

下り勾配4%以上の区間、ゆずり車線下り勾配区間は不採用とした。

## 5. アスファルト舗装とコンクリート舗装の選定結果

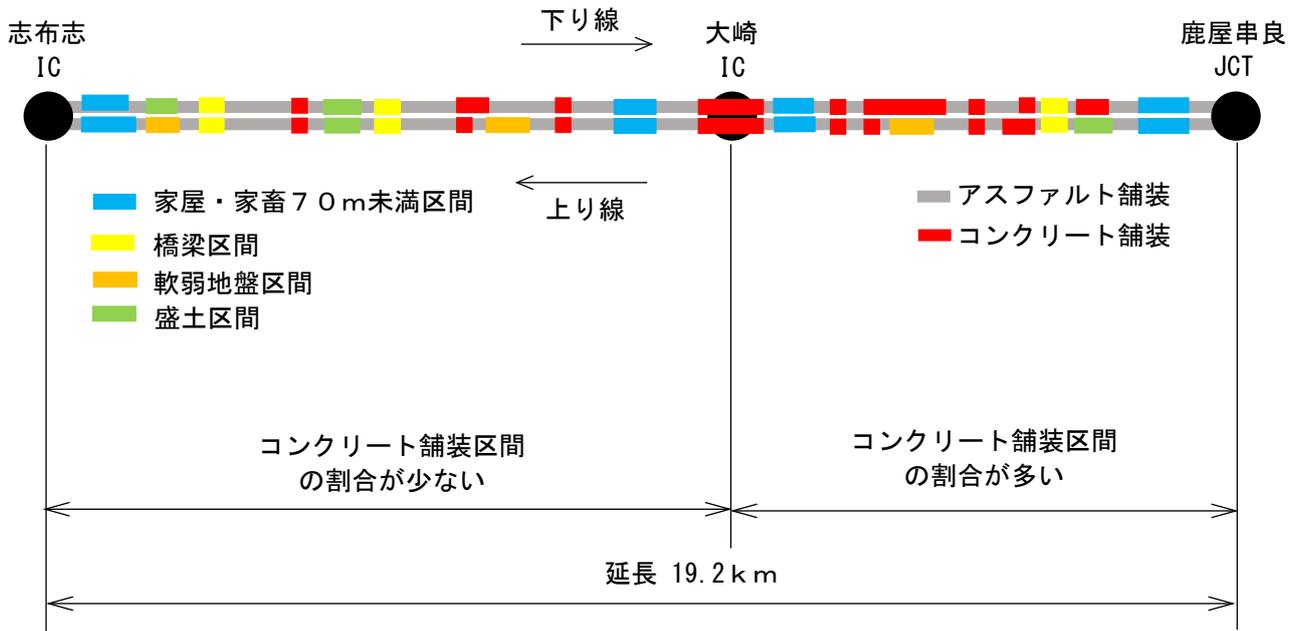


図-7 コンクリート舗装の適用箇所例

コンクリート舗装の選定条件に基づき、アスファルト舗装区間とコンクリート舗装区間を検討した結果、全長19.2 kmに対してコンクリート舗装区間は3.6 kmで19%となった。これは、当路線は高盛土区間、軟弱地盤区間、家屋・家畜舎との近接区間が多くコンクリート舗装が適用できる区間が少ない結果であった。(図-7)

## 6. おわりに

今回のコンクリート舗装の選定では、過去の事故事例も反映することでライフサイクルコスト(LCC)のみではなく安全の高い舗装種別を選定することができた。

今後も、限られた予算で道路整備を進めていく上ではコンクリート舗装を選択する機会は増大していくと思われる。

今回の検討区間における舗装種別の検討に関しては、上記にて記載したとおりであるが、今回施工した区間における今後の経年劣化や変状及び路面からの発生音などについて経過を把握していくことにより、今後の舗装種別の検討をする上での一つの参考になるのではないかと考える。

謝辞：本稿の作成にあたり、千代田コンサルタント 永吉竜二氏より技術的なご指導を賜りました。ここに謝意を申し上げます。

### 参考文献

- 1) 公益社団法人 日本道路協会：舗装種別選定の手引き
- 2) (公社)日本道路協会：「コンクリート舗装の普及に向けて」
- 3) 国土交通省道路局・国土交通省国土技術政策総合研究所・国立研究開発法人土木研究所：「舗装の長寿命化・LCC縮減に向けて」
- 4) 「環境基本法第16条第1項」に基づく環境基準(改正平成24年3月30日環告54)による

# 西九州自動車道

## 松浦1号トンネルの施工状況報告について

下山 太一<sup>1</sup>・今村 剛<sup>1</sup>・池田 幸司<sup>1</sup>・吉田 武司<sup>1</sup>・柳田 博史<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup>九州地方整備局 長崎河川国道事務所 西九州道推進室 (〒859-3205 長崎県佐世保市田の浦町 68)

長崎 497 号松浦 1 号トンネル新設工事 (トンネル名は仮称. 以下同じ.) は, 福岡市を起点とし武雄市に至る西九州自動車道の一環として新設するものである. 本工事では, 複雑な地形・地質構造により支保パターンの変更や補助工法を追加しており, 本報告ではそれらの事例を報告するとともに, 現場状況に対応したトンネル補助工法について考察する.

キーワード トンネル NATM 玄武岩 柱状節理 砂岩泥岩互層

### 1. はじめに

松浦佐々道路 (図-1 参照) は, 西九州自動車道の一部を構成し, 長崎県松浦市志佐町浦免～北松浦郡佐々町沖田免を結ぶ延長約 19.1km の高規格幹線道路である.

本路線は, 長崎県北部に位置し, 九州北西部の広域的な連携を図り, 地域の活性化に大きく寄与するとともに, 北松地域での唯一の幹線道路である国道 204 号の代替道路としての機能を有しており, 地理的に制約された北松浦半島において, 「経済の活性化」「交通サービスの向上」「生活圏の拡大」「観光ルートの開発」が期待されている.



図-1 松浦佐々道路位置図

松浦佐々道路のうち, 現在施工中の松浦 1 号トンネルは, 風化した玄武岩と泥岩の脆弱な地層で, 地層境界も複雑に変化しており, 想定以上に特殊な地質である. また, 松浦佐々道路で計画している他のトンネルにおいても同様な地層 (玄武岩等) が想定されている. そこで本報告では, 松浦 1 号トンネルの施工事例を紹介し, 本トンネル工事の掘削途中で発生した様々な変状およびその対策について報告する.

### 2. 工事概要

松浦 1 号トンネルは, 松浦佐々道路の起点付近に位置し, 起点側の 1 級河川志佐川, 終点側の 2 級河川悪太郎川に挟まれる標高 110m 程度の丘陵地を貫く 2 車線の道路トンネルである. 以下に工事概要を示す.

- ・工事名: 長崎 497 号松浦 1 号トンネル新設工事
- ・工事箇所: 長崎県松浦市志佐町庄野免地先  
～松浦市志佐町白浜免地先
- ・工期: 令和元年 11 月 22 日  
～令和 5 年 10 月 31 日  
(令和 5 年 7 月 11 日現在)

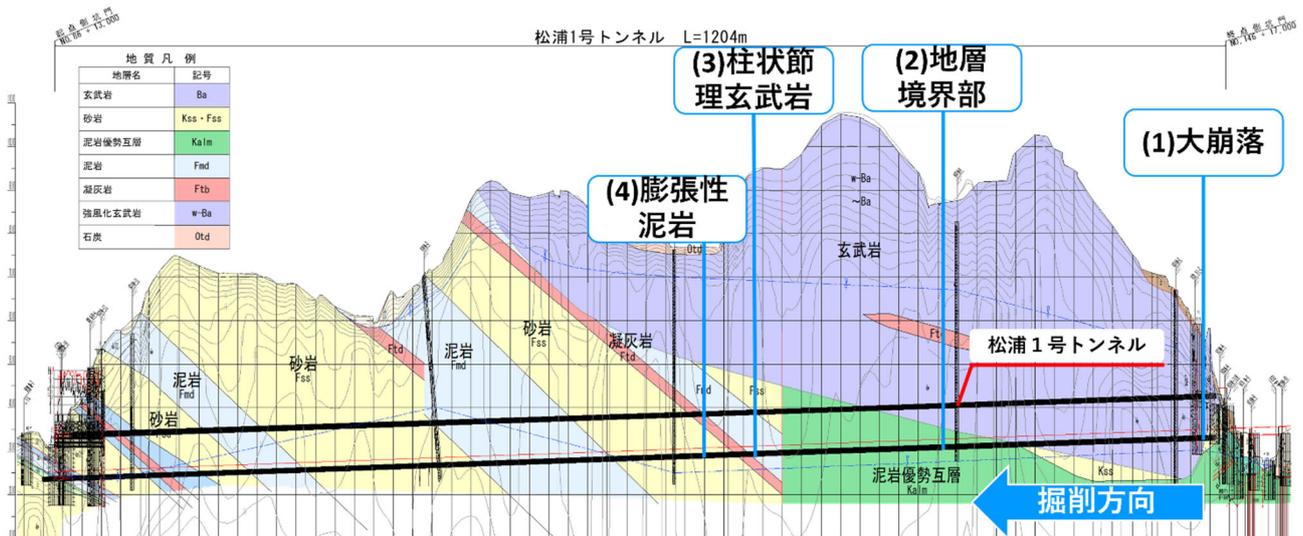


図-2 地質縦断面図

- 掘削工法：機械掘削工法  
(上半先進ベンチカット工法)
- 掘削延長：1,204m
- 内空断面：94.3m<sup>2</sup>
- 掘削方向：終点側からの片押施工

### 3. 地質概要

トンネル計画地付近の基盤岩は、海中で堆積した堆積物からなる軟質な佐世保層群の砂岩、泥岩および泥岩優勢互層であり、その上部を硬質な玄武岩が覆う「キャップロック構造」となっている。

(図-2 参照)

### 4. 特殊条件下の施工

#### (1) 切羽天端部の大崩落

終点側坑口より 80m 付近において、玄武岩層と堆積岩層の境界付近で切羽が不安定化し、切羽左天端付近から約 100m<sup>3</sup> 規模の崩落が発生した。

(写真-1 参照)

崩落土は、岩塊・玉石主体の土砂であり、岩塊は丸みを帯びたもので表面は黄褐色だが、ハンマー打撃では金属音を発する堅硬な黒色の玄武岩であった。調査設計段階では、堅硬な玄武岩層の出現が予想されたが、実際には玄武岩層と堆積岩層の境界が非常に不規則な形状をしており、短いスパンで地層の出現状況が複雑に変化していた。



写真-1 左天端部の大崩落状況

また、切羽に出現している地層は、いずれも脆弱質から軟質な D 級岩盤で、切羽の安定性が保てない状態であったことから、対策として、崩壊土砂を残したまま鏡吹付けを行い、長尺鋼管先受工や鏡補強工、サイドパイル、早期断面閉合、支保工連結を実施した。(写真-2 参照)

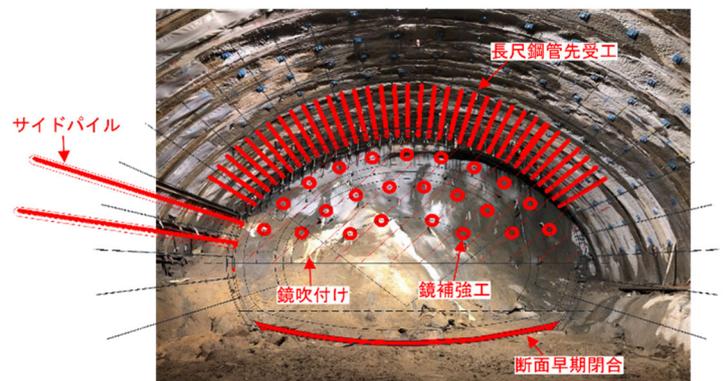


写真-2 切羽崩落後における吹付・補助工法の実施状況

## (2) 地層境界部における切羽状況の不安定化

終点側坑口より 280m 付近において、切羽全面を占めていた砂岩泥岩互層の上部より風化した玄武岩が出現し、切羽の不安定化および岩塊の抜け落ちが生じた。（写真-3 参照）



写真-3 地質境界部の切羽状況

当該区間は、流れ盤構造ということもあり、切羽上部の風化した玄武岩部のみがずり落ちてくる状況であった。

このため、地質境界部における切羽安定と抜け落ち防止のため、長尺鋼管先受工・鏡補強工（ダブルラップ）を実施した。（写真-4 参照）



写真-4 長尺鋼管先受工・鏡補強工の実施状況

## (3) 柱状節理玄武岩の出現

終点側坑口より約 320～440m 付近において、柱状節理が発達した硬質で一部粘土を挟む玄武岩が出現した。（写真-5 参照）

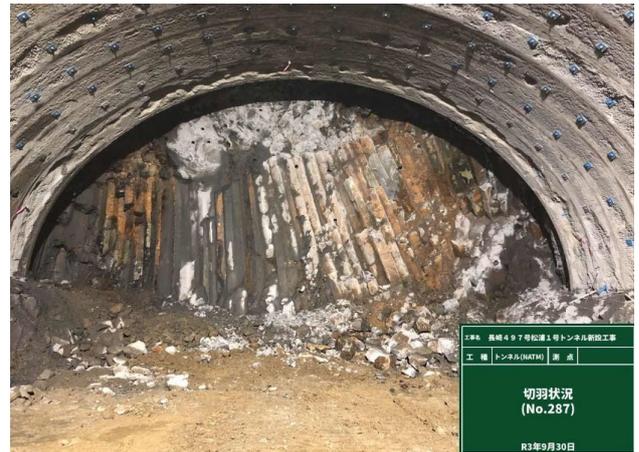


写真-5 柱状節理玄武岩の切羽出現状況

柱状節理は、数百度～千度超の温度のマグマが、陸上での冷却により固体化する際、容積が収縮するとともに発生する引張応力によって形成されると言われている。

したがって、岩脈の節理は元来より開口割れ目であり、かつ硬質であることから、自由断面掘削機や先受工用穿孔機械の能力不足、振動による岩塊の抜け落ち等、トンネル掘削を進めるうえでの課題も多い。本トンネルでは一部粘土を挟んでおり、天端および鏡面から崩落したことをふまえ、対策としては、補強材の剛性確保と硬質な玄武岩への穿孔時間短縮を考慮し、小口径長尺鋼管先受工を採用した。（写真-6 参照）

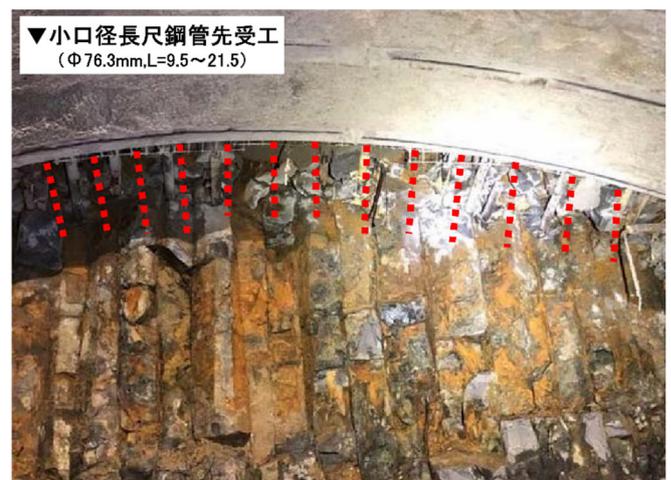


写真-6 小口径長尺鋼管先受工の配置

#### (4)膨張性泥岩によるトンネル内側への押出

終点側坑口より約320~500m付近において、膨張性を示す泥岩が切羽面に出現した区間において、トンネル湧水とともに生じた既施工区間の側壁押し出しの影響により、ロックボルト頭部の座金変形や支保工の変位が生じた。(写真-7・写真-8 参照)



写真-7 ロックボルト頭部の座金変形状況

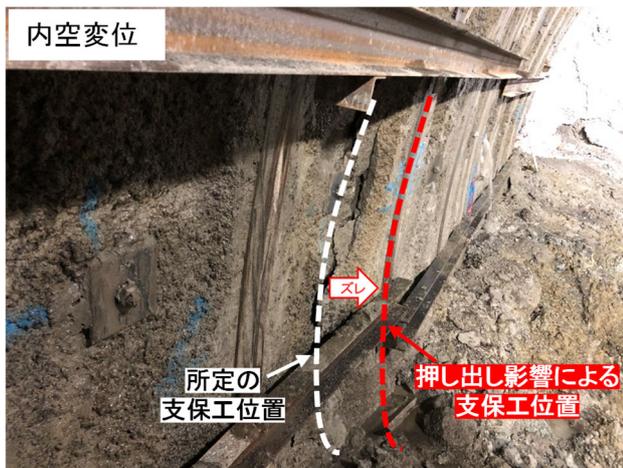


写真-8 支保工の変位状況

この泥岩は、試験結果より水分を含むと強度が低下する膨張性泥岩である。掘削後の緩んだ泥岩に湧水が浸透して、地山強度が下がったものと考えられる。膨潤性を示す泥岩は、隣接する伊万里松浦道路(供用中)のトンネル掘削時にも確認されており、支保工の変状や切羽面でブロック状の崩落、軟質化に伴う脚部地盤の支持力低下等が生じている。

本区間では、泥岩の膨張圧により、右側側壁の変

位が14mm/日の速度で増大したことから、一次インバート閉合までの初期変位抑制対策として、支保工間隔の変更(1.0m→0.8m)を実施したことによって、日変位量を2mm/日まで抑制することができた。また、押し出しに伴う断面欠損に対して、縫返し、支保工連結、増し吹付け・ロックボルト、断面早期閉合を実施した。(図-3・図-4 参照)

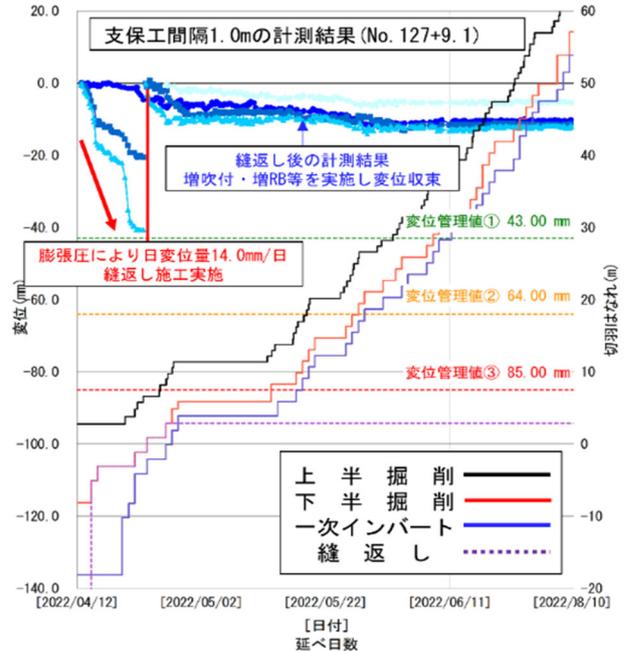


図-3 支保工間隔1.0mの計測結果

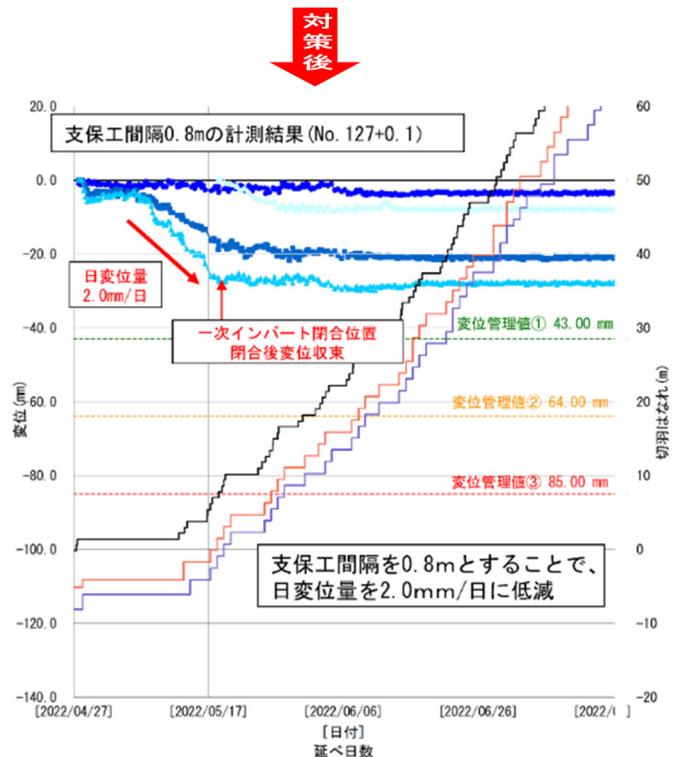


図-4 支保工間隔0.8mの計測結果

## 5. まとめ

本稿では、松浦1号トンネルの掘削途中で発生した様々な変状について報告した。

トンネルの設計・施工の問題点は、事前調査と施工時における地山の不一致である。地山の不一致が生じる原因としては、設計時点での地山状況の十分な把握が非常に困難であることであると考える。

本工事においても特殊な地質が部分的に出現したことから、学識経験者で構成する「松浦佐々道路トンネル技術検討委員会」を設置のうえ、適宜ご助言をいただきながら、突発的な事象が発生した際も速やかに、対策等を行いながら工事を推進しているところである。

今後、他工区のトンネルにおいても同様の地質が出現すると想定されるため、切羽の地質・地層の変化などを十分確認をするとともに、松浦1号トンネルでの対応状況を踏まえ、引き続きデータ整理の積み上げが重要となる。また、他にも施工前にボーリングを可能な限り追加で実施するなど有効と考える。

7月11日現在で、まだ掘進途中であり、今後も、無事に安全に貫通できるよう、学識経験者に助言をいただきながら受注業者やコンサルと協力して施工を進めていきたい。