

管内の道路橋定期点検結果（１・２巡目）を踏まえたメンテナンスサイクルの留意点

萩原 頼徳¹・梶尾 辰史¹

¹九州地方整備局 九州道路メンテナンスセンター 技術第一課 （〒812-0013 福岡県福岡市博多区博多駅東2-11-1）

平成26年3月に道路の維持修繕に関する省令・告示が公布されて以来、道路橋は、基本、5年に1回の頻度で近接目視による定期点検が基本とされて、令和6年度からは3巡目点検が開始された。その定期点検において橋梁の状態の把握を確実にし、施設の機能や性能に不具合が発生する前に修繕等の措置を講じ、予防保全を含めた長寿命化を図ることが重要である。今回、九州地方整備局が管理する橋梁において、1巡目定期点検（平成26年～平成30年）から2巡目定期点検（令和元年～令和5年）の判定区分について遷移状況等を分析し、予防保全による長寿命化を図る上での今後の留意点等について考察した。

キーワード 橋梁定期点検、メンテナンス、予防保全、健全性診断

1. はじめに

道路橋（以下、「橋梁」という）は、基本、5年に1回の頻度で近接目視による定期点検を計画的に実施している。九州地方整備局が管理する橋梁のうち、平成26年度から平成30年度の1巡目の橋梁定期点検（以下、「1巡目点検」という）と、平成31年度（令和元年度）から令和5年度の2巡目の橋梁定期点検（以下、「2巡目点検」という）の健全性判定区分の遷移状況を図-1に示した。判定区分Ⅳの橋梁はなく、判定区分Ⅲも約1割であり、約9割の殆どの橋梁が判定区分Ⅰ・Ⅱとなっており、適切に点検や措置等が行われていると言える。しかし、1巡目点検において、次回点検までに措置を講ずべきとされる判定区分Ⅲの橋梁が2巡目点検では約1.7倍に増加しており、一部の橋梁において健全性判定区分の推移が改善していない状況となっていた。

今回、2巡目点検の判定区分がⅢに遷移している橋梁に着目して要因等を分析し、考察した。

2. 1巡目と2巡目の定期点検結果

(1) 判定区分の遷移状況結果からの課題

先述の通り、2巡目点検においては判定区分Ⅲの橋梁が前回点検より約1.7倍となっているが、そのうち、1巡目点検の判定区分がⅠ・Ⅱとなった橋梁が2巡目点検で判定区分Ⅲに移行した橋梁は408橋であった。1巡目点検で判定区分Ⅲの橋梁が2巡目点検でも判定区分Ⅲのままである橋梁は79橋であった。判定区分Ⅲの橋梁に対して修繕等の措置を行うことで判定区分Ⅲが減っていくことが理想的であるが、何らかの要因（シナリオ）で健全な状態（判定区分Ⅰ）になっていないと考えられる。

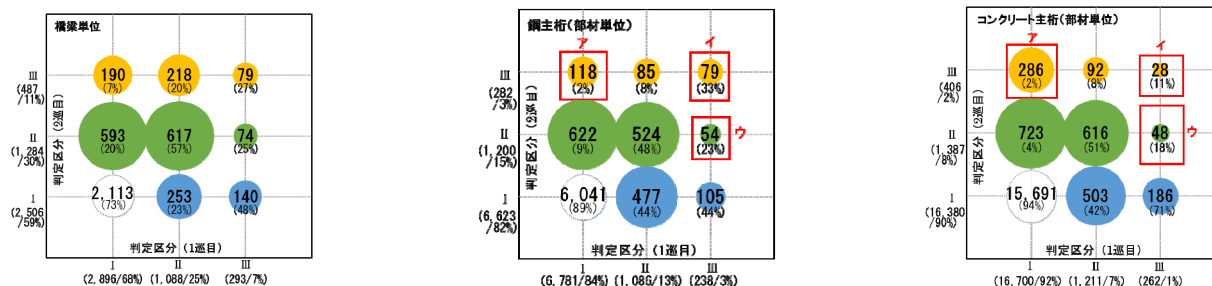


図-1 1巡目と2巡目の判定区分（Ⅰ～Ⅳ）の遷移（橋梁単位と部材単位）※付録参照

表－１ １巡目と２巡目の判定区分Ⅲの部材

部材名	材料	健全性Ⅲ (橋梁数)	
		１巡目	２巡目
主桁	鋼部材	68	105
	コンクリート部材	81	125
床版	鋼部材	4	13
	コンクリート部材	31	47
下部構造	コンクリート部材	49	101
支承	鋼部材	58	65

表－１に示すように鋼部材とコンクリート部材の主桁のⅢ判定が多かったので、鋼部材とコンクリート部材の主桁を分析対象とした。

１巡目点検で判定区分Ⅲであった橋梁が２巡目点検での判定区分でⅡあるいはⅢとなっている場合（図－１のイ・ウ）があり、その割合は１～３割程度となっている。判定区分がⅢの橋梁は対策等の措置が行われ、判定区分がⅠになるのが理想的であるが、再度、判定区分がⅢとなっている実態が確認できた。１巡目点検の判定区分Ⅰの橋梁が２巡目点検で突然Ⅲの判定区分となっている橋梁（図－１のア）も少数であるが確認できる。これらのような遷移については何らかの要因（シナリオ）が考えられ、その要因について想定できるものを表－２に示す。これを基に実橋での検証を行った。その結果は後述する。

次に、１巡目点検の判定区分がⅠで２巡目点検の判定区分がⅢになった鋼主桁とコンクリート主桁の損傷の種類別の部材数を整理した。その結果、鋼主桁は腐食と防食機能の劣化の割合が亀裂等の他の損傷より多かった。これは、腐食と防食機能の劣化が桁端部からの漏水等の影響により急速に進行しやすい損傷であることも理由の一つとして考えられる。

一方で、コンクリート主桁ではひびわれが多かった。これは、アルカリ骨材反応により内部で潜在的に進行していた損傷が進行期に入りコンクリート表面にひびわれとして顕在化したことや、アルカリ骨材反応の恐れのある

部材（対策区分Ｓ１）がすでにあつて、その部材が２巡目点検で判定区分Ⅲとなっていることが理由の一つと考えられる。

（２）遷移状況についての実橋での検証

次に表－２に示した要因を実橋で検証した。「アー①」は点検等で予測できないため、突発事象が発生したら速やかに対応するしかないと考えられる。「イー①」については、詳細調査等を含めた対策を適切な時期に実施すれば特に問題無いと考えられる。「ウー①」についても、構造条件や現地条件等で抜本的な対策が難しい場合が想定されるが、総合的に判断して暫定的な措置等を行い、適切な管理を継続的に実施すれば特に問題無いと考えられる。

一方で、「アー②」、「イー②」、「ウー②・③」は点検や対策等をさらに工夫や改善等を行うことでより良い予防保全や長寿命化修繕計画の推進を図ることが可能になると考えられる。そこで、これらについて、実際の橋梁の点検調査等を確認して詳細に検証することとした。表－３－１、表－３－２に鋼主桁、コンクリート主桁に対する検証結果を示す。

鋼主桁についてはⅢ判定となっている損傷の種類として腐食および防食機能の劣化が多く、原因としては漏水に起因するものが多かった。また、対策後の早期劣化の原因として、施工上の制約等により要因排除（橋面からの漏水等の除去など）に限界があった事例や、別箇所の類似損傷が２巡目点検までに進行した事例が複数確認されており、点検・補修時に判定区分Ⅲのみに着目するのではなく、再度損傷が進行することを予防するために損傷原因の確実な除去、類似損傷に対する進行を予想して予防保全を行うことが重要となる。

コンクリート主桁についても、鋼主桁と同様に要因排除（コンクリート内部の塩分等の除去など）に限界のあった事例や、別部材の類似損傷が進行した事例が複数確認されており、点検・補修時に留意する必要がある。

表－２ ２巡目点検の判定区分がⅢとなった想定される要因（シナリオ）

判定区分の遷移パターン		想定される要因（シナリオ） ①：適切な対応等により特に問題なし ②③：工夫や改善の余地有り
ア	Ⅰ→Ⅲ	① 突発事象等の外的要因による影響 ② 現場条件等により要因排除に限界があり補修後に再劣化
イ	Ⅲ→Ⅲ	① 詳細調査等により対策実施時期を見送り ② 判定区分Ⅲとなりそうな部材（箇所）が多く、２巡目で他の部材（箇所）での損傷が進行
ウ	Ⅲ→Ⅱ	① 構造・現場条件等により抜本的な対策ができずに対処療法的な対応（暫定措置等） ② 判定区分Ⅲとなりそうな部材（箇所）が多く、２巡目で他の部材（箇所）での損傷が進行 ③ 現場条件等により要因排除に限界があり補修後に再劣化

表-3-1 遷移状況に対する実橋での検証から得られた改善案(鋼主桁)

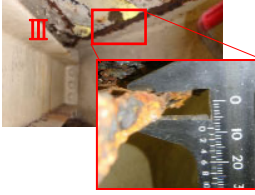
想定要因	1 巡目	2 巡目	損傷状況(⇒具体例)	原因例/改善案
ア-② Ⅰ→Ⅲ 要因排除の 限界			現場条件等により対処法的な延命措置とならざるを得なく、要因排除に限界があり、再度劣化 ⇒伸縮装置からの漏水があり、狭隘な桁端部の腐食	【原因例】 施工上の制約等より要因排除に限界 【改善案】 狭隘部にて施工可能で耐久性向上につながる対策の実施
イ-② Ⅲ→Ⅲ 別箇所の 損傷進行			1巡目の損傷のほか、同一部材の他の箇所でも同様の損傷が発生しておりそれが進行し2巡目でもⅢ判定 ⇒伸縮装置や橋面からの漏水があり、狭隘な桁端部の腐食	【原因例】 現地条件等より対策箇所が限定的(Ⅲのみ対策) 【改善案】 塗装時に端部や橋面からの漏水対策を同時に実施
ウ-② Ⅲ→Ⅱ 別箇所の 損傷進行			1巡目の損傷に対して対策済みであるが、他の箇所で同様の損傷が発生しておりそれが進行し2巡目でⅡ判定 ⇒水はけが悪くなり滞水しやすい添接部に腐食発生	【原因例】 現地条件等より対策箇所が限定的(Ⅲのみ対策) 【改善案】 塗装時に添接板の境界等のケレンの難しい箇所を丁寧に施工
ウ-③ Ⅲ→Ⅱ 要因排除の 限界			現場条件等により対処法的な延命措置とならざるを得なく、要因排除に限界があり、再度劣化 ⇒狭隘な桁端部の腐食	【原因例】 施工上の制約等より要因排除に限界 【改善案】 塗装時に狭隘な桁端部等のケレンの難しい箇所を丁寧に施工

表-3-2 遷移状況に対する実橋での検証から得られた改善案(コンクリート主桁)

想定要因	1 巡目	2 巡目	損傷状況	原因例/改善案
ア-② Ⅰ→Ⅲ 要因排除の 限界			現場条件等により対処法的な延命措置とならざるを得なく、要因排除に限界があり、再度劣化 ⇒飛来塩分による塩害、内部鉄筋の腐食により膨張	【原因例】 施工上の制約等より要因排除に限界 【改善案】 内在・飛来塩分に配慮した工法・材料の工夫
イ-② Ⅲ→Ⅲ 別箇所の 損傷進行			1巡目の損傷のほか、同一部材の他の箇所でも同様の損傷が発生しておりそれが進行し2巡目でもⅢ判定 ⇒ASR の疑いのある損傷、歩道と車道の境界部より漏水	【原因例】 現地条件等より対策内容が限定的(Ⅲのみ対策) 【改善案】 歩車道境界部の滞水対策(スラフトレン設置等)
ウ-② Ⅲ→Ⅱ 別箇所の 損傷進行			1巡目の損傷に対して対策済みであるが、他の箇所でも同様の損傷が発生しておりそれが進行し2巡目でⅡ判定 ⇒アーチリブ下面のひびわれ、打ち継ぎ目部から漏水	【原因例】 現地条件等より対策内容が限定的(Ⅲのみ対策) 【改善案】 橋面からの水の侵入経路を調査し、漏水対策を実施
ウ-③ Ⅲ→Ⅱ 要因排除の 限界			現場条件等により対処法的な延命措置とならざるを得なく、要因排除に限界があり、再度劣化 ⇒床版と地覆の打ち継ぎ目部より顕著な遊離石灰の析出	【原因例】 施工上の制約等より要因排除に限界 【改善案】 床版と地覆の境界部の滞水対策(スラフトレン設置等)

3. 今後の定期点検での留意点

判定区分の遷移状況の分析、実橋での検証結果に基づき「アー②」、「イー②」、「ウー②・③」の要因を予防するための点検・補修時の留意点を表-4に整理した。その結果、損傷要因排除や症状に応じた対策実施など、基本的なことを確実に実施することが如何に大事であるかが分かる。

4. おわりに

今回、1巡目と2巡目の定期点検結果について、Ⅲ判定が多い鋼主桁、コンクリート主桁のⅠ→Ⅲ、Ⅲ→Ⅲ、Ⅲ→Ⅱへ移行した要因を分析し、実橋での検証も行い、点検・補修等における留意点をとりまとめた。

その結果、点検・補修等においては損傷要因の排除や症状に応じた対策実施などの基本的なことを確実に実施することが如何に大事であるかが分かり、①如何に損傷要因を除去（排除）できるか、②如何に損傷発生・進行を予測して予防保全型の措置（対策）が実施できるか、ということが重要であると再確認できた。

本稿で取り上げた留意点については、今般改定された道路橋定期点検要領（令和6年3月）¹⁾の改定内容が適切に運用されることにより、留意点の実施につながることが期待される。

また、令和6年度より3順目の橋梁定期点検(以下、「3巡目点検」という)が始まっている。1巡目点検後に措置を実施し、2巡目点検で判定区分がⅠと改善したたにもかかわらず、3巡目点検での判定区分がⅢ等となる再劣化等の課題もある。今後も損傷が生じる要因や措置が

適切に実施され、健全性を保つことができている事例等、引き続きデータ分析等を行うことで、効果的な橋梁の長寿命化計画の実現に寄与していきたい。

謝辞：本論文の作成にあたり、ご指導、ご助言をいただきました関係者の皆様及び、データの提供等について多大にご尽力頂いた（株）建設技術研究所に心より感謝申し上げます。

付録：図-1について

- ※ Ⅰ→Ⅰに該当する部材数を参考として記載した（図内点線部）
- ※【 】内は1巡目点検（2巡目点検）における各判定区分の占める割合を示す。
- ※（ ）内は1巡目点検の判定区分が2巡目点検に遷移したときの各判定区分の占める割合を示す。（抽出条件）最新橋梁管理カルテデータのうち以下条件を満足するデータを集計（被災橋梁は除外）
 - ・1巡目と2巡目の点検調書がマッチングするもの
 - ・点検調書に登録されている部材単位の健全性の判定区分を集計

参考文献

- 1)国土交通省道路局：道路橋定期点検要領，令和6年3月

表-4 今後の定期点検や補修等での留意点

想定される要因		点検・補修等での留意点	人の診察等に例えた場合（イメージ）
アー② Ⅰ→Ⅲ ウー③ Ⅲ→Ⅱ	現場条件等により要因排除に限界があり補修後に再劣化	・各損傷の関係性や損傷要因、対策時の現場条件が診断者や設計者に伝わる損傷図等の点検記録の工夫 ⇒（例）損傷の進行がわかるように遊間幅、桁下余裕等を損傷図に記載 ・劣化要因を確実に除去する対策の実施 ⇒（例）施工上の制約がある場合も再塗装の対策時に水供給を遮断する伸縮装置の非排水化等の対策を実施することを徹底	・生活習慣や病歴も含めてカルテへ記録し、今後の治療に関わる専門医や看護師等に広く情報提供 ・今後の進行性やどこまでの機能回復を目指すのかを考えた治療方針を立案し、生活習慣の改善も含めて病気を根治
イー② Ⅲ→Ⅲ ウー② Ⅲ→Ⅱ	判定区分Ⅲとなりそのような部材（箇所）が多く、2巡目で他の部材（箇所）での損傷が進行	・類似損傷が生じる可能性がある部材（箇所）の損傷状況確認 ⇒（例）疲労き裂やASRによるひび割れ発生時に類似箇所も併せて詳細調査を実施し橋梁全体の健全性を把握 ・類似損傷の発生・進行を想定し、LCCを考慮したうえで、予防保全型の対策を実施 ⇒（例）上記の詳細調査結果に基づき、類似箇所も含めて損傷の進行予想を行い、対処療法型と予防保全型のLCCを比較した上で損傷進行を抑制する対策（漏水対策等）を実施	・関係性のありそうな病気についても精密検査を行い、身体全体の健康状態を把握 ・精密検査結果に基づき現在症状のある病気の治療だけでなく、将来的に発症が想定される病気に対しても、現在から予防的な治療を実施

みんなでスキルアップ！ 機械設備の現場対応をDX化

内藤 博¹・上野 勇二²・白川 富治¹

¹九州地方整備局 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)

²九州地方整備局 企画部 (〒812-0013 福岡県福岡市博多区博多駅東2-10-7)

樋門・樋管等の維持管理において、熟練操作人の不足や若手職員のスキルアップが課題としてある。そこで、経験不足の操作人・若手職員に向けた操作方法や故障対応の補助ツール「樋門バーチャルガイド」を職員自ら開発し、実装化に向け試行を行った。ツールは各施設毎に簡易に作成可能なものとする事で現場活用しやすいものを検討した。また、現地導入へ向けた取り組みを紹介する。

キーワード 樋門樋管、維持管理、バーチャルツアー、スキルアップ、DX

1. はじめに

国の河川管理施設の維持管理においては、排水機場、樋門・樋管等機械設備を適切に管理し出水等に対応している。

しかし、それら进行操作する「地域の操作人」及び施設を管理する「職員」において、次の課題が生じている。

- (1) 高齢化による世代交代に伴い操作に不慣れな操作人が増えている。
- (2) 災害時など操作人からの不具合連絡への対応について、若手職員や初めて機械設備に関わる出張所職員等は機械設備の基礎知識習得が必要。

年々、頻発化・激甚化する災害時においては、迅速で確実な対応が必要であり、前記の課題に対し解決すべく、施設の操作や故障時の対応等に関して、現場で補助するための「わかりやすく・伝わりやすい情報共有ツール」が有効であると考えた。

そこで、情報共有ツールに直感的に理解しやすいバーチャルツアーを活用した「ガイダンスツール」の開発を行った。

システム構成は多種多様な管理施設があることからベースとなるガイダンスツールを作成し、各施設毎の状況にあわせ容易にカスタマイズを可能とし、職員誰でも自由に作成可能とする構成を目指した。

そのため、現場のために開発したガイダンスツールは、操作人への現場での対応補助ツールであり、職員に対する機械設備のeラーニングツールでもあり、また、職員自ら作成することも可能であることから、DXスキルア

ップにもつながるものとなった。

コンセプトは「みんなでスキルアップ！」とし、操作人・若手職員の「現場対応スキルアップ」及びガイダンスツールを作成することによる「機械・DXスキルアップ」となる今までに無い新たな取り組みを紹介する。

2. 現地での機械設備操作の現状と課題対応

樋門樋管等の操作は河川法第99条に基づき国から地方公共団体に操作委託を行っており、毎年、出水期前に操作人向けの操作説明会を実施している。

しかし、頻繁に操作しない場合、実対応時には操作方法等を忘れていたりことや緊急時に操作人がパニックになって上手く対応できない事例もあるため、誤操作防止のための操作方法等のガイダンスツールが欲しいというニーズがある。

落雷によるブレーカー断時の復帰等、軽微な不具合対応は専門的な知識が無くてもやり方さえ分かれば現地で対応可能なため、ガイダンスツールがあれば操作人の負担軽減になる。(図-1)

また、操作方法等に困った際に問い合わせが来るのは出張所であるため、出張所職員は機械設備の基本操作方法習得や軽微な不具合対応ができるスキルが必要である。スキル習得の機会として出張所職員、若手職員を対象とした九州技術事務所主催の「水門・ポンプ操作基礎技術講習会」を毎年開催しているが、最近の新規採用職員の増加により、この講習会に参加したくても中々参加



図-1 不具合対応ガイダンスイメージ

できない事例が見受けられる。この講習会を補完するためのガイダンスツールを開発することで、eラーニング資料として職員のスキルアップにも活用できると考えられる。

3. システムの概要

ガイダンスツールは現場条件が異なる事から各施設毎に用意することが望ましいが、施設数が多いため費用及び作成時間などの負担が少なくなるよう簡易に作成できるシステムを採用しなければならない。

システムを作成するにあたり、必要な条件や機能を整理した。

また、操作人や現場対応を行う職員など、ガイダンスツールを使用する側を「使用者」、ガイダンスツールを作成する側を「作成者」と定義し整理した。

【要求性能】

<使用者>

①現地設備と同様の画面構成になっており、システ

ムの操作、コンテンツの内容が直感的に理解しやすい

②疑似体験が可能

③システム使用に際して低コスト

<作成者>

④プログラミング技術を使わなくても作成可能

⑤手間のかからない作業で複数の施設に応用可能

⑥製作及びメンテナンスが低コスト

ガイダンスツールは数多く存在するが、筆者は過去にQRコードをスマホで読み込んでスタートするバーチャルツアーを作成した経験があったため説明への有効性を把握しており、上記の要求性能について下記のとおり条件を満たすと判断したため「バーチャルツアー」をベースソフトとして今回活用することとした。

【要求性能への適合事項】

- ・360°画像(図-2)をつなぎ立体的な空間となり、現地状況を疑似体験できることで感覚的に理解しやすいメリットがある。(①, ②)
- ・樋門・樋管の基本操作や簡単な不具合対応等の説明を、関連する場所でポップアップ表示させることで直観的に理解可能。(①) (図-3)

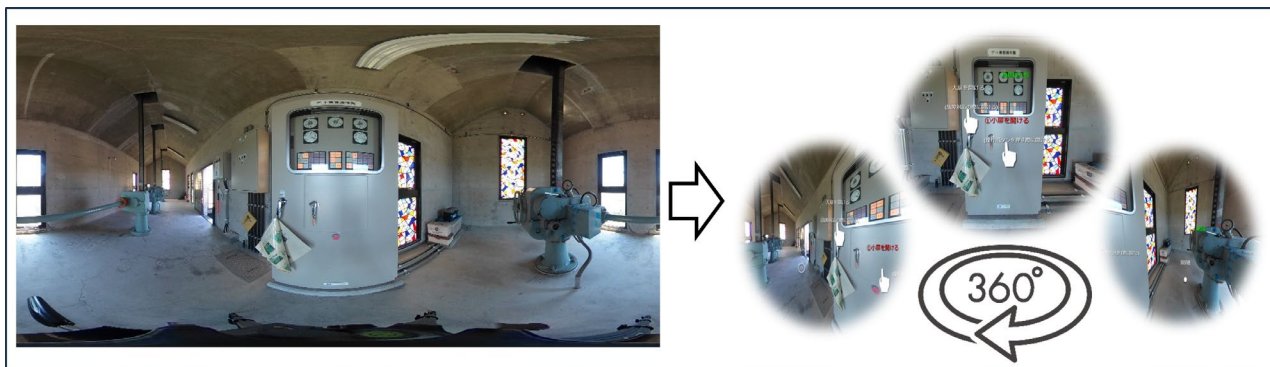


図-2 360°画像のイメージ



図-3 ガイダンスツールのイメージ

- ・「バーチャルツアー」作成ソフトはプログラム不用．操作説明等はテンプレート（ひな形）を用意すれば作業手間を軽減可能．（④，⑤）
- ・ガイダンスツールを現地で使用する際は，現地に設置したQRコードをスマホで読み込むことで導入できるため設備投資が不要．（③，⑥）

やすいが，データ容量が多くなる，動画作成は撮影・編集に手間がかかる問題がある．

5. 条件の設定及びシステム設計

システム設計にあたり整理したシステム条件を下記のように設定した．（表-1）

表-1 システム条件

(1)対象設備	樋門・樋管
(2)使用者	操作人，出張所職員，若手職員
(3)作成者	機械系・管理系若手職員
(4)不具合対応等の説明	写真による説明

4. ガイダンスツールの対象範囲

システム作成にあたり各対象範囲について整理した．

(1)機械設備の対象範囲

ガイダンスを行う機械設備の候補として，樋門・樋管，排水機場等があるが，どの設備を対象とするか．

(2)使用者の対象範囲

ガイダンスツールの使用者は，操作人・出張所職員・若手職員を想定しており両者が同じ説明内容で満足できるものが必要である．

(3)作成者の対象範囲

ガイダンスツールの作成者は職員とした．また，現地設備と同様の画像構成とすることで違和感なく使用できるが，設備数が大量である．

(4)不具合対応等の説明方法

不具合対応等の説明は，動画を用いる方がわかり

(1)対象設備

対象機械設備は以下のとおりとした．

- ・操作人から問い合わせが多いが，比較的問題解決への説明が簡易なものとし，構成も簡易な樋門・樋管を対象とすることにした．

(2)使用者

基本，操作人が対象であるが，出張所職員，若手職員も考慮する．

九州技術事務所では水門等の基礎技術講習会を定期的に開催しており，その中で説明している内容が若手職員が操作人とのやり取りに役立つとの意見をいただいているため，講習内容を踏襲することとし

た。

(3) 作成者

樋門・樋管は設備数が多いため作成者を分散する方法が効率的である。そのため、各事務所でガイダンスを作成する方法を検討した。作成者は現地設備に関連のある各事務所の機械系・管理系若手職員と想定し、作成マニュアル配布と講習会を実施することで作成者の育成をできると考えた。

(4) 不具合対応等の説明方法

作成者は各事務所職員と想定したため、作成時間のかかる動画ではなく、写真を用いた説明画像による説明とした。

作成にあたっては、お手本を用意することで作業効率があがると考え、説明画像を簡易に作成できるテンプレートを考案した。

テンプレートは使いなれたエクセルで作業し、写真を差し替えるだけでその現場の説明画像とできるよう工夫した。

これらの条件を考慮し、筑後川河川事務所管内の実在する樋門を撮影・編集し、バーチャルツアーでガイダンスツールのプロトタイプを試作した。加えて、講習会用の作成マニュアルを試作した。

ガイダンスツールの普及にあたり、親しみやすい名称が必要だと考え、樋門・樋管をバーチャルツアーでガイダンスすることから「樋門バーチャガイド」、作成マニュアルは「樋門バーチャガイドツール」と名付けた。

(図-4)



図-4 「樋門バーチャガイド」
「樋門バーチャガイドツール」

6. 試行

作成したガイダンスツールが活用可能なものになっているのか確認するため、試作品を水門等の基礎技術講習会の参加者に試行してもらった。参加者は主に操作人等現場とのやり取りが多い機械系職員及び出張所職員で、下記の意見がいただけた。(図-5, 6)

意見

- ・直感的に理解できるので扱いやすかった。
- ・現地の紙による説明資料もポップアップできれば便利。
- ・いずれ操作人とのやり取りで活用できそう。
- ・簡単な対応はこれで済むため問い合わせ減りそう。
- ・全体を俯瞰して見るページがあるとなお良い。

また、「操作人の支援になるか？」というアンケートに対しては80%が肯定の回答をいただき、実用可能で



図-5 基礎技術講習会での試行



図-6 スマホでの使用状況

あるとの感触を得た。（図-7）

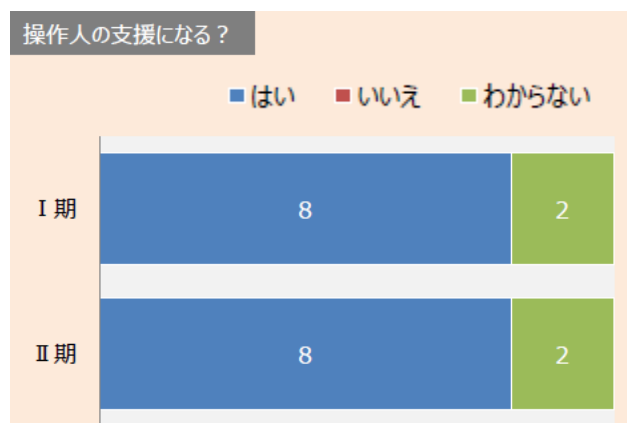


図-7 講習会でのアンケート

次に、バーチャルツアーの作成が初めての職員でもガイドンスツールが作成可能か検証するため、オンラインによる作成手順模擬講習会を実施した。（図-8）

作成手順を説明し、実際に基本作業を体験してもらうことで「作成できそうだ」との意見をいただいた。

一方、「作成手順で理解しづらかった箇所もあった」との意見をいただいたので、ポイント解説を作成マニュアルに追加してブラッシュアップしていった。

次のステップとして、ブラッシュアップした作成マニュアルを使用して河川事務所職員向けに講習会を試行した。その結果、受講生からは「わかりやすく良いツール」で「試しに作ってみたい」との意見をいただき実用性のあるツールになっている実感を得た。（図-9）

7. 取り組み結果、まとめ

以上の取り組みにより、各事務所にて作成可能なガイドンスツール「樋門バーチャガイド」と作成マニュアル「樋門バーチャガイドツール」が成果としてできあが



図-8 模擬講習会

った。

また、職員で作成することにより以下の効果が期待できる。

- ・設備構成、不具合対応等の確認によるスキルアップ。
- ・バーチャルツアー作成のスキル習得により、新たなコンテンツ作成への応用。

まさに「みんなでスキルアップ！

機械設備の現場対応をDX化」となる！

8. 今後の展開

今回、操作人または職員がこの「樋門バーチャガイド」を使用することにより、実操作や不具合対応への迅速なサポートだけでなく、作成することによる機械設備の知識習得、またバーチャルツアー活用によるDXスキルアップを可能としたガイドンスツールを開発することができた。

現時点では万能なツールとまではいかないが、この「樋門バーチャガイド」をポータルとした今後の展開として、点群データ、施設台帳、操作要領等とのリンク設定などを行えば、設備の維持管理におけるさらなるDX化を可能とするポテンシャルを秘めていると考えている。

今後も事務所や現場で利用が進むよう、講習会の開催や動画による作成手順の紹介など、利用者が必要なときに「利用」し「作成」し「スキルアップ」できるよう展開していきたい。

謝辞：樋門バーチャガイドの講習会試行にあたり、多忙な中、ご参加いただいた、筑後川河川事務所、川内川河川事務所の方々にこの場を借りてお礼申し上げます。



図-9 事務所への講習会

八代港土砂処分場護岸の陥没対策について —裏込工「フィルター層」を採用した 施工の実績と課題—

井上 光輝¹・林 雅夢¹・大島 諒也¹

¹九州地方整備局 熊本港湾・空港整備事務所 第二工務課 (〒866-0033 熊本県八代市港町139)

熊本港湾・空港整備事務所では、八代港で計画されている航路増深に伴い発生する浚渫土砂の受入先確保を目的として、大築島における土砂処分場を整備している。大築島（南）に位置する当該海域は、H.W.L. 時とL.W.L. 時の干満差が4.3mと潮位変動の大きい場所であることから、埋立土（浚渫土）の確実な吸出し防止対策が必要である。

当報告は、吸出し防止対策としてフィルター層の構造諸元の検討、施工方法や施工における工夫及び吸出し防止対策としてフィルター層を広く採用していく上での課題について報告するものである。

キーワード フィルター層、土砂処分場、陥没対策、吸出し防止、洗掘防止対策

1. プロジェクト概要及び本工事概要

(1) 事業の概要

八代港は九州西部の中央部に位置し、九州縦貫自動車道及び南九州西回り自動車道が連結しており交通アクセスが高く、港周辺にはセメント業及び製紙業等の工場が立地し、物資供給施設として不可欠であるほか、2020年にはクルーズ船岸壁も完成し、クルーズ客船の受入拠点としての重要性も高まっている。

本港が抱える課題としては、輸送量拡大に向け、大型船に対応した航路の整備(水深14mへの増深)が必要となっているが、これに伴う浚渫工事で発生する土砂の安定的な受入先確保が挙げられる。現在、上記課題を解決することを目的とし、大築島(図-1)において土砂処分場の整備を進めている。



図-1 八代港における大築島及び航路(水深14m)の位置関係

(2) 事業の進捗状況

大築島(南)土砂処分場の外周護岸の内、B護岸は概成しており、C、D護岸は被覆工・裏込工・上部工、A護岸は地盤改良工・基礎工を行っている状況である。

(図-2)

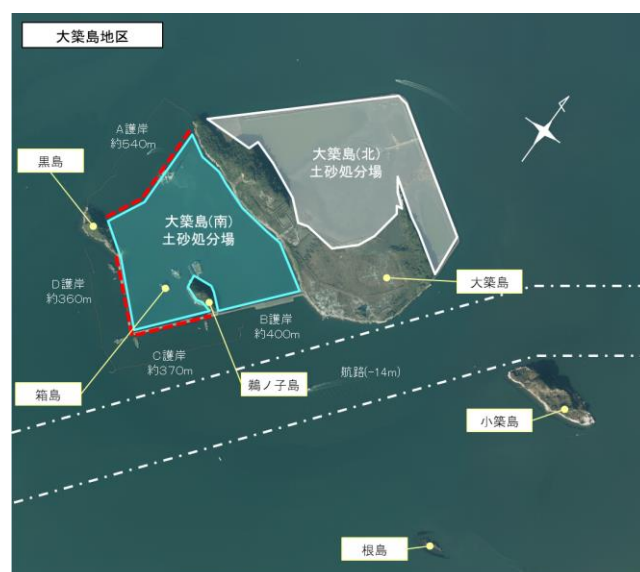


図-2 大築島地区施設配置図

2. フィルター層採用の経緯

(1) 原設計における懸念点

土砂処分場の外周護岸の断面は、施工性・経済性より傾斜堤が採用されており、吸出し防止対策として、基礎捨石上に防砂シートの敷設を計画している。

一方で、当該地区は潮位差が大きいこと及び基礎捨石が高マウンドであることから、防砂シートの損傷によって腹付土や埋立土が基礎捨石(5~100kg)の間隙を通過して吸い出される懸念がある。(図-3)(図-4)吸出しの程度によっては背後地の陥没の要因となる事例もあり、当該土砂処分場に有効な吸出し防止対策について検討を行った。

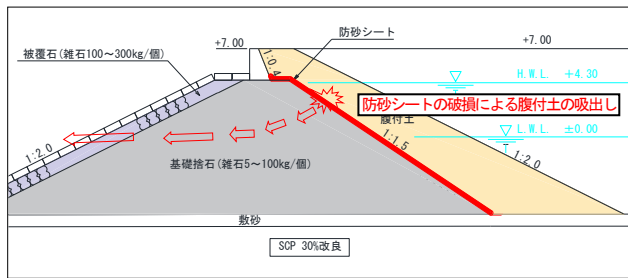


図-3 C護岸断面図及び吸出しイメージ

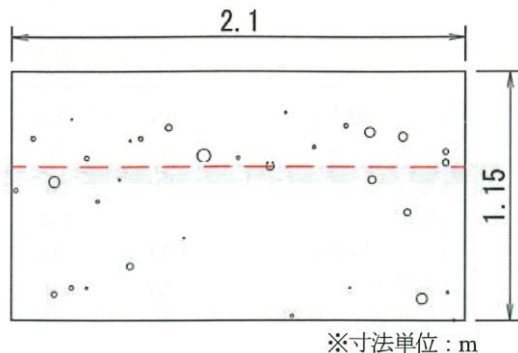


図-4 空洞化による陥没事例

(2) 防砂シート破損のメカニズム

防砂シートの破損について、「埋立前の護岸における防砂シートの耐久性に関する検証：土木学会論文集」においては、防砂シートは埋立土砂の投入により安定するまでに、波によるばたつき、振動を引き起こし裏込石との摩擦により破損すると報告されている。¹⁾

同論文内で港湾の施設の技術上の基準・同解説(2007)に示されている不織布を用いた実験が行われており、20cmの波高を連続して作用させた場合、1万回(約5時間)時点において孔の発生が確認されている。以下に、16万回作用させた場合における貫通孔の状況を示す。(図-5)



※寸法単位：m

図-5 防砂シートの破損状況

当該地区は、先に示している潮位差に加えて、軟弱土層が厚く堆積しており大規模な地盤改良を必要とするため護岸築造に時間を要すること及び浚渫土による埋立を計画しており埋立完了までに時間を要することなど、防砂シートの損傷リスクが高く、確実な吸出し防止対策が必要である。

(3) 吸出し防止対策案

確実な吸出し防止対策として、港湾の施設の技術上の基準・同解説(令和6年4月一部改訂)(以下、港湾基準一部改訂)により、フィルター層を設置することによる吸出し防止対策が示されている。したがって、当施設においてフィルター層の適用の検討を行った。

フィルター層による吸出し防止対策は、基礎捨石と埋込材(腹付材)の間に、中間的な粒度を有するフィルター層を設けて、腹付材の目詰まり機能、基礎捨石に対する安定性及び防砂シートの破損リスクを低減するものである。

3. フィルター層の設計

(1) 二層構造のフィルター層の考え方

二層のフィルター層における上層(裏埋土に面する層)は、裏埋土砂を間隙中に目詰まりさせることにより、吸出しを抑制させるものである。下層(捨石に面する層)は、基礎捨石と埋込材(腹付材)の間に中間的な粒度を有するフィルター層を設けて、基礎捨石に対する安定性及び防砂シートの破損リスクを低減するものである。(図-6)

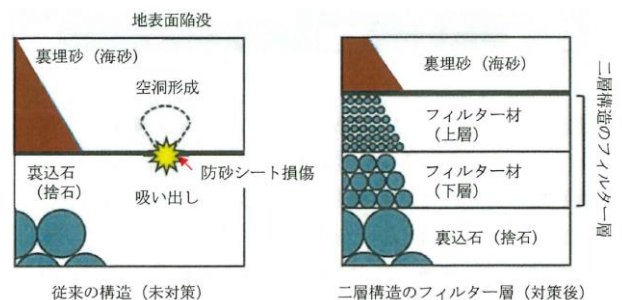


図-6 フィルター層の概念図

(2) 粒径・層厚の設定

港湾基準一部改訂において、フィルター層の粒径は以下の様に示されている。

$$D_{F50}/D_{S50} \leq 20 \quad \text{または} \quad D_{F15}/D_{S85} \leq 5 \quad (\text{ただし, } U_{cf} \geq 3)$$

ここに、 U_{cf} ：フィルター材の均等係数

D_{F50} ：フィルター材の中央粒径

D_{S50} ：埋立砂の中央粒径

D_{F15} ：フィルター材の15%粒径

D_{S85} ：埋立砂の85%粒径

八代港において入手可能な材料を用いて以下の様にフィルター層の材料を決定した。(表-1)

表-1 フィルター層に使用する材料(粒径)

材料	中央粒(mm)	$D_{75}/D_{50} \leq 20$	判定
基礎捨石(5~100kg)※	230	$230/55=4.18$	OK
岩ズリ 40~70mm	55	$55/20=2.75$	OK
岩ズリ 0~40mm	20	$20/8=2.5$	OK
山ズリ 腹付け土	8		

※基礎捨石の比重より、捨石1個当たりの寸法を換算

$$5(\text{kg/個}) \approx (0.13\text{m} \times 0.13\text{m} \times 0.13\text{m}) \times 2,780\text{kg/m}^3$$

$$100(\text{kg/個}) \approx (0.33\text{m} \times 0.33\text{m} \times 0.33\text{m}) \times 2,780\text{kg/m}^3 \Rightarrow \text{寸法中間値: } 230\text{mm}$$

フィルター層の各層の厚さについては、30cm以上必要との記述があるため、均し精度(投入指示のみを想定して±70cm)を考慮して、各層100cmと設定した。(図-7)

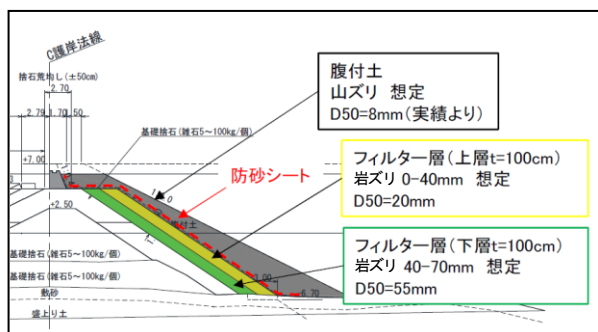


図-7 フィルター層の構造

4. フィルター層の施工

(1) 施工手順

護岸施工手順は、以下の通りである。

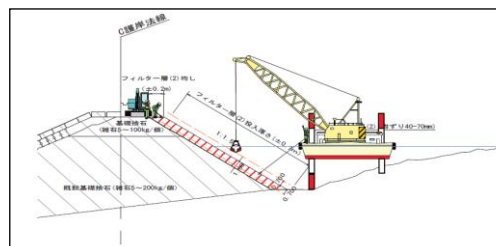
1. 基礎捨石本均し

基礎捨石(5~100kg: 中央粒径230mm)の斜面形成及び上部工設置部の本均しをバックホウにて行った。



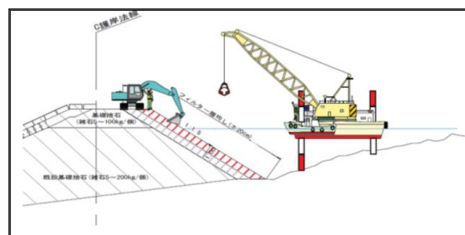
2. フィルター層下層投入・天端均し

フィルター層下層(中央粒径 55mm)をクレーン付台船にて投入し、バックホウにて天端部均しを行った。

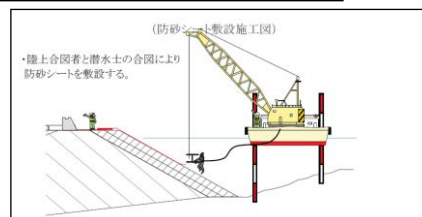


3. フィルター層上層投入・均し

フィルター層上層(中央粒径20mm)をクレーン付台船にて投入し、バックホウにて天端部均しを行った。



4. 防砂シート敷設



5. 施工方法の工夫

(1) 施工における問題点

フィルター層の上層は、粒径が細かいことから、潮流や波浪の影響により洗堀を受けやすい。令和5年の台風6号によりD護岸の未施工区間より入射した波により、施工中のフィルター層の洗堀が発生している。(図-8)

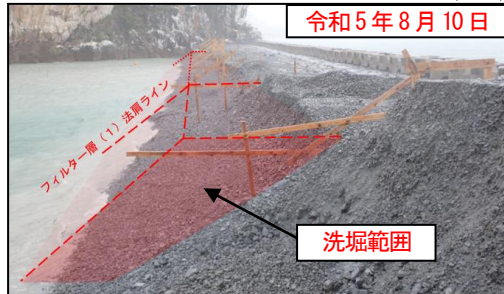


図-8 フィルター層の洗堀状況

現状では外周護岸全周の締切りが完了しておらず、日々の干満によりフィルター層に潮流が影響している状況である。さらには、当地区は八代港沖合に位置しており、台風だけでなく、日常的に波浪の影響も受けやすい。

したがって、台風等の異常気象だけでなく、日常的な法崩れに対する対策が必要である。特に、干潮滞は直接波浪が作用することから対策が必要と考えられる。

(2) 小口止めの設置の検討

日々の法崩れ防止のためには、短期間で完成断面(フィルター層、防砂シート敷設及び腹付工)まで完了させることが有効である。したがって、施工区間を短いスパンで区切り、順次施工を行うこととした。

フィルター層の施工には、下層・上層及び腹付土と異なる材料を1層ずつ施工していく必要がある。材料は八代港内の仕出岸壁から台船により運搬(400m³/日・隻)する必要があるが大規模な仮置きが困難であり、1回当たりの供給可能量は2,000m³程度である。一方で、フィルター層の断面当りの使用量は30~50m³/mであり1回の供給量で40m程度の施工が可能となる。

一方、現地施工はクレーン付き台船での作業を計画しており作業半径は26mであることから、40m程度の施工範囲であれば同一作業半径内での施工が可能となる。したがって、44m間隔で小口止めを設けた。(図-9)

その場合の1サイクルの工程は、表-2に示すように2週間程度である。

表-2 フィルター層の1区間の施工工程

	工種	概算数量	施工能力	施工日数
下層	小口止め土嚢	70個	80個/日	0.9日
	フィルター層下層	1,300m ³	300m ³ /日	4.3日
上層	小口止め土嚢	70個	80個/日	0.9日
	フィルター層上層	1,900m ³	300m ³ /日	6.3日
合計				12.4日

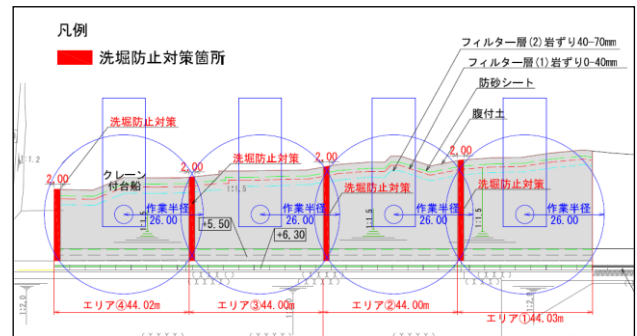


図-9 小口止めの間隔 平面図

(3) 腹付工としての大型土嚢の使用

腹付土砂は、フィルター層より粒径の細かい材料であり(隣接工区実績では中央粒径8mm)、フィルター層と同様に洗堀が懸念される。したがって、代替の材料として土嚢やブロックにて防砂シートの抑え(防砂シートの破損防止対策)を行うこととした。

(4) 腹付土砂代替材の経済比較

腹付土砂洗堀箇所の復旧対策や小口止め、腹付工として使用する材料について経済比較を行った。

材料入手の可否や施工性を考慮して土嚢、大型土嚢、コンクリートブロックを抽出し比較を行った結果、表-2に示すように大型土嚢が最も経済性に優れる結果となった。

表-3 腹付工代替材の経済比較

	100m ² 当たりの必要個数	100m ² 当たりの金額
小型土嚢	800個	2,210千円
大型土嚢	100個	2,160千円
コンクリートブロック	97個	3,380千円

※土嚢の製作・据付費用は施工業者見積り

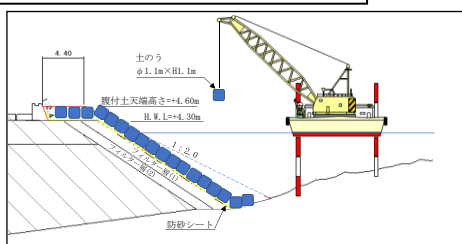
(5) 大型土嚢の施工手順

大型土嚢の製作

大型土嚢は、大築島北の現地土砂を使用して製作を行った。



大型土嚢の設置



・小口止め部の施工状況

現地施工においては、全体の施工工程、天候(波浪状況や台風の発生状況)を踏まえて、3分割での施工により対応した。施工状況を図-10に示す。



図-10 小口止めの施工状況

(6) 護岸端部の対策(小型土嚢の設置)

護岸端部は水深が浅く作業船が近寄れないため、大型土嚢の設置が困難である。したがって、端部においては軽量の小型土嚢を腹付土砂の代替材料として使用した。(図-11)



図-11 端部の施工状況

6. 今後の課題

八代港は、有明海内の比較的に波の穏やかな地域であるが、大築島地区は沖合に位置しており日常的に波浪の影響を受ける場所である。また、干満差が大きいこともあり、干潮滞付近では特に洗堀の影響を受けやすい。

当工事では、台風による洗堀を受け施工時の手戻り防止を目的としてフィルター層の施工方法を検討し、大型土嚢による小口止め、腹付工としての大型土嚢の設置等の対策を行った。

大型土嚢については、法尻部に根抑えを設置しているが、安定性に配慮して小段の設置や、フィルター層を被覆材で保護するなど、現場条件(波浪条件や埋立までの期間)を考慮して対策を行うことにより、さらに手戻り防止につながると考えられる。

当断面においては、軟弱な粘性土上での護岸築造であるため、低改良のSCPによる傾斜堤式を採用しておりマウンド高がH.W.L程度と高い。マウンド(基礎捨石5～100kg)からの吸出しを防止するために、フィルター層も干満滞全域にわたって設置している。

今後の護岸断面の検討には、フィルター層を含めた吸出し防止対策を考慮のうえで、構造形式や設置水深を設定することで、経済性・施工性に配慮した断面を設定できると考えられる。

7. まとめ

大築島地区における吸出し防止対策としてフィルター層の設計・施工を実施した。大築島地区の外周護岸は現在施工中であり、今後も工事が続いていくことから、これまでの、施工で得た課題を踏まえ早期の護岸完成及び土砂の受入開始に努力していきたい。

参考文献

- 1) 埋立前の護岸における防砂シートの耐久性に関する検証：土木学会論文集
- 2) 地盤及び水理外力の特性を考慮した吸出し・空洞形成・陥没構造とフィルター材により抑止法の研究：港湾空港技術研究所報告 第50巻第3号(2020.12)

白川『緑の区間』落書き防止プロジェクト ～憩いの親水空間を守る～

鹿毛 恵理香¹ 田尻 剛士¹ 内田 光雄¹

¹九州地方整備局 熊本河川国道事務所 占用調整課（〒861-8029 熊本県熊本市東区西原 1-12-1）

2025 年 4 月 26 日、熊本市中心市街部を流れる白川では『緑の区間』の堤防等整備の完了を祝い、竣工式を開催した。1986 年より段階的に進めてきた事業であり、長きに渡る関係者の尽力と市民の協力により無事完成の日を迎えることができた。市民の憩いの場として親しまれている『緑の区間』であるが、堤防は広い壁面が特徴で市街地に位置し、多くの人の注目を得やすいこともあり、短期間に多数の落書き被害を受けることとなった。この状況をなんとかして断ち切る必要があり、完成に至るまでのこの 1 年間は、落書きとの闘いとなった。本稿では、大切な親水空間で発生した落書き被害に対し、再発防止に繋がった対策について報告する。

キーワード 緑の区間 落書き 親水空間 維持管理

1. はじめに

熊本市中心部を流れる白川において、大甲橋から明午橋までの区間は、川面に映る木々の美しさから『緑の区間』と呼ばれ熊本市民に親しまれている。一方で上下流の区間に比べて川幅が狭くなっていたことから、洪水時に阻害となっている区間でもあった。このため、治水対策と景観保全の両立が長年の課題であった。

具体的には、約 40 年間にわたる河川整備事業によって、流下能力が整備前の約 900 m³/S から阿蘇立野ダムの完成も相まって 2,400 m³/S に改善され、洪水の危険性が大幅に軽減された。整備には、既存樹木の移植や歴史的景観を継承する石積みなど、景観への配慮も徹底された。川幅は 15～20 メートルほど拡張され、低かった堤防や管理用道路も嵩上げされた。さらには、親水性の高い水辺空間の創出も図られ、市民が川に親しめる空間へと生まれ変わった。この整備事業は、市民との合意形成を図りながら進めた

結果、実現したものである。

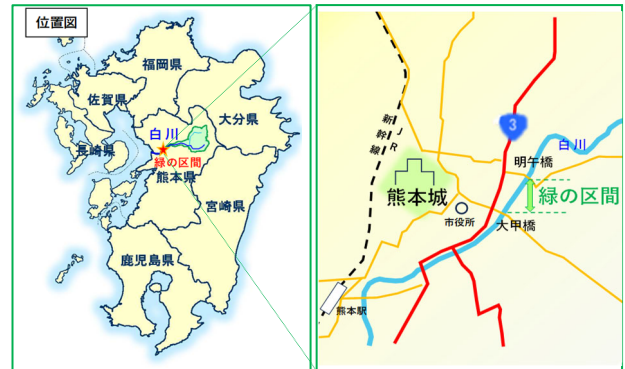


図 1 緑の区間 位置図



写真 1-1 緑の区間

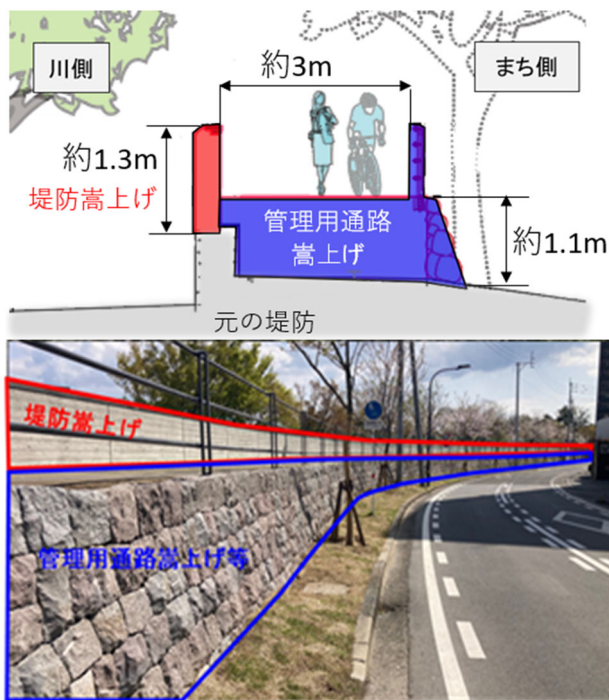


写真 1-2 緑の区間 堤防等整備

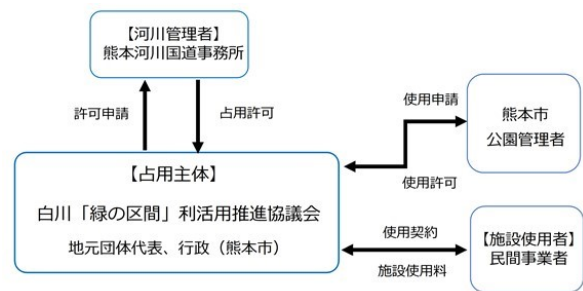


図 2 白川『緑の区間』オープン化の枠組み



写真 2 白川夜市の様子

2. 緑の区間の活用方法～白川夜市～ (河川空間のオープン化)

緑の区間は、都市・地域再生等利用区域に指定(2022年2月10日)され、行政や自治会、商工団体、学識者から構成された『白川「緑の区間」利活用推進協議会』が占有主体となり、白川夜市の開催など水辺の賑わい創出や地域の活性化の取り組みが行われている。白川夜市とは、市民や企業、行政が一体となって水辺の新しい可能性を創造していくプロジェクト『ミズベリング』の一環としてスタートした地域事業である。毎月第4土曜日に開催(12月～2月が休み)し、地元を中心に40～50店舗が出店し、食べ物や飲み物を白川の傍で提供している。ライブ音楽、ゲームなども行われ、市民を楽しませている。

今後も民間事業者等のアイディア・活力を生かした様々な取り組みがなされ、官民が連携し、河川敷の利活用が進んでいくことで、中心市街地の活性化に繋がっていくことを期待している。

3. 落書き行為が多発した要因と対応策

最初の落書き行為は、2024年3月15日河川巡視の際に特殊堤の川表側で発見した。夜間の犯行だったと思われる。このため、発見当日に警察へ被害届けを提出し、管理用通路の嵩上げ工事中だったこともあり、現場監視用も兼ねて防犯カメラを3箇所設置するなど早急に対応した。しかし犯人特定には至らず、すぐに2度目の落書き行為が発見された。落書き箇所はさらに増え、計3回合計16箇所(写真3-2)の落書き被害を受けた。そこで、私たちは落書きが多発した要因を分析してから、対策を講じることとした。

まず落書きされた要因は、大きく3つあると考える。1つ目は、地理的な要因である。落書きは多くの人の注目を得られる場所がより狙われやすいと考えるが、当区間はまさに熊本市の中心市街地に位置し、周辺の人通りも多く、落書きされると目立つ場所だった。

2つ目は、堤防の構造上の要因である。洪水防御のため、高さ約2mのコンクリートの壁面を有する特殊堤が数百メートルにわたり新設された区間であ

り、落書きの対象として広範囲に狙われやすい状況であった。

3つ目は、周囲からの視界面の要因である。落書きから守るべき特殊堤自体が、まち側の通行人の視界を遮っていた。また当時、管理用通路の嵩上げ工事中であったため、まち側から堤防には近づけず、川表側の落書き行為に気づきにくい状況だった。

これらの3つの要因を踏まえて、以下の対策を実施した。1つ目は、落書き被害及び対応状況についての記者発表を行った。熊本市の中心市街地であるため、市民の認知度が高い地区であり、広報効果の広がりも期待できた。この結果、複数のテレビ・新聞・ラジオで報道(写真3-1)された。

2つ目は、「落書きは犯罪です」と明記した警告看板(写真3-4)の設置を行った。落書き行為者へ警告するとともに、緑の区間の利用者にも落書き被害を知ってもらうことで、日常の見守り効果を期待した。

3つ目は、防犯カメラの追加の設置(写真3-3)を行った。緑の区間の利用者の見守りだけでは限界があるため、カメラをさらに川表側に2箇所増設し、合計7箇所とした。また、犯罪抑止のために「防犯カメラ作動中」を告知する注意喚起看板(写真3-5)を落書きが集中した上流側に設置した。

これらの対策を実施した結果、落書き行為は行われなくなった。多くのメディアで報道されたことにより注目されたことで、市民の方々へ問題意識が広がり、抑止効果に繋がったと考える。



写真 3-1 落書き除去に対する取材

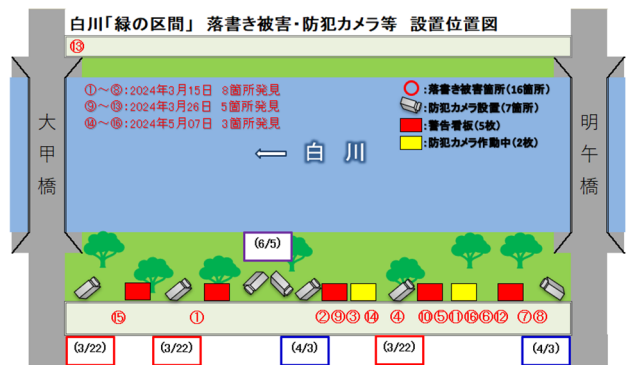


写真 3-2 落書き被害・防犯カメラ等 設置位置図

2024. 3. 15	最初の落書き行為発見(8箇所) ①～⑧警察へ被害届提出
2024. 3. 22	防犯カメラ設置(3箇所)
2024. 3. 26	2度目の落書き行為発見(5箇所) ⑨～⑬
2024. 4. 3	防犯カメラ設置(2箇所)
2024. 5. 7	3度目の落書き行為発見(3箇所) ⑭～⑯
2024. 5. 22, 23	落書き被害に対する記者発表 (1回目)取材, 報道
2024. 6. 5	防犯カメラ追加設置(2箇所) 警告看板(5枚)等の設置
2024. 6. 14	防犯カメラ増設に対する記者発表 (2回目)
2024. 7. 3～8	落書き 16箇所, すべて除去
2024. 7. 5	落書き除去に対する取材, 報道

表 3 落書き行為と対策(1)



写真 3-3 追加した防犯カメラ



写真 3-4・5 警告看板と注意喚起看板

4. 早期の落書き除去

最初は、落書き犯の確保が最優先であると考え、警察へ被害届を提出し、またテレビやラジオ等に取り上げてもらうことで、落書き犯を探し続けたが特定することができなかった。そこで落書きを消さずに放置したことで、再発し拡大したこともあり、警察による犯人捜査の進展も見られないようであれば、早期に落書きを除去することが、落書きの目的を遮断することになり、再発防止には最も有効であると考えた。

このため、本来であれば不法行為者に原形復旧を求めるべきところであるが、河川管理者において落書き除去作業を行った。

この壁面は川側に人が近づきやすくするために「天然杉の本木目」仕上げを採用し、木目がはっきりと出る仕上げを行っており、落書きの除去にあたっては、壁面のデザインや周囲の景観にも配慮して、丁寧に作業を行った。

方法としては、ある程度除去した後に特殊な塗料で処理して上塗りを2回行い、落書きが分からないようにしている。(写真4)



写真 4 落書き除去方法

5. 追加の再発防止策と令和 7 年 4 月からの対応

落書き 16 箇所は全て除去することができたが、河川管理者で除去せざるを得なかったこともあり、二度と落書きをさせない追加の再発防止策を事務所内で検討した。

この結果、夜間でも公園利用者が活用しやすく、歩きやすい空間を提供すれば落書き行為はしづらくなると思い、ソーラー式人感センサー付き照明(写真 5-1)を落書き被害が集中した上流側に 13 箇所設置した。下流側では、白川夜市が開催されることもあり、これに影響がない範囲での設置とした。

また、防犯カメラの 7 箇所は、2025 年 3 月末までの工事期間中の設置であったため、この代用として 2025 年 4 月からは人感センサー付きのカメラ(写真 5-2)を 3 箇所新規で導入した。工事期間中に臨時で設置していた Web 対応型カメラ設置も検討したが、堤防への落書き行為の監視目的で高性能のカメラを広範囲の区間に設置することは、維持管理費用が高額になること、これに加えて、管理用通路の嵩上げ工事の完成により、管理用通路からの堤防高さは 110 c m となり、まち側から河川側への見通しは大幅に改善され、通行人の見守りが一層期待できるようになったこともあり、今回はこのような対策を採用したものである。

3 台のカメラは、赤外線センサー内蔵の夜間でも撮影できるカメラで、試行的に樹木に設置している。乾電池式なので、電池の交換やカメラの作動状況のチェックが必要であり、緑の区間を所管する白川出張所で対応している。

さらに、2025 年 4 月以降は右岸側の堤防工事も完成したことにより、兩岸の対応が求められることになった。このため、右岸側にも防犯カメラや警告看板を設置する等の対策を継続的に対応していくこととしているが、より効率的で経済的な再発防止策ができないかも併せて検討しているところである。

2024. 7. 26	センサー付き照明設置 (13 箇所)
2025. 3. 11～25	防犯カメラ撤去(7 箇所) 新規導入防犯カメラ設置 (3 箇所)
2025. 6. 2	落書き除去から 1 年に対する 記者発表 (3 回目)

表 5 落書き行為と対策(2)



写真 5-1 センサー付き照明



写真 5-2 新規導入防犯カメラ

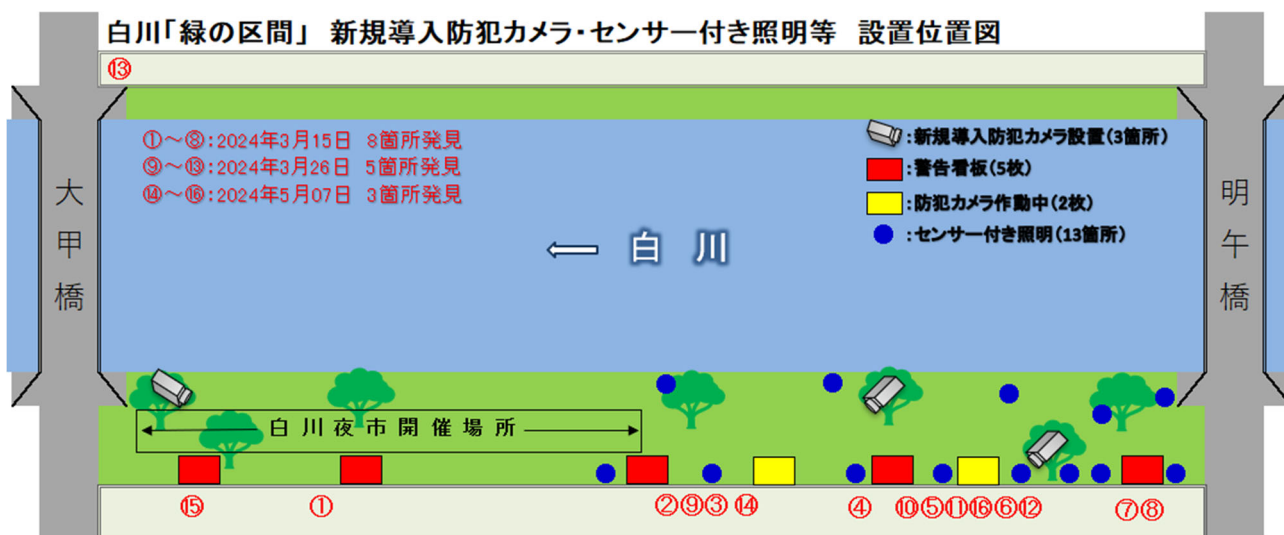


図5 新規導入防犯カメラ・センサー付き照明等 設置位置図

6. おわりに

緑の区間は、昔から洪水被害があったことから特殊堤による堤防の嵩上げ工事を行ったが、そうすることにより外から閉鎖的となり、治安が悪くなるのではないか懸念されていた。このため、管理用道路も嵩上げする等、工夫がされてきた場所である。その中でこのような落書き行為が起こってしまったことで、市民の不安がさらに募った。

しかし、記者発表や防犯カメラ設置などの対策を実施したことで、『白川「緑の区間」利活用推進協議会』や市民の方々のみんなで緑の区間を守ろうとする想いが啓発され、犯人への警告に繋がったことは、一定の効果があったと思われる。



写真 6-1 緑の区間の様子



写真 6-2 緑の区間 竣工式(2025. 4. 26)

また、今回の対策を実施したことによって、緑の区間だけでなく、その他の公共施設への落書き防止の啓発にも繋がったと考えている。

そもそも落書き行為とは、美観を損ねるだけではなく、放置すると周囲にも書かれるなど被害が広がり、この結果ほかの犯罪を誘発する恐れがあると指摘されている。

今後も適宜、記者発表や SNS 等で現状報告を行い、緑の区間の親水空間を市民の方々と共に守っていくと同時に、他の落書き箇所を少しでも除去していき、安心できる河川空間の提供を行っていきたい。

維持管理に配慮した鋼橋（ニールセンローゼ桁橋）の設計について

穴井 紀一郎¹

¹九州地方整備局 熊本河川国道事務所 工務第三課 （〒861-8029 熊本県熊本市東区西原1-12-1）

道路橋は5年に一回の頻度で近接目視または近接目視と同等の方法を基本とする点検が義務付けられている。一般的な桁橋の場合、地上からの高所作業車や橋上からの橋梁点検車により点検が実施されているが、長支間の特殊橋梁では、地形条件や交差条件による制約から近接点検が困難な場合がある。特にニールセンローゼ桁橋は斜材ケーブルが密に配置され、橋上からの橋梁点検車による補剛桁や床組の点検が困難である。今回、新設橋のニールセンローゼ桁橋の設計において、点検・維持管理の確実性確保について検討した。

キーワード ニールセンローゼ桁橋、検査路、常設足場、ケーブルカバー

1. 背景

高度成長期以降に集中的に整備された道路、橋梁、トンネルをはじめとする社会インフラの多くは、整備から50年以上が経過し、今後、さらに老朽化が進んでいく。一方で、道路橋のうち約65%を占める市町村では、メンテナンスに関わる技術者や、予算などのリソースが不足している。また、昨今激甚化が著しい気象災害や切迫する大規模地震などに対応するためには、整備されたインフラを適切にメンテナンスし、その機能を常に発揮させる必要がある。今回、その様なことをふまえ、点検・維持管理に配慮した鋼橋（ニールセンローゼ桁橋）の設計を行った。

2. 事業概要

九州中央自動車道は、熊本県上益城郡嘉島町と宮崎県延岡市までの延長約95kmの高規格道路である。九州縦貫道と東九州自動車道を結び、これらと一体となって循環型的高速交通ネットワークを形成し、九州の東西軸の強化、さらには九州の一体的発展に寄与する道路である。また、時間短縮により地域間の連携を強化し、地域産業、緊急医療、観光振興を支援するとともに、災害時における代替ルートとして信頼性の高いネットワークを構築する道路である。現在、全体延長約95kmのうち、約4割41kmが開通している。

【道路管理者別橋梁数】

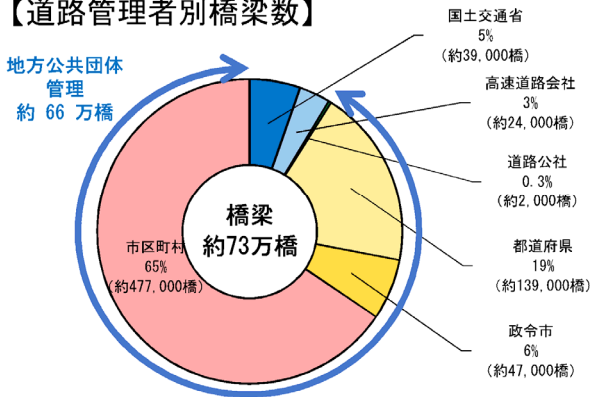


表-1道路管理者別橋梁数



図-1位置図

3. 対象橋梁の概要

蘇陽峡大橋は図-2に示す一級河川五ヶ瀬川を渡河するバスケットハンドル型のニールセンローゼ桁橋（橋長182m）である。本橋は急崖な地形（蘇陽峡）に架かるため、地上から高所作業車による点検は不可能である。

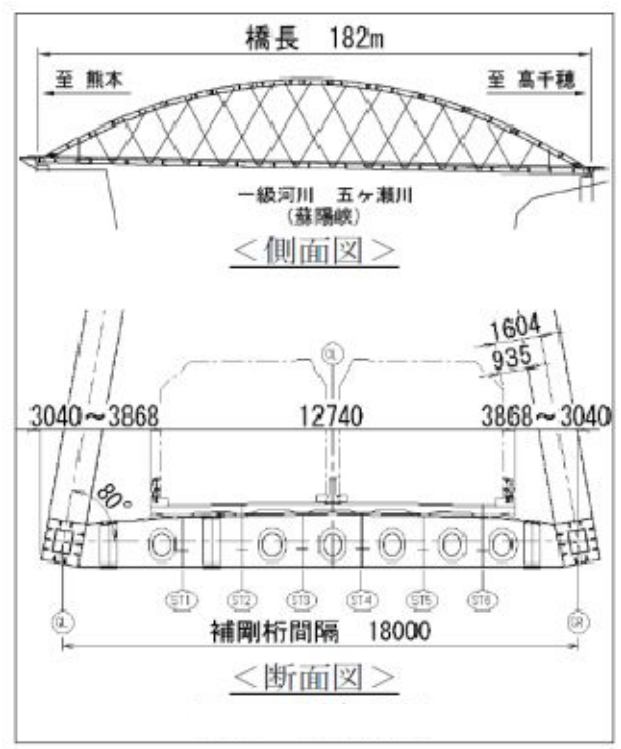


図-2側面図・断面図

橋 梁 名	蘇陽峡大橋
路 線 名	九州中央自動車道 蘇陽五ヶ瀬道路
道 路 規 格	第1種 第3級
計 画 交 通 量	10,300 台/日
大 型 車 交 通 量	438 台/日・方向
設 計 速 度	V=80km
有 効 幅 員	12.000 m=1.750m+3.500m+1.500m+3.500m+1.750m
橋 梁 形 式	鋼単純ニールセンローゼ桁橋
設 計 活 荷 重	B活荷重

表-2設計条件一覧表



写真-1完成イメージ

4. 点検方法の検討

(1) 一般的な橋梁点検方法

橋梁定期点検で一般的に用いられる大型橋梁点検車（AB1500K）を用いた場合、最大懐幅は4.2mであり、本橋において橋梁点検車のブームと補剛桁が干渉するため橋梁点検車による点検は不可能となる（図-3）。補剛桁と床版の離隔が3.5m以下の区間は点検可能であるが、ブームとの離隔が50cm以下と非常に近接すること、点検可能な範囲が限定的であること、斜材ケーブルをかわしながらのブーム展開が課題であり、作業性・安全性から問題となる。

その他の点検方法として、ロープアクセス点検やドローン点検（図-4）がある。ロープアクセス点検はすべての部材に近接可能であるが、コストや点検の長期間化、将来的な労働力不足等が課題となる。また、新技術であるドローン点検を活用することも考えられるが、鋼橋は部材が細かく複雑である上、溶接部の亀裂やボルトのゆるみ等を画像から点検・診断することは現時点で困難である。

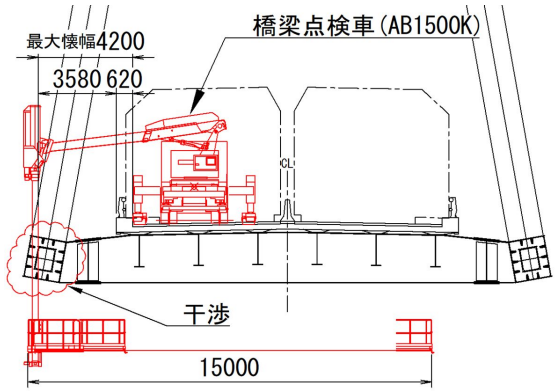


図-3断面図

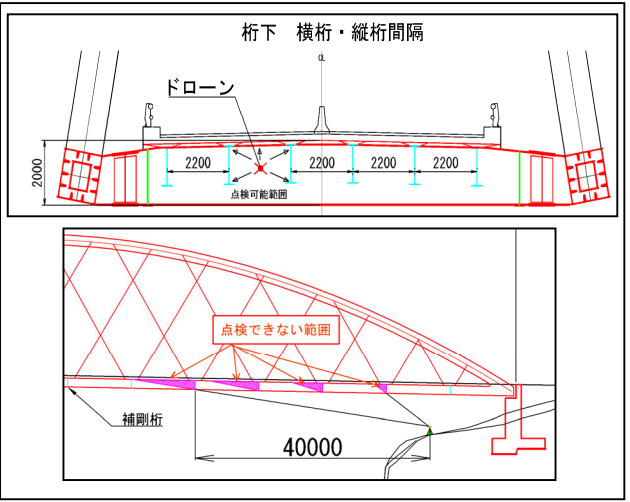


図-4ドローン点検

(2) 検査路・常設足場点検

前述の一般的な橋梁点検方法を適用することは困難であることから、点検のための足場を設ける方法が考えられる。足場は、①一般的に用いられている検査路を上部構造の縦桁間や張出し床版部、補剛桁部すべてに設置する方法（図-5）と②桁全体を覆う常設足場（図-6）の適用が考えられる。なお、常設足場の場合、補剛桁を覆うことは構造・形状寸法的に困難であるため、床版下面範囲のみとし、補剛桁部は検査路併用案となる。

検討の結果、検査路案は経済性に優れるが点検の確実性に劣る。常設足場案は、初期コストで劣るが常設足場内は密閉空間で塗装塗替えが不要となり維持管理コストを低減できる。

また、軽作業（部分塗装補修やひび割れ注入、亀裂補修等）であれば作業床として様々に活用可能であり、維持管理性に優れる。

常設足場は、アルミ合金や金属サンドイッチパネル材、FRPを用いたものなど、耐久性に優れる様々なタイプが開発されている。しかし、密閉空間で内部に光が入らないため点検時に照明設備が必要となり、作業性や点検の確実性が課題となる。しかし、紫外線を除いた光を常設足場内部に取り込むことが可能な、透光性を有する膜材を用いた常設足場を用いることで解消することが可能である。

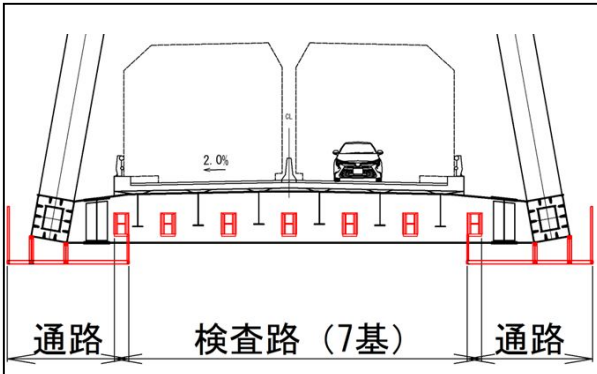


図-5検査路案

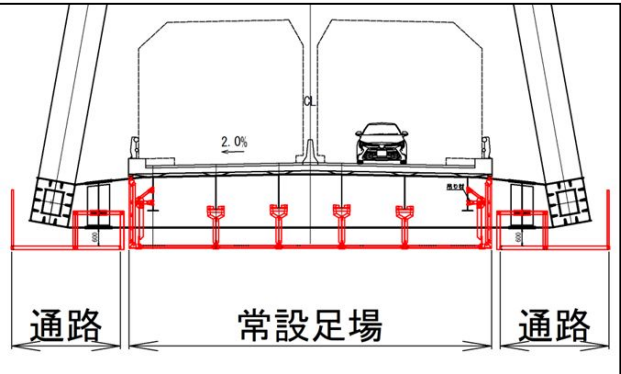


図-6常設足場案（検査路併用）

	検査路案		常設足場案	
点 検 性	・検査路からの点検に限定される	△	・すべての部材に自由に近接可能	○
経 済 性	・初期コスト（塗装含む）【1.00】	○	・初期コスト（塗装含む）【2.06】	△
	・維持管理コスト（塗替え）【0.78】	△	・維持管理コスト（塗替え）【-----】	○
維持管理性	・局所的な簡易補修には対応できる	△	・常設足場を作業床として使用可能	○

表-3 検査路・常設足場比較



写真-2 設置事例

(3) 点検可能なケーブルカバー

橋梁の構造安全性に大きな影響を及ぼす重要な部材であるケーブル部材は、耐久性の確保や確実な点検が求められる。一般的にケーブルの定着部付近には雨水浸入の防止を目的としたケーブルカバーが設けられ、腐食等に対する耐久性が確保されている。ただし、一般的なケーブルカバー（写真-3）はSUSバンドで取り付けられコーキング材で止水されており、点検時に取り外し内部を確認することは困難である。そこで取り外すことなく内部の状況を確認できる、開閉式ケーブルカバー（写真-4）が有効となる。ケーブルカバーの点検用開口部は水密性のあるファスナーとし、雨水がファスナーに直接当たらないように覆いをラップさせるなど止水性も確保されている。



写真-3開閉式ケーブルカバー



写真-4一般的なケーブルカバー

(4) 排水装置の検討

路面排水並びに、橋面排水を行う上で、河川管理者である熊本県と協議を行った結果、次のような回答があった。「汚濁を防ぐため、集約流下及び油水分離桝の設置が望ましい。」従って、橋梁排水方法としては、

- ① 排水桝+横引管（計算上必要な間隔で排水桝を設け、縦桁に設置した支持金具・横引き排水管により、橋台部まで導水する構造）写真-5
 - ② 鋼製排水溝（路面地覆部に鋼製の導水溝を設置し、橋面上を利用して橋台部まで導水する構造）写真-6
- 本橋は、急崖な地形を渡河しているため、桁下からの維持管理が困難であることを踏まえ、初期コストは高価であるが、ライフサイクルコストに優れ、橋面から維持管理を行うことができる、ステンレス製の鋼製排水桝を採用した。



写真-5排水桝+横引管



写真-6鋼製排水溝

5. まとめ

本橋のような吊り構造形式の橋は、ケーブルに破断等が生じることで、橋全体が致命的な状態に陥る可能性や、橋全体の挙動に大きな影響を与えることが懸念される。そのため、ケーブルの劣化、定着部の状況など、特有の損傷や劣化を把握し、それに着目した点検行う事が重要である。

最後に、多大なご支援、ご協力いただきました関係者の皆様に深く感謝の意を申し上げます。

参考文献

- 1) 小川祥ら：点検・保守・交換の維持管理性に優れた橋梁用開閉式ケーブルカバーの開発，土木学会第77 回年次学術講演会，I-50，2022

連続鉄筋コンクリート舗装の採用について

乾 瑛太¹・下青木 克彦¹・渡邊 佳彦¹

¹宮崎河川国道事務所 道路管理第二課 (〒880-8523 宮崎県宮崎市大工2丁目39番地)

宮崎河川国道事務所での舗装の維持管理において、舗装の老朽化に伴う舗装修繕箇所の増加が課題となっており、LCC縮減についての取組として連続鉄筋コンクリート舗装を実施した。本稿は、現道における連続鉄筋コンクリート舗装の採用についての検討及び施工している区間について報告するものである。

キーワード 連続鉄筋コンクリート舗装、現道、交通切り回し、LCC、分割施工

1. はじめに

宮崎河川国道事務所では、直轄国道約238 kmを管理しており、限られた予算の中で毎年優先順位をつけ舗装修繕を実施している。しかし、舗装修繕が必要な箇所は年々増加傾向にあり、舗装の老朽化によるポットホールなどの応急対応を、管内で年間約3000件行っている状況のため、ライフサイクルコスト（以下、LCCと略す）の縮減は舗装の維持管理を考えるうえで必要となる。今回LCC縮減に向けた取組として、約1.5km区間において連続鉄筋コンクリート舗装を採用した。



図-1 施工箇所位置図

2. 連続鉄筋コンクリート舗装について

近年の限られた予算の中で舗装の長寿命化を考えていくにあたり、コンクリート舗装はアスファルト舗装に比べ「耐流動性」「耐久性」「耐熱性」などに優れている。その上、アスファルト舗装に比べLCCが安価（図-2）というメリットがある。実際に交通量が多い直轄国道においても約50年間大規模補修なしという実績もあることから、舗装の長寿命化、老朽化対策として有効と考えられる。

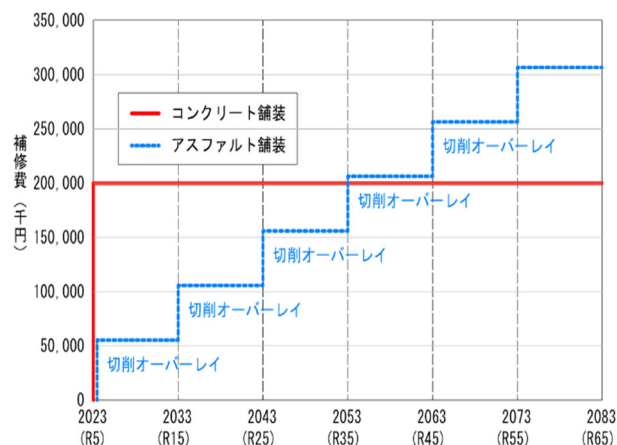


図-2 ライフサイクルコスト概念図

コンクリート舗装には『普通コンクリート舗装』『連続鉄筋コンクリート舗装』『転圧コンクリート舗装』など様々な種類がある。このうち普通コンクリート舗装や転圧コンクリート舗装には横目地があり、目地部からの浸水によりコンクリート舗装が損傷する可能性がある。それに対し連続鉄筋コンクリート舗装は、コンクリート版の横目地を必要としない構造のため、目地による構造

的な弱点はなく、さらに目地部による路面の凹凸もなくなり、騒音・振動の発生を軽減できる舗装である。

また施工面では、連続鉄筋コンクリート舗装の主な工法として、「セットフォーム工法」と「スリップフォーム工法」がある。セットフォーム工法は、型枠およびレールを設置し、レール上を機械が走行してコンクリートを打設する工法である。一方、スリップフォーム工法は、型枠を設置しないでコンクリートを連続的に打設することが可能な工法である。（図-3）今回の施工では、工期縮減を図るため型枠を必要としないスリップフォーム工法を採用した。



図-3 スリップフォーム工法による施工状況

3 施工箇所選定

(1) 選定箇所の条件

コンクリート舗装はコンクリート打設後に14日程度の養生期間が必要となるため、交通規制の即日開放は不可能である。そのため、選定箇所としては、交通の切り回しが可能な箇所であり、沿道に民家や商業施設等が無いことが条件となる。また、施工後に維持管理のための掘り返しが困難であり復旧にも時間を要することから、道路内に地下埋設物が設置されていない箇所が適している。

上記条件を満たしている箇所として、国道220号の宮崎南バイパスの4車線区間を選定した。

本路線は、市街地や宮崎空港から多くの観光客も訪れる「青島」や「日南」へのアクセス道路となっている。

（図4）そのため景観についても、コンクリート舗装の特徴である白色系の舗装が、南国宮崎のイメージに調和するかが懸念されたため、コンクリート舗装の色相・明度・彩度を調べ、パースを用いたイメージ図を作成し景観への影響がないことを宮崎市と確認したうえで選定を行った。（図-5）（図-6）



図4 観光地へのアクセスルートとなる対象路線



図-5 施工前の舗装状況



図-6 パースを用いたイメージ図

(2) 現況交通を確保しながらの交通規制

前述したように、コンクリート舗装は養生期間が必要であるため交通の切り回しが必要となる。

迂回路としては、近くに県道が通っていたが、施工箇所の現況交通量を受け持つのは困難であったため、一般車両の切り回しについては、上下線に分けて施工を行うことで、上り車線を施工する際には下り車線を対面交通とし、下り車線を施工する際には上り車線を対面交通とした交通切り回しを実施した。（図-7）

当初は交差点間を利用して切り回しを実施する計画であったが、交差点2カ所を通行止めになると、地元車両を大きく迂回させることとなるため、地元住民への配慮として通行止めとする交差点は1箇所となるように、交差点を挟んだ形で中央分離帯をカットし仮設道路をシフト区間として設置した。（図-8）

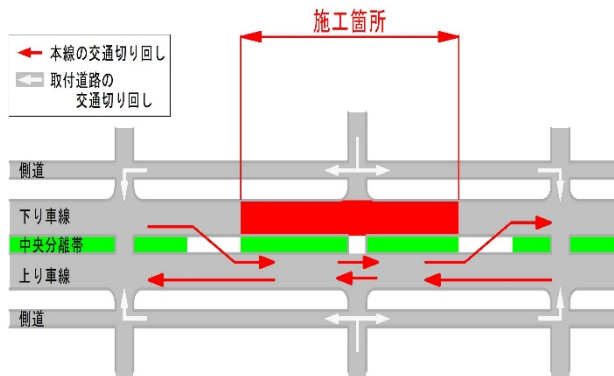


図-7 交通切り回しイメージ図（上り車線施工時）



図-8 シフト区間状況（中央分離帯を一時撤去）

(3) 分割施工

連続鉄筋コンクリート舗装は、ひび割れを鉄筋で分散させるという構造上、200m以上の施工延長が望ましいとされている。また、施工機械の運搬や設置費用が高額であるため、施工延長が長い方が経済的に効率が良い。

一方で、本路線および周辺施設においては毎年12月に青島太平洋マラソン、2月にはプロ野球の春季キャンプが行われるため、本路線の施工期間は路上工事縮減期間も踏まえて、4月から11月までの約8カ月間という期間的な制約がある場所である。（図-9）

当該施工箇所は1.5kmと延長が長いいため約8カ月の工期内で実施可能な最大延長として、一つの工区を500m以内に設定し8工区に分けた分割施工とした。（図-10）

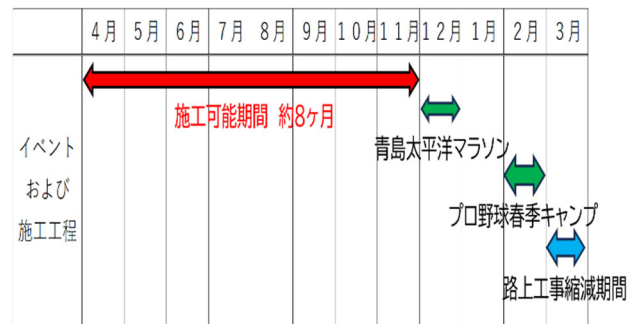


図-9 イベントと施工期間



図-10 分割施工区間位置図

また、施工延長の決定については交通規制延長が長すぎると、速度低下による渋滞の発生が懸念されたため、警察と協議を行い、安全性なども踏まえ施工延長を決定した。（図-11）

交通規制は24時間規制であるが、令和4年度に宮崎〜日南がつながった東九州自動車道への通過交通の分散もあり、規制中に交通渋滞等は発生しておらず、事故やクレーム等のトラブルも無く施工できている。（図-12）

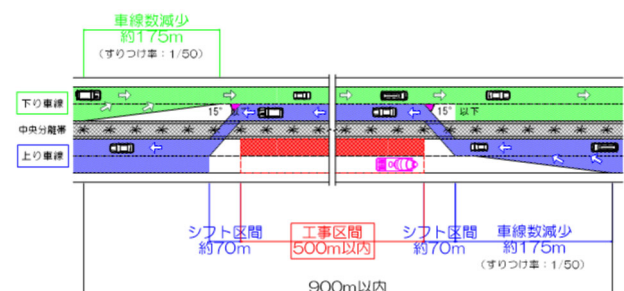


図-11 交通規制延長の概念図



図-12 施工区間の規制状況

4. 現況報告

現在までの施工完了箇所については、連続鉄筋コンクリート舗装を採用したことで、横目地による騒音や振動もなく走行性もよい状況であり、特段問題等は発生していない。

また、施工時の工夫として、路肩の舗装をアスファルト舗装とし、その上に外側線を引くことで視認性を向上させている。（図-13）

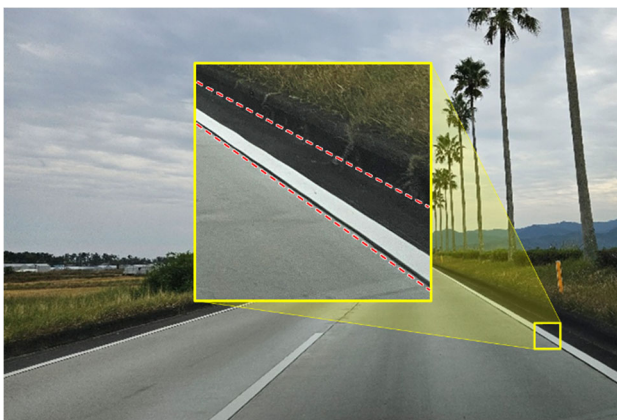


図-13 施工後の区画線の状況

5. 今後の展望

これまで、コンクリート舗装は主に大型車の交通量が多い重交通道路や簡単に修繕の行えないトンネルに採用されてきたが、今回のように一般国道の舗装修繕工事における導入も可能であることが分かった。今回の事例を参考に、重交通道路やトンネル以外においても、導入に必要な条件を満たす箇所では、新設・修繕を問わず、アスファルト舗装とコンクリート舗装の比較検討を行い適切に採用することで、舗装の長寿命化やそれに伴うLCCの低減を図っていきたい。

謝辞：今回施工いただいた施工業者の皆様、協議資料の作成・調整頂いたコンサルタント様、そして工事にご協力頂いた地元住民の皆様、本当にありがとうございました。

九州の東の玄関口としての物流機能の強化 (～非効率な荷役作業と積載制限の解消～)

金子 結希芽¹・森満 賢治¹・民部 久雄²

¹九州地方整備局 別府港湾・空港整備事務所 工務課 (〒874-0919 大分県別府市石垣東10-3-15)

²九州地方整備局 別府港湾・空港整備事務所 保全課 (〒874-0919 大分県別府市石垣東10-3-15)

大分港は九州の東部に位置し、海路と陸路の結節点として、九州各地域へのアクセス拠点の役割を果たしている重要港湾である。本報告では、大分港を発着するRORO船のシャーシ台数も年々増加傾向にある既存ターミナルにおけるRORO船の運用に対する課題を解決するために新規事業を起ち上げ、整備前と整備後で物流機能が強化された事例について報告するものである。

キーワード 喫水調整、積載制限、シャーシ

1. はじめに

大分港は、九州の東部、別府湾南岸に位置し、気候温暖、海上静穏で自然条件に恵まれている。海上においては関東、関西及び四国地方と連絡し、陸上においては東九州自動車道、大分自動車道、中九州横断道路の分岐点として九州における東の玄関口としての役割を果たしている。

本港は港湾整備の伸展に伴い、取扱貨物量、入港船舶隻数などが順調な伸びを示し、特に臨海工業地帯に立地した各企業の操業開始によってその伸びは飛躍的なものとなっている。

既存ターミナルが立地する大在地区は大分港の物流拠点となっているが、運用面での様々な課題点が挙げられたため、令和2年よりRORO船[※]専用の新たなターミナルの整備が開始された。本稿では、新たなターミナル整備による効果について報告するものである。

※RORO船・・・貨物を積んだトラックやシャーシ(荷台)ごと輸送する船舶のことです。発地(港)ではトレーラが乗船し、貨物を積んだシャーシを切り離して船側に載せ(ロール・オン)、トラクタヘッドだけが下船します。着地ではトレーラヘッドだけが乗船してシャーシを連結し、そのまま下船(ロール・オフ)、陸送します。



図-1 位置図

西大分地区 住吉地区

2. 課題点

(1) 積載制限、非効率な荷役作業

既存ターミナルの岸壁水深は-7.5mであり、就航しているRORO船は満載での運用が出来ず、積載台数を制限せざるを得ない現状である。

また、シャーシ置き場の不足や、岸壁背後のシャーシ置き場が狭いため、離れた置き場への陸上輸送が頻発していた。さらに、航路は定時制が求められ、決められた荷役時間内に積み込み・積み卸しを終えなければならぬため、大量のトラクタヘッドが必要になり、コスト及び人員増大の問題にも繋がっていた。



写真-1 大分港(大在地区)航空写真



写真-2 大分港 航空写真(全景)

(2) 新規事業起ち上げのきっかけ

既存ターミナルは、2002年7月に商船三井フェリーが大分～東京航路を開設、2015年3月の東九州自動車道全線開通以降、広域交通ネットワークの充実に伴い、2016年10月に川崎近海汽船が大分～清水（静岡）航路を開設し、大分港発着のRORO船シャシー台数は2015年から2024年で約4倍に増加している（図-2参照）。同じく、取扱貨物量も増加傾向にあり、2016年から2024年で約20倍に増加している（図-3参照）。

今後も、トラックドライバー不足問題等もあり、RORO船による貨物輸送の需要は増加傾向にあると考えられる。



図-2 シャシー台数推移

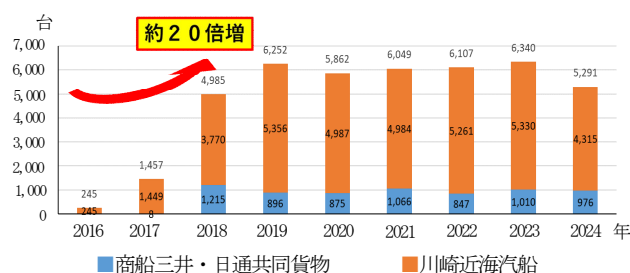


図-3 貨物量推移

表-1 大分港におけるRORO船定期航路

船社名	航路	寄港頻度	寄港地
川崎近海汽船(株)	清水-大分航路	週3回 (火・木・土)	大分→清水
(株)商船三井さんふらわあ日本通運(株)	東京-九州・瀬戸内航路	週4回 (火・金・日)	東京→博多→大分→東京

このような状況下、原状の積載制限や、非効率な荷役作業を解消するため「大分港大在西部地区複合一貫輸送ターミナル整備事業」を起ち上げた。なお、本岸壁は耐震強化岸壁として位置づけられ、災害時の防災拠点としての役割も期待されている。

《施設概要》

(直轄整備)

- 岸壁：水深-9m 2バース
(延長240m(耐震)、220m(耐震))

- 泊地：面積2.4ha
- 中防波堤延伸：延長100m
- 西防波堤：延長135m

(大分県整備)

- ふ頭用地：面積21ha
- 護岸：延長125m
- 臨港道路：延長340m



写真-3 施設概要



写真-4 整備効果

3. 施工中における工夫点

直轄施工の岸壁整備にあたっては、まず支障となる既設護岸を撤去するために、護岸背後に土留めの仮設矢板を打設した。その後、既設護岸を撤去し、ケーソン基礎マウンド直下の地盤改良を行い、基礎工、本体工、裏込・裏埋工・上部工を整備した。その後、付属工(車止め、係船曲柱等)や舗装工で仕上げていく（図-4 参照）。この工程をより迅速に進めるため、また岸壁利用者がより良く使用できるように、次のような工夫を凝らした。

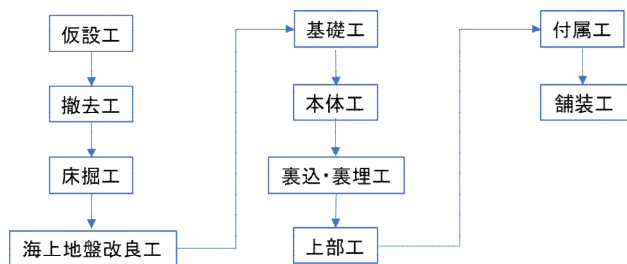


図-4 施工フロー

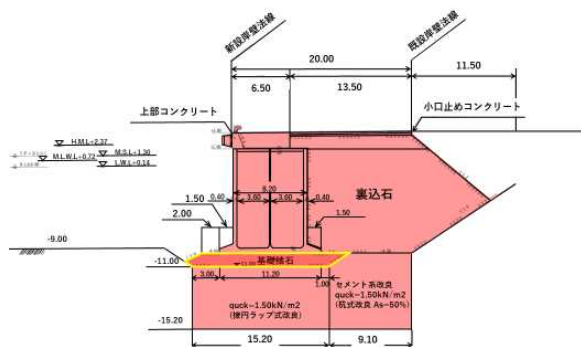


図-5 標準断面図



写真-5 仮設工



写真-6 地盤改良工



写真-7 本体工 (ケーソン製作)



写真-8 本体工 (ケーソン据付の様子)

(1) 基礎工の機械均し

本岸壁の基礎工は、基礎捨石均しが約 4,000m²と広範囲であり、基礎工の工程に占める施工の割合が大きくなるため、重錘式機械均し工法を採用することで、基礎工における捨石マウンドを効率的に築造することができた。

重錘式機械均し工法によるメリットとしては、潜水作業を大幅に低減できる。例えば、標準的な人力均しによる作業日数と比較した場合、以下のとおり約 63%程度の低減効果がある(図-8 参照)。また、人でなく機械が作業をすることによって、潜水士が雑石に手を挟んでしまったり、水圧の変化による体内の窒素の溶解や放出によって引き起こす減圧症を発症することもなく、より安全性の高い施工を行うことが出来る。



図-6 人力による雑石均し

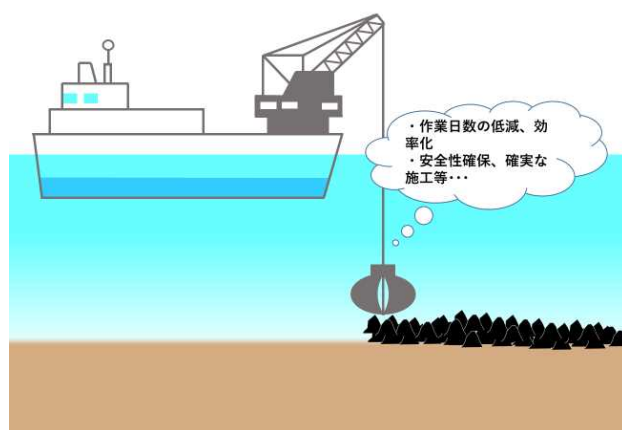


図-7 機械による雑石均し

施工方法	5月	6月
人力均し	43.61日	
重錘式機械均し工法	15.99日	約 63%低減

図-8 工法の比較表

(2) 蓋コンクリートのプレキャスト化

ケーソンを据付後、蓋コンクリートを施工する際に、海上打設の場合、潮位によってケーソン天端が水没するため、中詰砂の吸出しや硬化途中のコンクリートの分離等の懸念、運搬・打設作業では潮待ちによる工程遅延の可能性が考えられる。そのため、海上コンクリート打設作業を効率的に施工し、工期短縮を図るために、蓋コンクリートのプレキャスト化を行った。

プレキャスト化のメリットは、蓋コンクリートの据付作業及び間詰コンクリートの海上打設作業と、蓋コンクリート全数量を海上打設する案と比較した結果、約 60%以上の作業時間の低減効果があった(図-9 参照)。

施工方法	実働時間
起重機船を用いて生コンクリートを運搬+蓋コンクリート打設	26.70日
蓋ブロック据付+間詰コンクリート打設	10.23日

約 60%低減

図-9 工法比較表

また、間詰コンクリートが潮待ちとなった場合も、プレキャスト化した蓋コンクリートの据付が完了していれば、1マス当りの面積も 90%以上を覆うこととなり、中詰砂の吸出し防止も図ることができる(図-10 参照)。



写真-9 ケーソン天端が水没する様子

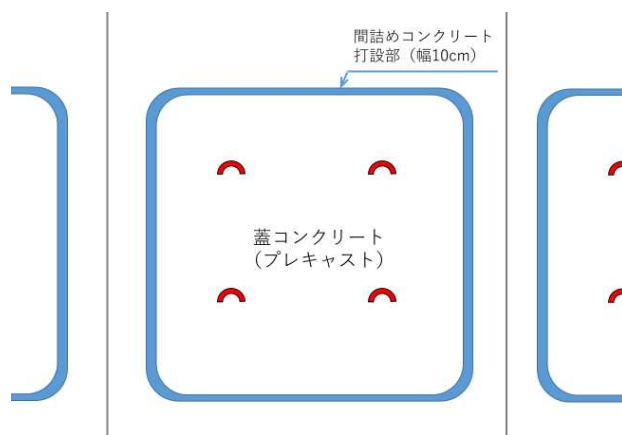


図-10 蓋コンクリートイメージ図

(3) サイドランプの配置を岸壁利用者と調整

荷役の際にRORO船への出入り口となるサイドランプと係船曲柱の位置関係について、通常であれば、係船曲柱は等間隔に配置されるが、サイドランプと接触してしまう箇所については、岸壁利用者と調整し、係船曲柱の位置を移動させることとした(図11~12参照)。



写真-10 サイドランプの位置

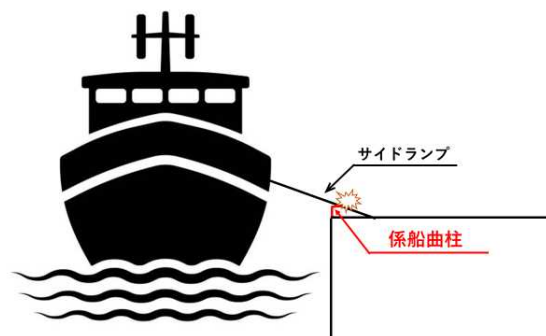


図-11 サイドランプと係船曲柱が接触するイメージ

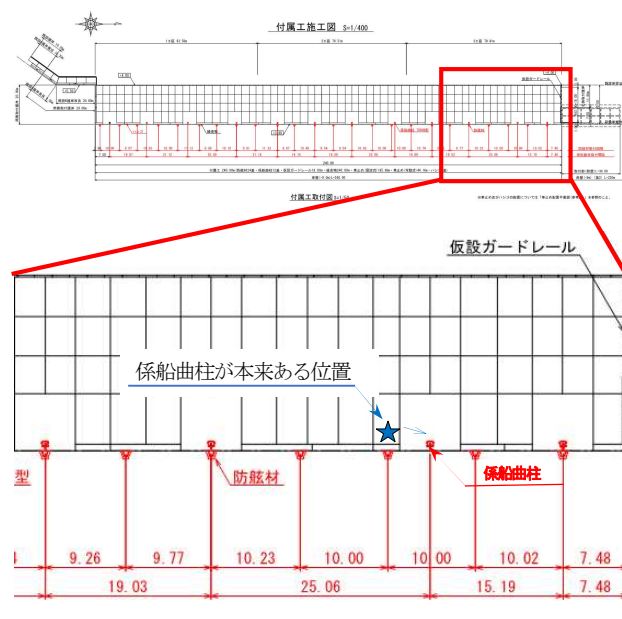


図-12 付属工平面図

(4) 船舶係留付近の照明について

シャーシ置き場として利用するふ頭用地には、照度確保を目的に照明を配置しているが、シャーシ置き場のみ照度確保をされていても、RORO船の係留付近の照度が確保されていなければ、安全な荷役作業ができないため、RORO船方向に照明が当たるよう配置したことも、岸壁利用者がよりよく使用できるように行った一つの工夫である(写真-11 参照)。

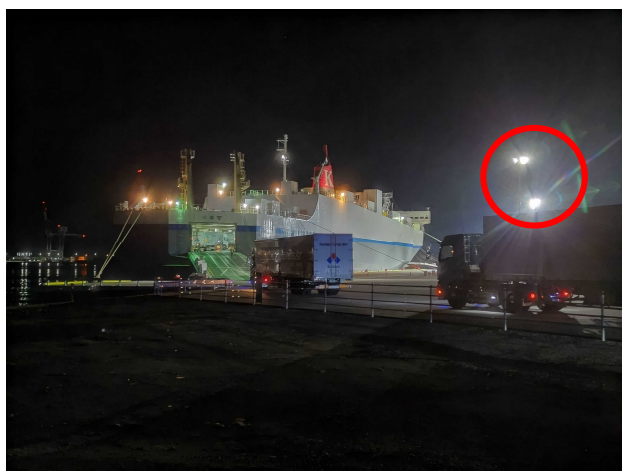


写真-11 RORO 船向けに配置された照明

4. 整備完了したその後

(1) 積載制限の解消、効率化される荷役作業

整備前の貨物積載率は、喫水の関係により、130 台積載できる中で、78 台を積載した 60%であったが、整備後 130 台中の約 109 台積載することができ、約 84%まで上げることができた。積載制限については、岸壁水深－7.5m から－9m と深くしたことによって、喫水調整の必要性がなくなり、積載制限の解消も実現された。

また、ふ頭用地を大分県が施工したことにより、シャーシ置き場の集約や、5.9ha から 14ha と約 2.4 倍拡張され、トラクタヘッドも大量に用意する必要がなくなり、コスト及び人員削減を図ると共に、シャーシ台数の増加需要にも対応することができた。シャーシ搬入時の受付や駐車場管理等、これまで人で行ってきた作業を、自動受付や駐車場所をシステムで管理することにより、船社や運送会社等の荷役作業の効率化を図ることができた。駐車場管理システムの施工で、より効率的な荷役作業を図ることができた。

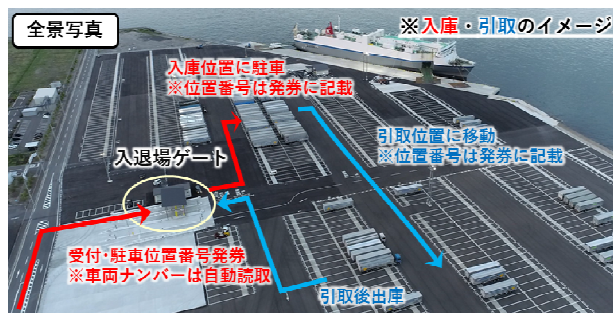


写真-12 シャーシ置き場の全景写真



図-13 駐車場管理システム概要



図-14 駐車場管理の比較

さらに、耐震強化岸壁として整備したことにより、南海トラフ地震等の大規模災害時においても、緊急支援物資輸送岸壁として活用でき、地域住民の生活維持が図られ、地域の安全・安心が確保できる。幹線貨物輸送ネットワークの拠点として、大規模災害時においても一般貨物輸送を確保することにより、地域経済のみならず、我が国の経済・産業活動の維持に寄与する。

(2) 交通インフラ整備の進展

大分港と中九州横断道路は、物流効率化と産業活性化に貢献する関係にある。中九州横断道路は、大分市と熊本市を結ぶ高規格道路であり、大分港は、関東や関西方面への貨物フェリーが就航するため、中九州横断道路が整備されることで、大分港へのアクセスが向上し、九州各地からの物流効率化が期待されている。



図-15 交通インフラの整備状況

(3) 利用者の声

利用者からは、「岸壁水深が深くなったことで操船上安心して接岸できるようになった。」という声や、「シャーシ置き場が集約されて、シャーシが錯綜することなく作業環境が大きく向上した」との声があった。

5. おわりに

1 バース目の整備が完了し、東九州自動車道の全線開通、中九州横断道路の整備も進み、ますますの貨物輸送需要の高まりへの対応として、本ターミナルの2バース目の整備を目指していきたい。



写真-13 整備後の大在西地区

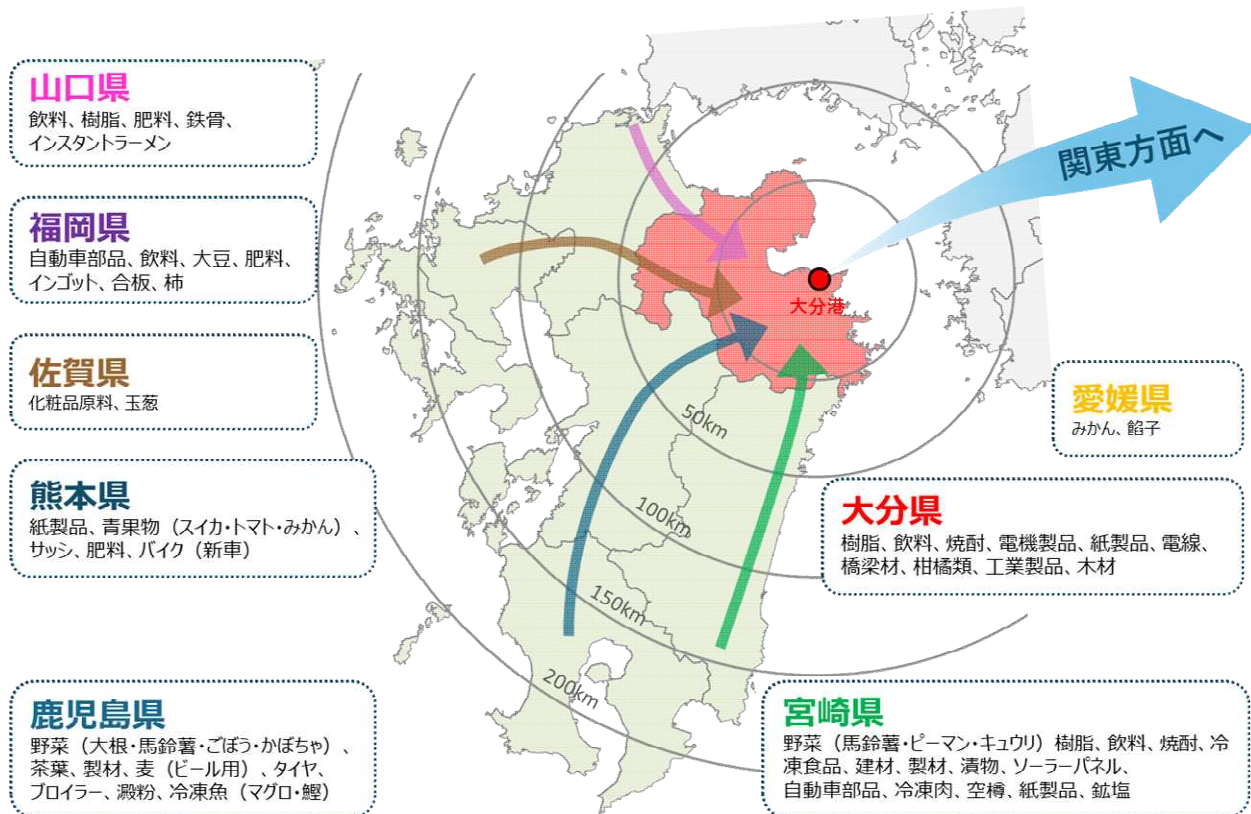


図-16 大分港の集荷エリア状況

修繕代行事業について

有村 愛琉¹・服部 浩一¹

¹九州地方整備局 鹿児島国道事務所 管理第二課（〒892-0812 鹿児島県鹿児島市浜町2番5号）。

天大橋は1984年（昭和59年架設）に竣工し、「道路法等の一部を改正する法律（平成25年6月）」に基づき、薩摩川内市が道路橋定期点検要領による橋梁点検を行っていたが、平成29年の点検でASR（アルカリ骨材反応）による劣化が疑われる損傷が確認され、「道路メンテナンス技術集団」による直轄診断を行い、その診断結果を受けた薩摩川内市より修繕代行の要望があったため、令和元年度より鹿児島国道事務所が対策の検討及び工事を行うこととなった。

本稿は、直轄診断から補修工法の検討、修繕代行による補修工事完了までの取組みを紹介するものである。

キーワード 修繕代行, 直轄診断, 天大橋, ECI方式, 薩摩川内市

1. はじめに

鹿児島県薩摩川内市が管理する天大橋（図-1）は、直轄診断及び修繕代行による補修が行われた。

天大橋は1984年（昭和59年架設）に竣工し、「道路法等の一部を改正する法律（平成25年6月）」に基づき、薩摩川内市が道路橋定期点検要領による橋梁点検を行っていたが、平成29年の点検でASR（アルカリ骨材反応）による劣化が疑われる損傷が確認され、原因究明と適切な補修工法の検討にあたっては高度な技術力が必要となった。



図-1 天大橋

薩摩川内市からの要請を受け、九州地方整備局、国土技術政策総合研究所、国立研究開発法人土木研究所の職員で構成された「道路メンテナンス技術集団」による直轄診断を行い、その診断結果を受けた薩摩川内市より修繕代行の要望があったため、令和元年度より鹿児島国道事務所が対策の検討及び工事を行うこととなり、昨年度施工完了している。

本稿は、直轄診断から補修工法の検討、修繕代行による補修工事完了までの取組みを紹介する。

2. 修繕代行について

修繕代行とは、地方公共団体（都道府県や市町村）が、修繕工事を自分たちで実施できない場合に、国土交通大臣が代わって工事を請け負う制度である。本来であれば地方公共団体の管轄になるが、特別な技術力が必要・または財政力によっては地方公共団体で実施できない等、やむを得ない場合があるため、要請があった場合に国土交通省より「道路メンテナンス技術集団」が派遣され、直轄診断ののち、技術的助言が報告される。診断の結果、内容や地域の実情等に応じた形で修繕代行事業、道路メンテナンス事業補助等を国より実施する。

現在まで、九州地方整備局では3橋の修繕代行事業が実施、または計画されている（図-2,3,4）。その中でも今回紹介する天大橋は既に修繕代行工事がR6年に完了しており、九州初の修繕代行工事完了箇所となる。

九地整の主な修繕代行事業

よびこおおはし
呼子大橋：佐賀国道事務所
直轄診断：H27
修繕代行：H28～



図-2 呼子大橋

てんたいばし
天大橋：鹿児島国道事務所

直轄診断：H30

修繕代行：H31～R6



図-3 天大橋

ひのしまおほし
樋島大橋：熊本河川国道事務所

直轄診断：R6

修繕代行：未着手



図-4 樋島大橋

3. 天大橋の概要

(1) 概要

天大橋（図-5）は、鹿児島県薩摩川内市に位置する都市計画区域北部の高城地域と市内中心部の向田地域を結び、一級河川川内川を跨ぐ全長517.57mのコンクリート道路橋である。

【天大橋 諸元】

- 1) 路線名：市道 隈之城・高城線
- 2) 橋梁名：天大橋（てんたいばし）
- 3) 橋梁形式：4 種類の上部工構造、全 16 径間
PC 単純プレテンT桁橋 A1-P4
PC 単純プレテン中空床版橋 P4-P8、P11-P12
PC ポステン有ヒンジラーメン橋 P8-P11
PC 単純ポステンT桁橋 P12-A2
- 4) 橋長：L = 517.57m
- 5) 幅員：W=13.0m（車道有効幅員 W=7.0m）
- 6) 交通量：19,620 台 / 日
（大型車混入率：3.5% R3 年度調査時）
- 7) 竣工年：1984 年（昭和 59 年架設）

図-5

(2) 直轄診断の結果

上部構造はプレテンT桁、プレテン中空床版、ポステン箱桁、ポステンT桁と4種類の形式が存在する。

直轄診断の結果、プレテンT桁、ポステンT桁におけ

る劣化損傷は比較的少なかったが、プレテン中空床版、ポステン箱桁においては、このまま進行すると橋の安全性に影響すると考えられるひびわれ等の劣化損傷が確認された。

また、当該ポステン箱桁は、中央ヒンジを有する構造であるが、路面高測定の結果、中央ヒンジ部の垂れ下がりが確認された（図-6）。

また、箱桁内部のヒンジ部分においても上床版側の遊間が設計値よりも狭くなっていることが確認された（写真-7）。

下部構造に関しては、陸上部に存在する張出式及びラーメン式の橋脚においては大きな劣化損傷は見られないが、河川内に存在する壁式（小判型）橋脚においては0.2mm以上のひびわれが多数見られた。

プレテン中空床版、ポステン箱桁に対して実施したSEM-EDS試験及びカナダ法による残存膨張量試験の結果、当該橋梁にはASR反応性骨材が含まれており、残存膨張率も有害の範囲であることが明らかとなった（写真-8）。



図-6 中央ヒンジ部の垂れ下がり

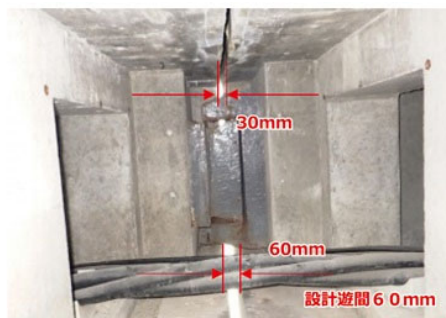


図-7 中央ヒンジ部の遊間状況

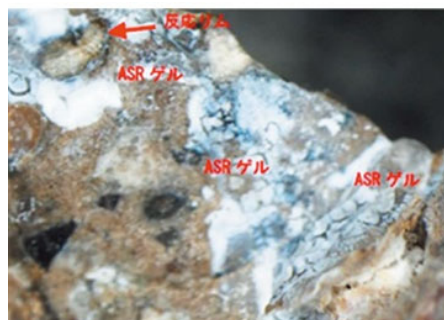


図-8 SEMによる目視試験結果

4. 着手前計画

今回直轄診断結果を受け、検討しなければならない箇所が主に3つある。

(1) ポステン箱桁における中央ヒンジ部の垂れ下がり対策

中央ヒンジ部の垂れ下がり要因を推定するため長期荷重によるクリープを考慮し、建設から現在までの中央ヒンジ部の変位量を計算した結果、計画高より15.5cm下がる結果となった。検討の結果から、長期荷重によるクリープ変形も中央ヒンジ部の垂れ下がりの原因のひとつであると考えられた。

また、当該橋梁はASR骨材を含んでおり、残存膨張率が有害の範囲となっていることから、今後ASRが進行することによる中央ヒンジ部の垂れ下がりを防止する必要がある。

対策として、中央ヒンジ部の連続化によりヒンジ構造から剛結構造へと構造変更（図-9）することで変形を拘束する方法を採用した。

構造変更に伴い構造に作用する応力状態が変わるため、曲げせん断耐力が不足する箇所については外ケーブル、炭素繊維シートにより補強することとした。

また、ASRの進行により静弾性係数が低下し垂れ下がりが進行する恐れがあるため、橋面防水工により劣化因子を遮断する対策を行うこととした。

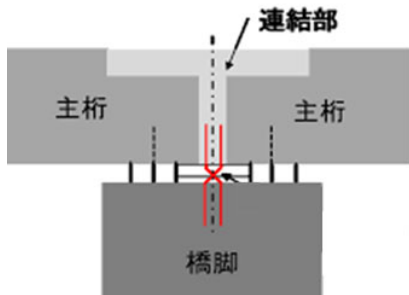
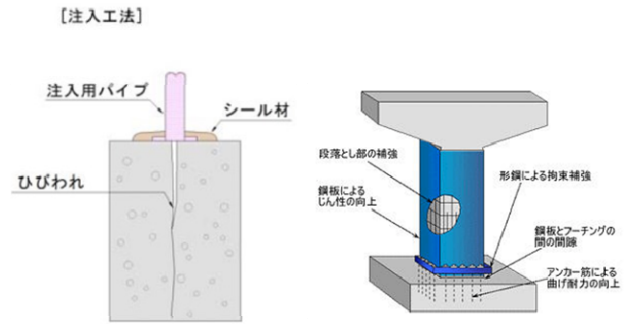


図-9 ヒンジ構造から剛結構造へ構造変更

(2) 河川内RC橋脚におけるASR対策工

ポステン箱桁の河川内橋脚については、ASRによる残存膨張率が有害の範囲であり、ひび割れは今後も進行することが推測された。また、水、酸素等の劣化因子の浸入により内部鉄筋の腐食を助長させる可能性があり、劣化因子を遮断する対策もあわせて行う必要があった。

このため、ひび割れ補修工によりひび割れ注入を行い、劣化因子を遮断したうえで、RC巻き立てにより既設橋脚を拘束し耐荷力の低下を防ぐこととした（図-10）。



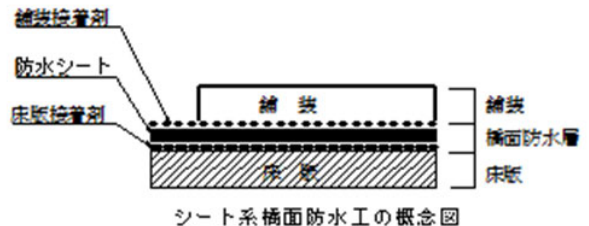
（図-10） ひび割れ注入、橋脚巻き立て工

(3) プレテン中空床版下面のひびわれ対策

プレテン中空床版の主な損傷は、床版下面の橋軸方向ひび割れであり、平成30年度直轄診断時の調査では、プレテン中空床版のASRによる残存膨張率率は、有害の範囲である事が確認された。

路面の滞水、さらには降雨の度に桁内部へ滞水が確認されていることを考慮すると、今後、水が浸入し続けることで状態が確実に悪化し、ひび割れの急激な進行、縦締め、横締めPC鋼材の腐食等が懸念された。

このため、橋面防水工、耳桁端部への水切り設置工、ひび割れ補修工により劣化因子の侵入を遮断する対策を講ずることとした（図-11）。



シート系橋面防水工の概念図

（図-11） 橋面防水工

5. 通行規制について

日交通量2万台が利用する天大橋を長期にわたり全面通行止めにするることによる周辺道路への影響を低減させるため、(1)通行規制期間の短縮、(2)通行規制に対する道路利用者の認知度向上、(3)渋滞発生時における即時対応が課題となった。

そこで、効果的な渋滞対策を検討するため、天大橋を利用している車両の動向を調査、ETC2.0プローブデータを用いた交通解析を行い、通行規制を実施した場合の周辺道路の交通量を推計し、渋滞対策を検討した。

(1) 通行規制時間の短縮

今回工事はECI方式（図-12、13）（設計段階から施工者が関与する方式）を採用しており、設計段階から施工業者とともに規制期間の短縮に向けた施工方法の検討を行った。これにより本来87日間通行規制が必要とされ

ていたところを6・7日にまで短縮することができた。

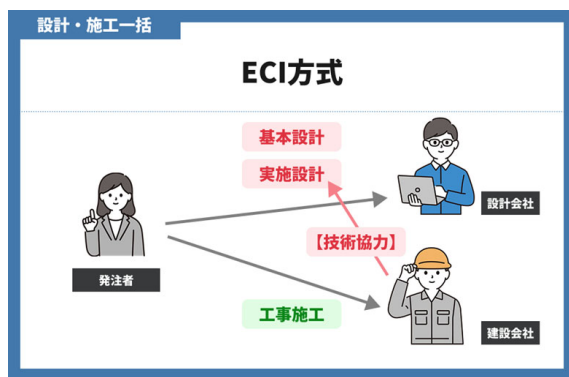


図-12 ECI方式



図-13 ECI方式

(2) 通行規制に対する道路利用者の認知度向上

関係機関への事前説明、薩摩川内市の市報と公式LINEでの周知、全ての道路管理者・交通管理者による道路情報板への表示、ラジオ放送、周辺店舗等へのポスターの掲示などの取り組みを行った（図-14）。

また、郵便局の「配達地域指定郵便物」を利用し、当該地域に存在する全ての住宅・事業所等（約1万4千戸）に対して工事チラシを配布した。

さらに、ETC2.0プローブデータを用いた交通解析結果を参考に、通行規制の1ヶ月前から天大橋の高欄や周辺の跨道橋など、道路利用者の目に付きやすい場所に横断幕、規制看板を設置した。

国交省	薩摩川内市	施工業者
記者発表	市報	チラシ配布
道路情報版	ラジオ	横断幕
X(旧Twitter)	LINE	規制看板
関係機関へ説明	周辺住民へ説明	
問い合わせ窓口	問い合わせ窓口	

図-14 関係機関による取り組み状況

(3) 渋滞予測に基づく即時対応

ETC2.0プローブデータを用いた交通解析により天大橋を利用する車両の約6割が、国道3号へ転換することが確

認されたため、国道3号の実測交通量と推計交通量を比較することで交通解析の現況再現性を確認し、通行規制時の交差点の渋滞予測を行った。

また、予測結果については、信号現示に関する交通管理者との協議に活用した。

通行規制初日（R4.2.1）、市街地の太平橋・開戸橋を含む主要な道路の旅行速度と渋滞長調査を実施し、朝の通勤時間帯の所要時間を通行規制前後で比較したところ、所要時間が約3倍に増加し、その他の路線においても渋滞が確認されたが、事前に交通管理者へ渋滞予測結果を提供していたことから、速やかに信号現示が変更され、翌日には県道42号の渋滞長：現示変更前600m → 変更後100m になるなど、渋滞が概ね解消された。

6. 天大橋施工

直轄診断を受けて修繕施工するものは、(1)ひび割れ補修工(2)橋面防水工(3)伸縮装置取り替え工(4)コンクリート巻き立て工〔Ⅰ期〕(5)コンクリート巻き立て工〔Ⅱ期〕(6)舗装工(7)水切り設置工、以上7つの工種に分けられる。

天大橋の施工は1期工事～8期工事にて施工している。令和3年2月から着手し、令和7年3月までの工期となり、着工から約4年かけて事業が完了した。

7. おわりに

今回の修繕代行工事にて1番懸念点として挙げられていたものが地元住民からの苦情であったが、施工をするうえで「官民一体」となった形で地元住民に向けての周知活動・ECI方式による通行止めの期間短縮をすることで、通行止め期間中は地元住民からの苦情等一切なく施工を終えることができた。

また、薩摩川内市市長がマスコミに対し、4月28日までの通行止めを「4月上旬に短縮できる」と発表し、地元住民からは「よく工事を早めてくれた」「通勤時などよく利用するので早く通れるようになると聞いて助かった。」等の声をいただいた。

令和7年3月19日には天大橋修繕代行完了引き渡し式（図-15）が完了し、田中市長からは「新しく生まれ変わった橋は川内川の川北・川南を結ぶ幹線道路にある。市民にとって欠かせないものとして発展することを期待したい」と感謝のお言葉をいただいた。



(図-15) 天大橋修繕代行事業完了引渡し式
左 田中薩摩川内市長 右 竹下元事務所長

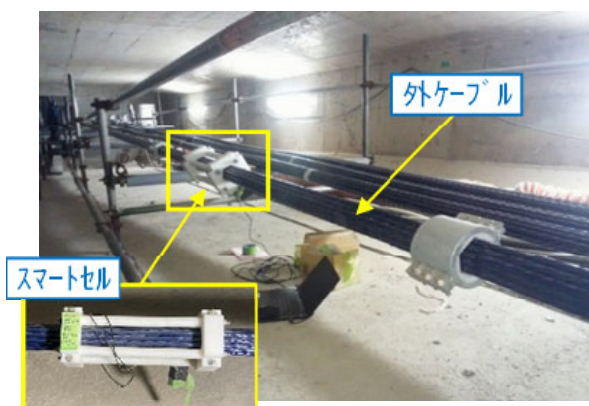
今回の研究を通じて感じた事として、今回の施工において、「官民一体」ということが大事であると感じた。今回の施工は、薩摩川内市・コンサル・国土交通省の3者それぞれが周知活動、工期短縮に尽力した結果が地元住民からの苦情ではなく感謝の言葉へ変わったと確信している。

天大橋の修繕代行事例が、これからの鹿児島国道事務所と薩摩川内市の文字通りの架け橋となる好事例となることを願う。

施工業者からの技術提案として、(株)安部日鋼工業からは他ケーブル定着部の点検のため、足場を存置しているものや(図-16)、他ケーブルの張力を計測できるように、スマートセルと呼ばれる張力センサーを設置(図-17)しており、この計測結果は施工が完了した現在でも計測結果が確認できる。



(図-16) 外ケーブル定着部点検用足場の状況



(図-17) 緊張力センサー(スマートセル)設置状況

対象施設として、鹿児島港では（図2-1）国有港湾施設（計68施設）を抽出した。

施設区分	施設種類	施設数
水域施設	航路	1
	航路泊地	4
外郭施設	防波堤	12
	護岸	13
係留施設	岸壁	31
	物揚場	2
臨港交通施設	臨港道路	1
	橋梁	4
計		68

(図2-1) 対象の国有港湾施設一覧

(2) 老朽化対策が必要とされる施設の抽出

鹿児島港の国有港湾施設（計68施設）を抽出後、施設の性能が相当低下している状態である「A」評価となっている施設を老朽化対策が必要と判断し、対象施設の抽出を行った。

- 係留施設：①谷山二区谷山5号岸壁
②谷山二区谷山8号岸壁
③谷山一区谷山7号岸壁
- 臨港道路：④臨港道路谷山一区南支線
⑤天保山シーサイドブリッジ

(3) 性能低下度「A」施設の優先度順位付け

施設の性能低下度が「A」となっている5施設について、性能低下度「A」だから最優先と単純に判断するのではなく、増加傾向にある老朽化施設をより効率的に維持管理していくために、新たな試みとして供用中の施設の利用状況や老朽化の進行具合等によって維持補修の緊急性等を考慮し、性能低下度「A」の施設の中で更に優先順位を決めることとした。

順位付けにあたり港湾管理者にアンケートを実施することとし、アンケートの設問設定及び採点評価には、国土交通省公表資料「予防保全計画の導入の考え方」を参考に、対策が必要な施設の優先度を点数方式で算定する手法を採用した。

また、施設利用上の安全性や利用頻度、利用者からの要請等の観点から港湾管理者が重要と考える項目については、重み付け（該当する項目の基礎点に1.5を加味する設定）をして評価することとした。重み付けは抽出した5施設の該当する項目毎に採用し、該当しない項目については通常の5点満点で評価を行う。こうすることで優先度を数値化し、結果に反映されやすい工夫をした。

(図2-2) にアンケートの評価項目と通常採点と重み考慮採点の採点設定を示す。

評価項目	基礎点	重点評価
① 荷役作業時の安全性	5点満点	港湾管理者が重要と考慮した場合1.5倍
② 施設の利用頻度		
③ 施設の重要性		
④ 代替施設の有無		
⑤ 管理者・利用者からの要請		

(図2-2) アンケートの評価項目と採点設定

(4) アンケート結果

港湾管理者に対するアンケート結果を集計し、評価点の割合（評価点/評価満点）で（図2-3）に示すとおり優先順位を決定した。

施設名称	施設整備の方向性	点数	割合	優先順位
谷山二区 谷山5号岸壁	施設の用途や性能は現状のまま継続利用を予定	25.5 /37.5	68%	1
谷山二区 谷山8号岸壁		10.5 /37.5	28%	5
谷山一区 谷山7号岸壁		13.5 /37.5	36%	4
臨港道路 谷山一区南支線		13.0 /30.0	43%	3
天保山シーサイド ブリッジ		16.0 /30.0	53%	2

(図2-3) アンケート結果

(5) 維持補修工法を検討する対象施設の選定

維持管理情報の収集整理及びアンケート結果を踏まえ、本業務で維持補修工法を検討する施設を（図2-4）に示すとおり2施設選定した。

港湾管理者へのアンケート結果を活用することで、老朽化の進行状況だけではなく、現在の利用状況や管理状況等を考慮することで、利用者のニーズに沿った最適な老朽化施設の選定を行うことができたと考えている。

優先順位		内容	写真
1位	施設名称	谷山二区 谷山5号岸壁	
	性能低下度	海底地盤の劣化度は「a」、性能低下度は「A」。	
2位	施設名称	天保山 シーサイドブリッジ	
	性能低下度	舗装にひび割れあり、橋梁下部構造の安全性に問題があるため劣化度は「a」、性能低下度は「A」。	

(図2-4) 優先順位の高い2施設

(6) 現地踏査（天保山シーサイドブリッジ）

優先順位の高い2施設の内、天保山シーサイドブリッジについては、具体的な維持補修工法の検討を行うにあたり、既存最新の維持管理計画書の内容のみでは下部工の微細なクラックの発生状況や進行具合や上部工塗装の剥がれ具合等の情報が不足しており、変状状況の詳細な位置や劣化状況の確認が必要と判断したため、現地踏査を実施した。現地踏査の結果・変状の写真を（図2-5）に示す。

この現地踏査により、A2橋台の支承部には前回の点検時から鋼材の腐食が進行していることが疑われる箇所があることも判明し、対策が必要であると判断した。



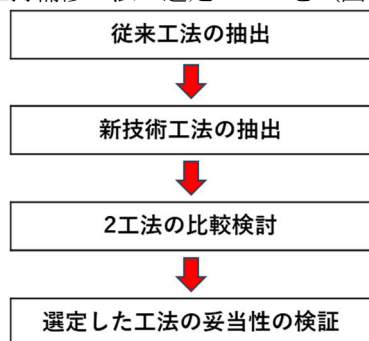
（図2-5）現地踏査の結果・変状の写真

3. 維持補修工法の検討

(1) 維持補修工法の選定方針

維持補修工法の選定にあたり、維持補修の一般的な考え方や施設が置かれる諸条件、点検診断及び総合評価の結果に基づき、「①施設の安全性、重要性」「②補修の難易度や実現性」「③効果の持続性」「④補修費用」「⑤現地条件」「⑥効率的な維持管理」の6項目を考慮した上で補修方法を定め、現地踏査で確認された変状に対する維持補修工法の立案を行う。その後、適用可能な従来工法を抽出後、新技術工法を洗い出し、比較検討したうえで最も妥当な維持補修工法の選定を行う。

一連の維持補修工法の選定フローを（図3-1）に示す。



（図3-1）維持補修工法選定フロー

(2) 新技術工法の導入検討方針

維持補修工法の選定にあたっては、基本的には各施設の維持管理計画書に記載されている維持補修計画を踏まえ工法を選定することとなるが、今回は新たな試みとして「①施工性（安全性・工期・施工確実性等）」「②メンテナンス性（再劣化の有無・耐久性等）」「③経済性（初期コスト・LCC等）」に留意しつつ、コスト縮減や施工の効率化等を目的とし、積極的に新工法の導入を検討することとした。

なお、既存の維持管理計画書だけでは情報が不足していた塗装や支承部鋼材等の部材の劣化・損傷については、新たな現地踏査での調査結果を活用し、新技術工法の検討を行うこととした。

(3) 従来工法と新技術工法の比較

前述の新技術工法導入検討方針をもとに、選定した2施設の従来技術と新技術を比較した結果を下記に示す。

① 谷山二区谷山5号岸壁

〔代表的な変状箇所〕海底地盤の洗掘・堆積

谷山5号岸壁は定期内航貨物船が頻繁に利用している施設で、船舶の推進流により海底が巻き上げられ、洗掘・堆積が生じていることが確認されている。よって、浚渫あるいは雑石投入等により必要水深を確保する必要がある。しかし、対策実施後にも再び船舶の水深流により同様の事象が生じる懸念があることから、洗掘等を防ぐため被覆工を設置することを検討した。今回は、被覆工について在来工法（被覆石設置）と新技術の比較検討を行い、耐久性や施工性などをポイントにして選定を行った。比較検討の結果、耐久性とたわみ性を持ち施工性も良いアスファルトマットによる工法を選定した（図3-2）。

【従来工法】被覆石設置	【新技術工法】アスファルトマット
【工法概要】 > 0.5~1t程度（石材厚70cm程度）の捨石を岸壁前面に設置 【特徴】 > 均し作業で工期が長くなる > 岩塊の隙間が大きく、底質の吸出し対策が必要	【工法概要】 > マット状のアスファルト合材を岸壁前面に設置することで、底質の移動を抑える 【特徴】 > 被覆石に比べ厚みが薄いことにより、被覆工のために確保する水深を小さくできる > たわみ性があり、ある程度地形に追随できるとともに、耐久性もある
【新技術適用効果】 > 工期短縮 > メンテナンス性の向上	

（図3-2）維持補修工法概要（谷山5号岸壁）

② 天保山シーサイドブリッジ(3径間連続鋼床板箱桁橋)

〔変状箇所①〕上部工の塗装剥がれ

上部工においては、令和元年の一般定期点検結果を基に、今回の現地踏査で確認された変状を考察した。その

結果、今後も塗装の剥がれが広がり、上部工本体鋼材の腐食に進展する可能性が懸念されたことから、従来工法（RC-1）との比較対象として、施工性が容易で、且つ早急に工事に使用できる塗装を新技術選定のポイントとした。比較検討した結果、施工が容易で、経済的に有利なルビゴールシステム工法を選定することとした（図3-3）。

【従来工法】部分塗装（RC-1）	【新技術工法】ルビゴールシステム
【工法概要】 旧塗装を除去し、エアレス塗装を部分的に行う工法 【特徴】 経済性/耐用期間 1,171円/年・m ² 耐久性 10～20年 素地調整機材が使いにくい 工事コストが割高 【新技術適用効果】 経済性 & 耐久性の向上 素地調整機材の簡素化が可能 施工性向上により40%の工程短縮	【工法概要】 塗替えの際、全ての錆を完全除去しなくても施工可能 【特徴】 経済性/耐用期間 78円/年・m ² 耐久性 40年程度 素地調整の簡素化（錆の上から塗装可能）による施工性向上 工程短縮

（図3-3）維持補修工法概要（上部工）

〔変状箇所②〕下部工コンクリートのひび割れ

下部工については、令和元年の一般定期点検結果と今回の現地踏査結果を比較しても、橋台コンクリートの新たなひび割れやひび割れの進行等は確認されなかったが、その補修工法として一般的なエポキシ樹脂による従来工法と比較して新技術を検討することとした。現状を詳細に観察すると微細なひび割れが広範囲にわたり確認されたことから、微細なひび割れに対応でき、且つ効率的に作業できることを選定のポイントとした。比較検討した結果、微細なひび割れに対応でき、自動的に広範囲の補修が可能なスクイズ工法を選定した（図3-4）。

【従来工法】手動式エポキシ樹脂系注入工法	【新技術工法】スクイズ工法
【工法概要】 ひび割れに樹脂等を注入し、隙間を充填する工法 【特徴】 比較的容易 小規模なひび割れに適している 作業に熟練の技術が必要 【新技術適用効果】 より微細なひび割れに対応可能 重点作業の自動化により熟練技術が不要 広範囲の施工が可能	【工法概要】 ゴムの復元力により長時間圧力をかけ続ける隙間に確実に注入する工法 【特徴】 微細な隙間も注入可能 スクイズプレートにより自動的に広範囲の補修が可能

（図3-4）維持補修工法概要（下部工）

〔変状箇所③〕支承部の鋼材腐食

支承部の変状は、令和元年の一般定期点検で確認されていた状況から、今回の現地踏査で支承部鋼材の腐食進行とその周辺の部分的な錆が新たに確認されており、同施設の交通量が多いことなどを考慮すると、対策が必要

と判断した。そのため、支承部の工法選定に際しては、海水飛沫を浴びる環境であり且つ多湿環境下にあることを踏まえ、耐塩害性を有する技術であることを条件に選定した。選定の結果、耐塩害性を備え且つ十分な耐用年数を有するアルミニウムマグネシウム溶射工法（従来工法）とクリスタルジュエリー工法（新技術）が候補として選出された。クリスタルジュエリー工法は、アルミニウムマグネシウム溶射に比べ施工コストは少し高くなるものの、工期が約40%も短縮されるメリットがある。しかしながら、この現場の支承部補修施工の際は交通規制をかけずに施行することが可能で、工期短縮は絶対条件ではないことから、今回は工期短縮効果よりも施工コストを優先すべきと判断し、従来工法を採用することとした（図3-5）。

【従来工法】アルミニウムマグネシウム溶射	【新技術】クリスタルジュエリー工法
【工法概要】 アルミニウム・マグネシウムの合金を表面に吹き付けることで、耐食性の保護、水分遮断、犠牲陽極作用により機材の腐食を防ぐ工法 【特徴】 経済性/耐用期間 : 2,750円/年 耐用年数 : 100年以上 塩分の強い環境で適用可能 亜鉛メッキの完全除去が必要（重要） 再劣化抑制を目的に、ブラスト・水洗いで確実な塩分除去が可能 【従来工法を選定した理由】 両技術とも耐久性には遜色なし 新技術では工程を40%短縮可能であるが、今回の現場では工程短縮が必須条件ではないことから、コスト面の優位性を重視し従来工法を採用	【工法概要】 透明性を持つシリコン樹脂塗料により、水分や塩分を遮断する工法 【特徴】 経済性/耐用期間 : 3,025円/年 期待耐用年数 : 100年 工程を40%短縮可能 透明なため基材の目視点検が可能 ブラックライトにより各層が異なる色に発光し、塗り重ね時の施工管理が容易 亜鉛メッキの上に施工可能（錆がある場合は除去が必要）

（図3-5）維持補修工法概要（支承部）

（4）選定した工法の妥当性の検証

工法の選定を行った2施設の内、天保山シーサイドブリッジについては、支承部が橋梁の重要部材にあたることから、妥当性の判断にはより専門的な視点と知識が必要であると考え、九州大学工学部の貝沼教授と一般財団法人日本支承協会に、実際に現地の確認とヒアリングを行い専門的な知見を伺うこととした。

結果、支承部におけるアルミニウムマグネシウム溶射は、他の道路施設でも一般的な工法として採用していることが多く、信頼性が高いことがわかった。

しかし、有識者からは「1つの懸念点として、今回の腐食確認箇所は素地調整を適切に行い、塩分を含む錆を徹底的に除去したうえで防錆塗装や溶射等を行う必要がある。」との指摘を受け、当局側としても、この現場においては既施工メッキの完全除去や確実な塩分除去が非常に難しいのではないかと懸念していたが、有識者からは同時に、「最近では重度腐食した部位や狹隘・隙間部等においても塩分や錆を極限除去し適切な素地調整が可能な新技術もある。」といった助言も受け、この現場においてもアルミニウムマグネシウム溶射工法で問題はないとの見解を得た。

(図3-6)に現地確認とヒアリングの様子を、(図3-7)には天保山シーサイドブリッジ支承部における維持補修工法の妥当性検証結果を示す。

項 目	概 要
相 談 先	九州大学工学部 教授 貝沼重信 様 一般財団法人 日本支承協会
実施年月日	令和7年2月14日
実 施 状 況	 橋台の現地確認  現地確認後のヒアリング

(図3-6) 現地確認とヒアリングの実施状況

適用 工法	検討項目	今回の工法比較結果		日本支承 協会 妥当性 評 価	九州大学 貝沼教授 妥当性 評 価
		妥当性 評 価	検討内容		
アルミニウムマグネシウム溶射	コスト	○	2,750円/年	○	○
	施工性	△	・狭所でも施工可/ ヤード確保 ・重度腐食した部位の素地調整 ・垂鉛メッキの除去の施工性低下	○	○
	機材の調達性	○	機材の調達は可能	○	○
	技術の適合性	○	飛沫塩分の影響が強い環境で主に採用	○	○
	実 績	○	多くの実績あり	○	○

(図3-7) 支承部維持補修工法の妥当性検証結果

4. まとめ

本検討によって、性能低下度「A」の施設に対し更なる優先順位を設定し、維持補修工法の検討対象に新技術

を候補に加えること等で、これまで以上に効率良く維持管理検討を行うことができた。

特に、施設の老朽化状況の把握の際は、供用中施設の実情を把握している港湾管理者にアンケートを実施したことで、各施設の現状と課題も踏まえた老朽化状況を把握することができた。今後、老朽化対策としての予防保全事業等を実施する際においても、今般のように港湾管理者と連携して施設の現状を把握し維持補修計画を立案したことは、事業を円滑に進めていくうえでも極めて重要であったと考える。

今回の最終的な検討対象となった、谷山二区谷山5号岸壁と天保山シーサイドブリッジの老朽化対策事業を実施するにあたっては、以下の課題を有している。

谷山二区谷山5号岸壁では、施設全体の詳細施設点検が実施されていないことから、施工に先立ち改めて前面水域の水深等の詳細な測量・調査を実施し、状況を正確に確認したうえで施工する必要がある。また、施工場所付近は航行船舶が多いことから、港湾利用者や港湾管理者との緊密な調整が必要となる。

天保山シーサイドブリッジでは、塗装の耐用年数が近いことから、伸縮装置部や支承部周辺も含め、全面塗装を実施するのか部分塗装に止めるのか、事業実施の際に検討・判断する必要がある。また、支承部周辺には伸縮装置からの流水に伴う水たまりがあり、付近に散乱するゴミ等の影響もあって常に湿潤環境となっていることが、鋼材の腐食が進行する原因の一つだと考えられる。そのため、日常的なゴミの除去といった一般的な施設管理による環境対策を検討・実施していくことも必要である。

これらの課題を解決し、谷山二区谷山5号岸壁と天保山シーサイドブリッジで選定した維持補修工法による老朽化対策事業を実施することで、より長く安心して利用できると考えている。

また、今回行った維持管理方法の検討はたいへん有効な検討であったと考えており、今後も港湾管理者との協議・調整を継続し、各施設の現状と課題を踏まえた老朽化対策にその時々最新の技術を反映した維持管理計画書に改善していくことで、全国のインフラ施設の維持管理に微力ながら良い影響を及ぼすことができるのではないかと考えている。

謝辞：本論文の執筆に当たり、ご指導・ご協力頂いた方々に深く感謝し、御礼申し上げます。

カジカ中卵型の移植地における環境DNA調査の活用について

田邊 裕樹¹・染矢 晃¹・津口 裕己乃¹

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

本明川ダム工事事務所では、本明川ダム建設に伴う長崎県条例に基づく環境影響評価の一環として、保全対象種である魚類（カジカ中卵型）の移植後の定着状況を把握するため、モニタリング調査を行っている。当歳魚調査と個体数調査を実施しているが、調査圧による移植個体への影響等が課題であった。そこで、より正確かつ効率的なモニタリング調査を実施するため、当歳魚調査における環境DNA調査の活用を検討した。本論文ではその調査経過を報告する。

キーワード 環境DNA調査、環境影響評価、カジカ中卵型、魚類モニタリング調査

1. はじめに

本明川は長崎県諫早市を流れる一級河川である。本明川は河川延長が短く勾配が急であるため、洪水や渇水が発生しやすい特徴がある。

1957年に発生した諫早大水害では、諫早市で死者・行方不明者あわせて630人、家屋全壊727戸の被害が発生した。これを契機に、1958年より国による本明川の河川事業が開始された。現在、本明川ダム工事事務所では「洪水調節」と「流水の正常な機能の維持」を目的に、本明川ダムの建設を進めている。

本明川ダム建設に際し、長崎県条例に基づく環境影響評価の一環として、同県レッドリスト2022で絶滅危惧Ⅱ類に指定されている¹⁾カジカ中卵型（図-1）の近隣河川への移植を行った。移植年度と移植地点を表-1にまとめ、移植地点図を図-2に示す。その後、移植したカジカ中卵型の定着状況の把握調査を行っている。

調査方法として、従来は潜水捕獲・潜水観察調査や電気ショッカーまたはタモ網による捕獲調査を行っていた。しかし、個体数を正確に把握することが困難であったこ

とと、調査に時間がかかることが課題であった。そこで、2021年度以降の調査では、より正確かつ効率的な調査の実施を目的に、環境DNA調査の活用を検討した。本論文ではその調査経過を報告する。

表-1 カジカ中卵型の移植年度と移植地点

移植年度	河川名	移植地点名
2001年, 2002年（既往移植地）	本明川	St. ①
		St. ②
		St. ③
		St. ④
2016年	富川	富川③
		富川直轄上流端
	長田川	長田川⑧
		長田川⑨
2019年	長田川	長田川⑩
		長田川⑪
		長田川⑫
2021年	長田川	長田川⑬
2022年	富川	富川④
2024年	湯野尾川	湯野尾川②



図-1 カジカ中卵型（成魚）

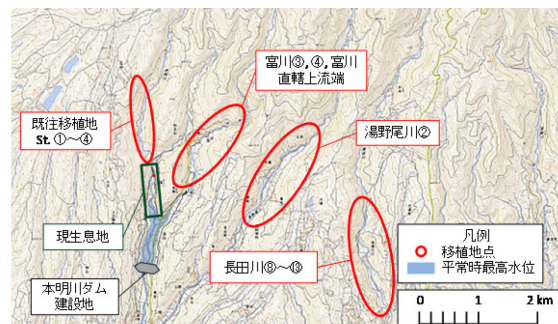


図-2 移植地点図

2. 従来の調査方法の問題点

カジカ中卵型の定着状況の把握方法として、冬季に成魚の個体数調査を実施し、春季の当歳魚調査で孵化した個体数を調査することで、定着状況を把握している。しかし、従来の調査方法では下記の問題点があった。

(1)調査圧による移植個体への影響

魚類調査における「調査圧」とは、調査員が調査のため入水した際、魚類が警戒し岩陰に身を潜めるなどの逃避行動を取ることを指す。潜水捕獲・潜水観察調査や電気ショッカーまたはタモ網による捕獲調査では調査圧が大きく、移植個体の捕獲数に影響があった（図-3）。

(2)調査員の技量による影響

潜水捕獲・潜水観察調査やタモ網による捕獲調査は熟練の技術を要し、現場に精通している調査員と精通していない調査員では捕獲数に差が生じるおそれがあった。そのため、従来の調査では毎回同じ調査員を配置し、捕獲数の差が生じにくいよう配慮する必要があった。

(3)調査に要する時間・コスト

従来の調査方法では、1地点あたり捕獲に約1時間、体長の計測や雌雄の判別および個体撮影に約1時間～1時間半

を要し、1地点あたり約2時間～2時間半を要した。特に広範囲の調査では多くの調査員を要し、多額の人件費が必要であった。

3. 環境DNA調査の導入により期待される効果

(1)環境DNA調査の特徴

環境DNA調査は、採水した河川水中に含まれる生物由来のDNAを抽出・分析し、生物の生息状況を調査する手法である²⁾。魚種の検出方法は、「網羅的解析法（MiFish法）」と「種特異的検出法」の2種類がある。両者の解析手法を図-4に示す。網羅的解析法（MiFish法）は「水中に漂うDNAに対して網羅的に種を検出する手法」で、生息する全ての魚種を把握する際に用いられる。一方、種特異的検出法は「水中に漂う対象種（1種類）のDNAのみを検出する手法」で、対象種の個体数を把握する際に用いられる。

種特異的検出法では、種ごとに特異的なプライマーセットと呼ばれる塩基配列を設計し、リアルタイムPCRで検出を行う。リアルタイムPCRとは、PCR反応でプライマーがDNAを増幅する際に発せられる蛍光波長をリアルタイムにモニタリングする方法である³⁾。今回の環境DNA調査では、よりDNA量の検出精度が高い種特異的検出法を採用した。

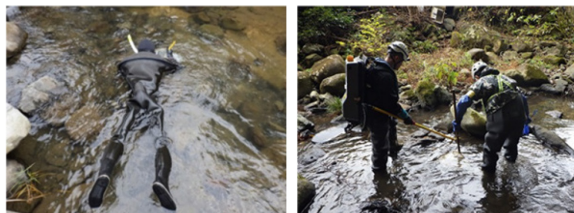


図-3 左：潜水捕獲・潜水観察調査、
右：電気ショッカーによる捕獲調査

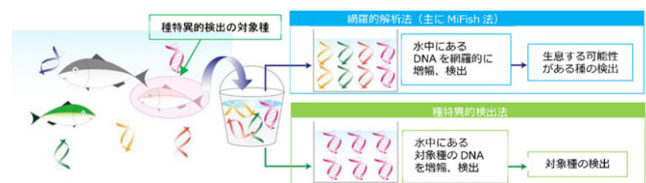


図-4 環境 DNA 調査における解析手法
(出典：環境省自然環境局生物多様性センター、環境 DNA 分析技術を用いた淡水魚類調査手法の手引き第3版,2023)

表-2捕獲調査と比較した際の環境 DNA 調査のメリット・デメリット

調査方法	メリット	デメリット
捕獲調査 (電気ショッカーを含めた全量捕獲)	・個体を視認できる（個体数が確からしい） ・個体の状態から様々な情報が分かる（体長、雌雄判別等）	・調査労力が大きい ・調査コストがかかる ・調査員の技量（捕獲・種の同定）によるところがある ・調査範囲は人が入れる場所に限られる
環境DNA調査	・採水のみで調査労力が小さい ・採水と室内分析であり、調査コストは捕獲調査より小さい ・調査員の技量によらない	・DNA分析時の誤差が懸念される。 ・他の流入の影響がない場所で採水する必要がある ・流量が安定しているときに採水する必要がある ・個体の状態が分からないため、体長、雌雄比等の個体群の情報が不明

(2)期待される効果

捕獲調査と環境DNA調査のメリット・デメリットを表-2に示す。環境DNA調査は個体群の情報（体長、雌雄比等）が分からない等のデメリットがあるが、現地での作業が採水のみであるため、調査圧や調査員の技量に結果が左右されづらい。加えて、調査時間の短縮化や調査員の省人化によるコスト削減効果も期待される。

4. 環境DNA調査活用に向けた検討方法

(1)目的

従来の潜水捕獲・潜水観察調査および電気ショッカーまたはタモ網による捕獲調査と、新たな手法である環境DNA調査を同地点で実施し、捕獲個体数とDNA量を比較する。両者の相関を調査することで環境DNA調査の精度を確認し、将来的に当歳魚調査を環境DNA調査に置き換え、より効率的な調査を実施することが可能か検討する。

(2)調査日時および調査地点

a. 当歳魚調査

当歳魚調査は2021年度～2024年度にかけて本明川の3地点（現生息地上流、既往生息地St.①、St.③）、富川の3地点（富川③、④、富川直轄上流端）、長田川の6地点（長田川⑧～⑬）の計12地点で実施した。調査地点の様子を図-5に示す。時期は3月頃に孵化したカジカ中卵型が体長25～35 mm程度に成長した5月頃に実施した。

b. 個体数調査

2021年度魚類モニタリング調査では、現生息地上流、既往生息地St.①、St.③で調査を実施した。2023年度は長田川⑨で調査を実施し、2024年度は富川④、富川直轄上流端、長田川⑧で調査を実施した。時期は雌雄の判別を容易とするため、繁殖期である12月頃に実施した。

c. 環境DNA調査

環境DNA調査は2024年度の魚類モニタリング調査で実施した。本明川、富川、長田川、湯野尾川の計13地点で調査を実施した。時期は個体数調査に合わせて12月頃に実施した。調査地点のうち、現生息地上流、既往生息地St.①、St.③、富川④、富川直轄上流端、長田川⑧、⑨、湯野尾川②の8地点では、直近の個体数調査の結果と2024年度魚類モニ



図-5 調査地点の様子（左：富川④、右：長田川⑧）

タリング調査時の環境DNA調査の結果を比較し、捕獲個体数とDNA量の関係を調査した。なお、湯野尾川②については、個体数調査が未実施であったため移植時の個体数との比較を行った。

(3)調査方法

a. 当歳魚調査

当歳魚調査では主に電気ショッカー（スミスルート社 Electrofisher LR-24型）を用いて当歳魚を捕獲し、電気ショッカーによる捕獲が難しい場合は、タモ網、サデ網、潜水等により捕獲した。その後、捕獲個体数を計数し、捕獲個体の体長および判別可能なものは雌雄を記録した。

b. 個体数調査

当歳魚調査と同様に、電気ショッカーおよびタモ網、サデ網、潜水等で成魚を捕獲し、捕獲個体数を記録した後、捕獲個体の体長および判別可能なものは雌雄を記録した。

c. 環境DNA調査

環境DNA調査では各地点の下流端で河川水を採水し、保冷して分析室に持ち帰った後、種特異的検出法によりカジカ中卵型のDNA量（単位：Copies/L）を分析した。また、採水時に各地点の水深、川幅、流速を測定し、流量を求めた。その後、各地点のDNA量に流量を乗じ、単位流量あたりのDNA量（単位：Copies/m³）を算出した。

5. 調査結果

(1)当歳魚調査

各地点の直近の調査日時と捕獲個体数を表-3に示す。捕獲個体数は各地点2～91匹で、現生息地上流で最も多くの当歳魚が捕獲された。体長はほぼ全ての個体が30 mm

表-3 当歳魚調査の調査日時と捕獲個体数

調査地点名	調査年度	捕獲個体数 (匹)
現生息地上流	2021年度	91
St.①		35
St.③		55
富川③		42
富川④	2024年度	3
富川直轄上流端		3
長田川⑧		11
長田川⑨	2021年度	77
長田川⑩	2022年度	16
長田川⑪		19
長田川⑫		2
長田川⑬	2023年度	40

前後であった。また、当歳魚は生殖器が未発達の個体が多く、捕獲個体のうちほとんどが雌雄不明であった。

(2)個体数調査

各地点の直近の調査日時と捕獲個体数を表-4に示す。なお、2021年度魚類モニタリング調査の結果は3日間の平均値を取った。また、湯野尾川②については2024年度に実施した移植時の個体数を示す。2021年度魚類モニタリング調査における成魚の捕獲数は、現生息地上流で118匹、既往生息地St. ①で54匹、St. ③で92匹であった。2023年度調査では、長田川⑨で126匹であった。2024年度調査では、長田川⑧で20匹、富川④で13匹、富川直轄上流端で24匹であった。また、湯野尾川②へのカジカ中卵型の移植個体数は42匹であった。

(3)環境DNA調査

各地点の流量、DNA量および単位流量あたりのDNA量を表-5に示す。各地点の単位流量あたりDNA量は3.39

Copies/m³～753 Copies/m³で、最も多かったのは長田川⑨、最も少なかったのは湯野尾川②であった。

6. 捕獲個体数とDNA量の関係

2021年度～2024年度の個体数調査における捕獲個体数と2024年度の環境DNA調査におけるDNA量の関係をまとめたグラフを図-6に示す。DNA量と個体数の関係を見ると、DNA量と個体数は急速に増加し、その後に横ばいになる対数近似曲線を取ることが確認された。決定係数(R²)は約0.67であった。また、両者の相関係数(r)は約0.73であった。※曲線近似のため決定係数の平方根と相関係数(r)の値は一致しない。

調査地点ごとの直近の捕獲個体数と単位流量あたりのDNA量を図-7に示す。各地点の捕獲個体数は、表-4に示した個体数調査の結果および移植個体数を用いた。調査地点ごとの捕獲個体数とDNA量の関係を見ると、個体数が多い地点ではDNA量も多い傾向となることが確認された。

表-4 各地点の調査年度および捕獲個体数

個体数調査		
調査地点	調査年度	捕獲個体数 (匹、雌雄合計)
現生息域上流	2021年度	118 (※1)
St. ①		54 (※1)
St. ③		92 (※1)
富川④	2024年度	13
富川直轄上流端		24
長田川⑧		20
長田川⑨	2023年度	126
湯野尾川②	2024年度 (※2)	42 (※2)

※1：3日間の平均値を使用

※2：2024年度移植時の移植個体数を使用

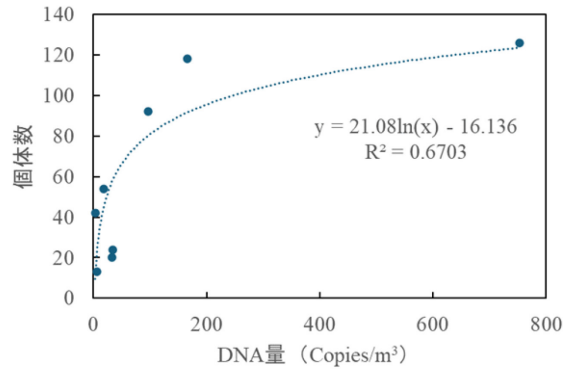


図-6 DNA量と捕獲個体数の関係

表-5 各地点の調査年度、流量およびDNA量

調査地点	調査年度	流量 (m³/s)	DNA量 (Copies/L)	単位流量 あたり DNA量 (Copies/m³)
現生息域上流	2024 年度	0.112	1483	166
St. ①		0.047	375	17.6
St. ③		0.059	1635	96.5
富川④		0.024	280	6.72
富川直轄上流端		0.056	603	33.8
長田川⑧		0.02	1655	33.1
長田川⑨		0.084	8964	753
湯野尾川②		0.053	64	3.39

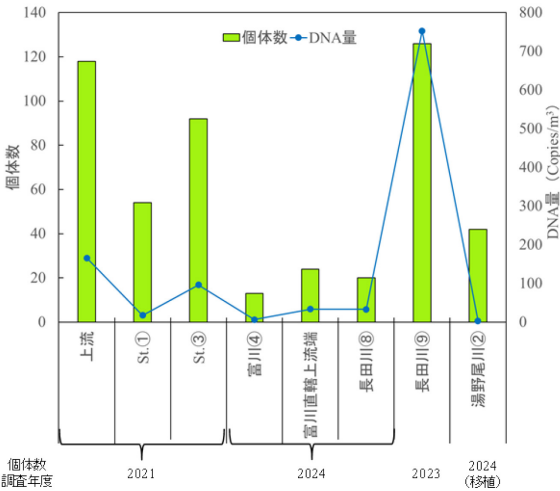


図-7 調査地点ごとの捕獲個体数とDNA量

7. 考察

図-6より、個体数調査における捕獲個体数とDNA量の決定係数(R^2)は約0.67であり、0.5以上であったことから、両者の関係式に一定の精度が確認された。また、相関係数(r)は約0.73であり、0.7以上となったことから強い相関が確認された。このことから、今回の調査で得られた関係式を用いて、一定の精度でDNA量から個体数を推測できると考えられる。

将来的には従来の手法で行われていた当歳魚調査を環境DNA調査に置き換え、調査圧や調査員の技量による影響を軽減するとともに、より効率的かつ経済的にカジカ中卵型の個体数を把握できる可能性が示唆された。

しかし、今回の調査結果のみでは地点数が8地点と少なく、2021年度～2024年度の調査結果が混在していたため、精度が不十分であることが懸念される。

例えば図-7において、2021年度の個体数調査結果を用いたSt. ①では、他地点と比較して捕獲個体数に対してDNA量が少ない結果となった。要因としては、3年間でカジカ中卵型の個体数が減少したことなどが考えられる。

一方、2023年度の個体数調査結果を用いた長田川⑨では、捕獲個体数に対して多量のDNAが検出された。要因としては、1年間で当該地点におけるカジカ中卵型の個体数が増加した可能性が考えられる。長田川⑨の捕獲個体数は2023年度以前から増加傾向を示しており、環境DNA調査を実施した2024年度では個体数がさらに増加し、多量のDNAが採取されたと推測される。

また、湯野尾川②では個体数に対してDNA量が少ない値を示したが、この要因として湯野尾川②は移植時の個体数をデータとして用いたために誤差が生じたと考えられる。

同年度に個体数調査と環境DNA調査を実施した3地点（富川④、富川直轄上流端、長田川⑧）の捕獲個体数とDNA量の決定係数(R^2)は約0.89であり、前述の3地点と比較して高い値を示した。また、相関係数(r)は約0.94となった。この結果から、個体数調査と環境DNA調査の比較は同年度に行うことが望ましいと確認された。

8. まとめ・今後の展望

今回の調査結果より、個体数調査によって得られた捕獲個体数と環境DNA調査によって得られたDNA量の関係式に一定の精度が確認された。今回の調査では2021年度～2024年度の個体数調査の結果が混在したため精度が不十分であったが、今後は個体数調査と環境DNA調査を同年度に行い、データを蓄積させることで精度を向上させていきたい。

注意点として、他の河川等の流入がある地点で環境DNA調査を実施した場合、流入したDNAによる誤差が懸念される。しかし、本明川における調査地点では、カジカ中卵型が生息する場所が堰堤等に区切られた区間であるため、他の場所からの流入等の影響が小さく、精度の高い結果が得やすいと推測される。

また、体長や雌雄比等の個体群の情報が確認できないデメリットについては、当歳魚調査では捕獲される個体のほとんどが30 mm前後であり、生殖器が未発達で雌雄を判別することが困難であるため、環境DNA調査に代替しても大きな問題は無いと推測される。

今後の魚類モニタリング調査では、精度を向上させた個体数とDNA量との関係式を用いて、環境DNA調査の結果からカジカ中卵型の個体数を予測することで実施したい。従来の当歳魚調査を環境DNA調査に置き換えることで、調査の効率化と費用削減を進めていきたい。

参考文献

- 1) 長崎県県民生活環境部自然環境課、長崎県レッドリスト 2022, 2022
- 2) 環境省自然環境局生物多様性センター、環境 DNA 分析技術を用いた淡水魚類調査手法の手引き第3版, 2023
- 3) 玉田 貴, 芝田 直樹, 環境 DNA 分析の「い・ろ・は」ーサンプリングから分析・解析まで, 実践のための技術ー, 株式会社環境総合リサーチ, 2021

河川管理の実務者による管理用図面の 三次元化に向けた試行報告

辻丸 祥子¹・大村 健之²・今村 正史³

^{1,2,3}九州地方整備局 武雄河川事務所 管理課 (〒843-0023 佐賀県武雄市武雄町大字昭和745)

³九州地方整備局 武雄河川事務所 (〒843-0023 佐賀県武雄市武雄町大字昭和745)

国土交通省は、令和5年度から「直轄土木業務・工事におけるBIM/CIM適用に関する実施方針」に基づきBIM/CIMの原則適用を開始した。河川分野でもデジタルデータの活用は着実に浸透し、河川上空に調査、測量のためのドローンが飛行する風景は日常のものとなっている。一方、武雄河川事務所では三次元河川管内図は整備したが、管理の現場で使用する図面は未だ二次元で、日々進歩するデジタル技術との連携が喫緊の課題となっている。

本稿では、河川管理で三次元データを取り扱う場合の要求性能について管理用図面の三次元化の試行を通して整理したので報告する。また、業務の高度化が期待できる使用例を紹介する。

キーワード 河川管理、計画堤防断面、BIM/CIM、ドローン巡視、三次元河川管内図

1. はじめに

武雄河川事務所は佐賀県内を流下する六角川及び松浦川を管理しており、堤防管理延長は214.2kmと長大で河川管理施設数は290箇所と膨大である。それら堤防等河川管理施設の管理台帳は、二次元図面を電子化して保管しているが、三次元モデルでの管理は行っていない。

一方、国土交通省は、令和5年度から「直轄土木業務・工事におけるBIM/CIM適用に関する実施方針」に基づきBIM/CIMの原則適用を開始し、施工後に完成図書として三次元モデルが納品される実績が増えている。今後は管理台帳も二次元から三次元への転換が予見されるが、現時点で施工後に納品された三次元モデルの管理への引き渡し方法は具体の定めがない。

また、調査・測量機器としてドローンの普及も急速に進んでいる。今後、河川上空はドローン物流の航路利用、ドローンによる河川巡視も予定しているが、支障物となる建物及び架空線の空間位置を確認できる図面はなく、管理の現場はデジタル技術との連携が十分でない。

本稿では、今後、管理段階でもデジタル技術が汎用化することを予見して、河川管理・許認可業務で三次元データを取り扱う場合の要求性能について管理用図面の三次元化の試行を通して整理したので報告する。また、管理用図面を三次元化することで管理・許認可業務の高度化が期待できる使用例を紹介する。

2. 管理視点でみた三次元河川管内図の留意点

国土交通省では、「防災・減災、国土強靱化のための五か年加速化対策」として、令和7年度までに国管理の109水系において三次元河川管内図（以下、「管内図」という）の整備推進を図っており、六角川、松浦川でも令和6年度に管内図を整備した。

ここで、管理・許認可業務で管内図を使用する場合の留意点を2つ紹介する。

留意点1：河川管理施設は三次元数値図化していないため管内図で施設の形状は確認できない

管内図は以下3種類の点群データを標準装備している。

- ・オリジナルデータ
- ・グランドデータ
- ・グリッドデータ

河川管理施設である排水機場・水門等の構造物、許可工作物である架空線等の地物データは、グランドデータ及びグリッドデータではフィルタリング処理で取り除いているため、オリジナルデータでしか視認できない。オリジナルデータも上空からのレーザ照射で得られた点群であるため、例えば樋門は上屋の屋根部分は視認できるが壁面や門柱等の建物の形状は確認できない(図-1)。

これは、管内図の整備にあたって使用するデータが河川定期縦横断測量で取得した点群データであり、地物デ

ータの三次元数値図化は標準装備としていないためである。

一方、六角川の沿川の市町は、PLATEAU（プラトー）の3D都市モデルで三次元数値図化データが公開されている。そのため、管内図のグラウンドデータと重ね合わせたところ、堤内地の排水機場建屋は地物データとして図化されていたが、河川上の橋梁及び樋門上屋の形状は確認できなかった（図-2）。

留意点 2：BIM/CIM適用工事には使用できない

BIM/CIM適用工事の河川土工の測量精度は、起工測量時で0.1m、出来形計測時で0.05mに対し、管内図に使用した航空レーザ測量の標高精度は、0.25～0.7mである。河川定期縦横断測量は水理計算に必要なグラウンドデータの取得を目的に精度設定しているため、測量精度の異なる管内図データはBIM/CIM適用工事には使用できない。また、管内図の計算機能で算出した数値を使用する場合は必要な精度を満足しているか確認が必要である。

さらに、完成図書として納品された三次元モデルを管内図に搭載する場合は、測量精度が異なるためモデリング技術に加えて堤防法線との位置調整など河川の専門知識が必要となる。

3. 三次元モデル作成の試行の目的

管内図は、基本機能やデータ仕様以外は、現場のニーズに応じ適宜追加してよいことになっている。

まずは現場で使用頻度の高い図面を三次元化し、管内図と連携することで管理・許認可業務の高度化が期待できるか試みた。

三次元モデルの作成を試みた図面は以下の4種である。

- ・計画堤防の断面
- ・河川管理施設台帳
- ・河川上空の架空線（許認可審査）
- ・光ファイバ施設台帳（不可視部分の管理）



図-1 樋門付近のオリジナルデータ

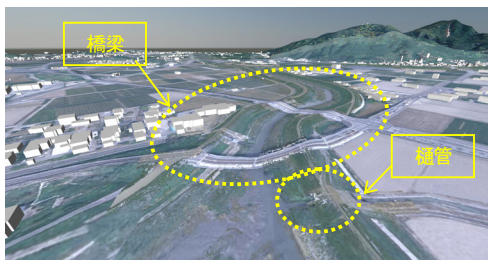


図-2 グラウンドデータと3D都市モデルの重ね合わせ

4. 計画堤防断面の三次元モデル作成の試行

(1) 三次元モデル作成の対象区間と対象項目

a) 対象図面

計画堤防断面の三次元モデルは、直轄河川管理基図（以下、「管理基図」という）を用いて作成した。管理基図は、適正な河川管理を行うにあたっての技術的判断を行い、許認可の基準となる河道形状等を示す管理用図面で、平面図、縦断図、横断図で構成される。

b) 対象区間

対象区間は、三次元モデル作成のみに着目できるように、以下の条件を満足する六角川支川武雄川の0k000～1k600の1.6kmの両岸とした。

- ・堤防が完成している単断面河道
- ・低水路幅が一定で比較的単純な区間
- ・PLATEAUの3D都市モデルが公開されている地域
- ・既設の河川管理施設構造物の三次元モデルを作成済

c) 対象項目

管理基図に記載する必須項目のうち、計画堤防の形状を表現するのに必要な以下7項目を対象とした。

- ①計画高水位、②計画の堤防法線位置
- ③計画堤防の高さ、④計画堤防の断面
- ⑤計画の高水敷幅、⑥計画の低水路平均河床高
- ⑦計画の平均河岸ののり肩位置

(2) 三次元モデルの作成手法

計画堤防断面の三次元モデルは構造が単純であるため、詳細度200のサーフェスモデルで作成した。

(3) 三次元モデルの作成手順

手順1：堤防法線の設定

- ・最新の現況平面図（縮尺1/2500の航空測量平面図）をベースに、川表の堤防肩を基準とする堤防法線を設定する（図-3の平面図のピンク線）。

手順2：三次元用横断図の作成

- ・平面図に記載されている距離標ごとに、左右岸の現況堤防の法線間距離を計測し、管理基図の横断図の計画堤防幅と河床幅と調整して整合させる。

手順3：スweepによる三次元モデル化

- ・現況平面図から計画堤防の位置を調整した横断図に、計画高水位の計画縦断諸元から堤防高の目印を三次元空間に配置した2.5次元モデルを作成する。
- ・三次元空間の現況堤防法線にそって、2.5次元モデルをスweep（二次元の断面を縦断方向に連続させて三次元化）し、三次元モデルを完成させる。

(4) 試行での気づき

- ・計画堤防の断面は構造が単純なため河川の専門知識を持たない3Dモデラーでも作成は容易であった。
- ・しかし、計画堤防断面の2.5次元モデルを現況平

面図上でモデル化する際は、余盛りや計画堤防諸元の決定経緯など河川の専門知識をもつ技術者による確認が必要であった。

(5) 堤防点検での使用例

河川堤防の土堤区間は、基準となる計画堤防断面の形状を設定している。そのため「堤防等河川管理施設及び河道の点検・評価要領」では、土堤の機能低下を堤防の変状から評価するものとし目視で亀裂等を確認する。これまでの点検からも堤防の機能低下は堤防の形状異常として現れているため、点検前に現況堤防形状の変状区間を把握できれば点検の効率化が期待できる。

以上を踏まえ、現況堤防の変状区間を抽出することを目的に、作成した計画堤防断面の三次元モデルに現況地形として管内図のグラウンドデータを重ね合わせた。

結果は図-5のとおりに計画堤防の断面に対し断面不足箇所を面的に確認できた。また、重ね合わせた断面の差分から断面不足箇所とした区間は、RiMaDIS（河川維持管理データベース）に登録した堤防の変状箇所とおおむね一致していることも確認できたが、小規模な亀裂はオリジナルデータでも確認できなかった。

(6) 応用例 1（堤防安全性照査断面の三次元モデル）

応用例として、現況堤防形状が堤防安全性（浸透・耐震性）を照査した時点の断面形状を維持できているかを確認することを目的に、前項の「計画堤防の断面」を「堤防安全性照査時の断面」に変更した三次元モデルの作成を試みた。

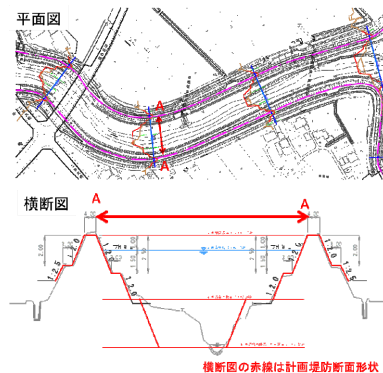


図-3 三次元モデル作成の作業図面

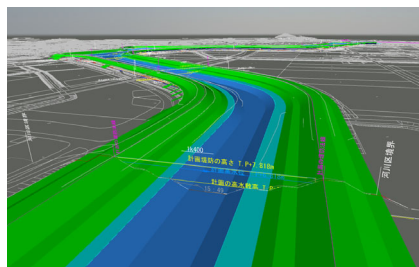


図-4 計画堤防断面の三次元モデル

a) 対象区間と対象項目

対象区間は松浦川 23k000～25k000 の約 2km とした。

b) 作成方法

堤防安全性照査では、同一の断面形状や地質状況とみなせる区間を一連区間（おおそ2km）とし、代表断面を1箇所設定して浸透性・耐震性を評価している（図-6）。この代表断面の形状を堤防法線に合わせて一連区間内でスイープさせ、三次元モデルを作成した。

c) 管内図のオリジナルデータとの重ね合わせ

作成した三次元モデルと管内図のオリジナルデータを重ね合わせることで、現況堤防が安全性照査時の堤防断面形状を満足できているか抽出できる。

結果は図-7のとおりで、グレーが露出している区間が安全性照査時の断面形状を確保できていない区間となる。

d) 試行での気づき

- ・200mピッチの横断データが存在する計画堤防の断面と異なり、堤防安全性照査の一連区間は等間隔ではなくその区間延長も長いので、区間の境界部で2.5次元モデルが滑らかに接合せず段差が発生する（図-8）。
- ・境界付近では隣接する断面の使用も考えられる。

(7) 応用例 2（流下能力評価断面の三次元モデル）

もう一つの応用例として、現行の河川整備計画策定時に流下能力を評価した河道断面の三次元モデル作成を試みた。これは、完成堤かつ土砂掘削を主な整備メニューとする区間を対象に、土砂掘削後に出水等で再び堆積傾向がみられた際、流下断面維持のための掘削の可否を判断する際の参考資料として使用できるか、確認することを目的として行った。

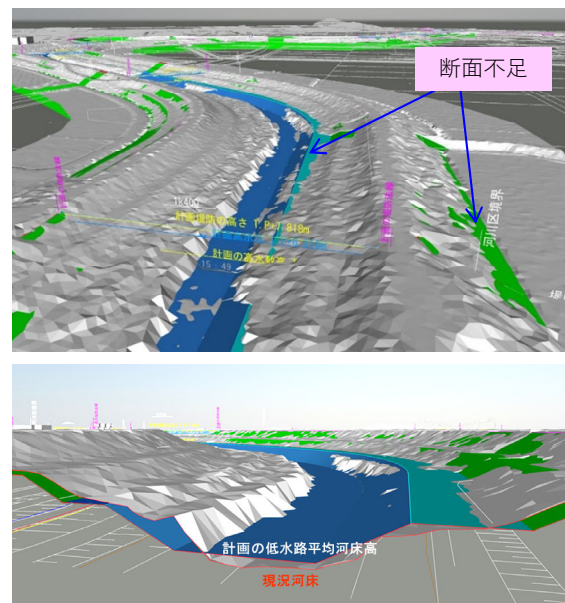


図-5 計画堤防断面の三次元モデルと管内図グラウンドデータの重ね合わせ（差分）

a) 対象区間と項目

流下能力は一般的に200mピッチの横断面図を基本として準二次元不等流計算で算出し、水位縦断面図や流下能力図などの一次元情報として取り扱う。そのため横断面図測線間の河道形状の変化は考慮されていない(適宜内挿する橋梁や堰等の構造物等は除く)。

以上を踏まえ、三次元モデル作成の対象区間は、内挿がない河道断面で比較を行うこととし、堤防幅及び低水路幅の一定な区間が連続する武雄川0k000～1k600の1.6kmとした。

b) 作成方法

横断面図を基に、堤防法線に沿って川表部分を上下流で連続させ、断面形状の比較が可能な詳細度200のサーフェスモデルで作成した。

c) 管内図グラウンドデータとの重ね合わせ

作成したモデルと管内図のグラウンドデータの河道内の標高差をヒートマップで表したものが図-9である。モデルよりもグラウンドデータの標高が大きいことを示す暖色系の部分は「現況河道地形の標高が高く、流下能力計算時よりも河積が狭くなっている」と読み取ることができる。

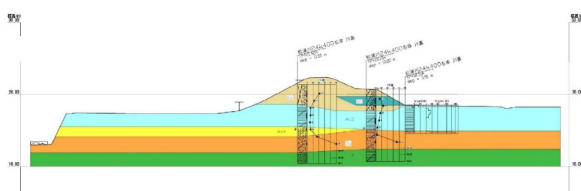


図-6 堤防安全性照査の代表断面

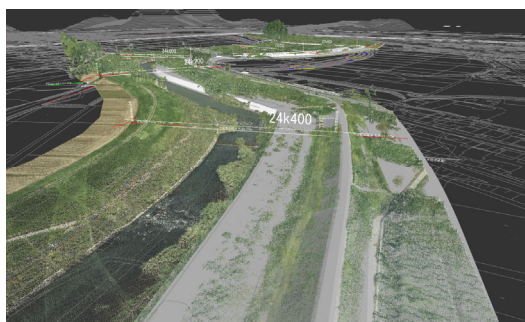


図-7 堤防安全性照査断面の三次元モデルとオリジナルデータ(色付き点群)の重ね合わせ

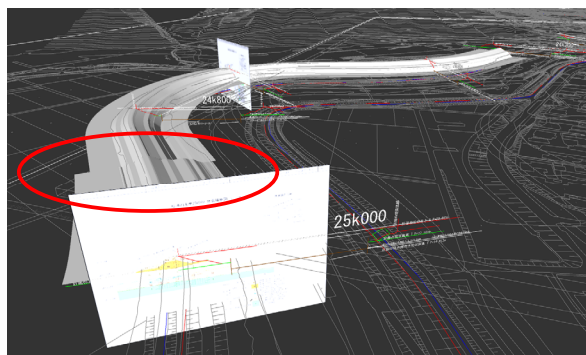


図-8 一連区間の境界部

d) 試行での気づき

- 堤防横断面上の変化点の数は距離標ごとに異なるため、上下流の横断面図の変化点を直接接合させても接合先がない点が生じた。このため、堤防間を一樣に分割して変化点の数を揃え、上下流で連続する面が作られるよう工夫した。今回の試行では50分割とした(図-10)。
- 試行区間の管内図のオリジナルデータは航空レーザ測量の成果であり標高精度は0.25mであるため、維持掘削工事の数量算出には使用できない。
- 将来、水理計算が三次元となれば、その評価時の河道地形の三次元断面モデルに適宜見直す必要がある。

5. 河川管理施設台帳の三次元モデル作成の試み

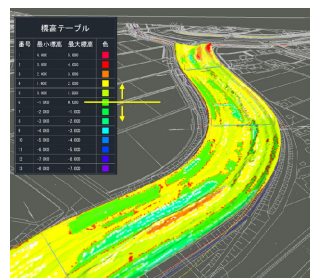
管内図に河川管理施設を地物データとして搭載し、巡視・点検等で発見した変状を三次元モデル上で管理し、かつ河川管理施設台帳及び許可工作物台帳の施設情報を管内図と連携することを目的に、施設台帳の構造図の三次元モデルの作成を試みた。

(1) 三次元モデルの作成手法

河川管理施設の構造物の三次元モデルは、クラックや破損といった形状確認が可能な詳細度300のソリッドモデルで作成した。

(2) 三次元モデル作成の使用データ

三次元モデル作成に使用するデータは、三次元点群データ、BIM/CIM適用工事データ及び二次元図面とした。



黄は流下能力評価河道に比べて現況が高い(河積が狭い)
緑は流下能力評価河道に比べて現況が低い(河積が広い)

図-9 流下能力評価断面の三次元モデルとグラウンドデータの重ね合わせ

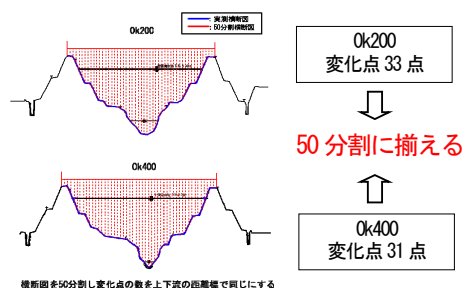


図-10 横断面図の分割状況

(3) 使用データ別三次元モデル作成の留意点

各CASEで三次元モデルを作成し、留意点を表-1に整理した。

(4) 試行での気づき

- ・ CASE1は各種レーザ測量で管理施設を直接計測し三次元モデルを作成した。作成が容易で高精度な手法は地上レーザ測量であるが、地中部の構造は計測できない。
- ・ CASE2ではBIM/CIM適用工事のデータを用いたが、引堤工事の場合、三次元モデルはICT施工した盛土部分のみで堤防天端・張芝の出来形は含まれていなかった。三次元モデルをそのまま管理用図面として適用できるかは工事ごとに内容を確認する必要がある。
- ・ CASE3は既存の二次元図面から三次元モデルを作成するもので最も技術的な難易度が高い。しかし、土木工事標準設計の三次元モデルが公開・利用できれば、樋管の三次元モデルの作成の効率化は期待できると考える。

表-1 モデル作成手法別の作成上の留意点

モデル作成手法		留意点
CASE1 三次元点群データ	1-1 航空レーザ測量データ利用	・ 上空からのレーザ照査のため屋根などの上面のみ計測のため、モデル作成が困難
	1-2 UAVレーザ測量、地上レーザ測量データ利用	・ 取得した点群より建造物のサーフェスモデルの作成は容易 ・ 構造を推測できる技術者が必要
CASE2 BIM/CIM適用工事データ		・ 構造に詳しくない3Dモデラーも作成可能 ・ 作成時の要求性能により、必要な情報が十分得られない可能性有り
CASE3 二次元図面	3-1 工作物台帳を利用	・ 構造に関する記載が少なく、数値が読み取れない箇所がある ・ 座標情報がないため、平面図やPDF等様々な情報を組み合わせて位置合わせする必要がある ・ 構造に詳しい3Dモデラー（技師相当）が必要
	3-2 設計図面または工事図面を利用	・ 情報が多いため構造を推測できる技術者が必要である。 ・ 標高は比較的精度は高いが、位置情報の精度は劣る ・ 図面が日本測地系の場合、公共測地系に変換する際に誤差が発生 ・ 位置を合わせる場合、別途精度を高める対応（実測する等）が必要構造に詳しい
	3-2 土木工事標準設計を利用	・ 標準設計の三次元モデルが整理されていれば構造に詳しくない3Dモデラーも作成可能 ・ 標高、位置情報は精度は別途確認が必要

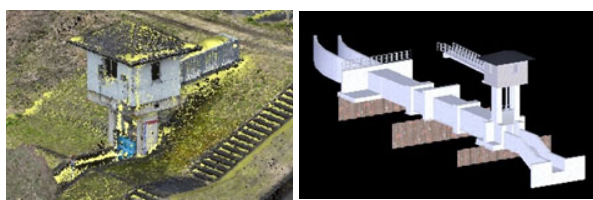


図-11 作成手法によるモデルの違い

(左：CASE1-2 UAVレーザ測量データ利用、
右：CASE3-1 工作物台帳利用)

6. 河川上空の架空線の三次元モデル作成の試み

河川上空の架空線は占用許可申請書類で管理している。書類には、位置を旗揚げした平面図と堤防の地表面からの離隔を示すポンチ絵と写真が添付されている。

これら申請書類の図面だけでモデル化するには位置情報が不足するため、申請書類から作成した三次元モデルに加え、管内図のオリジナルデータから架空線を示す点群をなぞり、三次元モデルの作成も試みた（図-12）。

管内図のオリジナルデータから作成したモデルに申請書類から作成した三次元モデルを重ね合わせることで、河川空間に架空線の位置、形状、高さを比較的高い精度で再現できていることを確認した。

将来的に拡大が予想されるドローン物流への対応も見据えると、架空線を三次元数値図化して地物データとして管内図に追加装備することの優先順位は高いと考える。

7. 光ファイバ台帳の三次元モデル作成の試み

光ファイバ台帳の三次元モデル作成では、地下埋設物である光ファイバ収容管についてモデル化を試みた。対象区間は松浦川右岸24k200付近の堤防天端と川裏小段とした。

台帳では、平面的な敷設位置や線形は平面図に、埋設深さは横断面図に整理している。いずれも正確な位置情報（標高や座標）が記されていないため、三次元モデルとしての精度は不確かさが残った。しかし、標準断面から想定される情報のみであっても、計画堤防の断面モデルと管内図のオリジナルデータと重ね合わせることで、工事着手前に埋設位置確認等が容易になるなど、今後の管理・許認可業務の効率化が期待できる（図-13）。

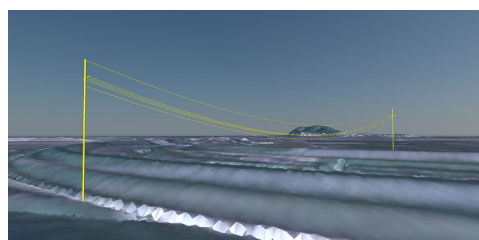


図-12 架空線の三次元モデル

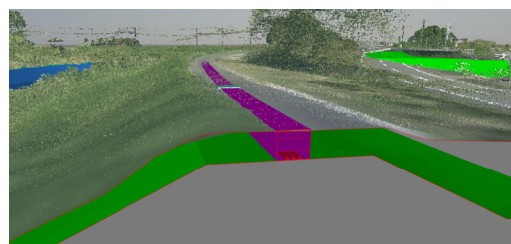


図-13 光ファイバ及び河川計画断面の三次元モデルと管内図オリジナルデータの重ね合わせ

8. 出水後の塵芥堆積量の三次元計測の試行

最後に、災害後の現場での実用化を目的にドローンを用いた出水後の塵芥量計測を試みたので紹介する。塵芥量計測に着目したのは、令和5年度より河川に堆積した塵芥量が甚大な場合は災害復旧事業の対象となり、ドローン使用で計測日数の短縮化が期待できるためである。

(1) 塵芥堆積量の計測手法と計測結果

令和6年11月出水に伴い松浦川24k300付近に堆積した塵芥を対象にドローンを用いた塵芥量計測を試みた。計測は撮影した写真からSfM測量により作成した三次元地形点群データを用いて堆積範囲や堆積量を把握した。計測方法と計測結果を表-2に示す。

(2) 測量精度の検証

計測した点群データの精度を確認するため、標定点として使用した左右岸の距離標間の地上からの実測による横断面図と点群データによる横断面図を確認した。その結果、河川距離標から離れるほど点群データと実測値との誤差が大きく、今回の試行範囲では最大で約0.7mとなった。このため、精度向上を目的として標定点を4点低水路肩に追加設置し誤差の減少を図った。

表-2 計測方法と塵芥量

No.	手法の概要	塵芥量(㎡)
CASE1 (図-14)	・ 撮影したオルソ画像から塵芥面積を算出 ・ 画像からの算出面積と実測した塵芥厚さを掛け塵芥量を算出	168.0
CASE2	・ 三次元点群データから塵芥の縦断面図と断面図を作成し断面ごとの塵芥断面積を算出 ・ 塵芥断面積と断面図間距離から平均断面法で塵芥量を算出	94.40
CASE3 (図-15)	・ 堆積後の点群データと堆積前の点群データの差分から堆積量を算出 ・ 堆積前の点群データに管内図のグラウンドデータを使用	102.92

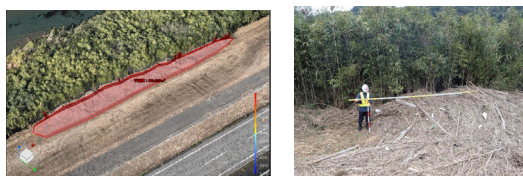


図-14 塵芥面積の算出と厚さの測定状況 (CASE1)

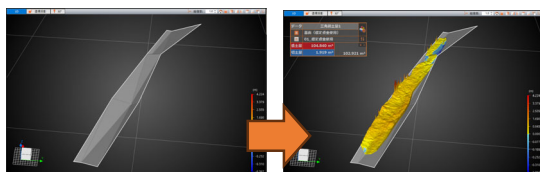


図-15 塵芥堆積前後の点群データによる算出 (CASE3)

(3) 試行での気づき

- ・ 最も高精度なのはCASE3であった。また、最大の算出量となったCASE1はCASE3の約1.6倍となった。
- ・ 標定点が事前設置されている場合、空撮のみの実施であれば1パーティで最大7km/日程度の撮影が可能であるが、標定点を新たに設置する場合は追加作業日として2km/日程度の時間を要した。
- ・ 発災後の迅速な塵芥堆積量の計測を目的として、塵芥が堆積しやすい樋門の低水護岸天端など、大きな変位のない構造物上にあらかじめ標定点を設置しておくことが考えられる。

9. まとめ

今回試行結果を以下にまとめる。

- ・ 河川計画堤防の断面の三次元モデルは、管内図のグラウンドデータと重ね合わせることで現況断面が計画堤防断面を満足していない区間を面的に視認できるため堤防点検の効率化が期待できる。
- ・ 堤防安全性照査断面の三次元モデルは、管内図のオリジナルデータと重ね合わせることで現況断面が堤防安全性評価時点の断面を満足していない区間を面的に視認できるため、今後堤防強化区間の抽出が容易になり堤防管理の高度化が期待できる。
- ・ 流下能力評価断面の三次元モデルは、現況河道のグラウンドデータとの重ね合わせで河道掘削後の土砂堆積で流下能力が低下している区間を効率的に把握できるため河道管理の高度化が期待できる。
- ・ BIM/CIM適用工事で納品された三次元モデルを河川管理施設の管理用図面として使用できるかどうかは、工事ごとに判断が必要である。
- ・ 河川上空の架空線及び光ファイバの収容管は三次元モデル化で管理の高度化が期待できる。
- ・ 災害後の塵芥量把握にはドローンを用いた写真測量が有効であり実用化可能である。ただし、標高精度を確保するためには、距離標に加えて事前に標定点の追加設置が必要である。

長年、二次元図面による河川管理は、目的に応じ作成した図面や資料と測量成果や設計図、写真等との照合により行われてきた。今後ツールが二次元から三次元に変化しても、河川管理者として着目すべき点に変化はない。また、河川管理者は業務高度化・効率化を目的としてツールを利用することを意識し、新たなツールに戸惑うことなく真に三次元化が必要なデータを見極める必要があると考える。

参考文献

- 1) 津田匠，清原正道，井上幸治，大野裕喜，川崎結菜：九州三次元河川管内図の仮想空間で実施した堤防等河川管理施設の点検・評価の試行報告，河川技術シンポジウム2023年6月
- 2) 猪原浩二，村田孝行，安部寿雄，渡邊文恵，末松誠二，久米卓，松下雅之：河川管理分野における3次元データの活用事例報告，第3回 i-Construction の推進に関するシンポジウム2021年7月。

菊池川管内看板再生プロジェクト ～若手の取り組み～

江頭 朋志¹

¹九州地方整備局 菊池川河川事務所 管理課 （〒861-0501 熊本県山鹿市山鹿178）.

菊池川河川事務所において発足した管内看板の再生プロジェクト（プロジェクト名 菊池川の看板屋さん）による看板再生への経緯、および本プロジェクトを通じた事務所若手職員と期間業務職員への影響について発表する。

キーワード 維持管理、河川標識、看板、職場の活性化

1. はじめに

河川管理を行う上で、看板は重要な役割を持つ。河川に潜む危険性や利用者への啓発など、看板による周知は河川管理者にとって継続的な管理を行っていく上で必要不可欠である。

菊池川においてもそれは同様である。過去、多くの看板が設置され、また設置された看板を通じた利用者への周知が行われてきた。

しかしながらそうした看板の中には、設置から多くの年月が経過しているにもかかわらず、適切な管理が行われていないために老朽化の目立つ看板が散見されるようになった。

写真-1および写真-2は設置されていた看板の一例である。一部が破損しているもの、文字が色あせて読めなくなっているもの、記名標識であるにもかかわらず、事務所名が変更されていないものなど、看板として適切に機能していないものが流域内に散見される。

こうした看板は設置箇所周辺の景観を破壊し、訪れた者に地域全体の風気が乱れているような印象を与える。また地域住民からは河川管理が放置されている印象を持たれ、当初の設置目的とは反対に河川管理ひいては河川管理者への信用を損ねてしまう恐れがある。こうした現状を踏まえた上で、早急な対応が必要であると判断し、管内に所在する老朽化した看板の修繕を行うことが決定した。



写真-1 一部破損している管内看板



写真-2 色あせている管内看板



写真-3 看板プロジェクト設立当初の会議の様子

一方で事務所の若手職員にも課題があった。個々が別々の業務を行っているため職員同士の関係性が薄く、また業務全体の流れに携わらないため、一連の流れについての把握につながりにくいという課題だ。この課題を放置することは、入札手続き誤り等の業務上のトラブルにつながってしまう恐れがある。

そのため当修繕を行う上で若手職員を中心に、期間業務職員を加えたプロジェクトチームを結成し、行うのが良いのではないかという意見が出た。プロジェクトを通じた人間関係の構築や、看板設置に至るまでの一連の業務を経験することで、業務の流れへの理解を深め、業務のスキルアップやモチベーションアップにつなげ、先述の課題を解消したいというねらいからだ。

そういった経緯を経て、管内の看板修繕を目的とした所内プロジェクトが発足した。

2. プロジェクト進行と浮かぶ課題

プロジェクトとして、はじめに取り組んだことは管内看板の要否についてである。

管内設置してある看板について、出張所で確認、修繕すべきものを挙げてもらい、それらをチームで再度修繕すべきかについて意見を出し合った。

上記を行う上で課題が浮かんだ。例えば写真-4および写真-5の看板は菊池川に存在する看板である。河川の利用者に同じような内容を伝えるための看板であるものの、デザインが大きく異なっている。このように同趣旨の看板のデザインが違うことは景観を損ねる。

この課題については数年前の河川維持管理小委員会内においてデザイン統一が図られており、写真6で統一するように策定されていたものの、修繕を行っていない箇所を発見したため、本プロジェクトでの改修が決定した。



写真-4 河川名標識（菊池川1/800付近）



写真-5 河川名標識（菊池川7/700付近）



写真-6 菊池川管内統一標識デザイン

しかしながら写真-7の山鹿大橋に設置されている看板については、惣門や豊前街道などの山鹿市周辺との景観の調和を重視し特注で作成されたという経緯もあり、デザインの統一は行わず、設置を続けることとした。



写真-7 山鹿大橋周辺の河川標識



図-2 メンバーから提出された看板案



図-1 菊池川と書かれた看板



図-3 採用されたキャラクターの素案と設置看板の前で写真を撮るメンバー一同

またプロジェクトを進める上で権利上の課題が生じた。図-1の看板のデザインはプロジェクトメンバーからの評価も高く、他の修繕箇所にも当デザインを使用しようとの意見でまとまった。しかしながら事務所にデザインの使用に係る権利があるかどうか分らなかった。

そこで看板デザインの中に使用されている、意匠一つ一つの作成の経緯を辿った。図-1の看板については事務所80周年を記念し、流域内に高校である玉名高校の書道部に作成頂いたという事が分かった。また日本遺産のロゴについては、全国的に同じロゴが使用されていることがわかり、事務所も所属する菊池川日本遺産協議会の事務局に確認を行った。

両者とも使用について快諾いただき確認が取れたため、図-1の看板デザインについてはそのまま使用することとした。

3. 看板修繕に向けた動き

看板の要否を確認した後、デザインを新しくする必要のある箇所も当然あったため、メンバーから案を提出してもらった。看板のデザイン案を募集した際、メンバーからは個性的な案がでた。図-2は実際に採用された看板案の一部である。

またキャラクターづくりにも挑戦した。絵の得意な職員が率先してキャラクターデザインを作成し、メンバーからの投票を行い、図-3のキャラクターの採用が決定した。

ここで決定したキャラクターについては、竜門ダム修繕箇所の看板に使用することとなった。

メンバーからこうした個性的な案、活発な議論が生まれたのは、所属する職員全員が風通しの良いチーム作りを目指し、プロジェクト全体の雰囲気が良くアイデアを出しやすい環境作りに成功したからであるといえる。

4. 看板の完成

様々な案出しが行われ、活発な議論が行われた。業務の多忙な時期が重なっていたため、メンバー一同が揃うことは難しかったものの、出席のできないメンバーの意見も取り入れられるように、Teamsなどアプリを駆使し、工夫を行った。

企画、業者への発注、契約という一連の流れをメンバー全員が経験し、取り付けの工程を経て看板の修繕が完了した。

6. 職員の感想

今回の取り組みを評価するためプロジェクトメンバーに対して数項目でのアンケートを行った。なお本アンケートではMicrosoft Formsを使用し、効率化を図った。

調査ではプロジェクトに満足しているかという趣旨の質問に対して、「かなり満足している」と答えたメンバーが3割、「おおむね満足している」と答えたメンバーが6割を占めた。

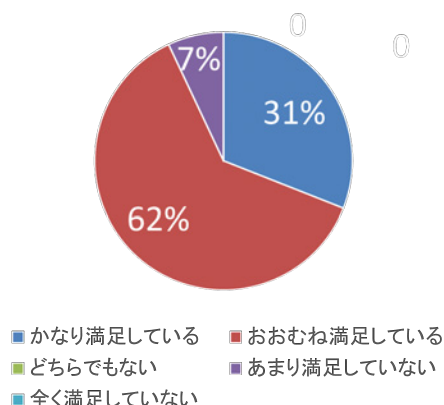


図-4 アンケート調査

また本プロジェクトの良かった点については、一体感を感じた旨の回答が多かった。「普段交流のない職員とも、プロジェクトをきっかけにコミュニケーションをとれた。」「メンバーで考えた看板が形にのこり良かった」「発注・取付工事などプロジェクトを通じて業務に対する視野が広がった。」などの声があり、若手、非常勤職員の人間関係の構築や、発注業務のより深い理解につなげるという、プロジェクト当初の目的を達成できた。



図-5 良かった点に対する回答で頻出したキーワード

しかしプロジェクトの実施については課題点もあり、「作業時間が短かった。」「かなりタイトなスケジュールであった。」など、時間的な余裕がなかったという意見が多く寄せられた。プロジェクトの開始が秋頃ということもあり、時間的な余裕がなかった点はプロジェクトを実施した上での反省点である。



図-6 改善点に対する回答で頻出したキーワード

5. 令和7年度に向けての課題

先述の通り、看板に統一性を持たせることは必要不可欠である。施工した分の看板と今後設置する看板とでデザインの不一致が生じないように、きちんとしたルール作りを行う必要がある。

例えば図-3のキャラクターについては事務所と作成した職員とで取り決めを交わしており、継続的な使用を行うための基礎ができている。

しかしながら昨年度設置した看板の多くがそういったルール作りをしていないため、今年度設置する看板も含めた取り決めを行う必要がある。

7. まとめ

企画から契約を経て看板の取付、完成させるという一連の流れを経験することで、事務や期間業務職員は精算、技術系の職員はの通常とは異なる業務を経験でき、業務への理解、スキルアップにつながったと思われる。またプロジェクトを行う上でのコミュニケーションは人間関係構築の一助となり、プロジェクトを行う上での当初の目的は果たされたといえる。しかしながらアンケート結果にも多く挙がっていたように、約半年という時間的な制約によりプロジェクトの進行に余裕がなかった点については、今年度の取り組みに向けた課題であるといえる。また今後施工する看板が、今回施工した看板と同趣旨であるにもかかわらずデザインが異なるものにならないようにするためにも、デザイン統一に向けたルール作りを行う必要がある。

看板修繕のプロジェクトは年度をまたぐ継続的な実施が予定されている。しかし先述のアンケート調査で過半数が「おおむね満足である」と回答していたことからわかるように、本プロジェクトは改善の余地がある。本プロジェクトが単なる看板修繕のためのプロジェクトで終わることなく、携わる職員にとってよりよいものとなるよう、Forms等のツールを使ったアンケート調査などPDCAサイクルを意識したプロジェクト実施に取り組んでいきたい。

小石原川ダム木和田導水施設の 管理と運用について

廣瀬 陽大¹・前田 俊郎¹・川口 智也¹・木下 雅紀²・田中 英範³

¹(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）

²(独)水資源機構 筑後川上流総合管理所 下釜ダム管理室（〒869-2503 熊本県阿蘇郡小国町黒淵5827-3）

³(独)水資源機構 筑後川上流総合管理所 管理課（〒838-0012 福岡県朝倉市江川1660-67）

小石原川ダム管理所では、2022年7月より木和田導水施設の運用を行っている。木和田導水施設は、佐田川木和田地点において、下流における既存の水利用等に支障を与えない範疇で取水を行い、小石原川へ最大3.0m³/sを導水することができる施設である。また、降雨により流量が増加した際に取水するため、取水口付近に塵芥や土砂が集積しやすい施設である。

本稿は、取水口付近の塵芥集積・土砂堆積への対応、河川流量の変化に対応した取水量の調整等、木和田導水施設の運用実績と工夫点について報告するものである。

キーワード 導水施設、導水、土砂堆積、取水量、管理、運用

1. はじめに

筑後川の水は流域内外で広く活用されており、ひとたび異常渇水ともなれば、自流水の減少やダムの利水容量枯渇による影響は広域的なものとなる。

筑後川上流総合管理所では、筑後川水系小石原川の江川ダム及び小石原川ダム、並びに佐田川の寺内ダム（以下「三ダム」という）を1つの貯水池として運用する『三ダム総合運用』を行っている。三ダム及び木和田導水路、寺内導水路の位置図を図-1に示す。河川流況と各ダムの貯水量に応じ、三ダムと2つの導水路を総合的に運用することで、江川ダム、寺内ダムで貯めきれず、活用できていなかった水（無効放流）を活用可能としている。

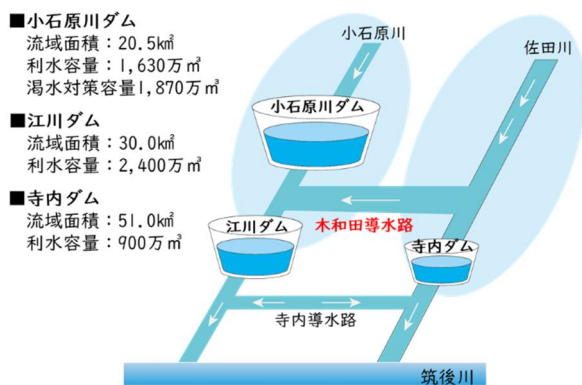


図-1 三ダム及び導水路の位置

2. 木和田導水施設の概要

木和田導水施設（以下「導水施設」という）は、小石原川ダム建設事業の一環として2020年3月に完成した施設である。導水施設は取水工、導水路トンネル、放流工から構成され、取水工は、取水堰、ゲート設備、導流水路等から成る。図-2に取水工の施設配置、表-1に主な設備の諸元を示す。

降雨による木和田地点の河川流量増加に伴い、流量調整ゲートを操作し、延長約5kmの導水路トンネル（開水路）から江川ダム貯水池上流端に導水する。トンネル内部の参考に、写真-1導水路トンネル（工事中）を示す。



図-2 木和田導水施設取水工の施設配置

表-1 導水施設 主な設備の諸元

取水堰	
型 式	固定堰
高 さ	2.6m
堤頂長	10.7m
取水堰土砂吐きゲート	
型 式	ローラゲート
寸法幅	2.0m×高さ2.1m 1門
流量調整ゲート	
型 式	スライドゲート
寸法幅	3.4m×高さ1.0m 1門
スクリーン	
材 質	SUS304
寸 法	幅2.2m×縦3.0m 2門
導水路	
寸 法	幅2.4m～4.5m×延長118.4m
導水路トンネル	
型 式	開水路流による水路トンネル
断 面	円形（内径Φ2.40m）
延長等	約5km（勾配1/1,680）



写真-1 導水路トンネル（工事中）

3. 管理と運用

(1) 取水開始前の条件確認

佐田川からの取水は、既得水利用及び河川環境の保全等に影響を及ぼさない範囲で行う必要があるため、取水制限流量は $0.40\text{m}^3/\text{s}$ となっている。図-3に木和田導水施設の取水フローを示す。取水するには、木和田地点の河川流量だけでなく、江川ダムの貯水量、寺内ダムの貯水量及び補給量を把握する必要があり、以下の条件を確認することで、最大 $3.0\text{m}^3/\text{s}$ まで取水することができる。

○木和田地点の河川流量が、取水制限である $0.40\text{m}^3/\text{s}$ 以上かつ、洪水量相当である $73.5\text{m}^3/\text{s}$ 未満であること。また、上流域で水質事故が発生していないこと。

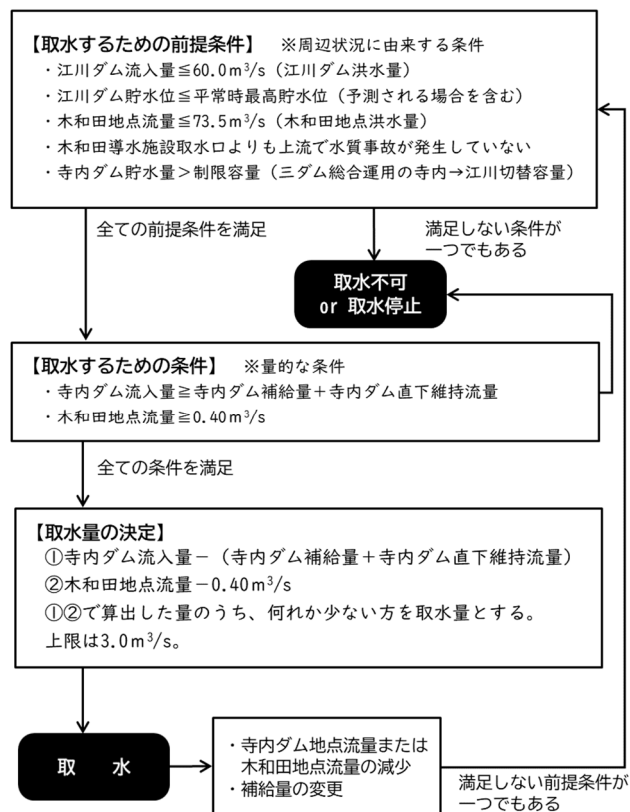


図-3 木和田導水施設の取水フロー

○寺内ダムの貯水量が制限容量以上であること。かつ、江川ダムに空き容量があり、導水を含む江川ダムの流入量が $60.0\text{m}^3/\text{s}$ （洪水量）未満であること。

○寺内ダムの上流で取水するため、取水に伴い寺内ダム流入量が減少する。流入量が補給量と維持流量の合計（放流量）以上あり、取水することにより、寺内ダムの貯水位が低下しないこと。

(2) 取水量の決定

木和田地点の河川流量は、水位から算出した値である。取水口は、水位計がある木和田地点より上流であるため、取水による木和田地点の流量増減を考慮して、取水量を決定する。

表-2に木和田地点の水位と流量の関係を示す。木和田地点における取水制限流量 $0.40\text{m}^3/\text{s}$ にあたる水位は $H=0.10\text{m}$ （ $0.45\text{m}^3/\text{s}$ ）である。施設特性による最小取水量（ $0.10\text{m}^3/\text{s}$ ）を取水したときに、河川流量が取水制限流量（ $0.40\text{m}^3/\text{s}$ ）未満にならない $H=0.11\text{m}$ （ $0.50\text{m}^3/\text{s}$ ）以上で取水を開始する必要がある。さらに、波浪による水位の変動を考慮して 0.07m 上位である $H=0.18\text{m}$ （ $1.00\text{m}^3/\text{s}$ ）を取水開始水位として運用している。

取水の開始は、放流工を含む導水施設周辺への人の侵入がなく安全な状況であること、取水口周辺に塵芥・土砂・流木等がなく安定的に導水が可能な状況であることを確認したうえで行う。

表-2 木和田地点水位、流量（2024年H-Q式より）

木和田地点水位 H (m)	木和田地点流量 Q (m³/s)
0.09	0.39
0.10	0.45
0.11	0.50
0.12	0.56
0.13	0.63
0.14	0.70
0.15	0.76
0.16	0.84
0.17	0.92
0.18 取水開始水位	1.00

取水開始後は、木和田地点の河川流量が1.00m³/sを上回る量だけ取水量を増加し、最大で2.8m³/sの取水を行う。取水量の上限は3.0m³/sであるが、実際の運用においては、確実に取水条件を満たすため、2.8m³/sを取水量上限として運用している。

逆に、河川流量が減少した場合は、取水量を減少させる（河川流量を増加させる）が、河川流量が取水制限流量（0.40m³/s）を下回ることが想定される場合は、取水を停止する。

(3) 自動制御

取水量の調整に用いる流量調節ゲートは、自動制御による操作が可能である。自動制御は、木和田地点の河川流量の増加・減少に対応し、10分毎に流量調整ゲートを1cm開閉する制御である。自動制御による操作においても手動操作と同様に、取水を停止する河川流量を0.40m³/s、取水量の上限を2.8m³/sに設定している。

自動制御による操作をすることで、夜間や休日の取水において、職員を常駐させることなく導水施設の運用が可能となり、職員の負担軽減に寄与している。ただし、降雨時には河川流量が大きく変動し、自動制御による操作ではゲート操作が河川流量に追従できないことから、河川流量が安定している時のみ自動制御による操作を設定している。

(4) 取水時の留意点

降雨で木和田地点の河川流量が増加したときに取水するため、塵芥や土砂が取水堰上流部に堆積しやすいことに留意が必要である。塵芥等が取水口に堆積し、ゲートの戸当たりや水密ゴムに詰まることにより、僅かな量であるが、漏水するおそれがある。

また、降雨終了による河川流量の減少に、自動制御によるゲート操作が追従しない場合、取水口の水位が低下する。水位低下が進み、流量調整ゲートよりも取水口水位が低くなると、取水の状態がアンダーフローからフリーフローに変わる。これにより、設定している取水量の算出式が適用出来なくなり、ダムコンに表示される取水量が3.0m³/sを超える。

そのため、木和田地点の河川流量だけでなく、取水口水位の監視にも留意が必要である。

4. 木和田導水施設の取水実績

(1) 運用開始からの取水実績

2022年7月から2025年5月までの年別の導水施設の取水実績を表-3に、2024年の取水堰流入量（木和田地点の流量と取水量の合計）と取水量、ダムの貯水量を図-4に示す。

導水施設の運用は、小石原川ダムの試験湛水が終了した2022年7月から開始しており、導水施設周辺の安全確認やトラブル発生時の緊急対応にも十分対応出来るように、昼間だけの運用としていた。また、2023年は7月出水による導水施設の被災やその後の濁水により取水が可能な日が少なく、取水実績は2022年は76万m³、2023年は24万m³であった。

2024年からは災害等もなく、昼間より取水を開始していれば夜間も継続して取水する運用に移行し、積極的に取水頻度を増加させた。その結果、2024年は318万m³を佐田川（木和田地点）から小石原川（江川ダム貯水池）に導水することができた。これ

表-3 木和田導水施設の年別取水実績

	取水日数	累計取水量
	(日)	(万 m³)
2022 年	11	約 76
2023 年	8	約 24
2024 年	52	約 318
2025 年 ※	13	約 29

※令和7年は5月31日までの実績を集計

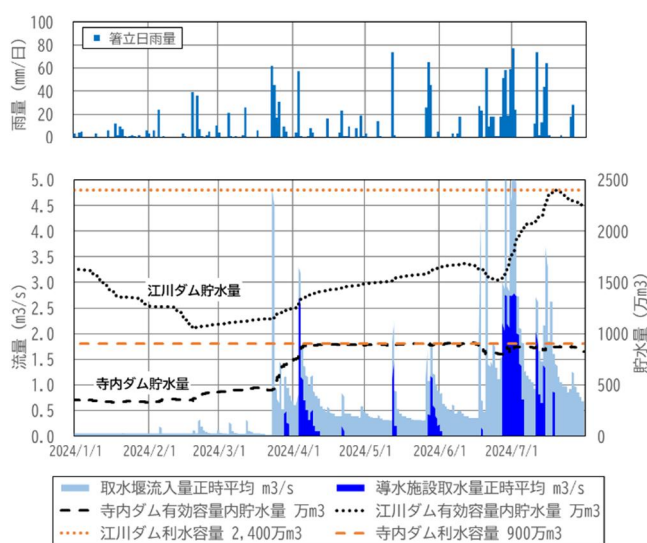


図-4 取水堰流入量と取水量、ダムの貯水量

は江川ダムの利水容量の13%に相当し、これにより寺内ダムの無効放流頻度を低減させることができた。

(2) 取水時の対応の一例

ここでは、取水時に発生したトラブルとその対応として、2024年5月28日の操作を一例として図-5に示す。

取水は5月27日から開始しており、午前4時頃に降雨の影響で急激に取水堰流入量が増加した。このとき自動制御により徐々に取水量を増加させる操作を行っていた。しかし、ダムコンに表示される取水量の増加が少ないことから、その原因は取水口水位が急激に低下したと考えられた。取水口水位の変動を確認するため、7時30分に自動制御による操作から手動操作に切り替えて開度を固定することで取水量の変動を観察した。しかし、取水量は増加しなかったことから、一端、取水を停止し、ゲートの状況を確認することとした。ゲートの状況を確認すると、取水口に塵芥や土砂が堆積しており、取水を阻害している状況が確認できた(写真-2)。

そこで、取水堰土砂吐きゲートよりフラッシュ放流を実施し、取水口付近の塵芥等を取り除いた。フラッシュ放流後は塵芥等が取り除かれ、取水口水位が回復したため、再度、取水を開始し、流量が安定したことを確認し、自動制御により、取水を継続することができた。

この事例から、塵芥や土砂が取水口にたまりやすく、取水を阻害する場合があるため、取水口水位にも注意して、定期的なフラッシュ放流が必要である



写真-2 取水口付近に堆積した塵芥等

ある程度安定したことを確認し、自動制御により、取水を継続した。

また、自動制御でも対応しきれない場合があるため、取水中は取水口水位の変化によっては、手動操作に切り替える必要があることがわかった。

5. まとめ

施設の特性等を念頭に、取水開始や停止の基準、最大取水量等の運用方針を定めて、自動制御による取水を行いながら運用した。その結果、2024年は7月までに300万 m^3 以上の水を佐田川から取水し、江川ダムに貯留することで、寺内ダムからの放流が無効となる頻度を低減することができた。

実際の運用に伴い、効率的に取水を行うため、取水口水位に注意して、定期的にフラッシュ放流を実施することが重要であり、また、状況に応じて自動制御による操作と手動操作を使い分ける必要があることがわかった。

6. おわりに

木和田地点の急激な流量変化に自動制御が対応しきれず、夜間に管理所にかけつけることがあり、現場での水運用の苦労を経験した。2024年は52日間取水を行い、江川ダム利水容量の13%相当を導水し、日々の積み重ねの重要性を感じた。

今後も試行錯誤を行いながら、導水施設を活用し、三ダム総合運用がさらに効率的になるように努めていきたい。

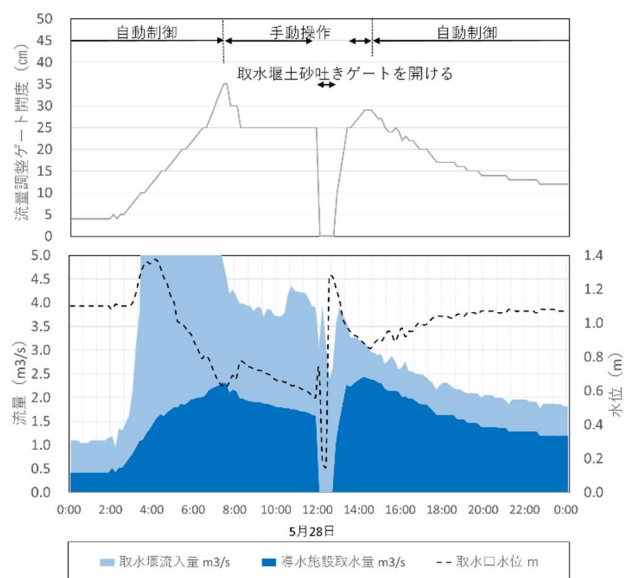


図-5 2024年5月28日の取水実績

吉野ヶ里歴史公園「古代の森」の 育成・維持管理について

長野 紋子¹・中村 友和²

^{1,2}九州地方整備局 国営海の中道海浜公園事務所 歴史公園課

(〒842-0035 佐賀県神埼郡吉野ヶ里町田手1869)

吉野ヶ里歴史公園は、「弥生人の声が聞こえる」を基本テーマに、吉野ヶ里遺跡の保存と施設の復元や発掘物の展示などの活用を通じて、弥生時代を体感できる場を創造することを目的に整備している。このうち、「古代の森」は、弥生時代の樹林を推定し、当時の森の再現を図り、森と人との関わり等を学べる場として整備し、2013年3月に開園した。本稿では、我が国固有の歴史・文化を継承するグリーンインフラとなる「古代の森」について、施工後10年以上が経過し成長した樹木が安定状態になり、次なる段階に進めるため取り組んでいる中期的な育成・維持管理について紹介する。

キーワード 公園、維持管理、育成、樹木、景観の再現

1. はじめに

国営吉野ヶ里歴史公園は、我が国固有の優れた文化資産である吉野ヶ里遺跡の保存及び活用を図るため、1992年10月の閣議決定により設置された計画面積約54haの国営公園である。その周囲には国営公園を一体となって遺跡の環境保全及び機能充実を図るため、約63haの県立公園が設置され、総面積約117haを吉野ヶ里歴史公園として整備している。

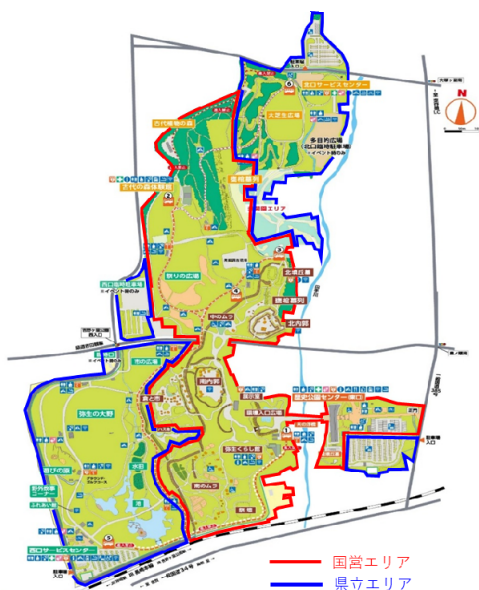


図-1 吉野ヶ里歴史公園園内マップ

公園の整備にあたっては、吉野ヶ里遺跡の特質を活かした歴史性豊かな土地利用、往時の景観の再現、テーマ性とストーリー性、遺跡の特性を活かしつつレクリエーションや体験学習等の機能と環境との調和といった点をふまえて、基本計画において公園としての土地利用について基本的な考えを定め4つのゾーン区分を決定している。

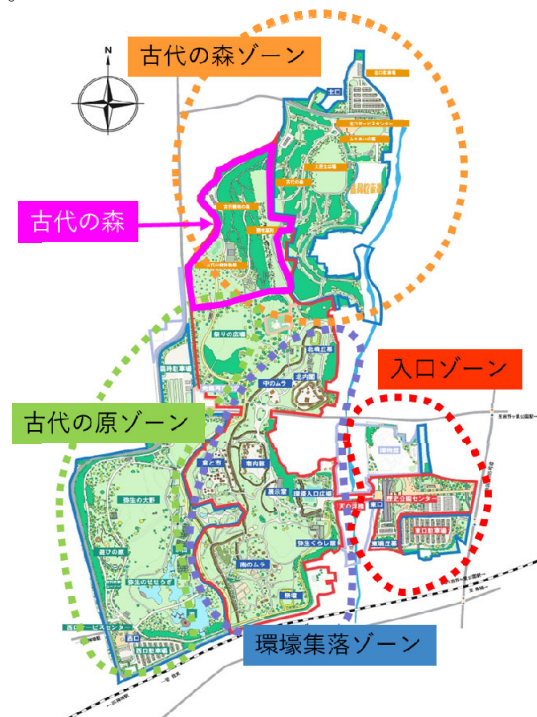


図-2 吉野ヶ里歴史公園ゾーン区分図

2. 古代の森について

(1) 古代の森ゾーンとは

古代の森ゾーンは、公園の北側に位置し、背振山系から弥生時代後期の環壕集落の様子を復元した「環壕集落ゾーン」へ続く豊かな森の中に、列状の甕棺等の遺構が存在するところであり、環壕集落の背景としても重要である。また、この地の弥生時代の樹林については、花粉・種子分析などにより、カシやシイ類の照葉樹の深い森であったと調査結果から推定されている。現在の発掘調査結果によると、弥生時代の遺構だけでなく、奈良時代の遺構の存在が確認されており、太宰府から肥前の国に延びる官道が吉野ヶ里歴史公園を東西に横断し、官道に近い場所には複数の掘立柱の建物跡や井戸枠が発見され、机のような板材や井戸枠から墨書きされた木簡も出土している。これらの結果により奈良時代から平安時代にかけて役所のような場所であったと考えられている。

古代の森ゾーンは植栽景観的にも歴史的にも公園の重要な位置を占める。



写真-1 甕棺墓列から背振山系を望む

(2) 「古代の森」の整備にあたってのコンセプト

古代の森ゾーンにおける「古代の森」は、弥生時代の人と自然の関わりや自然界における動植物を含む森の役割などを楽しく学べる場として、観察や散策、環境学習、市民による森づくり等の体験型プログラムの活用を図るため、以下の項目を掲げ整備を行っている。

- ・花粉分析等の学術研究等に基づき、弥生時代の森を再現する。
- ・生活の変化による森の変遷を通じて、古代人と自然との関わり合いを明らかにしていく。
- ・研修体験施設と連携し、森を活かした生活体験の場として活用する。
- ・「古代の森」北側は植物だけでなく、小型の哺乳類、鳥類、昆虫類が生活できる環境を整え、往時の狩猟の

様子が体験できる豊かな森とする。

(3) 生態移植工法による古代の森の整備

森の再現にあたっては、文化財の発掘調査により全域の表土が剥ぎとられ植物の生育にとって極めて厳しい状況であったため、生物多様性がある原生に近い森に早期に復元する目的で、近隣の山間部にある嘉瀬川ダムの湛水予定地の樹林を対象に、古代の森の植栽計画に合った樹木とともに野草や土中の生き物・埋土種子を含んだ土壌ごと森を移植する「生態移植工法」を中心に整備を行った。なお、再現された森では、観察や散策、環境学習、地域住民による森づくり等が実施され、それらの拠点となる「古代の森体験館」も整備している。



写真-2 生態移植工法の施工状況



写真-3 「古代の森」の整備前・直後状況



写真-4 「古代の森」の現在の状況

3. 古代の森の植生管理について

古代の森の植生管理については、古代の森にふさわしい景観形成やプログラム等の利活用に資する樹林を形成するため目標植生等を明示すると共に、目標植生の実現に向けた育成管理及び目標植生到達後の維持管理を適切に推進するための段階的な取組みや管理方法を示す必要があった。

(1) 植生管理計画の考え方

古代の森については、2009年度に管理運営計画を策定しており、それに基づく管理を行っていたが、植物という生き物を対象とする特性上不確実性を伴い、当初の管理方法では予定群種の保全が不可能であったり、目標とする樹林風景の確保が困難であるといった課題や、植生の変化状況等に基づき管理対象となる植物が変化した事で管理内容を見直す必要が生じた。そこで2018年に植生管理計画について再検討を行った。

公表されている古代の森のイメージ形成を前提とし、現状における生育樹種を有効活用するとともに、現状を踏まえた効果的な維持管理を実施するゾーニングを再定義し、管理段階を目標植生の実現に向けた『育成管理』と目標植生到達後の『維持管理』に区分して管理内容の整理を行った。

なお、本植生管理計画は、管理作業の実施結果や管理作業に伴うモニタリング結果、植生の変化等を踏まえ、必要に応じて更新を図っていくものとし、的確な植生管理を推進するために、必要に応じて専門家等のアドバイスを受けながら、より適切な植生管理が行えるよう柔軟な計画とした。

(2) ゾーニングの設定

古代の森では、使用目的及び機能により4つのゾーンを設定した。

①奥の森ゾーン

定義：深い森であり人が立ち入らない森

植生：常緑樹林、常落混交林

目標像：あまり人の手が加わらない、常緑樹や落葉樹の大木が生える鬱蒼とした森。多様性ある高木林。弥生時代に建築材や鋤、木皿などに利用した大径木や堅木、動物や木の実、キノコを採取した樹林。甕棺墓列を囲む祭祀の森。

利用像：森を歩き、古代の森や甕棺墓列に至る森の雰囲気を感じ取る。樹木観察、野鳥観察、間伐体験、クラフト材・イベント木材採取、木登り体験

②里の森ゾーン

定義：人里近く、日常的に利用されている林

植生：若齢萌芽林、有用木林

目標像：日常的に薪や下草を採取した林

伐採による更新が行われた若齢萌芽林

利用像：萌芽林の観察、有用植物の観察や利用・管理体験、クラフト材・イベント木材採取、炭焼き

③野辺の原ゾーン

定義：里の外れの野辺にある広大な茅場

植生：草地、疎林、湿地・水辺林

目標像：弥生時代の茅場

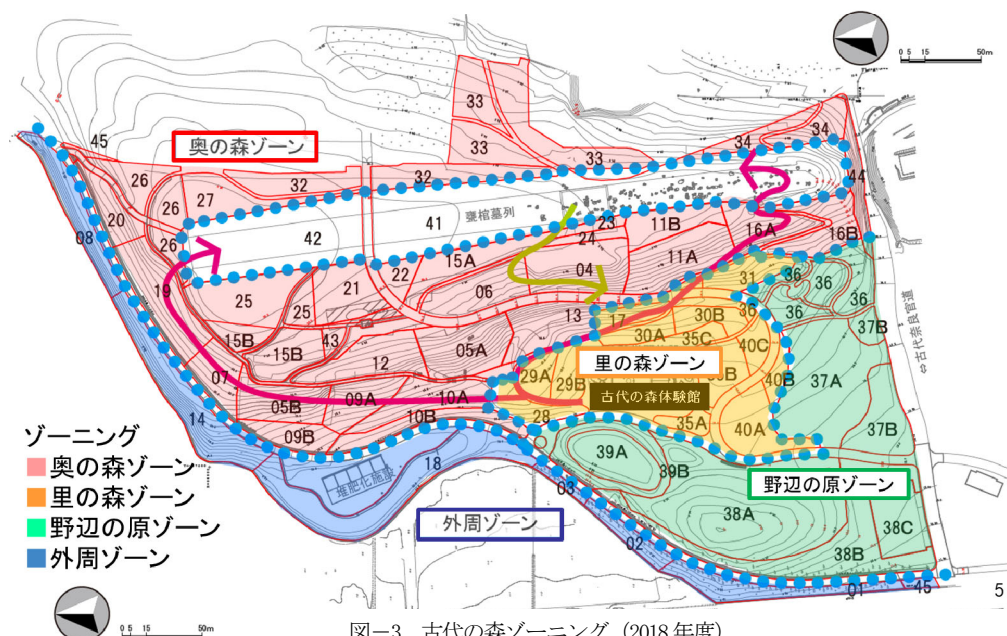
利用像：草地の自然観察（昆虫、草花）、管理体験・チガヤ、ススキ、クズの利用、草刈小屋づくり

④外周ゾーン

定義：入口付近は修景機能、管理ヤードから奥は遮蔽機能を確保した樹林

植生：常緑樹優先混交林、草地

目標像：修景機能、遮蔽機能を確保した樹林



(3) 段階管理

管理にあたっては、概ね15年後に目標植生を実現することを目指し、目標植生の実現までの『育成管理』と目標植生実現後の『維持管理』に段階分けを行い、各段階に応じた内容とゾーンに応じて段階管理を実施することとしている。

また、弥生時代において自然分布していないと考えられる樹種は除去することを原則として取り組むこととしている。

表-1 段階管理と対象ゾーニング

段階	考え方	ゾーン名
育成 (前期)	植栽や整備後における植物の活着や定着を促す管理段階 萌芽更新後に萌芽枝を育成したり、萌芽不良木を代替える樹木を補植したりする管理段階	奥の森ゾーン 里の森ゾーン (萌芽更新林) 里の森ゾーン (有用木展示林) 野辺の原ゾーン 外周ゾーン

育成 (後期)	植栽植物の定着後に、目標像に向けて、植生を育成する管理段階	奥の森ゾーン 里の森ゾーン (萌芽更新林) 里の森ゾーン (有用木展示林) 外周ゾーン
維持	目標植生到達後に、目標植生を維持する管理段階	奥の森ゾーン 里の森ゾーン (有用木展示林) 野辺の里ゾーン 外周ゾーン
	萌芽林の維持：持続的な萌芽更新により、0～12年程度の段階的な林齢林を動的に維持する段階	里の森ゾーン (萌芽更新林)

(4) 育成・維持管理ロードマップ

本計画を策定した2018年から目標植生が完成するまでの期間（概ね15年）における育成・維持管理のロードマップを作成した。

どのゾーンも生態移植からの期間は概ね同じであるが、各ゾーンにおける植生の状況に応じたロードマップを策定している。

表-2 育成・維持管理ロードマップ（抜粋）

ゾーン	年度									
	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	以降
奥の森ゾーン	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■
里の森ゾーン	■ ■ ■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■ ■ ■
野辺の原ゾーン	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■
外周ゾーン	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■

凡例 ■：伐採（主要木の目標密度に向けた劣勢木、競合木の間伐）
■：除伐・つる切り（メダケ・ハチクなどの株立木の刈払い、林冠を覆うクズ等の蔓の切除）
■：下草刈り（ネザサや除伐木から再生した萌芽等の刈払い）
■：機械除草（地際刈）

奥の森ゾーンを例に、施工イメージと実施工の状況を以下に示す。

(5) 管理施工

ロードマップ作成と併せて各ゾーンにおける管理施工イメージについても作成をしており、これらのイメージを元に有識者の意見を踏まえた上で管理を継続している。管理計画で定められたゾーンにおける各作業を該当年度に実施する事で適切な維持管理を実施している。

① 施工イメージ

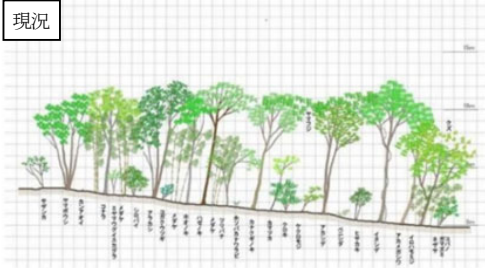
奥の森ゾーンの現況植生と目標植生のイメージ

植 生：落葉樹優先常落混交林

目標像：弥生時代に建築材等の大木の伐採等に利用したほかは、日常的な人との関わりが少ない

落葉樹の自然林
甕棺墓列を囲む祭祀の森
鬱蒼としつつも見通しが利く深い森
理想像：弥生時代の大木の森を楽しむ
自然観察や学習

現況



目標像

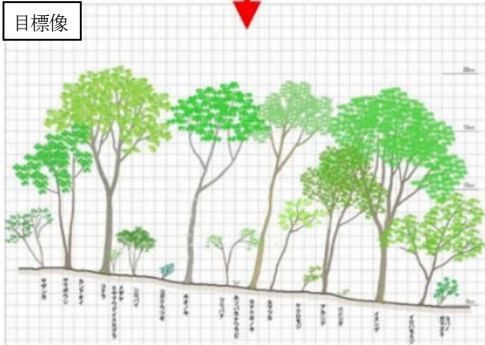


図-4 奥の森ゾーンの現況植生と目標像イメージ

② 施工

施工にあたっては以下の方針に沿って施工を実施しており、毎年、作業前に有識者と作業内容や作業時の留意点に関する確認・調整を実施した上で実作業を決定している。

また、作業完了後においても有識者により確認作業を実施する事で目標像に近づけている。

- クズのツル切、メダケ、細いアラカシ等の萌芽枝を除伐する。
- ハゼノキ等の外来種、アカメガシワ、ヌルデ、カラスザンショウ等の先駆種を除伐する。
- 過密箇所、劣勢木や落葉樹を圧迫する常緑樹を間伐する。
- 見通し確保のため園路沿いの注目種以外の大木類刈払い



写真-5 奥の森ゾーン施工前状況

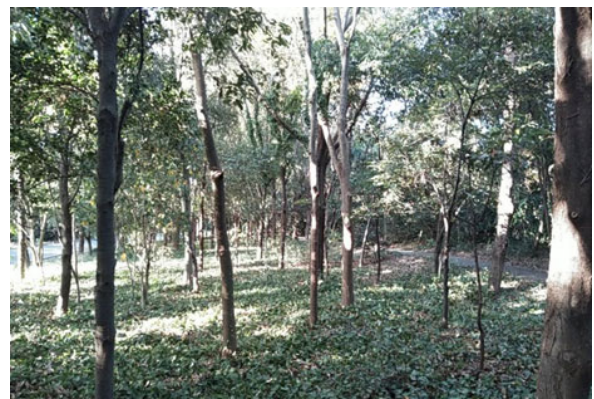


写真-6 奥の森ゾーン施工後状況

(6) モニタリング

古代の森の植生管理は、自然の樹林を再生することを目指しているため、目標植生の実現に係る不確実性がある。このため、植生管理を推進する上で発生する課題等を予め想定し、各影響の有無等を確認するためのモニタリングを実施している。

併せて、モニタリング時の結果による対応状況を記したチェックリストも作成しており、問題が発生した場合の対応時期の目安についてもまとめている。

表ー3 想定される課題とモニタリング項目

課題等	要因	モニタリング項目
クズや雑草等の繁茂による生育植物の被圧等	クズや雑草等は再生力が強く繁茂しやすいため、育成する植物等を被圧等することが想定される。	クズ、雑草の繁茂状況
メダケや除去木の萌芽に伴う林床景観等の悪化	除伐したメダケの再生や除伐した低木等が萌芽しやすいため、育成する植物の生育や、林床の見通し等を阻害することが想定される。	メダケ、除去木萌芽等の繁茂状況
保全種や保全すべき落葉樹の衰退	保全すべき種は、一定の明るさを要するものが多いため、それらが周辺の常緑樹等の被圧下となり、衰退してしまうことが想定される。	保全種や落葉樹等の圧迫状況
マダケやハチクの逸出等による周辺植生との競合等	マダケやハチクは拡散しやすいため、周囲に拡大し、周辺の樹林を衰退させることが想定される。	マダケ、ハチクの拡散状況
植栽植物の活着・生育不良	繁茂力が高い外来種が多く、植栽した植物が活着しなかったり、良好に生育しなかったりすることが想定される。	導入植物の初期段階の生育状況
萌芽更新後の枯死・生育不良、過密	エノキなどのように萌芽力が弱い樹種があるなど、萌芽更新した樹木の萌芽枝の枯死や生育悪化、過密が想定される。	萌芽枝の育成状況
病虫害	各地でナラ枯れ被害が発生しており、当該樹林でも発症の可能性があるため、カンヤクヌギ等に、ナラ枯れ病の発生が懸念される。	ナラ枯れ病の発生状況

4. まとめ

古代の森の植生管理は、自然の樹木を再生するため、目標植生の実現に係る不確実性を適確に把握し、植生の変化状況を見逃さないことが重要である。そのため、日常管理におけるモニタリングにより植生の変化を見極め、必要に応じて管理内容を修正し適正な植生管理を行っていく必要がある。

古代の森は開園から 12 年が経過し、自生樹木の成長と移植林の定着により弥生時代の風景を形成する重要な要素となっていることで、グリーンインフラとして我が国固有の歴史・文化を継承している。今後も段階的な管理を行い目標植生に近づけ、森を通して様々な学習や生活体験などに親しめるゾーンとしたい。

嘉瀬川ダムの水質特性に関する考察

永瀬 真豪¹・新山 幸宏¹・白井 耕平¹

¹九州地方整備局 佐賀河川事務所 管理課 (〒849-0918 佐賀県佐賀市兵庫南2-1-34)

嘉瀬川ダムでは7月～10月の温水放流が懸念されアオコや淡水赤潮の発生も散見されている。ダム貯水池の温水放流、富栄養化、近年の気候変動がダム貯水池の水質に及ぼす影響などの問題解決のための現象把握と総合水管理の評価手法の確立が要求される。本研究では、嘉瀬川ダムの水質特性の把握を目的として水質の考察を行った。選択取水位置の変更で温水放流の抑制は期待されるものの、選択取水位置はChl-aの上昇も考慮する必要があること及び副ダムにより放流水のSSが低減したことでダム建設後におけるダム下流河川のSSの低下及び変動幅が小さくなったことを指摘した。

キーワード 嘉瀬川ダム、温水放流、藻類、気候変動、濁水長期化

1. はじめに

管理開始後、嘉瀬川ダムでは出水等の影響により一時的に水質が悪化するものの比較的良好な状態であり、下流河川では濁水長期化の影響は報告されていないようである¹⁾。一方で、7月～10月の温水放流が懸念されており、H24年4月の管理開始以降、毎年ではないもののアオコや淡水赤潮の発生も散見されている²⁾。温水放流は下流河川の生態系等への影響が懸念されると共に、近年の地球温暖化への意識の高まりとともに注目されつつある³⁾。また、ダム貯水池において富栄養化の進行によりアオコや淡水赤潮が発生すると、景観障害やカビ臭発生といった下流河川での水利用等への影響が考えられる⁴⁾。

ダム貯水池の温水放流や富栄養化については、多くの調査研究が行われており、マニュアルも作成されている。また、ダム貯水池の水質管理、温水放流や富栄養化などの現象解明を目的として水質調査方法及び開発された水質シミュレーションモデルの活用方法や考え方を記載したマニュアル等も整備されつつある^{3), 4)}。曝気循環施設及び選択取水設備の運用改善や効果化を目的としてマニュアルも作成されている⁵⁾。近年の気候変動も踏まえて、気候変動がダム貯水池の水質に及ぼす影響とその評価検討も行われている⁶⁾。曝気循環施設及び選択取水設備の運用とダム貯水池内の水質との関連性やこれらを用いた水質改善に着目した研究^{7)~10)}が行われており、これらの研究成果により曝気循環施設及び選択取水の設備の運用と水質との関係は明らかになりつつある。一方、ダムの水質管理において、複数の水質問題がトレードオフの関係

となり、問題解決が困難となる場合もある。具体的には、水量・水質管理の観点からの問題解決のための現象把握と総合水管理の評価手法の確立が要求される。

本研究は、嘉瀬川ダムの水質特性の把握を目的として水質の考察を行った。

2. 嘉瀬川ダムの概要

嘉瀬川ダムの概略図（後述する水質調査位置も図示している）を図-1に示す。嘉瀬川ダムは、佐賀県佐賀市富士町の一級河川嘉瀬川に建設された多目的ダムである。管理開始は平成24年度、型式は重力式コンクリートダム、流域面積は128.4km²、総貯水容量は7,100万m³、湛水面積は2.7km²である。嘉瀬川ダムの目的は、洪水調節、不特定用水、かんがい用水、都市用水、発電である。また、冷温水放流、濁水長期化の軽減を目的として、選択取水設備並びに富栄養化対策として、曝気循環装置が4基設置されている。曝気循環装置は浅層曝気装置であり水位の変動に合わせて、吐出水深20mの位置で吐出空気量5.8m³/minで気泡を発生させ、貯水池内に循環流を形成している。選択取水設備は円形多段式シリンダーゲートで最大取水量30m³/s、取水範囲は47m（EL.245.5～292.5m）である。

3. 嘉瀬川ダムの水質特性

嘉瀬川ダムでは、流入河川6地点（中原、栗並、大串、浦川、小関、鷹ノ羽）、ダム貯水池内3地点（貯水池1、貯水池2、貯水池3）、下流河川2地点（ダム直下、古湯）で水質調査を実施している。

研究対象とした水質は、水温、Chl-a、DIN、PO₄P、SS及び濁度である。

(1) 水温の長期的変化

図-3にダム貯水池流入河川及びダム貯水池下流河川の水温並びに流入河川中原及び小関の平均水温と下流河川との差の経年変化を示す。なお、選択取水設備を自動制御する際の水質の監視地点である中原と小関を用いて流入河川の平均水温を算出している。

図-3から、下流河川古湯地点の水温は、経年的に上昇傾向にあり、温度及び変動は、下流河川ダム直下地点と連動している。下流河川古湯地点の水温と流入河川の平均水温（赤点線）との差はダム建設前の1℃程度に対して、ダム供用開始以降は2℃になり、また、流入河川の平均水温と下流河川との差の経年変化からも経年的にも

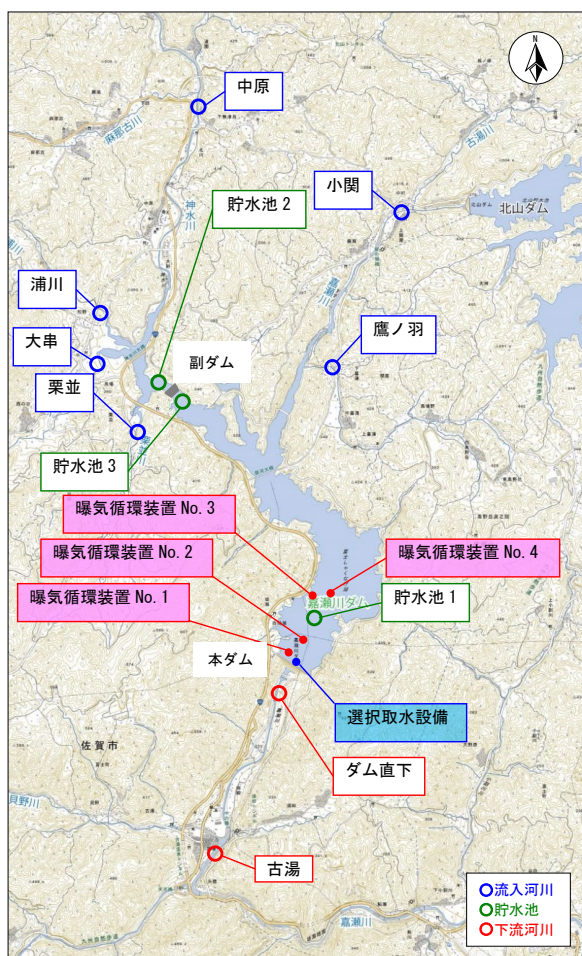


図-2 嘉瀬川ダムの概略図（水質調査位置も図示）

上昇傾向にある。特に、図中に縦帯で示す7月～10月にかけて流入河川の水温よりも下流河川の水温が高い傾向、前述のように温水放流の影響が見られる。

図-4に示すダム貯水池2（副ダム）の水温の経年変化から、副ダムの表層水温は概ね流入河川の水温と同レベルで推移し、ダム流入河川の水温と同様に1～2℃程度経年的に上昇している。図-5に貯水池1～貯水池3の水温の鉛直分布を示す（紙面の都合上、2023年のみ記載して

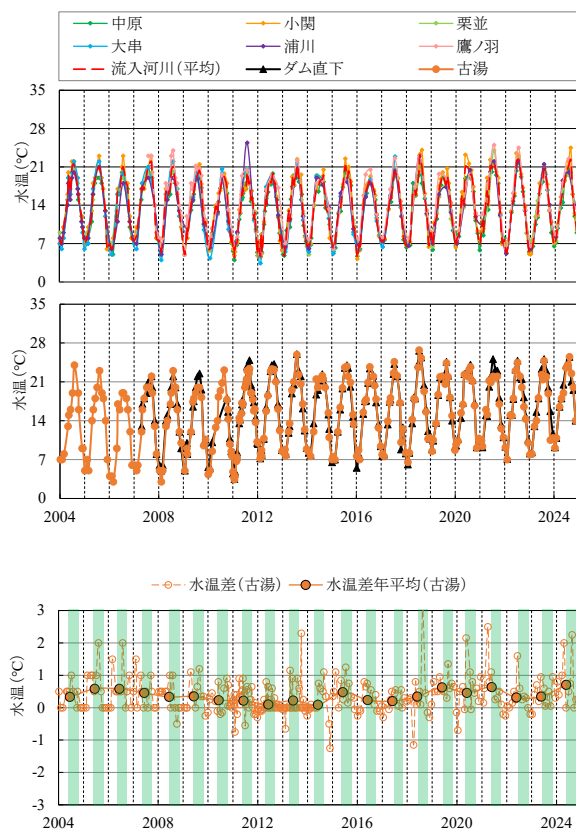


図-3 流入河川、下流河川の水温及び水温差の経年変化

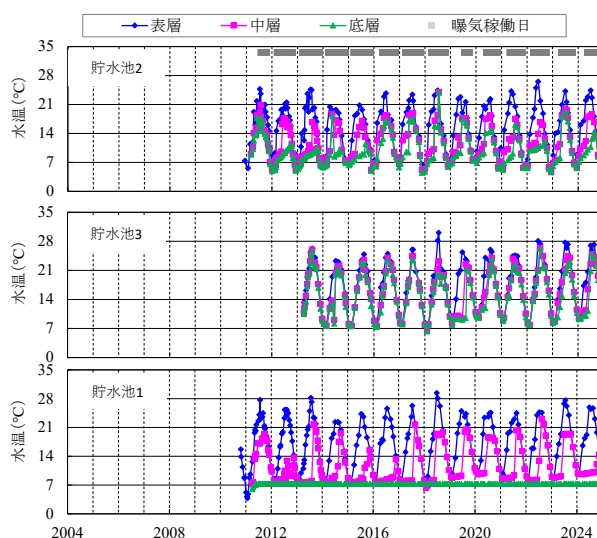


図-4 貯水池1～貯水池3の水温の経年変化

いる)ように、副ダムの水温の鉛直分布から、若干ではあるものの3月～11月にかけては成層化していることが分かる。

図-4及び図-5から、ダム貯水池3(副ダム直下)の表層水温は副ダムの表層水温より1～2℃程度高く、底層～表層まで概ね同じ水温であり、成層化が見られない。よって、副ダム直下はダム貯水池内の循環(流動)により概ね鉛直方向に混合されていると推察される。

図-5のダム貯水池1(本ダム)の水温の鉛直分布から循環期が1月～3月、成層期が4月～12月である事が分かり、曝気循環装置が稼働している期間(5月～11月)において、成層化が確認されるようである。曝気循環装置によるダム貯水池の水循環能力指標として、水資源機構の管理ダムで用いられているK値及びKH値によると、総リン濃度は0.02mg/lのダム貯水池で年最大水温勾配を

0.2℃/m 以下にするためには $K=200$ 、 $KH=4000$ (曝気循環装置の吐出水深は20m)とされる¹⁾。嘉瀬川ダムでは $K=108$ 及び $KH=2160$ (嘉瀬川ダムの年最大水温勾配及び総リン濃度はそれぞれ0.04～0.8℃/m, 0.02mg/l)であり曝気循環装置の能力不足も考えられるが、曝気循環設備のダム貯水池の水循環能力指標は種々考案されている事¹²⁾¹³⁾、曝気循環設備の運転パターンとの関連性¹¹⁾も考えられることから曝気循環設備による成層破壊、温水放流の抑制の詳細については更なる検討の予知があると思われる。一方で、図-6に示す水温コンター図と選択取水位置の経年変化から、選択取水位置を表層20m以下に設定すると放流水の水温はダム流入河川と同程度となり、温水放流の抑制につながる事が期待される。

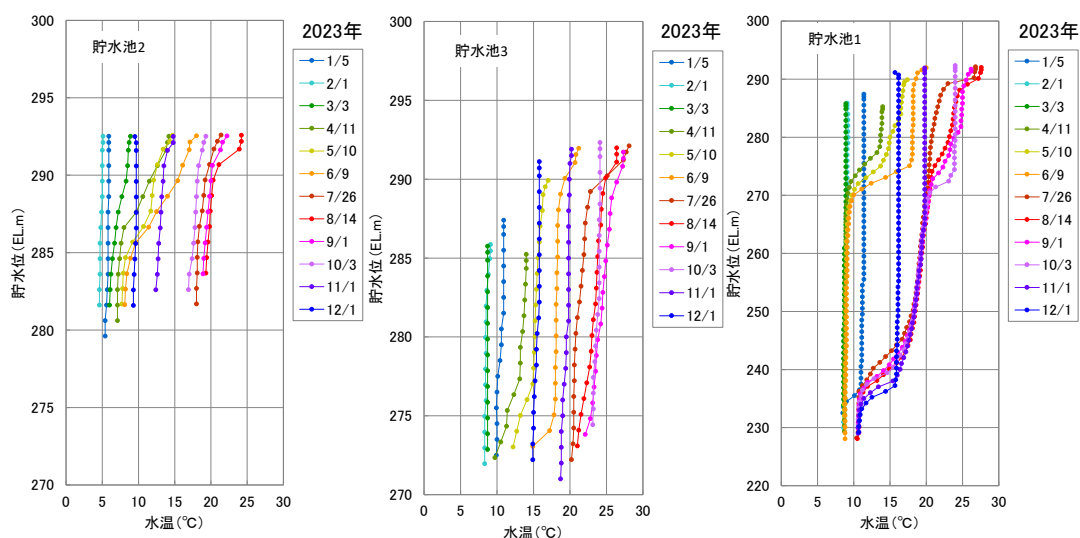


図-5 水温の鉛直分布

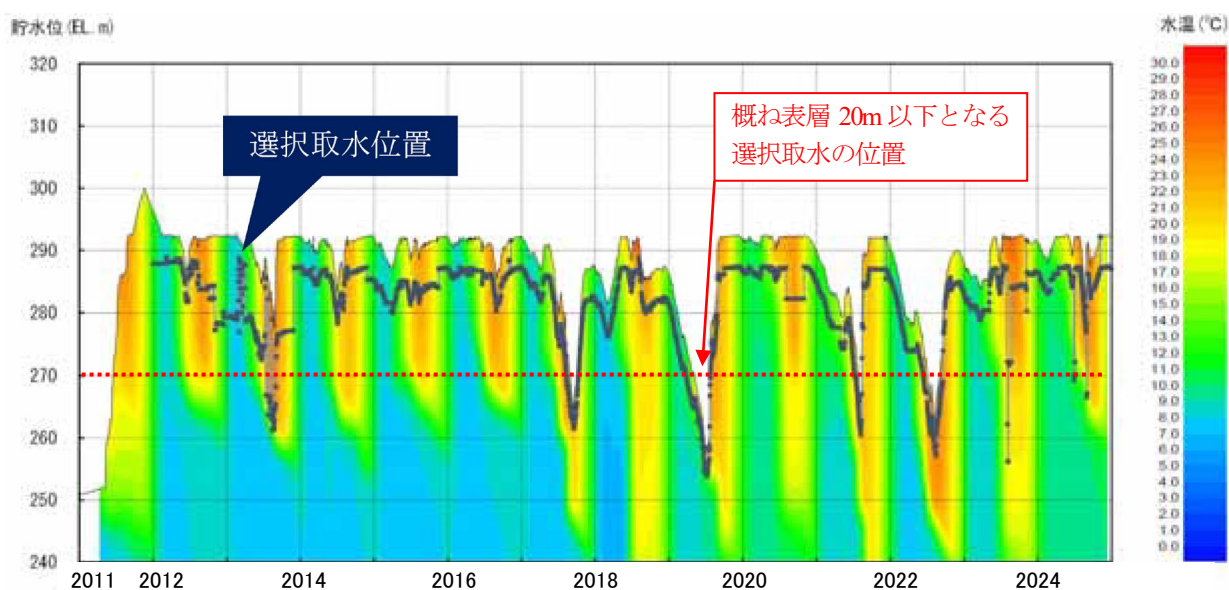


図-6 水温コンター図と選択取水位置の経年変化

(2) 藻類の挙動

図-7にダム貯水池2（副ダム）のChl-a, DIN, PO₄P及びダム貯水池流入河川のChl-aの経年変化を示す。ダム流入河川のChl-aは副ダム内に比べて低濃度で推移し、かつ、副ダムの表層Chl-aの濃度が上昇した際に表層栄養塩（DIN, PO₄P）濃度が低下していることから、副ダムによる藻類の増殖及び藻類による栄養塩の消費が示唆される。

図-8のダム貯水池3（副ダム直下）のChl-a, DIN及びPO₄Pの経年変化より、副ダム直下のChl-a濃度は表層～底層で概ね一致しており、鉛直分布は生じていないと思われる。また、副ダムと副ダム直下のChl-aは概ね連動して変化しているものの、濃度については副ダムより高く、副ダム直下の栄養塩（DIN, PO₄P）濃度は副ダムに比べて低濃度となっており栄養塩の消費が窺えること、副ダム直下の水温が副ダムより高温となっていることから、副ダムからの流入藻類が副ダム直下にて更に増殖したものと考えられる。

図-9に示すダム貯水池1（本ダム）とダム貯水池3のChl-aは双方とも概ね連動し、濃度は副ダム直下のChl-aより高濃度である。更に、嘉瀬川（小関地点）のChl-aとも連動し、本ダムの方が高濃度である。このことから、副ダム直下及び嘉瀬川（小関地点）から藻類が流入し、本ダムにて増殖したものと示唆される。11月～12月においては、貯水池1（本ダム）のChl-a濃度は表層～中層で概ね一致しており、水温の鉛直分布も一様に近いことから鉛直方向に混合されている（循環期に入っている）と思われる。HRT（水理学的滞留時間）が5日を超える、水

温が20℃以上であるとアオコが発生しやすいこと¹⁴⁾、Chl-aが20μg/l程度でアオコの微小群体が散らばって浮遊している¹⁴⁾との報告もある。このことによると、嘉瀬川ダムにおいてもHRTが5日を超えた時や水温20℃以上の時にChl-aが20μg/l以上を示している。一方で、曝気循環装置が稼働している期間においてChl-aの低下が見られる、このことは、曝気循環装置が稼働しているため曝気循環装置の効果も考えられるが、この間の表層栄養塩濃度の低下も見られることから、双方の影響による増殖抑制とも考えられる。前述したように選択取水位置を変更することは温水放流を抑制する可能性があるものの、選

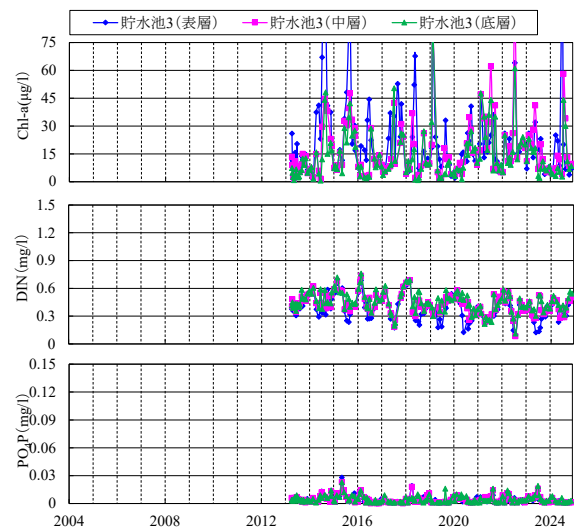


図-8 貯水池3のChl-a, DIN及びPO₄Pの経年変化

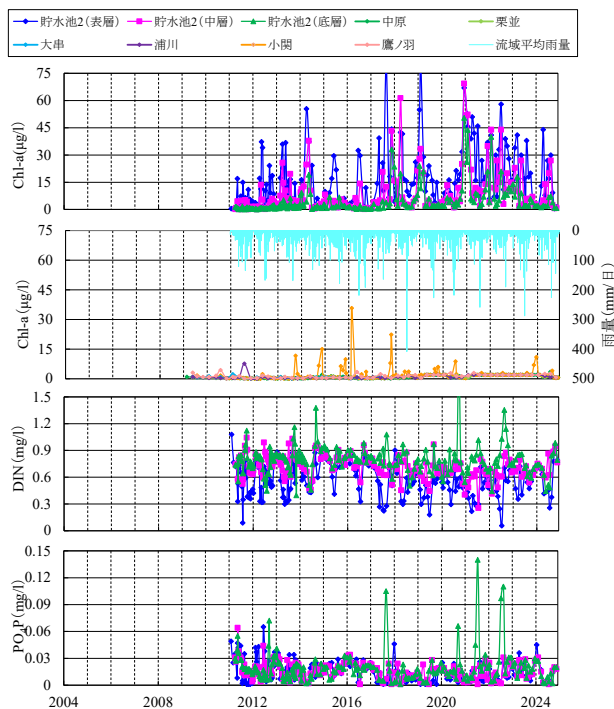


図-7 貯水池2のChl-a, DIN及びPO₄P並びに流入河川のChl-a経年変化

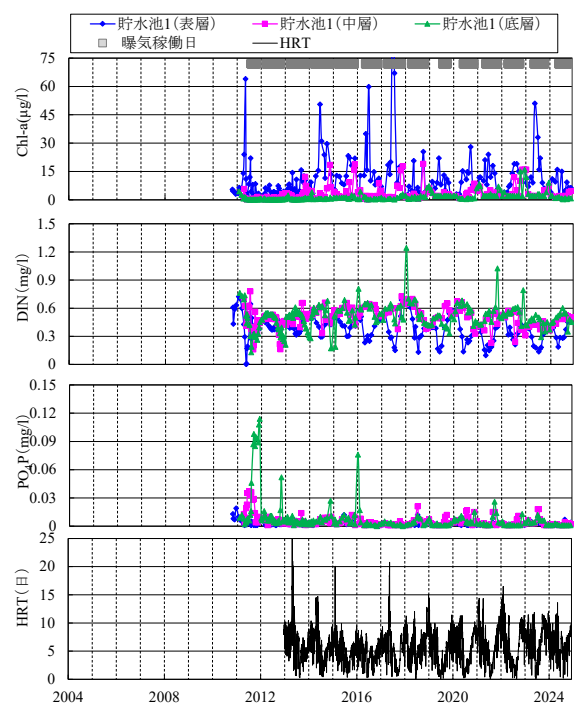


図-9 貯水池1のChl-a, DIN, PO₄P及びHRTの経年変化

択取水位置の変更により表層での滞留時間が長くなることでChl-a濃度の上昇を誘因するという報告例¹⁹⁾もある。これまでの嘉瀬川ダムの運用実績並びに以上の事を踏まえると、ダム貯水地Chl-aの上昇、ひいては、アオコ発生も抑制するような選択取水位置については更なる検証が必要であると考えられる。

(3) 懸濁性物質の変動特性

ダム流入河川及びダム下流河川では濁度の測定が行われていないため、主にSSを用いて考察する。図-10にSSの経年変化を示す。ダム流入河川のSSはダムの建設前後で経年変化は見られないため、高濃度は概ね降雨と連動していることから、出水によるものと考えられる。

図-11から、貯水池2（副ダム）のSSは流入河川と同じ濃度でかつ変動も概ね一致している。前述した出水時の流入河川の高濃度を示す時と一致していることから、これは出水時の流入負荷の影響によるものと思われる。また、表層、中層及び底層のSSについてはほぼ同じ濃度を示し、濁度の鉛直分布も概ね一様であることと既往の研究結果を踏まえる¹⁶⁾と、副ダムのSSは概ね流入負荷で規定されており、流入河川のSSより貯水池2のSSが低濃度であることから、沈降の影響が確認される。

図-11に示す貯水池1（本ダム）の経年変化から、貯水池1は嘉瀬川(小関地点)から直接流入しているものの変動については、貯水池2と同じく、SSが表層～底層でほぼ同じ濃度を示している、図-12の貯水池1の濁度の鉛直分布から、濁度の鉛直分布も年間を通して概ね一様である。貯水池1のSSについては、嘉瀬川(小関地点)からの流入河川の影響よりも副ダムからの流入の影響を受けており、副ダムからの流入負荷により概ね支配されていると考えられる。また、貯水池2に比べて濃度が低く変動幅も小さく、出水時の影響と思われる高濃度を示す頻度も少なくなっている。前述した貯水池1の濁度が鉛直方向に概ね一様であることと図-13の濁度コンター図と選択取水位置の経年変化から、選択取水位置を変更しても下流河川に長期濁水を及ぼす可能性は低いと推測される。

図-10に示している下流河川古湯地点のSSについては、ダムの建設前後と比べて、ダム建設後の濃度のほうが若干ではあるが低くかつ、ダム直下と概ね同レベルで推移している。上流のダム流入河川に見られた出水時の濃度上昇が見られず、濃度の変動幅も小さいようである。また、ダム直下と古湯地点は濃度及び変動も一致している。

以上のことを踏まえると、ダム建設後においては流入河川からのSSの流入負荷が副ダムにより低減され、流入河川よりも低濃度で放流することができたことによりダム下流河川のSSが低下し変動幅も小さくなったものと思われ、ダム建設時に想定していた副ダムの効果が現れているものと考えられる。

4. 結論

本研究では、嘉瀬川ダムの水質特性の把握を行った。主な結論として、水温の長期的変化として、本ダムの水温鉛直分布から、循環期が1月～3月、成層期が4月～12月、曝気循環装置が稼働している期間においても成層化している事及び7月～10月にかけてダム下流河川においては温水放流の影響が見られる事が分かった。選択取水

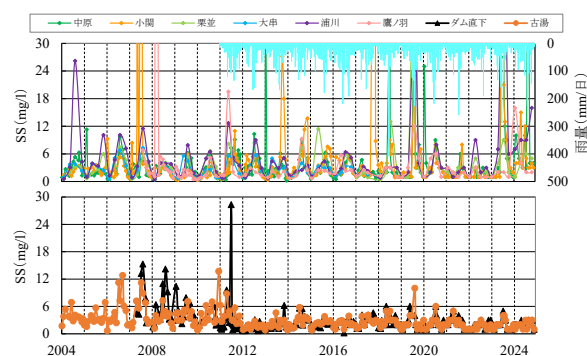


図-10 流入河川、下流河川のSSの経年変化

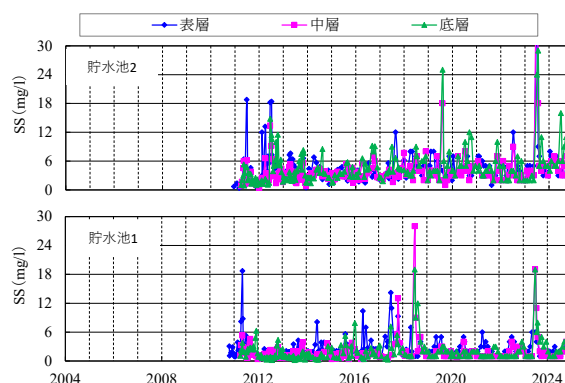


図-11 貯水池1及び貯水池2のSSの経年変化

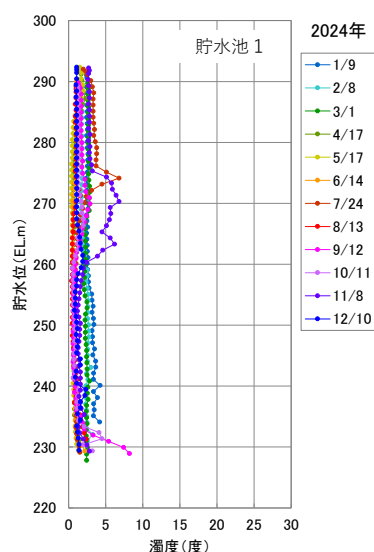


図-12 濁度の鉛直分布（紙面の都合上、2024年のみ記載）

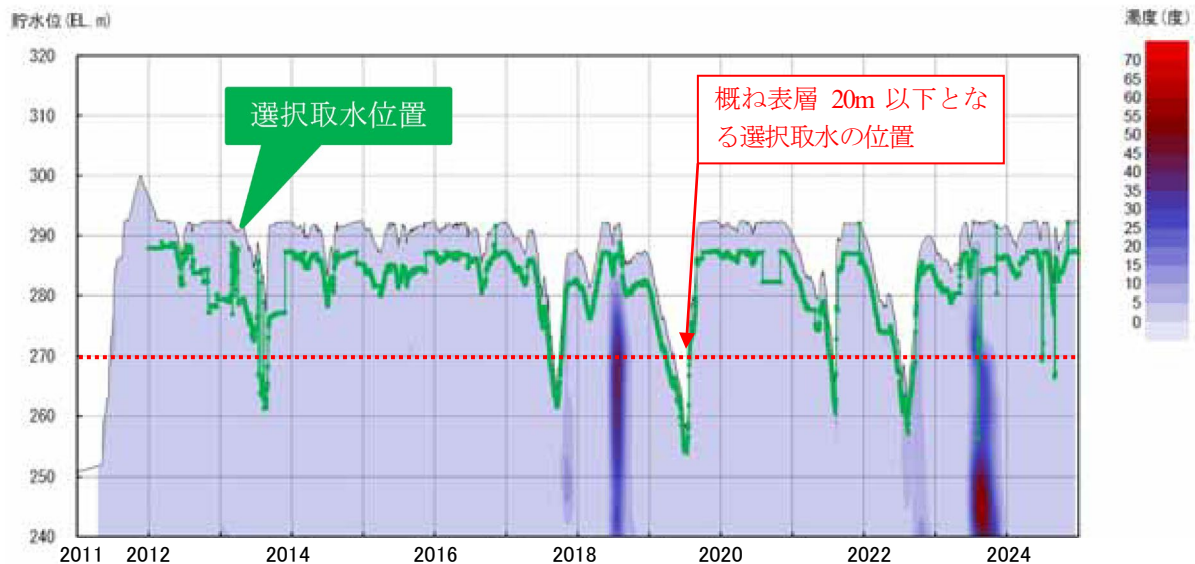


図-13 濁度コンター図と選択取水位置の経年変化

位置を表層20m以下に設定にすると、温水放流の抑制が期待されることを示した。

藻類の挙動として、HRTの増加及び水温の上昇によるものと思われるChl-aの上昇、すなわち、ダム貯水池内での藻類が増加すること、曝気循環装置の稼働に加えて、栄養塩濃度低下により増殖が抑制することを確認した。また、曝気循環装置の稼働よりも選択取水位置の変更の方が温水放流の抑制が期待されるものの、選択取水位置の変更によりChl-aの上昇やアオコ発生が懸念されることを指摘した。このことは、選択取水位置の変更により温水放流を抑制するにはChl-aの上昇も考慮して選択取水位置を決定する必要があることを示している。

ダム建設後におけるダム下流河川のSSの低下及び変動幅が小さくなったことは、濁水長期化を懸念して設置された副ダムにより放流水のSSが低減した効果によることを指摘した。最後に、本研究で得られた水質特性を踏まえて、温水放流抑制の実証実験を行うこととする。

謝辞：本研究の遂行にあたり、ご助言いただきました古賀憲一佐賀大学名誉教授に深謝いたします。

参考文献

- 1)国土交通省 九州地方整備局：令和3年度九州地方ダム等管理フォローアップ委員会 嘉瀬川ダム定期報告書【概要版】，2022年2月。
- 2)国土交通省 水管理・国土保全局 河川環境課：ダム貯水池水質改善の手引き，2018年3月。
- 3)国土交通省 水管理・国土保全局 河川環境課：ダム貯水池水質調査要領，2015年3月。
- 4)国土交通省 水管理・国土保全局 河川環境課：ダム貯水池水質改善に向けた水質シミュレーション活用のためのマニュアル(案)～基本的な考え方や設定に関する技術資料～，令和3年5月。
- 5)国土交通省河川局河川環境課：曝気循環施設及び選択取水設

備の運用マニュアル(案)，2005年10月。

- 6)国土交通省国土技術政策総合研究所：気候変動によるダム貯水池の水質への影響に関する研究，国土技術政策総合研究所資料，第856号，2015年8月。
- 7)有馬 慎一郎，佐々木 弘二，福崎 彰，古里 栄一，浅枝 隆：寺内ダムにおける曝気循環装置による藍藻類増殖抑制対策に関する考察（Ⅰ：曝気循環施設規模と藍藻類の抑制効果との関係），土木学会年次学術講演会講演概要集，第60回，第7部門，P.135-136，2005。
- 8)天野 邦彦，藤原 正好：成層破壊型曝気循環による貯水池水質変化の現地観測とその評価，環境工学研究論文集，第39巻，P.191-200，2002。
- 9)矢島 啓，吉川 栄，石黒 潤：ダム貯水池における選択取水設備を用いた水温成層コントロールに関する研究，水工学論文集，第51巻，P.1391-1396，2007。
- 10)牧野 育代，寶 馨，立川 康人：選択取水方式の導入が植物プランクトンの鉛直分布と生長環境に及ぼす影響，水工学論文集，第51巻，P.1379-1384，2007。
- 11)今本 博臣，田作 光良，古里 栄一：曝気循環によるアオコ・カビ臭抑制の効果検証，ダム貯水池の実証実験結果から，ダム工学，23巻，4号，P.278-289，2013。
- 12)浅枝 隆，池田 裕一，Imberger, J.：不連続な密度境界面を持つ成層中におけるBubble Plumeの挙動と成層の時間推移，土木学会論文集，438/II-17，P.23-30，1991。
- 13)丹羽 薫，久納 誠，久保徳彦，真田 誠至：流動制御システムに関する実験，土木研究所資料，第3375号，P.101-102，1995。
- 14)農林水産省：農業用ダム環境影響評価参考図書(案)～富栄養化編～，P.1-18，2021年3月。
- 15)田村 悠馬：嘉瀬川ダムにおける自動観測データを用いた植物プランクトンの挙動に関する研究，佐賀大学卒業論文，2025年3月。
- 16)Vongthanasunthom Narumol：水質モデルの活用による嘉瀬川ダムの水質管理に関する研究，一般社団法人九州地方計画協会 公益支援事業報告書(調査・研究活動)，平成29年度。

LEDトンネル照明の整備から10年経過後の検証

服部 陽向¹・成松 政幸²

¹九州地方整備局 佐伯河川国道事務所 流域治水課 (〒876-0813 大分県佐伯市長島町4-14-14) .

当事務所では2012年度から2014年度にかけて東九州道(佐伯～北浦)の14トンネルにLED照明を整備した。

整備当時はLED照明への転換期であり、2011年度に発出されたLED道路・トンネル照明導入ガイドライン(案)に基づき整備を実施したが、当時「後年課題となるテーマ」として考えられていた内容について、約10年が経過した現在、その検証を行ったものである。

キーワード トンネル照明, LED照明, 電力使用量, 電気代

1. 東九州自動車道(佐伯～延岡)について

(1) 特徴

平成27年3月に全区間開通した東九州道(佐伯～延岡)は28箇所全てのトンネルにLED照明を採用した区間である。

本区間は59.4kmのうちトンネル部が54%(合計28箇所。図-2の黒着色部がトンネル)であり、電気通信設備の整備費用の84%(図-2参照)、維持管理費用の89%(図-3参照)がトンネル整備で占められている。

そのうち、佐伯～北浦の14トンネルについて、当事務所が整備を行った。



図-1 東九州道(佐伯～延岡)路線図

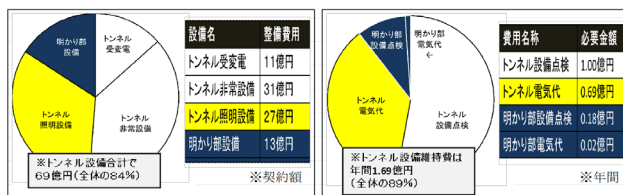


図-2 電気通信設備の整備費用内訳

図-3 電気通信設備の維持費管理費内訳

(2) 基本照明・入口照明について

トンネル照明は、大きく分けて基本照明、入口照明(出口照明)に分けられる。

基本照明はトンネル全長にわたり設置され、運転者が前方の障害物を安全に視認できるように、24時間連続点灯している(図-4参照)。

入口照明は、明るい外部からトンネルに入ってきた運転者が、入口付近の障害物を安全に視認できるように、外部の明るさに応じて制御されている(図-5参照)。

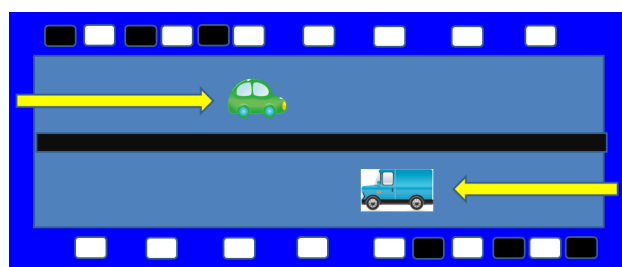


図-4 基本照明

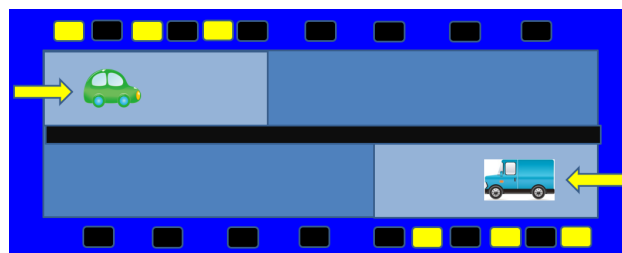


図-5 入口照明

(3) トンネル照明器具選定について

照明器具選定として、当初は「セラミックメタルハラ

イドランプ（以下セラメタ）」を採用する予定だったが、2011年9月に「LED道路・トンネル照明導入ガイドライン（案）」が発出されて以降、トンネル基本照明はすべてのトンネルにLED照明の採用を行い、トンネル入口照明は2013年度後半からLEDの採用を行い、結果的に4トンネルにおいてLEDを採用した（表-1参照）。

区間	電気室	トンネル名	延長	基本照明	灯数	入口照明	灯数
佐伯～蒲江	上岡電気室	上岡	516	LED	40	セラメタ	140
	佐伯電気室	佐伯	1,561	LED	139	LED	184
	大長瀬電気室	大長瀬	1,221	LED	95	セラメタ	136
	低圧受電（電気室なし）	谷川	261	LED	24	LED	140
	山口電気室	山口1	341	LED	31	LED	171
		山口2	1,056	LED	83	セラメタ	150
		三軒屋	1,047	LED	82	セラメタ	145
	山口下孫四郎電気室	下孫四郎	302	LED	24	セラメタ	122
	野々河内電気室	野々河内	2,819	LED	250	LED	152
	森崎・丸市尾電気室	森崎	1,202	LED	93	セラメタ	132
蒲江～北浦	丸市尾	丸市尾	334	LED	28	セラメタ	134
	浦之迫・葛原電気室	浦之迫(As)	1,667	LED	160	セラメタ	166
		葛原	2,778	LED	219	セラメタ	136
	陣ヶ峰電気室	陣ヶ峰(As)	2,751	LED	260	セラメタ	182

表-1 東九州道（佐伯～北浦）のトンネル照明設備結果

2. LED照明の導入の背景

(1) LED照明の導入について

国土交通省では、道路のインフラの省エネ・創エネを推進しており、道路・トンネル照明の省エネ化もその一部である。日本全国の国道（国管理分）において、道路・トンネル照明にかかる電気代は、年間約15億円に上っている。道路の新規開通・交通安全対策等により、管理すべき道路・トンネル照明が増加しているため、より一層の電力消費量の縮減が課題となっている。そのため、省電力化及び維持費低減を目的として時代とともに光源や設置方法を変化し、現在発光効率が高く、長寿命な光源であるLED照明への交換・導入を促進している。

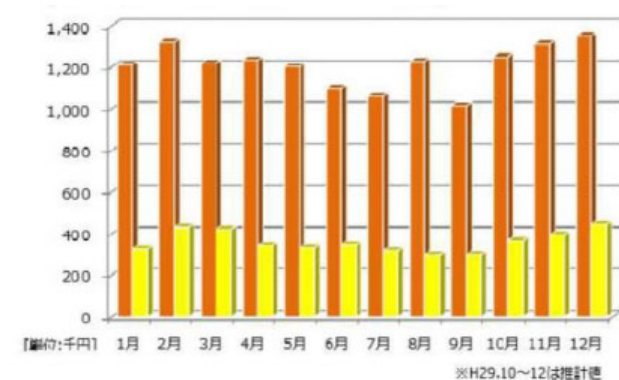


図-6 導入前後の電気料金比較（基本料金+電力料金）

(2) LED照明の低コスト性

道路・トンネル照明灯は、省エネ性能や機能が向上して来ており、初期は水銀灯や低圧ナトリウムランプが主流だったが、その後高効率な高圧ナトリウムランプやセラミックメタルハライドが使用され、現在LED照明への切り替えが進んでいる。LED照明灯はDC駆動で電気を光に変える効率がが高く、熱による無駄なエネルギーの放出や部品の劣化が少ないため、省エネかつ長寿命である。

灯具	消費電力 (LED比)	15年電気代 (LED差)	15年CO2量 (LED差)	ランプ寿命 (LED比)
LED照明灯 Zs	125W	約13万円	約3.3t	60,000時間
高圧ナトリウム灯 NHT220	285W (228%)	約29万円 (▲16万円)	約7.4t (4.1t)	24,000時間 (40%)
水銀灯 HF400	470W (376%)	約48万円 (▲35万円)	約12.2t (8.9t)	12,000時間 (20%)

表-2 道路照明の灯具別仕様一覧（灯り部）

器具	寿命	交換回数 (初期含む)	交換費	電気代 (15年分)	合計費用	CO2量 (15年分)
LED照明灯	約15年	1回	約25万円	約13万円	約38万円	3.3t
高圧ナトリウム灯	約6年	3回	約18万円	約29万円	約47万円	7.4t

表-3 道路照明灯1本あたりの維持費（15年分比較）

また、LED照明は、点灯してから全灯の状態になるまでの時間が短いという特徴から、センサーを使用し、車両や歩行者を検知していないときは現投資、検知したときに全点灯をするセンサー照明などの導入に向けた現場実証を実施している。

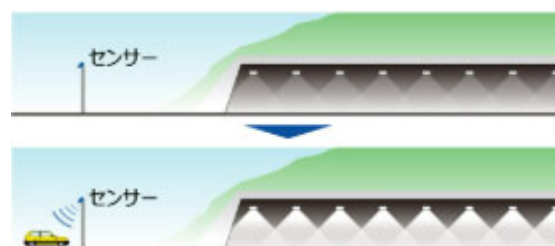


図-7 センサー照明

3. 東九州道（佐伯～延岡）LED導入時の効果

本区間を整備した当事務所及び延岡河川国道事務所が2015年にまとめた効果を下記に示す。

(1) 整備費用の分析

基本照明は灯具数、灯具単価及びケーブルサイズの減を要因として基本照明合計で7～16%の削減効果があった。基本照明の数はトンネルの長さにおおよそ比例す

るため、長いトンネルほど削減効果が大きくなる傾向が確認された。

入口照明は基本照明に比べて、求められる明るさが高い照明であり、現在も発展途上の技術であるため、灯具の価格はLEDが高価（平均5%増）となった。

しかし、基本照明同様、消費電力は少なくなるためケーブルサイズの減を要因として入口照明合計で1～1.3%の削減効果があった（図-8 参照）。

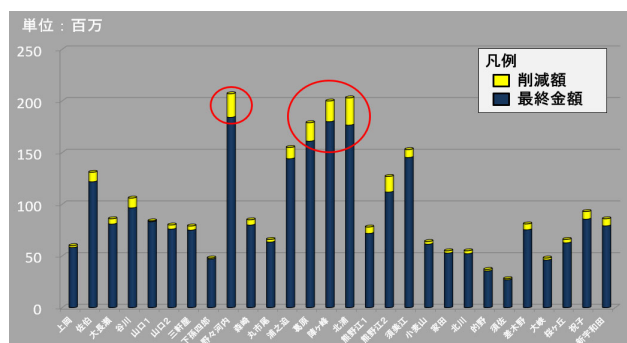


図-8 LED導入後の整備費用の変化

(2) 電気代の分析

基本照明の消費電力は1.4～1.9%の削減、入口照明の消費電力は4.3～4.7%の削減となった。全体的な傾向として、求められる明るさが高い灯具ほど削減率が大きくなることが確認された。

入口照明は基本照明より求められる明るさが高く、トンネル全体の消費電力の6～4割を占めているため、その削減効果は大きなものとなった（図-9 参照）。

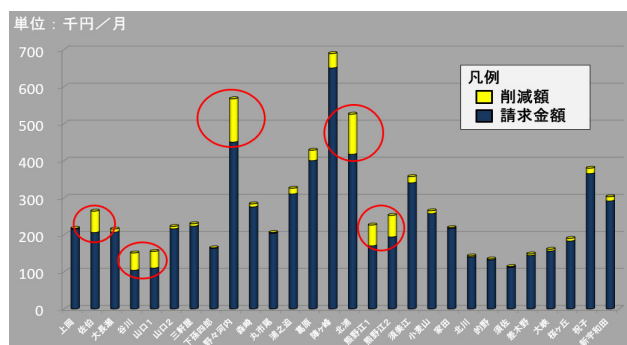


図-9 LED導入後の電気代の変化

(3) LED導入時の効果整理

トンネル照明の整備費用は29.5億円から27.4億に削減（2.1億円の削減）され、トンネル全体の電気代は7,600万円/年から6,900万円/年に削減（700万円/年の削減）がされた。

4. LED導入時の課題

整備当時、以下の点が課題として考えられていた。

(1) 球替え

LEDの利点の一つに「長寿命（10年）」があり、維持管理面では大きなメリットとなるため、これから10年はLEDとセラメタの球替えの実績を集計・比較することが求められる。

(2) 消費電力

照明は年数が経つことで同じ消費電力でも器具の老化により明るさが減少していく。しかし、LED照明には初期光束補正機能というものが備わっており、基準上の必要な明るさ以上の時は、使用電力を抑え、基準の明るさにすることで、消費電力が抑えられている（図-10参照）。

一方で寿命を過ぎると、消費電力を上げて基準の明るさに保とうとする仕組みとなっているため、経過年数と消費電力上昇率の確認が必要となる（図-11参照）。

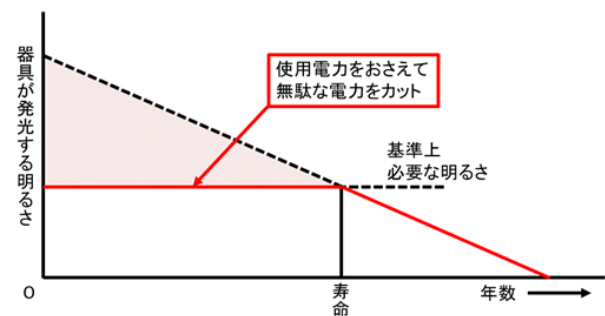
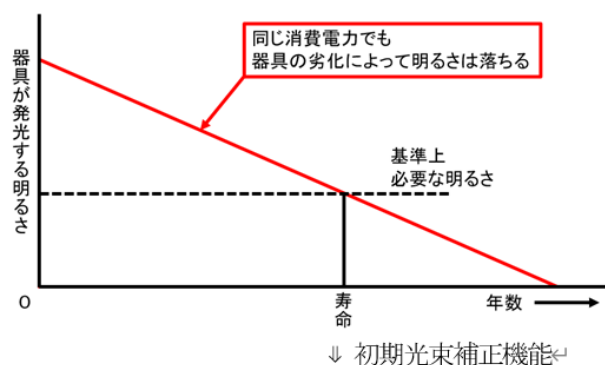


図-10 初期光束補正機能

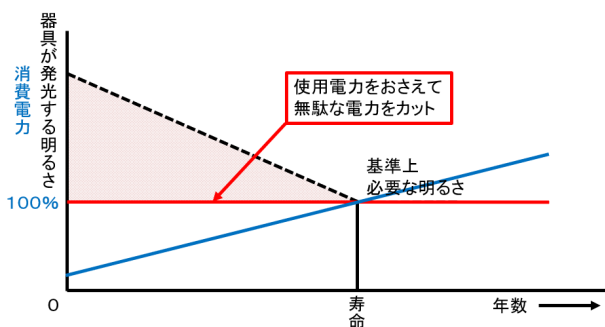


図-11 初期光束補正機能に消費電力の変化

5. 10年経過後の現状

先述の課題について、東九州道（佐伯～北浦）に設置してあるLED照明及びセラメタ照明が2015年から2025年の10年間で、「球替えを何灯実施したのか」、また供用開始当時と2025年の電気料金を比較し、「消費電力に変化があったのか」下記に示す。

(1) 球替え

セラメタ照明は、2021年に10灯、2022年に10灯、2023年に22灯、2024年に19灯、計61灯球替えを実施した。

LED照明は、2021年に3灯、2022年に7灯、2023年に17灯、2024年に5灯、計32灯球替えを実施した（表-5参照）。

区間	トンネル名	令和3年		令和4年		令和5年		令和6年	
		セラメタ	LED	セラメタ	LED	セラメタ	LED	セラメタ	LED
佐伯～ 蒲江	上岡			1		5		2	
	佐伯								
	大長瀬	1		1					
	谷川								
	山口1								
	山口2			1		2		2	
	三軒屋			1		6		4	
	下孫四郎	3		1					
	野々河内				1		1		
蒲江～ 北浦	森崎	1		2	2	1	1	3	1
	丸市尾					2	4		
	浦之迫(As)		2	1	1	2	8	5	3
	葛原	2		1	2	3	1	1	1
	陣ヶ峰(As)	3	1	1	1	1	2	2	
	小計	10	3	10	7	22	17	19	5

表-5 球替え灯数

今回、調査を行ったトンネルのセラメタ照明の総灯数が1443灯、LED照明の総灯数が2175灯あり、10年間で交換したセラメタ照明の灯数が61灯、LED照明の灯数が32灯と、セラメタの球切れ率が4.2%に対し、LED照明は1.6%であった。この結果よりLED照明が球切れが少ないことが確認された。

(2) 電力使用量

LED照明は、初期光束補正機能で得られる節約効果は、メーカー毎に多少の差はあるが、約15%の削減と考えられていた。つまり、寿命である10年後が100%と考えると、設置当時は85%の使用量になることから、10年後の使用量は、設置当時の使用量の約1.18倍の使用量になことが予想される。

調査を行ったところ、想定されていた増加量が確認されなかったため、各照明メーカーは、当時の技術基準以上の性能をもった製品を製作していた事が確認できた。

上岡			
西暦	和暦	使用量 (kwh)	請求金額
2015	H27		
2016	H28	10,878	198,337
2017	H29	10,722	202,126
2018	H30	10,686	213,048
2019	H31	10,908	228,575
2020	R2	10,848	223,701
2021	R3	10,982	180,288
2022	R4	10,871	168,389
2023	R5	10,784	194,218
2024	R6	10,269	226,910
2025	R7	実績	10,661
		当時の想定	12,798

浦之迫・葛原			
西暦	和暦	使用量 (kwh)	請求金額
2015	H27	41,745	746,089
2016	H28	42,084	702,988
2017	H29	41,196	711,155
2018	H30	41,592	768,041
2019	H31	41,314	683,838
2020	R2	40,891	702,538
2021	R3	40,691	591,594
2022	R4	40,380	639,347
2023	R5	41,247	701,089
2024	R6	40,578	814,833
2025	R7	実績	40,912
		当時の想定	49,112

陣ヶ峰			
西暦	和暦	使用量 (kwh)	請求金額
2015	H27	30,198	657,106
2016	H28	30,444	636,527
2017	H29	30,732	512,070
2018	H30	30,732	548,402
2019	H31	31,434	530,549
2020	R2	31,180	574,878
2021	R3	31,091	459,824
2022	R4	31,985	476,956
2023	R5	31,959	518,495
2024	R6	32,306	624,104
2025	R7	実績	32,046
		当時の想定	35,527

表-6 10年経過後の電気使用量の変化

6. 今後対応が求められる内容

(1) 入口照明のLED化

省エネ化に向けて、現在、入口照明がセラメタ照明のトンネルもLED照明に交換していく必要がある。

入口照明と同時に基本照明も寿命が来る前に更新する必要がある。

今後、本区間を管理している延岡河川国道事務所において更新工事を行う予定である。

(2) 照明灯以外のトンネル設備の更新

省エネ化、コスト削減も大事だが、トンネル設備は人命に関わる設備のため、安全性を保つための適度なメンテナンスが必要である。

トンネル設備には照明設備のほかに、非常用設備（警報表示盤、押しボタン式通報装置など）、受変電設備（発動発電機、無停電電源装置など）、ケーブル（電源用、通信用）や配管などがある。

今後の課題としては、老朽化による「非常時に動作が不良」とならないよう、定期的なメンテナンス、効果的な延命化措置の他、本区間は先述のとおり区間全体で69億円分の設備を設置しており、更新には大規模な予算が必要であることから、設備の耐用年数を見越した、計画的な予算措置が必要である事が考えられる。

参考文献

1) 国土交通省ホームページ

<https://www.mlit.go.jp/tec/content/001362070.pdf>

2) 国土交通省ホームページ

<https://www.mlit.go.jp/tec/content/001362070.pdf>

3) 国土交通省ホームページ

<https://www.mlit.go.jp/road/sisaku/utilization/datanansoka/roadinfra.html>