能登半島地震 TEC 派遣における災害調査の DX
～UAV を用いた三次元データ取得とその情報共有について～

宮﨑　優真[1]・南竹　知己[2]・米元　博之[3]・猪井　知明[4]

[1]九州地方整備局 福岡国道事務所　用地第二課　用地第二係　（〒813-0043 福岡県福岡市東区名島3-24-10）
[2]九州地方整備局　九州技術事務所　副所長　（〒830-8570 福岡県久留米市高野1-3-1）
[3]九州地方整備局　延岡河川国道事務所　河川管理課　課長（〒882-0803 宮崎県延岡市大貫町1-2889）
[4]九州地方整備局　熊本河川国道事務所　建設監督官　（〒861-8029 熊本県熊本市東区西原1-12-1）

令和6年能登半島地震により被災を受けた自治体に対し，九州地方整備局より延べ2，270名/日のTEC-FORCE（緊急災害対策派遣隊）が派遣された（令和6年3月31日現在）．そのうち，令和6年1月14日（日）～1月20日（土）に派遣されたUAV部隊（BlueHawks）による被災状況調査班（ドローン（砂防））が取得した三次元点群データ，オルソモザイク，スフィア（360°）画像並びに現地動画のデータと情報共有にかかるDXの効果について報告する．また災害調査のDXにおけるポイントとして，UAVの運用と取得したデジタルデータの提供・共有についての両観点から報告する．

キーワード　UAV，能登半島地震，DX，災害復旧，三次元点群データ，スフィア（360°）画像

1. はじめに

(1) 令和6年能登半島地震の概要

令和6年1月1日16時10分頃，石川県能登地方（輪島の東北東30km付近）深さ16kmでM7.6の地震（最大震度7）が発生し，石川県輪島市及び志賀町で震度7を観測したほか，能登地方の広い範囲で震度6弱以上の揺れを観測するなど甚大な被害が発生した．

(2) 被害状況（人・家屋など）

能登半島地震により，死者260名，負傷者1，579名（消防庁情報：令和6年6月4日14:00），住宅被害においては全壊8，424戸，半壊20，461戸，一部損壊96，826戸（消防庁情報：令和6年6月4日14:00）避難者数2，854名（内閣府：令和6年6月4日14：00情報）．

2. 被災状況調査の概要

令和 6 年 1 月 14 日（日）～1 月 20 日（土）に北陸地方整備局を通じて国土交通本省より，能登半島にて UAV（Unmanned Aerial Vehicle（無人航空機））を用いた被災状況調査の依頼があり，TEC-FORCE（ドローン班（砂防））として派遣された．

依頼内容は 3 ヶ所 6 地点の砂防・河道閉塞調査．また，派遣期間中に海岸津波調査としてさらに 3 地域が追加された．（図-1）

図-1　調査箇所

01_市ノ瀬町（輪島市）・02_町野町_寺地川（輪島市）・03_町野町_鈴屋川（輪島市）・04_町野町_金蔵川（輪島市）においては，法面崩落，河道閉塞ならびに湛水状況の調査．（04_町野町_金蔵川（輪島市）においては土砂崩落により調査箇所への到達不可のため未調査）

05_清水町（珠洲市）・06_仁江町（珠洲市）においては，国道249号沿岸部の海岸隆起，大規模土砂崩落地，逢坂トンネル崩落地の調査．

07_宝立正院海岸（珠洲市）においては，堤防被災状況調査及び津波被害調査．

各地区，点群データ（sfm），スフィア（360°）画像，遠景・近景動画の3種での撮影を行った．

3. 現地の状況

七尾市, 穴水町より家屋倒壊・損壊が見られ, 輪島市・珠洲市では古い家屋は全壊もしくは半壊. 非木造建物においても1階部分が潰れるなど, 交通状況は非常に悪く, 道路の陥没・崩落, 橋梁すりつけ部分の段差, 被災現場へ向かう車両の渋滞などの影響により活動拠点（富山県高岡市内）から現場まで片道4〜5時間を要した. （写真-1）

写真-1　被害状況（珠洲市某所）

4. 調査に向けて

作業期間は移動日を除き4日, ただし, 悪天候の影響により, 実質の調査可能日数は2.5日の見込みと非常に厳しい状況. 移動時間や燃料, 撮影箇所の優先順位等総合的に鑑みて, 以下行程にて調査を実施した.

1月16日(火)	現地調査1日目	輪島市被災箇所調査、道路状況確認
1月17日(水)	現地調査2日目	珠洲市被災箇所調査、海岸調査追加
1月18日(木)	雨・降雪のため内業	SVT作成、動画伝送
1月19日(金)	現地調査3日目	輪島市被災箇所調査、道路被災調査

図-2　調査実施行程

5. 調査内容・実施

(1) 現地スケジュール

調査箇所における基本的な作業ルーティンは以下のとおりである.

・フライト箇所の安全性確保
・機体準備（組立,点検）・撮影対象の把握
1.全体俯瞰空撮・現況把握のための偵察フライト
2.動画（遠景）
3.動画（近景）
4.スフィア（360°）画像
5.三次元点群データ（sfm）及びオルソモザイク用画像
・片付け・最終確認

(2) 調査内容

a) 令和6年1月16日（火）

・輪島市町野町　鈴屋川

悪天候が予想されていたが, 辛うじて天候が回復し, 飛行可能な状況となったため近景・遠景動画, スフィア（360°）画像, 点群データの取得を行った.

法面崩落が広範囲にわたって発生し, 鈴屋川上流では河道閉塞の確認. 土砂が田に流れ込み湛水被害も見られた.

・輪島市町野町　寺地川

法面崩落が各地で発生し, 土砂・立木流出により道路の寸断を確認. また, 山腹において複数のクラックをスフィア（360°）画像で確認. （図-3）

図-3　鈴屋川（左）・寺地川（右）のスフィア画像

b) 令和6年1月17日（水）

・珠洲市　直・正院・上戸・宝立海岸

国土交通本省治水課海岸室による権限代行区間の調査依頼. 津波による浸水範囲の確認並びに堤防護岸・消波ブロックの被害調査. 約 5,100m において堤防護岸損壊を確認. （図-4）

図-4　宝立地区および見附島（写真右奥）のスフィア画像

c) 令和6年1月18日（木）

・輪島市市ノ瀬町

山頂から約1,000m, 幅約300mという大規模土砂崩れが発生. 複数箇所において, 土砂ダム, 河道閉塞ならびに湛水被害を確認. （図-5）

図-5　市ノ瀬町・三次元点群データ

・珠洲市　長橋漁港

国道249号沿岸部05清水町～06仁江町へ向かう道中にて,海岸隆起の激しい長橋漁港を通過したため追加調査.

最大4mほどの隆起による海岸や漁港の干上がりを確認.震源地から約2kmと非常に近いが,地盤が強い地域のため家屋被害はほぼ見られなかった.（図-6）

図-6　長橋漁港・スフィア画像

・珠洲市清水町～仁江町

国道249号沿岸部における大規模土砂崩れ・地すべり並びに道路崩落箇所調査.

飛行距離は約2,800m,高さ約200mという長距離かつ高さのある現場であり,海岸沿いの影響による強風,付近では家屋が土砂に流され捜索活動中という,UAVの運用としては非常に厳しい状況であった.（図-7）

図-7　国道249号（珠洲市清水町～仁江町）の三次元点群データ

6.　取得データの処理・作業について

今回取得した各データの処理,作業の流れ,所要時間,特徴は以下のとおりである.（図-8）

(1) 三次元点群データ

数百枚の静止画（約 0.8GB）を携帯電話回線を用いてクラウドサービスへアップロードすると,AI による三次元化処理が開始される.完了すると閲覧・計測が可能な URL が発行される.所要時間は約 1 時間程であり, 関係機関への URL の送付により三次元点群データが共有される.なお,被災地は通信事情が厳しいという情報を得ていたため,調査箇所に向かう途中,3 キャリアの通信可能エリアを予め把握,帰還時に通信可能エリアへ戻って,データのアップロード処理と確認を実行した.

(2) オルソモザイク画像

三次元点群データの処理と同時に,クラウドでデータ処理され,完了後に URL が返送されて,閲覧が可能となる.

(3) スフィア（360°）画像とSVT

複数枚のスフィア画像（約0.1GB）を用いて上空から複数視点で360°を見渡せるSVT（Sky Virtual Tour）を作成し（約1GB）,大容量ファイル転送システムで事務所PCへ送付.整備局ホームページサーバへのアップロードにより,インターネットからSVTの閲覧が可能となる.

所要時間は約3時間.内訳は作成に約1.5時間,転送・ホームページアップロード作業に約1.5時間（通信状況による）.ホームページへのアップロード作業について,職員ではなく企業等に委託している場合は,ホームページの作成や修正を行うため追加で1～2日を要する可能性がある.

(4) 動画（HD）

現地で撮影した複数の動画データは,被災地の通信事情が悪かったことから,記録媒体で北陸地方整備局　金沢河川国道事務所へ持込み,DXネットワークを経由して,国土技術政策総合研究所DXデータセンターへ保存することにより,取り急ぎ省内で動画ファイルを共有した.動画データは容量が重く,HD画質・15分程度のフライトでも10GB以上となるため,通信事情が悪い被災地からのデータ伝送は非常に困難である.複数の動画データを関係機関で共有するには半日以上の時間が必要であり,4Kなどの高画質動画ではさらに時間を要する.また,ダイジェスト版作成等の編集作業にも時間を要するため,例えばスターリンク衛星等,被災地から高速通信が可能な手段が求められる.

	三次元点群データ	360°画像（スフィア）	動画（HD）
時間	約1時間	約3時間	半日～1日
サイズ	約0.8GB （数百枚の静止画）	約1GB （数枚の360°画像）	約14GB （数個のHD動画）
作業	三次元化処理（Pix4D） ↓ クラウドサーバのURL共有	SVT作成（1.5時間） ↓ 大容量システムにて事務所PCへ送付 ↓ アップロード（1.5時間）	事務所へ持込み ↓ DXデータセンターへ送信
特徴	・AIによる三次元化自動処理 ・携帯回線でクラウドへの送付可能 ・作業時間が短い	・SVT作成に時間を要する ・個人でアップロード可能であれば早い	・メモリ等を利用して事務所へ持込み必要 ・ダイジェスト等の編集作業に時間を要する

図-8　各データ処理・作業の特徴

7. DXの効果

(1) 迅速な情報共有

災害時において，上空からの被災状況把握は極めて有効であり，従来から防災ヘリコプターを用いたリアルタイム映像の共有やオルソモザイク画像の取得など，特に人が立ち入れない場所や広域の状況把握などについて大きな成果が得られていた．

その一方で，応急復旧や仮設に必要な「距離・高さ」「面積」や崩落土砂量などの「体積」などについては，人が現地に立ち入って計測を実施する必要があり，時間や費用がかかることや調査の安全性の担保についてが課題とされてきた．また，従来の動画による被災状況の調査についても，「任意の場所を任意の時間に確認できない」「被災箇所の全容を把握するために動画全ての確認が必要」「距離や面積，体積などの定量的に把握したい」などの意見が出るようになった．

それらの課題やニーズに対して，TEC-FORCE隊員がUAVを直接運用することで「短時間でデータ取得が可能」「三次元のデジタルデータが取得出来る」「組織内職員で手配が完結し，情報共有も迅速に出来る」など高度なデジタルデータ取得に至るまでのハードルが低くなった．UAVの運用により，ヘリコプターから取得した広域での被災状況に加え，被災箇所の近景動画や三次元点群データ，オルソモザイク画像，スフィア（360°）画像など様々なデータ取得が可能となり，全体把握だけでなく測量・土量算出・断面図作成・標高や勾配測定・任意視点での状況確認など用途に合わせた利活用が可能となった．

さらに，動画に比べて容量の小さな三次元点群データやスフィア（360°）画像を，現地や移動車両の中で作業・処理し，AIによる三次元化自動処理ソフトを使用することで，当日中のデータ共有を行えるようになった．

今回の災害派遣においては，通信事情が非常に厳しい被災地でありながら，現地調査終了後わずか3時間半で被災地の点群データを国土交通本省・北陸地方整備局を通じて人命救助・捜索関係機関へ提供し，二次災害の防止等に活用された．（図-9）

調査期間中のとある一日例

15:30	当日最後の現地調査開始
16:00	調査終了
帰還中の車内にて	・三次元点群データをクラウドサーバ（Pix4D）へアップし処理 ・スフィア映像によるSVT作成
19:20	宿着、三次元点群データ処理完了確認
19:30	三次元データURLを関係機関に送付、共有完了

図-9　現地調査後3時間半で全国にデータ共有

(2) 北陸地方整備局　能登復興事務所での活用例

九州地方整備局から出向した職員を通じて，北陸地方整備局　能登復興事務所において，取得データの活用例・利点等の聞き取りを行った．

a) 被災状況の把握

スフィア（360°）画像を用いて，立入りが厳しい箇所の現地イメージの把握や，三次元点群データの計測機能による地形の把握，発注予定箇所の崩壊土量の算出等に活用した．操作も直感的にできるため，大いに役立った．

b) 現地調査

未開の岬の調査（踏査）は非常に不安だったが，三次元データ等をあらかじめ閲覧することにより，通行可能なルートを事前にイメージでき，現地でも映像を確認しながら啓開できた．

c) 地元説明会

資料が何もない状況だったが，俯瞰的な視点による写真のため，住民の方に対して工事用道路の応急復旧イメージを持ってもらえ，スムーズな説明を行えた．（図-10）

図-10　実際に使用した地元説明会資料

8. 災害調査のDXにおけるポイント

(1) いち早いデータ共有のために

a) 被災地へ到達するためのルート選定

道路状況把握のため，北陸地方整備局との打合せで現地調査班から情報収集を行い，トヨタ通れた道マップ，複数ナビ（Google，Yahoo!等マップ）の活用，X（旧Twitter）等での関係機関の情報を用いて，被災地までのルート選定を行った．

また，既に現地入りしていたUAV部隊からの渋滞状況・所要時間などの聞き取り，現地調査中に遭遇した他機関（消防，警察，自衛隊，自治体）から直接情報を聞き取る手段も有効的であった．（写真-2）

b) 調査不可日でのデータ処理・作業

UAVは天候に左右されやすく，また北陸という地域柄降雪も発生していたため，調査前の天気予報では終日調査不可日が予測できた．終日作業日に充てることで，その日までに必要な調査箇所・データを隊員内で認識し，効率的に調査・データ取得を行った．

c) 機体整備・WEB会議が可能な車両の用意

移動中や天候回復までの待機中,天候不良日などに,車両内にてUAV機体の整備やデータ処理・編集,WEB会議などの作業が行える環境整備は非常に重要である.

今回の災害派遣では災害対策車を九州から陸路で運び,データ処理や機体・システム整備で常に使用した.

d) 三次元点群データの最優先

動画に比べて大幅に容量の小さい三次元点群データは,全体把握だけでなく測量・土量算出・断面図作成・標高や勾配の測定など様々な場面で利活用がなされる点,処理スピードが非常に短時間である点を踏まえると,最優先に作業すべきである.リアルタイムを除く動画データの伝送など,容量が大きく時間を要する作業は後回しにすることでデータ共有を早く行える.

写真-2　現地調査中に遭遇した他機関より情報収集を行う

(2) UAV運用のコツ

a) UAV部隊の個別編制・運用

道路・河川被災調査部隊と合同で編制し,併せてUAV調査を行う方式は,一見効率が良い手段かと思われるが,UAVの飛行にあたっては「全体が俯瞰可能な見晴らしの良い場所」「調査箇所の真横ではなくやや離れた箇所」「付近に木々がない場所」など,地上からの調査班とはやや異なってくるため,地上班とは分けてUAV部隊単体として個別の編成・運用が効率的である.

b) 緊急用務空域のフライトの理解

緊急用務空域とは,警察・消防活動等緊急要務を行うための航空機の飛行が想定される場合,UAVの飛行を原則禁止する空域を指定し,インターネット等に公示するもの.緊急要務空域での飛行にあたっては航空局への個別許可・承認（緊急時は電話可）の取得が必要であり,災害時であれば誰でも飛行可能ではない点を理解する必要がある.

緊急要務空域での飛行許可の取得により,通常では不可能なフライト方法（対地高度150m超,DID,空港周辺など）にも対応可能である.

9.　まとめ

従来,上空からの被害状況の把握においては,広域から狭域まで一元的にヘリコプターがリアルタイム映像の提供により担ってきたが,今回の災害派遣のようにTEC-FORCEがUAV部隊を運用することで,三次元データの取得による被災状況の定量的な把握や,ヘリコプターと比較して狭域なエリアでの上空調査部分をUAV部隊が受け持つことにより,ヘリコプターが得意な広範囲かつ概括的な被災状況調査についてより効率的に専念することが出来るようになると考えられる.

また,ヘリコプターによる広域の動画に加えて,近景動画・三次元点群データ・オルソモザイク・スフィア（360°）画像を組み合わせたSVTなど,多種のデータの取得により,様々な用途に合わせた利活用が可能となった.中でも三次元点群データについては,クラウドサービスによる三次元化自動処理ソフトにより,調査を実施した当日中の三次元データ共有が可能となり,今まで数週間掛かっていた被災箇所の距離や面積,体積のデータがわずか数時間で共有可能となり,大幅な災害調査のDXを達成した.

一方,いくつかの課題も明らかとなった.そのうちの一つで大きかったものが,寒さによる機器への影響である.現地の平均気温は0℃～8℃と非常に寒く,降雪する場面もあったため,九州地方整備局が保有する機材では,周囲環境温度が運用限界に近く,送信機のバッテリー残量減少や,点群取得に使用する自動航行ソフトが起動できず,やむを得ずマニュアル操縦で点群取得を実施する等の問題が発生した.そのほか,雪の反射光によるカメラ調整,寒さによるUAV送信機の操作のしづらさが挙げられる.

また,被災地ということもあり,現地では捜索・救助のヘリコプターが頻繁に飛行しており,場合によっては調査中のUAV付近を通過するため,航空機優先・無人航空機が回避のルールに基づき,途中でフライトを中断するような場面が時々あった.これらの課題についてはADS-B受信機搭載の機体への更新等が有効であると考える.

さらに,2月のUAV調査班では,点群取得中で機体の機動が制限される状態において猛禽類に襲撃されたことから,やむを得ない場合に限り,対策として本務機とチェイス機との2機同時運用で,鳥類を牽制しながら飛行する方法が有効であったという連絡を受けている.これらの課題や改善策を踏まえ,さらなるDXの推進に努めていく所存である.

今回の取り組み及び本論文の執筆にあたり,助言・指導頂いた皆様,そして業務多忙の中快く送り出していただいた福岡国道事務所の皆さまに,改めてここに感謝の意を表す.

最後に,能登半島地震により被害を受けられた方々に心よりお見舞いを申し上げます.

国道202号中村大学前交差点改良事業における整備効果について

栗田　耕一郎[1]・中山　湧太[2]

[1]九州地方整備局　福岡国道事務所　交通対策課長　（〒813-0043 福岡県福岡市東区名島3丁目24-10）

[2]九州地方整備局　福岡国道事務所　交通対策課　（〒813-0043 福岡県福岡市東区名島3丁目24-10）

国道202号中村大学前交差点は、市道城南学園通りと交わる福岡市城南区の交差点であり、下り線において直進2車線から直進1車線と右折車線になるため、無理な車線変更に伴う事故が多発していた。

本稿では、令和5年2月22日に下り線において直進車線を2車線化する交差点改良事業が完了した国道202号中村大学前交差点について、「事故件数」「危険挙動」「交通の円滑化」「利用者の声」の観点で把握した整備効果について述べる。

キーワード　交差点改良，交通安全、ボトルネック，ETC2.0プローブデータ、アンケート調査

1. はじめに

(1) 箇所概要

国道202号中村大学前交差点は、福岡市城南区の国道202号と市道城南学園通りが交わる交差点であり、中村学園大学の前に位置する。（図- 1）

当該交差点は、下り線（至糸島市）において、直進2車線から直進1車線と右折車線に絞られる202号のボトルネック箇所になっているため、渋滞が発生し無理な車線変更に伴う事故が多発していた。（図- 2）

図- 1　位置図

図- 2　整備前の現地状況

(2) 事業完了までの経緯

中村大学前交差点は平成22年度に事故危険区間（事故ゼロプラン）[1]に選定、更に平成25年度には主要渋滞箇所[2]に指定されるなど、交通安全と渋滞の両面から対策の必要性が求められていた。

そのような状況で、事業の用地買収に大きく関係する中村学園大学が大学敷地内の再配置計画を予定していたため、平成26年・平成27年に再配置計画と調整を行い、協力しながら一体的に整備するという事で、翌年の平成28年に1種事業として事業化された。事業は順調に進み、令和2年度には第5次事故危険個所[1]に登録されたが、令和5年2月に工事が完了し、同年2月22日に供用された。

本稿では、供用から1年が経過した中村大学前交差点改良事業について、「事故件数」「危険挙動」「交通の円滑性」「利用者の声」の観点で把握した整備効果について報告する。

表- 1　事業完了までの経緯

時期	内容
平成 22 年度	事故危険区間に選定
平成 25 年度	主要渋滞箇所に指定
平成 27 年度	福岡市長が要望書提出
平成 28 年度	事業化
令和 2 年度	第 5 次次危険箇所に選定
令和 5 年 2 月 22 日	事業完了（供用開始）

2. 事業内容（整備内容）

中村大学前交差点改良事業では、直進車線が1車線のみであった下り線において、直進車線を2車線に増設することで、ボトルネックを解消し、交差点付近での無理な車線変更や直進阻害の減少による、交通事故の削減を図り、併せて自転車通行空間の新設も実施した（図-3・図-4）。

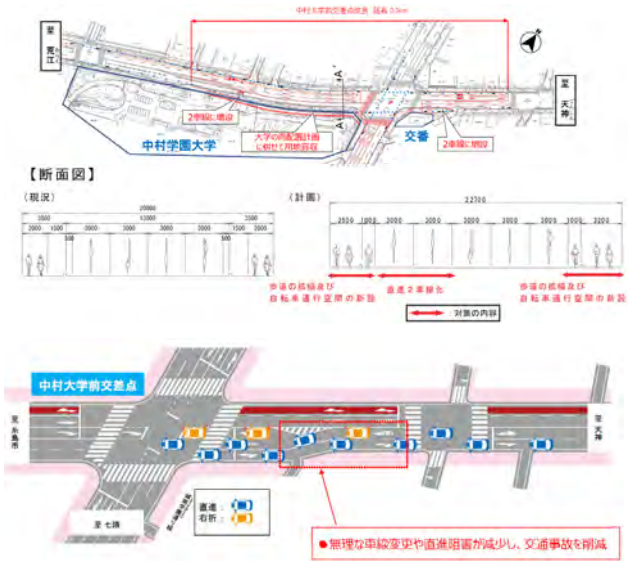


図-3　整備内容

図-4　整備後の現地状況

3. 整備効果

(1) 事故件数

事故件数の変化で整備効果を検証した。

直進車線を2車線に増設した下り線では、事業化前の直近4年間（H24-27）は平均10.3件/年の死傷事故が発生していたが、整備後1年間（R5.3～R6.3）は3.0件/年と約7割減少した（図-5）。

次に事故類型別に死傷事故件数を確認すると、中村大学前交差点改良事業の目的である交差点付近での無理な車線変更や直進阻害に伴う事故である「追突事故」は、事業化前の直近4年間（H24-27）は平均4.5件/年発生していたが、整備後1年間（R5.3～R6.3）は1.0件/年と約8割減少した（図-6）。

図-5　下り線の死傷事故件数の推移

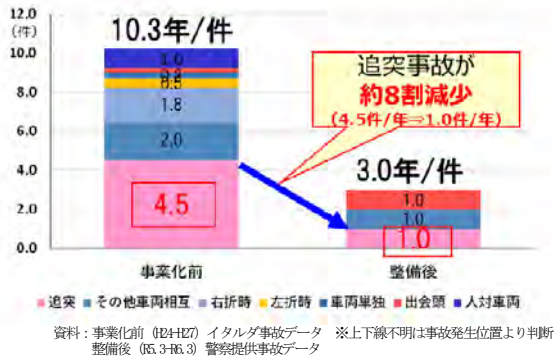


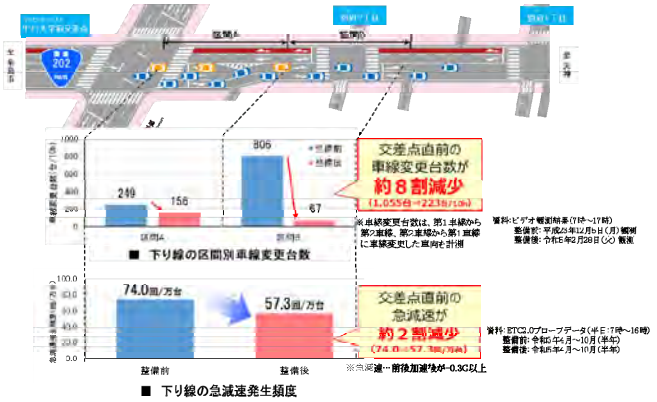
図-6　下り線の事故類型別の死傷事故件数

(2) 危険挙動（車線変更・急減速）

危険挙動の変化で整備効果を検証した。車線変更の位置や台数の変化は、ビデオ観測により検証した。急減速の発生状況は、ETC2.0プローブデータにより検証した。

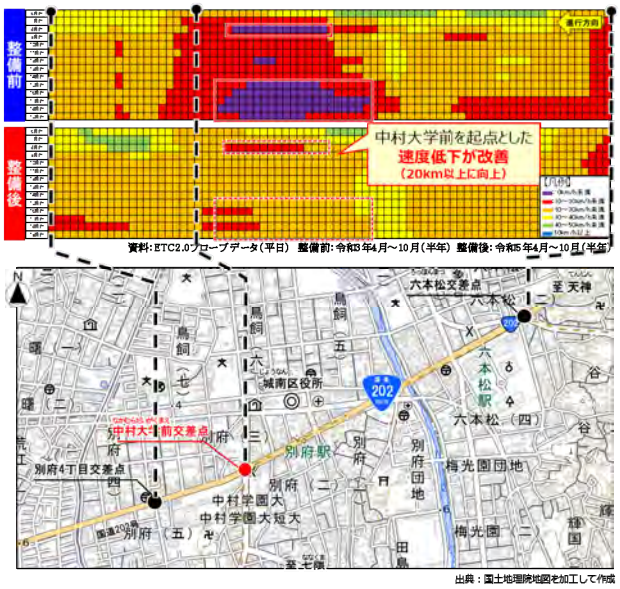
まず車線変更について、直進車線を2車線に増設した下り線流入で、交差点直近の区間A、区間Bにおいて10時間（7時～17時）の車線変更台数を計測したところ、区間Aでは249台から156台に減少、区間Bでは806台から67台に減少、AB区間を合わせて1055台から223台と、交差点直近での車線変更台数が約8割減少した。（図-7・図-8）

次に急減速の発生状況について、ETC2.0プローブデータを用いて急減速発生頻度を分析したところ、交差点直近での急減速発生頻度が整備前の74.0回/万台から57.3回/万台と約2割減少した（図− 7）。

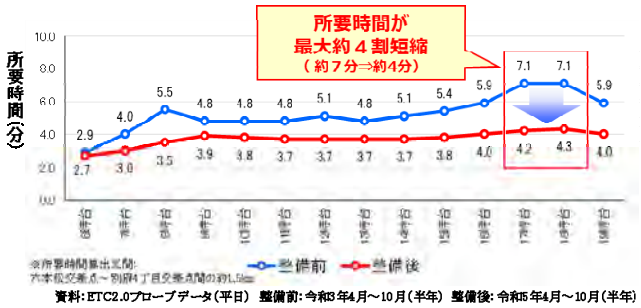


図− 7　整備前後の車線変更台数と急減速発生頻度

図− 8　整備前後の車線変更状況の変化



図− 9　整備前後の旅行速度



図− 10　整備前後の所要時間

図− 11　整備前後の交通状況の変化

(3) 交通の円滑性（旅行速度・所要時間）

交通の円滑性の改善で整備効果を検証した。具体的に旅行速度と所要時間をETC2.0プローブデータにより検証した。

整備前は朝やタピーク時間帯に中村大学前交差点付近を起点とした速度低下（10km/h未満）が発生しており、直進車線が2車線から1車線に減少することで、第1車線に直進車が集中しボトルネックとなっていた。整備後は、直進車線が2車線へ増設されたことで、中村大学前交差点を起点とした速度低下が改善（20km/h以上に向上）し、ボトルネックが解消された。（図− 9・図− 11）

ボトルネックが解消されたことで、六本松交差点～別府4丁目交差点（約1.5km）の所要時間は、タピーク時間帯に整備前の約7分から整備後は約4分となり、最大約4割（約3分）短縮しており、交通の円滑性の向上が確認できた（図− 10・図− 11）。

(4) 利用者の声

中村大学前交差点の利用者の実感で効果を検証した。具体的に、利用者（月1回以上対象箇所を通行）に対しアンケート調査を実施、整備前の課題や整備後の変化について把握した（図− 12）。

整備前の課題について調査したところ、「課題①直進車線が減少するため、交差点直近で急に車線変更車両が多かった」を課題と感じている割合が56%と最も高く、次いで「課題③」や「課題②」の渋滞による発進停止の繰り返しによる事故リスク、通過に時間を要することを課題と感じている割合が43%であった。その他の課題についても約3～4割が課題と感じていたと回答した。

次に「課題に感じていた」と回答した方を対象に整備

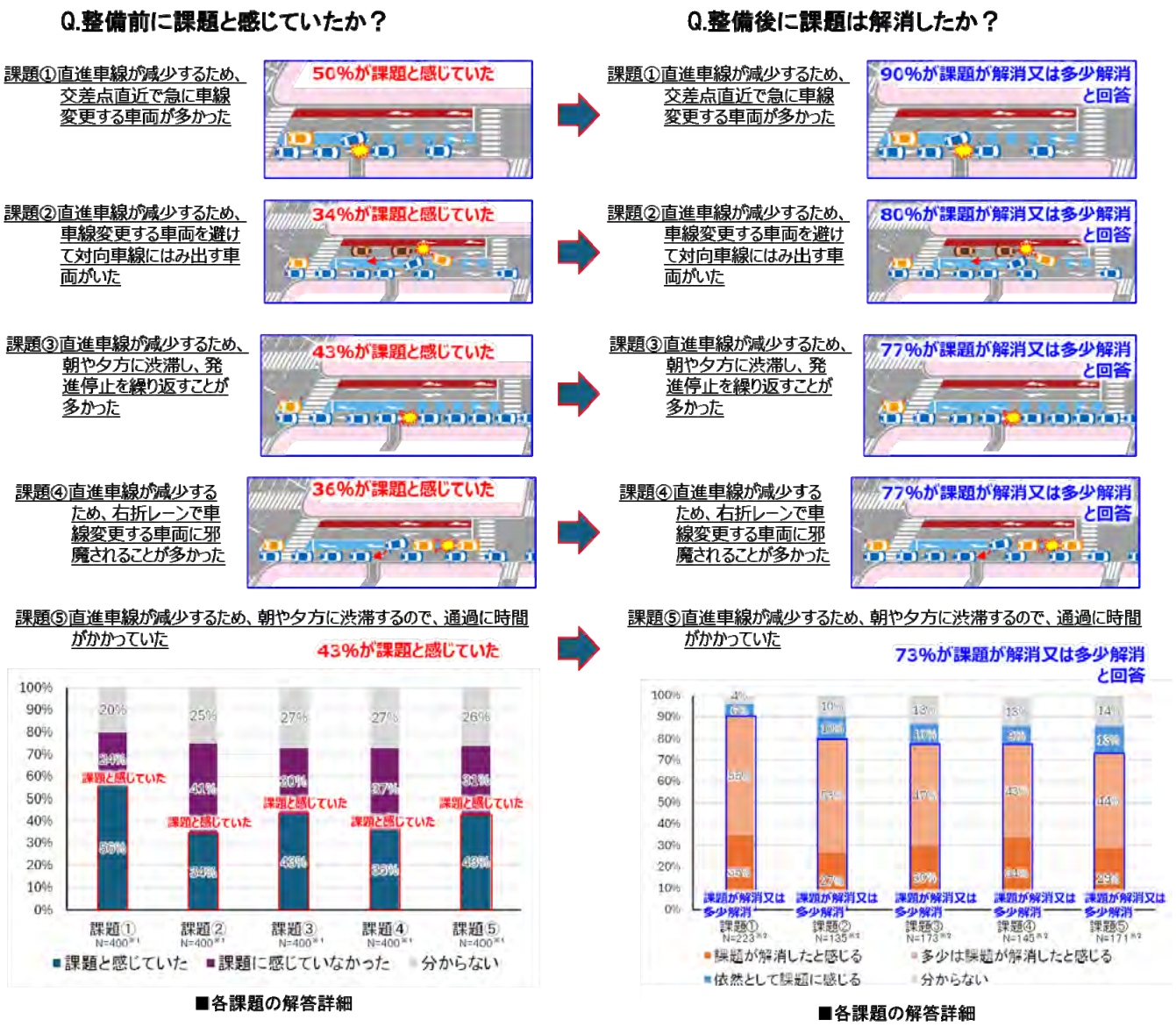


図- 12 利用者の声（アンケート調査結果）

資料：WEBアンケート（R6）
※1：月1回以上対象箇所を通行している方の調査結果
※2：「課題に感じていたと」回答した方を対象に集計

後に課題が解消したか調査したところ、「課題①」は90％の方が課題が解消又は多少解消したと回答し、「課題⑤」も73％の方が課題が解消又は多少解消したと回答した。その他の課題に関しても、約8割の方が課題が解消又は多少解消したと回答しており、利用者の実感からも整備による効果を把握することができた。

渋滞面において一定の効果を把握することができた。

また利用者の実感としても、安全性の向上や交通の円滑性の確保などの効果を実感する方が多かった。

今後は事業の効果を正確に把握するために、1年間だけではなく、経年的な事故データの収集や交通状況の観測および調査を引き続き行っていきたい。

4. おわりに

国道202号中村大学前交差点改良事業は、先述した通り、直進車線を2車線に増設することでボトルネックを解消しており、事故だけではなく渋滞の解消にも寄与する事業である。

今回、供用1年後の整備効果として様々な観点から整備効果を検証したことで、事故件数の減少や危険挙動の改善、ボトルネックの解消など、交通安全面および

参考文献

1)国土交通省 HP
https://www.mlit.go.jp/road/road/traffic/sesaku/torikumi.html
（2024.6.19閲覧）
2)国土交通省九州地方整備局道路部 HP
https://www.qsr.mlit.go.jp/n-michi/shihon/jyutai.html
（2024.6.19閲覧）

国道201号仲哀（ちゅうあい）拡幅における閉鎖中トンネルの利活用に向けた改築工法の検討

高園　紘徳[1]・藤井　節朗[1]・松坂　千寛[2]

[1]九州地方整備局　北九州国道事務所　計画第二課　（〒802-0803福岡県北九州市小倉南区春ケ丘10-10）

[2]九州地方整備局　佐賀国道事務所　管理第二課　（〒849-0924佐賀県佐賀市新中町5-10）

「新仲哀トンネル(下り)」（以下，閉鎖トンネルという）は，1967年に矢板工法により建設されたが，覆工のひび割れ等の変状が著しいため2007年に閉鎖した．現在は新仲哀トンネル(上り)が対面2車線で供用されており，閉鎖トンネルを活用した4車線化事業を進めている．活用にあたり閉鎖トンネルは，漏水等による変状に加え現行の建築限界を満たしていないため再改築が必要となる．事業化時の改築工法は，矢板工法の既設覆工を活用し適切な補修補強対策を実施するうえでの盤下げ工法が想定されていた．改めて事業推進にあたり，盤下げ工法について新たな知見や将来の維持管理を踏まえ，閉鎖トンネル利活用による改築工法の検討を行った．

キーワード　トンネル，技術検討委員会，維持管理サイクル，盤下げ工法，断面拡幅工法

1.　はじめに

(1) 事業概要

一般国道201号は，福岡県福岡市(起点)と福岡県苅田町(終点)を結び，福岡県北部の横断軸として人流や物流に欠かせない重要な路線である．また全線を通して，平常時・災害時を問わない安定的な輸送の確保を目的とした「重要物流道路」として指定されている．

このうち仲哀拡幅事業は，閉鎖している新仲哀トンネル(下り）を利活用することによって，現在対面2車線で供用されている区間を4車線に拡幅する事業である．（**図-1**，**写真-1**）なお，本事業は国道201号の交通混雑緩和や交通安全の確保，物流を支える幹線道路の強化等を目的として，事業を推進している．

図-1　位置図

写真-1　新仲哀トンネル（起点側から望む）

(2) 新仲哀トンネル(下り)とその検討課題

閉鎖トンネルは，矢板工法で施工され1967年に開通したが，覆工のひび割れ等の著しい変状によって，2007年の新仲哀トンネル(上り)の開通と同時に閉鎖することとなった．閉鎖後は，将来の活用を想定し，様々な委員会や調査を実施してきたところであるが，その中で漏水等による変状に加え，重要物流道路の建築限界高さ（車道部4.8m，路肩端部4.1m）を確保できていないことが課題として挙げられた．（**写真-2**，**図-2**）

本稿では，その閉鎖トンネルの課題に対し，事業化後における技術検討委員会の検討内容を主として報告する．

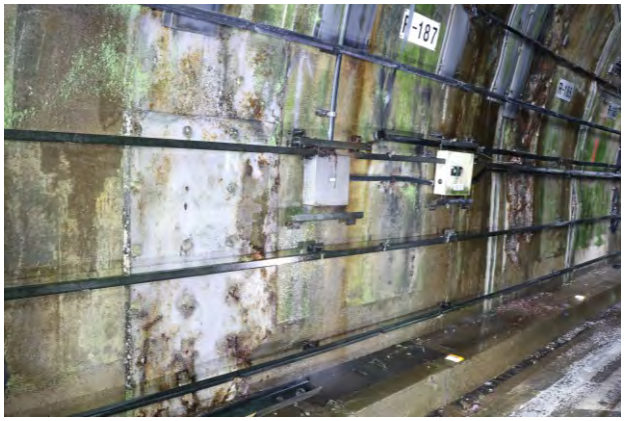


写真-2　新仲哀トンネル(下り)の現況（漏水）

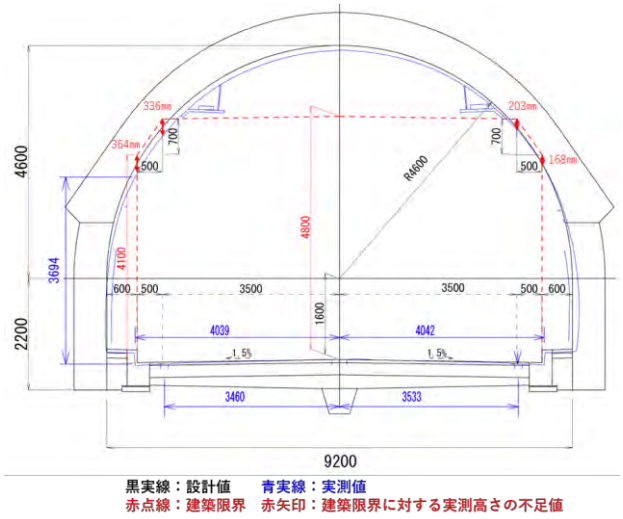


図-2　新仲哀トンネル(下り）標準断面図

2.　事業化前までの検討状況と継続課題

閉鎖トンネルの利活用に向けた，これまでの検討経緯を以下に述べる．2007年度から2010年度までの4年間に，全6回の補修対策検討委員会が開催され，4車線化を見据えた対策工法（案）や補修・補強指針（案）が示された．

2016年度には，高さ指定道路の建築限界に対する高さ不足の課題が挙げられたため，トンネル改築計画について，盤下げ工法と断面拡幅工法の比較検討が行われた．

その後2020年度に，2019年3月改訂のトンネル定期点検要領に基づきトンネル点検を実施し，2021年度の技術検討会において，覆工の経年劣化等はみられるものの、覆工構造体に致命的な変状は確認されなかったため，補修・補強を適切に行ったうえでの「盤下げ工法（**図-3**）」による対策方針について了承を得た．

そして，2022年度に仲哀拡幅事業として，トンネルの盤下げ工法にて事業化された．なお，2021年度の技術検討会では，今後の詳細な検討を行っていくうえで，以下に示す助言を頂いた．

・漏水箇所の適切な対策の実施
・施工時の変位の最小化を図るための施工手順等の工夫
・最新のLCCの考え方
・新たな知見を踏まえた技術検討

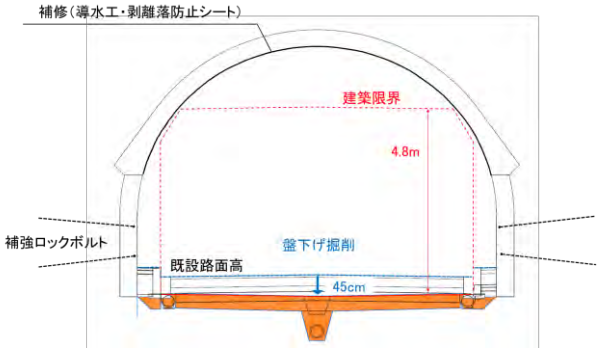


図-3　盤下げ工法概略図

3.　事業化後(技術検討委員会)の検討状況と結果

(1) 新仲哀トンネル技術検討委員会の設置

新仲哀トンネル技術検討委員会（以下，委員会という）は，閉鎖トンネルにおけるトンネル構造、施工等に関する技術的な検討を行うことを目的として設置した．

第１回委員会（2023年3月）では，前章の終わりに示した4項目を踏まえながら，以下に示す閉鎖トンネルの現況及び検討内容（**a)～c)**）等を提示し助言を頂いた．

a) 閉鎖トンネルの状況について

漏水箇所の適切な対策の実施に向けて，閉鎖トンネルの状況（**写真-3**）等を提示した．点検結果に対して委員会では，漏水がある限り将来にわたり遊離石灰が発生する可能性があり，トンネル内の漏水については改めて漏水調査を実施したほうが良いとの助言を頂いた．

写真-3　新仲哀トンネル(下り)の遊離石灰

b) 掘削時における覆工の変形傾向の概略把握

施工時の覆工コンクリートの変位量について、**図-4**に示すインバート設置区間における掘削時の2次元FEM解析結果を参考に提示した．解析の結果，側壁が内空の中心に向かって変形し，地山と側壁が分離された状態となる傾向が確認されたことから，施工時の安全対策案は，事業化時と同じ考え方である側壁部の補強ロックボルト(案)を示した．委員会では，施工時における対策は引き続き検討するのがよいと助言を頂いた．

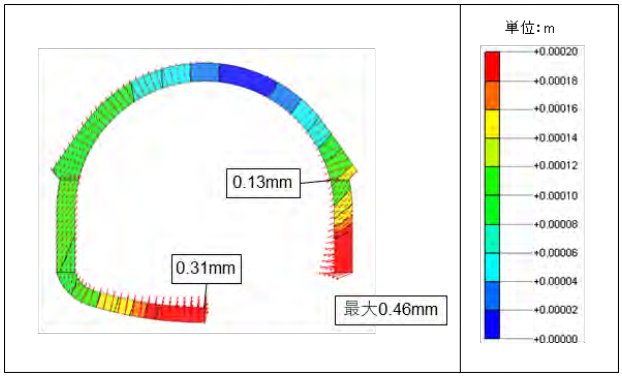


図-4　FEM解析結果（インバート(右)掘削時の変位）

C) 供用後の維持管理サイクルについて

供用後の点検・変状対策等の維持管理サイクルについて，**表-1**を委員会にて提示した．これに対し，委員会では盤下げ案は提案の点検補修サイクルよりも早まる可能性が高いため，漏水の影響等も踏まえて維持管理サイクルを精査したほうがよいとの助言を頂いた．

表-1　維持管理サイクルの検討（当初）

項目	頻度		補修範囲	
	盤下げ工法	断面拡幅工法	盤下げ工法	断面拡幅工法
点検	5年(定期点検)			
はく落対策	１０年	１０年	供用前補修の30%程度	30%程度
外力・漏水対策	２０年	想定しない	供用前補修の30%程度	想定しない
大規模修繕	４０年 (外力・はく落・漏水対策)	想定しない	想定しない	想定しない

(2) 追加調査・検討

第１回委員会での助言を受けて，以下に示す追加調査・検討を実施した．

a) 追加漏水調査と調査結果に基づく対策区分見直し

再度，漏水箇所の調査を行い**表-2**に示すとおり，対策判定区分を見直した．2023年度漏水調査の結果，予防保全の観点から計画的に対策を必要とする状態であるⅡa判定以上の漏水箇所は，2020年度調査の44箇所から77箇所に増加した．それに伴い，漏水を対象とした対策が必要な覆工スパンは36スパンから48スパンに増加した．また，漏水量も2020年度は最大1.5L/minであったが，2023年度は最大8.0L/minの漏水量が確認された．

表-2　対策区分の判定

点検時期	変状区分	対策区分				
		Ⅰ	Ⅱb	Ⅱa	Ⅲ	Ⅳ
2020年10月	外力	0	27	0	0	0
	材質劣化	0	260	308	182	0
	漏水	0	77	44	0	0
2023年7月	漏水	0	100	73	4	0

b) 将来の維持管理サイクルの再検討

第１回委員会を受けて，補修対策を更新する維持管理サイクルの再検討を行った（**表-3**）．

補修対策の耐久年数は，明確に示された基準等がないため，メーカーヒアリングや既往文献，点検実績等を基に設定した．補修更新頻度は，はく落・外力・漏水対策のいずれも供用後10年毎と設定した．補修範囲は，閉鎖トンネル供用前に実施する補修範囲の30%程度の取り替えを想定した．また，大規模修繕として供用後40年毎に，閉鎖トンネル供用前に実施する補修対策一式（はく落対策，外力対策，漏水対策）を想定した．

表-3　維持管理サイクルの検討（見直し）

項目	頻度		補修範囲	
	盤下げ工法	断面拡幅工法	盤下げ工法	断面拡幅工法
点検	5年(定期点検) **2年(監視点検)**	5年(定期点検)		
はく落対策	１０年	**２０年**	供用前補修の30%程度	**50%程度**
外力・漏水対策	**１０年**	想定しない	供用前補修の30%程度	想定しない
大規模修繕	４０年 (外力・はく落・漏水対策)	想定しない	想定しない	想定しない

（太字・アンダーラインは表-1からの変更点）

(3) 第２回新仲哀トンネル技術検討委員会の議論と結果

a) 改築工法の比較検討

第２回委員会（2023年8月）では，第１回委員会での助言に対する検討結果を報告するとともに，盤下げ案と断面拡幅案の2案を比較項目ごとに整理した**表-4**を提示して，推奨する案の意見を伺った．

b) 委員会検討結果

委員会での議論の結果，閉鎖トンネルは漏水による覆工の耐久性の低下が生じる環境下であることが確認されたため，覆工の耐久性の低下が少なく，完成後の維持管理コストが抑えられる「断面拡幅工法」（**図-5**）が妥当であるとの結論を得た．

防水シート等の防水工が施されていない矢板工法の既設覆工を活用する盤下げ工法は，補修・補強を行っても将来にわたり永続的な補修補強対策が必要であり，維持管理面で課題が多い．また，補修・補強材の劣化・取り替えが高頻度で発生するなど，多大な維持管理の手間がかかる．

一方，NATM工法により覆工を新設する断面拡幅工法は，防水工・排水工の施工により根本的な性能改善が可能であるとともに，拡幅掘削の施工性や構造安定性に課題は少ない．

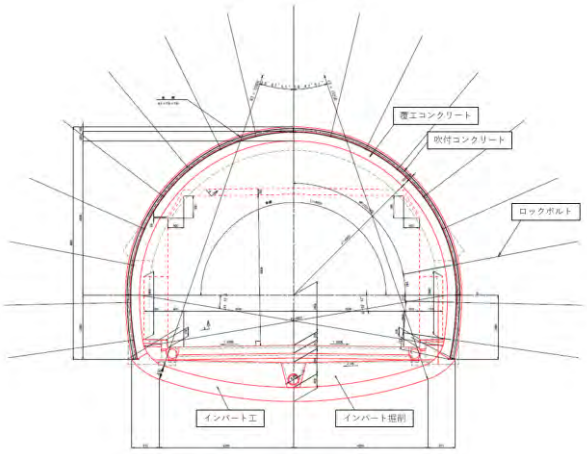


図-5　断面拡幅工法断面図

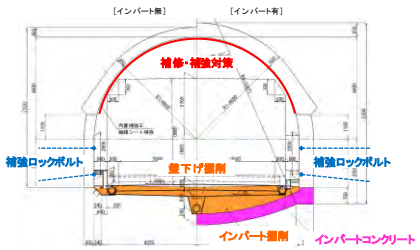
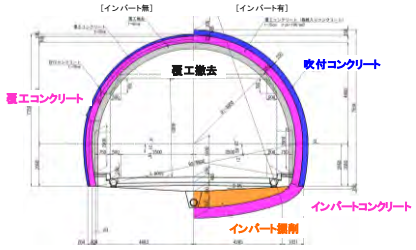
4.　おわりに

閉鎖トンネルの改築工法は，事業化当時には「盤下げ工法」を想定していたが，技術検討委員会や追加調査・検討結果等を踏まえ，維持管理のしやすさやライフサイクルコスト等を考慮した「断面拡幅工法」へ変更した．

今後は，採用された断面拡幅工法について，ECI方式等の設計段階から施工者の技術協力を受けることでコスト縮減や工期短縮を行いやすい発注方式を活用しながら，事業を推進していきたい．

謝辞：新仲哀トンネル(下り)の改築工法の検討にあたり，ご助言を頂きました委員の皆様に，この場を借りて深く御礼申し上げます．

表-4　改築工法の比較検討表

比較項目	比較案	
	盤下げ工法	断面拡幅工法
比較案の概要	既設覆工を補修・補強したうえで、建築限界確保のため盤下げする案 （矢板工法の既設覆工を利用）	既設覆工を取り壊したうえで、建築限界確保のため断面を拡幅する案 （NATMの新設覆工を打設）
概要図		
構造安定性	△ ▪ 外力による変状の進行は認められないため、補修・補強で安定性は確保。 ▪ 将来に亘り永続的な補修・補強対策が必要。	◎ ▪ B、Cパターン主体の良好地山に新設支保工、覆工設置で構造安定性は高い。 ▪ 防水シート・排水工の設置で、漏水による覆工の耐久性能の低下が少ない。
維持管理性	△ ▪ 漏水環境下で補修箇所が多く、補修サイクルが短い。 ▪ 監査廊の幅員不足により、日常的な保守点検が困難で安全対策が必要。 ▪ オーバーレイ余裕を確保しないため、将来的な補修・補強空間が限定。	◎ ▪ 将来の補修は目地のはく落防止等軽微な対策に限定、補修サイクルが長い。 ▪ 監査廊の標準幅員を確保できるため、日常的な保守点検が容易。 ▪ オーバーレイ余裕を確保するため、将来的な補修・補強空間として活用可能。
施工性	△ ▪ 既設覆工を利用するため、慎重な施工が必要。	○ ▪ 覆工を新設するため、既設覆工への配慮は不要。
環境対策	○ ▪ 周辺家屋へのプレーカ、仮設備騒音は防音設備で低減可能。	○ ▪ 周辺家屋へのプレーカ、仮設備騒音は防音設備で低減可能。
工期	○ 3年6ヶ月〔比率1.00〕	○ 3年6ヶ月〔比率1.00〕
経済性 （工事費）	○ 計：**82億円**（改築費72億＋維持管理費10億（耐用50年））	◎ 計：**81億円**（改築費80億＋維持管理費1億（耐用50年））
総合評価	▪ **断面拡幅工法は、現計画に対し維持管理費を含めた経済性において同等であり、構造安全性や維持管理性などに優れている。**	

令和４年９月台風１４号で損傷被災した「球磨大橋」の復旧検討について

奥村　紘平[1]・重草　通[1]

[1]九州地方整備局 八代復興事務所 工務第二課 （〒866-0824 熊本県八代市上日置町4478-1）

令和4年9月台風14号で被災した球磨川を渡河する球磨大橋について、橋梁の本復旧へ向け「球磨川橋梁復旧技術検討会」を開催し、被災メカニズムの究明及び新橋の復旧方針等について議論をした。現在、橋梁の詳細設計を行っており、同時並行として、概算発注方式で工事についても昨年度末から着手している。本稿では上記橋梁について被災状況、被災要因・メカニズムの究明、復旧方針、架橋位置、橋梁形式の選定に至るまでのプロセスについて報告する。

キーワード　令和4年9月豪雨，球磨川，災害復旧，復旧検討，橋梁設計

１．はじめに

令和4年9月台風14号の豪雨により、球磨川の水位が上昇し、熊本県が管理する一般県道覚井一武線の「球磨大橋」が被災した。これによる影響は、球磨大橋の橋脚沈下、さらに車道部や歩道部では舗装面が波打った状態となり、全面通行止めまでに至るものとなった。橋梁の早期復旧が望まれる一方で、本格的な復旧（以下、本復旧）には高度な知見と技術力が必要であったことから、国の権限代行による災害復旧事業として、本復旧を実施することとなった。

本稿では損傷被災した球磨大橋について、被災状況や被災メカニズム、復旧方針の設定、橋梁形式の選定に至るまで「球磨川橋梁復旧技術検討会」（以下，「検討会」）等で検討した復旧プロセス・取り組み内容について報告する。

２．球磨川水系の流域及び橋梁概要

⑴ 球磨川水系について

一級河川球磨川は、熊本県球磨郡水上村の銚子笠（標高 1,489m）に発し、川辺川など多くの支川と合流しながら人吉・球磨盆地を経由し、不知火海（八代海）に注ぐ，幹川流路延長 115ｋｍ、流域面積 1,880㎢の熊本県内最大、九州3番目の長さとなる河川である。

⑵ 球磨大橋の概要

球磨大橋は熊本県球磨郡錦町に位置する一級河川球磨川を渡河する橋長340.7m、有効幅員7.5 mの橋梁であり、車道部は1957年（昭和32年）、拡幅した歩道部は1977年(昭和52年)に完成し、車道部の竣工から65年が経過している。

橋梁形式は以下に示す通りであり、**図-1**に橋梁概要図を示す。

【上部工形式】車道部：RCゲルバー桁
　　歩道部：ポステンT桁（全15径間）
【下部工形式】橋台：重力式橋台、
　　橋脚：壁式橋脚（車道部）
　　柱式橋脚（歩道部）
【基礎工形式】車道部：ケーソン基礎
　　歩道部：直接基礎

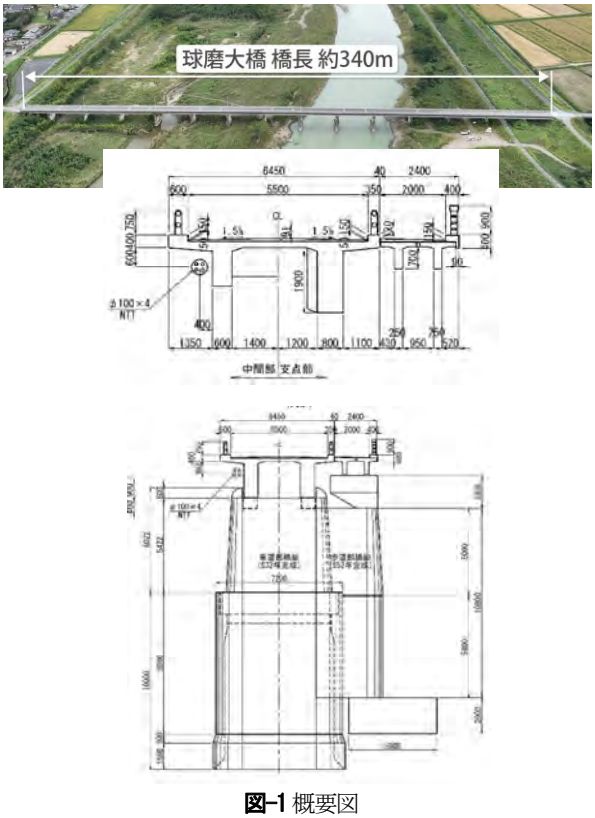


図-1 概要図

３． 球磨大橋の被災概要

(1) 豪雨状況及び被災状況の概要

令和4年9月に発生した台風14号は、935hPaで鹿児島市に上陸し、上陸後勢力を弱めながら、遅い速度20km/hで九州を縦断した。これにより、九州全域で大雨や暴風、越波により各所で長時間に及ぶ全面通行止めに至り甚大な被害をもたらした(**図-2**)。

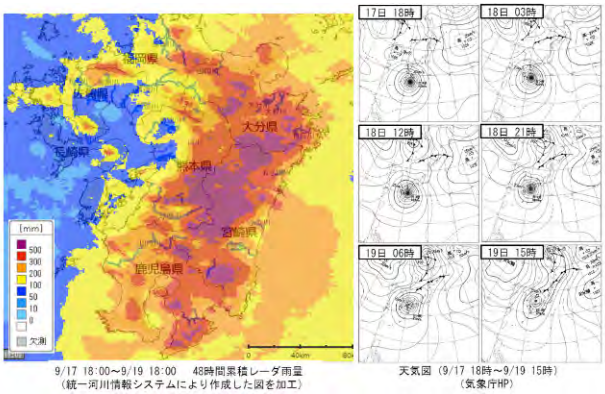


図-2 台風 14 号概要

球磨地域においても、令和2年7月豪雨に次ぐ水位となり、球磨大橋では令和4年9月19日(月)1時37分頃にP9橋脚等の沈下を確認したため、同日から全面通行止めとした(**写真-1**、現在は応急組立橋により仮復旧済み)。

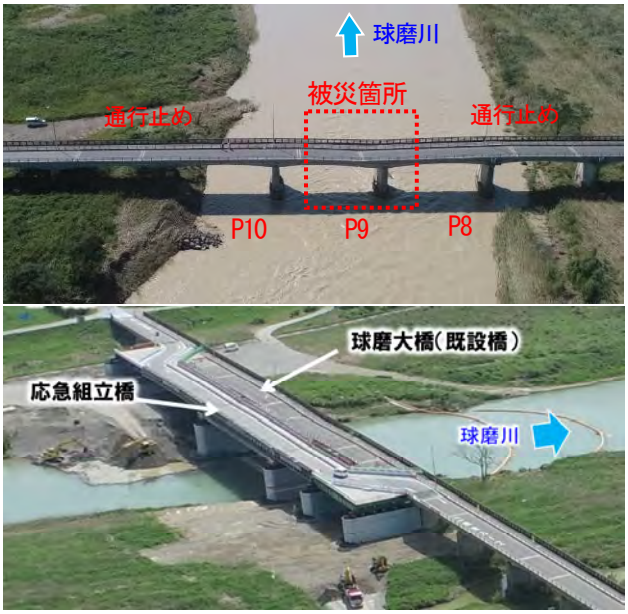


写真-1 被災状況

(2) 球磨大橋の主たる損傷状況

P9、P10橋脚の周辺地盤は台風の影響により著しく洗掘し、**写真-2**に示すように、鉛直方向に525㎜（ヒンジ部で628㎜）の沈下が確認されたとともに、車道部、歩道部では舗装面が波打った状態となった。また、沈下が著しいP9橋脚については、躯体のひび割れも確認された。また、被災メカニズムの究明に向けた更なる調査の一つとして実施した3Dレーザースキャナ調査により、**図-3**に示すように、P9、P10の歩道部フーチングが露頭していることが分かった。さらに、潜水調査により歩道部フーチング近傍を中心に洗掘状況を目視した結果、P9橋脚歩道部のフーチングは、柱と分離し洗掘された河床の左岸側に傾斜し落下している状況であることも判明した。

写真-2 損傷状況（外観確認）

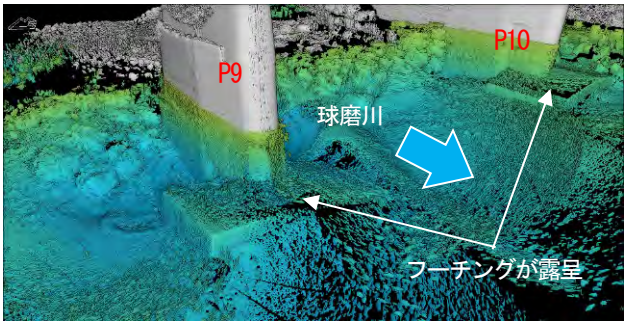


図-3 損傷状況（３Ｄレーザスキャナ計測）

４．橋梁形式選定に至るまでのプロセス

令和2年7月豪雨により被災した球磨川に架かる橋梁の早期本復旧に向けて設置された「球磨川橋梁復旧技術検討会」を本橋においても開催し、被災原因やメカニズム、最もふさわしい復旧方針等を計2回にわたり議論した（**写真-3**）。第1回目の検討会では、被災要因・被災メカニズムの推定及び再度災害防止に留意した橋梁形式選定における配慮事項等を主として議論した。第2回目の検討会では、架橋位置にふさわしい橋梁形式の選定について議論した。以降、検討会で議論した内容を詳述する。

写真-3 球磨川橋梁復旧技術検討会の開催状況

(1) 被災要因及び被災メカニズムの推定

a)被災要因の推定

①澪筋の移動

架橋位置の澪筋は、**図-4**に示す通り、洗掘を繰り返しながら、徐々に右岸から左岸方向に移動していることが分かった。また、平成11年頃迄に現在の澪筋の位置（P9、10付近）となり、さらに、その後に発生した令和2年7月等の大雨による出水を受け、基礎周辺の洗堀が助長されたものと推定された。

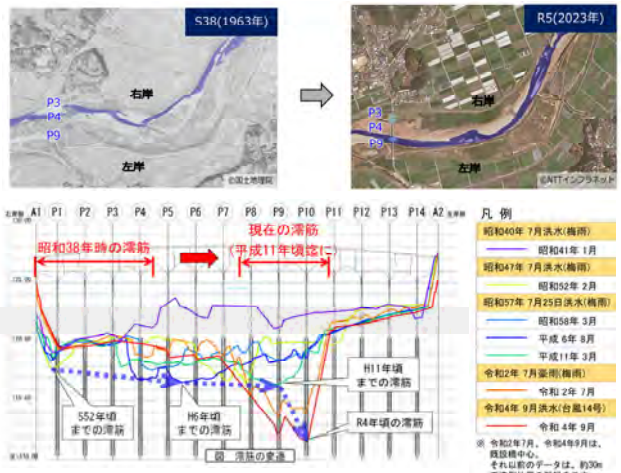


図-4 澪筋の移動

②洗掘されやすい地盤構成

現在の澪筋付近の河床にはDg-2層が分布する。この層は玉石混じり砂礫層であるが、不規則に細粒分（シルト～細砂分）を多く含む洗堀されやすい特異な地層であることが確認された。**図-5**に示す通り、澪筋際にあたるP8は、Dg-2層の試験値（地中、未洗掘）と同様にシルト～細砂分を多く含むのに対し、流芯に近いP9、P10周辺は中砂～粗砂主体の堆積物（澪筋内、洗掘後）であったため、出水時に、P9、P10基礎周辺地盤の細粒分は流出したものと推定された。

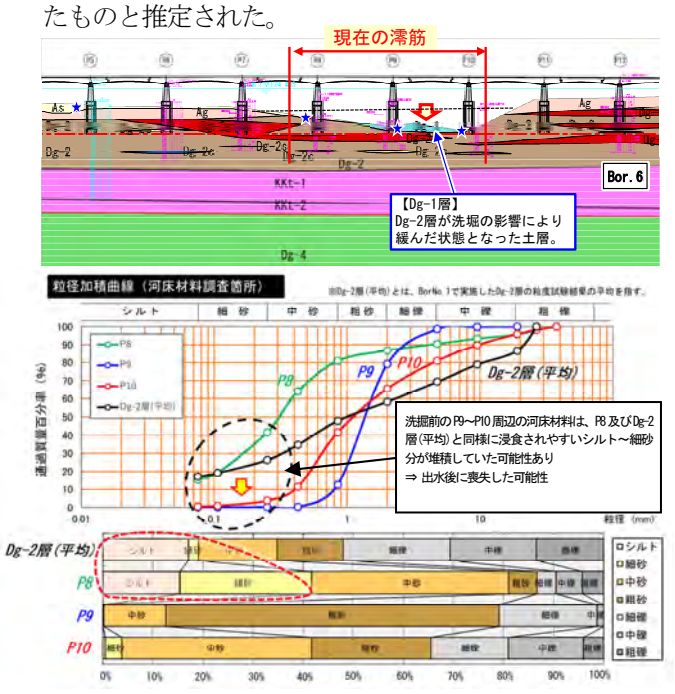


図-5 河床の地盤構成

b)被災メカニズムの推定

被災メカニズムのイメージを**図-6**に示す。

潜水調査の結果、上流側底版とともに歩道部基礎でも洗掘が発生し、歩道部橋脚が河床に接していないことが判明した。これに伴い、歩道部の重量も含めて車道部の下流側基礎底面に荷重が作用することとなったため、沈下が生じたものと推定された。また、下流側へ倒れる変位を上部工が拘束し、橋脚はほぼ真っすぐ沈下したものと推定された。

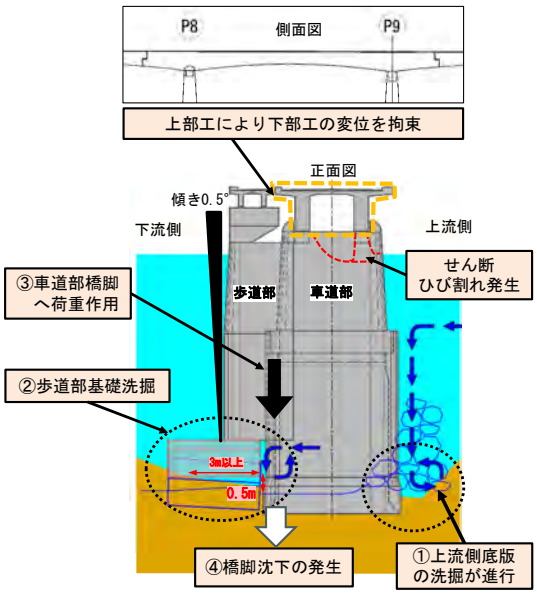


図-6 被災メカニズムの推定

(2) 球磨大橋の復旧方針及び架橋位置

球磨大橋付近は、澪筋が経年的に変化しており、今後も現在の位置で澪筋が固定されるかは予測が困難である。また、洗掘されやすいと判断される特異な地層が既設橋脚位置に対して広範囲にわたって分布している状況となっており、今後の出水等でも同様の被災が懸念される。このため、球磨大橋の本復旧は、再度災害防止の観点から、上述の課題に対応が可能な「全橋架替」を復旧方針とすることとした。

球磨大橋（新橋）を含む県道覚井一武線の付替えルートは、支川の分合流部、水衝部を回避した位置で、前後交差点の接続位置の利便性等に配慮し迂回延長を極力短くする方針に基づき、現橋位置の直近上流側（約40m）で復旧する計画とした（**図-7**）。

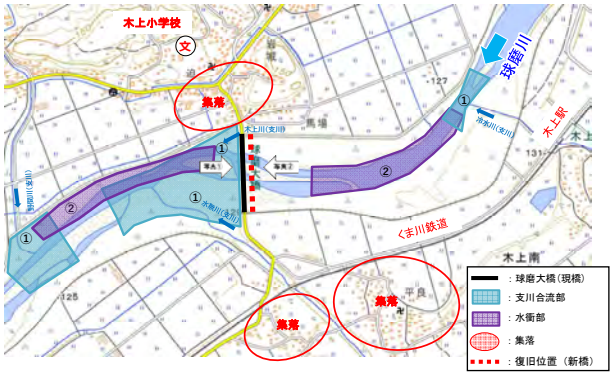


図-7 架橋位置の検討

⑶ 橋梁形式の選定

a)橋梁形式の前提条件

橋梁形式選定における前提条件では、桁下高は治水対策実施後の水位（計画高水位+余裕高相当）以上を基本として、以下に示す現行法令（河川管理施設等構造令、道路橋示方書等）に遵守して計画することを確認した。

【前提条件】

- 橋台を河川流下断面内に設けない
- 径間長は、河川管理施設等構造令で定められた最低基準径間長以上確保
- 河積阻害率は、5%以内とする
- 堤防の法先、低水路の法肩及び法先から10m以上離隔を確保（**図-8**）
- 近接橋の特則は、5年以内の既設橋撤去を前提とするため、適用外とする
- 橋脚根入れは、将来の河床変動を考慮した根入れ長を確保

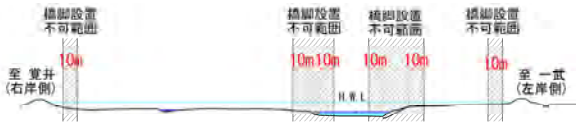


図-8 橋脚配置の前提条件

b)被災ﾒｶﾆｽﾞﾑを踏まえた橋梁形式選定における配慮事項

前述の前提条件に加え、再度災害防止に向けて、被災要因・被災メカニズムの推定を踏まえた新橋の橋梁形式選定の配慮事項を以下の通り整理した。

① 洗掘されにくい橋脚配置

局所洗掘による河床変動の影響を受けないように、**図-9**に示す通り、現在の澪筋を避けた位置に橋脚を配置する。

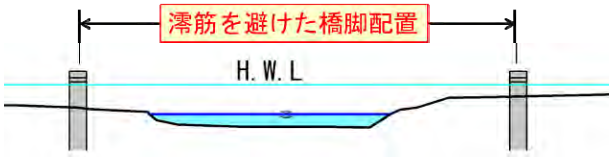


図-9 被災状況

② 特異な地盤に対応した安全・確実な支持層の選定

旧橋の橋脚基礎周辺地盤（Dg-2層）は、洗掘されやすい特異な地盤構成（不規則に砂分を多く含む）であり、橋脚周りで局所洗掘が発生したことから、新橋の支持層には長期安定性が期待される安全で確実な支持層を選定することへの配慮が重要であった。そこで、地質調査を実施し、旧橋の支持層であるDg-2層（細粒分を多く含む玉石混じり砂礫層）より更に深いGL-30m以深のDg-4層（新鮮礫を多く含む玉石混じり砂礫層）を支持層に選定した。当該層は十分な支持力があるとともに、**図-10**に示す通り、洗掘しにくい材料構成を有する地層として

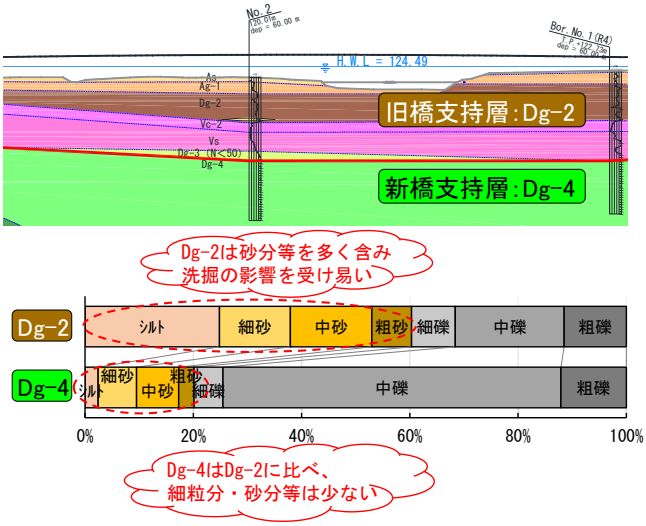


図-10 支持層の選定

評価された。また、現場密度試験等の原位置試験等も実施し、Dg-4層はDg-2層と比較し、砂層が少なく新鮮礫の割合も多いため相対的に洗掘されにくい地層であるものと評価された。

ただし、当該層の一部には不規則に軟質部（ｼﾙﾄ層等）も確認されているため、施工時に地盤情報を的確に把握する等の配慮が必要であることを確認した。

③ その他（護床工の設置）

今後の澪筋移動による洗掘リスクへの対策として、**図-11**に示す通り、各橋脚位置の河床には護床工を設置することとした。

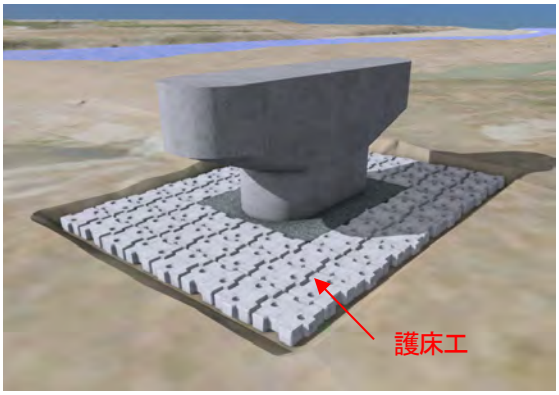


図-11 護床工（設置イメージ）

c)基礎形式の選定

橋台基礎は、流下断面外であり、当該位置の地盤条件を踏まえ経済的となる「場所打ち杭基礎」を選定した。

橋脚基礎は、旧橋付近でR4.9豪雨で最も洗堀された深さ（＝最深河床高として設定）から2m以上根入れを確保した上で、支持層の一部が不規則に軟質部を含む特異な地盤であることへの対応として、施工時に地盤情報を的確に把握することが可能である「ニューマチックケーソン基礎」を選定した（**図-12**）。また、前述の通り、洗掘防止対策として、河床に護床工を設置することとした。

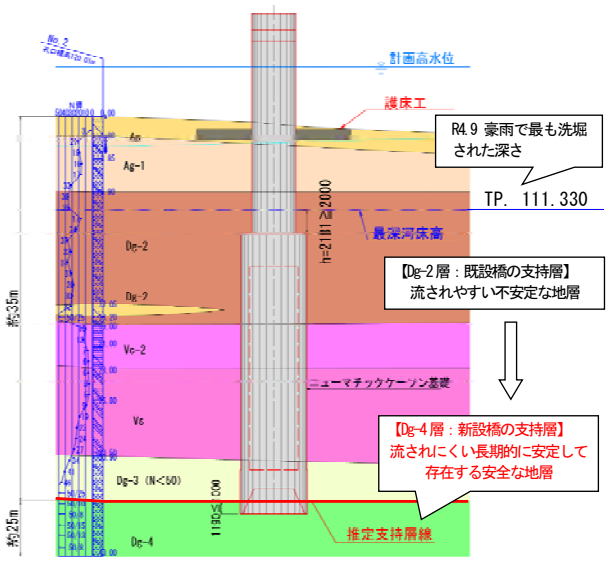


図-12 ニューマチックケーソン基礎の選定

d)橋梁形式の決定

本橋の橋梁形式は、早期復旧かつ施工性、景観性、経済性を重視し、総合的に優位となった、**図-13**に示す「鋼3径間連続トラス橋＋鋼単純鋼床版箱桁橋」を選定した。また、架設方法は、A1～P2間及びP3～A2間をトラッククレーンベント工法、P2～P3間をトラベラクレーン工法とした。

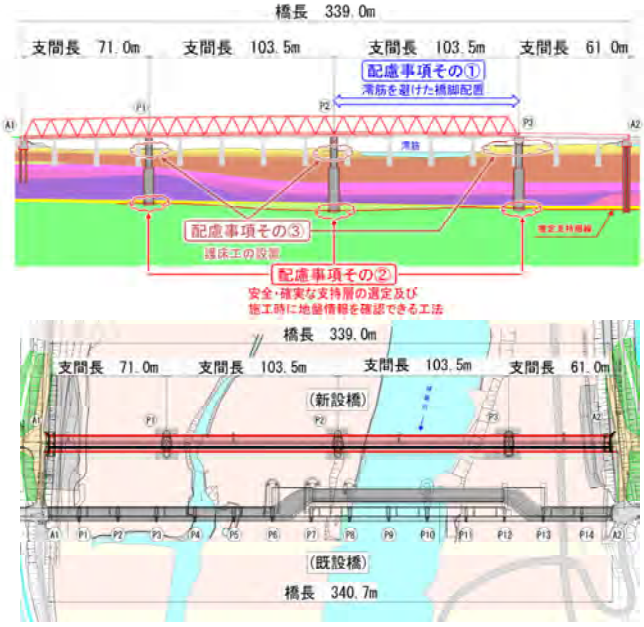
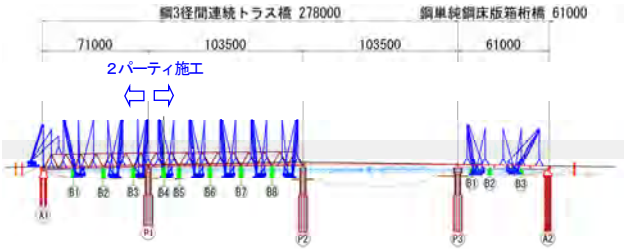


図-13(a) 新橋の橋梁概要図

図-13(b) 新橋の橋梁イメージ図

特に、**図-14**に示す通り、本橋梁形式及び架設工法の採用により、澪筋部を跨ぐP2～P3間を出水期中においても、トラベラクレーンにより桁を張り出しながらの上空架設が可能となるため、最も架設期間が短く、早期復旧が実現できる形式として推奨された。

①非出水期期間：クレーンベント架設（A1-P2＆P3-A2 同時施工）



②出水期期間：トラベラクレーン張出架設（P2-P3）

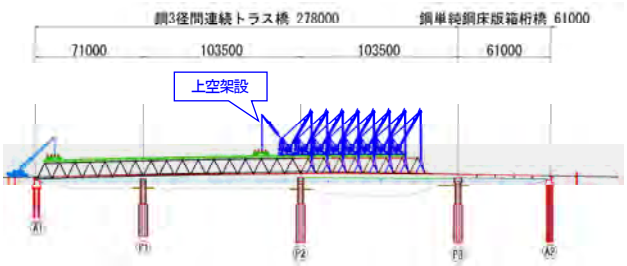


図-14 上部工の架設概要図

5．おわりに

令和4年9月豪雨で被災した球磨川を渡河する球磨大橋について、橋梁の本復旧へ向け「球磨川橋梁復旧技術検討会」において、被災要因・メカニズムの究明及び新橋の復旧方針等について議論を重ねてきた。

早期復旧を目指し、早速、昨年度末から本橋の本復旧工事が始まった。河川内での施工となることから非出水期施工など制約条件もあるが、一刻も早い復旧を目指し、工事を推進して参りたい。

これまで、検討会に参加いただいた学識経験者、国土技術政策総合研究所の皆様に深く感謝の意を申し上げるとともに、引き続きのご指導ご支援を賜りますようお願い申し上げます。当事務所としても、地域の皆様をはじめ熊本県及び錦町等と連携しながら、1日も早い復興を目指して尽力していきます。

三光本耶馬渓道路の事業進捗と開通に伴う整備効果について

小里　光央[1]・重黒木　幸英[2]

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

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

三光本耶馬渓道路は大分県中津市にある道路であり，高規格道路「中津日田道路」の一部を形成し，救急医療活動及び広域観光の振興を支援するとともに，災害に強いネットワークの構築を目的とした事業である．本論文は，2024年3月に開通した田口IC～青の洞門・羅漢寺IC間の整備効果と青の洞門・羅漢寺IC～本耶馬渓IC間の事業進捗状況について報告するものである．

キーワード　三光本耶馬渓道路，整備効果，交通量，安心・安全，事業進捗

1. はじめに

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

そのうち三光本耶馬渓道路は，中津日田道路の一部を構成し，大分県中津市三光から同市本耶馬渓町に至る延長12.8㎞の自動車専用道路で，2008年に事業化され直轄権限代行により整備を行っている．（図-1）

図-1 広域図

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

本稿では，先般開通した田口IC～青の洞門・羅漢寺IC間において，開通後における交通量，所要時間等の調査を実施したので整備効果として報告する．また，事業推進中の区間である青の洞門・羅漢寺IC～本耶馬渓IC間延長4.7㎞の事業進捗と工事内容について述べる．（表-1）

表-1 事業経緯

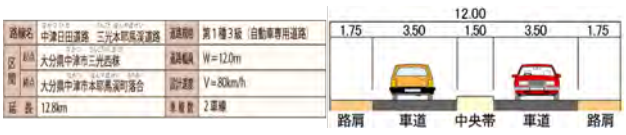


図-2　計画の諸元と標準断面図

2. 開通した区間の実際の整備効果

(1) 開通後の交通状況

2024年3月に供用した三光本耶馬渓道路田口IC～青の洞門・羅漢寺ICの平日交通量は2024年4月時点で約2800台/12hとなっており，国道212号の開通前平日交通量と開通後の平日B-B'断面交通量を比較すると約16%の増加が確認された．また，2023年9月に調査した前回開通区間（中津IC～田口IC）の平日A-A'断面交通量と今回開通後のA-A'断面同区間を比較すると，交通量は並行する国道212号から約1900台/12hが転換していることが確認された．（図-3，図-4）

交通量調査により確認された交通の転換・分散化はアクセス性向上や新たな物流軸の延伸などの効果が付与される．

図-3 三光本耶馬渓道路への転換状況

図-4 平日交通量の変化

(2) 道路利用者へのヒアリング（物流）

三光本耶馬渓道路 田口 IC～青の洞門・羅漢寺 IC の開通により，林業が盛んな日田市方面からの木材積載車の断面交通量が 2024 年 4 月時点では開通前と比較すると，約 2.5 倍に増加していた．（図-5） 木材関連企業ヒアリングでは「開通によって中津港までの所要時間が短縮され，急カーブや一般車両，歩行者等とのすれ違いもなく安心・安全に走行ができている」とのコメントをいただいている．

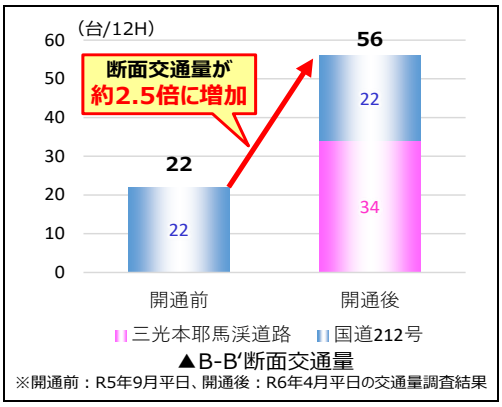


図-5 木材積載車の転換状況

(3) 迅速な救急搬送を支援

耶馬渓地域は救急患者のうち約 7 割が中津市中心部への病院搬送となっているが，搬送ルートである国道 212 号は急カーブによる救急患者への負担が大きいことに加え，搬送時間の長さが課題になっていた．（図-6）

しかし，昨年度開通したことによって急カーブが 3 か所減少し，搬送時間が約 9 分短縮され，救命率が約 24%向上するなど円滑な救急搬送に貢献している．（図-7）

図-6 中津市内の病院への救急搬送ルート

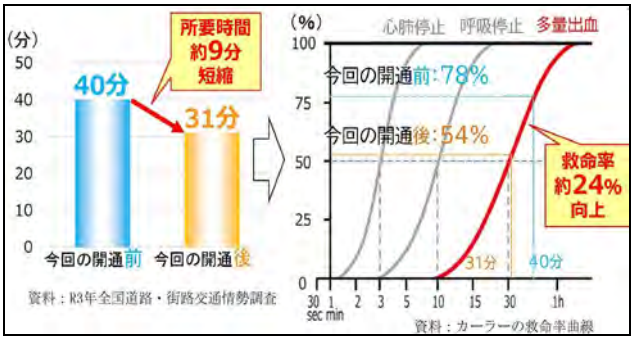


図-7 耶馬渓分署から中津市民病院への所要時間と救命率

3. 三光本耶馬渓道路の事業進捗

(1) 現在の施工区間

現在，青の洞門・羅漢寺IC～本耶馬渓IC間の延長

4.7㎞区間において施工を実施している．(写真-1)

当区間は，構造物が約70%を占める区間で主要構造物は，トンネル部が2.4㎞(51%)，土工部が1.5㎞(32%)，終点側本耶馬渓ＩＣ部の延長0.8㎞(17%)は橋梁計画区間(図-9)となる．また，三光本耶馬渓道路全体の事業進捗率は事業費ベースで約78%となっている．(%)は延長比

写真-1 中間地点 長野橋付近の施工状況

主な工事進捗は，トンネル部では、2021 年に跡田トンネル本体工が完了し．現在，監査路の工事に着手している．橋梁部では，本線橋を主とした 9 橋の下部工施工に着手している．(表-2)

表-2 主構造物の施工着手状況

構造物	施工着手状況
トンネル部	・跡田トンネル L=2355m 2018～2021年 本体施工済 （現在、監査路施工中）
土工部	切土 V≒460,000m3、盛土 V≒410,000m3 （現在、切土V≒160,000m3施工済 盛土V≒ 70,000m3施工済
橋梁部 （下部工）	・長野橋 L=160m 下部工6基 2018～2024年 施工済 ・上ツル橋 L=23m 下部工2基 （現在、A2橋台施工中） ・本線1号橋 L=46m 下部工2基 （現在、A1橋台施工中） ・本線2号橋 L=150m 下部工5基 （現在、P2～P6橋脚施工中） ・本線3号橋 L=120m 下部工4基 （現在、P7～P8橋脚施工中） ・本線4号橋 L=55m 下部工2基 （現在、P11～P12橋脚施工中） ・本線5号橋 L=198m 下部工4基 （現在、P14橋脚施工中） ・Aランプ橋 L=85m 下部工3基 （現在、A1橋台,P1,P2橋脚施工中） ・Bランプ橋 L=118m 下部工4基 （未施工） ・Dランプ橋 L=56m 下部工1基 （現在、A1橋台施工中） ・アクセス橋 L=38m 下部工2基 （現在、A1橋台施工中）

(2) インターの形状、橋梁形式計画について

本耶馬渓ICは，大分県が国道500号と本耶馬渓耶馬渓道路の接続部になるEランプをすでに供用を開始している。その為，施工済道路との整合を図るとともに，県道落合斉藤線と接続し，地元の利便性の確保を目的とした構造とする不完全クローバー型＋ダイヤモンド型形式の計画となっている．(図-8)また，IC区間内の本線は，県道落合斉藤線に平行するルートで，道路計画高が現地盤高より10m程度高い状況となり，盛土や補強土壁などの直壁で道路を構築すると県道沿いに連旦する民家へ圧迫感を与える懸念があることから，本線・ランプ部とも橋梁形式での計画となっている．(写真-2)

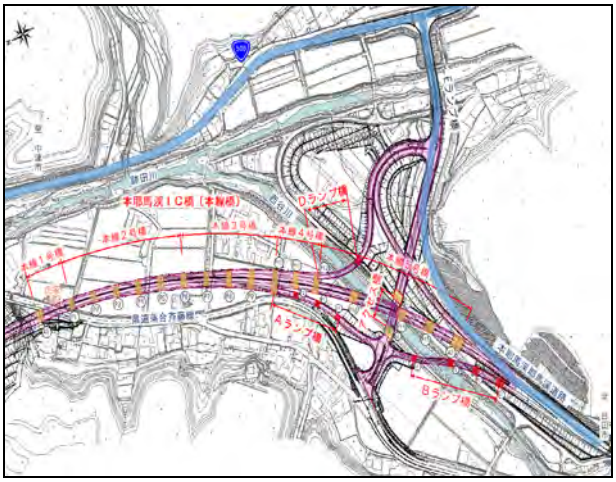


図-8 本耶馬渓IC付近計画平面図

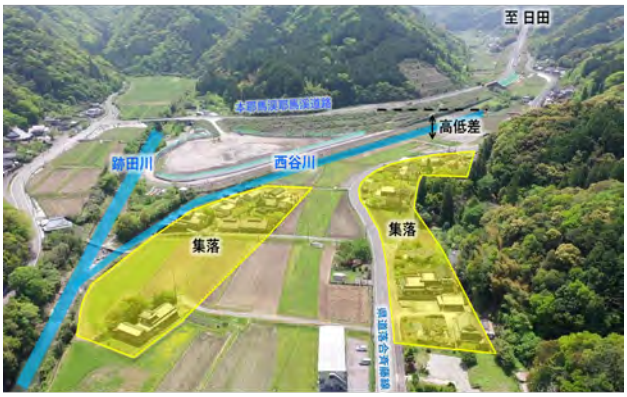


写真-2 本耶馬渓IC付近の様子

橋梁配置については，本線橋が1号橋～5号橋 L=569m，ランプ橋はAランプ橋，Bランプ橋，Dランプ橋，アクセス橋の合計９橋が設計配置されている．また，本線５号橋･アクセス橋・B･Dランプ橋の４橋は大分県が管理する一級河川西谷川を渡河する配置となっている．(図-9)

上部工の形式は，交差する県道や河川などの渡河条件や支間長などを踏まえて，鋼橋が4橋，PC橋が5橋となった．詳細な構造形式について、表-3に示す．

表-3 本耶馬渓IC内の橋梁形式

橋梁名	橋長(m)	形式	構造形式
本線 1 号橋	46	メタル	鋼製単純合成鈑桁橋
本線 2 号橋	150	PC	PC5径間連続中空床版橋
本線 3 号橋	120	PC	PC4径間連続中空床版橋
本線 4 号橋	55	PC	PC2径間連続中空床版橋
本線 5 号橋	198	メタル	鋼4径間連続非合成箱桁橋
Aランプ橋	85	PC	PC3径間連続中空床版橋
Bランプ橋	118	メタル	鋼3径間連続非合成箱桁橋
Dランプ橋	56	メタル	鋼2径間連続非合成箱桁橋
アクセス橋	38	PC	ﾎﾟｽﾄﾃﾝｼｮﾝ方式PC単純T桁橋

(3) IC区間内橋梁施工の留意点

IC区間内の下部工施工においては，その内の5基が一級河川西谷川河川区域内に構築する計画で，非出水期施工が余儀なくされる上，西谷川左岸側に2基，右岸側に3基を構築するため，仮設護岸の切替えが発生し，両岸の同時施工が出来ないことから，過年度施工となり事業工程のクリティカルパスとなる．

上部工施工については，本線2号橋～4号橋上部工形式がポストテンション方式PC連続中空床版橋で計画しており，架設工程上，PC鋼材の緊張を片引きで行うため，上部工発注ロッドが終点側の本線4号橋から起点側の本線1号橋に向かう順次架設という施工順序になる．これも事業工程のクリティカルパスとなっている．(図-9)

前述以外にIC区間内の橋梁施工については，施工ヤードが狭所であるため，各施工ステップを踏まえた発注計画や施工ヤードを確保するための民地の借地，進入路の確保など，施工前の事前準備や事業ステップ計画が重要な作業となっている．

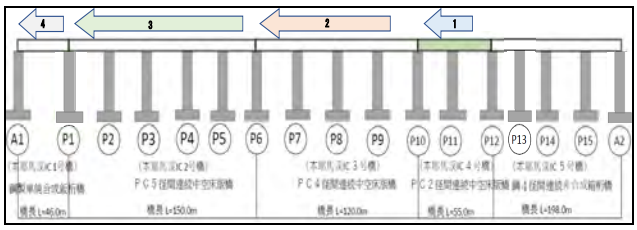


図-9 本耶馬渓IC橋(本線橋) 架設ステップ

4．おわりに

(1)大分県の事業進捗

三光本耶馬渓道路終点側の本耶馬渓IC以降は，大分県が事業を推進している．本耶馬渓IC～耶馬溪山移IC～(仮)耶馬溪下郷IC間の延長10km区間は，2021年2月までに供用を開始し，さらに終点側区間の耶馬溪山国道路L=8.5km区間は構造物設計調査，日田山国道路L=8.8km区間については，トンネル掘削工事を実施中で，中津日田道路全体の事業は着実に推進されている．(図-10)

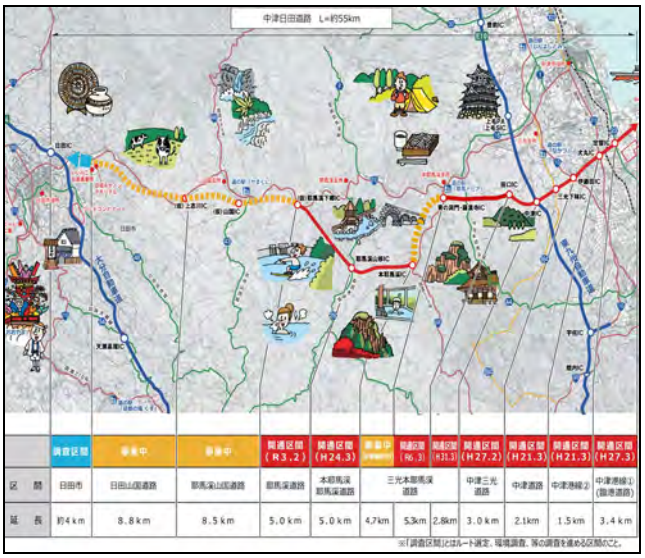


図-10 中津日田道路ルート略図

(2)期待される中津日田道路の整備効果

今後，国が受け持つ青の洞門・羅漢寺 IC～本耶馬渓 IC 間が完成し，三光本耶馬渓道路が開通すると中津日田道路 50.1 kmのうち，32.8 kmが利用可能になり，三光本耶馬渓道路の開通前と比較すると中津港から日田市の所要時間が約 21 分短縮される．(図-11)また，災害発生時に国道 212 号が全面通行止めになり，復旧などの対応が長期化していたが，三光本耶馬渓道路が整備されることでより広域的な代替路としての機能を発揮し，安心・安全で災害に強い広域交通ネットワークの形成が期待され，連続供用区間が延伸することで，様々な分野で整備効果も発現すると予想される．

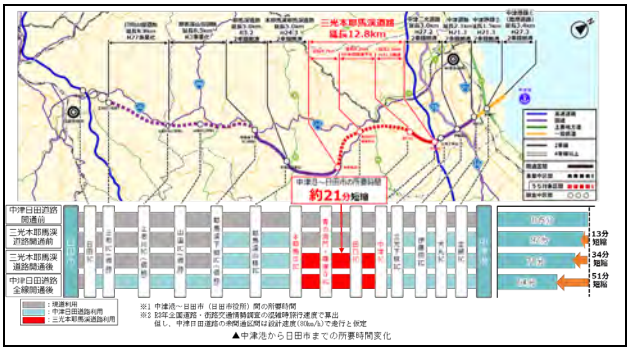


図-11 中津港から日田市までの所要時間変化

(3)今後に向けて

今回，三光本耶馬渓道路田口 IC～青の洞門・羅漢寺 IC の整備効果を調査する中で，三光本耶馬渓道路の重要性と中津日田道路が完成することで期待される整備効果も学ぶことができた．今後，三光本耶馬渓道路の早期完成に向け，地域住民の方々の協力を得ながら事業を進めていきたい．

トンネル内の自転車用照明の整備について

兒玉　威龍[1]，矢野　浩道[1]

[1]九州地方整備局　大分河川国道事務所　計画課　（〒870-0820 大分県大分市西大道一丁目1番71号）

近年，インバウンドによる外国人観光客の増加に伴い，自転車を活用した観光目的のサイクルツーリズムや国際的な自転車レースであるツールド九州，沿道の魅力を楽しむ体験型イベント，市民参加型のサイクルイベントなど，自転車活用による観光地づくりが進められている．これらは一般の道路で行われ，トンネル区間を通行することもあるが，トンネル区間は一般的に路肩の幅が縮小されており，また，トンネル内の照明は自動車の照明として設置しているため，自転車にとっては暗く，自転車で通行する場合，自動車との接触の危険性が高くなっている．本論文では，トンネル内の自転車走行環境の改善を目的とした自転車用照明の整備事例について，報告するものである．

キーワード　自転車，自転車用照明，トンネル，安全対策，自転車走行環境

1. はじめに

近年，インバウンドによる外国人観光客の増加に伴い，観光地づくりの要素として自転車が注目されており，自転車を活用した観光目的のサイクルツーリズムの発展や国際的な自転車レースであるツールド九州の開催，沿道の魅力を楽しむ体験型イベント，市民参加型のサイクルイベントなど，自転車活用による観光地づくりが進められている．そのため，国土交通省では，地域におけるサイクリストの受け入れ環境や走行環境の整備などを実施している．

しかしながら，このようなレースやイベントは，一般の道路で行われ，トンネル区間を通行することもあるが，トンネル区間は一般的に路肩の幅が縮小されており，また，トンネル内の照明は自動車の照明として設置しているため，自転車にとっては暗く，自転車で通行する場合，自動車との接触の危険性が高くなっている．

本論文では，これらの状況を踏まえ，国道210号水分トンネルにおいて，実施した自転車走行環境の改善を目的とした自転車用照明の整備事例について，報告するものである．

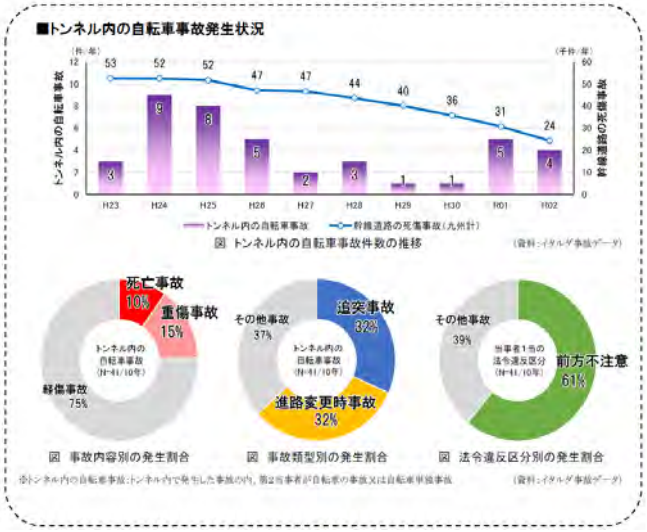


図-1　トンネル内の事故発生状況について

（出典：九州のトンネル部における自転車のための照明ガイドライン（第2版））

2. トンネル内で発生した自転車事故

九州の幹線道路のトンネル内で発生した自転車事故は，直近10 年で41 件であり，約3割が重大事故（死亡・重傷事故）となっている．トンネル内で発生した死傷事故の約6割は自動者からの追突，追越追抜時の接触であり，事故発生時の第一当事者（自動車）の法令違反をみると前方不注意が約6割を占め，自転車に対する視認性不足が事故の要因と考えられる．（図-1）

また，トンネル内を自転車で走行する際，路面や周辺の状況把握が難しいことで，その他区間と比べ，転倒やふらつきにより，自動車と接触する危険性が増してしまう区間と考えられる．

3. 水分トンネルの諸元

3-1 水分トンネルの概要

水分トンネルは，国道210号の大分県由布市に位置し（竣工年1962年），延長180 m ，全幅7.5m，（車線幅3.0m ，路肩部分0.25m程度 監査廊含む）の2車線トンネルである．

当該トンネルは，別府熊本を結ぶやまなみハイウェイのサイクリングロードに指定され，自転車の大会やイベント前の練習として，多くの自転車競技の選手や，サイクリストの方が利用しており，水分トンネルの自転車走行における安全対策が求められている．（写真-1）

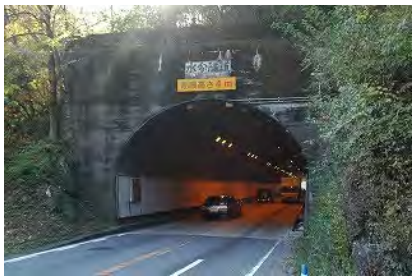


写真-1 水分トンネル坑口付近（大分市側）

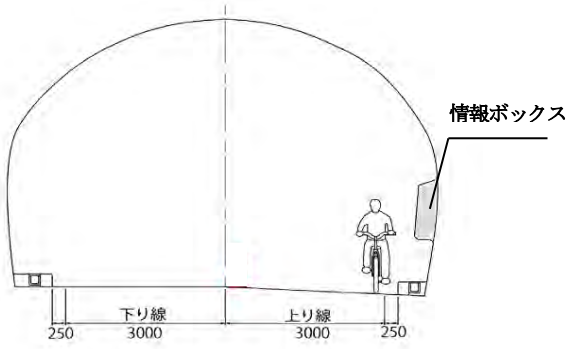
（写真-3　中間部分の状況（夜間））

3-2 水分トンネルの現状

水分トンネルにおける，各上下線の自転車通行空間における現状を整理した.

上下線ともに路肩の幅員は0.25mであり，自転車の通行空間は確保されておらず，車道内を通行する必要があり，自動車との接触の危険性が高くなっている.

なお，トンネル照明はLEDに更新されているものの，自転車で車道を走行する際に小さな段差など，路面状況の認識にはやや暗い状況である.（図面-2）（写真-2，3）

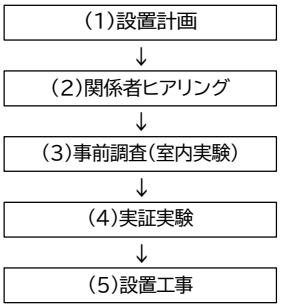


（図面-2　トンネル内の状況）

（写真-2　抗口付近の状況（夜間））

4. トンネル内の自転車照明設置までの検討フロー

トンネル内の自転車照明設置までの検討フローは,以下の流れで検討した.



（1）設置計画

照明の設置位置は「縁石上」と「側壁部」，照明構造は「線状」と「点状」とし，各組合せによる特徴を整理した.

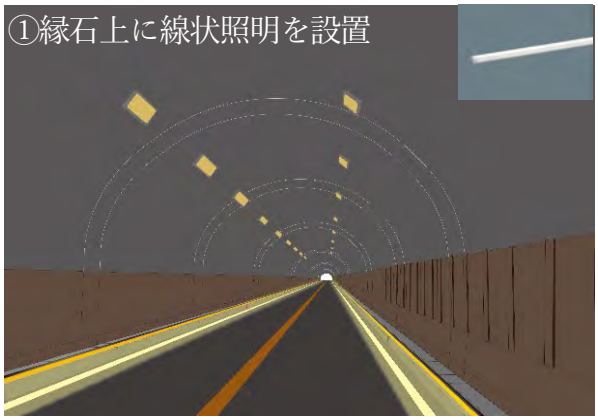
設置パターンは，以下の４パターンとした.

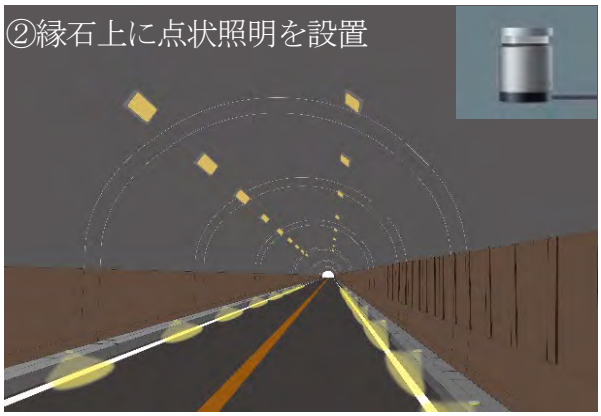
① 縁石上に線状照明を設置
② 縁石上に点状照明を設置
③ 側壁部に線状照明を設置
④ 側壁部に点状照明を設置

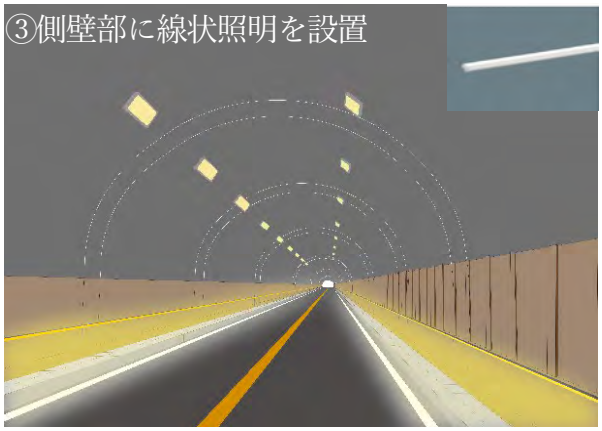
縁石上では，路肩に近いため照度を確保しやすいが，監査路上であり，幅員が狭くなることや，自転車のペダルが接触する可能性などが考えられる.

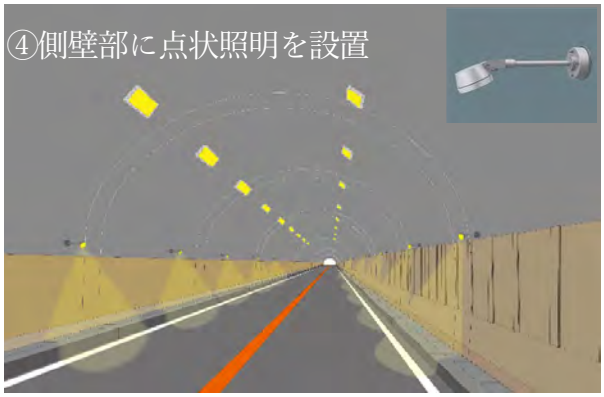
側壁部では，監査路の有効幅員は確保できるが　，ドライバーの目線に光が入る可能性などが考えられる.（図-3）（表-1）

図-3　照明器具の種類









	縁石上		側壁部	
照度	○	路肩に近いため照度を確保しやすい	△	路肩から離れるため照度がとりづらい
ドライバー目線	○	ドライバーの目線に光が入りにくい	△	ドライバーの目線に光が入る可能性がある
建築限界	△	建築限界に影響する	○	照明を埋め込む場合は建築限界に左右されず，設置可能 ※照明を埋め込む場合は，灯具や及び配線設置の側壁切削等が発生する→他の工法と比べると工事費が高くなる
有効幅員	△	有効幅員が狭くなる（点状の場合は限定的）	○	建築限界を考慮した設置により有効空間に影響しない
	△	つまづく可能性がある（線状は全区間設置となるため点状よりもつまづく可能性が低くなる）		
	△	自転車のペダルが接触する可能性がある →自転車利用者にヒアリング		
維持管理面	△	路面に近いため，泥はねや凍結防止剤などで汚れやすい →定期清掃が必要	△	側壁補修の際に影響する可能性がある
	△	清掃の支障とはならない（水抜きがあるとよい）	△	高さによっては清掃の支障となる
監査廊	△	点状照明で全周配光タイプを採用するれば対応可	○	監査廊も明るくすることができる

（表-1 設置箇所毎の特徴）

(2) 関係者ヒアリング

検討した配置計画について，道路管理者や交通管理者，トンネル清掃を行う業者，サイクリスト等に事前ヒアリング行い，意見収集を行った．

関係者	主な協議・調整事項
道路管理者	①選定する照明器具について ②照明器具の設置位置（高さ等）について ③設置時の留意点（自転車からの視認性等）について ④維持管理について
交通管理者	①選定する照明器具について ②照明器具の設置位置（高さ等）について ③設置時の留意点（自転車からの視認性等）について
トンネル清掃業者	①選定する照明器具について ④維持管理について
サイクリスト	②照明器具の設置位置（高さ等）について

各関係者の意見は下記のとおり．

■ヒアリング結果

【交通管理者】

・照明器具の選定について，「点」で照らすと照明にムラができ，影の部分が濃くなるため，「線」で照らす照明器具がよい．

・自動車（対向車含む）から見て，眩惑しないような対策を講じることがよい．

【道路管理者】

・設置後の維持管理（清掃活動への支障，耐久性等）に配慮した照明器具を選定することがよい．

・設置場所は，縁石の上面は走行車両（自転車含む）が接触する可能性があり，歩行者（管理者含む）の歩行阻害となる場合もあるため，側壁がよい．

【トンネル清掃業者】

・側壁部は，清掃時に支障があるため，配線をなるべく隠す，露出するボルト類を減らす等の対応が必要．

【サイクリスト】

・部分的なライト（点）は暗い部分が見にくいので，連続的な照明（線）にした方がよい．

・連続照明であれば，誘導の役割を果たすため走行性が向上する．

（3） 室内実験

現地にて照明器具の選定や設置高さの検討を行うと，交通規制により，一般交通に影響が出るため，実際のトンネル構造を再現した室内で，照明器具選定，設置位置（縁石・側壁）および設置高の変化による視認性や安全性，自転車の発見し易さの違いを事前に確認した．

パターンは以下の4パターンで室内実験を行った．

①縁石上に線状照明を設置し，端部からの離れを5cmと10cmで比較

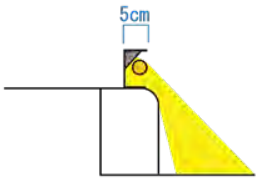
②縁石上に点状照明を設置し，設置間隔を2mと3mで比較

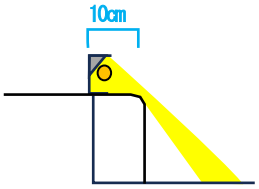
③側壁（上り線）に線状照明を設置し，縁石からの高さを50cmと90cm（情報ボックス下部）で比較

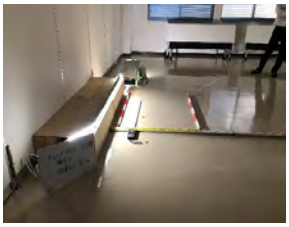
④側壁（下り線）に線状照明を設置し，縁石からの高さを0.5m～1.5mとして比較

■①縁石上に線状照明を設置し，端部からの離れを5cmと10cmで比較

縁石の端部より外側（側壁側）に設置すると，路肩に縁石の影が発生し視認性が低下する．縁石端部からの離れが5cmであれば，路肩の影の範囲も狭く，視認性が問題がないことを確認した．（写真-8, 9）





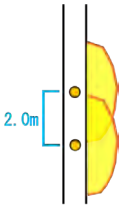


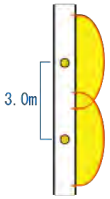
（写真-8 縁石端部から5cm）

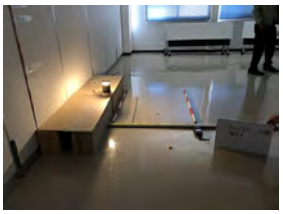
（写真-9　縁石端部から10cm）

■②縁石上に点状照明　を設置し，設置間隔を2mと3mで比較

設置間隔を広げることで灯具基数を減らし，コストを抑えることができるが，光のムラが発生し，視認性が低下する．設置間隔が3m以内であれば，視認性に問題がないことを確認した．（写真-10, 11）





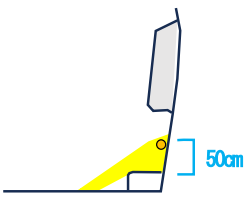


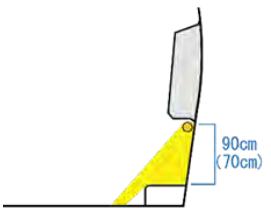
（写真-10　間隔 2m）

（写真-11　間隔 3m）

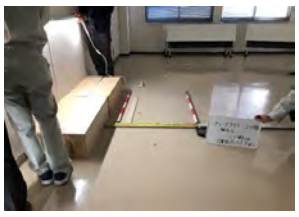
■③側壁（上り線）に線状照明を設置し，縁石からの高さを50cmと90cm（情報ボックス下部）で比較

設置高さが低いと，路肩に縁石の影が発生し，視認性が低下する．縁石からの高さ90cm（情報ボックス下部）であれば視認性を確保できることを確認した．また，高さ90cmは光源がドライバー目線にも影響がないことを確認した．（なお，実証実験では，情報ボックス及び取付金具それぞれの固定ボルトの干渉を避けるため，縁石より70cmの高さとした．）（写真-12, 13）





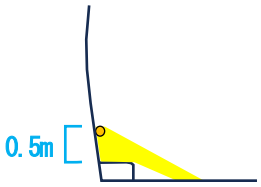
（写真-12　設置高さ50cm）

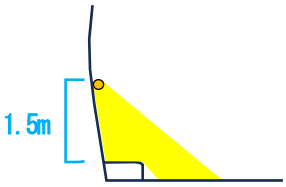


（写真-13　設置高さ90cm）

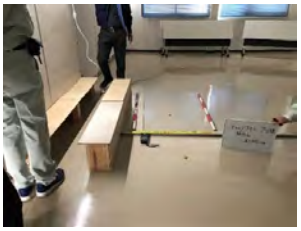
■④側壁（下線）に線状照明を設置し，縁石からの高さ0.5m～1.5mとして比較

上り線と同様に，設置高さが低いと，路肩に縁石の影が発生し，視認性が低下する．縁石からの高さが1.0m以上であれば視認性を確保できることを確認した．また，高さ1.5m以上となると光源がドライバー目線の支障になる可能性があることを確認した．下り線は1.0m～1.5mの高さが考えられるが，自転車，ドライバーの双方の視点で決定する必要がある．（写真-14，15）





（写真-14　設置高さ0.5m）



（写真-15　設置高さ1.5m）

■室内実験の結果

室内実験の結果，縁石上面は，自転車の接触の可能性や路肩を十分に照らすことが困難であったことから，「側壁部」「線状照明（テープライト）」を選定した．

設置高さについては，上り線は縁石から高さ70cm（情報ボックス下部），下り線は，縁石から高さ1.0m～1.5mを選定した．

（4） 実証実験

（4）-1　実証実験

事前調査の結果を基に，現地(水分トンネル)に照明を配置し，サイクリストによる実証実験を行い，走行性や視認性等についてのアンケートにより最適な照明の設置高さを決定した．

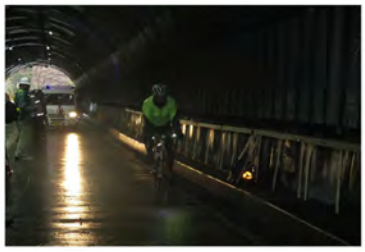
自動車ドライバーにおける視認性は，運転席からサイクリストの視認性や，自転車走行状況等を確認した．

実験パターンとしては，上り線と下り線における以下の4つの比較パターンで実証実験を行った．

【上り線側】
① 消灯時の走行状況を確認
② 点灯時（照明の設置高さ0.7m）で走行状況を確認

【下り線側】
① 縁石からの照明の設置高さ1.0m時の走行状況を確認
② 縁石からの照明の設置高さ1.5m時の走行状況を確認

（上り線側）
① 消灯時



▲　消灯時の現状

② 照明の設置高さ【H＝0.7m】

▲自転車走行空間の見やすさ

▲自動車ドライバーからの視点

（下り線側）
① 照明の設置高さ【H＝1.0m】

▲自転車走行空間の見やすさ

▲自動車ドライバーからの視点

② 照明の設置高さ【H＝1.5m】

▲自転車走行空間の見やすさ

▲自動車ドライバーからの視点

(4)-1 アンケート結果

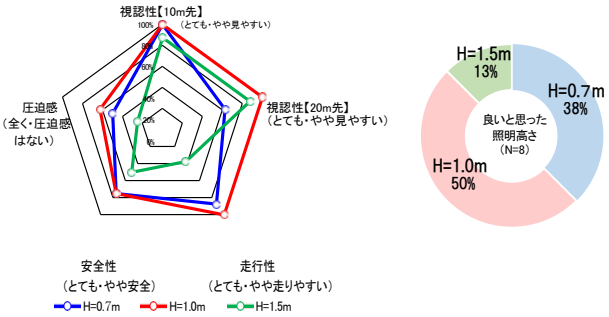


図-4 照明器具の設置高さに関するサイクリストの意見

＜サイクリスト＞

○ 5割の人が照明設置高さH=1.0mの時に走りやすさを実感.

○ H=1.0 mの時では, 視認性(10m先, 20m先), 走行性, 安全性で評価が高い.

○ H=1.5mでは, 視認性(10m先, 20m先)は評価が高いが, 走行性や安全性, 圧迫感の評価が最も低い.

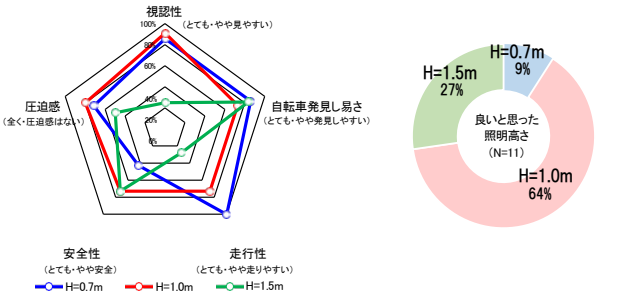


図-5 照明器具の設置高さに関する自動車ドライバーの意見（出典：九州のトンネル部における自転車のための照明ガイドライン（第2版））

＜自動車ドライバー＞

○ 6割の人が照明設置高さH=1.0mの時に走りやすさを実感.

○ H=1.0mは, 全ての項目で評価が高い.

○ H=0.7mでは, 視認性や走行性で評価が高いが, 安全性では最も評価が低い.

■実証実験結果

実証実験後のアンケート結果より, 照明の設置高さは縁石から1.0mが妥当であると, 整理された.

5. 設置工事

実証実験の結果を踏まえ, 令和5年9月に, 側壁部に線状照明を, 上り線は設置高さを縁石から0.7m, 下り線は1.0mで設置工事を行った.（写真-16, 17）

（写真-16 上り線側の設置状況）

（写真-17 下り線側の設置状況）

6. 今後の事後評価について

整備後, 約 10 ヶ月が経過したため, 今後の取組みとして, 供用後の自転車利用者と自動車ドライバーの評価を調査し, 整備効果を確認することとしている.

評価内容は, 実証実験におけるサイクリストの走行実験によるアンケート調査結果をもとに照明の設置構造を決定しているため, 現状においても同様の視点として,
「視認性」「走行性」「安全性」「圧迫感」「自転車の発見し易さ」とし, 調査方法は, WEB によるアンケート調査および「道の駅ゆふいん」での直接のアンケート調査により実施する.

7. まとめ

今回, 道路管理者として自転車走行環境の改善を目的とした, トンネル内における自転車用照明の必要性について確認できた.

しかし, 今後の事後評価を基に, 改善点などのあらいだしを行い, 自転車走行環境におけるよりよい対策を行っていかなければならないと考えている.

今後も道路管理者として, 自転車走行環境および通行空間における安全対策を進め, 九州における自転車の安全対策が確立されるよう, 対策を進めてまいりたい.

■謝辞

最後に, 本論文の執筆にあたって, 実証実験にご尽力いただいた, 交通管理者の皆様, 清掃業者の皆様, サイクリストの皆様, コンサルタントの皆様へここに感謝の意を表す.

参考文献

1) 九州のトンネル部における自転車のための照明整備ガイドライン(第2版)

一般国道２０２号唐津バイパスにおける唐津大橋の詳細設計及び施工計画について

橋本　和浩[1]・樋口　昌宏[1]

[1]九州地方整備局　佐賀国道事務所　工務課　（〒849-0924 佐賀県佐賀市新中町5-10）

唐津大橋は昭和49年にⅠ期線（下り線）が施工され，この時にⅡ期線（上り線）の下部構造も同時に施工されている。Ⅱ期線側供用に際し，旧基準により構築されている下部構造を現行道路橋示方書に適合させ，今後100年の供用に耐えられる構造とすることが課題である。

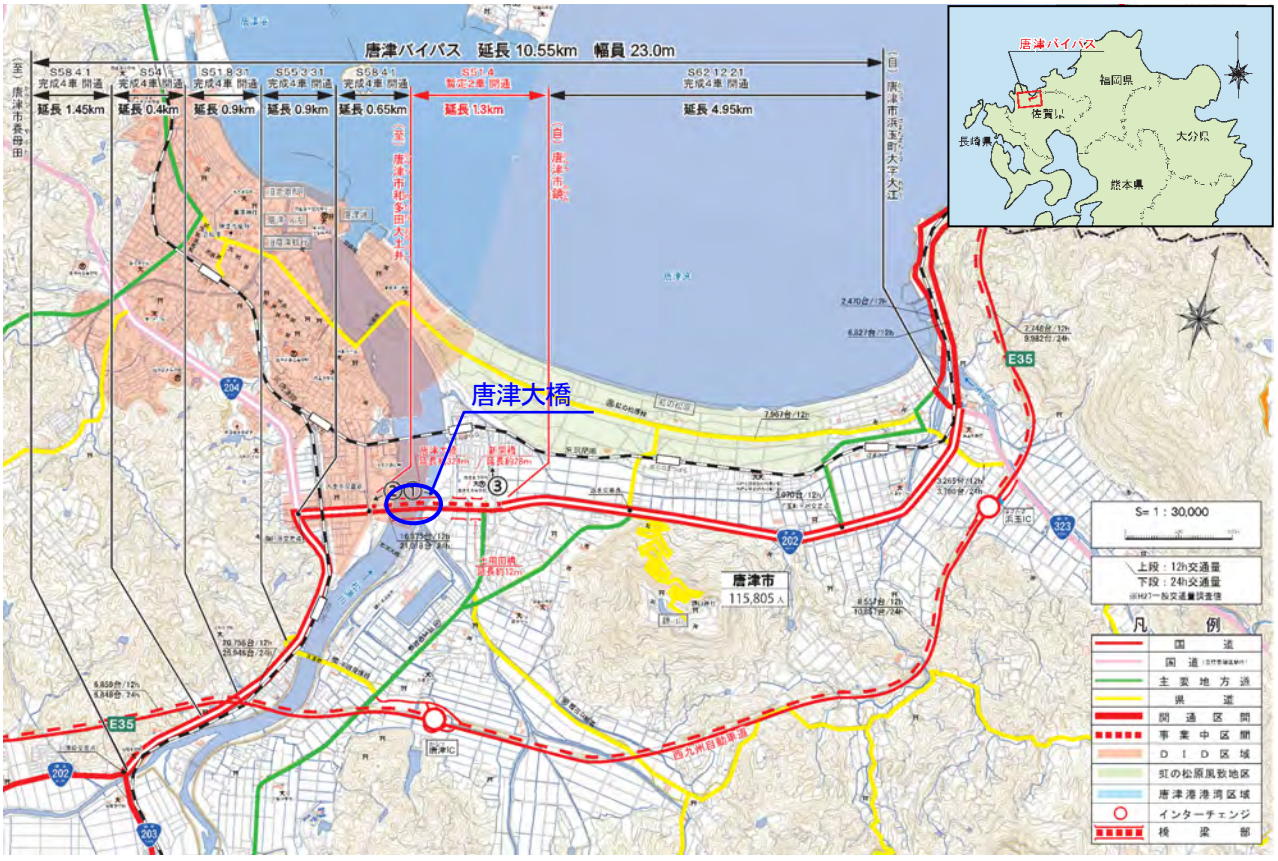
また，近年，建設現場における技能者の不足により更なる生産性の向上や，担い手確保の観点から作業現場の安全性の向上などの環境改善が求められている。そのような背景を受けて，河川内橋脚の耐震補強の必要性の有無や工期縮減を目指して橋梁詳細設計を実施した。

キーワード　耐震補強，工期縮減，生産性向上

1.　事業概要

一般国道202号唐津バイパスは佐賀県唐津市に位置し，交通環境（渋滞・事故）の改善を目的とする延長10.55kmの路線である。このうち起点側4.95km及び終点側4.30kmは4車線道路として供用中である。残る唐津大橋を含む1.30km区間（自：唐津市鏡～至：唐津市和多田大土井）は暫定2車線供用中であり，ボトルネック解消による幹線道路の安全性の確保及び速達性の確保，並行する県道虹の松原線の通行規制時における代替路として沿線地域の日常生活の支援機能向上を目的に，令和4年度に4車線化が新規事業認可された。

当該区間は，平坦な住宅商業地であり，盛土構造が多くを占めるが，唐津市道と交差する土用田橋（橋長L=12m）及び新開橋（橋長L=28m），一級河川松浦川を渡河する唐津大橋（橋長L=324m）の完成側（上り線）（以降「Ⅱ期線」と称す）の架橋が必要となる。



図－1　位置図

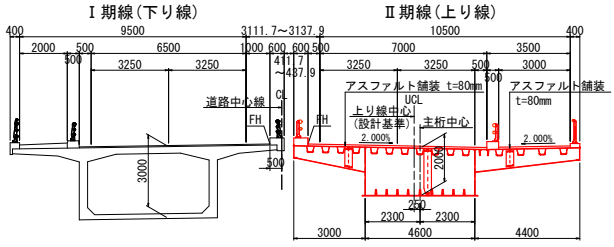
2. 唐津大橋の概要

唐津大橋は一級河川松浦川（武雄河川事務所管理）を渡河する橋梁であり，Ⅰ期線（下り線）はPC6径間連続箱桁橋として供用中である。Ⅱ期線（上り線）の下部構造（橋台2基，橋脚5基）はⅠ期線と同様の上部構造を想定して設計が行われ，Ⅰ期線施工時（昭和49年）に同時施工済みである。唐津大橋の断面図・一般図を図－2・図－3に示す。

写真－1　唐津大橋現況写真

表-1　設計条件

橋　梁　名	唐津大橋Ⅱ期線（上り線）
路　線　名	一般国道202号唐津バイパス
架　橋　位　置	唐津市鏡～唐津市和多田大土井
道　路　規　格	第4種第1級
計　画　交　通　量	28,600台/日
大型車交通量	627台/日/方向
設　計　速　度	V=60km/h
幅　員　構　成	0.50+3.25×2+0.50+0.50+3.00
設　計　活　荷　重	B活荷重
塩害対策区分	なし（海岸線より1.7km）



図－2　上部工断面図

3. 詳細設計概要

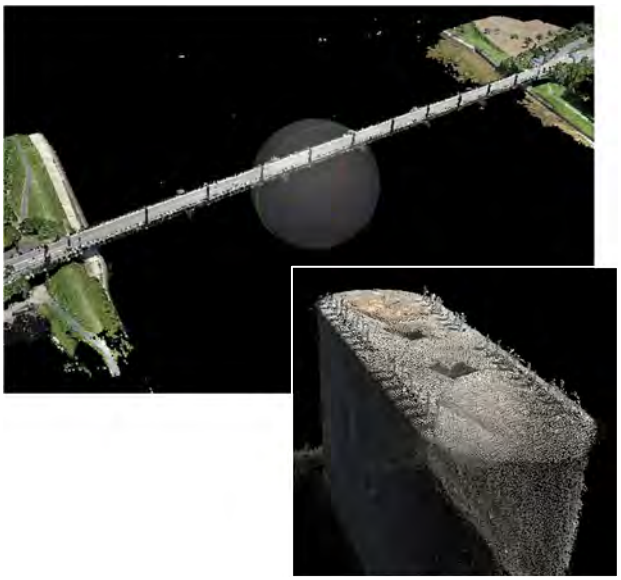
(1) 設計上の課題

昭和49年に施工されたⅡ期線下部構造は，当時の設計基準により設計されており耐震性は現行基準（平成24年道路橋仕方書：以下「H24道示」と称す）を満足していない。

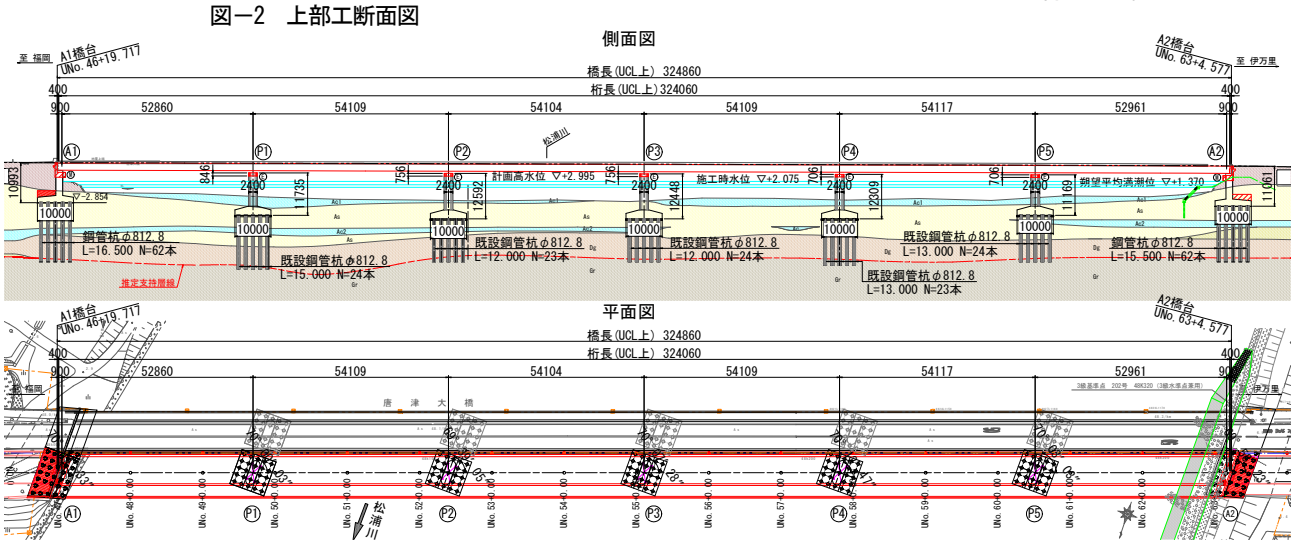
工事コスト縮減・施工工期短縮・現道交通への影響軽減の観点から，既設下部構造の大規模な補強を行わずに活用できるかが課題であった。

(2) Ⅱ期線道路中心線の設定

詳細設計に先立ち，Ⅱ期線施工済下部構造の形状把握及び供用中Ⅰ期線上部構造との離隔確保を目的に，Ⅱ期線橋脚柱四隅及びⅠ期線地覆端座標をドローン測量により計測し，Ⅰ期線上部構造との離隔0.4m以上確保した（免震支承採用による新旧主桁の衝突回避のため）Ⅱ期線の道路中心線を設定した。



図－4　ドローン測量により取得した点群データ



図－3　唐津大橋一般図

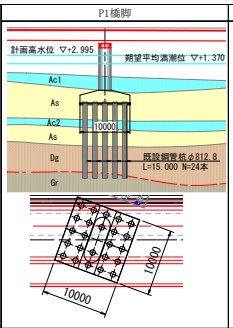
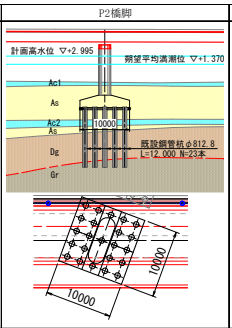
⑶ 橋脚の設計

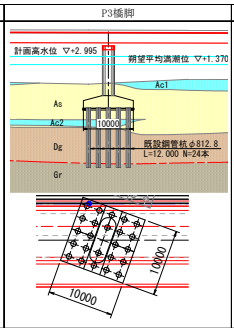
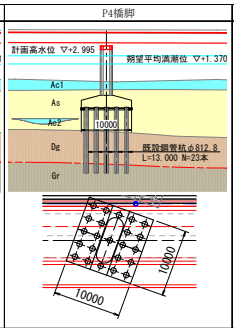
Ⅱ期線橋脚の耐震化に関しては，上部構造の軽量化による橋脚への分担重量の低減，及び，橋脚に作用する地震時水平力の低減を目的に，免震支承を用いた「鋼6径間連続鋼床版箱桁橋」とした。

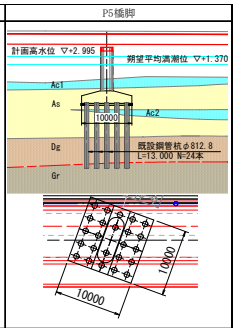
これにより橋脚の基礎の増杭や柱のＲＣ巻立て補強等の耐震補強が不要となり，大幅なコスト縮減を可能とした。なお，地震時水平力分散支承及び多点固定支承の場合には橋脚の耐震補強が必要となる。

上部構造の桁高差（当初桁高 H=3.0m，今回桁高 H=2.0m）は，Ⅱ期線橋脚天端の嵩上げを行うものとし，橋脚耐力に問題がないことを確認した上で，アンカー定着工法（樹脂モルタル注入で 20φの定着長）にて既存鉄筋と同径鉄筋を倍ピッチで配置するものとした。

表－2　橋脚基礎照査結果

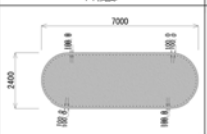
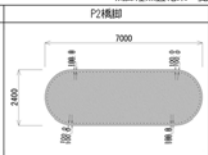
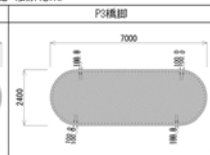
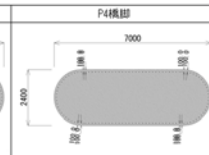
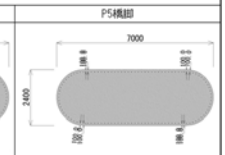
		P1橋脚						P2橋脚					
【杭配置図】													
【基礎工諸元】		橋軸方向幅 × 直角方向幅						橋軸方向幅 × 直角方向幅					
底版寸法	m	10.0 × 10.0						10.0 × 10.0					
杭長・杭本数	―	L= 15.0 m			N= 24 本			L= 12.0 m			N= 23 本		
照査項目	単位	計算値	許容値	判定	計算値	許容値	判定	計算値	許容値	判定	計算値	許容値	判定
【安定計算】		橋軸方向			直角方向			橋軸方向			直角方向		
最大軸方向力	Pmax(kN)	1234.4	1905.0	OK	1175.7	1905.0	OK	1254.4	1918.0	OK	1240.1	1918.0	OK
最小軸方向力	Pmin(kN)	329.1	−536.0	OK	387.7	−536.0	OK	331.4	−518.0	OK	345.6	−518.0	OK
水平変位	δ(mm)	1.8	15.0	OK	1.6	15.0	OK	1.7	15.0	OK	1.6	15.0	OK
【杭体照査】		橋軸方向			直角方向			橋軸方向			直角方向		
曲げ圧縮応力度	σc(N/mm²)	−51.4	−140.0	OK	−51.4	−140.0	OK	−52.4	−140.0	OK	−52.4	−140.0	OK
曲げ引張応力度	σt(N/mm²)	−36.1	140.0	OK	−36.1	140.0	OK	−36.8	140.0	OK	−36.8	140.0	OK
せん断応力度	τ(N/mm²)	4.5	120.0	OK	4.0	120.0	OK	4.7	120.0	OK	4.4	120.0	OK
【L2照査】		橋軸方向			直角方向			橋軸方向			直角方向		
曲げﾓｰﾒﾝﾄ	M(kN･m/本)	377.4	593.6	OK	353.3	593.6	OK	445.6	591.8	OK	392.7	591.8	OK
最大押込み力	PN(kN/本)	1628.5	3632.0	OK	1421.0	3632.0	OK	1765.8	3714.0	OK	1538.6	3714.0	OK

		P3橋脚						P4橋脚					
【杭配置図】													
【基礎工諸元】		橋軸方向幅 × 直角方向幅						橋軸方向幅 × 直角方向幅					
底版寸法	m	10.0 × 10.0						10.0 × 10.0					
杭長・杭本数	―	L= 12.0 m			N= 24 本			L= 13.0 m			N= 23 本		
照査項目	単位	計算値	許容値	判定	計算値	許容値	判定	計算値	許容値	判定	計算値	許容値	判定
【安定計算】		橋軸方向			直角方向			橋軸方向			直角方向		
最大軸方向力	Pmax(kN)	1225.2	1939.0	OK	1178.5	1939.0	OK	1243.3	2022.0	OK	1229.2	2022.0	OK
最小軸方向力	Pmin(kN)	281.2	−531.0	OK	328.0	−531.0	OK	346.3	−587.0	OK	360.4	−587.0	OK
水平変位	δ(mm)	1.7	15.0	OK	1.6	15.0	OK	1.7	15.0	OK	1.6	15.0	OK
【杭体照査】		橋軸方向			直角方向			橋軸方向			直角方向		
曲げ圧縮応力度	σc(N/mm²)	−49.8	−140.0	OK	−49.8	−140.0	OK	−52.5	−140.0	OK	−52.5	−140.0	OK
曲げ引張応力度	σt(N/mm²)	−35.0	140.0	OK	−35.0	140.0	OK	−36.9	140.0	OK	−36.9	140.0	OK
せん断応力度	τ(N/mm²)	4.6	120.0	OK	4.1	120.0	OK	4.6	120.0	OK	4.3	120.0	OK
【L2照査】		橋軸方向			直角方向			橋軸方向			直角方向		
曲げﾓｰﾒﾝﾄ	M(kN･m/本)	405.8	584.3	OK	380.2	584.3	OK	456.0	592.4	OK	382.2	592.4	OK
最大押込み力	PN(kN/本)	1735.6	3790.0	OK	1527.1	3790.0	OK	1776.9	3898.0	OK	1509.5	3898.0	OK

		P5橋脚					
【杭配置図】							
【基礎工諸元】		橋軸方向幅 × 直角方向幅					
底版寸法	m	10.0 × 10.0					
杭長・杭本数	―	L= 13.0 m			N= 24 本		
照査項目	単位	計算値	許容値	判定	計算値	許容値	判定
【安定計算】		橋軸方向			直角方向		
最大軸方向力	Pmax(kN)	1197.9	1861.0	OK	1140.9	1861.0	OK
最小軸方向力	Pmin(kN)	296.9	−479.0	OK	353.9	−479.0	OK
水平変位	δ(mm)	1.8	15.0	OK	1.6	15.0	OK
【杭体照査】		橋軸方向			直角方向		
曲げ圧縮応力度	σc(N/mm²)	−49.5	−140.0	OK	−49.5	−140.0	OK
曲げ引張応力度	σt(N/mm²)	−34.8	140.0	OK	−34.8	140.0	OK
せん断応力度	τ(N/mm²)	4.5	120.0	OK	4.1	120.0	OK
【L2照査】		橋軸方向			直角方向		
曲げﾓｰﾒﾝﾄ	M(kN･m/本)	429.3	585.7	OK	386.1	585.7	OK
最大押込み力	PN(kN/本)	1634.2	3527.0	OK	1389.3	3527.0	OK

表－3　橋脚柱照査結果

橋脚柱照査結果一覧（動解結果）

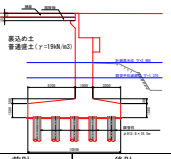
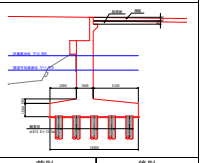
項目			P1橋脚	P2橋脚	P3橋脚	P4橋脚	P5橋脚
断面図							
柱	現況構造諸元	寸法(軸×直)	2400mm×7000mm	2400mm×7000mm	2400mm×7000mm	2400mm×7000mm	2400mm×7000mm
		軸方向鉄筋 橋軸方向	D29ctc150mm-1.0段	D32ctc150mm-1.0段	D32ctc150mm-1.0段	D32ctc150mm-1.0段	D29ctc150mm-1.0段
		軸方向鉄筋 直角方向	D29-23本-1.0段	D32-23本-1.0段	D32-23本-1.0段	D32-23本-1.0段	D29-23本-1.0段
		帯鉄筋	D16ctc150mm , 300mm	D16ctc150mm , 300mm	D16ctc150mm , 300mm	D16ctc150mm , 300mm	D16ctc150mm , 300mm
	地震時保有水平耐力法による照査	水平耐力に対する照査 (Pa≧0.4･cz･W)	計算値 / 水平耐力 Pa / 判定	計算値 / 水平耐力 Pa / 判定	計算値 / 水平耐力 Pa / 判定	計算値 / 水平耐力 Pa / 判定	計算値 / 水平耐力 Pa / 判定
		橋軸方向 タイプⅠ (kN)	2319 / 2732 / O.K	2314 / 2939 / O.K	2352 / 2984 / O.K	2315 / 2998 / O.K	2352 / 2852 / O.K
		橋軸方向 タイプⅡ (kN)	2029 / 2732 / O.K	2040 / 2939 / O.K	2063 / 2984 / O.K	2033 / 2998 / O.K	2030 / 2852 / O.K
		直角方向 タイプⅠ (kN)	2378 / 5113 / O.K	2735 / 5282 / O.K	2761 / 5282 / O.K	2692 / 5282 / O.K	2328 / 5113 / O.K
		直角方向 タイプⅡ (kN)	2045 / 5113 / O.K	2385 / 5282 / O.K	2437 / 5282 / O.K	2351 / 5282 / O.K	1996 / 5113 / O.K
	動的解析	最大応答変位に対する照査	最大応答変位 / 許容変位 / 判定	最大応答変位 / 許容変位 / 判定	最大応答変位 / 許容変位 / 判定	最大応答変位 / 許容変位 / 判定	最大応答変位 / 許容変位 / 判定
		橋軸方向 タイプⅠ (m)	0.027 / 0.088 / O.K	0.033 / 0.095 / O.K	0.032 / 0.093 / O.K	0.030 / 0.092 / O.K	0.024 / 0.081 / O.K
		橋軸方向 タイプⅡ (m)	0.070 / 0.088 / O.K	0.067 / 0.095 / O.K	0.066 / 0.093 / O.K	0.062 / 0.092 / O.K	0.052 / 0.081 / O.K
		直角方向 タイプⅠ (m)	0.003 / 0.011 / O.K	0.004 / 0.015 / O.K	0.004 / 0.014 / O.K	0.003 / 0.014 / O.K	0.002 / 0.010 / O.K
		直角方向 タイプⅡ (m)	0.003 / 0.011 / O.K	0.006 / 0.015 / O.K	0.006 / 0.014 / O.K	0.005 / 0.014 / O.K	0.003 / 0.010 / O.K
		橋脚の降伏状態					
		橋軸方向 タイプⅠ	弾性	弾性	弾性	弾性	弾性
		橋軸方向 タイプⅡ	降伏	降伏	降伏	降伏	降伏
		直角方向 タイプⅠ	弾性	弾性	弾性	弾性	弾性
		直角方向 タイプⅡ	弾性	弾性	弾性	弾性	弾性
		残留変位に対する照査	残留変位 / 許容値 / 判定	残留変位 / 許容値 / 判定	残留変位 / 許容値 / 判定	残留変位 / 許容値 / 判定	残留変位 / 許容値 / 判定
		橋軸方向 タイプⅠ (m)	0.000 / 0.116 / O.K	0.000 / 0.125 / O.K	0.000 / 0.124 / O.K	0.000 / 0.122 / O.K	0.000 / 0.111 / O.K
		橋軸方向 タイプⅡ (m)	0.024 / 0.116 / O.K	0.018 / 0.125 / O.K	0.018 / 0.124 / O.K	0.015 / 0.122 / O.K	0.015 / 0.111 / O.K
		直角方向 タイプⅠ (m)	0.000 / 0.116 / O.K	0.000 / 0.125 / O.K	0.000 / 0.124 / O.K	0.000 / 0.122 / O.K	0.000 / 0.111 / O.K
		直角方向 タイプⅡ (m)	0.000 / 0.116 / O.K	0.000 / 0.125 / O.K	0.000 / 0.124 / O.K	0.000 / 0.122 / O.K	0.000 / 0.111 / O.K
		応答塑性率対する照査	最大応答塑性率 / 許容塑性率 / 判定	最大応答塑性率 / 許容塑性率 / 判定	最大応答塑性率 / 許容塑性率 / 判定	最大応答塑性率 / 許容塑性率 / 判定	最大応答塑性率 / 許容塑性率 / 判定
		橋軸方向 タイプⅠ	0.912 / 2.890 / O.K	0.870 / 2.490 / O.K	0.867 / 2.493 / O.K	0.838 / 2.536 / O.K	0.877 / 3.020 / O.K
		橋軸方向 タイプⅡ	2.355 / 2.890 / O.K	1.766 / 2.490 / O.K	1.784 / 2.493 / O.K	1.696 / 2.536 / O.K	1.948 / 3.020 / O.K
		直角方向 タイプⅠ	0.247 / 1.000 / O.K	0.250 / 1.000 / O.K	0.291 / 1.000 / O.K	0.244 / 1.000 / O.K	0.236 / 1.000 / O.K
		直角方向 タイプⅡ	0.275 / 1.000 / O.K	0.389 / 1.000 / O.K	0.426 / 1.000 / O.K	0.381 / 1.000 / O.K	0.255 / 1.000 / O.K
		せん断に対する照査（せん断耐力）	応答せん断力 / せん断耐力 / 判定	応答せん断力 / せん断耐力 / 判定	応答せん断力 / せん断耐力 / 判定	応答せん断力 / せん断耐力 / 判定	応答せん断力 / せん断耐力 / 判定
		橋軸方向 タイプⅠ (kN)	3612 / 4496 / O.K	3813 / 4640 / O.K	3853 / 4640 / O.K	3671 / 4640 / O.K	3663 / 4496 / O.K
		橋軸方向 タイプⅡ (kN)	3816 / 5287 / O.K	3946 / 5479 / O.K	4029 / 5479 / O.K	4010 / 5479 / O.K	3767 / 5287 / O.K
		直角方向 タイプⅠ (kN)	3151 / 3953 / O.K	3415 / 4054 / O.K	3564 / 4054 / O.K	3352 / 4054 / O.K	3166 / 3953 / O.K
		直角方向 タイプⅡ (kN)	3146 / 4533 / O.K	4027 / 4668 / O.K	4268 / 4668 / O.K	4055 / 4668 / O.K	2949 / 4533 / O.K

(4) 橋台の設計

上部構造の軽量化によりⅡ期線側 A1,A2 橋台とも，耐震補強することなくレベル 2 地震動までの橋台基礎及び躯体の安定性，耐震性は確保できていることは確認できた。一方，橋台フーチング後趾の曲げ及びせん断力の耐力不足が課題となった。

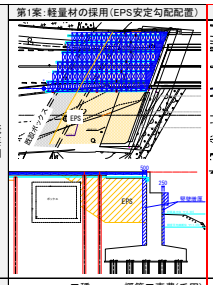
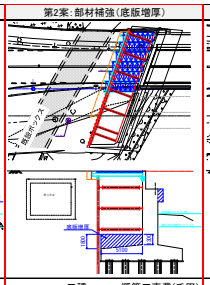
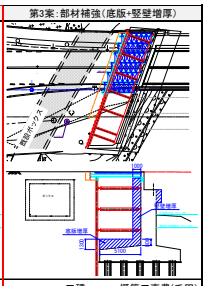
表－4　橋台フーチング照査結果

橋台照査結果一覧

			A1橋台				A2橋台			
断面図										
			前趾			後趾	前趾			後趾
	軸方向鉄筋		D22ctc150mm−1段			D19ctc150mm−1段	D22ctc150mm−1段			D19ctc150mm−1段
			計算値	許容値	判定	計算値	許容値	判定	計算値	許容値	判定	計算値	許容値	判定
フーチング	常時	曲げ圧縮応力度	1.9	8.0	OK	2.3	8.0	OK	2.0	8.0	OK	1.5	8.0	OK
		曲げ引張応力度	123.1	160.0	OK	176.7	160.0	NG	131.4	160.0	OK	120.0	160.0	OK
		せん断応力度	0.3	0.7	OK	0.2	0.2	OK	0.3	0.7	OK	0.2	0.2	OK
		せん断補強筋	−	−		0.5	1.7		−	−		1.3	1.7	
	許容応力度法による照査(L1地震時)	曲げ圧縮応力度	3.2	12.0	OK	7.2	12.0	OK	3.3	12.0	OK	5.8	12.0	OK
		曲げ引張応力度	210.0	270.0	OK	560.0	270.0	NG	219.2	270.0	OK	461.5	270.0	NG
		せん断応力度	0.4	1.0	OK	0.3	0.4	OK	0.4	1.0	OK	0.3	0.4	OK
		せん断補強筋	−	−		−	−		−	−		−	−	
	地震時保有水平耐力法による照査(L2地震時)	曲げ	47.3	1334.6	OK	2076.9	−995.1	NG	218.5	1334.6	OK	−2168.1	−1022.6	NG
		せん断 底版自重	−38.8			−170.9			−38.8			−170.9		
		せん断 上載土砂	−77.7			−758.6			−97.5			−747.2		
		せん断 鉛直土圧	0.0			−206.8			0.0			−179.9		
		せん断 底版に作用する浮力	0.0			69.7			0.0			68.4		
		せん断 上載土砂に作用する浮力	0.0			102.5			0.0			140.6		
		せん断 杭頭鉛直反力	1270.6			−452.2			1364.9			−364.5		
		せん断 M/d･tan(γ)	0.0			79.8			0.0			77.1		
		合計	1154.1	1592.3	OK	−1336.4	514.6	NG	1228.6	1592.3	OK	−1176.5	522.5	NG
基礎	曲げモーメント(L2)		橋軸方向			1155.3	979.4	OK	橋軸方向			1046.7	971.8	OK
	応答塑性率					1.2	3.0					1.1	3.0	
	最大押込み力(L2)					2490.5	3942.0	OK				2405.2	3886.0	OK
評価			許容値NG ・フーチング後趾の曲げ、せん断がNGとなる。				許容値NG ・フーチング後趾の曲げ、せん断がNGとなる。			

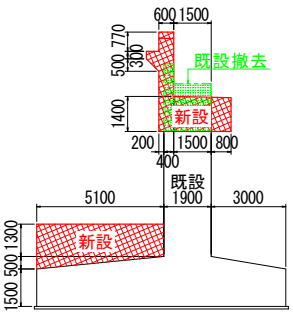
フーチング後趾に作用する上載土砂重量及び土圧の鉛直方向成分力に対し，フーチング後趾上面鉄筋量が不足していることが耐力不足の要因であり，軽量材料による上載荷重低減工法やフーチング増厚工法について比較し，経済的で施工工期も短いフーチング増厚工法を採用した。

表－5　橋台フーチング対策工法検討

	第1案：軽量材の採用(EPS安定勾配配置)	第2案：部材補強(底版増厚)	第3案：部材補強(底版+竪壁増厚)
概要図			
概算工事費	工種 / 概算工事費(千円) ・路面切削 170 ・仮設土留 0 ・路面覆工 28,440 ・掘削 590 ・EPS設置 43,120 ・底版増厚 0 ・竪壁増厚 17,250 ・埋戻し 0 計 89,600 諸経費(90%) 80,700 合計 170,300 比率 2.4	工種 / 概算工事費(千円) ・路面切削 90 ・仮設土留 11,270 ・路面覆工 9,220 ・掘削 630 ・EPS設置 0 ・底版増厚 15,890 ・竪壁増厚 0 ・埋戻し 960 計 38,100 諸経費(90%) 34,300 合計 72,400 比率 1.0	工種 / 概算工事費(千円) ・路面切削 90 ・仮設土留 11,270 ・路面覆工 9,220 ・掘削 630 ・EPS設置 0 ・底版増厚 12,720 ・竪壁増厚 13,860 ・埋戻し 850 計 48,700 諸経費(90%) 43,900 合計 92,600 比率 1.3
概算施工日数	工種 / 施工日数 ・路面切削、復旧 10 ・鋼矢板設置、撤去 0 ・仮設構台設置、撤去 32 ・支保工設置、撤去 0 ・底版増厚 0 ・竪壁増厚 63 ・EPS設置 40 ・踏掛版設置 6 計(実作業日数) 151 稼働率考慮(1.8) 272 (9.1ヶ月) 比率 1.4	工種 / 施工日数 ・路面切削、復旧 5 ・鋼矢板設置、撤去 10 ・仮設構台設置、撤去 9 ・支保工設置、撤去 27 ・底版増厚 49 ・竪壁増厚 0 ・EPS設置 0 ・踏掛版設置 6 計(実作業日数) 106 稼働率考慮(1.8) 191 (6.4ヶ月) 比率 1.0	工種 / 施工日数 ・路面切削、復旧 5 ・鋼矢板設置、撤去 10 ・仮設構台設置、撤去 9 ・支保工設置、撤去 27 ・底版増厚 47 ・竪壁増厚 34 ・EPS設置 0 ・踏掛版設置 6 計(実作業日数) 138 稼働率考慮(1.8) 248 (8.3ヶ月) 比率 1.3
評価	・橋台背面の覆工範囲が広く、EPS設置が高価であることから、経済性に最も劣る。 ・他案に比べ、仮設構台設置、撤去に日数を要すると共に、EPS設置期間も加算されるため、施工期間が最も長くなる。	・第1案に比べ、橋台背面の覆工範囲が狭く、竪壁増厚も不要であり、経済性に最も優れる。 ・第3案に比べ底版増厚に要する施工期間の増加は僅かであり、全体施工期間が最も短い。	・第2案に比べ底版増厚量は減少するが、竪壁増厚分の工事費、施工日数を考慮すると、経済性、施工日数では3案中中位となる。

※ハッチ部は、概算工事費、施工日数増となる主な要因を示す。

支承の大型化による沓座幅の確保，伸縮装置の大型化によるパラペット厚の確保の必要性から，既設竪壁の上方一部及びパラペットを撤去し，再構築する計画とした。竪壁一部撤去範囲はパラペットの主鉄筋の定着長が確保できる1.4mとした。



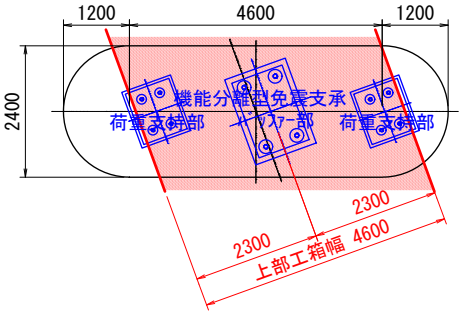
図－5　橋台断面図

(5) 上部構造の設計

上部構造は反力低減を目的に，最大支間長L=54.1mの鋼6径間連続鋼床版箱桁橋で詳細設計を行った。

箱幅，桁高について経済性や構造性の観点で比較を行い，構造を最適化した。

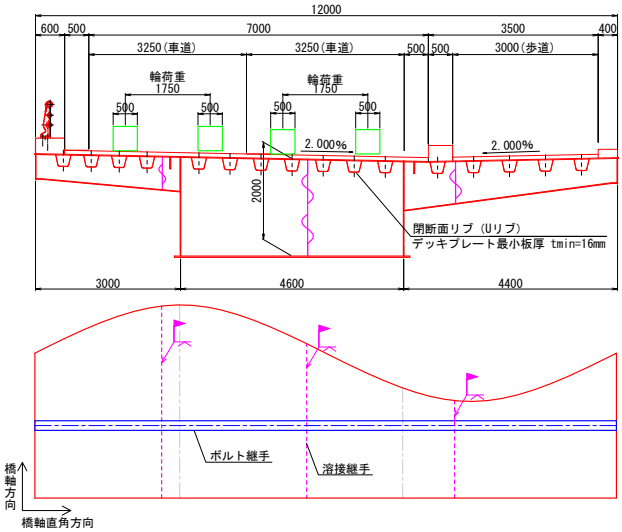
箱幅はⅡ期線側橋脚が施工済みであり，支承配置より箱幅が限定され，比較の結果，箱幅B=4.6m（主桁内Uリブ7本）の1室箱桁とした。



図－6　橋脚天端の支承配置と箱幅図

桁高は，平均支間長54mより桁高H=1.8m（桁高／支間比=1/30）を目安にH=1.8m～H=2.2mで比較し，鋼重が最も軽量となり経済性に優れるH=2.0mとした。

鋼床版の継手は，縦横ボルト，縦溶接・横ボルト，縦横溶接にて比較し，舗装の耐久性や維持管理性に優れ，キャンバー調整等の施工性に優れる縦溶接・横ボルトとした。



図－7　採用桁断面と継手方法

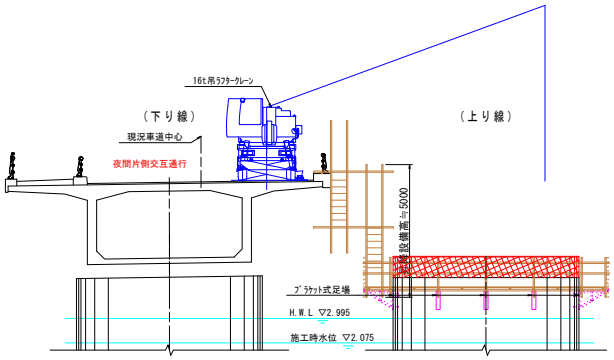
3. 施工計画

唐津市や唐津警察署との協議の結果，夜間の片側交互通行や一次的な通行止めについて了承は得られたが，現道交通への影響を極力低減できるよう施工計画の立案を行った。

(1) 橋脚施工計画

施工済橋脚上の継ぎ足し施工であり，大きな資機材は用いないことから，Ⅰ期線の夜間片側交互通行によりⅠ期線橋面上から資機材搬入を行う計画とした。

本工法により，河川を使用する仮桟橋施工や台船施工に対し大幅なコスト縮減と工期短縮が可能となり，橋脚1基毎に施工しても10月～5月の1非出水期内で施工は完了できる。



図－8　橋脚施工要領図

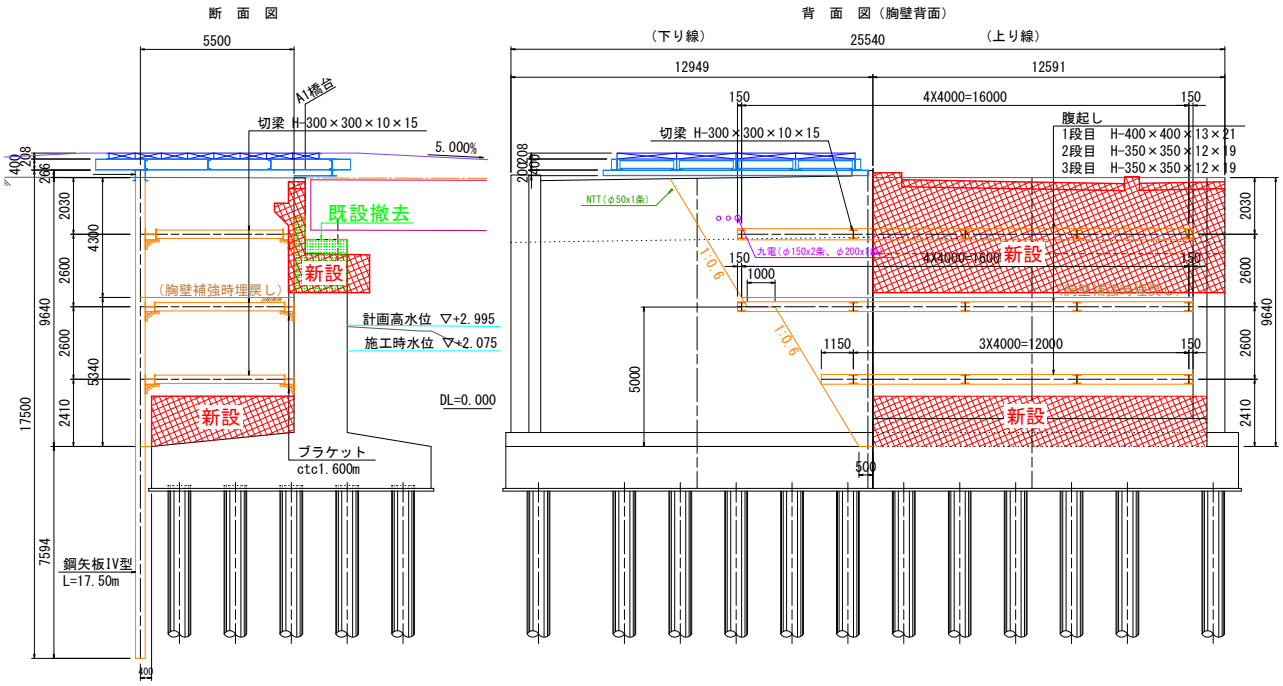
(2) 橋台施工計画

橋台はフーチング増厚とパラペット及び竪壁の一部撤去再構築の施工である。Ⅱ期線側橋台のフーチング上面まで掘削する必要があるが，現地盤からフーチング上面まで深さが約9mあり，Ⅰ期線側現道交通の確保が課題となった。

橋台背面は盛土構造であり地下水位が高くないことから，既設フーチング後趾背面に鋼矢板を打設し，既設橋台竪壁との間に切梁を設ける切梁式土留工を行うことで背面側掘削範囲を縮小した（図-9）。

Ⅱ期線側側面は既設橋台のウィングにより土留は可能であるが，Ⅰ期線側は1:0.6にてオープン掘削とした。この場合，Ⅰ期線に掘削影響範囲が達し現道交通を遮断することになるため，一般通行用仮橋を夜間片側交互通行にて掘削前に施工し現道交通を確保する計画とした。

仮橋は設置撤去の工程短縮から，橋台背面鋼矢板とⅠ期線上部構造で支持させ，路面高を現道より高くする方針とし，前後は5%の盛土で擦り付ける計画とした。



図－9　A1 橋台仮設工図

(3) 上部工施工計画

上部工は松浦川左岸側A2橋台背面のⅡ期線用地を送出しヤードとした手延式送出し架設とした。送出しは直線かつ水平送出しとし，降下量は3.75m＜4.0mである

送り出しヤードは，Ⅰ期線現道切り回しとの取り合い及びブロック長より63mで計画し，P5橋脚到達までは転倒照査を満足する範囲で3回の分割送出し，P5～A1間は1径間ごとの送出し架設で計画した。

桁組立は160t吊りオールテレーンクレーンとし，ヤード側面にクレーンが配置できないことから，ヤード背面から架設し台車により連結させる。

河川内中間橋脚への送出し装置及び降下設備の設置・撤去は，Ⅰ期線現道を夜間一次通行止めとしⅠ期線現道上から50t吊りラフタークレーンにて行う計画とした。撤去作業の効率化のため，橋脚上のⅠ期線側鋼床版張出ブロックは，本体送出し架設後の後施工とした。

4. まとめ

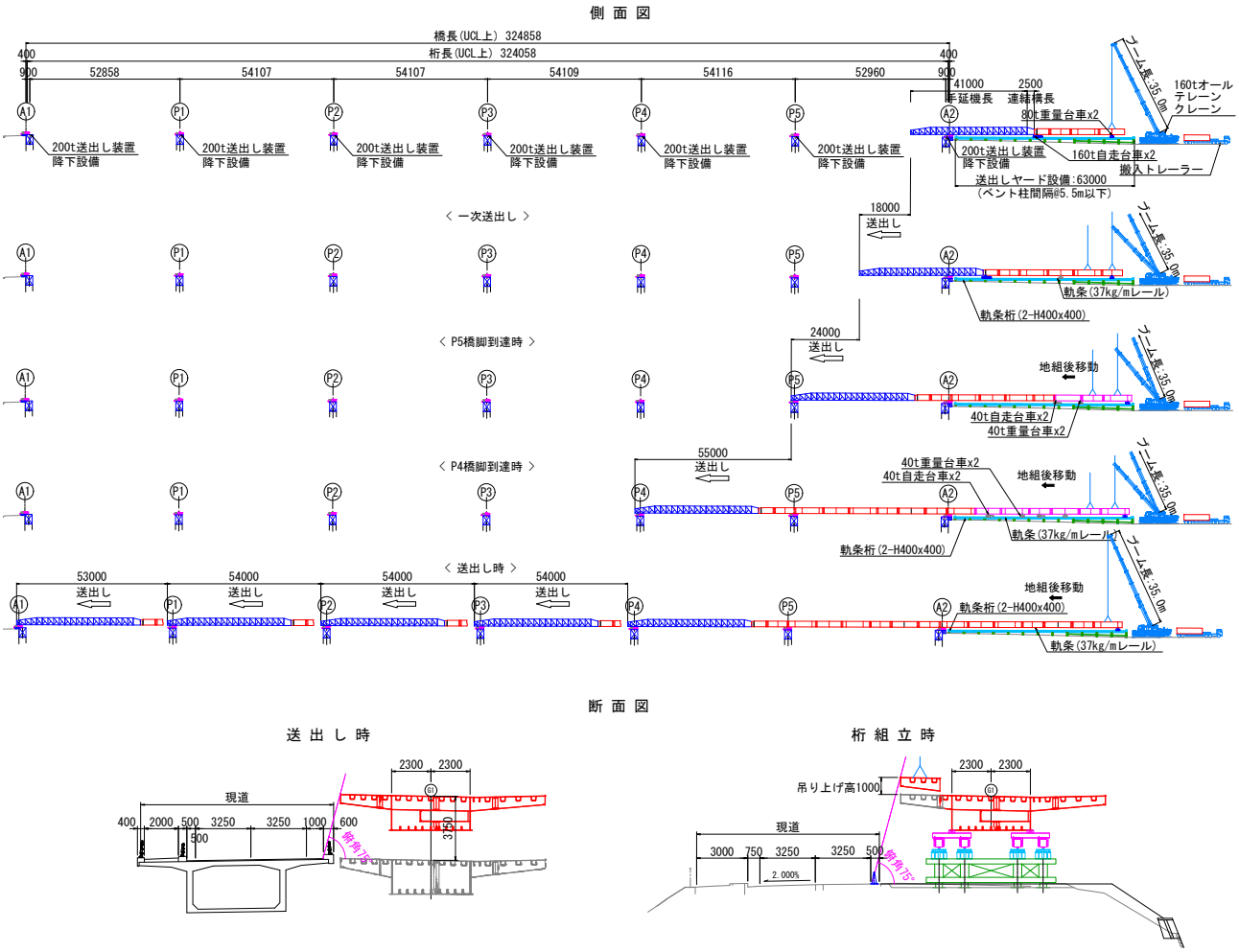
今回の唐津大橋Ⅱ期線詳細設計では，上部構造の軽量化及び免震支承の採用により河川内橋脚の耐震補強が不要となり，河川内への仮設備設置も不要となった。

橋台は背面土砂重量によりフーチングの増厚補強が必要となったが，現道交通への影響を極力抑えた施工計画とし，上部工も橋台背面からの送出し架設とすることで河川内利用を避け，かつ，現道交通への影響を極力抑えた施工計画とした。

結果，大幅なコスト縮減及び現場工期の短縮が図られ，周辺住民に対する生活環境への影響も低減できたと考えている。

今後，下部工施工，上部工架設と続いて行くが，建設現場の生産性向上により，円滑に事業を進めて参りたい。

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。



図－10　上部工架設計画図

国道10号門川日向拡幅開通に伴う交通状況及び整備効果について

梶原　愛未[1]・小堀　与一[1]

[1]九州地方整備局　延岡河川道事務所　計画課　（〒882-0803 宮崎県延岡市大貫町1丁目2889）

国道10号門川日向拡幅事業は、宮崎県門川町大字加草～日向市大字平岩間の交通混雑の解消や交通安全性の向上等を図り沿線地域の発展に貢献することを目的とした、延長12.8kmの現道拡幅事業であり、昭和45年度に事業化し令和5年6月に財光寺地区（長江～木原交差点間）が開通したことで、全線が開通した。

本稿では、令和5年6月に開通した財光寺地区（長江～木原交差点間）および事業全体の交通状況の変化や整備効果について述べる。整備効果については、「交通状況」「交通安全」「救急医療」「交物流活動」「日常生活」「まちづくり」の観点で取りまとめた。

キーワード　現道拡幅事業，渋滞緩和，交通安全，ETC2.0プローブデータ、アンケート調査

1. はじめに

(1) 事業概要

国道10号は北九州市を起点とし、大分市・宮崎市を経て鹿児島市に至る、総延長493kmの九州東部を縦貫する主要幹線道路である。

国道10号門川日向拡幅事業は、宮崎県門川町大字加草～日向市大字平岩間（延長12.8km）の交通混雑の解消や交通安全性の向上等を図り沿線地域の発展に貢献することを目的とした、現道拡幅事業である（図- 1）。
構造規格は、第４種第１級で、設計速度は60㎞/h、幅員は23～31m であり、片側１車線から片側２車線へ拡幅する（表- 1・ 図- 2）。

図- 1　事業位置図

表- 1　計画諸元

区間：門川町大字加草～日向市大字平岩
延長：１２．８㎞
幅員：２３～３１m
構造規格：第４種第１級
設計速度：６０㎞/h

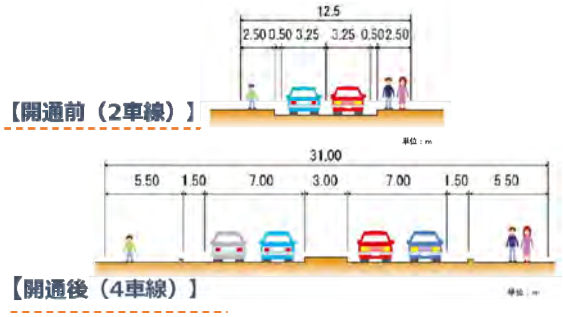


図- 2　標準断面図

2. 事業完了までの経緯

(1) 事業経緯

門川日向拡幅事業は、昭和45年度に事業化され、平成6年度に門川地区（延長4.9km）が開通したのを皮切りに、平成9年度には日向地区（延長4.9km）が開通した。平成10年度には財光寺地区の3.0kmが渋滞解消を目的として事業延伸し、平成12年度に財光寺地区の用地買収に着手、平成17年度に新生町交差点付近（延長0.3km）が開通、平成21年度に長江交差点付近（延長0.4km）が開通、平成25年度にお倉ヶ浜交差点付近（延長0.8km）が順次開通した。そして、令和5年6月24日に財光寺地区の長江～木原交差点間（延長1.2km）が開通したことで、全線4車

線化の事業が完了した（表－２）。

表－２　事業完了までの経緯

時期	内容
昭和 45 年度	事業化
平成 6 年度	門川地区開通（延長 4.9km）
平成 9 年度	日向地区開通（延長 4.9km）
平成 10 年度	事業延伸 （財光寺地区延長 3.0km）
平成 17 年度	新生町交差点付近開通 （延長 0.3km）
平成 21 年度	長江交差点付近開通 （延長 0.4km）
平成 25 年度	お倉ヶ浜交差点付近開通 （延長 0.8km）
令和 5 年 6 月 24 日	長江～木原交差点間 （延長 1.2km）

(2) 長江～木原交差点間の開通

門川日向拡幅事業の最後の未開通区間であった、長江～木原交差点間（図－３）は、令和5年6月24日に開通。

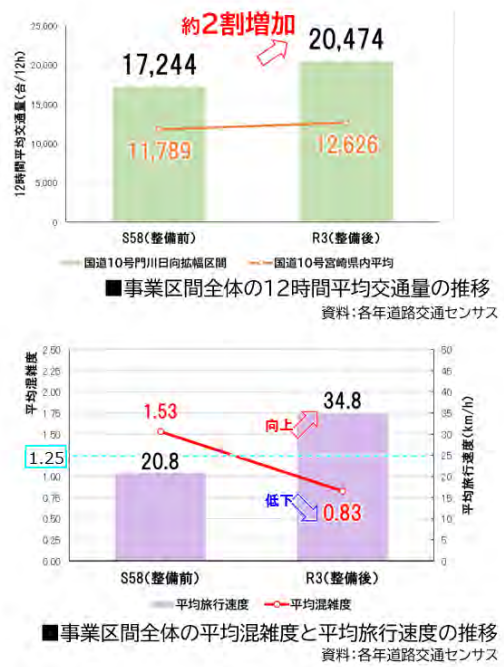
同日、日向市中央公民館において事業の開通を祝う「開通式」が多くの関係者出席のもと開催された（写真－１）。

図－３　長江～木原交差点間の開通前後の状況

写真－１　長江～木原交差点間の開通式の様子

(3)交通状況の変化

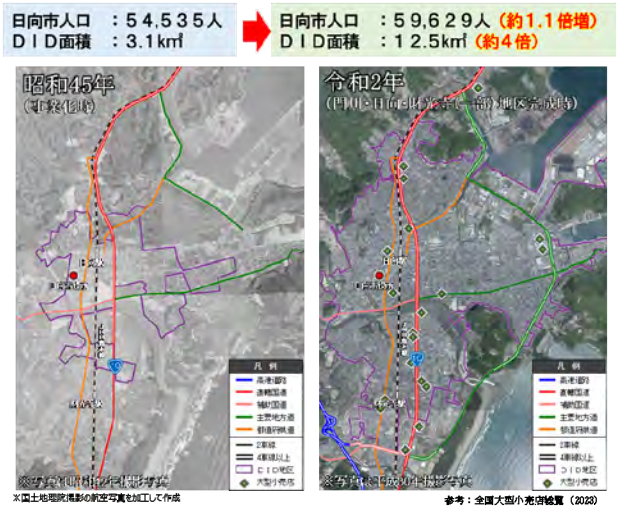
国道１０号門川町～日向市間は、地域の生活経済活動を支える重要な幹線道路であり、交通量は国道１０号の宮崎県内平均と比べ約１万台/１２ｈ多く、４車線化後は約２割増加した。また、4車線化による交通容量の増加により、旅行速度も大きく向上した（図－４）。



図－４　交通状況の変化

(4)日向市の市街地の変遷

日向市では、国道１０号事業区間を中心に市街化が進み、人口は事業化時の約55,000人から約60,000人へ約1.1倍増加し、ＤＩＤ地区の面積は事業化時の3.1km²から12.5 km²へ約４倍に拡大した（図－５・図－６）。



図－５　日向市の市街地（DID 地区）の変遷

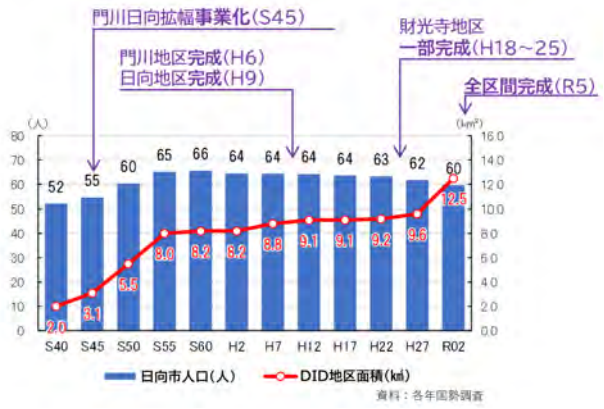


図- 6　定住人口と DID 地区面積の推移

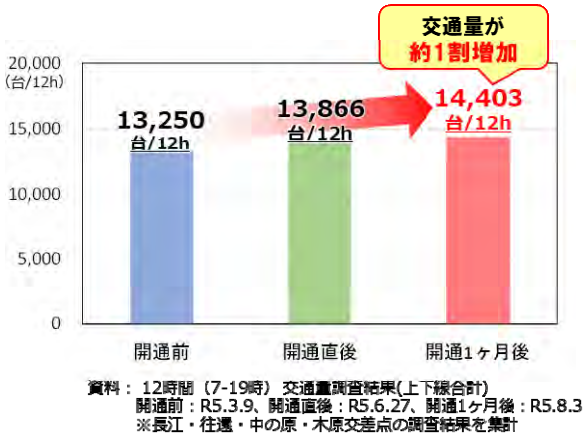


図- 7　長江～木原交差点間の交通量変化

3. 整備効果（長江～木原交差点間）

(1) 交通状況の変化

開通前後の長江～木原交差点間の平日交通量は、開通1か月後は約14,400台/12ｈとなっており、開通前と比較し約1割（約1,200台）増加した（図- 7）。

また、渋滞について開通前は長江～木原交差点間の4つの交差点（長江・往還・中の原・木原）において渋滞が発生していたが、開通後は全ての交差点で渋滞が解消した（図- 8）。

ETC2.0データを用いて長江～木原交差点間の旅行速度の変化を確認すると、開通前の平日のタピーク時間帯の平均旅行速度は15.0km/hであったが、開通後は36.7km/hとなり20km/h以上速度が向上した（図- 9）。

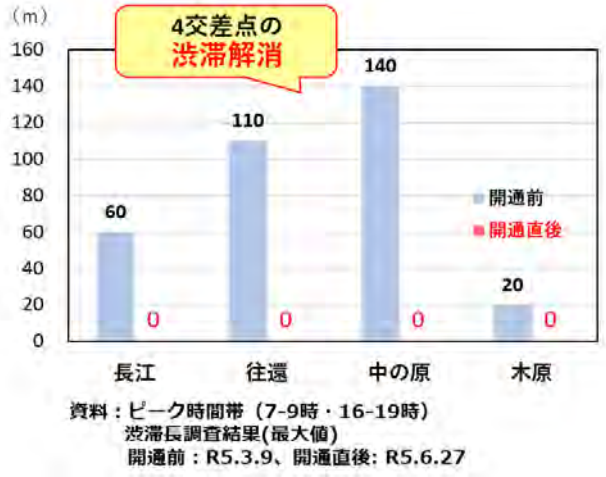


図- 8　長江～木原交差点間の渋滞長変化

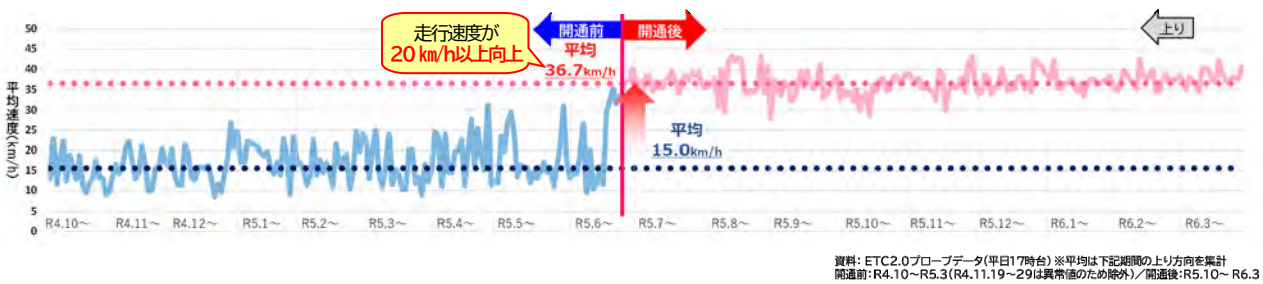


図- 9　長江～木原交差点間の旅行速度変化（平日）

(2) 交通安全性が向上

長江～木原交差点を含む財光寺地区開通前の死傷事故率は宮崎県内国道10号の平均値（56.3件/億台キロ）と比較して、約1.6倍と事故リスクが高い区間である。既に開通している門川地区や日向地区と比較しても死傷事故率が高い区間である（図- 10）。

門川日向拡幅の4車線化により、事故要因の一つと想定される交通渋滞が緩和されたことで、開通前は事故が約8件/年発生していたが、開通後は約5件/年と約3割減少し交通安全性が向上した（図- 11）。

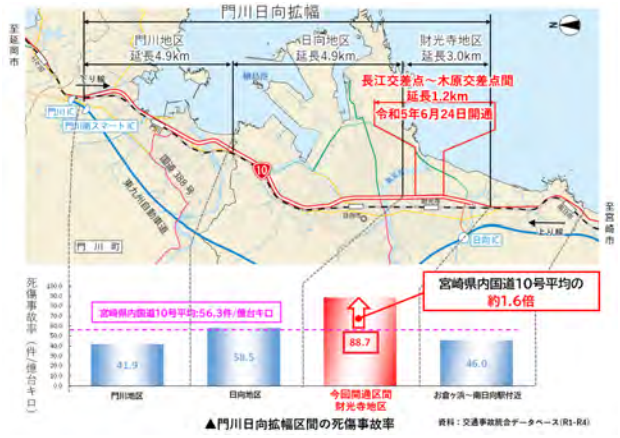


図- 10　門川日向拡幅区間の死傷事故率

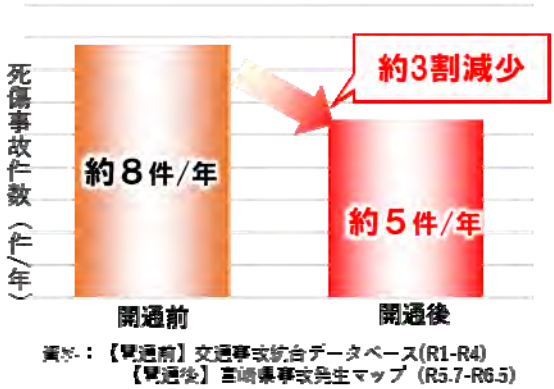


図- 11 財光寺地区（開通区間）の事故件数

(3) 迅速かつ安定した救急活動を支援

日向市消防本部の救急搬送件数は増加傾向（H26年：3,002件⇒R5年：3,683件の約1.2倍）であり、救急搬送ルートとして生命線である国道10号の重要性が高まっているが、開通前は2車線区間のため、渋滞による搬送時間の遅れや追越し時の事故リスクがあり、救急医療活動に支障が出ていた（写真- 2）。

門川日向拡幅の4車線化により、開通区間を利用した緊急搬送時間は、開通前の平均26.2分から開通後は平均21.9分と約4分短縮され、救急車両の円滑で安定した走行に寄与した（図- 12）。

写真- 2　開通前の救急搬送の様子

図- 12　救急搬送時間の変化

(4) 物流活動の効率化・安定化を支援

重要港湾である「細島港」を介した港湾物流等において、門川日向拡幅の4車線化により開通区間を利用した搬送活動における速達性（平均所要時間：約3分短縮）や定時性（ばらつき：約3分減少）が確保され、配送活動の効率化に寄与した。

また、美々津周辺には食肉加工工場が複数立地しており、渋滞緩和による運送時間の短縮に加え荷痛みや荷崩れの原因となる、渋滞時の加減速に伴う急挙動の発生リスクが低減（急減速発生頻度：約6割減少）したことで、運送コストや養生コストが削減され、配送活動の安定化にも寄与した（図- 13）。

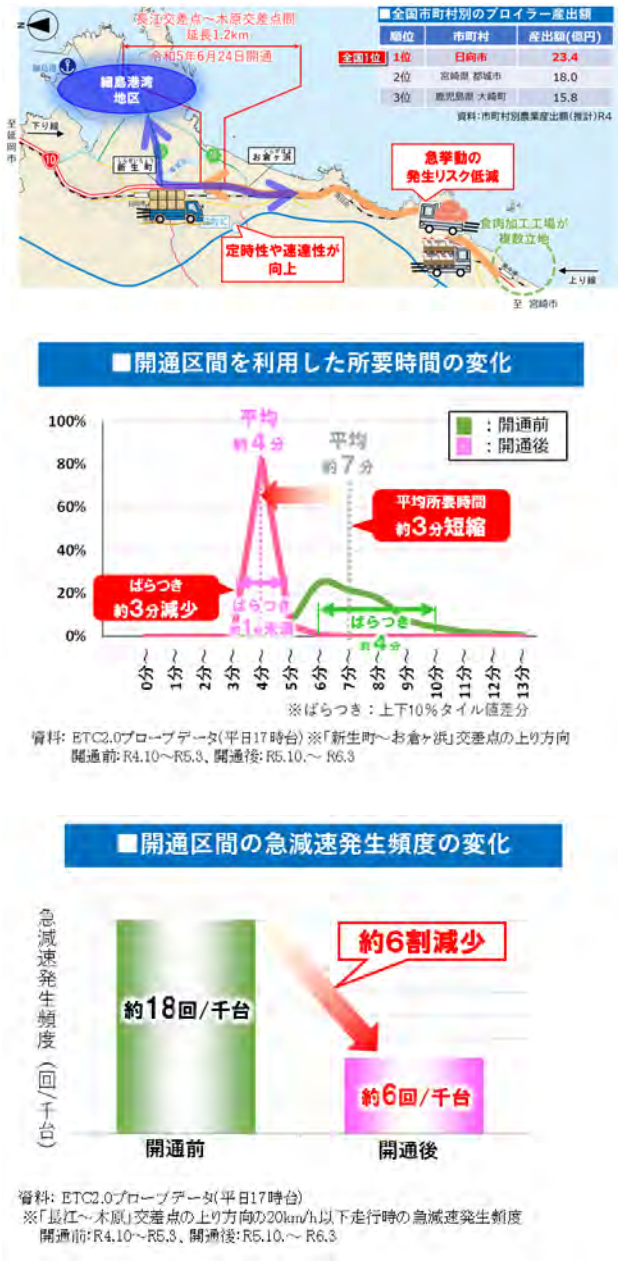


図- 13 物流活動の効率化・安定化

(5) 沿線住民が日常生活において開通効果を実感

開通区間の利用者（月1回以上利用）を対象にWEBアンケート調査を実施した結果、利用者の約９割が、国道10号門川日向拡幅（長江～木原交差点間）の整備による開通効果を実感していた（図- 14）。具体的には、渋滞の解消や安全性の向上により、趣味・娯楽等で開通効果を実感していた。

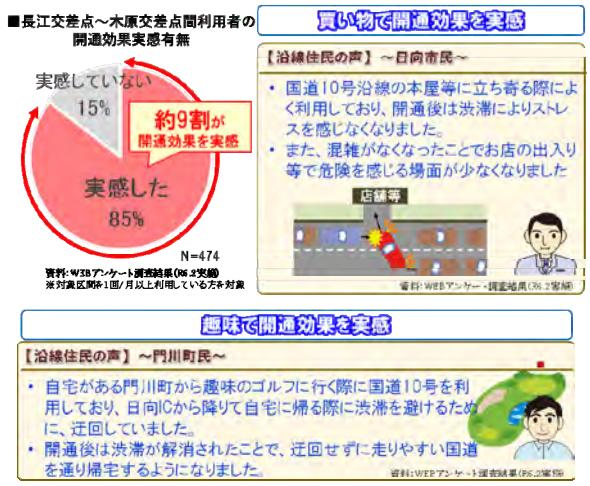


図- 14 WEB アンケート調査結果(利用者の実感)

4. おわりに

門川日向拡幅事業は、先述した通り交通混雑の解消や交通安全性の向上等を図り沿線地域の発展に貢献することを目的とした現道拡幅事業である。今回は、令和5年6月24日に全線が開通し、まもなく開通から1年を迎える中で、様々な観点から関係機関等へのヒアリングやデータの収集分析により整備効果を把握した。

事業の目的であった、「交通混雑の解消」「交通安全性の向上」といった効果を把握することができ、その他にも道整備が物流活動の効率化やまちづくりに及ぼした効果も把握することができた。

道路の整備効果（ストック効果）は、中長期的に発現する効果もあるため、今後は今回把握した整備効果を含め新たに発現する効果にも注視していきたい。

「あなたはどう行動する？」南海トラフ地震を想定したケースメソッド訓練

中野　将尊[1]・成松　政幸[1]

[1]九州地方整備局　延岡河川国道事務所　流域治水課　（〒882-0803 宮崎県延岡市大貫町一丁目2889）

延岡河川国道事務所では，南海トラフ巨大地震を対象とした地震津波訓練により事務所の「タイムライン」を作成し，被災地の事務所として限られた人員で初動対応を行う上での課題を抽出してきた．

本編では，これまでの訓練で得られた課題を踏まえ，職員の問題解決力，意思決定力を向上することを目的としたケースメソッド訓練である．

キーワード　南海トラフ巨大地震，訓練，タイムライン，津波，防災

1.　はじめに

40年以内に80%の確率で発生すると言われている南海トラフ巨大地震は延岡河川国道事務所として喫急の課題である．

ケースメソッド訓練では，これまでの訓練で得られた課題を踏まえ，職員の防災意識や問題解決力，意思決定力を向上することを目的に実施した．はじめての試みであったが，課の垣根をこえてベテランと若手がリスクミュニケーションを通して，南海トラフ巨大地震を自分ごととして考えるきっかけとなった．

2. 背景

南海トラフ巨大地震はマグニチュード9.1，最大震度7，延岡市における津波到達は最速で17分（津波高1m），津波高の最大値は14mと想定されている．延岡河川国道事務所は太平洋沿岸部に位置しており延岡出張所，延岡国道維持出張所は津波による被災が想定されいる．浸水深は，延岡出張所で1～3m，延岡国道維持出張所で5～10mである．**表－１**に示すとおり，宮崎県内では地震，津波による甚大な被害が予想される．

	死者	負傷者
県全体	約15,000人	約18,000人
延岡市	約3,300人	約2,800人

表-1 想定被害者数（出典：延岡市）

3.　訓練の概要

(1) ケースメソッド訓練とは

ケースメソッド訓練とは，現実に起こったケースを教材とし，「この状況なら自分はどう行動するか？」を考え，議論する訓練である．自分と違う意見を聞き考えを深めることで新たな課題や気づきを共有し，行政判断などの決定力を養うものである．今回の訓練では課題や気づきを共有することが狙いであるため他人の意見を否定しないというルールのもとおこなった．

また，自分の立場が事務所長であると仮定し，事務所長の立場からの判断を考えることを目的とした．

前提条件として，本訓練では事務所管内で震度6強の地震が発生し津波注意報が発令された場合を想定している．その状況下で様々な場面を想定し，自分が取るべき行動を考えた．

(2) 訓練の進め方

延岡河川国道事務所では南海トラフ巨大地震対応計画書を作成しており本訓練では**図-1**の共通の行動フローを元に進行した．

図-1　共有の行動フロー

訓練をの内容を説明した後に，各ケースについて班別討議をおこない全体で共有する．班は若手職員からベテラン職員5～7人で構成される．意見は**写真-1**に示すように付箋紙に記入しまとめる．

班別の討議(**写真-2**)では各自の意見を共有し，班としての意見をまとめ発表をする．今回はアドバイザーとして河川・道路技術サポート，防災エキスパート，NEXCO西日本の方を招き有意義な意見を伺い検討の材料とした．

写真-1 討議の方法

写真-2 討議の様子

4. 各ケースでの検討内容

(1) ケース1「参集・体制確立の場面」

ケース1では地震発生後職員が事務所に参集し，防災体制確立のため職員に庁舎進入を指示すべきかどうかの検討を行った．条件は**表-2**のとおりである．前提条件として延岡市では最速17分での津波の到達が予想されるため，事務所参集後は素早く水門閉鎖ボタン(**写真-3**)を押す必要がある．

条件	・庁舎点検後、庁舎に亀裂が発見
	・水門一斉操作ボタンは事務所3Fに設置

表-2 ケース1の条件

各班での討議後，全体での意見共有を行った結果，庁舎進入を指示する，指示しないとの意見が出た．進入を指示する意見としては，「水門閉鎖ボタンを押すべき」，「庁舎に進入し事務所機能を立ち上げるべき」というものだった．一方庁舎への侵入を指示しない意見としては，「職員の安全を確保すべき」，「余震による事務所倒壊の可能性がある」というものだった．職員に指示を行う立場としての難しさを感じたとの意見も見られた．

写真-3 水門一斉操作ボタン

(2) ケース2「リエゾン派遣の場面」

ケース2では**表-3**の条件にて検討を行った．

条件	・延岡市役所へのリエゾン派遣（2名）を指示
	・指示直後に大津波警報が発令

表-3 ケース2の条件

表-3の条件にて延岡市役所へ徒歩で移動中のリエゾンに指示をするべきかの討議を行った．今回も意見が割れたが指示をする理由としては「派遣者が大津波警報に気づいていない可能性がある」などの意見が出た．一方，派遣者に任せると判断した意見としては，「以前災害派遣に行った際に指示が間違っていたケースがあり現場の判断を優先するべきだ」というものだった．ベテラン職員の豊富な経験を知ることができた．**図-2**は津波の浸水予想範囲とリエゾンの動きを表したものである．リエゾンの移動ルートに浸水想定範囲は含まれていないが過去の災害では浸水想定区域を超えて津波が押し寄せた事例があることなどを踏まえた議論もおこなわれた．

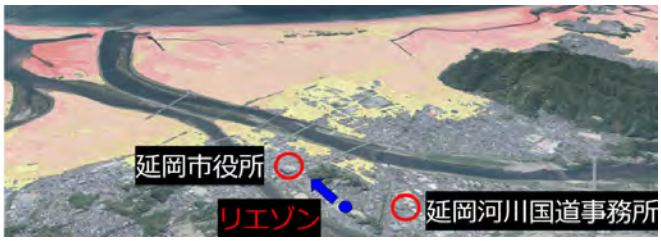


図-2 リエゾンの行動イメージ

(3) ケース3「被害情報収集の場面」

ケース3では**表-4**の条件にて討議を行った．

条件	・気象庁より延岡市に津波到達との情報
	・リエゾンより延岡市役所付近まで津波到達との情報
	・延岡河川国道事務所参集人数10名

表-4 ケース3の条件

表-4の条件下で被害情報を収集する際の優先度を討議し共有した．各班様々な視点からの意見が出されたが，

浸水範囲の把握は優先度が高いとの意見が共通していた．浸水範囲を把握することは災害対応を行う上で重要な項目であるとの意見が目立った．延岡市街地では広い範囲での浸水が予想されているため限られた人員と情報の中での災害対応の難しさを感じた．**図-3**は延岡市付近の津波の浸水予想範囲を示したものである．

図-3 延岡市街地の浸水想定範囲

(4) ケース4「災害復旧を想定した場面」

ケース4では**表-5**の条件での討議を行った．

条件	・災害対応に可能な業者は、河川１社、道路２社 ※１社は重なる
	・優先するべき復旧作業（河川班or道路班）

表-5 ケース4の条件

ケース4の討議では，状況次第で優先項目が決定するとの意見が多く見られた．**写真-4**，**写真-5**は河川・道路の被害のイメージを表したものである．出水期中を想定した場合では河川の復旧作業を優先し二次災害を防止するべきとの意見があった．一方，道路啓開(**写真-6**)を優先し人員を増やす事が早期復旧に繋がるとの意見もあった．気象条件が不確定なため，多様な状況を想定した議論が行われたことは非常に有意義であった．

写真-4，写真-5 河川・道路の被災イメージ

写真-6 道路啓開イメージ

5. ケースメソッド訓練で得たこと

(1) 職員の意見・感想

今回の訓練ではケースメソッドならではの気づきを感じることができた．いつ起きるか分からない地震に対し，普段の訓練とは違った少数の職員により多くの判断・行動をすることが求められる可能性を実感したことは非常に有意義であった．また，事務所長という立場から職員に指示を出す大変さを知ることができた．「備えていることしか役に立たない，備えているだけでは十分ではない」という教訓を忘れずに業務に臨みたいとの声もあった．

(2) アドバイザーからの意見

今回の訓練にはアドバイザーとして，河川・道路技術サポート，防災エキスパートの方々にご参加いただいた．豊富な経験からの鋭い指摘を聞くことができた．実際に熊本地震を経験し，被災者という立場で災害復旧に携わる難しさなどの経験を聞く事ができた．アドバイザーの方は，ケースメソッド訓練では多様な状況を想定しているため頭の体操になり非常に有意義だとの意見をいただいた．また，事前に厳しい状況を予想し備えておくことは重要であるとの意見があった．

6. 訓練を踏まえて

今回の訓練で得られた課題を踏まえて，今後，南海トラフ対応計画書の更新をおこなう．ケースメソッド訓練は毎年開催する予定であり，その都度，得られた課題から計画を見直していく予定である．(**図-4**)また，毎年度開催することにより職員の南海トラフ巨大地震に対する防災意識を継続して持ち続けることも重要であると考える．

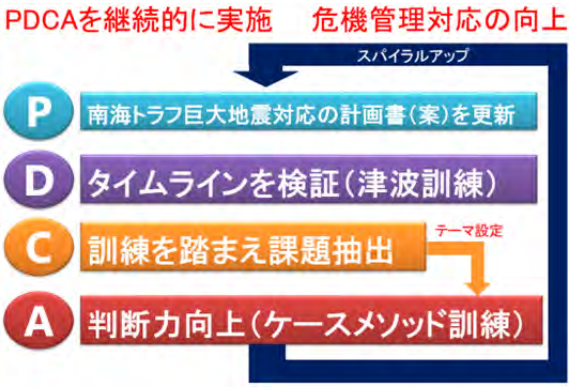


図-4 PDCAサイクル

7. おわりに

今回の訓練では，今まで漠然としていた南海トラフ巨大地震をより鮮明にし，具体的な行動を考える良いきっかけとなった．今後は，民間企業などとも連携を図り

訓練を継続することでより現実的な意見や課題を見つけることができると考える．また，南海トラフ巨大地震を自分事化することの大切さを学ぶことができた．

ICT技術を活用した水防災学習教育の取り組みについて

笠　和翔[1]・永谷　恵一[2]

[1]九州地方整備局　川内川河川事務所　流域治水課（〒895-0075 鹿児島県薩摩川内市東大小路町20番2号）

[2]九州地方整備局　川内川河川事務所　流域治水課（〒895-0075 鹿児島県薩摩川内市東大小路町20番2号）.

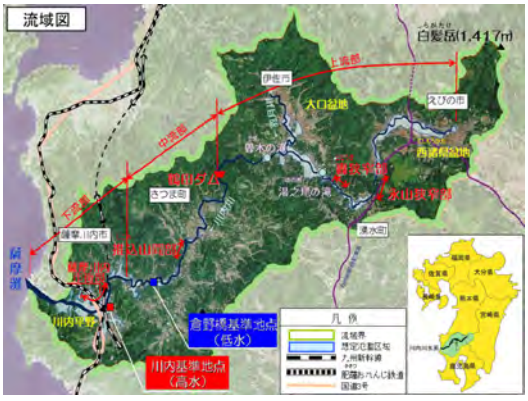
川内川河川事務所では、水防災学習教材集として2014年3月に「川内川水防災学習プログラム」を作成し、生徒の自然災害に対する「生きる力」を育み、地域の防災・減災を担う人材育成の推進している。また近年では、全国的に義務教育課程でICT整備が進めれており、薩摩川内市内の各小学校においてもタブレット等のICT技術を活用した授業が実施されている。そのような教育施策の変化に応じた新しい川内川水防災学習プログラムを検討し、防災学習活動の充実を図ることを目的にICT技術を用いた学習プログラム教材の開発について報告を行う。

キーワード　防災意識、自助・共助、ICT技術、教育、防災学習

1.　はじめに

川内川は、熊本県と宮崎県の県境にそびえ立つ白髪岳（標高1,417m）を源流とし、羽月川、隈之城川等の支川を合わせ薩摩灘へ注ぐ、熊本県、宮崎県及び鹿児島県の３県にまたがり、鶴田ダムを中心とする中流狭窄部を境に上流と下流に分かれ、流域内には3市2町をもつ、幹線流路延長137km（九州第2位）、流域面積1,600km2（九州第5位）の一級河川である。（図−１）

川内川流域は、過去の度重なる火山活動や地殻変動等により、盆地と狭窄部が交互に繋がる階段型の縦断形状をなし、急勾配と緩勾配が交互に現れる形状となっている。また、狭窄部が多いことから、「ひょうたん」型の氾濫原が連続して現れ、盆地や平野部に人口・資産が集中しており、流域の市町の総面積1806.6㎢（うち耕地面積171.1㎢：約9.5%）、総人口165,551人となっており、利水状況等からも川内川への水の依存度は高いといえる。



図−1　川内川流域図

2.　川内川洪水の歴史

川内川の歴史は洪水の歴史である。記録に残っている一番古い洪水は、西暦746年10月で「続日本書記」及び「大日本史」に記されており、洪水記録が整理され始めた西暦1539年から昨年度までに約200回を超える記録があり、平均2年に1回程度の頻度で洪水が発生している。

近年では、1965年、1972年、1989年、1993年、1997年、2006年に被害を伴う大きな洪水が発生している。

ここで1975年前後の写真を写真−1に示す。この写真からは、冠水後の住民たちが自宅等に備えていたゴムボートや小型の川船で救出作業を行いながら無事を確かめ合うなどの状況が見てとれる。つまり、川内川流域の地域住民にとって、水害が身近であり備えができていたといえるのではないだろうか。

写真−1　川内川流域被災写真

また、川内川では大きな被害を招いた1927年の洪水を契機に1931年より直轄河川改修事業に着手してきていたが、2006年7月に発生した洪水（写真-2）は観測史上最大であり、当時の河川改修の計画規模を超え、死者5名、負傷者9名、浸水家屋2,347戸、浸水面積2,777haに及ぶ被害が出ている。これにより、河川激甚災害特別緊急事（激特事業）及び鶴田ダム再開発事業が採択されたことで、ハード面の対策を行い、流域一体となって水害による被害の軽減を図るために、自助・共助・公助の観点からソフト対策の検討及び推進を行っており、防災対策を進めているところである。

写真-2　2006 年 7 月出水状況

激特事業では洪水、高潮等に大きな被害が発生した被害が発生した地域において、再度災害防止を図るため、様々な河川改修を緊急に行った。その一つとして川内川上流の洪水被害を低減させるため、整備された曽木の滝分水路（写真-3）がある。周辺には、年間約30万人が訪れる「曽木の滝」があるため、行政機関や地域住民、大学の有識者による検討委員会を立ち上げ、自然環境が創り出したような景観づくりや平常時の利活用として管理用道路を整備し、観光客がアクセスしやすい環境づくりを行った。

写真-3　曽木の滝分水路

3. 川内川学習プログラムとは

(1) 背景

川内川流域では、2006年洪水時の課題（図-2、図-3）としてハード面だけでなくソフト面からの課題があったため、水害の危険性に関する認識の向上を図っていくことが重要であると考えた。そこで、2012年12月に「川内川水防災学習プログラム検討会」を設立し、教育機関と防災行政機関が協働し、水防災学習教材として「川内川水防災学習プログラム」を2014年に作成した。

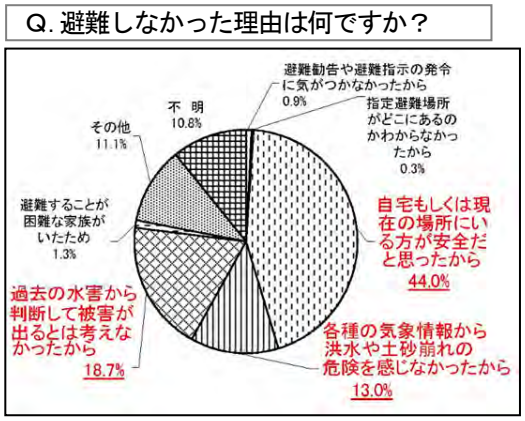


図-2　アンケート結果（さつま町）

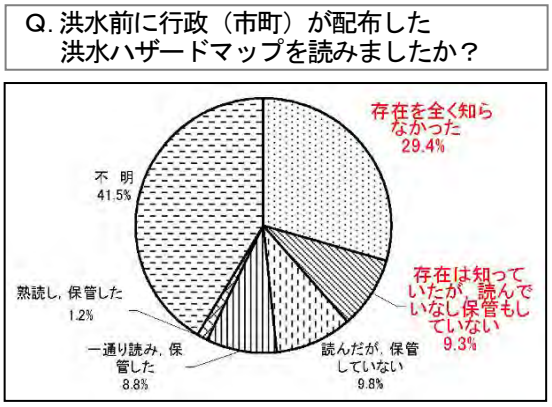


図-3　アンケート結果（さつま町）

(2) 指導計画

学習プログラムでは大きく分けて３つの単元があり、各単元ごとに指導計画及び単元を通しての目標を作成している。

〇台風と天気の変化（4時間）

教科：理科

学習プログラムの目標：

台風と天気の変化について、身近な地域の事例を取り上げることで、興味・関心を高める。また、調べ学習を通じて、気象情報の入手方法や入手した情報を災害時の危険予測に活用する能力を育てる。

〇流れる水の働き（12時間）

教科：理科
学習プログラムの目標：
　流水の働き（浸水・浸食・堆積）について、身近な川内川を題材として、実験結果と自然現象を関連付けて理解させる。また、水害の起こるメカニズムを理解することで危険予測について関心を高める。
○自然災害を紡ぐ（5時間）
教科：社会科
学習プログラムの目標：
　防災・減災の取り組みを学ぶにあたり、身近な川内川を取り上げ、国、都道府県、市町村の取り組みについて調べることを通し、一人一人の防災意識を高める必要があることに気づくようにする。

(3) 小学校学習指導要領を踏まえた改定

　2017年3月に公示された小学校学習指導要領が、2020年度から全面実施された。これを踏まえ、川内川水防災学習プログラムにおいても、より教育現場に即したプログラムとなるよう改定の作業を行った。具体的には今回の学習指導要領の改訂の基本方針（①育成を目指す資質・能力の明確化、②主体的・対話的で深い学びの実現に向けた授業改善の推進、③各学校におけるカリキュラム・マネジャーの推進）を踏まえた学習プログラムにすること、そして、これまで４観点で示されていた評価基準が３観点に整理されたことから、プログラムにおける各授業の指導計画ならびに学習指導案等の改善を行った。
　改定した川内川水防災河川学習プログラム（図-4）では、災害の多い日本で暮らしていることを認識すると同時に、身近で起こっている災害の状況について知識を深め、これから起こる災害に備える必要性について考えさせるために、近年発生している災害の写真や、発信されている情報等の資料を追加した。多くの資料を収録しているので、住んでいる地域の特徴や生徒の理解度に応じて選択しながら使用する。

図-4　水防災学習プログラム

(4) ６年間の小学校教育を通じた体系的な防災学習プログラムの作成と教材の提示

　2006年7月洪水の教訓として、安全安心確保のためには自助・共助が重要であることが再認識された。また、近年全国的に局地的集中豪雨などを原因とした洪水被害等が頻発しており、更なる地域防災力の向上が求められている。一方で自然を災害という面からだけで捉えるのではなく、生徒にとって身近で馴染みのある風景の写真や、川内川の川原の石を教材として活用することで、川内川はわたしたち人間に対して多くの恩恵を与えていることへの理解と、川内川を通して知域への愛着を深めてほしいという願いを込めて川内川水防災学習プログラムを作成している。主な教材の使用方法としては５年生の学習プログラムを軸として開発しており、小学校１年生から6年生までの教材から水防災に関連する単元を抽出し、体系付けて教材を作成することで、水防災に関する知識を小学校の教育課程を通じて蓄積していくことが出来るように作成してる。また、複式学級であるさつま町立流水小学校、さつま町中津川小学校で試行授業を実施し、複式学級版も作成している。そのため、学年、教材に応じた学習プログラム・教材を選択し、指導することが可能である。

４ ICT技術を用いた学習教材

(1) 背景

　近年、文科省からGIGAスクール構想という全国の生徒１人１台のパソコンとそのパソコンをインターネット環境につながるようにするための通信ネットワークを整備する構想が提唱された。その構想に伴い薩摩川内市内の各小学校においてもICT技術を活用した授業が進められている状況がある。そのような教育施策の変化に応じた新しい学習プログラムを検討し、防災学習活動の充実を図ることを目的に取り組みを推進するためにICT技術を用いた学習教材の開発を進めているところである。
　また、作成した水防災学習プログラムでは先生によって理解しにくい印象を受け、活用されていない現状があった。そこで今回、流域の各小学校で授業に導入されているロイロノート（（株）LoiLo）を活用して、ICT技術を用いた学習教材の開発を行った。

(2) ツール及び活用例

　各小学校で使用されているロイロノート（（株）LoiLo）を活用してICT技術に川内川水防災学習プログラムを組み込む検討を行った。ロイロノートでは大きく分けて３つの機能がある。
①　双方向授業
　図―5に示す通り、写真や動画、テキスト、web、PDFなどの形式をロイロノートに取り込むことが可能で授業の資料としてだけでなく参考資料としても活用ができる。

図-5　板書画面

また、先生から生徒に写真やテキストを配布し、配布された資料に直接書き込んで提出を行い、生徒の感想や意見を一覧で確認することで先生と生徒間で双方向性の授業展開ができる。

その他にも先生が表示している画面を生徒全員にリアルタイムで画面配信する機能や生徒の理解度を自動的に統計できるテストアンケート機能（図-6）もあり、採点をチェックして学期末の評価として活用することもできる。

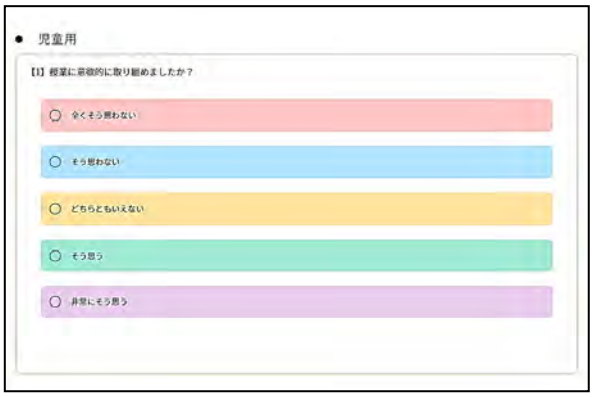


図-6　アンケート機能

②　試行を可視化

シンキングツール（図-7）というツールを使って生徒の思考を可視化させながら授業展開を行うことができる。このツールでは白線を境に各項目に当てはまる画像やテキスト、撮影した写真を貼り付けることで生徒たちにこれまで学んだ知識情報を自ら考えて整理する力を身に着けることができる機能となっている。

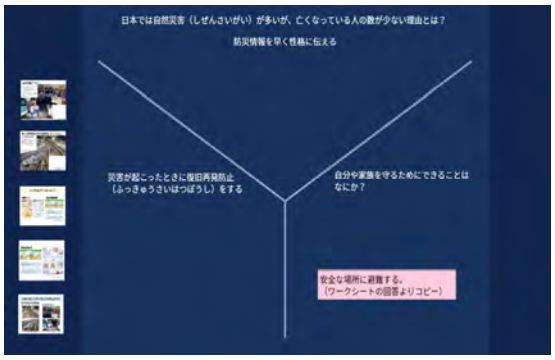


図-7　シンキングツール

③　先生が見せたいページを見せられるロイロwebフィルタ

この機能では生徒たちに Yahoo などの web ページを利用して調べ学習をしてもらう際に生徒の閲覧できるページを制限できる。また、先生から指定したページのみ閲覧を許可することでトップページから利用できないが一部ページのみ閲覧が可能になる。その他にも学校内の先生だけでなく市内のロイロノートを利用している先生とも共有できるフォルダがあり、授業の進め方や活用方法についてお互いに参考にできる。

5 ICT技術を用いた取り組みについて

(1)　川内川水防災学習プログラム検討会

水防災学習プログラムにICT技術を取り入れるにあたり、表１に示す関係者を委員とした検討会を実施した（写真-4）。検討会の目的としては、文科省の提唱したGIGA スクール構想に伴い薩摩川内市内の各小学校においてもICT 技術を活用した授業が進められている状況を踏まえ、そのような教育施策の変化に応じた新しい川内川水防災河川学習プログラムを検討し、防災学習活動の充実を図ることを目的としている。

また検討会における検討課題については、下記の通りである。今後、令和６年度に実施予定の検討会の中で、より詳細に議論していく予定である。

① ICT技術を活用した学習教材の開発・効果検証
- 学習定着率を向上させるための授業の流れ（教員の発問計画）
- ICT技術（ロイロノート機能）の使い方
- 試行授業アンケートにおける設問内容

② 広報活動
- 今回の取組み内容を広く一般・関係者に周知するためには、どのような広報が必要か

③ 教育現場での継続的な活用
- 開発された学習プログラムが薩摩川内市内の全ての小学校の授業の中で継続的に活用されるためには、どのような取り組みが必要か

表１　検討会委員

所属
薩摩川内市立 育英小学校
薩摩川内市立 可愛小学校
薩摩川内市立 川内小学校
薩摩川内市 教育委員会
薩摩川内市 防災安全課
鹿児島市教育委員会学校ICT 推進センター
鹿児島大学 教育学部
株式会社LoiLo
川内川河川事務所

写真-4　川内川水防災学習プログラム検討会

(2)　試行授業

検討会の結果を踏まえ、社会科の単元「自然災害を防ぐ」（計5時限）について、薩摩川内市立育英小学校５年生の2クラスで試行授業（写真-5）を行った。授業終了後には先生及び児童にアンケート調査を実施し、改良案の検討に活用している。また、4時限目には報道機関も加わった公開授業として実施している。

写真-5　試行事業

(3) 令和６年度のスケジュール

まず７月に、昨年度実施した社会科の試行授業の結果を踏まえた改良案を検討会で検討する予定である。また、１０月～１１月に理科の試行授業を実施していく予定であり、試行授業を実施するにあたり、随時検討会も開催する。１２月に学習プログラムを完成し、印刷・製本・電子データを各小学校へ配布を年度内に完了する予定であり、令和７年度４月から薩摩川内市全小学校でのプログラム活用を目標に検討を進めているところである。最終的には薩摩川内市だけだなく、川内川流域の各市町村においてプログラム活用予定である。

６．終わりに

近年、九州各地で激甚な災害が頻発しており、今後いつ、どこで自然災害がおきるか分からない状況である。そのような状況で危険を予測し自らの判断で避難行動をとるためには水害の危険性に関する認識を向上させていく必要があり、その意識向上に対して学校教育などの人材育成が重要になると考えている。本稿で紹介したようICT技術を活用した水防災学習プログラムを検討するために教育機関や防災行政機関などの様々な人たちが協力している。これからも行政機関だけでなく実際に利用する先生たちや生徒たちの意見を取り入れて関係機関等と連携していき、地域の防災力向上に貢献していきたい。

AI を用いた流入量予測について

前田　智喜[1]　上村　雅文[2]　有嶋　哲朗[3]　東野　拓実[4]

[1~4]九州地方整備局　鶴田ダム管理所（〒895-2102 鹿児島県薩摩郡さつま町神子 3988-2）

本稿では異なる情報を与えた 2 つの AI を構築し、新しい流入量予測システムを作り、ダムの流入量予測システムの精度向上を図り、実装を検討したものである。

キーワード　流入量予測，ダム操作，AI，リカレントニューラルネットワーク

1. はじめに

ダムへの流入量の予測は、放流を開始する時間や量などを決定するうえで重要な指標となっている。しかし、既存のモデルは予測精度が予測雨量の影響を大きく受けており、予測精度が悪い場合がある。そのため、より高精度な安定した予測システムが必要である。

2. 鶴田ダムの概要

（1）鶴田ダムについて

川内川は、熊本県の白髪岳に発し、宮崎県を通って鹿児島県に入り、湯之尾滝を経て曽木の滝から鶴田ダムへと流入し、その後、川内平野を下り東シナ海へとそそぐ、流域面積 1600km^2、集水域 805km^2、長さ 137km の九州屈指の大河川である（図 1）。

図-1 鶴田ダム流域図

その流域は 3 県、3 市 2 町（薩摩川内市、さつま町、伊佐市、湧水町、えびの市）にまたがり、流域内人口約 20 万人を抱えている。鶴田ダムは川内川河口から約 51km に位置しており、洪水調節と発電することを目的に建設された多目的ダムである。ダムの高さは 117.5m、ダム湖にたまる水の量は 1 億 2 千 3 百万 m^3 で、九州のダムでは最大規模の重力式コンクリートダムである。

鶴田ダムでは昭和 44～47 年に大規模な洪水が 3 度発生している。特に昭和 47 年 7 月洪水では、緊急放流を伴う洪水調節を行い、下流域で大きな被害が生じた。このような状況の中、昭和 48 年 3 月に川内川の治水計画の見直しにより計画規模を年超過確率 1/80 から 1/100 に変更し、鶴田ダムでは、発電容量の一部を買い取り、洪水調節容量を 4200 万 m^3 から 7500 万 m^3 に増強している。

その後、平成 18 年 7 月の鹿児島県北部豪雨災害では、鹿児島県北部を中心とした記録的な豪雨に伴い、川内川の上流から下流に至る 3 市 2 町にかけて浸水面積約 2777ha、浸水家屋 2347 戸という甚大な被害が発生した。この記録的な豪雨を契機に翌平成 19 年より鶴田ダム再開発事業に着手し洪水調節容量を 7500 万 m^3 から 9800 万 m^3 へ約 1.3 倍に増加させる事業が平成 30 年度に完了した（図 2）。再開発後に起きた令和 3 年 7 月の洪水では平成 18 年 7 月の洪水を超える 4107m^3/s もの最大流入量が記録されたが（平成 18 年時は 4043 m^3/s）、最大流入時に約 3000 m^3/s 減らし、下流に流すことができている。このとき、下流の宮之城観測所では水位上昇を約 3.5m 抑えることができたと推定され、堤防からの氾濫を防止している。

図-2 再開発後の鶴田ダム

（2）鶴田ダム洪水調節ルール

鶴田ダムでは、流入量が 600m³/s に達してから洪水調節を開始し、流入量 600m³/s 以上の流入量の半分をダムに貯めるという操作を行う。この操作を最大放流量 2400m³/s になるまで行い、2400m³/s の放流を続けるが、貯水位が満水位（EL160m）を超える見込みがある場合、満水位の 70%（EL151m）から緊急放流を行う。また、平成 18 年の洪水をふまえ、効率的な洪水調節を行うよう 1 時間当たりの放流量の増加量も決められている。

3. 過去の流入量予測システムの改良

（1）令和 3 年度の改良内容

事前放流を行う際の支援システムを新たに追加した。事前放流とは、洪水を予測した際に予備放水位以下の利水容量部分を予測に応じて放流し、一時的に治水容量として使用する操作のことをいう。事前放流の実施基準降雨量はダムごとで異なっている。この操作を行うかどうかの判断材料として、84 時間先の予測雨量を取得し、流入量を算出できるようにし、現在貯水位と予測雨量から、事前放流の実施判定を表示するようにした。また、緊急放流時での放流量等の計算で鶴田ダムのゲート運用ルールが組み込まれておらず、貯水位が緊急放流開始水位に達したときに 2400m³/s の放流を行っているという前提で計算されている問題点があったため、ゲート運用ルール、洪水調節時のルールを組み込んだ緊急放流支援システムを追加した。

（2）令和 5 年度の改良内容

ダムの放流量などが下流の水位に関係するため、川内川でも使用されている河川の洪水予測システムである水害リスクラインとの連携機能を構築し、ダムの放流計画を反映できる機能を追加した。追加するにあたり、水害リスクラインと既存のダムの予測システムとの予測精度の比較を行い、既存のダムの予測システムで問題ないか確認した。鶴田ダム地点での予測の精度に二つの間で大きな変化ないことから、鶴田ダムのシステムの利用は妥当であると判断した。また、①操作規則に則った放流を行う際は、自動送信で対応する。②緊急放流に移行するような大規模な洪水の発生が予測された場合は、移行時の状況により放流計画が異なるため、作成した放流計画を反映する。という 2 つを水害リスクラインへ放流計画を反映する運用ルールとした。

4. 流入量予測の高精度化の検討

（1）検討する AI

鶴田ダムを対象に①予測雨量を入力する AI モデルと②予測雨量を入力しない AI モデルの 2 つのダム流入量予測 AI モデルを検討している。①のモデルはダム流入量や流域平均雨量、上流水位などの既存のモデルと同等の情報から AI モデルを構築し、事前放流を見据えた 84 時間先までの予測精度を確保することを目的としており、予測雨量に応じた予測精度となる。②のモデルは鶴田ダム周辺の地上気象観測所データを収集し、AI モデルを構築、直近の 6 時間と 12 時間の予測精度を確保することを目的としており、予測雨量を組み込まないため予測精度が雨量予測の影響を受けない。両モデルとも令和 7 年度の実装を目標としている。

AI モデルは、精度の高い予測手法である深層学習法のうち、流入量予測 AI で全国での適応実績が増えつつあり、時系列情報を考慮可能なリカレントニューラルネットワーク（RNN）モデルを構築し使用する。RNN は、データ間の再起関係を表現できるニューラルネットワークであり、自然言語処理のように前後の言葉やデータのつながりを認識する必要がある分野で用いられている手法。ニューラルネットワーク（NN）やディープニューラルネットワーク（DNN）と違い、1 ステップ前の出力した情

報を自身の入力として与えることで、過去の情報を利用できるという特徴を持つ。また、RNN のユニット構造は長期間のデータの依存関係を学習できる LSTM（Long short-term memory）と LSTM の忘却ゲートと入力ゲートを更新ゲートに統合して LSTM と比べて学習パラメーターが少なく、計算時間が短いという特徴を持つ GRU（Gated Recurrent Unit）の二つのうち、計算時間が短いうえ、LSTM と同程度の精度を確保できる GRU を構築する。

（2）①のモデルについて（通常のダム流入量予測）

将来時刻に予測雨量（学習・検証時は実績雨量）を入力して、将来のダムの流入量を予測するモデルを構築する。流入量（過去 10 時間から現時刻）、水位（対象観測所：花北・吉松・鈴之瀬、過去 10 時間から現時刻）、流域平均雨量（花北上流域・吉松上流域・荒田から吉松流域・残りの流域の 4 つに分けて、過去 10 時間から将来 84 時間）の 3 種類を入力する項目とする（表 1）。流入量は将来 84 時間先までの予測を出力する。

表-1 通常のダム流入量予測システム入出力項目

入力項目		入力時間	出力時間
分類	項目		
ダム諸量	流入量	過去10時間～現時刻	将来84時間
水位観測所	水位	過去10時間～現時刻	■対象観測所 花北、吉松、鈴之瀬
流域 平均雨量	花北上流域	過去10時間～将来84時間	
	吉松上流域	過去10時間～将来84時間	
	荒田～吉松流域	過去10時間～将来84時間	
	残流域	過去10時間～将来84時間	

（3）②のモデルについて（地上観測データを活用した流入量予測）

既存の流入量予測の精度が予測雨量の影響を大きく受けることから、予測雨量を利用せずにリアルタイムで入手可能な実績データ（降雨、気象、水位、ダム流入量）のみから、将来のダムの流入量を予測するモデルを構築する。流入量（過去 10 時間から現時刻）、水位（対象観測所：花北・吉松・鈴之瀬、過去 10 時間から現時刻）、地上気象観測所（降水量・気温・風向・風速の 4 項目を取得、過去 10 時間から現時刻）の 3 種類を入力する項目とする（表 2）。流入量は将来 6 時間と将来 12 時間先までの予測を出力する。

表-2 予測雨量を入れないダム流入量予測システム入出力項目

入力項目		入力時間	出力時間	備考
分類	項目			
ダム諸量	流入量	過去10時間～現時刻	将来6時間 将来12時間	
水位観測所	水位	過去10時間～現時刻		■対象観測所 花北、吉松、鈴之瀬
地上 気象観測所	降水量	過去10時間～現時刻		■対象観測所 牛深、中甑、阿久根、川内、水俣、さつま柏原、大口、人吉、上、加久藤、小林、溝辺
	気温	過去10時間～現時刻		
	風向	過去10時間～現時刻		
	風速	過去10時間～現時刻		

5. AI モデルの検証

（1）通常のダム流入量予測 AI モデル

学習対象の洪水は 10 分データが入手可能だった 2018 年から 2022 年の 5 ヶ年に発生した洪水（流入量：600m³/以上）を対象とした。なお、AI の精度検証のため描画対象とする検証の洪水は、大規模上位 5 洪水と、近年の中小規模 5 洪水を選定した。

計算条件は予測雨量に実績雨量を入れ、6 時間ごとに 84 時間先の予測を行った。大規模洪水ではおおむね良好に予測ができていたが（図 3）、短期間で流入量の大きな上昇と下降を繰り返した洪水ではデータ数が少なく AI の学習経験が足りておらず、予測結果が実績値と離れており、ほかの洪水に比べて精度が不十分という結果となった（図 4）。中小規模洪水も大規模洪水と同様の計算条件で行っており、予測精度は良好であるという結果となった（図 5）。現行の流入量予測システムである分布型モデル（6 時間ごとに 24 時間先を予測）と予測精度の比較を行ったが、いずれの洪水でも AI モデルの予測のほうが良好であることが分かった（図 6）。

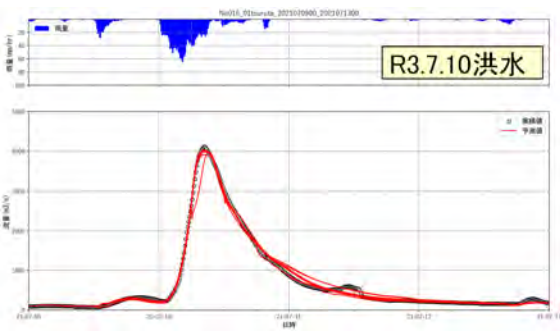


図-3 大規模洪水予測

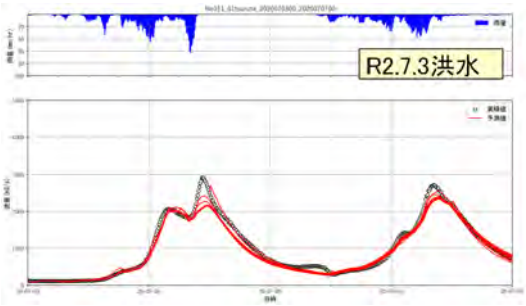


図-4 短期間での大きな流入量の
増減がある洪水予測

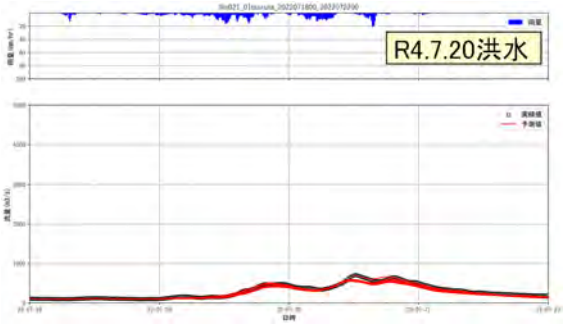


図-5　中小規模洪水予測

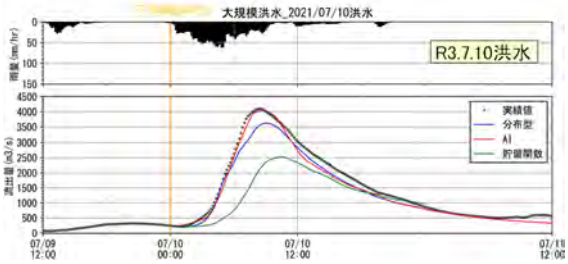


図-6 既存のシステムとの比較

(2) 地上観測データを活用した流入量予測

学習対象の洪水は、国土交通省レーダーが入手可能だった 2006 年以降の洪水のうち、1500m^3/s を超過する前線性の 11 洪水を選定した。検証には 11 洪水にうち近年の 5 洪水を設定した。検証した結果、6 時間先の予測であれば十分に活用できる可能性があったが、12 時間先の予測ではばらつきが大きくなり、活用することが難しいことが分かった（図 7、8）。

また、①通常のダム流入量予測 AI モデル、②地上観測データを活用した流入量予測、分布型の既存の流入量予測システムの 3 種類の予測システムの精度の比較をシステム運用時に現行モデルの予測精度が悪く、ダム操作の判断が困難となった 2022 年 7 月の洪水を対象に行った。比較の結果、①通常のダム流入量予測 AI モデルの予測精度が良好であることが分かった（図 9）。

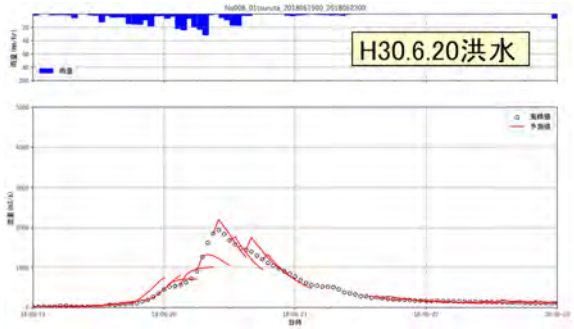


図-7　6 時間予測

図-8　12 時間予測

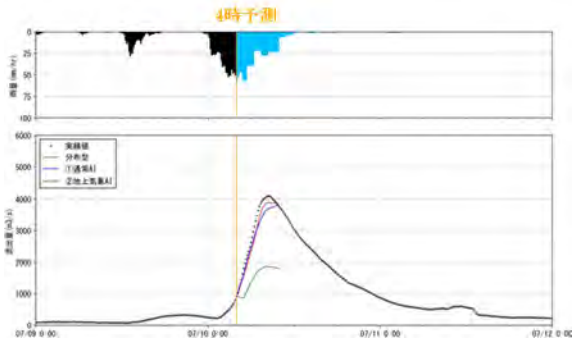


図-9 既存モデルと二つの AI モデルの比較

6. まとめ

検討した 2 つの AI を用いた流入量予測のうち、①の通常のダムの流入量予測に用いるモデルは、従来の予測システムと同様のデータを入力したが、従来の予測システムよりも精度が高いという結果を得られた。もう一つの AI モデルである②予測雨量を用いず地上観測所のデータを用いて行った流入量予

測システムは、将来 6 時間の予測精度は実用できる可能性が高かったが、将来 12 時間の予測ではばらつきが大きく実用できる可能性は低い。②のモデルは予測雨量の誤差によらず流入量を算出可能なため予測雨量の変動が大きい場合等の参考値として活用することが考えられる。

7. 今後の課題

①の通常の AI および気象情報を用いた②の AI による流入量予測モデルをシステムに組み込み、自動で精度の高い流入量予測が可能となるシステムを構築していく。

東九州道大鳥川橋の
斜面崩壊対策について

渡部　颯太[1]・桑本　真一郎[1]

[1]九州地方整備局　大隅河川国道事務所　道路管理課　（〒893-1207 鹿児島県肝属郡肝付町新富1013-1）

2023年9月24日東九州自動車道野方IC～曽於弥五郎IC間に位置する「大鳥川橋」A2橋台側面部にて斜面崩壊が確認された．A2橋台フーチング側面への強雨に伴う流水により，シラスからなる斜面が段階的に浸食されたことが要因と考えられる．崩壊斜面部の地山の確認を行った後，緊急対策としてさらなる浸食を防止するためモルタル吹きつけを行った．また橋台や斜面の変異を観測するための機器を設置するとともに雨量基準や変状の閾値などの規制基準を設け常時監視体制を整えた．

キーワード　東九州自動車道，大鳥川橋，斜面崩壊，シラス

1. はじめに

東九州自動車道は，福岡県北九州市を起点に大分県，宮崎県を経て，鹿児島県鹿児島市に至る延長約440㎞の高速自動車国道であり，大隅河川国道事務所においては志布志市（志布志IC）から曽於市（末吉財部IC）までの延長48.0㎞を管理している．

2023年9月24日，道路巡回時に東九州自動車道野方IC～曽於弥五郎IC間に位置する大鳥川橋A2橋台側面部にて斜面崩壊が発見された（図-1）．

本稿では，大鳥川橋における斜面崩壊の概要と緊急対策の内容について報告する．

図-1　大鳥川橋の斜面崩壊

図-2　大鳥川橋の位置

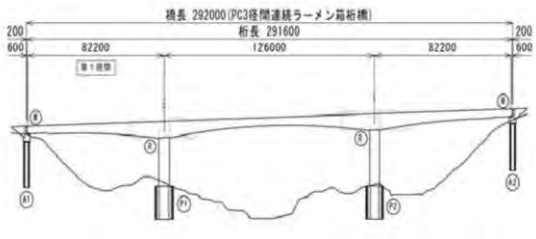


図-3　大鳥川橋

2. 斜面崩壊の概要

(1) 被災地点

被災地点は東九州自動車道（E78）に位置する大鳥川橋（鹿児島県曽於郡大崎町野方）である（図-2）．

大鳥川橋は，橋長＝292ｍのPC3径間連続ラーメン箱桁橋で，斜面崩壊したA2橋台は逆T式橋台，基礎形式は，φ3.5m×23.5m@2の深礎杭である（図-3）．

周辺は日本の地質構造区分からすると，中央構造線から延びる臼杵―八代線以南に位置し，西南日本外帯に属する古第三紀以前の堆積岩類（四万十層群等）を基盤岩とし，これらを第四系更新世後期の阿多，入戸，妻屋火砕流堆積物（シラス）が広く覆っている．

(2) 被災要因

斜面崩壊は，激しい降雨とそれに伴うA2橋台フーチング側面の集水桝に接続する側溝からのオーバーフローによってシラスからなる斜面が浸食されたことが原因と推定される（図-4）．当該箇所の集水桝は，過去にも接続する側溝からオーバーフローし集水桝周りが洗掘され，その際にはソイルセメントによる埋め戻しを行うことで洗掘対策を行った．また今回の被災前直近の梅雨前点検は2023年2月に行っており異常は確認されていない（図-5）．図-6に2023年2月の梅雨前点検以降～被災確認した9月末までの降雨状況を示す．点検から被災発見までの間に連続雨量100mm以上の雨が3回，特に8月10日には連続雨量365mmが観測されていた．また時間雨量20mm以上が8回観測されており，うち6回は8月の間に観測されていた．以上より梅雨期前の点検後段階的に浸食が進行していったものと考えられる．オーバーフローの原因としては，集中した降雨によって集水桝に急速に流入した水が乱流し排水が阻害されたことや点検後の草木等の詰まりによる集水桝の流水機能低下等が推測される．

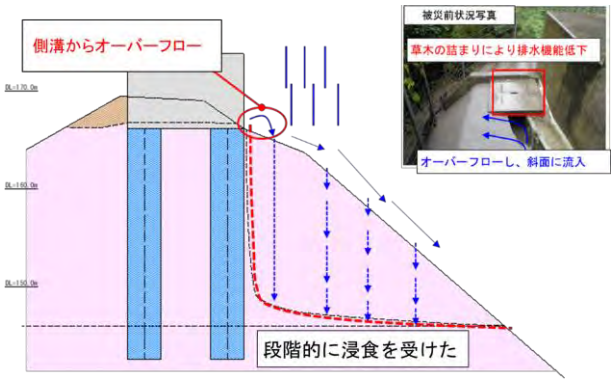


図-4　斜面崩壊の要因

R3年度 梅雨前点検（洗掘確認）　R3年度 洗掘部 応急対策完了　R5年度 梅雨前点検

図-5　集水桝の補修履歴

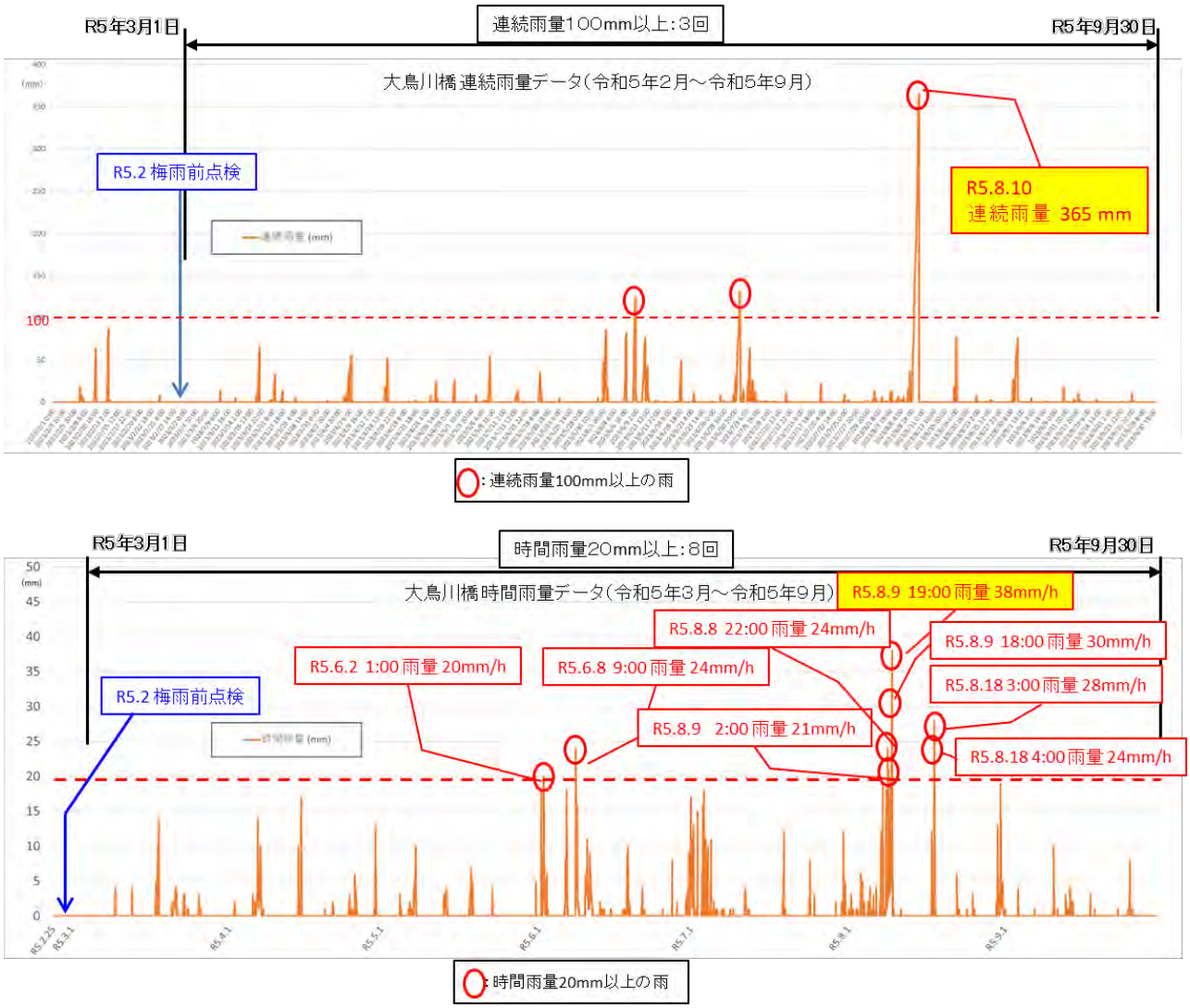


図-6　被災前の連続雨量（上）と時間雨量（下）

(3) 被災規模

斜面崩壊の範囲は，幅約12m，高さ約19.5m，長さ約35mであり，深礎杭の杭長23.5mのうち19.5mが露出した状態となっていた(図-7)．

3. 緊急対策

(1) 初動の対応

2023年9月24日に斜面崩壊を確認後，28日，29日，10月3日にテックドクターの現地視察，7日に国総研・土研の道路橋専門家派遣によって技術的助言をいただいた．10月6日より緊急対策を行うため野方IC～曽於弥五郎IC間の全面通行止めを行った．また斜面崩壊の対策を検討するにあたって学識経験者，有識者等からなる検討会を設立した．

(2) 現地状況の確認

有識者等からの助言を元に，現在の地山の健全度について確認を行った．

a) 崩壊斜面及び橋台前面コンクリート吹付の確認

崩壊斜面及びA２橋台前面のコンクリート吹付の異常の有無について目視で確認を行った．斜面については地山のさらなる崩壊，地下水，湧水，水の滲みだし等は見られなかった．コンクリート吹付はクラックは見られたが水の滲みだしは無く，また排水パイプ，目地からの水の滲みだしも確認されなかった（図-8）．

b) 支持地盤の確認

支持地盤の健全度を確認するため，露出した深礎杭の先端部分支持層の根入長及び支持力の確認を行った．その結果，簡易貫入試験により3.6～3.7m（1.0D=3.5m）はN値30以上であること，また基礎部における地盤の亀裂や地下水が噴き出したような跡も見られないことから当初の支持地盤が健全であることが確認された（図-9）．

c) 土壌硬度の確認

露出した深礎杭周辺地山の健全度を確認するため，山中式土壌硬度計により崩壊斜面の土壌硬度測定を実施した．その結果土壌硬度30程度（硬質シラスの指標硬度と同程度）を確認し，目視確認と併せて地山の健全性を確認した（図-10）．

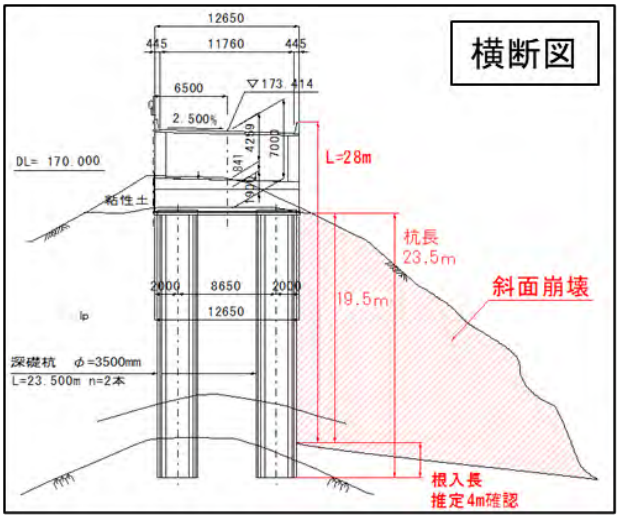


図-7　斜面崩壊の規模

図-8　崩壊斜面及び橋台前面コンクリート吹付の確認

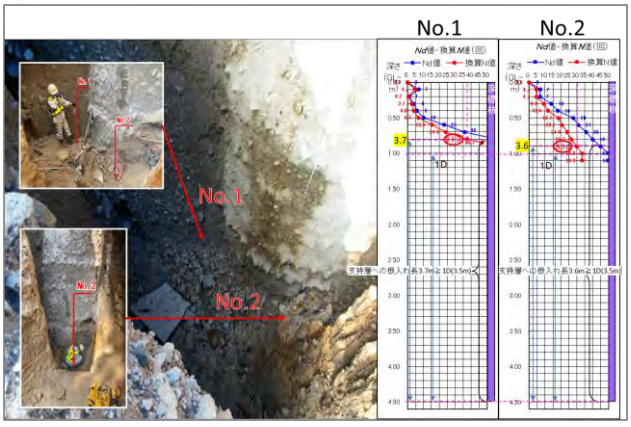


図-9　支持地盤の確認

図-10　土壌硬度の確認

図-11　斜面のモルタル吹付

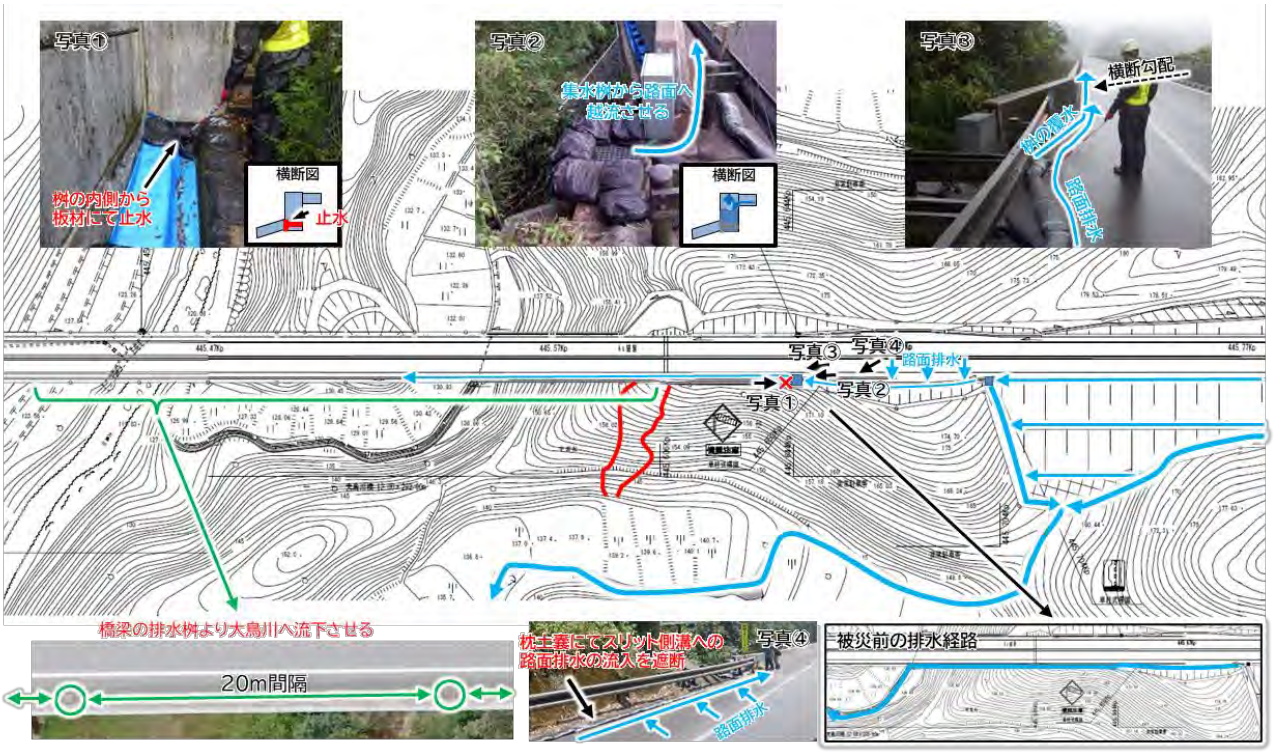


図-12　排水経路の変更

(3) 浸食の防止

崩壊斜面のさらなる浸食を防止するため，斜面に対してモルタル吹付を行った（図-11）．また道路排水の崩壊斜面への流入を防ぐため，集水桝に止水処理を実施し道路排水は集水桝から越流させ路面上（路肩）を流し橋梁の排水桝から大鳥川へ流下させるようにした（図-12）．

(4) 斜面の監視

斜面の動きを常時監視するため橋台周辺に①上部工と橋台，橋台と補強土壁の開き，地山の移動を把握するための伸縮計，②橋台，補強土壁，地山の傾斜を把握するための傾斜計，③上部工，橋台，補強土壁のそれぞれの位置を把握するためのGNSSセンサー，④橋台と上部工のズレなどの路面状況，崩壊斜面の変状把握のための常時監視カメラを設置した（図-13）．

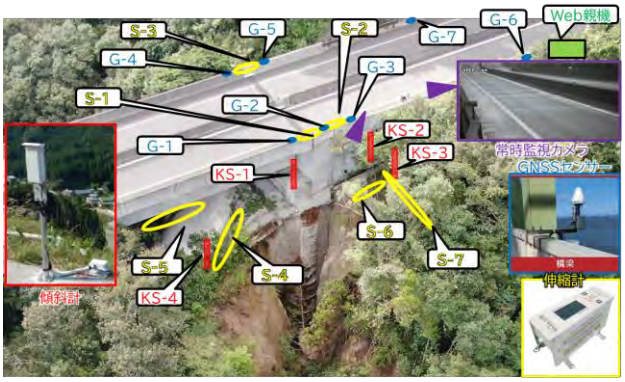


図-13　斜面の観測機器

(5) 交通の解放

現地確認の結果や浸食防止のためのモルタル吹付や排水処理等の完了により橋梁の一定の安全性が確認された．新たに雨量基準や変状の閾値など規制基準を設け，常時監視体制を整えた上で現在交通解放を行っている．なお設定した雨量基準，変状の閾値を超えた場合は，即時通

行止めを行い緊急点検を実施し，安全であることを確認後交通解放している．

4. おわりに

緊急対策後，大鳥川橋の橋梁及び地山に変状は生じていない．しかし降雨や地震による通行規制によって利用者の方々に多大なご迷惑をおかけしているため，一日でも早い本復旧へ向けて対策を進めていきたい．

謝辞：本稿の作成にあたって，資料のご提供やご助言をいただきました関係者の皆様に心より感謝申し上げます．

繁根木川における治水対策とその効果

西川　遼[1]・星子　智明[1]

[1]菊池川河川事務所　流域治水課　（〒861-0501 熊本県山鹿市山鹿178）

菊池川水系繁根木川における治水対策について、令和5年度に実施した河道掘削の取り組みとその効果、今後の展望について発表する。

キーワード　繁根木川、河道掘削、水位低減効果、流域治水、特定都市河川

1. はじめに

菊池川は、その源を熊本県阿蘇市深葉（標高1,041 m）に発し、阿蘇外輪山の渓流をあつめて流下し、迫間川、合志川、岩野川等の支川と合流した後、菊鹿盆地を貫流し狭窄部に入り、玉名平野に出て木葉川及び繁根木川等を合わせ有明海に注ぐ流域面積996 km²、幹川流路延長71 kmを有する熊本県最北端の一級河川である（図-1）。

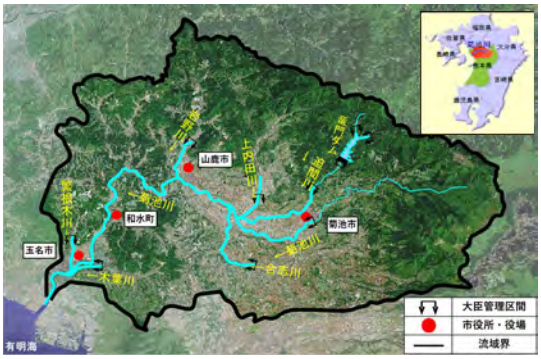


図-1　菊池川水系の流域図（広域図）

菊池川の下流域で合流する繁根木川は、玉名市内に流域をもち、菊池川本川の合流点から上流に向かって3 kmが直轄区間である。流域下流部には玉名温泉や花しょうぶの有名な高瀬裏川があり、観光産業が発展している。また玉名市中心部は近年市街化が進行している（図-2）。流域や河道の特徴としては、上流部の山間部から下流部の市街地までが近く、また河床勾配が約1 / 620と急なため、上流部で降雨の際には急激な水位上昇がみられることや、上流部の県管理区間は砂防指定地であり、地質的にもまさ土が分布し、出水等の際に繁根木川に流れ込む砂河川であることが特徴としてあげられる（図-3）。

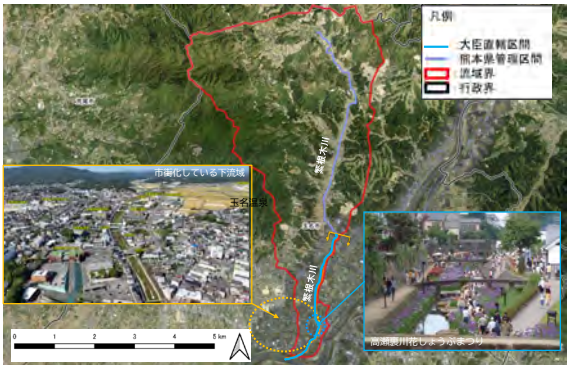


図-2　繁根木川の流域概要図

図-3　繁根木川流域に分布するまさ土
（青枠部分、繁根木川上流部にて撮影）

2. 繁根木川の過去

(1)過去の水害

菊池川流域の年間降水量は約2,400 mm程度であり、そのうち3分の1から2分の1は6、7月の梅雨期に集中している。また、菊池川水系の既往洪水は前線性によるものが7割を占め、主な大洪水はすべて前線性に起因している。近年では昭和 57 年や平成 2 年に発生し、支川の繁根木川においても被害が発生している。昭和 57 年の出水では内水氾濫が、平成2年の出水では内水・外水の

氾濫が発生し、令和 3 年の出水でも内水氾濫が発生した。

(2)過去の改修

繁根木川では、かつて平成 19 年度から 21 年度にかけて、直轄区間の大部分において河道改修をおこなった。

改修の内容としては、河道掘削と護岸整備であり、設計・施工の際には親水や多自然川づくりにも重点を置いた。具体的には親水については、低水路の両端に遊歩道を設置し、繁根木川をより身近なものとした。さらに低水路への階段や低水路内を横断できる渡石などを設置することで、川遊びができるようにした。また、多自然川づくりについては、都市河川によくみられるコンクリート三面張りではなく、遊歩道と低水路の間に捨石部を設置することで、水生生物の隠れ場所の創出や植生の定着を目指した（図-4）。

(a) 着工前　　(b) 完成

図-4　平成19年度から21年度の河川改修前後の比較
岩崎橋から下流を望む（1k000−1k200）

3. 繁根木川の現状

平成19年度から21年度に行われた大規模な河道改修から約15年が経過した昨年（令和5年）の繁根木川は、経年的に土砂堆積が進行し（図-5）、堆積した土砂が遊歩道よりも高くなっている箇所が確認された。また、積年の堆積した土砂の上から高く伸びた草本類や樹木が繁茂し、遊歩道を塞いでいる箇所も確認された。これによって、遊歩道は一連での通行が困難となり、散歩ルートとしての利用が難しく、また遊歩道と低水路の間を結ぶ階段部にも高茎植生が繁茂し、川を渡ることが困難となっていた。また、渡石についても、低水路内の土砂堆積によって流路が狭まることでで平水位が上昇し、平時でも渡石より水位が高くなってる箇所があった（図-6）。そのため近隣の住民から遊歩道を再度利用できるようにしてほしいという要望もあり、地元の市議会でも繁根木川の維持に関する質問がなされていた。さらに、堆積土砂や高茎植生の影響で洪水時の流下阻害や、出水時に急激な水位上昇を引き起こす危険性も考えられた。実際に令和5年7月2日からの出水では、繁根木川流域で3時間で74 mmの短時間強雨が発生し、河川水位は降雨の発生した5時間で約2.7 mの水位上昇を記録している。繁根木川の岩崎水位観測所においては、氾濫危険水位を超過し、計画高水位まで0.5 mになるまで上昇する事態となった（図-7、8）。

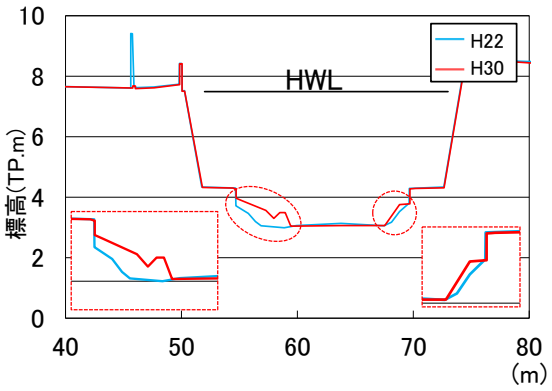


図-5　横断図の経年変化
（繁根木川1k000、河道掘削後と7年経過後）

図-6　河道掘削前の繁根木川

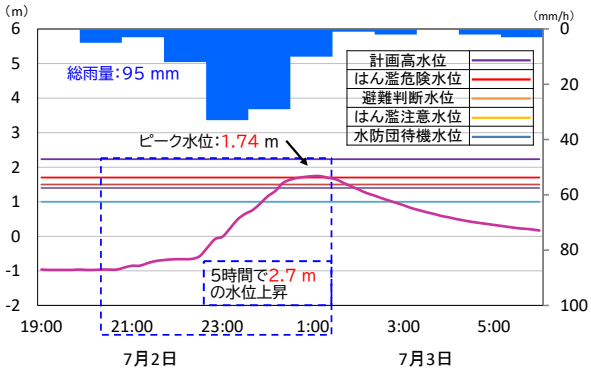


図-7　岩崎水位観測所の水位変化
（令和5年7月3日　1時00分時点）

図-8　岩崎水位観測所付近の様子
（令和5年7月3日　1時00分時点）

4. 令和5年度におこなった繁根木川の河道掘削

土砂堆積により助長された植生繁茂による親水性の低下や洪水時の水位上昇が発生したことにより、地元の玉名市からも適切な河道の管理について要望がなされていた。

そのような状況から、関係機関との協議の結果、令和6年2月初旬から3月中旬にかけて維持管理工事で樹木伐採と河道掘削を行った（図-9）。

図-9　河道掘削中の繁根木川
（岩崎橋から下流を望む、令和6年3月撮影）

施工にあたっては、地元河川団体や民生委員の方と出張所職員で現地立会を行い、優先すべきポイントなどを確認・共有した。ポイントとしては、堤防天端を越えるような高さになっている樹木の伐採や、遊歩道が歩けるようになることがあげられた。そのため、施工においては、まず低水路の樹木伐採と遊歩道の上に堆積している土砂の掘削から施工を開始した。次に、水面の高さ以上の土砂掘削を下流部から進めていき、最終的には市街地区間の約1.8 kmにおいて、安全に土砂掘削工事を完成させた。なお、合計の掘削量は約10,000 m^{3}であった。

施工中は、市街部での施工ということも考慮し、監督職員が現場を1日1回以上巡回し、施工業者も歩行者を意識した工事看板を設置するなど安全対策を徹底した（図-10）。

図-10　施工中の工事看板

環境面においても、過去の河川改修で設置した捨石部を保全し植生の根を残すことで、水際部の植生復旧を可能にした（図-11）。また、低水路内の護岸の変化箇所に置き石を設置することで洗堀の予防を試みた（図-12）。

図-11　施工中の環境面への配慮

図-12　河道掘削時に設置した置き石

5. 河道掘削後の繁根木川の状況

樹木伐採と河道掘削から3ヶ月が経過した繁根木川について、1k000付近を対象に現地撮影写真を基にモニタリングを行った（図-13）。

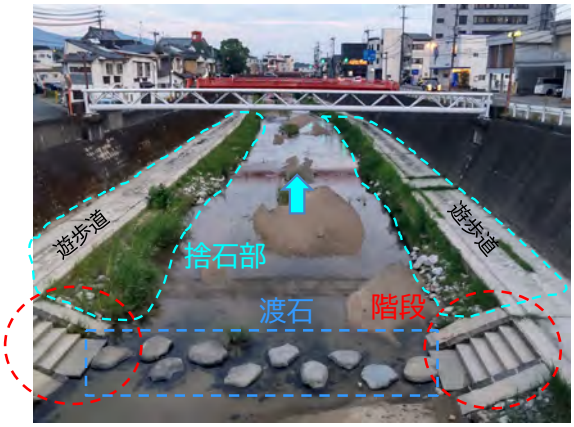


図-13　河道掘削後の繁根木川
（岩崎橋から下流を望む、令和6年6月撮影）

その結果、遊歩道に関しては、堆積土砂が撤去され高茎植生が伐採されたことで、遊歩道が安全に利用できるようになった。

また、土砂堆積によって利用できなくなっていた低水部への階段も掘削によって再生し、渡石についても川を横断できることが可能となり、掘削によって低水路の流路が広がることで平水位が低下し、以前よりも安全に渡ることができるようになった。

6. 河道掘削による水位低減効果

河道掘削による出水時の水位上昇への影響を確認するために、河道掘削前後の類似した降雨条件下（目安：50 mm/3h）での岩崎水位観測所（1k950）の上昇水位を比較した（図-14）。その結果、掘削前の令和5年6月の降雨では1.77 mの水位上昇があったが、掘削後の令和6年3月の降雨では0.4 mの上昇にとどまった。そのことから、今回実施した樹木伐採や河道掘削によって、繁根木川下流部における急激な水位上昇を抑制できたと考えられる。

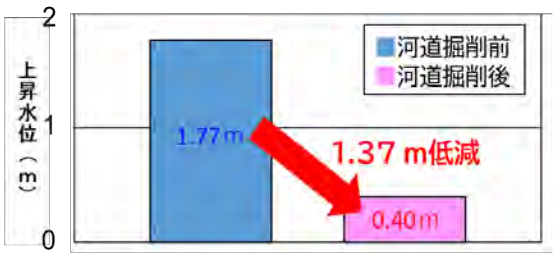


図-14　河道掘削前後における同規模出水時の上昇水位比較

7. まとめと課題

今回実施した樹木伐採や河道掘削によって、出水時の水位上昇の低減が確認できた。

また、河道内土砂の掘削により遊歩道や低水路への階段などの親水施設へアクセスしやすくなり、地元首長からも感謝の言葉や、今後は観光の目玉となるような利活用を検討してみたいというお言葉をいただいた。さらに、地域の方に繁根木川がより「親しみのある川」だと認識していただき、後述の流域治水に取り組んでいくきっかけになればよいと考える。

今後の課題としては、砂河川であることから、今後数年で土砂が再堆積し、再び樹木伐採や河道掘削が必要になる可能性がある。そのため、平時や出水後の河川巡視で土砂の堆積状況を定量的に確認し、維持掘削などを実施する適切なタイミングについて検討しておくことが需要であると考える。また、今後は淵やワンドの形成や土砂堆積の防止を目的とした水制工などの設置を検討する必要があると考える。

なお、今回の河道掘削にあたり、河川環境情報図上で重要種は確認されなかったが、河道掘削後の河道形状が一部単調になっている区間があったため、掘削形状や生物環境について、今後は配慮を徹底していきたい。

8. 今後の展望

今回の河道掘削により、一定の治水効果を得ることができたが、今後の気候変動によって洪水の頻度や流量が増大が懸念される。繁根木川は下流部が市街地化しており、周辺の状況に比べて引堤や堤防のかさ上げなど河道内での対策には限界があると考えられる。

そのため、流域治水の取り組みとして直轄区間だけでなく、上流の県管理区間、さらに上流の砂防指定地を含めて地元玉名市、熊本県、国などの関係機関との連携した取り組みが必要である。また、繁根木川を令和7年度までに「特定都市河川」に指定し、その後流域水害対策計画を策定することで下記の対策をおこない、浸水被害の防止・軽減を図ることを目指している。

①流域開発による雨水流出量を今以上に増やさない
②流域上流部からの土砂流出を抑制する
③雨水の貯留・浸透対策の進捗により、雨水の流出量を減らす
④貯留機能があるエリアを今後も保全する
⑤浸水エリアに土地利用規制を適用するなど、危険なエリアには住ませない・安全な場所に移転する等の対策を講じる

特定都市河川指定に向けたキックオフとして、令和6年6月に玉名市、熊本県、菊池川河川事務所および本局の4者による合同での繁根木川流域の現地視察（図-15）や意見交換会（図-16）を実施した。今後も指定に向けて関係機関との協議・調整を実施していく。

図-15　土砂流出の活発な県管理区間での現地視察の様子（令和6年6月）

図-16　国・熊本県・玉名市合同で実施した意見交換会の様子（令和6年6月）

マスプロダクツ型排水ポンプ設備について

坂本　匡鴻[1]・永濱　一将[1]・東　亮宏[1]

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

近年、水災害が激甚化・頻発化の傾向にあることを受け、河川用機械設備は以前にも増して治水上の重要度が高まっているところであるが、維持管理性や冗長性の観点から様々な課題を抱えている。現在検討されているマスプロダクツ型排水ポンプ設備については、汎用品の導入、冗長性向上の思想に基づき開発されている。この方式の有効性を検証するため、全国６箇所で実証試験が実施されているところである。こうした中で、今回みやま市と筑後川河川事務所が共同で行っている実証試験において確認された課題及び検討した対応策について紹介する。また、本実証試験の成果が今後の研究開発に資されることに期待する。

キーワード　河川用機械設備，マスプロダクツ型排水ポンプ設備，実証試験，維持管理

1. 河川用機械設備について

(1) 河川用機械設備の現状

河川用機械設備は河川流域の被害防止及び低減を目的に整備されてきた施設であるが、近年の水害の激甚化・頻発化を受け、治水施設として高い期待を寄せられている。しかしながら、河川用機械設備は１９７０年代をピークに整備されており、老朽化が進行した施設も増加している。既に半数近い施設が更新時期を迎えており、今後も気候変動の進行が予想される中で、機械設備の能力増強も求められている。以上のような現状から、河川用機械設備は、既に「大更新時代」に突入している。

(2) 河川用機械設備が抱える課題

河川用機械設備が一斉に更新時期を迎える状況にあるのは自明のことであるが、現行の設備は機械設備特有の多くの課題を抱えている。

まず、維持管理性の課題が挙げられる。機械設備はメーカーが独自に設計し特注生産した製品を多く含んでおり、機械設備の主となる構成機器は受注生産の形態を採ってきた。これにより、製品コストが高価になる傾向があるほか、故障発生時に早期復旧させるための代替品となるものがない場合や在庫品が確保されていないケースもある。また、定期的な点検・整備においても専門的な知識・技術力が求められるため、専門技術者を必要とする。この結果、機械設備を健全な状態で維持・運用していく上でコスト面、技術面での制約を受ける。

また、河川用機械設備は冗長性にも課題がある。元来、機械設備は壊れにくく設計されており、一部の機器に不具合が発生した場合でも、全体機能は損なわれないよう構成されている。これを前提として機械設備を配備してきたが、機械設備も当然ながら故障のリスクを抱えている。実際に施設の機械設備に致命的な故障が発生したことにより、出水期間中に施設の機能を喪失する事案も起きている。河川用機械設備が地域社会に対して負っている責任を考慮すれば、最低でも計画上の施設機能は保持されるよう、冗長性を持たせることが必要と考えられる。

2. マスプロダクツ型排水ポンプ設備について

(1) マスプロダクツ型排水ポンプ設備の開発

国土交通省では、河川用機械設備が抱える現状と課題を受け、「マスプロダクツ型排水ポンプ設備」の検討を行っている。マスプロダクツ型排水ポンプ設備と従来の排水ポンプ設備の異なる点は、「汎用品の導入」と「冗長性の向上」である。

汎用品の導入について、過去、機械設備は特注生産品が用いられてきたが、本検討では、自動車用エンジンのように汎用品化された機器を採用している。（図－１）

図－１　自動車用エンジン

これにより、機器の供給体制、メンテナンス性が改善されることが期待されている。また、現行の排水ポンプ設備に用いられる主原動機が１機あたり数千万から数億円であるのに対し、自動車用エンジンの場合、製造ラインの確立後には１機あたり２００万円程度になる見込みであり、コスト面にも優れると期待できる。

冗長性の向上について、現行の河川用機械設備が必要な能力のみを確保した施設となっているのに対し、マスプロダクツ型排水ポンプでは、排水能力を小口分散化し、必要能力分に余剰を加えて整備することを想定している。この小口分散化により、故障発生時の機能喪失範囲を最小限に抑えるとともに、余剰分による能力の補填が可能になると考えられている。

以上のように、マスプロダクツ型排水ポンプ設備は、従来の排水ポンプ設備の設計計画から発想を転換した思想に基づき、開発を行っている。

(2) 実証試験の実施について

マスプロダクツ型排水ポンプの開発を進めるにあたり、実証試験において、今回の開発の有効性・有用性を確認する必要がある。具体には、実際に試験設備を現場に設置し、日常の点検や出水時の稼働状況を確認し、耐久性、操作性、現場適用性、維持管理性などを検証することを想定している。

・耐久性（連続運転時間、運転頻度等）
・操作性（平常時の点検、出水時の排水操作等）
・現場適用性（川表裏、堤防、流入水の状況等）
・維持管理性（定期整備、点検、故障時対応等）

実証試験の実施に当たっては、全国の自治体に公募をしており、６自治体が選出されている。国土交通省筑後川河川事務所では、福岡県みやま市と共同し、実証実験に臨んでいる。

3. みやま市における実証試験について

(1) 矢部川流域

今回実証試験を実施するみやま市は矢部川流域に属している。矢部川は、福岡県南部を流れる一級河川で、流域面積６４７㎢、幹川流路延長６１㎞、流域人口約１７万人（２０１４年時点）となっている。関係自治体は５市２町におよび、中下流域には筑後市、みやま市、柳川市といった主要都市を有する（図－２）。

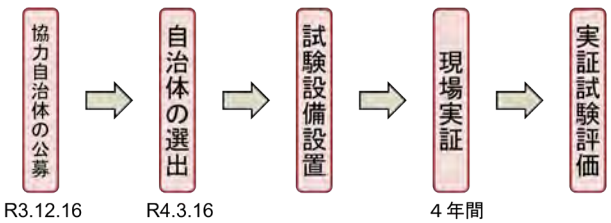
矢部川流域の降雨特性としては、梅雨前線によるものが多く、過去の主な洪水被害はほとんどが梅雨前線に起因している。２０１２年７月の九州北部豪雨では、既往最大洪水が発生し、床上床下合わせ、約１，８００戸の浸水被害が生じている。

図－２　矢部川流域図

(2) みやま市実証試験

みやま市の実証試験設備はみやま市瀬高町文廣、矢部川左岸１２ｋ４３５に位置する。（図－３）みやま市の実証試験に当たっては、令和５年度に実証試験設備の設置が完了し、令和６年度から試験機の運用に係る実証試験を開始する。現場実証には４年間を予定しており、実証終了後には実証試験評価を行う。（図－４）実証試験における施工区分として、みやま市には、平常時及び出水時における施設管理、出水時における排水運転操作、現場実証におけるポンプ設備の操作性、維持管理性に関する調査の協力等を依頼している。筑後川河川事務所の施工範囲は、施設の定期点検・整備、故障発生時の対応、現場実証における各種データの記録・分析を予定している。実証試験機の諸元は表－１のとおり。（図－５）

図－３　試験設備設置箇所



図－４　実証試験の流れ

表－１　実証試験設備諸元

主ポンプ	形状：横軸斜流ポンプ 計画吐出量：１m3/s
主原動機	自動車用エンジン 出力100kW
動力伝達装置	減速機、軸接手、クラッチ等
主配管	STPY400　SS400 φ700（乗越管はφ500）
吐出弁	電動バタフライ弁 φ700
満水系統設備	水封式電動真空ポンプ 2.7m3/min
燃料系統設備	200ℓ（軽油）
電源設備	商用電源、発電機
操作制御設備	ポンプ操作盤 エンジン制御用サブシステム 補機類
実証試験自動計測装置	

図－５　みやま市マスプロダクツ型排水ポンプ設備

(3) 実証試験の設計・施工課題

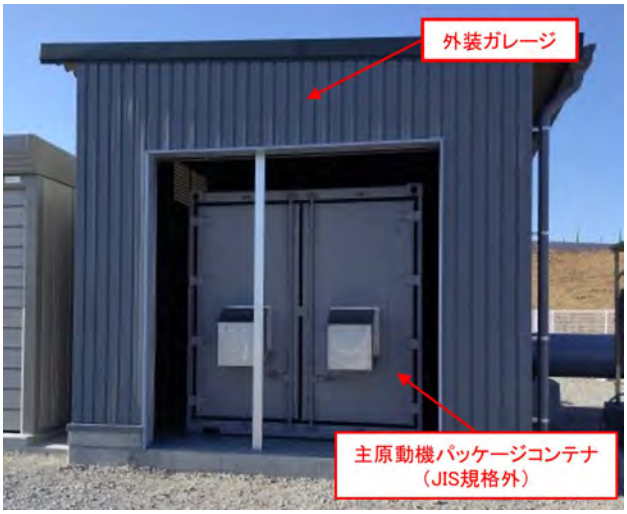
みやま市の実証試験設備において、設計・施工段階で問題となった個別の事例とこれに対して検討した対処方針について紹介する。

a) 建築

建築において問題となったのは、コンテナの建築許可申請関係である。本試験設備は自動車用エンジンを主原動機として使用しており、これを外装パッケージした仕様となっている。これに関して、常設されるコンテナには建築申請が必要となること、さらに、JIS規格に準拠したコンテナのみ許可されることが判明した。今回調達されたパッケージ用のコンテナはJIS規格外のものであったため、建築許可の条件を満たさない事態となった。この件の対応として、当初のパッケージ用コンテナをJIS規格に則ったガレージ（図－６）により外装するという手段を採用し、建築許可を得た。今回このような事象が発生した原因として、発注仕様においてコンテナでパッケージする場合の技術的制約を設けていなかったことが挙げられる。よって、発注仕様を決定する際には、建築許可申請に関係する法規を考慮し、JIS規格に準拠したものを採用することに留意が必要と考える。

b) 消防

消防関係では、消防法に定める危険物の取扱いが課題となった。本試験設備は燃料設備として、２００ℓ 未満の軽油燃料タンクが設置されている。タンクの容量にこ



図－６　主原動機の外装

の値を採用した理由として、消防法の規定による少量危険物の届出を不要とし、設置に係る手続きを容易にする意図があった。しかしながら、所轄消防と協議した結果、排水ポンプ設備は運転時間が明確に決定されていない施設であるため、２４時間の設備稼働に必要な燃料を施設の取扱量とすることとなった。これにより、本試験設備においては、タンク容量にかかわらず、少量危険物の届出が必要となった。ただ、この燃料タンク容量にて算出される運転可能時間は約６時間程度と、比較的短くなっている。近年の出水の頻発化・長時間化を鑑みれば、連続運転可能な時間を延長するため、タンク容量を大きくする必要がある。現在届出が完了している少量危険物の許容量は、１，０００ℓ 未満のため、現行の燃料タンクをこの範囲で増量できる。燃料タンク容量を９９０ℓ まで拡大すると、燃料補給することなく連続運転可能な時間を２４時間以上にすることが可能である。

c) 運転操作

今年度から実証試験における、試験設備の点検、出水による実排水運転を予定しているところであるが、本試験設備の試験運転は実排水の運転操作に限られるという制約がある。要因としては、試験設備を現場設置する段階で、無負荷運転による点検が想定されておらず、ポンプとの連結を切り離してのエンジン単独運転等の機能を付与されていないことによる。また、ポンプ吸込側の水路は平常時の水位が低く、ポンプ運転可能な水位を満たしていない。このため、出水時以外に運転操作を実施するには、吸込側水路の湛水を必要とする。本試験機にて試運転を行った際には、受注者、自治体、水利組合と調整し、湛水を依頼することで水位を確保している。（図－７）将来的に考えて、試験機の定期的な運転操作による点検・データ収集を実施する上では、水位条件に影響されずに運転操作を可能にする機能の検討をすることが必要と考える。（図－８）

図－７　吸込側水路湛水状況

図－８　実排水運転状況

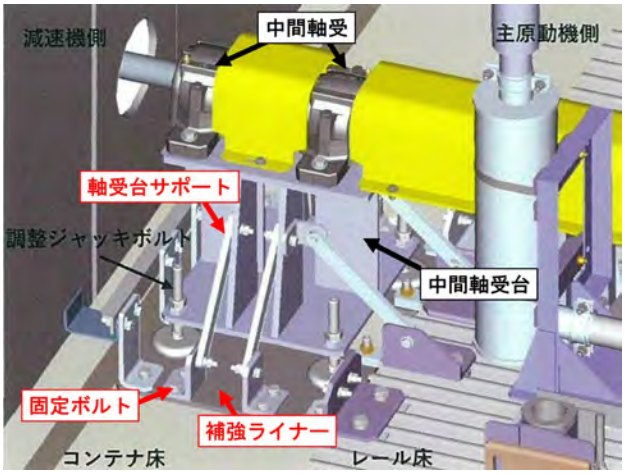
d) 振動

運転操作時に設備に発生した問題として、機器に振動生じた。対象箇所は、エンジンからポンプへの伝達軸上の中間軸受である。この中間軸受は大きな振動を許容する設計となっていないため、振動を低減する対策が必要となった。調査の結果、中間軸受を支える中間軸受台が剛性の低いアルミ製コンテナ床に直接設置されていることで振動が発生しているものと推測された。本試験機にて検討している対策としては、振動を低減させるため、中間軸受台に補強材を追加し、剛性を確保することを予定している。（図－９）対策後には対策前と比較して振動が低減されているか、出水時に長時間運転した場合にも影響がないか等については、今後の実証試験にて確認の必要がある。

4.　おわりに

(1) みやま市の実証試験展望について

みやま市の実証試験は令和６年度から４年間の現場実証を予定している。この間に、試験設備の点検、実稼働を通じて、試験設備の評価を行う。具体的内容は、2.⑵に記述のとおりであるが、このほかに実証試験にて確認された課題、みやま市、点検受注業者からの意見聞き取りを行い、改善検討のための報告とりまとめを行うこととしている。



図－９　中間軸受振動対策

(2) マスプロダクツ型排水ポンプ設備への期待

本試験機による実証試験及びマスプロダクツ型排水ポンプ設備の開発は今後も継続して展開されると予想できるが、今後、以下のようなことを期待する。

- 全国の自治体の実証試験により、マスプロダクツ型排水ポンプ試験機の評価に十分なデータが蓄積されること
- ポンプメーカー及びエンジンメーカーが異業種間連携をとり、マスプロダクツ型排水ポンプ設備の研究開発が一層進むこと
- 現行の排水ポンプ設備が抱える様々な課題を解消すること

特に、３点目の課題解消については、機械設備が高コストの特注品に頼り、点検・整備には専門の技術者の確保が必要という現状を改善することにつながるため、国の施設に限らず、予算規模の都合上、整備費・管理費に苦慮する自治体においても排水ポンプ設備を保有することへのハードルが低くなるものと期待している。

このマスプロダクツ型排水ポンプ設備の実証試験が成功し整備が進むことで、今後の河川用機械設備を取り巻く環境がより良いものとなり、治水安全の向上につながることを期待する。

謝辞

マスプロダクツ型排水ポンプ設備の実証試験に当たっては、みやま市職員、自治体関係者様及び株式会社日立インダストリアルプロダクツ様にご協力を賜っておりますことに対し、この場をお借りし、心より御礼申し上げます。

筑後川水系巨瀬川流域
緊急治水対策プロジェクトの取組について

今井　太陽[1]・金田　剛紀[1]・江上　綾子[1]

[1]九州地方整備局　筑後川河川事務所　流域治水課　（〒830-8567 福岡県久留米市高野１丁目２番１号）

令和5年7月、巨瀬川流域では観測史上最大雨量を記録する大雨により、床上浸水1,050戸等の甚大な浸水被害が発生した。これを受け、巨瀬川流域では、流域治水の考え方に基づき巨瀬川流域治水推進会議を開催し、「筑後川水系巨瀬川流域緊急治水対策プロジェクト」を策定した。本稿では、令和5年7月出水の概要、緊プロの策定経緯及び対策内容についてまとめた。緊プロでは、巨瀬川及び支川等の整備をはじめとした概ね5年間で緊急的かつ集中的に実施すべき対策により、令和5年7月出水と同規模の降雨おける家屋等の浸水被害軽減を図ることとしている。

キーワード　巨瀬川、流域治水、緊急治水対策プロジェクト、流域治水プロジェクト

1. はじめに

近年、地球温暖化に伴う気候変動の影響により、時間雨量50㎜を超える短時間強雨の発生件数が約40年前の約1.5倍に増加するなど、我が国の水害リスクは上昇してきており、今後さらに大雨や短時間強雨の発生頻度や降水量などが増大することが予測されている[1)]。このような気候変動の影響により激甚化・頻発化する自然災害から国民の命と暮らしを守るため、河川管理者が主体となって行う治水対策に加え、氾濫域も含めて一つの流域として捉え、その河川流域全体のあらゆる関係者が協働し、流域全体で水害を軽減させる治水対策「流域治水」を推進している。筑後川水系巨瀬川流域では、令和5年7月9日から10日にかけて発生した線状降水帯による大雨での被害を受け、「巨瀬川流域治水推進会議（以下「会議」という。）」を開催し、巨瀬川流域のあらゆる関係者が協働しながら、流域全体の水害や土砂災害等に対して再度災害を防止し、強靭な地域づくりに向かうための方策について議論し、流域治水を計画・推進していくこととした。本稿では、令和5年7月出水による被害とその発生要因を踏まえて、令和5年12月に策定した「筑後川水系巨瀬川流域緊急治水対策プロジェクト（以下「緊プロ」という。）」の策定経緯及び対策内容について説明する。最後に、巨瀬川流域におけるさらなる流域治水の推進に向けた取組について報告する。

2. 巨瀬川の概要と令和5年7月出水

(1) 巨瀬川の概要

巨瀬川は、耳納山地を源に発し、福岡県うきは市と久留米市を貫流して筑後川の約37㎞地点で合流する流路延長約28㎞、流域面積約85㎢の筑後川水系の一次支川である（図-1）。巨瀬川流域は、南側の標高600～800mの耳納山地、北側の筑後川本川とほぼ並行しており、標高10～40mの平地を緩やかに流れている。また、筑後川合流点から中央橋地点までが直轄区間（0k000～10k000）であり、その上流の藤波ダム（県管理）を含む区間が指定区間である（～27k075）。

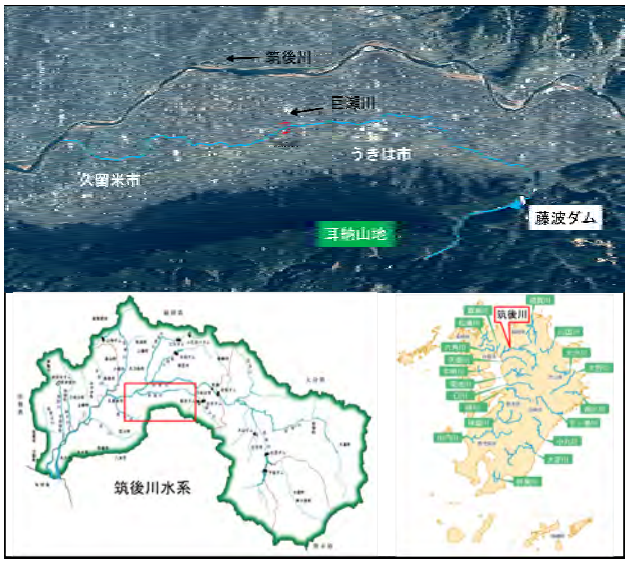


図-1　巨瀬川の位置図

(2) 令和5年7月出水について

a) 出水概要

巨瀬川流域では、平成24年、同30年、令和元年、同2年など、床上浸水等の被害が発生する大雨が近年頻発している。令和5年7月出水では、線状降水帯が発生し、耳納山雨量観測所で3、6、12、24時間雨量で観測史上最大を記録し(図-2)、中央橋水位観測所では観測史上最高水位3.49mを記録した(図-3)。この出水により、巨瀬川の直轄区間及び指定区間の複数地点における越水と広範囲での内水氾濫が発生し、床上浸水1,050戸、床下浸水2,131戸、浸水面積約1,690haの甚大な浸水被害が発生した(図-4)。また、耳納山地では土砂災害も多数発生し(図-4)、久留米市田主丸町竹野地区では土石流に複数の住宅が巻き込まれ、人命が失われた(図-5)。

b) 浸水被害の要因

令和5年7月出水の浸水被害の原因は、複数考えられる。1つ目は、巨瀬川堤防からの越水に伴う浸水である。これは、巨瀬川の流量が流下能力を上回ったこと(図-6)や、下流部において筑後川からの背水(バックウォーター)の影響を受けたこと(図-7)に起因する。2つ目は、巨瀬川の支川等からの氾濫に伴う浸水である。これは、支川の流量が流下能力を上回ったことや、巨瀬川の水位が高い状態が続いたことで樋門・樋管が長時間閉門したこと、巨瀬川からの背水の影響に起因する。このほか、標高が高い耳納山地から巨瀬川までの距離が近いことで、山地から流出した土砂や樹木等が支川を閉塞したことに起因するものもあった。3つ目は、市街部での内水氾濫による浸水である(図-8)。これは、短時間に高強度の雨が降ったことで、田畑や街中の水路の排水が追いつかなかったことに起因する。

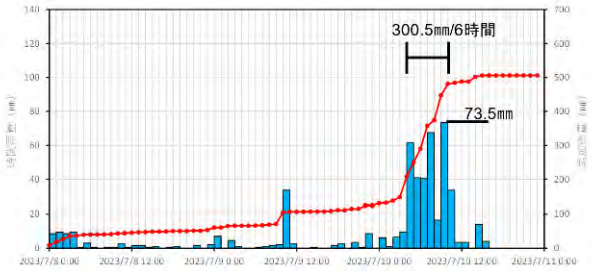


図-2　令和５年７月豪雨 耳納山観測所ハイエトグラフ

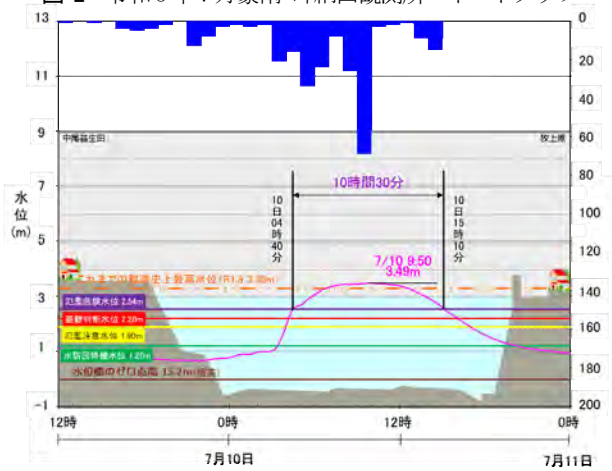


図-3　中央橋水位観測所ハイドロ-妹川雨量観測所ハイエト

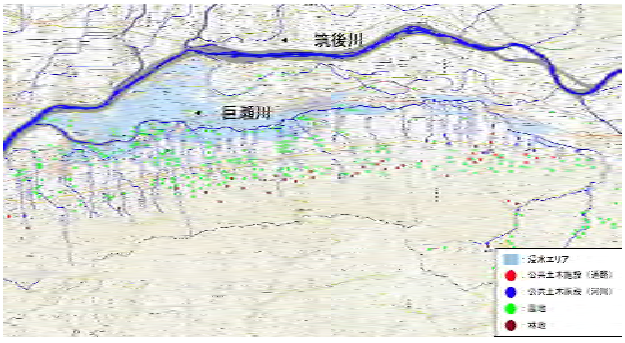


図-4　令和５年７月出水の浸水エリアと土砂による被害箇所

図-5　久留米市田主丸町竹野地区で発生した土石流

図-6　巨瀬川堤防からの越水（中央橋付近）

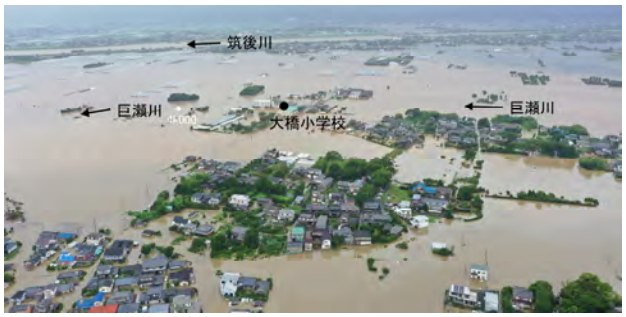


図-7　筑後川からの背水による浸水（大橋小学校周辺）

図-8　市街部での内水氾濫による浸水（田主丸駅周辺）

c) 土砂災害の要因

令和5年7月出水における土砂災害の発生は、巨瀬川流域の地形的な特徴が関係していると考えられる。流域の南側に位置する耳納山地は、北斜面が断層山地の特徴を残した急峻な地形となっていることから「屏風山」とも呼ばれることがあり、その麓にはまちが形成されている(図-9)。このため、耳納山地の北斜面には、土砂災害警戒区域に指定されている地域が多数存在している。令和5年7月出水では、このような山地において、観測史上最大となる6時間300.5㎜のような短時間で高強度の降雨が集中したことが土砂災害の発生要因の1つと推定している。

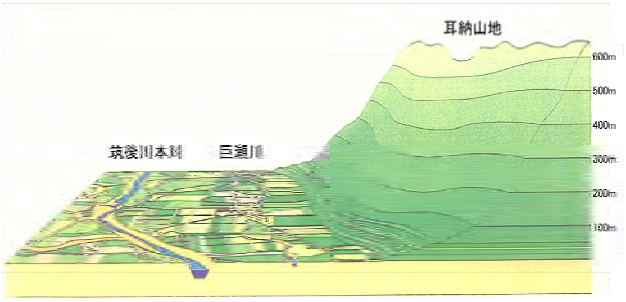


図-9　巨瀬川流域の地形的特徴

3.　巨瀬川流域治水推進会議の開催

(1) 会議の概要

令和5年7月出水での被害を受け、巨瀬川流域では、流域のあらゆる関係者が協働しながら流域全体の水害や土砂災害等に対して再度災害を防止し、レジリエンスのある（強くしなやかな）地域づくり(図-10[2])に向かうための方策について議論するため、会議を開催することとした。会議は、巨瀬川の河川管理者である国土交通省九州地方整備局筑後川河川事務所（以下「国」という。）と福岡県をはじめ、巨瀬川流域のうきは市と久留米市、農林水産省、林野庁、気象庁、及び学識経験者といった関係者によって構成されている。会議では、緊プロ及び「筑後川水系巨瀬川流域治水プロジェクト（以下「流プ

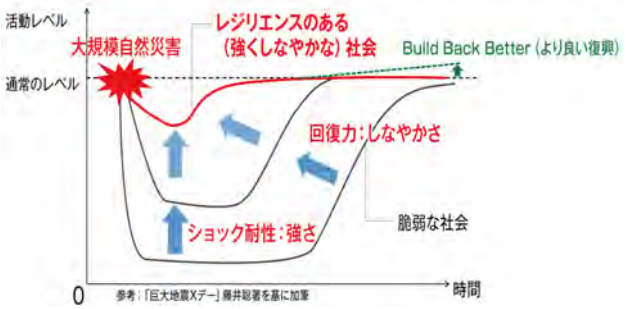


図-10　レジリエンスのある地域づくりのイメージ[2]

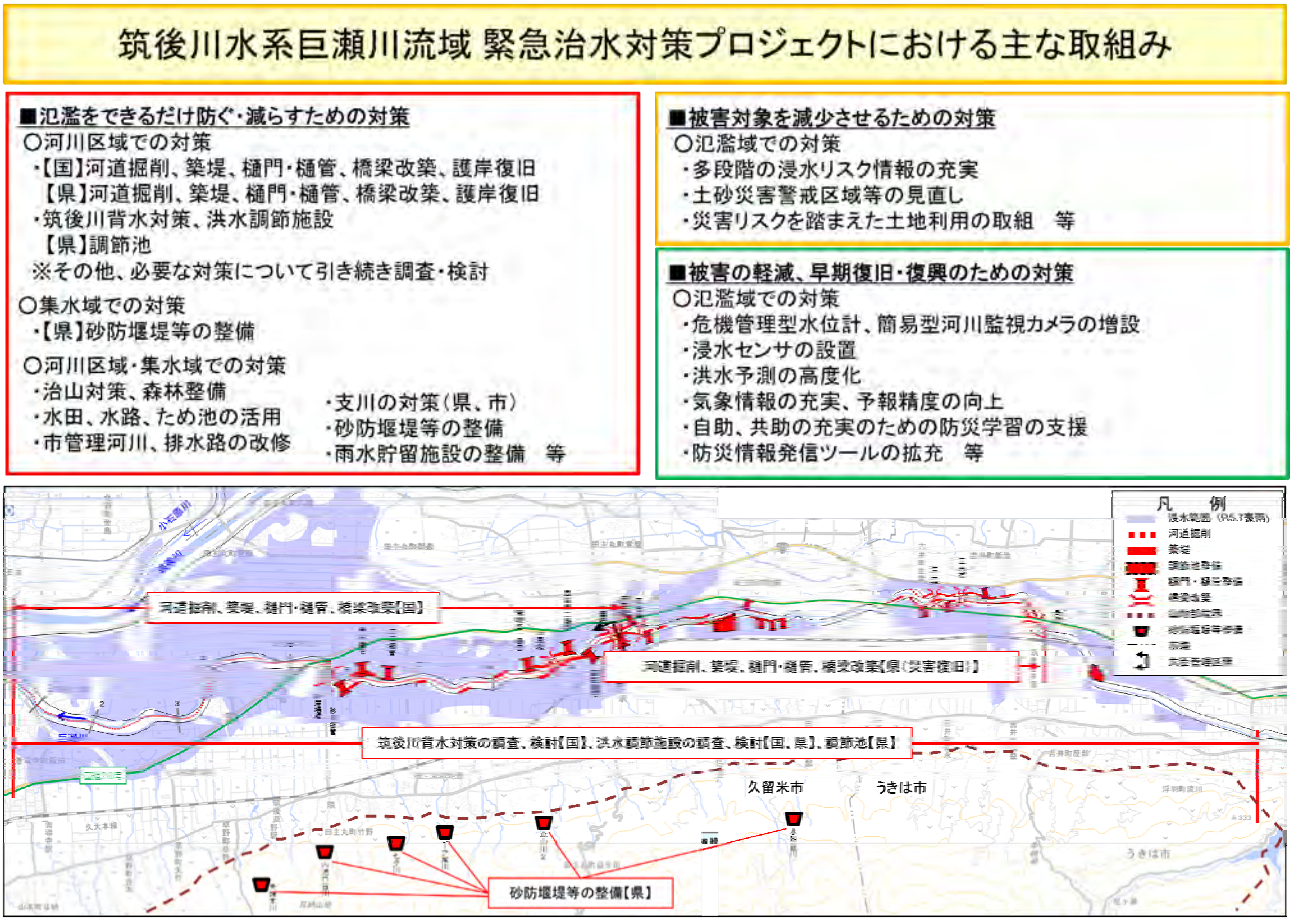


図-11　筑後川水系巨瀬川流域緊急治水対策プロジェクトの主な取組

ロ」という。）」を策定及び推進することとし、併せて特定都市河川浸水被害対策法の活用に向けた検討も行うこととした。

(2) 緊プロ策定までの経緯

会議では、はじめに令和5年7月出水による巨瀬川流域の被災状況の共有と、浸水被害及び土砂災害の要因について分析した。その後、巨瀬川流域で必要となる治水対策について、川、山、人里の視点から検討した。その結果を踏まえて、令和5年7月出水と同規模の降雨における家屋等の浸水被害を軽減するため、概ね5年間で緊急的かつ集中的に実施すべき対策について検討し、令和5年11月15日の第4回会議にて緊プロをとりまとめ、同12月15日に策定した（図-11）。さらに、巨瀬川流域における中長期の治水対策についても検討し、流プロのとりまとめ及び策定を行った。

4. 筑後川水系巨瀬川流域緊急治水対策プロジェクトについて

緊プロでは、概ね5年間で緊急的かつ集中的に実施すべき対策として、(1)氾濫をできるだけ防ぐ・減らすための対策、(2)被害対象を減少させるための対策、(3)被害の軽減、早期復旧・復興のための対策の3つを柱に掲げている。以下では、各対策の内容について説明する。

(1) 氾濫をできるだけ防ぐ・減らすための対策

2.(2).b)で述べたように、令和5年7月出水では、複数の原因による浸水被害が発生し、甚大な被害となった。これに対応するため、国、福岡県、うきは市、久留米市は、河川及び山地でのハード対策を実施し、氾濫による浸水被害の防止・軽減を図る。

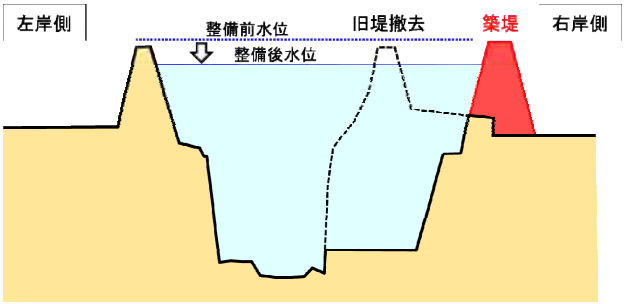


図-12　巨瀬川の河道拡幅と築堤

図-13　河川での土砂堆積（発心川）

a) 河川における対策

巨瀬川からの越水に対しては、国と福岡県がそれぞれ巨瀬川の河道拡幅と計約8kmの築堤を行い(図-12)、それに伴う17基の樋門・樋管、8橋の橋梁改築を実施する。さらに、指定区間では2箇所の調整池を整備する。

支川等からの氾濫や市街部の内水氾濫に対しては、福岡県やうきは市、久留米市が支川や排水路の河道拡幅と築堤を行う。さらに、福岡県は支川に調整池を整備し、久留米市は逆流防止対策(フラップゲート)や雨水貯留施設等の検討を行う。

また、巨瀬川と支川・水路ともに、令和5年7月出水での土砂災害の発生に伴い土砂や流木が堆積したため、4者でこれらの撤去を緊急的に実施する(図-13)。このほか、うきは市や久留米市では、地域住民や企業等も協働して排水路等の土砂撤去や除草を行う(図-14)ことで排水機能を確保し、令和6年度の出水期に備える。

b) 山地における対策

令和5年7月出水の被害として、2.(2)a)でも述べた耳納山地での多雨による多数の土砂災害の発生が挙げられる。この対策として、福岡県が6箇所の砂防堰堤等の整備(図-15)と1箇所の渓流保全工を実施する予定である。なお、砂防堰堤の整備にあたっては、一定の粒径以上の石や流木等が確認された箇所では透過型を採用し、巨石や流木の捕捉を図る。

また、福岡県やうきは市、久留米市では、適切な間伐(図-16)や筋工等による森林整備を実施し、山地や森林が持つ水源涵養機能や土壌保全機能等の効果を発揮させ、

図-14　地域住民による排水路の維持管理（久留米市）

図-15　砂防堰堤（透過型）の整備例

土砂災害の発生を未然に防止する。このほか、治山ダムや山腹工といった治山対策により、荒廃した渓流の土砂流出や山腹の斜面崩壊の拡大を防止する。

(2) 被害対象を減少させるための対策

巨瀬川流域では、災害リスクの適切な認識と、土地利用や建物内の使い方等の住まい方の工夫により、防災まちづくりを推進していく。

例えば、災害リスクを適切に認識するために、国が水害リスクマップを作成する。福岡県は、令和5年7月出水での土砂災害による地形の改変や被害状況を踏まえ、土砂災害警戒区域等を見直す。久留米市は、居住誘導区域内外での土地利用規制を検討している。また、住まい方の工夫では、うきは市や久留米市が生産緑地制度の活用や農地集約によって貯留機能を持つ農地を保全し(図-17)、浸水被害の拡大を防止する。個別の施設についても、浸水が発生した場合における被害を軽減するため、福岡県が学校の屋外キュービクル式受変電設備のかさ上げや、校舎の改築にあわせた職員室の上階移設等を進めている。

(3) 被害の軽減、早期復旧・復興のための対策

出水時、地域住民が適切な避難行動を行うことで被害を軽減できることがある。これには、行政からの正確な情報提供と住民の防災意識の醸成が必要となる。

例えば、行政からの情報提供として、自治体による防災アプリの運用をはじめ、福岡県による危機管理型水位計・簡易型河川監視カメラの増設(図-18)や、うきは市による避難ルートの確認支援等に取り組んでいる。また、住民の防災意識の醸成に向けては、久留米市による地域独自避難所の設置支援(図-19)のほか、福岡県、うきは市による防災訓練の実施(図-20)や防災士の育成の支援等も行っている。久留米市の地域独自避難所の設置支援については、令和5年7月出水で一部の指定避難所が孤立したことも踏まえ、地域が身近な集会所や民間施設を借り、市が毛布等の備蓄品を提供することで、地域の避難体制の充実に努めている。

そして、これらの対策を実施するときに重要なのは、行政と地域住民等の流域関係者が、流域治水に向けた相互理解を深めることである。このために、行政は広報等を活用して情報や支援を周知することや、地域住民や企業等も取り込んだ流域治水の取組を実施することで、地域全体の防災への意識向上を図る。こうした取組を通じ

図-18　危機管理型水位計・簡易型河川監視カメラ

図-16　適切に間伐された森林

図-17　雨水貯留機能を持つ農地の保全

図-19　地域の独自避難所に関する手引き（久留米市）

図-20　防災訓練の様子

て、行政だけでなく流域関係者が一体となって流域治水を「自分事」として考えることで、対策の効果がより発揮され、災害による被害の最小化につながる。

5. おわりに

巨瀬川流域では、令和5年7月出水での被害発生後、令和5年11月の第4回会議にて緊プロをとりまとめ、国、福岡県、うきは市、久留米市を主に、流域関係者が協働しながら令和5年7月出水と同規模出水に対する治水対策を進めている。最後に、巨瀬川流域において今後さらに流域治水を推進していくための取組について報告する。

巨瀬川流域の緊プロは、あくまで令和5年7月出水と同規模出水おける家屋等の浸水被害軽減のため、概ね5年間で緊急的かつ集中的に実施すべき対策を定めたものである。そのため、今後の気候変動に伴う災害の激甚化に対応するためには、巨瀬川流域全体で緊プロ完了後も更なる流域治水を進めていく必要がある。会議では、緊プロの策定後、令和6年2月に巨瀬川流域の中長期の治水対策を定める流プロを策定した。流プロでは、筑後川からの背水対策や洪水調節施設の検討のほか、地域の公共施設等における浸水対策、レジリエンスベースの整備、グリーンインフラの取組等を追加した。また、令和6月6月現在、国、福岡県、久留米市、うきは市等では、治水対策の効果発揮と推進を目指して、さまざまな流域治水の

図-21 特定都市河川指定制度の活用に向けた議論の様子

取組と特定都市河川指定制度の活用に向けた議論・検討を行っている(図-21)。巨瀬川流域では、令和5年7月出水と同規模の大雨に対する迅速な対応を図るとともに、農地の保全等による雨水の流出抑制や住まい方の工夫等により、いのちと暮らしを守る安全・安心なまちづくりを目指して、今後とも国、福岡県、うきは市、久留米市をはじめ、地域住民や企業等を含む流域関係者が一体となった取組を進めていく。

参考文献

1) 国土交通省：河川事業概要 2024
2) 内閣府：パンフレット「国土強靱化を進めよう！」（令和3年度3月版）

久留米市における総合内水対策について

宮脇　正彦[1]・吉尾　賢治[1]・田嶋　健太郎[1]・阿久根　孝典[1]

[1]久留米市　都市建設部　河川課　（〒830-8520 福岡県久留米市城南町15-3）

久留米市はその地理的特徴から，内水氾濫が頻発している．近年では，2018年7月から4年連続で河川の内水氾濫が起き，2023年7月には大規模な出水による甚大な被害が生じた．浸水被害の軽減に向け，久留米市では「流域治水推進プロジェクト」を設置し，対策を進めている．また，国・県・市が連携して総合内水対策計画を策定し，計画に基づいて浸水対策工事を進めている．本報告では，流域治水推進プロジェクトと下弓削川・江川総合内水対策計画での取り組みを紹介する．

キーワード　内水氾濫，流域治水，総合内水対策，下弓削川・江川

1. はじめに

久留米市の地理的特徴

久留米市は，九州最大の一級河川である筑後川が市内を東西に貫流しており，南東部には耳納山地が東西に連なり，山の西端には高良山や明星山などの山々が聳えている．この筑後川と耳納連山に育まれた自然豊かな筑紫平野の中央に中心市街地を形成し広がっている都市（図-1）であり，市内には47本の1級河川が流れているが全て筑後川水系（図-2）である．

過去には筑後川の氾濫による昭和28年6月水害も発生しているが，近年は筑後川の水位上昇に伴う市街地の内水氾濫による被害が課題となっている．

市東部地域は山と河川に挟まれた狭い土地を有し，低平地を多く抱えている．市西部地域は平野部が広がっており，有明海の潮汐の影響を受けること及び河川の縦断勾配が緩やかであることから，洪水時に本川水位が高くなった際は内水の排水不良，支川や用水路の氾濫により広範囲に浸水被害が発生している．

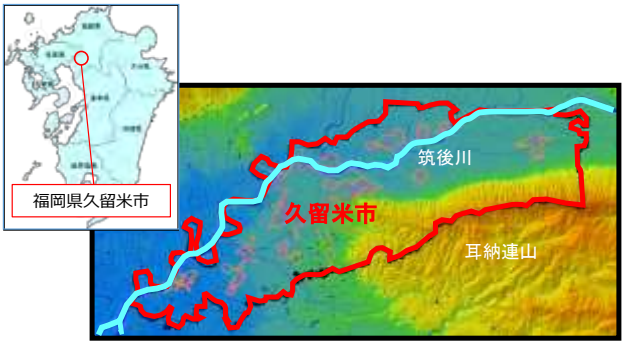


図-1　久留米市標高地形図

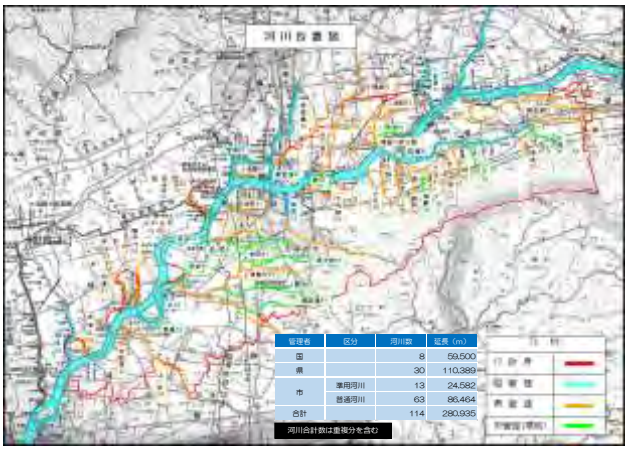


図-2　河川位置図

2. 近年の出水状況

近年の災害がおこるまでは，洪水被害の経験はあるものの，水に強い街で，夏に長く雨が降らない日が続いても，渇水にはならず，水に困ったことがない都市であったが，2018年から気候変動の影響により一変した．

図-3は，2018年以降の降雨記録である．2021年度までは久留米観測所の記録を更新した箇所を黄色，2023年度は耳納山観測所の記録を橙色で強調しており，気候変動による降雨量の増大により，2018年度以降は2022年度を除いて毎年観測史上1位を更新するような降雨が記録されている．

また，特別警報も2018年度以降6年で4回発令され，2021年7月には72時間で718ミリ，総雨量が896ミリを記録し，筑後川が決壊した70年前の昭和28年6月水害の約1.6倍の総雨量となった．さらに，2023年7月には1時間雨

量で91.5ミリ，24時間雨量で402.5ミリを観測し，24時間雨量は7月の月間平均雨量に相当する雨量であった．

図-4のグラフは最大1日当たりの雨量の水位と，最大1時間当たりの雨量の年推移を表しており，年々降雨量が増加傾向にあることが分かる．これらの大雨を受け，2018年以降，4年連続で5回，6年間で6回の大規模な豪雨被害が発生した．

久留米観測所（※R5.7は耳納山観測所記録も含む）

時期	1時間最大雨量（mm）	3時間最大雨量（mm）	6時間最大雨量（mm）	24時間最大雨量（mm）	48時間最大雨量（mm）	72時間最大雨量（mm）	総雨量（mm）
平成30年7月	40.5		156.0	279.5 観測史上1位（当時）	383.5 観測史上1位（当時）		386.0（7/5～8） 特別警報
令和元年7月	90.0 観測史上1位（当時）	177.5 観測史上1位	275.0 観測史上1位	335.5 観測史上1位（当時）	402.5 観測史上1位（当時）		474.5（7/18～23）
令和元年8月	60.5	147.0	187.5	330	366.5		408.0（8/26～29） 特別警報
令和2年6月	92.5 観測史上1位		155.0	193.5	194.0		194.0（6/26～29）
令和2年7月	48.0	105.5	169.5	360.5 観測史上1位（当時）	483.0 観測史上1位（当時）	529.0	772.0（7/5～11）
令和3年8月	72.0		193.5	387.0 観測史上1位	572.5 観測史上1位	718.5 観測史上1位	896.5（8/11～19） 特別警報
令和5年7月『耳納山』	91.5 観測史上1位（※）	167.0 観測史上1位（※）	316.0 観測史上1位（※）	402.5 観測史上1位（※）	452.0 ※耳納山観測所の記録	565.5	567（7/7～10） 特別警報
【参考】昭和28年6月	43.0	—	—	—	—	—	564.3（6/25～29）

図-3　降雨記録

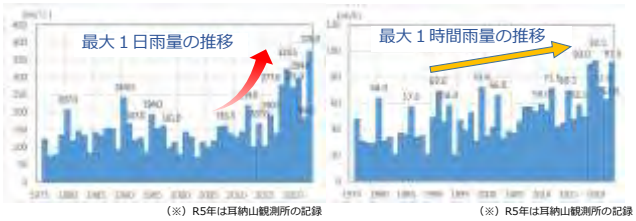


図-4　雨量の推移

図-5は，2018年7月の大雨時に浸水した久留米市の中心部に位置する合川地区の浸水状況の写真である．この合川地区は久留米インターチェンジを中心に市街化が進んできた地区である．主要幹線道路かつ緊急輸送道路でもある国道210号の一部区間が浸水し通行できない状況となっていることが分かる．このように合川地区をはじめ，市内の多くの地区が内水氾濫により，大規模な浸水被害を受けた．

図-5　2018年7月の被害状況

2018年以降についても，大雨を受け浸水被害が発生しており，その被害状況を図-6に示す．図中では被害を受けた町毎に整理されているが，合川地区は東合川・山川町に分類される．市西部地区である城島町（左岸），三潴町，市中央部である梅満町・津福本町，東櫛原町，東合川・山川町，市東部地区である北野町，田主丸町など浸水被害が毎年発生している．

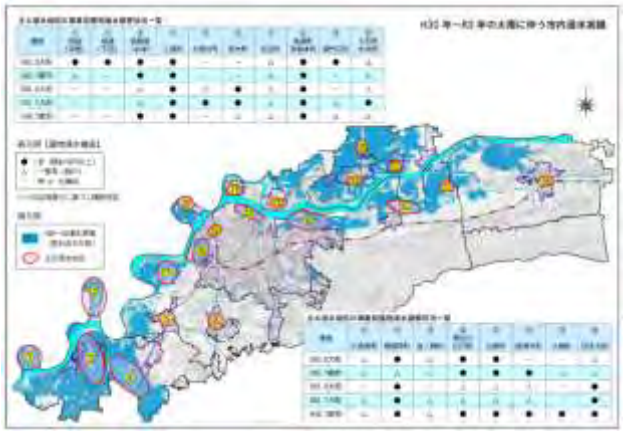


図-6　近年の浸水被害状況

3. 課題解決に向けた取り組み

このような浸水被害は市民の生活や経済活動に大きな損害を与えてきた．度重なる浸水被害の克服が市の最重要課題であり，これに対応するため2022年2月に「流域治水推進プロジェクト」を設置した．

以前は，河川や防災部局が中心に行っていた対策を，総合政策，協働推進，農政などの部局も含め組織横断的に流域治水に取り組み，「貯留施設検討WG」「協働による浸水・減災対策検討WG」「浸水・減災対策の見える化検討WG」，「特定都市河川検討WG」の4つのワーキングで浸水・減災対策の検討および対策を進めている．

「貯留施設検討WG」では公共施設等を活用した雨水流出抑制対策や雨水貯留施設といった，オンサイト貯留施設やオフサイト貯留施設の検討や，ため池・クリークといった，農業施設を活用した低水位管理，先行排水による貯留機能の向上について検討を進めている．

「協働による浸水・減災対策検討WG」では，企業や行政，市民と協働した，ボランティアによる減災活動や田んぼダムの実施，また，自助による止水板や貯留タンクの設置に要する費用の補助制度の拡充について検討を進めている．

「浸水・減災対策の見える化検討WG」では，市の広報誌や市長記者会見等による浸水・減災対策に関する周知方法の検討を進めている．

「特定都市河川検討WG」は2023年9月に新に設置し，浸水被害が著しい河川の新たな対策として特定都市河川の指定について検討を行っている．

これらのプロジェクトにより，2021年度は16億円であ

った治水関連予算は，2022年，2023年の2年間で約100億円を確保し，治水対策に取り組んでいる．また，取り組みの成果の一つとして，久留米市の貯留機能は2024年度末までに，2021年度以前の32万トンから約3.8倍となる123万トンを目指している．

また，流域治水の考えをもとに，国・県・市が連携してハード対策やソフト対策に一体的に取り組むため，甚大な浸水被害が発生した流域を対象に総合内水対策計画などが策定されてきた．これまで，2020年3月に「金丸川・池町川，下弓削川・江川」の4流域，2022年6月に「大刀洗川，陣屋川」の2流域，2024年3月に「山ノ井川・宇田貫川」の2流域について策定され，取り組みを実施してきている．

4. 現在実施している取り組みの具体例

(1) 久留米市における総合内水対策

総合内水対策では被害軽減に向けた治水対策の推進であるハード対策と減災に向けた取り組みの推進であるソフト対策とに大別される．ハード対策では河川水位の低下，溢水等の防止，河川への流出抑制，逆流防止対策など，ソフト対策では，住民の適切な避難判断を支援するための情報提供，平常時からの住民への水害リスク情報の提供，住家等の新規立地の流出抑制などを主な対策項目とし，各流域に応じた対策項目を具体化し各計画に位置づけている．

ハード対策の中でも，河川水を低下させるための排水機場のポンプ増設，地下調節池，放水路等の洪水調整施設の整備や溢水等を防止するための護岸の嵩上げなどについては国や県の協力のもと対策が進められている．本報告においては，久留米市が実施している対策に絞って，具体的に述べていく．

(2)河川水を低下させる流域貯留施設の整備

浸水被害を受けた合川地区を流域に含む下弓削川・江川に関する総合内水対策計画におけるハード対策の予定箇所を図-7に示しているが，市が実施している主要施設として流出抑制対策の流域貯留施設がある．流域貯留施設のうち，降った雨を水路により集水して貯め，河川への流出を軽減するオフサイト貯留施設として，大学のグラウンドを活用した久留米大学貯留施設と公園の地下を活用した御幣島公園雨水貯留施設がある．

久留米大学雨水貯留施設は，2023年9月に完成し21,800立方メートルの貯留機能を有する．大学のグラウンドを活用した貯留施設であるため，大学の協力があったことは勿論である．2021年5月に大学と整備に関する覚書を締結．施設の整備を2021年8月から開始し，約2年の工事期間を経て施設が完成した(図-8)．通常時はグラウンドとして使用されているため，貯留施設として稼働時には大学と連携する必要があるため，現在は運用方法を構築しているところである．

図-7　下弓削川・江川総合内水対計画のハード対策

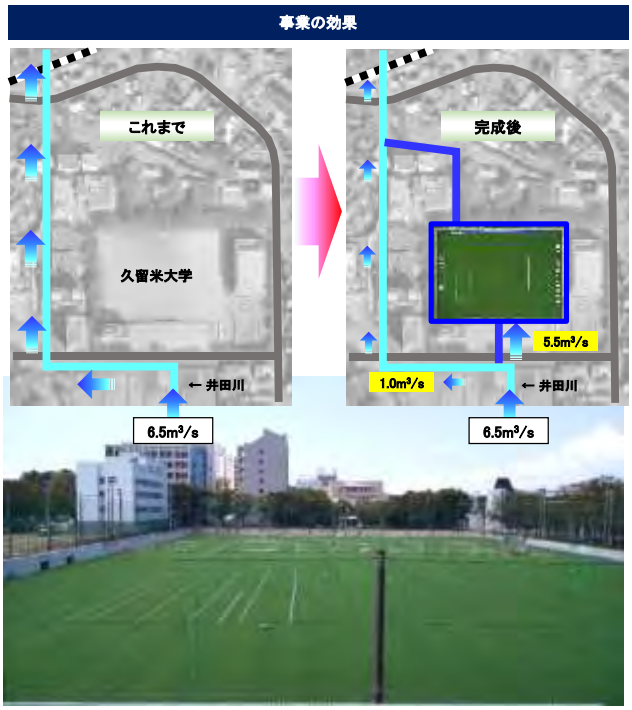


図-8　久留米大学雨水貯留施設

また，御幣島公園雨水貯留施設は2024年3月に完成し4,800立方メートルの貯留機能を有する．施設の整備が2022年7月から開始し，約1年半の工事期間を経て施設が完成した(図-9)．御幣島公園の地上は通常時の公園機能を確保しつつ，降った雨をその場に一時的に貯め下流の河川への負荷を軽減するオンサイト施設としても整備を行い，2024年6月に完成したところである．

図-9　御幣島公園雨水貯留施設

(3) 溢水等を防止するための施設の整備

また，河川が増水した際に溢水等を防止するために護岸の嵩上げやフラップゲートによる支流への逆流防止も実施している．図-10は護岸嵩上げ実施箇所の降雨時の状況写真である．道路面以上に河川水位が上昇しており，溢水防止の機能が発現していることが分かる．

支流への逆流防止のためフラップゲートの整備も実施してきており，2022年に32箇所の設置を行った．

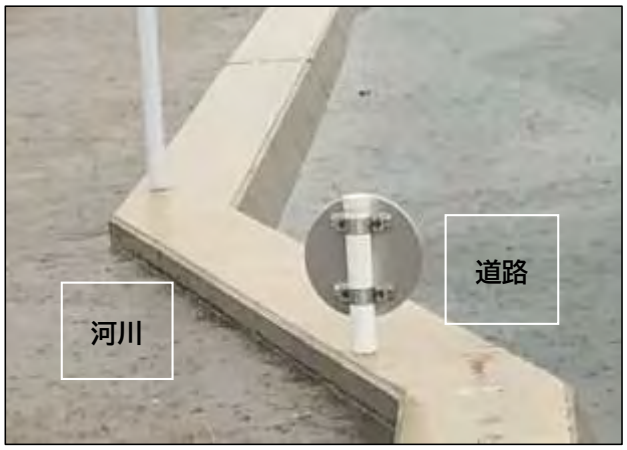


図-10　下弓削川支流の護岸嵩上げ

(4)施設整備の効果

これらの複数の施設整備を進めてきているが，2018年7月出水よりも降雨規模が大きかった2023年7月出水時には2018年7月に119件あった床上浸水件数が2023年7月時には6件まで減少した．国や県による排水機場ポンプの増設や護岸の嵩上げなどの対策も大きく寄与した効果ではあるが，最高内水位や浸水面積も減少した．これらのことから，複数の施設による整備効果があったといえる．なお流域貯留施設2施設は整備完了したばかりであり，2023年7月時の効果に含まれないため，更なる施設整備の効果が期待されている．

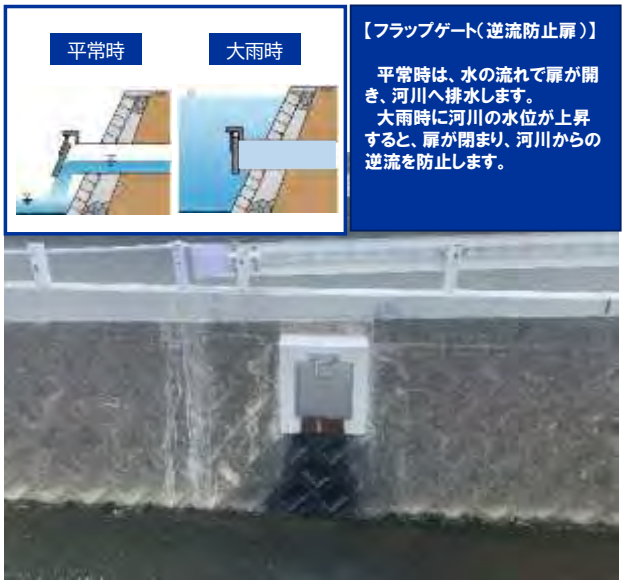


図-11　フラップゲート

(5) 流域治水の取り組み

総合内水対策計画のうち，下弓削川・江川流域の整備について述べたが，その他の計画や流域治水プロジェクトの取り組みも実施している．

降った雨をその場に一時的に貯め，下流の河川への負荷を軽減するオンサイト施設を，北野中学校のグラウンド(図-12)など，市内3箇所，貯留量3,000立方メートルを整備し，田主丸中学校グラウンド，善導寺公園，御幣島公園の整備，貯留量4,760立方メートルも2024年6月に完成したところである．2024年度は，新たに大島公園でも施設整備に着手する予定としている．

図-12　北野中学校グラウンドの貯留状況（2023年7月）

また，地域住民との協働で行う水路の浚渫等「みんなで流域治水！」や，田んぼダムの取組，クリークの先行排水，ため池の低水位管理など，協働による取組みにも力を入れている．

図-14　クリークの先行排水

クリークの先行排水による雨水貯留容量の確保とは図-14に示すように，かんがい用水を洪水前に河川に放流

することで貯留量を確保するものである．また，田んぼダムとは，図-15に示すように，洪水が予測されるときに一時的に田んぼに水をためて，ゆっくり排水することで氾濫を抑制するものである．

図-15　田んぼダムの取組み状況

このほか，2024年度には，城島地区での貯水堀貯留の整備や，新たな貯留施設の検討に着手する予定である．

5. 今後に向けて

今後の気候変動を踏まえると，豪雨がいつ起こってもおかしくないため，まずは河川管理者としてやるべき河川整備は確実に進めていくとともに，流出抑制に向けた更なる取り組みやまちづくりとの連携，住民にわかりやすい情報の伝達など，あらゆる関係者と連携しながら実行していき，「住民と一体となって水害に強いまちづくり」を目指したい．

防波堤及び護岸の改良断面の検討～CADMAS-SURFを用いた消波ブロック拡幅断面の特性把握～

嶋田　柊人[1]・近藤　利彦[1]

[1]九州地方整備局　下関港湾空港技術調査事務所　設計室　（〒750-0025 山口県下関市竹崎町4-6-1）

近年，全国的に台風が大型化して，港湾施設や海岸施設に大きな被害を及ぼしている．台風による波高の増大により，消波ブロックが飛散し，防波堤や護岸の背後が越波越流するなどの懸念がある．その対策として従来は，上部工を嵩上げして消波ブロックを2層置換する対策を行っていた．その際，消波ブロックを一部撤去する工程が生じる．消波ブロック拡幅断面であれば，消波ブロック撤去工程が不要になり施工性は良いが，消波ブロック拡幅断面の特性が把握されていないため，構造物の耐波設計に役立つ数値計算プログラムであるCADMAS-SURFを利用して，従来の改良断面と消波ブロック拡幅断面の波高伝達率，越波流量，波力を比較する．

キーワード　CADMAS-SURF，消波ブロック拡幅，波高伝達率，越波流量，波力

1. はじめに

近年，九州に上陸した台風1824号などにより，港湾施設や海岸施設に大きな被害を及ぼしている．名瀬港の防波堤では台風1824号にて設計波を大きく超える波が来襲し，ケーソンが滑動・転倒した．全国的にも大型な台風が来襲し被害が発生したことにより，2020年度に設計波を見直す検討が進められている．

設計波の検討により，波高が増大し現況の防波堤や護岸に設置されている消波ブロックの所要質量が不足し，消波ブロックが飛散することや，上部工の天端高が不足し，防波堤や護岸の背後に越波越流することが考えられる．したがって，図-1の現況断面の要求性能を満足させるため，従来の改良断面では，図-2のように上部工を嵩上げし，上部工天端高に消波ブロックの天端高を合わせ，所要質量が不足している消波ブロックは満足する消波ブロックに置き換える．また置き換える際は，既設消波ブロックを一部撤去することになるが，長年の波浪により消波ブロックが噛み合っており，撤去が難しく安全性に懸念がある．

他方，図-3のように，消波ブロックの天端幅を広げるにつれ，越波越流の抑制効果を得られる[1]ことが知られており，消波ブロック天端幅を広げる断面（以下，消波ブロック拡幅断面）であれば，既設の消波ブロックを撤去する工程が不要となるため，工期を短縮でき，施工上での安全性に懸念が無い．

しかし，消波ブロック拡幅断面の特性が把握されていないため，本論文では，消波ブロック拡幅断面による越波の低減効果や波力の低減効果について把握することを目的として，従来の２次元造波水路の模型実験に代わり得る手法であり，構造物の耐波設計に役立つ数値計算プログラムであるCADMAS-SURFを利用して，従来の改良断面（嵩上＋2層置換）と消波ブロック拡幅断面の波高伝達率，越波流量，波力の比較結果を報告する．

【現況断面】

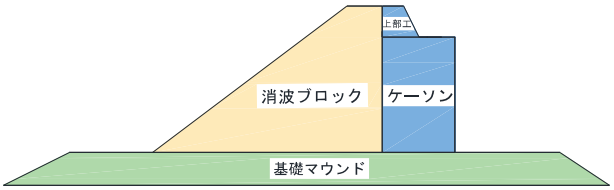


図-1　現況断面イメージ

【嵩上＋２層置換】

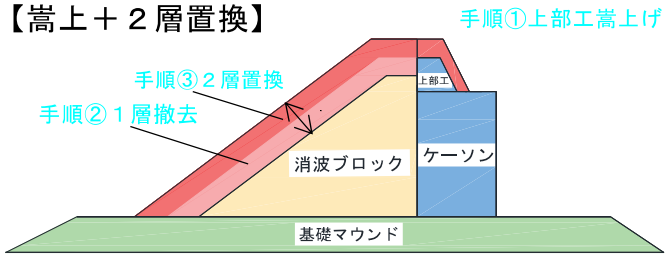


図-2　従来改良断面イメージ

【2層拡幅】

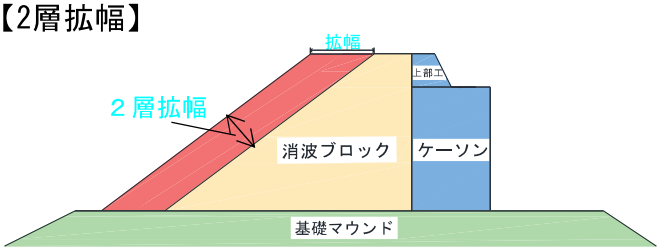


図-3　消波ブロック拡幅断面イメージ

2. 防波堤及び護岸の検討断面

2.1　防波堤

防波堤の要求性能は，港内の静穏度の確保であり，波の入射を防ぎ，防波堤から超えてくる波（以下，伝達波）を抑えることにより港内の静穏度を確保している．伝達波を入射波で除したものを波高伝達率と呼び，防波堤の波高伝達率が高くなると，港内の静穏度が保たれない可能性がある．

また，大きな波力が防波堤に作用すると，防波堤のケーソンが滑動・転倒し，港内の静穏度が保たれない．

本検討において対象とした防波堤は，太平洋に面した波浪条件の厳しい志布志港（若浜地区）防波堤（沖）をモデルとした．

防波堤断面図を図-4，旧外力と設計波の検討による新外力の条件を表-1 に示す．新外力において，従来の改良断面では，上部工を嵩上げし，消波ブロックの所要質量を満足させる必要がある．

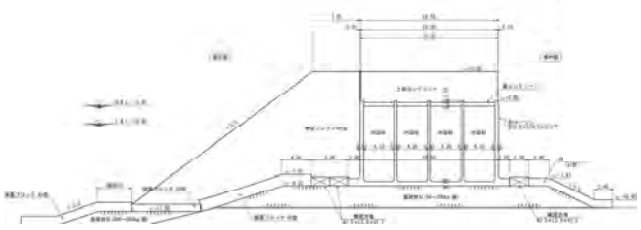


図-4　対象防波堤の断面図（志布志港）

表-1　検討条件と防波堤の諸元（志布志港）

外力条件	旧外力	設計波の検討による新外力
設計潮位	H.W.L.：＋2.40m	H.W.L.：＋2.40m
	L.W.L.：±0.00m	L.W.L.：±0.00m
設計波	有義波高 ：$H_{1/3}$ = 6.7m	有義波高 ：$H_{1/3}$ = 7.9m(HWL)
	最高波高 ：H_D = 11.6m	最高波高 ：H_D = 11.2m(HWL)
	周　　期 ：$T_{1/3}$ = 14.0s	周　　期 ：$T_{1/3}$ = 16.3s
	波　　向 ：SE　β =-1.0°	波　　向 ：SSE　β =0°
必要天端高 必要嵩上厚さ	必要天端 ：6.5m 現況天端 ：7.0m	必要天端 ：7.2m 必要嵩上厚さは、0.2m であるが、施工性より 0.5m の嵩上厚さとする。
消波ブロック質量	33.4t➡テトラ 50t 型	54.7t➡テトラ 64t 型

2.2　護岸

護岸の要求性能は，護岸背後の人命・財産・社会経済活動を被災から守ることであり，そのため、台風時の高潮等により生じる越波（流量）を護岸により抑える必要がある．

越波流量が大きくなると，護岸背後が浸水して大きな被害を及ぼす可能性がある．また、大きな波力が護岸に作用すると，護岸が転倒し，越波流量が抑えられない可能性がある．

本検討において対象とした護岸は，九州管内の高潮被害を受けた海岸護岸のうち，消波ブロック構造となっている大分港海岸護岸（津留地区北護岸）をモデルとした．

護岸の断面図を図-5，設計条件一覧を表-2 に示す．

図-5　対象護岸の断面図（大分港海岸）

表-2　設計条件一覧（大分港海岸）

	設計条件	
設計潮位	H.H.W.L.	D.L.+3.70m
沖波条件	確率年	50 年
	波向	NE
	沖波波高 Ho	4.4m
	沖波周期 To	7.3s
換算沖波	波高 Ho'	3.5m
	周期 To'	7.3s
前面波高	有義波高 H1/3	3.3m

3.　CADMAS-SURFによる解析

3.1　CADMAS-SURF による解析条件の設定

水理模型実験は実際の現象を再現することに適しているが，CADMAS-SURF の方が，短時間，低コストで，多くのモデルを再現できるため，CADMAS-SURF を利用した．

CADMAS-SURF における計算領域および構造物モデルの設定について，志布志港防波堤（沖）を図-6，大分港海岸護岸（津留地区北護岸）を図-7 に示す．

解析では通過波検定により堤前波高が設計における堤前波高（有義波高）を確認したうえで，構造物モデルを配置した解析地形により伝達波高を求めた．

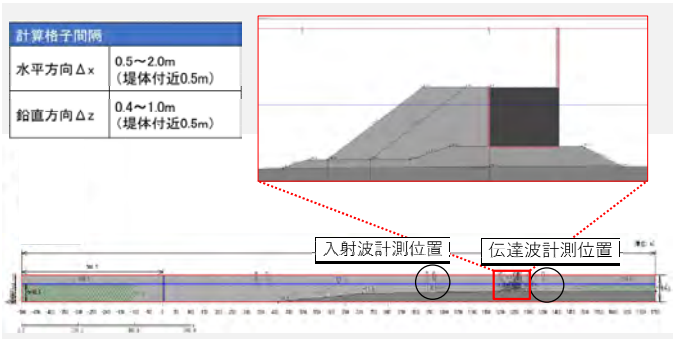


図-6　計算領域図（志布志港）

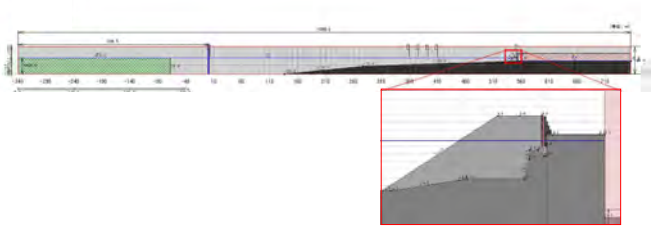


図-7　計算領域図（大分港海岸）

3.2　解析ケースの設定

防波堤の解析ケース一覧を表-3，構造物モデルを図-8に示す．防波堤では「嵩上＋2 層置換断面」を 1 ケース，「現況断面」および「拡幅断面」を 5 ケースの計 6 ケースで実施した．

表-3　解析ケース一覧（防波堤）

解析ケース	構造断面
Case1	嵩上＋2 層置換
Case2-1	現況
Case2-2	2 層拡幅
Case2-3	3 層拡幅
Case2-4	4 層拡幅
Case2-5	6 層拡幅

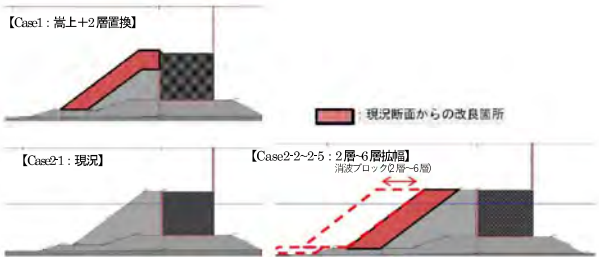


図-8　構造物モデル（防波堤）

護岸の解析ケース一覧を表-4，構造物モデルを図-9 に示す．護岸では「現況断面」および「拡幅断面」の 5 ケースで実施した．

なお，消波ブロックの層厚はその性能を発揮するためには標準的に 2 層以上設置することが推奨されており，消波ブロックの質量や種類が異なる消波ブロックを新たに設置する場合は最低でも 2 層厚が必要となる．

表-4　解析ケース一覧（護岸）

解析ケース	構造断面
Case1-1	現況
Case1-2	2 層拡幅
Case1-3	3 層拡幅
Case1-4	4 層拡幅
Case1-5	6 層拡幅

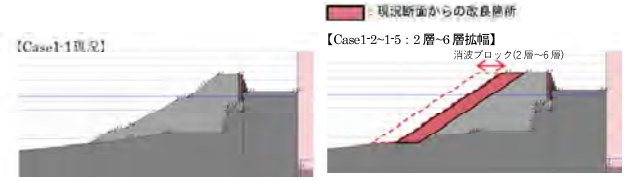


図-9　構造物モデル（護岸）

4.　CADMAS-SURF による解析結果

4.1　防波堤（志布志港防波堤（沖））

4.1.1　波高伝達率

CADMAS-SURF による解析結果として，越流状況を図-10 に，堤体背後の伝達波形の時系列を図-11 に示す．

これらの波形情報を用いて，波高伝達率の解析を実施した．

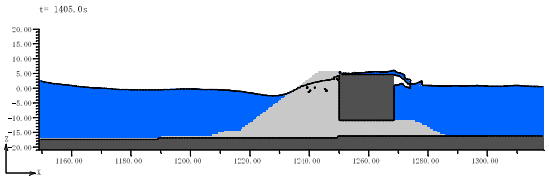


図-10　CADMAS-SURF の越流状況（防波堤）

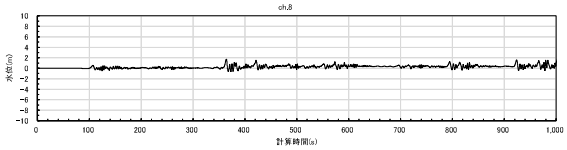


図-11　伝達波時系列波形（防波堤）

波高伝達率の解析結果を図-12 に示す．Case2-2（2 層拡幅）は，Case2-1（現況）から約 40%，従来工法である Case1（嵩上＋2 層置換）と比較しても約 30%波高伝達率が低減することが確認できた．また，消波ブロックの拡幅の層厚に応じて，波高伝達率が徐々に減少する傾向も確認できた．

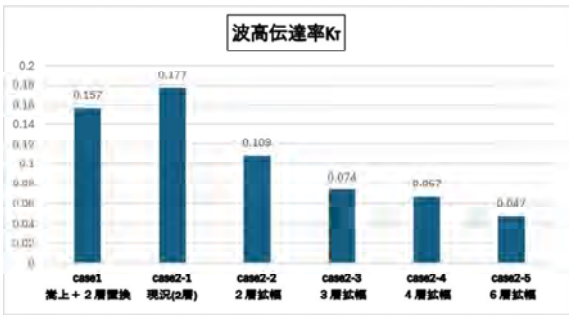


図-12　消波ブロック拡幅時の波高伝達率の変化（防波堤）

4.1.2　波力

波力の解析結果を図-13に示す．Case1（嵩上＋2層置換）は上部工を嵩上げしたことにより，波圧を受ける面積が増え必然的に波力が増大するため比較対象とはならない．したがって，Case2-1（現況）とCase2-2（2層拡幅）を比較すると，約10%の波力低減効果が確認できた．また，消波ブロックの拡幅の層厚に応じて，波力が徐々に減少する傾向も確認できた．これは，消波ブロック内を透過する距離が長いほどより波が打ち消されていることが考えられる．

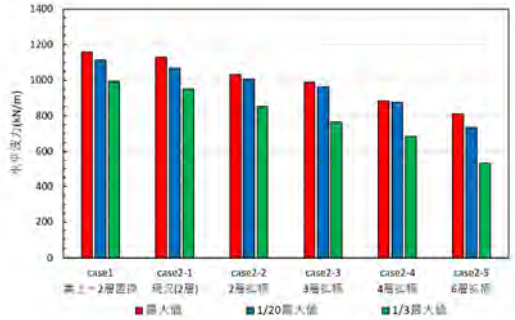


図-13　消波ブロック拡幅時の波力の変化（防波堤）

4.2　護岸（大分港海岸）

CADMAS-SURFによる解析結果として，越流状況を図-14に示す.

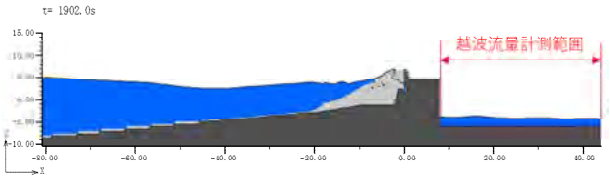


図-14　CADMAS-SURFの越流状況（護岸）

4.2.1　越波流量

各ケースの越波流量を図-15に示す.

越波流量について，Case1-2（2層拡幅）の越波流量がCase1-1（現況）の越波流量よりも約65%も低減することが分かった．また，消波ブロックの拡幅の層厚に応じて，越波流量が徐々に減少する傾向も確認できた.

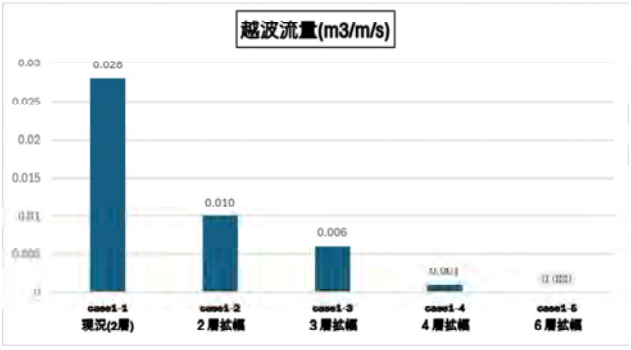


図-15　消波ブロック拡幅時の越波流量の変化（護岸）

4.2.2　波力

各ケースの作用波力を図-16に示す.

波力について，Case1-2（2層拡幅）がCase1-1（現況）よりも減少する結果となった．また，消波ブロックの拡幅の層厚に応じて，波力が徐々に減少する傾向も確認できた.

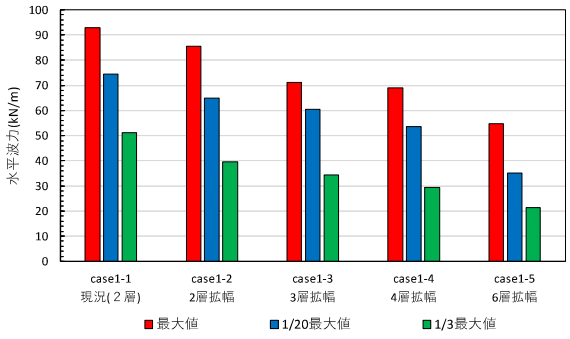


図-16　消波ブロック拡幅時の波力の変化（護岸）

5.　今後の展望

本論文では，消波ブロック拡幅断面の越波低減効果や波力の低減効果について把握することを目的として，CADMAS-SURFを利用して，従来の改良断面（嵩上＋2層置換）と消波ブロック拡幅断面の波高伝達率，越波流量，波力の比較結果を報告した.

消波ブロック拡幅断面の2層拡幅以上であれば，従来の改良断面（嵩上＋2層置換）と同等以上の波高伝達率（越波流量）や波力の低減効果があることが分かった.

また，消波ブロック拡幅断面の拡幅幅に応じて，波高伝達率，越波流量，波力が徐々に減少する傾向も把握できた.

消波ブロック拡幅断面を採用する場合には，水理模型実験においてCADMAS-SURFの結果の妥当性を検証するとともに，図-17のように所要質量を満足する消波ブロックで被覆されていない既設消波ブロックの上部については，直接波が作用し飛散する懸念があるため，水理模型実験において安定性を確認する必要がある．2023年度には，大分港海岸（乙津地区）において既設消波ブロック上部の安定性を確認する水理模型実験を行った．その結果，既設消波ブロックの上部の安定性を確認できたため，設計波の検討による護岸の改良断面は消波ブロック拡幅断面を採用することにしている.

今後は，防波堤や護岸の改良断面の検討において，消波ブロックの質量不足，波高伝達率（越波流量）や波力が増大することにより，施設の要求性能を満足しない場合，CADMAS-SURFと水理模型実験で要求性能を検証し，従来改良断面より施工上での安全性が向上し，かつ工期短縮が可能となる消波ブロック拡幅断面を採用していく予定である.

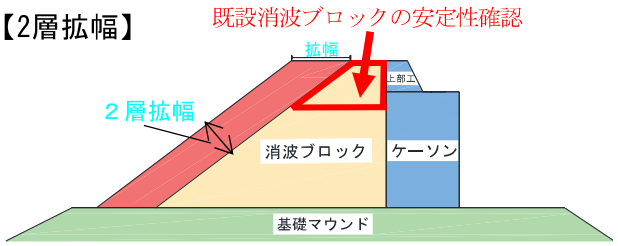


図-17　消波ブロック拡幅断面イメージ

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.

参考文献：

1）峯村ら：合田良実, 岸良安治:不規則波による低天端護岸の越波特性実験, 港湾技研資料, No. 242, 1976.