

令和3年度（第31回）

# 建設コンサルタント業務技術発表会

## 論文集



令和3年10月8日

主催：（一社）建設コンサルタンツ協会中部支部

後援：（公社）土木学会中部支部





## 令和3年度（第31回） 建設コンサルタント業務技術発表会

### 目 次 1 / 4

#### 【発表論文\_第1会場\_道路分野】

|                                                                                           | 頁  |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. 史跡古墳直下を貫く、Ⅱ期線メガネトンネルの施工法検討<br>..... 川瀬貴文 / 大場尚人 / 片桐充理                                 | 1  |
| 2. 制約条件の厳しい斜面崩壊の復旧設計<br>..... 鈴木勇季 / 原田和樹 / 阿部光伸 / 井上公究                                   | 5  |
| 3. バイパス整備後の交通量が減少する現国道における道路空間再編の検討<br>～国道42号尾鷲市区間の検討～<br>..... 山口隼弥 / 藤岡亮文 / 森本清誠 / 倉知健司 | 9  |
| 4. 床版取替工事における既設橋構造をコントロールとした道路線形検討<br>..... 一藁義治 / 加藤久善 / 亀井与志 / 武野志之歩                    | 13 |
| 5. スマートインターチェンジのPA接続部における交通錯綜の低減検討<br>..... 松浦祐紀 / 関口貴志 / 高羽俊光 / 中村哲也                     | 17 |

#### 【発表論文\_第1会場\_構造・土質分野】

|                                                                         | 頁  |
|-------------------------------------------------------------------------|----|
| 6. 火災により大きく変形した端横桁の矯正方法の提案<br>..... 江藤良樹 / 濱中実 / 長谷川隆一 / 栗田稔            | 21 |
| 7. 鋼橋の亀裂に関する調査・解析・対策に関する事例<br>..... 日野雅樹 / 東山泰治 / 鈴木雅博 / 竹内慎            | 25 |
| 8. 締固め工法による周辺地盤変位抑制についての検討・考察<br>..... 下田聡 / 浜昌志 / 中村幸生 / 見並善巳          | 29 |
| 9. CIMモデルを活用し効率的に事業調整等を行った取水堰詳細設計の紹介<br>..... 新谷裕美 / 原田直樹 / 草野友宏 / 鈴江洋太 | 33 |
| 10. 車両衝突に伴い大きく変形した横断歩道橋の架け替え設計について<br>..... 北岡誠 / 横山祐治 / 廣井英智 / 三宅竜之介   | 37 |

## 令和3年度（第31回） 建設コンサルタント業務技術発表会

### 目 次 2 / 4

#### 【発表論文\_第2会場\_河川分野】

|                                                                       | 頁  |
|-----------------------------------------------------------------------|----|
| 1. 天竜川下流の河川特性を踏まえた UAV 活用による河川巡視の高度化<br>.....小川愛子 / 岸田こずえ / 小林浩 / 吉田勢 | 41 |
| 2. 植生の状態変化予測手法を用いた再繁茂抑制断面の設定と効果検証<br>.....鈴木杏奈 / 池羽邦佳 / 野副健司 / 森光弘    | 45 |
| 3. 流水環境における魚類を対象とした環境DNA調査の実施に向けた一考察<br>.....小川大介 / 堀田大貴 / 海津利幸       | 49 |
| 4. 文化財保全の観点に配慮した五六閘門における補修設計<br>.....山田敬一郎 / 遠藤信之 / 三宅世剛 / 稲葉智栄       | 53 |
| 5. 流域の特性を活かした菊川流域治水プロジェクト対策の検討と効果検証<br>.....山本遼哉 / 荒木孝之 / 工藤真 / 船戸総久  | 57 |

#### 【発表論文\_第2会場\_都市計画分野】

|                                                                        | 頁  |
|------------------------------------------------------------------------|----|
| 6. シンボルとして再生を目指す水の広場のリニューアル設計<br>.....朝日翔太 / 木村光 / 田中順己                | 61 |
| 7. PFI 事業による龍北総合運動場整備を核とした都市づくりへの貢献<br>.....松岡史展 / 小林高浩 / 小林毅美 / 神谷真央  | 65 |
| 8. 官民連携によるエリアマネジメントの仕組みづくりと実践について<br>.....國島昌徳                         | 69 |
| 9. 「近鉄四日市駅バスターミナル整備事業」から見る交通結節点整備の多角化<br>.....小川明人 / 栗生啓之 / 増山淳 / 白永千穂 | 73 |
| 10. しずおかMaaS への ETC2.0 データ活用<br>.....高村真一 / 市川貴也 / 六反雅登 / 稲富貴久         | 77 |

## 令和3年度（第31回） 建設コンサルタント業務技術発表会

### 目 次 3 / 4

#### 【掲載論文\_道路分野】

|                                                                             | 頁  |
|-----------------------------------------------------------------------------|----|
| 現道拡幅に伴う通行止め回避を条件とした 擁壁形式検討<br>・・・・・・・・・・・・・・・・・・松原吉男 / 安藤弘章 / 河又健時 / 森山莉奈   | 81 |
| 事業円滑化を図るための ECI 方式を導入した 亀山駅周辺整備事業への参画<br>・・・・・・・・・・・・・・・・・・山崎信吾 / 奥村徹 / 川崎充 | 85 |
| 視覚障害者にやさしい 公的トイレの普及に向けた取り組み<br>・・・・・・・・・・・・・・・・・・大野峻 / 浅井優司                 | 89 |
| ダム建設における大規模工事用道路の計画<br>・・・・・・・・・・・・・・・・・・田中博紀 / 高橋孝征 / 手塚大介                 | 93 |
| 道路事業による希少植物ミゾシダモドキの保全対策<br>・・・・・・・・・・・・・・・・・・小田健一 / 中村達博 / 上村晃司 / 中野晃生      | 97 |

#### 【掲載論文\_構造・土質分野】

|                                                                                 | 頁   |
|---------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 点検支援モニタリング技術の実橋における 活用報告<br>・・・・・・・・・・・・・・・・・・湯川圭悟 / 竹内克幸 / 安藤弘章 / 松原吉男         | 101 |
| CIM 技術を活用した維持管理計画と橋梁設計への反映<br>・・・・・・・・・・・・・・・・・・伊藤諒祐 / 林克弘 / 増田貴充 / 竹田文哉        | 105 |
| 橋脚耐震補強設計における非破壊調査による 地中不可視部分の構造把握<br>・・・・・・・・・・・・・・・・・・小澤貴生 / 内山真人 / 青木幹人 / 安藤誠 | 109 |
| 島田大橋耐震補強設計における UAV 撮影を用いた滲筋調査及び施工計画<br>・・・・・・・・・・・・・・・・・・長谷川正 / 三宅竜之介           | 113 |
| AI を利用した赤外線調査システムの適用性検証および有効活用事例<br>・・・・・・・・・・・・・・・・・・山本滉太 / 萩原明伯 / 美藤友郎 / 下山一夫 | 117 |

## 令和3年度（第31回） 建設コンサルタント業務技術発表会

### 目 次 4 / 4

#### 【掲載論文\_河川分野】

|                                                                           | 頁   |
|---------------------------------------------------------------------------|-----|
| 汽水化による植生管理に関する取り組み<br>・・・・・・・・・・・・・・・・小川智 / 栗原健 / 林勇次 / 清水幹輝              | 121 |
| 新設樋門における管理・操作の省力化<br>・・・・・・・・・・・・・・・・中林功貴 / 加藤真雄 / 山田周治 / 大浦健斗            | 125 |
| コアジサシの営巣に配慮した河道掘削の効果及び保全対策の検討<br>・・・・・・・・・・・・・・・・亀村聡 / 賀川真樹 / 山本晃一 / 賀川泰棋 | 129 |
| 動的解析を用いた海岸樋門の耐震照査方法<br>・・・・・・・・・・・・・・・・伊藤恭司 / 堀部晃宏 / 中島章浩 / 坂本雄一郎         | 133 |
| 大規模出水後に創出された 三峰川の河川環境の変化<br>・・・・・・・・・・・・・・・・田中克幸 / 阿部直己 / 中村達博 / 荒木隆      | 137 |

#### 【掲載論文\_都市計画分野】

|                                                                                           | 頁   |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 異常洪水時における都市及びその周辺地域に対するダム放流警報設備による情報提供に関する検討<br>・・・・・・・・・・・・・・・・釘本晃平 / 細貝秋一 / 赤澤哲也 / 川合伸宜 | 141 |

令和３年度（第３１回） 建設コンサルタント業務技術発表会

論 文 集

# 史跡古墳直下を貫く， Ⅱ期線メガネトンネルの施工法検討

かわせたかふみ おおばなおと かたぎりみつよし  
○川瀬貴文<sup>1</sup>・大場尚人<sup>1</sup>・片桐充理<sup>1</sup>

<sup>1</sup>大日コンサルタント（株）本社（〒500-8384 岐阜県岐阜市藪田南3-1-21）

舞鶴若狭自動車道の4車線化事業において，史跡古墳の直下を最大土被り17mで貫く，メガネトンネル（延長125m）のⅡ期線の詳細設計である．既設トンネルは，三本導坑方式を前提として中央支柱が施工されていたが，FEM解析の結果，Ⅱ期線掘削時に中央支柱上方の二次覆工にて応力超過が生じることが確認された．そこで，Ⅱ期線トンネルは超近接方式かつ早期閉合したメガネトンネル構造に見直すことで，中央支柱の変位抑制と周辺地山のゆるみ低減を図った．

また，施工を終えて，本設計の妥当性について実証確認を行うとともに，工事での変更点を把握した上で，今後のトンネル設計に向けた設計の改善点について検証を行った．

**Key Words**：メガネトンネル，三本導坑方式，中央支柱，超近接方式，早期閉合，補助工法，4車線化事業，史跡古墳，低土被り，FEM解析，情報化施工

## 1. はじめに

本業務は，舞鶴若狭自動車道 福知山～綾部IC間の4車線化事業において，私市円山古墳の直下を最大土被り17mで貫く，延長125mのⅡ期線メガネトンネルの詳細設計業務である．

設計対象の私市円山トンネルは，平成3年にⅠ期線が供用を開始しており，Ⅰ期線トンネルには，三本導坑方式のメガネトンネル構造を前提とした中央支柱が施工済みである．

Ⅱ期線トンネルは，平成11年度に詳細設計が実施されたが，設計完了後に当該路線の事業化が凍結された．本設計は，平成27年度に実施したものであり，既往詳細設計から16年が経過していた．メガネトンネルは，施工実績が増えるにつれて工期や経済性に優れる施工法が確立されるなど，知見とともに技術発展を遂げており，本設計では既往設計に対して，最新のトンネル施工方法や補助工法を基に計画の見直しを行った．また，Ⅰ期線トンネルの維持管理記録に基づく健全度を踏まえたⅡ期線掘削影響を二次元FEM解析により把握した上で，最適なトンネル構造を検討した．

なお，本設計では，平成24年度に発生した笹子トンネルの天井板崩落事故の衝撃が残る中，トンネル関連の事故は社会的に許されない世情を踏まえて，供用路線の安全確保及び史跡古墳の保全を最優先課題として設計を行った．

施工においては，学識経験者などからなる「私市円山トンネル施工検討委員会（全5回）」を経て，2020年10月に竣工している．本論では，詳細設計での課題及び解決策に加えて，施工を経て得られた知見として，補助工法や計測工の設計方針等に関する検証結果についても論述する．



写真-1 私市円山トンネルⅠ・Ⅱ期線と古墳の位置関係<sup>1)</sup>

## 2. 既往詳細設計

Ⅱ期線トンネルは，平成11年度に詳細設計が実施され，その後に事業が凍結して16年が経過していた．既往設計では，「三本導坑メガネトンネル構造（図-1）」を基本とし，両坑口部と古墳直下の3断面に

ついて、Ⅱ期線掘削時におけるⅠ期線トンネルの変位、覆工発生応力、中央支柱の挙動、Ⅱ期線の支保応力、地山の安全率等をFEM解析にて算出していた。FEM解析の結果、Ⅰ期線覆工コンクリート及び中央支柱部において引張応力が一部許容応力度を上回るが、終局限界応力を下回っていることから、Ⅰ期線トンネルへの影響はないと判断されていた。

なお、既往設計においては、FEM解析では補助工法を見込んでいないが、定性的判断からⅡ期線トンネルの施工には補助工法が必要として、剛性の高いφ267.4mmの鋼管をトンネルアーチ部に施工するパイプルーフが両坑口部に計画されていた。

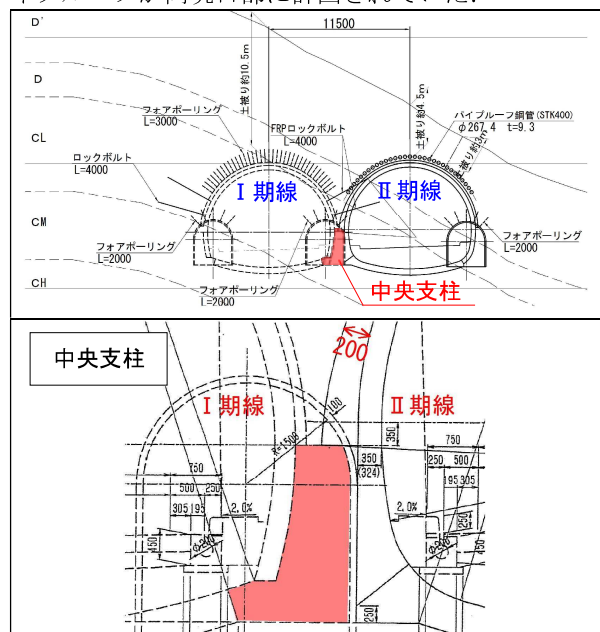


図-1 三本導坑方式のメガネトンネル構造

### 3. Ⅱ期線トンネルの掘削影響検証結果と課題

本業務では、Ⅰ期線トンネル掘削時の変位計測結果から地山物性値（変形係数）をFEM逆解析により求めた上で、既設トンネルに対するⅡ期線トンネルの掘削影響を検証した。FEM解析の結果、既設トンネル中央支柱上方の二次覆工では、Ⅱ期線掘削時にパイプルーフを施工しても応力超過が発生することを確認した。

そのため、既設トンネル二次覆工の応力超過の原因を究明した上で、いかに既設トンネル二次覆工への応力集中を解消させるかが課題となった。

### 4. トンネル構造・施工法の変更

#### (1) 既設トンネル覆工への応力集中の解消法の提案 a) 超近接方式

既設トンネル二次覆工の応力超過の原因究明のため、中央支柱の変位方向について精査した。その結果、中央支柱の変位がⅡ期線側に沈下・傾斜していたことから（図-2 左）、中央支柱にⅡ期線の鋼製支保工を載荷しないことが効果的と考えた。

そこで、トンネル両坑口明かり部の土工区間において本線シフトを検討し、トンネル区間の道路中心線を史跡指定境界に干渉しない範囲で50cmシフトさせることで、中央支柱とⅡ期線本体を分離する「超近接メガネトンネル構造（図-3）」へと変更した。

#### b) 早期閉合

次に、既設トンネル二次覆工の応力超過の原因究明のため、中央支柱上部のゆるみ安全率について精査した。その結果、周辺地山は破壊領域に達していることが確認された（図-2 右）。

そこで、トンネル掘削による応力開放を最小化し、地山のゆるみを抑制することが効果的と考え、Ⅱ期線掘削後のトンネル断面の早期閉合を計画した。

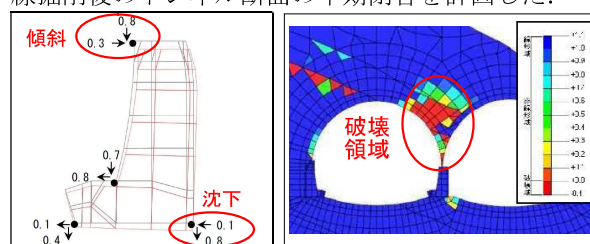


図-2 中央支柱の変位(左)とゆるみ安全率コンタ(右)

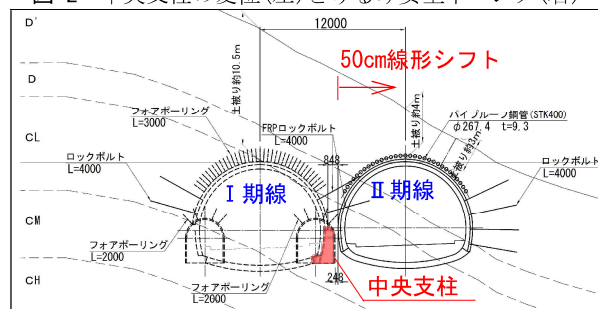


図-3 超近接方式のメガネトンネル構造

#### (2) 超近接早期閉合掘削方式の効果検証

既往設計の三本導坑方式、及び今回新たに提案した早期閉合を併用した超近接方式（以下、「超近接方式」と略す）について、FEM解析により低土被り部におけるⅡ期線掘削影響解析を実施した。

FEM解析の結果（表-1）、三本導坑方式ではパイプルーフと併用して中央支柱上部を改良しても、Ⅰ期線の覆工応力は基準値を上回った。

一方、超近接方式では、パイプルーフを施工することでⅠ期線の覆工応力は基準値を下回った。さらに、補助工法の剛性をランクダウンさせ、施工性や経済性に優れる長尺鋼管先受け工（φ114.3）（以下、「AGF」と略す）について追加検討を行った結果、AGFを上半120°範囲に打設・改良することで、Ⅰ期線覆工の応力超過を解消することができた。

表-1 FEM解析結果（Ⅱ期線上半掘削完了時）

| 近接方式   | 補助工法          | Ⅰ期線覆工最大引張応力(kN/m <sup>2</sup> ) |
|--------|---------------|---------------------------------|
| 三本導坑方式 | パイプルーフ        | 313.2 > 225 ×                   |
|        | パイプルーフ + 地山改良 | 250.1 > 225 ×                   |
| 超近接方式  | パイプルーフ        | 173.5 < 225 ○                   |
|        | AGF           | 180.0 < 225 ○                   |



### (3) 施工時のリスク

FEM解析では、地山の亀裂状況や湧水の有無による切羽での崩落・抜け落ちは考慮されていない点に留意する必要がある。近傍のボーリングコアでは、土砂状部分も見られたことから、AGF注入材の改良効果が十分に得られない場合は、鏡面の崩落やAGF鋼管の間からの抜け落ちが発生し、史跡指定範囲への影響が及ぶ可能性が考えられる。

また、中央支柱上部の地山はⅠ期線トンネル掘削時にゆるみが発生しており、亀裂が発達し粘着力が期待できない地山の可能性が考えられる。その場合には、Ⅱ期線掘削時にピラー上部が崩壊し、Ⅰ期線トンネル構造への影響が懸念される。加えて、Ⅱ期線は山裾側を施工するため、Ⅰ期線よりも偏土圧の影響を受けることが懸念される。

そのため、Ⅱ期線トンネル低土被り部の施工では、切羽安定、天端抜け落ち防止が重要課題と考えた。先受け工及び地山改良工の補助工法は、専用機械が不要かつ無拡張での施工が可能な、鋼管剛性の高い「AGF-LL-Fp工法（φ139.8mm、L=12.5m、ウレタン系注入材）」の2段配置（5m間隔）を計画した。

なお、トンネル中央部については、Ⅰ期線の施工実績を基に、充填式フォアポーリングを選定した。

## 5. 施工により得られた知見

### (1) 追加地質調査結果

施工においては、設計にて推定した地質状況が実際と異なる場合、切羽崩落やトンネルの変状等の発生が懸念されることから、新たに水平・鉛直ボーリング調査が実施された。

追加地質調査の結果、地層線（DH級が厚く分布）及び地山物性値等が見直された（図-4）。また、地山分布に応じて補助工法区間を変更した上で、地山物性値を見直したFEM解析を行い、補助工法及び施工方法について修正設計が行われた。

### (2) 補助工法の見直し

追加地質調査結果を反映したFEM解析の結果、補助工法は図-6に示す通り変更された。

低土被り部について、設計業務では近傍のボーリ

ングコアが土砂状であったことから（図-5 左）、切羽崩落や地山の抜け落ち防止を目的に剛性の高い補助工法を選定した。しかし、追加地質調査の結果、コアの状態は岩構造を呈するなど比較的安定した状態が確認されたため（図-5 右）、施工では追加ボーリング孔を利用したリアルタイム計測等を実施することを前提に、「AGF-LL-Fp工法」までの補助工法は必要ないものと判断された。

【低土被り部】設計：AGF-LL 2段配置（5m間隔）

修正：AGF 2段配置（5m間隔）

【中央部】設計：充填式フォアポーリング

修正：AGF 1段配置（9m間隔）

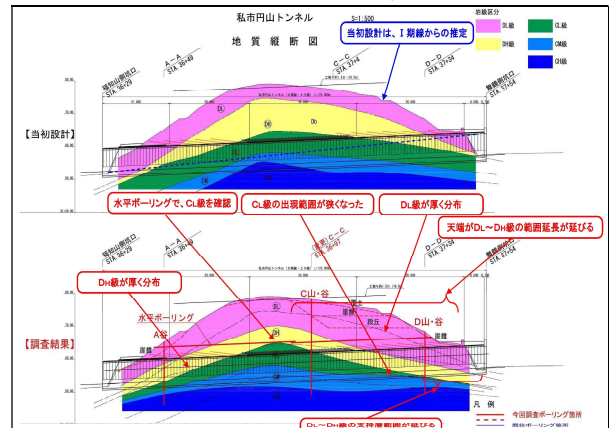


図-4 追加調査結果に基づく地質縦断面図の見直し<sup>2)</sup>

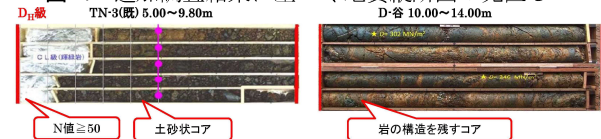


図-5 コア状態（左：近傍コア，右：追加調査コア）<sup>2)</sup>

### (3) ICT等のDX最新技術を活用した情報化施工

施工では、ボーリング孔を利用して水平傾斜計や多段式傾斜計を設置し、Ⅱ期線トンネル掘削時の地中変位をリアルタイムに計測管理された。水平傾斜計は、切羽前方の先行変位量から切羽通過後の全沈下量を予測し、施工時の注意レベルを設定していた。

また、掘削終点側の斜面に地表面伸縮計を設置し、Ⅱ期線トンネル掘削に伴う偏圧や地山のゆるみによる斜面の伸縮が自動計測にて管理された（図-7）。

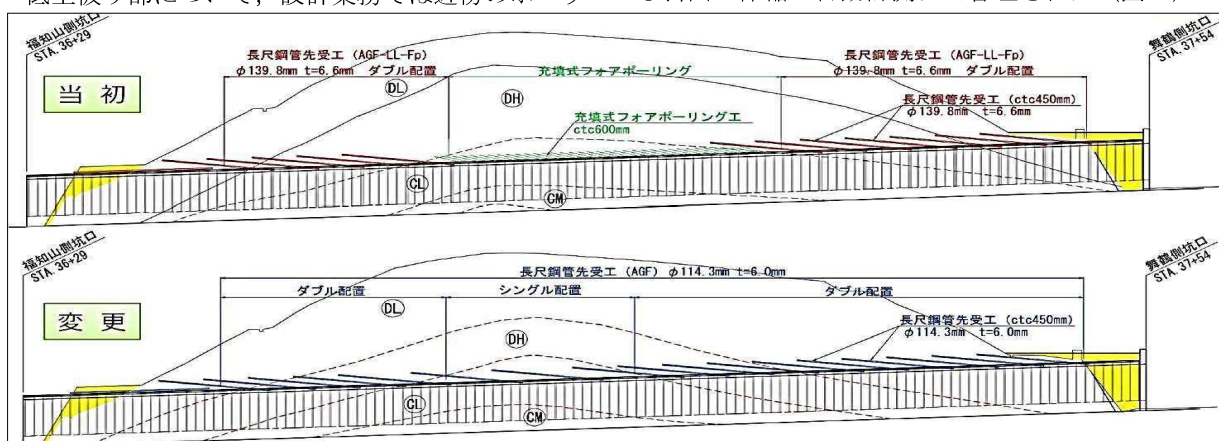


図-6 施工時の補助工法の見直し<sup>2)</sup>



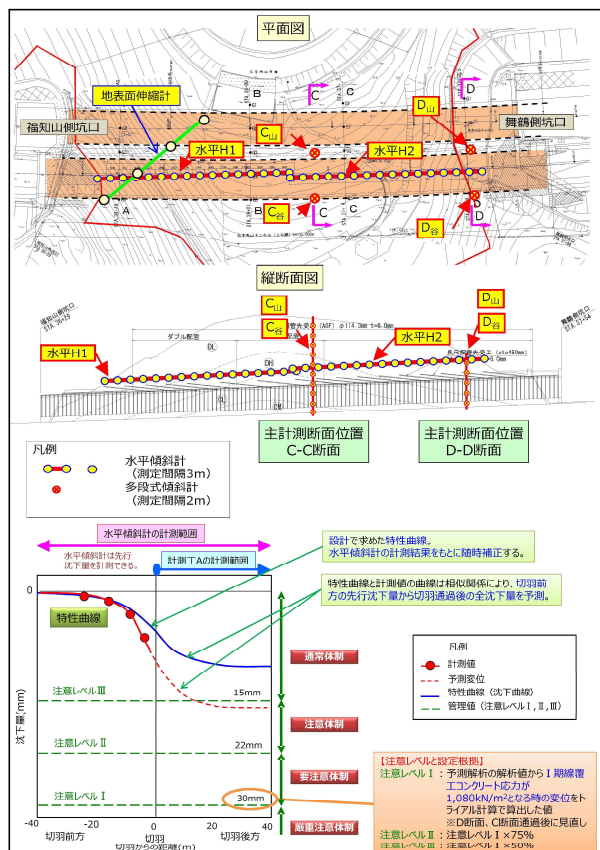


図-7 ICT等の最新技術を活用した情報化施工<sup>2)</sup>

#### (4) 施工結果より分かったこと

##### a) トンネル構造・施工法について

既設覆工の応力計測値は、一部でFEMによる解析値を僅かに上回ったが、許容値以下に収められた。このことより、FEM解析が妥当であること、採用したトンネル構造や施工にて採用された補助工法が適正であったことが実証された。

##### b) 計測工について

地山変動を確実に把握するためには、ボーリング孔を用いた地中変位観測等による動態観測技術を活用し、切羽前方の先行変位量から切羽通過後の全沈下量を予測する方法がある。

今後、超近接方式をはじめ施工難易度の高いトンネル設計では、ICT等のDX最新技術を活用した情報化施工を前提とした施工計画を立案する余地がある。

##### c) 補助工法について

設計業務では、重要課題である①Ⅰ期線覆工への影響回避、②古墳内での地表面への影響回避等を確実に遵守するため、地質調査結果の喪失などを含む限られた地山情報の中で、地山の不確定要素によるリスクを排除することを目的として、安全サイドの「AGF-LL-Fp工法」を提案した。

しかしながら、施工段階では、切羽全面を通して1m毎に正確な地質状況や、その挙動を把握することが可能となる。これにより、施工法や補助工法は、ある程度のリスクは許容し、地山条件が想定以上に悪化した場合には、補助工法の大幅な段取り替えを

必要としない、数量で調整可能な対処方法を計測の高度化と併せて明示するなど、過度な安全サイドへ偏重した考え方から一歩前進させた設計とする。

## 6. おわりに

トンネル構造及び施工法を、パイプルーフを併用した三本導坑方式から、AGFを併用した超近接早期閉合掘削方式に見直してFEM解析を実施した結果、既設トンネル二次覆工の応力は許容値の80%に低減できる解析結果を得た。

実際の工事においては、既設覆工の応力計測値は一部で解析値を上回ったものの許容値以下に収められたことから、超近接方式及び早期閉合のメガネトンネル構造における中央支柱の変位抑制と周辺地山のゆるみ低減効果を実証できた。

また、施工実績より、ICT等のDX最新技術を活用した情報化施工と合わせて、地質条件が変化した場合に大幅な段取り替えを必要としない対策方法を示すことで、実際の地山状況に応じた設計を提案する余地があることを学んだ。

### 【施工状況の見学】

私市円山トンネルの施工時に現場見学を申し入れ、青木あすなる建設株式会社の協力の下、施工状況や切羽状態について確認した。施工では、計測工以外にもICT等の最新技術を取り入れて安全管理や品質管理が行われており、施工計画を立案する上で今後のトンネル設計へのフィードバックの余地を学んだ。



写真-2 施工状況の見学

謝辞：当論文の執筆に際して、施工状況の見学や、施工資料を提供頂いた、青木あすなる建設株式会社の関係者の皆様に感謝する。

### 参考文献

- 1) 片山一弘, 佐藤壮一郎, 境浩司, 高山慎介：Ⅱ期線トンネルを早期断面閉合により離隔85cmで掘削－舞鶴若狭自動車道 私市円山トンネル、トンネルと地下、第51巻9号, pp. 15-26, 2020.9.
- 2) 西日本高速道路株式会社 関西支社 福知山高速事務所, 青木あすなる建設株式会社：私市円山トンネル施工検討業務報告書, 2020.2.

# 制約条件の厳しい斜面崩壊の復旧設計

すずむらゆうき はらだかずき あべみつのぶ いのうえなおた  
○鈴村勇季<sup>1</sup>・原田和樹<sup>1</sup>・阿部光伸<sup>1</sup>・井上公究<sup>1</sup>

<sup>1</sup>玉野総合コンサルタント株式会社 道路橋梁部（〒461-0005 愛知県名古屋市東区東桜二丁目17番14号）

本業務では、令和元年10月（2019年）に関東甲信、東北地方を中心に広い範囲で記録的な大雨をもたらした台風19号により発生した橋台周りの斜面崩壊に対する斜面復旧対策設計を実施した。斜面復旧設計にあたっては、既存施設及び応急復旧対策等を考慮しつつ、暫定1車線供用中の狭小な施工ヤードの中、最適な工法を比較検討の上選定した。その結果、完成2車線の供用が崩壊から1年以内に可能となり、早期供用開始が可能となったことで地域に大きな貢献ができたと考える。

**Key Words**：台風19号，斜面崩壊，鋼管土留め擁壁，ジャイロプレス工法

## 1. はじめに

近年多発する自然災害によって、土木構造物が甚大な被害を受けている。わが国では兵庫県南部地震（平成7年）、東日本大震災（平成23年）など大規模地震による災害が多く発生しているが、最近ではゲリラ豪雨や大型台風による災害が増加傾向にある。各災害後には早期復旧に向けて行政と民間が連携し、復旧対応に取り組んだ事例は多数存在する。

本稿では大型台風によって発生した山間部に架かる橋梁の橋台付近での斜面崩壊に対する被災メカニズムの想定とその対策設計の取り組みを報告する。

## 2. 被災状況

### (1) 現地概要

対象路線は、トンネルや橋梁等で山脈を通過する主要幹線道路であり、通勤や緊急輸送路として重要な路線である。そのため、斜面崩壊による現道の通行止めに対して、地元住民から早期復旧が望まれた。被災箇所は山間部の急峻な地形であり、橋梁とトンネル（約4km）を接続する土工部に位置し、沿道には電気室が位置する。現地概要平面図を図-1に示す。

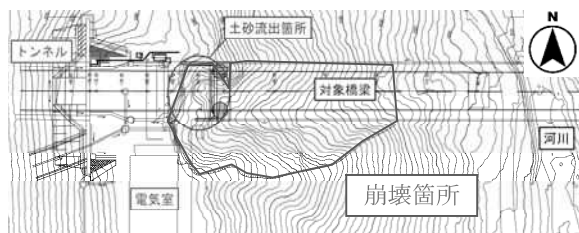


図-1 現地概要平面図

### (2) 災害概要

令和元年10月（2019年）に広い範囲で記録的な大雨をもたらした台風19号の大雨により、斜面上の地下水が増加したことで斜面崩壊が発生した。斜面崩壊は、橋台前面及び電気室周辺の土砂が崩壊することで橋台背面の本線まで崩壊が発生したものである。橋台背面の崩壊は、橋台から約10mの範囲に達しており、斜面崩壊に伴い、橋台の深礎基礎が大きく露呈し、斜面からの湧水も確認された。



写真-1 災害状況（上：全景 下：崩壊部近景）

### (3) 被災メカニズムの想定

対策工法の検討に際し、降雨状況の整理及び地質調査を実施し、斜面崩壊の要因を検討した。

台風19号による時間最大雨量は16mm/hr、連続雨量は140mmを記録した。また、その1週間後には最大時間雨量12mm/hr、連続雨量65mmの降雨が発生し、翌日時点で累計総雨量で263mmが確認されている。

地質調査結果では、橋台背面の地盤は表層土砂（崖錐層：Ta）で形成され、崖錐堆積物の下に粘板岩（S1）、チャート（Ch）と続く流れ盤であることが確認できた。また、崩壊部の崖錐堆積物の層が湿潤状態であり湧水が認められた。

以上より、崩壊要因を以下のように分析した。

- 1) 豪雨の影響により、雨水が地山に浸透。
- 2) 大量の湧水がトンネルを通じて抗口に集中。
- 3) 地形地質の特徴から、上記2)の大量の湧水に加えて地山湧水も抗口に集中。
- 4) 透水性の低い粘板岩の上に地下水が溜まり、透水性の高い表層土砂の水位が上昇。
- 5) 表層土砂部の流出（崩壊）。

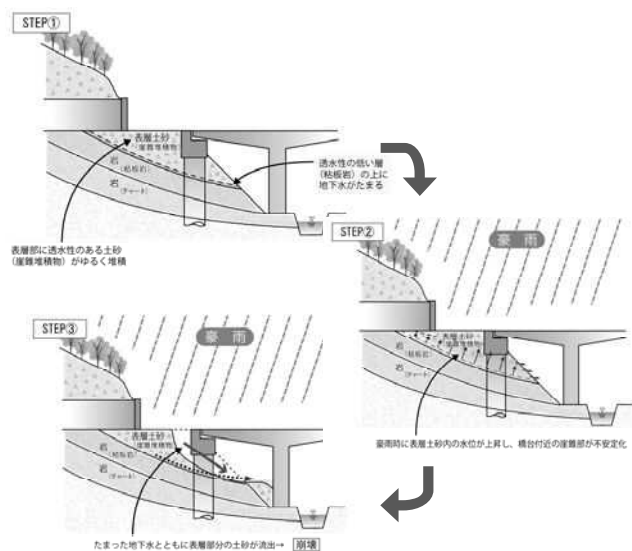


図-2 斜面崩壊のメカニズム（イメージ）

### (4) 応急対策対応

現道交通の早期復旧のため、表-1に示す応急復旧対策が実施された。崩壊斜面の地下水位を低下させる目的で、水抜き横ボーリングを実施するほか、斜面の保護を目的とした鉄筋挿入工を計画した。

表-1 応急対策工一覧

|               |                |
|---------------|----------------|
| ■崩壊拡大・進行の防止   |                |
| ①水抜き横ボーリング    | 地下水の排除         |
| ②モルタル吹付＋鉄筋挿入工 | 崩壊法面の保護        |
| ③親杭横矢板工       | 坑口路面の保護・土留工    |
| ■橋台の安全性の確保    |                |
| ④控え杭工         | 深礎杭の地震時(L1)の担保 |
| ■通行機能の確保      |                |
| ⑤仮橋工          | 崩壊部を跨ぐ交通機能の確保  |
| ■排水機能の確保      |                |
| ⑥仮排水工         | 崩壊した流末の仮復旧     |

## 3. 斜面復旧計画

### (1) 全体復旧計画の概要

本事業における復旧計画の全体概要について表-2に示す。

表-2 復旧工事一覧

|            |                  |   |
|------------|------------------|---|
| ■崩壊斜面の復旧   |                  |   |
| ①鋼管土留め擁壁   | 電気室前の崩壊斜面復旧      | ○ |
| ②CAB-WALL工 | 橋台前（深礎前面）の崩壊斜面復旧 |   |
| ③吹付法枠工     | CAB-WALL工前面の洗堀防止 |   |
| ■橋台の復旧     |                  |   |
| ④橋台補強工     | 増杭深礎とフーチング拡幅     |   |
| ■排水機能の強化   |                  |   |
| ⑤排水施設整備    | 当初より排水経路を分散して復旧  |   |

※○印：本稿記載内容

### (2) 斜面復旧対策工における課題

斜面復旧計画にあたって、以下に示す3点が課題となった。

#### 課題①：地山湧水対策

今回の災害は、降雨により斜面内に地下水が滞水したことが要因である。そのため、斜面復旧対策にあたっては、土留め背面に粒径の大きい割栗石を設ける等で地山湧水を速やかに排水できる構造とする必要がある。

#### 課題②：近接する施設への影響回避

設計対象箇所付近には、地上に電気室が近接し、斜面内に応急復旧対策時に施工した水抜き横ボーリング工が設けられている。これらに影響を与えない設計が必要であった。

#### 課題③：急峻で狭隘な地形で早期施工が必要

本路線は前述したように山脈を挟んだ地域を結ぶ主要ルートであり、早期復旧が求められた。

また、工事中の通行止めが不可であり、当現場も急峻な地形であるため、施工ヤードが現道1車線とトンネル前面の平場程度であった。

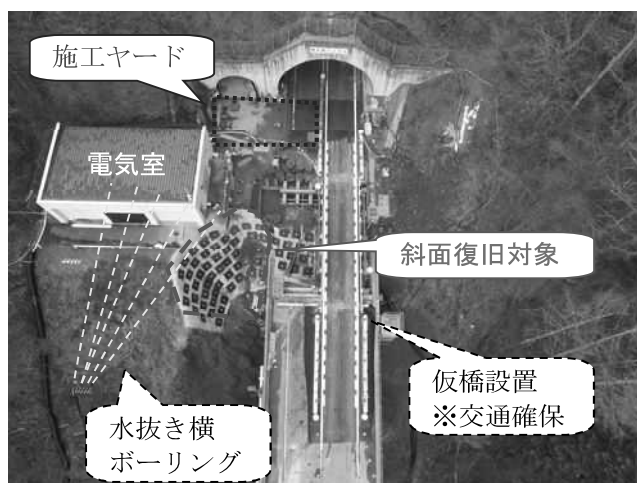


写真-2 応急対策状況

## (2) 工法選定

復旧工法選定では、前述の課題に対応可能な工法であった「鋼管土留め擁壁（ジャイロプレス工法）」を採用した。

本工法は、鋼管杭を自立壁として設置するものであり、先行圧入した鋼管杭の頭部を反力台にしながら、圧入後と移動を繰り返す工法である。

表-3 主な検討工法

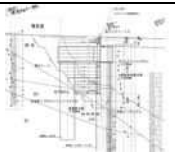
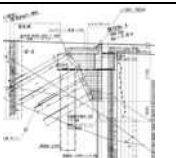
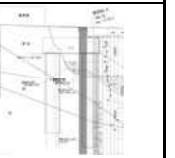
|      | 第1案<br>補強土壁                                                                       | 第2案<br>アンカー+EPS                                                                   | 第3案<br>鋼管土留                                                                       |
|------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| 断面図  |  |  |  |
| 湧水対策 | ▲<br>透水層設置不可                                                                      | ▲<br>透水層設置不可                                                                      | ○<br>背面材に透水層を設置可能                                                                 |
| 施設影響 | ▲<br>掘削が電気室に影響                                                                    | ▲<br>アンカーが横ボリングに影響                                                                | ○<br>自立壁であり、影響無し                                                                  |
| 現道確保 | ▲<br>進入路、作業構台が必要                                                                  | ▲<br>進入路、作業構台が必要                                                                  | ○<br>現地地形上で施工可能                                                                   |
| 評価   | 全ての課題に対応可能な第3案を採用                                                                 |                                                                                   |                                                                                   |



写真-3 ジャイロプレス工法施工状況

## (3) 整備状況に応じた構造計算

鋼管土留め前面は、現況斜面上での鋼管土留め擁壁の高低差は約15.5m程度である。しかし、鋼管土留め前面は、橋台補強工施工後に盛土される計画であり、前面盛土後の高低差は約8m程度となる。そこで、構造計算にあたっては各盛土状況を踏まえた設定を行った。（図-3参照）

1次施工時は、電気室前の斜面復旧後から橋梁補強工、橋台前面の斜面補強工施工までの短期間（約半年程度）であるため、仮設構造物工指針に基づいた変位、応力検討とし、常時のみの照査を行った。

前面盛土後の完成時は、永久構造物としての変位、応力検討を行い、常時と地震時（L1地震動）に対する照査を行った。

表-4 盛土状態における許容値対比

| 項目      | 1次施工時                 | 完成時                   |                                  |
|---------|-----------------------|-----------------------|----------------------------------|
| 解析手法    | 慣用法                   | 弾塑性法                  |                                  |
| 壁高      | 15.5m<br>斜面を考慮        | 8.2m                  |                                  |
| 荷重条件    | 常時                    | 常時                    | 地震時(L1)                          |
| 許容頭部変位  | 突出長の3%                | 突出長の1%                | 突出長の1.5%                         |
| 許容地盤面変位 | ——                    | 15mm                  | 15mm                             |
| 許容応力度   | 280kN/mm <sup>2</sup> | 185kN/mm <sup>2</sup> | 278kN/mm <sup>2</sup><br>常時の1.5倍 |

## (4) 地山湧水への対策

地山湧水の対策（排水処理）として、鋼管土留め間の山形鋼への水抜き穴に加えて、被災時に地山からの湧水が確認された高さ3m程度の範囲を砕石による埋戻しとした。それより上部の埋戻しは、流用土を基本とし、鋼管土留め背面部に単粒度砕石を設けて水抜き穴への導水を円滑にするよう配慮した。

（図-3参照）

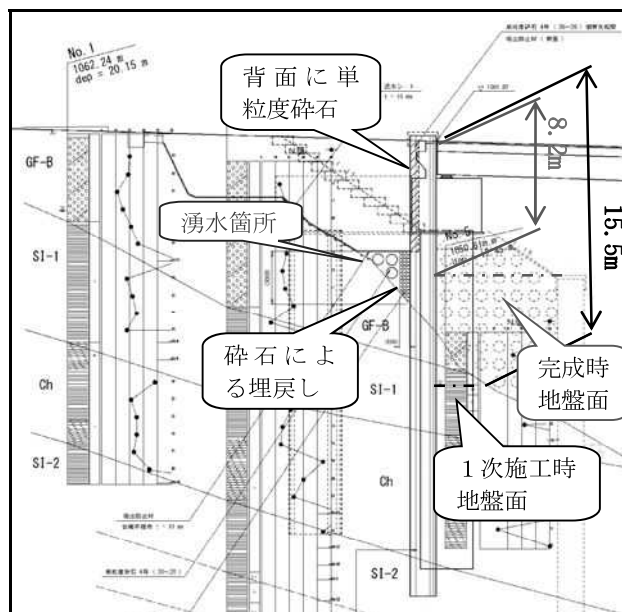


図-3 計画断面図

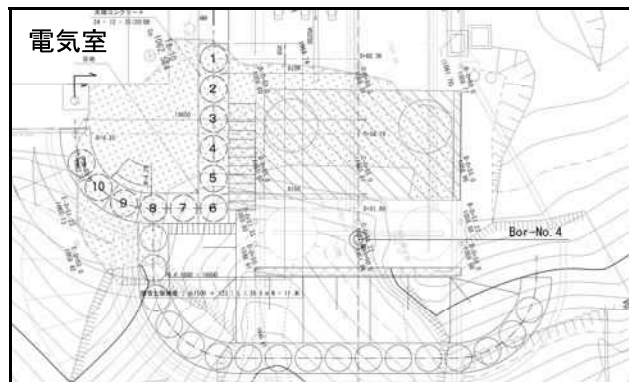


図-4 計画平面図

## 4. 施工計画

施工ヤードとして活用できる箇所は、トンネルと橋梁の間の限られたスペースであったが、ジャイロパイラー設置等のために90tクローラークレーン級の重機が必要であった。そこで、限られたスペースでのクレーンの組立、自走、作業半径を緻密に整理して施工計画を立案した。計画概要を表-5に示す。鋼管杭の施工は、打設した鋼管杭を反力として自走することで、小スペースにおける施工が可能であるジャイロパイラーを用いる施工計画を立案した。

表-5 主な施工ステップ

| No.   | 内 容                                                                                |
|-------|------------------------------------------------------------------------------------|
| STEP1 | ・ 施工ヤード整備、クレーン設置<br>※大型土のうにより極力ヤードを確保                                              |
| STEP2 | ・ 反力矢板及び反力架台、ジャイロパイラー配置                                                            |
| STEP3 | ・ 鋼管土留め圧入開始（圧入⇒移動⇒圧入）<br>・ 鋼管は90tクレーンにて吊り上げ<br>※コーナー部は次ステップでジャイロパイラーの反力とするために2本を設置 |
| STEP4 | ・ コーナー部でジャイロパイラー解体・組立<br>※STEP1で整備した施工ヤードを使用してクレーンを可能な限り前出し                        |
| STEP5 | ・ 鋼管土留め圧入再開（圧入⇒移動⇒圧入）<br>・ 鋼管は90tクレーンにて吊り上げ                                        |
| STEP6 | ・ ジャイロパイラー解体、背面を盛土                                                                 |

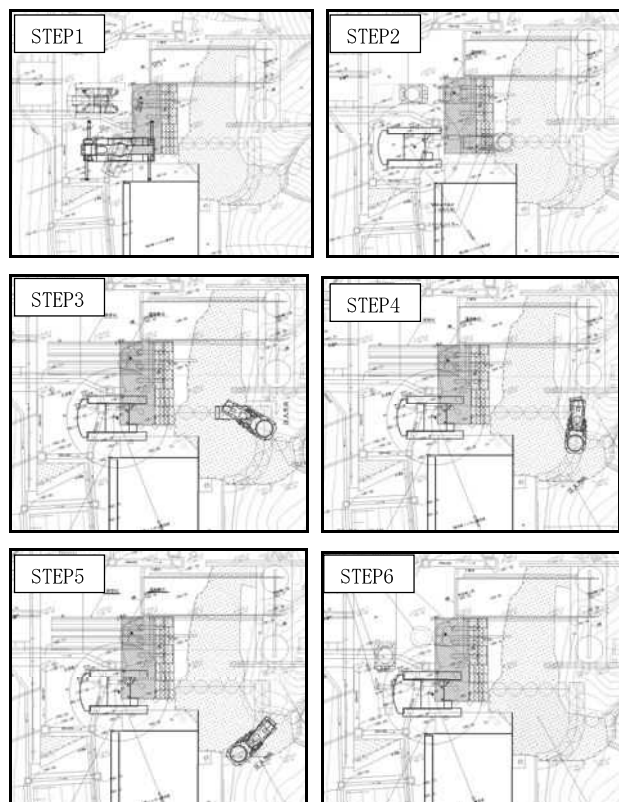


図-5 施工ステップ概要図

## 5. 業務成果及び今後の展望

### (1)業務成果

工法選定及び施工計画において、施工条件の厳しい当現場での最適な工法を提案することができ、早期の工事完了に貢献することができた。

### (2)施工時に発生した課題点

地盤が想定した以上に強硬であり、杭の先端ビットが摩耗し、その対応のために施工期間、工費が増となる事象が発生した。また、削孔するために多量の汚泥水の処理と表土吸出しが発生する等の課題も発生した。本業務では早急な設計が求められたため、設計上必要となる最小限の地質調査を実施したが、今後は地形地質条件が複雑な山間部などではよりきめ細やかな地質調査の提案等が必要であることを認識した。



写真-4 ビットの摩耗（左：摩耗時、右：通常）



写真-5 削孔水の影響（左：濁水、右：吸出し）

### (3)おわりに

今後も発生すると予想される自然災害に対して柔軟に対応し、行政とともにインフラ整備に貢献していきたいと考える。

### 参考資料

- 1) 社団法人 日本道路協会：道路土工要綱，2009.
- 2) 社団法人 日本道路協会：道路土工—擁壁工指針，2012.
- 3) 社団法人 日本道路協会：道路土工—仮設構造物工指針，1999.
- 4) 国際圧入学会：ジャイロプレス（回転切削圧入）工法による鋼管土留め擁壁設計・施工指針，2014
- 5) 国道交通省 中部地方整備局：道路設計要領—設計編一，2014.



# バイパス整備後の交通量が減少する 現国道における道路空間の再編検討 ～国道42号尾鷲市区間の検討～

○山口隼弥<sup>1</sup>・藤岡亮文<sup>1</sup>・森本清誠<sup>1</sup>・倉知健司<sup>1</sup>

<sup>1</sup>株式会社オリエンタルコンサルタンツ中部支社（〒450-0003 名古屋市中村区名駅南2-14-19）

国道42号の尾鷲市街地区間は、熊野尾鷲道路の開通に伴い、現況交通が熊野尾鷲道路に転換し、交通量の大幅な減少が想定される。そのため、現道の車線削減や交通量減少後の道路利用を踏まえた道路空間の再編を検討した。

本検討は、上記道路空間の再編における手法とその整備計画について紹介するものである。路線や地域の特性から現状の問題点を抽出し、将来計画や交通、道路利用者や地域のニーズを踏まえて地域に求められる道路の機能を整理し、現況の道路空間内を活用した整備を検討した。

**Key Words**：道路空間再編、路線特性、地域特性、地域ニーズ

## 1. はじめに

熊野尾鷲道路は、尾鷲北IC～尾鷲南ICをつなぎ、平成24年から着手、令和3年8月開通、地域交通の利便性や防災性の向上を図る事業である。開通に伴い、国道42号尾鷲市街地区間の交通が熊野尾鷲道路へ転換し、交通量が大幅に減少することが想定される。

本稿は、国道42号尾鷲市街地区間について、道路全体（歩道等含め）の道路空間再編を検討した事例について紹介するものである。

当該路線は、緊急輸送道路やナショナルサイクルルート（業務時は候補路線）に指定されていることから、片側1車線の車線削減と合わせて道路空間の再編を検討した。



図-1 検討位置図

## 2. 検討の流れ

図-2のフロー図に従い、道路空間の再編の検討を進めた。まず、現道状況、路線特性、地域特性を把握し、現状の問題点を洗い出した。将来計画や地域ニーズを把握することで求められる道路機能を整理し、当該区間の整備方針と具体的な整備案を検討した。

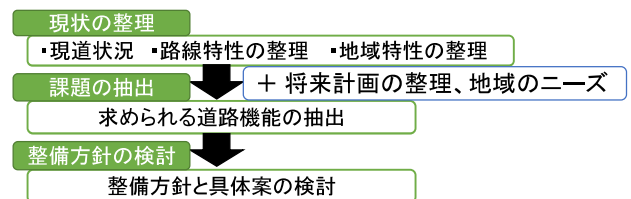


図-2 フロー図

## 3. 現状の整理

現況状況、地域特性や路線特性から現状における問題を抽出した。

### (1) 現道状況

現道は、上下各2車線の4車線道路、両側に歩道もしくは自歩道、全幅20mの国道となっている。歩道及び自歩道は、地下横断等があり、有効幅員2～3mが確保されていない箇所がある。沿道は、商業施設が連坦し、2車線を横断する乗入が必要な道路となっている。



図-3 現道状況（歩道）

## (2) 国道42号における路線特性の整理

道路空間の再編の検討にあたり、交通特性・事故特性といった観点で、国道42号における路線特性を整理し、現状の問題点を抽出した。

### a) 交通特性の整理

当該区間の沿道には商業施設が連坦しており、生活利用・商業利用が多いエリアである。また、紀勢線整備済区間に挟まれた未整備区間となっているため、国道42号4車線区間の交通量は約12,800台/日と前後区間（約5,600台/日～約9,600台/日）に比べ交通需要が高い区間となっている。

### b) 事故特性

当該区間の沿道には商業施設等が連坦しており、施設への流入等での以下の様な事故が多い傾向となっている。

- ・信号交差点部の追突事故
- ・施設流出入部の追突事故・出会い頭事故
- ・車両相互（自転車）事故
- ・特に高齢者が当事者となるものが多い

## (3) 尾鷲市における地域特性の整理

道路空間の再編の検討にあたり、人口分布・教育・防災・公共交通・観光といった観点で地域特性を整理し、現状の問題点を抽出した。

表-1 尾鷲市の現状と問題点

| 項目   | 現状の問題点                                                                                                                                                                                                                   |
|------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 人口分布 | ・尾鷲市の人口は減少傾向にあり、現在の人口は約1.8万人で、 <u>高齢化率は約40%と高い。</u>                                                                                                                                                                      |
| 教育   | ・尾鷲市中心部には、7箇所の教育施設がある。<br>・通学路に指定されている <u>歩道の幅員が狭い</u> 区間がある。                                                                                                                                                            |
| 防災   | ・自歩道内には、上下水道等の重要なライフラインが埋設されている。<br>・重要物流道路、緊急輸送道路に指定されている。<br>・国道42号では、電柱が上下線ともに概ね自歩道に設置されており災害時の倒壊等により道路の寸断が懸念される。<br>・南海トラフ地震発生時に、尾鷲市街部では震度6弱～6強の予測となっており、 <u>電柱・道路付属物等の倒壊が懸念される。</u> 現在、防災性向上を目的に無電柱化整備検討が既に進められている。 |
| 公共交通 | ・公共交通は、鉄道が1路線で鉄道駅が市街部に1箇所、バス路線は5路線ある。バス路線のうち、 <u>国道42号を通過するバス路線は1路線で6便/日程度で非常に少ない状況である。</u> また、 <u>バス停間距離は、同市中心部における5路線平均の420mに対して、1,700mと非常に離れており利便性に欠ける。</u>                                                           |
| 観光   | ・観光地やイベント会場等は、尾鷲市中心部の東側に立地、 <u>尾鷲駅から約0.5km～3.0km程度離れている。</u> また、 <u>尾鷲駅西側に位置する当該路線からも観光地やイベント会場はさらに離れている。</u>                                                                                                            |

## 4. 課題抽出（求められる道路機能の抽出）

3. にて整理した現状の問題点を踏まえ、さらに将来計画（上位計画・将来交通特性）や道路利用者からの意見・要望を参考に、以下に当該区間に求められる道路機能を抽出した。

表-2 必要な道路機能の抽出

|                     |                                                                                                                                                                 |
|---------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 課題1<br>交通安全性        | 3. (2) b) で示したとおり、沿道施設への出入時において交通事故（特に出会い頭事故）が発生していることから、 <u>沿道アクセス時の安全性向上に資する道路空間の再編が必要である。</u>                                                                |
| 課題2<br>交通安全性<br>快適性 | 3. (3) で示したとおり教育施設等が立地し、国道42号はアクセス路として利用されている。高齢者事故が多く、歩道は、3m以下の区間に電柱等により狭小区間もあり、通行時の快適性に懸念がある。上記の結果から、 <u>歩行者に対する安全性、快適性向上（バリアフリー、防災）に資する道路空間の再編が必要である。</u>    |
| 課題3<br>将来計画への配慮     | 4. (1) a) で示すとおり、当該区間は、ナショナルサイクルルート（太平洋岸自転車道）指定に向けた整備を推進している区間である。現在、4車線区間において矢羽根路面標示（車道混在）による整備となっており、 <u>自転車走行環境としてより安全な整備（自転車道や自転車通行帯）に資する道路空間の再編が必要である。</u> |
| 課題4<br>利便性          | 3. (3) で示したとおり、国道42号を通行するバスの便数は少なく、バス停間距離は市中心部における5路線と比較して長い傾向にある。利便性が低いことから、 <u>公共交通機関の持続可能な運用と利便性向上に資する道路空間の再編が必要である。</u>                                     |
| 課題5                 | 3. (3) に示したとおり、当該区間周辺の観光地は尾鷲駅から距離が離れている箇所が多い。当該区間は地域の生活利用・商業利用の中心となっており、 <u>新たな観光資源の創出及び既存観光資源との連携による地域の賑わい向上</u> の可能性はある。                                      |

### (1) 将来計画（上位計画・将来交通特性）の整理

#### a) 上位計画

道路空間の再編検討にあたり、将来、目指すべき姿の整合を図るため、上位計画（国、三重県、尾鷲市、その他）より現状の都市構造や将来像を把握した。

各計画に共通している項目としては、移動の利便性向上、地域の観光産業活性化、安全・快適な空間の創出と言える。以下に計画を示す。

- ・「2040年道路の景色が変わる」（国土交通省）<sup>1)</sup>
- ・「三重県都市計画基本方針」（三重県）<sup>2)</sup>
- ・「三重県自転車活用推進計画」（三重県）<sup>3)</sup>
- ・「尾鷲市マスタープラン」（尾鷲市）<sup>4)</sup>

また、当該区間は、ナショナルサイクルルートである太平洋岸自転車道の指定に向け、自転車通行空間の整備を推進している区間である。<sup>5)</sup> 自転車通行空間としての整備が不十分な区間もあり、自転車利用者が走行しにくい状況である。

#### b) 将来交通特性

交通の転換により、当該区間の交通量の減少が想定される。その際の車線削減（4車線→2車線）の可能性を現況・Ⅱ期線開通後・車線削減時で検討した。

表-3に示した通り、熊野尾鷲道路の開通後、車線削減時と当該区間の混雑度が1.0を下回ることから、現況の4車線から2車線への車線削減は可能である。

表-3 検討結果

※1：H42 交通量推定結果(台/日)×H27 センサス昼夜率

※2：H27 センサス交通容量(台/12h)÷2

|                  | 国道42号<br>車線数 | 交通量<br>(台/12h) | 交通容量<br>(台/12h) | 混雑度  |
|------------------|--------------|----------------|-----------------|------|
| 現況(H27)          | 4            | 10,640         | 19,670          | 0.54 |
| Ⅱ期線開通後           | 4            | 4,960※1        | 19,670          | 0.25 |
| 車線削減時<br>※Ⅱ期線開通後 | 2            | 4,960※1        | 9,850※2         | 0.50 |

## (2) 地域ニーズの把握

国道42号における課題解決のための道路空間の新たな活用案を検討するため、道路利用者及び尾鷲市に対し、ニーズ調査を実施した。

### a) 道路利用者のニーズ調査

現時点での道路利用者のニーズを把握するため、尾鷲市及び周辺地域に在住で国道42号を利用したことがある方を対象(100サンプル：周辺自治体を含めた人口等により必要サンプル数を設定)にWEBアンケート調査を実施した。アンケート調査を実施するにあたり、区間毎の課題等を整理するため沿道状況や道路構造から、図-4に示す区間割を設定した。

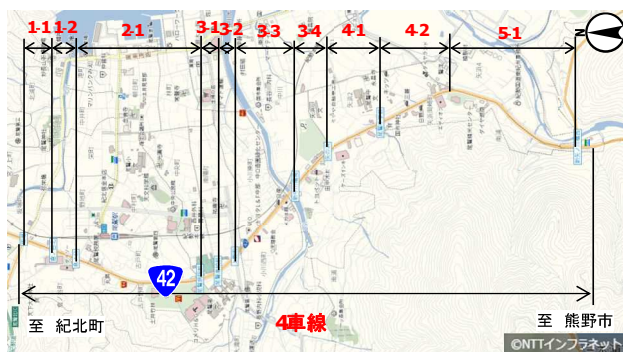


図-4 区間割図

アンケート結果から、道路利用者が国道42号に感じている問題点・課題・必要な道路機能について以下に整理した。(表-4)

表-4 アンケート結果(道路利用者)

|                   |                                                                                                                                                              |
|-------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 問題点               | <ul style="list-style-type: none"> <li>区間1-1, 1-2, 2-1において沿道施設や店舗への出入り車両が多く危険。</li> <li>全区間を通じ、車道を自転車と安全に通行できる空間がない。</li> <li>区間5-1において、歩道が歩きにくい。</li> </ul> |
| 課題<br>(求められる道路機能) | <ul style="list-style-type: none"> <li>沿道施設へ安全な流入出が可能な道路構造。</li> <li>安全に走行できる自転車通行空間の確保。</li> <li>広く、安全・快適な歩行空間の確保。</li> </ul>                               |

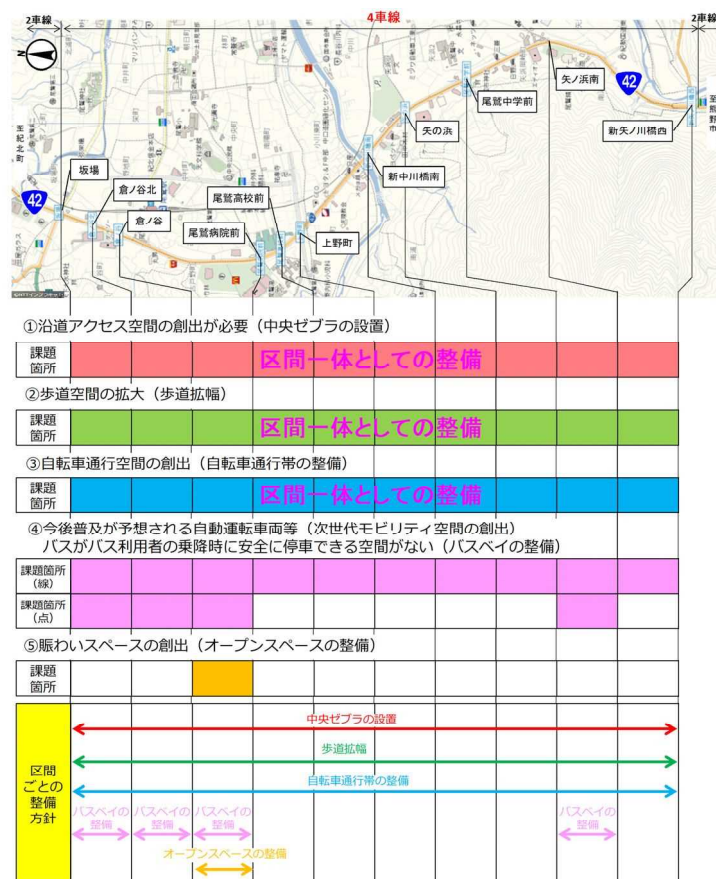
### b) 尾鷲市のニーズの把握

地域自治体からの意見も参考とするため、尾鷲市へのヒアリング調査を実施した。ヒアリング調査の結果、以前より要望としてあったバス停スペースの設置を再確認するとともに、住民からバス運行増便、路線延伸等の要望があることを確認できた。

## 5. 整備方針の検討

4.にて抽出した求められる道路機能に対し、各区間の状況とニーズに合った再編案を検討した。以下に当該区間の整備計画の基本方針を示し、(1)～(5)にて各道路機能の詳細な整備根拠を示す。

- ・区間全体において車線中央に滞留スペースを設置し、沿道施設への出入車両の安全性を向上する。
- ・区間全体に歩道有効幅員を確保する。
- ・区間全体に自転車通行帯を整備し、太平洋岸自転車道として安全な自転車通行を確保。



※④次世代モビリティ空間の創出については、現在、自動運転等が実証実験の段階のため今後の整備案として扱うこととするため、当面は、バスベいの整備について検討  
※⑤のオープンスペースの整備については、沿道店舗(おと等)との連携を踏まえ導入することとするため、現道内の車道空間は利用しないこととする

図-5 各区間の整備方針

### (1) 沿道アクセス時の交通安全性向上

道路利用者・地域のニーズにおいて、沿道アクセス時の交通安全に対するニーズが非常に高かった。

交通安全性向上のため、車道中央に滞留可能スペースの設置を検討することで、沿道へ右折流出時の滞留スペースや沿道から国道への右折流入時のバッファとなり交通安全性に寄与すると考えられる。(設置については、今後公安協議が必要。)

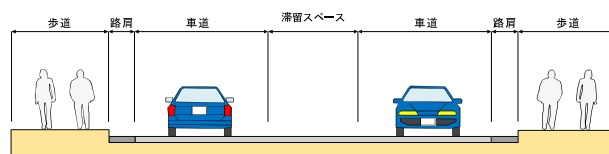


図-6 滞留可能スペースの設置イメージ



## (2) 歩行者に対する安全性, 快適性向上

沿線に教育施設や医療施設等があり, 通学・通院に歩道が利用されているにも関わらず, 自転車や歩行者に対応する十分なスペースが足りていない。当該区間は, 緊急輸送道路, 重要物流道路でもあり無電柱化を推進していることから, 自歩道幅員の十分な確保と無電柱化を並行した整備が望ましい。

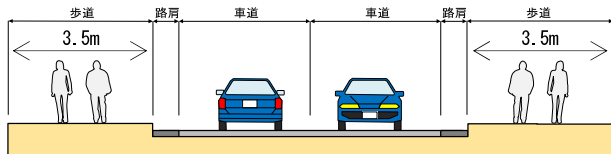


図-7 歩道拡幅イメージ

## (3) 自転車走行環境の整備促進

当該区間は, 自転車通行空間の未整備箇所が存在する。またナショナルサイクルルートである太平洋岸自転車道の指定を目指している区間の一部となる。

全線を通して, 指定を目指している区間であるため, 区間全体として, 自転車通行空間の確保が望ましいと考え, 自転車通行帯(両側)の整備を検討した。

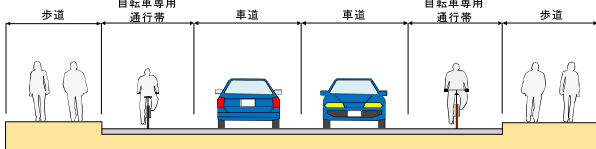


図-8 自転車専用通行帯の整備イメージ

## (4) 公共交通機関の持続的な運用と利便性向上

当該区間はバス路線となっており, バス停スペース設置の要望や, 増便等のニーズがある中, 次世代モビリティの運用等も考えられる。そのため, 削減された車道部分を次世代モビリティ(自動運転)空間としての活用も考えられる。本検討時点では, 自動運転等が実証実験の段階であるため, 次世代モビリティ空間としての活用は今後の整備案として扱い, バス停が存在する坂場～尾鷲病院前(区間1-1～2-1), 尾鷲中学校南～矢ノ浜南(区間4-2)においてバスベイの設置が考えられる。

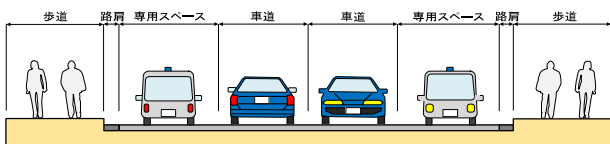


図-9 次世代モビリティ専用空間イメージ

## (5) 新たな観光資源創出(賑わいスペース創出)

観光地・イベント会場は尾鷲市中心地から距離があり, 当該区間沿線にはない。ただし, 観光客も立寄る商業施設付近(倉ノ谷～尾鷲病院前(区間2-1))の歩道幅員を一部拡幅したオープンスペースとし, 休憩や憩いの場(賑わいスペース)として活用することが考えられる。

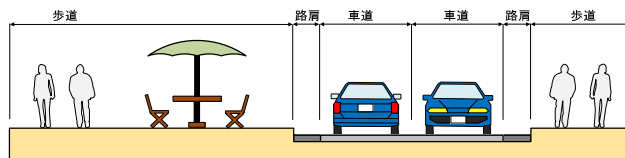


図-10 オープンスペースの整備イメージ

## 6. 当該区間の整備案の検討

現況の上下4車線の各1車線分を活用し, 以下の幅員再配分の整備案を検討した。

- ・沿道施設流入出時に車両が滞留可能なスペースとして, 中央に付加車線相当(3.0m)の滞留スペースを設置。
- ・自転車通行空間として, 両側に幅員1.5mの自転車専用通行帯を設置。
- ・歩道は, 路上施設等を設置しても, 歩行者の安全・快適な通行が可能な有効幅員(3.0m)を確保。

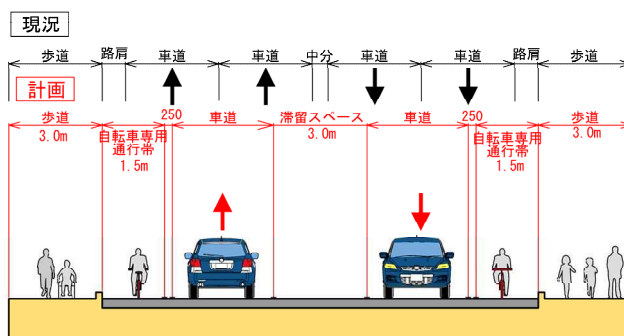


図-11 標準横断面図

## 7. おわりに

本検討では, 国道42号尾鷲市区間において, 現状や関連計画・将来交通特性, 道路利用者等のニーズを踏まえ, 無電柱化, 自転車道等を考慮した道路空間の再編を検討した。地域ニーズについては, サンプル数は少ないもののアンケート調査により, 道路利用者の視点で当該区間の課題とその具体的な箇所を把握し, 求められる道路機能に適した整備案を検討することができた。

今後, 熊野尾鷲道路の供用後の実際の交通影響をとそれによる地域ニーズの変化を確認し, 地元自治体等と連携しつつ将来に向けて必要な整備を検討していくことが望まれる。

道路空間の再編に係る取組は全国各地に拡大しており, 今回の取組みが事業の進め方や考え方の参考, 一助となることを期待する。

## 参考文献

- 1) 国土交通省 2040年, 道路の景色が変わる, 令和2年3月
- 2) 三重県 三重県都市計画基本方針, 平成29年3月
- 3) 三重県 三重県自転車活用推進計画, 令和2年3月
- 4) 尾鷲市 尾鷲市都市マスタープラン, 平成22年3月
- 5) 国土交通省 太平洋岸自転車道ナショナルサイクルルート指定推進協議会 HP

# 床版取替工事における 既設橋構造をコントロールとした道路線形検討

いちわらよしはる かとうひさよし かめい よし たけのし のぶ  
○一葉義治<sup>1</sup>・加藤久喜<sup>1</sup>・亀井与志<sup>1</sup>・武野志之歩<sup>1</sup>

<sup>1</sup> (株) 建設技術研究所 中部支社 道路・交通部 (〒460-0003 名古屋市中区錦1-5-13)

高速道路の大規模更新事業でのコンクリート床版取替工事は、一般交通の供用車線を確保した活線施工となる。本稿は、半断面施工による床版取替工事の実施にあたり、近接するインターチェンジのランプ線形を含めた車線運用検討を行う上で、既設橋梁の桁配置や～既設ランプ位置等の制約条件を考慮し、施工性だけでなく安全性・円滑性に配慮した道路線形検討を実施したものである。

**Key Words** : 大規模更新, 床版取替工事, 道路線形検討

## 1. 概要

### (1) 検討対象

検討対象路線は約6万台/日が通行する高速自動車国道であり、連続高架橋の大規模更新としてコンクリート床版の取替を計画している。

#### a) 検討区間①：床版切断位置と供用車線の検討

連続高架橋のうちインターチェンジ出口に近接する径間は減速車線を含む車線構成であるためバチ桁となっている。このように桁配置が特殊となる区間に合わせた床版切断位置の設定を行ったうえで、道路構造令への準拠と施工の効率性を両立した本線走行車線の位置設定を行ったものである。

#### b) 検討区間②：IC仮設オンランプの検討

既設橋の橋台位置のコントロール条件があるなかで、道路構造令へ準拠のみでなく、より緩やかな線形を確保したICオンランプの線形検討を行ったものである。

### (2) 検討条件（施工ステップ）

活線施工となる床版取替のステップは、下り線は幅員構成の制約から半断面施工×2回、上り線については施工性の高い全断面施工で施工する計画である。（図-1）

### (3) 検討方針

前述の検討条件を踏まえ、構造令に準拠したケースと、より円滑性の高いケースの検討を実施した。

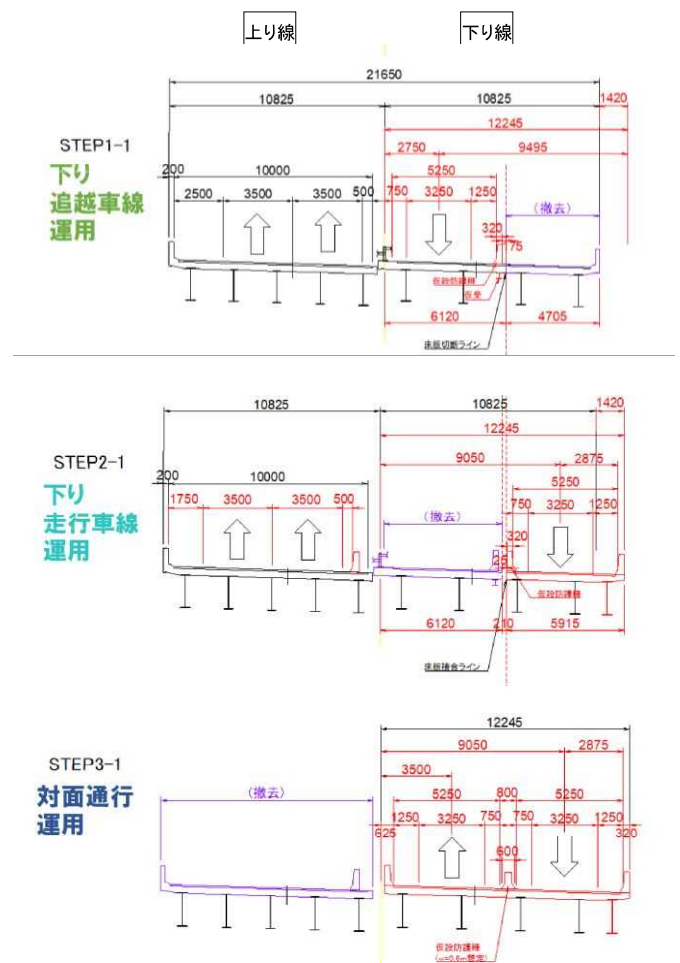


図-1 床版取替工事の施工ステップ  
(半断面施工・全断面施工)

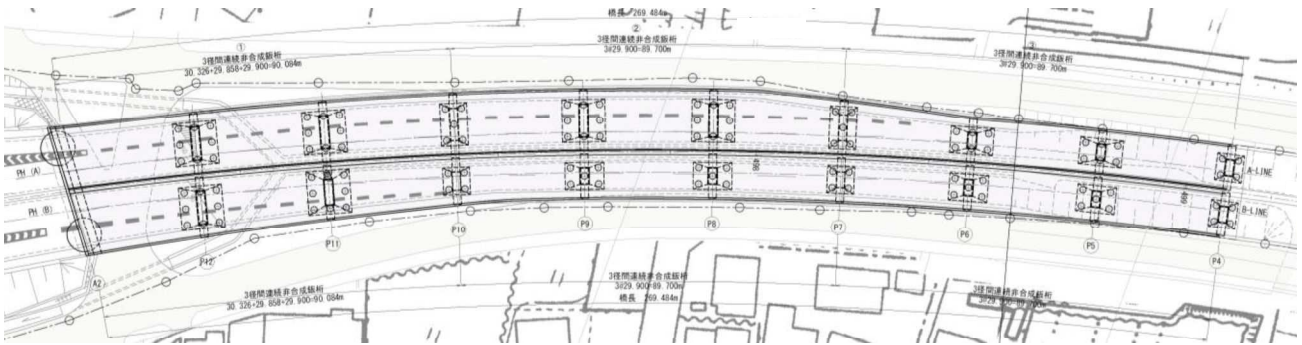


図-2 検討区間①：インターチェンジの減速車線を含む連続高架橋

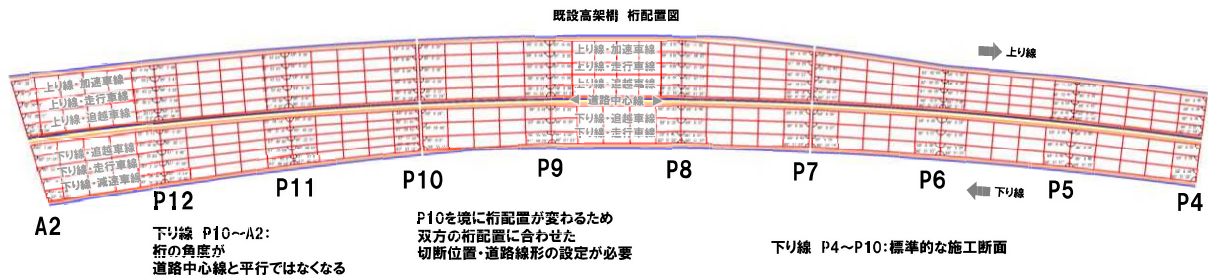
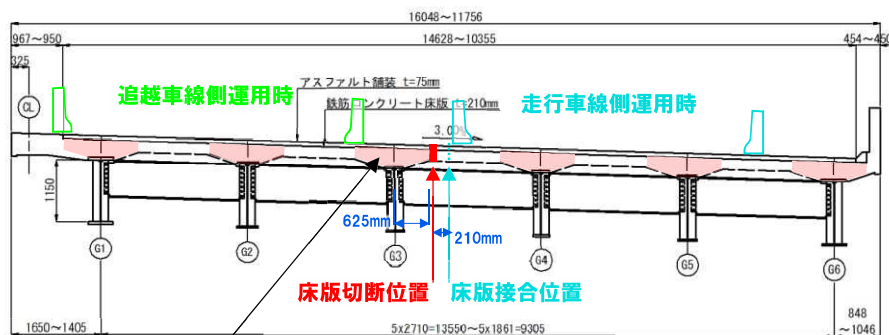


図-3 既設高架橋の桁配置図



切断位置は床版断面が厚い箇所を極力回避

図-4 下り線・A2付近断面図（着色部は床版切断回避位置を表す）

## 2. 特殊な桁配置区間での床版切断位置の設定

### (1) 検討箇所の特徴

インターチェンジの減速車線を含む連続高架橋となっている検討区間①は、単路区間～テーパー区間～減速車線区間と連続的に幅員が変化する構造（図-2）である。パチ桁のため複数の鋼桁が径間ごとに本数・角度を変えた配置（図-3）となっている点と、桁に接する床版の部材厚が断面位置により変化する点から、カッターでの床版切断位置の検討に際し、施工性も考慮するため非常に厳しい条件となった。

### (2) 課題

既設橋のパチ桁配置、床版の部材厚の変化状況および活線施工下の供用車線の安全性・円滑性をバランスしながら最適な床版切断位置を設定する必要があった。本検討は半断面施工時において、既設橋梁

の桁配置・下部工位置に起因する厳しいコントロール条件下での供用車線の位置設定について、施工中の条件を踏まえた線形検討を行う必要があった。

### (3) 切断位置決定のながれ

課題の解決にあたり、必要な情報の整理を以下の順序に沿って行い、切断位置の最適な位置の割り出しを行った。

#### ● 切断可能エリアの抽出

既設橋の桁配置、床版の厚みの変化状況について、既往資料（竣工図）から図面上に一元化し、構造面からの床版切断回避エリアを抽出した。（図-4）

#### ● 施工ステップ毎の必要幅員の確保

前項のエリア抽出を行ったうえで、一般交通の供用車線として各ステップで相互に必要な車線幅員・施工余裕を断面図で確認し確保した。



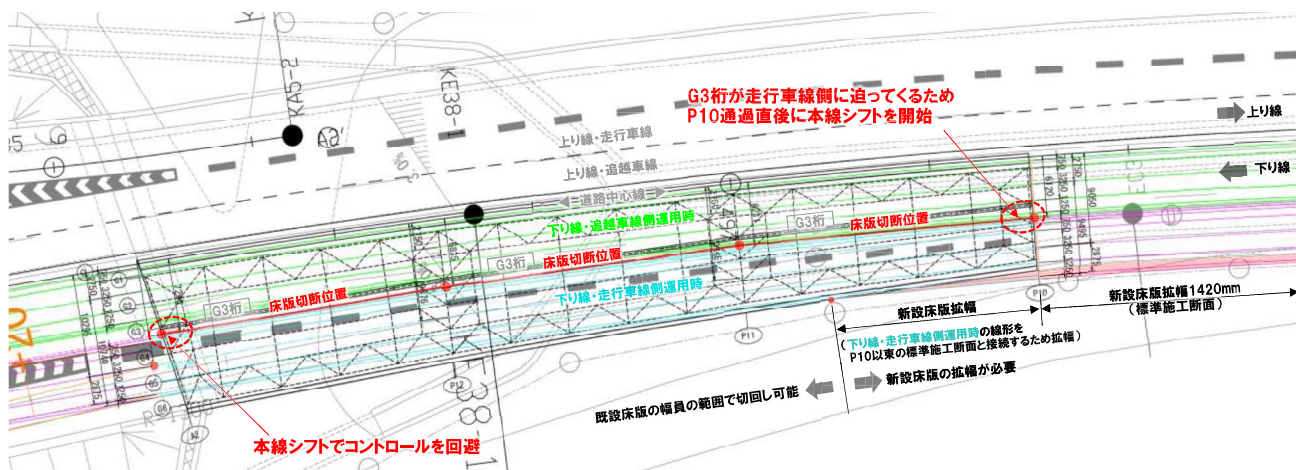


図-5 バチ桁配置区間の拡大図（床版切断位置の設定～走行車線側で本線シフトを設定）

### ● 床版切断を行う桁間の決定

前節で抽出した切断可能エリア，各ステップごとの必要な幅員を考慮したうえで，切断を行う桁間の位置を決定した。

### ● 道路線形の決定

施工中で規制速度は50km/hとなるものの高速自動車道の供用車線であるため，走行の円滑性に配慮した道路線形の設定を行った。

ここでの留意点として，下り線断面は施工ステップの途中において既設橋梁を1.4m拡幅したうえで対面通行運用を行うという点が挙げられる。

このステップにおいて拡幅した床版は工事完成後もそのまま路肩として活用されることとなるが，単路部から減速車線区間に移行する区間においては，テーパー端部で余計な拡幅が生じないように，道路線形の屈曲する区間の処理に留意する必要がある。

解決策としては，線形の途中で「本線シフト」を挿入し，テーパー端部での余分な拡幅を極力回避する工夫を行った。（図-5）

## 3. インターチェンジ仮設オンランプの検討

### (1) 検討の背景

検討区間②はインターチェンジのオンランプであり，本線に合流後すぐに床版取替工事の半断面施工区間に入っていく位置関係である。そのため，合流ノーズ位置を可能な限り後ろに下げ，橋梁区間に入る前に加速車線長を確保する必要がある。既往の設計において，ノーズ前の最終カーブを $R=30m$ （設計速度30km/h標準値）で曲がったのち，加速車線へつながる線形であったが，安全性に配慮し，より緩やかな線形で加速車線へ移行していったほうが本線走行車両との速度差を小さくできることから，ランプ線形の再検討を行ったものである。

### (2) 課題

課題は，合流直後に橋梁区間が始まる箇所において，必要な加速車線の確保しつつランプウェイ加速中のカーブ線形を緩やかにとり，インター流入車両の加速をスムーズに行わせることを，既存のIC用地内という条件下で仮設ランプを整備して実現することだった。

### (3) 検討のながれ

検討にあたり，施工区間の本線設計速度を50km/h，ランプ設計速度を40km/hとし，道路構造令に基づく必要な加速車線長（ $L=64m$ ）<sup>1)</sup>を確保可能な合流ノーズ位置を設定した。

この仮設合流ノーズに向かって仮設オンランプを合流させることとなる。この仮設ランプは，既存のオンランプの途中から分岐し，本線へ合流するためにランプ計画高を下げる縦断計画としながら本線へ接近していく構造とした。

ランプ設計速度が40km/hのとき，道路構造令より最小曲線半径は標準値で $R=50m$ <sup>2)</sup>であるが，用地の制約があるなかで加速車線長をできるだけ確保するために検討当初は $R=40m$ （特例値）のカーブの組み合わせにてランプ線形を検討した。しかしながら，合流直前まで $R=40m$ のカーブがあると，車種やドライバーの技量によっては本線合流時に十分な加速が得られず，本線走行車両との速度差が大きくなるため課題が残る構造となる。（参考に，既存オンランプの最終カーブは $R=70m$ ）

交通管理者との協議により，オンランプの線形についてはより安全に合流の運転操作を行えるよう，合流ノーズ手前の最終カーブは $R=50m$ にて整備することとし，既往設計の線形よりも高い初速で本線へ合流可能な線形とした。（図-6）

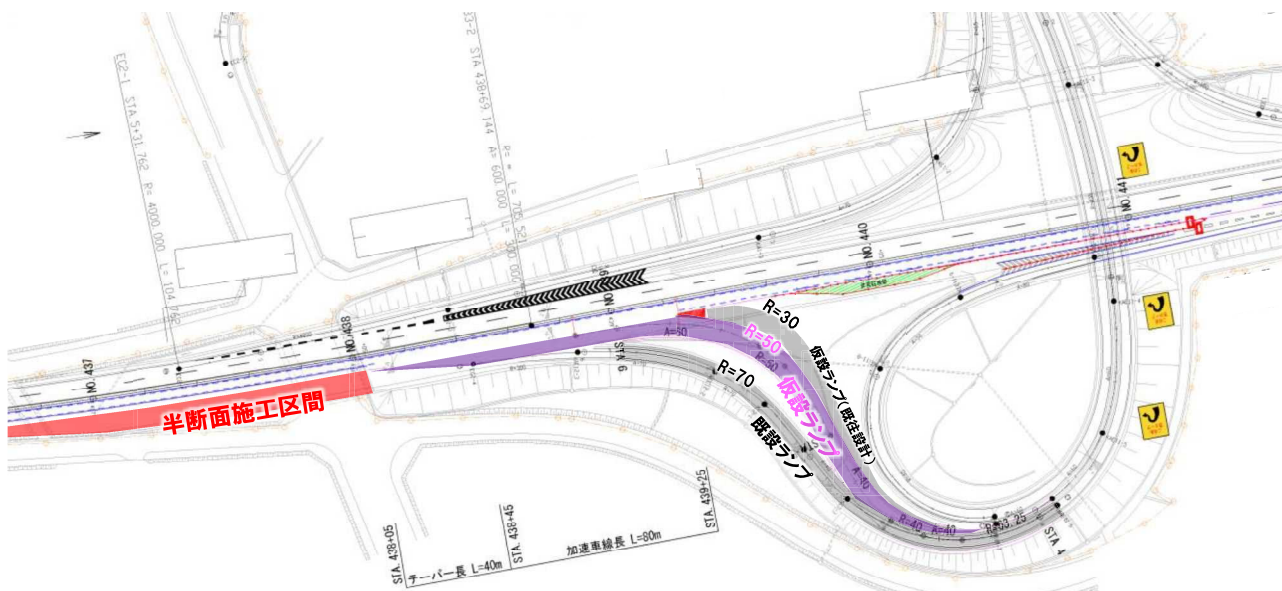


図-6 検討区間②：オンランプ合流直後に半断面施工区間が開始する箇所での仮設ランプ検討

#### (4) 検討結果の考察

本検討の仮設オンランプは、既設の供用中オンランプの $R=70\text{m}$ より小さい曲線半径 ( $R=50\text{m}$ ) である。合流前の最終カーブについては、設計速度 $40\text{km/h}$ の最小曲線半径を確保することで走行安全性を担保することを交通管理者と協議のうえで決定している。

本検討では既往設計に対して、インター流入車両の本線合流前の初速を上げ、本線走行車両との速度差を減らすことを企図した構造を選択した。

幾何構造は、用地条件や設計条件から一義的に答えが決まるものではなく、施工箇所にあわせてケースバイケースで十分に検討を行い、関係者との議論を重ねていく中で答えが導かれるものである。

用地制約など種々の条件のなかで設計速度を下げ、取り得る最小の幾何構造により、施工規模・整備コストの縮小を図るという考え方も一理あるものの、仮設であっても道路利用者の走行安全性・円滑性を考慮した幾何構造を追求し全体のバランスを図ることも重要であると再認識した次第である。

#### 4. おわりに

本検討を通じて、特殊な桁配置による対象構造物の特徴を踏まえた床版切断位置・本線線形の設定や、インターチェンジ仮設オンランプにおける、走行円滑性を考慮したランプ線形設定のノウハウを得ることができた。特に既設道路構造物の改修においては、検討対象ごとにさまざまな条件・特徴があり、全く同じ条件のものはほぼ無いと言える。

建設コンサルタントとしては、過去の類似する検討の経験・知見を応用しながら、現場の条件に合わ

せたきめ細やかにカスタマイズした設計・提案を行っていく必要がある。

構造物の大規模更新工事は、全国で老朽化する構造物の更新・長寿命化が必要となっている対象数の多さから、今後も需要が高く推移していく分野であると認識している。

施工に伴う切り回し道路の線形検討は、設計延長が短かったとしても、コントロール条件が多くあるなど、新規路線の設計とは異なる難易度が見込まれ、不可欠な要素技術である。今回のようなノウハウを活かし、様々な設計検討に対応していくことで、今後も社会貢献の一端を担っていきたいと考える。

今後もこのような検討結果が発注者である道路管理者はもとより、一般交通に供され、広く社会に影響を及ぼすということを常に意識しながら職務を遂行し、技術力を研鑽していきたいと考える。

**謝辞：**最後に本論文の発表にあたり、検討業務の発注者である、中日本高速道路株式会社 名古屋支社 桑名保全・サービスセンターの方々に深く御礼申し上げます。

#### 参考文献

- (公社) 日本道路協会編：道路構造令の解説と運用，p. 603, 令和3年3月。
- (公社) 日本道路協会編：道路構造令の解説と運用，p. 571, 令和3年3月。



# スマートインターチェンジの PA接続部における交通錯綜の低減検討

○松浦佑紀・関口貴志・高羽俊光・中村哲也

中日本建設コンサルタント株式会社（〒460-0003 愛知県名古屋市中区錦一丁目8番6号）

伊勢湾岸自動車刈谷PAは上下線集約型であり、下り線側のPAでは、駐車場内の交通流の方向が反時計回りとなっている。反時計回りで交通運用されているPAに一般的なスマートインターチェンジのランプ形式を採用した場合、PA接続部においてONランプ交通とOFFランプ交通の平面交差が発生し、安全性に課題を有していることを確認した。

本稿では、主に資材搬入路として利用されているICアクセス道路の交通量が極めて少ないことに着目し、ONランプとOFFランプの位置を入れ替えるとともに、ICアクセス道路へ別々に接続させ、接続地点相互の離隔を十分確保することで、PA接続部における交通錯綜の低減や逆走防止等の安全性向上を図った内容について報告する。

**Key Words：** スマートインターチェンジ、PA接続型、上下線集約型、交通錯綜、逆走防止

## 1. はじめに

現在、既存の高速自動車国道の有効活用や、地域生活の充実、地域経済の活性化を推進するため、建設・管理コストの削減が可能なスマートインターチェンジ(以下、スマートIC)の整備が進められている。

スマートICとは、高速道路の本線やサービスエリア、パーキングエリア、バスストップから乗り降りができるように設置されるインターチェンジであり、通行可能な車両をETC搭載車に限定している。そのため、料金徴収員が不要になり、簡易な料金所の設置で済むため、従来のICに比べて低コストで導入できるメリットがある。

今回の対象である刈谷スマートICは、第二東海自動車道横浜名古屋線（伊勢湾岸自動車道）の刈谷PAに接続するスマートICである（図-1 参照）。

刈谷PA周辺は、「ものづくりの中心地」として日本経済の発展をリードする多くの自動車関連産業などが集積しており、刈谷PA前後の豊明IC及び豊田南ICや周辺の幹線道路等に交通が集中し、慢性的な渋滞が発生している。そのため、産業の生産性向上、交通渋滞の緩和、地域の活性化や防災機能の強化等を目的とした本スマートICの整備が進められている。

本稿では、日本有数の集客力（年間約1,000万人）を誇る刈谷ハイウェイオアシスと一体整備された刈谷PAへ接続するスマートICのランプ計画の内容について述べる。具体的には、一般的な動線と異なる反時計回りのPA駐車場にスマートICを接続した場合に発生するPA内でのONランプ交通とOFFランプ交通の交差を回避したランプ形状の立案を行った。



図-1 位置図

## 2. 基本条件の整理

### (1) 検討フロー

本検討の主なフローを図-2に示す。

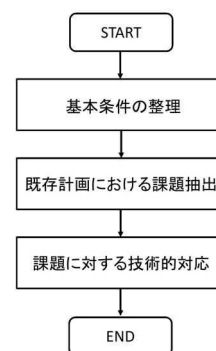


図-2 検討フロー

## (2) 設計条件

以下に、刈谷スマート IC の諸元を示す。

- 計画交通量 : 4,900 台/日 (大型車混入率 36.8%)  
 上り線ランプ : 2,500 台/日  
 下り線ランプ : 2,400 台/日
- ランプ種別 : B 規格
- 設計速度 :  $V=30\text{km/h}$
- 設計車両 : セミトレーラ連結車
- 幅員構成 :  
 1 方向分離 1 車線  
 $W=5.5 (1.5+3.25+0.75) \text{ m}$   
 2 方向分離 2 車線  
 $W=11.5 (1.5+3.25+2.0+3.25+1.5) \text{ m}$

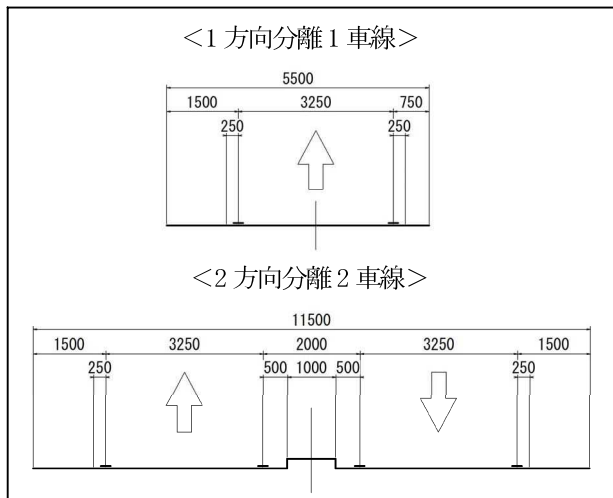


図-3 刈谷スマート IC の幅員構成

## (3) PA 駐車場の交通運用形態

刈谷 PA は、上下線の PA が伊勢湾岸自動車道の北側に整備された上下線集約型である (図-4 参照)。

一般的な上下線分離型の場合、図-5 に示すように、駐車場の動線は時計回りとなる。一方、上下線集約型では、片側に施設を集約しているため、どちらかの PA においては反時計回りの交通運用になる (図-6 参照)。

本稿で述べる下り線の PA は、上り線側へ施設を集約しているため、一般的な動線とは異なる反時計回りとなっている。

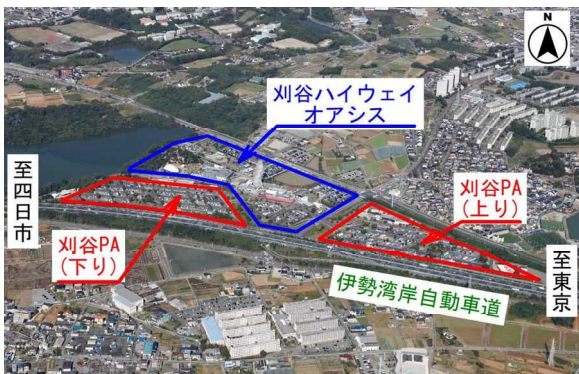


図-4 上下線集約型 PA

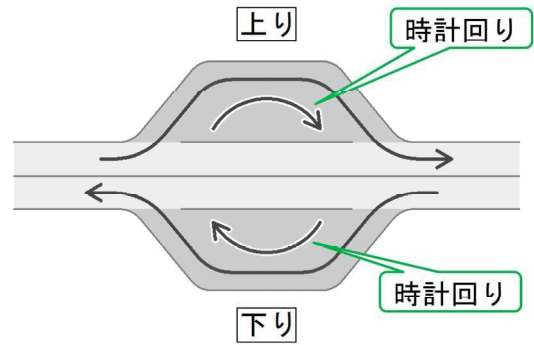


図-5 一般的な上下線分離型駐車場の動線

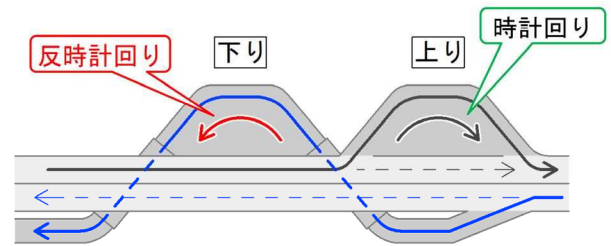


図-6 反時計回りの下り線側 PA 駐車場

## (4) 下り線 PA 駐車場の交通量

刈谷 PA の上り線と下り線の間には、どちらからも利用可能な刈谷ハイウェイオアシスが隣接している。

刈谷ハイウェイオアシスには、フードコートや温泉・観覧車等の施設があり、本線の休憩施設として立ち寄る利用客の他、当該施設を目的地として訪れる客も多く、下り線 PA 駐車場内を通過する交通量は 5,800 台/12h (休日、7 時～19 時) である。

ここで、この下り線 PA にスマート IC を接続した場合の交通量状況についての評価を試みる。スマート IC の接続部を IC 交通と PA 交通との一時停止制御の無信号交差点と捉えた場合、無信号交差点で処理できる限界交通量は、「道路構造令の解説と運用<sup>1)</sup>」によると 1,000 台/時 (交差する交通の合計) 以下とされている。

当該交差部の合計交通量は 873 台/時であり、大型車混入率が高いことを考慮すると、限界交通量に対して 8 割を超える交通量状況は、既に従道路側に相当するスマート IC 交通の待ち時間が発生し、事故の誘因が潜在した状況にあると言える。

## (5) IC アクセス道路となる資材搬入路の状況

下り線側スマート IC のアクセス道路は、PA やハイウェイオアシスの資材搬入路として利用されている市道 01-41 号線とした。

当該道路は、(主) 豊田知立線と刈谷 PA 施設を結ぶ機能を有し、刈谷 PA 施設の裏で行き止まりとなっている (図-7 参照)。



図-7 アクセス道路



図-10 過年度のスマート IC 計画

### 3. 過年度設計における課題

#### (1) ランプ交通同士の交差の回避

通常、時計回りで運用される PA に、対面通行のスマート IC を接続した場合、PA 接続部では「左折イン、左折アウト」の交通形態となり、ランプ交通同士の平面交差が発生せず、安全性が高い (図-8 参照)。

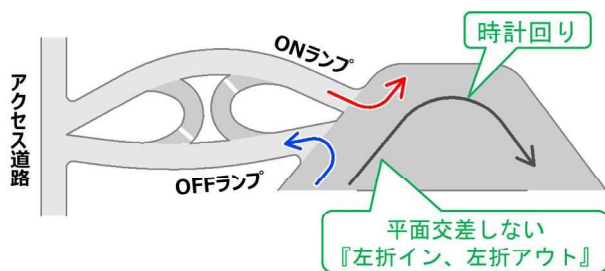


図-8 時計回りで運用される PA の場合

一方、反時計回りで運用される PA に対面通行のスマート IC を接続した場合、PA 接続部において「右折 (交差) イン、右折 (交差) アウト」の交通形態となり、ON ランプ交通と OFF ランプ交通の平面交差が発生する (図-9 参照)。

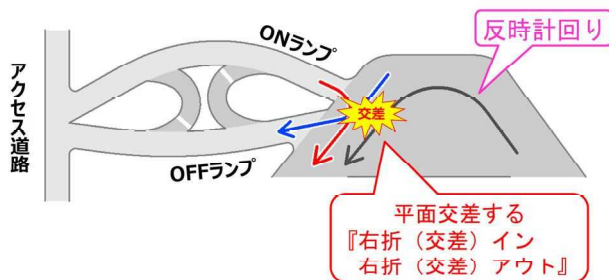


図-9 反時計回りで運用される PA の場合

過年度に計画された下り線スマート IC の形状は、交通量が多い当該 PA 内において上述した状況となっており、PA 接続部付近の交通の錯綜が懸念された (図-10 参照)。

よって、1 つ目の課題として、PA 内における ON ランプ交通と OFF ランプ交通の平面交差の回避が求められた。

#### (2) 逆走誘発の防止

これまで整備された PA の多くは時計回りの交通運用であるため、運転者は時計回りの通行に慣れており、ON ランプから無意識に左折方向へ走行する可能性がある。そのため、反時計回りである当該 PA の場合、逆走を誘発する恐れがある (図-11 参照)。

よって、2 つ目の課題として、逆走を誘発させないスマート IC の接続形状の立案が求められた。

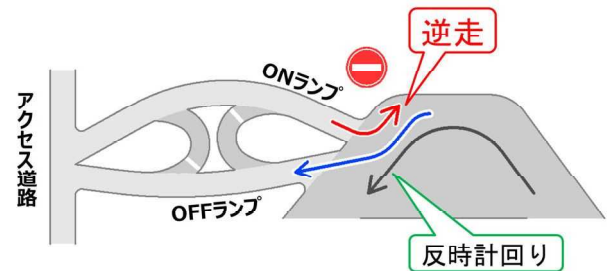


図-11 逆走の誘発

### 4. 課題解決に向けた技術的対応

#### (1) ランプの左右入れ替え

上記課題に対し、ON ランプと OFF ランプの位置を入れ替えて PA 駐車場へ接続することで、PA 内における ON ランプ交通と OFF ランプ交通の平面交差を回避することを検討することとした (図-12 参照)。

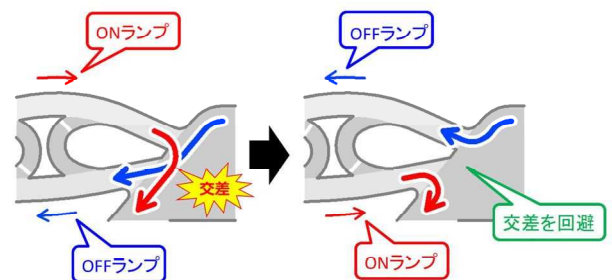


図-12 ON・OFF ランプの左右入れ替え



しかし、単純に位置を入れ替えた場合、ランプが右側通行の形態となることから、今度はアクセス道路との接続部において利用者が錯覚を起こし、逆走を誘発する可能性があった（図-13 参照）。

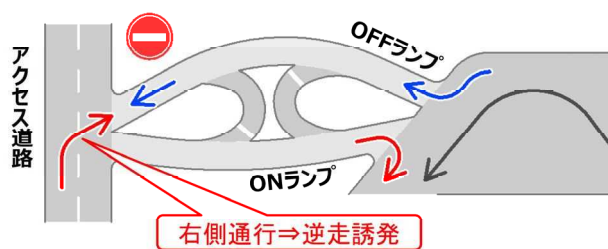


図-13 左右入れ替えによる逆走の誘発

## (2) ON ランプと OFF ランプの離隔確保

上記 (1) の問題に対しては、ON ランプと OFF ランプがアクセス道路へ接続する箇所を可能な限り離すことで、逆走防止を図ることとした。

通常、スマート IC の ON・OFF ランプは対面 2 車線の構造でアクセス道路へ接続することが一般的である。これは、アクセス道路との交差点を 1 つに集約することができるメリットがあるからである。

ここでは、交通量が約 100 台/日程度と極めて少ない資材搬入路への接続であることに着目し、スマート IC の流出入ランプを別々にアクセス道路へ接続させ、接続地点相互の離隔を十分に確保することとした（図-14 参照）。

なお、上記 (1) の対応は、PA 駐車場内での ON・OFF ランプの平面交差を、単にアクセス道路側に移動させたとも言える。しかしながら、PA 駐車場内で平面交差していた形状の場合、IC とは無関係の PA 利用交通（5,800 台/12h）とも平面交差するのに比べ、アクセス道路側で平面交差する当形状は、PA 利用交通を除外できた分、安全性と円滑性が飛躍的に高まったと言える。

さらに、アクセス道路は袋路状道路であり、スマート IC 利用者に対して、OFF ランプ出口よりもかなり手前で ON ランプ入口へ誘導することができ、OFF ランプへの逆走の危険性は極めて低くなったと言える。

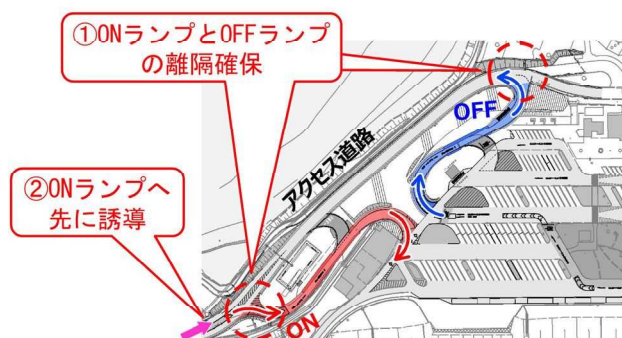


図-14 ON・OFF ランプの離隔確保

## (3) OFF ランプ接続位置

OFF ランプの PA 接続箇所は、乗用車ますと大型車ますの間の 3 列目車路とした。幼児や高齢者を含む歩行者が頻繁に横断する車路を避け、職業運転手のみがトイレ以外の目的で横断する車路へ IC 交通を誘導することで、さらに安全性を高めた（図-15 参照）。

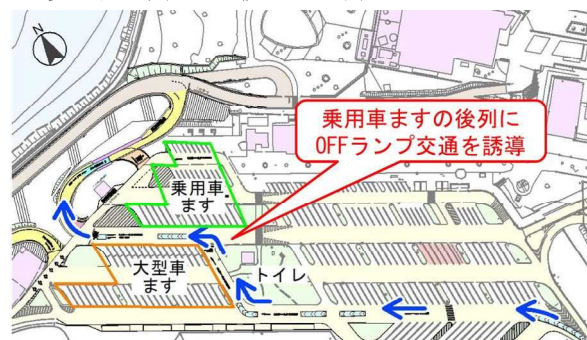


図-15 OFF ランプの接続位置

## (4) ON ランプ接続位置

反時計回りで運用されている PA 駐車場において、PA 内の逆走を防止するため、ON ランプの接続部では本線合流ランプ方向へ角度を付けて接続した。これにより、運転者に本線合流ランプを見せることで、意識を右折方向へ向けさせ、逆走防止を図ることができた（図-16 参照）。

さらに、ON ランプの PA 接続箇所は、駐車場内の交通が整流化した PA 出口付近とし、安全に合流ができるよう配慮した。



図-16 ON ランプの接続位置

## 5. おわりに

今回の提案により、ランプ交通と PA 交通の錯綜を低減した交通安全性の高いスマート IC 形状を計画することができた。また、交通管理者との協議が難航していた中で、本提案により了承が得られ、円滑な事業推進に寄与することができた。

なお、本稿で述べた内容は、交通量が極めて少ないアクセス道路と反時計回りで運用される PA の接続検討であったが、交通量が多いアクセス道路へ接続する場合には、更なる検討が必要であると考えられる。

## 参考文献

- 1) 公益社団法人 日本道路協会：道路構造令の解説と運用，pp. 477，2021。

# 火災により大きく変形した端横桁の 矯正方法の提案

えとう よしき はまなかみのる はせ がわりゆういち くりたみのる  
○江藤良樹<sup>1</sup>・濱中 実<sup>1</sup>・長谷川 隆一<sup>1</sup>・栗田 稔<sup>1</sup>

<sup>1</sup>セントラルコンサルタント株式会社中部支社（〒460-0003 名古屋市中区錦一丁目18番22号）

近年、国内外でトンネルや橋梁といった土木構造物の火災による被害が報告されている。トンネルの場合、国内でも年間20件程度の火災事故の発生が報告されており、火災後の応急対策や補修対策等を示した指針の整備が進んでいる。

橋梁においてもガイドライン<sup>2)</sup>が整備されたが、火災事例は数例が報告されているにすぎず、これまで統計的には十分に整理されていない。対象橋梁においても、桁下からの出火が要因となり、端横桁の大きな変形が生じていたが、ガイドラインで示されている補修方法や既往実績の踏襲では要求性能を満足できない可能性があった。そこで、本業務では、変形の生じた端横桁に対し、機械的部材矯正と局部加熱矯正との併用工法の採用や管理値の設定といった提案を行い、補修詳細設計を実施した。また、その補修方法の妥当性については、施工前の試験施工を通して確認を実施した。本稿は、火災により損傷を受けた端横桁の補修設計の考え方や試験施工の内容・結果について報告するものである。

**Key Words** : 橋梁, 端横桁, 火災, 補修, 機械的部材矯正, 局部加熱矯正

## 1. 橋梁概要

対象は、一般国道419号（側道部）に架かる橋梁である（図-1）。本橋の橋梁諸元を、表-1に示す。一般国道419号は第1次緊急輸送路に指定されており、上下線13,348台／日（H27センサス）と比較的交通量の多い道路である。一般国道419号が一部有料区間となっていることや、本橋周辺で、一般国道1号、一般国道23号に接続していることから、本側道部の利用者も比較的多い。また、本橋は片側1車線の道路であり、近くに代替路もなく、通行止めを行った場合、道路利用者は大きな迂回が必要となる。

表-1 橋梁諸元

| 項目    | 諸元                                     |
|-------|----------------------------------------|
| 路線名   | 一般国道419号(側道部)【第3種2級】                   |
| 橋長    | 51.0m                                  |
| 支間長   | 49.8m                                  |
| 幅員構成  | 5.000m+3.500m(車道+歩道)                   |
| 上部工形式 | 単純非合成鋼板桁                               |
| 下部工形式 | 逆T式橋台(斜角A1:56° 55' 08"、A2:62° 57' 45") |
| 竣工年   | 1999年(平成11年)                           |
| 示方書   | 平成6年2月                                 |
| 設計活荷重 | B活荷重                                   |
| 交差条件  | 河川                                     |

## 2. 損傷状況

本橋は、交差河川左岸にあたるA1橋台部からの出火により被災し、鎮火後、出火元は、G2-G3桁間の橋座面と特定された。出火時の熱影響により本箇所を中心に、橋梁の各部材に損傷が生じていた。被災直後には通行止めの要否判断のため、緊急点検が実施され、その後、詳細調査が行われた。

主な調査は、被災直後の近接目視点検、詳細調査時に実施した変形量調査、磁粉探傷試験、引張試験、コンクリート強度・中性化試験である。



図-1 位置図

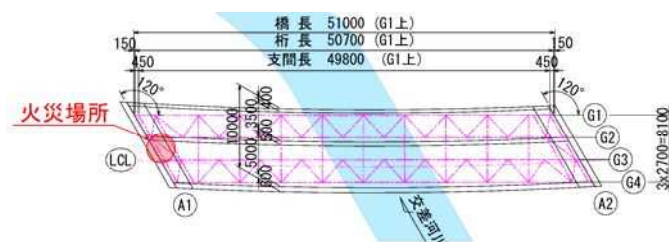


被災箇所を図-2に、主な被災状況を写真-1,2に示す。また、主な損傷・調査結果を表-2に示す。

鋼道路橋の受熱温度推定に関する調査<sup>2)</sup>等の文献から判断し受熱温度は最高でも700℃以下であり、鋼部材、コンクリート部材ともに強度低下が生じていないと推察されたため、詳細調査時には「通行止めはせず、供用再開後に補修を実施」と判断され供用が再開された。被災した端横桁は、材質がSM490、高さ1000mm・厚さ9mmのウェブと幅200mm・厚さ10mmのフランジで構成されている。本部材については、ウェブの変形量が最大で36mm（平面度で最大17mm）、下フランジの変形量が最大で37mm（通りで最大30mm）生じていた（図-3,4）。ウェブの面外変形は大きく、地震動等による座屈が懸念された。また、下フランジは局部変形が生じており、大型車の繰返し荷重によって、疲労亀裂の発生が懸念された。そのため、恒久的な補修対策が必要であった。

### 3. 補修方針

損傷状況より、端横桁に対して、耐座屈性や疲労耐久性の向上を目的とした補修対策を計画することとした。補修対策における課題や課題への対応策について後述する。



## (2) 補修方針と課題に対する対応

交通開放しながらの補修方法として、前述した部材矯正（機械的方法）が挙げられるが、本方法のみでは、本橋端横桁部のように変形量が大きい場合には対応が困難である。

そこで、今回、兵庫県南部地震の復旧工事にて鋼製橋脚補強を対象に実施された事例のある局部加熱矯正を併用することで、大変形の矯正に対応可能ではないかと考え、部材矯正（機械的方法）＋局部的加熱矯正の併用工法を提案した。

これまでの事例における局部加熱矯正は、過去の実績を踏まえた上で施工法が定められているに過ぎず、鋼材の機械的な性質と橋梁全体系の耐荷力への影響が不明確であった。特に、本橋端横桁部のような大きな変形量に対し、局部加熱矯正を行った場合、加熱温度を高く設定しなければならず、機械的性質の著しい低下を招く可能性があった。特に、面外方向に大きく変形しているウェブはその傾向が顕著となる可能性があった。そこで、今回、以下に挙げる2つの管理目標値を設定した上で、補修対策を講じることを提案した。

- ・矯正後の目標変位量の設定（ウェブ）
- ・局部加熱温度の設定

上記については、4. に具体的内容を示す。

## (3) 矯正方法の計画

油圧ジャッキの反力を受けられる場所・部材がないため、部材矯正（機械的方法）として高力ボルト締め付けによる矯正を採用することとした。過去の事例では、矯正材の配置をトラス状に配置した矯正方法が多く作用されていたが、これは、矯正力を採用したものというよりは、斜場力場の考え方にて、補剛材代わりに設置してあるという考え方であった。

今回は、矯正力を期待した矯正材配置と局部加熱法に使用するガスバーナーの大きさ等を考えた部材配置、施工順序を計画した。

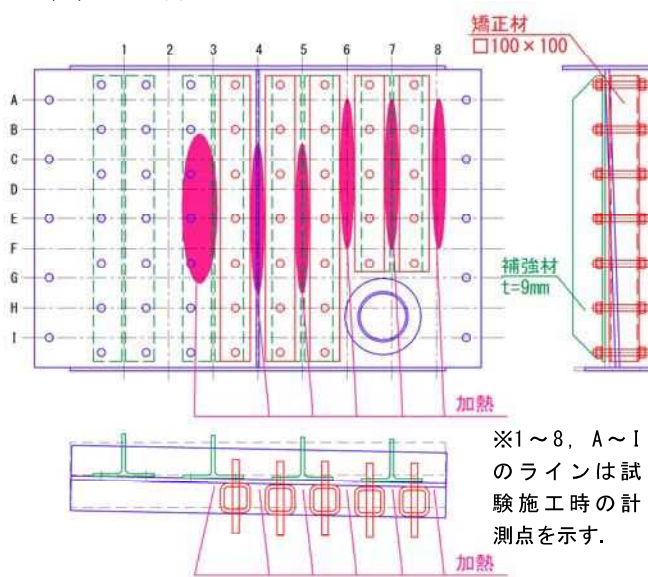


図-5 矯正方法

図-5に矯正方法の模式図を示す。剛性の高い角パイプ（100×100）を矯正材として使用することに加え、矯正材の間隔をガスバーナーが使用に配慮した上で、できる限り小さくし150mmと設定した。矯正材は最大変形量周辺に設置し、その両側を加熱、最大変形量に一番近いボルトから締め付けを行っていくこととした。

## 4. 技術的工夫

### (1) 矯正後の目標変位量の設定（ウェブ）

道路橋示方書・同解説Ⅱ鋼橋編<sup>3)</sup>（以下、道示という）の製作時のウェブ平面度 $\delta$ では、ウェブ高の250分の1の値を管理目標値として設定している。ウェブ高 $h=1000\text{mm}$ の本橋端横桁部においては、 $\delta=1000/250=4\text{mm}$ 以内を矯正後の目標変位量として設定する必要があった。ウェブの変形量が最大で36mmであるため、矯正量としては、32mmと大きな矯正力が必要となる。

そのため、機械的方法の矯正规模増加や局部加熱矯正の温度増加による鋼材の機械的な性質と橋梁全体系の耐荷力への影響が大きくなり、経済性や既設部材の強度低下が生じる可能性があり現実的ではないと判断した。

道示<sup>3)</sup>の値があくまで架設時の許容値であることや、過去の補修設計等の管理目標値を勘案し、今回は、火災被災橋梁の点検要領<sup>4)</sup>に準拠することとした。火災被災橋梁の点検要領<sup>4)</sup>は、道示<sup>3)</sup>の値を1.7倍した150分の1の値を緩和値として設けている。本値まで矯正を行えば、座屈照査を満足することを確認の上、 $\delta=1000/150=7\text{mm}$ 以内を本橋端横桁部の矯正後の目標変位量（1つ目の管理目標値）とした。

### (2) 局部加熱温度の設定

既往のガイドライン<sup>1)</sup>では、局部加熱温度は一般的に、局部加熱矯正では鋼材表面温度900℃以下とし施工されていると記載がある。一方で、鋼構造論文集<sup>5)</sup>では490Y材を900℃で加熱した場合、降伏強度が17%、引張強度が6%減少するといった報告もある。よって、局部加熱矯正にあたっては、母材の機械的性質を損なわない局部加熱温度の設定が必要である。局部加熱温度を設定するにあたっては、本橋が火災により耐力低下していないことに着目した。つまり、火災による受熱温度を局部加熱温度として設定すれば、機械的性質を損なわない可能性が高いのではないかと考えた。

前述したように、本橋端横桁部の受熱温度は最高で700℃と推定された。また、国総研資料<sup>2)</sup>によれば、鋼部材は受熱温度700℃を超えると著しく機械的性質が損なわれることが実験等により分かっており、700℃を超える温度での局部加熱矯正は危険と判断し、700℃以下を局部加熱温度（2つ目の管理値）として設定した。

## 5. 試験施工

### (1) 試験施工概要

前述した矯正方法の計画内容や技術的工夫点についてはこれまでに前例がないものであった。そのため、施工に際し、事前に試験施工を行い、妥当性の確認を行うこととした。

試験施工には、写真-3, 4に示すように実橋の端横桁を模した供試体を用い、事前に加熱と油圧ジャッキにより矯正的に変形を与えた。実橋の変形量と多少の差異があるため、矯正量にて管理を行った。実橋においては、最大変形量36mm、矯正後の管理変位量は7mmであるため、矯正量は29mm必要である。供試体においては最大変位量が48mmであり、矯正後の変位量17mmとする必要がある。試験施工の手順は、フランジの通りを矯正後、前述した矯正方法にてウェブを矯正した。まずは、部材矯正（機械的方法）のみで矯正を図り、その後、局部加熱矯正温度を併用し、500℃以下の場合と、700℃以下の場合で矯正を実施した。局部加熱温度については、サーモグラフィーにより管理した。

### (2) 試験施工結果（ウェブ）

試験施工結果は、表-3に示す通りである。部材矯正（機械的方法）の場合、500℃以下で局部加熱矯正を併用した場合については、十分な矯正が行えない結果となった。700℃以下で局部加熱矯正を実施した場合については、矯正量34mmと管理目標値を満足する結果となった。また、試験施工後に実施した供試体の引張強度試験の結果、母材引張強度の低下は確認されなかった。この結果から、詳細設計で立案した対策及び技術的工夫点は妥当と判断し、試験施工と同様の手順で、本施工を実施することとした。

高い温度での加熱が必要な理由は下フランジが腹板面外方向に変形している影響が大きいと考えられる。また、施工直後にスプリングバックが生じていたが、矯正時に設置した補強材を再設置することにより解消されたため、本施工時にも再設置を行うこととした。

表-3 試験施工結果（ライン6）

| 計測点 | ①     | ②        | ③                     | ④                     | ⑤         | ⑥          |
|-----|-------|----------|-----------------------|-----------------------|-----------|------------|
|     | 矯正前   | 機械的<br>— | 機械的<br>局部加熱<br>(500℃) | 機械的<br>局部加熱<br>(700℃) | 矯正材<br>撤去 | 補強材<br>再設置 |
| F   | 40 mm | 23 mm    | 15 mm                 | 12 mm                 | 18 mm     | 10 mm      |
| G   | 43 mm | 27 mm    | 17 mm                 | 14 mm                 | 20 mm     | 14 mm      |
| H   | 46 mm | 31 mm    | 19 mm                 | 16 mm                 | 20 mm     | 16 mm      |
| I   | 48 mm | 32 mm    | 22 mm                 | 16 mm                 | 18 mm     | 16 mm      |

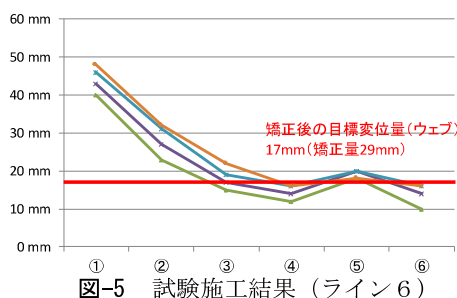


図-5 試験施工結果（ライン6）

## 6. おわりに

試験施工にて確認した矯正方法により、本施工でも変形量を管理目標値以内に収めることができたことと報告を受けた（写真-5, 6）。

本稿の成果は、700℃以下での局部加熱において鋼材の機械的性質の低下がないことを実証し、部材矯正（機械的方法）＋局部的加熱矯正の併用工法により、橋面交通に影響を与えることなく、大きな変形の矯正に対応できたことであると考えられる。また、本技術は火災を受けた橋梁のみならず、車両衝突や地震等で変形した鋼桁の矯正にも適用できるものと考えられる。

今後は、局部加熱温度をできる限り低くするために、部材矯正（機械的方法）について、より矯正力の高い矯正方法の確立が必要と考える。また、FEMを用いた応力・温度解析等の設計手法を確立することで、試験施工を行わずに施工を実施できるようにすることも必要と考える。

火災を受けた橋梁の補修事例はまだ多くない。本稿の設計方針や提案内容が同様の事例において一助となれば幸いである。

### 参考文献

- 1) 土木学会：鋼構造シリーズ24、火災を受けた鋼橋の診断補修ガイドライン、2015。
- 2) 玉越 隆史，大久保 雅憲，石尾 真理，横井 芳輝：鋼道路橋の受熱温度推定に関する調査，国土技術政策総合研究所，第710号，2012。
- 3) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説Ⅱ鋼橋編，2019。
- 4) 国道交通省中部地方整備局名古屋国道事務所：火災被災橋の点検要領，1998。
- 5) 廣畑 幹人，北根 安雄，伊藤 義人：鋼橋の火災を想定した加熱および冷却過程が構造用鋼の溶接継手特性に及ぼす影響，鋼構造論文集，第21巻第84号，2014。



写真-3 供試体



写真-4 試験施工状況



写真-5 供試体



写真-6 本施工完了



# 鋼橋の亀裂に関する調査・解析・対策に関する事例

ひのまさき ひがしやまいじ すずきまさひろ たけうちまこと  
○日野雅樹<sup>1</sup>・東山泰治<sup>1</sup>・鈴木雅博<sup>1</sup>・竹内 慎<sup>1</sup>

<sup>1</sup>中央コンサルタンツ(株)本店 (〒451-0042 名古屋市西区那古野二丁目11番23号)

幹線道路の高架橋（3径間連続鋼床版箱桁橋、L=191.0m、W=9.88m～11.97m）において、鋼床版のUリブと横桁の接合箇所に、溶接部からUリブを通過し鋼床版の上面に至る長さ1mを超える亀裂が確認された。耐荷力の低下が懸念されることから早期の復旧を目的とし、FEM解析により対策の有効性を確認しながら、補強部材の製作期間の短縮が可能な市中品である型钢を用いた応急対策を立案した。市中品を用いることで、亀裂確認から補修工事まで3ヶ月という短い期間で対策を実現した。

**Key Words** : 鋼床版、Uリブ、亀裂、FEM解析、CT鋼、磁粉探傷試験、超音波探傷試験

## 1. 対象橋梁の概要

対象橋梁は、橋長L=191.0m、幅員9.88m～11.97m、床版厚12mmの3径間連続鋼床版箱桁橋である。竣工は昭和63年であり、適用示方書は昭和55年道路橋示方書である。地域交通と物流を支える幹線道路（バイパス道路）に位置する高架橋であり、大型車交通量が2500台/日以上である。海岸線から1.5km程度の平地部に位置している。

## 2. 亀裂状況

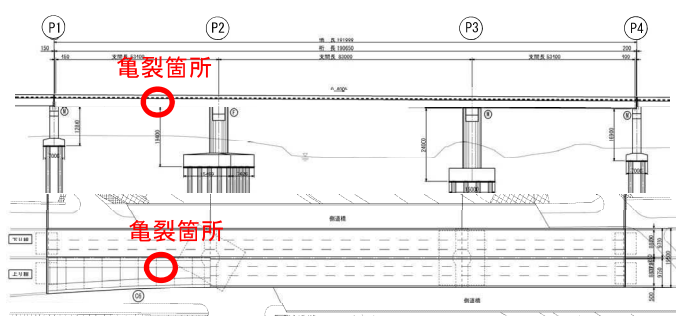


図-1 亀裂位置図

P1～P2間において、Uリブと横桁の交差箇所に、溶接部からUリブに至る1mを超える亀裂が確認された。亀裂は横桁を跨いで生じていた。

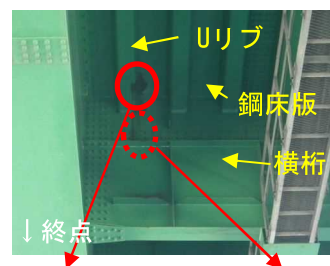


図-2 亀裂状況  
(上図：全体状況、左図：起点側、右図：終点側)

## 3. 詳細調査

### (1) 調査の目的

本亀裂は、2年前の点検時には確認されておらず、急速に亀裂が進展しているため、耐荷力の低下が懸念される状況であり、早急な対策が必要な状況であった。調査は、補修設計に必要な亀裂の延長や位置の把握を目的に、磁粉探傷試験と超音波探傷試験を実施した。



## (2) 詳細調査の結果

### a) 磁粉探傷試験

目視による亀裂が確認されたUリブ、溶接ビード部、鋼床版下面、鋼床版上面について、磁粉探傷試験を実施し、亀裂の範囲を確認した。鋼床版上面の亀裂は横桁箇所を橋軸直角方向に亀裂が確認された。

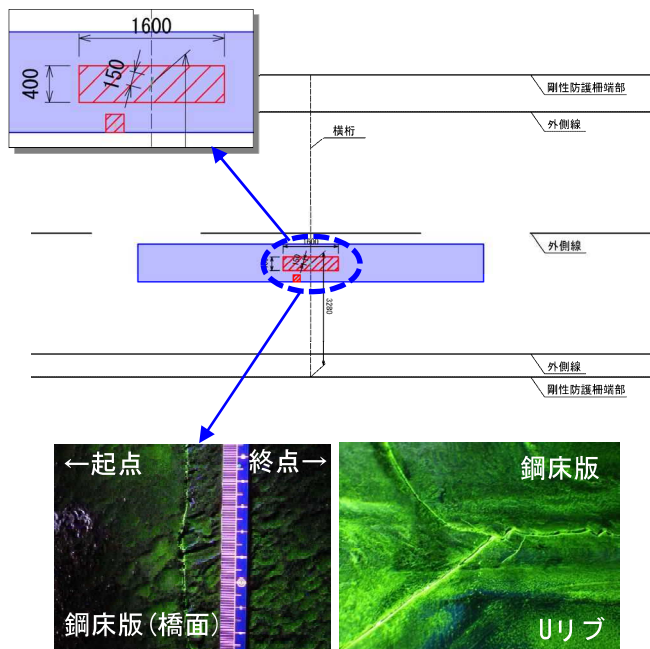


図-3 磁粉探傷試験の実施状況（左：橋面、右：桁下）

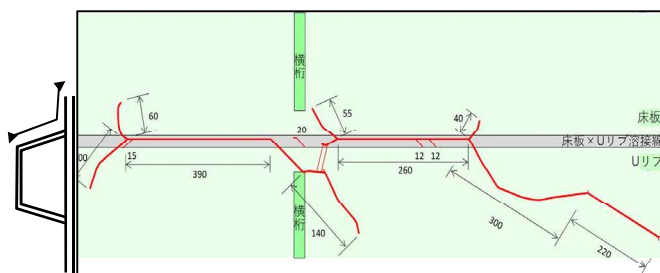


図-4 磁粉探傷試験により確認された亀裂状況（床版下面）

### b) 超音波探傷試験

溶接ビード部から鋼床版に進展する目視では確認が出来ない亀裂の有無および亀裂深さを確認するために超音波探傷試験を実施した。下図のようなビードに沿った鋼床版の亀裂を確認するため、溶接ビード部から床版上面側に向かって超音波探傷試験を実施した。今回の試験ではUリブと鋼床版の溶接部から鋼床版に進展する亀裂は確認されなかった。

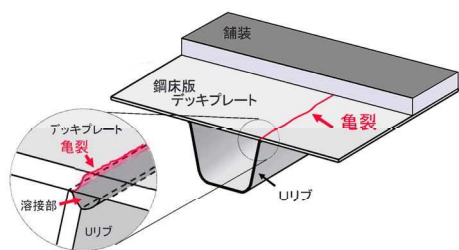


図-5 超音波探傷試験により調査を検討する亀裂

## 4. 亀裂の発生原因の推定

本橋梁の亀裂の発生原因としては以下が想定される。

### (1) 溶接の影響

亀裂が確認された溶接ビード部は、亀裂が発生している前後区間で溶接脚長が短く、仕上がりの滑らかさにも違いがあることから、溶接欠陥が原因で亀裂が生じた可能性がある。

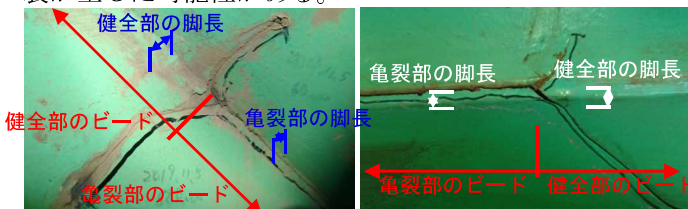


図-6 溶接部の亀裂発生状況

### (2) 輪荷重載荷位置の影響

輪荷重直下であり、ダブルタイヤ車両の通行位置によるUリブと鋼床版の接合部の応力変動が大きく、首振り現象が生じることから、亀裂が生じた可能性がある。

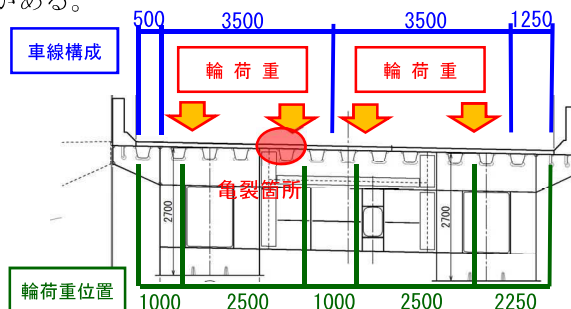


図-7 輪荷重による上部工への影響

### (3) 主桁作用のたわみの影響

支間中央部に位置しており、活荷重の荷重によるたわみ振幅が大きく、主桁作用の応力変動が発生するため、亀裂が生じた可能性がある。

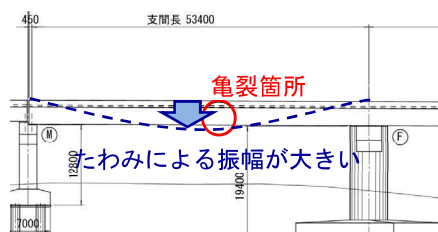


図-8 橋軸方向のたわみの影響の概念図

### (4) 横桁付近の応力変化の影響

横桁の拘束により橋軸方向の引張応力度の変動が発生し、横桁上面付近に応力度が集中し、鋼床版に亀裂が生じた可能性がある。

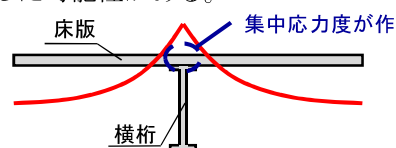


図-9 横桁付近の応力度の概念図

## 5. 応急対策の立案

### (1) 基本方針

今回確認された亀裂は溶接ビード部から鋼床版およびＵリブに及んでいることから、輪荷重に対する耐荷力が低下しているものと考えられるため、部材耐力を回復させる対策が必要となる。部材耐力を回復させる対策として、一般的な対策である当て板補強を立案した。また、今後の亀裂の進展を防ぐため、亀裂の先端部についてはストップホールを行うものとした。

## (2) 対策案の比較検討

亀裂の生じたUリブの補修工法として、事例等を基に立案した対策案について、比較検討を実施した。本亀裂については、緊急性が高いことから、製作に係る期間を短縮することを目的に市成品であるCT鋼と床版部の当て板を選定した。CT鋼を2枚とした場合は、既設のUリブとの連続性を確保することが出来ないため、CT鋼を1枚とし、既設のUリブに割込みを行うことで、連続性を持たせるものとした。ここで、鋼板を既設鋼床版の上下に設置することで、剛性を確保するものとした。

表-1 対策案の比較検討

|                     | 断面図                                                 | 工期 | 現場<br>施工性 | 構造的性 | 評価 |
|---------------------|-----------------------------------------------------|----|-----------|------|----|
| C T<br>鋼 1<br>枚案    | <p>補強材<br/>CT-165×251×10</p>                        | ○  | ○         | ○    | ○  |
| 概要                  | ・市巾品（C I 鋼 1 枚、鋼板 2 枚）を使用<br>・U リブに割込みを行うことで、連続性を確保 |    |           |      |    |
| C T<br>鋼 2<br>枚案    | <p>補強材<br/>CT-165×251×10</p>                        | ○  | ○         | △    | △  |
| 概要                  | ・市巾品（C T 鋼 2 枚、鋼板 1 枚）を使用<br>・既設との接続部において連続性の確保が不可  |    |           |      |    |
| 工場<br>製作案<br>（首都高速） | <p>H.T.B.W.F(10T)<br/>頭端のφ24.5FL</p>                | △  | △         | ○    | △  |
| 概要                  | ・製作部材を使用<br>・既設のUリブと接続することで、連続性を確保                  |    |           |      |    |

### (3) 鋼床版の当て板補修の方針

鋼床版の当て板は、長さは亀裂範囲以上とし、幅は床版の添接部と損傷のないUリブ端部までの範囲とした（床版下面でボルト添接が可能な範囲）。

#### (4) CT鋼による補修の方針

CT鋼のサイズは、UリブをCT鋼に付替えるため以下の条件を満足させるものとした。

- ・主桁断面計算に必要な断面積とするため、Uリブと同等な面積の材料を選定する。

- ・床版としての必要な剛性は、CT鋼を使用することで既設のUリブより小さくなるが、鋼床版の下側にも当板を設けることで床版の断面剛性を確保する。
- ・下側の当て板は、Uリブ撤去の範囲とする。

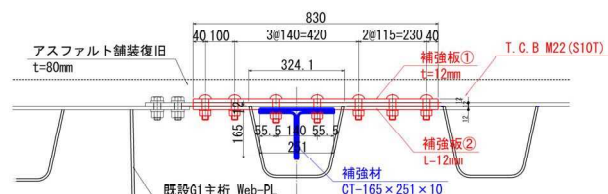


図-10 応急対策図

## 6. FEM動的解析による対策効果の検証

### (1) 目的

亀裂の発生原因の推定と補強の有効性の確認、及び補強による他部材への応力集中を確認するためにFEM解析を実施した。

## (2) モデル概要

解析手法 : 3次元弾性解析

解析ソフト：ABAQUS

モデル範囲：1 径間

要素設定 : 鋼材はシェル要素、コンクリート床版はソリッド要素

境界条件 : 端部単純支持

解析ケース：補強前、補強後

荷重条件 : 自重+追越し車線輪荷重、自重+走行車線輪荷重+追越し車線輪荷重

輪荷重 : 100kN (200mm×500mm)

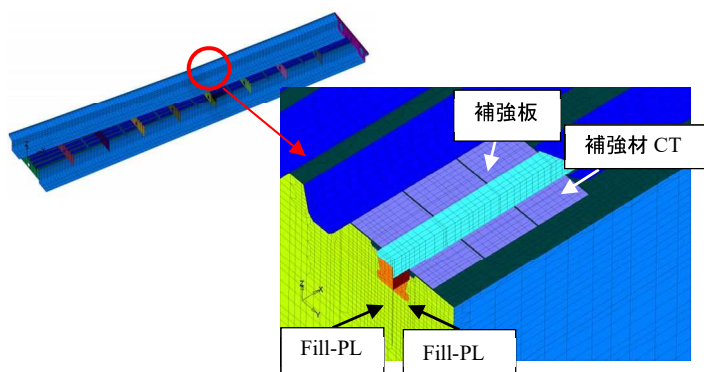


図-11 3次元弾性解析によるモデル化

### (3) 既設構造の応力状況

既設構造の応力状況は、横桁とＵリブの交差箇所に位置する鋼床版下面に最大応力度157.0N/mm<sup>2</sup>が発生しており、スカラップ部には最大応力度106.3N/mm<sup>2</sup>が発生している。鋼床版（SM400）の引張降伏強度は235N/mm<sup>2</sup>であるため、亀裂の発生原因としては、応力超過が主原因ではないと考えられる。



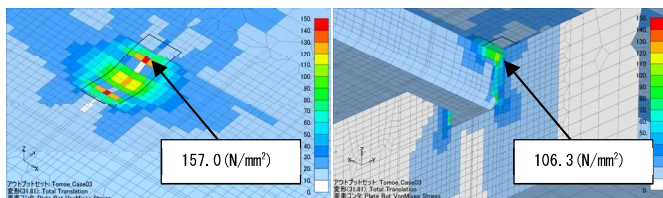


図-12 既設構造の応力状況

#### (4) 補強の有効性

補強後の解析の結果、亀裂が発生した横桁とUリブの交差箇所での応力度については鋼床版下面について低減しており、スカラップ部については僅かに増加しているが、どちらも引張降伏強度以下であることが確認された。スカラップ部で応力度が増加しているのは、スカラップ部は横桁との交差箇所であり、床版下面側の鋼板の継ぎ手箇所となっているためである。

鋼床版下面：最大応力度157.0N/mm<sup>2</sup>⇒85.7 N/mm<sup>2</sup>  
スカラップ：最大応力度106.3N/mm<sup>2</sup>⇒113.2 N/mm<sup>2</sup>

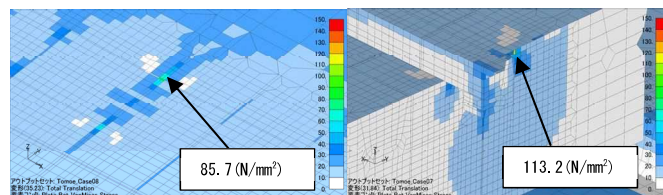


図-13 補強後の応力度状況

#### (5) 他部材への応力集中

本補強対策により、対策箇所の剛性が高まることで、その周辺に応力集中が発生することが懸念されたため、CT鋼の端部箇所において補強後の応力状況の確認を行った。解析の結果、補強箇所と隣接する鋼床版上面に201.0 N/mm<sup>2</sup>、Uリブの切断箇所に155.3 N/mm<sup>2</sup>の応力度が確認された。鋼床版については、圧縮応力度及び引張応力度ともに許容値以下であり、座屈や亀裂は生じないものと考えられるが、比較的高い数値であるため継続して監視する必要がある。

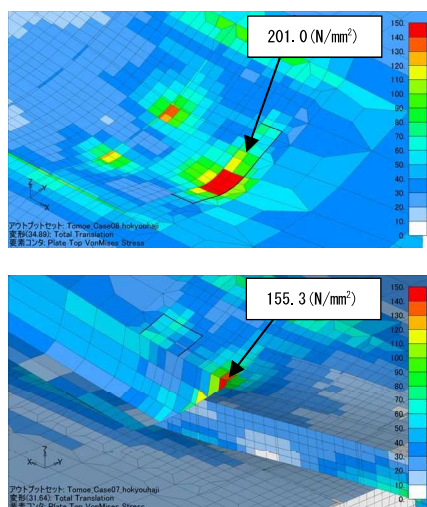


図-14 他部材への応力度集中状況  
(上図：床版上面、下図：既設Uリブ切断部)

## 7. 成果と結論

### (1) 成果

本亀裂は、応急対策の緊急性が高いことから、Uリブの補修について、部材製作の期間を短縮するために市中品であるCT鋼と鋼板の当て板による対策を実施した。本事例では、亀裂確認から補修工事まで3カ月の期間で応急復旧を完了した。施工計画では、現場作業として孔開けとボルト接合を基本とし、部材の質量を人力で持ち上げられる長さとし、施工が可能となる部材割とした。実作業では、迅速な作業（部材取付け3時間）が可能となり、即日での工事の完了が実現出来た（規制時間9:00～24:00）。



図-15 工事状況

| 作業内容      | 8時 | 9時 | 10時 | 11時 | 12時 | 13時 | 14時 | 15時 | 16時 | 17時 | 18時 | 19時 | 20時 | 21時 | 22時 | 23時 | 24時 |
|-----------|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 規制開始      |    | →  |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 鋼板除去      |    | →  | →   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 下面孔形      |    | →  | →   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 素地調整      |    | →  | →   | →   | →   | →   | →   | →   | →   | →   | →   | →   | →   | →   | →   | →   | →   |
| 孔明        |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 当て板取付     |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| ボルト締め     |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 鋼板復旧      |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 規制解除      |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 9:00~0:00 | →  | →  | →   | →   | →   | →   | →   | →   | →   | →   | →   | →   | →   | →   | →   | →   | →   |

図-16 タイムスケジュール

### (2) 結論

既設構造の解析結果より、本橋梁においては輪荷重による応力度は鋼材の引張降伏強度以下であることが確認された。亀裂の原因としては、対象橋梁は鋼床版の床版厚が12mmと現行基準に比べ薄いことに加え、大型車交通量が多い路線に位置するため、疲労亀裂によるものと想定される。今後も慎重に観察していく必要があり、SAUT等の効率的な調査を実施していくことが有効である。また、今回の補強により、補強部材の周辺に応力度集中が確認されたため、Uリブの切断箇所周辺についても重点的に確認していくことが必要となる。

本事例で、早期の補修を要する亀裂に対する応急対策として、Uリブの補修に対する市中品（CT鋼、鋼板）の有効性を確認することができたため、今後、一事例として、活用されれば幸いである。

## 参考文献

- 1) 道路橋示方書・同解説、日本道路協会、2012。
- 2) 鋼橋の疲労、日本道路協会、1997。
- 3) 鋼橋の疲労対策技術、土木学会、2013。

# 締固め工法による周辺地盤変位抑制 についての検討・考察

○下田聡<sup>1</sup>・浜昌志<sup>1</sup>・中村幸生<sup>2</sup>・見並善巳<sup>2</sup>

<sup>1</sup>日本工営（株）地盤環境事業部（〒102-8539 東京都千代田区麹町5-4）

<sup>2</sup>日本工営（株）名古屋支店（〒460-0006 愛知県名古屋市中区葵1-20-22）

本業務は、南海トラフ等の巨大地震による液状化や浸水被害が想定される庄内川下流部の河川堤防において、耐震対策設計を行ったものである。河川堤防の耐震対策として選定した締固め工法は周辺地盤への影響が懸念され、川裏側の法尻付近に近接する重要保全施設への変位抑制対策が求められた。

課題への対応策としては、過年度施工実績等より影響要因について分析・評価し、影響要因に応じた抑制対策を設計したものである。なお、設計区間の耐震対策工事は令和3年7月に施工完了しており、影響要因分析・抑制対策によって重要保全施設への施工影響を抑制できた。

**Key Words** : 耐震対策設計, 締固め工法, 周辺地盤変位, 変位抑制対策, 近接施工

## 1. はじめに

本業務は、庄内川下流部の河川堤防において耐震対策設計を行ったものである。庄内川下流部は、切迫性の高い南海トラフ等の巨大地震による液状化や浸水被害を低減させるため、平成23年度以降、耐震対策事業が進められている。

庄内川下流部は濃尾平野に位置し、津波等による浸水リスクが高い海拔ゼロメートル地帯が広がっている（図-1）ため、南海トラフ巨大地震による浸水被害が広範囲に想定されている。

また、背後地には民家が連坦し、資産が集中するため、大規模地震（レベル2地震動）による堤防の決壊や液状化沈下した場合の被害は大きくなる。そのため、河川堤防の耐震化による地震被害軽減が必要であり、耐震対策効果の早期発現が求められていた。

本報文は、庄内川下流部において耐震対策設計として選定した締固め工法の設計方針及び周辺地盤変位への対応事例について記述するものである。



図-1 濃尾平野の地盤標高<sup>1)</sup>

## 2. 庄内川下流部の地質状況

庄内川下流部には、軟弱な沖積層がT. P. -15m程度まで堆積しており、液状化危険度の高い地層は、堤体土下位の沖積砂質土層（Aus, ALs）である（図-2）。堤体直下の沖積層は、液状化層（Aus）と非液状化層（Auc）に区分され、互層状を呈す。沖積層上部のAus層とAuc層は複雑に堆積しており、粒度による地層評価は難しい区間であった（図-3）。

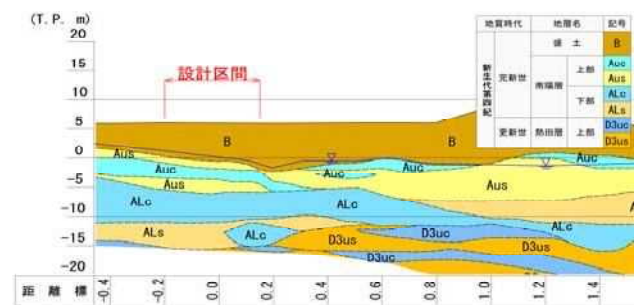


図-2 地質縦断面図

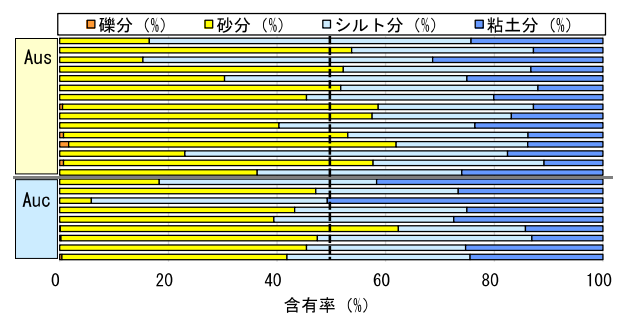


図-3 Aus層とAuc層の粒度分布



レベル2地震動に対する現況（無対策）の静的変形解析では、河川堤防の天端位置で2.5～4m程度の沈下が生じ、照査外水位が沈下後の堤防天端高を上回る。他層に比べて変形の大きい地層は盛土層（B）、上部砂質土層（Aus1, Aus2）であり、堤防天端の沈下量に大きな影響を与えている（図-4）。

一方、締固め工法対策後の静的変形解析では、川表・川裏の両側を地盤改良することにより、堤防天端の沈下量が抑制され、沈下後の堤防天端高が照査外水位を上回り、耐震性能を満足する（図-5）。

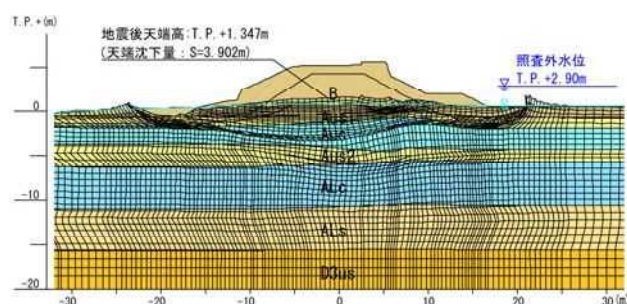


図-4 静的変形解析結果（無対策）

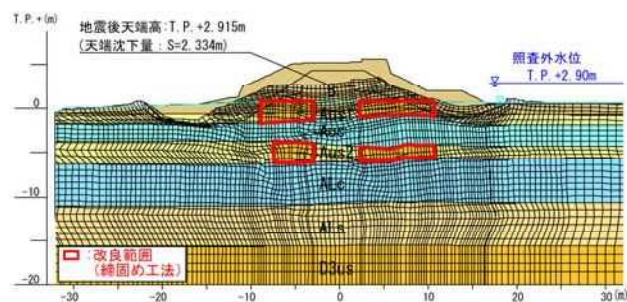


図-5 静的変形解析結果（締固め工法対策後）

### 3. 設計・施工上の課題と問題点

#### (1) 狭隘地における対策工法の選定

設計区間の堤外地には藤前干潟（ラムサール条約湿地）が位置しており（図-6、図-7）、川表側の仮設盛土幅や施工機高さに制限があった。川裏側には重要保全施設が近接していた（図-7）。川表・川裏側の現地状況より、両側法尻での耐震対策施工のためには、狭隘地で施工可能な工法選定が必要であった。



図-6 川表側の現地状況



図-7 堤防横断形状と制約条件

#### (2) 締固め工法施工に伴う周辺地盤への影響

本設計で選定した締固め工法は、材料（砂等）を地盤中に圧入、あるいは地盤を振動させることで密度を増大させるものであり、対策原理から周辺地盤への影響が懸念されている。

締固め工法により施工された隣接区間では、周辺地盤への影響が確認された箇所もあり、締固め工法の選定に当たって周辺地盤への影響要因を把握したうえで設計する必要があった。

なお、設計区間の庄内川左岸0.0k付近の川裏側には、重要保全施設が近接しており、法尻から5m程度の離隔しかなかった（図-7）。そのため、重要保全施設への影響を考慮した耐震設計・変位抑制対策が求められた。

### 4. 設計方針

河川堤防の耐震対策設計では、施工性、経済性、施工影響を考慮した工法・対策仕様の選定が重要である。本設計においては、上記課題への対応策として以下の3点に着目し、制約条件、地盤状況に適した工法・対策仕様を設定した。本報文では、「②施工影響要因分析」「③影響抑制対策の設計」について記す。

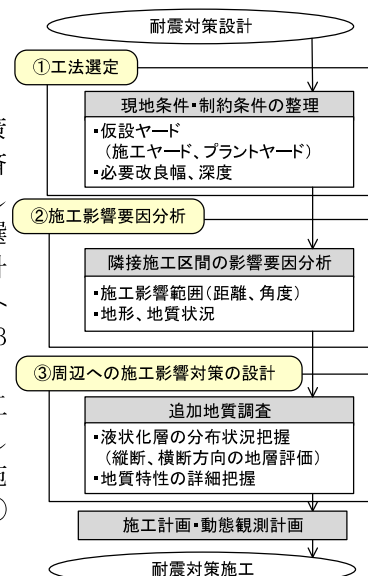


図-8 設計フロー

- ①狭隘地による耐震対策工法の選定
- ②隣接区間の施工実績等による施工影響要因分析
- ③周辺地盤への影響抑制対策の設計

### 5. 締固め工法による周辺地盤変位の抑制対策

#### (1) 施工に伴う周辺地盤への影響要因分析と対策

##### a) 地質調査による液状化層の詳細把握

隣接施工区間におけるボーリング結果より上部沖積層（Aus, Auc）の物理特性が類似していることが確認できた。細粒分含有率 $F_c$ は $F_c=40\sim70\%$ 程度で液状化層と非液状化層（ $F_c>35$ ,  $I_p>15$ ）の境界付近に分布している。物理特性の類似に加え、上部沖積層（Aus, Auc）が複雑に堆積しているため、限られた地質調査結果では上部沖積層を液状化層（Aus）と非液状化層（Auc）に区分し、縦横断方向の分布状況を推定することは困難である。そのため、100m程度の間隔の3箇所/断面の追加調査、粒度特性を詳細把握するための室内土質試験を提案し、液状化層の縦横断分布状況を詳細に評価した。

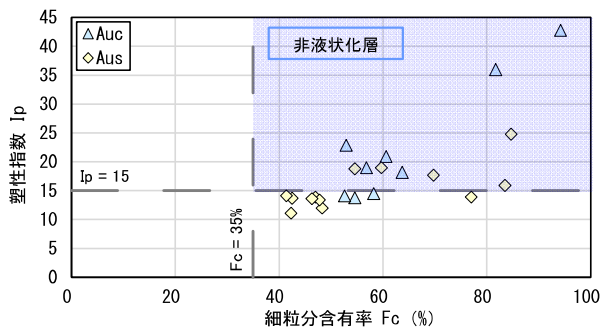


図-9 細粒分含有率Fcと塑性指数Ipの関係  
(隣接施工区間のボーリング結果)

#### b) 地盤改良範囲の設定

庄内川下流部の上部沖積層は複雑に分布しているが、隣接施工区間においては限られた地質調査結果しかなく、上部沖積粘性土 (Aus) の連続性、分布状況を詳細に把握できなかった。このため、Aus層も地盤改良対象層として施工され、周辺変位を助長していた。

本設計においては、縦横断方向の上部沖積層 (Aus, Auc) の区分、分布状況を追加地質調査により把握できたため、液状化層 (Aus) のみを地盤改良対象層として設定した。

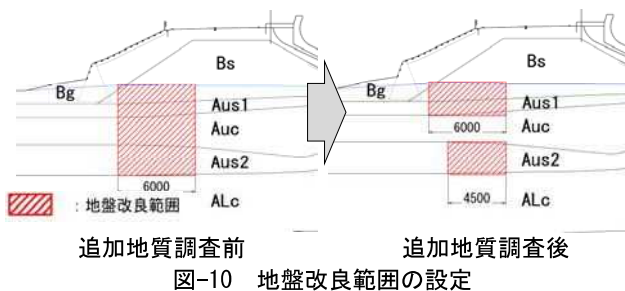


図-10 地盤改良範囲の設定

#### c) 変位遮断による影響抑制対策

堤防法尻から5m程度の位置に重要保全施設があり、耐震対策工事による変位抑制を強く求められた。保全施設は、①べた基礎であり周辺地盤変位の影響を受けやすいこと、②ヒアリングによれば石像設置時に敷地内の石像が傾いたことから対象地は軟弱地盤を考慮した影響抑制対策が重要と考えた。そのため、液状化層の詳細把握、地盤改良範囲の設定に加えて、施工による変位を遮断するために鋼矢板の設置を検討した。

変位遮断のための鋼矢板は「道路土工 仮設構造物工指針、社団法人日本道路協会、平成11年3月」に基づき、仮設時の盛土・機械荷重等を考慮して設定した。

表-1 変位遮断のための鋼矢板仕様

|     |                    |
|-----|--------------------|
| タイプ | ハット型鋼矢板<br>(透水性矢板) |
| 型式  | SP-25H             |
| 矢板長 | L=10.0m            |

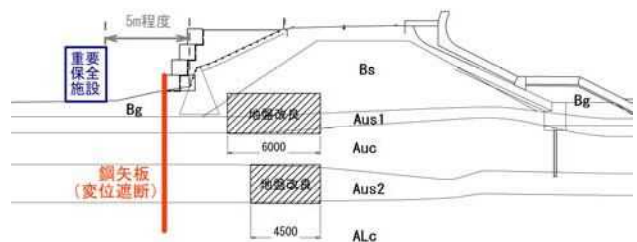


図-11 周辺地盤変位の抑制対策 (鋼矢板-変位遮断)

#### (2) 施工時の工夫・取り組み

施工時にも周辺地盤への影響を抑制するために施工者により以下の工夫が実施された。

- ① 間隙水圧の上昇抑制による変位抑制対策
  - 施工機の計画的な配置による分散施工
  - 千鳥配置での砂杭打設による圧力分散
  - 圧入速度の低減による圧力抑制
- ② 打設順序の工夫による変位抑制対策
  - 保全施設側からの施工

#### 6. 施工時の動態観測結果

庄内川左岸0.0k付近の川裏側施工は令和3年7月に完了し (表-2)、重要保全施設への施工影響は発生しなかった。

表-2 施工期間と工程

| 期間                 | 工程           |
|--------------------|--------------|
| R2/12/ 6 ~ R3/1/14 | 矢板打設         |
| R3/ 1/16 ~ R3/1/30 | 仮設盛土設置       |
| R3/ 3/11 ~ R3/6/ 4 | 地盤改良 (締固め工法) |
| R3/ 6/14 ~ R3/7/14 | 仮設盛土撤去       |



図-12 施工状況

施工中には重要保全施設への変位を確認するため、以下の2項目の動態観測が行われた。

- ① 矢板天端位置の変位観測 (鉛直・水平変位)
- ② 傾斜計による矢板傾斜・変位確認

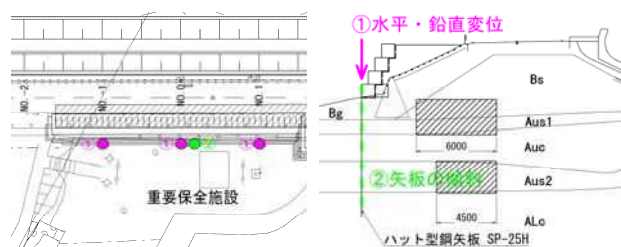
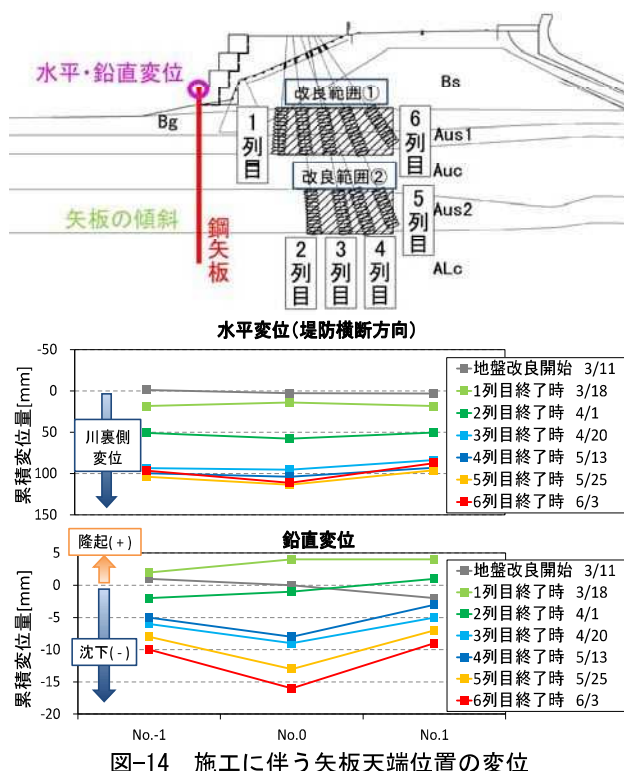


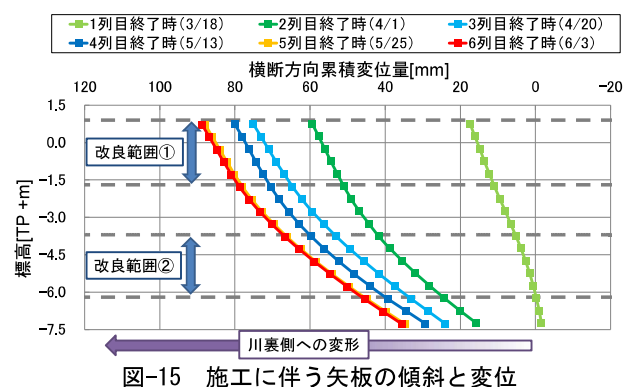
図-13 動態観測箇所

砂杭打設時の矢板天端の変位は、6列目終了時に最大となっており、水平変位が最大110mm程度、鉛直変位が最大16mm程度発生している。水平変位は3列目終了時まで大きく増加しているが、3列目終了時以降の水平変位量は小さくなっている。鉛直変位については打設列数の増加に伴い進行しており、概ね同程度（3～7mm）の沈下が各砂杭打設で確認できる（図-14）。



傾斜計による観測結果（図-15）より、砂杭打設に伴い、変位抑制の矢板に傾き・水平変位が生じたことが確認できる。上部液状化層（改良範囲① Aus1）の砂杭1列目打設では矢板上部の変形により矢板が傾いているが、砂杭2列目以降の打設では下部液状化層（改良範囲② Aus2）を改良しているため、矢板下端から川裏側に押されたことが確認できる。

矢板下端の川裏側への水平移動は、改良下端からの根入れを長くすることで減少すると考えられ、変位遮断を目的とした鋼矢板の根入れ長の検討手法については課題が残る。



## 7. 結論

周辺地盤変位の抑制対策により重要保全施設への施工影響は抑制することができ、今回設計した変位抑制対策の効果が得られたと考える。重要保全施設のべた基礎には施工前の既存クラックの広がり確認できず、新たに発生した顕著な変状は見られなかった（図-16）。

締固め工法による周辺地盤変位の発生位置、規模は一律でなく、不規則に発生する。それは地盤の複雑性・不均質性によるものだと考える。鋼矢板を法尻付近に設置することで、不規則・不連続に発生する地盤変位を吸収・遮断し、重要保全施設への変状抑制に大きく寄与したと考える。



図-16 施工前後のべた基礎の状況

## 8. 今後の課題

### (1) 矢板根入れ長の検討手法の確立

施工により矢板下端は、35mm程度川裏側に水平移動した。矢板下端の水平移動の抑制のためには、矢板の根入れ深度を確保することが重要と考える。そのため、矢板への側圧等を考慮した根入れ長の検討手法を確立することが課題である。

### (2) 周辺地盤変位の予測精度向上

締固め工法によって発生する周辺地盤変位は、地形・地質状況や対策仕様等、様々な条件によって異なる。本設計区間では従来から確認されている隆起とは異なり、沈下傾向が確認された。周辺地盤変位の発生位置・変位量の傾向を予測できれば、変位抑制対策の必要性や仕様・規模を検討できることから、周辺構造物への施工影響の抑制にもつながる。そのため、今後も施工時の変位計測データの蓄積・分析により、周辺に発生する地盤変位の予測精度を向上させることが重要である。

**謝辞：**業務実施において、国土交通省中部地方整備局庄内川河川事務所の指導をはじめ、施工者にご協力いただき、遂行することができました。ここに感謝の意を表します。

## 参考文献

- 1) 木曽川下流河川事務所HP,  
[https://www.cbr.mlit.go.jp/kisokaryu/taishin\\_taisaku/index.html](https://www.cbr.mlit.go.jp/kisokaryu/taishin_taisaku/index.html)



# CIMモデルを活用し効率的に事業調整等を行った取水堰詳細設計の紹介

○新谷 裕美<sup>1</sup>・原田 直樹<sup>1</sup>・草野 友宏<sup>1</sup>・鈴江 洋太<sup>1</sup>

<sup>1</sup> (株) 建設技術研究所 中部支社 (〒460-0003 愛知県名古屋市中区錦1-5-13 オリックス名古屋錦ビル)

今回紹介する業務は、設楽ダム取水堰・清水バイパスの詳細設計業務である。本業務では、CIM関連業務で行われる2次元図面を先行し3次元化する通常の作業手順ではなく、着手直後からCIMモデルの作成とその活用に取り組むことで、本ツールの有用性を確認した。発注者らの複数の関係者が集まる合同会議で同モデルを段階的に提示した。その結果、事業者間の調整ツールとして、また主要段階の施工状況やその際の課題把握に有益であることが分かった。また、設計照査としても有益で、施工計画の精度向上につながる事が分かった。

**Key Words** : CIM, 取水堰, 施工計画, 情報共有

## 1. はじめに

設楽ダムは、洪水調節、正常流量の確保や水資源開発を目的とした堤高129m、流域面積62km<sup>2</sup>、湛水面積約3km<sup>2</sup>、総貯水容量9,800万m<sup>3</sup>の重力式コンクリートダムで、豊川河口から約70km上流の愛知県北設楽郡設楽町に建設中の施設である(図1)。

今回紹介するのは、令和2年度に実施した業務で、ダム下流の水温改善等を目的とした取水堰・清水バイパスの詳細設計業務である。設計箇所は、付帯道路等の関連構造物があり、干渉の確認が必要であった。この状況を把握しつつ、設計上の課題を遺漏なく抽出し解決するためのツールとして、業務の着手当初から設計完了まで一貫してCIMモデルを活用した。

本論文では、設計上の課題をCIMモデルによって解決したプロセスを示し、本ツールの有用性を紹介する。



図1 設楽ダム位置図

## 2. 対象施設の概要

CIMモデル活用例の紹介に先立ち、対象施設の取水堰と清水バイパスの施設概要を示す。施設位置は、図2の通りで、取水堰で取水し、バイパス管でダム下流に配水する。取水堰の予備設計の成果に基づき作成した全体図は、図3の通りである。

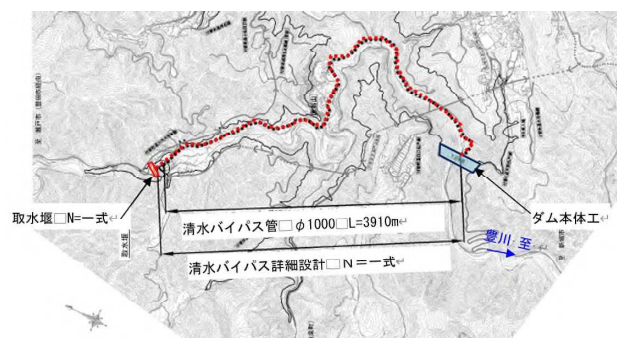


図2 取水堰・清水バイパス位置図 (設計数量)



図3 取水堰 完成イメージ (着手当初)



### 3. CIMモデルの活用

本業務では取水堰と周辺でCIMモデルを作成した。その概要を以下に記す。

#### (1) 実施内容

##### a) 3次元測量

対象施設の設計に用いる測量成果を得るため、グリーンレーザを搭載したUAVを用いて、三次元測量を実施した（図4）。



図4 現況地形データ

##### b) 作成モデル

作成モデルの仕様は、表1の通りである。本仕様で作成した成果が図3である。

表1 作成モデル

| 対象物  | 仕様       | 細目                                     |
|------|----------|----------------------------------------|
| 現況地形 | 0.5mメッシュ | 3次元測量成果地形サーフェス<br>UAVレーザ測量データの簡易オルソデータ |
| 本体工  | LOD200   | 主堰堤、副堰堤、水叩き工、取水樹                       |
| 関連施設 | LOD100   | 付帯道路、管理用道路、魚道、沈砂池                      |

##### c) リクワイヤメントの実施状況

本業務は令和2年BIM/CIM導入ガイドライン（案）に基づきリクワイヤメントを5点選定し、実行した。結果は表2の通りであった。

情報共有システムのサーバー上にCIMモデルを登録し共有した（図5）。ファイル形式は、CIM対応ソフトなしで内容を確認なものとした。また、属性情報は、CIMガイドラインのコンクリート（堰）を参考に属性情報を付与した（図6）。

表2 リクワイヤメントの実施状況

| 対象物                          | 結果                         | 備考    |
|------------------------------|----------------------------|-------|
| 情報共有システムを活用した関係者間における情報共有    | ASPを活用したモデルの共有             | 図5    |
| 後工程における活用を前提とした属性情報の付与       | 取水堰は重力式のため、それに属性を付与        | 図6    |
| CIMモデルを活用した効率的な照査            | 付替道路（橋）との交差部における干渉などを照査    | (2)図7 |
| 施工段階におけるCIMモデルによる効果的な活用方策の検討 | 同上                         |       |
| その他（CIMモデルによる景観検討）           | 人工物の色や影を調整し、合意形成での活用を可能とした |       |

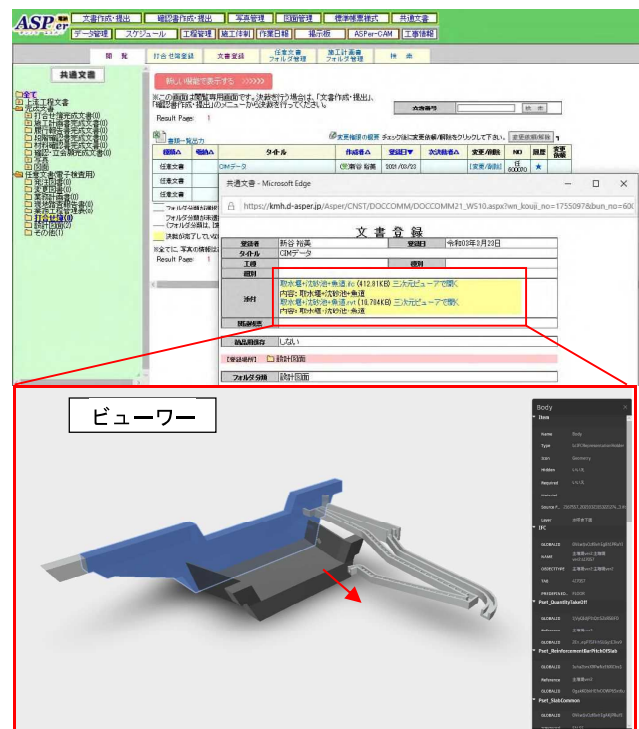


図5 情報共有システム使用状況

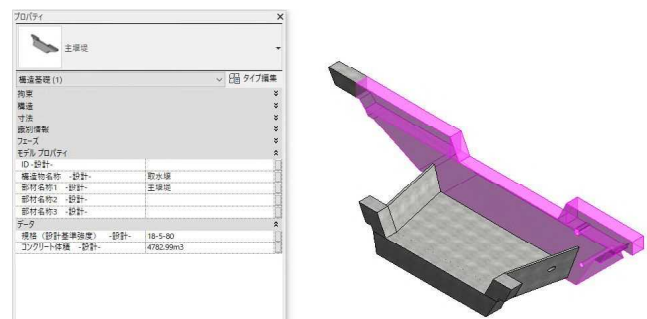


図6 主堰堤属性

本業務のCIM検討は前述した5つのリクワイヤメントの実行に加えて、堰位置の比較にも活用した。堰の予定位置は、河道の湾曲部に位置する。堰軸を流向に対し直交させ、上中下流に配置すると図7のと

おり主堰堤・副堰堤と周辺施設との接触状況が変わる．3次元化によりその状況を可視化することで定性的になる比較評価を明確にした．

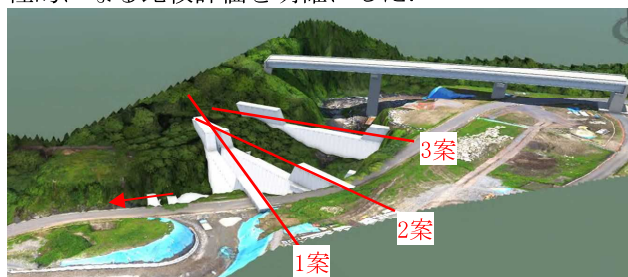


図7 取水堰 位置比較図

## (2) 課題と有用性

本項では，設計・施工が並行する事業特性上の課題が，CIMモデルを活用することで解決され，設計条件の設定や事業調整等に有用であった．その具体例を3点例示する．

### a) 事業調整ツール

着手直後から図3のような詳細度100のCIMモデルを作成し，発注者との打合せの場でイメージや課題を共有した．

また，合同現地踏査やWeb会議（図8）で，発注者からの確認内容に対して，CIMモデルを用い回答したことで，取水堰を含む周辺の事業調整に活用した．



図8 Web会議の様子

### b) 施工時点の現況把握

取水堰周辺には付け替え道路工事，並びにそのための工事用道路の施工によって地形が時々刻々と変化し，取水堰施工時の地形が現状と異なることが分かった．この課題に対し，a)の事業調整で得た設計資料で堰施工時点の地形をCIMモデルで構築し設計基図とするとともに，図9で例示した付替道路の接続，道路線形の調整などに活用した．

### c) 仮設計画の妥当性，干渉確認

堰と並行して橋梁の施工が行われるため，工事用道路などの仮設物の錯綜，重機の干渉が課題となった．仮設物，重機を可視化し，照査しながら施工計画を立案することができた（図10）．

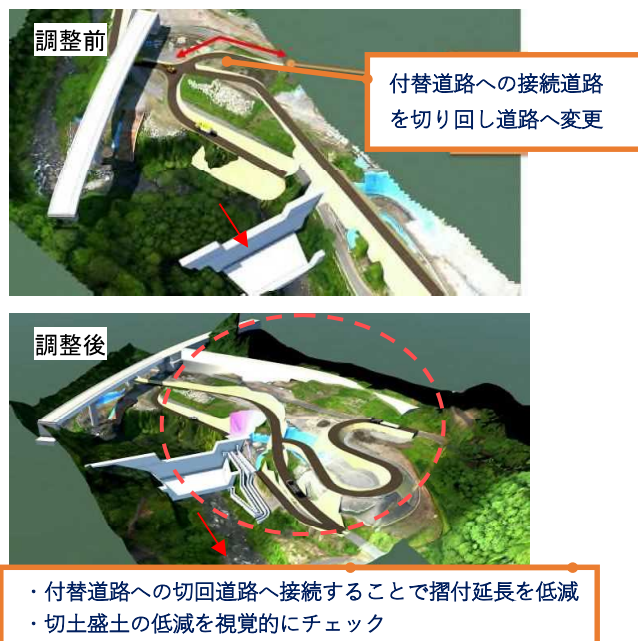


図9 調整会議のCIMモデル（完成イメージ）



図10 橋脚と重機との干渉

## 4. 結論

従前のCIM関連業務では，2次元の図面を先行し，追って3次元化するよう作業してきたが，本業務では詳細度にこだわらず着手直後からのCIM活用に取り組んだ．その結果，事業調整ツール，事業段階に応じた施工状況把握，施工計画の精度向上につながることが明らかとなった．今後は，今回作成したモデルのダム事業全体への拡充，関係者の意思統一ツールとするためのハード整備が望まれる．

**謝辞：**本論文における諸データは，国土交通省中部地方整備局設楽ダム工事事務所より提供いただいたものである．ここに記して謝意を表す．



# 車両衝突に伴い大きく変形した 横断歩道橋の架け替え設計について

○北岡誠<sup>1</sup>・横山祐治<sup>1</sup>・廣井英智<sup>1</sup>・三宅竜之介<sup>1</sup>

<sup>1</sup> (株) 長大名古屋支社 (〒450-0003 名古屋市中村区名駅南一丁目18番24号)

本文は、主桁に大型車両が衝突した横断歩道橋に対する調査、損傷の評価、緊急対策及び恒久対策を検討した業務について報告するものである。

大型車両の衝突に伴い、横断歩道橋の橋面が傾斜する程度の変状が生じた。本橋は、国道と県道を跨ぎ、利用者も比較的多い。このため、直ちに供用の可否を決定する必要があった。また、恒久的な補修工法を検討した上で、早期に補修詳細設計を実施する必要があった。本業務では、近接点検に加え三次元点群測量を実施し、車両衝突時の発生応力を推定し、損傷の程度を評価した。また、補修工法の検討、補修詳細設計により、緊急対策と恒久対策を提案した。

**Key Words** : 横断歩道橋, 車両衝突, 主桁の変形, 立体解析, 部分架け替え

## 1. はじめに

本業務は、国道を走行していた大型車両が本橋に衝突したことにより、歩道橋の路面が傾き、主桁等の主要部材も大きく変形する損傷が生じた横断歩道橋の補修詳細設計を実施したものである。

本橋は、国道と県道を横断する2径間連続鋼I桁の横断歩道橋(2@27.5m)である。以下に、本橋の橋梁概要を示す。

- ・竣工年：1967年(昭和42年)【橋齢：54年】
- ・橋梁形式：2径間連続桁橋 I 桁
- ・橋長：57.2m
- ・幅員：1.5m
- ・交差条件：国道(P2-P3間)，県道(P3-P4間)

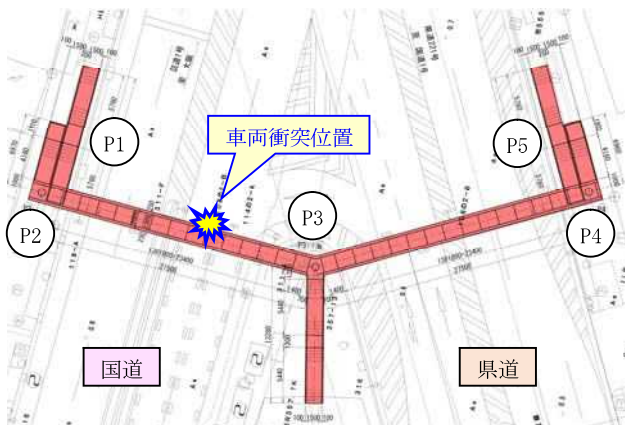


図-1 平面図

## 2. 緊急対応の判断

車両が衝突した直後に近接点検を実施した。その結果、目視で確認できる主桁の亀裂や主桁の移動(橋座面からの逸脱)といった損傷は視られなかった。次に、溶接部の亀裂の有無、ボルトの破断の有無等を明らかにするため、下記の詳細調査を実施した。

- ① 損傷した主桁(F1g変形部)の変形量を把握するための計測(実測)

【近接目視による計測結果】

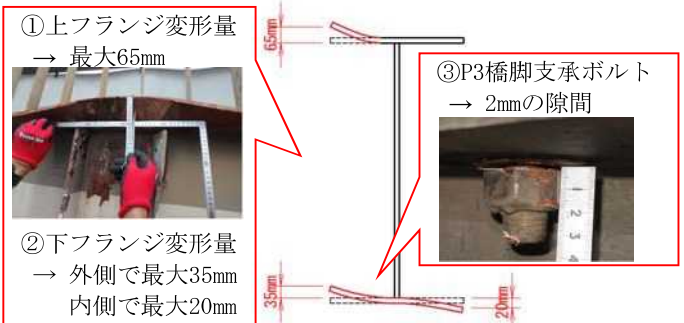


図-2 最大変形箇所の計測結果

- ② 溶接部の塗膜に損傷が見られる箇所について、亀裂の有無を確認するための磁粉探傷試験  
→ 磁粉探傷試験の結果、亀裂は確認されなかった。
- ③ ボルト周辺の塗膜に損傷が見られたP2・P3橋脚の支承固定ボルトに対して、ボルト本体の破断の



有無及びボルト長さを確認するための超音波探傷試験

### 【超音波探傷試験結果】

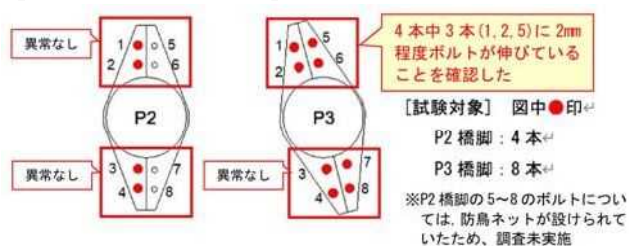


図-3 超音波探傷試験結果

詳細調査の結果、P3橋脚部の支承固定ボルトの伸びが確認されたが、桁の亀裂やボルトの破断といった損傷は確認されなかった。そのため、直ちに通行止めとする必要は無いと判断した。

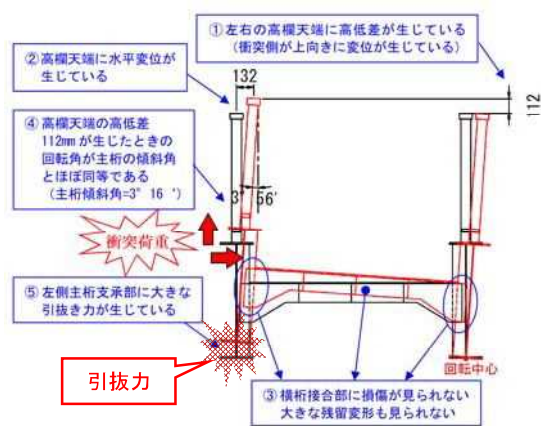
## 3. 暫定供用（荷重制限等の必要性）のための安全性の評価

直ちに通行止めとする必要はないと判断したが、恒久対策が施されるまでの間の暫定供用について、荷重制限等が必要になるかを判断するため、次に示す事項を実施した。

### (1) 詳細調査結果に基づく変形・損傷状況の推定

主桁は、現地調査の結果から、車両の衝突荷重により、右側主桁の支承位置を中心に回転による変形が生じていた。

また、支点部と衝突部では異なる残留変位を示していることから、主桁には鉛直及び水平方向の残留変位のほか、ねじれによる残留変位も生じていると推定される。



黒線：事故前又は事故後の支点部 赤線：衝突部位の事故後の残留変位

図-4 衝突部の残留変位の推定

### (2) 主桁に作用した荷重の推定

#### a) 衝突荷重の推定

支承固定ボルトに伸びが確認されたP3橋脚上の支点において、作用した荷重を想定する。

左側主桁のP3橋脚上のボルトは、4本中3本に伸びが確認され、降伏状態であると考えられる。残りの

1本も降伏荷重に近い荷重が作用したと想定し、衝突により作用した支点反力を算出する。

ボルト径：M22 SS400

（有効径：20.376mm 有効断面積：326.083mm<sup>2</sup>）

S400の基準降伏点：235 N/mm<sup>2</sup>

P3支点に作用した支点反力：

$$235 \times 326.083 \times 4 \text{本} = 306.52 \text{ kN}$$

衝突荷重の推定は、2径間連続の梁モデルに単位荷重（100kN）を作用させた時のP3橋脚反力の倍率より推定する。

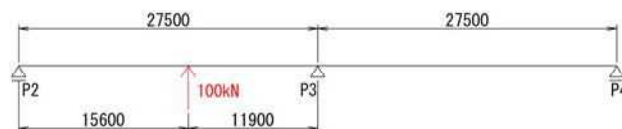


図-5 試算に用いた単位荷重モデル

表-1 作用荷重の推定

| 項目          | 単位 | 支点反力    |         |       | 作用荷重  |
|-------------|----|---------|---------|-------|-------|
|             |    | P2      | P3      | P4    |       |
| 調査結果より      | kN |         | -306.52 |       |       |
| 単位荷重(100kN) | kN | -33.655 | -75.964 | 9.618 | 100   |
| 倍率          |    |         | 4.0351  |       |       |
| 実荷重の推定値     | kN | -135.8  | -306.5  | 38.8  | 403.5 |

以上より、衝突荷重の最大値は403.5kNと推定される。

なお、P2及びP4橋脚部の反力推定値は306.52kNの降伏荷重を下回る。このため、P2及びP4橋脚部上のボルトは健全であると推定値からも判断できる。

#### b) 衝突時の作用モーメントと発生応力度の推定

推定した衝突荷重を基に主桁（上フランジ）に発生したモーメント及び発生応力度を試算する。

試算結果及び発生曲げモーメントによる鋼材の応力度を以下に示す。

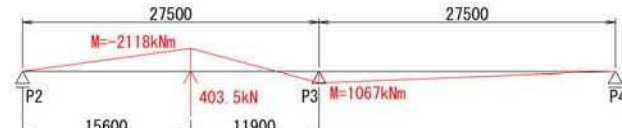


図-6 衝突荷重によるモーメント分布図

表-2 主桁に生じた発生応力度及び降伏判定（塑性後も弾性変形すると仮定した試算）

| 項目           | 位置   | 曲げモーメント M(kNm) | 断面性能 Z(mm <sup>3</sup> ) | 発生応力度 $\sigma$ (N/mm <sup>2</sup> ) | 降伏応力度 | 判定 |
|--------------|------|----------------|--------------------------|-------------------------------------|-------|----|
| 最大モーメント（正曲げ） | P3   | 1067           | 3,253E+06                |                                     |       |    |
| 最少モーメント（負曲げ） | 作用位置 | 2118           |                          |                                     |       |    |
|              |      |                |                          | 328.0                               | 235   | 降伏 |
|              |      |                |                          | 651.1                               | 235   | 降伏 |

#### c) 主桁の現状についての考察

鋼材は、降伏点を超えると図7のように塑性変形しエネルギーを吸収するため、応力度の増加は緩やかになり、荷重が除荷されると応力も解放されるが塑性ひずみは0に戻らない。

表2に示す最大衝突荷重を用いた試算は、降伏点を超えた状態を考慮できない。そのため、塑性後も弾性変形すると仮定して計算しており、発生応力度

は降伏応力度を超過した値となっている．しかし実際は，鋼材の特性から車両の衝突により主桁の上フランジが図7のように降伏点に達し，その後は塑性変形することでエネルギー吸収が行われたと推定される．

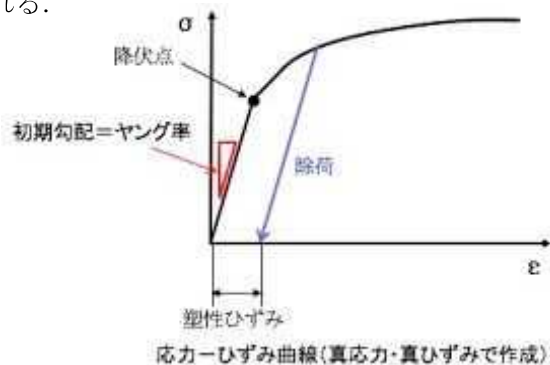


図-7 鋼材の応力度・ひずみ関係

このことから，衝突作用位置に生じた応力は，降伏応力度＋ $\alpha$ 程度であると推定される．また，衝突による応力は荷重が除荷されたことで解放され，残留変位のみ生じている状態であると考えられる．

### (3) 暫定供用について

詳細調査及び衝突時の発生応力度の推定から，車両衝突に伴う変形は生じているが，衝突による応力は降伏応力度＋ $\alpha$ 程度であり，現在応力は解放されていること．また，大きな残留変位は常時（死荷重＋活荷重）のたわみと逆方向の変形であり，常時のたわみにより残留変位が増加することは無い．

これらのことから，主桁には降伏を僅かに超える応力が発生し，変形が残留してはいるが，荷重を制限する，仮受けを設置する等の条件を設けないで暫定供用できると判断した．

## 4. 補修詳細設計（恒久対策）

### (1) 設計方針

現地調査の結果，本橋の復旧方法（補修案）として考えられる以下の2案について検討を行い，経済性及び利用者への影響（歩道橋の規制日数）が小さい第2案にて補修詳細設計を実施するものとした．

- ・第1案：変形している範囲を撤去し，損傷した部分は新規で製作し，再利用可能な部材は変形を工場で矯正して利用する案
- ・第2案：変形している範囲を撤去し，新規に部材を製作し架け替える案【採用案】

### (2) 三次元点群測量

本橋の補修詳細設計（部分架け替え）を実施するにあたり，変位・変形範囲を橋梁全長に渡り詳細に把握する必要があった．また，竣工図書が無いため，構造寸法を計測し，復元設計を行う必要があった．

以上のことから，3Dレーザスキャナによる三次元点群測量を実施し，橋梁全長の計測を行った．

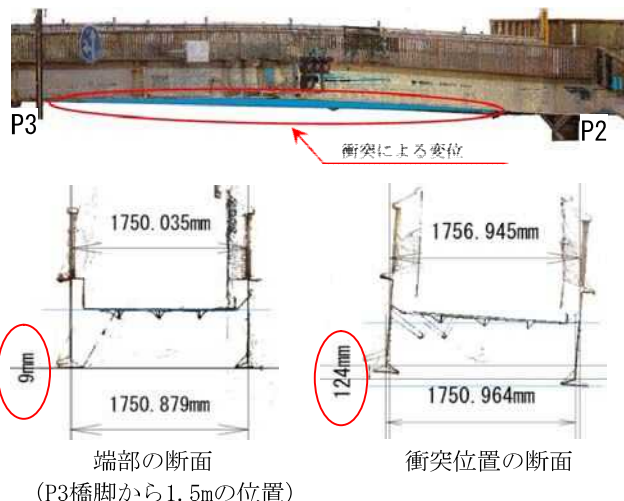


図-8 三次元点群測量結果

測量の結果，大型車両が衝突した位置では124mm程度の傾きが生じていることを確認した．また，P3橋脚から1.5mの位置では，9mm程度の傾きが生じていることを確認した．なお，P2橋脚近傍及びP3-P4橋脚側では，傾き等の変形は確認されなかった．

測量結果と詳細調査にて実施した計測結果と大きな差が無かったことから，推定した発生応力度等の値は妥当であったと考える．

### (3) 切断位置の検討

切断位置は，構造的な観点より，変形や応力の残留の影響が少ない支点付近とすることが望ましい．しかし，新設桁をボルト接合するためには仕口が必要である．そのため，既設橋と同様なボルト列数が配置可能な仕口を確保するものとして，支点位置から1.5m程度確保した位置を切断位置とする．

以上のことを踏まえ，下記の2案の切断位置について検討を行った．

- ・第1案：P2橋脚近傍とP3橋脚近傍のP2橋脚側を切断し，架け替えを行う案【採用案】
- ・第2案：P2橋脚近傍とP3橋脚近傍のP4橋脚側を切断し，架け替えを行う案

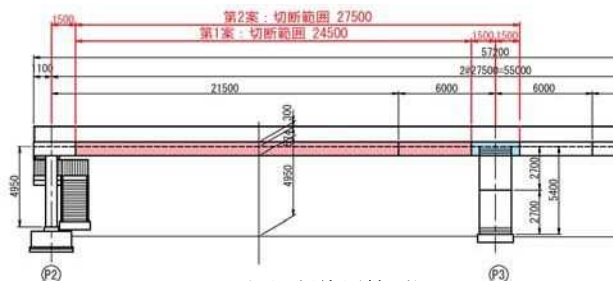


図-9 切断位置検討図

第1案の位置は，測量の結果より9mm程度の傾きが生じている．しかし，第2案の位置は，傾きの影響は及んではないものの，事前に階段を撤去する必要がある．また，竣工図が無いためP3橋脚周辺の構造を設計の段階で復元することが困難である．

以上のことから，架け替え範囲が短く，経済性に





# 天竜川下流の河川特性を踏まえた UAV活用による河川巡視の高度化

おがわあいこ きしだ こばやしひろし よしだせい  
○小川愛子<sup>1</sup>・岸田こずえ<sup>2</sup>・小林 浩<sup>3</sup>・吉田勢<sup>4</sup>

<sup>1</sup> (株) オリエンタルコンサルタンツ中部支社 (〒450-0003 愛知県名古屋市中村区名駅南2-14-19)

<sup>2</sup> (株) オリエンタルコンサルタンツ関西支社 (〒530-0005 大阪府大阪市北区中之島3-2-18)

<sup>3</sup> (株) パスコ中央事業部 (〒153-0064 東京都目黒区下目黒1-7-1)

<sup>4</sup> (株) オリエンタルコンサルタンツ関東支社 (〒151-0071 東京都渋谷区本町3-12-1)

天竜川下流では、低水の河岸侵食が発生しているが、河道内樹木の繁茂や広大な高水敷が存在し、状態把握の確認頻度の確保や迅速性・網羅性の確保等が課題となっている。

本稿では、高度な操作技術や機材、法令上の手続きが不要な範囲で実施可能な小型無人航空機 (UAV) を活用した河川巡視内容について、天竜川下流の河川特性等を考慮し、UAV活用が効果的な区間や撮影方法等を検証し、UAV活用による河川巡視の高度化の可能性について考察した。

**Key Words** : 小型無人航空機, 河川巡視, 河川管理, 河川特性, DX, マニュアル

## 1. はじめに

近年の災害の頻発化・激甚化に伴い、河川管理の基本的な状態把握手法である河川巡視による堤防等河川管理施設及び河道の早期の状態把握がますます重要となっている。天竜川下流部では、偏流による低水河岸侵食が発生しているが、樹木が繁茂した広大な高水敷や進入路のない山付部が存在する等、アクセス性が悪く、確認頻度の確保や迅速性・網羅性の確保、巡視員の安全確保等が課題である。



図- 1 天竜川下流の様子 (左:25k上流, 右:25k下流)

これら課題を踏まえ、天竜川下流では、UAVを活用した河川巡視の実施・運用の検証を過年度より実施している。

本稿では、天竜川下流の河道特性・地形的特性・社会特性を踏まえて、UAVを活用した河川巡視の実用にあたり、天竜川下流に特化した効果的・効率的なUAV巡視の実施方法を検討したものである。

## 2. 検討の前提条件

本稿におけるUAV巡視とは、目的別巡視を対象に、UAV飛行の経験が少ない作業員 (巡視員等) を想定し、一般的に流通している可視カメラ機能のみのUAV (Phantom 4 Pro) を使用して航空法等の許可・承認申請を行わない範囲での活用を想定した。

表- 1 UAV巡視の前提条件

| 項目    | 内容                                                                                                               |
|-------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 巡視項目  | 目的別巡視                                                                                                            |
| 実施者   | 河川巡視委託業者                                                                                                         |
| UAV機体 | DJI製 Phantom 4 Pro                                                                                               |
| 許可可   | 航空法等許可・承認申請しない撮影<br>①飛行禁止空域での飛行は実施しない<br>(高度150m以上の空域, DID上空等)<br>②承認が必要な飛行方法は実施しない<br>(夜間飛行, 目視外飛行, 地物等離隔30m未満) |
| 飛行エリア | 高水敷公園の上空は飛行しない                                                                                                   |

## 3. UAVと従来巡視の役割分担・精度

既往の河川巡視では、目視確認だけでなく簡易計測や看板・境界杭等の接触確認 (触覚)、河川利用者への注意喚起 (聴覚) も行っている。これら従来巡視の実施内容について可視カメラのみを有するUAVでの確認は難しい。また、UAV巡視は、兼用道路



となっている天端や住宅が近接する川裏等のUAV飛行の場所の制約も発生する。

UAV巡視の活用可能性・必要精度等を明確にするため、目的別巡視項目ごとに、従来巡視の実施方法・課題等を巡視日誌や出張所ヒアリングにより把握し、UAVと従来巡視の役割分担・必要精度を確認対象物の場所（川表・天端・川裏）ごとに整理した。

目的別巡視項目の内、A：親水施設と利用状況の定期確認、B：ゴミの投棄確認、C：河道及び樹木の定期状況確認を例として下表に示す。

表- 2 巡視項目別の確認事項と役割分担・精度

| 項目 | 対象物            | 場所       | 確認事項                       | 精度         | 分担<br>想定 |
|----|----------------|----------|----------------------------|------------|----------|
| A  | 親水<br>護岸       | 川表       | ・親水護岸全景                    | 数m         | UAV      |
|    |                | 川裏       | ・UAV確認不可な箇所<br>・計測必要箇所     | 数cm<br>～数m | 目視       |
|    | 高水敷<br>公園      | 川表       | ・公園全景<br>・利用者の確認           | 数m         | UAV      |
|    |                | 川表       | ・UAV確認不可な箇所<br>・利用者注意喚起    | 数m         | 目視       |
| B  | 河道<br>全般       | 川表       | ・高水敷等の投棄確認                 | 1m程度       | UAV      |
|    |                | 川表<br>川裏 | ・ゴミの集積、警告書の貼付<br>・橋梁下のゴミ投棄 | 数cm<br>～数m | 目視       |
| C  | 滞筋<br>砂州<br>樹木 | 川表       | ・滞筋、砂州、河道内樹木の状況            | 数m         | UAV      |
|    |                | 川表       | ・橋脚、量水標の漂着流木ゴミ等の状況         | 数m         | UAV      |
|    |                | 川表       | ・出水後の樋管全景（河道側から確認）         | 数m         | UAV      |
|    |                | 川表       | ・出水後の樋管周辺の流木、堆砂状況          | 数m         | UAV      |
|    |                | 川裏       | ・出水後の樋管周辺の流木、堆砂状況（川裏）      | 数m         | 目視       |

整理結果より、従来巡視における各巡視項目の確認事項は多種多様にあり、確認事項レベルでUAVと人による目視の役割分担を明確にし、UAVと目視を適切に使い分けことが重要である。UAVの役割分担と想定した確認事項について検証フライトにて必要精度の確保や撮影方法について検証した。

## 4. 現地検証内容

### (1) 河川特性による区間区分

UAVによる撮影は、飛行区域に存在する河川管理施設や確認事項、飛行上の支障物等の配置により飛行計画や撮影時の留意事項が異なる。

天竜川下流では区間によって大きく河川特性が変化する。天竜川25kより下流区間は、氾濫原～扇状地を流下し河幅が広く、市街地も接近している。一方で、25kより上流区間は、山間部を蛇行する河道とダム貯水池が断続的にあり、沿川に道路が隣接しない区間が存在する。天竜川下流の河川特性を踏まえたUAV巡視の実施方法及び留意点を明らかにするため、河道特性（地形的特性）、堤内地の状況により7種類の区分で、17区間に整理した。

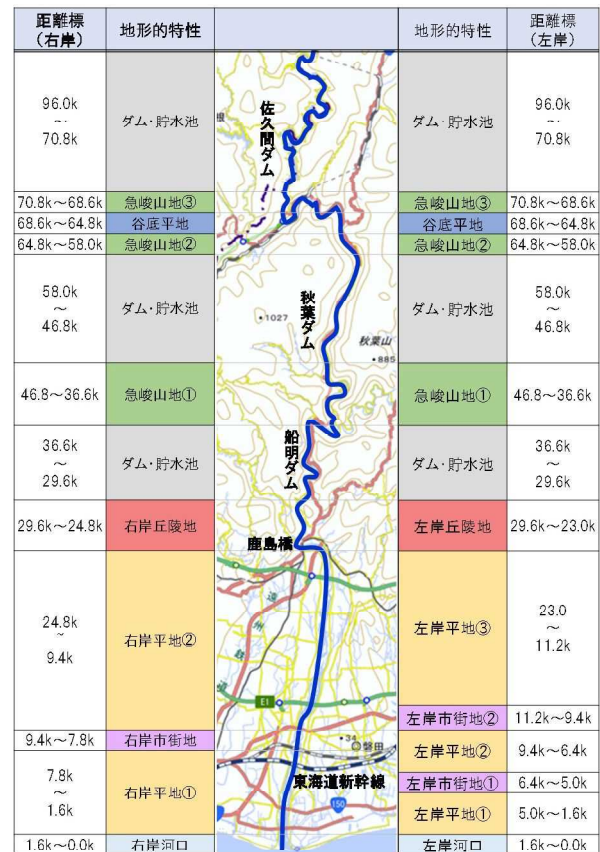


図- 2 河川特性を踏まえた区間区分

### (2) 現地確認・検証フライト

前章までに整理した天竜川下流の河川巡視の確認事項及び区間区分において、現地調査及び検証フライトによりUAVの活用可能性と効果を検証した。

#### a) UAV離発着候補箇所の検討

UAVによる河川巡視実施にあたり、離発着箇所や見通し範囲等の確保ができる航空法等の許可・承認申請が必要ない範囲で飛行可能なエリアを「UAV巡視対応可能区間」として整理した。

河川区域内の第三者物件（隣接道路、橋梁、送電線等）から30m以上の領域や飛行上の制約範囲をGISにて机上整理し、現地調査により、離発着候補箇所及びアクセス路、送電線の有無・高度を測定し、現地調査結果からUAV巡視の対応可能区間と離発着箇所を平面図と離発着候補箇所調査票に整理した。

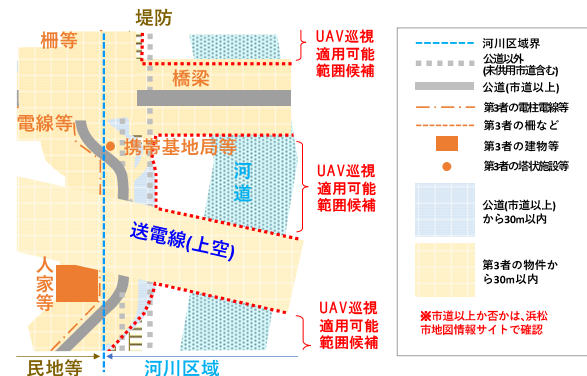


図- 3 UAV巡視対応可能区間の概念図

b) UAV巡視検証フライトの検証箇所選定

前述した河川特性を踏まえた7種類の区間区分を網羅し、「UAV巡視対応可能区間」のエリア内で、全ての目的別巡視項目を検証できるように、表- 3 に示す15区間の検証エリアを設定し、検証フライトを実施した。

表- 3 検証エリア

| No | 距離標          | 区分              | 主な検証内容                                 |
|----|--------------|-----------------|----------------------------------------|
| 1  | No53-55      | 谷底平地            | ヘリポートとの調整<br>川裏の確認事項確認                 |
| 2  | 55.5-56.0k   | ダム貯水池<br>(秋葉ダム) | 離発着箇所の確認<br>揚砂場との位置関係                  |
| 3  | 46.75-47.0k  |                 | 電波状況の確認                                |
| 4  | 44.5-45.0k   | 急峻山地①           | 樹木の見通しへの影響                             |
| 5  | 36.75-37.0k  |                 | 住宅地との離隔確認                              |
| 6  | 32.0-32.25k  | ダム貯水池<br>(船明ダム) | ボート発着場との利用調整<br>湾曲部の見通し確認              |
| 7  | 27.0-27.75k  | 右岸丘陵地           | 樹木の見通しへの影響                             |
| 8  | 25.75-26.25k | 左岸丘陵地           | 住宅地、送電線との離隔確認                          |
| 9  | 21.2-21.4k   | 右岸平地②           | 滑空場との調整<br>川裏の確認事項確認                   |
| 10 | 18.0-18.4k   |                 | 高水敷利用を考慮した飛行<br>広大な中洲等の確認              |
| 11 | 14.0-14.2k   |                 | 日没時の飛行                                 |
| 12 | 11.4-11.6k   | 左岸平地③           | 東名高速橋梁との離隔確認<br>河岸侵食状況の確認              |
| 13 | 9.0-9.4k     | 右岸市街地           | 橋梁連続箇所、高水敷利用を<br>考慮した飛行<br>ホームレス、量水標確認 |
| 14 | 1.0-1.4k     | 右岸河口            | 不法保留の状況確認<br>強風条件下での飛行                 |
| 15 | 0.0-0.6k     | 両岸河口            | 河口砂州の状況確認                              |

c) 検証内容

抽出した検証エリアごとに、1) UAV撮影の難易性（離発着箇所確保、支障物等の確認、安全確保等）、2) 巡視項目別の視認性（高度・角度による視認性等）、3) 画像解析等を踏まえた撮影方法について検証内容を設定した。

本検証で想定しているUAVの撮影方法は、巡視対象別に適切な高度・角度で個別に撮影することを基本とするが、UAV飛行の効率性を考慮して、面的に網羅的撮影（連続撮影）が有効か検証した。

表- 4 検証内容

| 大項目               | 主旨                                                                           | 検証手法                                                              |
|-------------------|------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| 1) UAV撮影の難易性      | 離着陸箇所・飛行経路確認<br>・物件等の離隔確保性<br>・第三者進入可能性等の安全管理<br>・見通し確保状況<br>・支障物確認（送電線、橋梁等） | ・現地調査及び UAV 検証フライトによる確認                                           |
| 2) 巡視項目別の視認性      | ・対象エリアまたは対象施設等の全体を撮影<br>・高度・角度等による視認性の違いを確認<br>・上記以外の個別撮影の必要性確認              | ・河道・河川管理施設等の全体撮影（100～140m の高度）<br>・50m 以上・30m を検証（個別撮影の場合 20m 以下） |
| 3) 画像解析等を踏まえた撮影方法 | ・網羅的撮影（連続撮影）の効率性等確認<br>・河岸侵食等の定量評価のための撮影                                     | ・高度・角度（直下視）指定した撮影                                                 |

(3) 検証結果

検証結果を目的別巡視項目別、河川特性を踏まえた区間別に整理し、巡視項目における確認事項と各区間特性の組合せにより、最適な高度・角度、撮影方法等を取りまとめた。

河川特性により多少の違いはあるが、各項目の UAV活用効果の総合評価と推奨する巡視方法の例を表- 5に示す。C：河道及び河道内樹木の定期状況確認は、目視による従来巡視では確認できないエリアやアングルがあり、従来巡視から情報の高度化を図ることができる項目である。

表- 5 巡視項目別のUAV活用効果と推奨巡視方法（抜粋）

| 項目 | 目的別巡視項目          | 活用効果 | 巡視方法   | 備考           |
|----|------------------|------|--------|--------------|
| A  | 親水施設と利用状況の定期状況確認 | ○    | UAV+目視 |              |
| B  | ゴミの投棄確認          | △    | UAV+目視 | 活用場所が限定的     |
| C  | 河道及び河道内樹木の定期状況確認 | ◎    | UAV+目視 | 目視不可の範囲を視認可能 |

※活用効果：◎：特に効果あり，○：効果的，△：効率劣る

表- 6に示すように、区間区分によって確認事項や対象物、飛行上の支障物等が異なるため、視認性やUAV巡視の適用が異なる結果となった。

表- 6 区間区分別の有効な撮影高度と視認内容（市街地、丘陵地の例）

| 項目 | 対象物    | 場所 | 確認事項               | 標準的撮影高度 |     |     | 右岸市街地<br>(検証エリア23) | 標準的撮影高度 |     |     | 左岸丘陵地部<br>(検証エリア14)  |
|----|--------|----|--------------------|---------|-----|-----|--------------------|---------|-----|-----|----------------------|
|    |        |    |                    | 20m     | 30m | 50m |                    | 20m     | 30m | 50m |                      |
| A  | 親水護岸   | 川表 | ・親水護岸全景            |         |     | ○   | 低水の親水護岸全景を確認可能     |         |     |     | 該当なし                 |
|    | 高水敷公園  | 川表 | ・公園全景              |         |     | ○   | 公園全体、施設状況を確認       |         |     | ○   | ゲートボール場の様子確認可能       |
|    |        | 川表 | ・利用者の確認            |         |     | ○   | グラウンド利用者           |         |     | ○   | ゲートボール場利用状況          |
| B  | 河道全般   | 川表 | ・高水敷等の投棄確認         |         | ○   |     | 河道側～低水護岸周辺は適用可能    |         | ○   |     | 河道内樹木繁茂区間以外は適用可能     |
| C  | 滞筋砂州樹木 | 川表 | ・滞筋、砂州、河道内樹木の状況    |         |     | ○   | 広範囲で滞筋・砂州・樹木視認可能   |         |     | ○   | 滞筋・砂州・樹木視認できるが見通し範囲小 |
|    |        | 川表 | ・橋脚、量水標の漂着流木ゴミ等の状況 |         | ○   |     | 橋脚・量水標の漂着ゴミ等確認可能   |         |     |     | 該当なし                 |
|    |        | 川表 | ・出水後の樋管全景(河道側から確認) |         |     |     | 該当なし               |         |     | ○   | 樋管の全景を確認可能(図体内は不可)   |
|    |        | 川表 | ・出水後の樋管周辺の流木、堆砂状況  |         |     |     | 該当なし               |         |     | ○   | 樋管の川表水路の堆積状況等確認可能    |



従来巡視のように既知の異常箇所に対して、UAV巡視を実施する場合には、逐次UAVを飛行させ巡視対象物ごとに撮影することとなるが、河道や河道内樹木等の経年変化を把握するには、同一条件（高度、ラップ率等）で連続で網羅的に撮影する方法が有効である。これら撮影は、時間・労力がかかるため必要な頻度で実施する。

表-7 UAV巡視による撮影方法の種類と特徴

| 方法       | 個別撮影                                                                               | 網羅的撮影                                                                     |
|----------|------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|
| 特徴       | ・従来巡視の手順同様、移動しながら逐次UAVを飛行させ、巡視対象ごとに必要な確認・写真撮影を行う                                   | ・網羅的に写真撮影を行い、巡視対象ごとに詳細に確認する                                               |
| 撮影後の写真整理 | ・必要な写真のみ撮影するため整理は効率的                                                               | ・べた撮り結果から、必要写真を選択するため机上整理の時間大                                             |
| 効果的な利用法  | ・個別箇所や項目に絞ったの巡視・確認<br>・第三者・物件との離隔を気にしないでよい箇所での巡視・確認<br>・対象を絞る代わりに、頻度高く行う必要のある巡視・確認 | ・河道や河道内樹木等の広範囲に渡る経年変化の把握に有効<br>・頻度は年1～2回となるが、ある区間の中で、個所や項目について網羅的に行う巡視・確認 |

## 5. 天竜川下流におけるUAV河川巡視マニュアル（案）の作成

前章までに実施した検証フライト結果等を踏まえ、天竜川下流の河川特性、各区分におけるUAVを活用した河川巡視のための飛行条件・留意点等を取りまとめた「天竜川下流におけるUAV河川巡視マニュアル（案）」（以下、マニュアル案）を「共通編」と「河川巡視編」の2部構成で作成した。

【共通編】UAVの基本的な知識やルール等を記載

【河川巡視編】巡視実施のPDCAサイクルを踏まえた手順、区分特性ごとの飛行条件、留意点を記載

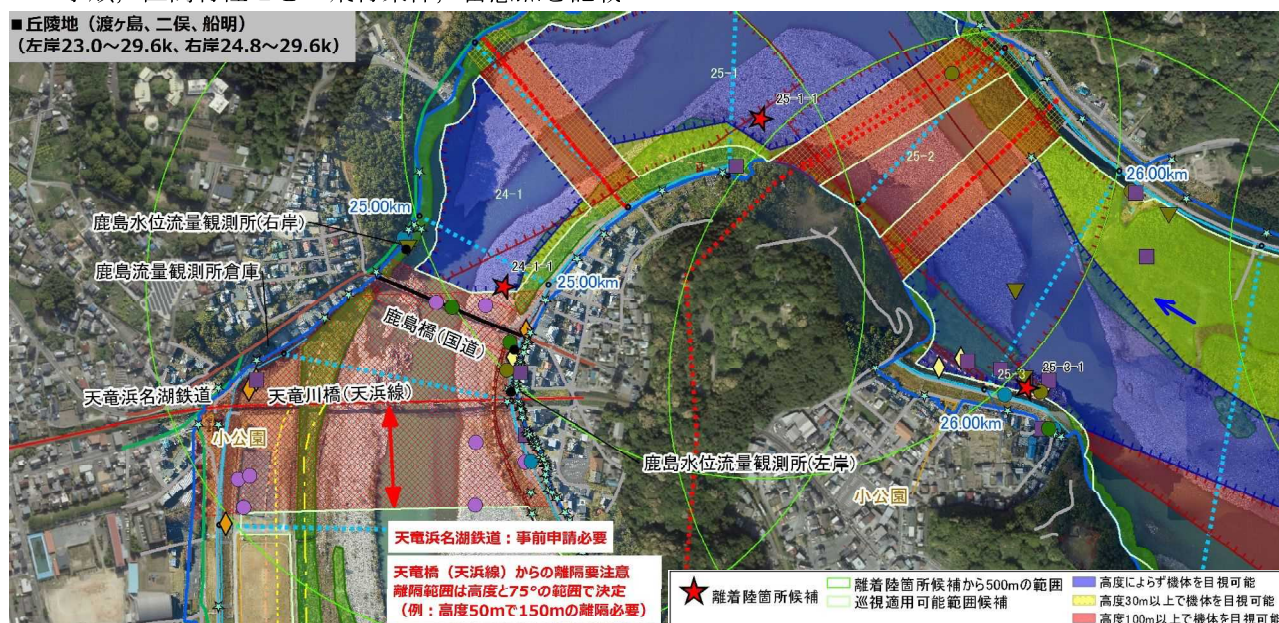


図-4 UAV巡視実施に必要な施設配置と留意点を整理した平面図シート

「河川巡視編」の河川特性を踏まえたUAV飛行条件・留意点は、区分区分ごとに以下資料を作成した。

### (1) 留意点シート

- ・区分概要（区分区分、主な河川管理施設等）
- ・撮影前・飛行計画時の確認事項・留意点（確認すべき巡視項目、関係機関の連絡先等）
- ・現場での確認事項・留意点（離発着地点の条件・候補箇所、巡視項目別の推奨高度・アングル、撮影時の留意点、実施体制）

### (2) 平面図シート

- ・1/5000縮尺の航空写真平面図
- ・各種情報を表示（飛行上の支障物、離発着候補箇所、UAV巡視可能エリア、見通し範囲等含む）

## 6. 考察、今後の展開

本稿では、法令上の許可・申請が不要な範囲で経験が少ない作業でも実施可能な範囲におけるUAVの活用可能性を明確にすることができた。

目的別巡視項目別にUAVと目視による従来巡視における確認事項・役割分担を明確にし、UAVの特性を踏まえた巡視への活用方法を明らかにすることができた。特に、区分によって同一の巡視項目でも区分間の河道特性や支障物の有無等が異なるため、各区分におけるUAV巡視の活用効果や推奨する撮影方法を示し、天竜川下流に特化したUAV巡視の飛行条件・留意点を取りまとめた。UAV巡視が効果的である河道及び河道内樹木の定期状況確認では、巡視員の安全性を確保し省人化する効果も期待できる。

今後は、本マニュアル案を活用した日常的なUAV巡視により、維持管理のPDCAサイクルを回し、河川管理の高度化を図ることが重要である。

謝辞：本業務は、国土交通省中部地方整備局浜松河川国道事務所より受託した業務成果である。本稿執筆にあたり、関係者の皆様に厚く御礼申し上げます。



# 植生の状態変化予測手法を用いた 再繁茂抑制断面の設定と効果検証

すずきしょうな いけばくによし のぞえけんじ もりみつひろ  
○鈴木杏奈<sup>1</sup>・池羽邦佳<sup>2</sup>・野副健司<sup>1</sup>・森充弘<sup>1</sup>

<sup>1</sup>いであ(株) 名古屋支店(〒455-0032 愛知県名古屋市中区入船1-7-15)

<sup>2</sup>いであ(株) 大阪支社(〒559-8519 大阪府大阪市住之江区南港北1-24-22)

櫛田川直轄管理区間では、河川整備計画を策定したH17.8以降、高水敷上の樹林化の進行等により、流下能力の低下が懸念されている。本業務は、流下能力対策として、今後実施する河道掘削や樹木伐採を行う箇所を対象に、事業実施後も事業効果(=流下能力)が持続する掘削形状及び樹木管理方法を検討したものである。

本稿では、植生遷移を実績から可視化したリバープロットによる再樹林化傾向の把握、マルコフ連鎖による植生遷移予測結果を参考とした河道掘削形状の検討等の河道維持管理に係る先進的な取組を紹介する。また、工事後の経過観察から示唆された本検討手法の有用性を示す。

**Key Words** : 樹木再繁茂, リバープロット, マルコフ連鎖, 植生遷移予測, 摩擦速度

## 1. はじめに

櫛田川は、その源を三重県松阪市と奈良県吉野郡東吉野村の県境に位置する高見山(標高1,249m)に発し、蓮川等の支川を合わせながら東流し、伊勢平野に出て佐奈川を合わせた後、松阪市法田で祓川を分派し流路を北に転じ伊勢湾に注ぐ、幹川流路延長87km、流域面積436km<sup>2</sup>の一級河川である。

本業務の検討対象区間は、直轄区間19kmのうち河口から3.8k付近に位置する東黒部頭首工までの感潮区間(セグメント2-2)である。櫛田川水系河川整備計画(H17.8策定)の河道掘削・樹木伐採範囲は2.8～3.6k付近であるが、現状では2.8k下流においても土砂堆積・樹木繁茂が進行している。また、掘削区間の特性(感潮区間)と掘削後の河道管理を踏まえた掘削範囲・掘削形状を検討する必要があった。これらの背景を踏まえ、本業務では、事業実施後も事業効果(=流下能力)が持続する掘削形状及び樹木管理方法を検討するに至った。本業務の検討結果に基づく整備内容は図-1に示す通りである。

## 2. 課題

櫛田川の感潮区間では、整備計画策定後に土砂堆積やネザサ等の低木林の拡大を含む樹林化が進行している(図-2, 図-3, 図-4)。このため、国土交通省の取り組みである「防災・減災, 国土強靱化のための3か年緊急対策」における河道掘削と樹木伐採により流下能力向上を図ることとなった。

しかしながら、感潮区間の維持可能な河道設定に係る知見は蓄積されておらず、整備後の事業効果維持に対する懸念があった。そのため、本業務では感潮区間の河道掘削において、事業効果を持続させ得る掘削形状の検討手法や設定条件の確立を最終的な目的とし、樹木再繁茂の抑制条件や掘削形状の考え方の有効性を検証した。

なお、これとは別に輪中左岸流路への洪水流の集中による堤防の安全性低下が治水上の課題であり、これについては準三次元流況解析から3か年緊急対策による改善効果を示しているが、本稿では詳細を割愛する。

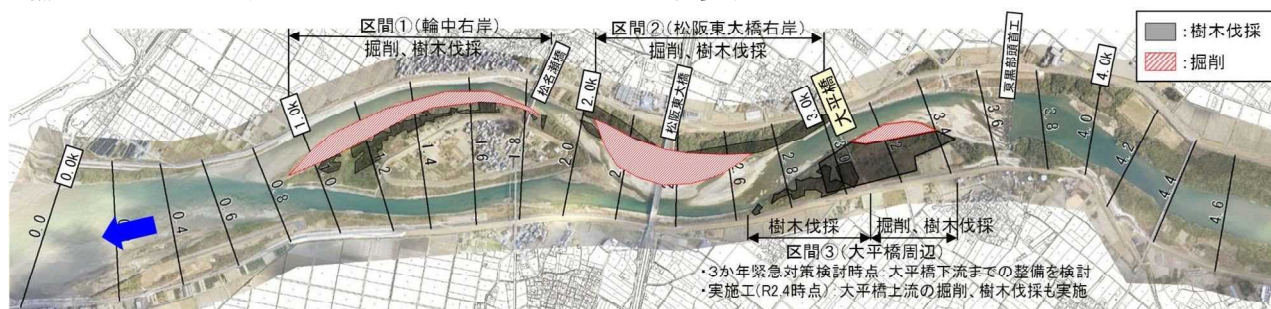


図-1 櫛田川感潮区間(セグメント2-2)における整備概要

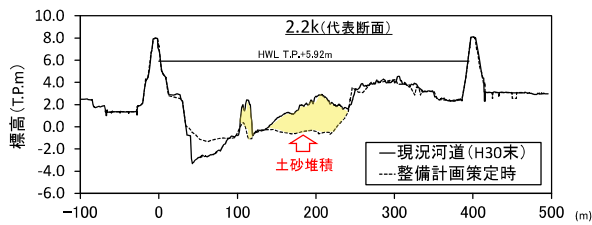


図-2 土砂堆積状況

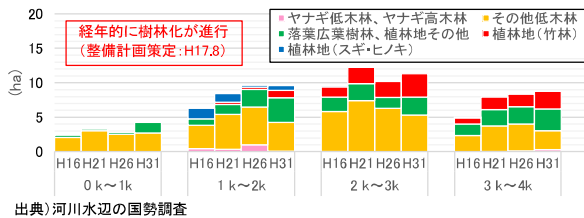


図-3 樹木繁茂面積の経年変化

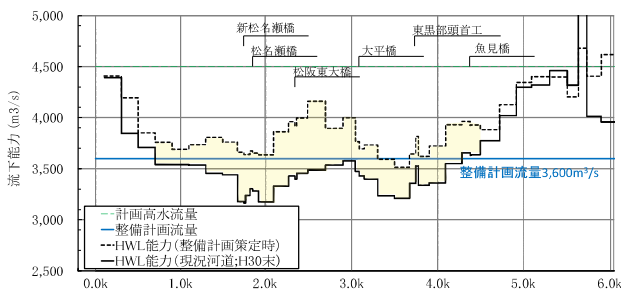


図-4 現況流下能力図

### 3. 解決策

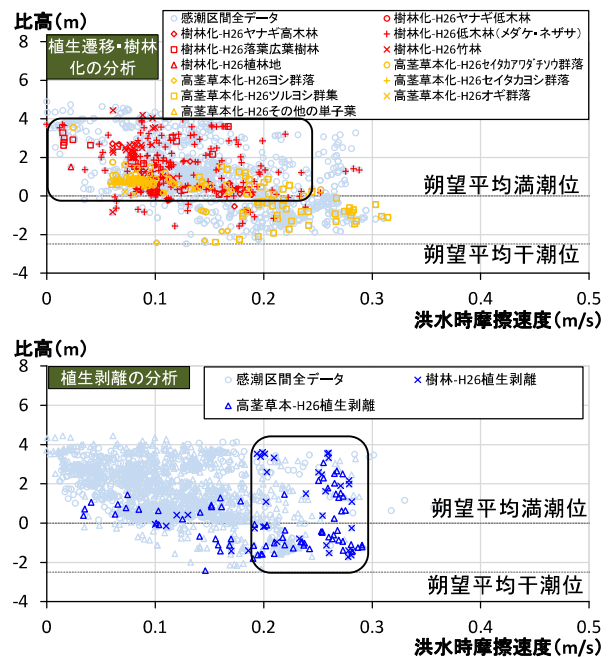
事業効果を長く持続させる掘削形状を設定するため、まず植生遷移や樹林化が進行している条件を分析し、状態変化予測手法であるマルコフ連鎖<sup>1)</sup>により将来の植生遷移を定量化することで、長期的に樹木の再繁茂が抑制される条件を検討した。

また、検討結果を踏まえて整備箇所での事業効果の持続が期待できる掘削形状を検討するとともに、洪水時の摩擦速度と朔望平均満潮位以下の冠水状況から河道の安定性について評価した。

#### (1) 植生遷移及び樹林化が進行する条件の分析

櫛田川感潮区間では、樹林化やネザサ等のその他の低木林が拡大し、流下阻害の原因となっている。植生遷移・樹林化が進行している条件を把握することで再繁茂を抑制する整備方法を検討するため、全国一級河川で実施されている定期横断測量及び河川水辺の国勢調査結果を活用し、植生の変化状況を分析した。

分析にあたっては、河道内を1辺10～20mに区切ったメッシュの中心点で10年後の植生の変化状況（H16からH26にかけての高茎草本化・樹林化・植生剥離）を把握し、比高（H19定期横断に基づく地盤高－朔望平均満潮位）及び摩擦速度（流量3,000m³/s；H23洪水想定，準三次元流況解析）の条件による植生消長の傾向を検討した（図-5）。



注) 植生遷移・樹林化の分析では、「自然裸地・一年生多年生草本」から「高茎草本／樹林」に遷移した箇所を、植生剥離の分析では、「高茎草本／樹林」から「自然裸地／一年生草本」に変化した箇所を、色分けしてプロットした。

図-5 10年後の植生遷移・剥離と比高・摩擦速度の関係

この結果、朔望平均満潮位より高い地盤高では樹林化が進行しやすいが、朔望平均満潮位以下の地盤高では樹林化が生じにくく、摩擦速度0.2m/s以上の条件で植生剥離が生じやすいことが示唆された。このため、地盤高が朔望平均満潮位より高い、摩擦速度0.2m/s未満の条件では高茎草本化、樹林化が生じやすいことが分かった。

櫛田川感潮区間での15年間（H16→R1）の地盤高別での植生の変遷をリバープロットにより模式化して確認したところ、朔望平均満潮位以下の場所では、自然裸地や開放水面が広い面積を占めて植生の割合は少なかった（図-6）。朔望平均満潮位より高い場所では、樹林化やその他の低木林等の割合が大きく、その他の低木林や落葉広葉樹林に変化する場所が多かった（図-6）。

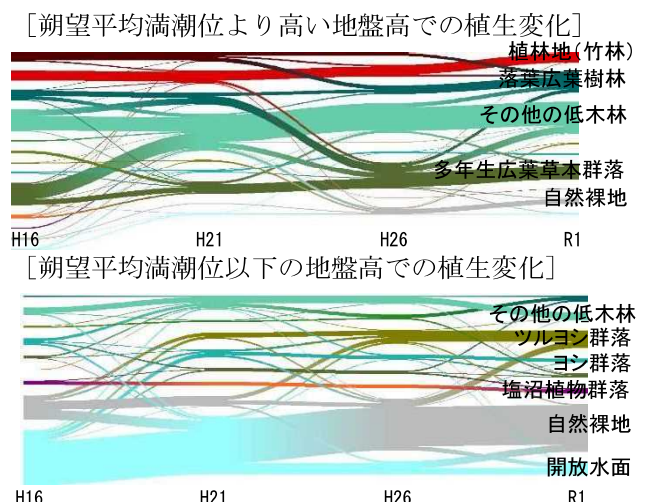


図-6 15年間の地盤高別での植生の変遷（リバープロット）



## (2) マルコフ連鎖による工事後の遷移予測

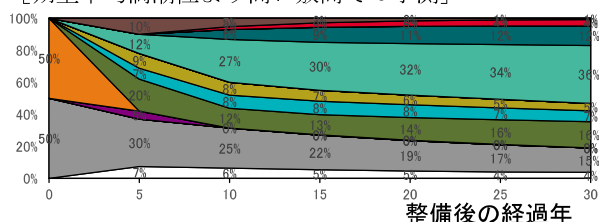
(1)での分析を踏まえ、長期的に樹木が再繁茂しにくい掘削形状を検討するため、状態変化予測手法であるマルコフ連鎖により掘削断面の敷高を条件として30年間の植生遷移を予測した。

マルコフ連鎖による将来予測は、近年土木分野で構造物の劣化予測で用いられている手法であり、一定の遷移確率を基に将来の状態変化を予測し、次の時点の状態が現在の状態のみに依存して決まることが特徴である。このため、環境の変動を予測に組み込めないものの、植生変化の実績を基にした遷移確率により簡便に将来予測を行い、経過に伴う植生遷移や樹林化を定量的に扱うことができるようになる。これより、長期的な変化を考慮した河道計画や計画的な維持管理の実施に活用できる等のメリットが多いと考えられる。

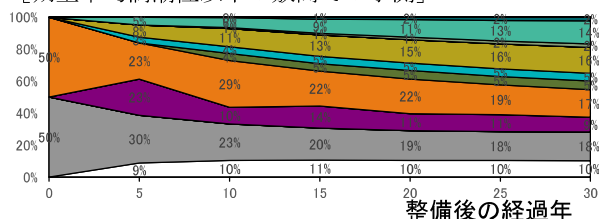
本検討では、15年間4箇年の植生図から定期横断測量の測線上でデータ集計し、5年毎3回分の植生変化の実績（H16→H21/H21→H26/H26→H31）を合算することで遷移確率を求め、感潮区間における植生遷移や樹林化を予測した。

掘削断面の敷高の検討材料とするため、植生図の1箇年目（H16）の地形を反映していると考えられる平成19年度の定期横断測量結果を基に、朔望平均満潮位を基準として複数のケースで予測した（図-7）。

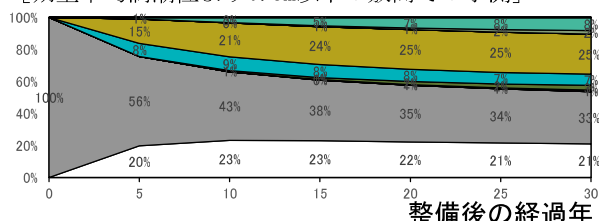
〔朔望平均満潮位より高い敷高での予測〕



〔朔望平均満潮位以下の敷高での予測〕



〔朔望平均満潮位より0.5m以下の敷高での予測〕



○開放水面  
■自然裸地  
■塩沼植物群落  
■一年生草本群落  
■多年生広葉草本群落  
■ヨシ群落  
■ツルヨシ群落  
■落葉広葉樹林  
■その他の低木林  
■植林地(竹林)  
■植林地(スギ・ヒノキ)

図-7 マルコフ連鎖による掘削後の変化予測

この結果、朔望平均満潮位より高い場所では、感潮区間で課題となっているネザサ等のその他の低木林や落葉広葉樹林が工事後10年目までに急速

に拡大すると予測された。一方、朔望平均満潮位以下の場所では、工事後、流下能力に影響しにくい一年草本群落、高茎草本であるツルヨシ群落や塩沼植物群落が維持・拡大する可能性はあるが、流下能力上の課題となっているその他の低木林等の割合は低い状態で維持されると予測された。また、掘削断面の敷高を朔望平均満潮位よりも更に0.5m下げることで再繁茂する植生の割合は減少し、自然裸地が維持されやすいと予測された。

## (3) 掘削形状の設定

掘削形状は、前述の図-1に示す一連区間①②③の内、区間①②に対し設定した（区間③の掘削は実施時に検討時点に対して追加で実施）。

### (a) 地盤高の設定

掘削高は、前述の植生立地条件の分析結果より、区間①②いずれも樹林化抑制が期待できる朔望平均満潮位（T.P.+1.12m）以下としつつ、河川整備基本方針の掘削高を下回らない高さとした。この結果、掘削高は区間①では朔望平均満潮位-0.6m（T.P.+0.52m）、区間②ではT.P.+1.00mとした（図-8）。

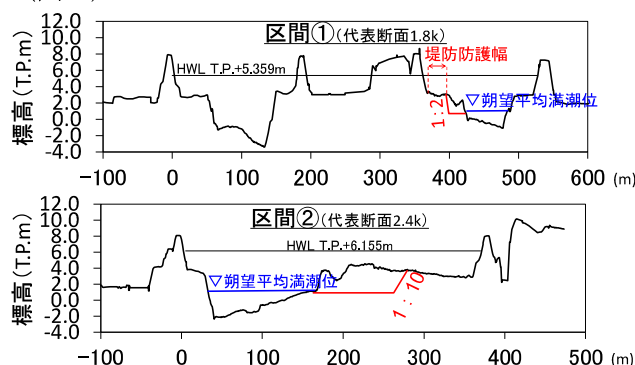


図-8 掘削高と朔望平均満潮位の高さ関係

### (b) 河道の安定性確認

河道の安定性を、流況解析による摩擦速度分布と朔望平均満潮位以下の冠水分布から評価した。整備前後で、摩擦速度分布と冠水分布の変化の大きい区間①②周辺をみると、両区間とも整備後に、これらの分布が拡大している。以上のことから、整備により植生繁茂が抑制され、河道は安定し易くなる（維持され易い）ことを確認した（図-9）。

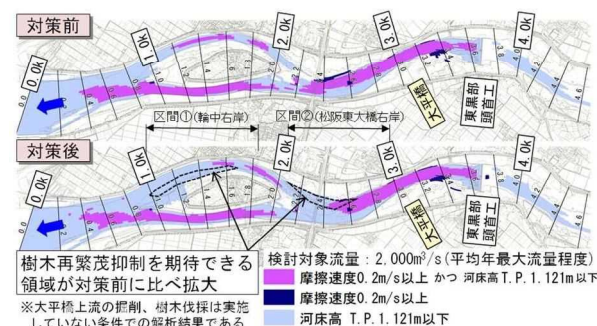


図-9 摩擦速度と朔望平均満潮位以下の分布状況



#### 4. 工事後の現地調査と成果

整備による再繁茂対策の効果を検証するため、令和2年10～11月に、整備条件が異なる3つの工事箇所（区間①松名瀬橋下流 掘削箇所(R2.1完工：敷高T.P.+0.52m)、区間③大平橋周辺 掘削箇所(R2.4完工：敷高T.P.+1.75m)、区間③大平橋周辺 樹木伐採箇所 除根あり(R2.4完工：工事箇所の地盤高T.P.+3.5～6m)」で現地調査（根株からの再生と新規の実生を区別して調査）を実施した。

##### (1) 区間①松名瀬橋下流 掘削箇所

区間①松名瀬橋下流の掘削箇所は、敷高が朔望平均満潮位より0.6m低く、潮汐の影響により令和2年1月から11月までの観測期間中の3割程度冠水する環境であった。

掘削後9ヶ月経過しているが掘削箇所には再生・定着した樹木はなく、植生もほとんど繁茂していなかった。また、河口部の塩性湿地に生育するフクド等（貴重種）の植物が確認できた(図-10)。

満潮時に海水が混ざった水が冠水するため、塩分ストレスが強い環境であり、樹木が生育しにくくなるとともに、耐塩性を持つ塩沼植物は生育できるように考えたと考えられる。

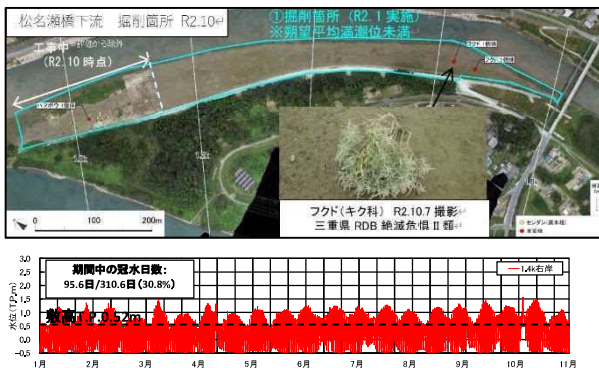


図-10 区間①大平橋掘削箇所結果

##### (2) 区間③大平橋周辺 掘削箇所

区間③大平橋周辺の掘削箇所は、敷高が朔望平均満潮位より0.6m高く、潮汐によって冠水しない環境であり、観測期間中の小規模な洪水時により一時的に冠水する程度であった。

確認された樹木の株数は少なく、林縁や伐採跡地等で優占するアカメガシワ等の新規に定着した実生が確認された。掘削後、切り下げた土壌の表層にあった埋土種子あるいは整備箇所外からの移入によって定着したと考えられる。

##### (3) 区間③大平橋周辺 樹木伐採箇所

区間③大平橋周辺の樹木伐採箇所は、潮汐の影響を受けず、令和2年の規模では洪水時にも冠水しない環境であった。

根株から再生した樹木だけでなく、新規定着した樹木が多数みられた。樹種としては林縁や伐採跡地等で優占するアカメガシワ、マグワが多かつ

た(図-11)。これらは、樹木伐採後、土壌の表層にあった埋土種子等から定着したと考えられる。

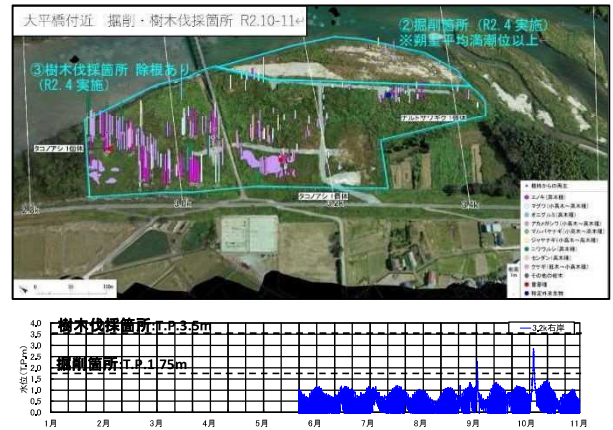


図-11 区間③大平橋周辺掘削・樹木伐採箇所結果

##### (4) 成果のまとめ

本業務での調査結果のように、再繁茂対策として除根ありで樹木伐採したとしても、一定の効果はあるものの、伐採跡地等で優占する樹木が埋土種子から新規に定着し、再繁茂を抑制する効果が低減する可能性があることが示唆された。

樹木の再繁茂を抑制するためには、区間③大平橋周辺の掘削箇所のように、表層土壌を剥ぎ取って表層土壌中の埋土種子を除去する必要があると考えられる。また、治水面だけでなく環境面にも配慮する場合、感潮区間であれば、区間①松名瀬橋下流の掘削箇所のように、朔望平均満潮位よりも低い地盤高まで切り下げ、樹木の再繁茂を抑制するとともに、塩沼植物の生育場の再生を図ることが考えられる。

#### 5. 今後の展望

本業務の取り組みは、平成30年度の検討に始まり、実工事を経て、その効果検証を行っているところである。現時点では、事業効果(=流下能力)の維持が確認されたが、検証期間が工事後、1年未満と短く、掘削箇所が冠水する規模の出水が生じていないため、今後も継続的にモニタリングを行い、樹木再繁茂等の変化状況の把握や出水時の冠水状況や摩擦速度の検証を継続していく予定である。また、松名瀬橋下流の掘削箇所では、貴重種が確認される等、環境面についても副次的に効果が確認されたことから、現行の植物調査のみでなく、底生生物等の調査も実施する予定である。

謝辞：本業務の実施にあたり、国土交通省三重河川国道事務所の関係者の皆様には多大なるご指導、ご協力を頂き感謝申し上げます。

##### 引用文献：

1) 近田ら：点検結果に基づく劣化予測のためのマルコフ遷移確率推定方法に関する一考察，構造工学論文集A, Vol161A, pp. 70-80, 2015. 5

# 流水環境における魚類を対象とした 環境DNA調査の実施に向けた一考察

○小川大介<sup>1</sup>・堀田大貴<sup>1</sup>・海津利幸<sup>1</sup>

<sup>1</sup> (株) 建設技術研究所 中部支社 (〒460-0003 名古屋市中区錦1-5-13)

一級河川の中～上流部に位置する19リーチにおいて、瀬や淵の環境区分ごとに合計52地点で採水を行い、魚類を対象とした定量メタバーコーディングによる環境DNA分析を実施した。環境DNA分析結果と出現種の生息環境を対比させて評価したところ、セグメントスケールでは想定される分布範囲とDNAコピー数の多寡が一致したが、瀬淵スケールでは、ほとんどの魚種で選好する瀬淵環境とDNAコピー数の多寡に明確な関係は見られなかった。また、河川に供給された環境DNAの流下距離とDNAコピー数の増減量や残存率には明確な関係性は見られなかった。これらのことから、環境DNAを用いた瀬淵スケールといった狭い範囲における魚類の生息状況を評価することは難しい可能性があるが、調査条件によっては瀬淵間でコピー数の違いが生じる可能性も考えられ、諸条件を踏まえた調査・分析の必要性が示された。

**Key Words** : 環境DNA, 流水環境, 魚類の生息評価, 瀬淵選好性, 流下距離

## 1. はじめに

昨今、採水によって水生生物の生息状況を推定できる環境DNA分析技術が進展し、主に魚類調査で本技術が導入され始めている。しかし、流水環境では採水地点で得られた環境DNAの分析結果が、上流側のどの程度の範囲で排出された結果を示しているのか明らかになっていない部分が多い。また、これに関連して、連続した瀬淵といった短い区間においても、魚類の瀬淵選好性によって、検出される環境DNA濃度に差が出る可能性がある。

河川水が流下する際には、生息する魚類からの環境DNAの供給・増加と分解・減少が繰り返されると予想されるが、流下距離や時間とDNA減少量の関係が分かれば、採水地点の検出状況がどの程度上流までの生息状況を反映しているかを考える材料となる。また、流水環境下における採水地点の適切な選定や分析結果の解釈が容易になるほか、瀬淵間の生息状況の比較評価など、河川域において本技術を活用した調査が進展すると考えられる。

本研究では、瀬淵単位における魚類の環境DNA濃度を調査し、流下に伴う環境DNA濃度の変化を解析したので報告する。

## 2. 方法

### (1) 調査対象地

一級河川の中～上流域でダムに挟まれた25km程度の範囲の本川において、おおよそ等間隔となるようにリーチ19区間を選定し、各区間内で連続する瀬淵等の各環境区分(2～3箇所)を採水箇所として設定した。環境区分は、白波がたつ早瀬、しわのような波が立つ平瀬、波立たず水深が大きい淵、いずれにも該当せず流れが緩やかで相対的に淵より水深が浅

いトロの4区分とし、早瀬21箇所、平瀬11箇所、トロ5箇所、淵15箇所の合計52箇所を対象として調査を行った。また、調査範囲に位置する堰堤3箇所(A, B, C)および上流端ダム貯水池の計4箇所も対象とした。

### (2) 調査方法

環境DNA分析を行うために、調査対象とした環境区分の下流端付近を基本として採水を行った。採水は2020年11月中旬に実施した。採水はペットボトルを用いて可能な限り中層における水をくみ上げたが、淵では水面下50cm程度とし、貯水池では水面下5m程度までバケツを降ろしてくみ上げた。採水した水には、DNA分解を抑制するための薬剤(オスバン)を投入した(1ml/サンプル1L)。サンプルは冷蔵状態で持ち帰り、分析を行った。分析には、魚類を網羅的に分析できる方法のうち、次世代シーケンサーによる定量的な網羅的解析であるqMiFish法(Ushio et al., 2017)を採用した。

## 3. 結果

### (1) 広域的な検出状況

全体で44種の魚類が確認された。確認種には天然記念物のネコギギや、既往の採捕調査では確認されていないイサザも含まれていた。各採水地点における魚類の種数と魚類のDNAコピー数を図-1に示す。種数はほとんどの地点で15種以上が確認されたが全魚種の環境DNAコピー数(以下、DNAコピー数)は堰堤Bから上流区間で多い傾向にあった。堰堤Bから下流区間はDNAコピー数が少ない傾向にあり、特に堰堤B直下はDNAコピー数、種数ともに少なかった。

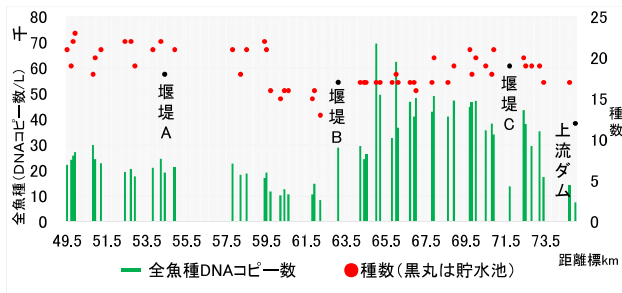


図-1 全魚種のDNAコピー数と種数の縦断面図.

確認種から上流域に生息する種（アカザ、カジカ類）、中流域に生息する種（タモロコ、スゴモロコ属、カワヒガイ、ビワヒガイ、アブラヒガイ）をそれぞれ抽出し、DNAコピー数の縦断分布を比較した（図-2）. この結果、上流域に生息する種は堰堤Bより上流区間でDNAコピー数が多く、下流域に生息する種は堰堤Aから下流でDNAコピー数が多い傾向にあった.

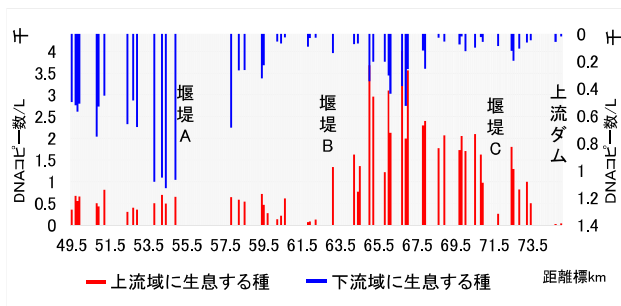


図-2 魚種の生息域別のDNAコピー数縦断面図.

## (2) 環境区分によるDNAコピー数の違い

環境区分による魚種毎のDNAコピー数の違いを分析するために、Kruskal-Wallis法による分散分析を行った. その結果、確認されたほとんどの魚種は、環境区分間のDNAコピー数の差は検出されなかった. 一方、カジカ類 ( $p=0.039, <0.05$ ) およびゼゼラ ( $p=0.002, <0.05$ ) の2種は環境区分によるDNAコピー数の違いが有意であり、タモロコは有意傾向 ( $p=0.085, >0.05$ ) にあった. なお、チャネルキャットフィッシュ、アブラヒガイ、ヌマムツの3種は、統計解析上は瀬淵環境間で有意な差が認められたが、確認地点数が2ヶ所と少なかったため、対象外とした. それら以外の種は有意差が認められなかった.

次に、分散分析で環境区分間による違いが認められた上記3種およびネコギギを対象に、環境区分ごとのDNAコピー数の違いを確認した（図-3）. あわせて、Steel-Dwass法による多重比較を行った（表-1）. カジカ類は図-3では早瀬のDNAコピー数が高かったが、表-1では平瀬との間に有意傾向があったのみで、トロや淵との間に違いは認められなかった. ゼゼラはトロにおいてDNAコピー数が高くなり、早瀬に対して有意であったが、淵に対しても有意であった. タモロコもゼゼラと同様にトロでDNAコピー数が高かったが、瀬ではなく淵に対して有意傾向にあった. また、有意な差は認められなかったが、ネコギギの

DNAコピー数が淵で高い傾向にあった. ただし、トロにおける採水箇所が5箇所のみであることに留意する必要がある.

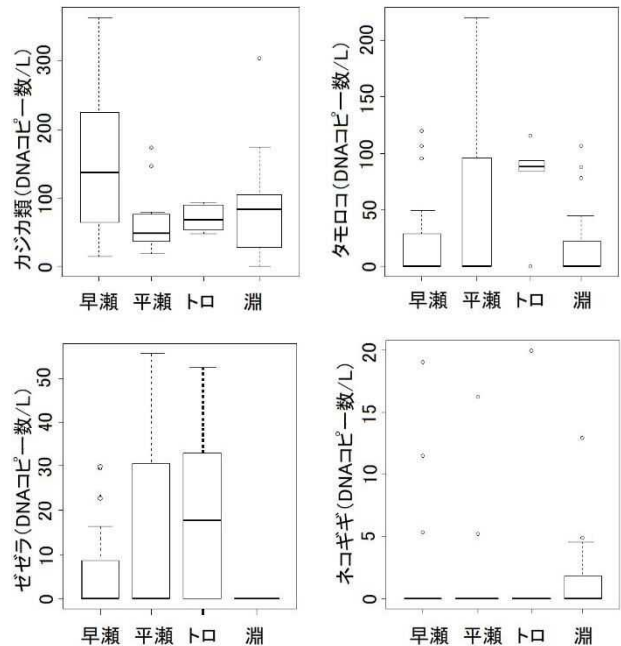


図-3 瀬淵で異なる傾向が見られた魚種の環境区分ごとのDNAコピー数.

（箱ひげ図について、箱の上辺が75%値、下辺が25%値、箱内の横線が中央値、箱から上下に伸びているバーが最大・最小値、バーの上下に位置している丸が外れ値を示している）

表-1 瀬淵間の環境DNAコピー数の多重分析結果（P値）.

|       | カジカ類  | ゼゼラ   | タモロコ  |
|-------|-------|-------|-------|
| 早瀬-平瀬 | 0.070 | 0.906 | 0.993 |
| 早瀬-トロ | 0.583 | 0.031 | 0.125 |
| 早瀬-淵  | 0.133 | 0.117 | 0.940 |
| 平瀬-トロ | 0.704 | 0.266 | 0.467 |
| 平瀬-淵  | 0.916 | 0.063 | 0.872 |
| トロ-淵  | 0.990 | 0.001 | 0.051 |

環境区分間でDNAコピー数の違いが認められなかった魚種の一例を図-4に示す. 中央値でみると、オイカワやコイのように4つの環境区分で中央値が同程度の種もいれば、カワムツやカワヨシノボリのように特定の環境区分で中央値が高くなる種もみられた.

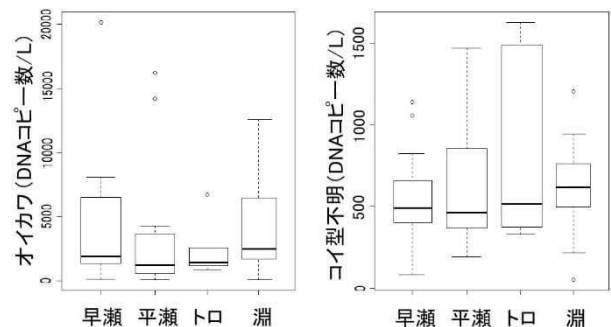


図-4 (1) 瀬淵間で差異が認められなかった魚種の環境区分ごとのDNAコピー数（一例）.



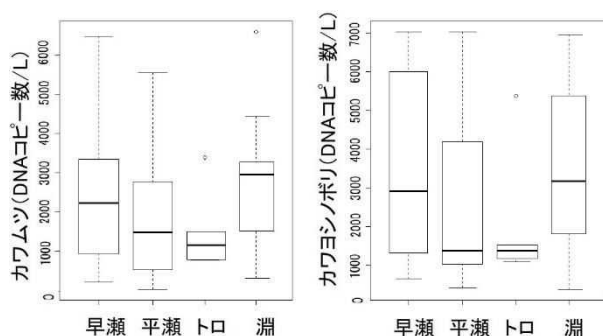


図-4 (2) 瀬淵間で差異が認められなかった魚種の環境区分ごとのDNAコピー数（一例）。

### (3) 流水環境における流下距離と環境DNA増減量・残存率の関係性

流下距離とDNAコピー数の減少量の関係を確認するため、カジカ類を対象に本種の生息環境である早瀬と、その直下に位置する淵までの距離とDNAコピー数の減少量およびその割合を整理した（図-5）。カジカ類は、前出のとおり、早瀬のDNAコピー数が他の環境区分より多い傾向にあり、また、確認地点数も多いことから選定した。なお、ここでは早瀬とその直下流の淵を抽出し、瀬尻から淵尻までの流下距離を整理した。この結果、流下距離とDNAコピー数の残存率・量に明確な相関関係はみられなかった。100mで非検出となる場合もあれば、1km流下しても約25%残存しているケースもあった。

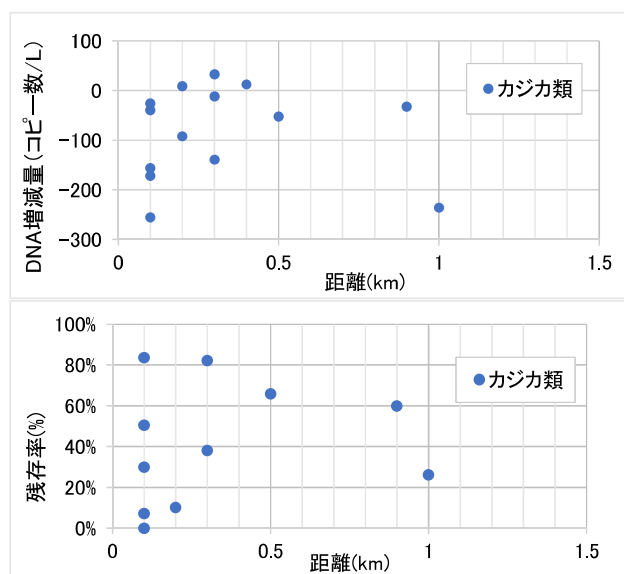


図-5 環境DNAの流下距離とコピー数の増減量・残存率の関係(カジカ類)。

## 4. 考察

### (1) 環境DNA分析によるセグメントスケールにおける魚類生息状況把握の妥当性

今回の調査区間のうち、堰堤A下流は河床勾配が約1/500でありセグメント2相当、堰堤A～Bと堰堤B～Cは、それぞれ約1/350、約1/150でありセグメント1相当である。上流域に生息する種群は堰堤B～C（セグメント1）、下流域に生息する種群は堰堤A下流（セ

グメント2）でより多く確認されたことから、それぞれ環境に応じて魚類が生息していると考えられる。このことから、環境DNAはセグメントスケールのような広域における魚類の生息状況を概ね反映していると考えられる。

なお、堰堤A下流、および堰堤A～BでDNAコピー数が小さいことの要因として、堰堤の存在によって短く分断されていることが影響している可能性がある。例えば、アマゴを対象にした既往研究では流路長が1km以下になると区間内での絶滅が顕在化することが示唆されている<sup>2)</sup>。本区間も上下流の堰堤により分断されており、順流区間の距離は、堰堤B～Cが約8kmであるが堰堤A下流および堰堤A～Bが約5kmと比較的短いことから、魚類の個体群が小さくなっている可能性がある。

### (2) 環境DNA分析によるリーチスケールにおける魚類生息状況把握の妥当性

環境区分間のDNAコピー数の違いを、魚類の瀬淵選好性と併せて考察する。本調査では、各魚種が選好するとされる環境区分でDNAコピー数が高くなるといったケースはごく一部の種でしか確認されなかった。そのため、リーチスケールといった狭い範囲における魚類生息状況の評価は難しい可能性がある。環境区分間でDNAコピー数に差が出なかった要因としてはいくつかの可能性が考えられる。例えば、コイは、湖沼等の止水域や流れが緩やかで水深のある淵を好むとされている<sup>1)</sup>が、早瀬や平瀬においても一定のDNAコピー数が確認されている。この要因の一つとしてDNAコピー数が大きい魚種は、環境DNA濃度に対して分解速度が小さく、見かけ上、顕著な差が生じなかった可能性がある。また、採水時の水温は10～11℃で低温であったため、DNAの分解速度が低下していたことも要因と考えられる。アユを対象とした事例では、24時間の環境DNA分解速度は、水温20℃で90～97%、10℃で58%であり、低温では分解速度が低下することが示唆されている<sup>3)</sup>。

一方、カジカ類については、選好する環境区分でDNAコピー数が高い傾向にあった。カジカ類は流れの速い水域を好む<sup>1)</sup>とされていることに対し、DNAコピー数は早瀬で多く、有意差は認められなかったが瀬淵の選好性とDNAコピー数の多寡が一致する傾向にあった。タモロコおよびゼゼラは中流域～下流域、湖沼などに生息するとされており<sup>1)</sup>、トロにおけるDNAコピー数が多く、瀬淵の選好性と概ね一致していると言える。その他、ネコギギは、水深が深く、流速が小さく、大きな間隙がある場所に多く生息するとされ<sup>4)</sup>、淵でDNAコピー数が大きくなる傾向にあった本調査結果と一致する。環境DNAの分解速度やその過程については不明な点が多いが水温等の環境条件次第では、カジカ等のように瀬淵スケールでの濃度差が生じるかもしれない。例えば、高水温期であれば、流下に伴うDNAコピー数の減少速度が高まることで、環境区分間での差が生じ、瀬淵スケールでの生息状況の違いを検出できるかもしれない。

この点については今後の課題である。

環境区分間でDNAコピー数の差が生じなかったもうひとつの要因として、実際に瀬淵のいずれにも同程度のバイオマスが分布していた可能性が考えられる。オイカワやカワムツは河川・湖沼など幅広い環境に生息しており、瀬淵の選好性が比較的小さいと考えられる。また、オイカワの稚魚は流れのほとんどない止水域に群集し<sup>5)</sup>、小型の個体も緩流域に生息すると推測される。また、採水を行った時期は11月中旬であったが、本種は冬季には淵などの流れが緩く水深が深い場所へ移動する傾向にある<sup>6)</sup>ことも、瀬淵間で環境DNA濃度に明確な差が生じなかった要因の一つと考えられる。カワヨシノボリも瀬に生息するとされているが<sup>1)</sup>、早瀬と淵のDNAコピー数は同程度であり、平瀬のDNAコピー数は早瀬や淵より小さい傾向にあった。本種については、流速と生息密度に正の相関関係がみられ、ある程度流速の早い流れの場所に生息すると考えられる<sup>7)</sup>が、一方で稚魚は緩流部の砂利底を利用することが報告されている<sup>8)</sup>。これらのことより、一般的に瀬を好むとされる魚種が生活史の一部で淵を利用し比較的多くのバイオマスが分布している可能性を否定できない。淵に生息する魚類を潜水観察等により定量的に評価することは容易ではないが、淵における魚類の実際の生息状況を定量的に評価できれば、環境DNA分析結果も正しく評価できるようになると考えられる。

### (3) 流水環境における流下距離と環境DNA増減量・残存率の関係

河川に供給されたDNAの流下距離（検出範囲）については、いくつかの研究事例がある。既往研究によると、マスでは240m以上<sup>9)</sup>、アユでは400-800m程度である<sup>10)</sup>との報告がある。本調査の分析結果を見ると、カジカの環境DNAは、200m以下の流下距離で残存率が10%以下となったものが3サンプルあった。水温が10~12℃と低く、DNAが比較的分解されにくい条件下ではあったものの、既往研究で示された流下距離よりも短い範囲の生息状況を示している場合もあると考えられる。ただし、流下距離が1kmでもDNAが約25%残存していたケースや、湛水区間が3km以上ある上流ダム貯水池においてもカジカDNAが検出されたケースも確認されており、これらの要因分析や流下距離とDNA減少量・率の関係把握は今後の課題である。

### (4) 環境DNA分析による希少魚類の生息状況評価把握における留意点

前出のとおり、ネコギギは淵で検出される傾向にあった。ネコギギの検出濃度は非常に低く、そのため、好適環境と想定される淵で検出される傾向にあり、不適環境では検出限界以下まで濃度が減少したと考えられる。このことより、流下によって比較的速度やかに検出限界以下まで濃度減少するような希少魚類の場合は、瀬淵スケールでの生息状況評価が可

能となる可能性がある。しかし、言い換えると、当該魚種の好適な環境を狙って調査を行う必要が高く、生息数の少なさを考慮すると、生息の有無の確認には普通種よりも多くの検体数が必要になると考えられる。

## 4. おわりに

環境DNAの流下距離とDNA減少量・残存率の関係性や、供給された環境DNAが下流へ影響を及ぼす範囲の解明を試みたが、流下距離とDNA減少量・残存率の明確な関係性は確認できなかった。本調査では、環境DNAを用いて数百mという狭い範囲における魚類の生息場の評価が困難な可能性が示唆されたが、各魚種の季節ごと・成長段階ごとの動態や遊泳魚・底生魚の違い、水温、調査対象とした各環境区分の流速などについては考慮しきれていない。今後、これらの諸条件を考慮した調査、分析を行うことで、環境DNA分析による生息状況の比較評価がどのスケールまで適用できるかといった解像度がより明確になると考えられる。

## 参考文献

- 1) 森文俊, 内田りゅう, 山崎浩二: ヤマケイポケットガイド17淡水魚, (株)山と溪谷社, 2006
- 2) 井上幹生, 菊地修吾, 川西亮太: 河川の分断化が魚類個体群に及ぼす影響, 一般財団法人 水源地環境センター 平成28年度水源地環境技術研究所 所報, 2017
- 3) 環境省: 平成27年度環境研究総合推進費, 4RF-1302-26
- 4) 一柳英隆, 渡辺勝敏, 森誠一: ネコギギの生息環境と個体群動態, 保全のための基礎的知見として, 応用生態工学会, 15 (2), pp. 257-267, 2012.
- 5) 大高裕幸, 須永哲雄: 香川県金倉川におけるオイカワと、カワムツの分布一仔・稚魚期を中心にして一, 香川生物 (Kagawa Seibutsu) (19), pp. 127-135, 1992.
- 6) 飯野哲也, 野村博: 河川中流域における魚類の生息環境について, 埼玉県農林総合研究センター研究報告, 1号, pp. 123-128, 2001. 3.
- 7) 青木怜祐, 畔川亮介, 源田礼奈, 左海拓也, 松本大樹: 都市河川はハゼ類にどのような影響を与えているのか?, 共生のひろば12号, 2017.
- 8) 石田裕子, 竹門康弘, 池淵周一: 河川の浸食-堆積傾向と流量変動による底生魚の生息場所選好性の変化, 京都大学防災研究所年報第48号D, 2005. 4.
- 9) Jane S.F., Wilcox T.M., McKelvey K.S., Young M.K., Schwartz M.K., Lowe W.H., et al.: Distance, flow and PCR inhibition: eDNA dynamics in two headwater streams, Molecular Ecology Resources, Vol. 15, pp. 216-227, 2015.
- 10) 赤松良久, 乾隆帝, 一松晃弘, 河野誉仁, 土居秀幸: 環境DNAを用いた河川内の魚類現存量推定に関する基礎的検討, 土木学会論文集B1(水工学) Vol. 73, No. 4, pp. I\_1111-I\_1116, 2017.

# 文化財保全の観点に配慮した五六閘門における補修設計

やまだけいいちろう えんどうのぶゆき みやけせいごう いなばともえ  
山田敬一郎<sup>1</sup>・遠藤信之<sup>1</sup>・三宅世剛<sup>1</sup>・○稲葉智栄<sup>1</sup>

<sup>1</sup>セントラルコンサルタント（株）（〒460-0003 名古屋市中区錦一丁目18番22号）

本設計は、在来の左官技術であるたたき工法を応用した人造石工法により改築され、施工後100年以上が経過した五六閘門の補修設計を実施したものである。現状の施設では、石積部表面や高欄部にひび割れや欠損が確認され、保全の観点から補修が必要な状態であった。また、2連函体アーチ内部の頭頂部においてもひび割れが確認された。このため、改築当時の築造工法や材料を用いた補修工法及び補修時に極力既設躯体に変状を発生させない構造的補強工法等を提案し、既設施設の有する文化的価値の保全に配慮した補修設計を実施した。

**Key Words：**五六閘門，人造石工法，たたき，文化財保全，補修設計，ひび割れ注入工法

## 1. はじめに

人造石工法とは、明治40（1907）年、鉄筋コンクリート工法発展の過渡期に、在来の左官技術である“たたき工法”を応用した工法である。



図-1 五六閘門（下流正面より）

なお、本補修設計では、文化的価値のある施設を対象とすることから、平成19年度土木学会重点研究課題調査研究報告書「歴史的建造物の保全に関する研究にある文化財の基本理念<sup>1)</sup>」を参考に、補修方法を決定した。

## 2. 五六閘門と人造石工法の概要

### (1) 歴史背景と現在まで

五六川下流域は、海拔5～6mという低湿地に位置することから、出水の度に長良川の逆水に苦しめられていた。このため、五六閘門は地元からの要望で、宝暦7（1757）年、本田代官川崎平右衛門により、逆水樋門として木造で築造された。その後、明治40（1907）年に、現在の姿である2連アーチ式、鉄扉、人造石工法で改築された歴史がある。<sup>2)</sup>

現在は、その特殊な築造工法や、施工後100年以上が経過していることや、その保存状態より、歴史的価値が高いことから、土木学会、岐阜県等の各機関において重要な土木構造物として位置づけられている。

治水面から見た五六閘門は、その構造から河道狭窄部となっており、河道整備事業では、本位置の河道をバイパス化すると同時に、原位置より下流で代替施設として新設樋門を設置することによって、狭窄部を解消する方針となっている。これより、五六閘門は、逆水樋門としての役目を終えるとともに、現管理者の県より市に移管され、周辺の平場や本施設を活用した公園の整備が市により進められる予定である。また、市への移管後は、国の登録有形文化財に登録予定である。<sup>3)</sup>

### (2) 人造石工法について

人造石工法とは、明治9（1876）年、愛知県碧南出身の服部長七が開発施工した土木工法で、在来の左官技術であるたたき工法を応用したものであ



り、材料には真砂土、消石灰、花崗岩が用いられている。

以降、本工法は大正 7（1918）年頃にかけて、国産セメントの品質安定と生産量の拡大・価格低下によるコンクリート工法が普及するまでの過渡期において、全国の土木工事で採用された。その特徴は、安価なコストとセメントに匹敵する強度を持ったコンクリート工法普及の前段階の土木技術であった。

人造石工法による工事例は、明治 15（1882）年の服部新田干拓堤防（愛知県高浜市）を皮切りに、広島県の宇品築港と新田干拓堤防、四日市旧港の通称潮吹き防波堤（重文）、名古屋築港などの大規模土木工事などが挙げられる。<sup>4)</sup>

### 3. 施設に見られる変状

本施設の変状は、外観目視調査により把握した。施設の構成は、主に土木部は、陸上部の高欄、翼壁、壁面及び扁額、函体内部の函体アーチで変状が見られたが、このうち、人造石工法に関係する部位で変状が見られたが、改築当時の築造工法や材料等を用いる補修工法を提案することが妥当と考えた。

これらの主な変状として、人造石工法が用いられている壁面の目地部では、ひび割れや断面欠損が見られた。また、高欄では、一連区間での笠石の損失や随所で断面欠損とひび割れが確認された。



図-2 支柱部の断面欠損及び笠石の損失（左）、壁面の目地部ひび割れ（右）

また、函体内部では、函体アーチ内部頭頂部に全面的なひび割れが見られ、その多くで漏水等も確認された。



図-3 函体アーチのひび割れ

### 4. 補修設計における課題

#### (1) 課題①たたき工法での高欄補修

高欄の断面欠損部の補修は、実証的根拠に基づく

措置を取る観点から、改築当時の築造工法や材料等を用いるものとした。それに対し、次のような課題が浮かび上がった。

#### a) 笠石欠損部の補修

笠石部では、残存する笠石は、高欄上部に固定されていないため、錆による爆裂等により躯体への影響を与えない方法で高欄本体へ固定する必要があった。

#### b) 支柱部の補修

支柱部では、図-2のように高欄部と支柱の分離が見られるため、高欄部との活着にも配慮する必要があった。

### (2) 課題②函体アーチのひび割れ補修の課題

函体アーチは、アーチ表面に不規則なひび割れが多く見られた。このひび割れは、初期欠陥が劣化要因と見られる。また、塩害、中性化等は確認されておらず、鉄筋も有していないため、現段階では劣化要因の遮断や水分の進入抑制を図った補修工法の必要性は低いとされる。ただし、ひび割れの拡大によりアーチ部の一体性が徐々に低下し損なわれ、構造崩壊につながる恐れがあるため補修が必要と判断した。

アーチ部はアーチ軸線上の石材が互いに軸力をなすことにより、部材の安定を保っていることから、構造の要と言える。そのため、補修によってひび割れを拡大させることのない工法を選定する必要があった。

### 5. 課題に対する対応策

#### (1) 課題①への解決策

改築当時の築造工法や材料等を把握する必要があったため、有識者とともに外観目視調査を実施した。

#### a) 外観目視調査結果

外観目視調査の結果、高欄では、躯体表面に 1 cm 程度のセメントモルタルでの左官及び洗出し処理がなされていることが分かった。躯体内部には、一様にたたきが充填されているのではなく、高欄長手方向に対し、均等な幅を持ったブロックが配置されていることを確認した。さらには、支柱部においても、高欄部のブロックが延長され、高欄部と支柱部が一体化されていることが分かった。

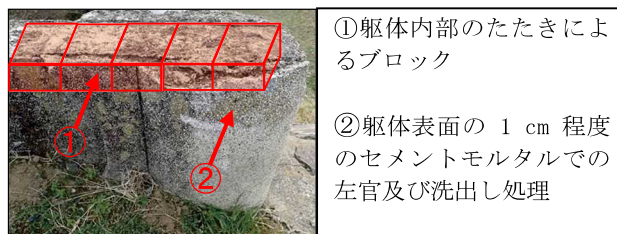


図-4 高欄躯体構成

#### b) 笠石欠損部の補修

笠石欠損部は、実証的根拠に基づく措置を取る観点から、欠損している笠石に対し、既設と同様のた

たきブロックなるものを作成し、それを配置するものとした。また、笠石は脱落防止のために差し筋にて固定し、鉄筋の材質は、錆による爆裂等により躯体の変状を助長しないようステンレス製のものを用いるなど配慮した。

#### c) 支柱部の補修

支柱部は、過去の築造工法と同様のものとする観点から、たたきブロックなるものを作成し、既設の支柱が高欄と一体化していることを鑑み、ブロックを支柱内にも配置するものとした。なお、支柱と高欄の活着に配慮し、鍵型のたたきブロックを作成し配置するものとした。

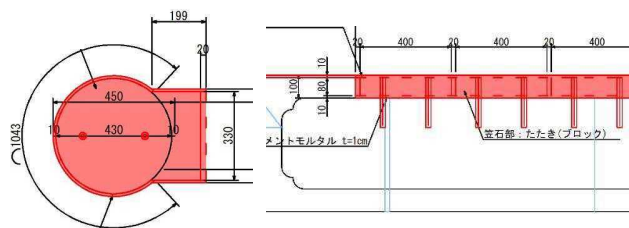


図-5 高欄断面補修工 支柱部の補修（左），笠石部の補修（右）

### (2) 課題②への解決策

#### a) 補修工法の選定

初期欠陥が劣化要因とされるひび割れには、一般に“ひび割れ充填工法”や“ひび割れ注入工法”が選択されるが、前者は対象となるひび割れの表面部分を閉塞させることで、劣化因子の進入防止・抑制を行う補修工法であるのに対し、後者は注入材がひび割れ内部を充填・充満することを前提としている。よって、本補修では、ひび割れ注入工法を用いるものとした。

#### b) ひび割れ注入工法の選定

本箇所への補修は、前述のとおり、ひび割れの拡大によるアーチ部の構造的補強を目的としており、補修によってひび割れを拡大させることのない工法を選定する必要がある。そのため、注入材の注入により既設構造物への影響を極力与えない工法として、内圧充填接合補強工法を選定した。本工法は、注入圧が低く、注入開始時に内部エアーを外部に排除することで、容易な注入且つ既設施設に影響を極力与えない工法を採用した。

以上より、アーチ部の構造的補強を図り、既設構造物に対する注入による影響を極力与えないよう配慮した。

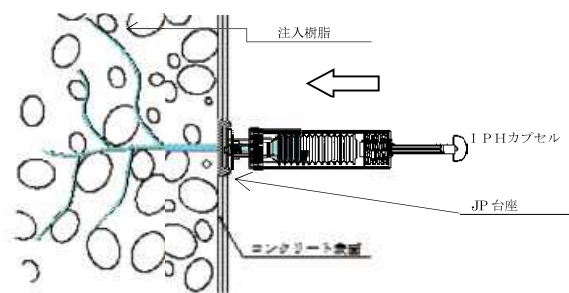


図-6 内圧充填接合補強工法

## 6. 結果

以上までの対応策により、本補修設計での課題①たたき工法での高欄補修では改築当時の築造工法や材料等を用いる補修工法を提案することが妥当と考え、現況の高欄の形状を踏襲したたたき工法による既設躯体の復元を実現するとともに、脱落防止のために差し筋をステンレス製のものを用いる等の対策により、新規の変状となる要因の抑制に配慮した。

課題②函体アーチのひび割れ補修の課題では、注入圧の低い内圧充填接合補強工法を用いることで、既設構造物への影響を極力与えずに、アーチ部の構造的補強を図った補修方法を選定した。

## 7. おわりに

人造石工法により構築された構造物に対する補修事例は全国的にも少ないものであり、本業務が同種の歴史的構造物の補修を検討する際の参考事例の一つとなれば幸いである。

**謝辞：**本設計は、岐阜県岐阜土木事務所、瑞穂市教育委員会、文化庁、産業遺産学会、左官業者の関係各位にお世話になった。ここに記し謝意を表する。

### 参考文献

- 1) 歴史的構造物保全技術連合小委員会：平成19年度土木学会重点研究課題調査研究報告書 歴史的構造物の保全に関する研究, pp. 16-17, 2008
- 2) 野田清影：260年間水と闘った牛牧閘門について～文化庁報告書～, 執筆年度不明
- 3) 岐阜県岐阜土木事務所：五六川牛牧閘門あり方検討会とりまとめ, pp. 23-28, 2019
- 4) 天野武弘：1901年に人造石工法で構築された明神樋門修復工事の意義, 2018





# 流域の特性を活かした 菊川流域治水プロジェクト対策の検討と 効果検証

やまもと りょう や あらきた かゆき くどう まこと ふなと のぶひさ  
○山本 遼 哉<sup>1</sup>・荒木孝之<sup>1</sup>・工藤 真<sup>1</sup>・船戸総久<sup>2</sup>

<sup>1</sup> (株) 建設技術研究所中部支社 (〒460-0003 愛知県名古屋市中区錦1-5-13オリックス名古屋錦ビル)

<sup>2</sup> 国土交通省中部地方整備局浜松河川国道事務所 (〒430-0811 静岡県浜松市中区名塚町266)

近年の気候変動に伴う災害の激甚化、頻発化を踏まえ、一級河川菊川では、流域内のあらゆる関係者が協働して取り組む「菊川水系流域治水プロジェクト」が令和3年3月に策定された。本検討では、流域治水プロジェクトでの対策メニューを具体化することを目的に、対策案の立案および効果の定量的評価を行ったものである。また、流域治水プロジェクトの対策メニューの1つである流域特性を活かした田んぼ貯留の取組みについて紹介する。

**Key Words** : 流域治水プロジェクト, 内水対策, 流域対策, 田んぼ貯留

## 1. 菊川流域の概要と流域特性を活かした菊川水系流域治水プロジェクトにおける対策案の検討

菊川は、静岡県掛川市栗ヶ岳を源とし、低平地を蛇行しながら、遠州灘に注ぐ、幹線流路延長28km、流域面積158km<sup>2</sup>の一級河川である。

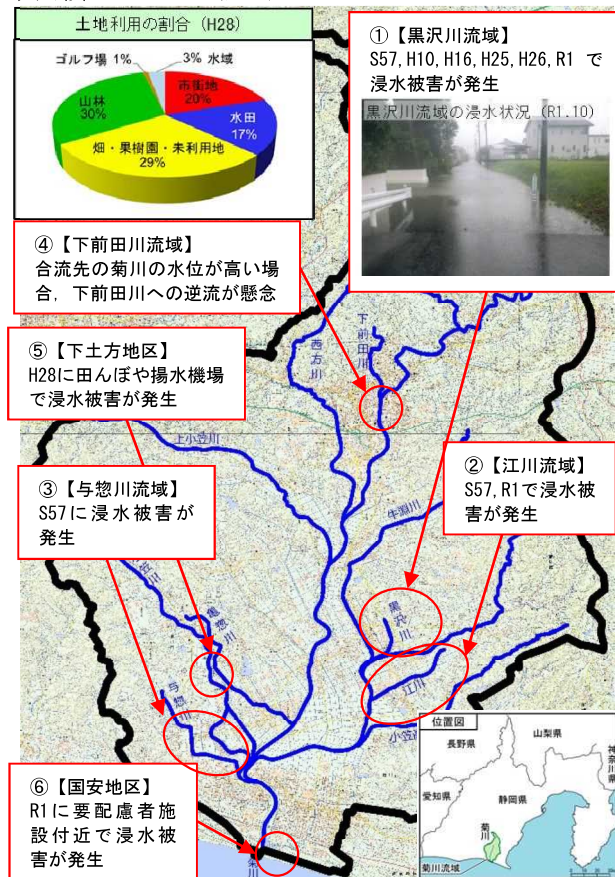


図-1 菊川流域における検討対象地区の位置図

## (1) 流域特性と令和元年東日本台風の被害状況

菊川流域の特徴は、図-1に示すように流域の約46%を農地が占め<sup>1)</sup> (うち水田は約17%)、中下流部で河川勾配が緩い点が挙げられる。また、堤防に囲まれた地域では、過去に内水被害が発生しており、令和元年東日本台風 (以下、R1.10洪水とする) で、黒沢川および江川流域において内水被害が発生した。

## (2) 検討対象地区と治水対策案の選定

浸水実績や流域の浸水被害特性を踏まえ、図-1に示す浸水リスクが大きい6地区を選定し、流域治水プロジェクトでの対策メニューを具体化することを目的に、治水対策の定量的な効果を検討した。各地区の治水対策案を表-1に示すが、本論では、浸水常襲区域であり、R1.10洪水で内水被害が発生した①「黒沢川流域」における浸水要因分析および治水対策案の定量的な効果検証と、先行的に治水対策案の具体化に着手している③「与惣川流域」における田んぼ貯留実証実験の取組みを紹介する。

表-1 選定した治水対策案の一覧

| 検討対象地区  | 選定した治水対策案                         |                        | 選定の視点              |
|---------|-----------------------------------|------------------------|--------------------|
|         | 河川対策                              | 流域対策                   |                    |
| ①黒沢川流域  | 牛淵川の河道掘削<br>黒沢川の河道掘削<br>排水機場の能力増強 | 田んぼ貯留<br>ため池貯留         | 流域の排水能力・貯留能力の向上    |
| ②江川流域   | 牛淵川の河道掘削<br>排水機場の能力増強             | 田んぼ貯留<br>ため池貯留<br>校庭貯留 |                    |
| ③与惣川流域  | 与惣川の除草<br>排水機場の能力増強               | 田んぼ貯留<br>ため池貯留<br>校庭貯留 |                    |
| ④下前田川流域 | 菊川の築堤、堰撤去<br>下前田川の樋門整備            | —                      | 菊川からの逆流防止          |
| ⑤下土方地区  | 下小笠川の河道掘削                         | 田んぼ貯留と水路の<br>流下能力向上対策  | 田んぼ貯留を実施しつつ下流被害の軽減 |
| ⑥国安地区   | —                                 | 排水ポンプ                  | 流域の排水能力向上          |

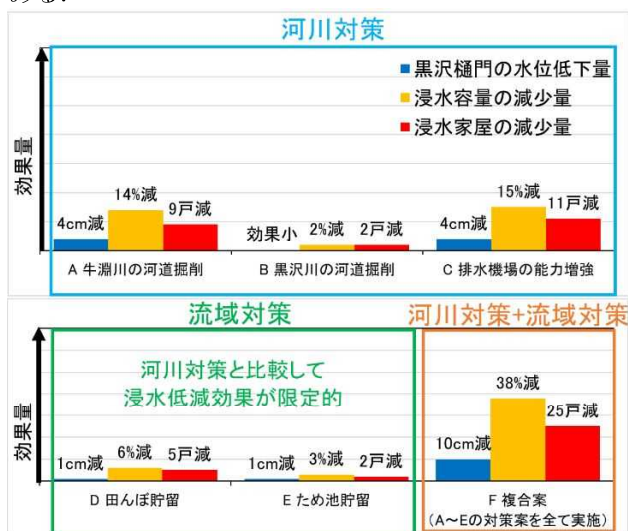




#### (4) 治水対策案の効果検証

図-5に選定した対策案の効果量を示す。河川対策となる合流先の牛淵川の河道掘削により、外水位が低下したことで、樋門閉鎖時間を半減でき、流域内の浸水を軽減した。また、黒沢川の河道掘削は、牛淵川から黒沢川へ逆流が始まったら黒沢樋門を閉鎖するため、浸水低減効果は小さい結果となった。排水能力の増強対策は、現行の黒沢川排水機場（排水能力5m³/s）の排水能力を10m³/sに増強した場合を試算した結果、牛淵川の河道掘削と同程度の効果となったことを確認した。

一方、流域対策は、河川対策に比べて浸水低減効果が限定的であった。以上より、黒沢川流域における浸水被害軽減対策は河川管理者が実施してきた河川対策を継続し着実に効果を発現させていくことと、図-6に示すように、流域対策を組合わせて流域関係者が一体となって治水対策を推進していくことが有効である。



R1.10浸水実績家屋数:131戸 ※浸水深1cm未満で浸水解消とした  
図-5 黒沢川流域で選定した治水対策案の効果量

#### 3. 田んぼ貯留対策の実証実験に向けた検討

田んぼ貯留は新潟県や北海道の一部地域で取り組み事例があるものの、現地での実証実験を行った事例は少ない。そこで、多くの農地を有する菊川流域の特徴を活かした田んぼ貯留について、具体的な対策効果を把握するため、実証実験を令和3年度より開始した。

#### (1) 菊川流域全体の田んぼ貯留による効果の把握

菊川流域全体での今後の田んぼ貯留の推進に向けて、まずは、菊川流域の全ての田んぼに対し、田んぼ貯留を実施した場合の効果を試算した。

計算条件は表-2に示す通りであり、貯留関数法による小流域ごとのハイドログラフに対して、流域内の田んぼ割合と、式(1a)に示すオリフィスの排水量算定式を用いて検証した。

表-2 菊川流域全域における田んぼ貯留の算出条件

| 流出計算      | 貯留関数（計画高水算定モデル）                                                                                                                                                                                                           |
|-----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 対象降雨波形    | 河川整備計画の対象波形                                                                                                                                                                                                               |
| 対象の田んぼ    | H28土地利用細分メッシュデータより抽出した菊川流域内のすべての田んぼを対象                                                                                                                                                                                    |
| 田んぼ貯留の考え方 | ①上記の田んぼ合計面積÷小流域の流域面積で、対象とする田んぼへの流入量を算定<br>②その流入ハイドロに対してオリフィスによる排水量を算定<br>・排水孔は1ha辺り1箇所を想定し、排水孔に堰板を設置することで断面積を約60%縮小できる設定とした<br>・田んぼの浸水深が30cmとなった時点で、IN=OUTとなる設定とした<br>③小流域ごとの田んぼ貯留実施後のハイドロを重ね合わせ、主要地点および基準地点における流量低減効果を算出 |

$$Q_{out} = C \times a \sqrt{2g(H - H_L)} \quad (1a)$$

ここに、C:流出係数0.6, a:排水孔の断面積, g:重力加速度, H:水田の浸水深, H<sub>L</sub>:田面高

その結果、図-7に示すように菊川流域全体で田んぼ貯留を行うことで基準地点国安において約100m³/sの流量低減効果があることが確認された。これより、菊川流域での田んぼ貯留の有効性を確認できたことを踏まえ、田んぼとしての土地利用が比較的多い与惣川流域を対象に、先行して実証実験を行うこととした。

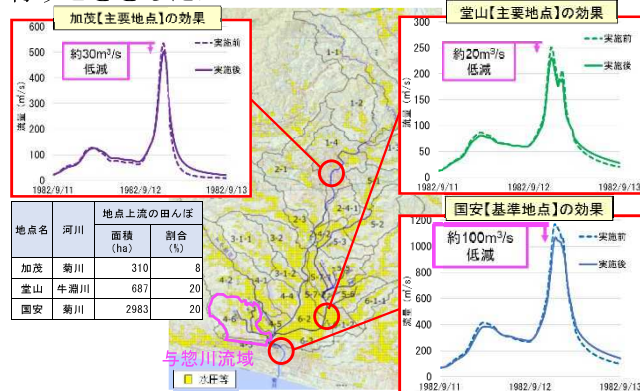


図-7 菊川流域の全域田んぼ貯留の効果

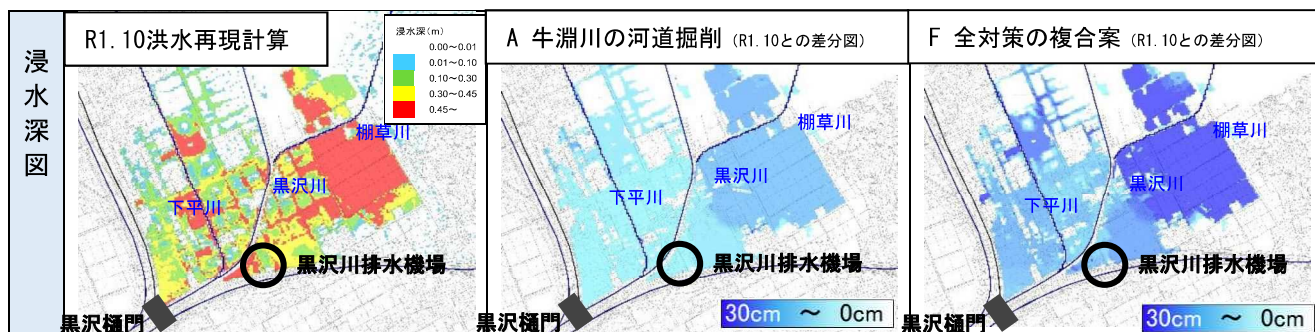


図-6 黒沢川流域の治水対策案（牛淵川の河道掘削, すべての対策を組み合わせた複合案）の浸水低減効果



## (2) 与惣川流域の田んぼ貯留実証実験計画

図-8に示す約13haの田んぼ（与惣川流域全域の田んぼの約13%）を対象に実証実験を実施した。田んぼ貯留の効果は、降雨を一時的に田んぼに貯留させ、徐々に排水することで河川水位の急上昇を抑えることが期待できる。



図-8 対象圃場の位置図

田んぼ貯留実施による田んぼからの排水量の遅れ時間および水位低下効果を把握するため、図-9に示すとおり対象区画の一部に田んぼ貯留を実施しない箇所を設け、田んぼ貯留有無の比較検証を行う計画とした。河川および水路には簡易水位計を設置するし、①排水先水路における洪水ピークの遅れと、②与惣川の水位低下効果を把握することを目的とした。また、田んぼ内にはカメラと量水標を設置し田んぼ貯留の状況を記録するものとした。

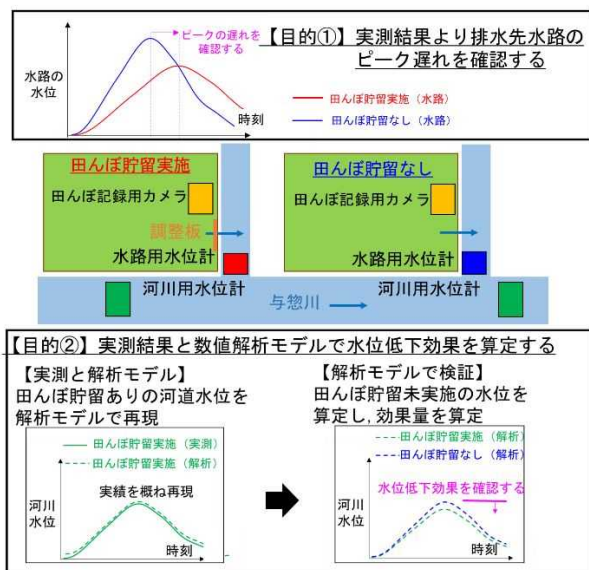


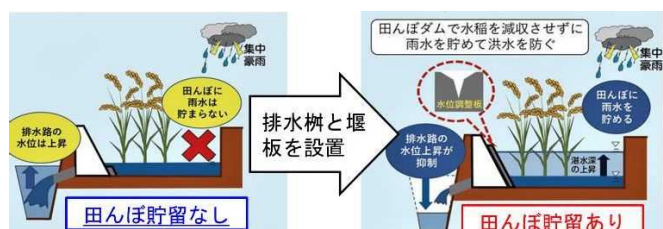
図-9 実証実験計画の概要

## (3) 排水柵や堰板について

実証実験で使用した排水柵と堰板の概要を図-10に示す。堰板のスリット部は0～5cmまでは貯留機能を高めるスリット幅、5～10cmまでは急激な水位上昇を抑えつつも貯留機能を確保した設計であり、田んぼ貯留しながらも水位管理が可能である。一方、排水先の水路は、図-11に示すように田んぼからの排水量が低減されることで、急激な水位上昇を防ぐことが期待できる。<sup>2)</sup> また、排水柵を整備する際は、現況の排水機能や水位管理に影響を与えないように留意し、田面から20～30cm程度の貯留が可能となるように設置した。



図-10 田んぼ貯留実証実験で使用する排水柵と堰板



出典：トーヨー産業株式会社ホームページ

図-11 田んぼ貯留による排水量低減効果のイメージ

## (4) 実証実験の実施

令和3年8月現在、対象とする田んぼへの排水柵と堰板の設置を順次行いながら、台風期の洪水での実証実験の準備を進めている。

## 4. まとめと今後の取組みについて

令和3年3月29日に開催した菊川水系流域治水協議会では、流域治水プロジェクトを策定したところである。

今後は、現在計画されている治水対策案に対して、引き続き定量的に効果を算定し、対策案を評価することを予定する。また、田んぼ貯留実証実験結果を報告するとともに、田んぼ貯留効果の発現状況や課題を整理し、流域全体での田んぼ貯留の推進に向けて引き続き検討を進める予定である。

## 参考文献：

- 国土交通省中部地方整備局浜松河川国道事務所：菊川水系流域委員会 資料2，2021.6，p2
- トーヨー産業株式会社ホームページ：田んぼダム・落水柵、田んぼダム用堰板 ダムキーパー

# シンボルとして再生を目指す 水の広場のリニューアル設計

○朝日翔太<sup>1</sup>・木村光<sup>1</sup>・田中順己<sup>1</sup>

<sup>1</sup>中央コンサルタンツ（株）本店（〒451-0042 名古屋市西区那古野二丁目11-23）

本業務は、愛知県豊川市の赤塚山公園（水の広場）における，“まちのシンボル”へと再生するため、既存ストックの活用と民間事業者の参入を念頭に置いた再整備実施設計である。

水の広場は、遺跡をデザインモチーフとした水景施設により、広場全体が特色ある空間を創出し、赤塚山公園の特徴となっている。再整備では、この特徴を既存ストックとして活用するため、各施設の配置やデザインなどをVR技術とドローンによる3Dモデルを用いて検討した。広場としての機能を高めつつ、既存施設との連続性を重視することで、広場全体の一体感が生まれ“まちのシンボル”に相応しい整備効果が期待された結果、民間事業者の参入に繋がった。

**Key Words**：公園再生計画, 再整備, 既存ストック活用, VR技術, ドローン空撮

## 1. はじめに

赤塚山公園は、平成5年に市政50周年の記念事業として開園した豊川市が管理する唯一の総合公園である。約25haの敷地内には、淡水魚水族館（ぎょぎょランド）や動物広場（アニアニまある）などの集客施設が整備され、豊川稲荷に次ぐ観光資源となっている。また、定住施策・交流施策に寄与する施設として、年間約40万人もの来園者が訪れる市民にとって重要な拠点である。

しかし、開園後26年が経ち、公園施設の老朽化が進行するとともに、地域ニーズとの乖離が生まれることで、公園の魅力低下が懸念されていた。

そのため、既存ストックの活用と民間活力の導入を踏まえたリニューアル設計により、質の高いサービスを継続的に提供し、“まちのシンボル”として地域活性化及び観光振興の強化に寄与するブランド力のある公園への再生が求められた。

## 2. 現況把握と問題点

### (1) 水の広場の設計思想

水の広場は、山裾の地形から山の勢いと近接する遺跡（瓦・瓦工房）の特色をデザインモチーフとし、「水路壁」「カスケード」「池」「流れ」「芝生広場」から構成され、特徴的な空間を創出している。

その中で最も存在感がある水路壁は、木の根をモチーフとした有機的な形状をしており、“赤塚山から木の根がまちに張り出した様”を表現している。材質は、遺跡のイメージから土を採用しており、珪藻土を焼成して赤く変色させたものを使用している。水みち部は、タイルで鮮やかにデザインするなど、細部の意匠までこだわった施設である。

そのため、新たに導入する施設は、水路壁の設計思想を踏襲し、広場全体で違和感がでないよう工夫を施したシンボル性の高い意匠が必要となる。

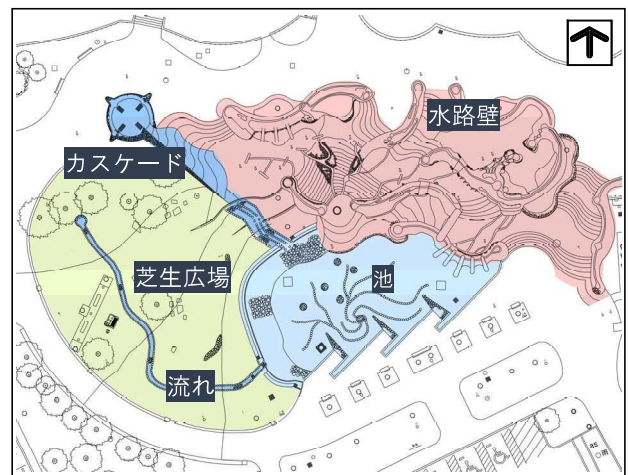


図-1 水の広場の空間構成

## (2) 利用状況

新型コロナウイルス感染症の影響前のデータでは、年間で約40万人<sup>1)</sup>が来園している。月ごとの利用状況は、春から夏にかけて最も来園者が多くなり、秋から冬にかけて減少する状況である。

これは、水遊びが目的で水の広場に多くの来園者が訪れることが寄与している。一方、冬季はその利用がほとんど確認されないこともあり利用率が少なくなる傾向にある。

表-1 赤塚山公園の年間来園者数

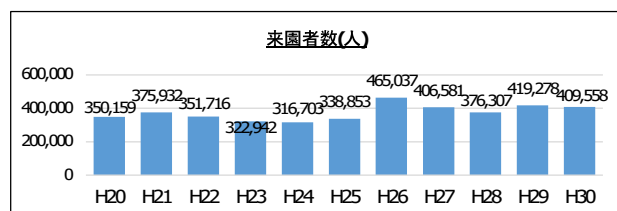
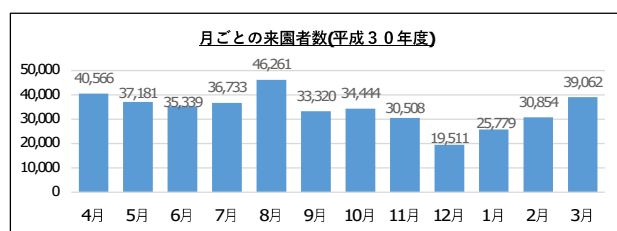


表-2 赤塚山公園の月ごとの来園者数 (H30)



## (3) 利用者ニーズ

管理者ヒアリングによると水の広場の利用者からは、主に以下のような意向が確認されている。

水景施設の多機能化と屋根付きの休憩施設や見守り空間の増設が求められている。また、芝生広場においては、利用者が持参したテントで自由に場所取りを行うことで芝生広場の利用人数が限られてしまうことが問題となっている。

表-3 水の広場に対する主な利用者意向

| 項目   | 主な意向                                     |
|------|------------------------------------------|
| 水景施設 | 小さい子供たちの水遊びには人気がある<br>大人も楽しめる遊びの要素があると良い |
| 休憩施設 | 日除け施設が増えると良い<br>ベンチなど見守り空間が少ない           |

## (4) 民間活力導入可能性

民間事業者によるサービス提供を実施するには、1年を通じて来園者を安定して集客する施設や仕組みが求められるとともに、公園の快適性を高め、来園者の滞在時間を確保することが必要である。

これに対し、現状は冬季の利用が少ないことや、近年頻発するゲリラ豪雨や熱中症対策として休憩施設が少ないため、民間事業者の参入意欲が低いことが懸念される。

## 3. 再整備に向けた課題の整理

### (1) 様々な遊びが可能な水景施設の導入

現状の遊びの要素は、水路壁や流れ、池により「流れる」「落ちる」という落ち着いた水の動きがメインである。そのため、大人でも楽しめる遊びの要素として、新たに躍動的な水の動きを加えるなど、これまで以上に多世代の利用者が満足する機能が必要である。

### (2) 通年利用可能な集客施設の導入

水景施設は、一般的に夏季と冬季で利用率が大きく変化するため、水の広場においても冬季の利用を踏まえ、季節の影響を受けにくい工夫が必要である。

### (3) 休憩機能の充実

敷地を効率良く活用し、同時に多くの利用者が休憩できる見守り空間の確保と屋根付きの休憩施設が必要である。

### (4) 広場全体のトータルデザイン

水の広場の特徴的な空間を崩さないため、広場全体のトータルデザインを踏まえながら、シンボル性の高い施設の導入が必要である。

## 4. 提案内容

### (1) 水景施設の工夫

水景施設は、抽出された課題に対して、新たな遊びの要素を追加するため、様々な水の動きが表現できる、機能の異なる2種類を提案した。

#### a) 演出多彩なライン噴水

水の広場の新たな目玉施設として、ダイナミックな水の動きが演出できる水景施設を導入する。

園内で定期的に流れる楽曲に合わせた演出プログラムとライトアップによる水と音と光の共演により、子どもたちと一緒に大人も楽しめる工夫を施し、広場全体で集客効果を期待する。

また、水の演出方法を変更することで、夏季は水遊び空間、冬季は鑑賞用の憩いの空間として1年を通して利用可能な施設とした。

#### b) 傾斜地を利用したぴょんぴょん噴水

新たに「跳ねる」「登る」という躍動的な水の動きを表現できる水景施設を導入する。

現況の傾斜地形に水塊が飛び出す壺を並べて設置し、壺から壺へと水塊が飛び跳ねてランダムに動き回る様を演出する。

飛び出す流量を変更することで、水塊が線に変形するなど、立体的な水の動きの中で水自体が表情を変えて、見ているだけでも楽しくなる工夫を施した。



## (2) 休憩施設の工夫

休憩施設は、ゲリラ豪雨や熱中症対策を兼ねて、水景施設で遊ぶ子供たちを見守ることができる位置に屋根付きの休憩施設を提案した。また、傾斜する芝生広場に多くの利用者が同時に利用できるように長ベンチを設けて平場部の拡張を提案した。

なお、導入する休憩施設は、広場全体のトータルデザインを踏まえたものとするため、水路壁に連続性を持たせた位置への設置を提案し、施設の仕様も流動的な形状と材質、色合いを水路壁に合わせたものを採用した。

### a) 導入施設のデザイン検討

水路壁は、流動的な形状を表現するため、レンガを積み上げた型枠にコンクリートを充填し、表面にモルタルと珪藻土を重ねて左官仕上げをしている。

これに対し、本設計では、経済性及び施工性の観点から鉄骨造形にラス網を成形した表面にモルタルを重ね塗りし、表面を左官仕上げする高度造形モルタルを採用した。

高度造形モルタルは、費用が高額となるR加工の型枠が不要であり、工場で鉄筋を造形的な形状に自由に加工できるため、仕上がりでの完成度が高い。

また、搬入後の施工性も高く、現場での形状変更も容易であり、既設構造と比較して施工性と経済性に優れている。

意匠のアクセントとしてのタイル張りやモルタルに顔料を加えて着色することもできるため、デザイン性の自由度が高いこともメリットである。

本設計では、水路壁の淡い赤色の着色を採用し、広場全体の施設の色合いを統一した。



■鉄骨造形にラス網を成形した状態



■モルタルを下塗りした状態

図-2 高度造形モルタルの施工の様子（他事例）

### b) 広場全体のトータルデザイン検討

導入施設は、水路壁の“赤塚山から木の根がまちに張り出した様”のイメージを踏襲した配置とした。

また、木の根をイメージした木の根休憩所や木の根ベンチは、池の南側に並べ、子供たちが水遊びをする池を包み込み、見守り空間が確保できるように工夫した。

芝生広場の長ベンチは、張り出した木の根を延長するように地形に合わせて蛇行させ、広場全体のトータルデザインを踏まえた配置とした。

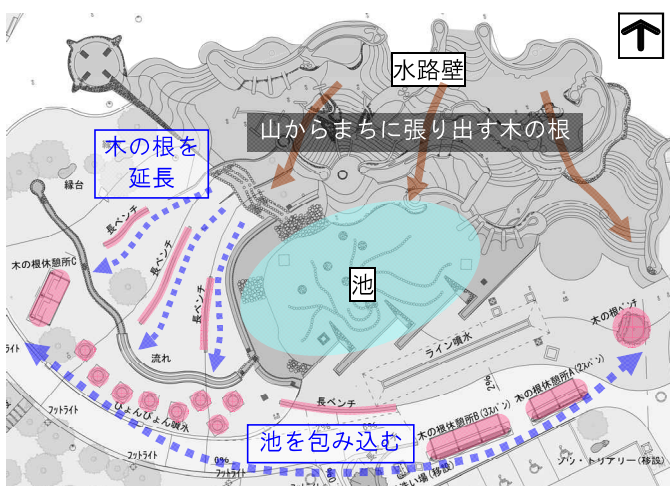
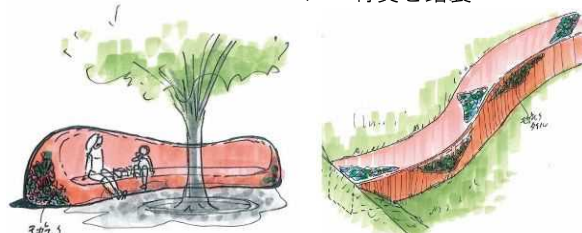


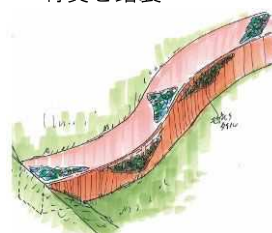
図-3 導入施設の配置



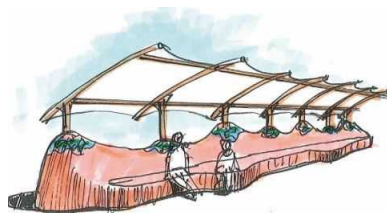
↓ 水路壁の形状、色合い、材質を踏襲



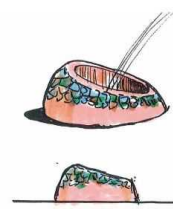
木の根ベンチ



長ベンチ



木の根休憩所



びよんびよん噴水

図-4 導入施設のデザインイメージ

## 5. 検討手法

提案にあたり、ドローン写真を用いた3Dモデルの作成とVR技術によるリアルな噴水の演出パターンを検討することで、より具体的に内容を確認することが可能となった。

### (1) 現況地形の把握と導入施設の配置検討

導入施設の配置や規模は、現況地形の奥行きや施設の規模感を空間的に把握して検討する必要があるが、航空写真（真上）や現地写真（地上）だけでは十分に把握できないため、多方面から俯瞰的に空撮したドローン写真を用いて検討を行った。



図-5 ドローン空撮写真

空撮したドローン写真から、3Dモデルを作成し、これに新たな導入施設を配置することで、既存施設との取合いや規模、施設数などを様々な角度から俯瞰的に把握し比較検討を行った。

また、水景施設においては、水が風や地面の跳ね返りで歩行者にかかることを避けるための影響範囲を想定して、配置や噴水の噴出高さの検討を行った。

作成した3Dモデルは、イメージパースのアングル設定に用いて、完成後の具体的なイメージが確認できるように活用した。

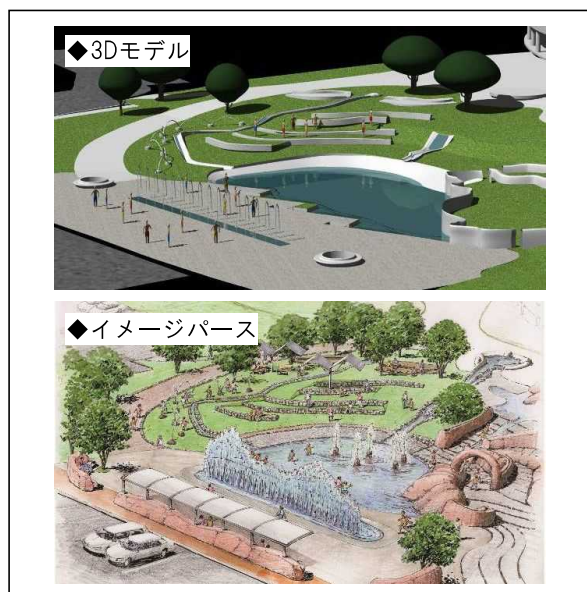


図-6 3Dモデルとイメージパース

### (2) ライン噴水の演出パターン検討

ライン噴水の演出パターンは、3Dモデルに動きと音を加えたVR技術を用いて、比較検討を行った。

季節や時間、イベントごとに演出パターンを設定し、自由に変更できる仕組みを取り入れた。遊び場として稼働する場合は、ダイナミックな演出を行い、落ち着いて鑑賞用とする場合は、小さな水山を形成するなど、シーンに合わせた演出パターンを動画により確認し、円滑なイメージ共有を図った。

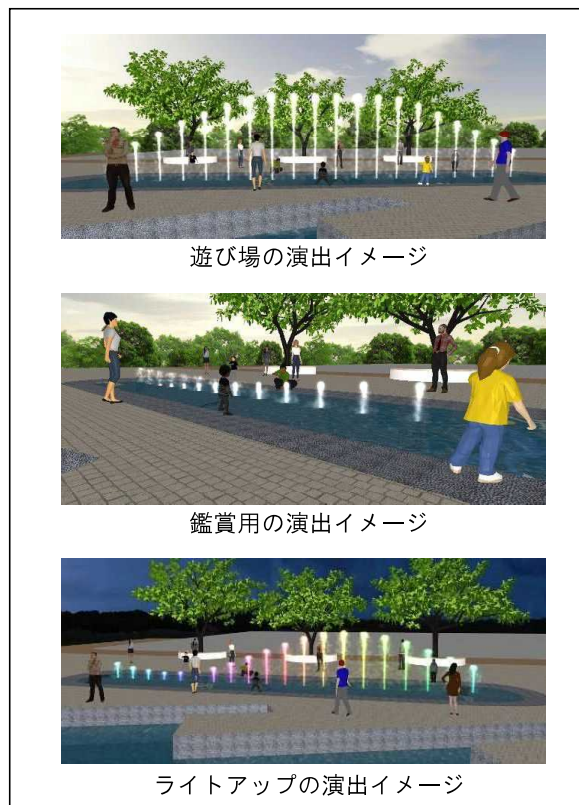


図-7 ライン噴水の演出パターンの例

## 6. おわりに

既存ストックを活用した広場のトータルデザインと新規導入を検討した水景施設と休憩施設は、リニューアル後の新たな水の広場として、魅力と快適性の向上に繋がり、“まちのシンボル”に相応しい空間として整備効果が期待されている。

これは、同年に実施した公募設置管理制度による公募において、民間事業者の参入が確認されており、本業務の設計内容が、民間事業者の参入意欲の向上に寄与したものと考えられる。

現在は、公園内の様々な施設の維持管理を指定管理者が実施しているが、今後は、民間事業者との連携を視野に入れ、公園施設の維持管理の効率化や連携イベント等によりさらなる集客が期待される。

### 参考文献

- 1) 愛知県豊川市：再生基本計画・基本設計策定業務委託報告書（令和2年3月）



# PFI事業による龍北総合運動場整備を核とした都市づくりへの貢献

○松岡史展<sup>1</sup>・小林高浩<sup>1</sup>・小林毅美<sup>1</sup>・神谷真央<sup>1</sup>

<sup>1</sup> (株) オオバ名古屋支店 (〒460-0003 名古屋市中区錦一丁目19番24号 名古屋第一ビル7階)

PFI（プライベート・ファイナンス・イニシアティブ）は、公共施設等の設計、建設、維持管理及び運営に、民間の資金とノウハウを活用し、公共サービスの提供を民間主導で行う事業であり、効率的かつ効果的な公共サービスの提供を図ることができるとされている。

本稿は、岡崎市龍北総合運動場のPFI事業において、土木設計の協力会社としての立場で参画した弊社が果たした役割とその成果について整理し、岡崎市の都市づくりに貢献するスポーツの拠点を創出したことを報告するものである。

**Key Words** : PFI事業, 再整備, 官民連携, 総合運動場

## 1. 業務背景と計画地の現状

### (1) 市スポーツ施策と計画地の位置付け

岡崎市は、心身両面にわたる健康増進のため市民が日常的にスポーツに親しむライフスタイルの定着を目指している。市内には陸上競技の県大会などの広域大会、サッカーのJFLの公式戦等トップレベルの試合や大会を誘致・開催できる陸上競技場が無かったことから、市に移管される既存運動場を再整備することとなった。そして、スポーツ推進の機運を一層高めるため、東京オリンピック開幕（当時2020年7月）に併せて、供用開始を図るものとした。

### (2) 計画地の位置・現状

計画地は、市の中心部から3kmほど離れた丘陵地に位置し、敷地面積約21.1haを有する愛知県岡崎総合運動場の跡地である。市街化調整区域に位置し、メインアクセス方法は自家用車やバスであるが、市街化区域に接しており、周囲は宅地化が進んでいる。そのため、整備以前から計画地内を散歩やウォーキングする人の姿が見られた。

### (3) 事業の流れと体制

#### a) 事業の流れ

計画地は、1968年に愛知県が愛知県岡崎総合運動場（以下、県営運動場）として開場し、年間約12万人の方に利用されてきた。市民・県民に長く親しまれてきたが、47年の歳月を経て施設の老朽化が進み、2015年に閉園し、岡崎市に移管することとなった。

そして、2017年3月に公募型プロポーザルが行われ、当社が参画するグループが優先交渉権者に選定された。その後、特別目的会社（以下、SPC）を設立し、2018年3月に事業契約を締結した。

約1年で基本・実施設計を行い、2019年4月に工事着手、そして予定通り2020年7月に竣工・供用開始し、現在、運営維持管理を行っている。

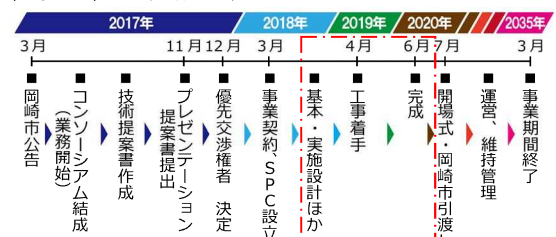


図-1 事業の流れ ※設計着手からわずか2年4ヶ月でオープン

#### b) SPCの体制

SPCは市内建設企業が代表企業となり、建築設計企業、土木建設企業、運営企業、維持管理企業が構成企業として参画している。当社は協力企業として、土木・ランドスケープ設計及び工事監理を担当した。

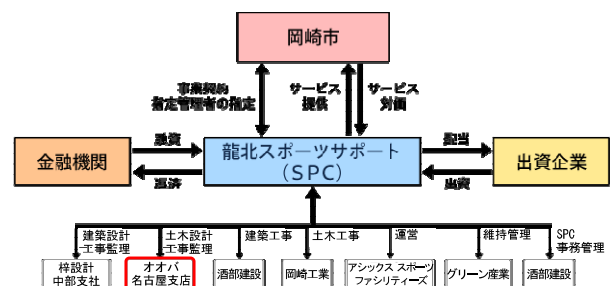


図-2 SPCの体制図<sup>1)</sup>



## 2. 整備段階の問題点と克服すべき4つの課題

計画地が多く市民に利用され、スポーツに親しめる運動場とするため、整備段階で克服すべき4つの課題を設定して取り組んだ。

### (1) 車利用を前提とした動線の改善【高低差活用】

山裾に位置し、高低差のある計画地は、競技場毎に異なった地盤高で整備されており、車での移動を前提としていた。そのため、広場スペースは無く、園路は車道を中心に構成され、場内の歩行者の通行は危険な状態であることから、歩行者の安全な移動経路を確保する必要があった。

### (2) 整備予算と品質の両立【トレードオフの解消】

PFI事業における土木工事費は、建築工事費、運営費、維持管理費とのトレードオフの関係にある。そのため、状況に応じて計画を見直し、限られた予算で品質や機能を確保するきめ細やかで柔軟な対応が必要であった。

### (3) 魅力あるスポーツ施設への転換【魅力醸成】

スポーツ施設に関する市民アンケート<sup>2)</sup>では「ジョギングコース」の整備ニーズが高く、また、市のスポーツ推進計画が目指す「参画人口の増加」「競技力の向上」「岡崎活性化への貢献」等を実現できる運動場とするため、用地や費用の制約がある中、魅力向上に向けた新たな機能の導入や既存機能の向上を図る必要があった。

### (4) 維持管理を見据えた施設整備【戦略的管理】

多くの人に親しまれ、地域の象徴的な運動場となるためには、快適な利用環境を維持し続けることが重要である。そのため、競技場や場内の緑地を、コストを抑えながら維持し続けられる運動場にリニューアルする必要があった。

## 3. 課題解決に向けた技術的提案

### (1) 土木と建築の融合による立体的動線整備

歩行者用園路と車道を分離し、競技場間を安全に移動できるバリアフリーな運動場とするため、プロポーザル段階から建築設計事務所と共に導入機能と配置の検討を重ねることで、建築と一体となった立体的な動線の構築を提案した。

具体的には、新設スタンド正面のペデストリアンデッキ（龍北テラス）を歩行者園路の一部として活用することで、車道と動線を立体的に分離することで、スペースの限られたエントランス空間に必要な機能を組み込んだ。

また、陸上競技場とテニスコートの間には約4mの高低差があり、整備以前の移動は階段がメインであったが、クラブハウスを2階建て（エレベーター付き）とし、2階の床高を陸上競技場の地盤高に合

わせることで、高低差のハンディを建物内で解消しテニスコートやクラブハウスを陸上競技場と一体的に利用できる構造とした。

### ■ ペデストリアンデッキ（龍北テラス）を利用した歩行者動線



### ■ クラブハウスを利用した移動

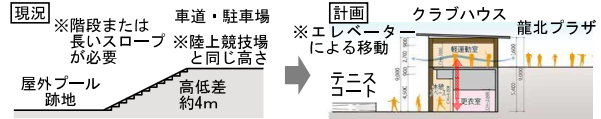


図-3 建物と一体となった立体的な動線の構築

### (2) コスト縮減と品質確保を工事完了まで実施

開場をオリンピック開幕に合わせるため、設計から整備まで2年半で行うことが求められていた。短い工期と限られた工事予算の中で課題を解決し、要求水準の実現を図るため、積極的に施工業者や建築施工監理者とも調整を重ねた。そして、現場で生じた課題にも柔軟に対応しながら、コストや工期面に留意しつつ利用性や景観性を確保し、要求水準以上の施設整備を実現した。

具体的には、現場で発生した岩を景石として正面のスロープやジョギングコース沿いに配置することで、自然を感じられる景観をつくりながら、ベンチとしての利用にも対応して処分費を軽減した。

また、既存樹木の根の生え方に合わせて園路や駐車場の配置を調整することで、既存樹木を極力残し、緑に囲まれた心地よい空間を形成した。



図-4 処分石材をベンチや景石として利用



図-5 既存樹木を最大限活かした駐車場配置

### (3) 利用者増を見込んだサービスレベルの向上

魅力あるスポーツ施設への転換を図るため、日常的に気軽に楽しめる運動施設の導入や高い利用頻度に対応できる競技場を提案した。運営業者やSPCとも協議を行い、利用者の増加による収益増を見込むことで、市の要求水準を超えた質の高いサービスの提供を実現した。

具体的には、サッカー・ラグビー場の仕様を要求水準の土舗装ではなく、人工芝とすることを提案した。人工芝への変更によるイニシャルコストの増分は、雨天後の即時利用が可能となるなど利用率の向上を図ることで回収可能と判断した。

また、運動場を地域コミュニティ形成の場としても活用するため、地域住民同士や運動場利用者の交流を育む施設として無料のジョギングコースを整備

した。ルートは運動場外周の余剰地を活用し、園路とは別経路とすることで安全性・利便性を確保した。

さらに、新設スタンド前に多目的利用できる「龍北プラザ」を整備し、イベント空間を創出した。



図-6 要求水準を超える人工芝の導入



図-7 交流の場となるジョギングコースの開放

#### (4) 魅力アップに貢献する省維持管理の取り組み

緑豊かな運動場を維持するためには、適切な維持管理を持続的に行う必要があるが、広い面積を有する本施設においては、景観や利便性を損なうことなく維持管理コストを如何に抑制するかが重要となる。そのため、管理業者と協議を重ね、維持管理作業の動きや留意点を把握することで景観や利便性に配慮しつつ、維持管理を省力化する計画を提案した。

具体的には、植栽は高木と張芝を中心とし、低木を無くすことで開放的で見通しがきく安全安心な空間の確保と、張芝の維持管理の容易性を両立した。

各競技場に設置する倉庫や整備ヤードは、利用者動線や景観に配慮しつつ管理が効率的に行える位置に配置し、利用者の快適性と維持管理の時間短縮を実現した。



図-8 計画地の全景（南西側上空から望む）

表-1 運動場の整備結果

|             | 整備前（愛知県岡崎総合運動場）     | 整備後（龍北総合運動場）            | 整備水準 |
|-------------|---------------------|-------------------------|------|
| 平面図         |                     |                         | —    |
| ①陸上競技場      | 第4種公認（土舗装）：1か所      | 第3種公認：1か所／新設スタンド        | 要求水準 |
| ②クラブハウス     | —                   | 新設 ※テニスコート併設            | 提案   |
| ③テニスコート     | ハードコート：1面／クレーコート：7面 | 人工芝：8面                  | 要求水準 |
| ④サッカー・ラグビー場 | 土舗装：1面              | グレードアップ 人工芝：1面          | 提案   |
| ⑤野球場        | 3面                  | 硬式：1面（またはソフトボール2面）      | 要求水準 |
| ⑥多目的運動場     | —                   | 土舗装：1面                  | 要求水準 |
| ⑦アーチェリー場    | 最大90m：20射座          | 最大90m：20射座              | 要求水準 |
| ⑧ジョギングコース   | —                   | 新設 最大1200m（半周800m、700m） | 提案   |
| P駐車場        | 常時445台、臨時450台       | 常時400台、大型バス8台、臨時1100台   | 要求水準 |
| 駐輪場         | —                   | 屋根付き100台                | 要求水準 |

※   … 整備水準を超える提案を行った施設

## 4. 業務成果と得られた評価

### (1) 整備上の成果

要求事項を満たす整備に加え、SPCによる提案も盛り込み、「自然と調和し、市民を惹きつける、誰もが使いやすい運動場」をデザインコンセプトとして、再整備を行った。様々なステークホルダーと調整を重ね、工程通りに設計工事を進め、オリンピックイヤーの2020年7月（当初予定）に開場式を迎えることができた。

供用開始後、コロナ禍に対応した様々な大会利用やプログラムを展開している。市民のスポーツ参画の場、プロスポーツに触れる場となり、地元アスリートの利用拠点としても活用されている。

表-2 供用開始後のイベントやプログラム

|      |                                                                   |
|------|-------------------------------------------------------------------|
| 大会   | JFL 公式試合／総合体育大会<br>陸上／テニス／サッカー／ラグビー／野球<br>／アーチェリー／グラウンドゴルフ／駅伝     |
| イベント | 一周年記念イベント（R3.07.23）<br>春のスポーツまつり（R3.04.18）<br>龍北月例チャレンジ（毎月）…★     |
| スクール | 陸上競技場定期教室（7クラス 週1回）<br>テニススクール（8クラス 週1回）<br>クラブハウス定期教室（18クラス 週1回） |

★：毎月設定されるテーマ（種目）に個人で挑戦し、ランキングを競う

### (2) 利用者等からの評価

弊社は、担当した土木・ランドスケープ設計を行うにあたり、建築設計、工事、運営、維持管理など他分野の意見を積極的に取り入れ、高い市民サービス水準を有する競技場の整備に尽力した。

これらの結果、陸上競技場は、陸上競技場公認検定員から高評価を得ており、地元JFLサッカーチームのホームグラウンドとして利用されている。

利用者からは、特に陸上競技場やサッカー場、ジョギングコースが使いやすいと評価を得ており、googleのクチコミで4.4（満点5）の高評価をいただいている。



図-9 開園一周年イベント



図-10 クラブハウスの外観



## 5. 運営にあたり想定したリスクと対策

事業期間が2035年までと長いことから、スポーツ振興拠点として活用され続けるために障害となるリスクを想定し、以下の対策を講じるものとした。

### (1) 想定したリスク

#### a) 市民のスポーツニーズの変化

2035年の事業期間終了まで、SPCが龍北総合運動場の管理運営を行うが、その間に市民が求めるスポーツニーズが変わるリスクがある。

#### b) 利用者の減少による収益低下

設計時に想定していなかった新型コロナウイルス感染症の長期化や人口減少時期の早期到来により利用者が減少し、収益が低下するリスクがある。

#### c) 災害への対応

計画地は指定避難地・避難所ではないが、自然災害の激甚化や東海・東南海地震に備え、市の防災計画において、災害発生時の一定の役割が計画地に加わることで、対応が必要となるリスクがある。

### (2) 想定したリスクへの対策

#### a) 多様化する市民ニーズに応じた柔軟な取組

再整備を契機に民間運営となったことで、運動施設の運営以外にも多様なプログラムの展開が可能である。新しく整備した広場（プラザ）や競技場等を複合的に活用しながら、市民のニーズをきめ細やかに把握し、幅広いプログラムを展開していくことで、多様化する市民ニーズに対応する。

#### b) 利用者の維持・増加に向けた継続的取組

利用機会の増加を図るため、情報コーナー等を通じて利用者やスポーツサークル、地域住民の交流を促す機会の創出が重要である。計画地がスポーツを通じた交流の場となり、愛着を持つリピーターが生まれ、それが利用者数の維持・増加につながるよう、継続的に運営内容の更新を図る必要がある。

併せて、感染症対策の知見を集め、屋外空間で密を避けた分散利用の対応を行う等、withコロナの時代に沿った運営などを継続的に取り組む。

#### c) 地域の安全安心な暮らしに寄与する取組

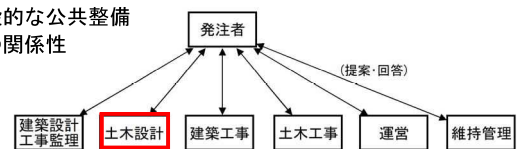
計画地は、災害時の数時間程度の滞在を見込み、緊急対応用の電源確保やマンホールトイレを設置しているが、今後、災害時に計画地が果たす役割を岡崎市や地域と議論し、安全安心な暮らしに寄与する取り組みを実践していく。

## 6. 成果につなげるPFI事業としての取り組み

### (1) 高次元でのQCDのバランス確保

PFI事業は、設計から施工、維持管理、運営まで一体となって取り組む事業であり、この仕組みにより、民間の知恵や技術を引き出しやすいことが大きな特徴と言える。

### ■ 一般的な公共整備 での関係性



### ■ PFI事業での 関係性

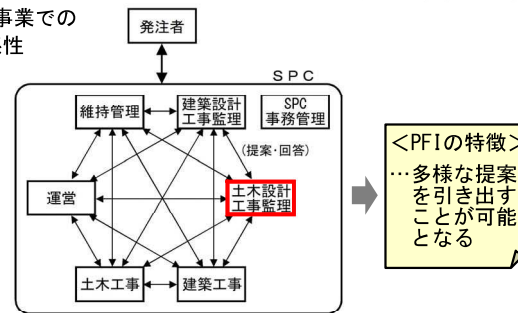


図-11 PFI事業の特徴

但し、調整事項は格段に多くなり、情報を常に共有化する必要があるため、多様なステークホルダーとの高頻度での打合せが完成時まで必要となる。これを実現するため、設計段階から施工監理段階まで月2回の定例会議（SPC各社との全体・個別協議、市との協議等）を開催し、密な調整を行うこととした。これによりPFIの特徴を活かしながら、品質・コスト・工程管理（QCD）を高い次元で達成した。

### (2) サステナビリティの確保

市は、運営において積極的な提案や取り組みを促すためのスキームをPFI事業に取り入れている。本事業では、モニタリングを毎年実施し利用者の満足度や稼働率等を評価し、その結果が良ければ利用料金収入の市への納付を減免する仕組みを設けた。これにより、満足度を高め利用者の維持・増加につながる取り組みを柔軟かつ継続的に実施していく。

## 7. おわりに

利用者の維持・増加につながる運営や、市や地域との連携を継続していくことにより、計画地はスポーツ施設の核として岡崎市の都市づくりに貢献し、「岡崎活性化」に寄与するものとなる。このような核となる施設は、民間の知恵や技術を用いたPFI事業が有効であり、本事業はPFIの手法を効果的に活用し、これからの都市づくりにおける具体的な施設整備の一つのあり方を示したものである。

**謝辞：**本業務の実施にあたり、SPCや岡崎市の皆様には多大なるご指導、ご協力を頂きました。心より感謝いたします。

### 参考文献

- 1) 龍北スポーツサポート：岡崎市龍北総合運動場、  
<https://www.ryuhoku-sf.jp/PFI/index.html>
- 2) 岡崎市：岡崎市スポーツ施設配置整備方針、P17、  
2016.12



# 官民連携によるエリアマネジメントの 仕組みづくりと実践について

○國島昌徳<sup>1</sup>

<sup>1</sup>大日コンサルタント（株）（〒500-8384 岐阜県岐阜市藪田南3-1-21）

まちづくり分野における建設コンサルタントの役割は、行政等から業務委託により検討することが一般的である。当該業務の経験から効果的なまちづくり策（エリアマネジメント等）の提案には、自らが資金と知恵を出し当事者意識を持って関わるのが重要であり、経験に裏付けられたノウハウの取得が今後のコンサルタントに必要と考える。

今回の取組みは、岐阜県山県市において集客拠点施設の運営者として参画したものであり、エリアマネジメントの具現化のためには地域内の連携態勢の構築が不可欠と結論づけた。

本稿では、官民連携によるエリアマネジメントの仕組みづくりについて論じるものである。

**Key Words**：官民連携協定、事業スキーム、特別目的会社、劣後ローン、産官学金連携

## 1. はじめに

我が国の人口は、2008年をピークに減少局面に入っており、今後人口減少がさらに加速し、高齢化がますます進行する。

人口減少、高齢化の進行は、医療費をはじめとした社会保障費の増大につながるとともに、税収及び自治体職員の減少により多様な公共サービスが提供できないといった事態が現実味を帯びてきている。

公共サービスの停滞は、地域活力の低下を招くと考えられ、人口流出等による負のスパイラルが懸念される。

自治体の財政悪化に対する方策として、内閣府では、多様なPPP/PFI手法の導入を推奨している。また、国土交通省では、まちづくり分野においても地域課題の解消策として官民連携スキーム導入の要請が高まっている。

岐阜県内に所在する当社としては、県内自治体においても地域活力の回復には「まちづくりによる地域活性化」が必要と考えていた。

コンサルタントが通常の受注業務として、地域の活性化策の立案に関わる場合、単なる提案者としてではなく、実際に地域に入り、担い手として、地域の信頼を得ることが不可欠であると感じていた。

このような背景の中、地域貢献を目指す岐阜県内の異業種2社と協働して、岐阜県山県市の地域活性化

のプレイヤーとしての参画を試みた。

参画に際しては、山県市内に集客拠点施設「体験農園みとか」という民間収益施設を整備し、当事者意識を持って地域に入り込む事業スキームとした。

本稿では、「体験農園みとか」の企画運営等から生じた地域活性化に資する問題点や解決策を経験に基づき論じるものである。

## 2. 活性化拠点体験農園みとかの企画・運営

### （1）岐阜県山県市の概要（所在地の概要）

体験農園みとかが立地する岐阜県山県市（図-1）は、岐阜市の北側に隣接する位置にある。地勢は、山地丘陵部が多く、北端の日永岳を最高峰として枝状の山地と、長良川支流の武儀川、鳥羽川、伊自良川沿いの平たん地で構成されている。

人口は27,114人（岐阜県内21位）、高齢化率は31.5%（岐阜県内13位）であり若い世代が少なく中高年層に厚みのある年齢構造で50代60代の人口が多い特性を有している。

令和2年3月には、東海環状自動車道山県ICが開通したことで高速アクセス網による広域的な集客が期待できるインフラが整備されている。

産業構造は、第2次産業が43%、第3次産業が55%を占める構造となっている。産業別従業者数で見ると、全国及び岐阜県と比較して農業の特化係数（全

国比4.0、岐阜県比3.19)が高く、都市型近郊農業が盛んな地域であることが特徴である。

財政力指数は、0.40で岐阜県内第35位と厳しい財政状況が続いている。市の行政改革大綱では、効率的な行政運営手法として官民連携を有効策として改善を図ろうとしている。

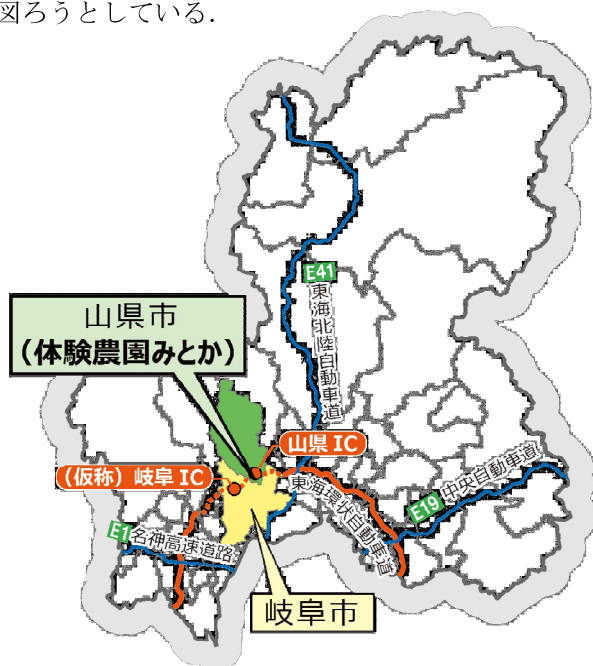


図-1 位置図。

## (2) 体験農園みとかの概要

令和2年2月14日にオープンした体験農園みとか(写-1)の用地は、東海環状自動車道整備に伴い残土の仮置き場となっていた場所である。

地権者は、残土撤去後の農地復活意欲が低調で耕作放棄地の可能性の高い場所を借地している。

面積は、県内最大級の約3.5haを有しており年間を通した収穫体験(いちご、ぶどう、さつまいも、ブルーベリー)をキラーコンテンツに集客力を高める仕掛けづくりを行った。中でもコアコンテンツに際しては、事前のマーケット調査等により人気及び収益性の高い「いちご」と「高級ぶどう」を抽出した。



写-1 体験農園みとかの外観とイチゴハウス。

農園の隣接箇所には、農園での収穫物を加工販売可能(6次産業化)なカフェ(写-2)を併設した。

なお、山県市内にはカフェと呼称される施設がなく(大部分が喫茶店)話題性の観点からも一定の集客効果が発現すると考えた。

本事業の成果は、山県市内全体の活性化であるものの知名度向上に資する集客拠点整備を戦略に位置

づけている。

集客拠点施設は、拠点化を図り段階的に地域波及させ、一定の時間を費やして成果を挙げていくビジネスモデルを掲げ活性化策に取り組むこととした。



写-2 カフェの外観と提供商品のイメージ写真。

## (3) 体験農園みとかの活性化戦略

山県市は、都市型近郊農業が盛んな地域としての特徴を有している。

最近では、農業の後継者不足・新規就農者の減少が顕著であり、農業所得水準の低下も相まって耕作放棄地の増加が市の課題として顕在化している。

東海環状自動車道山県ICの開通により広域的な集客効果が期待できるインフラが整備されたものの、市内には知名度の高い集客拠点となる観光資源が不足していることから効果を発揮できない実情である。

上記のような地域課題の解消を踏まえた地域活性化策として「農業を核とした地域活性化」をキーワードに掲げ、独立採算型の民間主導による体験農園を活用した事業運営を企図した。

以下に具体的な4つの目指すべき姿の概要を示す。

### a) 県内最大級の農園を核とした地域ブランド創出

「山県市」「農業」の好イメージを付与することによる地域ブランド及び認知度を向上させる。

### b) 交流人口の拡大による賑わいの創出

収穫体験による「コト消費」や地域内周遊による「着地型観光」を活用した交流人口の拡大を図る。

### c) 周辺施設との連携によるシナジーの発揮

山県市内に点在する既存施設との連携による地域内消費の拡大と集客力をアップさせる。

### d) 新規就農者支援等支援による就農人口の拡大

新規、既存農業者を対象にした研修、育成等による支援や地域内への就労の場を創出する。

## (4) 特別目的会社の設立

体験農園みとかの企画に関しては、従来のコンサル業務のノウハウで十分対応できた。

実際に体験農園等の運営に関しては未経験であり会社形態をどのような形態で行うのがよいかがスタート時点の課題となった。

事業運営は、事業の企画運営等の「考える」部分を当社が担い、施設整備等の「作る」部分を県内の建設企業(西濃建設)、農作物の育成管理等の「育てる」部分を市内のいちご農園運営企業(大雅)の3社によるアライアンスとした。

会社形態に関しては、当社の定款変更による運営、3社コンソーシアムによる運営、個別に委託等複数の運営スキームを検討した。

最終的には、本事業のみを行う特別目的会社（令和元年12月24日設立、山県市にて会社登記）による運営を最適解（表-1）とした。

表-1 特別目的会社導入根拠.

| 区分    | 概要                                          |
|-------|---------------------------------------------|
| ポイント① | 持続的な事業を行うため事業主体が本事業以外の債務によって事業破綻リスクを回避する.   |
| ポイント② | 新規事業であり採算性が不安定なことから資金調達等による負債比率の切り離しが可能となる. |
| ポイント③ | 市内に本社を置き事業を特化することで熱意が醸成される.                 |

特別目的会社（社名はアトレファームジャパン株式会社）は、当社を筆頭株主とする3社出資の株式会社とした。

当社においては、地域活性化のリアルなスキル習得のため、出資等による財政的な支援だけでなく、特別目的会社より委託を受け事業の企画運営等を担う仕組みを導入した。

以下に特別目的会社のスキーム（図-2）を示す。

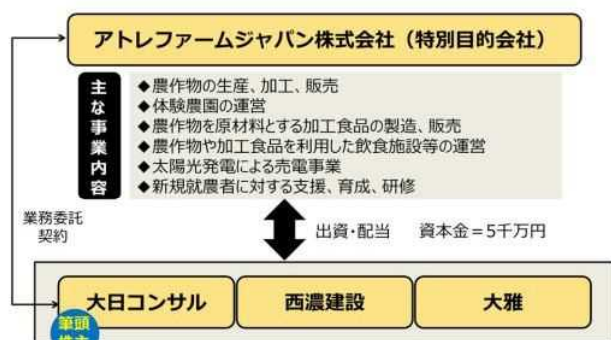


図-2 特別目的会社スキーム図.

本事業は、新規株式会社を設立し事業運営を行う形態としている。

資金調達手法に関しては、多様なファイナンススキームを構築した。

具体的には、補助金、優先ローンによる調達を行うとともに、出資会社2社による劣後ローンを導入するなど、返済能力を高める調達手法も採用した。

以下にファイナンススキーム（図-3）を示す。



図-3 ファイナンススキーム図.

### 3. 事業運営計画段階における問題点

#### (1) 事業運営における問題点

地域活性化への戦略設定及び施設運営の開始にあたり、地元説明等においてその意図を理解してもらい賛同を得ることは容易ではなかった。

新参加者が地域に認知され信頼を得るには、一朝一夕で達成できるものではないことを痛感した。

本事業の目標は、地域活性化であり山県市全体の活力を高めることである。

単独企業の熱意や思いだけでは、地域を巻き込んだ活性化への機運が醸成されないことが懸念された。

#### (2) 問題点の解決策

本事業の成果である地域活性化には、地元住民及び地元事業者との連携が不可欠である。

懸念事項の解決策として、地域からの信頼を得て仲間意識を構築することが重要と考えた。

そこで、本事業の取り組みが、単なる「お金儲け」でなく地域に活力を与える取り組みであることを理解してもらうためには一定の公共性を担保することが得策であると考えた。

山県市との連携を「見える化」し、地域の多様な主体と共通認識を醸成した上で、地域活性化に向けた態勢づくりが有効策と考えた。

地域活性化には、山県市を含む多様な連携態勢の構築の必要性を認識していたものの、当事者として参入することでその重要性を知ることになった。

### 4. 官民連携の仕組みづくりの構築

#### (1) 仕組みづくりの基本方針

仕組みづくりの構築に際しては、官民連携と地域内の多様な主体との連携を基本方針に掲げた。

#### (2) 山県市との官民連携協定(PPP協定)の締結

官民連携の具体的な方策は、令和元年12月26日に官民連携協定を締結（写-3）し相互協力により円滑な地域活性化を推進する仕組みを導入した。

調印式では、山県市長より「市の課題である耕作放棄地の解消と交流人口の拡大のため民間主導で取り組んでもらえることに熱意を感じる」とのコメントを頂いた。



写-3 山県市との官民連携協定締結式の風景.



基本協定締結後は、補助金に関する情報提供や、山県市役所の観光キャラバンでのPR等、多様な連携方策を段階的に展開している。

さらには、山県市が主導する地域内の事業者を集めた活性化会議にも参加を要請されるなど、体験農園みとかの活動が認知されつつある。

### (3) 多様な主体との連携による地域一丸の態勢

#### a) 方策1：産官学金による連携態勢の推進

地域活性化に際しては、山県市との官民連携協定による仕組みづくりを導入したが、地域課題は今後多様化・複雑化することが推察される。

そのためには、山県市との連携だけでなく多様な主体との連携を促進し其々の強みを活かした地域一丸の態勢づくり（産官学金連携）が重要と考えた。

具体的には、「地域活性化」という共通ビジョンを共有した上で地域金融機関、大学及び周辺施設等を巻き込んだ組織化（図-4）を検討し導入した。



図-4 多様な主体との関係図。

現段階では、体験農園みとかを拠点として連携方策を計画している。

#### b) 方策2：学校機関との連携

学校機関との連携方策は、インターンシップ（写-4）を受け入れるなど、できることから段階的な連携方策を展開している。

内容は、農園作業体験や、体験農園みとかを活用した地域活性化策をグループワーク方式で検討し事業計画の立案を行った。



写-4 インターンシップの風景。

#### c) 方策3：岐阜県内スポーツチームとの連携

地域活性化を目的に取り組んでいる地元のプロスポーツチーム（バスケット、サッカー）との連携方策は、体験農園みとかの観光大使を任命するなど知名度アップに向けた相互の情報発信を強化する取

組みを実践している。

プロスポーツチームは、出資会社がスポンサー企業を務めており、そのネットワークを活用して仕組みを構築した。

#### d) 方策4：旅行会社及び高校との連携

旅行会社との連携は、当社とネットワークを有している旅行会社、アトレファームジャパン（株）、県内の高等学校との3者による「地方創生及びSDGsに係る実践教育連携に関する基本協定（図-5）」を締結した。

将来県内で活躍できる地域社会人育成を目的とした新たな取組みもスタートさせた。



写-5 基本協定締結式の風景。

今後も地域内の多様な主体との連携を促進し、エリアマネジメント型の地域全体に波及効果の高い地域活性化態勢の基盤を構築したいと考えている。

## 5. 今後の課題

現段階では、協定締結や連携体制の確立等により地域活性化への意識変容は図られたと考えられるが、具体的なエリアマネジメントへの行動変容には至っていない。

今後は、方策検討、連携事業実践のステップになるため、関係者へのインセンティブも踏まえ「共創」という理念のもと行動変容の促進に資する取組みを検討する必要がある。

地域活性化策の立案・実践に際しては、KPI等の定量化指標の設定も重要と考えており、当社が主体的に関わりを持つことで利用価値の高いスキルを取得したいと考えている。

## 6. おわりに

地域活性化への担い手として実際に地域に入り込み様々な課題に遭遇し、その都度解消策を検討することは、今後のコンサル業務においても利用価値の高いノウハウが習得できると実感している。

運営開始後まだ1年を経過しておらず、コロナ禍等の影響で地域活性化のあり方も常に変化を求められる事態も想定される。

ピンチをチャンスに変える発想」を持って、汗をかき、熱量を絶やさない活動を展開することで地域に信頼される存在として活躍していきたいと考えている。

以上

# 「近鉄四日市駅バスターミナル整備事業」から 見る交通結節点整備の多角化

おがわ あきひと あ お よしゆき ますやま じゅん しらが ち ほ  
○小川 明人<sup>1</sup>・栗生 啓之<sup>1</sup>・増山 淳<sup>1</sup>・白永 千穂<sup>2</sup>

<sup>1</sup> (株) 建設技術研究所 中部支社 道路・交通部 (〒460-0003 名古屋市中区錦1-5-13 オリックス名古屋錦ビル)

<sup>2</sup> (株) 建設技術研究所 大阪本社 道路・交通部 都市室 (〒541-0045 大阪府大阪市中央区道修町1-6-7 北浜MIDビル)

近年、公共交通ターミナルの整備を目指す「バスタプロジェクト」の全国展開が推進される中、バスタが担う役割や整備手法はその都市構造や地域特性により異なる。

本研究では、大都市バスタプロジェクトとは異なる近鉄四日市駅に適したバスタ整備を目指す上での課題を見据え、地域ニーズや地域特性に応じた適切な整備目標を定め、道路空間の再編により限られた空間を有効活用した整備空間の創出方法、官民連携による効率的な管理・運営の可能性などについて検討を行った。

**Key Words** : 交通結節点, バスタプロジェクト, 道路空間再編, 官民連携, まちづくり

## 1. 背景と目的

近年、既にオープンから5年が経過したバスタ新宿を筆頭に、公共交通ターミナルの整備を目指す「バスタプロジェクト」が、各地域を代表するターミナル駅を中心に全国展開が推進されている。その中で、令和2年度に、三重県四日市市の近鉄四日市駅が中部地方で初めての整備候補地となった。

バスタプロジェクトは、集約型公共交通ターミナルの整備・マネジメントを行い、地域における課題を解決するとともに、みち・えき・まちが一体となった新たな空間を官民連携により創出して、道路ネットワークの機能を最大限発現し、地域の活性化や災害対応の強化、生産性の向上の実現を図る未来志向の新たな取り組みである。

三重県内最大の人口規模を持つ中部圏域有数の産業都市である四日市市により、さらなる中核的役割を果たし、圏域の活力を牽引し続けていくに相応しい駅前空間の実現に向けて、近鉄四日市駅並びにJR四日市駅の駅前広場等に係る整備の基本的な方向を固めることを目的に、平成29年から平成30年にわたり6回の「近鉄四日市駅周辺等整備基本構想検討委員会」を経て、平成30年12月に「近鉄四日市駅周辺等整備基本構想」（以下「基本構想」という。）が策定された。

基本構想に示されたバスターミナルの考え方「これまで3箇所に分散していたバス乗降場を中央通り北側車道部に集約し、初めて訪れた人にも分かりやすくするとともに、駅東側商店街前・市役所方面及び並木空間への回遊性を高める。また、駅とバス専用ターミナルを結ぶ歩行者用デッキにより乗継を円滑にする。」<sup>1)</sup>を基に、本研究では「近鉄四日市駅交通ターミナル」の整備目標や求められる機能・配置等について検討を行ったものである（図-1）。

バスタが担う役割や整備手法はその都市構造や地域特性により異なることから、大都市ターミナル駅におけるバスタプロジェクトとは異なり、近鉄四日市駅のような地方都市のターミナル駅に適したバスタ整備を目指す上での課題及び解決策について検討を行った。

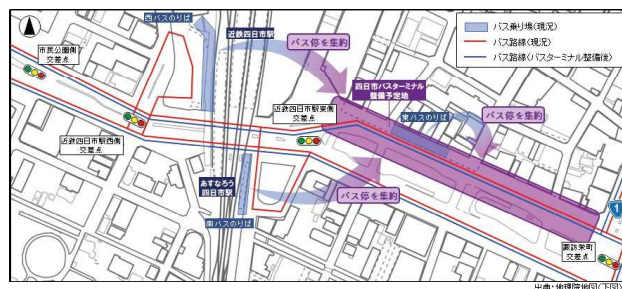


図-1 近鉄四日市駅周辺の現状

## 2. 適切なバスタ整備を目指す上での課題

### (1) 地域課題への対応

現状におけるバスタ整備の先行事例は、近鉄四日市駅とは性質が異なる「バスタ新宿」に代表されるような大都市ターミナル駅における大規模バスタである。そのため、求められる機能や施設規模、及びサービスレベルが異なる。

図-2で示す通り、バスタプロジェクトのコンセプトに基づいて<sup>2)</sup>、備えるべき機能やサービスを踏まえた上、近鉄四日市駅周辺における地域ニーズや地域課題を解決するために適した地方都市バスタとしての整備のあり方を整理する必要があった。



図-2 バスタプロジェクトのコンセプト

### (2) 整備区域の創出

大規模バスタとして代表されるバスタ新宿は、道路一体建物としての整備により<sup>3)</sup>、建物内に創出した道路区域にターミナルが整備された、都市空間の高度利用である（図-3）。

一方で、大規模な建物との一体的な整備は、民間の投資意欲を引き出す必要があるとともに、投資意欲と整備・共用タイミングの一致が求められる。

近鉄四日市駅においては、大規模再開発事業との一体的整備が困難であったことから、既存の公共用地等を活用し整備区域を創出する必要があった。

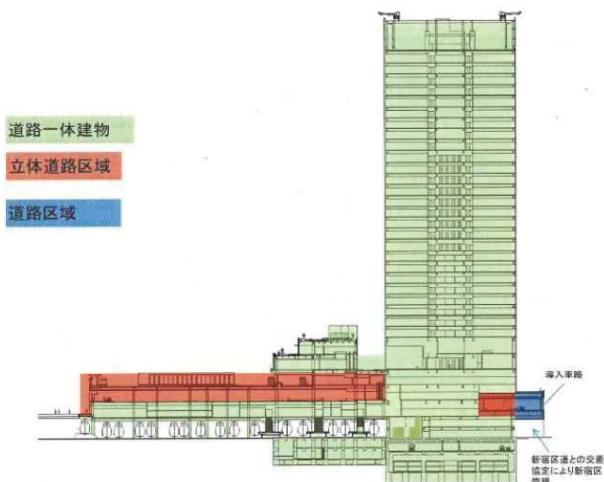


図-3 バスタ新宿の道路一体建物

### (3) 事業運営費用の縮減

我が国では、少子高齢化や人口減少、環境問題、エネルギー制約といった、我々が直面する社会情勢や逼迫する財政状況の中で、時代の要請に合った適切なインフラ維持管理・更新を行っていくために、効果的・効率的な施設の経営管理を実現する必要がある。

バスタプロジェクトにおいても、社会基盤として求められる機能やサービスレベルを十分に発揮した上で、効果的・効率的な維持管理のもと運営費用の縮減が求められる。

## 3. 課題への対応

### (1) 地域ニーズに応じた適切な整備目標の策定

近鉄四日市駅周辺に適したバスタ整備のあり方を整理するにあたり、地域特性や周辺環境及び既往の公共交通計画、まちづくり等のマスタープランを踏まえるとともに、整備に向けてステークホルダーとなる関係者の意向を十分に把握することで、地域ニーズや利用者ニーズに合致した実効性のある整備目標を策定することが重要となる。

交通結節点整備であるバスタプロジェクトに求められる機能は、交通結節機能や賑わい機能、サービス機能、景観、防災機能など多くの要素で構成されることから、多くのステークホルダーが関係する。

地域住民や交通事業者、周辺施設事業者、交通管理者等と繋がりを持つ地元行政と十分連携のもと、各関係者の意向や要望を把握するとともに、機能に応じた施設形態や周辺施設連携、交通運用、利用動線、ターミナル運用方法など必要な調整を行う体制の構築が重要である（図-4）。

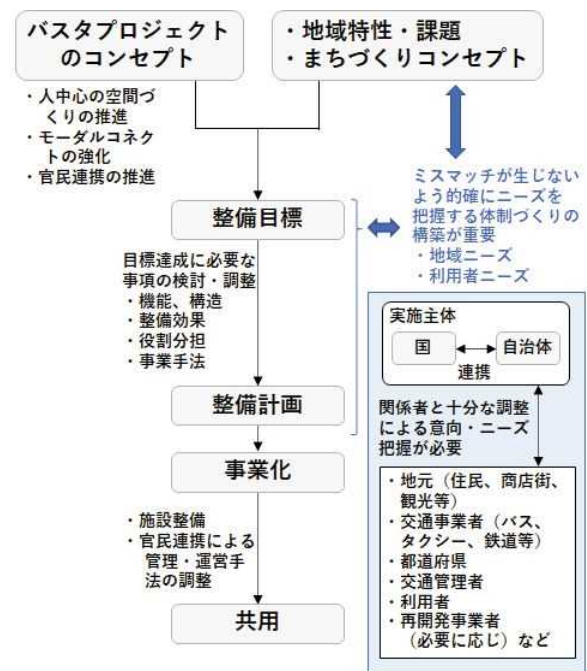


図-4 整備検討フロー



本取組においては、地元行政との連携のもと関係機関との十分な調整機会を設けることにより、中央通りを活用した空間の魅力向上を図り、賑わい空間の創出とまちづくりと連動した交通結節機能の強化のもと、回遊性の向上を図るとともに、交流人口の増加や中心市街地の活性化、併せて防災機能など公益機能の強化につなげていくなど、地域課題や地域ニーズ、まちづくり思想を反映し、近鉄四日市駅における周辺環境や地域性を十分に配慮した拠点のあり方及び整備目標を整理することが出来た（図-5）。

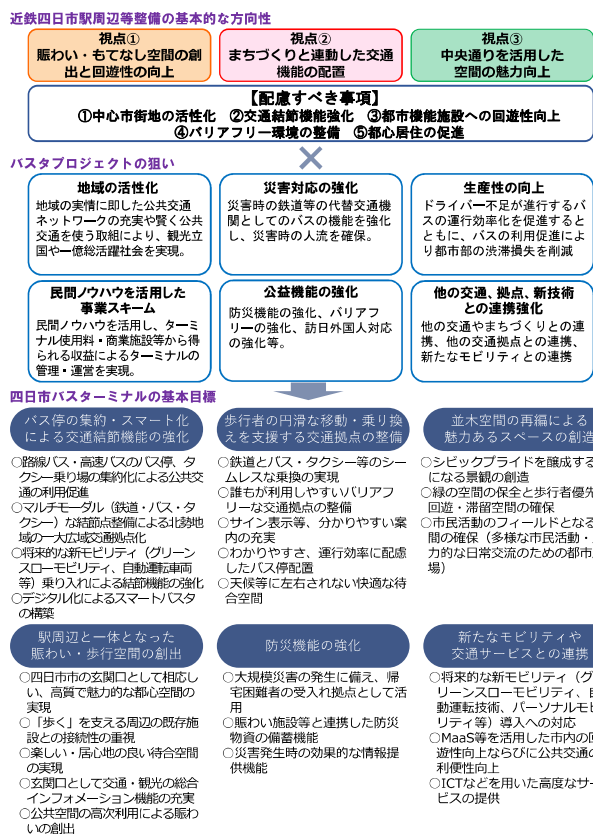


図-5 整備目標

## (2) 空間再編による道路区域の有効活用

基本構想では、「中央通りを活用した空間の魅力向上」を目指す方針のもと、交通容量に余裕のある駅前メインストリートの車線数を削減し、バスタ事業区域を創出する構想が示された。

中央通りの幅員の並木空間は良好な景観を有する一方で、広幅員の車道を横断しアクセスが必要な位置関係と鳥害によって、憩いの空間として利用しづらい低未利用環境となっていた。

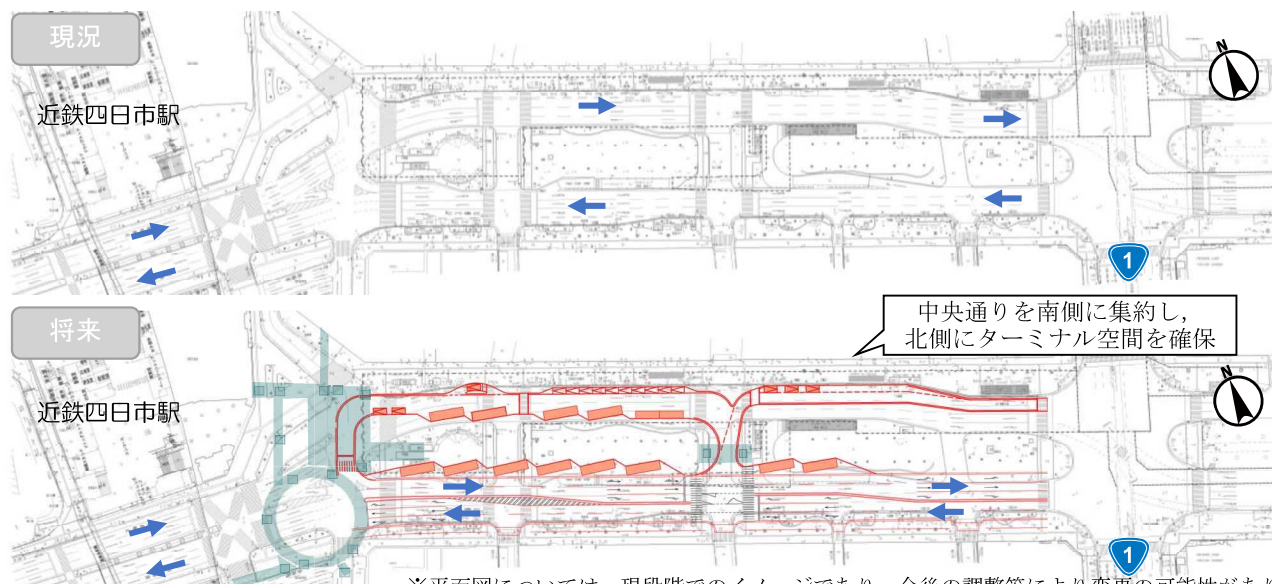
更に、車道は片側3車線の計6車線を有し交通量に対して余裕があることから、これら既存の道路空間を再編し、バス停の集約・スマート化を図る空間を確保することとともに、並木空間を再編することにより魅力あるスペースを創造し、駅周辺と一体となった賑わい・歩行空間を創出する考え方である。

四日市市道である中央通りについて、四日市市による交通容量検証が行われた結果、片側3車線（+付加車線）から片側2車線（+付加車線）に削減が可能となった。その上で、現状で幅員の南北にセパレートされている中央通りの上下線を南側に集約することによりバスターミナル整備可能な一定の面的な空間の創出が可能となった（図-6）。

これは、既存の道路空間をニーズに応じ効率的に交通拠点や賑わい空間として活用していく点や、都心部における現状の自動車優先から公共交通と人中心の空間へと転換を図っていく観点から、中心市街地活性化や居心地が良く歩きたくなるまちなかウォーカブル空間の形成に向けた考えに合致する取り組みである。

## (3) 官民連携による管理・運営の可能性検討

令和2年の道路法改正では民間活力を活かしたターミナル運営を想定した特定車両停留施設制度が創設された。これを受け、コンセッション制度等を活用した官民連携による効率的な管理・運営の導入可能性について検討を行った。



※平面図については、現段階でのイメージであり、今後の調整等により変更の可能性があり

図-6 道路空間再編によるターミナル整備空間の創出イメージ

図-7で示す通り、建設や所有、管理・運営など事業段階や役割に応じて、想定される官民連携による事業スキームを整理するとともに、交通拠点運営に関連する業態の異なる民間事業者に対し、官民連携による事業の可能性や想定されるリスク等について意見収集調査を行った。

その結果、民間活力の導入により、より良いサービスの提供や持続可能な運営を目指す趣旨について、賛同を得られる一方で、事業手法や運営に関する留意事項として、収益施設導入のポテンシャルや収益性を踏まえたターミナル運営に関する民間事業者の立場としての留意事項を収集することが出来た。

今後の官民連携事業の実現可能性や実効性のある事業手法の検討に有益な情報となった（表-1）。

表-1 民間事業者意見を踏まえた留意事項

|         | 留意事項                                                                                                                                             |
|---------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 収益施設の導入 | <ul style="list-style-type: none"> <li>交通空間と賑わい空間の収益性のトレードオフ関係に留意。</li> <li>周辺との競合性に配慮。</li> </ul>                                               |
| 収益性     | <ul style="list-style-type: none"> <li>一定規模の商業施設により一定の収益性が見込まれる。</li> </ul>                                                                      |
| ターミナル運営 | <ul style="list-style-type: none"> <li>ターミナル運営の収益性と、既存の公共交通運営とのバランスに留意。</li> <li>商業収益に極力影響されない維持・管理体制づくり。</li> <li>民間単体ではなく行政との連携が必要。</li> </ul> |

|   | 管理・運営のイメージ（案）                                                                                                    | 整備方針・基盤整備 | 設計・建設 | 建物所有 | 管理・運営 | 付帯事業（賑わい） |
|---|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|-------|------|-------|-----------|
| A | <p>・民間が運営に必要な全ての建物を整備・所有し、民間が賑わい施設の収益で自主的に区域全体の管理・運営を実施。</p> <p>デッキ ターミナル運営 賑わい施設 施設検討エリア 賑わい空間（屋外）</p>          | 公共        | 民間    | 民間   | 民間    | 民間        |
| B | <p>・公共がバスターミナル基本機能の整備・所有を行い民間が収益施設の建物を整備・所有し、その収益で管理・運営を実施。</p> <p>デッキ ターミナル運営 賑わい施設 施設検討エリア 賑わい空間（屋外）</p>       | 公共        | 公共    | 民間   | 民間    | 民間        |
| C | <p>・公共がバスターミナル基本機能の整備・所有及び賑わい施設の所有を行い民間が収益施設として入居し、その収益で管理・運営を実施。</p> <p>デッキ ターミナル運営 賑わい施設 施設検討エリア 賑わい空間（屋外）</p> | 公共        | 公共    | 公共   | 民間    | 民間        |
| D | <p>・公共がバスターミナル基本機能の整備・所有・管理・運営及び賑わい施設の所有を行い民間が賑わい空間を収益施設として活用。</p> <p>デッキ ターミナル運営 賑わい施設 施設検討エリア 賑わい空間（屋外）</p>    | 公共        | 公共    | 公共   | 公共    | 民間        |

図-7 想定スキーム整理

#### 4. まとめと今後の展望

今後の人口減少やテレワークの定着などによる移動機会の減少、新たなモビリティの社会実走等を契機とした効率的な移動サービスの普及などにより、将来の道路交通容量に余裕が生じる可能性が議論されている。

将来、生じる可能性のある道路の余剰空間を活用した公共交通や人を中心とした拠点整備の手法や官民連携による管理・運営手法といった今後の交通結節点整備に参考となる整備計画をとりまとめることができた。

また、今後のデジタル技術の進展を見据え、交通拠点空間を時間帯や曜日等によって、柔軟な運用を行うことにより、これまで時間帯によっては遊休時間が生じていた空間をより生産性の高い、高質な空間運用方法についても、検討が必要と考える。

本研究で検討した整備手法や管理手法は、地域の活性化や強靱化に資する多様な都市機能を担う未来型交通拠点の全国展開を促進する上で、そのあり方や整備の多角化に寄与することが期待される。

**謝辞：**本論文は、中部地方整備局三重河川事務所の「令和2年度四日市地区交通結節点検討業務」の成果の一部である。ここに記して、関係各位に謝意を表します。

#### 参考文献

- 1) 四日市市：近鉄四日市駅周辺等整備基本構想，p-12，2018。
- 2) 国土交通省道路局：交通拠点の機能強化に関する計画ガイドライン，p-26，2021。
- 3) 社会資本整備審議会 道路分科会：第55回基本政策部会資料，2016。

# しずおかMaaSへのETC2.0データ活用

たかむら しんいち いちかわ たかや ろくたん まさと いなとみ たかひさ  
○高村 真一<sup>1</sup>・市川 貴也<sup>1</sup>・六反 雅登<sup>1</sup>・稲富 貴久<sup>1</sup>

<sup>1</sup>パシフィックコンサルタンツ株式会社 中部支社（〒451-0045 名古屋市西区名駅一丁目1番17号）

静岡市において、静岡型MaaS基幹事業実証プロジェクト「しずおかMaaS」が設立され、令和元年度・令和2年度にICTを活用した交通手段間の連携強化及びAIオンデマンド交通の導入を目指す実証実験（経産省・国交省支援事業）が行われた。そこで、時間帯別・車両別のデータを取得可能という特徴を活かしたETC2.0データのMaaSへの展開を見据え、AIオンデマンド交通の所要時間予測精度の向上等を目的に、配車システムへの活用に向けた研究を行った。本稿では、しずおかMaaSの取組を紹介するとともに、ETC2.0データの搭載、所要時間予測の精度向上の検証を中心に、本研究の成果を踏まえた今後の展開についても合わせて報告する。

**Key Words** : MaaS, ETC2.0プローブデータ, AIオンデマンド交通

## 1. はじめに

国土交通省では、生産性革命プロジェクトの一貫として、ETC2.0データを官民連携で活用することで、民間での新たなサービスの創出を促し、地域のモビリティサービスを強化することを目指している。また、令和元年6月には日本版MaaS元年として、「新モビリティサービス推進事業」の先行モデル19事業を選定したところである。

静岡市においては、都市の課題解決に向け、静岡型MaaS基幹事業実証プロジェクト「しずおかMaaS」（以下、しずおかMaaS）が設立され、本プロジェクトが実施するICTを活用した交通手段間の連携強化及びAIオンデマンド交通の導入を目指す実証実験<sup>1</sup>が、経済産業省・国土交通省による「スマートモビリティチャレンジ」の支援対象事業として選定され、静岡国道事務所は本プロジェクトにオブザーバーとして参画することとなった。

MaaSは全ての交通手段によるモビリティ（移動）を1つのサービスとしてとらえ、シームレスにつながる新たな「移動」の概念であり、その社会実装に向けては、利用者の交通手段選択行動を左右する所要時間を高い精度で提供する必要があると考えられる。

本業務では、しずおかMaaSの実証実験における配車システム（以下、SAVS : Smart Access Vehicle Service）への活用のため、ETC2.0データによる所要時間データベースを構築するとともに、時間帯

別・車両別のデータを取得可能という特徴を持つETC2.0データのMaaSへの展開を見据え、AIオンデマンド交通の経路検索時における所要時間予測の精度向上を目的に、SAVSのインプットデータとしてのETC2.0データの活用方法に関する研究を行った。

## 2. しずおかMaaSの取組

静岡市においては、人口減少等に伴い、公共交通の利用者が減少し、運行を維持する費用が増加傾向であること、路線バス等の運転手が人手不足であること、高齢者ドライバーの交通事故が増加傾向であることなど、移動に対する社会的課題への対応が必要となっている。そのため、ICT・AI等の最新技術を取り入れ、誰もが利用しやすい新たな移動サービスの提供と、これを活かした持続可能なまちづくりを目指し、地域密着型の官民が連携したプロジェクト「しずおかMaaS」が設立された。

令和元年度は市街地において、AIオンデマンド交通の実証運行及び交通モード間が連携した移動サービスを提供し、サービスの受容性やビジネスモデルの成立可能性の検証が行われ、令和2年度は郊外部において、ジャンボ車両を使用した客貨混載のAIオンデマンド交通の実証運行が行われた。



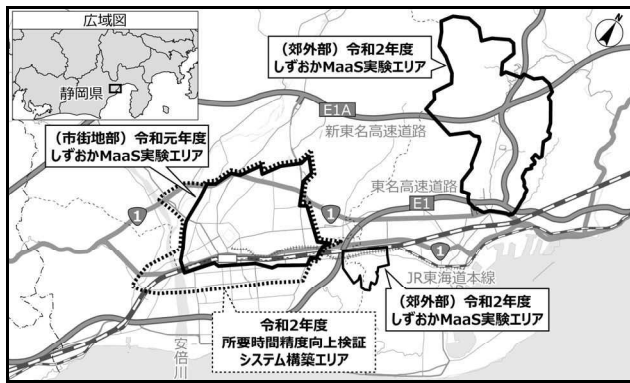


図-1 しずおかMaaS実証実験の対象エリア

表-1 しずおかMaaS実証実験の概要

| AIオンデマンド交通                |                                                                                       |                                          |
|---------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|
|                           | 令和元年度                                                                                 | 令和2年度                                    |
| 実施期間                      | 令和元年11月1日(金)<br>～11月30日(土)<br>8:00～21:00                                              | 令和2年11月1日(日)<br>～12月25日(金)<br>7:00～22:00 |
| 利用対象者                     | 1000人程度のモニターを確保して実証実験を実施                                                              | エリア居住者のうち事前登録者                           |
| 配車                        | SAVSを活用                                                                               |                                          |
| 使用車両                      | 小型or中型タクシー<br>(最大20台程度)                                                               | ジャンボ車両<br>(最大5台)                         |
| 利用料金                      | 有料(事前確定運賃)<br>相乗り可で25%引                                                               | 有料(定額)<br>1乗車(都度払い)又は乗放<br>題券            |
| 異なる交通モード間の連携(令和元年度, 市街地部) |                                                                                       |                                          |
| 対象交通手段                    | 鉄道(静岡鉄道静岡清水線), バス(しずてつジャストライン乗合バス), AI相乗りタクシー(静鉄タクシー他8社)・徒歩                           |                                          |
| 予約等                       | MaaS Web上で上記交通手段が含まれる経路を一括検索でき, 相乗りタクシーのリアルタイムのオンデマンド予約が可能. 1人1予約. 前日や時間を指定した事前予約は不可. |                                          |

### 3. しずおかMaaSへのETC2.0データ活用

#### (1) ETC2.0データの活用方針

本研究では, 路側機から得られたETC2.0車載器搭載車の情報から生成されるETC2.0データ(速度データ)をSAVSに搭載し, AIオンデマンド交通の配車予約時の経路検索及び利用者・車両に提示する所要時間予測に活用する。

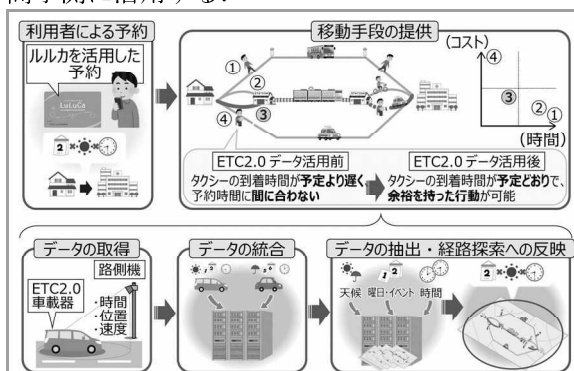


図-2 ETC2.0データのMaaSへの活用イメージ

#### (2) SAVSへのETC2.0データ搭載

令和元年度は, しずおかMaaS実証実験エリア内の幹線道路かつ取得データ量の多い8路線を選定し, 実証実験実施期間の直近1ヶ月のデータを活用した。令和2年度は, しずおかMaaS実証実験エリアが郊外部であったため, 令和元年度の実験エリア(静岡市街地)に加え, 安倍川右岸及びJR東海道本線南側の一部を加えたエリアにて検証する方針とし, エリア内のセンサス対象路線全路線において, 令和2年1月～12月(コロナ禍の影響が大きい4・5・8月除く)のデータを活用した。

また, 交通状況に影響を及ぼす要因として, 天候・暦・時間帯・行催事と所要時間の関係性を分析したうえで, 「平休別」・「時間帯別」・「降水量別(降水無し・1mm未満・1mm以上)」のETC2.0速度データベースを構築しSAVSに搭載した。

なお, 各路線・時間帯毎に上下5%タイル値外は異常値として補正するとともに, 欠測については対象路線の平均値により補完を行った。

表-2 SAVSへ搭載したETC2.0所要時間データの概要

|       |               | 令和元年度                                                    | 令和2年度                                                                                     |
|-------|---------------|----------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
| 使用データ | ETC2.0データ搭載路線 | 国道1号現道・(主)山脇大谷線など8路線<br>(しずおかMaaS実証実験エリア)<br>《総延長 約35km》 | エリア内の道路交通センサス対象の全路線(27路線)<br>(安倍川右岸・JR東海道本線南側の一部にエリア拡大)<br>《総延長 約83km》                    |
|       | 期間            | 令和元年9月15日(日)<br>～10月15日(火)<br>※10月12, 13日は台風の影響を考慮し除外    | 令和2年1月～12月<br>※コロナ禍による影響が大きかった4・5・8月を除く                                                   |
|       | 曜日区分          | 平日・休日(土日祝)別                                              |                                                                                           |
|       | 時間帯区分         | 30分単位                                                    |                                                                                           |
|       | 天候            | 区分なし                                                     | 降水量別3区分<br>・降水なし<br>・1mm未満(小雨)<br>・1mm以上(多雨)<br>※気象庁の過去の気象データにより分類<br>※小雨, 多雨は今回の研究における呼称 |

#### (3) ETC2.0データ活用の有効性検証方針

ETC2.0データ搭載型SAVS(以下, 搭載型)とETC2.0データ非搭載型SAVS(以下, 非搭載型)における提供所要時間(予測結果)と実走行時間(実測結果)の比較を行い, ETC2.0データを用いることによる所要時間予測の精度向上について検証するとともに, 精度の低い経路・条件等を抽出し, 要因分析を行った上で, 次年度以降の検討に展開するものである。

なお, 比較する非搭載型の提供所要時間は, 時間帯・降水量に関わらず同一ODでは一定とした。

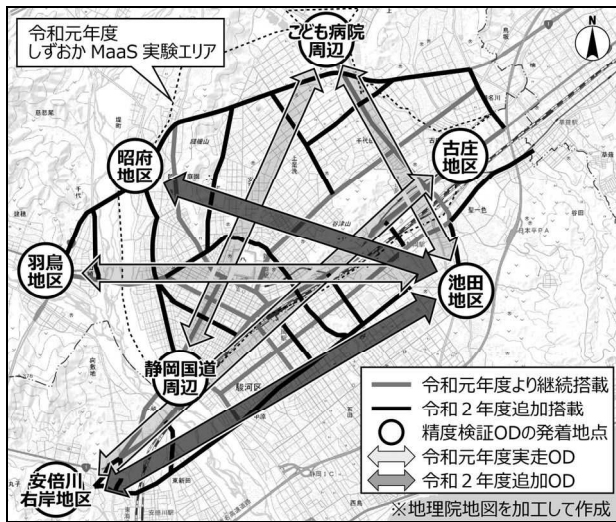


図-3 ETC2.0データ搭載路線及び精度検証ODペア

#### (4) 走行調査による比較検証結果

搭載型・非搭載型の提供所要時間と実走行時間を比較分析し、ETC2.0データ搭載路線の拡大及び降水量に応じたETC2.0速度データベースの構築により、ETC2.0データの活用が所要時間予測と実所要時間の誤差の縮小（精度の向上）に寄与する結果を得た。また、降水量と所要時間予測との関係については、特に多雨（1mm以上）における搭載型の誤差の幅は、非搭載型に比べて大幅に縮小する結果となった。

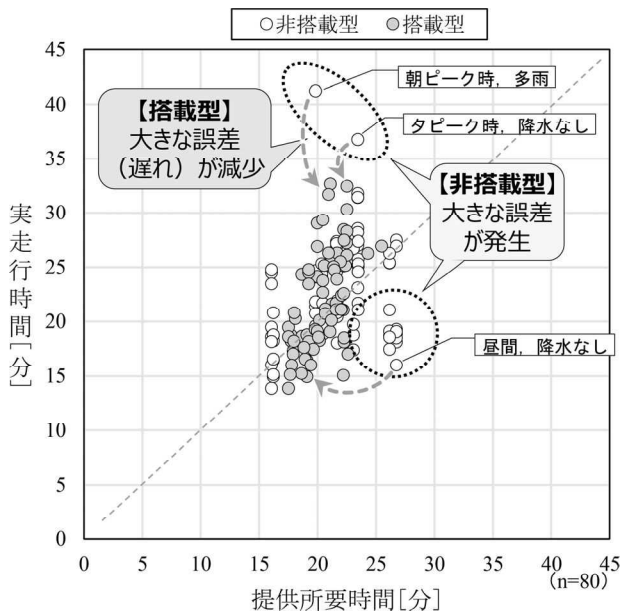
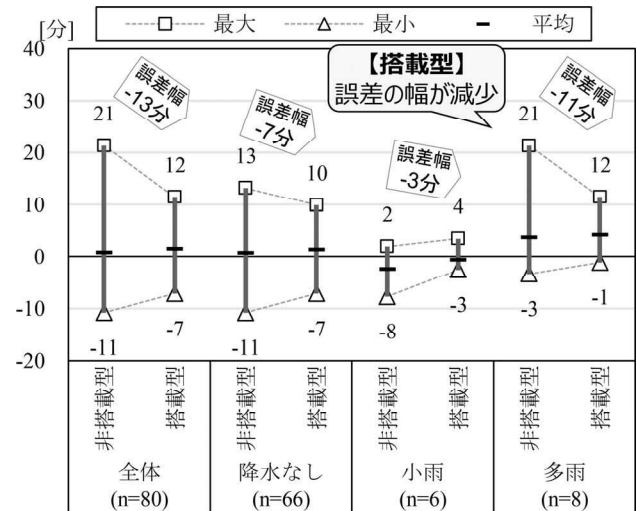


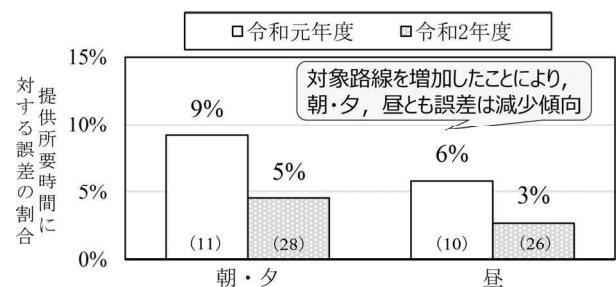
図-4 提供所要時間と実走行時間（令和2年度調査）



※誤差(実走行時間－提供所要時間)の最大値－最小値を誤差幅とした。

図-5 降水量区分別の誤差の幅（令和2年度調査）

また、ETC2.0データ搭載路線をエリア内の全ての道路交通センサ対象路線に拡大した令和2年度調査の結果について、主な8路線のデータを活用した令和元年度調査の結果と比較し、朝・夕及び昼間とも誤差の減少を確認した。



※ 各年度のODが完全には同一でなく、令和元年度の走行数が少ないため、提供所要時間の総和に対する誤差の総和の割合を算出。  
( )内は、走行調査数

図-6 搭載路線増加による誤差の割合の変化（搭載型、平日、降水なし）

なお、搭載型は昼間時間帯の精度は非常に高いものの、所要時間の振れ幅が大きくなる朝夕ピーク時においては提供所要時間と実走行時間に依然として差がみられた。MaaSの社会実装に際して特に重要と想定される“遅れ”について着目すると、昼には提供所要時間に対する実走行時間の遅れ発生は約4割であるが、朝・夕には約7割となる。その内、5分以上の遅れが約3割を占める。

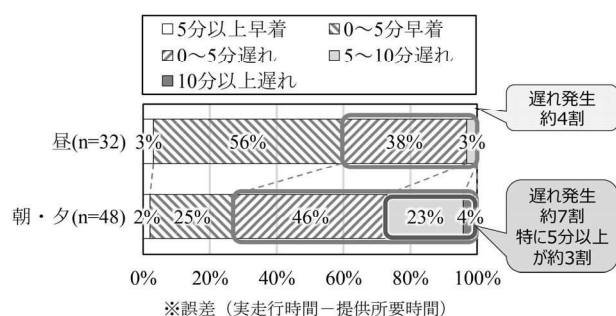


図-7 朝夕・昼別の誤差の変化  
(令和2年度調査、搭載型)

#### 4. おわりに（今後の課題・展開）

本研究では、ETC2.0データに基づいて平休別・降水量別等にカテゴリー分けした所要時間データを活用することにより、雨天時において誤差が縮小するなど経路検索及び所要時間予測の精度向上が図られることを確認し、MaaSの社会実装に寄与できることを明らかにした。

今後の経路検索及び所要時間予測の精度向上に向けた研究においては、ETC2.0データの対象期間の拡大やカテゴリーの見直し、ピーク時の速度設定等について検討するとともに、安全性を考慮した生活道

路等の通過を抑制する経路誘導手法のシステムへの反映や検証を行うことが必要である。

また、社会実装への具体化に向け、社会実験を通じて、所要時間予測精度の誤差に対する利用者・ドライバーの許容範囲・受容性を把握していくことも必要である。

さらには、鉄道・バス・タクシーが乗り入れる静岡駅周辺における新たなモビリティの受け入れ空間の整備や、幹線道路・沿道施設等を活用したモビリティポートの設置等、フィジカル空間の整備検討も合わせて実施することが必要である。

**謝辞：**本業務の実施にあたり、多大なるご指導、ご協力を頂いた静岡国道事務所の皆様、静岡型MaaS基幹事業実証プロジェクトの構成員の皆様、また、SAVSへのETC2.0データ搭載にご尽力いただいた（株）未来シェアの皆様に深く感謝を申し上げます。

#### 参考文献

- 1) しずおかMaaS HP <https://s-maas.jp/>
- 2) 篠田宗純, 鈴木克志, 金森亮, 岩本武範, 六反雅登：しずおかMaaSへのETC2.0データ活用, 土木学会全国大会第75回年次学術講演会・第IV部門・交通計画(1), 2020



# 現道拡幅に伴う通行止め回避を条件とした 擁壁形式検討

松原 吉男<sup>1</sup>・安藤 弘章<sup>1</sup>・河又 健時<sup>1</sup>・森山 莉奈<sup>1</sup>

<sup>1</sup>日本工営（株）名古屋支店（〒460-0006 愛知県名古屋市中区葵1-20-22）

現道拡幅には沢部を盛土し、それを擁壁により土留めすることが必要であった。当該擁壁は過年度業務において擁壁予備設計が実施され、補強土壁とすることが決定されていたが、過年度計画では施工の際の床掘が現道に影響するため通行止めが必要であった。しかし十日神楽線の沿道には集落があり、生活道路として利用されていることから通行止めが不可能であった。

したがって通行止めを回避した道路構造とするため、線形変更を含む柔軟な検討を実施し、その結果、通行止め回避という生活環境への影響軽減、および経済性に優れる道路拡幅設計となった事例を報告する。

**Key Words**：擁壁予備設計，補強土壁，親杭パネル擁壁，鉄筋挿入工，通行止め回避

## 1. はじめに

近年の日本では豪雨が激甚化・頻発化しており、河川の氾濫等による水害が増加している。その対策の1つとしてはダム建設が挙げられ、本稿にて述べる業務の主事業も木曽川における治水機能強化を目的とした新丸山ダム建設事業である。

ダム事業ではダム本体の計画のみではなく、ダム湖に水没する道路や橋梁の付替え、およびそのための工事用道路も計画される。本稿で挙げる業務も、橋梁架け替えのための工事用道路整備を目的とした現道の拡幅設計業務である。

本稿では、当該業務の中で行った、通行止め回避を条件とした擁壁形式検討の事例について報告する。

## 2. 新丸山ダム事業概要

新丸山ダムは木曽川の河口から約90kmの地点に位置する「洪水調節機能」「発電」「下流の河川環境保全」を目的とした多目的ダムであり、完成から60年以上が経過した丸山ダムをかさ上げする形で整備される。<sup>1)</sup>



図-1 町道十日神楽線の位置図(上図<sup>1)</sup>)と全体図，設計工区(下図)

### 3. 業務概要

新丸山ダムが整備される木曽川には、岐阜県加茂郡八百津町と瑞浪市との間に五月橋という橋梁が架かっている。当該橋梁は新丸山ダムのサーチャージ水位以下でありダム湖に沈むため、新丸山ダム建設事業に伴って架け替える計画である。新橋(新五月橋)の施工にあたっては、町道十日神楽線を工事用道路として利用する。

そして本業務は、新丸山ダム工事に伴い新設する新五月橋の施工のための工事用道路の詳細設計を行ったものである。

当該工事用道路は既設の町道十日神楽線を利用するが、当該道路は山地を通過する狭隘な一車線道路であったため、設計車両であるセミトレーラーが通行できない箇所があった。よって、本業務はセミトレーラーの通行幅員の確保を目的とした現道改良設計である。

設計対象箇所は、セミトレーラーが通行できない箇所を大別して6工区に分割されており、本業務では区間2、区間3-A, B, D, Eの5工区について設計を行った。また、本論文の主題である擁壁検討は区間3-Bに該当する。(図-1参照)

### 4. 区間3-Bについて

区間3-Bは図-2に示すように、曲線区間が連続する道路であり、セミトレーラーが通行できない箇所を部分的に拡幅する方針であった。本路線は全体を通して斜面上にある道路であるため、拡幅するためには山側へ切土する、または谷側を盛土する必要があった。

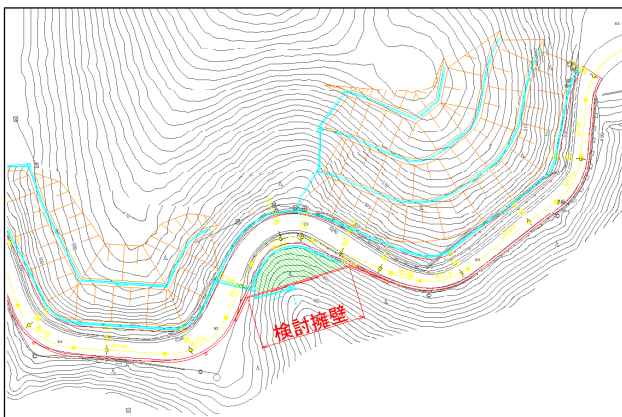


図-2 町道十日神楽線(区間3-B)の平面図

### 5. 課題

現道拡幅の方針については、過年度の予備設計にて沢部を盛土して擁壁により土留めする方針で決定していた。また、擁壁形式についても同業務におい

て擁壁予備設計が実施され、補強土壁とすることが決定されていた。

ところが、過年度設計では当該箇所での地質調査が実施されていなかったため支持層位置を推定で設定しており、地表面から1m程度の深度としていた。しかし、その後追加地質調査が実施され、本業務にて調査結果を反映した結果、地表面から1m程度の深度ではN値が10以下である崖錐堆積層であった。そして支持層として利用できる軟岩の層は、地表から3.5m程度の深度に位置していた。

3.5m程度の場合、直接基礎または置換えコンクリート基礎の適用が考えられたが、いずれにしても過年度計画よりも底盤位置を深くする必要があったため、床掘が現道に影響することがわかった。

当該道路は周辺住民の生活道路であるため工事中も通行止めが不可能であり、道路幅員W=3.5m以上を常時確保することが必要であった。しかし床掘が現道に影響する場合、確保できる道路幅員がW=2.9m程度であるため通行止めが必要であり、通行止めを回避した道路構造とすることが課題となった。

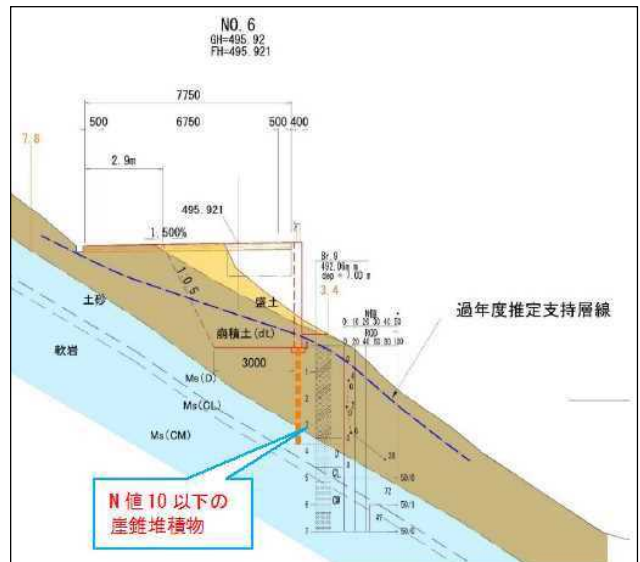


図-3 擁壁検討断面の地質状況

### 6. 解決策の検討

#### (1) 比較案の抽出

以上の課題を踏まえ、比較案の抽出を行った。

過年度の予備設計にて「道路土工—擁壁工指針(H24.7)」<sup>2)</sup>にて示される一般的な擁壁形式からの抽出、比較検討は実施されており、経済性や掘削影響より当該設計箇所に最も優れるとされていたジオテキスタイル補強土壁が基本として検討した。

抽出案については「通行止めを回避した道路構造」というポイントに対し、以下の着目点から各擁壁形式を抽出した。

- 第2案：補強土壁（壁面を谷側にシフト）
  - ・支持層が深い、かつ極力床掘範囲が狭い方が好ましいことから、置換えコンクリートを用いる構造とした。
  - ・現道に影響なく施工が可能であり、最も経済性に優れる。
  - ・施工日数も第3案に次いで短く、施工性に優れる。
  - ・当該工区にて生じる発生土を盛土材として利用するため、環境面にも優れる。
  - ・完成後は埋土部を車両の待避所としても活用できる。
  - ・擁壁面を谷側にシフトさせるため、追加用地買収が必要となる。

以上により抽出した三案について比較検討を行った結果、以下のような評価となった。

- ・親杭設置に必要な杭打機等の重機の施工ヤード確保のために仮設構台が必要となる。
- ・仮設構台設置にあたり通行止めが必要になる上、経済性および施工日数にも劣る。
- ・追加用地買収は不要である。

- ・現道に影響なく施工が可能であり、第2案に次いで経済性に優れる。
- ・施工日数は最も短く、施工性に優れる。
- ・地山の改変範囲が他案と比較して大きいため、環境面に劣る。
- ・道路線形を山側にシフト、かつ切土法面が生じるため、追加用地買収が必要となる。

| No.8<br>付近   | 第1案：親杭パネル壁工法<br>(路肩設置案)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 第2案：補強土壁工法<br>(壁面を谷側にシフトする案)                                                                                                                                                                       | 第3案：吹付法棒・鉄筋挿入工<br>(道路を山側にシフトする案)                                                                                                                                                                       |  |      |          |  |            |          |  |        |          |    |      |        |    |       |                       |           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |     |          |  |            |          |  |        |          |    |      |        |    |       |                       |           |                                                                                                                                                                                                                                                                                      |            |            |  |        |            |    |      |        |    |       |                       |           |
|--------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|------|----------|--|------------|----------|--|--------|----------|----|------|--------|----|-------|-----------------------|-----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|----------|--|------------|----------|--|--------|----------|----|------|--------|----|-------|-----------------------|-----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|------------|--|--------|------------|----|------|--------|----|-------|-----------------------|-----------|
|              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                        |  |      |          |  |            |          |  |        |          |    |      |        |    |       |                       |           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |     |          |  |            |          |  |        |          |    |      |        |    |       |                       |           |                                                                                                                                                                                                                                                                                      |            |            |  |        |            |    |      |        |    |       |                       |           |
| 写真           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                        |  |      |          |  |            |          |  |        |          |    |      |        |    |       |                       |           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |     |          |  |            |          |  |        |          |    |      |        |    |       |                       |           |                                                                                                                                                                                                                                                                                      |            |            |  |        |            |    |      |        |    |       |                       |           |
| 工法概要         | <ul style="list-style-type: none"> <li>親杭とコンクリートパネルを一体化した壁体により、土留壁を構築する工法。</li> <li>壁背面の盛土を自立した壁体により支える。</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>盛土内に敷設した補強材と壁面材とを連結し、壁面に作用する土圧と補強材の引張抵抗力が釣り合いを保つことにより、土留壁として安定を保つ土工構造物を補強土壁という。</li> <li>土留本体構造は、壁面にコンクリートパネルを、補強材にジオテキスタイルを使用する。</li> </ul>                | <ul style="list-style-type: none"> <li>切土法面の補強を目的とし、比較的短い棒状補強材（モルタルまたはセメントミルク内に鉄筋等の芯材を配置したもの）を地山に配置し、主に補強材の引張り力によって切土法面を補強する工法。</li> <li>法面工は、モルタルによる吹付法枠による。</li> <li>崩積土堆積区間を鉄筋挿入工で対策を行う。</li> </ul> |  |      |          |  |            |          |  |        |          |    |      |        |    |       |                       |           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |     |          |  |            |          |  |        |          |    |      |        |    |       |                       |           |                                                                                                                                                                                                                                                                                      |            |            |  |        |            |    |      |        |    |       |                       |           |
| 適用範囲<br>(構造) | 親杭(H形鋼または鋼管)壁面部材、背面盛土材並びに控え工(アカー等)を組み合わせたことにより10m程度の擁壁を実現。                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | <ul style="list-style-type: none"> <li>道路に適する盛土高20mまでの補強土壁。</li> <li>(盛土高：地表面から壁高の嵩上げ盛土高との和)</li> </ul>                                                                                            | <ul style="list-style-type: none"> <li>法面工は、モルタルによる吹付法枠による。</li> <li>崩積土堆積区間を鉄筋挿入工で対策を行う。</li> </ul>                                                                                                   |  |      |          |  |            |          |  |        |          |    |      |        |    |       |                       |           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |     |          |  |            |          |  |        |          |    |      |        |    |       |                       |           |                                                                                                                                                                                                                                                                                      |            |            |  |        |            |    |      |        |    |       |                       |           |
| 特徴           | <ul style="list-style-type: none"> <li>土留壁の横梁に、クレーン作業が必要となる。</li> <li>壁背面部は、土工重機により盛土を行う。</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>壁面材の設置に、クレーン作業が必要となる。</li> <li>補強盛土躯体は、土工重機により盛土を行う。</li> </ul>                                                                                             | <ul style="list-style-type: none"> <li>施工機械は小規模であるが、足場(土足場)が必要となることがある。</li> </ul>                                                                                                                     |  |      |          |  |            |          |  |        |          |    |      |        |    |       |                       |           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |     |          |  |            |          |  |        |          |    |      |        |    |       |                       |           |                                                                                                                                                                                                                                                                                      |            |            |  |        |            |    |      |        |    |       |                       |           |
| 現場での<br>適用性  | <ul style="list-style-type: none"> <li>壁体の控え部分がなく、掘削量が少ない。</li> <li>片側橋を先行施工し、橋脚上から床掘り、杭施工、パネル設置を行うことで、現道交通への影響を軽減。</li> <li>片側橋の設定・撤去時は、現道交通の通行止めが発生。</li> <li>片側橋施工のために借地が必要</li> </ul>                                                                                                                                                                                                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>補強材敷設箇所の掘削が必要となり、比較的確削量が多い。</li> <li>構造物本体を谷側にシフトした事により現道への掘削影響が少なく、現況道路の交通確保が可能である。</li> <li>施工基盤が低いため、谷側の里道を利用して施工が可能。</li> <li>床掘り掘削のために借地が必要</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>道路を山側に切り込むため、現況交通への影響が少ない。</li> <li>盛土はないが、切土が広範囲となり、地山の改変範囲が他家と比べて大きい。</li> </ul>                                                                              |  |      |          |  |            |          |  |        |          |    |      |        |    |       |                       |           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |     |          |  |            |          |  |        |          |    |      |        |    |       |                       |           |                                                                                                                                                                                                                                                                                      |            |            |  |        |            |    |      |        |    |       |                       |           |
| 概算費<br>(直工費) | <table border="1"> <tr> <td>擁壁工</td> <td>533 千円/m</td> <td></td> </tr> <tr> <td>片側橋工</td> <td>157 千円/m</td> <td></td> </tr> <tr> <td>法面工(擁壁計画時)</td> <td>185 千円/m</td> <td></td> </tr> <tr> <td>m当り施工費</td> <td>875 千円/m</td> <td>…①</td> </tr> <tr> <td>計画延長</td> <td>31.2 m</td> <td>…②</td> </tr> <tr> <td>概算施工費</td> <td>比率: (1.29)    ① × ② =</td> <td>27,000 千円</td> </tr> </table> | 擁壁工                                                                                                                                                                                                | 533 千円/m                                                                                                                                                                                               |  | 片側橋工 | 157 千円/m |  | 法面工(擁壁計画時) | 185 千円/m |  | m当り施工費 | 875 千円/m | …① | 計画延長 | 31.2 m | …② | 概算施工費 | 比率: (1.29)    ① × ② = | 27,000 千円 | <table border="1"> <tr> <td>擁壁工</td> <td>638 千円/m</td> <td></td> </tr> <tr> <td>法面工(擁壁計画時)</td> <td>185 千円/m</td> <td></td> </tr> <tr> <td>m当り施工費</td> <td>823 千円/m</td> <td>…①</td> </tr> <tr> <td>計画延長</td> <td>25.2 m</td> <td>…②</td> </tr> <tr> <td>概算施工費</td> <td>比率: (1.00)    ① × ② =</td> <td>21,000 千円</td> </tr> </table> | 擁壁工 | 638 千円/m |  | 法面工(擁壁計画時) | 185 千円/m |  | m当り施工費 | 823 千円/m | …① | 計画延長 | 25.2 m | …② | 概算施工費 | 比率: (1.00)    ① × ② = | 21,000 千円 | <table border="1"> <tr> <td>法面工(線形換計時)</td> <td>1,995 千円/m</td> <td></td> </tr> <tr> <td>m当り施工費</td> <td>1,995 千円/m</td> <td>…①</td> </tr> <tr> <td>計画延長</td> <td>30.0 m</td> <td>…②</td> </tr> <tr> <td>概算施工費</td> <td>比率: (2.86)    ① × ② =</td> <td>60,000 千円</td> </tr> </table> | 法面工(線形換計時) | 1,995 千円/m |  | m当り施工費 | 1,995 千円/m | …① | 計画延長 | 30.0 m | …② | 概算施工費 | 比率: (2.86)    ① × ② = | 60,000 千円 |
| 擁壁工          | 533 千円/m                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                        |  |      |          |  |            |          |  |        |          |    |      |        |    |       |                       |           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |     |          |  |            |          |  |        |          |    |      |        |    |       |                       |           |                                                                                                                                                                                                                                                                                      |            |            |  |        |            |    |      |        |    |       |                       |           |
| 片側橋工         | 157 千円/m                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                        |  |      |          |  |            |          |  |        |          |    |      |        |    |       |                       |           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |     |          |  |            |          |  |        |          |    |      |        |    |       |                       |           |                                                                                                                                                                                                                                                                                      |            |            |  |        |            |    |      |        |    |       |                       |           |
| 法面工(擁壁計画時)   | 185 千円/m                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                        |  |      |          |  |            |          |  |        |          |    |      |        |    |       |                       |           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |     |          |  |            |          |  |        |          |    |      |        |    |       |                       |           |                                                                                                                                                                                                                                                                                      |            |            |  |        |            |    |      |        |    |       |                       |           |
| m当り施工費       | 875 千円/m                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | …①                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                        |  |      |          |  |            |          |  |        |          |    |      |        |    |       |                       |           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |     |          |  |            |          |  |        |          |    |      |        |    |       |                       |           |                                                                                                                                                                                                                                                                                      |            |            |  |        |            |    |      |        |    |       |                       |           |
| 計画延長         | 31.2 m                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | …②                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                        |  |      |          |  |            |          |  |        |          |    |      |        |    |       |                       |           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |     |          |  |            |          |  |        |          |    |      |        |    |       |                       |           |                                                                                                                                                                                                                                                                                      |            |            |  |        |            |    |      |        |    |       |                       |           |
| 概算施工費        | 比率: (1.29)    ① × ② =                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 27,000 千円                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                        |  |      |          |  |            |          |  |        |          |    |      |        |    |       |                       |           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |     |          |  |            |          |  |        |          |    |      |        |    |       |                       |           |                                                                                                                                                                                                                                                                                      |            |            |  |        |            |    |      |        |    |       |                       |           |
| 擁壁工          | 638 千円/m                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                        |  |      |          |  |            |          |  |        |          |    |      |        |    |       |                       |           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |     |          |  |            |          |  |        |          |    |      |        |    |       |                       |           |                                                                                                                                                                                                                                                                                      |            |            |  |        |            |    |      |        |    |       |                       |           |
| 法面工(擁壁計画時)   | 185 千円/m                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                        |  |      |          |  |            |          |  |        |          |    |      |        |    |       |                       |           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |     |          |  |            |          |  |        |          |    |      |        |    |       |                       |           |                                                                                                                                                                                                                                                                                      |            |            |  |        |            |    |      |        |    |       |                       |           |
| m当り施工費       | 823 千円/m                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | …①                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                        |  |      |          |  |            |          |  |        |          |    |      |        |    |       |                       |           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |     |          |  |            |          |  |        |          |    |      |        |    |       |                       |           |                                                                                                                                                                                                                                                                                      |            |            |  |        |            |    |      |        |    |       |                       |           |
| 計画延長         | 25.2 m                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | …②                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                        |  |      |          |  |            |          |  |        |          |    |      |        |    |       |                       |           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |     |          |  |            |          |  |        |          |    |      |        |    |       |                       |           |                                                                                                                                                                                                                                                                                      |            |            |  |        |            |    |      |        |    |       |                       |           |
| 概算施工費        | 比率: (1.00)    ① × ② =                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 21,000 千円                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                        |  |      |          |  |            |          |  |        |          |    |      |        |    |       |                       |           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |     |          |  |            |          |  |        |          |    |      |        |    |       |                       |           |                                                                                                                                                                                                                                                                                      |            |            |  |        |            |    |      |        |    |       |                       |           |
| 法面工(線形換計時)   | 1,995 千円/m                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                        |  |      |          |  |            |          |  |        |          |    |      |        |    |       |                       |           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |     |          |  |            |          |  |        |          |    |      |        |    |       |                       |           |                                                                                                                                                                                                                                                                                      |            |            |  |        |            |    |      |        |    |       |                       |           |
| m当り施工費       | 1,995 千円/m                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | …①                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                        |  |      |          |  |            |          |  |        |          |    |      |        |    |       |                       |           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |     |          |  |            |          |  |        |          |    |      |        |    |       |                       |           |                                                                                                                                                                                                                                                                                      |            |            |  |        |            |    |      |        |    |       |                       |           |
| 計画延長         | 30.0 m                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | …②                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                        |  |      |          |  |            |          |  |        |          |    |      |        |    |       |                       |           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |     |          |  |            |          |  |        |          |    |      |        |    |       |                       |           |                                                                                                                                                                                                                                                                                      |            |            |  |        |            |    |      |        |    |       |                       |           |
| 概算施工費        | 比率: (2.86)    ① × ② =                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 60,000 千円                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                        |  |      |          |  |            |          |  |        |          |    |      |        |    |       |                       |           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |     |          |  |            |          |  |        |          |    |      |        |    |       |                       |           |                                                                                                                                                                                                                                                                                      |            |            |  |        |            |    |      |        |    |       |                       |           |
| 概算施工<br>日数   | 計画延長当り：193日(擁壁工163日+法面工30日)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 計画延長当り：146日(擁壁工116日+法面工30日)                                                                                                                                                                        | 計画延長当り：136日(法面工)                                                                                                                                                                                       |  |      |          |  |            |          |  |        |          |    |      |        |    |       |                       |           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |     |          |  |            |          |  |        |          |    |      |        |    |       |                       |           |                                                                                                                                                                                                                                                                                      |            |            |  |        |            |    |      |        |    |       |                       |           |
| 概算通行止<br>め日数 | 計画延長当り：28日(一時的な通行規制は含めない)<br>(通行止め工程・山側受台施工・床掘り+受台撤去)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 発生しない(一時的な通行規制は含めない)                                                                                                                                                                               | 発生しない(一時的な通行規制は含めない)                                                                                                                                                                                   |  |      |          |  |            |          |  |        |          |    |      |        |    |       |                       |           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |     |          |  |            |          |  |        |          |    |      |        |    |       |                       |           |                                                                                                                                                                                                                                                                                      |            |            |  |        |            |    |      |        |    |       |                       |           |
| 評価           | <ul style="list-style-type: none"> <li>経済性において、第2案に劣る</li> <li>片側橋を施工する事により現況道路への交通影響を回避する。</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>経済性において、最も優れる。</li> <li>施工時に現況道路の交通確保ができる。</li> <li>完成後は、埋土部を車両の待避所に利用可能である。</li> <li>当該工区の切土を盛土材として利用可能である。</li> </ul>                                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>経済性において、他家よりも著しく劣る。</li> <li>地山の改変範囲が他家と比べて大きい。</li> </ul>                                                                                                      |  |      |          |  |            |          |  |        |          |    |      |        |    |       |                       |           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |     |          |  |            |          |  |        |          |    |      |        |    |       |                       |           |                                                                                                                                                                                                                                                                                      |            |            |  |        |            |    |      |        |    |       |                       |           |

- 83 -



第2案および第3案については追加用地買収が必要となる計画であったが、前頁にて示した比較表に基づいた発注者との協議により、追加用地買収が可能と判断された。

よって、現道の通行止めが回避可能である上、経済性および環境影響に優れ、施工性についても比較的優れる「第2案：補強土壁（壁面を谷側にシフト）」を採用とした。

## 7. まとめ

擁壁形式変更ということに囚われず、線形変更を含む柔軟な検討や、追加用地買収の可否を堅実に確認・協議を行ったことで、現道の通行止めを回避しつつ、経済性に優れた道路拡幅設計ができた。

構造物の比較検討となると、経済性や施工性を重視してしまう節があるが、本業務のような生活道路の改良事業は特に、周辺住民の方のご協力があるからこそ成り立つものであることから、住民の方々の生活を阻害しないような計画を提案することが非常に重要であることを強く学んだ。今後も経済性や施工性のみではなく、周辺状況や環境等にも配慮して総合的な判断をし、道路利用者にとって最も良い計画を提案していけるよう努めていきたい。

最後に、2021年8月時点で施工中である本検討箇所の空中写真を図-4に示す。

**謝辞：**本論文を作成するにあたり、国土交通省 中部地方整備局 新丸山ダム工事事務所より受注した業務成果の一部を活用させていただきましたことを、心より感謝申し上げます。



図-4 町道十日神楽線(区間3-B)の施工中の様子<sup>1)</sup>

## 参考文献

- 1) 国土交通省 中部地方整備局 新丸山ダム工事事務所 ホームページ  
<https://www.cbr.mlit.go.jp/shinmaru/>
- 2) 日本道路協会：道路土工―擁壁工指針，2012.
- 3) 日本道路協会：道路土工一切土工・斜面安定工指針，2009.
- 4) 土木研究センター：アダムウォール(補強土壁)工法 設計・施工マニュアル，2014.
- 5) 土木研究センター：山留め式擁壁「親杭パネル壁」設計・施工マニュアル〔改訂版〕，2017.
- 6) 高速道路総合技術研究所：切土補強土工法設計・施工要領，2007.

# 事業円滑化を図るためのECI方式を導入した 亀山駅周辺整備事業への参画

○山崎信吾<sup>1</sup>・奥村徹<sup>1</sup>・川崎充<sup>1</sup>

<sup>1</sup>協和設計株式会社 東北支店（〒980-0014 宮城県仙台市青葉区本町1-2-20）

三重県亀山市の亀山駅周辺地区は、近年、商業機能の低下や空き家の増加等が問題となっている。そのような状況を踏まえ、亀山駅周辺の都市機能の向上や交流人口の増加、駅周辺の利便性の向上を図るとともに魅力ある中心的市街地を再生するため、駅周辺整備事業が4ブロックに分けて進められている。本論文は、亀山駅周辺2ブロック地区において従来は「設計開始～工事完了」までに約4年8ヶ月の期間が予想されるところ、ECI方式導入により約1年の工期短縮（約3年8ヶ月）を図った事例を紹介するものである（図-3参照）。

**Key Words** : 交通広場, 施工計画, 工期短縮, ECI方式

## 1. 亀山駅周辺2ブロック地区第一種市街地再開発事業について

### (1) 事業概要

事業名称: 亀山駅周辺2ブロック地区第一種市街地再開発事業

施行者: 亀山駅周辺2ブロック地区市街地再開発組合

施行地区面積: 約1.2ヘクタール

施設建築物: 公益施設、商業施設、共同住宅

公共施設: 市道亀山駅前線（延長 約200m、道路幅員12.0m～14.0m）、駅前高塚線（交通広場 面積 約4,000m<sup>2</sup>）

※上記のうち、公共施設実施設計を平成31年3月26日～令和2年3月10日に実施。

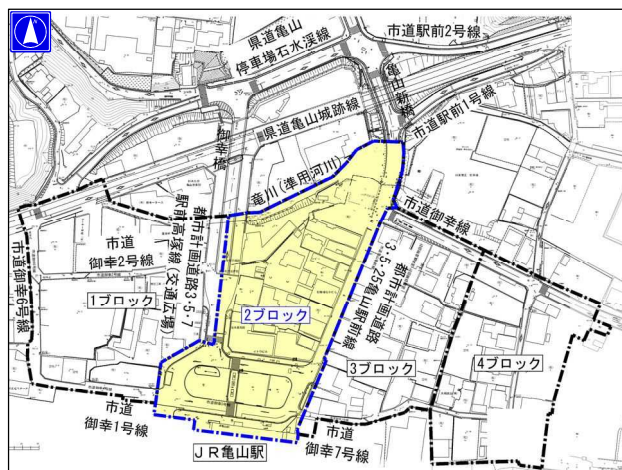


図-1 駅周辺整備事業によるブロック割図



図-2 2ブロック地区平面図

### (2) 事業工程

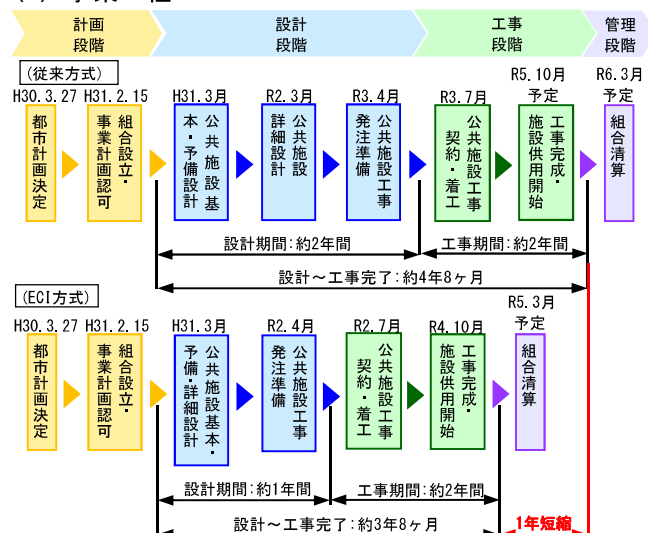


図-3 事業スケジュール

## 2. ECI方式について

### (1) ECI方式とは（図-4参照）

ECI方式とはEarly（早期）・Contractor（請負業者）・Involvement（関与）方式の略で工事や設計業務等を発注する際に採用される発注方式の1つである。設計段階から施工者が技術協力者として参画し、施工者が持つ実績に基づく様々なノウハウを取り入れて、設計者が実施設計を行う方式である。発注者と施工者は技術協力を始める前に「技術協力委託契約」を結ぶとともに「基本協定書」を交わし、実施設計完了後に施工者は発注者と価格交渉し、合意に至った場合は、工事契約を結ぶ。設計者は設計に対する責任を負い、施工者は技術協力及び施工に対する責任を負うこととなる。

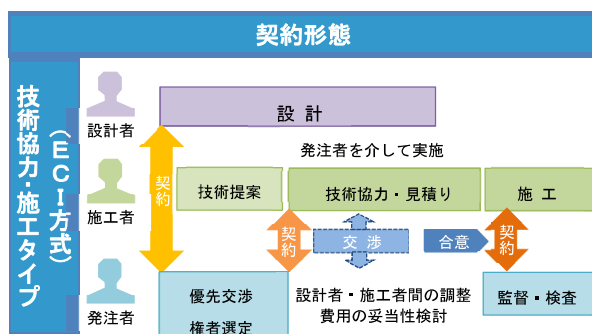


図-4 技術協力・施工タイプにおける契約形態<sup>1)</sup>

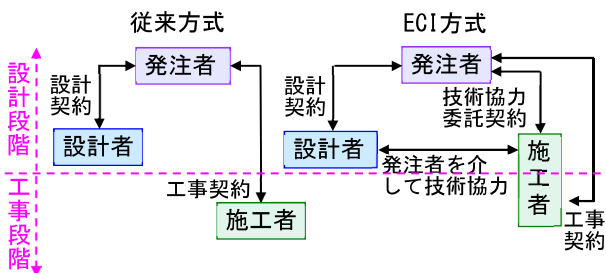


図-5 従来方式と ECI 方式の対比

### (2) ECI方式導入の目的

ECI方式は、設計段階において「施工者の技術を取り入れ」、「工期短縮を目指し」、「コスト縮減・管理を行い」、「確実な施工に結びつけ」、「高品質を確保する」等を目的として導入される。条件が確定する前段階から着手の必要がある災害復旧工事や、損傷の程度が明確に判別できない大規模修繕工事などで導入されている。

### (3) ECI方式の特徴

設計段階から施工者が技術協力者として参画するため、施工実績に基づく施工段階での懸念事項への対策や施工計画における最適な工法選定を実施することで安全性と施工確実性の向上が可能である。これにより、工事段階での手戻り防止やシームレスな工事着工を行えるため、工期短縮や建設コストの縮減を図れることが大きなメリットとなる。

## 3. 本業務におけるECI方式への取り組み

本業務では、①駅前広場設計、②市道拡幅・橋梁架替え設計、③関係機関との協議・調整の3項目を施工者の技術協力を得ながら業務を遂行した。その内、②市道拡幅・橋梁架替え設計における施工計画について、ECI方式への取り組みを紹介する（図-6参照）。

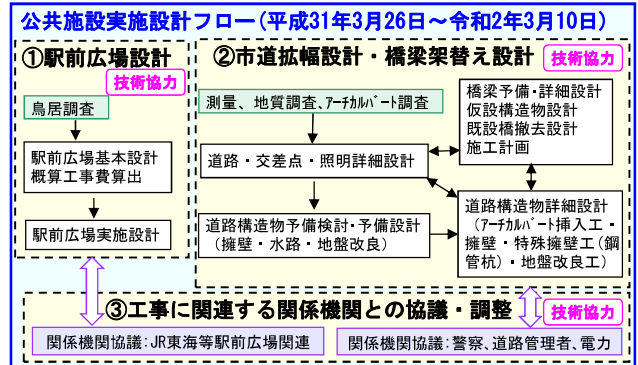


図-6 設計業務内容の体系

### (1) 橋梁（亀山新橋）架替え地点の立地状況

#### a) 位置および周辺の土地利用状況

亀山新橋は、県道亀山城跡線（旧国道1号線）の上部を横過する橋梁である。亀山新橋北側には南崎交差点が接続し、亀山市役所方面の市街地とJR 亀山駅を連絡している。また、県道亀山城跡線を挟んで亀山新橋の南西側にはアパート、北西側に駐車場が隣接しており、橋梁架替え・取付け部擁壁工事の施工スペースは非常に狭隘である。

#### b) 交通状況

県道亀山城跡線（旧国道1号線）は、四日市方面と東名阪自動車亀山 IC 方面を結ぶ幹線道路であり、日交通量が1万台超と非常に多い。また、南崎交差点は小中学校の通学路、亀山駅への通勤ルートの結接点としての役割を果たしている。



図-7 工事中の橋梁架替え地点の交通経路



図-8 橋梁横過部を亀山 IC 方面から望む



### c) 地形地質状況

亀山新橋周辺は、北側の丘陵地と南側の台地に挟まれた谷間部に当たり、N 値 2～9 の軟弱層が 6 m 程度の厚さで堆積している。

## (2) 橋梁架替え・取付け擁壁工事の技術的課題

技術的課題は、大きく下記の2項目に整理される。

### a) 常時通行の確保(地域生活への影響の最小化)

- ・県道亀山城跡線については、交通量が非常に多いことから、常時2車線の通行確保が命題で、やむを得ない場合でも、最小限の交通規制に止める必要があった。
- ・南崎交差点については、市道亀山駅前線が通行止めとなることから、各方面への連絡を確保する上で、工事中も車道・歩道の常時通行が必須条件であった。

### b) 狭隘スペースでの施工 (A1橋台側)

限られた施工スペースの中で、下記に示す多岐にわたる工事を実施しなければならなかった。

- ・既設橋撤去工事、基礎杭打設工事、橋梁下部工事、地盤改良工事、場所打ち擁壁工事、および特殊擁壁工事

## (3) 課題への対応

常時通行確保・狭隘スペースでの施工という技術的課題に対し、施工者と調整・協議し、下記の3項目の技術協力を得て解決した。

- ① 工事範囲の縮小(施工機械の小型化・配置)
- ② 現場工期短縮(無駄のない施工ステップ)
- ③ 特殊工法(鋼管杭擁壁工)の施工検討

以下、上記それぞれの対策について詳述する。

### a) 工事範囲の縮小(施工機械の小型化と適正配置)

既設橋撤去工事は、県道亀山城跡線の上部および県道脇の隣接工事となる。上部工の撤去時には、工事範囲を最小限に止めるための、クレーンの配置・上部工破碎計画が重要であった。

下部工撤去時には、予め県道を北側に切り回すことにより、施工スペースを確保するとともに、県道の通行に影響しないように破碎機・搬出用クレーンを配置した。上記の対策により、県道交通への影響を最小限とすることができた。

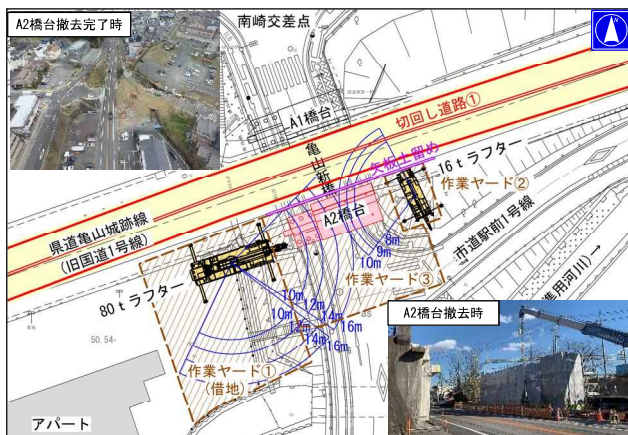


図-9 A2橋台撤去計画図

### b) 現場工期短縮(無駄のない施工ステップ)

南崎交差点に接続するA1橋台周辺の工事は、多工種を狭隘スペースの中で実施しなければならない。

施工ステップの良否によっては、施工スペースの拡大や工事の手戻りに繋がる。手戻りが発生した場合、全体工程にも影響するため、施工者と協議・調整し、下記の施工ステップを計画した。

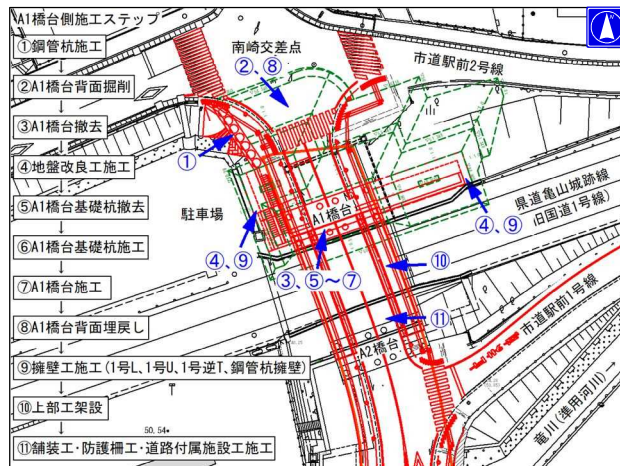


図-10 A1橋台側施工ステップ・工事工程表

### c) 特殊工法採用部の施工検討

南崎交差点付近の現道拡幅部擁壁計画について、自立式擁壁を採用した場合は地盤改良の掘削が交差点へ影響することから、車道・歩道の常時通行が困難であった。そのため、特殊工法(鋼管杭擁壁)を立案し、施工の可否、施工重機の配置や施工手順の具体性を施工者と調整協議しながら、擁壁計画を実施した。

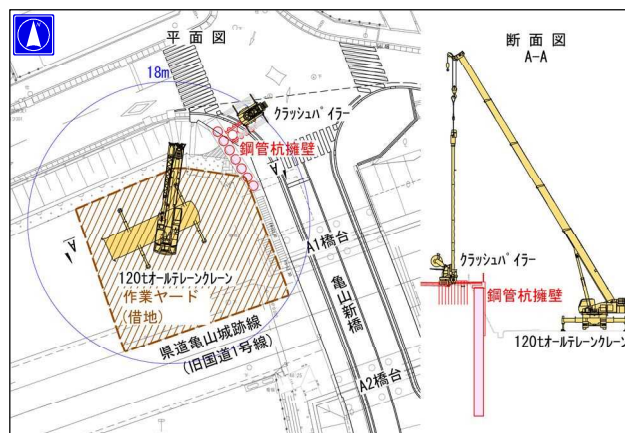


図-11 鋼管杭擁壁施工計画図

## 4. 本業務における ECI 方式導入の成果

設計段階で、図-12に示す「発注者、設計者、施工者の連携」を図ることにより、1年間の工期短縮を図ることができた。また、以下の5つの効果が得られた。



図-12 ECI方式による事業推進のための連携<sup>1)</sup>

- ①設計時の施工計画の精度向上により、着工時の関連機関との施工協議を短縮  
(工事段階：約2ヶ月短縮)
- ②設計時に必要となる施工ヤードを特定し、借地交渉を早期完結 (工事段階：約3～6ヶ月短縮)
- ③特殊工法の妥当性を確認し、施工の可否、施工機械の配置や施工手順を具現化  
(工事段階：工事の手戻り防止)
- ④工事中の駅利用者、交通事業者、店舗営業への影響を縮小・・・速やかな合意形成  
(設計段階：約3ヶ月短縮)
- ⑤ECI方式の導入により、約1年間で基本設計～実施設計を完結 (設計段階：約1年短縮)

## 5. 業務遂行上の課題と今後の展望

### (1) 業務の遂行上の課題

表-1は、施工者との「技術協力項目」、「調整期間・調整方法」を示したものである。

原則として、設計者が設計計画・施工計画の素案を作成し、施工者に説明して、施工の実現性・合理性について助言を受ける方法を取った。また、施工機械やプラントの配置等、工事の専門的知識が必要なものは、施工者の意見を設計に取り入れた。

「表中①～⑥」については、対面協議により意見を交わし、情報共有を図り、関係者全員が相互理解する形で、円滑に進められた。

しかし、令和2年に入ってから、新型コロナウイルス感染症の流行による在宅勤務対応もあり、「表中⑦」の技術協力項目の調整は、メールのみとなり、十分な相互理解が得られなかった。

その結果、十分に意見交換ができなかったことから、設計の手戻りが発生し工事発注準備に影響した。

表-1 施工者とのコミュニケーション一覧表

| 技術協力項目 |                               | 調整期間・調整方法   |      |
|--------|-------------------------------|-------------|------|
| ①      | 橋梁架け替え工事に伴う、工事中の迂回路計画・通行止め計画  | 令和元年7月～11月  | 対面協議 |
| ②      | 駅前広場及び接続する市道亀山駅前線の工事計画・施工ステップ | 令和元年8月～11月  | 〃    |
| ③      | 橋梁架け替え工事に伴う県道亀山城跡線の切回し計画      | 令和元年9月～11月  | 〃    |
| ④      | 既存アーチカルバートへのPCアーチカルバート挿入計画    | 令和元年10月～12月 | 〃    |
| ⑤      | 橋梁下部工・擁壁施工・地盤改良に関する施工計画・借地計画  | 令和元年11月～12月 | 〃    |
| ⑥      | 特殊工法採用部の施工計画                  | 令和元年11月～12月 | 〃    |
| ⑦      | 既設橋梁撤去工事における上部工・下部工撤去計画       | 令和2年2月～3月   | メール  |

### (2) 今後の展望

本業務を通して、設計者は経済性と品質を重視し、施工者は施工性・安全性を重視する傾向があると実感した。ECI方式を有効に活用するためには、発注者、設計者、施工者と密にコミュニケーションを図り、その認識のギャップをすり合わせる事が重要である。

昨今のコロナ禍の状況では、テレワークや在宅勤務などの勤務体制の変化により、対面でのコミュニケーションを図ることが難しい状況にある。

リモートワークの推奨もあり、webを活用した会議を行う環境が整備されてきていることから、web会議を有効に活用することで、対面形式以上に協議・調整を取る機会が増え、ECI導入による効果がより一層業務に反映されると考えられる。

## 6. おわりに（謝辞）

ECI方式を取入れた当該設計業務は、亀山市役所職員の皆さま、および施工者の皆さまの協力があつたからこそ、成し得ることができました。

亀山市役所の職員におかれましては、業務開始と同時に資料収集や、設計が終了次第、直ぐに工事が開始できるよう、各種関係機関との調整、協議の早期完結のために、迅速に対応して頂きました。

また、設計者と施工者の間で調整役を担って頂きました。

施工者におかれましては、基本設計（設計方針）と実施設計が、同時進行する非常に短い設計期間の中で、積極的に施工者の観点から技術協力して頂きました。

ここに、深く感謝申し上げます。

### 参考文献

- 1) 国土交通省：国土交通省直轄工事における技術提案・交渉方法の運用ガイドライン（令和2年1月）

# 視覚障害者にやさしい 公的トイレの普及に向けた取り組み

○大野 峻<sup>1</sup>・浅井優司<sup>2</sup>

<sup>1</sup> (株) オリエンタルコンサルタンツ中部支社 (〒450-0003 愛知県名古屋市中村区名駅南2-14-19)

<sup>2</sup> (株) オリエンタルコンサルタンツ中部支社 (〒450-0003 愛知県名古屋市中村区名駅南2-14-19)

本稿では、国土交通省とともに実施した「視覚障害者に優しい公的トイレの普及に向けた取り組み」の内容および手順を紹介する。今回の取り組みでは、実際に障害者が感じている不自由を正確に抽出し、視覚障害者にやさしい公的トイレの普及に向けた情報を広く発信する必要があったことから、地域の福祉団体と連携し、①視覚障害者との意見交換会、②現地での改善提案会、③改善提案発表会を実施した。その結果、社会的障壁の除去に関する必要かつ合理的な配慮に対する理解の促進が図られ、改善提案の現地での試験導入に至った。

**Key Words** : 道路施設, 環境整備, 地域協働, バリアフリー, 公的トイレ

## 1. はじめに

わが国では、すべての国民が障害の有無によって分け隔てられることなく、相互に人格と個性を尊重し合いながら共生する社会の実現を推進するため、平成25年に「障害を理由とする差別の解消の推進に関する法律」が制定されている。これにより、社会的障壁の除去に関する必要かつ合理的な配慮を的確に実施するための環境整備が急務となっている。国土交通省では、「道の駅」や交通結節点におけるトイレなどの公共施設のバリアフリー化を推進しているが、スロープの設置など、車いす利用者に配慮した整備にとどまっている場合も多い。そのため、視覚障害者からは、「男女の区別ができず、利用しにくい」、「便器までの案内もない」などの不自由を感じる声があがっている状況にある。このような状況から、視覚障害者にやさしい公的トイレの普及に向けた取り組みを検討することとした。

本稿では、国土交通省静岡国道事務所が実施した、視覚障害者にやさしい公的トイレの普及に向けた取り組みを紹介し、バリアフリーに対する理解の促進や取り組みの普及の一助となることを目的とする。

## 2. 地域の団体・若者と連携した改善検討

静岡国道事務所では、公的トイレの改善検討を実施するにあたり、実際に障害者が感じている不自由を正確に抽出する必要があったことから、静岡地域

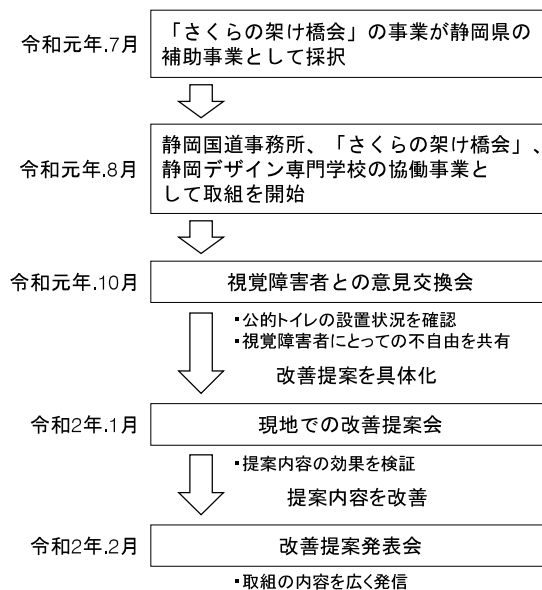


図-1 事業の経緯

で障害者の活動支援を行っている「さくらの架け橋会」と連携し、検討を進めることとした。また、視覚障害者の不自由を解決する方法について、既存のアイデア以外からも求めることを目的に、施設や設備のデザインを専攻する静岡デザイン専門学校の学生とも連携することとした。事業の経緯を図-1に示す。主な取り組みは以下の3つである。

①視覚障害者との意見交換会（令和元年10月24日



(木) 静岡国道事務所会議室にて実施)

視覚障害者を交えて公的トイレの設置状況を確認し、視覚障害者がトイレを利用する際に課題となるポイントを整理し、共有した。

②現地での改善提案会(令和2年1月7日(火) 静岡駅北口地下駐車場トイレにて実施)

課題に対する改善案を実際に公的トイレに設置し、視覚障害者に体験いただくことで、その効果を検証した。

③改善提案発表会(令和2年2月16日(日) 静岡市清水文化会館マリナートにて実施)

「さくらの架け橋会」主催の公的トイレに対する改善提案発表会を開催し、視覚障害者にやさしい公的トイレの普及に向けた情報発信を実施した。

### 3. 公的トイレ改善に向けた取り組み内容

本項では、上述した公的トイレ改善に向けた取り組みの詳細について述べる。

#### (1) 視覚障害者との意見交換会

まずは、視覚障害者がトイレを利用する際に課題となるポイントを整理するため、視覚障害者を交えて公的トイレの現地確認を実施した。その結果、トイレ入り口において男女の判別できない、トイレ内に入れても便器までの案内がない、便器も和式・洋式の区別ができないことなどが課題として確認された。視覚障害者との意見交換の様子を図-2に、意見交換結果を表-1に示す。

#### (2) 現地での改善提案会

現地で確認した課題を踏まえ、公的トイレに対する改善案を検討し、効果検証を実施した。なお、改善案は学生が主体となって検討した内容であり、概要はそれぞれ以下のとおりである。

##### a) 壁に敷く道プロジェクト

DIY用異素材シールを活用したユニバーサルデザインにより、視覚障害者を案内誘導する提案である。

##### b) アイ・コンマークプロジェクト

視覚障害者がトイレを利用する際に不自由を感じている内容を明記したステッカーの設置により、健常者による補助を促す提案である。

##### c) 格安アイデアプロジェクト

日用品を活用した案内誘導等の設置により、視覚障害者がトイレを利用する際の利便性向上を図る提案である。

改善提案会では、上記の提案内容を実際に公的トイレに設置し、その効果を視覚障害者に体験・検証いただいた。その結果、「案内誘導の設置位置や高さによっては案内がわかりにくい」、「案内はトイレ個室や小便器まで連続した案内としてほしい」、「説明がなければ案内誘導であることがわからなかったため、案内誘導の規格化・統一化など、案内誘導であることを認知できるようにしていただきたい」などの意見をいただいた。改善提案会の様子を

表-1 視覚障害者との意見交換結果(抜粋)

|                                                                             |
|-----------------------------------------------------------------------------|
| 男子トイレは、一般的に手前が小便器で、奥が大便器ではないか。小便器の使用頻度が高いため、手前に設置して欲しい。                     |
| 水を流す位置が判りづらい。                                                               |
| トイレットペーパーの位置が他のトイレと逆になっている。(洋式便所に座り、右側にトイレットペーパーがある)                        |
| 入口から便器までの点字誘導ブロックがないため、便器まで辿りつくことが困難である。                                    |
| 入口に音声があると、便所であることを認識できる。(音声案内がないと、トイレがあることすらわからない。)                         |
| トイレの前の案内板の下にある点字誘導ブロックが複雑(二重ライン)になっており、点字誘導ブロックを辿って、男子トイレや女子トイレに向かうことができない。 |
| 水を流すボタンと非常ボタンとの区別がわかりにくい。                                                   |
| 一番手前の小便器・大便器までは点字誘導ブロックが欲しい。                                                |
| 手すりに点字があると便利である。                                                            |
| 最近のトイレの通路は、曲がりが多く判りづらい。また同じ形態のトイレに出会ったことが無い。トイレ毎に形態は異なっているため、統一化して欲しい。      |
| トイレにも一定のルールがあると判りやすくなると思う。<br>(例:左手にトイレットペーパー、水洗ボタンを設置する等)                  |



図-2 壁に敷く道プロジェクト



図-3 アイ・コンマークプロジェクト



図-4 格安アイデアプロジェクト

図-5、改善提案に対する意見を図-6に示す。

### (3) 改善提案発表会

視覚障害者にやさしい公的トイレの普及に向けた情報を広く発信するため、静岡県清水文化会館マリナートにおいて公的トイレに対する改善提案発表会を実施した。発表会では、学生による提案内容の発表、提案概要パネルおよび仮設トイレを活用した体



図-5 現地改善提案会の様子

#### 【A班：壁に敷く道プロジェクト】

##### (1) 概要

- ・DIY 用異素材シールを活用した案内誘導

##### (2) 提案に対する意見

- ・今回の提案では、個室トイレ内の案内誘導であったが、トイレ入り口から案内が連続していないと、個室トイレにたどり着くことが困難となるため、案内誘導はトイレ入り口から連続して設置してほしい
- ・案内誘導の設置高さはよかったと思うが、背が高い人など、人によっては分かりにくい可能性もあるため、あらゆる人に対応した設置方法があるとうい
- ・また、トイレトペーパー、洗浄レバー位置がわからなかったため、それらがわかるような案内誘導としてほしい
- ・今回は説明があったので、シールが案内誘導であることを把握できたが、説明がなければ分からなかったと思う
- ・案内誘導であることを知らせる方法についても考えていただけるとよい

#### 【B班：アイ・コンマーク活動プロジェクト】

##### (1) 概要

- ・健常者にアクションを起こさせるようなデザイン制作

##### (2) 提案に対する意見

- ・健常者に視覚障害者の補助を訴える視点におもしろいと思う
- ・ただし、今回提案のデザインでは、健常者が具体的にどうしたらよいかわからないので、その部分を詰めるとより良いと思う
- ・具体的には、「案内しませうか」、「何かお困りですか」などの一声をかけていただけると安心する

#### 【C班：格安アイデアプロジェクト】

##### (1) 概要

- ・発泡スチロール等の市販品を活用した利便性向上方法の提案

##### (2) 提案に対する意見

- ・今回の提案では、案内誘導のピクトを一箇所にまとめて設置していたが、ピクトを並べられてしまうと、かえってわかりにくくなるため、ピクト設置位置を分けるなど、ピクトでの案内はシンプルにしてほしい
- ・個室トイレ内にカケラレール（白杖立てかけ用器具）を取り付けてくれたが、カケラレールの取付位置がわからなかったため、A 班の提案のような案内があるとよい
- ・ただし、トイレトペーパー、洗浄レバー、カケラレールと案内すべきものが多くなると、わかりにくくなるため、カケラレールは個室トイレの扉付近に設置するなどの設置箇所のルール化が望ましい

図-6 改善提案に対する意見

験ブースの設置、静岡国道事務所が事務所内のトイレに設置している立体ピクトの事例紹介により、社会的障壁の除去に関する必要かつ合理的な配慮に対する理解の促進を図った。発表会の様子を図-7に示す。また、発表会では参加者に対し、アンケート調査を実施しており、参加者からは「提案内容はいずれも低コストで実現性の高いものなので、早期の導入を期待する」、「ユニバーサルデザインは広く展開されることが重要なので、主要メーカーに働きかけ、共通のデザインを作成するなど、展開のための仕組みづくりがあるとよい」などの意見をいただいた。アンケート調査結果を図-8に示す。

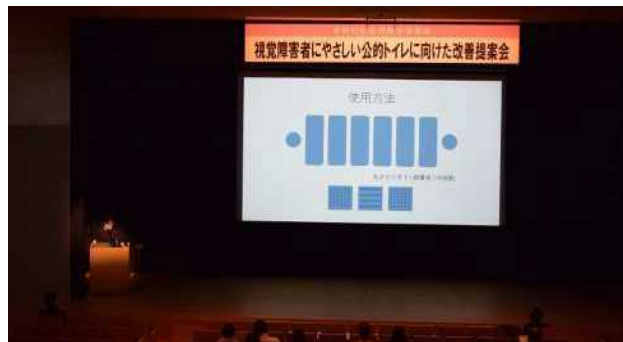


図-7 改善提案発表会の様子

## 4. おわりに

今後の取組としては、今回検討した改善提案に対し、耐久性、デザイン等の見直しを行うとともに、静岡県内の道の駅等における公的トイレ設置状況に応じて、改善提案の試験的な設置を実施する。その後、その効果を検証し、課題等を整理することで、誰もが使いやすい公的トイレの普及を図る。一方で、近年、新型コロナウイルスが世界的に流行しており、我が国においてもその脅威が迫る中、今回提案のような接触型の案内誘導は衛生面で不安が残る。そのため、改善提案の見直しにおいては、消毒液の設置及び消毒液設置箇所への案内を考慮した案内方法や音声による非接触型案内等の視覚障害者への認知方法の検討などを進めていくこととする。

本稿では、静岡国道事務所が実施した視覚障害者にやさしい公的トイレに向けた改善提案検討を紹介した。今回の取り組みは地元の福祉団体および学生とともに検討を進めた事例である。冒頭でも述べたとおり、視覚障害者を含めた柔軟なバリアフリーの対応は急務であり、道の駅やサービスエリア・パーキングエリアなど多くの道路施設での環境整備への展開が望まれることから、今回の取り組みが事業の進め方および事業内容の参考となれば幸いである。また、今回の取り組みが公共施設に対するバリアフリーのあり方を見直すきっかけとなり、公共施設の

### 1. 提案内容に関する意見

- ・どれもすぐ実用出来そうなものばかりでよかった。
- ・どの提案も低コストで導入できる点が非常によかった。

### 2. 今後の展開に関する意見

- ・それぞれのアイデアが少しずつでも広がっていけばよいと感じた。
- ・プレゼンは3件とも具体的でかつ、即利用が可能に考えられていた。具体的なステージに進むことを期待する。
- ・アットホームな雰囲気の中、プレゼンも分かりやすく、とてもよい提案だった。是非実現を。
- ・是非、全国に広がる事を期待します。
- ・ユニバーサルデザインは広く広まる事が大切なので、そのための仕掛けも考えていく必要がある。
- ・トイレの水を流すレバーがユニバーサルデザインではないので、主要メーカーに働きかけ共通デザインをつくってはどうか。それを各家庭に導入すれば全てのトイレのデザインの共通化、ひいては全世界の共通化となるのではないかな。

### 3. 提案会に関する意見

- ・視覚障害者にかかわるボランティアに参加しているので、この改善提案会にはとても感激した。
- ・健常者には気づかない事が沢山あり勉強になった。お手伝いしたい気持ちになった。
- ・自らでは気づかないことを、感じさせてくれる提案会だった。
- ・また、機会があれば参加したいと思いました。
- ・とてもアットホームで楽しい発表会だった。

図-8 発表会参加者によるアンケート結果

設置・改修時における新たな基準・文化の醸成につながることを期待する。



# ダム建設における大規模工事用道路の計画

たなかひろき たかはしたかゆき てづかだいすけ  
○田中博紀<sup>1</sup>・高橋孝征<sup>2</sup>・手塚大介<sup>3</sup>

<sup>1</sup> (株) 東京建設コンサルタント中部支社 (〒460-0003 名古屋市中区錦2-5-5八木兵伝馬町ビル)

<sup>2</sup> (株) 東京建設コンサルタント中部支社 (〒460-0003 名古屋市中区錦2-5-5八木兵伝馬町ビル)

<sup>3</sup> (株) 東京建設コンサルタント中部支社 (〒460-0003 名古屋市中区錦2-5-5八木兵伝馬町ビル)

本業務は、新設ダムの本体工事のための工事用道路について、詳細設計を実施したものである。本論文は、ダム工事全体の円滑化への配慮、「法定外道路」、「特殊ダンプ」の道路計画、工期短縮に向けた道路構造の工夫など、ダム事業独自の条件下での工事用道路計画について説明するものである。技術的な特徴としては、「ダムサイト工事全体の効率化を目的としたルート計画」、「土運搬車両の選定」、「地形条件・幅員条件を踏まえた道路構造の選定」、「工期短縮を目的とした仮橋・仮栈橋構造の使い分け」などである。

**Key Words** : ダム建設, 工事用道路, 特殊車両, 共有道路, 工期短縮, 道路構造検討, 仮橋, 仮栈橋

## 1. 計画概要

本業務は、新設ダムの本体工事のための工事用道路について、詳細設計を実施したものである。ダム本体の高さが129mと非常に大きなダム計画であった。ダム本体の施工計画においては、ダム本体のコンクリート打設はダム天端高付近のバッチャープラントが基地となり、骨材は河床高付近の原石山が基地となる。つまりはダム本体建設にあたっては、ダム天端からダム下端までの高低差を行き来できる工事用道路が必要であった。

工事用道路の計画箇所は、ダムサイトの急峻な斜面であった。工事用道路は、ダム本体のコンクリート打設の工程計画に則った資材運搬能力を担保する必要がある、大型特殊車両（25t重ダンプ）の走行を担保した道路とした。また工事用道路計画箇所付近では、付替道路の下部工工事もあり、工事の幅輻が懸念された。工事用道路はこれらの別工事と共有の工事用道路として整備し、合理化、円滑化に努める必要があった。また早期にダム本体工事に着手できるように、工事用道路の道路構造、仮橋・仮栈橋の細部構造において工期短縮を追求した。

以上のように、一般道計画にはない特殊な条件を踏まえて、工事用道路の計画を行ったものである。

工事用道路の主目的は、ダム本体の骨材・掘削土運搬であるが、周辺の付替道路工事、残土処分場造成工事などの別工事と工事用道路を共有できれば、仮設工事費の削減、工期短縮が可能であった。一般的な設計業務発注は、ダム、道路、橋梁、トンネルなど道路構造単位で業務が分割され、個々に施工計画や工事用道路が計画されるため、「共有の工事用道路」という考えが実現できないことが多い。本業務では、まず発注者側から「共有の工事用道路を整備したい」という提案があり、これを実現するためにダムサイトでの各種設計業務が集まった合同会議が定期的実施された。この会議により、計画調整・情報共有を図ることでき、「共有の工事用道路」を計画することができた。

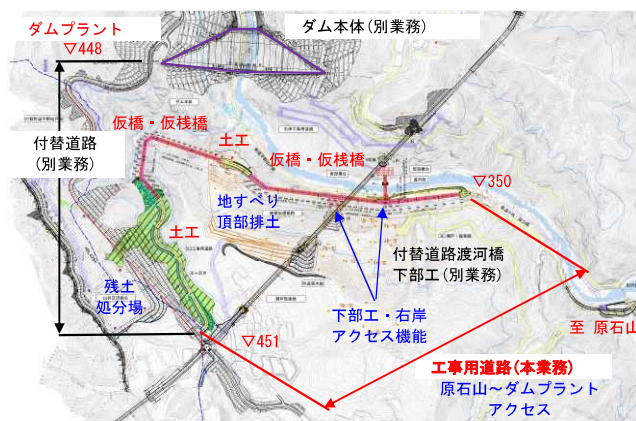


図-1 工事用道路の配置平面図

## 2. 他工事との共有工事用道路

### (1) 複数の工事の工事用道路の共有化の実現

## (2) 共有の工事用道路の主な機能

実現した「共有の工事用道路」の主な機能について、以下に整理する。

＜当初から必要とされた機能＞

- ・ 原石山（河床）からプラント（ダム天端）への資材運搬機能

＜追加共有機能＞

- ・ 本設渡河橋下部工工事へのアクセス機能
- ・ 右岸へのアクセス機能
- ・ 地すべり頂部排土へのアクセス機能

特に右岸では橋梁、トンネル工事が予定されていたが、その工事用道路は本工事用道路と同規模のものが必要と想定された。渡河部までを共有道路とすることで、右岸の工事用道路の整備コストを大幅に削減できた。

## 2. 対象車両と道路設計条件の設定

### (1) 対象車両設定上の課題

ダム本体の施工計画では、日当り施工量が設定され、施工量に合わせた各種プラント設備が計画されていた。工事用道路の資材運搬能力は、このダム本体の施工計画に則った道路とする必要であった。ただし道路規模を大きくした場合、工事費が増加するという問題だけでなく、現道通行区間の拡幅整備や用地の取得などが課題となった。工事用道路の設計条件は、対象車両の運搬能力、コスト、現道活用等の制約条件などの総合的な判断が必要であった。

### (2) 土運搬車両の選定

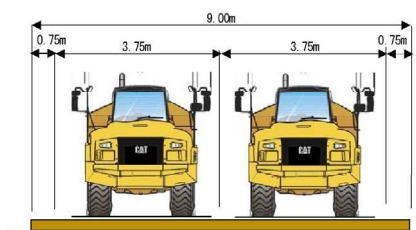
現道使用区間があるため、一般道走行可能な10tダンプとした場合、ダム本体の施工速度が確保できない状況であった。一方でダム本体工事の施工速度からは、一般道走行不可の40t重ダンプの使用が望まれた。ただしこの場合、幅員15m(2車線)となり、現況斜面勾配約45度の急斜面では、約15mの道路構造物が必要となる非現実的な道路となった。

このため、折衷案として25t重ダンプ案が立案され、採用案となった。ダム本体の施工速度に対する25t重ダンプの運搬能力は、十分ではないが、何とか確保できるものであった。また道路幅員は、9mに抑えることができ、道路規模も施工可能な規模となった。25t重ダンプは一般道走行不可であるが、現道を一般車両通行不可とする案と、現道脇に工事用道路を併設する案の事業調整は残るものの、25t重ダンプの採用は決定となった。

### (3) 道路設計条件の設定

一般道を走行できない重ダンプでは、道路構造令の幾何構造基準が適用できない。他のダム建設等での計画事例を参考に、設計条件を決定した。

- ・ 対象車両 : 25t重ダンプ
- ・ 道路幅員 :  $w=9.0\text{m}$
- ・ 最急縦断勾配 :  $I=12\%$



※相互通行（車両向き：左側は実際には背面）

図-2 工事用道路の幅員構成

## 3. 道路構造の選定

### (1) 土工構造の工事用道路の計画上の課題

工事用道路を土工構造で計画した場合、工事用道路は幅員9.0mであり、約45%の急勾配斜面上では、道路の谷側に約10mの大規模な擁壁が必要になる。施工条件的に片押し施工にせざるを得ない箇所であり、大規模擁壁は施工期間が長くなる傾向にある。工事用道路の施工期間は、ダム本体ならびに工事用道路を共有する他の工事へのスケジュールへの影響が大きい。さらにダム湛水地内に大規模な盛土を残すことは、ダムの貯水量の低下、湛水後の斜面の安定性の影響を及ぼす可能性がある。一般的に土工構造を採用することには問題が多いと考えた。

### (2) 仮橋・仮栈橋構造の採用

土工構造案に対し、仮橋・仮栈橋案を立案し、道路構造の検討を実施した。仮橋・仮栈橋案は、当該地区の地形条件、道路条件下では、土工構造案に対し施工性、経済性で優れていた。また仮橋・仮栈橋案は、他の工事の架設構台との接続性、ダム本体掘削前の段階に盛土材が確保できないという土配上の問題、ダム湛水地内に不安定な盛土を残せない、などの各種の問題も解消できた。以上のことから、仮橋・仮栈橋構造を採用した。

表-1 道路構造比較一覧表

|       | 土工案                                                                                                     | 仮橋・仮栈橋案                                                                                             |
|-------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 断面図   |                                                                                                         |                                                                                                     |
| 施工期間  | 約5.4年                                                                                                   | 約3.0年                                                                                               |
| 概算工事費 | 約33億円                                                                                                   | 約32億円                                                                                               |
| その他   | <ul style="list-style-type: none"> <li>▲他工事との共有道路化が困難</li> <li>▲盛土確保困難</li> <li>▲ダム湛水前に撤去が必要</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>○他工事との共有化が可能</li> <li>○盛土不要</li> <li>○撤去可能（再利用可能）</li> </ul> |
| 評価    |                                                                                                         | ○採用                                                                                                 |

### (3) 一部を土工区間に変更

仮橋・仮栈橋の採用は、あくまでも地形勾配が45度の急斜面上であり、一部地形が緩くなる区間では土工構造に切り替えた。地形勾配が緩い区間では、盛土擁壁は壁高5m程度に抑えられ、仮橋・仮栈橋構造のよりも経済性において優位であった。全体が片押し施工となる中で、途中で道路構造を変えることは、施工の資機材の段取り替えが必要となるため、必ずしも好ましいことではない。ただし対象箇所は長い仮栈橋区間の途中の「中間施工ヤード」として、この先の仮橋・仮栈橋の資材置き場に活用できる場所であったため、土工区間を設けることが有効と判断した。

## 4. 仮橋・仮栈橋計画における設計上の工夫

### (1) 工期短縮の追求（杭本数の削減）

仮橋・仮栈橋構造は土工構造よりも工期短縮にはなるが、ダム全体の事業工程に余裕を持たせるためにも、更なる工期短縮が望まれた。一般的な仮栈橋の施工方法は、1スパンを構築し、そのスパン上にクレーンが移動し、次のスパンの杭の掘削（ダウンザホールハンマ）、鋼材の組み立てが行われ、これを繰り返しながら延伸するものである。施工におけるクレーンの規格と採用スパンについて、一般的には「幅員4.0m—50tクレーン架設—@6mスパン」となる。しかしながら計画道路の幅員は $w=9m$ であるため、より大きな規格のクレーンの配置が可能である。クレーンが大きくなればスパンを長くすることができ、杭掘削本数の削減による工期短縮が可能となる。杭工事は、ダウンザホールハンマ掘削前の掘削面のレベル出し、想定外の地質に対する設計変更・工程遅延など、現実的な手間やリスクが多いため、やはり杭本数を減らすことが優先と判断した。

### (2) 架設条件を考慮した構造・支間長の使い分け

#### 1) 標準仮橋 クレーン 120t — スパン14.0m 直線区間に適用

工事用道路の幅員は $W=9.0m$ であり、120tクローラクレーンが乗ることができる。120tクローラクレーンであれば、ダウンザホールハンマ装着時、桁仮設時の旋回半径から、スパン14.0mが可能となる。スパン14.0mは、H鋼では断面力的に不可能であるが、リース橋であれば対応可能である。標準スパンを、一般的なH鋼からリース桁14.0mに変更することで、施工速度は1.96倍短縮となった。ただし実際には桁の搬入・地組などの工程がプラスとはなるが、やはり杭本数を減らすことが優先と判断した。

#### 2) 標準仮栈橋 クレーン 90t — スパン8.0m 分岐部、屈曲部等に適用

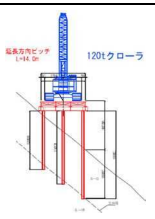
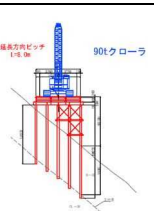
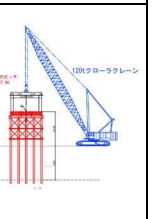
仮橋・仮栈橋は、渡河部や他工事のヤードへの分岐部で特殊な橋面形状としなければならない。また全区間を直線で計画できる訳ではないため、平面的

な屈曲部や縦断的な変化点では、折れ点加工が必要となる。リース桁は形状の加工ができないため、加工が必要な箇所ではH鋼の仮栈橋構造とした。H鋼の断面力から、スパン8.0mを標準とした。仮栈橋のスパンを、一般的な6.0mから8.0mに変更することで、工期は0.75倍に短縮できた。

### 3) 特殊仮橋 クレーン 120t — スパン22.0m 横架設可能な区間に適用

仮栈橋の起点部（最低部）は、仮橋施工箇所の側面に30m程度の施工ヤードが確保でき、ここにクレーンを配置することができた。このため一般的な縦架設施工とする必要はなく、横方向（側面）からの架設が可能であり、ダウンザホール施工時や桁架設のクレーンの旋回半径を小さくすることができた。この区間では標準仮橋で使用する120tクローラクレーンで架設可能なリース桁22.0mを使用する方針とし、やはり杭本数の削減に努めた。スパンを一般的なリース桁14.0mからリース桁22.0mに変更することで、工期は1.64倍短縮できた。

表-2 仮橋・仮栈橋構造一覧表

|      | 1) 標準仮橋                                                                             | 2) 標準仮栈橋                                                                             | 3) 特殊仮橋                                                                              |
|------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| 断面図  |  |  |  |
| 上部構造 | リース桁                                                                                | H鋼                                                                                   | リース桁                                                                                 |
| 下部構造 | 鋼管杭                                                                                 | H鋼                                                                                   | H鋼                                                                                   |
| スパン  | 14m                                                                                 | 8m                                                                                   | 22m                                                                                  |
| 使用重機 | 120tクローラ                                                                            | 90tクローラ                                                                              | 120tクローラ                                                                             |
| 架設方向 | 縦方向 ○                                                                               | 縦方向 ◎                                                                                | 横方向 ▲                                                                                |
| 線形条件 | 平縦直線 ○                                                                              | 屈曲可 ◎                                                                                | 平縦直線 ○                                                                               |
| 分岐対応 | 不可 ▲                                                                                | 可能 ◎                                                                                 | 不可 ▲                                                                                 |
| 施工速度 | 1.45m/日<br>69日/100m<br>(1.00) ○                                                     | 0.74m/日<br>135日/100m<br>(1.96) ▲                                                     | 2.40m/日<br>42日/100m<br>(0.61) ◎                                                      |
| 工事費  | 2,149千円/m<br>(1.00) ○                                                               | 2,129千円/m<br>(0.99) ○                                                                | 1,937千円/m<br>(0.90) ◎                                                                |
| 適用区間 | ◎標準構造<br>直線で採用                                                                      | 屈曲部、分岐<br>部で採用                                                                       | 横架設可能な<br>箇所採用                                                                       |

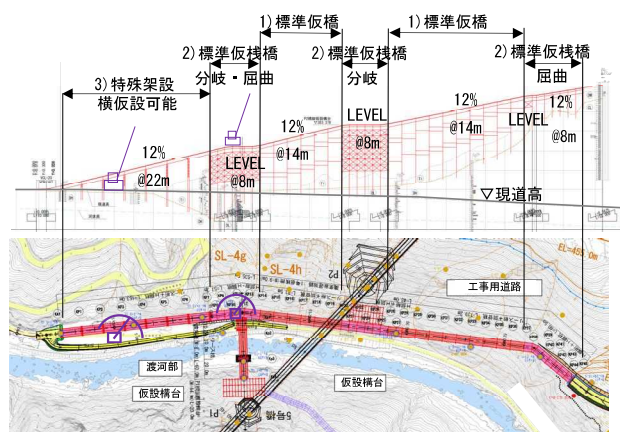


図-3 仮橋・仮栈橋の使い分け



### (3) 仮橋・仮栈橋構造を想定した線形計画の工夫

前述した通り、H鋼仮栈橋よりもリース桁仮橋の方が、工期短縮が可能となるため、極力リース桁を用いたい。一般的に道路の計画手順は、道路の線形を確定した後、構造設計を実施するため、構造設計時に線形変更ができない場合が多い。本工事用道路計画では、道路線形と道路構造を並行して検討しており、線形変更が可能な状況であった。このため極力リース桁が採用できるような線形に再調整を行った。

#### 1) 分岐部・屈曲部の最小化

リース桁は直線区間にしか適用できない。工事用道路の線形は、渡河部や本設渡河橋の下部工施工用の仮設構台への分岐部をコントロールし、極力屈曲部が少なくなるような線形計画とした。渡河部分岐部では、分岐部の位置に線形の屈曲位置を合わせ、特殊箇所の集約に努めた。分岐部・屈曲部では、縦断勾配を付けると橋面に歪みが生じるため、縦断勾配をレベル(0%)とせざるを得ない。分岐部・屈曲部を最小化は、レベル区間の最小化につながり、約100mの高低差をアクセスする工事用道路の延長の最短化が達成できている。

#### 2) 仮橋・仮栈橋構造を考慮した縦断計画

仮橋・仮栈橋構造の場合、縦断勾配の変化点において滑らかな縦断曲線は設けられない。縦断勾配は、最急勾配12%と屈曲部等での0%の組み合わせとなる中で、縦断勾配変化点には1支間分の6%区間を設け縦断曲線に代わる緩衝勾配区間を設けた。

#### 3) 支間割を想定した平面線形・縦断線形

標準支間はL=14m, 8m, 22mとなる。平面線形の直線区間、縦断線形の一定勾配区間の延長は、標準支間の整数倍として、線形決定後の仮橋・仮栈橋の支間割が線形と整合しやすくなるように配慮した。なお平面線形の屈曲部の異形部分の支間長が、H鋼仮栈橋の支間長8m以下になるように配慮した。

道路線形を確定した上で支間割計画を行うと、延長調整用の調整支間が生じるなど、コストや施工期間の「ロス」が生じる。一方、本設計では、仮橋・仮栈橋の支間長を整理した上で、道路の線形計画を実施しており、仮橋・仮栈橋計画上の「ロス」を最小限に留めることができている。

## 5. まとめ

### (1) 共有工事用道路による事業全体の効率化

一般的な設計業務は、ダム、道路、橋梁、トンネルなどの設計が別業務で実施されるため、個々に工事用道路が計画され、非効率な仮設計画になりかねない。各種の工事が輻輳する箇所においては、広い視野で仮設計画を実施し、事業全体の効率化に努めることが重要である。

### (2) 現地条件に合う対象車両・設計条件の設定

対象車両・設計条件については、ダム本体施工計画における資材運搬能力だけでなく、道路設計における道路規模の現地整合性などを総合的に勘案し、最適な設計車両を選定する必要がある。

### (3) 仮設道路として最適な道路構造の選定

計画箇所は将来ダム湖内となる。工事用道路を盛土で計画した場合、ダム完成後に水位変動による残留水圧が発生し、すべり崩壊が生じかねない。仮に残留水圧対応の構造とした場合、工事用道路を永久構造物として整備することになり、コスト面が問題となる。このような背景もあり、工事用道路はリース材料の仮橋・仮栈橋構造を採用した。また仮橋・仮栈橋の構造は、架設条件や施工速度などを考慮し、支間長L=14m, L=8m, L=22mの3タイプを、線形条件や架設条件毎に使い分ける計画とし、工期短縮を図った。

仮設道路の構造に対して、残地に対するリスク、仮設道路整備期間の短縮など、「仮設」という位置付けにあった設計とすることが重要である。

### (4) 線形計画と構造設計のリンク

道路の線形計画を実施した後に、仮橋・仮栈橋の計画を実施すると、平面曲線部での過大な橋面形状や、延長調整の支間などが生じかねない。標準支間割を設定した上で、支間割に合う線形計画を行うことで、線形計画から構造設計にスムーズに移行ができる。一般的な橋梁やトンネルに対する線形計画においても、構造をイメージしてから線形計画を行うことで、構造設計への移行が円滑になる。

**謝辞：**発注者ならびにダム設計業社、本設渡河橋設計業社など、本業務に関連した方々に感謝します。

工事用道路の共有化は、当社からの提案ではなく、発注者による共有化・合理化のアイデアを具体化したものです。また対象車両の選定におけるダム工事のサイクルタイムの試算はダム設計業社によるものであり、本設渡河橋下部工仮設構台への接続調整では橋梁設計業社に多大な協力をいただきました。発注者と関連設計業社との連携のもと、達成できた成果であり、感謝の意を申し上げます。

# 道路事業による希少植物ミゾシダモドキの 保全対策

お だ けんいち なかむらたつひろ かみむらこうじ なかの あきお  
○小田健一・中村達博・上村晃司・中野晃生

(株) 建設環境研究所 (〒460-0003 名古屋市中区錦3-20-27)

国道42号熊野尾鷲道路（II期）の事業計画地周辺においては、地域固有の希少植物が数多く生育しており、特に事業影響が想定されたミゾシダモドキの保全対策を、有識者の助言を受けながら進めてきた。

保全対策として、複数箇所への移植（リスク分散）、標本化による記録保存等、さまざまな対策の実践を事業進捗と並行して行ってきた。また生育環境が劣る箇所での再移植、環境改善といった追加対策とモニタリングによる順応的管理と評価により、当該地域ではミゾシダモドキの個体数を大幅に減少させることなく、地域個体群の存続を図ることができた。

**Key Words** : 道路事業, ミゾシダモドキ, 保全対策, 順応的管理

## 1. はじめに

熊野尾鷲道路（II期）（尾鷲北インターチェンジ～尾鷲南インターチェンジ 延長5.4km）は、既に開通している紀勢自動車道と熊野尾鷲道路をつなぐ自動車専用道路であり、市街地と津波浸水区域を避けるルートとなっている。平成24年度に事業化され、平成26年度より工事着手し、令和3年8月29日に開通した。（図-1）



図-1 熊野尾鷲道路（II期）位置図

## 2. ミゾシダモドキとは

当該事業を実施している三重県尾鷲市は、高温多湿の環境で、特に植物では地域固有の希少なシダ植物が多数生育している。その中でも、今回の保全対象であるミゾシダモドキは特殊な環境に生育し、事業による影響が懸念されたことから、その保全対策について紹介するものである。

ミゾシダモドキ（ヒメシダ科：学名 *Thelypteris leveillei*）は、山地の溪流沿いの陰湿な林下で水のしたたり落ちるような岩上に、ややまれに生じる常緑性のシダ植物である。葉柄は基部がわずかに太く、長さ20～40cm、葉身は長楕円状披針形で長さ30～60cmになる。よく似ているミゾシダとの違いとして、葉脈はすべて遊離し、羽片基部に通気孔があること、孢子嚢群の形状が点状であることなどが挙げられる。国内では千葉県以西の本州南部、四国、九州の山地に分布し、三重県内では中勢、南勢、紀州に分布するが、既知の生育地点数は10地点以下である。三重県レッドデータブック（2015）では絶滅危惧II類（VU）に選定されている。熊野尾鷲道路（II期）の事業実施区域周辺では、溪流である中川、小日向谷川沿いの、まさに「水の滴り落ちる」岩に生育しているのが確認された（図-2、図-3）。



図-2 ミゾシダモドキ



図-3 ミゾシダモドキの生育環境

### 3. 環境調査の実施

事業を進めるに当たり、尾鷲ではミゾシダモドキやリュウビンタイといった希少シダ植物の文献記録があったことから、事業化決定後に動植物の有識者から構成される検討委員会に意見を求めた。その結果、生育の可能性が高いことから、生育環境及び生育個体の把握調査をするようにとの意見を得た。

このような背景の下、平成24年度から生育情報取得のための環境調査を開始し、泉第2トンネルと尾鷲高峰山トンネルに挟まれた中川、小日向谷川の渓谷沿いで、ミゾシダモドキを含む7種の希少シダ植物を確認した。平成25年度は、図-4に示す7箇所の地点で、工事着手前のシダ植物生育種や生育環境について、詳細な調査を実施している。調査内容として、単なる確認種のリストアップだけではなく、保全対策の検討が必要なターゲット種（ミゾシダモドキ、リュウビンタイ）を選定、その株数や出現状況、群落としての階層構造や優占種、立地環境（標高・地形）、被度、生育環境（風当り・日当り・土湿等）の状況も記録することで、その後の保全対策検討に資する基礎情報を取得した。なお貴重種保護の観点から、詳細な確認地点は割愛する。



図-4 シダ類調査位置図

### 4. ミゾシダモドキの確認と保全対策検討

本格的調査を進める中で、平成24年度にミゾシダモドキ等7種の希少シダ植物の生育が確認され、特にミゾシダモドキは橋梁工事が及ぼす生育環境への影響（周辺伐採等による日照の変化や乾燥化）が懸念されたことから、有識者により構成される検討委員会で諮問いただき、特に植物の専門家である検討会委員より、現地指導もいただきながら保全対策の検討と実践を進めていくこととなった（表-1）。

道路事業において一般的な植物の保全対策（環境保全措置）である「移植」を、ミゾシダモドキにおいても検討、実施したが、本種の生育環境が特殊（湿った崖等に生育）ですべての個体を採取するのが困難であったことから、一部の個体は残置し生育環境をモニタリングすることも並行して実施した。また移植リスク（不確実性）も踏まえ、移植時期をずらして複数箇所に移植することも行った。さらに、生育個体の記録保存という観点から、採取個体の一部を標本化し、三重県立総合博物館へ寄贈することとした。なお、「標本作製による個体保存」はあくまでも記録保存としての意味合いで実施するものであり、移植等の「環境保全措置」の代替案として実践するものではないこと、移植や「事業による改変面積の最小化」といった、事業影響を回避・低減する行為は継続的に検討・実践していく必要があることを強調しておく。



表-1 ミゾシダモドキの確認と保全対策

| 年度       | 事業進捗                 | 小原野地区 計画路線周辺                                      |
|----------|----------------------|---------------------------------------------------|
| H23      | 事業化前                 | —                                                 |
| H24      | 事業化                  | ■貴重植物の確認調査                                        |
|          | 測量、地質調査              | ・ミゾシダモドキ等7種の貴重植物を確認                               |
| H25      | 測量、地質調査              | ■シダ類生育状況のモニタリング調査                                 |
|          |                      | ・7地点で工事前の基礎データを取得                                 |
| H26      | 用地買収・設計              | ■シダ類生育状況のモニタリング調査継続                               |
|          | 進入路橋工事着工             | ・ミゾシダモドキの移植13株、移植当年モニタリングを実施                      |
|          |                      | ・ミゾシダモドキ2株を標本化                                    |
| H27      | 進入路橋工事実施             | ■シダ類生育状況のモニタリング調査継続                               |
|          |                      | ・ミゾシダモドキの追加移植、移植株の1年目モニタリングを実施                    |
|          |                      | ・ミゾシダモドキ移植元の残存個体（移植不可能とした2株）のモニタリング継続、保全対策検討      |
| H28      | ・小原野橋周辺の樹林伐採         | ■シダ類生育状況のモニタリング調査継続（移植2年目）                        |
|          | ・小日向谷川橋 仮設道路橋周辺の樹林伐採 | ・ミゾシダモドキ移植元の環境改善（導水、根茎保護）                         |
| H29      | 橋梁工事                 | ■シダ類生育状況のモニタリング調査継続（移植3年目）                        |
|          |                      | ・ミゾシダモドキ移植元の残存個体（移植不可能とした2株）のモニタリング継続、環境改善（遮光シート） |
| H30      | 橋梁工事                 | ■シダ類生育状況のモニタリング調査継続（移植4年目）                        |
| H31 (R1) | 橋梁工事                 | ■シダ類生育状況のモニタリング調査継続（移植5年目）                        |
| R2       | 橋梁工事                 | ■シダ類生育状況のモニタリング調査終了（移植6年目）                        |
| R3       | 8/29開通               | —                                                 |

## 5. 生育環境改善と順応的管理

ミゾシダモドキの移植は平成26年度及び平成27年度に実施し、自生株が生育する隣接箇所に移植した地点での生育は良好であった。一方で、移植元である生育地点では、岩の隙間に生育し採取が困難であったため残置された個体が存在し、橋梁工事に伴う環境変化（乾燥化、周辺伐採による日当たりの変化）が懸念された。そこで、有識者の助言を受けながら、生育環境の改善に取り組んだ。一つは乾燥化への対応で、石の割れ目を利用して生育個体の近傍まで導水することで水の供給が途切れないよう改善を図った。また個体そのものの乾燥化を防ぐため、株の根元を保水性の高い「ミズゴケ」で覆い保護した（図-5）。

このような環境改善の実施後、モニタリングを継続したものの、残存個体の生育状況や生育環境は決して良好に保たれているとは言い難い状況であった。この状況を踏まえ、日当たりの変化（周辺伐採により直射日光が当たりやすくなる）に対する更なる環境改善として、個体の上部に遮光シートを被せることで日陰を創出し、本来の生育環境に近い空間とした（図-6）。

このような「環境改善とモニタリング」→「有識者へのヒアリング、委員会での助言」→「追加対策とモニタリング」を繰り返す「順応的管理」により、移植個体からの生育数は漸減したものの、環境改善を行った地点では、残置した2個体の生育に加え、新たに出芽したと考えられる2株、計4株の生育を確認することができた。またこれらの個体では、胞子の形成も確認され、再生産が行われていることも確認できた。



図-5 ミゾシダモドキの生育環境改善（導水、株の根元の保護）

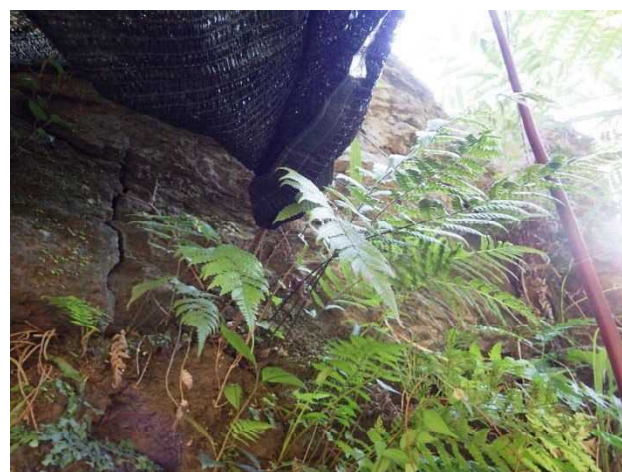


図-6 ミゾシダモドキの生育環境改善（遮光シート）

## 6. 今後の展開

今回の取り組みは有識者の助言を受けながら、希少植物ミゾシダモドキの個体、および生育環境を保全しながら遅滞なく事業を推進した事例として、重要な位置づけになるものと考えます。またこれらと同様に、調査手法や環境整備についても、助言を受けながら改善を繰り返し、よりよい成果を得ていく「順応的管理」として、他の道路事業においても展開できるものと考えます。

**謝辞：**本内容は国土交通省中部地方整備局紀勢国道事務所より受注した業務成果に基づくものであり、関係者の皆様には厚く御礼申し上げます。

### 参考文献

- 1) 三重県農林水産部みどり共生推進課：三重県レッドデータブック2015～三重県の絶滅のおそれのある野生生物～。三重県、2015



# 点検支援モニタリング技術の実橋における活用報告

湯川圭悟<sup>1</sup>・竹内克幸<sup>1</sup>・安藤弘章<sup>1</sup>・松原吉男<sup>1</sup>

<sup>1</sup>日本工営（株）名古屋支店（〒460-0006 愛知県名古屋市中区葵1-20-22）

新富士川橋富士市上りは、建設後50年を経過した橋長760.75mの橋梁である。本業務は、本橋に過去に発生した亀裂に着目し、疲労損傷に影響する上部工や支承の挙動を計測するための手段として、3種類の点検支援モニタリング技術を活用したものである。点検支援モニタリング技術は、国土交通省が各種の点検支援技術の性能値をとりまとめて策定・公表している「点検支援技術性能カタログ(案)」<sup>1)</sup>より選択した。

**Key Words**：点検支援モニタリング技術，光学振動解析技術，橋守疲労センサー  
静的載荷試験，動的載荷試験

## 1. 業務の経緯及び目的

新富士川橋富士市上り（以下「新富士川橋」という）は、静岡県富士市に昭和46年に建設され、現在まで50年を経過している橋梁で、国道1号が一級河川富士川を渡河する位置に架かる橋長760.75mの橋梁である。国道1号は東京から名古屋、大阪を結ぶ交通の大動脈であり、架橋地は24hr交通量が4万台超、大型車混入率が25%と、橋梁にとっては疲労の影響を受けやすい環境にある。本橋は、鋼3径間連続非合成箱桁橋が4連からなり、横断面は幅4mの1室箱桁と鋼ブラケットで支持された両側張出し床版で構成される（図-1）。平成22年度の定期点検において、箱桁内部の鋼部材に多数の亀裂が確認され、その後、当て板補強を主体とする補修工事が実施されている。

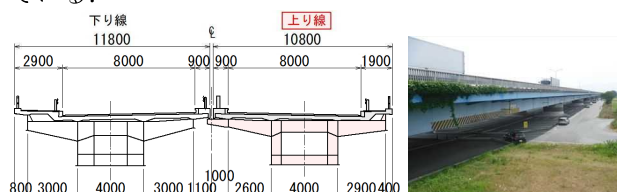


図-1 上部工断面図(左)と全景(右)

一方、道路橋定期点検要領では、監視は措置の一つとして位置づけられており、監視のためには各種の定期又は常時のモニタリング技術なども、必要に応じて検討すると良いことが明記されている。このため国土交通省は、民間企業等が開発した各種の点検支援技術について、その特徴や能力を点検者が容易に確認・比較できるように、各技術の性能値をとり

まとめた「点検支援技術性能カタログ(案)」(以下、「性能カタログ」という)を策定・公表している。

本業務は、新富士川橋で過去に発生した亀裂に着目し、疲労損傷に影響する上部工や支承の挙動を計測するための手段として、3種類の点検支援モニタリング技術を活用したものである。

## 2. 点検支援モニタリング技術の概要

性能カタログより採用した3種類の技術（表-1）について、各技術の概要を以下に記述する。

表-1 本業務で採用したモニタリング技術

|     |          |                                                |                                             |
|-----|----------|------------------------------------------------|---------------------------------------------|
| 技術① | 技術名      | 光学振動解析技術<br>(動画像による橋梁の活荷重たわみ・横揺れ・ひびわれ開閉量の計測技術) |                                             |
|     | 本稿における略称 | 光学振動解析技術(たわみ)                                  |                                             |
|     | 技術番号     | BR030009-V0020                                 | 開発者<br>日本電気株式会社                             |
| 技術② | 技術名      | 光学振動解析技術<br>(動画像による支承の変位量・回転量の計測技術)            |                                             |
|     | 本稿における略称 | 光学振動解析技術(支承)                                   |                                             |
|     | 技術番号     | BR030003-V0020                                 | 開発者<br>(株)川金コアテック<br>日本電気株式会社               |
| 技術③ | 技術名      | 橋守疲労センサーによる<br>橋梁の疲労損傷度モニタリング技術                |                                             |
|     | 本稿における略称 | 橋守疲労センサー                                       |                                             |
|     | 技術番号     | BR030007-V0020                                 | 開発者<br>特定非営利活動法人<br>橋守支援センター<br>(関西大学 坂野教授) |



## (1) 光学振動解析技術の概要

本技術は、動画をを用いた遠隔・非接触の変位計測手法であり、車両通過時や温度変化により桁・床版に発生するたわみや横揺れ、支承の移動量や回転量を3次元的に計測するものである。特徴として、単眼カメラで動画を撮影するだけで、マーキングなしでも任意の表面の3次元変位を計測できる点、任意の方向から撮影できるため障害物等による撮影位置の制約を受けにくい点、運搬や設置が容易である点が挙げられる。

動画撮影は、カメラ・レンズ・三脚・USBケーブル・制御用PCからなる計測システムを用いて行う(図-2,3)。画面内の各点の動きを周囲の画素配列情報を利用して追跡することで、計測対象表面の動きベクトル分布を算出し、面内方向・カメラの光軸方向の各方向にどの程度動いているかを解析して、計測対象面全体の3次元方向の変位を算出する。



図-2 桁下面の動画撮影状況



図-3 支承の動画撮影状況

## (2) 橋守疲労センサーの概要

橋守疲労センサーは、予め中央に亀裂を入れた矩形のステンレス薄板である。センサーをモニタリング部材に貼付すると、部材の応力履歴すなわち応力範囲と頻度に応じてセンサーの亀裂が進展する。その進展量は部材の応力履歴と比例関係になり、亀裂の進展量から疲労損傷度を求めることで、疲労亀裂発生可能性のモニターが可能となる。

センサーで直接モニターできるのは、作用応力が公称応力と見なせる主要部材である。新富士川橋の亀裂発生箇所(着目箇所)はダイヤフラム補剛材の溶接部であり、局部的な応力集中を受ける部位のためセンサーで直接モニターできない。そこで今回の計測では、センサーは近傍の下フランジに貼付し、着目箇所と下フランジの応力測定結果(ひずみゲージで測定)の比率によりキャリブレーション係数を導くことで、着目箇所の疲労損傷度を間接的にモニターする計画とした(図-4)。

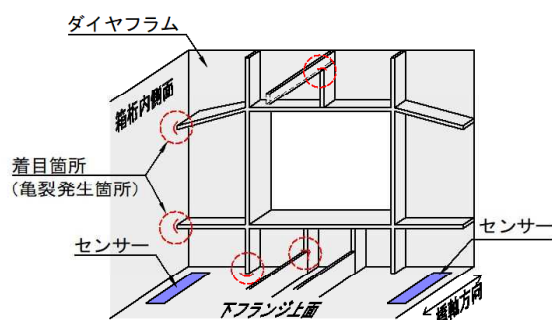


図-4 着目箇所とセンサー貼付位置

## 3. 計測計画の立案

### (1) 計測箇所と計測項目

本橋は3径間連続橋が4連から構成されるが、計測対象として、過去の亀裂発生箇所が少ない第1連(A1-P3)と亀裂発生箇所が多い第2連(P3-P6)を選定した(図-5)。「光学振動解析技術(たわみ)」では、曲げモーメントの大きい支間中央の主桁下面の動画を撮影し、鉛直方向変位(たわみ)と橋軸方向・橋軸直角方向の変位を測定する。「光学振動解析技術(支承)」では、可動支承(ピンローラー支承)の動画を撮影し、支承の回転角と橋軸方向・橋軸直角方向・鉛直方向の変位を測定する。「橋守疲労センサー」では、支間中央に近く、且つ、過去に亀裂が確認された2箇所を選定し、箱桁内部に疲労センサーとひずみゲージを設置して、主桁の応力履歴を測定する。

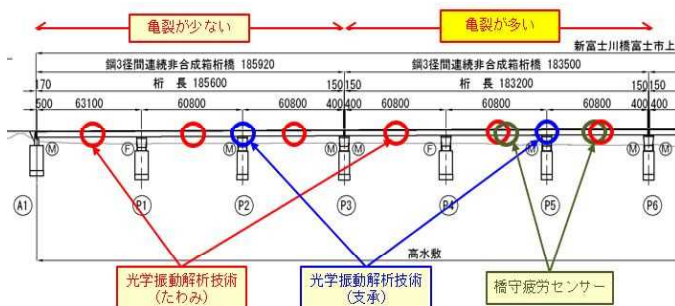


図-5 各技術の計測箇所

### (2) 荷重載荷試験

各技術の計測にあたっては、既知の荷重(作用)と計測結果(応答)との関連付けを評価する目的として、試験車による荷重載荷試験(静的載荷試験、動的載荷試験)を採用した(表-2)。静的載荷試験における試験車の橋軸方向の荷荷位置は、主桁の変形量が最も大きくなる支間中央部と、支点反力が大きくなる支点上とした。

表-2 荷重載荷試験の概要

| 項目     | 内容                   |
|--------|----------------------|
| 試験車両重量 | 静的載荷 W=18.7t (183kN) |
|        | 動的載荷 W=17.5t (172kN) |
| 走行位置   | 主桁中心線上               |
| 載荷位置   | 静的載荷 支間中央部および中間支点上   |
| 走行速度   | 動的載荷 V=30km/h        |
| 計測回数   | 7回/日×2夜間             |

### (3) 交通規制計画

荷重載荷試験を行うためには、一般車両の通行を規制する必要があるが、国道1号の車両通行止めは地域住民や物流に対する影響が多大である。そこで、先頭固定車による低速走行規制（図-6）を採用し、橋面上に一般車両が通過しない時間帯（約15分）を確保し、これを2夜間に繰り返し行う計画とした。これにより、交通規制に伴う社会的損失を最小限とすることができた。



図-6 先頭固定車による低速走行規制の状況

## 4. 各技術の計測結果

### (1) 光学振動解析技術（たわみ）の計測結果

本技術では主桁下面の3次元方向の変位量を計測し、得られた数値データは時系列波形（図-7）および静的載荷位置ごとの変位量推移をグラフ化して整理した（図-8）。今回の計測結果より、本技術で1mm未満の微小な変位量を捕捉できること、車両載荷位置と理論上で整合した経時的変位を捕捉できることが確認された。

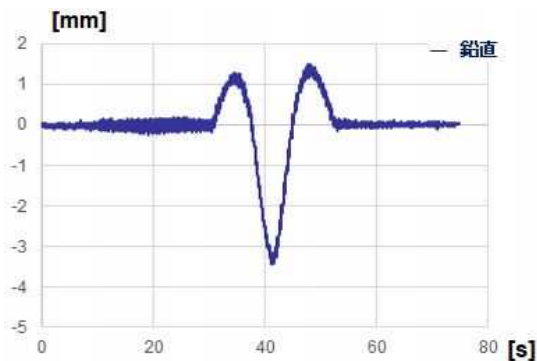


図-7 時系列波形（一例）

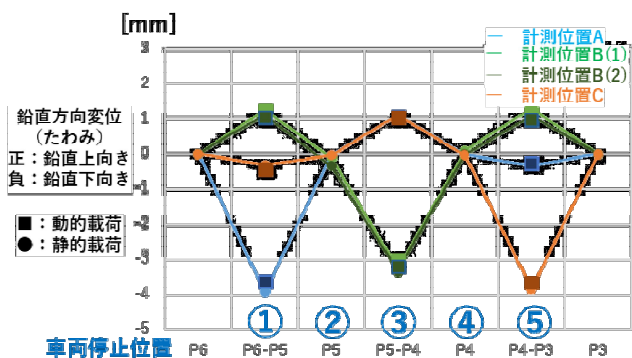


図-8 載荷位置ごとの変位量推移（一例）

具体的に得られた結果や傾向は次のとおりである。

①計測径間の直上に試験車が載荷された時に、変位量が最大値を示した。②試験車の隣接径間走行時は、計測径間で鉛直上向きの変位が確認された。③3径間の中央径間は、側径間と比べて変位量が小さい傾向にあった。④静的載荷試験の変位量は、動的載荷試験に比べて約7%大きい結果を示したが、試験車の荷重比率とほぼ一致した。

### (2) 光学振動解析技術（支承）の計測結果

本技術では、ピンローラー支承の橋軸方向回転角および3次元方向の変位量を計測し、得られた数値データは、時系列波形（図-9）および静的載荷試験値と動的載荷試験ピーク値比較をグラフ化して整理した（図-10）。今回の計測結果より、本技術で微小な回転角・変位量を捕捉できること、車両載荷位置と理論上で整合した経時的変位を捕捉できることが確認された。

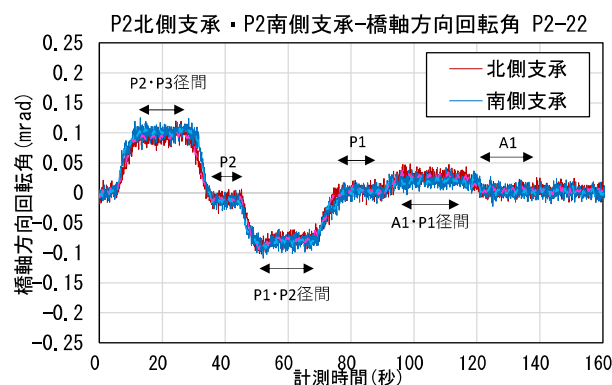


図-9 回転角の時系列波形（一例）

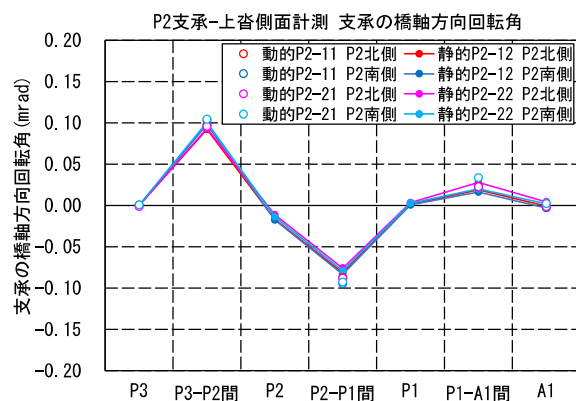


図-10 静的載荷試験値と動的載荷試験ピーク値（一例）

具体的に得られた結果や傾向は次のとおりである。  
①橋軸方向移動量は、上沓と下沓の経時変化にギャップが見られないことから、水平変位の追従性が機能しているものと推察される。②橋軸方向回転角は、計測箇所の隣接径間載荷時に正負ピーク値を計測し、支点上載荷時は0値近傍を示した。③橋軸方向移動量は、3径間の中央径間載荷時に終点方向へのピーク値を示し、側径間載荷時に起点方向へのピーク値を示した。④静的載荷試験の応答値と、動的載荷試験の応答値はほぼ一致した。

### (3) 橋守疲労センサーの計測結果

まず、センサー亀裂の進展についてであるが、センサー設置の約1ヶ月後に目視確認を行った結果、亀裂に進展は見られなかった（図-11）。

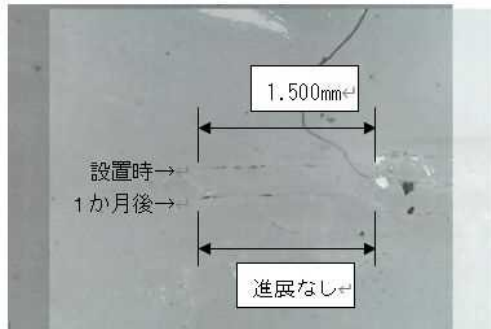


図-11 センサーの亀裂状況（一例）

次に、着目箇所のキャリブレーション測定についてであるが、応力測定は荷重載荷試験と実交通下で行った。図-12は、実交通下でひずみゲージにより計測した応力測定結果を、応力範囲ごとに頻度分布させたグラフであり、着目箇所（亀裂発生箇所）と下フランジ（センサー貼付箇所）の応力範囲には相違が見られる。一方、図-13は、両箇所の同時刻における応力測定値の相関図であり、縦軸に着目箇所の疲労損傷度を、横軸に下フランジの疲労損傷度を示している（ここで疲労損傷度は $\Sigma \sigma^3 \cdot n$ ）。これらのグラフより、両箇所の発生応力には、応答値に差があるものの相関関係があることが確認できた。

着目箇所のキャリブレーション係数は、両箇所の疲労損傷度の比率で示されることとなり、センサーの検知した疲労損傷度にキャリブレーション係数を乗じることで、着目箇所の疲労損傷度を求めることが可能となる。

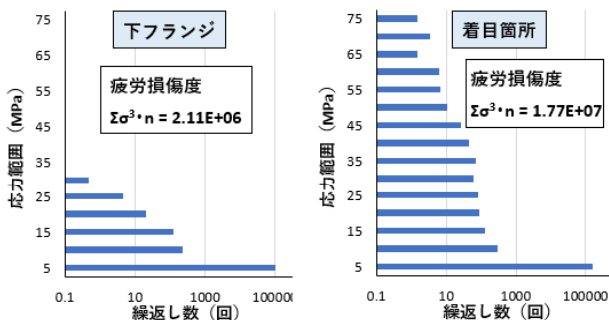


図-12 応力範囲頻度分布図（一例）

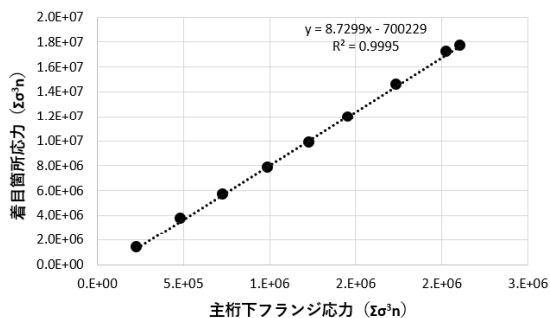


図-13 疲労損傷度の相関図（一例）

### 5. 実橋における技術の活用結果

本業務では、3種類の点検支援モニタリング技術について、新富士川橋を対象に荷重載荷試験を実施し計測データを解析することで、実橋において上部工や支承の挙動を把握できることを確認した。

光学振動解析技術では、構造物の微小な変位を動画画像で捕捉できることが確認された。本業務での計測は1回のみであったが、次年度以降も継続的に計測していくことで、今回の計測値を初期値として、上部構造の挙動をモニタリングしていくことが可能となる。

橋守疲労センサーでは、モニタリング期間が1ヶ月と短かったこともあり、センサー亀裂の進展は確認されなかったが、下フランジに設置したセンサーを継続的にモニタリングすることで、今後も着目箇所の疲労損傷度を観察することが可能となるようにキャリブレーション係数を算定した。初回計測時はセンサー設置や応力測定等の相応の現場作業が必要となるが、今後のモニタリング作業では、現場ではセンサーの亀裂確認作業のみを行えば良いので、作業負担が大幅に軽減される。

今回の計測対象は、過去の亀裂発生箇所の多寡に着目し第1連と第2連を選定したが、両者の計測値に明確な差は見られなかった。これは、両者の径間割がほぼ同一であることに加え、過去に発生した亀裂が溶接部の軽微なもので既に補修済みであることが要因であり、現状で上部構造の健全性が懸念される状態にないことの証明と言える。

### 6. おわりに

現在、構造物の点検方法は近接目視が基本となっているが、現場の負担を軽減していくには、点検作業の効率化、低廉化を図ることが必要であり、また、点検結果の信頼性の向上、点検技術者不足も課題と言える。これらの課題への対応策の一つとして新技術の利用が挙げられ、今回活用したモニタリング技術について、現場での変化を確認するためにデータを積み上げて適用性を確認していくことが必要である。最後に、この報告が今後の構造物点検、調査等への新技術導入の参考となれば幸いである。

**謝辞：**本内容は国土交通省静岡国道事務所より受託した業務成果に基づくものです。この場を借りて深くお礼申し上げます。また、実橋計測において多大なご指導を頂きました技術開発者の皆様方にも、心より感謝申し上げます。なお、本業務成果は、点検支援モニタリング技術の実橋への活用を目的としたものであり、直ちに国土交通省としての見解を示すものではありません。

### 参考文献

- 1) 国土交通省：点検支援技術性能カタログ(案)，令和2年6月



# CIM技術を活用した 維持管理計画と橋梁設計への反映

○伊藤諒祐<sup>1</sup>・林克弘<sup>1</sup>・増田貴充<sup>1</sup>・竹田文哉<sup>1</sup>

<sup>1</sup> (株) オリエンタルコンサルタンツ中部支社 (〒450-0003 名古屋市中村区名駅南二丁目14-19)

一連の建設生産システムとその維持管理の効率化や高度化を目的とし、入口となる設計実務でのCIM技術の活用が強く望まれている。この背景を受け、国道156号岐阜東BPの岩田高架橋の橋梁詳細業務においてCIMを活用し、3次元イメージ資料を用いて維持管理計画を実施した。CIM技術の活用により、本業務では発注者の理解促進を図り、円滑な業務遂行と短期間での合意形成を実現した。

**Key Words** : 維持管理計画, CIM, 業務円滑化, 合意形成

## 1. はじめに

本業務は、岐阜県岐阜市の北東部に位置する国道156号岐阜東BPの岩田高架橋橋梁詳細設計を実施したものである。発注者は、国土交通省中部地方整備局岐阜国道事務所 計画課となる。本橋は鋼少数鉸桁橋を採用しており、H29の道路橋示方書（以下、H29道示）の構造細目に対し、CIMを活用した構造計画と維持管理計画を実施し、詳細設計へ反映させた。本稿においてはCIMを活用した構造計画と維持管理計画の内容と効果について報告する。

## 2. 設計概要

本橋の橋梁諸元を表-1に、上部工断面図を図-2に、橋梁一般図を図-3に示す。

表-1 橋梁諸元

|       |                        |
|-------|------------------------|
| 橋梁形式  | 鋼3+5径間連続少数主桁橋          |
| 橋長    | 346.5m (118.0m+228.5m) |
| 道路規格  | 第3種第1級                 |
| 重要度区分 | B種の橋                   |
| 適応基準  | 道路橋示方書・同解説 平成29年11月    |



図-1 位置図

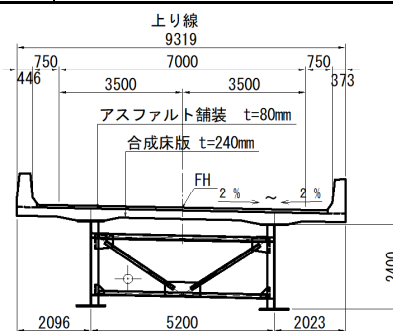


図-2 上部工断面図

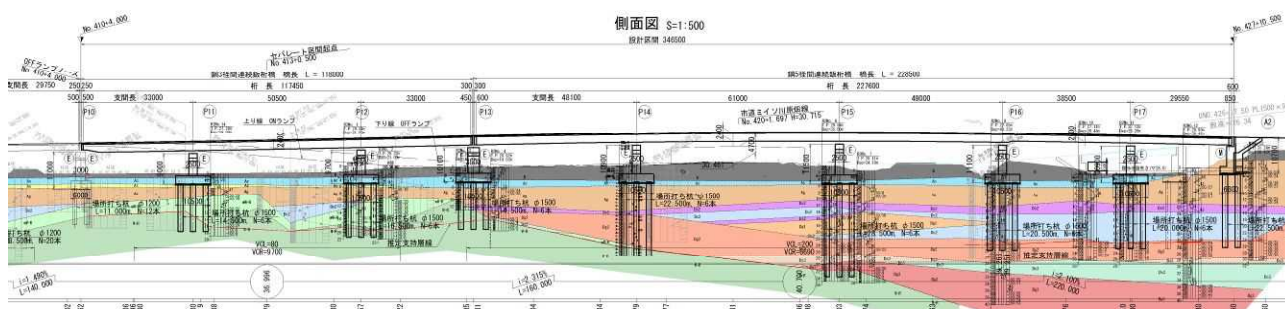


図-3 橋梁一般図

### 3. 橋梁の特徴

#### (1) これまでと異なる構造細目の採用

これまで採用していた鋼少数鉸桁橋では、構造の簡素化等を目的として対傾構および横構を省略した合理化構造形式であったが、H29道示では対傾構および横構を省略した構造とする場合、以下に示す①～④について技術的な検証を行い、安全性の確認を行う必要があるとされている<sup>1)</sup>。

- ①橋の立体的機能の確保
- ②座屈に対する安全性の確保
- ③床版の安全性および耐久性の確保
- ④施工品質の確保

しかし、設計時点では、上記①～④を技術検証した鋼少数鉸桁橋のH29道示が求める要求性能を満足させた設計基準がなく、詳細設計を事業期間で進めることが困難な状況にあった。そのため、床版には高耐久性床版（鋼コンクリート合成床版）を採用し床版支間の増大を図り合理化鋼少数鉸桁と同様の2主桁構造としたうえ、橋の立体的な性能の確保の課題を解決するために、対傾構および上下に横構を設けた従来鉸桁橋の構造細目を採用した。また、合理化形式と従来形式について構造的、維持管理性、施工性、経済性、不測の事態の対応追随性などの比較検討も実施し総合的に優れていることを確認した。

従来の少数主桁橋を図-4に、今回採用した少数主桁橋を図-5に示す。

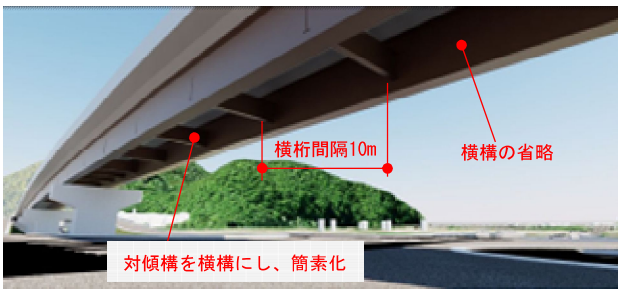


図-4 従来の少数主桁橋

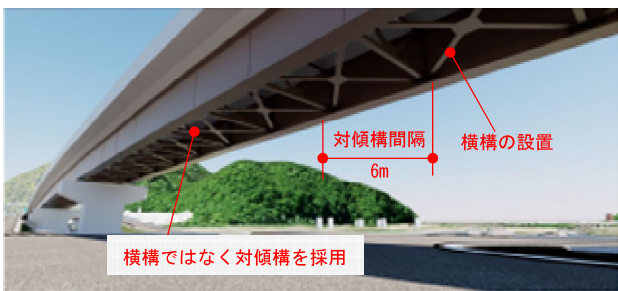


図-5 今回採用した少数主桁橋

#### (2) 既設ランプと交差点に挟まれた狭隘空間

本橋の完成イメージを図-6に示す。岩田高架橋は既設ランプ橋や交差点に挟まれた狭隘な空間での施工となるため、CIMにより3次元イメージ鳥瞰を作成し発注者と施工や維持管理に十分留意する必要があることを共有した。

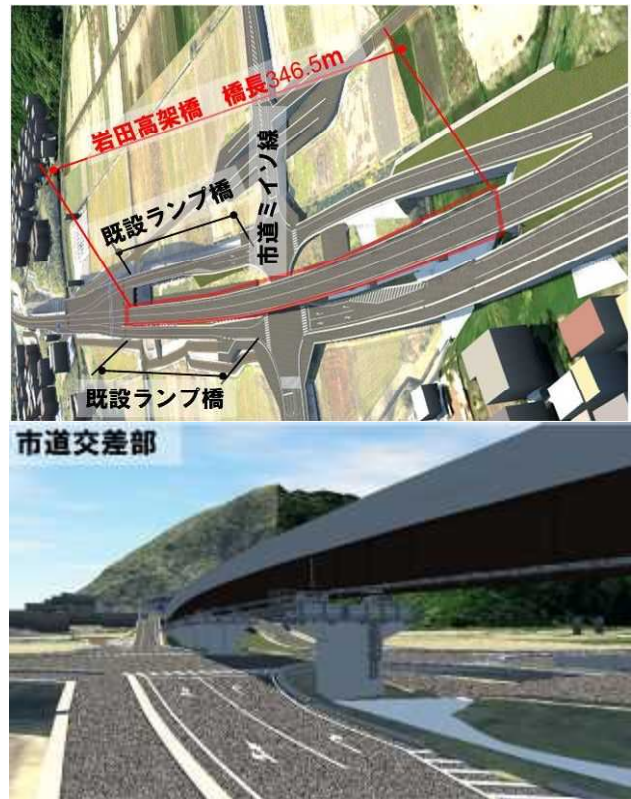


図-6 完成イメージ

### 4. 本橋における課題

本橋はこれまでと異なる合理化鋼少数鉸桁橋の構造細目としたことから、以下の課題について検討を行う必要があった。

- ①部材の取合い、維持管理上の不具合
- ②狭隘空間での適切な維持管理計画

#### (1) 部材の取合い、維持管理上の不具合

これまで採用していた合理化鋼少数鉸桁橋と構造細目が異なるため、構造部材と検査路および排水等の附属物の取合いや、点検経路について不具合がないか3次的に検証する必要があった。

#### (2) 狭隘空間での適切な維持管理計画

本橋は既設ランプに挟まれた狭隘な空間のため、維持管理のための橋下への高所作業車の進入やブームの作業半径など維持管理に対して不具合がないか検証する必要があった。



## 5. CIMによる検証

### (1) 構造部材と付属物の干渉、点検方法の検証

構造部材と検査路や排水等の付属物をスケルトンモデルとしてモデル化し可視化することで、部材の干渉の有無を確認することができた。また、ウォークスルー動画を作成することで、点検経路について不具合がないか確認することができた。

作成したスケルトンモデルを図-7にウォークスルー動画の一部を図-8に示す。

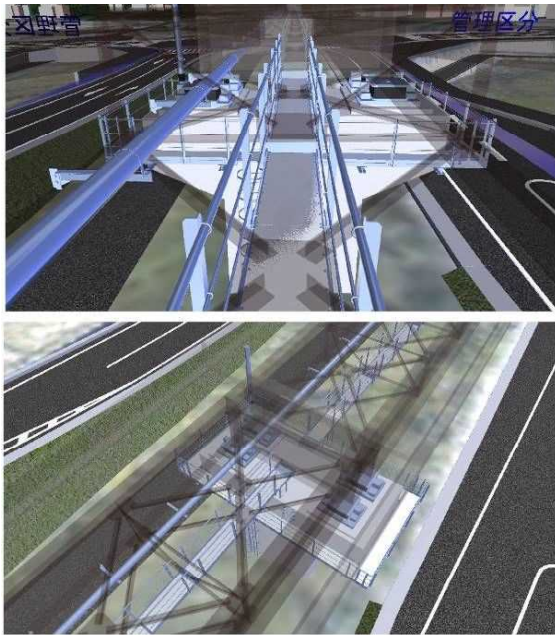


図-7 スケルトンモデル

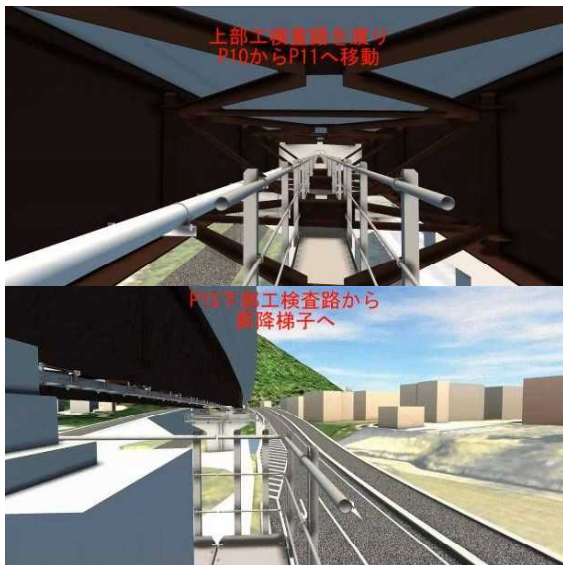


図-8 ウォークスルー動画の一部

### (2) 狭隘空間での適切な維持管理計画

岩田高架橋はランプに挟まれており、側道からの点検が困難であるため、橋下に高所作業車が行きつけるように維持管理用道路を整備することを提案した。また、高所作業車の進入の可否やブームの作業

半径が適切かどうかを3次的に表現し、維持管理上不具合がないか確認することができた。さらに、維持管理者及び点検者に対して、橋の構造や点検通路計画を分かりやすく引き継ぐためCIMから吐出した動画を作成し提供した。

維持管理用道路を図-9に、高所作業車による点検の様相を図-10に示す。

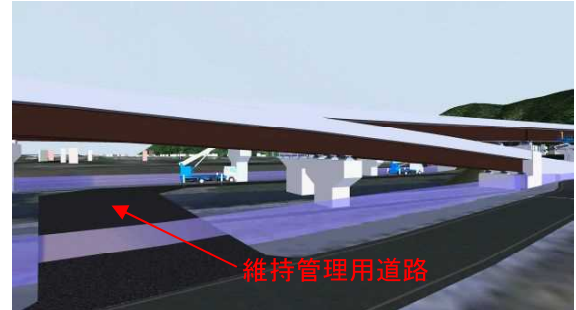


図-9 維持管理用道路

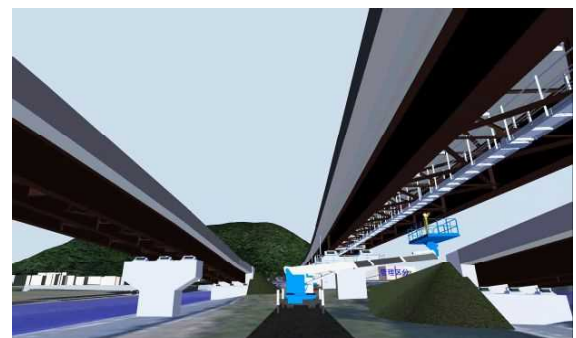


図-10 高所作業車による点検の様相

## 6. まとめ

3次元モデルを活用した受発注者間および関係機関との協議では、相互の円滑な意思疎通を可能とし、短時間での合意形成を実現した。可視化することにより、これまでと異なる構造細目を採用することに対する発注者の理解促進を図り、円滑に業務を遂行することを可能とし、遅延することなく工期内で業務を完了した。また、維持管理用道路の必要性について疑問視されていたが、3次的な維持管理のイメージを共有したことで、その重要性が伝わり、理解を得ることを可能とした。

## 7. 今後の展開

本業務では円滑な理解促進による工期短縮を目的にCIMを活用したが、公共事業として周辺住民の理解を得ながら事業推進することが必要である。

そのため、今後は一般の方へ配信できるコンテンツとしてHPや動画サイトの活用を提案し、発注者と協力して事業展開していく必要がある。

## 参考文献

- 1) 公益社団法人 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 I～V編，2017.11.





# 橋脚耐震補強設計における非破壊調査による 地中不可視部分の構造把握

こざわたかお    うちやまさ    あおきみきと    あんどうまこと  
○小澤貴生<sup>1</sup>・内山真人<sup>1</sup>・青木幹人<sup>1</sup>・安藤 誠<sup>2</sup>

<sup>1</sup> (株) オリエンタルコンサルタンツ中部支社 (〒450-0003 愛知県名古屋市中村区名駅南2-14-19)

<sup>2</sup> (株) オリエンタルコンサルタンツ東北支社 (〒980-0811 宮城県仙台市青葉区一番町4-6-1)

本論文に示す業務は、既設橋脚耐震補強設計において、橋脚の構造・形状・寸法を把握することを目的に実施した詳細調査と地質調査により、地中の不可視部分の部材を的確に把握して設計を実施したものである。設計対象とする河川内のパイルベント橋脚のパイルベント杭根入れ長さには衝撃弾性波（オーリス）、パイルベント杭断面・底版厚さには衝撃弾性波（iTECS法）の非破壊試験を採用した。また、同時に実施した地質調査についても、地中部底版厚さを把握するため調査位置に留意して実施した。これらの調査結果を基に、既設橋脚の基礎構造、地中不可視部分の構造を的確に想定し、耐震補強設計に反映できた。

**Key Words** : パイルベント式橋脚, 橋脚耐震補強, 非破壊試験, 衝撃弾性波法, ボーリング調査, 地中不可視部分

## 1. はじめに

既設橋梁の耐震補強設計では、完成図面、建設時の設計計算など既設構造物に関する既往資料が無いことが多く、この場合、構造物の形状、寸法、構造細目、使用材料、およびその規格・仕様などの情報が不足することで、現況照査、耐震補強の設計において問題となる。下部構造が土中、水中部に埋設されている部分は、形状・寸法など構造に関する基本資料の把握が不可能となる部分が多い。一方、耐震補強設計においては、既往資料による情報が非常に重要となり、現況性能の把握、対策方法の検討、ならびに設計精度に大きな影響を与える。したがって、既往資料の無い構造部に対しては、如何に構造に関する情報を適正に把握することができるかが重要となり、既設構造物の構造把握を目的とした様々な調査を実施して設計を行う必要がある。

本稿は、河川内に設置された構造に関する既往資料が無い道路橋の既設橋脚に対して、精度よく既設構造物の形状を復元し耐震補強設計を行った業務において、地中不可視部分の構造を把握するために実施した非破壊試験などの調査について述べる。

橋脚耐震補強設計の対象橋脚は、1968年に架設された道路橋（2径間鋼単純RC床版I桁橋、橋長32m）の河川内3柱式RCパイルベント式橋脚である。河床面には柱を連結する枕梁（底版）が設置されている。なお、現地橋脚周辺の河床部は岩が露出しており、本橋脚が通常の地盤に根入れを長く確保したパイルベント橋脚とは異なる構造の可能性が想定された。



写真-1 P1橋脚

## 2. 対象橋脚

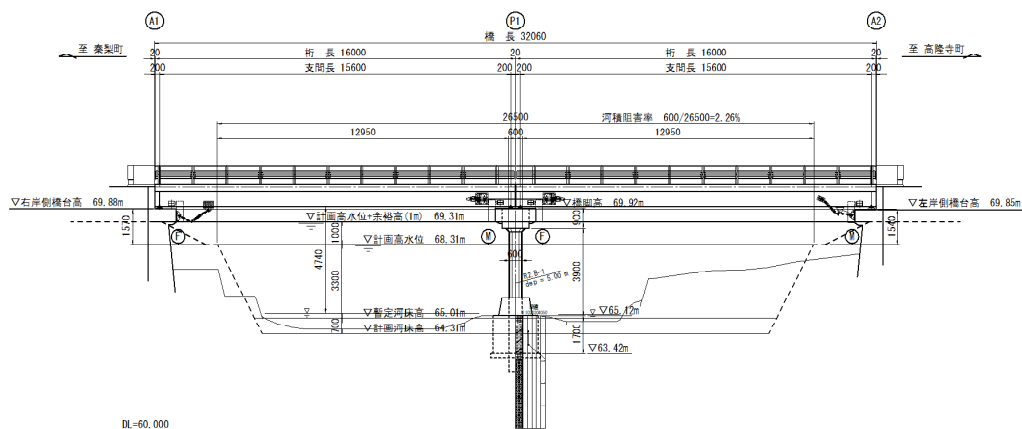


図-1 現況橋梁一般図（側面図）

図-1に橋梁一般図、表-1に橋梁諸元を示す。

表-1 橋梁諸元

|       |                          |                      |
|-------|--------------------------|----------------------|
| 竣工年月  | 1968年(昭和43年)             |                      |
| 活荷重   | TL-14                    |                      |
| 型式    | 上部工                      | 2径間単純鋼桁橋             |
|       | 下部工                      | 橋台：逆T式橋台、橋脚：パイルベント橋脚 |
| 橋長    | L=32,060m                |                      |
| 桁長    | L=2@16,000m              |                      |
| 全幅員   | W=4,700m                 |                      |
| 有効幅員  | W=4,000m                 |                      |
| 斜角    | 90°00'00"                |                      |
| 舗装    | コンクリート舗装                 |                      |
| 適用示方書 | S39鋼道路橋設計製作示方書（建設年度から推定） |                      |

### 3. 調査内容と調査方法

本設計の目的は、橋脚の現況の耐震性能照査および耐震補強設計をすることであり、パイルベントの断面、根入れ長さなどの構造諸元と、地中不可視部分の橋脚基礎部材の構造を把握する必要がある。そこで本業務では外観寸法計測、RC枕梁の鉄筋探査やはつり調査およびコンクリート強度推定のための反発硬度試験の他に、地中不可視部の構造把握には、以下の非破壊試験などによる調査を実施した。

#### (1) 調査内容

パイルベントの構造、橋脚基礎部材の構造把握のため、パイルベント杭の長さの調査に（調査①）「衝撃弾性波（オーリス）<sup>1) 2)</sup>」を、パイルベント杭の厚さや地中部底版厚の調査に（調査②）「衝撃弾性波試験（iTECS法）<sup>2) 3)</sup>」、また底版下面高と支持層の調査のための（調査③）「ボーリング調査」を実施した。

#### (2) 調査①：衝撃弾性波試験（オーリス）

パイルベント杭の長さの推定のために採用した非破壊試験の衝撃弾性波（オーリス）は、高周波衝撃弾性波（反射法）による探査で、受振センサーを調査対象物に設置し、その近傍をハンマーで打撃して衝撃弾性波を発生させ、その波形や伝搬速度を計測し、最も卓越して反射する特定の周波数範囲を選択し受信して解析するものである。高周波の高い指向

性と構造物表面での高い減衰特性を利用したもので、杭体のように比較的長い部材を対象とした調査で主に使用される調査である。今回の現場では、パイルベント杭の上部の枕梁天端面に、受振センサーを設置しハンマーで打撃して調査を実施した（図-2）。打撃した瞬間の弾性波が、杭体下端部の不連続面で反射し、反射した弾性波を受信センサーで検知し、弾性波の発生から反射波として返ってくるまでの伝搬時間を計測した。計測した伝搬時間と探査対象物の所定の伝搬速度から杭の長さを推定した。なお、この調査方法は、杭体のひび割れなどの損傷部にも反応し杭体の損傷評価にも利用されることから、事前に現地杭体表面の点検をし、特に損傷がないことを確認した。

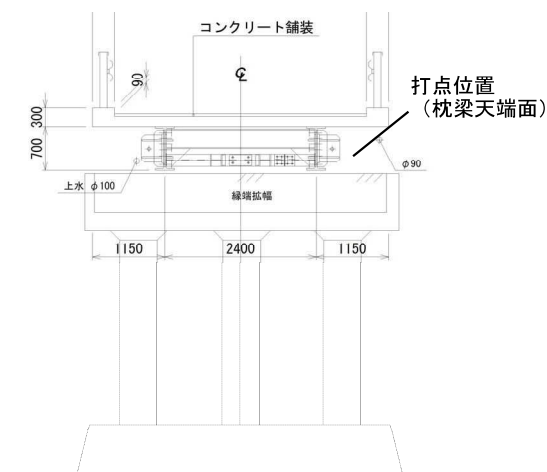


図-2 衝撃弾性波（オーリス）調査概要図

#### (2) 調査②：衝撃弾性波（iTECS法）

非破壊試験の衝撃弾性波（iTECS法）は、調査対象物の厚さ方向に弾性波を発生させ、その多重反射波からスペクトル解析により部材の厚さを測定するものである。図-3のように鋼球でコンクリートを軽く打撃すると、弾性波（P波+表面波）が生じて球状に伝搬して、測定面と平行な対向反射面の間でP波



が同じ周期で多重反射する。その過程で、波長がコンクリート構造物の厚さの2倍に相当する定在波が発生し、この周波数を分析して波長の半分の長さをコンクリート構造物の厚さとして検出する。コンパクトな機器で、コンクリート構造物の部材厚の測定の他、測定方法によりコンクリート強度やひび割れ深さ、内部の空洞などの欠損探査にも利用される代表的な非破壊試験である。本業務では、パイルベント杭の断面と地中部底版厚の調査において、測定対象の形状、想定される厚さ規模と測定精度の観点から、衝撃弾性波（iTECS法）を採用した。

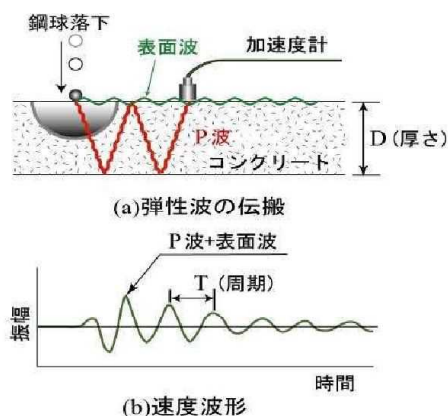


図-3 衝撃弾性波（iTECS法）による厚さ測定原理

### (3) 調査③：ボーリング調査

現地地盤の地質調査でボーリング調査が必要であったが、地中不可視部分の底版厚さの調査実施する非破壊試験の補完を目的に、底版部材の近傍でボーリング調査を実施した。現地河床の堆砂を除去して確認した際、地中部底版部の天端が目視で確認できたため、平面的な底版形状が推定できた。また、河床には露岩していることから、底版を構築した当時は、岩掘削を行い床付け面（底版下面）には均しコンクリートが打設されていると想定し、均しコンクリートをボーリング調査にて確認することで、底版下面の深さが把握できると考えた。よって、ボーリング調査位置は、底版部の近傍で想定される掘削床付け範囲内で実施した。

## 4. 調査結果

以下に各調査結果について述べる。

### (1) パイルベント杭の長さ

衝撃弾性波（オーリス）により調査した探査波形図を図-4に、その結果を解析して得られたパイルベント杭長さの測定結果を表-2に示す。左側の赤い縦の実線カーソル（入力波形が最初に入力された時間）が計測スタート位置を示し、右側点線カーソル（先端反射波形）が反射波の出現時間を示す。この区間の横軸が伝搬時間となり、伝搬時間( $t_2$ )と伝搬速度( $V_b$ )からパイルベント杭の長さを求める。なお、

伝搬速度( $V_b$ )は、現地のパイルベント杭側面にて事前に計測した値を採用した。

パイルベント杭下端位置（打撃位置の梁天端から杭下端までの長さ）は、下流側と上流側での測定結果から平均値の7.3mとした。

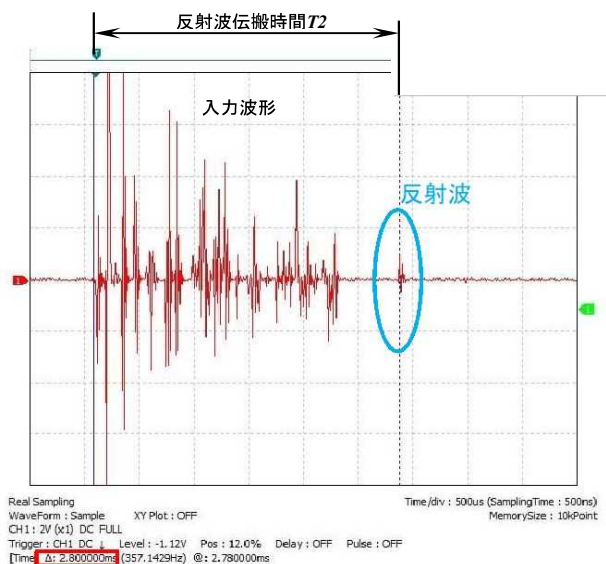


図-4 衝撃弾性波（オーリス）探査波形図

表-2 パイルベント杭長さ測定結果

| 対象杭 | 波形No. | 計測弾性波伝搬時間(msec) | 平均弾性波伝搬時間 $t_2$ (msec) | 平均算定弾性波伝搬速度 $V_p$ (km/sec) | 推定長さ $L=(t_2 \times V_p)/2$ (m) |
|-----|-------|-----------------|------------------------|----------------------------|---------------------------------|
| 下流側 | s-01  | 2.80            | 2.74                   | 5.25                       | 7.2                             |
|     | s-02  | 2.69            |                        |                            |                                 |
|     | s-03  | 2.73            |                        |                            |                                 |
| 上流側 | u-01  | 2.82            | 2.83                   | 5.25                       | 7.4                             |
|     | u-02  | 2.81            |                        |                            |                                 |
|     | u-03  | 2.86            |                        |                            |                                 |

### (2) パイルベント杭の厚さ

衝撃弾性波によるパイルベント杭断面厚さの結果を表-3に示す。パイルベント杭断面厚さは3点の平均値で10cm程度と推定され、内部が空洞であることを確認した。なお、現地杭体と建設年代から既製RC杭であると判断し、断面厚さは、当時のJIS規格の寸法よりφ600×厚さ90mmとした。

表-3 パイルベント杭断面厚さ測定結果

| 調査場所<br>パイルベント杭断面 | 厚さ       |
|-------------------|----------|
| No.1              | 102.3 mm |
| No.2              | 99.2 mm  |
| No.3              | 103.0 mm |
| 平均値               | 101.5 mm |

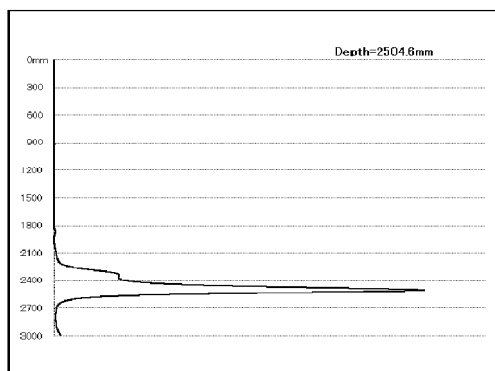
### (3) 地中部底版部の形状

衝撃弾性波による底版厚さの結果を表-4、図5-1にスペクトル波形図を示す。地中部底版厚さは、3点の平均値で2.4m程度と推定された。また、ボーリング調査では、底版天端から深さ1.7m付近で均しコンクリートが確認された。よって、これらの結果から、

地中底版部の厚さは1.7mと推定した。

表-4 底版厚さ測定結果

| 調査場所<br>底版天端面 | 厚さ       |
|---------------|----------|
| No.1          | 2,363 mm |
| No.2          | 2,269 mm |
| No.3          | 2,504 mm |
| 平均値           | 2,379 mm |



底版厚さNo.3

図-5 衝撃弾性波（iTECS法）スペクトル図

## 5. まとめ

各調査結果から、地中不可視部の構造部材の寸法を踏まえ、耐震補強設計に必要な既設橋脚の寸法が把握できた。

- 1) パイルベント杭は、 $\phi 600 \times 90$ （厚さ）の長さ6.4m。PC鋼材本数22本
- 2) 底版厚さ1.7m。

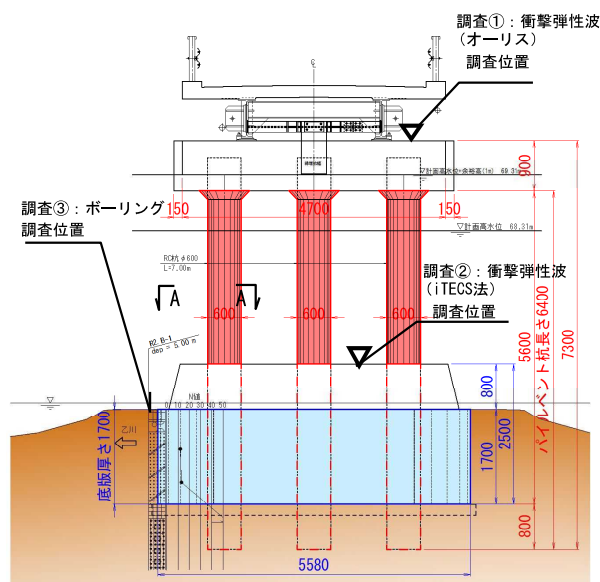


図-6 既設橋脚構造図

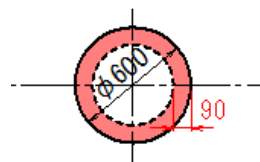


図-7 既設パイルベント杭断面図(A-A)

これらの調査結果と外観寸法計測、コンクリート強度試験、鉄筋探査（電磁波レーダー法）、はつり調査などの調査を基に、耐震補強設計を実施した。橋脚の耐震補強には、パイルベント杭を一体化した小判型のRC巻立て工法による補強と底版の拡幅を行うこととした。耐震補強設計の後、耐震補強工事が実施されたが、掘削して地中部の構造を確認したところ設計時に想定した躯体形状、寸法とほぼ同様であった。この結果、工事中の現地条件の差異による一時工事中止をせず、また仮締切り範囲などの仮設工の変更もなく、河川内で非出水期内の限られた工期内に無事施工が完了できた。

建設時の既往資料が無く、地中部の構造・形状が不明な橋脚に対し、設計時の的確な調査計画と調査により、適正な耐震補強設計と補強工事が実施できたものとする。

**謝辞：**本調査を行うにあたって、岡崎市役所土木建設部、関係各位様にご協力をいただいた。ここに示して感謝致します。

## 参考文献

- 1) 野本真吾，関 克郎，川村 晃，堀田 淳：基礎コンクリート下の杭を対象とした非破壊手法による探査，全地連「技術フォーラム2014」秋田，No. 66，2014。
- 2) 福田耕太，栗林正樹：地中構造物の形状把握における高周波衝撃弾性波法（オーリス）調査事例，全地連「技術フォーラム2015」名古屋，No. 34，2015。
- 3) 岩野聡史，極檀邦夫，境 友昭，森濱和正：衝撃弾性波によるコンクリート構造物の厚さ測定，コンクリート工学年次論文集，Vol. 23/No. 1，pp. 547-552，2001。
- 4) 岩野聡史，歌川紀之，伴 亨，北川真也，飯田洋志，松本 功，森濱和正：非破壊試験によるコンクリート構造物の部材厚さの測定および変状の検出，機関紙「非破壊検査」，第58巻4号，(社)日本非破壊検査協会，pp. 152-157，2009。

# 島田大橋耐震補強設計におけるUAV 撮影を用いた滯筋調査及び施工計画

は せ が わ た だ し      み や け り ゆ う の す け  
○長谷川 正<sup>1</sup>・三宅竜之介<sup>1</sup>

<sup>1</sup> (株) 長大 名古屋支社 (〒450-0003 愛知県名古屋市中村区名駅南1-18-24)

島田大橋は、平成6年に竣工した、橋長942.5mの12径間連続有ヒンジラーメンPC箱桁橋である。島田大橋が架橋されている一級河川大井川下流は、台風等による出水時には滯筋の大きな変動が見られることから、UAVを用いた高所撮影により確認した滯筋をもとに瀬替え堤および土堤仮締切の計画を行った。併せて河川内に棲息する稀少魚類についての保全対策の検討を行った。

**Key Words** : 施工計画, 耐震補強, UAV撮影, 滯筋調査, 土堤仮締切, 瀬替え堤, 環境保全, 稀少魚類

## 1. 業務の経緯及び目的

島田大橋は、静岡県島田市内の主要地方道島田吉田線にて一級河川大井川を跨ぐ、橋長942.5mの12径間連続有ヒンジPC箱桁橋で、平成6年に竣工した橋梁である(図-1)。橋脚形式はRC橋脚、橋脚基礎形式はオープンケーソンであり、補強後の河積阻害率を5%以下に抑えるため、巻立て厚の小さな鋼板巻立て工法による耐震補強が計画されている。

島田大橋が架橋されている一級河川大井川の下流域は、広い低水路のほとんどを玉石・砂礫主体の砂州が占めており、流水部は複列の網目状流路を形成しており、台風等による過去の出水時には滯筋に大きな変動が見られている。写真-1に大井川の河道状況写真を示す。

本業務では、低水路部に位置するP1橋脚の耐震補強工事を行うにあたり、滯筋の変動が大きい河道状況に対応した仮設工設計を行う必要があるため、仮設構造物について滯筋変化を考慮して河川管理者と協議する必要があるため、島田大橋上下流各1kmの

範囲におけるUAV撮影を実施し、撮影データを基に現状における滯筋形状の把握および、現状を反映した施工計画を行った。併せて河川内に棲息する稀少魚類についての保全対策の検討を行った。

なお、仮設工法は、玉石・砂礫主体の地盤条件から鋼矢板の打設が困難であるため、瀬替え堤および土堤仮締切を用いたオープン掘削によるものとした。



写真-1 大井川河道状況

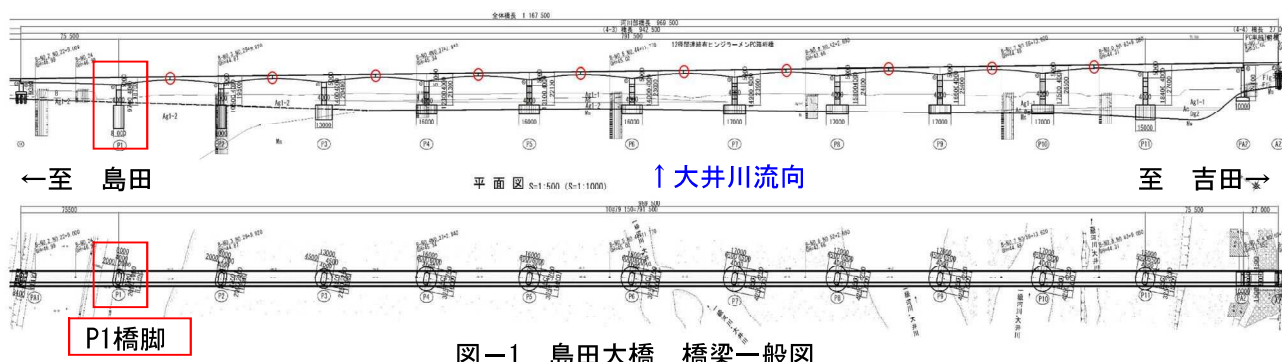


図-1 島田大橋 橋梁一般図



## 2. UAVを用いた高所撮影及び滯筋形状把握

大井川は台風等の異常出水時に滯筋が大きく変化するため、河道内の橋脚補強工事を実施するにあたり、直近の滯筋形状に応じた仮設計画を策定する必要があるため、UAVによる高所撮影により滯筋形状の把握を行った。

撮影に用いたUAVはPhantom3 Professionalで、最大飛行高度6000m、最大飛行速度16m/sec、最大飛行時間23分、デジタルカメラを搭載し、静止画および動画の撮影が可能な機体である。（写真-2）



写真-2 使用機材

機体の操縦は2人1組とし、1人は機体搭載カメラ画像を写真-3に示すタブレットで確認しつつ、送信機でドローンの離着陸およびマニュアル時の操作を行い、もう1人はUAVを目視し、状況をリアルタイムに把握して操縦装置担当者に状況を常に報告する体制で行った。



写真-3 送信機およびタブレット

架橋地点付近の大井川右岸側に位置する牧の原台地には富士山静岡空港が存在しており、撮影範囲の一部が空港から4km以内の水平平面に入するため、空港の保安基準により、UAVの飛行高度は大井川河川敷から約100m以下に制限されている。（図-2）飛行高度に制限があり、1回あたりの撮影範囲が狭くなるため、撮影漏れが生じないように、図-3に示すように大井川を横断しつつ上流側から下流側に移動する飛行ルートを設定した。

UAVによる撮影は2019年7月9日～12日および8月20日～23日の2回実施した。

河道1往復の飛行距離が約2kmと長いため、1回の飛行時間は安全を考慮して15分以内とし、撮影範囲全体の撮影は10回に分割して行った。

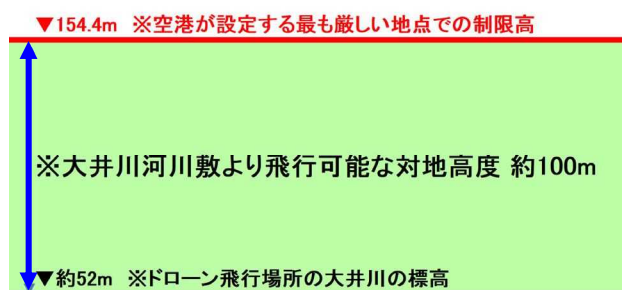
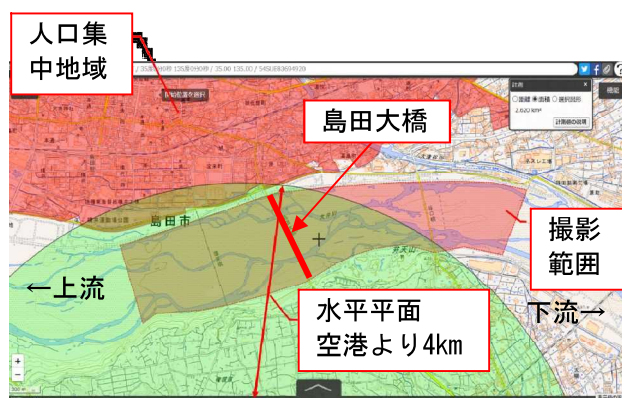


図-2 飛行制限区域



図-3 UAV飛行ルート

### 3. 滞筋を考慮した仮締切形状の設定

仮締切形状の検討に用いる滞筋は、2回のUAV撮影のうち、撮影時における観測流量の大きな8月撮影のデータを用いるものとした。

UAV撮影により確認された滞筋写真および滞筋再現平面図を図-4に示す。また、比較として過年度（2018年）に撮影された滞筋形状を図-5に示す。2018年撮影時と比較して、P1橋脚付近の滞筋が増加していることが見てとれる。

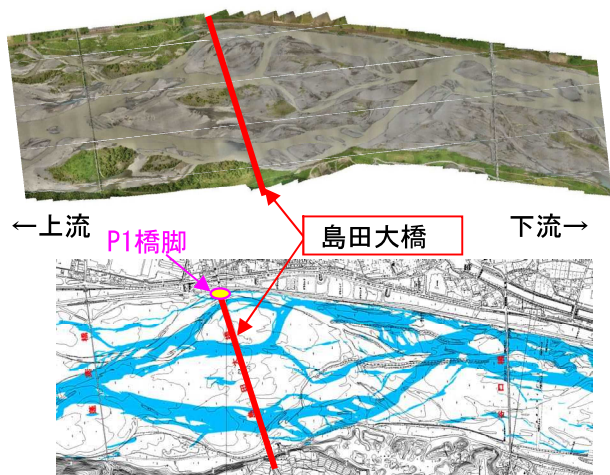


図-4 UAV撮影による滞筋確認（2019年）

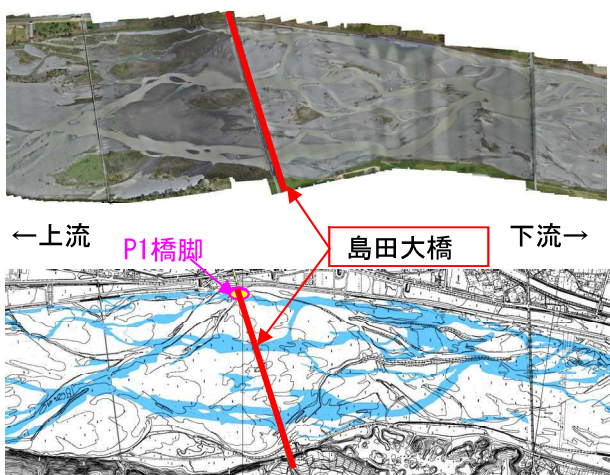


図-5 UAV撮影による滞筋確認（2018年）

今回施工対象となるP1橋脚は、大井川低水路の左岸端部付近に位置しているため、土堤仮締切は左岸側低水路護岸からP1橋脚位置を包括する範囲とし、上流側は河川中心線に対して30°、下流側は45°の角度で低水路護岸に取り付ける形状とした。

UAV撮影において確認した最新の河道状況は、図-6に示すように河川中央付近から左岸側に流向を変える滞筋①、左岸低水路護岸にほぼ平行に流れる滞筋②、左岸低水路護岸の樋門から流出する滞筋③が認められる。滞筋②および滞筋③の流水はP1橋脚直近に達するため、P1橋脚付近に土堤仮締切を設けるとともに上流側に瀬替え堤および放流路を設け、滞筋①に合流させるように導水する計画とした。

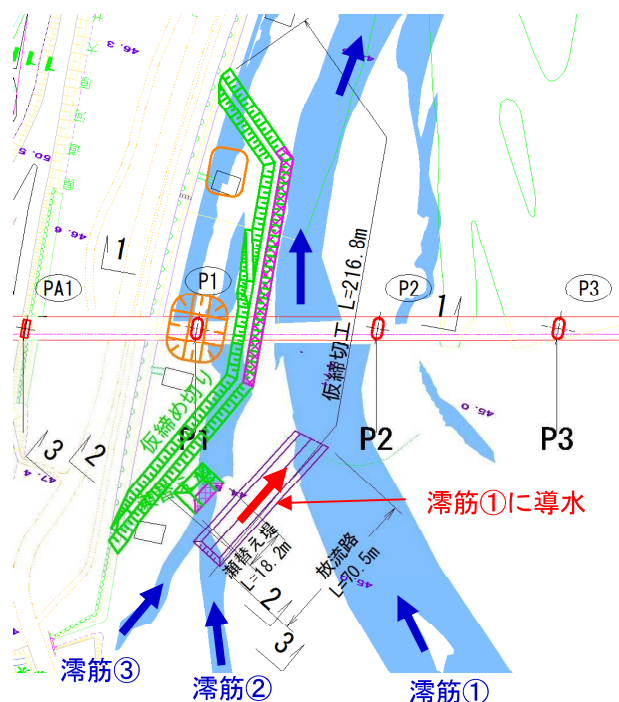


図-6 瀬替え計画概要図

### 4. 施工時流量および水位の設定

河道内における橋脚柱の耐震補強工事は、非出水期（10月～翌5月）に実施するため、施工時水位は国土交通省水文水質データベースより、架橋地点近傍の細島観測所において観測された非出水期間における過去10年間（2009年～2019年）の観測データ（時刻最大水位）を用いて設定を行った。

観測水位のうち、過去5ヶ年の時刻最大水位である1.83m（2018年10月1日5時）は、台風24号による記録的な豪雨によるものであり、異常出水とみなし過去10ヶ年の2位時刻水位である1.59m（2014年10月6日11時）を施工時水位として採用した。

細島観測所の流量観測データより、2014年10月6日11時の流量は3111.7m³/secである。

表-1に2009年～2019年の非出水期における月別最大水位一覧表を示す。

表-1 月別最大水位一覧表

|               | 非出水期  |       |       |       |       | 非出水期          |       |      |  | 時刻最大水位 |
|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|---------------|-------|------|--|--------|
|               | 1月    | 2月    | 3月    | 4月    | 5月    | 10月           | 11月   | 12月  |  |        |
| 2009年         |       |       |       |       |       | 1.09          | 0.98  | 0.75 |  | 1.09   |
| 2010年         | 0.64  | 1.05  | 1.07  | 1.20  | 1.16  | 1.05          | 0.71  | -    |  | 1.20   |
| 2011年         | -     | 0.99  | 0.96  | 0.79  | 1.28  | 1.11          | 1.19  | 0.15 |  | 1.28   |
| 2012年         | 0.13  | 0.82  | 0.71  | 0.46  | 0.40  | 0.81          | 0.65  | 0.28 |  | 0.82   |
| 2013年         | 0.19  | -     | -     | -     | 0.35  | 0.90          | -     | -    |  | 0.90   |
| 2014年         | -0.03 | 0.57  | 1.02  | 0.75  | 0.77  | 1.59          | -0.12 | -    |  | 1.59   |
| 2015年         | -     | -     | -0.01 | 0.48  | -0.01 | 0.56          | 0.01  | 0.64 |  | 0.64   |
| 2016年         | -0.16 | 0.61  | -0.16 | -0.01 | 0.63  | -             | 0.00  | 0.03 |  | 0.63   |
| 2017年         | -     | -     | -     | 0.33  | -     | 1.37          | 0.02  | -    |  | 1.37   |
| 2018年         | -0.51 | -0.51 | 0.39  | 0.07  | -0.27 | 1.83          | -0.16 | 0.00 |  | 1.83   |
| 2019年         | -0.47 | -0.04 | -0.09 | -0.48 | 0.64  |               |       |      |  | 0.64   |
| 過去5ヶ年間時刻最高水位  |       |       |       |       |       | 2018年10月1日 5時 |       |      |  | 1.83   |
| 過去10ヶ年の2位時刻水位 |       |       |       |       |       | 2014年10月6日11時 |       |      |  | 1.59   |

「-」は欠測を示す。

P1橋脚施工時には低水路左岸側に土堤仮締切を設置することから、仮締切設置による通水断面減少を考慮した不等流計算により仮設時の流下能力照査を



行い、仮締切天端高を設定するものとした。

なお、同時期に島田大橋の約1.5km下流に位置する谷口橋についても耐震補強工事を実施する予定であったため、不等流計算は谷口橋の仮締切を考慮して下流側約3km、上流側約1kmの範囲とし、河道断面としては谷口橋の仮締切を考慮するものとした。不等流計算範囲を図-7に示す。

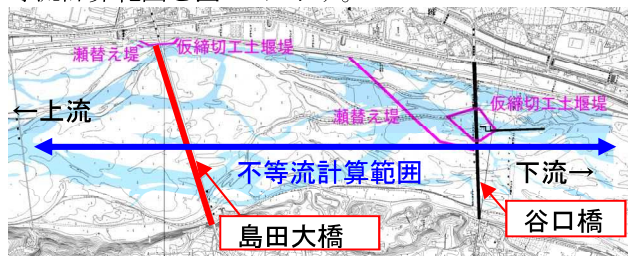
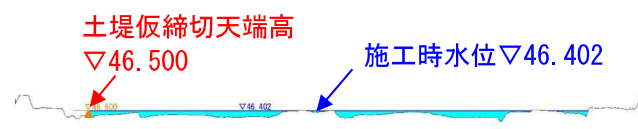
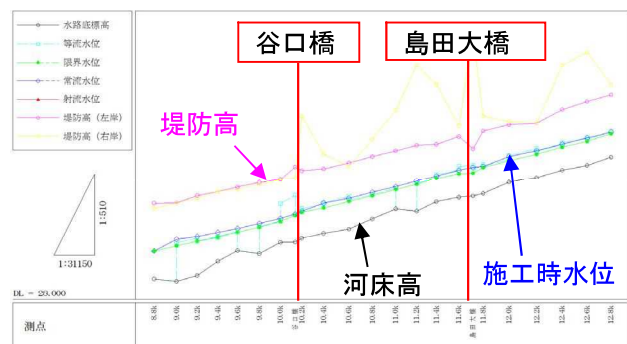


図-7 不等流計算範囲概要図

流下能力の照査は、準二次元不等流計算手法を用い、河床の粗度係数は $n = 0.034$ 、非出水期最大流量 $Q = 3111.7 \text{ m}^3/\text{sec}$ とした条件において、施工時水位 $WL = 46.402$ 、仮締切天端高を $FH = 46.500 \text{ m}$ と設定した。(図-8)



(a) 土堤仮締切部流下断面図



(b) 水位縦断面図

図-8 不等流計算結果概要図

## 5. 稀少魚類の保全対策検討

大井川下流域は、広い砂礫の川原を形成する河川環境を形成していることから、オオウナギ、タモロコ、アカザ等の稀少魚類が棲息している。

橋脚補強工事にあたり、河川環境への影響が想定される工種としては、仮設工（土堤設置、床堀り）設置時の濁水発生、鋼板巻立てにおける無収縮モルタル打設時の高PH水発生が挙げられる。

稀少魚類への影響を最小限とするため、仮締切工の内部には、懸濁物質を沈降させるための沈砂池を1箇所設置し、施工時に発生した濁水は沈砂池を通貨させた後に仮排水路をから現河道に放出するものとした。

また、補強工事実施期間中は、排出水の水質測定を実施するものとした。測定項目は濁度およびPHであり、測定箇所は①工事箇所上流の本流、②沈砂池、③仮排水合流後の本流、の3箇所とした。濁水対策工（沈砂池、仮排水路）設置箇所および測定箇所を図-9に示す。

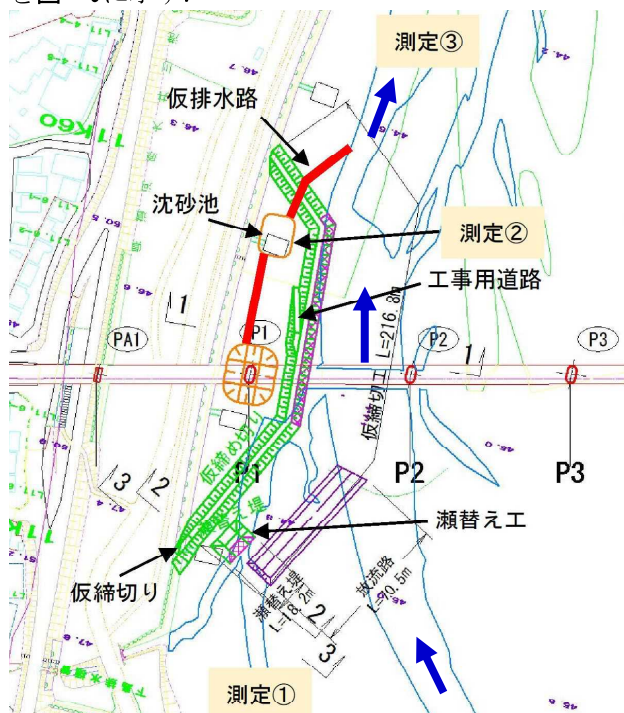


図-9 濁水対策工、測定箇所概要図

排出水の管理基準は、測定箇所③において、濁度：79mg/l以下（産卵期、遡上期の4月、5月は50mg/l以下）、PH：8.5以下とした。

## 6. まとめ

出水時に滞筋の変化が想定される一級河川大井川河道内の島田大橋P1橋脚耐震補強工事において、UAVを用いた高所撮影により最新の滞筋形状を把握し、確認した滞筋をもとに瀬替え堤および土堤仮締切の計画を行った。併せて河川内に棲息する稀少魚類についての保全対策の検討を行った。

今後、島田大橋の耐震補強工事は1非出水期あたり2基程度の実施が計画されているため、安全な耐震補強工事の実施を目的として、施工年次毎に滞筋確認および非出水期流量を更新した施工計画を実施する予定である。



# AIを利用した赤外線調査システムの適用性 検証および有効活用事例

○山本滉太<sup>1</sup>・萩原明伯<sup>1</sup>・美藤友郎<sup>1</sup>・下山一夫<sup>1</sup>

<sup>1</sup> (株) エイト日本技術開発中部支社 (〒460-0003 愛知県名古屋市中区錦1-11-20)

効果的・効率的な維持管理が求められる昨今、非接触の赤外線調査によるコンクリート部材の損傷検出に大きな期待が高まっている。コンクリートの浮きを検出する最新の赤外線調査システムでは、AIを利用した調査モニター・損傷判定ソフト等を備えた高機能化が進んでいる。しかし、実用化されて数年のため、橋梁点検業務における実績・事例は多くはない。そこで本稿では平成29年に試行的に赤外線調査を実施した橋梁点検業務における調査精度の検証および検証結果を基に平成31年度業務にて効果的に赤外線調査を活用した事例について報告する。

**Key Words** : 赤外線調査, AI, 維持管理, 赤外線サーモグラフィ

## 1. はじめに

### (1) 本稿の目的

効果的・効率的な維持管理が求められる昨今、非接触の赤外線調査によるコンクリート部材の浮きの検出に大きな期待が高まっている。

最新の赤外線調査システムでは、AIを利用した調査モニター・損傷判定ソフト等を利用したシステムが開発され高機能化が進んでいる。この調査システムは、国土交通省「点検支援技術性能カタログ(案)」<sup>1)</sup>(以下「性能カタログ」)に掲載されているものの、橋梁点検業務での使用実績は多くはなく、調査精度に基づく赤外線調査の有効な活用事例が無かった。

本稿は、平成29年度の橋梁点検業務において打音検査を併用して、その精度並びに特性を把握した上で、平成31年度業務にて活用した結果、有効であった事例を報告するものである。

### (2) 赤外線調査とは

赤外線調査とは赤外線カメラを用いて、コンクリート表面の浮き部分と健全部に発生する温度差により浮きを検出する調査方法である。

コンクリート表面に浮きがある場合、その浮き部分が断熱層となり、浮き部分と健全部で温度差が発生する。この温度差を赤外線カメラで検出することにより浮きを検出する調査方法である(図-1)。

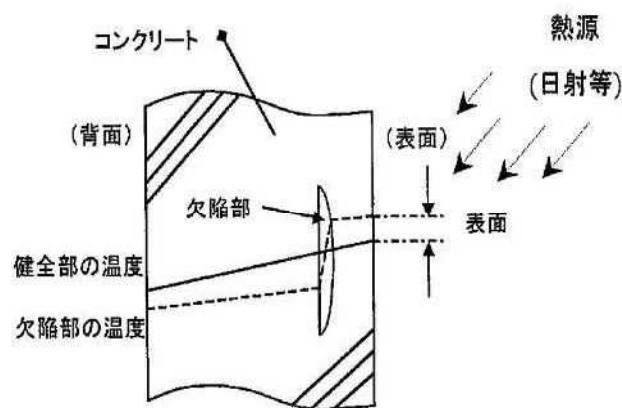


図-1 欠陥部と健全部の温度差発生メカニズム<sup>2)</sup>

### (3) 最新の赤外線調査システム

今回試行した赤外線システムは、赤外線調査で唯一性能カタログに掲載された「Jシステム<sup>3)</sup>」である。

従来の赤外線調査では調査可能な温度差が確実に発生している状態であるかを定量的に把握せずに実施している場合も多く、浮きの検出に必要な温度差が発生していない状態で調査が行われることで、浮きの検出精度に誤差が生じていた。また、赤外線カメラで撮影した画像を調査する技術者の主観に基づいて解析、判定していたため、調査する技術者により調査精度が異なることがあった。

貼付型熱環境測定装置（EM(S)装置）は、調査前に対象のコンクリート部材に疑似浮きを設置し、調査開始前に疑似浮きを赤外線カメラで撮影することにより、対象のコンクリート部材の帯熱状況を把握し、健全部と浮き箇所調査可能な温度差が発生しているか判別するものである。図-2に貼付型熱環境測定装置（EM(S)装置）の構造図、図-3に貼付型熱環境測定装置（EM(S)装置）の設置状況を示す。

AI解析ソフト（Jソフト）は、赤外線カメラで撮影した熱画像からAIを利用して浮きが疑われる箇所を自動検出し、損傷レベルを「観察」「注意」「要注意」の3段階に自動判定することで、客観的な浮きの検出を可能にしたものである。さらに、このJソフトにより自動判定した結果を調査支援モニター（Jモニター）確認しながら調査を行うことが可能であり、これら3つの技術を組合せ、従来の調査方法と比べ、効率的かつ的確に、浮きを検出することを可能としたものである。図-4にJシステムの概要図を示す。

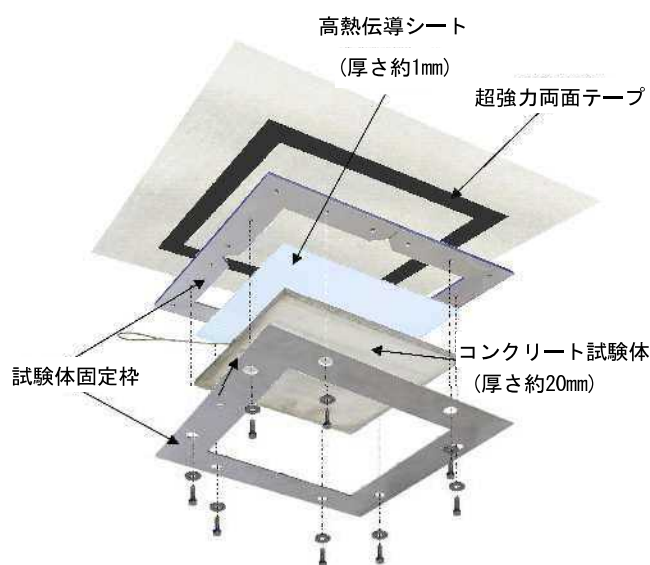


図-2 貼付型熱環境測定装置(EM(S)装置)の構造図



図-3 貼付型熱環境測定装置(EM(S)装置)の設置状況

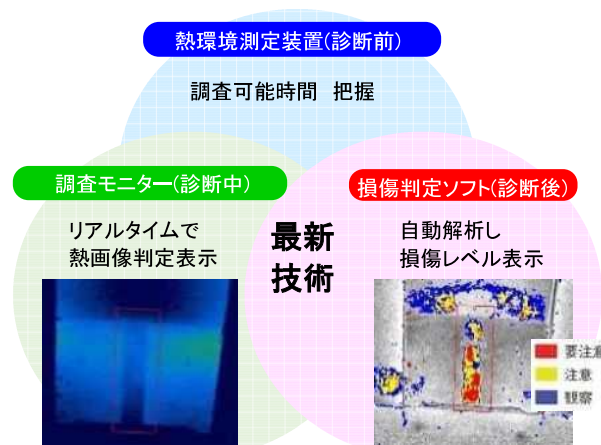


図-4 Jシステムの概要図

## 2. 調査精度の検証

### (1) 検証の目的

コンクリート片の剥落は、道路及び橋下空間利用者に直接的な被害を与えるため見落としの無い調査が重要である。その精度を把握・確認の上、採用する必要がある。

そこで橋梁点検業務において、前回定期点検時に浮きが見られた橋梁を対象に、試行的にJシステムを用いて調査をした。

本業務では、Jシステムによる赤外線調査後に打音検査を実施することにより後述の（3）打音検査で検出した浮き箇所との照合、（4）赤外線調査の結果浮きが疑われる箇所に対して実際に打音検査で検出された浮き箇所との照合の検証を行った。

### (2) 対象橋梁

以下に対象橋梁（竣工年次）前回定期点検時の浮きの有無を示す。

- ・A橋（1974年）前回定期点検時に浮き有り
- ・B橋（1970年）前回定期点検時に浮き有り
- ・C橋（1977年）前回定期点検時に浮き有り
- ・D橋（1983年）前回定期点検時に浮き有り
- ・E橋（1983年）前回定期点検時に浮き有り
- ・F橋（1971年）前回定期点検時に浮き有り
- ・G橋（1977年）前回定期点検時に浮き有り
- ・H橋（1977年）前回定期点検時に浮き有り

### (3) 打音検査で検出した浮き箇所との照合

打音検査で検出した浮き箇所を正とし、それらが赤外線調査で漏れなく検出できるかを確認した結果（検出率）、検出漏れはなかった。これは対象のコンクリート部材に対してすべての浮きを検出できていることを示し、性能カタログ記載の検証値100%と同様の結果であることを確認した。

### (4) 実際に浮きがあった割合

赤外線調査で浮きと判定された箇所が実際に浮きであった割合（以下「的中率」）は、8%程度であった。

実際に浮きではなかった箇所を、打音検査時の確認、写真との照合の結果、浮きではなかった箇所の特徴として、直接日射の影響を受けるコンクリート表面に遊離石灰や色むら、汚れが発生している。直接日射の影響を受けない遊離石灰や色むら、汚れ箇所においては、本システムでは、浮きと判定されていない傾向がある。これは直接日射の影響を受ける遊離石灰や色むら、汚れにおいても浮き箇所と同様に温度差が発生し、AI解析ソフトが浮きと捉え判定したものと考えられる。

上記割合は、性能カタログの検証値においても26%と低く、現時点では的中率の向上が課題である。表-1に上記(2)、(3)の検証結果を示す。

表-1 2. 調査精度の検証(2)(3)の検証結果

| 橋梁名 | 浮きの検出箇所数                  |           | ③.②の内、①で<br>検出できた箇所数 |
|-----|---------------------------|-----------|----------------------|
|     | ①.赤外線調査の結果                | ②.打音検査の結果 |                      |
| A橋  | 29                        | 0         | —                    |
| B橋  | 26                        | 3         | 3                    |
| C橋  | 13                        | 1         | 1                    |
| D橋  | 0                         | 0         | —                    |
| E橋  | 3                         | 0         | —                    |
| F橋  | 16                        | 1         | 1                    |
| G橋  | 2                         | 2         | 2                    |
| H橋  | 1                         | 0         | —                    |
| 合計  | 90                        | 7         | 7                    |
| 検出率 | ③/②=7/7=100%              |           |                      |
| 的中率 | ②/①=7/90=0.0777...≒0.8=8% |           |                      |

### 3. 適用性の検討

#### (1) 検討の目的

前項の検証の結果、的中率が高くはなかったため、ピンポイントで浮き箇所を絞り込むことは難しい。前回定期点検時に全面的に多数の浮きが見られた橋

梁に対して赤外線調査を行った場合、多数の浮きが疑われる箇所が検出する可能性があり、赤外線調査後の打音検査作業時間の短縮は期待できず非効率である。

一方で、的中率は低かったものの、浮きは漏れなく検出されていた。そのため、第三者被害予防措置において赤外線調査で浮きが検出されなければ、1次スクリーニングで現場作業を完了することが可能である。また、検出される浮きが数か所の場合、打音検査範囲を絞ることができるため、打音検査作業時間の短縮が可能であり効率的である。

そこで平成31年度業務にて、前回点検時に浮きが無くかつ比較的新しく、打音検査時に伴う交通規制により道路利用者への影響が大きい橋梁において、浮きが検出されなかった場合の打音検査に伴う交通規制回避を目的に赤外線調査を実施した。なお、本稿での道路利用者への大きい交通規制とは、路肩規制を除く国道上の交通規制を対象とした。

#### (2) 対象橋梁の選出

選出した橋梁（竣工年次）を以下に示す。

- ・I橋（2010年）前回定期点検時に浮き無し
- ・J橋（2010年）前回定期点検時に浮き無し
- ・K橋（2012年）前回定期点検時に浮き無し

なお、いずれの橋梁も調査時の2019年では竣工後10年以下の橋梁である。

#### (3) 赤外線調査により期待できる効果

選出した橋梁はいずれも片側1車線の国道に架かる橋梁である。「K橋」を打音検査する場合、大型橋梁点検車による本線片側交互通行規制が伴う。また図-5に示す通り、「I橋」および「J橋」は国道ICと交差する橋梁であり、打音検査を行う場合、当該ICの通行止めが伴う。3橋とも打音検査する際に必要な交通規制が与える道路利用者への影響は大きく、交通規制を回避することが望ましい。



図-5 I橋、J橋の詳細位置図



赤外線調査の結果、浮きが疑われる箇所が検出されなければ、1次スクリーニングで現場作業を完了できるため、打音検査に伴う交通規制の回避が見込まれる。また、前回定期点検時に浮きが見られなかったことや竣工後10年未満の橋梁であることから、浮きが疑われる箇所が検出されたとしても多数の浮きが発生している可能性は低く、狙いを定めて打音検査を行うことができると見込まれる。

#### (4) 赤外線調査実施結果

赤外線調査の結果、いずれの橋梁も浮きが疑われる箇所はなく、打音検査が不要となり、交通規制を回避することができた。

調査の結果から、下記条件に該当する橋梁では、浮き箇所検出率100%の利点を生かした赤外線調査が有効であると言える。

- ・前回定期点検時に浮きが無い。
- ・竣工後10年未満（竣工後10年以上でも前回点検時に浮きが見られない橋梁で交通規制が困難な箇所は実施する方針）。
- ・打音検査に伴う交通規制が道路利用者へ与える影響が大きい。

#### 4. 今後の課題

調査精度の検証で実際に浮いている箇所は全て検出されていたものの、浮きではあにものを浮きとして検出しているのも多かった（的中率は高くない）。的中率の向上により浮きが疑われる箇所の絞り込みを行うことができれば、打音検査時にかかる作業時間の短縮および打音検査時に伴う交通規制時間の短縮が狙えるため、より有効な赤外線調査を行うことができる。そのためには「的中率の向上」が喫緊の課題である。

課題解決に向けて、本システムの開発元である西日本高速道路エンジニアリング四国株式会社では、日々実施されている赤外線調査の結果を収集し、同システム内のAIにデータを蓄積させ、的中率向上を目指している。図-6に調査精度向上の過程を示す。

#### 5. 赤外線調査の今後の展望

赤外線サーモグラフィを用いた調査手法は本稿で紹介しているコンクリート部材の浮きの検出以外に鋼部材におけるデッキプレートーUリブ間の亀裂検出においても活用されている<sup>4)</sup>。亀裂の検出原理は、

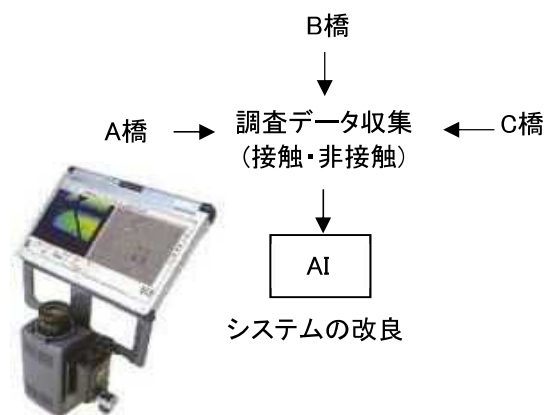


図-6 調査精度向上の過程

路面が日射を受け舗装が温められるとデッキプレートからUリブへと熱が伝わるが、亀裂がある場合、亀裂部分に微小な空隙が生まれるので熱伝導が阻害され健全部と亀裂箇所で温度差が生じ、その温度差を赤外線カメラで検出する調査方法である。

また、近年点検支援技術の一つとして活用されている「ドローン」に赤外線サーモグラフィが搭載されたモデルも開発され、赤外線サーモグラフィを用いた点検手法は活用の幅を広げている。

#### 6. おわりに

本稿で報告した赤外線調査の事例は、橋梁点検業務における試行の一例である。今後、より効果的に活用し、適用性を高めていくには、より多くの赤外線調査結果を収集し、その精度向上を図るとともに、適用条件を認識しつつ適切な利用を進めていく必要がある。本稿の有効活用事例を参考に調査精度向上につながる積極的な活用を期待したい。

#### 参考文献

- 1) 国土交通省：点検支援技術性能カタログ，令和2年6月。
- 2) 国土交通省：橋梁における第三者被害予防措置要領（案）
- 3) 西日本高速道路エンジニアリング四国株式会社：Jシステム，製品カタログ。
- 4) 溝上 善昭，小林 義弘，和泉 遊以，阪上 隆英：赤外線サーモグラフィを用いた温度ギャップ検知による鋼床版デッキプレートーUリブ間の溶接部に生じる疲労亀裂の遠隔検出，鋼構造論文集，第22巻第87号（2015年9月）。

# 汽水化による植生管理に関する取り組み

○小川<sup>さとし</sup> 智<sup>1</sup>・栗原<sup>けん</sup> 健<sup>1</sup>・林<sup>ゆうじ</sup> 勇次<sup>1</sup>・清水<sup>みきてる</sup> 幹輝<sup>1</sup>

<sup>1</sup>国際航業（株）中部事業所（〒451-0001 愛知県名古屋市中区名駅2-27-8  
名古屋プライムセントラルタワー）

三重県木曽岬干拓地の保全区では、ヨシ及びオギを主とした植生を形成することで、チュウヒの営巣地創出が試みられてきたが、セイタカアワダチソウやヤナギ類の生育が広がり、繁殖が行われない状況であったことから、営巣に適した環境に整備することが課題であった。対策として、保全区西側に2018年～2020年にかけて塩分濃度の高い水を取り入れて、営巣に適していない植生の抑制を試みた結果、2020年にチュウヒが繁殖行動を行った。本稿では、この汽水化による植生管理の取り組みについて紹介する。

**Key Words** : チュウヒ, 汽水化, ヨシ群落, 営巣環境改善, SfM解析

## 1. はじめに

チュウヒ (*Circus spilonotus spilonotus*) は、草地に営巣する猛禽類で2017年8月に「絶滅のおそれのある野生動植物の種の保存に関する法律施行令の一部を改正する政令」で国内希少野生動植物種に指定された。木曽岬干拓地で繁殖が確認されたチュウヒは、乾燥した立地にオギ、ヨシ、セイタカアワダチソウなどの植物が繁茂する条件で、繁殖していた。開発事業の着手にあたり、ヨシが優占する湿地環境を創出することで、代替営巣地として保全区を整備したが、2019年まで、同種の繁殖は確認されなかった。保全区では踏み荒らし、チュウヒの繁殖への配慮、安全上の問題から、ヤナギ類の伐採や除草剤の散布による管理は出来ない状況で、乾燥した立地に生育するセイタカアワダチソウや湿性な立地にはヤナギ類などの樹木が生育する環境が多くなり、チュウヒの営巣環境として、好ましくない植生が形成されていった。以上の状況から、保全区ではチュウヒの営巣に適した植生を整備することが重要な課題となった。チュウヒの営巣に適した植生は主に草丈が1.5m以上のオギ群落、ヨシ群落が多く分布することが条件<sup>1)2)3)4)</sup>となる。本取り組みでは、木曽岬干拓地に隣接する木曽川及び鍋田川に良好なヨシ群落が成立していることに注目して、鍋田川におけるヨシ群落で生育環境調査を行った結果、塩分濃度が高いこと及び水位の変動範囲にヨシ群落が成立していることを確認した。この結果から鍋田川の塩分濃度に近い外周水路の水を保全区に引き込み、保全区西側を汽水化することで、営巣環境として好まし

くない植生の抑制を試みた（図-1参照）。

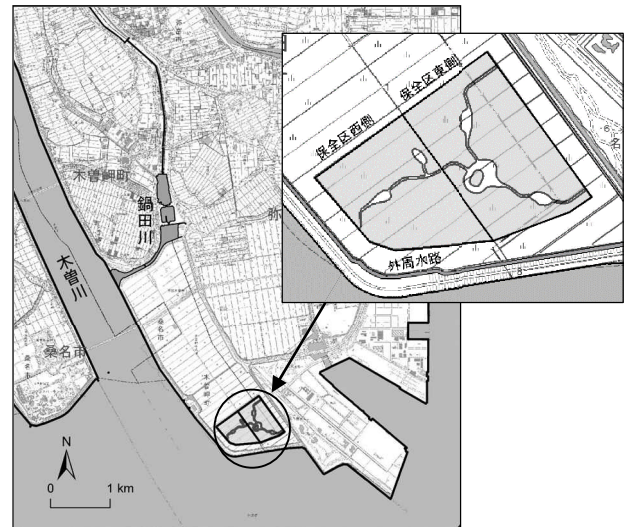


図-1 木曽岬干拓地内の保全区

## 2. 汽水化及び評価の確認方法

### (1) 汽水化の方法

汽水化は保全区西側で行い、保全区西側と東側を結ぶ水路を塞いだ。また、汽水化範囲を広くするため、外周水路と西側保全区を結ぶ水路は土のうで嵩上した（写真-1参照）。

汽水化前の保全区西側は塩分濃度が低いため、外周水路から塩分濃度の高い用水を導水する際は、保全区西側の水を保全区東側に汲みだしてから、西側外周水路よりポンプで導水した。以上のような汽水

化の施工は表-1に示す2018年12月と2019年12月に実施した。外周水路から保全区西側への導水は、土のう設置後に実施した後は、追加の導水は行わなかった。また、汽水化施工後の塩分濃度と冠水範囲の変化は、電気伝導度計及び水位計を設置して確認することとした。弊社保有の地盤標高データ（DEM Digital Elevation Model）使って、2021年7月8日の最高水位-1.11mより作成した冠水範囲は、図-2に示すとおりである。冠水範囲は図に示す範囲を最大冠水範囲として、降雨による水位上昇や渇水による水位低下により、冠水範囲が拡大、縮小を繰り返す構造とした。

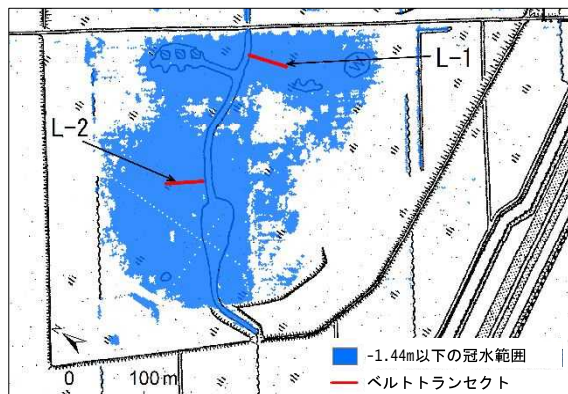
表-1 汽水化の開始時期

| 実施  | 実施時期        |
|-----|-------------|
| 第1回 | 2018年12月18日 |
| 第2回 | 2019年12月17日 |

※実施時期は導水完了日を示す。



※第2回目汽水化施工時（撮影：2020年12月）  
写真-1 土のうによるせき止め



※2021年7月8日最高水位-1.11mより作成  
図-2 保全区西側の汽水化の範囲

## (2) 評価の方法

汽水化による植生の変化は、汽水化を実施する前後の植生分布、樹冠標高、植物組成の変化を比較して行った。各項目の評価方法は次のとおりである。

### a) 植生分布の変化

汽水化前の2016年に作成した相観植生図と第2回の汽水化を実施した後の2020年に作成した相観植生図より、チュウヒの営巣環境として適した植生の面積の変化を比較した。

### b) 樹冠標高の変化

2016年9月及び2020年9月にUAV（Unmanned Aerial Vehicle）により撮影した航空写真より、SfM処理を行って得た樹冠標高図から、草丈の差を求め、汽水化を行った保全区西側と汽水化を行わなかった保全区東側の植生の生長、減退を比較した。

### c) 植物組成の変化

植生組成調査は保全区西側に2ラインのベルトトランセクトを設けて、汽水化実施前、汽水化実施後に調査を行った。各ベルトトランセクトでは、1m毎にコードラート（1m×1m）を設け（各50コードラート）、各コードラートの植物種、被度により植生の構造を把握した。実施時期は表-2に示す。

表-2 ベルトトランセクトの実施時期

| 実施      | 実施時期           |
|---------|----------------|
| 汽水化前    | 2018年9月3日、11日  |
| 第1回汽水化後 | 2019年9月19日、20日 |
| 第2回汽水化後 | 2020年9月19日、20日 |

## 3. 結果

### (1) 塩分濃度及び冠水水位

保全区西側における汽水化実施期間の水位、塩分濃度及び降雨量<sup>9)</sup>の関係と図-3及び図-4に示す。2018年12月に第1回目の汽水化を行い、外周水路の用水を導水した直後の水位は-1.32mであった。その後は、水位を調整する操作は行わず、2019年1月から7月の平均水位は-1.46m～-1.24mの間で変化した。2019年7月の降雨の影響により、土のうが崩れて、8月から11月の平均水位は-2.0mから-1.76mの低い水位で変動した。第2回目の汽水化は新たに土のうで堰を整備し、2019年12月に実施した。外周水路の用水を、導水直後の平均水位は-1.44mであった。

第2回目は、第1回目と同様に外周水路の導水後は、水位を調整する操作は、行わなかった。2020年1月～2020年7月までの平均水位は、-1.55m～-1.23mの約0.3mの範囲で、変動した。2020年8月～10月は、-1.73m～-1.52mで変化した。8月は、降雨量が少なく水位が低下している。一方、塩分濃度は、第1回汽水化施工直後の2018年12月は9.7‰であったが、土のうが崩れる2020年7月には、2.1‰まで低下した。2020年8月～11月までは、塩分濃度が上昇傾向にあるが、土のうが崩れたことにより、外周水路の用水が池内に流入したことで塩分濃度が上昇した。この間は、塩分濃度は上昇したものの、水位は上昇していないため、植生が影響を受ける冠水範囲は少なかったと考えられる。第2回目の汽水化施工後の塩分濃度は12.5‰であったが、その後10月までは徐々に塩分濃度が低くなり1.2‰まで低下した。2020年は7月の降水量が400mmを超えるなど平年に比べて降雨が多かったが、8月の降水量は3mmと少なく水位は-1.73mで低下した後、10月に-1.52mで回復した。この際、塩分濃度は下がり続けたことから、外周水路の用水は流入しなかったと考えられる。



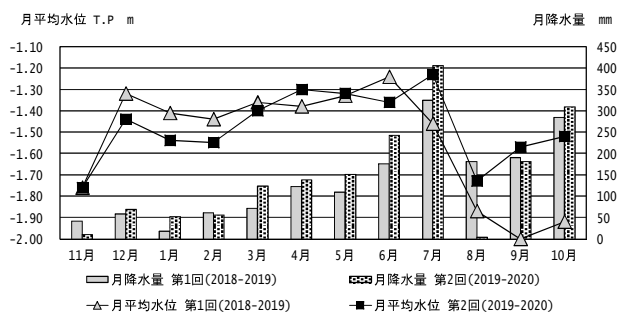


図-3 水位と降水量の関係

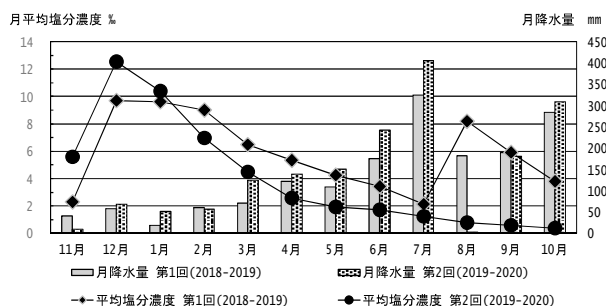


図-4 塩分濃度と降水量の関係

## (2) 植生の分布の変化

汽水化施工前の2016年と汽水化施工後の2020年に作成した相観植生図より、チュウヒの営巣に適したヨシ群落、オギ群落と営巣に適していないヤナギ群落などの面積を集計した結果は、表-3に示す。汽水化施工を行った保全区西側では、営巣に適したヨシ群落及びオギ群落は、汽水化施工後は48,810㎡、45.6%増加し、営巣に適していないヤナギ類などの植生は53,844㎡、49.9%減少した。一方、汽水化施工を行わなかった保全区東側では、営巣に適した植生は9,053㎡、5.3%減少し、営巣に適していない植生は7,273㎡、6.6%増加した。

## (3) 営巣に適した植生の草丈変化

2016年及び2020年にUAVを用いて撮影した航空写真よりSfM解析 (Structure from Motion) を行って得た樹冠標高から、2時期の差を求めることで営

巣に適した植生の生長（差がプラス）、減退（差がマイナス）を確認した。植生の変化の割合及び生長・減退した植生分布は表-4及び図-5に示す。汽水化施工を実施した保全区西側では、2016年と比較して営巣に適した植生の内、生長した植生が占める割合は66.8%、減退した植生の割合は33.2%であった。保全区西側では草丈が低くなった植生は、冠水範囲に含まれていない範囲に分布する。一方、汽水化施工を行わなかった保全区東側では、生長した植生が占める割合は42.4%、減退した植生の割合は57.4%であり、草丈が低くなった植生の割合が多かった。

表-4 植生の草丈の変化

| 区分     | 保全区西側            | 保全区東側            |
|--------|------------------|------------------|
| 生長した植生 | 104,180㎡(66.8%)  | 68,344㎡(42.6%)   |
| 減退した植生 | 51,786㎡(33.2%)   | 92,093㎡(57.4%)   |
| 計      | 155,966㎡(100.0%) | 160,437㎡(100.0%) |

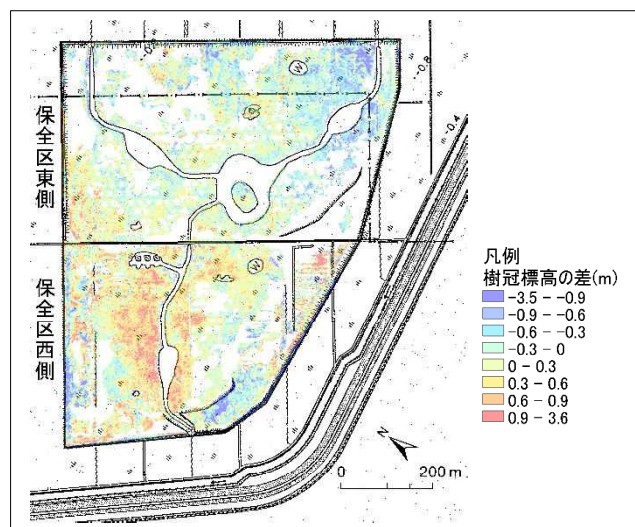


図-5 営巣に適した植生の伸長差

## (4) 植生構造の変化

ベルトトランセクトにおける種ごとの被度の変化を図-6に示す。汽水化前(2018年)はヨシよりもオギの被度が高い箇所が16%を占め、ヤマアワ、タチヤナギ等の生育もみられたが、第1回汽水化後(2019年)

表-3 植生分布の変化

| 区 分    | 群落名等                                                                      | 保全区西側 (㎡) |         |         | 増減率 (%) | 保全区東側 (㎡) |         |        | 増減率 (%) |
|--------|---------------------------------------------------------------------------|-----------|---------|---------|---------|-----------|---------|--------|---------|
|        |                                                                           | 2016年     | 2020年   | 増減      |         | 2016年     | 2020年   | 増減     |         |
| 植 適した  | ヨシ群落、オギ群落                                                                 | 107,155   | 155,966 | 48,810  | 45.6    | 169,487   | 160,437 | -9,053 | -5.3    |
| 適さない植生 | ヤナギ群落、ナンキンハゼ等群落落葉広葉樹群落、クスノキ等常緑広葉樹群落、ヌルデ群落、セイタカアワダチソウ群落、ヤマアワ群落、クス群落、刈り取り草地 | 107,931   | 54,087  | -53,844 | -49.9   | 110,336   | 117,610 | 7,273  | 6.6     |

はオギが消失し、全ての箇所でもヨシが優占していた。イガヤツリ等がみられたが、これらの被度は低下している。第2回汽水化後(2020年)にはヨシ1種が生育する群落がほとんどとなり、被度5となる箇所がL1で82%、L2で98%であった。被度が小さかった箇所は、ヤナギなどの立ち枯れた付近や水路等の水面周辺であった。

汽水化により、ヨシ以外の植物の生育が抑制され、ヨシの被度が高くなることが示された。

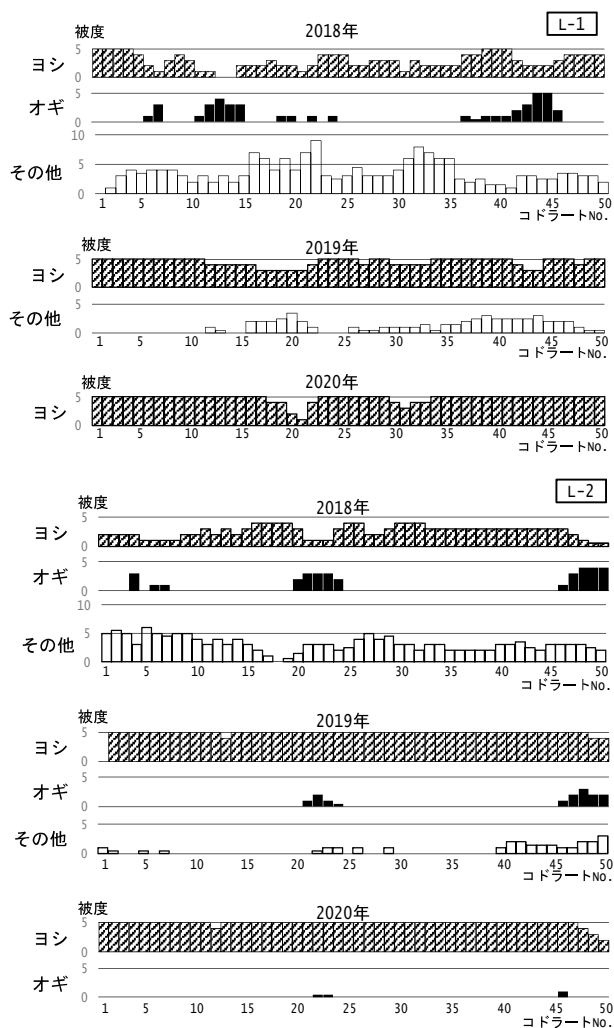


図-6 植生構造の変化

## 4. 考察

汽水化施工を行った保全区西側では、チュウヒの営巣に適した植生の割合は、汽水化施工前に比べて、48,810㎡、45.6%に増加し、営巣に適さない植生は53,844㎡、49.9%に減少した。また、ベルトランセクトの調査結果から、ヤマアワ等の植生がほとんどなくなりヨシが優占する構造となった。一方、汽水化施工を行わなかった保全区東側では、営巣に適した植生の割合は、汽水化施工前に比べて、9,053㎡、5.3%に減少し、営巣に適さない植生は7,273㎡、6.6%に増加した。保全区西側では、塩分

濃度の高い外周水路の用水を導入して、水位を高く維持したことにより、ヨシ群落及びオギ群落の分布が増加し、ヤナギ類などの生育を抑制することができた。チュウヒの営巣環境としては、ヨシ群落及びオギ群落の草丈が1.5m以上であることが条件であるが、2016年と比較して2020年は、生長した植生が104,180㎡、66.8%に達していることから、より営巣に適した植生が形成していると考えられる。一方、保全区東側では、ヤナギ類の伐採なども行われたが、営巣に適したヨシ群落、オギ群落の分布は少なくなり、営巣に適していないヤナギ群落等の分布が増加した。また、営巣に適した植生は、減退した植生の分布が生長した植生分布を上回り、営巣環境として適していない方向に遷移していると推察される。

2020年には、保全区西側では、保全区創出後、初めてチュウヒの繁殖行動を確認したことから、チュウヒの営巣地として適した環境が形成されつつあると考えられる。今回の汽水化施工では、水位は降雨により変動するが、水位調整は行わずに湿地様の環境が広い面積で維持されるよう管理した。今後は、汽水化をどのような頻度で実施するか、汽水化後の水位をどの程度に維持するか、また保全区東側をどのように維持するかを検討して、良好な営巣環境の維持に努める必要があると考える。

## 5. 謝辞

本業務では、木曽岬干拓地整備事業環境影響評価アドバイザー会議のアドバイザーの方々から多くのご意見、ご指導をいただいた。また、三重県地域連携部水資源・地域プロジェクト課のご理解、ご協力を得て本稿の発表ができた。ここに記して御礼を申し上げる。

## 摘要

本業務では、異なる2時期の写真測量データをSFM解析して差を求めることで植物の生長・減退を確認することができた。本手法は、生息地を踏み荒らすことなく、面的に植物の生長を確認することができ、写真測量と植生調査を定期的の実施することで、営巣環境の変化を把握することが可能であり、今後のモニタリングにも適用が可能である。

## 参考文献

- 1) 多田英行・蛭名純一. 仏沼におけるチュウヒの繁殖生態の概要. おおせつからんど年報2:25-32. 2010.
- 2) 多田英行. 錦塩田跡地のチュウヒの繁殖概要 (2014年). 野鳥おかやま205号:2-3. 2014.
- 3) 三重県地域連携部: 平成28年度木曽岬干拓地整備事業環境影響評価事後調査等業務委託報告書. 植生断面調査.p9-83-9-94, 2016
- 4) 国航業株式会社: 令和2年度 (第30回) 建設コンサルタント技術発表会 (発表概要集). p127-p130, 2020
- 5) 気象庁桑名地域気象観測所: 2018-2020

# 新設樋門における管理・操作の省力化

なかばやしこうき かとうしんゆう やまだしゅうじ おおうらじけんと  
○中 林功貴<sup>1</sup>・加藤真雄<sup>1</sup>・山田 周 治<sup>1</sup>・大浦地健斗<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 玉野総合コンサルタント(株)本社 (〒461-0005 名古屋市東区東桜 2 丁目 17-14)

<sup>2</sup> 玉野総合コンサルタント(株)静岡支店 (〒420-0817 静岡県静岡市葵区東静岡 1-1-39)

近年、局所的な豪雨災害が増加している中、樋管操作人の後継者不足や高齢化等による樋管ゲートの操作遅れに対するリスクが高まり、操作・管理においても省力化を図った上で確実な開閉機能の確保が求められている。

本論文では、感潮区間に設置する新設樋管において操作遅れリスクを最小限にするために自動開閉式ゲートを採用した事例を報告する。本地区では、自動開閉式ゲートを採用することで、従来のゲート形式に対し、工事コストを約 25%縮減、維持管理コストを約 25%縮減した。更に、CIM モデルを活用して万が一樋管から河川の洪水が支川へ逆流した際に人的被害が生じないことを確認するとともに、万が一の不完全閉塞時へ対応するため非常用動力の設置を提案した。

**KeyWords** : 樋門, 樋管, 無動力, 自動開閉式ゲート, 非常用動力, BIM/CIM

## 1. はじめに

近年、局所的な豪雨災害が増加している中、樋管操作人の後継者不足や高齢化等による樋管ゲートの操作遅れに対するリスクが高まり、操作・管理においても省力化を図った上で確実な開閉機能の確保が求められている。

本地区では、付近に人家が無く、洪水時及び高潮時に操作を行う人員の確保が困難で、ゲートの操作遅れに対するリスクが高い状況下であった。

本論文は、感潮区間に設置する新設樋管において操作遅れリスクを最小限にすることを目的に、自動開閉式ゲートを採用した事例を報告する。



図-2 対象樋管位置図

## 2. 現地概要

本地区は、一級河川菊川の高潮堤防整備区間に計画されており、堤防整備に伴う現況樋管の改築が位置付けられている。現況樋管のゲート形式は、洪水時及び高潮時の逆流防止対策として、動力による有人操作が必要なスライドゲート形式が採用されており、満潮時に河川水の逆流を防止するために無動力で開閉可能なマイターゲート形式が採用されている。



図-1 対象樋管写真



図-3 対象箇所周辺の状況



### 3. 樋管計画諸元

樋管の計画諸元は、現況流域における排水量 7.25m<sup>3</sup>/s を安全に流下させる断面として樋管幅 2.3m、内のり高 1.5m とした。

表-1 計画流量算定条件表

| 項目                   | 条件                                    |
|----------------------|---------------------------------------|
| 算定式                  | 合理式                                   |
| 流域面積                 | 0.593km <sup>2</sup>                  |
| 流出係数                 | 0.62(畑・住宅面積の加重平均)                     |
| 洪水到達時間               | 37min                                 |
| 流入時間                 | 17min(中小河川計画の手引き)                     |
| 流下時間                 | 20min(クラーヘン式)                         |
| 平均雨量強度               | 70.8mm/hr                             |
| 計画雨量規模               | 1/5 年確率規模                             |
| 降雨強度曲線 <sup>※1</sup> | $r = \frac{1420.6}{t^{0.7} + 7.5419}$ |
| 計画流量                 | 7.25m <sup>3</sup> /s                 |

表-2 樋管断面の考え方

| 項目    | 考え方                                         |
|-------|---------------------------------------------|
| 幅     | 2.3m                                        |
| 内のり高  | 1.5m ( > 計算水位 1.27m+余裕高 0.13m+残留沈下量 0.052m) |
| 余裕高   | 0.13m                                       |
| 残留沈下量 | 0.052m                                      |
| 本体長   | 18.5m                                       |

### 4. 無動力形式ゲートの検討

近年、ゲート形式は、施設管理者や操作員の高齢化による社会環境の変化や豪雨への対応を踏まえ、ゲートの無動力化による維持管理の効率化を図る目的で、フラップゲート、マイターゲート等を採用する事例もみられる。これらのゲートの採用にあたっては、以下の条件及び背後地の状況および樋門の重要度を考慮して検討する。<sup>※2</sup>

#### <無動力式ゲートの採用条件>

- 不完全閉塞を起こす可能性が非常に少なく、仮に不完全閉塞が起こったとしても、治水上著しい支障を及ぼすおそれがないと認められ、かつ、引上げ式のローラーゲートとした場合に出水時の開閉操作にタイミングを失すおそれがあること、その他人為的操作が著しく困難又は不適当と認められること。<sup>※3</sup>
- 樋門の構造が、川裏ゲート又は角落し等によって容易、かつ、確実に外水をしゃ断できる構造であること。<sup>※3</sup>



図-4 無動力形式ゲート<sup>※4</sup>

以上より、対象箇所のゲート形式は、(1)樋管位置が感潮区間であり満潮時に河川水の逆流を防止する必要があること、(2)付近に人家が無く、洪水時及び高潮時に操作を行う人員の確保が困難な状況であること、(3)CIM モデルに想定浸水位を可視化し、浸水時に人的被害が発生しないことから、無動力形式の採用を検討した。

#### (1) 無動力形式ゲートの種類

無動力形式ゲートは、扉体の内外水位差により開閉する仕組みとなっており、主に以下の5つが挙げられる。

##### a) スイングゲート

片開きドアと同じ機構のゲートであり、ゲートは側部に取り付けられた回転軸により開閉する。

##### b) マイターゲート

スイングゲートを水路左右岸に対象的に設置する観音開き式のゲートであり、ゲートは両側部に取り付けられた回転軸により開閉する。樋管幅が大きい場合に採用される。

##### c) 自動転倒ゲート

扉体の下部に取り付けられた回転軸により開閉する形式であり、扉体の重量に対してバランスをとるフロートが取り付けられている。

##### d) フラップゲート

扉体の上部に取り付けられた回転軸により開閉する。

##### e) バランスウェイト式フラップゲート

近年開発された形式であり、扉体の重量に対してバランスをとるウェイトが取り付けられているため、少量の水位差で開閉する。また、非常用動力が取り付け可能な製品も開発されている。

### 5. ゲート形式（門柱形式）の選定

門柱・ゲート形式は、本樋門が排水及び逆流防止を目的としているため、動力式であるスライドゲート形式、無動力形式であるマイターゲート及びバランスウェイト式フラップゲートの組み合わせによる以下3案について、管理・操作性、経済性等を比較した。経済性は、本体、操作盤、管理橋、上屋、ゲート、非常用動力等のイニシャルコストに加え、耐用年数 50 年分のランニングコストである年点検費、潤滑油交換、塗装費用、水密ゴム取替、機械設備更新等を考慮した。

### (1) マイターゲート+スライドゲート

マイターゲートを主ゲートとし、背面にスライドゲートを有する現況樋管ゲート形式を踏襲した従来の形式である。常時・潮位変動に対してはマイターゲートによる自動開閉が可能であり、緊急時には、スライドゲートによる強制閉塞が可能である。

表-3 マイターゲート+スライドゲート 経済性

|          |          |
|----------|----------|
| イニシャルコスト | 3,500 万円 |
| ランニングコスト | 3,300 万円 |
| 合計       | 6,800 万円 |

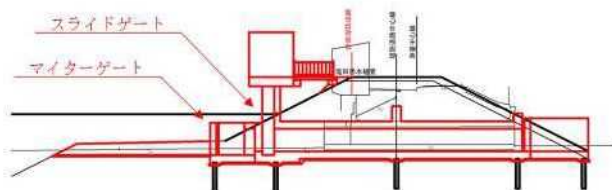


図-5 マイターゲート+スライドゲート  
樋管一般図イメージ図

### (2) バランスウェイト式フラップゲート+スライドゲート

バランスウェイト式フラップゲートを主ゲートとし、背面にスライドゲートを有する形式である。常時・潮位変動に対してはバランスウェイト式フラップゲートによる自動開閉が可能であり、緊急時には、スライドゲートによる強制閉塞が可能である。

前項の形式に対して、経済性が若干劣るものの、少量の内外水位差で自動開閉する形式であるため開閉機能の確実性が高く管理面で優れる。

表-4 バランスウェイト式フラップゲート  
+フラップゲート 経済性

|          |          |
|----------|----------|
| イニシャルコスト | 3,700 万円 |
| ランニングコスト | 3,300 万円 |
| 合計       | 7,000 万円 |

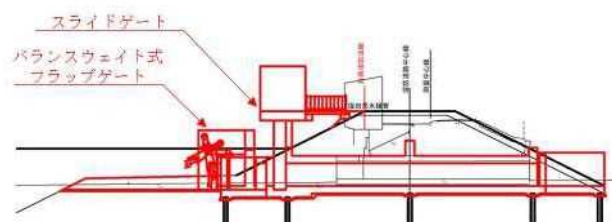


図-6 バランスウェイト式フラップゲート  
+スライドゲート 樋管一般図イメージ図

### (3) バランスウェイト式フラップゲート

バランスウェイト式フラップゲートを主ゲートとする形式である。常時・潮位変動に対しては、バランスウェイト式フラップゲートによる自動開閉が可能である。

本ゲート形式は僅かな内外水位差により開閉する形式で、背後にスライドゲートを有していないため、流下物等がゲートに挟まった際に生じる不完全閉塞

への対策が求められる。そこで、角落しの設置の他に強制閉操作が可能となる非常用動力の設置を提案した。

表-5 バランスウェイト式フラップゲート  
+非常用動力 経済性

|          |          |
|----------|----------|
| イニシャルコスト | 2,700 万円 |
| ランニングコスト | 2,500 万円 |
| 合計       | 5,200 万円 |

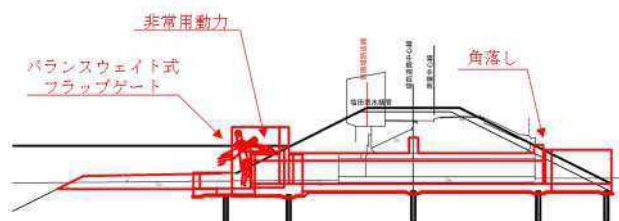


図-7 バランスウェイト式フラップゲート  
+非常用動力 樋管一般図イメージ図



図-8 非常用動力イメージ写真※5



図-9 バランスウェイト式フラップゲート例※3

### (4) ゲート形式（門柱形式）の選定

ゲート形式（門柱形式）は、以下理由により「バランスウェイト式フラップゲート」を選定した。

- (1) 少量の内外水位差で自動開閉する形式であるため洪水・高潮時でも人的操作を必要とせず閉塞でき、万が一の不完全閉塞時でも非常用動力により開閉機能が確保できるため、確実性が高く管理面で優れること。
- (2) 比較案の中で唯一門柱レス形式であることから、現況樋管ゲート形式を踏襲した従来の形式に対し、工事コストが約 25%縮減、維持管理コストが約 25%縮減されること。
- (3) 同上の理由により、耐震設計上の構造的メリット、工事期間の短縮に繋がること。

6. CIM モデルによる人的被害有無の確認

本検討では、CIM モデルを活用して、万が一樋管から河川の洪水が支川へ逆流した際の浸水範囲を確認した。

(1) CIM モデル作成

CIM モデルは、以下に示す条件により作成したものを使用した。

表-6 CIM モデル作成条件

|       |                                                        |
|-------|--------------------------------------------------------|
| 広域モデル | 国土数値情報 5m メッシュデータ<br>国土地理院 地理院地図 GISMaps <sup>※6</sup> |
| 地形モデル | UAV による地形測量成果                                          |
| 土工モデル | 土工形状モデルデータ (Land-XML)                                  |
| 構造モデル | 樋管の構造モデルデータ (Revit)                                    |
| 統合モデル | 上記モデルを統合したデータ                                          |
| 詳細度   | 築堤<br>護岸 200 (標準部形状が確認できる程度)<br>樋管 300 (主構造形状が確認できる程度) |

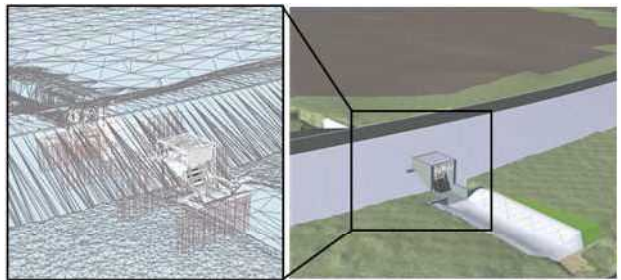


図-10 作成した統合モデル

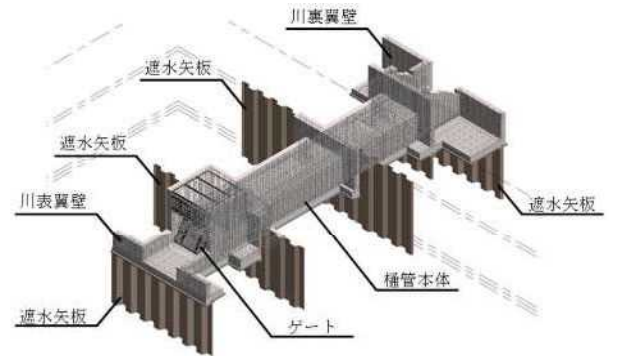


図-11 Revit による樋管の構造モデル

(2) CIM モデルによる想定浸水位の可視化

前項により作成した CIM モデルにおいて、万が一樋管から河川の洪水が支川へ逆流した際に生じる想定浸水位を可視化した。想定浸水位は、HWL である T.P. +3.48m とした。可視化の結果、樋管の背後地で浸水が確認されるものの、その範囲は部分的であり人家浸水が発生しないことが確認できた。



図-12 CIM モデルによる想定浸水範囲の可視化

7. まとめ

本検討で得られた成果を以下に示す。また、将来的には遠隔監視・遠隔操作化により、確実安全なゲート管理を進めていくことが望ましい。

- (1) 洪水・高潮時でも人的操作を必要としない形式を採用したことで、操作遅れリスクを解消することができた。
- (2) 門柱レスであるため、工事コストの約 25% 縮減、維持管理コストの約 25% 縮減、耐震設計上の構造的メリット、工事期間の短縮に繋がった。
- (3) CIM モデルは、施工段階で機械化施工等、維持管理段階で台帳機能等としての活用が期待される。

表-7 属性情報一覧表 (例：樋管本体)

| 属性項目一覧表 |          | 樋管本体              |                    |
|---------|----------|-------------------|--------------------|
| ■樋管     | 属性種別     | 属性名称              | 属性値                |
| 工程      | 部材情報     | ID                |                    |
| 設計時     | 部材情報     | 構造物名称             | 塩田悪水樋管             |
| 設計時     | 部材情報     | 部材名称 1            | 樋管本体               |
| 設計時     | 部材情報     | 部材名称 2            |                    |
| 設計時     | 部材情報     | 部材名称 3            |                    |
| 設計時     | 部材情報     | 備考 1              |                    |
| 設計時     | 部材情報     | 備考 2              |                    |
| 設計時     | 品質管理基準情報 | 規格 1              | コンクリート：24-8-25B8   |
| 設計時     | 品質管理基準情報 | 規格 2              | 炭素コンクリート：18-8-40B8 |
| 設計時     | 品質管理基準情報 | 規格 3              | 鋼矢板：H 型            |
| 設計時     | 品質管理基準情報 |                   |                    |
| 設計時     | 品質管理基準情報 |                   |                    |
| 設計時     | 品質管理基準情報 |                   |                    |
| 設計時     | 品質管理基準情報 |                   |                    |
| 設計時     | ファイル添付   | 樋管本体構造図 (1) ~ (4) | 樋管本体構造図.pdf        |
| 設計時     | ファイル添付   |                   |                    |

謝辞：本報告をまとめるにあたり、国土交通省浜松河川国道事務所および本業務に関わった関係各位から資料提供を受けました。ここに謝意を表します。

参考文献

- 1) 静岡県, 降雨の確率, 西部浜松測候所, 短時間降雨強度表 (平成 23 年度改訂版)
- 2) 国土交通省, 中部地方整備局, 河川部：河川構造物設計要領, 平成 28 年 11 月
- 3) 社団法人, 日本河川協会：改定 解説・河川管理施設等構造令, 財団法人, 国土技術開発研究センター編
- 4) 全国河川管理課長会議：樋門・樋管のゲート形式検討の手引き (案), 平成 29 年 3 月
- 5) 旭イノベックス：AUTOGATE, バランス式無動力ゲート, パンフレット
- 6) 国土地理院：地理院地図, GSIMaps, 国土地理院



# コアジサシの営巣に配慮した河道掘削の効果 及び保全対策の検討

○亀村聡<sup>1</sup>・賀川真樹<sup>1</sup>・山本晃一<sup>1</sup>・賀川泰棋<sup>2</sup>

<sup>1</sup>いであ株式会社 名古屋支店 環境技術・生態部（〒455-0032 愛知県名古屋市中区入船1-7-15）

<sup>2</sup>いであ株式会社 名古屋支店 環境調査・化学部（〒455-0032 愛知県名古屋市中区入船1-7-15）

木曽川上流管内では、砂礫河原再生、緩流域再生等の自然再生事業が実施されており、治水対策として実施される河道掘削においても、河川環境に配慮した施工が進められている。本業務では、木曽三川の砂礫河原再生の一環として、砂礫河原に営巣するコアジサシの繁殖状況を調査し、コアジサシの営巣に配慮して実施された長良川墨俣地区における河道掘削効果の評価を行った。また、コアジサシの営巣箇所における保全対策として、「デコイ設置」による営巣誘致や、「シェルター設置」による雛の保護等を実施したことにより、今後の保全対策を検討する上での基礎資料が得られたため、報告する。

**Key Words** : コアジサシ, 砂礫河原, 河道掘削, 自然再生事業, 保全対策, 木曽三川

## 1. はじめに

### (1) 事業及び業務の概要

木曽川上流管内では、「木曽川上流自然再生計画書」<sup>1)</sup>（以下、「自然再生計画」）に基づき、治水や河川利用との調和を図りつつ、多種多様な動植物が生息・生育する豊かな自然環境及び良好な河川景観の保全・再生を目標とした自然再生事業が実施されている。また、整備の実施後にはモニタリング及び効果検証を行い、蓄積された知見を環境配慮にフィードバックすることで、順応的・段階的に事業を進める方針となっている。

本業務は、河川内の動植物の生息状況と生息環境の経年状況を把握し、事業（整備・対策）の効果の検証や配慮事項を検討することにより、河川環境の再生・創出に役立つ資料を作成したものである。

### (2) 自然再生計画における砂礫河原再生について

自然再生計画では、忠節地区で進められている砂礫河原再生事業の他、治水対策として行う河道掘削等においても、再草地化・樹林化を防ぐために、冠水頻度を考慮した施工を行う方針としている。特に、木曽三川では、砂礫河原に特有の鳥類であるコアジサシ（図-1参照）の繁殖場となる環境の保全も求められている<sup>2)</sup>ことから、近年の河道掘削工事においては、対象区間におけるコアジサシの繁殖実績を踏まえ、営巣環境の保全に配慮した工法を検討する取

り組みが行われている。



図-1 コアジサシの概要

### (3) 砂礫河原再生に係る調査内容

コアジサシの営巣環境の保全に配慮した河川整備方法を検討するためには、コアジサシの繁殖状況を把握し、治水対策等の河川改修時に活用可能な基礎資料を得る必要がある。これを踏まえ、本業務では木曽川上流管内での現地調査を実施し、コアジサシの営巣可能な砂州の分布や繁殖状況を確認した。なお、調査は平成24年度から継続されており、営巣確認位置、営巣数、幼鳥の巣立ち数の経年変化が砂州ごとに整理されている。

本報告は、既往のコアジサシ調査結果を活用し、木曽川上流管内において実施された本種の保全対策

の効果を検証することで、今後の河川維持管理における環境配慮の検討に資する基礎資料の蓄積・共有を図るものである。

## 2. コアジサシの営巣環境に配慮した河道掘削の効果の評価

### (1) 長良川墨俣地区における河道掘削の概要

長良川42.0～42.4k付近（墨俣地区）の中州では、流下能力不足及び滞筋固定による中州の堆砂・樹林化等の問題を解消するための河道掘削（平成28～29年度施工）に際して、既往調査結果を踏まえて、コアジサシの営巣環境の保全に配慮した工事手法の検討が行われた<sup>3,4)</sup>。検討内容の概略を図-2に示す。掘削工法については、河道の物理環境、コアジサシの生息環境、専門家の助言を踏まえて配慮事項を整理した上で、中州を全体的に平行に切り下げる手法（以下、全面切り下げ）が適切であると検討された。なお、切り下げ時の具体的な数値設定やその算定経緯については、木曽川上流河川事務所（2016）<sup>3,4)</sup>を参考されたい。本報告では、工事後3か年のモニタリングで把握されたコアジサシの繁殖状況について整理するとともに、コアジサシの営巣環境の保全に配慮した河川改修の実施効果を評価する。

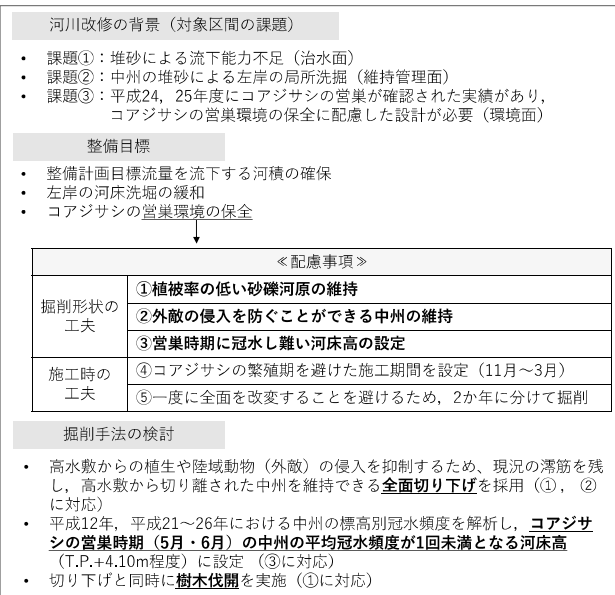


図-2 墨俣地区におけるコアジサシの営巣環境保全に配慮した河道掘削の概要（平成28～29年度施工）

### (2) 長良川墨俣地区における経年繁殖状況

墨俣地区でのコアジサシの経年的な繁殖実績を表-1に整理した。切り下げ工事以前の繁殖状況を見ると、平成24年度、25年度に営巣が確認されており、本種の営巣に適した砂礫河原であったことが分かるが、平成26～29年度には営巣が確認されなくなった。なお、平成27年度の時点では、中州の上流側では砂礫河原が維持されていたものの、下流側では大部分が草本や木本に覆われていたことが確認されており、

コアジサシの繁殖地として適さない環境に変化しつつあることが懸念されていた<sup>3,4)</sup>。その後、中州の切り下げと併せて樹木伐開も行われた（図-2参照）ことで、工事後、中州全面に砂礫河原が創出された。

工事後の繁殖状況を見ると、平成30年度には65巣、令和元年度に87巣、令和2年度には6巣が確認された。なお、営巣が確認された平成24年度、25年度、30年度、令和元年度、2年度において、幼鳥の巣立ち（繁殖成功）が確認されたのは平成30年度のみであり、その他の年は、幼鳥が巣立つ前に出水が発生し、多数の巣が流出した状況であった。

表-1 墨俣地区におけるコアジサシの繁殖状況（平成24年度～令和2年度）

| 年度  | 営巣数 | 幼鳥の巣立ち数           | 繁殖に関する備考                            |
|-----|-----|-------------------|-------------------------------------|
| H24 | 17巣 | 0羽                | 出水により全巢の繁殖失敗                        |
| H25 | 4巣  | 0羽                | 出水により全巢の繁殖失敗                        |
| H26 | —   | —                 |                                     |
| H27 | —   | —                 |                                     |
| H28 | —   | —                 |                                     |
| H29 | —   | —                 |                                     |
| H30 | 65巣 | 5羽 <sup>注2)</sup> | 一部の巣では繁殖成功したが、多数の巣は出水により繁殖失敗        |
| R1  | 87巣 | 0羽                | 事業環境調査では、河川内で最大の営巣数<br>出水により全巢の繁殖失敗 |
| R2  | 6巣  | 0羽                | 出水により全巢の繁殖失敗                        |

注1) —：営巣活動が確認されなかったことを示す。

注2) コアジサシの1つがい（1巣）の産卵数は1～4個であり、1巣から1羽が巣立ったと仮定しても、65巣中で最大5巣しか繁殖に成功しなかったと考えられる。  
産卵数の出典 「コアジサシ繁殖地の保全・配慮指針」（環境省自然環境局野生生物課、2014）

### (3) 保全対策効果の評価

工事後3か年の中州の状態及びコアジサシの繁殖結果から、掘削形状の工夫（図-2に示す①～③）に示す事項の達成状況を確認し、営巣環境の保全に対する配慮の有効性について評価した。

「配慮①：営巣に適した植被率の低い砂礫河原の確保」については、施工後の再樹林化は確認されておらず、植被率は低い状況で維持されている。このため、工事後1年目の平成30年度にコアジサシの営巣が再確認され、その後の令和元年度、2年度にも営巣地として継続利用が確認されたことから、有効であったと考えられた。また、「配慮②：外敵の侵入を防ぐことができる中州の維持」についても、陸地から切り離された中州が維持されており、有効であったと考えられた。

「配慮③：営巣時期に冠水し難い河床高の確保」については、出水による巣の流出が続いたことを受け、本事業に関わる検討・審議の場である木曽川上流自然再生検討会にて、「何年に1回コアジサシの繁殖が成功すればよいかを見積もることは、今後、河川内におけるコアジサシの営巣環境の保全対策を検討する上で重要な知見である」との意見が得られている。このことを踏まえ、当該区間における過年度の水位データと、工事後の中州の地盤高を対照し、コアジサシの営巣時期における中州の冠水頻度を整理することで、出水の影響を受けずにコアジサシが繁殖に成功する頻度を以下のとおり解析した。

#### a) 工事後の中州が冠水する水位の推定

令和2年度のライブカメラ画像<sup>5)</sup>（図-3参照）から、当該区間の中州の冠水状況を確認し、同時刻の水位

データと照合することにより、切り下げ後の中州が冠水する水位（以下、冠水基準面）について、推定した。その結果、水位が約T.P. +3.4～3.5mに達すると中州の大部分が冠水することが確認された。これに従い、当該区間の水位が冠水基準面（約T.P. +3.4m）以上となれば営巣地が冠水し、下回れば干出すると判定した。なお、水位データは、長良川穂積観測所の値<sup>6)</sup>を参照し、中州が位置する42.2kpでの値に変換して使用した<sup>7)</sup>。



図-3 ライブカメラ画像による中州の冠水状況の確認例

**b) コアジサシの営巣時期における冠水頻度の整理**

本解析では、コアジサシの個体群維持の観点から、本種の推定寿命の10年程度を参考値として保全効果を評価するよう、有識者より助言を受けた。これを踏まえ、過去10年間（平成23年度～令和2年度）を対象として、コアジサシの営巣時期における中州の冠水・干出の継続日数を推定することで、営巣地の冠水頻度を整理した。なお、ここでは、モニタリングで確認された営巣箇所での推定営巣開始日を参考に、多数の営巣が想定される5月20日～7月31日を「営巣時期」として設定した。

**c) コアジサシの繁殖可能な回数の算出**

コアジサシの繁殖生態として、抱卵期間に19～21日、雛の孵化後から幼鳥が飛べるようになるまでに19～20日かかるとされる<sup>8)</sup>。このことから、繁殖に要する最短日数を38日と設定し、38日以上連続した干出期間があれば、繁殖可能な機会が確保されていると判定した。また、本解析では、幼鳥が飛翔可能となった時点をも「巣立ち」として扱い、繁殖成功の基準とした。

墨俣地区の中州における過去10年間の繁殖可能性を算出した結果、繁殖可能な機会があった年は、平成26年、27年、29年、30年の計4回であった（表-2参照）。以上のことから、過年度の水位変動を参考とした推測では、10年間程度の期間で見れば、コアジサシが繁殖を成功させることのできる砂礫河原が創出されていると評価できた。なお、この表では、各年度における実際の繁殖状況も併せて示したが、工事後3か年をみると、コアジサシの繁殖成功が確認された平成30年度の連続干出日数は39.5日であり、繁殖可能性の判定と実際の繁殖結果が合致することが確認できた。一方で、39.5日という連続干出日数は、繁殖に要する最短日数38日をわずかに上回る程

度である。これは、「砂礫地の干出後1～2日の間に営巣を開始しなければ、次の出水までに幼鳥が巣立つことはできない」という厳しい条件であり、営巣数（最大65巣）に比べて巣立ち数（5羽）が少なかったのは、このことによるものと考えられる。

表-2 墨俣地区における過去10年間の繁殖状況及び繁殖可能性の算定結果

| 年度                                     | H23             | H24  | H25  | H26  | H27  | H28  | H29  | H30  | R1   | R2   |
|----------------------------------------|-----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                                        | 工事前             |      |      | 実施中  |      |      | 工事後  |      |      |      |
| 繁殖可能の判定                                | 不可              | 不可   | 不可   | 可    | 可    | 不可   | 可    | 可    | 不可   | 不可   |
| 38日以上連続で干出していた回数                       | 0               | 0    | 0    | 1    | 1    | 0    | 1    | 1    | 0    | 0    |
| 最長連続干出日数                               | 16.6            | 28.3 | 30.9 | 41.3 | 38.0 | 36.3 | 45.8 | 39.5 | 20.8 | 22.9 |
| コアジサシの営巣活動                             | 不明 <sup>③</sup> | あり   | あり   | —    | —    | —    | —    | あり   | あり   | あり   |
| 幼鳥の巣立ち数                                | 不明 <sup>③</sup> | 0羽   | 0羽   | —    | —    | —    | —    | 5羽   | 0羽   | 0羽   |
| ※工事前～工事実施中は、「繁殖可能の判定」と「巣立ち数」に直接的な関係はない |                 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |

注) 本事業による調査は平成24年度に開始されたため、平成23年度のデータはない

**(4) 今後の河道掘削時の環境配慮に向けた提言**

本業務では、既往の河道掘削箇所における保全効果の評価を行うため、地盤高と長期的な冠水頻度を踏まえたコアジサシの営巣可能性を推測した。今後のコアジサシの営巣地での河道掘削においては、設計段階から同様の解析過程を組み込むことで、コアジサシの営巣環境の維持・創出にも有効な地盤高の設定が可能になると考えられる。一方で、平成30年度の結果が示すとおり、「繁殖可能な機会の確保」は、必ずしも繁殖成功率の安定性を保証するものではない。多くの幼鳥が巣立つためには、より長期の干出日数が必要だが、そのために地盤高を高くすることは、治水上の河積の確保や植被率の抑制等の課題と相反する。地盤高の設定にあたっては、治水上の課題、砂礫河原の維持、コアジサシの保全のバランスを考慮し、河川環境整備の観点から最も実現性の高い目標設定を検討することが重要と考えられる。

**3. コアジサシの営巣に対する保全対策の実施**

既往調査では、木曽三川周辺でのコアジサシの営巣は、河川内の中州の他、堤内地の礫地で確認されているが、堤内地での確認箇所は限られている。堤内地で確認された営巣地は民有地または市有地であり、事業者の管理状態に応じて、開発による礫地の消失や放置による草地化等が起り、経年的に安定した立地ではない。長期的に見た場合、河川内にコアジサシの営巣環境が存続することが望ましいことから、本事業では、コアジサシの河川内での営巣に対する以下の保全対策を実施してきた。

**(1) 営巣を誘致するデコイの設置**

出水時に冠水する可能性が低い砂礫河原での営巣を促すため、冠水頻度の低い（地盤高の高い）砂州にデコイ（鳥を模した模型）を設置した（図-4参



照）。デコイの設置は、①渡来後、早期に営巣開始するのを促すことで、出水の発生時期（概ね6月下旬以降）までに幼鳥が巣立つ可能性を高めること、②コアジサシの大群を誘致することで、外敵に対する集団防衛力を高めることを目的として設置した。

デコイ設置はコアジサシの渡来初期である5月上旬を目処に行い、平成29年、30年、令和元年、2年度に実施した。

デコイを設置した結果、設置箇所の砂州またはその隣接砂州にてコアジサシの営巣が確認された。また、令和元年度には最大87巣と、本事業による調査では最大の営巣数が確認されたことから、デコイ設置による誘致の効果があったと考えられた。

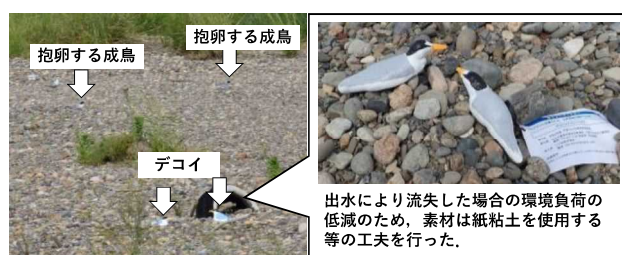


図-4 デコイ設置状況の例

## (2) 雛を保護するシェルターの設置

河川内でのコアジサシの営巣については、事業の検討会委員より、チョウゲンボウやカラス等による捕食によって巣立ちに至らない例が多いことが指摘されている。本事業では、捕食者による雛の捕食圧を低減させ、繁殖成功率を高めるためのシェルター（雛の隠れ場所）（図-5参照）を設置した。

シェルターの設置はコアジサシの抱卵開始後に行い、平成24年、27年、28年、30年、令和元年度に実施した。なお、令和2年度は、営巣箇所が複数回にわたって冠水し、雛が確認される段階まで繁殖が進まなかったため、設置は行わなかった。

シェルター設置の結果、平成30年度には、シェルター周辺に雛のものと考えられる糞痕が集中していた他、シェルターに綿羽の付着が確認されたことから、雛の隠れ場所や休憩場所等として利用された可能性が考えられ、一定の効果があったと考えられた。



図-5 シェルター設置状況の例

## 4. まとめ

長良川墨俣地区の河道掘削においては、植生の繁茂状況等のコアジサシの営巣地選択に関する観点の他、外敵の侵入、冠水のしやすさ等の繁殖可能性に関する観点も踏まえた施工手法が検討されたことで、コアジサシの繁殖に有効な砂州を維持することができたと考えられる。一方、具体的な設定条件が挙げられなかった「中州の面積」についても、良好な営巣環境の保全において重要な要素と考えられる。田和ら（2021）は、関東地方の一級河川を対象とした解析により、砂礫地面積とコアジサシの営巣数の間には有意な正の相関があることを報告している<sup>9)</sup>。今後、コアジサシの営巣確認箇所での河道掘削を計画する際には、既往の営巣確認時の砂礫地面積も考慮に加えることが望ましいと考えられる。また、本報告で示したデコイやシェルター設置による保全対策については、本業務の取り組みにより有効性が確認できたことから、営巣地の保全・創出に配慮した施工と組み合わせて実施することで、より事業効果を発揮することが可能になると考えられる。

**謝辞：**本業務の実施にあたり、木曽川上流河川事務所の関係者の皆様、木曽川上流自然再生検討会委員の皆様には多大なるご指導、ご協力を頂き感謝申し上げます。

## 参考文献

- 1) 国土交通省 中部地方整備局 木曽川上流河川事務所：木曽川上流自然再生計画書，2011。
- 2) 国土交通省 中部地方整備局：木曽川水系河川整備計画，2020。
- 3) 木曽川上流河川事務所 工務課 坂井文也：長良川墨俣地区における治水・環境・維持管理を考慮した河道掘削の検討，平成28年度 中部地方整備局管内事業研究発表会，14，2016。
- 4) 木曽川上流河川事務所 工務課 坂井文也：多自然川づくり取り組み事例 長良川のコアジサシに配慮した中州の切り下げ手法の検討，平成28年度全国多自然川づくり会議 第2分科会，2016。
- 5) 国土交通省 中部地方整備局 木曽川上流河川事務所：木曽川 長良川 揖斐川を見る  
<https://www.cbr.mlit.go.jp/kisojo/livecamera/1e/Top.html>  
（最終閲覧 2020. 7. 31）
- 6) 国土交通省：水文水質データベース 穂積観測所  
<http://www1.river.go.jp/cgi-bin/SiteInfo.exe?ID=305091285502180>（最終閲覧 2020. 7. 31）
- 7) 大日コンサルタント株式会社：平成27年度 木曽川上流 長良川詳細設計業務報告書，2016。
- 8) 環境省 自然環境局 野生生物課：コアジサシ繁殖地の保全・配慮指針，2014。
- 9) 田和康太・森照 貴・中村圭吾・萱場祐一：河川内陸域におけるコアジサシの営巣・生息状況とその適地・必要面積の検討 ―河川水辺の国勢調査を活用して―，河川技術論文集，第27巻，2014。

# 動的解析を用いた海岸樋門の耐震照査方法

伊藤恭司<sup>1</sup>・〇堀部晃宏<sup>1</sup>・中島章浩<sup>1</sup>・坂本雄一郎<sup>1</sup>

<sup>1</sup>若鈴コンサルタンツ株式会社（〒452-0822 愛知県名古屋市中区中小田井5丁目450番地）

本稿で対象となる構造物は、河川河口部に位置する扉体寸法B5.50m×H2.80m×2門の海岸樋門である。昭和54年に竣工された本構造物について耐震性能照査を行い、本土工および基礎工で対策が必要となっている予備設計に対して、3次元モデルによる動的解析を用いた詳細補強設計を行った。結果として、当初案より部材に作用する応答値が適正な挙動に近いモデルにて再現することができた。

**Key Words**：海岸樋門，耐震性能照査，動的解析

## 1. はじめに

愛知県の海岸保全施設の耐震対策は、これまで海岸堤防を中心に進んでいたが、平成23年の東日本大震災では、津波の河川遡上によって甚大な被害が発生した。<sup>2)</sup>このような状況を踏まえ、海岸堤防だけでなく水門や陸閘の耐震化を併せて進めることが重要であり、効果的な海岸保全施設の耐震対策の提案を行う必要がある。

本論文で対象とする構造物は、1979年(昭和54年7月)田原市仁崎町に設置されたRC構造の海岸樋門である。設計当初は、比較的単純な構造であるため、地震時保有水平耐力法が適用できると判断し、静的照査法により耐震性能を照査した。しかし、門柱・堰柱で構成される部材剛性の異なる構造物における地震時保有水平耐力法による照査では、各部材剛性の違いから来る位相差等を表現できないため、動的解析を用いて水流方向および水流直角方向の本土工構造物での耐震性能を評価した。

結果、所定の耐震性能を満足し、適正な挙動に近いモデルにて再現することができた。本論文では、底版幅が広い水門構造における底版基礎体のモデル化の経緯について述べる。

## 2. 現況状況・樋門諸元

対象とする樋門は、耐震補強設計を行う上で複雑なラーメン構造を有している他、海岸に位置し竣工から約40年が経過している施設である。

以下に海岸樋門に関する諸元等を記載する。

海岸樋門に関する構造条件等については、既設樋門に関する図面がほとんど残っていなかったため、詳細調査にて実施した鉄筋探査・はつり調査の結果を使用した。

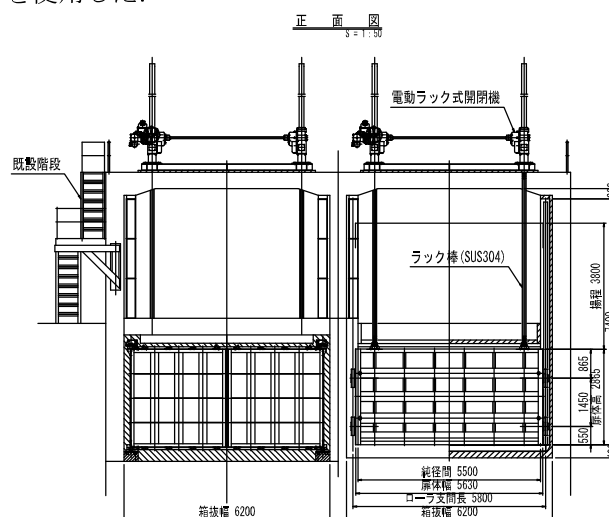


図-1 海岸樋門正面図

| 仁崎樋門  |                       |             |
|-------|-----------------------|-------------|
| 扉体形式  | 11-ローラゲート             | マイターゲート     |
| 門数    | 2門                    | 2門          |
| 径間×扉高 | 5.50m×2.80m           | 3.30m×3.20m |
| 製作者   | 石川島播磨重工業株式会社          |             |
| 設置年度  | 昭和54年 7月17日(1979年)    |             |
| 経過年数  | 40年                   |             |
| 設計水深  | 海側 田尻+3.02 川側 田尻-0.20 |             |

図-2 樋門概要

### 3. 現状で考えられるモデル案とその問題点

#### (1) 耐震照査手法

水門の耐震照査手法は、構造物の地震時挙動を部材の減衰特性を考慮した逐次解析法に基づく動的解析手法と、エネルギー吸収を考慮した静的解析手法の2つの設計手法がある。

設計当初は、比較的単純な構造であるため、地震時保有水平耐力法が適用できると判断し、静的照査法により耐震性能を照査した。

#### (2) 現状で考えられるモデル案

静的照査法により、現況が所要の耐震性能を有しているか確認を行った。

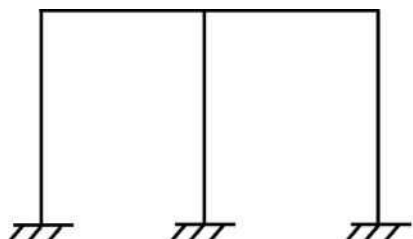


図-3 下部構造に固定されたラーメンモデル

表-1 既設本体工解析結果(静的解析)

| 評価性能 | 地震時 |    |
|------|-----|----|
|      | L1  | L2 |
| 操作台  | OK  | —  |
| 門柱   | OK  | NG |
| 堰柱   | OK  | NG |
| 底板   | OK  | NG |
| 海側水路 | OK  | —  |

表-2 既設基礎工解析結果

| 評価性能  | 地震時 |     |
|-------|-----|-----|
|       | L1  | L2  |
| 杭の支持力 | OK  | —   |
| 杭体    | OK  | OUT |

図-3より、静的解析時のモデル案は、基部のモーメントが大きくなる下部構造に固定されたラーメンモデルとして検討した。表-1・表-2によると、本体工および基礎工はL1地震時において耐震性能を満足しているが、L2地震時には耐震性能が満足できない結果となる。その要因は、L2地震時の水平力の増加が原因と推測される。

### 4. 3次元モデルによる動的解析の必要性

2次元モデルによる静的解析の試算により、底版に作用する水平力の増大が確認された。静的解析では、振動性状が簡単で1質点系にモデル化できる構造物を対象としている。また、構造物に作用する設

計水平震度が地震波の最大値のみを使用しているため、現実の構造物に作用する地震波形とは違うことから底版に作用する水平力が増大したことが基礎工のNG理由であると考えられる。

しかし、構造物を3次元モデルの動的解析で解くことにより、現実に近い挙動が得られるため、底版に作用する水平力が適正值となり、静的解析時よりも減少すると考えた。

よって、詳細な耐震性能を照査する上で、

- ・樋門が振動する際の固有な特性の評価
  - ・静的照査法では解析できない、地震動による樋門の揺れの把握
  - ・構造的な弱点部や、損傷の程度と範囲の確認
- の上記3点を正しく再現するために3次元モデルを構築し、動的解析を行った。

### 5. 3次元モデルによる動的解析

#### (1) 多質点系骨組みモデル化

愛知県の海岸樋門設計は、河川構造物の耐震性能照査指針・解説(IV水門・樋門及び堰編)<sup>1)</sup>に基づき、H24道路橋示方書<sup>2)</sup>に基づいて検討を行う。

図-4に示す3次元モデル案は、H24道路橋示方書V・耐震設計編に準拠したものである。

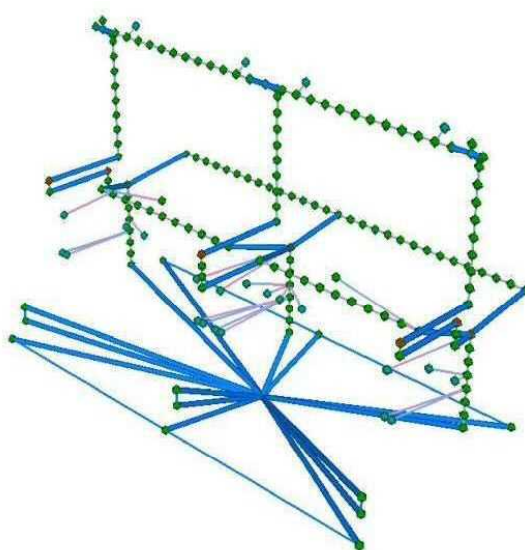


図-4 3次元骨組みモデル(H24道路橋示方書準拠)

図-4のモデルは、操作台・門柱・堰柱・底版の各重心位置に質点を設け、多質点系骨組みモデル化した案である。ゲート重量は、巻上機の設置位置に分散して設置し、底版を剛体としているため、底版は質点を1点とする。これらの各質点に奥行、幅の情報を与えて動的解析を行った。この時、杭は本来、奥行及び幅方向に連続的に存在するが、底盤重心位置のバネ1点に集約して評価した。

#### (2) 当該モデル案における問題点



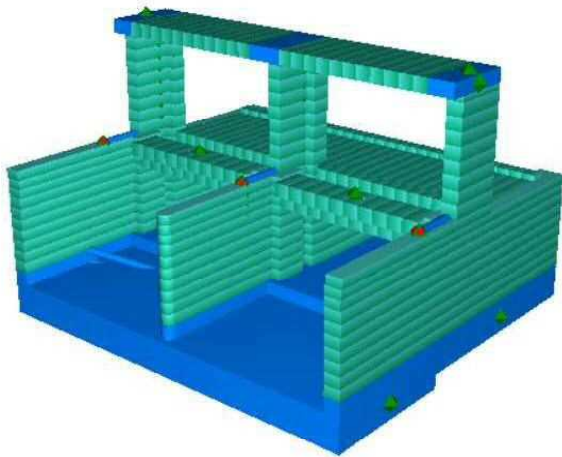


図-5 3次元ソリッドモデル(道路橋示方書準拠)

図-4の骨組みモデルに奥行・幅方向の情報を与えたモデルを図-5に示す。上記モデル案を用いて動的解析を行った結果、底版照査時に過大な曲げモーメントとせん断耐力が発生した。

設定モデルは、道路橋示方書より、底版を剛域と仮定した場合の基礎の集約バネでモデル化を行った。設定モデルは、剛体の底版に固定された2連の門型ラーメン構造に近い形で構造計算を行う。剛体とは、変形しない部材のことであり、ここでは青色に着色した箇所となる。このモデルの問題点は以下の2点である。

- ・門柱及び堰柱下部で曲げモーメントとせん断耐力が大きくなる
- ・底版は、門柱及び堰柱接続部で曲げモーメントとせん断耐力が大きくなる

これら2つの課題があり、これらは静的解析時の問題点と酷似すると考えられた。

### (3) 3次元骨組みモデルの見直し

動的解析の最も基本となるモデルは、1質点系モデルである。1質点系モデルは、基本的に上部構造を1つの質点にモデル化し、それを支える支承・下部構造・基礎の剛性は、1つのバネに集約してモデル化する。これらは、道路橋示方書に準拠した考え方であり、通常の単柱式橋脚を例としたものである。単柱式橋脚では、橋脚基部に塑性化が生じる。塑性ヒンジは非線形回転バネ要素でモデル化し、それ以外の柱部は弾塑性はり要素とするのが一般的である。

しかし、このモデルは、1基の橋脚とそれが支持する上部構造部分を単独で取り出しても、これが橋全体の振動と大きく変わらない構造系に対して適用できるものである。モデル化に際しては、上部構造を表す質点とその橋脚が負担する上部構造部分の重量を適切に表すようにしなければならない。この時横ばりやフーチング(底版)は相対的に剛性が高いため、これらの変形に着目するのでは剛体としてモデル化することが多い。

海岸樋門のような上部構造にゲートや門柱および

堰柱等の重量が発生する構造では、底版重心位置に作用する重量が適切に分散しないと考えられる。以上より、実際の構造物により近いモデルを考案する。

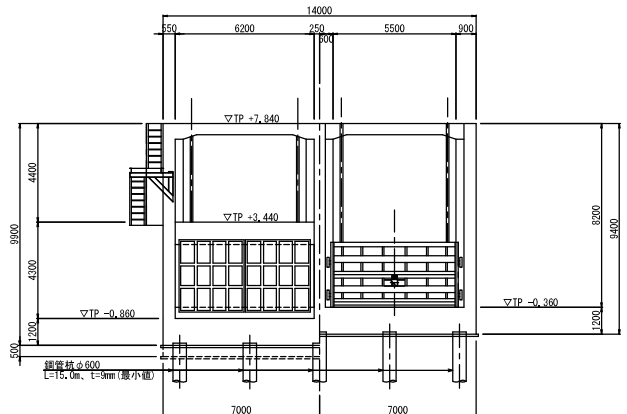


図-6 海岸樋門一般図

底版は、上部構造の重量を適切に作用させるため、剛体ではなく、堰柱間を連続張の弾性体とした。また、杭基礎は集約バネでなく図-6のような現況杭位置と同じ位置とした。杭位置には鉛直・水平・回転バネを設定し、底版に非線形履歴曲線となるM- $\phi$ 骨格曲線を与えた非線形部材としてモデル化を行った。変更後の耐震設計モデルは、底版にも変形が伝わる連続張構造としたことで、底版の断面力を算定することができる実構造物の最適な解析モデル化の再設定が可能となる。以上より、門柱および堰柱下部で発生していた過大な曲げモーメントが底版に分散するように設定した。

## 5. 弾性体モデルによる動的解析

### (1) 検討結果

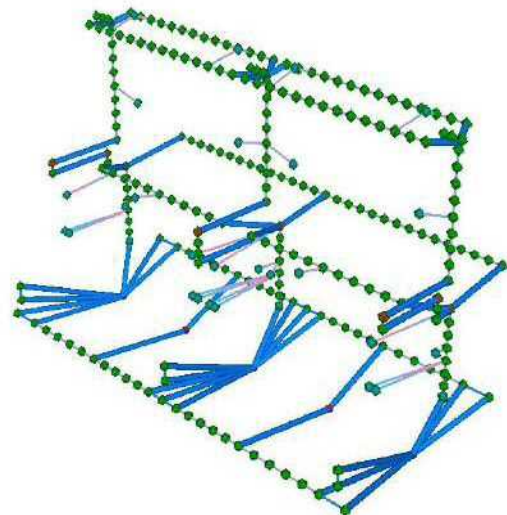


図-7 3次元骨組みモデル(変更案)

図-7は、杭位置に鉛直・水平・回転バネを設定し、底版にM- $\phi$ 骨格曲線を与えた非線形部材にてモデル化を行ったものである。このモデルを使用して動的

解析を行った計算結果を図-8に示す。

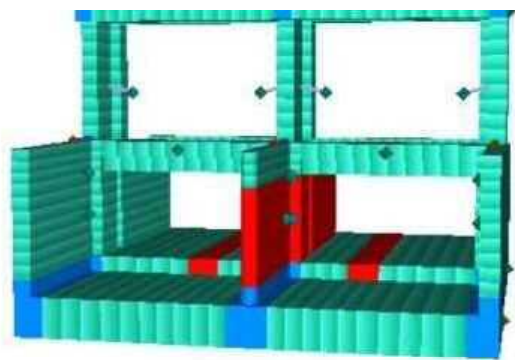


図-8 耐震照査結果

底版を弾性体モデルとして動的解析を行った計算結果は、堰柱と底版のせん断応力が超過する結果となったが、曲げ損傷はしない結果を得た。赤色に着色した部分がせん断のみの損傷箇所となる。これは、底版を連続張の弾性体としたことで、堰柱付近の発生モーメントが小さくなったことが理由と考えられる。

表-3 基礎工照査結果

(1) 橋軸方向  
安定計算

| 液状化 | 地震動タイプ | 水位   | 判定 | 基礎の降伏        |
|-----|--------|------|----|--------------|
| 無視  | I      | 浮力無視 | OK | 基礎は降伏に達していない |
| 無視  | II     | 浮力無視 | OK | 基礎は降伏に達していない |

(2) 橋軸直角方向  
安定計算

| 液状化 | 地震動タイプ | 水位   | 判定 | 基礎の降伏        |
|-----|--------|------|----|--------------|
| 無視  | I      | 浮力無視 | OK | 基礎は降伏に達していない |
| 無視  | II     | 浮力無視 | OK | 基礎は降伏に達していない |

また、変更前は基礎工である杭の耐震性能が不足する結果だったが、底版を非線形部材として動的解析を行った結果、基礎工の耐震性能を満足する結果を得た。

この結果、底版部材において、過大な応答値が入らず、底版と堰柱の応答値が適正に近いモデルを再現することができた。

表-3 固有値解析結果(左:変更前 右:変更後)

| 水流直角方向    |               |                | 水流直角方向    |               |                |
|-----------|---------------|----------------|-----------|---------------|----------------|
| モード<br>次数 | 振動数<br>f (Hz) | 固有周期<br>T(sec) | モード<br>次数 | 振動数<br>f (Hz) | 固有周期<br>T(sec) |
| 1         | 3.835         | 0.261          | 1         | 1.864         | 0.536          |
| 2         | 5.606         | 0.178          | 2         | 3.581         | 0.279          |
| 3         | 5.807         | 0.172          | 3         | 5.430         | 0.184          |
| 4         | 6.471         | 0.155          | 4         | 5.756         | 0.174          |
| 5         | 7.579         | 0.132          | 5         | 6.874         | 0.145          |
| 6         | 9.732         | 0.103          | 6         | 7.540         | 0.133          |
| 7         | 11.172        | 0.090          | 7         | 7.761         | 0.129          |
| 8         | 12.151        | 0.082          | 8         | 8.983         | 0.111          |
| 9         | 13.227        | 0.076          | 9         | 11.484        | 0.087          |
| 10        | 14.236        | 0.070          | 10        | 11.552        | 0.087          |

表-4に固有周期の変遷を示す。卓越モードの固有周期が、変更前が $t=0.090\text{sec}$ に対し、変更後は $t=0.145\text{sec}$ と長くなったことが耐震性能を満足する要因となったと考えられる。変更後の耐震設計モデルは、底版を弾性体に変更した結果、構造物全体で揺れを吸収しやすくなった。これにより、杭に作用する水平力が低減し、作用力が小さくなったと考えられた。

以上より、動的解析実施時に課題であった樋門の固有な振動特性の評価、地震動による樋門の揺れの把握及び構造的な弱点部や、損傷の程度と範囲の確認を行うことができ、適正に近い挙動を再現することができた。

## 7. おわりに

当初モデルは、曲げ損傷箇所とせん断損傷箇所に対して対策が必要であった。しかし、耐震設計モデルを変更したことで、せん断損傷のみの対策で耐震性能を満足し、杭の補強対策も不要となり、対策費の大幅な削減を実現した。

底版幅が広い水門構造のような構造物においては、橋脚構造の底版基礎体のモデルを適用すると、底版が剛体で、なおかつ、底版中心での1点集約バネになる。このモデルは、底版部材に接続する部材に過大な応答値が発生し、堰柱基部の応答値が小さくなる傾向にある。そこで、底版部材を非線形化し、杭位置でのバネにモデルを変更した結果、基礎工は対策が不要という結果を得た。耐震診断の補強は、適切なモデル設定が重要である。今後も実構造物に適したモデル設定を行うことが大切であると考えられる。

## 8. 謝辞

本業務を実施するにあたりご理解とご協力を頂いた県土木事務所・地元関係者・業務関係者に心よりお礼申し上げます。

## 参考文献

- 1) 日本道路協会：道路橋司法書・同解説 V耐震設計編，2012
- 2) 国土交通省水管理・国土保全局治水課：河川構造物の耐震性能照査指針・解説 IV水門・樋門及び堰編，2020
- 3) 日本道路協会：道路橋司法書・同解説 IV下部構造編，2012
- 4) 土木技術センター：橋の動的耐震設計法マニュアル-動的解析および耐震設計の基礎と応用-，2006

# 大規模出水後に創出された 三峰川の河川環境の変化

た な か か つ ゆ き    あ   べ   な お き    な か む ら た つ ひ ろ    あ ら き た か し  
○田中克幸<sup>1</sup>・阿部直己<sup>1</sup>・中村達博<sup>1</sup>・荒木 隆<sup>1</sup>

<sup>1</sup> (株) 建設環境研究所 中部支社 (〒460-0003 愛知県名古屋市中区錦3-20-27)

三峰川では、2019年10月の台風19号の出水で、上流の美和ダムが異常洪水時防災操作を行う既往3番目の最大流入量を記録し、美和ダムの効果により下流域への被害の影響低減が図られたものの、河道内の河川環境は大きな影響を受けた。また、美和ダムは、国内でも整備事例が少ない土砂バイパス（BP）トンネルを有し出水時には土砂を供給するが、土砂BP運用を伴う大規模出水後のダム下流河川環境に係る報告事例は少ない。

本稿では、出水前後の環境基図から植生の変化や河床材マップから出水後の自然裸地化した砂礫河原の河床材の変化等について分析し、植生の初期化や粒径変化が起こりやすい状況等、大規模出水後の河川環境を特性について整理した。

**Key Words** : 大規模出水, ダム下流河川, 環境基図, 植生, 河床材マップ, 粒径変化, 河川環境初期化

## 1. はじめに

河川での大規模出水は、河道内を攪乱することで、河川の形状に影響を与えるほか、平常時は流路とならない範囲である河原の植生遷移の抑制、自然裸地の形成・維持、樹林化の抑制、自然裸地の再生等、良好な河川環境を維持する上での重要なイベントといえる。<sup>1)</sup> ダムの存在は、大規模出水時には下流河川への流量のピークカットを行うことで、下流域の防災・減災に大きく寄与する一方で、出水による良好な河川環境を維持するイベントの効果を抑制することになる。

三峰川は、長野県伊那市を流れる天竜川水系最大の支川で、流域は急峻、大規模地質境界の中央構造線に起因する土砂崩落地帯を抱える。流域では、1950年代に治水と利水を図る第一次三峰川総合開発事業が進められ、事業の一環として、美和ダムは1959年に完成した。また、美和ダムでは、1987年に美和ダム再開発の実施計画調査が始まり、国内でも整備事例の少ない土砂バイパス（BP）トンネルが2005年に完成している。2021年には土砂BPの効率的な運用を図る湖内堆砂対策施設（SY）も完成し、既に試験運用を開始している。<sup>2)</sup>

三峰川では、2019年10月の台風19号（令和元年東日本台風）による降雨に伴い、美和ダム流域平均で

約326mmの累計降水量を記録し、ダムへの最大流入量は887m<sup>3</sup>/sと既往3番目に達した。<sup>3)</sup> この際、ダムへの流入量と放流量がイコールとなる異常洪水時防災操作も一時的に行っている。同時に、土砂BP運用を行い、下流河川へ推定で約6.7万m<sup>3</sup>の土砂を供給している。

本調査は、2021年に完成したSY運用前の「美和ダム再開発環境影響調査業務」の一環として実施されたもので、本稿は、SY運用前のモニタリング期間中に発生した2019年10月と2020年7月の出水後の下流河川の植生や河床材等の調査結果より、大規模と位置付けられる出水後の三峰川の河川環境に係る分析結果を報告するものである。

## 2. 大規模出水後の河川環境の変化

### (1) 出水前後の河川環境基図の比較

対象範囲は、美和ダム直下に位置する高遠ダムの直下から天竜川合流部までの0.0～10.4kの区間とした（図-1）。三峰川は、高遠ダム直下から支川の藤沢川が合流し伊那市高遠町に至る8.0～10.4k区間までは川幅も狭く渓谷様の河川形状を呈している。伊那市高遠町8.0kより下流から伊那市東春近に至る天竜川合流部までは、河岸段丘と扇状地を形成し、川幅も広がり流路が蛇行を繰り返す単状河道の河川形



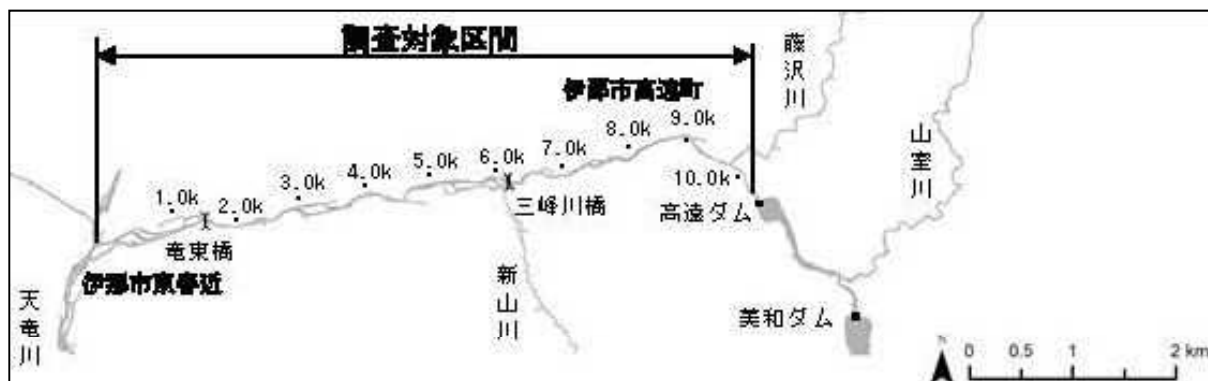


図-1 調査対象区間

状を呈している。よって、対象区間の大部分は、単状河道区間に該当する。

河川環境基図の作成方法は、基本的に「河川水辺の国勢調査 基本調査マニュアル」<sup>4)</sup>に準じた。2020年9月に撮影した同範囲のUAVオルソ空撮画像を下図とし、同年10月に実施した現地調査結果を踏まえ、出水後の河川環境基図をとした。出水前の河川環境基図については、2016年度の河川水辺の国勢調査で実施された調査結果より同範囲を抽出したものを活用した。

#### a) 植生の変化

出水前後の対象範囲全体の植生面積の比較結果を図-2に示す。

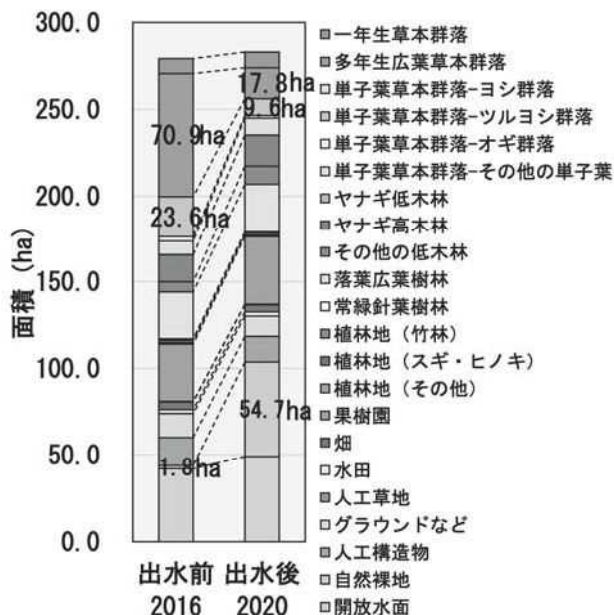


図-2 出水前後の植生面積変化

植生の基本分類区分のうち、面積が顕著に増加した区分は「自然裸地」で、出水前の1.8ha (0.7%)から出水後の54.7ha (19.3%)に増加した。これは、出水前に植生で被覆されていた範囲が、出水に伴う冠水と掃流により物理的に剥離したためと考えられた。

一方で、面積が顕著に減少した区分は「多年生広

葉草本群落」で、出水前の70.9ha (25.4%)から出水後の17.8ha (6.3%)に減少した。「多年生広葉草本群落」の内訳を確認したところ、減少に起因した群落の大部分を占めたのは「カワラヨモギ-カワラハハコ群落」(三峰川での同群落は、図-3のカワラヨモギが優占)であった。「カワラヨモギ-カワラハハコ群落」は、砂礫河原の「自然裸地」であった範囲の遷移が進むと成立する群落で、氾濫原環境を指標する群落区分である。よって、2019年10月の出水により「自然裸地」へと変化した範囲は、出水以前は「カワラヨモギ-カワラハハコ群落」に被覆されていたものと推測された。この事象は、出水に伴う河道攪乱により自然裸地が再生したことを示していた。同様に面積が減った基本分類区分は、「単子葉草本群落-ツルヨシ群落」で、23.6ha (8.5%)から9.6ha (3.4%)に減少した。「単子葉草本群落-ツルヨシ群落」は、平水時も冠水するような流路の際近くにも成立する植生であり、出水時に植生ごと剥離したものと推測された。



図-3 三峰川の砂礫河原指標種のカワラヨモギ

#### b) 河床型の変化

出水前後の対象範囲全体の河床型面積の比較結果を図-4に示す。

河床型は、全体でも出水前後で面積が21.6haから28.4haと増加し、区分別には「早瀬」が出水前の6.6ha (30.6%)から出水後の7.4ha (25.9%)、「平瀬」が12.2ha (56.6%)から16.4ha (57.7%)と増加

したほか、「ワンド・たまり」は0.3ha（1.4%）から3.1ha（10.8%）と大幅に増加した。

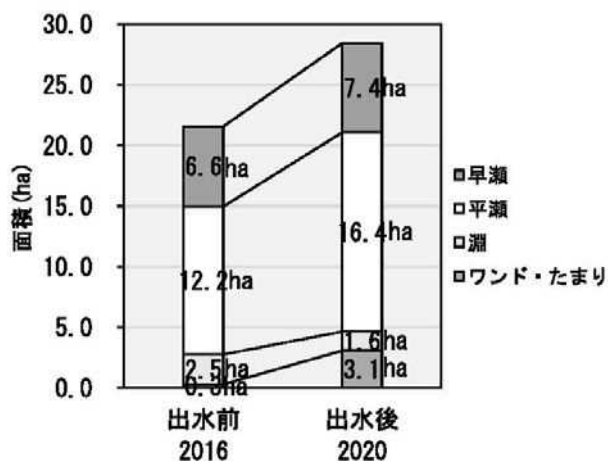


図-4 出水前後の河床型面積変化

一方で、「淵」は面積が減少し、2.5ha（11.4%）から1.6ha（5.5%）となった。これらの変化より、出水に伴う河道攪乱によって、出水前に「淵」であった範囲は土砂の堆積による縮小が進行し、「平瀬」や「早瀬」に変化したほか、瀬の箇所も流路幅が広がったものと考えられた。また、特に「ワンド・たまり」の面積が増加したことは、平常時は流路ではない陸地に水が流れたことや、出水後に流路が移動したことが要因となり、「ワンド・たまり」が新規に形成されたものと推測された。

以上の河川環境基図の分析結果に基づく植生や河床型の河川環境の変化からも、2019年10月出水時の河川環境へのインパクトは大規模出水によるものと特徴付けられることが出来た。

## (2) 河床材マップの比較

対象区間は、河川環境基図と同じとした。

河床材マップの作成方法は、次のとおりとした。対象範囲の植物の被覆が粗な箇所より任意の76地点を抽出し、これらの地点の表層の主要な河床材の粒径について2020年10月に調査した。次に、各地点の粒径データと2020年9月に撮影したUAVオルソ空撮画像を照合、色調に基づき粒径「100mm以下」、「100～500mm」、「500mm以上」、「岩盤」と大分した教師データを作成した。この教師データより、出水直後の2019年12月、約11ヵ月が経過した2020年9月のオルソ空撮画像を分析、図化、河床材マップを作成した。

なお、大規模出水が発生した2019年10月以降、三峰川では2020年6～7月に前線の影響による長雨に伴う期間が1ヵ月程度と長い出水が発生しており、2020年9月の河床材マップは、大規模出水後に更なる出水の影響も受けた河床材の状況を示していた。

作成した河床材マップより、対象範囲の出水後の河床材の粒径構成の比較結果を図-5に示す。

出水後は、粒径「100～500mm」を占める礫質の範

囲が大部分を占める状況に変化はないものの、全体の面積は77.4haから73.6haと減少しており、2020年9月は2019年12月の大規模出水当初より、「自然裸地」に由来する砂礫河原環境が縮小したものと考えられた。「100mm以下」の細～中礫の範囲が2019年12月の11.0ha（14.3%）から2020年9月の20.1ha（27.3%）と増加しており、これより粒径の大きい「100～500mm」は63.3ha（81.8%）から52.0ha（70.6%），「500mm以上」は2.9ha（3.7%）から1.43a（1.9%）と面積が減少した。「岩盤」は0.1ha（0.2%）から0.1ha（0.1%）と、概ね大きな変化は認められなかった。

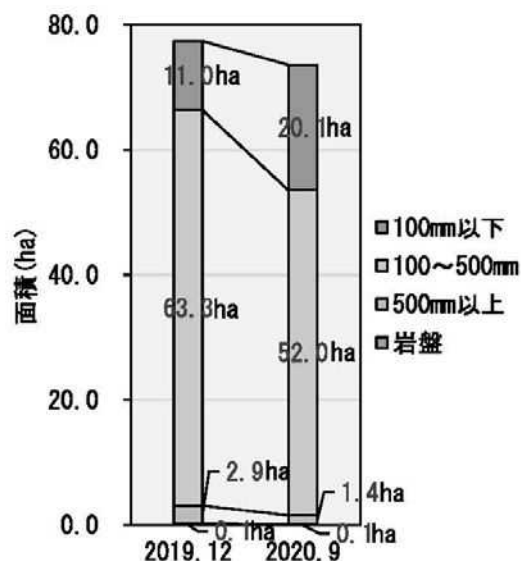


図-5 出水後の河床材粒径構成変化

以上より、大規模出水後に形成された砂礫河原環境の河床材は、100～500mmの粒径が主体となることが示されたほか、その後の出水によって、小粒化が進行してもものと考えられた。砂礫河原の河床材粒径の小粒化は、植生の定着を助長し、また、砂礫河原の面積も縮小している状況を踏まえると、その後の出水によって、砂礫河原環境は植生遷移が進む可能性があることを示していた。また、2020年6～7月の出水は、比較的に長い期間で水位が高い状況が継続したが、2019年10月出水で形成された河川環境について、少なくとも砂礫河原環境の土砂粒径構成の維持には作用しなかったことから、河川環境にとっては中小規模程度の出水のインパクトであったと考えられた。

## 3. まとめ

三峰川の美和ダム下流の河川環境が大規模出水時に受ける初期化のイベントは、河岸段丘と扇状地を流れる河川の典型的なものに代表される次のとおりであった。

- ・陸域では、砂礫河原での氾濫原環境を指標する

「カワラヨモギ-カワラハハコ群落」を攪乱し、  
「自然裸地」を再生。

- ・水域では、「早瀬」，「平瀬」を再生，特に「ワンド・たまり」等の微環境の形成を促し，多様な水域環境の創出に寄与。
- ・出現した「自然裸地」となった砂礫河原の河床材の粒径構成は，「100～500mm」の礫質が主体。

大規模出水の河川環境に果たす役割は，中小規模の出水とは異なり，河道形状と表層河床材粒径を初期化する機能を果たすと云われ，<sup>5)</sup> 三峰川では，2019年10月の出水がダム下流河川の河道内の表層河床材分布を初期化したものと推測された。ただし，2020年6～7月の1ヵ月近く継続した出水後は，表層河床材の粒径の小径化が進んでおり，初期化された河道内の河川環境の維持には寄与していなかった。初期化された河川環境での植生遷移は，出水時によって供給される細粒土砂の堆積によって，草地化，樹林化が進行すると云われ，<sup>6)，7)</sup> 2020年以降，初期化を端緒とする植生遷移が進む兆候が認められた。しかしながら，調査対象であった0.0～8.0k区間のうち，三峰川橋付近の6.0kより下流で2020年9月以降に大規模な河道掘削工事が施工されたため，現況の表層河床材の分布は人為的な影響を受けている状況に変化している。よって，今後予定される河川水辺の国勢調査等の三峰川での植生調査では，上記の履歴を踏まえた上で，植生の変化を分析することが重要である。また，河道内に成立する植生の種類は，細粒土砂の堆砂厚と地下水位（≒河川水位）からの比高が，その成立との関連性が高く，<sup>8)，9)</sup> 植生に加え，掘削事業後の堆砂厚や比高等の測量データを踏まえた植生遷移を分析することも重要であり，三峰川での良好な河川環境を形成するための貴重な基礎資料になると考えられる。

本稿で示した調査結果は，出水時には上流に土砂BPトンネル運用を伴う美和ダムや高遠ダムが整備された現況のダム下流河川での河川環境初期化が引き起こされた事例を報告したものである。よって，三峰川においては，河川環境初期化の発生の有無について，2019年10月出水程度の規模が今後の判断基準となることを示している。

**謝辞：**本稿の発表に際し，ご快諾をいただいた国土交通省中部地方整備局三峰川総合開発工事事務所の方々に，心より深く感謝申し上げる。

#### 4. 参考文献

- 1) 天野邦彦：河川環境における変動の把握とその評価，2009年度（第45回）水工学に関する夏期研修会講義集Aコース，Vol. 45，A\_1\_1～A\_1\_18，2009。
- 2) お知らせ：令和3年7月3日 国内初！ストックヤード施設の試験運用実施，国土交通省 中部地方整備局 三峰川総合開発工事事務所，[https://www.cbr.mlit.go.jp/mibuso/information/kousin/R03nen/pdf/kousin\\_20210709.pdf](https://www.cbr.mlit.go.jp/mibuso/information/kousin/R03nen/pdf/kousin_20210709.pdf)。
- 3) お知らせ：令和元年 台風19号による天竜川水系（長野県内）の出水状況，国土交通省 中部地方整備局 天竜川上流河川事務所 天竜川ダム統合管理事務所 三峰川総合開発工事事務所，<https://www.cbr.mlit.go.jp/tendamu/pdf/20191017taifuNo19a.pdf>。
- 4) 平成28年度版 河川水辺の国勢調査 基本調査マニュアル〔河川版〕：国土交通省水管理・国土保全局河川環境課 平成28年1月改訂，河川環境データベース，<http://www.nilim.go.jp/lab/fbg/ksnkankyo/>
- 5) 塚原隆夫，渡辺敏，望月達也，藤田浩一：礫床河川における水際環境の変化と洪水の作用，土木技術資料，No. 39-5，pp. 30-35，1997。
- 6) 渡辺敏，藤田浩一，塚原隆夫：安定した礫砂州における草本植生発達の有無を分ける要因，土木学会論文集，No. 503/Ⅱ-29，pp. 59-68，1994。
- 7) 藤田浩一，渡辺敏，李参照，塚原隆夫：礫床河川の植生繁茂に及ぼす土砂堆砂作用の重要度，第4回河道の水理と河川環境に関するシンポジウム論文集，pp. 117-122，1998。
- 8) 李参照，藤田浩一，塚原隆夫，渡辺敏，山本晃一，望月達也：礫床河川の樹林化に果たす洪水と細粒土砂流掃の役割，水工学論文集，第42巻，pp. 433-438，1998。
- 9) 李参照，山本晃一，望月達也，藤田浩一，塚原隆夫，渡辺敏：扇状地礫床河道における安定植生域の形成機構に関する研究，土木研究所資料，第3266号，1999。



# 異常洪水時における都市及び その周辺地域に対するダム放流警報設備による 情報提供に関する検討

○釘本晃平<sup>1</sup>・細貝秋一<sup>1</sup>・赤澤哲也<sup>1</sup>・川合伸宜<sup>1</sup>

<sup>1</sup> (株) 建設技術研究所 中部支社情報・防災室 (〒4600003 愛知県名古屋市中区錦1-5-13)

近年、気候変動の影響による降雨により異常洪水が頻発することが懸念されている。「異常降雨の頻発化に備えたダムの洪水調節機能と情報の充実に向けて」の提言より、異常洪水時において、ダムの防災操作に関わる情報を周辺住民へより確実に提供することが、周辺住民の避難行動促進へつながると考えられている。本検討では、都市及びその周辺地域の住民へ確実に情報提供を行うことを目的に、ダム放流警報設備の改修及び新設の検討を行った。

**Key Words** : ダム放流警報設備, 異常洪水時対応, 浸水対策, 音達範囲, 都市防災

## 1. 背景

近年、気候変動の影響による降雨により異常洪水が頻発することが懸念されている。

平成30年7月豪雨（西日本豪雨）の甚大な被害を受け、国土交通省水管理・国土保全局らにより「異常豪雨の頻発化に備えたダムの洪水調節機能に関する検討会」が開催された。

検討会において、とりまとめられた「異常降雨の頻発化に備えたダムの洪水調節機能と情報の充実に向けて」の提言を踏まえて、全国のダムでハード・ソフトの両面から検討が進められている。その提言の中で、異常洪水時において、ダムの防災操作（ゲート操作）に関わる情報を、都市及び周辺地域の住民へより確実に情報提供を行うことが、住民の避難行動促進につながると考えられている。

本業務では、中部地方整備局木曽川上流河川事務所横山ダム管理支所（現木曽川ダム統合管理事務所横山ダム管理支所）において、異常洪水時に防災操作を行う際に、都市防災の観点において、都市及びその周辺地域の住民へ確実に情報提供を行うことを目的とした。

都市及びその周辺地域の住民へ確実に情報提供を行うには、従来の放流警報とは異なり堤内地向けへの吹鳴が必要であることと浸水対策が必要であることに着目し、既存の放流警報設備を活かしつつ、改修及び新設の検討を行った。

## 2. 課題の整理

### (1) 情報提供範囲（音達範囲）の課題

従来の揖斐川の放流警報区間における情報提供範囲の把握のため、既設のダム放流警報設備であるサイレン(kW)及びスピーカ(W)の仕様容量(kW, W)より、音達範囲の机上確認を行った。

机上確認の結果、既設のサイレン・スピーカは、河川区域への河川利用者への注意喚起を目的としているため、音達範囲は、堤内地側の都市及び周辺地域をカバーできておらず、異常洪水時対応として、音達範囲の改善が必要であることが判明した。

### (2) 機能維持の課題（浸水リスク）

揖斐川の洪水浸水想定区域図<sup>1)</sup>より、検討対象箇所における浸水深を確認した。

なお、洪水浸水想定区域には、想定最大規模(L2)と計画規模(L1)に区別されるが、本検討では、想定最大規模(L2)に基づき、検討を行った。

確認の結果、約2.0m浸水する警報局があることが判明した。

例として、横山ダム管理支所管内の新屋敷放流警報局における浸水想定区域の拡大図を図-1示す。

異常洪水時防災操作のダム放流時において、放流警報設備の浸水により、都市及び周辺地域への情報提供が困難となる可能性がある。

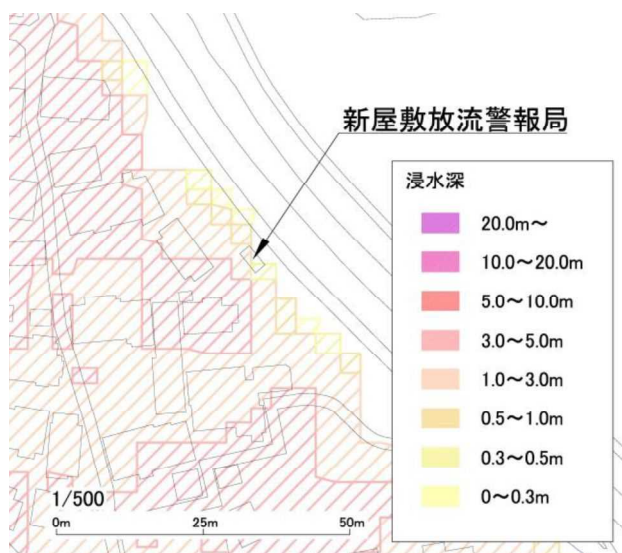


図-1 浸水想定区域拡大図（新屋敷放流局）

### 3. 課題に対する対応

ダムの放流警報設備の課題（機能維持の課題，音達範囲の課題）への対応について，検討を行った。

#### (1) 情報提供範囲（音達範囲）への対策

##### a) 吹鳴設備の追加方針

異常洪水時防災操作時には，周辺住民等に確実に放流警報を伝達する必要があることから，放流警報設備の改良として，堤内地向けの吹鳴設備（サイレン・スピーカ）を追加する。（図-2）

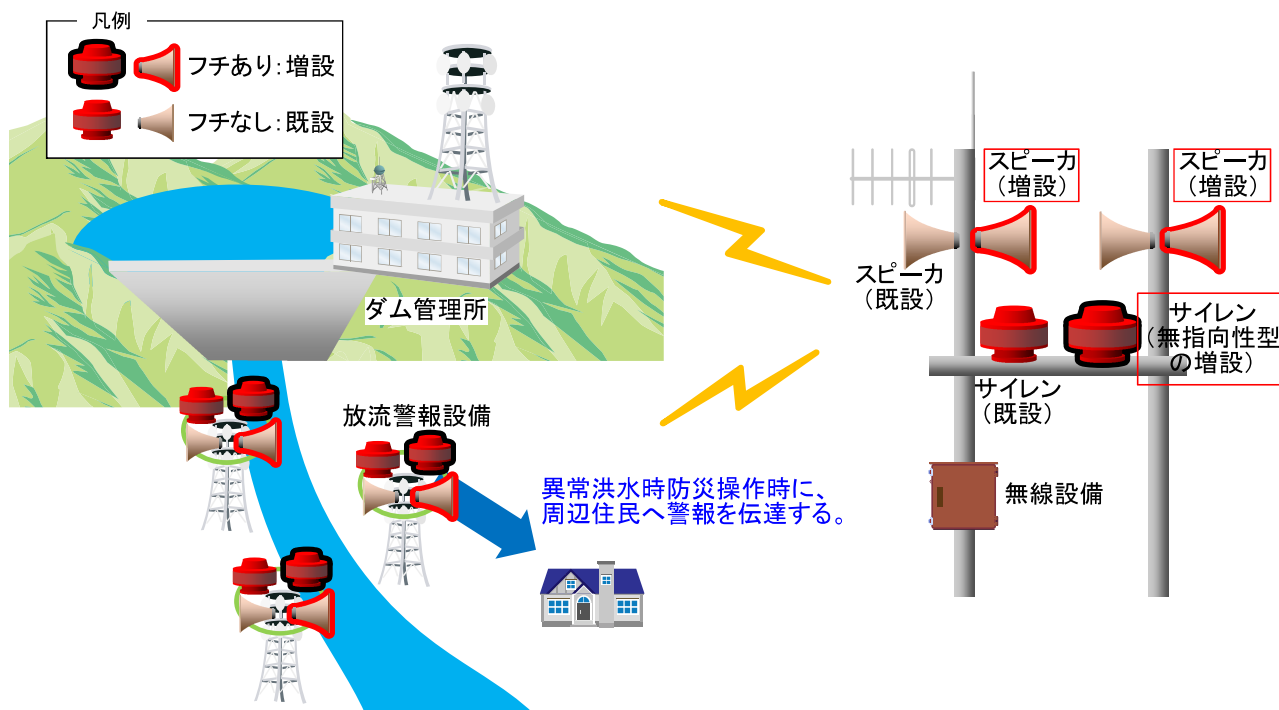


図-2 堤内地向け吹鳴設備の追加イメージ

吹鳴設備の追加方針は，以下のとおり整理した。

- ・周辺に民家や浸水範囲が存在する箇所には，堤内地向けスピーカの追加及び，通常時と異常洪水時の差別化とカバーエリア拡大のために，無指向性サイレンを追加する。
- ・周辺に浸水範囲が存在せず，堤内地も既設の吹鳴設備でカバーできる場合は，吹鳴設備追加必要なしとする。

##### b) 異常洪水時対応に向けた改修

異常洪水時対応に向けた改修後の放流警報システム構成を図-3に示す。想定される改修内容は，以下のとおりである。

##### 【ダム管理所で想定される改修内容】

- ・制御監視装置の改修（異常洪水時用に追加するサイレン・スピーカを通常時とは別制御で動作可能とするための改修）

##### 【各警報局で想定される改修内容】

- ・異常洪水時用サイレン追加（制御盤含む）
- ・異常洪水時用スピーカ追加
- ・異常洪水時用スピーカ用音声増幅器追加
- ・音声増幅器追加による電源設備の新設
- ・放流警報装置の設定変更

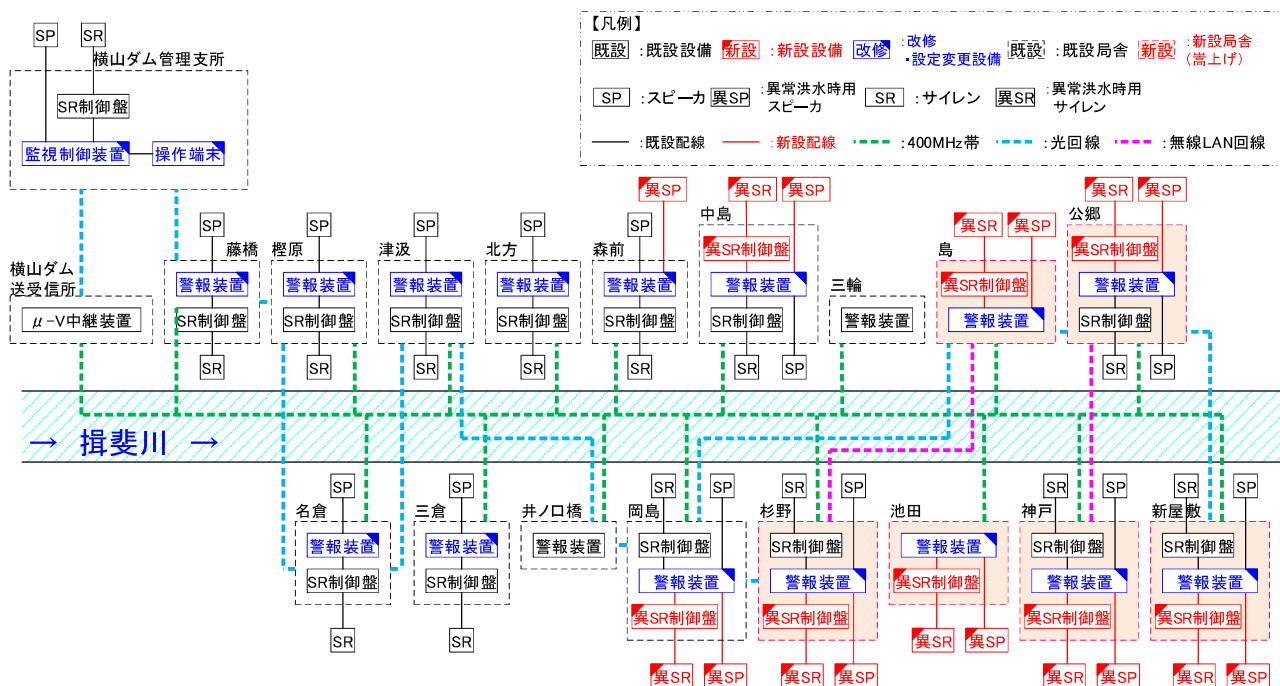


図-3 システム構成図（異常洪水時対応改修後）

c) 音達範囲の改善  
異常洪水時対応を踏まえた、放流警報設備の音達範囲図を図-4に示す。本検討により、音達範囲は、河川区域（堤外地）のみならず、都市及び周辺地域（堤内地）へも拡充するように改善した。

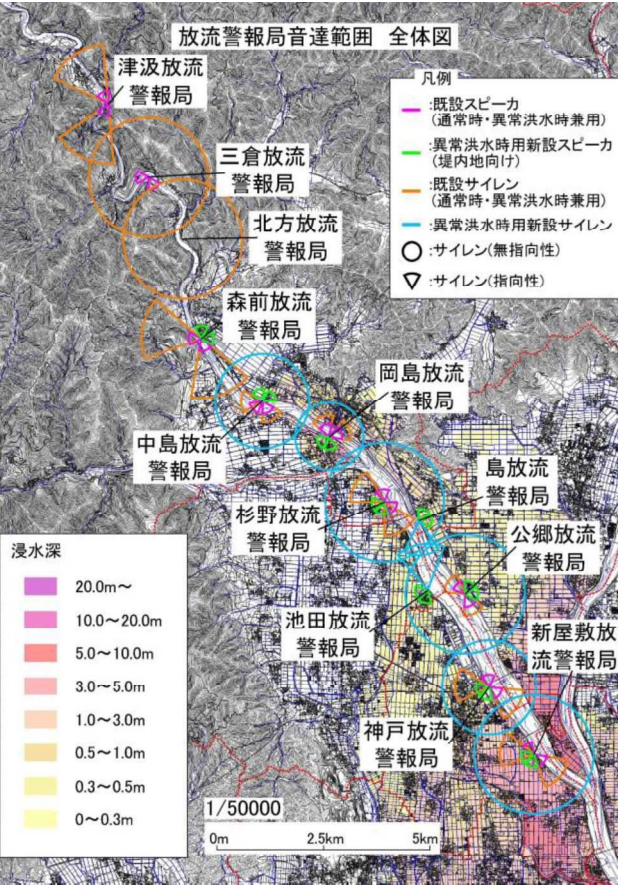


図-4 音達範囲（通常時＋異常洪水時）

### (1) 浸水リスクへの対策

#### a) 浸水対策案の抽出

浸水対策案としては、①局舎移設、②盛土等の周辺土工工事、③鉄骨架台による局舎嵩上げ、④耐水局舎、⑤止水板、⑥防水扉、⑦局舎内機器の嵩上げが考えられる。各浸水対策案のメリット・デメリットを表-1に示す。

表-1 各浸水対策案のメリット・デメリット

|   |                                                                                              |
|---|----------------------------------------------------------------------------------------------|
| ① | ○；浸水しない箇所に移設すれば、浸水する恐れはほとんどない。<br>×；移設場所の選定、敷地確保が必要になるため、実現性は低い。<br>×；通信及び電源の確保が必要となる。       |
| ② | ○；十分な嵩上げ高さを確保できれば、耐水化の確実性は高い。<br>×；大規模な土工工事が必要になるため、多大な費用がかかる。                               |
| ③ | ○；嵩上げ高さが想定される浸水深以上であれば、浸水する恐れはほとんどない。<br>×；嵩上げ可能な高さに限界がある。<br>×；階段の設置が伴うため、敷地を広げる必要がある場合がある。 |
| ④ | ○；浸水高さ2.0m程度までであれば、浸水する恐れはほとんどない。<br>×；採用実績はまだなく、局舎サイズのラインナップも限られている。                        |
| ⑤ | ○；大きな改修は発生しないため、他案に比べると費用はかからない。<br>×；管理者の止水板を設置する作業が発生するため、運用性は低い。                          |
| ⑥ | ○；大きな改修は発生しないため、他案に比べると費用はかからない。<br>×；給気口から浸水する恐れがある。                                        |
| ⑦ | ○；他案に比べて費用もかからず、施工も容易である。<br>×；嵩上げ高さは0.5m程度であるため、耐水化の確実性は低い。                                 |



## b) 適用する浸水対策の検討

各警報局の浸水対策検討のあたっては、浸水対策の適用条件を整理し、検討フローを作成した。（図-5）

### 【適用条件】

- ・既設局舎には、0.5m程度嵩上げ実施済の箇所が確認できたため、浸水深0.5m未満は、「⑦局舎内機器嵩上げ」とする。
- ・「⑥防水扉」は、浸水深0.5m～1.0m未満の場合へ適用とするが、既設局舎の給気口が浸水深よりも低い位置の場合は、「④耐水局舎」または「③架台嵩上げ」を検討する。
- ・「③架台嵩上げ」は、管内のテレメータ・警報局舎の最大嵩上げ高さである2.0mまでを限界とする。

### 【前提条件】

- ・対象は、横山ダム管内すべての警報局舎及び表示板局舎
- ・浸水高さは、想定最大規模(L2)を採用
- ・浸水高さは、既設局舎位置の数値を採用
- ・異常洪水時吹鳴設備追加に伴う吹鳴設備柱の設置スペース確保よりも、局舎設置スペース確保を優先するものとする

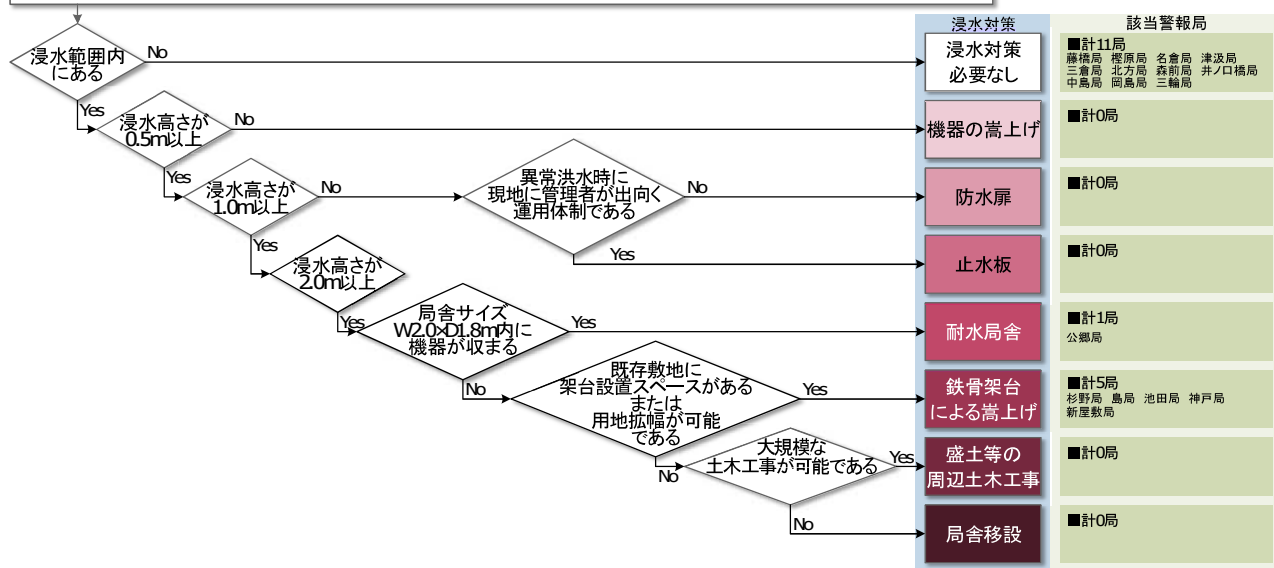


図-5 浸水対策検討フロー

## 4. 今後の課題

今後の課題としては、図-6に示すとおり、放流警報設備と市町村防災無線設備を連携させることで、より広域的に情報提供等の都市防災対応を行うことや、放流警報設備の遠隔化によるダム管理所以外での放流警報操作と情報共有の迅速化が考えられる。

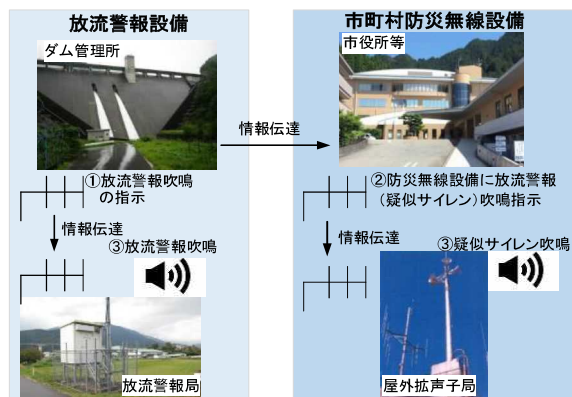


図-6 放流警報と防災無線との連携イメージ

## 参考文献

- 1) 木曽川水系掛斐川洪水浸水想定区域図（想定最大規模）、平成28年12月22日、木曽川上流河川事務所
- 2) 電気通信施設設計要領・同解説（通信編）、平成29年版、一般社団法人 建設電気技術協会
- 3) 電気通信施設設計要領・同解説（電気編）、平成29年版、一般社団法人 建設電気技術協会
- 4) 電気通信施設設計要領・同解説（情報通信システム編）、平成29年版、一般社団法人 建設電気技術協会
- 5) 国電通仕第27号 放流警報装置標準仕様書、平成30年9月、国土交通省
- 6) ダム・放流警報システム計画・設計指針（案）・同解説、平成23年4月、国土交通省