

令和5年度（第33回）

建設コンサルタント業務技術発表会

論文集



令和5年10月31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5年度（第33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. コミュニケーションツールとして3次元データの活用について村田 佑 / 松岡寿章 / 小島彰人 / 飯島正憲 / 埋橋章佳	1
2. 浜松市におけるA I 技術を活用した事故リスクの予測小原拓也 / 宮崎耕平 / 松井祐樹 / 田中 淳	5
3. 愛媛県松山市内における交通需要マネジメントの取組み黒川貴啓・前野慎介・町田智直・猪飼博友紀・竹内修人	9
4. 横断歩行者の多い環状交差点の本格整備に向けた安全性向上に関する検討村田雄介 / 関口貴志 / 松浦佑紀 / 中村哲也 / 吉田想平	13
5. タイムスペース図を活用したバイパス区間の交通要因分析手法の提案伊藤大智 / 山田邦博 / 池田雅一 / 稲富貴久 / 杉村清紀	17

【発表論文_第1会場_構造・土質分野】

	頁
6. 火災を受けた橋梁の被災状況調査と補修設計熊澤快友 / 樋口伸幸 / 山田 誠 / 木下俊男 / 周 敦史	21
7. 河川を跨ぐ鋼箱桁橋及びニールセンローゼ橋の設計・施工計画大沼良太 / 酒井友紀 / 江藤良樹 / 佐藤宗孝 / 濱中 実	25
8. CIM 技術を用いた橋梁耐震補強業務における設計精度向上施策について田中裕隆 / 高木達弘 / 野々山祐史朗 / 山本篤博 / 溝渕真之	29
9. 利用者の視点を踏まえた横断歩道橋の修繕計画の立案について左古英三 / 渡邊 淳 / 名知幹弘 / 正木智弘 / 日野雅樹	33
10. 山岳地帯における鋼曲線箱桁橋の施工計画/架設計画三宅竜之介 / 井口威生 / 茂呂 充 / 玉利幸一 / 美馬伊吹	37

目 次 2 / 4

【発表論文_第2会場_河川分野】

	頁
1. ダム事業において創出した湿地の一体化した整備・順応的管理・利活用 小田健一 / 阿部直己 / 浜島 翼 / 加藤雅之 / 寺西夏也乃	41
2. ダム事業における希少猛禽類調査の現場DXと効率化 小倉弘之 / 加藤雅之 / 中村達博 / 藤谷俊仁	45
3. 溪流の合流点における堰堤型式の考察 岩田啓夢 / 伊藤秀一 / 浅倉太包 / 田中ゆい / 高木久徳	49
4. 木曽川における中長期的な土砂動態の実態把握と置き土による土砂還元方策の検討 佐々直彦 / 五島暢太 / 福岡達信 / 佐々木海人	53
5. 堤防決壊時の緊急対策技術の向上及び蓄積・伝承に向けた取組み 後藤健太 / 岩田 経 / 伊藤秀一 / 田中雅彦	57

【発表論文_第2会場_都市計画分野】

	頁
6. 社会実験を通じた乗降スポット活用型AI オンデマンド交通の有効性検証 大田菜央 / 六反雅登 / 高村真一 / 岩上智裕 / 澤村悠貴	61
7. 彦根城周辺パーク・アンド・バスライド社会実験の効果検証と今後の展望 澤田基弘 / 小倉俊臣 / 杉江 稔 / 阪上勇登	65
8. 大規模商業施設の立地に伴う道路交通状況ライブ配信に関する施策展開 稲富貴久 / 市川貴也 / 伊藤英司 / 大田菜央 / 大塚翔太	69
9. 広域アプリ連携による拠点施設からまちなかへ人流波及効果の検証 ー愛知県岡崎市を対象としてー 栗山麻衣 / 上田 透 / 増田泰知 / 広田懂子	73
10. 建設コンサルタントが考える新たな交通インフラの社会実装への挑戦 (AI を活用したデマンドタクシー運行管理システムの導入業務) 増山 淳 / 五十嵐達哉 / 尹 鍾進 / 栗生啓之 / 吉田颯人	77

令和5年度（第33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
都市部の多車線主要幹線道路における自転車通行空間整備計画 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・片野 颯 / 立松秀樹 / 吉田賢史 / 水野耕治	81
道路事業で整備したビオトープにおける地域連携活動の有効性 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・遠藤慎一 / 竹田智晴 / 白井峻太 / 杉浦 岳 / 井川裕介	85
焼津市における集客施設アクセスとしてのグリーンスローモビリティの活用効果について ・・・・・・・・・・・・・・・・・・富田洋史 / 上野純男 / 北川剛弘 / 堀 将誌	89
インフラ構造物点検における点検支援技術の効果検証 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・水木亮太 / 北堀裕隆 / 川口 正 / 手平辰哉	93
幹線用水近接部における経済性及び施工安全性に配慮した現道切り回し計画 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・小玉由人 / 上原将人 / 佐藤和輝 / 佐羽尾真依 / 中村 治	97

【掲載論文_構造・土質分野】

	頁
車両が衝突した PCT 桁の復旧方法の検討 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・池田翔平 / 小澤貴生 / 内山真人 / 林 克弘 / 服部紗矢子	101
本線への圧密沈下影響の低減に配慮した新設ランプ構造の検討 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・山田悠暉 / 関口貴志 / 中村 治 / 山本高由 / 水谷和真	105
軟弱地盤及び林道等の交差条件を踏まえた鋼少数主桁橋の詳細設計 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・荒木麻里 / 成川幸宏 / 成田将典 / 伊澤公太郎	109
ランプ橋の3分割施工による床版取替基本設計 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・安立 寛 / 小澤貴生 / 篠原一輝 / 猪飼豊樹 / 内山正人	113
峡谷に計画された橋梁詳細設計における留意点 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・河村太紀 / 竹内克幸 / 安藤弘章 / 湯川圭悟 / 松原瑞希	117

目 次 4 / 4

【掲載論文_河川分野】

	頁
河川環境整備の検討における環境 DNA の活用事例 ・・・・・・・・・・ 生駒 歩 / 井口 謙 / 賀川泰棋 / 野副健司 / 賀川真樹	121
二級河川逢初川災害復旧計画検討業務 ・・・・・・・・・・ 工藤 真 / 平生昭二 / 氷見啓樹 / 川村設雄 / 海津利幸	125
馬込川河口部導流堤の災害復旧 ・・・・・・・・・・ 駒田燎亮 / 長縄清貴 / 立松敦史 / 近藤 繁 / 福田達樹	129
長良川中流部礫河原再生箇所におけるヤナギ類の抑制条件の検討 ・・・・・・・・・・ 野副健司 / 北岡洋尚 / 山本晃一 / 賀川真樹 / 賀川泰棋	133
流下能力を確保する河道掘削計画における希少種タコノアシ保全への取り組み ・・・・・・・・・・ 竹脇朱音 / 鵜飼賢吾 / 長谷英治 / 吉田純子 / 西 浩輝	137

【掲載論文_都市計画分野】

	頁
高潮浸水時における事務所庁舎の機能確保を目的とした浸水対策検討 ・・・・・・・・・・ 山岡 寛 / 細貝秋一 / 赤澤哲也 / 川合伸宜 / 青井宏一	141
新しい市民参加手法による公園づくり構想 ～市民意見の代表性・中立性を求めた市民参加プログラムの実践～ ・・・・・・・・・・ 堀田旭宏 / 丸山 昇 / 小林高浩	145
地域資源の維持・向上を目的とした再整備計画及び樹木の伐採計画の立案 ・・・・・・・・・・ 片桐達斗 / 木村 光 / 浅野誠一 / 三浦利夫 / 田中順己	149
業務代行者として、地元権利者、行政、進出企業との協調を意識したまちづくり ・・・・・・・・・・ 嶋津将徳	153
木曾三川流域における地域関係者を主体とした生態系ネットワーク形成を活用した地域づくり ・・・・・・・・・・ 近藤紘生 / 武山直史 / 阿部直己 / 長崎哲新 / 吉永順基	157

コミュニケーションツールとして3次元データの活用について

○村田 佑・松岡寿章・小島彰人・飯島正憲・埋橋章佳¹

¹セントラルコンサルタント（株）中部支社（〒460-0003 愛知県名古屋市中区錦1丁目18番22号）

国土交通省が推進するBIM/CIMの推進により、3次元データの活用は身近なものとなってきている。その活用においては、各種協議で使われる資料の高度化が行われ、合意形成の円滑化が進められている。本稿では、3次元データを活用しモデルの作成に加え、新たな試みとしてAR（仮想現実）による情報共有の実施により、コミュニケーションツールとして3次元モデルを有効に活用した事例を紹介する。

Key Words : 3次元データ, AR (現実仮想), 説明資料, 合同現地調査, 現地確認, コミュニケーションツール

1. はじめに

業務箇所は、道路拡幅に伴い既設護岸を取り壊し新設護岸の設置、並びに既設水路を補強し床版の設置、プレキャストボックスの継ぎ足しを行った。施工にあたっては、既設水路を通水した状態で施工するため、仮設も含め施工ステップが複雑となった。

このような状況の中、計画イメージを共有し合意形成を円滑に進めるため3次元モデルを作成し、発注者とのコミュニケーションツールとして活用したものである。

2. 計画概要

本業務の設計内容は、現在4車線で供用している自動車専用道路を6車線に拡幅するものである。当初の計画では、拡幅部分について既設水路を跨いだ橋梁構造で計画したが、電力会社の胴道ボックスが橋梁下部工を切り欠く形状となり、構造上及び仮設鋼矢板の施工時に懸念があった。そこで既設水路の活用を考えた結果、水路の基礎部分を補強することで現況活用が出来ることが判明したことから現況水路へは床版を設置し、幅員が不足する部分にはプレキャストボックスを設置する計画に変更を行った。

これら構造物の施工時は、既設水路の通水を確保する必要があり、仮設パイプを設置しながら段階的

な施工が必要であった。

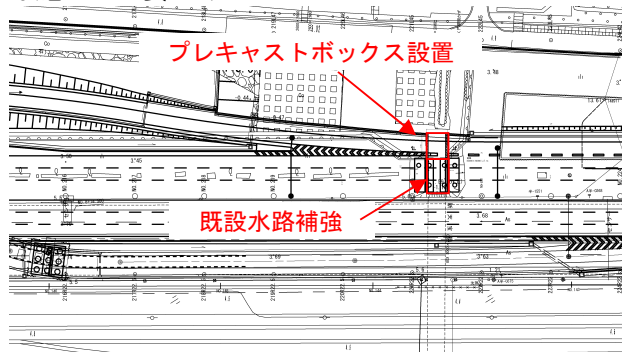


図-1 位置図

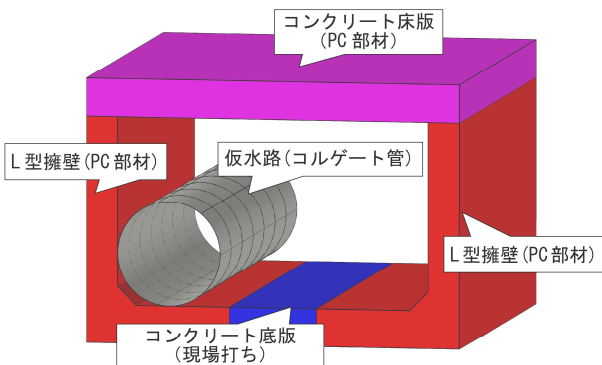
3. 施工ステップの説明

今回は、既設水路の通水を確保しながらの施工となるため、仮設パイプで通水を確保しながらの半断面毎での施工となる。具体的には、水路の半断面を鋼矢板等で締め切り、残りの断面で通水を確保しての施工となる。

施工ステップを以下に示す。

- STEP 1 : 半断面を鋼矢板で締め切り
- STEP 2 : 締め切った側にL型のプレキャスト部材を施工
- STEP 3 : 底板上に仮設パイプを設置し通水

- STEP 4 : 残り半断面を鋼矢板で締め切り
- STEP 5 : 反対側の L型水路を設置
- STEP 6 : 底板に仮設パイプを設置し L型水路の中央部, 及び既設水路を補強
- STEP 7 : 函渠, 及び既設水路に床版を設置



半断面ずつ施工した後, 中央部のコンクリート床版を施工, 最後に床版を設置する

図-2 プレキャストBOX

4. 3次元データの活用

従来の説明資料では, 設計図面を用い2次元での説明やパースを用いて完成形のイメージを共有するもので, 提供できる情報に限界があった. 本計画では, 函渠は判断面毎の施工となり, 施工ステップが多く複雑になる. 今回は現況及び計画施設について3次元モデルを作成し, 既設水路の補強やボックス施工のステップ施工について, 多様な角度から見た画像で説明を行うこととした. また, 3次元データからAR(拡張現実)データを作成し, 発注者との合同現地調査時に仮設計画と現況をリアルタイムで重ね合わせた状態をタブレットに映し出し説明を行った. ARはタブレットを動かしても計画が画面上で追従することから, 現地では主要なポイント見ながら仮設計画を含めた計画全体のイメージを確認した.

5. 3次元モデルによる情報の共有化

(1) 3次元モデルの作成

借用資料から現地の現地盤, 擁壁, 水路の吐き口等の現地再現について3次元モデルを用いて行った. この作成についてはAutodeskのCivil 3次元を用いた. 一様な形状をしている擁壁は借用していた横断面図等をロフトで繋ぎ作成を行い, 現地盤に関しては横断面間で変化が激しいため, 単点に標高が記載されている平面図から高さを持たせ, TINサーフェスを作成した.

現地地盤・既設構造物を再現した後, 設計を行った新設構造物のモデルを作成し, はめ込むように配置を行った. 以下に, 当初計画の橋梁案を作成したモデルを示すが, 下部工の切り欠き部分が大きく構造物として懸念があること, また洞道があることから仮設鋼矢板が囲めない状況が視覚的に見え, 状況

の把握に役立った.

これにより計画変更を行い, 今回は既設水路の補強による床版設置, 及び函渠の付け足し構造となった.

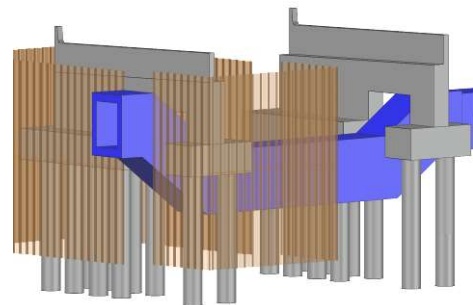


図-3 橋梁案の復元

既設水路の補強による床版設置, 及び函渠付け足し構造について, 施工計画をステップ毎にレイヤを分け同様に3次元モデルで作成し, 再現した現地モデルに配置した. レイヤを分けることにより1つの3次元データでレイヤの表示設定により各ステップでの計画を3次元データで再現できるようにした.

(2) 3次元モデルによる情報共有

施工対象の構造物は赤色で表示を行うなど視覚情報で工事の概要が分かるように工夫し, モデルに透過性を持たせることにより各部材・資材の位置関係が分かるよう工夫を行った. 更にH. W. L位置で水面もモデル化する事により, 実際の仮締切を行った際の水面位置や作業可能範囲を視覚的に分かりやすく表示した.

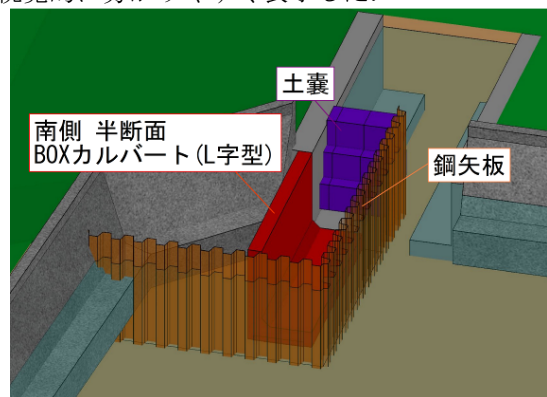


図-4 STEP 2

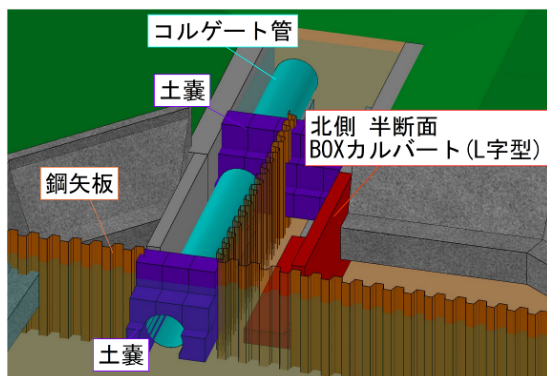


図-5 STEP 5

6. AR（拡張現実）による共有化

(1) ARについて

ARとは「Augmented Reality」の略称で、日本語では「拡張現実」を意味する。現実世界での体験にデジタル情報を重ね合わせたもので、主にスマートフォンやスマートグラスを通し、目で見ている光景にCG映像などが合成され、それが実存するように見える技術である。一般には、スマートフォン向けゲームアプリに活用されたのが有名である。

これによく似た技術としてVRがある。VRとは「Virtual Reality」の略称で、日本語では「仮想現実」を意味するもので、VRヘッドセットを装着することで視覚的に現実世界を遮断し、デジタル上に再現された仮想空間をその場にいるように体感できる技術である。VRは仮想空間を現実のように体験できる点が特徴で、これに対しARは現実の実態をベースとする明確な違いになる。

ARのメリットとしては、以下のようなものが挙げられる。

- ・現実の世界を背景に、構造物などの新たな情報を付加することができる
- ・現実世界と仮想世界を簡単に結合できる
- ・スマートフォン等を使い手軽に体験することができる

(2) ARの種類

ARには、以下の4つの種類がある¹⁾。

a) GPS型（位置認識型）

ユーザーの位置情報をもとにする。

スマートフォンなどから位置情報を取得することで、その場所に設定されたARコンテンツを表示する手法。コンテンツが表示されるよう設定された場所にスマートフォンなどの端末をかざすと、ARコンテンツが出現する仕組みになっている。

GPS型（位置認識型）は、スマートフォンの道案内サービスなど、地図に関連するサービスでの活用が進んでいる。

b) 空間認識型

現実の空間をカメラやセンサーで認識してコンテンツを表示する手法。スマートフォンやタブレットの画面をタップすることで、ARコンテンツが起動するようになっている。

現実の空間をカメラやセンサーで認識するため、空間の高低差・大きさ・奥行なども認識することができる。そのため、ARコンテンツの表示場所を自分で調整できるという特徴がある。

空間認識型のARは、家具の配置シミュレーションやゲームのほか、製造業や建築業などでも活用されている。

c) 物体認識型

特定の立体物を認識すると、関連するARコンテンツが表示される。対象となる立体物は、360度どの角度からでも認識することができる。

カメラで立体物を撮影すると、対象物の特徴の解析を行なう。そして対象物の映っている面に対してのみ、設定されているコンテンツが表示される仕組みとなっている。

d) マーカー型（画像認識型）

画像情報を読み取りコンテンツを表示する。

特定の写真やイラスト、文字などを画像認識し、その特徴が設定にある情報と一致した場合にARコンテンツが自動的に起動する。

ARコンテンツを正確な位置に表示できるというメリットがあるが、AR起動の精度が画像の照度や環境に左右されやすいという特徴もある。

今回は、a)GPS型（位置認識型）を採用した。現地で視点場を2箇所設定しQRコードで現地の位置情報を取得し、3次元モデルと現地の位置の結合することとした。

(3) ARの作成

a) ARモデルの作成

作成した3次元モデルを手作業によってARで可視化する場合、ポリゴンデータへの変換やアプリへの適応に向けた調整など作業が必要となる。それらの作業において、専門的な知識や技術力、複数のツールの活用が必要となるうえに一定量の作業時間を割く必要があるため、手作業ではなく、3次元モデルをシンプルな手順で自動変換できるARアプリ“mixpace”を使用した。

mixpaceは、国土交通省が運営する*NETIS（新技術情報提供システム）に登録されており、アップロードするファイル形式は19種類にのぼる。そのファイル形式にはdwgやfbxなど土木業界でも使用頻度の高いものを含んでおり、作業手間を極力削減することが可能である。

アップロード後、数分でシステムが自動変換してARでの活用が可能となる機能を搭載している。今回においても作成した3次元モデルをアップロードし、ARモデルの作成を行った。

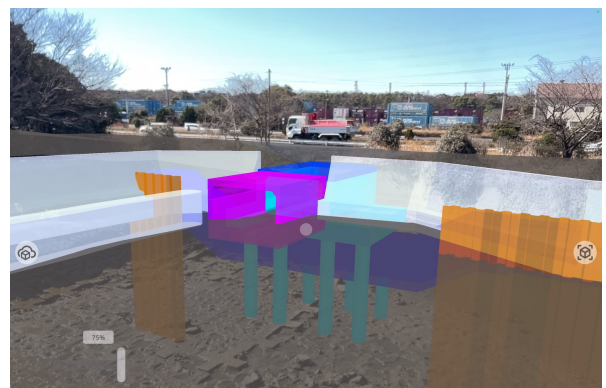


図-6 作成したAR

(4) ARマーカーの作成

ARマーカーの作成においても前項で示したARアプリ“mixpace”を使用した。

mixpaceの機能の一つとして「位置指定マーカー

一機能」が搭載されており、その機能において3次元モデルを現実空間に表示する場所を指定するARマーカの配置場所を自由に設定することが可能である。1つのモデルに最大10個のARマーカが設定可能であり、配置する場所だけでなく向きにおいても自由に調整を行うことができる。

ARではタブレットを動かしても計画が画面上で追従するが、ARマーカから移動する量に比例して精度が低下する傾向があることから、今回は現地で主要なポイント（視点位置）を2箇所設定し、ARマーカの設定を行った。

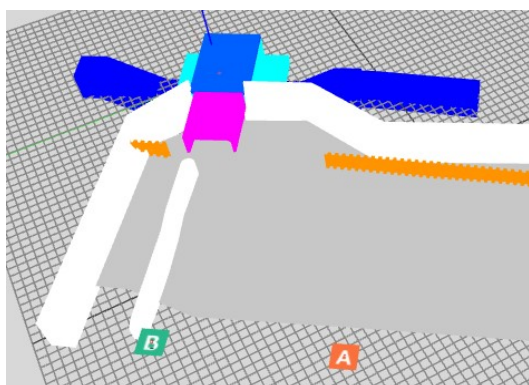


図-7 視点位置

(5) 現地での情報共有

ARの活用手順は以下の通り

- a) 視点位置の位置情報をセットしたARマーカを印刷する。今回は視点を2箇所設けたので2枚作成した。
- b) タブレットでmixspaceを立ち上げ、本体に格納したデータを呼び出す。
今回はiPad Pro 11インチを用いた。
- c) 現地の視点設定位置にARマーカを設置し、本体内蔵のカメラで読み込み、位置情報と実際の大きさのモデルを画面内に投影する
- d) カメラを計画地に向けると、現況にARモデルが重なった状態で映し出される。
- e) 確認したい方向にカメラを向け計画を確認する。ARモデルは透過することが可能であり、必要に応じて透過率を変えて確認を行う。



図-8 ARマーカの現地読み込み



図-9 現地での様子

7. 成果

発注者との打合せ時、これまでの2次元では表現出来ない部分の表現が出来、特に段階施工中に複雑な形状となる部分については、立体画像をイラスト的に表現し、その場で立体画像を動かし多様な角度から構造を確認することで、合意形成に大きく役立てることが出来た。また、別途作成したARについては、現地にてタブレットを動かし視点を変えて、リアルタイムで計画を見渡すことで、計画イメージの共有や既設構造物の取り壊し範囲等が明確になり、効果的であった。

8. 現場利用におけるARの課題と対応

今回は屋外での活用であったことから、携帯性を重視し画面がやや小さいものを使用した。小さい画面では大勢での利用には不向きであり、画面の大型化や複数台準備するなど対応が必要である。また、屋外での強い日差しのもとでは、画面の反射や映像が薄くなり画面の視認性が落ちる事象があり、日傘やモニターカバーによる遮光対策が必要になる。これら屋外特有の事象に対しては、スマートグラスの活用も考えられる。

9. まとめ

BIM/CIMの原則化により3次元データは身近なものとなっている。今回はARという新たな技術を活用し、発注者とのコミュニケーションツールとして活用した。今後は、どのような場面で3次元データを活用すると効果的であるか、これまでの活用事例を参考に検討する必要がある。今後も新工法・新技術を積極的に活用し更なる生産性の向上や関係者とのコミュニケーションの高度化を図り、社会資本整備に貢献していきたい。

参考文献

- 1) <https://x-tech.pasona.co.jp/media/detail.html?p=8587>

浜松市におけるAI技術を活用した 事故リスクの予測

こはら たくや みやざき こうへい まつい ゆうき たなか あつし
○小原 拓也¹・宮崎 耕平¹・松井 祐樹¹・田中 淳¹

¹ (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)

本稿は、静岡県浜松市の交通事故削減に向けた新たな取り組みとして実施した、AI技術を活用した交通事故分析について報告するものである。まず、浜松市内の事故リスクを予測するAIモデル構築した。予測結果と実際の事故発生位置との比較から、浜松市中心部で事故リスクが高い傾向にあるなど、概括的に実態を捉えていることを確認した。次に、AI分析手法の一つであるSHAPにより、事故の発生に対して停止線間距離などの要因がどの程度影響を与えているのかを評価し、事故と要因の関連性について確認した。信号交差点の停止線間距離が長いと事故が発生しやすいことなど、既往知見を再確認する結果が得られた。

Key Words : AI (人工知能), 機械学習, 交通事故, 事故リスク

1. はじめに

静岡県浜松市では、市域の交通安全を確保するため、昭和46年から5ヶ年ごとに交通安全計画を策定し、交通安全に関する諸施策を推進してきた。第10次浜松市交通安全計画（計画期間：平成28年度から令和2年度）の計画期間においては、最終年の令和2年に人身交通事故件数が5,570件、死者数が17人となり、それぞれ目標値の6,000件以下、17人以下を達成した（図-1）。

しかしながら、政令指定都市の中では人口10万人あたりの年間人身交通事故件数が平成21年から連続してワースト1を記録している。浜松市HPにて公表されている令和3年の記録をみると、浜松市が684.1件、最も少ない新潟市は155.9件となっており、その差は約530件となっている（表-1）。第11次浜松市交通安全計画（計画期間：令和3年度～令和7年度）の目標である、「令和7年末までに年間人身交通事故件数2,500件以下」の達成に向けて、交通事故の削減を加速化させていく必要がある。

本稿は、年間人身交通事故件数ワースト1からの脱却に向けて実施したAI技術を活用した交通事故分析について、2つの取り組み内容を報告する。

2. AIによる事故リスクの予測

(1) 分析の流れ

浜松市では、人身交通事故が多発する箇所を交通

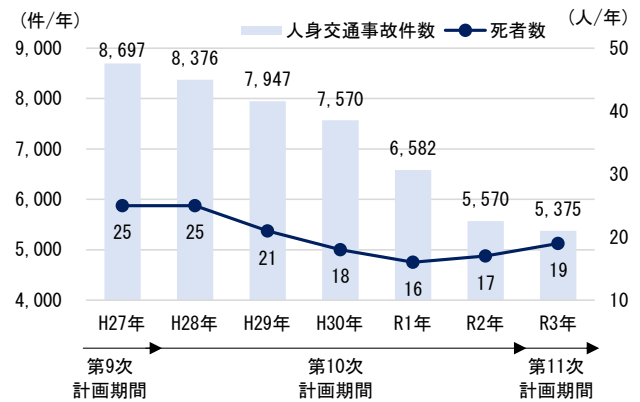


図-1 浜松市の人身交通事故件数の推移

表-1 政令指定都市の年間人身交通事故件数ワースト順位（令和3年）

政令指定都市名	事故件数	人口10万人あたり人身交通事故件数
浜松市	5,375	684.1
静岡市	3,507	510.3
北九州市	4,074	438.1
福岡市	5,924	365.8
名古屋市	8,224	353.9
：	：	：
新潟市	1,221	155.9

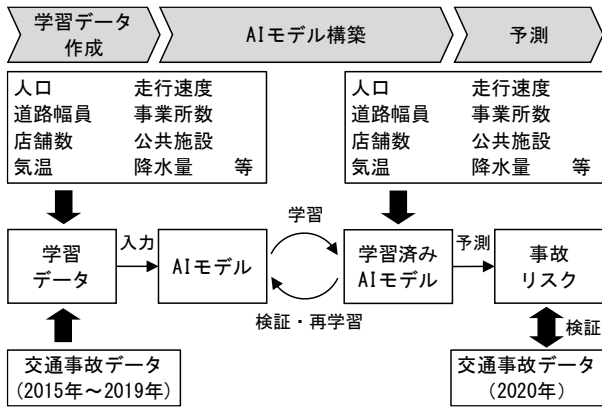


図-2 分析の流れ

リンク番号	年	月	平休	時間帯区分 (時台)					事故有無	項目1
				0-5	6-9	10-15	16-19	20-23		
1	2015	1	平	1	0	0	0	0	0	..
1	2015	1	平	0	1	0	0	0	1	..
1	2015	1	平	0	0	1	0	0	0	..
1	2015	1	平	0	0	0	1	0	0	..
1	2015	1	平	0	0	0	0	1	0	..
1	2015	1	休	1	0	0	0	0	0	..
1	2015	1	休	0	1	0	0	0	0	..
:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	..

図-3 データ形式のイメージ

表-2 収集データの概要

収集項目	出典
交通事故データ	静岡県警
人口	国勢調査
15分平均旅行時間, 取得サンプル数	Honda社製の民間プローブデータ
DRMデータ (道路幅員, 道路種別, 道路リンク種別)	DRM協会
事業所数, 従業員数	経済センサス
衛星画像, 店舗数	Google API
公共施設数 (病院, 学校など)	国土数値情報
気温, 降水量, 日照時間	気象庁アメダス

事故多发交差点として選定し、顕在化している危険箇所へ対策を行い、一定の事故削減を達成してきた。一方で、事故は偶発的な事象であり箇所毎の事故件数は経年的に変動するため、箇所選定時の集計年次によっては抽出された箇所以外にも危険な箇所が存在する可能性がある。今後より一層の事故削減を達成していくためには、顕在化している危険箇所に加えて、未だ事故が発生していない潜在的に危険な箇所に対しても、予防的に対策を実施することは有効と考えられる。

そこで、AI分析により浜松市内の事故リスクを評価し、危険な箇所を予測することを試みた。まず、諸データを収集・加工して学習データを作成した。続いて、作成した学習データをもとに機械学習を行い、学習済みのAIモデルを構築の上、事故リスクを予測した (図-2)。

(2) 学習データの作成

AIモデルへ入力する学習データを作成した。まず、事故の発生要因となり得る事項についてデータの収集を行った (表-2)。データの形式は、各データの紐づけのしやすさや予測結果の評価のしやすさ等を総合的に勘案して、道路DRMリンク単位での入力とした。データの解像度は平休・時間帯別とし、平休×5時間帯 (0~5時台, 6~10時台, 11~15時台, 16~19時台, 20~23時台) の10区分とした (図-3)。

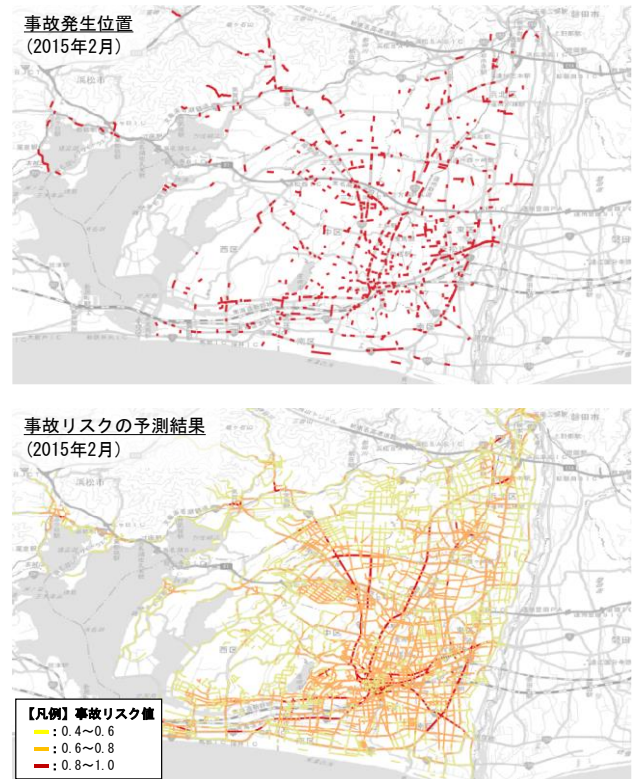


図-4 事故発生位置と事故リスクの予測結果の比較

(3) AIモデルの構築

学習データをAIモデルへ入力し、機械学習を行った。機械学習は2015年~2019年の5年間分のデータを用いた。なお、学習データは説明変数と目的変数のような問いと答えが対になる組合せとし、問いが人口や走行速度などの各事故要因、答えが事故の発生有無である。学習とは、この問いと答えの法則性を見つけ出すことであり、学習方法の違いによりAIモデルは複数存在する。今回は、学習済みの複数のAIモデルの推定結果を比較し、一定の推定精度が確認された「Cat Boost Classifier」を採用した。

事故リスクの推定結果を可視化して、実際に事故が発生した位置と事故リスクの予測結果の傾向を確認すると、浜松市中心部では事故リスクが高く郊外では低い傾向にあるなど、実態を概括的に捉えていることが確認できる (図-4)。

(4) 事故リスクの予測と可視化

学習済みのAIモデルを用いて、学習期間の翌年にあたる2020年の事故リスクを予測し、3つの指標から予測精度を評価した。3つの指標のうち、「Accuracy（正解率）」は実際に事故が起きた箇所と予測結果との正解率、「Recall（再現率）」は実際に事故が起きた箇所を予測でどの程度当てたか、「Precision（適合率）」は事故が発生すると予測した箇所のうち、実際に事故が起きた箇所の割合をそれぞれ表す。今回の予測結果は、AccuracyとRecallはともに7割を超えており、実際に事故が起きた顕在的な危険箇所を予測できていることが確認できた。一方で、Precisionは低い数値となっており、事故が起きると予測した箇所において実際に事故が発生した割合は低い結果となった。これは、適合率の改善を含めたさらなる改善余地はあるものの、未だ顕在化していない潜在的に危険な箇所を予測できているとも解釈できる。

事故リスクの予測結果を道路管理者のみが利用するのではなく、道路利用者にも理解・活用されることは、地域の課題を解決していく上で有益である。浜松市では、データ連携基盤を整備して官民がデータを相互利用できるように、行政が保有するデータを公表している。今回の予測結果はデータ連携基盤からダウンロード可能であるため（図-5）、今後様々な場面で活用されることを期待する。

3. AIによる事故要因分析

(1) 分析の流れ

優先的に対処すべき事故要因を明確にするためには、各事故要因が人身交通事故の発生に対してどの程度影響を与えているのか、その影響度について評価することが有効である。そこで、AI分析手法の一つであるSHAP（SHapley Additive exPlanation）により、人身交通事故に対して各事故要因が及ぼす影響を定量的に評価することを試みた。まず、前章で構築した学習済みAIモデルに道路の幾何構造データを追加して再学習を行った。続いて、再学習済みのAIモデルにSAHPを適用して、事故要因ごとの影響度を求めた。

(2) 学習データの作成

再学習に使用するデータは表-2の項目に加えて、道路の幾何構造に関するデータを追加した（表-3）。道路の幾何構造については、一定の学習量を確保するため、浜松市全域から任意に1,000箇所を選定して幾何構造を計測した。対象箇所全てを現地で計測することは時間的・費用的に困難であるため、今回はGoogle Mapの航空写真やStreet View機能、国土地理院地図の断面図作成ツール等を用いて、PC画面上にて計測を行い、数値化することとした。

(3) AIモデルの構築

作成した学習データをもとに学習済みのAIモデル



図-5 予測結果の可視化

表-3 入力した幾何構造データ

枝数	交差角度
車線数	沿道土地利用
車線幅員	歩者分離式信号の有無
停止線間距離	中央分離帯の種類
横断歩道距離	歩車道境界施設の種類の
横断歩道のセットバック距離	自転車通行空間の整備形態
縦断勾配	カーブミラーの有無
右折専用車線の有無	歩道の有無
左折専用車線の有無	歩道幅員
右折専用信号の有無	隣接交差点間距離
左折専用信号の有無	信号の有無

を構築した。前章のAIモデルは事故の起きやすさ（事故リスク）を評価するため、事故の発生有無を予測対象とした。影響度を評価するモデルにおいても同様に作成した場合、交通量による影響が大きくなり、他の要因による影響度の評価が困難となったため、交通量を加味した事故率を予測するモデルを構築した。また、作成するモデルは交差点の信号有無別・事故類型別に作成することとし、事故類型は全事故に加えて浜松市内で発生割合の高い追突事故、出会い頭事故、右左折事故を採用した。なお、モデルの形式は「Cat Boost Classifier」を採用した。

(4) SHAPによる影響度分析

各事故要因が人身交通事故の発生に与える影響度をSHAPにより評価した。SHAPとは、予測する過程段階がブラックボックスと言われる機械学習の内部を概括的に説明する機能であり、予測結果を解釈する上で有効な手法の一つとされている。事故の発生に対する影響が確認された事故要因について代表的なものを例示する（図-6～図-8）。

a) 信号交差点×追突事故モデル

図-6は、信号交差点×追突事故モデルを用いて、

沿道土地利用が事故へ与える影響を評価したものである。縦軸は事故への影響度、横軸は事故要因の特徴量をそれぞれ示している。なお、沿道土地利用は、対象交差点の角地に入出口のある施設がある場合を1、ない場合を0と定義した。図中の0と1の群を比べると、1の群の影響度が高い傾向にあり、入出口のある施設が交差点付近に存在すると追突事故が発生しやすいという結果を得た。これは、沿道施設へ出入りする車両への追突やその後続車両への追突の危険性が高まると解釈できる。

b) 信号交差点×右左折事故モデル

図-7は、信号交差点×右左折事故モデルを用いて、停止線間距離が事故へ与える影響を評価したものである。特徴量が大きくなる（停止線間距離が長くなる）に従い、事故への影響度が大きくなっている。これは、停止線間距離が長いと一般的に交差点面積が大きくなる傾向にあるため、比例して右左折距離も長くなることで、右直事故などの危険性が高まると解釈できる。

c) 無信号交差点×出会い頭事故モデル

図-8は、無信号交差点×出会い頭事故モデルを用いて、横断歩道のセットバック距離が事故へ与える影響を評価したものである。特徴量が小さくなる（横断歩道のセットバック距離が短くなる）に従い、事故への影響度が大きくなっている。これは、セットバック距離が短いほど衝突回避までの余裕時間が短くなるため、出会い頭事故が発生しやすいと解釈できる。

d) 要因分析と対策立案

SHAP分析により事故の発生に影響が確認された事故要因へ直結する対策を立案・実施していくことで、より一層効果的な交通安全事業を推進していくことが可能となる。

4. おわりに

本稿では、浜松市における政令指定都市の年間人身交通事故ワースト1脱却に向けた取り組みとして実施した、AIによる事故リスクの予測およびSHAPによる影響度分析の結果について示した。

事故リスクの予測では、実際に事故が起きた顕在的な危険箇所を一定の精度で予測ができたこと、一方で、事故が起きると予測した箇所において実際に事故が発生した割合は低いという結果が得られたことなどを示した。さらなる予測精度の向上のためには、学習データの拡充やデータ形式の見直しなどが今後の課題と考えられる。

SHAPによる影響度分析では、事故との関連性が確認できた要因について複数の事例を示した。入出口のある施設が交差点付近に存在すると追突事故が発生しやすいことなど既往知見を再確認する結果が得られた。一方で、今回の分析では明確な関連性が確認できない要因も存在した。今回は道路の幾何構造を計測した1,000箇所を機械学習の対象としており、今後この箇所数を増やしていくことで、新たに傾向

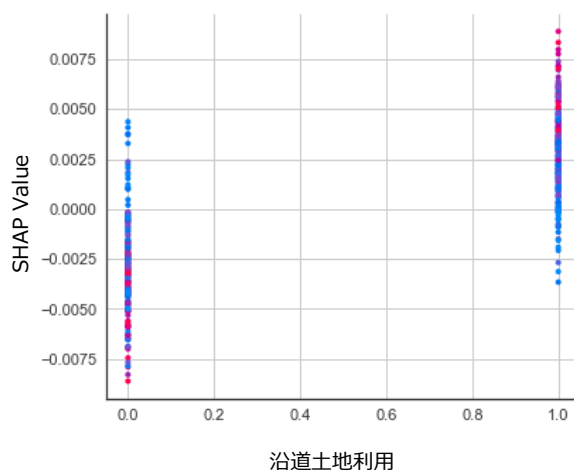


図-6 信号交差点×追突事故モデル

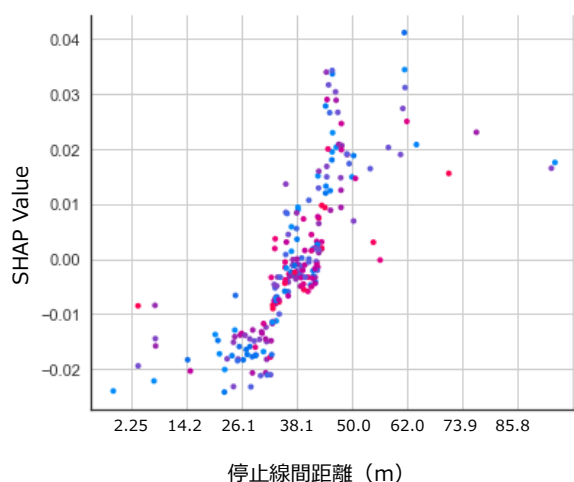


図-7 信号交差点×右左折事故モデル

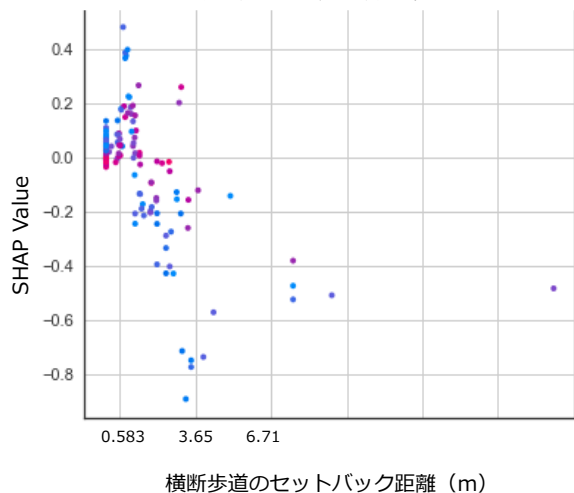


図-8 無信号交差点×出会い頭事故モデル

が確認できる可能性がある。引き続き分析を続けたい。

謝辞：今回の取り組みは、浜松市のご支援・ご協力のもと実施いたしました。関係者の皆様に厚く御礼を申し上げます。

愛媛県松山市内における交通需要マネジメントの取組み

くろかわたかひろ まえのしんすけ まちだともなお いかいひろ ゆき たけうちしゅうと
 ○黒川貴啓¹・前野慎介²・町田智直¹・猪飼博友紀¹・竹内修人¹

¹ 中央コンサルタンツ株式会社 本店 (〒460-0002 愛知県名古屋市中区丸の内三丁目 22 番 1 号)

² 中央コンサルタンツ株式会社 高松支店 (〒760-0023 香川県高松市寿町二丁目 1 番 1 号)

松山市内の幹線道路は、市内中心部に向かう国道 33 号を中心に主要渋滞箇所が連続し、出勤時間帯における渋滞が慢性化している。沿道の立地状況等から、車線拡幅などのハード整備による渋滞対策が困難な環境であり、ソフト施策の必要性が高くなっている。そのようななかで、新型コロナウイルスに伴う緊急事態宣言により交通量が減少した際、国道 33 号の旅行速度が向上し、ソフト対策の一種である交通需要マネジメント (TDM) への適応性が確認された。

本稿では、国道 33 号を対象に交通需要マネジメントを取り入れ、ピーク時の交通量の調整を行うことで、朝の通勤時間帯の渋滞を緩和する社会実験を実施した結果について報告する。

Key Words : 渋滞対策, TDM施策, 出勤時間の調整, ETC2.0プローブデータ

1. はじめに

(1) 松山市内中心部の交通状況について

愛媛県松山市は、人口約51万人の四国地方最大の都市である。市内中心部には官公庁や各種企業、商業施設、鉄道駅が集積し、日常的に人や車の往来が多い。主要な道路網は放射環状型で構成されるが、朝ピーク時には市内中心部を目的とした交通のほか、通過交通も多く、各所で渋滞が発生するなどの交通課題を有している。

こうしたなか、松山市内の外縁部を通過し、松山ICと松山空港を結ぶ松山外環状道路が段階的に供用している。現在、側道部が松山空港周辺まで供用したことで、松山環状線を経由する交通は徐々に分散しているが、市内中心部を通過する交通は、未だ存在する状況である。



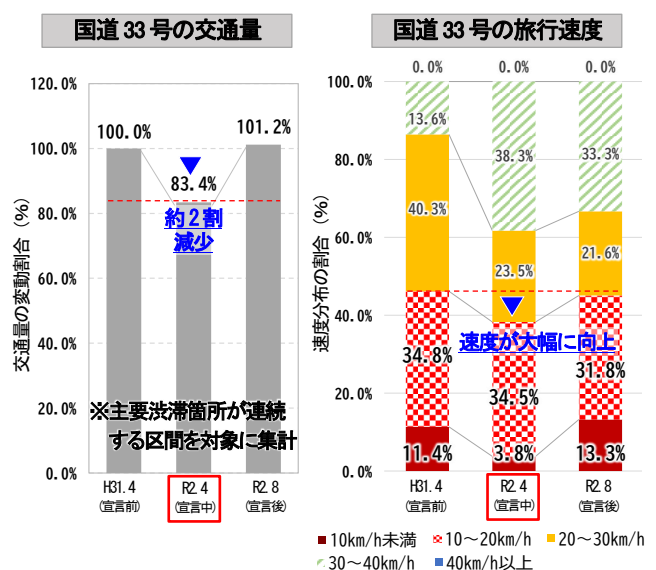
※) 国土地理院の数値地図(国土基本情報)を編集

図-1 松山市中心部の主要な道路網と主要渋滞箇所

(2) 緊急事態宣言による国道33号の交通状況の変化

令和2年4月の新型コロナウイルスに伴う緊急事態宣言により、市内各所の交通量が一律に減少し、それにより旅行速度も向上した。特に国道33号における主要渋滞箇所が連続する区間では、2割程度の交通量を減らすことが出来れば、旅行速度が大きく向上する区間であることが確認された (図-2)。

そこで、緊急事態宣言時の交通特性を参考に、国道33号における交通需要マネジメント (TDM) の実施を検討した。



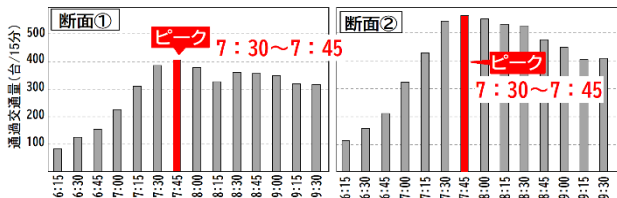
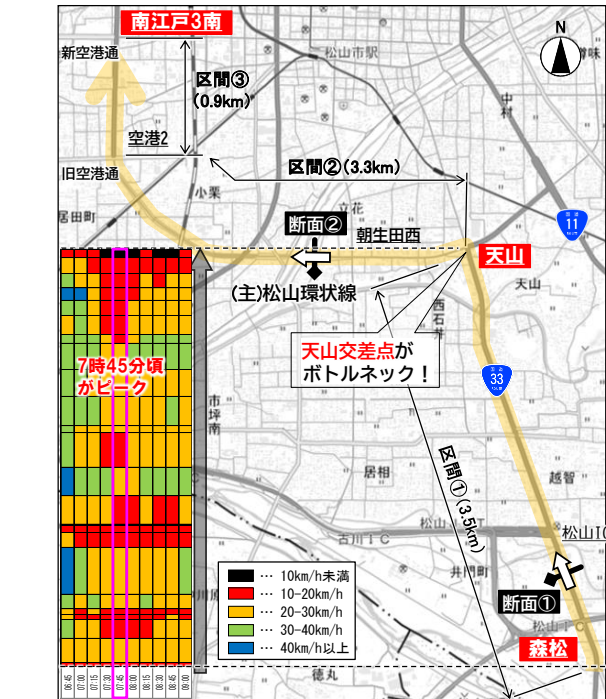
使用データ: (交通量) JARTIC 交通量データ (H31.4, R2.4, R2.8, 7~19時)
 (旅行速度) ETC2.0 プローブデータ (H31.4, R2.4, R2.8, 7~19時)

図-2 緊急事態宣言時の国道33号の交通状況

2. 社会実験に向けた国道33号の交通特性の把握

(1) 朝の出勤時間帯における交通状況

松山市中心部に向かう「国道33号→松山環状線」について、通勤時間帯の交通量や旅行速度を分析すると、交通量のピークは7:30~7:45で、国道33号の天山交差点を先頭に、20km/h未満の低速度区間が連続する状況である。

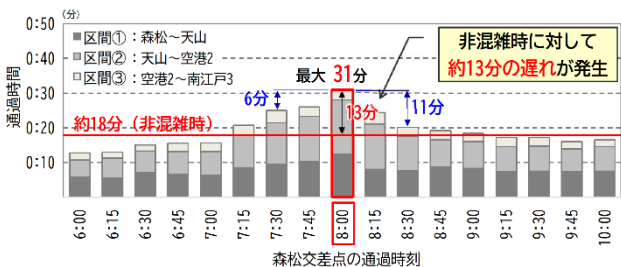


使用データ: JARTIC 交通量データ, ETC20 プローブデータ (R36 平日 6~9時)

※国土地理院の数値地図(国土基本情報)を編集

図-3 時間帯別交通量と旅行速度(国道33号, 松山環状線)

当該区間のうち森松~南江戸3丁目南(図-3参照)の通過にかかる所要時間を分析すると、森松交差点を8時頃に通過する場合は最も時間を要し、非混雑時と比べて約13分の遅れが生じている。また、30分ほど通過時刻をずらすと、混雑を回避できることも確認できる。



※非混雑時の所要時間は、朝の混雑が収まる9時以降の時間で設定
使用データ: ETC20 プローブデータ (R36 平日 6~9時)

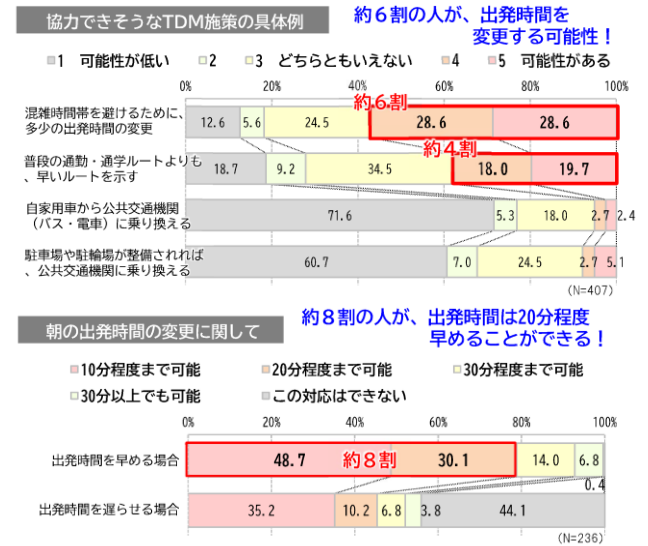
図-4 国道33号森松交差点を通過する時刻ごとの所要時間

(2) 国道33号の交通需要マネジメントの導入検討

朝の通勤時間帯における国道33号等の交通状況から、ピーク時間の交通量を分散させるソフト施策を検討した。

a) 交通需要マネジメント(TDM施策)の導入検討

松山市内に通勤する道路利用者を対象に事前にWEBアンケートを実施し、TDM施策に関する意向を確認した結果、当該区間で実効性の高いTDM施策は、時間の変更や経路の変更であることがわかった。(図-5)



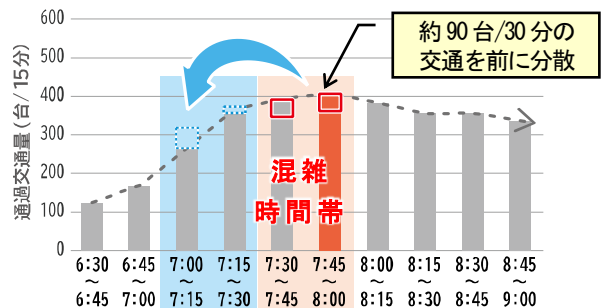
出典: 松山市内の道路利用者へのWEBアンケート調査結果(R3)

図-5 国道33号の出勤に関するWEBアンケート調査結果

当該地において、最も取り組みやすい方法は出勤時間の変更(約6割)で、出発時間を早めるケースが比較的取り組みやすい結果であった。そこで、今回は出勤時間の変更(朝の交通量のピーク時間を前に分散させる)のTDM施策に取り組んだ。なお、経路の変更も候補に挙げられたが、迂回経路である松山外環状道路は、高架部が暫定供用している状況であり、端末交差点部で渋滞しているため、経路変更の取り組みは回避した。

b) 分散させる交通量の目標値の設定

目標値の設定にあたっては、現地状況を再現したモデルを作成し、交通シミュレーションにより需要変動による交通環境の変化を予測した。その結果、ピーク時の交通量の約1割(約90台/30分)を30分程度前の時間帯に移動させれば、渋滞緩和が見込まれることがわかった。



使用データ: JARTIC 交通量データ (R36 平日 6時半~9時)

図-6 分散させる交通量の目標値について

3. 社会実験の実施

(1) 実験概要

朝の通勤時間帯に国道33号を北上して中心部に向かう交通を対象に、時間の変更（早出出勤）を促すTDM施策の社会実験を実施した。概要について、以下に示す。



図-7 通勤時間の変更を促す社会実験の対象概要

(2) 広報計画

対象区間を通過する道路利用者に向け、社会実験の協力を得るために、様々な広報を計画することで、多くの情報取得機会を創出した。（表-1、図-8）

具体的には、新聞広告やYouTube（愛媛CATV）への掲載、愛媛県や松山市、砥部町の職員に向けた庁内のメール配信や、地域情報誌への掲載、商工会を通じた企業への参加呼び掛け、商業施設やガソリンスタンドへのポスター掲示依頼など、地域への広報を幅広く実施した。

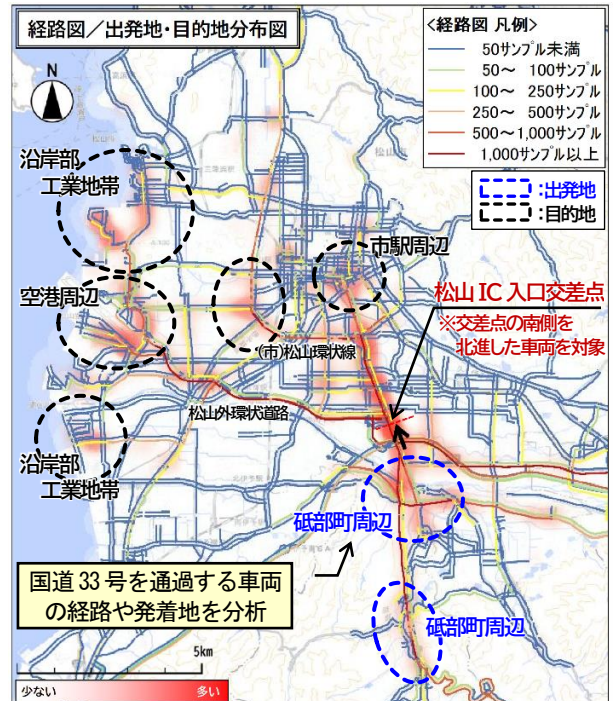
表-1 今回の社会実験で実施した広報の一覧

案内分類	具体的な広報媒体	規模
①広報媒体	●新聞（記事下広告） ●自治体広報誌、情報誌 ●記者発表	123,650部 30,315部 -
②SNS等	●twitter（松山河川国道） ●YouTube（愛媛CATV） ●砥部町公式LINE ●自治体ホームページ	4,183人フォロー 8,480人登録 720人登録 -
③道路上	●路側看板 ●横断幕 ●道路情報板 ●VICS（カーナビ）	8箇所 1箇所 1箇所 2箇所
④企業等への直接依頼	●企業への案内郵送/ポスティング ●県市町職員への情報周知	475社 -
⑤公共の場など	●商業施設等へのポスター掲示 ●イベント時のチラシ配布	9施設 約200人



図-8 今回の社会実験で実施した広報（一部抜粋）

広報の範囲設定は、ETC2.0プローブデータの走行履歴情報を用いて対象区間の通過車両の発着地を抽出し、その周辺を主に情報周知の強化を図ることとした（図-9）。また、広報チラシ等には、社会実験への参加意を確認する事前アンケートを掲載し、目標を上回る約120人から事前協力の回答を得た上で実験を開始した。



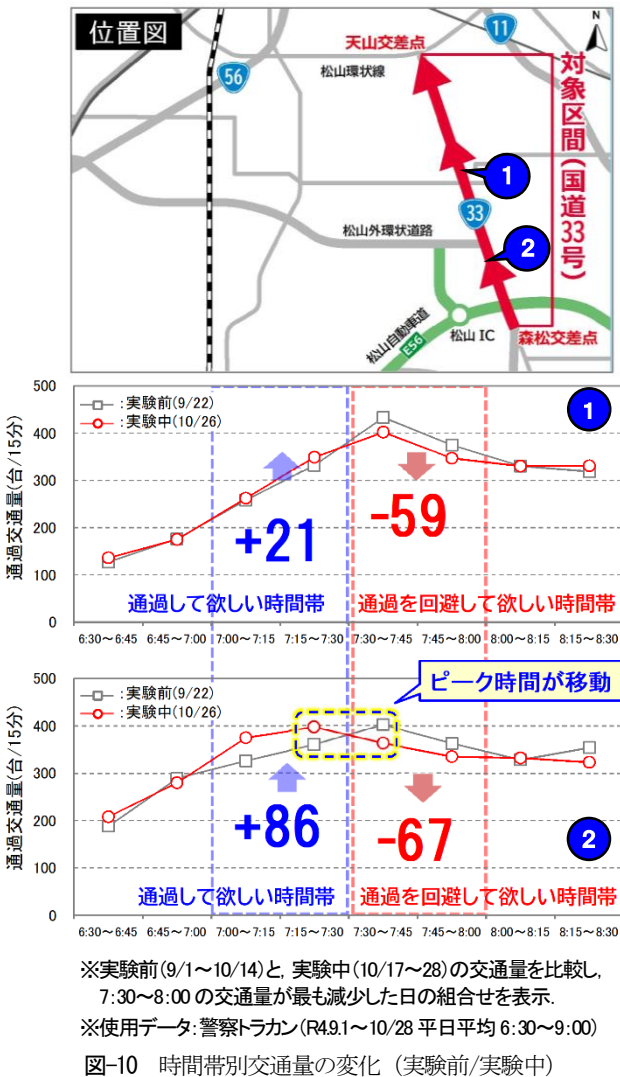
使用データ：ETC20プローブデータ（R3.6-7 平日6～10時）
 ※国土地理院の数値地図（国土基本情報）を編集

図-9 対象区間を通過する車両の経路と発着地域（想定）

4. 社会実験の実施結果

(1) 時間帯別交通量の変化

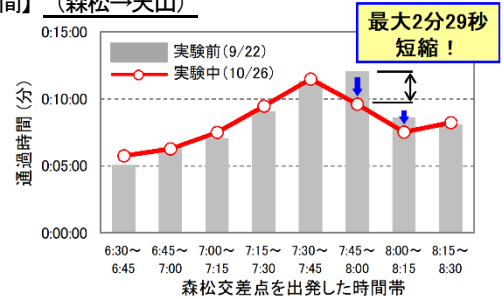
社会実験の実験前と実験中の交通量を比較し、最も交通が分散された実施日の結果を図-10に示す。通過を回避して欲しい時間帯（7:30～8:00）の交通量は、目標の90台/30分に届かなかったものの、図-10のように目標に近い形で分散した日も複数日あった。通過して欲しい時間帯（7:00～7:30）の交通量は、約80台/30分と通過交通量の1割程度であったことから、一定の効果を確認することができた。



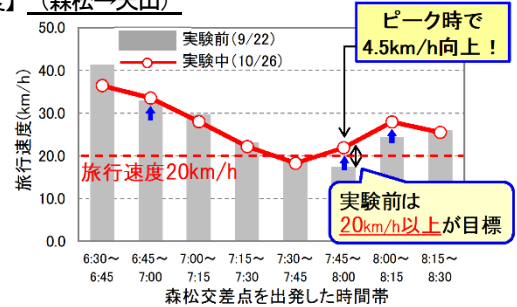
(2) 通過時間と旅行速度

図-10に示す交通量が動いた時の通過時間と旅行速度の様子を示す(図-11)。対象区間を通過する所要時間は、ピーク時に最大2分半(約2割短縮)短縮したほか、旅行速度も向上し、全区間の平均ではあるが、主要渋滞箇所の解除判定となる20km/hをわずかに上回る結果となった。今回の実験で検証されたように、日常的にピーク時の1割程度の交通量を移動することが出来れば、主要渋滞箇所の特定解除の可能性が高まることが分かった。

【通過時間】(森松→天山)



【旅行速度】(森松→天山)

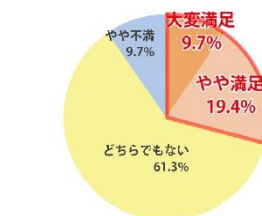


※ETC20プローブデータ【実験前】R4/9/22【実験中】10/26 6:30～8:30
図-11 所要時間と旅行速度の対比(実験前/実験中)

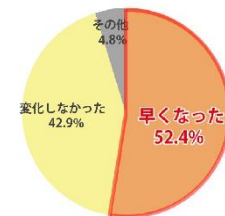
(3) 社会実験に参加した方へのアンケート調査結果

社会実験の実施後にアンケート調査を実施した結果、9割以上の方が時差出勤に不満がなく、半数以上の方が効果を実感し、7割以上の方が継続意向を示した(図-12)。また、今回は参加出来なかった方も、伝え方によっては参加意向に変わる可能性があり、施策の有効性と広報の重要性を改めて認識することができた。

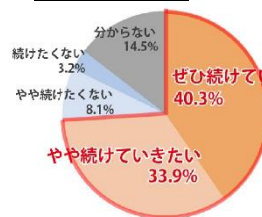
【施策の満足度】



【移動時間の変化】



【取組の継続意向】



【参加出来なかった理由】

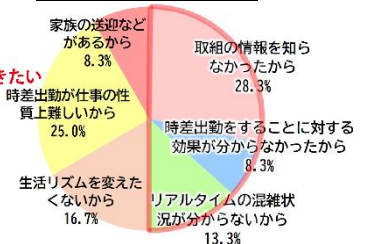


図-12 社会実験に関するアンケート調査結果

5. 今後の課題

今回の結果を踏まえ、TDM施策の今後の取組みとしては、市内で実施している他の交通施策との連携方法や、個人や企業、地域に対するインセンティブの付与方法などを検討することが求められる。また、情報提供の強化に向けて、市民の興味を惹くための広報の工夫や、広く正しく伝えるための方法を検討する必要がある。

横断歩行者の多い環状交差点の本格整備 に向けた安全性向上に関する検討

○村田雄介・関口貴志・松浦佑紀・中村哲也・吉田想平

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

本業務は、名古屋市官庁街において令和2年9月から試行運用されているラウンドアバウトの本格整備に向けた詳細設計である。本稿では、試行運用で得られた利用実態データや課題を踏まえ、中央島の外径やエプロン段差構造等を見直すことで、交差点内を通行する車両の速度抑制を図り、流出入部を横断する通勤者等歩行者の安全性確保に配慮した設計の内容について報告する。加えて、本業務では、中央島の景観検討を実施した中で、今後議論を重ねて付属物やモニュメント等を設置する際の留意点として、交差点内の視認性を確保するために必要な空間的制約条件を提案した。

Key Words : ラウンドアバウト, 環状交差点, 平面交差点設計, 交通安全対策

1. はじめに

(1) 業務概要および目的

ラウンドアバウト（以下、RAB）は、平面交差点の形式として数多くの安全上・円滑上の利点を有することから、欧米諸国において普及が進み、その効果を発揮してきた。我が国においても、円形の交差点など古くから整備されたものもあったが、平成25年6月の道路交通法改正で環状交差点が規定されたことを皮切りに全国で導入が進み、令和5年3月末現在で155箇所が整備済みとなっている。

本業務は、名古屋市官庁街において、令和2年9月23日から交通安全対策の社会実験として試行運用されているRABを対象に、本格整備に向けた交差点詳細設計を実施したものである。業務位置を図-1に示す。



図-1 業務位置図

詳細設計に先立ち、試行運用時に実施された交通量調査結果と、ビデオ観測¹⁾による交差点内の通行車

両の挙動を精査した結果、横断歩行者の交通安全上の課題が確認された。そこで、本業務では、試行運用で得られたデータや課題を踏まえ、横断歩行者の安全性向上を図ったRAB形状の見直しを行うこととした。

2. 業務実施方針

本業務の主なフローを図-2に示す。

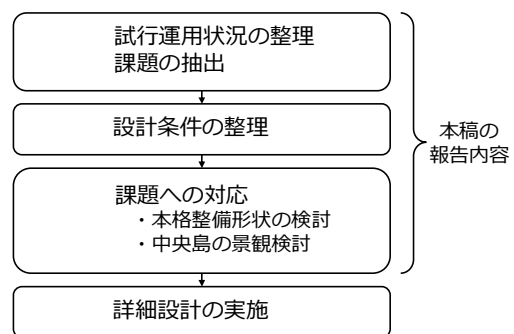


図-2 業務フロー

3. 試行運用状況の整理と課題の抽出

(1) 試行運用状況の整理

a) 交通量

試行運用開始2週間後に実施された歩行者と自動車の交通量調査結果（ピーク時間交通量）を図-3、図-4に示す。当該交差点は、地下鉄出入口やバス停が近く、周辺を官公庁に囲まれているため、歩行者交通量が極めて多く（10,404人/12h）、ピーク時の

通勤時間帯（AM8:00～9:00）における歩行者交通量は約2,000人/h（流出入部単位では最大705人/h）となっている。一方、自動車交通量は、4,610台/12hであり、官公庁への来訪者が多い昼過ぎの時間帯（14:00～15:00）がピークであるため、歩行者のピークから外れた状況となっている（図-5）。なお、当該交差点の大型車混入率は2.3%と低く、大型車が極めて少ない交差点と言える。さらに、観測値には当該交差点直近で行われているリニア新幹線の工事の車両が含まれており、本来もっと少ないと想定される。

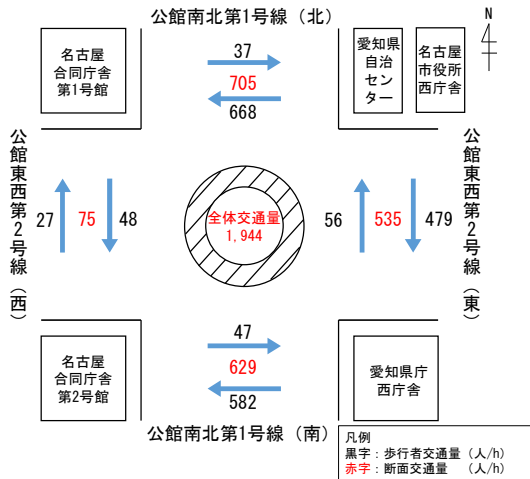


図-3 歩行者の方向別交通量（ピーク時）

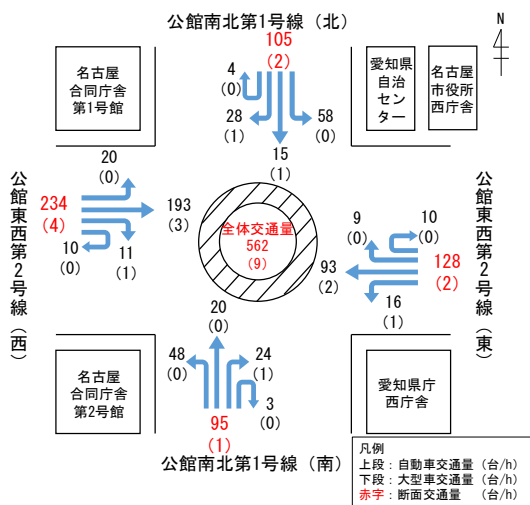


図-4 自動車の方向別交通量（ピーク時）

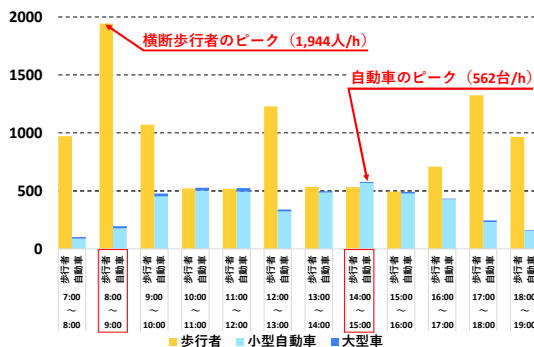


図-5 歩行者と自動車のピーク時間

b) 実勢速度

試行運用のビデオ観測結果¹⁾を基に、RAB前後の実勢速度について整理した。試行運用時に設定された各路線の設計速度はV=40km/hであるが、RABの前後約40m地点における車両の実勢速度は、表-1に示すとおり、V=30km/h未満であった。また、交差点への流入速度について、停止線～停止線手前30mまでの区間で10mごとに整理した結果、停止線手前10m付近から大きく速度低下していることが分かった（表-2）。

表-1 RAB前後の実勢速度

路線	方向	流入・流出	RAB前後の実勢速度 (交差点手前40m地点)	平均速度
公館東西第2号線	東	入	27.20km/h	27.8km/h
		出	27.57km/h	
	西	入	29.02km/h	
		出	27.30km/h	
公館南北第1号線	南	入	31.41km/h	29.7km/h
		出	32.57km/h	
	北	入	28.49km/h	
		出	26.37km/h	

表-2 交差点流入速度の整理結果

方向	停止線からの距離	30m	20m	10m	0m (停止線)
東	平均速度 (km/h)	27.20	26.76	23.32	15.49
	差 (km/h)		-0.44	-3.44	-7.83
西	平均速度 (km/h)	29.02	28.21	23.78	15.13
	差 (km/h)		-0.81	-4.43	-8.65
南	平均速度 (km/h)	31.41	29.92	24.25	14.25
	差 (km/h)		-1.49	-5.67	-10.00
北	平均速度 (km/h)	28.49	27.51	22.15	13.17
	差 (km/h)		-0.98	-5.36	-8.98

c) 交差点内の小型車の走行位置

試行運用開始3ヶ月後に実施された小型車の走行位置の観測結果¹⁾（図-6）では、矢羽根上を含めた環道内を正しく走行した車両が39.6%、本来、大型車のみが利用すべきエプロン上を走行した車両が60.4%であり、当RABを通行する小型車の約6割がエプロン上を走行していることが分かった。

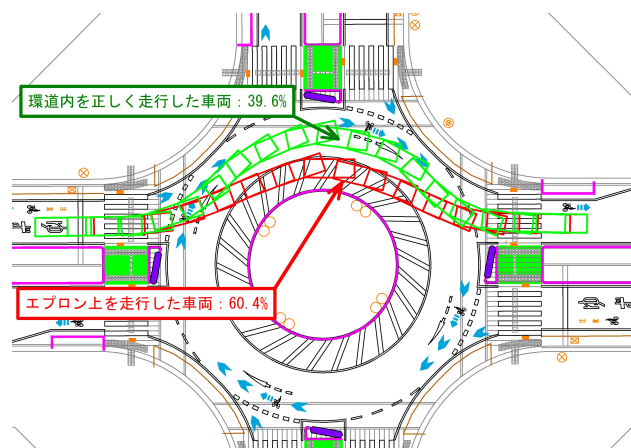


図-6 小型車の走行位置

(2) 本業務における課題

RABの試行運用状況について整理した結果、当該RABは、地下鉄出入口やバス停が近く、周辺を官公庁に囲まれているため、通勤時間帯を中心に歩行者が極めて多い状況に対し、大型車の走行空間として設置されたエプロンを踏み、交差点内を最短ルートで速く走行しようとする小型車が約6割存在し、流出入部を横断する歩行者の安全性確保が課題であった。その中で、本格整備形状の検討にあたっては、数多くのRABの事例や考え方が紹介されている「ラウンドアバウトマニュアル」を参考にしつつ、当該箇所に適用した構造の採用には留意が必要であった。

4. 設計条件の整理

以下の表-3に、試行運用と本格整備の設計条件を示す。計画交通量は、試行運用での交通量調査結果を基に設定し、道路構造規格は、計画交通量とRAB前後の実勢速度を踏まえ再設定した。

表-3 設計条件

諸元・施設	試行運用	本格整備	
計画交通量	-	東西路線：3,800台/日 南北路線：1,300台/日	
道路構造規格	第4種第2級 V=40km/h	第4種第3級 V=30km/h	
設計車両	主：小型自動車等 副：普通自動車 セミトレ連結車	主：小型車自動車等 市営バス 副：普通自動車 セミトレ連結車	
外径	D=30m	D=32m	
環状部幅員	環道	4.5m	5.0m
	エプロン	2.5m	2.0m
	左側路肩	0.5m	同左
	右側路肩	0.5m	同左
中央島	直径14m	直径16m	
流入入部幅員	車線	3.0m	同左
	自転車通行帯	1.0m (特例値)	1.5m (標準値)
	左側路肩	0.5m	同左
	右側路肩	0.5m	同左
流出入部形状	テーパー30m (V=40km/h対応)+ 平行区間20m	テーパー25m (V=30km/h対応)+ 平行区間10m	

※赤字：試行運用からの変更点

5. 課題への対応

(1) 外径の見直し

試行運用時のRABの外径は、セミトレーラ連結車および普通自動車の周回に必要な最小外径27m（右折導流路の外側半径13m+路肩幅員0.5m）×2から検討し、用地的な余裕および学識者の意見を踏まえ、30mと設定していた。

本業務では、試行運用で観測された交差点内における小型車の走行実態（約6割がエプロン上を走行）を踏まえ、外径を32mに拡大した。外径の拡大に伴い、中央島を直径14mから16mに拡大したことにより、交差点流入部から流出部への走行ルートに

中央島がより張り出す状況となり、車両の直線的な走行欲求を抑えることで速度抑制を図った（図-7）。なお、外径の拡大に当たっては、現地状況を確認した上、交差点の巻き込み部4箇所に設置された既設照明柱に影響しない最大値として決定した。

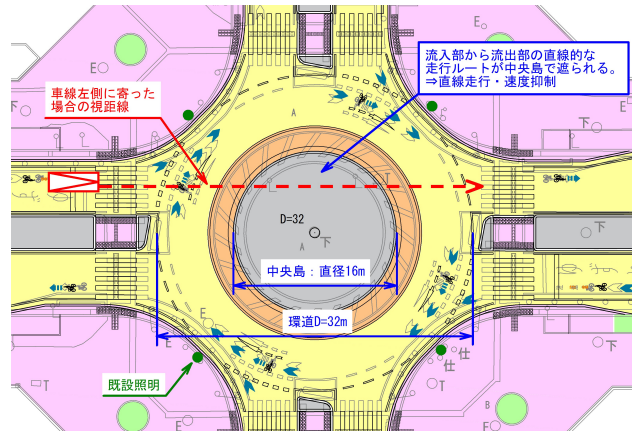


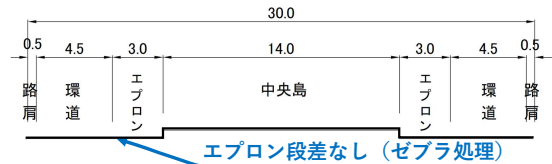
図-7 本格整備の外径

(2) 小型車のエプロン走行を抑制する段差構造の採用

RABのエプロンは、主設計車両の直線的な走行を防止する一方、副設計車両が乗り上げることで環道の走行を担保するための構造である。ラウンドアバウトマニュアルではエプロンに段差を設けることが一般的とされているものの、目的に応じた段差構造の紹介に留まっている。本業務では、立地特性上、当該交差点の大型車交通量が極めて少ないことに着目し、試行運用時の段差のないエプロン構造（ゼブラ処理）から、ラウンドアバウトマニュアルで紹介されている事例の内、小型車の乗り上げ抵抗感がより強い垂直立ち上げ5cmのエプロン構造を採用し、更なる車両の直線的な走行の抑制を図った。なお、当該エプロン構造の採用にあたっては、実際に整備されたRABの運用状況について管理者へのヒアリングを提案し、問題ないことを確認している。

一方、当該交差点は市営バスの運行経路であるため、対象車両がエプロンへの乗り上げ不要となるよう、環道幅員をW=4.5m→5.0mへ拡大することでエプロン段差乗り上げによる乗客への衝撃を回避し、走行快適性の確保を図った。

(a) 試行運用時



(b) 本格整備時

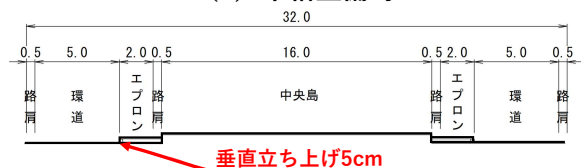


図-8 エプロン段差構造

(3) 交差点内の視認性確保

全国のRABには、中央島へ様々なモニュメントや木本等の付属物を設置している事例があるが、ラウンドアバウトマニュアルでは、中央島内の付属物の設置は、交差点内の視認性を妨げることから避けるべきであるとされている。本業務ではマニュアルの考え方を参考としつつ、当該RABを対象に中央島の景観検討を実施した。検討では、全国のRAB（R3.3時点）で126箇所）の事例を調査した結果を整理するとともに、これらを参考に名古屋市シンボルに相応しい中央島のデザイン案を複数提案した。また、最終的な決定には長期間を要するとの意見を受け、今後の検討で考慮すべき条件として、付属物等設置時における交差点内の視認性を確保するために必要な空間的制約条件の目安を以下のとおり提案した。

- ＜視認性確保のための空間的制約条件（目安）＞
- ・モニュメント等を設置の場合：幅1m程度以下。
 - ・木本を植樹する場合：
 - 幹の太さが直径1m程度以下、樹冠と中央島表面が2m程度以上離れていること。
 - ・中央島を面的に覆う場合：高さ0.3m程度以下。

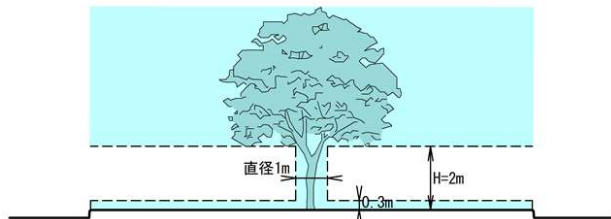


図-9 付属物を設置可能な範囲（目安）

上記の空間的制約条件のもと、付属物を設置した場合の交差点流入部からの視認範囲を図-10に示す。流入部から流出部の視認性は問題なく確保されており、反対車線流入部の車両についても付属物を通して十分に視認可能であることを確認した。

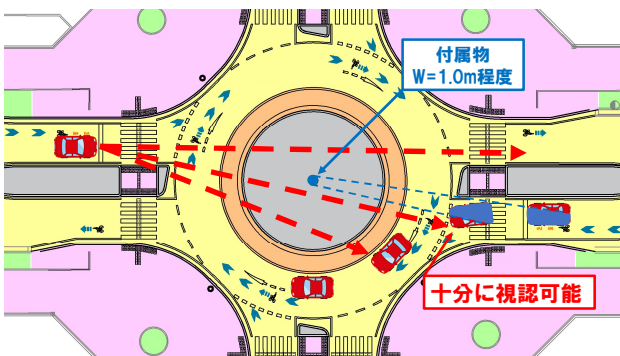


図-10 付属物を設置した場合の視認範囲

6. その他の検討

(1) 分離島形状の再設定

試行運用時の分離島形状は、設計速度 $V=40\text{km/h}$ を条件に実施した県警協議の意見を基に、本線シフト長の考え方に基づくテーパ長 $L=30\text{m}$ と、学識者協議で受けた意見に基づく平行区間 $L=20\text{m}$ （合計 $L=50\text{m}$ ）で設定されていた（図-11(a)）。これに対

し、本業務では、交通量と実勢速度を整理し、見直しを行った道路の区分とその設計速度 $V=30\text{km/h}$ 、並びに交差点流入速度（停止線手前10m付近から大きく速度低下）に基づき、図-11(b)のとおり再設定した。

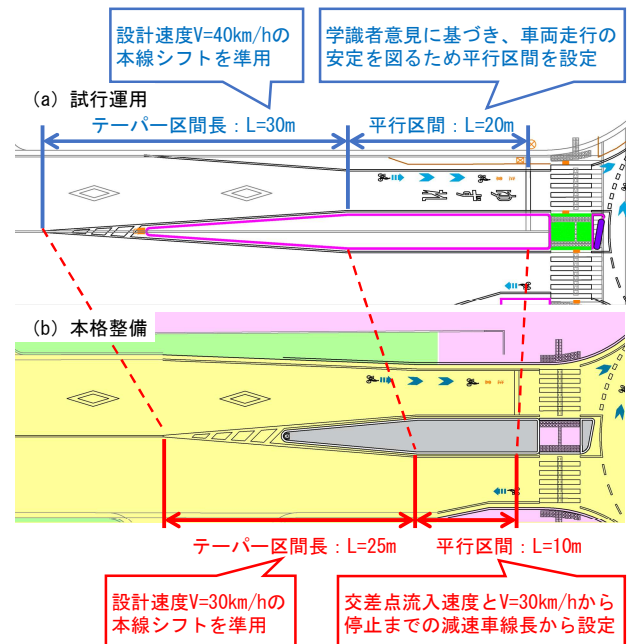


図-11 試行運用と本格整備の分離島形状

具体的には、平行区間の長さは、交差点流入速度と設計速度 $V=30\text{km/h}$ から停止するまでに必要な長さ（道路構造令における平面交差点の減速車線長）から決定し、テーパ区間長は、本線シフト長の考え方を準用しつつ、設計速度の見直しを反映した。結果として、試行運用で得られた実測値を踏まえ、本格整備の分離島形状を見直したことにより、分離島のコンパクト化による整備コストの縮減と、沿道乗入れ口への右折利用確保の範囲拡大も図ることができた。

7. おわりに

本業務では、試行運用中のRABの本格整備に向けた詳細設計に先立ち、試行運用で得られたデータを整理した結果、流出入口を横断する歩行者の安全性確保の課題を確認した。そこで、本格整備では、RABの外径やエプロンの構造を見直すことで車両の直線的な走行欲求を抑え、速度を抑制することで歩行者の安全性確保を図った。さらに、中央島の景観検討では、今後の付属物等の議論の前提条件とすべく、交通安全に資する空間的制約条件を提案した。なお、当該RABは本業務成果を基に整備され、令和5年9月より本格運用が開始されている。

参考文献

- 1) 名古屋市・名古屋工業大学共同研究：令和3年度 潜在的な事故危険箇所の特定及び交通安全対策の短期的効果に関する研究，2021。

タイムスペース図を活用したバイパス区間の交通要因分析手法の提案

○伊藤 大智・山田 邦博・池田 雅一・稲富 貴久・杉村 清紀

パシフィックコンサルタンツ株式会社 中部支社 交通基盤事業部・SI事業部

(〒451-0045 名古屋市西区名駅1丁目1番17号)

国交省管理の直轄路線における死傷事故件数は全国的に減少傾向にあり、浜松河川国道事務所管理路線も近年は減少傾向となっている。今後更なる事故件数の削減に向け、管内で多くの割合を占める立体構造区間における事故要因分析並びに効果的な対策立案が必要であった。立体部を多く含むバイパス区間における事故発生要因の特定を目的とし、ETC2.0プローブデータを用いたタイムスペース図を活用した分析を実施した。線的な交通特性の分析や、事故発生状況（発生時間・類型等）とタイムスペース図を組み合わせることで、バイパス区間内における速度低下の発生ポイントや車両同士の速度差・伝播状況を明らかとした。

Key Words : タイムスペース図, 立体構造区間, 事故要因分析

1. はじめに

国土交通省が管理する直轄路線における死傷事故件数は全国的に減少傾向にある。また、浜松河川国道事務所（以下、浜松国道）管理路線も近年は減少傾向となっている（図-1）。

浜松国道が管理する路線の構造的特徴として、バイパス区間が大半を占めることがあげられる（浜松国道が管理する路線のうち国道1号は管理区間全域がバイパス区間であり、大半が立体構造区間（アクセスコントロール区間））（図-2）。当該路線での更なる事故削減のため、バイパス（立体構造区間）における事故要因分析の高度化が求められている。

本論文では、浜松国道管内の磐田バイパス（立体構造・平成25年度に完成4車線供用）を一例に、タイムスペース図を活用した立体構造区間の事故要因分析手法の提案を行う。

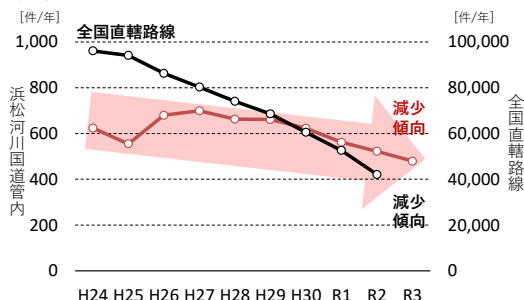


図-1 直轄路線における死傷事故発生件数の推移

2. 立体区間における事故発生要因特定の課題

浜松国道の管理路線は構造特性として、立体構造区間が多く走行性が良いことや交差点が少ないこと、直線区間が多い等の特徴がある。また、利用者傾向として比較的広域移動する交通の割合が高いことが想定される。こういった構造特性および利用者特性より、車両の速度帯が高くなりやすい傾向にある（60～80km/h程度）。

また、立体構造区間における事故発生要因特定の課題は以下の通りである。

- ・外的要因による特異挙動が少なく事故要因特定が困難
- ・要因分析の結論が画一的になりやすい

立体構造区間は、車両同士の交錯や急制動が生じやすい平面区間と比較して、歩行者、自転車や交錯交通といった事故に繋がりをうる外的要因が少ない。外的要因による車両の特異挙動が生じにくいこと事故要因特定や効果的な対策立案が難しく対策が画一的になりがちである。



図-2 浜松河川国道事務所管理路線（国道1号）

3. タイムスペース図の活用による特定

(1) タイムスペース分析の概要

タイムスペース図とは、個々の車両の挙動を図化したものである。従来、ETC2.0データを用いた分析手法として速度コンター図（一定距離間隔のメッシュを作り、その区間での車両の速度割合を色分けによって示したもの）が多く用いられてきた。速度コンター図を作成することで、対象路線において速度帯の高い箇所の特定が可能となる。また、事故発生箇所や急挙動の発生箇所と重ね合わせることによって、潜在危険箇所の把握や事故要因分析の一手法として活用されてきた。しかし、速度コンター図を使用した交通分析は、あくまでも傾向的な観点でしか評価できず渋滞原因箇所の特定などには向いていない。

そこで、より細かく、各車両の挙動を追跡できる手法がタイムスペース図（横軸・横軸を時間と距離として、各車両の時空間上の走行軌跡を示したもの）である。速度コンター図では表現できない各車両の走行の挙動を可視化できる。

(2) 従来の分析手法の適用

a) 事故発生状況による分析

磐田バイパスは、上り線に比較して下り線の事故発生件数が多い（上り71件、下り137件/4年間）（図-3）。

下り線の事故発生状況を整理した結果を図-4に示す。下り線では、見付IC～三ヶ野IC区間で他区間より事故が多く発生している。一方で、完成4車線供用済みであり幾何構造上も大きな課題がなく、事故発生要因の特定が難しい。

b) 速度コンター図による分析

磐田バイパスにおける平日朝ピーク時間帯における速度コンター図による分析結果を図-5に示す。

速度コンター図により見付IC～三ヶ野ICまで速度低下が見受けられるが、事故発生区間との因果関係を明確化することは困難である。

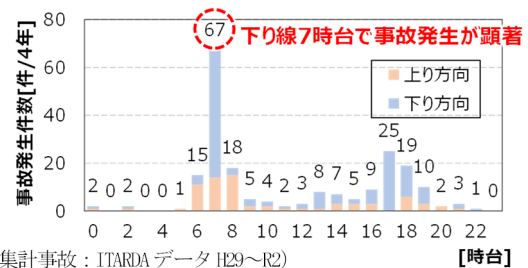


図-3 事故発生件数（国道1号 磐田バイパス下り線）

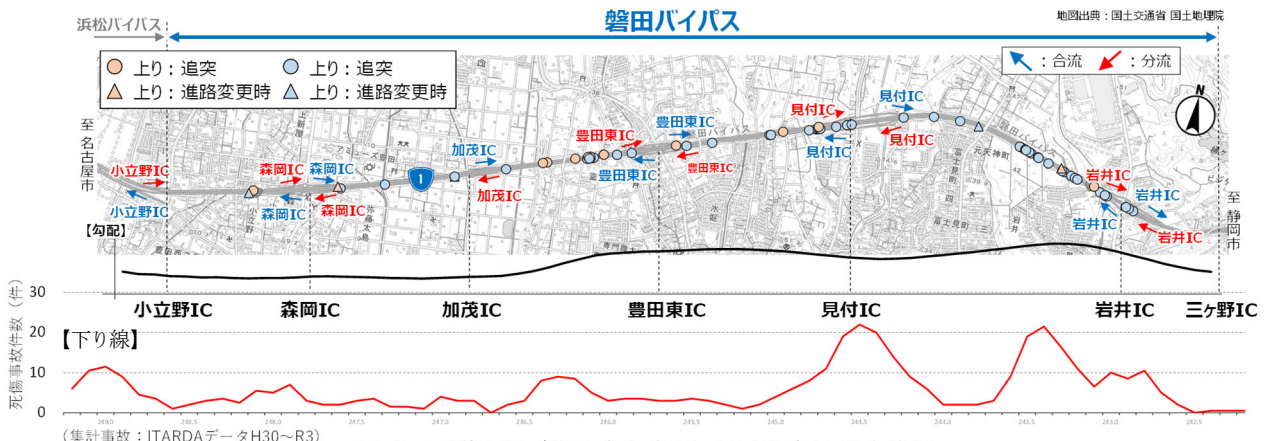


図-4 国道1号 磐田バイパスにおける事故発生状況

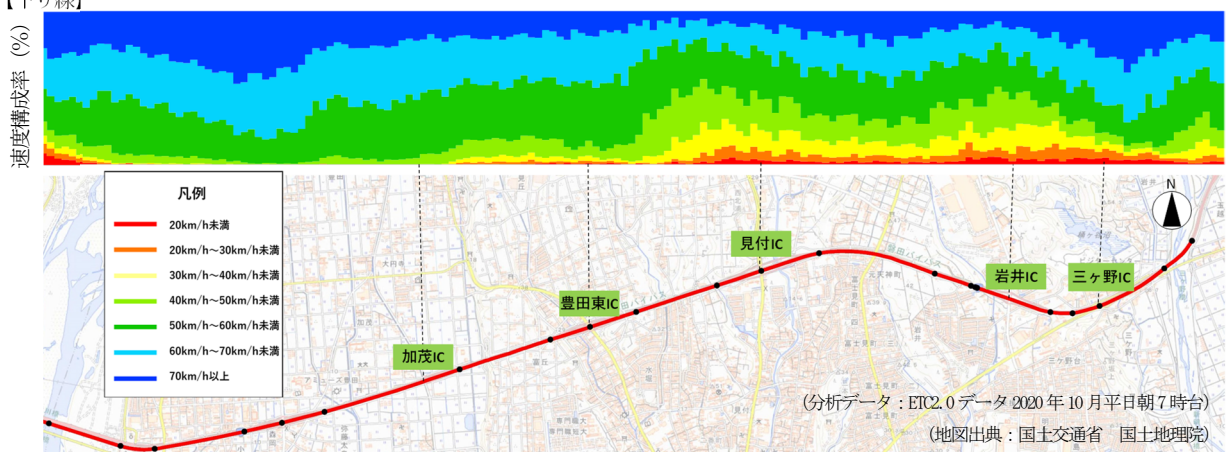


図-5 速度コンター図（国道1号 磐田バイパス 下り線）

(2) タイムスペース図を活用した分析手法

a) 交通特性分析

磐田バイパスにおける平日朝ピーク時間帯(2020/10/9(金) 6時~9時)の下り線タイムスペース図(図-6)により、下記のような交通状況が確認できる。

- ・朝ピーク時間帯3時間で40km/h以上の速度差が発生
 - ・速度低下は加茂ICを先頭として岩井IC東区間まで延伸
- これより、朝7時台に加茂ICを先頭とした渋滞が発生し、その影響が三ヶ野ICまで続いていることが確認できる。下り線の事故発生状況(図-4)を見ると、この加茂IC~三ヶ野IC間で事故発生が多い。時間帯で見ても下り線の事故発生は朝7時台に集中しており、交通状況の変化(速度低下)と事故発生の因果関係が確認できる。

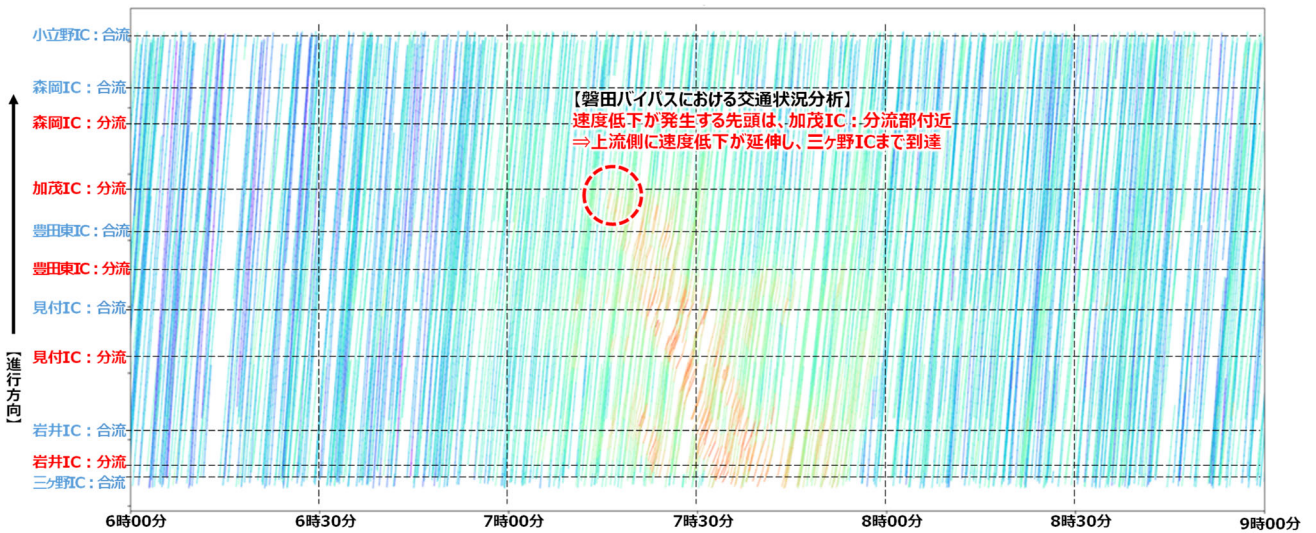
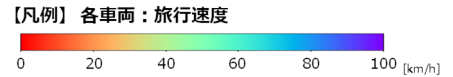
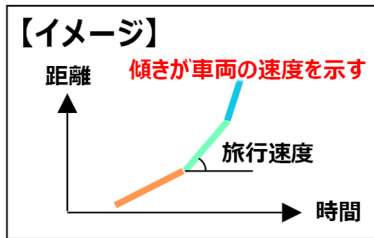
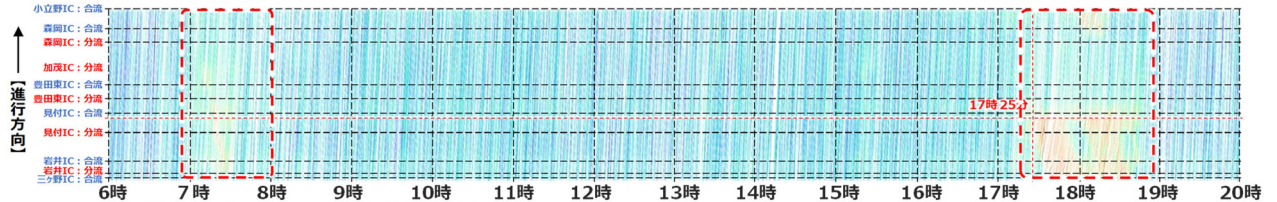


図-6 タイムスペース図: 国道1号 磐田バイパス 下り線・朝ピーク

◆2020年10月16日[金] 6時~20時における交通状況 17:25 見付IC付近で事故発生あり



◆2020年10月21日[水] 6時~20時における交通状況

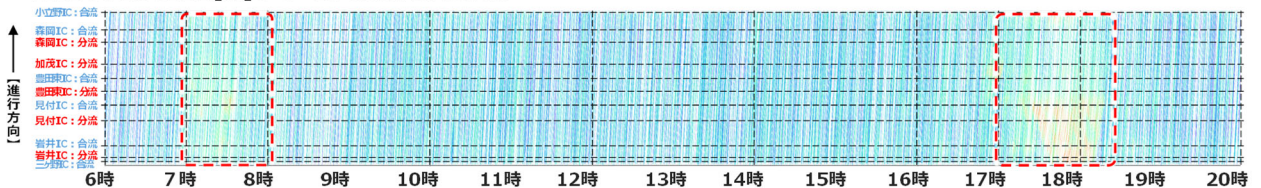


図-7 タイムスペース図: 国道1号 磐田バイパス 下り線・平日6時~20時

b) 事故発生時間等踏まえた詳細分析

磐田バイパス下り線では朝7時台の事故発生件数が卓越しており(図-3)、タイムスペース図より当該時間帯は交通状況変化時であることから、交通状況の変化(速度低下)と事故発生の因果関係を前節で示した。

また、同路線の平日1日(6時~20時)のタイムスペース図(図-7)より、連日交通状況の変化が顕著なのは17~18時頃であることが確認できる。また、事故発生場所・時間をタイムスペース図に重ねると10月16日17:25に事故発生が交通状況に影響を及ぼしていることが確認できた。

このように、事故発生場所・時間の重ね合わせにより、下記の評価が可能となる。

- ・事故発生時による他の車両の挙動の変化(どのくらい速度帯は低下するのか)
- ・事故発生による影響範囲

5. まとめ

立体構造区間は外的要因による車両の特異挙動が発生し、くため事故要因特定が難しいという課題があった。現状、速度コンター図を用いた要因分析が主流であり、車両全体の傾向的な観点でしか分析・評価ができなかった。そこで本論文では、国道1号磐田バイパスを1例とし、タイムスペース図を活用することでマイクロ（各車両の走行軌跡）での交通状況把握が可能となることを示し、交通状況変化と事故発生との因果性を確認した。

交通状況の変化に着目して事故要因分析を行うことで、より効果的な対策立案に繋げることができる。

6. 今後の展開

今後は、タイムスペース図を活用した分析により交通状況の変化に着目しつつ、変化区間の幾何構造（平面・縦断線形、加減速車線長等）を組み合わせることで、構造的な視点での事故発生要因の特定を目指す。

また、今回明らかとなった交通状況の変化区間に対してマイクロ的な分析（ビデオを用いた交通状況（車線変更状況、加減速車線付近の減速等挙動）の把握、ETC2.0を用いた細部分析など）を行うことで、交通的な分析結果の裏付けを行う。

上記分析結果を組み合わせることで、より効果的な事故対策の立案につなげる。

火災を受けた橋梁の被災状況調査と補修設計

○熊澤快友¹・樋口伸幸¹・山田誠¹・木下俊男¹・周敦史¹

¹三井共同建設コンサルタント（株）道路・橋梁事業部 構造第三部
（〒460-0002 愛知県名古屋市中区丸の内3丁目20番3号 BPRプレイス久屋大通7階）

国道の取付階段橋の橋台付近を火元とする火災が発生した。発注者より要請を受けて直ちに緊急点検を実施し、外観の塗膜損傷程度やコンクリートの状態を把握し、被災部の受熱温度を推定したうえで供用性の判断を行った。その後、材料の状態を正確に把握するための各種詳細調査を提案・実施したうえで、補修が必要となる部材を選定し、恒久的な使用に耐えうる補修設計を実施したものである。

Key Words : 火災, 受熱温度推定, ビッカース硬さ試験, 変形量計測, 亀裂調査, 反発硬度試験, 中性化試験, 当て板部材矯正

1. はじめに

橋梁は日々多くの人々に利用され、生活するうえで非常に重要なインフラ構造物である。一方、橋梁火災は突発的に起こり、火災を受けた部材は材料の強度低下などを生じさせるため、早期に供用可否の技術的判断を加え、社会的影響を最小限とする対策が求められる。ここでは、国道の取付階段橋の橋台付近を火元とする火災に対して、直ちに緊急点検を実施し、供用停止の必要性を判断したうえで詳細調査及び補修設計を実施した事例を紹介する。

2. 被災状況

被災した橋梁は平成5年竣工のRC床版を有する鋼非合成鉄桁橋である(写真-1)。火元は降り口側の橋台付近の桁下で発生した。被災状況を把握するために、発注者より要請を受けて直ちに近接目視による緊急点検を実施した(図-1)。



写真-1 橋梁全景

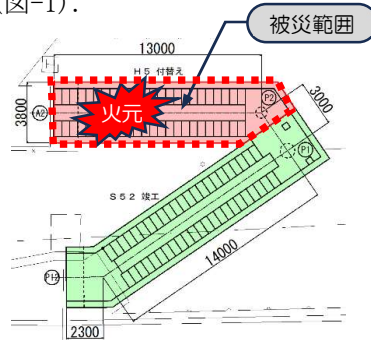


図-1 被災箇所

緊急点検の結果、支点部から踊り場まで桁、床版とも全面的に煤が付着して火災による熱影響が懸念された(写真-2)。火元付近の主桁、横桁は塗装の変色や下塗りの露出と局部的に消失(写真-3, 写真-4)が見られ、主桁ウェブの一部と中間横桁、端部横構には変形が見られた(写真-5, 写真-6)。床版はRC構造であるが、一部爆裂と思われるかぶりコンクリートの剥落が見られた(写真-7)。



写真-2 被災部全景



写真-3 主桁下塗り露出



写真-4 横桁下塗り焼失



写真-5 主桁変形



写真-6 横構変形



写真-7 床版コンクリート剥落

3. 技術的な課題

部材は火災による受熱温度により強度低下を引き起こす可能性があるなかで、利用者への影響を鑑み、まずは目視レベルで供用停止の必要性や二次災害の危険性の有無を早急に判断する必要があった。次に、恒久的な対策を検討するために、目視で確認された損傷に対し、詳細調査を実施し、火災を受けた部材の状態を適切に把握したうえで、現地状況を踏まえた最適な補修工法により機能回復を図る必要があった。

4. 被災度判定と供用再開の可否判断

(1) 鋼部材の被災度判定

この橋梁の塗装は1993年(平成5年)に塗装がなされており、A-1系塗装であることを確認できた(表-1)。また、火災による塗膜の損傷程度を塗膜被災度マップにとりまとめた結果を図-2に示す。火元付近の横桁・横構の一部は下塗消失、主桁は下塗の白色化がみられた。

表-1 対象橋梁の塗装仕様

下塗	シアナミドヘルゴン (JIS-K-5625)	鉛系錆止め塗料
中塗	CRペイント (JIS-K-5616)	長油性フタル酸樹脂塗料
上塗	CRペイント (JIS-K-5616)	長油性フタル酸樹脂塗料

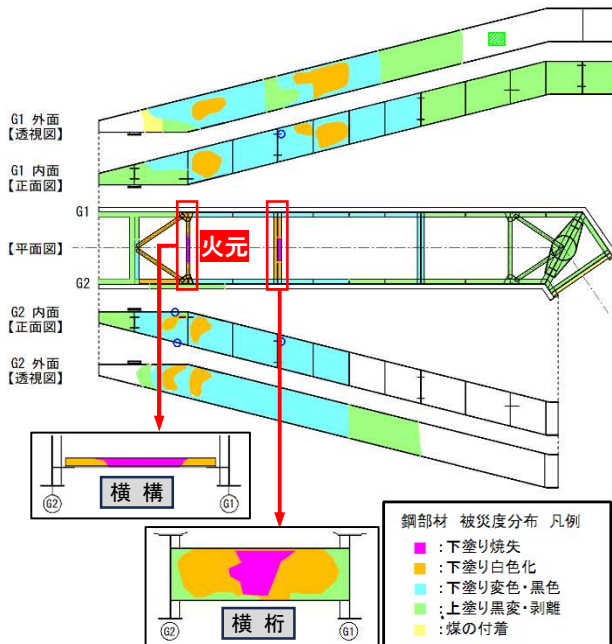


図-2 塗膜被災度マップ

鋼部材の被災程度は¹⁾「国総研資料第710号“鋼道路橋の受熱温度推定に関する調査” H24.12」におけるA-1塗装系の開放型ガス炉加熱試験結果(表-2)を参考に火災の影響を受けた部材の塗膜の変状、変色から受熱温度を推定した。

被災範囲の大半を占める下塗の変色・上塗の黒色範囲の受熱温度は300℃～400℃程度、最も火元に近い範囲は下塗が朱色から白色に明らかに変化してお

り、一部下塗が消失していた範囲もあったため、局部的には受熱温度は700℃以上と推定した。

表-2 開放型ガス炉加熱試験結果(A-1塗装系)

基準温度	塗膜損傷状況	所見
加熱前		
200℃		・上塗りの黒色化がみられる。
300℃		・端部付近では、200℃よりも黒く変色した状態となっており、小さなふくれもみられる。 ・中央部では、上塗りの炭化に伴ってはがれが生じている。 ・下塗りはほとんど変色していない。
400℃		・上塗りの灰化後、はがれて炉内に落下した。 ・下塗りの変色は薄い色であった。 ・端部には、上塗りの炭化部(黒色部)がわずかに残っている。
500℃		・400℃の燃焼状況とほとんど変わらないものの、400℃よりもやや白色化している。
600℃		・500℃の下塗りの変色状況から、さらに白みを帯びた変色となっている。 ・上塗りの灰化部が端部に付着している。
700℃		・下塗りが緑がかかった色に変色している。400～600℃よりも明らかな変色である。

(2) コンクリート部材の被災度判定

被災したコンクリート床版の大半は煤の付着程度であったが、火元付近で爆裂の影響と思われるかぶりコンクリートの剥落が見られた。コンクリート床版の被災分布を図-3に示す。

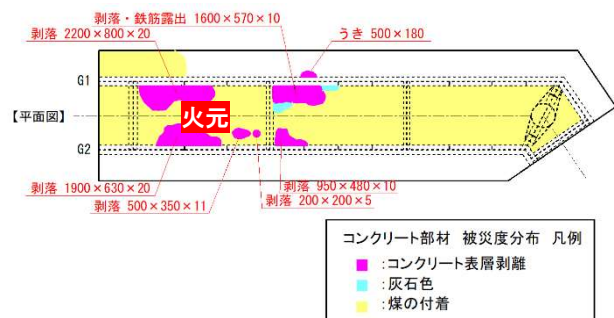


図-3 コンクリート床版の被災分布

コンクリート部材は²⁾「火災を受けた鋼橋の診断補修ガイドライン」(以下、参考文献2)における鉄筋コンクリート部材の被災度の目安より受熱温度を推定した(表-3)。

火元付近のコンクリートの剥落は鉄筋位置まで達しておらず受熱温度は300℃～500℃程度と推定された。大半を占める黒煤の付着部は300℃以下と推定した。

表-3 鉄筋コンクリート部材の被災度の目安

被災温度(°C)	外観	ひび割れ	剥離状況	中性化
1000	淡黄色	数mm幅以上	爆裂範囲大	
900				
800				
700	灰白色	数mm幅	浮き・剥離大 (損傷が鉄筋位置に及ぶ)	
600				
500			浮き・剥離小	中性化の発生
400	ピンク色	微細	(損傷が鉄筋位置に及ばない)	
300				
200				
100	黒(煤付着)	微細またはほぼ無し	損傷なし	
0				

(3) 供用再開の可否判断

鋼材は非調質鋼で700°C程度の受熱温度にて強度低下の可能性がある。ここで700°C以上の受熱温度と推定される範囲は横桁と横構に局部的に見られるのみで主桁を含む被災部の大半は700°C未満と考えられる。また歩行者通行量が非常に少なく設計荷重に対する実荷重は著しく小さい供用状態と考えられることから、当面の供用再開は可能と判断した。

5. 詳細調査

力学的特性低下の懸念がある部材を対象に以下の詳細調査を実施した。

①鋼材材質測定：歩道橋であり鋼材の材質はSS400と推定されたが、竣工図が無く、鋼材の材質が不明であったため、鋼材判別器により材質測定を行った。これは、鋼材の電気抵抗を測定することにより非破壊で鋼材の種別を識別できる機器であり、測定の結果、材質はSS400材であることを確認した。

②ビッカース硬さ試験：鋼材の機械的性質は引張試験が最も明確な結果を得る調査方法となるが試験片を部材から採取するのは困難ため、ビッカース硬さ試験にて機械的性質を推定した。試験は被災した主桁・横桁・横構の11箇所、健全部の3箇所で行った。試験の結果を表-4に示す。健全部に対して被災部は最大で7%程度の強度低下傾向を示したが、SS400材の引張強さ基準値の400N/mm²を大きく上回っており、強度的に問題は無いものと判断した。

表-4 ビッカース硬さ試験結果

部材区分	部材符号	被災状況	位置	ビッカース硬さHv	引張強さTs(N/mm ²)	健全部に対する比率	引張強さ基準値(SS400材)(N/mm ²)	
主桁	G1	下塗り白色化	Web内面	136.6	445	0.98	400	
			Web外面	144.0	468			
			Web外面	135.6	442			
		下塗りの変色・黒変	Web外面	150.8	489			1.00
			Web外面	142.2	462			
	上塗りの変色・剥離	Web外面	133.0	434	0.93			
		Web外面	140.0	455	1.00			
	G2	被災なし	Web外面	147.6		479		
			Web内面	143.2	465			
			Web外面	143.8	467	0.99		
下塗りの白色化		Web外面	144.0	468	1.00			
		Web外面	144.6	470		1.00		
横桁	-	下塗りの焼失	WEB	139.6	454	-		
横構	-	下塗りの焼失	側面	150.8	489	-		

③変形量計測：目視にて変形が確認された主桁ウェブ、横桁ウェブ、横構について変形量計測を行った(図-4・表-5)。主桁ウェブにおいて7mm~16mmの変形、中間横桁において5mmの変形、横構において2mmの変形が計測された。この変形量はいずれも参考文献2における鋼材の変形量許容値を大きく超過している結果となった。

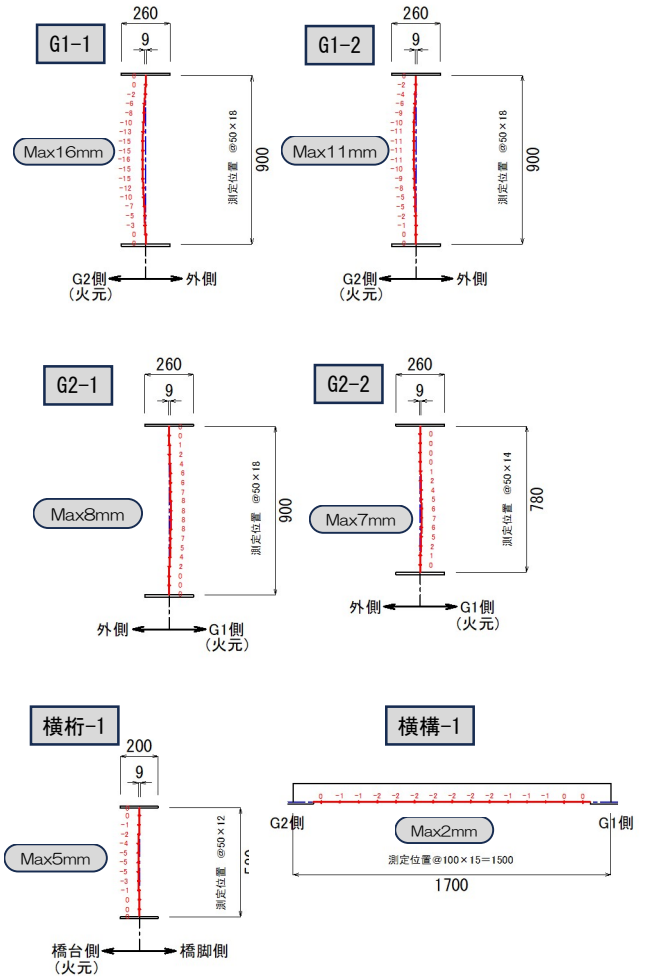


図-4 鋼部材の変形量計測結果

表-5 変形量計測結果

部材区分	部材符号	被災状況	位置	調査番号	変形量(最大値)(mm)	土木学会基準値(mm) δ=w/250	超過割合
主桁	G1	下塗り白色化	Web外面	G1-1	16	3.6	4.44
				G1-2	11	3.6	3.06
	G2	下塗りの白色化	Web外面	G2-1	8	3.6	2.22
				G2-2	7	3.6	1.94
横桁	-	下塗りの焼失	Web	横桁-1	5	2.3	2.16
横構	-	下塗りの焼失	下面	横構-1	2	1.7	1.18

④亀裂調査：熱影響による亀裂懸念箇所が広範囲となるため、渦流探傷試験(ET)にて一次スクリーニングを行い、亀裂信号が確認された箇所を対象に磁

粉探傷試験(MT)を実施した。結果として溶接部の亀裂は確認されなかった。各試験結果を表-6に示す。

表-6 渦流探傷試験(ET)・磁粉探傷試験(MT)結果

部材区分	部材符号	被災状況	位置	ET	MT
主桁 各接合部	G1	下塗り白色化	内面	亀裂信号なし	-
			外面	亀裂信号なし	-
		下塗りの変色・黒変	内面	亀裂信号あり	亀裂なし
			外面	亀裂信号なし	-
	G2	下塗り白色化	内面	亀裂信号あり(2箇所)	亀裂なし
			外面	亀裂信号なし	-
		下塗りの変色・黒変	内面	亀裂信号あり	亀裂なし
			外面	亀裂信号なし	-

⑤反発硬度試験・中性化試験：コンクリートが火災を受けると強度や剛性の低下、熱分解による中性化が発生する。よって、反発硬度試験及びドリル法による中性化試験を実施した。試験の結果を表-7に示す。RC床版の強度、中性化深さとも健全部に対し軽微な強度低下、中性化の進行は確認されるものの、構造上求められる基準値は満足していることを確認した。

表-7 反発硬度試験・中性化試験結果

反発硬度試験	部材区分	被災状況	位置	調査番号	推定強度(N/mm ²)	健全部に対する比率	設計基準強度σ _{ck} =21(N/mm ²)	
		床版	煤の付着被災なし	桁間張出	床版-1 床版-2	43.0 51.7	0.83 1.00	21.0 21.0
中性化試験	部材区分	被災状況	位置	調査番号	中性化深さ(mm)	鉄筋かぶり(mm)	基準値(鉄筋かぶり-10mm)	残余裕量(mm)
		床版	煤の付着被災なし	桁間張出	床版-1 床版-2	15.2 17.0	30 78	20 68

6. 補修設計

詳細調査の結果、鋼材やコンクリートは軽微な強度低下傾向が見られたが基準強度に対して問題は無く、溶接部も健全であったが、鋼材の変形量が許容値を上回る結果となった。鋼材の面外変形は座屈の懸念がある。変形に対する補修方法は、矯正や取替が一般的であるが主桁、横桁のウェブは部材取替が困難であり矯正を採用した。ウェブに補強材を設置してこの剛性を利用し、接合時に高力ボルトを締め付けることで矯正を行う方法である。変形の無い外側のボルトから変形の大きい内側へ順次締結することで変形箇所を矯正する(図-5、図-6)。横構は二次部材で取替が容易であるため、部材取替とした(図-7)。また、塗膜は全体的に損傷しているため、Re-1塗装系にて塗装塗替を行うこととした。コンクリート床版の剥落部は中性化影響が軽微であり、剥落もコンクリートかぶり内に収まっていたため、ポリマーセメントによる断面修復を行うこととした。

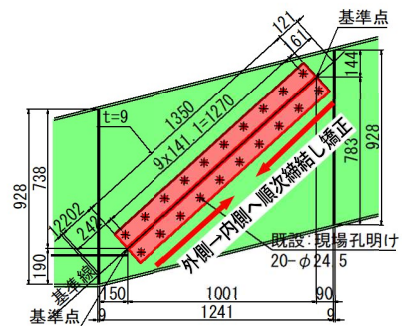


図-5 主桁 当て板による変形矯正

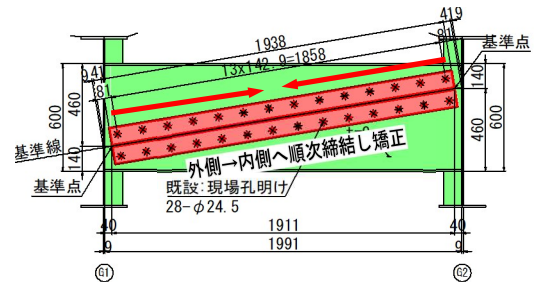


図-6 横桁 当て板による変形矯正

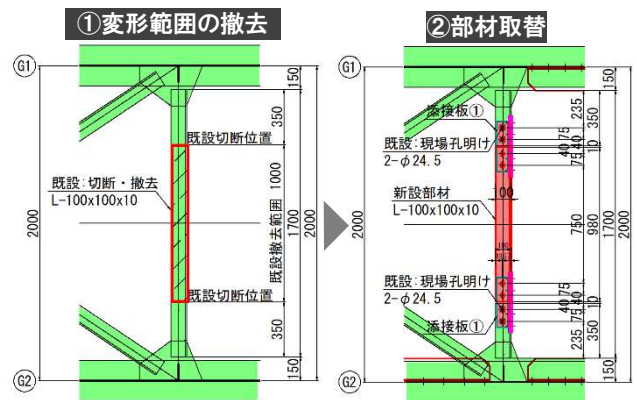


図-7 横構 部材取替

7. 業務の成果

道路インフラは利用者の安全・安心を確保するために必要不可欠なものである。そのため、想定外の被災に対して、社会的影響を軽減するうえで早期復旧が求められる。今回、火災を受けた橋梁に対して、直ちに被災状態を把握し、供用可否の判断を行うことで社会的影響を最小限とする提案ができた。合わせて、利用者が長く安全に使用するための恒久的な対策として、各種詳細調査から補修設計までを迅速かつ的確な対応で実施することができた。

参考文献

- 1) 国総研資料第710号：鋼道路橋の受熱温度推定に関する調査
- 2) 土木学会：火災を受けた鋼橋の診断補修ガイドライン
- 3) 日本鋼構造協会：土木鋼構造物の点検・診断・対策技術
- 4) 日本コンクリート工学会：コンクリート診断技術'22

河川を跨ぐ鋼箱桁橋及びニールセンローゼ橋の設計・施工計画

おおぬまりょうた さかいともり えとうよしき さとうむねたか はまなかみのる
 ○大沼良太¹・酒井友紀¹・江藤良樹¹・佐藤宗孝¹・濱中実¹

¹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)

岐阜県の一般国道41号飛水峡街道（上麻生防災事業）に計画される1号橋は、一級河川飛驒川を跨ぐ橋梁である。架橋地点は急峻な山岳地で、河川内は露岩が確認された。

本橋の橋梁形式は、鋼単純箱桁橋+鋼単純下路式ニールセンローゼ橋である。ニールセンローゼ橋において、可動・固定支承を採用した場合の上部工部材規模増大や供用後の維持管理方法、現地状況から架設にかかる工期・費用の増大や工期制約下での架設計画が課題であった。本稿では、課題解決に向けた免震支承適用の検討による部材規模低減やCIMモデル・実物大模型を活用した維持管理計画、現地状況や制約条件を考慮した架設計画について報告する。

Key Words : ニールセンローゼ橋, 急峻地形, 3次元動的解析, 免震支承, 維持管理, BIM/CIM, トラベラクレーンベント工法

1. はじめに

国道41号上麻生地区では、道路山側の急峻な地形に防災の要対策箇所が点在し、降雨による通行規制、土砂流出や落石、法面崩壊などの災害が発生している状況である。このような状況を踏まえ、バイパスルートにより防災上のネットワークの向上を目指し、平成30年度より防災事業が進められている。

本業務は、同事業区間のうち、最も起点側に位置し、一級河川飛驒川を跨ぐ1号橋の詳細設計である。

本橋の特徴として、図-1に示すとおり、第2径間がニールセンローゼ橋であることや交差物件として河川・町道が存在し、河川内が急峻地形で露岩していることが挙げられる。さらに、架橋地は国定公園内に位置する景勝地であるなど、設計・施工において配慮すべき事項や制約が多く挙げられ、課題や検討項目が多岐に渡った。

中でも特に、ニールセンローゼ橋における可動・固定支承採用による部材規模増大や供用後の維持管理方法、特殊な条件下での架設計画が主要課題となった。

本稿では、これらの課題に対して、ニールセンローゼ橋における部材規模低減を目的とした免震支承適用の検討やCIMモデル・実物大模型の活用による維持管理方法の検討、箱桁橋における河川内施工に配慮した架設計画を実施した結果を報告する。

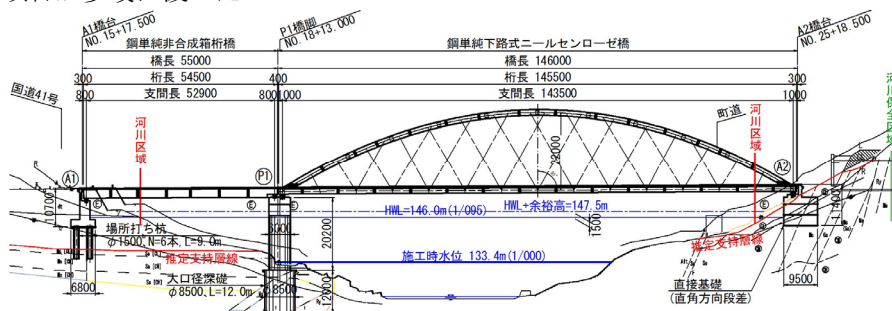


図-1 1号橋 側面図

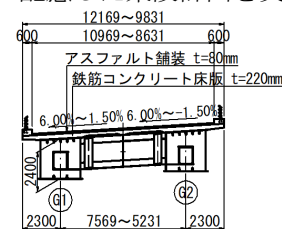


図-2 箱桁橋 断面図

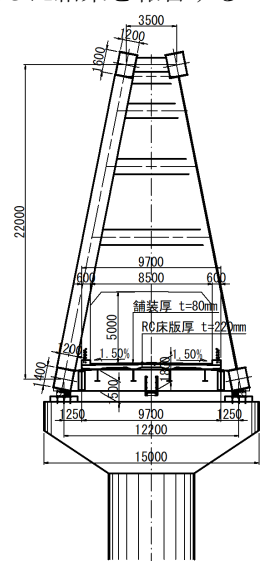


図-3 ニールセンローゼ橋 断面図

2. 免震支承による部材規模低減

(1) 課題

一般的に、本橋のような単純橋では可動・固定支承が多く用いられている。従来、ニールセンローゼ橋のような地震時挙動が複雑な橋においても、地震動レベルが低く耐震設計手法が静的解析であったことなどから、可動・固定支承が主流であった。

しかし、近年ではレベル2地震を想定するとともに、耐震設計においては動的解析での検討が必要となり、本橋において可動・固定支承を使用した場合の上部工部材規模の増大が懸念された。

そこで、可動・固定支承案において、下記条件によるモデル化および静的解析により初期断面を設定した上で、レベル2地震時の非線形動的解析を実施した。解析の結果、固定支点部のアーチリブ・補剛桁を中心に塑性化が確認された(表-1)。

【解析条件】

- ・上部工部材 : 線形要素・非線形要素
- ・ケーブル部材 : ばね要素
- ・床版 : 線形要素
- ・下部工 : 橋台…線形要素, 橋脚…線形・非線形要素 (M-Φ)
- ・支承条件 : 表-1参照
- ・解析モデル : 図-4参照

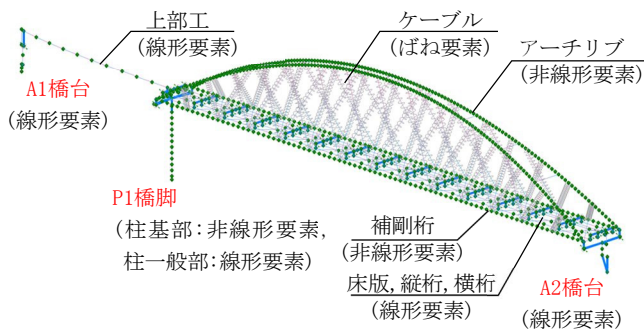


図-4 解析モデル

弾性領域に抑えるためには部材の増厚や箱断面の拡大が必要となる。しかし、本解析において、河積阻害率から橋脚柱幅を最大の6.0m (D51-2段)に設定したが、橋脚の塑性化が生じる状態においても変位照査にて許容値を超過する結果となった。よって、断面変更によるこれ以上の鋼重増加は困難であり、可動・固定支承案の構造は成立しない結果となった。

(2) 検討方針

可動・固定支承では、特に、橋軸直角方向の地震動に対し、支点部が拘束されることにより大きな断面力が発生し、支点部の部材規模や橋脚規模の増大に繋がる事が確認された。

そこで、可動・固定支承案に対して、支点部を拘束せず、支承本体でのエネルギー吸収性能により支点部を含む上部工部材の規模縮小が期待できる免震支承の適用を検討することとした。なお、検討にあたっては、支承条件のみ変え、それ以外の断面等の条件に関しては可動・固定案における解析時と同様としてレベル2地震時の非線形動的解析を実施した。

(3) 検討結果

動的解析の結果、可動・固定支承案と比較すると、支点部拘束がないことや支承本体のエネルギー吸収により支点部を中心とした各部材の発生断面力を抑えられ、全ての部材が弾性域となるとともに、橋脚変位照査においても許容値を満足する結果となった(表-1)。

以上より、部材規模低減が可能な免震支承を採用することとした。

ただし、橋軸直角方向の支点条件を固定から免震としたことにより、直角方向の変位量が増大することとなる。これに対し、支承の移動を拘束しないよう、全方向に追従可能な伸縮装置(モジュラー形式)を採用することで対応することとした。

表-1 動的解析結果(橋軸直角方向レベル2-タイプII)

比較案		可動・固定支承	免震支承(採用案)
支承条件	橋軸方向	P1橋脚:可動 A2橋台:固定	P1橋脚:免震 A2橋台:免震
	橋軸直角方向	P1橋脚:固定 A2橋台:固定	P1橋脚:免震 A2橋台:免震
解析結果		発生ひずみ 2070(引張) 許容ひずみ 1780 発生ひずみ 1810(引張) 許容ひずみ 17804 発生ひずみ -5030(圧縮) 許容ひずみ -1780 橋脚変位照査 $\delta_{res}/\delta_{lim} = 1.020$ 種々の部材で塑性化+橋脚変位が許容値超過	発生ひずみ 1200(引張) 【42.0%減】 許容ひずみ 1780 発生ひずみ 791(引張) 【56.3%減】 許容ひずみ 1780 発生ひずみ -1090(圧縮) 【78.3%減】 許容ひずみ -1780 橋脚変位照査 $\delta_{res}/\delta_{lim} = 0.189$ 全部材が弾性域+橋脚変位が許容値以下

3. ニールセンローゼ橋における維持管理計画

(1) 課題

第2径間のニールセンローゼ橋において、鋼重比較により箱断面寸法を決定した。しかし、一般的な鋼箱桁橋と比べると断面が小さく、ダイアフラム開口部や斜ケーブル定着部においては特に狭隘となるため、維持管理性や点検時の作業性が課題であった。

また、ニールセンローゼ橋の桁下点検は、点検車により行う計画である。ただし、ケーブルが障害となり点検車での移動が制限される等、点検時の作業性に課題があった。

(2) 検討方針

a) 主構内の維持管理計画

前述のとおり、主構内構造が複雑となっているため、2次元図面ではなく、3次元モデルや実物大模型の活用により検証することとした。可視化+実体験により、維持管理性において2次元図面だけでは不明確な部分を明確化し、対策を検討することで維持管理性向上を目指した。

検証にあたり、決定した箱断面に対してダイアフラム開口断面を設定した。「鋼道路橋設計便覧」¹⁾を参考に高さ600mm×幅400mmを最小断面とした。開口最小の場合は、リブ溶接といった主構内の製作性は向上するものの、点検時の作業性に劣る。そこで、最小断面に対し、「鋼橋構造詳細の手引き」²⁾を参考に、リブ寸法、リブと開口部の離れや設計上必要な剛度を確保した上で最大断面を設定した(表-2)。

設定した断面・開口部およびケーブル定着部(図-5)において、箱内での作業性の検証を実施した。

表-2 開口断面の設定

		箱断面		開口断面		備考
		H1	L1	H2	L2	
第1案	アーチリブ	1600	1200	900	600	最大開口
第2案		1600	1200	600	400	最小開口
第3案	補剛桁	1400	1200	700	600	最大開口
第4案		1400	1200	600	400	最小開口

※リブと開口部の離れは100mm以上確保、縦リブは250mm、横リブは160mmを想定して50mmピッチで設定

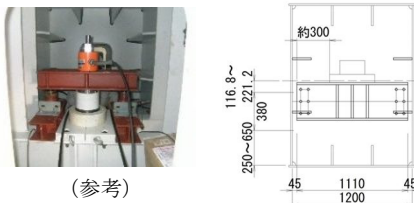


図-5 定着部構造

b) 桁下の維持管理計画

斜ケーブル同士が交差していることや主構がバスケットハンドル型であり内側に傾斜していることから、桁下点検では、点検車のブームの展開が特に複雑となる。2次元図面だけではブーム展開の可否判断が困難であったため、3次元モデルの活用により検証することとした。

(3) 検討結果

a) 主構内の維持管理計画

検証結果を図-6、図-7に示す。CIMモデルによる検証では、開口断面やケーブル定着部においても人が通り抜けられるスペースがあることを確認した。

しかし、実際の通り抜け時の動きや点検用具等を装備した上での移動状況が不明確であったため、実物大模型による実証実験を実施した。

検証は、日本人の平均身長である170cmの作業員が被験者となり、点検用具等を装備した状態で行った。検証の結果、開口最小の場合は、点検時の作業性を考えるとあまりに小さく維持管理性が悪いことを確認した。一方、開口最大の場合は、梯子を持った状態でも通り抜けが可能であり、妥当な断面であることを確認した。

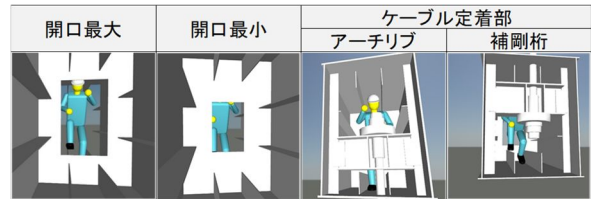


図-6 CIMモデルを用いた主構内検証



図-7 実物大模型を用いた主構内検証

また、ケーブル定着部は、上面・側面のリブと定着具に挟まれ、梯子を持った状態では通り抜けが厳しく、実証実験を通して新たな課題が挙げられた。

そこで、ケーブル定着部における維持管理性向上のため、定着部の前後にマンホールを設置し、点検車やリフト車経路での出入りが可能となるよう追加対策を行った。また、アーチリブは傾斜しているため、作業性向上を目的として下フランジ部に昇降ステップを設置することとした(図-8)。

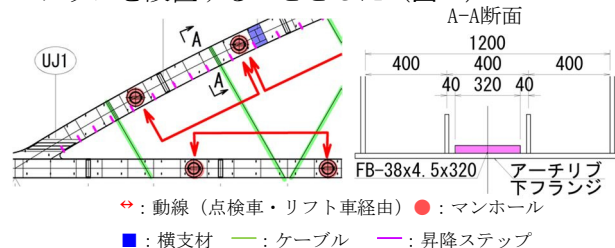


図-8 維持管理性向上のための対策

b) 桁下の維持管理計画

CIMモデルによる確認の結果、ブーム展開時・作業時ともにケーブルへの干渉なく作業可能であることを確認した(図-9)。

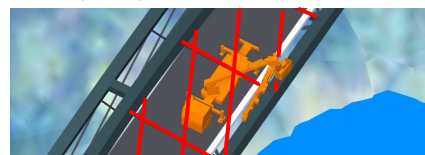


図-9 CIMモデルによるブーム展開確認

4. 河川内施工に配慮した箱桁橋の架設計画

(1) 課題

架設計画における河川条件より、非出水期（11月～翌5月：計7ヶ月）施工を基本とする。また、A1橋台背面に現道が位置することによるヤード制約や工期制約、河川内が急峻地形で露岩しているなど様々な制約下で最適な架設工法を選定する必要があった。

第2径間のニールセンローゼ橋において、上記条件より、一般的なケーブルエレクション斜吊り工法を採用した。荷取りヤードとしては第1径間を利用可能である。また、橋面上での作業を基本とするため、出水期も含めた施工が可能であった。

一方、第1径間の箱桁橋は、河川内への仮橋構築による施工ヤードの確保や地形条件より、仮橋構築に要する費用や期間が増大傾向となることが課題であった。なお、架設工法は、一般的に採用されるクレーンベント工法を抽出した。

(2) 検討方針

上記課題解決のため、工事費が高く、桁の補強が必要となるなどの理由から通常は採用されないが、河川内への仮設備が不要となるトラベラクレーンベント工法を代替案として抽出した。A1橋台背面を施工ヤードとし、B1ベントまでをクローラクレーンにて架設し、その後桁上に軌条設備を整備してトラベラクレーンにて架設を行う案である。

なお、A1橋台背面には切回し道路が整備されるため、ケーブル・鉄塔設備の設置や送出しヤードの確保は困難となる。よって、本橋架橋地のような谷地形で一般的に採用されるケーブルクレーン工法や送出し工法は抽出不可である。

以上より、クレーンベント工法とトラベラクレーンベント工法の2案にて比較を実施した（表-3）。

(3) 検討結果

クレーンベント工法（仮橋構築）について、施工にあたり300t吊クローラクレーンが必要となるが、クレーン規格・作業半径より、12m支間では最低2径間が必要であり、仮橋規模が増大する。また、地形条件より、杭橋脚高が高くなるとともに岩盤への杭設置のため施工規模が大きくなる。よって、工事費が高く、非出水期内での施工が困難となる。

一方、トラベラクレーンベント工法は、クレーンベント工法のような河川内への大規模な仮設備が不要となるため、工費が安く抑えられるとともに、非出水期内での施工も可能となる。また、ステップ毎に桁照査を実施した結果、中間部のダイアフラムや横リブで補強が必要となったが、鋼重への影響は軽微（1.7%増）であることを確認した。

以上より、箱桁橋架設はトラベラクレーンベント工法を採用案とした。

5. おわりに

本業務では、コスト削減や様々な制約に配慮した支承形式検討や維持管理計画、架設計画を実施した。

本橋において、免震支承の採用による部材規模低減やCIMモデル・実物大模型の活用による維持管理性向上、さらに、地形条件や工期制約下でのトラベラクレーンベント工法の採用により工期短縮・工費削減を図ることができた。

本稿内容が、今後類似橋の設計の参考となれば幸いである。

6. 参考文献

- 1) 日本道路協会：鋼道路橋設計便覧，2020.
- 2) 日本橋梁建設協会：鋼橋構造詳細の手引き，2022.

表-3 架設工法比較表

比較案		クレーンベント工法 仮橋構築		トラベラクレーンベント工法		
概略図	側面図					
	平面図					
【日数：不稼働率1.7】	仮設	165 日	5.5 カ月	×	197 日	6.6 カ月
	架設	127 日	4.2 カ月		197 日	6.6 カ月
	合計	292 日	9.7 カ月		非出水期内施工が可能 (◎)	
【直工】	仮設	103,000	△	108,800	◎	
	架設	72,400		108,800 (1.00)		
	合計(比率)	175,400 (1.61)				

CIM技術を用いた橋梁耐震補強業務における 設計精度向上施策について

たなかひろたか たかぎたつひろ ののやまゆうじろう やまもとあつひろ みぞぶちまさゆき
○田中裕隆¹・高木達弘¹・野々山祐史朗¹・山本篤博¹・溝渕真之¹

¹パシフィックコンサルタンツ株式会社 中部支社 中部交通基盤事業部
(〒451-0045 愛知県名古屋市西区名駅1-1-17)

橋梁耐震補強設計業務において、竣工図書と補修工事記録の不整合や、竣工図書と現地構造物の不整合により、工事発注後に修正設計が生じるケースがある。本稿では、既設構造に対する設計業務における設計精度向上施策として、AR技術を用いて3次元的な構造物の位置関係における干渉確認を行ったものである。

本技術により、3次元測量の適用困難な狭隘部や滞水部に対し、詳細度400相当の3次元モデルによる干渉確認と同等の効果を得ることができ、耐震補強設計等における精度向上が期待できる。

Key Words : 橋梁, 耐震補強, AR, 干渉確認

1. はじめに

(1) 業務概要

対象橋梁は、一般国道渡河部に位置する単純合成鈹桁橋である。対象橋梁の諸元を表-1、平面図を図-1に示す。

本橋は道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編（平成8年12月）に基づき、落橋防止システムとして橋軸方向の落橋防止構造が設置済みである。本業務において、道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編（平成24年3月）に基づき必要となる落橋防止システムを整理した結果、斜角が小さいことから、回転方向への落橋防止システムとして、横変位拘束構造が必要となった。横変位拘束構造の形式は、上部工桁端部に鋼製ブラケット、橋座上にRC突起を新設し、地震時に両者を衝突させることで、桁の回転移動を防止する構造とした。

表-1 橋梁諸元表

架橋竣工年	昭和37年
橋長	37.3m
全幅員（上下線）	15.4m
縦断勾配	0.230%
斜角	28° 00' 00"
上部工形式	単純合成鈹桁
下部工形式	橋台：重力式橋台
基礎工形式	橋台：杭基礎
適用示方書	(竣工時) 昭和31年 鋼道路橋示方書 (過年度耐震補強時) 平成8年道路橋示方書 (本業務耐震補強時) 平成24年道路橋示方書

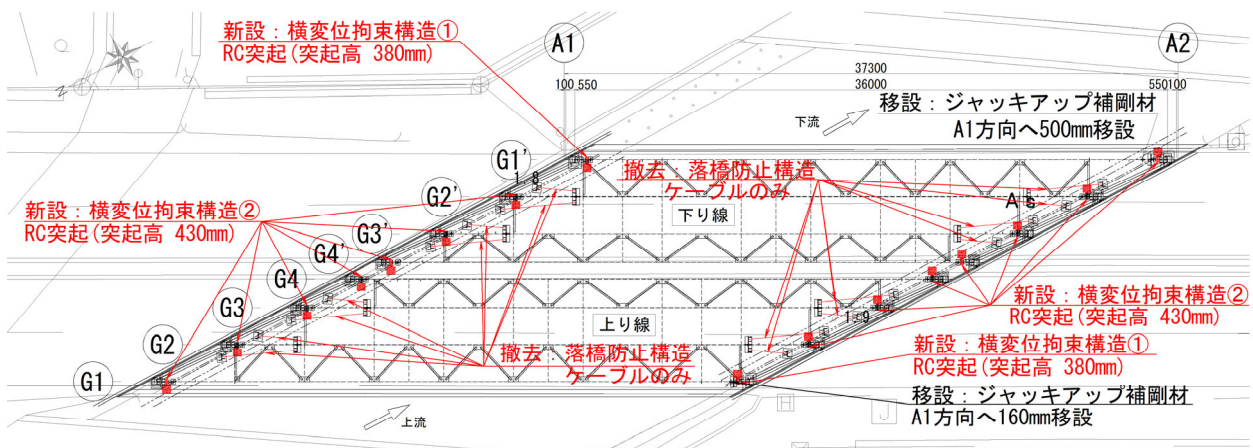


図-1 平面図

2. 技術的課題

(1) 竣工図書の不整合

本橋は昭和37年に竣工され、以降複数回にわたり補修工事が実施されている。しかし、竣工図書が上部工しか残存しておらず、下部工との位置関係が不明確であった。特に、A2橋台G1桁について、RC突起や鋼製ブラケット配置のコントロールとなる桁下クリアランスや桁補剛材の位置の記載が補修図面毎に異なることが判明した。(図-2,3)

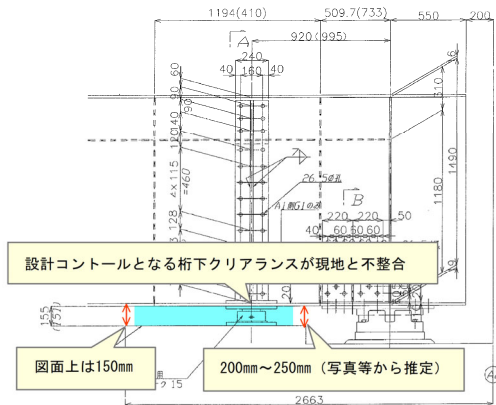


図-2 補修図面 (平成14年支取替時)



図-3 R2定期点検写真 (A2下り線G1桁)

(2) 狭隘な施工空間

本橋は斜角28°の斜橋である。図-4に示す通り、横変位拘束構造であるRC突起を設置する桁端部周辺は下横構、対傾構、垂直補剛材、当て板補強材が密に配置されており、作業空間が狭隘なため、設計精度を確保するには、3次元的位置関係の把握が必要となる。

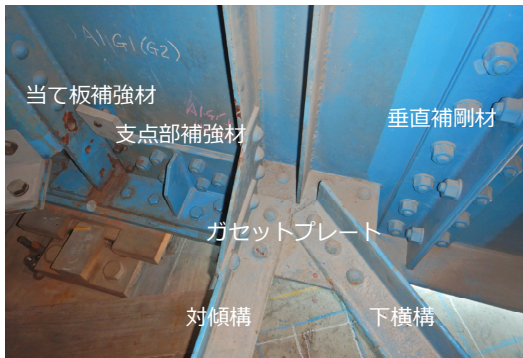


図-4 桁端部周辺状況 (A2上り線G1桁)

3. 技術的課題に対する対策

竣工図書の不整合により設計対象の横変位拘束構造の位置が確定できないこと、狭隘な施工空間であることを踏まえると、設計精度確保のためには、現地状況を3次的に把握する必要がある。そこで、本橋ではAR技術を用いて、現地構造物との干渉確認を実施した。

(1) 従来手法との比較

表-2に従来手法との比較を示す。

表-2 従来手法との比較

評価指標	①TS測量	②レーザー測量	③AR技術
精度	○	○	○
適用性	△	×	○
計測時間	△	○	○

対象箇所が狭隘なため、トータルステーション (TS) を用いた測量は困難と考えられる。そのため、レーザースキャナーを用いた3次元測量による点群データの取得が有効である。

しかし、図-7、図-8に示すように、本橋では橋面排水流末が橋座上となっており、慢性的に滞水が生じる環境であった。レーザースキャナーはレーザーを当てた物体からの反射により位置座標を確認するため、レーザーの反射や屈折が生じる鏡面や水面に対して計測ができないことから、本橋桁端部に対してレーザー測量の適用が困難であった。¹⁾

そこで、実構造物を撮影した画像に設計する構造を投影する拡張現実(以降AR (Augmented Reality) と示す)技術による干渉確認を実施する方針とした。表-3にBIM/CIM詳細度の共通定義を示す。本手法はスマートフォンで現地を撮影しその画像に設計構造物を投影することにより干渉チェックが可能である。

位置合わせに詳細度200程度の3次元モデルが必要であるが(後述)、干渉チェックの精度は詳細度400の3次元モデル利用相当と考えられる。



図-7 桁端部滞水状況 (A2下り線G1桁)



図-8 排水流末位置 (A2下り線G1桁)

表-3 BIM/CIM詳細度の共通定義²⁾

詳細度	共通定義
100	対象を記号や線, 単純な形状でその位置を示したモデル
200	対象の構造形式が分かる程度のモデル
300	附帯工等の細部構造, 接続部構造を除き, 対象の外形形状を正確に表現したモデル
400	詳細度300に加えて, 附帯工, 接続構造などの細部構造及び配筋も含めて, 正確に表現したモデル
500	対象の現実の形状を表現したモデル

(2) 使用機器・方法

AR技術とは³⁾, 現実環境を撮影した映像に対し, CGによって描かれた仮想物体を表示することで, 観測者がいる場所に応じた情報を重畳する技術である。

AR技術を用いるうえでは, 現実世界と表示映像の位置合わせが重要となる。ARにおける代表的な位置合わせ手法は以下⁴⁾⁵⁾⁶⁾である。

①人為的マーカーを用いる方法

観測点を予め設定のうえ, 検出が容易にできるようデザインされたマーカーを設置, 撮影する。

②GPSなどのセンサーを用いる方法

表示させる仮想物体の位置情報を付与し, GPS (全地球測位システム) によりユーザーの観測位置によらず仮想物体を画像上に重畳する方法

③特徴点と3次元 (点群) データを利用する方法

予め観測対象付近の3次元 (点群) データを作成することで, 画像の特徴点のうち複数の異なる点の位置座標をリアルタイムで関連付ける方法

本橋は竣工図書に位置座標の情報が無く, ②による手法は不適と考えられる。3次元モデルの作成は既往図面より実施できるが, 竣工図書間の不整合が確認されていることから, ①および③による位置合わせによるAR技術適用を試みた。本橋では, ①及び③による位置合わせが可能な「拡張現実技術を利用した3Dモデル現場可視化システム「Trimble SiteVision」(NETIS登録番号:KT-220216-A)」を用いる方針とした。使用機器を図-9に, 使用状況を図-10に示す。



図-9 使用機器 (Trimble SiteVision)



図-10 AR技術による設計構造投影時の様子

(3) 実施方法

A2橋台G1桁にて実施した手法を述べる。3. (2)における③手法を適用するため, RC突起を含む既設構造の3次元モデル (詳細度200程度) を作成した。

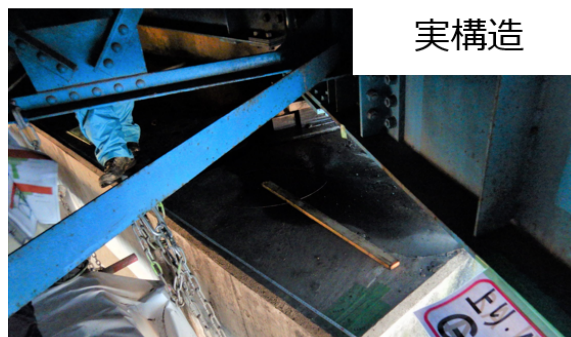


図-11 対象橋A2G1桁 (上り線) 実構造物

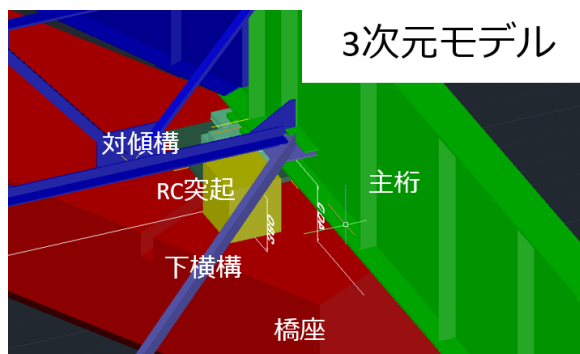


図-12 対象橋A2G1桁 (上り線) 3次元モデル

ただし, 竣工図書の不整合により, 上部工と下部工の位置関係が正確でない場合を考慮し, 3次元モデル上および実構造物上に対して, 主桁, 下横構, 橋座の3箇所にマーカーを配置し重ね合わせる方針とした。また 現地にてAR技術を使用する際, RC突起正面から側面の移動に際し下横構直下を通過する必要があったが, 位置補正を行うための特徴点である主桁等構造を, 面角に捉えたまま移動することが困難であるため, 観測点を正面, 側面の2点に設ける方針とした。基準点, 観測点の設定を図-13に示す。位置合わせ結果を図-14, 15に示す。現地構造に対し, 誤差数mm程度の精度で位置合わせすることができた。

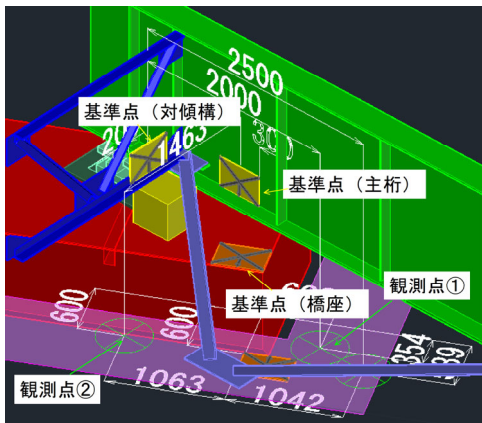


図-13 基準点の設定

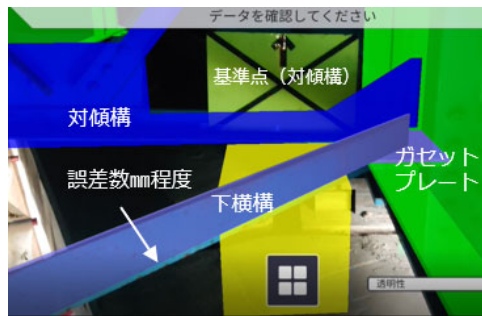


図-14 上部工部材 (対傾構) に対する位置合わせ



図-15 下部工 (橋座面) に対する位置合わせ

(4) 干渉確認結果

AR技術による干渉確認結果を図-16、図-17に示す。新設するRC突起は、ガセットプレートやボルト等付属物を考慮しても干渉は生じないことが確認できた。

また、RC突起の衝突位置が竣工図書と比べ50mm程度下方となることが判明したため、RC突起高を450mm→380mmに調整することができ、施工時の余裕を確保した。

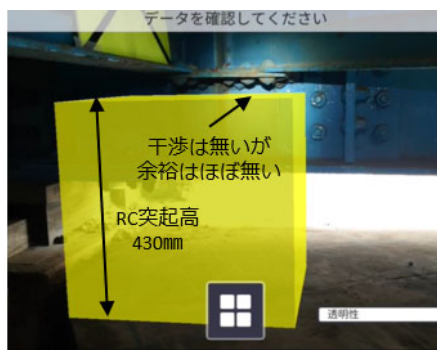


図-16 対傾構および下横構との干渉確認結果

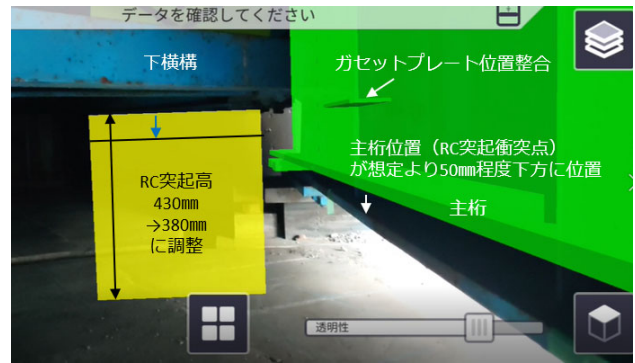


図-17 3次元モデルと実構造の乖離

4. まとめ

本稿では、橋梁耐震補強設計業務において、AR技術を活用し、実構造物に対する設計物の干渉確認を実施した。その結果、施工現場での修正設計を回避することができ、工程遅延リスクを低減できると考えられる。

本稿で用いた技術は以下制約が生じる場合においても、詳細度200程度の3次元モデル作成とAR技術活用により、精度の高い干渉確認を実施することができる。

【制約条件】

- ・竣工図書の欠落
- ・竣工図書が現地不整合 (3次元的)
- ・測量, 3次元測量適用困難 (狹隘部)

また、既設構造物を対象にする設計業務において、竣工図書に基準となる位置座標が正確に残っている場合、既往モデル作成を行うことなく、GPSを用いた位置合わせによるAR干渉確認 (3. (2), ②手法) が可能と考えられ、幅広い設計業務に対し適用が可能と考えられる。

謝辞: 本業務は、国土交通省中部地方整備局三重河川国道事務所の発注により実施したものである。本稿の執筆にあたり、ご指導・ご助言をいただきました関係者様に深謝いたします。

参考文献

- 1) 川本一喜, 館健一郎, 武富一秀, 鈴木誠: レーザースキャナーデータを用いた中小河川河道モデルの作成手法に関する研究, 河川技術論文集, 第8巻, 2002.
- 2) CIM導入ガイドライン(案), 国土交通省, 令和2年3月
- 3) 神原誠之: 基礎1: 拡張現実感 (Augmented Reality: AR) 概論, 情報処理学会論文誌, vol. 51, No. 4, pp. 367-372, 2010.
- 4) 矢吹信喜: 土木建設分野におけるVR/ARの活用に関する研究と実務への適用, 計測と制御, 第55巻, 第6号, 2016.
- 5) 藤井博文, 神原誠之, 岩佐英彦, 武村治雄, 横矢直和: 拡張現実のためのジャイロセンサを併用したステレオカメラによる位置合わせ, 電子情報通信学会技術研究報告, PRMU99 192-203, pp. 1-8, 2000.
- 6) 廣瀬亮, 斉藤英雄: 頂点追跡に基づくARのためのマーカーレス位置合わせ手法, 情報処理学会研究報告, No. 2005-CVIM-150, pp. 97-103, 2001.

利用者の視点を踏まえた横断歩道橋の修繕計画の立案について

さ こ ひ で ぞ う わ た な べ あ つ し な ち み き ひ ろ ま さ き と も ひ ろ ひ の ま さ き
○左古英三¹・渡邊 淳¹・名知幹弘¹・正木智弘¹・日野雅樹¹

¹中央コンサルタンツ（株）本店（〒460-0002 愛知県名古屋市中区丸の内3丁目22番1号）

横断歩道橋239橋を対象に、修繕計画（修繕内容の設定、年度ごとの対象施設、概算工事費の算出）を立案したものである。要求事項としては、優先順位の決定に際しては構造物の安全性の観点に使用性と景観の観点を加えて、利用者の要望に応え理解を得やすい計画を立案することであった。技術的な課題としては、腐食面積を客観的かつ定量的に算出することであった。全施設の面積を算出することは業務の時間的な制約から困難であったため、開発が進んでいるデジタル技術のうち、AIを用いた画像解析により腐食箇所を特定し面積を算出するものとした。これにより、作業時間を大幅に短縮でき、かつ評価に客観性を持たせることができた。

Key Words : 横断歩道橋, 修繕計画, 維持管理計画, 画像解析, AI, 予防保全型管理, 腐食, 塗装塗替, DX, デジタル技術

1. はじめに

我が国では、高度経済成長期におけるモータリゼーションの進展に伴い、道路施設が多く建設された。また、ベビーブームの到来により、学校施設なども充実する一方で、児童などの歩行者の安全性が問題視された。これにより、横断歩道橋が交通事故対策として設置され、通学路としての役割を果たすなど、歩行者の交通事故の削減に寄与してきた。

しかし、近年では、社会情勢などの変化により横断歩道橋を取り巻く環境にも変化が生じ、施設の老朽化に伴う維持管理費用の増大、高齢者などを含めたすべての人の移動環境の高度化などの課題もでている。

管内では、自動車交通量が非常に多く、人口集中地区に指定されている範囲も広いことから、歩行者の安全を確保するためにも、限られた予算で横断歩道橋を維持する必要があった。

よって、管内の横断歩道橋239橋を対象に、修繕計画（修繕内容の設定、年度ごとの対象施設の選定、概算工事費の算出）を立案する。

2. 横断歩道橋の老朽化状況

わが国では、平成26年度から道路施設の定期点検が義務化され、横断歩道橋でも定期的な点検により老朽化の状況を把握してきた。定期点検では、各部

材の損傷状況を定量的に把握し、最終的には各施設をⅠ～Ⅳ判定の4段階で診断されている。

管内の横断歩道橋について、早期措置を要するⅢ判定と診断された施設は19橋あり、全体の約1割を占める（図-1）。また、予防保全の観点から措置を要するⅡ判定と診断された施設は198橋あり、全体の約8割を占める。診断結果から、少なくとも239橋中217橋の大半の施設で何かしらの修繕を要する状況にあった。

図-2は、点検結果の統計的分析¹⁾により横断歩道橋の劣化予測を表したもので、横軸に横断歩道橋の経過年数、縦軸に施設健全度を示している。このグラフからでは、Ⅱ判定からⅢ判定に至るまでの年数は約10年程度と予測している。

管内の損傷の内容としては、「防食機能の劣化」及び「腐食」が多数を占める（図-3）。今後は横断歩道橋の供用年数が50年を迎えるものが増え、経年劣化による腐食などにより、今後はさらに早期措置を要する施設が増えることが見込まれる（図-4）。

腐食の発生位置は、高欄及び基部、地覆部、床版下面等といった雨掛りや滞水などによるものが多い（図-5）。これまでに塗装塗替などといった修繕を行っていない施設では、主桁などといった主要部材も含めて、全体的に腐食が生じている。

利用者からも老朽化に関する苦情があり、例として、横断歩道橋の腐食により景観を損なっている、高欄の塗膜が剥離し触れると怪我をする恐れがある、

錆汁により手や服などが汚れるなどと、腐食に関連する内容が多いとのことである。

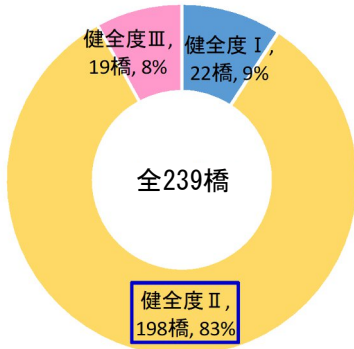


図-1 横断歩道橋の健全度の割合

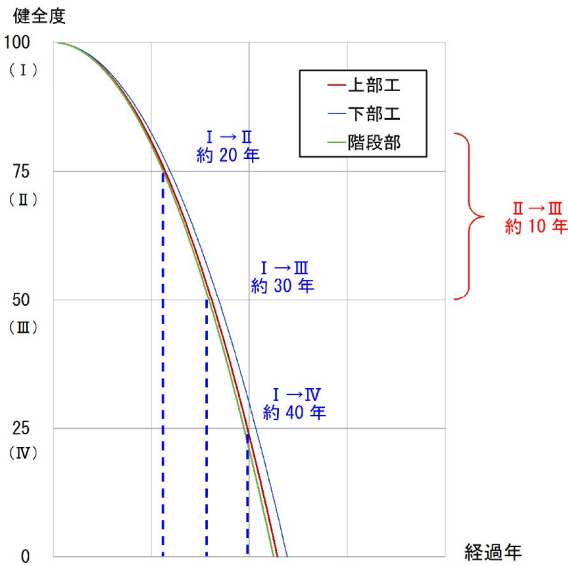


図-2 横断歩道橋の劣化予測

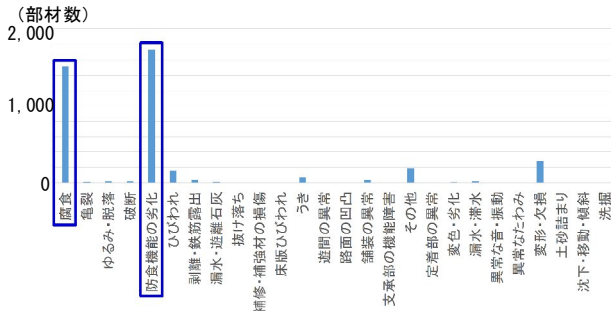


図-3 横断歩道橋の損傷の種類を集計

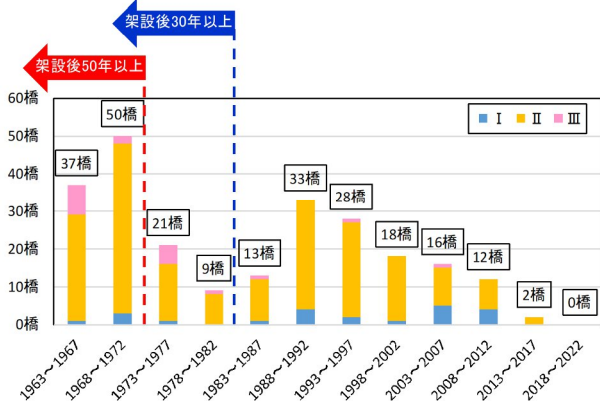


図-4 横断歩道橋の建設年度



地覆、高欄基部の腐食 (滞水)



蹴上版の腐食 (滞水)

図-5 横断歩道橋の腐食箇所の例

3. 横断歩道橋の維持管理費の推移

横断歩道橋で生じている損傷の種類は「腐食」と「防食機能の劣化」が大半を占めるため、補修内容として塗装塗替が必要となる。横断歩道橋の塗装塗替に必要な修繕費について、前述の劣化予測に基づき、今後50年間分の推移を算出する。費用の算出における条件は次のとおりである。

- 景観を損なわないよう、全面塗替を基本とする。
- 塗膜の長寿命化を踏まえ、塗装仕様はRe-I 塗装系（重防食）とする。
- 塗装後の耐用年数は45年²⁾と予測する。
- 塗装用足場として吊足場を基本とする。
- 管内では全路線が重要物流道路に該当するため、通路部の桁下面は足場を設置せず、高所作業車を使用した塗装塗替を想定する。
- 塗膜に鉛が含有していることを前提とする（PCBの含有は個別施設ごとに確認済）。

将来に必要な修繕費を算出した結果、予防保全型管理としても50年間の総額で約200億円（年間で約4億円/年）で、多額の費用と時間を要することが予測される（図-6）。予防保全型管理による修繕では予算を平準化しながら10年後の2033年までに段階的に行うことが条件であり、修繕の優先順位付けが課題であった。

事後保全 LCC	368億円 (7.4億円/年)
予防保全 LCC	200億円 (4.0億円/年)
縮減費	168億円 (3.4億円/年)

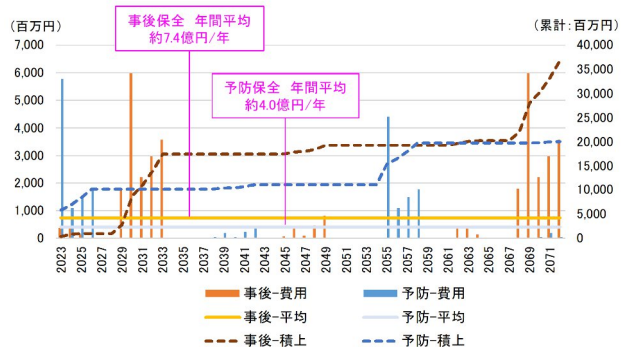


図-6 将来における修繕費のシミュレーション

4. 横断歩道橋の修繕順位の設定

(1) 概要

横断歩道橋は、利用者から近接して視認され、手摺等に直接触れる機会も多いことから、本管内においても使用性や景観に対する利用者からの要望が極めて多い。そのため、顧客からの要求事項としては、優先順位の決定に際しては構造物の安全性の観点に使用性と景観の観点を加えて、利用者の要望に応え理解を得やすい修繕計画を立案することであった。

技術的な課題としては、塗装の腐食面積を客観的かつ定量的に算出することであった。従来の定期点検では、各部材の劣化状況を目視し、定性的にI～IV段階に評価しているが、腐食面積を詳細に計測していない(図-7)。対象施設すべての面積を算出することは業務の時間的な制約から困難であり、また腐食箇所や広がりの特定に際して人為的な主観が入るため、評価にばらつきが生じる懸念があった。よって、AIを用いた画像解析により腐食箇所を特定し面積を算出するものとした。これにより、人為では150日かかると予想された作業を大幅に(結果として1日程度)に短縮でき、かつ評価に客観性を持たせることができると考えた。

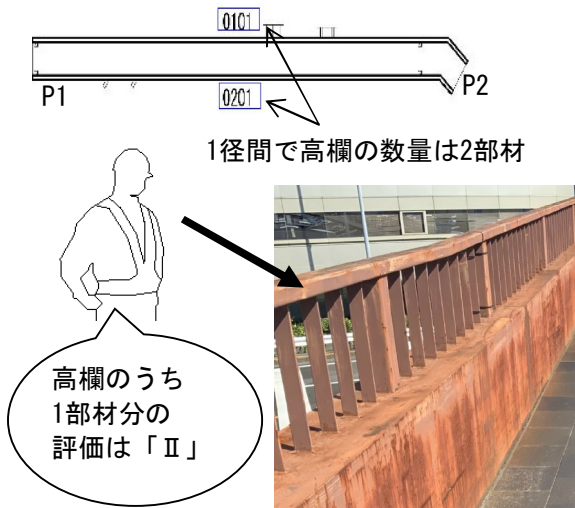


図-7 横断歩道橋の定期点検における評価例

(2) AIによる画像解析のアルゴリズム

近年の我が国では、コロナウイルスの感染拡大に伴い、遠隔臨場やUAV機器などといったデジタル技術が普及し、各分野のDX(デジタルトランスフォーメーション)が進んだ。インフラメンテナンス分野でもDXへの取組が積極的に行われており、例えば損傷箇所の自動判別として、AIによる損傷写真の画像解析が開発されている。画像解析では、横断歩道橋などといった鋼部材について、あらゆる腐食パターンをAIに学習させ、損傷写真から腐食箇所を自動で抽出できる。

図-8は、AIで腐食箇所の画像解析を抽出した結果の例である。写真の全体ピクセル数から腐食が生じているピクセル数を集計し、その割合から写真に写る腐食割合(例では5.39%)を算出できる。

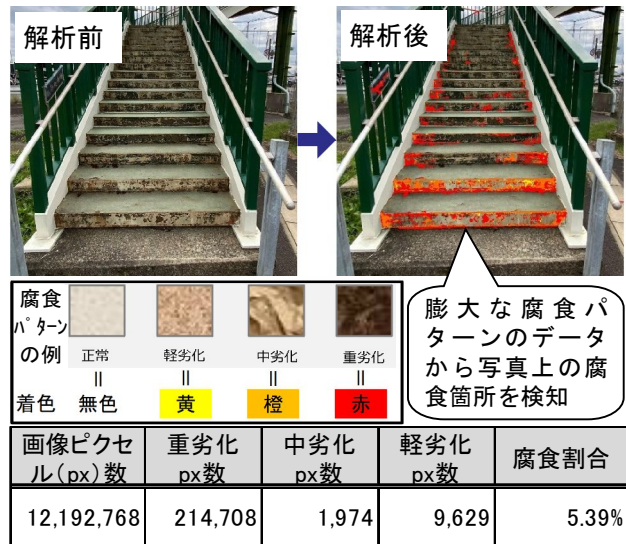


図-8 横断歩道橋のAIによる腐食箇所の分析例

(3) AIによる画像解析の方法

点検で撮影された写真を用いて、AIによる画像解析により腐食の発生範囲を集計する。各施設を横並びに評価するために、以下の条件を設定した。

- 写真は全て同じサイズを使用するものとする。
- 同一アングルで撮影されたものを使用する。
- (ここでは、利用者の観点から階段正面と通路正面の2種類を使用した)

AIによる画像解析の結果を図-9と図-10に示す。

図-9では、蹴上部や高欄全体に腐食が生じており、腐食率は23%と非常に高いスコアとなった。図-10では既に塗装塗り替えされた横断歩道橋であり、汚れ等が検出されたものの、腐食率は0.4%と低いスコアとなった。



図-9 AIによる画像解析の結果(階段部-未塗装)

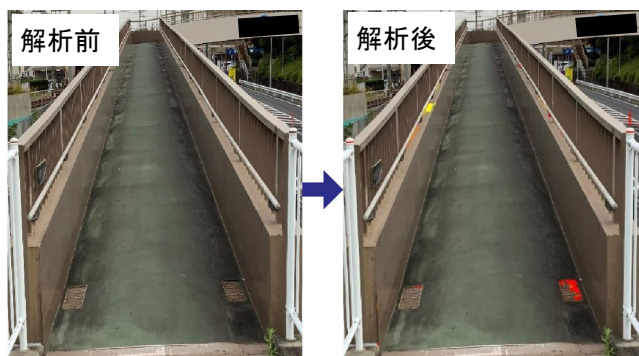


図-10 AIによる画像解析の結果(通路部-対策済)

(4) 画像解析で使用する写真の補正

画像解析では、写真に写る鋼部材の腐食箇所を抽出できるが、背景に写る横断歩道橋以外の施設（建築物や橋梁等）に生じている腐食にも反応する。図-11では、横断歩道橋の隣の建物に設置されている排水管の腐食を検出している。

ここで、横断歩道橋の腐食率を正しく算出するために、各画像で検出された腐食箇所を確認し、横断歩道橋以外に反応した背景を削除したうえで、再度画像解析を行うものとした。



図-11 AIによる画像解析の結果と再解析

(5) その他の優先順位の指標設定

横断歩道橋の戦略的な修繕を推進するため、修繕の優先順位を以下のようにSTEPごとに設定した。優先順位の考え方として、最初のSTEPから同列の順位となる横断歩道橋の群について、次のSTEPでさらに優先順位を振り分けるものとした。

- STEP1：Ⅲ判定の施設を優先とする。
- STEP2：Ⅲ判定の施設については、点検年度の古い順とする。
- STEP3：PCB含有の可能性のある橋梁を優先する。
- STEP4：舗装・手すり・高欄といった住民が直接接触する部材の損傷が多い順とする。
- STEP5：画像解析で腐食割合が多い順とする。

STEP1～STEP2では、定期点検の結果から早期措置を要するⅢ判定の施設について、次回点検年度（5年以内）までに修繕することが求められるため、Ⅲ判定の施設を点検年度順に優先するものとした。

STEP3では、低濃度PCBを含む塗膜を2027年3月未までに処分する必要があることから、低濃度PCBを含む横断歩道橋を優先するものとした。

STEP4では、使用性の観点から、住民が直接接触する部材の損傷の数が多い横断歩道橋ほど優先するものとした。

STEP5では、景観性（見た目）の評価として、AIによる画像解析により腐食割合が多いほど優先するものとした。このステップで、すべての横断歩道橋の優先順位を振り分けることができる。

(6) 優先順位の評価結果

前述に基づいた優先順位の評価結果の一部を表-1に示す。優先順位を設定したことにより、修繕すべき施設が明確化され、戦略的な維持管理を実現することができる。

表-1 優先順位の評価結果（抜粋）

通し番号	架設年度	橋長(m)	経年数	塗装面積(㎡)	点検(使用性の評価含む)				架設年度	塗装仕様	有害物質(FCB)移定	腐食率		高欄(人口集中地区)	通子路の指定	優先順位				
					主要部材	主要以外	橋脚	手すり				高欄	点検				腐食率	腐食率		
1	1973	35.0	6	591	Ⅲ	Ⅲ	M	-	C1	5	2002	a塗装系	有	○	12.5%	1.5%	14.0%	鋼製	○	1
2	1973	20.2	4	323	Ⅲ	Ⅲ	C1	-	C1	8	1998	a塗装系	-	-	6.4%	2.1%	8.5%	鋼製	○	2
3	1988	172.0	11	2,438	Ⅲ	Ⅲ	C1	-	-	3	1995	a塗装系	有	-	23.4%	6.8%	30.2%	鋼製	○	3
4	2004	89.0	5	626	Ⅲ	Ⅲ	B	M	M	5	2003	c塗装系	-	-	2.5%	2.3%	4.9%	鋼製	○	4
5	1995	57.0	8	873	Ⅲ	Ⅲ	B	-	M	3	1995	a塗装系	有	-	6.2%	2.3%	8.5%	鋼製	○	5
6	1992	42.8	5	1,818	Ⅲ	Ⅲ	B	M	B	4	1991	a塗装系	有	-	14.8%	13.0%	27.7%	鋼製	○	6
7	1991	38.0	5	577	Ⅲ	Ⅲ	B	M	B	4	1990	a塗装系	有	-	8.0%	2.8%	10.8%	鋼製	○	7
8	1992	49.8	7	910	Ⅲ	Ⅲ	B	M	B	4	-	a塗装系	有	-	3.1%	3.7%	6.8%	鋼製	○	8
9	1991	82.8	9	1,110	Ⅲ	Ⅲ	B	M	B	4	1991	a塗装系	有	-	1.1%	1.8%	2.9%	鋼製	○	9
10	1991	37.3	5	933	Ⅲ	Ⅲ	B	M	B	4	2004	c塗装系	-	-	2.4%	0.4%	2.8%	鋼製	○	10
11	1988	44.5	10	1,631	Ⅲ	Ⅲ	B	-	B	2	1996	a塗装系	有	-	3.6%	38.1%	39.7%	鋼製	○	11
12	1980	56.5	11	1,447	Ⅲ	Ⅲ	B	-	B	2	1983	a塗装系	有	-	13.8%	2.3%	16.1%	鋼製	○	12
13	1967	26.8	3	450	Ⅲ	Ⅲ	C1	M	C1	8	1997	a塗装系	有	○	21.2%	3.4%	24.5%	鋼製	○	13
14	1967	19.2	5	295	Ⅲ	Ⅲ	B	-	B	2	1995	a塗装系	有	○	5.5%	5.2%	10.7%	鋼製	○	14
15	1963	34.9	10	1,078	Ⅲ	Ⅲ	C1	-	-	3	2013	c塗装系	-	-	10.4%	0.1%	10.5%	鋼製	○	15
16	1967	17.5	5	331	Ⅲ	Ⅲ	C1	-	C1	6	1995	a塗装系	有	-	29.2%	10.0%	39.2%	鋼製	○	16
17	1971	19.3	3	284	Ⅲ	Ⅲ	C1	-	C1	6	1994	a塗装系	有	○	19.1%	24.8%	44.0%	鋼製	○	17
18	1970	28.2	5	605	Ⅲ	Ⅲ	C1	-	B	4	1993	a塗装系	有	○	6.2%	5.1%	11.3%	鋼製	○	18
19	1968	19.3	3	400	Ⅲ	Ⅲ	-	-	C1	3	1996	a塗装系	有	○	23.3%	11.3%	34.6%	鋼製	○	19
20	1963	132.0	18	2,220	Ⅲ	Ⅲ	C1	C1	C1	9	1995	a塗装系	有	-	7.2%	4.1%	11.3%	鋼製	○	20
21	1974	26.0	10	1,208	Ⅲ	Ⅲ	B	-	C2	6	1994	a塗装系	有	○	3.9%	7.6%	11.4%	鋼製	○	21
22	1967	19.9	5	297	Ⅲ	Ⅲ	-	M	B	3	1998	a塗装系	有	○	27.4%	13.4%	40.8%	鋼製	○	22
23	1983	36.2	4	485	Ⅲ	Ⅲ	C1	-	B	4	1997	a塗装系	有	-	6.1%	1.7%	7.8%	鋼製	○	23
24	1965	45.2	7	522	Ⅲ	Ⅲ	B	B	B	3	1995	a塗装系	有	-	19.2%	18.0%	35.7%	鋼製	○	24
25	1971	41.8	4	446	Ⅲ	Ⅲ	B	-	B	2	1995	a塗装系	有	○	68.8%	1.3%	70.1%	鋼製	○	25
26	1976	34.8	5	944	Ⅲ	Ⅲ	C1	M	C1	8	1993	a塗装系	有	-	11.3%	5.7%	17.0%	鋼製	○	26
27	1975	36.5	4	646	Ⅲ	Ⅲ	B	-	C1	4	1992	a塗装系	有	-	34.0%	10.1%	44.1%	鋼製	○	27
28	1978	67.4	6	1,122	Ⅲ	Ⅲ	-	-	C1	3	1994	a塗装系	有	-	17.0%	11.7%	28.7%	鋼製	○	28
29	1972	29.2	5	597	Ⅲ	Ⅲ	C2	-	C1	8	1991	a塗装系	有	○	13.8%	4.6%	18.1%	鋼製	○	29
30	1973	49.5	4	517	Ⅲ	Ⅲ	C1	B	C1	7	1989	a塗装系	有	○	5.6%	7.1%	12.7%	鋼製	○	30
31	1968	26.0	4	412	Ⅲ	Ⅲ	M	-	C1	5	1999	a塗装系	有	○	29.2%	28.4%	57.6%	鋼製	○	31
32	1968	42.8	4	599	Ⅲ	Ⅲ	M	-	C1	5	2003	a塗装系	有	○	4.6%	8.1%	12.7%	鋼製	○	32

5. 結果と結論

(1) 結果

点検調査から腐食範囲を集計する場合、損傷図に記載されている腐食箇所を確認し、その面積を集計する必要があった。この作業で全橋を集計するのに1橋で半日程度、合計でおよそ150日程度を要することが見込まれた。ここで、デジタル技術のうち、AIによる画像解析を導入した結果、全橋の写真の整理に約半日程度、画像解析で約数分程度、画像解析の結果のうち背景で腐食として認識された箇所の削除及び再解析で約半日と、合計で約1日の作業にまで短縮することができた。

また、腐食範囲を定量的に表現したことで、優先順位の評価に客観性を持たせることができ、利用者から理解を得やすい計画に繋がった。

(2) 結論

AIによる画像解析の技術は先進的で急速に発展しており、コンクリート構造物のひび割れ検出では多数の事例がある。今回は、腐食部の特定、定量化についても有用性が確認され、維持管理の分野で広く応用が期待できる。

参考文献

- 1) 国土技術政策総合研究所：橋梁マネジメントシステム(BMS) - H21.3.
- 2) 社団法人 日本橋梁建設協会：鋼橋のライフサイクルコスト-鋼橋における耐久性向上への取り組み-、技術通信, No.10/2020.9.15 (改)

山岳地帯における鋼曲線箱桁橋の 施工計画/架設計画

○三宅竜之介¹・井口威生¹・茂呂充¹・玉利幸一¹・美馬伊吹¹

¹ (株) 長大名古屋支社 (〒453-6120 愛知県名古屋市中村区平池町四丁目60番地12)

本文は、主要地方道バイパス区間の渡河部に計画された橋長66mの鋼単純曲線箱桁橋の施工計画/架設計画について報告するものである。本橋は、山岳地帯の急峻な谷部を横過し、起点側は新設の道路、終点側は供用中の県道に接続する計画である。県道はバス路線として利用されており迂回路もないため、施工中の通行止めはできない。そのため、本業務では県道の2車線道路確保を前提とした施工計画を検討する必要があった。施工範囲が限られている中、現地形や現交通への影響を最小限とするため、BIM/CIMモデルを作成し精度の高い施工計画/架設計画を検討、提案した。

Key Words : 鋼単純曲線箱桁橋, 深礎基礎, ケーブルエレクション直吊工法, BIM/CIM

1. はじめに

本業務は、主要地方道バイパス区間の渡河部に計画された橋梁の設計を実施したものである。本文は、その業務における施工計画及び架設計画について記したものである。以下に橋梁の概要を示す。

- ・橋梁形式：鋼単純曲線箱桁橋
- ・橋長：66.000m
- ・全幅員：8.200～10.275m
- ・有効幅員：7.000～9.025m
- ・下部工形式：逆T式橋台
- ・基礎工形式：組杭深礎基礎

本橋は起点側に新設道路、終点側に県道と接続する計画であり、県道は緊急輸送道路には指定されていないがバス路線として利用されている。迂回路もないため昼夜の通行止めは不可であり、通行規制も最小限とする必要がある。したがって、本業務では県道の2車線道路確保を前提とした架設計画/施工計画を検討する必要があった。また、終点側は県道が供用中であるため、施工ヤードが谷部の斜面上のみとなるため、下部構造施工時、上部構造架設時ともに、限られたスペースで実現可能な施工計画/架設計画の立案、検討する必要があった。

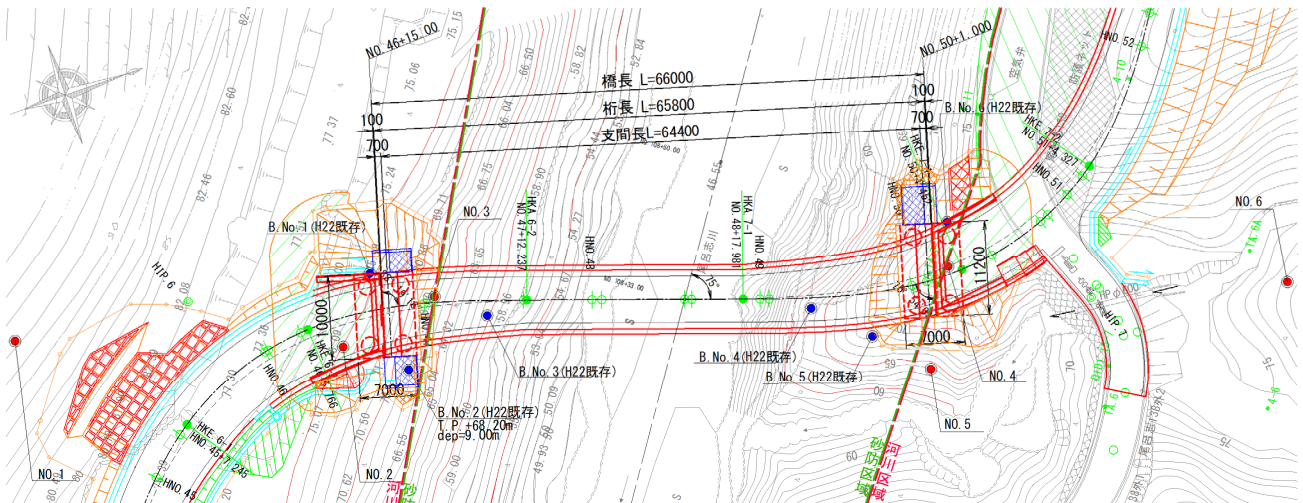


図-1 橋梁平面図

2. 基礎形式選定

基礎形式は道路橋設計運用指針(H31.2 三重県土整備部道路建設課)及び道路橋示方書(H24.3 日本道路協会)に準拠し、現場条件に適した形式を選定した。

以下に記す適用条件より適正の高い基礎形式として組杭深礎杭基礎及び直接基礎が挙げられた。

<適用条件>

- ・支持層はCL層、CM層であり、その深度は現地盤高から5~15m程度である。
- ・橋台は斜面上に位置し、支持層は斜面に沿って傾斜している。
- ・ヤードの確保が困難であり作業空間が狭い。

斜面上に位置する橋台において直接基礎の場合、前面に橋台幅の半分以上の余裕幅を確保する必要がある。一方、深礎基礎の場合は、足場の設置余裕幅(1.7m)を確保すれば良い。そのため、直接基礎の場合は、躯体高さが同じである深礎基礎に比べ、橋台位置を背面に引かなければならず、橋長が延伸する。また、深礎基礎より底版幅が大きくなることから掘削範囲が広くなり、掘削範囲がA2橋台背面の県道62号に大きく干渉するため、土留工を設置する必要がある。よって、直接基礎の適用性は深礎基礎と比較して低いと判断した。以上のことから、基礎形式は組杭深礎杭基礎工法を採用した。

3. 下部工施工計画

(1) A1橋台

A1橋台施工時の工事用車両の進入及び資機材搬入は起点側新設道路より行う計画とする。新設道路は開通前のため一般車両の通行はなく、A1橋台背面に施工ヤードを確保できる。そのため、一般的で経済性に優れたオープン掘削による施工が可能であるため、A1橋台の施工方法は、現地状況を利用した施工方法とした。

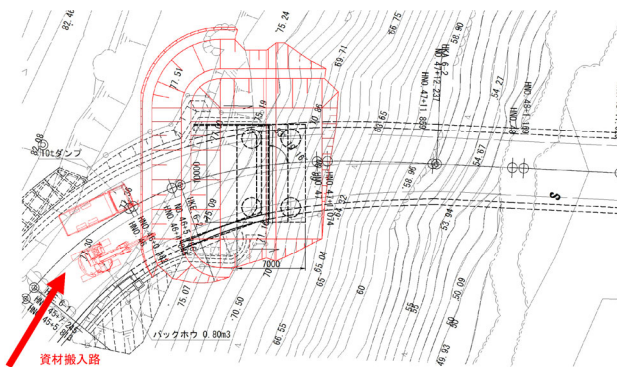


図-2 A1橋台搬入路

(2) A2橋台

a) 県道62号利用案

A2橋台背面には一般車両や路線バスが通行する県

道62号があるが、迂回路がないため長期間の通行規制はできない。施工時、県道の交通を確保するためには、斜面上に作業構台を構築し施工ヤードを確保する必要がある。よって、作業構台構築案を検討した。施工順序は①クローラクレーン組立ヤード構築→②クローラクレーン組立→③作業構台構築→④土留め設置・掘削→⑤A2橋台施工となる。

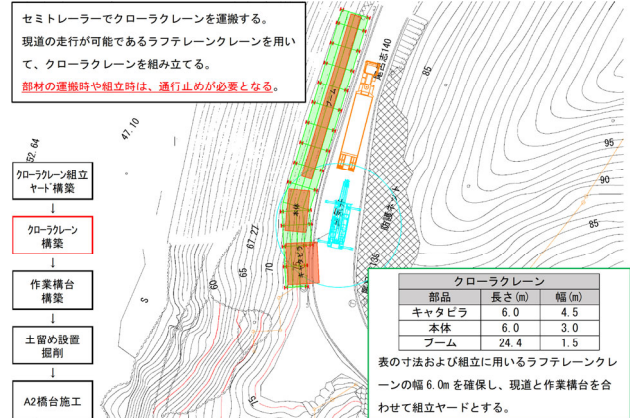


図-3 ②クローラクレーン組立時

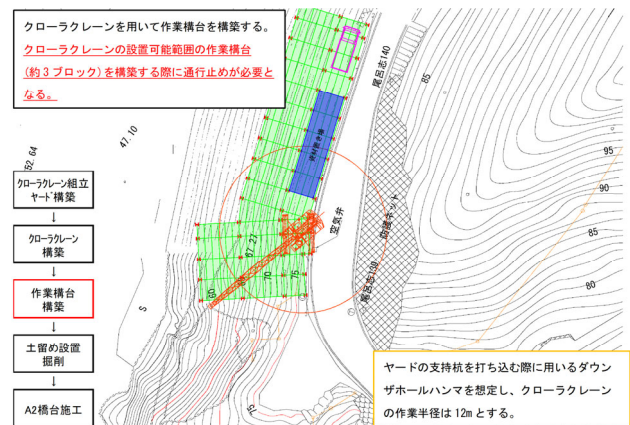


図-4 ③作業構台構築時

検討した結果、現道(県道62号)を利用して下部工施工を行うためには、各ステップにおいて部材の搬入やクレーン組立、構台構築の際に一時的な通行止めが必要となり、工期が長くなる結果となった。そのため、現道交通への影響を最小限とする案として計画道路先行案を提案した。

b) 計画道路先行案

A2橋台背面の県道62号は幅員狭小、線形不良区間であるため、安全で円滑な交通機能の確保のため路線の整備が計画されている。計画路線ではA2橋台背面より北側に位置する県道62号は使用しない計画とされている。また、A2橋台背面の計画道路延長は約130mと短いため、計画道路及び平場の施工を先行し、使用しない県道62号を整備し、施工ヤードとする案を検討した。施工順序は①計画道路・平場施工→②掘削→③A2橋台施工となる。本案は掘削の際、現道(計画道路)と干渉する箇所がなく、通行に影響を与えないためオープン掘削が可能であり、交通規制も不要となる。

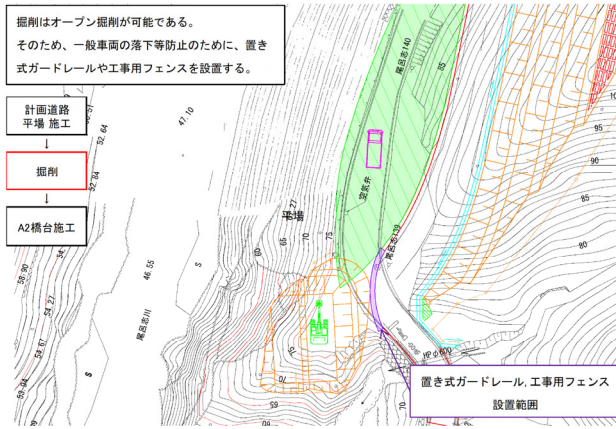


図-5 ②掘削時

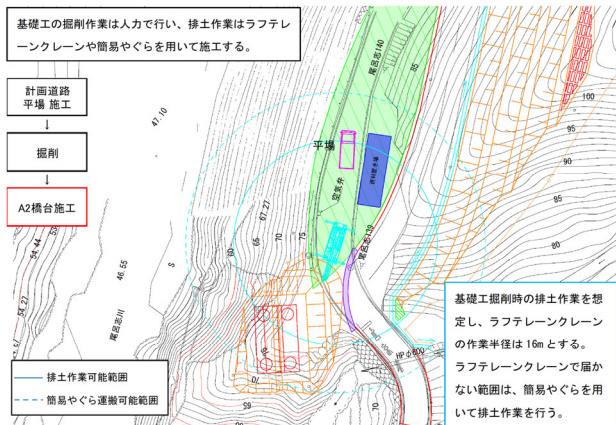


図-6 ③A2橋台施工時

検討した結果、約130mと短い計画道路及び平場を先行して施工することにより、作業構台の構築や土留めの設置が不要となった。

以上の検討により、現道の通行止めが不要であり、より短時間で施工可能な計画道路先行案を採用した。

4. 上部工架設計画

(1) 架設工法の選定

本橋の架橋位置、条件より適用可能な架設工法はケーブルエレクション直吊工法及びクローラクレーンベント工法が挙げられる。ここで、ケーブルエレクション直吊工法選出前に送出し工法の適用可否について述べる。送出し工法の適用可能な橋梁形式は「等断面の鉸桁、箱桁」「ゆるやかな曲線桁(曲率半径1000m以上)」であるが、本橋の平面線形はS字(R=34m, A=30)であるため適用可能な橋梁形式に当てはまらない。また、送出しヤードを確保するために現地の大規模な改築が必要となるため、本架設条件では適用不可とし、ケーブルエレクション直吊工法を選出した。

クローラクレーンベント工法を適用するためには、仮架橋を架橋位置の横に構築する必要がある。谷部に設置する必要があり、ベント高さ及び構台脚部高さが10mを超え、大規模な構造となる。また、河川内設備が多量に設置撤去に要する期間が長く、一非

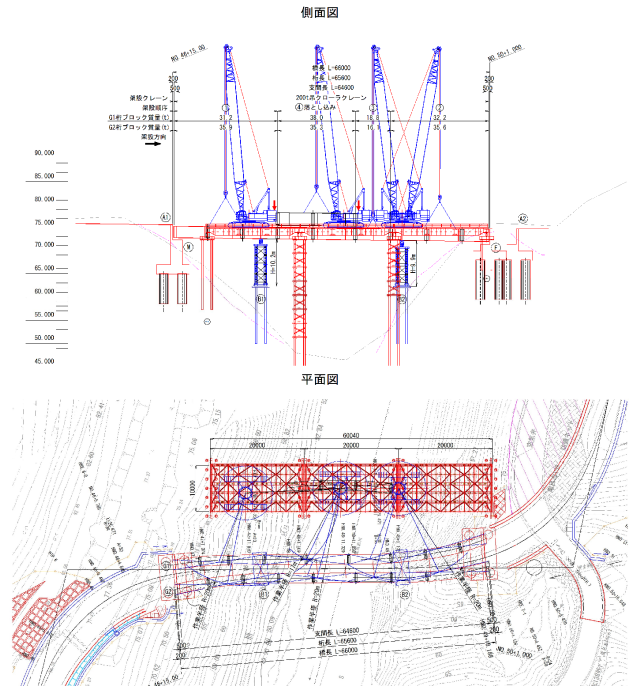


図-7 クローラクレーンベント工法

出水期では施工できない。ケーブルエレクション直吊工法と比較した際、工費は約1.7倍、施工日数は約2.6倍となるため、本検討ではケーブルエレクション直吊工法を採用した。

(2) ケーブルエレクション直吊工法 鉄塔位置検討

A2橋台側は地形や現道(県道62号)の位置等から作業範囲が狭い。ケーブルエレクション工法ではケーブルクレーンや鉄塔の大規模な設備が必要となるため、A2側では限られた範囲で設備を設置しなければならない。設置位置について2案による比較検討を行い、表-1に示すよう整理した。

案①：橋台縦壁横に鉄塔基礎を設置する案(鉄塔基礎は橋台と一体構造)

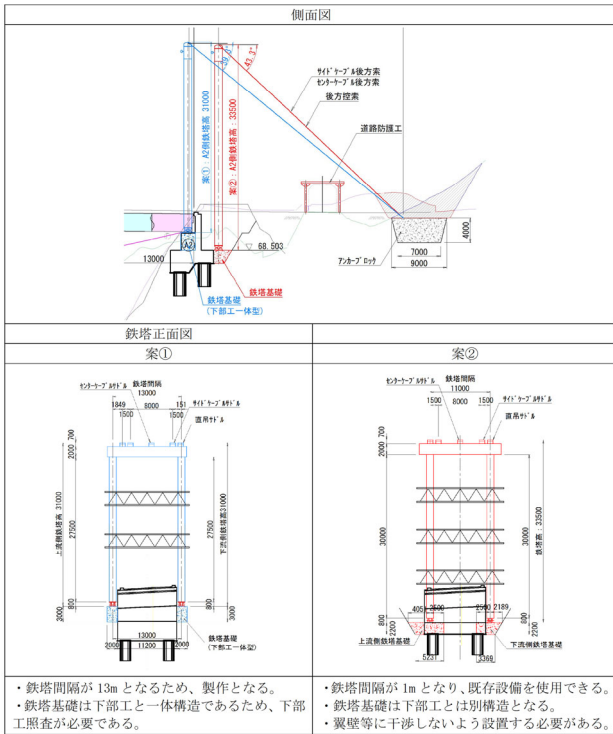
案②：橋台掘削埋め戻しの一部にコンクリートを打設し鉄塔基礎とする案

検討の結果、案①の鉄塔設備は鉄塔間隔が13.0m必要となり、メーカーヒアリングの結果、既存設備では対応できないため制作する必要がある。また、本来架設に必要な幅以上に広げることになり、受梁等の他の設備も大きくなり施工性、経済性に劣る。一方、案②は鉄塔設備について既存のものを使用できる。翼壁等により鉄塔位置に制限があるが、本計画では案①より受梁等の設備は小さくできる傾向にある。したがって、施工性、経済性の観点から案②を採用した。

(3) アンカー形式

ケーブルエレクション直吊工法におけるアンカーは、確実に耐力を得られて施工が容易であることから、一般的にコンクリートアンカーブロックが用いられている。しかし、斜面上では大型となるコンクリートブロックは掘削量が多くなることから、グラ

表-1 鉄塔位置検討表



ウンドアンカーを用いることが多い。また、アンカーブロックは浮上り・滑動・転倒に対する安全性を確保する必要があるため、斜面上では安全性を確保するために注意が必要である。以上の条件より、各橋台背面におけるアンカー構造について検討を行った。

a) A1橋台背面

A1橋台背面のアンカー設置箇所は斜面上となる。また、上層の堆積層dt2が2m程度あり、岩盤への底面根入れが深くなる。そのため、アンカーブロックは掘削面積が大きくなり、地形改変や借地が増大する。これに対してグラウンドアンカーを用いた場合は地形改変・借地を最小限とすることができるため、A1橋台背面は掘削量の低減を目的にグラウンドアンカーを採用した。

b) A2橋台背面

A2橋台背面のアンカー設置箇所は比較的平坦であり、アンカーブロックの掘削は大規模な地形改変とはならない。また、中央付近が平坦であり、仮にグラウンドアンカーとする場合には受圧板構築のための掘削が必要となる。以上より、A2橋台背面は地形が比較的平坦であることからアンカーブロックを採用した。

5. BIM/CIMを用いた施工計画

本業務では、施工段階において以下の目的で、各段階における施工ステップモデルを作成した。

- ・施工順序が複雑なるため、各段階におけるモデルを作成することで、施工順序の確認を行う。
- ・施工計画の課題抽出及び関係者との共有を容易にする。
- ・施工ヤード及び重機をモデル化することで、施工

時におけるA2橋台背面の県道との干渉や搬出入路の確保、資機材等の計画について確認を行う。

表-2 施工ステップ

西原3号橋施工 STEP		
施工 STEP	備考	
STEP1	現況	
STEP2	切り直し道路	A2 橋台側の施工ヤード確保のため計画道路を先行施工する
STEP3	床堀	
STEP4	基礎施工	
STEP5	躯体施工	
STEP6	橋台完成	
STEP7	A1 橋台埋め戻し、上部工ヤード整備	A1 橋台背面に上部工施工ヤードを確保するため、先行して埋め戻しを行うが、法面保護は行わない
STEP8	ケーブルエレクション設置	A1 橋台および A2 橋台背面に主塔を構築する。A2 橋台側は、構台掘削位置に構築する
STEP9	桁架設	桁架設の順序は A2 橋台 G1→G2→A1 橋台 G1→G2 の順序で架設を行う
STEP10	床版施工	
STEP11	埋め戻し、舗装	A1 橋台側は法面保護を行う A2 橋台側は擁壁の設置、埋め戻し、法面保護を行う
STEP12	完成	



図-8 STEP5：躯体施工



図-9 STEP9：桁架設

6. まとめ

BIM/CIMモデルを用い、仮栈橋構築のヤード確保が困難なことを確認したことに加えて、仮栈橋を構築する場合には現況道路の夜間通行止めが長期間必要となるため、通行止め不要であり、施工工程の短縮や工費の縮減も考慮し架設工法を選定した。

鉄塔の基礎構築時に掘削を行うと、県道の通行止めを伴うことがBIM/CIMの4Dモデルで確認できたため、橋台埋戻し部の一部をコンクリートに置き換え、鉄塔基礎として利用することで、県道の通行止めを回避した。

厳しい制約条件下での施工/架設計画となり設備配置や施工順序も複雑となるため、各施工ステップのBIM/CIMモデルを作成し第三者に対してわかりやすい資料を作成した。また、狭隘部の部材干渉に対してBIM/CIMモデルを用いた照査を実施した。

ダム事業において創出した湿地の 一体化した整備・順応的管理・利活用

お だ けん い ち あ べ な お き は ま し ま つ ば さ か と う ま き ゆ き て ら に し か や の
○小田健一・阿部直己・浜島翼・加藤雅之・寺西夏也乃

(株)建設環境研究所(〒460-0003 名古屋市中区錦3-20-27)

設楽ダム建設事業においては、環境影響評価手続きに基づく環境保全措置の一環としてダム湖予定区域の湖岸部に2箇所創出した湿地を、耕作跡地からの整備、整備後の維持管理、整備中～整備後の利活用まで一体化しながら検討、実践を進めているものである。湿地の整備においては、多様な動植物の生息・生育に適した水環境を、明確なコンセプトの下に創出し、今後の利活用を含めた維持管理の仕組みづくりやコストを意識した手法を一体化して推進しており、概ねの整備施工から維持管理段階に移行する段階まで近づくことができている。このような取組は同様の背景を持つ他ダム事業への展開が期待される。

Key Words : ダム事業, 湿地環境整備, 利活用, 順応的管理

1. はじめに

豊川水系設楽ダム建設事業は、豊川水系河川整備計画の一環として愛知県北設楽郡設楽町内に多目的ダムを建設するものであり、洪水調節、流水の正常な機能の維持及び新規水資源開発を行うものである。建設予定箇所である豊川流域は約40%が国定公園もしくは自然公園に指定されており、猛禽類のクマタカや魚類のネコギギをはじめとする様々な生き物が生息している。(図-1)



図-1 設楽ダム建設事業位置図

設楽ダム周辺の自然環境については、学識経験者の指導による文献調査等を昭和51年に着手、本格的な現地調査を平成5年度に開始し、平成9年に制定された環境影響評価法に基づく環境影響評価(環境アセスメント)の手続きを行い、平成19年に評価書が縦覧されている。

評価書手続きにおいて、モリアオガエルやクロゲンゴロウなどの重要な動物種、イチョウウキゴケやアギナシなどの重要な植物種は「ダム建設事業により生息・生育環境が適さなくなる」と予測されたことから、環境保全措置として「耕作跡地等の緩傾斜地を利用し、流入する沢水等を活用してこれら動物種の生息に適した湿地環境を整備及び植物を生育適地である湿地に移植する」ことが明記されており、このような状況を踏まえ平成27年度より本格的な湿地整備に取り組んでいるところである。

2. 湿地整備のコンセプト及び課題

設楽ダム建設事業における「湿地整備」は、単なる「重要な種の生息・生育の場」として整備、管理¹⁾するだけではなく、学識経験者からなる「湿地整備検討会」での助言を踏まえ、以下の明確なコンセプトの下で推進を図っているところに特徴がある。

- ①ダム事業により影響を受ける重要な種の生息・生育場
- ②多様な生物が育む場としての環境学習の場
- ③自然豊かな景観と憩いの場を提供

このコンセプトに基づき、「湿地環境の創出による生物多様性の保全・再生」を目指し、「湿地環境の生態ピラミッド」が拡大していくように湿地整備を進め²⁾、その環境を人々が享受できるように「生態系サービス」としても機能するよう進めていく必要がある。(図-2)

湿地整備を進めるにあたり、(1)湿地環境の整備、(2)創出した環境の維持・管理、(3)創出した環境の利活用、それぞれにおいて課題が浮かび上がってきたことから、個別に対応するのではなく「一体化して」取り組むことで解決を図ることとした。

- (1)湿地環境の整備：耕作跡地において、放棄後一定期間が経過した箇所でのどのように通水を復活させ湿地環境を効率的に創出・再生していくのか？
- (2)湿地の維持管理：コストを意識した手法の検討、今後を見据えた仕組みづくりへの布石
- (3)湿地の利活用：地域住民へ湿地の魅力を伝え活動に参加いただけるための働きかけ

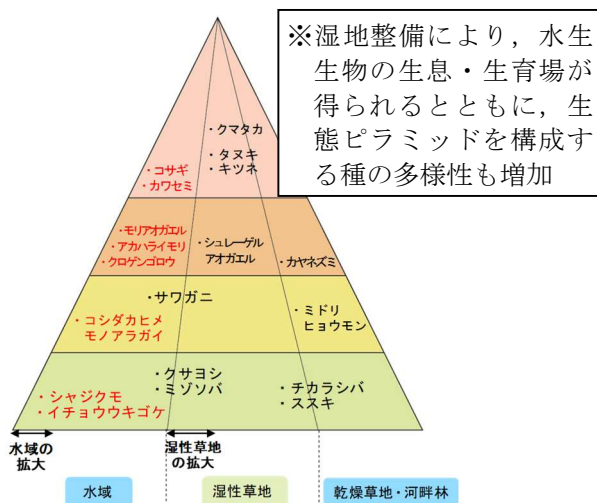


図-2 湿地整備のコンセプト (生態ピラミッド)

3. 課題への対応

(1) 湿地環境の整備

湿地環境の整備は、まず耕作跡地の一部へ通水のみを行い、冠水の効果によりススキやチカラシバなどの乾生草本がミソソバなどの湿生草本に転換できるのかを試みた。その結果、「十分な通水量による湿生草本への転換」は可能であったものの、通水量が湿地全体分を確保できないこと、維持管理のコス

ト削減、水路巡回の頻度抑制といった要求事項が明らかとなった。

この状況を踏まえ、通水による整備だけではなく創出した湿地を「通水管理ゾーン」「自然遷移ゾーン」等に分け、ゾーンごとに適切な水位、適した植生となるよう調整しながら、多様な生物の生息・生育の場となるよう過年度においては耕耘作業や大型池の創出、令和4年度は池周辺の木陰創出のための植樹、ゾーン内に異なる水位を創出するためのマウンド造成、刈り草を活用した「エコスタック」の設置等を実施した。

湿地整備箇所においては、このような整備の実施によりゾーンごとに成立環境が明確に異なっていることがドローン撮影の相観モニタリングによっても確かめられており、湿地環境の保全対象種であるモリアオガエル、アカハライモリの生息、移植を行ったアギナシ等の継続的な生育を確認することができた。(図-3、図-4、図-5)



図-3 湿地整備後のドローン写真 (A湿地)



図-4 湿地整備実施状況 (A湿地)



図-5 湿地整備実施状況 (B湿地)

なお貴重種保護の観点から、詳細な湿地整備箇所
の情報は割愛する。

(2) 湿地環境の維持管理

湿地環境の維持管理において、大きな課題は「通
水量の確保」「イノシシ掘り返しなどによる水路遮
断の抑制」であった。通水量の確保に関しては、耕
作が行われていた時代の水路系統を活用しつつ、湿
地上流部の取水口から湿地にいたる「水路系統図」
を作成、出水後に落葉落枝が詰まりやすい「集水枿」
の位置を可視化し、水路巡回時の復旧作業の効率化
に努めた。また、落葉落枝による目詰まり回避のた
めの取水口メッシュ化、土地の傾斜を利用した湿地
区画上流部からの水循環（非常に緩やかな傾斜での
棚田をイメージ）など有識者による現地視察での助
言を踏まえ工夫を凝らした。一方、イノシシ掘り返
しなどによる水路遮断を抑制するため「水路と並行
に丸太を設置し、不安定な足場とすることでイノシ
シの横断を回避」といった施工も行った。（図-6）

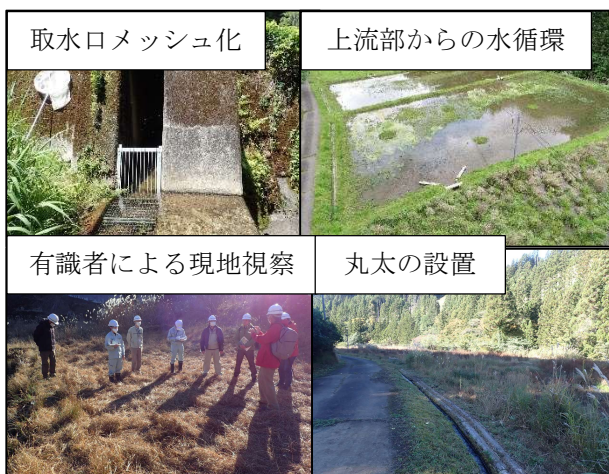


図-6 維持管理の低減を目指した取組

(3) 湿地環境の利活用

湿地環境の利活用に関しては、湿地整備を本格的
に開始した平成27年度に地元住民やステークホル
ダーとなり得る方々を対象としたワークショップを
開催し、まずは国の事業として湿地を整備してい
ること、身近な場所に貴重な生物が生息しているこ
とへの関心を高めることを目的とした。その後、ワー
クショップ参加者との繋がりにより、地元高校から
湿地での生き物観察会であれば参加したいとの要望
を受け、湿地での環境学習会を開催することとな
った。学習会は令和5年度まで継続実施しており、屋
外のみならず屋内での教材づくり（アクリル標
本、ハーバリウムなど）、文化祭への出展協力（パ
ネル製作）なども行った。屋外での環境学習会では、
生き物探しを通じた人為的かく乱により湿地環境維
持にもつながることを教育効果として意識しながら
高校生への啓発活動を推進した。（図-7）



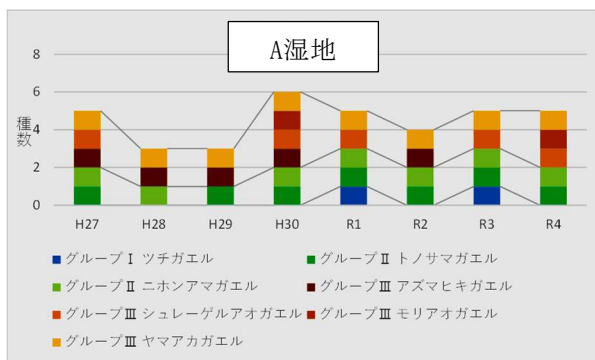
図-7 地元高校を対象とした環境学習会

4. 主な成果と今後の課題

(1) 湿地環境の整備

湿地環境の整備は、毎年のモニタリング（植生
変化、水位状況の把握、移植を行った植物種の生育
状況、簡易相調査による指標生物の把握など客観的
手法³⁾）を継続実施し、「湿地整備検討会」におけ
る助言を踏まえた新たな湿地施工や環境改善を繰り
返す「順応的管理」により、令和4年度には本格施
工がほぼ終わり、維持管理段階へ移行する段階まで
近づくことができた。湿地整備の成果として、「湿地
環境（生物の視点として一定以上の水位が活動期
に存在し、湿生植物が繁茂した状態）の指標種」
となりうる両生類（カエル類）は、湿地整備開始後
より3～6種が継続的に確認され、モリアオガエルは
卵のうも確認されるなど、繁殖場としても機能して
いることが明らかとなった。（図-8）

一方で、生物多様性を増加させるための「誘鳥木の植樹」「多様な水位環境をさらに創出するためのマウンド拡充」といった整備作業が残されている。

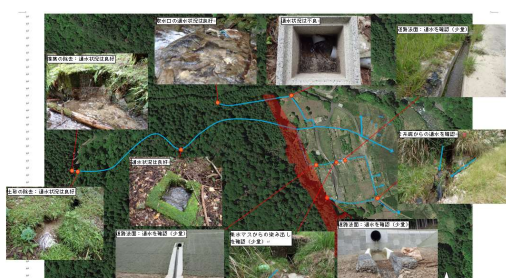


グループI：通年水域を利用するタイプ
 グループII：成体は周辺草地等を利用するタイプ
 グループIII：成体は周辺樹林を利用するタイプ

図-8 指標となる両生類の生息状況

(2) 湿地環境の維持管理

湿地環境の維持管理は、大きな出水イベントがない状況では、通水環境が整備され年数回の巡回により湿地環境が維持されている。また池の創出により、周囲の浅い湿地が干上がった場合でも両生類や水生生物の「リヒュージア（避難箇所となり得る生息場）」として機能していることも明らかとなった。一方で、近年のゲリラ豪雨などが発生する状況では、取水口や集水樹における落葉落枝、泥などの堆積による通水遮断を完全に排除できないことから、水路系統の見直し、水路の拡幅を本格的に検討する必要性が生じている。（図-9）



取水口・集水樹で通水遮断が発生しやすい

図-9 湿地へ導水するための水路系統図

(3) 湿地環境の利活用

湿地環境の利活用は、地元高校との協働による「環境学習会」の継続開催により、高校生の関心が世代を超えても一定の水準を保っていることがアンケート結果からも読み取ることが出来る。（表-1）一方で、学習会の活動内容にややマンネリ化が認め

られること、生き物観察から一步踏み込んだ「外来種駆除」「協働作業による維持管理」といった活動参画への醸成はまだ不十分と言える状況であり、今後はプログラムの見直し、活動参加団体の拡充といった課題へアプローチしていく必要がある。

表-1 環境学習会のアンケート結果（抜粋）

項目	アンケート結果(H27~R4)
Q1. イベントの感想	<ul style="list-style-type: none"> ・楽しかったという意見が継続的に90%を超えている ・屋外、屋内問わず楽しかったという意見が多い ・一方で、もっと専門的な内容が知りたいという意見も少数ながら継続的に見られる
Q2. イベントの実施時間	<ul style="list-style-type: none"> ・屋外では実質約1時間、屋内では実質約1時間40分の活動時間 ・屋外プログラムでは、ちょうどよいという意見も多いが「短い」という意見が大半を占める ・屋内プログラムでは、「長い」という意見が増加する傾向が認められる
Q3. よかったこと	<ul style="list-style-type: none"> ・「里山生態系の生き物のつながりが学べたこと」、「皆で観察できたこと」、「自分の勉強になったこと」が同程度の割合となっていることが多く、現状の企画案としてはバランスが取れていると判断できる

5. 今後の展開

今回の取組みは整備、維持管理、利活用といった多面的な課題と対応方針に関して、有識者の助言を受けながら、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られる。またこれらと同様に、調査手法や環境整備方針についても、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、他のダム事業においても展開できるものと考えられる。

謝辞：本内容は国土交通省中部地方整備局設楽ダム工事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) 亀山章編：絶滅危惧種の生態工学。地人書館、2019
- 2) 谷田一三・江崎保男・一柳英隆編著：ダムと環境の科学III エコトーンと環境創出。京都大学学術出版会、2014
- 3) 井上幹生・中村太士編：河川生態系の調査・分析方法。講談社、2019

ダム事業における希少猛禽類調査の 現場DXと効率化

おぐらひろゆき かとうまさゆき なかむらたつひろ ふじたにとしひと
○小倉弘之¹・加藤雅之¹・中村達博¹・藤谷俊仁²

¹ (株) 建設環境研究所 中部支社 (〒460-0003 名古屋市中区錦3-20-27)

² (株) 建設環境研究所 大阪支社 (〒542-0081 大阪市中央区南船場1-15-14)

令和4年度に、横山ダム浚渫土砂処分地付近に生息する希少猛禽類クマタカを対象にモニタリング調査を実施した。その中で、調査の効率化と精度向上を目指した現場DXとして、3月、5月、8月、10月の定点観察による調査に加え、営巣地から約500m離れた林内に無人望遠撮影カメラを設置し、携帯電話回線を用いた巣周辺のリアルタイム観察による補足調査を行った。その結果、定点観察のみでは得られなかった情報として、幼鳥の撮影による繁殖成功を確認することができた。本試みにより、猛禽類調査における現場DX導入による調査の効率化と精度向上に一定の効果があったと考えられる。

Key Words : 猛禽類調査, 現場DX, インターバルカメラ, モニタリング

1. はじめに

揖斐川上流部に位置する横山ダム(国土交通省中部地方整備局木曾川水系ダム統合管理事務所管轄)は、洪水調節及び発電の目的で運用されているが、貯水池の上流には貯砂ダムが設置されており、定期的に堆砂を搬出している。この堆砂の搬出先として、平成27年度以降、横山ダム上流の土砂処分場が利用されている。

既往調査において、土砂処分場の周辺にクマタカの生息及び営巣地の存在が確認されており、土砂処分場の利用を始めた平成27年度から、工事に対する反応や繁殖状況を把握するためのモニタリングが実施されている。

本稿では、令和4年繁殖シーズンのモニタリングにおける現場DX導入の事例について報告する。

2. 調査概要

(1) 対象種クマタカについて

クマタカは、体長がオス70~73cm、メス74cm~80cmほどの大型猛禽類であり¹⁾、環境省レッドリスト2022では絶滅危惧1B類、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(種の保存法)で国内希少野生動植物種に指定されている。

九州以北、本州では標高300~1000m程度の発達し

た森林内に生息する¹⁾。餌は小型から中型の鳥類や哺乳類を幅広く捕食する¹⁾。

留鳥であり、通常は単独で行動する。繁殖前期の12月頃からペアでの飛翔がみられ、1~2月に入るとペア間での鳴き交わりやディスプレイ飛翔、交尾、造巣活動が活発化する¹⁾。

産卵は地域により多少のずれがあるが、普通、3月から4月(基本的に卵数は1個²⁾)に行われる¹⁾。卵は4月中旬~5月頃に孵化し、雛は7~8月に巣立つ¹⁾。

巣は主に急傾斜の大径木の枝や幹につくり、主にモミ、マツ、スギ等の針葉樹を使用する¹⁾。



図-1 対象種クマタカ

(2) 調査内容

本調査は、土砂処分場周辺に生育するクマタカ1ペアを対象に、生息状況、繁殖状況、及び8月以降に実施された土砂処分場の工事による影響の把握を目的として、主に定点観察による調査を実施した。

定点観察は、令和4年3月（造巣期～抱卵期、令和3年度業務で実施）、5月（抱卵期～巣内育雛期）、8月（巣外育雛期）、10月（家族期・巣外育雛期）に実施した。

また、定点観察の中で、既知営巣木でクマタカの繁殖活動を確認したため、現場DXとして無人望遠撮影カメラ（以下、インターバルカメラとする）を設置し、補完的に営巣木のリアルタイム観察を行った。

3. DX導入の経緯（課題と対応策）

猛禽類の繁殖状況の把握を目的とした調査では、繁殖の成否を確認することが重要である。また、繁殖に成功しなかった場合でも、繁殖行動を中断した時期を把握し、その時期の事業の実施状況と対比してみることも重要である⁴⁾。

しかし、定点調査は3月、5月、8月、10月に限られており、クマタカの繁殖経過や繁殖成否に関する情報が限定され、調査の空白期間が存在すること、定点観察時以外の工事影響把握が難しいといった課題があった。

これまでに、猛禽類調査における調査効率化と精度向上のための技術手法として、CCDカメラ、インターバルカメラ、センサーカメラを用いた営巣地や巣内の観察が実用化されている³⁾。本調査では、電気工事等が不要で安価で運用可能であり、携帯電話回線を用いたリアルタイム観察が可能なインターバルカメラを採用した。定点観察とインターバルカメラによるリアルタイム観察を併用することで、調査の効率化と精度向上を目指した。

4. 方法

(1) 定点観察

調査定点は各日2定点を設定し、各調査地点に調査員1名を配置し、双眼鏡、地上望遠鏡、撮影用カメラ等を用いて観察した。

調査回数は令和4年5月、8月、10月の3回実施した。

調査日数は、各調査回で連続3日間とし、観察時間は8:00から16:00の8時間とした。

観察された猛禽類の種名、出現位置、出現時刻、行動等を記録した。

(2) インターバルカメラによる観察

a) 使用したカメラの概要

インターバルカメラは、携帯電話回線を用いた通信機能を搭載したカメラ本体（HykeCam LT4G）に望遠レンズ（TAMRON 18-400mm F/3.5-6.3 Di II VC HLD）を装着できるよう改装し、使用した。

カメラ本体及びレンズ部分は防水ケースに収納し、長期間の設置を可能とした。カメラの電源は単一乾電池8本により駆動する。

表-1 使用したインターバルカメラの概要

サイズ	長さ：55cm 幅：18cm 高さ：22cm	
総重量	約2.9kg	
回線	docomo	
撮影間隔	1枚/10分間	
撮影時間帯	6:00～18:00	
撮影画像サイズ	300万画素	
送信画像サイズ	130万画素	

b) インターバルカメラの設置位置

インターバルカメラは、地権者了承を得た上でクマタカ対象ペアの営巣木から谷を挟んだ対岸の林内に設置した。設置位置は、営巣木から約500m程度離れており、林内から営巣木が確認できる位置とした。

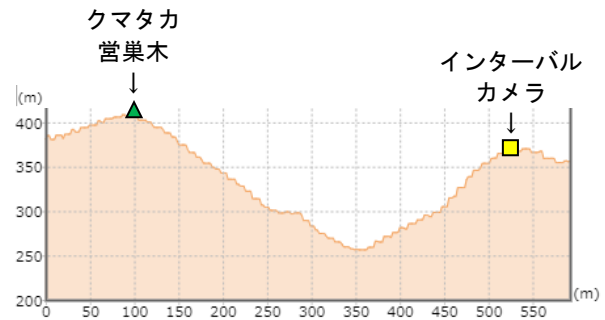


図-2 インターバルカメラの設置箇所

c) インターバルカメラの設置と撮影

インターバルカメラは、令和4年7月10日に設置し、12月末までの期間中、継続して撮影を行った。カメラは三脚で固定し、地上約1.0mの高さに設置した。

今回の調査では、営巣木でのクマタカの動きを把握することを撮影目的としたため、巣を中心として横枝や上下の枝などとまりに利用しやすいと考えられる上下・左右5メートル程度の範囲を撮影できるアングル（焦点距離は35mm換算で約1,000mm相当）で撮影した。

撮影間隔は10分間隔とし、撮影時間は毎日6時から18時までの12時間とした。撮影した画像は、携帯電話回線により会社PC及びスマートフォンに即時伝送した。受信メールの添付画像は、メール編集マクロプログラムを作成し、社内サーバーの任意フォルダーに自動格納するシステムを構築した。

またカメラ設置以降、8月及び10月に機器点検や画角調整等のメンテナンスを行った。

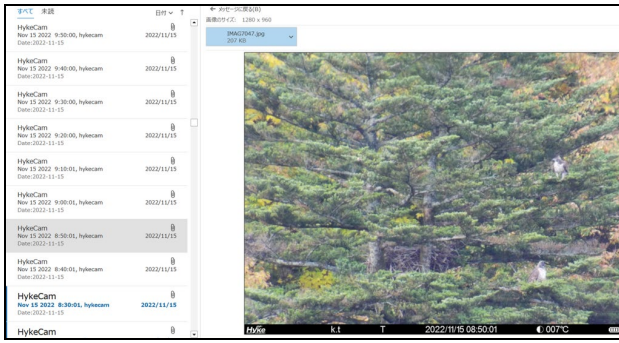


図-3 撮影画像のメール受信画面



図-4 インターバルカメラの設置状況

5. 結果

(1) 定点調査による観察結果

定点調査では、クマタカ対象ペアの個体が合計32例確認された。

5月調査時に既知営巣木の巣内に雛が見られ、繁殖活動（巣内育雛中）を確認した。その後、8月調査、10月調査では、幼鳥は確認されず、成鳥個体による誇示・排除行動である波状飛翔やV字飛翔等のディスプレイ飛翔や営巣木への止まりが確認された。

定点観察では、8月調査以降には巣立ち後の幼鳥が確認されず、繁殖成否の判断はできなかった。

また、10月調査時には土砂処分場周辺における工事が実施されていたが、クマタカの工事を忌避する行動等は確認されなかった。

表-2 定点観察によるクマタカ対象ペアの確認状況

調査月	調査日	確認例数	行動内容
5月調査	2022/5/30	成鳥雄 1例	・ 営巣木でのとまり ・ 巣内の雛
	2022/5/31	成鳥雌 1例	
	2022/6/1	成鳥性別不明 8例	
		年齢性別不明 3例 雛 1例	
8月調査	2022/8/8	成鳥雌 1例	・ 波状ディスプレイ ・ V字ディスプレイ
	2022/8/9	成鳥性別不明 7例	
	2022/8/10		
10月調査	2022/10/26	成鳥雄 3例	・ 営巣木でのとまり ・ V字ディスプレイ
	2022/10/27	成鳥雌 4例	
	2022/10/28	成鳥性別不明 4例	

(2) インターバルカメラによる観察結果

インターバルカメラでは、クマタカ対象ペアの個体が計108回（のべ16日間）撮影された。撮影画像からクマタカ個体の成幼が識別可能であり、成鳥は103回（のべ15日）、幼鳥は5回（のべ1日）撮影された。幼鳥は8/19の1日のみの確認であり、以降は確認されなかった。

また、成鳥は11月以降も継続して営巣木に飛来しており、雌雄と考えられる2羽で営巣木への飛来が確認された。

表-3 インターバルカメラ映像によるクマタカの確認状況

クマタカ 撮影回数	合計 : 108回 のべ16日間	
	成鳥	: 103回 のべ15日間
	幼鳥	: 5回 のべ1日間



図-5 インターバルカメラで撮影されたクマタカ幼鳥（令和4年8月19日）



図-6 インターバルカメラで撮影されたクマタカ成鳥（令和4年11月15日）

(3) 結果まとめ・考察

定点観察ではクマタカの巣立ち幼鳥を確認できなかったが、インターバルカメラの画像により、幼鳥の巣立ち（繁殖成功）を確認できた。また、幼鳥はインターバルカメラにおいても、8月19日を最後に撮影されなかった。

このことから、クマタカ対象ペアは幼鳥が巣立ち、繁殖に成功したものの、幼鳥は巣外育雛期の早期に

落鳥した可能性が高いと考えられた。

クマタカの巣立ち直後の幼鳥は、行動範囲が営巣木直近に限られる事が多いが、警戒心が高い個体は林内に隠れてしまい、定点観察では確認が困難な場合がある⁵⁾⁶⁾。また、調査時期が遅くなると、幼鳥の発見確率は上がるが、繁殖には成功したものの巣立ち後に死亡してしまう可能性もある⁶⁾。これらのことから、特に巣立ち直後の時期はインターバルカメラによる営巣木を中心としたリアルタイム観察が効果的であったと考えられる。

さらに、インターバルカメラにより、12月以降の繁殖期初期の成鳥のとまりや、巣の補修状況や巣材の積み増しの有無等を確認することで、次年度の繁殖兆候の確認にも有効と考えられる。本調査においても、11月以降に雌雄と考えられる2羽で営巣木への飛来が複数回確認されたことから、令和5年繁殖シーズン以降も継続して同じ営巣木を使用する可能性が高いと判断され、営巣木絞り込みによる調査効率化ができた。

今回のインターバルカメラの補足観察では、繁殖成功を示すことができ、また、工事終了後の11月以降も営巣木での雌雄同時とまりといった翌繁殖シーズンに向けたペアリング形成・同一営巣木への執着が確認できた。このことから、当該つがいへの事業影響は生じておらず、事業実施とクマタカの息が両立できていることを確認することができた。

これらの調査結果は営巣木と施工範囲との位置関係を3D地形図に具現化した資料としてとりまとめた。

表-4 クマタカ対象ペアの繁殖状況のまとめ

繁殖年度	調査月	定点観察		インターバルカメラ	
		確認個体	行動の内容	確認個体	行動の内容
R4繁殖 シーズン	3月	成鳥雄 成鳥雌 成鳥性別不明 年齢性別不明	・在巢 ・巣材運び ・監視止まり ・種内防衛・攻撃 ・種間防衛・攻撃 ・つっかかり ・波状ディスプレイ ・V字ディスプレイ		
	4月				
	5月	成鳥雄 成鳥雌	・在巢(巣への出入り) ・営巣木でのとまり ・巣内の雛		
	6月				
	7月			-	-
	8月	成鳥雌	・在巢(巣への出入り) ・V字ディスプレイ ・波状ディスプレイ	成鳥 幼鳥	・営巣木でのとまり ・巣立ち後の幼鳥
	9月			-	-
10月	成鳥雄 成鳥雌	・営巣木でのとまり ・V字ディスプレイ	成鳥	・営巣木でのとまり	
R5繁殖 シーズン	11月			成鳥	・営巣木でのとまり
	12月			成鳥	・営巣木でのとまり

表-5 工事実施時期と調査の関係

種別	項目	R4											
		1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
横山ダム貯水池整備 工事													
クマタカの 繁殖サイクル	繁殖期	令和4繁殖期 → 令和5繁殖期											
	繁殖期 サイクル	求愛期	造巣期	抱卵期	巣内育雛期	巣外育雛・家族期	求愛期						
	敏感度	中	大	極大	大	中	小	中					
猛禽類調査	定点観察			■		■			■		■		
	インターバル カメラ												

6. 利点と課題

現場DXとして活用したインターバルカメラ併用について、利点と課題を整理した。

〈利点〉

- ・携帯電話回線により、リアルタイムで画像を取得できる。また、電気工事が不要であるため安価で、設置が容易である。
- ・機材一式が軽量であるため、林内への運搬、設置場所の移動が比較的容易である。
- ・望遠レンズを搭載することで、対岸の尾根等から遠隔で撮影できるため、巣への登攀することなく巣内を撮影可能である。
- ・定点観察中もインターバルカメラによる営巣木への飛来状況をリアルタイムで確認することで、観察精度の向上につながる。

〈課題〉

- ・リアルタイムで映像を取得するためには携帯電話回線が受信可能な環境が必要である。
- ・設置場所によっては獣害対策が必要である。
- ・長期間の設置及び超望遠での撮影のため、ピントや撮影画角がずれる可能性があり、適宜メンテナンスを行い調整する必要がある。

7. 今後の展開

定点観察のみでは得られなかった繁殖成功を確認することができ、本試みでは現場DXによる一定の効果があつたと考えられる。今後は、取得画像のAI属性分類(成幼等判別)を導入することにより、一層の効率化と精度向上を図っていきたいと考えている。

謝辞：本内容は、国土交通省中部地方整備局木曾川水系ダム統合管理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). 環境省自然環境局野生生物課希少種保全推進室、レッドデータブック2014ー日本の絶滅の恐れのある野生生物ー2鳥類、環境省。
- 2). 森岡照明, 叶内拓哉, 川田隆, 山形則男, 図鑑日本のワシタカ類 文一総合出版, 1995。
- 3). 上野裕介, 栗原正夫: 新技術等を用いた猛禽類の調査手法に関する技術資料, 国土技術政策総合研究所資料 第907号, 国土技術政策総合研究所, 2016。
- 4). 園田陽一, 松江正彦, 上野裕介, 栗原正夫: 道路環境影響評価の技術手法「13. 動物, 植物, 生態系」の環境保全措置に関する事例集, 国土技術政策総合研究所資料 第721号, 国土技術政策総合研究所, 2013。
- 5). 環境省自然環境局野生生物課, 猛禽類保護の進め方(改訂版)ー特にイヌワシ, クマタカ, オオタカについてー, 2012。
- 6). ダム水源地環境整備センター, ダム事業におけるイヌワシ・クマタカの調査方法(改訂版), 2001。

溪流の合流点における 堰堤型式の考察

○岩田啓夢¹・伊藤秀一¹・浅倉太包¹・田中ゆい¹・高木久徳¹

¹中央コンサルタンツ（株）本店（〒460-0002 愛知県名古屋市中区丸の内三丁目22番1号）

本業務は、長野県木曾郡南木曾町吾妻地内において、土石流・流木対策としての砂防堰堤を設計したものである。設計の対象となるネギヤ洞と砂地沢は、谷出口かつ保全対象の直上流で合流する溪流であり、両溪流の土砂と流木を効率的に捕捉するため、合流点に砂防堰堤を配置する計画とした。しかし、堰堤の計画地は、地域の主要な観光地である妻籠宿から眺望が可能であり、大規模な地形改変を伴う計画は関係者の賛同を得られない状況であった。土砂と流木の捕捉機能を有しつつ、地形改変を抑えた計画とすることが求められる状況の中、既設堰堤の流木対策として用いられる工法を新設堰堤に適用することで、施設規模の縮小を図った。

Key Words : 二溪流の合流点, 最大礫径・最多礫径, 流木処理計画, 流木捕捉工, 張出しタイプ流木捕捉工, 施設の規模縮小

1. はじめに

土石流や斜面崩壊が発生すると、土砂とともに多量の立木が流木となって流出する。土砂移動に伴い発生した流木が直接人家等を破損させる他、流出した流木により河道が閉塞し、土石流や洪水の氾濫、重要交通網である道路橋や鉄道橋を流出させるなど、近年、流木災害が頻発化・激甚化している。流木災害への対策として、従来の不透過型堰堤と比較し、流木捕捉機能の高い透過型堰堤の整備が主流となっているものの、現場条件によっては、不透過型堰堤を選定せざるを得ない場合もある。

本稿では、不透過型堰堤の流木捕捉機能の向上を図りつつ、流木捕捉工の配置を工夫することで堰堤の施設規模を縮小した事例を紹介する。

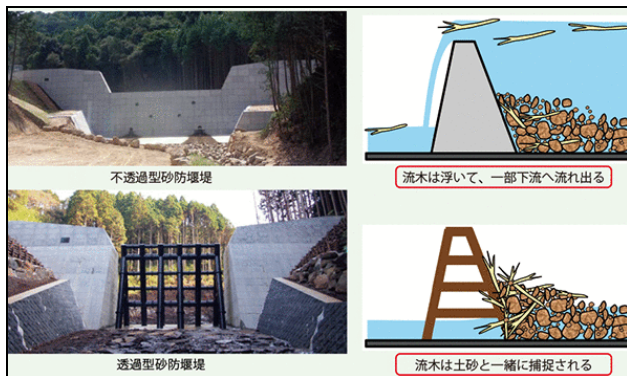


図-1 堰堤型式ごとの流木捕捉効果

2. 流域概要

ネギヤ洞と砂地沢は、長野県木曾郡南木曾町吾妻地内に位置する土石流危険溪流である。二つの溪流は、谷出口かつ保全人家の直上に設けられた計画基準点で合流している。計画基準点における流域面積は0.204km²、渓床勾配は1/7程度の荒廃溪流であり、約11,200m³の計画流出土砂・流木量が想定されている。土砂災害警戒区域には、重要伝統的建造物群保存地区に指定されている妻籠宿などが含まれており、早急な対策が望まれている溪流である。

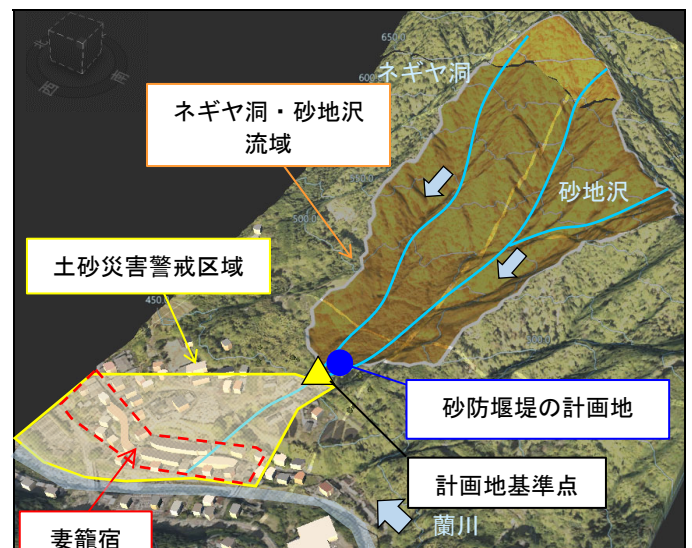


図-2 流域図

3. 砂防堰堤の配置

当該流域には、溪流を横断する林道が整備されている。林道を挟んで上流側には、5基の治山堰堤が配置されており、それらの施設により700m³の土砂・流木の発生を抑制している。そのため、計画する砂防堰堤には、10,500m³の施設効果が求められる。

道路や治山施設等の既存施設の整備状況を考慮し、流域内の土砂と流木を効率的に捕捉するため、溪流の合流点に砂防堰堤を1基配置する計画とした。



図-3 既存施設と計画堰堤の位置

4. 堰堤型式の選定

(1) 透過型堰堤の適用の可否

先述したとおり、流木災害への対策として、近年は透過型堰堤が主流となっている。透過型堰堤は、礫のアーチアクション（礫同士の噛み合わせにより、礫同士の押す力がアーチのように作用する）により、鋼製スリットを閉塞させ、土石流を捕捉する構造物である。そのため、透過型堰堤の適用の可否にあたり、溪流の礫径分布が重要な指標となる。

ここで、図-4と図-5に溪流ごとの礫径分布を示す。ネギヤ洞と砂地沢は、隣接溪流であるものの、礫径の分布には相違が見られ、ネギヤ洞の方が小礫径の割合が多い傾向にある。ネギヤ洞の最多礫径は、0.197mであり、新設計便覧¹⁾に示されている、透過型堰堤の適用の目安となる礫径の閾値0.2mを僅かに下回っている。

また、設計指針²⁾には「透過型堰堤の軸は、捕捉機能から上流に対してもできるだけ偏心しないよう考慮する」と記載されており、土石流が偏心角を有すると土砂の捕捉率が低下することが、中谷ら³⁾の実験的研究で明らかになっている。二つの溪流の合流点に配置する計画堰堤には、偏心角を有した土石流が到達することが想定される。

堰堤計画地の直下には人家が位置しており、確実に土石流を捕捉することが求められることから、透過型堰堤の適用は不適であると見られ、堰堤型式を不透過型とした。なお、景観の観点より、堤高を抑えることが望ましく、林道から計画堰堤の堆砂敷への進入が容易であることから、除石管理型とした。

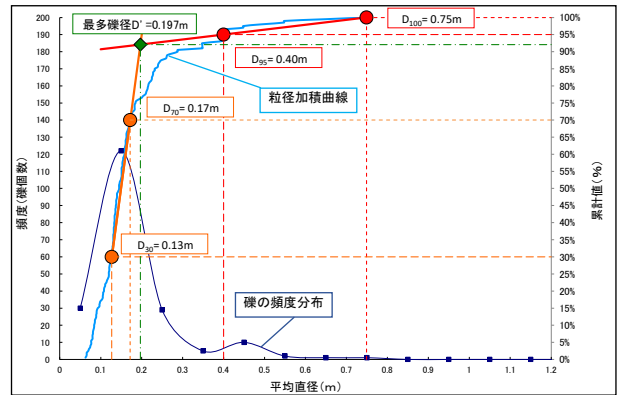


図-4 礫径分布（ネギヤ洞）

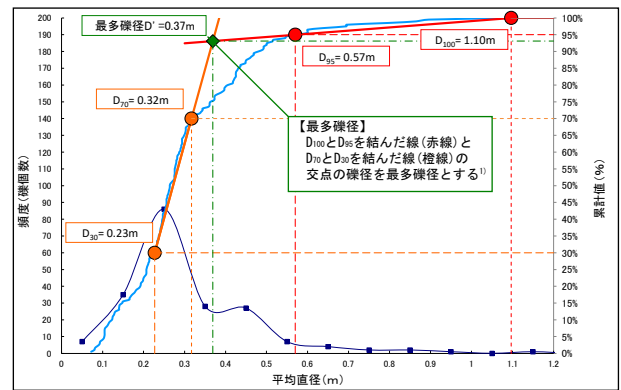


図-5 礫径分布（砂地沢）

(2) 透過構造の配置

不透過型の場合、土砂とともに流入する流木の半数程度が本堰堤を越流することが藤村ら⁴⁾の実験で報告されている。そのため、副堰堤に流木捕捉工を設け、前庭保護工において、流木整備率を100%とすることが一般的である。ここで、前庭保護工の流木捕捉容量は、流木の平均直径に湛水面積を乗じた値とされている。本堰堤を越流する流木量は136m³、流木の平均直径は0.14mであることから、972m²の湛水面積が必要となる。計画堰堤の場合、旧設計便覧⁵⁾による前庭保護工の拡幅の上限値を適用しても、76m³の流木を捕捉することができないため、流域内に別途流木対策施設が必要となる。また、前庭保護工には、除木ヤードとそこに至る管理用道路が必要となるが、用地買収は難しい状況であった。加えて、計画地の周辺は重要伝統的建造物保存地区に該当しており、地域の主要な観光地である妻籠宿から眺望が可能な位置にあるため、大規模な地形改変を伴う計画は、地元の賛同が得られない状況であった。前庭保護工の規模縮小と堰堤の下流側に至る管理用道路の整備を不要とするため、本堰堤にて土砂と流木をすべて処理する方針とし、透過構造を選定した。

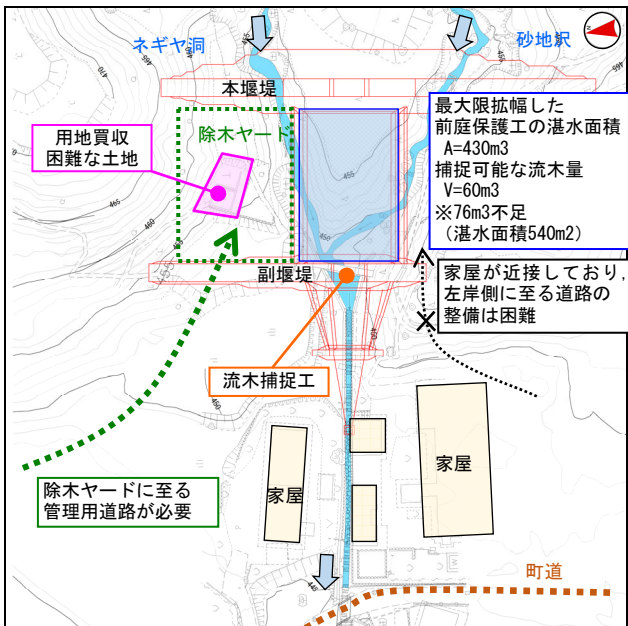


図-6 前庭保護工に流木捕捉工を設けた場合の施設形状

(3) 透過構造の選定

a) 部分透過型堰堤

部分透過型堰堤は、本堰堤に鋼製スリットを設けることで、流木の捕捉効果を向上させるものであり、流出流量が多く、「不透過+流木捕捉工」の型式が採用できない場合に有効な型式である。

しかし、部分透過型堰堤は、不透過部で巨礫を含んだ先頭流が捕捉され、巨礫を含まない後続流が透過部に到達し、土砂が下流に流出する恐れがある。

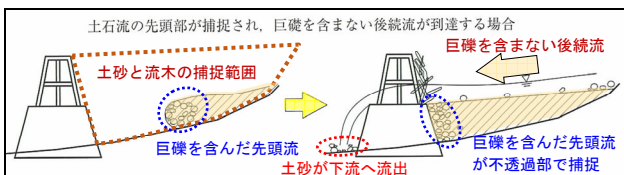


図-7 部分透過型における後続流による土砂流出

溪流ごとの礫径分布には相違があり、一方の溪流の小礫径の割合が多いことから、後続流の流出の可能性が高い。この懸念事項を解決するため、既設不透過型堰堤に付与する流木捕捉工の考え方⁶⁾を参考に、不透過部ですべての土砂を捕捉し、不透過部で捕捉しきれない流木を透過構造の設置により生じる湛水面にて捕捉する型式を採用した。

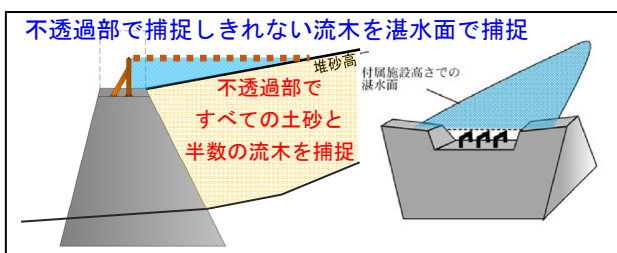


図-8 本堰堤に付与する流木捕捉工の土砂・流木捕捉の考え方

b) 本堰堤に付与する流木捕捉工

本堰堤に付与する流木捕捉工は下記に大別される。

- ・タイプⅠ：水通し部に設置するタイプ
- ・タイプⅡ：上流側に張出して設置するタイプ

既設堰堤にタイプⅠを適用する場合、透過部が閉塞し、堰上げが生じるため、水通し部の嵩上げや拡幅等の改良を実施する必要がある。タイプⅡの場合は、本堰堤と流木捕捉工の間に生じる隙間から流水が抜けるため、堰上げが発生しにくく、水通し部の改良は不要であるとされている。そのため、既設堰堤には、タイプⅡを採用する事例が多い。

ここで、図-9と図-10にタイプごとの流木の捕捉範囲を示す。堰上げが生じるタイプⅠの場合、湛水時の最大水深は、流木捕捉工の高さと同じ2.0mとなる。一方、堰上げが生じないタイプⅡの場合、湛水時の水深は設計水深と同じ0.8mとなり、湛水範囲が狭くなる。計画堰堤の場合、タイプⅡにより生じる湛水面では、必要となる流木捕捉容量を満足しないため、本堰堤にはタイプⅠを採用するものとした。

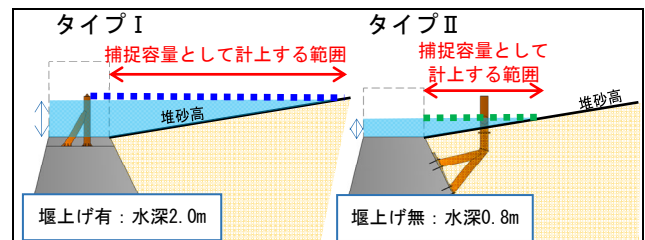


図-9 流木捕捉工のタイプごとの捕捉範囲（側面図）

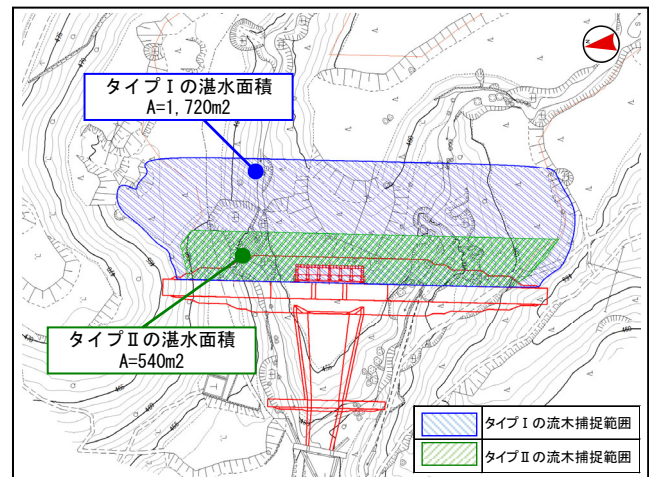


図-10 流木捕捉工のタイプごとの捕捉範囲（平面図）

表-1 タイプごとの流木捕捉容量

	タイプⅠ	タイプⅡ	備考
湛水域延長	22.6m	9.0m	タイプⅡは水位が低く、湛水範囲が狭い
湛水面積	1,720m ²	540m ²	
流木捕捉量	240m ³	75m ³	流木直径0.14m
過不足	+104m ³	-61m ³	必要容量136m ³

5. 構造上の留意事項

(1) 水通し断面

タイプ I は、開口部が閉塞することが懸念されるため、既設堰堤に採用される事例は少ない。計画堰堤は新設のため、所定の水通し断面を開口部の上部に設けることで、開口部が完全閉塞した際も、流水が安全に流下する計画とした。

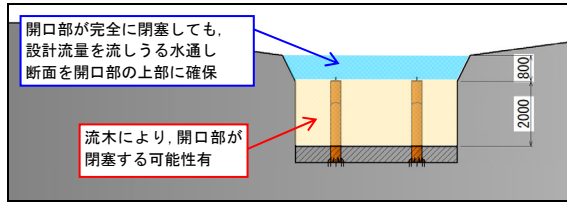


図-11 水通し断面

(2) 安定計算

堤高14.5m未満の砂防堰堤は、土石流時と洪水時の荷重に対し、安定性を満足する必要がある。計画堰堤は、開口部が閉塞された際に、湛水状態になる可能性があるため、湛水時の荷重状態においても、安定計算を実施し、3つの荷重状態すべてに対して安定性を満足する計画とした。

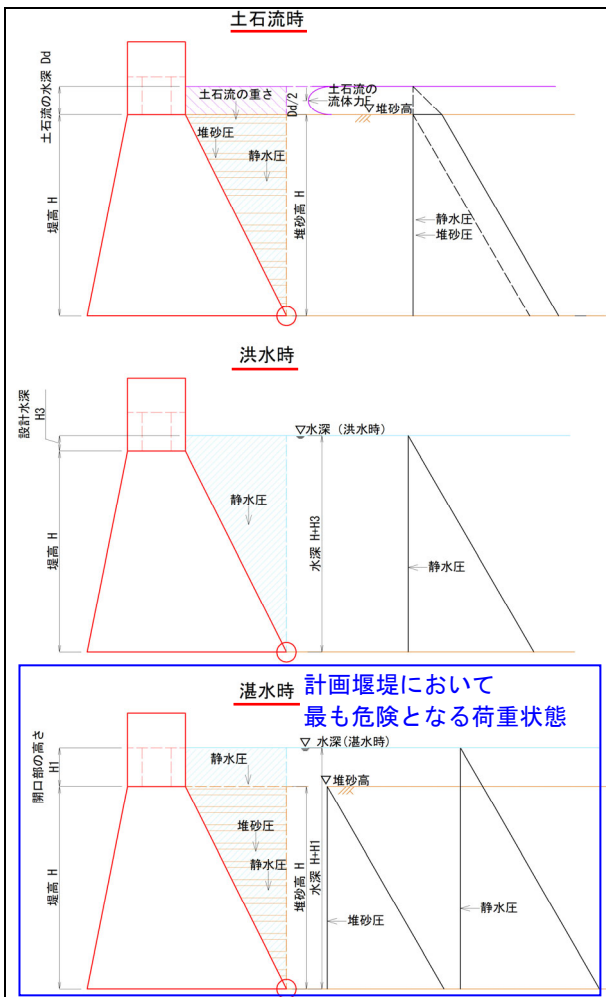


図-12 外力の作用位置（例：非越流部）

表-2 安定計算結果の一例（袖小口の断面）

照査項目		荷重条件		
		土石流時	洪水時	湛水時
転倒 (m)	許容値	3.80~7.60		
	計算値	6.82	7.04	6.95
滑動	許容値	1.2以上		
	計算値	1.66	1.85	1.54
支持力 (kN/m ²)	許容値	400以下		
	計算値	373.91	351.92	393.43

※湛水時の支持力が安定計算のコントロールとなる。

6. おわりに

本工法の採用により、前庭保護工の規模を縮小するとともに前庭保護工に至る管理用道路を不要とした。これにより、関係者の要望を満足する計画を立案し、事業の進捗に寄与した。

また、流木処理の手法を提案した業務であり、当該事務所初の試みとなった。用地や地形改変の制約のある現場において、同工法の活用が期待される。

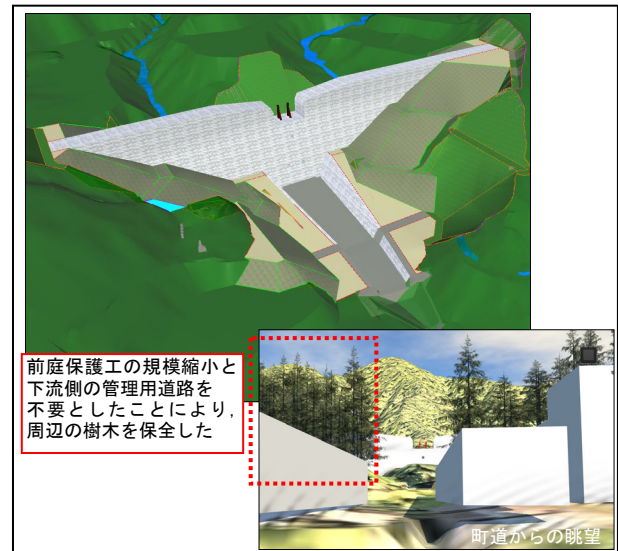


図-13 ネギヤ洞・砂地沢砂防堰堤の完成イメージと眺望

参考文献

- 1) 一般財団法人 砂防・地すべり技術センター：新編・鋼製砂防構造物設計便覧，令和3年版
- 2) 国土交通省 砂防部：土石流対策・流木対策設計技術指針および同解説，2016
- 3) 中谷加奈，長谷川祐治，里深好文，水山高久：土石流の偏心角が鋼製透過型砂防堰堤の捕捉機能に及ぼす影響，土木学会論文集B1（水工学）Vol.73，No.4，I_1357-I_1362，2017
- 4) 藤村直樹，黒岩智恵，泉山寛明，赤澤史顕，水野秀明：不透過型砂防堰堤による流木の捕捉と流出に関する実験報告書，土木研究資料第4331号
- 5) 一般財団法人 砂防・地すべり技術センター：鋼製砂防構造物設計便覧，平成21年版
- 6) 一般財団法人 砂防・地すべり技術センター：張出しタイプ流木捕捉工設計の手引き，令和2年3月

木曽川における中長期的な土砂動態の実態把握 と置き土による土砂還元方策の検討

○佐々直彦¹・五島暢太¹・福岡達信¹・佐々木海人¹

¹株式会社建設技術研究所 中部支社 河川部 (〒460-0003 名古屋市中区錦1-5-13)

木曽川では、河床下が砂層と粘土層の互層となっており、粘土層が剥がれ、砂層の洗掘が急激に進行する局所的な深掘れが複数確認され、河道管理上の特徴的な課題となっている。本検討は、実績データや解析により土砂動態の課題・要因を分析し、中長期的に深掘れを抑制・緩和するための土砂還元方策を検討したものである。

Key Words : 木曽川, 深掘れ, セグメント2-2区間, 粘土層, 土砂収支図, 一次元河床変動計算, 土砂還元方策, 置き土

1. はじめに

濃尾平野を流れる木曽川では、図-1に示すセグメント2-2区間において、局所的な深掘れが複数存在し、図-2に示すように洗掘深が20mにも及ぶ大規模な深掘れも確認されている。昭和年代の上流域のダム群建設や砂利採取、平成年代に入ってから河道内の樹林化・滞筋の固定化の進行等、複数の要因により河床が低下したことが報告¹⁾されており、図-3に示す最深河床高の経年変化より、最深河床高が多く区間で低下傾向にある。木曽川で特徴的な図-2に示す横断形状の経年変化では、粘土層の存在によって河床は下げ止まるが、その後、粘土層が侵食されると下層の砂層が洗掘され、急激に河床低下した過程が確認できる。この深掘れの発生要因についても、複数報告^{2),3)}されており、粘土層が局所的に侵食されることが発端となっている。

大規模な深掘れの進行により、特に河川構造物周辺の深掘れ箇所においては、保護工の整備や深掘れを埋め戻すなどの短期的な対応が必要といえる。一方、セグメント2-2の多くの区間で河床表層に粘土層が露出しており、それを覆う砂礫の供給が増加しなければ、徐々に表層の粘土層が侵食され、深掘れの発生・拡大や河床低下の進行を止めることが難しいと想定される。そのため、中長期的な視点で対策を講じるべく、上流のダム領域で捕捉されている土砂を下流に還元する対策が有効と考えられた。

本検討では、粒径集団別の実績の土砂収支図を作成するとともに、一次元河床変動解析による将来予測により、木曽川の土砂動態の実態把握及び河道管理上の課題を整理した。その結果を踏まえ、セグメ

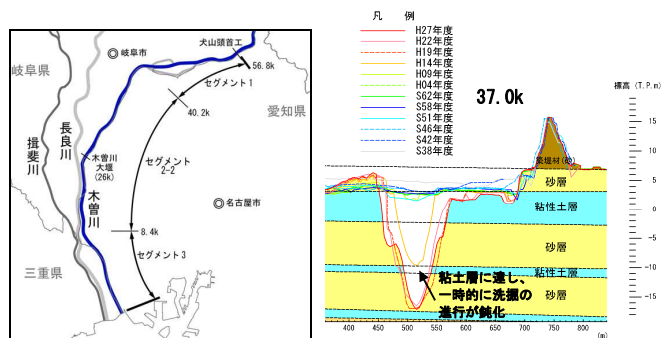


図-1 木曽川位置図

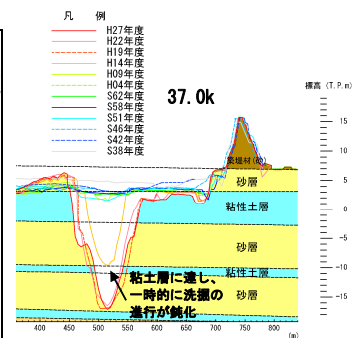


図-2 横断形状の経年変化

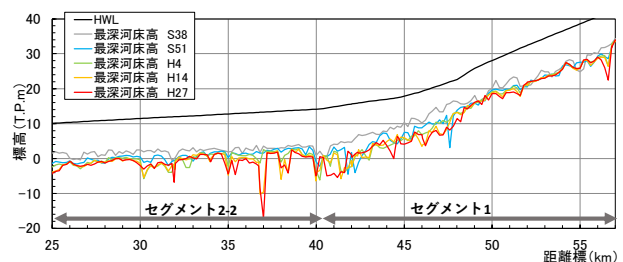


図-3 最深河床高の経年変化

ント2-2の深掘れが顕在化する区間に対して効果的な土砂還元方策を検討した。

2. 土砂収支の検討

木曽川の時空間的な土砂動態を把握するため、定期横断測量成果と河床材料調査結果を用いて、粒径集団別の土砂動態実績を整理した。

はじめに木曽川の河道を海岸・河口領域、河道領域（下流）、河道領域（上流）の3領域に区分し、各領域で支配的な粒径の範囲を、その領域の粒径集団として図-4のように整理した。次に、経年的な定

期横断測量データからHWL以下の河積の変化量を算出し、区間距離を乗じて、距離標間の河床変動量を算定した。さらに、この変動量から人為的な変動量（河床掘削量、砂利採取量、地盤沈下量）を除くことで、洪水の影響で発生した河床の変動量を求めた。この河床変動量を、河道区分（河床勾配や河床材料等で河道区間を縦断的に区分したもの）ごとに集計し、各河道区分の粒径集団の割合（河床変動量を整理した年代に近い河床材料調査結果を使用）を乗じることで粒径集団別の土砂収支を算定した。土砂収支は昭和40年～47年、昭和58年～平成14年、平成23年～平成27年の年代ごとに整理した。

結果を図-5に示す。どの年代においても、河道区分1～4では粒径集団2（0.075～0.85mm）の割合が高く、河道区分5～8では粒径集団4（19～600mm）が大半を占める。河道区分1は、昭和40年以降、経年的に土砂量が増加している。河道区分2に関しても、昭和40年～昭和47年にかけて減少傾向にあったが、それ以降は増加傾向に転じている。河道区分3、4では、昭和期に大きく減少していたが、近年は減少傾向が落ち着きつつも、平成23年以降は、やや減少傾向にある。河道区分5～8では、粒径集団4が高い割合を占めており、下流区間と比べ変動は小さく、比較的安定していることが分かる。

以上より、セグメント2-2区間（特に河道区分3、4）の深掘れが顕在化している区間では、過去から土砂の減少傾向が続いており、主に粒径集団2（0.075～0.85mm）の土砂量が流出していることが明らかとなった。粒径集団2（0.075～0.85mm）の土砂は、上流のセグメント1区間（河道区分5～8）に存在せず、上流ダムで捕捉されていることから、今後も土砂の減少傾向が続くと想定される。

3. 河床変動の将来予測

(1) 解析条件・解析方法

木曾川の将来の河床変動の傾向を把握するため、50年間の一次元河床変動計算を実施した。

解析区間は、上流端を犬山頭首工直下（56.6k）、下流端を河口（0.0k）とし、50年間の実績の流況データをもとに、1,000m³/s以上の洪水を対象として解析を実施した。河床高と粒度分布の計算は、流砂の連続式、粒度分布の連続式を用いた。限界掃流力に関しては、岩垣の式⁴⁾及びエギアザロフの修正式⁵⁾で算定した。掃流砂量、浮遊砂量はそれぞれ芦田・道上の式⁵⁾を用いて算定した。

(2) 流入土砂量条件の設定

本検討の流入土砂量の与え方を表-1に整理した。観測データに基づき、適切に粒径別の流入土砂を与えるため、粒径別にWash Load、浮遊砂、掃流砂に分け、それぞれの運動形態に応じて粒径別流入土砂を設定した。

Wash Loadの流入土砂は、平成16年以前に観測された今渡地点の出水時の浮遊砂観測により作成され

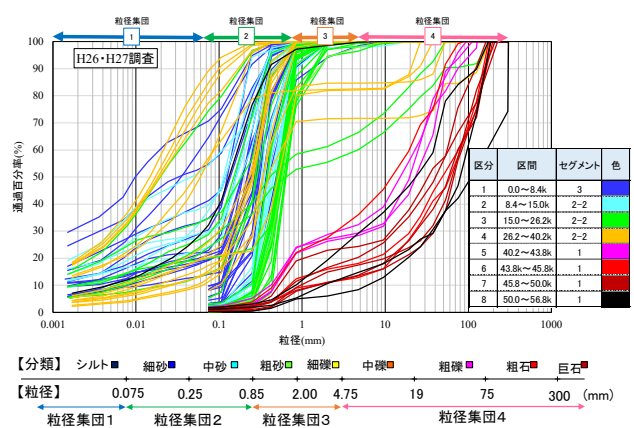


図-4 粒径集団別の粒径区分

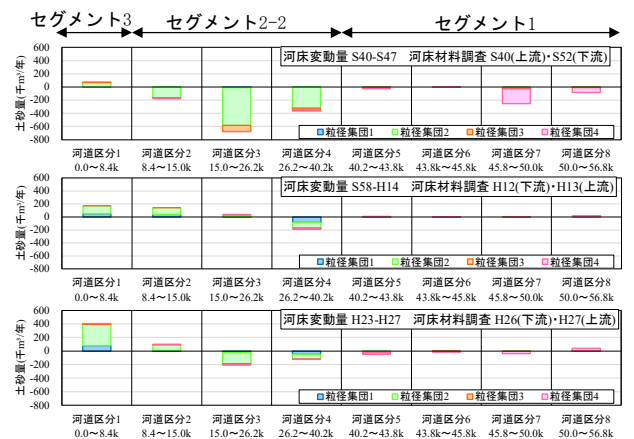


図-5 各年代の粒径集団ごとの土砂収支図

たQ～Qs式を用いて与えた。浮遊砂観測で観測された土砂の粒径は0.01mm～0.1mmのシルト以下の粒径が大半であったため、このQ～Qs式は、Wash Loadの流入土砂の設定に適していると考えた。

浮遊砂の流入土砂は、別途検討された丸山ダムの粒径別流入土砂量～流量の関係式を用いた。しかし、この関係式は丸山ダムの流入土砂を対象としたものであり、本検討の解析上流端の犬山頭首工地点と異なる。そこで次のように、流入する浮遊砂量を与えた。

図-6に示すように、犬山地点上流を丸山ダム上流域、飛騨川流域、残流域の3流域に分割し、丸山ダム上流から流下する浮遊砂は、丸山ダムで全量捕捉されると考え、丸山ダム下流に流下しないとした。飛騨川流域及び残流域から流入する浮遊砂は、犬山地点の流量から丸山ダムの流入量を除いた後、流域面積比で按分した流量を用いて、丸山ダムの粒径別流入土砂量～流量の関係式から土量を設定した。

礫成分を主体とする掃流砂は、浮遊砂・Wash Load成分と比べ、移動距離が短く上流からの影響を受けにくいことから、その場所の粒度構成比と掃流力により規定されると考え、平衡土砂量を与えた。

(3) 予測計算結果

現状が50年間継続した場合の河床変動結果（初期河床からの変動高）を図-7に示す。26k~40k区間では、概ね1m以下の河床低下が生じ、39k付近で最大1.5m程度の洗掘となる予測で、河床低下傾向が顕著な結果である。この区間は、実績では河床表層に露出している粘土層により河床が下げ止まっている区間である。この相違は、検討目的が粘土層での下げ止まりが無い状態での河床低下量を把握することであり、計算上、粘土層による下げ止まりを考慮せず、砂河床状態を想定したためである。

50年の将来予測計算から算出した各区間の粒径集団別の河床変動量を図-8に示す。深掘れが顕在化している40k下流区間のうち河道区分4では粒径集団2（0.075~0.85mm）の土砂の流出傾向が見られ、その下流の河道区分1~3では、粒径集団2（0.075mm~0.85mm）の土砂の堆積を確認した。河床表層の粘土層が侵食されて砂層が露出した場合、特に26k~40k区間で河床低下傾向となることが予測された。これらの区間では、木曾川の粒径集団2（0.075mm~0.85mm）の砂分が支配的な区間であるが、砂分は上流のダム群で捕捉されているため、この区間に十分供給されない。そのため、ダム等で捕捉された土砂の還元によって、河道領域への土砂供給を中長期的に増加させる必要があることが計算からも明らかとなった。

4. 置き土による効果的な土砂還元方策の検討

2. 及び3. の結果より、木曾川では深掘れが顕在化している26k~40k区間への粒径集団2（0.075mm~0.85mm）の土砂供給量が不十分である。河床低下の進行を抑制するため、上流ダム群で捕捉されている土砂を下流に還元する方策とその効果を検討した。

(1) 置き土による適切な土砂供給量・粒径の検討

河床変動モデルは、置き土の効果を適切に評価するため、上記3. の一次元河床変動モデルをベースに、置き土による供給土砂を追跡するトレーサー機能を追加した。トレーサー機能は、置き土による供給土砂と上流端から流入する土砂、河床洗掘による土砂を区別して移動を追跡することを可能にしたものである。この機能により置き土の輸送、堆積状況を把握し、河床低下の抑制に効果的な置き土条件を検討した。

置き土地点は、実績及び予測計算結果で河床低下傾向が見られた区間（26k~40k）の上流で、運搬路が確保でき、河道内への置き土が可能と想定される41.6kに設定した。置き土の粒径は、当該区間（26k~40k）の支配的な粒径が粒径集団2（0.075mm~0.85mm）であることから、この粒径集団の代表粒径として、0.35mmと0.7mm、これらの粒径の土砂よりもやや粗い1.4mmの3ケースを設定した。置き土量は、近年実績及び予測計算結果で26k~40k区間から流出した粒径集団2（0.075mm~0.85mm）の土砂量を参考

表-1 流入土砂の与え方

土砂形態	粒径	作成方法
Wash Load	0.002mm~0.015mm	今渡浮遊砂観測結果（平成13年~平成16年）から求めた $Q \sim Q_s$ 式から設定 $Q_s = 6.1937 \times 10^{-16} Q^{4.126}$
浮遊砂	0.12mm~0.35mm	丸山ダムの粒径別流入土砂量~流量の関係式を用いて流域面積比換算で作成（ α, β は係数） $Q_c = \xi_i \alpha_i Q_i^\beta$ （ただし、 $Q \geq Q_c$ ）
掃流砂	0.70mm~70.7mm	平衡土砂量を供給

流入浮遊砂量に用いた係数（左：中小洪水、右：大洪水）

成分	粒径区分		流入土砂推定式			流入土砂推定式			
	区分	粒径(mm)	代表粒径	α	β	Q_c	α	β	Q_c
全量捕捉成分	細礫	2 ~ 4.75	3.082	0.00E+00	0	0	2.58E-13	3	500
	粗砂	0.85 ~ 2	1.304	0.00E+00	0	0	6.52E-12	3	500
	中砂1	0.425 ~ 0.85	0.601	0.00E+00	0	0	2.00E-11	3	500
	中砂2	0.25 ~ 0.425	0.326	1.40E-07	1.6	170	6.38E-09	2.2	410
	細砂1	0.106 ~ 0.25	0.163	4.35E-10	2.6	90	3.38E-08	2.1	440
部分捕捉成分	シルト1	0.027 ~ 0.106	0.089	2.33E-11	2.8	0	6.15E-12	3	500
	シルト2	0.027 ~ 0.075	0.045	1.20E-11	3	0	1.31E-11	3	435
	シルト3	0.01 ~ 0.027	0.016	1.24E-11	2.9	0	6.02E-12	3	500
成分	0.002 ~ 0.01	0.004	1.27E-09	2.5	115	9.51E-10	3	435	

Q_c ：土砂量， Q ：流入量， Q_c ：土砂の移動が始まる最小流量（足切り流量）， ξ_i ：捕捉率（=貯水池内の留まる土砂量【堆砂量】/流入土砂量）， α, β ：パラメータ，添え字は粒径番号を意味する。

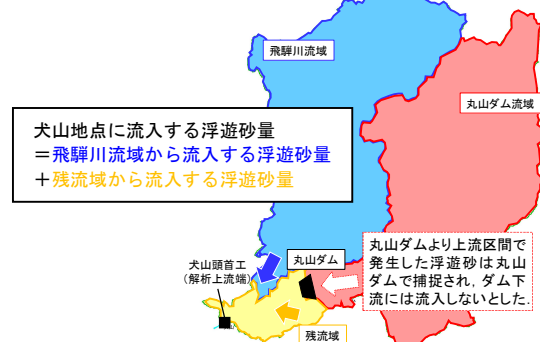


図-6 解析上流端の浮遊砂の流入土砂の与え方

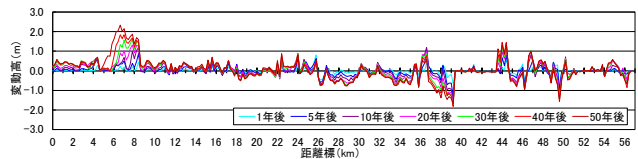


図-7 初期河床からの変動高の計算結果

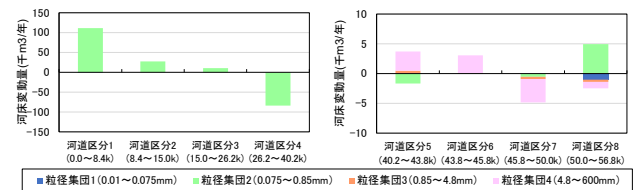


図-8 河床変動量の計算結果

に5万 m^3 /年とした。

粒径3ケースの置き土を設置した場合の解析結果（河床表層における置き土粒径の構成比率の増分）の比較を図-9に示す。粒径0.35mmの土砂を置き土したケースでは、主に4k~26kに堆積しており、26k~40k区間の洗掘対策に用いる粒径としては適さないことが分かる。置き土粒径0.7mmのケースでは、36k~40kに堆積しており、この区間の洗掘堆積に効果的である。粒径1.4mmのケースは、37k~41k区間に堆積傾向が見られ、0.7mmと比べると移動距離が短く、一部区間に留まる傾向が強い。以上から、置き土粒径は、0.7mmが最も適していると判断した。

次に置き土量を検討した。置き土量は5万 m^3 /年、10万 m^3 /年、20万 m^3 /年の3ケースを設定し、粒径は0.7mmとした。図-10に、置き土量別の初期河床から

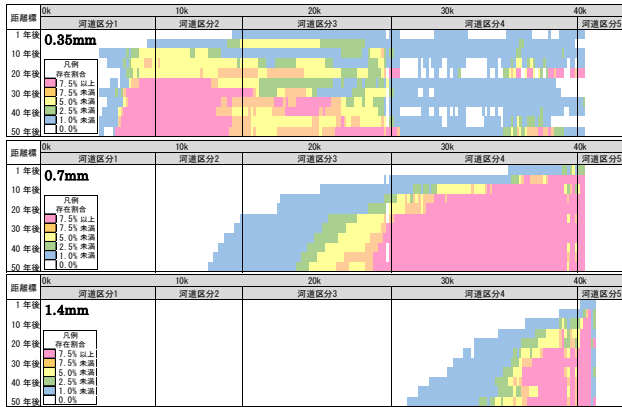


図-9 置き土粒径の違いによる移動状況の比較

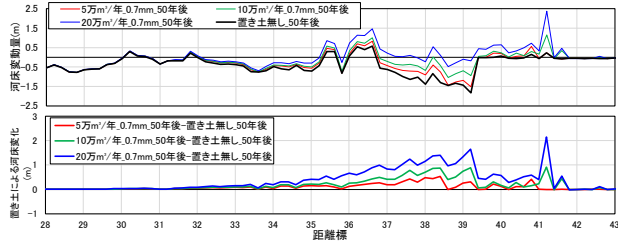


図-10 置き土量の違いによる河床変動状況の比較

の河床変動高と置き土有無による河床高差分を示す。土砂量の増加に伴い32k～41k区間の堆積量が増加している。これより、河床表層の粘土層が侵食されて砂層が露出した場合、26k～40k区間の現況の河床高を維持するためには、粒径0.7mm程度の土砂を20万m³/年置き土する必要があることが明らかとなった。

(2) 具体的な土砂還元方策の検討

具体的な土砂還元方策を検討するため、土砂が採取可能な候補箇所を複数抽出し、運搬コストや採取可能な粒径から、最適な採取候補箇所を選定した。土砂採取候補箇所として丸山ダム貯水地、中津川、落合川等の砂防施設を想定し、採取可能な粒径を確認したところ、丸山ダム貯水池では、主な粒径が0.1mm～1.0mm程度の砂分であり、河道区分3、4(15.0k～40.2k)への土砂供給に適していることから、丸山ダム貯水池を土砂採取箇所として設定した。また、丸山ダムから41.6kの置き土地点までの運搬コストを概算したところ、1万m³/年の置き土の運搬コストが54百万円/年、5万m³/年の置き土の運搬コストが272百万円/年であった。5万m³/年以上の置き土はコスト面で高額となり、実現性が低いため、本検討では、1万m³/年と5万m³/年の2ケースを検討した。

丸山ダム貯水池で採取できる土砂の比率は、粗砂(1.4mm)が5%、中砂2(0.7mm)が65%、中砂1(0.35mm)が30%と整理できる。この粒径比率の土砂で、1万m³/年と5万m³/年の2ケースの置き土を50年間継続した場合の河床変動予測を実施した。50年後の河床変動量の結果を図-11に示す。置き土1万m³/年のケースは、深掘れが顕在化している30k～42k区間において、河床上昇の効果は0.05m以下である。置き土5万m³/年では、同区間への河床上昇効果は0.05～0.5m程度となる。これらの結果は、河床低下

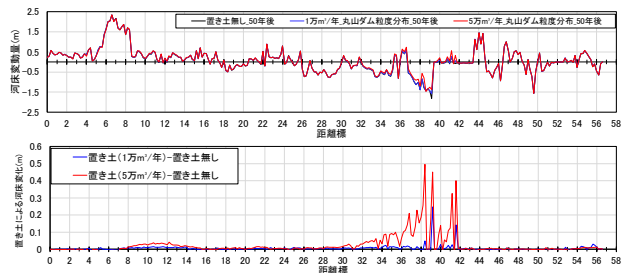


図-11 置き土量の違いによる河床変動の比較

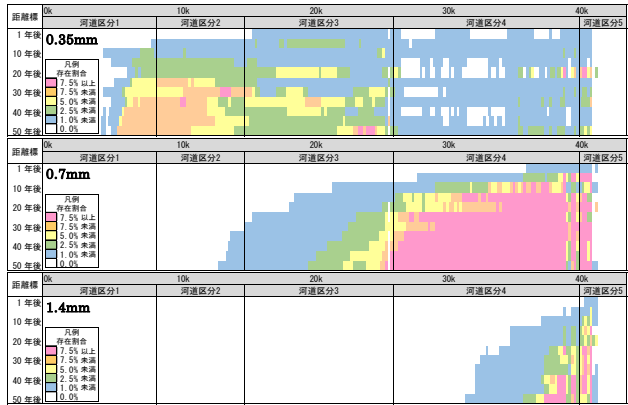


図-12 置き土量5万m³/年の置き土の移動状況

を抑制している粘土層が無くなった状態を想定しているため、実際の河床低下は、解析結果より緩やかに進行すると考えられるが、深掘れ箇所への土砂供給の効果や粘土層の侵食抑制の視点から、供給土砂量としては、少なくとも置き土5万m³/年程度が望ましいといえる。図-12に示す置き土の移動状況(河床表層における置き土粒径の構成比率の変化)より、10km下流の河口域で0.35mmの置き土の粒径の存在割合が増加し、堆積傾向となることが懸念事項である。

5. まとめと今後の課題

木曾川の深掘れが顕在化する区間に対して、置き土による土砂還元を想定し、理想的な置き土の粒径や土量を感度分析的に把握するとともに、丸山ダム貯水池で採取可能な土砂を用いた具体的な土砂還元方策の対策効果を示した。今後は、より実現性の高い土砂還元方策とするため、丸山ダムで現実的に掘削可能な土量・粒径の検討、及び、置き土による河口域での堆積を極力抑制する、土砂の輸送能力を高める河道内対策の検討等が必要である。

参考文献

- 1) 齋藤正徳ら：木曾川における大規模深掘れの発生要因の分析，河川技術論文集，第20巻，2014。
- 2) 端戸尚毅ら：木曾川大規模深掘れにおける粘土層の破壊・剥離現象と深掘れ要因の推定，河川技術論文集，第23巻，2017。
- 3) 佐々直彦，富永晃宏：木曾川における局所洗掘進行過程に関する考察，土木学会論文集B1(水工学) Vol.74, No.4, 2018。
- 4) 岩垣雄一：限界掃流力の流体力学的研究，土木学会論文集，第41号，1956。
- 5) 芦田和男ら：移動床流れの抵抗と掃流砂量に関する基礎的研究，土木学会論文報告集，第206号，1972。

堤防決壊時の緊急対策技術の向上及び 蓄積・伝承に向けた取組み

ごとうけんた いわたおきむ いとうしゅういち たなかまさひこ
○後藤健太¹・岩田 経¹・伊藤秀一¹・田中雅彦¹

¹中央コンサルタンツ（株）本店（〒460-0002 愛知県名古屋市中区丸の内三丁目22番1号）

近年、気候変動に伴い線状降水帯に代表される特異な豪雨が頻発しており、全国各地の河川では堤防決壊を伴う浸水被害が多く発生している。堤防決壊時には、被害を最小限に抑えるために迅速かつ確実な対応が必要となり、地域と連携した水防活動と重大災害発生時における被害拡大防止のための対応が求められる。

天竜川上流河川事務所では、堤防決壊時の被害最小化に向けた緊急対策技術についてその災害対応の取組を行っている。本稿では、天竜川上流における地域特性を踏まえた課題抽出を行い、洪水警戒時から重大災害発生時における地域と連携した災害対応技術の向上方策の検討と改善に向けた取組みについて取りまとめる。

Key Words : 堤防決壊, 緊急対策シミュレーション, 地域連携, タイムライン, 関係機関, ブロック投入実験

1. はじめに

天竜川では、平成18年7月豪雨により、箕輪町松島で右岸堤防がおよそ160m決壊し、緊急復旧工事を実施している。平成18年以降、中部地整管内の直轄河川では堤防決壊に至るまでの災害は発生していないものの、全国的には鬼怒川（H27, 10）、高梁川（S30.7）、千曲川・阿武隈川（R1.10）などの堤防決壊により大規模な被害が発生しており、大きな社会問題となっている。

このような状況の中、河川管理者の災害経験の少なさや、災害対応技術の伝承不足が課題となっており、中部地方整備局では、平成19年から堤防決壊時の緊急対策シミュレーションとして机上訓練を実施し、災害対応技術の習得・継承と課題抽出を継続的に行っている。

本稿は、近年の豪雨災害の課題に対し、天竜川上流管内の特性を踏まえた水防災の充実・強化に向けた天竜川上流河川事務所の取組みについて取りまとめる。

2. 近年の豪雨災害の特徴

近年の洪水災害の傾向として、気候変動に伴い線状降水帯に代表される特異な豪雨が頻発しており、

現況河道の能力を越えた洪水が発生し、各地で堤防決壊の発生が懸念されている。

3. 水防災に対する課題

(1) 同時多発的な災害に対応する人員の不足

近年の豪雨災害では、同一河川の複数箇所にて同時多発的に堤防決壊等の重大災害が発生している。同時発災時には、被災した各地域で迅速な対応が求められるが、人口減少や少子高齢化等に伴い土木業界の担い手が不足し、事務所職員や水防団等の災害時に対応する人員が減少している。これにより、事務所に所属する職員では人手が不足するため、限られた人員での同時発災に対する体制の確保が課題であった。

(2) 災害対応経験の浅さと対応技術力の不足

中部管内の直轄河川では、平成18年以降、堤防決壊に至るまでの災害が発生していないため、災害対応を経験している現職の職員が少ない。また、R5年度時点における実務担当者のうち、およそ4割が入省5年未満の経験が浅い職員である。このため、災害対応経験が浅い事務所職員の対応技術力の向上が課題である。

(3) 天竜川の河川特性および伊那谷の地域特性による復旧の難易性

天竜川の上流区間は、1/200程度の河床勾配を有し、洪水時には流速が4m/sを超える急流河川である。そのため、堤防決壊時の締切作業には、洪水流に対応する重量として5t程度のブロックが必要となる。しかし、一部の区間では堤防天端が4m未満と狭いこと、流入支川のある区間では荷重制限を受ける管理橋が存在することにより、堤防決壊等の災害時には、搬入できる施工機械や資材に限られ、決壊時の緊急対応として欠口止め工や水制工に必要な5tブロックの搬入および投入が困難と想定される。

また、天竜川が流れる伊那谷は、西を木曾山脈、東を赤石山脈にはさまれた地形特性を有しているため、災害時には他事務所からの広域支援を受けにくく、天竜川沿川の地域と連携し、災害に対応することが求められる。

以上より、天竜川の河川特性および伊那谷の地形特性を踏まえた災害対応方策の決定が課題であった。

4. 課題解決に向けた取組み

(1) 堤防決壊に備えたタイムラインの作成

天竜川上流河川事務所と天竜川上流管内の関係機関（協定業者、自治体、施設管理者等）が連携した災害対応により被害の最小化を目指すことを目的として、災害時に発生する状況を予め想定し共有した上で各機関が取り組む防災行動をまとめたタイムラインを作成した。

タイムラインは、「タイムライン(防災行動計画)策定・活用指針(初版)」に準拠することを基本とし、水災害に関する他地区の事例や天竜川の災害特性、他河川の堤防決壊事例の教訓を踏まえ行動項目を設定した。洪水災害は突発的に発生する地震災害とは異なり、大雨の発生から堤防決壊等の重大災害に至るまでの猶予がある。この災害発生までの猶予時間（リードタイム）を活用し重大災害に備えるため、タイムラインの時間軸は、大雨の恐れから緊急復旧工事の完了までを対象とした。

図-1 堤防決壊時の対応を想定したタイムラインの一例

(2) 平成28年8月北海道豪雨災害時の堤防決壊に関する北海道開発局へのヒアリング

天竜川のような急流河川での堤防決壊事例は数少ないため、最新事例として平成28年8月に北海道で発生した急流河川（一級河川空知川、一級河川札内川）の堤防決壊事例について、当時の災害対応の状況や課題の把握、応急復旧堤防および本復旧の状況を確認するため、現地視察と北海道開発局へのヒアリングを実施した。

ヒアリングの結果から、同時発災時における人員不足等の課題を整理し、同年の堤防決壊シミュレーションにおいて決壊箇所以外でも被害が発生しているシナリオとする等、演習内容に反映した。特に、地域支援の重要性や備蓄資材状況の検証の必要性等のヒアリング結果が参考となった。（表-1）

表-1 北海道開発局への主なヒアリング結果

課題	内容
地域の支援力	<ul style="list-style-type: none"> いざという時の地域・企業の支援力を把握することが必要 県市町も含め地域一体での協定業者の仕組み作りが必要
備蓄資材	<ul style="list-style-type: none"> 堤防決壊箇所以外でも被害の発生を想定した備蓄資材の配置と数量の確保が必要（現状の備蓄資材状況の検証）

(3) 天竜川沿川の水防団へのアンケート調査

限られた人員の中で洪水被害の最小化を目指すためには、水防活動等を含めた地域との連携が必要不可欠である。そのため、天竜川沿川の17市町村を対象に、水防団の現状と課題、災害対応や水防活動の実情を把握するため、下記の内容についてアンケート調査を実施した。（表-2）

アンケート調査の結果、水防上重要と認められる箇所の河川延長に対する水防団の必要人員について、各自治体で格差があり多くの自治体で水防団が不足している状況であった。アンケート調査から得られた水防団の実状を踏まえ、地域の防災力や発災時の社会的影響等を勘案し、同時発災時における自治体支援の優先順位および支援判断基準を決定した。

表-2 アンケート調査の内容

番号	設問内容
1	水防団体、消防団体の人数
2	住民や自主防衛組織等との協力に関する活動内容
3	地元建設会社との連携に関する活動内容
4	対応箇所が複数に及ぶ際の優先順位の決定方法
5	河川巡視の頻度、重点箇所
6	実施可能な水防対策工法

(4) 狭隘な現場条件を想定したブロック投入実験

堤防決壊等の緊急時には迅速な対応が求められるため、効率的な運搬が可能な2tブロックおよび汎用性が高いバックホウによる施工が有効である。

しかし、天竜川では決壊口付近での流速が速いことが想定され、2tブロックでは流出し効果が小さいと考えられる。したがって、天竜川の堤防天端のように作業スペースが限られる場合、初期の緊急作業は、バックホウを利用したブロックの連結および投入を考える必要があった。

よって、バックホウによるブロック投入の実現性を調査することを目的に、天竜川の現地を想定した「ブロック投入実験」を実施した。

a) 実験ケース

連結方法の違いによる作業性やブロック投入の確実性と大型ブロックの施工性を検証するため、2tブロックの連結材の異なる3ケースと、5tテトラブロックの転がし投入1ケースの計4ケースを実施した。また、ブロックの投入方法は、いずれのケースもバックホウによる転がし投入とした。

表-3 実験ケース

ケース	ブロック	連結方法	投入機械
1	十字ブロック (2t/個)	ワイヤー	バックホウ (0.7m ³)
2		スリング材	
3		袋詰め玉石	
4	テトラポッド (5t/個)	連結無し	

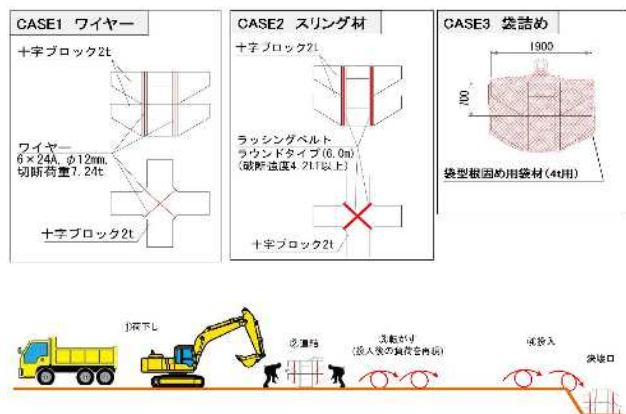


図-2 実験ケースと投入手順

b) 実験結果

ケース1～3では、連結材によって連結に要する時間や連結材の耐久性、転がし投入に要する時間など様々な実験結果が得られた。この内、ケース1の結果が2tブロックの連結投入の実用性を得られたため、堤防決壊時の復旧計画では、5tブロックの運搬が困難な場合の対策工法として活用した。また、ケース4の結果は、5tブロックの運搬が可能な場合において、バックホウによるブロック投入の施工日数の算出に活用し、天竜川の現場特性を踏まえた計画の立案に役立てた。

表-4 実験結果

ケース	荷卸し～投入の時間	連結材の状態	工事への実用性
1	14分35秒	健全	連結状態が正常
2	14分30秒	破断	投入時に連結材が破断
3	9分22秒	一部破損	転がしにくく連結材が破断
4	1分58秒	連結無し	投入に問題なし

(5) 堤防決壊対応クイックマニュアルの作成

堤防決壊時における緊急対策の施工計画検討に関わる技術基準として「堤防決壊時の緊急対策技術資料（国土交通省水管理・国土保全局治水課）」（以下、技術資料）が策定されている。技術資料は全国の河川を対象とした技術基準であるが、天竜川は通常の河川とは異なり急流河川かつ基礎地盤が礫質である特性を有している。そのため、技術資料の考え方は、天竜川の特長上、一部適用できないことが課題として挙げられた。

以上より、天竜川上流管内の特性を踏まえた対応を可能とし、災害時に活用できる資料、また平常時における技術習得用の資料として、堤防決壊時における事務所独自の復旧計画マニュアル（クイックマニュアル）を作成した。

(6) 堤防決壊シミュレーションと勉強会の継続実施

中部地方整備局では、平成19年から堤防決壊時の緊急対策シミュレーションとする机上訓練（以下、演習）を実施し、災害対応技術の習得・継承と課題抽出を継続的に行っている。演習内容は、前年度の演習で明らかとなった課題の改善に繋がる内容とすることに留意しシナリオを設定している。また、演習後に実施するアンケート調査や有識者からの講評を基に課題を抽出し、次年度の演習シナリオや事務所として今後取り組むべき対応策を整理することで、堤防決壊時の緊急対策技術に関する知見のスパイラルアップを図っている。（表-5）

表-5 課題と対応策の一例

課題	対応策
若手職員への技術継承	演習・勉強会の継続
災害対応経験の蓄積	TEC-FORCE参加による経験の蓄積
災害関係機関との連携	関係機関を含めた演習の開催（災害協定業者・自治体）

近年は、同一河川の複数箇所での同時発災に対し、限られた人員で対応するため、復旧計画の検討を主体とした演習内容とし、事務所職員の誰もが緊急復旧工事に関する技術を習得することを目的として実

施している。また、演習の実施前には、堤防決壊時の基礎知識の習得並びに経験の浅い職員への技術継承を目的に、天竜川の河川特性や過去の災害対応経験談、堤防決壊時の対応等に関する事前勉強会を継続的に開催している。



図-4 スパイラルアップを意識した演習の継続実施

(7) 河川特性を踏まえた堤防危険箇所の抽出

堤防決壊等の発生を未然に防ぐためには、管内の弱部を事前に把握し、重点的に状態を監視することが重要である。よって、管内において堤防決壊の危険性が高い箇所を把握するため、流下能力、堤防整備状況、護岸構造、根入れ・根固めの有無、重要水防箇所、水衝部、旧河道等、堤防決壊に関連する諸元を全川に渡って整理し、堤防決壊危険箇所を抽出した。加えて、堤防点検結果から予防保全段階（c評価）および措置段階（d評価）に該当する変状から、時期出水で堤防決壊に繋がる恐れのある変状を抽出し、前述の堤防決壊危険箇所と併せて整理した。

また、抽出した堤防決壊危険箇所について、氾濫人口や資産、浸水規模等の観点から対策の優先度を整理し、災害時における参考資料となる応急復旧計画を作成した。

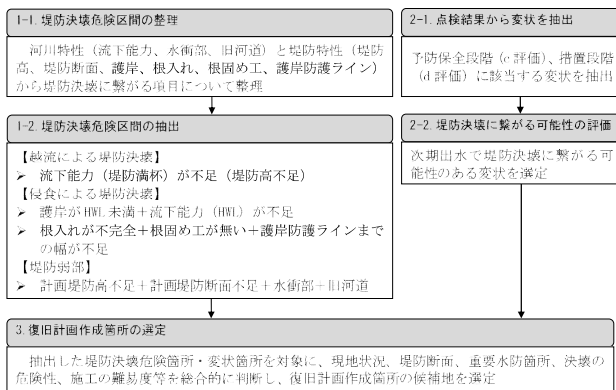


図-5 堤防決壊危険箇所の抽出の流れ

5. 取組みにより得られた成果

令和2年7月豪雨により、三峰川右岸4.6k付近で堤防が欠損し、天竜川上流河川事務所では緊急対策工事を実施した。これに関し、同年の6月の堤防決壊シミュレーションでは、当該箇所を決壊想定箇所として机上演習を実施していた。そのため、発災時には演習での取り組みが対応に活かされ、地域の協力の下、迅速かつ適切な復旧作業が行われた。これは、演習の継続実施によって培われた災害対応技術が効果を発揮したものと考えられる。

6. 今後の課題

(1) 堤防決壊対応技術の蓄積・継承

平成18年以降、中部地方整備局管内では堤防決壊等の重大災害が発生していないことから、現職の事務所職員の多くが災害対応経験を有しておらず、職員の災害時の対応に対する経験不足が問題となっている。今後も継続して堤防決壊シミュレーションと勉強会を実施し、堤防決壊時の対応の知見を増やしていくとともに、今後の土木業界を担う若手技術者の育成および技術を継承していくことが重要である。

(2) 平時からの災害への備え

堤防決壊等の重大災害に対して被害の最小化を目指すためには、迅速な災害復旧が求められる。そのため、備蓄資材が発災時に円滑に搬出できる状態であるか確認し備蓄資材を管理することや、災害時における関係機関（施工業者、自治体等）との連携に向け、防災協議会や水防隊（水防協議会）を通じて水防上の課題や災害時の役割を共有する等、災害時の円滑な対応に向けて、平時から災害を意識し事前に備えておくことが重要である。

(3) 災害関係機関との連携

災害の未然防止や堤防決壊等の重大災害発生時における被害の最小化には、関係機関や施工業者との連携が必要不可欠となる。堤防決壊対応演習をより実践的で効果的なものにしていくためには、可能な限り関係機関も演習に参加し、緊急対応時における役割や連絡・要請・指示のタイミングなどについて共通認識を持つことが重要である。加えて、さらなる課題を抽出し解決していくことが必要である。

7. おわりに

近年の水災害の特徴である同時多発的な堤防決壊に備えるために、人員・資材が確保できるよう地域との連携が必要となる。また、被害拡大を防止する観点から、堤防決壊後の応急復旧のみでなく、決壊前の水防活動についても重要となるため、地域としての水防力の向上が求められる。

東日本大震災の実体験に基づいて作成された「災害初動期指導心得」では「備えていたことしか、役には立たなかった。備えていただけでは、十分ではなかった。」という一説がある。この一説からも大規模な災害に対する十分な備えは難しいかもしれないが、備えには限りがなく、備えた分役に立ち、さらなる備えを蓄えていくという意識が重要と考える。

参考文献

- 1) 国土交通省 水管理・国土保全局治水課：堤防決壊時の緊急対策技術資料（令和5年3月）

社会実験を通じた乗降スポット活用型 AIオンデマンド交通の有効性検証

ろくたん まさと たかむら しんいち いわかみ ともひろ さわむら ゆうき おおた なお
六反 雅登¹・高村 真一¹・岩上 智裕²・澤村 悠貴¹・○大田 菜央¹

¹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）

²パシフィックコンサルタンツ株式会社 東京本社（〒101-8462 東京都千代田区神田錦町三丁目22番地）

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、令和元年度以降、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社会実験が行われてきた。この社会実験を通じて、ETC2.0データを活用した所要時間予測の他、AIオンデマンド交通の安全性や効率性を向上させるため、幹線道路沿線に指定された「乗降スポット」を利用する新たな運行形態の実証とその検証を行った。本稿では、令和3年度に実施した社会実験の概要及び検証結果を報告するとともに、複数年に渡る社会実験と検証結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, 乗降スポット

1. 背景・課題

静岡市では、新たな移動サービスの提供と、これを生かした持続可能なまちづくりを目指し、静岡市や鉄道事業者等によるコンソーシアム「しずおかMaaS（静岡型MaaS基幹事業実証プロジェクト）」が設立され、令和元年以降、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社会実験が行われてきた。本コンソーシアムには、国土交通省から静岡国道事務所及び静岡運輸支局がオブザーバーとして参画している。

これまで静岡国道事務所では、ETC2.0データのMaaSへの展開を見据え、コンソーシアムの社会実験と連携し、ETC2.0データによる時間帯別・天候別の所要時間データベースを構築し、それを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に活用することで精度向上を目的とした検証を行ってきた。また近年、MaaSの普及に向けたオンデマンド交通の取組が各地で推進されているが、利用者の待ち時間増加による利便性低下のほか、オンデマンド交通の通行が生活道路内に増えた場合の事故増加が懸念され、安全かつ効率的な運行の実現が求められている。このような背景から、令和3年度には、コンソーシアムと静岡国道事務所が協同して実験企画を行い、所要時間予測へのETC2.0データの活用と、主に幹線道路沿線に指定された「乗降スポット」を活用する

社会実験が行われた。

本業務では、実験に活用するETC2.0の所要時間データベースの構築や、乗降スポット活用型のAIオンデマンド交通の有効性検証を行った。

2. 社会実験の概要

令和4年1月～3月において、しずおかMaaSコンソーシアムを実施主体として、静岡市内の2地区（駿河区・清水区）で、利用者が乗降パターンを選択できるAIオンデマンド交通の社会実験が実施された。本実験では、自宅から目的地まで乗車する「ドアツードア型」と、主に幹線道路沿線の施設・店舗駐車場等に指定された乗降スポットで乗降を行う「乗降スポット型」の2つの乗降パターンを選べる形態での運行を行った。



図-1 乗降スポット型の運行イメージ

また本実験では、社会福祉協議会の高齢者の移動確保に関する要望を踏まえ、高齢者を対象にAIオンデマンド交通を運行した。社会実験全体としては、高齢者を対象としたAIオンデマンド交通の実装・導入に向けた受容性の検証・課題抽出を行っているが、静岡国道事務所では、乗降スポットを活用した新たな利用形態の有効性（受容性・効率性・安全性等）を検証した。なお、AIオンデマンド交通は、タクシーと同じように相乗り可能な運用となっている。

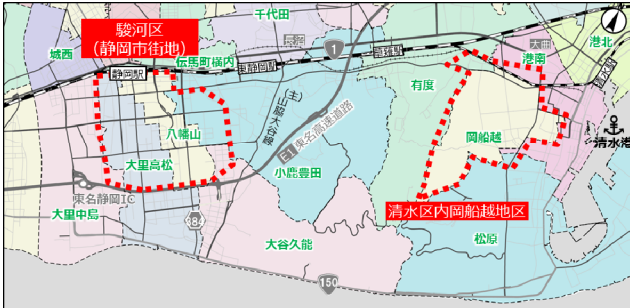


図-2 実験エリア

表-1 実験概要

項目	内容
概要	利用者が乗降パターンを選択するAIオンデマンド交通の運行
期間	令和4年1月17日（月）～3月11日（金） 月～金曜日（祝祭日も運行）の9時～16時
対象者	実験エリア内の高齢者を対象 (モニター登録制, +2名まで同行も可能)
予約・支払い	・スマホアプリまたは電話による予約 ・現金のみによる支払い
関係機関	・静岡市社会福祉協議会 ・静岡国道事務所 ・静岡市 ・一般社団法人 静岡 TaaS ・名古屋大学 ・(株)未来シェア ・パシフィックコンサルタンツ(株) ・タクシー会社, 他

運行料金については、自宅や目的地から乗降スポットまで徒歩等で移動することが必要な「乗降スポット型」は1乗車300円、徒歩不要の「ドアツードア型」は1乗車400円とし、「乗降スポット型」の利用を促すため、料金パターンによる料金差を設定した。

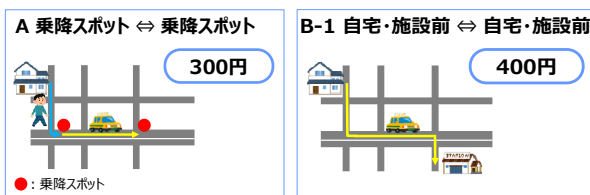


図-3 乗車パターンと料金

3. 検証結果

(1) 実験結果概要

令和4年1月～3月の40日間（月～金曜日のみ）の実験期間において、総利用回数は268回で、1日当たり平均6.7回程度であった。このうち「乗降スポット型」の利用は約2割で、全期間で43回、1日当たり平均1.1回程度であった。65歳以上の高齢者が利用対象で、利用者の平均年齢は「ドアツードア型」、「乗降スポット型」ともに80歳前後であったが、徒歩が必要な「乗降スポット型」の方が若干利用者の平均年齢は低くなっている。

表-2 実験結果概要

集計対象期間	R4. 1. 17(月)～3. 11(金)
モニター数	152名 (駿河区75名, 清水区77名)
総利用回数	268回

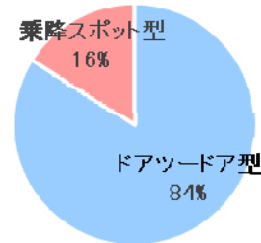


図-4 ドアツードア型と乗降スポット型の利用割合

表-3 ドアツードア型と乗降スポット型の使われ方

項目	ドアツードア型	乗降スポット型
利用回数	225回 (うち乗合10回)	43回 (うち乗合4回)
平均乗車時間	約8分	約9分
利用者平均年齢	83歳	79歳
平均乗車人数	1.08人	1.09人

(2) 有効性の検証

「乗降スポット型」の運行では、生活道路等の細街路への車両の進入を抑制することが期待されるとともに、主に幹線道路を運行することで、運行の定時性確保や配車効率化が期待される。本社会実験で取得された各種データを活用し、細街路の利用割合や、車両の運行時間（占有時間）、予測時間の精度について、「ドアツードア型」との比較検証を行った。

細街路の利用割合の比較検証では、社会実験で得られたGPS走行位置データから各車両の走行経路を把握し、幹線道路と細街路の利用割合を比較した。その結果、「乗降スポット型」の運行では、「ドアツードア型」と比較して、細街路の利用割合が半減以下となった。

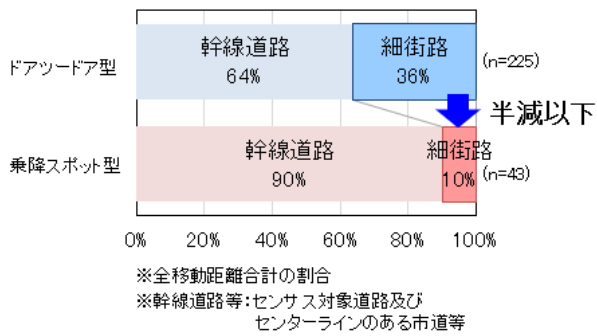


図-5 移動距離に対する細街路利用割合

車両の運行時間（占有時間）については、出発地と到着地が同一で、「ドアツードア型」と「乗降スポット型」の両パターンの利用があったトリップに対して比較検証した結果、「乗降スポット型」では徒歩で乗降スポットまで移動することで自宅までの迂回運行が削減され、車両の運行時間が約2割削減された例を確認した。

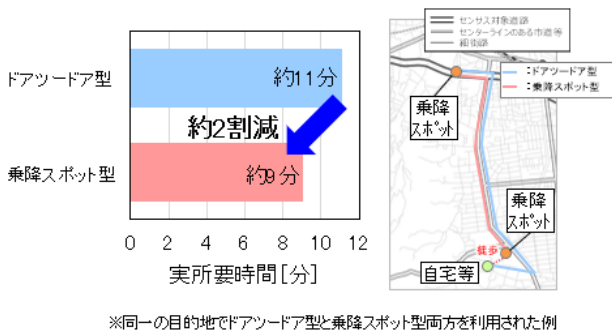


図-6 車両運行時間の比較

また、実際の所要時間に対する予測時間の精度については、幹線道路の利用割合が高い「乗降スポット型」において、精度が高い傾向が見られた。

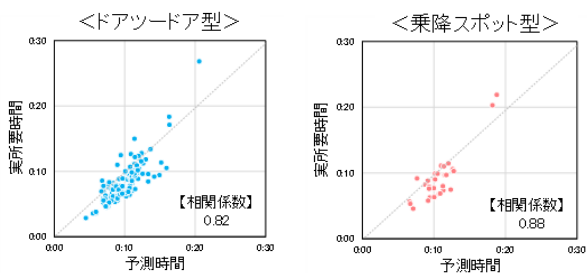


図-7 車両運行時間の比較

これらの結果より、「乗降スポット型」は「ドアツードア型」と比べ、安全性・効率性・定時性が高い運行となっており、運行側、利用者側両面での有効性が確認された。

(3) 利用ニーズ

ETC2.0データによる予測所要時間に対する利用者の実感や、乗降スポットに関するニーズを把握するため、利用者及びドライバーアンケートを実施した。

予測所要時間は、利用者の予約時に提示される仕組みとなっているが、提示された時間に対して、すべての利用者が時間内に移動できたと回答されている。正確には提示された所要時間より多少遅れが出ている場合も想定されるが、実感としては遅れていると感じない程度のものであったと考えられる。

乗降スポットに関するニーズとして、乗降スポットの環境で重要だと思うものをアンケートで尋ねた結果、利用者・ドライバーともに「分かりやすい目印」、「安全な乗降スペース」の順に回答が多くなった。

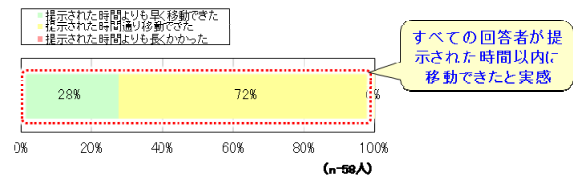


図-8 提示された『移動時間（乗車してから降車するまでの時間）』の通りに移動できたか

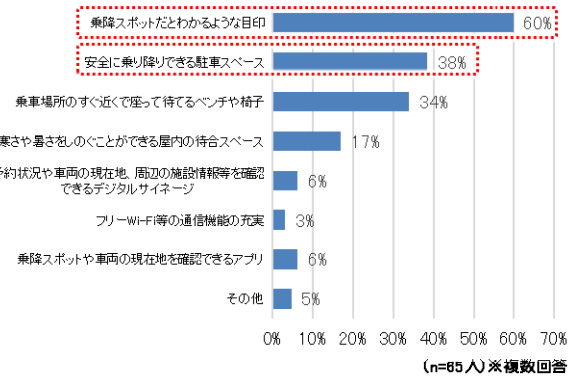


図-9 乗降スポットの環境で重要だと思うもの（利用者アンケート）

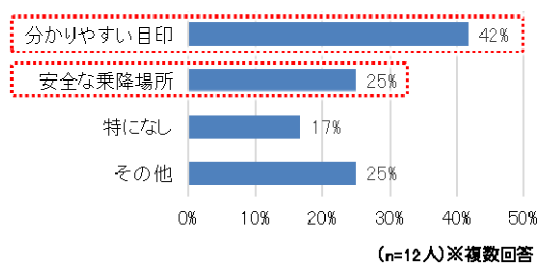


図-10 乗降スポットの環境で重要だと思うもの（ドライバーアンケート）

4. 次年度実験への展開・今後の課題

令和3年度実験の結果を踏まえ、「乗降スポット型」と「ドアツードア型」を選べる運用形態を継続し、令和5年1月16日～6月30日の期間で令和4年度の社会実験が行われた。令和4年度実験では、実験エリア内の施設・店舗とも調整のうえ、ステッカーによる乗降スポットの明示や安全な乗降場所を確保し

た。

また令和4年度実験では、実験で利用するタクシー車両に対し、ETC2.0車載器搭載の個車の動きが把握可能な「特定プローブ化」を行い、実験で走行するタクシー車両から得られるETC2.0データ（走行履歴・挙動履歴）を活用して利用経路や危険挙動の分析を行っている。

表-4 令和4年度実験の対応方針

令和3年度実験内容	令和3年度実験結果を踏まえた 令和4年度実験の実施方針
利用者が乗降パターンを選択できる新たなシステムの導入	<ul style="list-style-type: none"> 乗降スポット型を選べることへのニーズがあることから、ドアツードア型と<u>選べる運用を継続</u> 運行の効率性、安全性の観点から乗降スポット型の効果が確認されたため、<u>継続して実施</u>
乗降スポット型では、実験エリア内に乗降スポットを設定	<ul style="list-style-type: none"> 当該箇所を分かりやすくするため<u>ステッカー等による乗降スポットの明示・案内</u> 安全な場所を確保するため、実験エリア内で許可の得られた<u>施設・店舗駐車場を中心に乗降スポットを設定</u>
提供所要時間予測にETC2.0データを活用	<ul style="list-style-type: none"> 精度を確認できたため、ETC2.0データを活用した所要時間予測の精度検証は令和3年度で完了 <u>運行車両のETC2.0データを活用</u>し、利用経路や挙動分析を行うことで、乗降スポット型の有効性や乗降スポットの適切な設置場所等を検証



図-11 乗降スポットの明示ステッカー

これまでの検証において、「乗降スポット型」の有効性は確認できたが、乗降スポットとなる施設等との調整や、他の交通手段を含めた利用ケースの想定、事業として継続していくための仕組み等、社会実装するにあたっては検討していくべきことが多くある。今後は、公共交通等の他の交通モードとの連携、乗降スポットの設置箇所として、施設・店舗駐車場利用の他、道路路肩利用方法の見直し、利用者を確保する仕組みとして店舗との商業的連携方策等について検討を行い、社会実装に向けた実現性を高めていくことが重要である。

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、名古屋大学 金森特任教授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

彦根城周辺パーク・アンド・バスライド 社会実験の効果検証と今後の展望

さわだ もとひろ おぐら としおみ すぎえ みのる さかがみ ゆうと
○澤田 基弘¹・小倉 俊臣¹・杉江 稔¹・阪上 勇登¹

¹日本工営都市空間株式会社（〒461-0005 名古屋市東区東桜二丁目17番14号 新栄町ビル）

滋賀県彦根市が世界遺産登録を目指す彦根城周辺の交通混雑の解決策の一つとしてパーク・アンド・バスライドの導入が検討されている。このため、2017年から2022年にかけて計7回実施した社会実験の効果検証と今後の展望について業務成果を発表する。技術的な特徴としては、社会実験の施策を変化させながら、交通面・観光面・環境面にわたる多角的な検証を行った。その指標は利用状況をはじめ、交通混雑改善、滞在時間や訪問施設数、二酸化炭素排出量の削減量等を評価し、効果的な実施方法及び課題を抽出した。以上を踏まえ、官民連携、産学を含めた協力・連携体制を構築する必要性についてとりまとめを行った。

Key Words : 社会実験, 効果検証, パーク・アンド・バスライド, 交通対策, 観光活性化, 環境対策

1. 業務の背景と目的

滋賀県彦根市は特に観光シーズンの慢性的な交通渋滞が課題となっている。また、令和7年(2025年)に第79回国民スポーツ大会及び第24回全国障害者スポーツ大会が予定され、さらに、彦根城の世界遺産登録を目指すことから交通混雑の拡大が懸念されている。この課題の解決策として、市街地への過度な自家用車の流入を抑制する彦根城周辺パーク・アンド・バスライド(以下、P&BRと呼ぶ)の実施が有効な対策として考えられる。彦根市は、P&BRを「彦根市都市交通マスタープラン」(平成29年3月)の重点戦略の一つとして位置づけ、観光都市を支える交通環境を構築する施策としている。

以上を背景として、効果的なP&BRの実施方法を複数年にわたる社会実験を通して検証し、本格実施に向けた検討を行うことを目的としている。

2. 社会実験の概要

(1) 実施概要

彦根市の観光客の約70%が自家用車で訪れ、その多くが名神高速道路の彦根ICを経由して彦根城周辺に向かっている。本社会実験は主にこの自家用車交通を彦根IC直近の専用駐車場(以下、IC前駐車場と呼ぶ)でバス交通に転換し、市街地交通を軽減する交通システムを構築するものである。バスに乗車す

る彦根ICから彦根城までは約3km・所要10～15分程度である。(図-1)

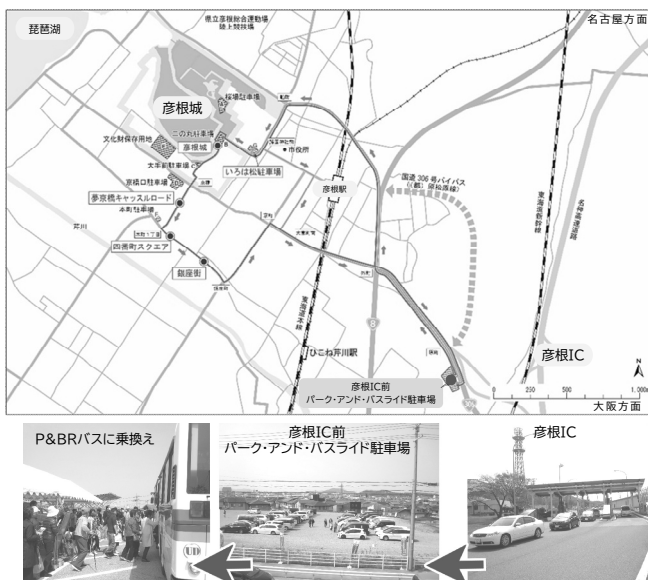


図-1 P&BR社会実験の位置図(彦根ICから彦根城)
(2019年秋実験のもの)

(2) 実施内容

2017年(平成29年)より2022年(令和4年)の6年間、観光シーズンの春、秋の計7回にわたり社会実験を実施した。2020年(令和2年)は新型コロナウイルス

感染症の影響により中止)。表-1のとおり、実施期間は6日から9日程度で行った。

期間の前半は、基礎的な需要確認と満足度把握を目的とし、利用料金を無料かつ観光施設の割引チケット、協賛店舗の特典などにより、P&BR自体を周知して需要を喚起するとともに、観光行動を促した。

表-1 社会実験の施策、実施内容 (2017~2022年)

	2017 (H20) 秋 (7日間)	2018 (H30) 秋 (8日間)	2019 (H31) 春 (8日間)	2019 (R1) 秋 (9日間)	2021 (R3) 春 (6日間)	2021 (R3) 秋 (6日間)	2022 (R4) 秋 (6日間)
実施の目的	本実験による需要確認	本格実験による秋シーズンの需要・効果を確認	桜のシーズン需要・効果を確認	日数を拡大、周遊性を高め、秋シーズンの需要・効果を確認	引き続き無料で、コロナ禍の需要を確認	有料(駐車場)・有料(運賃)による需要の確認	有料(運賃)による需要の確認
実施の時期	イベント開催を含めた秋の観光シーズン	⇒同じ	桜開花時期	イベント開催を含めた秋の観光シーズン	桜開花時期	イベント中止・延期のため、紅葉時期に実施	イベント開催を含めた秋の観光シーズン
利用料金	無料				有料 500円/台	有料 大人400円/人	有料 大人400円/人
バス運行	シャトル型 周回型	⇒同じ	⇒同じ	⇒同じ	⇒同じ	⇒同じ	⇒同じ
城内駐車場の料金改定	—	—	—	1回400円から1,000円に改訂	⇒同じ	⇒同じ	⇒同じ
城内駐車場の台数削減 ※1	—	●	— (駐車需要が多く、削減なし)	●	●	●	●
観光施設の割引チケット	●	●	●	●	—	—	—
協賛店舗特典等 ※2	—	●	●	●	●	●	●
新型コロナウイルス感染症予防対策の実施	—	—	—	—	●	●	●

期間の中盤は、城内駐車場(普通車 常設295台、臨時600台)の一部を休止し、その周知を実施前・実施中に行った。また、2019年(令和元年)より城内駐車場の料金を1回、400円から1,000円に改定し需要の喚起・確認と回遊促進を図る施策を実施した。

期間の後半は、2020年(令和2年)より有料の実験を予定していたが、新型コロナウイルス感染拡大により社会実験を中止とした。次年、2021年(令和3年)春はコロナ禍の需要を確認するため、既往4回と同様、無料で感染予防対策のもと慎重に実施した。

コロナ禍前と遜色ない需要を確認することができた。バス経路は、2022年(令和4年)秋以外、シャトル型と周回型の形態で実施し、バスの定時制確保などに支障が生じないかの確認を行った(図-2)。



図-2 P&BRバス経路(彦根ICから彦根城周辺) (2019年秋)

最後の7回目、2022年(令和4年)秋の社会実験は、採算性を改善するため、社会実験バスの一部を、事業者(湖国バス)と連携し、路線バスを活用した。

利用料金は、6回目の2021年(令和3年)秋に初めて有料とし、彦根IC前乗換え駐車場1台あたり500円を協力金として彦根市が徴収した。7回目の2022年(令和4年)秋、先述のとおり一部、路線バスを活用し、

往復・大人400円(小児200円(1人目は無料))を事業者(湖国バス)がバス乗車運賃として徴収した。(図-3)



図-3 P&BR社会実験の状況

以上の内容は、効果検証とあわせて「彦根市パーク・アンド・バスライド実施協議会」の産学官関係者により事前・事後に審議を行い進めたものである。

3. 効果検証 ①

(1) 利用状況

a) 利用者数、乗換え駐車台数等の推移

利用者数(表-2、図-4)は、初回から4回目まで周知による伸びと安定した需要を確認することができた。懸念された新型コロナウイルス感染症による影響を、日当たり平均利用者数により比較すると、2022年(令和4年)秋の157人/日は、コロナ禍前の2018(平成30年)の178人/日と遜色のない水準であり、今後も需要を見込めることが確認できた。

表-2 実験各回の利用者数等、実績(2017~2022年)

	2017 (秋) 7日間	2018 (秋) 8日間	2019 (春) 8日間	2019 (秋) 9日間	2021 (春) 6日間	2021 (秋) 6日間	2022 (秋) 6日間
実施日数	7日間	8日間	8日間	9日間	6日間	6日間	6日間
インター前駐車場乗車人数	1,275人	1,422人	2,356人	1,961人	995人	416人	942人
最大日利用者数	525人	621人	702人	683人	650人	107人	131人
インター前駐車場延べ駐車台数	412台※	570台	876台	777台	417台	165台	379台

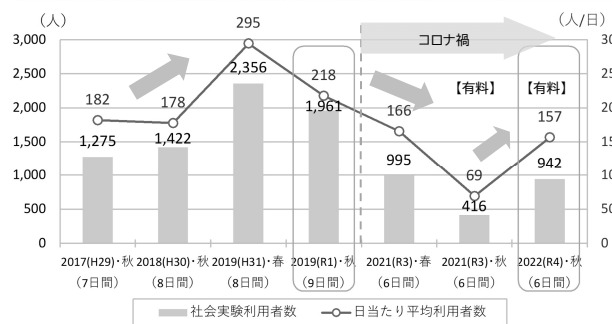


図-4 実験各回の利用者数の推移(2017~2022年)

また、2019年(令和元年)秋、社会実験中の彦根城入山者数とIC前駐車場乗車数(社会実験利用者数)(図-5)をみると、イベント日(ご当地キャラ博、城まつり)の利用者数(10/20(日)の683人等)及び入山者に占める割合(10/20(日)の15.6%等)が高い。一方、イベントの無い日はその利用者数及び入山者に占める割合が低いことを課題として抽出できた。具体的にはイベントの無い11/4(月)振休は、入山者数(5,954人)は比較的多いが、P&BR利用者数が199人(入山者数に占める割合3.3%)となっている。

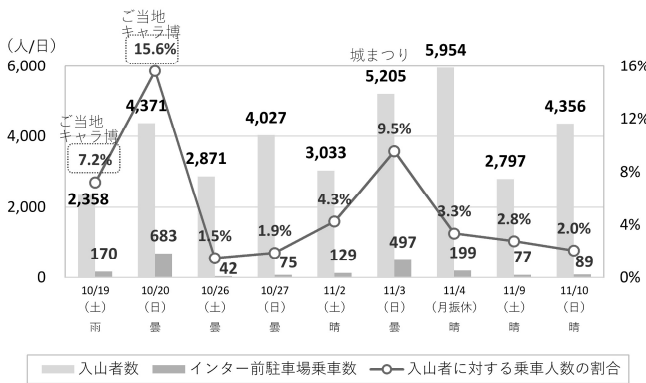


図-5 2019年（令和元年）秋の彦根城入山者に占める社会実験利用者数，とその割合の推移

彦根城周辺の観光駐車場（彦根市観光条例）4箇所の普通車容量は295台である。繁忙期は臨時駐車場600台が城内の文化財保存用地に確保され，その容量は895台となる（以上を城内駐車場と呼ぶ）。

2022年（令和4年）秋の社会実験での各駐車場の駐車状況を示す（表-3）。ご当地キャラ博によりP&BR利用が最も多い10/23(日)は，IC前駐車場（150台）の全体（1,045台）に占める割合は，10時～16時の各時間帯にて16%程度を占め，市街地や城内駐車場の混雑緩和に貢献していることを確認できた。

なお，社会実験を実施した6年間の観光シーズン計7回，延べ50日間にわたる利用者は9,367人であり，IC前駐車場の自家用車利用台数は3,596台（平均2.6人/自家用車(台)）（自動二輪含む）である。

表-3 各駐車場の時刻別台数とIC前駐車場の占める割合（2022年秋，10/23(日)）

10/23 (日)	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00
京橋口駐車場	160	160	160	160	160	16	96
桜場駐車場	-	-	-	-	-	-	-
大手前駐車場	25	25	25	25	25	20	25
文化財保存用地	180	240	360	360	300	240	120
二の丸駐車場	-	-	-	-	-	-	-
インター前駐車場	59	83	107	110	95	65	25
計	424	508	652	655	580	341	266
インター前駐車場 駐車割合	14%	16%	16%	17%	16%	19%	9%

b) 利用者属性

来訪者の出発地は「愛知県」と「滋賀県」で47%を占め，「東海三県エリア」で41%と多くなっている。P&BRの利用回数は「今回が初めて」が79%，2回以上（2回から6回）のリピーター割合が21%と，社会実験を7回継続した効果がみられる。なお，彦根市観光目的の2回以上のリピーター割合は40%（2022年）²⁾である。

利用者の感想（2022年秋）は90%以上（満足(59%)またはどちらかといえば満足(34.5%)）と満足度が高い。

(2) 交通面の効果

a) 交通混雑の改善（外町交差点の滞留長削減）

普段より混雑する外町交差点（交通量約3万台/12時間）（図-6）においてP&BRにより削減される信号1サイクルの滞留長は，約16mと予測される（2019年（平成31年）春）（外町交差点の彦根城方向の流入部1

車線当り）。一方，混雑時の滞留長は1000m程度であり抜本的な混雑解消は，公共車両優先システム（以下，PTPSと呼ぶ）等の複合的な対策が必要である。

また，筆者ら³⁾は交通流マイクロシミュレーション評価モデルにより，P&BRにより彦根ICの原町交差点から彦根城側の京橋交差点間（約2km）の約10分の旅行時間が1分40秒短縮（乗用車1台当り）すると予測している。



図-6 外町交差点から彦根ICの位置

b) アクセス時間の優位性（社会実験バス利用と一般駐車場利用の比較）（図-7）

彦根IC前から彦根城の区間で，P&BRを利用した場合と，P&BRを利用せず彦根城内の一般車駐車場まで自家用車を利用した場合を比較すると，混雑時のアクセス時間は，約10分早く彦根城にアクセスできる可能性がある（2017(H29)年秋での短縮時間）。



図-7 アクセス所要時間の比較（2017(H29)年秋）

（自家用車アクセスは京橋口駐車場に停めた場合）

(3) 観光面の効果

a) 滞在時間の増加

滞在時間を，P&BR利用者と城内駐車場の駐車時間として，比較した。3時間から7時間と比較的長時間駐車した利用者の割合がP&BR（85.1%）が，城内駐車場（59.9%）より高い。P&PRを利用すると滞在時間が長くなる可能性がある。（図-8）

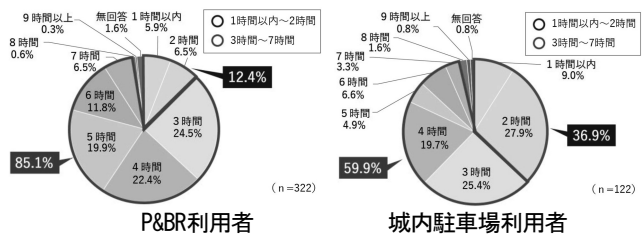


図-8 駐車場時間（2022(R4)年秋）

b) 訪問施設数の増加（図-9）

P&BR利用者は，彦根城天守閣と夢京橋キャスルロードを訪問し，さらに四番町スクエア，玄宮園，彦根城博物館等の多くの観光施設を訪問する割合が高く，回遊性が向上している。P&PRを利用すると訪問施設数が増え回遊性が向上する可能性がある。

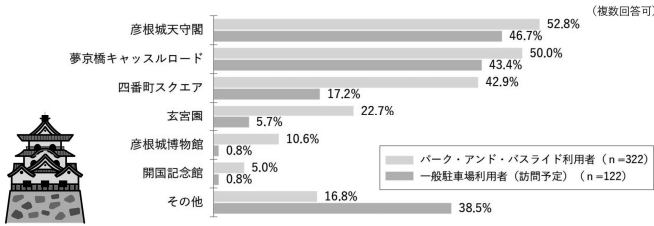


図-9 P&BR利用者の訪問施設数 (2022(R4)年秋)

c) 協賛店舗による観光活性化

P&BR利用者に利用を限定した協賛店舗の特典を提供した。2022年秋は23店舗で実施し、P&BR利用者の31.6%にあたる298人が利用し、その割合が向上した(図-10)。P&BR利用促進とともに集客性・回遊性の向上につながる観光面の施策として有効である。

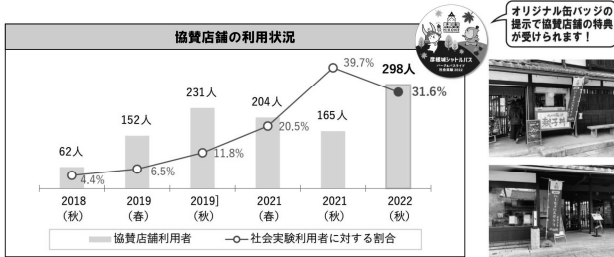


図-10 P&BR利用者の協賛店舗の利用状況 (2018~2022年)

(4) 環境面の効果 (表-4)

2022年秋、6日間P&BRを実施した結果、二酸化炭素の削減量は約500kg-CO₂であり、およそ35本分の杉の木が1年間に二酸化炭素を吸収する量を削減できた。

表-4 二酸化炭素排出削減量の算出 (2022年秋)

交通手段	原単位 ※ (参考図より)	輸送人数 (社会実験利用者数)	輸送距離 (往復)	二酸化炭素排出量
自家用乗用車	145 g-CO ₂ /人・km	942人	7 km	1,000 kg-CO ₂
バス	66 g-CO ₂ /人・km	942人	7 km	500 kg-CO ₂
P&BR 社会実験による二酸化炭素の削減量				500 kg-CO ₂

※2022年9月現在、路線バス等の公共交通機関はコロナ禍による厳しい乗車制限を設けていないことから、コロナ禍前である2015年度の原単位で二酸化炭素排出削減量を算出している。(原単位:運輸部門における二酸化炭素排出量(国土交通省))

(5) 事業性の検証

a) P&BRの利用料金 (支払い意思額)

アンケートによりP&BR利用料金を調査した。社会実験を無料で行った2019年秋は、乗換え駐車場1台当り400円から500円の回答が最も多くなった(図-11)。この意見をうけ2021年秋は、有料500円/台で実施した。

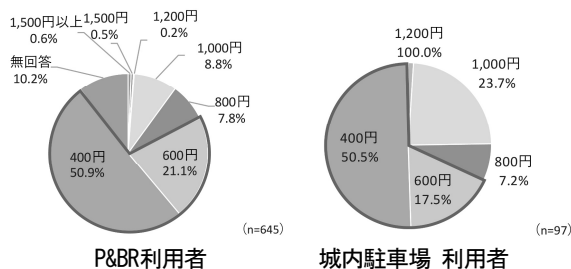


図-11 駐車場1台当りP&BR利用の支払い意思額 (2019(R1)年秋)

b) 採算性

収入は、乗換え駐車場1台当り500円とし、イベン

ト時の需要の多い日の実績から1日200台利用と設定しすると収入は約10万円/日である。支出は、社会実験のバス運行経費が約40万円/日必要である(その他、交通誘導員などの人件費等が必要である)。

以上より、需要の多い日でもP&BR利用料のみで採算性をとることは困難である。

4. 得られた成果と今後の展望

a) 交通面

滞留長削減及び時間短縮効果を確認した。抜本的な交通混雑の緩和はP&BRのみでは困難である。城内駐車場削減、公共交通手段への転換等が必要である。彦根駅から城内までのウォークアブル空間、トランジットモール、先進的モビリティ、PTPSの導入などハード・ソフトの組み合わせによる施策を実施する。

b) 観光面

イベントのある日のP&BR利用率は比較的高い。彦根城入山者が多い日でも、イベントの無い日はP&BR利用率が低い。観光のイベント機会を増やし、P&BRと連携した観光促進策を官民連携により実施する。

c) 環境面

P&BRにより二酸化炭素排出量が削減できる。公共交通手段への転換、ウォークアブル空間導入など、観光客の自家用車が市街地に流入しない交通システム構築により、世界遺産に相応しい交通環境を整える。

d) 事業性

P&BR単独での採算性確保は困難である。a)、b)の施策等によりP&BRの需要を高め、官民連携事業等による観光活性化、路線バス活用、自動運転の導入などをはかり総合的に事業性を高めていくべきである。

5. まとめ

彦根市の市街地での観光客自家用車の流入を抑制するP&BRの実施は、交通面・観光面・環境面で有効な施策であることを、6年間・計7回の社会実験と効果検証により実証した。P&BR及び連携した施策の実施が、彦根市の一層の発展と、彦根城の世界遺産登録を牽引する施策として寄与するものと考えられる。特にウォークアブル空間整備等の関連する施策を継続して一体的に進めていくことが必要である。

謝辞: 本論文は、彦根市パーク・アンド・バスライド実施協議会(平成29年度~令和4年度)、同会長立命館大学 塚口博司名誉教授、彦根市のご尽力により実施された結果をまとめたものです。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 彦根市:彦根市パーク・アンド・バスライド実施協議会資料, 2017-2023.
- (一社)行政経営支援機構:彦根市観光に関する経済効果測定調査 報告書(2022年), pp.4-85, 2023.
- 佐田大幸, 松本幸正, 澤田基弘, 小倉俊臣:彦根城周辺におけるP&BR実施時の駐車場利用実態と交通流シミュレーションによる評価, 日本都市計画学会中部支部研究発表会論文集, No.32, pp.19-24, 2021.

大規模商業施設の立地に伴う 道路交通状況ライブ配信に関する施策展開

いなとみ たかひさ いちかわ たかや いたう えいじ おおた なお おおつか しょうた
○稲富 貴久¹・市川 貴也¹・伊藤 英司¹・大田 菜央¹・大塚 翔太¹

¹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）

岐阜県東濃西部地域では、集客力の高い大規模商業施設が複数立地しており、周辺道路で発生する交通渋滞が課題となっている。また、国道19号沿線に新たに大規模商業施設が開業することから、来訪交通の増加に伴い、更なる交通渋滞が懸念されることから、関係機関と連携した対策が急務であった。本稿では、新たな大規模商業施設の開業前に実施した関係機関と連携した渋滞対策や年末年始における道路状況のライブ配信によるTDM施策を踏まえ、交通状況変化に関する効果検証を行った。また、TDM施策の課題を踏まえ、将来的な行動変容の促進に向けた分析や情報提供方法・内容に関する施策展開を検討・言及した。

Key Words : 道路状況ライブ配信, 交通需要マネジメント, 画像解析, 行動心理学 (ナッジ)

1. はじめに

東濃西部地域（多治見市・土岐市・瑞浪市）は、岐阜県東部に位置しており、人口：約20万人規模の地域を形成している。地域の道路網は、高速道路が東西方向に中央自動車道、南北方向に東海環状自動車道が形成されているとともに、一般道路の国道19号が東西方向に整備されており、地域の主要幹線道路として機能している。

2005年に「土岐プレミアム・アウトレット」が開業し、2015年には、「テラスゲート土岐」も開業しており、近接するエリアに複数の大規模商業施設が立地している（図-1参照）。特に「土岐プレミアム・アウトレット」は、年間700万人以上（2016年実績）が集客する県内有数の商業施設である。一方で、集客力の高い商業施設であるため、来訪・帰宅交通が特定時間や経路に集中することにより、商業施設周辺で発生する交通渋滞が課題となっていた（図-2参照）。そこで、官民が連携した「土岐市土岐ヶ丘付近における渋滞対策検討会議（以下、渋滞対策検討会議）」の取り組みとして時間分散・経路分散、公共交通利用を促進する情報等の広報や周辺の道路交通情報を発信するなど、交通渋滞緩和に向けた対策を実施しているところである。また、2022年10月7日に国道19号沿線に新たな大規模商業施設「イオンモール土岐」が開業し、更に集客力の高い大規模商業施設が近接して立地するため、新たな交通需要が集中することによる交通渋滞の悪化が懸念



図-1 東濃西部地域における大規模商業施設の立地状況



図-2 年末年始における国道19号の交通状況

されることから、大規模商業施設の立地に伴う渋滞対策として、開業前に関係機関と連携したハード・ソフト対策を実施した。開業後においては、大規模な交通渋滞が観測される年末年始期間に、渋滞緩和に資するソフト施策（TDM施策）を検討・実施した。具体的には、主要渋滞箇所近傍における国道19号の交通状況をライブ配信し、大規模商業施設内や関係機関ホームページからアクセスできるように公開し、時間分散を促した。さらに、継続的なTDM

されることから、大規模商業施設の立地に伴う渋滞対策として、開業前に関係機関と連携したハード・ソフト対策を実施した。開業後においては、大規模な交通渋滞が観測される年末年始期間に、渋滞緩和に資するソフト施策（TDM施策）を検討・実施した。具体的には、主要渋滞箇所近傍における国道19号の交通状況をライブ配信し、大規模商業施設内や関係機関ホームページからアクセスできるように公開し、時間分散を促した。さらに、継続的なTDM

施策に向け、実施した交通状況ライブ配信の課題を踏まえ、将来的な施策展開について言及する。

2. 大規模商業施設の立地に伴う渋滞対策

(1) 関係機関と調整した渋滞対策の実施

大規模商業施設が複数立地している土岐エリアにおいて、道路管理者、自治体、交通管理者、大規模商業施設事業者等が地域の交通渋滞の緩和に向け、渋滞対策検討会議で取り組みが検討・議論されている。そこで、イオンモール土岐の立地により、集客する交通需要の増加に備え、渋滞対策検討会議にて対策メニューを検討・情報共有しながら各関係機関が連携・協働したハード・ソフトの両面の対策を実施した。実施した対策一覧を図-3に示す。図に示す通り、イオンモール土岐に立地に伴い増加が想定される交通需要に対応すべく、渋滞緩和に向けた様々な取り組みが実施された。



凡例	実施した対策	目的	実施者
①	外周道路の整備[2.3km]	施設に出入りする交通の分散 ※国道19号への交通影響の最小化	土岐市役所
②	駐車場の出入口[7箇所]		イオンモール(株)
③	国道19号：付加車線の整備[上下線]	国道19号の交通円滑化	土岐市役所 ※国に受託
④	案内看板設置[5箇所]	高速道路への迂回誘導	土岐市役所
⑤	アクセス道路の整備	国道19号への交通集中を回避	土岐市役所 ※橋梁部は国に受託
⑥	迂回案内看板の設置[2箇所]	高速道路への迂回誘導	土岐市役所
⑦	イオンモール土岐への案内看板の設置[4箇所]	施設への案内誘導	イオンモール(株)
⑧	路線バスの新設[土岐市駅・多治見駅方面]	公共交通への転換	東濃鉄道(株)

図-3 実施した渋滞対策一覧

(2) 大規模商業施設立地直後の交通状況分析

2022年10月7日[金]にイオンモール土岐がグランドオープンした。翌日：8日[土]から3連休となり、開業直後の休日に想定以上の交通が来訪したことにより、大規模商業施設のアクセス経路となる国道19号では、最大3km程度の交通渋滞が観測された。開業前後における交通状況比較を図-4に示す。開業前：9月4日[日]、開業直後：10月9日[日]におけ

る17時台(帰宅時間)の交通状況を比較すると、下り方向(名古屋⇒中津川)では、神明交差点付近を先頭に速度低下しており、上り方向(中津川⇒名古屋)においても、弁天町交差点を先頭に速度低下が発生していることから、大規模商業施設のアクセス経路である国道19号の旅行速度が大きく低下し、交通集中に起因していることが推察される。また、国道19号：住吉町交差点～神明交差点における所要時間について、開業前、開業直後、開業1週間後で分析した結果を図-5に示す。開業直後では、上り・下り方向ともに、交通集中が影響し、所要時間が大きく増加しているが、開業1週間が経過した休日では、上下方向ともに交通渋滞が緩和しており、通常時と同様の交通状況に改善しているため、開業前に実施した対策が効果的であることが示されている。

さらに、国土交通省 中部地方整備局 多治見砂防国道事務所(以下、多治見砂防国道事務所)ホームページで公開されているライブカメラ(CCTV)が大規模商業施設近傍に設置(東町交差点)されており、国道19号の道路状況を確認することが可能である。そこで、開業後2週間におけるアクセス数を整理すると、約1,800件/日のアクセスがあり、開業前の平均的なアクセス数の50倍以上となっていた。大規模商業施設への来訪について、国道19号の道路状況を事前に確認し、外出可否やタイミングを判断していることが推察され、一般利用者は道路状況に関心が高いことを示唆する知見を得た。



図-5 大規模商業施設：開業前後における交通状況比較(開業前：9月4日[日]、開業後：10月9日[日]【17時台】)

■ 大規模商業施設開業前後における国道19号：住吉町交差点～神明交差点における所要時間比較

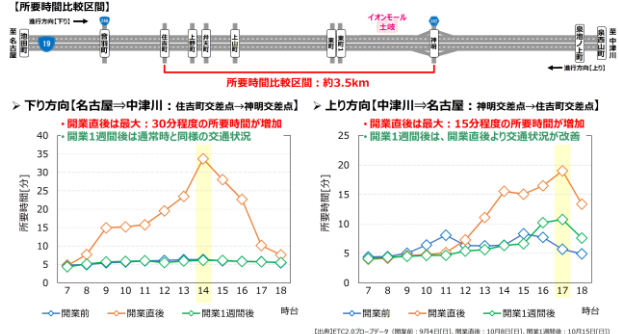


図-5 国道19号：住吉町交差点～神明交差点における所要時間比較(開業前・開業直後・開業1週間後)

3. 年末年始における渋滞対策の立案

年末年始期間は、大規模商業施設の初売り・セール期間となるため、来訪する交通が多く、例年大規模な交通渋滞が発生することから、地域の課題となっていた。2022年度の年末年始は、「イオンモール土岐」が開業し、例年以上の交通渋滞が発生することが懸念されたため、年末年始期間を対象とした渋滞対策として、TDM施策を活用した渋滞緩和を検討した。

(1) TDM施策による渋滞対策の立案・実施

年末年始期間に向け、イオンモール土岐の開業直後に道路状況を確認するホームページへのアクセス数が増加した知見を活用し、ソフト施策（TDM施策）による渋滞緩和施策を検討した。大規模商業施設を利用する交通を対象とした対策であるため、集客する交通を削減することなく、効率的な道路利用を促進することが求められた。そこで、大規模商業施設に集客した交通を対象に、利用客が集中する名古屋方面の帰宅経路である国道19号の交通状況をライブ配信した。

道路状況のライブ配信に関する概要を表-1に示す。多治見砂防国道事務所の屋上にカメラを設置し、渋滞の起点である国道19号：弁天町交差点付近の交通状況をライブ配信した（図-6参照）。

表-1 道路状況のライブ配信：概要

配信時期	2022年12月24日～2023年1月9日（17日間）
設置台数	1台：多治見砂防国道事務所 屋上 ※国道19号：弁天町交差点付近の交通状況を配信
配信方法	特設HPを開設し、交通状況をライブ配信 ※関係機関HPや商業施設に掲載するポスター [二次元バーコード]から特設サイトにアクセス（デジタルサイネージにも動画配信）
活用方法	特設サイトに交通状況をライブ配信することにより、道路利用者が混雑状況を確認し、帰宅時間の変更を促進する（名古屋方面：上り方向）

また、配信方法は、カメラで撮影した映像を通信機器でクラウドサーバーに伝送したうえで、特設サイトにて道路状況をライブ配信した。関係機関と協力した特設サイトへは、関係機関ホームページ（多治見砂防国道事務所、土岐市、イオンモール土岐、テラスゲート土岐）に設定したバナーや大規模商業施設に掲載したポスターの二次元バーコードからアクセスすることができ、イオンモール土岐では、デジタルサイネージなど特設モニターを設置し、利用客がリアルタイムで道路状況を閲覧できるようにした（図-7参照）。



図-6 ライブ配信カメラの設置位置



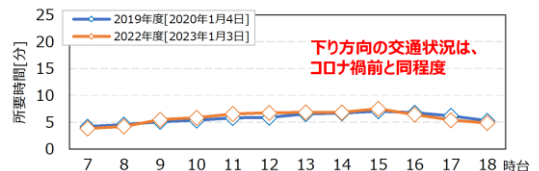
図-7 掲載したポスター及び特設サイトの閲覧状況

(2) TDM施策の効果検証

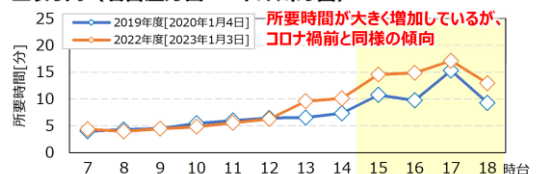
TDM施策を実施した2022年度：年末年始期間における国道19号を中心とした大規模商業施設周辺の交通状況を分析した結果を図-8に示す。コロナ禍前における2019年度と2022年度年末年始の交通状況を比較すると概ね同様の交通状況であったことを確認している。

■ 国道19号：住吉町交差点～神明交差点における所要時間比較

➢ 下り方向（名古屋方面 → 中津川方面）



➢ 上り方向（名古屋方面 ← 中津川方面）



【出典】ETC2.0フローデータ（2019年度：2022年1月4日、2022年度：2023年1月3日）

図-8 コロナ禍前後における年末年始の交通状況比較（2019年度年末年始、2022年度年末年始）

また、交通状況をライブ配信した特設サイトへのアクセス状況を図-9に示す。図より、正月三日では、特設サイトへのアクセス数が約10倍に増加しており、普段とは異なる特異日の道路状況を確認していることを示唆する結果となっている。また、特設サイトへのアクセス元を確認すると、イオンモール土岐のホームページや施設内に掲載したポスターからのアクセスが、約6割を占めており、大規模商業施設利用者が施設利用前後に道路状況を確認していることが推察されることから交通状況に対する関心が高いことが分かった。



図-9 特設サイトへの日別アクセス数

【②ライブ配信映像の交通状況】

ライブ配信する交通状況（渋滞・混雑等）も合わせて情報提供するためには、配信映像から交通状況を把握することが必要となる。そこで、ライブ配信映像をリアルタイムで画像解析し、交通状況（QV関係）を機械的に判断させ、付加的な情報として提供することを検討する（図-10参照）。また、日常的な交通状況を機械学習させ、AI解析から将来交通状況を予測することにより、将来的に渋滞緩和が図られることが期待される。

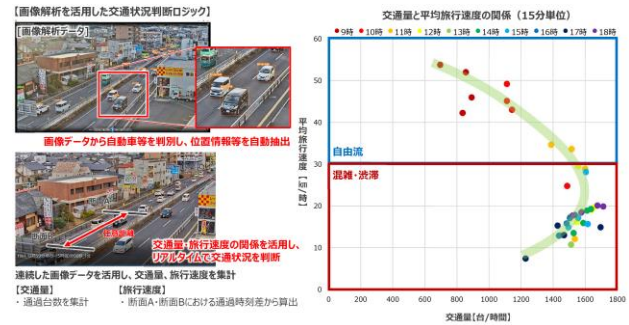


図-10 画像解析を活用した交通状況分析

4. 継続的なTDM施策に向けた今後の展開

年末年始における道路状況をライブ配信するTDM施策を振り返り、大規模商業施設の帰宅時における行動変容を促進し、交通状況の緩和を目指すために、以下に示す3つの課題が考えられる。

【①カメラ設置箇所】

・交通状況を配信している箇所【国道19号：弁天町交差点】が大規模商業施設から離れていることから、閲覧者にて近接する国道の交通状況がわかりづらい

【②ライブ配信映像の交通状況】

・閲覧者は、ライブ配信映像を確認しても、道路状況（渋滞・混雑等）がどのような状況なのか判断が困難

【③情報提供方法・内容】

・ライブ映像の交通状況を確認したうえで、どのように行動すればいいか判断ができない（ライブ配信されている映像の目的が理解できない）

そこで、上記の課題に対して、継続的なTDM施策を推進するため、今後の対応として、以下に示す内容を検討し、交通状況の改善を図る施策展開を考えている。

【①カメラ設置箇所】

カメラ設置箇所について、渋滞の起点となっている「弁天町交差点」付近の交通状況を配信するため、多治見砂防国道事務所：屋上となったが、利用者ニーズを踏まえると、大規模商業施設近傍の道路状況を配信するほうが交通状況を理解しやすい。そこで、閲覧者が配信箇所を即座に把握・理解できるように、大規模商業施設近傍における道路状況や駐車場出口の交通状況等を配信できるカメラ設置箇所を検討する。

【③情報提供方法・内容】

今回のTDM施策において、配信される道路状況には関心は高いが、行動変容までに至っていないことが推測される。そこで、行動心理学（ナッジ）の理論を活用した情報提供内容・方法を検討し、戦略的な行動変容を促進することを考えている。なお、ナッジとは、『行動科学の知見から、望ましい行動をとれるよう人を後押しするアプローチであり、人が意思決定する際の環境をデザインすることで、自発的な行動変容を促す』とされており、具体的には、先に与えられた情報や数字に無意識のうちに判断を歪められてしまう「アンカリング効果」や利得よりも損失をより大きく感じる「損失回避効果」が有名である。

5. おわりに

東濃西部地域に新たに大規模商業施設が立地することを契機に、関係機関と連携した渋滞対策や年末年始における交通状況のライブ配信によるTDM施策を実施した。その結果、TDM施策について、国道19号の交通状況に大きな影響を与えることには至らなかったが、通常とは異なる交通状況を確認するため、特設サイトへのアクセス数が増加しており、利用者の関心が高いことが示された。また、TDM施策の課題を踏まえ、交通渋滞の緩和に向け、大規模商業施設利用者の行動変容を効果的かつ効率的に促進するため、継続的なTDM施策に向けた今後の展開（画像解析によるQV関係を活用したリアルタイム交通状況判断や、行動心理学（ナッジ）を活用した情報提供方法・内容）について言及した。

広域アプリ連携による拠点施設からまちなか への人流波及効果の検証 — 愛知県岡崎市を対象として —

くりやま まい うえたとおる ますだたいち ひろたとうこ
○栗山麻衣¹・上田透¹・増田泰知¹・広田懂子¹

¹日本工営（株）交通運輸事業本部 交通政策事業部 交通都市部（〒102-8539 東京都千代田区麹町5-4）

愛知県岡崎市において、まちなかウォークブル推進等の都市課題の解決を目的に、全国的にサービス展開されているモバイルアプリ「ANA Pocket」との連携により、まちあるき誘導情報を発信することで、市内への来訪、エリア内各拠点への集客のまちなかへの波及を促進する回遊誘導実証を実施した。アプリから取得可能なデータと既設の人流解析カメラデータより、回遊状況や回遊拠点間の相関関係等を分析することで、拠点施設からまちなかへの人流波及効果を検証した。検証の結果、イベント会場以外にも広くまちなか回遊が促進されたことや、回遊拠点間の相関関係を把握し、市独自のアプリ開発によらない回遊効果が確認された。

Key Words : スマートシティ, 人流データ, モバイルアプリ, ウォークブル, 人流解析カメラ, 回遊誘導

1. はじめに

(1) 背景・目的

本事業の対象地域である愛知県岡崎市 乙川リバーフロントQURUWAエリアは、地方再生モデル都市として、拠点整備や拠点を結ぶ回遊動線上で公共空間の活用に取り組むとともに、歴史的資源を活かす「歴史まちづくり」や「観光まちづくり」、自然豊かな河川空間を活かす「かわまちづくり」、旧市街地や商店街を活かす「リノベーションまちづくり」、豊富な公共空間を歩いて健康を促進する「健康まちづくり」等、市各部署が連携して事業を推進しているが、いずれも歩いてまちなかを楽しむことが前提となっており、まちなかウォークブル推進が様々なまちづくりの成果を最大化する重要な要素となっている。また、これらのまちづくりの進捗で公共投資が概成され、公共空間活用により集客拠点の人流回復が見られているエリアである。

更なるエリア価値の向上に向けては、拠点人流のまちなかへの波及が重要であることから、本事業ではスマート技術とデータ活用により、この都市課題解決を目指し、広域外部アプリとの連携による拠点施設からまちなかへの人流波及効果の検証に関する実証を実施した。

2. 広域外部アプリ連携による回遊誘導実証

(1) モバイルアプリ「ANA Pocket」との連携

モバイルアプリ「ANA Pocket」は、移動することによりマイルを貯めることができるモバイルアプリサービスである。ANA Pocketには、ポイント付与をインセンティブとしてユーザーに行動変容の機能を提供する「チャレンジ機能」が内装されており、2021年12月のサービス開始以降、全国各地の観光地や施設等で実施された実績がある。

ANA Pocketでは、アプリケーションをインストールしたユーザーの移動情報をGPSで捕捉することができ、チェックインチャレンジの参加者情報として、チェックインスポット情報、移動手段、属性情報（居住地、性別、年代）のデータを取得することができる。本実証では、この「ANA Pocket」の位置情報データに基づく集客規模推計を行うとともに、チャレンジ機能を活用した回遊誘導施策を実施した。

(2) 回遊誘導施策の実施計画

a) 集客規模推計

本実証の効果検証を行うにあたり、施策実施前の集客状況と比較して、どの程度の集客拡大を図ることが可能になるかという目標設定の観点から、地方圏における地域内外からの集客拡大を目的とした鳥取県境港市におけるチェックインチャレンジ結果を

参照基準として集客規模推計を実施した。鳥取県境港市での施策結果を踏まえると、本実証の対象エリアである東岡崎康生通り南を起点として半径2km圏内を対象とした場合には、2022年9月10日～16日のユーザー数が2,011名であることから、チェックインチャレンジ実施による集客効果は2,694～4,424名と推計され、一定の集客効果が見込まれることが確認された(図-1)。

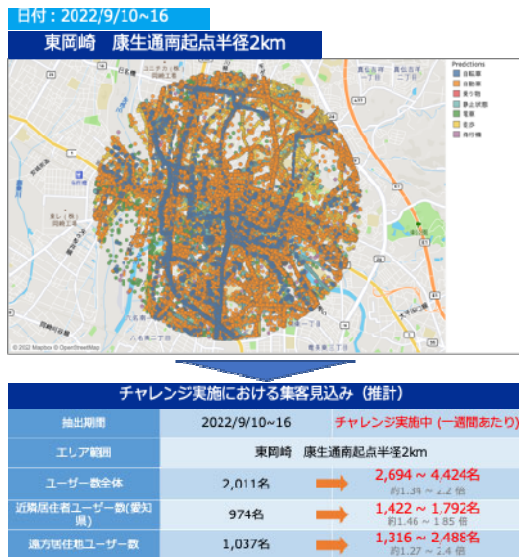


図-1 集客規模推計結果

b) 誘導地点(チェックインポイント)の設定

前述の集客規模推計により、東岡崎康生通り南を起点として半径2km圏域での一定の集客効果が見込まれることが確認でき、一定のデータ量を確保できる見通しが立ったことから、QRUWAエリア内で集客拠点及び誘導地点とするチェックインスポットを検討した。チェックインスポットの設定にあたっては、QRUWAエリア内の回遊誘導を促進する本実証の目的と、その効果を検証することを考慮し、QRUWAエリア戦略スポット及び人流解析カメラの設置箇所を踏まえ設定した。また、チェックインチャレンジでは、設定するチェックインスポット数が多いほどチャレンジ達成の難易度が高く、チャレンジ参加者数及び達成者数が少なくなる傾向にあり、難易度が高すぎると取得できるデータ数が少なくなってしまう。

以上を踏まえ、本実証では6箇所の地点をチェックインスポットとして設定した。設定したチェックインポイントとその特徴を図-2及び表-1に示す。



図-2 回遊誘導エリアとチェックインスポット

表-1 チェックインスポット一覧

地点名	概要・設定理由
岡崎公園／岡崎城	エリア内の主要な観光資源であり、大河ドラマ放映に伴い大河ドラマ館が開設され、来訪者の集客拠点となると想定される。本拠点への集客をまちなかへ回遊させることを狙い、誘導地点として設定した。
康生スタンド	康生通りの商店街付近の休憩スペース。康生通りは、店舗の軒先を活用した賑わい創出に取り組まれている等、岡崎公園とまちなかを結ぶ主要な通りであり、誘導地点として設定した。
籠田公園	休日にはマルシェやマーケット等が実施される公園。東岡崎駅から中央緑道を経由した先、岡崎公園から康生通りを経由した先に位置し、観光施設や駅からの回遊が期待される地点であり、誘導地点として設定した。
NEKKO OKAZAKI	ベーカリーやクラフトビール店等を含むローカル複合施設。ベーカリーでは店舗データの取得実証も実施しており、回遊情報の地域商店への活用も期待されることから、誘導地点として設定した。
東岡崎船着場	複合施設OTO RIVERSIDE TERRACE付近に位置する船着き場。岡崎公園までの移動手段として利用可能なC+WALKの貸出地点であり、回遊及びモビリティの利用促進効果が見込まれることから、誘導地点として設定した。
桜城橋	イベントも実施される橋上公園。東岡崎駅と籠田公園を結ぶポイントであり、誘導地点として設定した。

(3) 実証の実施概要

本実証の実施概要を表-2に示す。本実証では、大規模イベントや集客拠点による集客をまちなかへ誘導することを目的としたため、大規模イベント(フォーラムエイト・ラリージャパン2022 with おかざきクルまつり: 2022年11月12日・13日開催)と、大河ドラマ館の開館(2023年1月21日オープン)の日程を考慮し、2022年11月～2023年2月までの4ヵ月間において、1ヵ月毎に計4回のチェックインチャレンジを実施した。

表-2 チェックインチャレンジ実施概要

タイトル	◆11月回 QRUWA岡崎を巡ろう! ◆12月回・1月回・2月回 徳川家康公生誕の岡崎を巡ろう!
チェックインスポット	① 岡崎公園(岡崎公園) ② 康生スタンド ③ 籠田公園 ④ NEKKO OKAZAKI ⑤ 東岡崎船着場 ⑥ 桜城橋
報酬	10000ポイント ※チェックインスポット6地点全てにチェックインした参加者が取得可能
特典	◆11月回/12月回 ラリージャパン等オリジナルグッズの抽選応募券 ◆1月回/2月回 大河ドラマ館入館チケットの抽選応募券 ※チェックインスポット6地点全てにチェックインした参加者が取得可能

3. 回遊誘導施策効果の分析

(1) チェックインチャレンジ実施結果

4か月間のチェックインチャレンジを実施し取得したデータ全体の総数（期間内にQRUWAエリア内に存在したANA Pocketユーザー数）及びチャレンジ参加者数・達成者数を表-3に示す。

表-3 月別データ取得件数

期間	データ取得ユーザー数	チャレンジ参加者数	チャレンジ達成者数
2022年11月	2,448	16,641	290
2022年12月	2,491	21,363	321
2023年1月	2,225	17,911	317
2023年2月	-	15,956	314
計	7,164*	71,871	1,242

※2022年11月～2023年1月の合計値（2023年2月分は本業務の工期におけるデータ抽出期間の都合上含まない）

本稿においては、11月に実施したチェックインチャレンジの結果から、大規模イベントによる集客のまちなかへの人流波及効果に関する分析結果を述べる。

(2) ANA Pocket取得人流データによる人流波及効果の分析

a) 来訪者属性の傾向分析

2022年11月10日～30日に実施した第1回チェックインチャレンジでは、16,641名が参加し、このうち290名が6箇所すべてのチェックインスポットを巡ることに成功した達成者となった（達成率1.7%）。達成者の性別は男性の方が女性よりも比率が高く、年代は40代・50代の比率が高い傾向であった（表-4）。

表-4 チャレンジ達成者の属性

属性		人数	シェア
総参加者数	合計	16,641	-
	達成可否		
	達成	290	1.7%
	未達成	16,351	98.3%
性別（達成者）	男性	131	45.2%
	女性	42	14.5%
	その他（不明）	117	40.3%
年代（達成者）	10代	0	0.0%
	20代	20	6.9%
	30代	21	7.2%
	40代	42	14.5%
	50代	66	22.8%
	60代	21	7.2%
	70代以上	1	0.3%
	その他（不明）	119	41.0%

参加者の居住地は、首都圏（東京都、神奈川県、千葉県、埼玉県）で約4割を占めたものの、愛知県居住者も約1,000名が参加した（図-3）。一方、達成者の居住地は、愛知県が最も多く、次いで、東京都、神奈川県、千葉県等の首都圏居住者が多い傾向であった（図-4）。半径2km圏内に設定された6箇所のチェックインスポット全てを巡ることを条件とし、かつ、各スポット間の移動は徒歩や自転車によるこ

とを想定していたため、愛知県内居住者の達成率が高くなることは想定されていたとおりの結果であったが、首都圏や関西圏等の新幹線アクセス地域や、静岡県や岐阜県等の近郊エリアからも一定の達成者が出ており、QRUWAエリアへの一定の集客が図られた結果が確認された。

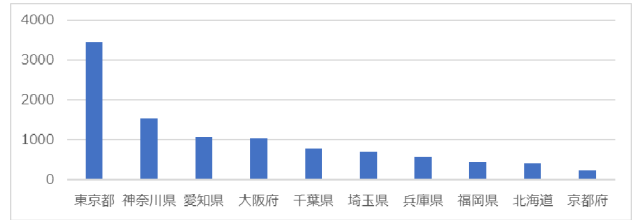


図-3 チャレンジ参加者の居住地（上位10位以内）

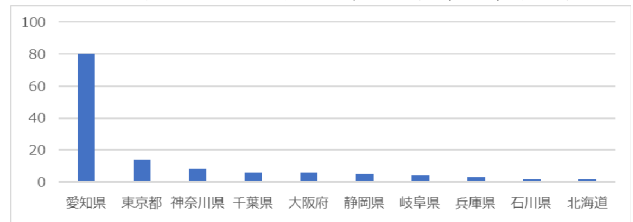


図-4 チャレンジ達成者の居住地（上位10位以内）

b) チェックイン数の推移

チェックインスポットの日別チェックイン数の結果を見ると、フォーラムエイト・ラリージャパン2022 with おかざきクルまつりが開催された11月12日が全てのチェックインスポットにおいて最大のチェックイン数であった。イベント開催による集客をQRUWAエリア内への回遊を促す効果を確認できた（表-5）。

表-5 スポット別チェックイン数の推移

スポット	10月							11月							12月						
	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土
NEKKO OKAZAKI	3	18	61	35	7	4	6	13	9	29	18	4	3	11	9	9	14	22	6	8	10
岡崎公園	4	17	62	27	9	7	5	11	8	30	19	4	5	11	8	11	16	25	7	7	13
康生スタンド	3	18	67	30	9	7	7	13	10	27	20	4	2	11	8	10	16	21	5	6	11
東岡崎船着場	4	18	60	30	9	4	6	11	11	29	19	6	3	11	8	12	15	23	7	7	12
桜城橋	4	20	69	30	6	5	6	14	9	28	15	5	3	11	9	11	14	22	7	7	10
籠田公園	3	17	66	34	9	6	5	12	9	29	19	4	2	11	8	11	14	23	7	6	11

c) 回遊状況の分析

QRUWAエリア内のある地点を訪れた人が、別の地点を何箇所訪れたかを示す平均周遊数は、1日あたりでは1.8（平日：1.6，休日：2.1），週当たりでは3.0，月当たりでは4.8という結果となり、QRUWAエリア内で一定の周遊が図られていることが確認された。

さらに、来訪者が訪れた各地点間の相関関係を見ると、例えばフォーラムエイト・ラリージャパン2022 with おかざきクルまつりのメイン会場である岡崎公園・乙川河川緑地への訪問者は桜城橋や籠田公園等も訪問しており、イベントで当該エリアに訪れた人に対して、イベント会場以外にも一定程度のまちなか回遊を促進できたことが確認された。また、岡崎市観光協会の訪問者についても、籠田公園と岡崎公園を高い比率で訪問しており、QRUWAエリア内において、両公園が周遊の中心的スポットとなっている。人流の起点となっている東岡崎駅を除けば、オトリパーサイドテラス、乙川河川緑地、桜城橋も

QURUWAエリア内の各地点から訪れる親和性の高い地点となっていることが確認された（表-6）。

(3) 既設人流解析カメラデータとの比較分析

ANA Pocketで取得可能なデータからは、来訪者の属性、訪れた地点、地点間の移動傾向等を把握することができるが、取得されるデータはアプリユーザーに限られるため、人流の全数を把握することは困難である。一方、QURUWAエリアにおいては、令和元年度以降、市街地各地に人流解析カメラを設置し、各地点における人数・属性を観測できる体制を整備している。

この人流解析カメラデータの11月実証期間中における休日（イベント有/無）に着目すると（図-5）、同日とも東岡崎駅周辺の来訪者が最も多くQURUWAエリア内の人流起点となっていることが確認された。特にイベント実施日はこの東岡崎駅を起点に、まちなか（康生通り）までその人流が波及している傾向が見られ、ANA Pocket取得データ（図-6）と同様の傾向であることが確認できた。

4. まとめと今後の展望

本実証を通じて、イベントによる集客をイベント会場以外にも広くまちなか回遊が促進されたことや、

回遊拠点間の相関関係を確認することができ、来街者に市独自のアプリインストールの手間をかけることなく、既存アプリとの連携により十分な回遊誘導やデータ解析が可能であることが明らかとなった。また、既設の人流解析カメラデータからも同様の傾向が確認されており、これまで人流解析カメラで把握できなかったエリアの人流把握にも有効、かつ、それぞれのデータ特徴を踏まえより面的な人流分析ができるようになるデータ活用可能性を確認できた。

今後この取り組みを発展させるためには、より効果が見込まれる広域外部アプリを模索し連携を強化することや、広域外部アプリとの連携時に生じるデータ連携作業の簡易化を図るため、データを取得・蓄積するDB・基盤の整備が必要と考えられる。



図-6 ANA Pocket人流データ分布

表-6 各地点間来訪の相関関係

	NEKKO OKAZAKI	オトリバーサイ..	シビコ	岡崎公園	岡崎市観光..	岡崎市図書..	乙川河川緑地	康生スタンド	桜城橋	三河武士のや..	東岡崎駅	東岡崎船着場	龍田公園
NEKKO OKAZAKI	100.0% 276	20.7% 57	9.1% 25	42.0% 116	21.0% 58	9.4% 26	29.3% 81	15.6% 43	48.6% 134	5.4% 15	37.7% 104	15.6% 43	56.9% 157
オトリバーサイトテラス	5.6% 57	100.0% 1,013	5.2% 53	21.2% 215	6.6% 67	5.8% 59	17.2% 174	5.0% 51	19.3% 196	1.8% 18	62.8% 636	18.1% 183	16.0% 162
シビコ	4.7% 25	9.9% 53	100.0% 535	26.2% 140	8.4% 45	21.5% 115	19.8% 106	12.3% 66	15.0% 80	2.1% 11	18.1% 97	4.9% 26	29.3% 157
岡崎公園	7.6% 116	14.1% 215	9.2% 140	100.0% 1,529	9.0% 138	19.2% 294	54.8% 838	8.0% 123	36.6% 560	6.9% 105	22.4% 343	17.3% 265	26.7% 408
岡崎市観光協会	23.8% 58	27.5% 67	18.4% 45	56.6% 138	100.0% 244	14.3% 35	36.9% 90	21.7% 53	51.6% 126	6.1% 15	40.2% 98	18.4% 45	70.9% 173
岡崎市図書館交流..	3.9% 26	8.8% 59	17.1% 115	43.6% 294	5.2% 35	100.0% 674	33.5% 226	5.5% 37	21.5% 145	1.9% 13	14.7% 99	14.1% 95	26.3% 177
乙川河川緑地	6.6% 81	14.1% 174	8.6% 106	68.0% 838	7.3% 90	18.3% 226	100.0% 1,233	6.9% 85	38.7% 477	4.5% 55	27.6% 340	19.2% 237	24.2% 298
康生スタンド	14.3% 43	16.9% 51	21.9% 66	40.9% 123	17.6% 53	12.3% 37	28.2% 85	100.0% 301	32.2% 97	5.0% 15	31.9% 96	14.0% 42	44.9% 135
桜城橋	14.2% 134	20.8% 196	8.5% 80	59.5% 560	13.4% 126	15.4% 145	50.7% 477	10.3% 97	100.0% 941	5.3% 50	39.1% 368	28.8% 271	36.6% 344
三河武士のやかた家..	14.3% 15	17.1% 18	10.5% 11	100.0% 105	14.3% 15	12.4% 13	52.4% 55	14.3% 15	47.6% 50	100.0% 105	26.7% 28	17.1% 18	27.6% 29
東岡崎駅	2.3% 104	13.9% 636	2.1% 97	7.5% 343	2.1% 98	2.2% 99	7.4% 340	2.1% 96	8.0% 368	0.6% 28	100.0% 4,580	3.8% 174	5.8% 264
東岡崎船着場	10.3% 43	43.8% 183	6.2% 26	63.4% 265	10.8% 45	22.7% 95	56.7% 237	10.0% 42	64.8% 271	4.3% 18	41.6% 174	100.0% 418	34.0% 142
龍田公園	15.3% 157	15.8% 162	15.3% 157	39.8% 408	16.9% 173	17.3% 177	29.0% 298	13.2% 135	33.5% 344	2.8% 29	25.7% 264	13.8% 142	100.0% 1,026

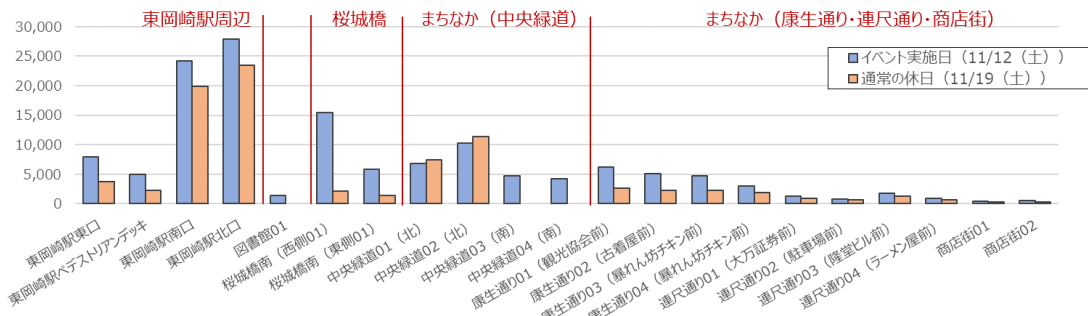


図-5 人流解析カメラデータ集計結果

建設コンサルタントが考える 新たな交通インフラの社会実装への挑戦 (AIを活用したデマンドタクシー 運行管理システムの導入業務)

○増山 淳¹・五十嵐 達哉²・尹 鍾進²・栗生 啓之¹・吉田 颯人²

¹ (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)

² (株) 建設技術研究所 東京本社 交通システム部
(〒103-8430 東京都中央区日本橋浜町3-21-1 日本橋浜町Fタワー)

近年、人口減少や高齢化の進展により、日常生活を営むために必要となる公共交通の維持・確保が課題となっている。

本研究では、美濃市が運営するデマンドタクシー「のり愛くん」へのAIオンデマンド運行管理システム「シティMobi」の導入により、事業効率性・利用者利便性を具備した交通インフラとしての社会実装に取り組んだ。

これにより、従来の建設コンサルタントとしての地域貢献だけでなく、変化する地域状況や情勢を把握するシステム提供者として持続可能な地域公共交通の実現に貢献した。

Key Words : オンデマンド交通, オンデマンド運行管理システム, 地域公共交通, AI

1. 背景と目的

(1) 地方部の公共交通の現状

人口減少や高齢化が進む我が国では、住民相互の交流や買い物、通院など、日常生活を営むために必要となる公共交通の維持・確保が課題となっている。一方、公共交通供給側の状況を見ると、ドライバーの高齢化・人材不足が進んでおり、現在のサービスを維持していくことも難しくなっている。¹⁾

その中で、現在、多くの自治体等において、定時定路線型のコミュニティバス等から利用者需要に応じて運行するオンデマンド交通への転換が検討・実施されている。オンデマンド交通とは、路線バスのような予め決まった運行ダイヤやルートでの運行ではなく、利用者の移動ニーズに応じて、ルートや乗降場所、運行ダイヤ等を柔軟に組み替えながら運行する交通サービスであり、運行の効率化が期待できる。

(2) オンデマンドモビリティサービス「シティMobi」

上記の社会状況を踏まえ、当社では、オンデマンド交通の利便性・効率性向上を目指したAIオンデマンド運行管理システム「シティMobi」を開発し、自治体・交通事業者等への展開を進めている。

「シティMobi」は、最新のICTと最適化アルゴリズムにより、オンデマンド交通におけるドア to ドアでの移動やリアルタイム予約に対応した最適な運行計画作成、運行管理等を実現するものである。類似サービスと比較した特徴として、待ち時間の負担軽減を図る到着お知らせ機能など地方のデマンド交通の特徴を踏まえた便利機能を備えていること、自社開発であり地域に合わせたカスタマイズが可能であること、コンサルタントとしてシステム導入前後に運行形態検証を実施することなどが挙げられる。

(3) 建設コンサルタントとしての新たな交通インフラの社会実装への挑戦

弊社では、サービスの維持が困難となっている地域公共交通に対し、オンデマンド予約・配車システム「シティMobi」を用いた課題解消、さらにはサービスレベルの向上による持続可能な仕組みの提供を目指して取り組みを推進している。

本稿では岐阜県美濃市へのAIオンデマンド運行管理システム導入を事例として、建設コンサルタントとしての新たな交通インフラの社会実装への挑戦の一端について報告する。

2. 岐阜県美濃市における地域公共交通の課題

美濃市が運営するデマンドタクシー「のり愛くん」は、市内全域の指定停留所間の移動を担う乗り合わせタクシーであり、運行当初より高齢者を中心に市民の交通手段として定着し、通院や買い物等への生活交通手段として重要な役割を担っている。

「のり愛くん」は平成25年に本格運行を開始し、導入後約9年が経過しており、新型コロナウイルス感染症の影響等もあり、利用者が減少傾向にあった。

また、現行のオンデマンド予約システムは、電話予約のみに対応しており、予約機能などの新たな機能の追加実装が困難な状況であった。

また、配車計画策定時にオペレーターの判断が必要となるため、電話での予約受付に要する時間が長く、利用者アンケートでは予約時の電話の繋がりにくさに関する満足度が低くなっている状況であった。

このような中、AIオンデマンド運行管理システム「シティMobi」を導入することで、「のり愛くん」の運行効率化・利便性向上を図ることが求められていた。



図-1 デマンドタクシー「のり愛くん」

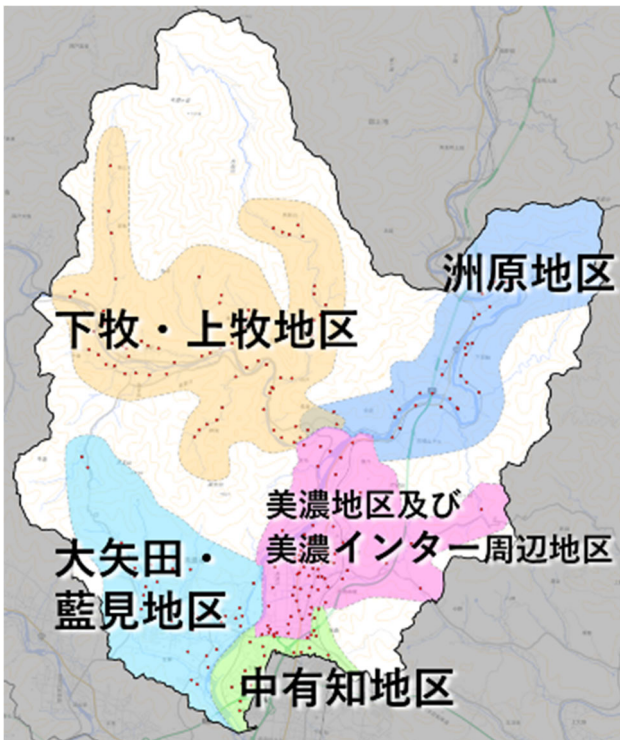


図-2 「のり愛くん」の運行エリア

3. 課題への対応

(1) シミュレーションによる運行事業の最適化

a) 運行形態検討時に検証が必要な項目

オンデマンド交通の導入にあたっては、導入するエリアの人口分布や地形（沢沿いの地形では走行経路が限られるため定時定路線型の運行が適す等）、オンデマンド交通以外の交通モード（鉄道・路線バス・タクシー等）との役割分担などを踏まえ、適切な運行形態やサービスレベルを検討する必要がある。

具体の検討項目は表-1に示すとおりである。²⁾

表-1 運行形態・サービスレベルに関する検討事項

検討事項	検討内容
運行エリア	1エリア、複数エリア
運行ダイヤ	利用者出発希望時間（〇分単位）、便単位
車両台数	1台or 2台 or 3台 等
車両サイズ	セダン、ワゴンタイプ、大型ワゴン等
運行方式	ミーティングポイント型、ドアtoドア型
サービスレベル	利用者最大待ち時間・相乗りによる最大迂回距離

なお、オンデマンド交通のサービスレベルは、利便性と効率性がトレードオフの関係にある。例えば、利用者の最大待ち時間を短くした場合には相乗りが発生しづらくなり、多くの利用者に対応するために車両を増やした場合には運行経費が増大する。

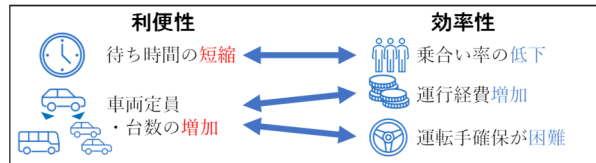


図-3 トレードオフの関係（例）

そのため、運行形態の検討時は、利便性向上だけを考えるのではなく、各地域の移動実態や地域特性を踏まえ、適切な運行形態を設定する必要がある。

b) シミュレーションを活用した運行形態の検証

「のり愛くん」を「シティMobi」での運行に変更した場合の影響や効果について検証するため、シミュレーションを活用し実際の運行をシステム内で再現することで運行形態の検証を行った。

シミュレーション検討の流れは図-4のとおりである。予約リクエスト（利用者需要）に対し、車両台数や車両定員等の運行体制、利用者最大待ち時間等の運行サービスレベルを設定し、システム内でオンデマンド交通の運行をシミュレートすることで、運行に関する各種評価指標（KPI）を算出できる。これにより、実際にデマンド交通を運行させることなく、また、考える複数ケースの運行形態について、定量的な指標値で比較検証できる点が特徴である。

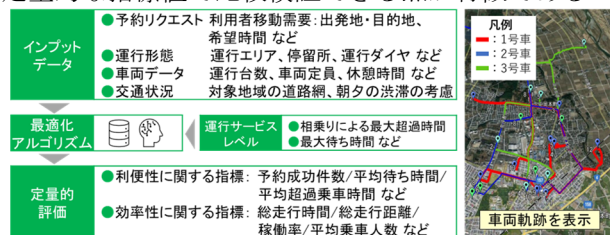


図-4 シミュレーション検討の流れ

検証にあたり、令和3年度一年分の運行記録より、日単位の予約件数、予約時の出発地・目的地を分析し、インプットデータを作成した。また、平日最多の予約件数を現在の需要とし、乗車定員超過による予約お断りを加味し、現在の需要を1日あたり200件として予約成功件数を検証した。

美濃市の地形的な特徴として、沢沿いの地形が多く、運行効率性の向上には複数の洞を経由して目的地へと向かうことが必要となるため、複数の洞を経由して市街地へ向かうことができるように、許容する迂回時間を調節する必要があった。

そのため設定するパラメーターは表-2に示すとおりであり、図-5の流れで変更を検討した。

表-2 変更項目・パラメーター

項目	内容	パラメーター
所要時間	システムの配車計算における移動時間	交通抵抗 (時間帯別)
最大許容迂回時間	乗り合いにより迂回する場合に許容する乗車時間と直接移動時間との比または差	$\omega 1$ (〇倍) $\omega 2$ (+〇分)
最大待ち時間	希望出発時間に対する利用者の最大待ち時間	Time Window

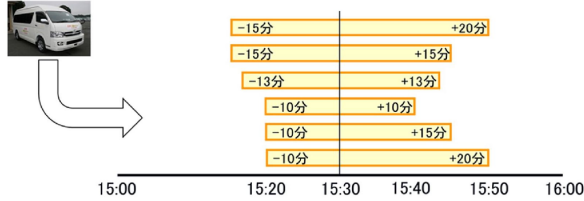
システム内で計算する移動の所要時間を実際の移動に近づけるため所要時間計算のパラメーターを調整

複数の洞を経由して送迎できるよう最大許容迂回時間を調整

変更後のパラメーターを用いてシミュレーションを実施し、予約成功件数より最大待ち時間を調整

図-5 パラメーター設定の流れ

【送迎時間の幅(Time Window)】乗車希望時間が15:30の場合



【乗り合いにより迂回する際の最大許容時間】(MRT, Maximum Ride Time)



図-6 Time Windowおよび $\omega 1$, $\omega 2$ について

また、ドライバーの休憩取得状況による予約成功件数・利用者の平均待ち時間への影響について、予約リクエストデータを作成しシミュレーションを行った。予約リクエストデータは、令和3年度の運行記録より、利用の多いOD上位200件を抽出し、乗車時間分布に沿って乗車希望時間を配分した。

加えて、時間帯別の移動特性を考慮し、午前は郊外から市街地、午後は市街地から郊外への移動が多

表-3 シミュレーション結果

運行時間	最大待ち時間	リクエスト件数 (件)	予約成功件数 (件)	予約成功率 (%)	走行距離 (km)	走行時間 (時間)	運送距離 (km)	運送時間 (時間)	乗車距離率 (%)	乗車時間率 (%)	稼働率 (%)	平均待ち時間 (分)	平均乗車時間 (分)	最大待ち時間 (分)	最大乗車時間 (分)
昼休み1時間	5分	200	142	71.0%	818.3	30.0	541.5	20.0	66.2%	66.5%	74.1%	0:01:17	12.2	0:05:00	55.5
昼休み1時間	10分	200	158	79.0%	923.5	33.4	616.2	22.7	66.7%	67.9%	82.4%	0:03:48	12.7	0:10:00	47.3
昼休み40分間	5分	200	146	73.0%	865.5	31.4	589.4	21.2	68.1%	67.7%	73.6%	0:01:25	12.6	0:05:00	44.8
昼休み40分間	10分	200	161	80.5%	931.2	33.8	619.0	22.9	66.5%	67.7%	80.1%	0:03:53	13.1	0:10:00	45.4
昼休み1時間+休憩30分間2回	5分	200	123	61.5%	732.7	26.5	472.8	16.9	64.5%	64.0%	72.5%	0:01:23	11.6	0:05:00	45.4
昼休み1時間+休憩30分間2回	10分	200	138	69.0%	797.3	28.7	516.5	19.1	64.8%	66.7%	78.6%	0:03:33	12.6	0:10:00	44.2
昼休み40分間+休憩10分間2回	5分	200	139	69.5%	848.9	30.7	557.1	20.1	65.6%	65.5%	74.2%	0:01:22	12.2	0:05:00	45.9
昼休み40分間+休憩10分間2回	10分	200	152	76.0%	870.0	31.5	590.7	21.3	67.9%	67.8%	76.2%	0:03:51	13.2	0:10:00	48.1

くなるように配分した。

シミュレーション結果を表-3に示す。

検討結果を踏まえて設定した「シティMobi」のシステムへ登録する各種パラメーターを表-4に示す。

表-4 各種設定値のまとめ

項目	内容		パラメーター
所要時間	交通抵抗 (時間帯別)	8時~11時台	1.45
		12時~14時台	1.40
		15時~16時台	1.45
最大許容迂回時間	$\omega 1$	許容する直接移動時間との比	2.0
	$\omega 2$	許容する直接移動時間との差	35分
最大待ち時間	許容する最大待ち時間		5分

(2) 「シティMobi」の導入によるデマンド型交通の高度化

a) 配車計画の自動化による運行事業者の業務改善

これまでの、利用者からの予約内容を基に、システムに表示される車両の空き状況や前後の乗降場所等を踏まえ、オペレーターの経験を基に手動で配車を実施していた。AI運行管理システムによる配車計画の自動化により、オペレーターは車両の運行状況等を把握せずとも予約受付が可能となったためオペレーターの負担が大きく軽減された。

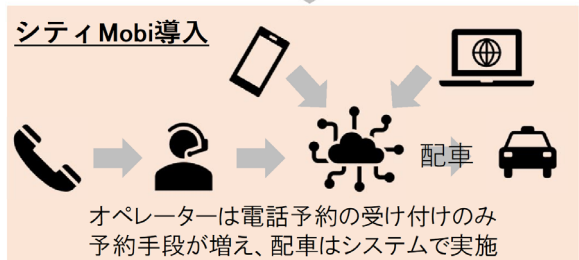
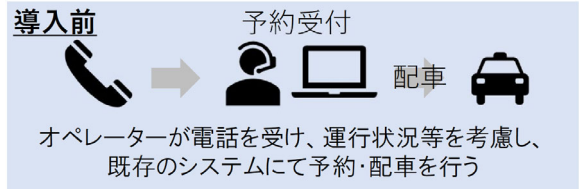


図-7 「シティMobi」導入前後の配車方法の変化

また、オペレーターが利用者からの電話を受けつつ予約対応・配車手配といった一連の業務内容を習得するためには相応の勤務経験・期間が必要となっていたが、配車計画の自動化により、経験の浅いオペレーターが早い段階で単独で予約対応を実施できるようになった。「のり愛くん」のオペレーターにはご高齢の方も含まれており、「シティMobi」導入によるオペレーターの作業負担の軽減は、オペレーター人材の効率的な育成に加え、継続的な人材の確保にも寄与している。

b) 利用者の利便性の向上

上記のようにシステムが自動で配車計画を策定することで、オペレーターの予約受付に要する時間が短縮された。これにより、予約時の電話の繋がりにくさが改善し、利用者の利便性が向上した。また、システムが効率的な配車を行うことで、利用者の希望する乗車時間での利用割合が従来に比べ向上した。

4. 美濃市における今後の展開

(1) 蓄積されたデータに基づく運行改善提案

「シティMobi」では、利用者の予約情報や運行結果など表-5に示すデータが自動で蓄積される。

これらのデータを分析して、システム導入後の利用実態を明らかにすることで改善点を明らかにし、さらなる利便性向上に向けた改善提案が可能となる。

表-5 自動的に取得・蓄積されるデータ項目

データ項目	詳細内容
日別予約状況概要	各日の予約件数・輸送人数等
日別車両別運行状況	日別車両別予約件数・輸送人数等
予約・利用状況	利用者の予約・利用内容 (予約受付時間、出発地・目的地、乗車車両、乗車時刻・降車時刻、同乗者数、運賃等)
車両軌跡	車両位置情報 (GPS1秒間隔のデータ)
利用者情報	利用者の登録情報 (住所、年齢等)

(2) スマートフォン・Webを活用した新たな予約環境の構築

スマートフォン・Webを活用した新たな予約環境や車両到着通知機能を構築し、待ち時間の負担軽減による利用者の利便性向上を図る予定である。

新たな予約環境の構築により、利用者は、受付時間内にオペレーターに電話する必要がなく、PC・スマートフォンから自分の都合の良いタイミングで、また、自分の操作のみでの予約取得が可能となり、利用のハードルを低減させるとともに予約の手間の軽減が期待できる。

また、「シティMobi」では図-8のように車両到着5分前にスマホやガラケーにお知らせする機能を追加し、利用者利便性の向上を図る予定である。



図-8 5分前通知のイメージと通知画面

(3) マイナンバーカードとの連携・電子決済の導入

今後導入するスマートフォンでの予約環境について、マイナンバーカードとの連携や電子決済の導入を予定している。具体的には、スマートフォンによる「のり愛くん」の予約時にマイナンバーカード情

報に基づき割引料金適用の有無を確認し、利用料金を事前に決済する。

現在、割引料金（65歳以上の高齢者、障がい者、生徒・児童等）を利用するためには、ドライバーの確認を受ける必要があり、円滑な運行に支障が生じている。

また、料金支払いが、現金または回数券であるため、硬貨や回数券の管理が利用者およびドライバーの負担となっていた。加えて、運行会社や市役所では、運行後の事務作業（現金や回数券の回収・計数）に膨大な負担が発生している状況である。

マイナンバーカードと連携により、利用者は、硬貨や回数券の管理に煩わされることなく、マイナンバーカードに紐づいたスマートフォンで「のり愛くん」を利用することができる。加えて、ドライバーは、割引料金の対象者を瞬時に確認できるとともに、硬貨や回数券の管理が不要になることで円滑な運行が可能になる。更に、運行事業者及び市役所は、利用料金の計数が容易になる。

5. 新たな交通インフラの社会実装への挑戦に関する今後の展望

本稿では、当社で開発したAIオンデマンドモビリティサービス「シティMobi」の導入を通じ、美濃市を事例とした移動に関する社会課題の解決や地域公共交通の高度化を図った取り組みを報告した。地方部における持続可能な地域公共交通のあり方は全国共通の課題であり、本取り組みの水平展開により、多地域で導入が図られ社会課題の解決に貢献できる。

「シティMobi」は建設コンサルタントが提供するシステムとして、導入後のデータ分析・改善提案が特徴である。「シティMobi」に蓄積されるデータは、オンデマンド交通の運行改善だけでなく、観光や福祉といった他分野にも活用が期待できる。加えて、利用状況や移動実態等の分析にあたり、独自の移動データを取得・蓄積・活用できることは分析内容の高度化やデータ活用コストの低減などが期待できる。

また、乗車時に使用可能な電子クーポン券や電子定期券の発行等、「シティMobi」に内装された機能を使うことで利用促進策を実現しやすくなるとともに、導入地域のDX化にも寄与している。

本取り組みは、従来の建設コンサルタントとしての地域貢献だけでなく、システムベンダーの立場として自治体を支援しており、変化する地域状況や情勢を把握するシステムの提供者として、持続可能な地域公共交通の実現に貢献するものである。

謝辞：本論文は、岐阜県美濃市の「美濃市AIデマンドシステム導入業務委託」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) 令和5年度版 国土交通白書
- 2) デマンド型交通の手引き, 国土交通省, 平成25年3月