

令和4年度（第32回）

建設コンサルタント業務技術発表会

論文集



令和4年10月21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4年度（第32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. 道路分野 DXに向けた取り組み ～センシングデータを活用した道路防災～ 真壁勝彦 / 筒井胤雄 / 山崎秀樹 / 稲垣博巳	1
2. ランプ縦断勾配の特例値解消等による安全性向上を目的とした IC 計画の見直し 水谷和真 / 関口貴志 / 中村 治 / 上原将人 / 日高雅史	5
3. 停車車両に配慮した都市部主要幹線道路の自転車通行空間整備計画 大野 峻 / 立松秀樹 / 倉知健司 / 水野耕治	9
4. テーマパーク周辺交差点における既存施設を活用した左折フリー化検討 百松将兵 / 関口貴志 / 中村 治 / 上原将人 / 水谷和真	13
5. 落石や斜面崩壊のリスクを有する急崖斜面における道路予備設計 古林竜治 / 小川利治 / 小森紀彦 / 増田吉伸 / 竹内修人	17

【発表論文_第1会場_構造・土質分野】

	頁
6. 曲線半径の小さく交差条件の多い IC ランプ橋の詳細設計 伴 乙希 / 酒井友紀 / 長谷川隆一 / 瀧中 実 / 中元浩富	21
7. ケーブルクレーンを用いた下部工施工 成澤祐紀 / 廣井英智 / 井口威生	25
8. BIM/CIM 技術を活用した維持管理計画 竹田文哉 / 田中 誠 / 伊藤諒祐	29
9. 鋼箱桁橋において層状剥離を生じた耐候性鋼材の計測および応力評価 村田侑史 / 片山 真 / 渡 玲菜 / 竹内 慎	33
10. ねじりモーメント，不反力の発生する橋梁の詳細設計 河村太紀 / 服部達也 / 安藤弘章 / 竹内克幸	37

令和4年度（第32回） 建設コンサルタント業務技術発表会

目 次 2 / 4

【発表論文_第2会場_河川分野】

	頁
1. 民間企業を対象としたBCP作成支援ツールと勉強会の効果と留意点 下池健太 / 笠原亮一 / 犬山晶夫 / 田川隆康 / 斎藤香織	41
2. 河川維持工事における3次元モデル活用 加藤陽香 / 中川義守 / 宮本大輔 / 野口聖実	45
3. 水制周辺の流れの影響による護岸の被災メカニズムと対策 千村紘徳 / 伊藤秀一 / 岩田 経 / 成瀬幹信	49
4. ALB点群データによる河床凹凸の面的評価 ～アユ生息場評価に向けた一考察～ 小川大介 / 堀田大貴 / 海津利幸 / 細井寛昭 / 遠藤慎一	53
5. 治水協定に基づいた大河川における事前放流の効果検証 森田卓光 / 佐々直彦 / 武田英佑 / 蟹江盛仁 / 窄 友哉	57

【発表論文_第2会場_都市計画分野】

	頁
6. 大規模災害時における水産物の生産・流通の早期復旧及び継続を目的とした水産業業務継続計画（BCP）の策定 角見篤紀 / 浅野雄史 / 島田正徳 / 中島慎一郎	61
7. R2スマートモビリティチャレンジ「茅野市版MaaS」実証実験の支援 北川剛弘 / 富田洋史 / 上野純男 / 吉田猛志	65
8. 鉄道駅周辺における高齢者のにぎわい・交流空間の創出 ～老人福祉センター基本構想・基本計画策定業務～ 竹内希生 / 丸山 昇 / 木村晃一	69
9. 地域主体による交通手段の導入スキームの検討 加納壮貴 / 粟生啓之 / 長谷川正利	73
10. 災害時における移動電源設備の活用に関する検討 赤澤哲也 / 山岡 寛 / 川合伸宜 / 細貝秋一 / 釘本晃平	77

令和4年度（第32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
積雪寒冷地における無電柱化区間の検討 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・中村美沙 / 藤田健仁 / 市橋弘行 / 苅谷佳祐	81
設計段階における BIM/CIM モデルの課題と対策 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・坂 穂崇 / 山田章貴 / 杉山比呂志	85
太平洋岸自転車道の安全点検について ・・・・・・・・・・・・・・・・・・杉村清紀 / 山田邦博 / 久坂直樹 / 田中敦規	89
中京圏の新たな高速道路料金を考慮した将来交通量配分手法の検討 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・國井大輔 / 水口晴男 / 藤田智志 / 林健太郎	93
名古屋における自転車通行空間の整備について ・・・・・・・・・・・・・・・・・・叶谷凌大 / 久保 宏 / 松田憲明 / 稲永 哲	97

【掲載論文_構造・土質分野】

	頁
半断面取替工法による床版取替設計 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・手平辰哉 / 杉浦達巳 / 北堀裕隆 / 高橋孝征	101
沖積粘性土層に支持された昭和初期竣工のケーソン基礎耐震検討 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・周 敦史 / 樋口伸幸 / 山田 誠 / 木下俊男	105
上面はつり調査を踏まえた RC 床版補修計画 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・水木亮太 / 北堀裕隆 / 川口 正 / 高橋孝征	109
竣工後 40 年経過した RC 橋脚の有効活用 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・武藤大和 / 加藤幸男 / 山本高由 / 樋口雅友 / 小澤拓也	113
土石流により被災した橋梁に対する災害対応 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・藤原優貴 / 横井徹也 / 原田和樹 / 榮 義彦 / 菊地勇人	117

目 次 4 / 4

【掲載論文_河川分野】

	頁
仮排水路を活用した河川環境の再生 山田弘一 / 吉田和幸 / 鷺見直樹 / 小森康智	121
中小河川における治水と環境保全の両立を目指した河川改修事業 吉田和久 / 服部光洋 / 細江良太 / 若園陽司 / 可児沙椰	125
河川水辺の国勢調査における河川・ダムでの環境 DNA 分析とりまとめ事例 加藤雅之 / 田中克幸 / 藤田朝彦 / 長崎哲新 / 葛西直樹	129
新丸山ダム 基礎岩盤における緩み岩盤地質解析手法について 安里長浩 / 宮村 滋 / 安田浩一郎 / 加藤暁之 / 高篠 葵	133
天竜川上流の砂礫河原における植物の回復特性について 田中 太 / 志俵和宏 / 東尾治伸 / 渡邊祐介	137

【掲載論文_都市計画分野】

	頁
土地区画整理法第80条に基づく工事施工について 金岡才夫 / 児玉秀幸 / 伊藤浩嗣	141

令和4年度（第32回） 建設コンサルタント業務技術発表会

論 文 集

道路分野DXに向けた取り組み ～センシングデータを活用した道路防災～

○真壁勝彦・筒井胤雄・山崎秀樹・稲垣博巳

(株) パスコ中部事業部 (〒460-0003 名古屋市中区錦2-2-13 名古屋センタービル10F)

中部地方では、東海・東南海・南海地震等、南海トラフを震源とする巨大地震（以下、「南海トラフ巨大地震」と記載。）の発災が近い将来に予測されている。罹災した場合、津波等により、甚大な被害を受けた地域での救護・救援活動を支援するため、道路啓開活動の迅速化が求められている。一方、国土交通省ではDXによる生産性向上の取組みとして、道路管理に利用するため車載搭載センシング技術等を活用した三次元点群データ取得を進めている。

本検討では、道路管理の高度化及び三次元点群データの利用促進を目的として、道路防災シーンにおけるセンシングデータ活用の可能性を検討した。

Key Words : インフラDX, 三次元点群, 車載搭載センシング装置, センシングデータ, 防災, 道路啓開, くしの歯作戦

1. はじめに

中部地方では、近い将来の南海トラフ巨大地震の発生が懸念されている。巨大地震発生時に津波による甚大な被害が想定されている太平洋沿岸部において、救援・救護活動、緊急物資の輸送等を迅速に行うため、道路啓開の重要性が認識されている。

中部圏戦略会議では、南海トラフ巨大地震等の巨大地震に対して総合的且つ広域的視点から関係機関が一体となって取り組むべき事項を「中部圏地震防災基本戦略」として協働で策定し、取組みを進めている。

国土交通省では、DXによる生産性向上のため、車載搭載センシング技術を活用して直轄国道の道路現況の電子化を進めており、中部地方整備局においても管内の直轄国道のセンシングデータ取得を順次進めている。

2. 検討の背景

(1) 活用テーマの選定方針

平成23年3月11日、太平洋三陸沖を震源とする「東北地方太平洋沖地震」（東日本大震災）が発生し、震度7に及ぶ地震動に加え、巨大な津波により東日本一帯が甚大な被害を受けた。中部地方においても、近い将来、南海トラフ巨大地震の発生が懸念されている状況である（図-1）。そのため、南海ト

ラフ巨大地震等の巨大地震に備えた防災シーンでの活用をテーマ選定時の基本方針とした。

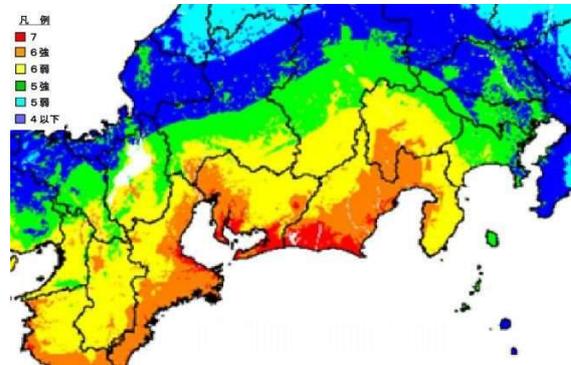


図-1 南海トラフ巨大地震の被害想定¹⁾

(2) 防災シーンにおける車載搭載センシングデータの一般的な活用

センシングデータの活用方法を検討するにあたり、防災シーンにおいて、一般的に考えられる活用事例の整理を行った（表-1）。

(3) 活用対象の検討

本検討では広域なデータが利用できる点、また、今後南海トラフ巨大地震等の大規模災害が想定されることから広範囲を主体として道路に求められる通行機能を維持するための「防災」「復旧」に視点を当て検討項目を絞り込んだ（表-1 赤枠）。

表-1 防災シーンにおけるセンシングデータの一般的な活用事例

活用シーン	対象範囲
(1) 急崖斜面点検 (差分判断)	特定路線
(2) 防災点検 (平面展開・傾斜把握)	特定箇所
(3) トンネル点検	特定箇所
(4) 各種施設の状況把握	広域
(5) 災害前後の道路現況把握	広域
(6) 沿道建物把握	広域
(7) 防災点検スクリーニング	特定路線
(8) 各種データとの重畳による地形把握	広域

(4) くしの歯作戦における位置づけ

「くしの歯作戦」における基本的考え方 (図-2) に基づき、車両搭載センシング装置を活用した道路啓開の事前活用可能範囲について整理を行った (表-2)。

電柱・標識の倒壊は、道路閉塞リスクは「小」とされているものの緊急輸送や通行機能の維持には重要な役割となっている。特に建物倒壊や電柱・標識の倒壊は、過去の災害から見ても啓開に関しての大きなファクターとなっている。

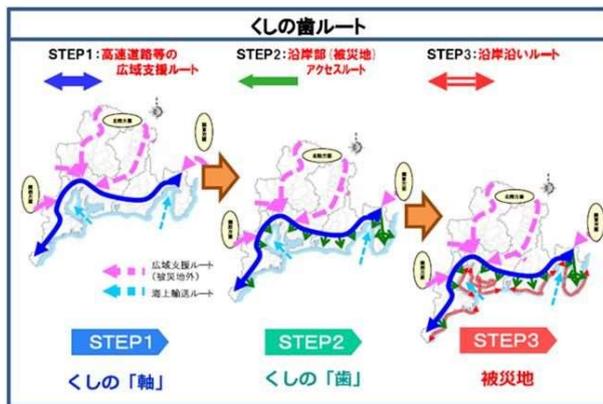


図-2 中部版「くしの歯作戦」の基本的考え方²⁾

表-2 事前活用可能範囲²⁾

想定される被害 (道路閉塞要因)	内容	道路閉塞リスク
建物倒壊	津波浸水域外の沿道建物の倒壊による道路の閉塞	大
がれきの堆積	津波により家屋、雑木等が道路に堆積	
津波による道路水没	津波到来後、浸水域内で水位が下がらず、道路が水没	
橋梁段差	橋梁と土工部との境界等、構造体異なることで段差が発生	
橋梁流出	津波により、橋梁上部工に水平力と上揚力が作用し、橋梁が流出	
落橋	地震により、橋脚の破壊や移動等が起こり、橋桁が落下	小
斜面崩壊	斜面崩壊により土砂が路面上に堆積	
電柱・標識の倒壊	電柱や標識が道路側に倒れ、道路を閉塞	
歩道橋の落橋	歩道橋付属看板や跨道部の落橋	
放置車両	震災後、道路の被災により車両の通行が出来なくなり車両を放置して避難/車両の走行不能	
踏切による遮断	遮断機が停電し、踏切が封鎖	

(5) 活用対象の視点

方策・効果について検討を行った結果、柱状地物の状況把握を活用検討テーマとして採択した。

東日本大震災を踏まえ、地震による甚大な被害が

想定される太平洋沿岸部での救援・救護活動、緊急物資の輸送等を迅速に行う必要がある。

復旧・復興を見据えた地震防災に対する事前の防災への検討として、電柱等の柱状物倒壊による道路閉塞が懸念される区間を対象にセンシングデータを活用した柱状物倒壊におけるリスク評価を行った。

3. 活用検討に使用したセンシングデータ

本検討は、車載搭載センシング装置により取得したセンシングデータを使用して行った。

センシングデータ取得に使用した計測システム (MMS) の概要と計測機器の詳細を以下に示す。

(1) MMS (Mobile Mapping System)

MMSは、車両に搭載した各種の計測装置を用いて、走行しながら道路周辺地形の三次元点群とカメラ画像を計測するシステムである。搭載する計測装置は、GNSSアンテナ、慣性計測装置 (GNSS/IMU)、レーザスキャナ、デジタルカメラ、オドメトリ (DMI) という構成が一般的である。

(2) 計測機器詳細

使用したセンシングデータは、中部地方整備局保有の三菱電機社製 MMS Type-AT220 (図-3) により取得されたものである。

計測は (表-3) の要求を満たす条件で実施された。



図-3 計測機器の概観 (カラーフィールダーに装着したイメージ)

表-3 計測データの要求仕様

要求	条件
点群データの密度	50点/m ² 以上 (「規程」第4編第200条三に示す複合表示による方法を適用)
点群データの精度	標準偏差25cm以内の数値地形図 (地形図縮尺1/500作成可能) (「規程」第3編106条)
カメラの精度	取得頻度 1枚/1~2m 500万画素以上

4. リスク評価

(1) 検討対象区間

今回の検討対象区間は、「くしの歯作戦」のSTEP3に位置付けられた国道1号（名古屋国道事務所管内）の373.0kp～376.2kp（弥富市）を選定した。

当該区間は、交通機能上重要な緊急輸送道路として指定されている他、片側1車線の区間で且つ沿道に電柱等の柱状物が多数設置されていることから、南海トラフ巨大地震等の巨大地震が発災した際に特に道路閉塞リスクが高いと考えられ優先的に対策を講じる必要がある。

センシングデータの活用検討を実施した検討対象区間の位置図を（図-4）に示す。



図-4 検討対象区間位置図

(2) 柱状物の抽出

電柱や標識等の柱状工作物の抽出は、「PADMS-Solid」ソフトウェアを用いて実施した。柱状物に照射される点群は、柱状に密集する特性があり点群からその特異箇所を自動抽出する仕組みである。柱状物抽出ツールを活用し点群データより対象地物の範囲設定（幅員、高さ）を行った上で自動抽出し柱状物位置を把握した（図-5）。当該ツールは、三次元点群向けのオープンソースのソフトウェアライブラリを用いて構成されている。



図-5 柱状物自動抽出イメージ

(3) 自動抽出した柱状物の目視修正

取得した点の密度が粗い場合や駐車車両等の障害物によるレーザの欠損で抽出できない場合や誤判定が存在することがあるため、抽出された柱状物の目視確認を行い、誤った判定についてデータの修正を行った。また、高さの要素が今回の検討では影響度が大きいことから、高さについても目視確認の上、

修正を行っている。

ひとつの事例となるが、今回の判読に関する概数を（表-4）に示す。抽出物の位置精度に大きく不整合は無いが、道路啓開幅を支障しない高さが低い柱状工作物の抽出等の必要外抽出が多い形となった。

表-4 判読概数

延長 (km)	自動抽出 (件)	影響柱状物 (件)	高さ修正 (件)	修正率 (%)	漏れ (件)	追加率 (%)
3.2	3,115	615	149	24.2	158	25.7

(4) 倒壊影響の把握

抽出した柱状物の情報から、柱状物が根元より倒壊するケースを最大のリスクとして、構造物の高さを取得した位置座標から同心円で作図し平面上に展開する事により柱状物の倒壊影響の範囲を確認した（図-6）。

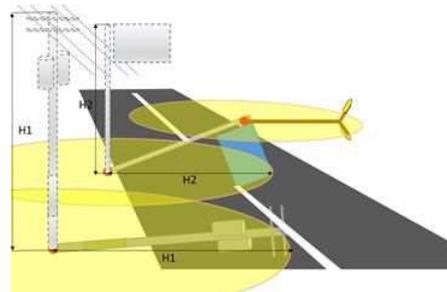


図-6 影響範囲を作図したイメージ

(5) 道路啓開幅の設定

道路啓開に最低限必要となる幅員（道路啓開範囲）は、中部版「くしの歯作戦」を参考に設定した（図-7）。放置車両やがれき等により緊急輸送路が閉塞された場合、先発部隊となる大型車（2.5m）と救急車（2m）の車両が最低限通行できる5m幅を確保し、後発部隊の大型車の対面走行が可能な6m幅を道路啓開範囲としている。

道路啓開範囲を平面展開するにあたっては、道路の中心から左右に3mのバッファを発生させて作図した。



図-7 道路啓開可能範囲³⁾

(6) リスク判定の検討

柱状物の倒壊影響範囲と道路啓開範囲を重畳して、重なり部分の割合（支障面積）をリスクとして表現する方法を検討した（図-8）。

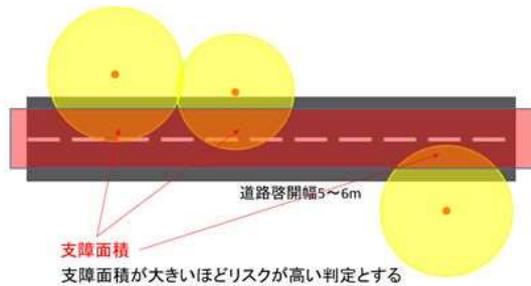


図-8 支障面積の説明

柱状物のリスク判定は、次に示すa)~c)の3つのパターン実施した。

a) 直轄国道を500mの区間に分割し閾値で判定

今後、広範囲に跨る調査の位置づけとして区間距離を500mとした(図-9)。



図-9 距離による分割

閾値は道路啓開区域に占める支障面積の割合(閉塞率)により、閉塞率25%未満・25%以上、50%未満・50%以上の3区分とした。この閾値は、交差点間での検討においても同一とした。

閾値を同一とすることで注意すべき区間を一目で確認することが出来るという利点がある。状況によって区間距離設定の変更を検討する。

b) 交差道路の交差点間で分割し閾値で判定

「くしの歯作戦」において、くしの「歯」にあたる被災地へのアクセスルートへの侵入を意識した区間分割とする(図-10)。交差道路(交差点)は、DRM(デジタル道路データベース)の基本道路5.5m以上かつ県道以上とした。交差道路が無い場合は区間延長が長くなる。

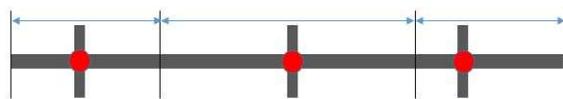


図-10 交差点での分割

c) ダイレクトに閉塞可能性位置を展開

閾値の設定が困難な場合に重点対策位置図として活用する(図-11)。



図-11 ダイレクトに閉塞可能性位置を展開

(7) リスク判定の結果

判定結果を明示する(図-12~15)。柱状物の抽

出はもれなく実施することが出来ると判断される。如何にわかりやすく表現することが出来るかを含めて検討を行った。



図-12 評価マップ500m

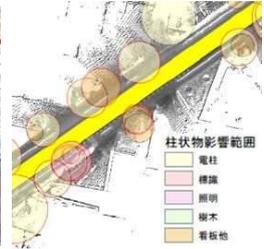


図-13 評価マップ500m拡大図



図-14 評価マップ交差点単位

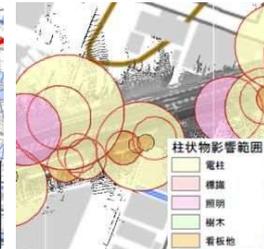


図-15 ダイレクト

5. おわりに

本検討は、センシングデータから対象の柱状物を一次調査として抽出可能であることを確認した。

また、リスク判定の結果は、柱状物の改修の指導・助言に必要な詳細調査を行うための道路閉塞を事前確認する基礎資料としての有効性を確認できた。

車載搭載センシング装置にて取得したセンシングデータは、解析・加工の工夫により様々な用途で効果的且つ柔軟に利活用が可能である。今後インフラ分野のDXを推進するためには、センシングデータの更なる取得促進が必要である。

車載搭載センシングは車両から計測しているためレーザー到達範囲が道路周辺に限られる。更なる利活用シーンの拡大を見据え、航空写真レーザー測量等、その他の計測方法で取得したセンシングデータとの組み合わせを考慮した利活用の検討が必要である。

謝辞：本稿は、国土交通省中部地方整備局発注業務における成果の一部をとりまとめたものです。

執筆に当り、多大なるご協力をいただきました発注担当課の皆様、関係各位に深く感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 南海トラフの巨大地震モデル検討会「南海トラフの巨大地震による津波高・浸水期等(第二次報告)等：H24.8.29内閣府」。
- 2) 中部地方幹線道路協議会：道路管理防災・震災対策検討分科会資料
- 3) 中部版「くしの歯作戦」(令和元年5月改訂版)

ランプ縦断勾配の特例値解消等による 安全性向上を目的としたIC計画の見直し

○水谷和真・関口貴志・中村治・上原将人・日高雅史

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1-8-6）

本業務は、暫定2車線供用中の自動車専用道路におけるインターチェンジ（IC）を対象に、完成4車線化およびJCT化に向けて実施した詳細設計業務である。既存ICランプへJCTランプを追加する設計において、既存計画のランプ位置の設定方法を見直すことで、安全性向上を始め、コスト縮減等、各種課題の解消を実現した。

Key Words： 一般国道バイパス、自動車専用道路、IC・JCT化、完成4車線化

1. はじめに

(1) 業務概要および目的

一般国道1号藤枝バイパスは、静岡県藤枝市仮宿（広幡IC）から島田市野田（野田IC）に至る延長10.7kmの自動車専用道路であり、国道1号の交通渋滞の改善による企業活動の支援および市街地の交通安全の確保等の役割を担う路線である。本業務の対象である広幡IC付近の本線は、日本道路公団が管理する有料区間の一部として昭和56年に暫定2車線供用が開始された後、平成17年3月に国土交通省へ移管されると同時に全線無料化となったため、徐々に交通量が増大し、現在は朝夕以外の時間帯にも慢性的な渋滞が発生しており、早期の完成4車線化整備が求められている。

本業務は、一般国道1号藤枝バイパスの広幡IC区間の本線およびICを対象に、完成4車線化と新東名高速道路の藤枝岡部IC方面との直結化に必要な各種詳細設計を実施したものである。



詳細設計に先立ち、過年度に実施されたトランプット型IC予備設計の内容を精査した結果、いくつかの課題が確認された。そこで、本業務では、交通安全性および円滑性に加え、施工性や経済性等の向上を目的に、IC予備修正検討を実施した。

2. 基本条件の整理

(1) 検討フロー

本検討の主なフローを図-2に示す。

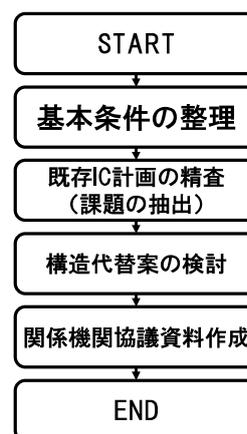


図-2 検討フロー

(2) 基本条件の整理

a) 設計条件

以下に、一般国道1号藤枝バイパス本線および広幡ICの計画諸元を示す。

なお、図-3に示すとおり、当該ICは焼津市街地と名古屋方面を往来する交通量が非常に多く、FランプやGランプの計画交通量が他のランプの約10倍と卓越している。

《一般国道1号藤枝バイパス》

- ・計画交通量 : 68,500台/日 (R12推計値)
- ・種級区分 : 第1種第3級
- ・設計速度 : V=80km/h
- ・車線数 : 完成4車線
- ・幅員構成 : W=20.0m (図-4参照)

《広幡IC》

- ・計画交通量 : 図-3参照 (R12推計値)
- ・ランプ種別 : B規格
- ・設計速度 : V=40km/h
- ・幅員構成 : W=5.5m (図-4参照)

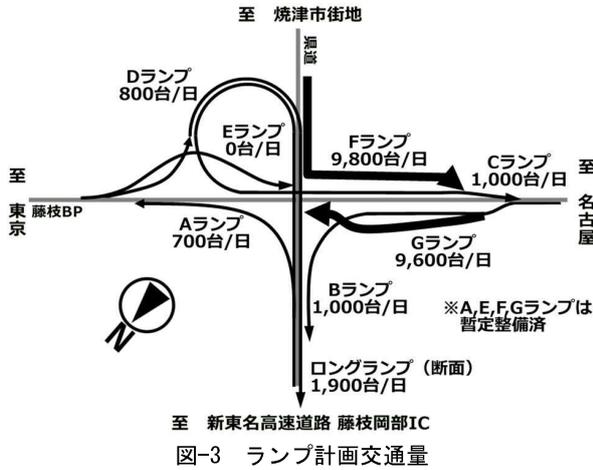
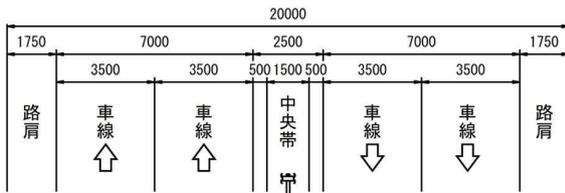


図-3 ランプ計画交通量

【一般国道1号藤枝バイパス】



【広幡ICランプ】

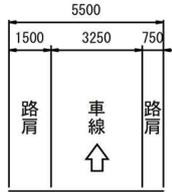


図-4 幅員構成

b) 過年度の計画経緯

広幡ICの完成形状については、平成8年度に計画着手され、平成9年度以降は概ね過年度の予備設計時と同様の形状で計画が進められてきた。

c) 事業進捗状況

本業務着手の時点で、交通管理者（所轄および県警本部、高速隊）や道路管理者（静岡県および藤枝市）との各種協議はほとんど未実施であったため、本業務にて検討したIC計画を基に、道路法第95条の第2第2項の規定による意見聴取や、道路管理者との計画協議および設計協議を実施する必要があった。また、完成4車線整備に必要な用地は暫定整備時に取得済みであった。

3. 既存計画における課題

本業務では、詳細設計着手に先立って、交通安全

面やコスト面を中心に既存計画の精査を行った。その結果、主に以下の3点の内容について課題として認識した。

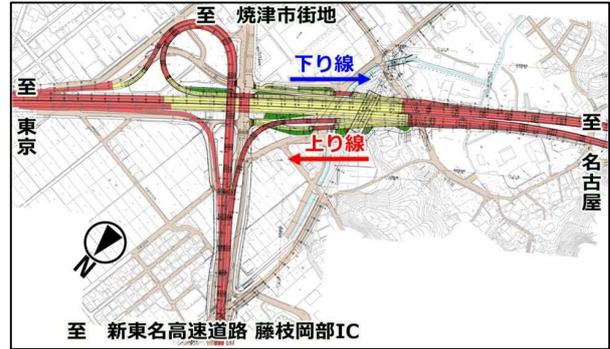


図-5 既存計画平面図

a) ランプ縦断勾配の特例値 (i=8.0%) 採用

新たに設けるBランプは、国道1号藤枝バイパス本線の上り線と新東名高速道路の藤枝岡部IC方面を自動車専用道路ネットワークとして直結するJCTランプであり、4車線化に伴って付替えを行うGランプは、一般道へ接続するダイヤモンド型ICのオフランプである。既存計画では、Gランプから右側へ分岐したBランプが左方向へ向かうため、Gランプと立体交差する構造となっており、個別に市道を上越してから短い距離で立体交差（Gランプの建築限界H=5.0mを確保）しつつ、交差点流入部における緩勾配区間を確保するため、当該ランプの縦断勾配に特例値 (i=8.0%) を用いる計画となっていた (図-6)。

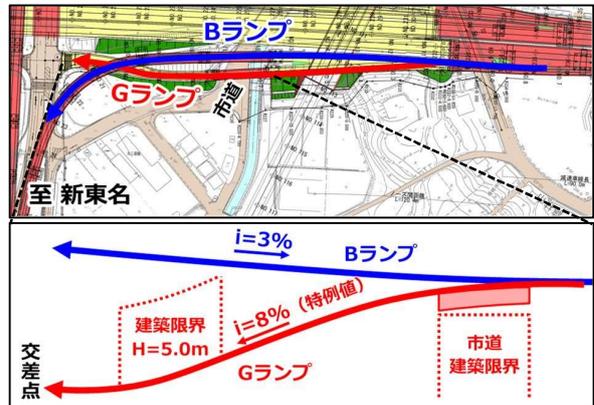


図-6 過年度におけるB・Gランプの平面縦断計画

ここで、B・Gランプの立体交差が生じる要因は、一般道へ接続するGランプが最も左側であれば、キープレフト走行する車両が無意識に有料道路区間へ誤進入することを回避できるという考えに基づいていたためであると考えられる。

b) 高価な橋梁構造

Gランプの下部工は、昭和56年の暫定2車線供用時に本線側（内側）へ施工済みであった。しかし、平成9年以降の計画では、既設橋台の

基礎を残して撤去し、その後方に新たな橋台を設置する計画としていた。加えて、Gランプが市道と立体交差する跨道橋は、桁下市道の建築限界を確保可能な桁高の低い橋種として、中部地整では極めて採用実績が少なく、工事費が非常に高価なプレビーム桁を採用していた。

c) 交差点滞留長の本線影響

Gランプの計画交通量は9,600台/日と多く、交差点部のピーク時滞留長は、計算値でL=330m(直左L=110m, 右折L=220m)となる(図-7)。信号交差点としての需要率は0.48であり、交通処理上問題はないものの、滞留長が本線との分流ターミナル区間まで伸びるため、一時的に本線交通へ影響することが懸念された。また、滞留車両は、縦断勾配特例値区間に停車する必要があるため、追突事故等が懸念される等、安全性に課題があった。

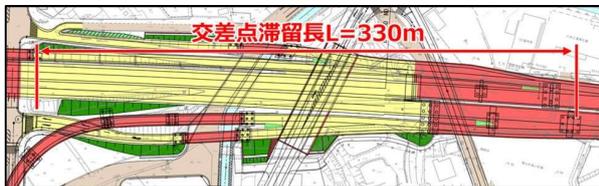


図-7 過年度計画における交差点滞留影響範囲

4. 課題解決に向けた技術的対応

(1) B・Gランプの入替え

本業務では、B・Gランプの立体交差を回避するため、ランプ位置の入替えを提案した。新東名高速道路へ向かうBランプを左側、一般道へ接続するGランプを右側とし、立体交差を無くすことで、Gランプの縦断勾配をV=40km/hの標準最急勾配であるi=6.0%へ変更することが可能となる。しかし、ランプの位置を入替えることで、キープレフト走行した車両のBランプへの誤進入が懸念されるが、新東名高速道路が走行方向に対し左側に位置しており、進行方向とランプの左右が一致しているため問題ないと考えた。周辺の事例としては、伊勢湾岸自動車道の東海JCT上り線が同様の構造となっている。

また、交差点部の緩勾配区間(i=2.5%以下)は、ランプに対する規定長が定められていないものの、可能な限り長く確保することが望ましい。しかし、縦断勾配を特例値(i=8.0%)とした場合、L=30mを確保可能であるが、滞留長L=330mに対して非常に短く、Gランプでは、緩勾配区間を大幅に超えて滞留する可能性が高いことから、ランプ全体の縦断勾配の標準値(i=6.0%)化を優先し、緩勾配区間をL=15m(第3種第4級相当の最小値)とした。



図-8 B・Gランプ入替後の平面計画

(2) 安全対策を目的とした路面標示の提案

B・Gランプを入替えたことによる誤進入を防止するために、近年供用を開始した伊勢湾岸自動車道の飛島JCTを参考に、安全施設の設置方法を提案した。単路部から本線上に一定間隔で設置するカラー舗装と同色の補助看板を用いて案内することで、誤進入防止効果が期待できる(図-9)。さらに、ランプ分岐部の区画線は、Gランプを主道路とすることで、Bランプへ向かう車両は方向指示器を使用し、意思を持ってハンドル操作を必要とする計画とした(図-10)。

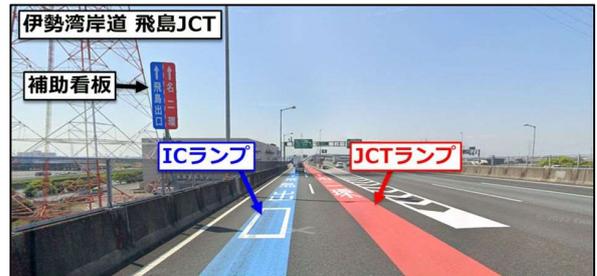


図-9 事例：伊勢湾岸自動車道 飛島JCT

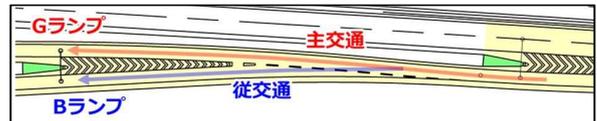


図-10 区画線設置(案)

(3) 既設橋台の活用によるコスト縮減

Gランプには既設橋台が存在するため、ランプ計画の見直しに伴い、当該橋台の活用可否について、同時進行中であった当該ランプ橋の詳細設計業務にて検討することを提案した。その結果、A1橋台は既設構造を活用することが可能であったため、詳細測量を提案し、既設橋台に合致する平面および縦断線形を設定した。

また、過年度におけるA2橋台位置の設定方法が不明であったため、桁下市道における必要な幅員を整理し、藤枝市との計画協議にて了承を得ることができた。これにより、橋長をL=33mからL=15mへ縮小しつつ、橋種をプレビーム合成桁からプレテンション式中空床版桁へ見直すことが可能となったため、既設橋台の活用と合わせて約1.0億円のコスト縮減が可能となった。

(4) 右折2車線化による滞留影響範囲の縮小

本業務では、交差点滞留長の本線影響を低減するため、接続する県道の車線運用を変更しつつ、Gランプの右折2車線化を提案した。

この交差点改良は、県道の北行き右折交通量が極めて少ない点に着目し、交差点に接続する市道を廃道としつつ、南行きの車線構成を直進2車線+右折車線へ変更することで、Gランプからの右折2車線に対する流出車線を確保するものである(図-11)。

ただし、本業務ではこの対応を将来的な計画に位置付け、藤枝市や静岡県への確認までは行わず、Gランプの路面幅を確保するための擁壁設計の実施に留めることとした。

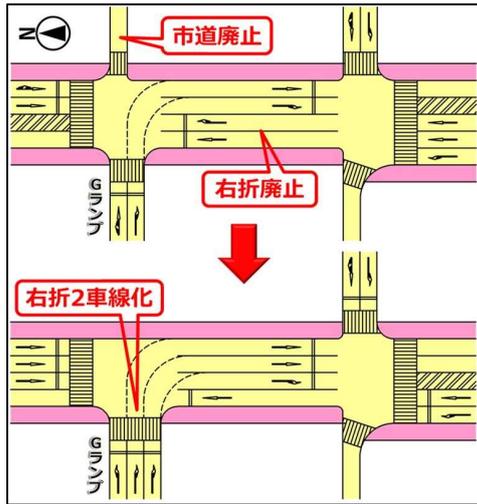


図-11 交差点改良 (Gランプ右折2車線化)

5. その他安全性に関するIC計画の見直し

(1) DランプおよびEランプの縦断特例値の解消

下り線オフランプから分流するDランプおよびEランプについても、B・Gランプと同様の理由から、立体交差に必要な建築限界を確保するために両ランプの縦断勾配が特例値 ($i=8.0\%$) となっており、安全性に課題があった (図-12)。

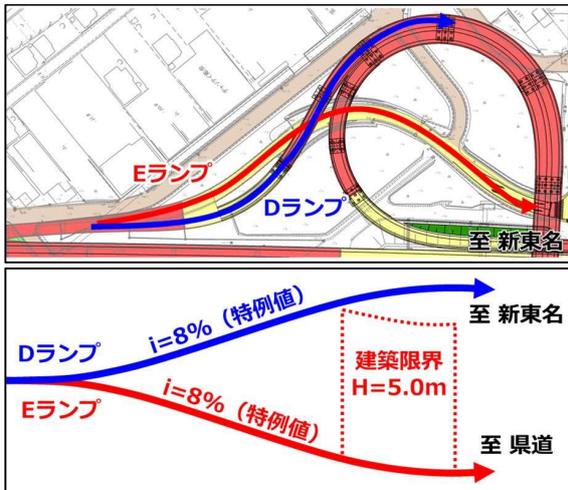


図-12 過年度におけるD・Eランプの平面縦断計画

本業務では、B・Gランプ同様に、ランプの位置を入替え、立体交差を無くすことで、縦断勾配を $V=40\text{km/h}$ の標準最急勾配である $i=6.0\%$ へ変更し、安全性向上を図った。

ただし、下り線オフランプは、新東名高速道路が進行方向に対して右側に位置するため、進行方向とランプの左右が異なる点に留意する必要があった。この課題に対しては、本線分流ノーズからランプ分流ノーズまでの距離を標準値の $L=120\text{m}$ (10秒走行長) 確保するとともに、走行シミュレーションを用いて、ランプ分流ノーズまでにDランプが新東名方面へ向かうランプであることを認識できると確認した上で問題ないと判断した。

(2) CランプおよびFランプの合流形式

新東名高速道路から国道1号藤枝バイパス下り線へ接続するCランプと県道からのオンランプであるFランプは、過年度では交通量の少ないCランプに対し、Fランプがターミナル形式で合流する計画であった。

ターミナル形式とするのであれば、交通量の多いFランプに対し、Cランプを合流させる構造が安全であると考えられる。ただし、今回は両ランプが $V=40\text{km/h}$ の同一設計速度であることに着目し、線形合流形式へ修正することで、余分なハンドル操作を必要とせず、ランプ相互の車両を認識しつつ、速度調整による車両前後の間隔を生むだけで合流が可能な構造により安全性向上を図った (図-13)。

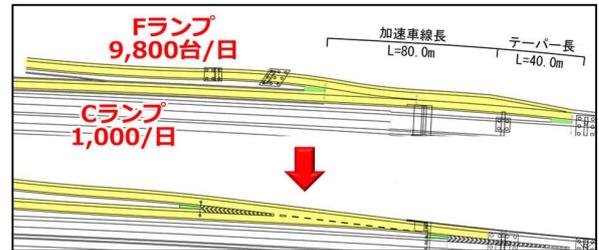


図-13 合流形式の変更

(3) ループ区間における分離帯部への防護柵設置

CランプおよびDランプのループ区間においては、既存用地内で収めつつ、C・Dランプの中央部へ分離帯を確保するために、内側のCランプの平面曲線半径を標準値 ($R=50\text{m}$) から特例値 ($R=45\text{m}$) へ変更した。ここでは、あえて特例値の平面曲線半径を用いることで中央部の分離帯を確保し、防護柵設置による対向車線への逸脱防止や、安全施設の設置空間を確保することによる安全性向上を図った (図-14)。

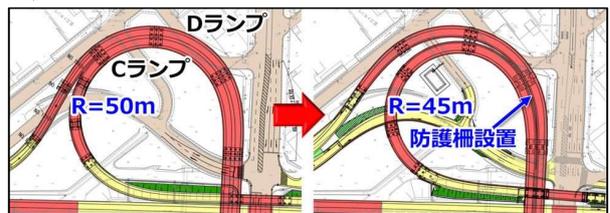


図-14 ループランプ部の平面線形変更

6. おわりに

本業務では、IC詳細設計に先立ち、過年度計画の内容を精査した結果、多くの課題が確認されたため、IC予備修正検討の実施を提案し、供用中のAランプを除くすべてのランプ線形を見直すことで、各種課題を解消し得るIC計画を立案した。

加えて、近年の整備事例を参考に、標識、区画線および路面標示等の提案を行ったが、今後は供用前の安全施設に関する公安委員会との協議を踏まえて最適な案内誘導方法を検討していく必要がある。また、4車線供用後の交通状況を踏まえ、交差点改良の可否についても検討していく必要がある。

停車車両に配慮した都市部主要幹線道路の 自転車通行空間整備計画

○大野 峻¹・立松秀樹²・倉知健司³・水野耕治⁴

- 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)
- 2 (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)
- 3 (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)
- 4 (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、名古屋市内における自転車通行空間の整備計画に基づき、国道19号大須地区を対象に設計した事例について報告するものである。本設計では、車両・自転車の安全な通行に配慮した停車スペースの設置や左直分離の交差点における滞留スペース、自転車専用通行帯と自転車道の接続の考え方など、既往のガイドラインでは網羅できていない内容について検討し、具体計画として整理した。本稿が今後も全国的に展開が期待される自転車通行空間創出の一助となれば幸いである。

Key Words : 自転車通行空間整備, 停車車両, 左直分離, 交差点滞留スペース

1. はじめに

我が国では、持続可能な社会の実現、新型コロナウイルスを想定した「新しい生活様式」において、自転車の活用が推奨されている。これまでも安全で快適な自転車利用環境創出ガイドライン¹⁾や改正した道路構造令²⁾に基づき、全国の自治体において、歩行者と分離された自転車通行空間の整備が進められてきた。しかしながら、整備が追いついておらず、自転車が歩道を走行し、歩行者と交錯する状況も散見される。交通事故全体の件数や自転車関連事故件数は平成21年から5割程度減少しているのに対し、自転車対歩行者の事故件数は1割程度の減少に留まっている³⁾。また、高齢者と接触したことによる高額賠償事故および死亡事故も発生している。このような状況から、安全・安心な自転車通行空間の創出が急務となっている。

本稿では、名古屋市内における自転車通行空間の整備計画に基づき、国道19号大須地区(図-1)を対象に設計した事例について報告する。今回計画は車両・自転車の安全な通行に配慮した停車需要への対応や、左直分離の交差点における滞留スペースおよび自転車専用通行帯(一方通行)と自転車道(対面通行)の接続の考え方を整理したものであり、今後も全国的に展開が期待される自転車通行空間の創出



図-1 設計対象区間

に関する技術的知見の共有を図るものである。

2. 設計条件および課題

本章では、対象区間における現地状況および設計条件、設計を進めるうえでの課題について、詳述する。

(1) 現地状況

対象区間は、名古屋市大須地区の国道19号で、市内有数の観光地である大須観音や大須商店街のあるエリアである。この区間には地下鉄の出入口が設置されており、地下鉄利用者と商店街利用者による自転車の歩道内への駐輪により、歩道空間が非常に狭くなっていた。また、一部区間は小学生の通学路にも指定されており、通勤通学時間帯には、狭小な歩道内を多くの歩行者及び自転車が通行するため、交錯する状況が確認された（図-2）。



図-2 国道19号の歩道の交通状況（平成30年6月時点）

(2) 設計条件

対象区間は、交通量約50,000台/日、設計速度60km/hの片側4車線道路（第4種第1級）である。対象区間における交通需要を精査した結果、車線数に余裕があったことから、第一車線を自転車通行空間へ転換することで、歩行者と自転車の通行空間を分離する計画とした。

(3) 課題

対象区間における自転車通行空間の整備計画を立案するにあたり、以下が課題であった。

- a) 車両・自転車の安全な通行に配慮した停車需要への対応
 沿道に、観光地や商業施設があったことから、現

況の第一車線において、バスや貨物車等の停車車両が確認された。第一車線を自転車通行空間へ転換する中で、第二車線でバスや貨物車等を停車させると、本線交通の阻害および停車車両への追突などが懸念された。そのため、第一車線の中で停車需要に対応する必要があった。停車需要に対応する方策として第一車線W=3.75m（路肩W=0.5m含む）に停車スペースW=2.5mを設置することとしたが、第一車線車道側に停車スペースを設けると、停車車両が第二車線に近接することとなり、停車車両を避けようとした本線交通による重大事故が発生する危険性があった。一方で、歩道側に停車スペースを設けると、停車車両と自転車の交錯が生じる。また、自転車が第二車線に近い位置で走行することとなるため、恐怖心から自転車通行空間の遵守率の低下も懸念された。以上より、車両・自転車の安全な通行に配慮した停車需要への対応が課題であった。

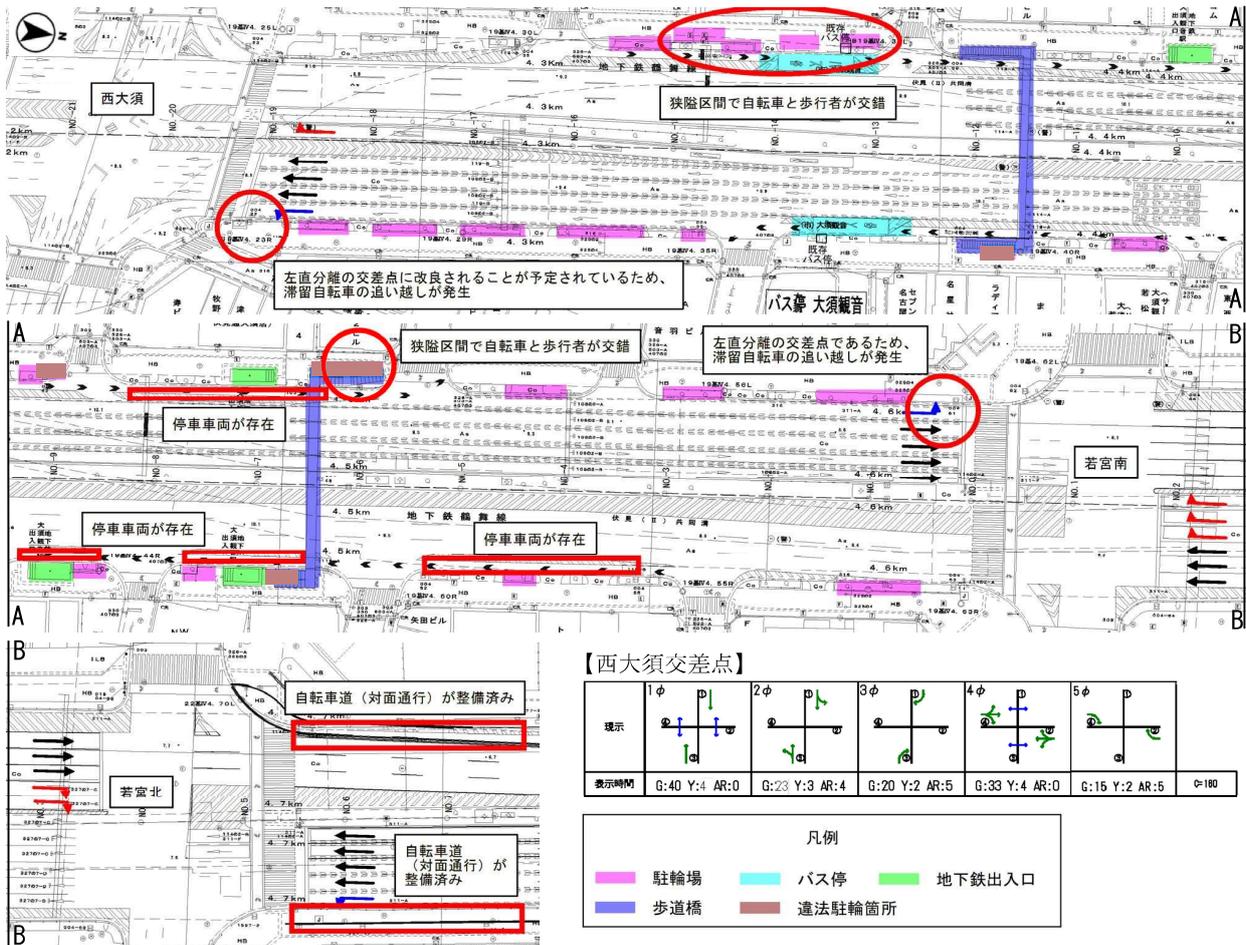


図-3 西大須交差点～若宮北交差点区間における現地状況

b) 左直分離の交差点における自転車滞留スペースの確保

対象区間における交差点では、左折と直進が分離する信号現示に改良されることが予定されていた。左直分離の交差点においては、自転車も軽車両であることから、左折自転車と直進自転車は時間差で発進することとなる。そのため、自転車の滞留があるときに、その滞留自転車の追い越しが発生する。また、交差点部では付加車線が設置されており、車線幅員の再配分では自転車の追い越しに必要な自転車通行空間の確保が困難であった。以上より、左直分離の交差点における自転車滞留スペースの確保が課題であった。

c) 既設自転車道（対面通行）との接続

設計終点である若宮北交差点以北では、対面通行の自転車道が整備済みである。今回の計画では、停車需要および本線交通の安全性の観点から、一方通行の自転車専用通行帯を採用しており、接続部において、対向自転車および歩行者との交錯が生じる。そのため、対向自転車および歩行者の安全に配慮した接続とする必要があった。

3. 整備計画

本章では、上述の課題に対し、検討した整備計画について、詳述する。

(1) 限定的に停車スペースを第一車線歩道側に設置した自転車専用通行帯の整備

本業務における自転車通行空間整備の基本方針としては、停車需要および本線交通の安全性の観点から、第一車線を自転車専用通行帯へ転換することとしている。なお、第一車線歩道側にはW=1.5mのカラー舗装を実施し、自転車の通行空間を明確とするとともに、自動車が行く第二車線との離隔を確保することで、自転車利用者の安全性確保および遵守率向上を図った。さらに、カラー舗装と第二車線間の無着色スペースに駐車禁止の路面標示、第一車線と第二車線の境界にはラバーポールを設置するこ

とで、違法駐車を防止し、適切な運用となる計画とした(図-4)。また、バスや貨物車等の停車需要に対しては、停車位置を限定したうえで、第一車線歩道側に停車スペースを設置する計画としている(図-5)。停車車両と自転車が交錯することとなるが、停車スペースを限定しているため、交錯箇所および交錯危険性を最小限としている。なお、停車スペース設置箇所においては、カラー舗装を車道側にシフトしており、車両停車時における自転車の走行位置を明確とするとともに、本線交通および停車車両に対し、第二車線に近接した位置で自転車が通行する可能性があることを注意喚起する計画とした。これにより、本線交通・自転車交通の安全性を極力確保した形で、停車需要に対応した。

(2) 都市型側溝設置による滞留部幅員 (W=2.0m) の確保

左直分離の交差点における自転車通行空間を整備するうえで、基本となる考え方を図-6に整理した。整備計画の策定フローとしては、まず、対象となる交差点での左直分離信号現示の有無を整理する。直進単独または左折単独の信号現示が表示される場合には滞留自転車の追い越しが発生するため、滞留自転車を追い越すための滞留スペースの確保が必要となる。次に、自転車専用通行帯の幅員W=2.0m以上を確保可能か整理する。これは、地形など特別な理由によりやむを得ない場合には自転車専用通行帯をW=1.0mまで縮小できることから、追い越しに必要な幅員をW=2.0mとしており、滞留自転車を追い越すための滞留スペースが確保できるか整理するものである。自転車専用通行帯をW=2.0m以上確保可能な場合については、交差点手前で自転車専用通行帯をW=2.0mとする。自転車専用通行帯W=2.0m以上の確保が困難な場合は、さらに、対象交差点における左折単独の信号現示の有無を整理する。左折単独の信号現示がある場合には、左折単独現示が表示されると、第一車線を走行する左折車両も発進することとなり、滞留自転車を追い越そうとする左折自転車と左折自動車が接触する可能性があるため、自転車は歩道部に誘導させる必要がある。左折単独の信号現示がな



図-4 大須地区における自転車専用通行帯の整備計画（一般部）

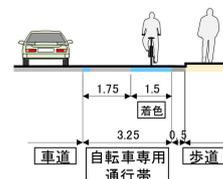
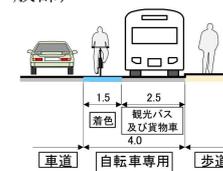


図-5 大須地区における自転車専用通行帯の整備計画（停車車両のスペース）



い場合については、直進単独現示が表示されるため、第一車線に滞留する左折自動車は停車したままであり、滞留自転車を追い越そうとする直進自転車との接触する可能性は少ないため、矢羽根で交差点を通過させる。各案の概要は以下のとおりである。

ベース案：交差点手前でW=2.0mの自転車専用通行帯を確保する案。

案①：極力交差点付近まで自転車が車道を通行する案（交差点部で自転車を歩道へ誘導する案）。

案②：矢羽根で交差点を通過させる案。

今回計画区間においては、車線の再配分だけでは自転車専用通行帯W=2.0mを確保することは困難であった。そのため、西大須交差点においては、車線の再配分による自転車専用通行帯W=1.5mの確保に加え、都市型側溝を採用することで、交差点手前で自転車専用通行帯W=2.0m確保するベース案とした。なお、若宮南交差点についてもベース案としているが、交差点流入部の車線幅員に余裕がなく、都市型側溝を採用しても自転車専用通行帯W=2.0mが確保できなかったため、一部歩道を縮小することで滞留スペースを確保した。

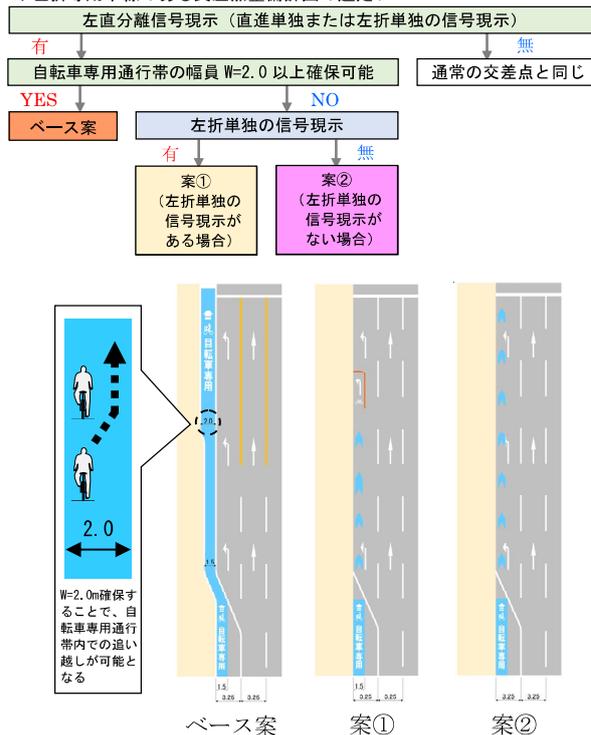
(3) 色の異なる矢羽根などの安全対策の設置

若宮北交差点以北の既設自転車道（対面通行）と今回計画の自転車専用通行帯を接続するにあたり、対向自転車との交錯が必ず生じる。また、若宮北交差点は若宮南交差点に近接しており、各交差点周辺部には横断歩道を利用する歩行者の滞留が想定された。そのため、対向自転車および歩行者との交錯可能性が極力小さくなるよう、交差点間の単路部で接続する計画とした。接続部周辺の歩道上では、色の異なる矢羽根を配置することで、歩行者に対し、自転車も通行する空間であることを認識させるとともに、対向自転車に対しては自転車専用通行帯から自転車が歩道に乗り入れる可能性があることを認識させる計画とした。なお、名古屋市中区桜通地区にある桜通大津交差点周辺の自転車道から自転車専用通行帯へ切り替わる区間においても色の異なる矢羽根を設置がされており、これまでに事故が発生していないことから、今回の計画においても採用している。

4. おわりに

本稿では、車両・自転車の安全な通行に配慮した停車需要への対応や、左直分離の交差点における滞留スペースおよび自転車専用通行帯（一方通行）と自転車道（対面通行）の接続の考え方を整理した。安全で快適な自転車利用環境創出ガイドライン¹⁾をはじめとする既往の基準では、自転車通行空間整備に対する基本的な整備方針が整理されていないものに対し、具体計画として整理した事例となる。本稿が今後の自転車通行空間整備の一助となれば幸いである。

◆左折専用車線のある交差点整備計画の選定フロー



案	概要
ベース案	交差点手前でW=2.0mの自転車専用通行帯を確保する案
案①	極力交差点付近まで自転車が車道を通行する案（交差点部で自転車を歩道へ誘導する案）
案②	矢羽根で交差点を通過させる案

図-6 左折専用車線のある交差点整備計画の策定フロー

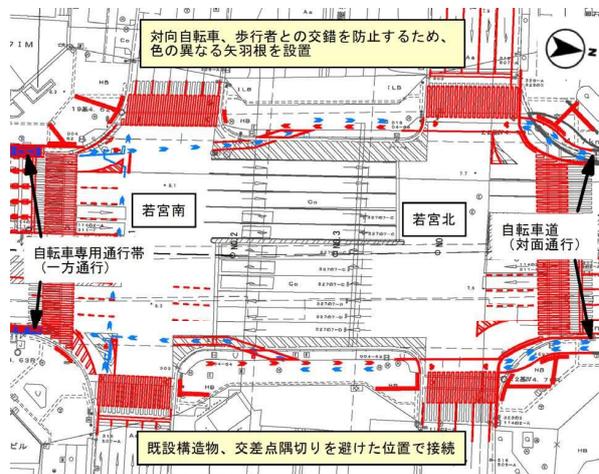


図-7 自転車道（対面通行）との接続

参考文献

- 1) 国土交通省,安全で快適な自転車利用環境創出ガイドライン,2016
- 2) (公社) 日本道路協会,道路構造令の解説と運用,2021.
- 3) 国土交通省.“交通安全教育の推進”,自転車活用推進本部.2021-5-25.
<https://www.mlit.go.jp/road/bicycleuse/project/>,
(参照2022-09-09)

テーマパーク周辺交差点における 既存施設を活用した左折フリー化検討

ひやくまつしょうへい せきぐちたかし なかむらおさむ うえはらまさと みずたにかずま
○百松将兵・関口貴志・中村 治・上原将人・水谷和真

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

愛・地球博記念公園北口北交差点では、主要地方道力石名古屋線の東行きオフランプの左折渋滞が日常的に発生している。加えて、2022年秋のジブリパーク開業に合わせて当該交差点の北西角に公園駐車場が新設され、その入口が当ランプに設置されるため、渋滞悪化と公園利用への阻害が懸念された。

本稿では、既存の立体横断施設を活用し、現況の渋滞とジブリパーク開業後の交通需要に対応するため、左折フリー化により交通の円滑性と安全性の向上を図った結果について報告する。

Key Words : 渋滞対策, 大型集客施設, 左折フリー化, 地下横断歩道, 既存施設の有効活用

1. はじめに

(1) 対象箇所

本稿の対象となる愛・地球博記念公園北口北交差点は、ダイヤモンド型 IC の高架下交差点の北側半分に位置し、(主) 力石名古屋線の東行きランプ(オン・オフ)と(県)愛・地球博記念公園瀬戸線が十字交差している。(主) 力石名古屋線は、豊田市力石町における国道 153 号との交差点(力石 IC)を起点に、名古屋市名東猪高台における国道 302 号との交差点へ至る全長約 24km の路線であり、(県)愛・地球博記念公園瀬戸線は、当交差点を起点に瀬戸市見付町における国道 363 号との交差点へ至る路線である(図-1 参照)。



図-1 広域図

当交差点は、隣接する愛・地球博記念公園北口交差点と一体的に信号制御されており、南側流入部に

は愛・地球博記念公園の出入口が直結し、南西側に愛知高速鉄道東部丘陵線(以下、リニモ)の駅、北東側に愛知県立大学、北西側にリニモの利用促進を目的とした P&R 駐車場が立地している(図-2 参照)。また、ジブリパーク開業後には、北西角の P&R 駐車場を閉鎖し、その跡地を中心に公園駐車場(当面 300 台、将来的に 900 台程度の見込み)が新設される計画であり、東行きオフランプ(D ランプ)に入口が設置される予定となっている。

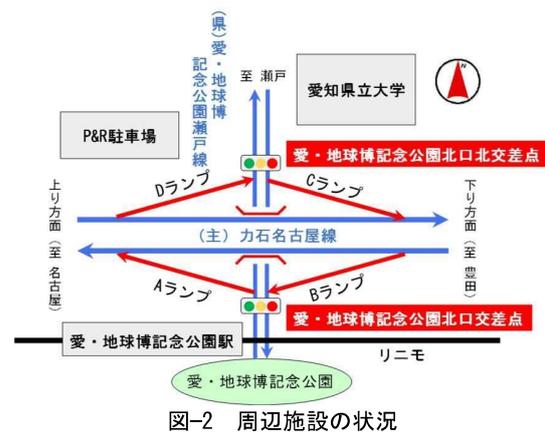


図-2 周辺施設の状況

(2) 現在の渋滞状況

当交差点は、平日休日問わず、名古屋方面から瀬戸方面へ向かう左折交通の集中によって渋滞が発生しており、頻繁に本線まで影響を及ぼしている。加えて、特に平日は、愛知県立大学～リニモ駅間を往

来する横断歩行者のピークが重なることで左折渋滞に拍車がかかっている。

参考に、東進左折交通の渋滞交通量、並びに北側の横断歩行者数の調査結果を以下に示す(図-3)。

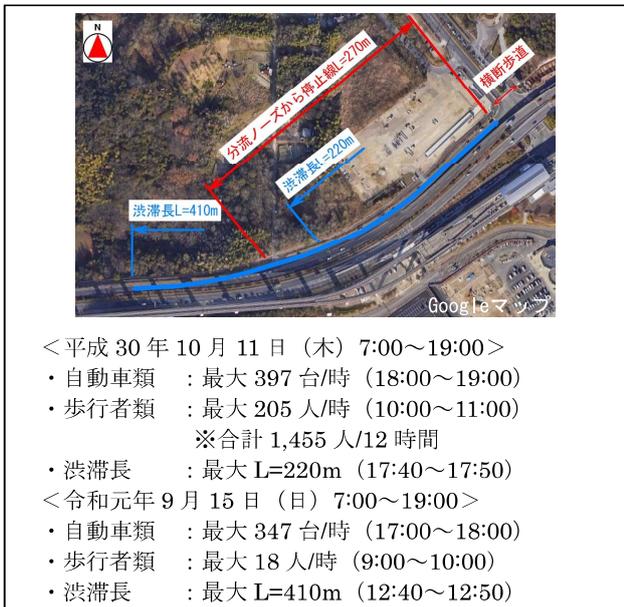


図-3 東行きオフランプの渋滞状況

(3) ジブリパーク開業による交通需要の変化

愛知県は、愛・地球博記念公園内にジブリ作品の世界観を表現し、多くの方々に楽しんでいただく「ジブリパーク」整備構想について、2017年(平成29年)5月31日にスタジオジブリと合意し、現在は2022年11月1日の開園を目指して工事を進めている。なお、開園に伴い、公園への年間来場者数は、現在の約156万人から約280万人へ増加すると想定されている。

当交差点においては、(1)対象箇所 で前述したとおり、Dランプに公園駐車場の入口が設置される予定であるため、公園利用車両の利便性と安全性を確保する必要がある。

これらの状況から、ジブリパーク開業へ向けた周辺道路対策の一環として、慢性的に渋滞が発生している当交差点の改良が検討されることとなった。

2. 基本条件の整理

(1) 検討フロー

本検討のフローを図-4に示す。



図-4 検討フロー

(2) 設計条件

以下に、(主)力石名古屋線本線および(県)愛・地球博記念公園瀬戸線、並びに(主)力石名古屋線 D ランプ(交差点流入部)の諸元を示す(図-5)。

<(主)力石名古屋線>

- 種級区分: 第3種第2級
- 設計速度: V=60km/h
- 車線数: 4車線
- 幅員構成: W=22m

<(県)愛・地球博記念公園瀬戸線>

- 種級区分: 第3種第2級
- 設計速度: V=60km/h
- 車線数: 4車線
- 幅員構成: W=28m

<Dランプ(東行きオフランプ)>

- 設計速度: V=40km/h
- ランプ種別: B規格
- 幅員構成(交差点流入部): W=17m
- 車道部 W=11.0 (0.75+3.0+2@3.25+0.75) m
- 歩道部 W=6.0 (4.0+2.0) m

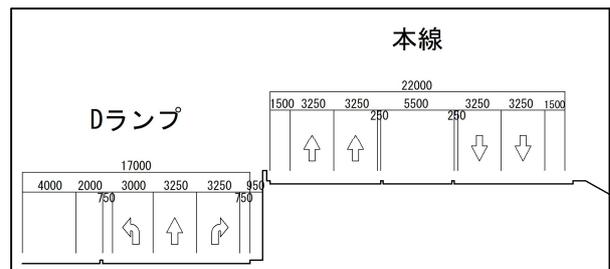


図-5 幅員構成図

(4) 方向別交通量

当交差点の現況の方向別交通量を以下に示す(図-6)。

		至 瀬戸				北 側			
		流出		流入		452			
		430		337		0		115	
		← ↓		↑ →					
D ランプ	西側	流入	355	335	↑			135	C ランプ
		流出	452	20	→				
				0		↓			
								流出	
								至 豊田	
								(カ石)	
								B ランプ	
A ランプ	西側	流出	452	135		流出			
				↑	95	流入			
				←		115		210	
				↓		0			
								流入	
								愛・地球博記念公園	
				←		↑		→	
				0		0		0	
								流出	
								南 側	
								愛・地球博記念公園	

単位:台/h/方向

図-6 方向別交通量(令和元年交通量調査)

3. 現況交差点における課題と対策案の検討

(1) 駐車場利用車両を含めた左折交通の処理

現在渋滞している流入部に公園駐車場の乗入口が設置される中、平日は通勤交通と公園利用交通のピーク時間が重ならないと想定しているものの、特に休日は公園駐車場への円滑な進入の阻害と、さらなる渋滞の発生が懸念される(図-7)。また、駐車場入口の予定位置と交差点が近いこと、前方車両の方向指示器を誤認することによる追突事故等に留意する必要がある。よって、駐車場利用車両を含めた流入部全体の交通円滑性と安全性を確保可能な交差点改良計画(左折処理計画)の立案が課題であった。

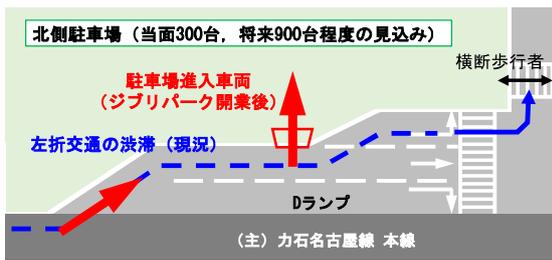


図-7 Dランプへの乗入口の設置

(2) 対策案の検討

左折交通の処理方法の検討に当たり、現況の交差点形状を基に交差点解析を実施すると、Dランプ左折車線の交通容量比が1.0を超える結果となった。なお、北側流出部の条件として、リニモ駅～愛知県立大学間の歩行者の往来が多いことから、横断歩行者による低減率に0.5を用いている。ここで、横断歩行者は、公園駐車場の供用開始時には、駐車場～愛・地球博記念公園間の往来が追加されるため、特に駐車場を900台まで拡張した段階ではさらなる交通の阻害が懸念されることとなる(図-8)。

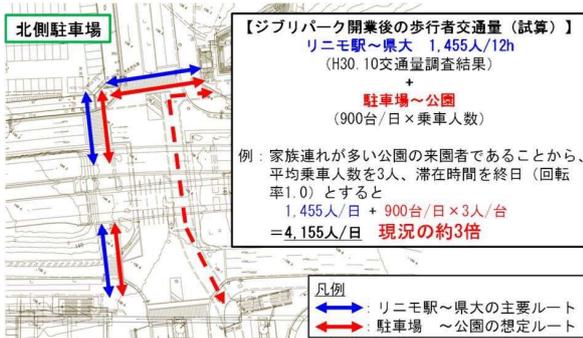


図-8 ジブリパーク開業後の歩行者交通量(試算)

ここで、横断歩行者による阻害を回避するため、北側の横断歩道を撤去すると、かろうじて交通容量比が1.0未満となった。ただし、実際はDランプ内における公園利用車両の減速により、飽和交通流率が大きく低下すると考えられるため、さらなる対策を検討することとした。

具体的な案として、まず、車線数の増加、つまり左折2車線化について検討を試みたが、Dランプは、右側の本線構造物と左側の新たに設定される公園区

域に挟まれているため、この方向は困難であった。

次に、信号現示の見直しを試みたが、当該交差点は隣接する愛・地球博記念公園北口交差点と連動した3現示方式が採用されており、他の公園駐車場の利用交通を含め、全ての流入部で交通量の増加が予測される状況では、現示の再分配は現実的に困難であると判断した。

続いて、卓越する左折を常時可能とすることで交通の円滑化を図る左折フリー化を検討することとした。

(3) 左折フリー化における歩行者動線の確保

愛知県下では、交通管理者との協議において、左折フリー化の条件として、歩行者の安全確保のため、流出入部の横断歩道の撤去が求められる。従って、当交差点においては、西側および北側の横断歩道の撤去が必要となり、交差点北西側と東西方向および南北方向の動線を確保するための立体横断施設を設置する必要があった(図-9)。

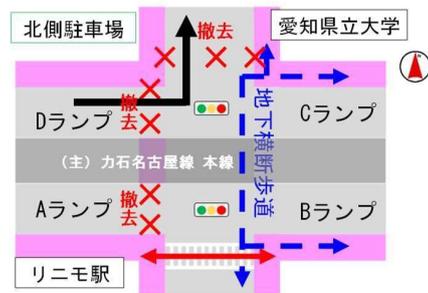


図-9 横断歩道の撤去

4. 課題解決に向けた技術的対応

(1) 立体横断施設の検討

左折フリーに関わる流出入部の横断歩道撤去に対し、立体横断施設による動線確保を検討する。

まず、横断歩道橋の配置を検討したところ、東西方向には特に問題なく計画が可能であったが、南北方向では、Dランプを跨ぐ構造とする場合、本線の路側擁壁およびBOX橋台との間に橋脚の設置空間が確保できず、Dランプ、本線およびAランプを一括して跨ぐ場合は、本線に対する建築限界確保が必要となり、経済的に不合理な構造となる。よって、南北方向への設置は困難と判断した(図-10)。



図-10 横断歩道橋の設置

(2) 既設地下横断歩道の活用

次に、地下横断歩道については、当交差点の東側を南北方向に結ぶ既設の地下横断歩道があることに着目した（図-11）。

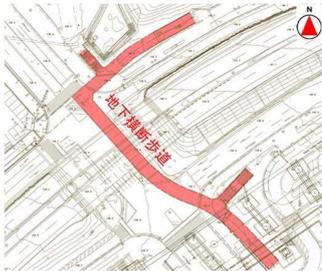


図-11 地下横断歩道の設置位置

当該施設への接続等を念頭に、竣工図を基に構造を確認した結果、2005年の愛・地球博開催時に暫定整備された北西角のパーク&バスライドターミナルへのアプローチとして期間限定で利用され、現在は閉鎖された区間の存在が分かった（図-12）。

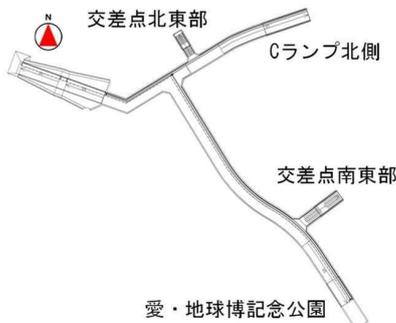


図-12 地下横断歩道平面図（万博開催時）

そこで、閉鎖区間を含めた当該施設の活用を視野に、閉鎖処理状況の確認を行った結果、BOX内空は土砂で間詰めされ、端部はコンクリート壁（ $t=20\text{cm}$ 程度）が設置されていたため、比較的容易に復旧可能であると判断した。次に、試掘による位置の確認と内空側からの健全度調査を提案した。これらの結果、活用可能との判断に至ったため、左折フリー化の具体化の検討が可能となった。

活用に当たり、歩行者動線の計画は、閉鎖区間の端部からBOXを延伸し、地上との高低差を斜路付き階段で接続することとした。また、公園駐車場の計画との調整により、駐車場からのスロープをBOX延伸区間へ接続し、駐車場と公園との動線も兼ねることとなった（図-13）。

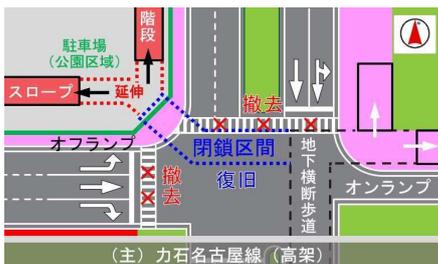


図-13 交差点計画図

(3) 幾何構造計画

駐車場入口計画との調整では、2車線であるDランプの第1車線に異なる位置で左折する車両（駐車場進入車両、通過交通の左折車両）が混在する中、方向指示器を出すタイミングを明確にずらし、前方車両の減速を予測することで追突事故の誘発を防ぐため、交差点から並行区間30mとテーパー長20mを確保した位置に行動点（左折テーパー端）を設け、この位置から道路交通法に定められる合図開始後の3秒間に走行する長さ（ $V=40\text{km/h}$ の場合35m）以上の離隔を確保した位置への乗入口の計画を提案し、安全性に配慮した（図-14）。

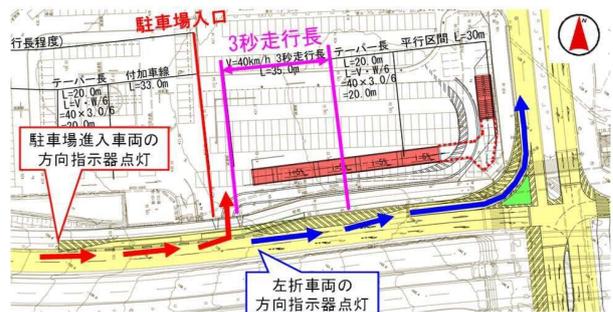


図-14 駐車場入口計画

また、左折フリー後の合流形式については、愛・地球博記念公園の北口が移設されることを踏まえ、北進車線を中央分離帯側の1車線のみとし、左折フリー車線を第1車線に直結させた。これにより、合流部の交通錯綜を回避し、交通の円滑性と安全性の向上を図った（図-15）。

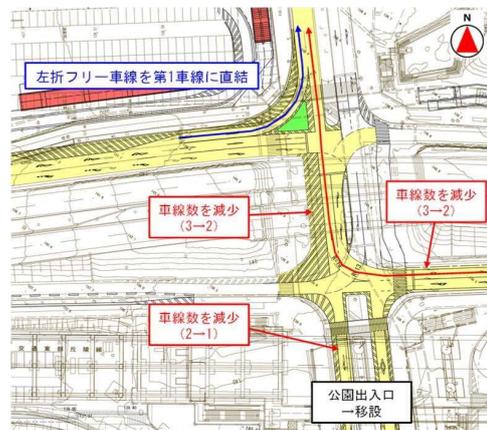


図-15 左折フリー車線の合流形式

5. おわりに

今回の提案により、現況の渋滞と将来的な公園来訪者の増加に対応可能な交通の円滑性と安全性を兼ね揃えた交差点を計画することができた。また、左折フリー化の計画に当たっては、既存施設を有効活用することで、交通管理者と道路管理者の了解を得ることができた。ただし、ジブリパーク開業後には、イベント時等の一時的に交通需要が高まった際の交通状況について経過観察し、状況によっては追加の対策を検討する必要があると考える。

落石や斜面崩壊のリスクを有する急崖斜面 における道路予備設計

ふるばやしりゅうじ おがわとしはる こもりのりひこ ますたよしのぶ たけうちしゅうと
○古林竜治¹・小川利治¹・小森紀彦¹・増田吉伸¹・竹内修人¹

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

本業務は、ダム建設事業に伴い付替えが必要な町道の道路予備設計、法面工および擁壁工の予備設計を実施したものである。当該道路の付替え位置は、亀裂が発達した露岩や転石が多数確認される急勾配斜面上であり、構造物比率が高くなるため、建設コストの縮減、建設残土の削減、施工性および維持管理性への配慮など、合理的な道路構造とする必要があった。

本稿は、落石や斜面崩壊のリスクを有する急崖斜面において、道路線形、切土のり面構造および擁壁構造等を検討した結果を紹介するものである。

Key Words : 道路線形検討, 落石シミュレーション, 切土法面急勾配化, 擁壁形式比較

1. はじめに

我が国は、急峻地形、脆弱な地質構造が多く、地震や多発する集中豪雨など、厳しい環境にさらされており、災害に対する安全性確保が常に重要課題となっている。さらに国や地方が管理する道路構造物の老朽化が進行する状況から、新設する道路においても維持管理性への配慮が重要課題となっている。

(1) 計画の概要

当該道路は、ダム建設に伴い付替えが必要な町道であり、第3種第5級の1車線道路である。町道の計画箇所近傍には地すべりブロックが確認されたため、この地すべりブロックを回避する必要がある。道路の付替え位置は、急崖斜面上に限定された。また、起点側の橋梁と終点側の現況道路の高低差によって道路縦断計画上の制約があり、3箇所のヘアピンカーブを有するつづら折れの道路設計とする必要があった。

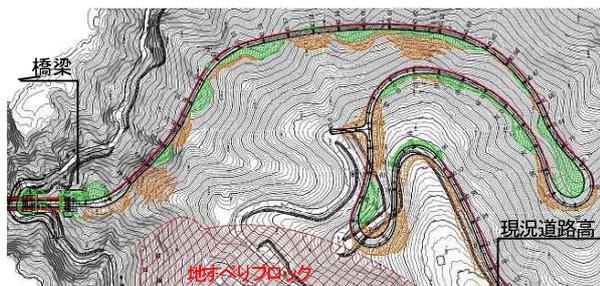


図-1 建設残土を抑制した既往設計の平面線形

(2) 現地の状況

道路計画地は、全体として急斜面が形成されている。この斜面は岩質によって異なり、硬質な岩盤部では急峻な崖を形成し、脆弱な部分では緩傾斜が分布する。基盤岩は、美濃帯の混在岩が分布しており、ホルンフェルス化している。ホルンフェルス化した混在岩は、硬質化しているのが特徴的であり、急崖を形成している。急崖部は、亀裂の卓越面に沿って開口している露頭が多く認められた。また、露頭が点在する程度の緩斜面部は、最大φ2m程度の不安定岩塊が確認されることに加え、沢部には小径の角礫が散在している状況であり、計画道路への落石の恐れがある斜面であった。



写真-1 亀裂が発達した急勾配の露岩斜面



写真-2 斜面上に点在する不安定岩塊

2. 線形の見直しを含めた道路構造の見直し

(1) 過年度設計の課題

過年度の道路予備設計は、建設発生土の受入れ地の制約により残土を抑制するため、切土をできる限り少なくした結果、亀裂が発達した露岩部や落石予備物質の多くが残置される計画であった。さらに図-2に示すように谷側擁壁の多くの箇所では軽量盛土が採用され、現況斜面の安定性を考慮して軽量盛土背面にアンカー工および基礎にルートパイルを併用した構造であったため、コスト削減、建設残土の削減、施工性および維持管理性への配慮等の課題があった。

特に維持管理性については、軽量盛土自体が抗土圧構造ではなくアンカー工により安定を確保する構造であるため、アンカー工の健全性の確保が重要であると考えられる。しかし、軽量盛土の背面にあるアンカー工の点検が困難であるなど、維持管理の面で問題があるため、不安定な急崖斜面では軽量盛土の採用は避けるべきと判断した。

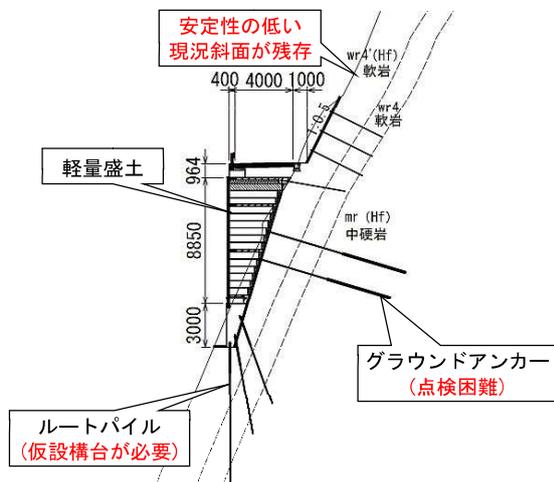


図-2 既往設計における急勾配斜面の擁壁構造

(2) 計画方針

過年度設計の課題を考慮し、以下のとおり平面線形および一般構造物を検討した。

a) 平面線形

平面線形は、以下の点に着目して地形に追従した道路線形とした。

- ・片切掘削は切土の施工性に問題があることに加え、アンカー工を設置するのり面においては、仮設足場が必要になるため、切土の施工性と土足場でアンカーを施工できるように現況地形に追従させる形でオープン掘削が主体となる平面線形とする。
- ・亀裂が発達した不安定な露岩斜面を残置すると土工費は削減できるが、斜面安定対策や落石対策などの高コストな対策費用が必要になるため、不安定な露岩斜面を切土する平面線形とする。
- ・急崖部の擁壁は、仮設足場の設置が必要であること、施工ヤードが狭小で資材・機材の搬入が難しいことを考慮して切土を主体として擁壁を設置しない平面線形とする。

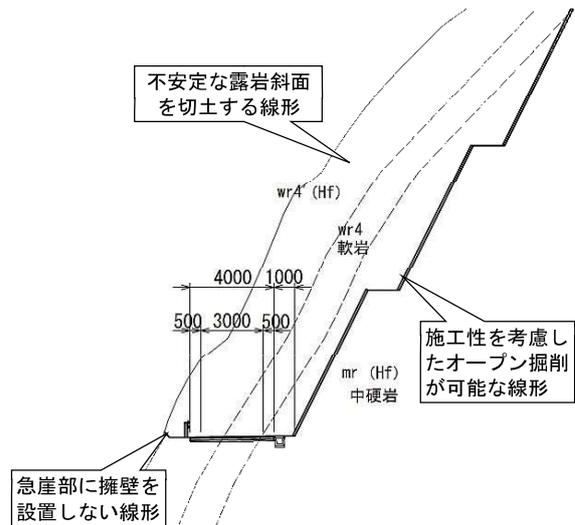


図-3 不安定な急崖斜面の横断計画

b) 擁壁構造

緩傾斜が分布する区間においては、片切り片盛りの道路構造とし、切土量を削減した。

谷側の擁壁は、一般的なコンクリート擁壁および補強土壁等の比較検討の結果、経済性、施工性に優れた補強土壁を採用した。また、道路端部に補強土壁を設置すると床掘が道路幅員の中で収まらない場合は、図-4に示すように盛土のり面下に補強土壁を設置することとした。この擁壁計画によって盛土量が増えることになり、建設残土の削減も図った。

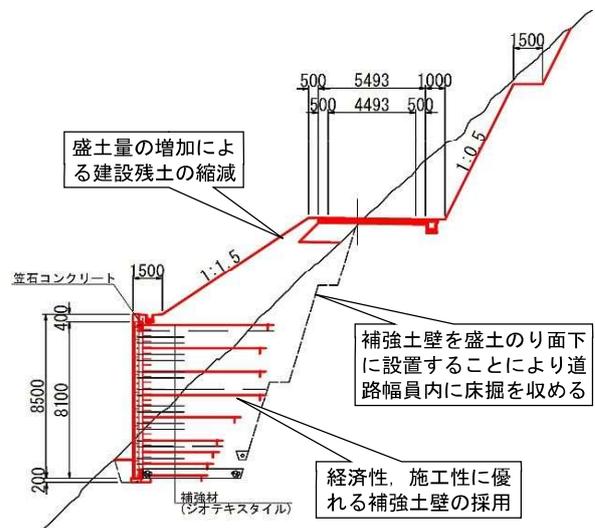


図-4 緩傾斜部の擁壁構造

c) のり面構造

切土形状は、当該道路がつづら折れの道路であるため、標準勾配で切土することが困難な箇所があること、建設残土を抑制する必要があることを考慮してグラウンドアンカー工を用いた急勾配切土のり面とした。

アンカーの定着部は、すべり面より深部の不動層に定着される必要があるが、当該のり面の想定すべ

り線深部は、DL～CM級岩盤であるものの開口亀裂が認められる領域があり、一部には20cm以上の空隙が確認されていた。アンカーの定着部における地山とアンカー体との周面摩擦抵抗力は、一般的にボーリング結果の地盤種別およびN値により設定されるが、開口亀裂のある岩盤ではその評価が難しいこと、および施工時にグラウト材が漏出して定着不良となることが危惧されることから、図-5に示すように開口亀裂が確認される領域より深部をアンカーの定着地盤とした。

また、片切掘削にならない平面線形とすることにより土足場でアンカー工の施工が可能な切土としたため、アンカー反力体として独立受圧板を用いて土足場による逆巻き施工で長大切土のり面の施工中の安定を確保する計画とした。

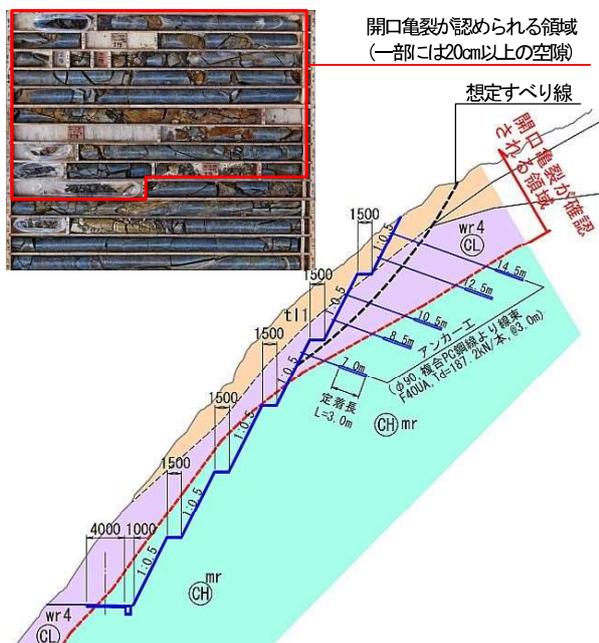


図-5 切土のり面構造

3. 落石対策の検討

(1) 基本方針

落石対策工には、落石の発生が予測される斜面内の不安定岩塊を取り除いたり、斜面に固定する等の発生源における対策（落石予防工）と、落石を斜面途中または道路上に設置した施設で防護する対策（落石防護工）がある。

落石対策は、現位置での個別対策である落石予防工を実施することが、最も確実で安全性が高い対策と言われるが、当斜面のように小径の角礫が散在する状況においては、小径の角礫を含めた全ての不安定岩塊に対して落石予防工のみで対応するのは現実的ではない。また、集水地形を呈す斜面については、経年により表層の浸食が進むことで現在は埋没している岩塊が露出し、不安定化する可能性もある。そのため、落石防護工の設置を基本とする落石対策を検討した。

(2) 落石の運動機構の推定

落石防護工を検討するにあたり、落石経路、跳躍高さなどが重要な要因となる。しかし、落石対策施設については、道路の落石対策では最も信頼の高い基準である「落石対策便覧」においても、過去の経験や落石実験の結果から得られた成果に基づいた経験則であり、落石という不確定な事象の性格上、実際の落石現象は現場毎に異なることを考慮する必要がある。

a) 落石シミュレーション

本設計では、後述する現場条件から「落石対策便覧」に示された一般値を使用することは、合理的ではないと判断し、落石シミュレーションにより落石運動を推定した。

落石の解析手法は、「①質点系落石シミュレーション」「②非質点系落石シミュレーション」が一般的に用いられる。「①質点系落石シミュレーション」は、落石を大きさのない質量を持った点、斜面を線状の剛壁と仮定して落石運動を求める方法であり、斜面の凹凸や地盤状態および落石の不規則な形状などの影響が含まれる過去の実験データより得られた係数の分布を用いた確率論的手法である。「②非質点系の落石シミュレーション」は、落石を形状を持ったブロックとして取り扱い、斜面や落石の特性を与える解析手法のため、実際に生じた落石の検証や落石が特定される場合などに用いられることが多い。当該斜面は、不安定岩塊が多く解析対象の落石を特定することが困難であるため、「①質点系落石シミュレーション」を用いた。

質点系落石シミュレーションの適用には、地形、落石質量のほか、斜面の硬軟や植生の抵抗等を各種係数により評価するパラメータの設定が重要であり、パラメータは地表の不規則性を考慮して、設定した基準値と標準偏差に基づく正規乱数値（95%信頼区間）として設定される。本検討においては、落石経路となる斜面が樹木のある崖錐斜面である状況と条件の近い実験解析の値を使用した。

b) 落石の平面的な拡がり

落石の平面的な拡がりとは、等高線が平行な斜面における落石実験で観察された落石軌跡の結果から、落石の拡がり方は最大で45°程度¹⁾と言われていることから、落石の拡がりを45°として落石の到達範囲を推定して落石防護工の設置延長を設定している例が多い。

一方で当該斜面は落石経路が長く、等高線が並行でない箇所や尾根部付近に不安定岩塊が多く分布するため、45°の平面的な拡がりでは落石経路を推定すると過大な対策となると判断し、三次元落石シミュレーションにより落石経路を推定した。なお、三次元落石シミュレーションの実施にあたっては、地形情報としてUAVレーザー測量で取得した点群データを活用した。

三次元落石シミュレーションの結果、凹地形に位置する不安定岩塊は、限定された範囲に集中して道路に到達し、凸地形に位置する不安定岩塊はある程

度の広がりをもって道路に到達することが推察できた。落石防護工の設置範囲は、図-6に示す三次元落石シミュレーションによる落石経路の推定結果に基づいて決定した。

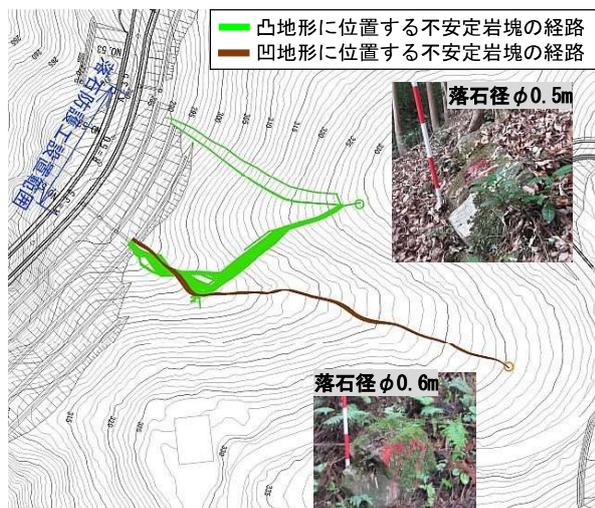


図-6 三次元落石シミュレーションによる落石到達位置の推定例

c) 落石の跳躍量

落石の跳躍量は、落石実験の結果から「落下高さが大きくなると跳躍量が大きくなる。凹凸の少ない斜面では跳躍量が2mを越えることは少ないが、斜面上の局部的な突起のある場所や凹凸の多い斜面では、跳躍量は2m以上になることがあり、落下高さの大きい場合には4～5mに達することもある。」¹⁾とされているが、総落石数の80～85%が2m以下の跳躍量であることから、実際の設計では跳躍量2mとしているケースが多い。こうした経験的手法は、起伏の少ない斜面や径の小さい落石を扱う場合には適用性があるが、当該斜面のように長大切土のり面を含む落石経路においては、のり面小段等の起伏によって突発的な跳躍を示す可能性があるため、落石シミュレーションにより落石の跳躍量を推定し、落石防護工の工法、施設高さおよび設置位置を検討した。

(3) 落石防護工

長大切土のり面を経由する落石について、落石シミュレーションにより落石運動を推定した結果、図-7に示すとおり、のり面小段で落石跳躍量が大きくなることがわかった。そのため、落石防護工は、落石跳躍量が大きくなる前ののり肩で落石を捕獲する必要がある。

のり肩に設置できる落石防護工は、一般にポケット式落石防護網と落石防護柵がある。落石防護柵は、長大切土のり面の上部に設置すると、除石等の維持管理が難しくなる。そのため、のり肩で捕獲した落石を衝突によってエネルギーを吸収させながら、のり面下方へ誘導することができるポケット式落石防護網を設置する計画とした。

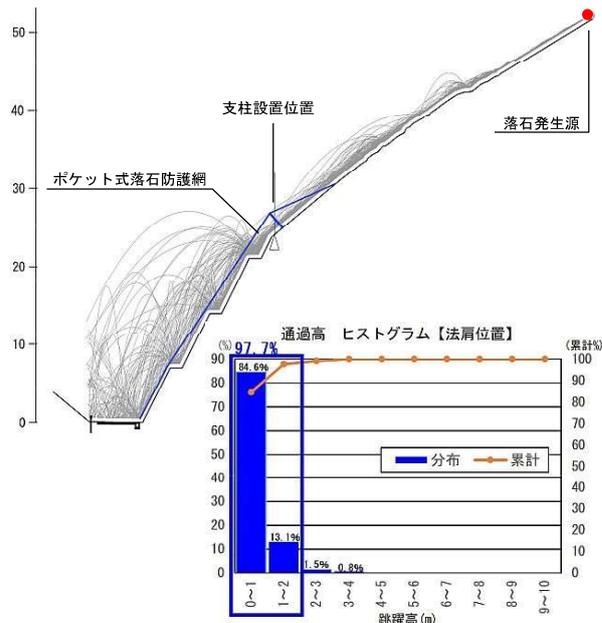


図-7 落石シミュレーションによる落石跳躍量の推定例

質点系落石シミュレーションは、乱数を用いたシミュレーションであるため、解析によって求められた結果を統計的に処理しても良いとされている。²⁾ また、落石対策便覧に示された跳躍量の一般値2mが、既往の落石実験における総落石数の80～85%であることから、落石シミュレーションで推定される全ての落石を捕獲する対策は、過大なものになると考えられる。

当該斜面の落石シミュレーションの結果、のり肩における落石は、2m以下の跳躍が90%以上であるため、跳躍量2mの落石を捕獲できるポケット式落石防護網を設置すれば、通常の落石防護柵程度以上の安全性を確保できると判断し、跳躍量2mの落石を捕獲できる支柱高を設定した。

4. おわりに

落石対策を含めた斜面安定を考慮して道路構造を検討することにより、建設コスト縮減を図ることができた。また、道路線形の見直しにより片切掘削の量を少なくするとともに、擁壁構造を見直すことにより施工性が向上し、工事期間の短縮を図ることができた。

近年は地球温暖化に伴い豪雨災害が頻発していることや南海トラフ地震等の大規模災害の発生も懸念される中、適切に維持管理できる災害に強い道路構造が求められる。今後も社会資本を支えるコンサルタントの一員としてインフラ整備に貢献していきたいと考える。

参考文献

- 1) 落石対策便覧, 日本道路協会, 2017
- 2) 落石対策便覧に関する参考資料-落石シミュレーション手法の調査研究資料-, 日本道路協会, 2014

曲線半径の小さく交差条件の多い ICランプ橋の詳細設計

ぼんいつき さかいともり はせがわりゆういち はまなかみのる なかもとひろふみ
○伴乙希¹・酒井友紀¹・長谷川隆一¹・濱中実¹・中元浩富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）

静岡県的一般国道1号島田金谷バイパスの大代ICに計画されたランプ橋は、河川上に位置するとともに、現況ICランプ、国道、鉄道を跨ぎ、かつ曲線半径がR=50~80mと小さいことが特徴である。複数の交差条件により、既設堤防への橋脚設置が避けられず、堤体内橋脚の設置による地震時の堤防の安定性、曲線半径が小さい場合の鋼桁とコンクリート床版の合成作用の評価方法、維持管理・施工時の交差物件への配慮等が課題であった。本稿では、課題解決に向けた2次元動的FEM解析による既設堤防への影響検討・対策工法検討、3次元FEM解析による鋼桁とコンクリート床版の合成作用検証、BIM/CIMの維持管理・施工計画への活用について報告する。

Key Words : 曲線橋, 2次元動的FEM解析, ピアアバット, 鞘管構造, 合成作用, 簡易式, 3次元FEM解析, BIM/CIM

1. はじめに

静岡県島田市野田~同県掛川市左夜鹿を結ぶ一般国道1号島田金谷バイパスは、東西軸の交通需要に対して不足する交通容量を補完し、物流の効率化を図るとともに交通渋滞の解消及び交通安全性の向上・沿道環境の改善を目的に暫定2車線から完成4車線化を図る拡幅事業である。

本業務は、下り線のオンランプであるCランプ橋、オフランプであるDランプ橋、オン・オフランプを兼ねるE-2ランプ橋の詳細設計であり、E-2ランプと隣接するE-1ランプ橋は令和元年に詳細設計済みである(図-1)。

橋梁の特徴としては、表-1に示す通り、曲線半径が50~80mと小さく、また、河川(静岡県管理・島田市管理)・道路(現況下り線ランプ、国道等)・鉄道などの複数の交差物件が存在することにより、設計において多くの制約が発生することが挙げられる。

したがって、これらの制約により既設堤体内への橋脚設置が避けられず、地震時の堤防の安定性を検証するために2次元動的FEM解析を実施した。また、曲線半径が小さく、鋼桁とコンクリート床版の合成作用を適切に評価するため、3次元FEM解析を実施した。さらに、BIM/CIMを用いて維持管理・施工計画を3次元で可視化し、設計、交差物件における関係機関協議への活用を行ったため、これらについて報告する。

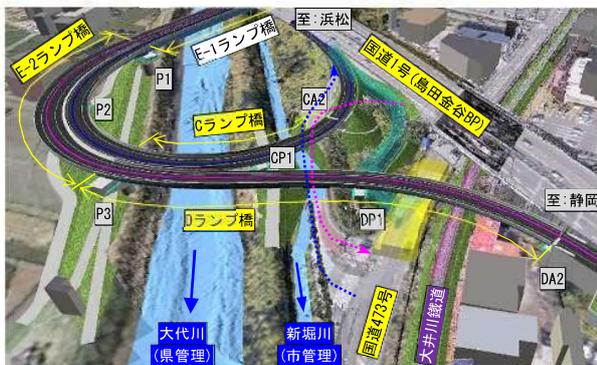


図-1 橋梁概要図

表-1 橋梁諸元

項目	E-2ランプ橋	Cランプ橋	Dランプ橋
橋長	96.000m	79.000m	138.276m
支間長	47.000m+47.000m	42.000m+35.000m	76.326m+60.000m
全幅員	13.664m~16.589m	7.996m~7.773m	8.046m~6.496m
上部工形式	鋼2径間連続 非合成箱桁(RC床版)	鋼2径間連続 非合成箱桁(RC床版)	鋼2径間連続 鋼床版箱桁
下部工形式	張出式橋脚(P1~P3)	張出式橋脚(CP1), 逆T式橋台(CA2)	張出式橋脚(DP1), 逆T式橋台(DA2)
基礎工形式	直接基礎	直接基礎	直接基礎
平面線形	Cランプ: A=52.937m~R=50.0m Dランプ: A=49.225m~R=57.0m	R=50.0m~A=70.0m	R=57.0m~A=53.0m ~R=80.0m~A=60.0m
交差物件	市道 (右岸堤防道路、側道)	大代川(静岡県), 新堀川(島田市), 左岸堤防道路	大代川(静岡県), 新堀川(島田市), 国道473号, 左岸堤防道路, 大井川鐵道

3. 3次元FEM解析による鋼桁とコンクリート床版の合成作用の検証

(1) 検証経緯・概要

平成29年に改定された「道路橋示方書・同解説Ⅱ鋼橋・鋼部材編」²⁾(以下、道示)において、「コンクリート系床版を有する鋼桁の設計にあたっては、床版のコンクリートと鋼桁との合成作用を適切に考慮しなければならない」と規定された。

曲線半径の小さな橋梁を合成桁として設計すると、曲線によるねじりモーメントの影響で床版に付加的なせん断応力が発生し、ひび割れの発生が懸念されることなどから、「曲線桁設計の手引き(案)」³⁾(以下、手引き)において適用限界(図-7)が示されており、従来は非合成桁が採用されてきた。

手引きの適用限界は、床版コンクリートにおける①曲げに伴うせん断応力度と、②ねじりモーメントにより生じるせん断応力度の合計が許容応力度(1.1N/mm²)以下となる境界として設定されており、また、スタッドを介して床版コンクリートに伝わるせん断力をせん断流理論に基づく簡易計算(以下、簡易式)(図-8)により算出している。なお、活荷重はS55道示におけるTL-20を前提としている。

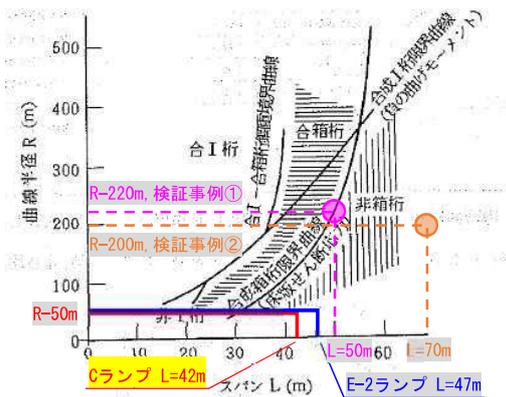


図-7 曲線合成箱桁の使用区分³⁾

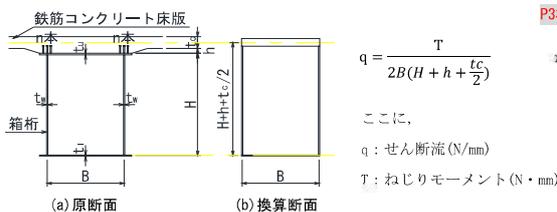


図-8 ねじりモーメントによる水平せん断流の算出

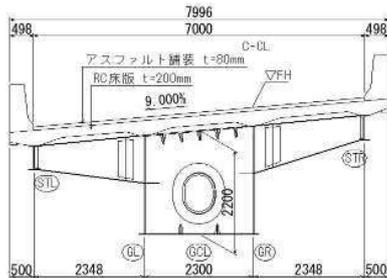


図-9 Cランプ橋断面図

連続箱桁橋の曲線半径に応じたねじりの影響を考慮した設計手法は、「鋼道路橋設計便覧」⁴⁾に記載されており、簡易式により算出したせん断力を用いてスタッドや床版の設計をしてよいこととされている。ただし、この記載の根拠は、簡易式の適用可否について、「検証事例①：鋼単純箱桁(1箱桁, R=220m)」及び「検証事例②：鋼3径間連続細幅箱桁(2箱桁, R=200m)」を対象としたFEM解析により検証した検討結果に基づいており、本業務の対象橋梁とは支間割や曲線半径が異なる。

したがって、RC床版を有する本対象橋梁(Cランプ橋, E-2ランプ橋)に対し、3次元FEM解析にてねじりモーメントによるせん断応力度を算出し、簡易式、許容値との関係性を検証することとした。なお、本稿では紙面の都合上、Cランプ橋についてのみ示す。

Cランプ橋の断面図を図-9、平面図を図-10に示す。

(2) 3次元FEM解析手法

図-11に有限解析モデルを示すが、主桁を板要素、RC床版をソリッド要素、スタッドは剛バネ要素でモデル化した。荷重は死荷重とB活荷重を載荷し、解析ケースは4ケース(端支点P3と中間支点CP1のそれぞれせん断力・ねじりモーメント最大時)とした。

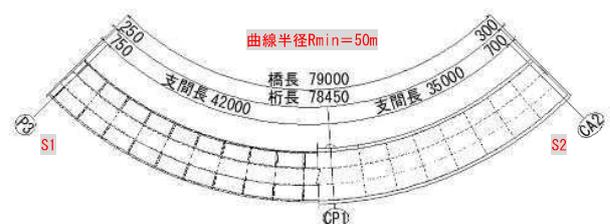


図-10 Cランプ橋平面図

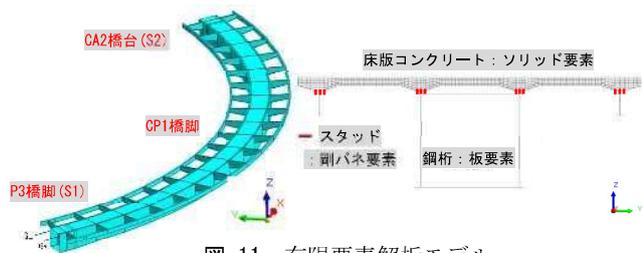


図-11 有限要素解析モデル

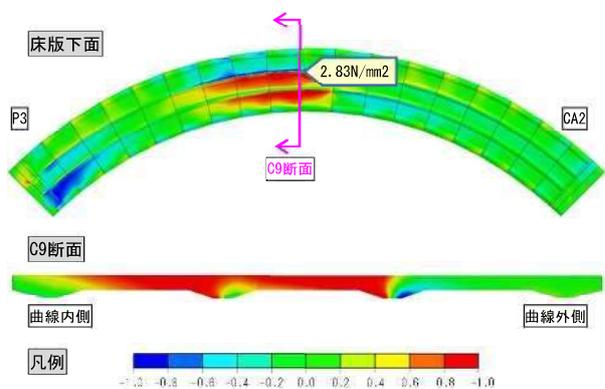


図-12 せん断応力度コンター図(CP1ねじり最大時)

(3) 検証結果・考察

検証結果を表-2に示す。簡易式、FEM解析ともに、床版に発生するせん断応力は制限値を超過する結果となった。簡易式にて算出したせん断応力は床版厚方向の平均的な値であるのに対し、FEM解析にて算出したせん断応力は局所的な応力であるため、大きめの値が確認されたものと推測される。また、簡易式とFEM解析の結果の関係性を検証するにあたり、各計算手法において許容値が異なるため、せん断応力と制限値の比率を整理したが、比率は異なる結果となった(2主桁桁のE-2ランプ橋も同様)。また、FEM解析にて最も大きなせん断応力が発生した中間支点ねじりモーメント最大時(CASE4)のせん断応力コンター図を図-12に示すが、支点部分は支点拘束によって床版のせん断応力が卓越する結果となる。

したがって、本橋のように曲線半径が極端に小さく、手引きの合成桁の適用限界から大きく外れる橋では、床版に発生するせん断応力の算出には簡易式を用いず、FEM解析等にて検証することが望ましい。また、合成効果の影響が大きく、床版のひび割れ発生等の問題が懸念されるため、床版に合成効果を見込むことは望ましくない。よって、本設計においては、床版への桁作用が働かないよう、スタッド間隔を粗にして合成効果は考慮しない設計とした。ただし、鋼桁の設計は道示²⁾に記載の通り、合成効果を考慮した設計を行っている。

表-2 Cランプ橋 床版せん断応力の照査

		簡易式		有限要素解析	
		①算出値	②制限値	①解析値	②制限値
CASE1	張出し部	1.37	0.978	2.16	1.080
	主桁上	2.26	1.619		
CASE2	張出し部	1.05	0.749	2.60	1.300
	主桁上	2.55	1.829		
CASE3	張出し部	2.45	1.763	2.28	1.140
	主桁上	1.86	1.328		
CASE4	張出し部	1.99	1.424	2.83	1.415
	主桁上	2.32	1.658		

※荷重係数 $\gamma_q=1.25$ を考慮。赤字は制限値超過を示す。

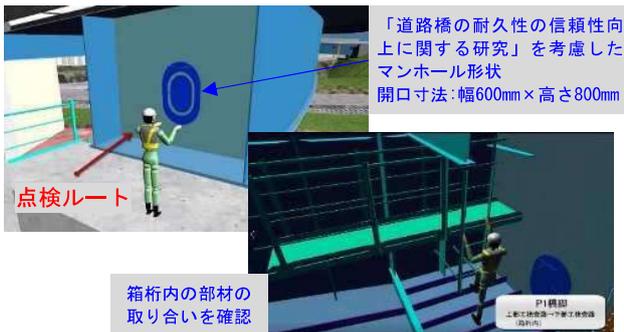


図-13 点検スペース・ルート・取合いの確認

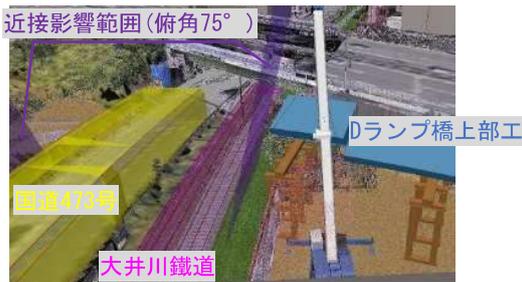


図-14 上部工架設時の近接影響範囲

4. BIM/CIMを活用した維持管理手法の検証, 施工計画

(1) 維持管理手法の検証

維持管理計画として、「橋梁の長寿命化に向けた設計の手引き(案)」⁵⁾に加え、国土技術政策総合研究所の最新の研究成果である「道路橋の耐久性の信頼性向上に関する研究」⁶⁾を踏まえた細部構造の設計を行い、耐久性設計の信頼性の向上を図ることとした。具体的には、箱桁のマンホールの開口寸法を従来よりも大きく確保し、維持管理時の箱桁内部への資材搬入等の利便性や、通気性に配慮した構造とすることなどが挙げられる。さらに、これらを3Dモデルに反映し、点検スペースや点検ルート、箱桁内における部材の取合い等の確認を行った(図-13)。

(2) 施工計画への活用

Dランプ橋は国道473号と大井川鐵道を高架する橋梁であり、施工時・維持管理時の配慮が必要であったため、上部工架設時の近接影響範囲(俯角75°)を示すことで架設ブロックとの取合いや維持管理時の建築限界と取合いについて検証した(図-14)。これにより、各管理者との協議にてBIM/CIMを活用し、早期に合意形成を図ることができた。

5. おわりに

本業務では、堤防と橋脚、鋼桁とコンクリート床版など、構造物の相互の特性を考慮した解析手法における解析・検証を行った。また、設計・施工・維持管理計画へのBIM/CIMの活用を行った。

特に、本稿「3次元FEM解析による鋼桁とコンクリート床版の合成作用の検証」においては、手引きにおける適用範囲外の条件での鋼桁とコンクリート床版の合成作用の検証を行い、適切な解析の必要性を確認できたため、曲線半径の小さな曲線橋の設計の参考となれば幸いである。

6. 参考文献

- 1) 日本道路公団:河川堤防に設置するピアアバットに関するガイドライン(案), 1999.
- 2) 日本道路協会:道路橋示方書・同解説, 2019.
- 3) 阪神高速道路公団:曲線桁設計の手引き(案), 1988.
- 4) 日本道路協会:鋼道路橋設計便覧, 2020.
- 5) 国土交通省中部地方整備局道路部:橋梁の長寿命化に向けた設計の手引き(案), 2013.
- 6) 国土交通省国土技術政策総合研究所, 日本橋梁建設協会, プレストレストコンクリート建設業協会, 建設コンサルタント協会, 国立研究会開発法人土木研究所:共同研究報告書「道路橋の耐久性の信頼性向上に関する研究」, 国土技術政策総合研究所資料第1121号, 2020.

ケーブルクレーンを用いた下部工施工

○成澤祐紀¹・廣井英智¹・井口威生¹

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

本文は、ダム建設に伴い整備される県道の一級河川渡河部に計画された橋長290mの鋼中路式ローゼ橋の詳細設計および施工計画業務である。本橋梁は、ダム事業の試験湛水予定までに完成させることが条件であるため、起点側と終点側の右左岸の下部工施工を並行して実施することが不可欠である。しかし、終点側の工事用進入路となる町道を活用するには大規模な改良工事が必要であり、工事の完成を待つとダム事業の予定までに本橋の完成が困難となる。よって、終点側の町道を改良せずに工事する方法を検討、提案した。

Key Words : 鋼アーチ橋, ケーブルクレーン工法, ダム付け替え橋梁, 施工計画

1. はじめに

本業務は、ダム建設に伴い整備される橋梁の設計および施工計画を実施したものである。本文は、その業務における下部工施工に関する計画について記したものである。以下に本橋梁の概要を示す。

- ・ 橋梁形式：鋼中路式ローゼ橋
- ・ 橋長：290.0m (24.0m+25.0m+210.0m+29.0m)
- ・ 幅員：6.2m (有効幅員5.0m)
- ・ 下部工形式：A1, A2橋台：逆T式橋台
P1橋脚：張出式橋脚
P2, P3橋脚：壁式橋脚
- ・ 基礎工形式：A1, A2橋台：深礎杭基礎
P1, P2, P3橋脚：直接基礎

本橋梁はダムの試験湛水までに完成させることが条件であり、工事開始から5年以内に上部工架設まで完了させる工程であるため、右左岸の下部工施工を同時に実施する必要があった。

2. 起点側(左岸側)施工計画

起点側のA1橋台およびP1, P2橋脚は急峻な斜面上に位置し、直接重機や資材、土砂等の搬入出が困難である。

ただし、A1橋台背面の県道は、セミトレーラ等の進入が可能のように整備済みであることから、本橋梁の工事用道路として活用することが可能であった。そのため、A1橋台背面からsqcピア工法(鋼管杭橋)による仮栈橋を構築し、栈橋上から重機や資材の搬入出を行う計画とした。

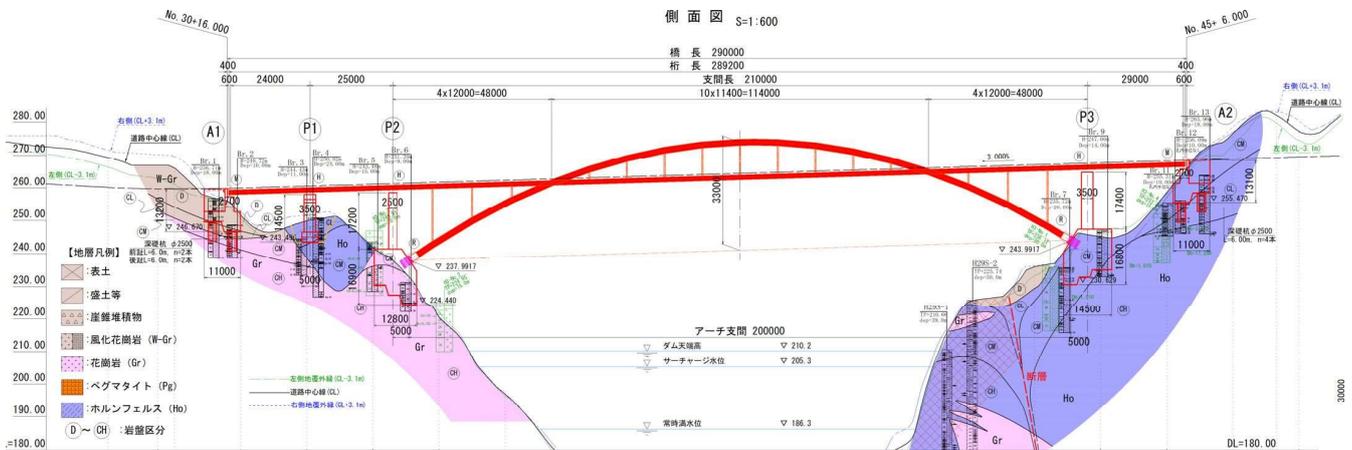


図-1 橋梁概要

3. 終点側(右岸側)施工計画

終点側の工事用進入路は、当初A2橋台背面にアクセスする町道の改良が計画されていた。しかし、地すべり調査の結果、計画ルート上に大規模な地すべりブロックが確認されたため、大幅に迂回したルートとなった。迂回ルートによる工事用道路の改良には約7年かかり、橋梁工事前に開通することができないため、別ルートからの進入方法を検討する必要が生じた。

(1) 現道活用案

終点側の町道は、写真-1、写真-2に示すような幅員が3.0mに満たない箇所や縦断勾配が最大12%を超える箇所、急なヘアピンカーブが連なるため、資機材を搬入するトラックやダンプの進入は困難な状況である。

また、A2橋台は急峻な斜面上に位置し、P3橋脚付近への直接の重機や資材の搬入出が困難である。起点側(左岸側)のように仮栈橋を構築する計画は、セミトラが進入できないため不可である。

よって、施工可能な方法を別途検討する必要がある。



写真-1 幅員3.0mに満たない町道



写真-2 ヘアピンカーブ

(2) 土工アクセス案

現道は、前述の写真-2に示すヘアピンカーブにより重機の進入が困難であるため、連続カーブ区間の手前から土工(切土)により橋台背面まで進入する案について検討を実施した。下部工施工に用いる重機や搬入するクローラーキャリアの登坂能力から最大勾配は30%程度と設定した。A2橋台位置は急峻な斜面地形であり、切土による進入路計画ルートは、地すべりブロック範囲内の地表面を掘削する計画となるため、地山の安定の維持が困難である。

(3) 台船案

(1)、(2)の検討の結果、現道を利用した陸上からの進入は課題が多いため、河川の下流側からクレーン付き台船を用いて重機や資材の搬入出を行う計画を検討した(図-2)。ダム湖の湖岸道路には、写真-3に示す架設年度不明の幅員3.0m程度の無名橋が複数確認されていることに加え、高さ制限3.3mまでのトンネルがあり、大型重機の搬入が困難な状況である。

そのため、下流側のダム近傍から台船を搬入する必要があるが、本橋梁の施工時期がダム本体工および旧橋撤去工事と重なっており、橋梁工事に合わせた台船の使用が難しく作業の不確実性からダム近傍からの台船搬入案は採用に至らなかった。

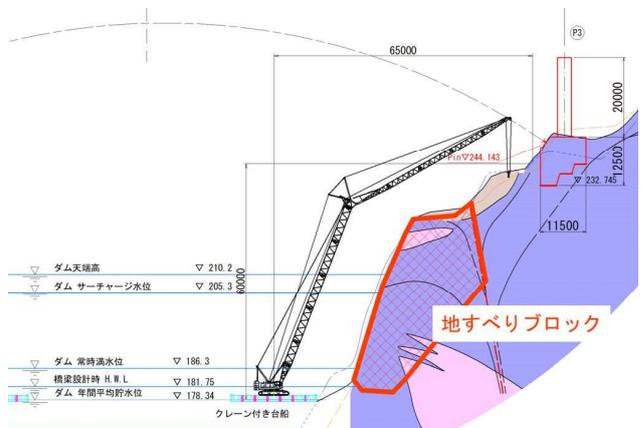


図-2 台船案施工概要



写真-3 湖岸道路の無名橋

(4) 台船+インクライン案

ダム近傍からの台船進入が困難であり、右岸側の壁面には地すべりブロックが確認されているため、インクラインの設置は不可である。

よって、左岸側よりインクラインで重機を下ろし、クレーン付き台船によって右岸側へ搬入する計画を検討した。本案は、最初の台船搬入時および撤去時のみダム近傍のヤードを用いるため、ダム事業への影響が少ないと考えた。

しかし、本案は、搬入に用いるインクラインの費用が5億円近くかかり非常に高価であることと、ダム事業への影響に起因する台船案の不確実性により採用に至らなかった。

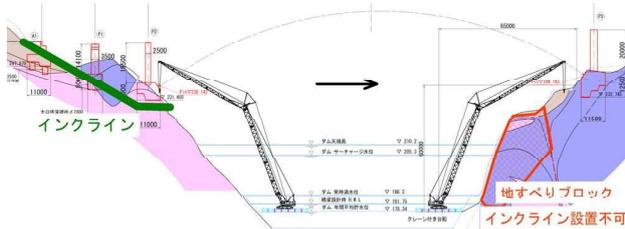


図-3 台船+インクライン案施工概要



写真-4 インクライン

(5) モノレール案

終点側の町道からモノレールを用いて小型バックホウ0.1m3と、カニクレーンを運搬する計画について検討を実施した。モノレールにより重機の運搬後は、資材の搬入や土砂の搬出等を行う計画とした。

P3橋脚の柱の上部までクレーンの作業半径・揚程高さが不足するため、図-4に示すとおり背面からシステム構台等の重機作業用足場を構築する必要がある。

検討の結果、本案は、P3橋脚とA2橋台の同時施工が困難であり、予定工期内の完成が不可能であることが判明したため、採用に至らなかった。

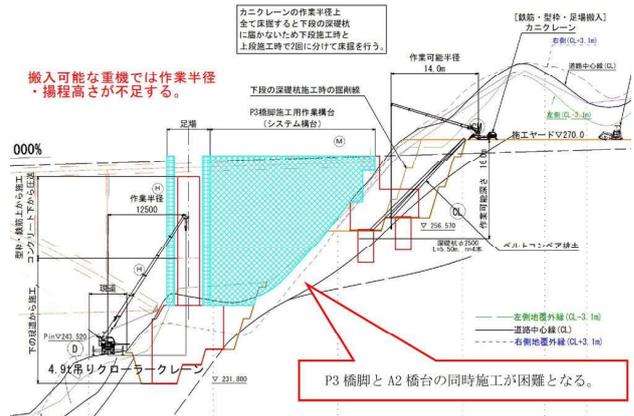


図-4 モノレール案施工概要

(6) モノレール+ケーブルクレーン案

前述のモノレール案の揚程不足の課題を解決するため、P3橋脚およびA2橋台の直上を通過するケーブルクレーンを設置する案を検討した。起点側と同時施工が可能となるようA1橋台の背面にはケーブルクレーンを設置せず、図-5に示すとおり、橋梁の下流側にケーブルクレーンおよびヤードを造成する計画とし、仮設構台上のクローラークレーンにより資機材の搬入を行う計画とした。

また、ケーブルクレーンのみでは土砂の搬出等の日当たり作業量が小さいため、モノレールと2系統で搬入出を行う計画とし、所定の日当たり作業量を確保することで採用に至った。

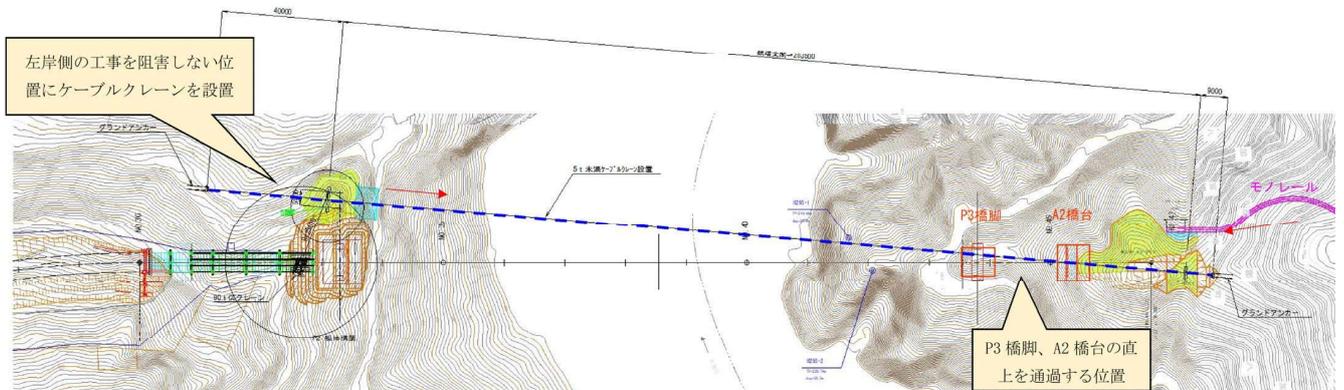


図-5 モノレール+ケーブルクレーン案施工概要平面図

4. ケーブルクレーンの規格の設定

クレーンの規模が大きくなるにつれてケーブルクレーンおよび鉄塔を組み立てるためのヤードや、必要となる重機の規模が大きくなることから、本橋梁の下部工施工に適した規模のケーブルクレーンの規格について検討を実施した。

下部工施工の手順としては、先行して分解不要な小型バックホウ0.14m³(4.4t)をケーブルクレーンにて現地に搬入する。本橋台・橋脚は斜面上に位置し、掘削量が多く、小型バックホウでは掘削効率が悪いいため、ヤードの造成を行った後にカニクレーン(3.8t)と分解組立バックホウ1.0m³(最大部材重量：2.8t)を現地に搬入し、組立を行う計画とした。床掘後、底版の構築はカニクレーンで行い、柱上部はケーブルクレーンで施工を行う。コンクリートはA2橋台背面から圧送するものとした。

以上の施工計画で用いる最も重量のある重機(小型バックホウ)の搬入が可能となるよう5t吊りケーブルクレーン(定格荷重4.5t)にて、施工を行う計画を立案した。

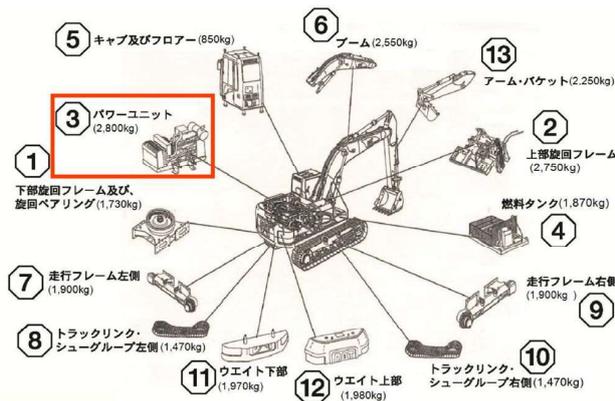


図-6 分解組立バックホウ概要

また、下部工施工に用いたケーブルクレーンの鉄塔は、上部工架設のために必要となる20t吊り大型ケーブルクレーンの鉄塔を建てる工事に転用可能である。

本橋梁の上部工架設工法は、ケーブルエレクション斜吊り工法であり、20t吊りの大型ケーブルクレーンが必要となる。右岸側のA2橋台背面は下部工施工時と同様に進入路がなく、施工ヤードの確保も困難であり、20t吊りケーブルクレーンの鉄塔を建てるためのラフタークレーンの進入が困難である。

そのため、5t吊りのケーブルクレーンを2条用いて20t吊りケーブルクレーンの鉄塔を建てる計画としている。

下部工施工時とはケーブルクレーンの位置が異なるため、同位置でそのまま転用することはできないが、鉄塔等は転用できるため、資材の削減を図ることができた。

5. 検討による成果

ケーブルクレーンを用いて橋脚柱上部まで資材揚程を行う計画とすることで、現場に大型クレーンが進入できず、揚程高さが不足するという課題を解決することができた。

さらに、起点側から分解組立型の大型バックホウを搬入できるようになり、掘削の作業性が改善され、ダム事業工程の予定内で実現可能な計画を立案し、提示することができた。

また、本検討によって左岸側の工事を止めることなく、工程のクリティカルとなる右岸側のP3橋脚およびA2橋台の下部工が同時に施工でき、資機材の搬入出を右岸側橋台背面からのモノレールと左岸側からの5t吊りケーブルクレーンの2系統を確保することで工事の遅延リスクを減らすこともできた。

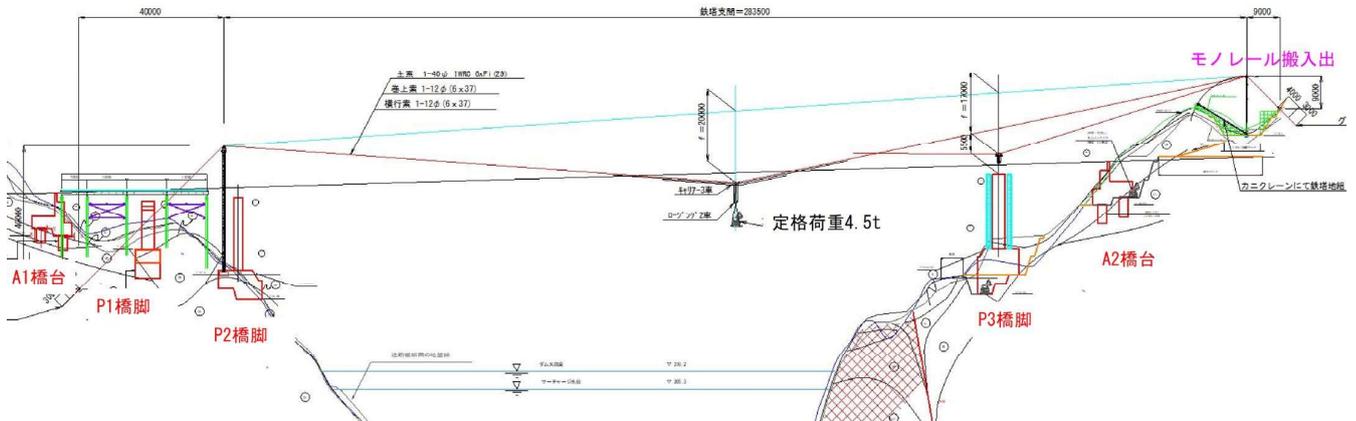


図-7 モノレール+ケーブルクレーン案施工概要側面図

BIM/CIM技術を活用した維持管理計画

○竹田文哉¹・田中誠¹・伊藤諒祐¹

¹ (株) オリエンタルコンサルタンツ中部支社 (〒450-0003 名古屋市中村区名駅南二丁目14-19)

一連の建設生産システムとその維持管理の効率化や高度化を目的とし、入口となる設計実務でのCIM技術の活用が強く望まれている。この背景を受け、国道1号東駿河湾環状道路の岡宮愛鷹Aランプ橋の橋梁詳細設計業務においてCIM技術を活用し、3次元モデルを活用した維持管理計画を実施した。CIM技術を活用した点検計画の確認を実施し、維持管理計画の精度向上及び効率化を図った。さらに、VRを用いた模擬点検会を実施し、維持管理担当者の意見や要望を設計に反映することで、維持管理に対するフロントローディングを行い、事前に維持管理における問題点の改善を図った。

Key Words : 維持管理計画, CIM, VR, 模擬点検, 効率化, フロントローディング

1. はじめに

本業務は、国土交通省が提唱するi-Constructionの取り組みにおいて、CIM (Construction Information Modeling /Management) を導入することにより、ICTの全面的活用を推進し、建設生産プロセス全体でのBIM/CIMモデルの活用による課題解決および業務効率化を図ることを目的として実施するBIM/CIM活用業務(発注者指定型)である。

H29道路橋示方書¹⁾において、「維持管理の確実性および容易さ」が定義され、具体的な維持管理方法を設計時点から考慮すること、異常時点検(緊急点検)が迅速に行えることなど、構造上の配慮が必要となった。本橋は緊急輸送道路の本線、Bランプ、急峻な谷地形と交差し、維持管理の難易度が高い橋梁であるため、CIM技術を活用し、確実かつ容易に点検が実施できる維持管理計画を行った。本稿では、これらの取り組みについて報告する。

2. 対象橋梁の概要

本橋の位置図を図-1に、橋梁諸元を表-1に、橋梁一般図を図-2に、完成予想図を図-3~6に示す。

表-1 橋梁諸元

橋梁形式	鋼3径間連続箱桁橋 PC3径間連続ラーメン箱桁橋
橋長	245.5m (97.5m+157m)
全幅員	鋼桁: 8.850m~9.196m~8.569m PC桁: 8.569m~7.996m
下部構造	A1橋台: 逆T式橋台(場所打ち杭φ1.5m) P1橋脚: 張出式橋脚(柱状体深礎基礎φ5.0m) P2, P3橋脚: 張出式橋脚(場所打ち杭φ1.5m) P4, P5橋脚: 壁式橋脚(柱状体深礎基礎φ9.0m) A2橋台: 逆T式橋台(組杭深礎基礎φ2.0m)



図-1 位置図

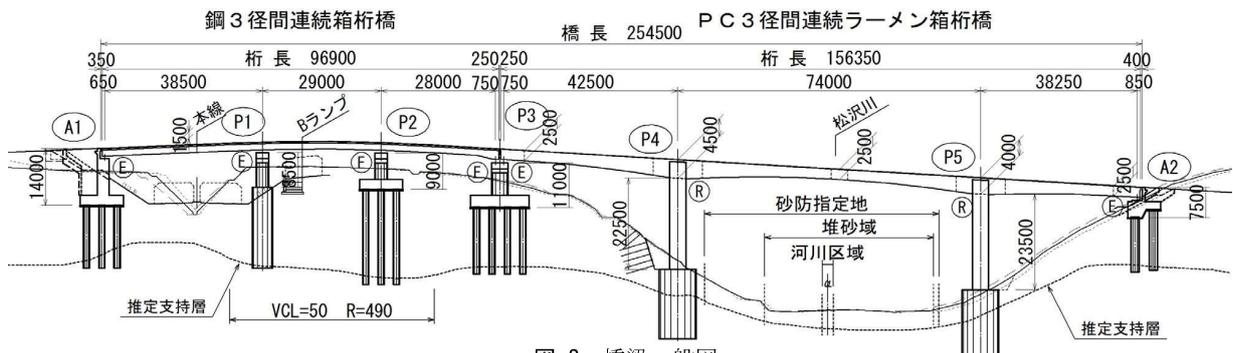
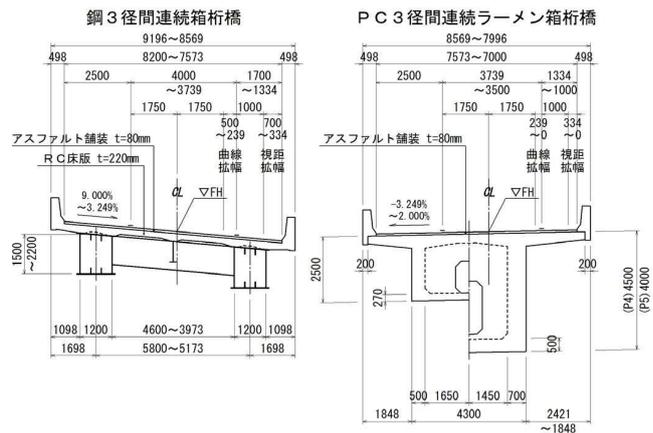


図-2 橋梁一般図

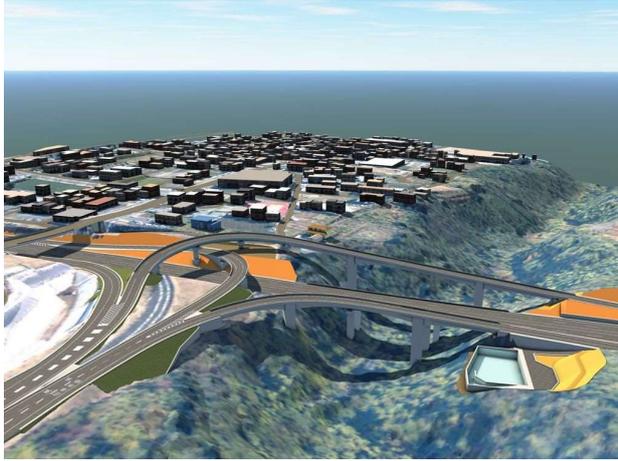


図-3 完成予想図（鳥瞰図）

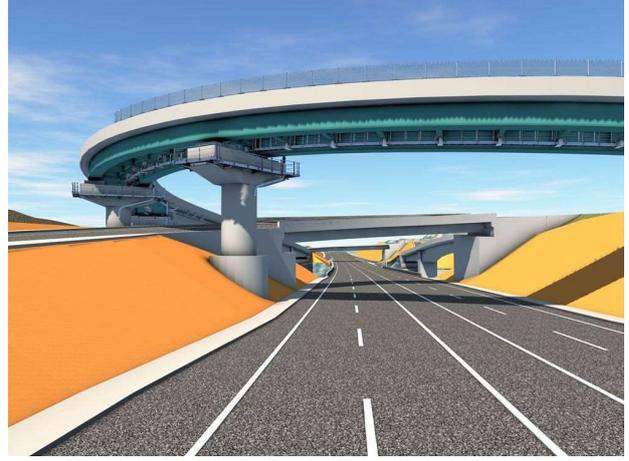


図-5 本線通行車両からの視点

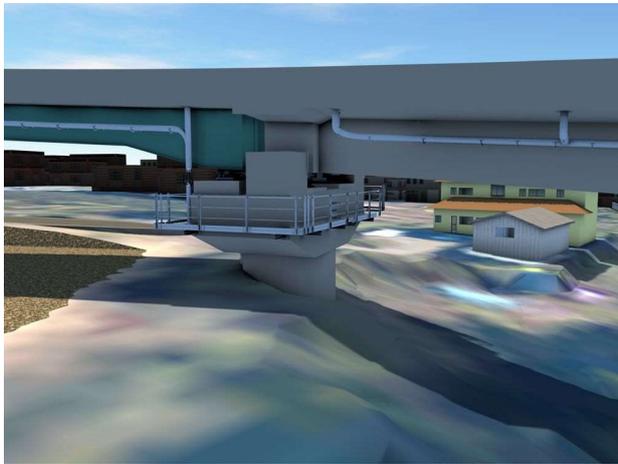


図-4 掛け違いの橋脚

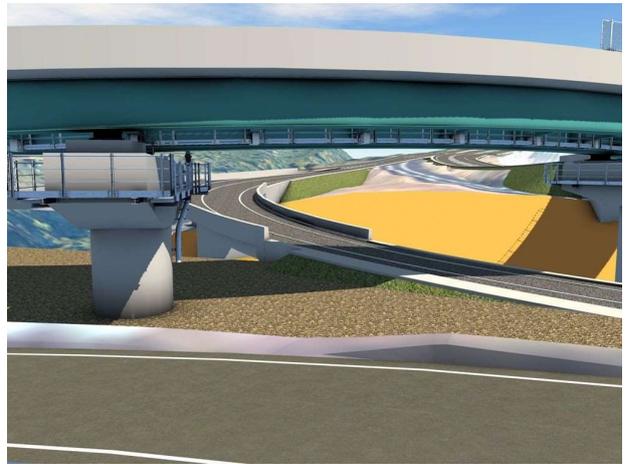


図-6 市道からの視点

3. 本橋における維持管理上の課題

本橋の点検経路図を図-7 に示す。また、本橋における維持管理の課題として以下の点を抽出する。

(1) 鋼3径間連続箱桁橋における課題

- ・本線やBランプ上に架橋されるため、高所作業車や橋梁点検車での点検時における交通規制範囲を検証する必要がある。
- ・P1 橋脚が本線と B ランプに挟まれた土地に位置し、地上からのアクセスルートがないため、上部工検査路から P1 橋脚柱基部までの移動可否・容易性を検証する必要がある。

- ・上部工桁高が1.5mと低いため、上部工検査路や桁内を移動し、日常点検や定期点検で点検箇所を問題なく点検できるか確認する必要がある。

(2) PC3径間連続ラーメン箱桁橋における課題

- ・急峻な谷地形で高所作業車が進入できないため、橋梁点検車により桁高の高い柱頭部付近の床版下面まで点検できるか検証する必要がある。
- ・大規模地震直後の異常時点検の際、近接目視による点検のためのP4, P5橋脚への移動可否・容易性を検証する必要がある。
- ・柱頭部桁高が4.0~4.5mであり、桁高変化する桁内の点検方法について検討する必要がある。

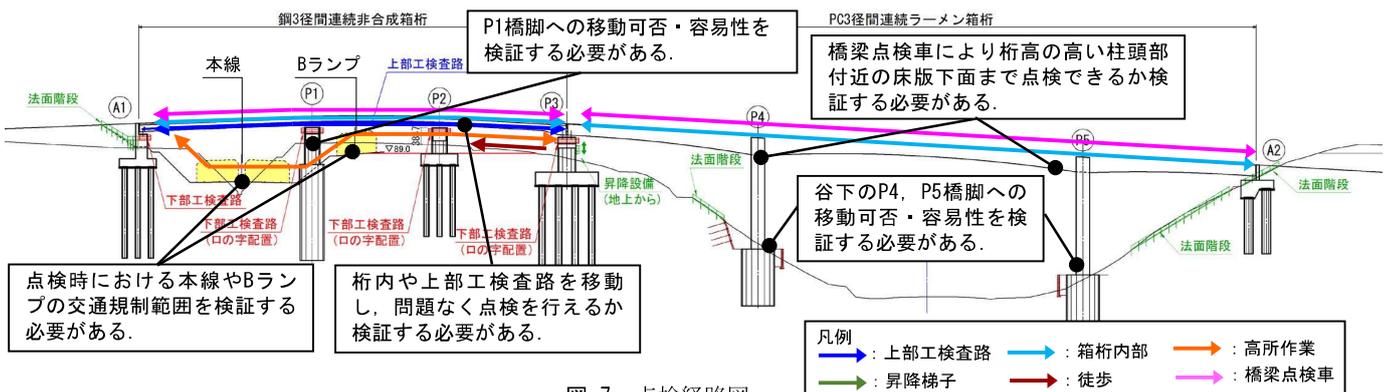


図-7 点検経路図

4. 課題に対する検討方法及び検討結果

(1) 3次元モデルの作成

インターチェンジ全体の橋梁や付属物、交差道路等をモデル化した全体モデルを作成し、維持管理方法について検討を行った。表-2に本モデルの概要を示す。

表-2 3次元モデル概要

詳細度	橋梁：300，土工：200，重機：300
地形モデル	国土地理院の航空測量データ (一部，LP測量データ)
航空写真	国土地理院の航空測量データ
モデル化範囲	愛鷹インターチェンジ全体
使用ソフト	モデリング：Civil3D (Autodesk) 統合モデル：Infraworks (Autodesk) ウオークスルー動画作成： Navisworks (Autodesk) VRモデル作成：FUZOR (Sosin Archi Plan) ※VR機材はQuest2 (Meta) を使用

(2) 点検車を用いた確実な点検計画

本橋は複雑に立体交差するため、3次元モデルを用いて橋梁点検時におけるブームの俯角影響範囲の検討を行い、交通規制計画に反映した。(図-8)

また、張出床版やPC箱桁橋の下床版下面は橋梁点検車や高所作業車により点検するため、3次元モデルに点検車やブームの稼働範囲を反映し、確実な点検計画が実施できる点検車や高所作業車の規格や配置を決定した。(図-9)



図-8 橋梁点検時の交通規制範囲



図-9 PC箱桁橋の柱頭部の下床版下面の点検

(3) 3次元モデルによる点検経路の妥当性確認

点検計画の妥当性を確認することを目的に、3次元モデルを用いて点検箇所への近接目視可否、桁内や検査路の通行可否等の検証を行った。

さらに、点検経路をウオークスルーの動画で確認した。ウオークスルーの動画の切り抜き画像を図-10～13に示す。

これにより、計画している検査路配置で点検箇所まで進入でき、点検経路が一筆書きで通行できることを確認した。



図-10 上部工検査路の通行状況 (本線上)

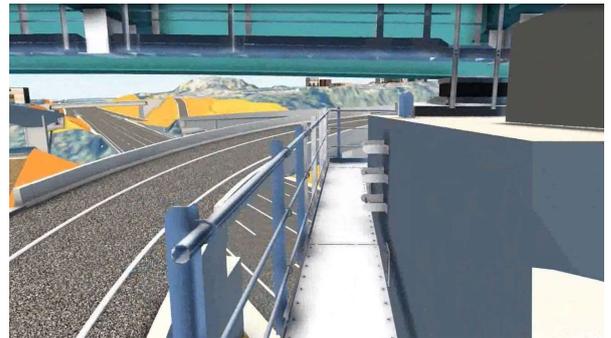


図-11 上部工検査路からP1下部工検査路への進入状況



図-12 鋼橋とPC橋間の通路の通行状況

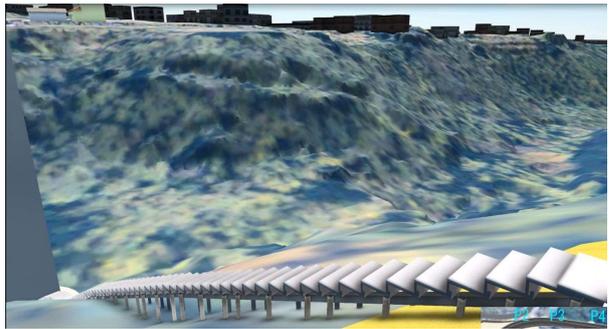


図-13 谷部の橋脚への検査路の状況

(4) VRによる点検シミュレーション

a) 模擬点検会の開催

点検経路が維持管理時に確実に通行可能で使い勝手の良いものになっているか確認することを目的に、3次元モデルを活用したVRによる模擬点検会を実施した。VR点検によるイメージを図-14に、点検会の状況を図-15、16に示す。

維持管理担当職員や今後の維持管理を担う若手職員のような、本業務に関わらない職員にも参加いただくように事前に事務所内で周知いただいた。

b) 確認項目

本点検会では以下の項目に着目して模擬点検を実施した。

- ・ 支承や排水装置など確実に点検できるか。
- ・ 桁端部や橋脚基部などの点検箇所確実にアプローチできるか。
- ・ 支障物などで点検経路がふさがれていないか。
- ・ 箱桁内の各部材に対して近接目視点検が可能か。

c) 模擬点検会での意見徴収結果

VR体験後、挙げられた意見を以下に示す。

- ・ 桁端部とパラペットの間が狭い。
- ・ 法面階段は手すりが必要。
- ・ 橋台側面側の検査路のタラップ位置が移動の支障になりそう。
- ・ マンホール蓋は鍵が付けられるようにしたい。

d) 模擬点検会実施の効果

挙げられた意見を踏まえ、設計段階で、手すりの追加やマンホール蓋への鍵の設置、遊間やタラップ位置の再確認を行ったことで、事前に維持管理における問題点の改善を図ることができた。また、維持管理体験ができることで、職員や設計者が当事者意識を持って維持管理計画を実施できた。

5. おわりに

少子高齢化の加速化する我が国において、生産年齢人口は減少傾向にあり、橋梁維持管理における人手不足の解消は急務である。このような危機的状況の中、国交省はインフラ分野でのデジタル・トランスフォーメーション（Digital Transformation）を推進し、橋梁点検や診断業務ではロボットやAIを活用した維持管理作業の効率化を進めている。

一方で、橋梁設計業務においてはCIMを導入し、大規模構造物の原則3次元化を実施しているが、3次元モデルを維持管理に活用し、維持管理作業の効率化を図る取り組みは少ない状況にある。

本稿で紹介した取り組みが3次元モデルを活用した維持管理計画に活用され、維持管理作業効率化の一助になれば幸いである。

また、本業務では発注者との円滑な合意形成による工期短縮や設計精度向上を目的にBIM/CIMを活用した提案を行った。今回作成したCIMモデルを後工程に引き継ぎ、維持管理作業を行う際は点検計画の立案や安全教育などに活用できると考えられる。今後、技術が発展すればメタバースのような仮想空間で設計作業が進められることも考えられ、今回実施したような模擬点検だけでなく、仮想空間上での住民説明会や施工シミュレーション体験なども可能になると考えられるため、更なる技術革新に対応していく必要がある。

参考文献

- 1) 道路橋示方書・同解説 H29. 7 日本道路協会

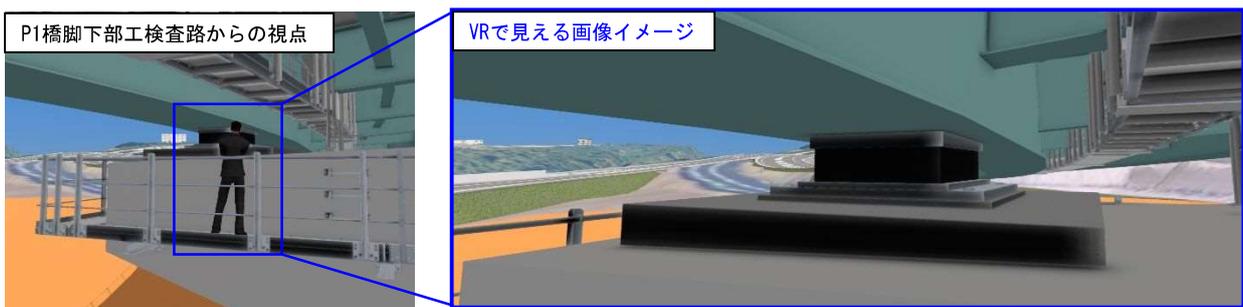


図-14 VR点検のイメージ



図-15-VRを活用した模擬点検状況



図-16 設計および維持管理担当職員の参加した模擬点検会

鋼箱桁橋において層状剥離を生じた耐候性鋼材の計測および応力評価

○村田 侑史¹・片山 真¹・渡 玲菜¹・竹内 慎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）

山間部の道路橋（単純鋼箱桁橋、橋長69m、全幅員11m～12m、耐候性鋼材仕様）の補修設計である。排水装置の損傷による主桁への水かかりにより、局所的に下フランジ添接板に層状剥離、添接ボルト頭部とナットに著しい腐食が見られた。現地計測の結果、下フランジと添接ボルトには最大50%の減肉があり、通行規制を含めた対応の要否を早急に判断する必要があった。添接板健全部の板厚における応力照査、添接ボルト軸力の測定の結果を踏まえ、本橋梁の耐荷力に低下が無いことを確認し、通行に支障はないと判断した。

Key Words : 耐候性鋼材, 層状剥離, 応力照査, 高力ボルト軸力測定

1. 対象橋梁の概要

対象橋梁は山間部に位置し、橋長69m、全幅員11m～12m、耐候性鋼材仕様の単純鋼箱桁橋である。竣工は平成10年であり、竣工後24年が経過している。交通量は少ないものの、周囲に迂回路はなく、集落と集落を繋ぐ生活道路として地域住民にとって重要な橋梁となっている。

2. 腐食の状況と原因

本橋においては、局所的に主桁に著しい腐食が生じていた。腐食箇所を図-1に示す。

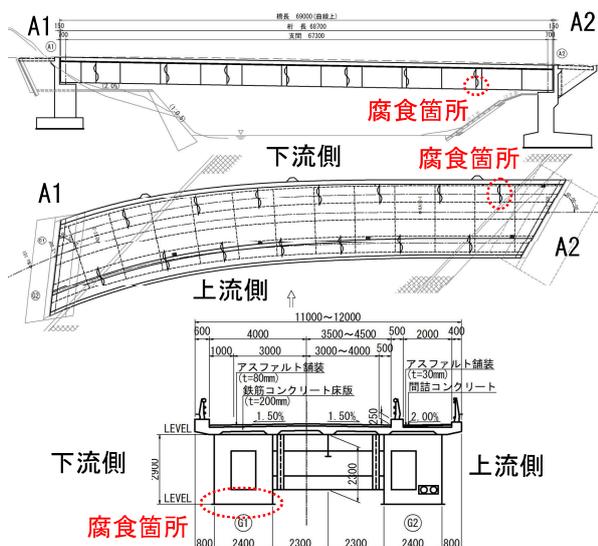


図-1 本橋における腐食箇所

腐食が生じていたのは、G1桁のA2側桁端近くの下フランジ、下フランジの添接板、および添接ボルトである（図-2）。添接ボルトにおいては、腐食によりボルト頭部の径、厚さの減少が見られた（図-3）。下フランジおよび添接板には、層状剥離が生じていた（図-4）。これらの状況から添接部の耐荷力低下が懸念され、対応を早急に判断する必要があった。

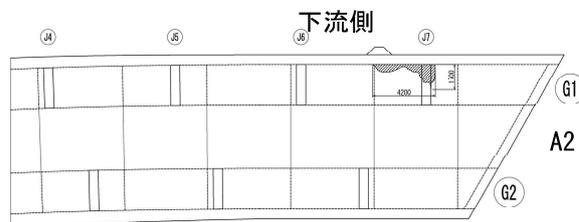


図-2 腐食範囲

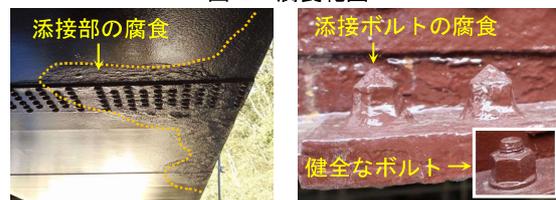


図-3 添接部の腐食

（左図：下面、右図：下流側の添接ボルト）



図-4 下フランジの腐食

（左図：下流側側面、右図：下面）

過年度の点検調書を確認したところ、腐食の原因は、スラブドレーンの排水管の脱落に伴う、水かかりであることが判明した（図-5、左図）。

なお、スラブドレーンについては令和2年に補修工事が実施され、劣化原因の除去については対応完了していた（図-5、右図）。また、桁端部は腐食対策として塗装塗替えが施されているが、添接ボルトの取替え、下フランジおよび添接板の当て板補強等は行われていなかった。したがって、今後腐食がさらに進む可能性は低い。しかし、腐食による断面欠損と耐荷力低下の程度については、板厚計測等の詳細調査を行ったうえで検討する必要があると判断した。



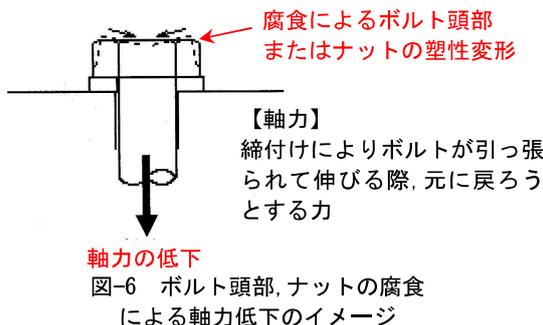
図-5 排水施設の状況
（左図：過年度点検時、右図：今回調査時）

3. 腐食状況を踏まえた添接ボルトの評価

一般的に添接ボルトの機能低下の様態としては、下記2点が挙げられる。

- ①塗膜の劣化および発錆腐食
- ②遅れ破壊によるボルトの緩みおよび脱落

①について、本橋では既に腐食にともなう断面欠損を生じているため、添接ボルトの摩擦接合機能が低下していないかを評価する必要があった。既往の研究¹⁻²⁾によれば、ボルト頭部やナットの減肉とそれに伴う塑性変形により、ボルト締付け軸力が低下することが報告されている。図-6にボルト頭部またはナットの腐食により軸力が低下する際のイメージを示す。



よって、添接ボルトの全数についてボルトの頭部およびナットの減肉量を計測するとともに、添接ボルトの残存軸力を直接測定し、これらの結果を用いて添接ボルトの摩擦接合機能を評価することとした。

なお本橋においては、F13T、F11Tではなくトルシア高力ボルトS10TWが使用されていたため、②遅れ破壊については該当しない。後述する詳細調査においても、ボルトの脱落やナットの緩みは確認されなかったため、②については考慮しないものとした。

4. 添接ボルトの詳細調査

(1) 調査方法

添接ボルトの頭部とナットの減肉量は、ノギスにより計測した。

添接ボルトの残存軸力については、ナット部の超音波透過量を測定する方法³⁾により測定した。本方法は、図-7に示すようにナット側面に送信・受信センサを対向して取付け、締付け力の強弱により超音波の透過量が異なることを利用して軸力を測定するものである。

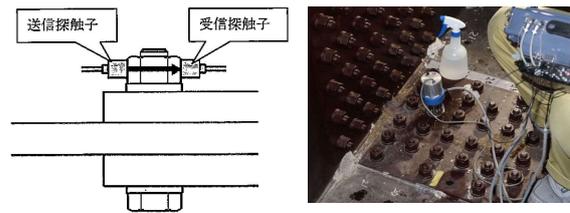


図-7 超音波による軸力計測
（左図：測定原理³⁾、右図：実際の測定の状況）

本方法の利点としては以下の点が挙げられる。

- ・小型・軽量である。
- ・測定速度が速い（30秒/本）。
- ・塗装面でも測定可能である。
- ・既設ボルトを抜き取る必要がない。

本方法はナット側からのみの測定となるため、本橋では箱桁内での測定となり、足場が不要で測定が可能であった。また、2日でボルト全数の軸力を計測できた。

(2) 調査結果

a) 添接ボルトの頭部、ナットの減肉量

ノギスにより減肉量を計測した結果、ナットにおいて最も大きい減肉量は11.3mm（ナット径36mm→24.7mm）であった（図-8）。また、ボルト頭部においては、最も大きい減肉量は1.5mm（頭部径40mm→38.5mm）であった（図-9）。

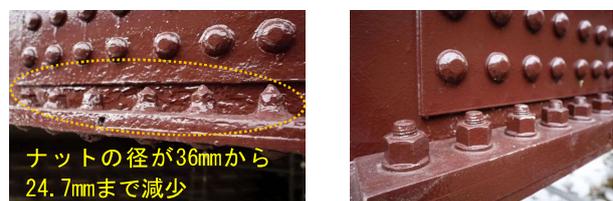


図-8 ナットの状況
（左図：腐食部、右図：健全部）

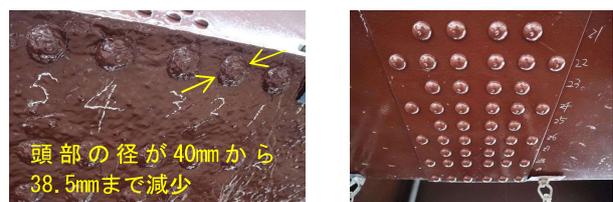
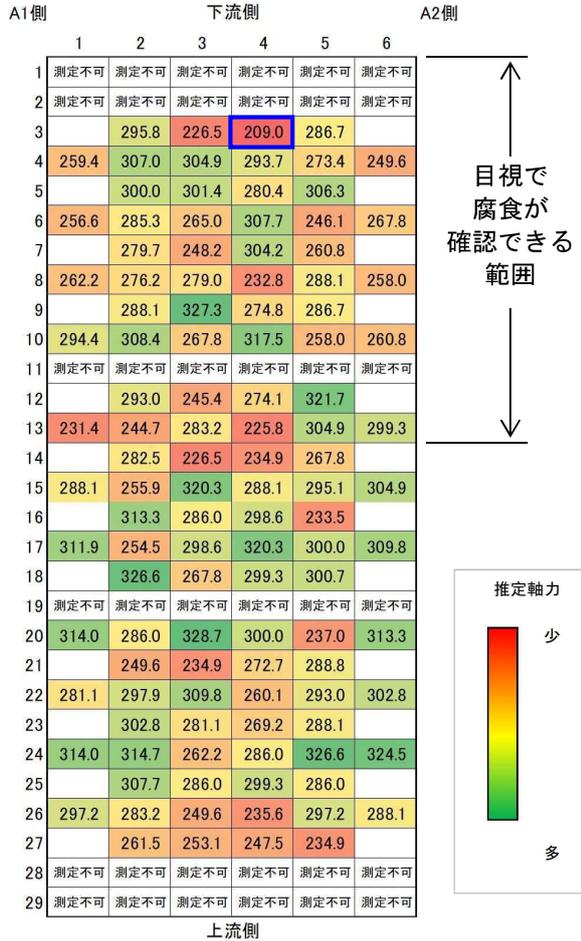


図-9 ボルト頭部の状況
（左図：腐食部、右図：健全部）

b) 添接ボルトの残存軸力

残存軸力を計測した結果を図-10に示す。図はボルトの配列と各々のボルトの計測値を示している。なお、“計測不可”と表記しているボルトは、ウェブまたは縦リブが支障となり軸力計測ができなかったボルトである。



□ : 竣工時の軸力未満であったボルト

図-10 軸力計測結果

S10TWの締付けボルト軸力の平均値は212~249kNであると推定される³⁾。計測の結果、全ボルト軸力の平均値は280.6kNであり、1本を除いてすべてのボルトの残存軸力は、竣工当時の軸力(212~249kN)の範囲内か、それ以上であった。竣工当時の軸力の最小値である212kNに満たないボルトは1本のみであり、軸力は209kNであった。また、このボルトの頭部とナットの減肉量は、1.7mmであった。

詳細調査にて軸力を計測できなかったボルトについては、ボルト頭部とナットの減肉量から軸力を推定した。推定に際しては、既往の研究¹⁾に示されているグラフ(図-11)の一樣減肉モデルの解析結果の曲線を参考とした。本グラフにおいては、平均減肉量と残存軸力割合の相関が示されており、今回の調査によって得られた添接ボルトの頭部、ナット減肉量と残存軸力との概ねの一致を確認したうえで、計測できなかったボルトの減肉量から残存軸力を推定した。

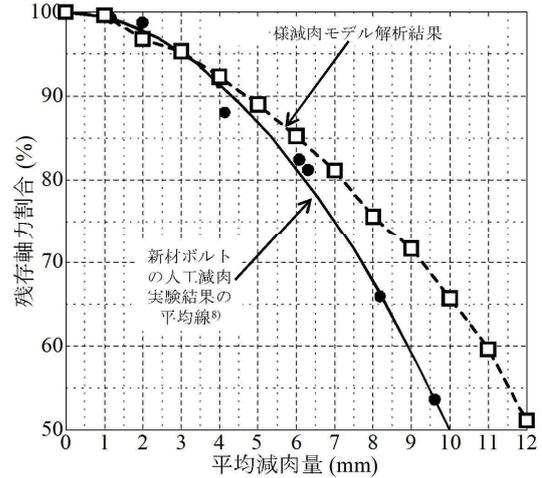


図-11 残存軸力割合と平均減肉量の関係¹⁾

計測不可であったボルトのうち、最も減肉量が多い横1列目の6本は、残存軸力が68.6%~50.6%まで低下していると推定された。その他のボルトについては、残存軸力を計測できたボルトも含めて、90%以上の残存軸力割合であった。

添接ボルトの摩擦接合機能について検証するため、復元設計を行い、設計上必要なボルト本数を算出した。復元設計の結果、必要となる添接ボルト本数は88本であった。添接部の総ボルト本数は150本であるため、腐食により軸力が低下したボルト6本を差し引いても、必要ボルト本数を満足する結果となった。

以上の結果より、添接ボルトの摩擦接合機能については問題ないと判定した。当初懸念された添接ボルトの軸力低下については、見た目ほどには進んでいなかったと結論づけられる。また、計測した残存軸力が竣工当時のボルト軸力を上回るケースも多く、添接部においてある程度の余剰耐力を有していることが、この結果より言及できる。

5. 下フランジおよび添接板の評価

(1) 下フランジおよび添接板の層状剥離の状況

下フランジの板厚計測は、ノギスおよび超音波板厚測定器を用いて行った。下フランジの板厚は、竣工時の板厚が11mmであったのに対し、最大で6.6mmにまで減少していた。特に板厚減少が顕著であった箇所を状況を図-12~図-14に示す。



図-12 下フランジの腐食(側面)

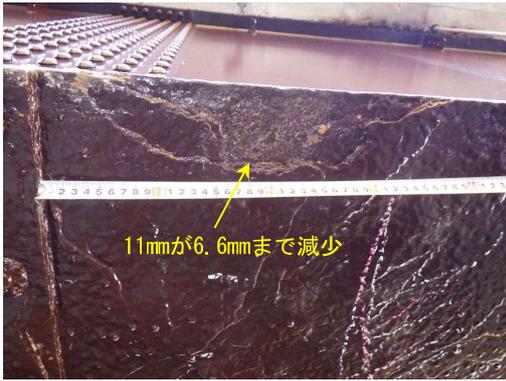


図-13 下フランジの腐食（下面）



図-14 添接部の腐食

(2) 応力照査

下フランジおよび添接板の耐力を確認するため、板厚計測結果にもとづき断面計算にて応力照査を行った。

照査位置は、図-15のとおりとした。

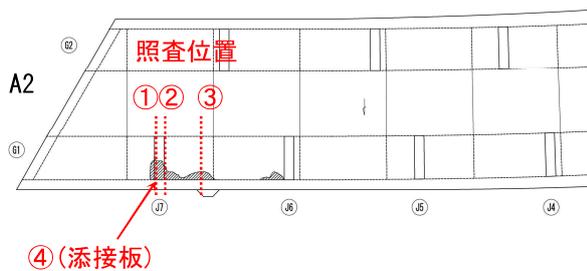


図-15 応力照査位置

表-1に応力照査の結果を示す。照査の結果、いずれの照査位置において、作用力は許容値内であり応力の超過はないことを確認した。

表-1 応力照査結果

照査位置	部位	健全部の板厚 (mm)	照査結果		
			作用力 (N/mm ²)	許容値 (N/mm ²)	比率 判定
①	J7下フランジ	11	155	210	0.736 OK
②		11	208	210	0.991 OK
③		19	202	210	0.964 OK

照査位置	部位	健全部の板厚 (mm)	照査結果		
			実断面積 (cm ²)	必要断面積 (cm ²)	比率 判定
④	J7添接板	9	358	238	0.666 OK

6. 成果と結論

(1) 成果

添接ボルトの残存軸力を計測したことで、ボルト頭部およびナットの腐食とボルト軸力の低下との相関について明確にすることができた。また、添接ボルトの摩擦接合機能について問題が無いことを確認し、添接部の耐荷力に問題が無いことを確認した。下フランジおよび添接板についても、耐荷力が確保されていることが確認できた。

調査および検討によって、腐食の著しい添接部においても耐荷力を有していることを確認できたため、車両の通行に支障はないと判断できた。また、今回実施した調査は、大がかりな足場の設置や支保工の設置を行う必要がなく、短期間で通行の安全性を判断できたことは、成果の一つであったと考える。

(2) 結論

今回行った軸力計測では、ほぼ全数の軸力が竣工時の締付け軸力の範囲内であった。したがって、ボルトに腐食が認められたとしても、見た目に比して軸力の低下はない場合もあると考えられる。ただし、竣工時の軸力は不明であり、今回得られた軸力が腐食により低下したかは不明である。竣工時の軸力が規定値より高く、腐食により低下した結果、今回計測した軸力に至った可能性もある。軸力が低下する原因や腐食による軸力の低下割合等については、今後さらなる研究が望まれるところである。

腐食による添接部の耐力低下が懸念される場合、一般的には腐食したボルトをすべて取り替える措置や添接板の取り替えが行われる。しかし、その際には無応力状態を如何に確保するかが課題となる。無応力状態を確保できない場合、もともと作用していた断面力が近接する部材に再配分され、これらの部材に致命的な影響を及ぼす可能性がある。したがって、ボルトや添接板の取り替えは、一時的に桁を支持する等、応力を開放する必要がある、大規模な工事となる。今回行った計測は、一時的な桁支持やボルトの取り外し等を行うことなく実施でき、現地での作業日数は2日であった。橋梁補修設計においては、本業務のように早急な判断が求められることもあり、今回用いた方法は今後の計測にも活用できると考える。また、軸力計測は、定期点検時の詳細調査でも有効な方法であると考えられる。

参考文献

- 1) 下里哲弘, 田井政行, 有住康則, 矢吹哲哉, 長嶺由智: 腐食劣化した高力ボルトの残存軸力評価に関する研究, 構造工学論文集, Vol. 59A, pp. 725-735, 2013. 土木学会第68回年次学術講演会講演概要集, pp719-720. 2013.
- 2) 田井政行, 下里哲弘, 有住康則, 大城進太郎, 長嶺由智: 腐食高力ボルトの残存軸力評価に関する実験的研究, 構造工学論文集, Vol. 59A, pp. 725-735, 2013.
- 3) 鋼構造シリーズ15: 高力ボルト摩擦接合継手設計・施工・維持管理指針(案), 土木学会, p. 72.
- 4) 鋼構造シリーズ18: 腐食した鋼構造物の耐久性照査マニュアル, 土木学会.

ねじりモーメント，不反力の発生する 橋梁の詳細設計

○河村太紀¹・服部達也²・安藤弘章¹・竹内克幸¹

¹日本工営株式会社 名古屋支店 (〒460-0006 愛知県名古屋市中区葵1-20-22)

²日本工営株式会社 本社 (〒102-8539 東京都千代田区麹町5-4)

曲線半径が小さいかつ径間割がアンバランスな鋼4径間連続非合成箱桁橋の詳細設計を行った。H29年道路橋示方書の改定により、非合成桁においても合成効果を見込んだ設計が必要となった。このため、せん断流理論に基づく簡易式で評価した主桁のねじりモーメントの妥当性について、FEM解析により検証を行った。また、径間割のアンバランスにより発生する不反力に対し、カウンターウェイト構造による不反力対策を検討・採用した。この検討より、ねじりモーメントや不反力に対する設計例を示すことができた。

Key Words : 橋梁詳細設計, 合成桁の照査, ねじりモーメント, 不反力対策

1. 業務概要および橋梁諸元

本業務は、山岳部を抜ける一般国道の狭隘区間解消および安全で円滑な交通確保を目的とした道路整備事業の内、バイパス区間新設橋梁の詳細設計である。

本橋梁は橋長219.0m、鋼4径間連続非合成箱桁橋である(表-1、図-1)。本橋梁の特徴としては、平面線形が曲線半径R=60mと小さいことが挙げられる(図-2)。また、径間割も橋脚位置の制限により終点側側径間が短いアンバランスな不等径間割である特徴を有する(図-3)。

表-1 橋梁諸元

橋長	219.000m
支間長	56.500m+65.000m+66.000m+29.150m
有効幅員	8.000m~9.000m
縦断勾配	7.500%
平面線形	R=160m~60m
横断勾配	3.000% ~ 6.000%
活荷重	B活荷重
上部工形式	鋼4径間連続非合成箱桁橋

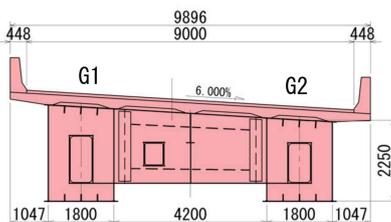


図-1 上部工標準断面図

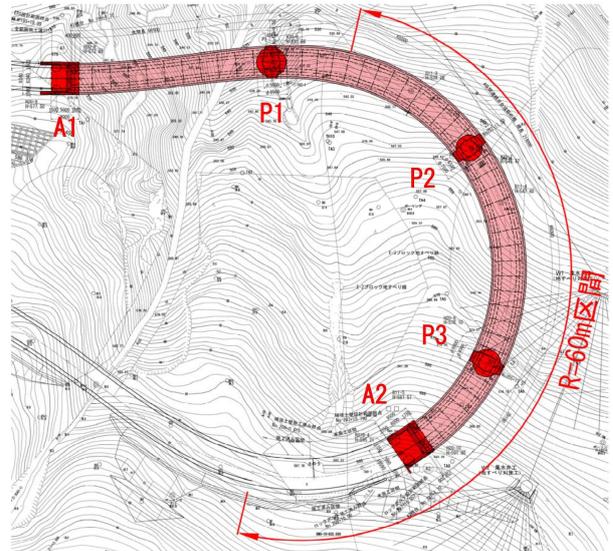


図-2 平面図

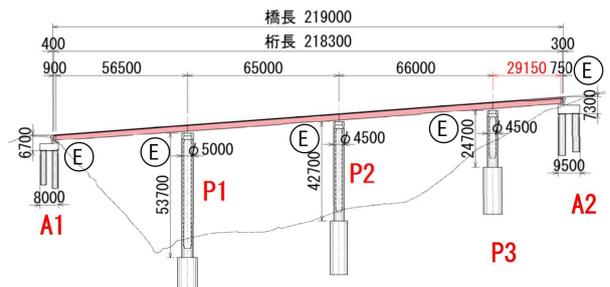


図-3 側面図

2. 曲線半径R=60mによるねじりの影響

H29年道路橋示方書の改定により、非合成桁の設計においても合成効果を見込んだ設計が必要となった。本橋梁は、曲線半径がR=60mと小さいため、スタッドボルトの配置検討を行う際に、スタッドボルトに作用する主桁のねじりモーメントをせん断流理論^{1) 2)}に基づく簡易式（以下、簡易式と呼称）で評価できるかが課題であった（図-4、式1a、式1b）。

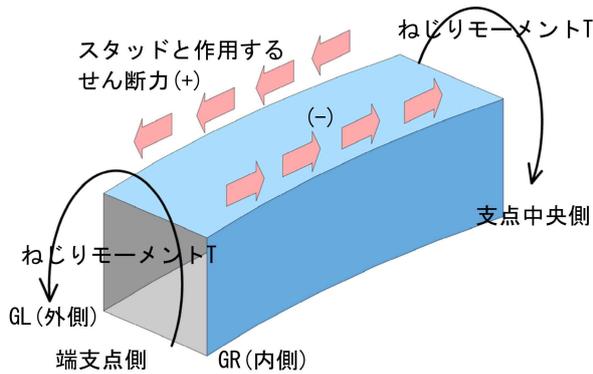


図-4 せん断流理論概要図

$$q = \frac{T}{2B(H + h + t_c)} \quad (1a)$$

$$P = \frac{q \cdot p}{n_2} \quad (1b)$$

ここに、

- q = せん断流(N/mm)
- T = ねじりモーメント(N・mm)
- B = 箱桁幅(mm)
- H = 箱桁高(mm)
- h = ハンチ高(mm)
- t_c = 床版厚(mm)
- p = スタッドの間隔(mm)
- n₂ = 片側1列あたりのスタッド本数(本)
- P = スタッド1本あたりの作用力(N)

そこで、簡易式とFEM解析の2つの方法でスタッドボルト間隔を算出し、簡易式の妥当性を検証した。

FEM解析結果を用いたスタッドボルト配置間隔よりも、簡易式から求められるスタッドボルト配置間隔が密であれば、簡易式が妥当であると判断できる。

(1) 簡易式によるスタッドボルト間隔

簡易式を用いてスタッドボルト間隔を算出した結果、G1桁P2支点上では160mm～180mmとなった（表-2）。

表-2 簡易式によるスタッドボルト間隔(G1)

位置	スタッドボルト間隔
P2起点側	180mm
P2終点側	160mm

(2) FEM解析によるスタッドボルト間隔

FEM解析の実施に先立ち、モデル化範囲を抽出するため、予備解析として格子解析を実施した。その結果、ねじりモーメントの影響が最も大きいP2支点上から前後2パネル分を抽出しモデル化を行った（図-5）。FEM解析モデルは、床版をソリッド要素、鋼部材をシェル要素、床版と鋼桁部材（主桁上フランジ、中縦桁上フランジ）の接合はスタッドボルトを模した剛ばね要素で接合した。この際、スタッドボルト間隔は、橋軸方向の水平せん断力の照査結果より300mmと仮定した（図-6、図-7）。载荷する活荷重は、ねじりモーメントの影響が最も大きくなるよう、ねじりモーメントの影響線より、P2終点側が曲線外側に倒れこむ载荷範囲とした（図-8）。

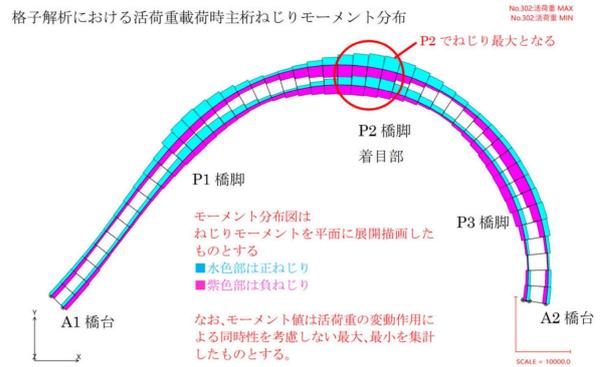


図-5 骨組み解析によるねじりモーメントの分布

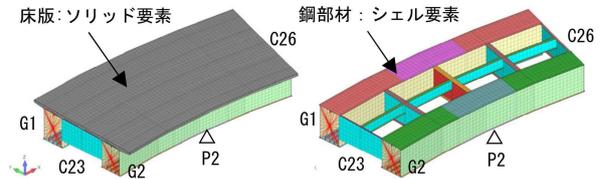


図-6 床版および鋼部材のモデル化の様子

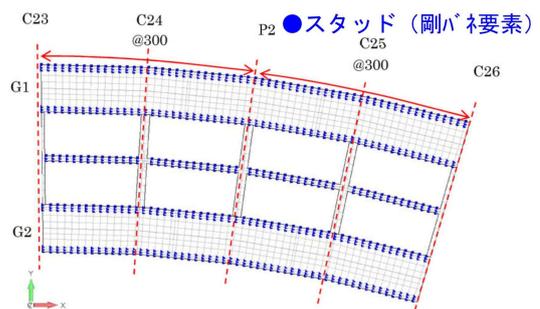


図-7 スタッドボルト配置平面図

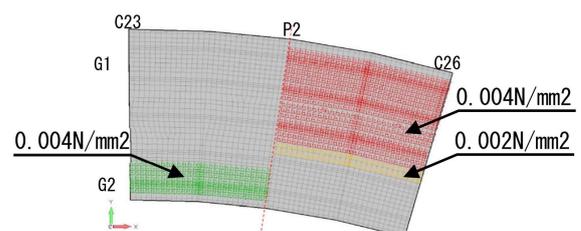


図-8 p2荷重載荷範囲

FEM解析結果を図-9, 図-10に示す。

G1桁L側（曲線外側）とG1桁R側（曲線内側）を比較すると、L側の合成せん断力が卓越している。これは曲線半径により上部工が外側に倒れこむ挙動が影響していると考えられる。また、G1桁L側では、中側スタッドの合成せん断力が卓越している。これは、中側スタッドが主桁ウェブ直上であることによる影響で、中側スタッドの剛性が増加し、応力が集中したと考察できる。

外側・中側・内側スタッドの平均値に着目すると、せん断力の制限値32342Nを1.2倍程度超過している。本解析はスタッドボルト間隔を300mmと仮定した結果であるため、配置間隔を1.5倍密にした200mmに換算すると発生せん断力は25164N（=37746/300×200）程度でとなり、せん断力の制限値32342Nを満足できる。

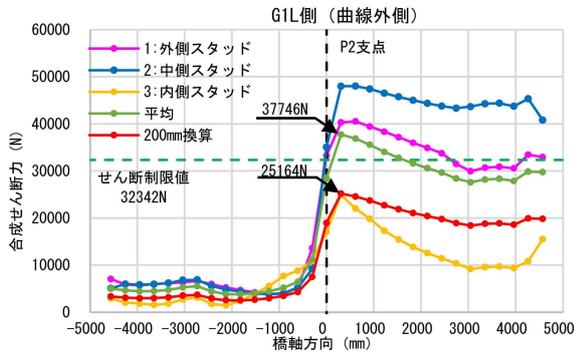


図-9 合成せん断力の分布 (G1桁L側)

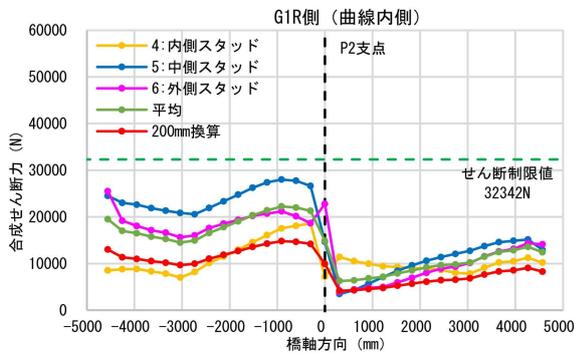


図-10 合成せん断力の分布 (G1桁R側)

(3) スタッドボルト間隔の比較

簡易式とFEM解析から得られたスタッドボルト間隔の比較を表-3に示す。簡易式で求められたスタッドボルト間隔は、実挙動を再現したFEM解析結果より密な間隔であった。このため、簡易式でスタッドボルト間隔を決定しても安全側である。よって、簡易式を用いた設計が妥当であると判断した。

表-3 P2支点上のスタッドボルト間隔の比較

算出方法	スタッドボルト間隔
簡易式	160mm
FEM解析	200mm

3. アンバランスな径間割による不反力の発生

本橋梁は、地形条件による橋脚位置の制約のため、終点側側径間が短いアンバランスな不等径間割である。このため、最終径間支点（A2支点）に不反力が発生することが課題であった（図-11, 表-4）。

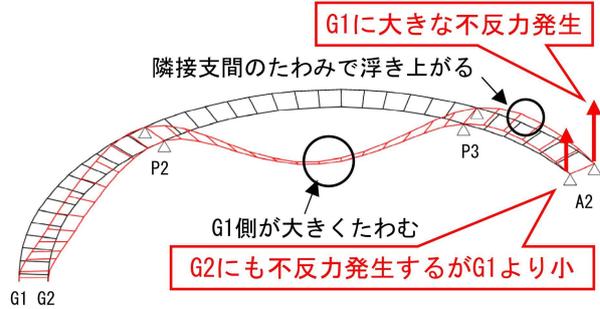


図-11 全体荷重時の変形図

表-4 A2支点反力

支点		G1	G2
死荷重		89kN	467kN
活荷重	MAX	1071kN	672kN
	MIN	-694kN	-101kN
総荷重	MAX	1433kN	1330kN
	MIN	-774kN	364kN

(1) 対策工法の抽出

不反力対策として、以下の対策工法を抽出し本橋梁に適用可能か検討を行った。なお、浮き上がり防止構造も考えられたが、A2支点の支承の回転・移動を拘束してしまうため抽出案から除外した。

- カウンターウェイト構造
 - ・床版増厚
 - ・桁内充填
 - ・巻立てコンクリート
- アウトリガー構造
 - ・支点移動（アウトリガー）
- その他
 - ・浮き上がり防止構造（×）

(2) 床版増厚

A2支点付近の床版を増厚し支点反力を増加させる案である（図-12）。幅員全体で増厚を行うため、効果的に支点反力を増加させることができる。ただし、断面の急激な変化および過密な床版配筋を避けるため、増厚厚さは通常部の3倍を上限とした。

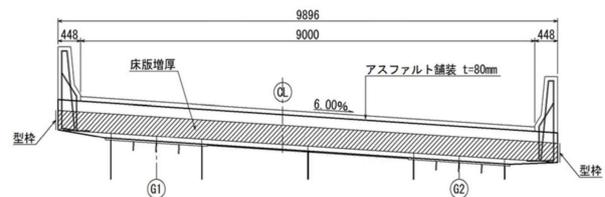


図-12 床版増厚概要図

(3) 桁内充填

A2支点付近の主桁内部にコンクリートを充填する案である(図-13)。桁ごとに設置可能であるため、G1桁に限定したカウンターウェイト構造として効率が良い。充填コンクリートの範囲は桁内の点検経路に配慮した形状とした。ただし、桁内での施工となるため、他の案と比較して施工性に劣る。

また、充填コンクリートの材質に高重量コンクリートを用いればより効果的であるが、特殊材料のため材料調達に課題がある。

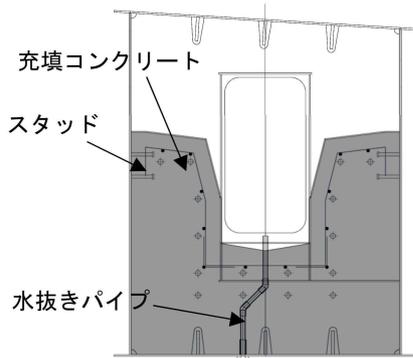


図-13 桁内充填概要図

(4) 巻立てコンクリート

A2支点上の端支点横桁をコンクリートで巻立てる案である(図-14)。施工範囲が少ないため施工性に優れる。ただし、他の案に比べ、増加する支点反力が少ないため、他の対策案との併用が必要である。

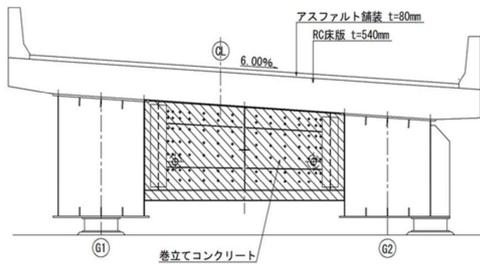


図-14 巻立てコンクリート概要図

(5) 支点移動(アウトリガー)

A2支点位置を移動することで、G1・G2の反力バランスを調整する案である(図-15)。橋軸直角方向の支点間隔を広げることで、不反力を低減できる。ただし、張出量を大きくすると、橋座の支承縁端距離を確保するために、橋座の拡幅が必要になる。

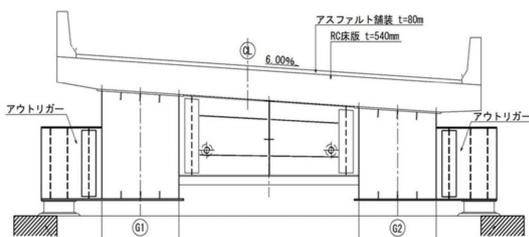


図-15 支点移動概要図

(6) 対策工法の検討

抽出した対策工法について、比較検討を行った。経済性・施工性・構造性に優れる床版増厚を採用し、なおも不足する支点反力を桁内充填+巻立てコンクリートで補う組み合わせとした。さらにG2支点を曲線内側に移動させることで、反力バランスを調整し、全体の対策工法の低減を行った。(図-16)。

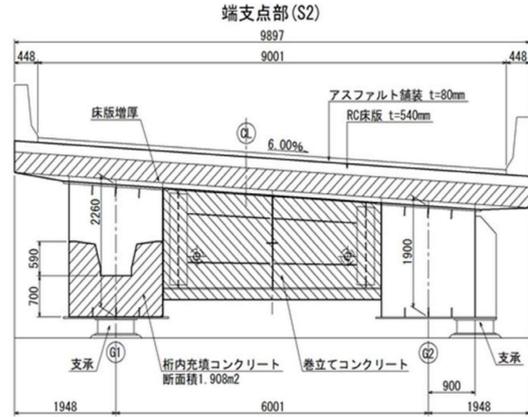


図-16 対策工法検討結果断面図

4. まとめ

本業務では曲線半径によるねじりモーメントの影響と、アンバランスな不等径間割による不反力の発生という課題に対し、各検討を行い設計を実施した。ねじりモーメントの影響については、簡易式とFEM解析の2つの方法でスタッドボルト間隔を算出し、簡易式の妥当性を検証できた。よって、簡易式を用いた設計の有用性を示すことができ、同程度の曲線半径の小さい橋梁について、効率的に設計を行えることを見出した。

アンバランスな不等径間割による不反力の発生については、カウンターウェイト構造を検討し、各案を組み合わせることで、効果的かつ経済的な不反力対策を立案することができた。

本業務で得られた成果・知見を活かし、今後はより合理的な構造を模索していきたい。

謝辞: 本論文を作成するにあたり、静岡県島田土木事務所より受注した業務成果の一部を活用させていただきました。ご協力いただいた発注者様には心より感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 杉本高志, 山内誉史, 堀井滋則: 曲線合成1箱桁橋の適用限界に関する考察, 橋梁と基礎 (2019年7月号), 2019-7 (P. 30)
- 2) 杉本高志, 山内誉史, 堀井滋則: 連続合成曲線細幅箱桁の適用限界に関する考察, 橋梁と基礎 (2019年9月号), 2019-9 (P. 35)

民間企業を対象としたBCP作成支援ツールと勉強会の効果と留意点

しもいけけんた かさはらりょういち いぬやまあきお たがわたかやす さいとうかおり
○下池健太¹・笠原亮一¹・犬山晶夫¹・田川隆康¹・斎藤香織¹

¹日本工営株式会社（〒102-8539 東京都千代田区麹町5-4）

一級河川天竜川等の浸水想定区域が広範囲に及ぶ静岡県遠州地域の流域治水協議会では、天竜川等の洪水氾濫への事前防災対策の取り組みに「工場や建築物の浸水対策、BCPの策定」を位置付けている。

本取り組みを推進するため、遠州流域治水協議会、浜松商工会議所の機関連携により、地域経済を支える民間企業が自社に想定される洪水被害を理解すること、洪水時の事業継続に最低限必要な備えを検討することを目的としたBCP作成支援ツールの開発とBCP作成勉強会を実施した。

本稿では、本取り組みの紹介と今後の展望等を取りまとめた。

Key Words : 流域治水プロジェクト, BCP, 関係者協働, 浸水対策, 官民連携, 民間企業支援, 地域経済維持

1. はじめに

近年、地球温暖化に伴う気象変動の影響により、今後さらに、大雨や短時間豪雨の発生頻度や大雨の降水量などが増大することが予測されており、大規模な水災害が発生する懸念が高まっている。平成30年9月の台風第24号の襲来時には、静岡県内全域で延べ115万戸超が停電し、浜松市の一部地域では、復旧までに約1週間を要した。

また、令和元年度に実施した静岡県の調査¹⁾によると県内のBCP策定率は43.1%となっている。「策定に必要なノウハウ・スキルの不足」や「人員の確保が出来ない」等という理由のため、県内ではBCPの策定が進んでいない状況である。

上記を受け、浜松商工会議所では、令和2年3月に災害対策特別委員会活動方針を作成し、会員企業のBCP策定支援等の活動を開始した。

天竜川では、令和2年9月に天竜川（下流）水系流域治水協議会（現遠州流域治水協議会）が設立され、「被害の軽減・早期復旧・復興」の取り組みに「工場や建築物の浸水対策、BCPの策定」が位置付けられた。浜松商工会議所は、本流域治水協議会にオブザーバー参加することとなった。

このことから、令和3年度に、天竜川（下流）水系流域治水協議会（現遠州流域治水協議会）主催で、浜松商工会議所所属会員を対象としたBCP作成支援ツールの作成と勉強会を実施した。

2. BCP作成支援ツールの作成

1. に示した通り、BCP策定に向けた課題として、「ノウハウ・スキル不足」、「人員の確保」が挙げられた。これらの課題に対応するため、下記に留意し、BCP作成支援ツールを作成した（図-1）。

- BCP初学者程度の担当者における着手時の心理的障壁、作成時の作業負担に留意し、1～2時間程度でBCPが作成できる内容量とする。
- BCP作成支援ツールの作成を容易にするため、エクセルデータで、入力用と印刷用のワークシートに分ける構成とした。入力シートに必要な事項を入力すると、印刷シートへ自動反映される仕組みとする。

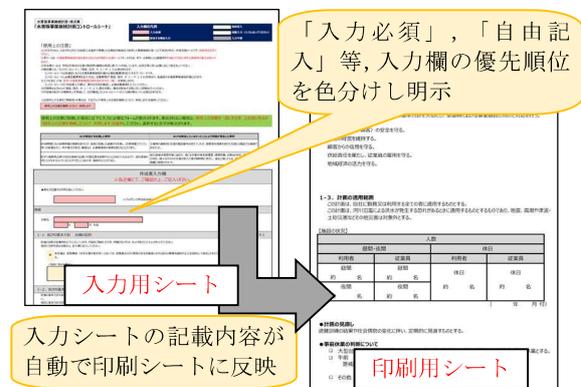


図-1 BCP作成支援ツールの構成

静岡県事業継続計画モデルプランの参考資料となっている中小企業庁の「中小企業BCP策定運用指針」2)を参考に、BCP作成支援ツールの機能設計、構成検討を行った。

中小企業運用指針の入門コースで示される構成のうち、中核事業の被害想定の対象、事前対策の考え方については、4. で後述する本業務の特徴を踏まえ、以下のとおり見直すこととした。

●被害想定の対象：

企業が実行計画を検討しやすい人・物・情報を対象とする

●事前対策の考え方：

事前・事後で区分した対策の検討を促す

検討したBCP作成支援ツールの構成を表-1に示す。

表-1 BCP作成支援ツール構成

No.	目次	記載項目
-	表紙	施設名・作成年月
-	目次	目次
1	BCPの基本方針	目的, 基本方針, 適用範囲
2	BCP体制・従業員名簿	参集時間, BCP上の役割
3	被害想定	浸水深・浸水継続時間の確認, 垂直避難の可否
4	避難計画	避難にかかる時間, 避難経路, 避難開始のタイミング
5	BCP体制の設定	発動基準, 指揮命令系統図, 水害対策にかかる時間の確認
6	重要業務の設定	重要業務の整理
7	事業継続に必要な重要業務の被害想定	事業継続に必要な資源および資源の被害想定
8	重要業務継続のための対策	水害対策の検討
9	BCPの定着・見直し	訓練・見直し計画, 今後の課題
10	資料編	対策の具体手順

また、BCP作成支援ツールの取り扱い説明書として、入力方法や留意点をまとめた「水害版事業継続計画作成の手引き（案）」を作成した。

手引き（案）では、BCP作成支援ツールの使用方法に加え、BCPの必要性や各検討項目の考え方や事例紹介、ハザードマップによる水害リスクの把握方法の解説等の補足説明を追加し、BCP作成支援ツールおよびBCPに対する理解促進を図った。

3. BCP作成勉強会の企画運営

勉強会は、企業が参加しやすくするため2部構成（図-2）とした。

第1部は、水害リスクを認識しBCPの必要性を感じてもらおう内容にした。具体的には、BCP作成の必要性や、洪水ハザードマップによる水害リスクの把握方法等を解説した。

勉強会の参加方法は対面とオンラインを組み合わ

せることで参加しやすくなるよう配慮した。

そして、第1部参加企業のうち、水害版BCP策定の必要性を感じて頂いた企業を対象に、第2部で水害版BCP作成の実践を行って頂いた。

第2部勉強会（前半）では、2. で作成した、BCP作成支援ツールを用いたBCP作成方法の解説を行った。参加者には、PCの持参を呼びかけ、実際にツールを操作しながら勉強会を進めた。

第2部（前半）の終了後に、参加者に対して、BCP作成にあたり最重要項目である、重要業務の設定を宿題として検討を依頼した。

第2部勉強会（後半）では、参加者が作成したBCPについて、疑問点や他社の考えを共有し、新たな気づきを得る機会や洪水対策における企業間の連携の可能性を創出するため、参加者同士の意見交換を企画した。

回	プログラム概要	成果
第1部勉強会	<ul style="list-style-type: none"> ・全国災害状況 ・浜松の災害 ・河川管理者の仕事説明 ・流域治水の取り組み説明 ・水害リスクとハザードマップの読み方 ・いまからできる企業の備え 	<ul style="list-style-type: none"> ・BCP作成の必要性を理解する ・地域の水害リスクの理解を深める
第2部勉強会（前半）	<ul style="list-style-type: none"> ・企業BCP作成支援ツールを活用したBCP作成の手順説明 ・ワークショップ①：自社の水害リスクを踏まえた人命を守るための対策を考える（個別ワーク） 	<ul style="list-style-type: none"> ・BCP作成方法を理解する ・企業の一資源である人に対する事前対策の検討・避難計画の作成
宿題	参加企業には、第2部勉強会（後半）までに、重要業務を選定	
第2部勉強会（後半）	<ul style="list-style-type: none"> ・ワークショップ②：重要業務の継続に必要な資源（人・物・情報・BCP体制）の被害想定と事前対策等の設定（個別ワーク） ・グループで各企業の対策について意見交換（グループワーク） ・個別企業から質問等への対応 	<ul style="list-style-type: none"> ・水害が企業に影響を及ぼすリスクと現状対応可能な対策を明らかにする ・他社の対策を知ること、自社の対策を振り返る

図-2 勉強会の構成・概要

4. BCP作成勉強会の実施結果

BCP作成勉強会の参加者数は、下記の通りである。

第1部、第2部（前半、後半）の計3回全てに出席した参加者に対して、アンケート調査を実施し、9社から回答を得た。

設問と得られた回答を図-3に示す。

第1部参加者：会場11名、オンライン53名、計64名

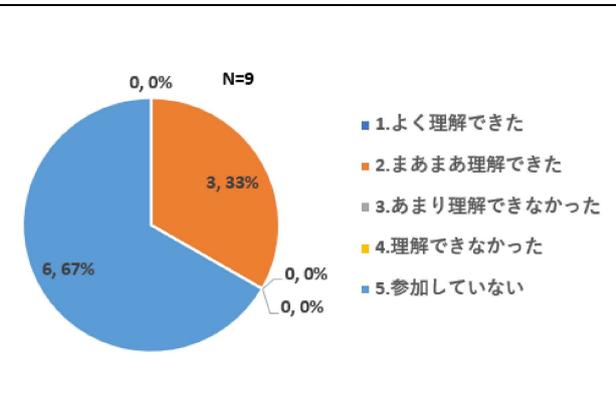
第2部参加者：15社（18名）

第1部勉強会の内容の理解度に関しては、100%（9社）が「1. よく理解できた」、「2. まあまあ理解できた」との回答であった（Q1）。勉強会の長さは、3

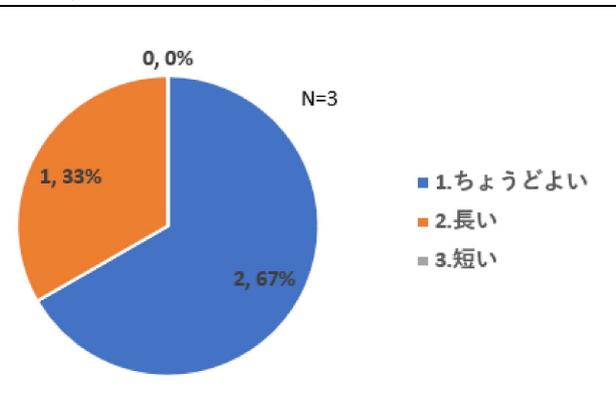
社のみでの回答であったが、「1. ちょうど良い」が67%である (Q2) . 勉強会の方法については、「2. オンライン」の要望が67%を占める (Q3) .

第2部勉強会は、89% (8社) が、「1. よく理解できた」, 「2. まあまあ理解できた」との回答であった (Q4) . 勉強会の長さは、「1. ちょうど良い」が56%である一方、短いという回答も3社 (33%) があった (Q5) . 第2部勉強会の内容については、5社 (33%) がエクセルツールを評価する意見が最も多く、ワークショップが4社 (27%) と続く (Q6) . 改善点としては、6社 (75%) がBCP作成支援ツールであり、ワークショップ, 進行方法の改善を望む声もそれぞれ1社 (各12%) があった (Q7) . 勉強会の継続については、全社が継続を希望するという結果となった (Q8) .

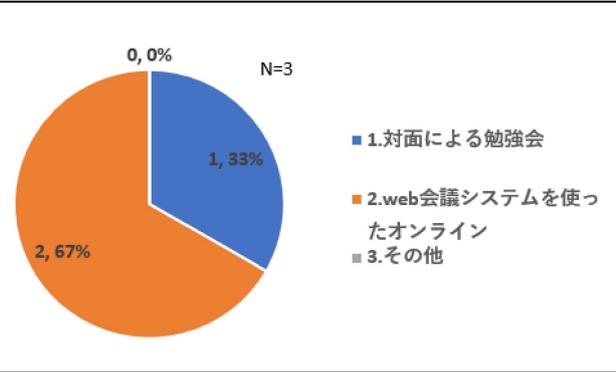
Q1 : 第1部勉強会の内容は理解できましたか.



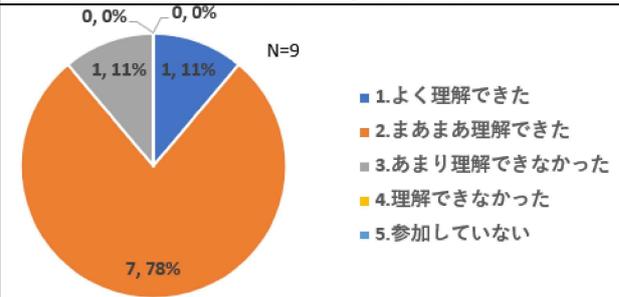
Q2 : 第1部勉強会の長さはどうでしたか.



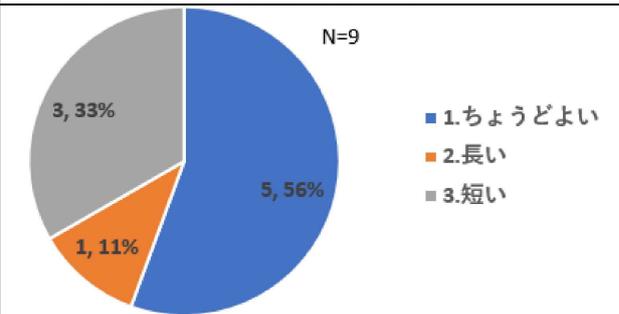
Q3 : 勉強会の方法はどのような方法が良いと思いますか.



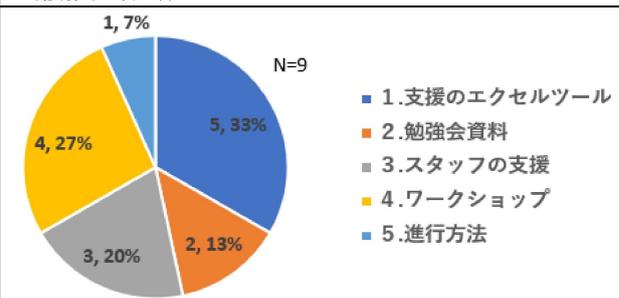
Q4 : 第2部勉強会の内容は理解できましたか.



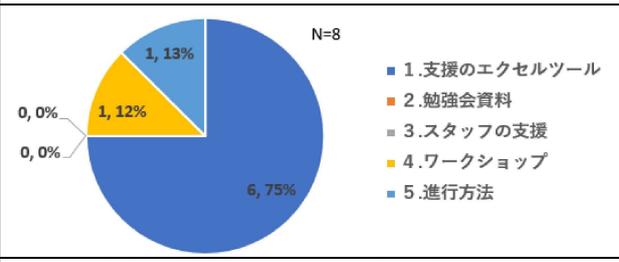
Q5 : 第2部勉強会の長さはどうでしたか.



Q6 : 勉強会の内容で良かった点は何ですか. (複数回答可)



Q7 : 勉強会の内容で改善した方がよい点は何ですか.



Q8 : 勉強会を今後も開催した方がよいと思いますか.

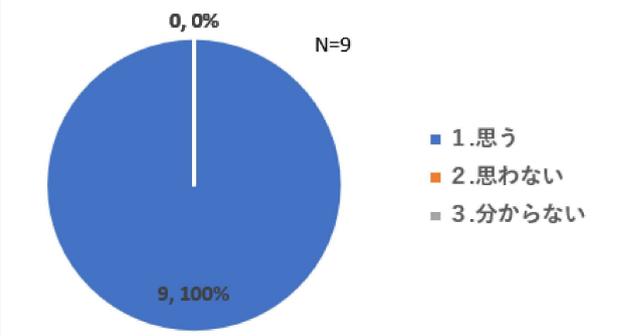


図-3 アンケート結果

4. 業務の特徴と効果, 留意点

(1) 本業務の特徴

本業務では、遠州流域治水協議会にオブザーバー参加している、浜松商工会議所所属の民間企業を対象にBCP作成支援ツールを作成し、それを基にBCP作成勉強会を実施した。

本取り組みは、遠州流域治水協議会の事務局であり、天竜川（下流）を管理する浜松河川国道事務所と、所属企業のBCP作成促進による浸水対策や早期復旧を可能とすることで、地域経済の維持、発展を目指す浜松商工会議所が協働で取り組んだ。この姿勢は、あらゆる関係者で浸水被害の解消・軽減に取り組む流域治水の目的に合致しており、地域が一体となって取り組んだ好事例である。

また、民間企業に対する水害版BCP作成支援は、全国的に実績・知見が少ない先進事例であり、官民連携による民間企業の防災意識の向上とBCP作成に繋がる成果が得られた。

(2) 本業務の効果

本業務では、当地域のBCP策定推進における課題に対して、以下の対応を実施した。

○ノウハウ・スキル不足

- BCPに係る前提知識やBCP作成上の留意点を説明する内容の勉強会を実施
- 他社とBCP作成の課題や工夫点を共有するグループワークを企画

○人員の確保

- 容易にBCPが作成できるようエクセル形式のBCP作成支援ツールを作成
- 少ない人員・資源で対応可能な水害対策・事業継続の検討を行う初学者向けの内容とすることでBCP検討の障壁を軽減

勉強会後の振り返りおよび上記課題への対応の検証を目的としたアンケート調査では、支援ツールと勉強会での意見交換は好評であった。

勉強会の内容、長さについては、満足度が高かったことから、勉強会の企画は適切なものであった。

また、第2部勉強会で企画したグループワークについては、BCP作成に対する考え方や意見を聞く貴重な機会となったとの回答があったこと等から、新たな気づきが得られる良い機会となったと想定される。

以上より、本取り組みは、当地域でのBCP策定促進上の課題解決に寄与し、地域の防災力向上に貢献したと考えられる。

(3) 留意点および今後の展望

本業務に係る今後の留意点および展望を以下に示す。

企業BCP作成支援の継続が必要である。本業務では、前期勉強会は64名、後期勉強会は18名（15社）の参加であった。内容については好評であったが、参加した企業は、浸水域内の一部の企業であるため、流域全体として水害版BCPが効果を発揮するためには、より多くの企業が作成する必要がある。そのため、今後も継続して勉強会を開催することが望ましい。

勉強会の中で参加企業担当者の意見として、自社で想定される浸水深が深いことから、対策が不可能であると対応に行き詰まることが挙げられた。

多段階の浸水想定図を踏まえ、水害リスクの受容・軽減等、リスクマネジメントの観点を詳細に説明する対応が求められる。

参加者の意見を踏まえながら、支援エクセルシート の改良が求められる。支援エクセルシートは、入力した情報に基づき必要な箇所を記載した水害版BCPが完成するため、一定の評価を受けたが、一部複雑な操作が必要であった。企業のニーズを踏まえながら、改良を継続していくことが重要である。

勉強会の継続実施やBCP作成支援ツールの改良を通じて、勉強会の対象を初級編、中級編、上級編に分ける等、BCPの実効性向上や見直しを促進し、各企業がPDCAサイクルにより、BCPをより良いものにバージョンアップしていく取り組みが効果的と想定される。

水害版BCP作成企業に対する優遇の検討についても将来的には必要である。水害版BCPの必要性は、多くの企業に認識されているが、策定に必要な費用、人材などの問題が水害版BCPの普及に影響を与えている。水害版BCPを普及させるため、損害保険や税制などのインセンティブを付与するなど普及に向けた仕組みを流域や社会全体で考えていくことが望ましい。

水害リスク情報の提供やBCPを作成した企業へのインセンティブの設立等は、流域治水協議会全体で、各機関が連携して取り組むべきである。今後も、流域治水の理念に則り、関係者協働により多くの企業に本取り組みを展開することで地域共通の課題解決、作成されたBCPの実効性向上に留意し継続的に取り組んでいきたい。

謝辞：

本業務の実施にあたり、国土交通省中部地方整備局浜松河川国道事務所および、浜松商工会議所の関係者の皆様には、多大なるご指導、ご協力をいただき、感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 静岡県：事業継続計画策定状況に関するアンケート調査,2020
- 2) 中小企業庁：中小企業BCP策定運用指針 第2版,2012

河川維持工事における3次元モデル活用

○加藤陽香¹・中川義守¹・宮本大輔¹・野口聖実¹

¹八千代エンジニアリング(株)名古屋支店 (〒460-0004 愛知県名古屋市中区新栄2-9)

本稿は、庄内川右岸7.8k付近における、モグラ穴に起因した川裏法面の緩みに対する維持工事（締固め・緩勾配化）において、既存のLPデータを用いて、3次元モデルを活用した詳細設計を提案、実施したものである。計画上コントロールとなる細部地形（堤防法肩、堤脚保護等）の把握が課題として挙げられたが、区間全体を見据えモデル上で補整を行うことで対応した。成果物は、3次元モデルから切り出した2次元図面を納品した。結果として、定期横断測量の活用と比べてLPデータの活用による設計精度の向上、測量期間の短縮・経費の削減、3次元モデルを用いたことによる協議の円滑化に寄与した。

Key Words : BIM/CIM, 3次元モデル, LPデータ, 維持工事

1. はじめに

我が国は、2010年の1億2806万人をピークに人口減少が始まり、併せて少子高齢化も顕著に進んでいる。2030年までの間、生産年齢人口は毎年1%近く減少していく予想もあり、労働力の確保が難しい中、生産性の向上が焦眉の課題となっている。

国土交通省では、2016年「国土交通省生産性革命本部」を設置し、生産性の向上に向け取り組んでおり、調査・測量から設計、施工、検査、維持管理・更新までのあらゆる建設生産プロセスにおいて抜本的に生産性を向上させるi-Constructionはその施策の一つである。

i-Constructionの取り組みのうち、土木や建築現場に3次元モデルを活用するBIM/CIMは、2023年までに小規模を除く全ての詳細設計・工事で原則適用することが定められており、それに向けてBIM/CIMの活用実績を積み上げていく必要がある。

本稿では、庄内川左岸7.6k～7.9kにおいて、川裏堤防法面維持工事に当たり、既存の航空レーザー測量によるLPデータを用いて3Dモデルを作成、工事図面の作成を行った事例を報告する。

2. 設計目的

設計区間は、堤防川裏法面におけるモグラ穴・堤体盛土の緩みが確認されたことから、「1:2.0勾配+小段」の川裏法面を「緩勾配化 1:3.0勾配」を基本として再整備し、緩みに対する締固めおよびモグラ穴の再発の防止が目的である。

また、整備後の維持管理性の向上に向けて、川裏の平場は除草時の車両の通行幅2m程度を確保し、地形誤差を勘案した2.5m以上の平場を確保することを基本とした。（図-1）

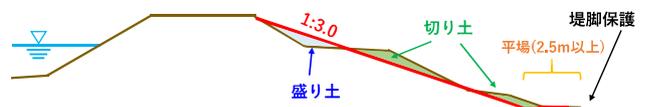


図-1 現況および整備イメージ(緩勾配化 1:3.0勾配)

3. 現地状況

設計区間は、「1:2.0勾配+小段」の川裏法面形状となっており、区間下流部では長大な坂路が存在している。（図-2）

川裏側は一部区間において用地上の制約が厳しい箇所も存在している。



図-2 設計区間および現況川裏法面 (1:2.0勾配+小段)

4. 設計における問題点

設計区間は早期に施工を実施する予定であり迅速な設計成果が求められていた。

一方、路線測量が未実施であったことから、当初、定期縦横断測量による工事図面の作成が考えられたが、対象区間は坂路が存在し一定断面ではないことや川裏用地の制約等、定期横断での200mピッチでの設計では工事図面として不十分な問題があった。

以上より、本工事は土工主体の工事であることを踏まえ、厳格な精度を必要としないことを勘案し、既存のLPデータを用いることで迅速かつ、精度ある設計を実施する方針とした。

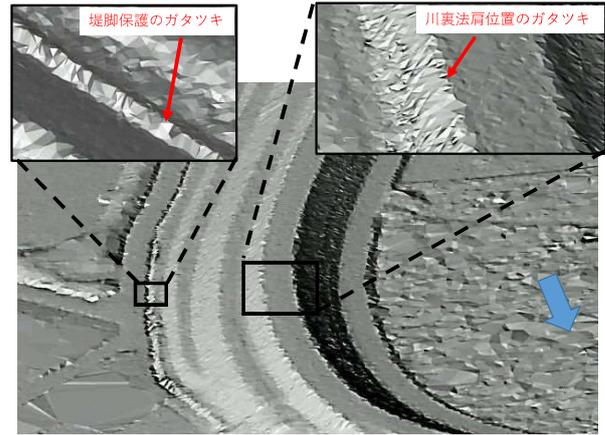


図-4 3次元モデルのガタツキ

5. 作成手順

(1) 使用データ

庄内川河川事務所が定期的に行っている航空レーザー測量の最新のLPデータ（地図情報レベル2500）を用いた。

(2) 設計手順

設計手順を、以下のフローに示す。（図-3）

設計を進めるにあたり、現況地形再現時の課題により、計画法面の設定が困難であった。

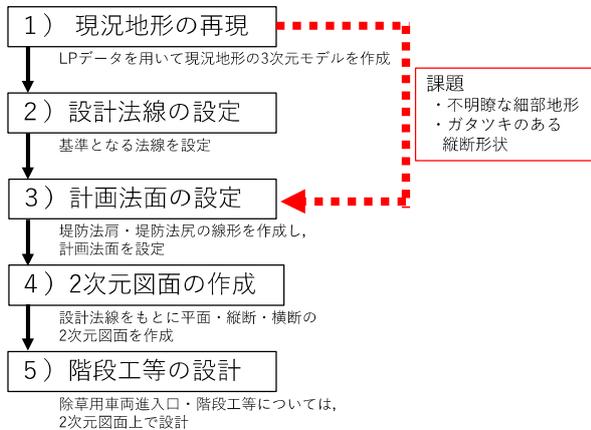


図-3 設計フロー

6. LPデータ活用にあたっての課題

川裏法面の緩勾配化においては、現況の川裏法肩位置および法尻となる堤脚保護や用地境界をコントロールとして計画法面の設計を行う。しかし、本設計で活用したLPデータでは、これらの地形が明瞭に表現されないことが課題であった。

(図-4)

(1) 不明瞭な細部地形

堤防法肩および法尻となる堤脚保護は、点群データの取得密度により明瞭に表現されず、設計のコントロールとする位置が定まらない。（図-5）

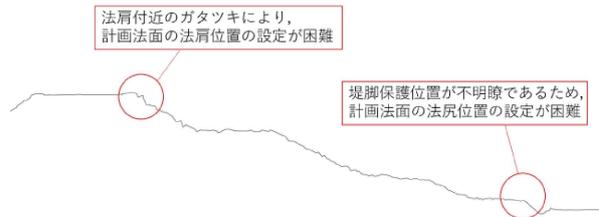


図-5 3次元モデルから切り出した横断面

(2) ガタツキのある縦断形状

堤防法肩および法尻標高は縦断的に連続性がなく、設計のコントロールとする位置が定まらない。（図-6）

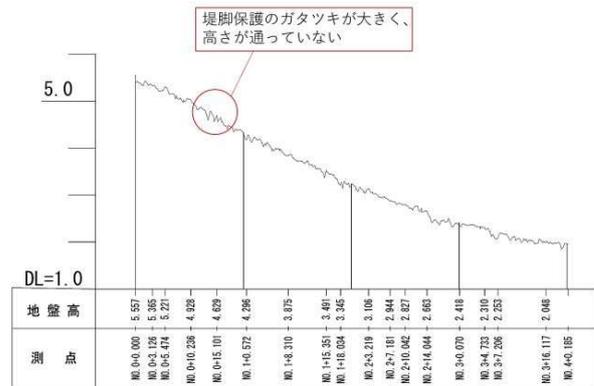


図-6 3次元モデルから切り出した堤脚保護の縦断面

地形のガタツキを補整した。

7. 課題に対する解決策

前述の課題に対して、以下の手順より、LPデータによる3次元モデルの現況地形のガタツキを補整し、コントロールとなる位置の線形を通すことで課題を解消し、検討を行った。

【手順1】：設計法線の設定 (図-7 A)

設計上の基準となる線形を、現況の法肩位置を概ね包絡するよう作成し、設計法線として設定した。

【手順2】：現況地形の補整

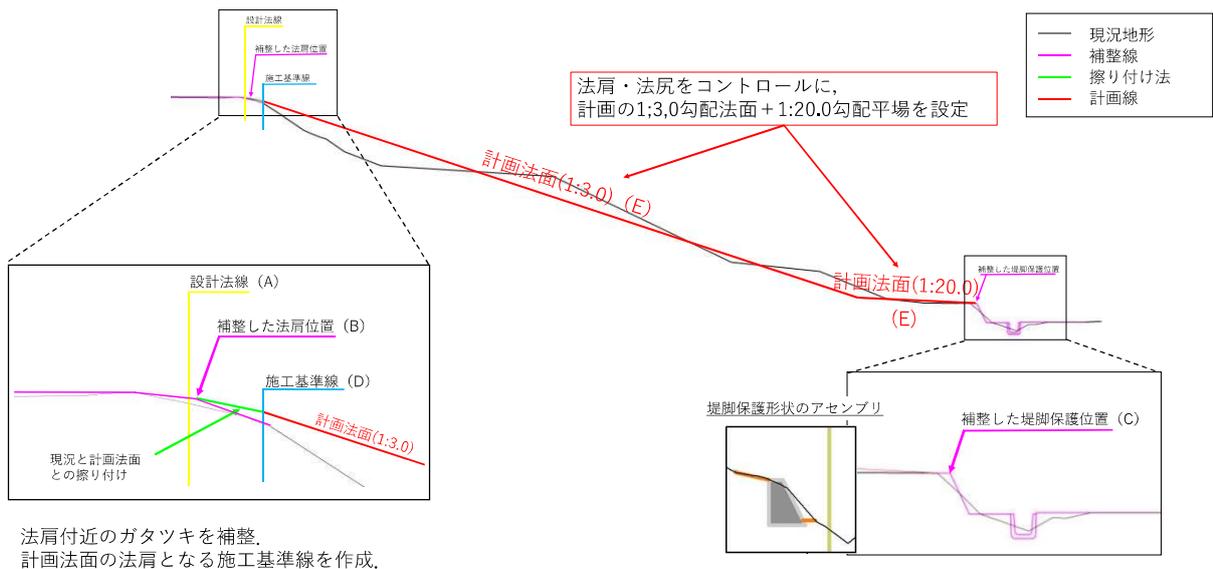
法肩、堤脚保護のガタツキについて、区間全体を見据えて現況モデルの補整をすることで、計画上のコントロールとなるそれぞれの位置を明瞭化した。

2-1) 現況法肩位置の補整 (図-7 B)

- ① 【手順1】で設定した設計法線をもとに3次元モデルより横断的に切り出し、法肩位置が明瞭になるよう地形のガタツキを補整した。

2-2) 現況堤脚保護位置の補整 (図-7 C)

- ① 堤脚保護の平面線形を3次元モデル上で調整した。
- ② 調整した平面線形をもとに縦断的に切り出し、天端高さを均して、平面・縦断的に凹凸とならないよう統一を図った線形に調整した。
- ③ 堤脚保護形状のアセンブリを、調整した線形に与え、堤脚保護位置が明瞭となるよう



法肩付近のガタツキを補整。
計画法面の法肩となる施工基準線を作成。

手順3：計画法面の設定

計画法面の法肩を施工基準線として設定した。このとき、施工基準線については、平面・縦断的に線形を与えることで、ガタツキのない平滑な計画法面とした。

3-1) 施工基準線の作成 (図-7 D)

- ① 補正した法肩の標高を縦断的に示し、HWL勾配で包絡する計画の法肩標高を設定した。(図-8)
- ② 現況法面を切らないよう、施工基準線の平面線形を設定した。

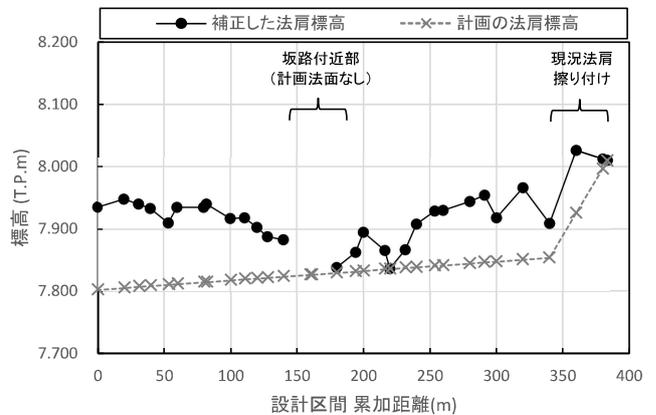


図-8 補整した法肩標高と計画の法肩標高

図-7 補整および設定した線形の横断位置

3-2) 計画断面の作成 (図-7 E)

- ① 施工基準線をコントロールとして1:3.0勾配の計画法面を、補整した堤脚保護位置をコントロールとして1:20.0勾配の平場を設定し、計画断面を作成した。

一部の区間で、用地上の制約により1:3.0勾配を確保できない区間が発生した。該当区間については、用地境界を見据え、1:2.5勾配の法面を設定し、1:3.0勾配と滑らかに擦り付けた。このとき、川裏の平場については、一定区間において除草時の車両の通行幅2.5mを確保することができた。(図-9)

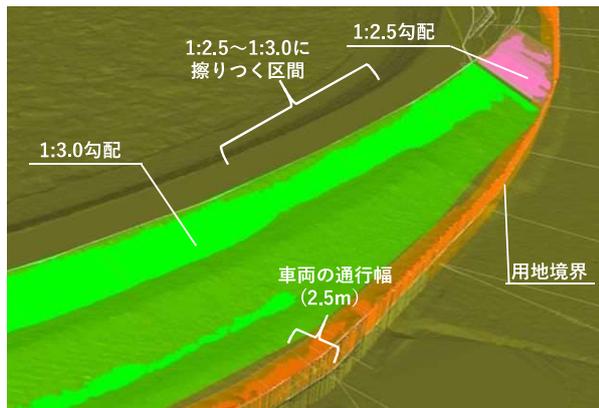


図-9 計画法面の法勾配と用地境界の位置関係

8. 検討成果

(1) 設計精度の向上

当初想定された定期縦横断成果を用いた設計に対して、既存のLPデータを用いることで20mピッチでの横断図の切り出しが可能であることから、坂路・用地制約箇所等の対応検討において、設計精度が向上した。

(2) 測量期間・費用削減

既存のLPデータを活用したことで、路線測量に要する期間を短縮し、迅速な検討、設計成果の作成を実施することができた。加えて、測量費削減にも寄与した。

(3) 協議の円滑化

3次元モデルで検討したことにより、切り盛りの範囲や、法面の擦り付け具合、用地境界位置等視覚的にイメージしやすく、発注者との認識の共有の一助となった。(図-10)

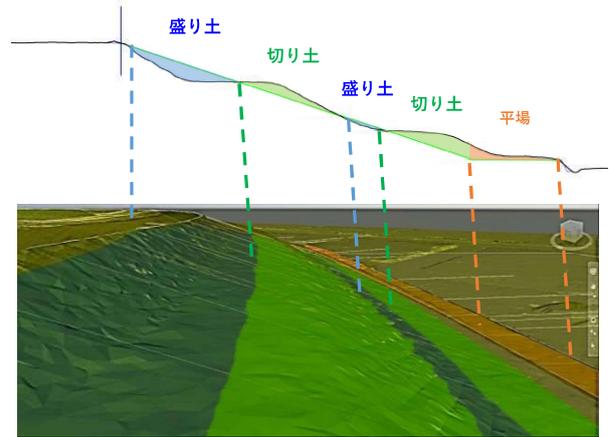


図-10 3次元モデルを用いた切り盛りイメージ

9. 今後の課題

堤脚保護等の既設構造物については、既存のLPデータで正確に判断することが困難である。

今回は維持工事で土工事が基本であったことから、細部地形の補整によって工事実施に対応する成果とした。実工事において精度上の問題がないと判断されれば、今後同様工事における活用が期待される。

なお、今回のLPデータを用いた3次元モデル上での検討においては、除草用車両の進入口や老朽化により復旧する階段工等は、細部地形の再現が困難であることから2次元図面上での検討とした。(図-11) 今後は、必要に応じて、簡易的に点群データを計測できる3Dレーザースキャナーの活用等、任意の範囲で点群データを追加する対応も有用と考える。

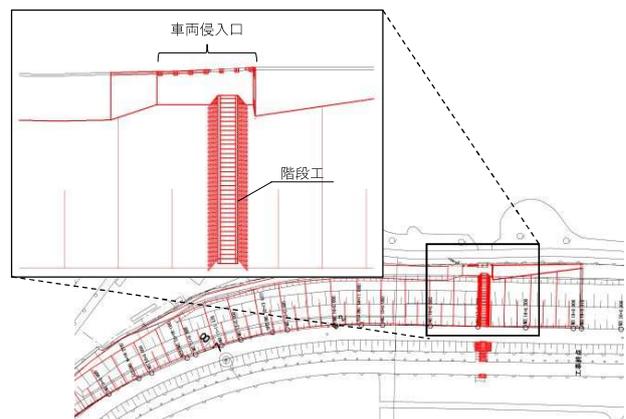


図-11 2次元図面上で作成した進入口

謝辞：本検討は、国土交通省庄内川河川事務所の「令和3年度 庄内川築堤護岸詳細設計業務」の成果の一部である。関係各位に謝意を表す。

水制周辺の流れの影響による 護岸の被災メカニズムと対策

○千村紘徳¹・伊藤秀一¹・岩田経¹・成瀬幹信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）

木曾川では明治20年頃から低水路の固定や流水の衝撃を緩和することを目的にケレップ水制を含め、多くの水制が整備されている。また近年、線状降水帯による豪雨が頻発しており、洪水の発生や低水護岸の被災の危険性が高まっている。このような中、令和3年の出水によって水制直下流の低水護岸が被災した。

Key Words : 水制, 被災, 局所洗掘, 感潮区間, 鋼矢板護岸, 控え式鋼矢板, UAV, ナローマルチビーム

1. はじめに

木曾川左岸の低水護岸が令和3年5月の出水により被災した。被災状況として、被覆コンクリートの崩落と鋼矢板の傾倒が確認された。

本稿は、木曾川左岸の水制の直下流に位置する低水護岸が被災した事例を基に、水制の影響による被災メカニズムと対策の一例を報告する。



図-1 被災箇所の周辺状況



図-2 被災状況

2. 被災原因の推定

(1) 目視調査

感潮区間に位置する被災箇所は、護岸背面の土砂が吸い出されており、被覆コンクリートの崩落および鋼矢板の傾倒が見られた。また、被覆コンクリートが控え式鋼矢板のタイロッドの上へ落下したため、笠コンクリートにひび割れが発生していた。なお、護岸背面の水位は潮位に追随することはなく背面水位の方が高い状態であった。

(2) 詳細調査

鋼矢板の下端が前面に傾倒している状況から、矢板前面の河床が洗掘されている可能性が高いと考え、水中部等の不可視部の状況と範囲を把握するため、下記の詳細調査を実施した。

a) 水中および陸上の地形把握

水中部の把握には、ナローマルチビームによる深淺測量を実施し、陸上部の把握には、UAVによる写真測量を実施した。

測量した結果、被災箇所の前面に最大10m程度の局所洗掘が明らかとなった。

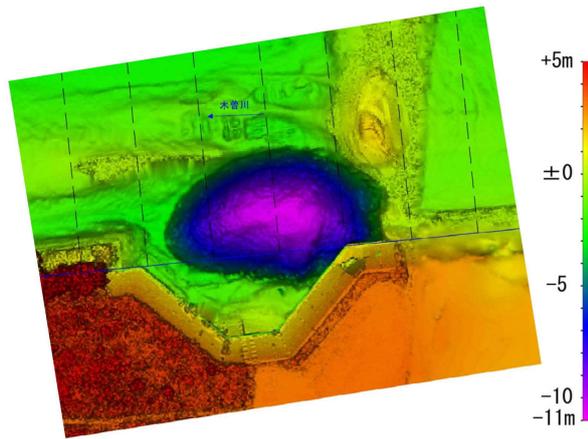


図-3 段彩図（平面）

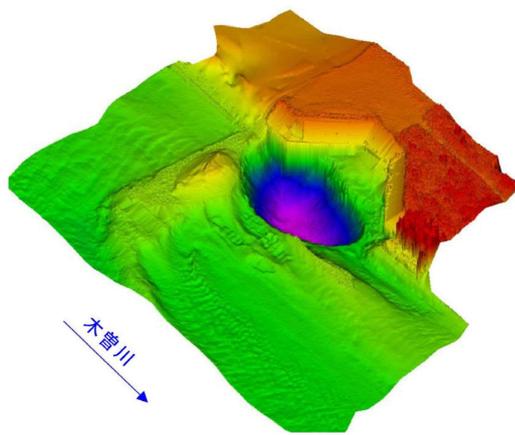


図-4 段彩図（斜め）

b) 護岸背面の空洞調査

護岸背面は不可視部となるため、レーダ探査により空洞状況を把握した。レーダ探査の結果、被覆コンクリート底面に強い反射を示した箇所については、ドリル削孔し、ファイバースコープで直接空洞を確認して護岸背面の状況を把握した。

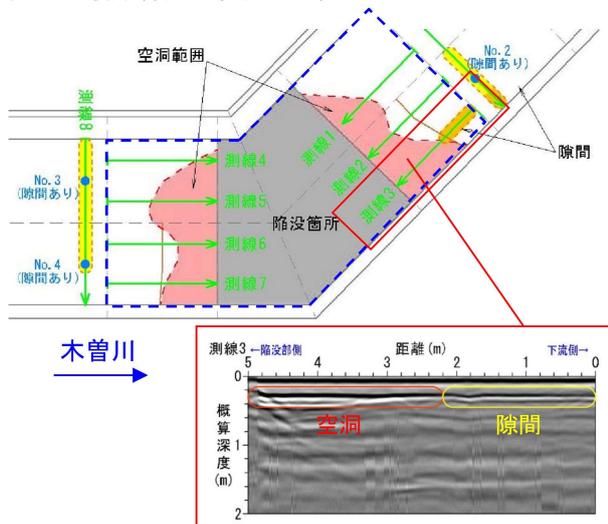


図-5 空洞調査結果

c) 潜水調査

鋼矢板の傾倒の状況を把握するため、潜水調査を実施した。

潜水調査の結果、鋼矢板7枚の下端が露出している状況であった。また、最大9度の傾倒が確認され、鋼矢板の途中で折れ点は見られなかった。

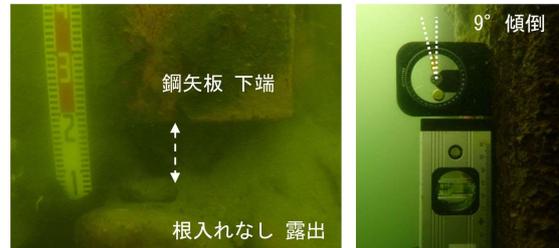


図-6 潜水調査結果

(3) 被災原因の推定

上記までの目視調査および詳細調査の結果、被災原因を次の2点とした。

- ①：被災箇所直上流に設置されている水制に土砂が溜まり、砂州が発達し、護岸側が通水部となったことにより偏流が生じた。さらに、水制との落差によって、縦渦が発生し、局所洗掘が生じたものと推定される。

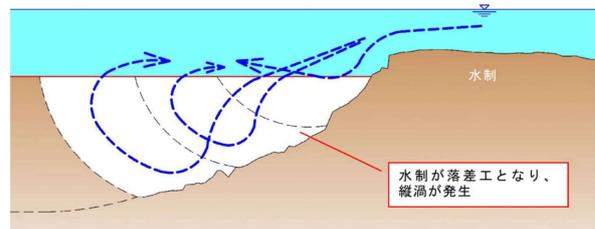
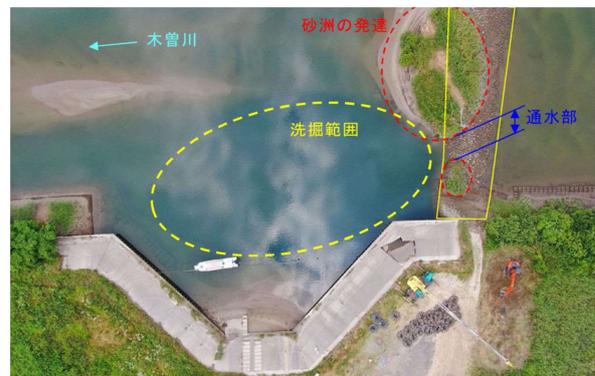


図-7 被災原因の推定①

- ②：護岸背面の水位は、潮位に追随することはなく護岸背面の水位の方が高い状態である。図-8のように水製の埋設や取付け部のじゃかごが原因で護岸背面に水が回りやすくなっている。また、鋼矢板により排水しにくい状況から、日常的な残留水圧が発生し、ボイリングが生じたと推定される。

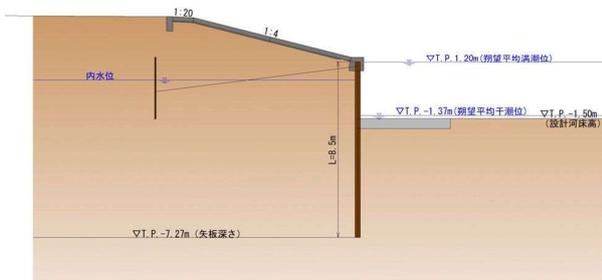


図-8 被災原因の推定②

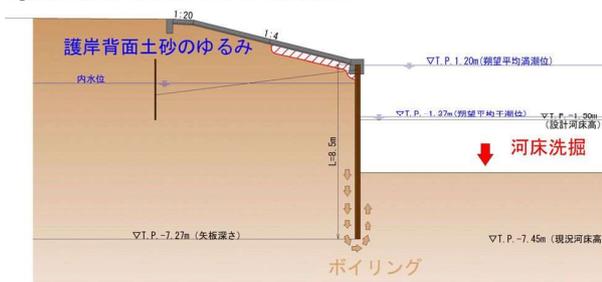
(4) 被災メカニズム

前項までの被災原因の推定から考えられる被災メカニズムについて整理した。

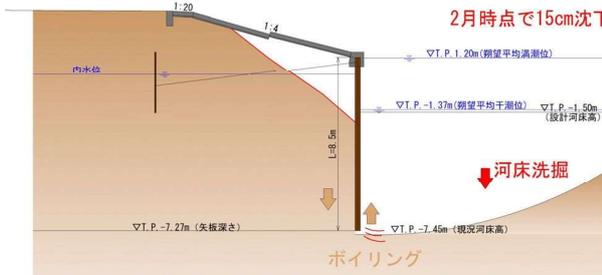
①完成時 (H8)



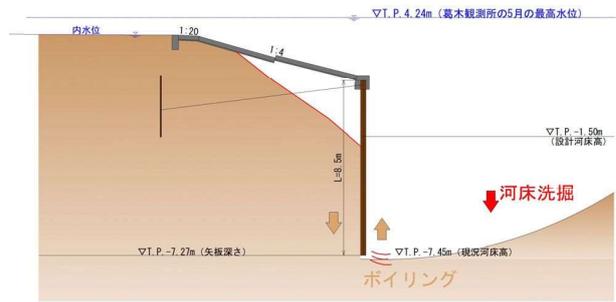
②水制および砂洲の発達による河床洗掘



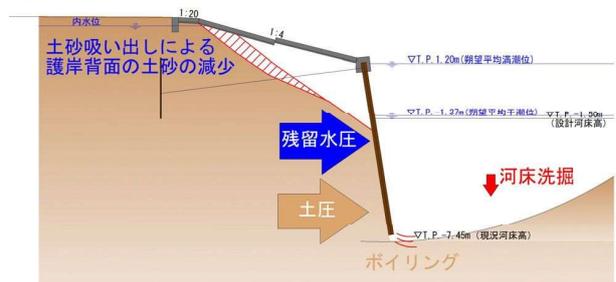
③ポイリングおよび土砂吸い出しに伴うコンクリート張の沈下 (R3.2)



④5月21日の出水時の水位 (R3.5)



⑤残留水圧と土圧による矢板傾倒に伴う土砂吸い出しの助長



⑥崩壊時

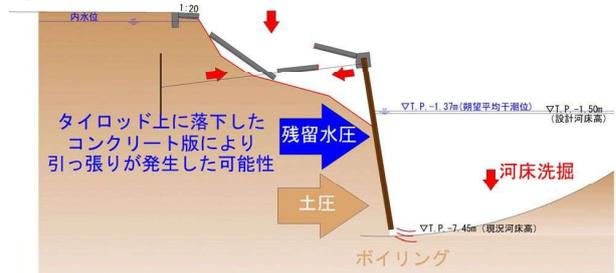


図-9 被災メカニズム

3. 復旧工法の検討

(1) 被災原因を踏まえた復旧方針

前項の被災原因を踏まえて復旧方針を検討した。なお、被災箇所の上流に健全な鋼矢板護岸があるため、護岸構造は変更しない方針とした。

各被災原因に対する対応策を以下とする。

【原因①】

- ◇対応：砂洲の撤去および水制工の嵩上げ
- ◇理由：土砂堆積による偏流を改善し、水制直下流への堆砂を促す

【原因②】

- ◇対応：透水性鋼矢板（ウィープホール設置）護岸とする
- ◇理由：残留水圧の軽減を促す

(2) 復旧工法

a) 護岸構造

セグメントおよび代表流速から護岸構造を選定し、既設と同じ矢板護岸構造（控え式）を選定した。

また、護岸前面が大きく洗掘されているため、「河川構造物設計要領¹⁾」に基づき、根固め高の1/2を設計地盤高（図-10参照）とし安定解析により鋼矢板の規格、控え矢板の位置と規格を決定した。

b) 根固め工

根固め工の天端高（設計河床高）は洗掘前の既設計画高とし、最深河床高の評価高から設置幅を14mと決定した。

根固め工の材料は捨石工とし、捨石工を流出させないために表面に1.0t型のブロックで被覆する計画とした。

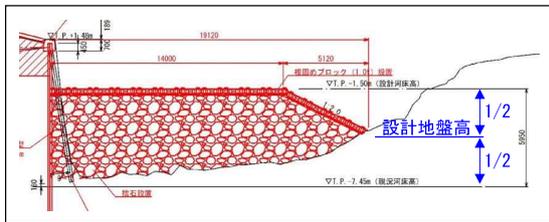


図-10 根固め工の設置範囲・設計地盤高

c) 取付工

起終点には健全な鋼矢板護岸が残存するため、取付工として異形矢板を設置した。

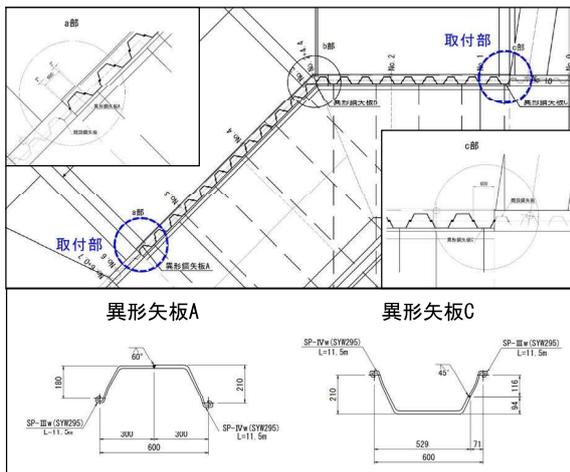


図-11 取付工の詳細

d) 水制工

土砂堆積による偏流の改善および水制直下流への堆砂を促すため、砂洲の撤去および水制の嵩上げを計画した。

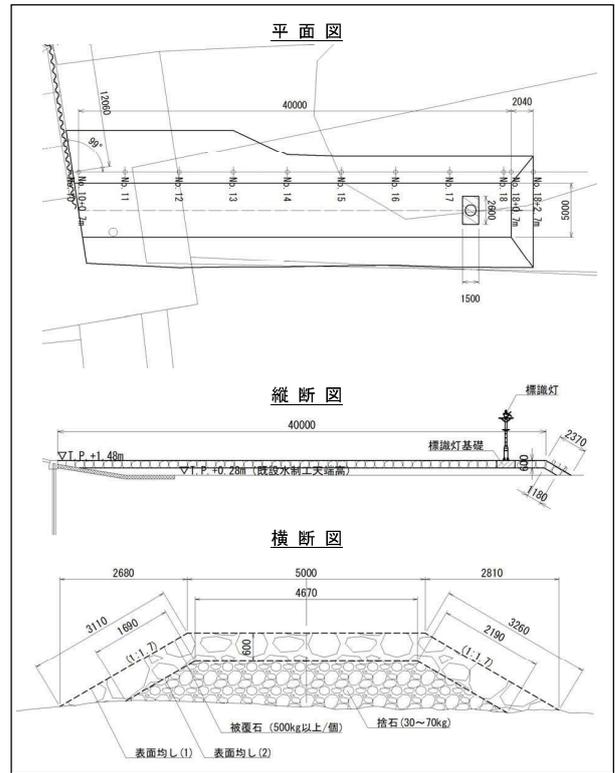


図-12 水制工の詳細

(3) 施工計画

背面の高水敷をヤードとして使用する。水中部には応急復旧として袋詰め玉石が設置されているため、水中部の施工には潜水土を配置して施工する計画とした。

4. おわりに

本稿は低水護岸の直上流にある既設水制に堆砂した砂洲により発生した局所的な洗掘が原因で崩壊した護岸の復旧を設計・検討したものである。護岸前面に局所的な洗掘が発生し、その復旧を検討した事例は少なく、今後の参考事例の一つとなれば幸いである。また、水制による河川管理施設への影響、河道管理上の課題を把握するための参考となれば幸いである。

謝辞：本設計の検討の実施にあたりご指導、ご協力を頂きました木曾川下流河川事務所の職員の皆様方に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 河川構造物設計要領：国土交通省中部地方整備局河川部，2016.11

ALB点群データによる河床凹凸の面的評価 ～アユ生息場評価に向けた一考察～

○小川大介¹・堀田大貴¹・海津利幸¹・細井寛昭¹・遠藤慎一¹

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

ALB測量によって得られた面的かつ超高密度の河床高点群データから、河床底面からの比高として「礫面高」を算出し、礫面高の分布から河床凹凸やアユ生息場の評価を試みた。礫面高分布と河床材料の粒径分布を比較した結果、石の被度や石サイズの増加に伴い、平均礫面高や90%礫面高が大きくなり、礫面高による河床凹凸の評価が可能であることが示唆された。また、アユの好漁場と非好漁場の礫面高分布を比較したところ、好漁場では90%礫面高等の河床凹凸を示す指標が大きい傾向にあった。これらの結果は、アユの生息条件としての河床凹凸の重要性を示唆し、ALB測量を活用したアユ生息場の面的評価の可能性を期待させるものである。

Key Words : ALB測量, 河床凹凸, 河床材料分布, 生息場評価, アユ

1. はじめに

河川の総合土砂管理等における土砂動態や生息場評価の検討では、流路における河床材料の分布状況を考慮することが非常に重要である。しかし、調査手法上の制約から、ごく限られた地点でのサンプリング調査をもとに河床全体を類推して検討に用いているのが現状である。しかし、実際の河床材の分布はモザイク状に異なっていると考えられ、河床環境に依存する生物の生息場評価にあたっては、河床の質的状况、つまり粗細や凹凸を面的に把握することが長年の課題であった。

近年、水域の河床高を計測するALB (Airborne Laser Bathymetry) が実務で用いられることが多くなっている。ALB測量は、航空機から陸上部を計測する近赤外レーザと水中部を計測するグリーンレーザを同時に照射し、水深や河床の3次元座標を計測するものである(図-1)。ALB測量では、これまで計測できなかった水域における高密度の3次元座標を面的に得られることから、河床の堆積や洗堀、河川構造物の変状や樹木繁茂の把握等に活用されている¹⁾。

我が国を代表する魚種であるアユは、河床の石礫に付着する藻類を摂餌することから、河床環境の状況によってその生息環境としての良しあしが左右される。既往研究では、河床環境とアユの生息の関係性を調べられており、大サイズの石礫の存在や、それらが浮き石状態であることが好ましいこと²⁾、アユは平坦河床より凹凸のある河床を選好すること³⁾等が報告されており、いずれも河床凹凸があることの優位性を示唆している。

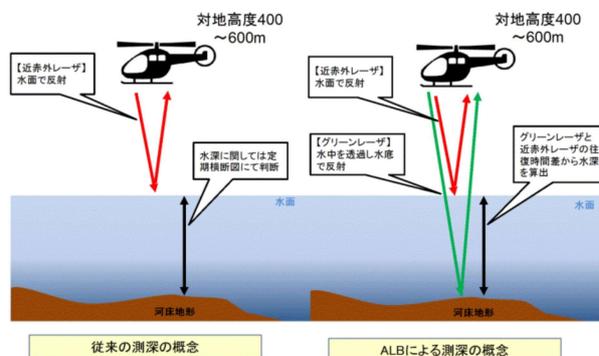


図-1 ALB測量の概要 (国土交通省賀川河川事務所HP)。

本報告では、小型マルチコプターUAVを用いて得られた“面的かつ超高密度の河床高データ”を用いた河床の凹凸評価の可能性を検証するとともに、面的な河床凹凸を考慮したアユ生息場を評価する手法の確立に向けた検討を行った。

2. 方法

(1) 調査対象地

一級河川の上流域、ダムに挟まれた本川における2区間の瀬を対象にした。下流側の瀬は長さ約700mで漁業者よりアユの好漁場と認識されている。上流側の瀬は長さ約400mでアユの好漁場とは認識されていない。

(2) ALB測量および空中写真撮影

ALB計測器を搭載したUAVを高度約70mで飛行させ、測量と空中写真撮影を行った。レーザの点群密度は100点/m²以上、空中写真の地上分解能は0.02mとした。水位が安定した時期の河床の状況を把握するため、非出水期である2021年12月～2022年1月に測量を実施した。使用した機器を表-1に示す。

表-1 使用機器の写真, スペック.

機器名	細目	仕様
【レーザー測距装置】 TDOT GREEN アユースワシエル7社製 S/N 34891605	観測間隔	1秒以下
	受信周波	2周波
	水平精度	±0.01m
	高さ精度	±0.02m
	姿勢精度 (Yaw)	±0.02°
	姿勢精度 (Pitch/Roll)	±0.01°
	最大計測距離	≥10% 158m ≥60%300m
	パルスレート	60kHz
	レーザー照射角	±45°
【UAV】 DJI社製 MATRICE600PRO S/N M80DFA22030166	測距精度	≥10% ±15mm ≥60% ±5mm
	飛行可能時間	12分以上
	自動飛行機能	あり
	最大飛行対地高度	500m
	運行可能最大風速	10m

(3) 点群データの一次整理 (グラウンドデータ作成)

ALB測量で得られたオリジナルデータは水面や水中で反射したノイズを含んでいる。これらは、編集ソフトによる自動除去が困難であるため、手動で除去し、河床で反射したと考えられるパルスグラウンドデータ (以下、点群データ) として作成した。

(4) データ解析方法

本報告では、点群の標高データから「礫面高」を算出し、解析に用いることとした。礫面高は、細粒土砂で構成されると想定される平坦な河床面から、石礫の任意の箇所における相対高さを示す概念である。既往研究⁴⁾では類似の概念として、河床の砂面から石礫の「頂点」までの高さである「露出高」が用いられ、石礫一つひとつに露出高の値が算出されている。一方、今回のALB測量で得られるデータはランダムなレーザー照射のため、石礫の任意の位置の標高を計測しており、結果として一つの石礫に複数の測定点 (礫面高) が発生している点が異なる。

a) 礫面高の集計範囲の設定, 礫面高の算出

低水路を2m×2mメッシュに区切り、メッシュ内の各点群データの礫面高を算出した。アユの縄張りは約1m四方であり、時々動き回る範囲を加えると2-3m²であること⁵⁾、また、縄張り範囲の水利条件には周囲の河床凹凸が影響していると考えられることから、ここでは2m×2mの範囲がアユの生息に影響する範囲として設定した。礫面高の算定にあたり河床面の標高が必要となるが、ここでは、各メッシュに含まれる点群データの低位5%の平均と仮定し、河床面と各点群の標高差分を礫面高として算出した。

b) 礫面高による河床凹凸の評価手法

礫面高から河床凹凸を評価できるかを検証するため、河床表層の粒径分布が異なる箇所を抽出したうえで、各メッシュにおける礫面高の加積曲線を作成し、礫面高の平均、90%値、最大値、標準偏差を算出した。これらと、空中写真から判読した河床表層材料の平面分布を比較した。

c) アユ好漁場における礫面高分布の評価手法

アユ生息場評価では、アユ好漁場と非好漁場のそれぞれの平瀬における礫面高を比較し、アユの生息

適否を区分する指標値を検討した。アユ好漁場における礫面高は、現地での潜水目視で確認した縄張りアユ確認箇所 (必ずしも排斥行動を確認せずとも一定箇所に固執する個体を縄張りアユと定義した) を含むメッシュ (5メッシュ) を抽出し算定した。非好漁場では、目視判断により流れの状況から瀬を区分し (4地区)、それぞれの瀬から4メッシュ/1地区を任意に抽出し、4メッシュの礫面高を平均した。

3. 結果

(1) 点群データの取得状況

点群の取得状況を確認すると、一部で欠測により点群数が不足している部分が見られた (図-2)。メッシュYR164とYR165は、巨石やその直下の白波部分における点群が欠測していた。

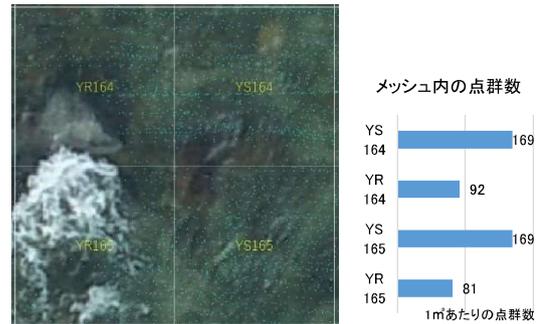


図-2 点群データの取得状況.

(2) 特徴的な河床における礫面高分布

点群データが100点/m²以上あり、砂や石、巨石等の様々なタイプの河床材料が優占するメッシュが混在する区間を抽出し、各メッシュの礫面高の分布状況を整理した。抽出したメッシュの空中写真と礫面高の分布を図-3に示す。

a) 全面的に細粒土砂で構成される河床

メッシュYV150では、90%礫面高が約0.18m、平均礫面高が約0.1m、標準偏差が約0.07mとなっており、全体で礫面高が低い値となった。メッシュYV149は、90%礫面高が約0.24m、平均礫面高が約0.18mとやや高かった。加積曲線を見ると、YV149における礫面高の分布が、YV150より全体的に大きかった。

b) ほとんどが細粒土砂であり、石が点在する河床

長径0.5m以下の石が点在するメッシュ (YU149, YU150) では、90%礫面高が約0.2m、平均礫面高が約0.12mであり、前述の全面細粒土砂の河床 (YV149, YV150) と同程度であった。最大礫面高は、全面細粒土砂の河床より大きく、0.5m前後であった。

c) 大粒径の巨石が存在する河床

大粒径を含む河床は、90%礫面高や最大礫面高がより大きい結果となった。長径約1.7mの巨石を含むメッシュYS149とYS150は、最大粒径が0.9m前後、90%粒径が0.7m以上であり、標準偏差が0.2m以上とバラつきが大きかった。長径約1.4mの巨石を含み、

石の割合が多いメッシュYT149は、最大粒径および90%粒径が0.7m前後であり、前述のメッシュYS149やYS150より小さい一方で、平均粒径は0.36mであり大きかった。

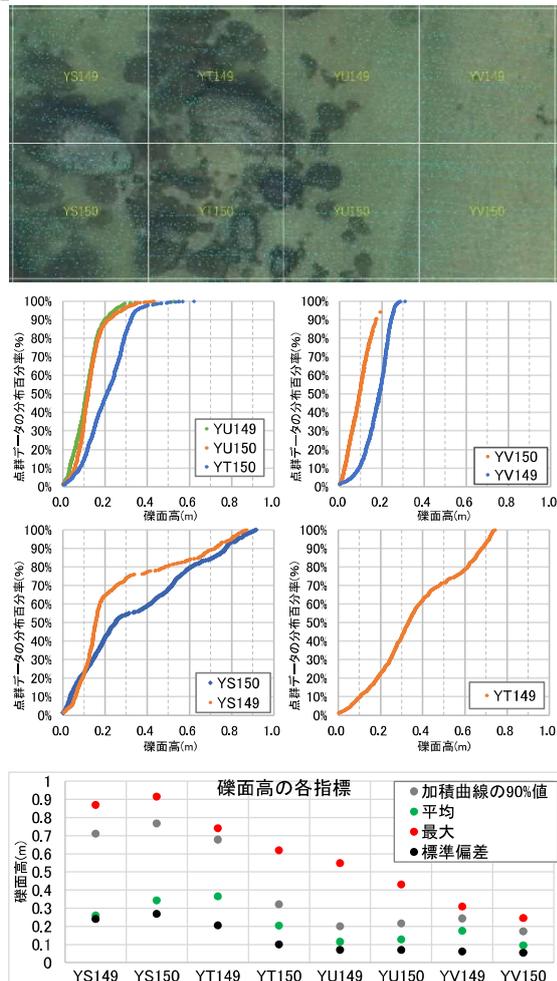


図-3 各メッシュの空中写真と礫面高の分布状況。

(4) アユ好漁場における礫面高の分布

アユ好漁場と非好漁場における礫面高の分布状況および河床表層材料の構成割合を図-4に示す。

アユ好漁場は非好漁場より礫面高がより大きい傾向にあり、最大礫面高が0.4m~0.8m程度、90%礫面高が0.3m~0.4m程度であった。一方、非好漁場の最大礫面高は0.3~0.4m程度、90%礫面高が0.2~0.3m程度であった。平均礫面高は、アユ好漁場で0.2m程度であったのに対し、非好漁場では0.1m程度であった。礫面高の標準偏差はいずれの環境も同程度で、明確な違いは確認されなかった。また、河床表層材料の平面分布を見ると、好漁場は非好漁場と比べ、砂利以下の細粒土砂の割合が多く、巨石の割合が少ない傾向にあった。

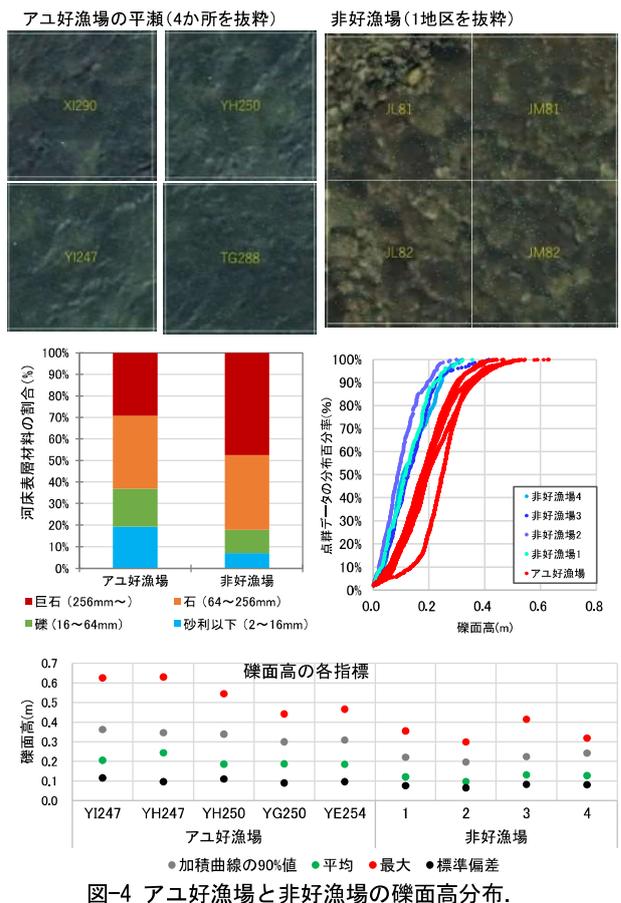


図-4 アユ好漁場と非好漁場の礫面高分布。

4. 考察

(1) 点群データの欠測要因

ALB測量で得られた点群データの密度は場所によって異なった。点群密度の差は、計測時の欠測と一次処理における過剰なデータ除外により生じたものと考えられる。計測時における欠測は、早瀬や巨石等の下流部分において、水面の波立ちや気泡の発生によって、照射したレーザが乱反射してしまうことで発生したと考えられる。一次処理におけるデータ除外は、水面で反射した点群を除去する工程において生じていると考えられる。すなわち、水面高さに一定の幅をもたせた標高範囲を水面と捉え除去していることから、水面付近の石礫上部の点群を水面と見誤り除去してしまったものである。後者の要因により点群データが欠測しているメッシュでは、礫面高が過小評価される点に注意が必要である。

(2) 河床表層材料の粒形分布と礫面高分布の関係評価

河床表層材料の粒径分布の違いと礫面高分布を比較した結果、石の被度や粒径の増加に伴い、礫面高の各指標も大きくなる傾向にあった。特に、長径1m以上の巨石が存在するメッシュ (YS149, YS150, YT149) では、最大礫面高や90%礫面高が顕著に大きくなった。長径1m以上の巨石は、実際の礫面高も大きいと考えられ、これら高位の百分率礫面高は、大きく突出した河床形状を表現していると考えられる。また

YT149は、YS149やYS150に対し平均礫面高が大きかった。これは、メッシュ内で巨石を含む石の割合がより大きく、細粒材料の割合が小さいことに起因すると考えられる。これらの結果は、ALB点群データから得られる礫面高が河床表層材料の分布を反映していること、礫面高の各指標やそれらの組み合わせにより、河床凹凸の評価が可能であること示唆する。

一方で、凹凸評価の際の留意点も確認された。例えば、全面が細粒土砂で構成され平坦と予想される河床（YV149, YV150）でも、平均礫面高が0.1～0.2m、最大礫面高が0.3m程度あった。これは、計測機器の誤差のほか、メッシュ内の傾斜等が影響している可能性が考えられる。メッシュ内における河床の傾斜を考慮した礫面高の算定や評価が必要かもしれない。

(3) アユ好漁場における礫面高

アユ好漁場では最大礫面高、90%礫面高、平均礫面高が大きい傾向にあり、アユは河床凹凸がより大きい河床を好むことが示唆された。既往研究でも河床凹凸がアユの生息に好ましいことを示唆する結果が報告されており³⁾⁶⁾、今回の結果は既往研究の結果と整合する。アユが礫面高の大きい河床を好む要因として、露出高の大きい石礫の方が採餌しやすい、河床材料の起伏によって緩流部が生じることで定位しやすくなる⁷⁾、等の要因が考えられる。

アユは石礫表面の付着藻類をエサとし、長径25cm以上の巨石を特に好む傾向にあるとの報告がある²⁾。しかし、本報告での好漁場は、非好漁場に対し、礫面高の各指標が大きい一方で巨石の平面分布割合は少なかった。これは、アユの生息環境評価において、表層河床材料の粒径分布のみでなく、河床凹凸を直接的に示す指標に着目する必要性を示唆する。

(4) 今後の検討課題

面的評価の精度向上には点群データの欠測を抑える必要がある。白波による欠測は、UAVの航行密度を増やし反射パルスを多く確保することや、点群数と礫面高分布の関係を分析し、欠測率の許容範囲を検討すること等が必要である。データ一次処理時の誤除去に対しては、手動判断は非現実的であるため、機械学習による自動化等が目指すべき方向性といえる。

アユ生息適否の指標値も改良の余地が大きい。河床凹凸を考える場合、メッシュ内で隣接する礫と礫の高低差が凹凸を形成することから、今回の指標のような任意の百分率礫面高の一つだけでの評価は困難であると考えられる。この点の解決策として、例えば90%礫面高と30%礫面高といったように、高位と低位の百分率礫面高の比率を指標とすること等が考えられる。今後、現地調査によりアユ縄張り箇所データを蓄積し、指標値の精度向上を目指す。

河床凹凸を評価する際に、礫面高分布を集計するメッシュサイズをどのように設定するかが重要である。今回のように、行動範囲が比較的広い魚類の生息環境を評価する場合は、m単位での比較的大きなスケールでの評価が必要と考えられる。一方、底生動物

物のように移動能力が小さく河床間隙や一つひとつの礫に依存する生物の場合は、平均粒径程度のスケールにおける河床凹凸の評価が必要かもしれない。

4. おわりに

ALB測量で得られた高密度の点群データを利用し、礫面高という指標を算出することで、河床凹凸を把握し、河川の粗粒化傾向や土砂還元等による河床材料の変化等を面的・定量的に評価できることが期待される。また、生物の生息場評価においては、河床凹凸がアユ生息に重要な指標の一つである可能性が示唆された。礫面高の分析による河床凹凸に加え、ALB測量で得られる水深分布、平面流況解析で得られる流速分布等を重ねることで、アユ生息適地の面的評価や定量的な経時比較が期待される（図-5）。

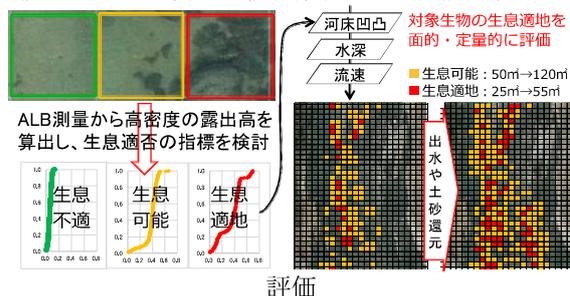


図-5 河床凹凸を考慮した生息場評価のイメージ。

河川におけるALB測量は、効率化や高度化に伴い、今後も様々な河川で実施されていくものとみられる。ごく一部のサンプリングデータではなく、面的に実測されたALB測量データから算出した「礫面高」という指標は、精度向上の余地は大いにあるが、河床凹凸を面的・定量的・経時的に評価することが可能であり、他河川への適用や、河床環境の依存度が高い底生魚や底生動物等への応用も期待される。

参考文献

- 1) 中村圭吾: グリーンレーザを用いた航空レーザ測深 (ALB) による河川調査の現状と可能性, 水環境学会誌Vol. 42(A), No. 5, pp. 174-178, 2019
- 2) 坪井潤一, 高木優也: アユの生息にとって重要な環境要因の検討 日本水産学会82(1), pp. 12-17, 2016
- 3) 阿部信一郎: でこぼこした河床と平滑な河床に対するアユの生息場所選択, 水産増殖 60巻4号, pp. 445-449, 2012
- 4) 小野田幸生, 堀田大貴, 萱場祐一: 土砂供給に伴う河床環境変化の評価に向けた露出高による石礫の埋没度の定量化, 河川技術論文集, Vol. 24, 2018.
- 5) 宮地伝三郎: アユの話, (株)岩波書店, 1960
- 6) 堀田大貴・小野田幸生: 河床に細粒土砂が堆積して石礫が埋没すると、アユにどのような影響がありますか?: ARRC Activity Report 2015, pp. 10-11
- 7) 原田守啓・小野田幸生・萱場祐一: 粗粒化した石礫河床への土砂供給が遊泳性魚類の空間利用に及ぼす影響に関する一考察, 土木学会論文集B1 (水工学) vol. 70, No. 4, I-1339-1344, 2014

治水協定に基づいた 大河川における事前放流の効果検証

○森田卓光¹・佐々直彦¹・武田英佑¹・蟹江盛仁¹・窄友哉¹

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

水害の激甚化等を踏まえて定められた「既存ダムの洪水調節機能の強化に向けた基本方針」に基づき、河川・ダム管理者と関係利水者との間で、事前放流に関する治水協定が締結された。本稿は、大河川で締結された治水協定に基づき、事前放流で確保された容量による調節効果を検証し、治水協定の今後のあり方について考察したものである。

Key Words : 治水協定, 事前放流ガイドライン, 洪水調節可能容量, 事前放流調節効果, 放流設備の放流能力

1. はじめに

対象水系において、河川管理者である国土交通省並びにダム管理者及び関係利水者は、「既存ダムの洪水調節機能の強化に向けた基本方針¹⁾(令和元年12月12日)」に基づき、河川の水害発生の防止等が図られるよう、同水系で運用されている既存ダムの洪水調節機能強化を推進するため、治水協定を締結した。

治水協定には、洪水調節機能強化の基本方針、事前放流の実施方針が示されている。また、事前放流の具体的な方法を示した「事前放流ガイドライン²⁾(以下、「ガイドライン」という)」が令和2年4月(改訂版が令和3年7月)に公表された。

本業務では、締結された治水協定に基づき、事前放流で確保された容量による調節効果を検証し、治水協定の今後のあり方について考察した。対象水系において治水協定が締結されたダムは数十基以上あり、治水(洪水調節)、利水(かんがい、上水道、工業)、発電を目的としている。また、管理者も国土交通省、県、民間などと多岐にわたる。対象水系のダムの洪水調節に利用可能な容量(最大)は、図-1に示すとおりである。



図-1 対象水系のダムの洪水調節に利用可能な容量

2. 治水協定と事前放流ガイドラインの概要

(1) 治水協定

a) 基本方針

既存ダムの有効貯水容量を洪水調節に最大限活用するにあたり、洪水調節容量に加えて、事前放流等により一時的に洪水を調節するための容量を利水容量等から確保(以下、「洪水調節可能容量」という)する。洪水調節可能容量は、常時満水位から利水放流管等により3日間で放流した場合の最大容量で、ダム管理者が設定したものである。また、事前放流等は、b)実施方針に基づき実施する。

河川管理者は、この協定に基づき、ダム管理者と連携して、水系ごとにダムの統一的な運用を図る。

b) 実施方針

ダム管理者は、次の実施方針に基づき、事前放流を実施するものとする。

■事前放流の実施判断条件

気象庁の予測に基づくダムごとの上流域予測降雨量が、河川管理が提示するダムごとの基準降雨量以上である場合、事前放流を実施する。

■事前放流の量(貯水位低下量)の考え方

貯水位低下量は、洪水調節可能容量の範囲において、次のとおりとすることを原則とする。

- 国土交通省が策定したガイドラインに示される方法(次頁参照)により設定したもの。
- 上記の量の算定にあたっては、上流域予測降雨量の更新に応じて、その量を見直す。

■事前放流の中止

事前放流は、以下の条件となった場合に中止する。

- 流入量が洪水量に等しくなった場合
- 事前放流により確保容量(次頁参照)が確保された状態になった場合
- 予測降雨量が、基準降雨量を下回った場合
- 流入量が洪水量に至らず最大となった場合

■事前放流のルールの設定

事前放流は、操作規則・操作規程等に基づき、その開始基準、中止基準等を規定する実施要領を作成して実施することを原則とする。

(2) 事前放流ガイドライン

事前放流実施にあたっての基本事項を以下に示す。

a) 事前放流の開始基準の設定

基準降雨量は、ダム下流の河川における現況流下能力に相当する規模の洪水を設定し降雨量を算定する。対象水系では、既往出水の状況を踏まえ、氾濫等の被害を生じさせるおそれのある規模の48時間降雨量を設定している。

b) 事前放流による貯水位低下量の設定

事前放流により利水容量の貯水位を低下させて確保する容量（以下、「確保容量」という）の算出は、次の2つの方法が示されている。

- ① 流出モデル等の洪水流出解析による方法
- ② 簡易式による方法

治水協定では、②の方法により確保容量を算定することで合意が得られているため、②の算出方法を以下に示す。式(1a)が②の確保容量の算定式であり、イメージを図-2に示す。

$$\text{確保容量} = \text{ダム流入総量} - \text{洪水調節容量} \\ = \text{利水空き容量} - \text{ダム放流総量} \quad (1a)$$

また、式(1a)のダム流入総量とダム放流総量の算定式は、それぞれ式(1b)、(1c)のとおりである。

$$\text{ダム流入総量} = 72\text{時間予測降雨量} \\ \times \text{ダム上流域面積} \times \text{流出係数} \quad (1b)$$

$$\text{ダム放流総量} = \text{洪水量} \times \text{降雨継続時間}^{*1} \quad (1c)$$

※1) 予測降雨量の降雨継続時間

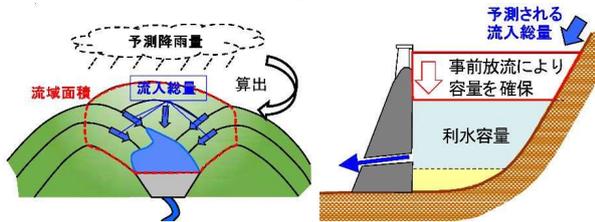


図-2 確保容量算定のイメージ(治水協定資料より)

c) 事前放流時の最大放流量

事前放流による最大放流量は、当該ダム下流河川の流下能力、河川利用者の安全の確保、放流設備の放流能力などを考慮して設定する。

3. 事前放流実施のための条件検討

事前放流実施のため、ガイドラインに示されたダム流入総量の算定に必要な流出係数と事前放流時の最大放流量を、当該河川の特性を踏まえ設定した。

(1) ダム流入総量算定時の流出係数

式(1b)に示すダム流入総量の算定式のうち、流出係数は、当該河川の流出特性を踏まえて設定する必要がある。本業務では、ダム地点や流量観測地点を対象に、実績の地点上流域平均の総雨量と、観測流量にダム等の調節量を戻した流量から基底流量を除いた総流出高の関係より、流出係数を設定した。図-3に流出係数の算出方法を示す。

流量規模が大きかった洪水を対象に、上記の手順で算出した流出係数を表-1に示す。洪水ごとに流出

係数にバラツキはあるが、ダム流入総量を過小に評価しないよう、各地点の最大値を採用した。

$$\text{総流出高} \Sigma q \text{ (mm)} = (\Sigma Q \text{ (m}^3\text{/s)} \times 3,600 / A \text{ (km}^2\text{)} \times 10^6) \times 10^3 \\ \text{流出係数} = \text{総流出高} \Sigma q \text{ (mm)} / \text{総雨量} \Sigma R \text{ (mm)}$$

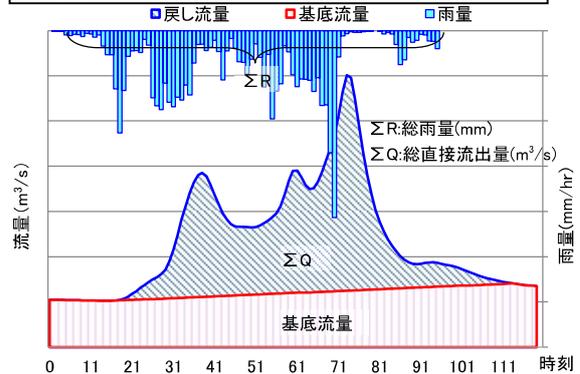


図-3 流出係数の算出方法

表-1 各洪水の流出係数と採用値

	SO.O	HO.O	RO.O	採用値
Aダム	0.38	0.60	0.50	0.60
Bダム	0.34	0.77	0.78	0.78
a地点	0.39	0.70	0.64	0.70

(2) 事前放流時の最大放流量

a) ダム下流河川の最大通過流量

事前放流時のダム下流河川の最大通過流量は、ガイドラインに従い、以下の手順で設定した。

下流河川の流下能力の観点では、事前放流により水防体制への移行頻度が多くなることを避けるため、各基準水位観測所の水防団待機水位相当流量を指標として設定した。河川利用の安全確保の観点では、河川整備計画附図より高水敷利用箇所を整理し、各利用箇所の地盤高相当流量を指標として設定した。

各評価水位の流量換算は、流量観測地点では観測HQ式、河道測線地点では準二次元不等流計算によるHQ式を用いて行った。

表-2に水防団待機水位と高水敷利用箇所地盤高相当流量の算定結果(一例)を示す。当区間では各指標の流量のうち、最小流量(2,160m³/s)をダム下流河川の事前放流時の最大通過流量として設定した。

表-2 水防団待機水位と利用箇所地盤高の相当流量

	水防団待機水位相当流量(m³/s)			
	○地点	△地点	□地点	最小値
A区間	2,420	2,421	4,809	2,420
	高水敷利用箇所地盤高相当流量(m³/s)			
	●公園	◆公園	■公園	最小値
A区間	3,240	2,160	9,736	2,160

b) 各ダムの事前放流時の最大放流量

各ダムの事前放流時の最大放流量は、a)下流河川の最大通過流量とダム地点流量(洪水量または予備放水水位までの水位低下に必要な放流量のどちらか小さい量)を比較して、以下の考え方で設定した。

$$\begin{aligned} & \text{河川通過流量} > \text{ダム地点流量} \rightarrow \text{ダム地点流量} \\ & \text{河川通過流量} < \text{ダム地点流量} \rightarrow \text{河川通過流量} \end{aligned}$$

なお、当該河川ではダムが連続的に配置されているため、上記検討を下流ダムから順次行ったが、上下流のダムで放流量が逆転しないように留意した。

4. ダム操作モデルの構築

治水計画検討時の流出解析モデルで考慮されている洪水調節操作に加え、事前放流から洪水時の操作まで考慮できるダム操作モデル（図-4）を構築した。

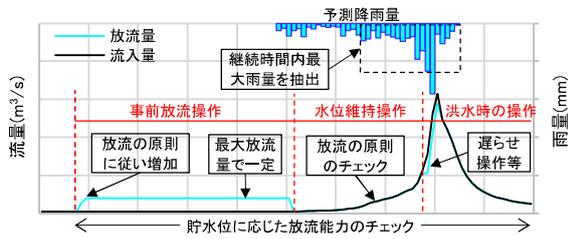


図-4 ダム操作モデルの概要

(1) 事前放流の操作

事前放流の操作で考慮が必要な①放流の原則、②放流設備の最大放流能力、③予測累積降雨量、④基準降雨量の継続時間最大雨量のモデル化を行った。

① 放流の原則

下流河川の急激な水位上昇を防止するための放流の原則は、事前放流を行う際の放流量増加の上限を設定するために必要であり、流出計算の計算時間間隔に応じた放流量が設定できるモデルを作成した。

② 放流設備の最大放流能力

事前放流による貯水位低下に伴う放流能力の低減を考慮するため、事前放流時に使用できる放流設備の開度全開時の貯水位に応じた放流能力のテーブル（図-5）を作成した。作成したテーブルを用いて、放流の原則に従い設定される放流量等が放流可能かをチェックし、放流能力を超える放流量となる場合は、放流能力で制限するモデルを作成した。

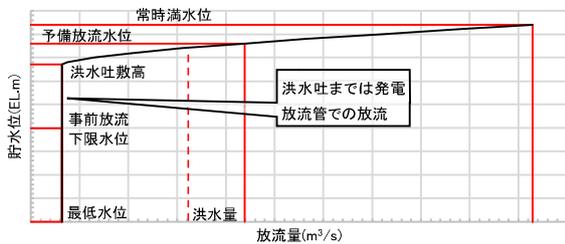


図-5 放流設備の貯水位と放流能力の関係図(発電ダム)

③ 予測累積降雨量

確保容量算定に必要な72時間予測累積降雨量は、実運用ではGSMを用いている。本業務では、河川整備基本方針の計画降雨波形を予測降雨量として、時系列で累積雨量を更新するモデルを作成した。

④ 基準降雨量の継続時間内最大雨量

上記の72時間予測累積降雨量より、基準降雨量の継続時間内最大雨量を抽出し、事前放流の開始の有無が判断できるモデルを作成した。

(2) 洪水量までの水位維持操作

(1)の事前放流の操作が完了し、流入量が洪水量に到達するまでの操作は、水位維持操作（流入量＝放流量）となる。その際、放流の原則の順守、及び放流設備の最大放流能力を超過しない放流量となっているかをチェックできるモデルを作成した。

(3) 洪水時の操作

洪水時の操作として既存モデルで考慮されていない、発電ダムの「遅らせ操作」をモデル化した。

5. 事前放流の調節効果の検証

2. から4. までの内容を踏まえ、河川整備基本方針の計画洪水波形群に対し、現況施設状態における事前放流の調節効果を検証した。

(1) 治水ダムの調節効果

治水ダムは洪水調節容量を有しているため、対象降雨波形群に対して、確保容量を必要とする頻度が少なく（表-3）、72時間累積降雨量が大きな洪水でないこと確保容量を必要としない結果となった。

表-3 対象洪水群に対する確保容量の必要数

I 川	Aダム	Bダム	Cダム	Dダム
	0/10	0/10	5/10	4/10
II 川	Eダム	Fダム	洪水波形群：I川＝10洪水、II川＝6洪水	
	0/6	6/6		

また、計画洪水波形群のうち複数のピークがある洪水波形に対しては、洪水調節容量のみでは異常洪水時防災操作に移行する可能性がある。しかし、事前放流の確保容量を活用した場合、異常洪水時防災操作の回避ができる場合があることが、確認された（図-6）。

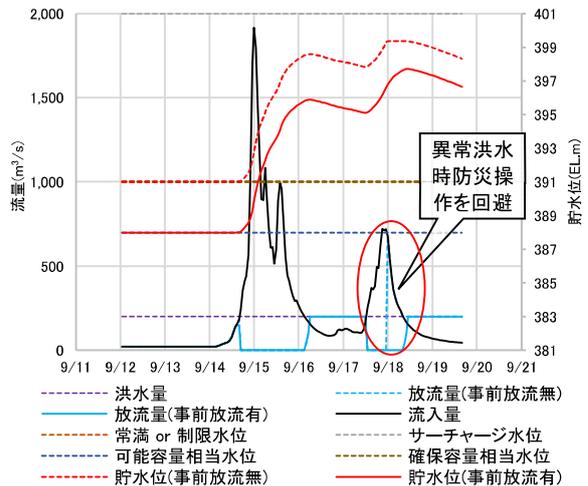


図-6 治水ダムの事前放流による調節効果

(2) 利水・発電ダムの調節効果

利水・発電ダムの場合、事前放流による調節効果は、3つのパターンに分類された。

■パターン1：洪水調節可能容量が小さく、又、放流設備の放流能力が小さいため、流入量が洪水量を超過後に確保容量が0m³となり、調節効果がないパターン（図-7 パターン1）。このパターンは、対象利水・発電ダムの多くで確認された。

■パターン2：放流設備の放流能力が小さいが、洪水調節可能容量が大きいため、流入量が洪水量に到達した時点で確保容量に空きがあるパターン（図-7 パターン2）。洪水時には、放流設備の放流能力不足により操作規程の放流量が放流できないが、調節効果は現れる。

■パターン3：放流設備の放流能力が大きく、洪水期間中も確保容量が維持できるパターン（図-7 パターン3）。洪水時の操作を変更することで調節効果を発揮できるため、操作規程の変更を直ちに行うことが期待される。なお、このパターンは、対象利水・発電ダムで2ダムのみであった。

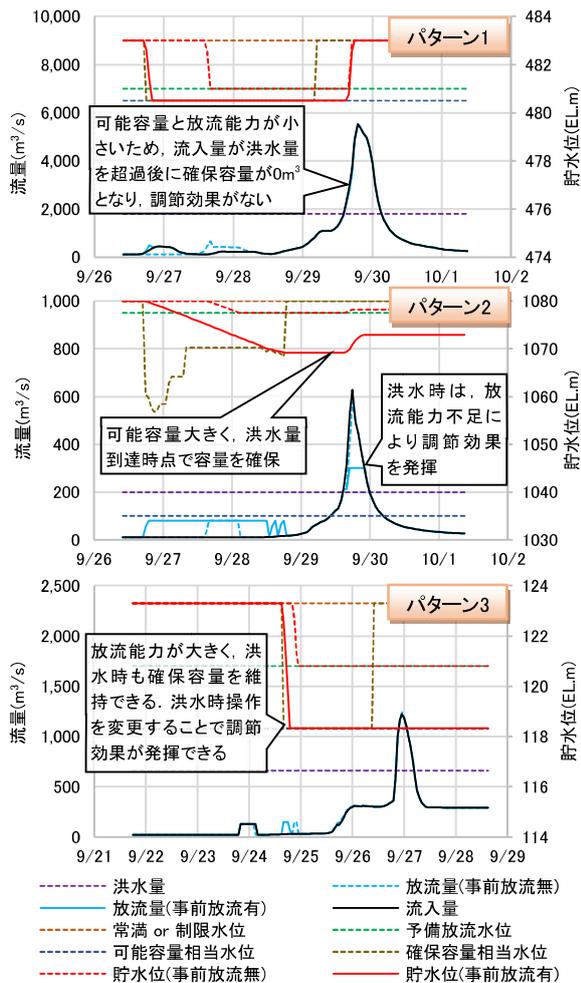


図-7 利水・発電ダムの事前放流による調節効果

(3) 基準地点の調節効果

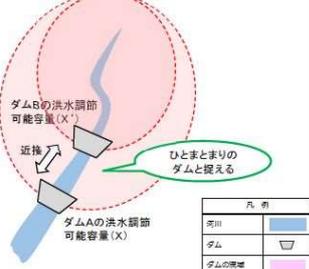
基本高水決定洪水における事前放流による基準地点での調節効果は、両河川とも $100\text{m}^3/\text{s}$ の調節効果が確認された。

6. 治水協定に基づく洪水調節効果の更なる強化に向けて

本業務では、治水協定で締結された事前放流に基づく調節効果を検証した。その結果、必要とされる確保容量が少なく、また、放流設備の放流能力が小さいため、調節効果が十分発揮できないダムが多く見られた。そのため本項では、調節効果をより発揮できる、貯水位低下量の新たな算定方法を検討した。

治水協定は、ダムごとに確保容量を算定することとなっている。一方、ガイドラインには、複数ダムが同一河川で上下流連続的に近接して配置されてい

●イメージ図



○ダムの確保容量 (V)
 =ダムAの流入総量
 -ダムAの洪水調節容量
 -ダムAの利水容量の空き容量
 -ダムAの放流総量
 ○ダムAの確保容量 (VA)
 = $V \times (X \div (X+X'))$
 ○ダムBの確保容量 (VB)
 = $V \times (X' \div (X+X'))$

図-8 複数ダムがある場合の貯水位低下量算定方法

る場合の算定方法 (図-8) が示されている。複数ダムをひとまとまりのダムと捉え、最下流のダムのダム流入総量と放流総量より確保容量を算出し、これを各ダムの洪水調節可能容量比で按分して各ダムに割り当てる方法である。

上記方法をI川の支川(4ダムが連続的な配置)に適用した、事前放流の運用例を図-9に示す。例示したダムは、最上流に位置(赤色)し、流域面積に対し洪水量が比較的大きい。そのため、単独の場合、確保容量が不要であるが、ひとまとまりの場合、確保容量が必要となり、ピーク放流量が $180\text{m}^3/\text{s}$ 低減する調節効果が発揮された。

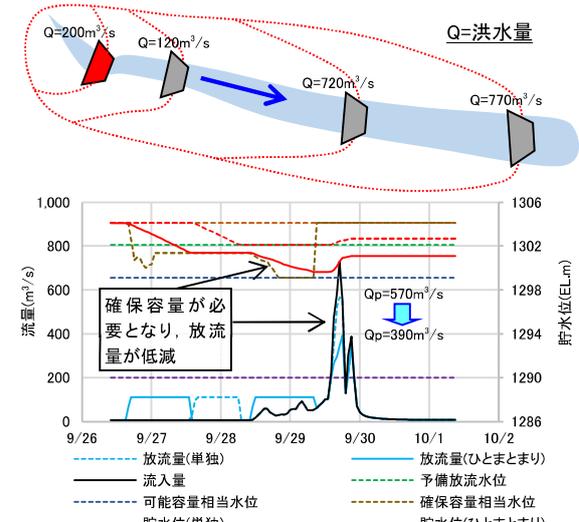


図-9 複数ダムをひとまとまりとした事前放流の運用

7. 成果と今後の展望

治水協定に基づいた大河川における事前放流の効果検証の成果と今後の展望は、次のとおりである。

- 治水ダムは洪水調節容量を有するため、確保容量が必要となる頻度は少ないが、確保容量を活用すれば、異常洪水時防災操作移行へのリスクは低減できる場合がある。
- 利水・発電ダムは、予備放流水位より低い貯水位に対する放流能力が小さいダムが現状では多く、確保容量を有効活用できていないが、放流設備増強により調節効果が期待できる。
- 現施設状態で、確保容量を維持できる利水・発電ダムは、洪水時の操作変更により直ちに調節効果が期待できる。
- 現治水協定は、ダムごとに確保容量を算定しているが、支川単位などでひとまとまりのダムとして扱うことで、より効果的な容量確保が可能となる場合がある。
- 今後、ダムの流入・放流予測モデルを利水・発電ダムも含め構築することで、より効果的な事前放流が実施可能となると考える。

参考文献：

- 1) 既存ダムの洪水調節機能の強化に向けた基本方針, 令和元年12月12日
- 2) 事前放流ガイドライン 国土交通省 水管理・保全局, 令和3年7月

大規模災害時における水産物の生産・流通の 早期復旧及び継続を目的とした 水産業業務継続計画（BCP）の策定

かくみあつき あさのゆうじ しまだまさのり なかしましんいちろう
○角見篤紀¹・浅野雄史¹・島田正徳¹・中島慎一郎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、三重県が管理する流通拠点漁港の安乗漁港、答志漁港について、大規模災害時における水産物の生産・流通の早期復旧及び継続を可能とすることを目的に水産業業務継続計画（BCP）を策定したものである。地域特性の把握にあたり、資料分析と水産業関係者へのヒアリングを実施した。地域特性と理論上最大の津波被害想定を踏まえ、水産物の生産・流通に影響を及ぼす問題・課題を場所毎に整理した。問題・課題から、実施すべき事項、時期、主体を運用方針にとりまとめた。またBCPの実効性を高めるため、協議会の開催・運営を行った。さらに、漁業協同組合、地域が主体の取組を促進するため、各種資料提示によりロードマップを示した。

Key Words : BCP（事業継続計画）、漁業、津波防災、津波被害予測、地域特性、地域連携、関係機関協議、協議会運営

1. はじめに

水産業の生産・流通は、漁場での漁獲に始まり漁港・市場での荷捌き、卸売業者・仲買業者の買い付け、冷凍・冷蔵庫での保管などの後、運送業者などの輸送により加工場や小売店へ運ばれ最終的に消費者へ行き届くといった多くの過程を経ている。

大規模災害時において、水産業の生産・流通の過程の一部でも機能しなくなった場合、地域経済に与える影響が大きく、復旧期間が長期化するほど事態は深刻化すると想定される。

以上から、大規模災害に備えた事前の準備が重要である。水産業関係者が一体となって水産業の生産・流通の早期復旧という共通目標を共有し、それぞれが主体的に取組むことを見据えて水産業業務継続計画（以下、水産業BCP）を策定した。

2. 水産業BCPの構成

水産業BCPは、水産業関係者が必要性を把握するとともに、取組内容と自身の役割を確認できるようにするため、表-1の構成で策定した。

表-1 水産業BCPの構成

構成	内容
はじめに	策定背景、BCP協議会の概要など
基本情報	地域特性、想定される災害、問題点・課題の把握など
発災前にすべきこと	事前対策の実施、水産業BCPの普及、BCP訓練の実施など
発災後にすべきこと	情報収集、BCP協議会の開催準備、事後対策の実施など
参考資料	連絡先一覧、漁港の被災状況チェックリスト、復興支援事業事例など

3. 地区毎の特性把握

地区毎の特性把握は、安乗漁港と答志漁港での被害想定や主要な漁業などを確認した。その他、地域の実情を把握することを目的に、調査票でのアンケートや対面でのヒアリングを実施した。

地区毎の特性把握により、水産業BCPは、前提条件（発災後の漁港の状況）や対策条件（優先して復旧する漁業種や場所）、対策内容（対策条件毎で必要となる機能）を具体的に整理することができた。

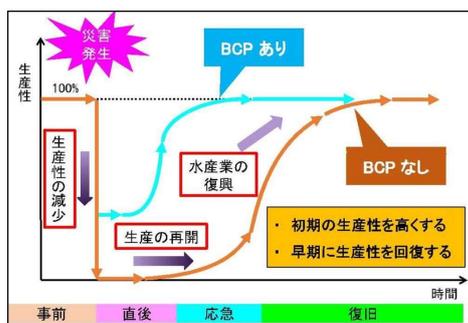


図-1 水産業BCPの効果イメージ¹⁾

(1) 漁港の概要及び被害想定

a) 漁港の概要

安乗漁港は、志摩市阿児町安乗地内の志摩漁業圏域の流通拠点漁港であり、答志漁港は、鳥羽市答志町宇須浜地内の鳥羽漁業圏域における流通拠点漁港の位置づけである。2つの漁港は、地域の水産業にとって重要な役割を果たしている。

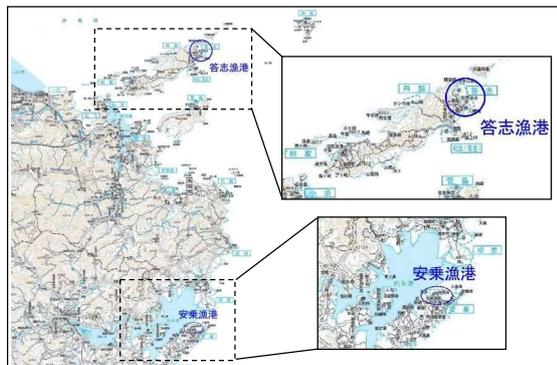


図-2 漁港の位置図²⁾

b) 被害想定

安乗漁港と答志漁港では、南海トラフ巨大地震に伴う巨大津波の襲来が想定されている。水産業BCPで前提条件となる理論上最大クラスの津波では、漁港内の岸壁や荷捌所、製氷施設といった漁港内の主要な場所で津波浸水深が5mを超える(図-3、図-4)ため、施設や建物の大半が全壊すると想定される。

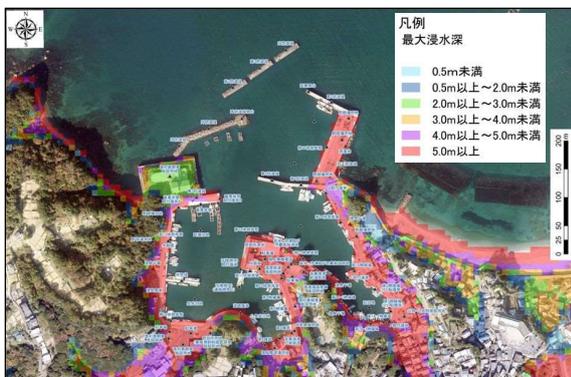


図-3 安乗漁港の津波浸水予測図(理論上最大クラス)

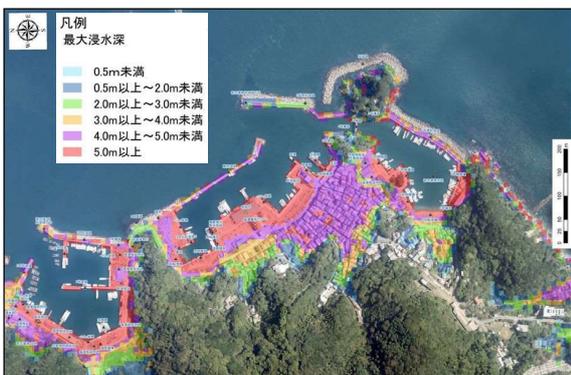


図-4 答志漁港の津波浸水予測図(理論上最大クラス)

(2) 主要な漁業

漁業種は、地域によって特色があるとともに多岐にわたる。そのため、水産業BCPの策定にあたっては、優先して早期に復旧する漁業種を決定することが必要である。陸揚量の多い漁業は、地域経済にとって与える影響が大きいため、主要な漁業として優先して対策を検討することとした。

安乗漁港の主要な漁業は、まき網漁業・定置網漁業であり、答志漁港の主要な漁業は、船曳網漁業・流し網漁業・海藻類養殖漁業があげられる。

表-2 安乗漁港の主要な漁業³⁾

漁業種	陸揚量(平成29年)
まき網漁業	1,872.0トン
定置網漁業	197.4トン

表-3 答志漁港の主要な漁業⁴⁾

漁業種	陸揚量(令和元年)
船曳網漁業	8,942.4トン
流し網漁業	201.9トン
海藻類養殖漁業	81.2トン

(3) 地域特性の調査

a) 調査票でのアンケート

調査票でのアンケートは、漁港内での活動や現時点における水産業関係者(漁業協同組合、漁業者、養殖漁業者、仲買人など)の大規模災害に対する意識確認などを目的に設問を設定した。(表-4)

調査票によるアンケートの結果、漁港内での利用する施設が確認できた一方で、水産業関係者の防災や復旧に対する意識が希薄であることがわかった。

表-4 調査票の設問内容

番号	設問内容(要旨)
1	漁港内で利用する施設
2	漁港内を移動する経路
3	年間の活動内容
4	事業継続のために必要な施設
5	大規模災害に備えた取組
6	事前対策で可能な取組
7	事後対策で可能な取組

b) 対面でのヒアリング

調査票によるアンケートでは、漁港(地域)が抱える問題などが把握できない。また、水産業BCPを運用する当事者として意識を高めていくことが必要と捉え、対面でのヒアリングを実施した。

対面でのヒアリングは、意見を付箋に記載し、項目別(BCP協議会、地域特性、事前対策、事後対策、その他)に意見を整理した。最後に結果を確認することで、水産業BCPで取組む方向性を共有した。

また、漁業者の高齢化による発災後の廃業に対する不安や漁港内での廃船による二次災害が懸念されるといった問題を把握した。(表-5、表-6)

表-5 安乗漁港の対面によるヒアリング結果の一例

・漁港内には廃船が放置され、二次災害を懸念
・漁港までの主要な道路は県道514号のみ
・事前に一般漁業者への周知が重要
・高台に重機を置けば、復旧期間が短くできる
・近くに製氷会社がないため、氷の確保が困難

表-6 答志漁港の対面によるヒアリング結果の一例

・高齢化により、被災後は廃業が進むことを懸念
・東日本大震災の事例を見本に考えることが必要
・全国からの船のやりとりができる連携が必要
・答志漁港は離島であるため、船でしか輸送不可



図-5 対面でのヒアリング（左から安乗漁港、答志漁港）

4. 問題・課題の把握

問題・課題の把握は、地区毎の特性把握を踏まえ、水産物の生産・流通に影響を及ぼす項目を抽出した。

また、復旧を実施するに当たっての代替の可能性を検討した。

(1) 水産物の生産・流通に影響を及ぼす項目抽出

前述の地区毎の特性把握で整理した主要な漁業を対象として、場所毎に影響を及ぼす項目を抽出し、水産物の生産・流通の過程で必要な機能を整理した。

ここでは、安乗漁港を一例として示す。（表-7）

表-7 安乗漁港の影響を及ぼす項目抽出の一例

場所	項目	○：必要	
		まき網漁業	定置網漁業
漁場	漁具流出	不要	○
漁港	機材流出	○	○
市場	氷不足	○	○
加工	加工場倒壊	○	○
流通	県道514号損壊	○	○

(2) 復旧を実施するに当たって代替の可能性の検討

水産物の生産・流通に影響を及ぼす項目抽出を踏まえ、復旧を実施するに当たっての代替の可能性を項目毎に検討した。（表-8）

安乗漁港の市場における氷不足を例にすると、安乗漁港の周辺には製氷業者がないため、周辺から製氷を確保することが困難である。そのため、市場の製氷施設が復旧出来ない場合、事前に小型製氷機の準備を進めることにより、代替が可能である。

以上のように、項目毎の代替の可能性が整理できたことで、具体的な対策内容の検討が可能となった。

表-8 安乗漁港における代替の可能性の一例

場所	項目	代替の可能性
漁場	漁具流出	代替可能であり、事前に連絡先を整理
漁港	機材流出	代替可能であり、事前に連絡先を整理
市場	氷不足	小型製氷機で代替は可能
加工	加工場倒壊	代替が困難であるため、事前対策を検討する
流通	県道514号損壊	三重県・志摩市との早期復旧に向けた協力体制を確認

5. 対策内容の検討

対策内容は、関係者の役割を明確にするとともに具体的に行動できることを念頭に検討した。

(1) 事前対策の内容検討

事前対策は、対象とする場所と項目を明確にして役割（主担当・担当）を検討した。事前対策の主担当・担当整理表の一例を示す。（表-9）

表-9 安乗漁港の主担当・担当整理表の一例

場所	項目	◎：主担当 ●：担当 ○：必要						
		漁協	志摩市	三重県	市場関係者	漁業者	まき網漁業	定置網漁業
漁場	漁具流出	◎				●	不要	○
漁港	機材流出	◎			●	●	○	○
市場	氷不足	◎			●	●	○	○
加工	加工場倒壊	◎			●		○	○
流通	県道514号損壊	●	●	◎			○	○

(2) 事後対策の内容検討

事後対策は、災害発生から対策が完了するまでフロー図を作成した。「いつ・誰が・何を」するかを水産業関係者が理解できることを念頭に作成した。

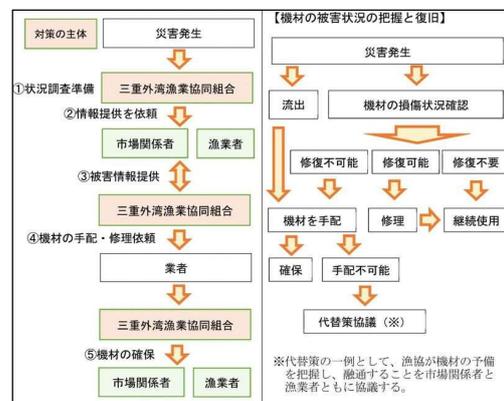


図-6 安乗漁港の機材確保（漁港）のフロー図

(3) 事後対策の準備の内容検討

事後対策の準備の内容は、水産業BCPの普及に向けた実施体制や方法、時期、見直し改善の考え方を検討した。

6. 水産業BCP運用方針の検討

水産業BCPの実効性を高めることや、水産業の生産・流通に関する業務継続の重要性を共通認識として根付かせることを見据えて、水産業BCPの運用方針について検討した。

水産業BCP運用方針は、水産業BCPを継続的に運用するにあたり、段階（準備・普及・実施）毎での実施手法やBCP協議会の連絡体制などを検討した。さらに、水産業BCPの運用に向けた進め方（案）などの各種資料(図-7, 図-8)を作成し、水産業関係者へのロードマップとした。

それぞれ2回実施した。(表-10) 1回目の開催では、対面でのヒアリングで要望のあった復興事例を紹介することで、復旧に向けた期間や行動をイメージとして共有した。また2回目の開催では、水産業BCPの運用に向けて各種資料を提示した。「自分達ができる内容から始めることが重要」という考えを水産業関係者と共有するとともに、BCP協議会の体制強化を見据えて、若手の漁業者も出席した。

表-10 BCP協議会の内容(安乗漁港, 答志漁港)

回数	内容
第1回	東日本大震災での水産業復興の事例
	水産業BCP(たたき台)の確認
第2回	水産業BCPの補足(参考資料)
	今後のBCP協議会の取組
	水産業BCPの運用に向けて

8. 持続可能な運用に向けて

水産業BCPは、漁業協同組合やBCP協議会が中心となり運用が推進される。持続可能な運用に向けて、BCP協議会での取組により目指す姿を設定し、水産業関係者と共有した。(表-11)

表-11 業務の取組による目指す姿の一例

項目	目指す姿
体制強化	BCP協議会の体制を強化するなかで、地域の将来を担う若手リーダーを発掘していくことができる
コミュニティ強化及び連携	地域全体で取組む中でコミュニティが強化され、被災時でも平時の時以上に連携を図ることができる
事前の準備	それぞれの水産業関係者が自分のすべきこと(対策)を事前に考えておくことで、被災時において水産業の早期復旧だけでなく生活再建につながる事ができる。



図-7 安乗漁港のBCPの運用に向けた進め方(案), 対策内容の個人記入シート(安乗漁港)



図-8 安乗漁港の水産業関係者への啓発資料

7. BCP協議会の開催

BCP協議会は、水産業BCPの内容確認や運用方針の検討を具体的に進めていくため、2つの漁港で

9. おわりに

水産業BCPの策定はあくまできっかけであり、水産業関係者の大規模災害時に対する考え方の変化や当事者意識を持って主体的に行動することが重要と考える。将来的には地域全体で水産業の生産・流通の早期復旧という共通目標が浸透することが望ましいと考える。今回の業務が一助になることを願う。

参考文献

- 1) 漁業地域における事業継続計画(BCP), -水産物の生産・流通を途絶えさせないために-, 水産庁漁港漁場整備部
- 2) 管内図(伊勢農林水産事務所)
- 3) 平成29年度港勢調査
- 4) 鳥羽磯部漁業協同組合資料, 黒海苔共販結果

R2スマートモビリティチャレンジ 「茅野市版MaaS」実証実験の支援

○北川 剛弘¹・富田洋史²・上野純男¹・吉田猛志¹

¹大日本コンサルタント株式会社 中部支社 (〒451-0045 名古屋市西区名駅2-27-8)

²大日本コンサルタント株式会社 インフラ技術研究所 (〒102-0075 東京都千代田区三番町6-3)

本稿は、令和2年度のスマートモビリティチャレンジの対象地域に選定された長野県茅野市において、MaaS実証実験の支援を実施した業務について紹介する。

本業務は、鉄道との乗り継ぎを考慮した「通勤・通学バス」と、高齢者をはじめとした日常移動を支援する「AI乗合オンデマンドタクシー」の導入等をメニューとして、MaaS実証実験を支援した。実証実験では、様々な課題について、新地域公共交通検討会を通じて対応していくことで、利用者数が順調に増加し、当初設定した目標を達成。令和4年8月22日から本格運行を開始した。

Key Words : マートモビリティチャレンジ, MaaS, 実証実験, AI乗合オンデマンドタクシー, 地域公共交通

1. 業務概要

茅野市では、現在の市内移動における主な公共交通手段としては路線バスが運行されているが、市民のマイカー依存が高いことや、曜日運行による運行便数の少なさ、またバス停でしか乗降できないことなどの利便性の低さから利用者数は低迷しており、市民ニーズに沿った交通手段になっていないという問題があった。

これからの地域公共交通を考えるにあたっては、MaaSの実現に向け、地域のリソースを総動員することで、待ち時間や料金など利用者サービスの充実について検討を行うことが重要である。

この様な背景を踏まえ、本業務では、茅野市新地域公共交通検討会議の運営支援を行うとともに、「地域拠点と茅野駅を結ぶバス運行」と「アプリを活用した乗合タクシーの導入」について、実証運行による効果分析や利用促進の支援等を通じて、利用者の利便性向上、将来における持続可能な新地域公共交通の実現に向けて取り組んだものである。

表-1 MaaSとは

Mobility as a Service (モビリティ・アズ・ア・サービス)
公共交通を含めた、自家用車以外の全ての交通手段による移動を1つのサービスとして捉え、シームレスにつなぐ移動の概念、また、それを目的としたサービスのこと。



図-1 茅野市の地勢

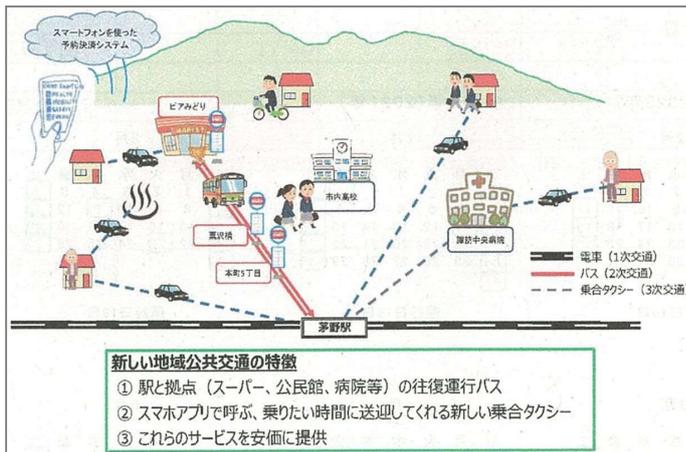
2. 課題

(1) 茅野市が抱えている問題点

- ①路線バスが不便
市内の移動手段となる公共交通網として、路線バスが運行されているものの、隔日運行や昼間時間帯のみの運行など、日々の通学に利用できる環境になかった。
- ②買い物が不便
諏訪理科大が立地しており、7割が県外からの学生で寮中心の生活をしているが、車等の移動手段を持たない学生が多く、市街地へ買い物等に出歩ける環境になかった。
- ③高齢化と移動制約者の増加
茅野市では高齢化率が50%と高く、公共交通が不便であるため自家用車への依存が高く、今後、高齢者の事故増加、免許返納後の移動制約者の増加が懸念された。

(2) M a a S 実現に向けた課題

- ①本格運行に向けた目標設定
実証実験では、本格運行に向けた目標設定のほか、市民ニーズの把握、全市展開した際に、どれくらいの料金なら、どれくらいの方に利用していただけるか等について把握することが必要であった。
- ②M a a S としての取り組み
スマートモビリティチャレンジの対象地域として、A I 乗合オンデマンドタクシーの導入だけでなく、M a a S（交通+その他のサービス）としての取り組みが求められた。
- ③高齢者の利用促進
主な利用者が学生と高齢者であるなか、高齢者のスマホアプリのダウンロード・登録及び予約など、高齢者の利用促進がハードルであった。



【定時定路線バス】

- ◆利用料金150円（回数券、定期もあり）
- ◆J R 茅野駅を発着する電車の時刻に合わせて通学・帰宅時間帯に4便運行



【A I 乗合オンデマンドタクシー】

- ◆スマホのアプリで予約
エリア内はどこでも乗降可
（仮想乗降場が設定される）
- ◆利用料金
3km未満：300円
5km未満：500円
5km以上：700円
- ◆運行時間：9～19時
（運休日無し）



「のらざあ」は、路線バスに替わる茅野市の新しい移動サービスの愛称です。茅野市の方言「～ざあ（しよう）」を組み合わせ「乗ろよう」という意味があります。エリア内であれば乗りたい場所から行きたい場所へ、利用者の予約に対して最適ルート、配車をAIがリアルタイムに行う乗合輸送サービスです。



図-2 茅野市の課題解決につなげるための実証実験概要

3. 対応策

- ① KPIの設定とアプリを活用したデータ分析
 実証実験に際し、実証実験の目標とするKPI指標を設定した(表-2, 表-3)。
 また、アプリ上のプッシュ通知を利用したアンケートを実施し、利用時の満足度、今後の利用意向等を把握した(表-4)。
 その他、利用者ログデータをもとに、利用者属性、利用状況等について分析し、実証実験の評価、本格導入時の需要予測や運行検討を実施した。

表-2 KPIとは

KPI (Key Performance Indicator) 重要業績評価指標。目標を達成するプロセスでの達成度合いを計測したり監視したりするために置く定量的な指標。

表-3 設定したKPI

・通勤・通学バス利用者：112人/日 ・AI乗合オンデマンドタクシー利用者：108人/日 ※ 想定される需要から設定

表-4 アンケートの概要

[実施方法] デマンドタクシーのスマホアプリ上のプッシュ通知でアンケート協力を依頼 [設問項目] 利用状況, 利用前後の行動変化, 満足度, 今後の利用意向, 属性

- ②地域課題解決に資するMa a Sサービス検討
 AI乗合オンデマンドタクシーの利用促進を図ることに加え、地域の課題である市街地来訪者の増加につなげるため、市内の商業施設で使えるクーポンを発行し、アプリを通じて配信することで、移動+買物サービスの向上を図った。
 チラシを活用し、Ma a S (移動+飲食・買物サービス)の取り組みについての配信を計3回実施し、チラシを見た人にアプリ登録してもらい、利用してもらおうという流れで利用促進を図った(図-3)。

- ③実証実験を通じた地域ニーズへの対応
 実証運行時に実施したアンケート、利用状況データ等をもとに、移動環境改善にどの程度寄与しているのか等を分析し、茅野市新地域公共交通検討会議における説明資料を作成した。
 また、計6回の会議では、グループディスカッションにより地域ニーズを洗い出し、対応していくことで、実証運行の改善を図った。
 その中で最も大きな課題であった「高齢者のスマホアプリ利用」については、利用方法を広報するだけでなく、地区ごとの出張説明会を開催するとともに、病院内にサービスカウンターを設置し、利用方法の説明やセットアップの補助等を実施することとなった。また、アプリ利用が困難な方に対しては、電話による予約も可能となった。

茅野市新地域公共交通検討会議(計6回)

- ・説明資料作成(利用状況、アンケート分析結果等)
- ・グループディスカッション(地域ニーズの洗い出し)

高齢者に利用してもらうにはビデオや説明会では不十分。アプリのDLからマンツーマンでの対応が必要。



実証運行前に、みんなに乗りしてもらおう機会を設け、実際に駅や買い物へ行ってみたいかどうか。



図-4 地域ニーズの把握方法

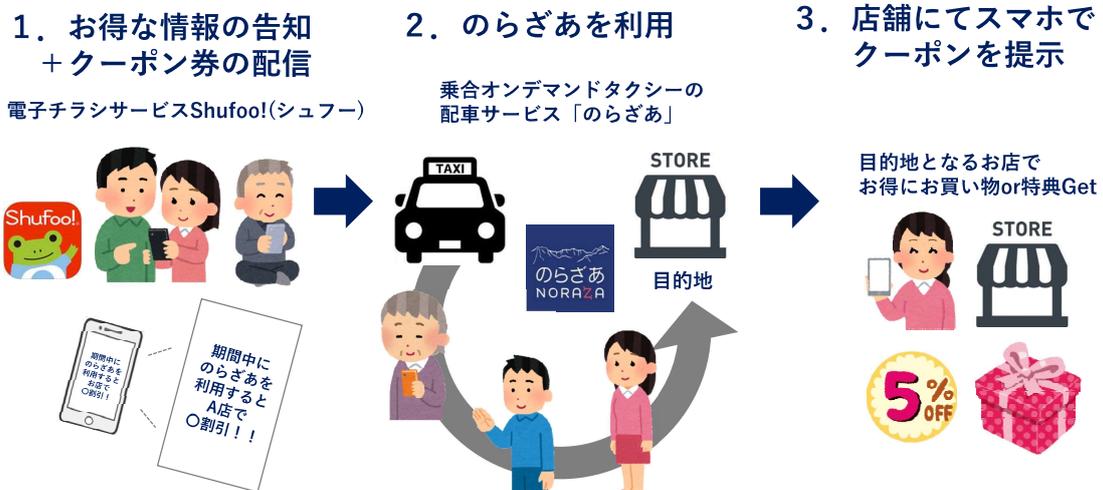


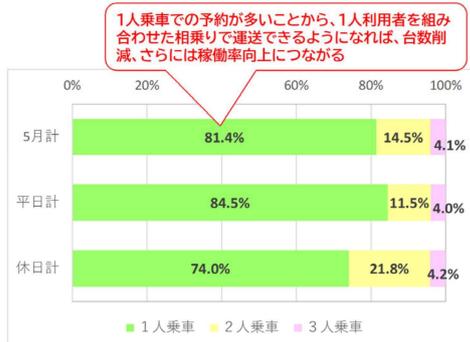
図-3 Ma a S (移動+飲食・買物サービス)の取り組み概要

4. 成果・結論

(1) 対応策による成果

① 今回の実証運行を通じて、全市展開した際にどれくらい利用いただけそうか、どれくらいの料金なら利用していただけるかなど、アプリ等によるデータ分析をもとに、本格運行時の需要予測や運行方法等を検討できた。なお、実証運行において、予約時の乗車予定人数の約8割が1人乗車であり、相乗り実態アンケートでも相乗り率が約3割であったため、利用促進による相乗り率の向上が課題と考えられる。

【予約時の乗車予定人数】



【相乗りの実態 (ドライバーアンケートによる)】

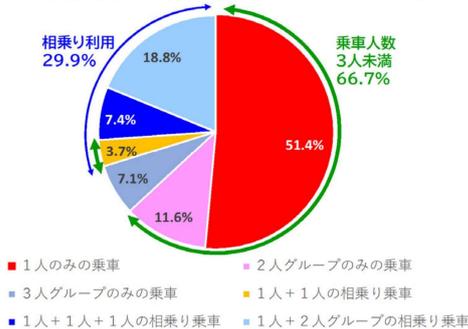


図-5 相乗りの実態

② Ma a S (移動+飲食・買物サービス) に関する電子チラシ配信 (3回実施) により、当日や翌日の新規登録者数の増加が顕著であったため、訴求効果が高く利用促進につながったと考えられる。

【のらざあ電子チラシ閲覧者数の推移】 □: 電子チラシ配信日

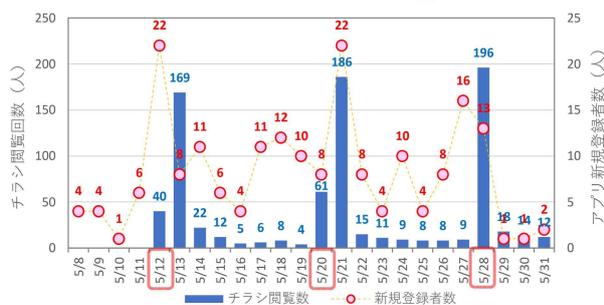
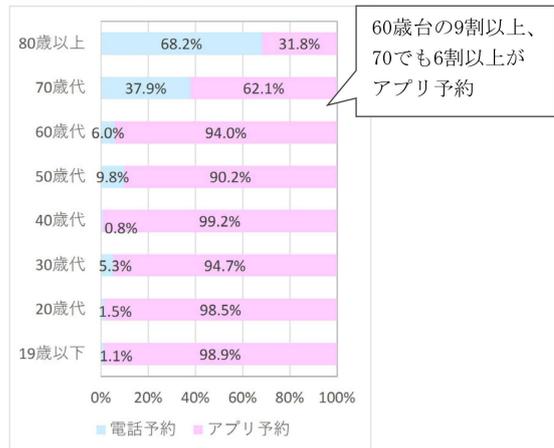


図-6 チラシ閲覧者数と新規登録者数

③ グループディスカッションで地域の意見 (無料の試験運行、商業施設でのお試し会等) を取り入れ、継続的に利用促進や実証運行の改善を図ったことで、実証実験期間中、高齢者の利用者数も順調に増加し、目標を達成できた。

【年齢階層別予約形態】 (5月末時点)



【年齢階層別予約者数の推移】

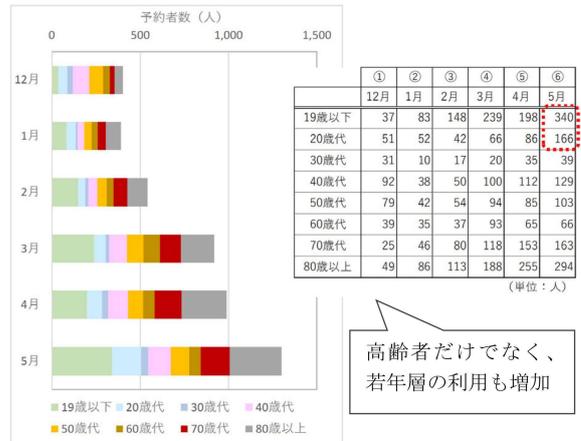


図-7 年齢別の予約形態と予約者数の推移

(2) 現状と今後の課題

AI乗合オンデマンド交通「のらざあ」は、令和4年8月22日から計8台で運行を開始している。

今後は、利用状況や利用者ニーズに応じた運行状況の改善を継続するとともに、他のモビリティとの連携や販促ポイント等とのデータ連携によるMa a Sサービスのさらなる充実が課題と考えられる。

鉄道駅周辺における 高齢者のにぎわい・交流空間の創出 ～老人福祉センター基本構想・基本計画策定業務～

○竹内希生¹・丸山昇¹・木村晃一¹

¹株式会社オオバ 名古屋支店（〒464-0003 愛知県名古屋市中区錦1-19-24名古屋第一ビル7階）

当該業務は、愛知県北部に位置する都市において整備が検討されている老人福祉センターについて、既存施設の利用実態やニーズ、鉄道駅前という立地特性等を踏まえながら、高齢者の健康増進及び生きがいの充実を図るための基本構想・基本計画を策定するものである。今回新たに整備する老人福祉センターについては、従来の老人福祉センターにはない「交流・にぎわい」という視点を加え、「地域の“元気”をつなぐサードプレイス」をコンセプトに各種機能やプログラム、配置計画を提案した。

Key Words : 老人福祉施設, 交流・にぎわい, サードプレイス, 鉄道駅前, 官学連携

1. はじめに

老人福祉センターをはじめとする老人福祉施設は、様々な人々が集い・交流する中心市街地から離れた郊外部に立地する傾向にあり、高齢者のみが利用する限定的・閉鎖的な空間となっている。また、従来の老人福祉センターは、老人福祉法に基づく「健康増進」、「教養の向上及びレクリエーションの供与」を目的とした機能導入を基本としていることから、若者をはじめとした様々な人々との交流等、利用者が望む施設のあり方に対応できていない実態にある。

そこで本業務では、「地域の“元気”をつなぐサードプレイス～心地良く過ごせる第三の場所～」をコンセプトに掲げ、従来の老人福祉センターのあり方を時代と地域に合った形に見直し、「駅前」という立地特性を活かしながら、多世代が交流し、にぎわう空間の創出に向けた方針等を基本構想・基本計画（以下、「本計画」という。）として取りまとめた。

本稿では、本計画の策定に係る経緯を紹介するとともに、これまでの老人福祉センター整備にはない新たな視点から本業務の技術的特徴を総括する。

2. 業務の概要

本業務の対象地（以下、「A市」という。）は、愛知県北部に位置する都市であり、総合計画等の上

位関連計画では「高齢者の社会参加と生きがいつくりの支援」や「健康づくりと介護予防の充実」を掲げている。

A市では既存の老人福祉センター（以下、「既存施設」という。）が2か所整備されているが、高齢人口の増加に伴い、既存施設の利用者が年々増加傾向にあった。また、趣味やスポーツ、娯楽等への関心が高い高齢者が多く、様々な活動ができる老人福祉センターへの地域住民の期待が高まりつつあることから、加速度的に増加する高齢者とそれに伴い多様化するニーズに対応した新たな老人福祉センターの整備が求められていた。

本業務は、高齢社会の進展により変化する社会経済情勢を捉えつつ、既存施設の利用実態や地域住民の意向等を踏まえ、近隣大学等との連携を図りながら、高齢者の健康増進及び生きがいの充実を図るための方針を策定することを目的とした。

3. 本計画のキーワード

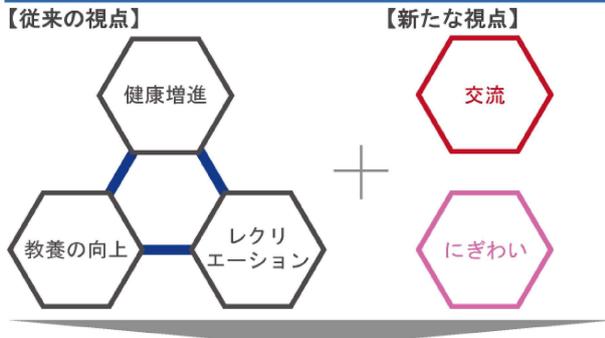
(1) 「老人福祉センター」の整備の視点

「老人福祉センター」は、老人福祉法第20条の7に規定される施設であり、「健康の増進」、「教養の向上」、「レクリエーションのための便宜」を総合的に供与することを目的とする施設である。本計画では、これらに「交流」、「にぎわい」といった地域の活力向上に資する新たな視点を加えた施設となるよう提案した。

■老人福祉法第20条の7における位置づけ

・老人福祉センターは、無料又は低額な料金で、老人に関する各種の相談に応ずるとともに、老人に対して、健康の増進、教養の向上及びレクリエーションのための便宜を総合的に供与することを目的とする施設とする。

■老人福祉センター整備の視点



新たな老人福祉センターの整備

図-1 老人福祉法における位置づけと整備の視点

(2) 本計画における「サードプレイス」の意味

本計画では、新たに整備する老人福祉センターが目指す未来の姿として、「安心して利用でき、居心地が良く過ごせる空間（＝地域のサードプレイス）」と位置づけた。なお、「サードプレイス」は、アメリカの社会学者であるレイ・オルデンバーグが自身の著書において以下のように定義している¹⁾。

■「サードプレイス」の定義

- ・アメリカの社会学者であるレイ・オルデンバーグの著書「The Great Good Place (1989著)」より、以下のように定義されている。
- ・「サードプレイス」＝
「自宅や職場とは隔離された心地のよい第3の場所」

■「サードプレイス」の8つの特徴

- ・「サードプレイス」には以下の8つの特徴がある。
- | | |
|------------|----------------|
| ①中立の領域 | ⑤常連 |
| ②人を平等にするもの | ⑥目立たない存在 |
| ③会話が主な行動 | ⑦その雰囲気には遊び心がある |
| ④利用しやすさと便宜 | ⑧もう一つのわが家 |

図-2 「サードプレイス」の定義と特徴

4. 老人福祉センター整備に係る3つの課題

(1) アクセス性・利便性に配慮した施設配置【課題1】

既存施設は、A市の東部地域・南部地域にそれぞれ1か所ずつ整備されているが、いずれも中心市街地から離れた場所に位置しており、高齢者が気軽に安心して施設を利用できる環境にない実態がある。

また、既存施設の立地バランスを見ても、北部地域・西部地域には老人福祉センターが整備されていないことから、これらの地域の高齢者においては、十分なサービス提供がされていない実態にあった。

そのため、高齢者が気軽に老人福祉センターを利用できるよう、アクセス性・利便性に配慮した施設配置が求められた。

(2) 都市機能の集約と健康づくりの連携【課題2】

人口減少・少子高齢化の進展に伴い、A市においても、鉄道駅や市役所等の拠点への都市機能の集約によるコンパクトなまちづくりの実現が求められている。

全国的に健康寿命が延伸する中、A市の健康寿命も延伸傾向にあり、全国平均及び県平均を上回る状況にあるが、健康寿命がさらに延伸され、平均寿命との差が縮まることで、社会保障費の削減にもつながることが期待されている。そのため、老人福祉センター事業をはじめとした高齢者の「健康づくり」は、人口減少下における持続可能な財政運営の面でも重要な施策となっている。

従って、コンパクトで持続可能なまちづくりの実現に向けて、拠点への都市機能の集約を念頭に置いた高齢者の「健康づくり」が求められた。

(3) 新たな老人福祉センターのあり方の提案【課題3】

既存施設は、従来の老人福祉センター整備に関する視点に基づき機能配置がなされている一方、地域住民や施設利用者からは、「若い世代との交流」、「近隣大学等との連携」、「様々な人々とのにぎわい空間づくり」等の従来の老人福祉センターにはない新たな視点（目的・機能）の導入が望まれていた。

このような背景を踏まえ、ハード・ソフト策を含め地域ニーズに即した視点を取り入れること等、新たな老人福祉センターのあり方の提案が求められた。

■老人福祉センターに求められる新たな視点



【地域住民や施設利用者からの意見（抜粋）】

- ・これまでの施設にはない、新しい目的や機能を取り入れて、老人福祉に寄与することができる施設となってほしい。
- ・若い人たちが飛び込んで来るような雰囲気づくりが大切。
- ・教養文化機能について、近隣大学の学生が講師やボランティアとして参加してもらえると、若い世代と交流できる。
- ・多様な人々と楽しく、にぎわえる空間ができると嬉しい。

図-3 老人福祉センターに求められる新たな視点

5. 鉄道駅周辺における老人福祉センターの整備 …【課題1・2に対する解決策】

(1) 整備候補地の選定

新たに整備する老人福祉センターは、従来のあり方を見直し、様々な人々の交流やにぎわいを創出する地域に開かれた施設とすることが重要なため、整備位置の選定が非常に重要となる。

従って、整備候補地は、市全体の公共施設配置バランスや一団の用地確保を前提とする中、関連業務で得られたノウハウ（現況地形を考慮した土地利用方策等）や地域・近隣大学とのつながりを活かせる市内北部に位置する鉄道駅の隣接地（以下、「当該地区」という。）を提案した。

a) 当該地区の概要

当該地区の概要は以下のとおりである。

- ① 鉄道駅の1日あたりの乗降客数：3,000人/日
- ② 近隣大学の主要なアクセス拠点であり、駅前広場にはスクールバス（平日で3～5便）が発着
- ③ 駅前広場周辺には銀行やカフェ等の機能が集積
- ④ 駅前広場北側に一団の用地（約8,000㎡）が存在

b) 当該地区での整備による効果

都市計画の視点から、駅周辺には商業や業務、居住等の機能集積を優先的に図ることが多いが、当該地区に整備することで、以下の効果が期待できる。

- ① 高齢者等のアクセス性の向上：交通結節点に隣接することで、鉄道やバス等の公共交通による移動が可能となり、移動手段が制約される高齢者等のアクセス性の向上が期待できる。
- ② 地域住民の利便性の向上：多様な都市機能が集積する拠点であることから、施設利用者のみならず地域住民の生活利便性の向上が図れるとともに、これまでサービス提供が不足していた北部地域の住民の生活利便性向上が期待できる。
- ③ 多世代にわたる交流・連携の促進：近隣大学の主要なアクセス拠点であることから、施設利用者のみならず学生等の多世代にわたる交流・連携の促進が期待できるとともに、大学側の高齢者福祉等の研究の場となることが期待できる。

(2) 建設検討委員会による整備予定地の適地選定

当該地区を含む3か所の整備候補地について、学識経験者や地元団体等が参画する建設検討委員会において適地選定が行われ、当該地区が選定された。これは、上述した当該地区での整備により、アクセス性・利便性・交流促進が図られる点に加え、駅前広場や周辺施設への波及効果（ストック効果）の最大化が図られる点が評価されたことによる。

6. 基本コンセプト及び基本方針の設定

…【課題3に対する解決策】

(1) 新たな視点を取り入れた基本コンセプト

新たに整備する老人福祉センターが地域に開かれ、交流・にぎわいの空間となるよう、「地域の“元気”をつなぐサードプレイス～心地良く過ごせる第三の場所～」を基本コンセプトとして設定した。



当該施設は、この地域に住む高齢者一人ひとりがいきいきとした人生を送り続けるため、主体的に健康づくりや生きがいづくりを行う空間としての役割を持つとともに、日常の一部として、安心して利用できる居心地の良い空間（≒地域のサードプレイス）となることが期待される。また、これまでの老人福祉センターにはない、「駅前（≒多世代が集い、交流する空間）」という特徴を活かし、多世代の人々が交流し、にぎわう空間の創出を図ることで地域を元気にする。

図-4 基本コンセプト

(2) 基本コンセプトの実現に向けた3つの基本方針

基本コンセプトの実現に向け、既存施設からのステップアップ、多様なニーズへの対応、新たな機能の導入の観点から、3つの基本方針を設定した。

① 高齢者の健康づくり・生きがいづくりに資する機能の充実

- ・地域の老人福祉の拠点として、健康相談や機能回復訓練等の各種機能を充実させることにより、主体的に楽しみながら活動する高齢者の健康づくり・生きがいづくりを支える。
- ・既存施設を含む利用者ニーズ等の情報を共有し、地域特性に合わせた適切なサービス提供を図る。

② 居心地が良く、快適に利用できる空間構成

- ・使いやすく諸室配置や分かりやすい施設内動線など、高齢者にとって居心地が良く、快適に利用できる空間構成とする。
- ・多目的利用ができる諸室やオープンスペースを配置することで、日常的な利用だけではなく、多様なニーズへの対応を図る。

③ 立地性を活かした、交流・にぎわい機能の充実

- ・駅前という立地性を活かし、高齢者や地域住民、駅利用者などの多世代の人々が出会い、交流し、にぎわうことができる空間づくりに努める。
- ・近隣大学や周辺施設等の地域に関係する機関と連携し、出前講座等の新たなプログラムを実施するなど、多世代・地域とつながる機会の創出を図る。

7. 基本コンセプトの具現化に向けた提案

(1) 利便性に配慮した土地利用及び動線設定

基本コンセプト及び基本方針を前提に、より効率的・効果的な施設配置とするため、周辺の土地利用や地権者意向等を勘案しながら、土地利用（施設、道路、駐車場、調整池等）及び動線を設定した。



図-5 当該地区の土地利用及び動線計画

(2) 利用者ニーズに合わせた導入機能の設定

既存施設の利用実態やニーズを踏まえ、当該地区にふさわしい導入機能を設定するとともに、近隣大学等との連携によるプログラム案を提案した。

◆新たに導入する機能～にぎわいゾーン～

- ・近隣大学や鉄道駅周辺に立地する店舗等（銀行やカフェ等）の地域に関する機関と連携し、多世代や地域とつながるための機能

◆近隣大学等との連携による新たなプログラム案

- ・老人福祉センターへの子育て支援機能の付加
- ・管理栄養学科の学生による栄養指導実習
- ・駅前広場との連携による朝市等のイベント実施

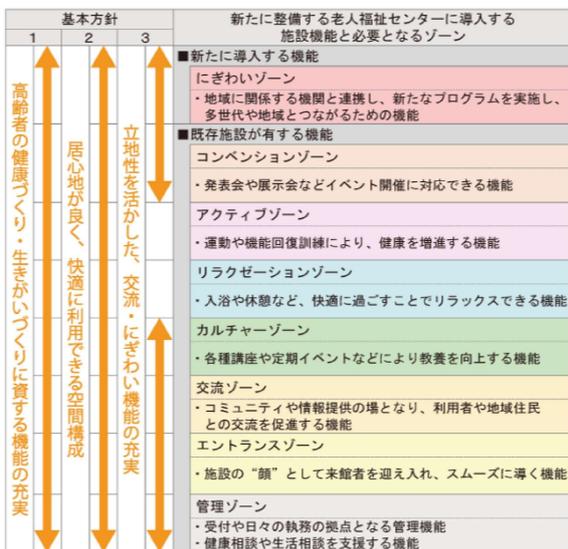
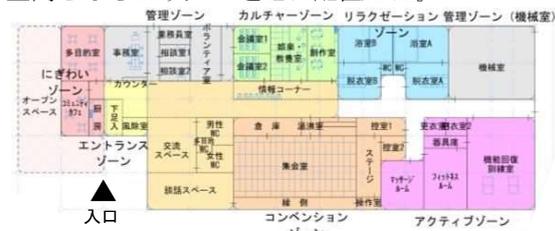


図-6 導入する施設機能と必要となるゾーン

(3) 利用者の利便性・快適性に配慮した機能配置

老人福祉センターは、敷地条件や前述の土地利用・動線計画を踏まえる中、導入機能やプログラムの実現を図るため、各施設機能が有機的に連携する機能配置（配置計画・諸室規模）を設定した。

「にぎわいゾーン」は、様々な人々が利用しやすい空間となるよう入口近辺に配置した。



ゾーン名称	諸室規模	機能を担う諸室
■新たに導入する機能		
にぎわいゾーン	約340㎡ (屋外210㎡含む)	多目的室、オープンスペース、コミュニティカフェ
■既存施設が有する機能		
コンベンションゾーン	約380㎡	集会室、ステージ、倉庫、控室、給湯室
アクティブゾーン	約330㎡	マッサージ室、機能回復訓練室、器具室、フィットネスルーム
リラクゼーションゾーン	約200㎡	脱衣室A・B、浴室A・B
カルチャーゾーン	約160㎡	創作室、音楽・教養室、会議室
交流ゾーン	約270㎡	情報コーナー、交流スペース、談話スペース
エントランスゾーン	約40㎡	事務室、ボランティア室、業務員室、相談室、機械室、トイレ
諸室合計・・①	約1,870㎡	オープンスペース210㎡除く
その他共用部・・②	約280㎡	廊下・共用スペース等
延床面積・・③ (③=①+②)	約2,150㎡	

図-7 利用者の利便性・快適性に配慮した機能配置

8. 本業務の成果

(1) 新たな老人福祉施設の提案

本業務は、高齢者福祉に関する業務であり、弊社の中でもあまり類を見ない業務であったが、計画策定にあたって地域住民や学識経験者、施設利用者との「交流」と弊社の「都市計画・まちづくりの知見の融合」により、「地域の「元気」をつなぐサードプレイス」の実現に向けた方向性を示すことができた。

(2) 近隣大学や地域との連携による計画策定

老人福祉センターの整備予定地となる当該地区において、以前に弊社で駅前広場設計業務を実施しており、近隣大学や地域住民等と連携・協力しながら整備した経緯がある。このような背景がある中、老人福祉センター整備にあたっては、地域住民等から「若い世代との交流」を望む声が集まったことから、その時に得た近隣大学との「つながり」を十分に活かすことで、まちづくりの一環として「高齢者と若者」、「近隣大学と行政」を「つなぐ」機会の創出を図ることができた。

(3) 駅周辺におけるコンパクトなまちづくりの実現

前述のとおり、老人福祉センターは一団の用地を確保する必要があることから、比較的中心市街地から離れた場所に立地される傾向にある。本計画では「駅前」という都市的ポテンシャルの高い地区にあえて老人福祉センター整備を促すことで、高齢者のみならず多世代の人々が利用できる空間となり、A市が目指すコンパクト・プラス・ネットワークのまちづくりにも寄与することができた。

また、本業務に留まらず、関連業務として駅前広場や造成等の設計、事業認定等を実施したことで、鉄道駅周辺におけるコンパクトなまちづくりのスピーディーな実現に貢献することができた。

9. おわりに

今回のような施設（ハコモノ）は、機能性や効率性を重視して整備するだけでは、施設を利用する住民同士や地域を本当の意味で「つなぐ」ことはできない。そのため、本計画では「サードプレイス」や「交流・にぎわい」といった新たな視点を取り入れながら、人と人、人と地域が交流できる方針を提案した。

現在、令和4年度中の竣工に向けて、造成工事や建築工事等が進んでいる。供用開始後に多くの地域住民に利用されることを願うとともに、本計画でつないだ「地域住民・近隣大学・行政」が互いに連携・協力し、より良い老人福祉センターとなることを期待する。

参考文献

- 1) 「The Great Good Place」, Ray Oldenburg[著], 1989

地域主体による交通手段の導入スキームの検討

かのう そうき あおう よしゆき はせがわ まさとし
○加納 壮貴¹・栗生 啓之¹・長谷川 正利¹

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

近年、地方都市では、公共交通の利用者数減少に伴い、不採算路線への補填費用が増加し、行政や交通事業者の努力のみで公共交通サービスを確保・維持することが難しい状況にある。一方で、地域住民が地方都市に住み続けるためには、マイカーによる自由な外出が困難な交通弱者に対し、交通手段を提供するとともに、持続可能な運行を維持する仕組みが必要である。

本稿では、交通不便地域における持続可能な移動手段の確保を目的とし、「地域主体による持続可能な交通手段の導入スキーム」の検討を行った。本成果は、今後行政主体による公共交通の運行継続が危ぶまれる地域において、地域主体の交通手段を導入する一助となると考える。

Key Words : 地域公共交通, 地域主体, 導入スキーム

1. はじめに

(1) 地域公共交通を取り巻く状況

モータリゼーションの進展や、人口減少・超高齢化、低密度な市街地の拡大等により、公共交通を取り巻く環境は厳しいものとなっている。特に、地方都市では、交通事業者の経営悪化による運行便数の削減や不採算路線からの撤退など、公共交通のサービス水準の低下が進行している。これに対し、多くの自治体では、交通事業者等と協力し、民営バス路線の維持やコミュニティバスの運行、デマンド型交通の導入といった各種交通施策に取り組んでいる。しかしながら、中山間地域や郊外部等では、元々の移動需要が少ないため、効率的な公共交通の運行が難しく、住民の移動ニーズと交通サービスとのミスマッチなどの課題も発生している。

こうした状況を踏まえ、国土交通省では、持続可能な輸送サービスの提供・確保に資する取組を推進するため、「地方公共交通の活性化及び再生に関する法律（以下、活性化再生法）」を改正し、令和2年11月に施行した。活性化再生法では、地方自治体による「地域公共交通計画（マスタープラン）」の作成を努力義務としたほか、交通事業者や地域関係者との協議に基づく輸送資源の総動員による移動手段の確保や、既存の公共交通サービスの改善徹底を促す仕組みを拡充させている。

(2) 岡崎市の取組みと本稿の目的

愛知県岡崎市では、「岡崎市地域公共交通網形成計画¹⁾」の計画期間満了、及び「活性化再生法」の改正を受け、「岡崎市地域公共交通計画²⁾」（以下、地域公共交通計画）」を策定した。

岡崎市が目指す交通の将来像として、居住誘導区域等の人口密度の高いエリアは、高い公共交通サービス・利便性を確保し、中山間地域などの人口密度が低い地域では、最低限のサービスレベルは確保しつつ、地域の実情に見合った公共交通サービスの導入を目指している。ここで、地域の実情に見合った公共交通サービスを導入し、維持していくためには、地域住民の主体的な取組みが求められるとともに、交通事業者の協力が不可欠となる。

本稿は、地域公共交通計画の策定と併せて検討を行った、「地域主体による持続可能な交通手段の導入スキーム」に関して報告するものである。

2. 岡崎市の概況と公共交通維持の課題

(1) 岡崎市の概況

岡崎市は、愛知県のほぼ中央に位置し、愛知県内3番目となる38.1万人（令和4年8月1日時点）の人口を有している。図-1に示すように、市の東部は中山間地域、西部は岡崎平野が広がっており、市西部に中心市街地を形成している。



図-1 岡崎市の地勢³⁾

人口は、主要駅である岡崎駅及び東岡崎駅を中心とした地域に集中し、岡崎東部の中山間地域では居住地がまばらに分布している。

(2) 公共交通（交通事業者）の現状

岡崎市内には、鉄道網として、JR東海道本線2駅、名鉄名古屋本線9駅、愛知環状鉄道6駅の3路線17駅が立地している。バス路線は、岡崎駅や東岡崎駅などを起点とした路線をはじめ、各拠点を結ぶバス基幹軸を中心に52路線が運行しており、隣接する豊田市や安城市、西尾市と接続する広域路線も運行している。また、市内に本社を有するタクシー事業者6社が、タクシーを運行している。

(3) 公共交通（行政運営）の現状

岡崎市では、図-2に示すように、中山間地域である額田地域において、コミュニティバスが4路線（ささゆりバス、乙川バス、のってこバス、ほたるバス）運行している。これらの沿線地域では、小学校区ごとに、地域協議会を設立し、効率的な運行などに向けて、住民を主体として、検討・協議を行っている。

市街地に位置する六ツ美中部学区においては、額田地域と同様に地域協議会を組織し、会員制の事前予約型乗合タクシー（チョイソコおかざき）の実証実験を行っている。同じく、市街地に位置する矢作地域においても、地域協議会を組織し、地域主体による交通の導入に向けた協議を進めている。

ただし、地域協議会の運営や行政の財政負担に関して、明確なルールは定められておらず、都度「岡崎市交通政策会議」に諮りながら、施策を進めている現状にある。

(4) コミュニティバスの利用状況

コミュニティバスの利用者数は、図-3に示すとおり、新型コロナウイルス感染症が蔓延する以前の平成28年度をピークに減少傾向にあり、令和2年度の利用者は平成28年度の約半数となるなど、利用者の減少に歯止めがかからない状態である。



図-3 コミュニティバス（4路線）の利用者数の推移

また、表-1のように、コミュニティバス4路線の収支率は2～4%程度（令和2年度時点）と低く、利用者一人当たりの年間市費負担額は約6,000～11,000円となっている。

表-1 コミュニティバス（4路線）の概況

	主たる利用目的	運行曜日	令和2年度収支率	令和2年度利用者一人当たり市費負担額
下山地区線（ささゆりバス）	通勤・通学・通院 名鉄バスへの乗換	月曜日～ 金曜日	2.9%	6,646円/人
形基地区線（乙川バス）	日常的な移動、通院 名鉄バスへの乗換	金曜日	2.1%	8,240円/人
宮崎地区線（のってこバス）	日常的な移動、通院 名鉄バスへの乗換	水曜日	2.2%	10,466円/人
豊富・夏山地区線（ほたるバス）	日常的な移動、通院 名鉄バスへの乗換	火曜日	3.5%	7,110円/人

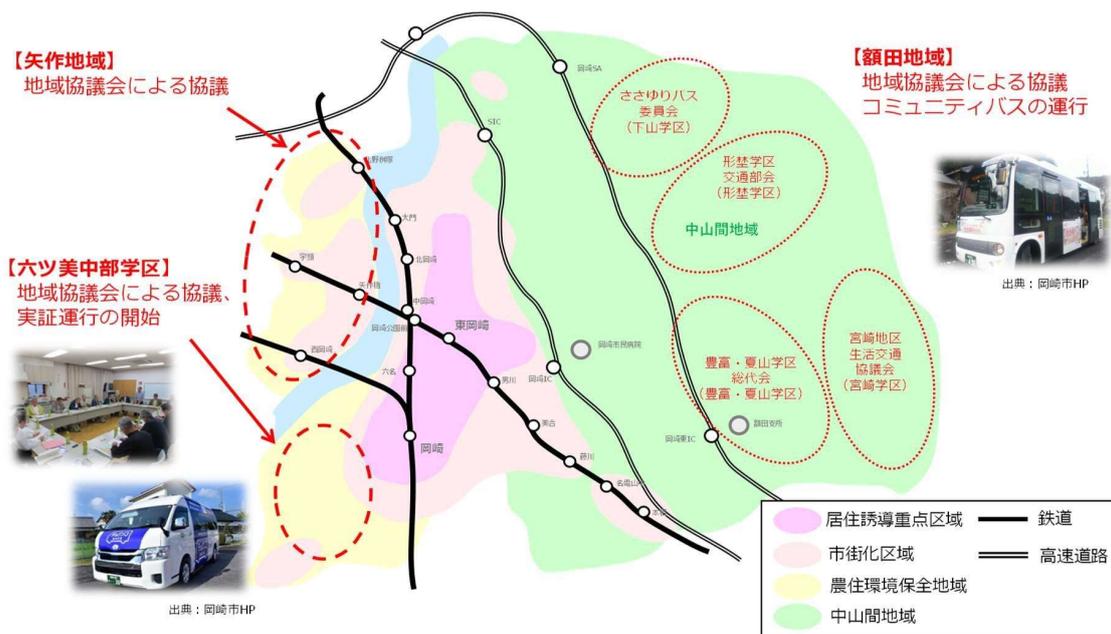


図-2 地域内検討組織の状況

(5) 公共交通維持の課題

岡崎市では、コミュニティバスの利用者数の減少に歯止めがかからない状況にあり、住民の移動ニーズとのミスマッチ解消や、地域公共交通を地域で維持する意識の醸成に向けた取組みが必要である。

また、地域の移動の足を確保するための交通手段は、コミュニティバスに限定する必要はなく、乗合タクシーやボランティア輸送など、地域の実情やニーズに応じた手段を選択できることが望ましい。

一方で、今後も地域主体の交通の導入への取組み意向を示す地域が増加することが想定される。公共投資の地域間公平性といった観点も含め、行政の財政負担を考慮する必要がある。

行政支援のもと、地域の主体的な取組みを促進・維持するうえでは、地域主体による交通の導入スキーム（導入プロセス、要件、各主体の役割分担、運行に関する定量的基準）を明確に示し、取組みの妥当性を担保していく必要がある。

3. 導入スキームの検討

(1) 既往事例の整理

地域主体の交通手段の導入スキーム検討にあたり、既往事例を整理した。他市における事例をみると、運行の基準に収支率を設定する、もしくは一定の受益者負担を求めるもの、既存公共交通との競合を避けるため、交通空白地を対象としたものや路線設定の要件に「既路線バスと競合しないルートとする」等を設定しているものが多い。また、本格運行の条件として、地域公共交通会議での承認を明記しているものもある。

岐阜県岐阜市⁴⁾では、「市民協働の手づくりコミュニティバス」として、地域によるコミュニティバスの導入に対して補助を行っている。試行運行から本格運行への移行や、運行継続の判断の基準に収支率や補助額を用いている。地域の高齢化の進展状況を加味するため、地区の高齢者密度に連動して、年間補助上限額や基準収支率が設定される。

富山県富山市⁵⁾では、地域が自主的に運行しているバス事業を支援する取組みを設け、試験運行の補助、運行費の補助（運行経費の9/20を限度）、バス車両の無償提供を実施している。現在、市内の6地域において、補助制度を利用した自主運行バスが導入されている。

静岡県裾野市⁶⁾では、公共交通サービスが行き届いていない郊外の住宅地等といった、移動に制限を受ける交通弱者の増加に対応するため、地域主体による生活交通の導入マニュアルを整備している。導入手順は、「事前相談」「運行計画作成」「実験運行」「本格運行・検証評価」の4段階からなる。

「実験運行」から「本格運行・検証評価」への移行の際には、地元協議会および地域公共交通活性化協議会での承認が必要な仕組みとなっている。費用負担のルールとして、市の負担は運行経費の2/3までを上限としている。

(2) 導入スキームの設定

a) 地域主体の交通手段確保に向けた導入要件

既往事例も踏まえ、地域主体の交通手段の導入スキームとして、導入のプロセス、各段階において求められる要件を、図-4のとおり導入フローとして整理した。併せて、本格運行に向けて必要となる調査・検討項目を体系化し、交通手段の導入にあたり、地域住民が取り組むべき事項を明確化した。

地域住民による主体性を醸成するため、導入可能性検討の段階から、ニーズ調査、利用促進、PDCAの実施に至るまで、地域主導で行うこととしている。

地域で検討協議会が設立されたとしても、特定の個人（キーパーソン）に負担が偏っていた場合、その人物が欠けた場合に組織として持続困難な状態となる可能性が懸念される。そこで、組織としての持続性を担保するため、構成員の最少人数、組織に対する要件（継続的な活動、地域の代表）を設定した。

運行計画の作成に際しては、交通事業者との事前協議実施を要件とすることで、既存路線バス等との競合の回避に留意した。

実証運行、運行継続に対しても基準を設けており、利用状況が良好であれば、サービスレベルを向上させることも視野に入れたものとしている。

検討協議会での検討事項が、岡崎市全体の交通施策と整合が図られるように、重要な決定事項（実証運行の開始、本格運行の開始等）においては、交通政策会議での承認を得ることを必須の条件とした。

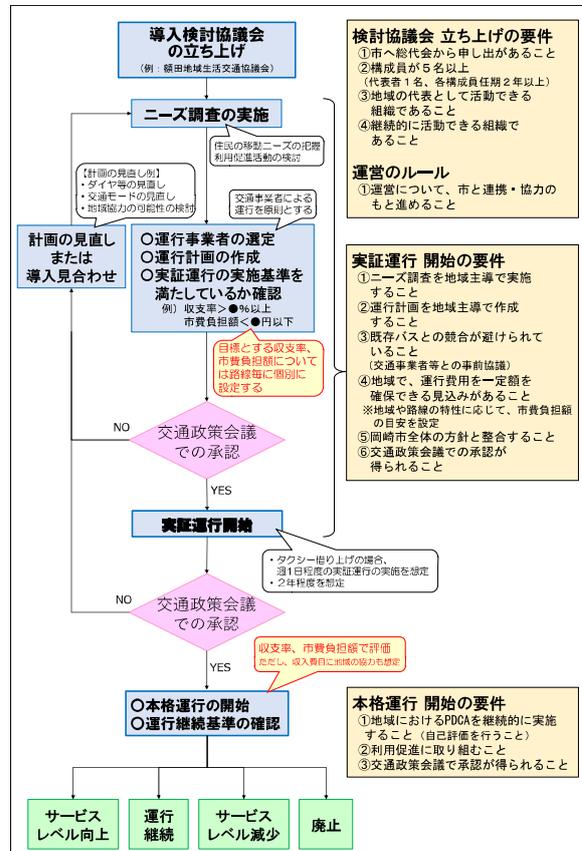


図-4 地域主体の交通手段の導入フローと要件

b) 地域の実情に応じた役割分担

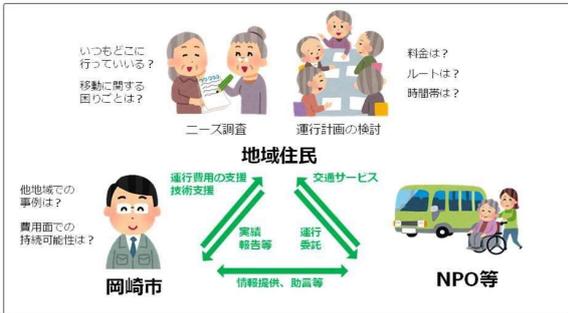
地域課題や参画主体は、地域によって様々であり、役割分担もこうした地域の実情に合わせて臨機応変に対応できることが望ましい。このため、図-5に示すように、地域主体による交通の導入時における各主体（地域住民・運行事業者・行政等）の役割分担を検討した。ここで、地域に適した運行体制を採用できるよう、NPOや地域住民等による運行も想定している。

具体例の提示にあたり、サービス内容の検討やニーズ調査を担う地域住民、地域住民をサポートする行政、車両運行を担う交通事業者の3者が分担・連携する基本的なパターンと、NPO等が参画するパターン、地域住民と行政のみのパターンを設定した。

■ 役割分担 (①交通事業者が運行する場合)



■ 役割分担 (②NPO等が運行する場合)



■ 役割分担 (③地域住民が運行する場合)

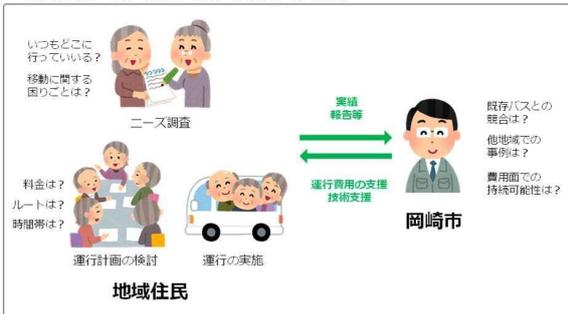


図-5 役割分担例

c) 運行計画への継続的な評価・改善の仕組み

検討協議会が、継続的に運行計画の評価・改善に取り組めるよう、定量的評価指標を設定した。将来的な導入地域の増加に伴う財政的な制約や、地域間の公平性を把握するため「対象路線の市費負担額の目安」を評価指標とした。

定量的評価指標の算出の考え方を図-6に示す。定量的評価指標の設定にあたり、人口密度の低い中山間地域を走行する路線が過度に不利な評価値とならないように留意し、地域状況や路線特性を介した評価値となるようにした。

評価指標は、沿線地域1人当たり市費負担額を目安とし、目安となる数値を設定するためのパラメータは重回帰分析によって推定した。説明変数は、沿線の人口密度、限定依存人口、路線固有の特性（病院の有無、広域路線等）とした。なお、限定依存人口とは、バス路線がなければ移動手段を失ってしまう市民がどの程度存在するかを示した指標である。算出方法は杉尾ら⁷⁾の定義に従い、対象路線の徒歩利用圏内（バス停から300m）かつ他の路線の徒歩利用圏外の人口を集計している。

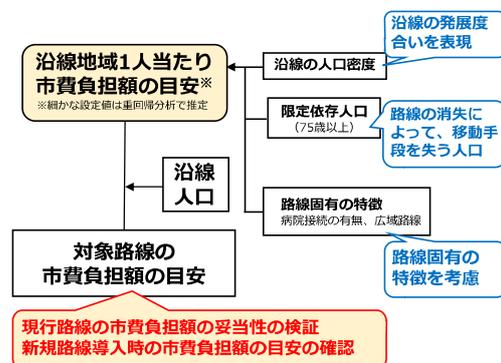


図-6 定量的評価指標の算出に関わる考え方

4. おわりに

本稿では、地域主体による交通手段の導入スキームとして、導入プロセス、必要な要件及び定量的な評価基準等を整理し、取りまとめることができた。

今後は、地域への周知を図るための手引きの作成や、実際の運用を通じた導入スキームの検証、ブラッシュアップが必要である。

本スキームは、今後行政主体による公共交通の運行継続が危ぶまれる地域において、地域主体の交通手段を導入する際の一助となると考える。

謝辞：本稿は、岡崎市の「岡崎市総合交通政策策定業務」の成果の一部である。ここに記して、関係者各位に謝意を表します。

参考文献

- 1) 愛知県岡崎市：岡崎市地域公共交通網形成計画. 2016. 5
- 2) 愛知県岡崎市：岡崎市地域公共交通計画. 2022. 3
- 3) 愛知県岡崎市：岡崎市わが街ガイド
- 4) 岐阜県岐阜市：岐阜市地域公共交通計画. 2021. 3
- 5) 富山県富山市：富山市地域公共交通網形成計画 2021. 3
- 6) 静岡県裾野市：地域主体による生活交通の導入マニュアル 2020. 3
- 7) 杉尾恵太, 小林勇, 竹内伝史, 磯部友彦：限定依存人口指標を用いたバス路線網の再編方針の検討について, 土木計画学研究・講演集, No20(2),

災害時における移動電源設備の活用に関する検討

○赤澤哲也¹・山岡寛¹・川合伸宜¹・細貝秋一¹・釘本晃平¹

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

我々の日常生活や都市機能は電力に大きく依存しているが、近年、大規模停電が都市部で多発しており、電力供給が途絶えた場合の影響は大きく、その対策は急務である。

国土交通省では、TEC-FORCE活動の一環として、停電時に災害対策用機械搭載の発電機を活用するための運用案を策定しているが、実際の運用に当たっては様々な課題がある。本業務では、移動電源設備の活用促進のため、課題となっている具体的な機器の接続方法や機器仕様等について検討・設計を行うと共に、移動電源設備設営時の安全確保のための保安機材の整理や、移動電源設備を円滑に運用するためのマニュアル作成を行った。

Key Words : 大規模停電, TEC-FORCE活動, 災害対策用機械, 移動電源設備, 外部電源, 保安機材, 活用マニュアル

1. はじめに

我々の日常生活や都市機能は電力に大きく依存しているが、近年、地震や豪雨・台風等の自然災害による大規模停電が都市部で多発しており、電力供給が途絶えた場合の影響は大きく、その対策は急務である。

国土交通省では、TEC-FORCE活動の一環として、停電時に災害対策用機械に搭載された発電機を活用するための運用案を策定している。

しかしながら、実際の運用に当たっては様々な課題が残されており、解決する必要がある。

本業務では、国土交通省中部地方整備局が保有している照明車及び排水ポンプ車に搭載されている発電機（以下、「移動電源設備」という）を対象として、災害時における活用を促進するため、非常時に発電機から電源を外部供給するために必要な事項を系統化して整理し、具体的な機器の接続方法や機器の仕様等について検討を行い、想定される機材の設計を行った。

また、移動電源設備を円滑に運用するため、連絡体制や作業フロー、作業チェックリスト等の必要事項について整理を行い、移動電源設備活用マニュアルについて作成した。

その外、移動電源設備を設営する際の安全確保のために必要な保安機材についても検討を行い、保安機材の種類とその仕様、必要数量について、整理を行った。

2. 移動電源設備の諸元整理

(1) 状況調査の実施

移動電源設備の活用検討を行うに当たり、設計精度の向上を図るため、設計対象である照明車及び排水ポンプ車に搭載された発電機について状況調査を行い、その仕様や構造等について確認した。

a) 調査対象の災害対策用機械 ※ () 内は建設機械番号

- ・照明車 : 中技照明1 (20-1510)
- ・排水ポンプ車 : 中技排ポ2 (26-4503)



図-1 災害対策用機械 (左: 照明車 右: 排水ポンプ車)

b) 災害対策用機械搭載発電機の形式

- ・照明車搭載発電機 : 水冷ディーゼル機関
- ・排水ポンプ車搭載発電機 : 水冷ディーゼル機関



図-2 発電機 (左: 照明車搭載 右: 排水ポンプ車搭載)

(2) 調査結果

状況調査の結果を表-1に示す。照明車搭載の発電機の主端子は三相4線式（電圧は110V/220V）で出力は25kVA、排水ポンプ車搭載の発電機の主端子は三相4線式（電圧は220V/440V）で出力は125kVAであることが確認できた。

表-1 調査結果まとめ

No.	調査対象	調査結果	備考
1	照明車搭載発電機	①発電機容量：25kVA 三相4線出力：25kVA 三相3線出力：14.4kVA ②三相・単相切替機能付 ③出力端子 ・三相出力端子 三相4線 110/220V 三相3線 100/110V 適用端子サイズ：M8 ・補助端子 単相2線 100/110V 6.6kVA 適用端子サイズ：M8 ・補助コンセント×2口 単相2線 100/110V 1.65kVA ・アース端子あり ④使用燃料：軽油 ⑤燃料タンク容量：100L（想定）	
2	排水ポンプ車搭載発電機	①発電機容量：125kVA ・三相出力端子 三相4線 220/440V 適用端子サイズ：M12 ・単相出力端子×2 単相2線 100/110V 22kVA（11kVA×2） 摘要端子サイズ：M10 ・補助コンセント×2口 単相2線 100/110V 1.65kVA ・アース端子あり ②三相・単相切替機能なし ③使用燃料：軽油 ④燃料タンク容量：100L	

3. 接続先負荷条件の整理

移動電源設備から配電する接続先の負荷条件については、経済産業省委託事業の中で検討されたモデル地点における特定負荷の電力を参考とした。

表-2 施設規模別の特別負荷（最大時）

施設規模	電灯負荷	動力負荷
災害対策本部	15.7kW	18.9kW
大規模避難所	12.6kW	10.5kW
地域避難所（公民館）	1.2kW	—
地域避難所（老人ホーム）	4.6kW	20.6kW

表-3 非常時における特定負荷の使用方法

対象	負荷の使用方法
電灯負荷	照明 ・業務中は1/3点灯 昼夜 ・夜間も業務実施 復旧計画、情報収集を行う 会議室 ・会議を行う部屋は1/3点灯 ・使用していない部屋は消灯。必要時点灯 通路、階段 ・1/3程度点灯 安全上 ・人が通行しない深夜は保安用分（公衆安全）を残す以外は消灯（ただし、市役所通行人は常勤者であるため深夜は都度点灯で対応と想定）
	通信機器 ・必要機器を限定 テレビ等情報収集に必要なものを厳選 サーバー等連続的に必要なものは連続供給 事務機器 ・必要機器を厳選 付属設備 ・常時不使用 必要なものは都度使用 ・間欠運転
	動力負荷 給排水ポンプ ・受水槽、浄化槽等の水槽備蓄を考慮し、間欠運転で対応と想定 プロア等は平常時と同じ連続運転が望ましいが、非常時なため間欠運転とする 空調設備 ・全面的に不使用 非常時なため1週間は空調、エレベータなしとする エレベーター ・全面的に不使用 消火ポンプ等 ・火災時のみ動作 通常は停止
給湯	・手洗い、入浴等のためなので給湯不使用 ・ただし、老人ホーム施設は介護等衛生面で最小限の給湯が必要
洗濯、乾燥機等	・不使用 非常時なため

4. 移動電源設備の活用検討

(1) 移動電源設備との接続条件

国土交通省策定の「移動発電設備 設置・運用マニュアル（素案）」では、非常電源切替盤が設置されていることが前提となっているが、実際には、非常電源切替盤が設置されていない施設も存在することから、本業務では、接続先に非常電源切替盤が設置されていない場合を想定し、移動電源設備との接続方法を検討することとした。

(2) 移動電源設備との接続方法

一般的な商用受電（低圧）の構成として、接続先の施設に引込開閉器盤が設置されている場合と設置されていない場合が想定されるが、活線状態での作業は感電の危険が伴うため、本業務では、引込開閉器設置の有無に関わらず、引込開閉器を閉じて二次側を無給電状態とし、主開閉器の二次側に電源ケーブルを接続することとした。

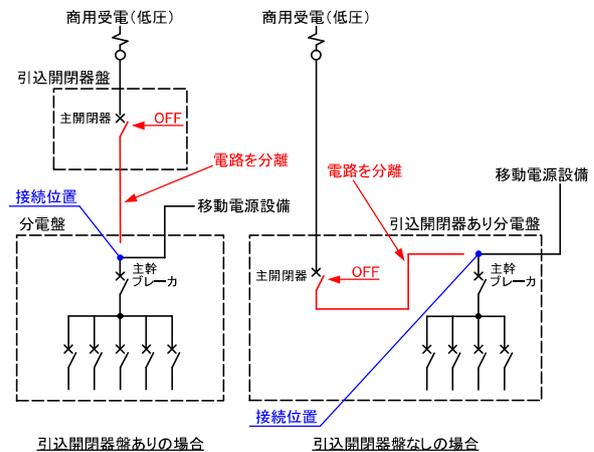


図-3 想定される接続先構成と接続方法

(3) 移動電源設備からの電源供給構成

移動電源設備からの電源供給構成については、現場での作業簡素化を念頭に置き、現場作業員が可能な限り細かい作業や判断を行う必要のない構成を立案した。具体的には、接続盤及び責任分界点を兼ねた端子箱を設置することにより、出動車両（搭載発電機出力）を問わず、接続先負荷の様々な条件に応じて電源供給を行える構成とした。

また、移動電源設備から供給する電源は、一般的な電源方式である1φ200V系、1φ100V系及び3φ200V系の負荷への供給が可能なものとした。

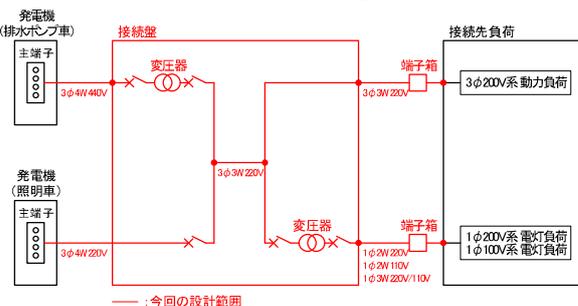


図-4 移動電源設備からの電源供給構成

(4) 電源供給パターンの作成

前述の表-2に示した接続先負荷条件を基に、移動電源設備からの電源供給パターンを作成した。電源供給パターンは、電灯（単相）と動力（三相）を同時供給するパターンと、電灯（単相）のみを供給するパターンとに大別することができた。

a) 電灯と動力を同時供給するパターン

接続先としては、災害対策本部、大規模避難所及び老人ホームが該当する。どの接続先も、負荷の合計容量が25kVAを超えるため、搭載している発電機容量が125kVAの排水ポンプ車の出動が必要となる。

b) 電灯のみ供給するパターン

接続先としては、公民館が該当する。負荷容量は25kVA未満であることから、搭載している発電機容量が25kVAの照明車で対応可能である。

(5) 接続機器等の仕様・構造の検討

a) 電源ケーブルの検討

移動電源設備から端子箱まで敷設する電源ケーブルのサイズについては、許容電流及び電圧降下の計算結果からは電灯用が22mm²、動力用が14mm²となったが、現場でのケーブル選定作業が不要となるよう、22mm²に統一することとした。

また、電源ケーブルの運搬や保管、敷設のためのケーブルリールについても検討を行い、製作に必要な設計図面、仕様書の作成を行った。

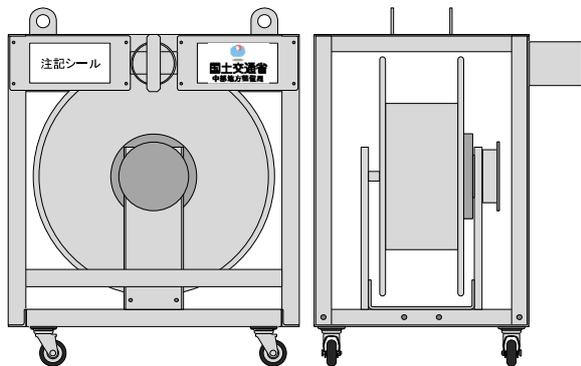


図-5 ケーブルリール姿図 (参考図)

b) 接続盤の検討

前述の電源供給構成を満足する接続盤の仕様について、下記の2案を比較検討した結果、本業務では、盤数が少なく機器構成を簡素化できる、案Bを採用することとした。

- ・案A：排水ポンプ車搭載の発電機電圧440Vを220Vにする変圧器を別置きとする
- ・案B：排水ポンプ車搭載の発電機電圧440Vを220Vにする変圧器を接続盤に搭載する

なお、案Bを採用したことにより、案Aと比較して接続盤の重量が重くなることから、接続盤の構造については、倉庫等の保管場所から搬出する際や現地にて移動する際はハンドリフトを使用することを想定し、ハンドリフトで移動可能な構造とした。

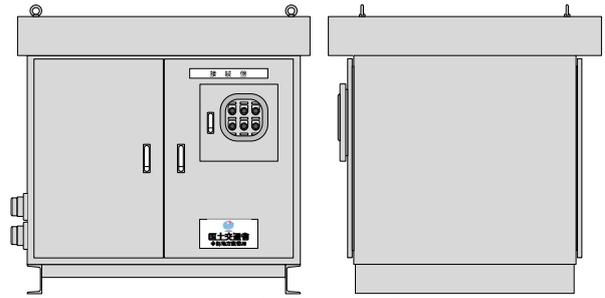


図-6 接続盤姿図 (参考図)

c) 端子箱の検討

接続盤から敷設したケーブルと接続先の分電盤との取合いを確保するため、本業務では、端子箱を設けるものとした。端子箱の構造については、盤内に端子台を設けた簡易の箱とし、運搬・仮設を容易に行えるよう、キャスター付の架台に端子箱を取り付ける構造とした。

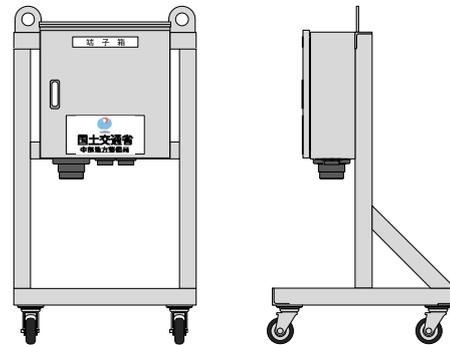


図-7 端子箱姿図 (参考図)

5. 保安機材の検討

移動電源設備の活用検討と合わせて、移動電源設備を設営する際に必要となる保安機材についても検討を行った。保安機材としては、照明車や排水ポンプ車（災害対策用機械）、接続盤の設営場所周辺における安全確保のために必要なガードフェンスや、接続盤から接続先までの間に敷設する電源ケーブルの保護に必要なケーブル保護材、接続盤養生のための敷板等が挙げられる。

表-4 主な保安機材

保安機材	規格等	数 量	
		照明車	排水ポンプ車
プラスチックフェンス	・使用用途：災害対策用機械等の周辺の安全対策用 ・参考寸法：幅1,000×高さ1,180mm ・参考重量：4kg（1枚当たり） ・材 質：ポリプロピレン製	32枚	36枚
フェンス用ブロック	・使用用途：プラスチックフェンスの土台 ・参考寸法：幅290×縦140×高さ90mm ・参考重量：10kg（1個当たり） ・材 質：鋳鉄	32個	36個
目隠しシート	・使用用途：現場の目隠し用 ・参考寸法：幅920×高さ670mm ・材 質：ターポリン製 ・国土交通省のシンボルマーク及び中部地方整備局の名称を印刷 ・ハトメ加工あり ・縛り紐付	32枚	36枚
養生用敷板	・使用用途：接続盤の養生用 ・圧縮特性：255kgf/cm ² ・参考寸法：幅910×長さ1,820mm×厚10mm ・参考重量：15kg（1枚当たり） ・材 質：再生ポリエチレン樹脂製 ・表面処理：シボ加工。（裏面はフラット） ・平指を2辺付	2枚	2枚
ケーブル保護材	・使用用途：電源ケーブルの保護 ・対応車両：50t車 ・参考寸法：長さ900mm×幅500mm×高さ75mm ・溝サイズ：幅65mm×高さ55mm ・溝 数：3 ・参考重量：12.7kg（1個当たり） ・材 質：高密度ポリウレタンパーজন材（高PVC）	50個	50

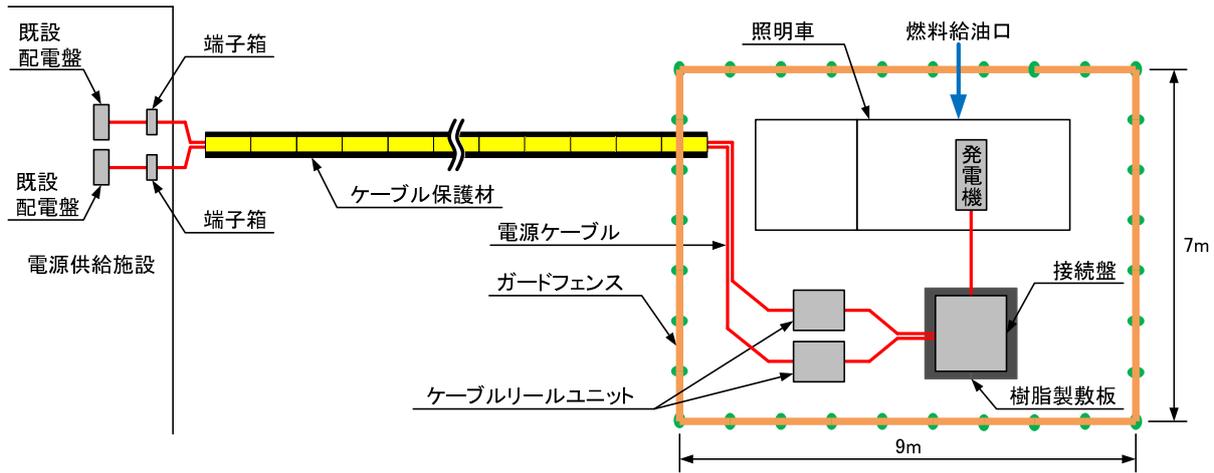


図-8 移動電源設備及び保安機材の配置例

6. 移動電源設備活用マニュアルの作成

7. 成果と今後の課題

災害時等において移動電源設備を円滑に運用するため、本業務の検討結果及び電気事業法等の法令の確認結果に基づき、作業概要や連絡体制、作業チェックリスト、作業判断フロー等の必要事項を整理し、活用マニュアルの作成を行った。

移動電源設備の活用に関する検討結果と今後の課題について、以下に示す。

- ① 自然災害発生等による停電下においても、迅速かつ安全に発電機の出力端子から電源供給が行えるよう、接続盤と端子箱を介して発電機と負荷を接続させる機器構成を決定した。
- ② 接続先負荷条件については、経済産業省委託事業の報告結果を参考に、施設規模別に設定した。
- ③ 重量のある接続盤等については、運搬や仮設時の取り回しに配慮し、アイボルトやキャスターの採用、市販のハンドリフト等の利用を想定した構造とした。
- ④ 電源ケーブルはサイズを統一することにより、非常時における現場での選定作業を不要とした。
- ⑤ 活用マニュアルの内容は、運用後は現場からの意見を参考に改訂することが重要である。
- ⑥ 保安機材の配置や数量については、実際の運用に合わせて、適宜、見直しが必要である。

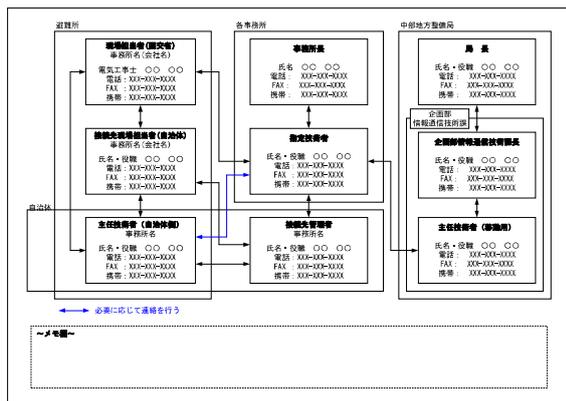


図-9 移動電源設備活用事連絡体制

品名	単位	必要数	備註	備考	参考価格	納入先	備考
【電源設備】							
移動電源設備	1台	1	1000×1000×1000				
接続盤	1台	1	1000×1000×1000				
端子箱	1台	1	1000×1000×1000				
ケーブルリールユニット	1台	1	1000×1000×1000				
ケーブル保護材	1巻	1	1000×1000×1000				
ガードフェンス	1巻	1	1000×1000×1000				
樹脂製敷板	1枚	1	1000×1000×1000				
照明車	1台	1	1000×1000×1000				
燃料給油口	1台	1	1000×1000×1000				
発電機	1台	1	1000×1000×1000				
接続盤	1台	1	1000×1000×1000				
端子箱	1台	1	1000×1000×1000				
ケーブルリールユニット	1台	1	1000×1000×1000				
ケーブル保護材	1巻	1	1000×1000×1000				
ガードフェンス	1巻	1	1000×1000×1000				
樹脂製敷板	1枚	1	1000×1000×1000				
照明車	1台	1	1000×1000×1000				
燃料給油口	1台	1	1000×1000×1000				
発電機	1台	1	1000×1000×1000				
接続盤	1台	1	1000×1000×1000				
端子箱	1台	1	1000×1000×1000				
ケーブルリールユニット	1台	1	1000×1000×1000				
ケーブル保護材	1巻	1	1000×1000×1000				
ガードフェンス	1巻	1	1000×1000×1000				
樹脂製敷板	1枚	1	1000×1000×1000				
照明車	1台	1	1000×1000×1000				
燃料給油口	1台	1	1000×1000×1000				
発電機	1台	1	1000×1000×1000				
接続盤	1台	1	1000×1000×1000				
端子箱	1台	1	1000×1000×1000				
ケーブルリールユニット	1台	1	1000×1000×1000				
ケーブル保護材	1巻	1	1000×1000×1000				
ガードフェンス	1巻	1	1000×1000×1000				
樹脂製敷板	1枚	1	1000×1000×1000				
照明車	1台	1	1000×1000×1000				
燃料給油口	1台	1	1000×1000×1000				
発電機	1台	1	1000×1000×1000				
接続盤	1台	1	1000×1000×1000				
端子箱	1台	1	1000×1000×1000				
ケーブルリールユニット	1台	1	1000×1000×1000				
ケーブル保護材	1巻	1	1000×1000×1000				
ガードフェンス	1巻	1	1000×1000×1000				
樹脂製敷板	1枚	1	1000×1000×1000				
照明車	1台	1	1000×1000×1000				
燃料給油口	1台	1	1000×1000×1000				
発電機	1台	1	1000×1000×1000				
接続盤	1台	1	1000×1000×1000				
端子箱	1台	1	1000×1000×1000				
ケーブルリールユニット	1台	1	1000×1000×1000				
ケーブル保護材	1巻	1	1000×1000×1000				
ガードフェンス	1巻	1	1000×1000×1000				
樹脂製敷板	1枚	1	1000×1000×1000				
照明車	1台	1	1000×1000×1000				
燃料給油口	1台	1	1000×1000×1000				
発電機	1台	1	1000×1000×1000				
接続盤	1台	1	1000×1000×1000				
端子箱	1台	1	1000×1000×1000				
ケーブルリールユニット	1台	1	1000×1000×1000				
ケーブル保護材	1巻	1	1000×1000×1000				
ガードフェンス	1巻	1	1000×1000×1000				
樹脂製敷板	1枚	1	1000×1000×1000				
照明車	1台	1	1000×1000×1000				
燃料給油口	1台	1	1000×1000×1000				
発電機	1台	1	1000×1000×1000				
接続盤	1台	1	1000×1000×1000				
端子箱	1台	1	1000×1000×1000				
ケーブルリールユニット	1台	1	1000×1000×1000				
ケーブル保護材	1巻	1	1000×1000×1000				
ガードフェンス	1巻	1	1000×1000×1000				
樹脂製敷板	1枚	1	1000×1000×1000				
照明車	1台	1	1000×1000×1000				
燃料給油口	1台	1	1000×1000×1000				
発電機	1台	1	1000×1000×1000				
接続盤	1台	1	1000×1000×1000				
端子箱	1台	1	1000×1000×1000				
ケーブルリールユニット	1台	1	1000×1000×1000				
ケーブル保護材	1巻	1	1000×1000×1000				
ガードフェンス	1巻	1	1000×1000×1000				
樹脂製敷板	1枚	1	1000×1000×1000				
照明車	1台	1	1000×1000×1000				
燃料給油口	1台	1	1000×1000×1000				
発電機	1台	1	1000×1000×1000				
接続盤	1台	1	1000×1000×1000				
端子箱	1台	1	1000×1000×1000				
ケーブルリールユニット	1台	1	1000×1000×1000				
ケーブル保護材	1巻	1	1000×1000×1000				
ガードフェンス	1巻	1	1000×1000×1000				
樹脂製敷板	1枚	1	1000×1000×1000				
照明車	1台	1	1000×1000×1000				
燃料給油口	1台	1	1000×1000×1000				
発電機	1台	1	1000×1000×1000				
接続盤	1台	1	1000×1000×1000				
端子箱	1台	1	1000×1000×1000				
ケーブルリールユニット	1台	1	1000×1000×1000				
ケーブル保護材	1巻	1	1000×1000×1000				
ガードフェンス	1巻	1	1000×1000×1000				
樹脂製敷板	1枚	1	1000×1000×1000				
照明車	1台	1	1000×1000×1000				
燃料給油口	1台	1	1000×1000×1000				
発電機	1台	1	1000×1000×1000				
接続盤	1台	1	1000×1000×1000				
端子箱	1台	1	1000×1000×1000				
ケーブルリールユニット	1台	1	1000×1000×1000				
ケーブル保護材	1巻	1	1000×1000×1000				
ガードフェンス	1巻	1	1000×1000×1000				
樹脂製敷板	1枚	1	1000×1000×1000				
照明車	1台	1	1000×1000×1000				
燃料給油口	1台	1	1000×1000×1000				
発電機	1台	1	1000×1000×1000				
接続盤	1台	1	1000×1000×1000				
端子箱	1台	1	1000×1000×1000				
ケーブルリールユニット	1台	1	1000×1000×1000				
ケーブル保護材	1巻	1	1000×1000×1000				
ガードフェンス	1巻	1	1000×1000×1000				
樹脂製敷板	1枚	1	1000×1000×1000				
照明車	1台	1	1000×1000×1000				
燃料給油口	1台	1	1000×1000×1000				
発電機	1台	1	1000×1000×1000				
接続盤	1台	1	1000×1000×1000				
端子箱	1台	1	1000×1000×1000				
ケーブルリールユニット	1台	1	1000×1000×1000				
ケーブル保護材	1巻	1	1000×1000×1000				
ガードフェンス	1巻	1	1000×1000×1000				
樹脂製敷板	1枚	1	1000×1000×1000				
照明車	1台	1	1000×1000×1000				
燃料給油口	1台	1	1000×1000×1000				
発電機	1台	1	1000×1000×1000				
接続盤	1台	1	1000×1000×1000				
端子箱	1台	1	1000×1000×1000				
ケーブルリールユニット	1台	1	1000×1000×1000				
ケーブル保護材	1巻	1	1000×1000×1000				
ガードフェンス	1巻	1	1000×1000×1000				
樹脂製敷板	1枚	1	1000×1000×1000				
照明車	1台	1	1000×1000×1000				
燃料給油口	1台	1	1000×1000×1000				
発電機	1台	1	1000×1000×1000				
接続盤	1台	1	1000×1000×1000				
端子箱	1台	1	1000×1000×1000				
ケーブルリールユニット	1台	1	1000×1000×1000				
ケーブル保護材	1巻	1	1000×1000×1000				
ガードフェンス	1巻	1	1000×1000×1000				
樹脂製敷板	1枚	1	1000×1000×1000				
照明車	1台	1	1000×1000×1000				
燃料給油口	1台	1	1000×1000×1000				
発電機	1台	1	1000×1000×1000				
接続盤	1台	1	1000×1000×1000				
端子箱	1台	1	1000×1000×1000				
ケーブルリールユニット	1台	1	1000×1000×1000				
ケーブル保護材	1巻	1	1000×1000×1000				
ガードフェンス	1巻	1	1000×1000×1000				
樹脂製敷板	1枚	1	1000×1000×1000				
照明車	1台	1	1000×1000×1000				
燃料給油口	1台	1	1000×1000×1000				
発電機	1台	1	1000×1000×1000				
接続盤	1台	1	1000×1000×1000				
端子箱	1台	1	1000×1000×1000				
ケーブルリールユニット	1台	1	1000×1000×1000				
ケーブル保護材	1巻	1	1000×1000×1000				
ガードフェンス	1巻	1	1000×1000×1000				
樹脂製敷板	1枚	1					

積雪寒冷地における無電柱化区間の検討

なかむらみさ ふじたたけひと いちはしひろゆき かりやけいすけ
中村美沙¹・藤田健仁¹・市橋弘行¹・荻谷佳祐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）

検討箇所は積雪の多い寒冷な地域である。検討箇所となる国道は、迂回路のない主要幹線道路兼生活道路として機能している。現況の歩道幅員は約3.0mである。電線共同溝のための地上機器を設置した場合、用地制約より歩道拡幅が困難であるため、歩道有効幅員は約1.2m狭くなる。加えて、冬期には除雪作業の支障となることが懸念される。

本業務では、無電柱化区間の冬期歩行者通行幅の確保と電線共同溝の地上機器の維持管理の効率化のため、無電柱化整備と合わせ、除雪対応として、消融雪施設の検討を行ったものである。

Key Words：無電柱化，無雪化，冬期の安全確保，電線共同溝，冬期維持管理の効率化，無散水融雪施設，電熱方式

1. はじめに

(1) 検討概要

検討箇所の国道は、重要度の高い防災ネットワークとして無電柱化の最優先区間に位置付けられ、無電柱化の早期整備が求められている。

検討箇所は積雪寒冷地に位置する。気象極値は、月最深積雪128cm（1981年1月8日）、日最低気温-25.5℃（1939年2月11日）にも及ぶ過酷な気象条件であり、冬期には維持管理のため、人力及び機械での除雪や凍結防止剤散布作業を実施している。加えて、降雪量や気温などの気象状況によっては、路面が凍結し、歩行者が通行するための安全な路面を確保できない場合がある。

本検討では、冬期の無電柱化整備区間における安全で円滑な歩行者の通行幅及び電線共同溝地上機器を維持管理する際の電線共同溝管理幅を確保するために検討した消融雪施設を紹介する。

(2) 検討箇所

検討箇所は、一般国道と市役所、病院などの市内防災拠点を結ぶ交差点である。歩道部分（A=360m²）を対象とし、消融雪施設の検討を実施した（図-1）。

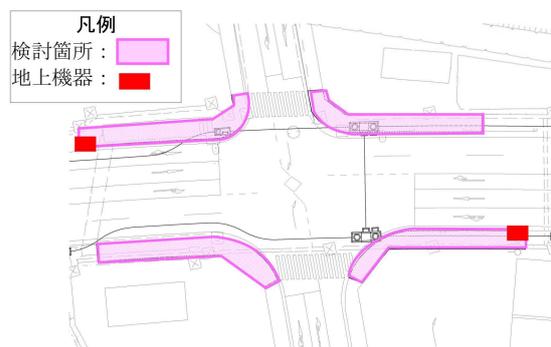


図-1 検討箇所平面図

(3) 積雪寒冷地の整備済電線共同溝の冬期の状況

検討箇所付近となる県道では、無電柱化事業が既に進められている。交差点付近では、地上機器まわりに除雪した雪が堆雪している（図-2）。そのため、歩道通行幅が狭小になり、地上機器の維持管理性にも問題がある状況が確認できる。



図-2 地上機器まわりに堆雪した歩道

2. 課題

(1) 冬期の路面管理を効率的に行うための課題

近年、除雪作業員の高齢化に伴うオペレーターの確保や除雪機械の確保等が課題となっている。また、低気圧の影響で積雪が増加するなど、気象急変が多く発生し、初動作業の遅れや、維持管理作業の効率化が課題となっている。

(2) 歩道利用者の安全確保の課題

標準部の歩道幅員は約3.0mである。電線共同溝整備に伴い、地上機器設置位置では歩道有効幅員が約1.2m縮小する。加えて、冬期には除雪時、約1.0mの歩道幅しか確保できないため、冬期の歩行者の安全で円滑な通行確保が課題となっている（図-3）。

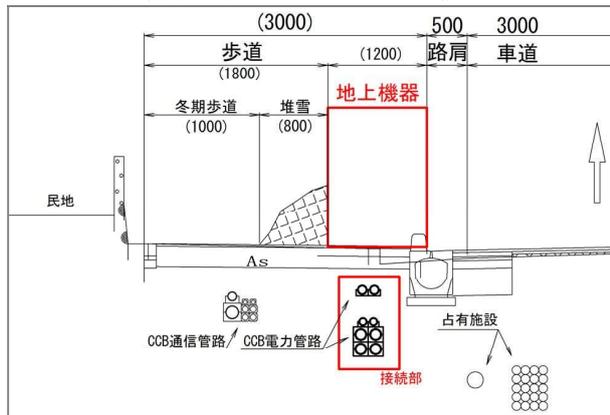


図-3 地上機器設置断面図

(3) 冬期の電線共同溝設備の管理上の課題

地上機器では、地上機器扉の開閉スペース、地上機器内の維持管理作業スペースなどが必要である。冬期の積雪時は、地上機器の維持・点検作業に必要な電線共同溝管理幅の確保が課題となっている。

3. 消融雪施設の検討

(1) 検討方針

検討箇所は、用地制約により歩道拡幅が困難である。そのため、現況歩道幅内での従来の機械除雪は、冬期通行幅が約1.0mと狭小であり、歩道利用者の通行や堆雪による地上機器の維持管理も十分でないと考えられたため、消融雪施設による無雪化を検討した。

(2) 消融雪施設の必要性

一般的な消融雪施設には、①散水施設と②無散水施設が存在するが、①散水施設は、地盤沈下の恐れや寒冷な地域では路面凍結のおそれがあるため、②無散水施設を対象に検討した（図-4）。

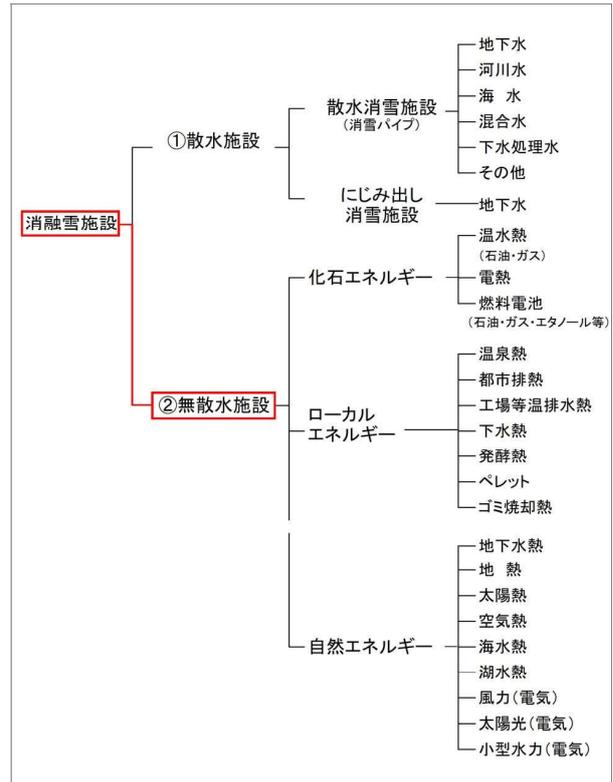


図-4 無散水融雪施設の位置づけ¹⁾

(3) 気象条件

気象条件は、気象庁観測値より2011～2020年の10年間（12～3月）を対象に降雪、気温、風速について整理した。

降雪深は10年間の降雪深さの平均値を採用した。気温は、冬期間で最も気温の低い2月の日最低気温の平均値を採用した。風速は気温を採用した2月の平均風速を採用した。

気象条件を下記に示す。

- ①平均日降雪深：Hm=6.1cm/日
(=2,496cm/410日) (表-1)
- ②気温：Ta=-4.6℃
(10年間の2月の最低気温の平均値)
- ③風速：u=1.6m/sec
(10年間の2月の平均風速)

表-1 平均日降雪深一覧表

年度	累計降雪深さ (cm)	降雪日数 (日)
2011	326	57
2012	349	53
2013	286	48
2014	488	65
2015	103	17
2016	265	37
2017	235	34
2018	141	37
2019	86	23
2020	217	39
合計	2,496	410

(4) 必要熱量の算定

必要熱量は、融雪または凍結防止に必要な熱量の大きい熱量を単位面積当たりの必要熱量とした。

尚、凍結防止に必要な熱量は、降雪日の8割を融雪するために必要な路面サービズ水準とした。

融雪に必要な熱量 : $q1=127.37$ (W/m²)¹⁾

凍結防止に必要な熱量 : $q2=102.72$ (W/m²)¹⁾

$q1=127.37$ (W/m²) > $q2=102.72$ (W/m²) のため、必要熱量は、 $q=127.37$ (W/m²) である。

(5) 熱源の検討

無散水融雪施設に利用されている熱源はその性質上から自然エネルギー、ローカルエネルギー、化石エネルギーに分類される。

a) 自然エネルギー: 計画地周辺の自然エネルギー

b) ローカルエネルギー: 都市排熱等二次的に発生したエネルギー

c) 化石エネルギー: 化石燃料を主体としたエネルギー

検討箇所では、自然エネルギー（地中熱、地下水、空気）、化石エネルギー（電気）が利用可能となっているが、局所的な範囲を確実に無雪化するため、安定的な熱源の確保が求められている。利用可能な熱源の絞り込みを行った結果を表-2に示す。

4. 無散水融雪施設の検討

検討箇所に最適となる無散水融雪施設を、①経済性、②環境への影響、③信頼性、④維持管理性、⑤現地適用性、⑥関連設備との整合性等の観点から比較検討を行った。表-3に無散水融雪施設の検討結果を示す。検討箇所が小規模であるため、4案の電熱方式が最も経済性に優れ、総合的に優位となった。

各案の主な考察は下記のとおりである。

<1案：地中熱ヒートパイプ方式>

①経済性：ヒートパイプは地温と路温の温度差で放熱するため、寒冷地域では高コストとなる。

③信頼性：長時間運転が続くと、採熱により地盤内の地温低下が懸念され、融雪効果が一時的に低下する可能性がある。

⑤現地適用性：採熱孔（地中に熱を送るための穴）は多数必要となるため、電線共同溝や既設埋設物との取り合いに注意が必要である。

<2案：地下水直接通水還元方式>

①経済性：検討箇所は地下水が深い位置にあると予想される。井戸が深くなると不経済となる。

⑤現地適用性：地元の地下水に関する条例の確認が必要である。

⑥関連設備との整合性：井戸や制御盤は歩道内に設置するため、既設埋設物や関連設備との取り合いに注意が必要である。

<3案：空気熱源式ヒートポンプ方式>

④維持管理性：定期点検は専門知識有する技術者が必要である。

⑤現地適用性：空気ファンの音が発生するため、必要に応じ防音対策が必要である。

⑥関連設備との整合性：各種ヒートポンプ設備や管理スペース等の確保が必要である。

<4案：電熱方式>：採用

①経済性：運転方法によってはランニングコスト（電気料金）が高価となるため、運転制御方法の検討が必要である。

④維持管理性：機械等の設備はなく電気系統のみのため維持管理性は容易である。

⑥関連設備との整合性：受電方法、受電地点は電力会社と協議が必要である。

表-2 主な熱源区分と利用可能な消融雪工法

熱源区分		主な無散水工法	計画地における利用の可能性	可否
自然 エネルギー	地下水熱	地下水直接通水還元方式	地下水取水の可能性はある。	○
	トンネル湧水熱	トンネル湧水熱交換方式	熱源の確保は望めない。	×
		トンネル湧水熱ヒートポンプ方式	熱源の確保は望めない。	×
	地中熱	地中熱ヒートパイプ	利用可能性あり。	○
	太陽熱	浅層蓄熱方式	蓄熱土量スペース(約 6200m ³)の確保が困難。融雪能力に劣る。	×
	太陽光	太陽光発電方式	太陽電池での広い設置スペース(約 190m ²)が必要。確保が困難。	×
	空気熱	空気熱源ヒートポンプ方式	利用可能である。	○
	海水熱	海水熱源ヒートポンプ方式	海水取水は望めない。	×
ローカル エネルギー	風力	風力発電方式	風速 1.6m/sec と弱く不適である。	×
	温泉熱	温泉熱交換方式	熱源の確保は望めない。	×
	工場等の 温排水熱	熱交換方式	熱源の確保は望めない。	×
化石 エネルギー	灯油	油焚き温水発生器方式	地下オイルタンク等の設置スペースが確保できない。	×
	ガス	ガス焚き温水発生器方式	都市ガスが整備されていない。	×
	電気	電熱方式	利用可能である。	○

表-3 無散水融雪施設比較表

方式	1案: 地中熱ヒートパイプ方式	2案: 地下水直接通水還元方式
熱源	地中熱(12°C)	地下水熱(水温 12°C、水量 240ℓ/min)
システム系統図 (360m ²)	<p>採熱孔: φ100 x 15~20m x 200 孔(60cm ピッチ)</p>	<p>取水・還元井戸: φ250 x 50m(仮) x 2 本</p>
概要	15m~20m の採熱孔から地中熱を採熱し融雪・凍結防止を行う。自然エネルギーのみを利用方式。	井戸より地下水をポンプにて汲上げ、直接循環し融雪・凍結防止を行う。融雪後、地下水を還元する。
特徴・留意点	△インシヤルコストが高価である。 △多数の採熱孔が必要。既設管路等注意必要。	△還元井のストレーナの目詰まり要注意 △気温低下の場合、管内凍結に要注意。
①経済性 (20年コスト)	最も高価である(2.46)	▲ 4案とほぼ同程度(1.00)
②環境への影響	自然エネルギー100%(運転費不要)	◎ 影響小
③信頼性	採熱温度により融雪能力が低下する	△ 地下水条件により融雪能力が低下する
④維持管理性	メンテナンスフリー	◎ 水質により劣化が早まる可能性がある
⑤現地適用性	採熱孔は多数必要となるため、電線共同溝や既設埋設物との取り扱いに注意が必要である	○ 地元の地下水に関する条例の確認が必要である
⑥関連設備との整合性	井戸や制御盤は歩道内に設置するため、既設埋設物や関連設備との取り扱いに注意が必要	▲ 井戸や制御盤は歩道内に設置するため、既設埋設物や関連設備との取り扱いに注意が必要
総評・課題	△インシヤルコストが高い	△信頼・維持管理に劣る。地下水保全条例要確認
方式	3案: 空気熱ヒートポンプ方式	4案: 電熱方式
熱源	空気熱(+電気)	電気
システム系統図 (360m ²)	<p>ヒートポンプ: 50kW 級 x 2 基(低圧設備)</p>	<p>ヒーティングユニット: 360m²(低圧 x 4 箇所)</p>
概要	空気熱ヒートポンプを用い融雪する[冷蔵庫の逆の原理]。	従来の電熱線工法。舗装版に埋設した発熱線ユニットに通電し融雪する。
特徴・留意点	△ヒートポンプ屋外配置(設備ヤードが必要) △ファンの音対策として防音パネルを考慮	○制御盤は屋外配置(歩車道境界) △ランニングコストが高価である
①経済性 (20年コスト)	やや高価である(1.57)	△ 最も安価である(1.00)
②環境への影響	影響中(ノンフロンタイプより環境に配慮)	△ 影響中(CO2 排出量がやや多い)
③信頼性	安定した融雪が期待できる	◎ 安定した融雪が期待できる
④維持管理性	定期点検は専門知識有する技術者が必要である	○ 比較的容易である
⑤現地適用性	空気ファンの音が発生するため、必要に応じ防音対策が必要である	△ 交差点部など小規模範囲を対象
⑥関連設備との整合性	各種ヒートポンプ設備や管理スペース等の確保のため追加用地が 20 m ² 程度必要	△ 受電方法 受電地点は電力会社と協議が必要 基本的には現況用地内で対応可能
総評・課題	○次善(大規模融雪に優位) 小規模融雪には不適。	16 ○採用 最も経済的で確実に融雪出来る
※工事費(諸経費込み)は概算費用である。(): 1m ² 当り工事費。点検運転費は維持費および電気料金 工事費の根拠は巻末参照。評価点は◎5点、○3点、△2点、▲1点とした。		

5. おわりに

今回、現地条件に適合した、無散水融雪施設を採用することで、確実に安定した冬期の路面の確保、通行幅の確保に加えて、地上機器の維持・点検作業に必要な電線共同溝管理幅を確保が可能となる。これより、無電柱化整備区間における冬期の歩道利用者の安全で円滑な交通確保や冬期の維持管理の効率化が提案できた。しかし、沿道の土地利用が変わる場合、容易に舗装の撤去ができないため、民地に電力や通信を供給するための先行管を準備する等、関係者と将来的な担保について十分調整する必要がある。

今後、消融雪施設の広域整備により、市街地の連続した冬期の歩道利用者の安全で円滑な交通確保のほか、冬期の維持管理の効率化が高められ、より一層の効果が期待できる。

参考文献

- 1) 日本建設機械化協会：路面消・融雪施設設計要領，2008。
- 2) 日本道路協会：道路防雪便覧，1990。
- 3) 新潟県融雪技術協会：散水消雪施設設計施工維持管理マニュアル，2008。
- 4) 社会法人雪センター：冬期路面対策資料集，1991。
- 5) 社会法人雪センター：防雪対策施設事例集，2003。

設計段階におけるBIM/CIMモデルの課題と対策

○坂穂崇¹・山田章貴¹・杉山比呂志¹

¹ (株) テイコク本社 ICT推進室 (〒500-8856 岐阜市橋本町2-8)

BIM/CIMは、「測量・調査, 設計段階から3次元モデルを導入することにより, その後の施工, 維持管理・更新の各段階においても3次元モデルを連携・発展させて事業全体にわたる情報共有を容易にし, 一連の建設生産・管理システムの効率化・高度化を図るものである。」¹⁾ ているが, 現状は通常の設計に追加して3Dモデルを作成しているのみに留まり, 作成した3Dモデルの各段階での活用はあまりされていない。そこで, 地方自治体レベルでのBIM/CIMモデル作成の課題点を整理したうえで, その対策と現状の2次元図面から3Dモデルを作成する手法をとその利用方法を紹介する。

Key Words :BIM/CIM活用, 2次元図面, 3Dモデル, 3DCAD, 3Dモデル活用方針, TIN, スケルトン図

1. はじめに

国土交通省は, 2025年度のBIM/CIM原則化を2年前倒して「2023年までに小規模工事を除くすべての公共事業にBIM/CIMを原則適用」を決定した¹⁾。

BIM/CIMは、「測量・調査, 設計段階から3次元モデルを導入することにより, その後の施工, 維持管理・更新の各段階においても3次元モデルを連携・発展させて事業全体にわたる関係者間の情報共有を容易にし, 一連の建設生産・管理システムの効率化・高度化を図るものである。」と定義され²⁾, 建設生産・管理システムの部分最適化から全体最適化への移行を強調している。しかし, 設計段階で3Dモデルを適用するためには, 3次元測量(点群データの取得)が必要となってくるが, 取得した点群データが, 現況の地物(電柱や側溝などの小構造物)等を正確に表現できず, 設計に使用することができない等の問題点がある。図-1に平板測量より作成した現況平面と図-2に点群データから作成した現況平面(3Dモデル)を示す。



図-1 平板測量より作成した現況平面(2Dモデル)



図-2 点群データから作成した現況平面(3Dモデル)

そこで, 地方自治体レベルでのBIM/CIM活用業務の課題点を整理したうえで, その対策と現状の2次元図面から3Dモデルを作成する手法を提案する。

2. BIM/CIMの活用業務の課題点

地方自治体ではBIM/CIMの活用業務を少数ではあるが発注している。しかし, 通常的设计(2次元モデル)に追加して3Dモデルを作成しているのみで(図-3, 図-4参照), 作成した3Dモデルの各段階(施工段階, 維持管理段階)での活用はあまりされていない。また, BIM/CIMの活用を推進してきたが, 受発注者相互での共有化・実用化には課題点があり, 水平的な展開ができていないのが実情である。

BIM/CIM活用業務については以下の課題がある。

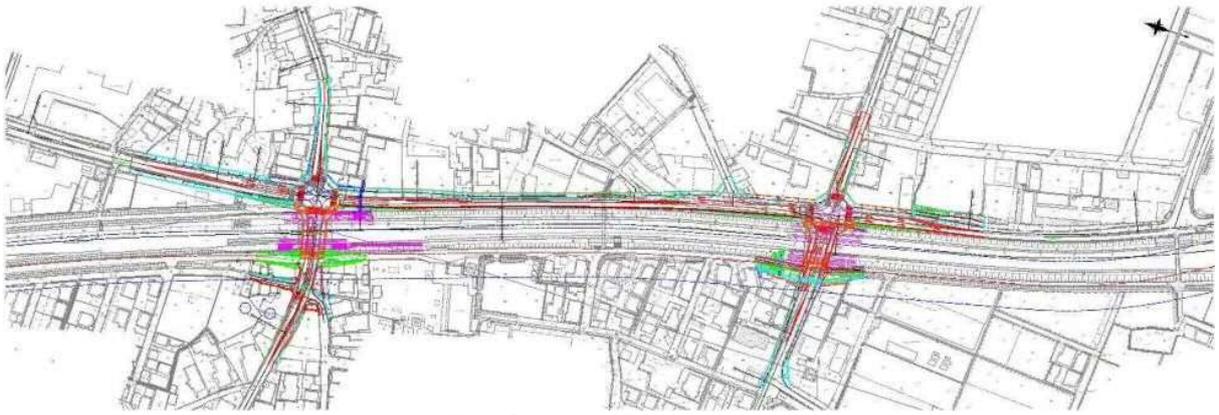


図-3 計画平面図(2次元モデル)

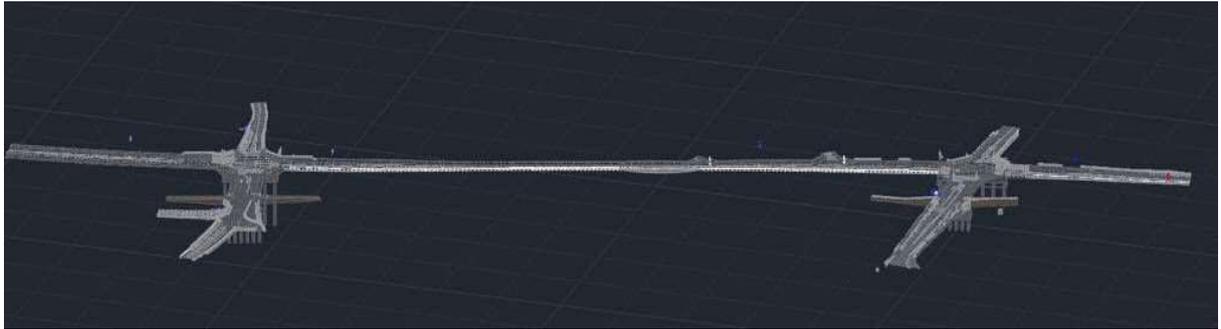


図-4 計画平面図(3次元モデル)

- (1) 国土交通省の通達には、BIM/CIMの活用方法が多様化しているため、実施方針(3Dモデルの活用方法)が明確に立案できない。
- (2) 作成した3Dモデルから施工が実施できない状態であるため、新規設計で作成する3Dモデルは地元説明用等への活用を主眼とし、リクワイヤメント(要求事項)のレベルを低く設定されている。
- (3) 点群データより作成する地形モデルは、TIN (Triangulated Irregular Network : 地表面や構造物等を三角形の集合体で表現する) データで表現される(図-5参照)ため、周辺状況や構造物の情報等の属性情報を持たない。よって、設計で必要となるコントロールポイント(構造物のエッジ、土地の境界等)は、地形モデルからは判別が困難であり、路線測量など補完測量が必要となる。

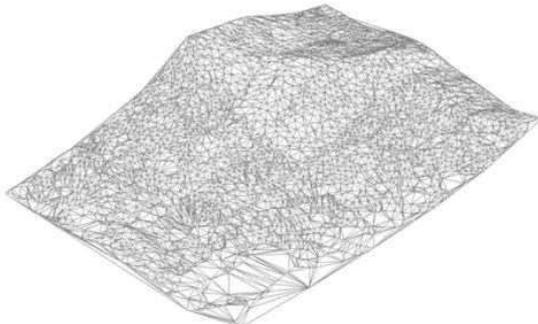


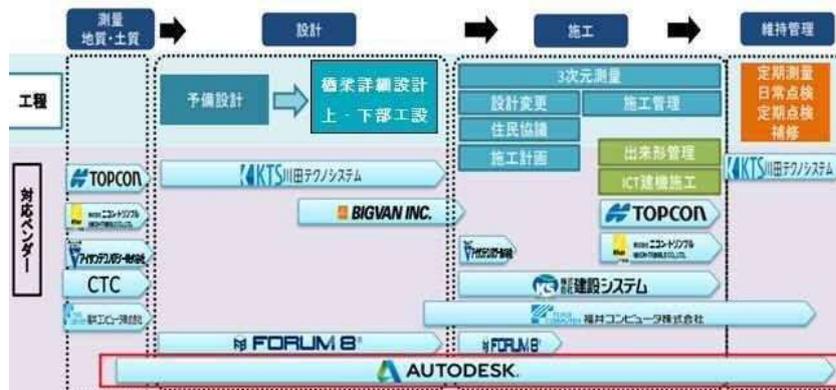
図-5 地形モデルの例

したがって、BIM/CIMを設計段階でより活用していくためには、作成した3Dモデル活用方針の確立と2次元図面より簡易的に3Dモデルを作成する手法が必要であると考えます。

3. 3Dモデル活用方針の提案

3Dモデル活用方針については以下のようなことが考えられる。

- (1) 近年中に詳細設計を実施・完了するものについては、3Dモデル作成のために点群データを取得することは、コスト縮減に逆行する。よって、既存の資料(2次元図面)からの3Dモデル作成が有効である。
- (2) 既設構造物等を3Dモデル化(3Dモデルによる復元設計)すれば、維持管理段階のデータ(BIM/CIM情報)として活用できるため、新設の詳細設計と異なり付加価値が生まれる。
- (3) 調査段階のBIM/CIMとして、点群データ単独ではなく平面測量+3Dモデル化(補足的な点群データ)を作成する。



(出典：Open CIM Forum(一社)OCF)

図-6 設計ソフトウェア

4. 2次元図面から3Dモデル作成

各構造物の設計を行う上では、図面作成、構造計算を行うソフトは多く存在するが、3Dモデル作成については川田テクノシステムのV-nasClair, Autodesk社のAutoCAD(Civil3D)2社に集約されており、図-6に示すように測量→設計→施工→維持管理の全工程に対応したソフトはAutodesk社のAutoCAD(Civil3D)のみである。

以降にAutoCAD(Civil3D)を用いた3Dモデル作成の手順を示す。

- STEP 1：道路設計成果(2次元)に基づき線形モデル(中心線形図から3次元の中心線及び横断面図を合成したスケルトン図を作成する。(図-7参照)
- STEP 2：現況平面図の標高および現地踏査結果より、現況3Dモデル(道路、側溝、宅盤、現況の住居等)を作成する。(図-8 参照)
- STEP 3：STEP 1で作成したスケルトン図より、計画の3Dモデルを作成する。(図-9 参照)
- STEP 4：計画地内にある橋梁等の大型構造物については、詳細図等より別途橋梁のモデル図を作成する。(図-10 参照)
- STEP 5：STEP 2～4で作成したモデルを統合する。(図-11 参照)



図-8 現況3Dモデル



図-9 計画3Dモデル



図-7 スケルトン図



図-10 橋梁モデル

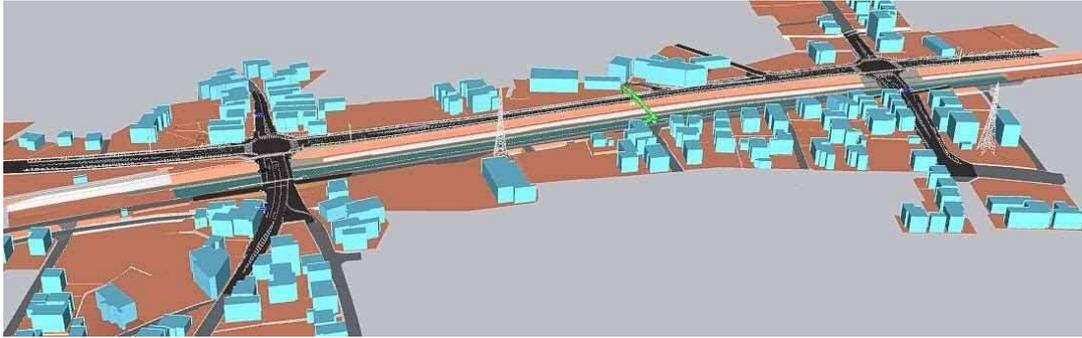


図-11 統合モデル

5. 地元説明用等への活用

CADソフトによって作成した3Dモデル(統合モデル)では、使用するソフトウェアの関係やデータ量が重すぎるため、発注者側のPCでは、自由に動かすことが困難であり、地元説明等に使用することは不可能である。そこで、どのようなPCでも使用可能な動画形式(MP4)に変換することで、容易に地元説明に利用することが可能となる。以下に、3Dモデルで作成した統合モデルのシームレス横断や計画擁壁と地盤までの高さを示した事例を示す。

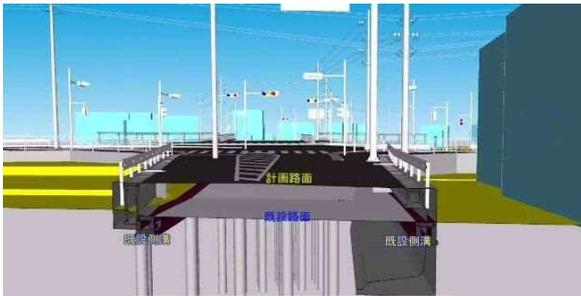


図-12 シームレス横断図

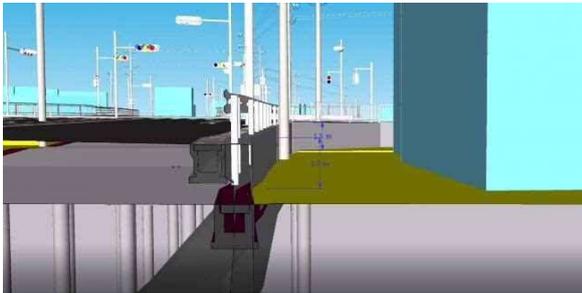


図-13 シームレス横断(現況地盤との高低差表示)

6. 今後の展望

CADソフトによって作成した3Dモデルと、動画データを組み合わせることで、地元説明用等へ利用が容易となる。また、2次元図面から3Dモデルを作成しているため、設計図面との不整合も生じていない。よって、完成時の出来高確認にも活用することが可能であると考えられる。また、橋梁等の掘削データや地層状況が分かる資料が分かる既存資料があれば、それを3Dモデル化し、掘削範囲や橋梁基礎(杭)の3次元の確認が可能であり、仮設時の2次元図面を3Dモデル化すれば、仮設時の支障物が容易に判別することが可能であると考えられる。(図-14、図-15参照)

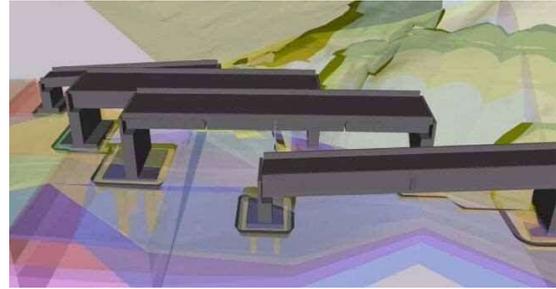


図-14 橋脚部の地層モデル

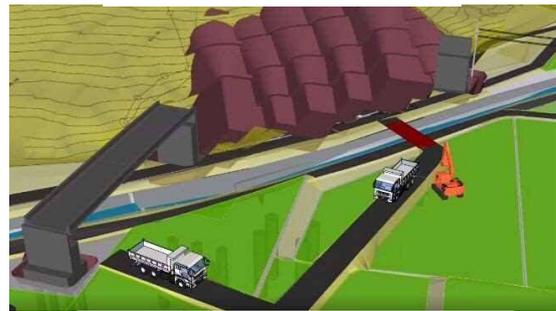


図-15 橋梁部の仮設計画3Dモデル

7. まとめ

国土交通省が2023年までにおこなう「公共事業にBIM/CIMを原則適用」について、地方自治体レベルでBIM/CIMを活用する場合の課題点を整理し、2次元図面から3Dモデルを構築する手法とその活用方法についてまとめた。現段階では国が要求するような施工直結で利用可能なBIM/CIM成果の作成は課題が多いが、地元説明等には活用することができると考えられる。

今後は、図-14、15に示したような土工・地質等の3Dモデル作成や仮設計画の3Dモデル化を行い、設計段階での3次元の照査を行うことが可能であると考えられる。

参考文献

- 1) 第7回 BIM/CIM推進委員会 資料2-1 R4年2月21日 国土交通省 大臣官房 技術調査課
- 2) BIM/CIM 活用ガイドライン(案) R4年3月 国土交通省 大臣官房 技術調査課

太平洋岸自転車道の安全点検について

○杉村 清紀¹・山田 邦博¹・久坂 直樹¹・田中 敦規²

¹パシフィックコンサルタンツ株式会社 中部支社（〒451-0045 愛知県名古屋市中区名駅一丁目1番17号）

²中部地方整備局 静岡国道事務所 管理第二課（〒420-0054 静岡県静岡市葵区南安倍2丁目8番1号）

太平洋岸自転車道は、千葉県銚子市から神奈川県、静岡県、愛知県、三重県、和歌山県和歌山市に至る約1,487kmの自転車道であり、令和3年5月に「ナショナルサイクルルート」に指定された。ナショナルサイクルルートは、走行環境など一定の指定要件を満たすルートであり、継続的な評価が必要なことから、統一的な点検等の考え方を「安全点検の手引き（案）」として整理することを目的に、当管内における太平洋岸自転車道の安全点検検討会を設立した。本稿では、継続的な評価に係る課題を踏まえ、実走による安全点検の方法とその評価、今後の目指すべき展開について報告する。

Key Words : 太平洋岸自転車道, ナショナルサイクルルート, 安全点検

1. はじめに

自転車を通じて優れた観光資源を有機的に連携するサイクルツーリズムの推進により、日本における新たな観光価値を創造し、地域の創生を図るため、令和元年に「ナショナルサイクルルート（以下、NCR）」制度が創設された。「太平洋岸自転車道」は、世界遺産である富士山をはじめ、日本を代表する観光地・景勝地が多数存在するルートであり、令和3年5月にNCRに指定された（図1）。



図1 太平洋岸自転車道

NCRは、ルート設定・走行環境・受入環境・情報発信・取組体制の観点から『NCRの指定要件』を設定している（表1）。

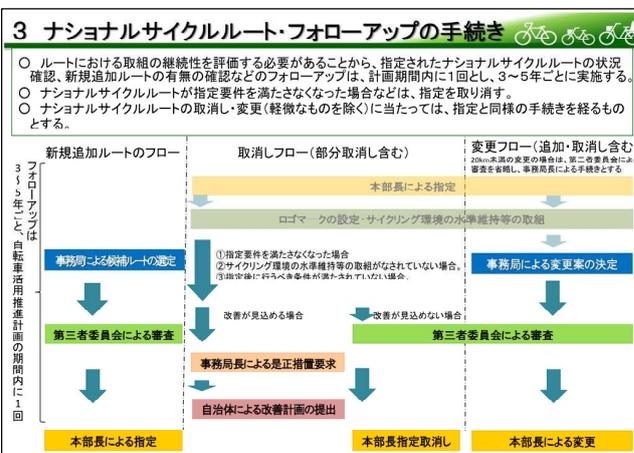
また、ルートにおける取組の継続性を評価する必要があることから、指定されたNCRの状況確認などのフォローアップは、3～5年ごとに実施するものとされている（図2）。

NCR指定要件を満たさなくなった場合は、指定を取り消される場合もある。

表1 NCR 指定要件

観点	指定要件
1. ルート設定	① サイクルツーリズムの推進に資する魅力的で安全なルートであること
2. 走行環境	① 誰もが安全・快適に走行できる環境を備えていること
	② 誰もが迷わず安心して走行できる環境を備えていること
3. 受入環境	① 多様な交通手段に対応したゲートウェイが整備されていること
	② いつでも休憩できる環境を備えていること
	③ ルート沿いに自転車を運搬しながら移動可能な環境を備えていること
	④ サイクリストが安心して宿泊可能な環境を備えていること
	⑤ 地域の魅力を満喫でき、地域振興にも寄与する環境を備えていること
	⑥ 自転車のトラブルに対応できる環境を備えていること
	⑦ 緊急時のサポートが得られる環境を備えていること
4. 情報発信	① 誰もがどこでも容易に情報が得られる環境を備えていること
5. 取組体制	① 官民連携によるサイクリング環境の水準維持等に必要な取組体制が確立されていること

出典:ナショナルサイクルルート制度(国土交通省 自転車活用推進本部)



出典:ナショナルサイクルルート制度(国土交通省 自転車活用推進本部)

図2 ナショナルサイクルルート・フォローアップの手続き

2. 継続的な評価に係る課題

道路管理者としては、NCR指定要件のうち、「2. 走行環境」の観点として『①誰もが安全・快適に走行できる環境を備えていること』、『②誰もが迷わず安心して走行できる環境を備えていること』の走行環境に係るフォローアップが求められる。しかし、太平洋岸自転車道のルートは、複数の道路管理者（国・県・市）がいるため、統一的な点検等の考え方が確立されていないことが課題である。

3. 課題に対する解決策

(1) 太平洋岸自転車道の安全点検検討会の設立

以上の状況を踏まえ、『NCRの指定要件』のうち「走行環境」に係る点検実施方法を評価し、統一的な点検等の考え方を「安全点検の手引き（案）」として整理することを目的として、「太平洋岸自転車道の安全点検検討会」を設立した。

「太平洋岸自転車道の安全点検検討会」は、沿線自治体の道路管理者や自転車関連推進部局、警察のほか、自転車への造詣が深い地域関係者（サイクリスト）や学識経験者で組織した。

令和3年度は当管内のうち、興津川～道の駅「富士」間（L=約15km）を対象として安全点検を実施した。

令和3年度における「太平洋岸自転車道の安全点検検討会」の取り組み内容を以下に示す（図3）。

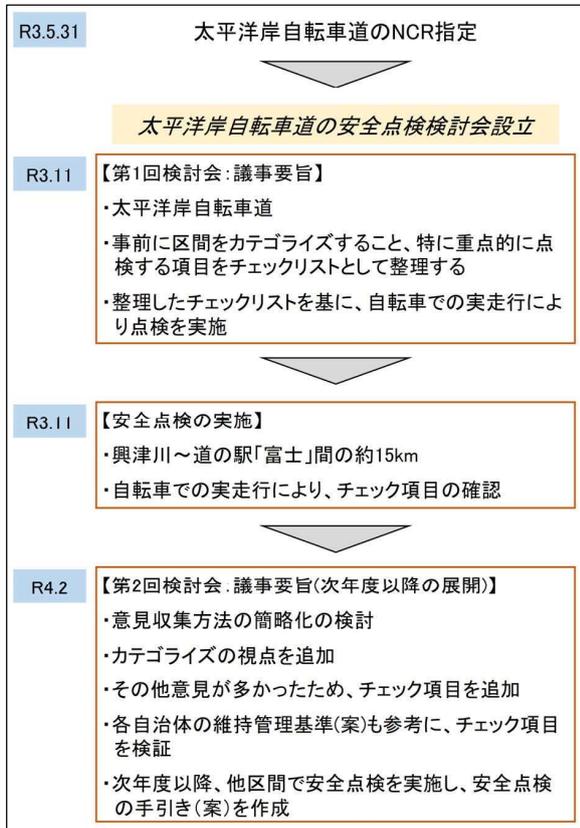


図3 令和3年度の取組内容

(2) 安全点検実施方法の検討

a) 点検区間のカテゴライズ

今回の安全点検の対象区間は、自転車道の整備形態・沿道状況等がエリアによって異なっている。そのため、安全点検時に重点的にチェックすべき項目の絞り込みを行い、ルートの特性（走行空間の形態、沿道の利用状況等）を踏まえて、事前に区間を走行し4つの区間にカテゴライズした（図4）。



図4 点検区間のカテゴライズ

b) チェックリストの作成

「NCR指定要件」及び「国が管理する一般国道及び高速自動車国道の維持管理基準（案）」等に基づき、以下の表の通りチェックリストを作成した（表2）。

a)でカテゴライズした区間ごとに、特に重点的に確認する項目、確認不要の項目を整理した。

表2 チェックリスト

種別	チェック項目	ルートのカテゴリー			
		A 興津川 ～ 潮吹園	B 潮吹園 ～ 西倉沢交差点	C 西倉沢交差点 ～ 富士川橋	D 富士川橋 ～ 道の駅「富士」
舗装・路面	① ・未舗装となっていないか				
	② ・路面のひび割れ、わだち掘れ、ポットホール、隆起、溝、段差はないか				
	③ ・パンクの原因となるガラス破片・釘等の散乱はないか				
	④ ・植栽の通行空間へのはみ出しはないか				
	⑤ ・街路樹からの落葉等の堆積はないか				
	⑥ ・海沿いで水しぶきのかかる箇所はないか (海沿い)				
	⑦ ・海沿いで砂が堆積している箇所はないか (海沿い)				
排水施設	⑧ ・排水施設による通行の妨げになる段差や溝はないか (歩道樹根あり)				
防護柵	⑨ ・路外への転落を防ぐための防護柵があるか (車両用防護柵のみの箇所など)				
附属物	⑩ ・走行の妨げになる道路附属物はあるか(標、標識、車止め等)				
注意喚起	⑪ ・ドライバーに対する、自転車通行に配慮する目的の注意喚起の有無(情報板等)				
	⑫ ・自転車に対する、注意喚起の看板等の案内表示の有無(トンネル、橋梁部、急勾配箇所等)				
案内誘導	⑬ ・自転車ピクトによる経路や距離に関する路面標示の有無(一定の区間、分岐部)				
	⑭ ・拠点(サイクルステーション)。(サイクリストに優しい施設)への案内が一定の区間にあるか (由比木陣公園)				
	⑮ ・多言語(日英2か国以上)やピクトグラムでの案内があるか				
その他	⑯ ・上記以外に気付いた点(自由回答)				

(3) 実走による安全点検の実施

令和3年11月29日(月)に「太平洋岸自転車道の安全点検検討会」の構成員で、対象区間を実走して安全点検を行った。

点検時の意見収集は、Android端末を活用し、現地の写真・チェックリスト番号及びコメントの入力により実施した(図5)。



図5 安全点検実施の様子

安全点検の結果、113件の意見を収集した。全体意見のうち、『案内誘導』に関する意見が約30%と最も多く、次いで『植栽』に関する意見及び『舗装の隆起・段差等』が約12%であった。その他意見は、ゴミ(落下物)、矢羽根の劣化、トイレ案内、ビュースポットの案内追加等が挙げられた。

一方で、6個のチェック項目については、意見を収集することが出来なかった(図6)。

チェック項目	全体 N=113	【凡例】			
		A区間 (東山) N=21	B区間 (NCR東部 区間) N=6	C区間 (東部 区間) N=62	D区間 (NCR東部 区間) N=24
① 未舗装となっていないか	4.4%			1.6%	1.6%
② 路面のひび割れ、わだち掘れ、ポットホール、段起、溝、段差はないか	11.5%			16.7%	15.4%
③ バンクの原因となるガラス破片・釘等の散乱はないか	3.5%		14.3%	16.7%	
④ 植栽の通行空間へのはみ出しはないか	2.4%	9.5%			14.5%
⑤ 往路樹からの落葉等の堆積はないか					
⑥ 海沿いで水しぶきのかかる箇所はないか					
⑦ 海沿いで砂が堆積している箇所はないか	0.9%	4.8%			
⑧ 排水施設による通行の妨げになる段差や溝はないか	0.9%	4.8%			
⑨ 防塵柵					
⑩ 防塵柵					
⑪ 防塵柵					
⑫ 防塵柵					
⑬ 防塵柵					
⑭ 防塵柵					
⑮ 防塵柵					
⑯ 防塵柵					
⑰ 防塵柵					
⑱ 防塵柵					
⑲ 防塵柵					
⑳ 防塵柵					
㉑ 防塵柵					
㉒ 防塵柵					
㉓ 防塵柵					
㉔ 防塵柵					
㉕ 防塵柵					
㉖ 防塵柵					
㉗ 防塵柵					
㉘ 防塵柵					
㉙ 防塵柵					
㉚ 防塵柵					
㉛ 防塵柵					
㉜ 防塵柵					
㉝ 防塵柵					
㉞ 防塵柵					
㉟ 防塵柵					
㊱ 防塵柵					
㊲ 防塵柵					
㊳ 防塵柵					
㊴ 防塵柵					
㊵ 防塵柵					
㊶ 防塵柵					
㊷ 防塵柵					
㊸ 防塵柵					
㊹ 防塵柵					
㊺ 防塵柵					
㊻ 防塵柵					
㊼ 防塵柵					
㊽ 防塵柵					
㊾ 防塵柵					
㊿ 防塵柵					
その他	上記以外に気付いた点(自由回答)※	10.6%	10.0%		21.4%

※㉛(落下物)、矢羽根の劣化、トイレ案内、ビュースポットの案内追加等の意見。

図6 安全点検の結果

(4) 安全点検実施方法の評価

a) 安全点検の実施方法(全体)

安全点検区間を事前にカテゴリライズし、チェックリストを整理したことで、予め点検すべき項目を絞り込むことができ、安全点検の効率化が図られた。

b) カテゴリライズの視点

意見が収集出来なかったチェック項目に着目したところ、カテゴリライズの視点を抽出する段階において、区間に合致するか確認する等、更なる検討が必要であることが判明した。

c) チェック項目の設定

その他意見の割合が多かったことから、チェック項目の見直しを検討する必要がある。

d) 意見収集方法

意見収集方法に関して、Android端末入力後のチェック番号のアンマッチや点検者によって選択するチェック番号が異なる結果が見られたため、入力の手簡略化を行うべきと評価した。

4. 今後の展開

(1) 安全点検の手引き(案)作成

安全点検実施方法の評価を踏まえ、他区間で安全点検を実施し、点検時の意見収集方法の手簡略化・点検区間のカテゴリライズ視点の追加・チェック項目の追加について検討を行い、統一的な点検等の考え方を確立した「安全点検の手引き(案)」を作成することが望まれる。

(2) 他区間への展開

静岡県内のサイクルルートの走行環境の向上に寄与するよう、「安全点検の手引き(案)」の展開を図る。

(3) 安全点検の手引き(案)によるフォローアップ

「安全点検の手引き(案)」に従って安全点検を継続的に実施し、『誰もが安全・快適に走行できる環境』『誰もが迷わず安心して走行できる環境』を備えたルートであり続けるため、フォローアップに努めていく。

5. おわりに

前述のとおり、「太平洋岸自転車道」は世界遺産である富士山をはじめ、日本を代表する観光地・景勝地が多数存在することから、安全点検を実施する中で、魅力をもっと多くの人に伝えなければいけないといった意見が出された。

前例がなく手探り状態からスタートした本取組に理解をいただき、積極的な意見を頂戴した「太平洋岸自転車道の安全点検検討会」構成員の方々にこの場を借りて深く感謝申し上げます。



写真 安全点検に参加した皆様

太平洋岸自転車道の安全点検検討会 構成員

- ・ 埼玉大学外学院 理工学研究科
環境科学・社会基盤部門 教授 久保田 尚
- ・ 東海大学 工学部土木工学科 准教授 鈴木 美緒
- ・ レバンテ富士
- ・ ふじのくにe a s tサイクリストクラブ
- ・ 静岡県 交通基盤部 道路局
- ・ 静岡県 スポーツ・文化観光部 スポーツ局
- ・ 静岡県 警察本部 交通部
- ・ 静岡市 建設局 道路部
- ・ 富士市 建設部
- ・ 富士市 市民部
- ・ 国土交通省 中部地方整備局 静岡国道事務所

<参考文献>

国土交通省自転車活用推進本部
：ナショナルサイクルルート制度について

中京圏の新たな高速道路料金を考慮した 将来交通量配分手法の検討

くにいだいすけ みなくちはるお ふじたさとし はやしけんたろう
○國井大輔¹・水口晴男¹・藤田智志¹・林 健太郎¹

¹ (株)長大 第2計画事業部 第3計画部 (〒450-0003 愛知県名古屋市名駅南一丁目18番24号)

中部地方整備局管内では、2021年5月の名古屋第二環状自動車道(名古屋西～飛島)の開通に伴い、東海環状自動車道内側における高速道路に新たな料金体系が導入された。これまでは均一制であった名古屋第二環状自動車道や名古屋高速道路の料金が対距離制となるとともに、環状道路の利用が料金面で不利にならないように、経路によらず、起終点間の最短距離を基本に料金を決定する「経路によらない同一料金」が適用された。本業務では、中部地方整備局管内の将来交通量配分手法である高速転換率併用分割配分を基本とし、高速転換率の算出に「経路によらない同一料金」を適用可能なモデルを構築した。

Key Words : 将来交通量配分, 都市高速道路, 料金設定, 経路指定料金, ランプ間料金

1. はじめに

将来交通量配分は交通計画において最上流の検討であり、将来交通量配分で算出される将来交通量は、道路の構造検討や環境影響評価等の計画交通量として適用される重要な基礎データである。将来交通量配分は事業評価のような遠い将来の予測に用いられることが一般的であるが、近年は道路の大規模修繕に伴う交通規制の影響分析等、近い将来の予測でも活用されており、今後も変わらず重要な役割を担うと考えられる。

中部地方整備局管内では、2021年5月の名古屋第二環状自動車道(以下、名二環)(名古屋西～飛島)の開通に伴い、東海環状自動車道(以下、東海環状)の内側における高速道路に新たな料金体系が導入された。これまでは均一制であった名二環や名古屋高速道路の料金が対距離制となるとともに、環状道路の利用が料金面で不利にならないように、経路によらず、起終点間の最短距離を基本に料金を決定する「経路によらない同一料金」が適用された。中部地方整備局管内の将来交通量配分手法は、従来の料金体系に基づいたモデルであり、「経路によらない同一料金」には対応できない状況となっていた。今後、中京圏の高速道路において交通流動の最適化のための戦略的な料金体系の検討が進められることを想定すると、交通量配分モデルに新たな料金体系を実装させることは急務の課題であった。

本業務では、中京圏の新たな高速道路料金を考慮

したモデルを構築するとともに、料金体系が変更される前後で交通量配分を実施し、料金変更による感度を確認した。また、実測交通量と比較してモデルの精度が一定程度担保できていることを確認した。

本稿では、今回のモデル構築の中で従来手法から最も大幅に変更を加えた東海環状内側の高速道路料金の設定方法に焦点を当てて、モデルの概要を説明する。

2. 中京圏の新たな高速道路料金の概要

国土幹線道路部会の中間答申(平成27年7月)において、高速道路を賢く使うための合理的な料金体系の理念として、料金の賢い3原則が示されている。

- ① 利用度合いに応じた公平な料金体系
受益者負担の考え方に立ち、対距離制を基本とした公平な料金体系
- ② 管理主体を超えたシンプルでシームレスな料金体系
管理主体間の継ぎ目を感じることなく利用することが可能となるシンプルでシームレスな料金体系
- ③ 交通流動の最適化のための戦略的な料金体系
高速道路及び一般道路により構成されるネットワーク全体を交通状況に応じて効率的かつ柔軟に利用するための戦略的な料金体系

この3原則は、平成28年4月の首都圏や平成29年6月の近畿圏の新たな高速道路料金の見直しにおいて適用され、首都圏や近畿圏以外の他の地域においても高速道路を賢く使う上で共通の理念と考えられる。中京圏においても、この理念を基本として新しい料金体系が検討された。

中京圏の新たな高速高度路料金の概要は以下の通りである。¹⁾

＜料金体系の整理・統一とネットワーク整備＞

- ・ 東海環状の整備の加速化、一宮JCT付近及び東名三好付近における渋滞解消のためのネットワーク拡充に必要な財源確保も考慮し、大都市近郊区間の水準を基本とする対距離制を導入

＜起終点を基本とした継ぎ目のない料金＞（図-1）

- ・ 東海環状および名二環の利用が料金の面で不利にならないよう、経路によらず起終点間の最短距離を基本に料金を設定
- ・ 都心部への流入に関して、経路によらず起終点間の最短距離を基本に料金を設定

ポイントは、東海環状内側（東海環状を含む）の高速道路は全て大都市近郊区間の料金水準（29.52円/km）の対距離制に統一され、起終点があれば最短距離の料金が採用される「経路によらない同一料金」が導入されたことである。ただし、起終点と同じであっても都心を経由するルートについては、最短距離の料金にならない場合があることに注意が必要である。

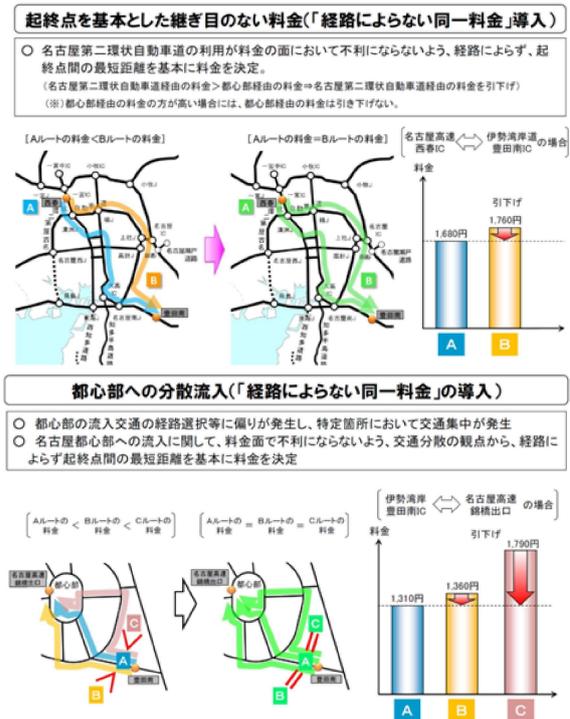
加えて、名二環については、対距離制で料金を計算すると従来料金よりも大幅に料金が增加・減少する区間があるため、激変緩和措置として「上限・下限料金」が設定されている。また、名古屋高速道路においても、都心環状が一方通行であることによる負担増を避けるため、都心環状内の出口を利用する場合は、一定距離以上は料金が上がらない「都心環状割引」が導入されている。

今回の料金体系の変更による交通量への影響が大きいと想定される路線は、均一制から対距離制に変更された名古屋高速道路と名二環である。図-2に示すように、新たな高速道路料金では、名古屋高速道路は概ね15km、名二環は概ね11km未満の利用であれば均一料金のときよりも安くなり、交通量は増加すると予想される。一方で、それらの距離を上回る利用については、現行料金よりも高くなり、交通量は減少すると予想される。

3. 将来交通量配分モデルへの反映方法

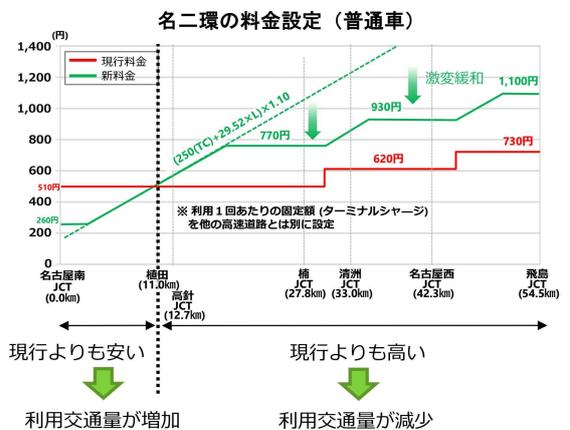
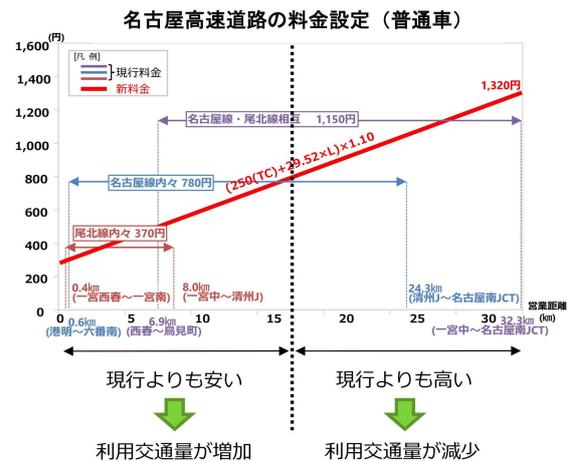
(1) 新たな高速道路料金を反映する意義

今回の料金体系の変更は、上述した「料金の賢い3原則」のうち「①利用度合いに応じた公平な料金」、「②管理主体を超えたシンプルでシームレスな料金体系」を実施するものである。しかし、将来的には「③交通流動の最適化のための戦略的な料金



※「中京圏の新たな高速道路料金について」¹⁾より抜粋

図-1 経路によらない同一料金の概要



※「中京圏の新たな高速道路料金について」¹⁾をもとに作成

図-2 均一料金制と対距離料金制の比較

体系」への発展も期待されており、今後、料金設定の変更を検討する段階に至った際には交通量への影響の予測・評価は不可欠であることから、今回の料金体系の変更による利用交通の変化を推計可能な将来交通量配分モデルが求められていた。

中部地方整備局の将来交通量配分手法は、高速転換率併用分割配分と呼ばれ、OD 交通量を5回に分割（分割比率は3:3:2:1:1）し、各分割段階でOD ペア毎に高速転換率を算出し、高速ルートと一般道路ルートにOD交通量を配分する手法である。名古屋都市圏の高速道路は同じ目的地へ向かう際でも複数のルートを候補とすることが出来るため、配分計算においては、最大3ルートまで高速ルートが選択可能な手法となっている。ここでは配分手法の詳細な説明は割愛するが、高速転換率は式(1)に示すように所要時間と高速道路料金を説明変数とするロジットモデルにより算出される。

$$P_H = \frac{1}{1 + \exp\{\theta \cdot (V_G - V_H)\}} \quad (1)$$

$$V_H = (T_H \cdot \omega + C_H) + \alpha_1 \times D_h$$

$$V_G = (T_G \cdot \omega) + \alpha_2 \times D_G^{-1}$$

ここで、 P_H ：高速転換率（高速ルートの選択割合）
 V_H ：高速ルートの効用
 V_G ：一般道ルートの効用
 H ：高速ルート
 G ：一般道ルート
 $\alpha_1, \alpha_2, \theta$ ：効用関数パラメータ
 T ：所要時間（百分）
 C ：高速道路料金（百円）
 ω ：時間価値（円/分）
 D_G ：ルート距離（km）
 D_h ：都市高速利用ダミー
 T_G, T_H ：一般有料道路料金を時間換算し所要時間に加算した一般化時間

従って、高速道路料金は高速ルートと一般道ルートの分担に影響を与えることになる。また、複数の高速ルートが選択される際には、高速転換率の比率でOD交通量が按分されることから、高速道路料金は高速ルート間の分担にも影響を与えることになる。つまり、高速転換率の算出に適用する高速道路料金を正しく設定することは、モデル構築において非常に重要な課題であるといえる。

(2) 従来モデルの高速道路料金設定方法

従来の中部地方整備局の将来交通量配分手法（以下、従来モデル）は、対距離制と均一制の2つの料金体系に応じた高速道路料金を経路探索の過程で計算し、高速転換率の算出に適用している（図-3）。対距離制の場合は、走行距離分の料金（走行距離×キロ単価）にIC乗降時のターミナルチャージが加算され、高速道路料金が決定される。均一制の場合は、

① 対距離路線(NEXCO)の場合



② 均一路線(名高速、名二環等)の場合

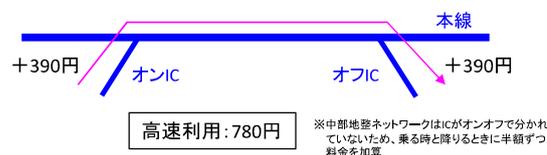


図-3 従来モデルの高速道路料金設定方法

IC乗降時にそれぞれ均一料金の半分の料金が加算され、高速道路料金が決定される。このように、従来モデルは、リンクデータに付与されている高速道路料金を経路探索の過程で計算する手法であるため、高速道路の経路が決まってから料金が決まる「経路によらない同一料金」を高速転換率の算出に適用することができない。また、名二環に適用されている「上限・下限料金」や、名古屋高速道路に適用されている「都心環状割引」も同様である。

(3) 新モデルにおける高速道路料金設定方法

a) 経路指定料金の導入

「経路によらない同一料金」の課題については、経路探索の過程で計算した高速道路料金とは別の料金を与えるという「経路指定料金」で対処することにした。具体的には、料金の引下げが発生する高速ルートとそれに対応する料金表をあらかじめデータとして作成しておき、経路探索後に該当する高速ルートが存在する場合は料金表の料金に置き換えて高速転換率を算出するアルゴリズムとした。

なお、「経路によらない同一料金」の対象となる高速ルートは、ひとつの起終点をとっても経路の組み合わせによる膨大な高速ルート数が存在することになるが、適用している経路探索手法では最短距離から大幅に迂回するような高速ルートが選択されることはないため、そのような経路については料金表から除外することとした。

b) ランプ間料金の導入

名二環の「上限・下限料金」、名古屋高速道路の「都心環状割引」の課題について、特定のインターチェンジ及びジャンクションのランプ間を通過する高速ルートについては、経路探索の過程で計算した料金とは別の料金を与えるという「ランプ間料金」で対処することにした。具体的には、名二環及び名古屋高速道路のランプ間の料金表をあらかじめ作成しておき、経路探索後にそれらのランプ間を利用した高速ルートについては、料金表の料金に置き換えて高速転換率を算出するアルゴリズムとした。

c) 高速道路料金計算フロー

新モデルでは、従来からの「リンクデータに付与した料金」に加え、「経路指定料金」と「ランプ間料金」の3パターンの高速道路料金設定方法があり、**図-4**に示すフローに基づき高速ルートに応じた高速道路料金が算出される。

4. モデルの精度検証

(1) 交通特性に関する感度チェック

名二環（名古屋西～飛鳥）が開通した令和3年5月時点の道路ネットワーク（**図-5**）において、新たな料金体系導入前後の交通量配分を実施し、料金の変化による交通量の影響度合いを確認した。**図-6**に示すように、名古屋高速道路と名二環ともに、料金が安くなった距離帯においては利用が増加している結果となっており、新モデルは料金の変更に対して一定程度の感度を持っていることが確認できた。

(2) 実測データとの比較検証

新モデルが実際の交通状況を再現できているか確認するために、実測データとの比較検証を行った。実測データにおいても距離帯毎の料金の増減と交通量の増減が一致する傾向にあり、新モデルが実際の交通状況を一定程度再現できていることが確認できた。

しかし、実測データの変化率は、配分結果の変化率よりも小さくなっており、それは新たな高速道路料金が未だ十分に認知されていないことが原因と推察される。実測データとの比較検証は、今後も継続して実施していく必要がある。

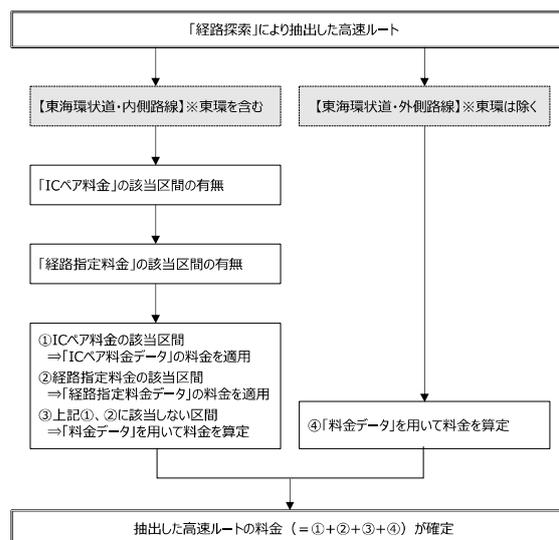
5. おわりに

本業務では、従来の将来交通量配分手法では対応できない中京圏の新たな高速道路料金を考慮した将来交通量配分モデルを構築した。「経路指定料金」と「ランプ間料金」のデータを整備し、高速転換率に適用する高速道路料金の設定を行うことで、一定程度の料金感度を持ったモデルを構築することができた。また、新たな料金体系の導入による交通特性変化の再現が可能であることも確認できた。一定程度の感度・精度を担保できたことから、本モデルを平成27年度全国道路・街路交通情勢調査ベース（以下、H27ベース）の将来交通量配分の標準的な手法とし、建設コンサルタント各社が取り扱えるようにマニュアルとして取りまとめた。

今後は、新たな高速道路料金が十分に認知された時点で再度実測データとの比較検証を行い、更なる精度向上を図ってゆく所存である。

参考文献

- 1) 中日本高速道路株式会社，名古屋高速道路公社：中京圏の新たな高速道路料金について，2020.3.31.



※東海環状道・内側路線（東環を含む）の料金データは、対距離制料金

図-4 配分計算時における料金計算フロー

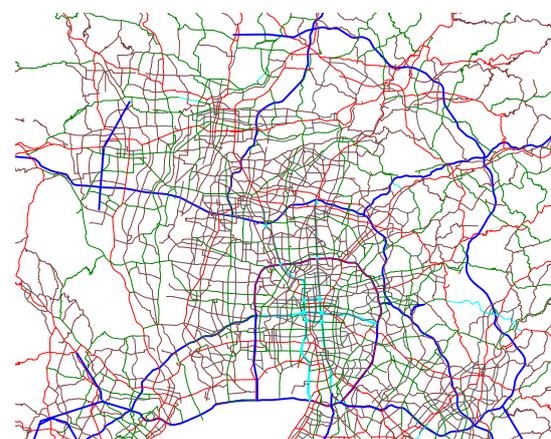


図-5 将来交通量配分ネットワーク(R3時点)

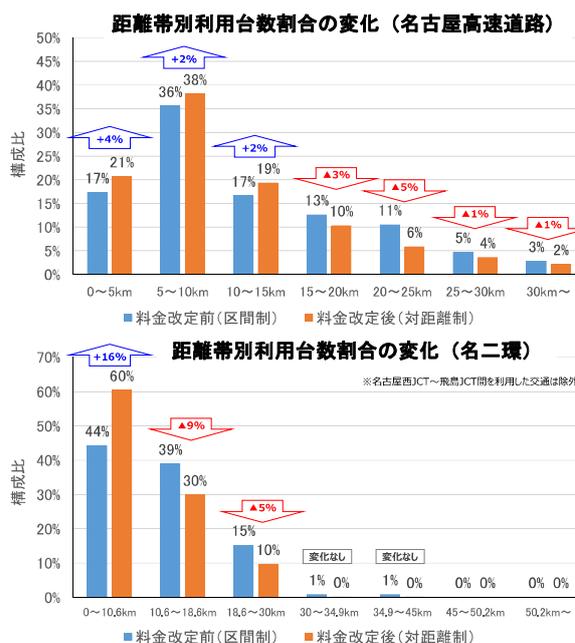


図-5 将来交通量配分結果（距離帯別利用台数割合）

名古屋における自転車通行空間の整備について

叶谷凌大・久保宏・松田憲明・稲永哲

大日本コンサルタント（株）中部支社（〒451-0045 愛知県名古屋市中区名駅2丁目27-8）

近年の愛知県では、新型コロナウイルスの感染拡大により自転車利用者数が増加傾向にある背景や、道路構造令の改訂を受けて、各自治体で自転車通行空間の整備が進められている状況である。しかし、愛知県内の道路は車線数が多く、大型交差点が多数存在するため、自転車通行空間の確保に際して、道路管理者だけではなく、交通管理者との協議を踏まえ、安全な自転車通行空間の確保が求められている。そのため、本論文では、愛知県警の意見を踏まえ検討・決定した内容について示し、今後の愛知県における自転車通行空間の整備一助とすることを目的とする。

Key Words : 自転車道, 自転車通行帯, 交差点, 二段階右折, 防護型交差点

1. はじめに

(1) 愛知県における自転車利用の現状

全国的に自転車利用者は、新型コロナウイルスの感染拡大を受けて増加傾向にあり、愛知県も同様に利用者数は増加傾向にある。また、愛知県では歩行中や自転車乗車中の交通事故死者の比率が全国平均より9.5%高い¹⁾状況にある。

そのため、愛知県では、自転車利用者が適切な位置を走行するための習慣づけを促進させ、自転車ネットワークを拡大していくことが求められている。

(2) 自転車通行帯の分類について

道路構造令では、法定速度が高く自動車交通量の多い道路は、自転車道としての整備が求められている。しかし、愛知県内において、自転車道での整備を進めた場合、歩道で自転車の通行ができなくなることや、自転車道を設置した場合、地上機器の移設が必要となることが課題となる。

本稿では、このような課題に対応した当面の運用として、自転車専用通行帯または車道混在の整備を可能とするような整備フローを検討した。

自転車通行空間の整備は、法定速度、規制速度が50 km/h を超過する場合、自転車道の整備が基本となるが、周辺道路の自転車ネットワークの整備が完了した段階で、植樹带上、中央分離带上の地上機器の移設の是非に応じて、自転車専用通行帯または車道混在の整備を行うこととした（図-1参照）。

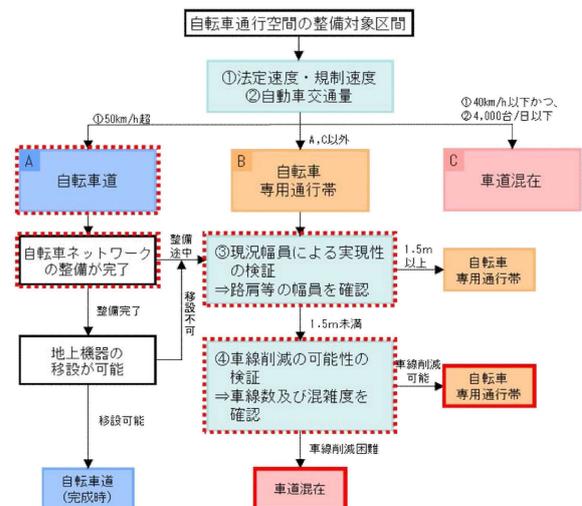


図-1 自転車通行空間の整備フロー（第5回名古屋国道管内自転車安全利用協議会資料²⁾を一部加筆）

2. 自転車通行空間の確保

(1) 現況道路と自転車通行帯の幅員

自転車道及び自転車通行帯の幅員は、自転車道の場合が2.0m以上、自転車専用通行帯の場合が1.5m以上、車道混在の場合、側溝の蓋部分を除いて舗装部分を1.0m以上確保する必要がある³⁾。

しかし、名古屋市では、路肩幅員が0.5mの道路が多数存在するため、既設道路構造で自転車通行帯を設置する場合は、歩道幅員の縮小や車線位置の変更、

車線数削減，追加用地買収等の対応が必要となる。

なお，本稿においては，歩道幅員の縮小，車線数削減，追加用地買収が困難であったため，車線位置の変更を対象に検討した内容を述べる。

(2) 車線位置の変更における検討

本稿では，「①交差点流入部における車線幅員の縮小」，「②中央分離帯の縮小」，「③右折分離」の3通りに伴う車線位置の変更について検討した。

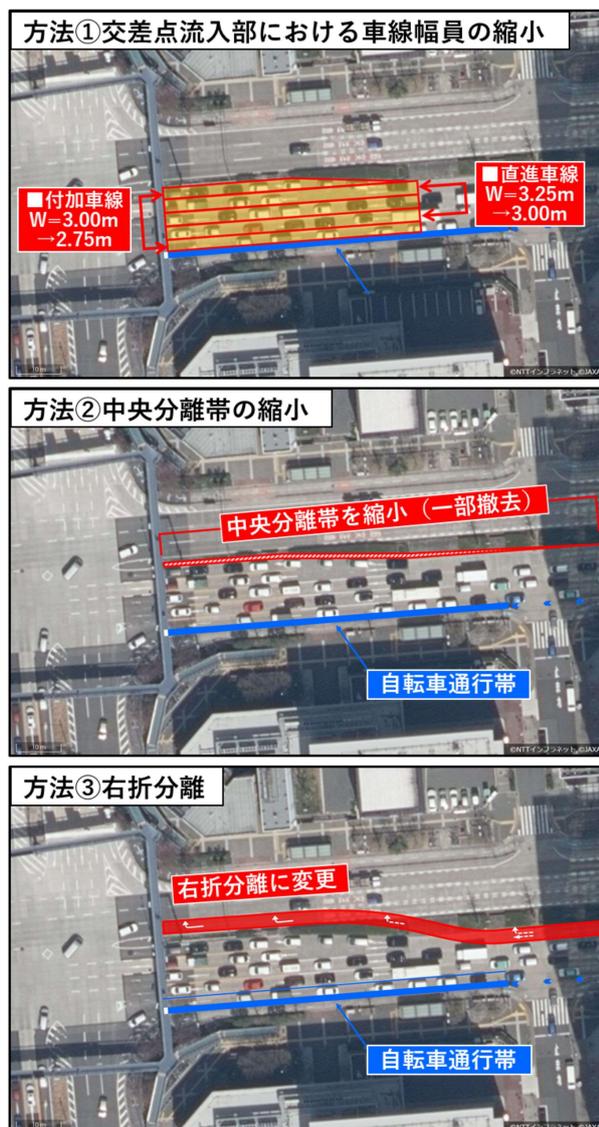


図-2 車線位置変更の検討図

(3) 検討結果

名古屋市の道路は，交通量が多く大型車両の通行も見られるため，方法①のように交差点流入部の車線幅員を縮小することは困難であった。また，中央分離帯には，地上機器や共同溝が設置されている箇所もあり，方法②のように中央分離帯を縮小することも困難であった。

なお，方法③については，対向車線に余裕があり，中央分離帯の地上機器と共同溝を回避可能である場所に限り，自転車通行帯を設置するための十分な空間が確保可能であった。

3. 交差点箇所における安全な自転車の通行

(1) 左折自動車と直進自転車の交錯回避

直進自転車と左折自動車が同じ空間で交錯する場合は，左折自動車の内輪差や，左折自動車の左側への自転車の突入などにより，左折巻き込みが発生する。

そのため，車道上に自転車通行帯を整備する場合は，左折巻き込みを防ぐ方法として，空間的な対策や時間的な対策が必要である。

なお，左折巻き込みの回避方法としては，表-1で示すような海外の整備事例が挙げられるが，国内の道路構造に合わせて，交差点のコンパクト化や部分的な時間の分離と合わせて，改めて左折巻き込みの回避方法を整理した（表-2）。

表-1 「左折巻き込み」の回避方法（海外事例）

	混合ゾーン	完全時間分離	自転車先出し	オフセット(防護型)
説明	自転車レーンから混合エリアになり，自動車側が譲りながら織り込む。	直進自転車と左折自動車後信号で時間的に分離する。	自転車を10秒程度先出した後，自動車は黄点減で自転車と歩行者に譲りながら通過する。	半径の小さな緑石で左折者の速度を抑制。自転車と自動車の交錯は交差点の中央部に限定。
長所	自転車は青信号の全ての時間で進行でき，遅れが少ない。	時間的空間的に完全に分離される。直進レーンから左折自動車をなくすことで容量増も。	先出しの時は交錯が生じない。歩行者の先出しを，容量を減じずに同時に実施可。	低速での左折と交錯地点が限定される。連続的な自転車の通行経路により安全で予測可能な動きに。
短所	混合区間は自転車にとってストレスに。自転車の動きが自動車にとって予測困難になることも。	自転車に割当てられる青信号時間が短い。ため遅れが生じ，信号無視の誘発も。自転車用信号が必要。	黄点減の認知が低い？左折車により自転車の視覚が遮られたり予測できない動きも。要自転車信号。	見慣れないデザインで自転車の動きを誤解。大きな面積を必要とし，左折者が進路を塞ぐことも。
主な長所	歩行者の先出しが不要な1車線道路。	複数車線で車速が高い道路。横断歩道と隣接し歩行者先出しがある場合。	歩行者の先出しが必要だが完全分離までは不要な場合。	左折者の量が少なく，十分な幅員がある道路
例示				

表-2 「左折巻き込み」の回避方法の分類化

分類	一般的な状況	空間的な対策			時間的な対策	
		コンパクト化	混合ゾーン	防護型	完全時間分離	部分時間分離(自転車先出し)
対策名	対策なし	コンパクト化	混合ゾーン	防護型	完全時間分離	部分時間分離(自転車先出し)
イメージ						
主な長所		速度抑制，待機スペース	路面表示のみで導入可	分離度が高く安心感	交錯を完全に回避	交錯の大部分を回避
主な短所		適用交差点が限定	技能・慣れが必要	広いスペースが必要	直進自転車と左折自転車の通行区分	交錯が残る，信号待ち自動車と自転車の直進

(2) 「左折巻き込み」の回避方法の検討案

本稿では、前項で述べた課題に対して、「整備後に現況悪化させない」、「自転車利用者が安全に利用できる」という項目を重視し、検討案を講じた。

その結果、空間的な対策として「防護型」と「コンパクト化」の検討を行い、時間的な対策として「部分時間分離（自転車先出し）」の検討を行う。

a) 空間的な対策（防護型交差点）の検討

本稿では、左折自動車と直進自転車の交錯を未然に防ぐ構造として、海外事例のある防護型交差点（protected intersection）の導入を検討した。

防護型交差点は図-3に示す構成要素で形成されており、特徴は表-3の通りである。

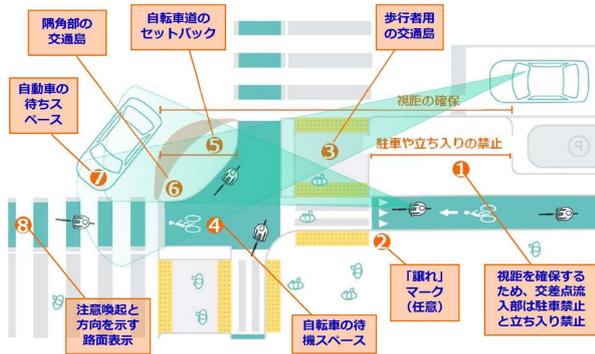


図-3 防護型交差点の構成要素

表-3 防護型交差点の特徴

特徴①	特徴②	特徴③
交差点をコンパクト化し、隅角部の最も張り出した部分を交通島とすることで、左折自動車の速度を抑制	自転車通行空間を交差点外側にセットバックさせ、直進自動車と左折自動車が直角に近い角度で交差	自転車と左折自動車がお互いを認識しやすくし、交錯に伴う事故を低減

ただし、防護型交差点は歩道側に広いスペースが必要であり、通過する際のルール、動線等の法的な位置づけが明確でないことに加え、自転車利用者が通行に慣れていないことから、不適切な通行をしてしまうなどの課題も考えられる。

このため、導入に際しては、「歩道空間でのスペース確保の検証」や、「標識による通行ルールの明確化」に留意する必要がある。

b) 時間的な対策（部分時間分離）の検討

本稿では、現況交通量の多い交差点を対象事例として検討を行い、自転車が安全に交差点を横断できる現示方式を検討した。

検討案は、図-4に示すように直進自転車を左折自動車より先に横断させる現示方式とした。

ただし、この検討案は、左折車線の需要率が現況より高くなり、1.0付近となることが懸念されるため、今後も検討を行う必要がある（図-5参照）。

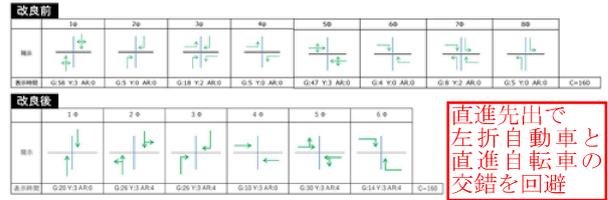


図-4 現示改良案

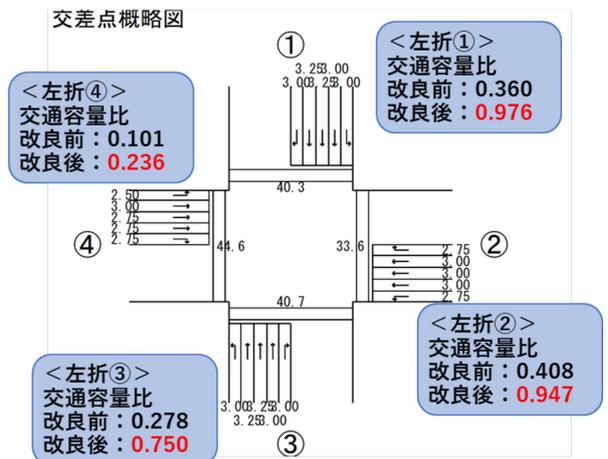


図-5 交差点容量解析結果

4. 二段階右折自転車の滞留空間

(1) 二段階右折の法的義務と課題

原動機付自転車は、付加車線を含め車両通行帯が3以上設けられている多通行帯道路において、二段階右折をすることが義務付けられており⁴⁾、車道を走行する自転車も二段階右折を行う必要がある。

そのため、交差点内に「二段階右折滞留空間」を設ける必要がある。なお、「二段階右折滞留空間」は、待機中の自転車と左折自動車が交錯しないために左折導流路を回避した位置に設ける必要があり、形状についても規定がないため、考え方の整理が必要である。

(2) 二段階右折の選定

a) 滞留場所の考え方の整理

本稿では、二段階右折の滞留場所を領域タイプとして捉え、道路交通法の「側端に沿って」「直進車

両の進行妨害をしない」「左折自動車の動線」の3項目を考慮して5つの領域タイプに分類した。

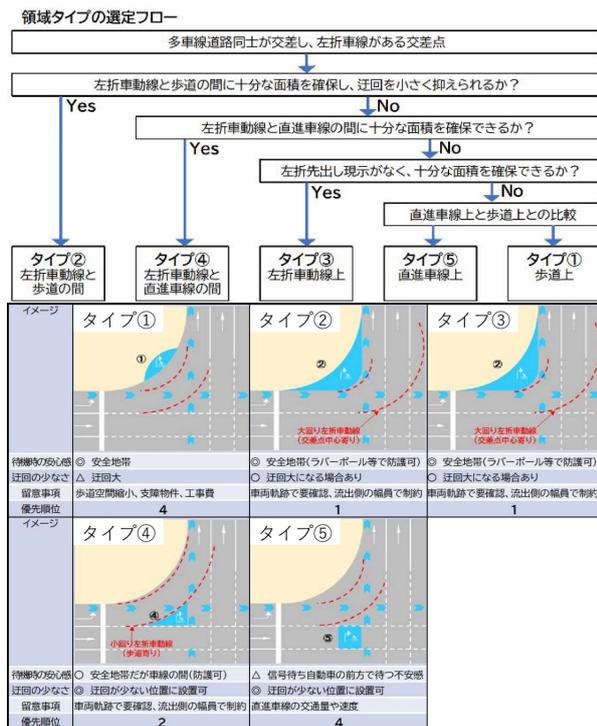
そして、二段階右折の滞留場所及び形状は、5つに分類した領域タイプから、表-4に示す3項目で評価し、決定することとした。

表-4 滞留場所及び形状の評価方法

項目	内容
①領域タイプの選定	現地の確保可能な面積、迂回の大きさ、現示方式などを考慮し領域タイプを選定。
②優先度	待機時の安心感、迂回の少なさなどで評価し、特に左折車動線と交錯しない「安全地帯」の形成を優先して順位付け
③領域タイプの複合	現地の状況に応じて、必要な面積や滞留場所のわかりやすさ等を考慮し、複数の領域タイプの組み合わせを検討

b) 領域タイプの選定及び優先度

領域タイプの選定方法は、前項の評価方法より作成した領域タイプの選定フローに基づき、評価を行う。また、各領域タイプの優先度は、前項の評価方法より安全地帯の形成の是非、迂回の少なさから評価を行う。



c) 領域タイプの複合

前項の5つの領域タイプのうち、タイプ③(左折車動線上)は、タイプ②やタイプ④と組み合わせることができ、安全地帯を拡張することが可能である。また、タイプ②(左折車動線と歩道の間)は、タイプ①(歩道上)と組み合わせることができ、安全

地帯を拡張することが可能である。ただし、タイプ②と①の組み合わせは、歩道縮小が可能な箇所に限られる。

d) その他の検討事項について

本稿では、二段階右折滞留空間の形状や位置の他、「滞留空間の表示方法」や「安全施設の設置」について交通管理者より指導を賜り、図-7に示す整備方針を作成した。ただし、今後も自転車利用者がわかりやすく、安全性の高い構造を検討する必要がある。

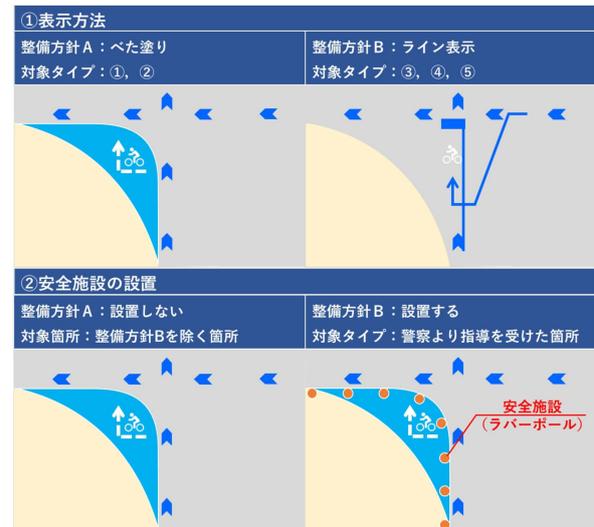


図-7 その他検討事項の整備方針

5. まとめ・今後の展望

自転車通行帯の設計に関する国内の基準は発展途上であるため、現地の道路構造や歩行者・自転車・自動車の交通状況を整理し、交通管理者や道路管理者と協議して決定していくことが課題である。

また、防護型交差点(protected intersection)は、交差点内における安全性も高いため、今後の自転車通行帯整備で積極的に導入することがよいと考える。

ただし、防護型交差点を導入する際には、自転車専用信号設置の検討や規制標識の視認性に留意して、計画を行う必要がある。

参考文献

- 1) 愛知県：愛知県自転車活用推進計画，2020，https://www.pref.aichi.jp/uploaded/life/390595_1715953_misc.pdf (2022/8/30確認)
- 2) 国土交通省：第5回名古屋国道管内自転車安全利用協議会，自転車通行空間整備箇所の整備形態について，令和2年10月
- 3) 国土交通省 道路局，警察庁 交通局：安全で快適な自転車利用環境創出ガイドライン，平成28年7月
- 4) 警察庁：道路交通法，2022，<https://elaws.e-gov.go.jp/document?lawid=335AC0000000105> (2022/8/30確認)

半断面取替工法による床版取替設計

○手平辰哉¹・杉浦達巳³・北堀裕隆¹・高橋孝征²

¹ (株) 東京建設コンサルタンツ中部支社 道路第二部 (〒460-0003 名古屋市中区錦2-5-5)

² (株) 東京建設コンサルタンツ中部支社 道路第一部 (〒460-0003 名古屋市中区錦2-5-5)

³ (株) 東京建設コンサルタンツ中部支社 (〒460-0003 名古屋市中区錦2-5-5)

東名高速道路における大規模更新・修繕事業の床版更新工事は、一般交通を供用させながらの施工となる。本路線は交通量が多く、施工期間中においても片側2車交通の確保が必要であったため、幅員確保のために施工中のみ道路規格を下げ、かつ床版取替工法に半断面施工を採用し、設計を実施した。床版取替および建設当初からの車両大型化による荷重の増加により主桁補強も必要であったため、母材への当て板補強や中フランジ設置をはじめとした補強工法がある中で、各々の補強必要部位に対し最適な補強工法を検討し、設計を実施したものである。

Key Words : 大規模更新・修繕, 床版取替, 半断面施工, 主桁補強

1. はじめに

東日本・中日本・西日本高速道路株式会社（以下NEXCOという）が管理する高速道路は、1963年名神高速道路・栗東～尼崎間の開通から50年以上を経た現在、総延長約9000kmに達し、このうち約2000kmをNEXCO中日本が管理している。NEXCO中日本が管理する高速道路は、供用から30年以上経過した道路が約6割を占め、経年劣化や、厳しい環境条件下での使用により、構造物の老朽化や劣化が顕在化してきている。このような問題に対し、従来の部分的な修繕を繰り返し行う対応では改善出来ないため、最新の技術を用いて構造物を建設当初の性能へと回復させる大規模な更新・修繕工事が随時行われている。

本業務は、東名高速道路の大規模更新・修繕事業の一環として、鋼桁橋の床版取替設計および、床版取替・車両大型化に伴う荷重増加に対して主桁補強設計を実施したものである。対象橋梁は、竣工から50年以上経過した鋼非合成連続鋼桁橋（2径間+4径間）（図-1）であり、床版補強として主桁間に縦桁が設置されている（図-2）。

本業務を遂行する上で、①本路線は交通量が多く、施工中も片側2車交通の確保が必要である、②床版取替・車両大型化に伴う荷重の増加により、主桁の補強が必要となる、という技術的な課題があった。ゆえに、片側2車交通に必要な幅員を確保した床版の取替ステップの立案およびステップを踏まえた床版の構造設計の実施、主桁の補強範囲・補強工法の検討・設計が必要であり、課題を解決しつつ床版取替設計および主桁補強設計を行うことが求められた。本稿では、これらの課題を解決しつつ実施した床版取替設計および主桁補強設計の事例を報告する。

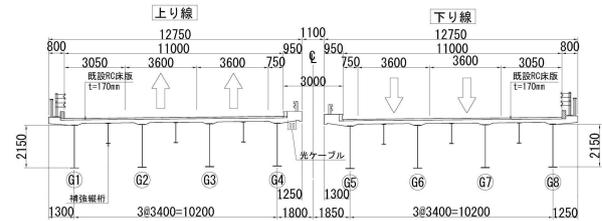


図-2 橋梁断面図

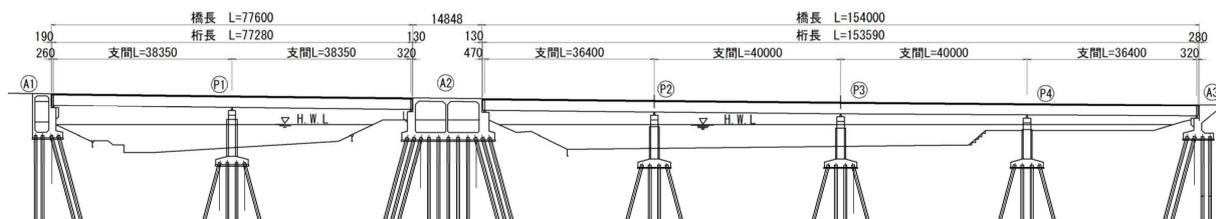


図-1 橋梁側面図

(2) 床版構造の検討

更新床版は、従来のRC床版に比べ高耐久かつ施工期間の短縮が図れるPCプレキャスト床版を採用し、橋軸方向の継手構造は標準的なループ継手とした。床版設計は、半断面取替工法で床版取替を行うため、床版の構造系が単純版→連続版に変化すること、床版架設後は合成構造となること、鋼材配置を踏まえたずれ止め配置などへ配慮した設計が求められた。

a) ずれ止め孔とスタッドの配置

プレキャストPC床版と主桁との接合は、鋼桁上フランジ上に配置したスタッドにより行う。プレキャスト床版においては、製作・運搬・構造上の制約からずれ止め孔を間隔600mm以下で単列配置することは困難である。特に本橋のような連続桁でかつ床版と主桁の合成効果を考慮する場合、中間支点付近では標準部に比べスタッドの必要本数が増え、より困難となる。そのため、解決策として、1箇所に複数列のスタッドを配置するグループ配置を採用した(図-5)。また、スタッドをグループ配列した場合、その配列方法(行×列)によってせん断耐荷性能が低下することが既往の研究^{1)~3)}から明らかとなっている。ゆえに、本業務においても上記を考慮し、ずれ止めおよびずれ止め孔の配置を計画した。結果、床版1枚あたりずれ止め孔を2孔配置する計画とした。

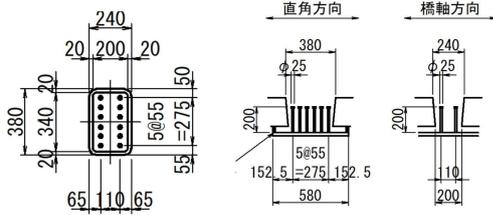


図-5 スタッドのグループ配列

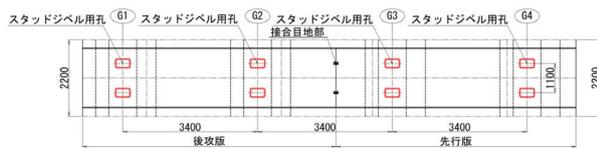


図-6 ずれ止め孔(ジベル孔)の配置(平面)

b) プレキャストPC床版厚の検討

プレキャストPC床版の厚さは、既設の補強縦桁の撤去およびループ鉄筋の曲げ半径を考慮し決定する必要があった。特に中間支点付近の曲げモーメントが負の領域では主桁との合成作用から、標準部よりも橋軸方向の鉄筋径が大きくなるケースが多いため、標準部と中間支点付近に分けて検討を実施した。また、取替ステップより、床版の構造系が単純版→連続版へと変化するため、それぞれで構造成立させることも踏まえ検討した。結果、ループ鉄筋が標準部ではD19etc100, 中間支点部ではD22etc100が必要となったため、下記の床版厚とした。

標準部: $t=220\text{mm}$, 中間支点部: $t=240\text{mm}$

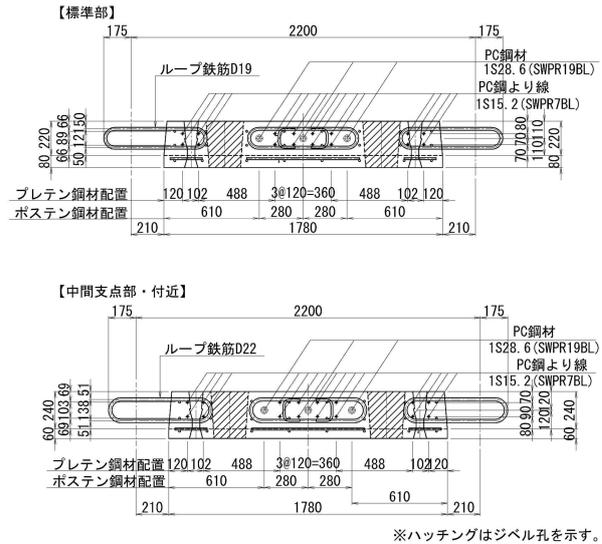


図-7 プレキャストPC床版断面図

3. 主桁補強設計

(1) 主桁補強方針

主桁補強は、床版取替工事中において施工時と完成時における主桁の発生応力度を比較し、より応力状態の厳しい完成形に対して補強設計を行う方針とした。補強材は、主桁補強後に床版取替を行うため、主桁自重以外の死荷重および活荷重に対して有効とする方針とした。

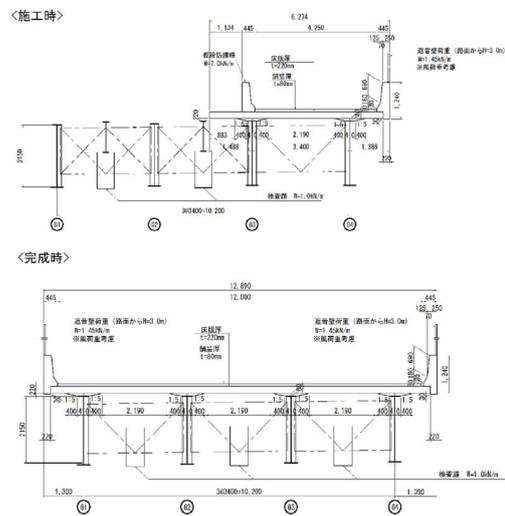


図-8 施工時・完成時の検討モデル図

表-2 照査結果

照査ケース	計算値/許容値	備考	
2径間橋	施工時	1.33	
	完成時	1.63	
4径間橋	施工時	1.35	
	完成時	1.41	

(2) 補強範囲と補強工法

a) 照査と補強範囲の設定

構造の主桁照査結果をもとに図-9に主桁の補強必要範囲を示す。照査結果より、2径間橋・4径間橋に共通し、下記の傾向が見られた。

- ・補強必要範囲は、支間中央、曲げモーメントの交番部、中間支点付近の負曲げ域である。
- ・補強が必要となるのはいずれも下フランジである。
- ・交番部で計算値/許容値の比率が最も大きい。

なお、モーメント交番部での超過量が大きい理由は、竣工時と今回の照査において、部材断面数や分割位置の違いにより、交番部の位置がずれたことが要因と思われる。

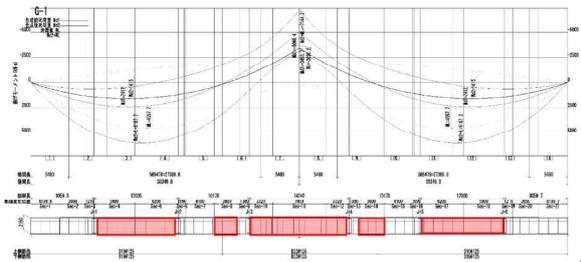


図-9 主桁補強範囲（2径間-G1桁）（着色部が補強範囲）

表-3 照査結果

照査位置	応力度 (N/mm ²)		計算値/許容値	備考
	計算値	許容値		
支間中央	226	185	1.22	
交番部	212	130	1.63	
中間支点	242	167	1.45	

b) 主桁補強工法の検討

主桁の補強工法は、引張部材に対しては、当て板補強・中フランジ設置・外ケーブル工法（図-10）などがあげられる。一方、圧縮部材では、上記に加え、格点（横桁または対傾構）を追加し、固定間距離を短くして部材の許容応力度を改善する方法が考えられた（図-11）。そのため、次の順で補強方法を検討した。

- ・引張部材
 - 当て板補強 → 当て板補強+中フランジ設置 → 外ケーブル工法
- ・圧縮部材
 - 格点追加 → 当て板補強 → 当て板補強+中フランジ → 外ケーブル工法

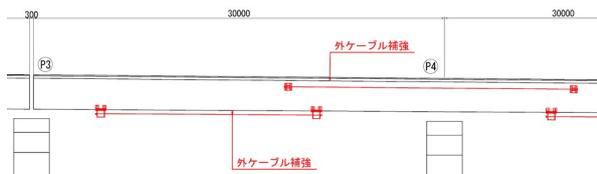


図-10 外ケーブル補強のイメージ図

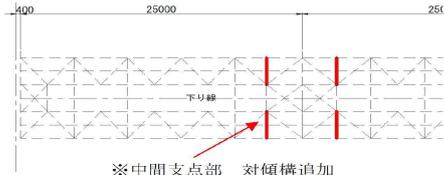


図-11 格点追加のイメージ図

検討より、2径間橋の中間支点付近のみ【当て板補強+中フランジ設置】、これ以外では当て板補強のみで照査を満足する結果であった。なお、格点追加については、この工法のみで補強完了となる部位がなかったため、採用には至らなかった。

4. おわりに

本業務の成果として、施工中も片側2車交通を確保した床版取替設計および主桁の各補強箇所に対して最適な主桁補強設計を実施することができた。

現在、東名高速道路をはじめとした高速道路で順次同様の工事が行われて高度経済成長期に大量に建設されたインフラが老朽化し、今後の維持管理方法が問題となっており、このような大規模更新・修繕は今後も需要が高く推移していくことが予想される。

本業務で得られた知見を活かし、設計への理解を深めるとともに、様々な設計に対応していくことで、今後も社会貢献の一旦を担っていきたいと考える。

謝辞：最後に本論文の作成にあたり、当該業務の発注者である、中日本高速道路株式会社 東京支社および静岡保全・サービスセンターの方々に深く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 道路橋示方書・同解説 I～III, (公)日本道路協会 平成24年
- 2) 設計要領第二集 橋梁保全編, 東日本高速道路株式会社, 中日本高速道路株式会社, 西日本高速道路株式会社, 2020.7
- 3) 設計要領第二集 橋梁建設編, 東日本高速道路株式会社, 中日本高速道路株式会社, 西日本高速道路株式会社, 2018.8
- 4) コンクリート標準示方書(設計編), (公)土木学会
- 5) 岡田淳, 依田照彦, Jean-Paul LEBET: グループ配列したスタッドのせん断耐荷性能に関する検討, 土木学会論文集, No. 766/I-68, pp. 81-95, 2004.7
- 6) 大久保宣人, 栗田章光, 小松恵一, 中島星佳: スタッドをグループ配置した合成桁の力学性状に関する解析的研究, 鋼構造論文集, 第9巻第34号, 2002.6
- 7) 岡田淳, 依田照彦: 密にグループ配列した頭付きスタッドの寸法および強度のせん断耐荷性能に及ぼす影響と床版断面のせん断耐荷力評価, 土木学会論文集A, Vol.62/NO. 3, pp. 556-559, 2006.7

沖積粘性土層に支持された 昭和初期竣工のケーソン基礎耐震検討

○周敦史¹・樋口伸幸¹・山田誠¹・木下俊男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）

本橋は昭和初期竣工のランガートラス橋である。過年度の学識者を交えた検討では上部工は耐荷力を有していると評価され、下部工も洗堀影響はなく耐震上の問題がないことが確認されている。しかし、上下部工ともにレベル2地震動に対する耐震性能照査がなされておらず、その評価が必要となった。基礎形式はニューマチックケーソンであるが、沖積粘性土層に支持された摩擦杭的な耐荷機構であり、周面摩擦の低下懸念から、増杭は困難と考えられた。またランガートラスについてはⅢ種地盤であり免震等は不向きと考えられた。本業務は、これら補強が困難な橋梁に対して耐震性能照査により供用性と修復性の評価を行ったものである。

Key Words : 沖積粘性土層, 昭和初期竣工, ランガートラス, ニューマチックケーソン, 耐震性能照査, 立体線形動的解析

1. はじめに

新設橋梁の設計は最新の道路橋示方書・同解説¹⁾（以下、道示と記載）に基づき行われている。耐震補強設計においてもそれは同様であり、竣工時に適用された道示に対して、最新の道示を適用することになる。しかし、道示制定以前の古い橋では、独自の考え方にて設計されており、最新道示の適用が困難な場合が存在する。

本業務は道示制定以前、昭和初期に竣工されたランガートラス橋とケーソン基礎の耐震性能を評価して補強方法を検討したものである。

2. 過去の検討内容

本橋について、平成11年度業務にて学識者を交えた検討が行われている。上部工耐荷力照査は、主部材の応力頻度計測を行って疲労寿命を推定しており、余寿命約30年とされている。下部工は基礎周辺の洗堀調査を行い進行が無い事を確認するとともに耐震性にも問題がないと判断されている。

一方、立体構造である上部工及び下部工と基礎工のレベル2地震動に対する耐震性能照査が行われていなかった。

3. 技術的な課題

地盤は沖積層（南陽層）の砂質土層がGL-10m～-15m程度、粘性土層がGL-30m～-40m程度まで堆積しておりそれ以深が洪積層（濃尾層）である（図-1）。

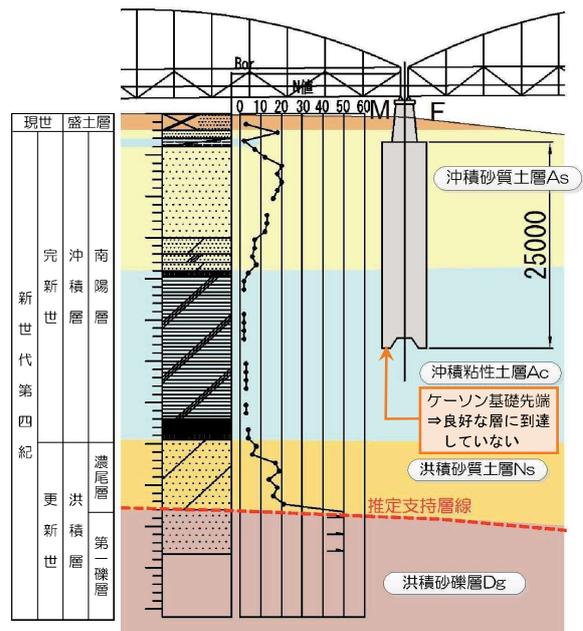


図-1 沖積粘性土層に支持されたケーソン基礎

既設ケーソン基礎は25m程度の根入れで沖積粘性土層に支持され、洪積層には到達していない。このため本来、支持杭であるべきものが、良好な層に支持されておらず、摩擦杭的な耐荷機構となっている。

以上より、増杭等の施工は既設ケーソン基礎の周面摩擦を喪失させる恐れがあり、補強は困難と判断した。このため、既設ケーソン基礎の耐震性能を評価してレベル2地震動による被災後の供用性と修復性を評価することが技術的な課題となった。

4. 基礎工の対応

(1) 前提条件

基礎工検討の前提条件として橋脚補強について述べる。橋脚はレベル2地震動に対する曲げ補強が必要である。ここで補強工法は死荷重増を最小限とする必要があるが、繊維補強による曲げ補強は困難なため、薄層巻立工法による補強を採用した。

竣工図は存在しないが「工事概要」として記録が残っており、これより基礎の外形形状寸法や材料数量、施工記録がまとめられている。

ケーソン基礎躯体の配筋は不明であるが「工事概要」より、使用された鉄筋質量は分かっている

(表-1)。ここで本橋は増田淳氏の設計である。同時期に増田淳氏が設計した十三橋のケーソン基礎配筋図が入手出来ており、構造も類似(表-2)であることから、これを参考に配筋を推定した。

表-1 工事中主要材料表(「工事概要」より)

第七節 工事中主要材料表

種類	上部工用	下部工用	取合道路	計	備 考
混 凝 土	1,128.97 ^{立2米}	15,532.474 ^{立2米}	1,367.986 ^{立2米}	18,029.43 ^{立2米}	配 合 1:2:4
全 上	54.947	2,387.742	2,698.6408	5,141.3298	配 合 1:3:6
セメント	9,289 ^{立2米}	116,990 ^{立2米}	42,011 ^{立2米}	168,290 ^{立2米}	内下部橋脚-セメント 62,733袋
鉄 筋	123,854 ^{立2米}	779,587 ^{立2米}	82,812 ^{立2米}	986,253 ^{立2米}	内取合道路用六番線 1,306巻
鋼 材	2,842.432 ^{立2米}	59.322 ^{立2米}	116.170 ^{立2米}	2,917.924 ^{立2米}	
鋪 設	6,448.5 ^{立2米}		475.86 ^{立2米}	6,924.36 ^{立2米}	アスファルトプロック舗装 長24m×幅12m×厚5cm(橋面用)
全 上			222.58	222.58	右岸取付道路用
全 上			3,392.00	3,392.0	左右取合道路面舗装 砕石舗装
高張金物	150.250 ^{立2米}		9.298 ^{立2米}	159.548 ^{立2米}	
石 材	111.136 ^{立2米}		12.629 ^{立2米}	123.765 ^{立2米}	縁石及親柱

施工時のケーソン基礎の鉄筋質量：780t
単位体積当り鉄筋量は約50kg/m³で十三橋と同様
⇒十三橋とほぼ同様の配筋と推定

表-2 参考橋梁との比較

	本橋	十三橋
設計年	1930年	1929年
設計者	増田淳氏	増田淳氏
基礎長	25.0m (P9)	26.2m
基礎平面	矩形(隔壁あり)	小判形(隔壁あり)
平面寸法	5.4m×14.0m	6.5m×23.2m

(2) 課題

既設ケーソン基礎は良好な支持層に着底していな

い時点で基準を満足しないが、それを無視して現行道示に対する橋脚補強後の基礎の照査を実施した場合、レベル1地震動に対して底面鉛直地盤反力度が許容値の2倍程度、レベル2地震動に対しては基礎本体が降伏するため、いずれも要求を満足しない。

このため、補強が困難な既設ケーソン基礎の耐震性能照査および供用性と修復性の評価が技術的な課題であった。

(3) 解決策

a) 常時、レベル1地震動

既設橋が90年に亘り問題無く供用されている事実に加えて「工事概要」に施工時の沈下抵抗力が記載されている(表-3)。これは原位置での平板載荷試験等と同等の評価と考えられることから、補強後の橋脚に対してもこの沈下抵抗力を基に安全率を評価することとした。

表-3 橋脚基礎沈下抵抗力(「工事概要」より)
橋脚基礎沈下抵抗力調

潜函番 試験月日	有効 深 度	試験時 =於ケル 含 湿 量	地 質	沈 下 抵 抗 力				設計 荷 重 DTL ^立	安 全 率	注 意		
				推定摩擦力		測定耐荷力						
				全摩 擦力 TONS	単 位 摩 擦 力 #/D ^立	全耐 荷 力 TONS	単 位 耐 荷 力 TONS/D ^立					
P1	全 年 6月 12日 26日 午 前 9 時	22.80	30	青灰色 粘 土	2,330	540	3,696	2.90	6,026	4,583	1.315	Pr 値へ地盤 力小ナルヲ以 テ水中荷重ト 同値ナル程度 ゲチナシ底面 積ヲ増大セシ メタリ。 地上荷重支持 力 底面積 7.4× 16.0=118.40 ^立 即チ127.92 ^立
P2	全 年 12月 17日 午 前 4 時	23.80	40	〃	2,493	550	3,345	2.63	5,838	4,726	1.235	
P3	全 年 7月 2日 12日 午 前 4 時	23.80	42	〃	2,249	500	3,632	2.85	5,881	4,741	1.240	
P4	全 年 1月 10日 午 前 11 時	23.80	23	〃	2,332	517	3,505	2.75	5,837	4,753	1.228	
P5	全 年 3月 22日 午 前 7時 30分	23.80	41	〃	2,262	500	〃	〃	5,767	4,762	1.211	
P6	全 年 6月 12日 17日 午 前 3 時	23.80	40	〃	2,253	〃	3,912	3.07	6,165	4,768	1.292	
P7	全 年 1月 22日 午 前 11時 30分	23.10	31	〃	2,216	506	3,442	2.50	5,658	4,771	1.186	
P8	全 年 2月 17日 午 前 6 時	23.10	30	〃	2,565	586	3,721	2.92	6,286	4,771	1.317	
P9	全 年 3月 17日 午 前 5時 30分	23.10	40	〃	2,289	518	3,632	2.85	5,901	4,768	1.237	
P10	全 年 3月 15日 午 前 1時 30分	20.00	40	〃	2,650	630	3,786	2.75	6,436	4,924	1.307	
P11	全 年 2月 5日 午 前 10 時	19.50	30	〃	2,300	530	4,020	2.92	6,320	5,258	1.202	
P12	全 年 1月 14日 午 前 3 時	18.00	28	〃	1,950	490	4,337	3.15	6,287	4,903	1.283	
P13	全 年 2月 29日 午 前 10 時	23.20	42	〃	2,650	600	3,632	2.85	6,282	4,726	1.329	

施工時の橋脚基礎沈下抵抗力の記載を
原位置試験と同等と評価
⇒これを基に補強後の安全率を評価

補強前の安全率は概ね1.2以上

補強後の死荷重増加を考慮した安定計算の結果、常時、レベル1地震動とも安全率は1.2程度を満足しており、供用上問題無いものと判断した。

b) レベル2地震動

液状化時を除き、基礎の降伏は原則認められないが、補強が困難であることより、土木研究所：土研資料第4168号 既設道路橋基礎の耐震性能簡易評価手法に関する研究2010²⁾(以下、土研資料第4168号と記載)を参考に既設基礎としての耐震性能と供用性を評価することとした。

基礎に塑性化を考慮した検討を行うため、許容塑性率の設定が必要である。ケーソン基礎の耐震性能に応じた許容塑性率について表-4に示す。

ケーソン基礎の許容塑性率は降伏変位と終局変位から算出する必要があるが、低鉄筋比断面であり終局変位の算出が困難であった。

文献等からケーソン基礎の終局変位は2m程度とされており、許容塑性率の目安を算定するためにこれを用いて構造計算を行い、許容塑性率を満足する結果となった。ただし、許容塑性率が過大に評価されている可能性があるため、応答塑性率の妥当性も検証したが、概ね応答塑性率2~3程度の数値となっており妥当と判断した。

応答塑性率が許容塑性率を満足することから損傷度はⅢとなるが、土研資料第4168号において低鉄筋比RC断面のケーソン基礎では載荷実験結果を基に損傷度Ⅳとされている。

表-4 ケーソン基礎の許容塑性率²⁾

基礎形式	基礎の耐震性能に応じた許容塑性率	
	損傷度Ⅲ	損傷度Ⅳ
ケーソン基礎および地中連続壁基礎 ($M_c < M_y < M_u$)	$\mu_a = 1 + \frac{\delta_u - \delta_y}{\alpha \cdot \delta_y}$ ($\alpha = 1.8$)	$\mu_a = 1 + \frac{\delta_u - \delta_y}{\alpha \cdot \delta_y}$ ($\alpha = 1.0$)

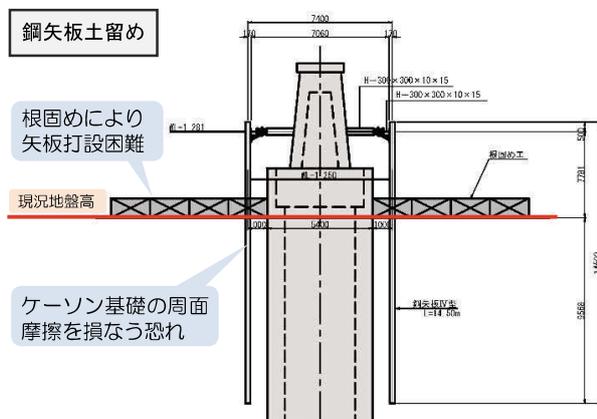
ここに、

- μ_a : ケーソン基礎の許容塑性率
- δ_u : 基礎が終局に達するときの上部構造の慣性力作用位置における水平変位(m)
- δ_y : 基礎が降伏に達するときの上部構造の慣性力作用位置における水平変位(m)
- α : 安全係数

ケーソン基礎および地中連続壁基礎本体の曲げモーメント-曲率関係が $M_c > M_u$ となる低鉄筋比RC断面となる場合には、ひび割れ発生後の挙動を現行の設計法で予測することができないこと、また、現行の設計法では低鉄筋比RC断面の場合、終局変位を過大に評価してしまうとの報告¹⁷⁾があり、表-3.9の式を適用した場合には危険側の評価となるため、土木研究所で実施した載荷実験結果をもとに損傷度Ⅳとする。

低鉄筋比RC断面の場合、損傷度Ⅳとする

以上より、本橋ケーソン基礎は損傷度Ⅳ相当と判断して供用性と修復性を評価した。土研資料第4168



号(表-5)より供用性は「交通規制と応急復旧により緊急車両通行可能」、修復性は「長期間の復旧工事により復旧が可能」と評価した。

表-5 既設道路橋基礎の耐震性能水準区分²⁾

損傷度	P-δ 曲線				
	I	II	III	IV	V
損傷度	損傷度低い				損傷度高い
復元力特性	弾性範囲内	弾性範囲内	十分にある	低下	喪失
定量的指標	全部材弾性域	基礎全体系として弾性的	降伏点	最大強度点	終局点
橋の供用性	一般車両通行可能	一般車両通行可能	交通規制により一般車両通行可能	交通規制と応急復旧により緊急車両通行可能	車両通行止め
橋の短期修復性	修復不要	修復不要	ほぼ修復不要	復旧が可能	-
基礎の長期修復性	修復不要	修復不要	ほぼ修復不要、長期間の復旧工事	長期間の復旧工事	-

【損傷度Ⅳ】橋の供用性と短期修復性を担保

- P-δ 曲線：強度保持
- 復元力特性：低下
- 定量的指標：最大強度点～終局点
- 橋の供用性：交通規制と応急復旧により緊急車両通行可能
- 橋の短期修復性：復旧が可能
- 基礎の長期修復性：長期間の復旧工事

c) 仮設計画

橋脚補強時の仮締切については以下の制約があり、鋼矢板の施工は困難と判断した。

- 矢板の打設、引き抜きによりケーソン基礎の周囲摩擦が喪失する懸念がある。
- 洗掘防止対策としてコンクリートブロックと捨石による根固めが行われている基礎があり、矢板の打設が困難である。

これらよりライナープレートを用いた仮締切であるLPF工法にてケーソン基礎天端に仮締切を固定する方法を採用した。仮設工法の選定について図-2に示す。

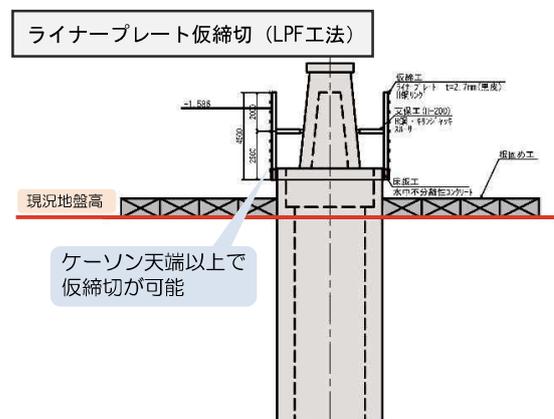


図-2 仮設工法の選定

5. 上部工の対応

上部工は単純下路式ランガートラス橋である。外的静定構造であり支点条件は固定、可動のため下部工に対しては単なる死荷重、慣性力として作用する一方、上部工本体は立体構造であり地震の影響を支配的に受けることから、既設の耐震性能を照査した。

立体線形動的解析にて各部材の応答を確認した結果、下横構と下弦材の一部の部材が降伏応力度を超過した（図-3）。しかし、引張強度は大きく下回っており、残留変位は出るものの耐荷力の低下は無いものと判断できる。

ここでトラス橋では塑性変形性能について未解明な部分が多く、基本は弾性域に収める必要がある。しかしⅢ種地盤であり免震化やダンパー設置は不向きであることや、前述の通り基礎は補強も困難であり損傷度Ⅳの供用性と判断したことから、上部工についても応急的な供用性・短期修復性のみを求めるのが妥当と判断した。また長期修復性については被災後に当て板補強や部材取替も可能と考えられる。

この結果より上部工についても基礎の損傷度Ⅳと同等の供用性と修復性が確保されているものと判断した。

6. まとめ

昭和初期竣工の橋梁に対して適切な耐震性能照査により、現実的な供用性の評価を実施した。

既設基礎など補強が困難な事例は多い。補強を回避の上、現実的な供用性評価を示す参考事例を提供出来たものとする。

参考文献

- 1) (公社)日本道路協会：道路橋示方書・同解説Ⅴ耐震設計編2012, 2017
- 2) 土木研究所：土研資料第4168号 既設道路橋基礎の耐震性能簡易評価手法に関する研究2010
- 3) 国土技術政策総合研究所，土木研究所：国総研資料第700号，土研資料第4244号 既設橋の耐震補強設計に関する技術資料2012

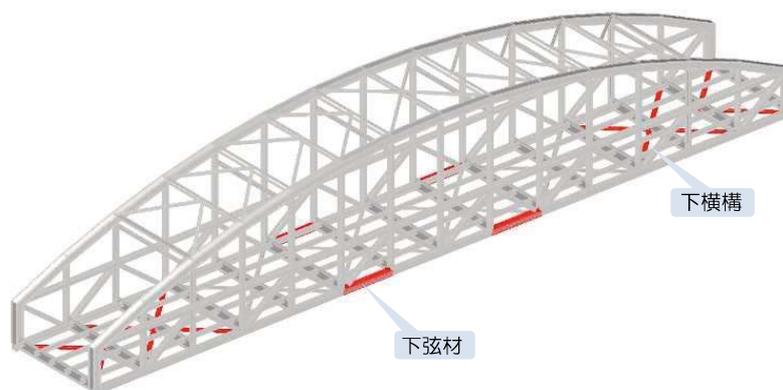


図-3 立体線形動的解析結果（赤色部材が降伏応力度を超過）

上面はつり調査を踏まえたRC床版補修計画

みずきりょうた きたほりひろたか かわぐちただし たかはしたかゆき
○水木亮太¹・北堀裕隆¹・川口正¹・高橋孝征¹

¹ (株) 東京建設コンサルタント中部支社 (〒460-0003 愛知県名古屋市中区錦2-5-5)

本橋梁は、竣工から50年以上経過した鋼単純合成鉄桁橋であり、橋梁診断業務にて床版に土砂化の恐れがあると診断され、床版補修が必要とされた。床版補修に当たり、原因の究明及び補修方法を立案するため、床版上面の部分はつり調査、コア採取による塩分含有量調査を実施した。調査の結果、床版内の塩化物イオン含有量が発錆限界値以下であり、床版の変状が部分的かつ、かぶり不足箇所に生じているため、かぶり不足による床版劣化とした。補修方法は、かぶりコンクリートの打替えに加えて、かぶり不足箇所に対して増厚を行うこととした。ただし、損傷範囲が明確ではないため、舗装を全撤去した後に損傷状況確認を行い、損傷程度に応じた補修方法を提案した。

Key Words : 床版補修, 床版打替え, 再劣化防止, 長寿命化

1. はじめに

供用後50年以上を迎えた鋼橋は、通行車両により床版の劣化が進んでおり、点検結果等を踏まえた維持修繕が実施されている。

今回対象となった橋梁は、鋼単純合成鉄桁橋であり架設から53年が経過しており、長年に渡る大型車の通行により既設橋の劣化が進んでおり、過去にもひびわれ注入や断面修復等の床版補修が実施されている。

当該区間は、峠を超えるの急勾配区間に位置しており、降雪時の予防的通行規制区間に指定されていた。そのため、凍結防止剤を頻繁に散布している。このような状況から、疲労と塩害による複合劣化により床版の土砂化が発生している恐れがあった。

本稿では、道路橋床版の補修にあたり、工事着手前及び工事中に現地調査を行い、損傷原因を踏まえた床版の補修方法の立案について述べる。

点検履歴：2019年(R1)定期点検

補修履歴：2008年(H20)舗装オーバーレイ

2010年(H22)床版補修

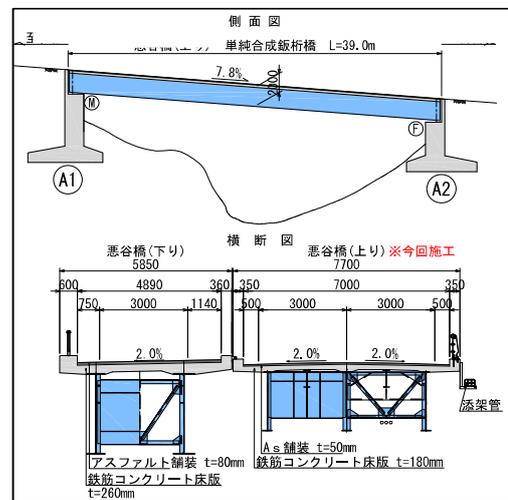


図-1 補修対象橋梁一般図

2. 橋梁概要

(1) 橋梁諸元

補修対象橋梁の諸元を以下に示す。(図-1)

位置：山岳地(一般国道)

橋長：39.0m

有効幅員：W=7.0m(0.5m+2@3.0m+0.5m)

橋梁形式：鋼単純合成鉄桁橋

竣工年度：1967年(S42)

※補修時(2020年)橋齢53年

適用基準書：S39 鋼道路橋設計示方書

交通量：4千台/12時間(大型車混入率5.7%)

(2) 定期点検での診断結果

定期点検は、2019年に実施されている。床版に関する損傷は、床版下面に遊離石灰を伴うひびわれ、舗装に部分的なうきやひび割れからの白色物の析出が確認された。

舗装のうきに対して、路面非破壊調査を実施したところ、床版上面コンクリートのうきが確認された。(図-2)さらに、代表箇所で床版上面はつり調査をした結果、上面鉄筋の腐食、鉄筋かぶりの不足(通常30mmに対して、10mm程度)が確認された。(写真-1)

また、はつり時に採取したコンクリート片（鉄筋位置付近～かぶり部分のコンクリートに相当する）に対して塩分含有量試験を行ったところ、塩化物イオン含有量は3.62kg/m³であり、発錆限界値とされる1.2kg/m³を大きく上回る結果であった。

以上の状況から、腐食による鉄筋の断面減少により部材の耐荷力が低下していること。また、塩害により損傷の進行も早いと判断されることから、床版及び舗装の対策区分はC2(速やかに補修が必要)と評価された。

(3) 現地調査を踏まえた補修内容の決定

点検結果より、床版鉄筋腐食の原因は塩害であると推定されるが、塩分浸透部分の完全な除去は難しく、部分補修では再劣化が生じるリスクを伴うことから、塩分の浸透が見られる床版をブロック単位で打替える計画とした。打替えを行う床版ブロックは、非破壊調査にて舗装のうきが確認された箇所(図-4)としたが、非破壊調査には限界があり、床版の損傷状況を正確に把握するために、舗装を全面はつりとした後の床版状況を確認することとした。それにより、補修範囲は工事開始後に状況確認を行った上で決定することとなり、工事遅延が懸念された。

3. 既設橋調査

(1) 調査及び補修方法検討のスケジュール

正確な原因究明と補修方法の立案を限られた時間で行う必要があり、発注者、施工者、設計者の3者にて事前の確認方法や現地調査を速やかに実施できるよう現場推進会議を実施した。現場推進会議にて、床版の補修方法及びスケジュールを協議し、下記の手順にて補修方法の立案を行うことを決定した。

- ① 施工前に事前調査として舗装はつり調査、床版コンクリート強度試験、塩分含有量試験を実施
- ② 調査結果を踏まえて、損傷状況に応じた補修方法を決定し、必要な規制期間を想定

- ③ 舗装全面撤去時に状況確認を行い、補修範囲を決定するとともに、想定した期間に収まるよう施工計画を立案

また、事前調査及び舗装全面撤去時は、3者合同で現地調査を行い、対策方針を決定した。

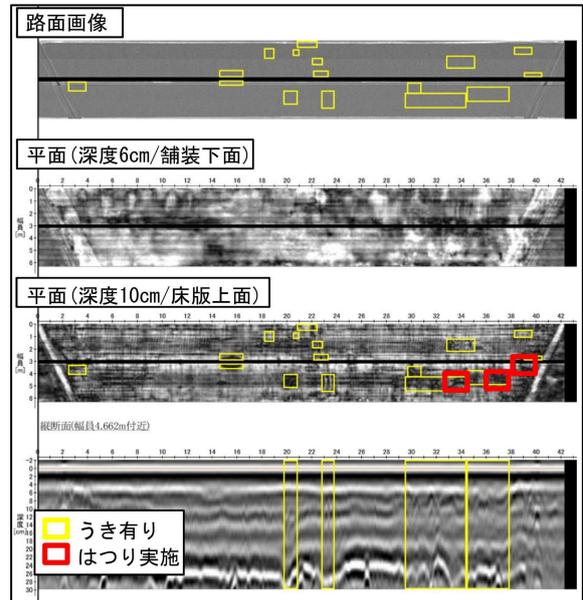


図-2 路面非破壊調査結果



写真-1 床版上面の損傷状況(前回点検時)

(2) 現地調査結果

既設橋の走行車線及び登坂車線をそれぞれ規制し、各所のはつり調査及びコア採取を実施した。(図-5)

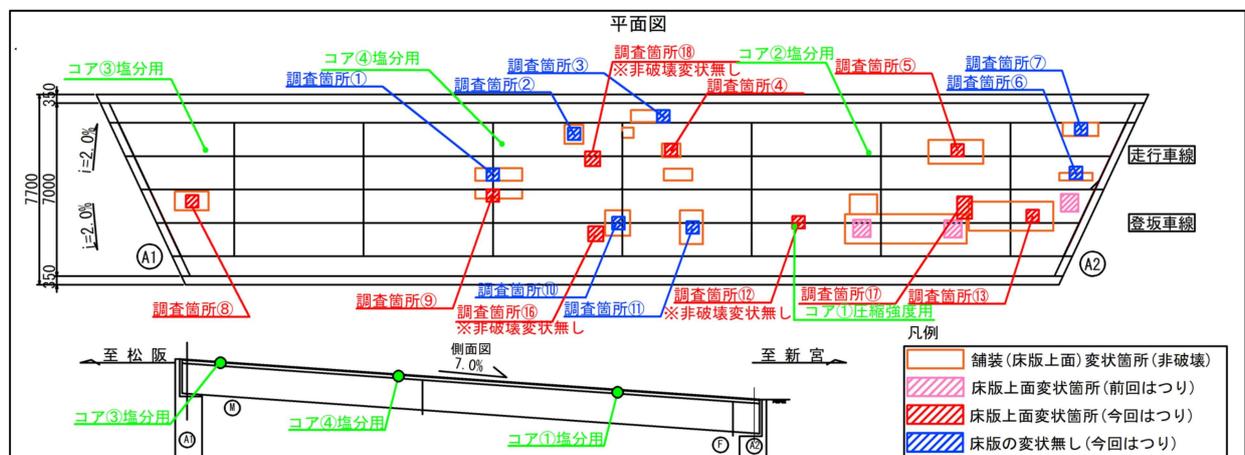


図-3 調査箇所位置図

非破壊調査の変状箇所を試掘した結果、14箇所中5箇所に変状が見られた。また、非破壊調査では抽出されなかったが、目視にて舗装の変状を確認した箇所には、床版コンクリートの脆弱化および鉄筋腐食がみられた。一方、床版上面に変状があった箇所の下面をはつり調査したところ、コンクリートや鉄筋に変状は見られなかった。(写真-3)

床版の変状が見られる箇所の鉄筋かぶりは、純かぶりで5~15mm程度であった。(床版の必要純かぶり30mm)更に、桁端部は、主鉄筋の上に斜め補強筋が配置されており、かぶりがほぼ無い状態であった。

舗装撤去後に状況確認を行った結果、床版上面は、全面に渡り劣化が見られた。(写真-4)

一方、コンクリートの圧縮強度は44.1N/mm²であり設計強度30N/mm²以上の強度を持つことを確認した。塩化物イオン濃度は、上面鉄筋位置で最大0.73kg/m³であり、塩害発錆限界値1.2kg/m³以下となることを確認した。(図-4)

以上より、床版上面の損傷の大半は、塩害によるものではなく、かぶりの薄い箇所が生じたひびわれから、橋面水が浸透したことにより、鉄筋の腐食が生じたと推測した。

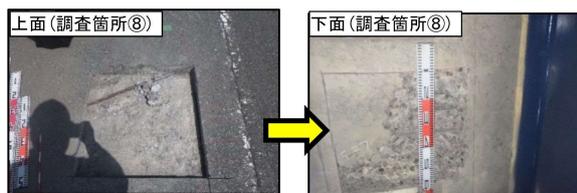


写真-4 床版上面と下面(左:上面, 右:下面)



写真-5 床版上面状況(舗装全撤去時)

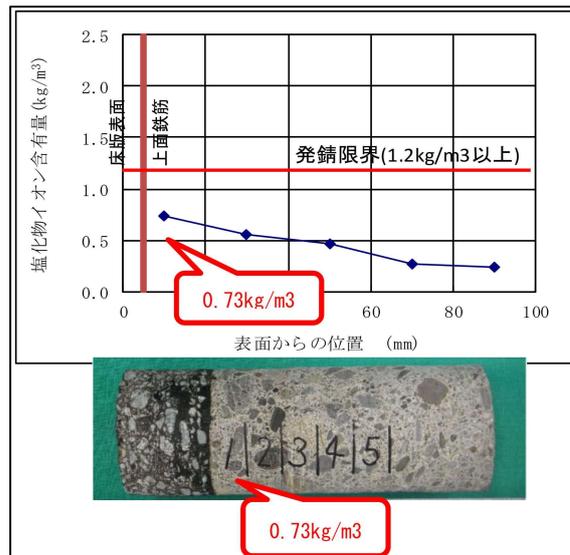


図-4 塩化物イオン含有量(コア②)

(3) 補修方法

現地での調査結果より、床版の劣化範囲を①床版下面に漏水がみられる箇所、②桁端部の面的にかぶりが不足している箇所、③損傷が上面のみに収まっている箇所に分類して補修方法を決定した。(図-5)

箇所①は、下面鉄筋まで水の浸透が想定され、床版下面まで劣化が進んでいる恐れがあるため、部分打替えを行うことにし、その範囲は、点検時に漏水が見られる箇所及び過去のひびわれ補修箇所を網羅した範囲とした。(図-6)

箇所②③は、床版の劣化が上面のみに見られるため、上面コンクリートの打替えを行う。その際、かぶり不足対策として、As舗装50mmを確保した上でコンクリートの増し厚を行うこととした。ただし、箇所②は、面的にかぶりがほとんど無いため、As舗装50mm区間をコンクリート舗装とし、上面コンクリート一体打設することで、かぶりを確保することとした。(図-7)

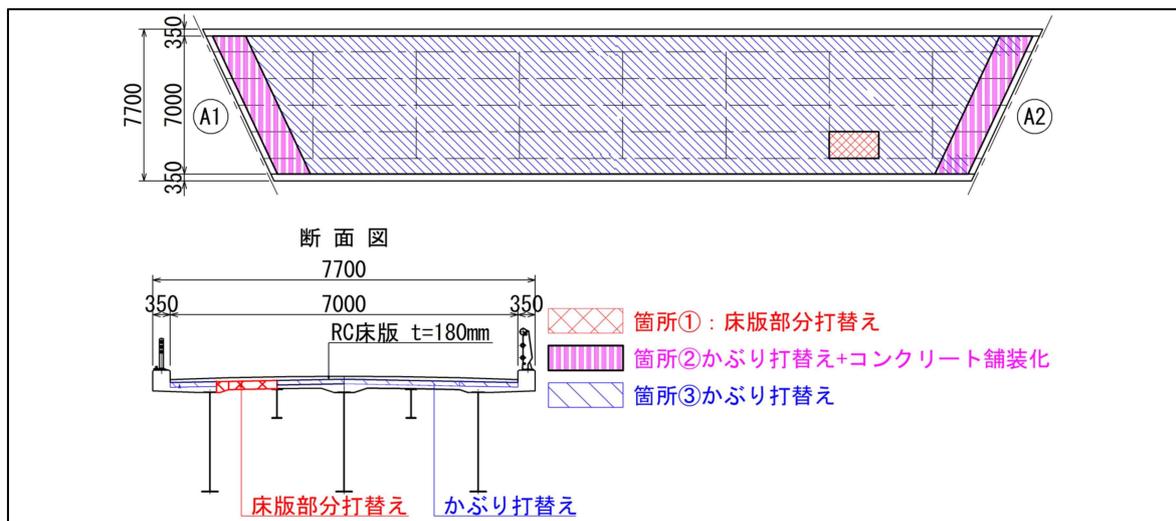


図-5 床版補修箇所位置図

また、局所的な床版劣化部の対応や腐食した鉄筋の補強等を現場にて臨機に対応する必要があったため、下記の現場対応上の留意点を整理した。

- ① 上面はつり厚は、上面鉄筋の下側までを基本とする。はつり後に床版状況を確認し、劣化箇所が見られる場合は再はつりを実施する。
- ② 鉄筋に減肉を伴う腐食が見られる箇所は、既設鉄筋と同径の補強鉄筋を挿入する。この時、補強鉄筋は腐食範囲にコンクリートへの定着長を確保した長さとする。

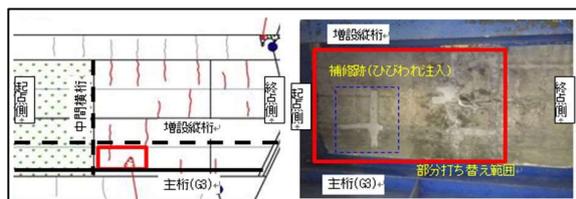


図-6 床版打替え範囲(箇所①)

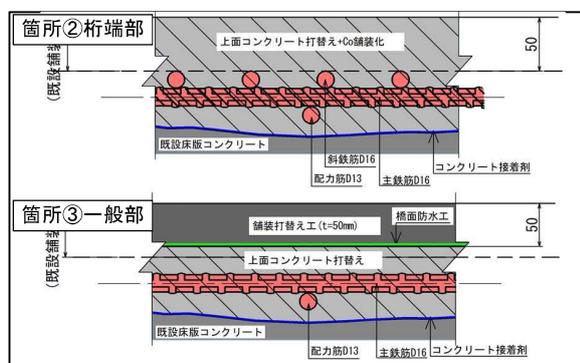


図-7 床版補修イメージ図(区間②③)

4. 現場作業の効率化、長寿命化対策

(1) 床版上面はつり

既設劣化部の除去は、床版上面をはつりることによる健全部へのマイクロクラック発生が懸念されることから、ウォータージェットを使用することとした。従来工法であるハンドガンでのはつりを行う場合、施工日数を予定規制期間までに収めることが出来ないため、大量の超高压水を機械に保持させ自動制御することで、安定的、均一、広範囲にはつり作業ができる「ウォータージェットはつり処理工法(NETIS:CB-180013-A)」を採用した。ただし、地覆部付近等の機械処理が困難な箇所は、ハンドガンによるはつり処理を行うものとした。

はつり深さは、上側鉄筋の下面以上を基本とし、劣化が見られる箇所においては更にはつりとりを行うことで、劣化部を確実に除去し再劣化防止を行った。(写真-5)

(2) コンクリート打替え

再劣化の防止には、不足しているコンクリートかぶりを必要かぶりまで確保する必要がある。そのため、コンクリートの打替えは、現況通りに復旧する

のでは無く、鉄筋かぶり純30mm、舗装厚50mmの確保を現地計測管理に設定して、確実に鉄筋かぶりを確保するものとした。(写真-6)また、既設コンクリートとの一体化を高めるため、新旧コンクリートの打ち継ぎ部にはコンクリート接着剤を塗布することとした。



写真-5 はつり後の床版状況確認



写真-6 施工管理厚確認状況

(3) 路面排水処理(防水処理)

橋面防水工の実施にあたり、防水層上面の排水対策として端部処理、床版水抜き孔、スラブドレーンの設置を行った。スラブドレーンは、滞水しやすい地覆端部に加えて、桁端部コンクリート舗装とAs舗装との境界部に配置した。

5. おわりに

今回の悪谷橋(上り)においては、工事着手時の段階にて状況確認を実施し、原因究明や方針決定を速やかに行うことで、当初予定期間(R2.9下旬～R2.12下旬)以内での工事を完了し、年末の規制抑制期間までに交通開放が可能となった。

床版の補修設計は、主に非破壊試験や点検診断に基づき計画されるが、工事開始時の現地調査や施工時の状況確認で、詳細な損傷原因や補修範囲等を変更することが多く、その対策を立案するための期間を必要とすることから、工程遅延が生じやすい。今回、工事開始時の現地状況確認を行うことで、実際の床版損傷状況を直接確認することで、実際の損傷状況に応じた補修方法と補修範囲を選定できた。

提案した補修方法及びかぶり管理値を元に施工が行われ、床版補修工事は完了した。床版補修に対して、必要となる調査を実施して、最適な補修方法を提案したことは、有意であると考えられる。

謝辞：最後に、本橋の計画、本論の執筆に対してご指導・ご助言をいただきました関係者各位に深く感謝の意を表します。

(2022.9.9 提出)

竣工後40年経過したRC橋脚の有効活用

武藤大和¹, 加藤幸男, 山本高由, 樋口雅友, 小澤拓也

¹中日本建設コンサルタント(株) 建設技術本部第1部第2課

五条高架橋は、PC単純プレテン床版桁とPC3径間連結プレテン床版桁で構成された橋長60.34mの高架橋（避溢橋）で昭和50年代に1期線（暫定2車線）が供用されている。本稿は、1期線と同時に施工され竣工後40年以上を経過した2期線のRC橋脚を有効に活用するために行った補修・補強工法の検討結果を報告するものである。補修工法の検討では、近接目視点検により損傷程度の評価と対策区分を判定し、判定結果に基づき詳細調査を実施して損傷の評価を行い工法を選定した。補強工法については、現行の基準による耐震性能の照査を行うとともに、点検で確認したアルカリシリカ反応（以下、ASRと呼ぶ）の影響を踏まえた工法を提案した。

Key Words : RC橋脚, アルカリシリカ反応, 補修・補強

1. はじめに

五条高架橋は、一般国道155号の五条川に架かる五条大橋西側の取付道路の一部である。本橋は昭和54年に1期線上下部工および2期線下部工が竣工された高架橋である。構造高が低く、写真-1に示すように隣接する五条川が氾濫した際にも、氾濫水の滞留抑止が可能な高架橋構造（避溢橋）となっている。

本業務は一般国道155号の4車線化に向けた2期線上部工の詳細設計および既設1・2期線下部工の耐震補強設計を行うものである。

本稿では、既設2期線RC橋脚の活用方法について報告する。

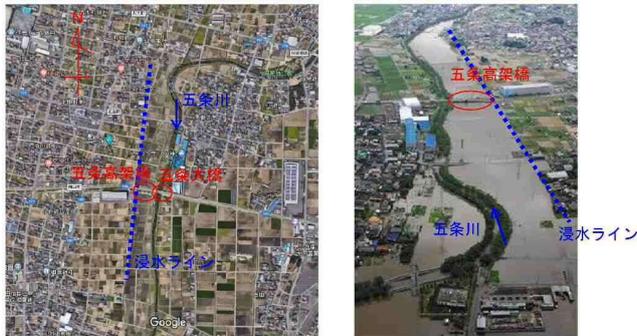


写真-1. 2017年7月14日の五条川氾濫状況

2. 橋梁概要

橋梁諸元（2期線）

- 適用示方書
 - 上部工：平成29年道路橋示方書
 - 下部工：平成24年道路橋示方書
- 道路規格：第3種2級
- 上部工形式
 - PC単純プレテン床版桁橋（A3～P1）
 - PC3径間連結プレテン床版桁橋（P1～A4）
- 下部工形式
 - 逆T式橋台（A3橋台）
 - 重力式橋台（A4橋台）
 - 壁式橋脚（P1～P3橋脚）
- 基礎形式：直接基礎
- 橋長：60.340m
- 支間長：9.845m（単純床版桁橋）
 - + 15.82m + 15.83m + 15.845m（3径間連結）
- 斜角：90°
- 全幅員：11.750m
- 活荷重：B活荷重
- 橋の重要度区分：B種の橋
- 地盤種別：1種地盤
- 竣工時期：S54年10月（下部工のみ）

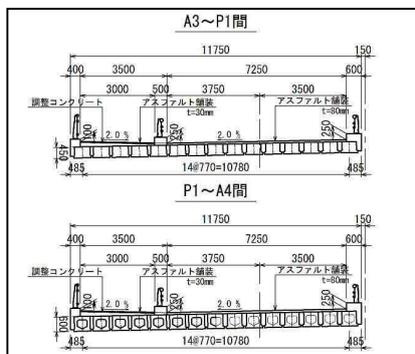


図-1. 上部工断面図

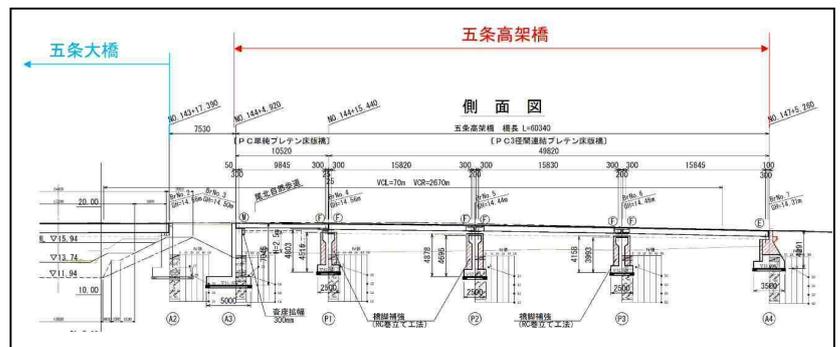


図-2. 橋梁側面図

3. 問題点と課題

(1) 問題点

①既設構造物の健全性の把握

現地調査では、写真-2に示すように既設RC橋脚すべての躯体表面にASRの影響とみられる亀甲状のひび割れやひび割れから白色のゲルの析出が確認された。



写真-2. RC橋脚躯体の表面写真

②既設橋脚の耐震性能の把握

本橋の橋脚は、昭和54年に竣工している。竣工図に基づき、配筋や断面を復元し、現行基準である平成24年道路橋示方書で照査した結果、表-2に示すとおり柱断面においてはLv2地震時での地震時保有水平耐力および残留変位の許容値を満足しなかった。

また、底板下面に作用する曲げによる押し込みにおいても許容値を満足しないことを確認した。

表-2. 既設RC橋脚（P2橋脚）のLv2地震時照査結果

	照査項目	橋軸方向		直角方向		
		タイプⅠ	タイプⅡ	タイプⅠ	タイプⅡ	
		D16@250				
柱	断面	基準を満足していないため考慮しない				
	主鉄筋					
	帯鉄筋					
	破壊形態	曲げ破壊型	曲げ破壊型	せん断破壊型	せん断破壊型	
	耐力	終局水平耐力 (P _u) (kN)	514.00	514.00	8091.99	8091.99
	せん断耐力 (P _s) (kN)	976.73	1302.30	538.11	717.48	
	許容塑性率	20.12	20.12	1.00	1.00	
	耐力の照査	設計に用いる設計水平震度	0.40	0.40	1.40	2.00
	等価重量 (kN)	2622.01	2622.01	3074.02	3074.02	
	地震時保有水平耐力 (kN)	1048.8 > 514 (NG)	1048.8 > 514 (NG)	8092.0 > 896.9 (NG)	8092.0 > 896.9 (NG)	
残留変位	応答塑性率 (kN)	35.911	72.768	18.131	36.481	
残留変位の照査 (mm)	66.1 > 39.0 (NG)	66.1 > 39.0 (NG)	1.2 ≤ 50.0 (OK)	2.5 ≤ 50.0 (OK)		
底板	曲げ	浮上り側 (kN・m)	20 ≤ 156 OK	—	—	
		押し込み側 (kN・m)	237 > 156 NG	—	—	
	せん断	浮上り側 (kN)	24 ≤ 703 OK	—	—	
		押し込み側 (kN)	362 ≤ 687 OK	—	—	

(2) 課題

課題①：既設RC橋脚の劣化対策及び有効活用

現地調査により、既設RC橋脚にASRの影響とみられる損傷が確認されたため、詳細調査によりASRの進行度を確認するとともに、ASR以外の複合的な劣化要因を追及してRC橋脚を活用するための適切な補修工法を検討する必要がある。

課題②：現行基準に対する耐震性能の確保

RC橋脚は、昭和41年道路橋下部工構造設計指針を適用して設計されている。平成24年道路橋示方書の耐震性能を満足させるため、耐震補強を検討する必要がある。

4. 課題①に対する解決策

(1) 劣化主要因の追究

ひび割れの発生要因としては、表-3に示すとおり「進行性のないひび割れ」など初期損傷の多くは一般的に施工直後（供用後2年以内）に発生する。竣工から40年以上経過した既設RC橋脚では、劣化の主要因ではないものと判断した。また、「進行性のひび割れ」の発生要因の内、現地の状況等を考慮すると、ASR以外に中性化による劣化の確認が必要である。

表-3. ひび割れの分類および発生要因

ひび割れの分類	ひび割れ発生要因
一般的に供用後2年以内で起きる現象 施工から40年経過しているのが該当しない	<ul style="list-style-type: none"> 乾燥収縮 セメントの水和熱 コンクリートの沈下、ブリーディング 温度ひび割れ
<ul style="list-style-type: none"> 寒冷地ではない 飛沫塩分量が多い地域でもない 上部工がない 一疲労もない 	<ul style="list-style-type: none"> 中性化 → 確認 凍害 → 該当しない 塩害 → 該当しない ASR → 確認 疲労 → 該当しない

(2) 調査の実施

①ASRに対する詳細調査

ASRに対する詳細調査として、写真-3に示すようにコア採取による圧縮強度試験および静弾性係数試験を実施した。



写真-3. 詳細調査の実施

②中性化に対する試験

図-3および写真-4に示すように中性化の進行度を把握するため、またASRとの複合劣化の可能性があるためドリル法による中性化深さの確認をおこなった。



図-3. 中性化の調査方法



写真-4. 中性化に対する試験の実施

(3) 調査結果

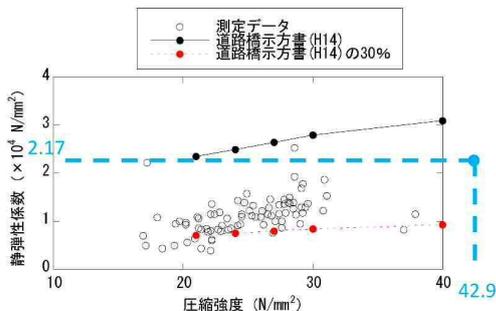
①ASRに対する調査結果

圧縮強度試験および静弾性係数試験の結果を表-4に示す。圧縮強度は $\sigma_{ck}=42.9\text{N/mm}^2$ 、静弾性係数 $E_c=2.169 \times 10^4\text{N/mm}^2$ であることが確認された。

表-4. 圧縮強度および静弾性係数試験結果

供試体番号	1	2	3
材 齢 (日)		—	
養生方法・温度		—	
直 径 (mm)	73.6	73.6	73.6
高 さ (mm)	114.4	127.7	125.5
質 量 (g)	1,161	1,244	1,217
単位容積質量 (kg/m^3)	2,385	2,289	2,279
最大荷重 (kN)	208.0	177.0	178.0
h/dによる補正係数	0.96	0.98	0.98
圧 縮 強 度 (N/mm^2)	46.9	40.8	41.0
平 均 値 (N/mm^2)	42.9		
静 弾 性 係 数 (KN/mm^2)	25.97	17.92	21.17
平 均 値 (KN/mm^2)	21.69		

図-4に示すグラフより、ASRコンクリート（赤点）は、健全なコンクリート（黒点）と比較して、静弾性係数が $2.0 \times 10^4\text{N/mm}^2$ 程度低下する傾向がみられる。詳細調査で確認された圧縮強度は、 42.9N/mm^2 となるため、表-5より静弾性係数： $3.10 \times 10^4\text{N/mm}^2$ 相当が見合った値である。しかし、計測値では静弾性係数は $2.169 \times 10^4\text{N/mm}^2$ に留まる。このことから、ASRの劣化による静弾性係数の低下が認められるものの、設計基準強度相当（ $\sigma_{ck}=21\text{N/mm}^2$ ）の静弾性係数が確認できるため、補強することが可能だと判断した。



※近畿地方整備局管内における80のコアの試験結果をプロットしたものである。
※当初の設計基準強度は、 21N/mm^2 または 24N/mm^2 である。

図-4. ASRコンクリートの静弾性係数

表-5. コンクリートのヤング係数

設計基準強度	21	24	27	30	40	50	60	70	80
ヤング係数	2.35×10^4	2.50×10^4	2.65×10^4	2.80×10^4	3.10×10^4	3.30×10^4	3.50×10^4	3.70×10^4	3.80×10^4

②中性化に対する試験結果

表-6に示すように、中性化深さは純かぶり93.5mmに対し、2.3~2.6mmと十分余裕がある。

よって、本橋で発生した劣化の主要因はASRと判断した。

表-6. 試験結果

	P1橋脚	備考
中性化深さ (mm)	2.3~2.6 OK	純かぶり 93.5mm

なお、ASRコンクリートに対する残存膨張量試験については、一般的に竣工後40年以上経過した構造物が、今後急激に変状の程度が変化するとは考えにくいと省略した。

(4) 補修工法の検討

ASRの残存膨張量は少ないものと推定されるが、ASRによる劣化はアルカリシリカゲルの吸水膨張によって進行するため、RC橋脚の補修工法としては、劣化因子の抑制効果を目的としたひび割れ注入工および表面処理工法を提案した。

1) ひび割れ注入について

ひび割れ注入の工法は今後のASRによるひび割れの進行に追従するエポキシ樹脂（3種：伸び率100%以上）を用いることとした。

表-7. 注入材の種類

項目	材料の種類		
	土木補修用 エポキシ樹脂 注入材1種	土木補修用 エポキシ樹脂 注入材2種	土木補修用 エポキシ樹脂 注入材3種
ひび割れ進行区分 ^{*1}	B		A
ひび割れ幅 (mm)	0.2~5.0		
粘度 (mPa·s)	1000以下	4±1 ^{*2}	1000以下
可使時間 (分)	30以上	30以上	30以上
硬化時間 (時間)	16以内	16以内	24以内
硬化収縮 (%)	0.1以下	0.1以下	0.1以下
伸び率 (%)	—	50以上	100以上
モルタル付着強さ (乾燥面) (N/mm^2)	6以上	6以上	6以上
付着耐久性保持率 (%) ^{*3}	60以上	60以上	60以上

*1: Aはひび割れが進行している状態、Bはひび割れの進行がとまった状態

*2: チキソトロピック係数 2rpm/20rpmの粘度で表す

*3: 30サイクルの乾湿繰返し後の付着力が、規格に対する百分率で表中の値以上であること。乾湿繰返し等の条件はJIS A 6024「建築補修用注入エポキシ樹脂」による。なお、現行のJIS A 6024では、「接着強さ」として記述されている。

2) 表面処理について

外部からの水分供給を抑制する効果が期待できる表面処理対策としては、以下の2つが挙げられる。

- ・被覆系表面保護工法：シート系
- ・含浸系表面保護工法
 - ①撥水系（シラン系）
 - ②遮水系（ケイ酸塩系）

ASRの対策工法としては、外部からの水分供給の抑制と併せ、コンクリート内部の水分蒸発が可能な工法が望ましい。よって梁側面部の表面保護工法は内部の水分蒸発が可能な撥水系（シラン系）表面保護材を採用した。

5. 課題②に対する解決策

(1) 耐震補強工法の検討

既設RC橋脚は、Lv2地震時の耐力不足の他に、平成24年道路橋示方書に基づいて照査した結果、端支点橋脚の落橋防止システムとして必要桁かかり長も不足している。よって、躯体断面の増加と併せ橋座拡幅を実施した。表-8および図-5に示すとおり耐震補強後の照査結果は、桁かかり長含めすべて満足する結果となった。

表-8. P2橋脚耐震補強後のLv2地震時照査結果

照査項目	橋軸方向		直角方向		
	タイプ I	タイプ II	タイプ I	タイプ II	
	D16@250(既設) D25@250(補強)				
断面	D22@150(補強)				
主鉄筋	D16@250(既設) D25@250(補強)				
帯鉄筋	D22@150(補強)				
破壊形態	曲げ破壊型	曲げ破壊型	せん断破壊型	せん断破壊型	
耐力	終局水平耐力 (Pu) (kN)	3031.70	3031.70	22294.60	22294.60
	せん断耐力 (Ps) (kN)	4546.83	5281.30	6951.66	7382.48
	許容塑性率	17.41	17.41	1.00	1.00
耐力の照査	設計に用いる設計水平震度	0.40	0.40	1.40	2.00
	等価重量 (kN)	2837.00	2837.03	3504.06	3504.06
	地震時保有水平耐力 (kN)	1134.8 ≤ 3031.7	1134.8 ≤ 3031.7	4905.7 ≤ 7813.3	7008.1 ≤ 7813.3
	応答塑性率 (kN)	1.922	3.403	0.714	0.936
残留変位	残留変位の照査 (mm)	0.59 ≤ 35.0 (OK)	2.08 ≤ 35.0 (OK)	0.0 ≤ 46.0 (OK)	0.0 ≤ 46.0 (OK)
底板	曲げ	浮上り側 (kN-m)	20 ≤ 122 OK	—	—
		押込み側 (kN-m)	223 ≤ 247 OK	—	—
	せん断	浮上り側 (kN)	15 ≤ 966 OK	—	—
		押込み側 (kN)	379 ≤ 1205 OK	—	—

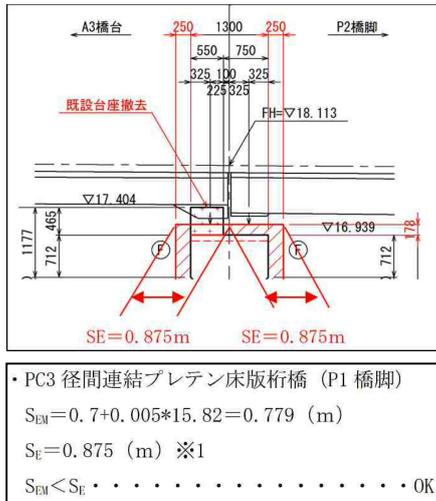


図-5. 端支点橋脚における桁かかり長の照査

(2) 耐震補強形状の検討

柱部の耐力増加のための増厚補強、梁部の桁かかり長確保のための増厚、フーチング押込み曲げに対する増厚をそれぞれ個別で補強した場合、図-6(左図)に示す形状となり、下部工の補強が複雑化する。よって、図-6(右図)に示すように施工性の容易化と雨水の侵入防止対策も兼ねて梁天端まで巻立てた補強工法を提案した。

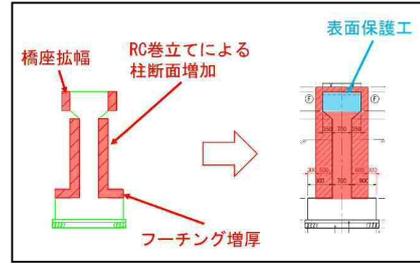


図-6. 補強方法の変更 (左: 個別, 右: 一体)

6. 結論

劣化の主要因は、外観検査、詳細調査、簡易調査の結果により、損傷程度や進行が小さいASRであると判断される。

ASRに対してはひび割れ注入工や表面保護工により、劣化因子(水分)の侵入を抑制し、長寿命化を図ることができたと考えられる。

また耐震補強については、梁天端までのRC巻立て工法を採用することにより、ASR劣化因子の侵入抑制につながっている。またRC巻立て工法により耐力の増強および必要桁かかり長を確保することで耐震性能を満足する結果となった。

これらのASR対策や適切な補修・補強を実施することで、竣工後40年以上経過したRC橋脚を有効活用することができた。

ASRについては確実な収束期を判断することが困難であり、含有するシリカ成分や環境状況の変化によって、膨張が進行する可能性もある。よって、ASRと判断された構造物については今後も定期点検による経過観察を行うことが望ましい。

さらには、盛土などへの構造変更を要しなかったため、避溢橋としての機能を担保することができたと考えている。



写真-5. RC橋脚の全景 (左: 施工前, 右: 施工後)

謝辞

最後に本論文の発表にあたり、検討業務の発注者である愛知県一宮建設事務所の方々に深く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) ASRに関する対策検討委員会: アルカリ骨材反応による劣化を受けた道路橋の橋脚・橋台躯体に関する補修・補強ガイドライン(案) H20年3月
- 2) 国土交通省: 道路橋のアルカリ骨材反応に対する維持管理要領(案) 平成15年3月
- 3) 国土交通省: 橋梁定期点検要領 平成26年6月
- 4) 平成24年道路橋示方書・同解説Ⅲ コンクリート橋編

土石流により被災した橋梁に対する災害対応

○藤原優貴¹・横井徹也¹・原田和樹¹・榮義彦¹・菊地勇人¹

¹日本工営都市空間株式会社 本社（〒461-0005 愛知県名古屋市中区東桜2丁目17番地14号）

被災した橋梁の路線は、一級河川沿いに急峻な山岳部を通る一般国道であり、集中豪雨による土石流の影響で複数の主桁等が損傷したが、全面通行止めが困難な路線特性を踏まえ、上部工健全部を利用した片側交互通行の供用下にて、損傷部を復旧（再構築）する設計を実施した。本設計では、車両の車輪位置に配慮した主桁配置を行った上で、既設上部工のPC鋼棒横締め対応として、フラットジャッキを使用した中間定着工法を採用し、既設橋継続利用部への影響を最小限とする復旧（改築）部設計を行った。また、採用した中間定着工法において、性能確認試験と耐圧試験を提案し、性能及び安全性を確認した。

Key Words：集中豪雨，土石流，片側交互通行，復旧設計，PC鋼棒中間横締め定着工法
ラムチェア，フラットジャッキ，性能確認試験

1. はじめに

令和3年8月、日本付近に停滞した前線に向かって暖かく湿った空気が流れ込み、前線の活動が活発となった影響で西日本から東日本の広い範囲で大雨となり、総降水量が多いところで1200ミリを超える記録的な大雨となった。これらの大雨により全国各地で土砂災害や河川の増水や氾濫、低地の浸水による被害が発生した。¹⁾

本報の対象橋梁周辺においても、日当たり降水量が200ミリを超え、路線（一般国道）としても複数箇所ですり土石流による一時通行止め等の被害が発生した。

本報では、土石流により被災した橋梁において、一般国道の災害対応として実施した復旧設計の内、損傷が生じていなかった上部工健全部での対応に着目して報告する。

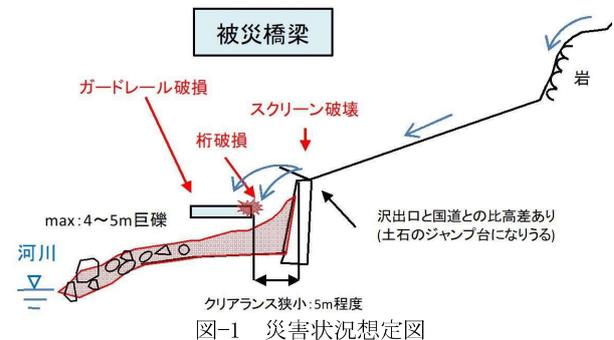
2. 変状要因及び被災状況

本橋は、プレテンション方式単純PC床版（I桁）橋である。土石流で被災した本橋に対し、橋の状態を確認するとともに、供用安全性の判断や復旧に向けた補修・補強などの対策方針を検討する上で、必要となる情報を得ることを目的に緊急点検を実施した。

(1) 現地状況及び変状要因

一般国道沿いの沢部出口から土砂が流出し、沢を渡河する対象橋梁の主桁等を破損した。堆積土砂に直径2m（最大4～5m）程度の巨礫が確認でき、橋梁山

側にある擁壁部の沢出口が橋梁よりも高い位置にあるため、土石流のジャンプ台となり、橋梁に直撃したと推定された（図-1）。



(2) 被災状況

主桁の損傷は、山側で6本、河川側で1本（図-2、3）が欠損しており、山側の沢出口と橋梁のクリアランスが5m程度しかなかったため、土石流が直撃し、被害が山側で大きくなったと考えられた。

山側の主桁（6本）は、土石流の直撃により桁端部（A2橋台）から3m程度が欠損し、損傷箇所では主桁横締めPC鋼棒3本が露出していた（写真-1、2）。

河川側の主桁（1本）は、上フランジ断面が全長で欠損しており、橋面を流れた土石流が地覆部を破損し、これに伴い主桁に設置された地覆鉄筋とともに欠損したと推定された。



写真-1, 2 災害状況写真(左:損傷全体, 右:山側のPC鋼材露出)

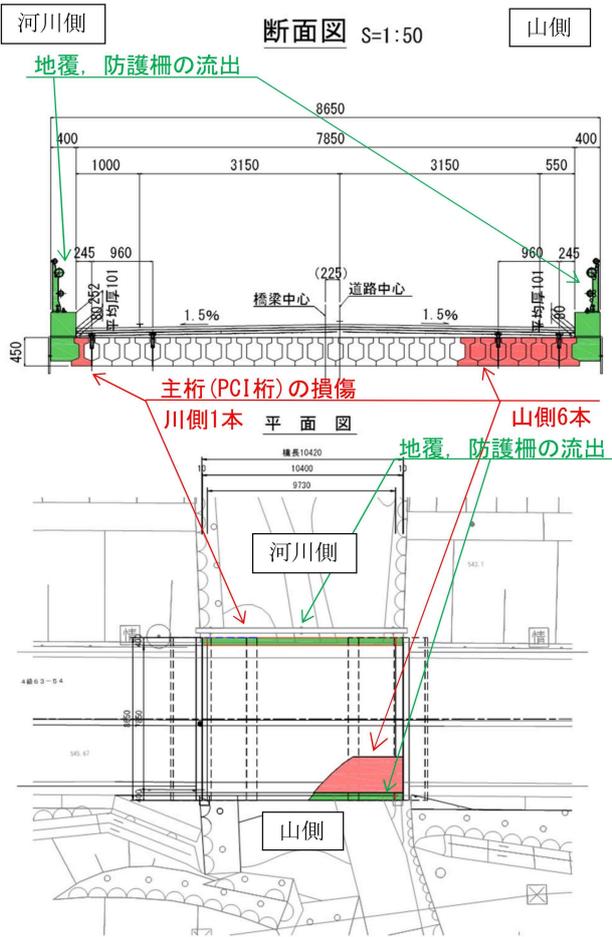


図-2, 3 被災概要図(上:断面図, 下:平面図)

(3) 交通開放(暫定供用)

全面通行止めが困難な当該路線において, 下記理由により, 復旧工事完了まで片側交互通行にて交通開放することとし, 被災直後は主桁に損傷を受けていない下り線側(路肩部除く)での供用とした。

- ① 損傷を受けた主桁以外の健全な主桁(25本の内18本)において, 今回の災害を要因とする目立った損傷は見られなかった。
- ② 損傷を受けていない主桁横締め(推定15本の内11本)においては, 川側の地覆が流出したことにより定着部が露出しているものの, グラウトの充填状況を確認し, 抜け出しなどの損傷は生じておらず, 有効にプレストレスは作用していると想定できた。
- ③ プレキャスト桁は横締めにより一体化が図られ

ており, その効力として分配作用が発生するが, 今回破損した横締めは支点部付近であり, 横締め緊張が解放されたとしても, 影響は小さいと考えられた。

3. 災害復旧に向けた基本方針

災害による橋梁損傷に伴い, 片側交互通行として暫定供用している現状において, 以下の対応方針を基本とした。

- ① 橋梁部の有効幅員等は, 現況復旧を基本とする。
- ② 既設橋梁の改築は必要最小限とし, 早期復旧を最優先とする。
- ③ 損傷し現況復旧できない旧JIS桁等は, 現行基準による改築を基本とする。

4. 災害対応設計の概要

(1) 復旧対策案の桁配置

比較検討の上, 採用した損傷部における新設主桁「PC°レテンロー桁(充実断面)」の配置計画(図-4, 5)において, 衝突荷重に対する構造対応として, 支承アンカー設置のため, 2主桁以上での設置が必要となった。

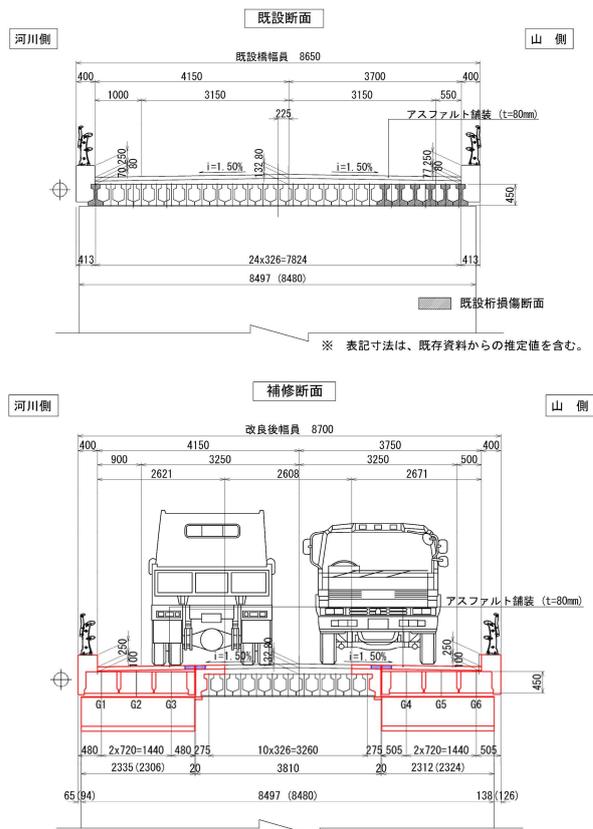


図-4, 5 対策案の上部工断面(上:既設断面, 下:補修断面)

山側においては, 損傷桁6本に加え, 健全桁1本を撤去することで, 主桁を3本設置する主桁配置とした。

河川側においては、損傷桁1本に加え、健全桁6本を撤去し、新設桁を3本設置することで、走行車両の安全性確保(車両の車輪位置が縦目地位置となることを避ける)も踏まえた主桁配置とした。

(2) 既設上部工のPC鋼棒横締め対応

既設上部工の横締めは、山側6主桁の内、損傷部はプレストレスが抜けているものの、グラウトが充填されていることを現地確認できた。

従って、健全部の継続供用に向け、既設桁流用部(健全部)において、横締めPC鋼棒のプレストレスを仮受する装置(中間定着装置)を用いた中間定着工法を用いることを提案し、中間定着装置に組み合わせるラムチェアを用いる方法とフラットジャッキを用いる方法を比較した。

ラムチェア案は、圧入機器(支圧版+ジャッキ)を使用しながら中間定着具を設置(圧入作業)し、その後、圧入機器を取り外した場所に反力台として「ラムチェア」を設置することで、反力を導入する方法である。(表-1)

表-1 中間定着装置(ラムチェア案)

比較案	ラムチェア
概略図	
既設桁影響	端部定着部“大”
作業工程	圧入と反力導入の同時作業“不可”

フラットジャッキ案は、中間定着具の設置(圧入)作業と反力台を兼用できる「フラットジャッキ」を用いる方法である。(表-2)

表-2 中間定着装置(フラットジャッキ案)

比較案	フラットジャッキ
概略図	
既設桁影響	端部定着部“小”
作業工程	圧入と反力導入の同時作業“可能”

PC鋼線に対する中間横締め定着の施工事例はあるものの、PC鋼棒に対する中間横締め定着の施工事例が存在しなかったため、発注者へ提案し、了解を得て専門業者に依頼の上、PC鋼棒に対応できる中間定着装置、それに組み合わせて使用するラムチェアやフラットジャッキの性能試験を施工前に実施し、安全性・妥当性を確認・検証した。²⁾

また、当該現場の施工条件を勘案し合致する方法に対して、資材を組み合わせて使用する中間定着工法で安全に施工するための諸条件を確認した。²⁾

比較2案に対し、上記の各種試験で両案とも実現可能と判断できたが、後述する理由から、中間定着装置とフラットジャッキを組み合わせたタイプを採用することとした。

ラムチェアを組み合わせたタイプは、

- ① 機械高がフラットジャッキタイプより大きく、コンクリートはつり量が大きくなってしまう。
- ② 完成系のコンクリートかぶりが大きくなってしまう。
- ③ 中間定着後に損失してしまうプレストレスに対して再導入することができない。

フラットジャッキ案の採用により、狭い主桁間隔での作業性も良く、端部定着部を最小とできるため、既設コンクリートのはつり量等も最小限となった。

5. 業務成果

本業務の成果としては、以下の点が挙げられる。

- ① 被災した橋梁の緊急点検を行い、既設上部工の健全桁と損傷桁を確認した上で、防護柵の衝突荷重に対して構造対応が可能であり、経済性に優れる案の中で、復旧後における車両の車輪位置が縦目地位置となることを避けた桁配置を行うことで、車両走行に配慮した主桁配置を行うことができた。
- ② 既設上部工のPC鋼棒横締め対応として、フラットジャッキを使用した中間定着工法を採用したことにより、中間定着具の設置(圧入)と反力台を兼用することで、端部定着部が最小限となり、既設主桁への影響を最小限とできた。さらに、圧入作業と反力導入を同時に行うことができるため、作業工程の短縮及び作業人工の低減が図れた。
- ③ 実績のないPC鋼棒に対する中間定着装置工法の採用に対して、中間定着装置およびフラットジャッキにおいて性能確認試験と耐圧試験を実施し、性能を満足し、その安全性を確認できた。
- ④ 本報告は、災害復旧工事に対する事例であるが、老朽化に伴う補修工事や橋梁拡幅等の改築工事にも流用できると考える。

謝辞：発注者様及び本工事の施工業者様、中間定着工法の専門業者様には、ご指導・ご助言を頂き、感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 気象庁：災害をもたらした気象事例 前線による大雨
令和3年(2021年)8月11日～8月19日 (R3. 8)
- 2) FKK極東鋼弦コンクリート振興株式会社：FKKフレッシュ
ナー工法 中間定着資材 性能確認試験 試験報告書
(R4. 3)

仮排水路を活用した河川環境の再生

やま だひろかず よし だかずゆき す み なおき こもり やすとも
山田弘一¹・吉田和幸¹・鷺見直樹²・小森康智¹

¹大日コンサルタント株式会社 本社（〒500-838 岐阜県岐阜市藪田南3-1-21）

²一般社団法人砂防・地すべり技術センター（〒102-0093 東京都千代田区平河町2-7-5砂防会館）

本業務では、河道内工事時に必要となる仮排水路を有効活用することにより、その後の河床の安定、河川環境、維持管理に資する詳細設計を実施したものである。

Key Words : 仮排水路, 河床安定, 河川環境, 維持管理

1. はじめに

滞筋の固定化による陸域と水域の分断は、樹木の侵入を容易にし、侵入した樹木による流下阻害により河道の疎通能力の低減を招き、治水安全度を低下させる。滞筋の固定化による流水の集中は、局所的な洗堀を招き河川管理施設を不安定や河川環境の単調化に影響する。この対策として、樹木伐開や河道掘削等の維持管理が実施されている。一方、河川工事では施工箇所をドライにする水替えが実施され、締め切り堤や仮排水路が施工される。

本業務は、工事に必要となる仮排水路を有効活用し、滞筋の集中を緩和させるとともに河川環境の再生に取り組む方法を検討したものである。

2. 事業箇所および事業概要

(1) 事業箇所

事業箇所は、郡上市白鳥地区市街地の中央を流れる長良川であり、河口より約130km付近の山地に位置している。農業・飲料用等の複数の横断工作物が整備された区間に位置し、縦断勾配は1/100、縦断的な河床低下は小さく安定した区間である。

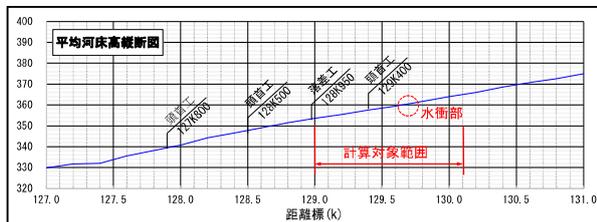


図-1 事業箇所周辺の縦断勾配

過去からの航測写真を図-2に示す。昭和40年頃までは複列砂州が見られる自然豊かな長良川が形成されていた。しかし、引堤以降、これまで数多くの出水の影響等により砂州の移動とともに滞筋の固定化が進み、陸域と水域が固定され、水衝部では局所洗堀により護岸の根入れが不足して堤防の不安定化が

懸念される状況であった。

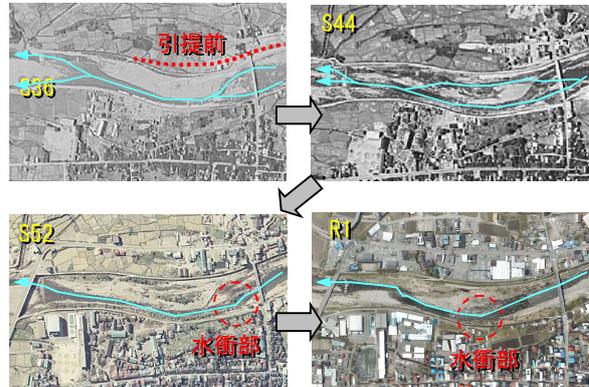


図-2 航空写真（主流路、水衝部：1961～2019年）

事業箇所の整備目標は10年確率（600m³/s）である。一方、図-3に示す通りその発生頻度は5年に1度程度（0.2回/年）であり、年に複数回発生する出水規模は、目標流量の半分以下である。

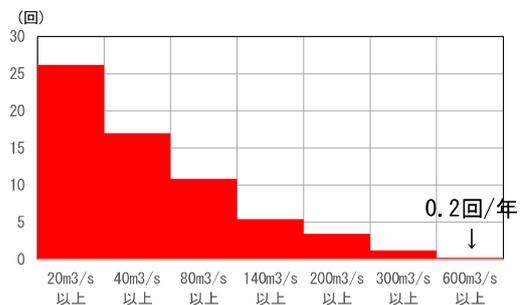


図-3 出水の発生頻度（2016～2020年平均）

(2) 事業概要

事業の目的は、水衝部の護岸基礎前面に根固工による局所洗堀対策を実施することである。

そこで、根固め工の仮排水路の河道掘削を活用して、滞筋の固定化を緩和し、治水上の課題、河川環境の再生を目論見た。

具体的には、仮排水路を工事後も残置することに

より、小出水～中出水において左岸水衝部への流れの集中を緩和し、大規模出水時における流速を低減させ、水衝部の河床の安定を図り、洗掘の進行を抑えるとともに、かつての瀬淵の再生を図るものである。

3. 仮排水路活用条件

(1) 仮排水路設計条件

仮排水路は、根固め工のドライ施工に必要なとなるが、本事業は堤防開削工事でないことから根固め工施工期間（11月～翌1月）内の過去5ヶ年間の最大流量（81.1m³/s）を対象とすることとし、仮排水路及び締切盛土形状は、設計要領¹⁾を参考とした。

表-1 年月別最高流量（m³/s）

年	1月	2月	3月	～	10月	11月	12月
2016	79.4	350.0	欠測	～	62.9	31.1	81.1
2017	13.8	49.7	24.9	～	324.5	13.1	38.1
2018	51.1	0.5	212.8	～	321.0	24.0	49.7
2019	8.1	32.3	81.1	～	118.1	13.8	13.8
2020	67.6	48.3	109.7	～	36.9	24.9	欠測

(2) 仮排水路構造

仮排水路構造は、以下の導水頻度、地元住民意見を踏まえ、設計条件を満足する図-4の形状とした。また、掘削と盛土規模を同程度となるような形状とし、現場発生土を減らし施工性を向上させた。

- ① 洗掘の進行を緩和させるため、高頻度で発生する小出水時（20m³/s）にも仮排水路に導水される掘削高及び入口形状とする。
- ② 遊漁者等の横断移動を容易とするため、横断方向の法面を緩勾配（2割）とし、河床に一定の幅を確保し、掘削深を浅くする。

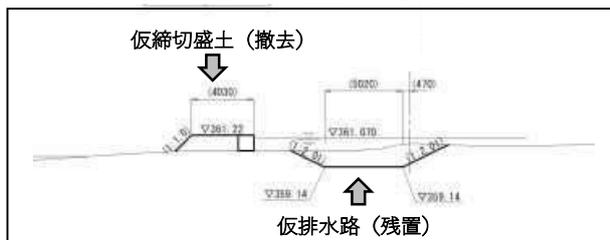


図-4 仮排水路形状

(3) 仮排水路検討位置

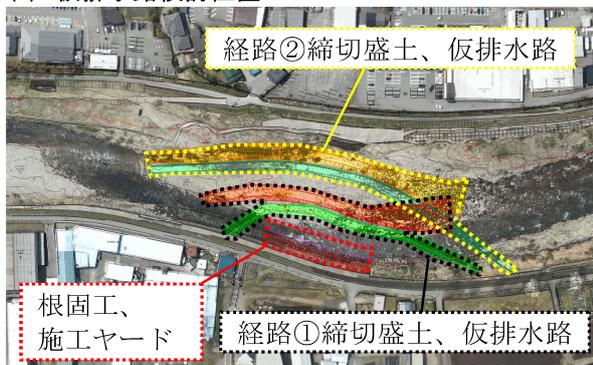


図-5 仮排水路検討位置

通常、仮排水路は施工のために必要な作業ヤード（クレーン配置範囲等）を囲む最低限の範囲に設置（経路①）される。本業務では、経済性の観点から通常設置される位置（経路①）と土工規模が同程度の既存溝ばれ箇所（経路②）を検討対象位置とした。

4. 仮排水路の効果検証手法

(1) 検証モデル

仮排水路の残置による小～中出水時の左岸水衝部への流水の集中緩和と大出水時の流速低減の効果を確認するため、平面二次元不定流解析で検証した。

上記条件・現象が解析可能な以下の検討手法を採用した。

表-2 検討手法

検討手法/項目	使用ソフトウェア
数値シミュレーションプラットフォーム	iRIC Ver3
平面二次元流解析	Nays2DH
環境/維持管理定量評価	EvaTrip

表-3 検証モデル概要

項目	内容	適用
計算範囲	129k150～130k050	L=900m
メッシュサイズ	約1m	
地形年次	令和3年	
粗度係数	0.035	河床部
	0.024	護岸、根固ブロック等
障害物	橋脚	

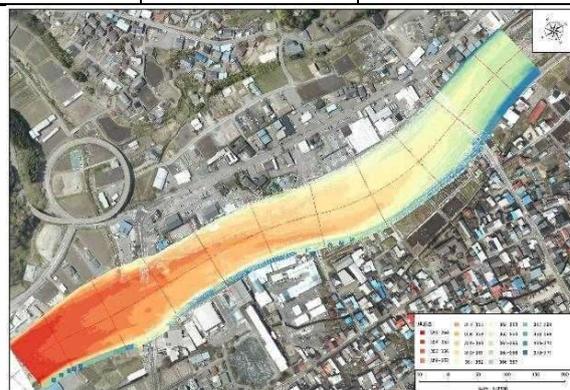


図-6 地盤高分布図

(2) 対象出水波形

対象出水は、平水流量程度（10m³/s）から目標流量（600m³/s）まで一定量で増加させることとし、災害が発生した平成30年洪水を参考とし12時間で目標流量に到達する波形とした。

(3) 比較項目

効果の比較項目は、以下の項目とした。

表-4 比較項目一覧表

番号	分類	評価内容
1	治水	流速
2		移動限界粒径
3	環境	生息条件
4	維持管理	植生繁茂の容易さ

5. 結果および考察

(1) 解析結果

現況河道、経路①河道、経路②河道の平面二次元流解析を実施した。図-7～図-9に一部を示す。図-8、図-9でわかるとおり、高頻度で発生する出水時（ $20\text{m}^3/\text{s}$ ）でも仮排水路への導水が確認される。また、現況河道で砂礫が冠水する規模（ $100\text{m}^3/\text{s}$ ）における経路①河道の結果では高流速幅が拡大していることが確認できる。一方、経路②河道の結果では複数の主流路が形成されていることが確認できる。

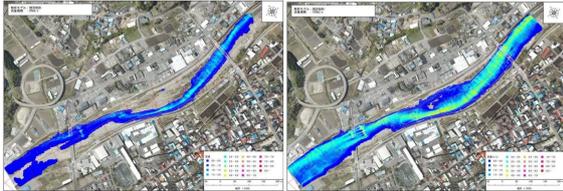


図-7 現況河道：流速（左： $20\text{m}^3/\text{s}$ 、右： $100\text{m}^3/\text{s}$ ）

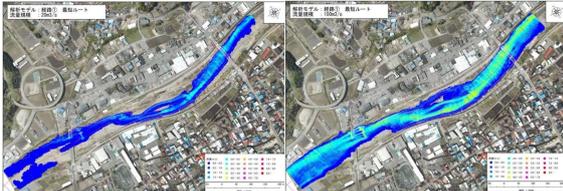


図-8 経路①河道：流速（左： $20\text{m}^3/\text{s}$ 、右： $100\text{m}^3/\text{s}$ ）

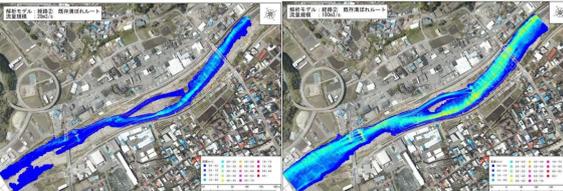


図-9 経路②河道：流速（左： $20\text{m}^3/\text{s}$ 、右： $100\text{m}^3/\text{s}$ ）

(2) 比較項目別結果考察

a) 流速

治水上の各種課題は、外力の増大により引き起こされるが、その主要な指標である流速の変化について評価した。

各ケースの出水規模別評価結果を図-10に示す。年に1回程度発生する出水規模（ $300\text{m}^3/\text{s}$ ）以上では、大きな違いは見られないが、年に10回以上発生する規模（ $100\text{m}^3/\text{s}$ 程度）以下の出水においては、経路①河道の流速に約 $0.5\text{m}/\text{s}$ の流速低減効果が見られることから洗堀の進行の緩和、根固め工の安定がより図られることが確認された。

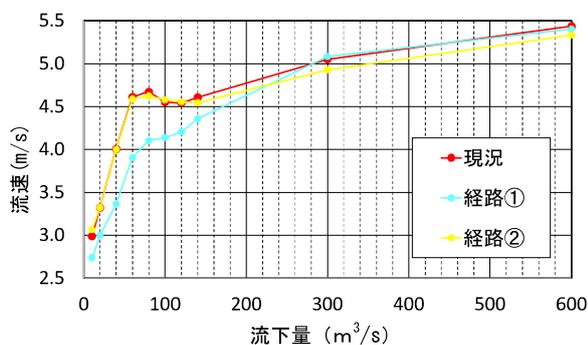


図-10 流速（根固め施工箇所）

b) 移動限界粒径

移動限界粒径²⁾は、砂礫が移動を開始する限界の粒径であることから、値が小さくなれば河床の安定が図られることとなる。

各ケースの根固め施工箇所における最大移動限界粒径の出水規模別評価結果を図-11に、根固め施工箇所の平均移動限界粒径の出水規模別評価結果を図-12に示す。

根固め施工箇所における最大移動限界粒径は、 $300\text{m}^3/\text{s}$ 以上の大きな出水では変化が見られない。一方、年に10回以上の高頻度で発生する $100\text{m}^3/\text{s}$ 程度以下の出水では、経路①において $3\sim 5\text{cm}$ 程度粒径が小さくなることから河床の安定が図られる傾向を示すこととなる。一方、経路②では粒径に大きな変化が見られない。

根固め工施工箇所の平均移動限界粒径は、 $300\text{m}^3/\text{s}$ 以上の大きな出水においても僅か（約 1cm ）ではあるが小さくなる。また、高頻度で発生する $100\text{m}^3/\text{s}$ 程度以下の出水では、経路①では同様に小さくなるが経路②では大きな変化は見られない。

高頻度で発生する出水においては、最大移動限界粒径、平均移動限界粒径ともに仮排水路を経路①に設置した場合、粒径が小さくなるが、経路②では大きな変化が見られないことから、主流路近傍の形状変化の方が、掃流力の減少に寄与する一方離れた箇所の水路では掃流力の変化が発生しないと言える。

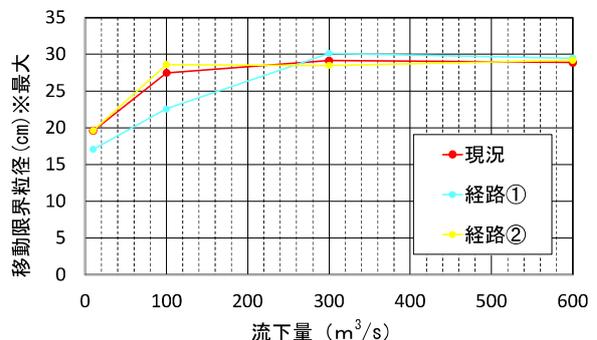


図-11 移動限界粒径（根固め施工箇所：最大値）

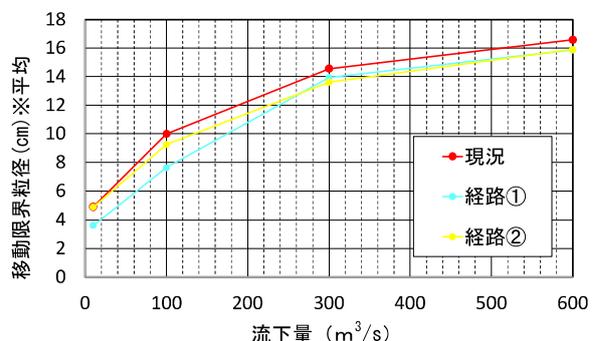


図-12 移動限界粒径（根固め施工箇所：平均値）

c) 生息環境

河川工事は、そこに生息する生物の生活環境を大きく変化させる。特に河床改変は魚類の生息環境に大きな影響を与えることから魚類の生息環境の変化

について評価した。なお、評価対象とした魚種は、対象河川において世界農業遺産に認定されているアユを対象とした。

生息環境の評価は、流速や水深などを基に生息場の選考指数値 (Suitable Index : SI 値) をもとにその変化により判断する。選考指数は、生息場としての適性を0から1で評価した値である。アユの選考指数は、中村ら³⁾が示した値を用いた。

各ケースの根固め施工箇所における最大SI値の出水規模別評価結果を図-13に、根固め施工箇所平均SI値の出水規模別評価結果を図-14に示す。

最大SI値は、経路①では現況に対し高いことから、生息環境が改善されることが確認された。一方、経路②では高頻度で発生する出水では、悪化がみられる。

根固め工施工箇所の平均SI値では、現況に対し経路①、経路②ともに改善が見られる。

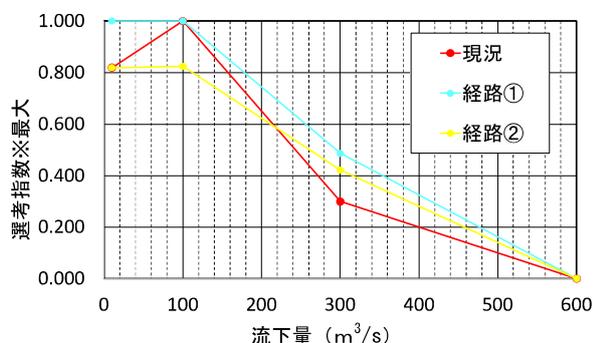


図-13 SI値：アユ (根固め施工箇所：最大値)

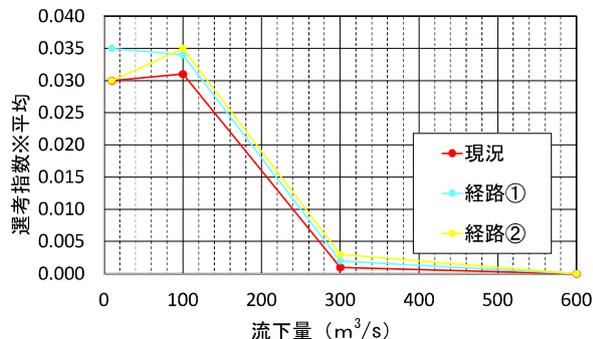


図-14 SI値：アユ (根固め施工箇所：平均値)

d) 維持管理

維持管理の観点では、河道内における植生の過剰繁茂が問題となっている。陸生植物の侵入の容易性を大石ら⁴⁾による評価手法で検討した。

大石らは水深により陸生植物の侵入し易さを定義して判定が行われ、値が3に近づくほど植生の侵入が困難と判断される。植生の侵入が困難な場合、維持管理が容易となると判断した。

各ケースの出水規模別評価結果を図-15に示す。これによると、計画の目標とする流量規模相当においてはすべてのケースに大きな違いは無く、一方、年に10回以上の高頻度で発生する100m³/s程度以下の出水では植生繁茂指数が低下するが、中間値(1.5)以上であることから生育の可能性は依然と

して低い。

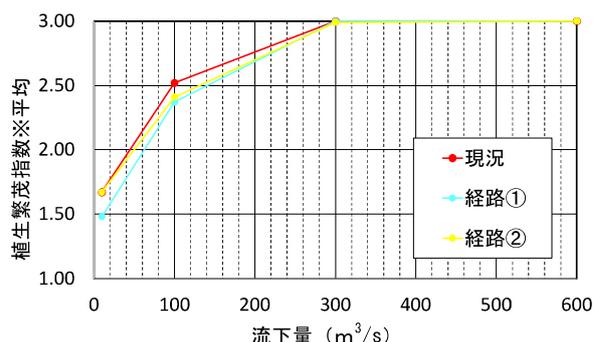


図-15 植生繁茂指数 (根固め施工箇所：平均値)

(3) 総合評価

比較項目別に、現況河道に対する影響状況別の評価を設定し、各項目より総合評価を実施した。

評価の結果、経路①が有利となることから経路①を採用した。なお、本業務では、根固め工施工箇所における比較検討を実施したが、それ以外の範囲での生息環境選考指数の変化を確認し、河川環境の評価・改善を実施することが今後は求められる。

表-5 総合評価

分類	比較内容	評価結果	
		経路①	経路②
治水	流速	+1	+0
	移動限界粒径	+2	+1
環境	生息条件	+2	+1
維持	植生侵入	-1	-1
総合評価		+4	+1

6. おわりに

本業務の結果、小規模な仮排水路であっても残留することにより、滞筋が固定化された河道に対しては、治水面・環境面へ有効な効果が示された。特に高頻度の小出水では、配置・形状を適切にすることで高い効果が示されることが確認された。

参考文献

- 1) 国土交通省 中部地方整備局 河川部：河川構造物設計要領，2016。
- 2) 岩垣雄一：限界掃流力の流体力学的研究，土木学会論文集，土木学会，1956
- 3) 中村俊六，石川雅朗，築坂正美，東信行，中村緩徳：河川における魚類生息環境評価(IFIM適用)のための基礎調査，河道の水理と河川環境シンポジウム論文集，土木学会，1995
- 4) 大石哲也，原田守啓，高岡広樹，萱場祐一：中小河川における河川環境に配慮した河道設計支援ツールの開発，河川技術論文集，土木学会，2015

中小河川における治水と環境保全の両立を目指した河川改修事業

よしだ かずひさ はっとりみつひろ ほそえりょうた わかぞのようじ か に さ や
吉田和久¹・服部光洋¹・細江良太¹・若園陽司¹・○可児沙椰¹

¹株式会社テイコク（〒500-8856 岐阜県岐阜市橋本町2-8濃飛ニッセイビル4階）

岐阜県北部の田園地帯を流下する、中小河川である一級河川木曾川水系石田川において、「多自然川づくり」として、平成23年度に河川改修計画の見直しが行われ、平成26年度から石田川ベストリバー事業としての取組みが始まった。石田川の豊かな自然環境に対し、生物調査やその結果に基づく河川改修計画立案、学識経験者や地元住民による検討会など、様々な手法により保全対策を検討した。生物調査にて確認された貴重種に対し、①スライドダウンによる瀬や淵の保全②礫河床の保全③魚道設置による支川と本川の連続性維持④湧水への配慮など、生物生息環境の保全に配慮した河川改修計画を立案した。

Key Words：多自然川づくり、ベストリバー事業、タナゴ類、二枚貝、ホタル、スライドダウン、瀬と淵、水際植生、魚道

1. 事業概要

(1) 対象河川

一級河川石田川は、岐阜市北部の低山地内にある、流域面積10km²、延長8kmの中小河川である。河岸は主に土羽護岸で、水際には植生が繁茂し、かつ水の流に瀬や淵など多様な変化がみられるなど、良好な生物生息環境が存在している。流域では度々浸水被害が生じており、その解消のため、岐阜県により下流から順次河川改修が進められている。



図-1 位置図と現地状況

(2) 「多自然川づくり」

河川改修は、河川の流下能力を向上させることにより、住民の生命財産を災害から守る、重要な事業である。過去の河川改修では、画一的な改修により、水路の様な河川環境とされてきた。そのため生物の生息環境は失われ、絶滅に至る種も現れてきた。

そのため国土交通省では、平成2年に「多自然型川づくり実施要領」、平成18年に「多自然川づくり基本方針」を定め、河川全体の自然環境のみならず、地域の暮らしや歴史・文化との調和にも配慮した、河川の管理を行うことが求められることとなった。

(3) 石田川における「多自然川づくり」

a) 「自然共生川づくり」

岐阜県では、岐阜県方式の多自然川づくりを「自然共生川づくり」と称して、計画・設計・施工・維持管理の各段階において、事業に関わる河川技術者が川づくりの目標を共有し、一貫して取り組むこととしている。

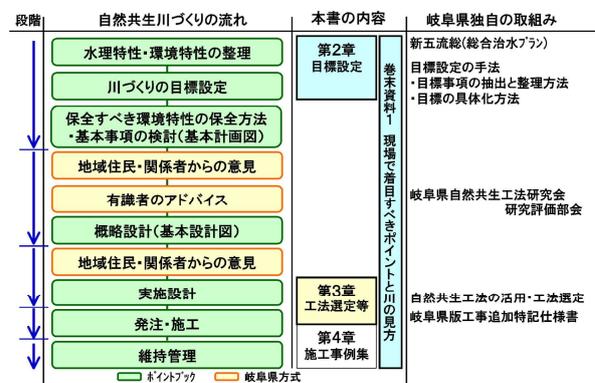


図-2 自然共生川づくりの流れ¹⁾

b) 石田川における「多自然川づくり」

「多自然川づくり基本方針」の制定により、石田川においても、平成23年度に河川改修計画が見直され、狭く深い河川断面から、広く浅い河川断面へと変更された。

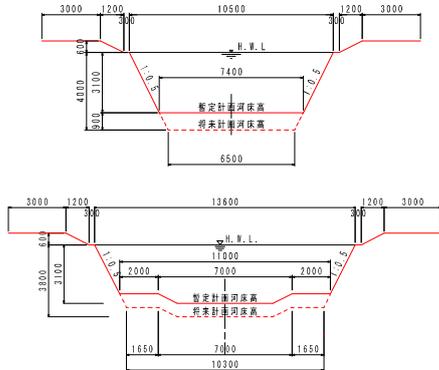


図-3 上見直し前定規断面，下見直し後定規断面

また石田川では、岐阜県方式の多自然川づくりである「自然共生川づくり」の一環として、平成26年度からベストリバー事業としての取組みが始められた。ベストリバー事業とは、岐阜県内の各土木事務所単位で、それぞれの管内で自慢できる（ベストな）河川をつくらうという取り組みであり、住民参加型の川づくり事業として、それぞれの河川ごとの自然環境に配慮した整備内容を検討するものである。

石田川ベストリバー事業では、主に①自然環境を把握するための水生生物調査②生物に配慮した河川改修計画修正③学識経験者や地元住民による検討会の、3つの取組みが進められている。

2. 自然環境の把握

(1) 石田川の生物調査

河川改修事業を進めるにあたり、石田川では、水生生物調査やホタルの飛翔調査等が行われた。

調査では、全50科82種と、多くの種が確認された。特に、魚類ではヤリタナゴやアブラボテ、貝類ではマツカサガイやイシガイなどの、環境省・岐阜県・岐阜市レッドリストの絶滅危惧Ⅱ類や準絶滅危惧に該当する、多くの貴重種が確認された。

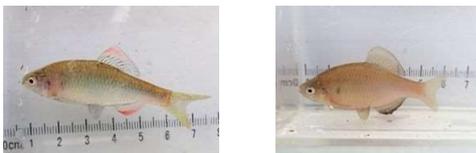


写真-1 左：ヤリタナゴ，右：アブラボテ



写真-2 左：マツカサガイ，右：イシガイ

3. 学識経験者や地元住民による検討会

(1) 「ベストリバーグループ」による検討会

ベストリバー事業において、平成26年度に学識経験者や地元住民代表による「ベストリバーグループ」が構成され、年1回、石田川の川づくりについて検討会が開催されている。



写真-3 検討会活動状況

(2) 検討会の活動内容

「ベストリバーグループ」による検討会では、河川改修事業の進捗状況報告、水生生物調査結果報告の他、時には現地ですべて実際に石田川を見ながら、石田川の川づくりについての活発な意見交換が行われている。地元住民代表からは、現地調査や文献調査では得られない、過去の石田川の環境についての情報をいただくなど、有益な活動となっている。

4. 石田川における「多自然川づくり」の課題と技術的提案

(1) 「多自然川づくり」の課題

水生生物調査により、石田川には多くの貴重種を含む、多種多様な種の水生生物が生息していることが明らかとなった。これら水生生物への影響を最小限とするため、河川改修における課題を以下整理する。

a) 瀬や淵の保全

石田川は、多種多様な水生生物の生息場となる瀬や淵が連続しており、その保全が課題である。

b) 藻や水際植生の保全

石田川は、藻や水際植生が繁茂し、タナゴ類等の魚類にとって良好な環境となっている。その保全が課題である。

c) 礫河床の保全

石田川の一部区間は礫河床であり、マツカサガイなどの礫河床を好む二枚貝にとって良好な環境となっている。その保全が課題である。

d) 本川石田川と支川の連続性維持

水生生物調査で多く確認されたタナゴ類は、マツカサガイなどの二枚貝に産卵し繁殖する。石田川の支川における生物調査によると、二枚貝の個体数は、本川石田川ではわずかで、支川では多く確認された。遡上調査ではタナゴ類の遡上が確認された。よってタナゴ類は、支川へ遡上し、支川において繁殖したと考えられる。

河川改修では河積拡大のため河床高を下げること

となる。そのため、本川石田川と支川の連続性維持が課題である。

e) 親水性の確保

石田川では、近隣の岐阜市立三輪北小学校や岐阜市自然共生部により、子供達を対象とした環境学習が行われている。その際に子供でも容易に河床付近へ降りられる、親水性の確保が課題である。

f) 工事時の水生生物保護

河川改修工事の際には、水生生物の生息環境を一時的に喪失させることとなる。施工範囲に生息する水生生物の保護が課題である。

g) ホタルの保全

石田川周辺ではホタルが確認されており、またベストリバーグループによる検討会においても、過去には多くの飛翔がみられたとの意見を伺った。よってホタルの保全が課題である。

h) 湧水への配慮

水生生物調査では、ヤツメウナギの仲間やアジメドジョウ等、湧水のある箇所には生息する魚類が確認された。またベストリバーグループによる検討会においても、過去には石田川に手を入れると、冬には暖かい湧水が確認できたとの意見を伺った。よって湧水への配慮が課題である。

(2) 課題に対する技術的提案

整理された課題を解決するための技術的提案を、以下整理する。

a) 瀬や淵の保全

多種多様な水生生物の生息場を保全するため、河川改修計画の河床形状は、現況河床形状をスライドダウンし、みお筋形状を維持した形状とした。

これにより、現況の瀬や淵が保全され、水深に変化のある、多様な流れの創出を図ることとした。

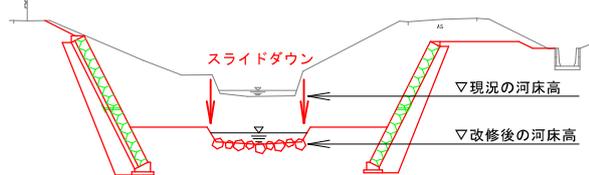


図-4 みお筋形状保全のイメージ横断面図

b) 藻や水際植生の保全

現況河床形状をスライドダウンした河床形状とした場合、河床の両際は高水敷状の盛土となる（以後テラスと称す）。施工後早期に水際植生が繁茂し良好な環境が復元するよう、テラスには、施工時に発生する水際の表土を散布することとした。

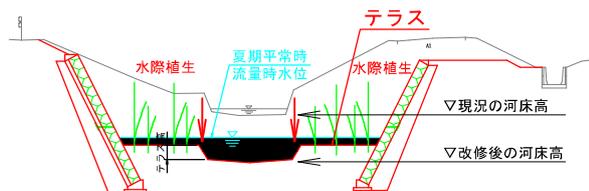


図-5 水際植生保全のイメージ横断面図

一方、水際植生が繁茂しすぎると流水の阻害となるため、流量が多い夏期にテラスが水中となるテラス高とし、水際植生の生育抑制を図った。

c) 礫河床の保全

現在の河床はほぐれた礫層であるが、工事後の河床は締め固まった硬い砂礫地盤となる。そのため、二枚貝の生息が確認された場所では、河床をほぐし、二枚貝が潜ることのできる空隙を作ることにした。

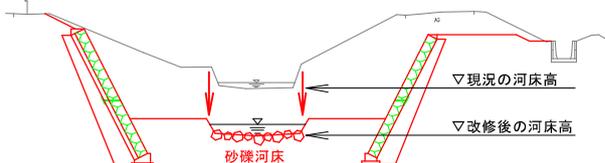


図-6 礫河床保全のイメージ横断面図

d) 本川石田川と支川の連続性維持

改修計画では、河床高が現況より約2m下がるため、支川との間には大きな落差ができることとなる。そのため、支川との合流点に魚道を設置することとした。

詳細な構造は今後検討を進めることとしているが、现阶段では、水生生物調査において確認された種は比較的小さな魚類が多く、またタナゴ類が支川で繁殖できるよう、これらの小さな魚類が行き来できる小型魚類用魚道を想定している。



写真-4 小型魚類用魚道イメージ

e) 親水性の確保

背後地に家屋が隣接していない対象区間の最上流部では、護岸勾配を2割の緩勾配とし、加えて坂路や階段を設けることにより、環境学習時など、容易に水辺に近づける、親水性を高めた計画とした。

f) 工事時の水生生物保護

近年岐阜県では、河川工事の仮締切時に生物保護活動を行っている。石田川では、仮締切時の生物保護活動を行うこととし、周辺の小学生や住民が参加できるよう、三輪北小学校や岐阜市と連携調整することとした。

g) ホタルの保全

ホタルは、河床から護岸天端まで移動して、地中に潜り蛹になる。ホタルが地中に潜ることができるよう、護岸の天端は、路側兼用護岸を除き、土羽で仕上げる計画とした。また、護岸天端の土砂は、飛翔調査で多く見られた箇所から採取した表土を改修区間全域に転用することとした。

h) 湧水への配慮

水生生物調査では湧水のある箇所に生息する魚類

が確認されたため、ポーラスコンクリート製のコンクリートブロック積や、通常より水抜き管を多く入れるなど、湧水に配慮した護岸構造とした。

5. 異常繁茂した河道内植生への対応

(1) 石田川における新たな課題

石田川の一部区間の河道内に繁茂しているツルヨシは、水際植生として良好な環境を創出する一方、背丈が高くまた丈夫であるため倒伏しづらく、流水の阻害となることが懸念された。

そのため、水生生物に配慮しつつ、流水の阻害とならない方法を、現地の試験施工により検討した。

(2) 試験施工内容

みお筋内へ侵入しているツルヨシを、表土30cmと共に根こそぎ除去した。

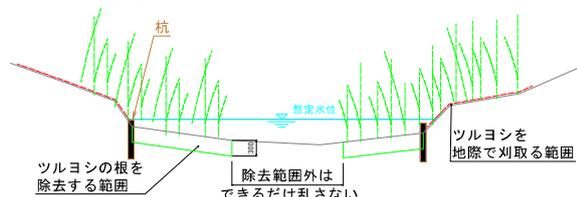


図-7 ツルヨシ除去イメージ図

また、ツルヨシの除去により流れが一様化することを防ぐため、木工沈床を設置し、断面に変化をもたせた。その他、出来るだけ河床を改変しないよう、施工は堤防天端からとした。

(3) 結果及び考察

根こそぎ除去の端部に杭を設置し試験施工後3年間モニタリングした結果、ツルヨシはみお筋内へ侵入せず、根こそぎ除去は有効であった。これは、河岸が60cm程度の落差となったこと及び水深が確保されたためと想定される。



写真5 左：施工直後状況（2017年3月10日撮影）
右：約3年後状況（2020年1月22日撮影）

また水生生物調査において、ツルヨシの植生範囲が減少したものの、水生生物の種数、捕獲個体数に変化はみられなかった。加えて、設置した木工沈床付近において、魚類が多く確認され、生息場として有効に機能していることが確認された。

ただし木工沈床の設置により、陸域と水域が完全に分断され、水生生物が行き来できなくなっていた。実際の河川改修工事の際には、行き来ができるな

らかな河床形状とし、水生生物の生息場として良好な水際を創出することが望ましいと考えられる。

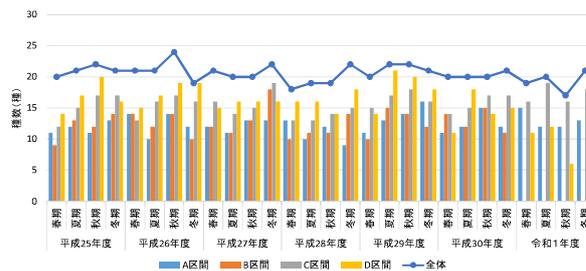


図-8 魚類種数の経年変化



図-9 魚類捕獲個体数の経年変化

6. まとめ

(1) 石田川河川改修事業

河川改修事業は上流に向かって順次施工が進められており、令和4年度現在、魚道の規模構造を検討している。豊かな自然環境の保全と河川改修事業の両立のため、また河川改修工事施工後の維持管理に向けた新たな課題への対策を進めるため、今後も「ベストリバーグループ」検討会は継続して開催され、いただいた意見は適宜河川改修に反映することとしている。

(2) 建設コンサルタントとしての役割

本事例は、河川管理者のパートナーとして、河川改修による生物生息状況の変化を確認する調査、調査結果を反映した河川整備計画の修正、学識経験者や地元住民による検討会支援など、石田川におけるこれまでの河川改修事業に一貫して関わり続けた事例を整理したものである。

建設コンサルタントは、ほとんどは調査や設計など、事業の一部の委託業務の完遂に終始することとなる。しかし河川改修事業では、調査結果は設計に、設計は施工に、施工は環境にと、それぞれの段階が密接に関連している。今後も施工時に発生する課題への対応提案、施工後の河川構造物の維持管理、河川環境への影響調査など、良好な環境の保全維持のため、建設コンサルタントが果たしていくべき技術的役割は大きいと考える。

参考文献

- 1) 岐阜県県土整備部河川課編：岐阜県自然共生川づくりの手引き（改定案），2013。

河川水辺の国勢調査における 河川・ダムでの環境DNA分析とりまとめ事例

かとうまさゆき たなかかつゆき ふじたともひこ ながさきてっしん かつさいなおき
○加藤雅之¹・田中克幸¹・藤田朝彦¹・長崎哲新¹・葛西直樹¹

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

河川水辺の国勢(水国)調査への環境DNAによる魚類メタバーコーディング(MB)解析の実装化に向けた検討のため、令和3年度に全国の河川及びダムでの魚類調査において、通常の採捕調査と並行して、MB調査が実施された。国土交通省中部地方整備局管内では榊田川水系を含む2水系が対象であった。

本稿では、榊田川水系の直轄区間の河川及び蓮ダムでの水国調査における採捕とMB解析結果を比較し、今後の水国調査に実装化された際の課題や、とりまとめ時に考慮すべき留意点等について整理した。

Key Words : 環境DNA, 河川水辺の国勢調査, 魚類メタバーコーディング解析, 榊田川水系, とりまとめ留意事項

1. はじめに

環境DNAによる魚類メタバーコーディング(MB)解析は、環境水に含まれるDNA情報を網羅的に検出することで周辺水域の魚類相を把握する画期的技術として一般に普及しつつあり、社会実装段階にある¹⁾。

河川水辺の国勢(水国)調査は、国内最大規模の環境調査事業であり、主に国土交通省や独立行政法人水資源機構等の河川及びダム管理機関により実施され、調査結果は河川やダム事業の自然環境の基礎資料として活用されている。また、広く一般にも公開され、河川環境データベースホームページ²⁾より確認種リスト等がダウンロードできる。

水国調査における魚類調査は、水系毎に5年に1回の頻度で実施され、「河川水辺の国勢調査マニュアル(水国マニュアル)」^{3, 4)}に則り、投網、タモ網、定置網等の漁具を使用した採捕調査が基本となっている。一方で、この現地調査に係る経済・労働コストが課題で、より安価で効率・効果的な調査手法の導入が期待されている。

国土交通省では、今後の水国調査へのMB調査の実装化に向け、令和元年度より、一部河川及びダムの調査において試行・検討が行われている。⁵⁾ 令和3年度は、全地整の魚類調査において、採捕と並行して、魚類MB調査が実施された。⁶⁾ 国土交通省中部地方整備局管内は、榊田川を含む2水系が対象であり、榊田川水系では、本川の河口より18.9kまで及び支

川の佐奈川の5.4kまでの直轄区間と上流の支川の蓮川に位置する蓮ダムが対象であった。

本稿では、榊田川及び佐奈川の直轄区間と蓮ダムのダム湖及びその流入河川、下流河川での採捕とMB調査結果を比較し、今後の水国調査に実装化された際の課題や、とりまとめ時の留意点等について整理した。

2. 調査内容

(1) 採捕調査

a) 河川(榊田川・佐奈川)での調査

調査箇所は、河口部から中流域(最上流の調査地区は16.8kまで)の区間の5地区、佐奈川においては、本川合流点付近の1地区の計6地区であった。対象とした環境区分は、各調査地区の早瀬や淵、ワンド・たまり、干潟等で、投網、タモ網、刺し網等より環境に適した漁具を選定し、行われた。

なお、調査は3回実施したが、本稿はMB調査を同時に実施した秋季の10月14日～17日の結果のみをMB調査との比較対象とした。

b) ダム(蓮ダム)での調査

調査箇所は、ダム湖内の湖心部の1地区、湖岸部の2地区(流入河川の蓮川及び青田川の合流点、支流の布引谷の合流点付近)、流入部の各2地区、流入河川の各2地区、下流河川の上下流の2地区の計9

地区であった。対象とした環境区分は、ダム湖は湛水域、河川域は早瀬や淵等で、投網、タモ網、定置網等より環境に適した漁具を選定し、行われた。河川と同様にMB調査を行った秋季の10月4日～8日の結果のみを比較対象とした。

(2) MB調査

MB調査は、国立研究開発法人 土木研究所河川生態チームによる「環境DNA 調査に際しての留意事項（暫定版）」⁷⁾に準じ、河川、ダムともに秋季に実施した。

a) 河川での検体の採水（櫛田川・佐奈川）

河川での採水は、採捕調査と同じ6地区を対象に、調査日は採捕とほぼ同じ10月13日、15日～16日に行った。採水箇所は、調査地区の環境区分のうち、早瀬、淵は下流端、ワンド・たまりは本川との距離が近い代表地点とした。このほか、調査地区の下流端の兩岸岸際でも採水し、計5検体とした。また、検体にはDNAの分解の進行を予防するための塩化ベンザルコニウム溶液⁸⁾を終濃度 0.01 %となるよう添加した。

b) ダムにおける検体の採水（蓮ダム）

ダムでの採水は、河川同様に採捕と同じ9地区を対象に、10月4日～5日に行った。採水箇所は、湛水域は調査地区の中央付近、河川域では、下流端の片岸とした。検体には、河川の場合と同様な薬剤を添加した。

c) MB解析

検体1LよりDNA抽出を行い、溶出液量は100 μ Lのうち、1/10量に対し、魚類MB解析⁹⁾を行い、魚類リストを作成した。

なお、検体より検出された魚種別のDNAリード数のうち、ネガティブコントロールで検出された種別リード数の中の最大値以下の種、最大値以上でもリード数が100以下となる種については、リストより除外する処理を行った。

3. 採捕とMB調査の比較

採捕調査では種や亜種まで同定可能であるが、MB解析では同定できない魚種が存在する。本稿ではMB調査の「チチブ類」、「ヨシノボリ類」等が該当したが、これらの採捕で種まで同定された魚種については、採捕とMBで単純比較を行うため、MB調査での「…類」で便宜上の整理をした。

(1) 河川（櫛田川・佐奈川）

櫛田川及び佐奈川における採捕とMB調査での種数の比較を図-1に示す。

採捕調査の確認種数は計57種に対し、MB調査は計70種であった。ただし、MB調査では、調査地区の環境を勘案して本来生息しない分布疑義のある7種が含まれており、これらを除外すると計63種となった。

MB調査の分布疑義種は、河口部の調査地区で検出された溪流魚で、櫛田川水系には自然分布の報告例のないアメマス類や、上流の淡水域の調査地区で検出された汽水・海水魚のカサゴ、キダイ属等が該当した。これらの魚種は、河川に流入した家庭排水等に由来するものと考えられた。

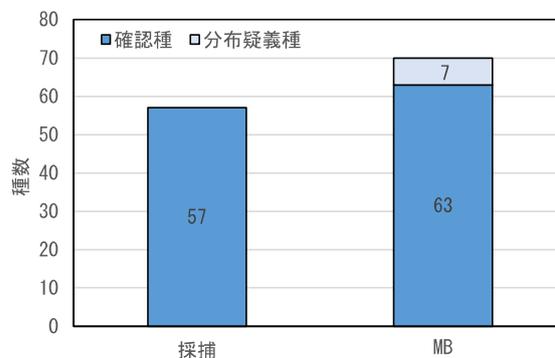


図-1 採捕とMB調査での種数の比較（櫛田川・佐奈川）

一方で、調査地区周辺に民家が少ない佐奈川の調査地区では分布疑義種の検出はなく、このことから、家庭排水の流入が調査結果に影響を及ぼす可能性が示された。

また、全確認種のうち、採捕とMB調査の両法での共通の確認種は46種で、単独は採捕調査が11種、MB調査が18種であった。これらの単独での確認種のうち的大部分は汽水・海水魚と回遊魚が占めた。北川⁵⁾によると、汽水・海水魚が生息する感潮域の河口部の採捕とMB調査結果の一致率は低いとある。本調査結果における採捕とMB調査での汽水・海水魚での確認状況も同様な事例に該当するのかを検証するため、河口部の調査地区での採捕とMB調査の生活型別の確認種数について整理した（図-2）。

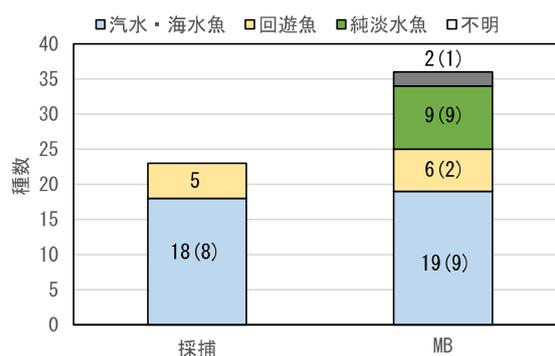


図-2 河口部の調査地区での採捕とMB調査の生活型別の確認種数
※不明は異なる生活型の複数種を含む属止めの種
()内の数値は該当する調査方法のみでの確認種数を示す。

河口部の採捕調査の確認種は23種が確認され、回遊魚が5種、汽水・海水魚が18種であった。一方、MB調査では分布疑義種のアメマス類を除く36種のうち、汽水・海水魚が19種、回遊魚が6種、純淡水魚

が9種、生活型不明の種が2種であった。純淡水魚は、カダヤシを除けば、上流の淡水域の採捕で確認されている種で、流下した環境DNAに由来する可能性が高いと考えられた。両法の汽水・海水魚と回遊魚の構成種を比較したところ、共通の確認種は15種で、採捕の8種、MBの21種が単独での確認種であり、採捕とMB調査結果の相似性は低かった。

なお、純淡水域の櫛田川本流の3地区及び佐奈川の計4地区では、採捕の単独での確認種は0～2種であり、MB調査により概ねの魚類相を把握できているものと考えられた。

また、採捕調査では秋季以外にも春季と夏季の計3回が実施され、計80種を確認しているが、秋季のみのMB調査では64種と16種がカバーされていなかった。

(2) ダム (蓮ダム)

蓮ダムにおける採捕とMB調査での種数の比較を図-3に示す。

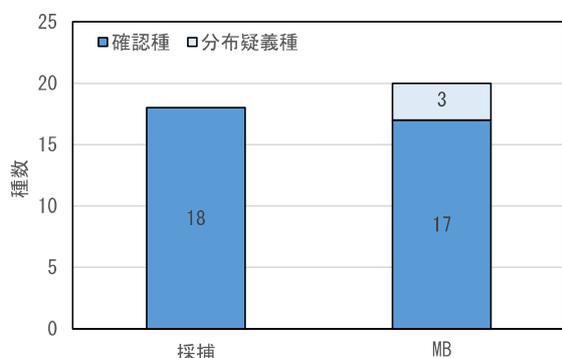


図-3 水国調査とMB調査での種数の比較 (蓮ダム)

採捕調査の確認種数は計18種に対し、MB調査は計20種であった。MB調査の確認種は、汽水・海水魚に該当するボラとマアジ属及び関東から東北地方に自然分布し、櫛田川水系には報告例のないスナゴカツカの分布疑義種の3種が含まれており、これらを除くと計17種で、採捕と概ね同数となった。採捕とMB調査結果の構成種は概ね一致しており、採捕のみの確認種はタニガワナマズの1種、MBのみはドジョウの1種のみであった。

ダム湖の水国調査では、流入河川が流れ込むダム湖流入部や放流口の直下の下流河川にも調査地区が設定される例があり、蓮ダムも同様な設定となっていた。よって、上流より流下した環境DNAの影響について検証するため、流入部と下流河川の採捕とMB調査の種数を比較した (図-4)。

ダム湖には蓮川と青田川の2つの支川が流入しているが、蓮川の流入部での採捕が7種、MBが13種、青田川の採捕が11種、MBが13種と、いずれもMBが種数多かった。ダム直下は、採捕が8種、MBが15種と、流入部と同様にMBの種数が多かった。これらは、上流より流下した環境DNAをMB調査で検出したこと起因すると考えられ、採捕で確認のない種は、流入部で上流の渓流域に生息するカジカ、アカザ等、ダム

直下でダム湖の止水域に生息するオオクチバス、ブルーギル等であった。

なお、ダム直下より下流に位置する調査地区では、採捕が12種に対し、MBが13種と、ダム直下と比較し種数の差は少なくなり、上流から流下する環境DNAの影響は緩和されていた。

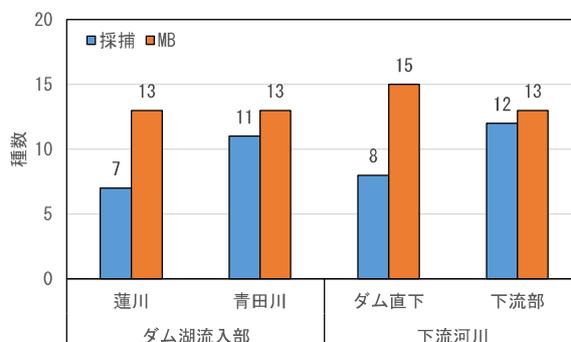


図-4 ダム流入部と下流河川における水国調査とMB調査での種数の比較。

4. まとめ

河川、ダム湖の水国調査とともにMB調査での検出種数は採捕と比べ、同程度以上と多くなっており、特にダム水国においては、調査地区の採水で魚類相が概ね把握できており、MB調査の有用性が示された。

一方、MB調査は、河川及びダム湖ともに分布疑義種や地点ごとにみると上流の環境に依存する種が検出されており、調査地区の魚類相としてとりまとめる際には、注意が必要であった。以下に、河川及びダム湖水国調査での魚類MB調査結果に対する留意事項を整理した。

〈河川・ダム湖共通〉

- ・採水地点が淡水域の場合、家庭排水等に起因する汽水・海水魚等は分布疑義種として整理し、確認種リストより除外する。
- ・調査地点毎に確認種リストを作成する場合は、本来は生息しない魚種の環境DNAが上流や周辺から流下してくる可能性を考慮する必要がある。

〈河川〉

- ・感潮域である河口部でのMB調査による魚類相、特に汽水・海水魚の生息状況の把握は、採捕の調査結果と相違が大きいため、現時点は採水から解析に至る過程で更なる工夫が必要である。

〈ダム湖〉

- ・秋季1回のMB調査で、採捕とほぼ同様な魚類相の把握が可能である。
- ・ダム湖に流入河川や支川が流入する地点やダム直下では上流から流下する環境DNAの影響が大きく、既往の採捕結果等を参考に、魚類相を評価する必要がある。

環境DNA調査では、水中に含まれる環境DNAを検出するという特性上、特に河川においては対象箇所より上流やその周辺水域からの流入する対象箇所に生息していない生物についても検出してしまいう可能性が高い。河川における上流からの環境DNAの影響範囲は、最大1~2km下流までの範囲に及ぶ¹⁰⁾といわれているほか、有効検出範囲は1.6km¹¹⁾との報告もある。よって、本稿における河川やダム湖でのMB調査で検出された汽水・海水魚等の分布疑義種や河口部の調査地区で検出された淡水魚等(図-2)、ダム湖流入部やダム直下で検出された生息環境に不適當な魚類等(図-4)は、流水環境での環境DNA動態に起因するものと考えられた。

感潮域の河口部でのMB調査と採捕による汽水・海水魚や回遊魚の構成種の一致率は低く(図-2)、魚類相の把握としては課題が残る結果となった。河口部に生息するハゼ科の一部の魚類等は微環境への依存度が高く、生息数も少なくなる傾向があり、採水回数追加や特定の環境に依存する魚種の生息環境においても補足的に採水を行うといった工夫が必要になると考えられた。

蓮ダムのMB調査ではスナゴカマツカが確認されたが、採捕ではナガラカマツカのみであった。ドジョウ類の事例では、カラドジョウにシマドジョウのミトコンドリアDNAを保持する個体群があることが知られており¹²⁾、交雑が可能な種間では形態的特徴とは異なるミトコンドリアDNAを有する可能性がある。蓮ダムでのスナゴカマツカの例も単純な分析時の物理的混入の可能性はあるほか、ドジョウ類の例と同等な可能性が考えられるが、今後の検討課題として残る。

とりまとめ時の留意事項として、最も重要な事項は、分布疑義種を確定させる作業や生息環境に不適當な魚種の取り扱いであり、このために既往の採捕調査結果のほか、採水地点周辺での家庭排水等の流域負荷に係る土地利用等の情報等の整理も重要であり、事前調査で必ず実施することが望まれる。

謝辞：本稿の発表に際し、ご快諾をいただいた国土交通省中部地方整備局三重河川国道事務所及び蓮ダム管理所の方々に、心より深く感謝申し上げます。

参考文献

1) 一般社団法人 環境DNA学会[企画]、土居秀幸、近藤倫生[編]：環境DNA 生態系の真の姿を読み解く、共立出版株式会社、2021。

- 2) 河川環境データベース 河川水辺の国勢調査：
<http://www.nilim.go.jp/lab/fbg/ksnkankyo/>
- 3) 国土交通省水管理・国土保全局河川環境課：平成28年度版 河川水辺の国勢調査 基本調査マニュアル[河川版]：平成28年1月改訂，河川環境データベース，
<http://www.nilim.go.jp/lab/fbg/ksnkankyo/mizukokuweb/system/manual.htm>
- 4) 国土交通省水管理・国土保全局河川環境課：平成28年度版 河川水辺の国勢調査 基本調査マニュアル[ダム湖版]：平成28年1月改訂，河川環境データベース，
<http://www.nilim.go.jp/lab/fbg/ksnkankyo/mizukokudam/system/manual.htm>
- 5) 北川哲郎，村岡敬子，山田拓也，中村圭吾：河川水辺の国勢調査(魚類)における環境DNAメタバーコーディング解析の試行事例分析，河川技術論文集，第26巻 pp. 319-324，2020。
- 6) 国土交通省水管理・国土保全局河川環境課：環境DNAを用いた河川生物把握の可能性に関するテーマ調査の実施について，2020：河川環境データベース，
http://www.nilim.go.jp/lab/fbg/ksnkankyo/kankyoDNA_200110.pdf
- 7) 国立研究開発法人 土木研究所 流域生態チーム：環境DNA 調査に際しての留意事項(暫定版)，2020，
https://www.pwri.go.jp/team/rrt/topic/2020/201211_01.html
- 8) Yamanaka, H., T. Minamoto, J. Matsuura, S. Sakurai, S. Tuji, H. Motozawa, M. Hongo, Y. Sogo, N. Kakimi, I. Teramura, M. Sugita, M. Baba and A. Kondo: A simple method for preserving environmental DNA in water samples at ambient temperature by addition of cationic surfactant, *Limnology*, Vol.18, pp.233-242, 2017.
- 9) Miya, M., R. O. Gotoh and T. Sado: MiFish metabarcoding: a high-throughput approach for simultaneous detection of multiple fish species from environmental DNA and other samples, *Fish. Sci.*, Vol.86, pp.939-970, 2020.
- 10) 山口 皓平，赤松 良久，乾 隆帝，後藤 益滋，河野 誉仁，栗田 喜久：河川における環境DNA含有物質の動態に関する基礎的研究，土木学会論文集B1(水工学)，vol.74/No.5, pp.409-414, 2018.
- 11) 北川哲郎，村岡敬子，天野聡，岡本祐司，中村圭吾：河道内で検出された海産魚類を指標とした環境DNA含有物質の有効検出範囲の推定，河川技術論文集，第27巻 pp. 295-300，2021。
- 12) Okada, R., T. Shimizu, T. Kitagawa: Evidence of a secondary interspecific mitochondrial DNA introgression in the pond loach *Misgurnus dabryanus* (Teleostei: Cobitidae) population introduced in Japan, *Journal of Applied Ichthyology*, Vol. 36, Issue 5 pp. 655-667

新丸山ダム 基礎岩盤における 緩み岩盤地質解析手法について

あさとおさひろ みやむらしげる やすだこういちろう かとうあきゆき たかしのあおい
○安里長浩¹・宮村 滋¹・安田浩一郎²・加藤暁之¹・高篠 葵²

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

²日本工営（株）地盤環境事業部（〒102-8539 東京都千代田区麹町5-4）

新丸山ダムは、既設の丸山ダム下流に建設中の多目的ダムで、国内最大級の嵩上げ工事（完成後のダム高118.4m）となる。調査段階での課題は、ダム堤敷左岸部に複雑に分布し強度が期待できない“緩み岩盤”の存在であった。ダム基礎掘削形状の設計、安定性確保のためには緩み岩盤の性状・分布の地質工学的評価が重要であり、緩みを示唆する割れ目性状などの定性的な地質評価と割れ目開口量などの定量的な情報の双方に着目し、緩み区分基準を策定、評価を実施した。

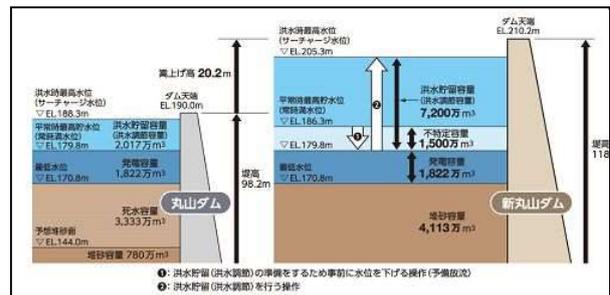
Key Words： 緩み岩盤，地質解析，ダム基礎岩盤，高品質ボーリング，ボアホールカメラ，開口割れ目

1. はじめに

新丸山ダムは、木曾川本川中流部に位置する既設の丸山ダム（図-1参照）の洪水調節機能の強化等を目的とし、下流47.5mの位置に20.2m嵩上げて建設予定の重力式コンクリートの多目的ダムである。新丸山ダムの本体工事は、既設丸山ダムで木曾川本川の洪水調節および大規模な発電を行っており、現在、既設ダムを運用しながら国内最大級の嵩上げ工事（ダム高：118.4m）を施工中である（図-2参照）。



図-1 木曾川水系流域図および丸山ダム位置図



①：洪水貯留（洪水調節）の準備をするため事前に水位を下げる操作（予備放流）
②：洪水貯留（洪水調節）を行う操作



図-2 新丸山ダムの標準断面図と貯水池容量図¹⁾

ダムサイト左岸高標高部には開口割れ目や流入・白色粘土を伴い岩盤としての一体性に乏しい緩み岩盤が分布している。岩盤の「ゆるみ」は、文献²⁾で「応力開放・重力作用・風化作用等に起因した変形・体積増加・密度減少などにより、亀裂の発生・開口・ずれなどを生じ、岩盤の状態を保ちつつも全体として変形しやすかつ非弾性的性質が大きくなった状態」と定義され、地形・地質条件や外力の影響程度によって緩み岩盤の分類が異なることが想

定されるため、そのサイトごとに地形・地質条件を踏まえた的確な緩み岩盤の評価を行う必要がある。

本ダムサイトは既設ダムを運用しながらの複雑な工事となるため、堤体安定性の観点から複雑に分布する緩み岩盤を確実に除去できる掘削線を設定する必要があり、調査段階での緩み岩盤の性状・分布の適切な評価が極めて重要であった。

そこで、高品質ボーリングコア観察および横坑調査より定性的な地質の構造や岩盤情報、ボアホールカメラ画像解析等による定量的な割れ目開口量の双方に着目し、緩み区分基準を策定したうえで、適切な緩み岩盤の性状・分布の評価を行った。

2. ダムサイトの地形地質

ダムサイトの地形は、木曾川本川の山地部から平野部に至る境界の狭窄部である蘇水峡に位置し、河床部付近は急崖をなし、斜面部は左岸側が右岸側と比較し緩斜面となり左右非対称となる。左岸高標高部の緩斜面には緩み岩盤が分布する(図-3、4参照)。

ダムサイトの地質は、主に美濃帯の堆積岩類から構成され、右岸側の平坦地形部や下流の緩斜面部に新第三紀の瑞浪層群が不整合で分布する。美濃帯は前期三畳紀～後期ジュラ紀の珪質粘土岩やチャート、混在岩を主体とし、局所的に白亜紀の安山岩貫入岩が分布する。左岸高標高部～河床部は主に泥質混在岩、河床部～右岸低標高部は主に砂質混在岩、右岸急崖部は主に珪質粘土岩・チャートが分布する。地質構造は東西(上下流)走向で南(左岸側)に70～80°の高角度傾斜である。



図-3 新丸山ダム地質平面図

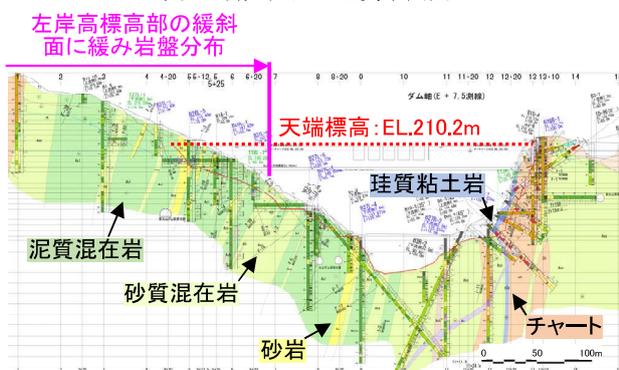


図-4 新丸山ダムダム軸地質断面図

3. 緩み岩盤の検討

緩み岩盤の評価は図-5に示す手順に従った。

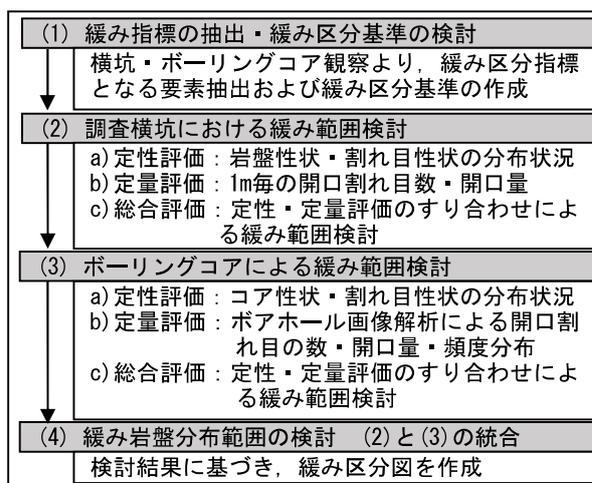


図-5 緩み岩盤検討の流れ

ボーリングコアにおける緩み岩盤の一般的な評価手法として、ボアホールカメラの累積開口量から評価する手法がある。本解析では緩み岩盤を特徴づける指標として重力変形を示唆する開口割れ目以外に、風化程度や地層境界、白色粘土脈(亀裂面としては密着するが分離面になりうると評価)の有無や層理面傾斜に着目した。これら指標に基づく地質的な定性的評価と開口亀裂(開口量の定量的評価)が複雑に混在する領域が緩み岩盤を形成すると予察し、緩み岩盤評価を実施した。

近年、緩み岩盤・地すべりに対しては高品質ボーリングを行い評価することが一般的で、新丸山ダムでも緩み岩盤に対し高品質ボーリングを実施し、その一部を既往普通工法ボーリング地点の近傍で行うことで高品質・普通工法の対比を行い、既往データも活用した効率的な緩み岩盤の分布解析を行った。

(1) 緩み指標の抽出・緩み区分基準の検討

緩み区分の指標はボーリングコアおよび横坑観察結果において、緩み岩盤で特徴的な傾向が認められた「流入粘土・開口を伴う割れ目」、「白色粘土脈の有無」、「層理面の傾斜」、「岩盤の風化程度」、「開口割れ目の区間開口量と累積開口曲線」、「岩盤の透水性や地下水」とした。

抽出された緩み指標の組み合わせより、緩み岩盤の区分を表-1に示すように「緩み岩盤」、「岩盤2」、「岩盤1」の3ゾーンに区分した。「緩み岩盤」は、流入・白色粘土や開口亀裂を伴う割れ目が密に発達し、岩盤としての一体性に乏しいことから基礎岩盤として不適であると評価した。「岩盤2」・「岩盤1」は、岩盤としては一体性が認められるため基礎岩盤として適用可能と評価した。

表-1 緩み区分基準

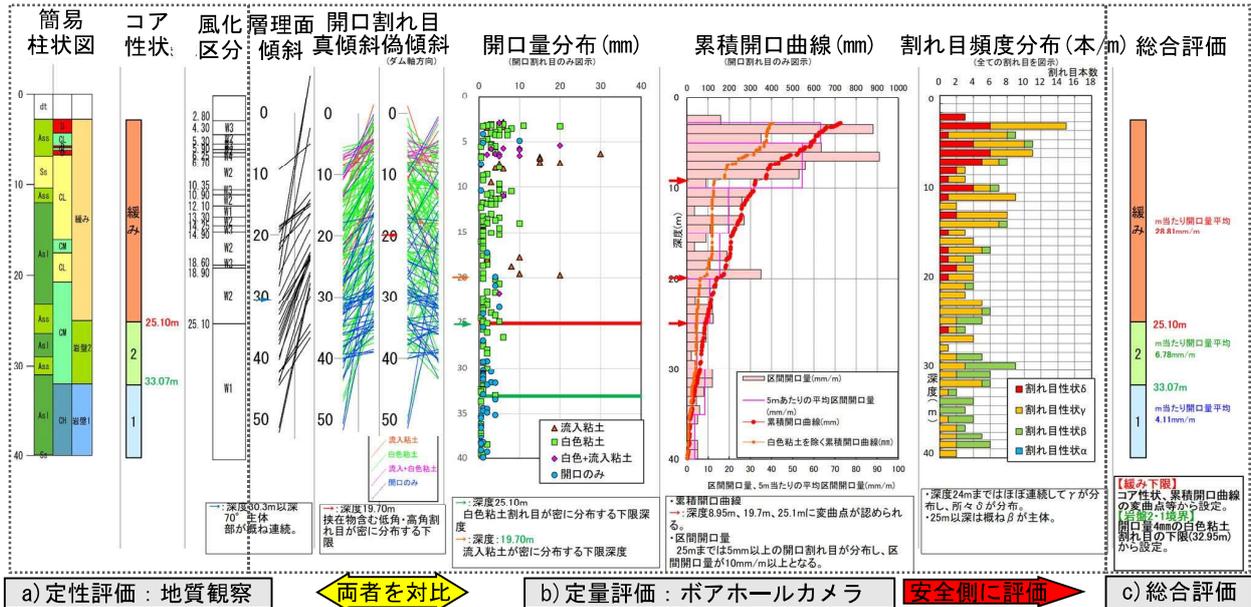
緩み区分	岩盤状況
緩み岩盤	流入・白色粘土や開口亀裂を伴う割れ目が密に発達（10本/m程度以上、累積開口量20mm/m以上）し、浮石上、岩片状の性状を示す。岩盤としての一体性に乏しい。
岩盤2	局部的に流入粘土・開口割れ目が認められる（10本/m未満、累積開口量10～20mm/m）が、岩盤全体としては一体化している。
岩盤1	岩盤は新鮮・堅硬で風化は認められず、開口割れ目等も頻度が極めて少ないまたは確認されない（5本/m以下、累積開口量10mm/m以下）。岩盤全体は一体化している。



写真-1 横坑の緩み岩盤状況



写真-2 ボーリングコアの緩み岩盤状況



a) 定性評価：地質観察

両者を対比

b) 定量評価：ポアホールカメラ

安全側に評価

c) 総合評価

図-7 ボーリングコアにおける緩み評価例

(2) 調査横坑における緩み範囲検討

調査横坑における緩み範囲検討は枝坑を含む計7坑を対象とし、設定した緩み区分基準に従い「a) 割れ目の性状観察による定性評価」、「b) 開口割れ目の本数・開口量の統計処理による定量評価」、「c) 総合評価」の手順で緩み岩盤の分布評価を行った(図-6参照)。

a) 割れ目の性状観察による定性評価

主に岩盤性状および割れ目性状に着目した地質観察を行い、緩み区分基準にもとづいた定性的な岩盤区分を行った。

b) 開口割れ目の本数・開口量の統計処理による定量評価

地質観察時に確認された開口割れ目について、流入・白色粘土の幅や開口量を計測し、1m区間あたりの開口割れ目本数・累積開口量を算出し、緩み区分基準に基づき定量的な緩み岩盤区分を行った。

c) 総合評価

定性的岩盤区分と定量的岩盤区分とを比較・統合し、整合性の確認およびすり合わせを行い、総合的な緩み岩盤の分布を評価した。

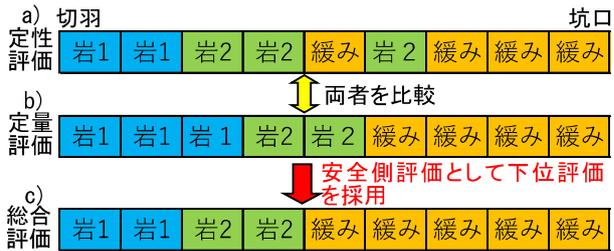


図-6 調査横坑における緩み評価概念図

(3) ボーリングコアによる緩み範囲検討

ボーリングコアによる緩み範囲の検討は、高品質

ボーリング(φ86mm)計29孔, 従来ボーリング(φ66mm)計29孔を対象に, 図-7に示す手順で検討を行った。

割れ目の開口量分布および累積開口量は, ボアホールカメラから評価を行った。

ボーリングコアの評価は, 横坑の面のデータと異なり点のデータとなる。そのため, ボアホールカメラ未実施である従来ボーリング(φ66mm)についても, 近接する高品質ボーリングの緩み評価と対比・照合することで, 緩み評価を平面展開し面的な緩み分布の精度向上に努めた。

a) 地質観察による定性評価

主にコア性状および割れ目性状に着目した地質観察を行い, 緩み区分基準にもとづいた定性的な岩盤区分を行った。特に点のデータであることに留意し, 周辺のボーリングコアと対比した上で評価を行った。

b) ボアホールカメラによる定量評価

ボアホールカメラ解析結果より確認された流入・白色粘土および開口割れ目の構造や開口量, 開口割れ目の頻度分布や累積開口量を算出し, 緩み区分基準に基づき定量的な岩盤区分を行った。ボアホールカメラ画像解析時は上記a)地質観察結果と照合し解析精度向上に努めた。

c) 総合評価

定性的岩盤区分と定量的岩盤区分とを比較・統合し, 整合性の確認およびすり合わせ, 総合的な緩み岩盤の分布を評価した。

(4) 緩み岩盤分布範囲の検討

上述した横坑およびボーリングコアの緩み範囲検討結果より, 平断面的な緩み岩盤分布範囲の検討を行った。その結果, 本ダムサイトの緩み岩盤は左岸斜面の高位標高部において厚さ20~30m程度の厚みを有していることが確認された。

また, 緩み岩盤は図-8に示す地質の特徴により複雑な分布形態となっていることが明らかとなった。

規制要因	地質分布	断層	断層と節理帯
模式図			
特徴	砂岩層は混在岩と比較し緩み下底面が浅くなる	高角度断層に挟まれた区間は緩み下底面が深くなる	高角度断層と高角度節理帯間には緩み下底面が浅くなる

図-8 緩み岩盤を規制する地質的特徴

以上の緩み岩盤の分布的特徴をもとに, 緩み区分の縦横断面図(図-9参照), および水平断面図(図-10参照)を作成し基礎掘削線設計の基礎資料とした。

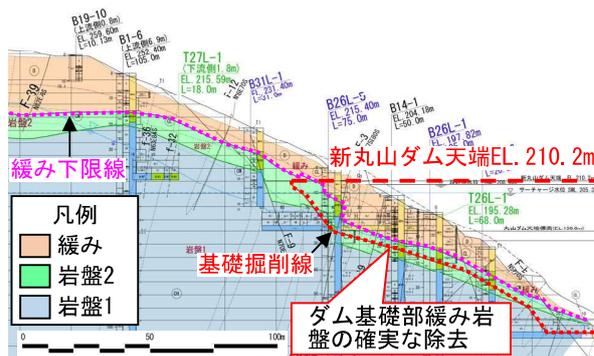


図-9 緩み区分ダム軸断面図

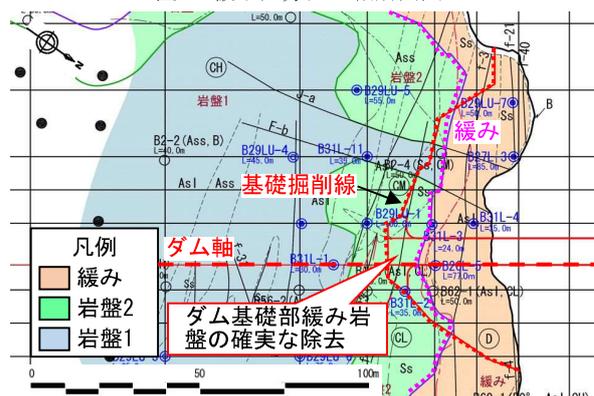


図-10 緩み区分水平断面図(EL. 210m)

4. まとめと今後の課題

ダムサイト左岸高標高部に分布する緩み岩盤に対し, 横坑およびボーリングコアの定性的評価(地質観察)と定量的評価(開口量計測)を組み合わせ, 独自の緩み区分基準を策定した。既往データを活用し平面展開することで, 安全側かつ精度を高めた緩み岩盤の性状および面的な分布範囲を確定でき, 安全かつ合理的なダム基礎掘削線の設定に寄与することができた。本手法は, 類似斜面等の安定性検討にも適用可能と考えられるが, 緩み岩盤の性状は前述したように地形・地質条件等で異なるため, 対象地域の地質・岩盤性状や地質構造を十分検討した上で評価することが重要である。

現在, 緩み岩盤が分布する左岸部斜面の掘削が開始され, 本手法にて掘削面の評価を実施中である。緩み岩盤の評価手法の検証を進め, 更なるブラッシュアップを行い, より安全なダム建設に寄与したいと考える。

謝辞: 本論文の執筆にあたり, ご協力いただいた関係者の方々に感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 新丸山ダム工事事務所ホームページ (https://www.cbr.mlit.go.jp/shinmaru/201_damunogaiyou/01_syogen/main.html)
- 2) 佐々木靖人, 片山広憲, 倉橋稔幸: ダムにおけるゆるみ岩盤の実態と分類試案, ダム技術, No.228, P9-21, 2005.

天竜川上流の砂礫河原における 植物の回復特性について

たなかふとし しだわらかずひろ ひがしおはるのぶ わたなべゆうすけ
○田中 太¹・志俣和宏²・東尾治伸¹・渡邊祐介¹

¹日本工営都市空間株式会社本社（〒461-0005 名古屋市東区東桜2-17-14）

²日本工営株式会社名古屋支店（〒460-0006 名古屋市中区葵1-20-22）

天竜川水系直轄砂防管内は流出土砂量が多い特性があり、出水で河川敷に土砂が堆積して裸地化するケースも散発的に起こり得る。これは河川行政を進める中で、治水、環境、利用面からマイナス要因と言えるが、裸地化した後に自然環境がどう変貌するかは不明な面も多い。本稿は天竜川水系砂防溪流環境調査業務の中で、出水の影響を強く受けた黒川などで調査する機会を得たため、環境回復の特徴を緑量（植物現存量）の観点から解析し報告するものである。

Key Words : 砂礫河原, 出水攪乱, 植生回復, 河原植物, 植生景観, カワラニガナ

1. はじめに

一級河川天竜川水系の黒川は、上流からの流出土砂量が多く、美和ダム直上流で本川三峰川と合流するため、下流部は砂礫の堆積域となっている。形成された砂礫河原は幅100m程度で河原面に高低差があり、裸地的環境が多いものの草地～低木林まで様々な河原環境が成立している。本稿は、黒川下流の砂礫河原において、出水攪乱後の回復途上における植物の出現種特性を把握することを目的とした。



図-1 調査場所位置図

2. 調査手法

出水などの攪乱で生じた河川内の自然裸地は、安定した立地であれば植物が芽生え、時間経過とともに低茎草地、高茎草地、河畔林へと植物種が自然に置き換わり、全体の緑量も増加していく変化が一般的である。令和4年6～9月において、緑量が異なる

河原環境（写真-1に示す5区分）の代表的な18地点に方形区を設定し、生育する植物種と種毎の占有面積（現存量）を調査した。

写真-1 様々な河原環境



3. 調査結果及び考察

(1) 緑量の多少に伴う植物構成種の変化

代表的な植物の出現状況を表-1に示す。

黒川の様々な河原環境で確認された種は、長野県生態系被害防止外来種（以下、「外来種」）のフサフジウツギ、河原植物のカワラヨモギ、路傍でよくみられるアキノエノコログサであった。フサフジウツギは全調査地点に出現し、河畔林（低木）では主要な樹木となっていた。河原が安定し緑量が増加していくと、フサフジウツギ林に遷移しやすいことを示唆している。

緑が点在する裸地的な河原でのみ確認された種は、河原植物のトダイアカバナ（国RDB:VU、県RDB:VU）やカワラハハコなどであった。

裸地から半裸地の河原で確認された種は、外来種のハリエンジュやヒメジョオン、河原植物のツルヨシやカワラニガナ（国RDB:NT、県RDB:VU）、在来低木のイヌコリヤナギなどであった。緑量が増す半裸地から草地や河畔林になると、草原性のススキ、河川以外でも広くみられるオオアレチノギク、セイタカアワダチソウ、スズメノチャヒキなどが目立つようになった。

(2) 出水攪乱が河原植生へ及ぼす影響

令和元年台風第19号は、2019年10月に上陸した大型台風で、天竜川本川筋は比較的少雨傾向、支川筋三峰川の降水量は多かったと報告されている¹⁾。屋敷沢（黒川）の雨量観測所データによると、日降水量は322mmと2013年以降で突出した雨量であり、大規模な出水・攪乱があったと考えられる。写真-2は台風前後の比較写真で、2021年は2013年より砂礫が堆積し、緑量も大きく減少していることが分かる。

2019年の台風第19号以降では、50mm強の降雨が2020年に6回、2021年に4回観測されており、小・中規模の出水は継続的・散発的に発生している²⁾。

写真-2 河原の環境変化（同地点）

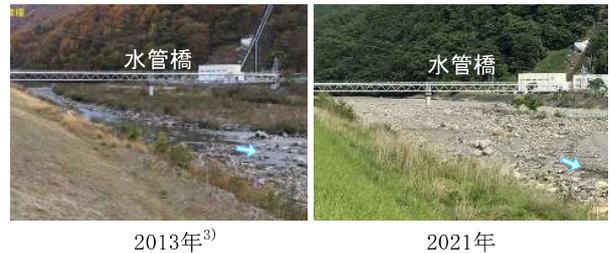


表-1 代表的な植物の出現状況

表内の数値は現存量の評価区分（前掲写真-1参照）

河原区分	裸地（緑わずか）						裸地（緑点在）						半裸地			草地	河畔林	出現地点数	
	5	5	5	5	5	5	10	10	10	10	20	20	20	40	30	30	70		80
様々な河原環境で確認された種																			
フサフジウツギ	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	3	2	1	1	5	18
カワラヨモギ	1			1	1	1	1	2			2		2	2	2	2	2	1	14
アキノエノコログサ	1	1	1	1				2				1	1			1			8
裸地（緑点在）の河原でのみ確認された種																			
ノミノツヅリ									1	1	1								3
トダイアカバナ									1	1									2
カワラハハコ										1									1
裸地～半裸地の河原でのみ確認された種																			
ツルヨシ					1	1	2	1			1	1	1	1					8
ハリエンジュ						1	1	1	1	1	1	1		2					8
ヨモギ							1	1	1	1	1		1	1					7
イヌコリヤナギ	1						1	1	1	1		1		1					7
カワラニガナ												1			1				2
ススキ											1			3	1	1			4
ヒメジョオン								1		1				2	1				4
■裸地（緑点在）から河畔林を選好する種																			
トクサ	1						1	2		1	1	1		1	1			1	9
オオアレチノギク							1	1	1	1	1				1			3	7
オニウシノゲサ										1	2			1				1	4
コセンダングサ				1						1			1			1		1	5
スズメノチャヒキ										1	1			2			4	2	5
セイタカアワダチソウ											1	1	1	1	1	1	1	1	7
■高茎草地や河畔林を選好する種																			
イワヨモギ												1					4	2	3
ガガイモ					1			1			1						2	2	5
タケノグサ				1										1			2	2	4
クスダマツメクサ															1	1	2	1	4

a) 景観

令和元年台風第19号の大規模出水から2年が経過した黒川では、河川内には緑が点在・散在する砂礫河原から草地や低木の河畔林まで、様々な河原環境が確認された（前掲写真-1参照）。まとまった緑量が広くみられたことから、出水攪乱後の植物の回復力は早いと考えられる。

これは、2年間の大・中・小規模の出水や河川工事により、流路からの比高が複雑な地形となり、植物の立地環境の多様化が進んだためと推察される。写真-3の左写真は地盤面の低い（攪乱頻度の高い）場所に広がる裸地的な砂礫河原、右写真は地盤面の高い（攪乱頻度の低い）場所に成立した草地であり、相対的に攪乱頻度が少ない立地では緑量が多いことが分かる。

写真-3 横断方向での河原景観の違い（概ね同地点）



砂礫河原（地盤面：低） 草地（地盤面：高）

b) 出現種

砂礫河原で確認された植物種は97種であった。外来種が多いものの、在来樹木、河原植物、山地性・草原性の草、荒廃地を好む草、水田・畑地・路傍で広くみられる草など、多様な種が確認された（表-2参照）。これは、左右岸に農村環境と河畔林（高木林）が広がり、上流には発達した山地樹林帯が連続する立地特性を反映し、多様な種子が供給されるためと考えられる。

また、18調査地点のうち1地点でしか出現しない種は47種と多かった。これは種子供給源が多いことに加え、立地が不安定で植物が活着しにくいことが要因の一つと考えられる。

なお、工事裸地などに先駆けて侵入する先駆性植物や外来植物が繁茂することはなく、種構成が単調化する傾向は認められなかった。

表-2 砂礫河原で確認された植物種の特徴

植物の分類	種数	確認された主な代表種
在来樹木	8	イヌコリヤナギ, フサザクラ
外来樹木	3	フサフジウツギ, ハリエンジュ
河原植物	5	カワラヨモギ, カワラニガナ
山地性の草	9	ミスヒキ, オニルリソウ
草原性の草	4	ススキ, カリヤス, ガガイモ
荒廃地の草	4	タケニグサ, フジアザミ
水田の草	6	チゴザサ, コブナグサ
畑地の草	7	シロザ, ノミノフスマ
路傍の草	18	ヨモギ, メヒシバ, カゼクサ
外来の草	30	セイタカアワダチソウ
不明種	3	イネ科の一種

c) 代表種の出現特性

黒川（18地点）と同様の調査を実施した与田切川（13地点）及び片桐松川（17地点）の結果も含め、河原植物5種、ヤナギ類3種、外来樹木2種を取り上げ、出現特性を整理した。全48地点の中で出現した地点数と、それぞれの地点における現存量の評価区分を加算した値を表-3に整理した。

河原植物は、カワラヨモギ及びツルヨシが様々な河原環境に生育分布していた。一方、カワラハハコ及びカワラニガナは半裸地（緑散在）まで、トダイアカバナは裸地（緑点在）までの生育分布であった。これら3種は裸地の早い段階から発芽する一方、河原が安定し緑量が増加していくと、外来植物などとの競合で消失していく可能性が高いと考えられる。

ヤナギ類3種及び外来樹木2種は、様々な河原環境に生育分布していた。ヤナギ類は現存量が少ないものの、裸地的な砂礫河原から河畔林において実生木や低木が確認されており、外来樹木に駆逐された状態までには至っていないと考えられる。外来樹木はヤナギ類より現存量が多く、今後の動態を引き続き注視する必要があると考えられる。

表-3 代表種の出現特性（現存量の多少）

種名	様々な河原環境					出現地点数
	裸地 緑わずか	裸地 緑点在	半裸地	草地	河畔林	
■河原植物（草本類）						
カワラヨモギ	9	8	22	9	1	31
ツルヨシ	8	13	7	23	3	29
カワラハハコ	2	1	1			4
カワラニガナ	確認	1	1			2
トダイアカバナ	確認	2				2
■ヤナギ類（在来樹木）						
コゴメヤナギ	1	1	3	1	4	7
イヌコリヤナギ	2	5	1		1	9
カワヤナギ	3	1		1	1	6
■外来樹木						
ハリエンジュ	1	7	8	3	22	24
フサフジウツギ	7	9	8	4	5	22
■その他参考（外来の草）						
セイタカアワダチソウ	4	5	10	12	5	29
オオアレチノギク	3	7	4	3	5	19
ヒメムカシヨモギ	3	4	5	8	6	18
ヒメジョオン		3	7	6	5	18
コセンダングサ	2	3	7	2	3	16
メマツヨイグサ	2	1	4	4	5	15

4. おわりに

(1) 植物の回復力と出現種

大規模出水から2年が経過した現在、黒川下流の河原は凹凸のある複雑な横断面地形となっており、裸地的な砂礫河原から河畔林まで多様な環境がみられた。確認された植物は97種で、出水後の植物の単調化傾向は認められず、植物の回復力は早いと考え

られた。

植物の回復過程で生じる緑量の異なる環境を5つに分類して調査したところ、黒川下流の様々な河原環境でみられ、かつ、出現頻度も高い種は外来植物が多かった。裸地的な砂礫河原では、トダイアカバナやカワラニガナなどの河原植物が特徴的に出現し、緑量が増すと草地性のススキや路傍などでも広くみられる種が多くなる傾向が認められた。

(2) 攪乱頻度と緑量の関係

写真-4は、低水護岸上にセイタカアワダチソウが優占する緑量の多い草地、凹地に河原植物のカワラヨモギやカワラニガナが生育する緑量の少ない裸地となっており、微地形の差が住み分けを促すことを示している。

攪乱頻度と緑量は深い関係を持つことから、流路からの比高が複雑な断面となれば、河原環境の多様化や早期緑化が促進する可能性がある。河原面が平坦で植生回復が遅い長大な砂礫河原では、凹凸や傾斜を設けた河原造成を行い、植物の回復状況や出現種特性、造成面の持続性などを検証することも重要と考える。

写真-4 微地形と緑量・出現種の違い



(3) 環境調査への留意点

河原植物の重要種は、ほとんど緑のない砂礫河原でも出現することが分かった。河川敷の環境調査で

は、このような裸地的な環境も確認することが重要である（写真-5左参照）。また、工事現場内ではメハジキ（県RDB:NT）も多数確認されており、人工的な環境でも調査する意義は高いと考える。

(4) 砂防工事での環境配慮

砂礫河原の植生や種数は、出水攪乱で劣化していく可能性が低い傾向も認められた。このことは、砂礫河原で施工する砂防工事についても、一時的な河原（地表面）の改変であれば、河原植物に及ぼす影響は小さいものと考えられる。

また、今回の調査では、砂礫を利活用した高水護岸で、重要種カワラニガナが確認された（写真-5右参照）。生育適地が造成されたことで種子が飛来・活着したか、埋土種子から発芽したと考えられる。環境に配慮した河川工事の効果が発現した一例として紹介させて頂いた。

写真-5 重要種カワラニガナの確認環境



謝辞：本稿を作成するにあたり、国土交通省中部地方整備局天竜川上流河川事務所より受注した業務成果の一部を活用させて頂きました。関係者の皆様に多大なるご指導、ご協力を頂き感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 国土交通省中部地方整備局 天竜川上流河川事務所・天竜川ダム統合管理事務所・三峰川総合開発工事事務所：令和元年 台風第19号による天竜川水系（長野県内）の出水状況，令和元年10月16日
- 2) 国土交通省HP：水文水質データベース
- 3) 国土交通省中部地方整備局 天竜川上流河川事務所，いであ株式会社：平成25年度天竜川水系三峰川上流域砂防施設設計業務報告書，平成26年3月

土地区画整理法第80条に基づく工事施工について

○^{としお}金岡才夫¹・^{ひでゆき}児玉秀幸¹・^{こうじ}伊藤浩嗣¹

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

組合施行の土地区画整理事業は、定款及び事業計画について施行地区となるべき区域内の宅地について所有権を有するすべての者及びその区域内の宅地について借地権を有するすべての者のそれぞれの3分の2以上の同意により設立認可され、全員の同意がなくても事業がスタートする。そのため、土地区画整理事業で宅地造成や道路整備などの工事を進めていく過程において、一部の事業未同意者から理解が得られず、工事に支障が生じ、事業スケジュールに多大な影響を及ぼすことが往々にしてある。そこで、本稿は事業中に事業未同意者より立入禁止看板が設置され、土地区画整理法第80条に基づき工事施工した事例を紹介するものである。

Key Words : 土地区画整理事業, 組合施行, 事業未同意者, 立入禁止看板, 工事施工

1. はじめに

今回、土地区画整理法（以下「法」という。）第80条に基づき工事施工した事例を紹介するにあたり、土地区画整理事業の施行者及び関係する行政の許可は得ているが、個人の権利に関わる案件であることや現在も事業施行中であることから、具体的に特定できる地区名などは控えさせていただくことはじめにお断りする。

組合施行の土地区画整理事業では、法第18条により、定款及び事業計画について施行地区となるべき区域内の宅地について所有権を有するすべての者及びその区域内の宅地について借地権を有するすべての者のそれぞれの3分の2以上の同意をもって認可権者より設立認可されることから全員の同意がなくても事業をスタートすることが可能となる。

また、法第25条の規定により同意の有無を問わずに施行地区内の宅地について所有権又は借地権を有する者はすべて組合員となる。

こうして事業化した土地区画整理事業で、宅地造成や道路整備などの工事を進めていく過程において、一部の事業未同意者（定款及び事業計画に未同意の者）から理解が得られず、工事施工に支障が生じ、事業スケジュールに多大な影響を及ぼすことが往々にある。

特に工事の施工上、家屋や看板などの工作物、立木などの移転が必要となる場合においては、所有者との移転補償の任意協議により、その所有者からご理解いただき、移転補償費を支払い、ご自身で移転・撤去を実施するケースが一般的である。

しかし、移転や撤去に理解を示さないケースもあり、結果として工事が遅延し、使用収益開始（仮換地を使用することが可能になり、従前地が使用することが出来なくなる）が遅れることで多くの地権者に損失を与えかねない状況となる。

そこで、本稿では事業中に事業未同意者より立入禁止看板が設置され、法第80条の規定に基づき工事施工した事例について紹介するものである。

2. 立入禁止看板の設置

(1) 工事施工のための仮換地指定

土地区画整理事業がスタートし、宅地造成や道路整備等の工事を進めていく過程において土地区画整理事業では法第98条により、土地の区画形質の変更若しくは公共施設の新設若しくは変更に係る工事のため必要がある場合は、施行地区内の宅地について仮換地を指定することができる定められており、この仮換地を指定することにより、仮換地指定の効果として法第99条において従前地の宅地については使用又は収益することができないものとする定められている。

よって、工事を進めていく過程において仮換地指定を行う必要があり、本事業においても法に基づき適正に仮換地指定を実施した。

(2) 立入禁止看板の設置

仮換地指定後も事業未同意者に対して土地区画整理事業への理解を得るため再三説明を行い、且つ工事施工についても同様に説明を行い、理解を求めた

が、土地の立入及び工事施工については理解が得られず、自身の従前地に立入禁止看板が設置された。

(図-1)



図-1 立入禁止看板

3. 工事施工の対応方法

(1) 工事施工の方針

土地区画整理組合の理事会において、立入禁止看板をそのまま放置した場合、周辺仮換地の使用収益を遅らせる結果となり、事業の周辺組合員の土地利用に支障を及ぼすのみならず、良好な市街地整備を目的とする当事業推進に重大な支障を及ぼし、さらに、当事業の資金源である保留地処分（収入）が遅れるため借入金が増大して事業費を圧迫することになることから工事を施工する方針とし、対応方法等について弁護士に相談した。

(2) 弁護士への相談

弁護士に立入禁止看板は仮換地指定後（使用収益停止後）に設置しており、基礎のない単に土地に埋め込んでいるだけのもので移動は容易であるため動産として取り扱い、持ち主である事業未同意者に引き渡すため土地区画整理組合が立入禁止看板を移動させることが法律上可能であるか確認し、さらに、対応策として考えられる次の三つの方法「①法第77条に基づく直接施行を執行後、法第80条による工事施工」「②立入禁止看板の除却を求める民事訴訟」「③法第80条による工事施工」について相談した。

立入禁止看板については、弁護士間で確認したと

ころ全員、動産として扱うことで良いとの意見であった。

よって、①～③の方法検討を行うこととなった。

(3) 各対応策の期間

a) 法77条に基づく直接施行を執行後、法80条による工事施工

直接施行を実施するための流れとして、同時進行による対応もあるが次のとおり、移転通知及び照会の発送・期限に約100日、催告書の発送・期限に約20日、直接施行手続き（事務所内・本庁内）に約7日、直接施行通知の発送・期日に約15日、直接施行工事の着手・完了に約50日で合わせると約192日と半年以上の期間を要し、さらに、同時進行で直接施行の実施計画書の作成等の対応もあることから作業量も多大となる。

b) 立入禁止看板の除却を求める民事訴訟

弁護士の見解では、訴状の作成に約1カ月、初回の弁論に約1か月、判決までに約1か月、民事執行まで考えると約2カ月要し、相手方が弁護士に依頼せずに本人訴訟とした場合は、訴状の作成に相当の時間を要し、相手方が争う場合も時間を要することから、半年から1年間の期間が想定されるとの見解であった。

c) 法第80条による工事施工

弁護士に相談してから工事施工開始日まで約50日程度が見込まれる。

よって、法第77条に基づく直接施行又は民事訴訟により対応した場合は半年以上の期間を要することから相応の期間短縮となる。

次に対応した内容等について説明する。

4. 土地区画整理法第80条に基づく対応

(1) 土地区画整理法第80条とは

仮換地の指定をした場合、又は換地計画において換地不交付のため従前の宅地の使用収益を停止させた場合には、これらの処分により使用収益することができる者がなくなった従前の宅地については、施行者は、その宅地の所有者及び占有者の同意を得ないで、事業の施行を行うことができる。との規定である。

(2) 実施の手続き

工事施工当日までに、「認可権者への説明」「警察協議」「事業未同意者（以下「組合員A」という。）への事前の工事施工通知」「工事施工開始日のリハーサル」を実施した。

a) 認可権者への説明

認可権者に対して、今までの経緯として組合員Aとは複数回協議したが理解をえられなかったこと及び弁護士より土地区画整理法第80条による工事施工は可能であることを確認した旨説明した。それに

対して法解釈は理解したが組合員Aとの対話は継続してほしいと指導された。

b) 警察協議

組合員Aより警察に対して不動産侵奪等の連絡や直接工事現場で妨害する可能性が考えられるため事前に警察に対しても認可権者同様に今までの経緯及び法解釈について説明を行い、トラブルがあれば対応していただくこと及び工事施工開始後でも犯罪がおこりそうであれば連絡してくださいとの回答を得た。

但し、組合員Aが従前地に居座った場合は強制的に排除できないことが説明された。

c) 事業未同意者への事前の工事施工通知

警察との協議後に組合員Aに工事施工通知を直接手渡した。

しかし、後日組合事務所のポストに返還されたため、再度訪問したが不在であったことからFAXにより通知を行った。

d) 工事施工開始日のリハーサル

工事施工開始日に組合員Aの行動に対応できるよう「法80条に基づく工事施工実施計画書」の内容を基にリハーサルを実施した。(図-2)

法80条に基づく工事施工実施計画書	
目次	
1. 法80条に基づく工事施工実施計画	1
2. 法80条に基づく工事施工実施計画書	2
対象となる土地の表示	4
実施本部の組織及び事務分掌	5
実施本部の組織及び構成	6
実施作業に従事する者の心得	7
実施要領	8
工事工程表	12
3. 関係官公庁等の連絡表	13
4. 現地案内図	14

図-2 法80条に基づく工事施工実施計画書目次

なお、この工事施工開始日は、土地区画整理組合理事7名、工事業者1名、市職員4名、コンサルタント5名の計17名で以下の事務分掌を定めて対応した。(図-3)

(4) 工事施工開始日

工事施工開始日は以下のタイムスケジュールのとおり対応した。(図-4)

立入禁止看板は撤去して組合事務所に保管して後日組合員Aに返還することを確認した。

なお、午後3時頃に組合員Aと思われる方が遠方で凝望されているようであったが、程なく立ち去ったため特にトラブルは起きなかった。翌日は工事施

工箇所周辺を確認してから工事を開始した。

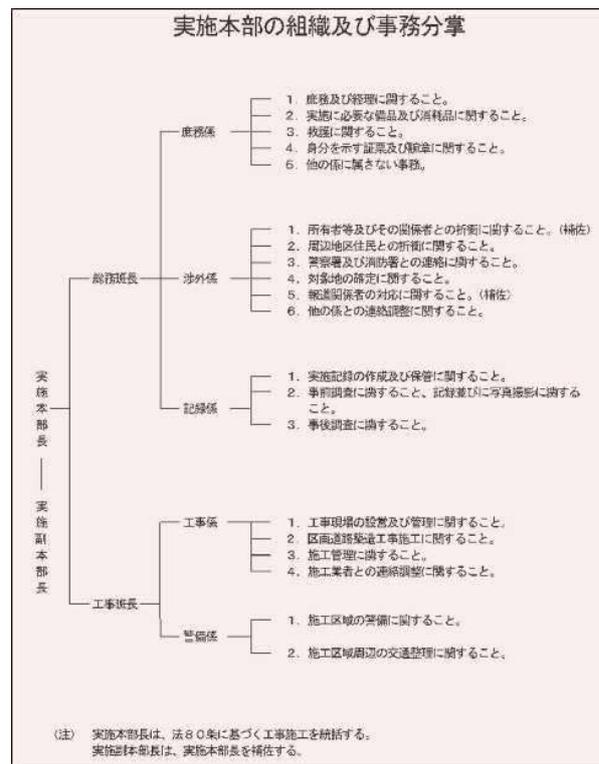


図-3 実施本部の組織及び事務分掌

<タイムスケジュール>	
8:30	三役、庶務係、市、コンサル担当者 天候及び天気予報を確認→実施の可否を判断 →延期の場合は庶務係が従事者へ連絡、組合員Aへは渉外係から連絡。
9:00	組合事務所集合・出欠および注意事項・身分証明・腕章確認等
9:40	現地集合場所へ移動開始
9:50	現地集合場所到着（現地で整列）
9:55	組合員A従前地付近へ移動、整列
10:00	工事開始宣言（理事長）
10:01	作業開始 実施区域の確認作業
10:05	工事施工区域仮囲い（トラロープ）の設置開始
10:15	工事施工区域の物件の有無調査・記録
10:30	工事施工区域の仮囲い（トラロープ）設置完了確認
10:35	立入禁止看板・公示看板の設置開始
11:00	立入禁止看板・公示看板の設置完了
11:00	工事施工区域の物件の有無調査完了
11:05	草刈り開始、看板の撤去作業開始
12:00	午前中の作業終了（従事者は交代で昼食・現場整備を開始）
13:00	午後の作業開始
※午後の体制は、交代制で従事する。現地から離れた従事者は、組合事務所に待機。	
16:50	作業終了指示 ※現地全員集合
17:00	作業終了の挨拶（理事長）
17:10	現地から撤収、組合事務所に集合
17:20	翌日以降の作業の指示（理事長）

図-4 工事施工開始日のタイムスケジュール

(5) 工事施工後の対応

工事施工開始日から約1週間後に新たな立入禁止看板(新看板)が設置されていた。

翌日に組合員Aから市役所へ看板が撤去されたこと、工事を止めてほしいとの苦情があった。

その翌日に組合員A宅を訪問し、組合管理地であるので工事は進めること、組合が保管していた当初設置していた立入禁止看板は組合員Aに返還し、新看板は工事に支障があるので撤去すること、工事現場は危険なため進入しないでほしいことを説明した。

それから二日後に当初の立入禁止看板が再設置されていたが工事に支障のない位置に設置されていたことや何回も工事現場に侵入されると危険なため当分の間放置することに決定した。

5. おわりに

現在、事業進捗に伴い組合員Aにも総会の案内通知や区画整理だより等を送付しているが、数日後に組合事務所のポストに自分は組合員を辞めましたとの投函されている状況である。

先日、当初の立入禁止看板を再設置した箇所の工事を行う必要があるため組合員A宅を訪問し、看板を撤去して工事を行うことを説明した。

今までは、土地の立入及び工事施工を拒みつづけていたが、組合が工事することを初めて承知いただけた。

事業は継続していくため、今後組合員Aがどのような対応をするか継続的に注視していくが、無事事業が完了すると思う今日この頃です。