

令和6年度（第34回）

建設コンサルタント業務技術発表会

論文集



令和6年10月22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6年度（第34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. 国道19号大須地区における自転車専用通行帯の整備効果高山琴名 / 立松秀樹 / 三浦由美子	1
2. AI画像解析を活用した仮設ハンプの効果検証鈴木志信 / 山田邦博 / 久坂直樹 / 山下夏実 / 杉村清紀	5
3. スコリア斜面を有する国道の上下線断面分離化による防災性等向上に関する検討山崎大嗣 / 関口貴志 / 高羽俊光 / 中村哲也 / 水谷和真	9
4. 道路事業の機運醸成に向けた整備効果の広報戦略星野一輝 / 安達弘展 / 鈴木忠英 / 近藤一裕 / 北條彰人	13
5. 地山の劣化状況を踏まえた素掘りトンネルの修繕設計平間雅也 / 古林竜治 / 萩田隼平	17

【発表論文_第1会場_構造・土質分野】

	頁
6. 河川内パイルベント橋脚の無補強対策検討中 駿 / 浅井利幸 / 押尾泰寿	21
7. 耐候性鋼材橋梁の維持管理方針の検討周 敦史 / 山田 誠 / 樋口伸幸 / 木下俊男 / 熊澤快友	25
8. 西の谷橋における方杖ラーメン橋の耐震補強設計長谷川正 / 茂呂 充 / 三宅竜之介	29
9. 道路橋としての供用に向けた仮線鉄道橋張出しPC床版の改良設計河合健斗 / 加藤幸男 / 野澤孝之 / 武藤大和 / 小玉由人	33
10. 施工中に沈下した底版に対応するボックスカルバート設計手法の立案佐藤和輝 / 天野雅人 / 上原将人 / 岩田高裕	37

令和6年度（第34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. 豊川霞提地区における CIM モデル等を活用した事業進捗監理 及び関係機関との合意形成について 川合伸治 / 空かおり / 本村恵大 / 早川ゆかり / 堀江萌里	41
2. 流域治水における整備目標共有のための、地区一帯 BIM/CIM モデル作成 横山綾華 / 山田周治 / 中山貴士 / 末永匡美	45
3. ドローンを用いた植栽の健全度調査 陸浦昂起 / 則竹登志恵 / 浜出 智 / 田中 太 / 黒岩剛史	49
4. AI 画像分類技術を用いた河川の濁りモニタリング手法の活用可能性の検討 白井峻太 / 浜崎泰知 / 鈴木昭彦 / 堀田大貴	53
5. 安間川における水災害対策プランの変更 澤田育則 / 風間喜章 / 久野由雅 / 平野和希	57

【発表論文_第2会場_都市計画分野】

	頁
6. 地域資源を活用した国営公園再整備 瓜生千晴 / 則竹登志恵 / 小林恭子 / 井上僚平	61
7. 人口減少が進む地方都市における財政負担軽減と 活力向上を目的とした公共施設の適正規模・適正配置の検討 渡邊菜々子 / 川口充康 / 西脇巧	65
8. 災害リスクを踏まえた居住誘導区域のあり方と防災・減災の実現に向けた取組の検討 岩瀬大真 / 中島慎一郎 / 今井智之 / 浅野貴久 / 羽深茜	69
9. 自動運転を支援する路車協調システムの有効性に関する評価検証 高村真一 / 市川貴也 / 六反雅登 / 稲富貴久 / 光安 皓	73
10. 国道19号桜通における歩道空間の再編による賑わいの創出 百合昭太 / 寺奥 淳 / 一藁義治	77

令和6年度（第34回）建設コンサルタント業務技術発表会

目 次 3 / 4

【掲載論文_道路分野】

	頁
現道交通に配慮した軟弱地盤上の高盛土計画 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 鈴村勇季 / 阿部光伸 / 鈴木玲穂	81
携帯電話位置情報を用いた立ち寄り観光需要の推計に関する検討 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 中野雅規 / 田中伸浩 / 島崎正伍 / 坂口 綾	85
休憩施設の機能強化に対する駐車場レイアウト計画 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 矢野稜典 / 浅井優司 / 泉真利子 / 和地敬	89
ダイヤモンド型 IC の高架下交差点における安全性向上を目的としたランプ線形の見直し ・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 吉田想平 / 中村 治 / 松浦佑紀 / 山本高由 / 日高雅史	93
貴重植物シデコブシの保全対策への取組み ・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 小倉弘之 / 小田健一 / 伊藤 浩 / 板橋 瞳	97

【掲載論文_構造・土質分野】

	頁
IC 改良事業における施工条件の厳しいランプ橋の設計 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 伴 乙希 / 酒井友紀 / 江藤良樹 / 小林 修 / 葛谷一貴	101
杭基礎を有する橋台の再構築における地盤の緩み防止対策 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 谷本拳悟 / 町 勉	105
多径間単純橋の橋梁全体系の補強を含む耐震補強方針の検討について ・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 高林甫伎 / 河内正彦 / 泉野誠司	109
鋼床版疲労亀裂の検知手法 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 原田竜輔 / 牧野成泰 / 伊藤洋治 / 青木秀斗	113
市街地における狭隘空間での橋梁架替予備設計 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 宇野彩葉 / 林 克弘 / 内山真人 / 井樋 宙 / 竹田文哉	117

令和6年度（第34回） 建設コンサルタント業務技術発表会

目 次 4 / 4

【掲載論文_河川分野】

	頁
櫛田川における地域と連携したコクチバス対策 ・・・・・・・・・・ 浜島翼 / 葛西直樹 / 小田洋平 / 塩塚菜生 / 大磯勇己	121
狩野川で造成されたアユ人工産卵床の実例及び産卵利用の報告 ・・・・・・・・・・ 宮 映日 / 田中克幸 / 加藤雅之 / 林須美子 / 林 大	125

国道19号大須地区における自転車専用通行帯の整備効果

○高山琴名¹・立松秀樹¹・三浦由美子¹

¹株式会社オリエンタルコンサルタンツ 中部支社 交通政策部（〒450-0003 名古屋市中村区名駅南二丁目14-19 住友生命名古屋ビル 7階）

国内において、自転車利用に関する社会的需要が高まっている一方、愛知県内で発生している自転車事故の死傷者数は増加傾向であり、自転車の安全対策が喫緊の課題である。名古屋国道事務所では、2020年10月に「当面の名古屋市内における自転車通行空間の整備計画」を策定し安全で快適な自転車利用環境づくりを推進している。本稿では、その対象路線の1つである国道19号大須地区において、安全・安心な歩行空間・自転車通行空間の確保を目的に、地域住民及び学校関係者と議論を行い、自転車通行空間の整備検討・効果検証を行った事例について報告する。

キーワード：自転車通行空間、自転車専用通行帯、歩行者自転車交通安全対策、社会実験

1. はじめに

国内の自転車施策においては、自転車活用推進法の施行や道路構造令の改正による自転車通行帯の新設など、自転車通行空間の整備を促進させる動きがある。

さらに、健康志向の高まりなどから、自転車利用に関する社会的需要が高まっている。

また、愛知県内で発生している交通事故をみると、自動車事故の死傷者数は減少傾向である一方、自転車事故の死傷者数は増加しており、自転車の安全対策が喫緊の課題となっている（図-1）。

以上から、名古屋国道事務所管内においても、2020年10月に「当面の名古屋市内における自転車通行空間の整備計画」を策定し、安全で快適な自転車利用環境づくりを推進している（図-2）。

2. 国道19号大須地区の概要

愛知県名古屋市中区大須地区における国道19号は、「当面の名古屋市内における自転車通行空間の整備計画」の対象路線の1つで、歩道上に駐輪された自転車により歩行空間が狭くなっており、歩道を通行する自転車が多く、児童も含め歩行者と自転車が交錯する危険な状況であった（図-3）。そのため地域から、安全・安心な歩行空間・自転車通行空間の確保が求められていた。

2018年6月に、地域住民及び学校関係者、学識者、行政機関がメンバーとなった「大須地区安全な自転車利用に関する連絡会」を設立し、課題を共有した上で対策案について議論し社会実験や現地視察を行い、2022年12月に自転車通行空間等の整備に至った。本稿は、社会実験等を踏まえて実施した整備内容と効果について報告するものである。

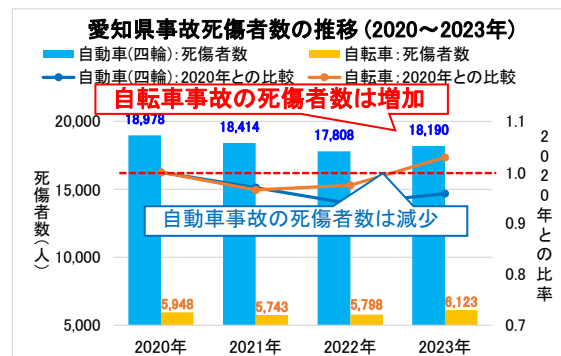


図-1 愛知県内の自転車関連事故の推移¹⁾

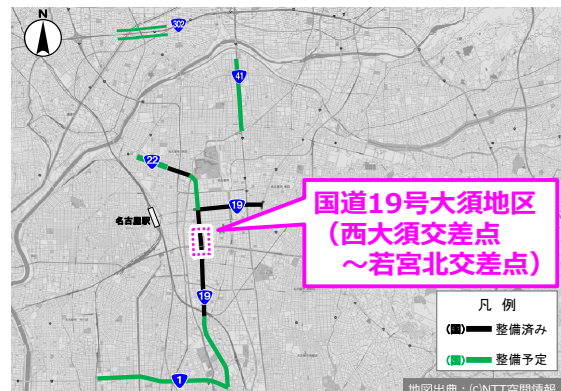


図-2 当面の名古屋市内における自転車通行空間の整備計画図（2024年3月時点）



図-3 大須地区の歩道利用状況（朝ピーク時）

3. 社会実験の概要

(1) 社会実験実施に関する経緯

本地区は歩行者や自転車の交通量が多く、歩道上には横断歩道橋の階段等が設置されており、歩道上での自転車通行空間の創出は困難であった。また、国道19号は地域の幹線道路で交通量の多い多車線道路であり、車線削減を伴う自転車通行空間の整備にあたり、自動車の円滑性への影響が懸念されていた。

上記懸念事項や整備効果の検証（自転車通行空間の遵守率等）を目的に社会実験を計画した。

(2) 社会実験の内容

自転車通行空間の創出について、車道の第一車線を自転車通行空間として活用し矢羽根を設置した。

（図-4）

(3) 社会実験の結果

自転車通行空間創出の社会実験により、自転車の車道走行の遵守率は、西側では整備前の9%から54%、東側では7%から18%と向上し、西側東側合わせて約340台〔6h計〕の自転車が歩道通行から車道通行へ転換した。その結果、歩道における歩行者と自転車、自転車同士の交錯回数は13回から6回に減少し歩行者の安全性が向上した。

さらに、西大須交差点の北側流入部及び若宮南交差点の南側流入部の左折車線の渋滞は発生せず、車線削減による交通影響が限定的であることが確認できた。

以上から、多車線道路で車線を削減して創出した自転車通行空間において、自転車通行空間の利用ニーズを確認でき、歩行者や自転車の安全性の向上を確認できたため、本整備に向け、本地区の道路利用特性に合わせた自転車通行空間の整備計画の検討を行った。

4. 自転車通行空間の整備計画

(1) 自転車通行空間の整備計画の検討

単路部においては、交通状況を踏まえ車線削減が可能であったことから、車線1車線を転換し自転車通行空間を確保することとしたため、3.75mの幅員を活用することができた。しかし、このような広幅員の自転車専用通行帯の整備方法は、「安全で快適な自転車利用環境創出ガイドライン」（以下ガイドライン）にも記載がなく、懸念事項を踏まえて検討する必要があった。現地状況を踏まえると、並走や逆走

の自転車の誘発や、自動車の誤進入や、駐停車等が懸念されたことから、自転車の通行位置を明示するため、歩道寄り1.5mのみに対してカラー舗装を行い、さらに、自動車の自転車専用通行帯への進入を物理的に抑制するため、車道側にラバーポールを設置する計画案とした（図-5、図-6）。

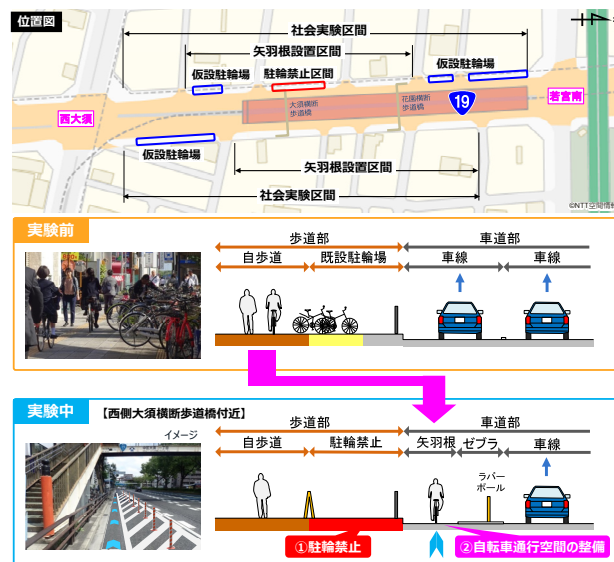


図-4 社会実験の実施内容

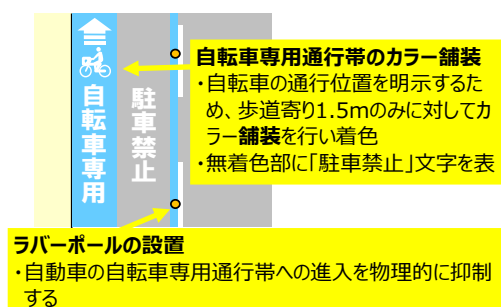
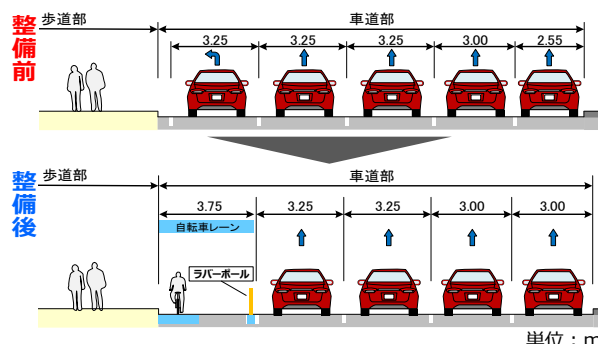


図-5 自転車専用通行帯の整備（単路部）

案	案①	案②	案③	案④
概要	自転車専用通行帯(着色・歩道側) +ゼブラ配置	幅広の自転車専用通行帯とし、 そのうち1.5m着色(歩道側)	幅広の自転車専用通行帯とし、その うち1.5m着色(車道側)+ゼブラ配置	案②+ラバーボール設置
評価	メリット ・自転車と自動車との離隔があり、自転車利用者の安全性が高い。	・自転車専用通行帯を幅広とすることや「駐車禁止」の路面表示により、駐車禁止を抑制。 ・自転車と自動車との離隔があり、自転車利用者の安全性が高い。	・自転車専用通行帯を幅広とすることや「駐車禁止」の路面表示により、駐車禁止を抑制。	※案②と同じ ・ラバーボールにより駐停車を物理的に抑制する。
	デメリット ・ゼブラにより違法駐車を助長するおそれがある。	・物理的に違法駐車を抑制する対策はされていない。 ・「自転車専用」と無着色部が別の車線とみなされる可能性がある。	・停車された場合、車両が着色部の一部にかかり、自転車利用者の安全性が劣る。 ・物理的に違法駐車を抑制する対策はされていない。	※案②と同じ ・停車車両に不便を強いることになる。 ・ラバーボールへの衝突のおそれがある。

図-6 単路部整備計画比較表

なお、交差点部は車線削減が困難であるため、植栽を撤去し自転車専用通行帯を整備した。その際、左折する自転車と直進する自転車が別々の信号現示(図-7)で通行する運用となっていたため、直進のみの青現示の際、左折自転車は信号待ちすることとなり、後続の直進自転車が進行できなくなる等の状況が懸念された。こちらの懸念事項への対応もガイドライン等に記載がなく、関係機関と協議を重ね、信号待ち左折自転車を直進自転車が追い越し可能となるよう、流入部付近の自転車専用通行帯の幅を2.0mに拡幅する案を検討した(図-8)。

(2) バスや荷捌き車両、観光バスへの対応

大須地区は、沿道施設が多く周辺に商店街や観光スポットも立地することから、沿道施設の荷捌き車両や観光バスの停車ニーズが高い地区であった。

そのため、観光バスや貨物車の停車スペースと自転車通行空間を分離することを目的に、観光バスや貨物車の停車スペースを歩道寄りに確保し、自転車専用通行帯を停車スペースの右側にシフトする計画とした(図-9)。

1Φ	2Φ	3Φ	4Φ	
青:40 (西側歩行者青:38) (東側歩行者青:40)	①青:34 ②青:27 黄:3 赤:4 (歩行者青:34)	青:19 黄:2 赤:5 (歩行者青:19)	青:51 黄:4 赤:5 (歩行者青:49)	計 160

図-7 若宮南交差点の信号現示²

自転車専用通行帯の拡幅

- ・左折自転車による信号待ちの直進自転車の追い越し等が可能となるよう、自転車専用通行帯の幅を2.0mに拡幅

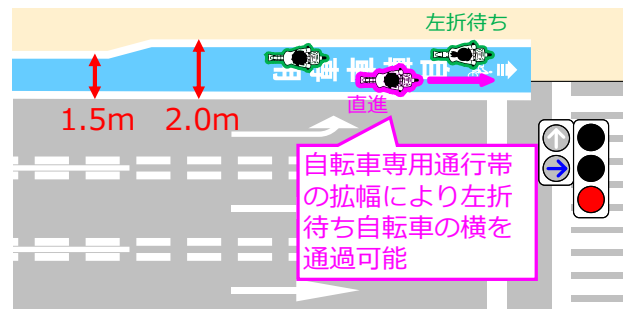


図-8 自転車専用通行帯の整備状況(交差点部)

停車帯の設置に伴う自転車専用通行帯のシフト

- ・停車スペースと自転車通行空間を分離するため、停車スペースを歩道寄りに確保し、自転車専用通行帯を右側にシフト



図-9 観光バスや貨物車の停車帯の整備状況

5. 整備事業の効果

(1) 自転車通行空間の利用状況

自転車通行空間を整備したことにより、自転車の車道走行の遵守率は、西側では整備前の9%から79%、東側では7%から61%と向上し、西側東側合わせて約570台〔6h計〕の自転車が歩道通行から車道通行へ転換した（図-10）。その結果、歩道における歩行者と自転車、自転車同士の交錯回数は13回から4回に減少し歩行者の安全性が向上した（図-11）。

また、車線削減に伴う整備により、自転車通行空間を幅員で確保できたことで、自転車通行空間の遵守率約90%〔ピーク8時台〕は同様の整備形態の他路線である国道19号桜通の約80%〔ピーク8時台〕（2018年11調査結果）を上回り、幅員の自転車通行空間の整備により大きな効果が発現することも確認できた（図-12）。

一方で、幅員であることから、車道を逆走する自転車も見られた（図-13）。

(2) 観光バスや貨物車の停車帯の利用状況

停車帯の整備により、西側では約20台〔4h計〕、東側では約70台〔4h計〕の車両が停車帯を利用している。また、停車帯利用時の自転車走行状況を見ると、停車帯を避けて設置した自転車専用通行帯を走行しており安全が担保されていることが確認できた（図-14）。

また、路上停車台数も88台から72台に減少しており、路上停車の抑制効果が見られた（図-15）。

6. まとめ・今後の課題

本業務で検討した自転車通行空間により、歩行者や自転車の安全性や快適性における効果を確認できた。一方で幅員の自転車通行空間を確保したことにより、一部で逆走する自転車も見られ、自転車利用者への交通ルール周知による自転車通行マナーの向上が必要である。

今後他の地域においても、現況・整備後の交通状況を考慮した上で整備形態を選定し、自転車通行空間の整備計画を検討することで、自転車ネットワークの形成に寄与したい。

謝辞：本計画を検討するにあたり、貴重なご意見を頂きました大須地区安全な自転車利用に関する連絡会のメンバーをはじめ、地域住民の方々や道路管理者・警察の行政関係者の方々に感謝の意を表する。

参考文献

- ¹⁾ 愛知県内の交通事故死者数（愛知県警察本部）
- ²⁾ 2018年6月調査結果

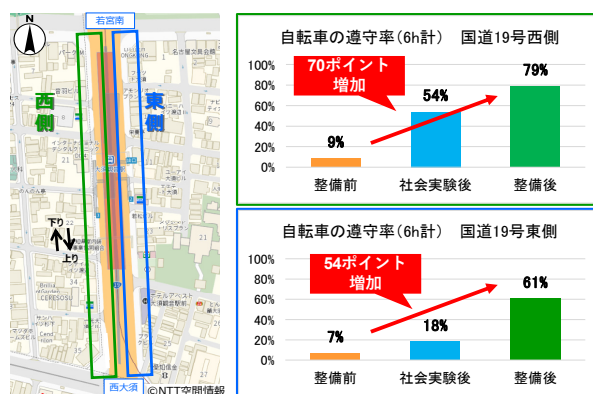


図-10 自転車の遵守率

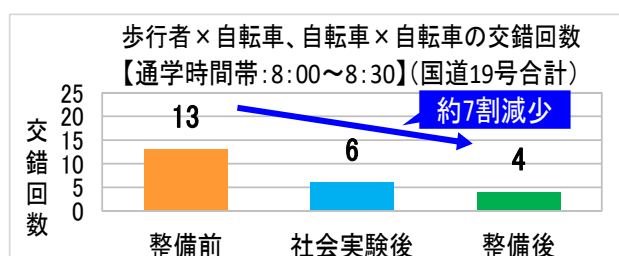


図-11 歩行者と自転車、自転車同士の交錯状況

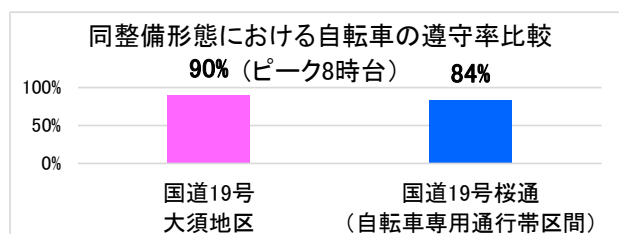


図-12 同整備形態における自転車の遵守率比較



図-13 逆走する自転車の状況



図-14 停車帯利用時の自転車走行状況



図-15 路上停車の利用状況

AI画像解析を活用した仮設ハンプの効果検証

すずきしのぶ やまだくにひろ くさかなおき やましたなつみ すぎむらきよりの
○鈴木志信¹・山田邦博¹・久坂直樹¹・山下夏実¹・杉村清紀¹

¹パシフィックコンサルタンツ（株）中部支社 交通基盤事業部
（〒451-0045 名古屋市西区名駅1丁目1-17）

令和3年度より物理的デバイスと交通規制との組み合わせによる生活道路の安全性向上を図る「ゾーン30プラス」の取組が推進されている。その中で、国土交通省の技術的支援として自治体へ仮設ハンプを貸し出し実証実験等により整備効果を把握する事例が増えている。地域住民との円滑な合意形成のため、仮設ハンプの効果を分かりやすく提示する必要がある。そこで本研究では、撮影した動画の画角内に任意領域を設定し、速度変化等を定量的に算出できるAI画像解析を活用し、速度抑制効果が期待される仮設ハンプ近辺での速度変化等の効果検証を実施した。本稿では、AI画像解析による効果検証の手順やその効果について述べる。

Key Words : AI画像解析, 仮設ハンプ, 生活道路の安全対策

1. はじめに

令和3年度より、生活道路における人優先の安全・安心な通行空間の整備の更なる推進を図るため、最高速度30km/hの区域規制「ゾーン30」と物理的デバイスとの適切な組合せにより交通安全の向上を図ろうとする「ゾーン30プラス」の取組が進められている。特に、ハンプ等道路管理者による物理的デバイス設置により、速度抑制や通過交通の抑制効果が期待されている（図-1）。



図-1 ゾーン30プラスの取組概要¹⁾

物理的デバイス設置においては、設置により生じるデメリットへの懸念（騒音・振動等）により地域住民の理解が得られないことも多くある。そのため、事前に地域住民と密にコミュニケーションを取ること、さらには必要に応じて社会実験（ハンプ仮設等）を行い、合意形成を図ることが非常に重要である。

その中で、国土交通省では自治体への技術的支援として、仮設ハンプの貸し出しを行っている（図-2）。これにより仮設ハンプ設置による実証実験及び速度抑制等の対策効果の確認を行うことが出来、地元との合意形成・対策を実施することへの理解が得られ、ハンプ本設置に繋がる事例が増えている。

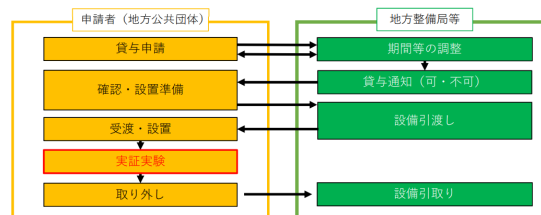


図-2 仮設ハンプ貸し出しの手順²⁾

2. 既存の分析方法における課題

ハンプの設置については、車両走行時の騒音・振動等の観点から、地域住民から設置を懸念される場合がある。そのため、ハンプ本設置に向け、仮設ハンプの効果を分かりやすく提示し、地元住民の理解を得ることが非常に重要である。

一方、ハンプの設置により、特に速度抑制の効果が期待されるのは前後20m以内の区間とされている。この区間での速度変化を適切に把握するためには、速度測定機材の連続設置が必要となり、コスト等の

観点から容易に調査を実施できない。上記の課題を解決する方法として、ETC2.0プローブデータによる分析が挙げられるが、ETC2.0搭載率は全国で約3割程度³⁾であり、仮設ハンプを利用する全車両を対象とした分析が困難である点等の課題も存在する。

3. AI画像解析の活用可能性

AI画像解析は、撮影した動画の画角内に分析対象領域を任意で設定することにより、設定した任意区間の速度変化が定量的に算出可能となる。また、AIにより通行車両の自動判別が可能となり、通行する全車両を対象に走行速度等の変化が把握可能となる。

4. AI画像解析による仮設ハンプの効果検証

本研究の対象路線は、静岡県島田市河原町地区の市道大井川川越街道で、国指定史跡「島田宿大井川川越遺跡」を通行する路線であるため、史跡の見学者の利用と住民の生活が共存している。更に、抜け道として利用する車両が多い状況であった。見学者と地元住民の安全のため、速度抑制と抜け道利用抑制の必要性から、静岡国道事務所から島田市へ仮設ハンプを貸し出し、2023年5月16日（火）～5月30日（火）にて仮設ハンプ設置による実証実験を実施した（図-3）。

AI画像解析の実施にあたり、仮設ハンプ設置箇所南西側にビューポールを設置し、仮設ハンプ設置中（2023年5月24日～5月30日）・撤去後（2023年5月31日～6月7日）の期間で動画を撮影した（図-4）。当該動画を用いて、図-5に示す流れでAI画像解析を実施した。

(1) 仮設ハンプ設置による速度変化

a) 速度変化分析の手順

ビューポールで撮影した動画に対して、仮設ハンプ延長6m、ハンプ前後10m（5m間隔）を解析対象の領域として設定した（図-6・図-7）。AI画像解析により車両検知の上、任意領域内を通過した時刻を算出することで車両の区間平均速度を算出する。この速度をハンプ設置中・撤去後で比較し、仮設ハンプ設置による速度抑制効果の検証を実施した。なお、ビューポールの画角の都合上、ハンプ設置箇所の前後10mを解析の対象とした。



図-3 仮設ハンプ実証実験の実施箇所



図-4 仮設ハンプ撮影用のビューポール

①映像データをAI画像解析することで、
車両等を自動判別

※オブジェクト検出アルゴリズムとしてYOLO
（You Look Only Once）を使用



②判別した車両の時刻毎の走行位置を記録
※記録しているのは、車両判別結果のboxの
中央下部の座標



③任意領域の断面を通過した時刻より、
車両毎の区間平均速度を計算



④記録した走行位置が平面になる様に座標変換
（射影変換）

図-5 画像解析の流れ

■画像解析イメージ（仮設中）



■画像解析イメージ（撤去後）



図-6 解析時の画角（仮設中・撤去後）

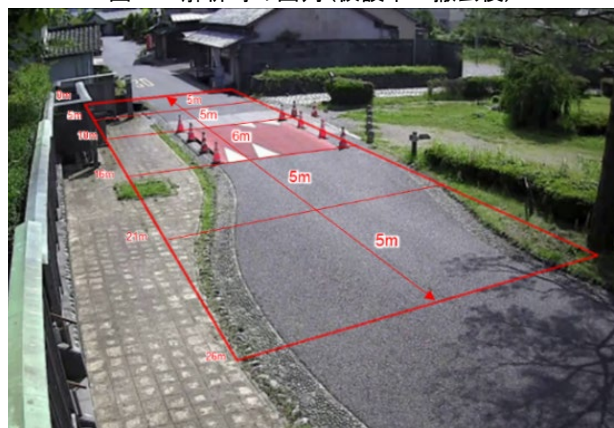


図-7 画像解析にあたり設定した領域

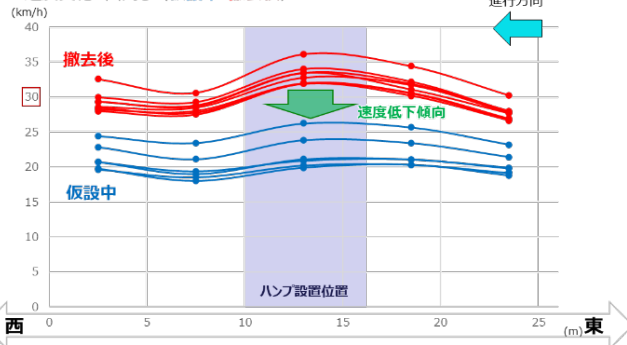
b) 速度変化分析の結果

仮設ハンプ前後10m区間で、仮設中・撤去後の車両区間平均速度を1日毎で比較した結果、島田市街地へ向かう東向き交通では、解析区間L=26mで、全体的に速度が低下した。撤去後では30km/h以上を超過する車両が若干認められたが、設置期間では、30km/h未満で走行する傾向が認められた。

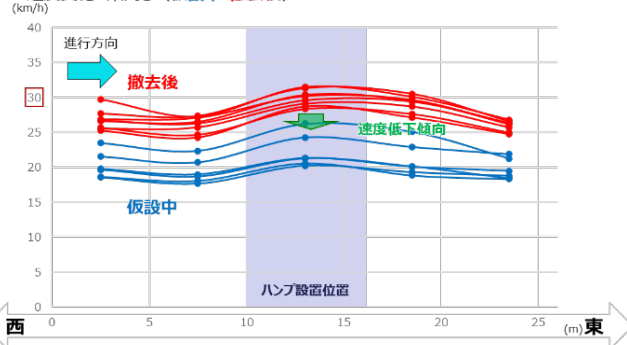
また、県道342号へ向かう西向き交通では、東向きに比べ、速度の低下傾向著しく確認され、ハンプ設置により最大約10km/hの速度低下が確認できた（図-8）。

上記より、AI画像解析を活用することで、ハンプ設置前後区間において、走行速度抑制効果を示すことができた。

■速度変化 西向き（仮設中・撤去後）



■速度変化 東向き（仮設中・撤去後）



※自動車種のみで平均速度を作成。一つの線は1日の平均値を示す。

図-8 仮設ハンプ設置による速度変化

(2) 仮設ハンプ設置による走行位置の変化

ハンプ設置箇所付近は、線形を蛇行させて速度低減を図るシケインとなっているが、幅員が5.5m程度であるため、線形に沿った走行をせず、速い速度で通行する車両が見られた。そのため、前述の速度変化と併せて、仮設ハンプ設置による走行位置の変化をAI画像解析により確認した（図-9）。車両の走行位置（車両判別結果のBOXの中央下部）が軌跡として描画され、速度を色により表現している。

仮設ハンプの設置中・撤去後で走行位置を比較すると、仮設ハンプ撤去後の走行位置は仮設中と比べ、左右にばらついており、約2m程度の範囲で走行位置のばらつきが認められた。仮設ハンプ設置時では、1.5m程度までばらつきの幅は減少する傾向が認められた。また、西向き・東向きで走行位置がそれぞれ偏っていることも確認できた。

上記より、仮設ハンプにより車両の走行位置が集約し、進行方向に応じて走行位置が異なる事を示すことができ、交通が整流化される傾向が確認できた。

(3) サンプル数

仮設ハンプ設置中、撤去後それぞれ1週間の動画に対し、検知した車両のサンプル数（乗用車・大型トラック）は表-1の通りである。画像解析の特性上、日照時間でないと解析は不可能であるが、日中に通行する全車両を対象に解析が可能であることを確認できた。

表-1 画像解析に用いたサンプル数

	西向き（台）	東向き（台）
仮設中	2,294台	2,303台
撤去後	3,259台	3,078台

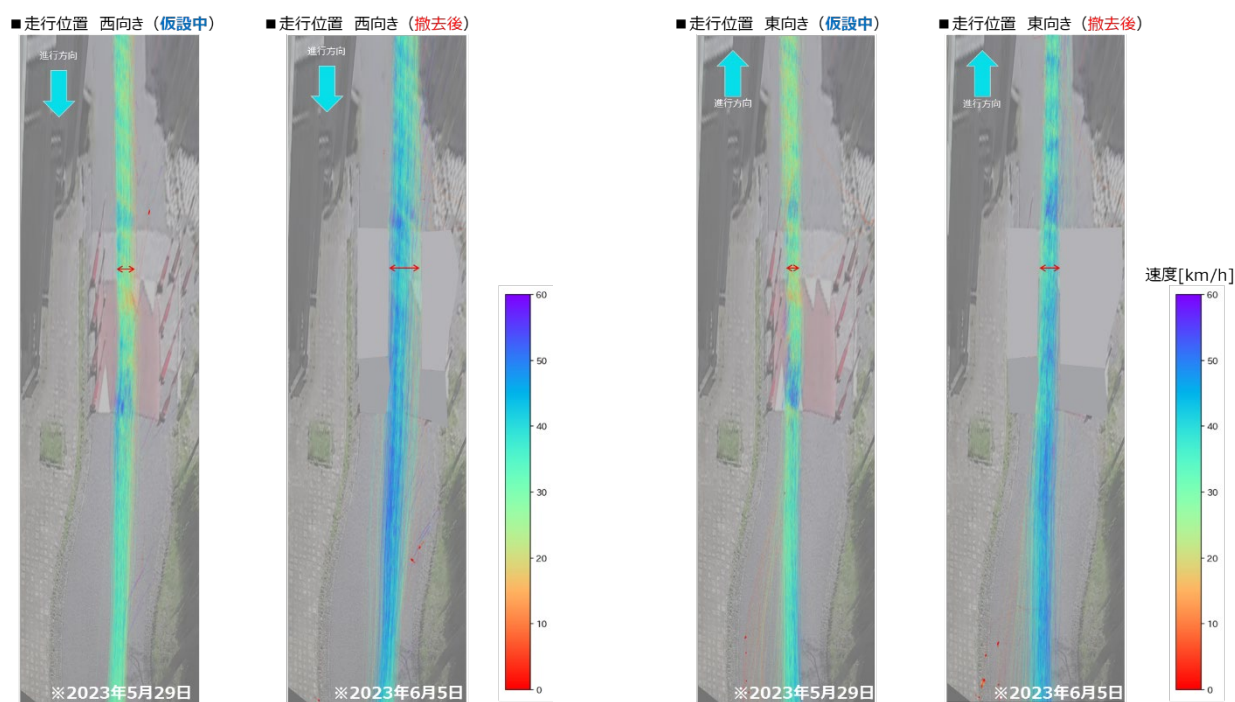


図-9 仮設ハンプ設置による走行位置変化

5. 今後の展望

AI画像解析を活用し、仮設ハンプの効果検証を実施した結果、速度・走行位置の観点で、対策実施の効果を定量的に把握することが出来た。

仮設ハンプの実証実験を実施する他箇所においてもAI画像解析による効果検証を実施し、対策効果を地域住民に定量的に分かりやすく提示することで、円滑な合意形成・本設置に繋げていく。また、物理的デバイスの設置に伴い、生活道路の更なる安全対策の取組推進に繋げていく。

注)「ビューポール」の名称については、(株)道路計画の許諾を得た上で記載している。

参考文献

- 1) 国土交通省 生活道路の交通安全対策ポータル
<https://www.mlit.go.jp/road/road/traffic/sesaku/syokai.html>
- 2) 国土交通省 仮設ハンプの貸し出しを行っています
<https://www.mlit.go.jp/road/road/traffic/sesaku/pdf/leaflet-b.pdf>
- 3) 国土交通省 ETCの利用状況
<https://www.mlit.go.jp/road/yuryo/etc/riyou/index.html>

スコリア斜面を有する国道の上下線断面分離化による防災性等向上に関する検討

○山崎大嗣¹・関口貴志¹・高羽俊光¹・中村哲也¹・水谷和真¹

¹中日本建設コンサルタント（株）（〒460-0002 愛知県名古屋市中区丸の内一丁目16番15号）

本稿では、暫定2車線供用中である国道本線（重要物流道路）の完成4車線整備に向けて実施した道路予備修正設計について報告する。スコリア斜面の土砂流出災害を受け過年度計画を精査した結果、防災性に関する課題を確認した。そのため、上下線断面を分離化し、登り勾配車線へ縦断勾配特例値を採用することで、防災性に関する課題解消の他、施工性及び経済性等の向上を実現した。

Key Words：一般国道バイパス、完成4車線整備、上下線断面分離化、スコリア

1. はじめに

一般国道246号裾野バイパスは、静岡県駿東郡小山町から沼津市大岡に至る延長L=35.3kmのバイパスであり、交通渋滞の緩和、交通事故の削減、地域経済活性化の支援等の役割を担う路線である。加えて、並行する東名高速道路の代替路線の役割も担っており、南海トラフ地震発生時の広域緊急輸送路として、第一次緊急輸送道路にも位置付けられている。

当路線の中で唯一の暫定2車線区間を有する当設計区間は、急峻な山間部と河川の間を通過する地形状況より、線形不良に起因する重大事故が多く発生している。また、新富士火山噴出物（スコリア）から成る脆弱な地質状況を抱えた雨量規制区間であり、豪雨時には土砂災害により長時間の通行止めが発生している。これらの状況を踏まえ、当設計区間は早期の4車線化整備が求められている。



図-1 業務位置図

令和3年度には、一般国道246号裾野バイパスの暫定2車線区間を対象に、道路予備修正設計が行われたが、令和3年7月の土砂災害を受け過年度計画の内容を精査した結果、防災性の課題を有していることが確認された。

本稿では完成4車線整備にあたり、防災性等の向上を目的とした本線の道路予備修正設計を実施した内容について報告を行う。

2. 基本的事項の整理

(1) 検討フロー

検討フローを図-2に示す。

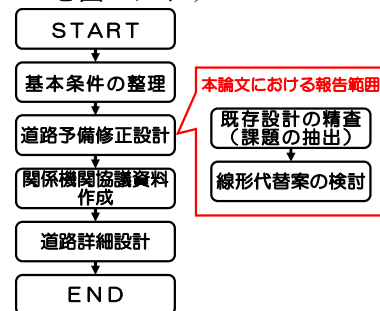


図-2 検討フロー

(2) 基本条件の整理

a) 設計条件

一般国道246号裾野バイパス本線の計画諸元を以下に示す。

- ・計画交通量：22,800台/日（R22推計値）
- ・道路の区分：第3種第2級
- ・設計速度：V=60km/h
- ・車線数：4車線

b) 過年度の計画経緯

当設計区間の完成4車線形状については、平成29年度に道路詳細設計が実施され、道路の詳細構造が決定された状況にある。その後、地域との調整結果を踏まえ、令和3年度に道路予備修正設計を実施し、取得困難用地を回避した平面線形に修正されている。

c) 事業進捗状況

完成4車線化整備にあたり、過年度の詳細設計にて道路法第95条の2第1項の規定による意見聴取に向けた事前協議や計画協議、並びに設計協議を行っていたものの、平面線形および縦断線形を変更することから、改めて各種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既に取得済みであった。

d) 地質状況

当設計区間の地質状況としては、下層に比較的堅固な古富士火山噴出物が堆積し、上層に新富士火山噴出物（スコリア）が堆積している。新富士火山噴出物であるスコリアは、宝永噴火時のマグマが多孔質となったものであり、比重が小さい、保水性が低い、粘着力が低い特性を有する。当地域ではこれまでも豪雨時にスコリア斜面が繰返し崩壊しており、令和3年7月の豪雨時には、スコリア斜面の土砂が当路線の本線に流出したため、15時間に及ぶ通行止めが発生している。（図-3）



図-3 被災状況

3. 過年度計画における課題

過年度計画では、スコリアを含む脆弱な斜面に対して大規模なグラウンドアンカー工を連続的に施す計画となっていた。グラウンドアンカー工は、切土法面に働く土塊のすべり力を受圧板とアンカーの引張力で抑止させる工法であり、採用に当たっては、アンカー受圧板を安定した斜面に定着させる必要がある。しかし、スコリアを有する斜面の場合、表層が侵食される可能性があり、受圧板が沈下し、引張力を保持できなくなることが懸念された。

そのため、良好な岩体が確認できない特異な地質特性を持つ当設計区間においては、長期安定性を有する道路構造の立案が課題であると判断した。

ここで、過年度計画において大規模なグラウンドアンカー工が計画された経緯を以下に示す。

(1) 縦断勾配

過年度計画では、設計速度 $V=50\text{km/h}$ で整備された縦断勾配 $i=6\%$ の現道に対し、 $V=60\text{km/h}$ の標準最急勾配の $i=5\%$ を用いて縦断計画されているため、計画高が現道よりも最大4m高くなり、擁壁の設置が必要となる。（図-4）

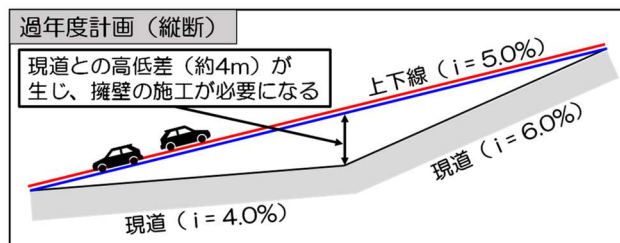


図-4 過年度計画における縦断線形

(2) 横断的なコントロールポイント

現道との高低差により生じる擁壁は、昭和44年の暫定2車線整備時に施工した腹付盛土部に支持を求めることを避けつつ、4車線化施工時の対面2車線幅員を谷側へ確保した位置に計画されていた。そのため、路側擁壁の位置が横断的なコントロールポイントとなり、現道の平面線形に対し、計画時の平面線形を山側へ移程する必要があり、大規模なグラウンドアンカー工が連続的に計画されていた。（図-5、図-6）

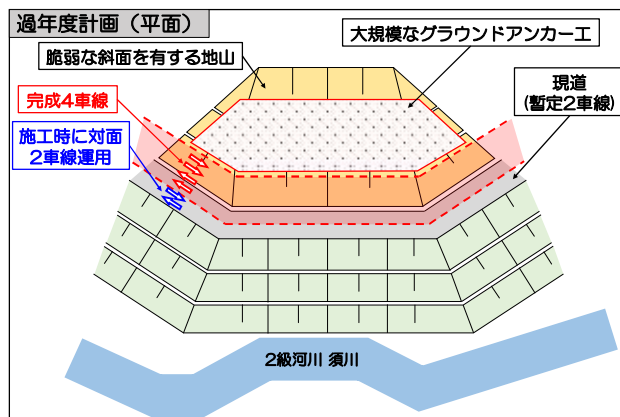


図-5 過年度計画の平面イメージ図

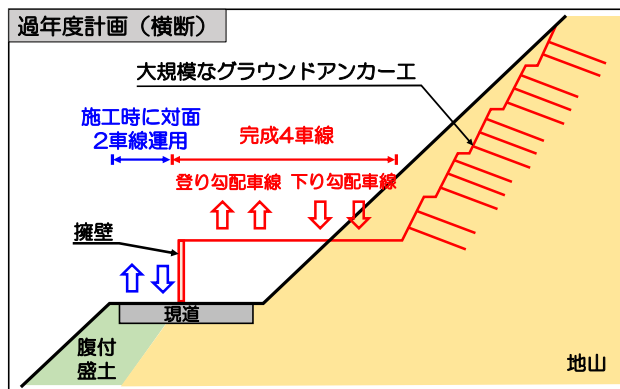


図-6 過年度計画の横断イメージ図

4. 課題解決に向けた技術的対応

(1) 課題解決の方向性

急峻な斜面における道路の拡幅方法としては、山側斜面を切土して拡幅するか、谷側に張り出して拡幅するのが一般的である。しかし、当設計区間において、脆弱な斜面を有し、斜面崩壊の危険性を高めるため山側への拡幅は難しいと判断した。また、暫定2車線整備時に施工した腹付盛土上に擁壁を設置する必要がある谷側への拡幅も支持力の確保の観点から難しいと判断した。

このように、山側にも谷側にも拡幅余裕がない状況下における課題解決の方向性として、谷側の登り勾配車線では、現道路面幅を最大限活用するため道路計画高を現道と同程度まで下げることで、山側の下り勾配車線では、車線を谷側へ寄せ、脆弱斜面の掘削量を削減することが有効であると考えた。

(2) 技術的対応

谷側の登り勾配車線へのみ縦断勾配の特例値を採用し、上下線断面を分離化した上で、本線の中心線を谷側へ半断面分シフトすることで、山側への切土影響を大幅に低減し、防災性の課題を解消した。

具体的な検討内容を以下に示す。

a) 縦断勾配特例値の採用

登り勾配車線では、現道路面を完成4車線の道路用地として最大限活用するため、縦断勾配に特例値 ($i=6.0\%$) を採用した。(図-7)

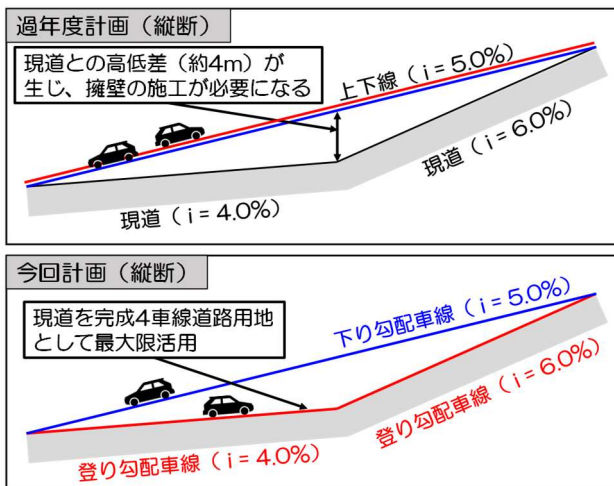


図-7 今回計画の縦断線形

ここで、登り勾配車線への縦断勾配特例値の採用にあたり、過去の現道の事故データより当該路線の事故特性の分析を行った。当設計区間で平成23年～令和2年に発生した事故件数は18件であり、内13件が速度超過を促す下り勾配車線で発生した事故であった。さらに、登り勾配車線では、死亡事故は発生しておらず、急なS字カーブが連続する平面線形を起因とする車線変更時の事故が主体であった。(表-1)

表-1 交通事故状況 (H23～R2)

事故内容	登り勾配車線 事故件数[件]	下り勾配車線 事故件数[件]
正面衝突	—	4 (1)
追突	2 (0)	3 (0)
工作物衝突	—	3 (1)
追越追抜時	1 (0)	—
すれ違い時	—	1 (0)
進路変更時	1 (0)	—
転回時	—	1 (0)
その他	1 (0)	1 (0)
合計	5 (0)	13 (2)

※()内は死亡事故件数

以上のことから、今回の縦断勾配特例値の採用は、登り勾配車線であり、速度超過が抑制されること、また完成4車線整備により、平面線形が改良されることより、安全性に大きな問題が無いと判断した。

b) 擁壁位置の変更

登り勾配車線の縦断勾配の変更により、上下線断面を分離化し、過年度計画において路側に計画されていた擁壁を中央分離帯に設置した。

c) 平面線形の変更

擁壁を中央分離帯の位置に変更し、登り勾配車線の計画高を現道路面と同程度まで下げることで、平面線形を谷側へ半断面分シフトすることが可能となる。

これにより、施工時の対面2車線運用幅員を確保した上で、脆弱な斜面に対する切土影響を大幅に低減した。(図-8、図-9)

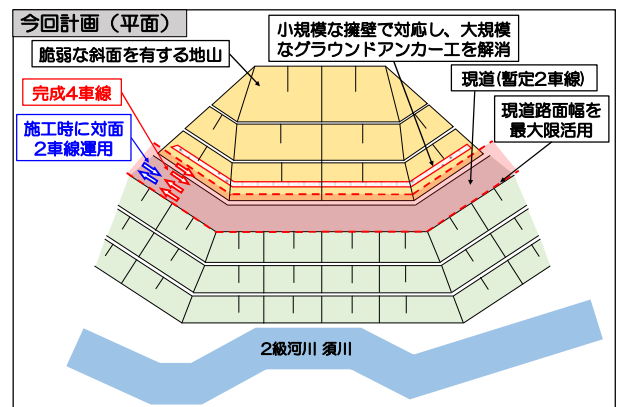


図-8 今回計画の平面イメージ図

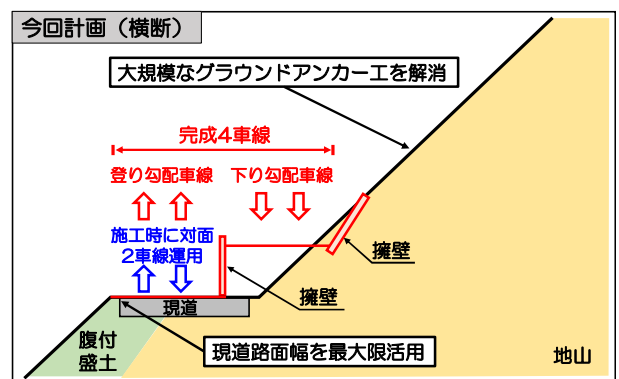


図-9 今回計画の横断イメージ図

d) 中央分離帯構造の変更

当該区間では過去に山側斜面からの土砂流出を受け、上下線が通行止めとなる被害をうけている。そこで、万が一完成4車線整備後に同様の土砂流出が発生した場合においても、土砂を中央分離帯の位置で食い止め、谷側の登り勾配車線だけで対面2車線を確保する応急復旧が可能な構造を提案した。

具体的には、過去の豪雨時の被災状況を確認した結果、中央分離帯部に縁石（H=25cm）が設置されている区間では、土砂の流出が食い止められていることを確認した。（図-10）

そこで、スコリアの流出が想定される箇所に対して、剛性防護柵を設置する計画とし、土砂流出時の応急的な谷側2車線の対面運用が可能な構造とした。



図-10 被災状況

5. 新たな課題とその対処

現道の縦断勾配に $i=6.0\%$ が用いられている区間では、冬期にたびたびスタックが発生するとの意見があったため、登り勾配車線に縦断勾配特例値の $i=6.0\%$ を用いるにあたり、完成4車線整備後のスタック発生リスクの確認を行った。

ここでは、以下の2点について確認を行い、完成4車線整備後の当該区間のスタック発生リスクは大きく低減されていると判断した。

(1) 合成勾配の緩和

現道でスタックの発生が確認されている縦断勾配 $i=6.0\%$ 区間は、最小平面曲線半径が $R=110\text{m}$ であり、最大 $i=8.0\%$ の片勾配が附されているため、合成勾配が $S=10.0\%$ となる。一方で、完成4車線整備後は、縦断勾配 $i=6.0\%$ 区間は最小平面曲線半径が $R=330\text{m}$ であり、 $i=5.0\%$ の片勾配が附されているため、合成勾配が

$S=7.8\%$ と大きく緩和されていることを確認した。

(2) 路面凍結のリスクの低減

当該地域は積雪寒冷地ではないが、12月～2月の最低気温が氷点下となる日数が5割～8割程度であるため、スタックの発生に直結する冬期の路面凍結リスクについて確認を行った。その結果、完成4車線整備後の舗装厚（ $T=93\text{cm}$ ）は、現況の舗装厚（ $T=80\text{cm}$ ）より13cm厚く、当該地域の凍結深さ（55cm）に対する余裕が増加するため、路面凍結のリスクは現況に比べ大きく低減されていることを確認した。

6. 本計画の成果（波及効果）

本計画の下り勾配車線と登り勾配車線の断面を分離することにより得られる効果は、防災性の向上に加えて、以下の3点が挙げられる。

(1) 施工性の向上

過年度計画では、山側への切土影響を極力減らすため、現道路面のセンターライン付近に路側擁壁を計画していたが、擁壁施工時に必要となる施工ヤードを考慮すると、現道を通行させながらの施工が厳しい状況にあった。当設計では、擁壁施工ヤードと現道との離隔（施設帯）を十分に確保しているため、完成4車線整備時の施工性の向上に寄与した。

(2) 経済性の向上

分離断面の採用により、アンカー付き法面が $A=9,000\text{m}^2$ から 200m^2 まで削減したことに加え、切土により生じる残土処理量を $V=50,000\text{m}^3$ から $1,600\text{m}^3$ に削減した。これにより、過年度計画に対して、約10億円の工事費を縮減し、経済性の向上に寄与した。

(3) 安全性の向上

過年度計画時の平面線形は、用地取得困難箇所を回避するため「道路構造令の解説と運用」において、避けることが望ましいとされているブローケンバック曲線および凸型曲線となっていた。これに対して、分離断面を採用し、線形を谷側へ寄せる際に卵形クロソイドを用いた線形代替案を検討し、ブローケンバック曲線および凸型曲線を解消した。これにより、登り勾配車線の事故要因である線形不良の改善に加え、本線交通の更なる安全性向上に寄与した。

7. おわりに

本稿では、道路詳細設計以降に発生した土砂災害を受け、過年度計画に防災性の課題を確認したことから、道路予備修正設計を行い、上下線断面の分離化に加え、本線の道路線形を見直すことで防災性の課題解消を図った結果について報告を行った。

今後は、縦断勾配特例値を採用した区間について、路面標示や注意喚起看板等の安全対策を別途検討する必要がある。

2. 整備効果の整理

(1) 経済波及効果への着目

伊豆縦貫自動車道の整備効果を効果的に発信する際の課題として、全線開通時の整備効果が伝わりづらい点が挙げられる。これは、現状が部分開通のため、発現効果が限定的であることからステークホルダーにとって実感がされづらいことに起因する。そこで、本業務では、整備段階に応じた地域への効果を明らかにするため、経済波及効果分析に着目した。

経済波及効果分析手法については、社会資本整備審議会にて、ストック効果の最大化に向けた具体的施策としての記載がされており、その利点として産業別の生産額・付加価値額の変化を、地域別・主体別にわかりやすく示すことが挙げられている²⁾。

道路事業における経済波及効果の算出事例として、東名高速道路の開通50周年におけるこれまでの累積的な効果を検証した事例³⁾や、京都縦貫自動車道の整備による沿線地域への企業立地の進展が地域にもたらした効果を定量的に示した事例⁴⁾がある。

本業務においても、伊豆縦貫自動車道の整備によって期待される経済効果を現状、将来①（部分開通時）、将来②（全線開通時）の時系列に、かつ業種別・地域別に定量的に整理することで、ステークホルダーにとってわかりやすく、自らの生活に重ねて実感できるような整備効果を表現した。

(2) 経済波及効果の算定

a) 分析手法

経済波及効果の分析手法として、一般均衡モデル（SCGEモデル）の一つであるRAEM-Lightを採用した。

RAEM-Lightは、企業や消費者の行動を表現するミクロ経済学の一般均衡理論をベースに、道路整備による所要時間の変化がもたらす地域間交易をモデル化して、検討地域及び地域間の社会経済システムを再現することで、地域経済の状況変化をシミュレートできるように考案されたものである。

RAEM-Lightの特徴として、従来のSCGEモデルでは計測できなかった、地域間の経済波及効果を計測できる点が挙げられる（図-2）。

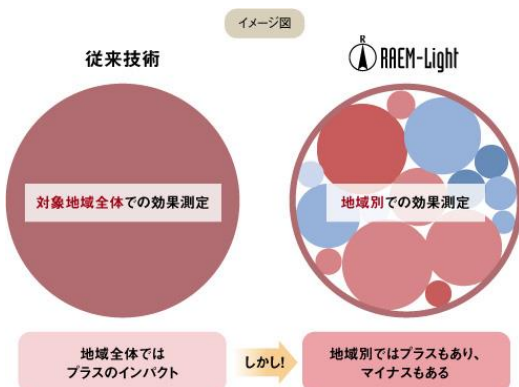


図-2 RAEM-Light手法のイメージ⁴⁾

b) 分析対象地域

分析対象地域は、伊豆縦貫自動車道が位置する静岡県とその隣接県、および、静岡県との交易が大きい東京都と埼玉県までとした（図-3）。

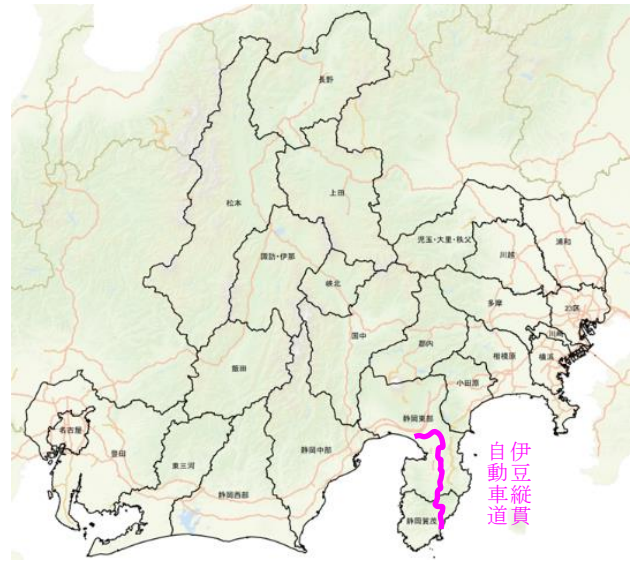


図-3 分析対象地域

c) 分析ケース

道路網ネットワークは、中部地方整備局の交通量配分ネットワークをベースとし、伊豆縦貫自動車道の分析精度を高めるため、路線追加やゾーン分割を実施した。

また、分析対象の時点については、本分析で最も基本的なデータとなる都道府県別産業関連表の最新版に合わせ、現況をH27(2015)、将来をR22(2040)と設定した（表-1）。

表-1 各ケースのネットワーク条件

	ケース	ネットワーク条件
-	base (H27現況)	・パラメータ推定、H27現況再現で使用
全線開通効果	Without1 (R22将来)	・R22交通量推計事業家ネットをベースに、伊豆縦貫自動車道の整備状態をR5.4に修正
	Without1 (R22将来)	・R22交通量推計事業家ネットをベースに、伊豆縦貫自動車道を全線整備
部分開通効果	Without1 (R22将来)	・R22交通量推計事業家ネットをベースに、伊豆縦貫自動車道の整備状態をR5.4に修正
	Without1 (R22将来)	・R22交通量推計事業化ネット

d) 分析結果

伊豆縦貫自動車道の整備による地域別の経済波及効果（付加価値額の変化）は、静岡賀茂地域における付加価値額の増加が最も大きく、部分整備時には1.7%増加（38億円/年 増加）、全線整備時には8.7%増加（202億円/年 増加）が見込まれる結果となった（表-2）。

さらに、便益の帰着が大半を占める静岡賀茂地域を対象に、業種別の影響を確認したところ、農林水産業や基礎素材製造業、生活関連産業への影響が大きい傾向があることが明らかとなった（表-3）。特に、基礎素材製造業については、部分整備時に7.2%増加（1億円/年 増加）から全線開通時には184.1%増加（25億円/年 増加）となるなど、全線整備により効果の発現が大きくなることが確認された。部分開通時には目立った効果が見受けられなかった業種について、全線開通時の効果を横並びで比較することで、その経済波及効果を見出すことが可能となった。

表-2 伊豆縦貫自動車道の整備による地域別の付加価値額の変化[単位：億円/年]

生産地	①未整備 (R5.4時点)	②部分整備 (事業化区間整備)	③全線 完成整備	部分整備時の効果 (2-1)		全線整備時の効果 (3-1)	
				変化量	変化率	変化量	変化率
静岡東部	60,463	60,565	60,523	103	0.2%	60	0.1%
静岡賀茂	2,326	2,364	2,528	38	1.7%	202	8.7%
静岡中部	53,729	53,737	53,703	8	0.0%	-26	0.0%
静岡西部	66,127	66,113	66,092	-14	0.0%	-35	-0.1%
浦和	201,536	201,525	201,503	-11	0.0%	-34	0.0%
川越	107,739	107,731	107,728	-8	0.0%	-11	0.0%
児玉・大里・秩父	28,703	28,701	28,701	-2	0.0%	-2	0.0%
23区	965,777	965,764	965,760	-13	0.0%	-17	0.0%
多摩	226,916	226,911	226,905	-6	0.0%	-11	0.0%
横浜	205,943	205,921	205,920	-22	0.0%	-23	0.0%
川崎	93,045	93,037	93,039	-8	0.0%	-7	0.0%
相模原	209,458	209,447	209,447	-11	0.0%	-11	0.0%
小田原	30,735	30,720	30,717	-15	0.0%	-18	-0.1%
国中	24,066	24,060	24,058	-6	0.0%	-8	0.0%
郡内	9,641	9,639	9,637	-2	0.0%	-4	0.0%
峡北	3,360	3,358	3,358	-1	0.0%	-2	-0.1%
長野	24,150	24,149	24,149	-1	0.0%	0	0.0%
松本	22,552	22,551	22,552	-1	0.0%	-1	0.0%
上田	17,610	17,609	17,609	-1	0.0%	-1	0.0%
飯田	6,176	6,175	6,175	0	0.0%	0	0.0%
諏訪・伊那	16,472	16,471	16,471	-1	0.0%	-1	0.0%
名古屋	141,501	141,496	141,497	-5	0.0%	-3	0.0%
東三河	46,275	46,271	46,269	-4	0.0%	-6	0.0%
豊田	207,248	207,242	207,253	-7	0.0%	4	0.0%
合計	2,771,547	2,771,558	2,771,594	11	0.0%	47	0.0%

表-3 伊豆縦貫自動車道の整備による静岡賀茂地域の業種別の付加価値額の変化[単位：億円/年]

	①未整備 (R5.4時点)	②部分整備 (事業化区間整備)	③全線 完成整備	部分整備時の効果 (2-1)		全線整備時の効果 (3-1)	
				変化量	変化率	変化量	変化率
農林水産業	23	32	55	9	38.8%	31	134.6%
基礎素材	14	15	39	1	7.2%	25	184.1%
汎用・生産用・業務用機械製造業	6	6	4	0	0.5%	-2	-28.6%
電子・デバイス・電機・情報通信機器製造業	3	3	1	0	0.8%	-2	-60.7%
輸送用機械製造業	7	7	4	0	0.7%	-3	-38.2%
生活関連	22	36	94	14	60.9%	72	320.8%
その他の第2次産業	275	276	284	2	0.6%	9	3.3%
卸売・小売業	250	252	264	3	1.1%	14	5.8%
宿泊業	224	225	230	1	0.5%	6	2.6%
その他のサービス業	1,502	1,511	1,553	9	0.6%	51	3.4%
合計	2,326	2,364	2,528	38	1.7%	202	8.7%

これらの整理により、部分開通時の付加価値額の変化と併せ、全線開通時における付加価値額の変化を整理することで、よりインパクトのある整備効果として取りまとめた。さらに、特に経済波及効果の大きい静岡賀茂地域について、業種別の効果を整理することで、当該地域の特産品である金目鯛やわさび、鰹製品をはじめとする農林産業や、ゲル化材、食品添加物粉体製品をはじめとする基礎素材製造業の従事者にとって、より自らの生活に重ねた伊豆縦貫自動車道の整備効果をイメージすることを可能にした（図-4）。

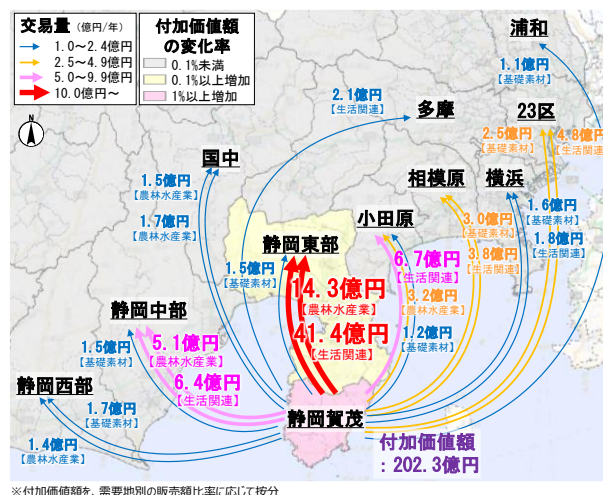


図-4 経済波及効果の整備効果

3. 広報戦略の立案

(1) 広報戦略の方針

整備効果を広報する際に対象とすべきステークホルダーの個人属性は多岐にわたる。したがって、整理した整備効果を効果的に広報するためには、ターゲットに応じた情報提供媒体の選択と、それに適した表現方法を採用する必要がある。特に若年層をはじめとする道路事業に関心の薄いステークホルダーに対しては、道路広報を能動的に目にする機会を創出することが重要と考えた。

記者発表資料や関係機関への説明資料等の静的な媒体については、それらを目にするステークホルダーが持つ道路事業への知識が高いため、提供情報のシンプルさが求められる。そのため、所要時間の短縮効果など、図・グラフの簡略化が可能な整備効果項目を中心に、明快なキャッチフレーズを用いた資料を作成することとした。

一方、多岐にわたる個人属性を持つステークホルダーの目に触れる動的な媒体については、時間軸を用いた表現によりインパクト工場が期待される整備効果項目を中心に、広報動画を作成することとした。

(2) PR動画の作成

整理した整備効果について、若年層をはじめとする道路事業に関心の薄いステークホルダーをターゲットとした広報戦略として、道の駅等に設置されているデジタルサイネージや、YouTube、X（旧Twitter）での広報を見据えたPR動画の作成を行った。

道路事業に関心の薄いステークホルダーをターゲットとしているため、道路広報を通じて、“行ってみたくなる”ような整備効果を広報することを目的とした。また、動画時間については、各種SNSによる広報活動を見据え、1分前後の短尺動画とした（表-4）。

表-4 PR動画概要

	内容
対象事業	・伊豆縦貫自動車道河津下田道路（Ⅱ期）河津七滝IC～河津逆川IC
目的	・対象事業の開通により、“行ってみたくなる”ような整備効果をわかりやすく広報・PR
動画時間	・1分6秒
サイズ（フレーム）	・幅3840×高2160 ※媒体に対応するため、縦向き（幅2160×3840）も作成
撮影場所	・道の駅 等

表-5 PR動画構成

大分類	小分類	内容・コンセプト
冒頭		・伊豆半島の風景、対象事業の開通がもたらす大まかな効果をイメージ
中盤	事業紹介	・開通区間の位置、区間の紹介
	所要時間の短縮	・開通区間の利用による、所要時間の短縮効果を表現
	走行性の向上	・現道区間（狭隘区間）と開通区間の走行性の改善度について、写真を用いて表現
	交通量変化	・開通前後の伊豆縦貫自動車道の交通量の変化を表現
終盤	利用者の出発地	・開通前後の伊豆縦貫自動車道の利用圏域の広がりを表現
		・対象事業の開通により、引き続き期待される大まかな効果をイメージ



図-5 PR動画キャプチャ（例）

冒頭ではビルに囲まれた社会や伊豆半島の風景を映しながらインパクトを持たせた導入とし、中盤では伊豆半島を背景に、各種分析結果により得られた整備効果を定量的に示した。終盤には、伊豆半島の名産品等を提示することで、ステークホルダーが“行ってみたく”と思えるような動画構成とした（表-5）。

4. まとめ

本稿では、伊豆縦貫自動車道の整備事業を例に、全線開通の機運醸成に向けた広報戦略の取り組みを報告した。今回の取り組みにおいて作成したPR動画は、今後、沼津河川国道管内の道の駅をはじめとする公共施設での配信が予定され、伊豆縦貫自動車道の全線開通に向けた機運の醸成が期待される。また、YouTubeやX（旧Twitter）等のSNSを通じた広告配信への活用等、より一層の活用が可能である。

今後は、これらの取り組みにおいて発信した道路広報について、視聴回数（広告配信の表示回数）やステークホルダーへのアンケート等を通じて、道路広報がどの程度視聴され、新たな情報伝達機会が創出されたかを検証することが求められる。この検証結果は、他の道路事業において同様の広報戦略を実施する際の参考モデルとして寄与することが期待される。

謝辞：本論文は、沼津河川国道事務所の「令和5年度沼津河川国道道路整備効果検討業務」の成果の一部である。ここに記して、関係各位に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 沼津河川国道事務所HP
- 2) 社会資本整備審議会・交通政策審議会交通体系分科会計画部会専門小委員会、「ストック効果の最大化に向けて～その具体的戦略の提言～」
- 3) NEXCO中日本、「東名高速道路の経済波及効果」
- 4) 福知山河川国道事務所記者発表資料
- 5) RAEM-Light Committee HP

地山の劣化状況を踏まえた素掘りトンネルの修繕設計

ひらままさや ふるばやしりゅうじ はぎたしゅんぺい
○平間雅也¹ 古林 竜治¹ 萩田 隼平¹

¹中央コンサルタンツ株式会社（〒460-0002 愛知県名古屋市中区丸の内3-22-1）

本業務は、史跡指定地内及び景観景勝地内に位置している1車線道路の素掘り形式のトンネルが対象で、令和4年におよそ50cm角の地山の剥離が生じたことで通行止めとなり、早急に修繕工事を行う必要が生じたため、トンネルの現状や施工時の安全性を踏まえて修繕設計を実施したものである。また、修繕設計にあたり、近接目視による変状調査、ボーリング調査や弾性波探査などの地質調査、地上レーザー測量を実施し、トンネルの変状状況や地山の地質・風化状況、全体形状等の現地状況を詳細に把握した。

Key Words：素掘りトンネル，変状調査，地質調査，地上レーザー測量，修繕設計，PCL工法

1. はじめに

(1) 現地の状況

対象のトンネルは、明治45年に建設された素掘り形式の木曽川沿いにある1車線道路のトンネルで、史跡指定地内及び景観景勝地内に位置している。また、起点側の坑口付近には、名古屋市浄水道の取入口が隣接している。（写真-1）



写真-1 トンネル現況(起点側)

(2) 修繕設計に至るまでの経緯

平成12年に剥落防止対策として、トンネルの内側に樹脂吹付工が施されていたが、令和4年9月にトンネル内側の壁面からおよそ50cm角の剥離が発生し、

通行者の被害防止のために通行止めとなっていた。（写真-2）



写真-2 令和4年9月に発生した剥離片(50cm角)

トンネル及び道路は、地域住民や学生の通行に利用されていたため、地域住民から早期復旧を望む要望が挙がり、早急に修繕を行う必要があった。そのため、修繕設計を実施した。また、修繕設計を行うにあたり、既設トンネルの変状調査と地質調査を実施し、変状状況や地山の地質・風化状況を把握した。

2. 調査による現状の把握

(1) 変状調査

変状調査は、トンネル内側及び坑口の変状状況を

把握するため実施し、全面的に打音異常を確認した。
確認した打音異常のうち、ひびやグラつきがあり、すぐにでも剥離が生じる可能性があった4箇所は、たたき落としを行った。それ以外の箇所は、「うき」と判断した。

(2) 地質調査

a) 調査について

地質調査は、トンネル周辺の地質や風化状況などの地山の状態を確かめるために、ボーリング調査と標準貫入試験を実施した。

ボーリング調査及び標準貫入試験の位置は、ボーリング掘削によるトンネルへの影響を考慮し、トンネルの直上ではなくトンネル横とした。また、地層の広がりを確認するためにボーリング調査を複数箇所行う予定であったが、トンネルが史跡指定地内及び景観景勝地内に位置し、景観への配慮が必要であることから、ボーリング調査は1箇所のみとし、代替方法としてボーリング孔を利用して地中を伝播する弾性波を測定し地層状況を調査する「PS検層」を実施した。

他に地山の風化などの状況を調べるために、トンネル壁面(山側、川側の各側壁)で弾性波探査を実施した。(図-1)

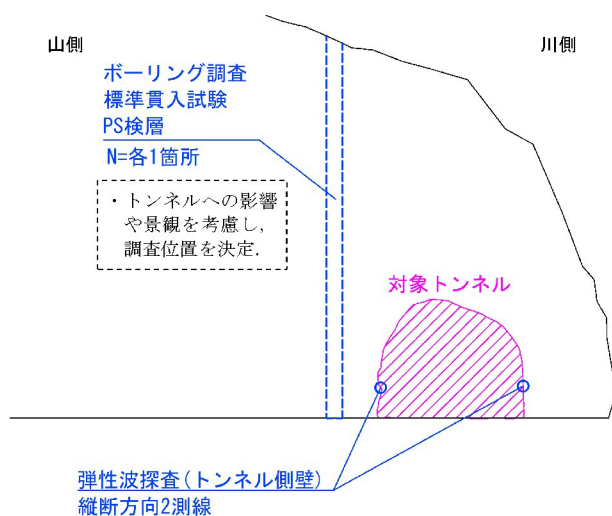


図-1 地質調査の概要位置

b) トンネル壁面の観察

ボーリング等の調査に合わせて、トンネル壁面の状況を観察した。

トンネル壁面は、基本的に非常に硬く点検ハンマーでも割れにくい状態であるが、露岩箇所は、開口亀裂が発達して剥離しやすい状態となっている。また、複数の割れ面が確認されており、多方向の節理や層理面によってせん断されたことが崩落の一因となっていると推測される。(写真-3)

壁面にはチャート層が確認でき、2cm程度に剥離する状態である。特にトンネルの天井面で、波打ち状に地層と並行している状態が多く、層理面で剥落が生じている。(写真-4)

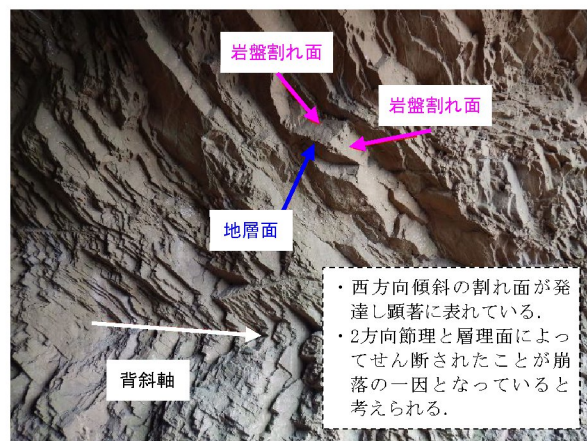


写真-3 トンネル壁面の状況

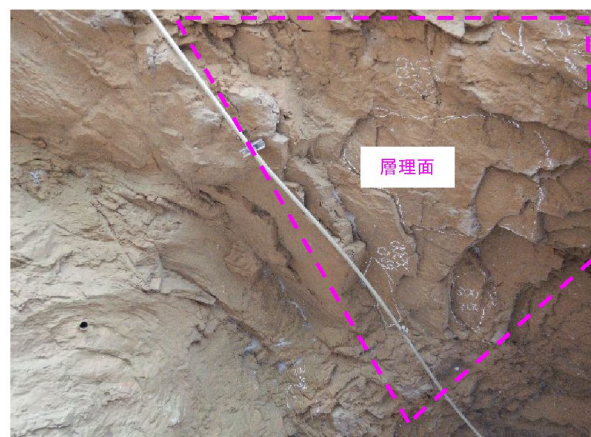


写真-4 トンネル天井面の状況

c) 調査結果

ボーリング調査及びPS検層の結果より、調査箇所の地盤は、腐植物混じりの粘土質砂礫が主体となる表土層と玉石級の礫が主体となる砂礫質の崖錐堆積物が表層としてあり、その下に硬質なチャート層が分布している状態であることを確認した。

チャート層は基本的に赤色で、鉄分を多く含む特徴を有している。また、チャート層の岩級区分は全体としてB級岩に分けられ、風化や開口節理が少ないが、一部は節理が密集する箇所や表層部の風化でCH級岩を含む箇所もあるため、岩級は安全側にCH～B級岩と評価した。(表-1)

表-1 調査箇所の地盤構成

地質時代	地質区分	地質記号	主な土質 岩質	実測N値	特徴	
新生代	第四紀	崖錐堆積物	Dt	玉石混じり砂礫	14	・暗褐～黒褐色の玉石が主体で、砂・礫・粘性土混じり、草根・有機質が混じる。
中生代	ジュラ紀	美濃帯	Ch	CH～B級岩	500以上	・岩質の硬い赤色チャート層で、風化は少ない。 ・節理面は概ねに密着しているが、開口した節理は開口面に変色があり、充填物は見られない。 ・厚さ数mmの水平葉理が発達し、小褶曲構造が見られる。 ・N値は、岩質が硬くほぼ貫入不能。

弾性波探査では、各側壁で表層と深層での弾性波の速度が異なる箇所が計測され、表層に層理面や節理面の発達、風化浸食での応力解放等によるゆるみ層が存在していることを確認した。なお、ゆるみ層は、調査結果から最大で70cm程度になる。(図-2)

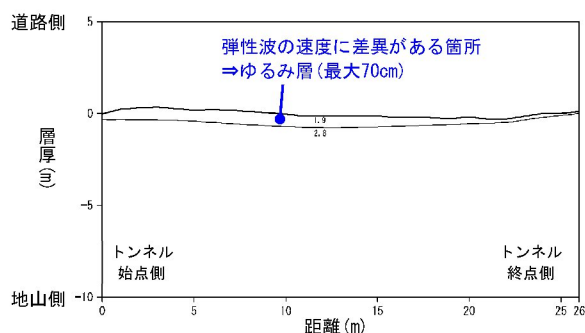


図-2 弾性波探査結果

これらの調査結果から、調査箇所の地質はCH～B級の岩質で、崩落する可能性が低い、赤色チャートに含まれている鉄分の酸化によって膨張が起こり、剥離が生じやすい状態となっている。また、トンネル壁面には節理の発達や風化浸食によるゆるみ層が生じているため、今後も剥離が発生する可能性があり、対策工が必要と判断した。

(3) 地上レーザー測量

既設トンネルの内空断面やトンネルの全体形状を詳細に計測するために地上レーザー測量を実施し、対策工の検討などに活用した。(図-3)



図-3 レーザー測量による点群データの三次元モデル

3. 修繕対策の課題と検討

(1) 課題

修繕工法を検討するうえでの課題は、風化によるゆるみやうきが確認されている地山に対し、掘削時における壁面の崩落や坑口上部からの剥離が危惧され、余裕のないトンネル内空断面での施工時や坑口付近での安全性を確保する必要がある。

(2) 解決策

「道路トンネル分科会最終報告会資料(2021 インフラメンテナンス研究委員会)¹⁾」より、素掘りトンネルに適用可能な対策工のうち、剥離やゆるみ層に対応可能な工法は、覆工版を構築する「PCL工」と「現場打ちコンクリート工」であり、この2工法で検討を実施した。なお、現場打ちコンクリート工は、施工方法や地質調査の結果を踏まえ、吹付コンクリート工やロックボルト工、支保工等の補助工法を併用する方針で検討を行った。

一般的な現場打ちコンクリート工は、覆工厚が30cm以上必要となり、建築限界を確保するために広範囲の壁面を掘削する必要がある。対して、PCL工は高強度コンクリートを用いるため、覆工厚が10cm程度になり、壁面の掘削を最小限に抑えることができるため、施工時の崩落の発生を抑制することが可能である。

経済面では、補助工法が必要となる現場打ちコンクリート工は施工費が高くなるため、補助工法を必要としないPCL工の方が安価となる。また、補助工法や現場でのコンクリートの打設により、施工に必要な現場打ちコンクリート工に対し、PCL工は補助工法を併用せず、プレキャストコンクリートで覆工を構築するため、施工期間が短くなる。

そのため、施工時の安全性や経済性などの観点から総合的に判断し、「PCL工」を採用した。

(3) PCL工の構造

PCL工の側壁下部は、上部構造からの荷重が作用し、その荷重に対して安定する構造とする必要があるため、トンネル内側は、壁厚を薄くできるアンカー構造とし、地山に固定させることで安定を確保する構造を採用した。(図-4)

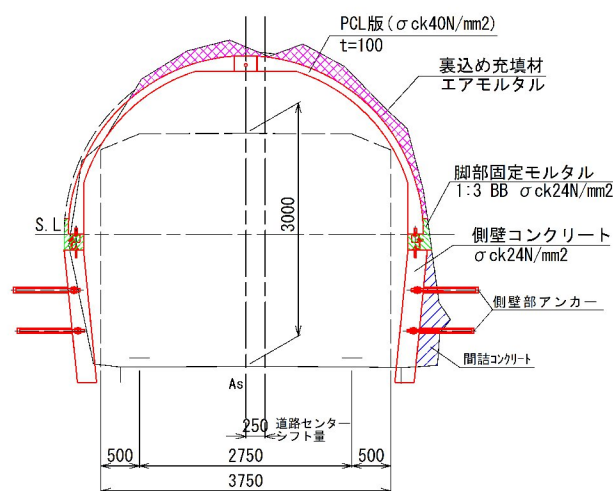


図-4 PCL工概要図(トンネル内側)

既設トンネルの坑口は、地山の形状より道路に対して斜角となる形状となっている。またPCL工は、構造的に斜切りができないため、PCL工を既設トンネルの坑口から突出する構造とした。トンネル坑口

から突出する外側の側壁下部は、トンネル内側のようにアンカー構造とすることができないため擁壁構造を採用し、滑動や転倒に対する安定を確保した。(図-5)

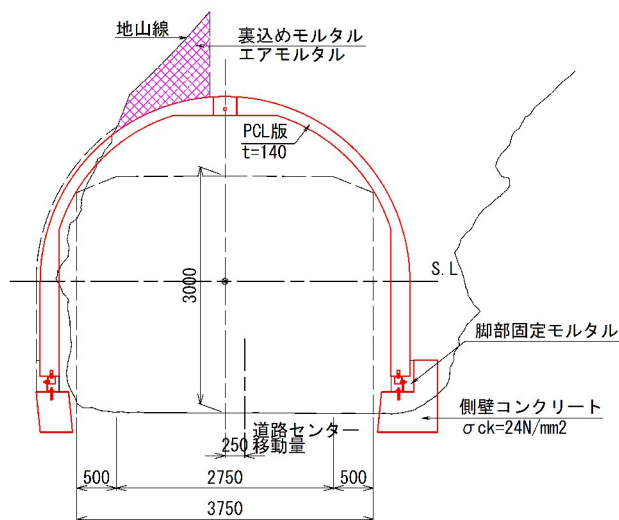


図-5 PCL工概要図(トンネル外側)

(4) 平面線形

PCL工の施工にあたり、トンネル内側の拡幅が必要であったが、川側方向に拡幅すると起点側にある名古屋市浄水道の取入口と干渉するため、既設トンネルの川側壁面をコントロールに山側方向に拡幅する方針とした。(図-6)

トンネル区間の平面線形は、明かり部を最短で結ぶルートとして、現道線形と同様の直線で復元した。

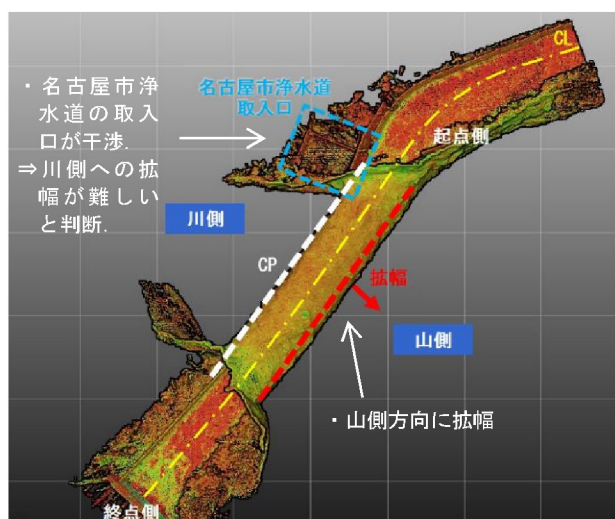


図-6 トンネル全体図

(5) その他の対策

既設トンネルの地山には、落石対策としてロープ伏工が設けられているが、坑口の周囲には設置されていない状況であった。

地質調査の結果より、トンネル周辺の地盤は崩落する可能性が低いものの、地山表面は風化している可能性があるため、高所から剥離が生じた場合、

PCL工の覆工版が破損し、通行者に被害を及ぼす恐れがある。

そのため、各坑口付近に落石対策を新たに設ける方針とした。対策工は、既設の落石対策工との併用や地山の曲線形状、実際に生じた剥離の状況などを踏まえて検討を行い、新規のロープ伏工を設置する計画とした。(写真-6)



写真-6 ロープ伏工の施工後状況

4. まとめ

PCL工の採用と道路線形の設定により、壁面の掘削を最小限とすることができ、壁面の小崩落を発生させることなく、素掘りトンネルの覆工を施工できた。また、PCL工の採用により工期短縮を図ることで地元要望の早期復旧にも応えることができた。

なお、当該道路は通学路になっている中で僅かではあるが内空断面を縮小することになるため、路肩のカラー舗装、防犯灯の設置により歩行者の交通安全性にも配慮した。(写真-7)



写真-7 対象トンネル状況(PCL工施工後)

参考文献

- 1) 道路トンネル分科会最終報告会資料、インフラメンテナンス研究委員会、2021。

河川内パイルベント橋脚の無補強化対策検討

○中 駿¹・浅井 利幸¹・押尾 泰寿²

1 不二総合コンサルタント株式会社 名古屋支店
(〒460-0003 愛知県中区錦二丁目19番6号 名古屋野村証券第二ビル8階)

2 不二総合コンサルタント株式会社 静岡支店
(〒421-0112 静岡県静岡市駿河区東新田三丁目2番1号)

本稿は、市指定の緊急輸送路に架橋されている橋梁全体系での耐震補強設計を実施した事例を報告するものである。対象となる橋梁は、パイルベント橋脚を有するPC2径間単純プレテンI桁橋である。従来工法で補強対策を検討した場合、河川内での大規模な仮締切りや桁下の狭隘な空間での作業が必要となるため、現実的な対策でなかった。そこで、補強対策が比較的容易な橋台部に地震力を負担させることに着目し、いかにして河川内パイルベント橋脚の無補強化を実現するかについて検討した。橋梁全体系での対策を行うことで河川内橋脚が無補強となった結果、経済性及び施工性にも優れた合理的な耐震補強設計を実現した。

Key Words : 河川橋, 橋梁全体系の耐震補強, パイルベント式橋脚, 動的解析

1. はじめに

我が国の橋梁は、昭和30年に始まる高度成長期を中心に数多く建設され、時間経過に伴い老朽化が進んでいる。また、時代の変遷とともに求められる耐震性能も変化しており、近い将来の発生が予測されている南海トラフ地震に対して、迅速な救命・復旧活動を目的とした耐震補強が実施されている。

対象橋梁は河川構造基準を満足しないため、河川災害防止の観点から架け換えの要望があった。しかし、適切な迂回路が無い場合、交通規制が極力少ない耐震補強により機能向上を図る必要があった。工事の施工難易度が高いパイルベント橋脚補強をどのように計画し、実現していくかが課題であった。

ここでは、パイルベント橋脚を有する橋梁の合理的な、全体系での耐震補強設計について紹介する。

2. 橋梁概要

パイルベント橋脚は、土中部の基礎杭をそのまま立ち上げて柱部材とし、柱頭部を横梁で連結した形式である。経済性と施工性に優れるという理由から昭和30～40年代に多くの採用実績があるが、通常の橋脚に比べると非常にフレキシブルなため、耐震性に問題があることが指摘されている。

対象とした橋梁諸元を(表2.1)に、現地状況を(写真2.1)に示す。

表2.1 橋梁諸元一覧

	諸 元
竣工年度	昭和40年(1965年)
橋 長	L=15.1m(桁長7.5m)
橋 種	PC2径間単純プレテンI桁橋
幅 員	7.48m(全幅員)
支承条件	A1橋台: Mov(可動支承) P1橋脚: Fix+Fix(固定支承) A2橋台: Mov(可動支承)
基礎形式	パイルベント形式(PC杭) 橋脚: φ450, 橋台: φ350
地盤種別	I 種地盤
支持地盤	砂礫



写真2.1 橋梁全景

3. 耐震補強設計の問題点

(1) 既設照査結果

既設橋の耐震性照査を行った結果、橋軸方向は部材の耐力、変形量とも基準値を満足しなかったため補強対策が必要となった。また、橋脚補強対策と併せて、橋梁構造条件より落橋防止システムの設置も必要であると判定された。

橋軸直角方向はこれらの耐震性能を満足しており、補強対策は不要であった。これは、橋軸方向が単柱挙動を示すのに対して、橋軸直角方向はラーメン構造の挙動となり剛性が高いためである。（図3.1）

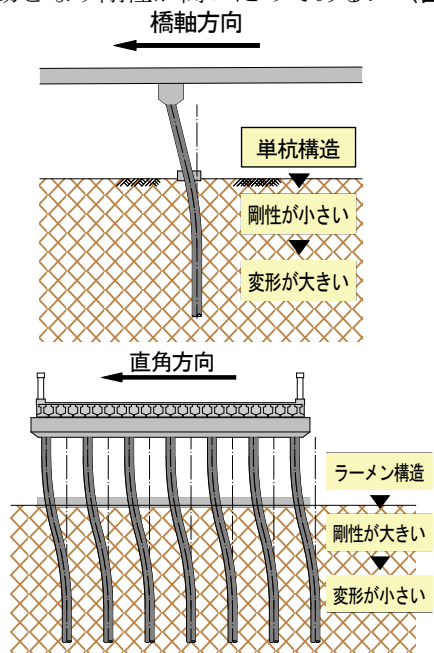


図3.1 橋脚の地震時変形イメージ図

(2) 部材補強案の抽出

一般的に耐震補強は比較的安価で施工性がよいことから、損傷する部材に巻き立てを行う耐力補強が採用される事例が多く見られる。当該橋梁は曲げ耐力を補強する必要があることから、コンクリートによるRC巻き立て及び鋼板巻き立てを選定した。

(3) 部材補強工法の問題点

a) RC 巻き立て工法

河川への影響から小判型壁式橋脚への改良を行うことが望ましい。ただし、小判型壁式橋脚へ改良を行った場合は、河積阻害率の影響に加え鉄筋コンクリートの巻き立てにより橋脚重量が増加し、基礎補強も必要となるため、桁下空間での仮締切や増し杭施工を伴う大規模な工事となる。

b) 鋼板巻き立て工法

既設杭に鋼板を巻き立て、圧入ジャッキにより所定の深度まで鋼板を圧入し、既設杭と鋼板を無収縮モルタルで一体化させるSSP工法¹⁾を検討した。鋼板を圧入するために梁下より2.5m程度以上の作業空間を確保する必要があること、礫径(150mm)が既設

杭と鋼板の離隔(100mm)以上であったため適用不可能であった。（表3.1）

表3.1 一般工法概要一覧表

	模式図	問題点
RC巻き立て工法		河川内橋脚は小判型壁式橋脚への改良が望ましい。 RC巻き立てを行う場合、河積阻害率が大きくなる。 壁式橋脚へ改良した場合、重量が増加することから基礎の補強も行う可能性が生じる。 基礎補強も行う場合は必要な作業ヤードが広くなり大規模な施工となる。
鋼板巻き立て工法（SSP工法）		桁下の作業空間が2.5m～3.0m程度以上は必要である。 既設杭と鋼板の隙間以上に礫径が大きい場合は適用出来ない。鋼板と既設杭の離隔100mmに対して、最大礫径が150mmであったため適用不可能。

4. パイルベント橋脚補強の課題

地震応答に対して耐力不足の橋脚を従来の一般的な工法で補強することは、河積阻害率への影響や大規模な仮設による工期の長期化が問題となり、非出水期内で工事が完成できる施工計画等、河川管理者との協議が難航するといった懸念があった。また、これらの問題を解決すべく提案したSSP工法¹⁾においても、架橋状況の制約条件が厳しく、施工可能な条件を満足していないため適用は不可能であった。

よって、河川内パイルベント橋脚の耐震補強の方針としては、部材の直接的な補強ではなく、「いかにして橋軸方向の地震力を低減させて、橋脚の無補強化を実現するか」が重要な課題であると定めた。

5. 橋梁全体系での耐震性能検討

(1) 全体系対策工の方針

河川内橋脚に比べて対策が容易である橋台部へ地震力を負担させて、橋脚に生じる地震時応答を低減

させることを基本方針とした。対策工として、(図5.1)に示す①～③による効果の検証を実施した。

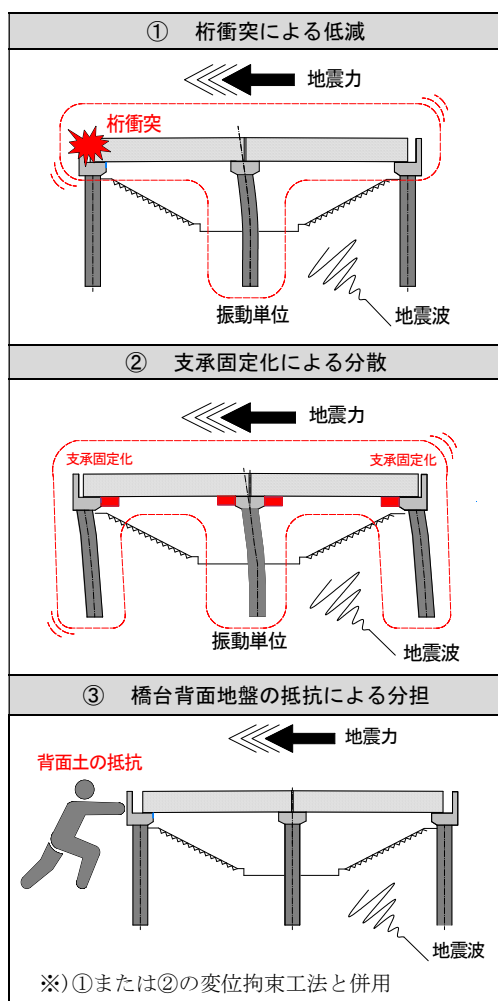


図5.1 対策工イメージ図

(2) 解析手法

通常、耐震補強設計は静的手法（地震時保有水平耐力法）を採用している。しかし、橋梁全体系でパイルベント橋脚の設計を行う場合、一般的な橋梁と異なり、土中部構造と柱部材が一体であることから損傷する箇所が不明確な構造(図5.2)となっている。

よって、静的手法の概念であるエネルギー一定則は適用出来ないと判断し、地震時の挙動を精度よく推定することが可能な時刻歴非線形3次元動的解析を実施した。

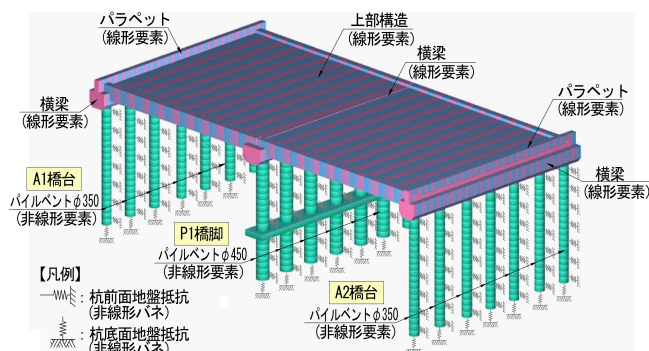


図5.2 解析モデル図

(3) モデル化

動的解析モデルは、橋梁非線形部材、周辺地盤、及び衝突について以下のように作成した。

上部構造は線形部材とし、柱部材は十分細かく分割(20cm)した非線形部材(曲げ-曲率関係)とした。また、杭前面、橋台背面、及び杭底面バネ²⁾は「道路橋示方書」を参考に、地盤の受動抵抗、杭の極限支持力を上限とする非線形バネとした。なお、桁衝突モデル³⁾は「地盤工学研究発表会論文」を参考に、遊間量以上の移動が生じると機能する緩衝材の圧縮バネを、線形バネとしてモデル化した。

(4) 照査方法

パイルベントは基礎と柱の明確な境界が不明であるため、土中部を含めた全ての部材に対して照査を行う必要がある。その場合、基礎構造の耐震補強設計では、新設構造を念頭に規定された道路橋示方書の考えを全てそのまま適用するのは不合理である。

そこで「国土交通省事務連絡」に示される、個々の道路橋条件に応じて各部材に許容される損傷の程度を設定した、塑性率の目安⁴⁾を参考として耐震性の照査を実施した。

(5) 耐震補強対策工法

補強対策工法は、落橋防止システムの有無、既設橋梁の耐震性能照査結果、制約条件等を踏まえて適切に選定する必要がある。河川内橋脚の無補強化を目指して、以下の工法について検討を実施した。

① 桁衝突

- 既設照査の結果、遊間量以上の変位量が生じていることが確認された。よって、上部構造が緩衝材を介して橋台パラベントに衝突する現象をモデル化して解析した。
- 桁端部とパラベントの衝突を考慮することで、河川内橋脚に生じる応答の軽減を期待した。

② 支承固定化

- 落橋防止システムとして設置する水平力分担構造の橋台部支承条件を可動から固定に変更する。
- 振動単位を橋脚単体から橋梁全体とすることで、橋脚の変形を拘束するとともに地震力の分散を図った。

③ 橋台背面地盤抵抗（地盤改良）

- 橋台背面土を地盤改良で強化した。
- 橋台に作用する地震力に対して背面土が抵抗することで、橋梁全体の変形を拘束するとともに橋台の補強効果を期待した。

(6) 補強結果

検討の結果、「②支承固定化」及び「③橋台背面地盤抵抗」を併用した対策を採用した。耐震補強対策結果を(図5.3)及び(写真5.1)に示す。

まず「①桁衝突」を検討した結果、橋台パイルベントが損傷し、P1橋脚に対しても変形抑制効果が小

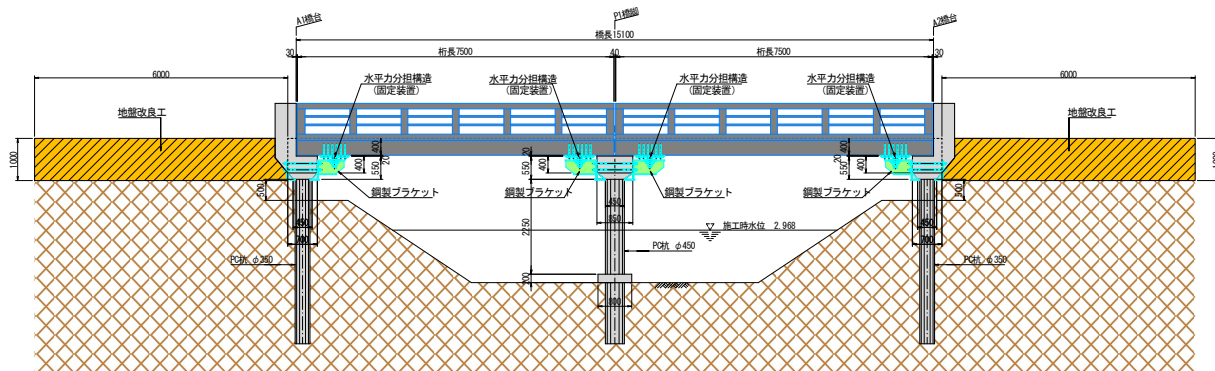


図5.3 補強後側面図

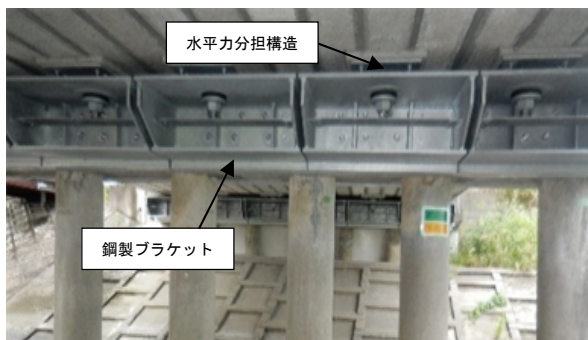


写真5.1 補強後状況

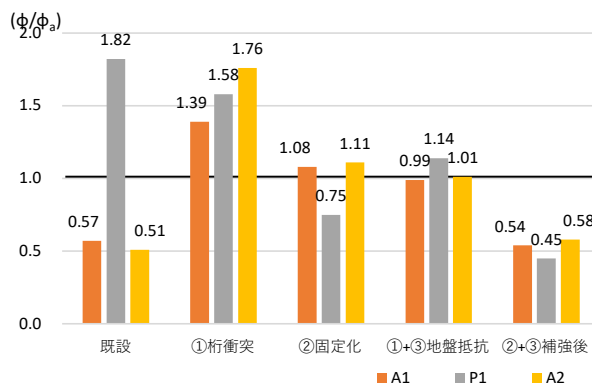


図5.4 照査結果 (応答塑性率φと許容塑性率φaの比率)

さかったため、地盤改良により「③橋台背面地盤抵抗」考慮して、橋台への桁衝突の作用力を背面地盤に負担させた。検討の結果、橋台はOKとなり変形抑制も改善は見られたが、P1橋脚は若干NGであったため、さらに橋脚の変形を抑制する必要があった。

そこで、荷重分散・変位抑制効果を期待して、橋台の支承条件を可動から固定へと変更した。支承を全て固定（振動単位は橋梁全体）とした解析の結果、P1橋脚はOKとなるものの、橋台は若干NGとなった。

以上より、P1橋脚の補強対策として効果の大きい「②支承固定化」と、橋台対策として効果のあった「③橋台背面地盤抵抗」を併用することとした。

以下に、上部工変位(表5.1)、及びパイルベント杭の照査結果(図5.4)を示す。

対策の結果、対象工種は「支承補強となる水平力分担構造」及び「落橋防止構造(縁端拡幅)となる鋼製ブラケット」、追加工種としては「地盤改良工」が必要となったが、パイルベント橋脚が無補強となったことで河川通水断面内での作業が不要となり、大幅なコスト縮減、工期短縮が可能となった。

表5.1 照査結果(上部工変位)

	応答値	既設結果との比較	
	変位(mm)	減少量(mm)	比率(%)
既設	201	—	—
①桁衝突	164	-37	81.6%
②支承固定化	40	-161	19.9%
①+③橋台背面地盤抵抗	78	-123	38.8%
②+③補強後照査	20	-181	10.0%

6. 終わりに

パイルベント橋脚を有する橋梁は、現行基準を満足しない構造不適合橋梁である。さらには、合理的な耐震性能照査の設計手法が確立されているとは言い難い状況である。

よって、本来であれば基本的には架け替えを選択すべき橋梁と考えられるが、財政的な問題、大規模な施工による周辺環境への影響も大きいことから、可能な限り長く供用することが望ましい。

今回対象とした橋梁のように、橋梁全体系での補強検討によって直接的な河川内工事が不要となり、補強対策が一般的な工事に対応できたことは、前述した問題を解決した一例になったと考える。

また、パイルベント橋脚は水害時の河床洗堀や液状化による被災事例も多くみられるため、基礎・地盤の変状対策についても技術の研鑽を図っていくことが重要である。

参考文献

- 1) Kui Taishin-SSP工法設計施工マニュアル(平成29年10月)
- 2) 日本道路協会：道路橋示方書V耐震設計編(平成24年3月) pp.116-131
- 3) 地震工学会研究発表会講演論文集：桁と橋台の衝突を考慮した橋梁の地震時挙動に関する解析的検討(2001年8月)
- 4) 国土交通省事務連絡：既設道路橋の耐震性能照査及び耐震補強設計について(平成27年6月)

耐候性鋼材橋梁の維持管理方針の検討

しゅうあつし やまだまこと ひぐちのぶゆき きのしたとしお くまざわよしとも
○ 周 敦史¹・山田 誠¹・樋口伸幸¹・木下俊男¹・熊澤快友¹

¹三井共同建設コンサルタント(株)中部支社 (〒460-0002 名古屋市中区丸の内3-20-3)

我が国には橋梁が約73万橋あり、これらを効率的・効果的に維持管理していくことが求められている。そのためには橋の状態を適切に把握するとともに、橋固有の環境条件を踏まえたうえで最適な維持管理方法を選定することが重要となる。本稿では、凍結防止剤散布が多い厳しい環境条件に位置する耐候性鋼材を使用した橋梁に対して最新の知見を整理したうえで、今後の維持管理を行うための指標となる維持管理方針策定事例を紹介する。

Key Words : 耐候性鋼材, 腐食, 積雪寒冷地域, 凍結防止剤, 維持管理方針, 部分塗装, 当て板補強, 炭素繊維補強

1. はじめに

耐候性鋼材橋梁の建設が本格的に開始されてから40年以上経過しており、決して新しい技術ではない。しかし環境条件や構造細部への配慮が不十分で保護性さびが形成されず、補修が必要となっている事例が少なからず存在している。

某事務所管理の橋梁において、同一路線で10数橋の耐候性鋼材橋梁が存在する。架設年次は1996年～1999年であり、供用開始から概ね25年程度経過している。

架設年次、供用環境とも類似の橋梁群であるが、いずれも耐候性鋼材に著しい腐食が発生しており、類似の原因によるものと考えられる。

本業務は、某事務所管理のこれら管内耐候性鋼材橋梁に対する維持管理方針の検討を行い、補修設計を実施したものである。

本業務対象橋梁は、一般部は概ね外観評点3～4程度であり概ね健全と判断出来るが、局部的に著しい腐食が発生している。

いずれも桁端部や排水不良個所であり、積雪寒冷地であることから凍結防止剤の影響が大きいものと考えられる(写真-1)。

並列橋からの路面水の巻き上げの影響がある個所や、山側に迫った面が湿潤状態となり、異常さびが発生しやすいものと考えられるが、これとは別に明らかに日当たりのよい開放された面でも、一部に局部的な腐食が発生している(写真-2)。これは架橋地点全体が谷地形となっている場所であり、複雑な風向きにて塩化物の供給が促進されているものと推定される。



写真-1 桁端部の腐食状況



写真-2 開放された面部の腐食状況

2. 既設橋梁劣化損傷状況

耐候性鋼材の健全性の判断は、目視により、さびの状態を評価する「外観評点」が一般的に用いられている(表-1)。

表-1 さびの外観評点

外観評点5	外観評点4	外観評点3	外観評点2	外観評点1
さび層厚 約200μm未満	さび層厚 約400μm未満	さび層厚 約800μm未満	さび層厚 約800μm未満	さび層厚 約800μm超

3. 技術的な課題

既設橋の現状として概ね健全であるが、局部的に著しい腐食が発生している状態である。また、腐食発生箇所は概ね排水不良箇所であるが、地形の要因もあり、かなり複雑な状態にある。

耐候性鋼材としての使用継続可否や他の防食の選定方法、補強の要否判断と補強方法等、塗装とは異なる耐候性鋼材としての評価や判断が技術的な課題となった。

4. 文献調査等

(一社)日本橋梁建設協会、(一社)日本鋼構造協会、(公社)日本道路協会、(公社)土木学会等の関連協会、学会の参考文献や土研、国総研資料等、国内の耐候性鋼材に関する最新の知見を調べて、補修と維持管理方法検討のための情報を収集し、必要な情報を整理した。

①保護性さびの判断、②補修・補強方法、③部分塗装仕様について着目して、耐候性鋼材の基本的な特徴、留意点を以下のように整理した。

①保護性さびの判断

- ・供用後10年程度で外観評点3～5であれば耐候性鋼材の適用環境として問題は無い。
- ・外観観察のばらつき補助のため、さび厚計測にて補足する考え方がある。

②補修・補強方法

- ・腐食原因の除去が可能かつ持続できる場合は耐候性鋼材としての使用を継続可能である。腐食原因の除去とその持続が困難な場合は他の方法で防食機能を回復させる必要がある。
- ・無塗装鋼材面と塗膜との境界面は、無塗装鋼材部からの腐食の進展に起因する塗膜の浮きやはがれが発生しやすいため、耐候性鋼材の部分塗装は防食の観点から望ましくないという見解もある。
- ・板厚減少や孔食等に対する補強方法は普通鋼材と相違はなく、耐候性鋼材固有の補強方法は無い。

③部分塗装仕様

- ・防食機能回復のため塗装仕様とする場合にはRc-I 塗装系以外の仕様では再劣化の可能性が高い。
- ・塩分除去を厳格に行う必要があり、付着塩分量 $50\text{mg}/\text{m}^2$ 以下となるように水洗いが必要である。
- ・無塗装鋼材面と塗装との境界部分が防食性能上の弱点となるため、ブラスト処理を補修塗装部分より大きくとり、余白を設けた塗装端部処理が提案されている。

5. 維持管理方針策定

国内の耐候性鋼材に関する最新の知見を参考に、管内耐候性鋼材橋梁の維持管理方針を策定した。以下に主な内容を示す。

(1) 耐候性鋼材使用継続可否判断

現在の健全部は、供用開始後25年以上経過しても外観評点3～4程度であり、基本的に耐候性鋼材としての使用継続は可能と判断し、全てを塗装仕様とせず、部分塗装で対応するものとした。

伸縮装置や排水装置の取替等にて排水不良による原因除去は可能であるが、長期的な維持は困難であると想定されること、積雪寒冷地であり凍結防止剤散布は継続せざるを得ないこと、複雑な地形の影響にて排水不良以外の要因での局部腐食箇所が散見されることなどから、現況における異常さび発生箇所は耐候性鋼材としての使用継続は困難と判断して塗装仕様に変更するものとした。

また、桁端部は漏水の可能性が高いことや狭隘で湿潤空間となりやすく、耐候性鋼材の保護性さびが形成されにくい箇所とされており、現況の異常さび発生状況に関わらず部分塗装仕様に変更するものとした。

(2) 部分塗装仕様

部分塗装仕様はRc-I 塗装系とする。なお、異常さびは硬く、除去には電動工具が必要となる。

付着塩分が残存した状態で塗装すると再劣化が生じるため、付着塩分量 $50\text{mg}/\text{m}^2$ 以下となるまで高圧水洗浄を行う必要がある。

耐候性鋼材の素地調整後の戻りさび発生は、普通鋼材に比べて短いとされており、素地調整後の下塗りまでの作業間隔は3時間以内とする(図-1、表-2)。

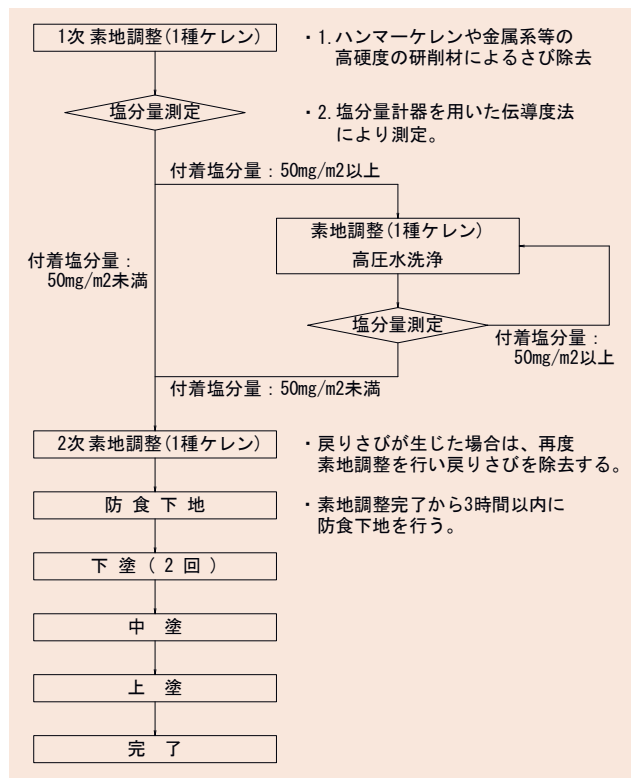


図-1 部分塗装施工手順フロー

表-2 部分塗装仕様

塗装工程	塗料名	使用量 (g/m ²)	塗装間隔	備考
1次素地調整	1.ハンマーケレンや金属系等の高硬度の研削材による錆除去 2.ブラスト処理 ISO Sa2 1/2			除塩目標になるまで、素地調整と高圧水洗浄を繰り返す
高圧水洗浄	洗浄後、鋼材表面の塩分計測 除塩目標：表面濃度<50mg/m ²			
2次素地調整	ブラスト処理 ISO Sa2 1/2		3時間以内	戻り錆の除去
防食下地	有機ジンクリッチペイント	600		
下塗り	弱溶剤形変性エポキシ樹脂塗料下塗	240	1日～10日	
下塗り	弱溶剤形変性エポキシ樹脂塗料下塗	240	1日～10日	
中塗り	弱溶剤形ふっ素樹脂塗料用中塗	170	1日～10日	
上塗り	弱溶剤形ふっ素樹脂塗料上塗	140	1日～10日	

部分塗装と無塗装部の境界部分が防食性能上の弱点となるため、ブラスト処理は補修塗装範囲より大きくとり、10cm程度の余白を設けた塗装端部処理を標準とした(図-2)。

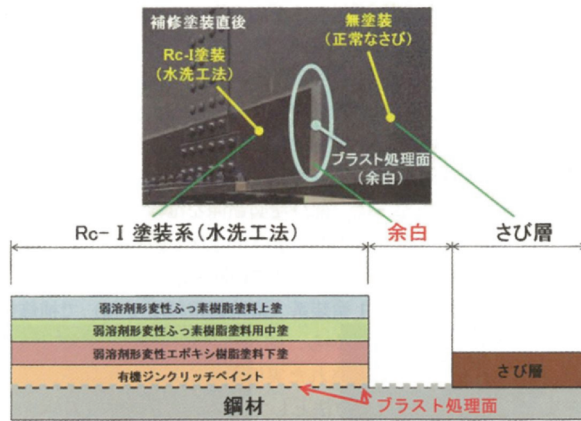


図-2 ブラスト範囲

(3) 補強要否判断と補強方法

耐力力に問題のある板厚減少や孔食に対しては、補強が必要となる。塗装橋梁の鋼材同様、当て板補強が一般的な手法となる。

本業務対象の耐候性鋼材橋梁群の内、過去の補修工事で炭素繊維補強が採用されたものがあつた。このため鋼材による当て板補強と炭素繊維補強との比較検討を実施した。なお、比較に用いる補修面積は下フランジ2.0m²当りとした。炭素繊維補強の積層数は最大20層とし、1層～20層の概算工事費、施工日数を算出した。経済性と施工日数にて評価を行い、経済性では鋼材による当て板補強が圧倒的に優位、施工日数としては貼付層数4層までは炭素繊維補強が優位の結果となった。鋼材補強の場合、市場性より当て板の最小板厚を9mmとし、母材板厚以上の当て板を実施するが、炭素繊維補強の場合、板厚減少量に応じた貼付層が必要となる。多くの場合で4層を超える貼付層となり、経済性、施工性のいずれでも鋼材による当て板補強が優位となりこれを採用した(図-3)。

耐候性鋼材補修工法別概算工事費及び施工日数

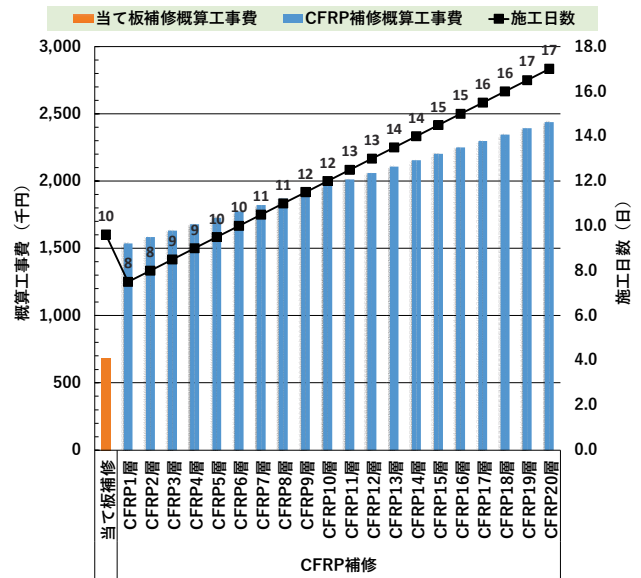


図-3 補修工法別概算工事費及び施工日数

(4) 補修対象箇所の選定方針

保護性さびと異常さびを外観評点だけで区分するのは不確かな面がある。また、板厚減少量が大きくなると剛性低下や応力超過の懸念があるため、当て板補強が必要となる。これらを定量化するため、電磁膜厚計によるさび層厚さ測定と超音波計測器による板厚測定を実施することとし、対策範囲と対策方法を選定することとした(写真-3)。



写真-3 計測状況、(左)電磁膜厚計によるさび層厚さ計測、(右)超音波計測器による板厚計測

対策範囲と対策方法はさび層厚さと外観評点の関係性として文献²⁾を参考に外観評点3～5、さび層厚さ400μm未満を健全とした。当て板補強を実施とする板厚減少量は、文献¹²⁾の仮定鋼重と実鋼重誤差、仮定剛度と実剛度誤差の許容値を参考に5%とした。これらを取りまとめた結果として、補修対象範囲と補修イメージを表-3、図-4に示す。

表-3 補修対象範囲の分類

	外観評点	板厚減少量	さび層厚さ
①無対策	3～5	—	400μm未満
②部分塗装		5%未満	
③当て板補修 +部分塗装	1～2	5%以上	—

(損傷イメージ)

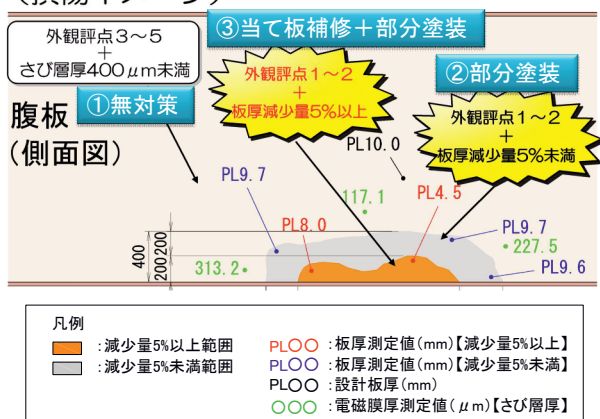


図-4 補修イメージ

6. 既設橋梁詳細調査と補修設計

(1) 詳細調査結果

本業務にて設定した維持管理方針に基づく補修詳細設計実施のため、既設橋の詳細調査を実施している。外観評点1～2の領域の寸法計測・残存板厚計測・膜厚計測を行った詳細調査結果の一例を図-5に示す。

膜厚計測は健全部で概ね250 μm以下、外観評点1～2に該当する不健全部では概ね1000 μmを超える結果であった。また、外観評点3～5に該当する無対策範囲から急激に板厚減少量5%以上の異常さび領域に移行する傾向が顕著であった。

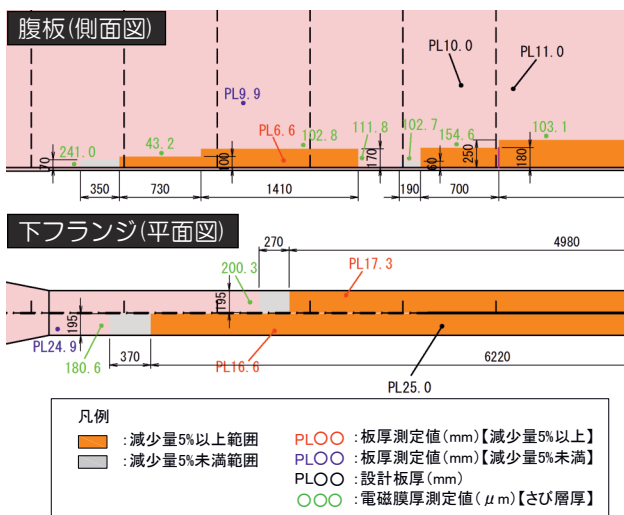


図-5 詳細調査結果例

(2) 補修設計

詳細調査結果により維持管理方針に基づいた補修設計を実施した。詳細調査結果より板厚減少量5%未満の領域になる部分塗装仕様範囲は、ごく狭い範囲となり、異常さび発生範囲の大半を当て板補強範囲としている(図-6)。当て板補強範囲は板厚減少5%以上の範囲より外側にボルト1列分の余裕を確保

し設定した。当て板範囲+100mmの範囲で部分塗装するとともに、塗装部と無塗装部との境界はブラストのみ範囲として100mmの余白を確保した。

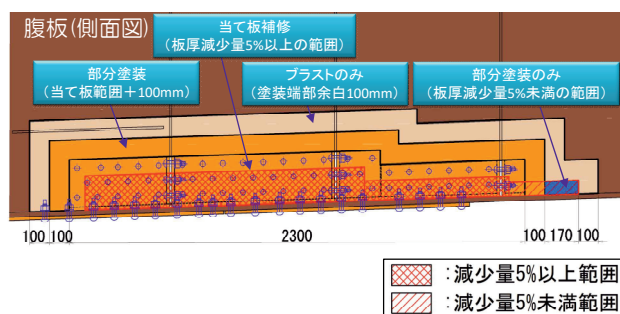


図-6 当て板補強及び部分塗装範囲設定例

7. まとめと今後の展望

凍結防止剤散布地域における耐候性鋼材橋梁に対して、国内の耐候性鋼材に関する最新の知見を整理したうえで、最適かつ定量的な維持管理方針を定めることができた。

一方で実際に補修工事を実施し、当て板補強部を含む部分塗装部と耐候性鋼材として使用を継続する部分の双方が長期的に健全性を保つことが最適な維持管理として求められる。

今後は補修工事後の状態を注視しつつ、今回策定した維持管理方針の充実を図るなどの改善を行っていくことが重要であると考え。

参考文献

- 1) 鋼道路橋防食便覧, H26. 3, (公社) 日本道路協会
- 2) 鋼道路橋塗装・防食便覧資料集, H22. 9, (公社) 日本道路協会
- 3) 耐候性鋼橋の手引き, R3. 11, (一社) 日本橋梁建設協会
- 4) 耐候性鋼橋梁の維持管理技術, H27. 11, (一社) 日本橋梁建設協会
- 5) 耐候性鋼橋梁の可能性と新しい技術, H18. 10, (一社) 日本鋼構造協会
- 6) 東北地方における道路橋の維持・補修の手引き(案), H29. 8, 国土交通省 東北地方整備局道路部・東北技術事務所
- 7) 大気環境における鋼構造物の防食性能回復の課題と対策, R元. 7, (公社) 土木学会
- 8) 共同研究報告書第414号 鋼橋の防食工の補修方法に関する共同研究報告, H22. 12, 独立行政法人土木研究所 他民間6社
- 9) 国総研資料第777号 耐候性鋼橋の適用環境評価手法の高度化に関する研究(I), H26. 1, 国土交通省国土技術政策総合研究所・(一社) 日本鉄鋼連盟・(一社) 日本橋梁建設協会
- 10) 国総研資料第778号 耐候性鋼橋の適用環境評価手法の高度化に関する研究(II), H26. 1, 国土交通省国土技術政策総合研究所・(一社) 日本鉄鋼連盟・(一社) 日本橋梁建設協会
- 11) 腐食した鋼構造物の耐久性照査マニュアル, H21. 3, (公社) 土木学会
- 12) 鋼道路橋設計便覧, R2. 9, (公社) 日本道路協会

西の谷橋における方杖ラーメン橋の 耐震補強設計

○長谷川正¹・茂呂充²・三宅竜之介³

¹ (株) 長大 構造事業本部 名古屋構造技術部 (〒453-6120 名古屋市中村区平池町四丁目60番地12)

² (株) 長大 構造事業本部 名古屋構造技術部 (〒453-6120 名古屋市中村区平池町四丁目60番地12)

³ (株) 長大 構造事業本部 名古屋構造技術部 (〒453-6120 名古屋市中村区平池町四丁目60番地12)

西の谷橋は、一般国道311号に位置する橋長106mの鋼方杖ラーメン橋であり、左右非対称の橋脚形式を有することを特徴としている。本業務では、3次元モデルを用いた動的解析による橋梁全体系動的解析を行い、耐震性能照査および橋梁各部の耐震補強設計を実施した。

本橋梁はP1橋脚がV字状橋脚、P2橋脚が斜材形状橋脚という左右非対称形式であり、橋軸直角方向の動的解析において、剛性の高いP1橋脚の応答値が卓越する傾向が認められた。耐震補強設計においては、地震時の応答値を低減することを目的として、粘性ダンパーおよび座屈拘束ブレースを設置する案を採用した。

Key Words : キーワード, 方杖ラーメン橋, 橋梁全体系動的解析, 粘性ダンパー, 座屈拘束ブレース, 3次元動的解析

1. 業務の経緯及び目的

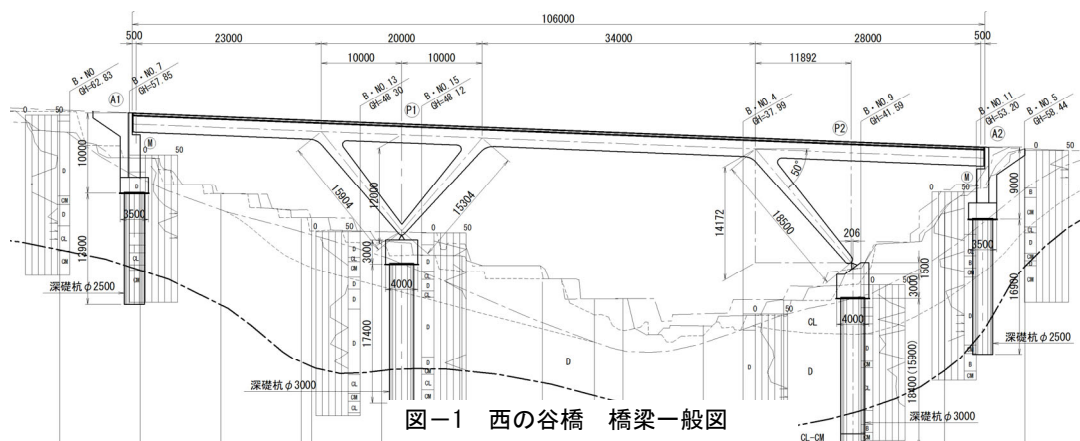
西の谷橋は、地域防災計画で第3次緊急輸送道路に指定されている一般国道311号に位置する橋長106mの鋼方杖ラーメン橋であり、支間長は23.0m+20.0m+34.0m+28.0mである。橋梁の構造としては、左右非対称の橋脚形式を有することを特徴としている。両端の橋台は逆T式橋台であり、各橋脚および橋台の基礎は深礎杭基礎形式である(図-1)。架設年次は平成6年であり、平成2年道路橋示方書に準拠して設計が行われた橋梁である。

本業務では、橋梁の構造特性を把握した上で耐震性能照査を行い、橋梁各部の耐震補強設計を実施した。

2. 現地調査

耐震補強設計を行うにあたり、既存資料の収集・整理が必要となるが、本橋梁は下部工および基礎工の設計図面が残存していない状況であったため、現地における寸法計測を行い、竣工時設計計算書との整合性確認を行うことで、構造形状の復元を行った。また、鉄筋探査およびはつり調査により現状の主要部分配筋を確認した。

鉄筋探査結果は、落橋防止システムの設置等における既設躯体へのアンカー削孔位置の設定に反映し、施工時の手戻り防止に配慮した。



3. 耐震性能照査

(1) 解析モデルの設定および解析条件

西の谷橋は左右非対称の鋼方杖ラーメン橋であり、地震時における複雑な動的挙動が想定されるため、3次元骨組みモデルを用いた動的解析により、橋梁全体系動的解析を行った。

上部工および橋台は線形梁要素でモデル化を行ったが、橋脚部は大きな軸力変動の影響が想定されるため、ファイバー要素によりモデル化を行った。なお、橋脚と主桁との隅角部は剛体要素としている。

支承条件は、両端橋台部が可動支承、橋脚部がピン支承であり、それぞれ線形バネ要素でモデル化を行った。既存の地質調査結果より、地盤種別はⅠ種地盤であり、深礎杭基礎は線形バネ要素にてモデル化を行った（図-2）。

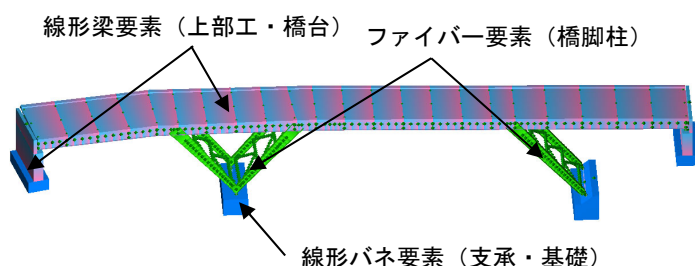


図-2 動的解析モデル概要図

動的解析は、前述の3次元骨組みモデルを用いた直接積分法による時刻歴応答解析とし、積分手法はNewmark β 法（ $\beta = 1/4$ ）、積分時間間隔は0.002秒である。地震波の入力方向は橋軸方向と橋軸直角方向の2方向の照査を実施した。

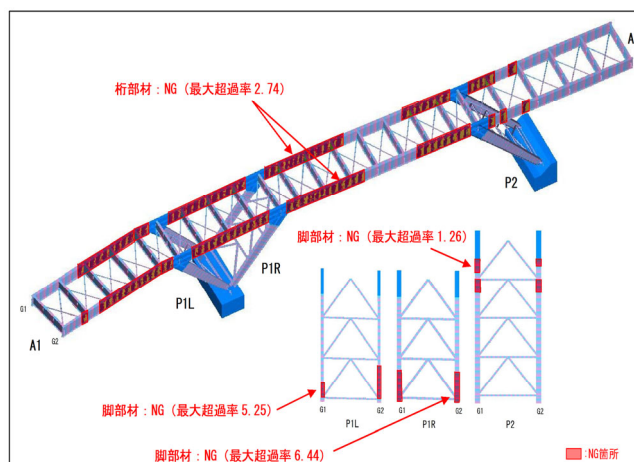
(2) 既設橋耐震性能照査結果

西の谷橋の現況における耐震性能について、動的解析の応答値を用いた各部材の照査結果（応力著か箇所）を図-3に示す。

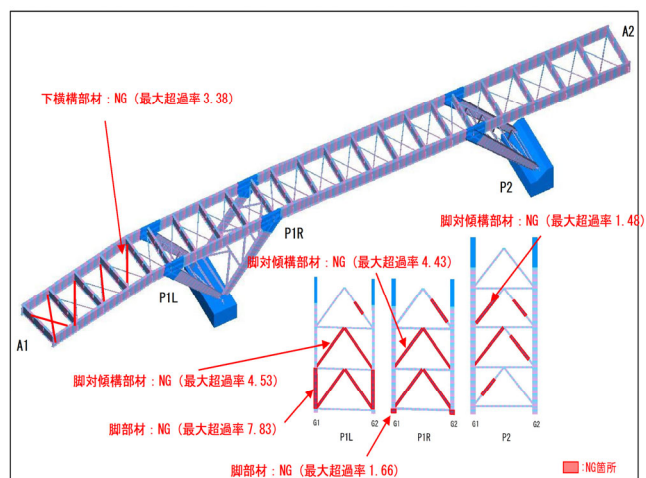
橋軸方向では、主桁部材の6割程度の部材で許容応力度を超過しており、最大超過率は2.74である。脚部材はP1橋脚の基部付近およびP2橋脚の上端付近を中心に大きな応力超過が発生しており、最大超過率は6.44である。

橋軸直角方向では、A1橋台側の下横構部材で許容応力度を超過しており、最大超過率は3.38である。脚部材はP1橋脚の基部付近およびP2橋脚の上端付近を中心に脚柱および対傾構で大きな応力超過が発生しており、最大超過率は7.83である。なお、応力超過箇所は、橋脚剛性が高い起点側（A1、P1側）が多い傾向が見てとれる。

また、表-1に支承部に発生する水平方向および鉛直方向反力を示す。表中の値は、動的解析3波平均値であり、各支点部の最大値を示している。表-1より、特に橋軸直角方向の解析において、非常に大きな上揚力（上向き反力）が発生していることがわかる。



(a) 橋軸方向照査結果



(b) 橋軸直角方向照査結果

図-3 既設橋耐震性能照査結果概要図

表-1 支承部反力一覧

水平反力（タイプⅡ地震動） (kN)

支点	橋軸方向		橋軸直角方向	
	Max	Min	Max	Min
A1	0	0	1834	-1759
P1	7489	-5183	2506	-2380
P2	1985	-3863	1017	-1003
A2	0	0	1237	-1293

鉛直反力（タイプⅡ地震動） (kN)

支点	橋軸方向		橋軸直角方向	
	Max	Min	Max	Min
A1	2620	-1359	4668	-3281
P1	4103	818	13803	-8631
P2	3246	-458	6600	-3377
A2	1630	472	1464	-475

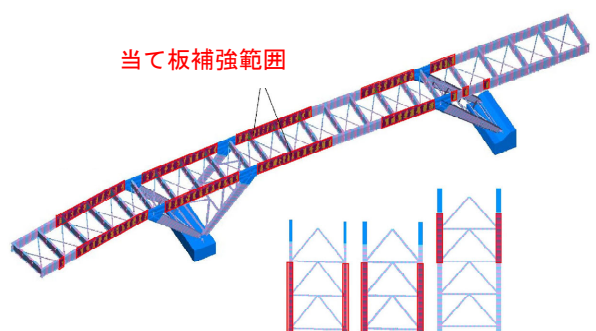
4. 耐震補強工法の選定

(1) 耐震補強工法検討案の選定

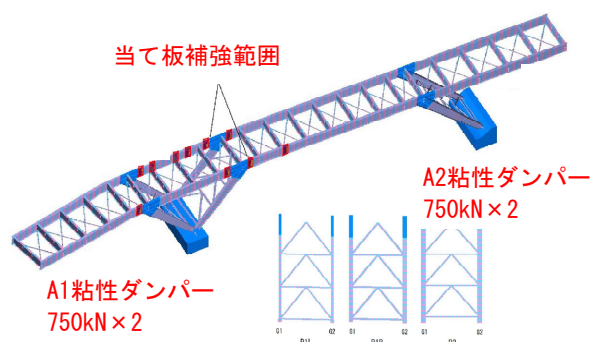
前節に示すように、本橋の現況耐震性能照査では、大きな部材応力の超過および支承部上揚力の発生が見られるため、耐震補強工法の検討においては、一般的に用いられる部材耐力の向上による対策（当て板工法等）に加え、地震時応答力の低減を目的とした高減衰化による対策が考えられる。

高減衰化手法としては、支承を免震支承に交換する手法と、粘性ダンパー等デバイスを追加する手法が考えられるが、本橋は方杖ラーメンという構造上、橋脚基部に位置する支承部周辺をジャッキアップすることが困難であり、支承の交換は現実的ではないため、ダンパー等の高減衰デバイスを追加する工法を選定した。

橋軸方向については、両橋台部に粘性ダンパーを設置することにより、地震時応答値を低減する手法を採用した。この結果、図-4に示すように当て板補強が必要となる範囲がP1橋脚付近のごく一部まで削減することができた。当て板補強として必要となる鋼材量は、ダンパー設置前が60.3t、ダンパー設置後が0.6tである。



(a) ダンパー設置前当て板補強範囲



(b) ダンパー設置後当て板補強範囲

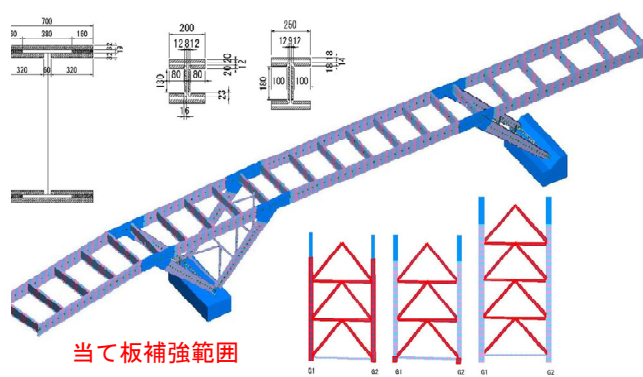
図-4 橋軸方向補強範囲概要図

橋軸直角方向については、現況の動的解析による耐震性能照査において、橋脚柱および脚支持材に大きな応力超過が発生している。また、橋脚基部の支承部には大きな上揚力（上向き反力）が発生してい

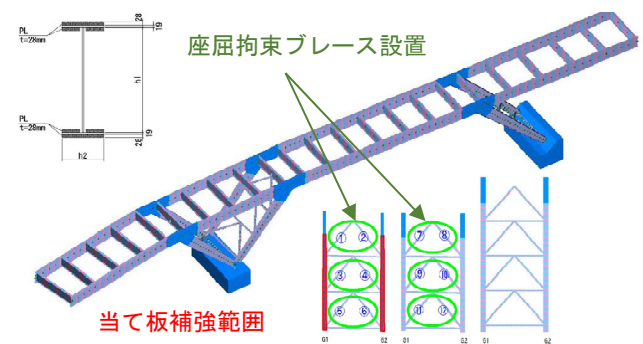
る状況である。

耐震補強工法としては、橋脚対傾構を座屈拘束ブレースに交換し、座屈拘束ブレースの減衰効果により上揚力の低減および橋脚補強部材の低減を図る工法を採用した。

検討の結果、P1橋脚部の対傾構を座屈拘束ブレースに交換することで、当て板補強として必要となる鋼材量は、座屈拘束ブレース設置前の32.9tから、座屈拘束ブレース設置後は3.4tに縮小し、上揚力も表-2に示すように低減することができた。



(a) 座屈拘束ブレース設置前当て板補強範囲



(b) 座屈拘束ブレース設置後当て板補強範囲

図-5 橋軸直角方向補強範囲概要図

表-2 橋軸直角方向補強後支承部反力一覧

支点	橋軸直角方向支承部反力（補強後） (kN)			
	座屈拘束ブレース無し		座屈拘束ブレース有り	
	水平力	鉛直力	水平力	鉛直力
A1	1660	-5330	1560	-2545
P1	6942	-23747	2356	-7824
P2	2020	-6964	305	-1071
A2	1490	-872	1431	-372

(2) 支承部上揚力対策

橋梁全体の耐震補強として、橋軸方向の対策工として橋台部に粘性ダンパー設置、橋軸直角方向対策としてP1橋脚部の対傾構を座屈拘束ブレースに交換することで、部材の当て板補強を大きく削減することが出来たが、支承部についてはこれらの工法を用いた後の状態でも上揚力は発生するため、浮き上が

り防止対策を行う必要がある。

浮き上がり防止構造としては、PCケーブルにより橋脚柱とフーチングを連結することで、上揚力に対して抵抗する構造を採用した。

本構造は、水平力には抵抗できないため、支承部水平力に対しては水平力分担構造を併用することとした。図-6に浮き上がり防止対策概要図を示す。

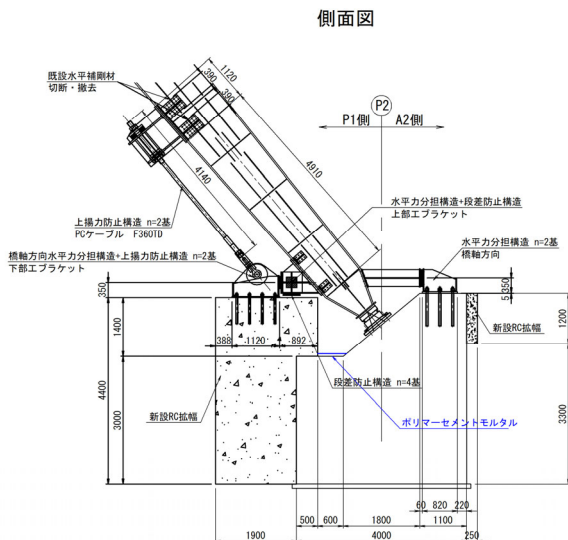


図-6 浮き上がり防止対策概要図 (P2橋脚)

(3) 橋台背面EPS置き換え

橋軸方向の耐震補強工法として、両橋台部に粘性ダンパーを設置する工法を採用したが、ダンパーの設置により橋台部にダンパー反力が作用することとなる。橋台への作用力は、橋台背面の土圧が支配的であり、ダンパー反力が土圧の作用方向と同方向となる場合には、橋台の耐力が不足する(図-7)。そのため、堅壁、基礎の補強が必要となるが、急峻な斜面上での橋台部補強の施工は困難である。

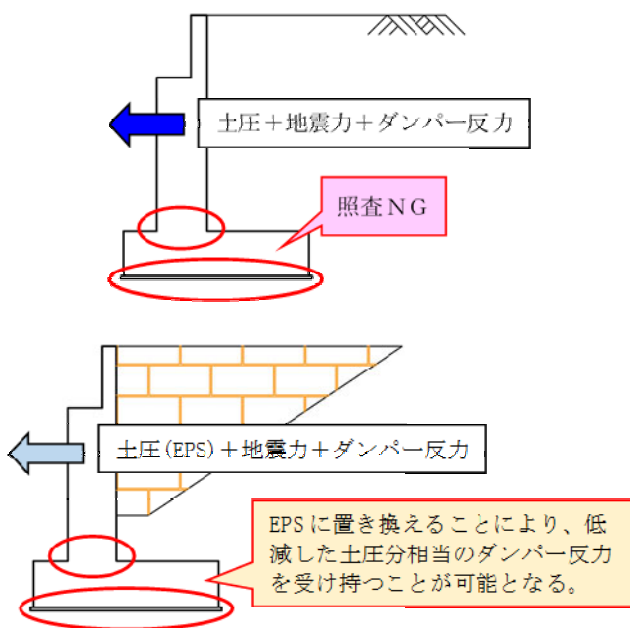


図-7 橋台部対策工概念図

以上より、EPSへの置き換えによりダンパー反力相当の土圧軽減を図り、橋台を補強することなくダンパー反力を受け持てる構造とした。

なお、迂回路が無く全面通行止めが不可能な施工条件から、図-8に示すように道路中心部に鋼矢板を打設し、1車線ずつEPSの敷設を行う半断面施工を行うものとした。

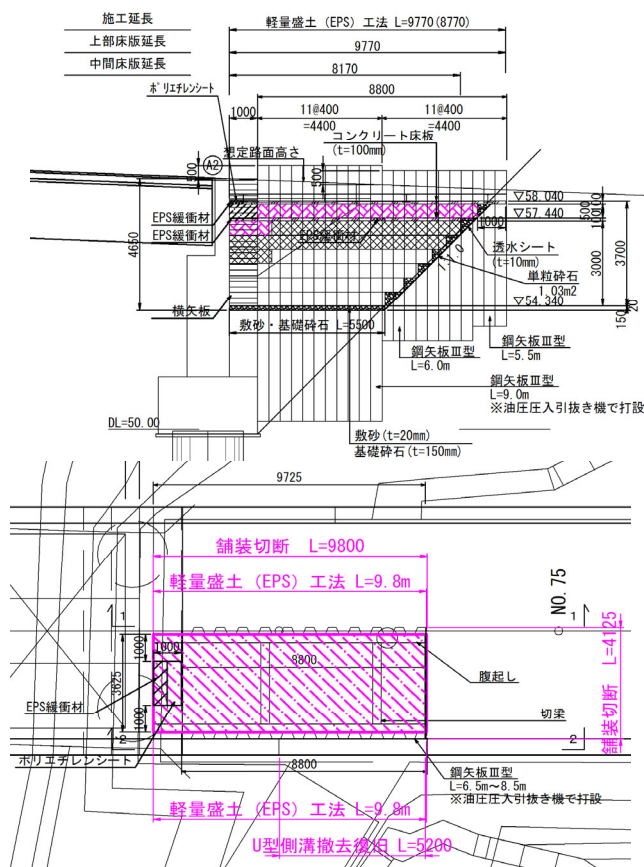


図-8 橋台背面EPS施工概要図

5. まとめ

左右非対称の鋼方杖ラーメン橋という構造特性を持つ西の谷橋に対する耐震補強設計として、構造特性に起因する地震時の複雑な動的挙動を再現するため、3次元骨組みモデルを用いた動的解析により、橋梁全体系動的解析を行った。

現況耐震性能照査の結果、大きな部材応力の超過および支承部上揚力の発生が見られるため、耐震補強工法の検討においては、一般的に用いられる部材耐力の向上による対策(当て板工法等)に加え、地震時応答力の低減を目的とした高減衰化による対策を検討し、橋軸方向の対策工として橋台部に粘性ダンパー設置、橋軸直角方向対策としてP1橋脚部の対傾構を座屈拘束ブレースに交換することで、部材の当て板補強を大きく削減することが出来た。また、上揚力対策としてPCケーブルの設置、橋台部へのダンパー作用力対策として、橋台背面土のEPSへの置き換えを併用することとした。

道路橋としての供用に向けた 仮線鉄道橋張出しPC床版の改良設計

○河合健斗¹・加藤幸男¹・野澤孝之¹・武藤大和¹・小玉由人¹

¹中日本建設コンサルタント株式会社（〒460-0002 愛知県名古屋市中区丸の内一丁目16番15号）

本橋は、鉄道高架事業に伴う仮線として供用中の鉄道橋であり、鉄道高架切替え後には高架側道の道路橋として供用する計画となっている。

この仮線鉄道橋を道路橋として供用するにあたり、道路構造の観点から縦断計画や幅員構成の見直しを行った結果、橋面荷重が増加し、張出しPC床版において耐久性（疲労）照査の制限値を満足しない結果となった。そのため、縦断計画の見直しにより必要となる路面高調整コンクリートの厚みに着目し、調整コンクリートを構造部材として既設PC床版と一体化させた合成床版構造を採用した。

Key Words : 既設鉄道橋, 道路橋としての供用, 張出しPC床版, 合成床版

1. はじめに

本報告の対象となる橋梁は、鉄道高架事業に伴う仮線橋として供用中であり、鉄道高架切替え後には鉄道高架側道の道路橋として供用予定のPC単純ポストテンションT桁橋（橋長L=38.6m）である。

本報告では仮線鉄道橋を道路橋として供用するにあたり、道路構造の観点から見直した経緯、および見直しに伴い制限値を満足しない結果となった張出しPC床版の補強構造について報告する。

2. 検討フロー

検討フローを図-1に示す。

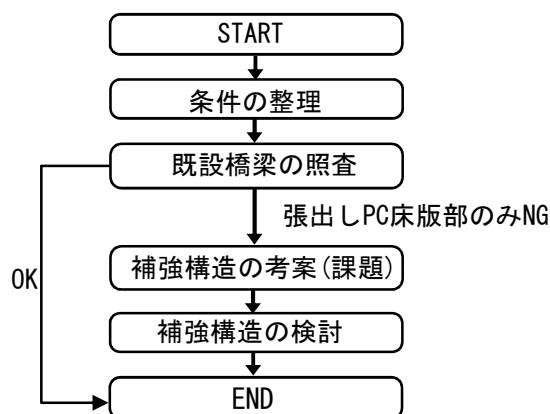


図-1 検討フロー

3. 条件の整理

(1) 橋梁諸元

以下に本橋の橋梁諸元および側面図を示す(図-2)。

道路規格 : 第4種第4級

設計速度 : V=40km/h

橋長 : 38.60m

斜角 : 60°

活荷重 : A活荷重(道路橋)

列車荷重(鉄道橋)

重要度区分 : A種の橋

上部工形式 : PC単純ポストテンションT桁

下部工形式 : 逆T式橋台

基礎工形式 : 場所打ち杭φ1500

地盤種別 : III種地盤

適用基準 : 平成29年 道路橋示方書

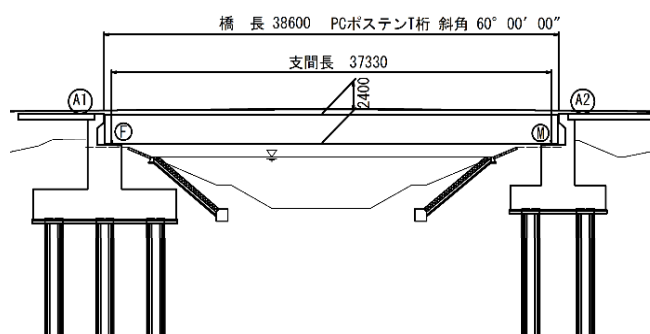


図-2 対象橋梁側面図

(2) 道路構造の見直し

a) 縦断計画

本橋の鉄道仮線縦断は、前後の踏掛版の区間も含めてLEVELで計画されており、道路橋供用時もLEVELとなっていた。しかし、道路橋として供用する場合、車両の走行安全性や橋梁の耐久性に配慮して橋面の雨水を速やか、かつ確実に排水できる構造としなければならない。よって、道路橋供用時の縦断計画をLEVELから0.8%の凸型縦断曲線に見直しを行った。

なお、この見直しにより、橋面上の必要調整コンクリート厚さは平均で250mm程度となった(図-3)。

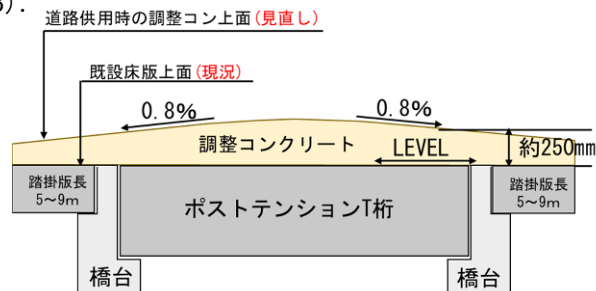


図-3 縦断計画見直しによる必要調整コンクリート厚

b) 幅員構成

過年度設計における鉄道仮線供用時・道路供用時および本設計にて見直した後の幅員構成図を図-4に示す。

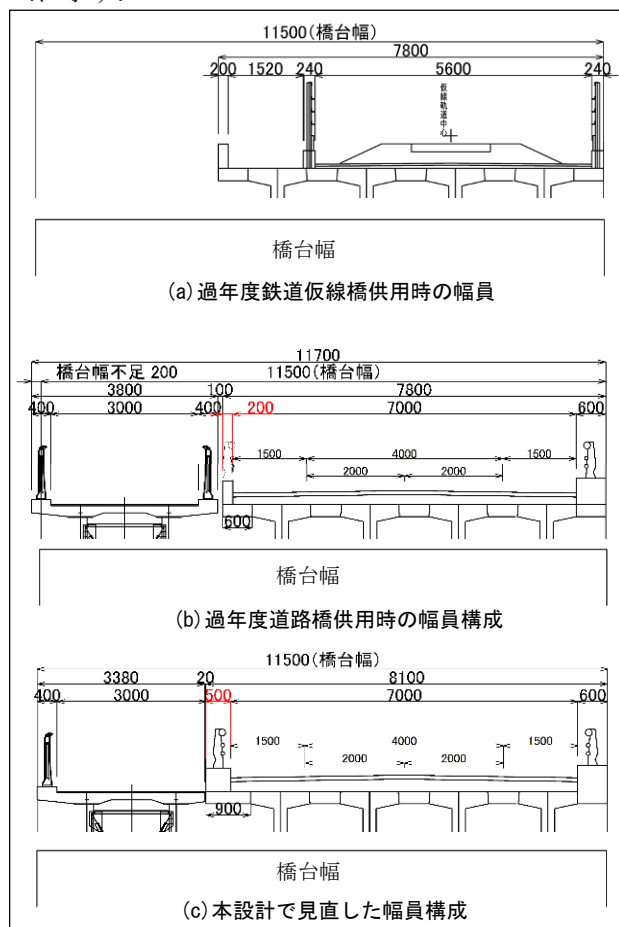


図-4 過年度および本設計での幅員構成

過年度設計における道路橋供用時の車道部左側地覆は鉄道橋供用時の地覆幅200mmで計画されていたが、車両衝突時の耐荷力不足や、車両用防護柵設置幅が不足している構造となっていた。

そこで本設計では、橋側歩道橋も含めて幅員構成を見直し、左側地覆幅を200mmから500mmに変更することで、本橋と橋側歩道橋で地覆を兼用する幅員構成とした。

4. 既設橋梁の照査(耐荷性能・耐久性能)

(1) 道路橋としての構造照査結果

3. で述べた道路構造の見直しを反映した後、道路橋としての構造照査を仮線鉄道橋に対して行った結果、上部工の主要構造は概ね制限値を満足する結果となった(表-1)。しかし、地覆幅を変更した左側張出しPC床版においては、耐久性(疲労)照査の制限値を満足しない結果となった(詳細な照査位置および照査結果は図-5、表-2を参照)。なお、下部基礎工については、制限値を満足する結果であった。

表-1 既設上部工の代表的な照査結果

		標準部	
		上縁	下縁
主桁	合成曲げ応力度	(-3.10 < σ_{ca} < 24.00)	
	永続支配(D)	7.97	4.91
	変動支配(D+L)	11.06	0.30
横桁	合成曲げ応力度	(-2.20 < σ_{ca} < 16.50)	
	永続支配(D)	5.16	2.69
	変動支配(D+L)	5.22	2.56
床版(中間)	合成曲げ応力度	(-3.10 < σ_{ca} < 24.00)	
	永続支配(D)	4.65	0.49
	変動支配(D+L)	2.91	2.23
床版(右側)	合成曲げ応力度	(-3.10 < σ_{ca} < 24.00)	
	永続支配(D)	4.26	0.88
	変動支配(D+L)	2.28	2.87

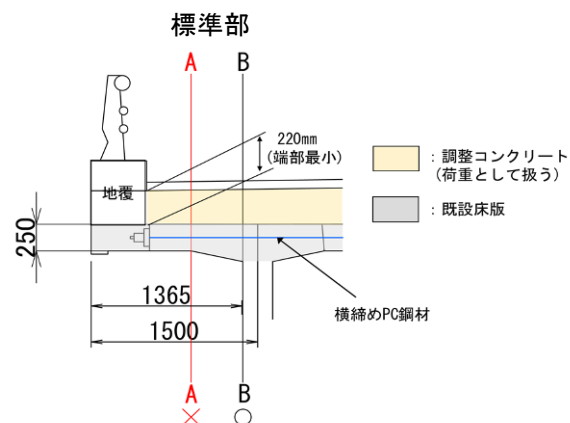


図-5 左側張出しPC床版の照査位置

表-2 左側張出しPC床版の詳細な照査結果

合成曲げ応力度 (N/mm ²)	標準部			
	A-A断面		B-B断面	
	上縁	下縁	上縁	下縁
前提条件の照査	(0.00 < σ_{ca} < 16.00)	(0.00 < σ_{ca} < 16.00)	(0.00 < σ_{ca} < 16.00)	(0.00 < σ_{ca} < 16.00)
前提条件	2.22	4.77	3.94	1.21
耐荷性能照査	(-3.10 < σ_{ca} < 24.00)	(-3.10 < σ_{ca} < 24.00)	(-3.10 < σ_{ca} < 24.00)	(-3.10 < σ_{ca} < 24.00)
永続支配(D)	2.22	4.77	3.94	1.21
変動支配(D+L)	(-3.10 < σ_{ca} < 24.00)	(-3.10 < σ_{ca} < 24.00)	(-3.10 < σ_{ca} < 24.00)	(-3.10 < σ_{ca} < 24.00)
	-1.02	8.01	1.07	4.08
耐久性能照査	(0.00 < σ_{ca} < 16.00)	(0.00 < σ_{ca} < 16.00)	(0.00 < σ_{ca} < 16.00)	(0.00 < σ_{ca} < 16.00)
耐久性(防食)	2.11	4.54	3.76	1.15
耐久性(疲労)	(0.00 < σ_{ca} < 16.00)	(0.00 < σ_{ca} < 16.00)	(0.00 < σ_{ca} < 16.00)	(0.00 < σ_{ca} < 16.00)
	-0.48 NG	6.96	1.46	3.45

(2) 左側張出しPC床版の応力状態の整理

PC床版の耐久性（疲労）照査では、死活荷重用時に引張応力を発生させないことを基本としており、横締めPC鋼材は床版全体に圧縮応力を与えることによって、床版内に発生する引張応力を解消する役割を果たしている（図-6）。

これに対し、本橋の左側張出しPC床版の耐久性（疲労）照査結果では、床版上縁に引張応力が発生する結果となった（図-7）。この原因は、道路構造の見直しによる橋面および地覆荷重増加に伴い、床版に作用する曲げ応力が増加したためであると考えられる。従って、PC床版上縁に発生した引張応力を解消できる補強対策を行う必要がある。

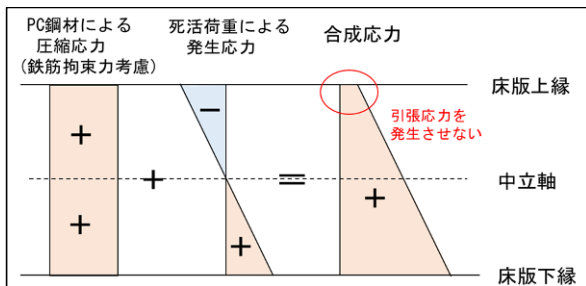


図-6 耐久性照査の基本的な考え方

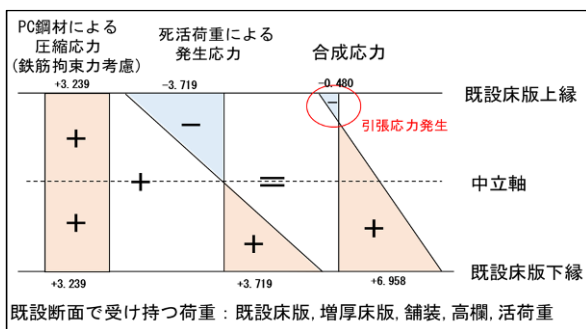


図-7 本橋の張出しPC床版照査時の応力状態

5. 本検討における課題

床版上縁に発生した引張応力を解消する一般的な補強工法として以下が考えられる。

(1) 横締めPC鋼材の追加設置

床版上縁に発生した引張応力を解消する工法として、PC鋼材の緊張力を上げる工法が考えられる。

この工法は、新たにPC鋼材を追加して再度緊張力を与えることで、現在PC床版上縁に発生している引張応力の解消を図る工法である（図-8）。

しかし、今回対象とする橋梁は、床版厚が薄く、PC鋼材を設置するための削孔長は8mを超えるなど、工事が大掛かりとなる。また、削孔時に床版内部の鉄筋と干渉する可能性も高く、難易度も高い施工となることから、補強工法としては採用できないと考えた。

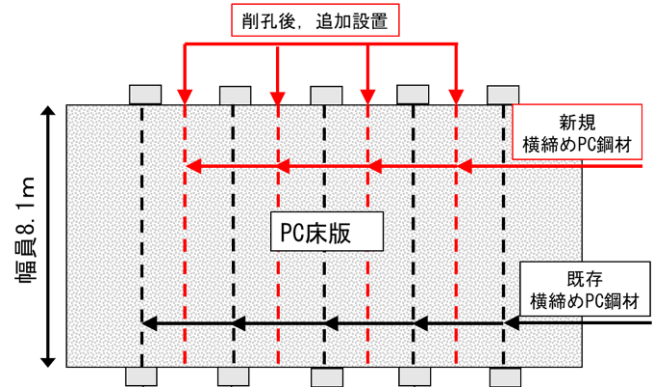


図-8 PC鋼材の追加設置イメージ

(2) 上面増し厚補強

増厚による床版の補強方法は、床版上面にコンクリートを打ち足すことで曲げ耐力の向上を期待する工法である。

しかし、床版上面にコンクリートを打ち足すことから橋梁上の路面高が嵩上げされ、橋梁前後の擦りつけ道路にも影響する点が問題である。また、上部工の荷重増加に伴い、他の部材にて応力超過するケースもあることから施工事例は少ない。

上述するように、PC床版の補強工法には、それぞれ問題点があり、これらの補強事例が少ないのが現状であった。そのため、PC床版上縁に生じる引張応力を解消する補強構造を考案することが本検討の課題であった。

6. 補強構造の考案

5. で述べたように、PC床版補強工法の一つに床版上面に増厚コンクリートを増設する工法がある。なお、本橋では、縦断計画の見直しにより、地覆端部における路面高調整コンクリートが220mm以上あり、配筋可能な厚みを有していること、また鉄道橋供用時にて主構造断面が決定しており、道路橋供用時には制限値に余裕がある結果となっていた。それらの点に着目し、調整コンクリートを増厚コンクリート（構造部材）として既設床版と一体化させることで、合成床版として考える補強構造を考案した。

なお、本橋を道路橋として供用するにあたって、路線全体として縦断計画の見直しを行っているため、増し厚補強工法の問題点である橋梁前後道路への影響も計画段階から考慮することができた。

7. 補強構造の検討

(1) 施工前後の応力状態

増厚補強の施工前後で載荷される荷重および抵抗断面が異なるため、施工前後それぞれの断面で受け持つ荷重と抵抗部材断面を図-9のとおり設定した。

施工時は増厚床版が硬化するまでの状態を想定することで、抵抗断面を既設床版のみとし、荷重として既設床版と増厚床版を載荷した。また、施工後は橋の供用中を想定することで、抵抗断面を既設床版と増厚床版とし、荷重として活荷重、舗装、高欄、地覆を載荷した。その後、施工前後に発生する応力の足し合わせを行い、既設床版上縁に引張応力が生じていないことを確認した。

なお、施工前後で発生する応力が変わるため、施工前後でそれぞれ照査を実施した。施工前後の応力の足し合わせの概念図を図-10に、照査結果を表-3、表-4に示す。

その結果、既設床版上縁・下縁の各位置において制限値を満足し、左側張出床版標準部の上縁側で発生していた引張応力を解消することができた。

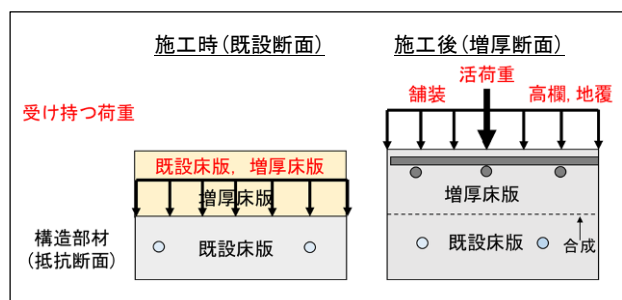


図-9 施工前後断面で受け持つ荷重

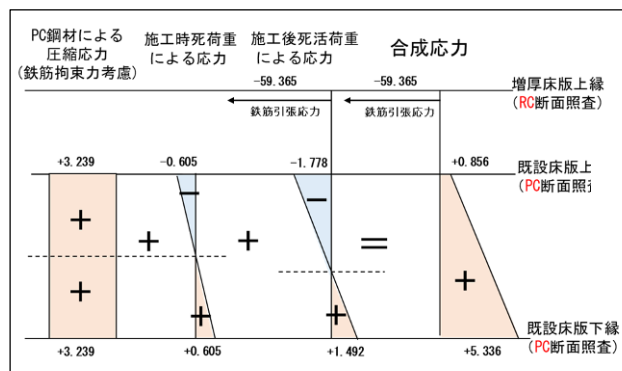


図-10 施工前後の応力概念図

表-3 施工時断面照査結果

	施工時断面の照査（A-A断面）	
	既設床版上縁	既設床版下縁
① 補強前荷重	-0.605	0.605
② 有効プレストレス （鉄筋拘束力考慮）	3.239	3.239
合成応力度 ①+②	（ 0.00 < σ_c < 12.00 ） 2.63 OK	12.00 3.84 OK

表-4 施工後断面照査結果 (N/mm²)

	施工後断面の照査（A-A断面）		
	増厚上縁	既設上縁	既設下縁
① 補強前荷重	-	-0.605	0.605
② 有効プレストレス （鉄筋拘束力考慮）	-	3.239	3.239
③ 補強後荷重	-59.365	-1.778	1.492
合成応力度 ①+②+③	(0.00 0.856	< σ_{ca} OK	12.00) 5.336 OK
鉄筋応力度	σ_s 59.365	< OK	120

(2) 合成効果を期待するための細部構造

増厚床版を構造部材として合成効果を期待するためには、既設床版と増厚床版との接合面に発生するせん断力に対してずれ止め材を設ける必要があると考えた。本設計では合成桁における桁と床版の接合部の設計手法に準用し、ずれ止め材の構造検討を行った(図-11)。その結果、ずれ止め材としてD16鉄筋を橋軸方向に250mmピッチ、橋軸直角方向に500mmピッチで配置した。なお、ずれ止め鉄筋の既設床版への埋め込み長は、横締めPC鋼材に干渉しない長さとし(図-12)、平面的な干渉に対しては、竣工図の横締めPC鋼材位置を確認し回避した。

また、増厚するコンクリートの設計基準強度は合成床版として考えるため、既設PC床版の弾性係数に合わせて $\sigma_{ck}=30\text{N/mm}^2$ とした。

$$\tau_b = \frac{S \cdot Q}{b \cdot I}$$

ここに τ_b : 合成断面として桁と床版が完全結合した場合の接合面の
コンクリートに生じるせん断応力度 (N/mm²)

S : 桁断面に生じるせん断力 (N)

b : 桁と床版の接合面における橋軸直角方向の幅 (mm)

Q : 合成断面の図心軸に関する床版の断面一次モーメント (mm³)

I : 合成断面の図心軸に関する合成断面断の断面二次モーメント (mm⁴)

図-11 接合面に生じるせん断応力度の算出式¹⁾

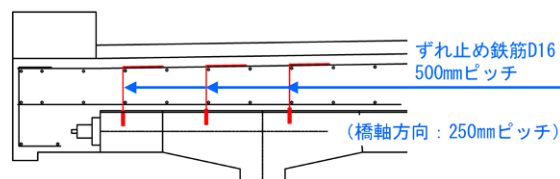


図-12 ずれ止め鉄筋配筋図

8. おわりに

本設計では、仮線鉄道橋を道路橋として供用するために、縦断計画および幅員構成を見直したことにより発生した張出しPC床版の応力超過箇所に対する補強構造を考案した。縦断計画を見直したことにより必要となる路面高調整コンクリートの厚みを活かすことで、大掛かりな施工を行うことなく張出しPC床版の引張応力超過を解消することができた。

参考文献

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 III コンクリート橋・コンクリート部材編，p279，H29.11

施工中に沈下した底版に対応する ボックスカルバート設計手法の立案

さとうかずき あまのまさと うへはらまさと いわたたかひろ
○佐藤和輝¹・天野雅人¹・上原将人¹・岩田高裕¹

¹中日本建設コンサルタント（株）（〒460-0002 名古屋市中区丸の内1丁目16番15号）

本稿は、道路ボックスカルバート（内空幅8.5m、高さ5.9m）の施工時における対応に関する報告であり、当該工事では、ボックスカルバート底版及び側壁下ハンチ部の構築後、躯体の沈下が生じたことを受け、ボックスカルバート内の車道建築限界確保のため、当初設計から内空高を増加させるボックスカルバート設計手法について報告するものである。

Key Words :ボックスカルバート, 沈下, 段落とし鉄筋, 定着長, 薄層増厚, 上げ越し

1. はじめに

(1) 経緯及び目的

道路相互の立体交差部に計画されたボックスカルバート（内空幅8.5m、高さ5.9m）の工事において、底版及び側壁下ハンチ部を構築後、施工済みの躯体が沈下した。これにより、当初設計の内空高 $H=5.9\text{m}$ で施工すると、道路の建築限界が不足することが判明した。

ここで、当該ボックスカルバートの施工状況を下図に示す（図1-1参照）。

本設計では、施工済みの底版を活用した上で、道路の建築限界確保のため、ボックスカルバート内空高を増加させることを主な目的とした。

なお、鉄筋については、当初設計の形状にて全量加工済みであり、加工済み鉄筋を活用する必要があった。

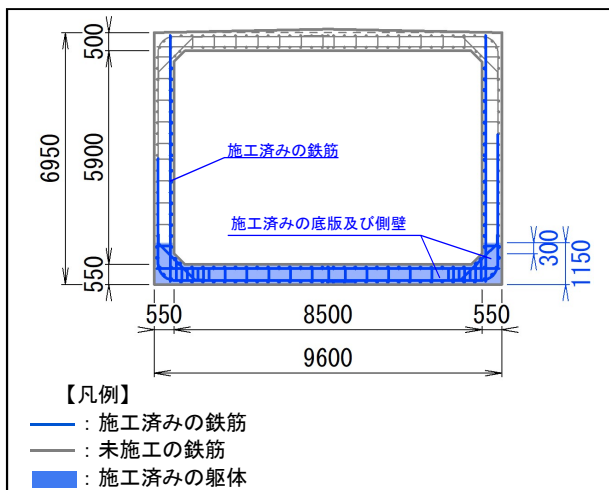
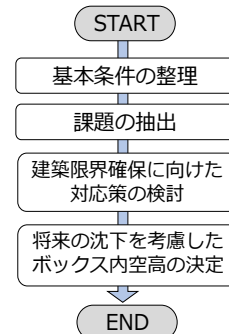


図1-1 ボックスカルバート施工状況

2. 実施方針

沈下したボックスカルバートの内空高の変更に向けた検討フローを以下に示す。



3. 基本条件の整理

当該ボックスカルバートの当初設計における諸元は以下の通りである。

- ・内空断面： $B=8.5\sim 9.29\text{m}$ 、 $H=5.9\text{m}$
- ・延長： $L=57.7\text{m}$
- ・土被り：本線直下 最小0.5m以上
(本線直下の最小土被り0.51m)

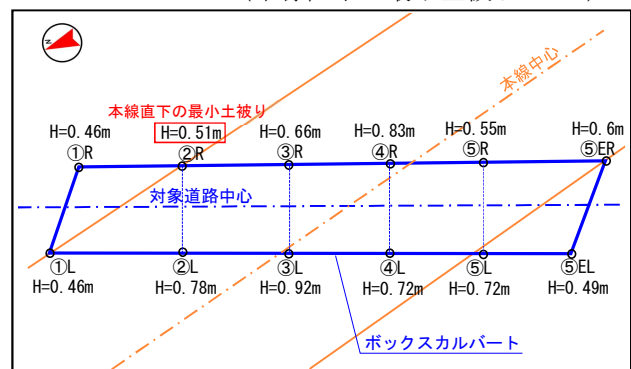


図3-1 土被り状況

ボックスカルバート使用材料の規格及び許容応力度を下表に示す。

表3-1 使用材料の規格，許容応力度

		規定値等
コンクリート	設計基準強度	30N/mm ²
	許容付着応力度	1.8 N/mm ²
	許容曲げ圧縮応力	10.0 N/mm ²
	許容せん断応力度	0.25 N/mm ²
鉄筋	種類	SD345
	許容引張応力度	180 N/mm ²
	定着長算出時における引張応力度の基本値	200N/mm ²
	主鉄筋かぶり	純かぶり80mm

4. 課題の抽出

(1) ボックスカルバート基礎部の地質状況

当該箇所の地質は，地表より軟弱層のローム層及び凝灰質粘性土層，その下層に砂質土層が堆積している状況であった。当初設計では，直近の施工済みボックスカルバートの基礎部の対応及び施工時の状況等を踏まえ，洪積層である砂質土層を支持層とした。また，支持力対策としては，表層部の軟弱層を削り取り，良質材に置き換える計画としていた。

当該ボックスカルバートの施工時においては，軟弱層の目視確認及び撤去が行われ，基礎盛土（C-40）が構築されていた。そのため，沈下原因としては，基礎地盤の砂質土層または基礎盛土（C-40）の沈下も考えられたが，最終的な沈下量とその原因は不明であった。

(2) 将来の沈下への対応（課題点①）

当該ボックスカルバートの最終沈下量が不明確であり，将来の沈下に対し，柔軟な対応が可能な計画とすることが課題であった。

なお，当該箇所の沈下量については，動態観測による計測が実施され，その推移は図4-1に示すとおりである。

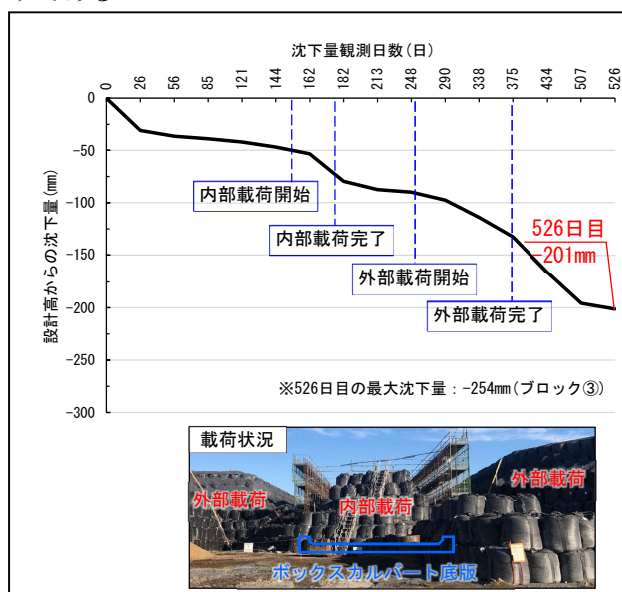


図4-1 沈下量の推移(全ブロック平均値)

(3) 施工済みの底版段落とし鉄筋

ボックスカルバートの配筋は，経済性の観点から，主鉄筋量の低減のため，段落としを行う仕様としている。また，段落とし部の鉄筋長は，鉄筋が計算上不要となる点（抵抗曲げモーメントと設計曲げモーメントの交点）から，有効高に定着長を加えた長さとしている（図4-2参照）。

ここで，使用するコンクリートの付着応力度は $\tau_{0a}=1.8\text{N/mm}^2$ であり，この付着応力度を用いた鉄筋の必要定着長は，「道路橋示方書・同解説 IV 下部構造編」に示される式(1)より 27.8ϕ となる。これに対し，当初計画では， 27.8ϕ をラウンドアップした 30ϕ の定着長を確保していた。

$$l_a = \frac{\sigma_a}{4\tau_{0a}} \cdot \phi \quad (1)$$

ここに， l_a ：付着応力度より算出する必要定着長(mm)

σ_a ：鉄筋の引張応力度の基本値(N/mm²)

τ_{0a} ：コンクリートの付着応力度(N/mm²)

ϕ ：鉄筋の直径(mm)

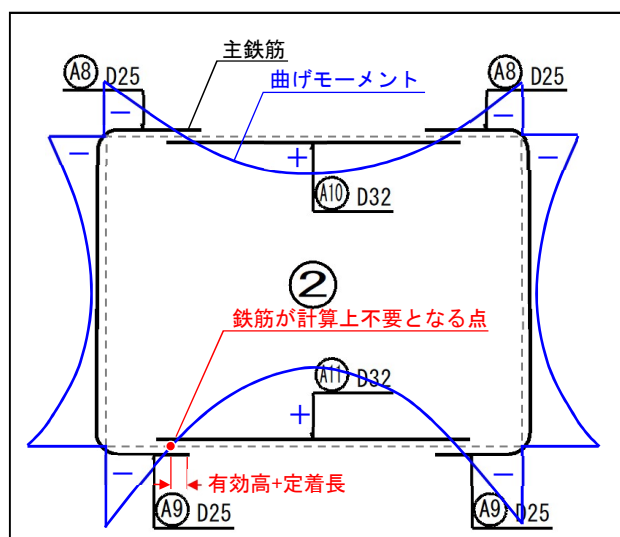


図4-2 段落とし部の鉄筋長の設定方法

(4) 施工済みの底版鉄筋の定着長不足（課題点②）

ボックスカルバート内空高を増加させた場合，鉄筋が計算上不要となる点が底版内側へ移動するため，底版外側鉄筋の定着長が不足することが判明した（図4-3参照）。

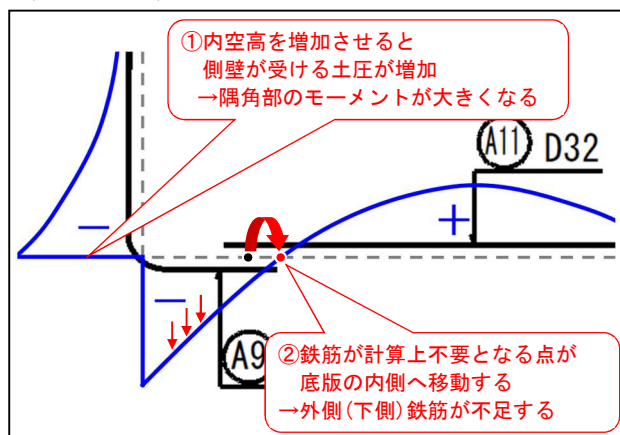


図4-3 曲げモーメント図

これに対し、施工済みの躯体（底版、側壁下ハンチ部）及び鉄筋を活用するとともに、未施工部の加工済み鉄筋を使用し、内空高を増加させることが課題であった。

なお、内空高増加時における施工済み部材に作用する引張応力は、許容値を満足し、鉄筋径等を変更する必要はなかった。

5. 課題解決に向けた対応

(1) 将来的な沈下量の把握

設計にあたって、最終沈下量を予測するため、ボックスカルバート直近における地質調査を提案した（ボーリング調査及び圧密試験）。調査の結果、当該箇所には堆積していた砂質土層は、シルトが混じっており、圧密沈下することが判明した。また、圧密試験の結果より、最終沈下量は約0.3mと予測された。

(2) 将来的な沈下を考慮した上げ越し（対応①）

上記の結果より、予測沈下量は0.3mであるものの、将来において予想外の沈下が発生する可能性を考慮し、上げ越しを行うことを提案した。そして、上げ越し量については、土被り及び舗装厚、舗装の維持管理等を鑑みて0.2mと設定した。

なお、道路管理者との協議の上、ボックス頂版が下層路盤に一部食い込むことを許容した。その結果、内空高の増加量としては、最終沈下量0.3mに上げ越し量0.2mを加えた0.5mとし、本設計における目標内空高を $H=6.4\text{m}$ とした。

(3) 底版鉄筋の定着長不足解消に向けた着目点

当初設計の定着長は、 30ϕ を確保しており、必要定着長の計算値 27.8ϕ に対して 2.2ϕ の余裕を有する状況である（図5-1参照）。

この余裕について、理由は定かでないが、施工時のコンクリート強度のバラツキ等を考慮して設定されたものと考えられる。

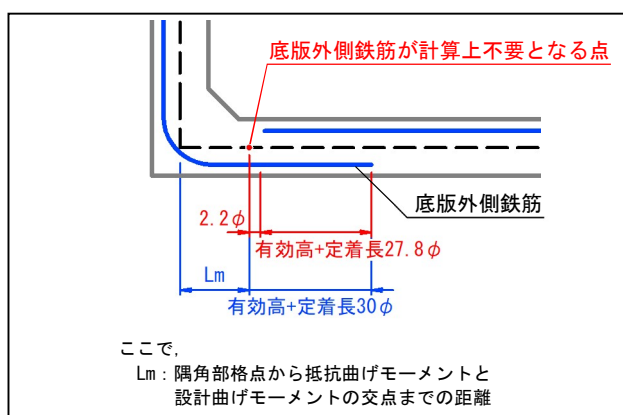


図5-1 当初設計における鉄筋の定着長

上記の点に着目し、定着長の余裕を活用することで、目標内空高を確保するための対応案を検討した。

(4) 定着長の余裕を活用した内空高の変更（対応②）

定着長の余裕 2.2ϕ を活用するにあたり、施工済みコンクリートの現場発現強度を確認した。施工時のコンクリート管理図を確認した結果、設計基準強度 30N/mm^2 に対し、28日強度は 36.3N/mm^2 以上（平均 38.4N/mm^2 ）であった。

また、シュミットハンマー試験により強度確認した結果、現場発現強度は 35N/mm^2 以上であった。

以上のことから、設計基準強度が確保されており、施工済みの底版鉄筋の定着長は、必要定着長の 27.8ϕ 以上確保すれば問題ないと判断した。本設計における各鉄筋の定着長を以下に示す。

- ・施工済みの底版 : 27.8ϕ 以上
- ・未施工の頂版及び側壁 : 30ϕ 以上

はじめに、定着長の 2.2ϕ の余裕を使用し、当初の鉄筋及び部材厚における内空高の限界値を確認した。その結果、内空高 $H=6.13\text{m}$ ($5.9+0.23\text{m}$)であり、目標内空高を確保できなかった。これに対し、内空高をさらに増加させた場合に定着長を確保するため、下記の2案について検討した。

a) 第1案：土圧軽減案（ガラス発砲混合軽量盛土）

当案では、裏込め土の単位体積重量を小さくし、ボックスカルバート側方の土圧を軽減することで、側壁下部の曲げモーメントを小さくする。これにより、鉄筋が計算上不要となる位置を調整する。

しかし、単位体積重量の変化に対して、曲げモーメントの変化量が大きく、鉄筋が計算上不要となる点を当初位置に近づけるためには、単位体積重量を細かく調整する必要があった。施工時において、裏込め土の単位体積重量を厳密に調整することは難しく、施工誤差により定着長が不足する可能性があるため、不採用とした。

b) 第2案：薄層増厚案

当案では、施工済みの底版内面及び側壁外面を増厚し、内空断面の縦横比を変化させることで、鉄筋が計算上不要となる点の位置を変化させ、当初位置に近づくように調整する（図5-2参照）。

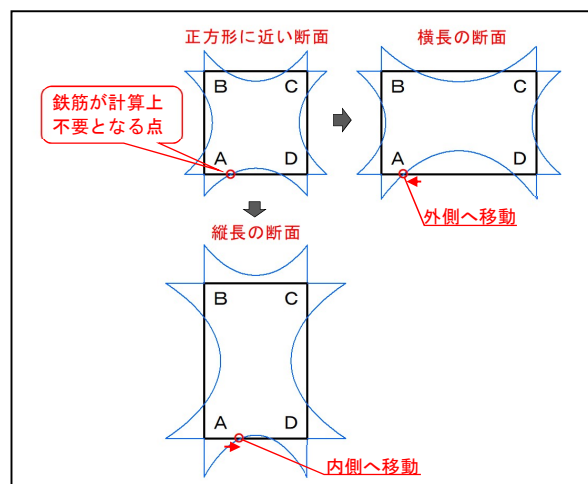


図5-2 縦横比と曲げモーメントの関係

上記の2案について検討した結果、第1案に比べ施

工性及び経済性に優れ、かつ、撤去・再構築案より安価な第2案を採用した（表5-1参照）。当初設計から変更した内空高を下图に示す。

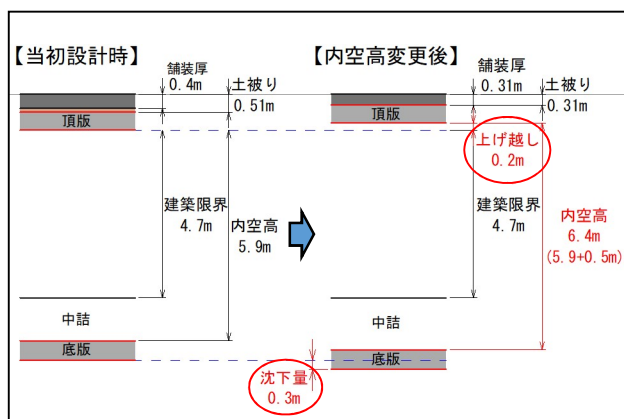


図5-3 内空高の変更

6. 薄層増厚工法の検討

内空高 $H=6.4m$ の必要増厚量は、右表のとおりである（表6-1）。橋梁等において、不足耐力を補うために実施される一般的な増厚工法では、最小厚が50mm程度以上であり、当該箇所には適用できない。そのため、当該箇所でも適用可能な薄層増厚の工法について検討した。

薄層増厚の場合、荷重作用や乾燥収縮等により、コンクリートのひび割れ発生が懸念される。そこで、ひび割れ防止のため、高強度及び高弾性を有するFRPグリッド（高強度炭素繊維）を使用することと

した。また、下地処理の上、打込み式コンクリートアンカーにてFRPグリッドを躯体に取付け（5本/ m^2 ）、施工済みの躯体との一体化を図った。FRPグリッド取付後、高強度ポリマーセメントモルタルを吹付け、部材を増厚する（FRP格子筋補強工法）。

表6-1 各ブロックの施工済み箇所の増厚量

	側壁(t1)	底版(t2)
ブロック①	40mm	40mm
ブロック②	30mm	30mm
ブロック③	30mm	30mm
ブロック④	30mm	30mm
ブロック⑤	30mm	30mm

7. まとめ

本設計では、鉄筋定着長の余裕を活用することで、施工済み躯体を用いて内空高を増加させる計画を立案した。

対応策は、施工済みの底版及び側壁を薄層増厚することとし、撤去・再構築した場合に比べ、安価な対策工とした。

また、将来における予想外の沈下に備え、上げ越し0.2mで対応することとし、柔軟な対応を可能とした。

表5-1 構造形式一覧表

	第 1 案：土圧軽減案 【ガラス発砲軽量混合土】	第 2 案：増厚案 【FRP格子筋補強工法】	参 考 案：撤去+再構築案	
断 面 図				
概要	・施工済み底版鉄筋の定着長を満足させるために、側壁土圧を低減させる案。 ・土圧を低減させるため、軽量盛土(ガラス発砲軽量混合土)にて埋戻しを行う。	・施工済み底版鉄筋の定着長を満足させるために、部材厚を増厚する案。 ・施工済みコンクリートとの一体化を図るため、下地処理を行い、ポリマーセメントモルタルで増し厚を行う。	・施工済みの底版部分を取壊し、新たに構築し直す案。	
構 造 性	・ガラス発砲軽量材の圧縮強さは130kN/m²程度あり、載荷重(112kN/m²)よりも大きく、構造的に問題はない。	・既設コンクリートとの一体化する構造であり、構造的に問題はない。 ・また、特殊ポリマーセメントの圧縮強度はσ_{ck}=30N/mm²以上であり、既設コンクリートと同等の強度を持つ。	・構築済み部分を取壊し、新規に構築する構造であり、構造的な問題はない。	
施 工 性	・発砲ガラス混合のための施工ヤードが必要であるがヤードは確保可能であり、施工性に問題はない。	・プレロード盛土脇(側壁)およびボックス内(底版)における増厚箇所の既設コンクリート表面へのチップング等が必要となる。	・プレロード盛土脇の施工済みの鉄筋コンクリートの取壊しが必要である。	
維持管理性	・今回のようなボックス埋戻し時の施工実績の有無は不明であるが、橋梁等の補強工事として施工実績のある工法であり、維持管理性に問題はない。	・薄層増厚によるひび割れを抑制する工法であり、維持管理性に問題となることはない。	・新規にコンクリート構造物を構築する構造であり、維持管理性に問題はない。	
概 算 直 接 工 事 費	1.0式当り			
	工 種	単位	数 量	単 価 (円) 金 額 (円)
	ガラス発砲軽量混合土	m ³	1384.0	20,000 27,680,000
	プラント運搬費	式	1.0	2,000,000 2,000,000
	プラント設置・撤去費	式	1.0	1,500,000 1,500,000
	試験費等	式	1.0	350,000 350,000
	直接工事費			31,530,000
	1.0式当り			
	工 種	単位	数 量	単 価 (円) 金 額 (円)
	ブラスト	m ²	131.0	6,300 825,300
FRPグリッド+ポリマーセメントモルタル	m ²	131.0	50,900 6,667,900	
	コンクリート取壊分	t	3.0	3,000 9,000
	コンクリート取壊搬	t	3.0	7,000 21,000
	直接工事費			7,523,200
	1.0式当り			
工 種	単位	数 量	単 価 (円) 金 額 (円)	
コンクリート取壊し	t	193.4	16,490 3,189,000	
コンクリート取壊分	t	193.4	3,000 580,000	
コンクリート取壊搬	t	193.4	7,000 1,354,000	
コンクリート打設	m ³	77.4	21,810 1,688,000	
コンクリート型枠	m ²	60.1	8,880 534,000	
鉄筋 D13	t	13.0	134,000 1,742,000	
鉄筋 D16~D29	t	7.0	409,000 2,863,000	
直接工事費			11,950,000	

採用案

豊川霞堤地区におけるCIMモデル等を活用した 事業進捗監理及び関係機関との合意形成について

かわいしんじ そら もとむらけいた はやかわ ほりえもえり
川合伸治¹・空かおり¹・○本村恵大¹・早川ゆかり¹・堀江萌里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2-14-19)

愛知県豊橋市・豊川市内を流れる豊川には、霞堤と呼ばれる無堤地区が4つ現存している。霞堤地区では、近年も浸水被害が多発しており、早急な浸水被害軽減対策が求められている。本業務では、長期に及ぶ霞堤事業について、地域住民や関係機関との円滑な合意形成や事業理解の促進に資するため、①CIMモデル、②4D（3次元+時間）施工シミュレーション、③AR/VRコンテンツ、④浸水アニメーションなどを作成した。また今後、作成したCIMモデル等の各コンテンツを3次元管内図に統合集約した、⑤豊川流域全体の事業進捗管理などを目指すための取組検討について、報告するものである。

Key Words : 霞堤, CIMモデル, 4D施工シミュレーション, 浸水アニメーション, AR, VR, 浸水低減効果, 合意形成, 関係機関協議, 3次元管内図

1. はじめに

豊川は、その源を愛知県北設楽郡設楽町の段戸山に発し、愛知県新城市長篠地先で宇連川と合流し、豊橋平野で宇利川、間川等の支川を合わせ、豊川市行明で豊川放水路を分派し、豊橋市内を流れ神田川、朝倉川等の支川を集めた後、三河湾に注ぐ幹川流路延長77km、流域面積724km²の一級河川である。¹⁾

江戸時代において、吉田城下町を洪水から守るため、「霞堤」と呼ばれる不連続な堤防が豊川の中下流部に設けられたと言われている。

治水対策として、豊川放水路の建設や下流狭窄部における改修工事が実施され、治水安全度は着実に向上した。その結果、昭和30年代に9か所あった霞堤の内、右岸側の5つが締め切られたものの、左岸側に4つの霞堤地区（金沢、賀茂、下条、牛川）が現存している。²⁾

現存する霞堤地区では、近年の洪水においても浸水被害が生じており、平成28年「豊川霞堤地区浸水被害軽減対策計画」の策定以降、浸水被害軽減を図るためのソフト対策・ハード対策が進められている。その内、ソフト対策は概ね完了し、小堤整備等のハード対策を順次進める予定となっている。

本稿では、地域住民や関係機関との円滑な合意形成や事業理解の促進に資するために作成した様々なコンテンツについて述べる。

2. BIM/CIMによる3Dモデルの作成

当該地域では、堤内地に農地や工場等の多数の民地利用が継続しており、他の施設管理者の支川や橋梁、民間通信業者の通信鉄塔等、民間施設が多数存在する（図-1）。事業を進める上で、これら複数の関係者との円滑な合意形成が必要であった。

これまでの地元住民に対する事業説明や、関係機関との協議では、2次元の設計図面が用いられていたことから難解な資料となり、関係者との速やかな合意形成の妨げとなっていた。そのため、地元住民や関係機関との円滑な合意形成が課題となっていた。

その解決策として、BIM/CIMを用いた3次元モデルを作成した（図-2）。また、護岸構造や樋管等の構造物を3次元化した統合モデルを作成し、ハード対策の可視化を行った。



図-1 霞堤内地の現況（下条霞堤地区）



図-2 各霞堤地区の小堤等のCIMモデル作成
(左上:金沢, 右上:賀茂, 左下:下条, 右上:牛川地区)

3. 施工イメージの可視化

(1) 4D (3次元+時間) 施工シミュレーション

各霞堤地区での小堤等のハード整備は、上流で建設中の「設楽ダムの試験湛水開始時期（令和14年度を想定）」までに「全霞堤地区で同時に締め切る」ことを目標としている。

各霞堤地区の施工期間が長期に及ぶため、地元住民等の事業理解を得るには、どのようなステップで各霞堤地区の事業が進んでいくのか、視覚的に分かり易く表現する必要があった。

そこで、前項で作成した3次元CIMモデルに事業工程（時間軸）を加えた、4D (3次元+時間) モデルを作成した（図-3）。各CIMモデル（3次元）と事業工程（時間軸）が連動し、事業工程に応じてCIMモデルが変化（施工が進む）するよう作成した。

これにより、各施工段階や完成までの一連の流れを分かり易く可視化することが出来た。

(2) 資機材の運搬を考慮した4Dシミュレーション

小堤や樋管の整備は、長期間で段階的に整備していくことが予定されている。そのため、各施工段階で必要となる工事用道路やダンプの走行ルート、資材運搬に要する時間や荷下ろし場等を視覚的に表現することで、今後の施工に当たり必要となる関係機関や協議事項を明らかにする必要があった。

そこで、(1)で作成した4D (3次元+時間) モデルを活用し、工事用道路やダンプ走行ルート、荷下ろし場を併せて可視化し、資機材等の運搬を考慮した4D施工シミュレーションを作成した（図-4）。

これにより、各施工段階における施工イメージが視覚的に分かり易くなり、各段階で必要な関係機関協議事項（道路管理者との協議や工事用道路に必要な借地等）を明らかにすることができた。

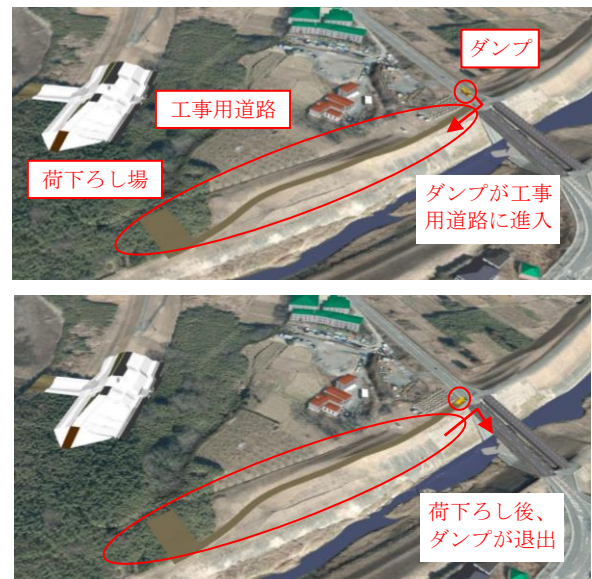


図-4 資材の運搬を考慮した4Dシミュレーション

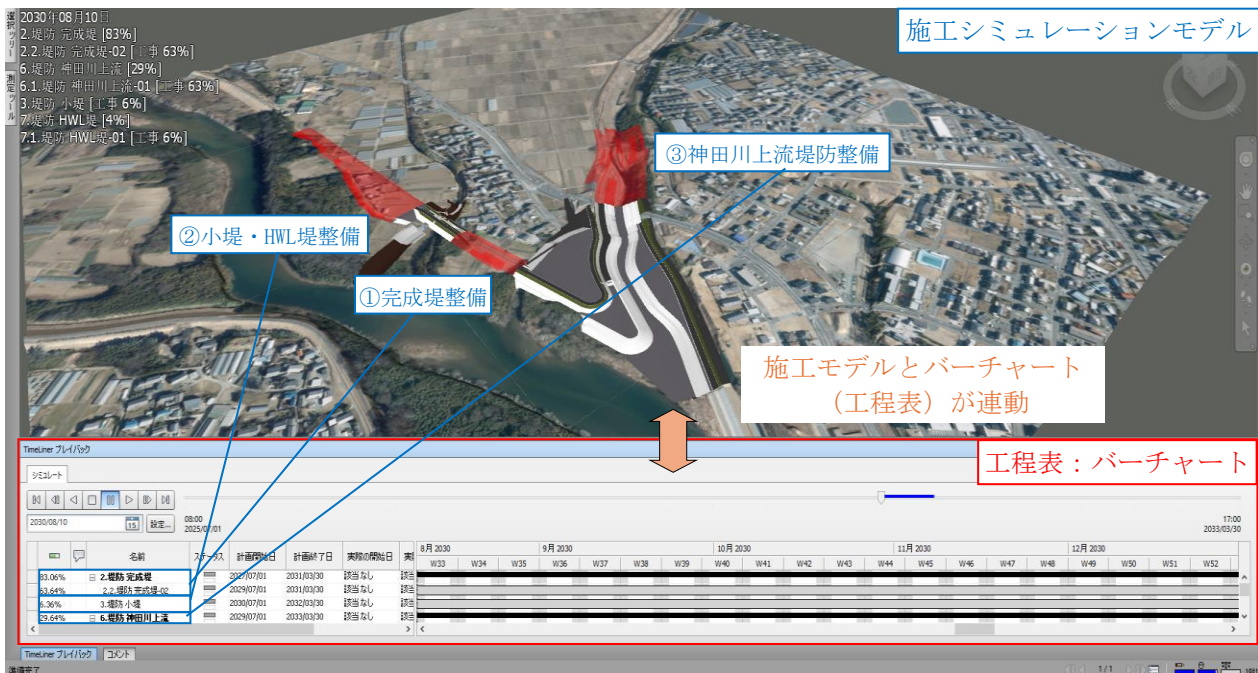


図-3 4D (3次元+時間) シミュレーションモデル

4. AR/VRコンテンツの作成

(1) ARコンテンツの作成

前述で作成したコンテンツに加え、地元住民等の事業理解を促進するため、ARコンテンツを作成した。

ARとは、Augmented Reality（アグメンティッド・リアリティ）の略で、現実世界にバーチャルな視覚情報を加えて現実環境を拡張する技術を指す。

以下に示すように様々な種類が存在し、それぞれコンテンツを表示するためのトリガーが異なる。

- ・マーカー型（特定の写真や画像がトリガー）
- ・GPS型（付近に設置されたコンテンツを位置情報から取得することがトリガー）
- ・平面認識型（スマホ画面等のタップがトリガー）
- ・物体認識型（特定の立体物の認識がトリガー）

事業理解の促進が目的であるため、現場の完成イメージを視覚的に分かり易く伝えることができる、「GPS型」ARコンテンツを作成した（図-5）。

これにより、現場見学会等を兼ねた事業説明の際など、現場で事業完成イメージが視覚化されることで、事業イメージを分かり易く伝えることが出来る。

一方、「GPS型」は位置情報に大きく依存するため、現況から大きな地形改変が行われる霞堤地区では、現況地形とARコンテンツの整合が取れず、事業イメージが伝わりにくい場合もあることが分かった。



図-5 ARコンテンツ（賀茂霞堤地区）

※上：川表から見た様子、下：橋梁から見た様子

(2) VRコンテンツの作成

事業説明に際しては、スクリーンに表示した3次元モデルに加え、VRを併用した3次元モデルの可視化が効果的である、と考えた。

そこで、ARと同様、地元住民の事業理解を促進するため、前述で作成したCIMモデルを活用し、1人称視点で完成後の小堤等の疑似体験ができる、VRコンテンツを作成した（図-6）。

VRとは、Virtual Reality（バーチャル・リアリティ）の略で、「人工現実感」や「仮想現実」などと訳され、VRによって「限りなく実体験に近い体験が得られる」という意味を指す。

これにより、完成後の小堤等を視覚的だけではなく疑似体験することが可能になり、より地元住民の事業理解を促進することが可能になると考えられる。



図-6 VRコンテンツ（上：牛川、下：賀茂霞堤地区）

5. 浸水低減効果の可視化

(1) 浸水アニメーションの作成

各霞堤地区のハード対策は、小堤や樋管の設置を基本に、霞堤内地の浸水頻度を軽減するものである。

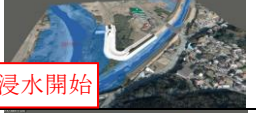
小堤の計画高は、豊川霞堤地区浸水被害軽減対策計画（H28）において、「石田水位観測所の水位において平成第一位を記録し、霞堤地区に多大な被害をもたらした平成23年9月洪水が再来しても、河川整備計画完了時には外水氾濫しない高さ」として設定するとされている。

しかし、この小堤による浸水低減効果が視覚的にイメージしづらく、地元住民をはじめとした関係者の事業理解が進まない要因の一つとなっていた。

また、霞堤内地側では、内水氾濫も想定されるため、浸水範囲等をまずは可視化する必要があった。

そこで、石田水位観測所で戦後最大を記録した昭和44年8月洪水を対象に、小堤の整備前と整備後の浸水範囲や、整備後の出水状況及び浸水想定を視覚的に表示した、内水氾濫を加味した浸水アニメーション（動画）を作成した（表-1）。

表-1 浸水アニメーションの作成（賀茂地区）

時刻	事業前（現況） ※無堤区間	事業後（完成後） ※小堤あり
浸水前		
浸水開始 約1時間		
浸水開始 約6時間		
浸水開始 約10時間		
浸水開始 約12時間		

(2) VR浸水アニメーションの作成

(1)で作成した浸水アニメーションについて、堤内地の視覚的な浸水低減効果は把握できる。しかし、そもそも内水氾濫も加味したコンテンツであるため、小堤による浸水低減効果（外水氾濫のみに対する効果）は把握しづらいという欠点がある。

そこで、外水氾濫のみを対象に、小堤による浸水低減効果をより分かり易く見える化するため、前項で作成したVRコンテンツを活用し、小堤による浸水低減効果を1人称視点で疑似体験できるVR浸水アニメーションを作成した（図-7～9）。



図-7 金沢霞堤地区VRアニメーション（浸水前）



図-8 金沢霞堤地区VRアニメーション（越流前）

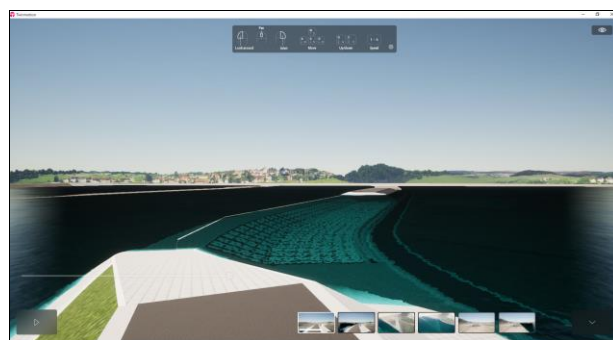


図-9 金沢霞堤地区VRアニメーション（越流開始）

6. 今後の展望

(1) 各コンテンツを活用した事業説明

本業務で作成したCIMモデルや4D（3次元+時間）施工シミュレーションを、地元住民を対象とした事業説明会で活用することで、地元住民の事業理解を促進することが出来た。他のコンテンツについても、今後活用したいと考えている。

(2) 3D管内図を活用した事業進捗管理

各霞堤地区では、上流で建設中の設楽ダム試験湛水開始時期（令和14年度を想定）までに「全霞堤地区で同時に締め切る」ことを目標としており、霞堤地区全体の長期的な事業管理が今後求められる。

今回作成した各コンテンツを、3次元管内図に統合集約し、各霞堤地区を含めた流域全体の事業進捗管理の高度化を、今後取り組むことを想定している。

(3) 5D（3次元+時間+事業費）による事業管理

本業務では実施しなかったが、事業費を属性として前述の4Dモデルに付与し、5D（3次元+時間+費用）モデルを作成することを想定している。

これにより、施工進捗に応じた工事業費を本モデルに付与することで、過去の事業費や今後必要となる事業費などを確認することができ、河川管理者の事業管理ツールとしても役立つことが期待できる。

(4) 情報共有システムの活用

発注者側が所有している多くのPCは、BIM/CIMモデル等を閲覧できるソフトウェアが無く、作成した多くのコンテンツの閲覧・編集が出来ない。

そのため、3次元モデル等のデータを保管・活用できる「DXデータセンター（国土技術政策総合研究所）」を活用することで、作成した各コンテンツを発注者側で自由に閲覧し、様々な機会に活用することが可能になる。また、受発注者間の情報共有など、業務遂行の様々な場面で効率化が出来ると思う。

参考文献

- 1) 豊川霞堤地区浸水被害軽減対策協議会：「豊川霞堤地区浸水被害軽減対策計画」，H28
- 2) 国土交通省 中部地方整備局 豊橋河川事務所：豊川の霞堤，H25修正

流域治水における整備目標共有のための、 地区一帯BIM/CIMモデル作成

よこやまあや か やまだしゅう じ なかやまた か し すえながまさよし
○横山綾華¹・山田 周 治²・中山貴士¹・末永匡美¹

¹日本工営都市空間（株）本社（〒461-0005 愛知県名古屋市東区東桜二丁目17番14号）

²日本工営都市空間（株）大阪支店（〒541-0041 大阪府大阪市中央区北浜二丁目6番26号）

近年の気候変動によって全国的に水災害が激甚化・頻発化している中、本稿の対象地区では、既設堤防高不足、支川合流部の開口が要因となり、堤内地の浸水被害が頻発化していた。そのため、対象地区では堤防整備と圃場の盤上げ整備により地区一帯の浸水被害を防止する『流域治水プロジェクト』が計画された。本業務では、上記プロジェクトに基づき、堤防護岸を設計施工した。設計にあたり、堤防整備と同時並行で進められていた背後地の圃場整備計画の関係者との早期合意が求められていたため、地区一帯を表現したBIM/CIMモデルを作成することにより、関係者間で完成イメージを共有し、設計方針の早期合意を図り、円滑な事業推進に貢献した。

Key Words：流域治水プロジェクト、堤防護岸、BIM/CIMモデル

1. はじめに

近年の地球温暖化の影響で気候変動が生じており、降雨量の増大と、それに伴う洪水ピーク流量の増加による、水害の激甚化・頻発化が懸念されている。

本業務における検討対象地区においても例外ではなく、越水や開口部からの逆流による堤内地側の浸水被害発生頻度が高くなっていた。被害防止のため河川改修が求められていたが、開口部の閉塞は、越水時の滞留時間の増加等堤内地への影響が大きいいため、堤防高を確保しつつ、開口部存置への対応が必要であった。そこで本地区では浸水被害軽減のため、河川管理者、自治体、地域住民が協力し、河川改修と圃場整備による治水対策『流域治水プロジェクト』が計画された。事業の実施にあたっては、河川管理者及び地元自治体等との調整が必要であった。

本設計では、『流域治水プロジェクト』の内、H. W. L. まで嵩上げする堤防護岸の詳細設計および必要箇所の低水部の設計を実施した。（図-1）

本稿では、堤防護岸の詳細設計において、堤内地の圃場整備計画も含めた堤内外を一体化した堤防整備のBIM/CIMモデルを作成し、関係機関との情報共有・調整等への活用した事例について報告する。

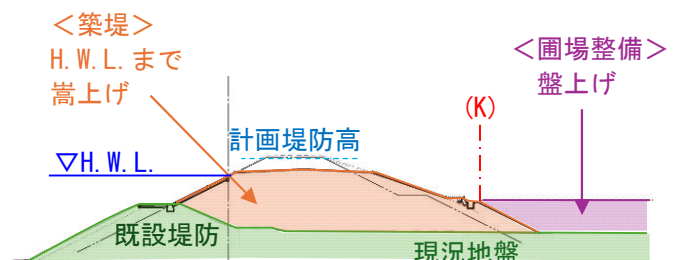


図-1 標準断面図

2. 対象地の状況

(1) 現地状況

堤内地は圃場が広がっており、道路を挟んで集落が形成されている。

既設堤防は、H. W. L. 未満で整備されており、洪水時には越水し被害が発生しやすい場所となっていた。さらに、対象地区内には開口部が3ヶ所あり、下流端の農業用排水路合流部は、不連続な堤防となっており、一定水位以上の洪水が発生すると、堤内地側に逆流する状況となっていた。

また、本業務の対象地区は、河道の外湾曲部であるため水衝部であり、水位上昇による、越水が発生しやすいうえ、流速が速くなることから、洪水時に河床洗掘が起きやすい場所であるため、地形的に水

害リスクの高い箇所である。（図-2）

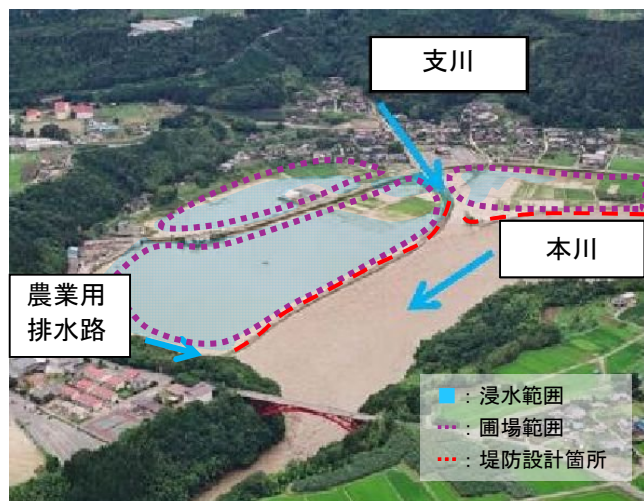


図-2 現地状況(浸水時の様子)

(2) 流域治水プロジェクト

対象地区の浸水被害を軽減するため、本地区を対象とした『流域治水プロジェクト』事業が進められていた。

プロジェクトの整備メニューは、ハード対策として、①H.W.L.まで嵩上げする堤防整備、②近傍建設工事の発生土と近傍のダムの堆積土を活用した、背後地の農地の嵩上げをする圃場整備、ソフト対策として、③家屋高台移転である。①と②の計画は同時並行で検討が進められている。

3. 現地状況と流域治水プロジェクトを踏まえた設計上の課題

対象地域における『流域治水プロジェクト』では、本川・支川の管理者や圃場管理者、営農者等、多岐にわたる関係者により構成されている。円滑な事業進行のためには上記の様々な関係者と設計方針について調整する必要があり、そのためには、関係者全員が堤防整備後と圃場整備後の完成イメージを相違なく確実に共有することが重要である。

また、堤防護岸の詳細設計と、背後地の圃場計画が同時進行で進められているため、比較検討段階で堤防護岸設計における圃場整備への影響を確認し、圃場整備側の変更にも随時対応していく必要がある。

よって、『流域治水プロジェクト』の円滑な推進のため、①完成イメージを確実に共有し、設計方針について調整すること、②圃場整備への影響を確認しつつ、圃場整備の変更にも柔軟に対応していくことが必要であった。

4. バーチャル現地踏査を活用した現地状況の把握

本業務では、全天球カメラ画像を連結した疑似的な3次元空間を作成し、机上で現地状況の確認が可能なバーチャル現地踏査データを作成した。（図-3）

バーチャル現地踏査では、画面内で自由に視界を動かし、移動することが可能である。設計範囲全体に対する確認したい対象の位置関係の把握や、写真では伝わりにくい高低差を視覚的に確認することができる。

また、現地踏査時には注意していなかった箇所についても、作成したバーチャル現地踏査データで現地状況を確認することが可能である。打合せ時には、バーチャル現地踏査データを活用し、常に現地状況を確認しながら検討を進めた。

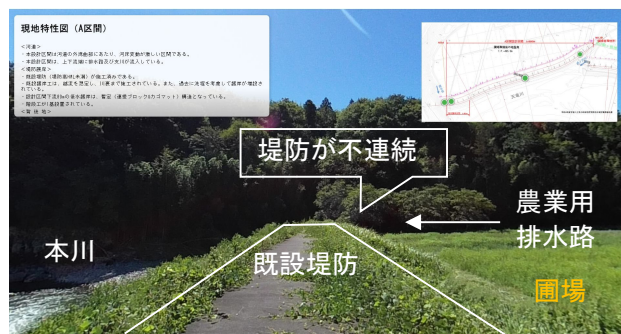


図-3 バーチャル現地踏査
(上図：操作イメージ、下図：下流端の現地状況)

5. 設計方針

前項の課題を解決するため、完成イメージを直観的に把握しやすく、設計の変更点に対し随時修正が可能で、早期に修正モデルを関係者に共有することができるBIM/CIMモデルをベースとして検討を行うこととした。（図-4）

①の課題に対しては、関係者と完成イメージを相違なく共有し設計方針について合意を得るため、堤防整備後だけでなく、圃場整備後のイメージをBIM/CIMモデルで表現し、『流域治水プロジェクト』の整備メニューとして挙げられている範囲全てを含んだ、地区一帯を表現した統合モデルとした。

また、整備前である現況モデルと、整備後を表現した完成イメージモデルを作成し、モデル内には国道や支川の位置と名称を示し、各構造物の配色を工夫することで、それぞれの位置関係を把握しやすくする。

②の課題に対しては、圃場整備への影響を確認しつつ圃場整備の変更に随時対応していくにあたっては、比較検討段階からBIM/CIMモデルを作成し、関係者に共有する。さらに、圃場設計にて変更があった場合には、随時モデルを修正する。

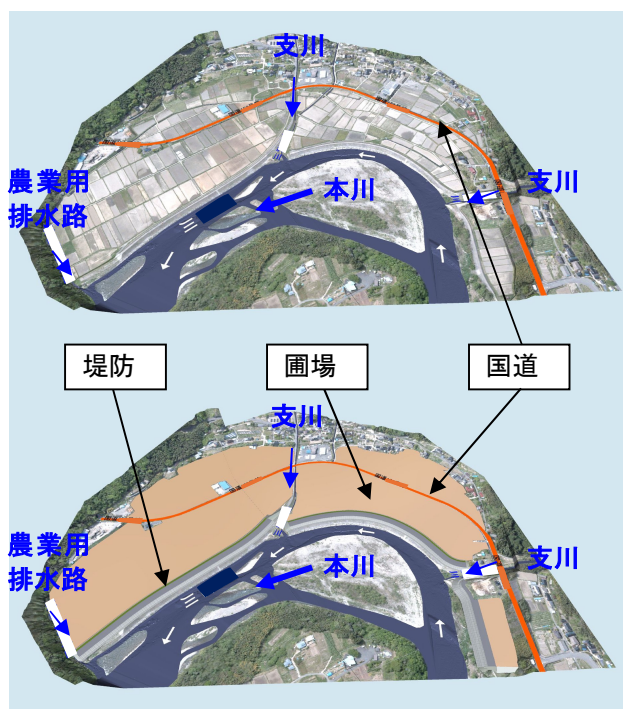


図-4 作成したBIM/CIMモデル
(上：現況モデル，下：完成イメージモデル)

6. モデル作成の効果

(1) 課題に対する効果

a) 全体イメージの把握

モデルの作成範囲を地区一帯とし、設計対象である堤防だけでなく、背後地の圃場計画についてもモデル化したことより、『流域治水プロジェクト』の完成イメージを直観的に把握することが可能である。

b) 整備後の堤防と背後地の高低差の確認

圃場整備計画の計画地盤高を確認し、モデル化しているため、完了イメージモデルで整備後の堤防と整備後の堤内地側の地盤高を、専門知識がない人でも直観的に理解することが可能である。(図-5)

c) 用地境界の確認

本設計において、整備予定の圃場端部が河川側との用地境界となる。圃場整備範囲は圃場計画図面を確認しモデル化しているため、用地境界位置の確認が可能である。よって、堤防護岸設計と、圃場整備

範囲の重なりの有無や、不明な空地の有無等について確認することが可能である。(図-5)

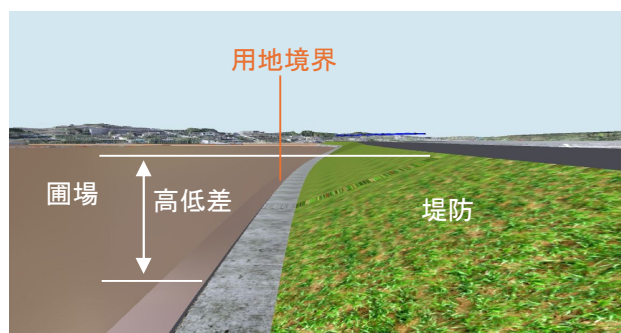


図-5 堤防の堤内地側のモデル

d) 整備前と整備後の堤防の高低差の確認

本設計では、現況堤防を活用し、H.W.L. 堤を築堤する設計をした。整備前の現況モデルと整備後のイメージモデルを作成することで、現況堤防と築堤の位置関係や高低差を視覚的に確認することが可能である。(図-6)

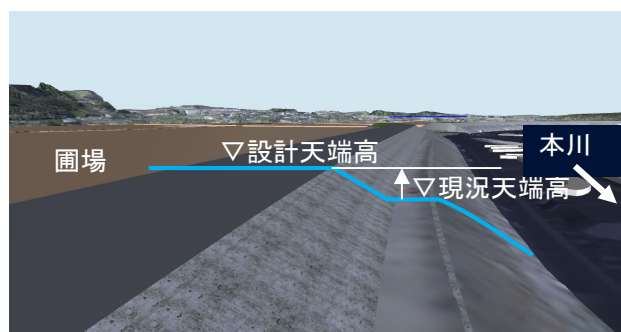
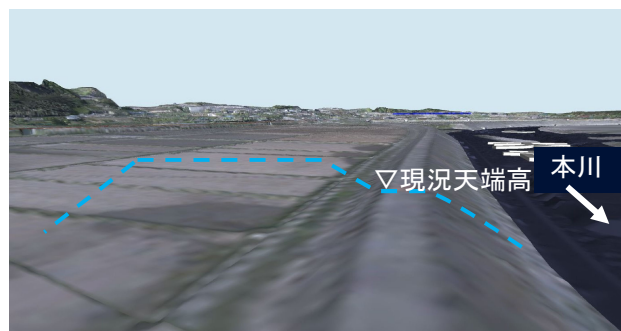


図-6 整備前後の堤防形状の比較
(上：現況モデル，下：完成イメージモデル)

e) 下流端の端部処理の概略比較検討

対象地区に流入している支川のうち最下流端の農業用排水路合流部は、堤防が不連続となっている。

過年度検討結果より、本対象地区は、H.W.L.の築堤および圃場側の盤上げを実施することで、整備計画流量および基本方針流量流下時の浸水が概ね解消することが確認できていた。しかし、下流端の一部は浸水する結果になっていたため、将来的には浸水対策が必要である。

本対象地区下流端の支川合流部について、将来的な手戻りを少なくするため、治水性、施工性、維持

管理，経済性の観点から下流端の形状を検討する排水工法の概略比較検討を実施した。

検討の結果，開口部を維持した形状とした場合，現況の農業用排水路の水路幅が狭いため，根固め工が山付きまで影響することが確認された。

一方，下流側の山付きに影響しない位置を堤防の下流端とした場合，合流部の開口幅が現況より大きくなり，治水安全性が低下する可能性が確認された。

また，どちらの場合においても，下流端処理が圃場計画範囲まで影響することを確認した。

よって，堤防は山付きまで延伸し，暗渠工を設置する案を提案した。（図-7）

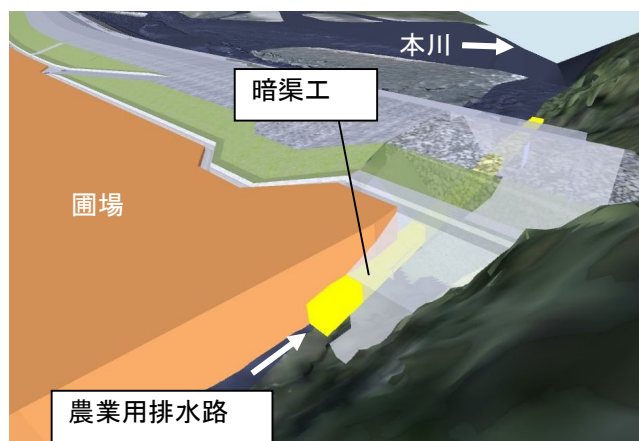


図-7 下流端の支川処理

f) 『堤防整備・基盤整備 合同着手式』での活用

同地区では，『流域治水プロジェクト』の一環である堤防整備・基盤整備を同時に整備開始することから，『堤防整備・基盤整備 合同着手式』が開催された。合同着手式で活用された式典用パンフレットでは，作成したモデルの静止画が活用された。

また，式典の中で発注者がモデルを簡単に操作できるように，アプリのダウンロードが不要なウェブ上のビューワでデータを提供した。提供データは，整備前後の切り替えや，各構造物の表示有無が切り替え可能なモデルとして取りまとめた。

(2) 比較検討段階でモデルを作成したことによる効果

対象地区の現況地盤高はH.W.L.未満であるため，築堤区間として検討が進められていた。しかし，対象地区のうち一部区間については，圃場整備では地盤高をH.W.L.で整備する計画となっていた。

本業務にて設計していた堤防はH.W.L.堤であるため，将来的には計画堤防高まで堤防を整備することを見越し，手戻りが最小限となる堤防天端幅を確保していた。ここで，掘込河道とすることができれば，堤防天端幅は将来を見越した幅ではなく，完成済みの堤防としての最低限の天端幅とすることができ，堤防天端幅を狭くした分圃場整備範囲を広げることが可能である。

上記について協議の結果，圃場範囲を拡大することができる，掘込河道として堤防天端幅を修正した。（図-8）

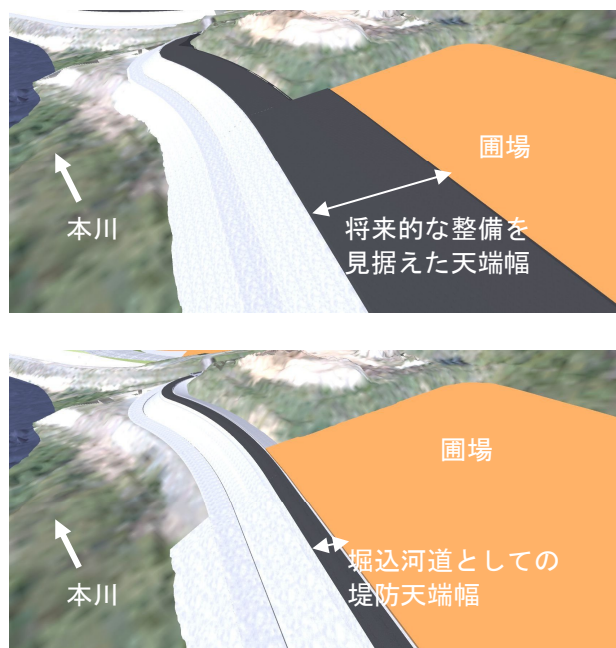


図-8 堤防天端幅の変更

（上：協議時のモデル，下：修正後のモデル）

7. おわりに

本業務では，流域治水プロジェクトの対象範囲を，モデルの作成範囲として地区一帯を表現したことで，整備後のイメージが容易となり，本プロジェクトの様々な関係者との調整に活用することができた。

流域治水の検討を進める際は，対象となる範囲が広域となるため，従来の二次元の図面では迅速にイメージ化することは難しい。一方で，BIM/CIMモデルは広域をモデル化することができるため，流域治水とBIM/CIMモデルの親和性は高いと考えられる。

また，築堤護岸設計の比較検討段階からBIM/CIMモデルを作成したことで，モデルを確認しながら設計内容の協議を進めることが可能となり，直観的に理解することが出来ることから，円滑に業務を進めることができた。

今後の展望として，設計した3次元モデルとバーチャル現地踏査データの融合が挙げられる。本業務では，現地状況を模したバーチャル現地踏査データと，整備後の完成イメージを表現したBIM/CIMモデルを作成した。今後は，設計した3次元モデルをバーチャル現地踏査内に表現し，整備後を模した3次元モデル空間内を作成することで，より直観的に整備後をイメージすることが可能となる。

謝辞：本業務の検討および，本論文の作成にあたりご指導，ご協力いただいた関係者の皆様方に感謝の意を表します。

ドローンを用いた植栽の健全度調査

○陸浦昂起¹・ 則竹 登志恵¹・ 浜出 智¹・ 田中 太¹・ 黒岩 剛史¹

¹日本工営都市空間（株）（〒461-0005 愛知県名古屋市中区東桜二丁目17番14号 新栄町ビル）

河川公園内の樹木は、利用者の安全確保や洪水による流木被害軽減のため、定期的に健全度を把握する必要がある。しかし、広範な樹林地と危険な場所が多いため、容易には実施できない状況にある。本調査では、ドローンに搭載したマルチバンドカメラを用いて、近赤外領域（NIR）等を計測し、植生指標（NDVI, NDRE）を解析して樹木の健全度を評価した。調査の結果、樹木医の樹勢診断結果とNDVIによるドローンによる診断結果に一定の相関性が示唆された。今後、経年変化の解析により診断精度の向上が期待され、従来調査の補助として位置づけることで、危険木への早期対応や追加点検の必要性判断につなげていくことが見込まれる。

Key Words : ドローン, 街路樹調査, 植生指標, NDVI, NDRE, マルチバンドカメラ, 河川公園

1. 実施背景・目的

河川公園内の樹木は、利用者の安全確保に加え、洪水の影響による流木被害を軽減するため、定期的に樹木の健全度を把握し、管理内容に適切に反映することが求められる。しかし、河川公園にある樹林地は、樹林地面積が広く、危険な場所も多いため、容易には実施できない状況にある。

全国の公園での運営維持管理におけるDX（デジタルトランスフォーメーション）の導入によるサービス向上、業務効率化を推進される中、定期点検などの植栽健全度調査についても、新技術を用いて、樹木の点検・診断に係る業務の省力化、効率化に効果的な手法の確立が求められている。

本調査は、人手や専門知識が必要な現地調査の機械化、無人化とデータ分析の自動化により、植栽管理手法の質の維持・向上、統一化を図るものである。

2. 調査方針

本調査では、ドローンに搭載したマルチバンドカメラを用いて、河川公園内の樹林地を上空から近赤外領域（NIR）等を計測し、植生指標（NDVI, NDRE）の算出・解析により樹木の健全度評価を行った。

本調査の実施フローは、図 1 に示すとおりである。

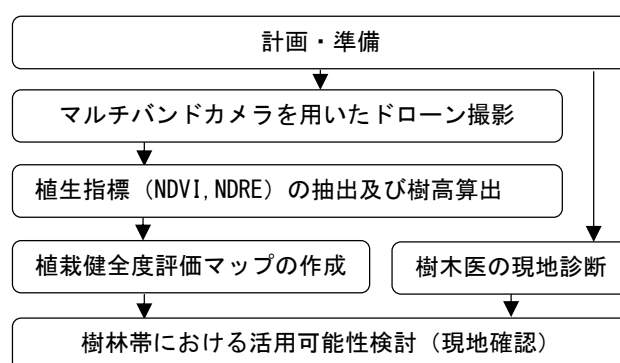


図 1 実施フロー



図 2 調査対象地

3. 調査対象地

本調査の対象地は、愛知県稲沢市に位置する国営木曽三川公園 ワイルドネイチャープラザ内にある樹林帯である。

対象とする樹林帯は、木曽川に隣接する河辺林の自然植生(約 6.0ha)であり、エノキ、ムクノキ及びオニグルミが混生する樹林帯である。

4. 植生指標の解説

(1) NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)

健全な葉にあるクロロフィル(葉緑素)が持つ「赤色の光を吸収する」という特性を活用した指標で、ドローンより計測した、葉から反射する近赤外線(NIR)及び赤波長光(R)より算出する。

$$NDVI = (NIR - R) / (NIR + R) \quad (0.0 \sim 1.0)$$

NDVI 値は、赤波長光(R)が小さい程1.0に近似し、一般的に0.7~1.0が健全な葉を示すと言われている。

また、NDVIは、クロロフィル含有量が少ない植生(植生の初期段階、枯れ木等)において大きく変動し、クロロフィル含有量が一定以上の植生(健全な樹林帯)において変動が小さい特徴を持つ(図5)。

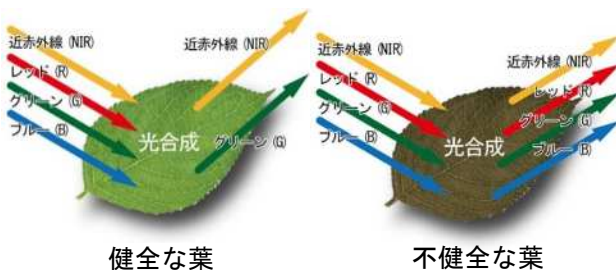


図3 健全な葉と不健全な葉の特徴

(2) NDRE (Normalized Difference Red Edge index)

NDVIの赤波長光(R)を赤色エッジバンド(RE:赤波長光と近赤外線波長光の推移帯)に変更した指標である。

$$NDRE = (NIR - RE) / (NIR + RE) \quad (0.0 \sim 0.5)$$

NDVIの欠点であったクロロフィル含有量が一定以上の植生においても値が変動する特徴を持つ。

NDREは、植生の後期において、植物の病気や栄養ストレスの早期発見に適している指標とされる。ただし、赤色エッジバンドは、樹種や日当たり(樹高)、撮影機器により変動が激しい波長であるため、NDREの使用は単一的な環境(田畑、人工林等)が望ましいとされる。

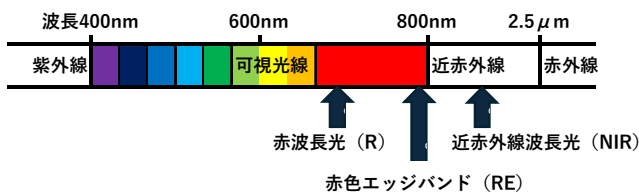


図4 赤色エッジバンドの位置

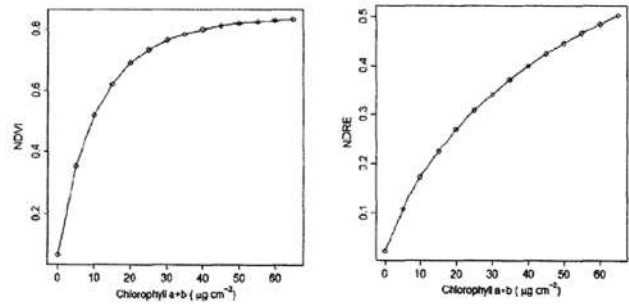


図5 NDVI(左)NDRE(右)とクロロフィル含有量の関係¹⁾
(縦軸が植生指標値、横軸がクロロフィル含有量を示す)

5. 解析方法

本調査では、解析範囲である樹林帯をメッシュに分割し、各メッシュで算出した植生指標の平均値を健全度として取り扱うことにした。

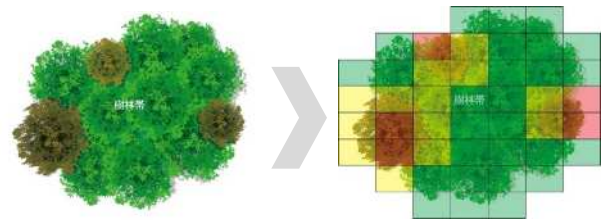


図6 樹林帯の解析方法(例)

メッシュの大きさや解析範囲(樹林帯)の抽出方法、不健全木判断のための植生指標の閾値は、撮影条件及び調査地の環境特性を踏まえて、表1に示す解析方法とした。

表1 解析方法

項目	検討結果	採用理由
メッシュの大きさ	0.25m	散策路沿いの植栽健全度をより正確に解析するため
解析範囲	平均樹高が3m以上の範囲	健全度調査対象を3m以上の高木に設定したため
植生指標の閾値	$\bar{x} - 1.5s$ 以下 ($\bar{x}$: 平均値 s : 標準偏差)	健全な樹林帯における不健全木(異常値)の抽出を目的とするため

6. 有効性検証方法

ドローンによる植栽健全度調査結果(以下、ドローン結果という。)の有効性検証は、公園内の樹木を無作為にサンプリングし、樹木医により樹勢を図7に示す4段階で評価した結果(以下、診断結果という。)と比較することで行った。

ドローン結果と診断結果の比較は、樹木医が診断した樹木の半径5m以内(本調査地のおおよそ樹木の枝張り)における診断の一致率から推定する。

また、ドローン結果と診断結果が不一致の場合については、再度現地確認を行い、その原因を考察した



図 7 樹木医による樹勢の4段階評価²⁾

7. 調査・解析結果

NDVI 及び NDRE のドローン結果は、図 8 及び図 9 に示すとおりである。

ドローン結果は、NDVI は健全な樹林帯（緑色の箇所）と不健全な樹林帯（赤色の箇所）が明確に分かれたのに対して、NDRE は全体的にまばらな結果となった。

8. 評価結果

診断結果とドローン結果の一致率は表 2、診断結果と NDVI 及び NDRE のドローン結果は図 10 及び図 11 に示すとおりである。

評価の結果、診断結果と NDVI のドローン結果は、樹勢が「良い」と「悪い」の一致率が約 87%となり、精度は高いことが分かった。ただし、「少し悪い」や「枯死木」については、精度が低くなった（表 2）。

一方で、NDRE のドローン結果は、全体的に一致率が低く、平均一致率は 55.2%であった。これは、赤色エッジバンドが樹高や植生によって大きく変動したためと考えられる。

表 2 ドローン結果と診断結果の健全度一致率

	1(良い)		2(少し悪い)		3(悪い)		4(枯死)		平均
	本数	一致率	本数	一致率	本数	一致率	本数	一致率	
診断結果	30本	—	14本	—	16本	—	7本	—	—
ドローン結果	NDVI	26本 86.7%	9本 64.3%	14本 87.5%	4本 57.1%	79.1%			
	NDRE	19本 63.3%	6本 42.9%	11本 68.8%	1本 14.3%	55.2%			

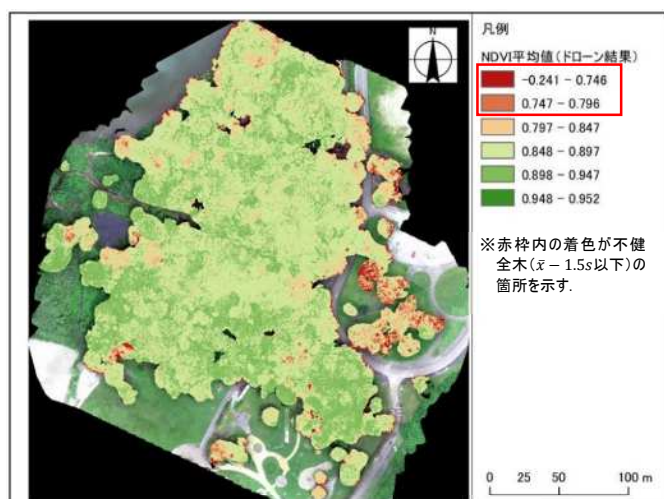


図 8 NDVI のドローン結果 ($\bar{x} = 0.872, s = 0.0503$)

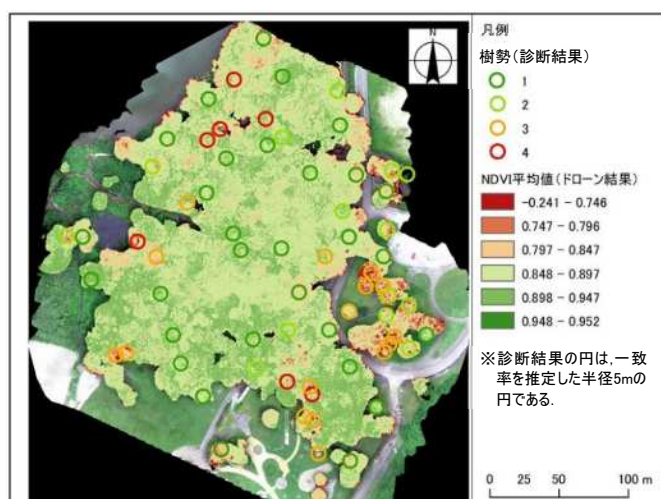


図 10 診断結果及び NDVI のドローン結果

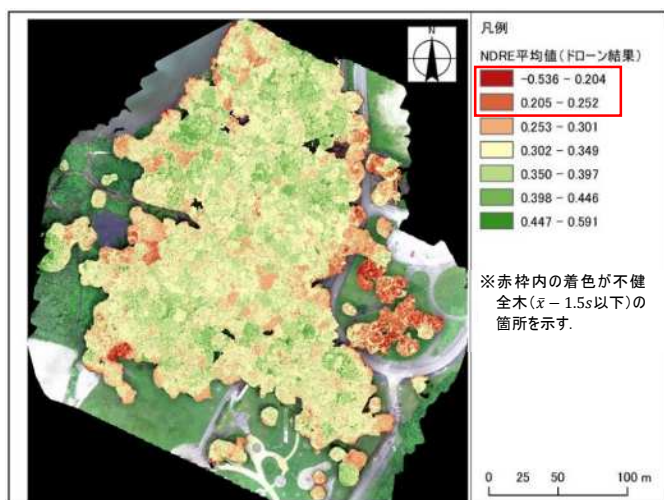


図 9 NDRE のドローン結果 ($\bar{x} = 0.325, s = 0.0485$)

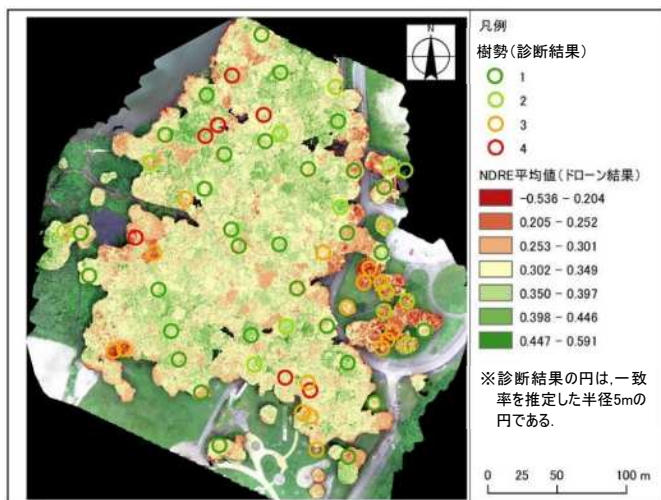


図 11 診断結果及び NDRE のドローン結果

続いて、ドローン結果と診断結果が不一致の場所について現地確認を行った。現地確認の結果、不一致の理由については、下記の 3 パターンが主な要因であることが分かった。

パターン①: 周辺樹木の被覆による場合

- ・ 周辺樹木に被覆した不健全木や枯死木はドローンにより健全木と診断されることがあった。
- ・ 特に枯死木は、周辺樹木に光が差し込むことで成長が促進され、上空からの確認が阻害される場合が多かった。

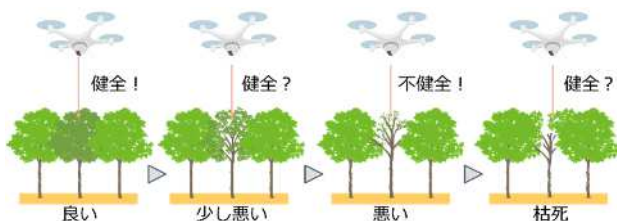


図 12 パターン①周辺樹木の被覆したイメージ

パターン②: 枝下の環境が異なる場合

- ・ 健全木であっても枝下が非植生（コンクリートや河川等）もしくは低木が少ない場所は、不健全木と診断されることがあった。
- ・ 本調査の不健全木の解析は、平均値と標準偏差を活用した異常値による抽出方法を採用しているため、周辺環境と異なった場所は、不健全木として抽出されやすい。

パターン③: 樹種が周辺植生と異なる場合

- ・ 周辺の植生と違った樹種は、不健全木と診断されることがあった。
- ・ 本調査では、シダレヤナギが不健全木と診断されていた。
- ・ シダレヤナギは、葉の色が白っぽく、風の影響も受けやすいため、波長光が大きく変化したものと考えられる。



図 13 パターン②(左)、③(右)環境が周辺と異なるイメージ

9. その他検討

(1) 季節別の評価

調査時期によって健全度評価結果に違いが生じるか検討するため、8月に実施した本調査に対して、同じ調査範囲で落葉期である 11 月に健全度調査を実施した

検証方法は、調査方法及び環境（時間帯、天候）は、可能な限り同じ条件とし、8月の健全度評価結

果と比較を行った。

検討の結果、紅葉や落葉によって NDVI 値及び NDRE 値が全体的に低くなり、診断結果との一致率は大きく低下した。

したがって、落葉樹林においては、紅葉・落葉時期のドローンによる調査を避けることに留意する必要がある。

(2) 他公園の調査結果を活用した有効性検証

解析手法の有効性を検証するため、令和 3 年度にドローンによる撮影実績のある国営木曽三川公園 カルチャービレッジのデータを活用して、同様の手法で解析を実施した。

解析した植生指標と過年度現地調査結果を比較した結果、診断結果と NDVI のドローン結果は一致率が高かった他、本検証により新たな課題が下記の 2 点確認された。

- ・ 樹林帯全体の樹勢が悪い場合は、不健全木があっても異常値として抽出されないことがある。
- ・ 低木かつ枝張りが不明瞭なものは、解析範囲（樹林帯）として抽出されないことがある。

10. 今後の活用可能性検討

国営公園をはじめとした、都市公園は、樹林面積が広く、樹林地の点検・診断には多大な労力が必要であり、容易には実施できない状況にある。ドローンを用いた植栽健全度評価の今後の活用性として下記の点が挙げられる。

- ・ 周辺樹木に被覆する場合や環境条件による調査結果の誤差は、年に 1 回の頻度で調査し、経年変化を解析することで、樹勢の診断を行う。
- ・ 従来までの調査の補助調査として位置づけることで、危険木への早期対応や追加点検の必要性判断につなげていくことが期待できる。

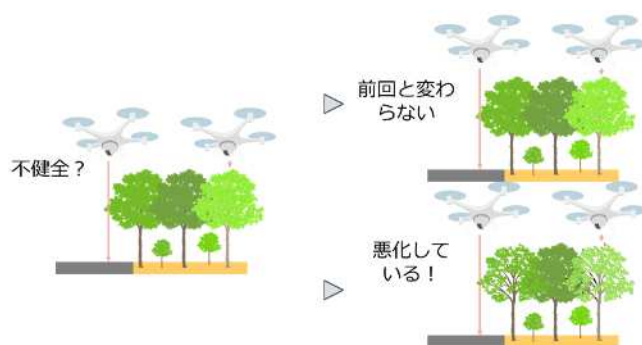


図 14 経年変化により樹勢の診断を行うイメージ

参考文献

- 1) Jan U.H. Eitel 他（2011）；Broadband, red-edge information from satellites improves early stress detection in a New Mexico conifer woodland, Remote Sensing of Environment, Volume 115, p3640-3646
- 2) 国土交通省(2017)；都市公園の樹木の点検・診断に関する指針（案）, 参考資料

AI画像分類技術を用いた 河川の濁りモニタリング手法の活用可能性の検討

しら い りょう た はまさきたい ち すず き あきひこ ほった たい き
○白井 峻 太¹, 浜崎 泰知¹, 鈴木 昭彦¹, 堀田 大貴¹

¹株式会社 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）

新規ダムの建設事業では、ダム建設工事起因の下流河川の濁りによる魚類等の水生生物への悪影響が懸念される。河川の濁り状況のモニタリングを実施する場合、水中への機器設置による濁度観測が一般的であるが、出水等の影響による異常値・欠測値が多いことや、濁度観測機器のコストが高いこと等の問題点があった。

そこで本論文では、安定的かつ経済的なデータ取得が可能な定点カメラを使用し、撮影画像から濁りの有無を自動判定するAI画像分類モデルの開発と精度検証を行った。さらに、AI画像分類モデルを活用したシステムの開発・仮運用を行い、新規モニタリング手法としての実用性を検討した。

Key Words : AI, 濁り, ダム工事, 河川環境, アユ

1. はじめに

ダム事業や河川改修事業、道路事業等による河川環境への影響を考える上で、濁りによる魚類等の水生生物への影響は大きな懸念点である。特にダム事業では、大規模で長期的な工事に伴って多くの裸地が発生し、工事箇所の下流において工事起因と考えられる濁りが発生することがある。河川の濁りは、魚類の生息・成育に影響を与える可能性があり、漁業が営まれる水域では漁業者が注視する事項である。

本論文では、既存のモニタリング手法である濁度計による濁度観測の課題を整理した上で、その代替手法として、AI画像分類技術を用いたモニタリング手法を開発し、実用性を検討した。

2. 対象事業の概要と課題

本論文では、新規ダム建設事業を検討対象とした。本事業地の下流河川は、アユの友釣り大会が毎年開かれるなど、アユの遊漁が盛んな地域である。本事業では、近年ダム本体の基礎掘削工事が着手され、それ以降工事の本格化に伴って事業範囲内の裸地が増加している。そのため、裸地からの濁水流出等が河川環境を保全する上での懸念事項となっている。

本事業における濁りのモニタリングとして、濁度計による濁度の観測が行われている。濁度計はデータ伝送機能を有しており、クラウドを経由してリア

ルタイムで濁度値が把握できる仕様となっている。その一方で、出水等の影響を受けて観測値が不安定になる現象が多々確認されているほか、濁度計設置に係るコスト面も問題視されていた。以上の状況から、濁り状況のモニタリングにおける安定性および経済性が課題であった。

3. 検討方針

本論文では、モニタリングの安定性・経済性の確保が可能な方法として、AIによる河川の濁り判読モデルの開発による、画像を用いた濁りの自動判読手法を検討した。検討においては、アユなどの生物への影響の面も考慮した。

また、類似の研究論文において、AIを用いた濁りの自動判読は、対象箇所の環境条件の影響を受けやすいことが指摘されている¹⁾。本論文では、対象河川における環境条件の変化に着目し、AIの濁り判読精度も与える影響要因の抽出を行った。

さらに、AIモデルの具体的な活用方法として、濁りの発生時にリアルタイムでメール通知を行うシステムを構築し、システムの仮運用結果の検証を行うことで、事業における本手法の実用性（安定性・経済性を含む）について検討した。

4. AIによる河川の濁り判読モデルの開発

(1) 定点カメラ画像・濁度値の取得

河川画像の取得のため、伝送機能付きのカメラ（ハイク社LT4GまたはLS4G）を設置した（図1）。設置箇所は事業地の下流2箇所および上流2箇所とした。撮影間隔は30分とし、撮影時間は濁りの目視判読が可能である時間帯（日の出頃から日の入り頃）とした。

また、最下流の1箇所のみを対象に、濁度計（JFEアドバンテック社製INFINITY-Turbi）を設置した。観測間隔は30分、観測時間は24時間とした。定点カメラと濁度計の設置期間は表1に示すとおりである。



図1 定点カメラの設置状況

表1 定点カメラと濁度計の設置期間

	令和4年					令和5年				
	5月 後半	～	10月 前半	11月 後半	～	2月 前半	5月 後半	～	10月 後半	
定点カメラ	●	●	●	●	●	●	●	●	●	
濁度計	●	●	●				●	●	●	

(2) AIモデルの開発と精度検証方法

a) AIモデルの開発方法

定点カメラ画像から濁りの有無を判定するAIモデルを以下の手順で開発した。

- ① カメラ画像内の河床に対して、水域のみの画角となるようトリミングを実施
 - ② 画像を「濁り有」と「濁り無」に分類
 - ③ 分類済画像（教師データ）をAIモデルに学習
- このうち②における分類の基準として、定量性・客観性に優れている濁度値が挙げられる。しかし、本論文ではコスト面から濁度値の取得期間・取得箇所が限定された。そのため、教師データを多く準備できる方法として、「人間の目視判読」による基準も合わせて設定する方針とした。

上記を踏まえ、本論文での分類基準は、画像の外観上の変化点として河床材料の目視可否に着目し、濁度値（8FTU）または人間の目視判読（河床が見えるか否か）（図2）とした。なお、目視による基準と濁度値の関係性を比較した場合、河床が見えるか否かの境界値は8FTU前後であった（図3）。

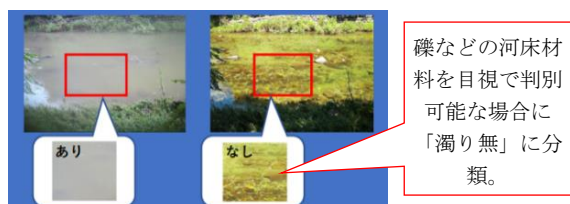


図2 目視による河川の濁り状況判読イメージ

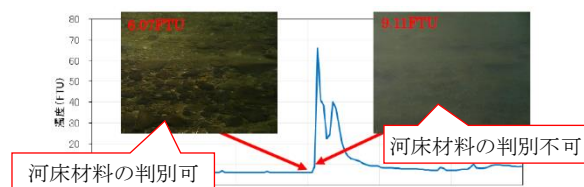


図3 目視による分類基準と濁度値の関係性

b) 精度検証方法

定点カメラおよび濁度計を設置した1地点に着目し、条件を変更して作成した複数のAIモデルを比較することで、AIモデルの精度検証を行った。ここでは、撮影季節の違いや出水イベントの有無などによる河床の見え方の変化が精度に影響を与えると仮説を立て、モデル開発時の条件を設定した。なお、モデルの精度評価指標としては、以下の3種類を用いた。

- 正解率：全ての画像に対して、AIモデルが正しく分類した割合(%)
- 再現率：実際に濁り有だった事例のうち、AIモデルが濁り有と分類した割合(%)
- 適合率：AIモデルが濁り有と分類した事例のうち、実際に濁り有だった割合(%)

(3) 精度検証結果

AIモデルの精度検証結果を表2に示す。正解率・再現率・適合率のいずれの指標も高水準であったモデル④では、再現率が92%であり、濁りが発生した場合に高確率で検出可能となった。また、検証の結果から以下の4点が明らかとなった。

- A) 教師データの収集期間の延長および教師データ数の増加によって、精度が上昇する。（検証No. 1, 2の比較）
- B) 将来の画像に対する精度が悪化する傾向がある。（検証No. 2, 3の比較）
- C) 教師画像の撮影期間を同一とした場合でも、その他の条件を変更することで精度が大きく変化する。（検証No. 4, 5の比較）
- D) 人間の目視判読を基準とした場合も、濁度値を基準とした場合と同等またはそれ以上の精度を確保することが可能である。（検証No. 1～5の比較）

表2 AIモデルの精度検証結果

検証No.	分類基準	モデルNo.	学習画像の撮影期間	検証画像の撮影期間	正解率(%), 再現率(%), 適合率(%)
1	濁度値 (8FTU)	①	[R4]6/24~7/25	[R5]5/29~6/3	77, 83, 67
2		②	[R4]6/24~9/30	[R5]5/29~6/3	82, 93, 71
3		③	[R4]6/24~9/30	[R5]6/4~7/6	(参考値) 正解率10%未満※1※2
4	目視 (河床が見えるかどうか)	③※3	[R4]5/26~10/19, 11/24~12/31	[R5]8/25~10/24	78, 96, 24
5		④※3	[R5]1/1~2/8, 5/29~7/25	[R5]8/25~10/24	97, 92, 60

※1：検証箇所の濁度値欠測のため算出不可。参考値は、検証箇所の約5km下流箇所の濁度値を正解とした場合の値。

※2：検証画像の判定結果は右記の通り。「濁り有」646枚、「濁り無」2枚

※3：モデル③と④は「分類基準」「学習画像の撮影期間」以外の条件（分類クラス数など）が異なるモデルである。

※本文との対応関係を赤枠で示す。

(4) AIモデルに関する考察

a) 濁り有無の分類基準の妥当性検証

本論文で設定した分類基準について、アユの生態面からの妥当性を確認した。

本論文での分類基準である8FTU（濁度値）を既往調査に基づいてSS値に換算すると、約19.2mg/Lであった。この値は、河川的环境基準値のAA～B類型である25mg/L（SS値）よりもやや低い値であった。なお、環境基準値25mg/Lの設定根拠の一つとしては、アユが25mg/Lで忌避行動を示すという記載が見られる²⁾。またその他の知見では、アユの斃死発生や摂餌停止の前段階として、200mg/L（SS値）で河川の移動や降下が起こることが報告されている³⁾。

以上を踏まえると、本分類基準である8FTU付近は、アユへの影響を把握するための判定基準として十分であると考えられる。

b) 画像判読精度への影響要因の抽出

AIモデルの精度検証結果（表2）を踏まえ、AIによる画像判読精度に与える影響要因を抽出し、以下の①～③に整理した。

①季節・時間帯による河床の見え方の変化

撮影季節や時間帯の異なる画像を比較すると、日照条件や波紋の発生、藻類の繁茂状況などにより、河床の見え方が変化することがわかる（図4、図5）。このことと、教師データ収集期間の延長による精度上昇（精度検証結果A）を踏まえると、季節や時間帯の違いによる河床の視覚的状態の変化が、AIによる画像判読の精度に影響を与えていると考えられる。

そのため、本取組みにおいて準備する教師データは、撮影季節や時間帯に偏らないデータ、つまり日の出から日の入りの全時間帯で撮影した通年のデータとすることが望ましい。



図4 日照や波紋により見え方が変化する事例



図5 時間経過により見え方が変化する事例
（左から、R5/6/21撮影、7/6撮影、8/9撮影）

②出水イベントによる河床の見え方の変化

検証結果（表2）のうちの検証No. 2, 3を比較すると、同じAIモデルでも、特定のタイミング（本検討の場合、令和5年6月4日）以降の画像に対する

精度が急激に悪化していた。この精度悪化のタイミングは、大規模な出水により河床環境が大きく変化したタイミングと合致していた（図6）。そのため、出水イベントによる河床環境の変化は、視覚的な変化を誘発し、AIによる画像判読精度に影響を与えられられる。

なお、出水の規模に着目すると、精度悪化の原因となった出水は近傍の水位観測所で観測史上2番目に高い水位を観測するほどの大きな出水であった。そのため、本出水の前後では通常の出水よりも画像の視覚的な変化が大きかったと考えられる。

今後、このような出水前後の画像を蓄積し、出水イベントによる河床の視覚的な変化も含めた教師データとすることで、出水前後での画像判読精度の向上が期待できる。



図6 出水の発生により見え方が変化する事例
（左から、R5/6/1撮影、6/6撮影）

③特異的な画像の扱い

本論文での野外撮影では、特異的な光の反射や極端な影の発生によって、濁り有無の判読が困難な画像が確認された（図7）。そこで、AIモデル作成時の分類クラス数に着目し、「濁り有」「濁り無」の2種に「分類不可」を加えた3値分類のモデルを作成した（表2のモデル④）。なお、撮影画像が「分類不可」となるケースは一時的かつ低頻度のため、指標値の算出の際は「濁り無」と置き換えた。

その結果、3値分類のモデルの方が、再現率が大きく低下せず適合率が向上した。これを踏まえると、野外撮影による特異的な画像はAIによる画像判読精度に影響を与えられられるとともに、分類クラス数の変更によって特異的な画像に対する処理を行うことで、精度が向上する可能性が示唆された。



図7 光の反射によって濁り有無判読が困難な事例

5. 河川の濁りのモニタリングへの実用性検討

(1) アラートメール通知システムの開発

本論文では、開発したAIモデルを用いて、河川に濁りが発生した際に関係者にメール通知を行うシステムを開発し、R5年度に仮運用を行った。本システムは、工事起因の濁り発生の可能性をリアルタイムで把握することを目的と位置づけ、事業地の上下流の箇所（計4箇所）の定点カメラ画像から各地点の濁り有無を自動判読、下流の箇所のみ濁っている場合のみにアラートメールを通知する構成とした。

R5年度の仮運用の結果、アラートメールを契機として、濁り発生時に現地河川巡視を実施し、その際に工事起因による水際斜面からの濁水の流出を把握することができた（図8）。本システムのようなアラートメール通知の仕組みを活用することで、定点カメラ画像を用いたモニタリング手法は、河川の濁りに対する迅速な対応や具体対策の検討に寄与できると考えられる。



図8 水際斜面からの濁水流出の把握事例

(2) 実用性の評価

a) 利点・効果の検証

定点画像およびAI画像分類技術を用いた本モニタリング手法の利点・効果について、データ取得の安定性と経済性の観点から、既存手法との比較検証を行った。

① データ取得の安定性

アユ漁期である6～9月を対象として、異常値を除いたデータの取得状況（R5年）を比較すると、濁度計が最も値の低い地点で約83%であったのに対し、定点カメラは約100%であった。定点カメラは濁度計とは異なり陸上に設置するため、出水の影響を受けず、データ取得の安定性に利点があると考えられる。

② データ取得に係る経済性

本論文で使用した濁度計の機器費が約100～120万円/台であるのに対し、定点カメラは約8～10万円/台である。そのため、大幅なコスト削減の効果があると考えられる。また、大幅なコスト削減は、モニタリング箇所の増加を可能とし、多地点でのモニタリングによって得られる新たな効果（濁り

箇所の迅速な特定など）が期待できる。

b) 今後の課題

本モニタリング手法は、以下に挙げるデメリットや課題がある。今後、これらの解決策・対応策を検討する必要がある。

① 濁りの定量把握

本手法では、濁度計を用いた手法のような定量的な濁り状況の把握は困難である。そのため、濁り監視の目的に応じて使い分けが必要となる。

② AIモデルの精度

本論文では、約92%の再現率を持つモデルを開発した。本論文での検討結果を踏まえ、教師画像を増やすことでどの程度まで精度を確保することが可能か、また一定の精度を確保するためにはどのくらいの枚数・期間の教師画像が必要か、を把握するためにはさらなる検証が必要である。

③ 降雨との関係性・濁りの流下時間

工事影響のない河川の場合でも、降雨によって濁りは発生するほか、上下流の位置の違いによって濁りの発生タイミングが異なる。AIモデルの活用、特に先に挙げたアラートメール通知を行うシステムとして活用する場合は、濁りの発生条件を把握し、アラートメールの通知基準を適切に設定することが必要である。

6. おわりに

本論文では、ダム建設事業における河川の濁りモニタリングに焦点を当て、既存手法の代替としてAI画像分類技術を用いたモニタリング手法を開発した。

その結果、濁りが発生した場合に約92%の高確率で検出できるAIモデルを開発できたほか、河川を対象とした場合のAIによる画像判読精度への影響要因を抽出することができた。さらに、AIモデルを実装したアラートメール通知のシステムの構築・仮運用を行い、本手法の活用法や利点・課題を提示した。

本論文での検討事項は、他事業への本技術の導入のための基礎材料となると考えられる。また本技術は、ダム事業や河川改修事業、道路事業など、工事起因の濁水発生の可能性のある様々な場面において効果的な技術であると考えられ、全国展開が期待される。

参考文献

- 1) Deep Learning応用による河川水の濁りを対象とした流況画像分類に基づく河川モニタリングー茨城県水戸市沢渡川を対象としてー、塙翔一郎ら、2019
- 2) 河川水質試験方法（案）、国土交通省水質連絡会、2009
- 3) 水路を用いたアユの移動性試験。群馬県水産試験場水試だより、田中英樹、2012

安間川における水災害対策プランの変更

○澤田育則¹・風間喜章¹・久野由雅¹・平野和希¹

¹株式会社 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）

近年浸水被害が頻発している安間川流域では、令和4年5月に「天竜川水系安間川水災害対策プラン」が策定されたが、R4. 9. 23洪水（台風第15号）などの超過洪水の発生を踏まえ、水災害プランの変更に着手した。具体的には内外水一体型の氾濫解析や実績洪水痕跡水位等により、新たに判明した浸水メカニズムから、必要な河川対策と流域対策の治水対策メニューについて検討した。また、個別治水対策メニューの被害軽減効果から、上下流のリスクバランスを鑑みて対策優先度を設定した。この結果を踏まえ、静岡県では令和6年3月に水災害対策プランを変更した。

Key Words：水災害対策プラン、流域治水、河道計画、遊水地、内外水一体型氾濫解析

1. はじめに

安間川は、天竜川の右支川であり、大部分が静岡県浜松市を流下する全長約14km、流域面積約21km²の一級河川である。浸水被害の主な原因は内水被害であり、窪地地形で地盤高が低く、住宅や工場等の建物が密集している東名高速道路下流から国道1号までの長上地区、窪地地形を流れる宮川排水路とこの付近、万斛橋上流の笠井地区で常襲化している（図- 1）。

近年の全国的な浸水被害を受け、国交省は「流域治水プロジェクト」¹⁾による治水対策を進めている。これに基づき、静岡県では、特に浸水被害が頻発している10流域14地区を対象に浸水被害軽減策を取りまとめた「水災害対策プラン」の策定を令和2年に着手。その後、R4. 9. 23洪水（台風15号）は静岡県下に未曾有の被害を発生させたことから、この洪水で被害の大きかった5流域を加えた15流域21地区で「水災害対策プラン」変更の取組が進められている²⁾。

安間川流域では、令和4年5月に天竜川水系安間川水災害対策プラン（以降、水災害プラン）を策定したが、R4. 9. 23洪水等（表- 1No. ③、④）の発生を踏まえ、超過洪水に対しても甚大な被害を回避するための対策等の追加が必要となった。「水災害プランの変更」にあたり、以下の点が課題であった。

- ・最適な治水対策メニューを選定するため、超過洪水群の浸水メカニズムを解明すること
- ・超過洪水に対しても甚大な被害を回避するための治水対策メニューを追加すること
- ・段階整備期間中においても上下流のリスクバランスを確保したうえで、河川対策規模と治水対策メニューの優先度を決定すること

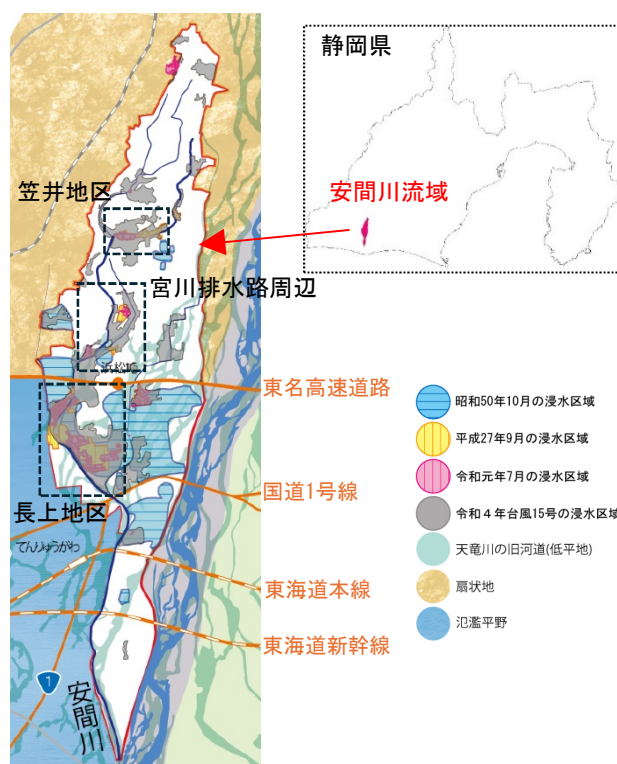


図- 1 安間川流域における代表的な浸水被害

表- 1 安間川における代表的な洪水

No.	洪水日	2時間降雨量※ (mm)	安間 水位 (m)	浸水家屋数(戸)			備考
				床下	床上	合計	
①	S50. 10. 7	124. 5 (1/124)	—	756	25	781	
②	H27. 9. 8	64. 5 (1/2)	2. 85	21	5	26	
③	R4. 9. 2	137. 5 (1/327)	2. 17	27	19	46	
④	R4. 9. 23	135. 4 (1/280)	3. 18	315	96	411	台風15号
⑤	R5. 6. 2	83. 4 (1/7)	2. 80	7	7	14	

注：（ ）は確率年、赤字値は整備計画規模1/10を超過

観測水位の赤字値は計画高水位(2. 63m)を超過

※：基準点安間までの洪水到達時間100 分に相当

2. 流出・氾濫シミュレーションモデルの再現性検証と浸水要因分析

(1) モデルの概要

本検討において採用する「流出・氾濫シミュレーションモデル」(以下、モデルと称す)は、安間川における河川整備計画(H16.4)³⁾と安間川水災害対策プラン(R4.5)で用いられている内外水一体型の計算モデルである。流域流出量を合成合理式で推定する「流出解析モデル」と、河道と氾濫区域をブロック分割し、各ブロックの水理量をブロック不定流計算で推定する「氾濫解析モデル」の組み合わせで構成される。モデルの計算条件を表-2に示す。

表-2 モデルの再現計算条件

条件項目		設定条件
計算手法	河道水位計算	一次元不定流
	氾濫ブロック計算	ブロック不定流
越流	越流量	本間の越流公式
	越流量	完全越流、もぐり越流の式により算定
河道ブロック	境界条件	上流端流量
		下流端水位
	河道断面	合成合理式による流出量
	河道粗度係数	下流端流量を等流計算で換算
氾濫ブロック	境界条件	現況河道(R4.9時点)
	内水排除施設	0.0k~10.4k: 0.030 10.5k~13.1k: 0.027
	地盤高	合成合理式による流出量
		安間川流域の樋管・樋門、ポンプを考慮
		基礎地図情報数値標高モデル5mメッシュ(標高)

(2) 再現性の検証

モデルの解析精度を確認する検証対象洪水は、近年主要な3洪水(R4.9.2洪水, R4.9.23洪水, R5.6洪水)とした。本稿では代表としてR4.9.23洪水の結果を示す。検証項目は、安間川の河道水位・遊水地内の水位・流域の浸水状況等を以下の視点で確認した。

- ・【水位】降雨による立ち上がりやピーク水位
- ・【流域内の浸水状況】本川・主要支川における浸水範囲、床上および床下浸水発生箇所、外水氾濫発生箇所

R4.9.23洪水の再現検証結果は、以下のとおりであり、モデルの妥当性が確認された。

- ① 基準地点(安間)や遊水地内の降雨の立ち上がり期間とピーク時の水位を概ね再現(図-2)
- ② 越水発生箇所の越水状況を概ね再現(図-3)
- ③ 浸水範囲を概ね再現(図-4)

(3) 浸水被害の要因分析

再現計算等を踏まえ、R4.9.23洪水では、堤防高が相対的に低くなっている箇所からの外水氾濫を確認した。さらに、一部橋梁付近の外水氾濫も確認した。これは橋梁に洪水流が衝突(橋梁に痕跡水位を確認)したことによる水位上昇と橋梁断面不足による流下阻害が要因と推察した(図-5)。

また、痕跡水位はH.W.L.を超過しており、河川水位が高かった(図-5)ため、支川の排水路の流下能力不足と安間川の背水により内水氾濫が発生したものと推測した。

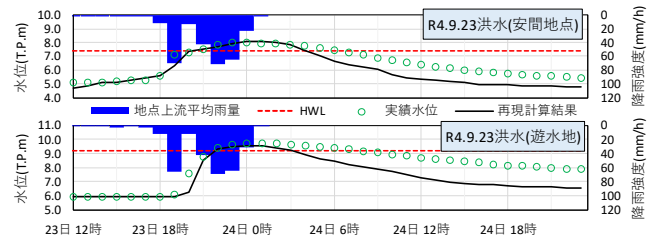


図-2 水位の時系列変化

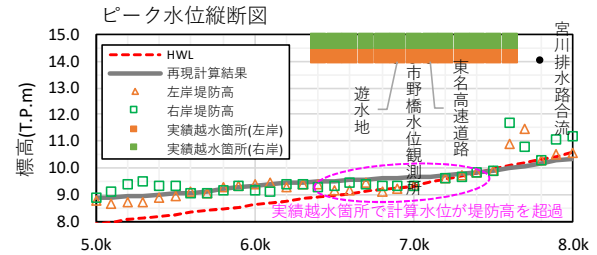


図-3 ピーク水位の縦断変化と実績越水氾濫箇所

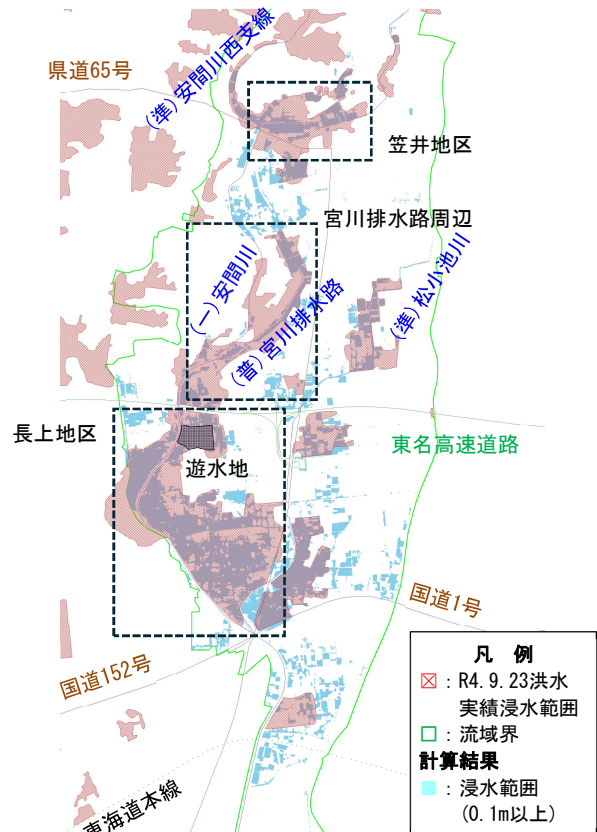


図-4 実績浸水範囲との比較結果

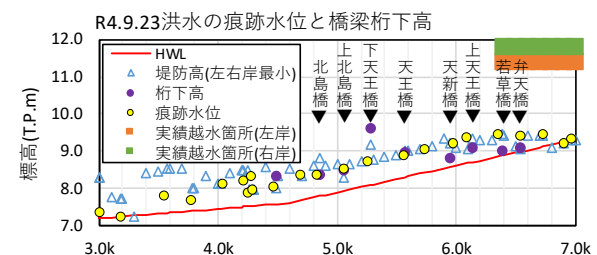


図-5 R4.9.23洪水時の痕跡水位と橋梁桁下高

3. 治水対策メニューの検討と対策優先度の設定

(1) 水災害プランの対策の進め方と対象外力

水災害対策プランは超過洪水が発生しても壊滅的な被害を回避できる河川対策、流域対策、超過洪水対策を想定した「将来目指す姿」を見据えて、発生頻度の高い中小洪水に対して被害軽減を図るため、整備期間を10年程度とした水害対策を実施することとした(図- 6)。

水災害プランを変更する際の対象外力は、現水災害プランから変更せず、至近20年間(H14～R4)で床上浸水被害が発生し(表- 1No. ②～⑤)、かつ、水災害対策実施予定期間である10年間程度で一定の治水効果が得られるH27.9洪水とした。ただし、R4.9.23洪水等は、超過洪水であったことから、対象洪水とせず治水効果を評価する洪水として設定した。

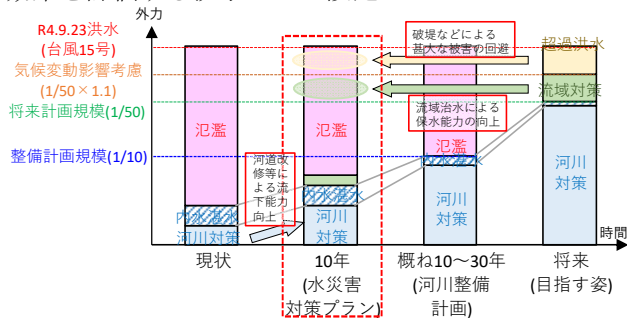


図- 6 水災害対策プランにおける対策期間の考え方

(2) 河川対策・流域対策の検討

a) 対策の考え方

水災害プランの変更に向けた治水対策は、既往最大規模の降雨と床上浸水被害を発生させたR4.9.23洪水において判明した河川・流域の弱部を踏まえて以下の考え方により表- 3に示す対策メニューとした。追加対策メニューの検討内容について以降で詳述する。なお、視点①での対策は河道内低木の除草など緊急的に実施した内容を位置付けている。

視点①: 今ある施設の機能を維持し十分に活用するための対策

視点②: 今ある施設を局所的に改良し施設能力を最大化するための対策

視点③: 今ある施設能力を根本的に上げるための対策

表- 3 検討した対策メニュー一覧

対策	対策メニュー	対策箇所	対策内容	プラン変更状況	視点	備考
河川	施設機能維持	浸水頻発地区(長上地区等)	浚渫、除草・水草除去、支障物除去等	追加	①	実施済
	下流改修(整備計画)	2.4k～3.0k	本川水位低下のため下流から整備計画河道への改修	変更なし	②	
	中流1橋の改築	5.0k～7.0k付近	橋梁1橋の改築検討	検討中	②b)参照	
	上流対策	10.3k上流	浸水常襲地区の被害軽減のため橋梁改築、河床掘削	変更なし	③	
	堤防高不整合箇所の補強	6.0k、6.1k、6.8k～6.9k(右岸)	左右岸・上下流の堤防不整合箇所かつH27.9洪水に対し堤防補強	追加	②c)参照	
	中流河道改修(現況見合い)	4.5k～6.8k	上下流バランスを崩さずに現況見合いでの河道拡幅	追加	②d)参照	
流域	校庭貯留	流域内の学校	校庭貯留の整備	変更	③	

b) (河川対策) 橋梁の改築

「2. (3)」で前述のとおり、R4.9.23洪水では、一部橋梁に洪水流が衝突したことが確認された。これらの橋梁に対し、流下能力、洪水流の桁下への衝突による流量阻害度合い、改築による効果影響(浸水範囲)の観点により改築する1橋を選定した。なお、本項目は、超過洪水を含む複数洪水の影響を追加検討するため、プラン変更時に対策メニューから除外した。

表- 4 改築橋梁の選定

項目	橋梁A	橋梁B	橋梁C
流下能力	○ HWL流下能力で流量向上区間数が最多	△ 橋梁Aより僅かに向上区間が少ない	△ 橋梁Aより僅かに向上区間が少ない
洪水流の桁下への衝突	□ 阻害度は抽出橋梁のうち3番目	○ 流量の阻害度合いが最も大きい	△ 阻害度は橋梁Bと僅差で次点
改築による影響	△ 床上浸水面積減少効果が橋梁Bに次いで大きい	○ 床上浸水面積減少効果が最も大きい	× 浸水深が上昇するエリアが確認された
選定		●	

○: 最も効果がある、△: 2番目に効果がある、□: 3番目に効果がある、×: 影響が確認される(負の効果)

c) (河川対策) 堤防高不整合箇所の補強

堤防整備箇所は、現況堤防高の左右岸・上下流の不整合箇所とした。その上で検討対象洪水(H27.9洪水)流下時の水位を踏まえ、抽出した箇所に対し、堤防の局所的な嵩上げや粘り強い構造化などの補強を行うこととした。これにより、外水氾濫に対する効果だけでなく、内水排除ポンプの稼働時間が最大3時間延長され、効果があることを確認した。

d) (河川対策) 現況を最大限活用した河道改修

河道改修箇所は、上下流のバランスを崩さないことを前提に、R4.9.23洪水で堤防高程度に痕跡水位が確認され、かつ一部現況流下能力が不足する4.5k～6.8k区間を対象とした。河道改修は、現況河道天端の輪荷重の影響範囲を考慮してカゴ工を設置し、最深河床よりも上部を掘削する方法(図- 7)により、河積確保を最大化した。この河道改修により、流下能力は4.6k～9.2k区間で最大6.4m³/s増加、水位は最大10cm低下し、桁下高を超過する橋梁が1橋減少(図- 8□)する結果となった。

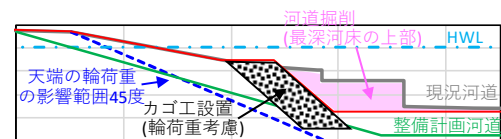


図- 7 現況を最大限活用した河道改修方法のイメージ

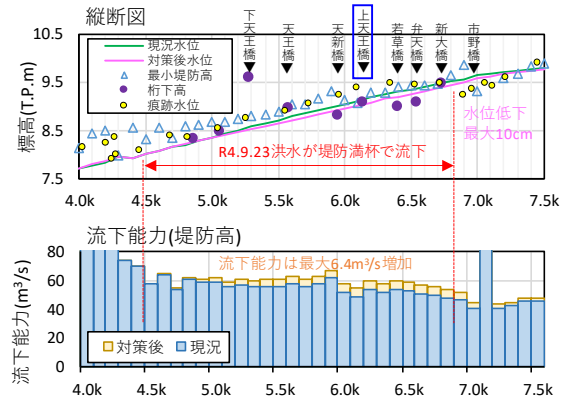


図- 8 河道改修による効果

e) 河川対策における対策優先度の検討

抽出した河川対策メニューを個別で実施した場合、浸水深が減少する(効果)区域と浸水深が増大する(影響)区域がそれぞれ確認された。流域内の浸水深増大による影響を最小化するため、河川対策の対策優先度を以下の考え方により検討した。

- ① 河川対策の対策順序は、早期発現、対策による影響が少ない順序で実施される必要がある
- ② ①の考えに基づき、表- 5において集計した影響範囲が小さい対策から設定する
- ③ 河川対策は、上流改修に伴い下流負荷増となるため、下流側から対策を進めることが基本となる

優先度の検討結果を表- 5に示す。対策により影響が大きい「万斛橋上流」は優先度D、対策による効果が大きく影響が小さい「下流改修」と「河道改修」を優先度A、残りの2対策のうち、影響の大きさから「中流1橋」を優先度B、「堤防高不整合箇所」を優先度Cとした。

表- 5 河川対策の優先度検討結果

対策メニュー	効果 (ha)			影響 (ha)			効果-影響	順位	対策優先度
	1cm~0.2m	0.2m以上	合計	1cm~0.2m	0.2m以上	合計			
下流改修(整備計画)	45.6	1.5	47.1	1.0	0.0	1.0	46.1	2	A
中流1橋の改修	29.4	0.0	29.4	0.0	0.0	0.0	29.4	3	B
万斛橋上流対策	40.2	0.2	40.4	52.1	0.0	52.1	-11.8	5	D
堤防高不整合箇所の補強	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4	C
中流河道改修(現況見合い)	52.0	0.0	52.0	2.5	0.0	2.5	49.5	1	A

影響：対策なしとの差分値が負の値であるメッシュの合計面積(浸水深が低減している箇所)
効果：対策なしとの差分値が正の値であるメッシュの合計面積(浸水深が増加している箇所)
順位は数値の大きいものから降順

f) 流域対策の検討

令和4年5月に公表された変更前の水災害対策プランでは、流域内の4つの学校において校庭貯留が位置づけられている。R4. 9. 23洪水等の発生を踏まえ、追加で3校が選定され、合計7校を対象とした。各校庭で30cm程度を貯留する事を想定した場合、合計約2.1万m³程度の流域対策量となることが試算された。

(3) 検討した対策の効果の評価

検討対象洪水であるH27. 9洪水および評価対象洪水であるR4. 9. 23洪水に対し、前節で検討した河川対策および流域対策の効果の評価した(表- 6、図- 9)。

H27. 9洪水では、河川対策および流域対策を実施することで市街地における床上浸水面積が3.5ha程度減少、床上浸水が5戸から1戸に減少した。一方で、R4. 9. 23洪水では、対策実施により市街地における床上浸水面積が3.7ha程度減少する結果となった。

表- 6 市街地における浸水面積の変化

項目	市街地における浸水面積 (ha)						対策による効果と影響 (ha)*					
	H27. 9洪水			R4. 9. 23洪水			H27. 9洪水			R4. 9. 23洪水		
	床下	床上	合計	床下	床上	合計	床下	床上	合計	床下	床上	合計
対策前	20.9	14.3	35.2	58.3	47.8	106.1	-	-	-	-	-	-
対策後	17.8	10.8	28.6	54.7	44.1	98.8	-3.1	-3.5	-6.6	-3.7	-3.7	-7.4

*: 「対策後」-「対策前」により算定しマイナス値が効果
床上: 浸水深0.45m以上、床下: 浸水深0.2~0.45m

4. まとめ

本検討結果を流域内の関係部局からなる「浜松市域流域治水対策推進協議会」に諮り、合意を得た。この検討結果を河川改修はもとより、流域住民とその関係機関が協働で治水対策に取り組む作戦書である「安間川水災害対策プラン」の変更案としてとりまとめ、令和6年3月に公表された。現在、静岡県では、同プランを先行事例として県内他河川においても同様のプランを作成している。

謝辞：本論文における諸データは静岡県浜松土木事務所ならびに浜松市より提供頂いたものである。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 流域治水プロジェクト, 国土交通省 水管理・国土保全局
- 2) 新たなステージに入った水災害に対する取組, 静岡県交通基盤部河川砂防局(R6.2)
- 3) 天竜川水系下流西遠ブロック(安間川) 河川整備計画, 静岡県交通基盤部河川砂防局(H16.4)

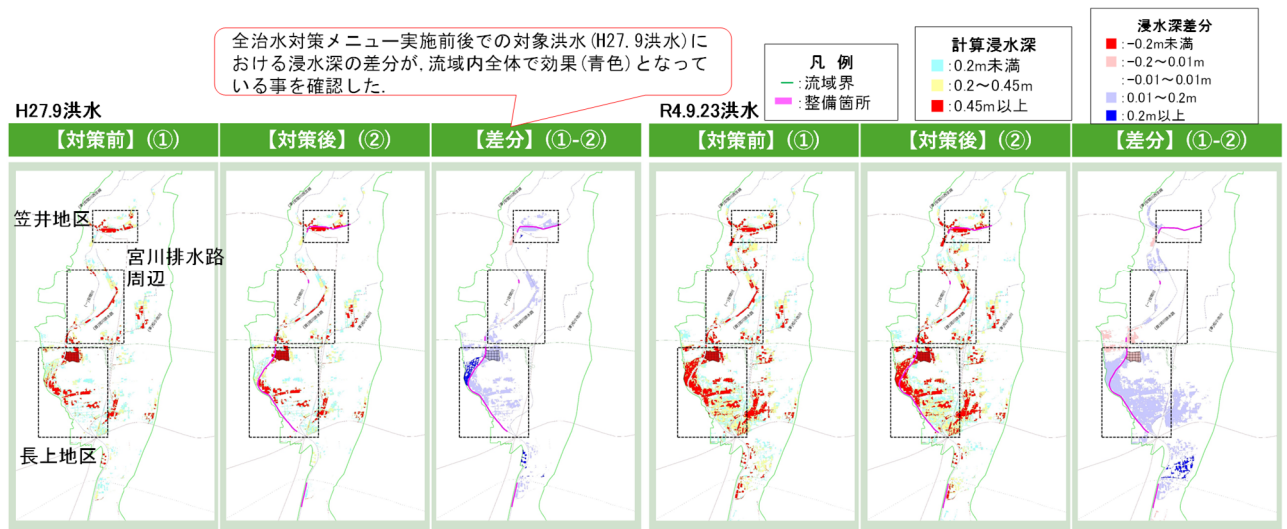


図- 9 変更した対策による効果(左：H27. 9洪水、右：R4. 9. 23洪水)

地域資源を活用した国営公園再整備

○瓜生千晴¹・則竹登志恵¹・小林恭子¹・井上僚平¹

¹ 日本工営都市空間（株）名古屋本社（〒461-0005 愛知県名古屋市東区東桜2丁目17-14 新栄町ビル）

国営木曽三川公園の総合拠点である木曽三川公園センターについて、老朽化に伴う「水と緑の館」の建て替えを契機として、木曽三川公園センターの南ゾーン全体の再整備の検討・設計を行ったものである。再整備では、木曽三川公園センターが目指す将来像に基づいた公園へと改新させることを目的とし、本稿はその検討から設計までの内容を記載する。

Key Words : 国営公園, 再整備, 地域資源, 景観検討, 地域連携, 3Dモデリング
施設老朽化, 利用活性化

1. はじめに

(1) 業務の背景

本業務は、国営木曽三川公園の拠点の一つである木曽三川公園センター（以下、本公園とする。）を対象としたものである。この拠点は昭和59年に整備されてから現在まで40年が経過し、園内の各施設の老朽化が進んでいる。それに伴い、本公園南ゾーンに位置する展示施設「水と緑の館」の建て替えを転機として、南ゾーン全体の再整備を行うこととなった。

(2) 木曽三川公園センターの概要

国営木曽三川公園は、愛知、岐阜、三重の3県にまたがる国内最大の公園である。木曽三川沿いに、三派川地区・中央水郷地区・河口地区の3地区に分かれ、全13拠点が存在する。本公園は中央水郷地区の中心に位置し、「国営木曽三川公園基本計画」において、「中央水郷地区の総合拠点」として位置づけられている。

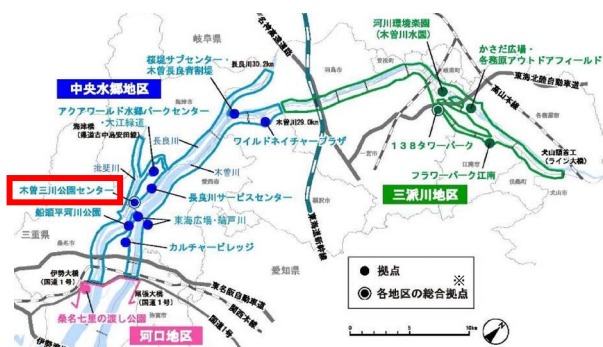


図-1 国営木曽三川公園全体と3地区の位置図¹⁾。



図-2 中央水郷地区全体図と対象地の位置¹⁾

中央水郷地区は、かつて木曽川、長良川、揖斐川が入り乱れて流れ、洪水を繰り返していた地域であった。洪水から身を守るために、村を堤防で囲った「輪中堤」を形成し、薩摩藩による「宝暦治水」やオランダ人技術者ヨハネス・デレーケの指導による「明治改修」等の治水事業により、現在の木曽三川を形づくってきた。また、豊かな水量を有する木曽三川は、古くから農業用水や舟運、特に木材の搬送路として重要な役割を果たし、この地域の文化・経済の発展を支えてきた。このように、「水との闘いと調和」により形成された場所である。本公園の周辺地域には「輪中堤」、宝暦治水により整備された「油島締切堤防」、薩摩藩が宝暦治水工事完成の記念として堤防上に植えた「千本松原」、宝暦治水を指揮した薩摩藩の平田靱負を祭神とする「治水神社」等の水郷地帯の人々と水との闘いがしのばれる史跡や建物が数多く存在する。これらを継承すべき地域資源として捉え再整備検討を行った。



図-3 (左図) 治水神社²⁾ (右図) 千本松原・油島締切堤。

本公園は、「国営木曽三川公園基本計画」において、「自然環境への理解」「歴史文化への理解」「広域への貢献」の3つを果たすべき役割とし、以下を基本方針と定められている。「自然環境への理解」は、木曽三川の自然を直接体感できる場の提供や自然環境に関する解説・展示、「歴史文化への理解」は、歴史文化の体験の場の提供や周辺の歴史文化資源と連携した情報発信、「広域への貢献」は、広域交流の拠点としての活用の促進や地域活性化への貢献としている。

2. 業務目的

本業務は、本公園南ゾーンにおいて、再整備のための景観検討及び実施設計を行ったものである。現地状況の把握を行うとともに、上位関連計画及び関連設計成果等から基本的事項を把握し、景観検討を行い、設計条件としてとりまとめ、実施設計に反映した。業務を進めるにあたり、発注者に加え、委託管理者、地元行政である海津市各部署、海津市歴史民俗資料館の館長や学芸員との打合せやヒアリングを行い、有識者から助言を頂きながら、再整備検討を行った。

3. 再整備方針の検討

(1) 課題の抽出

検討にあたって取り組むべき主な課題を以下の3つと捉えた。

本公園は整備から40年が経過し、整備当初からの利用ニーズの変化に伴い、施設形態や配置が現在の利用にそぐわなくなっていることを1つ目の課題として捉えた。一例として、既設カスケードは「水の流れや変化」をテーマにした視覚的に楽しめる修景施設であった。しかし、視覚的に楽しめるだけでなく、体験して楽しめる施設へのニーズが高まっていることにより、ニーズに合わなくなっている状況であった。加えて、利用者の動線を阻害していることが関連業務の利用動線調査結果から分かり、現在のニーズに沿いながら自然環境や歴史文化が体感できるような施設に変えていく必要があった。また、「水と緑の館」の建て替えによって建物規模が縮小し、園内の機能が大きく変化することから、南ゾーン全体を再整備する必要があった。



図-4 既設カスケード。

次に、現地踏査とヒアリングの結果から、利用面だけでなく管理面での問題を抽出した。公園内に資

材置き場が点在し、スペースが足りないことに加えて、公園利用者から見える位置に設置されており景観を阻害している要因となっていた。また、管理車両用の駐車場が分割されている状況であった。このように、バックヤードが分散されていることで、維持管理運営を行いにくいことを2つ目の課題として捉えた。

最後に、公園に隣接している海津市観光交流施設の「nocca」について、公園との境界部にある植栽や擁壁で分断され、つながりが希薄であることから今後の互いの利用促進を図ること3つ目の課題として捉えた。



図-5 本公園と「nocca」の境界部にある植栽と擁壁

(2) 再整備方針の設定

以上の課題を踏まえ、3つの再整備方針を設定した。

1つ目は、「自然環境と歴史文化の理解を深める空間の創出」とした。「輪中堤」や「千本松原」等の地域資源を活かしながら木曽三川の自然環境や治水事業の歴史文化を体験できる工夫を施設に取り入れることと、地域資源とのつながりを持たせることで、木曽三川の自然を直接体感できる場や歴史文化の体験の場とすることを目指した。

2つ目は「効率的な維持管理運営の実現」と設定した。分散しているバックヤードを集約し、資材置き場の配置と管理車両動線の整理を行い、効率的な維持管理運営が可能な公園を目指した。

3つ目は「地域連携による利用活性化」と設定した。「nocca」と一体利用できる空間とするために、公園利用者及び「nocca」利用者が飲食や休息できる場所を設け、つながりが感じられるようなしつらえに変えることで利用活性化を目指した。

4. 再整備内容の検討

3つの方針に基づいた具体的な整備内容を以下に示す。

(1) 自然環境と歴史文化の理解を深める空間の創出

多くの人が利用する南ゾーンのメイン広場に、地域資源を活かした「まつばらテラス」「みずのわ広場」「さつまの庭」の3つの施設検討を行った。



図-6 施設配置図.

a) まつばらテラス

メイン施設として、歴史体感機能と休息機能を持たせた「まつばらテラス」を検討した。南ゾーンにある現況の階段は、本公園が位置している「金廻輪中」の「輪中提」の高さを表現した形状である。歴史体感機能としては、この既存高低差を利用した階段形状とすることで、本公園が「輪中提」に囲まれたと地域であることを理解できる空間とした。併せて、現況の地形を活かすことで造成土量を減らし、工事費用の削減につなげた。また、園内の松林と薩摩藩にゆかりのある「千本松原」をつなぐようにマツの列植を行うことで、本公園で分断された「千本松原」との連続性を確保し、地域特有の松並木の景観形成を行った。



図-7 松林と千本松原の連続性.

休息機能としては、大人数で座れるデッキ、少人数で休息できるベンチ及び寝転がれる芝生傾斜面を取り入れ、イベント時の観客席としての活用や利用人数や用途によって休憩場所を選択できる工夫をした。

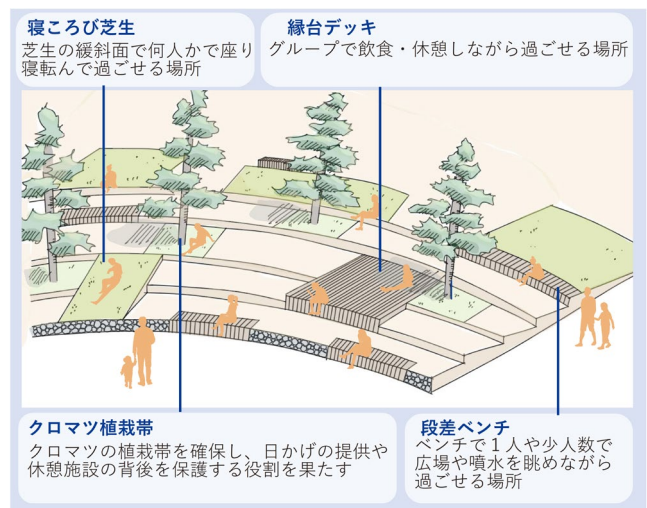


図-8 まつばらテラス.

b) みずのわ広場

本公園が木曾三川により形成され、輪中堤内であることから、水の要素をデザインに取り入れた広場を検討した。展望タワー周りに広がる大空間に円形の舗装パターンで水の波紋を表現した「みずのわ広場」とした。舗装デザインは、舗装材の色の組み合わせや空間との色調の検討を行った。使用した舗装材はグレー調で統一し、一般的な舗装材を使用しつつ経済性にも配慮しながら、質の高い空間形成に寄与する舗装パターンのデザインとした。

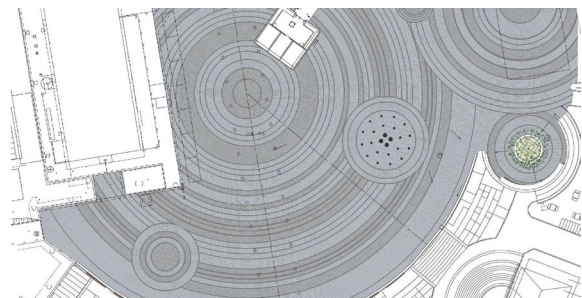


図-9 みずのわ広場の舗装デザイン.

検討において、南ゾーンの大きな空間と高さ65mの展望タワー等、公園施設や空間のスケールが大きいことから、平面だけでは確認できない位置関係を、3Dモデリングを用いて確認を行いながら検討を進めた。景観上重要となる位置を視点場として複数設定し、それぞれの視点場からの利用者目線で空間の見え方の確認を行った。特に重要な視点場として、中央スロープの上段を視点場とし、メイン広場、展望タワー及び水と緑の館を同時に見た際の施設との色調と素材の統一を行った。また、展望タワーのスケールを考慮したバランスの良い配置や、南ゾーンから北ゾーンへの軸を強調させるために、円形舗装パターンの中心を軸上に配置した。



図-10 スロープ上段から見た広場。

加えて、広場内に水の要素を取り入れた親水の間を検討した。利用者の動線を阻害しているカスケードに変わり、夏場は集客施設となり、冬場は水を止めることで広場をフレキシブルに利用できるポップアップ噴水の設置を検討した。噴水プログラムにおいては、激しい水の動きから穏やかな水のたまりへの変化により水との闘いと調和を演出し、視覚的にも楽しめるとともに、水と触れ合っ楽しむ、歴史文化を体感できる施設とした。



図-11 噴水プログラムの検討。

c) さつまの庭

南ゾーンエントランスは、公園利用者の目に留まる場所であり、薩摩藩にゆかりのある治水神社に近い位置であることから、宝暦治水を行った薩摩藩の偉業を広く伝える場として、九州（鹿児島周辺）の樹種の導入した植栽計画を検討した。既存植栽のうち、有識者へのヒアリング及び樹木匠との現地確認の上、樹形や樹勢の良いものは残し、アメリカデイゴ、鹿児島紅梅、キシマツツジ等の九州に縁のある花木を配植させることで、華やかなで特徴的な景観を創出した。



図-12 植栽種類例。

(2) 効率的な維持管理運営の実現

維持管理運営がしやすい公園とするために、現状の一般利用区域と管理区域の整理をした上で、点状にしていた資材置き場と管理用車両動線を管理棟付近に集約することで、管理棟を中心とした効率的な管理運営の実現につなげた。また、管理棟の裏側に集約することで、公園利用者から見えないよう配慮した。併せて、イベント時に利用するキッチンカーの

スペース、必要設備及び安全な動線の確保を行った。

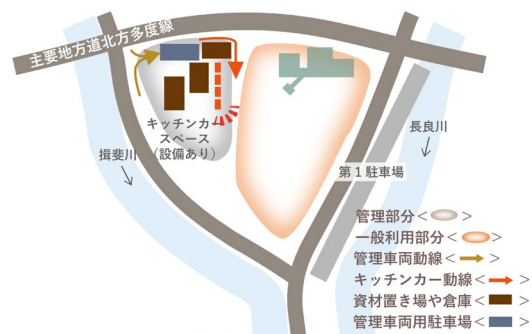


図-13 管理運営ゾーニング図。

(3) 地域連携による利用活性化

本公園と「nocca」を一体利用できる空間とするため、公園利用者及び「nocca」利用者が飲食や休息できる場所として「みはらしテラス」を設けた。また、本公園から「nocca」への出入口を拡大し、互いにアクセスしやすい形状とした。加えて、植栽や擁壁を撤去し、園内の他の施設とのデザイン及び素材を統一した木材ルーバーを設置することで、「nocca」のバックヤードを隠しながら、公園施設の一部のように一体的な利用ができるよう工夫した。



図-14 みはらしテラス。

4. おわりに

本業務では、上位計画の「自然環境への理解」、「歴史文化への理解」「広域への貢献」の基本方針に沿い、自然環境と歴史文化への理解を深めることができる再整備を目指した。施設検討では、現在の利用ニーズに沿った機能を取り入れ、既存施設との色彩や素材の調和等、景観に配慮したデザイン検討を行った。また、利用者だけでなく、管理者の視点も考慮し、維持管理運営がしやすいバックヤードを検討し、これらを実施設計に反映した。さらに、海津市と丁寧に協議を進めることにより、「nocca」の建物に「みはらしテラス」への出入口整備をご協力いただける可能性が高まったことで、将来的には更に一体的な活用が期待できる空間となり、結果として、水と緑の館の建て替えに伴い、失われてしまう飲食機能を補完する見通しを立てることができた。

参考文献

- 1) 国土交通省中部地方整備局：国営木曽三川公園整備・管理運営プログラム，令和3年6月。
- 2) 国土交通省中部地方整備局：国営木曽三川公園基本計画，平成20年12月

人口減少が進む地方都市における 財政負担軽減と活力向上を目的とした 公共施設の適正規模・適正配置の検討

○渡邊菜々子¹・川口充康¹・西脇巧¹

¹日本工営都市空間株式会社 名古屋本社（〒461-0005 愛知県名古屋市東区東桜2-17-14）

本業務は、同規模自治体と比較して多くの公共施設を有し、人口減少が進む愛知県南知多町において、限られた財源の中で公共サービスを持続的に提供するために、公共施設の総延床面積50%削減を目標とした「公共施設再配置計画」を策定したものである。50%削減に向けた施設の評価・抽出では、定量評価と町民ニーズ等による定性評価を融合した再配置検討フローを構築したほか、公共施設の削減による更なる都市の衰退を防ぐための方策を提案し計画に反映した。計画の実効性を高めるため、町民・庁内・有識者が三位一体でつくりあげる策定プロセスのもと、50%削減により約281億円の財政負担軽減が見込める計画を策定した。

Key Words：地方都市、50%削減、衰退防止、集約化・複合化、再配置検討フロー、三位一体の合意形成プロセス

1. 背景

我が国の公共施設は1970年代以降の高度経済成長期に建設されたものが多く、今後これらが一斉に更新時期を迎えることから、全国的に公共施設の老朽化対策と財源確保が大きな課題となっている。

本業務の対象である愛知県南知多町は、令和4年度時点で公共施設を全90施設（101,238.1㎡）有する。合併前の旧5町村単位で整備されてきたため、人口1人あたりの延床面積が5.67㎡/人と、全国平均3.64㎡/人と比較して高い水準にあり、さらに7割以上の施設が築30年を超えている。

人口は約1万6千人を有するが、急速に人口減少と少子高齢化が進行しており、令和27年度には人口1万人を下回り、老年人口が総人口の半数程度を占めると予想されている。財政状況は、扶助費が増加する一方、公共施設に係る投資的経費は減少傾向にある。公共施設の更新費用として1年あたり平均26.7億円が必要であるが、実際に使える経費は約9.7億円であり、全ての公共施設を現状のまま維持し続けることは困難な状況である。

このような状況を受け、町は令和3年度に公共施設等総合管理計画【改訂版】を策定し、人口面や財政面等から、令和32年度までに公共施設の総延床面積を50%（約50,000㎡）削減する目標を定めた。県内自治体では削減目標を10%～30%に定めているところが多く、50%削減は非常に高い目標といえる。

2. 業務の目的

本業務は、削減目標と町の基本理念である「暮らし続けられるまちを“あなた”とつくる」の実現に向け、再配置の基本方針を設定した上で、施設ごとに30年後（令和32年度）までの計画的な再配置プランを示す公共施設再配置計画（以下、「本計画」という。）を策定した2か年業務である。策定にあたっては、地域住民等との十分な合意形成を図りながら進めることが求められていた。

本稿では、本計画策定に係る経緯を紹介するとともに、特に人口減少が進む地方自治体において公共施設の削減を行う際の留意点と、必要とされた技術的特徴を取りまとめる。

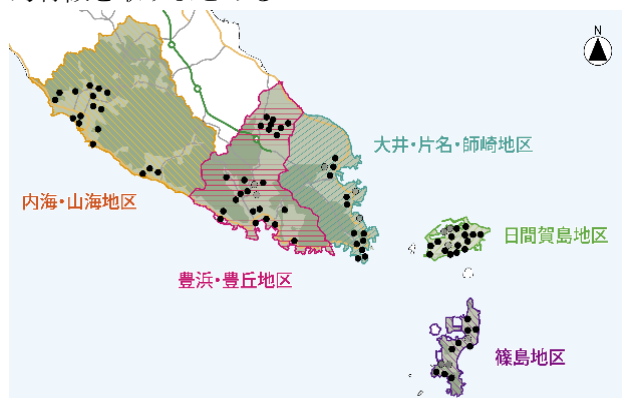


図-1 南知多町の地区構成と公共施設の分布状況

3. 再配置計画策定にあたっての3つの課題

(1) 50%削減に向けた施設の評価・抽出【課題1】

50%削減の目標を実現するには、30年後も公共として保有すべき施設と廃止を検討すべき施設を評価し抽出する必要があった。削減量が多いため、特に廃止を検討すべき施設は、客観的な視点とあわせて町民が納得感を得られる慎重な評価が必要であった。

(2) 削減による都市の衰退対策【課題2】

限られた財源の中で公共サービスを持続的に提供するために50%削減を目指すのが、実現した際に、公共サービス水準の低下による人口流出、地域コミュニティの活力低下及び廃止施設の増加といった都市の衰退を防ぐための対策が必要であった。

(3) 計画の実効性を高める策定プロセス【課題3】

策定した計画を実行していくためには、町民の理解と主体的な関わりとともに、複数に跨る公共施設所管部署の職員による意識共有と推進力が求められる。よって、本計画の策定プロセスにおいては、計画の合意形成を図るだけでなく、当事者意識を醸成する工夫が必要であった。

4. 再配置検討フローの確立

…【課題1への対応】

(1) 定量評価と定性的な検討を融合したフロー

公共施設の再配置では、決められた手順やマニュアル等が存在しないため、本業務では、客観的な視点と町民視点の双方を反映させた再配置検討フローを構築した。

まずは事務局側で客観的な指標に基づいた公共施設の定量評価を行い、削減対象となり得る施設を機械的に抽出した後、町民ニーズや町職員の意見に基づき機能の集約化や複合化といった再配置プランを定性的に検討するフローとした。

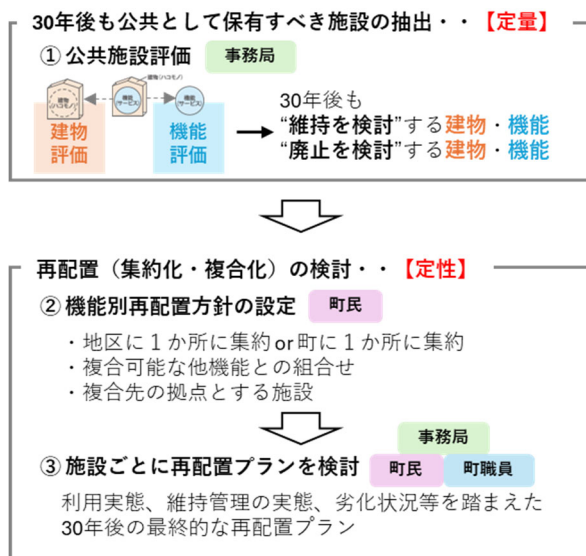


図-2 再配置検討フロー

また、50%削減を実現するためには、現在の施設単位で維持や廃止を考えるのではなく、各施設内にある機能単位で集約化・複合化しながら総量削減を目指す必要があると考え、全施設を建物（ハコ）と機能（サービス）に分けた上で検討を行った。

(2) 公共施設評価（定量）

建物評価では、機能を集約化・複合化することで30年後の拠点となり得る施設を抽出するため、主に都市計画の観点から、町が目指す将来都市構造との整合や、避難所指定の有無、災害ハザードの有無といった指標を設定した。判定の結果、計69施設中17施設について“維持を検討”という結果となり、50%削減につながる抽出が出来た（図-3）。

機能評価では、30年後も残すべき機能を客観的に見極めるため、民間代替性、経済性、活用性の指標を設定した。判定の結果、計85機能中77機能について“維持を検討”という結果となった（図-4）。

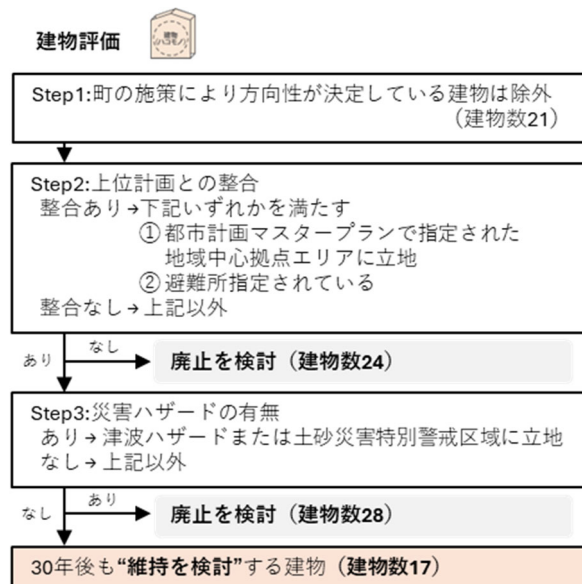


図-3 建物評価フロー

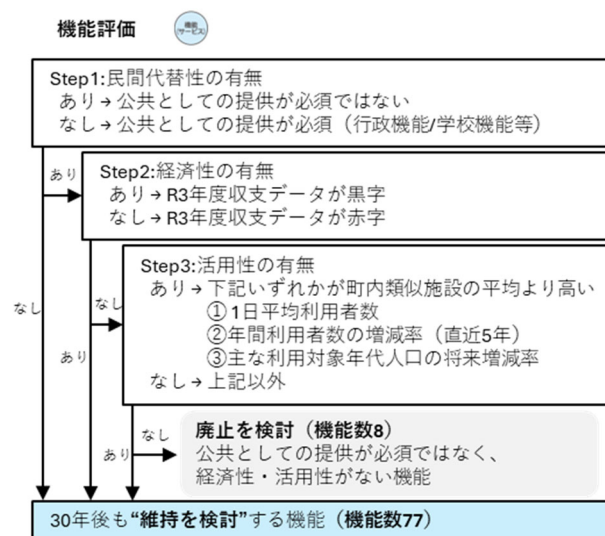


図-4 機能評価フロー

(3) 機能別再配置方針の設定（定性）

定量評価で「維持を検討」となった建物に対して機能を集約化・複合化するための方針を、町民アンケートや地区別説明会・意見交換会によって得られた町民ニーズを基にして検討した。

まずは、同一機能の集約化に向けた方針として、地区に1つは配置すべき機能と、町に1つ配置すべき機能を定め、機能重複している場合は地区または町内の1か所に集約化を基本とする方針を定めた。

次に、他機能との複合化に向けた方針として、複合可能な機能の組合せや、アクセス性や施設規模等をもとに複合先の拠点とする施設を定めた。

表-1 機能別再配置方針の例

■学習交流機能	
○各地区に1か所以上配置することを基本とします。	
○貸館機能は、総合体育館の利用や学校教育施設等との複合化を行うことで、多世代交流できる地域拠点として配置します。	

(4) 施設別に再配置プランを検討（定性）

定量評価結果と機能別再配置方針を前提として、施設ごとに最終的な再配置プランの検討を行った。

検討にあたっては、施設の利用実態や維持管理の実情、建物劣化状況等を踏まえて、町民や町職員で議論を重ね、必要に応じて、定量評価結果を変更しながら再配置プランを策定した。

表-2 施設別の最終的な再配置プランの例

施設名	機能名	公共施設評価		再配置プラン	再配置プラン
		建物	機能	建物	機能
南知多町公民館	学習交流	維持を検討	廃止を検討	売却検討	廃止
機能廃止に伴い、建物も売却を検討します。					
南知多町公民館内海分館	学習交流	廃止を検討	維持を検討	売却検討	内海小学校に複合して維持
内海小学校に複合し、建物は売却を検討します。					

5. 公共施設削減のその後を見据えた提案

…【課題2への対応】

(1) 現在の都市構造を踏まえた配置検討

南知多町の半島側にある3地区はそれぞれ山間の平坦部に離れて生活圏が形成されている。また、2つの有人離島は半島からフェリーで行き来する必要がある。こうした町の成り立ちやコミュニティの持続を考え、現在の生活圏を維持するために、地区単位での集約を主とした分散型配置を基本とした。

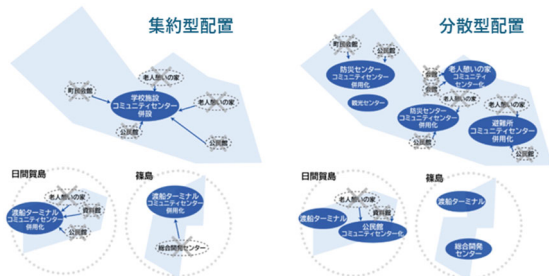


図-5 集約型配置と分散型配置のイメージ

(2) 町民の居場所となる複合施設の提案

公共施設の総量が減少しても、地域コミュニティは維持・向上できるよう、町民の居場所となる複合施設を各地区に設けることを提案した。具体的には、集約化や複合化を検討する際、各地区にある小学校に、公民館等の貸館機能や子育て支援施設等を複合するプランとすることで、学校を中心とした新たな地区拠点を創出し、多世代交流や地域コミュニティの形成を促す計画とした。

(3) DXを活用したサービス水準の維持

公共施設の総量が減少しても、行政サービスは維持できるよう、DXを活用したサービスの代替を提案した。具体的には、各地区で証明書発行等を行うサービスセンターについて、今後はスマートフォンから申請し、コンビニ等で証明書を受取るしくみの導入を積極的に検討していく計画とした。サービス水準を維持しながら、対人サービスが不要になるため、半島側のサービスセンターは30年後までに廃止とする方向性を定めた。

(4) 廃止施設の利活用検討

今後も維持し続ける施設だけではなく、削減により生じる廃止施設の利活用と両輪で検討する必要性を提案し、基本方針に「町民の生活の質の向上に向けた跡地の有効活用」を掲げた。そのうえで、民間売却や地元移譲等の方向性を計画に位置付け、町民から「跡地や廃止施設を使って喫茶店やカフェ等の気軽に集える場所を町民同士でつくる」や「清掃や草刈り等の維持管理は町民が行う」等の主体的な意見を引き出した。

6. 町民や町職員を巻き込んだ策定プロセス

…【課題3への対応】

(1) 町民・町職員・有識者による計画策定プロセス

町民による町民討議会、町職員による庁内検討会議、有識者による再配置検討委員会と、3つの会議体を構成し、2か年にわたり三位一体となって計画をつくりあげるプロセスとした。

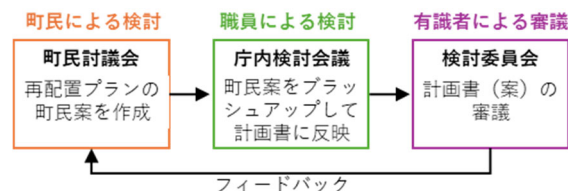


図-6 各会議体の役割と連携イメージ

(2) 当事者意識を高めるための町民参画手法

合意形成だけではなく、計画に対する主体的な関わりを促し、当事者意識を醸成するために、町民の関わり方を4段階に分け、それぞれの段階で町民が参画できるような会議体運営や調査を行った。段階の分け方は、主体性の度合いに応じて、1意見聴取の段階（アンケート回答や説明会参加）、2協働作

業の段階（再配置プランの主体的な検討）、3計画立案の段階（町民代表として委員会に参加）、4実践に向けた準備段階（計画を自分ごとに捉え自分に出来ることを考える）と設定した。

段階と町民の関わり方	業務で実施したこと	対象者
4：実践に向けた準備段階 再配置計画を自分ごとに捉え、自分に出来ることを考える	計画のフィードバック (地区別説明会・意見交換会)	地区の住民
3：計画立案の段階 町民代表として計画立案に参加する	再配置検討委員会	有識者と町民討議会からの代表2名
2：協働作業の段階 再配置を主体的に検討する	町民討議会	アンケートの中で参加希望があった意欲ある町民 (20~70代の男女17名)
1：意見聴取の段階 再配置の必要性を知り、意見やアイデアを出す	町民アンケート 地区別説明会・意見交換会	16歳以上の町民2,000人を無作為抽出 地区の住民

図-7 段階別の町民の関わり方

a) 町民アンケートと地区別説明会・意見交換会

町民アンケートでは、町が抱える課題や再配置の必要性を周知することで、幅広く町民全体から意見を収集した。地区別説明会・意見交換会では、直接、議論に関わることが出来ない町民に対して、情報共有と意見交換の場を設けることで、地区ごとに再配置に対する機運醸成を図った。

b) 町民討議会

町民討議会では、将来の公共施設運営の担い手育成も視野に入れ、無作為に募った意欲ある町民に、再配置プランと跡地利活用の両輪を主体的に検討してもらった。

c) 再配置検討委員会

町民討議会のメンバーのうち2名が町民代表として、有識者による検討委員会に参加し、町民の意見を発信するとともに、実際に計画立案に加わってもらった。

d) 計画のフィードバック

地区ごとに、策定した計画を広く町民にフィードバックする場を設け、今後の公共施設のあり方を一緒に検討し、計画を自分ごとに捉え“自分自身に出来ること”を考えてもらった。

(3) 各課職員の連携による庁内検討

南知多町では、公共施設再配置を推進するための組織体制として、関係部署の職員で構成された庁内検討会議を設けた。部署を横断して職員の意識共有と連携が図れるよう、各部署が関係する施設や業務内容に合わせて会議体を4つのワーキンググループ(WG)に分けて、再配置プランの検討を行った。

- ・公共施設WG…再配置プランや維持管理の検討
- ・学校施設WG…学校施設の維持管理の検討
- ・施設営繕WG…施設更新・修繕や官民連携の検討
- ・公共サービスWG…サービス向上やDX化の検討

庁内検討会議の初回には、今後、質の高い公共サービスを確保していく上で必要となる、行政・町民・民間による“協働”の考え方を説明した上で、協働の時代に職員に求められる役割を職員自身で検討することで、庁内における機運醸成を図った。

7. 本業務の成果

(1) 総延床面積50%削減および町の財政負担軽減

本業務で策定した再配置プランを実行することで、30年後の総延床面積は101,238.1㎡から51,207.3㎡に減少し、50%削減という削減目標を達成可能な計画を策定することが出来た。

また、今後30年間に於ける大規模改修や長寿命化改修、建替え等に要する将来更新費用の削減額が約118億円、維持管理費の削減額が約92億円、合計で約281億円の財政負担軽減が見込める結果となった。

(2) 町民の理解と主体的な関わりを促す計画づくり

検討開始当初は「今利用している施設がなくなるのは考えられない」「公共施設を減らすことで人口減少が加速する」といった公共施設再配置に対する否定的な意見も見られたが、最終的な再配置プランに対しては、施設の廃止時期や施設利用方法等に関する質疑はあったものの、プランそのものに対する否定的な意見は見られなかった。

説明と意見交換の場を各地区2回ずつ設け、町民意見に対する丁寧な回答と情報共有を続けたほか、南知多町の地区特性を加味した独自の再配置検討フローの構築や、実際に公共施設を利用する町民が主体の町民討議会を中心として検討を重ねたことが、町民の理解を得ることにつながったといえる。

また、計画策定を進めるなかで、策定後の実行段階を見据えながら、町民が主体的に公共施設に関わるための仕掛けや町全体の機運醸成を合わせて行うことが出来た。

8. 今後に向けて

本計画の期間は30年と長期にわたるため、社会情勢の変化や町民ニーズの変化等に応じて適宜見直しが必要である。また、今後も継続して更新及び維持管理していく施設とともに、用途廃止した施設の売却等に向けた検討も両輪で進めていく必要がある。南知多町では令和6年度に、公共施設を総合的にマネジメントする部署を設置した。今後、所管部署と連携しながら、計画実現に向けた進捗管理に取り組んでいく。

一方で、財源や技術系職員が不足するなか、計画通りに再配置を進めていくことは容易ではない。また、町民の機運を継続して高めていくことが重要となる。これらの課題に対し、民間事業者が持つ技術力、資金力及び経営能力を導入しながら計画を推進していくことが有効だと考え、計画の実現に向けた包括的な官民連携事業の枠組みを町に提案中である。

2か年にわたり町民とともに計画を策定してきたが、策定して終わりではなく、実現まで関われるコンサルタントを目指して、これからも技術の研鑽に努める所存である。

災害リスクを踏まえた居住誘導区域のあり方と 防災・減災の実現に向けた取組の検討

いわせひろま なかしましんいちろう いまいともゆき あさのたかひさ はぶかあかね
○岩瀬大真¹・中島慎一郎¹・今井智之¹・浅野貴久¹・羽深 茜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、都市再生特別措置法の改正を踏まえ、愛知県岡崎市において防災指針を策定し、立地適正化計画に位置づけたものである。岡崎市では、水災害（洪水、雨水出水、土砂災害等）が想定されるエリアが既成市街地の広範囲に及ぶため、都市の災害リスクを明らかにした上で、水害リスクが存在することを前提とした居住誘導区域のあり方のほか、市民の生命・身体を守る避難行動につながるソフト対策を基本としながら、河川・水路の整備等の災害リスクの低減を図るハード対策を組み合わせることにより防災性を高める計画とした。

Key Words：立地適正化計画、防災指針、居住誘導区域

1. はじめに

近年、全国各地で土砂災害や洪水等の災害が発生し、生命や財産、社会経済に大きな被害をもたらしている。水害及び土砂災害などの自然災害への対応や防災・減災を考慮したまちづくりを進めていくため、令和2年6月に都市再生特別措置法が改正され、居住誘導区域内における防災・減災対策を「防災指針」として立地適正化計画に位置づけることが新たに規定された。岡崎市では、時間雨量79mmを観測した東海豪雨（平成12年9月）や時間雨量146mmを観測した平成20年8月末豪雨において、市内の広い範囲で浸水被害を受けた。気候変動の影響等により、今後もこうした自然災害の頻発・激甚化が懸念されるため、防災指針では、岡崎市のまちづくりにおける防災上の課題を把握した上で、ハード対策・ソフト対策に係る取組を定める。



図-1 岡崎市の過去の水害

は、市街化区域から法令等に示されている災害危険性が高い区域等を除外して居住誘導区域を設定している。特に岡崎市では、土砂災害に関して、土砂災害特別警戒区域（レッドゾーン）のみでなく、土砂災害警戒区域（イエローゾーン）も居住誘導区域から除外していることが特徴である。

これらの災害危険性が高い区域等を除外した上で、公共交通、土地利用の状況、インフラ、公的施設や生活利便施設の立地利便性等を総合的に評価し、図-2のように居住誘導区域を定めている。

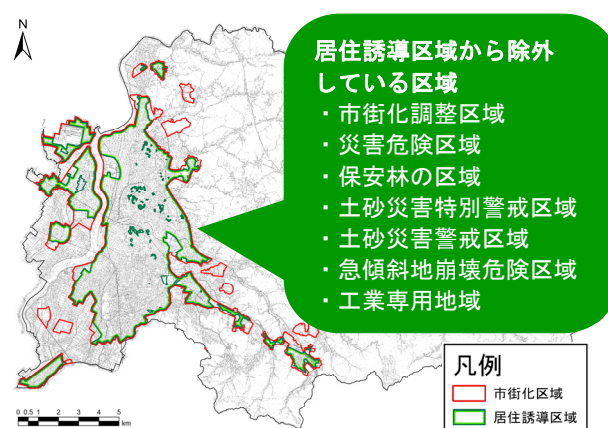


図-2 居住誘導区域の設定状況

2. 岡崎市の市街地の状況

(1) 居住誘導区域の設定状況

現行の岡崎市立地適正化計画（平成31年3月）で

(2) ハザードの分布

市内には、矢作川、乙川、広田川のほか、多くの中小河川が市街地を流下している。

想定し得る最大規模の降雨（1,000年に1度程度の確率で発生）の際には、居住誘導区域の5割以上

で浸水が想定されており、このうち、浸水深3m以上（建物の2階部分の浸水に相当）の区域は約4割となっている。

河川整備の際に目標とする計画規模の降雨においても、居住誘導区域の約4割で浸水が想定されており、このうち、浸水深3m以上の区域は約5%となっている。

また、土砂災害のおそれがある区域は市街化区域内にも分布しているが、前述のとおり、これらの区域は既に居住誘導区域から除外している。

表-1 市街化区域と居住誘導区域の浸水想定区域面積

	市街化区域		居住誘導区域	
	ha	割合	ha	割合
区域面積	5,956	—	5,004	—
浸水想定区域面積（最大規模）	3,248	54.5%	2,708	54.1%
浸水深3m以上の区域	2,210	37.2%	1,912	38.2%
浸水想定区域面積（計画規模）	2,373	39.8%	1,990	39.8%
浸水深3m以上の区域	269	4.5%	236	4.7%

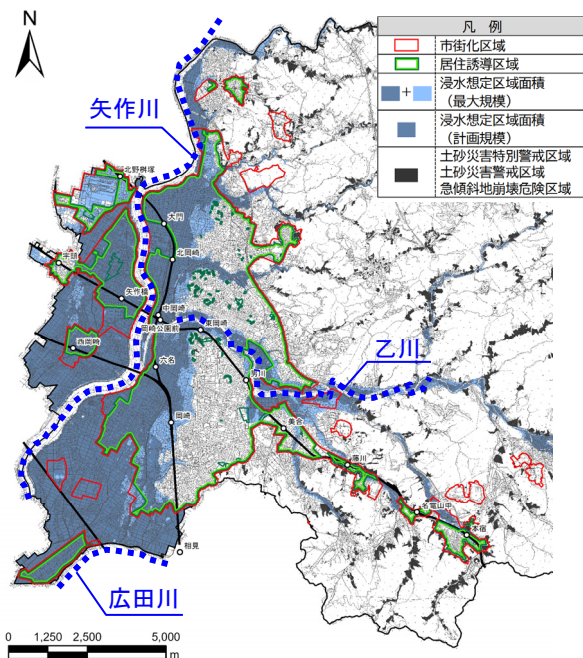


図-3 ハザードの分布状況

3. 災害リスクの分析を踏まえた防災・減災に向けた取組方針の検討

(1) 災害リスクの分析方法

市街地の広範囲で浸水が想定される岡崎市において、水害が市民の生命や財産へ与える影響を把握するため、居住誘導区域を対象に想定の発生降雨確率等に応じた2段階の分析を行った。

第1段階では、浸水想定区域（最大規模）や土砂災害のおそれのある区域と、人口や建物、都市機能増進施設等の都市情報を重ね合わせることで災害リ

スクのある範囲を明らかにするとともに居住者や各種施設利用者への影響を把握した。

第2段階では、浸水想定区域（最大規模）と比較して発生頻度が高い災害ハザードである浸水想定区域（計画規模）や雨水出水による浸水実績と、人口や避難場所・避難所等の都市情報を重ね合わせることで避難に着目した分析を行った。

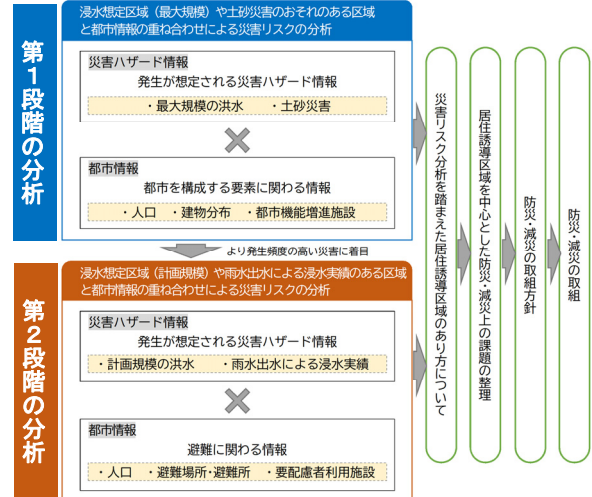


図-4 検討ステップ

(2) 災害リスクの分析結果

以降では、洪水・雨水出水に関する内容を取り上げて示す。

a) 第1段階の分析

1,000年に1度程度の降雨を想定した最大規模の浸水想定区域内には、居住誘導区域内人口の約6割にあたる約20万人が居住しているほか、建物の約5割にあたる約9万棟が立地している。そのうち、行政施設の約9割をはじめ、市民の生活を支える施設も多く立地していることが明らかとなった。

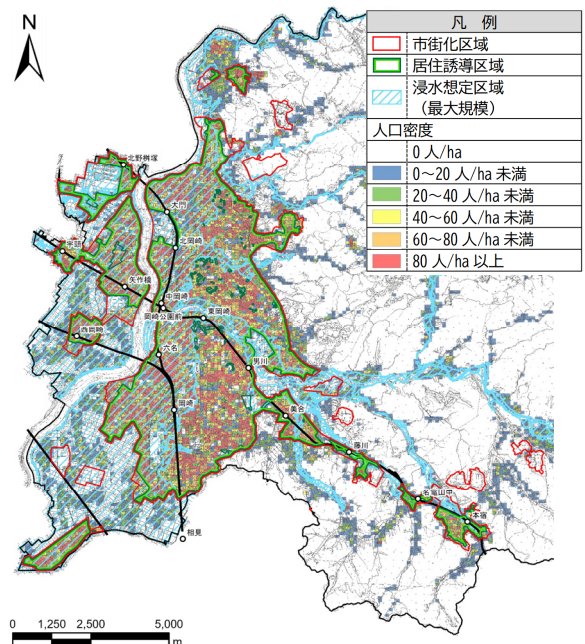


図-5 浸水想定区域（最大規模）と人口分布

b) 第2段階の分析

最大規模と比較して発生頻度の高い計画規模の浸水想定区域において、建物の2階部分の浸水に相当する浸水深3m以上となる区域や、雨水出水による床上浸水実績のある区域内に、居住誘導区域内人口の約2割にあたる約7万人が居住しているほか、要配慮者等が利用する施設の約1割が立地していることが明らかとなった。

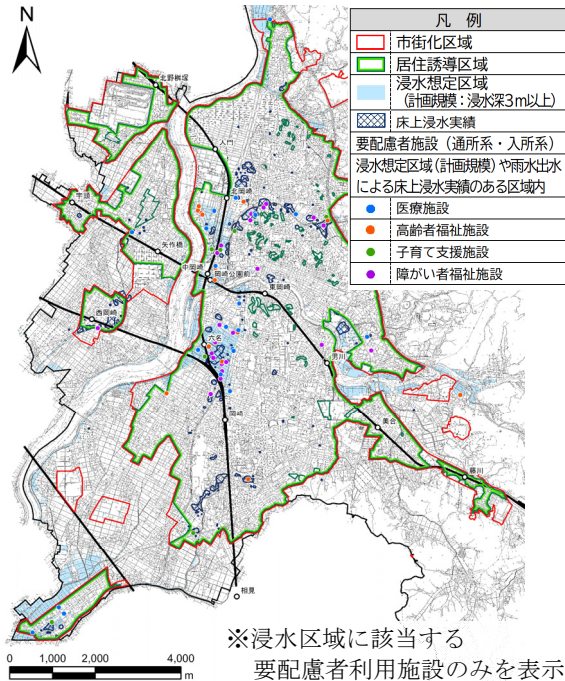


図-6 浸水区域と要配慮者利用施設の分布

(3) 居住誘導区域のあり方

前項の災害リスクの分析結果より、岡崎市の居住誘導区域内には水害（洪水・雨水出水）リスクがあり、居住者や市民の生活を支える施設の多くにも影響を与えることが明らかとなった。

しかしながら、既成市街地の多くは居住誘導区域に含まれているため、居住誘導区域から浸水想定区域を除外し、今後のまちづくりを進めることは、これまでの歴史や将来の発展を見据えても、現実的ではないと考えられた。また、ハード対策により、居住誘導区域内から水害リスクを完全に取り除くことも困難と言える。

こうした状況から、居住誘導区域から浸水想定区域を除外することはせず、水害リスクが存在することを前提として、まちづくりを進める方針を立案することとした。まちづくりを進めるにあたっては、市民の生命・身体を守るためのソフト対策を中心としつつ、特に計画規模の洪水や雨水出水に対してはハード対策を組み合わせた対策を進めることで、リスクの軽減を図ることとした。

(4) 防災・減災に向けた取組方針

前述した災害リスクの分析結果や居住誘導区域のあり方を踏まえ、防災・減災まちづくりを推進するための、水害（洪水・雨水出水）に対する取組方針

を図-7のように設定した。

1,000年に1度程度の確率での発生を想定した「最大規模」の水害に対しては、生命・身体を守る避難等のソフト対策の推進を基本とし、河川整備の目標となる「計画規模」の水害に対しては、災害リスクの軽減を図るハード対策を推進するとともに、生命・身体を守るためのソフト対策も最大規模と同様に推進することとした。

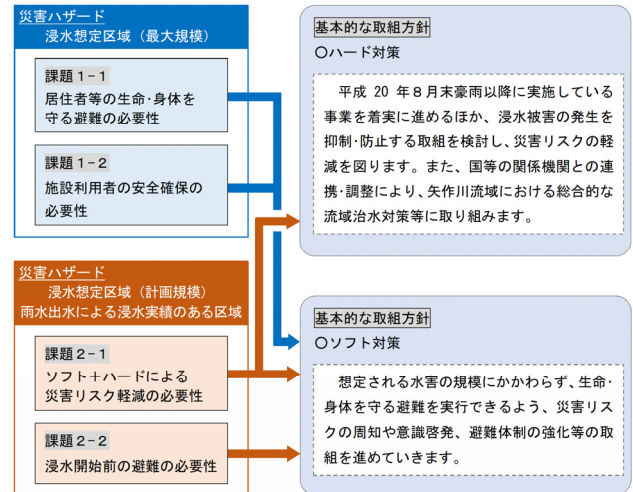


図-7 水害（洪水・雨水出水）に対する取組方針

なお、土砂災害に対しても、ハード対策とソフト対策の両面から災害リスクの軽減を図る取組を推進する方針とするが、居住誘導区域からは引き続き除外し、住宅や施設の立地抑制を図ることとした。

4. 防災・減災に向けた取組と取組検討における独自分析等

(1) 防災・減災に向けた取組

前述した防災・減災の取組方針を踏まえ、既存計画に位置づけられている施策等のほか、今後実施すべき取組を整理し、庁内関係課との調整を行った。

なお、河川整備等のハード対策や避難等のソフト対策を担い、特に防災指針に位置づける取組との関連性が高い部署とは、綿密な調整を行い施策の熟度を深めた。

表-2 防災指針に位置づける防災・減災の取組（抜粋）

ハード対策	
・河川の整備・改修 ・雨水排水施設の整備・改修 ・市有施設の防災性強化 ・地区計画による防災対策 ・新たなまちづくりにおける防災・減災対策 …等	
ソフト対策	
・水害リスクの周知・啓発 ・避難先の確保 ・内水浸水シミュレーションに基づいたハザードマップの作成・運用 ・防災教育の実施 ・地区防災計画の策定促進 …等	

(2) 取組検討における独自分析等

a) 先行した対策の検討が求められるエリアの抽出

人口や各種施設等の都市要素が集積しているエリアは、発災時の被害の甚大化が懸念される。そのため、表-3に示す都市要素を把握した上で災害リスクと重ね合わせることで、市内で都市要素が集積しているエリアと災害リスクの関係を明らかにした。

なお、より災害リスクの高いエリアを把握する観点から、前述で発生頻度の高い水害ハザードとして把握した浸水想定区域（計画規模で浸水深3m以上）や雨水出水による床上浸水実績のある区域を都市要素が集積しているエリアと重ね合わせた。

表-3 把握する都市要素

1) 都市計画マスタープランにおける拠点区域
2) 良好な基盤が整備、または整備予定の区域 (土地区画整理事業、住居系の地区計画等)
3) 人口密度の高いエリア
4) 鉄道駅、バス停の徒歩圏内
5) 生活利便性の高いエリア (都市機能増進施設からの徒歩圏内)

岡崎市においては、矢作川や乙川に近接するエリアに都市要素が集積しており、特にこれらの河川の合流部周辺では、災害リスクが高いエリアと重複していることが明らかとなった。これらの結果を踏まえ、都市要素の集積度が高く、水害に対する災害リスクが高いエリアを「先行した対策の検討が求められるエリア」と位置づけた。

上記のエリア内には、土地区画整理事業等の実施により、住宅や商工業施設の集積が進んでいるものの、浸水被害が頻発している区域がある。市民の生命、身体及び財産を災害から保護するため、早急な浸水対策が求められており、雨水ポンプ場や雨水管渠の整備等の浸水被害の軽減を図る必要がある。

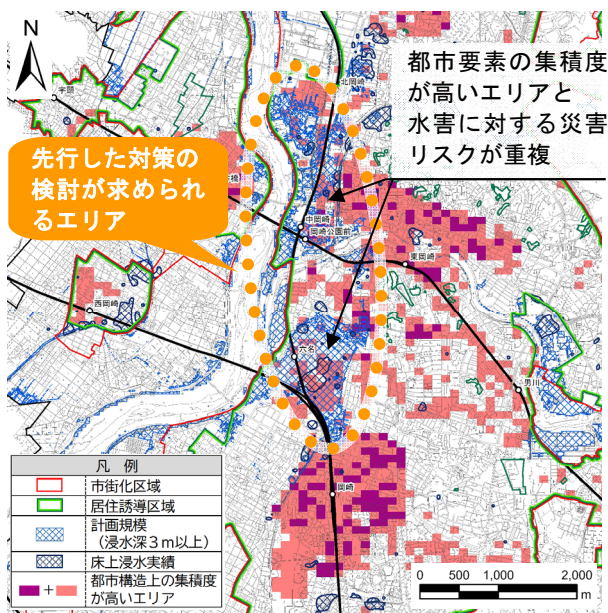


図-8 都市要素の集積度と災害リスクの重ね合わせ

b) PLATEAUを活用した市民啓発資料

地域で想定される浸水状況を3D化し、PLATEAUの3D都市モデルと重ね合わせることで、災害リスクをわかりやすく視覚化することに取り組んだ。

浸水が建物のどの程度の高さまで迫るのかを直感的にわかりやすく示すことにより、市民の防災意識の向上や避難行動の啓発につながるものと考えた。

令和5年度には、作成した浸水イメージを活用し、災害リスクや防災指針の内容等を市民に向けてわかりやすく、より身近に伝えるためのパネル展示を実施した。

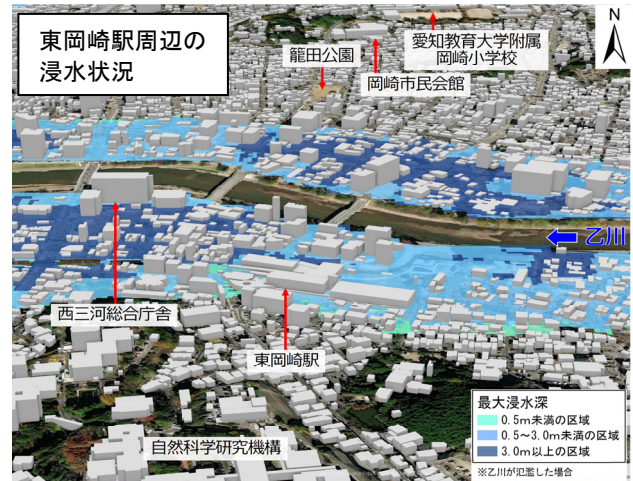


図-9 PLATEAUを用いた浸水イメージ



図-10 パネル展示の様子

5. おわりに

本論文では、既成市街地の広範囲で浸水が想定される岡崎市において、水害リスクが存在することを前提とした居住誘導区域のあり方や、ソフト対策とハード対策を組み合わせたリスク軽減を図る取組を検討し、防災指針に位置づけた。

今後は、防災指針に位置づけた取組のうち、市民の防災意識向上につながるソフト対策を着実に推進し、市民の生命・身体を守る行動の実現を目指す必要がある。加えて、特に岡崎市が主体となって実施する取組については、確実な進行管理を行うことによって計画の実行性を高めることが重要であると考えられる。

自動運転を支援する 路車協調システムの有効性に関する評価検証

○高村 真一¹・市川 貴也²・六反 雅登¹・稲富 貴久¹・光安 皓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パシフィックコンサルタンツ株式会社 本社（〒101-8462 東京都千代田区神田錦町三丁目22番地）

我が国では、2023年4月道路交通法の改正により、公道でのレベル4自動運転が可能となったが、一般交通との混在条件では、交差点等で自動運転車両のセンサで検知できない箇所の安全性・円滑性が未熟であることが課題であり、道路インフラ側からの支援が求められている。レベル4自動運転サービスの実現に向け、上記支援の1つである路車協調システムの有効性を評価・検証するため、令和5年度に愛知県豊田市において、道路側に設置したシステムから自動運転車両へ情報提供を行う実証実験を実施した。検証の結果、システムにより精度・鮮度・信頼度の高い情報を提供することで、自動運転車両の安全性確保に資することが確認された。

Key Words：自動運転，路車協調システム，路車間通信，実証実験

1. 背景・目的

我が国では、2023年4月の道路交通法改正により、公道でのレベル4自動運転（特定条件下での完全自動運転）が可能となる等、自動運転技術の開発や社会実装に向けた動きが進展している。自動運転では、運転操作に関わる認知、予測、判断、操作等を運転者ではなくシステムが代替して行い、GPSや車両側のセンサ等の計測機器や情報技術を活用して、車両の自動制御を行う。自動運転に対する期待として、交通事故の削減や渋滞の緩和、物流業界等の生産性向上、国際競争力の強化などが挙げられるが、特に交通事故の削減と安全性への期待が大きい。日本国内の交通死亡事故の9割以上は「運転者の違反」に起因¹⁾しており、運転操作等を自動運転化することでヒューマンエラーが減少し、安全性が向上することが期待される。

先述のように自動運転が推進されている一方で、一般車両との混在条件下においては、交差点等で自動運転車両のセンサで検知できない箇所の安全性や円滑性が未熟であることが課題とされている。例として、自動運転車両が交差点を右折する際に、右折先の横断歩行者が交差点付近の建物や植栽等によって車両センサの死角となり、歩行者を車両センサから検知できず、交差点を安全に右折できないケースが考えられる。これを解決する施策として、道路インフラ側からの支援である路車協調システムが挙げられる。路車協調システムとは、自動運転車両の走

行経路上で死角となりうる交差点等に路側センサを設置し、交差道路から交差点に接近する車両等の情報を自動運転車両に提供する仕組みである（図-1参照）。レベル4自動運転サービスの実現に向け、国土交通省では路車協調システムの技術基準作成を目指しており、システムの技術的検証・効果検証を行うため、愛知県豊田市で実証実験を行った。

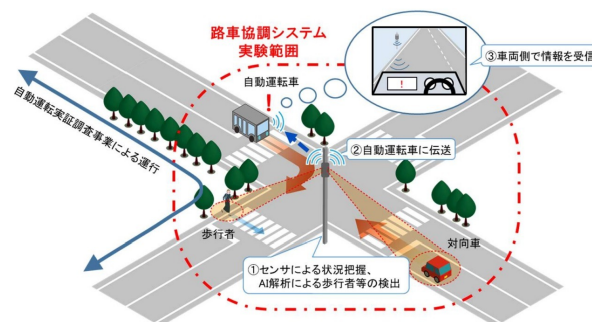


図-1 路車協調システム導入イメージ²⁾

2. 実証実験概要・手法

(1) 実証実験概要

実証実験は、豊田市、公益財団法人豊田都市交通研究所、日本工営株式会社による豊田市中心市街地玄関口バス路線での自動運転実証事業推進コンソーシアムを実施主体とする「自動運転実証実験」と、

国土交通省中部地方整備局を実施主体とする「路車協調システム実証実験」が連携する形で実施した。自動運転実証実験の概要を表-1に示す。本実験では、令和5年11月30日[木]から12月28日[木]（計29日間）を一般運行期間とし、10時台から17時台の往復6便で乗客ありのバスを自動運転車両で走行させた。自動運転車両は先進モビリティ株式会社が使用するBYD J6であり、複数の車両センサから物標を検知し、自動制御（レベル2）で走行した（表-2参照）。路車協調実証実験は、自動運転実証実験の一般運行期間において実施した。

自動運転車両の走行ルートは、福祉センターと市中心部の豊田市駅を往復するルートで、路車協調実証実験は、走行ルート上のイオンスタイル豊田駐車場付近の交差点で実施した。本交差点は自動運転車両の往路（優先道路）において、建物により交差道

表-1 自動運転実証実験概要

項目	内容
期間	◇準備運行 令和5年11月1日[水]～11月28日[火] ◇関係者試乗運行 令和5年11月29日[水] ◇一般運行（路車協調実証実験期間） 令和5年11月30日[木]～12月28日[木]
運行時間帯・頻度	10時台～17時台 ※1日12便[片方向]：往復6便
実施主体・運行者	豊田市中心市街地玄関口バス路線での自動運転実証事業推進コンソーシアム
運転手	豊栄交通株式会社
遠隔監視	株式会社東海理化

表-2 自動運転車両概要

項目	内容
所有	所有者：三菱オートリース ※使用者：先進モビリティ株式会社
車両名	BYD J6
台数	1台
自動運転レベル	レベル2（ドライバによる監視あり）
車両定員	27名（着座16名：運転者含む）
車両センサ	3DLiDAR：6台、物体検知カメラ：5台 ステレオカメラ：1台



[自動運転車両走行ルート] [路車協調箇所]

図-2 自動運転車両走行ルート・路車協調箇所

路（非優先道路）から流入する交通が遮蔽されており、自動運転車両センサでの検知が困難となっている（図-2参照）。本交差点に路車協調システムを構築・設置することで、自動運転車両の死角となる交差道路の情報を自動運転車両に提供する実証実験を行った。

(2) 路車協調実証実験手法

路車協調実証実験の概要を表-3・図-3に示す。本実験では、物標を検知するセンサとしてLiDARとボックスカメラを使用（電柱へ共架）し、自動運転車両とセンサを通信する手段として数百mの狭域通信であるITSConnectを採用した。LiDARは、レーザー光を照射して、その反射光を元に物標の形状や距離等を計測する機器であり、ボックスカメラは人間の目で見える領域である可視光線を捉えて画像処理することで物標を識別・計測する機器である。上記センサで取得されたデータは情報を処理する制御部、路側から車両側へ情報伝送するための情報発信部（ITS路側機）を通して、車両内の制御部に伝送され、車両の自動制御に活用する。本実験では、センサによる検知精度の違いや路車協調システム導入による効果等を検証するため、2種類のセンサの使用期間とセンサなしの期間を分けて実験を行った。

路車協調システムの検知・制御ロジックを図-4に示す。実験箇所では、自動運転車両の走行ルートが優先道路であるため、検知対象である交差道路から接近する車両等の情報を受信すると自動運転車両が自動で徐行状態に移行し、飛び出し等があってもすぐに停車できる速度まで減速して交差点を通過する設定とした。自動運転車両が通常走行している状態（30km/h）から徐行状態になるまでに必要な時間（約5秒）を考慮し、その時間内に交差道路から交差点に進入する可能性のある約20mを検知範囲とした。自動運転車両の制御の流れは、実験交差点の1

表-3 路車協調実証実験概要

項目	内容
使用機器	LiDAR：1台 ボックスカメラ：1台
路車間通信手段	ITSConnect（狭域通信）
期間	◆路車協調センサ：LiDAR 令和5年11月30日[木]～12月12日[火] ◆路車協調センサ：設置なし 令和5年12月13日[水]～12月15日[金] ◆路車協調センサ：ボックスカメラ 令和5年12月16日[土]～12月28日[木]



[交差点部走行状況] [センサ等設置状況]

図-3 路車協調実証実験の状況

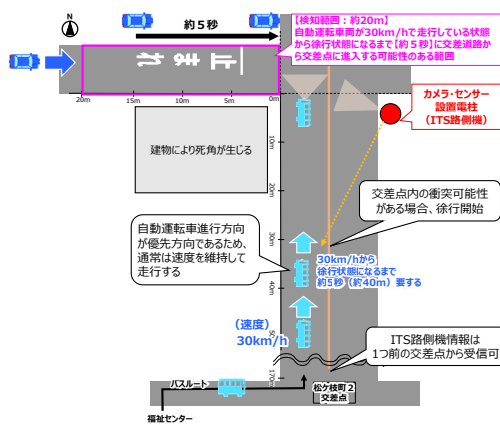


図-4 路車協調システムの検知・制御ロジック

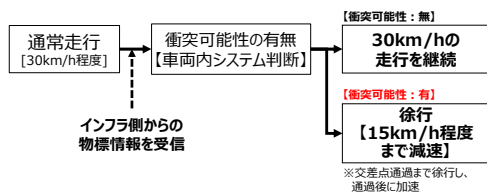


図-5 自動運転車両の車両制御フロー

つ前の交差点付近から、センサによって取得された物標情報を車両が受信し、自動運転車両が実験交差点に進入する直前5秒間（交差点手前の約40m）で、交差道路側に交差点へ進入する車両等がいる場合、自動運転車両は徐行状態になるまで減速を行う。その後、交差点直近では車両間で交差道路側の車両等の本線へのはみ出しを判断し、はみ出ていれば一時停止、はみ出ていなければそのまま交差点を通過し、徐行から速度を回復させた（図-5参照）。

3. 路車協調実証実験における検証結果

(1) 実験時における自動運転車両の走行状況

実証実験期間における路車協調時の自動運転車両の走行状況を図-6に示す。路側のセンサによって交差道路の検知範囲内に物標が検知されると、路車協調システムにより自動運転車両に情報が伝送され、自動でブレーキがかかり、徐行状態になるまで減速し、徐行状態のまま交差点を通過している。なお実

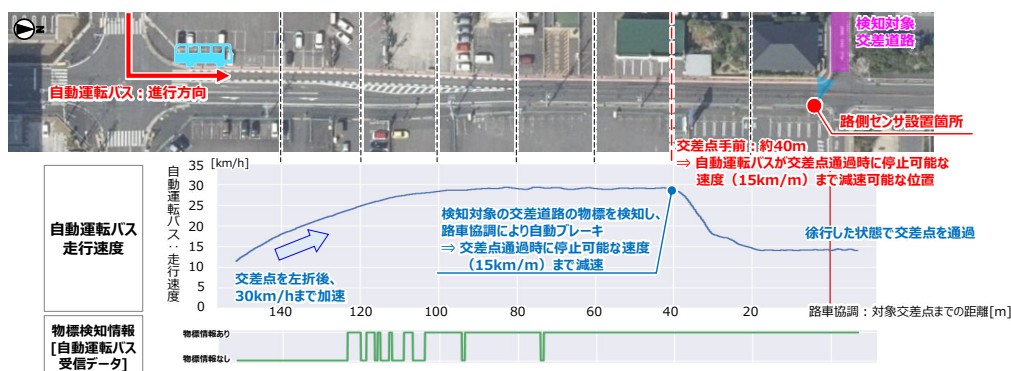


図-6 路車協調時の自動運転車両の走行状況

証実験期間中には路車協調システムにより自動運転車両が徐行したケースは73サンプル取得された。

(2) 路車協調システムの有効性に関する検証

本実験では、機器および車両から取得されたデータを活用し、精度・鮮度・信頼度等の項目から路車協調システムの有効性について評価・検証を行った。

a) 精度検証

実証実験期間における全体およびセンサ別の検知率を図-7に示す。LiDAR・ボックスカメラともに検知率は100%であり、検知すべき事象はすべて検知された。一方でボックスカメラでは、対象外物標を約1割検知しており、車両等がない場合でも風で揺れる木々や日陰等が物標として検知されたと考えられるケースが確認された。しかしながら、検知すべき物標はすべて検知され、車両制御が正常に行われていたため、安全性の視点では十分な精度を確保できたといえる。

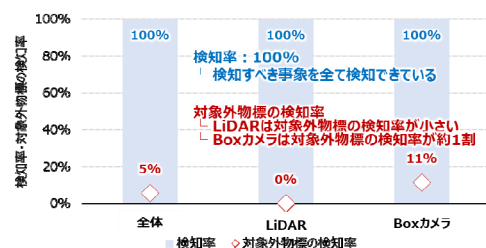


図-7 全体・機器別における検知率

b) 鮮度検証

路車協調時におけるセンサ別の処理および伝送時間を図-8に示す。処理時間とは、センサで検知した物標情報が路側の制御部内から送信されるまでの時間であり、伝送時間は上記制御部から自動運転車両の制御部まで情報が伝送される時間を指す。処理・伝送時間を合わせた時間（検知→車両）は、両センサの場合ともに約0.1秒であり、30km/hで自動運転車両が走行した本実験においては、受信した情報により交差点手前で自動制御（徐行）が行えており、通信時間（処理・伝送時間）は十分な鮮度を確保できたといえる。

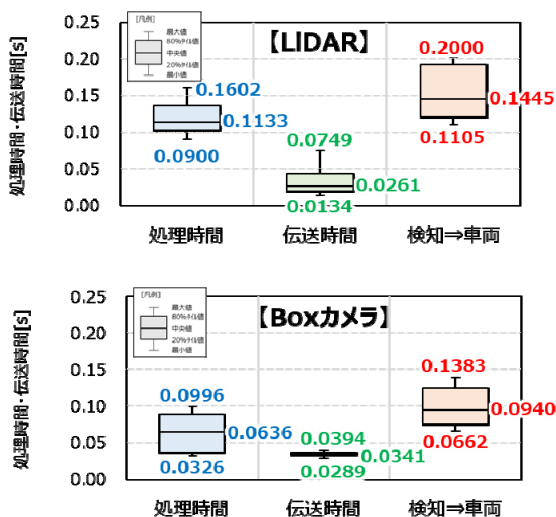


図-8 センサ別の処理・伝送時間

c) 信頼度検証

センサで検知した物標情報の信頼度を評価するため、物標の情報推移（車両方位角・速度）を取得データから分析した（図-9参照）。分析の結果、車両方位角および速度いずれも最初の0.5秒～1秒程度はデータが安定しない状態となっていたが、これは両指標とも約0.1秒ごとに取得したデータを数回分蓄積して正しい値を推定するためであり、それ以降はデータの精度（車両方位角・速度）が安定し、外れ値等は発生していなかった。上記を踏まえると、データの安定した0.5秒～1秒後以降では、車両の制御に影響するような特異値は発生しておらず、本実証実験で車両制御に必要とした情報（車両方位角、速度等）は十分な信頼度を確保できたといえる。



[車両方位角 (LiDAR)]



[速度 (ボックスカメラ)]

図-9 物標情報の推移の例

d) 安全性に関する検証

本実験では、路車協調システムなしでの走行時との比較を行い、路車協調により車両の急挙動やヒヤリハット等の発生に変化が生じたかどうか検証を行った。路車協調システムありの場合、交差道路に物標がいれば全て徐行していたが、システムなしの場合、物標のあった8件のうち、7件で減速せずにバスは一定速度のまま通過し、1件でドライバーの手動介入による急ブレーキが発生した。バスが減速しなかった7件については、交差物標の挙動次第ではバスが定速のまま接触した可能性が、1件は手動介入しなければ交差車両と接触した可能性があり、路車協調システムはこれらのヒヤリハット回数を低減し、安全性を向上させている。

4. 結論および今後の展望

本実験では、路車協調システムを構築・設置し、取得されたデータを活用して、路車協調システムの有効性に関する評価検証を行った。システムにより自動運転車両の死角となる範囲について、精度・鮮度・信頼度の高い情報を提供することで、安全性確保に資することが確認された。

一方、本実験では自動運転車両走行時の安全性を重視し、手動での運転よりも徐行が頻繁に発生しているため、交差点周辺の走行円滑性は一時的に低下していた。今後他地域へ展開する場合には、周辺道路の交通状況に応じて、円滑性を考慮した路車協調システムの構築を検討する必要がある。

謝辞：本実験の実施にあたり、多大なるご指導、ご協力を頂いた中部地方整備局の皆様、豊田市役所の皆様、JVで取り組んだ（株）建設技術研究所の皆様、実験関係者の皆様に深く感謝を申し上げます。

参考文献

- 1) 「令和6年度版交通安全白書」（内閣府）
https://www8.cao.go.jp/koutu/taisaku/r06kou_haku/index_zenbun.pdf.html
- 2) 国土交通省ウェブサイト
https://www.mlit.go.jp/report/press/road01_hh_001792.html
を加工して作成

国道19号桜通における歩道空間の再編による 賑わいの創出

ゆりしろうた てらおくじゅん いちわらよしはる
○百合昭太¹・寺奥 淳¹・一藁義治¹

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

国道19号桜通（日銀前交差点～小川交差点）の歩道では、「一年を通して『桜』を感じられる道づくり」をコンセプトにした歩行者空間再編計画に基づき、歩きやすく賑わいのある歩道空間を目的とした歩道整備事業が推進されている。一方、区間全体としてコンセプトが掲げられているものの、沿道等の特性や歩行者の利用状況が異なるため、現状の沿道特性の違いを考慮した空間再編を計画する必要がある。本稿では、歩行空間のコンセプトやデザイン方針に準じながら、沿道施設立地状況や公開空地と連携した歩道空間の再編に向け、「地域の魅力向上とまち歩きの魅力向上」に資する整備計画や望ましい地域連携方針について報告する。

Key Words : 桜通開通80周年記念事業, 樹形管理計画, VRイメージ,
ゲームエンジン (Twinmotion)

1. はじめに

国道19号桜通（日銀前交差点～小川交差点）では、開通80周年事業の一環として「桜通の歩行者空間再編計画」¹⁾²⁾（以下、再編計画）が策定されており、“桜通久屋東～小川交差点”区間は、「将来整備対象範囲」として位置付けられている。桜通開通80周年記念事業全体のコンセプトとしては、「一年を通して『桜』を感じられる道づくり」が掲げられているが、過年度に再編計画が検討された“日銀前交差点～桜通久屋西交差点”の「早期整備対象範囲」および“桜通久屋西交差点～桜通久屋東交差点”区間とは、沿道の土地利用や歩道利用の特性が異なっている。このため、本業務では沿道等の特性や歩行者の利用状況などを踏まえ、既整備済みの「早期整備対象範囲」の整備方針を参考としつつ、沿道特性の違いを考慮した「地域の魅力向上とまち歩きの魅力向上」に資する「将来整備対象範囲」の整備計画を検討した（図-1）。

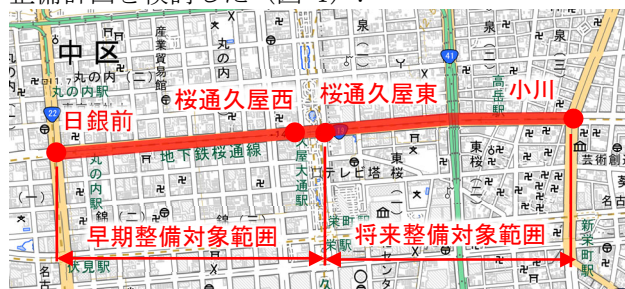


図-1 位置図（地理院地図に加筆）

また、今後のさらなる整備推進を図る目的から、各関係者及び道路利用者へ事業内容をより分かりやすく理解してもらうため、ゲームエンジンを用いた3Dによる整備イメージや利活用イメージを作成した。

さらに、桜通の歩道空間再編にあたって、地域住民や道路利用者との協働のあり方や、空間活用方策について検討し、今後の地域連携の進め方について提案した。

2. 現況状況の把握

沿道状況及び歩道空間の利用状況を把握するための現況調査を実施した。

(1) 沿道土地利用状況

「早期整備対象範囲」の沿道は、業務ビルやホテルなどの大規模で高層のビルが連担している。このため沿道の出入り箇所も比較的少ない。一方、「将来整備対象範囲」ではマンション等の住宅（低層に飲食等店舗利用含む）や店舗等の低層な業務施設、平面駐車場などがあり、建物の敷地（間口）が小さく桜通への出入り箇所が多くなっている。

(2) 現況利用状況調査

a) 歩行者交通量調査

歩道空間の利用状況を把握するため、ビデオ観測による現況調査（歩行者交通量調査）を実施した。

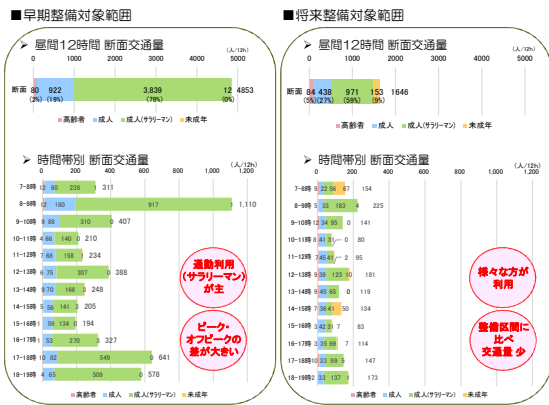


図-2 調査結果

b) 人流動態分析

スマートフォン等の位置情報を収集する装置から生成されるGPS信号履歴データを用いて人流動態分析を行った。（データ取得期間：2023年3月1日から2024年2月29日）



図-3 データ取得地点

表-1 動態分析結果

	早期整備区間	将来整備区間	共通
通行量	久屋大通付近が最も通行量が多く、他地点の2倍程度	高岳交差点より以東では、通行量が早期整備区間の半分程度に減少	幹線道路の交差点付近の通行量が多い 春季が最も通行量が多く、冬季は春の半分程度まで減少 休日は平日の7割程度まで減少
性別	休日に男性の割合が増加	平日・休日の男女比の差は小さい 15～19歳、60～79歳の割合が早期整備区間よりもやや多い	男性より女性の方が多い 30～49歳が約3～4割と最も多い 40～49歳の男性、20～29歳の女性がそれぞれ約1割と多い
居住地	名古屋市中区、東区、北区、千種区、西区の順に多い	名古屋市の東区、千種区、中区、北区、西区の順に多い	—
勤務地	名古屋市中区、東区、中村区、西区、北区の順に多い	名古屋市の東区、中区、千種区、中村区、北区の順に多い	—
回遊状況	桜通の沿道を比較的回遊している傾向	錦通へ回遊しており桜通の利用が若干減少	—

c) 歩行者の特性

「早期整備対象範囲」は、ピーク・オフピークの時間帯やピークの高さ、他路線への回遊の少なさから、通勤および業務等で沿道地区周辺を目的（勤務地等）とする歩行者の割合が比較的高いと推定した。一方で、「将来整備対象範囲」では通勤時間帯のピークがあまり大きくなく登下校時間帯の未成年交通量があること、全体交通量に占める高齢者が多いことなど、錦通などへの回遊が多いのは別の地下鉄路線利用のためと推測されることなどから、近隣住民による利用の割合が高いと推定した。なお、平日のピーク時交通量でも、歩行者通行用に2.5mの幅員が確保されていれば、通行に支障がない状況であると確認された。

表-2 歩行者交通量等の特性概要

	早期整備対象範囲	将来整備対象範囲	傾向
現況調査 （平日の歩行者交通量・属性）	断面交通量 約4,900人/12h ピーク時 約1,100人/h 朝（8時台）と夕方（17～19時台） ピーク率23%	断面交通量 約1,600人/12h ピーク時 約230人/h 朝（8時台）と夕方（17～19時台） ピーク率14%	日平均で3倍程度、ピークでは5倍程度の差がある。 ピーク時でも通行に支障がある交通量ではない。
年代	成人（就業者）の割合が8割	成人（就業者）6割で最大であるが時間帯によっては未成年者もいる	未成年者や高齢者の交通量などから、将来整備区間は近隣住民の居住者の利用が比較的高い
ビッグデータによる人流分析 （平日・休日、通行者の志向等）	交差点と単路部 久屋大通、日銀前、高岳などの交差点部が単路部よりも多い。 特に久屋大通は全体平均の2倍以上。 高岳駅の西と東でも差があり東は少ない。 桜通全体では休日（土日祝）は平日の7割強の交通量 高岳、小川は8～9割で比較差が小さい	平日・休日の違い 高岳、小川は8～9割で比較差が小さい	久屋大通を中心に交通量が分散 早期整備検討範囲は平日の業務関連交通の割合が高い 目的地（業務等）だと回遊が少なく、居住地だと他路線駅への移動があるためと想定
回遊性	桜通周辺で回遊している	錦通への回遊が多い	

3. 歩道空間の整備計画検討

「将来整備対象範囲（桜通久屋東～小川交差点）」

(1) 計画概要

沿道特性や現況調査、ビッグデータを用いた人流特性分析の結果より、「将来整備対象範囲」は、「早期整備対象範囲」と比較し、通行量が少なく、ピーク差がないことから、近隣住民による利用割合が高い区間と位置づけられる。そのため、「将来整備範囲」については、「落ち着いた質の高い空間整備」をめざす方向で検討を行った。

(2) 将来整備対象範囲の方針検討

「将来整備対象範囲」は、「落ち着いた質の高い空間整備」の方針のもと、歩道整備計画を以下のように設定した。

- 沿道出入りが多いため、1つの街区（交差点間）に複数樹木を設置
- 大きな交差点部にはサクラを配置
- 通勤通学ピーク時と昼間の通行量の差が少なく、日中でも周辺住民の移動や散策コースとなっており、整備済み区間に比べて、通行者の密度が低くゆったりできる環境にあるが、整備にメリハリをつけてスポットゾーンの場所の休憩環境の充実に整備等を優先

(3) 休憩施設の計画

「将来整備対象範囲」において、休憩施設空間が確保できる空間に余裕がある箇所は、スツールを低密度で配置するゾーンと、ベンチで複数人座れるゾーンを設け、選択できるようにする。また、交差点部は原則ベンチ・スツール等を設置しない。

なお、現在の歩道利用者の属性（移動目的や高齢者・未成年層の多さ）および交通量を鑑み、将来整備区間には落ち着きのある空間で散策や景観を楽しむ等を想定したスポットの確保を提案し、これをもとに植栽密度やベンチ等の配置案を作成した。

表-3 スポットゾーンにおけるターゲットの設定

	場所	テーマ	ターゲット(利用者)	相乗効果(通行者の印象)
将来整備範囲	桜通 久屋通東	“賑わい”	久屋大通に面した賑わいのなかで休憩	都心の賑わい空間(業務エリアと公園の接続部)
	沿道 緑地	“安らぎ”	賑わい(喧噪)から少し離れた人の散策や安らぎの滞在を提供	賑わいのあるエリアに隣接した落ち着いたエリア
	イベント 会場前	“くつろぎ”	落ち着いた環境で散策や読書を楽しむ	歩行者が少なく落ち着いた空間

(4) 樹形管理計画(案)の作成

歩道空間再編にあたり、対象区間において様々なサクラの樹種を配置することとしている。

しかし、既存のサクラや整備済区間であるサクラスポットのジンダイアケボノにおいて、樹高に対して枝張が大きくなっており、倒木の危険性が懸念されていた。

そのため、今後整備していく街路樹を踏まえ、望ましい樹形管理を行うための樹形管理計画(案)を作成した。

樹形管理計画(案) サクラ類

管理の必要性
桜通に整備する桜の樹種は複数あり、それぞれ樹形が異なる。ただし、美しい街路樹を形成するにあたっては「街路樹の統一性」が重要である。さらに、歩行者や自転車等、道路空間を利用する人々の支障とならないよう、管理を行う必要がある。

管理の方向性
サクラは日当たりがよく、肥沃で水持ちの良い土壌を好む。また、他の花木と比べて生長が早い一方、剪定を嫌う性質がある。サクラは、剪定した枝から菌が入り衰弱する可能性が高い樹木であるため、切口が小さくなるよう枝が細いうちに最低限の剪定を行う。

目標樹形の設定
目標樹形は、建築限界や植栽基盤の大きさを考慮し以下のように設定した。

樹形	高さ(さかすき)形	樹高	枝張り
(樹形図: 円錐形)	8m	8m	8m
	8m	8m	8m

サクラ類の樹高・枝張り比は0.6~1.0が望ましく、樹高よりも枝張りが大きくなると倒木の危険性があるため、広がりを抑える必要がある。

剪定期期
剪定は1年に1回落葉した11月頃に実施する。

1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
			開花	開花						剪定	

剪定方法
剪定では、以下のステップで歩行者や自転車の交通の安全性や円滑性の妨げとなったり、樹木の生長に支障をきたし、樹勢を衰えさせたりするような枝を早めに切る。また、道路の構造に合わせて、建築限界を侵さないよう「若木の若い枝のうちに剪定を行う」。

Step1
枯れ枝の剪定

Step2
病枝の剪定

Step3
不要枝の剪定

Step4
樹形のバランスを整える剪定

コブクザクラは都市的な環境に耐え、日当たりや土壌環境に注意して管理を行うこと。

●サクラによくみられる病害、病虫害(Step2)

こややく病 フェルト上のカビが生じる病気で、樹木を衰弱させるため、発生箇所はブラシでそぎ落とし、薬剤を塗布する。

幼果腐敗病 カビによる植物の伝染病の一種で、感染部分は腐るため、切り落として処分し、病状が広まらないように切り落とし周辺を消毒する。

てんぐ巣病 枝の一部がコブ状に膨らんで大きくなり、そこに不規則なホウキ状に枝が密集して病巣を形成する病気で、発生した箇所は剪定し、継続的に除去作業を行う。

コスカシバ 幹に寄生すると、幹や枝に穿孔し樹皮が荒れ、樹勢が衰弱するため、殺虫剤を散布する。

●病害、病虫害が確認された箇所は定期的な管理の中で継続的な点検、除害作業を行うこと。

図-4 樹形管理計画(案)抜粋

3. 3D整備イメージの作成

各関係者及び道路利用者へ事業内容をより分かりやすく理解してもらうため、ゲームエンジンを用いた3Dによる整備イメージや利活用イメージを作成した。

(1) 作成概要

- ① 作成範囲：日銀前交差点～小川交差点
- ② 使用ソフト：ゲームエンジン(Twinmotion)
- ③ 使用データ：対象地の設計図(CAD図)
3D都市モデル(PLATEAU)

(2) 作成イメージ

花が咲く時期(3月から4月頃)は桜のピンクと桜以外の高木の花付を楽しむことができ(図-6)、葉が付く時期(5月から10月頃)になると初期では街路樹の青々としたさわやかな空間の印象をもたらす。葉が落ちる時期(11月以降)は寒々とした印象をもたらすが、現在のような歩道空間を圧迫する植栽柵が無くなり、すっきりとした空間となることが読み取れた。



(上段：現況写真，下段：開花時期のイメージ)

図-6 空間イメージ(抜粋)

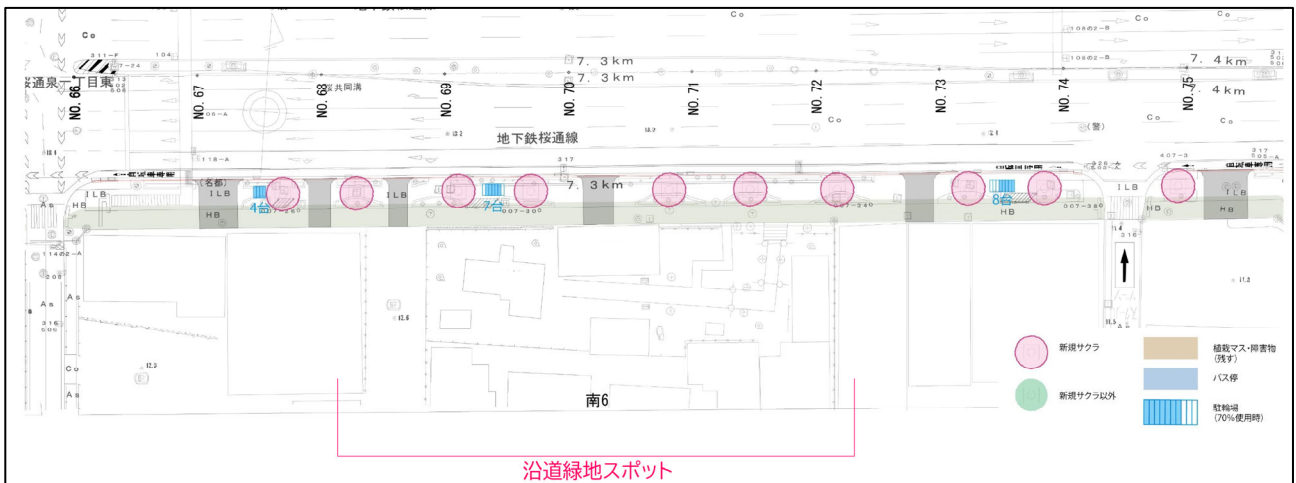


図-5 将来整備対象区間における歩道整備案(抜粋)

4. 地域連携に向けた検討

(1) これまでの地域連携に向けた動き

「桜通開通80周年記念事業実行委員会/幹事会」では、再整備計画策定にあたって、ワークショップや社会実験等は記念事業の一環として実施されていた。しかし、計画策定後は、計画に記載されている「エリアマネジメント」等に関連した地域連携に向けた、具体的な検討・提案はされておらず、今後の検討課題となっている。

(2) 今後の地域連携の進め方

関係者ヒアリングの結果、桜通をフィールドとする事業者や団体等は確認されなかったが、沿道の再開発事業者より、桜通との連携要望が確認された。桜通沿道は、区間や街区によって沿道特性や通行者特性が異なる事等からも、全線を対象とした地域連携ではなく、実際に桜通に関心を持つ事業者等との意見をふまえながら、モデルエリアを設定し、それを随時、沿線に波及させていくことを提案した。

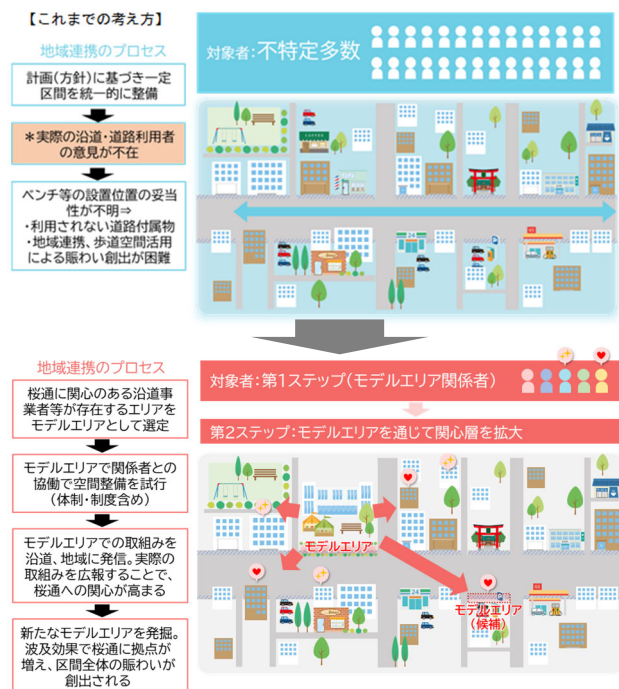


図-7 進め方のイメージ

(2) 道路空間活用の体制構築

歩行者利便増進道路制度や等もふまえ、全国的に国道を含めた道路空間活用の事例は多数確認された。

国道に関しては、道路管理者が主体的に道路空間を活用する事例は確認できず、地方自治体や民間等が、まちの賑わい創出の取組みの一環として、道路占用による活動を道路管理者に申請し、主に民間や地域が、活動の場として道路空間を活用することが一般的である。

桜通においても、歩行者空間再編整備計画を進め、歩道内に賑わい等に資する活動に活用できる空間を形成し、地域等から要望やニーズがあった場合には、

その活動を道路管理者として支援する体制が望ましい。そのため、道路管理者自らが道路空間活用を実施するのではなく、桜通の再生整備事業の内容を周知するとともに、賑わい創出等の場として利活用できることを継続的に情報提供しながら、沿道や地域の気運を醸成していくことが望まれる。

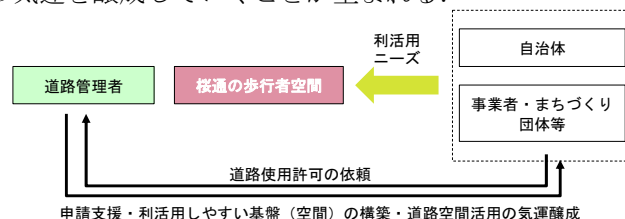


図-8 道路空間活用の体制イメージ

5. まとめと今後の課題

(1) まとめ

本稿では、歩行者通行空間と植樹について整備済みの「早期整備検討範囲」の考え方を踏まえながら、「将来整備対象範囲」の歩道空間整備の計画を作成した。歩道空間の要素のうち、「早期整備対象範囲」においても未決定であるベンチやスツール等の休憩施設の配置・デザインに関しては、全区間を対象として、“ホスピタリティ”を感じさせる空間づくりに着目して、沿道土地利用や歩行者等の特性に応じたターゲット設定を提案した。あわせて、「将来整備対象範囲」においては桜通開通80周年記念事業委員会では設定されていない“スポットゾーン（サクラスポット）”に相当する区間について提案し、メリハリのある歩道整備計画を提案した。

(2) 今後の課題

「早期整備対象範囲」のスポットゾーンにおいては、沿道建物の公開空地等を活用した賑わいづくりの仕組みも重要であり、道路管理者と沿道事業者との連携や役割分担で空間活用方法について、ベンチやスツールのデザインや数量等の具体整備内容については、深度化していく必要がある。

「将来整備対象範囲」は、人流データの分析から、高岳交差点の西と東でも交通量や利用特性に違いがあると考えられる。また、提案したスポットゾーンの空間活用については、地域等の意見・意向が確認できていないため、地域への意見照会を行い、方向性の確認と連携体制の構築が重要となる。

謝辞：本論文は、名古屋国道事務所の「令和5年度19号桜通歩道空間再編検討業務」の成果の一部を使用した。ここに記して、関係各位に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 名古屋国道事務所HP
- 2) 桜通の歩行者空間再編計画 桜通開通80周年事業 実行委員会

現道交通に配慮した軟弱地盤上の高盛土計画

すずむらゆう き あべみつおん すずきれおん
○鈴木勇季¹・阿部光伸¹・鈴木玲穂¹

¹日本工営都市空間株式会社 道路橋梁部（〒461-0005 愛知県名古屋市中区東桜二丁目17番14号）

本業務では、山間部における一般国道のバイパス化を行うために、礫の存在する軟弱地盤上に20m程度の盛土を行う道路詳細設計及び補強土詳細設計を実施した。軟弱地盤上の盛土及び補強土壁設計にあたっては、地質状況に配慮しつつ、最適な地盤改良法を比較検討の上選定し、重機組み立ての施工ヤード等にも配慮して現道交通を確保した施工ステップを計画した。その結果、山間部で迂回路の無い現道において、施工の確実性を確保した設計を実施することができたと考える。

Key Words : 軟弱地盤, 地盤改良, 深層混合処理, 現道交通

1. はじめに

我が国の道路建設においては、平地部、山地部問わず軟弱地盤に遭遇することは少なくない。軟弱地盤上に道路を建設すると、盛土が高い場合には盛土荷重による安定性の不足、過大な変形等によって、道路自体の機能が損なわれるばかりでなく、沿道の諸施設に対しても影響が及ぶことがある。これらの対策として、地盤改良等による軟弱地盤対策を行う事例は多数存在する。

本業務は、山間部に位置する迂回路の無い一般国道において、現道の利便性向上のため、バイパス化を計画した詳細設計業務である。バイパス化により、道路の平面線形および縦断線形の改良を行うことで、現地盤との高低差が最大15m程度の盛土が必要となった。また、盛土を計画する現地盤は、地質調査の結果、表層に軟弱地盤な砂質土層が確認された。

本稿では、軟弱地盤上に15m程度の盛土および補強土壁を施工するにあたって、最適な軟弱地盤対策工を検討した取り組みを報告する。

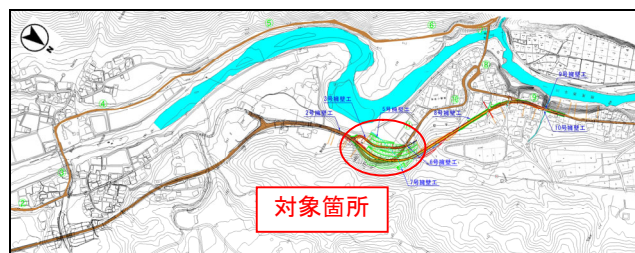


図-1 位置図

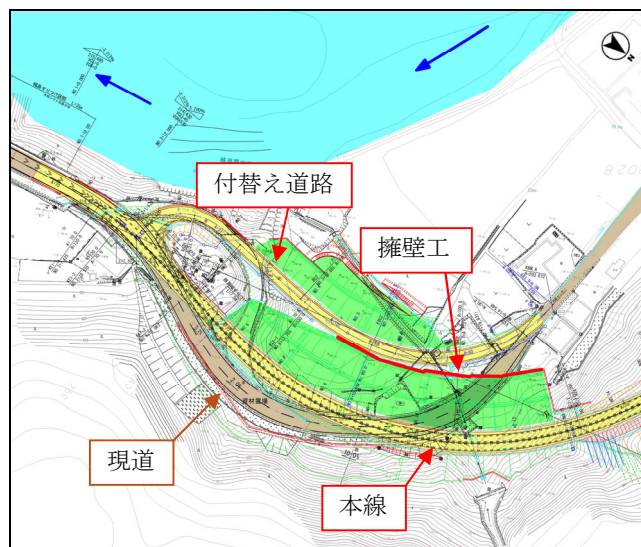


図-2 計画平面図

2. 現地状況および地質状況

(1) 現地状況

対象路線は、山間部に位置する迂回路の無い、現道幅員が約5m程度の1車線の一般国道であり、大型車のすれちがいが困難な状況である。現道は、急なカーブが連続し、縦断勾配は約5%程度となっている。対象路線は、緊急輸送道路にも指定されているため整備が望まれている。

現道は急峻な山地の斜面と、対面側には河川が流れており、計画の盛土法尻部付近に位置する平地の地表には、礫径200mm程度の転石が多数存在している。



写真-1 現地状況 (左：現道 右：法尻部)

(2) 地質状況

対象路線において実施された地質調査結果より、盛土部の基礎地盤にN値9程度の軟弱なdt層が深さ約5m程度で確認された。

ボーリング柱状図より、最大径40mm程度の礫が確認されている。そのため、ボーリングデータの3～5倍程度を考慮し、また地表に200mm程度の転石が多数が存在していることを踏まえ、実際の地中には、礫径200mm程度が存在する可能性がある状況であった。

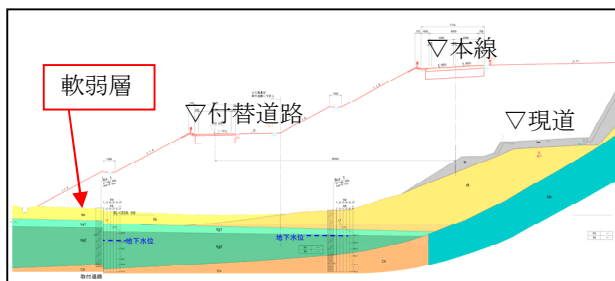


図-3 地質横断面図

2. 補強土壁及び地盤改良計画

(1) 補強土壁計画

本線と付替え道路が近接する箇所について、擁壁による高低差処理が必要であった。高低差処理の高さは最大10m程度となるため、「道路土工―擁壁工指針」を参考に構造形式の一次選定を行い、逆T式擁壁と補強土壁を抽出した。両工法における比較検討により、経済性、施工性に優れた補強土壁を採用した。

補強土壁について、右表に示す代表的な3工法による比較検討を実施した。本事業については、施工時期が未定であり、設計時点で盛土材が未定であった。比較検討の結果、経済性に優れ、盛土材の適用条件が最も広い「多数アンカー工法」を採用した。

表-1 擁壁工設計条件一覧

重要度	重要度2 (道路管理者の基準より)
耐震設計	L1地震動 (I種地盤)
裏込め土	砂質土相当 ($\gamma=19\text{kN/m}^3$, $\phi=30^\circ$, $C=0\text{kN/m}^2$)
再荷重	10kN/m ²
雪荷重	[車道] 1.0kN/m ² , [歩道] 4.6kN/m ²

擁壁形式	用地制約への適用	適用高さの目安 (m)					
		1	3	5	10	15	20
重力式擁壁 (前面直)	○						
L型擁壁	○						
U型擁壁	○						
補強土壁	○						
もたれ式擁壁	×						
大型ブロック積擁壁	×						
逆T式擁壁	×						
控え壁式擁壁	○						
プレキャストL型擁壁	○						
重力式擁壁 (前面勾配付)	×						

図-4 擁壁適用高さの目安 (擁壁工指針より作成)

表-2 補強土壁の盛土材適用条件

	帯状鋼鉄補強土壁 【テールアルメ】	アンカー補強土壁 【多数アンカー】	ジオテキスタイル補強土壁 【アダムウォール】
砂質土・礫質土	細粒分25%以下	細粒分50%以下	細粒分50%以下
粘性土	適用不可	液性限界 $w_L < 50\%$ ※適用に注意 (コンシステンシー指数 $1.0 \leq I_c < 1.4$)	液性限界 $w_L < 50\%$ ※適用に注意
火山灰質粘性土	適用不可 ※土質改良が必要		
岩ズリ	短軸250mm以下	最大粒径250mm未満	— (基準の明確な記載無し)
スレーキング性岩石	スレーキング率30%以下かつ、締固め後細粒分25%以下	— (明確な基準無し) ※スレーキング率の高い材料は×	— (基準の明確な記載無し)
備考	●補強土(テールアルメ)壁工法設計・施工マニュアル (第4回改訂版) 平成26年8月 一財) 土木研究センター	●多数アンカー式補強土壁工法設計・施工マニュアル (第4版) 平成26年8月 一財) 土木研究センター	●アダムウォール(補強土壁)工法設計・施工マニュアル 平成26年9月 一財) 土木研究センター ●建設技術審査証明書「アダムウォール」 2012年2月 (2022年2月更新)

表-3 補強土壁比較検討表

	第1案 多数アンカー	第2案 テールアルメ	第3案 アダムウォール
概要図			
構造性	◎ 盛土材の適用範囲が広い	△ 盛土材の適用範囲が狭い	○ 盛土材の適用範囲は中位
施工性	△ 26日/10m	◎ 24日/10m	○ 25日/10m
経済性	◎ 830千円/10m	△ 840千円/10m	○ 1,000千円/10m
評価	経済性、盛土材の適用に優れた第1案を採用した。		

(2) 地盤改良工法の検討

多数アンカーの支持力確保のため、N値9程度、深さ約5m程度のdt層を地盤改良が必要であった。一般的には中層混合処理（パワーブレンダー工法）にて対応することが多いが、径200mm程度の礫が地中に存在しており、中層混合処理工法の施工機械の攪拌機に礫が絡むことで施工不可となる可能性があった。

そこで、200mm程度の礫が存在しても施工可能な工法として下表に示す2工法による比較検討を実施し、経済性、施工性に優れる「深層混合処理工法（エポコラム工法）」を採用した。

エポコラム工法の特徴は、以下に示す通りである。

特徴①：安定した品質

建設技術審査証明を所有しており、安定した品質が求められる構造物基礎に適している。

特徴②：玉石や硬質地盤で施工可能

低速回転・高トルクで攪拌を行うため、礫・転石層や硬質地盤への貫入・攪拌が可能であり、適用地盤が広範囲にわたる。

特徴③：地盤変位の低減

施工時の攪拌が低速回転かつ攪拌翼の形状が籠状であるため、削孔時に外周地盤を押圧せず、周辺地盤への影響が低減される。

表-4 地盤改良工法比較検討表

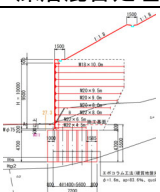
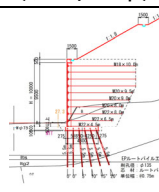
	第1案 深層混合処理	第2案 ルートパイル	第3案 中層混合処理
概要図			
施工性	○ 5日/10m	△ 35日/10m	× 施工機械対応不可
経済性	○ 5,150千円/10m	△ 20,000千円/10m	— 2,500千円/10m
評価	経済性、施工性に優れる第1案を採用した。		



写真-2 施工機械（左：全景、右：攪拌機）

3. 盛土部の軟弱地盤対策工

基礎地盤は、地下水位の無い礫混じり砂質土地盤であり、液状化の検討が不要な地盤であった。そのため、盛土による軟弱地盤の検討事項として、地盤破壊（円弧すべり）が該当する。

地盤改良を行わない箇所の盛土部について、軟弱地盤技術解析を実施し、盛土の安定性の確認を行った。解析の結果、施工直後の円弧すべりがNGとなったため、対策工の検討を行った。

対策工の検討は、下表に示す3工法にて比較検討を行い、経済性、環境性に優れる「ジオテキスタイル工」による対策を採用した。

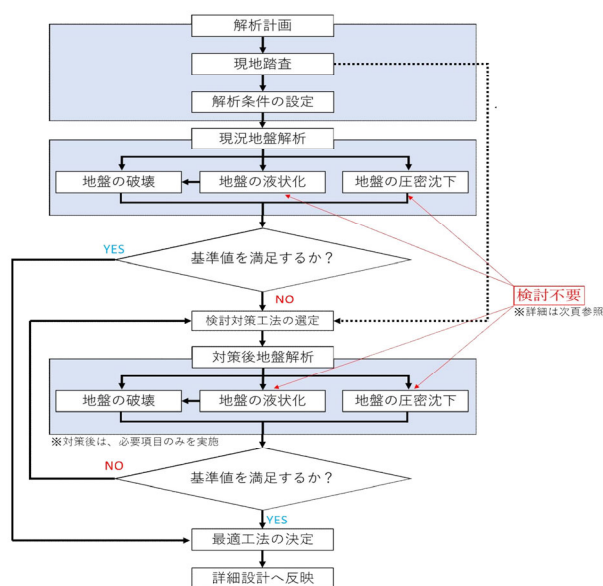
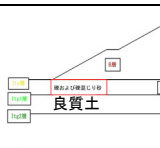
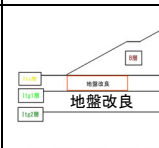
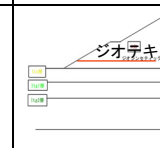


図-5 盛土部軟弱地盤対策の検討フロー

表-5 盛土部軟弱地盤対策比較検討表

	第1案 置換工法	第2案 地盤改良工	第3案 ジオテキスタイル
概要図			
構造成性	× 安全率が確保できない	○ 解析の結果、成立する	○ 解析の結果、成立する
施工性	—	△ 施工機械が必要	○ 人力で施工可
環境性	—	△ 河川が近い ため留意が必要	○ 固化材等を使用しない
経済性	—	△ 454千円/10m	○ 124千円/10m
評価	経済性、環境性、施工性に優れる第3案を採用した。		

4. 施工計画

深層混合処理工法は、施工機械の組み立てヤードとして20m×50m程度の範囲が必要となる。現道は迂回路の無い路線であり、施工箇所の前後には民家もあるため、通行止めが不可であった。そこで、下表に示す施工ステップにより、現道交通を確保しつつ、施工ヤードを確保する施工計画を立案した。

表-5 主な施工ステップ

No.	内 容
STEP1	・付替え道路を先行して整備 →現道交通を付替え道路へ迂回させる。
STEP2	・現道部を使用して地盤改良機を組立て
STEP3	・組み立てヤードからの坂路を構築 ・地盤改良を施工
STEP4	・地盤改良施工後、施工機械を解体・撤去
STEP5	・補強土壁工、盛土工を施工
STEP6	・本線の施工完了

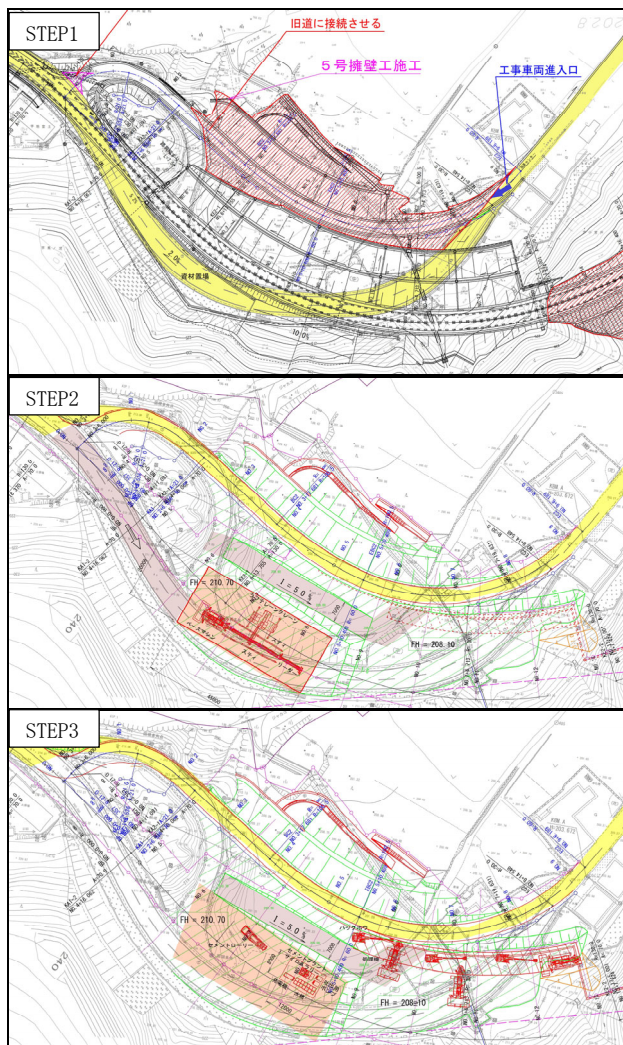


図-6 地盤改良施工ステップ図

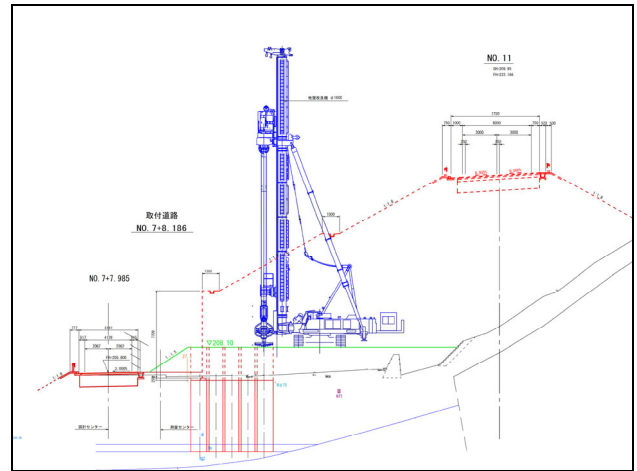


図-7 地盤改良施工断面図

5. 業務成果及び今後の展望

(1) 業務成果

工法選定及び施工計画において、地盤状況に応じた適切な工法選定を行い、迂回路の無い現道に対して、現道交通を確保した最適な施工計画を提案することができた。

(2) 今後の展望

当該業務において、施工計画にあたり、2次元図面で着色等により、施工ステップを分かりやすく表現するよう努めた。近年は、BIM/CIMの4Dモデル等より分かりやすく表現する技術がある。今後の業務では、BIM/CIMの活用により、施工ステップをより分かりやすく表現するよう努めたいと感じる。

(3) おわりに

地盤改良等の軟弱地盤対策技術は、日々技術開発が進められている。今後の業務において、より良い最適な提案ができるよう、常に技術研鑽、情報収集に努め、行政とともにインフラ整備に貢献していきたいと考える。

謝辞

本論文の発表を快諾頂いた、道路管理者の方に、心より感謝いたします。

参考資料

- 1) 社団法人 日本道路協会：道路土工要綱，2009.
- 2) 社団法人 日本道路協会：道路土工－擁壁工指針，2012.
- 3) 社団法人 日本道路協会：道路土工－軟弱地盤対策工指針，2012.
- 4) 財団法人 土木研究センター：陸上工事における深層混合処理工法設計・施工マニュアル，2022.
- 5) 国道交通省 中部地方整備局：道路設計要領－設計編一，2014.

携帯電話位置情報を用いた立ち寄り観光需要の推計に関する検討

なかの まさき たなかの ひろ しまたきしょう さかぐち あや
○中野雅規¹・田中伸浩²・島崎 正 伍²・坂口 綾¹

¹ (株) エイト日本技術開発 東京支社 (〒164-8601 東京都中野区中野2-24-11)

² (株) エイト日本技術開発 中部支社 (〒460-0003 名古屋市中区錦1-11-20)

本検討は、携帯電話位置情報に基づくGPSデータを用いて観光客の行動を把握することで、観光地に向かう前後の行程で実施される観光（立ち寄り観光）の実態推計を試みたものである。

携帯電話が常時収集している利用者の位置および滞在時間情報を利用することで、ある時間に特定の場所に立ち寄った人が、その前後の時間帯にどの場所に滞在していたかを把握することができる。本検討ではこの機能を用いて、ある時間に観光地に立ち寄った人が、その前後にどの観光地に滞在していたかを抽出・集計し、観光周遊行動を把握することによって、道路整備に伴う観光交通への影響を把握することを試みた。

Key Words : 観光交通, 立ち寄り観光, 携帯電話

1. はじめに

我が国では平成19年1月に施行された観光立国推進基本法に基づき、持続可能な観光地域、地方誘客促進に向けた取り組みが行われている。岐阜県においても岐阜県観光振興プランに基づき、宿泊滞在型の観光の創出、国内外からの効果的な誘客に向けた取り組みが進められており、その一環として地域経済活性化・観光振興に資するための道路整備がなされている。道路整備は新たな観光需要を喚起し、県内の多様な観光周遊行動を可能にすると期待されるが、一方で、観光周遊行動の実態については必ずしも明らかになっていない。

ここでは、携帯電話位置情報に基づくデータを用いて、観光客の行動を把握し、周遊による立ち寄り観光客数の推計を試みた事例を紹介する。

2. 検討の背景

(1) 観光周遊行動

検討の対象とした岐阜県中濃・飛騨地域にはいくつかの観光地が存在し、観光客はそれらの観光地を周遊行動していると考えられる。各観光地の入込客数は把握されているものの、複数の観光地を周遊するような立ち寄り観光客数は把握できていなかった。

(2) 分析にあたっての課題

立ち寄り観光客数の把握にあたっては、ある観光地から次の観光地へ向かう行動の追跡が必要である。当初、プローブデータによる分析を想定していたが、下記の3点が懸念事項となった。

- 1) ETC2.0プローブデータは起終点の半径500mの軌跡は消去され、滞在箇所の情報を得ることに難がある。また、移動距離80km以上の走行履歴は消去される。
- 2) 民間プローブデータは個別の走行履歴は提供されていない。
- 3) 民間プローブデータは路線の特定区間を通過した経路データは取得できるが、観光地に滞在していたかどうかは判定できない。

このため、プローブデータに替えて携帯電話位置情報に基づく集計を行い、その結果から立ち寄り観光客数を推計することとした。

3. 携帯電話位置情報

(1) 携帯電話による位置情報把握の概念

携帯電話では、どの人がどの場所に居たのかの位置情報を時間別に把握している。この情報を用いることで、ある時間に特定の観光地にいた人が、その前後の時間帯にどの場所に滞在していたかを把握す

ることが可能となる（図-1）。

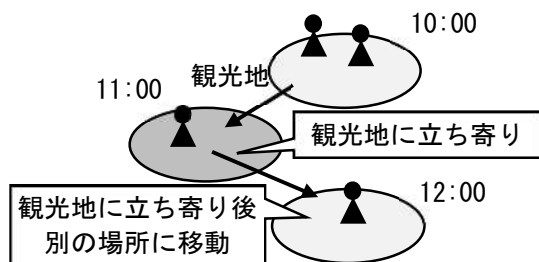


図-1 携帯電話による位置情報把握の概念図

検討では、ある時間帯に観光地の中心にいた人が、その前後にどの場所に滞在していたかを抽出・集計することで、立ち寄り型観光客を推計した。

なお、検討ではKDDI社の携帯電話位置情報を使用し、個人情報把握できない形とするため、地域メッシュ単位で集計されたデータを用いた。

(2) 観光に関する立ち寄り行動の抽出

今、立ち寄り需要が生じている対象観光地を A_{ts} 、周辺地域を B 、周辺地域内の観光地を B_{ts} とする。このとき、立ち寄り観光に関連する行動としては以下の4通りのパターンが考えられる（図-2）。

- 1-1) 周辺地域 B に滞在したあと、対象観光地 A_{ts} に立ち寄る ($B \rightarrow A_{ts}$)
- 1-2) 周辺地域内の観光地 B_{ts} に滞在したあと、対象観光地 A_{ts} に立ち寄る ($B_{ts} \rightarrow A_{ts}$)
- 2-1) 対象観光地 A_{ts} に立ち寄ったあと、周辺地域 B に向かう ($A_{ts} \rightarrow B$)
- 2-2) 対象観光地 A_{ts} に立ち寄ったあと、周辺地域内の観光地 B_{ts} に向かう ($A_{ts} \rightarrow B_{ts}$)

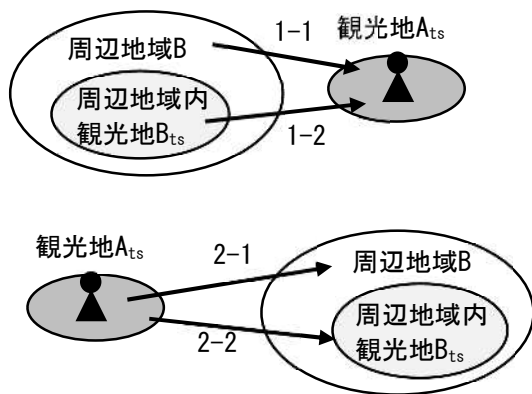


図-2 観光に関する立ち寄り行動の概念

本検討では、対象観光地に関連する立ち寄り行動全体(1-1, 2-1)のうちに占める、観光地に関連する立ち寄り行動(1-2, 2-2)の割合を把握することで、地域の移動に占める立ち寄り観光客数の割合を推計することとした。

(3) 推計条件の設定

a) 検討対象観光地

想定する路線と対象観光地、立ち寄りが発生する周辺観光地との位置関係を踏まえ、下記のように設定した。

表-1 検討対象観光地の設定

場所	記号	内容	数量
対象観光地	A_{ts}	岐阜県中濃地域の観光地	1箇所
周辺地域	B	岐阜県内の3市	3市
周辺地域内の観光地	B_{ts}	岐阜県内の観光地	14箇所 ※

※観光統計資料から設定

b) 抽出日

令和5年7月の平日・休日

c) 母集団

周遊する観光客数を推計するため、調査対象とした観光地の存在する市を勤務地・居住地としない人を集計対象とした。

d) 抽出単位

一時的な休憩といった短時間の立ち寄りを排除するために、観光地への立ち寄り時間は60分以上を想定した。

(4) 集計パターン

下記の4パターンの集計を行った。

- 1-1) 周辺地域 B から移動し、対象観光地 A_{ts} に60分以上立ち寄った人数
- 1-2) 周辺地域内の観光地 B_{ts} から移動し、対象観光地 A_{ts} に60分以上立ち寄った人数
- 2-1) 対象観光地 A_{ts} に60分以上立ち寄り、周辺地域 B に移動した人数
- 2-2) 対象観光地 A_{ts} に60分以上立ち寄り、周辺地域内の観光地 B_{ts} に移動した人数

パターン1-1, 2-1は、対象観光地に関連する立ち寄り人数、パターン1-2, 2-2は対象観光地 A_{ts} に立ち寄り前後で、周辺観光地 B_{ts} に滞在した人数となる。

(5) 算出結果

周辺地域 B から移動し、対象観光地 A_{ts} に立ち寄ったケースの時間別人数を図-3、図-4に示す。集計の結果、観光地 A_{ts} に滞在する人数は平日ピーク時約3,850人、休日ピーク時約9,600人であることが確認できた。

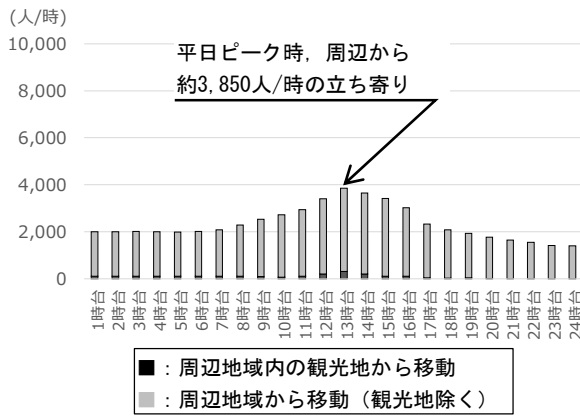


図-3 周辺地域Bから移動し対象観光地A_{ts}に立ち寄った人数（平日）

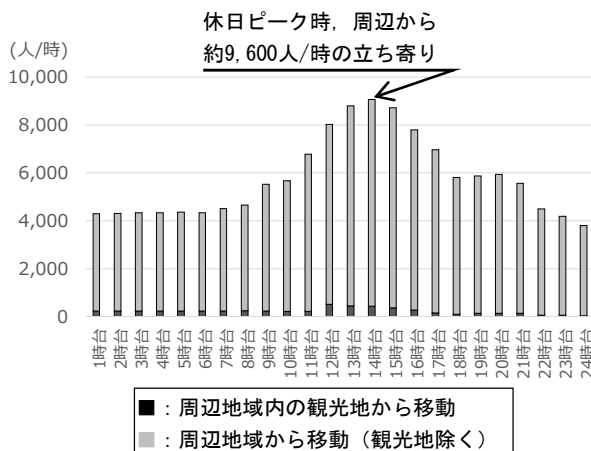


図-4 周辺地域Bから移動し対象観光地A_{ts}に立ち寄った人数（休日）

次に、周辺地域内の観光地B_{ts}から移動し、対象観光地A_{ts}に立ち寄ったケースの時間別人数を図-5、図-6に示す。集計の結果、周辺地域内の観光地B_{ts}を経由したあとに観光地A_{ts}に立ち寄っている人数は、平日ピーク時が約310人、休日ピーク時が約510人であることが確認できた。

これらから、周辺地域から移動する人数のうち、観光地から移動する人数の割合は平日で約8.1%、休日で約5.3%の割合となることが確認できた。

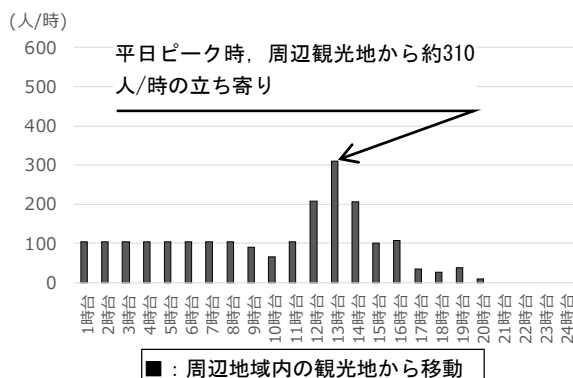


図-5 周辺地域内観光地B_{ts}から移動し対象観光地A_{ts}に立ち寄った人数（平日）

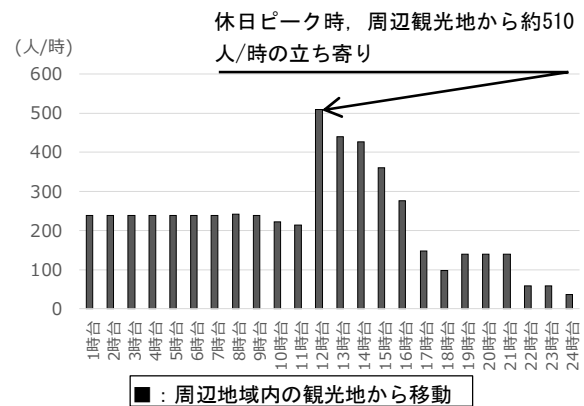


図-6 周辺地域内観光地B_{ts}から移動し対象観光地A_{ts}に立ち寄った人数（休日）

同様に、対象観光地A_{ts}に立ち寄ったあと、周辺地域Bに移動する人数は平日ピーク時約3,700人、うち周辺地域内の観光地B_{ts}に滞在する人数は約160人、休日ピーク時約8,120人、うち周辺地域内の観光地B_{ts}に滞在する人数は約230人であることが確認できた。

平日の集計結果を表-2に、休日の集計結果を表-3に示す。

表-2 観光交通の割合[平日ピーク時]

	行動パターン	人数
1-1	周辺地域Bから移動し、対象観光地A _{ts} に立ち寄り	3,850人 (100.0%)
1-2	周辺地域内観光地B _{ts} から移動し、対象観光地A _{ts} に立ち寄り	310人 (8.1%)
2-1	対象観光地A _{ts} に立ち寄り後、周辺地域Bに移動	3,700人 (100.0%)
2-2	対象観光地A _{ts} に立ち寄り後、周辺地域内観光地B _{ts} に移動	160人 (4.3%)

表-3 観光交通の割合[休日ピーク時]

	行動パターン	人数
1-1	周辺地域Bから移動し、対象観光地A _{ts} に立ち寄り	9,600人 (100.0%)
1-2	周辺地域内観光地B _{ts} から移動し、対象観光地A _{ts} に立ち寄り	510人 (5.3%)
2-1	対象観光地A _{ts} に立ち寄り後、周辺地域Bに移動	8,120人 (100.0%)
2-2	対象観光地A _{ts} に立ち寄り後、周辺地域内観光地B _{ts} に移動	230人 (2.8%)

4. 立ち寄り観光客数の推計

(1) 前提条件の設定

算出結果を元に、現時点の立ち寄り観光客数を推計した。推計にあたって設定した前提条件を以下に示す。

a) 日あたり立ち寄り人数の想定

データの特性上、立ち寄り人数は時間当たりでしか算出できず、時間当たり人数を24時間分足すと、複数時間滞在した人数を重複して算出することとなる。このため、時間別滞在人数のうち、前時間帯からの増加分の和を日あたり立ち寄り人数として想定することとする。

b) 宿泊と想定される滞在者の除外

立ち寄り観光客としての集計精度を高めるため、宿泊と想定される滞在人数を除外する。具体には、0～6時に一定数計測される滞在人数を宿泊とみなし、全体数から除外する。

c) 周辺観光地からの往復行動の除外

周辺観光地 B_{ts} から、対象観光地 A_{ts} に立ち寄ったあと、周辺観光地 B_{ts} に戻る人数は、立ち寄り観光ではなく周辺観光地からの日帰り観光とみなし、想定しない。

これらの条件のもと、下記の式により一日当たりの立ち寄り型観光客数を推計した。

$$Td_i = \frac{T_1^i}{P_1^i R_{24}} + \frac{T_2^i}{P_2^i R_{24}} \quad (1.1)$$

ここで

Td_i (人/日)	: 立ち寄り観光客の人数
T_1^i (人/ピーク時)	: 周辺地域内の観光地 B_{ts} で観光した後、対象観光地 A_{ts} に滞在している人数
T_2^i (人/ピーク時)	: 対象観光地 A_{ts} に滞在後、周辺地域内の観光地 B_{ts} に観光している人数
$P_1^i R_{24}$ (%)	: 周辺地域内の観光地 B_{ts} で観光した後、対象観光地 A_{ts} に滞在している人数の24時間ピーク比率
$P_2^i R_{24}$ (%)	: 対象観光地 A_{ts} に滞在後、周辺地域内の観光地 B_{ts} に観光している人数の24時間ピーク比率
i	: 平日wd, 休日we
24時間ピーク比率	: ピーク時滞在人数/24時間延べ滞在人数

T_1^i, T_2^i は対象観光地 A_{ts} で滞在しているピーク人数から、宿泊数と想定される人数を差し引いた値として算出。

(2) 算出結果

算出結果は下記のとおり。

平日：約556人/日が観光地 A_{ts} に立ち寄っている。

休日：約835人/日が観光地 A_{ts} に立ち寄っている。

今回の検討対象とした観光地の入込客数が約121千人/月 $\approx$ 3,900人/日であることから、仮にこの数を検討対象観光地への入込客数の母数とした場合は、平日は観光客全体の約1割、休日は観光客全体の約2割が周遊と想定することができた。

(3) まとめ

本検討では以下のことが確認できた。

a) 携帯電話位置情報による来訪者数の把握

携帯電話位置情報から、特定の観光地に立ち寄る人数、その前後の場所も含めた行動が時間別に把握できることがわかった。

b) 立ち寄り観光客数の推計

特定観光地への来訪状況を時間別に把握することで、従来では把握しづらかった宿泊客を除外した立ち寄り観光客数が想定できた。この結果を用いて、本検討では日当たりの立ち寄り観光客数を推計した。

5. おわりに

道路利用者の観光客数の実態把握は観光立国を目指す我が国の地域経済活性化に向けた基礎資料となる。今後もIT技術の積極的な活用と分析を行うことで、豊かな社会づくりにつながる施策の実現に貢献していきたい。

謝辞：本業務及び本稿を作成するにあたり、岐阜県郡上土木事務所の皆様には、多大なご協力とご指導をいただきました。ここに記して謝意を表します。

休憩施設の機能強化に対する 駐車場レイアウト計画

○矢野稜典¹・浅井優司¹・泉真利子²・和地敬²

¹株式会社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中日本高速道路株式会社 東京支社（〒105-6011 東京都港区虎ノ門4-3-1）

近年、物流需要の急激な増加に伴い、高速道路の休憩施設に対するニーズが変化しており、全国的に大型車駐車スペースの不足が発生している。

本稿は、不足する大型車駐車スペースの確保を目的とし、既設パーキングエリア内の駐車場レイアウトの再編や大型車専用駐車場の新設や増設など、休憩施設の機能強化に対する検討事例として、駐車場レイアウト計画を紹介するものである。

Key Words：休憩施設、駐車場レイアウト、ダブル連結トラック、立体駐車場

1. はじめに

近年、EC（電子商取引）の普及に伴う輸送の多頻度化により、大型車の高速道路利用台数が増加している。

また、トラックドライバーの休憩時間や休息期間の確保など労働環境改善の取り組みにより、平日夜間の時間帯を中心に、全国的に大型車駐車スペースの不足が発生している。

本稿は、不足している大型車の駐車スペースの確保を目的とし、既設パーキングエリア内の駐車場レイアウトの再編や大型車専用駐車場の新設や増設など、休憩施設の機能強化に対する検討事例として、駐車場レイアウト計画を紹介するものである。

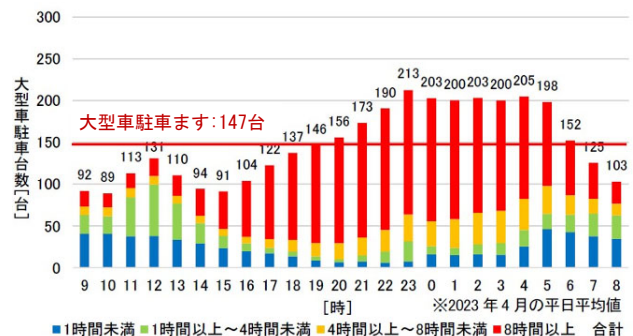


図-1 海老名SA(上り)大型車時間別駐車台数

2. 休憩施設の現状

(1) 高速道路の大型車駐車スペースの不足

近年、サービスエリア（以降SAとする）およびパーキングエリア（以降PAとする）において、平日の夜間を中心に大型車駐車場の慢性的な混雑が発生している。

図-1は、海老名SA（上り）の例であるが、20時から翌6時にかけて、大型車の駐車台数が駐車スペースを大幅に上回っている。

他のSA・PAにおいても同様の傾向が見られ、図-2に示す牧之原SA（上り）の例のとおり、大型車駐車スペースが満車で駐車できない車両が、通路やゼブラ帯等の不適切な場所に駐停車している状況が見られる。

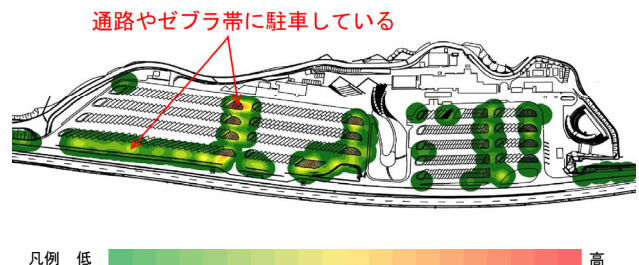


図-2 牧之原SA(上り)カーネル密度図(枠外駐車)

また、平日夜間は大型車の駐車台数が多く、休日昼間に小型車の駐車利用が多いなど、車種による利用時間帯のばらつきが見られるSA・PAにおいて、限られたスペースを有効に活用するため、小型車と大型車のどちらも駐車が可能となる兼用スペースの整備が進められている。

しかし、図-3に示すように兼用ますにおいて普通車（小型車）が適切な駐車をしないことで大型車の駐車が困難となる事例が見受けられ、大型車の駐車ます確保方法の更なる改善が必要となっている。

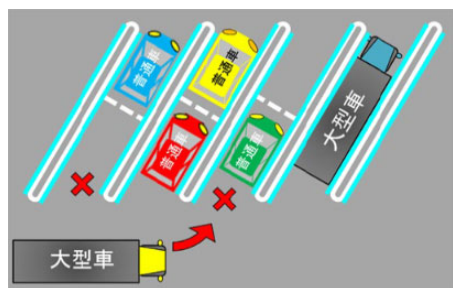


図-3 兼用ますにおける現状の課題

(2) ダブル連結トラック専用への対応

トラック輸送における深刻なドライバー不足に対し、1台で通常の大型トラック2台分の輸送が可能となる「ダブル連結トラック」が、2019年から本格導入が開始されている。



図-4 ダブル連結トラック（21m超車両）¹⁾

平均ドライバー数（人/km・千t）が約5割の削減となるなど省人化効果があり、更には燃料消費量やCO2排出量も約4割減となり、今後のさらなる普及が期待されている。

このような、ダブル連結トラックの駐車に対する対応も必要となっている。



図-5 省人化・CO2削減効果¹⁾

3. 休憩施設の機能強化に対する配慮事項

休憩施設の機能強化として、既設PA内の駐車場レイアウトの再編、大型車専用駐車場の新設や増設にあたり、以下の点に配慮し計画の立案を行った。

(1) 合理的な駐車ますの増設

既設PAでは、限られた駐車場エリアにおいて、合理的に駐車ますの増設を行う必要がある。

(2) 大規模な改変を回避

駐車場の新設や増設では、整備費用を極力抑制するために、大規模な改変を避ける必要がある。

(3) 既設駐車場の運用形態に配慮

既設駐車ますを有効的に活用するため、車両導線など既設駐車場の運用形態に配慮した計画とする必要がある。

4. 具体的な対応策の検討

3. の配慮事項を踏まえた具体的な対応策を以下に示す。

(1) 既設PA内の園地部を最大限活用

清水PA（上り）では、駐車場と本線の間に園地部が存在したため、そのスペースを活用し、大型車駐車ますの増設を計画した。

本線側へ大規模な切土が発生しない範囲で、ダブル連結トラックの走行導線も考慮した上で、駐車場を拡張した。また、増設前は扇状だった駐車ます配列を並列に見直すことで、大型車の駐車可能台数（兼用ます・セミトレーラーます含む）を90台程度増加させることができた。



図-6 大型車駐車ます増設前 清水PA(上り)²⁾

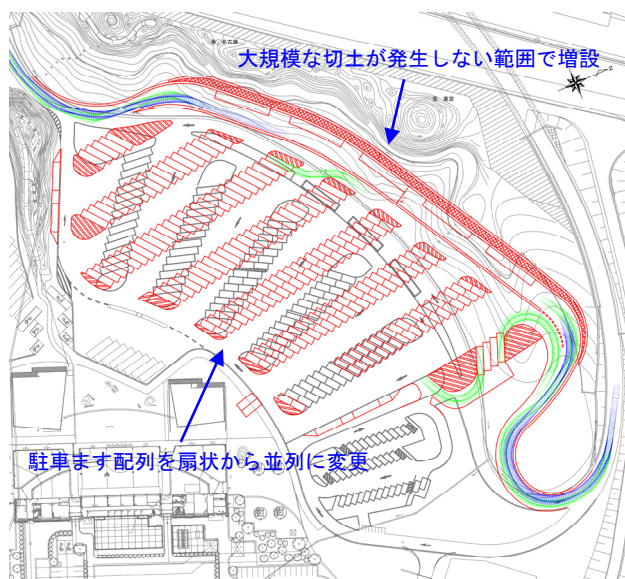


図-7 大型車駐車ます増設後 清水PA(上り)

(2) 大型車の後退駐車前進発車の採用

更に、清水PA（上り）では、最大限駐車ますを確保するため、大型車駐車ますをV字状に配置した「V字駐車レイアウト（大型車の後退駐車前進発車）」を採用した。

駐車ますの角度は、効率的に台数を多く確保できる60°を採用した。

表-1 駐車ますの角度の比較

角度	必要面積	レイアウト図
45°	2,043m ²	
60°	1,884m ²	

なお、後退駐車は前進駐車に比べドライバーの視認範囲が狭く不確実性が高くなることから、駐車ますの幅を設計要領³⁾で規定されている3.3mから3.5mへ大きくし、安全性と利便性に対する配慮を行った。

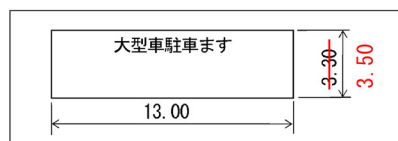


図-8 V字駐車レイアウトにおける駐車ますサイズ

小型車と大型車の兼用ますを除き、大型車駐車ますにV字駐車レイアウトを採用することで、従来のます配置で計画した場合（図-7）に比べ、更に20台程度多く大型車駐車ますを増設することができた。

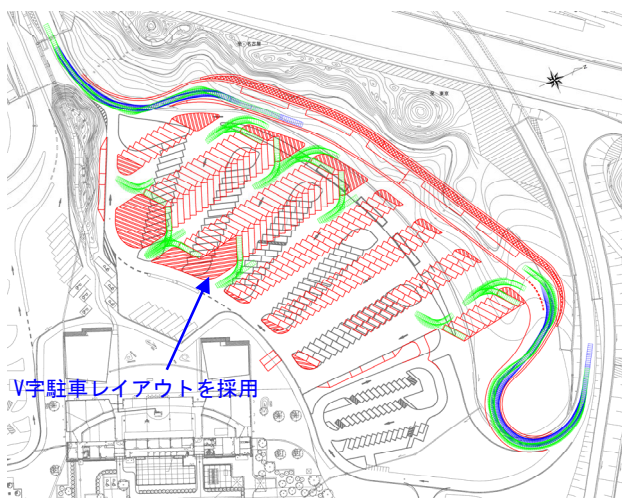


図-9 駐車場ます増設（V字駐車レイアウトの採用）

(3) ダブル連結トラック専用路外駐車場の整備

近年のダブル連結トラック需要に配慮し、浜松いなさIC近隣に、ダブル連結トラック専用の路外駐車場の整備を検討した。



図-10 ICから駐車場へのアクセスルート

既設の高速道路における休憩施設のダブル連結トラック専用駐車ます配置は縦列駐車が多いが、路外駐車場計画地で最大限の駐車ます数を確保するために30°駐車を採用することで、30台程度の駐車ますを確保することができた。

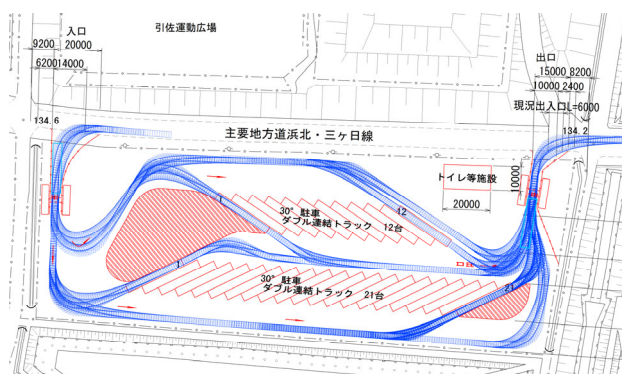


図-11 浜松いなさIC路外駐車場平面図

なお、当該駐車場は、ダブル連結トラックが浜松いなさICから一般道を経由し、利用することとなる。そのため、交差点部におけるダブル連結トラックの走行軌跡を確認した。

(4) 環状構造の道路を活用した大型車専用路外駐車場の検討

「高速道路SA・PAにおける利便性向上に関する整備方針」⁴⁾では駐車マス拡充のメニューとして、抜本的な改良が出来ない場合は、目的外利用の対策を行った上での、路外駐車場の活用が記載されている。

大型車専用路外駐車場は、一般道を経由する必要があるが、一般道に出入口を設けた場合、右折車線の設置による道路改良や交差点巻込部の改良が必要となる場合が多い。

近年、全国的にIC周辺やスマートICの退出路において、環状構造を取り入れた道路構造が増えている。

そこで、環状構造を活かし、隣接地に大型車専用路外駐車場の整備を検討した。



図-12 環状構造の事例⁵⁾⁶⁾

検討事例を図-13に示す。当該駐車場においても、大型車駐車スペースをV字駐車レイアウトで配置することで、約2万㎡（平面部分の面積）に対して、170台程度の大型車駐車スペースを確保できる路外駐車場を整備できる可能性があることがわかった。

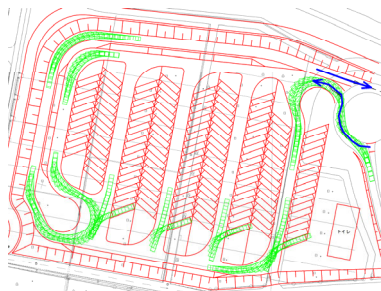


図-13 環状構造の道路を活用した路外駐車場平面図

(5) 園地部の駐車場増設と立体駐車場の検討

鮎沢PA（上り）では、PA内の園地部を活用した大型車専用駐車場の増設を検討した。

既設駐車場内の駐車スペース配置は現状のままとし、園地部に大型車駐車スペースをV字駐車レイアウトで配置することで、35台程度増設することを確認できた。

なお、増設した駐車場の出口部は、安全性に配慮し、曲線区間から流入してくる本線OFFランプと隔離を確保するため、既設駐車場中央部に接続するものとした。

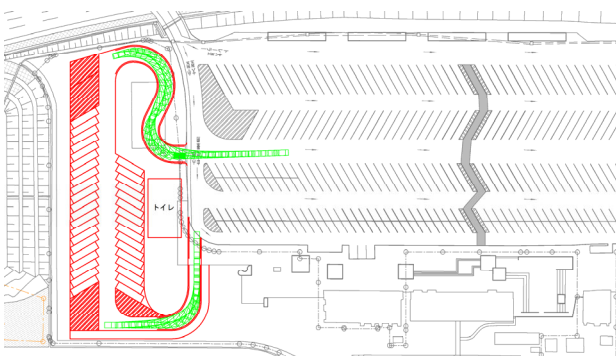


図-14 平面駐車場増設イメージ

更に、不足する駐車スペースに対する新たな取り組みとして、園地部に小型車専用の立体駐車場の整備を検討した。

既設の駐車スペースは、大幅に変更することなく、既設の小型車と大型車、小型車と中型車の兼用スペースを大型車駐車スペースに変更する計画としたところ、現況に比べ40台程度大型車駐車スペースを増設可能なレイア

ウトを作成することができ、園地部への平面増設よりも大型車駐車スペースを増設できることがわかった。

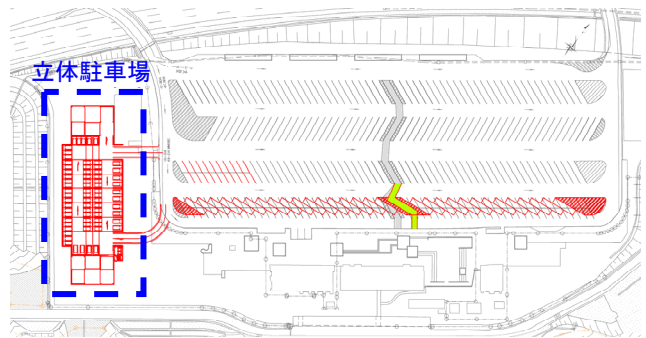


図-15 立体駐車場の整備イメージ

立体的な空間の有効活用が可能となった場合は、小型車の駐車場を集約できるため、大型車と小型車の駐車場エリアをより明確に分離されることにより、小型車の枠外駐車が減少し、マナー向上が期待される。

今回の検討は、既設駐車場の駐車スペースを現状のままとしており、PAを運用しながら大型車駐車スペースを増設するための案であるが、今後は、PA内の敷地全体を最大限活用できるレイアウト計画についても検討していく必要がある。

5. おわりに

本検討では、大型車の駐車スペース不足やダブル連結トラック需要の増加等、近年の高速道路の休憩施設に対するニーズの変化を踏まえ、既設駐車場レイアウトの再編や、大型車専用駐車場の新設や増設を検討した。

従来の駐車スペース配置だけでなく、大型車の後退駐車前進発車や立体駐車場を採用することで、合理的な駐車スペースの増設が可能となった。

また、上記に加え、IC付近に大型車やダブル連結トラック専用の路外駐車場を整備する検討をすることで、大幅な駐車スペースの確保の一例を示すことができた。

今回の取り組みは、全国で生じている大型車駐車スペース不足に対し、新たな駐車スペース配置や利用形態を検討した事例となり、今後の高速道路の休憩施設の拡充および機能強化に寄与することを期待する。

参考文献

- 1) 国土交通省，ダブル連結トラックの本格導入について
<https://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-council/nls/pdf02/05.pdf>
- 2) 国土地理院HP，地図・空中写真閲覧サービス
- 3) 中日本高速道路株式会社，設計要領第四集，R5.7
- 4) 中日本高速道路株式会社，高速道路SA・PAにおける利便性向上に関する整備方針，R5.12
- 5) 国土交通省，警察庁，ラウンドアバウトのすすめ
- 6) 山形市HP
<https://www.city.yamagata-yamagata.lg.jp/shiseijoho/machizukuri/1007106/1002115.html>

ダイヤモンド型ICの高架下交差点における 安全性向上を目的としたランプ線形の見直し

○吉田想平・中村治・松浦佑紀・山本高由・日高雅史

中日本建設コンサルタント（株）（〒460-0002 愛知県名古屋市中区丸の内一丁目16-15）

本業務は、暫定2車線道路の整備事業中である一般国道バイパスのダイヤモンド型インターチェンジを対象としたIC予備修正設計である。本項では、交差道路及びランプの交通量が多い高架下交差点において、過年度に計画された流入部のランプ線形を見直すことで、交通安全性向上、コスト縮減等の課題解消を実現した内容について報告する。

Key Words : 一般国道バイパス, ダイヤモンド型IC, 信号視認距離

1. はじめに

一般国道155号豊田南バイパス（以下、豊田南BP）は、愛知県豊田市駒場町から同市逢妻町に至る延長L=12.9kmの路線であり、現在、暫定2車線での整備に向けて事業が進められている（図-1参照）。当路線は、先線の豊田北バイパスと合わせて、豊田市街地を中心とする環状道路として、交通の円滑化、物流の効率化、地域経済の発展・促進等の役割が期待されている。本業務の対象となる（仮称）逢妻IC（以下、逢妻IC）は、豊田南BPの終点部に位置し、バイパス本線と現道の一般国道155号（以下、現道155号）との立体交差箇所であり、現道155号において慢性的な交通渋滞が発生していることから、早期の立体交差化が求められている（図-2参照）。なお、逢妻ICのランプは、計画交通量18,200台/日の現道155号に接続することから、ランプの計画交通量が多く、交通の円滑性や安全性の確保が求められるICである。

本項では、逢妻ICを対象に、ダイヤモンド型ICのランプ及び高架下交差点の計画内容について述べる。具体的には、既存計画に対して、交差点内の見通しや走行安全性の向上に加え、高架橋規模の縮小による経済性の向上を図ることを目的に、ランプ線形の見直しを行った。



図-1 位置図（広域）



図-2 位置図（詳細）

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-3に示す。

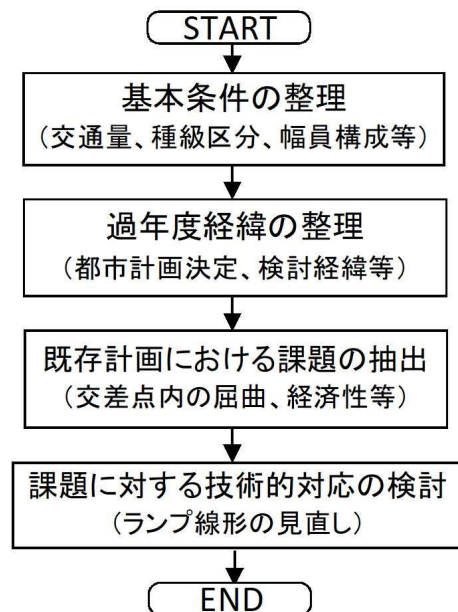


図-3 検討フロー

(2) 道路の基本条件

【豊田南BP 本線】

- ・計画交通量：（暫定2車線）26,400台/日
（完成4車線）44,000台/日
- ・道路区分：第3種第1級
- ・設計速度：（暫定2車線）V=60km/h
（完成4車線）V=80km/h
- ・幅員構成：図-4参照

【豊田南BP ランプ】

- ・計画交通量：（暫定2車線）15,100台/日
（完成4車線）24,600台/日
- ・ランプ規格：B規格
- ・設計速度：V=40km/h
- ・幅員構成：図-4参照

【現道155号】

- ・計画交通量：18,200台/日
- ・道路区分：第3種第2級
- ・設計速度：V=60km/h
- ・幅員構成：図-4参照

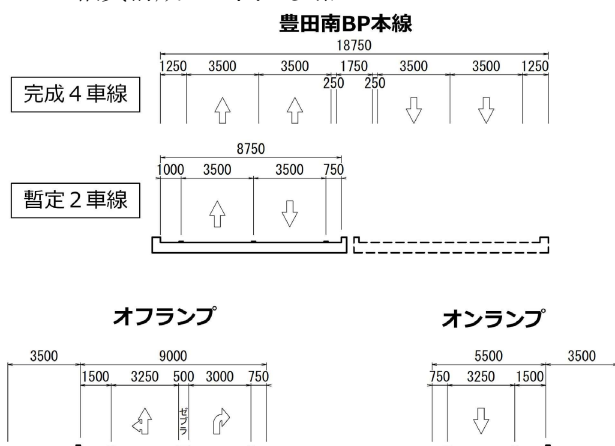


図-4 幅員構成

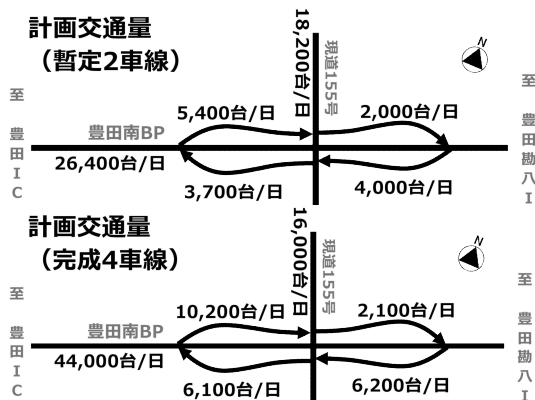


図-5 交通量図

3. 過年度経緯の整理

(1) 都市計画決定時のIC形状

都市計画決定時の逢妻ICの交差点形状は、従来から採用されているH型形状であり、橋梁規模の縮小を目的に、ランプを本線外側に配置し、交差点付近でランプ同士を大きく離れた形状で計画されていた（図-6参照）。また、逢妻IC周辺は、当該計画を基にして用地買収済みである。

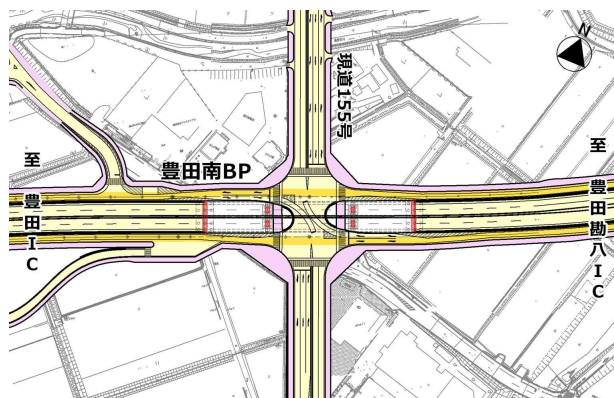


図-6 都市計画決定時のIC形状

(2) H型交差点の問題点

都市計画決定時のH型交差点のIC形状は、交差点面積が大きいため、右折車の走行速度が高くなりやすく、歩行者と接触時の交通事故の重大化、対向車両との交錯、信号切り替わり時の交差点内への取り残し等、交通の安全性に懸念があった（図-7参照）。そのため、関係機関協議において了承が得られず、都市計画決定時の形状から変更する必要があった。

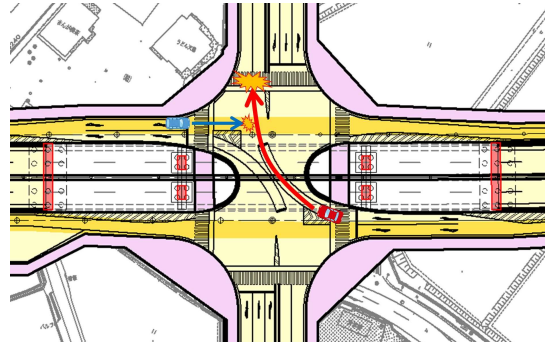


図-7 H型交差点の問題点

なお、H型交差点は、上記の交通安全性の問題から、交通安全対策事業として、右折車線の対向車線寄せや、ランプの中央寄せ等の改良が多く試みられているが、改良にあたっての明確な基準が無い状況である。

(3) 既存計画の計画内容

上記経緯を踏まえた既存計画では、交差点のコンパクト化を目的に、交差点部で最大限ランプ同士を近づけたランプ中央寄せのIC形状で計画されていた（図-8参照）。

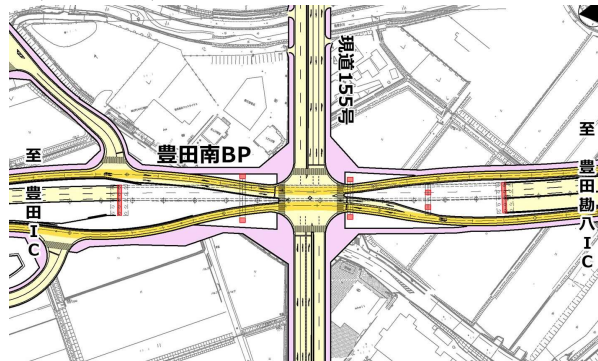


図-8 既存計画（ランプ中央寄せ）

4. 既存計画における課題

前述した既存計画は、交差点のコンパクト化に特化して極限までランプを中央寄せしたIC形状であるが、オフランプから交差点に流入する車両に対して、以下の安全性に関する課題があった。

(1) 交差点付近でのランプ線形の屈曲による安全性の課題

既存計画では、交差点内に $R=280\text{m}$ の曲線半径を用いており、流入部と流出部が正対しておらず、交差点付近でハンドル操作を要する道路構造であった（図-9参照）。このため、逆走、中央分離帯や交差点内車両への衝突の恐れがあり、交差点に進入する交通に対して安全性に懸念があった（図-10参照）。

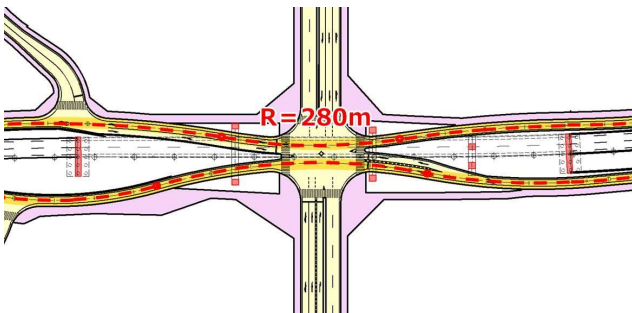


図-9 既存計画のランプ線形

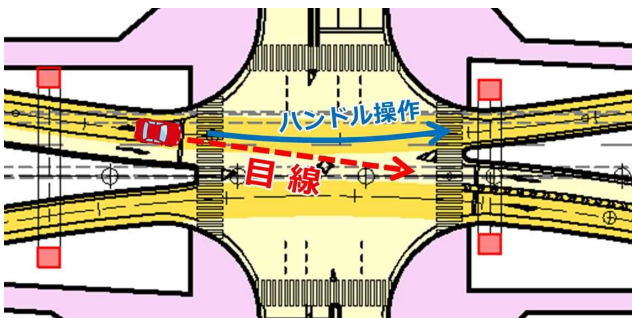


図-10 流出入口が正対していない問題点

(2) 交差点の視認性の課題

既存計画では、ランプ線形を屈曲させて高架橋下で中央寄せしていることから、橋台位置は信号視認距離が確保できる最低限の見通し線から決定していた。そのため、橋台と門型橋脚の隙間から信号や交差点内を視認する必要があり、視認性の悪い計画となっていた（図-11参照）。

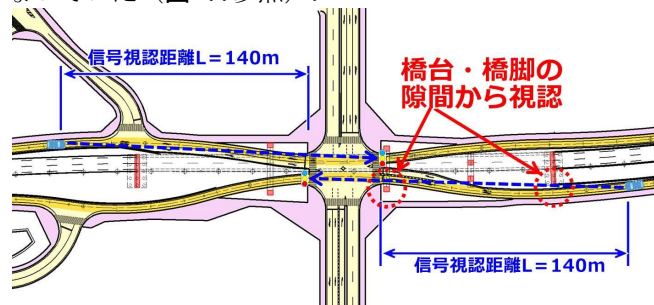


図-11 既存計画の視認性

(3) 大規模な高架橋構造

ランプを中央寄せにすることにより、視距確保のために橋台位置を交差点から外側に控える必要が生じ、必要以上に橋長が長く、橋長 $L=247\text{m}$ と大規模な高架橋構造であった（図-12参照）。また、ランプ間に橋脚を設置する空間が無いことから、鋼製橋脚が必要となり、高架橋の工事費が約38.9億円と、経済性の面でも懸念があった。

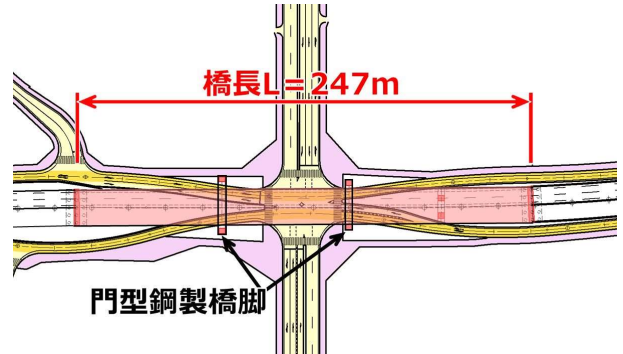


図-12 既存計画の高架橋構造

5. 課題解決に向けた技術的対応

(1) 線形変更による見通し及びハンドル操作の改善

上記課題に対し、交差点流入部のハンドル操作性や見通しに着目し、流入部のランプ線形の見直しを行い、交通の安全性向上を図った。

具体的には、交差点流入部におけるハンドル操作の単純化及び交差点内の見通し改善のため、交差点付近に直線を挿入して交差角を90度にするランプ線形へ変更した。線形変更にあたっては、あえて上下線ランプ間隔を広げることで、信号視認性を向上させた（図-13、14参照）。

また、交差点付近の直線に接続するS字線形挿入の際には、拡幅不要な曲線半径である $R=190\text{m}$ 、 $R=160\text{m}$ を使用することで、走行性に考慮した線形設定を行った。

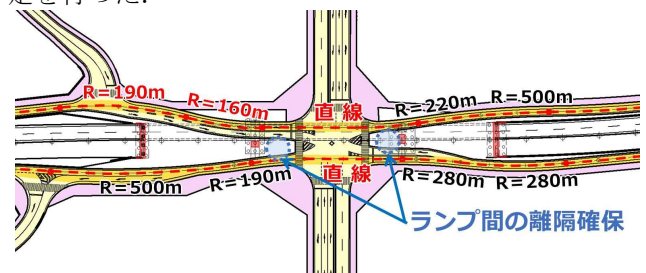


図-13 ランプ線形の変更内容

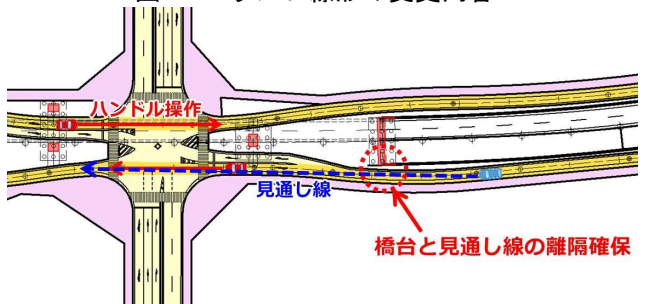


図-14 ハンドル操作及び見通しの改善内容

(2) 橋台前出しによる橋梁規模の縮小

前述した線形変更によって、橋台位置の前出し及びランプ間への橋脚設置が可能となり、橋長をL=52m短縮するとともに、径間数を減少し、鋼製橋脚を回避することが出来た。当構造変更により、約12.8億円のコストを縮減し、経済性の向上にも寄与した（図-15参照）。

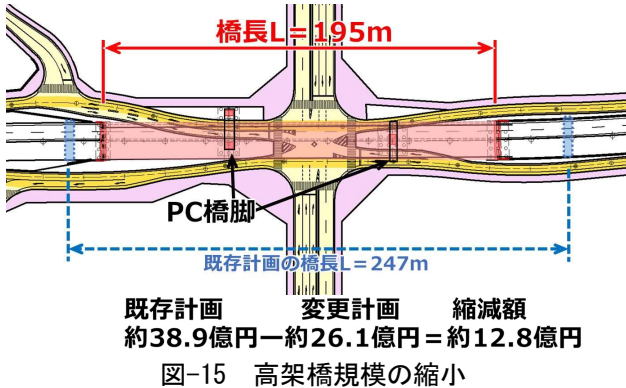


図-15 高架橋規模の縮小

6. 対応策による懸念事項とその対策

ランプの間隔を広げる対応については、交差道路側の停止線間距離が長くなり、交差点内のクリアランス距離の増加、ランプの右折車両の走行速度の増加による横断歩行者への安全性の懸念が考えられた（図-16参照）。

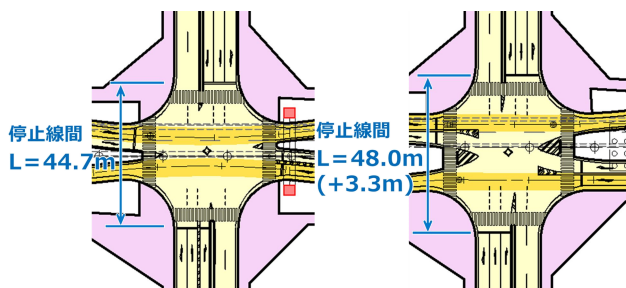


図-16 交差道路側の停止線間距離

この懸念事項については、以下の対応等によって、安全性を確保した。

(1) 右折交通と横断歩行者との信号現示分離

ランプの右折現示と交差道路の横断歩行者信号現示を分離することで、ランプの右折車両と横断歩行者の交錯を回避し、安全性を確保した（図-17参照）。

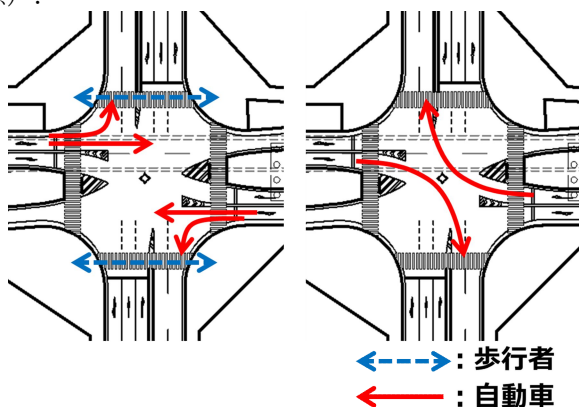


図-17 信号現示による歩車分離

(2) クリアランス距離増加に対する評価

クリアランス距離はやや長くなるものの、交差道路・主道路共に直線の直角交差点としたことによって、交差点内に指導線がなくても自然に直進できる構造であるため、交差点内で煩雑なハンドル操作を要する既存計画に対して、総合的に安全性が向上したと評価できる（図-18参照）。

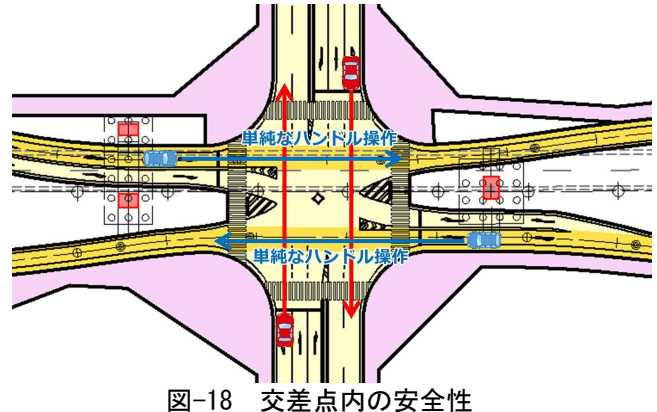


図-18 交差点内の安全性

7. 関係機関との調整について

交通管理者との協議では、これまで述べた計画の変更内容について説明し、交通の安全性が向上していることを報告した。また、変更計画によって交通の安全性が向上した旨の説明を行い、3Dモデルを用いてランプからの見通し線を視覚的に表現することで、効果的なイメージ伝達を行い、計画内容について了承を得ることが出来た（図-19参照）。



図-19 3Dモデルによる見通しの確認

8. おわりに

ダイヤモンド型ICの高架下の交差点流入部において、ランプ位置の考え方に明確な基準が無い中で、ハンドル操作性や視認性の高いランプ形状を提案し、安全で合理的な交差点形状を計画することが出来た。また、橋長縮小や下部工構造の変更によって、既存の橋梁計画に対して大幅なコスト縮減を図り、経済性の向上にも寄与することが出来た。今後、高架下交差点計画における参考事例として一助となれば幸いである。

貴重植物シデコブシの保全対策への取組み

おぐらひろゆき おだけんいち いとうひろし いたばしひとみ
○小倉弘之・小田健一・伊藤 浩・板橋 瞳

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

国道19号瑞浪恵那道路建設事業では、環境影響評価書に基づき、動植物の重要な種に対して事業影響を可能な限り回避・低減するための環境保全措置に取り組んでいる。その中で、植物の重要な種であるシデコブシについて、環境保全措置として工事前に根株移植を行っている。

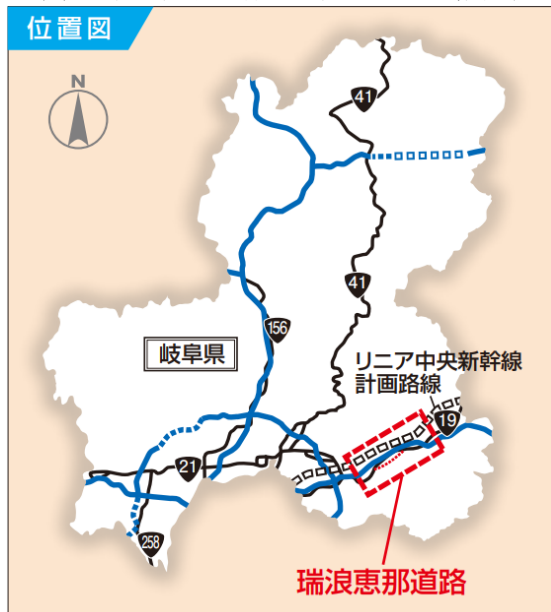
当事業におけるシデコブシの移植にあたり、生態や生育箇所の条件等で技術的に課題がある中で、生育環境に適合していることを確認したうえでの移植先の選定、移植1年前の休眠期での幹切・根切、養生期間における萌芽確認、環境改善等を行うことで、移植後の活着率の向上を図った。

Key Words : 道路事業, シデコブシ, 保全対策, 株移植

1. はじめに

国道19号瑞浪恵那道路は、瑞浪市と恵那市を結ぶ延長約12.5kmの区間で、渋滞・事故等の交通課題の解消や、リニア中央新幹線の開業時の地域振興に寄与することを目的に計画され、環境影響評価書(H26公表)に基づく環境保全措置及び事後調査を工事スケジュールに合わせて適宜実施している。

本稿では、植物の重要な種のシデコブシにおける保全対策の取り組み内容の事例について報告する。



<https://www.cbr.mlit.go.jp/tajimi/senmon/douro/file/brochure/mizunamiena.2404.pdf>

図-1 瑞浪恵那道路 位置図

2. シデコブシ環境保全措置の概要

(1) シデコブシについて

高さ4～5mになる落葉広葉樹。花は白色でややピンク色を帯びており、径7～10cm。がくと花弁は同じような色・形で見た目には十数枚の花びらがある。葉は長さ5～10cmの倒卵形。丘陵帯の丘陵山間部の湿地に生育する。貧栄養の湧水湿地の周辺に多い。開花時期は3月下旬～4月上旬頃で、他のモクレン類と同じように葉が出る前に花が咲く。¹⁾²⁾

東海地方に固有の種で、本州中部地方の伊勢湾に面した地域に分布している。岐阜県内では美濃地方東部の東濃地域を主体とした地域に分布している。²⁾



図-2 シデコブシ現地状況写真

(2) 環境保全措置の方針

平成19年～平成20年に行われた現地調査において、事業地の改変区域内及び周辺で多数個体が確認された。確認された環境は谷に沿った斜面下部の湿った樹林内、および林縁であった。

環境影響評価書において、本種は東海丘陵要素の構成種であり、地域固有の重要な種として位置づけられている。事業地周辺では集中して生育が確認されており影響を回避又は低減することが困難であることから、消失する一部の個体について代償措置を実施することとされた。

シデコブシにおける環境保全措置の内容は、専門家の助言・指導の下で検討し、工事前に地形改変区域に生育する個体の保全として、改変区域外へ植え替える根株移植を行う方針となった。

3. シデコブシ環境保全措置の実施

(1) 課題

植物の環境保全措置として移植は一般的な手法であるが、工事スケジュールに合わせて効率的に実施するため、対象種の生態特性や固有性、事業地の特性などから、移植に際して以下の技術的課題を解消する必要がある。

a) 種の固有性

シデコブシは、東海丘陵要素の構成種とされる東海地方にのみに生育する地域固有の種で、道路事業における移植事例の少ない種である。また、湧水湿地に生育するため、移植先の選定にあたっては、本種の生育環境に適合し、移植後に定着できるよう適切な検討が必要である。

b) 株の搬出

移植対象株の樹高は全てが6m以上で、中には樹高12m、胸高直径が27cmに達する大型の個体も生育する。（表-1）

移植対象株が生育する環境は湿地や林内となっており、ぬかるみや斜面によって掘り取り後の搬出が困難である箇所が多い。（図-3、図-4）

また、掘り取った株を移植先へ搬出する際、輸送用車両が利用できる道路に面していない林内の奥地に生育する個体が多く存在する。

表-1 移植対象株

移植対象株No.	樹高(m)	胸高直径(cm)	生育環境
1	7.9	8.3	林内
2	9.8	9.4	林内
3	4.5	4.4	林内
4	7.5	7.0	林内
5	6.0	4.6	林内
6	8.1	8.3	林内
7	9.0	17.1	林内
8	9.0	12.1	林内
9	7.0	10.1	林内
10	8.0	6.2	林内
11	8.0	7.8	林内
12	8.0	12.2	林縁
13	10.0	14.0	林内湿地
14	12.0	27.0	林内湿地
15	10.0	25.5	林縁湿地
16	7.0	16.2	林縁



図-3 生育地の環境（林内の湿地）



図-4 生育地の環境（林内の斜面）

(2) 課題への対応策

a) 移植先の選定（課題：種の固有性への対応）

地域固有の生態を持つ本種を適切な環境へ移植するため、移植先は、土壌水分やpH、相対照度を計測し、移植元生育地と類似していること、または本種の生育環境に適合していることを確認したうえで選定した。また、移植先は、それぞれの移植元生育地と同地域とし、周辺に同種が自生、または移植後に活着している箇所を選定した。

表-2 移植先の選定基準（生育環境）

項目	移植先の値	選定理由
土壌水分	36.8～46.8%	適潤地の環境にある
pH	6.5	概ね植物の生育に適した環境にある
相対照度	37.6～87.7%	林内～林縁の比較的日常の光の多い環境にある

b) 幹切・根切の実施（課題：株の搬出への対応）

林内の湿地や斜面から木本を搬出するため、幹切・根切を行ったうえで移植先へ搬送した。

移植時、掘り取った株は人力及び小型バックホウにより林内から搬出した。

〈実施時期〉

幹切・根切の実施時期は移植1年前の冬季～早春季に行った。掘り取り、搬出、植え替えは冬季～早春季に行った。

表-3 幹切・根切の実施時期

手順	冬季			春季			夏季			秋季			冬季			春季		
	12月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	4月	5月
移植準備 (幹切・根切)	■	■	■															
掘り取り													■	■	■			
植え替え													■	■	■			
養生																■	■	■

〈具体的方法〉

- ・移植を行う1年前の冬季（休眠期）に地面から20cm程度を残して幹を切断した。（図-7）
- ・根切り範囲は対象個体に合わせて実施した。
- ・腐朽または徒長した根は除去し、吸収根の再生が期待できる細根（直径1～2cm程度）を切り戻し剪定した。
- ・根の切断面には、殺菌癒合剤（トップジンMペースト等）を塗布した。（図-6）
- ・幹切・根切後は翌年の冬～早春期まで現地に存置し、移植までに萌芽、細根を多数発生させた。（図-8, 図-9）
- ・移植前の夏季に対象株の状況確認を行い、養生期間で発生した萌芽の本数を把握したうえで移植した。合わせて、周辺草本の抜き取りによる照度確保など環境改善を行った。



図-5 幹切・根切前の状況



図-6 根切断面への殺菌癒合剤の塗布



図-7 幹切・根切直後の状況



図-8 幹切後の養生期間で新たに伸長した萌芽



図-9 根切後の養生期間で新たに伸長した細根

4. 事後調査の実施

シデコブシにおける事後調査として、移植後は、個体ごとに春季に年1回のモニタリングを実施している。モニタリング時期は萌芽が十分に発生した時期に設定し、萌芽本数や開花の有無により定着状況を把握した。(図-10)

また、個体ごとの生育状況について、専門家の助言も踏まえ、萌芽本数が多い個体については、状態の良

い萌芽の成長を促進するために剪定する方針とした。

その他、鳥獣害、他の植物による日陰の有無等の周辺環境について記録し、必要に応じて散水や周辺植物の剪定といった環境改善を行っている。



図-10 移植後の生育状況(移植後1年目モニタリング)

5. 今後の展開

本事業におけるシデコブシの保全対策の取り組みは、道路事業における移植事例の少ない本種にとって事例の蓄積となり、他の道路事業にも展開できるものである。

謝辞：本内容は、国土交通省中部地方整備局多治見砂防国道事務所より受注した業務成果に基づくものであり、関係者の皆様に厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 環境省レッドリスト2020, 環境省, 2020.
- 2) 岐阜県の絶滅のおそれのある野生生物(植物編)改訂版 — 岐阜県レッドデータブック(植物編)改訂版, 岐阜県, 2014.

IC改良事業における 施工条件の厳しいランプ橋の設計

ばんいづき さかいともり えとうよしき こばやしおさむ くずやかずき
○伴乙希¹・酒井友紀¹・江藤良樹¹・小林 修¹・葛谷一貴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一丁目18番22号）

愛知県東海市～常滑市を結ぶ高規格道路である西知多道路の長浦IC下り線オフランプ橋は、ICのフルランプ化に伴い、大型水路と交差する既設のランプ橋を撤去し、新設橋梁として架け替えるものである。

施工時には現況ランプの交通機能を担保する必要があるが、近接物件として送電線及び鉄塔、埋設管が存在し、狭隘な施工ヤードでの施工が必要であることや、関係機関との近接施工協議を円滑に進めることが課題であった。本稿では、これらの課題解決に向けた設計・施工計画検討と検討結果、BIM/CIMの施工計画への活用効果について報告する。

Key Words : 切回し道路、近接施工、仮橋、工期短縮、撤去設計、橋梁架け替え、BIM/CIM

1. はじめに

西知多道路は、「中部国際空港」、国際拠点港湾の「名古屋港」と高規格幹線道路（伊勢湾岸自動車道）を連絡し、名古屋都市圏自動車専用道路網を形成することで、知多地域の交通混雑の緩和、更には知多半島道路と共に形成される空港アクセスのダブルネットワーク化に寄与する延長約18.5kmの地域高規格道路である。本事業のうち、長浦IC～日長IC区間は国が権限代行で整備する区間であり、本業務対象橋梁を含む長浦ICはハーフランプからフルランプ化する計画となっている。

本業務は、長浦ICにおける3橋の橋梁詳細設計業務であり、本稿では、フルランプ化により架け替えが必要となる下り線オフランプ橋を対象とする（図-1、2、表-1）。

下り線オフランプは既存ランプの交通量が多く、施工時の通行止めができない。また、架橋位置上空には送電線が存在し、周辺には送電線の鉄塔や埋設物等の支障物件が複数存在している。さらに、架橋位置は南浜水路と既設ランプに挟まれており、狭隘な施工ヤードでの架け替えとなる。したがって、こうした厳しい制約条件下における既設橋梁の撤去、新設橋梁の施工実現性の検証が必要であった。

表-1 橋梁諸元

橋長	36.2m	下部工形式	逆T式橋台
支間長	34.3m	基礎工形式	場所打ち杭φ1000
全幅員	9.28m～11.010m	平面線形	R=500m～∞
上部工形式	鋼単純非合成鈹桁橋	交差条件	南浜水路

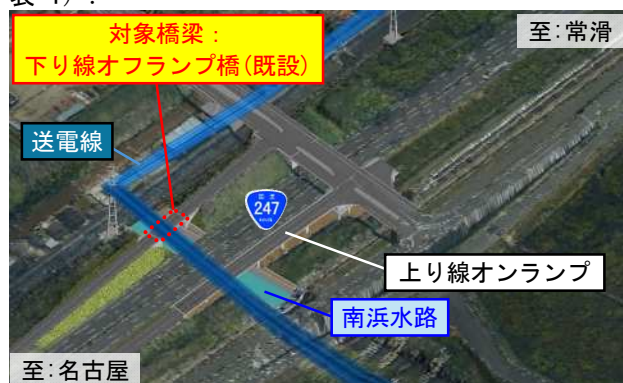


図-1 長浦IC（現況）



図-2 長浦IC（計画）

2. 計画上の制約条件と設計上の課題

本事業は供用開始に向けた工程上の余裕がなく、設計対象の橋梁は工程のクリティカルパスとなっているため、工期短縮が強く求められた。

周辺状況として、新設ランプと既設ランプは平面・縦断線形が異なるため、新設ランプの施工に際し、既設ランプの撤去が必要となるが、既存のランプは西知多道路本線と周辺工場や市街地を接続し交通量が多いため、現道交通の機能を担保した状態での施工が求められた。また、本橋は大型水路(南浜水路)と交差し、現道の西知多道路、送電線と鉄塔、下水管などの複数の埋設管と近接しているため、これらが設計・施工上の制約条件となるとともに、事業の遅延の要因となることが想定された。本業務における設計上の課題点を以下に示す(図-3)。

課題①現道ランプの交通機能を確保した上での新設ランプの施工方法の検討

課題②支障物件に対する近接施工に配慮した橋台構造の計画

課題③本線と水路に挟まれ、かつ架空線等の支障物件が点在する狭小ヤード内での施工計画

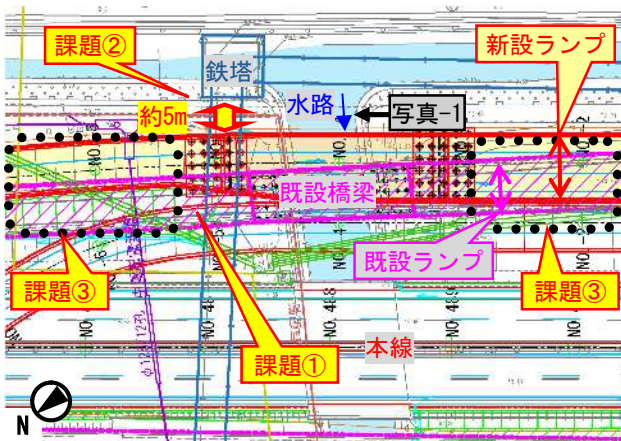


図-3 課題図

3. 近接支障物件に配慮した現道切回し計画

(1) 現道交通確保の必要性

臨海工場地帯に近い本ICは、西知多道路本線から企業、市街地への接続点となっており、ランプの通行止めによる社会的影響が大きいため、ランプの交通を確保する必要がある。よって、種々の占用物件との取り合いや施工ヤードや進入路の確保など、厳しい施工条件下での切回し道路計画が求められた。

(2) 計画上の課題点

図-4に示す通り、既往の切回し道路計画では、施工性の向上を目的に、現況ランプの東側に切回し道路を確保する計画であったが、以下の状況から管理者との協議の難航や、支障物件の移設などの工事遅延リスクを有していた。

リスク①送電鉄塔と仮橋施工の近接

リスク②水路内への仮橋設置占用

リスク③防潮堤基礎と仮橋杭基礎の干渉

リスク④電柱・電線の複数の移設



写真-1 現地写真

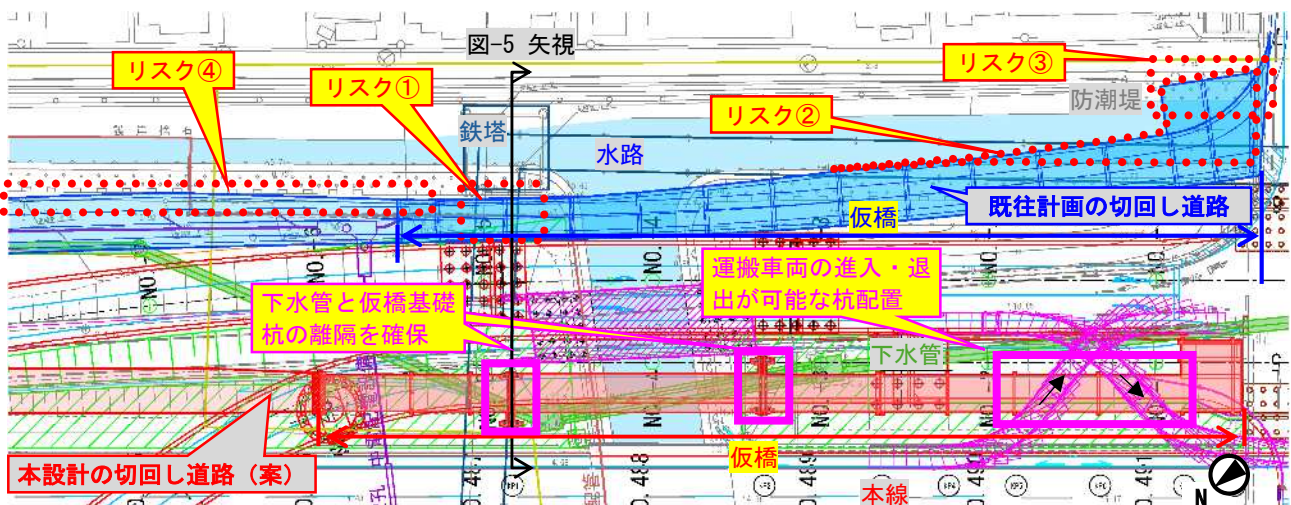


図-4 下り線オフランプ切回し図

既往計画における課題の改善提案として、切回し道路を現況ランプ西側(本線側)に配置する計画を立案した。

なお、本切回し道路は下水管と交差する箇所が発生するため、仮橋杭基礎は下水管と必要離隔を確保して配置するよう調整を行った(図-4、5)。さらに、A2橋台背面を施工ヤードとして使用するため、仮橋の桁下で建築限界を確保し、運搬車両の進入・退出が可能となるように車両軌跡にて仮橋基礎杭の支間割の調整を行った(図-4)。



(1) 既計画（既設橋台全撤去後の新設橋台設置）の課題

- ・ A1橋台側方には送電線の鉄塔が存在しており、既設橋台の撤去に伴う床掘により、鉄塔ケーソン基礎側方の地盤にゆるみが生じ、鉄塔に変位が生じる可能性がある(図-6)。

- ・地下水位は既設橋台底版よりも浅く、既設橋台底版撤去時には矢板での締切りなど、止水を行う必要があり、仮設費の増加や工程の長期化、現況ランプの切回し道路との干渉が生じる。
- ・既設橋台は交差する水路の護岸と一体となっており、既設橋台の撤去に伴って護岸の撤去・復旧が必要となる。

課題解決にあたり、既設下部工の撤去範囲、撤去範囲を考慮した新設橋梁の配置計画を実施した。

A2橋台については、鉄塔との離隔が確保されており、撤去範囲には自由度があるため、既設A2橋台の撤去範囲について「全撤去」、「地下部部分撤去」、「地上部のみ撤去」の3案に対応した橋台位置の検討を実施した。なお、検討に際しては、既設A2橋台の撤去規模が大きいほど、新設橋梁の橋長を短縮できるが、撤去に伴う費用が増加するため、撤去から新設までをトータルで評価した比較検討を実施した。

送電線の張力

水平力

水平力

受動土圧

受動土圧

既設A2橋台

橋台撤去による床掘

鉄塔ケーソン基礎の開削
⇒地盤がゆるみ、鉄塔・基礎の変位が生じるため、A1橋台の掘削底面は既設ケーソン天端以上とする。

103

5. BIM/CIMを活用した狭隘ヤードにおける施工計画

(1) 活用内容

本橋の施工においては、水路と切回しランプの間という狭隘なヤード内かつ上空は送電線と交差する中で、既設ランプ橋の撤去、新設ランプの設置を行う必要があり、施工上の制約が厳しい状況であった。

施工時の条件としては、交差する送電線と重機の必要離隔を確保することや、現道交通の安全確保の観点から切回しランプや本線の俯角範囲に吊り荷を入れないことが求められた。各支障物件は3次的に複雑に交差するため、BIM/CIMを活用して、送電線の必要離隔や切回しランプからの俯角ラインを表示した。

上部工の架設計画においては、橋台背面の施工ヤードに架設用クレーンを配置し、ブーム移動時の送電線との離隔や現道交通への影響等を確認し、桁架設時の重機配置位置等を検討した(図-9)、(図-10)。結果、A2橋台背面から上部工架設を行うこととした。

また、下部工施工時においても、施工ヤード内に使用する重機や運搬車両を配置することで施工の可否を確認した(図-11)。

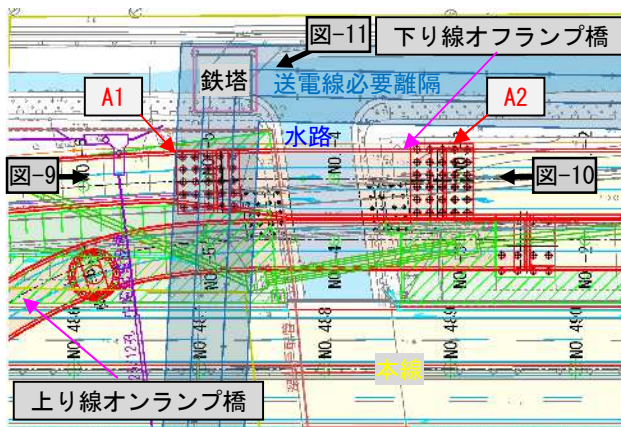


図-8 長浦IC全体計画図(BIM/CIM位置図)

(2) 効果

長浦IC全体の出来上がりの完成形状から施工時などの限定的な箇所を三次元モデルで可視化することで、各段階における整備状況の情報共有が容易となった。現地は現況道路や切回し道路、鉄塔等の支障物件が存在しており、二次元図面では状況把握が困難であるため、特に関係機関協議における活用で円滑な協議遂行が可能となった。

また、上下部工の施工計画の照査においては、施工時の支障である鉄塔や三次元的に広がる送電線からの必要離隔、現道からの俯角範囲との影響検討により、安全かつ実現性の高い計画を立案することが可能となった。

6. おわりに

本業務では、現道、切回しランプ、水路、複数の支障物件が存在する狭隘な施工ヤードにおける橋梁の詳細設計を実施した。既設橋梁の撤去範囲を最小限とし、事業費、工程の縮小を実現した。また、BIM/CIMを活用して構造物の取り合いを可視化し、照査による施工時の安全性向上、関係機関との円滑な情報共有が可能となった。

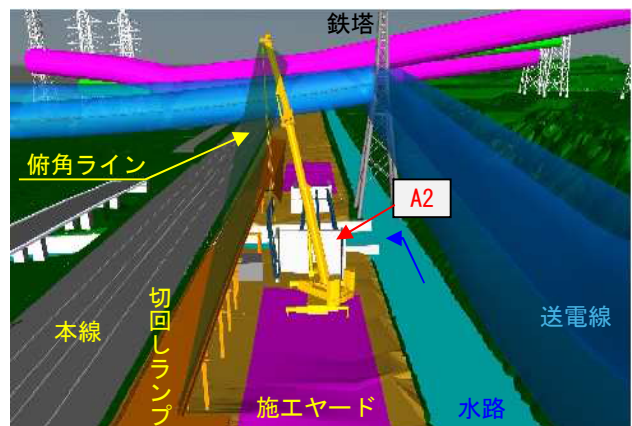


図-10 上部工架設状況図(架設クレーンと俯角、送電線との離隔確認)

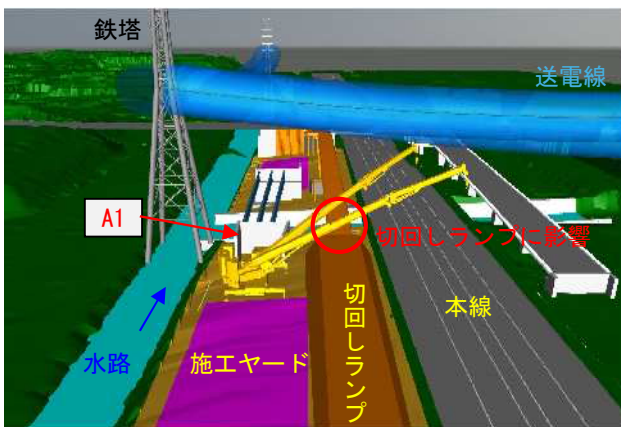


図-9 上部工架設状況図(不採用案)



図-11 下部工施工時(A1橋台)の重機配置検討

杭基礎を有する橋台の再構築における 地盤の緩み防止対策

○谷本拳悟¹・町勉²

¹大目コンサルタント株式会社 名古屋支社（〒450-0002 愛知県名古屋市中村区名駅5-27-13）

²大目コンサルタント株式会社 本社（〒500-8384 岐阜県岐阜市蕨田南3-1-21）

近年、中小河川の氾濫が頻発しており、河川断面の拡幅及びこれに伴う橋梁の架替え事業が増加している。河川幅の変更により橋台位置を動かす必要があり、既設の躯体や基礎新設のそれらとの位置関係によって設計や施工において種々の問題が生じる。特に地盤が軟弱な場合は杭基礎を用いることになり、杭同士が近接するため、用地影響や地盤の緩み防止などの様々な制約条件を考慮して橋梁計画を行い、工法を選定する必要がある。この度、具体的に検討を行う機会を得たので、検討事例としてその内容を紹介する。

Key Words : 既設杭, 地盤評価, PHC杭, 場所打ち杭, 地中障害撤去工事

1. はじめに

本業務は、庄内川水系の一級河川水場川に架かる白鳥橋の河川改修に伴う架替えを目的とした橋梁詳細設計である。水場川は、名古屋市、清須市、北名古屋市を流域とし（図-1）、現在兩岸拡幅を基本とした河川改修が行われている。これに伴い、既設橋台が河川断面を侵すこととなり、橋台の撤去を含めた橋梁の架替えが必要となった。

新橋の架橋位置は、橋梁前後の土地区画整理事業との整合から、平面線形が変更できず、既設橋と同位置とすることが条件であった。また、橋長は同事業への影響を抑えることを前提に、極力短くするよう求められた。このため、橋長は、河川改修後の堤防法線をコントロールに、最短となる案を計画した。

設定した下部工位置は、左岸側（A1橋台）で新設橋台の杭基礎（以後、新設杭）と既設橋台の杭基礎（以後、既設杭）が干渉する位置関係（図-2）となり、用地影響や地盤の緩みなど様々な制約条件を考慮して橋梁計画を行い、工法を選定する必要がある。

本稿では、A1橋台の基礎に着目し、地盤の緩みを防止する対策として、既設杭の取扱いについて再利用・存置・撤去の観点で整理して新設杭を計画した結果について報告する。



图-1 位置图

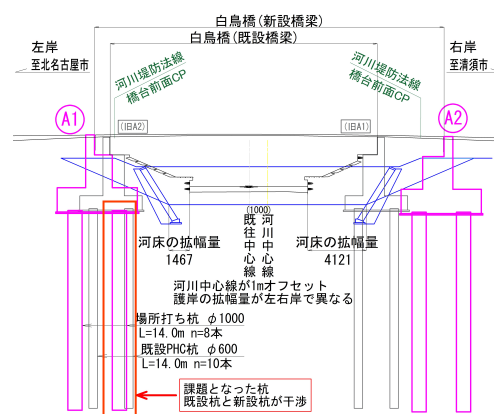


図-2 白鳥橋 橋長最短案側面図（近接、干渉確認時）

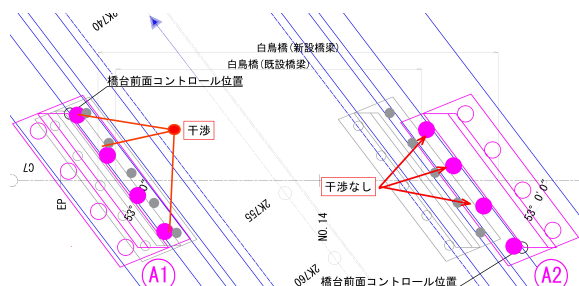


図-3 白鳥橋 橋長最短案平面図（近接，干渉確認時）

2. 既設杭の主な諸元

完 成 年：平成元年

適 用 基 準：S55道路橋示方書・同解説

杭種・杭径・杭長：中掘りPHC杭，φ600，14m

種 別：B種

先 端 処 理 方 式：セメントミルク攪拌方式

既 設 杭 の 位 置：平板測量と竣工図書より推定

既設杭について，正確に位置を把握するため調査を提案したが事業工程の都合や既設橋の竣工図書が揃っていないため実施には至らなかった．そこで，平板測量成果と竣工図書から既設杭の位置を把握した．

3. 既設杭の再利用の検討

既設杭は，河川改修断面の外側に位置しており，再利用について河川構造令上は問題ない．既設杭が再利用できれば地盤の緩みが生じないことに加え，基礎工費や撤去費の削減，施工日数の短縮等が期待でき，新設杭を施工するよりも経済的かつ施工性に優れた設計が可能となる．このため，まずは既設杭の再利用についてその適用性を検討した．

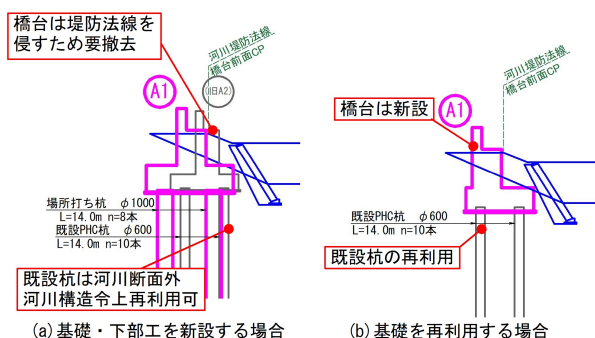


図-4 既設杭の再利用（案）

(1) 既設杭の概略照査

現行基準（H29道示）において構造が成立するかを確認した．現行基準の場合，当時では照査項目とならない偶発作用時の照査が必要になり，既設杭では基礎が降伏する結果となった．

表-1 現行基準での安定計算結果

永続・ 変動作用時	変位	OK
	押込力	OK
	引抜力	OK
偶発作用時	杭体	NG
	支持力	OK

(2) 最新の基準との構造細目の整合性

構造細目の整合性確認として，杭頭結合部の照査を行った．照査の結果，補強鉄筋の定着長（フーチング内への埋込みと杭頭部分への埋込み）の不足，中詰めコンクリート範囲の不足を確認した（図-5，表-2）．フーチング内への定着長の確保は鉄筋を継ぐことで可能だが，杭頭部分への埋込みや中詰めコンクリート範囲の不足を解消することは構造上不可能なため，最新基準の構造細目を満足させることができないと判断した．

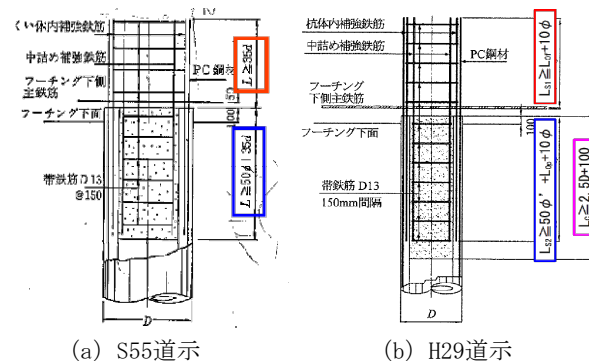


図-5 PHC杭の接合方法の比較¹⁾

表-2 既設杭の杭頭部の構造細目の整合性確認結果

	既設図面	H29道示	結果
補強鉄筋の定着長 底版への埋込み	770mm	$L_0f+10\phi$ $=45 \times 22=990\text{mm}$	220mm 不足
補強鉄筋の定着長 杭頭部分の埋込み	1320mm	$50\phi + L_0p+10\phi$ $=50 \times 9+45 \times 22=1440\text{mm}$	120mm 不足
中詰めコンクリートの範囲	1400mm	$2.5D+100=1600\text{mm}$	200mm 不足

(3) 既設杭の再利用可否

(1)～(2)の検証結果より既設杭の再利用はできないと判断した．

4. 既設杭の存置の検討

既設杭の再利用が困難なため，杭基礎の新設について検討した．新設杭設置時の既設杭の取扱いについては，河川管理者との協議の結果，河川改修断面の外側に位置することから，存置が認められた．しかし本橋の場合，図-3に示す新設橋台計画の通り，既設杭と新設杭とが干渉し，既設杭の撤去が必要となる（図-6）．このため，既設杭との干渉を避けた新設杭の配置を計画し，既設杭を存置した新設杭の計画が可能であるか検討した．

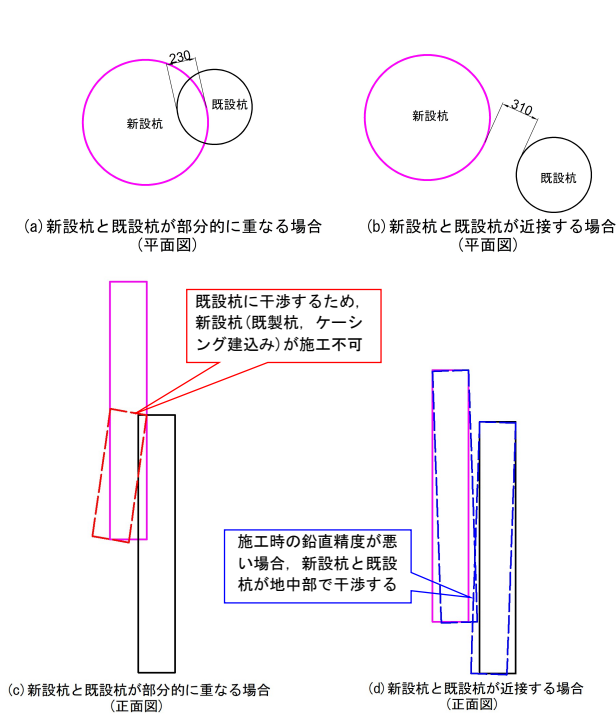


図-6 既設杭の撤去が必要な理由

既設杭存置の検討をする際の課題は、両者が干渉しないと判断できる離隔を設定することである。これは、図面上は既設杭の位置を新設杭が避けていても、施工誤差（傾斜や偏心量）や、測量誤差（竣工図と平板測量の差）などにより、干渉する可能性があるためである。離隔は、施工管理基準²⁾より設定した施工誤差に測量誤差も加え、表-3の通り設定した。

表-3 杭配置の誤差（離隔確保）の設定

	既設杭の誤差	新設杭の誤差
傾斜	最大100mm	最大100mm
偏心料	最大1/100以内 =14m/100=140mm	最大1/100以内 =14m/100=140mm
測量誤差	最大30mm	—
合計	270mm≒300mm	240mm

A2橋台のように既設杭と全く干渉しない位置にA1橋台を配置（図-7(a)）することができればよいが、その場合、橋長の延長による土地地区整理画事業への影響は避けられない。このため、橋長を延長せずに既設杭を避けた位置に新設杭の配置検討（図-7(b)）を行った。

杭配置時に確保すべき離隔を考慮して新設杭の配置を検討した結果、配置可能な杭径はφ700mm以下となった（図-8）。よって、本案における基礎形式選定時の比較案の抽出は、杭径φ700mm以下を条件とすることとした。

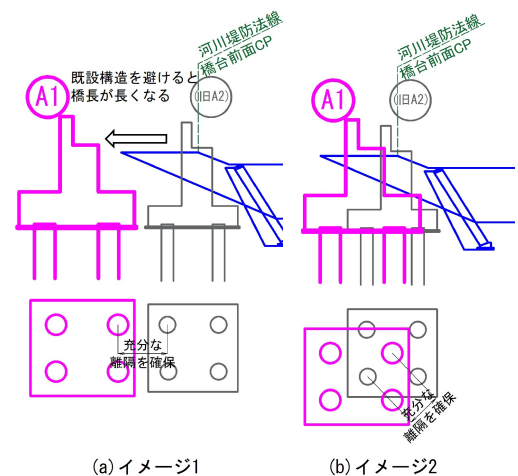


図-7 既設杭を避けた杭配置イメージ図

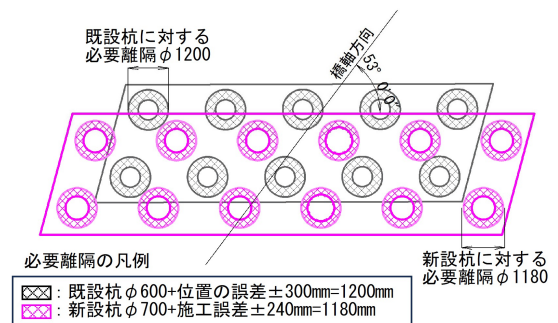


図-8 φ700mmでの杭配置結果

5. 既設杭の撤去の検討

既設杭を存置した場合前述の通り、新設する杭径に制約を受けるため、既設杭の撤去を考慮した新設杭の計画について検討した。

既設杭撤去の検討をする際の課題は、既設杭撤去後の緩んだ地盤評価の手法が確立されていないことである。現状、既設杭の撤去・埋戻しにより周辺地盤が緩んだあとの地盤の水平抵抗や、鉛直支持性能の低減等において十分な知見がない³⁾（図-9）。

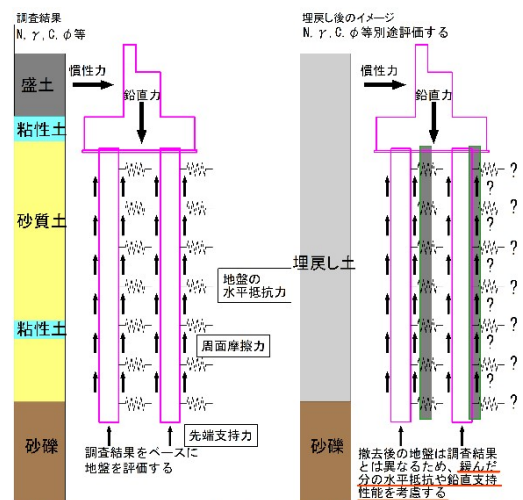


図-9 緩んだ地盤の評価について

これを踏まえ、全周回転オールケーシング工法に着目して、埋め戻しを伴わずに既設杭の撤去と新設杭の施工を同時に行うことを考えた。そこで、全周回転オールケーシング工法を併用する「地中障害撤去工事4」（図-10）を採用し、地盤の緩みを生じさせずに既設杭の撤去を伴う新設杭の施工が可能か検討した。

適用可能な杭種は、全周回転オールケーシング工法で施工が可能な場所打ち杭のみとなる。杭配置において、全ての新設杭を既設杭と同位置に配置（図-11(a)）すると、適用杭径より必要な杭間隔が確保できないため、1列のみ新設杭を同位置に計画する（図-11(b)）こととした。

既設杭と同位置に新設杭を配置する場合、既設杭位置の施工誤差等を考慮し、既設杭を新設杭で包括できる杭径が必要である。これが可能な杭径は表-3より $\phi 1200\text{mm}$ （既設杭径 $\phi 600 + \text{施工・測量誤差 } 300\text{mm} \times 2$ ）以上となる。よって、既設杭撤去における基礎形式選定時の比較案の抽出は、場所打ち杭 $\phi 1200\text{mm}$ 以上を条件とすることとした（図-12）

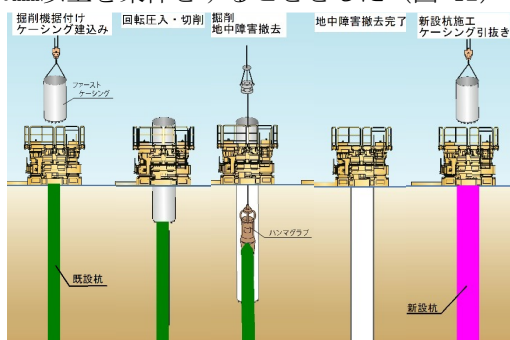


図-10 地中障害撤去工事イメージ図⁴⁾

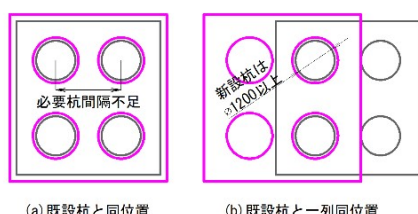


図-11 既設杭と同位置での杭配置イメージ図

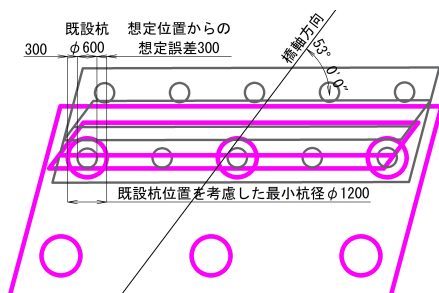


図-12 既設杭と同位置に新設する場合の条件

6. 橋台基礎の選定

杭配置の検討結果に加え、追加地質調査の結果より、礫径の大きい玉石が支持層にあると想定されたため、「4. 既設杭の存置」で整理した $\phi 700$ 以下

の新設杭の採用は見送った。よって、基礎形式の比較案は「5. 既設杭の撤去」で整理した、場所打ち杭 $\phi 1200$ 以上から選定し、2案比較（場所打ち杭 $\phi 1200$, $\phi 1500$ ）の結果、経済性に優れる「場所打ち杭 $\phi 1500$ 」を採用した。

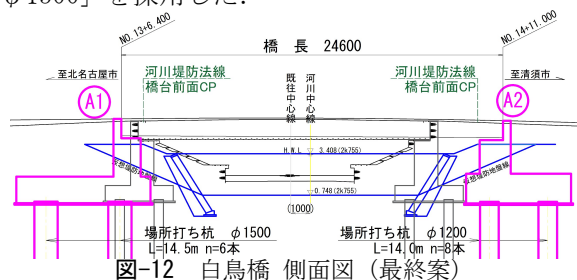


図-12 白鳥橋 側面図（最終案）

7. おわりに

本検討では、既設杭を再利用・存置・撤去する場合に確実に設計・施工できる条件を整理した。最終的には、既設杭を新設杭の径内に取り込む位置に全周回転オールケーシング工法を用いた場所打ち杭を施工することにより、地盤の緩みを生じさせずに現行基準を満たす杭の施工を可能とした。

今後、河川改修や既設構造物の老朽化による、橋の架替えを伴う業務が増えると予想される。類似する条件において、本検討の考え方が参考となれば幸いである。ただし、本検討の適用が難しい場合も考えられるため、今後の課題は、詳細検討を見送った既設杭の再利用や、既設杭撤去による緩んだ地盤の評価方法について、新たな知見を集積することが挙げられる。

A1橋台の工事は令和5年度の非出水期に実施済みである。既設杭は設計で想定した範囲内に位置しており、既設杭の撤去および新設杭の施工がどちらも問題なく行われ、無事竣工したことを付け加える。（写真-1）



写真-1 A1橋台工事状況

参考文献

- 1) 社団法人 日本道路協会：道路橋示方書・同解説(平成29年11月，昭和55年5月)。
- 2) 国土交通省：土木工事施工管理基準及び規格値（案）（平成30年3月）。
- 3) 榊総合土木研究所：月刊基礎工 特集▶既存杭の撤去・埋戻し（令和4年9月）
- 4) 東邦テクノ株式会社：全周回転オールケーシング工法 NSエコパイル工法 地中障害撤去工事

2. 既設橋脚柱の照査と柱部材の補強

(1) 既設橋照査

地震時保有水平耐力法による既設橋脚柱の照査を行ったP2橋脚の結果を表-2に示す。

照査の結果全ての橋脚でレベル2地震動（タイプ1、タイプ2）時に保有水平耐力、残留変位量、段落し部の照査（図-2に示す位置）において基準を満足しない結果となった。

また、鉄筋コンクリートの破壊形態としては、曲げ破壊型、曲げ損傷からせん断破壊移行型、せん断破壊型があり、曲げ損傷からせん断破壊移行型及びせん断破壊型は、急激な耐力の低下を引き起こす破壊形態である。P2橋脚においては橋軸方向の破壊形態が曲げ損傷からせん断破壊移行型であり、せん断補強を実施し、じん性が期待できる橋脚基部の曲げ破壊型に破壊形態を移行させることが基本となる。

以上より、段落とし部の補強、橋脚全体を対象としたせん断補強、フーチングにアンカーを設けた曲げ耐力補強が期待でき、一般的な工法であるRC巻立て工法の検討を実施した。

(2) RC巻立て工法

RC巻き立て工法による補強後のP2橋脚の照査結果を表-3に示す。

当工法では、補強厚が最小の250mm（図-3）で破壊形態が曲げ破壊型となり、主鉄筋についても標準的な鉄筋径であることも踏まえ、比較的安価に補強が可能であった。

しかしながら河積阻害率については8.5%となり、河川構造令ではやむを得ない場合であっても一般橋は6%、新幹線鉄道橋及び高速自動車国道橋であっても8%以下となるよう努力すべき²⁾との記載があることを踏まえ、既設ですでに河積阻害率が7.2%である本橋に対し河積阻害率が8%を超過する当工法では、河川管理者の了承を得ることが困難であった。

表-2 既設橋照査結果(P2橋脚)

			P2橋脚			
			橋軸方向		橋軸直角方向	
支保条件			可動	固定	固定	固定
構造寸法	柱高	m	11.200		11.200	
	柱断面	m	φ3.200		φ3.200	
柱断面	形式	m	単柱式橋脚		単柱式橋脚	
	SD345	主鉄筋	D29-72本×2.0段		D29-72本×2.0段	
		帯鉄筋	D16ctc150~300		D16ctc150~300	
TYPE II	破壊形態		移行型		曲げ破壊型	
	残留変位 δ R		0.071		0.164	
	許容残留変位 δ Ra		0.112		0.136	
	判定		OK		NG	
	水平耐力	khc	1.18		1.23	
		khc・W	6996		7416	
		地震時保有水平耐力 Pa	3776		3110	
		判定	NG		NG	
断面変化位置の照査	計算値		0.846		0.738	
	判定値		1.200		1.200	
	判定		NG		NG	

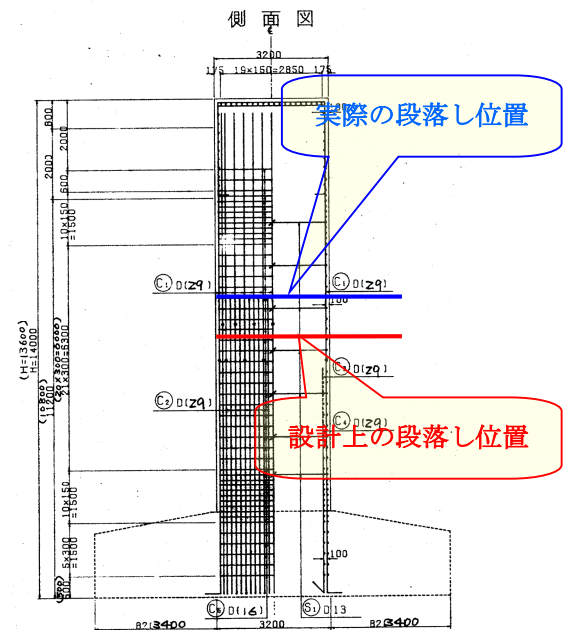


図-2 既設P2橋脚 側面図

表-3 Rc巻立て工法 計算結果(P2橋脚)

			橋軸方向		橋軸直角方向	
			P2橋脚		P2橋脚	
支保条件			可動	固定	固定	固定
構造寸法	柱高	m	11.200		11.200	
	柱断面	m	φ3.200		φ3.200	
補強断面	コンクリート巻立て厚		0.250		0.250	
	SD345	主鉄筋	D32-72本 定着・非定着		D32-72本 定着・非定着	
		帯鉄筋	D25ctc100		D25ctc100	
TYPE II	破壊形態		曲げ破壊型		曲げ破壊型	
	残留変位 δ R		0.029		0.073	
	許容残留変位 δ Ra		0.112		0.136	
	判定		OK		OK	
	水平耐力	khc	0.66		0.71	
		khc・W	4097		4479	
		地震時保有水平耐力 Pa	5782		4761	
		判定	OK		OK	
断面変化位置の照査	計算値		1.236		1.202	
	判定値		1.200		1.200	
	判定		OK		OK	

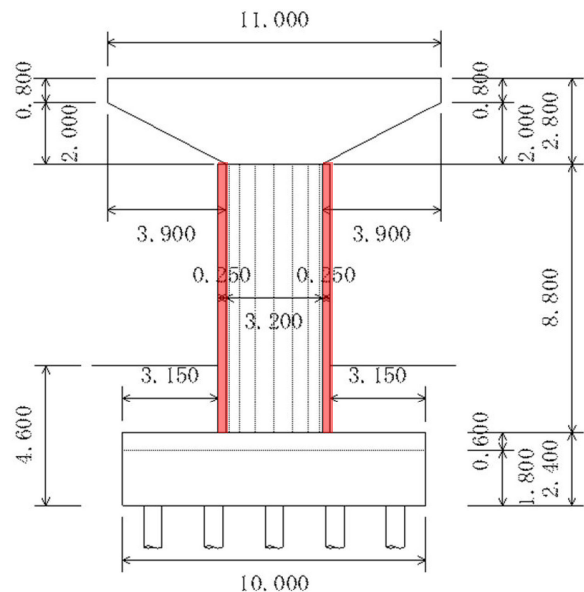


図-3 Rc巻立て工法 補強概略図（正面）

3. 橋梁全体系の補強検討

RC巻立て工法の検討結果から、河積阻害率を極力抑えるため柱の補強量の抑制を目指し、橋梁全体系での補強について検討を行った。

橋梁全体系の耐震補強工法としては、主桁の連結化に加え免震支承に取替を行い、固有周期の長周期化と上下部工構造間に生じる相対変位によるエネルギー吸収による減衰性能の向上を図り、上部工慣性力を低減させることで柱の補強基数を削減できないかと考えた。

(1) 主桁の連結範囲

主桁の連結範囲としては、2径間～5径間を対象とした(図-4)。これは、主桁の連結化を行い3径間以上とすることで4基以上の下部構造において橋軸方向に対して弾性支持されることにより、既往の落橋事例等を踏まえると多点支持された支承の破壊に対する補完性が高いと考えられ、道路橋示方書に記載されている落橋防止構造の設置の例外³⁾に該当するためである。

また、1径間、6径間目は桁高が1.50mであり、他径間の桁高1.95mより低く連結化が困難であることや、橋台が固定支承、橋脚が可動支承であり、橋軸方向における上部工の慣性力は橋台が負担しているため、連結化の対象外とした。

(2) 支承条件

橋梁全体系の補強を行う上での支承条件は免震工法、慣性力分散工法、変位拘束工法が考えられる。

慣性力分散工法については、ゴムの弾性支承や多点固定に変更することで基準を満足しない下部工の慣性力を耐力に余裕のある下部工に分散させることを目的としているため、全橋脚にて基準を満足していない本橋では適用性が低い工法である。

変位拘束工についても橋台部において地震時に上部構造に生じる変位を拘束することで橋脚の慣性力を低減させる工法であるため、橋脚間の上部工を連結化する本検討では効果が得られにくい工法である。そのため免震工法にて検討を行い、支承条件を橋軸方向、橋軸直角方向共に免震支承とした。

(3) 検討結果

主桁の連結化+免震支承による橋梁全体系の補強後のP2橋脚の照査結果を表-4に示す。

支承構造としては鉛プラグ入りゴム支承での検討を行った。免震支承では、等価減衰定数を高くし慣性力の低減を行うために鉛プラグ入り積層ゴムの充填率(面積比)を密にする必要があるが、充填率の最大は10%⁴⁾であり、最大の充填率とした場合でも十分な減衰効果を得られず、許容値を超過する結果となった。

また、設計変位・平面寸法・鉛プラグ入り積層ゴムの充填率を一定と仮定した際に、ゴム層厚を高くすることで等価減衰定数が高くなる傾向となるが、既設支承がBP・A支承であり、既設の支承空間で構造高の高い免震支承は構成が困難となることや、ゴム層厚を高くした場合、等価剛性が減少し設計変位が増加することで変位量が既設遊間以上となる等の課題も生じるため、本橋での免震支承への取替では柱の補強量の削減を行う事が困難であるとの結論に至った。

表-4 橋梁全体系の補強 計算結果

			P2橋脚	
			橋軸方向	橋軸直角方向
支承条件			免震	免震
構造寸法	柱(堅壁)高	m	11.200	11.200
	柱断面	m	φ3.200	φ3.200
柱断面	形式	m	単柱式橋脚	単柱式橋脚
	SD345			
	主鉄筋		D29-72本×2.0段	D29-72本×2.0段
	帯鉄筋		D16tc150~300	D16tc150~300
TYPE II	破壊形態		せん断破壊型	曲げ破壊型
	0.4・Cz・W	kN	3003	2385
	下限値照査			
	地震時保有水平耐力 Pa	kN	2453	2122
	判定		NG	NG
	残留変位 δ R	m	0.144	0.219
	許容残留変位 δ Ra	m	0.112	0.136
	判定(<1.00)		1.288	1.609
	最大応答塑性率 μ d		7.796	4.728
	許容塑性率 μ a		1.000	1.000
	判定(<1.00)		7.796	4.728
	せん断力 Sd	kN	3287	2703
	せん断耐力 Ps	kN	2151	2151
	判定(<1.00)		1.628	1.257
柱 段落し部	応答モーメント M	kN・m	19295	20400
	降伏モーメント My	kN・m	18098	18098
	判定(<1.00)		1.066	1.127
	せん断力 Sd	kN	3287	8110
	せん断耐力 Ps	kN	2151	2151
	判定(<1.00)		1.628	3.771
断面変化 位置の照査	計算値		0.846	0.738
	判定値		1.200	1.200
	判定		NG	NG

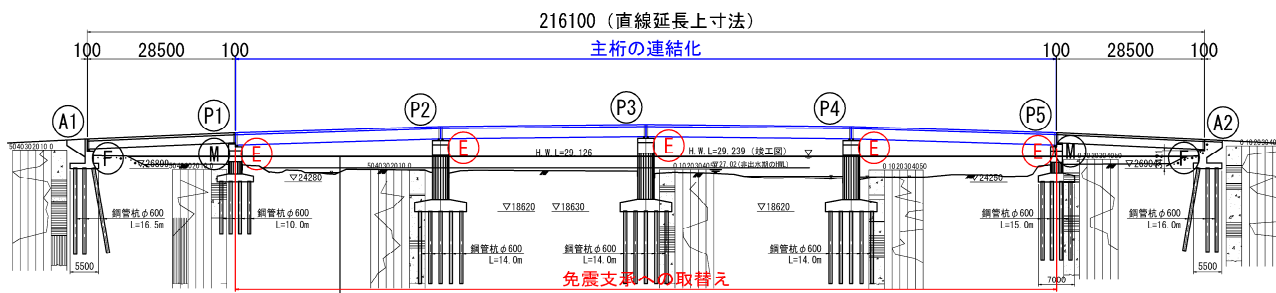


図-4 橋梁全体系の補強方法 概略図

4. 対策工法の決定

橋梁全体系の補強が困難であったことから柱部材の補強工法について見直しを行った。

柱部材の補強では河積阻害が課題となることから、ポリマーセメントモルタルの吹付工法による薄層巻立てについて検討を行った。これは、付着力に優れたポリマーセメントモルタルを吹き付けることにより、鉄筋を既設コンクリート表面に接触配置できるため既設面と鉄筋の空きが不要となることや、中性化に対し高い耐久性（中性化深さ試験〔JIS A 1171:2016〕において8週目のW/C=60%の普通コンクリートが7.5mmの中性化深さに対し、ポリマーセメントモルタルでは0.1mm（吹付）の中性化深さであった⁵⁾）を有することでかぶり厚を薄くできるため、柱部材の補強厚を最小限に抑えることが可能となる。

計算結果は表-5に示す通り、ポリマーセメントモルタルの吹付工法による薄層巻き立てでは、P2橋脚において増厚量が片側103mm(図-5)となり河積阻害率は7.6%（0.4%増）まで抑えることができた。

本業務では上記工法他、鋼板巻立て工法についても検討を行ったが、比較検討のうえ河積阻害率が8%未満となり、経済性、施工性に優れるポリマーセメントモルタルの吹付工法による薄層巻き立てを採用することで河川管理者の合意を得ることができた。

5. 結論

本設計では、一般的な柱部材の補強工法であるRC巻立て工法では河積阻害率を満足することができなかったため、多径間単純橋の橋梁全体系の補強を含む橋脚耐震補強方針の検討を実施した。

検討結果としては、主桁の連結化+免震支承では十分な減衰効果が得られず柱の補強量の抑制を行う事ができなかったが、既設橋の補強方針について知見を深めることができた。

採用工法としては、ポリマーセメントモルタルの吹付工法による薄層巻き立てにより河積阻害率を最小限とすることで河川管理者の合意を得ることができた。

謝辞：本稿は静岡県袋井土木事務所発注の業務成果を踏まえて作成している。業務の実施にあたり、ご協力・ご助言をいただいた袋井土木事務所、河川管理者の皆様に厚くお礼申し上げます。

表-5 PCM巻立て工法 計算結果(P2橋脚)

支 承 条 件			P2橋脚	
			橋軸方向	橋軸直角方向
			可動	固定
構造寸法	柱高	m	11.200	11.200
	柱断面	m	φ3.200	φ3.200
補強断面	ポリマーセメントモルタル巻立て厚		0.103	0.103
	SD345	主鉄筋	D51-56本 定着・非定着	D51-56本 定着・非定着
		帯鉄筋	D25etc100	D25etc100
			曲げ破壊型	曲げ破壊型
TYPE II	破壊形態		残留変位 δ R	0.022
			許容残留変位 δ Ra	0.112
			判定	OK
	水平耐力	khe	-	0.77
		khe・W	4650	5034
		地震時保有水平耐力 Pa	6513	5363
		判定	OK	OK
	計算値		1.409	1.369
断面変化位置の照査	判定値		1.200	1.200
	判定		OK	OK

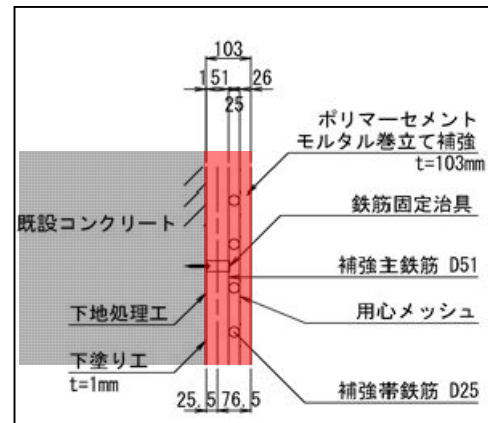


図-5 PCM巻立て工法 補強概要図

参考文献

- 1) (財) 海洋架橋・橋梁調査会：既設橋梁の耐震補強工法事例集，2005. 4
- 2) 国土技術研究センター編：解説・河川管理施設等構造令
- 3) 公益社団法人日本道路協会：道路橋示方書・同解説V，2017. 11
- 4) 公益社団法人日本道路協会：道路橋支承便覧，2018. 12
- 5) 一般社団法人PCM工法協会：PAE系ポリマーセメントモルタルを用いたコンクリート構造物の補修・補強に関する設計・施工マニュアル(案)，2021. 8

鋼床版疲労亀裂の検知手法

はらだりゅうすけ まきのしげやす いとうようじ あおきひでと
○原田 竜 輔¹・牧野成泰¹・伊藤洋治¹・青木秀斗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）

一般国道の道路橋（鋼床版箱桁橋、橋長413.6m、全幅員11.0m）について、鋼床版に発生した疲労亀裂の詳細調査を行ったものである。本橋は竣工当時の設計基準に疲労設計の概念がなかったこと、かつ重交通路線であることから、鋼床版内部に進展する亀裂による将来的な第三者被害の発生が懸念されていた。亀裂調査は、輪荷重下に位置する鋼床版とUリブの溶接部を対象とし、半自動式超音波探傷試験（SAUT）により、デッキ貫通型亀裂の有無及び深さの確認を行った。新規調査及び追跡調査の結果、5箇所の新規亀裂と5箇所の亀裂進展を検出した。

Key Words : 鋼床版, デッキ貫通型亀裂, 半自動式超音波探傷試験（SAUT）

1. 対象橋梁の概要

対象橋梁は橋長413.6m、全幅員11.0mの鋼床版箱桁橋である。竣工は1978年であり、竣工後46年が経過している。適用示方書は昭和47年道路橋示方書である。交通量は約20,200台/日（大型車交通量約4,800台/日）であり、第1次緊急輸送道路や重要物流道路に位置づけられている重要な橋梁となっている。

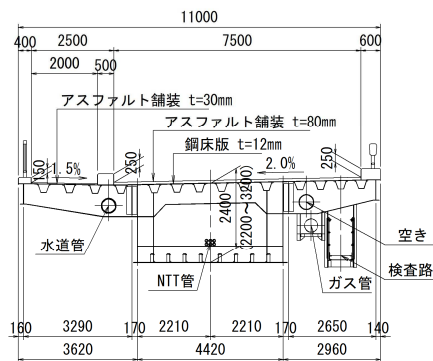


図-1 上部工断面図

2. 疲労亀裂の詳細調査

(1) 調査の背景・目的

a) 背景

道路橋の鋼部材では、溶接部のような応力集中が生じやすい部位に、大型車の通行等に伴って繰り返される応力変動により疲労亀裂を生じることがある。

また、古い年代の基準で建設された鋼橋では疲労への設計・施工上の配慮が必ずしも十分でなかった場合がある。

近年、大型車交通量の多い路線の鋼床版橋において、鋼床版内部に進展する亀裂（以下、「デッキ貫通型亀裂」という）の発生及びそれに伴う路面陥没といった通行車両への被害が報告されていることから、本橋では将来的な第三者被害を防ぐため、現状の亀裂状況を調査する方針となった。

b) 目的

本調査では、鋼床版のデッキプレートを破断する方向に進展する疲労亀裂の有無及び深さを確認することを目的とした。

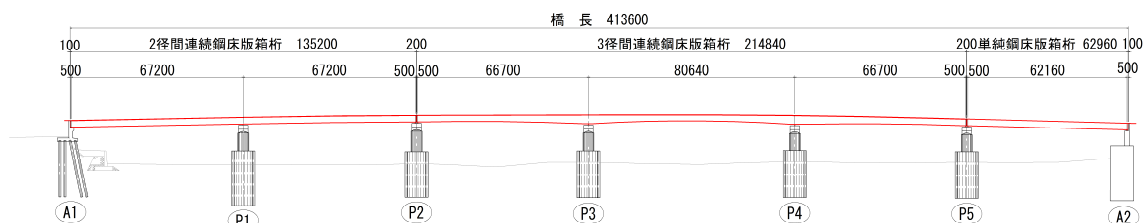


図-2 側面図

(2) 調査対象箇所

鋼床版における疲労亀裂の発生箇所は、主に輪荷重下に位置する鋼床版のデッキプレートとUリブの溶接部である。

本橋の場合、想定した輪荷重位置より計8箇所の溶接線（U10リブ2溶接線，U8リブU7側1溶接線，U7リブU8側1溶接線，U5リブ2溶接線，U3リブU2側1溶接線，U2リブU3側1溶接線）が対象となる。新規調査としては、平成28年度及び平成29年度に詳細調査を実施した溶接線を除いたU3リブ1箇所，U2リブ1箇所を対象とする（図-3）。また過年度調査で継続監視措置が必要となった亀裂については追跡調査（亀裂長さ進展の確認）を実施した。

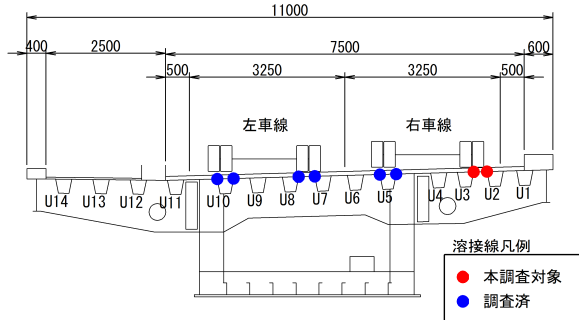


図-3 新規調査対象箇所

3. デッキ貫通型亀裂

(1) 発生原因

デッキ貫通型亀裂の発生原因としては、輪荷重によって発生するデッキプレートの局所的な変形およびそれに起因する応力集中によるものとされている。

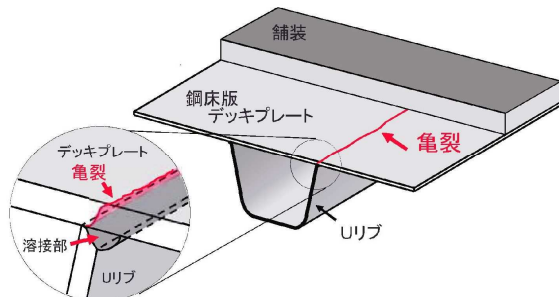


図-4 デッキ貫通型亀裂の模式図

(2) 問題点

デッキ貫通型亀裂の問題点は以下が挙げられる。

- ・鋼材内部から発生し、デッキプレート上面に貫通することから、鋼床版下面からの目視点検では発見できない。
- ・デッキプレート上面には舗装が敷設されているため、舗装に変状が現れるなど損傷が進行した状態でないと発見できない。
- ・放置すると路面陥没が発生し、通行車両への被害を及ぼす可能性がある（図-5）。

これらを踏まえ、疲労亀裂を早期発見し、対策を施す必要があった。



図-5 デッキ貫通型亀裂による路面陥没の事例

4. 半自動式超音波探傷試験（SAUT）

(1) 手法

部材内部のきずを検出する非破壊試験として、一般に超音波探傷試験が用いられる。本調査では、超音波探傷の一手法である「半自動式超音波探傷試験（Semi-Automatic UT（以下、「SAUT」という））」¹⁾を採用した。

SAUTは首都高速道路株式会社が平成18年度に開発し、特許取得済の技術である。

超音波探傷機を用いて、鋼床版のデッキプレートとUリブの溶接部におけるデッキ貫通型亀裂の有無を調べる。

デッキ貫通型亀裂は、溶接部からデッキプレート板厚方向へ進展するもので、デッキプレートを破断し路面に変状が現れるまで目視による発見ができないため、非破壊試験による早期発見が必要である。

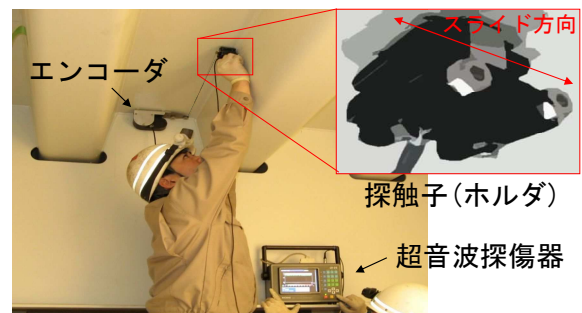


図-6 SAUT探傷状況

(2) 原理

亀裂検知の原理は、鋼材内部のきずを検出する超音波探傷試験の斜角探傷法を用いている。

超音波探傷試験は超音波が金属中を直進し、異なる物体の境界面で反射する特性を利用している。きずで反射したエコーを受信し、位置や大きさを測定する。超音波探傷試験には大きく分けて「垂直探傷法」と「斜角探傷法」がある。垂直探傷法は試験面に対し垂直に超音波を入射させる方法で、鋼板や鍛鋼品、棒鋼、鋳鉄等の探傷に用いられる。一方、斜角探傷法は、探傷面に対し斜めに超音波を入射させる方法で、溶接部等の探傷に用いられる。

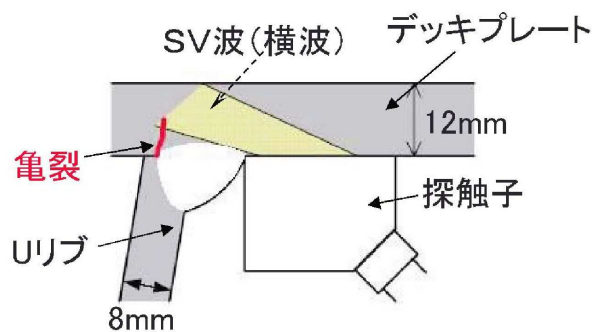


図-7 斜角探傷法模式図

(3) 調査手順

SAUTの調査手順は以下の通りである。

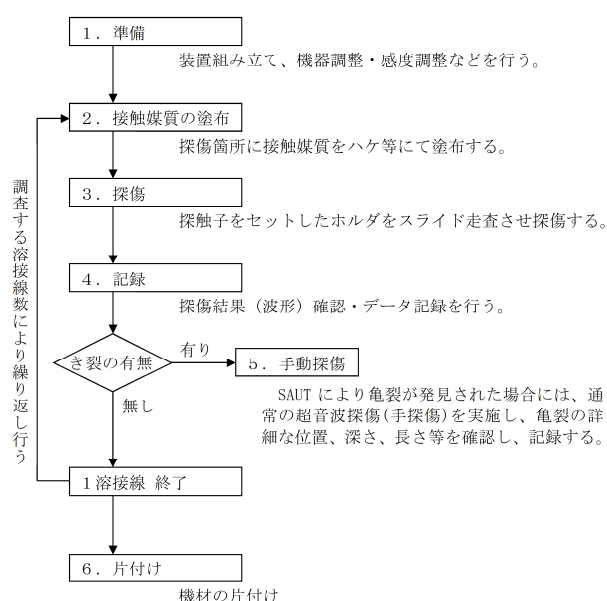


図-8 SAUTの調査手順

(4) SAUTの特徴

SAUTの特徴は以下が挙げられる。

- ・鋼床版下面側から塗装を剥がさず検査できるため、作業効率に優れている。
- ・亀裂検出能力は亀裂深さ6mm以上で、デッキ貫通の恐れのある危険な亀裂をスクリーニングすることができる。
- ・深さ6mm未満の浅い亀裂を検出できないため、浅い亀裂の進展を考慮して、定期的に調査を行うことが望ましい。
- ・専用の超音波探触子ホルダをUリブ壁面に沿ってスライド操作するのみの簡単操作で、検出ミスを防止できる。
- ・探傷結果は、内在する亀裂の範囲が視覚的に認識できる可視画像としてリアルタイムに表示・記録されるため、現場で亀裂の有無を即時に判定できる。

(5) 他検知手法との比較

デッキプレートに発生した疲労亀裂の検知手法としては、本調査で適用したSAUTの他に「自動超音波探傷方法（AUT）」がある。

AUTは、デッキプレート内に進展する深さ3mm程度以上の比較的浅い亀裂を検出する技術であり、独立行政法人土木研究所他が開発した。対象溶接部近傍にレール式のスキナを設置し、探触子の走査及び探傷波形の記録を全て自動化することにより、検査技術者の技量によらず再現性の高い探傷を可能としている。

AUTの特徴は以下が挙げられる。

- ・浅い亀裂の検出に優れているため、発生初期段階で検出することが可能。
- ・デッキに探触子を自動走査させるためのレールを設置する必要があり、準備工に時間を要す。

表-1 各検知手法の特徴

検知手法	AUT	SAUT
技術者の作業時の標準構成	3人 (主任1人、補助2人)	2人 (主任1人、補助1人)
技術者の技量の影響	・技術者の技量に左右されない	・技術者の技量に左右される ・上向き作業のため、技術と体力が必要
作業時間 (1溶接線・横リブ1間隔あたり)	10min	7min
記録性	探傷ピッチ 1mm	探傷ピッチ 2mm
亀裂検出能力	深さ3mm以上	深さ6mm以上
相对比较	・作業速度が遅い ・検出可能な亀裂深さは浅い (深い亀裂は検出不可)	・作業速度が速い ・検出可能な亀裂深さは深い (浅い亀裂は検出不可)

(6) SAUTの適用

本調査では、表-1の検知手法の特徴及び経済性を踏まえ、疲労亀裂の検知手法としてSAUTを採用した。採用に至った要因を以下に示す。

- ・AUTに比べ、作業員数及び作業時間が少なく、経済性が優位である。
- ・デッキ貫通の恐れのある危険な亀裂（深さ6mm以上）をスクリーニングすることで、早期に対策を計画することができる。

5. 調査結果

新規調査及び追跡調査の結果を以下に示す。

(1) 新規調査

a) 調査箇所

- ・U3リブ（U2リブ側） 1溶接線
- ・U2リブ（U3リブ側） 1溶接線

b) 調査結果

新規調査の結果、計5箇所の亀裂を確認した。

※亀裂No. 40に関しては、発生位置は新規調査対象外であるが、追跡調査時に当該箇所でも6mm以上の新規亀裂を確認したため、新規調査の結果として追加した。

表-2 検出亀裂リスト（新規調査）

検出No.	SAUT通算 亀裂No.	区分	径間	始脚 番号	終脚 番号	車線	縦リブ	横リブ	亀裂長さ	亀裂深さ	隣接亀裂
1	亀裂No.40	桁内	4	P3	P4	左車線右輪	U7_8側	Y9.1-Y9.2	10	6.0	No.21,22
2	亀裂No.41	張出	3	P2	P3	右車線右輪	U2_3側	Y7-Y7.1	20	7.6	No.42,43
3	亀裂No.42	張出	3	P2	P3	右車線右輪	U2_3側	Y7-Y7.1	10	8.6	No.41,43
4	亀裂No.43	張出	3	P2	P3	右車線右輪	U2_3側	Y7-Y7.1	81	8.1	No.41,42
5	亀裂No.44	張出	3	P2	P3	右車線右輪	U3_2側	Y8.1-Y8.2	22	7.5	

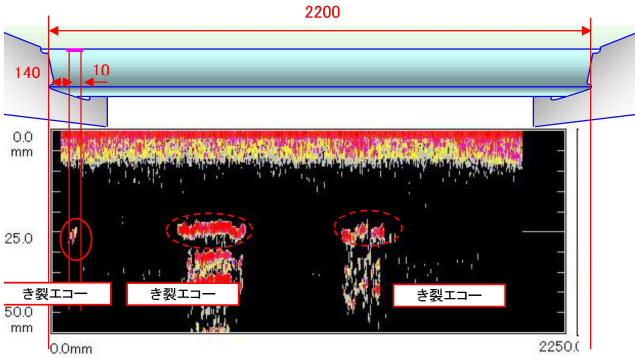


図-9 探傷結果画像（亀裂No. 40の場合）



図-10 亀裂内在箇所の写真（亀裂No. 40の場合）

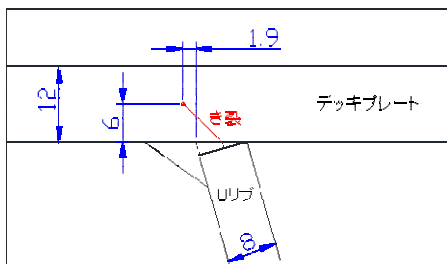


図-11 亀裂断面イメージ図（亀裂No. 40の場合）

(2) 追跡調査

a) 調査箇所

追跡調査箇所は、U10リブ2溶接線、U8リブ（U7側）1溶接線、U7リブ（U8側）1溶接線、U5リブ2溶接線を対象に、過年度調査で継続監視措置が必要となった亀裂計27箇所とする。

b) 調査結果

追跡調査の結果、亀裂長さの進展が確認されたのは、亀裂No. 19, No. 22, No. 28, No. 30, No. 31の計5箇所であった（表-3）。

表-3 進展亀裂リスト（追跡調査）

経過観察 No.	SAUT通算 亀裂No.	区分	径間	始脚 番号	終脚 番号	車線	縦リブ	横リブ	亀裂長さ	亀裂深さ	隣接亀裂
1	亀裂No.1	桁内	2	P1	P2	左車線左輪	U10_W側	Y7-Y7.1	30	0	11.0
2	亀裂No.2	桁内	3	P2	P3	左車線左輪	U10_W側	Y3-Y3.1	50	0	8.1
3	亀裂No.3	桁内	3	P2	P3	左車線左輪	U10_W側	Y3-Y3.1	100	0	10.2
4	亀裂No.7	桁内	1	A1	P1	右車線左輪	U5_6側	Y6-Y6.1	35	0	8.8
5	亀裂No.8	桁内	2	P1	P2	左車線左輪	U10_W側	Y1-Y1.1	170	0	10.3
6	亀裂No.9	桁内	2	P1	P2	右車線左輪	U5_6側	Y6.1-Y6.2	60	0	8.7
7	亀裂No.11	桁内	3	P2	P3	左車線左輪	U10_W側	Y6.1-Y6.2	30	0	8.8
8	亀裂No.12	桁内	3	P2	P3	左車線左輪	U7_8側	Y7.2-Y8	23	0	8.1
9	亀裂No.13	桁内	3	P2	P3	左車線左輪	U10_W側	Y7.2-Y8	107	0	10.0
10	亀裂No.14	桁内	3	P2	P3	左車線左輪	U10_W側	Y11.1-Y11.2	100	0	9.3
11	亀裂No.17	桁内	4	P3	P4	左車線右輪	U7_8側	Y8.1-Y8.2	110	0	7.2
12	亀裂No.18	桁内	4	P3	P4	左車線右輪	U7_8側	Y8.1-Y8.2	155	0	8.0
13	亀裂No.19	桁内	4	P3	P4	左車線右輪	U5_6側	Y9-Y9.1	625	495	8.9
14	亀裂No.20	桁内	4	P3	P4	左車線右輪	U5_6側	Y9-Y9.1	-	-	6.6
15	亀裂No.21	桁内	4	P3	P4	左車線右輪	U7_8側	Y9.1-Y9.2	265	0	10.6
16	亀裂No.22	桁内	4	P3	P4	左車線右輪	U7_8側	Y9.1-Y9.2	247	87	10.6
17	亀裂No.23	桁内	5	P4	P5	左車線左輪	U10_W側	Y1.1-Y1.2	35	0	10.3
18	亀裂No.28	桁内	6	P5	A2	左車線左輪	U10_W側	Y10.2-Y11	130	5	9.2
19	亀裂No.29	桁内	6	P5	A2	左車線左輪	U10_W側	Y10.2-Y11	95	0	8.9
20	亀裂No.30	張出	2	P1	P2	右車線右輪	U3_2側	Y1.1-Y1.2	290	75	9.3
21	亀裂No.31	桁内	2	P1	P2	右車線左輪	U5_6側	Y6.1-Y6.2	35	15	7.5
22	亀裂No.32	桁内	3	P2	P3	左車線右輪	U8_7側	Y1.2-Y2	20	0	7.6
23	亀裂No.33	桁内	3	P2	P3	左車線左輪	U10_W側	Y7.2-Y8	10	0	8.6
24	亀裂No.34	桁内	3	P2	P3	左車線右輪	U8_7側	Y9.1-Y9.2	81	0	8.1
25	亀裂No.37	桁内	5	P4	P5	左車線右輪	U5_W側	Y7.2-Y8	70	0	10.5
26	亀裂No.38	桁内	6	P5	A2	左車線左輪	U10_9側	Y3.1-Y3.2	73	0	6.0
27	亀裂No.39	桁内	6	P5	A2	左車線左輪	U10_9側	Y3.2-Y4	35	0	6.7

※亀裂長さ右列（黄色）：過年度調査からの進展量を示す

6. 成果と結論

(1) 成果

本調査では、新規調査で計5箇所の亀裂、追跡調査で計5箇所の亀裂進展を確認することができ、本調査をもって、本橋の全対象溶接線の調査を完了した。また、令和5年度に疲労亀裂の進展抑制対策としてSFR C舗装打ち替えが実施された。

(2) 結論

本事例のように、古い年代に竣工され、重交通路線である鋼床版橋梁では、鋼床版内部でデッキ貫通型亀裂が発生している可能性が高い。また、亀裂の発見が遅れ、将来的に舗装の損傷や路面陥没を招き、交通に障害が発生することが考えられる。

こうした事象を未然に防ぐため、疲労亀裂の有無を定期的に調査し、ストップホールの設置やSFR C舗装打ち替えによる疲労亀裂の進展抑制対策を実施する必要がある。

本調査では、疲労亀裂の検知手法として「半自動式超音波探傷試験（SAUT）」を採用したが、橋梁の規模や再現性の高い探傷等の様々な用途によって、「自動超音波探傷方法（AUT）」や「手探傷」を選定し、確実な亀裂の検知と亀裂の進展抑制対策を早期に検討することが重要であると考えられる。

参考文献

- 1) 村野益巳，木ノ本剛，齋藤豪：鋼床版デッキプレート方向き裂の半自動超音波探傷方法，土木学会第63回学術講演会講演概要集，pp141-142，2008

市街地における狭隘空間での橋梁架替予備設計

○宇野彩葉¹・林 克弘²・内山真人³・井樋 宙⁴・竹田文哉⁵

- 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丁目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丁目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丁目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丁目14-19)
- ⁵ (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丁目14-19)

二級河川神内川は平成31年度から広域河川改修事業を進めている。波静橋は架橋から約60年が経過し、河川改修に伴う河床掘削により橋脚の根入れが確保できないことから架け替えが必要となった。波静橋は第2次緊急輸送道路となっており、市街地に位置しているが、施工ヤードを確保した迂回路の設定、近隣民家への乗入れ影響に考慮した橋梁形式として低桁高であるポステンスラブ桁の採用、周辺への環境影響に考慮した低騒音低振動な施工方法の選定を行うことで、現道交通を確保しながら狭隘空間内での旧橋撤去、新設橋架設計画を行った。ここでは、特徴的な検討内容について記載する。

Key Words : 橋梁架替設計, 狭小ヤード, 迂回路, ポステンスラブ桁, 場所打ち杭 (オールケーシング工法), 騒音振動予測, 架設桁架設

1. はじめに

二級河川神内川は、多雨地帯に位置していることもあり、台風の襲来や前線により頻繁に水害に見舞われてきたことから、平成31年度より広域河川改修事業として着手している。架橋位置付近は周辺利用状況を踏まえ、河床掘削による河川改修を実施する計画である。

本橋は架橋から約60年が経過していることに加え、河床掘削により橋脚の根入れが確保できないことから、旧橋を撤去し、架け替えを実施する計画である。しかしながら、架橋位置周辺は水道管、光ケーブル等の占用物件が多く存在し、沿道利用が進んでいる地域のため、近接施工や狭隘空間での施工ヤード確保などが課題となった。

本稿では、狭隘な市街地での橋梁架替設計において、特徴的な以下の内容について報告する。

- ①施工時のヤードを確保し、周辺施設への近接影響を最小化する架け替えルートを検討
- ②取付け道路の嵩上げを最小化し、沿道利用の影響低減を図った橋梁形式選定
- ③狭小ヤード内で周辺施設への環境影響に配慮した施工計画

2. 橋梁概要

本路線は、第2次緊急輸送道路に指定され、近隣に工場があり、本路線は輸送ルートとしても利用されており、重要な物流ルートとなっている。

本橋は、車道橋が昭和35年に架設され、昭和62年に沓座拡幅工事が行われている。また、上流側、下流には側道橋が架橋され、それぞれ昭和46年、昭和63年に竣工している。



図-1 架橋位置

上流側側道橋は単純桁であるが、本線橋と下流側側道橋は2径間のため、計画高水流量（110m³/s）における基準径間長L=20.55mを満足しない。

さらに、上流側側道橋は河床掘削後の橋台底面の根入れを満足せず、河川構造令に準拠しないことから、本線橋及び上下流の側道橋は撤去する必要がある。

表-1に既設橋諸元、図-2、図-3に旧橋の側面図、平面図を示す。

表-1 既設橋諸元

項目	諸元
路線名	県道紀宝川瀬線
主級区分	第3種第3級
交通量	4,221台/日（センサス）
橋長	車道橋 : L=25.060m 上流側側道橋 : L=27.370m 下流側側道橋 : L=28.080m
桁長	車道橋 : 12.5m+12.5m 上流側側道橋 : 27.3m 下流側側道橋 : 14.0m+14.0m
橋梁形式	車道橋 : PC1+1径間単純床版橋 上流側側道橋 : 鋼単純鉸桁橋 下流側側道橋 : 鋼1+1径間鉸桁橋
下部工・基礎形式	橋台（共通） : 重力式橋台 車道橋脚 : 壁式橋脚 下流側側道橋橋脚 : 鋼管杭橋脚φ400 基礎形式 : RC杭φ200

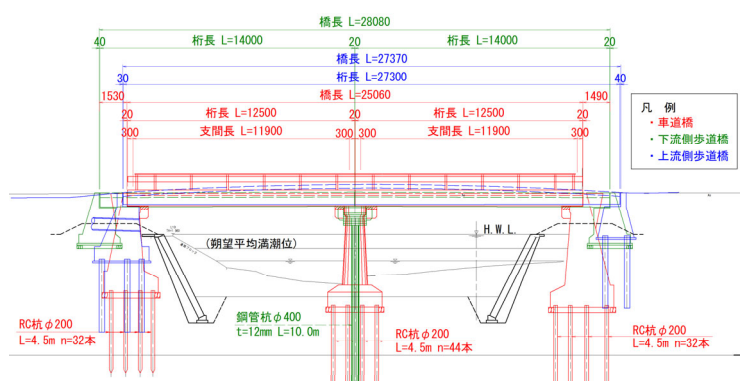


図-2 旧橋側面図

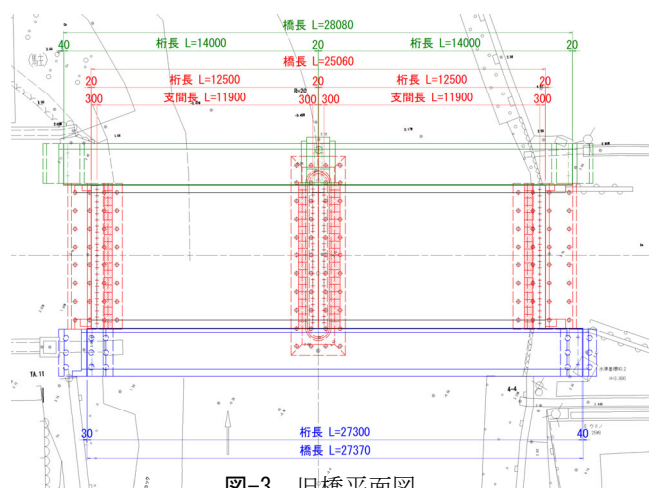


図-3 旧橋平面図

3. 架け替えルートの検討

(1) 架橋位置の検討

現道を通り止めて同じ位置に架け替えることを検討したが、本路線は第2次緊急輸送道路に指定されていることや、地元企業の資材運搬大型車が通行できる唯一のルートであること、同規模の迂回路が確保できないことから全面通行止め、半断面施工による片側通行止めとする案は不可と判断し、新設橋の架橋位置を旧橋の上下流に設置し、施工中の現道交通を旧橋で確保する案（1，2案）に加え、迂回路を設置し、現道交通を確保する案（3，4案）を検討した。

以下の4案で比較した結果、施工性が良く、概算事業費が最も低くなる「第4案：迂回路を設置し、現位置から約3.3m下流側へシフトした案」を採用した。現位置より下流側へシフトすることで、施工時の近隣民家への影響を低減した。

第1案：上流側に架け替える案

第2案：下流側に架け替える案

第3案：迂回路を設置し、現位置に架け替える案

第4案：迂回路を設置し、現位置から約3.3m下流側へシフトした案

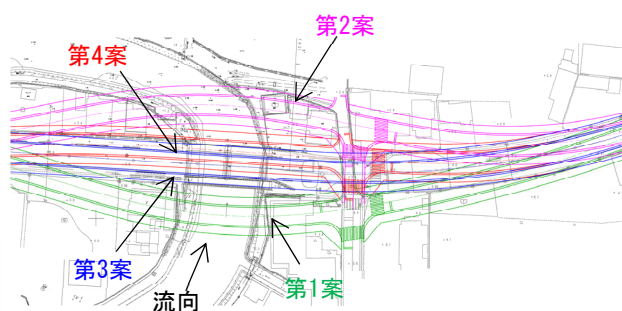


図-4 架け替えルート案

(2) 迂回路の検討

河川の湾曲部に位置し、河川内に橋脚設置ができないため、迂回路仮橋は単純桁とし、トラス橋とならない最大支間30m以下となるように河川交差角を設定した。

また、橋梁の各施工段階において、ヤードが最大となる場所打ち杭施工時のヤードをコントロールして、迂回路の線形を決定した。場所打ち杭施工時のヤード確認図を図-5に示す。

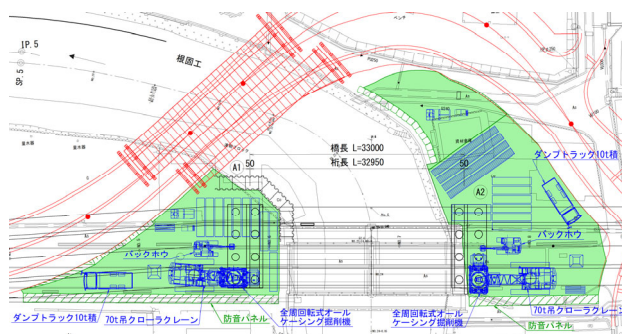


図-5 場所打ち杭施工時のヤード確認図

4. 橋梁形式選定

(1) 橋梁形式

本橋は基準径間長 $L=20.55\text{m}$ を満足させるため、橋脚を有さない単純桁形式とし、橋長は $L=33.0\text{m}$ 、支間長は $L=32.0\text{m}$ となる。

支間長から適用可能な橋梁形式を抽出し、橋梁形式を検討した。その結果、支間長に対する標準桁高が $H=1.25\text{m}$ と低く、橋梁前後にある民家への乗り入れが確保できることに加え、太鼓橋のような桁高変化の必要がなく走行性が良いことから、PC単純ポステンスラブ桁橋を採用した。新設橋の側面図を図-6に、断面図を図-7に示す。

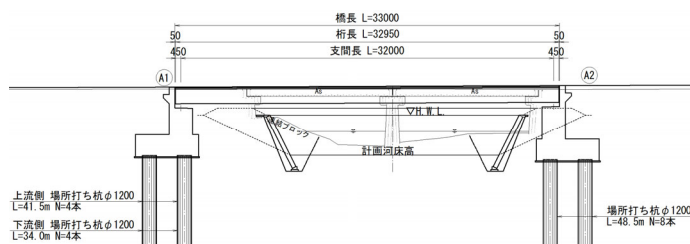


図-6 新設橋側面図

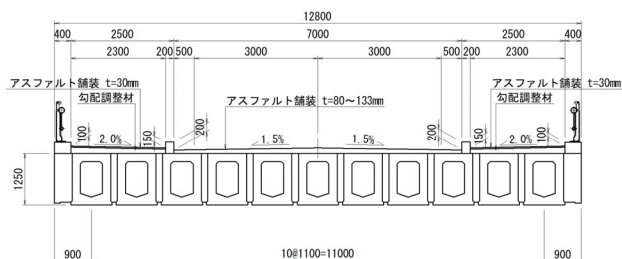


図-7 新設橋断面図

(2) 基礎工形式

右岸側橋台位置は既設橋と同じ位置のため、既設本線橋台のRC杭 $\phi 200$ と干渉する。そのため、ケーシングによる掘削でRC既設構造物の撤去が可能な場所打ち杭（オールケーシング工法）を採用した。

杭施工にあたってはオールケーシング機の施工性を考慮し、既設橋台の躯体を撤去後、埋め戻し、現地盤を施工基面として施工する計画とした。

また、支持層深度が $GL-50\text{m}$ 程度であり、杭長 40m 以上の長尺場所打ち杭となるため、場所打ち杭鉄筋の座屈照査を行い、施工時の安全性を検証した。

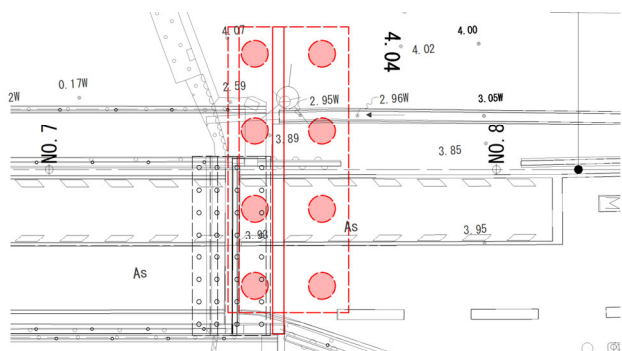


図-8 既設杭と新設杭の位置関係

(3) 騒音振動予測

騒音予測は、「土木研究所資料No. 4254 道路環境影響の技術手法（平成24年度版）」の提案式を基に実施した。橋梁の各施工段階における騒音振動予測結果を表-2に示す。

土留工施工時は騒音振動の小さい油圧圧入機により行うが、騒音基準を超えるため、防音壁で騒音対策を行うこととした。また、場所打ち杭施工時において、従来型ハンマーグラブでは騒音基準を超えるため、油圧ハンマーグラブにより施工する計画とした。

既設構造物の撤去は構造物撤去工法（A-CR工法）を用いて行う計画とした。騒音振動についての実測データは 5m 以下では計測されていないが、実測結果から推測すると基準値を超えるのは、騒音は発生源から 2m 程度、振動は発生源から 1m 程度の位置だと想定された。本橋は最短距離が 4.5m となるため、基準値を下回ると想定される。

表-2 騒音振動予測結果

施工段階	騒音 (基準値85dB)	振動 (基準値75dB)
土留工施工時 (油圧圧入機)	左岸：86.2dB 右岸：86.8dB	左岸：60.5dB 右岸：62.9dB
場所打ち杭施工時 (従来型ハンマーグラブ)	左岸：89.4dB 右岸：88.6dB	左岸：62.6dB 右岸：61.8dB
場所打ち杭施工時 (油圧ハンマーグラブ)	左岸：83.4dB 右岸：82.6dB	左岸：60.5dB 右岸：59.8dB
旧橋台撤去時 (A-CR工法)	発生源から官 民境界までの 距離 $4.5\text{m} >$ 基 準値を超える と予想される 距離 2m	発生源から官 民境界までの 距離 $4.5\text{m} >$ 基 準値を超える と予想される 距離 1m

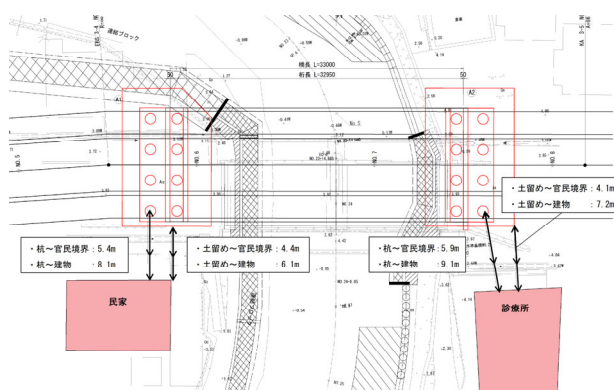


図-9 騒音・振動予測結果

5. 施工計画

(1) 旧橋上部工撤去

川幅が狭く、河川内にベント設置できないため、PC床版橋の車道橋上部工はワイヤーソーで2～4主桁毎に分割し、橋台背面から1径間ずつトラッククレーン一括撤去する計画とした。また、鋼鈑桁橋の上下流の側道橋はワイヤーソーで床版を小割撤去後、座屈防止のため、2主桁を一括で撤去する計画とした。

特に上流側側道橋は単純橋であり、橋長 $L=27.37\text{m}$ を一括で撤去する必要があったため、図-10に示すように、車道橋にクローラークレーンを据え、撤去する計画とした。上部工の工事図面は残存していないため、建設当時の設計基準に基づいて桁の耐荷力を算定し、撤去作業に使用するクレーンの規格を決定した。

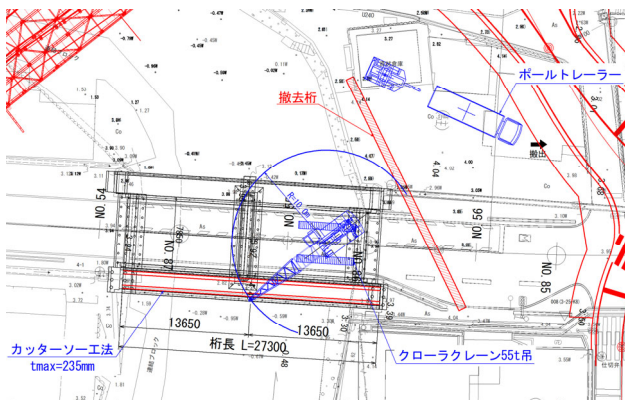


図-10 上流側側道橋上部工撤去図

(2) 既設橋台撤去・新設橋台施工

橋台の撤去・新設時の土留めは川側と陸側で高さが異なるため、偏土圧対策として、川側に反力盛土を施工する計画とした。

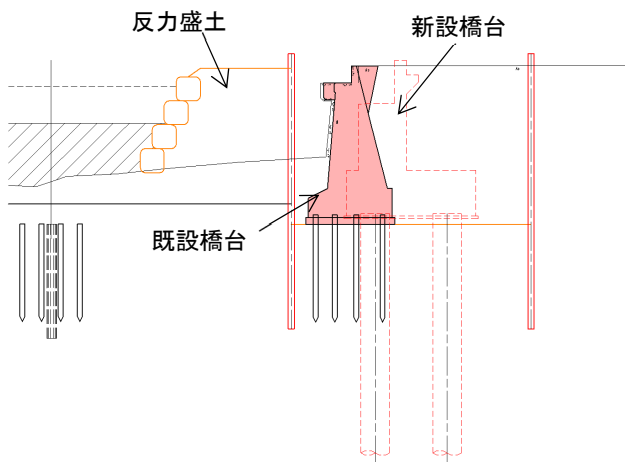


図-11 右岸側既設橋台断面図

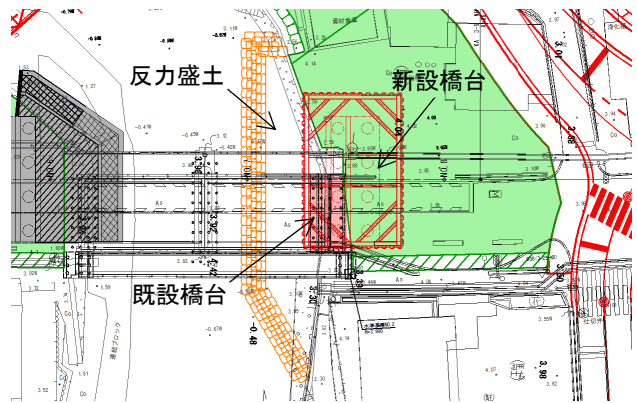


図-12 右岸側既設橋台撤去図

(3) 上部工架設

上部工の架設工法はPC架設工法の適用表（橋梁架設工事の積算）より、河川上の架設で桁下空間を確保できる架設桁架設工法を採用した。狭小ヤードでの施工となるため、架設桁は手延べ桁で送り出す方法ではなく、橋台背面で地組して一括架設する方法で架設する。また、セグメントを橋台背面で一体化すると、ヤード内でセグメント調整台が設置できないため架設桁上でセグメントを一体化する計画とした。

桁の横取りは門型クレーンでの横取りが一般的であるが、狭小ヤードで門型クレーンは控え策が工事用車両の通行やクレーンの吊荷の支障となることから、両岸にクレーンを設置し相吊りで横取りする施工方法を採用した。

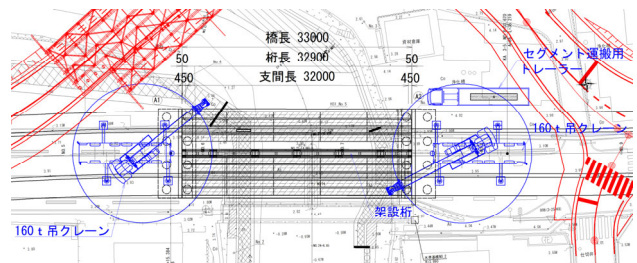


図-13 架設要領図

6. おわりに

本稿では、狭隘な市街地での橋梁架替予備設計の概要、計画・設計及び施工における特徴的な点について記載した。

本稿が、狭隘な市街地での橋梁架替予備設計の参考になれば幸いである。

謝辞：本稿は「令和5年度 大規模特定 第D-02分 2002号 二級河川 神内川河川改修（波静橋橋梁詳細設計）業務委託」において実施したものである。関係者にはこの場を借りて謝意を表したい。

櫛田川における 地域と連携したコクチバス対策

はましまつばさ かつさいなおき お だ よう へい しおづか な お おおいそゆう き
○浜島 翼¹・葛西直樹¹・小田洋平¹・塩塚菜生¹・大磯勇己¹

¹ (株) 建設環境研究所 中部支社 (〒460-0003 名古屋市中区錦3-20-27 御幸ビル5F)

櫛田川における自然再生事業のモニタリング調査で平成27年にコクチバスが初確認され、その後年々増加傾向が見られていることから、優先的な対策が必要とされたが、地域一体となった取り組みを進めていくことが課題とされた。コクチバスの生息実態を広く知ってもらうため、櫛田川におけるモニタリング調査結果を取りまとめたコクチバス生息環境マップを作成、公表を行い、地域が主体となって取り組んでもらえるよう“みんなで釣って減らす”ことを記載した。令和5年度は、三重県内水面漁場監視委員会宛に、外来魚の再リリース禁止の規制に向けた意見書を提出した。今後、早期のリリース禁止等の条例制定が望まれる。

Key Words : 外来種対策, コクチバス, 地域連携, 特定外来生物

1. はじめに

コクチバス (*Micropterus dolomieu dolomieu*) は、北米原産の大型肉食魚で、魚類や甲殻類、水生昆虫等を採食する動物食性の強い種である。スポーツフィッシングの対象魚として根強い人気がある、いわゆる“ブラックバス”の一種で、オオクチバス (*Micropterus salmoides*) と比較して流水環境かつ低水温環境にも適応可能であることから、在来生態系や内水面漁業への影響が懸念されている。

三重県櫛田川では、下流部に堰・頭首工が連続しており、アユ (*Plecoglossus altivelis altivelis*) 等回遊魚の移動が阻害され、堰下流に滞留していたことから、自然再生事業として河川縦断連続性回復のための取り組みが推進されてきた。この取り組みの中で、縦断連続性再生（魚道改善）に関するモニタリングが実施されたが、平成27年度のモニタリング調査においてコクチバスが初確認された。初確認以降、コクチバスの個体数は増加傾向にあり、「櫛田川自然再生推進会議」においても優先的に取り組むべき事項としてあげられ、地域一体となって取り組みを進めることが求められることが課題となっていた。

本稿は、増加傾向にあるコクチバスの対策に向けた生息状況等の現状把握および、地域と一体となった取り組みの推進状況について報告する。

2. コクチバスの分布特性の把握

(1) 調査手法の設定

a) 調査実施場所

魚類の生息分布調査として櫛田川の堰下流等の7地点で調査を実施した。また、生息分布調査の結果を踏まえて、コクチバスの産卵環境の可能性が示された6地点において産卵床環境調査を実施した（図-1）。



図-1 魚類の生息分布調査位置図

b) 調査時期

調査時期は、生息分布調査については魚類の活動が活発となる夏季（概ね7～8月）、産卵床環境調査はコクチバスの産卵期とした。なお、コクチバスの産卵時期の推定には櫛田川可動堰下流の水温を参考にした。

c) 調査方法

生息分布調査は、「河川水辺の国勢調査基本調査マニュアル【河川版】（魚類調査編）」を参考に、主に投網等により採捕した。

産卵床環境調査は、生息分布調査により生息が確認された地点において、踏査により産卵床を探索した。発見された産卵床は物理環境データを測定の後、解体した。また、親魚や稚仔魚が確認された場合は可能な限り駆除した。

(2) 縦断的な分布の把握

コクチバスの縦断分布について、年別の変化状況を整理した（図-2）。

櫛田川では、確認初期には、櫛田可動堰までの堰が連続する下流の区間に多くの個体が確認されていた。初確認以降、個体数を増加させながら、徐々に上流へ分布域を移動させていたが、平成29年に発生した3,000m³/s程度（両郡観測所における流量）の大規模な出水により分布域が下流へ移動した。

令和元年は、調査までに2,000m³/sの出水が2回発生したものの、前年度からの個体数減少は認められず、再度上流に分布域を拡大・増加した。

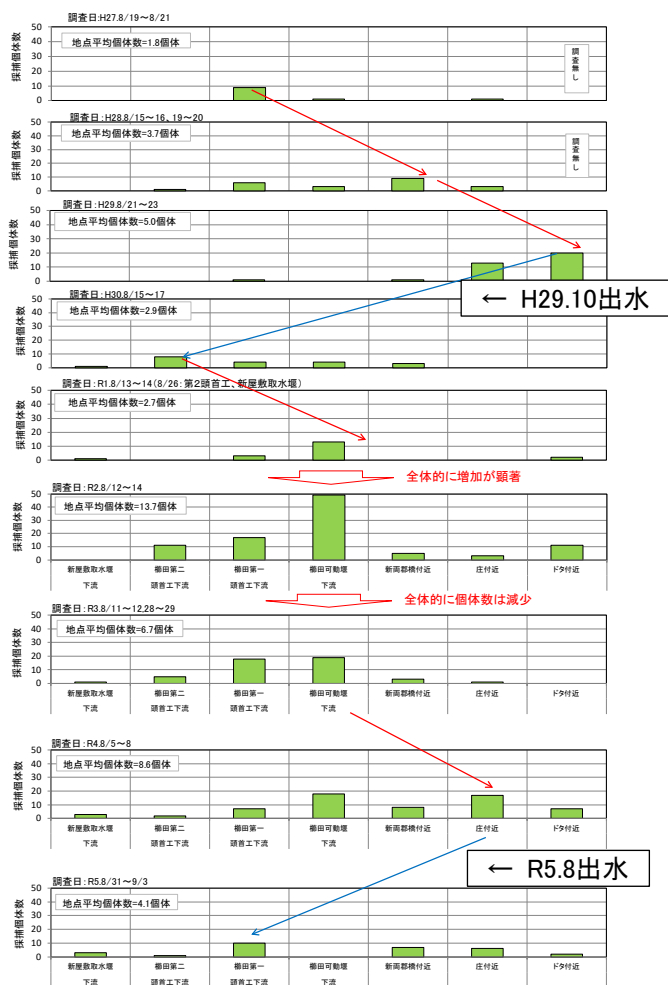
令和2年は、令和元年の調査以降顕著な出水は発生しておらず、感潮域である新屋敷取水堰下流を除く全地点で個体数が大きく増加した。特に、連続する堰の最上流となる櫛田可動堰下流においては確認個体数が、全調査期間で最大となるなど非常に多数の生息を確認した。

一方、令和3年は、顕著な出水は発生していないが、確認個体数が全体的に減少し、調査区間の最上流にあたるドタ付近では未確認となった。

令和4年も調査前には顕著な出水は発生しておらず、調査区間の上流にあたる庄やドタにおいて再び個体数の増加が確認され、全体としても令和3年より個体数が増加した。

令和5年度は、調査前の8月に2,500m³/s出水が発生しており、多数の個体数が確認された櫛田川可動堰下流で未確認となったほか、第一頭首工下流の確認個体数が増加した。

以上より、櫛田川において、初期段階は主に下流に生息していたものと推測されるが、年数が経過するにつれて、上流へと分布域を拡大させることが示された。しかしながら、大規模な出水が発生した後の調査では、個体数の減少または、分布域の下流への移動が確認されており、個体数の変化に、出水が大きくかわることが示唆された。



※出水：両郡観測所 2,500m³/s以上とした。

図-2 分布状況の経年変化

(3) 産卵環境の把握

コクチバスの産卵期は5～7月で、原産地では春から初夏にかけて水温13～20℃であれば産卵する。雄が鉢状の巣を作り産卵し、雌の産卵後、雄が卵および仔魚を保護し、体長10mm前後まで成長すると仔魚は親魚の保護を離れ分散する。コクチバスは一度の産卵で5,000～14,000粒程度の産卵をするとされており、大型の個体ほど産卵数が多い¹⁾。

櫛田川では例年、3～4月頃に水温が15度を超え、5月末～6月頃に20度を超える（図-3）。

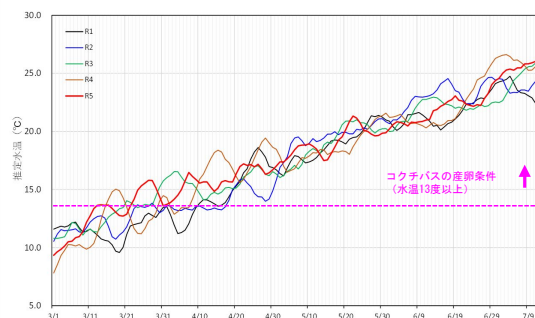


図-3 櫛田川におけるコクチバス産卵期の推定水温（櫛田可動堰下流：弼見気温との相関による推計値）

したがって、櫛田川における産卵期は3月～6月頃と推定されることから、産卵状況の確認を水温が上がリ、産卵最盛期と推定される5月に調査時期を設定した。

調査の結果、コクチバスの産卵床は櫛田川可動堰付近および佐伯中付近において産卵床・仔魚が多数確認された。産卵床は、概ね水深30cm～70cm程度で流速は3～10cm/sの環境で主に確認された。産卵は浅い環境で行われるとされており、原産地の北米でも類似の水深環境で産卵することが知られている。また、産卵床の流速は5cm/s以下の流速の緩い箇所が大半であり、他河川の事例ともほぼ一致した。また、産卵床の確認された環境の河床材料は砂～粗礫程度の環境で確認されており、産卵環境として選好するとされる砂礫底環境とも一致した（図-4、5）。

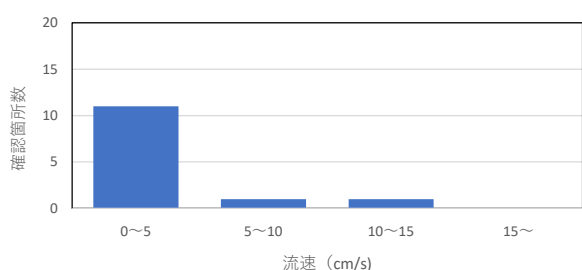


図-4 確認されたコクチバス産卵床周辺の流速



図-5 確認された産着卵(上)および仔魚(下)

また、生息分布調査により生息が多数確認された箇所において潜水目視を実施したところ、ペアリング

して遊泳する親魚も多数確認された（図-6）。ペアリング個体を確認する環境は、産卵床が確認される環境と概ね同様で、緩流速かつ河床材料が砂～粗礫の環境であった。



図-6 ペアリング個体

(4) 食性の把握

生息分布調査および産卵床調査において捕獲した親魚について、胃内容物を確認した。確認の結果、ゴクラクハゼ (*Rhinogobius similis*) やウキゴリ (*Gymnogobius urotaenia*) 等の底生魚類やエビ類等の甲殻類を多く捕食していた（図-7）。一方で、アユ等の遊泳力の高い種はほとんど胃内容物からは確認されず、遊泳力に劣る底生魚類が優先して捕食された可能性が示された。



図-7 コクチバスの胃内容物

3. 地域と連携した取り組み

(1) 「外来魚対策コア会議」の設立

櫛田川自然再生計画では、地域と連携した自然再生を進めていくため、平成27年度に「櫛田川自然再生推進会議」を設立し、毎年地域への情報共有、意見交換を行っている。さらに、モニタリングの中でコクチバスの増加が課題として取り上げられたことから、平成29年度より下部組織として「外来魚対策コア会議」を設置し、モニタリング結果の共有による櫛田川のコクチバス生息実態の情報提供、他河川の取り組み事例の紹介、漁協による取り組みの紹介等を行い、地域が一体となって取り組むための意見交換を行っている。

外来魚対策コア会議では、櫛田川におけるコクチバスの生息実態を広く周知することが地域一体となった対策を進めていくために必要であるとされたことから、「コクチバス生息環境マップ」を作成し、国土交通省中部地方整備局三重河川国道事務所ホームページにて公表した。

(2) 「コクチバス生息環境マップ」の作成

地域協働でコクチバスの対策を進めることを目的として、生息分布調査、産卵床環境調査結果をもとに生息環境マップを作成した。

a) 生息環境マップ作成の背景等

生息環境マップ作成の背景として、啓発資料としての側面を持つことから、「櫛田川自然再生推進会議の概要」、「コクチバス生態の概要」、「外来生物法」について記載した。

b) 生息環境マップ（位置図）

櫛田川コクチバス生息環境マップでは、モニタリング調査によりコクチバスが生息する可能性が示された箇所を空撮上に整理した。コクチバスの生息する可能性のある箇所としては、①既往調査において生息・産卵が確認された箇所、②産卵環境としてのポテンシャルを持った箇所、③水温が低下した際に集まる可能性のある淵を基準として選定し、記載した。また、既往調査の確認状況についても掲載した（図-8）。



図-8 生息環境マップ（生息位置図）

c) コクチバス対策について

地域一体となった対策を進めるため、「バス釣りでの対策」、「生息場産卵場の情報提供のお願い」について掲載した。また、バスを減らす取り組み例として、リリース自粛のお願いや食べて減らす取り組みの推奨などを取り入れた（図-9）。



図-9 生息環境マップ（地域一体の取り組み）

(3) 規制強化に向けた意見書の提出

三重県内では、コクチバスを含むオオクチバス属魚類に対するリリース禁止の規制は特に定められていないことから、令和5年度末にコア会議名義で、三重県内水面漁場監視委員会宛に、外来魚の再リリース禁止の規制に向けた意見書を提出した。早期のリリース禁止に向けた規制強化が望まれるところである。

謝辞：本稿は国土交通省中部地方整備局三重河川国道事務所より受注した業務成果に基づくものであり、関係者の皆様には厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 国立研究開発法人 国立環境研究所, 2024, 「侵入生物データベース」 (2024年9月1日取得, <https://www.nies.go.jp/biodiversity/invasive/D/B/detail/50320.html>)

狩野川で造成されたアユ人工産卵床の実例及び 産卵利用の報告

○宮 映日¹・田中 克幸¹・加藤 雅之¹・林 須美子¹・林 大²

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

2 (株) 建設環境研究所 自然環境部 (〒170-0013 東京都豊島区東池袋2-23-2)

これまで狩野川では河床耕運、砂泥の洗い流し、河床を均質に均す一般的な工法で産卵床の造成を行ったが、造成効果は低かった。今回の造成では、自然産卵床の環境条件に近づけ、造成後1ヵ月程度の産卵環境条件が維持されることを目標に施工法を検討し、試験的に造成を行った。造成は、産卵に適した河床材が多く含まれる狩野川本川の4地点で行った。造成では、耕運と掘削を行うことに加えて、掘削した河床材を洗い流しせずに、掘削箇所の上流の脇に積み上げた。その結果、3地点で約3週間後に産着卵が確認され、推定産着卵数は合計約605万粒と近年で最も多かった前年の1.2倍であり、少なくとも3週間は産卵環境が維持されたことが確認できた。

Key Words : アユ, 産卵場造成, 産卵環境の維持

1. はじめに

アユ *Plecoglossus altivelis* は重要な水産資源であるが、漁獲量は年々減少傾向にあることが知られる。また、日本の多くの河川では、供給土砂の減少で河床低下と河床アーマー化が進み、アユ等の河床の砂礫を産卵場として利用する魚種の産卵環境は悪化していると云われている¹⁾。産卵環境の改善の取組みの一つとして、人工産卵床の造成が知られ、施工は重機や人力での河床耕運、大礫の除去や砂礫の洗い流し、河床を均質に均す工法²⁾ が一般的である。また、より効果的な産卵床造成のため、中洲での水路創出³⁾ や河川敷を掘削して出水時に砂礫が供給される人工水路を創出する等の事例も知られている²⁾。

狩野川は、静岡県伊豆市の天城山系を源流とし、出水時に一定条件下で流水する伊豆の国市の狩野川放水路を分派した後、駿河湾に注ぐ一級河川である。アユの友釣りの発祥地と云われ、初夏には上流から中流部でアユ釣り客が多く訪れる。狩野川漁業協同組合（以下、狩野川漁協）と国土交通省 沼津河川国道事務所は、狩野川でのアユ天然資源の保全となるよう、人工産卵床の造成に取り組んでいる。造成は河床耕運及び河床を均す一般工法を採用しており、造成後の産卵状況は確認してこなかったが、2020年の造成後は初めて調査を行ったところ、少量の産着卵しか確認できず、造成効果は低かったと考えられた。

本稿では、アユの産卵床の知見にある重要な要素の河床材の粒径、河床の柔らかさ、流速、水深に着目し、可能な限り自然産卵床の環境条件に近づけ、かつ、造成後1ヵ月程度の産卵条件が維持されることを目標に施工法を検討し、試験的な人工産卵床の施工事例と造成後のアユ産卵利用状況等について報告する。

2. 方法

(1) 産卵場造成

人工産卵床の造成は、狩野川の国直轄区間で、アユが産卵を好む河床材（粒径 5～30mm 程度³⁾）の有無や重機の搬入の可否、過去の産卵実績などから4地点を選定した（図-1）。造成は、2023年10月24～26日に、バックホー1台（キャタピラージャパン320D）を使用し、図-2に示す方法で実施した。いずれの地点も河床が固かったため、耕運を行い、流速が遅く、単調な流れの場所は、掘削によって流速を上げ、部分的に河床勾配がつくようにした。更に、掘削した河床材は、洗い流しをせずに掘削箇所の上流脇に積み上げ、経時的に崩れて河床材が供給されるようにした。また、造成直前には、施工範囲内で潜水目視による卵の確認を行い、産卵に利用されていないことを確認した。造成後に UAV（DJI Mavic2pro）による垂直写真を撮影した。

(2) 産卵場調査

造成後の産着卵の計数のため、造成範囲内及び周辺で潜水目視を2023年10月30日～11月1日と11月15～16日、20日に各地点2回実施した。産着卵は、20cm方形枠内を目視で計数または25cm方形枠内の河床材と共に採集した卵の計数を行った。計数時に卵の発育段階（未発眼卵、発眼卵、死卵、仔魚）も確認した。産卵範囲は、ハンディGPS（Garmin eTrex20J）で記録した。また、潜水目視及び造成前後に物理環境を計測した。物理環境は水深、流速計（コスモ理研CR-7）による中層の流速、直径10mm程度の鉄筋を手で押し込んで貫入深（河床の柔らかさの指標）を計測した。河床材は目視によって9区分（表- 1）の割合を記録した。

3. 結果

(1) 産着卵数

造成後1週間後の1回目の調査では、産着卵は確認できなかった。約2週間が経過した2回目の調査では、造成した宗光寺を除く地点で産着卵が確認された（表- 2）。来光川合流点や放水路分岐点は地点内の2箇所産着卵が確認された。卵密度は、全地点の中で放水路分岐点が最も高く約24万粒/m²で、次いで自然産卵床の大場川合流点の6,400粒/m²であった。面積は、放水路分岐点が最も広く25m²で、次いで自然産卵床の原木で19.5m²であった。

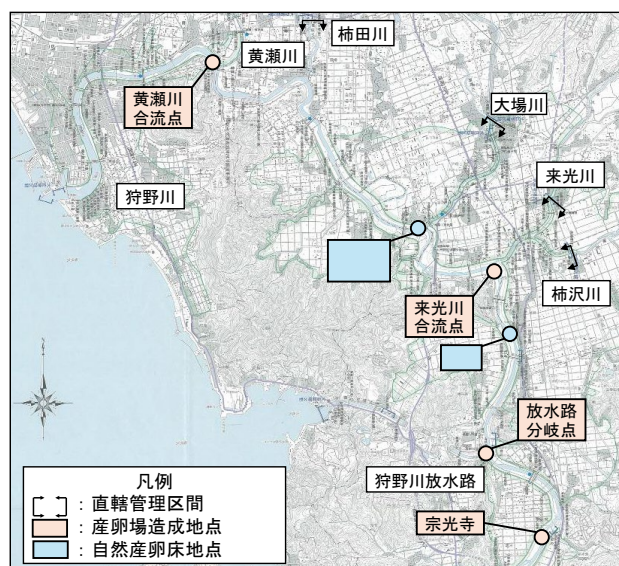


図- 1 調査地点位置図

表- 1 河床材の区分

区分	粒径
岩盤	岩盤又はコンクリート
大石	500mm以上
中石	200～500mm
小石	100～200mm
粗礫	50～100mm
中礫	20～50mm
細礫	2～20mm
砂	0.074～2mm
泥	0.074mm以下

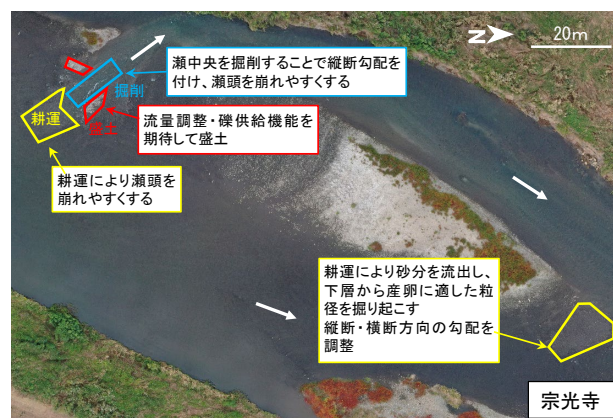
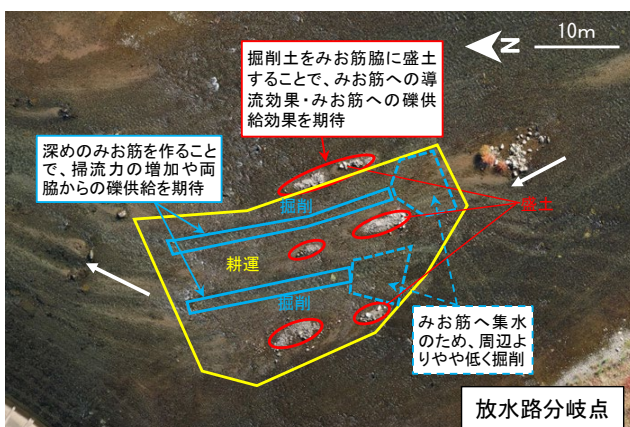
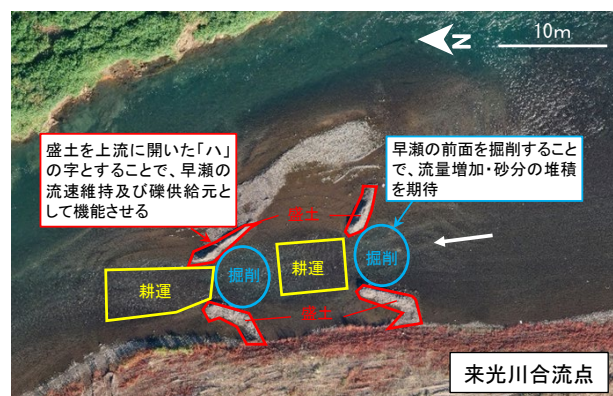
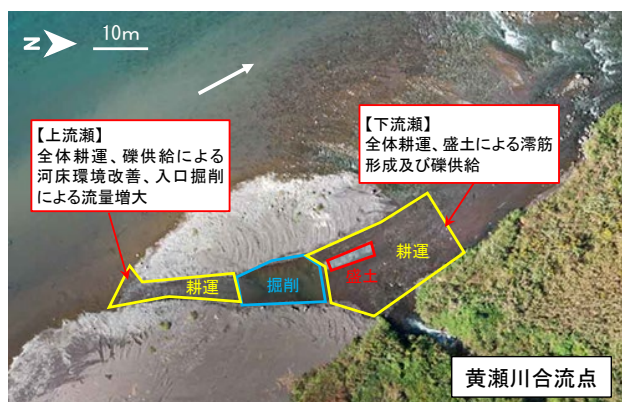


図- 2 地点別の造成方法

表-2 産卵場調査結果

調査回	調査日	地点名(番号)	卵密度 (粒/m ²)	産卵場 面積 (m ²)	推定 産卵数 (粒)	卵の発育段階の割合			
						未発 眼卵	発眼 卵	死卵	仔魚
1	11/1	黄瀬川合流点	-	-	-	-	-	-	-
	10/30	大場川合流点	-	-	-	-	-	-	-
	10/31	来光川合流点	-	-	-	-	-	-	-
	10/30	原木	-	-	-	-	-	-	-
	10/31	放水路分岐点	-	-	-	-	-	-	-
	10/31	宗光寺	-	-	-	-	-	-	-
2	11/20	黄瀬川合流点	01 42	6.8	281	100%			
	11/15	大場川合流点	01 6,400	1.0	6,400				100%
	11/20	来光川合流点	01 1,006	1.0	1,006		100%		
			02 1,083	14.3	15,437		100%		
	11/15	原木	01 320	19.5	6,240	70%	30%	+	
			01 240,992	25.0	6,024,800	10%	90%		
	11/16	放水路分岐点	02 1,650	7.5	12,375	100%			+
	11/16	宗光寺	-	-	-	-	-	-	-
合計	人工産卵床	-	-	46.5	6,053,900	-	-	-	-
	自然産卵床	-	-	26.0	12,640	-	-	-	-

発育段階の+は5%以下の少数であることを示す。
 □は自然産卵床を示す。

推定産着卵数は、放水路分岐点が最も多く、計約604万粒であり、次いで来光川合流点で計約1.6万粒であった。推定産卵数の合計値は、人工産卵床で約605万粒、自然産卵床で1.2万粒であった。卵の発育段階は、黄瀬川合流点や原木、放水路分岐点の卵密度が高い箇所は産着後の時間が経過していない未発眼卵が多く、来光川合流点や放水路分岐点の卵密度が低い箇所では時間が経過した発眼卵が多かった。

(2) 物理環境

水深は、造成後は基本的に浅くなり、放水路分岐点は特に顕著に浅くなり(図-4)、この地点では河床材が造成後に多く供給されたものと考えられた。

調査地点の中層の流速は、全地点で造成後に上がったが、宗光寺を除き2回目の調査時には下がり(図-4)、勾配が緩くなった。

貫入深は、造成後に大きくなり、黄瀬川合流点と放水路分岐点は、1回目の調査時には若干小さくなったものの、2回目の調査時には全調査地点で小さくなり(図-4)、2週間を経て造成の効果が徐々に低下していることが示された。

地点別のアユが産卵基質となる河床材である5～30mm程度³⁾の礫を含む河床材の割合は、黄瀬川合流点と宗光寺では造成後と1回目の調査では概ね同様な割合で推移、2回目の調査では減少、徐々に劣化が認められた。来光川合流点では、1回目から2回目にかけて増加しており、産卵基質となる河床材が供給されたと考えられた。放水路分岐点では、造成直後に大きく増えたが、1回目調査で造成直後の半分程度まで減り、造成後に産卵基質となる河床材の多く供給されたことが示された。

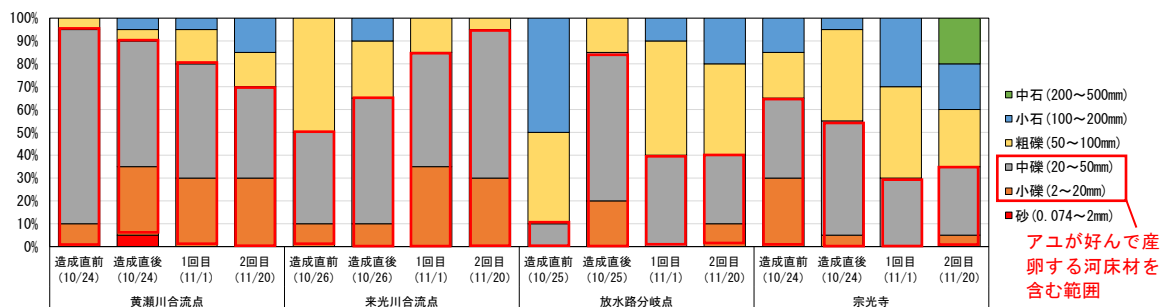


図-3 産着卵の確認箇所付近または産卵の可能性が高いと考えられた箇所付近の河床材の割合

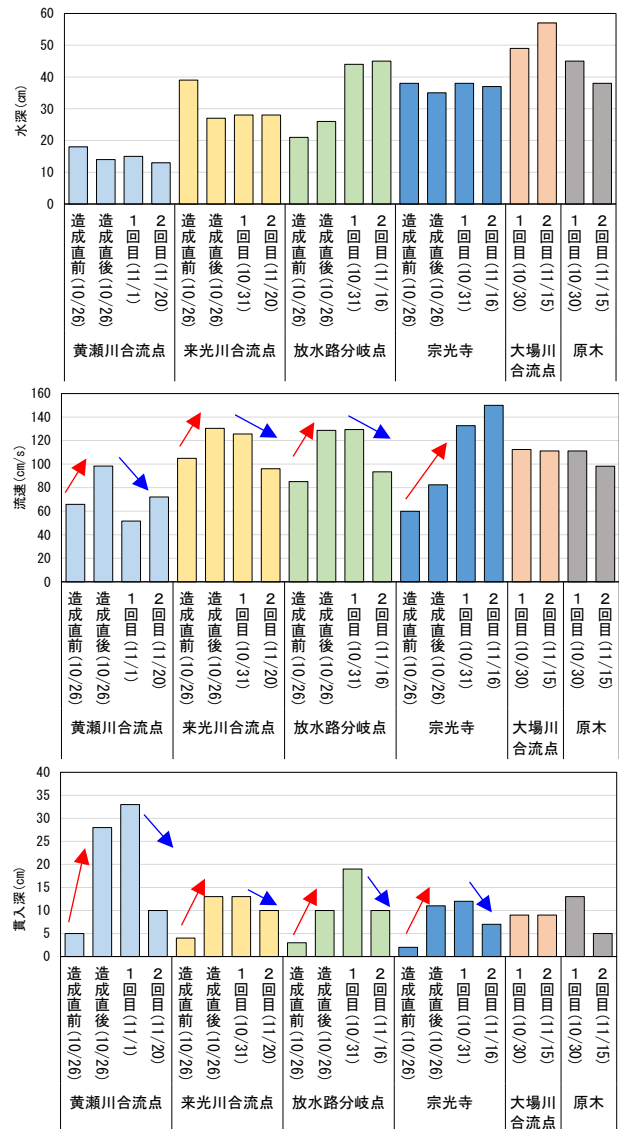


図-4 産着卵の確認箇所付近または産卵の可能性が高いと考えられた箇所付近の水深、流速、貫入深

4. 考察

(1) 2023年の造成後の産卵環境

アユの産卵場の水深は、20～30cmを良好とする事例が多く、50cm以上になると少なくなると云われる⁴⁾。人工産卵床を造成した4地点の調査期間中の水深は10～50cm程度で、造成3週間後も概ねアユの産卵する水深が維持されていたものと考えられた。

産卵環境の流速は、50～110cm/sの範囲が一般的で100cm/sが典型的と云われる⁴⁾。産卵数が比較的多かった来光川合流点と放水路分岐点では、2回目の調査時は100cm/s程度と造成3週間後も概ねアユの産卵環境として適切な流速が維持されていた。一方で、宗光寺地点が適用範囲の110cm/sを超えており、産卵環境の流速として適切ではなかったと考えられた。

アユが産卵する貫入深は、9～12cmと概ね10cm程度で適切と云われており⁴⁾、宗光寺の2回目の調査時以外は概ね適切な条件を満たしていた。

河床材の適性については、造成後3割以上がアユの産卵基質となる粒径成分を占めており、適切な造成であったと考えられた。また、造成後3週間は産卵基質となる河床材が顕著に減少することはなく、アユの産卵に適した状態を維持できたと考えられた。

以上より、本稿で造成されたアユ人工産卵床は、宗光寺地点を除き、適切であったと考えられた。

(2) 過去の産卵状況との比較

これまで狩野川での人工産卵床の造成は、一般的な工法で実施され、調査が実施された2020年以降では2022年の推定産着卵数の合計値の約515万粒が最も多かった。2022年も一般的な工法で実施されたが、産着卵数が最も多かった放水路分岐点においては、造成後の自然営力で形成された局所的な河床低下箇所高密度の産着卵が確認されたことが判明した。2023年は人為的に同様な環境を創出することで、2022年と比較し、約1.2倍の推定産着卵数を確認することができ、効果的な産卵場造成に取り組む上での貴重な知見となった。

表- 3 2020～2023年の造成結果

年	地点名	造成日	調査日	造成からの 日数	産着卵密 度(粒/㎡)	面積 (㎡)	推定産着 卵数(粒)	合計(粒)
2020	黄瀬川合流点	10月14日	11月17日	34				
	原本	10月17日	11月16日	30				
	放水路分岐点	10月31日	11月16日	16				
	宗光寺	10月3日	11月16日	44				
2021	黄瀬川合流点	10月14日	10月29日	15				
			11月20日	37				
	放水路分岐点	10月15日	10月27日	12				
			11月20日	36				
	宗光寺付近	10月13日	10月26日	13				
			11月20日	38				
			12月7日	55				
	深沢川合流点	10月14日	10月26日	12	26.0	1	26	26
2022			11月20日	37				
			12月7日	54				
	黄瀬川合流点	10月28日	11月9日	12				
			11月24日	27				
	来光川合流点	10月26日	11月9日	14	265.0	38	10,097	
	放水路分岐点	10月25日	11月8日	14	170,016.0	24	4,080,384	5,145,021
					25.0	6	150	
					100.0	146	14,600	
			11月25日	31	42,944.0	24	1,030,656	
	深沢川合流点	10月24日	11月7日	14	8,304.0	1.1	9,134	
2023	黄瀬川合流点	10月24日	11月1日	8				
			11月20日	27	41.7	6.8	284	
			10月31日	5				
	来光川合流点	10月26日	11月20日	25	1,006.0	1.0	1,006	
					1,083.0	14.3	15,487	
			10月31日	6				
	放水路分岐点	10月25日	11月16日	22	240,992.0	25.0	6,024,800	6,053,951
					1,650.0	7.5	12,375	
	宗光寺	10月24日	10月31日	7				
			11月16日	23				

また、2023年は、宗光寺地点を除く3地点で造成3週間後に産着卵が確認されたことから、造成により少なくとも1ヵ月程度は産卵環境を維持できる効果を発揮すると考えられた。

(3) 効果的な人工産卵床の造成

最も多くの産着卵が確認された放水路分岐点の施工の模式図を図- 5に示す。

本造成では、河川の水域内に局所的に人為的な滞りを掘削し、掘削した土砂を掘削箇所の上流の脇に盛土することで、アユの産卵基質となる河床材が供給源を創出した。これにより、少なくとも1ヵ月程度は産卵床の機能が維持されたと考えられた。今後も、放水路分岐点では、同様な施工を実施することで、効果の高い人工産卵床が造成でき、アユ資源の保全の一助となると考えられた。

なお、放水路分岐点のような施工を全ての地点で実施することは適切ではないと考えられ、図- 2に示したような地点の地形に合わせた人工産卵床の造成の検討が重要であり、他地点は更なる工夫が必要である。

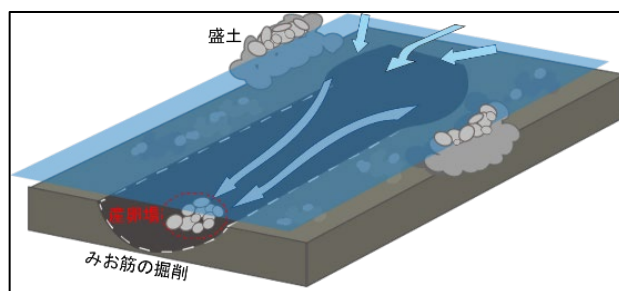


図- 5 放水路分岐点における造成イメージ

5. 狩野川における人工産卵床造成の課題

アユの産卵期間は比較的に長く、狩野川漁協によると狩野川では12月まで多くのアユの産卵活動が確認できるとのことである。これまでに人工産卵床を造成した時期は、アユの産卵活動初期で産卵最盛期に該当しない可能性がある。よって、狩野川でのアユの生活史を踏まえた造成時期を検討する必要がある。

参考文献

- 1) 武田維倫, 石嶋久男, 酒井忠幸, 大森勝夫, 平成 19 年度生態系に配慮した増殖指針作成事業～アユ～, 栃木県水産試験場, 52号, pp11-20, 2009
- 2) 岡山県版 アユの産卵場造成マニュアル, 岡山県農林水産総合センター水産研究所, 2022
- 3) アユの人工産卵床のつくり方, 水産庁 独立行政法人水産総合研究センター中央水産研究所, 2009
- 4) 藤田朝彦, 横山良太, 加藤康充, 井上修, 原田守啓: アユの産卵環境はどこまでわかったのか, 応用生態工学, Vol. 24, No. 2, pp217-234, 2022