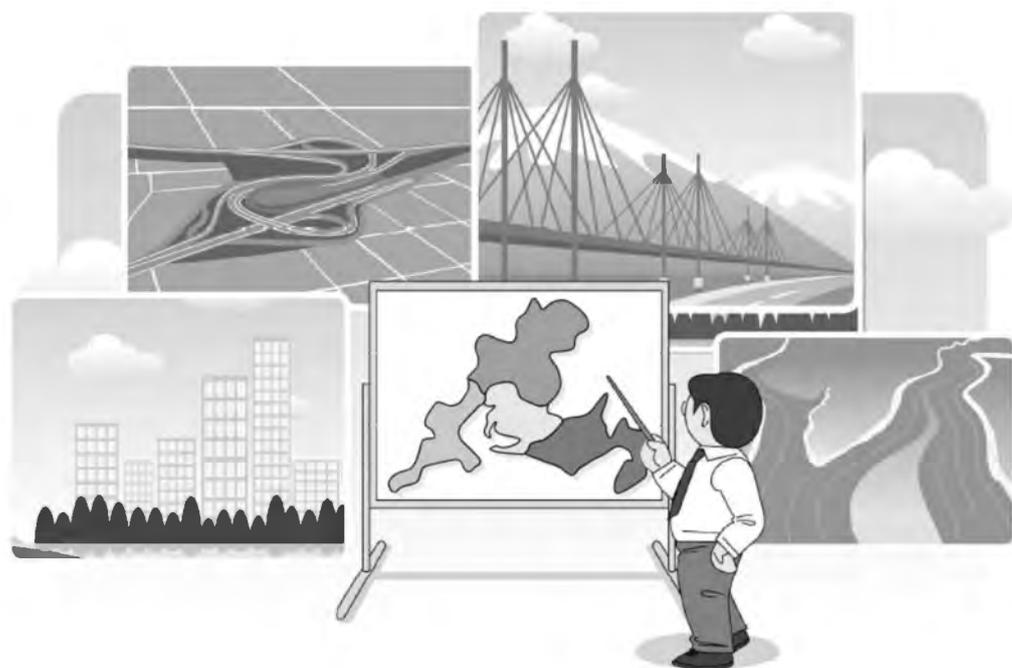


令和7年度（第35回）

# 建設コンサルタント業務技術発表会

## 論文集



令和7年10月28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7年度（第35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. AI 画像解析を活用した交通課題に対する定量的分析手法の提案 .....二村司悠 / 山田邦博 / 伊藤大智 / 杉村清紀	1
2. パフォーマンスマネジメントに基づく道路サービス評価と交通課題分析手法の提案 .....澤村悠貴 / 六反雅登 / 高村真一 / 稲富貴久 / 大田菜央	5
3. MWD および FWD 調査を活用した舗装修繕設計 .....熊澤快友 / 山田誠 / 樋口伸幸 / 木下俊男 / 周敦史	9
4. 道路冠水の影響を考慮した道路計画検討 .....松本直幸 / 萩田隼平 / 小森紀彦	13
5. ウォークابل空間による来訪者数の変化と新たなにぎわいの創出 .....阪上勇登 / 杉江稔 / 村瀬瑛士	17

#### 【発表論文\_第1会場\_構造・土質分野】

6. 竣工図が現存しない既設橋耐震補強に対する BIM/CIM 活用事例 .....山口直人 / 高木達弘 / 山本篤博 / 野々山祐史郎 / 溝渕真之	21
7. 鉄道を跨ぐ鋼桁橋の補修・補強工事に向けた3次元モデルを活用した施工計画 .....北岡誠 / 横山祐治 / 廣井英智 / 川邊絢子	25
8. 多径間 PC 有ヒンジラーメン橋の耐震補強設計 .....厚地政哉 / 竹内慎 / 加藤肇 / 河野豪 / 中西健太	29
9. 既設 PC 橋におけるグラウト充填調査及び対策検討 .....新居見英樹 / 日高雅史 / 山本高由 / 森田祐樹 / 河合健斗	33
10. 水文調査業務における BIM/CIM 活用～井戸深度と地下水位の三次元モデル化～ .....加藤あすか / 高柳幸央 / 川合恵美子	37

## 令和7年度（第35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. 再度災害防止を目的とした水制工の修繕設計事例 .....遠藤信之 / 三宅世剛 / 真柄善行 / 鷺見航大	41
2. ダム湖利用実態調査でのDX化の取り組み事例 .....西澤悠 / 宮映日 / 加藤雅之 / 寺西夏也乃 / 林須美子	45
3. 中山間地域の中小河川における新しい流域治水検討フロー .....日比野翔悟 / 平野浩之 / 山田千翔 / 清水裕介	49
4. 流域治水の一例となる流域貯留の検討 .....栗谷樹 / 立松敦史	53
5. ゼロメートル地帯における堤防決壊シミュレーションを通じた継続的な防災体制向上に向けた取り組み支援の検討 .....田中俊介 / 藤本誠也 / 新原輝 / 下鳥一樹	57

#### 【発表論文\_第2会場\_都市計画分野】

6. 大規模開発下においてもホタルの生息環境を維持するエコシステムの創造 .....小林高浩 / 小林毅美 / 木村晃一 / 松岡史展	61
7. 公共施設の組織横断的な再編を図った適正配置計画の立案 .....桐山日菜子 / 太田直哉	65
8. 対話を重視したデマンド交通の導入支援と多面的な効果検証 .....千葉好史 / 神谷貴浩 / 浅野貴久	69
9. 地形条件や合意形成への課題を有する地区への新たな事業化検討手法 .....小堺雅己	73
10. 都市公園の適正配置による公園面積確保と維持管理負担軽減の両立 ～うるま市公園再編計画～ .....石川空 / 井上僚平 / 高柳碧伽	77

令和7年度（第35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
地下埋設物の計測と3次元モデル化の高度化 .....中嶋美佳 / 長谷川美雄 / 山口隼弥	81
路線特性や周辺道路ネットワークの変化を踏まえた適切な立体交差形状の検討 .....山田悠暉 / 高羽俊光 / 松浦佑紀 / 水谷和真 / 山崎大嗣	85
急峻な地形における狭小幅員道路の現道拡幅設計 .....鈴木玲穂 / 阿部光伸 / 兼松聡	89

【掲載論文\_構造・土質分野】

津波避難施設を兼用した国道1号を跨ぐ横断歩道橋詳細設計 .....葛谷一貴 / 山岡慎太郎	93
I期線橋梁に対する近接影響を考慮したII期線橋梁の設計・施工計画及び維持管理計画 .....吉田裕貫 / 内山真人 / 井樋宙 / 篠原一輝 / 前原綾乃	97
乗本2号橋(鋼単純下路ランガー橋)の耐震性に関する一考察 .....上山広己 / 長谷川正 / 茂呂充 / 玉利幸一 / 今村裕一	101
トラス橋の支取替えにおける端横桁補強設計 .....武藤大和 / 入山祐一 / 谷淳貴 / 長瀬弘己 / 三反崎駿太	105
立体ラーメン構造の横断歩道橋における耐震補強設計 .....村松登生 / 河内正彦 / 木村魁斗 / 船橋佑太	109

令和7年度（第35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
新産業育成等に寄与する公共空間（河川空間）オープン化へのプロセス ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・空かおり / 坪井健家 / 森本麻友	113
堤防，河道および河川構造物の監理検討 ・・・・・・・・・・・・・・・・千村紘徳 / 岩田経 / 加藤秀一 / 後藤健太	117
地域の実情に応じた持続可能な水循環のあり方の検討 ・・・・・・・・大嶋謙介 / 岩田経 / 成瀬幹信 / 五島諒 / 島田嘉樹	121
海岸施設の更新と長寿命化の判断に関わる調査について ・・・・岡田尚美 / 安藤智史 / 前園隆宣 / 平田保祐 / 加藤義規	125

【掲載論文\_都市分野】

中山間地域を対象とした移動実態調査及び新たな移動の仕組みの検討 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・大勝友貴 / 松井祐樹 / 岡久草太	129
---	-----

# AI画像解析を活用した交通課題に対する 定量的分析手法の提案

ふたむらしゅう やまだくにひろ いたうだいち すぎむらきよりの  
○二村司悠<sup>1</sup>・山田邦博<sup>1</sup>・伊藤大智<sup>1</sup>・杉村清紀<sup>1</sup>

<sup>1</sup>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）

国道1号浜松バイパス篠原東交差点は自動車専用道路である浜名バイパスに隣接していること、浜松バイパスの中でも特に信号交差点間隔が広いことから走行速度が高い区間である。当該交差点付近では、上下線ともに停止線付近の追突事故が多発しており、事故発生要因の究明と効果的な対策の立案が必要である。そこで本稿では、AI画像解析を活用し、ETC2.0プローブデータ等では把握困難な車線別の視点を踏まえた事故要因分析を実施した。また、AI画像解析による分析手法やその分析結果について述べる。

**Key Words** : AI画像解析, 事故要因分析, 交通事故

## 1. はじめに

国道1号浜松バイパス篠原東交差点は自動車専用道路である浜名バイパスに隣接していること、浜松バイパスの中でも特に信号交差点間隔が広いことから走行速度が高い区間に位置する交差点である。

当該交差点付近では、上下線ともに交通事故が多発しており、特に停止線付近の追突事故が多発している。当該交差点付近の交通事故を削減するため、事故発生要因の早急な究明と効果的な対策の立案が必要とされている。

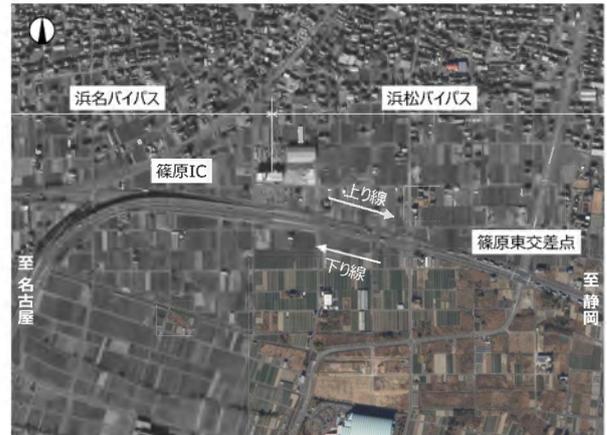


図-1 位置図

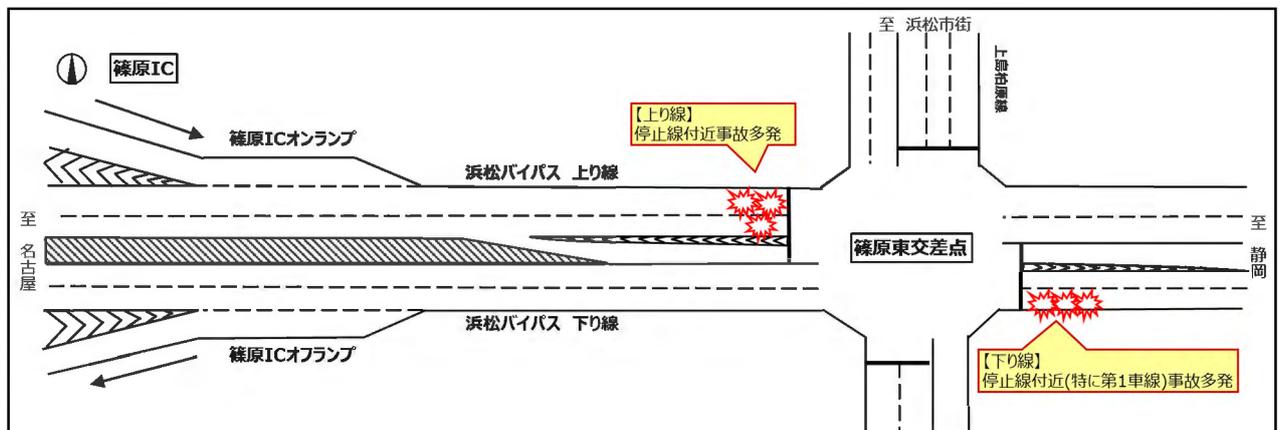


図-2 篠原東交差点付近の交差点形状

## 2. 既存の分析方法における課題

篠原東交差点は上下線で交通特性が異なるため、上り線と下り線それぞれの交通課題を把握する必要がある。上り線は北側の市街地へ流入する左折交通量が多いことから、高速度走行の中で直進・左折車の混在による急制動リスクを把握することが重要な課題である。一方下り線は、第1車線側に追突事故が集中していることから、車線ごとの交通特性を把握することによる事故要因の特定が重要な課題とである。

上記の課題を解決する方法として一般的にはETC2.0プローブデータを用いた分析が考えられる。しかし、ETC2.0プローブデータを用いた分析の場合、速度や急制動の分析は可能だが、車線ごとに速度・急制動を把握することや左折車の混在を評価すること等ミクロ的な特徴に合わせた分析は困難である。そのため、様々な要因が想定される当該箇所の事故要因を特定する上ではETC2.0プローブデータを用いた分析は困難と考えられ、車両を1台毎に判別可能であるAI画像解析を用いた分析を実施することが望ましい。

## 3. AI画像解析を用いた分析について

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、設定した任意区間における車両の速度変化を定量的に算出可能である。また、AIにより通行車両を1車両ごとに自動判別することが可能であるため、通行する全車両を対象に任意区間における走行速度及び急制動車両の把握ができる(図-3)。図-4にAI画像解析のフローを記載する。

また、AI画像解析で判別した車両に対して任意の断面における通過要否を判別することにより、全車両の直進・右左折の分類及び第1車線・第2車線の分類が可能である。



図-3 AI画像解析イメージ(下り線)

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 Only Look 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の左下の座標



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

図-4 AI画像解析のフロー

## 4. AI画像解析による分析手法の提案

当該交差点の上下線を対象に、ビューポールを用いてビデオ観測を実施し、撮影したビデオデータを基にAI画像解析を行う。

### (1) ビデオ観測

下記の期間、手法により、ビューポールを用いたビデオ観測を実施した(表-1, 図-5)。ビューポールを用いることにより道路を高所から撮影することが出来るため、AI画像解析の精度が向上する。

表-1 分析方法

期間	令和6年12月3日 7時~17時
設置台数	2台(上り線1台・下り線1台)
設置箇所	篠原東交差点付近上下線歩道部

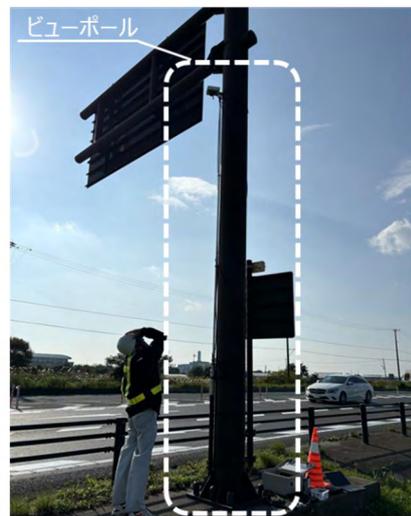


図-5 篠原東交差点撮影用のビューポール

## (2) AI画像解析手法

ビューポールで撮影したビデオデータを用いてAI画像解析を実施する。

AI画像解析により、第1車線及び第2車線の全車両を識別し、車両ごとに速度及び減速度を算出した。算出する区間は停止線から、停止線手前30mの区間と設定した。

また、上下線でそれぞれ任意の断面を設定した。設定した断面は図-6, 7に示すとおりである。設定した断面を用いて、各車両を第1車線の直進車両、第1車線の左折車両、第2車線の車両の3パターンに分類した。車両の分類方法について、第1車線の直進車両はC1及びB1どちらも通過する車両、第1車線の左折車両はC1及びA1どちらも通過する車両、第2車線の直進車両はC2及びB2どちらも通過する車両と定義した（図-6, 7）。

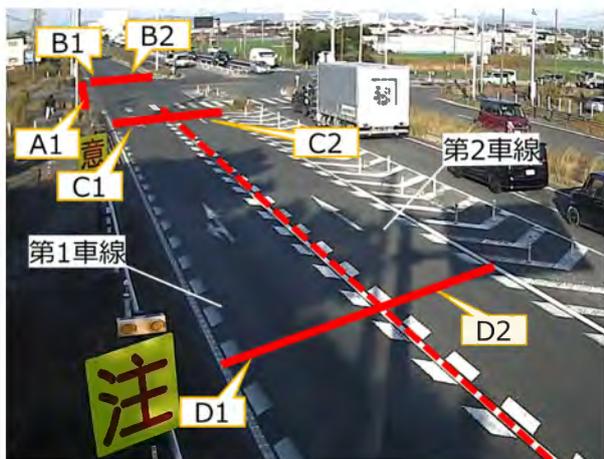


図-6 AI画像解析断面の設定（上り線）

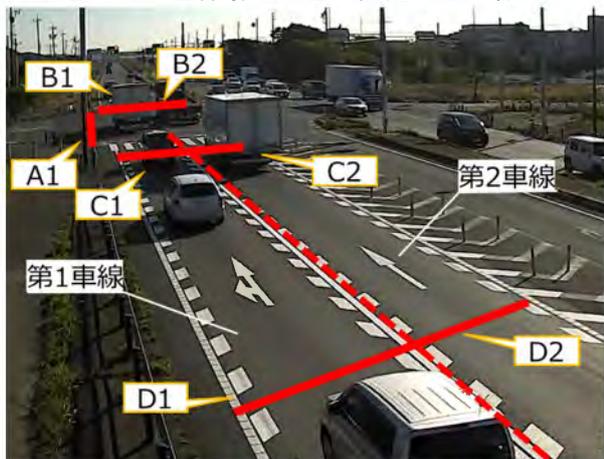


図-7 AI画像解析断面の設定（下り線）

## 5. AI画像解析による交通特性の把握

AI画像解析の結果を用いて、上下線別で速度や急制動を把握することにより、当該区間の交通特性を把握する。

## (1) 上り線

### a) 左折車両と直進車両の速度差による分析

上り線の車両を第1車線左折車両、第1車線直進車両、第2車線直進車両に分類し、それぞれの平均速度を算出した。図-8は第1車線左折車両と第1車線と第2車線の直進車両に分類して平均速度を算出したものである。左折車両の平均速度は34km/h、直進車両の平均速度は56km/hであり、市街地に流入する左折車両と直進車両で約20km/hの速度差が発生することを明らかにした。

### b) 左折関連車両と直進車両の急制動による分析

上り線の車両を直進車両と左折関連車両に分類し、急制動割合を算出した。左折する車両及び左折する車両に影響されると考えられる左折車両通過後3秒以内に通過する車両を合わせて左折関連車両と定義した。またその他の車両は直進車両とした。算出した結果を図-9に示す。図-9より、左折関連車両の急制動割合は約30%、直進車両の急制動割合は約20%と左折関連車両の急制動割合が高いことが確認された。

### c) 上り線まとめ

当該区間の上り線は走行速度の高い区間であるため、通常の交差点以上に左折する車両との速度差が大きくなっていることが考えられる。また、速度差が大きいためにより、左折関連車両の急制動が増加し、事故リスクが高まっていることが考えられる。

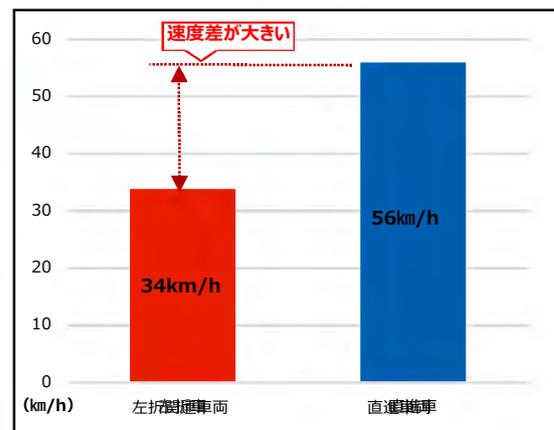


図-8 左折車両と直進車両の速度差（上り線）

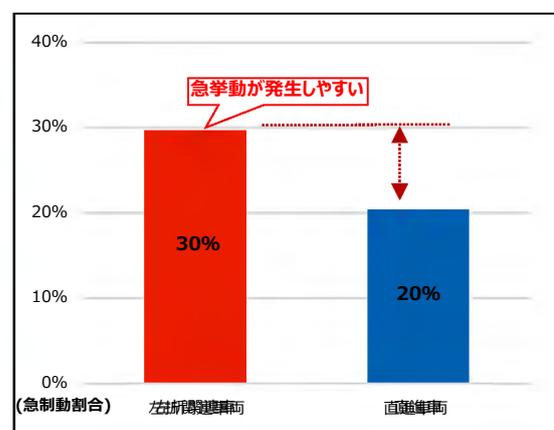


図-9 左折関連車両と直進車両の急制動割合（上り線）

## (2) 下り線

### a) 車線別の速度差による分析

上り線と同様に下り線の車両を第1車線左折車両、第1車線直進車両、第2車線直進車両に分類し平均速度を算出した。図-10は第1車線左折車両と第1車線直進車両を合計した第1車線の車両と第2車線の車両に分類して、平均速度をグラフ化したものである。第1車線の平均速度は約48km/h、第2車線の平均速度は約62km/hであり、第1車線の平均速度は第2車線と比較して約14km/h低いことが明らかとなった。当該区間の下り線は上り線と異なり左折後は市街地に流入しないため、左折交通量が少ない。そのため、第1車線と第2車線の速度差が発生する原因の内、左折車両による影響は少ないと考えられる。

### b) 車線別交通量による分析

そこで、第1車線と第2車線の交通量の比較を行った。図-11は交通量の最も多い時間帯である8時台の交通量を比較したものである。図-11より、第1車線は313台、第2車線は227台と交通量の偏りが見られた。これは交差点の西側に位置する篠原ICオフランプに流出する車が篠原東交差点より手前の段階で第1車線に車線変更していることが要因と考えられる。また、交通量の偏りにより第1車線は第2車線と比較して混雑しているため、第1車線の平均速度が低いと考えられる。

### c) 下り線まとめ

下り線は第1車線側に追突事故が多発している区間である。下り線の分析結果より、第1車線への交通量の偏りにより第1車線の走行速度が低下し事故リスクを高めていると考えられる。

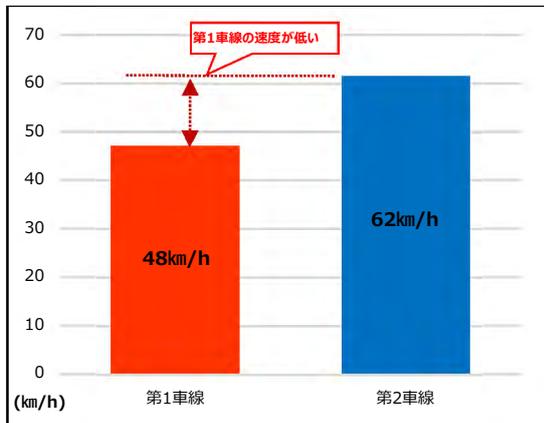


図-10 第1車線と第2車線の速度差（下り線）

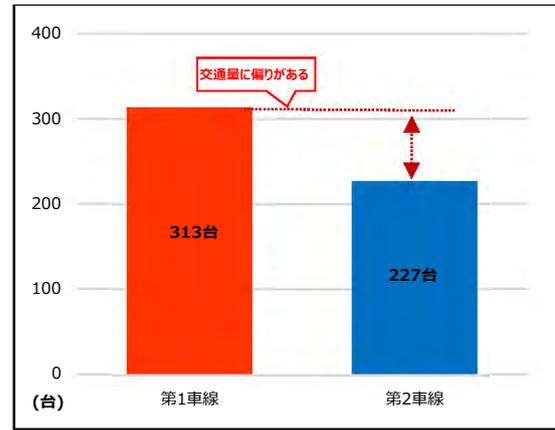


図-11 第1車線と第2車線の交通量（下り線）

## 6. 結論

今回の分析では、AI画像解析を用いることで上下線それぞれの交通特性による事故要因を明らかにした。

上り線はAI画像解析を用いることで左折関連車両と直進車両を分類し、直進車両・左折関連車両の速度差及び急制動割合を分析した。分析により左折関連車両と直進車両に大きな速度差が発生し事故リスクが高まっていることを明らかにした。

下り線はAI画像解析を用いることで第1車線と第2車線を分類し、車線ごとの速度差及び交通量差を分析した。第1車線と第2車線の交通の偏りにより第1車線の速度が低下し事故リスクが高まっていることを明らかにした。

## 7. 今後の展望

今回の分析により篠原東交差点の交通特性を明らかにし、その対策方法について検討した。一方で、今回の分析により篠原東交差点の事故要因には篠原ICが大きく影響していることも確認された。今回の分析で因果関係を明らかにできていない上り線篠原ICオンランプ付近においてもAI画像解析を実施することで、オンランプ利用車が篠原東交差点に与える影響の分析が必要と考える。

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。

# パフォーマンスマネジメントに基づく道路サービス評価と交通課題分析手法の提案

○澤村悠貴<sup>1</sup>・六反雅登<sup>1</sup>・高村真一<sup>1</sup>・稲富貴久<sup>1</sup>・大田菜央<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup>パシフィックコンサルタンツ株式会社九州支社（〒812-0012 福岡県福岡市博多区博多駅中央街7番21号）

本研究では、中部地方整備局管内の主要幹線道路を対象に、パフォーマンスマネジメントの観点での①目標サービスレベルの設定、②サービス速度低下区間の抽出、③渋滞要因分析を行った。各項目別に従来型の分析・評価手法と本研究の分析・評価手法を比較し、それぞれの有効性を検証した。本研究の成果は、パフォーマンスマネジメントに基づく道路サービス評価と交通課題の可視化に資するものであり、今後の効率的かつ持続可能な道路整備・運用方針の検討に有用な知見を提供する。

**Key Words** : パフォーマンスマネジメント, 目標サービスレベル, 混雑時・閑散時旅行速度, ETC2.0プローブデータ, 時間帯別混雑度, 青時間比, 信号オフセット

## 1. はじめに

令和5年10月、国土交通省は将来の高規格道路の実現に向けた政策集「WISNET2050・政策集」<sup>1)</sup>を公表し、従来型の交通需要追従型の道路整備から「サービスレベル達成型」の道路整備への転換を示した。この方針は、時間的・空間的に偏在する交通需要や渋滞に対し、パフォーマンスマネジメントにより道路利用者のサービス向上を目指すものである。

パフォーマンスマネジメントとは、時間的・空間的に偏在する交通需要や渋滞に対して、ETC2.0プローブデータなどのビッグデータから「時間別・箇所別・方向別」のパフォーマンスが低い箇所のメカニズムを分析し、ボトルネック対策を効率的・効果的に実施することで道路ネットワーク全体のサービス向上を目指すものである。本研究では、中部地方整備局管内の主要幹線道路（対象路線は守秘義務上名称を伏せ、以下『路線X』と記載する。）を対象に、パフォーマンスマネジメントの観点での①目標サービスレベル（旅行速度）の設定、②サービス速度低下区間の抽出、③渋滞要因分析を行った。

本稿は実務に基づく研究成果であり、検討過程で得られた成果の一部について許諾を得てとりまとめたものである。

## 2. 目標サービスレベル（旅行速度）の設定

### (1) 着眼点

従来型のサービスレベル基準（一般道混雑時：20km/h）の達成だけでは「サービスレベル達成型」の道路整備としては不十分である。一方で道路構造や地域実態を無視した過度な目標設定も現実的ではない。そこで本研究では、地域の実態に即しつつ、将来の道路運用にも耐えうる現実的なサービスレベルを設定するための指標体系を独自に考案した。

### (2) 検討方針

物流施設の立地状況やETC2.0プローブデータ（業務内で発注者より利用許諾を受け使用）の活用により把握したOD交通量・利用経路を踏まえ、路線XをA・B・Cの3地区に分割した。各地区を「沿道施設占有率」「交差点密度」「接続先路線のサービス速度」の3つの評価指標により評価し、目標サービスレベルを設定した。各指標の考え方を以下に述べる。

#### a) 指標①:沿道施設占有率

沿道利用が多いほど右左折交通が増加し直進車の交通阻害が発生するため、道路サービスが低下する。そこで、地区全長に対する沿道施設区間長の占める割合を「沿道施設占有率」として定量的に評価した。

#### b) 指標②:交差点密度

信号交差点が多いほど停発車の頻度が増加し、道路サービスが低下するため、交差点密度（単位延長あたりの信号交差点数）により定量的に評価した。

表-1 路線Xの目標サービスレベル

地区	A地区	B地区	C地区
延長	約 5 km	約 9 km	約 7 km
沿道施設占有率	73%	33%	43%
交差点密度 (信号交差点数/km)	2.3	1.0	1.3
接続先路線のサービス速度	40km/h	—	60km/h
目標サービスレベル	40km/h	60km/h	60km/h
参考) 各区間の規制速度	60km/h	60km/h	60km/h

c) 指標③: 接続先路線のサービス速度

隣接路線との速度ギャップが大きいとサービス速度の遷移箇所が新たなボトルネックとなることが懸念される。そこで、接続先路線のサービス速度との整合性を指標の一つとして設定した。本研究では接続先路線の規制速度をサービス速度と定義した。

(3) 検討結果

分析結果を表-1に示す。A地区は、沿道施設・交差点ともに多く、高い目標設定が困難であるため、接続先路線と連続した40km/hに目標値を設定した。一方、C地区は、沿道施設・交差点ともに少ないため、接続先路線と連続した60km/hに目標値を設定した。B地区は、C地区と同程度の沿道施設占有率・交差点密度であることと、課題抽出を広げる観点で、C地区と同じく60km/hに目標値を設定した。

3. サービス速度低下区間の抽出

(1) 着眼点

従来は、通勤ラッシュなどのピーク時や昼間時間帯の交通量・旅行速度・渋滞損失時間などの指標による道路サービスの分析・評価が主流であった。

しかし本研究では、交通量の少ない閑散時（深夜時間帯）の旅行速度に着目した分析を行い、混雑時だけでなく閑散時においても速度低下が発生する区間を抽出することで恒常的な道路構造上の課題を有する区間を抽出する点に新規性がある。

表-2 混雑時・閑散時旅行速度分析に使用したデータ

項目	概要
使用データ	ETC2.0プローブ情報
分析時間帯	R6.5月平日データ 混雑時：7～8時台 閑散時：22～5時台
集計単位	DRM区間単位で各区間・時間帯の50%タイル値 (様式2-3)

(2) 検討方針

表-2に示すデータを使用し、混雑時・閑散時の旅行速度を分析し、区間別に設定した目標サービスレベルと比較しサービス速度低下区間を抽出した。

(3) 検討結果

分析結果を図-1に示す。混雑時・閑散時ともに目標値を下回る区間が多く確認されており、これら区間の目標達成のためには道路構造上の課題を解決する抜本的な渋滞対策（立体化、交差点集約・信号撤去等）の必要性が示唆された。

路線全体で見ると、特にA地区の区間αにおいて混雑時・閑散時ともに目標値を大きく下回り、顕著な速度低下が確認される結果となった。これを踏まえ、次章ではA地区に着目した渋滞要因分析を行う。

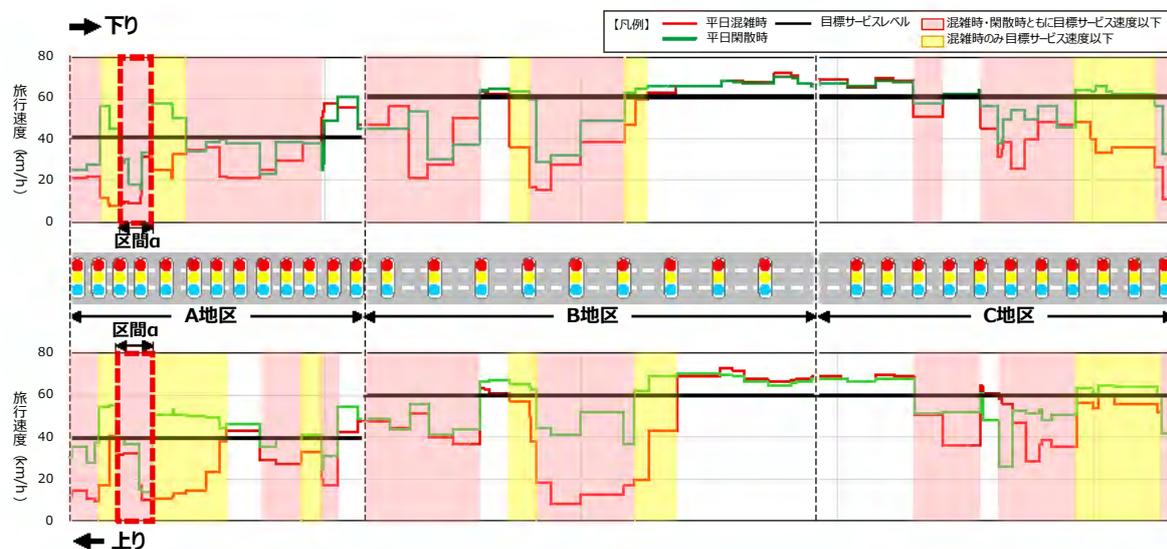


図-1 路線Xの混雑時閑散時旅行速度分析結果

#### 4. 渋滞要因分析

##### (1) 検討方針

本研究では、A地区の渋滞要因を特定するためにパフォーマンスマネジメントの観点で実施した、①混雑時・閑散時旅行速度分析(100mピッチ)、②車線別渋滞発生状況分析、③道路構造上の課題分析(交差点間距離・信号現示)の3つの分析手法及び結果を紹介する。

なお、検討の過程では、いわゆる従来型の要因分析である、ETC2.0プローブデータやナンバープレート調査結果を活用した車両ODや流入出経路に着目した渋滞要因分析も実施しているが、本稿の趣旨から外れることに加え、検討箇所の特定を避けるため本稿では守秘義務上の観点から詳細は割愛する。

##### (2) 検討結果

###### a) 分析①:混雑時・閑散時旅行速度分析(100mピッチ)

ボトルネック箇所を詳細に特定するため、A地区約6kmを対象に、ETC2.0プローブデータの個別別速度データ(様式1-2)を用いて、2章で行った分析よりも微小な区間(100mピッチ)での混雑時・閑散時旅行速度分析を行った。なお、様式1系は2系と比べデータ量が膨大なため、データ分析期間はR6.5.20~24の平日5日間に限定した。

分析結果を図-2に示す。分析の結果、2章の分析結果よりも実際の交通流に近い滑らかな速度分布を得ることができた。その結果、交差点βを起点とした速度低下が最も顕著であることを示し、局所的なボトルネック箇所を特定した。この結果を踏まえ、次項b)c)ではボトルネック交差点β及び隣接交差点γ・δ(βの南側交差点をγ、北側交差点をδとする)に焦点を当てた渋滞要因分析を実施する。

###### b) 分析②:車線別渋滞発生状況分析

交差点βの車線別交通量・渋滞長・滞留長調査を実施し、「最大渋滞長」「時間帯別混雑度」を指標として時間的・空間的な交通需要の偏在状況を分析した。

ここで時間帯別混雑度 $X_i$ は渋滞長を需要として加味した交通量を交通容量で除したものと設定し、次の式(1a・1b)により算出した。

$$O_i = Q_{max}/D_i \quad (1a)$$

$$D_i = Q_i + (L_i/l) \quad (1b)$$

ここに、 $X_i$ :時間*i*における混雑度、 $Q_{max}$ :交通容量、 $D_i$ :時間*i*における需要交通量、 $Q_i$ :時間*i*における捌け交通量、 $L_i$ :時間*i*の計測時間帯末尾における渋滞長、 $l$ :車頭間隔である。本研究では交通容量 $Q_{max}$ は連続した渋滞発生時間帯における平均10分間捌け交通量、車頭間隔 $l$ は一律7mで設定した。100%を超える場合に飽和状態にあると評価する。

分析結果を図-3に示す。分析の結果、上り方向においては第3車線に交通が集中し渋滞が発生、下り方向においては複数車線にわたり隣接交差点を跨ぐ渋滞が発生していることが確認された。

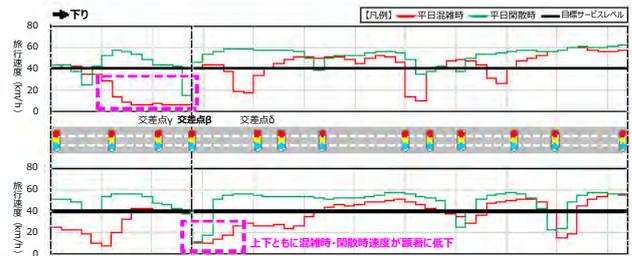


図-2 A地区の100mピッチ混雑時・閑散時旅行速度

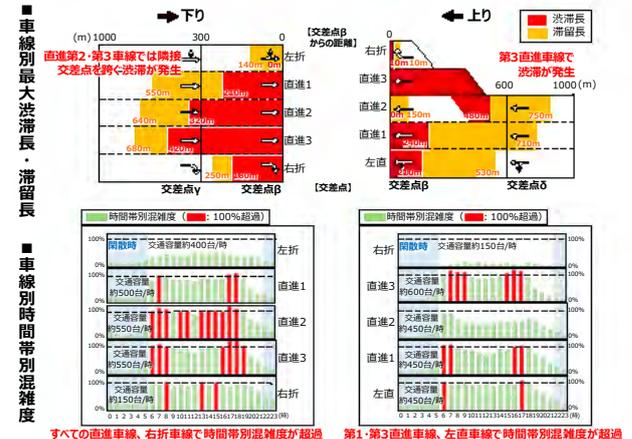


図-3 車線別最大渋滞長・滞留長, 時間帯別混雑度

加えて、下り方向の直進車線では多くの時間帯で時間帯別混雑度が100%を超過しており、特に大きな交通課題が発生していることを定量的に把握できた。

###### c) 分析③:道路構造上の課題分析(青時間比・信号オフセット)

交差点βにおける閑散時の速度低下要因を明らかにするため、隣接交差点γ・δと合わせて道路構造上の課題に着目した分析を行った。

まず、信号の青時間比に着目した分析として、閑散時(0時台)の各交差点の青時間比を整理した(図-4)。本線直進方向の青時間は、交差点βは約35%、隣接交差点は約6割と交差点βは隣接交差点に比べて著しく小さい青時間となっており、交差点βは閑散時であっても信号待ちが発生しやすい構造であることが確認された。

さらに、3交差点の信号オフセットデータ(0時台)と交差点間の移動にかかる時間を組み合わせ活用した通過確率分析を実施した。

ここで、交差点間の移動速度は、本線の規制速度及び100mピッチの混雑時・閑散時旅行速度(図-2)を参照し、60km/hで走行すると設定した。

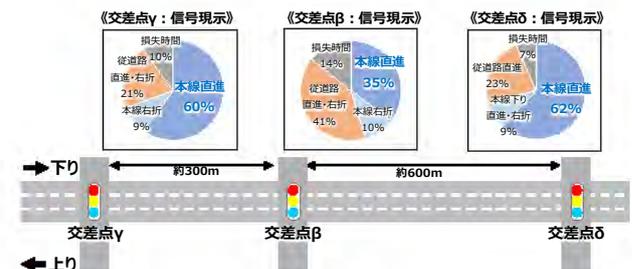


図-4 閑散時間帯の青時間比

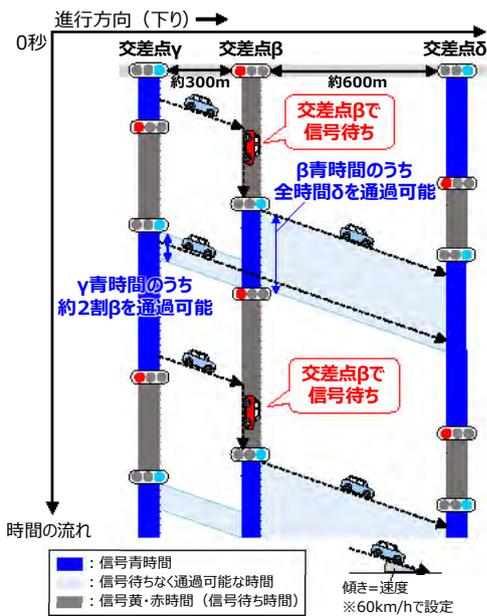


図-5 信号オフセット・交差点間の移動時間を考慮した通過確率分析

下り方向の走行に着目した分析結果を図-5に示す。交差点β→δ間においては、進行方向の時間の流れに沿った信号オフセット設定となっているため、βを通過した車両の全車両が信号待ちすることなくδを通過できる。一方、交差点γ→β間においては、進行方向の流れに逆行した信号オフセット設定となっているため、交差点γを通行した車両のうち交差点βを信号待ちなく通過できる車両は約2割と信号待ちが生じやすい状況にある。※ただし、今回設定した移動速度で発進遅れなく走行した場合に限る。

また、上り方向については、進行方向が逆転するため、交差点β→γ間では信号待ちが生じにくく、交差点δ→β間では信号待ちが生じやすい構造となっている。

すなわち、上下ともに交差点βで信号待ちが生じやすく、流出後はスムーズに通過できる構造となっている。この結果は分析①で得られた速度分布の傾向とも整合する。

以上より、交差点βは閑散時においても信号待ちが生じやすい道路構造になっていることが分かる。

## 5. 総括・今後の展望

### (1) 総括

本研究では、主要幹線道路をケーススタディとしたパフォーマンスマネジメントの観点での道路サービス評価と交通課題分析を行った。

目標サービス速度の設定では、「沿道施設占有率」「交差点密度」「接続先路線のサービス速度」の3指標を用い、区間ごとの地域特性を踏まえた実効性の高い目標サービスレベルを設定した。

サービス速度低下区間の抽出では、目標サービスレベルと混雑時・閑散時旅行速度の比較により、両時間帯で目標を下回る区間を抜本的な対策が必要な区間として抽出した。

渋滞要因分析では、100mピッチの混雑時・閑散時旅行速度分析によるボトルネック箇所の特定、車線別渋滞発生状況分析による交通需要の偏在状況（渋滞車線）を明らかにした。さらに、青時間比、信号オフセット等データに着目した分析により、交差点βが閑散時においても信号待ちが生じやすい構造的課題を有することを示した。

### (2) 留意点

本研究は実務上の制約から、一部分は簡易化していることに留意されたい。例えば、時間帯別混雑度を使用する交通容量の算定にあたっては、本来であれば平面交差の計画と設計<sup>2)</sup>に基づきサイクルあたりの通過台数を調査したうえでの算出が望ましいが、本研究では調査対象範囲・時間帯の拡大を優先した結果簡易的な設定手法を採用している。

本研究はケーススタディに基づくものであり、本稿では詳細を割愛したが、実際の分析方針・手法は、事前の現地調査や基礎的な交通状況分析結果に基づき、想定される渋滞要因の仮説を立てたうえで設定している。したがって、本研究の手法をそのまま適用するのではなく、対象区間・箇所の特性に応じた調査・検討を行い、適切な検討方針を立案することが重要である。また、従来型の分析を否定するものではなく、必要に応じた使い分けが重要である。

### (3) 今後の展望

目標サービスレベルの設定では、現況の地域特性に加え、将来のあるべき姿や周辺の都市計画等を反映した目標設定方法について検討する。

サービス速度低下区間の抽出では、目標値を下回る頻度・割合や影響範囲を考慮し、対策必要性・優先度の判断に活用できる分析へと発展させる。

渋滞要因分析では、車線変更や走行軌跡など動的な交通流解析を導入する。

さらに、得られた結果を踏まえて効果的な対策案を立案し、マイクロシミュレーション解析や将来交通量推計、性能照査<sup>3)</sup>などを通じて、その実効性を検証していく。

### 参考文献

- 1) 国土交通省道路局:WISNET2050・政策集, 2023.10. 国土交通省HP.
- 2) 交通工学研究会編: 平面交差の計画と設計〔基礎編〕—計画・設計・交通信号制御の手引, 交通工学研究会, 2018.
- 3) 一般社団法人交通工学研究会: 機能階層型道路ネットワーク計画のためのガイドライン(案) Ver2.0, 2024.

# MWDおよびFWD調査を活用した舗装修繕設計

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

<sup>1</sup>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)

我が国の道路整備は、昭和29年度に始まる第1次道路整備五箇年計画から本格化し、以来、道路網の整備が急速に進められている。膨大な道路ストックが形成され、これらの適切な維持管理が重要となっている。また、高度経済成長期以降に整備したインフラが一斉に老朽化することが見込まれており、点検および基準の法定化など道路の老朽化対策が推進されているところである。これらを背景に、舗装に関しても長寿命化・ライフサイクルコストの削減など効率的な維持修繕の実施が求められている。

本稿では、MWD (Moving Wheel Deflectometer) 調査およびFWD (Falling Weight Deflectometer) 調査を実施し、現状の舗装支持力を評価した上で舗装修繕設計を実施した事例を紹介する。

**Key Words** : MWD 調査, FWD 調査, スコープ調査, 舗装修繕設計, ライフサイクルコスト, アスファルト舗装, コンクリート舗装

## 1. はじめに

業務対象であった、国道 (N7交通) の舗装点検を実施した結果を踏まえ、Ⅲ判定個所においてMWD調査およびFWD調査を実施し、現状の舗装支持力を評価した上でライフサイクルコスト検討による舗装修繕設計の適正化を図ったものである。

## 2. 存在した課題

対象路線において舗装維持管理を適正に行う上で存在した課題を次に述べる。

### (1) 現状の舗装支持力を把握した修繕設計実施

アスファルト舗装点検は、調査項目「ひび割れ率・わだち掘れ量・IRI」を路線における管理基準に照らし評価し、表-1<sup>1)</sup>に示すように健全性をⅠ～Ⅲにて判定するものである。Ⅲ判定が舗装修繕段階であり、表層等修繕段階 (Ⅲ-1判定) と路盤等打換段階 (Ⅲ-2判定) に分類されるが、供用目標年数に応じた「みなし判定」となっており現状の舗装健全性を正確に把握できない可能性がある。

対象路線における点検結果では、供用目標年数の関係より17区間のⅢ-1判定区間が存在した。ただし部分補修を繰り返している区間(写真-1)や車両走行位置に縦方向ひびわれが存在している区間(写真-2)等、路盤等打換段階に該当する可能性の高い区間が複数存在した。

そのため、ライフサイクルコスト検討を踏まえた適正な舗装修繕設計の実施には、現状の舗装支持力を把握する必要がある。

表-1 アスファルト舗装の点検判定区分<sup>1)</sup>

区分		状態
Ⅰ	健全	損傷レベル小:管理基準に照らし、劣化の程度が小さく、舗装表面が健全な状態である。
Ⅱ	表層機能保持段階	損傷レベル中:管理基準に照らし、劣化の程度が中程度である。
Ⅲ	修繕段階	損傷レベル大:管理基準に照らし、それを超過している又は早期の超過が見られる状態である。
	(Ⅲ-1 表層等修繕)	表層の供用年数が使用目標年数を超える場合(路盤以下の層が健全であると想定される場合)
	(Ⅲ-2 路盤打換等)	表層の供用年数が使用目標年数未満である場合(路盤以下の層が損傷していると想定される場合)



写真-1 繰り返り部分補修区間



写真-2 縦方向ひびわれ区間

## (2) 交通規制を縮小した詳細調査の実施

現状の舗装状態を把握するための詳細調査手法には開削調査やFWD調査等があるが、いずれも舗装の掘り返しやスコープ調査における削孔等、交通規制が必要となる(写真-3)。対象路線は、交通量も多く規制による社会的損失も大きくなる。

そのため、対象路線に存在した17区間における調査を効率的に実施し、規制による社会的損失を縮小する必要があった。



写真-3 FWD調査による交通規制状況

## 3. MWDおよびFWD調査の実施

舗装構造の健全性を把握する手段として、近年多くの現場で活用されているFWDによるたわみ量調査が挙げられる。

FWD調査は、停車した車両から路面に重錘を落下させた時に得られるたわみ量(D0~150)を計測し、そのデータを解析することにより舗装構造の健全性として各層の残存等値換算係数や路床CBRを推定できる手法である。

一方、MWD調査は、車載する3つのレーザードップラー振動計により走行しながら測定するため、交通規制を必要とせず調査は可能であるが、取得情報がたわみ量(D0)のみであり舗装修繕設計の実施には情報が不足する(表-2)。

表-2 MWD調査およびFWD調査の概要

手法	MWD調査	FWD調査
交通規制	必要としない	必要とする
車両外観		
計測状況		
取得情報	たわみ量(D0)	たわみ量(D0~150) 路床CBRの推定 弾性係数(解析)
作業能力	約70km/日 ※付加車線除く	約1.5km/日 ※交通規制時間含む

そのため、MWD調査にてたわみ量を指標としたグルーピングを行い、支持力低下の懸念のある箇所にてFWD調査を実施した。これにより、規制を伴う調査を最小限としながら現状の舗装支持力を効率的に把握し、舗装修繕設計へ反映した。

## (1) MWD調査により取得したたわみ量の判断

MWD調査により取得したたわみ量については、支持力が不足しているか否かを判断する目安として以下の表が用いられている(表-3)<sup>2)</sup>。対象路線はN7交通区分であり、許容たわみ量として300 $\mu$ mを判断の目安とした。

表-3 許容たわみ量の目安<sup>2)</sup>

舗装計画交通量 (台/日・方向) 旧設計交通量の区分	100未満	100以上 250未満	250以上 1000未満	1000以上 3000未満	3000以上	
	N3(L)	N4(A)	N5(B)	N6(C)	N7(D)	
許容たわみ量の基準値 共用時	1300	900	600	400	300	
たわみ量 ( $\mu$ m)	1300以上	900~1300	600~900	400~600	300~400	300以下

## (2) MWD調査結果の評価方針

舗装点検結果Ⅲ判定区間において、測定したたわみ量が許容たわみ量を下回っていれば、舗装の支持力には問題がないと判断できるため、①舗装点検結果Ⅲ-1判定区間で、許容たわみ量を満足しない区間は、FWD調査を実施し既存舗装の健全性を評価した上で舗装修繕設計にて断面を設定するものとした。②舗装点検結果Ⅲ-1判定区間で、許容たわみ量を満足する区間は、表層等修繕段階としオーバーレイによる舗装修繕と設定した。図-1は、たわみ量(D0)を図示したもので、舗装点検ではⅢ-1判定箇所であるが支持力に懸念がありFWD調査実施が推奨される区間を抽出したものである。

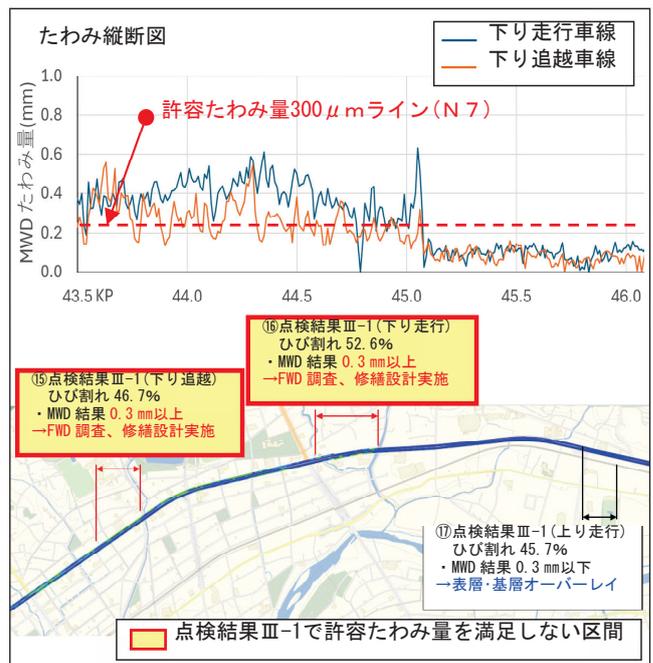


図-1 MWD調査結果によるFWD調査箇所抽出例

### (3) MWD調査実施の効果

MWD調査の結果より、舗装点検Ⅲ-1判定17区間のうち6区間においては、許容たわみ量を上回っており、路盤等打換段階に該当する可能性の高い区間と推定し効率的にFWD調査箇所を選定した。また、許容たわみ量を下回っている代表1区間について、MWDの調査精度を検証するためFWD調査を実施した結果、表層修繕段階と判断されMWD調査の有効性を検証した。

これらの調査を組み合わせることにより、現状舗装の支持力を定量的に評価し、路盤等打換段階に該当する可能性の高い区間を抽出し、効率的かつ効果的に舗装詳細調査を実施した。

### 4. MWDおよびFWD調査結果の検証

MWD調査の効果は、外観目視にて使用目標年数との関係よりⅢ-1、Ⅲ-2と診断されたものに対して、たわみ量からその区分の妥当性を定量化できることにある。調査結果からFWDとMWDのたわみ量(D0)については、FWDの方が比較的大きな数値が出る傾向であった。しかし、許容たわみ量の超過という観点では、同じ結論が得られており、FWD実施箇所選定のスクリーニングとしてMWDが有効であること並びに舗装点検における「みなし判定」の精度の問題も明瞭となった(図-2、図-3)。

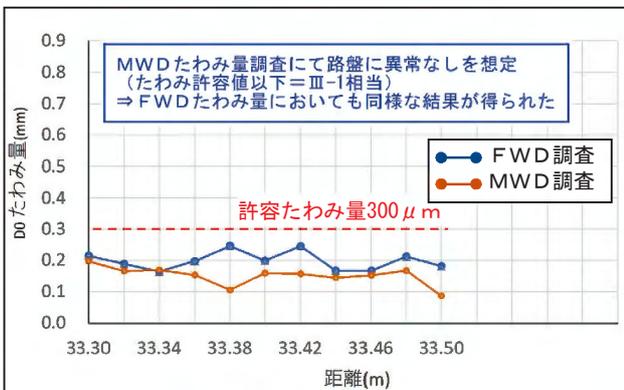


図-2 MWDおよびFWD調査結果の検証例-1

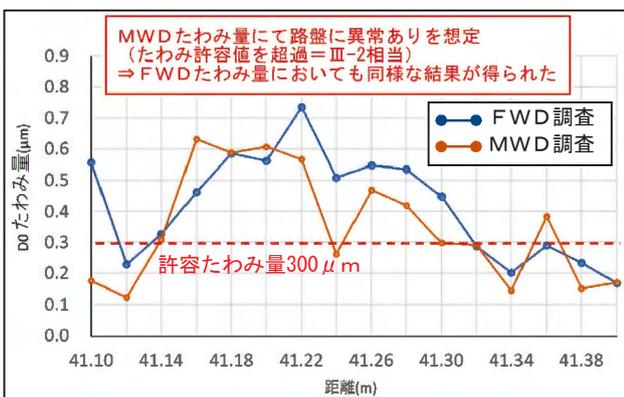


図-3 MWDおよびFWD調査結果の検証例-2

### 5. 舗装修繕設計の実施

同業務にて国道事務所管理道路全線に対して実現可能な舗装種別をスクリーニングし、ライフサイクルコストを考慮した舗装種別の選定<sup>3)</sup>を実施した。ただし、この検討は舗装計画交通量と設計CBRに基づくものであり、既設アスファルト舗装の全層打ち換えかコンクリート舗装への変更かが主となる検討で、多くの区間でコンクリート舗装が有利となる結果となった。しかしこの場合、既設舗装の健全性が評価されておらず、実態に即していない。

前述のとおり、MWDおよびFWD調査を実施した区間では既設舗装の構造が評価可能となったため、その範囲に対してアスファルト舗装に既設の健全性を考慮した案を加えて検討した。

#### (1) 調査結果を踏まえたアスファルト舗装構成

FWD調査およびスコープ調査にて取得した「たわみ量D0~D150」および「現況舗装厚」より、逆解析にて推定した弾性係数を用い残存等値換算係数を設定する。これにより、各層の残存TAおよび路床のCBRを推定することが可能となり、既設舗装の健全性を評価することで、修繕すべき層が明確となる。

修繕すべき層が明確となることで、既存の舗装状態を踏まえた最適な舗装構成を検討することが可能となる。対象路線における既設舗装健全性を踏まえた舗装構成の検討例として「①全層打換え工(標準舗装構成)」、「②路上路盤再生工(上層路盤工を再生し活用)」、「③施工性を考慮した高耐久Asの活用」等を立案した(表-4)。

表-4 舗装構成提案例

	現況	Σt=51cm	計画	Σt=63cm
【案1】 全層打換え工 (標準舗装構成)	既設As層 (アスファルト混合物) t=16cm 既設路盤(粒調碎石) t=15cm 既設路盤(切込碎石) t=20cm 路床 設計CBR=12% 必要TA=33 N7交通		表層(※1※改質As13H型) t=5cm 中間層(粗粒As20改質Ⅱ) t=5cm 基層(再生粗粒As20) t=5cm 上層路盤(遅安定処理) t=8cm 上層路盤(粒調碎石) t=20cm 下層路盤(再生碎石) t=20cm 路床 設計CBR=12% 必要TA=33 N7交通	
【案2】 路上路盤再生工 (上層路盤工を 再生し活用)	既設As層 (アスファルト混合物) t=16cm 既設路盤(粒調碎石) t=15cm 既設路盤(切込碎石) t=20cm 路床 設計CBR=12% 必要TA=33 N7交通		表層(※1※改質As13H型) t=5cm 中間層(粗粒As20改質Ⅱ) t=5cm 基層(再生粗粒As20) t=5cm 路上路盤再生 t=25cm 既設路盤(切込碎石) t=11cm 路床 設計CBR=12% 必要TA=33 N7交通	Σt=51cm
【案3】 施工性を考慮した 高耐久Asの活用	既設As層 (アスファルト混合物) t=16cm 既設路盤(粒調碎石) t=15cm 既設路盤(切込碎石) t=20cm 路床 設計CBR=12% 必要TA=33 N7交通		表層(高耐久As) t=5cm 中間層(高耐久As) t=10cm 基層(再生粗粒As20) t=5cm 既設路盤(粒調碎石) t=11cm 既設路盤(切込碎石) t=20cm 路床 設計CBR=12% 必要TA=33 N7交通	Σt=51cm

対象区間の調査結果にもよるが、各案は次の傾向が見られる。①は不足TAが大きく既存の路盤に問題が大きい場合に優位となる。②は既存の路盤に残存TAがあり、路上路盤再生にて既存の路盤が活用可能な場合に優位となる。③は不足TAが小さく既存の路盤に問題がない場合、沿道の利用状況により、早期解放が必要な場合等に優位である。

施工条件による制約や顕著な劣化が見られる層を対象とした新技術・新工法の活用により、効果的に長寿命化を図った舗装構成を立案した。

## (2) 既設舗装の健全性を考慮した舗装種別選定

スクリーニングの結果、コンクリート舗装が実現可能な区間においては、多くの区間でコンクリート舗装が経済性に優位であった。今回の調査結果より、現在供用中の路線における既設舗装の健全性を考慮

し舗装種別選定を実施した結果、「案1：アスファルト舗装の全層打換え」に対し、初期コストおよび施工時の渋滞損失等も縮小可能な「案2：路上路盤再生」が優位な結果となった。(表-5)

## (3) 供用中路線における舗装種別選定

今回の検討結果より、供用中路線における舗装種別選定では、舗装詳細調査により既設舗装の健全性を正しく評価し検討することが必要である。ただし、FWD調査は規制を必要とし、調査が大掛かりとなるため、規制を必要としないMWD調査にてスクリーニングやグルーピング等を事前に実施し、効率的に調査を行うことが重要であると考えられる。

## 6. まとめと今後の展望

舗装構造調査により、現状の舗装支持力を効率的かつ適正に評価し、舗裝修繕設計を実施した。また、MWDとFWD調査結果を比較検証することでMWD調査が有効な調査手段であることを実証した。

今後、舗装の老朽化がさらに進行することが予測される中、少子化による建設労働人口の減少等の社会的問題から維持管理の省力化がより一層求められる。

こうした背景を踏まえ、舗装の長寿命化・ライフサイクルコストの削減を目指し、効率的な維持修繕の実現に貢献していきたい所存である。

表-5 LCCを考慮した舗装種別選定例

		アスファルト舗装	
		案1 全層打換え	案2 路上路盤再生
舗装断面	N7交通	●N7交通、CBR12% 表層(密粒度As) t=5cm 中間層(粗粒度As) t=5cm 中間層(粗粒度As) t=5cm 上層路盤(粒度調整碎石) t=8cm 上層路盤(粒度調整碎石) t=20cm 下上層路盤(RC-40) t=20cm 計63cm	●N7交通、CBR12% 表層(密粒度As) t=5cm 中間層(粗粒度As) t=5cm 中間層(粗粒度As) t=5cm 路上路盤再生工 t=25cm 下上層路盤(RC-40) t=10cm 計50cm <small>※舗装構成より ・既存As舗装は撤去打換え ・スレタイザによる路盤のセメント改良</small>
		路床の設計 CBR	12%
経済性(LCC) (40年・10km当り)		4,742 百万	3,866 百万
スクリーニング項目 (留意点等)	沿道条件	○	○
	流動わだちへの耐久性	○	○
総合評価		○	◎
		コンクリート舗装	
		普通コンクリート	連続鉄筋コンクリート
舗装断面	N7交通	●N7交通、CBR12% コンクリート版(4.4MPa) t=30cm アスファルト中間層 t=4cm 粒度調整碎石 t=15cm 計49cm	●N7交通、CBR12% コンクリート版(4.4MPa) t=25cm アスファルト中間層 t=4cm 粒度調整碎石 t=15cm 計44cm
		路床の設計 CBR	12%
経済性(LCC) (40年・10km当り)		4,704 百万	4,537 百万
スクリーニング項目 (留意点等)	沿道条件	△	△
	流動わだちへの耐久性	◎	◎
総合評価			○

## 参考文献

- 1) 舗装点検要領, 平成29年3月, 国土交通省 道路局 国道・防災課
- 2) アスファルト舗装の詳細調査・修繕設計便覧, 令和5年3月, (公社)日本道路協会
- 3) 舗装種別選定の手引き, 令和3年12月, (公社)日本道路協会
- 4) 舗装設計施工指針, 平成18年2月, (公社)日本道路協会
- 5) 舗装調査・試験法便覧(第1分冊)第I章 総説編 第II章 調査編, 平成31年3月, (公社)日本道路協会
- 6) 舗装調査・試験法便覧(第2分冊)第III章 試験編, 平成31年3月, (公社)日本道路協会
- 7) 舗装調査・試験法便覧(第3分冊)第III章 試験編, 平成31年3月, (公社)日本道路協会
- 8) 舗装調査・試験法便覧(第4分冊)第III章 試験編, 平成31年3月, (公社)日本道路協会
- 9) FWDおよび小型FWD運用の手引き, 平成14年10月, 土木学会
- 10) コンクリート舗装ガイドブック2016, 平成28年3月, (公社)日本道路協会
- 11) コンクリート舗装に関する技術資料, 平成21年8月, (公社)日本道路協会
- 12) 舗装の維持修繕ガイドブック2013, 平成25年11月, (公社)日本道路協会

# 道路冠水の影響を考慮した道路計画検討

まつもとのおゆき はぎたしゅんべい こもり のりひこ  
○松本直幸<sup>1</sup>・萩田隼平<sup>1</sup>・小森紀彦<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 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 22-1）

本業務では、浸水被害が頻発する地域において、道路冠水を考慮した縦断計画を比較検討し、最適な縦断線形を立案した。冠水を回避するために道路高を冠水位面より上げる必要があったが、高架橋との建築限界の確保や排水方向の不明確さなど課題が多岐にわたった。これらの対応策として3次元CIMモデルを活用し、冠水範囲や冠水深を面的に照査した。これにより、冠水の影響が小さい縦断計画を立案し、更にヒートマップ図を作成して冠水深を確認することで、1車線以上の幅員で車両の通行が可能な縦断計画を立案することができた。CIMモデルにより、施工時の規制範囲や施工段階に応じた滞水状況の確認など、今後の活用も期待される。

**Key Words** : 道路詳細設計、平面交差点設計、BIM/CIM、浸水シミュレーション、冠水被害軽減、施工計画

## 1. はじめに

### (1) 業務の目的

本業務は愛知県東三河建設事務所から発注された業務で、集中豪雨による道路冠水の低減を図るため、豊川市小坂井町地内の国道151号の道路縦断および排水系統の見直しを目的に、道路詳細設計と交差点詳細設計を行ったものである。

### (2) 設計に至る背景

設計区間のうち、国道151号及び国道247号、宮下交差点の交差道路である国道1号は、重要物流道路に指定されており、昼夜を問わずに交通量が多い。また、設計区間は南部に豊川及び豊川放水路があり、洪水浸水想定が0.5～3.0m未満の区域に該当する。過去には設計区間の周辺で、豪雨等による道路冠水被害が多く発生している。(図-1)



図-1 設計対象位置図

#### a) 平成26年9月台風

平成26年9月に発生した台風では、当該区間は標高2.1m付近まで道路冠水したと推定される。

#### b) 令和3年7月豪雨

令和3年7月に発生した豪雨においても、標高2.1m付近まで道路冠水したと推定される。(写真-1)

#### c) 令和5年6月豪雨

令和5年6月に発生した豪雨では、国道151号だけではなく、国道1号や国道247号まで冠水範囲が広がったことで、多大な交通麻痺が生じた。浸水位は標高3.0mまで達したと推定される。(写真-2)



写真-1 R3.7 豪雨による冠水状況

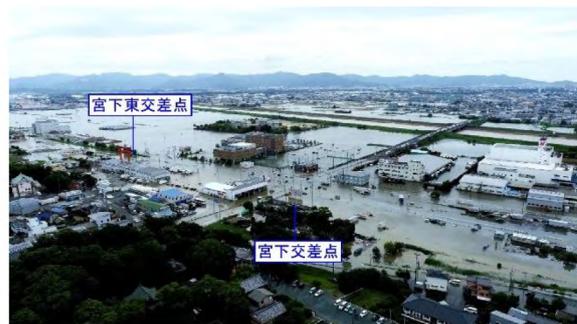


写真-2 R5.6 豪雨による浸水状況

### (3) 関連事業

本区間の関連事業として「国道151号 宮下交差点立体化事業」がある。当事業は主要渋滞箇所である宮下交差点の渋滞を緩和し、重要港湾である三河湾へのアクセス性の向上を図るために、小坂井跨線橋の立体部から連続し、宮下交差点を含む3交差点を跨いで本線高架橋を整備する事業である。当事業により高架部を通過する車両が増加することで、車両の浸水被害の軽減等は期待できる。(図-2、図-3)

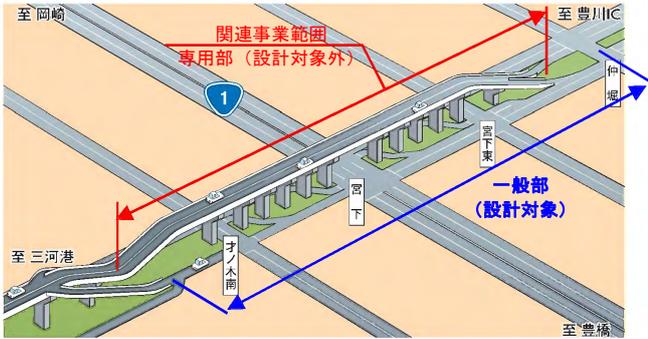


図-2 業務対象区間

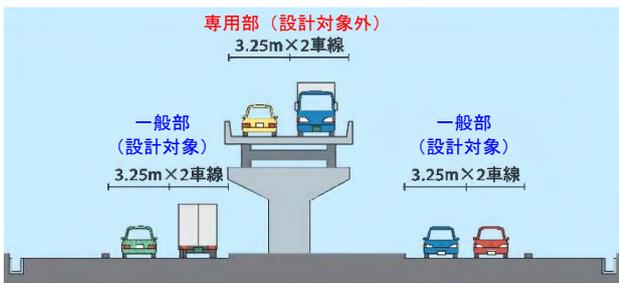


図-3 設計区間の断面図

今回の設計は、一般部側での道路冠水を緩和するために、これまでの冠水位高よりも道路の計画高を嵩上げる縦断計画を立案するほか、冠水時でも、1車線分(通行帯)を確保する縦断計画を検討した。

## 2. 縦断計画の立案に対する技術的課題

### (1) 建築限界を確保した縦断計画調整

設計区間では専用部の工事が進んでいるため、専用部の計画高は変更できない状況であった。そのため、一般部の縦断計画の立案では、立体交差点部の建築限界や、右折車線の設置区間における橋脚梁下位置での建築限界を確保しながら出来るだけ嵩上げた縦断計画を立案することが課題であった。

### (2) 緩やかな現況地形に伴う滞水への対応

現道の縦断勾配は1%程度と緩やかな地形であったほか、横断勾配との合成勾配により道路排水の流下方向が不明瞭で、道路上に滞水が発生する懸念があった。そのため緩やかな現況地形に対して、各地点の流下方向を把握しながら、道路上に滞水が生じない縦断計画を立案することが課題であった。

## 3. 解決策(課題を踏まえた計画検討)

### (1) 縦断計画のコントロールポイント

縦断計画の立案にあたり、次の点をコントロールポイントに設定し、計画高を検討した。(表-1)

表-1 縦断計画のコントロールポイント

① 国道1号の現況道路高(影響を与えない)
② 高架橋の桁下の建築限界の確保(交差点)
③ 高架橋の梁下の建築限界の確保(右折車線)
④ 過去の浸水被害を踏まえ、一定以上の浸水深を満足する計画高を確保(H=2.1m以上)
⑤ 道路内に滞水せずに流下可能な排水計画

※建築限界は、重要物流道路に指定されている場合はH=4.8m、指定されていない場合はH=4.5m

また、一般部の道路横断勾配についても、片勾配の付け方に応じて流下方向の調節(滞水の影響範囲)が可能となるため、橋脚梁下の建築限界をコントロールしながら、縦断の検討項目に加えた。(図-4)

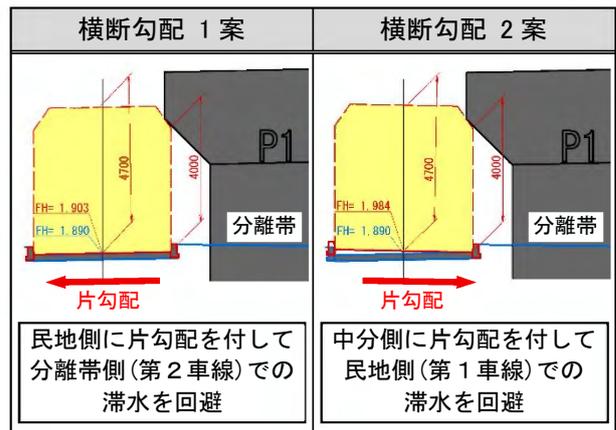


図-4 横断勾配の設定方法イメージ

### (2) 縦断計画の評価のためのCIMモデルの作成

道路に滞水が生じない計画高の確認や適切な排水処理が行われる縦断計画を立案するために、CIMモデルを作成し、冠水状況を確認しながら縦断計画を行うことを提案した。(図-5)



図-5 作成したCIMモデル

### (3) CIMモデルを活用した縦断計画の検証

#### a) 建築限界の確認

本計画において建築限界を確認する際の留意点は、交差点部の建築限界の確保に加えて、橋脚間を通過して右折車線の正対化を行う交差点計画に対して、右折車線が橋脚に接近する位置で、建築限界が確保されているか照査することにあつた。

そこで、3次元モデルに建築限界を表す境界線を設け、建築限界と橋脚との干渉を可視化して、立案した縦断計画に対して建築限界が確保されていることを確認した。(図-6、図-7)

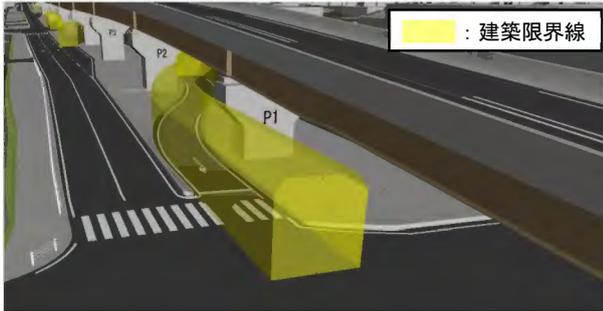


図-6 右折車線での建築限界の干渉チェック



図-7 橋脚との建築限界の干渉チェック

#### b) 浸水シミュレーションを用いた道路の冠水状況の可視化

複数の縦断計画に応じて、道路の冠水状況を確認するために、3次元モデルに浸水シミュレーション結果を重ねて、道路の冠水範囲を面的に可視化した。これにより、道路冠水が生じる水位高と冠水範囲を視覚的に確認することが可能となったほか、道路の合成勾配などで複雑に変化する流下方向に対して、道路滞水の発生状況の確認も可能となった。

今回検討した複数の縦断計画案に対して、滞水の影響が最も少なくなる縦断を選定した。また、水位面の高さが2.1m以内に収まっていれば、一般部においても、通行が可能な車線が概ね1車線分確保されていることを確認した。(図-8)

※水位面 2.1m は、令和3年豪雨や平成26年台風の被害と同程度のもので設定した値

なお、宮下交差点は国道1号の現況高に合わせる必要があるため、取付部周辺では冠水しない車線を確保することが出来ていない結果となった。そこで次項では、浸水深も併せて確認する手法を検討した。

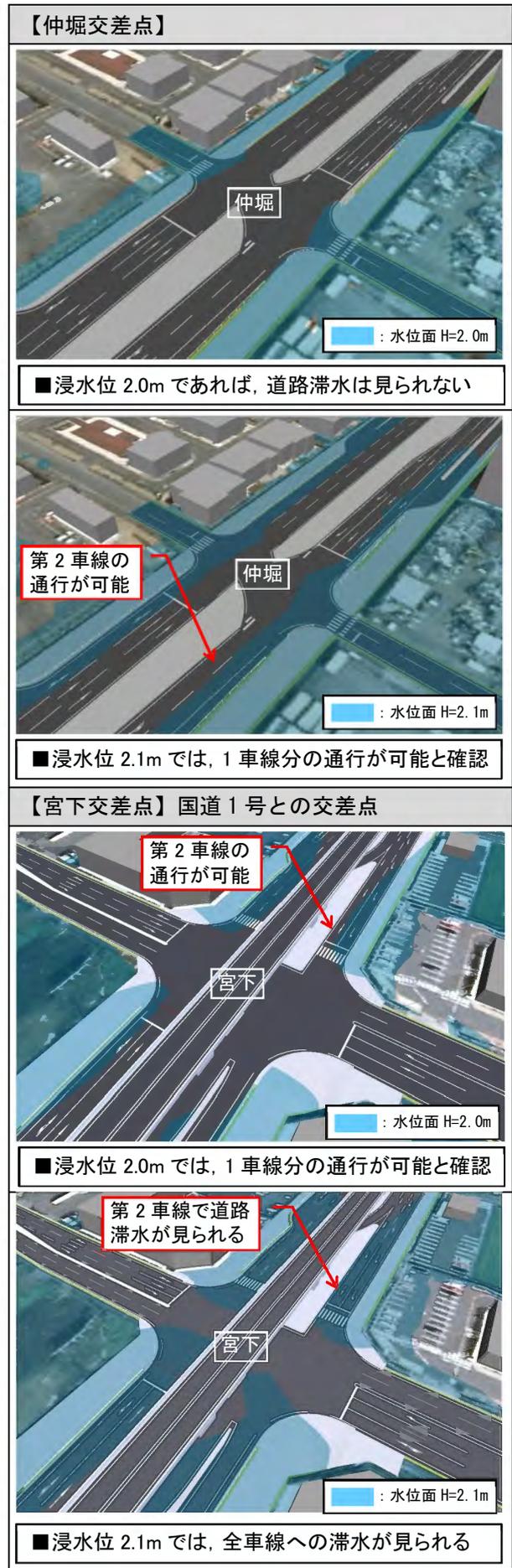


図-8 シミュレーションによる滞水状況の確認

### c) ヒートマップを用いた通行可能範囲の確認

浸水シミュレーションにより、道路の冠水状況を視覚化することができたが、浸水深を読み取ることが難しい。また、現実的に道路が冠水した場合でも数センチ程度の浸水深であれば、自動車は通行可能である。そこで水位と路面高の比高差（浸水深）を色分けしたヒートマップ図を作成し、自動車通行の可否について検証を行った。参考文献<sup>1)</sup>によると、30cm程度の浸水深であれば自動車通行が可能と示されていることから、ヒートマップ図上の浸水深が30cm未満は通行可能であると判断した。

前項の宮下交差点付近については、標高2.1mの水位で設計区間の全車線で滞水する結果であった。一方、ヒートマップ図を確認すると、第2車線の浸水深は10cm程度に収まっている結果であった。そのため、全車線で滞水はしているが自動車の通行は可能であることが判断できた。（図-9、図-10）

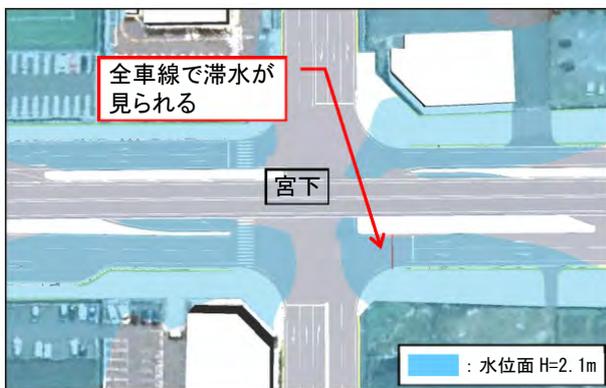


図-9 宮下交差点における滞水状況

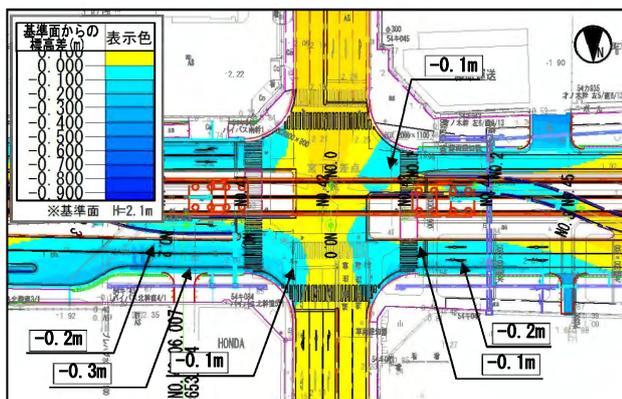


図-10 ヒートマップ図による浸水深の確認結果

## 4. まとめ

本業務では、道路滞水が生じない計画高の確認や適切な排水処理が可能な縦断計画を立案するために、CIM モデルを活用して縦断計画を検討した。また、浸水シミュレーションや、ヒートマップ図を用いて浸水深を可視化したことで、時間変化に伴う道路の冠水範囲を動的に確認し、冠水時の車両通行範囲や規制範囲も確認することが出来た。また、今回作成した3次元モデルを活用して4Dモデルを作成し、高架橋の架設を踏まえたステップ毎の一般道の切廻し方法や施工ヤード、規制範囲も可視化したことで、施工段階ごとの滞水状況の確認や対応策の検討等の活用も行うことができる。

今後は、設計段階での CIM 活用機会を広げていくために、ドライブシミュレーションによる視距確認や標識設置等の様々な検討に活用する次第である。

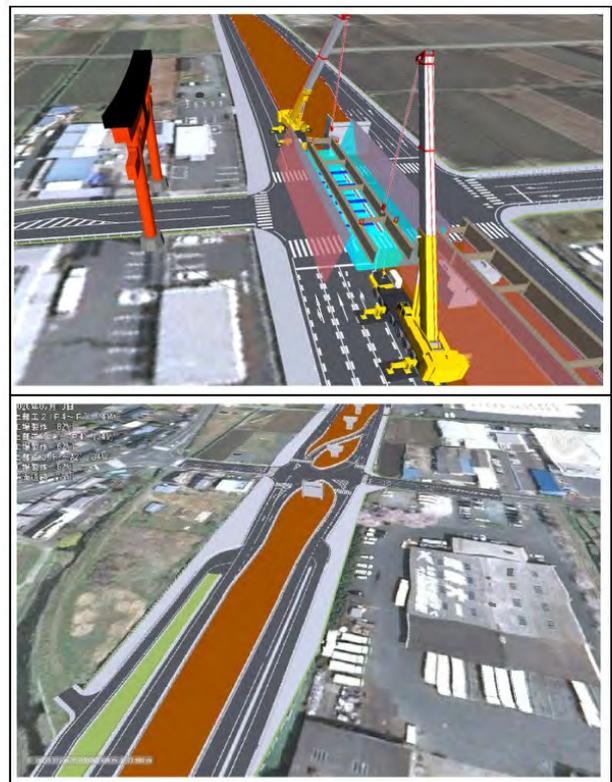


図-11 4Dモデルによる施工状況の確認

### 参考文献

- 1) 一般社団法人 日本自動車連盟：水路走行テスト（JAF ユーザーテスト），2010。

# ウォーカブル空間による来訪者数の変化と 新たなにぎわいの創出

さかがみゆうと すぎえみのる むらせえいじ  
○阪上勇登<sup>1</sup>・杉江 稔<sup>2</sup>・村瀬瑛士<sup>2</sup>

<sup>1</sup>日本工営都市空間株式会社 大阪支店  
(〒530-0015 大阪府大阪市北区中崎西2-4-12 梅田センタービル20階)

<sup>2</sup>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、三重県伊勢市の伊勢市駅前商店街において、その道路空間にベンチやテーブル等を設置する社会実験を実施し、その効果や課題を検証するものである。キッズスペースや休憩スペースを設け、歩行者中心の道路空間を創出した結果、来訪者数は約8.1倍に増加し、平均滞在時間も19分となった。このことから、社会実験の実施により、人々が集い憩うことができる魅力的な空間や商店街内のにぎわいを創出したといえる。一方で、子供等が安心して過ごせる空間の不足や、沿線店舗の運営協力体制の課題も明らかとなった。今後は、パークレットの整備や広告収入による維持管理などを通じて、この取組みの恒常化を目指していく必要がある。

**Key Words** : 社会実験, ウォーカブル, 地域活性化, 道路空間再構築

## 1. 背景

現在、少子高齢化・経年的な人口減少・自動車利用を前提とする大型商業施設の立地等により、既成市街地における商店街の衰退が進行するなか、都市の魅力向上させ、まちなかににぎわいを創出することが、多くの都市に共通して求められている。そのため、近年、国土交通省は「ウォーカブルなまちづくり」を推進しており、行政をはじめ様々な機関から注目を集めている。

「ウォーカブルなまちづくり」とは、街路空間を車中心から“人中心”の空間へと再構築し、沿道と路上を一体的に使って、人々が集い憩い多様な活動を繰り広げられる場を創出するまちづくりのことである<sup>1)</sup>。このまちづくりを推進することにより、人中心の豊かな生活空間を実現させるだけでなく、地域消費や投資の拡大・観光客の増加や健康寿命の先進・孤独・孤立の防止のほか、様々な地域課題の解決や新たな価値の創造につながる事が予想されている<sup>2)</sup>。

これらを踏まえ、2019年6月26日に、国土交通省が設置する「都市の多様性とイノベーションの創出に関する懇談会」において“WE DO”～Walkable, Eyelevel, Diversity, Openをキーワードとするこれからのまちづくりの方向性が打ち出され、国土交通大臣の指示により、この取組みに向けた政策実施のパートナーとなる「ウォーカブル推進都市」の募集が始まった<sup>2)</sup>。

本業務の対象地である三重県伊勢市（以下、「本市」とする。）は、この政策に賛同し、「ウォーカブル推進都市」となり、まちなかウォーカブル推進事業をはじめとした、まちなかにおける回遊性を高めるための具体的な検討を進めている。

## 2. 業務の目的

本業務は、伊勢神宮・内宮への観光客数が偏在している本市における「まちなかウォーカブル推進事業」として、駅前に市民同士の交流拠点を設けることで、特に外宮の観光客も巻き込んだ“にぎわい”を創出できないか、という発想のもと、伊勢市駅前商店街（以下、「対象商店街」とする。（図-1））の道路空間にベンチやテーブルによる滞在スペース等を設置する社会実験を実施し、その効果や課題などを検証するものである。



図-1 対象商店街の位置

### 3. 対象商店街の概要

対象商店街は、1897年の国鉄の開通に伴う商店の集積をきっかけに長い歴史を持つ<sup>3)</sup>。また、伊勢神宮外宮と伊勢市駅前付近に位置することから、周辺に訪れた人々を取り込むことで、対象商店街内ににぎわいを生み出すポテンシャルも高いと考えられる。しかし、モータリゼーションの進展に伴い都市の郊外化が進み、駅周辺に所在していた核となる大型商業施設の撤退に繋がった。これらにより中心市街地の衰退が顕著となり、来訪者の減少など、そのポテンシャルを活かせずにいた。この状況を踏まえ、地元からも中心市街地の活性化について強い要望が挙がっていた。このような状況のなか、対象商店街周辺に再開発ビル等が建設され、その中には伊勢市の健康福祉拠点やホテル・賃貸マンションがあることから、対象商店街には多様な人々の来訪が予想される。まずは、この地域のにぎわいを足がかりとして、特に伊勢市駅に訪れる人々の足を止められるようなきっかけをつかめれば、活性化の糸口になるのではないかと考えられた。

### 4. 対象商店街の課題

#### (1) 来訪者数の減少

先述した通り、対象商店街にはにぎわいを生み出すポテンシャルは高いが、モータリゼーションの進展に伴い、その来訪者数は減少傾向にあり、地元からもその活性化について強い要望が挙がっていた。

#### (2) 歩行者の安全性低下

対象商店街の車道部は一方通行であるが、その逆走が多くみられ、対象商店街を通る歩行者の安全性に課題があった。そのため、社会実験実施の際には、車両の逆走を防ぎつつ、歩行者が安全に休憩・滞在できる空間を確保する必要があった。

#### (3) 歩行者の滞在空間・時間の不足

対象商店街の現状においては、ベンチ等が少なく、歩行者が快適に休憩・滞在できる環境が不足していたため、対象商店街を目的の店舗のみ利用する人が多かった。そのため、歩行者が快適に利用できる滞在空間を提供し、来訪者に対象商店街の軒先店舗を可能な限り利用してもらうことで、その滞在時間を延ばす工夫を施す必要があった。



図-2 対象商店街の現状

### 4. 社会実験の概要

#### (1) 関係機関との調整

社会実験の円滑な実施のため、対象商店街における振興組合や関係機関等が協議する場として「月ノ宮ワーキング」が開催された。社会実験の実施までに14回開催され、配置計画や広報案等を検討した。社会実験実施後にも開催し、実験結果のとりまとめを行った。なお、社会実験の実施においては、まちづくり会社等をはじめとした多様な関係機関が存在するため、意見交換に先立って議題を明確に整理し、議論が拡散しないよう配慮することで、効率的に意見集約が図れるように運営した。

#### (2) 広報

本市の市政やイベント・健康や教育などの情報を発信する広報誌である「広報いせ」の掲載原稿を作成し、広く社会実験の周知を図ることで、人々を誘致した(図-3)。広報の内容としては、内容のイメージがつきやすいよう工夫し、わかりやすい表現となるように留意した。

また、社会実験について広く周知を図るため、A4のチラシとA2のポスターを作成した(図-4・図-5)。さらに、社会実験について幅広い年代に対して周知を行うため、本市や対象商店街における振興組合が運営するSNS等の電子媒体を活用した広報案を作成した(表-1)。

また、社会実験期間中には、対象商店街周辺道路で「伊勢まつり」が開催されることを踏まえ、伊勢まつり参加者をターゲットとした誘導看板を設置し、伊勢まつり来場者の休憩スペースとしての活用も促した(図-6)。

表-1 活用したSNS

SNS	運営主体	ターゲット
LINE	伊勢市	全年齢層
X	伊勢市	若年層
Facebook	伊勢市	中・高年齢層
HP	伊勢市	中・高年齢層
HP	伊勢市駅前商店街振興組合	中・高年齢層



図-3 広報いせの掲載原稿



図-4 チラシ



図-5 ポスター



図-6 誘導看板

### (3) 配置計画

社会実験は、先述した通り、対象商店街周辺道路で実施されるイベント「伊勢まつり」の開催に合わせて実施した(表-2)。

表-2 社会実験の実施概要

実施日	2024年10月11日(金)～10月13日(日)
時間	10:00～20:00

社会実験では、ウォークアブル空間の1つとして、子育て世代をターゲットとしたキッズスペース(図-7)を配置した。キッズスペースの周辺には、パレットを活用したベンチで囲うことによって、視認性の高い歩行空間に新たなにぎわいを創造する試みを行うとともに、キッズスペースで遊ぶ子供たちが車道へ飛び出さないよう工夫した。また、対象商店街の店舗が密集するエリアの沿道にパラソルとセットになった椅子と机を連続的に配置することで、店舗と一体的な利用となるよう工夫した滞在スペース①(図-8)を配置した。また、対象商店街へ進入する車両の速度抑制の役割を果たす滞在スペース②(図-9)を配置した。



図-7 キッズスペース



図-8 滞在スペース①



図-9 滞在スペース②



図-10 社会実験の様子

## 5. 社会実験で得られた効果

### (1) 来訪者数の増加と歩行安全性の向上

対象商店街の来訪者は、3日間で合計10,753人となり、社会実験前と比較して約8.1倍増加した(図-11)。また、社会実験中に実施した来訪者へのアンケート調査(以下、「来訪者アンケート」とする。)の結果から、社会実験により歩行安全性が向上したとの回答が約60%あった。(図-12)。



図-11 来訪者数の変化

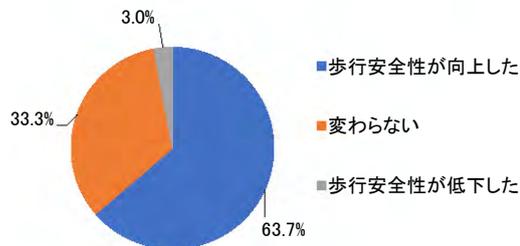


図-12 歩行安全性の向上について (n=135)

### (2) 滞在時間の増加

社会実験中に実施した滞在時間・行動調査の結果から、家族での飲食や休憩場所としての利用が多かったこと(図-13)ならびに、平均して約19分の滞在時間があった(表-3)ことが明らかとなった。また、沿線店舗で社会実験期間中に限定販売した商品については連日完売となった。

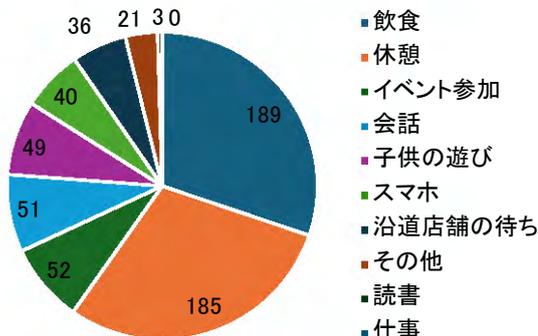


図-13 主目的内訳 (n=626)

表-3 滞在時間調査結果

	金曜日	土曜日	日曜日	平均
滞在時間	11分	16分	23分	19分

このことから、社会実験の実施において、魅力的な空間の創出や対象商店街の取組みにより、にぎわいが生まれ、多くの人々が集い憩い多様な行動があったことから、一定の経済効果を生み出したと考えられる。

## 6. 社会実験で得られた課題

### (1) 子供等が安心・安全に留まれる場所の充実

来訪者アンケートの結果から、各項目の満足度・重要度を把握し、ポートフォリオ分析を実施した。その結果、「子供やシニアなどが安心・安全に留まれる場所の充実度」において、満足度が低く、重要度が高い「重点改善項目」に位置づけられることが明らかとなった(図-14)。そのため、この取組みを恒常化するにあたっては、本項目について優先的に検討する必要があると考える。

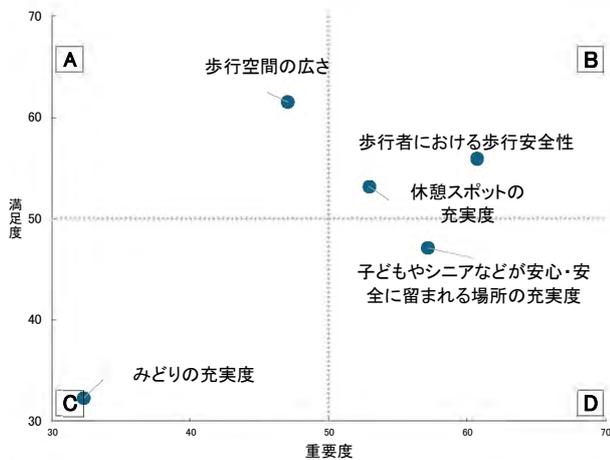


図-14 ポートフォリオ分析結果

### (2) 沿線店舗の参画

社会実験中に実施した対象商店街沿線店舗へのアンケート調査の結果から、店舗としての協力は可能と回答した店舗は約60%と多かったが、運営側としてこの取組みに協力可能と回答した店舗は20%以下であった(図-15)。このことから、今後の課題として、この取組みについて対象商店街各店舗への十分な説明を実施し、運営を含めた協力体制の構築を図る必要がある。

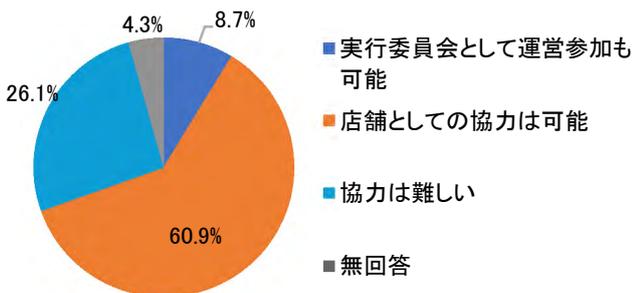


図-15 今後の運営協力について (n=23)

## 7. 今後について

現在、この取組みの恒常化に向け、地元高校ならびに三重県建築士会と連携したパークレット(休憩施設)の実施設設計が進んでいる。しかし、完成したパークレットをどのように活用していくか、これをきっかけにどのように対象商店街をはじめとする中心市街地の活性化につなげていくかを関係機関とともに慎重に検討していく必要がある。

また、広告収入などによる維持管理費の捻出についても検討していく必要がある。本市においては、資源拠点ステーションにおいて広告掲載事業者を募集しており、伊勢中央資源拠点ステーションでは、A0サイズで年間16,800円もしくは月額1,400円の掲載料金を設定している。これをもとに、対象商店街において広告を3箇所設置することを想定すると、年間50,400円の広告費を徴収できる。またデジタルサイネージによる広告も考えられる。デジタルサイネージとは、駅や店舗・施設・オフィスなどに、ディスプレイやプロジェクターなどの映像表示装置を設置して情報を発信するシステムのことであり、DXを活用した取組みとしての設置可能性も期待できる。

先述した再開発ビルの隣地においても新たな再開発事業が進められ、近々分譲マンションとして竣工されることから、今後このウォークアブル空間を恒常化していくことで、再開発事業の効果を高め、一体となったにぎわいが創出されることが期待できる。

最後に、この業務を通じて、「居心地がよく歩きたくなるまちなか」のあり方を関係機関や地域住民とともに検討できたことは、技術者として非常に良い経験となった。この経験をもとに、社会実験の開催のみにとどまらず、施策の本格実施まで携われるコンサルタントを目指し、これからも技術の研鑽に努める所存である。

**謝辞:** 本稿は、「令和6年度 まち都委第1号 まちなかウォークアブル実施計画作成等業務委託」の中で実施した社会実験の検討内容と実験結果を取りまとめたものである。社会実験に協力いただいた伊勢市都市計画課の職員ならびに伊勢市駅前商店街振興組合の理事の皆様は厚く御礼申し上げます。

### 参考文献

- 国土交通省: WALKABLE PORTAL (ウォークアブルポータルサイト), <https://www.mlit.go.jp/toshi/walkable/index.html> (2025. 9. 3閲覧)
- 千葉県: 千葉県はウォークアブル推進都市になりました, <https://www.pref.chiba.lg.jp/tokei/machizukuri/walkable.html> (2025. 9. 3閲覧)
- 伊勢まちづくり株式会社: 観光客や地元住民の交流が生まれる場所「伊勢市駅前商店街」, <https://ise-machi.co.jp/2022/03/01/iseshiekimae/> (2025. 9. 3閲覧)

# 竣工図が現存しない既設橋耐震補強に対する BIM/CIM活用事例

やまぐちなおと たかぎたつひろ やまもとあつひろ ののやまゆうじろう みぞぶちまさゆき  
○山口直人<sup>1</sup>・高木達弘<sup>1</sup>・山本篤博<sup>1</sup>・野々山祐史朗<sup>1</sup>・溝渕真之<sup>1</sup>

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

本業務は水路と交差する既設道路橋の橋脚耐震補強設計および隣接する歩道橋の上部工補修設計を実施した業務である。耐震補強設計業務において、竣工図書の不足や既存資料と現地構造物の不整合により、工事発注後に修正設計が生じるケースがある。

本業務では、竣工図書等の既存資料が不足する既設橋梁の耐震補強設計・補修設計に対して、3Dレーザースキャナーによる点群データ取得を行い、現地作業の省力化・効率化を図った。本稿では、既設橋耐震補強に対する点群データの活用事例やその効果について述べる。

**Key Words** : 橋梁, 耐震補強, 3Dレーザースキャナー, 点群データ

## 1. はじめに

### (1) 業務概要

本業務は、一般県道に位置し水路と交差する既設道路橋（PC単純T桁：桁長11.9m×2連）の橋脚耐震補強設計および隣接する歩道橋（鋼単純非合成鉄桁）の上部工補修設計を実施したものである。対象橋梁の諸元を表-1、平面図を図-1に示す。

道路橋は、昭和52年に落橋防止構造として縁端拡幅が実施され、平成7年には復旧仕様に基づく落橋防止対策（橋軸方向：1.5SEを確保した縁端拡幅、橋軸直角方向：RC突起設置）が実施済であった。

本業務では、“道路橋示方書・同解説（平成24年3月 日本道路協会）”に基づき耐震補強検討を実施し、架橋位置の条件等を踏まえ「柱補強（薄層巻き立て）+梁補強」による計画を実施した。

表-1 橋梁諸元表

	車道橋	歩道橋(上り)
完成年月	昭和42年12月	昭和47年11月※1
橋長	23.88m	24.8m
全幅員	11.9m	2.0m
上部工形式	RC単純T桁(2連)	単純合成鉄桁
下部工形式	重力式橋台 ラーメン式橋脚	重力式橋台
基礎工	不明・杭基礎※2	不明

※1：用水占用許可申請書より推定

※2：竣工図より杭本数のみ推定

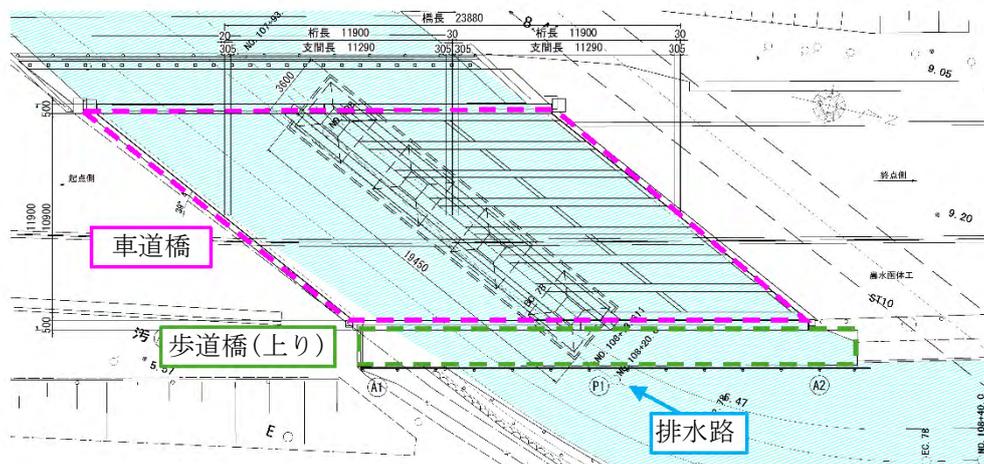


図-1 平面図

## 2. 技術的課題

### (1) 既存資料の不足

道路橋は昭和42年竣工，歩道橋（上り）は昭和47年竣工と，供用開始から50年以上が経過した橋梁であり，既存資料が不足していた。

道路橋の橋梁一般図は不鮮明かつ既存資料において構造物形状の不整合が確認され，基礎工の諸元等も不明な状態であった。

また，歩道橋（上り）は既存資料が現存せず，上部工補修設計を行うに際し，基礎資料として設計図の復元が必要であった。

### (2) 既存資料と現地構造物形状との不整合

道路橋は供用後に落橋防止対策工事等が実施されているが，各既存資料で橋脚形状等が異なっており，正確な橋脚形状が不明確であった。

また，既存資料に示される橋脚形状と現地構造物形状に不整合が確認され，耐震補強設計を行うにあたり，正確な橋脚形状の把握が必要であった。

対象橋梁全景および対象橋脚を図-2, 3に示す。



図-2 対象橋梁全景（非灌漑期）



図-3 対象橋脚部（現況）

## 3. 技術的課題に対する対策

### (1) 概要

3Dレーザースキャナーによる点群データ取得を行い，点群データを活用して構造物の寸法計測や断面図作成等を実施した。

### (2) 使用機器

本業務においては弊社で保有する3Dレーザースキャナー（Leica RTC360）を活用し，点群の取得を実施した。

本機器は1秒あたり最大200万点のカラー点群取得が可能であり，1計測地点あたり2分程度で構造物スキャンが可能であった。使用機器を図-4に示す。



図-4 使用機器（Leica RTC360）



図-5 取得点群データ（全景）

### (3) 実施方法

使用機器を計測対象箇所付近に設置し、スキャナーを起動する。死角となる部分の点群データを補足するため複数箇所から点群スキャンを実施した。

また、タブレット端末によりその場で取得した点群データの確認が可能のため、計測漏れを防ぐことが可能である。現地作業状況を図-6、7に示す。



図-6 点群データ取得状況



図-7 取得データ確認状況

### (4) 従来手法との比較

3Dレーザースキャナーを活用した点群データの取得を行うことで、従来実施していた計測機器を使用した現地構造物計測作業（以下、従来手法）に比べ以下の効果が見込めた。

#### ・現地作業の省力化

本業務では1時間程度で計測作業を完了した。従来手法で実施した場合に比べ、1/2程度の所要時間で作業を行うことができ、現場作業の省力化に寄与した。

#### ・寸法計測、図面復元作業における精度向上

従来手法であれば現地で計測結果のメモを取り、後から図面復元等をする必要があるが、本手法の場合には、取得した点群データより構造寸法計測や任意断面の断面図作成が可能である。作業効率化を図るとともに、図面復元における精度向上に寄与した。

一方、3Dレーザースキャナーではレーザーを当て

た対象面からの反射光を受光した時間と角度から対象物の3次元座標を取得する仕組みであるため、橋座部等の狭隘部・死角部では点群データの取得が困難である。

そのため、上記箇所の計測等が必要となる場合には、従来手法等との併用による補完が必要となる。

本業務においても、橋座部の既設RC突起形状等、地上部から視認できない部分については、計測機器を用いて現地構造物形状の計測を実施した。

また、本業務は3Dレーザースキャナー活用を試行した業務であったため、取得データの精度確認として、従来手法での計測も併せて実施した。

本業務で得られたデータを用い、従来手法と点群データ取得手法の比較結果を以下の指標に基づいて評価した。

表-2 従来手法との比較

評価指標	従来手法	点群データ
①精度	○	○
②経済性	○	△
③作業性	△	○
④安全性	△	○
⑤応用性	△	○

#### ①精度

従来手法、点群データ取得のいずれの手法においても、実際の構造物形状に対して寸法計測を行うため、計測精度は高く、同等であると考えられる。

#### ②経済性

従来手法はこれまで保有している計測機器を用いるため、機材に関する費用は安価である。点群データ取得には専用の機材を用いるため、機材導入に初期コストを要し、経済性に劣る。ただし、現場作業時間が短縮されることで労務費の削減を図ることが可能なため、計測対象が多い場合には優位となることや、多数案件で活用することで初期コストを償却することも可能と考えられる。

#### ③作業性

従来手法は必要箇所の部材寸法を都度計測が必要である。点群データは対象構造物に近接せず複数地点から計測を行うことで、対象構造物の点群データを広範囲に取得するため計測に関する現場作業時間の短縮ができ、作業性に優れる。

#### ④安全性

従来手法は梯子などを用いて計測対象箇所に近接して計測を行う必要があり、転倒など安全管理上のリスクを有する。点群データは地上部からの計測が可能であるため、安全性に優れる。

#### ⑤応用性

従来手法は計測箇所の寸法復元が可能である。点群データは、点群取得範囲であれば後から机上で確認が可能であるため、検討時に必要となった任意箇所の寸法計測や断面図の作成が可能であり、応用性に優れる。



図-8 取得点群データを活用した構造寸法計測

#### (5) 取得データの活用

本業務においては、従来手法を用いて計測した現地実測値と点群データによる寸法計測値が概ね同値であることを確認したうえで、竣工図に示される躯体寸法のチェックや設計モデルへの反映、設計図の復元等基礎資料作成に活用した。

従来手法では計測部材の寸法値を復元する程度の活用となるが、点群データは部材寸法計測の他、断面図作成や3Dモデル作成の基礎資料となることなど、一度の現地計測で取得したデータを多目的での活用が可能である。

実際に取得した点群データを用いて構造寸法計測を行った結果を図-8に、点群データを基に作成した歩道橋(上り)の上部工断面図を図-9に示す。

また、本業務においては橋脚耐震補強設計として橋脚柱の薄層巻き立て補強と梁補強、水平力分担構造の設置が必要となったため、取得した点群データを基に作成した3Dモデルで上部工や添架管、現地構造物との干渉チェックを行い、設計ミスによる施工時の手戻り防止に活用した。

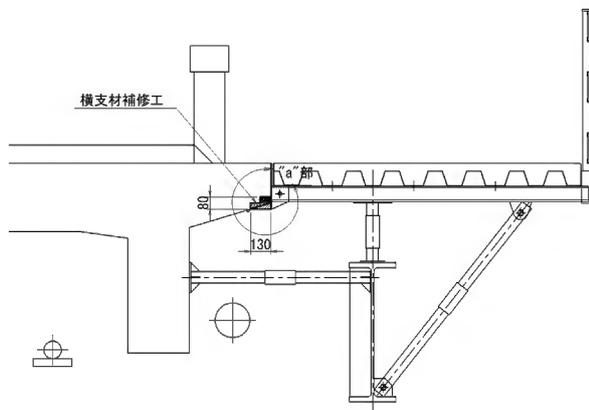


図-9 点群データを基に作成した上部工断面図

#### 4. まとめ

3Dレーザースキャナーを用いた点群データの取得により、従来手法では各部材寸法を計測して図面復元等を行っていたものから、点群データの取得を行うことで現地作業の省力化や取得データを活用した寸法計測や断面図作成等による図面復元作業における精度向上に寄与が可能であることを本業務での試行を通して確認した。

また、点群データを取得することで寸法計測漏れが生じない他、現地での計測結果メモからの復元・転記ミスの防止や検討時に必要となった箇所の寸法計測が可能であり、再度現地に赴いての再計測が不要となるなど、業務全体での作業省力化に繋がった。

本業務においては、計測対象構造物が少数であったが、多径間の橋梁や延長の長い構造物等、計測対象箇所が多くなるほど、従来手法に比べ作業の省力化に寄与が可能であり、本手法を用いる優位性が高くなると考えられる。

#### 5. 今後の展望

今後は、工事や将来の維持管理において点検結果や補修履歴を属性情報として紐づけた3Dモデルの活用・更新による、デジタルツイン化を図ることで、サプライチェーン的な観点において生産性向上を目指す取組が必要となる。

上記活用事例等の提案により、設計業務だけではなく、工事や維持管理も含めた効率的なインフラメンテナンスの取組へ繋げる。

**謝辞：**本業務は愛知県一宮建設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関係者の皆様に深く感謝を申し上げます。

# 鉄道を跨ぐ鋼桁橋の補修・補強工事に向けた 3次元モデルを活用した施工計画

○北岡誠<sup>1</sup>・横山祐治<sup>1</sup>・廣井英智<sup>1</sup>・川邊絢子<sup>1</sup>

<sup>1</sup> (株) 長大名古屋支社 (〒453-6120 名古屋市中村区平池町四丁目60番地12)

本文は、複数の鉄道を跨ぐゲルバー桁を有した4径間の門型ラーメン橋の補修・補強工事に向けた関係機関協議を実施した業務について報告するものである。

本業務は、本橋の補修及び耐震補強工事を実施するにあたり、工事発注後スムーズに工事着手できるように、鉄道管理者との協議を進めると共に、施工時に用いる足場計画及び足場の詳細設計を実施したものである。複数の鉄道管理者との協議をいかにして効率的に進めて行くかが課題であった。このため本業務では、3次元点群測量及び3次元モデルの作成を提案し、鉄道管理者との協議の効率化を図った。

**Key Words** : 跨線橋, 関係機関協議, 3次元点群測量, 3次元モデル作成, 足場設計

## 1. はじめに

本業務は、供用60年(竣工1961年)以上が経過した橋梁の補修及び耐震補強工事を実施するにあたり、工事発注後スムーズに工事着手できるように、鉄道管理者との協議を進めると共に、施工時に用いる足場計画及び足場の詳細設計を実施したものである。

本橋は、JR東海道本線、JR中央本線及び名鉄名古屋本線の3線を跨ぐゲルバー桁を有した4径間の門型ラーメン橋である。以下に、本橋の橋梁概要を示す。

- ・竣工年 : 1961年(昭和36年) 【供用: 64年】
- ・橋梁形式: ゲルバー桁を有した  
4径間の門型ラーメン橋
- ・橋長: 76.7m(支間長: 8.3m+20.4m+27.9m+19.3m)
- ・幅員: 50.8m
- ・交差条件: JR東海道本線 (P1-P2間)  
名古屋本線 (P1-P3間)  
JR中央本線 (P3-A2間)

## 2. 補修及び耐震補強工事メニュー

本橋の補修及び耐震補強工事メニューを下表に整理する。

表-1 補修及び耐震補強工事メニュー

下部工位置	交差条件	補修工事	耐震補強工事
A1~P1	--	・伸縮装置取替工	・水平力分担構造設置工
P1~P2	JR東海道本線 名鉄名古屋線	・伸縮装置取替工 ・塗装塗替工 ・亀裂補修工 ・当板補修工	・水平力分担構造設置工
P2~P3	名鉄名古屋線	・塗装塗替工 ・亀裂補修工	・主桁補強工 ・橋脚補強工
P3~A2	JR中央本線	・伸縮装置取替工 ・塗装塗替工 ・亀裂補修工 ・当板補修工 ・断面修復(A2) ・剥落防止工(A2)	・水平力分担構造設置工

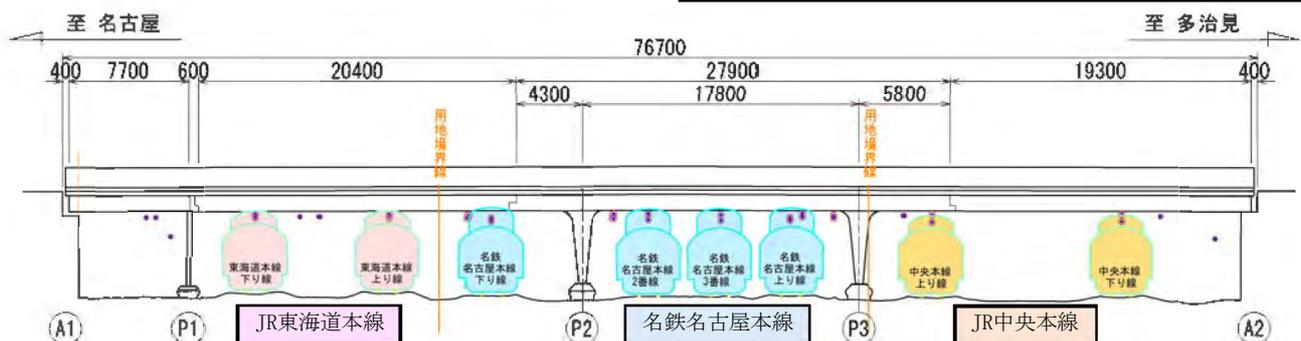


図-1 側面図

(架空線の種類と詳細な位置寸法は、関係者との協議により表記していない)

### 3. 課題の整理

本業務を進めるにあたり考えられた課題を以下に整理する。

#### 【課題①】 架空線の位置

工事用の足場を計画・設計するためには、トローリー線、き電線等の架空線の位置（高さ、平面位置）や吊足場の設計では、特に主桁と架空線との離隔距離が幾ら確保されているかが重要となることから、架空線の位置を明らかにする必要がある。

#### 【課題②】 足場の設計条件の確認

鉄道上に設ける足場の設計荷重として、列車通過時の吹上荷重を考慮する等、鉄道特有の荷重条件等の設計条件を正しく把握する必要がある。

#### 【課題③】 足場の設置条件の確認

鉄道上に設ける足場と架空線との必要な離隔等の設置条件を確認し、過年度設計時の足場計画の妥当性の確認や適切で詳細な足場計画を実施する必要がある。

#### 【課題④】 足場の施工条件の確認

鉄道上に設ける足場の施工は、列車本数が少なくなる夜間作業とする必要がある。しかし、夜間であっても夜行列車や貨物列車が通過する等、JR東海道本線とJR中央本線上での施工可能時間は異なる。このため、JR東海道本線、JR中央本線及び名古屋鉄道本線上での施工可能時間等の施工条件を正しく把握する必要がある。

#### 【課題⑤】 効率的な鉄道管理者との協議の実施

上記の①～④の課題を早期に解決したとしても、協議先がJRと名鉄の2機関であり、協議により求められる事項が異なることが考えられる。また、資料の修正や追加資料の作成等の要求に対し、迅速に対応できなければ、工期内での業務完了が難しくなることが懸念される。よって、鉄道管理者の要求に対し、迅速に対応する必要がある。

### 4. 課題に対する対応策

上記の課題に対する対応策を以下に整理する。

#### (1) 3次元点群測量の実施【課題①の対応策】

工事用の足場を計画・設計するためには、「架空線の位置」が重要となる。本橋においては、過去に光波による簡易測量が行われていたが、簡易測量後に、架空線が一部付け替えられていることをJRの鉄道管理者との協議により確認した。このため、本業務にて改めて本橋と架線位置の関係性を明らかにすることを目的とした測量を実施することを提案した。測量方法は、現場の作業性や測量後の作業性を考慮し、3次元点群測量を提案し、実施した。

また、測量の機器等を線路内に設置する必要があるため、測量作業は、列車の運行本数が少なくなる夜間に実施した。

なお、名鉄名古屋本線、JR東海道本線及び中央本線の全ての範囲を1夜間で測量することは難しかったため、測量は鉄道路線毎に実施し、名鉄名古屋本線で1夜間、JR東海道線で1夜間、JR中央本線で1夜間の合計3夜間で実施した。

3次元点群測量結果を以下に示す。

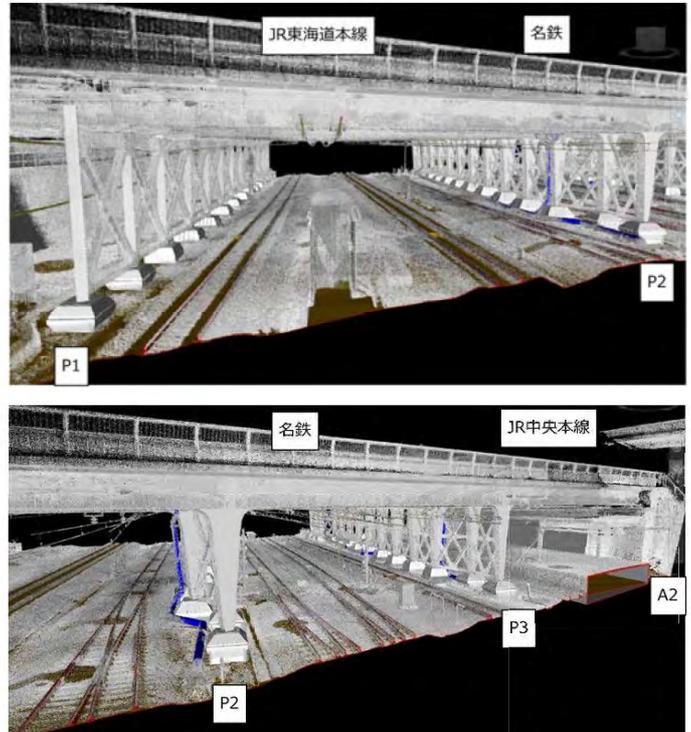


図-2 3次元点群測量結果（処理後）

今回の3次元点群測量では、3Dスキャナーを複数回移動しながら測量範囲を網羅するように計測を行い、各測量データの結合は、下図に示す「結合用ターゲット」を測量前に複数箇所に設置し、各測量データの結合用ターゲットを基点としてデータの結合を行った。



○結合用ターゲット B (マグネット式)  
・サイズ(本体) : 90mm×90mm×300mm  
・重量(本体) : 1.5kg

※結合用ターゲットは測定地点が複数ある場合のデータ間の結合に使用する。(データ上の目印として使用)

図-3 結合用ターゲット

但し、鉄道路線毎の測量データの結合は、用地境界線外への結合ターゲットの設置が認められなかったため、構造物を基準点として結合した。

#### (2) 足場計画及び設計に係る条件の確認・整理

##### 【課題②～④の対応策】

鉄道管理者や路線毎の条件を早期に確認・整理し、これらの鉄道条件を満足する足場計画を行った。

以下に、鉄道管理者との協議により付与された主な条件を整理する。

**〔近接条件〕**

鉄道建築限界の上空部では、主桁下フランジ位置、それ以外では桁下から600mmを確保した位置を吊足場床面とする。但し、名鉄上空部において現況で吊架線が桁に近接し、吊足場路床下面と吊架線との離隔が300mm未満となる箇所及び吊足場支持用のキャッチクランプと吊架線との離隔が250mm未満となる箇所では、吊足場の設置は不可とするといった、足場の位置に関する条件が付与された。

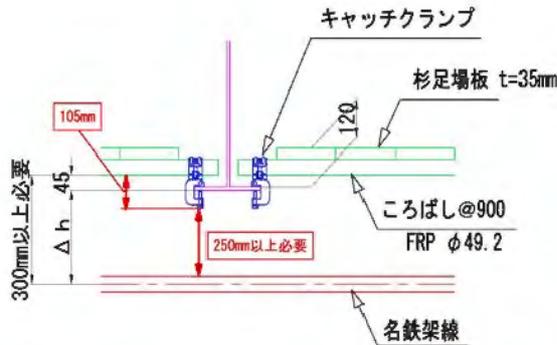


図-4 名鉄部の吊足場離隔条件図

また、名鉄部においては、単管足場や枠組足場についても、架線との離隔が1300mm（1200mm+たわみ等の余裕量100mm）未満となる箇所では、昼間の残置は不可とするといった条件が付与された。

**〔施工条件〕**

鉄道建築限界、鉄道基盤面との近接の程度により、規制範囲を1～3に区分し、仮設足場を施工できる時間帯を制限する。名鉄のき電停止可能日は偶数日のみ、作業員は地上部を移動することなく、吊足場から既設検査路に乗り込むことができるようにする等の施工に関する条件が付与された。

表-2 規制区分ごとの補正係数一覧表

規制区分	間合い時間(分)	作業不可時間(分)	実作業時間(分)	規制補正係数		
JR 東海道本線(上り)	規制1 昼間	09:00-17:00	480	180	300	1.60
	規制2 線路閉鎖	02:49-05:09	140	30	110	4.36
	規制3 き電停止	02:55-04:43	108	30	78	6.15
JR 東海道本線(下り)	規制1 昼間	09:00-17:00	480	172	308	1.56
	規制2 線路閉鎖	23:56-01:30	94	30	64	7.50
	規制3 き電停止	00:02-01:18	76	30	46	10.43
JR 中央本線(上り)	規制1 昼間	09:00-17:00	480	134	346	1.39
	規制2 線路閉鎖	00:25-03:53 03:59-05:29	298	30	268	1.79
	規制3 き電停止	00:30-03:46 04:03-05:15	268	30	238	2.02
JR 中央本線(下り)	規制1 昼間	09:00-17:00	480	144	336	1.43
	規制2 線路閉鎖	00:46-05:42	296	30	266	1.80
	規制3 き電停止	00:49-05:35	286	30	256	1.88
名鉄 名古屋本線	規制2 線路閉鎖	00:30-04:00	210	30	180	2.67
	規制3 き電停止	01:00-04:00	180	30	150	3.20
			偶数日のみ			6.40

**〔材料条件〕**

吊足場の吊りロープ、支持材は絶縁材料とする、吊りロープはループ吊りとする、吊架線の保護管の径といった使用する材料に係る条件が付与された。

**〔設計条件〕**

朝顔は垂直形状とする、風荷重は3kN/m<sup>2</sup>を使用する、列車通過時の吹上荷重を考慮する、吊足場内に仮置きする資機材の重量を設計に考慮する、といった設計計算や設計図面に係る条件が付与された。

**(3) 3次元モデルの作成【課題⑤の対応策】**

鉄道管理者との協議資料作成においては、鉄道方向に対し直角方向に切った断面図の作成等が必要になってくるのが想定されたため、任意の方向の断面図を容易に作成できるように、3次元点群測量のデータを基に3次元モデルを作成することを提案し、実施した。3次元モデルの作成結果を以下に示す。

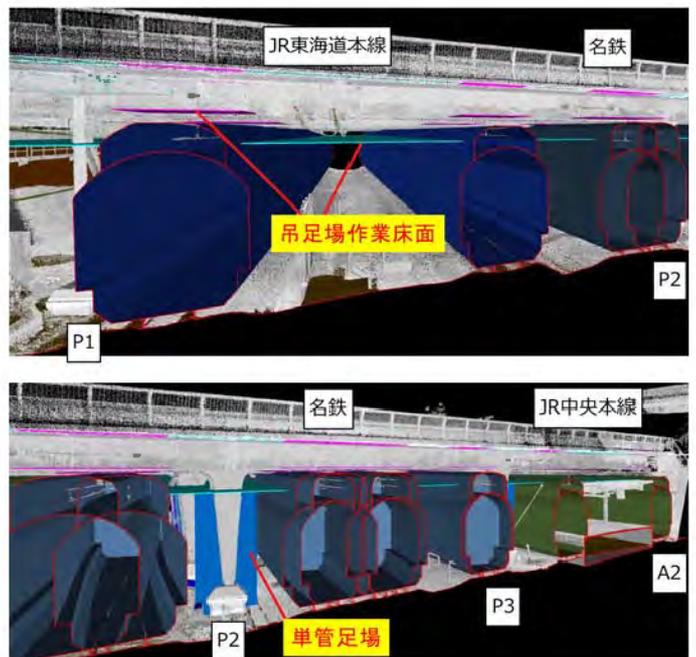


図-5 3次元モデル作成結果

**5. 3次元モデルを活用した足場計画**

3次元モデルを活用した主な足場計画結果を以下に示す。

**(1) 吊足場の計画**

**〔JR中央本線部〕**

JR中央本線部の桁下にアンテナ設備や照明灯が立っているため、吊足場との高さ関係を確認し、足場計画を実施した。

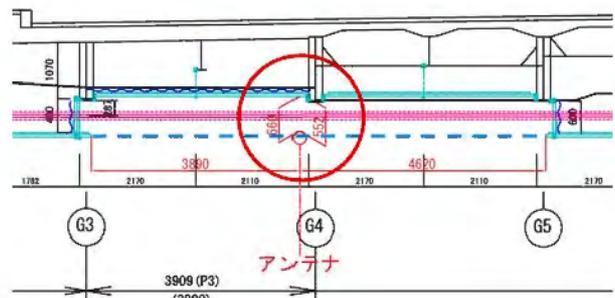


図-6 アンテナ設備との位置関係図(吊足場断面図)

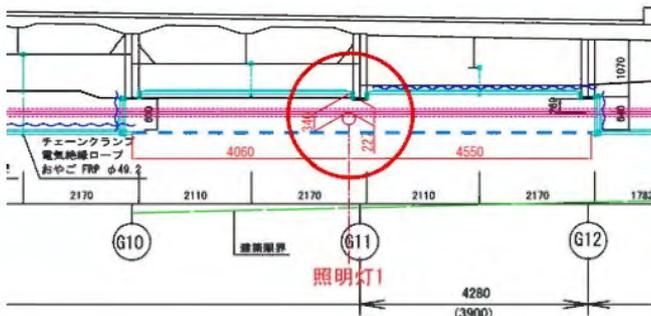


図-7 照明灯との位置関係図(吊足場断面図)

上図に示すように、標準的な足場計画(桁下600mm)では、アンテナや照明灯と干渉することを確認し、鉄道建築限界の上空部と同様、吊足場床面を主桁下フランジ位置として計画した。

### 〔名鉄部〕

名鉄の架線と主桁下フランジとの離隔を確認し、吊足場が設置可能な箇所と不可能な箇所を判断した。

下図に、架線と主桁毎に確認した離隔結果図の抜粋を示す。

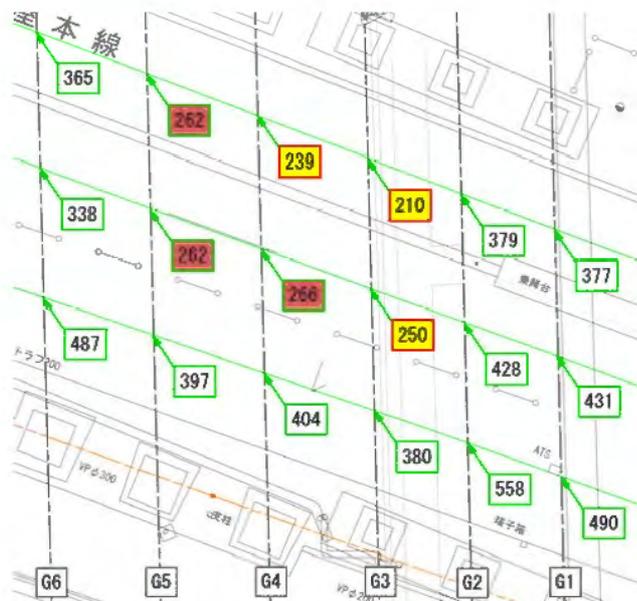


図-8 名鉄架線と主桁下フランジとの離隔図(平面図)

上図に示す黄色着色は、吊足場路床下面と吊架線との離隔が300mm未満となる箇所を示し、赤色着色部は、吊足場支持用のキャッチクランプと吊架線との離隔が250mm未満となる箇所を示す。

以上のように、架線と主桁毎の離隔を確認し、吊足場が設置可能な箇所と不可能な箇所を判断し、適切な足場を計画した。

### (2) 橋脚周りの単管足場の計画

名鉄より付与された架線と足場部材との必要離隔(1300mm)が確保できているかを確認し、昼間の残置が可能な範囲と不可能な範囲を判断した。

以下に、橋脚部の単管足場と架線位置図を示す。

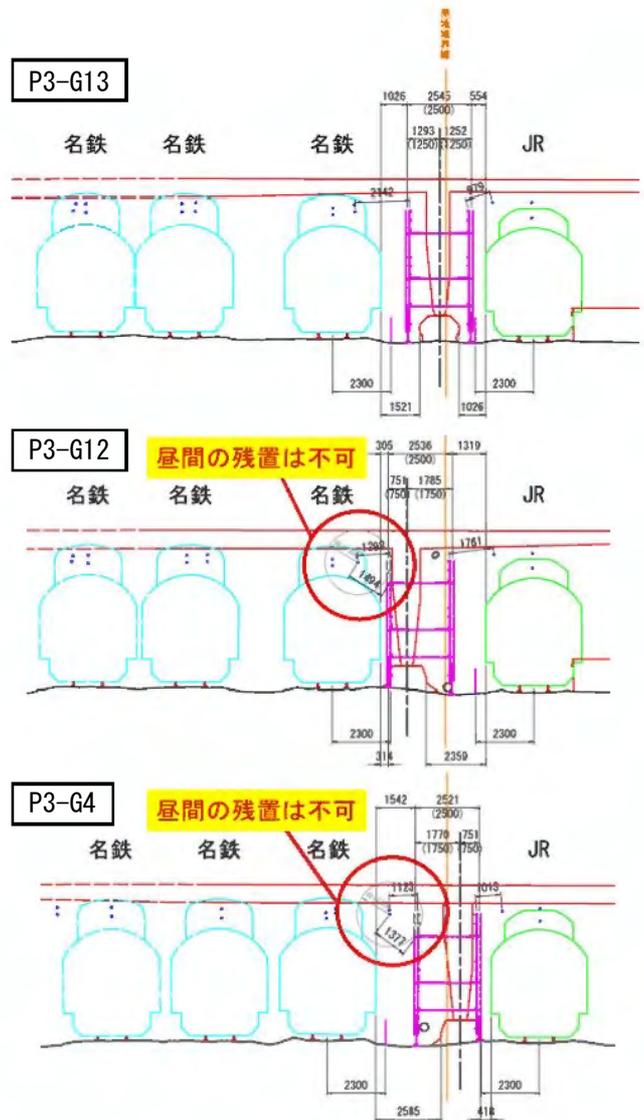


図-9 名鉄架線と橋脚部の単管足場との離隔図(断面図)

上図に示す赤丸範囲が名鉄の架線から1300mm未満の範囲となる足場部材となる。このため、これらの足場部材(手すりや足場板等)は、夜間き電停止時間作業時だけの設置とし、作業後には撤去する計画とした。

## 6. まとめ

早期に鉄道管理者毎の特有の条件を確認したことで、足場計画や設計を滞ることなく遂行できた。また、3次元点群測量を実施し、3次元モデルを作成したことで、鉄道管理者から要求される細かな条件に対しても、早期に確認し、対応することができた。

今回の業務は、工事用足場工の詳細設計業務であり、建設コンサルタントの業務としては稀な業務内容であったと考えている。しかし、補修設計や耐震補強設計業務の施工計画を実施する上で、設計の段階から考慮しておくべき内容等を確認することができ、今後活かせる業務であったと考えている。

今後、補修設計や耐震補強を実施する際に、少しでも参考にして頂ければ幸いである。

# 多径間PC有ヒンジラーメン橋の 耐震補強設計

あつちまさや たけうちまこと かとうはじめ こうのたけし なかにしけんた  
○厚地政哉<sup>1</sup>・竹内 慎<sup>1</sup>・加藤 肇<sup>1</sup>・河野 豪<sup>1</sup>・中西健太<sup>1</sup>

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

対象橋梁は、昭和55年道路橋示方書で設計された、橋長964.0mの14径間連続PC有ヒンジラーメン橋である。本業務は、大規模地震に対する橋梁全体系モデルを用いた動的解析を用いて、耐震性能照査および橋梁の耐震補強詳細設計を行ったものである。

本橋梁は河川に架かる橋梁で、施工期間の制約および経済性の観点から、上下部工の橋梁全体で耐震補強を行い、補強規模を最小化する必要があった。上部工要素に降伏剛性を考慮したモデル化を行うことで、補強量の最小化を図った。結果、全ての橋脚柱のじん性補強と一部のヒンジ部補強のみの補強規模に抑え、コスト縮減が可能となった。

**Key Words** : 多径間PC有ヒンジラーメン、橋梁全体系動的解析、降伏剛性、じん性補強、ゲレンク沓

## 1. はじめに

対象橋梁は、一級河川に架かる橋長：964.0m、幅員：10.75mの14径間連続PC有ヒンジラーメン橋である。竣工は昭和63年であり、当初設計は昭和55年道路橋示方書に準拠して設計されている。耐震補強詳細設計は平成24年道路橋示方書に準拠して行った。

本業務では耐震性向上の観点から中央ヒンジ部の連続化対策を含めて橋梁全体の補強方針を検討したうえで、補強規模の最小化を図った。

また、本橋は供用年数37年で、PC有ヒンジラーメン橋特有の事象である中央ヒンジ部の垂れ下がりが生じていない状況であった。

## 【橋梁諸元】

橋長 : L=964.0m  
(49.5m+12@72.0m+49.5m)  
幅員 : 10.75m(7.25m(車道)+2.5m(歩道))  
上部工形式 : 14径間連続PC有ヒンジラーメン橋  
下部工形式 : 逆T式橋台 2基(A1、A2)  
小判型壁式橋脚 13基(P1~P13)  
基礎工形式 : オープンケーソン基礎 15基(A1~A2)  
架設年度 : 1988年6月 (昭和63年6月)  
適用示方書 : 昭和55年道路橋示方書  
橋の等級 : 1等橋 、 設計活荷重 : TL-20  
橋の重要度 : B種の橋 、 地域区分 : A1地域  
地盤種別 : III種地盤



写真-1 橋梁の全景

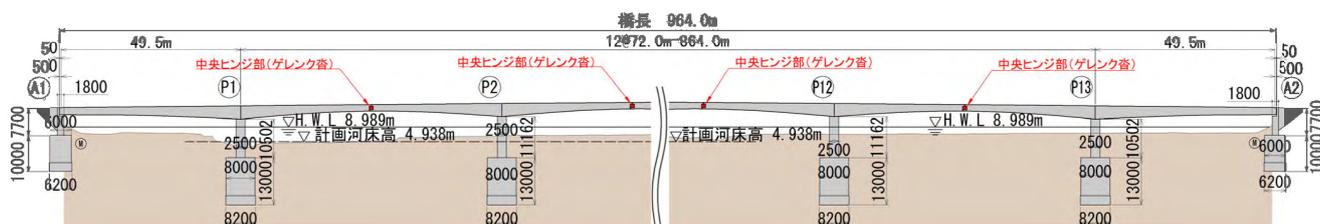


図-1 側面図

## 2. 検討フロー

本橋の補強方針・補強方法の検討フローを、下記に示す。

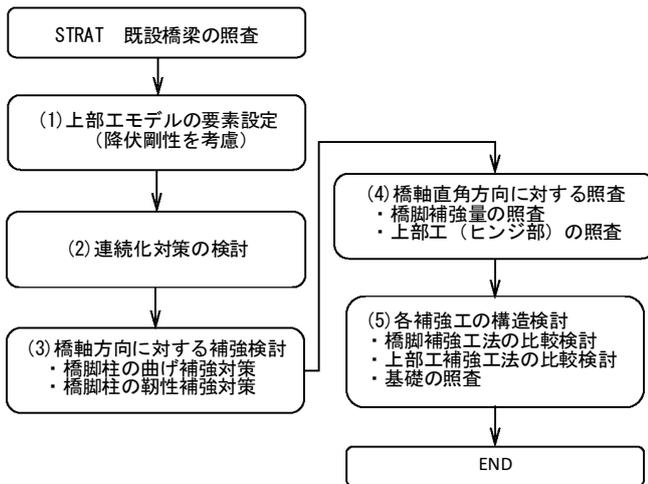


図-2 検討フロー

## 3. 計画上の制約条件と技術的課題点

### (1) 計画上の制約条件

本橋は橋長964.0mの長大橋であり、下部工の基数が多いため、耐震補強の実施にあたり、多額の費用が必要となる。また、河川橋であり、工事は非出水期に限定されるため、長期間となる。このような制約条件の下、補強規模の最小化を通じて、可能な限りコスト縮減を実現し、併せて施工期間の短縮を図ることが求められた。

### (2) 技術的課題点

補強規模の最小化を図るためには、橋梁全体での補強方針を求める必要がある。既設照査の結果、上下部工において耐震性が確保できていないため、桁の連続化、柱補強が必要となった。柱の補強規模が上部工および基礎工に与える影響が大きいため、橋梁全体での補強計画が重要となる。検討にあたり、技術的課題点は次の2点が挙げられる。

- ① 橋長が長いため、中央ヒンジ部の連続化対策では温度変化による影響が大きく、柱基部への応力が増大し、3径間以上の連続化が困難であった。
- ② 橋脚の降伏耐力を増加させることで、地震時エネルギーが上部工に集中し、上部工全体の補強が必要であった。

## 4. 既設橋梁の照査 (耐震性能)

### (1) 解析モデル条件

- 解析手法 : 動的解析  
 モデル範囲 : 橋梁全体  
 要素設定 : 上部工 (全断面剛性)  
                   下部工 (M-φモデル)  
 境界条件 : 橋台 : 可動、上下部 : 剛結  
                   橋脚間中央 : ヒンジ  
                   ※直角方向は全て固定  
 地震動 : レベル2地震動 (タイプ I・II)

## (2) 耐震性能照査結果

下記に既設の照査結果を示す。

表-1 既設照査結果一覧

上部工照査		全径間	
曲げモーメント		NG	
せん断		NG	
下部工照査		全橋脚	
下部工	最大応答変位	NG	
	残留変位	OK	
	曲率	NG	
せん断		NG	
支承部照査		A1橋台	A2橋台
支承	せん断	NG	NG
	移動量	NG	NG
基礎照査		P1、P13橋脚	P2~P12橋脚
基礎工		損傷度Ⅲ	損傷度Ⅳ

### a) 上部工

全径間で曲げモーメントおよびせん断耐力において、耐震性能を満足しない結果であった。

### b) 下部工

全橋脚で最大応答変位、曲率、せん断耐力において、耐震性能を満足しない結果であった。

### c) 橋台の支承部

せん断耐力不足および移動量が既設支承の移動可能範囲を超過する結果となった。

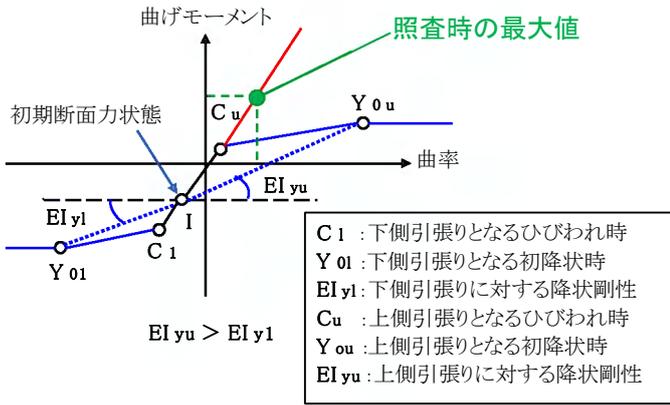
### d) 基礎工

参考文献<sup>1)</sup>に従い、損傷度の判定を行った。橋軸方向は損傷度Ⅱ (P1、P13のみ)、Ⅲ、橋軸直角方向は全橋脚で損傷度Ⅳとなった。

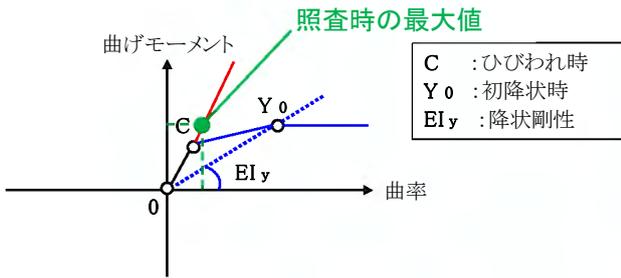
## 5. 上部工モデル要素の設定

### (降伏剛性の考慮)

上部工は耐震性能を満足していないため、補強が必要であった。そこで、解析の応答値から上部工モデル要素の見直しを行った。当初は全断面を有効とみなした剛性にて検討を行っていたが、実際はひびわれが発生して、剛性が低下していく。計算結果よりひびわれ発生時以降の曲げモーメントおよび曲率が確認できたことから、参考文献<sup>2)</sup>を参照して降伏剛性を考慮することが望ましいと考えた。よって、上部工モデル要素において、ひびわれ時以降の剛性に降伏剛性を考慮することにより、より現実的な挙動を再現した。これにより、上部工の補強が不要となった。曲げモーメントー曲率図を下記に示す。



動的解析に用いる降状剛性  $EI_z = EI_{yu}$   
(a) 橋軸方向



動的解析に用いる降状剛性  $EI_y = EI_{yu}$   
(b) 橋軸直角方向

図-3 上部工モデル要素の概要図

## 6. 連続化対策の検討

中央ヒンジ部を連続化することで応答変位を抑える検討を行った。連続化するにあたり、上部工の活荷重に対する曲げ補強および温度荷重による下部工への影響を考慮する必要があった。検討の結果として、応答変位に対しては効果が認められなかった。また、連続化する中央ヒンジ部の箇所数が2箇所までは、柱の地震時耐力不足に対する補強量で規模が決まるが、3箇所以上においては箇所数に応じて温度の影響による柱基部の発生力が増大するため、補強規模が大規模となる傾向が認められた(表-2)。

以上の結果から、連続化した場合においても全橋脚において補強が必要であるため、補強規模およびコスト削減に対しての効果は低い。

表-2 補強方針の比較表

ケース	照査項目		
	温度変化時における柱基部の照査		
2箇所連続化案	概要図	<p>■:連続化 8箇所、□:ヒンジ 4箇所 ※温度変化の影響により柱基部への発生応力が大きくなるが、補強規模の決定ケースは地震時である。</p>	
	柱基部の応力照査	コンクリート 圧縮 OK	鉄筋 引張 OK
3箇所連続化案	概要図	<p>■:連続化 9箇所、□:ヒンジ 3箇所 ※温度変化の影響により柱基部への発生応力が大きくなるため、補強規模の決定ケースが温度変化時となる。</p>	
	柱基部の応力照査	コンクリート 圧縮 NG	鉄筋 引張 NG

## 7. 耐震補強検討

### (1) 橋軸方向に対する補強検討

既設の照査結果では、橋軸方向の最大応答変位および曲率が許容値を超えている結果であった。対策案として、曲げ補強を実施することが有効であるが、同時に基礎への影響も大きい。また、既設基礎は損傷度ⅢおよびⅣであることから、基礎への影響は現況相当に留めることが望ましい。以上を踏まえ、比較検討を行った(表-3)。

比較検討の結果、曲げ補強は、基礎への影響が大きく、基礎補強の大規模化により、コストが増大する。一方で、じん性補強は最大応答変位および曲率を満足させることで、基礎への影響を抑える計画とした。

比較検討の結果を下記に示す。

表-3 補強方針の比較表

項目	第1案	第2案	
	曲げ補強	じん性補強	
補強規模	上部工補強	大	小
	下部工補強	小	小
	基礎工補強	大	小
経済性	高価	安価	
施工性	○	◎	

### a) 橋脚柱の曲げ補強対策

基部定着させる柱の曲げ補強は曲率を抑える対策として有効的であるが、降伏耐力を向上させることで、上部工の変位が小さくなり、履歴減衰が小さくなる。これにより、地震力が大きくなるため、既設照査時より上部への応答値が大きくなり、上部工補強が必要となった。また、基礎への応力伝達が増加し、現況より悪化した。

### b) 橋脚柱のじん性補強対策

橋脚柱において、橋軸方向の最大応答変位、曲率が許容値を満足していないことから、じん性補強により降伏耐力を上げず、じん性を向上させることで上部工および基礎への応力伝達を抑えた。これは地震時エネルギーを橋脚柱部で変形させて減衰させたためである。

### (2) 橋軸直角方向に対する補強検討

#### a) 橋脚補強量の照査

前項において決定した橋脚柱のじん性補強の補強量にて、橋軸直角方向に対しても耐力を満足することを確認した。

#### b) 上部工(ヒンジ部)の照査

補強後のL2地震動に対する照査をした結果、中央ヒンジ部は、ゲレンク沓と下床版の突起部によりせん断力を支持し、面内(橋軸方向の加振)、面外(橋軸直角方向の加振)に対しては回転する構造である。せん断照査の結果、中央ヒンジ部2箇所(第2・12径間)において直角方向のせん断耐力を満足しないため、補強対策が必要となった。

### (3) 各補強工の構造検討

#### a) 橋脚補強工法の比較検討

「第1案：RC巻立て工法」、「第2案：薄層巻立て工法」、「第3案：鋼板巻立て工法」で比較検討を行った（表-4）。補強後の河積阻害率が5%以下かつ低コストであるRC巻立て工法（基部定着なし）を採用した。

表-4 橋脚補強工法比較

項目	第1案	第2案	第3案
	RC巻立て	薄層巻立て	鋼板巻立て
巻立て厚	250mm	83mm	36mm
河積阻害率	4.07%	3.65%	3.49%
構造的性	○	△	△
施工性	△	○	△
維持管理性	○	○	△
経済性	○	△	△

#### b) 上部工補強工法の比較検討

上部工は柱補強後において、動的解析を実施した結果、レベル2地震動に対して耐震性能を満足したため補強を不要とした。しかし、ヒンジ部において、橋軸直角方向のせん断耐力が不足していることから、補強が必要である。

ヒンジ部下床版RC突起のせん断補強工法として、RC部材の増厚補強、連続繊維シート補強、鋼部材補強にて比較検討を行った。ヒンジ部周辺は添架物が占用しており、移設が不要かつ狭隘部での施工性に優れた連続繊維シート補強工法を採用した。

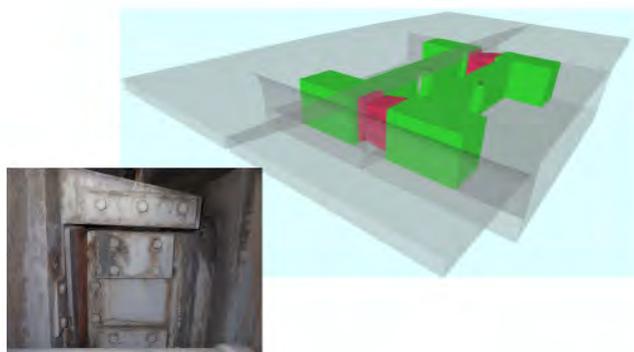


図-4 ヒンジ部周辺の概要図

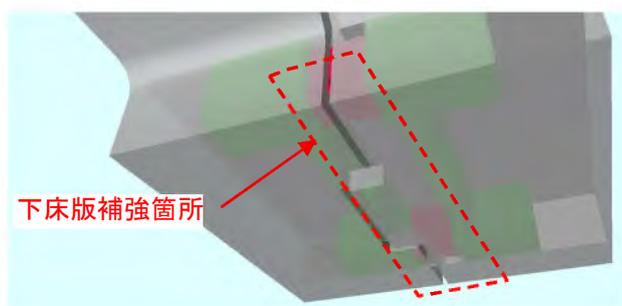


図-5 下床版補強箇所

表-5 橋脚補強工法比較

項目	第1案	第2案	第3案
	RC増厚補強	炭素繊維補強	鋼部材補強
構造的性	△	○	△
施工性	△	○	△
維持管理性	○	○	△
検査路機能	△	○	△
添架物干渉	あり	なし	あり

#### c) 基礎の照査

照査の結果、橋軸方向はP1、P13橋脚で損傷度Ⅱ、その他の橋脚は損傷度Ⅲ、橋軸直角方向は全橋脚で損傷度Ⅳであり、現況相当であることを確認した。

## 8. おわりに

### (1) 検討結果と考察

多径間PC有ヒンジラーメン橋の耐震補強は補強方針により補強規模が大きく変動する。そこで、下記の通り補強規模の最小化を図った。

#### 【検討結果】

- ①橋梁全体系モデルにおいて、上部工のモデル要素を全断面剛性から降伏剛性を考慮した非線形要素に変更することで、より現実的な挙動を再現することとし、補強規模の最小化を実現した。
- ②連続化対策は、径間長が長い場合は温度の影響が大きく、柱補強の大規模化・降伏耐力の増加に伴い、上部工および基礎工の応答値の増加が認められた。また、曲げ補強として、柱の曲げ耐力補強（基部定着ありのRC巻立て補強）が有効であるが、連続化同様に上部工および基礎工への応答値の影響が大きいことが確認できた。
- ③橋脚補強をじん性補強のRC巻立て補強とし、上部工補強規模の最小化を実現した。

#### 【考察】

橋長に対して橋脚柱高が低い橋梁においては、上部工の温度および地震時の影響を受けやすい。そのため、上部工モデル要素の全断面剛性から降伏剛性への変更は上部工の挙動をより高精度に再現できる有効的な手法である。また、柱補強工法の検討にあたり、基礎工において現況非悪化となる補強計画が重要であることから、曲げ耐力が不足する場合においても、じん性補強が優位である場合がある。

### (2) 今後の展望

多径間PC有ヒンジラーメン橋において、既設のゲレンク杓がL2地震動に対して耐力を有している場合は、連続化による補強が不経済になる可能性があることから、今後の類似橋梁における耐震補強検討の参考事例として、一助となれば幸いである。

### 参考文献

- 1) 土木研究所資料第4168号，土木研究所，2010。
- 2) 道路橋の耐震設計に関する資料，日本道路協会，1998。

# 既設PC橋における グラウト充填調査及び対策検討

にいみひでき ひだかまさふみ やまもとたかよし もりたゆうき かわいけんとう  
○新居見英樹<sup>1</sup>・日高雅史<sup>1</sup>・山本高由<sup>1</sup>・森田祐樹<sup>1</sup>・河合健斗<sup>1</sup>

<sup>1</sup>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）

本稿は、グラウト充填不足が想定された道路橋の調査および補修設計事例について述べる。対象橋梁は1961年竣工のPC9径間単純ポストテンションT桁橋であり、令和2年の定期点検でPC鋼材に沿った位置にひび割れ及び遊離石灰が確認されており、建設年次や構造形式からグラウト充填不足に伴うPC鋼材腐食が懸念された。

構造的特徴や社会的制約のもと、合理的な調査計画を立案し、調査結果から橋梁に対してもたらす影響を分析することで、残存供用期間（約56年）の安全性を確保する対策方法を検討した。また、補修工法の選定においては、工事着手後における手戻り防止等に配慮した。

**Key Words** : PC構造, グラウト充填不足, スクリーニング, ドローン, 補修方策

## 1. はじめに

### (1) 業務背景

対象橋梁である下泉橋は、1961年に竣工された橋長271.35mのPC9径間単純ポストテンションT桁橋である。本橋は静岡県川根本町の主要幹線道路に位置し、地域住民の日常生活および物流を支える重要なインフラであるとともに、第2次緊急輸送路に指定されており、有事の際の交通・輸送確保の観点からも高い重要性を有している。

本業務は、これらの状況を踏まえ、詳細調査による当該橋梁の劣化要因の特定及び調査結果をふまえた補修設計を実施したものである。

### (2) 橋梁概要

橋梁形式：PC9径間ポストテンションT桁橋  
設計活荷重：TL-14  
橋長（支間長）：271.35m（27.9m×6連＋32.2m×3連）  
幅員（有効）：6.700m（6.000m）  
適用示方書：鋼道路橋設計示方書（昭和31年）（想定）  
竣工年次：1961年（昭和36年）  
供用期間：120年（残存期間：約56年）  
交差物件：一級河川 大井川  
路線名：一般県道 春野下泉停車場線

### (3) 実施フロー

本業務の実施フローを図-3に示す。



図-1 対象橋梁位置図

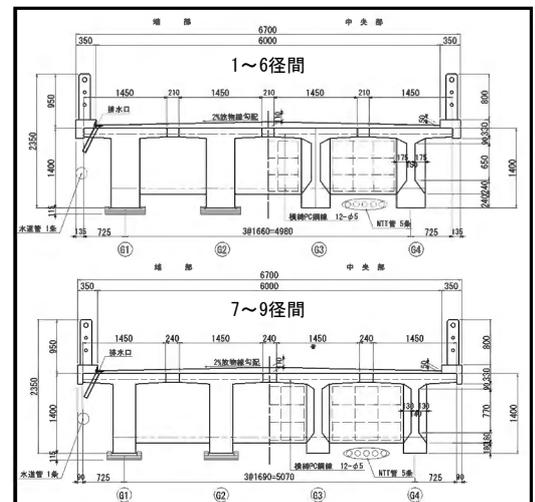


図-2 上部工断面図

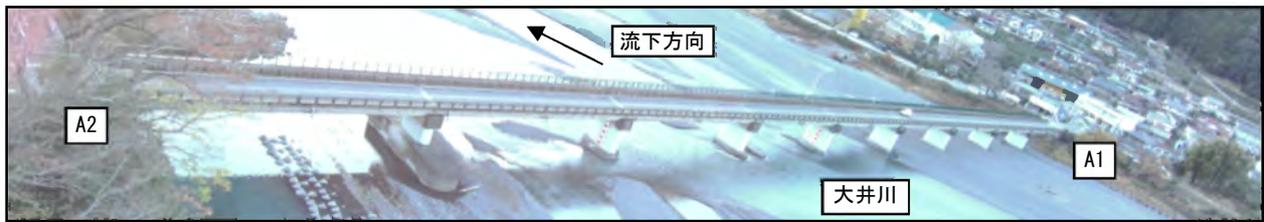


写真-1 下泉橋（全景）

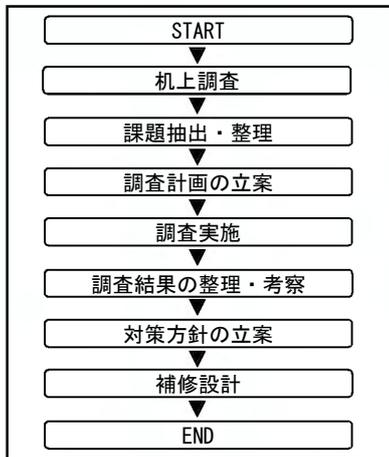


図-3 実施フロー

## 2. 現地状況及び現状の問題点

### (1) 構造的特徴と建設年次に起因するグラウト充填不足およびPC鋼材腐食のリスク

本橋は1986年以前に建設されており、ノンブリーディング型のPCグラウトが使用されていない等、品質管理が未整備であった時代の構造である。

また、1993年以前の設計では一般的であった上縁定着方式が本橋でも採用されており（図-4）、舗装面への滞水に伴う上面定着部からの浸透リスクが存在する。これらの状況から、本橋は建設年次及び構造形式に起因したグラウト充填不足に伴うPC鋼材腐食の可能性が高い状況であった。

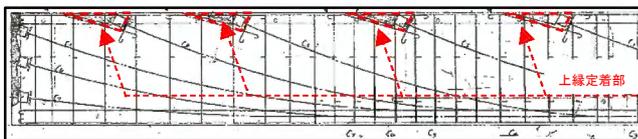


図-4 側面図（1～6径間）

### (2) PC鋼材に沿ったひび割れと遊離石灰の発生

令和2年度の定期点検にてPC鋼材（シーズ）に沿ったひび割れおよび遊離石灰が、主桁ウェブおよび下フランジ下面に複数確認された。（写真-2）

特に、ブリーディングの発生によるグラウト充填不足が疑われるPC鋼材の曲げ上げ部では、PC鋼材の腐食進行が懸念された。（図-5）

### (3) 急激な耐荷力低下の懸念

PC鋼材の腐食が進行している場合、プレストレス力の減少による耐荷力の急激な低下が懸念された。

本橋の設計活荷重はTL-14であり、また、PC構造物であることから、耐荷性能への影響が致命的となる可能性があり、構造安全性の低下に対する早急な確認が求められた。（図-6）

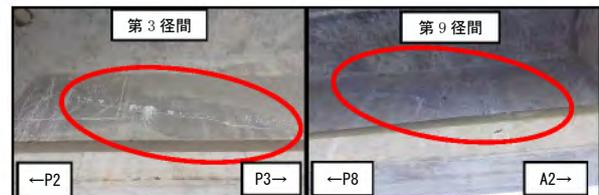


写真-2 PC鋼材に沿ったひび割れ

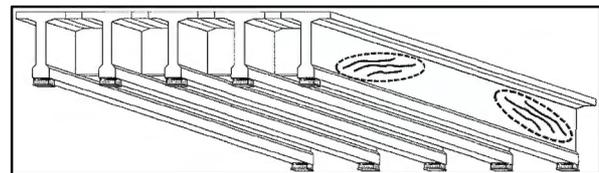


図-5 曲げ上げ配置されたPC鋼材に沿ったひびわれ<sup>1)</sup>

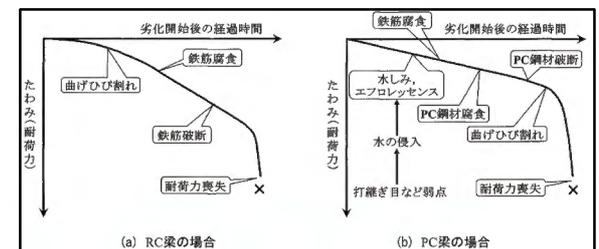


図-6 RC構造物とPC構造物で予想される劣化過程<sup>1)</sup>

### (4) 全桁調査の制約

上記の損傷状況および構造条件から、本来であれば全主桁に対し削孔調査することが望ましいものの、9径間かつ2車線の構造であることから、全主桁の調査には足場設置や長期間の片側交互通行を伴う橋梁点検車の使用が必要であり、業務としてはコストや規制に伴う交通影響の観点から困難な状況であった。

## 3. 本業務における課題の抽出

前述した内容をふまえ、本業務における課題を以下の通り抽出した。

- ・ 構造的特徴や社会的制約をふまえ、交通影響を最小限に抑えつつ、PC鋼材の腐食リスクや残存性能に関する信頼性の高い情報を取得すること
- ・ 供用120年を見据えた長期安全性を確保しつつ、工事の手戻り防止等についても配慮した合理的な対策を立案すること

#### 4. 課題解決に向けた技術的対応

##### (1) 効率的かつ効果的な調査計画の立案

補修設計に必要な調査項目を整理するため、既存資料の収集や関係者ヒアリングにより、基本条件や構造的特徴を把握し、損傷原因の推定を行った。竣工図書からPC鋼材の配置を確認し、補修・調査履歴から床版防水の対策状況等を把握した。加えて、管理者へのヒアリングにより、冬季の凍結防止剤の散布頻度が少ないことなどを確認した。また、調査の効率化を図るため、橋梁全体の損傷傾向を把握する予備調査を実施し、その結果に基づいて詳細調査を計画する二段階調査を立案した。

##### (2) 予備調査の実施

予備調査としてドローンによる上部工全体の外観調査を実施し、全径間にわたる損傷状況を把握した結果、主桁支間中央における曲げひび割れなど、耐荷力の低下が懸念される損傷は確認されなかった。

一方、PC鋼材に沿ったひび割れが外桁（G1, G4）に多い傾向であることを確認した。（図-7）

この損傷傾向について、橋面勾配等の影響によって雨水が集中し、外桁側に浸透している可能性が高いと分析した。

##### (3) 詳細調査項目及び対象の選定

グラウト注入規定やPC定着方式の変遷、床版防水機能の劣化といった構造的リスクの観点から、グラウトの充填不足に起因するシース内およびPC鋼材の腐食進行が損傷の主な原因であると推定した。これをふまえ、詳細調査の実施にあたり必要な調査項目を表-1のとおり整理した。

表-1 調査項目

調査・試験内容	調査箇所（1主桁）
鋼材探査	・ウェブ曲げ上げ部：2箇所 ・下フランジ部：1箇所
削孔・CCD調査	
簡易塩分試験	

詳細調査の対象主桁は、予備調査結果よりスクリーニングを行い、最も損傷している可能性が高いと考えられる外桁（G1）を選定した。また、調査結果を客観的に比較・検討するため、健全部の外桁についても調査対象とした。

本橋の各主桁は、1～6径間と7～9径間で径間長やPC鋼材の配置等に違いがあることから、各構造形式から健全部と損傷部を1径間ずつ選定した。これに

より、調査結果の妥当性確保と、調査対象数の最小化による効率性の両立を図った。（表-2）

表-2 調査対象の抽出

調査箇所	調査対象
損傷部	第3径間G1主桁、第9径間G1主桁
健全部	第4径間G1主桁、第8径間G1主桁

##### (4) 損傷要因の分析と対策方針の立案

各種調査結果について表-3に示す。

表-3 各種調査結果

調査箇所		シース状況	グラウト充填状況	PC鋼材健全度	塩分簡易ふき取り法	水の浸透跡
3径間G1桁 (損傷部)	曲げ上げ部	著しい腐食	充填不良	2	無し	無し
	下フランジ下面	健全	充填	1	150ppm	無し
4径間G1桁 (健全部)	曲げ上げ部	健全	充填不良	1	200ppm以上	無し
	下フランジ下面	健全	充填	-	-	無し
9径間G1桁 (損傷部)	曲げ上げ部	健全	充填	1	無し	無し
	下フランジ下面	軽微な腐食	充填不良	2	無し	無し
8径間G1桁 (健全部)	曲げ上げ部	健全	充填不良	1	200ppm	無し
	下フランジ下面	健全	充填	-	-	無し

##### a) 損傷要因の分析

本調査結果より、曲げ上げ部及び下フランジ部でのPC鋼材及びシースの損傷状況と、劣化因子の影響について以下の通り分析した。

<曲げ上げ部>

3径間目ではグラウト充填不足とPC鋼材の腐食（鋼材健全度：2）が生じており、特に、シースに著しい腐食が確認されたことから、ひび割れの原因がシースの腐食によるものと分析した。なお、シース内外面ともに水の浸入が確認されなかったことから、シースの腐食は竣工後から床版防水施工（既存資料より確認できたのは平成8年度）までの期間に路面から雨水が浸透し、上縁定着部よりシース内面またはシース外面を伝ったことにより生じた可能性が高いと分析した。

一方、9径間目ではシースおよびPC鋼材に腐食は生じておらず、また、グラウトが充填されていた。このため、9径間目のひび割れの主因は内部鋼材の腐食ではなく、被り厚不足や施工時のシース内圧、プレストレス導入時の局所的な応力集中等による初期損傷の可能性が高いと分析した。

また、健全部では、シース・PC鋼材の腐食は生じていないが、グラウトの充填不足が確認された。このため、曲げ上げ部では健全部においてもグラウト充填不足が生じている可能性が高いと分析した。

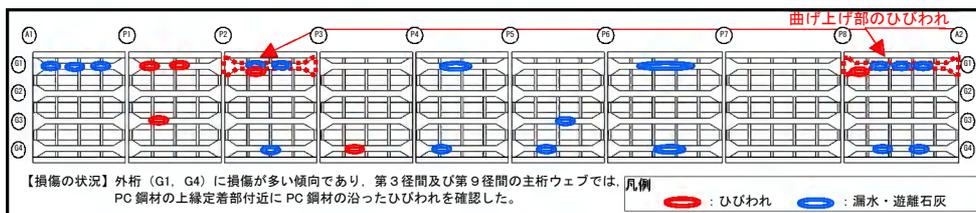


図-7 PC鋼材に沿ったひび割れ位置

<下フランジ部>

9径間G1桁は、グラウト充填不足によるシース及びPC鋼材の軽微な腐食を確認したため、ひび割れの原因がシース腐食によるものと分析した。一方、9径間目以外については、健全部・損傷部ともにシース・PC鋼材の腐食やグラウト充填不足がないことを確認した。このため、下フランジ部では比較的グラウト充填不足が生じている可能性は低いと分析した。

<劣化因子の影響>  
本調査においては、全対象でシース内外への水の浸入は確認されなかった。従って、現時点では橋面からの水の影響は生じていないと分析した。また、PC鋼材への塩分付着について、健全部・損傷部を問わず確認された。このことから、当該塩分付着は、外観上の損傷部や上縁定着部といった構造的特徴に必ずしも起因せず、塩分が付着している可能性があるとして評価した。従って、対策方針の立案時は塩分付着の影響を考慮する必要があると分析した。

b) 対策方針の立案

損傷部の腐食は最大で【健全度2】であり、鋼材の断面欠損が生じていないことから、客観的な指標より耐荷性能に問題はないと評価した。(図-8)

加えて、健全部においてはシース及びPC鋼材の腐食は確認されず、主桁支間中央の曲げひび割れ等の耐荷力の低下に起因する損傷が生じていないことを確認した。このことから、主桁の耐荷力低下が懸念されるようなPC鋼材の腐食は生じていない可能性が高いと考え、上部工の補強対策は不要と評価した。

また、シース内外面ともに水の浸入が確認されなかったことから、路面からの雨水浸透に対する床版防水機能は保持されていると判断した。このため、耐久性に優れた高性能床版防水等の適用は不要であり、従来の舗装打換え等に併せた定期的な床版防水の施工で対応可能と評価した。

一方、グラウト充填不足やPC鋼材への塩分付着は、健全部・損傷部によらず広く確認されていた。このため、コンクリートとの一体化およびPC鋼材の腐食防止による長期的な安全性の確保する必要があると評価し、グラウト再注入工による補修対策を検討した。



写真-3 CCD調査結果 (曲げ上げ部)

(5) 工事の手戻り防止等に配慮した補修工法の検討

補修工法の選定では、今後の劣化進行や施工時と調査結果との差異が生じた場合を配慮し、PC鋼材腐食の有無と塩分の有無に応じた柔軟な対応が可能となるグラウト再注入工法を選定した。



図-9 グラウト再注入工法 (リパッシュ工法) 1)

5. 本成果

効率的かつ的確な調査・設計により、構造安全性と長期供用性の確保かつ工事の手戻り防止等に配慮した対策を合理的に立案・実行できた。

本成果は、同様の年代・形式を有するPC橋梁に対し、汎用可能な調査・設計手法と考える。

6. 今後の課題

本業務においては、PCグラウトの充填有無を効率的に把握するため、削孔調査に加えて非破壊検査手法のインパクトエコー法を活用した調査も実施した。

なお、車両通行に伴う振動の影響等により作業性が低下したため、計画時に期待していたグラウト充填調査の効率化の効果は十分に得られなかった。

本業務で得られた知見を踏まえ、今後は非破壊検査と削孔調査を適切に組み合わせることで、調査の効率性と確実性を両立させ、補修工事における手戻りを低減できる設計の実施につなげていきたい。

参考文献

- 公益社団法人プレストレストコンクリート工学会 既設PCポストテンション橋保全技術指針, 2022.
- (一社)プレストレストコンクリート建設業協会 プレストレストコンクリート構造物の補修の手引き (PCグラウト再注入工法), 2020.

表 4.5.1 PC鋼材の健全度評価<sup>\*)1)</sup>

健全度	PC鋼材の腐食状況	質量減少率の目安
1	錆があるが、薄錆 (表面錆) である 	1% 程度 未達
2	点状の錆が目立つ 	1～2.5% 程度
3	断面欠損が目立つ 	10% 程度 未達
4	PC鋼材の径が小さくなっている 	10% 程度 以上

・PC鋼材の腐食が軽微な場合(表4.5.1の健全度1～2)は、耐荷性能への影響はないものと見なせる。

図-8 PC鋼材の健全度評価<sup>2)</sup>

# 水文調査業務におけるBIM/CIM活用 ～井戸深度と地下水位の三次元モデル化～

○加藤あすか<sup>1</sup>・高柳幸央<sup>1</sup>・川合恵美子<sup>1</sup>

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

地質調査分野においては、他業務に比べ、BIM/CIMの活用事例が多くない。またBIM/CIM活用事例も、地質構造や岩盤分類を3次的に表現するために活用されることが多い。一方、近年は建設工事による井戸水の枯渇など地下水への影響を把握するため水文調査が実施されている。水文調査では、計画構造物の高さと利水水源との位置関係を3次的に把握することが重要である。そこで、今回は地質調査分野のうち水文調査業務においてBIM/CIMを活用し3次元モデルを作成した。その結果、視覚性の向上、作業の効率化、関係者への説明資料としての効果が得られた。本稿では、その効果を得るためにモデル作成で工夫した点について詳細を述べる。

**Key Words:** BIM/CIM, 水文調査, 地下水, 3次元モデル

## 1. はじめに

国土交通省では令和5年度に全ての詳細設計・工事を対象としてBIM/CIMを原則適用とする方針を示しており、実用化に向けた整備や活用の拡大が進められている。しかし、地質調査分野においては、他の業務分野に比べその活用事例が必ずしも多くないのが現状である<sup>1)</sup>。また、BIM/CIM活用事例も地質構造や岩盤分類を3次的に表現するために活用されることが多い。

一方、地質調査分野では近年、建設工事による井戸水の枯渇など地下水への影響を把握するため水文調査が実施されている。水文調査では、計画構造物の高さと使用されている井戸や地表水との位置関係を3次的に把握することが重要である。

そこで、本稿では、地質調査分野のうち水文調査業務においてBIM/CIMを活用した事例について報告する。

## 2. 業務概要

本業務は、道路改良事業（山岳トンネル区間含む：図-1）に伴う水利用への影響を評価するための基礎調査として、井戸と地表水を対象に水文調査を実施したものである。本調査地では、過年度から水文調査が行われており、継続的に観測が実施されている。



図-1 本業務調査範囲（過年度業務成果より抜粋）

### 3. 水文調査業務における課題

#### (1) 膨大な水文調査観測結果と位置関係の整理

水文調査は継続的な観測を要する業務であり、本業務の場合は過去3年間にわたる膨大な観測資料が存在していた。水文調査観測結果は、各年度の業務ごとに成果品として納められているため、地点の過年度データを一元的に把握することが困難という課題があった。また、調査箇所が井戸や地表水など40箇所程度あり、調査地点の位置関係が視覚的に把握しづらいという課題もあった。

#### (2) 現況地下水・工事影響を視覚的に伝える

2次元図面である平面図や地下水位等高線図では、道路計画と利水水源（井戸、ため池など）との離隔、高低差といった3次元的な情報を把握しにくい。また、特に山間部に計画される道路トンネルでは周辺の地下水を集水するため、地下水位の低下により、表流水や地下水に影響が出る可能性がある影響範囲について、周辺の水文環境から集水範囲を平面図や横断面図等を用いて図示するが(図-2)、視覚的に捉えにくい。そのため、受発注者間で地下水影響評価に認識の差が生じる可能性があった。

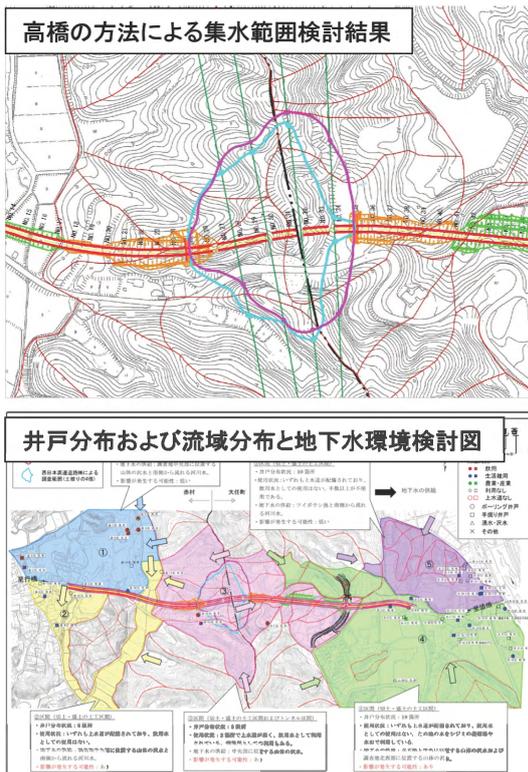


図-2 過年度報告書の影響評価  
(過年度業務成果より抜粋)

### 4. 課題解決にむけたBIM/CIM活用

上記課題を解決するために、まず、調査地点・現況地形を3Dモデルで表現した。次に、観測結果の整理として調査地点の3Dモデルをクリックした際に、過年度の観測結果を閲覧可能とした。最後に、現況

地下水の状況や工事影響を視覚的に伝えるために、井戸深度と現況地下水、道路計画、トンネル掘削による集水範囲をモデル化した。これにより、従来の2次元図面よりも計画構造物の高さや調査箇所の位置関係が分かりやすくなると考えた。以下は具体的なモデル作成方法と工夫した点を述べる。

#### (1) 観測箇所のモデル化と水文観測データの閲覧

調査地点ごとに3Dモデルを作成し、モデルは地表水、井戸、ため池地点ごとに色や形で分かりやすく表現した(図-3)。調査地点モデルには、過年度データも含めた観測結果のフォルダを作成し、リンクとして付与した。リンクをクリックすると、本年度だけでなく過年度分の観測結果も含め、自由に閲覧することができる(図-4)。また、翌年度の観測結果を同一フォルダ内に取り込むことで、データの引継ぎを可能にした。

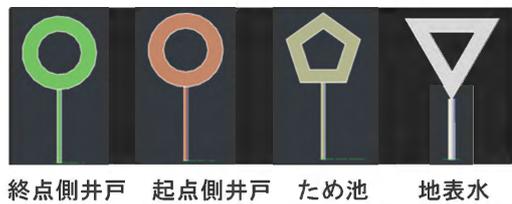


図-3 調査地点モデルの種類

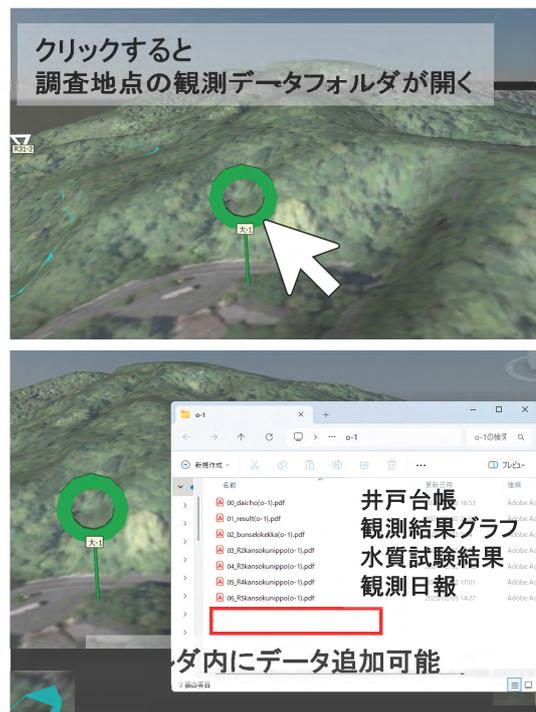


図-4 観測データの閲覧

#### (2) 井戸深度のモデル化

3次元地盤モデル作成ソフトを活用し、井戸深度のモデル化を行った。3次元地盤モデル作成ソフトには、ボーリング柱状図のデータ(孔口標高と座標、地層境界、総掘削長)を入力すると、ボーリングデータを3Dモデルとして表示させる機能がある。

今回、井戸深度をモデル化するにあたって井戸深度を総掘削長とし、井戸水位を地層境界として入力

しモデル化した（図-5）．井戸深度をモデル化することにより，視覚的に井戸深度を把握することができる．また，井戸深度が浅いほど井戸水位低下による井戸枯れリスクが高いため，どの井戸がそのリスクが高いかも視覚的に把握することができる．

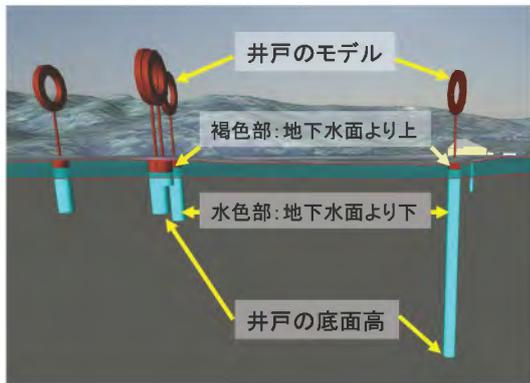


図-5 モデル化した井戸深度

### (3) 現況地下水のモデル作成

井戸深度のモデル化と同様に，3次元地盤モデル作成ソフトを用いて現況地下水位のモデル作成を行った．今回使用した3次元地盤モデル作成ソフトはボーリングデータ，断面図等をもとに，最適化原理<sup>1)</sup>による地層境界面を推定する．今回は地下水位面を地層境界面として考えた．これにより，従来の技術者の判断による地下水位等高線を作らずに現況地下水面を表現できる．

今回，調査地点を結ぶ地下水位の断面図を複数作成し，現況地下水面のサーフェスを作成することを試みた．各調査地点を偏りなくモデル化できるように断面図を作成し，地下水位線を手入力する．その後，手入力した地下水位線・井戸の地下水データをもとにソフト側が推定し，断面図上に推定線を描く．ここで，推定線の留意点として，井戸の入力データ（地下水位）以外の部分はソフト側の推定によるもの，という点である．そのため，従来手法（地下水位等高線など）よりも精度低下が懸念され，入力データ以外の部分は補間する<sup>1)</sup>必要がある．補間方法としては，水位データがない箇所地下水位を，既存のボーリング調査や現地踏査結果（湧水・表流水状況等）からモデルに補間するとともに，現地踏査結果を踏まえ，複数のチェック断面図を作成し，複数の技術者で確認することによりモデル精度の向上を図った（図-6）．現況地下水のモデル作成を行うことで，作成した井戸深度のモデルとの位置関係を視覚的に把握できるようになった．

### (4) 道路計画のモデル化

道路計画平面図から道路計画を3Dモデル化した．起点側は過年度のUAV測量によるBIM/CIMデータがあるため，今回は終点側をモデル化した．道路計画の形状・計画高と現況地下水位の位置関係を把握する目的で作成したため，道路計画は構造形式が分かる程度の詳細度200<sup>2)</sup>でモデル作成を行った．

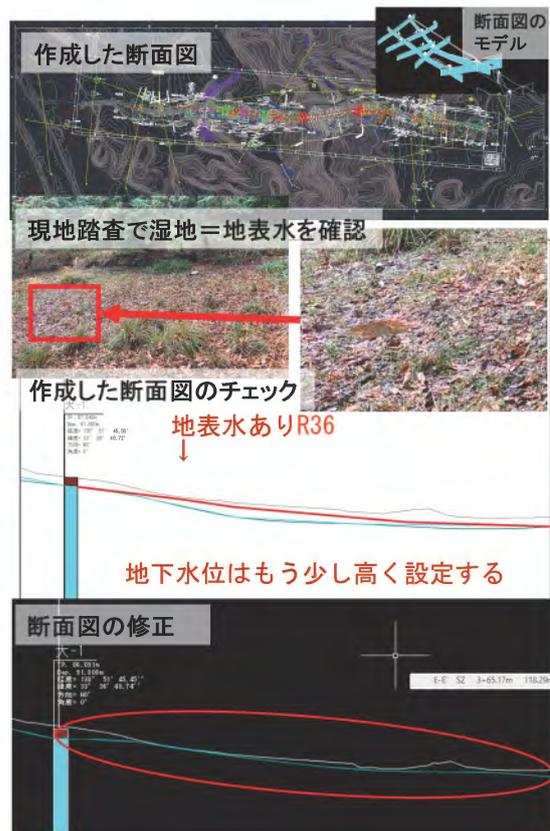


図-6 現況地下水のモデル作成方法

詳細度	共通定義	【参考】工種別の定義例	
		構造物（山岳トンネル）のモデル化	サンプル
100	対象を記号や線，単純な形状でその位置を示したモデル。	対象構造物の位置を示すモデル（トンネル）トンネルの配置が分かる程度の矩形形状若しくは線状のモデル	
200	対象の構造形式が分かる程度のモデル。標準横断で切土・盛土を表現。又は各構造物一般図に示される標準横断面を対象範囲でスイープさせて作成する程度の表現。	構造形式が確認できる程度の形状を有したモデル（トンネル）計画道路の中心線形とトンネル標準横断面でモデル化。坑口部はモデル化せず位置を示す。	
300	附帯工等の細部構造，接継部構造を除き，対象の外形状を正確に表現したモデル。	トンネルの掘削部などの掘削部の形状をモデル化する。検討結果を基に適用支援パターン範囲を記号等で，補助工法は対象工法をパターン化し，記号等で必要範囲をモデル化する。坑口部は外形寸法を正確にモデル化する。舗装構造や排水工等の内空設備をモデル化する。箱抜き位置は形状をパターン化し，記号等で設置範囲を示す。	
400	詳細度300に加えて，附帯工，接継構造などの細部構造及び配筋も含めて，正確にモデル化する。	詳細度300に加えてロックボルトや配筋を含む全てをモデル化（トンネル）トンネル本体や坑口部，箱抜き部の配筋，内装板，支援パターン，補助工法の形状の正確なモデル化。	
500	対象の現実の形状を表現したモデル。	設計・施工段階で活用したモデルに完成形状を反映したモデル	-

図-7 計画構造物の詳細度の定義<sup>2)</sup>



図-8 作成した終点側の道路計画モデル

## (5) トンネル集水範囲のモデル化

今回の対象区間ではトンネルが計画されているため、トンネル施工に伴う集水範囲のモデル化も行った。過年度報告書では、トンネル区間中の代表的な4測線のみでトンネル施工に伴う集水範囲の横断面図が提示されているが、今回は全測線の横断面図でモデル化を行った。

この集水範囲の予測方法は、水文学的手法である高橋の方法によるものである。「地表面の形（沢の形状）は、巨視的には、ある程度地下水の流動に関連して形成されている」<sup>3)</sup>という考えのもと、トンネル横断面上で湧水の集水範囲を推定するものである。具体的には、地形的な特徴から求められた平均流路幅（R）と平均比高（H）から算出された平均透水性（Kt）を用いてH-R曲線を導き、地下水集水範囲を予測するものである（図-8）。

今回は、トンネル区間の全測線について集水範囲を入力し、曲面として集水範囲サーフェスを作成した（図-9）。これにより、モデル空間内でのトンネル集水範囲が立体化し、これまでに作成した井戸深度、現況地下水サーフェス、道路計画との位置関係が視覚的に把握できる。

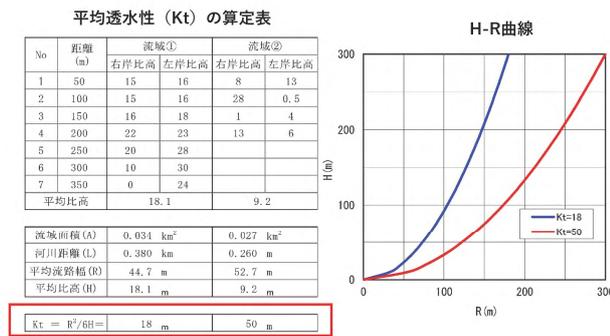
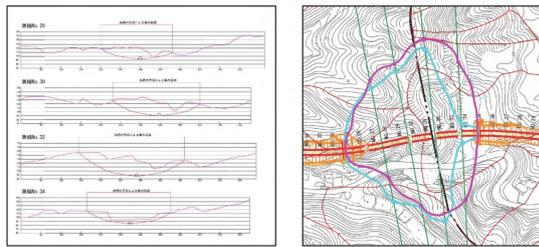


図-8 平均透水性の算定表とH-R曲線  
(過年度業務成果より抜粋)



4測線 (28,30,32,40) のみの横断面図 & 平面の集水範囲  
(過年度業務成果より抜粋)



全測線にH-R曲線を入力 & 集水範囲モデル化  
図-9 集水範囲のモデル化

## 5. BIM/CIM活用の結果

本業務では、BIM/CIM活用により、モデルをクリックすることで、本年度分だけでなく過年度分も含めた観測データの一元的な閲覧を可能とし、現況地形・井戸深度・道路計画・現況地下水位のモデル化を実現した（図-10）。このことにより、得られた効果は以下の3点である。

### (1) 視覚性の向上

調査範囲を3次元化することで、計画道路と利水箇所的位置関係を現場経験者でなくても視覚的に把握できた。

### (2) 作業の効率化

井戸水位データ・断面図から地下水サーフェスを最適化原理により推定面を作成することで作業の効率化ができた。

### (3) 関係者への説明資料としての効果

打合せ等にモデルを確認しながら関係者と協議することで伝えやすい・分かりやすいという点があり、影響評価などの情報共有に有効であった。

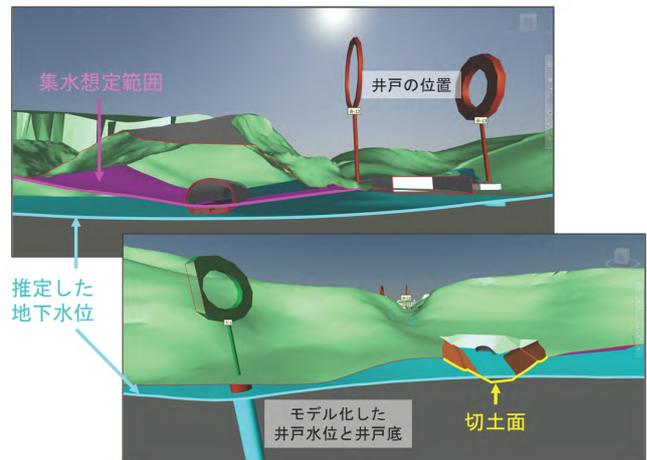


図-10 作成したモデル

## 6. 今後の展望

今後は、周辺の地質調査結果を活用した地盤モデルの構築や地下水流動解析による工事影響範囲のモデル化等、より効果的な影響評価とリスク回避につながるモデル作成を実現するために、BIM/CIMを積極的に活用していきたい。

### 参考文献

- 1) 一般財団法人 国土地盤情報センター：3次元地質・土質モデルガイドブック，2022。
- 2) 国土交通省：BIM/CIM活用ガイドライン（案），2022
- 3) 高橋彦治：トンネル湧水の特性と問題点，1965

# 再度災害防止を目的とした 水制工の修繕設計事例

えんどうのぶゆき みやけせいごう まがらよしゆき わしみこうだい  
遠藤信之<sup>1</sup>・三宅世剛<sup>1</sup>・○真柄善行<sup>1</sup>・鷺見航大<sup>1</sup>

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

本業務は、木曾川本川において左岸側への流れの過度な集中に起因し、局所洗掘を受けて被災した水制工の修繕設計を実施したものである。当該箇所は流速が大きく、現地調査および測量の実施が困難であったため、水制工の変状把握ならびに被災要因の究明が主要な課題であった。そこで、ドローンによる空撮により被災状況を記録し、竣工図書および完成写真との比較を行うことで、水制工の沈下・流出状況を明確化し、河床洗掘が被災要因であることを確認した。さらに修繕設計に際しては、沈床マットの設置をはじめとする対策を提案し、再度の被災防止を目的とした設計を行った。

**Key Words** :水制工, 局所洗掘, 修繕設計, ドローン, 空撮, 根固め工

## 1. はじめに

水制工は、河川において流速減少や洗掘防止、水はね帽子を目的として設置される水理構造物である。主として流れの方向を転換・誘導し、直接堤防に水が当たらないようにすることで、河床および河岸の洗掘を抑制するとともに、堤防の安定性を確保する役割を担う。構造形式としては、透過型および非透過型があり、河川特性や設置目的に応じて選定される。当該箇所に設置されている水制工はコンクリートブロックによる不透過型水制である。



図-1 木曾川水制工

## 2. 流域概要

当該箇所は木曾川51.0k付近の左岸側に位置する。河道中央部には大規模な砂州が形成されており、これにより滯筋は左右に二分されている。そのうち既設水制工が設置されている左岸側へ滯筋が偏流しており、水制工付近が水衝部となっている。さらに砂州の形成によって対象区間の最上流部では河道幅が著しく狭窄し、局所的に流速が増大している状況が確認される。こうした水理条件は河岸浸食を助長し、護岸や水制工など既存構造物の安定性に対して不利に作用する可能性が高い。当該箇所における被災要因の分析にあたっては、このような砂州堆積に起因する偏流の影響を考慮することが重要である。



図-2 砂州の堆積状況

### 3. 修繕設計における課題

#### (1) 課題①変状の把握と被災要因の究明

流水が左岸側に集中していることにより、水制工周辺の流速や水深が大きく、現地での調査や測量の実施が困難であった。このため、水制工の変状の正確な把握が難しく、被災要因の解明が困難であることが課題となった。

#### (2) 課題②再度災害の防止

原形復旧を行った場合、砂州堆積に起因する偏流や流速集中といった根本的要因が残存し、再度の被災が生じる恐れがある。そのため、被災要因を除去・緩和することにより、同様の被害を防止し得る修繕設計とすることが求められた。

### 4. 課題①(変状把握と被災要因究明)への対応策

#### (1) 変状の確認

地上部の変状把握を目的としてドローンによる空撮を実施した。その結果、水制工先端部の沈下および一部ブロックの下流側への流出、水制工の目開きが確認された。



図-3 水制工完成写真 (H19年時)

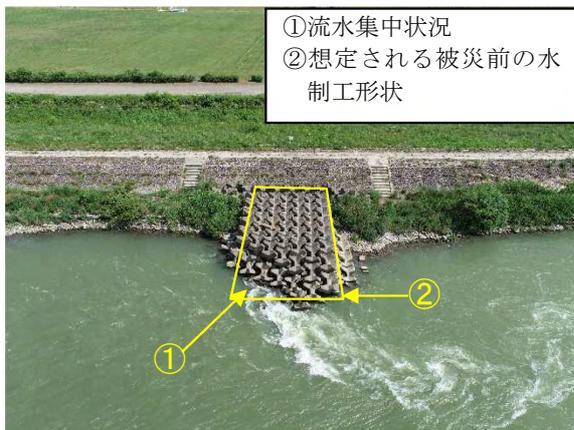


図-4 水制工の被災状況

水中部については、水制工基部は変状が見られませんが先端部は川側に垂れており、沈下度合いを竣工

図書と比較し、河床洗堀進行状況を推定した。

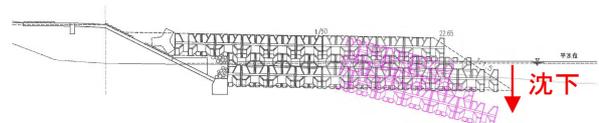


図-5 水制工の沈下状況(推定)

#### (2) 被災要因の推定

調査結果より、河床洗堀の進行に伴い水制工先端部が沈下及びブロックの流出が確認された。

ブロック流出の原因を確認するため、「護岸の力学設計法」<sup>1)</sup>に基づきブロックの必要重量を算定した。計算は、ブロックの配列が群体として機能しているものとして行った。算定には、次式にしめす安定条件式を用いた。

$$W > a \left( \frac{\rho_w}{\rho_b - \rho_w} \right)^3 \cdot \frac{\rho_b}{g^2} \cdot \left( \frac{V_d}{\beta} \right)^6 \quad (1)$$

W : 必要重量

$\alpha$  : 異形コンクリートブロックの係数

$\beta$  : 異形コンクリートブロックの係数

$\rho_w$  : 水の密度

$\rho_b$  : ブロックの密度

g : 重力加速度

Vd : 主流の代表流速

計算条件は、 $\alpha=0.79$ 、 $\beta=2.8$ (群体の場合)、 $\rho_w=1,000\text{kg/m}^3$ 、 $\rho_b=2,300\text{kg/m}^3$ 、 $g=9.8\text{m/s}^2$ 、 $V_d=8.13\text{m/s}$ とした。

計算の結果、群体状態では当該箇所の代表流速に対して既設ブロックが安定条件を満たす結果となった。しかしながら、ブロックの設置状況を確認すると、水制工の基部については健全であったが、先端部は河床洗堀によって川表側に沈下したことにより、ブロック間が目開きしており、噛み合わせ効果が無い状態であった。よって、群体としての機能が見られないと判断し、単体( $\beta=1.0$ )として計算を見直した。結果、単体では安定条件を満たさないことが確認された。

以上の検討より、河床洗堀の進行に伴う水制工先端部の沈下によってブロックの噛み合わせが喪失し、群体としての安定性を失ったことが被災要因であると結論づけられた。

### 5. 課題②(再度災害の防止)への対応策

#### (1) 既設水制工の構造確認

はじめに、既設水制工が水制工の効果や機能の照査を行った。

##### a) 水制の間隔(C)

流速低減を目的とする水制の間隔は、純間隔 (C)

と水制高さ (hg) の比  $C/hg$  を指標に決定される。河川構造物設計要領<sup>3)</sup>によれば、急流巨石河道を除き、この比は概ね 20 程度とすることが適当とされている。本計画区間における水制高さは 3.37 m であるため、

$$C = 3.37 \times 20 = 67.4m \approx 60m$$

となる。既設水制の設置間隔は 60 m であり、妥当であると判断した。

#### b) 水制の高さ (hg)

河川構造物設計要領<sup>3)</sup>によれば、水制高さは計画高水流量時における平均水深の 0.3 倍とする必要がある。本区間の最深河床における水深は 11.0 m であるため、

$$hg = 11.0 \times 0.3 = 3.3m$$

となる。本区間の既設水制高さは 3.37 m であり、妥当であると判断した。

#### c) 水制の方向

本計画区間の水制は流れに対して直角で設置されている。河川構造物設計要領<sup>3)</sup>より、土砂を積極的に堆積させる必要がない場合は水制の方向は流れに対して直角に設置するものとされているため、水制の方向は妥当であると判断した。

#### d) 水制の長さ (L)

建設省河川砂防技術基準 (案) 設計編<sup>4)</sup>によれば、水制間隔はその長さの 2~4 倍とすることが必要である。本区間における水制間隔は 60 m であるため、水制長は 15~30 m の範囲であることが求められる。既設水制の長さは 20 m であり、妥当であると判断した。

以上より、本計画区間に設置されている水制は、関連設計基準に準拠して計画・設置されており、水制工の効果は確保できていると判断した。

### (2) 既設水制工の機能確認

当該箇所に設置されている水制工は、主として河岸浸食の防止や流速の低減を目的として構築されたものである。一般に、「護岸・水制の計画・設計」<sup>2)</sup>に示される指針によれば、水制工設置後に当該区間の堤防近傍流速を代表流速の概ね5~7割程度に低減させるよう計画することが求められている。本検討においては、既設の水制工が本来の機能を適切に発揮しているか否かについて確認を行った。

水制設置後の堤防近傍流速を算出するにあたり、水制による流速低減効果 $\alpha$ を算出する。 $\alpha$ は、堤防近傍流速が受ける主流の影響に比例する。主流の影響のない所の水制群内の平均流速を  $V_m$  とし、河岸近くの流速として期待される流速を  $U_w$  とすると、 $\alpha$ は以下の式でしめされる。

$$(U_w - V_m)/V_m = \alpha \quad (2)$$

$\alpha$ がある値以下となるのに必要な水制工の幅 $bw$ を次式により算出する。

$$bw = -\ln \left( \frac{\alpha V_m}{u_b - V_m} \right) / \left( \frac{F_w V_m}{H \varepsilon} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

ここで、

$$u_b = (V_m(F_w V_m)^{\frac{1}{2}} + U_{m0}(F_m U_{m0})^{\frac{1}{2}}) / ((F_m U_{m0})^{\frac{1}{2}} + (F_w V_m)^{\frac{1}{2}}) \quad (4)$$

$$\varepsilon = (f')^2 (U_{m0} - V_m)^2 \cdot (1/(F_m \cdot u_{m0})^{\frac{1}{2}} + 1/(F_w \cdot V_m)^{\frac{1}{2}})^2 \cdot H \quad (5)$$

$$u_{m0} = \varphi_0 (gHI)^{\frac{1}{2}}$$

$$V_m = \varphi_{st} (gHI)^{\frac{1}{2}}$$

$$F_m = 2/\varphi_0^2$$

$$F_w = 2/\varphi_{st}^2$$

記号の定義は以下のとおり。

$u_{m0}$  : 主流の流速

$V_m$  : 水制内の流速

$u_b$  : 境界での流速

$\varphi_{st}$  : 水制内の流速係数

$\varphi_0$  : 主流の流速係数

$H$  : 水深

$f'$  : 境界混合係数 (通常0.04程度)

$bw$  : 流速が小さくなるのに必要な距離

ここに、 $u_{m0} = 7.53m/s$ 、 $V_m = 2.22m/s$ 、 $u_b = 4.18m/s$ 、 $\varphi_{st} = 4.76$ 、 $\varphi_0 = 15.10$ 、 $H = 12.16m$ とすると、水制工の幅 $bw=20m$ に対し、 $\alpha=0.50$ となる。式(2)より、堤防近傍流速 $U_w$ は、 $U_w = \alpha V_m + V_m = 3.33m/s$ となる。したがって、堤防近傍流速 $U_w$ は、主流の代表流速 $V_d$ の $(U_w - V_d) \times 100 = 41\%$ となることから、堤防近傍流速が代表流速の概ね5~7割程度に低減させられているため、既設水制工の構造は問題ないことが確認された。

### (3) 再度災害防止のための対応策

以上の結果より、修繕内容については原形復旧を基本方針とすることが妥当と判断した。ただし、本被災の主因が河床洗堀にあることから、再度の被災を防止するためには、河床洗堀軽減対策を併せて講じる必要がある。河床洗堀対策として、以下の2案を検討した。

#### 対策案①：根固め工の設置

水制工前面および側面に根固め工を設置し、水制工直下および前面の河床洗堀を防止する方法である。根固め工の敷設幅については、「護岸・水制の計画・設計」<sup>2)</sup>に準拠して設定した。

#### 対策案②：水制工下部に沈床マットまたは袋詰め根固め工を設置する方法

水制工下部を補強することにより、吸出しによる河床低下の進行を軽減する方法である。本検討では、両工法の適用性について比較を行った結果、施工性・維持管理性および経済性の観点から、沈床マッ

トを採用することが適当と判断した。

対策案③：捨石による埋戻し

水制工下部からの土砂の吸出しを防止するため、水制工施工時に発生する床掘後の埋戻しについて、土砂ではなく捨石を使用する計画とした。なお、捨石の粒径について、護岸の力学設計法に基づく安定計算を行い、φ300内外とした。

#### (4) 水制工の修繕方針

以上の検討結果を踏まえ、本検討区間における修繕方針は以下の通り決定した。

方針①：既設水制工については、構造上の不備が認められないことから、原形復旧を行う。

方針②：水制工前面および側部に根固め工を設置し、局所洗堀の進行を防止する。

方針③：水制工下部に沈床マットを敷設することで吸出しを防止し、河床低下を軽減する。水制工下部の埋戻しには捨石を使用し、さらなる吸出し防止対策を講じる。

これらの対策により、既存水制工が本来有する流速低減および河岸浸食防止の機能を維持するとともに、再度の被災防止が図られるものと考えられる。対策工のイメージを図 6 にしめす。

## 6. 上記以外の課題及び対応策

当該箇所は左岸側に流水が集中しているため流速が大きく、施工が困難であることが予想された。左岸側への流水の集中は、中州の発達に起因するものと考えられるため、中州を一部掘削し、右岸側に流水を転流させる施工方法を提案した。

## 7. おわりに

本検討においては、既設水制工の被災要因を河床洗堀に起因する沈下と特定し、洗堀対策として根固め工および沈床マットの設置を提案した。

しかしながら、河川は様々な要因によって変化する流動的な性質を持っていることから、今後は、下記の対応をすることが望ましい。

### (1) 流況変化への対応

本対策工の設置により局所的な流況や河床変動が変化する可能性があるため、施工後の定期的なモニタリングが必要である。特に、砂州の発達や偏流の進行に伴う新たな流路変動に留意する必要がある。

### (2) 維持管理体制の構築

水制工および根固め工は長期的に洗堀や沈下の影響を受ける可能性があるため、ドローン空撮や河床測量を活用した継続的な点検体制を構築することが望ましい。

### (3) 対策効果の検証

対策工が堤防近傍流速の低減および河岸浸食防止機能を十分に果たしているかについては、施工後の水理観測や数値解析によって効果検証を行う必要がある。

謝辞：本業務の遂行にあたり、国土交通省木曾川上流河川事務所のご指導・ご鞭撻を賜りました。ここに深く感謝の意を表します。

## 参考文献

- 1) (財)国土技術研究センター：護岸の力学設計法，pp. 109
- 2) 国土交通省中部地方整備局河川部：河川構造物設計要領，pp. 2-4-1～2-4-13
- 3) 山本 晃一：護岸・水制の計画・設計 一歩そして一歩手前，pp. 229, 246～248
- 4) 社団法人日本河川協会：改訂新版 建設省河川砂防技術基準(案)同解説 設計編 [1]，pp. 47

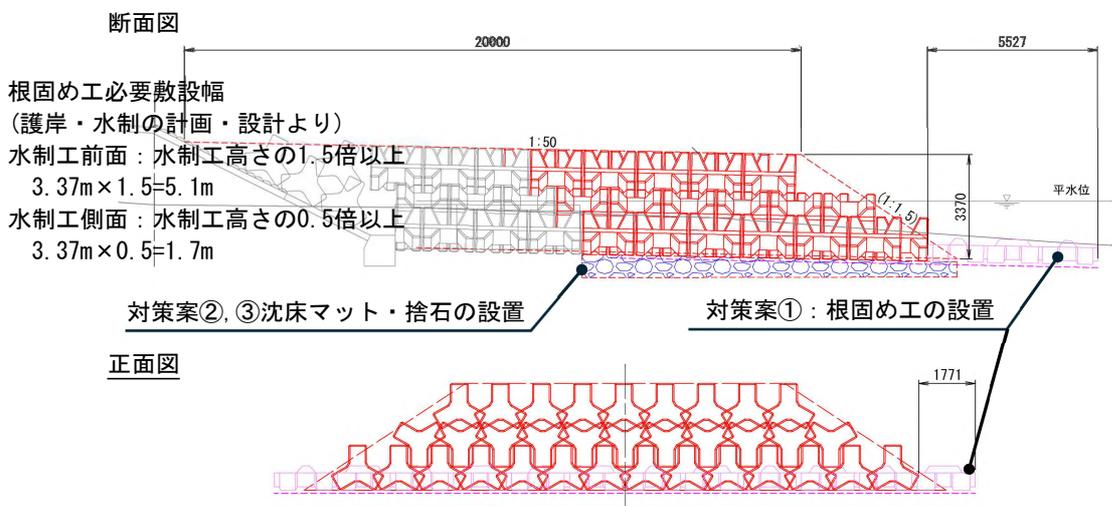


図-6 水制工の復旧方法

# ダム湖利用実態調査でのDX化の取り組み事例

にしざわ ゆう みや あきひ かとう まさゆき てらにし か や の はやし す み こ  
○西澤 悠<sup>1</sup>・宮 映日<sup>1</sup>・加藤 雅之<sup>1</sup>・寺西 夏也乃<sup>1</sup>・林 須美子<sup>1</sup>

<sup>1</sup> (株) 建設環境研究所 中部支社 (〒460-0003 愛知県名古屋市中区錦3-20-27)

河川水辺の国勢調査【ダム湖版】の一環として実施されるダム湖利用実態調査では、公開されたマニュアルにより調査内容や集計様式が統一されており、従来は手作業による現場での野帳記録と様式作成のための室内での電子化による集計作業が一般的であった。そこで、調査プロセスの効率化を図る3種類のDXツール（自動判読リーダー、集計マクロ、電子野帳）を開発し、味噌川ダム及び阿木川ダムにおける令和6年度調査で試験的に活用した。実証試験の結果、味噌川ダムでは約51時間、阿木川ダムでは約100.5時間の作業コスト削減効果の試算が得られた。また、電子野帳のデータバックアップ機能によりデータ紛失のリスクを回避することができた。

**Key Words** : 河川水辺の国勢調査, ダム湖利用実態調査, DX, 自動判読リーダー, 集計マクロ, 電子野帳

## 1. はじめに

ダム湖利用実態調査は、河川水辺の国勢調査【ダム湖版】の一環として原則5年に1回の頻度で実施されるダム湖及びその周辺での利用者の実態把握を目的とした調査である。ダム湖利用実態調査の調査項目や調査方法、調査実施日等は、河川水辺の国勢調査マニュアル[ダム湖版]（ダム湖利用実態調査編）<sup>1)</sup>（以下、調査マニュアルとする）によって規定されている。また、調査結果は、公開されている規定の調査票様式のExcelファイルに入力する。

ダム湖利用実態調査の調査項目のうち、現地調査を伴う主たる項目として、利用者カウント調査と利用者アンケート調査がある。利用者カウント調査は、調査実施日の日の出から日没までの2時間毎に、利用者数をカウントし、性別、年齢層別、利用形態別に集計する調査である。利用者アンケート調査は、ダム利用者に対して利用目的、満足度、感想等の計13題の質問事項をヒアリングする調査である。どちらの調査項目も記録及び集計内容が多岐にわたることに加え、基本的に計7日間の調査日が設定されているため、ダムの利用者数によっては膨大な数のデータを取りまとめることになる。そして、どちらの調査項目も、一般的な作業手順は、①現地で記録するための調査票を準備、②現地での調査及び記録、③調査結果の電子化、④電子化データの集計及び規定の様式作成という4工程からなる（図-1 (a)）。

調査内容や集計項目は調査マニュアルによって統一されている一方で、調査の現場単位では、効率的

に調査を行う仕組みや、集計を自動化するツール等がないのが実情であった。従来の調査では、複数名の調査員が手書きした野帳毎に手入力で電子化する作業が伴い、記録・集計項目が多いことも相まって、転記ミスが多発するリスクがあった。そこで、当社では、従来の現地調査記録の電子化作業及び集計・様式作成の工程について、DXによる効率化を検討し、令和6年度のダム湖利用実態調査での活用を試みた（図-1 (b)）。

本稿は、令和6年度に試験的に実施した味噌川ダム及び阿木川ダムのダム湖利用実態調査におけるDX効率化ツールの活用事例について報告する。

### (a) 従来の工程



### (b) DX効率化ツールを使用した工程

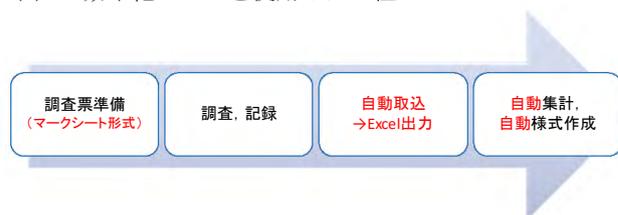


図-1 ダム湖利用実態調査の工程

## 2. DX効率化ツールの仕組み

### (1) 自動判読リーダー

「自動判読リーダー」は、従来の調査票の電子化作業を効率化するために開発したツールで、調査票に記入された数字やチェックマークを自動判読し、自動で電子化するものである。

自動判読リーダーの使用にあたっては、規定の調査票をマークシート形式に変更した専用調査票を用いた。自動判読リーダーは、調査結果を記入した専用調査票をスキャンしてPDF化したものを対象に自動判読を行った。データ整理担当者が実施したことは、自動判読のバッチファイルを実行し、対象のPDFが格納されたフォルダを指定するのみで、その後は判読データのExcelファイルと判読結果の確認用画像が自動出力される流れとなっていた。確認用画像では、判読の可否が色分けして表示されるため、データ整理担当者のチェックを補助した(図-2)。

図-2 自動判読リーダーの判読結果の確認用画像

### (2) 集計マクロ

「集計マクロ」は、従来のデータ集計・様式作成の作業プロセスを効率化するために開発したツールで、自動判読リーダーから出力された読み取り結果を、調査マニュアルで規定されている様式に自動集計するものである。

集計マクロの操作は、5つの必要事項を入力して実行ボタンを押すのみで集計が完了するように簡略化を図った(図-3(a))。集計完了後は、「Log」シートが表示され、読み取り結果の整合性チェック

も行われた(図-3(b))。

### (a) 実行画面

### (b) Logシートの読み取り結果の整合性チェック

図-3 集計マクロ

### (3) 電子野帳

利用実態調査用の「電子野帳」は、従来の調査票の電子化作業を効率化するために、MicrosoftのListsアプリをベースに開発したツールで、現地でタブレット端末に入力したアンケート結果を直接CSVファイルに出力することができる。

本ツールは、Microsoft Teams経由で接続する仕様になっており、入力結果は社内に即時共有された(図-4)。

図-4 Teamsでの入力結果確認画面

## 3. 実証結果と効果検証

### (1) 実証試験の概要

#### a) 実証試験のダム

開発した3つのツールは、独立行政法人水資源機

構が所管する木曽川水系に位置する味噌川ダム及び阿木川ダムの令和6年度のダム湖利用実態調査で試験的に活用した。

味噌川ダムは、長野県木曽郡木祖村の標高1,130mの高地にある木曽川最上流に位置するダムである(図-5)。令和元年度調査の公表データによると、味噌川ダムの年間利用者数の推計値は12,600人となっており(表-1)、全国平均の約10万人と比べると、利用者数は少なかった<sup>2)</sup>。

阿木川ダムは、岐阜県恵那市の木曽川河口から約110km上流にあり、都市近郊に位置する都市型ダムである(図-5)。令和元年度調査では、阿木川ダムの利用者数の推計値は153,893人となっており(表-1)、全国平均より利用者数が多く、中部地方のダムの中で最も利用者数が多かった<sup>2)</sup>。



※国土交通省中部地方整備局 木曽川水系ダム統合管理事務所HP 「木曽川水系統合管理対象ダム」<sup>3)</sup>を改変。

図-5 味噌川ダム及び阿木川ダムの位置

表-1 令和6年度ダム湖利用実態調査の調査要件

ダム名	R1年間利用者数(推計値)	R6ダム湖利用実態調査要件			
		調査日数	調査時間帯※	調査ブロック数	調査体制
味噌川ダム	12,600人	6日間 (春:2日, 夏:3日, 秋:1日)	春・夏: 6時~18時 秋: 6時~16時	9	2人 ×2班
阿木川ダム	153,893人	7日間 (春:2日, 夏:3日, 秋:1日, 冬:1日)	春・夏: 6時~18時 秋・冬: 8時~16時	14	2人 ×3班

※調査時間帯の中で、利用者カウント調査は2時間毎に実施し、利用者アンケート調査は利用者カウント調査の合間に実施した。例えば、調査時間帯が6時~18時の場合、利用者カウント調査は7回実施した。

## b) 現地調査の概要

味噌川ダムにおける令和6年度ダム湖利用実態調査は、ダム湖周辺施設の一般利用が禁止される冬季を除く、計6日間に実施した(表-1)。調査時間は、

春季及び夏季の計5日は6時~18時、秋季の1日は6時~16時であった。利用者カウント調査及び利用者アンケート調査を実施した調査ブロックは、味噌川ダム周辺の9ブロックで、調査は1班あたり調査員2名の2班体制で実施した。

阿木川ダムにおける令和6年度ダム湖利用実態調査は、4季の計7日間に実施した(表-1)。調査時間は、春季及び夏季の計5日は6時~18時、秋季及び冬季の計2日は8時~16時であった。調査ブロックは阿木川ダム周辺の14ブロックを対象とし、調査の体制は、1班あたり2名の3班体制で実施した。

両ダムともに、利用者カウント調査では自動判読リーダーと集計マクロを活用し、利用者アンケート調査では現地で電子野帳も一部で活用した。

## (2) 効果

DX効率化ツールの活用による効果の1つ目として、作業コストの削減が挙げられる。利用者カウント調査において、従来の紙野帳の転記作業と、集計及び様式作成作業には、1調査日・1ブロック・1調査時間帯のデータが記録された野帳1枚につき、合わせて約6~8分を要すると想定された。従来の方法で令和6年度の各ダムの利用者カウント調査を実施した場合の作業コストを試算すると、味噌川ダムの調査要件では、春季及び夏季には1調査日あたり6~8分×7回×9ブロック≒約6~8時間、秋季には6~8分×6回×9ブロック≒約5~7時間の作業量が推測された。よって、味噌川ダムにおける春季及び夏季に5日、秋季に1日の計6日分の調査では、少なくとも35~47時間のコスト削減に貢献したと推測された。

阿木川ダムの調査要件では、春季及び夏季には1調査日あたり6~8分×7回×14ブロック≒約10~13時間、秋季及び冬季には6~8分×5回×14ブロック≒約7~9時間の作業量が推測された。そのため、阿木川ダムにおける春季及び夏季に5日、秋季及び冬季に2日の計7日分の調査では、少なくとも64~83時間のコスト削減に貢献したと推測された。

また、利用者アンケート調査では電子野帳と紙野帳を併用したが、電子野帳に対して紙野帳では、聞き取り対象者1名あたりの回答の転記作業に少なくとも約5分の余分な時間を要していた。味噌川ダムでは対面で計50枚、阿木川ダムでは対面で計210枚のアンケート回答を得たため、電子野帳を調査員全員に手配できていれば、味噌川ダムの場合に約250分、阿木川ダムの場合に約1,050分のコスト削減に貢献できたと考えられた。

以上より、利用者カウント調査と利用者アンケート調査を実施するにあたり、3種類のDX効率化ツールを活用した場合には、DX化前に比べて、味噌川ダムの調査で計51時間程度、阿木川ダムの調査で計100.5時間程度のコスト削減効果があるとの試算が得られ、DXツールを導入することで調査プロセスの効率化に寄与できるものと考えられた。

DXツールの活用による効果の2つ目には、データのバックアップとして機能したことが挙げられた。

利用者アンケート調査において、従来の紙野帳では、常にデータ紛失のリスクがあったが、実証試験では、電子野帳を活用したことにより、現地での記録が即時にMicrosoftサーバー上に保存されたことから、従来の野帳紛失等に伴うリスクを回避することができた。

## 5. 今後の課題

3種類のDXツールの活用により、従来のダム湖利用実態調査における作業プロセスを効率化することができた一方、利用者カウント調査での自動判読リーダーの判読精度が課題の1つとして挙げられた。例えば、自動判読リーダーが0を6と誤判読する例が散見された。今後、リーダーの数字認識モデルの判読精度向上を図ることができれば、広く社会実装化の目途が立つと考えられた。

この課題に対しては、専用調査票を電子野帳にして、記録者による数字やチェックマークの書き方の癖が生じないようにすることが解決策の1つと考えられたが、今回の実証試験では、タブレット端末の操作に不慣れな外部調査員も記録に関わったことを

考慮し、紙からのインプットを前提として効率化を試みたという背景があった。現地調査へのDXツール導入を推進するにあたり、各調査員がタブレット端末の取り扱いに習熟することも今後の課題である。

**謝辞：**本稿は、独立行政法人水資源機構阿木川ダム管理所及び味噌川ダム管理所（現 木曾川上流ダム総合管理所）より受注した業務において実施した内容であり、公表への快諾に対し、両管理所の関係者の皆様には厚く御礼申し上げます。

## 参考文献

- 1) 国土交通省 水管理・国土保全局 河川環境課，2024（令和6）年度版河川水辺の国勢調査マニュアル[ダム湖版]（ダム湖利用実態調査編），2024
- 2) 国土交通省 河川局 河川環境課，令和元年度河川水辺の国勢調査結果[ダム湖版]（ダム湖利用実態調査編），2021
- 3) 国土交通省 中部地方整備局 木曾川水系ダム統合管理事務所ホームページ，木曾川水系統合管理対象ダム，<https://www.cbr.mlit.go.jp/kisodamu/index.php>，2025年9月1日閲覧

# 中山間地域の中小河川における 新しい流域治水検討フロー

○日比野翔悟<sup>1</sup>・平野浩之<sup>1</sup>・山田千翔<sup>1</sup>・清水裕介<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup>大日コンサルタント(株) 本社 ICT設計部 (〒500-8384 岐阜県岐阜市藪田南3-1-21)

A川B地区では、令和5年8月の豪雨により甚大な浸水被害が発生した。本格的な河川改修は事業費の不足等により困難であり、流域治水の考え方を取り入れた治水対策計画の立案を目的に、河川管理者や地域代表者、コンサルタントによるワークショップを開催した。検討では多様な手法による保全区域の浸水防御に加え、河川区域のみならず氾濫域も含めて洪水を流下させる治水計画を立案した。これにより、事業費を抑制しつつ、地域の合意形成を図り、沿川の浸水被害の軽減を可能にした。さらに、レーダー解析雨量を用いた流出解析や三次元点群データを活用した平面二次元流解析を実施し、被災メカニズムの解明と計画案の効果検証を行った。

**Key Words** : 流域治水, ワークショップ, 流出解析, 洪水流解析

## 1. はじめに

### (1) 論文の概要

近年、気候変動の影響により、全国で豪雨による水害が頻発し被害が激甚化している。降水量の増大に対応し、防災・減災を早期に実現するためには、流域のあらゆる関係者が連携し、流域全体で水害軽減に取り組む「流域治水」への転換が求められている。本稿では、A川における近年の豪雨災害を踏まえ、地域の合意形成を図りつつ策定した流域治水の考え方を取り入れた水害対策の検討について報告する。

### (2) 流域および浸水被害の概要

A川は延長7km、流域面積24km<sup>2</sup>の一級河川である。流域の大部分は森林で占められ、山間部を蛇行しながら流下している。B地区には、小規模な平地に集落や農地が分布し、A川には多数の農業用取水堰が設置されている。

令和5年8月豪雨は、台風第7号が近畿地方を遅い速度で北上したことに加え、その周辺から流入した暖かく湿った空気の影響により、8月15日から17日にかけて、県内広域で大雨となった。この結果、A川は各所で氾濫し、特にB地区2.1~4.2k付近においては、浸水面積約8ha、床上浸水1棟、床下浸水8棟、道路冠水や土砂流入を伴う農地被害が発生した(図-1)。

A川では、平成30年7月豪雨を含め過去5年間に2度の水害が発生しており、地域住民からは水害対策

に強い要望が寄せられている。

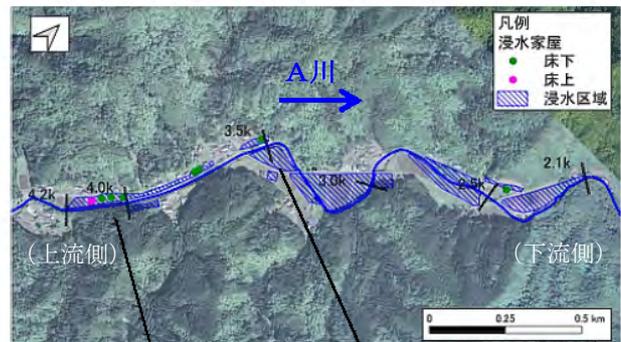


図-1 A川の令和5年8月台風第7号による浸水状況  
(出典：地理院タイルに浸水範囲等を追記)

## 2. 課題および解決手法の提案

令和5年8月豪雨による洪水は、A川の流下能力を大きく超過した。浸水被害を解消するには、河道掘削、護岸整備、取水堰の改修といった大規模な河川工事が必要である。また、下流域への負担増加を回避するためにはB川の河川整備も併せて必要となる。しかし、A川の本格的な改修には莫大な費用と長期

間を要するため、河川管理者が河川区域内の対応だけで早期に浸水被害を解消することは困難である。そこで、地域の特性に応じて、河川区域に限定せず集水域や氾濫域を含む流域全体で柔軟に対策を講じる「流域治水」の考え方が必要と判断した。

加えて、その実現には地域の合意形成と関係機関の連携が不可欠である。そこで「ワークショップによる川づくり計画」を開催し、令和5年8月豪雨と同規模の洪水に対しても被害を最小限に抑える治水計画を検討することを提案した。さらに、流域治水計画の妥当性を確認するため、近年発展している空間情報技術を活用し、氾濫メカニズムの分析およびワークショップによる計画案の検証を実施した。

### 3. ワークショップによる川づくり計画案

#### (1) ワークショップの開催

河川管理者や地域代表の自治体職員、若手コンサルタント技術者が参加するワークショップを開催し、治水対策案を検討した（写真-1）。参加者は2つのチームに分かれ、被災原因や対策について議論し、両チームの提案を計画案としてとりまとめた。また、自然共生工法研究会の勉強会で紹介された「バーチャルツアー」や「浸水実績を可視化したVRモデル（図-2）」を活用して、室内での現地踏査を可能にした。ワークショップでは、立場や世代の異なるメンバーが参加することで、多様な視点から浸水メカニズムや対策について議論が展開され、人材育成や防災学習としても貴重な機会であった。



写真-1 川づくりワークショップの開催状況

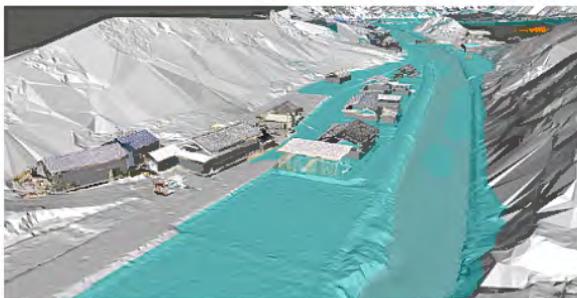


図-2 浸水実績を可視化したVRモデル

#### (2) 川づくり計画案

ワークショップでとりまとめた川づくり計画案の計画条件と検討結果を次に示す（図-3）。

＜計画条件＞

対象区間：B地区 2.0k～4.3k（L=2300m）

目標：床上浸水被害の解消または低減。

河川改修：河道拡幅、大規模な掘削は実施しない。

支障物件：取水堰や橋梁は改修しない。

その他：住民避難等のソフト対策には依存しない。＜検討結果＞

B地区の水害常襲地域において、流域治水の理念の下、上下流への負担を増大させることなく、早期かつ効率的に家屋の浸水被害を防止・軽減を図ることを目指した。対策案は、河川区域、氾濫区域、集水域、局所対応を適切に組み合わせ、保全区域の浸水防御を行うとともに、河川区域だけでなく氾濫域も含めて安全に洪水を流下させる。川づくり計画位置図を図-3に、計画のポイントを以下に示す。

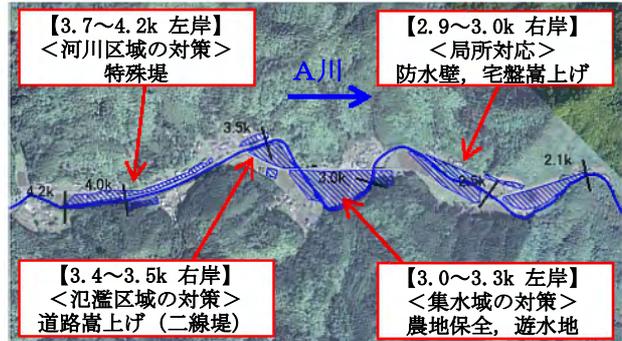


図-3 川づくり計画案 計画位置図

#### 【3.7～4.2k左岸】＜河川区域の対策＞

河川区域から堤内地への洪水氾濫を防止するため、河川管理者が特殊堤を用いて堤防の嵩上げ（河川区域の対策）を実施する計画とした（図-4）。これにより、床上浸水家屋の洪水リスクを軽減できる。

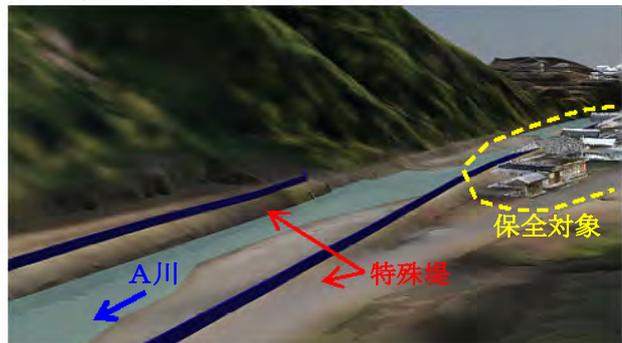


図-4 河川区域の対策（特殊堤）

#### 【3.4～3.5k右岸】＜氾濫区域の対策＞

洪水が県道を越えて民家に到達したことが想定されるため、道路を嵩上げて二線堤を形成し、氾濫を抑制する計画とした（道路管理者と連携）（図-5）。これにより、家屋の浸水被害を軽減するとともに、災害時に必要な防災活動の動線を確保できる。



図-5 氾濫区域の対策（道路嵩上げ）

【3.0～3.3k左岸】＜集水域の対策＞

地権者の了解を得た上で、農地を現状のまま保全する。水田の貯留機能を維持することで流出を抑制し、下流域の洪水負担を増加させることなく、家屋の浸水被害を軽減する計画とした（図-6）。



図-6 集水域の対策（水田貯留機能の維持）

【2.9～3.0k右岸】＜局所対応＞

谷や取水路などから流水や土砂が流入した箇所については、宅盤の嵩上げや防水壁の設置といった局所的な対策で氾濫を防止する計画とした（図-7）。

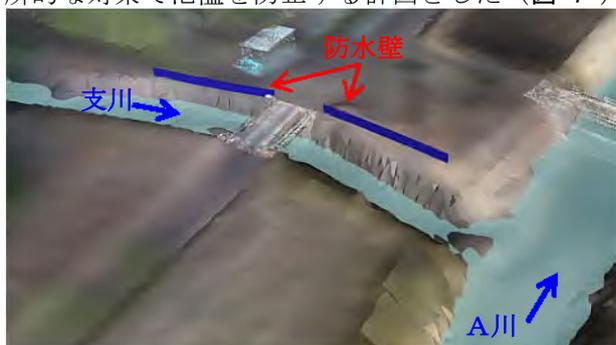


図-7 局所対応（防水壁の設置）

4. 氾濫メカニズム、対策効果の検証

(1) 水害が発生した降雨の分析

水害対策において、過去洪水の検証は、再度災害防止の観点から重要である。A川では、正確な記録が残されていないが、平成30年7月豪雨においても水害が発生している。そこで、平成30年7月豪雨および令和5年8月豪雨について、1kmメッシュレーダー解析雨量を用い、被災日を含む3日間の降雨分布を整理した。その結果、中小河川の流出量に大きく影響する雨量強度に着目すると、A川流域における1kmメッシュ解析雨量の最大値は、平成30年の方が令和5年を上回っており、平成30年の洪水が令和5年の洪水より流量の規模が大きかった可能性が示唆された（表-1、図-8～9）。

表-1 A川流域の最大雨量(1kmメッシュ解析雨量最大値)

洪水名	最大雨量	確率年
平成30年7月	59.6mm/h	1/10程度
令和5年8月	42.8mm/h	1/2程度

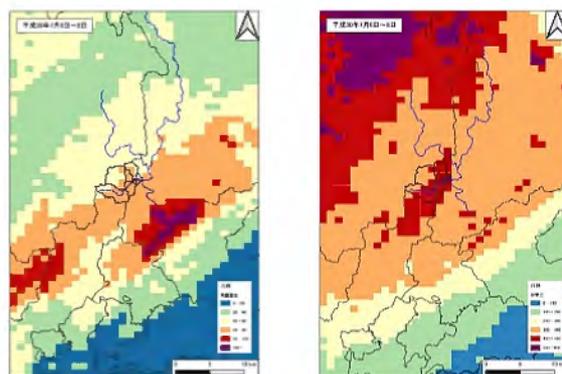


図-8 平成30年7月豪雨(左 最大雨量mm/h, 右 総雨量mm)

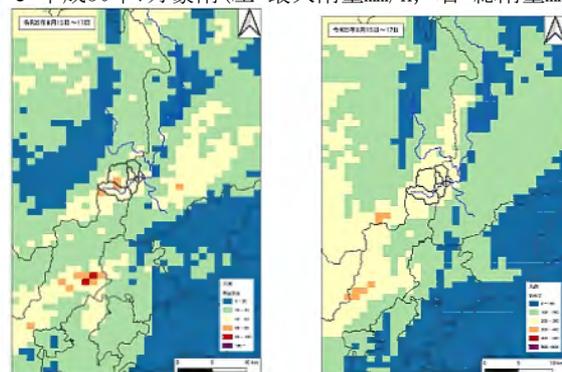


図-9 令和5年8月豪雨(左 最大雨量mm/h, 右 総雨量mm)

(2) 水害が発生した流量の推定

A川の流量は、合成合理式を用いた流出解析により推定した。解析では、支川や小流域ごとに流域平均ハイトグラフを作成し、合理式によりハイドログラフを算定した。その後、河道の遅れ時間を考慮して各ハイドログラフを合成し、基準点におけるハイドログラフを求めた。流域平均ハイトグラフは、支川や小流域単位で、解析メッシュ雨量を加重平均して作成した。また、流出係数は、国土地理院の土地利用細分図(100mメッシュ)を基に、各流域の加重平均値を算定した。その他の計算パラメータは一般値を用い、基底流量は $0.01\text{m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ とした。洪水到達時間は「流入時間=30分 $\times\sqrt{\text{流域面積}/200\text{ha}}$ 」により算定し、流下時間はクラークヘン式( $V=3.5\text{m/s}$ )を適用して算出し、河道の遅れ時間として設定した。検討の結果、平成30年7月豪雨時のピーク流量は約 $220\text{m}^3/\text{s}$ と推定され、これは1/10確率程度に相当すると考えられる（表-2、図-10）。

表-2 近年洪水の推定ピーク流量

洪水名	推定ピーク流量	確率年
平成30年7月	$220\text{m}^3/\text{s}$	1/10程度
令和5年8月	$170\text{m}^3/\text{s}$	1/2程度

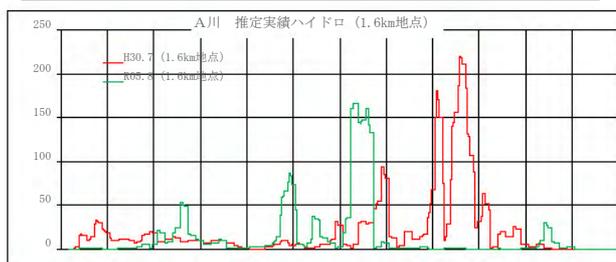


図-10 ハイドログラフの推定結果

### (3) 流況解析による被災メカニズムと対策の検証

水害対策は、河道や洪水の特性、氾濫域の状況を十分に考慮し、流域全体で適切なバランスを取る必要がある。しかし、A川の計画区間2.0k~4.3k (L=2300m) については、過去に詳細設計が行われた2.2k~2.8k (L=800m) を除き、LPから作成した100mピッチの断面図と、それをを用いた概略的な不等流計算しか存在しない。そのため、ワークショップで立案した川づくり計画には、正確性に課題があると考えられる。そこで、グリーンレーザ測量により取得した詳細な三次元地形データを用い、平成30年7月豪雨のピーク流量約220m<sup>3</sup>/sを条件として平面二次元流解析を実施し、浸水による被災メカニズムと対策工の効果を検証した。解析には、二次元水理解析ソフトウェアiRICを用いた。

#### 【3.7~4.2k左岸】<河川区域の対策箇所>

被災時を対象とした解析結果(図-11 左)では、実際の被災状況と同様に左岸で越水し、家屋や道路が浸水する状況が再現された。このことから、解析モデルは概ね妥当であることを確認した。

計画案では、特殊堤(河川区域)を提案している。これをモデルに反映した解析結果(図-11 右)では、堤内側への氾濫が減少し、対策案の有効性が確認された。ただし、特殊堤の設置にあたっては、浸水範囲や越水位を精査し、設置区間や高さを適切に計画する必要がある。

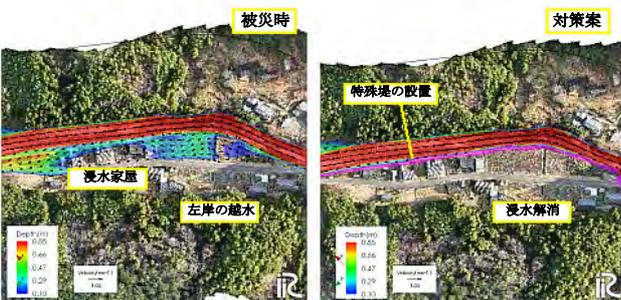


図-11 3.7~4.2k左岸の流況解析(左 被災時, 右 対策案)

#### 【3.4~3.5k左岸】<氾濫区域の対策箇所>

ワークショップでは、3.5k付近の浸水家屋は県道を越えた氾濫が原因と考えられていた。しかし、被災時を対象とした解析結果(図-12 左)からは、県道側だけでなく、3.6k付近の河岸からの越水も民家に到達していた可能性が示された。

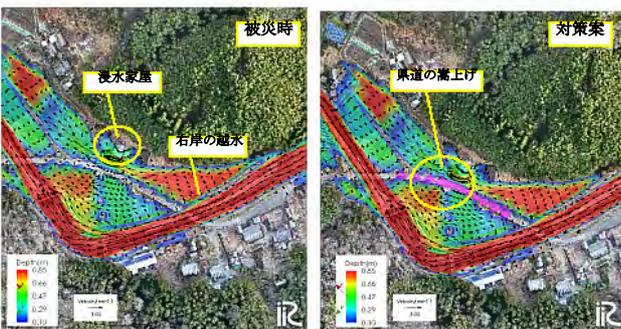


図-12 3.4~3.5k右岸の流況解析(左 被災時, 右 対策案)

また、計画案では、3.5k付近の県道を嵩上げて二線堤を形成することとしていたが、解析結果(図-12 右)では、民家付近の氾濫を十分に抑制できないことが明らかとなった。したがって、3.6k付近における越水の解消に必要な堤防の嵩上げを検討する必要がある。

## 5. 結論および今後の展望

流域全体で水害を軽減する「流域治水」への転換には、流域内のすべての関係者の協力が不可欠であり、新たなアプローチが求められる。図-13 に示すように、従来の治水計画は、河川管理者が策定した改修計画を地域住民に説明し、理解を得る形であったが、今後の治水計画では、計画策定の過程からの地域の合意形成が重要であると考えられる。本業務では、治水計画の条件設定から対応方針の立案に至るまで、ワークショップを導入し、地域特性に即した治水計画を立案した。さらに、デジタル技術を活用して検討の効率化と合意形成の支援を行うとともに、空間情報技術を用いた解析により水害メカニズムと対策効果を検証した。この業務フローは、A川を管理する某県における川づくりの先進事例となり、「中山間地域の中小河川における新しい流域治水検討フロー」として展開が期待される。今後も本実績を基に技術向上に努め、流域治水に貢献していきたい。

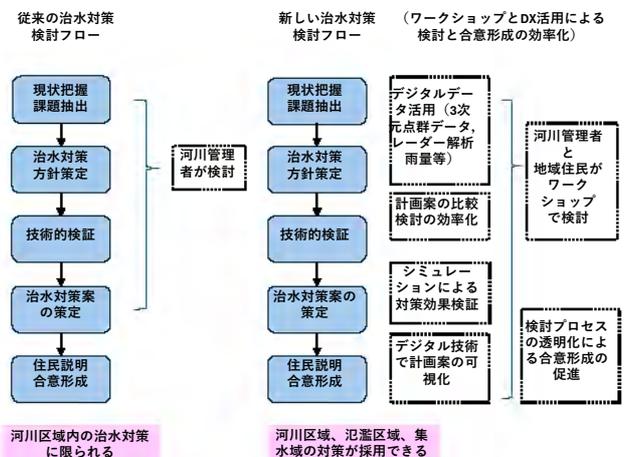


図-13 中小河川における新しい川づくり策定フロー

**謝辞:** 本稿は、某県が発注した一級河川における概略設計業務の成果の一部を活用したものである。本稿の公表を許可いただいた当該業務の発注機関ご担当者様、ならびにワークショップにご協力いただいた自治体職員の皆様に、厚く御礼申し上げます。なお、本稿における見解は執筆者個人のものであり、発注機関の公式見解を示すものではない。

### 参考文献

- 1) 一般財団法人 気象業務支援センター: レーダー・アメダス解析雨量 (1kmメッシュ) (2018, 2023)
- 2) iRIC, <https://i-ric.org/ja/> (最終閲覧日2024年9月9日)

# 流域治水の一例となる流域貯留の検討

○栗谷 樹<sup>1</sup>・立松 敦史<sup>1</sup>

<sup>1</sup>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)

S県H市を流れる(準)G川下流域では近年、内外水氾濫被害が頻発している。G川中流部に整備されているK池雨水貯留池では令和4年9月23日台風第15号時に満水となり、過去最大貯留量を記録した。本業務では、(準)G川流域における被害軽減の早期実現を目的にK池の改良案検討を実施した。改良案は、内水排除時間増加を目的に既存K池の貯留容量増量と新設遊水地整備を提案した。洪水調節計算モデルを用い効果検証した結果、水位上昇の抑制、外水氾濫による浸水面積の低減を確認した。提案した新設遊水地は改修計画に位置づけがないため、気候変動を考慮した高水計算により、将来の改修計画見直し時に既存施設として位置づけることとした。

**Key Words :** 流域治水, 雨水貯留池, 治水計画, 洪水調節計算, 気候変動

## 1. はじめに

S県H市では近年、表-1に示すような大規模な降雨が発生している。いずれの降雨においても、図-1(位置図)の浸水常襲地区で床上浸水や大規模な道路冠水といった浸水被害が頻発しており、市民生活に大きな影響を与えている。

また、(二)M川の一次支川である(準)G川(市管理河川)流域の中流に整備されている「K池雨水貯留池(貯留容量:146,000m<sup>3</sup>,集水面積:3.96km<sup>2</sup>)、以下:K池」では、R4年9月23日台風第15号の際に満水となり、過去最大貯留量を記録している。

上記のような甚大な被害をもたらす豪雨は、将来において増大すると予想されている。IPCC(国連気候変動に関する政府間パネル)では、「気候システムの温暖化には疑う余地はない」とし、最も気温上昇の低い予測(RCP2.6)においても今後100年間で2℃の上昇が予測されている。これにより2040年ごろには、全国の一級水系において治水計画の対象とする降雨量の変化倍率が約1.1倍となる試算がなされた<sup>1)</sup>。

気候変動による水災害の激甚化・頻発化に対し、従来の管理者主体のハード整備のみでは計画的に治

水安全度を向上させることは容易ではない。

そのため、今後は流域のあらゆる関係者が協同して水災害被害軽減に向けて取組む「流域治水」への転換が必要である。

豪雨被害や治水行政の動向を踏まえ、H市では、大規模豪雨発生時に被害の軽減を図ること、浸水被害からの早期復旧を図ることを最終目標とし、目標達成のための当面10年間の短期的な取組み方針を位置

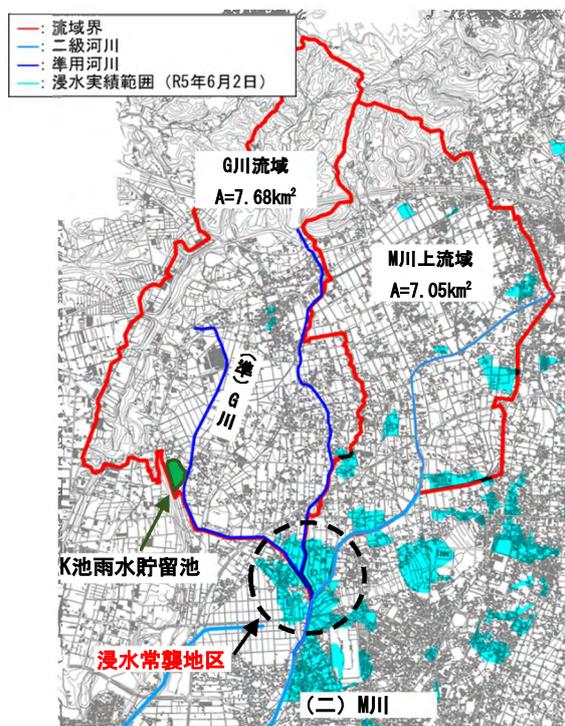


図-1 位置図

表-1 既往降雨の概要

対象降雨	概要
R4年9月2日 (豪雨)	1時間雨量118.0mm(1/600年確率相当) 24時間雨量175.0mm(1/3年確率相当)
R4年9月23日 (台風第15号豪雨)	1時間雨量66.0mm(1/10年確率相当) 24時間雨量313.0mm(1/90年確率相当)
R5年6月2日 (台風2号及び前線)	1時間雨量47.0mm(1/2年確率相当) 24時間雨量334.0mm(1/150年確率相当)

付けた「H市総合雨水対策計画」を公表している。この計画において、G川流域は対策の重点エリアに位置付けられており令和5年6月2日台風第2号と同等規模の降雨に対し、「床上浸水被害の概ね解消」を目指すとしている。

上記背景を踏まえ、図-1に示す浸水常襲地区での浸水被害軽減を早期に実現することを目的に、K池の改良案を検討した。改良案においては、今後の気候変動を踏まえた位置づけについても検討した。

## 2. 現状分析

G川は図-2に示すように、現況の流下能力が整備計画規模に対して不足している箇所がある。また、既往の豪雨により越水氾濫が発生しており破堤氾濫リスクを有している。そのため、本市は令和5年4月に河川改修計画を策定し、河道拡幅が計画されている。

しかし、G川合流点のM川は整備水準が低く、流下能力が $W=1/3$ 未満である。さらに、図-1より、G川流域とM川のG川合流点より上流の流域面積がほぼ同程度であり、洪水到達時間（雨水流下時間）は概ね同時間である。

以上より、流下能力が不足している河道においてG川流域とM川流域からの洪水流がほぼ同時刻に流下し、河川水位が早期に上昇することで内水排除時間が短くなり、内水氾濫が発生していると考えられる。

## 3. 浸水被害軽減対策に対する課題の抽出

上述のように、浸水被害が頻発しているため、浸水被害の早期対策が必要であるが、河川改修は下流から実施する必要があるため、M川・G川の改修には非常に長い時間を有する。そのため、河川改修実施を待たずに治水安全度向上を図る必要が生じた。

また、G川のK池流入工直下流には図-4に示すようにオリフィスが設置されており、下流への通過流量がコントロールされる。オリフィス径を小さくすることで下流への通過流量の低減は可能であるが、上流部での浸水被害が発生・拡大する懸念がある。そのため、オリフィスは非改修としたうえで、内水排除時間を確保する必要があった。

## 4. 貯留池改良案の検討

早期着手可能な施策として貯留池の改良が挙げられた。貯留池改良であれば、下流への流下量を抑制可能であり、上下流の治水バランスが悪化しない。

K池の改良案として、「H市総合雨水対策計画」の対策目標である令和5年6月2日豪雨を対象に検討を実施した。この豪雨は、6月2日から3日にかけて長時間の降雨が続き、1時間雨量は47mmと確率規模は $W=1/2$ 程度であったが、24時間雨量が334mmと計画規模 $W=1/150$ に相当する雨量であった（図-5）。

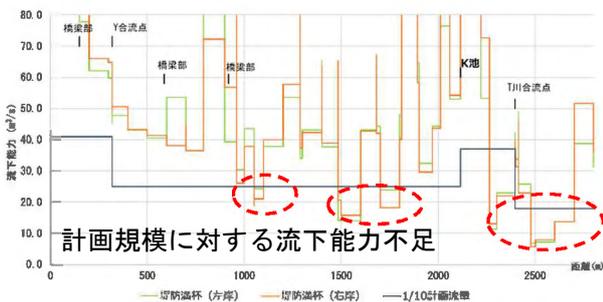


図-2 G川現況流下能力



図-4 K池流入工およびオリフィス

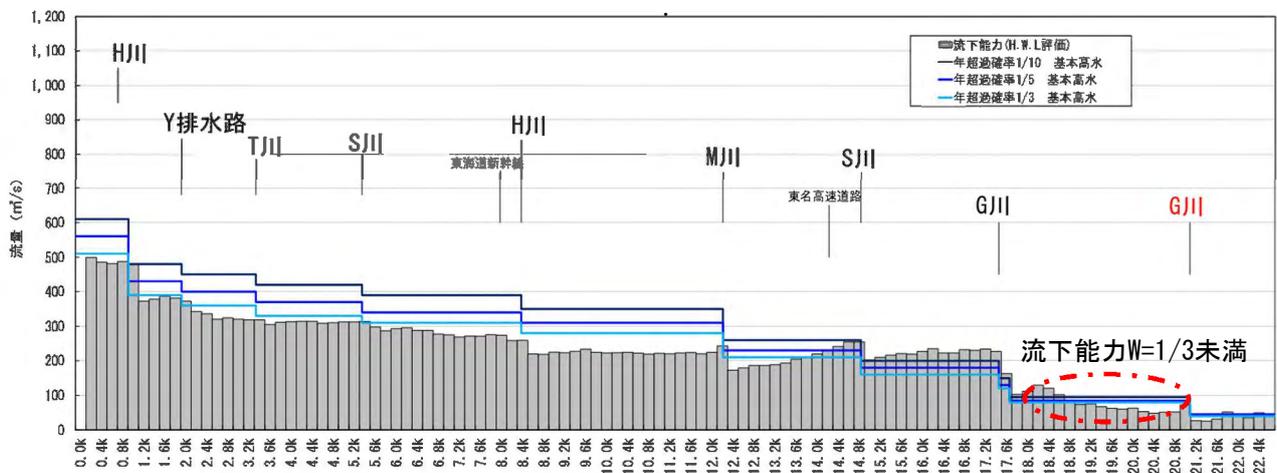


図-3 (二) M川河口からの距離と流下能力

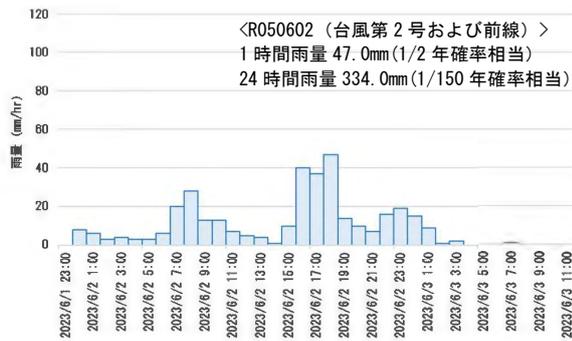


図-5 令和5年6月2日豪雨 時間雨量グラフ

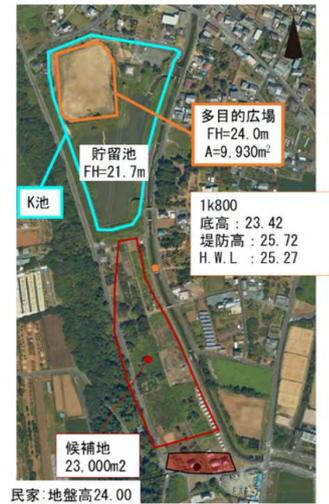


図-7 K池航空写真

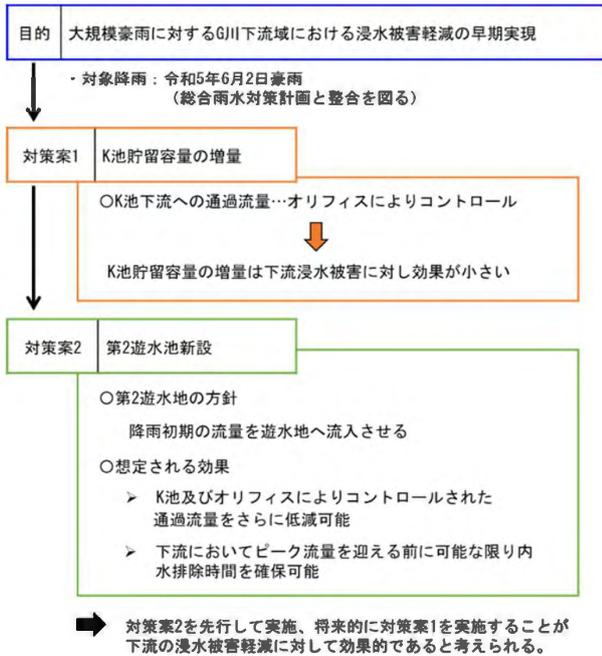


図-6 貯留池改良案検討フロー

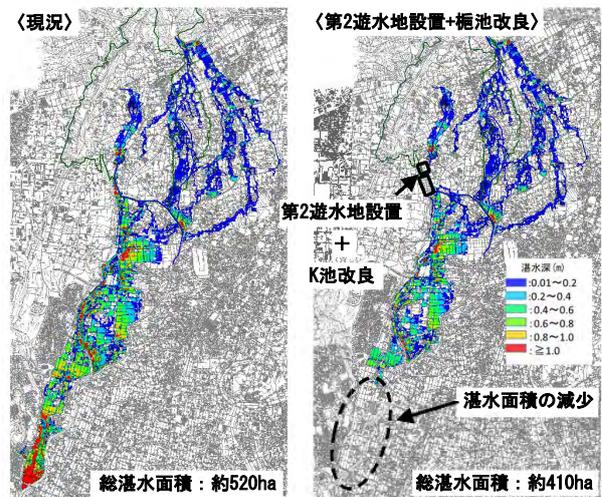


図-8 令和5年6月2日豪雨における氾濫解析結果

貯留池改良案の検討フローを図-6に示す。対策案1として、K池の増量を検討した。しかし、上述したように洪水時の通過流量はオリフィス断面によりコントロールされる。そのため、対策案1では、水位上昇の時間に変化はなく、浸水常襲地区の被害軽減効果は小さいと考えた。

そこで、対策案2（第2遊水地新設）を新たに検討した。新設位置は、K池及びオリフィスによって低減された流量をさらに低減させることを目的に、K池の下流として選定した（図-7）。

また、第2遊水地では、令和5年6月2日豪雨のような長時間降雨に対し初期流量を遊水地へ流入させ、下流域の内水排除時間確保を目指した。

以上より、第2遊水地の新設を先行して実施し、将来的にK池を改良することが下流の浸水被害に対する早期対策として効果的であると考えられる。

(1) 対策案1（K池貯留容量の増量）

浸水常襲地区の浸水被害軽減効果は小さいと考えられるが、ピーク流量の軽減を目的に、図-7に示すK池内の多目的広場を1m掘削し、貯留量を約10,000m<sup>3</sup>増量する。

(2) 対策案2（第2遊水地新設）

K池南側の農地に遊水地を新設する案を提案した。候補地の概算面積は23,000m<sup>2</sup>であった。流入地点をG川1k800地点とし、流入地点の計画高水位、放流先のG川現況河床高より貯留容量を算出し、約86,700m<sup>3</sup>貯留可能な遊水地を位置付けた。

(3) 改良案における効果確認

効果確認手法として、洪水調節計算モデルを構築し、外水氾濫シミュレーションにより定量的な効果確認を実施した。結果を図-8に示す。

本図より、現況施設のみに対し、第2遊水地設置+K池改良を実施した場合、総湛水面積が現況では約520haであるのに対し、改修後では約410haと110ha減少可能であることを確認した。また、G川下流における水位及び流量比較を浸水常襲地区において実施した。その結果を図-9に示す。本図より、河道内水位及び流量は、現況に対し、初期流量を7.0m<sup>3</sup>/s低減し、水位が0.5m低下している。これにより、ピーク流量を迎える前の内水排除時間が確保可能となる。さらに、浸水継続時間を1時間短縮可能である。

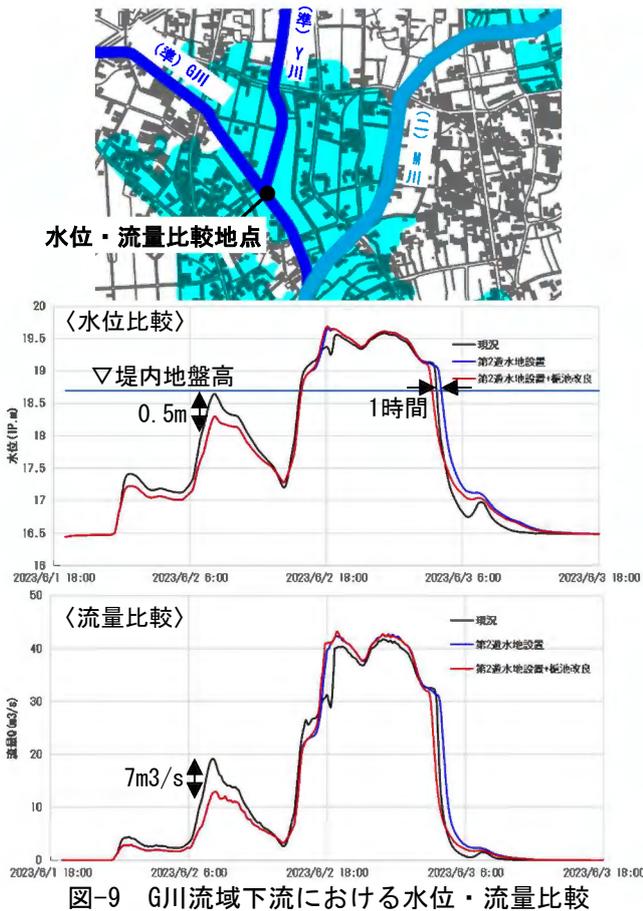


図-9 G川流域下流における水位・流量比較

(4) 第2遊水地の将来的な位置づけ

第2遊水地の課題として改修計画に位置づいていないため、将来的な必要性を整理する必要があった。

先述のように今後、気候変動により同一確率規模の降雨量が増加することが予想される。そのため、第2遊水地は、気候変動によって増加した流量の一部を貯留する施設として将来的に計画に位置付けることとした。

対象となる計画降雨が気候変動により1.1倍となった場合の流出量を算定し、現行の整備計画における流出量との差分を貯留する(図-10)。

気候変動を考慮した場合は現計画より総量が約109,000m<sup>3</sup>増加する。この増加分の一部を第2遊水地(貯留容量V=約86,700m<sup>3</sup>)において貯留することとした(表-2)。

5. 現時点での評価と今後想定されるリスク

(1) 現時点での評価

(準) G川下流に対する内水排除時間の増加を目的に既存K池の貯留容量増量と新設遊水地整備を提案した。洪水調節計算モデルより定量的な水位上昇の抑制の確認、外水氾濫による浸水面積の低減を確認でき、流域治水の一例となる検討ができた。また、提案した新設遊水地は河川改修計画に位置づけがない

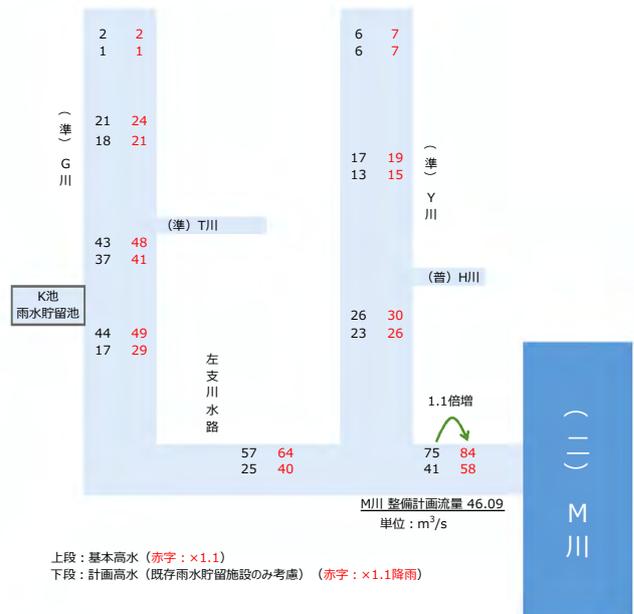


図-10 整備計画規模 基本高水流量配分図

表-2 G川下流における基本高水総量比較

MJ川合流点 整備計画規模		
1	基本高水総量	754,728m <sup>3</sup>
2	基本高水×1.1倍総量	863,319m <sup>3</sup>

ことから、気候変動を考慮した将来的な位置付けを設定することにより新設の必要性も整理できた。

(2) 今後想定されるリスク

既往の実績豪雨(長期間豪雨)を対象に検討を進めたが、将来的な気候変動や土地利用の変化等により流入実態や浸水現象が変化するリスクがある。そのため、今後の雨水流出を継続的にモニタリングすることが必要である。また、新設遊水地は初期流量を遊水地へ流入させることを目的としており流入頻度が高い遊水地となる。そのため、土砂の流入等による貯留容量が減少する可能性がある。定期的な維持管理が重要である。

6. 終わりに

第2遊水地の新設・K池の改良を実施することで水位上昇の抑制・外水氾濫による浸水面積の低減を示すことができた。

本検討の第2遊水地面積は概算面積のため設計時には、詳細な有効貯留量を測量等実施の上、検討する必要がある。

7. 参考文献

1) 気候変動を踏まえた水災害対策, 国土交通省 水管理・国土保全局 河川計画課 河川計画調整室長 森本 輝

# ゼロメートル地帯における堤防決壊シミュレーションを通じた継続的な防災体制向上に向けた取り組み支援の検討

○たなかしゅんすけ田中俊介<sup>1</sup>, ふじもとせいや藤本誠也<sup>1</sup>, にいほらひかる新原輝<sup>2</sup>, しもとりかずき下鳥一樹<sup>3</sup>

<sup>1</sup>八千代エンジニアリング株式会社 名古屋支店 (〒460-0004 愛知県名古屋市中区新栄町2-9)

<sup>2</sup>八千代エンジニアリング株式会社 大阪支店 (〒540-0001 大阪府大阪市中央区城見1-4-70)

<sup>3</sup>八千代エンジニアリング株式会社 本店 (〒111-8648 東京都台東区浅草橋5-20-8)

木曾川下流河川事務所では、事務所管内の地域特性を踏まえ、堤防決壊時の緊急対策シミュレーションにおいて、応急復旧と排水計画との両面での検討を実施している。本論文では、事務所職員が災害対応を「我が事」として捉えられるようにするための取り組みとして、演習の内容を段階的に変え、継続的な体制向上に向けて検討した内容について報告する。

**Key Words** : 堤防決壊シミュレーション, 応急復旧, 排水作業, ゼロメートル地帯

## 1. はじめに

### (1) 背景・課題

近年、気候変動の影響により、集中豪雨や台風の激甚化・頻発化が顕著となっている。本検討の対象地域である木曾川下流域は、我が国最大のゼロメートル地帯に位置しており(図-1)、ひとたび大規模な洪水が発生し、堤防が決壊した場合には、広範囲にわたる深刻な浸水被害が想定されるため、迅速な堤防の応急復旧と氾濫水の排除が不可欠となる。

中部地方整備局管内では、近年、直轄河川の決壊を伴うような大規模氾濫が発生していないため、災害対応を担う職員の災害対応経験の不足と、技術継承が課題として挙げられる。人的・経済的被害を最小限に抑える上で、災害発生時の迅速かつ的確な対

応を行うには、平時から職員の防災意識を高め、実践的な対応能力を養うための取り組みが求められる。

### (2) 目的

本検討の目的は、この「災害対応経験の不足」という課題に対し、堤防決壊シミュレーション(以下、「演習」という。)を段階的に実施することで、職員の災害対応意識を「他人事」から「我が事」へと変革させ、その成果を継続的な組織体制の向上に結びつけるための効果的な手法を検討することにある。

本検討では、演習を計2回(令和6年度に1回、令和7年度に1回)実施している。各年度において、それぞれの目的を設定したうえで、演習実施による効果や職員の災害対応への意識の変化の見える化を図った。

具体的には、令和6年度の演習では、若手の育成を念頭に「災害対応に関する基本的な内容」を、令和7年度では「実働時の調整事項等を含む、より実践的な内容」を各演習で実施した。各演習終了後にアンケート調査を実施し、回答結果を分析することで、各演習における課題の把握と今後の改善案について検討を行った。

本論文では、演習内容の段階的な改善が職員の意識をどのように変革したかを、演習後の職員に対するアンケート調査結果に基づく分析を通じて実証的に考察する。

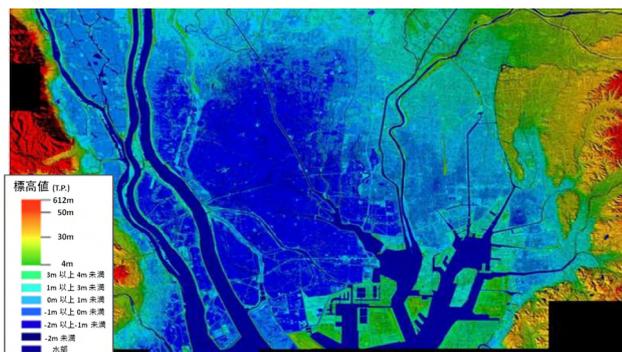


図-1 濃尾平野 標高図

## 2. 実施内容

本検討では、木曾川下流河川事務所を対象に、職員の災害対応能力向上を目的として、2度の堤防決壊シミュレーション演習を実施した。演習は「事前勉強会→演習本番→アンケート調査→事後勉強会」の順番で実施した(図-2)。本演習は、長期的な浸水が想定されることを踏まえて、堤防の応急復旧・排水作業の両面で備えることを目的としている。

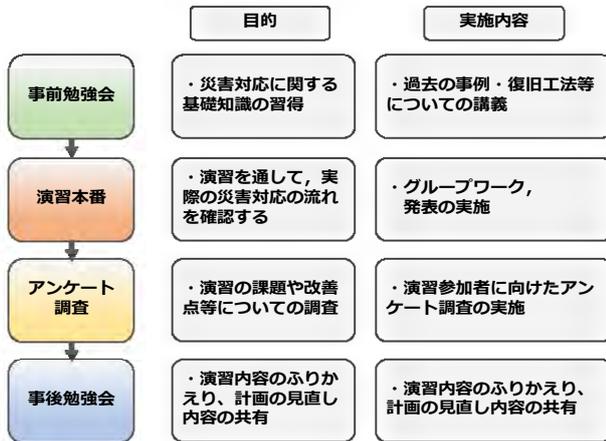


図-2 演習の流れ

### (1) 1回目の演習について

令和6年5月に実施した1回目の演習では「若手職員の育成」を念頭に置き、災害対応に関する基本的な内容の理解を目的とした。

演習では、災害対応の全体の流れを学ぶため、堤防の応急復旧・排水作業の両方を含めた演習とした。演習参加者の人数が均等になるようにA~Fの6班に分配し、与えられた設問に対し、堤防の応急復旧：60分、排水作業：30分の制限時間を設け、演習を実施した。

堤防の応急復旧は、正案、堤防決壊時の対応マニュアル(案)等を参考に、決壊から応急復旧堤防の完成に至るまでの図面、数量、工程表の作成、必

要資材調達方法などを検討した。

排水作業は、決壊発生からの経過時間に応じて必要となる作業(排水ポンプ車要請台数、配置場所、配置台数、アクセスルートの確認等)に関する検討を行った(表-1左側)。

演習終了後に実施したアンケート調査から以下の意見・課題が挙げられた。

- ・技術職と事務職が混在しているため、実際に災害対応を行う者で班を分けて演習を実施すべき
- ・実際の災害対応を考慮して、より実践的な演習とすべき(現場での調整の理解等)
- ・緊急災の申請・外部に向けた広報に関する演習が実施できていない

### (2) 2回目の演習について

令和7年5月に実施した2回目の演習では、1回目の演習で挙げた課題を踏まえ、「実働を考慮した実践的かつ応用的な演習の実施」を目的とした。

演習では、各自が担当する分野に応じて、A班・B班(堤防の応急復旧)、C班(排水作業)、D班(外部に向けた広報・契約)の4班に分かれて演習を実施した。なお、1回目の演習と比較して、与条件や設問を細かく設定した上で、演習を実施した。なお、各班の演習時間は、120分とした。

堤防の応急復旧は、復旧工程の立案、資機材調達先およびアクセスルートの決定、現場での調整事項の洗い出しといった災害時の対応力が求められる、より高度な判断力を要する内容で構成した(表-1右側)。

排水作業は、決壊発生直後から排水作業完了までの時間区分や設問の内容を1回目の演習よりも細かく設定し、市町村や局等の関係機関に向けて調整が必要な事項の確認や排水ポンプ車の要請台数・配置場所・集結場所・現場までのアクセスルート等について検討した(表-1右側)。

外部に向けた広報・協定業者との契約は、災害当日の流れの確認、様式の作成を行った。

なお、本検討では、災害対応の効率化・高度化を目的に、災害対応時に必要となる情報を直感的に、

表-1 演習概要

項目	令和6年度	令和7年度
開催月・時間	令和6年5月 13:30~16:30(3時間)	令和7年5月 13:30~17:00(3時間30分)
参加者	事務所・出張所職員:37名、建設業協会:5名、コンサル:5名、河川工法伝承研究会:3名、河川災害等アドバイザー:1名、河川工事課(局):4名 計55名	事務所・出張所職員:35名、建設業協会:11名、河川工法伝承研究会:3名、河川災害等アドバイザー:1名、河川工事課(局):3名 計53名
目的	・演習を通して災害当日に悩みそうなこと、不安なことを把握する ・災害対応の改善点を発表する	・災害当日の動きを想定した復旧工程を作成する ・資機材量や施工日数等の災害当日の規模感を把握する ・災害対応の改善点を発表する
演習内容	外力	・洪水(想定最大規模)2地点同時決壊
	演習方法	・技術系・事務系の職員ともに人数が均等になるように6班に分配し、各班で「復旧計画(60分)」「排水計画(30分)」に関する演習を実施。 ・各班の検討内容を発表→講評
	復旧計画	・次口止工~応急復旧堤防の作図・数量計算 ・資材調達先・運搬ルートの検討 ・施工日数の算定、工程表の作成
	排水計画	・排水ポンプ車の要請台数・集結場所の設定 ・配置場所・アクセスルートの設定 ・浸水状況の変化に伴う対応の確認
広報・契約	—(未実施)	・緊急災・広報の様式を作成

かつ速やかに確認することが可能である「出水時対応支援システム(図-3)」を開発した。このシステムでは、事務所内のマニュアルや過去の計画をデジタルデータとして一元管理し、アクセスを容易にすることで、災害時の情報整理と共有を効率化・高度化する役割を担う。なお、当該システムはHTMLにより構築されており、継続的な防災体制の向上に寄与するように、エクセルでの更新が可能である。

2回目の演習では、実際にシステムを用い、排水作業の計画作成や応急復旧計画の作成に取り組んだ。システムの活用により、より迅速に必要な情報を得ることが可能となり、作業の効率化に寄与することが確認できた。



図-3 出水時対応支援システム

### 3. 結果と考察

1回目・2回目の演習終了後に実施したアンケート調査(表-2)の結果から、2回の演習を通じた災害対応への意識の変化と、演習内容に応じた課題について分析を行った。なお、本検討では、演習を令和6年度と令和7年度に実施している。令和6年度の演習参加者は、一部異動しており、演習参加者・アンケート回答者が同じではないことに留意が必要である。

表-2 アンケート設問(1回目・2回目共通)

設問	
Q.1	入省後の年数について、あてはまるものをお選び下さい。(建設会社等の関係機関は回答不要) 【選択肢：5年未満、5年～10年未満、10年～15年未満、15年～20年未満、20年以上】
Q.2	これまでに堤防決壊の災害対応を経験したことがありますか。 【選択肢：ある、ない】
Q.3	「事前勉強会～演習～本アンケート調査」を通して、よかったことや得られたことがあれば、記載してください。
Q.4	「事前勉強会～演習～本アンケート調査」を通して、課題・意見および対応策があれば、記載してください(必要に応じて行の追加をお願いします)。記載にあたっては、下記の観点に分類してください。 ①演習自体に対する観点 ②既存の計画(「堤防決壊時の対応マニュアル(案)」「堤防決壊時の応急復旧計画書」「排水作業準備計画図」)に関する観点 ③災害当日に向けた体制面(出水時対応支援システム等 含む)の観点 ④ハード対策(資材備蓄、構築と堤防天端道路の接続等 含む)に関する観点 等 ⑤その他
Q.5-1	「事前勉強会～演習～本アンケート調査」を通して、本出水期に向けて、平常時における事前準備を何か実施しようと思いませんか? 【選択肢：はい、いいえ】
Q.5-2	「Q.5-1」で、「はい」と回答された方は、下記に具体例を記載してください。
Q.5-3	「Q.5-1」で、「いいえ」と回答された方は、その理由を記載してください。
Q.6	上記の他、感想等があれば、記載してください。

#### (1) 災害対応への意識の変化について

1回目の演習は基礎的な内容の理解を、2回目の演習は実働を考慮した応用的な内容の実施を図っている。それぞれの演習内容とアンケート調査結果で関係性があることを確認できた。

手法としては、アンケート調査の結果を、(a)災害に対する意識の変化・気づき、(b)災害対応に向けた具体的な行動や準備、のそれぞれに関わるキーワード(表-3)で集計し、アンケートの回答にどのような傾向が出ているか分析した(図-4)。

1回目の演習後のアンケート調査では、(a)に関連する意見を述べた人数が15人、(b)に関する意見を述べた人数が16人であった。この段階では、堤防決壊の「恐ろしさ」や「我が事」として捉え直すといった、抽象的な危機意識の醸成が中心であったと言える。

2回目の演習後のアンケート調査では、(a)に関連する意見を述べた人数が9人に減少した一方で、(b)に関連する意見を述べた人数は19人と、(b)の回答が占める割合が高くなった。これは、1回目の演習で醸成された危機意識が、具体的な課題の抽出と解決策の検討へと深化したことを示している。参加者が単に危機感を抱くだけでなく、「何が足りないのか」「どうすれば間に合うのか」といった、より実践的な課題を自ら見つけ出すレベルにまで意識が向上したことを示している。

表-3 (a)(b)に関するキーワード

(a)災害に対する意識の変化・気づきに関するキーワード
恐ろしさ、我が事、他人事、責任、実感、意識、考え方、重要性、危機感、理解、学ぶ、勉強、反省、再認識、気づき など
(b)災害対応に向けた具体的な行動や準備に関するキーワード
準備、計画、システム、整備、見直し、手配、連絡体制、マニュアル、資材、調達、ルート、情報整理 など

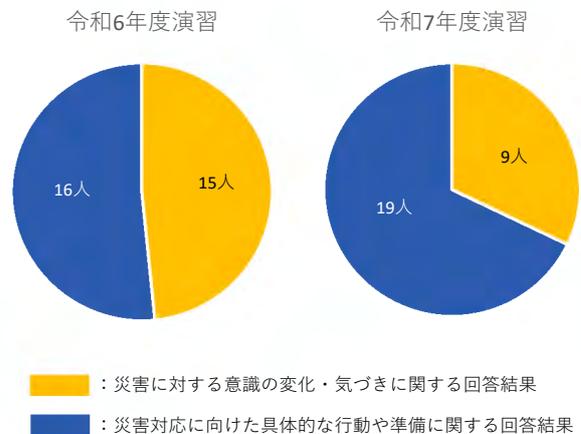


図-4 アンケート分析結果

## (2) 段階的な演習を実施した効果・課題

アンケートに回答した職員の入省年数を比較したところ、2回目の演習の方が、入省後10年以上の職員からの意見が多くなっている(図-5)。また、回答からは、計画の見直しや演習内容の改善のように、具体的な改善方法に関する意見が複数寄せられている。2回目の演習は、実働を踏まえた実践的かつ応用的な内容にしたことと、システムの導入により災害対応の課題が見える化したためだと思われる。

ただその一方で、若手職員が演習内容を理解しきれていなかったように思える、という意見も挙がっている。そのため、今後の演習では若手・中堅・ベテランのそれぞれに焦点を当てて演習内容を考える必要がある。

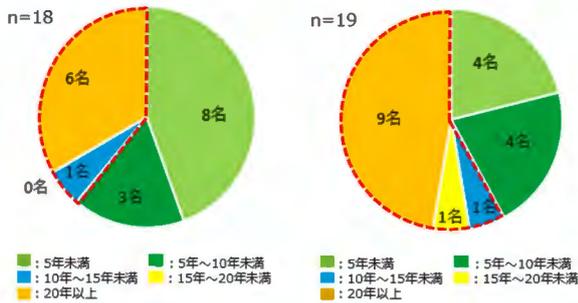


図-5 職員の入省後の年数 (アンケート設問Q1)  
(左: 令和6年度, 右: 令和7年度)

## (3) 演習による理解度の把握について

これまでの演習では、事前勉強会・演習本番のみに検討を行い、参加者のスキルアップを図るような形となっていた。これを緩やかにスキルアップが図れるように、下記の3つの事項を改善することが必要である。演習方法改善のイメージを図-6、図-7に示す。

- ① 資料の事前配布による自己学習の促進
- ② 事前勉強会にプチ演習の埋め込みによる演習内容理解の円滑化
- ③ 各職員の災害対応力の変化を定量的に評価するため、演習の前後で理解度調査を実施

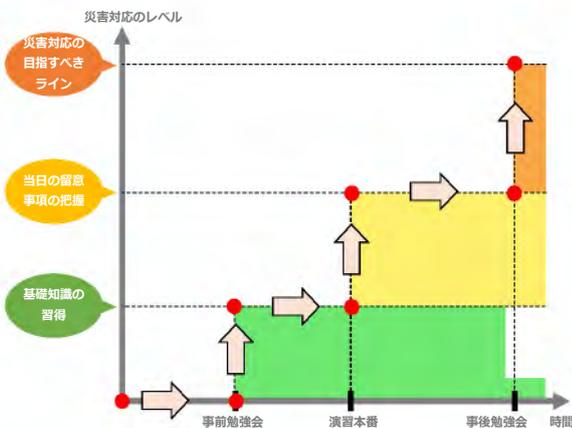


図-6 これまでの演習のイメージ図

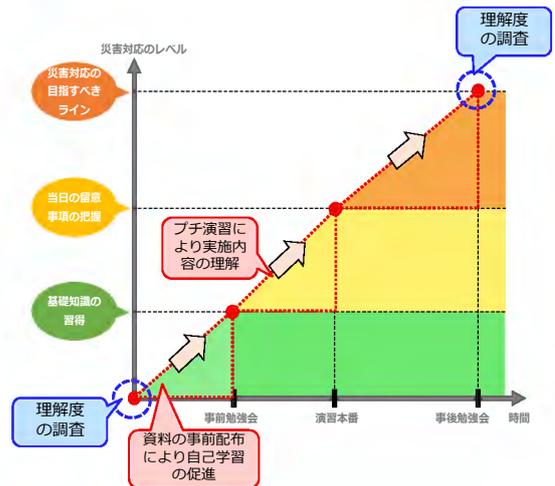


図-7 改善後の演習のイメージ図

なお、演習方法の改善にあたって、組織としてのスキルアップを図る必要がある。行政では、移動・新規採用職員入省等がある中で、所内の職員の知識にはばらつきがある。所内全員がこれらの内容について習熟すべきであり、事前勉強会・演習本番・事後勉強会を誰のために、何をするのかのを明確化していく必要がある。

## 4. 結論・今後の展望

本検討で、段階的な堤防決壊シミュレーション演習が、職員の災害対応意識を「我が事化」させ、さらに具体的な行動へと深化させる上で有効な手法であることを実証した。1回目の演習で危機管理意識の変革という基礎を築き、2回目の演習で実践的な課題の抽出能力を養うというアプローチは、職員の防災能力を効率的に向上させるための鍵となる。

また、演習で得られた成果は、平時の業務に継続的に活かされて組織の力となる。この点に関して、システムは、演習で高まった意識を具体的な行動へと転換するための重要なツールとして機能する。

今後、災害が激甚化することが予想される中で、より大規模で複雑な災害を想定した演習手法を検討していく必要がある。複数の破堤箇所や、高潮・地震など複合的な災害を想定したシミュレーションを計画し、より高次の判断力や広域的な連携能力を養うための演習へと発展させるべきである。

また、本検討で得られた知見を、他の河川事務所での同様の取り組みに展開することで、組織全体の災害対応能力向上に寄与することが期待される。今回の取り組みは、災害が激甚化する時代において、建設コンサルタントが果たすべき重要な役割の一つであり、今後も継続的な検討が不可欠である。

謝辞: 本稿の作成にあたり、演習の実施にご協力いただいた木曾川下流河川事務所職員の皆様、構成などご助言いただいた八千代エンジニアリング株式会社の皆様に、深く感謝申し上げます。

# 大規模開発下においてもホタルの生息環境を維持するエコシステムの創造

こばやしつかひろ こばやしたけみ きむらこういち まつおかふみひろ  
 ○小林高浩<sup>1</sup>・小林毅美<sup>1</sup>・木村晃一<sup>1</sup>・松岡史展<sup>1</sup>

<sup>1</sup>株式会社オオバ 名古屋支店 (〒464-0003 愛知県名古屋市中区錦1-19-24)

本業務は、愛知県西尾市の既存工場敷地（株式会社デンソー）に隣接する丘陵地において、次世代自動車分野等の製造拠点となる新工場の建設敷地の造成を行ったものである。事業区域は高低差が30m以上あり、保安林やホタルの生息区域を含む中、一団の工場敷地を確保しつつホタルの生息環境を維持するものであり、計画・設計・工事までを5年間という短期間で行ったものである。本論文は、大規模開発下においてもホタルをはじめとする在来の動植物の生息・生育環境を維持するために講じたプロセスと成果を発表するものである。

**Key Words** : 大規模開発, ホタル, 水量・水質確保, 緩速ろ過, ロバスト設計, ビオトープ

## 1. はじめに

西尾市は愛知県西三河南部地域の中核的な都市で自動車関連産業が盛んであり、愛知県企業庁は次世代自動車分野等の製造拠点の創出を図るため、既存工場に隣接する丘陵地（以下「西尾次世代産業地区」という）において用地造成事業を進めていた。

事業区域は高低差が30m以上あり、保安林やホタルの生息区域を含む中で早期操業を図るため、計画・設計から工事完了・用地引渡しまでを5年間という短期間で行うとともに、一団の工場敷地を確保しつつホタルの生息環境を維持することが求められていた。

本稿は、大規模開発下においてもホタルをはじめとする在来の動植物の生息・生育環境を維持するために構築したエコシステムを報告するものである。

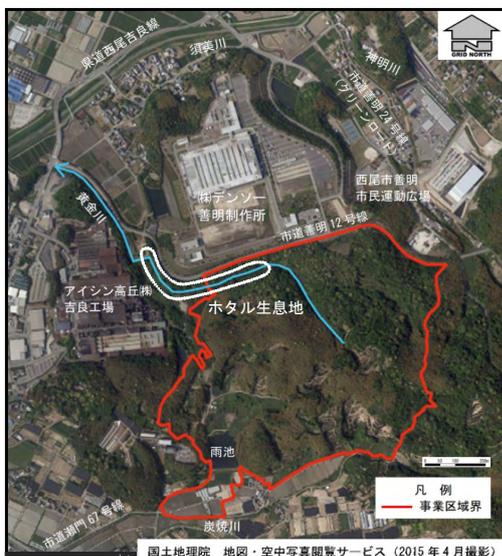


図-1 事業区域

## 2. 事業背景

### (1) 西尾次世代産業地区の概要

西尾次世代産業地区（以下「本地区」とする）の敷地面積は約50haで、既存のデンソー善明製作所の南側に市道を挟んで隣接し、新工場が予定されていた（図-1参照）。ホタルの保全是デンソーのCSRの一環であるとともに、事業の円滑な推進に資する地元合意形成に寄与するものであった。当社は開発事業に係る測量、調査、計画・設計（ビオトープ含む）、許認可手続きなど全般を担い2024年に竣工した。（図-2参照）

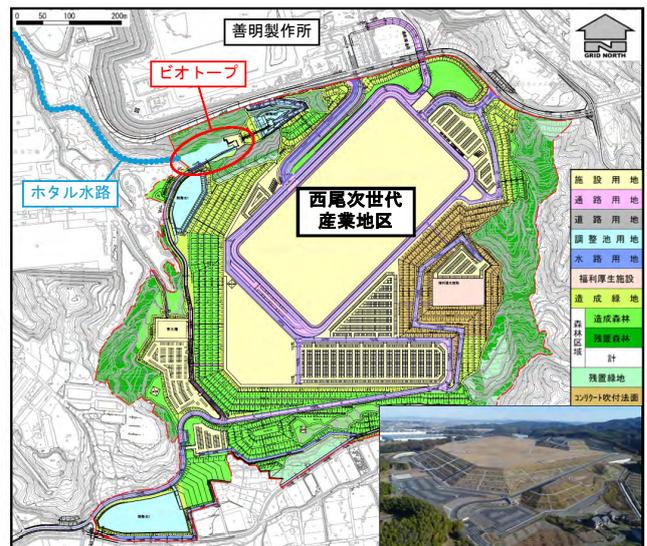


図-2 土地利用計画図と竣工写真（南西から望む）

### (2) ホタル生息地の概要

ホタル生息地は、本地区の北西側の黄金川（こがねがわ）の流域である。この一帯では地元が愛護団

体である善明枝垂れ桜・ホタル保存会（以下「ホタル保存会」とする）を結成して30年以上の間ゲンジボタル（以下「ホタル」とする）の保存活動が続いており、デンソー善明製作所も活動に協力していた。

(3) 環境配慮の必要性

水源が開発区域に重なるため、ホタル生息地の水量減少・水質悪化・環境対策が最重要課題であり、開発後もホタルが生息できる環境の維持が必須であった。

### 3. ホタルの生息環境の維持に向けた課題

#### (1) 水量の確保

黄金川上流の流量は日平均で200～300m<sup>3</sup>/日と季節的に変動していたが、造成によって谷地形が失われることで水量減少が予測されたため、ホタルの生息に必要な水量を如何に確保するかが課題であった。

また、従来は降雨が地下に浸透して緩やかに流れ出していたが、開発後は屋根や舗装から速やかに排水されるようになる。ホタルを含む生物は年周期で変動する水量に適応しているため、この変動を再現する仕組みも必要と考えた。

#### (2) 水質の確保

開発による水質の変化が水生生物に影響を及ぼすことが懸念された。ホタルやその幼虫の餌となるカワナが好む水質は「生活環境の保全に関する環境基準」では、水産3級（コイ、フナ等のβ中腐水性の水産生物用）とされており、黄金川上流部の水質はこの水質（β中腐水性）に適合していた。

ミネラル分は、カワナが餌となる珪藻の繁殖に必要なシリカ（SiO<sub>2</sub>）が、開発前は15mg/l前後であったが、シリカは雨水が地中を浸透する中で添加されるため、開発による減少が危惧された。一方、ホタルの生息に必要なシリカ量を示す文献はなかったため全国事例調査を行いホタル生息地の下限値の7.9mg/lを下回らないようにする必要があったと考えた。また、ホタルの生息上限水温は文献等で28℃であったことから、開発後の水温管理が必要と考えた。

#### (3) 水辺環境の構築

開発前の対象地は幅15～20mの水田跡が東西に延びる谷筋であり、谷の北側斜面はツブラジイ・コナラ群落、谷の南側斜面はモウソウチクの竹林が広がっていた。ホタルは開発区域外の西尾市が管理する下流の黄金川でも繁殖していたことから、水田跡、水路それぞれの特性を継承するピオトープの構築が必要と考えた。

### 4. 課題の解決策

課題解決策の立案にあたっては、自然界での事象を人為的に創出する困難性を念頭に、単一策では計画通りにいかなかったときにホタルの生息環境を失うため、多面的・複合的な取り組みを行うものとした。水量・水質・水辺環境について最悪のシナリオを想定し、二重三重の対策を講じることで、ホタルの

生息環境を維持する「エコシステム」を構築した。（図-3参照）

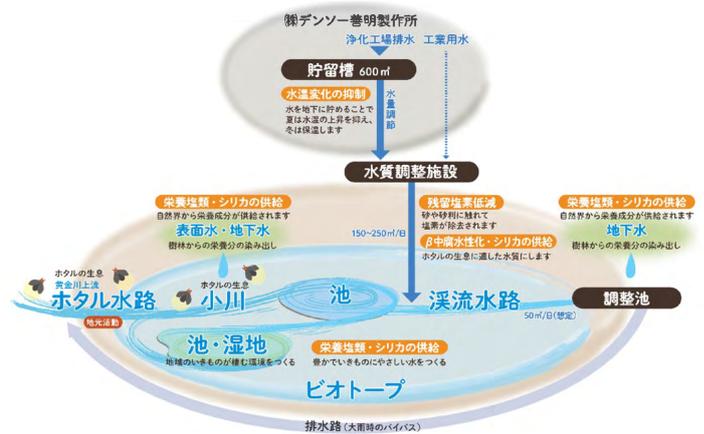


図-3 ホタルの生息環境を維持するエコシステム

#### (1) 水量確保への対応

##### a) 代替水源の確保

水量確保の代替水源を①隣接する善明製作所の浄化処理後の工場排水（以下「浄化工場排水」とする）、②湧水、③工業用水、④調整池の水（雨水）とし、状況に応じて使い分ける仕組みとした。

##### ①浄化工場排水【ベース水源Ⅰ】

安定供給（150～250m<sup>3</sup>/日）が見込める浄化工場排水をベース水源とし、善明製作所に新設した地下貯水槽に寝かせることで「地熱による水温上昇抑制」「生物に影響のある残留塩素の低減」を図った。

##### ②湧水【ベース水源Ⅱ】

工事時に確認された湧水を暗渠管で導く計画とし、流量は実際の湧水量より少ない50m<sup>3</sup>/日とした。

##### ③工業用水【バックアップ水源Ⅰ】

工場の長期休業時（年末年始、GW、夏季）など、浄化工場排水が利用できないときは工業用水をバックアップ水源として使用できるような構造とした。

##### ④調整池の水【バックアップ水源Ⅱ】

調整池の水は、開発直後の水質は安定しないため、継続的に水質調査を行い、水質確認後、堰により供給量を調整できる構造とした。

##### b) 年周期で変動する水量の再現

ピオトープに供給する上記水源と季節水量（渇水期150m<sup>3</sup>/日・中間期200m<sup>3</sup>/日・豊水期250m<sup>3</sup>/日）を切り替える制御設備を配備した（表-1参照）。

水源は水圧感知による自動切り替え、水量はスイッチ操作とした。

表-1 季節変動に対応した水量計画

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
区分	渇水期		中間期		豊水期			中間期				
水質調整施設	150 m <sup>3</sup> /日		200 m <sup>3</sup> /日		250 m <sup>3</sup> /日			200 m <sup>3</sup> /日				
湧水	50 m <sup>3</sup> /日											
合計	200 m <sup>3</sup> /日		250 m <sup>3</sup> /日		300 m <sup>3</sup> /日			250 m <sup>3</sup> /日				

※水量は、既存の黄金川の水量調査結果から設定

※浄化工場排水（ベース水源）の供給が不足する時は工業用水（バックアップ水源）を補給

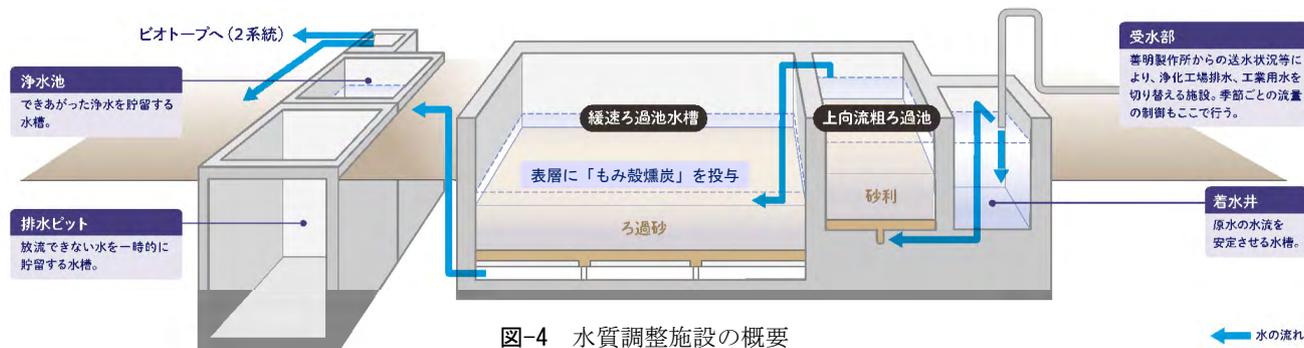


図-4 水質調整施設の概要

## (2) 水質確保への対応

ホテルの生息環境に適した水質は、四季を通じた現況分析とホテルに関する各種文献、そして他地区の事例からシリカ(SiO<sub>2</sub>)、残留塩素、生物化学的酸素要求量(BOD)に留意する必要があることが分かった。そのため、ベース水源である浄化工場排水をこれらに適合した水にする必要があるため、緩速ろ過による水質調整施設の設置を提案した。ただし、施設の導入にあたっては確実な効果が求められることから、導入前に善明製作所にパイロット施設を設置し、約3年をかけて実証実験を実施した。

### a) 水質調整施設の導入検討

実証実験により、①生物にやさしい水質への改善が確認されたこと(BOD, COD, SSの低減効果, pHの調整効果, ホテル, カワナが好むβ中腐水性への水質改善など)、②水生生物の生息に影響の恐れがある因子の低減効果が確認されたこと(除去率9割以上の安定的な残留塩素除去機能など)、③貧栄養状態から豊かな水への改善が確認されたこと(補助資材投与実験でシリカ供給効果の確認など)から、水質調整施設の導入を決定した。

### b) 水質調整施設の設計・整備

実証実験や設計は関連の特許(下水処理水の再処理方法)を有する会社(株式会社エステム)および専門家(岩瀬範泰, 井上祥一郎)の協力を得て行った。上水道技術として知られる緩速ろ過池(Slow Sand Filter)に処理能力を高める上向流粗ろ過池(Uplow Roughing Filter)を組み合わせた「緩速ろ過・生物浄化法」<sup>1)</sup>の技術を用い、飲用水(きれいな水)ではなく、ビオトープの生態系に適した水(豊かで、いきものにやさしい水)に水質を調整する新技術「応用緩速ろ過・生物浄化法」を開発した。(図-4参照)

### c) もみ殻燻炭投与によるシリカ補給

文献調査などから、もみ殻燻炭よりシリカが溶出する情報を得たため、机上実験にて溶出状況を確認後、水質調整施設の緩速ろ過池にもみ殻燻炭を投与する実験を行った。2022年4月から1年間実験を行い、シリカの溶出量と溶出持続時間を観測し、得られた知見からもみ殻燻炭の投与時期・投与量・投与手法を設定した。また、維持管理指針や操作マニュアルを策定し、運転管理手法を確立した。

## (3) 水辺環境構築への対応

### a) ビオトープの設計・整備

#### ①ロバスト設計

水量確保などの不確実性を許容(予測)し、その影響を踏まえた設計(ロバスト設計)を行った。代替水源は有事を考慮し4系統確保しているが、万一全ての供給水が停止した場合でも、生物への影響を最小限に抑える耐性をもった施設整備を提案した。

ビオトープの生物の生存を脅かす最大のリスクは、夏季の水源枯渇とこれに伴う水温上昇のため、全ての供給水が止まっても枯渇しないよう、「よどみ」を随所に配置し、生物の逃げ場を確保した。加えて、「よどみ」周辺に樹木を配置して緑陰をつくり、樹木の生長で緑陰が広がることで水温上昇を抑える設計とした。(図-5参照)

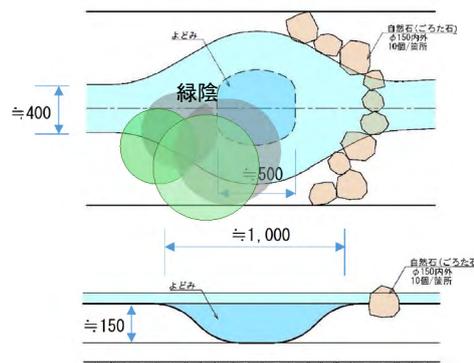


図-5 生物が逃げ込める「よどみ」

#### ②水系計画

ビオトープの設計条件として、季節変動に対応した3期(150・200・250m<sup>3</sup>/日)の水量配分とホテルの生息に適した流速を設定し、縦横断面、池容量を設定した。また、ビオトープにはホテルに適した流れ(水温上昇のリスクが比較的少ない山裾, 上限温度28℃)の他、池や湿地(ホトケドジョウなど在来生物の生息適地, 上限温度32℃)を配置するなど、多様性を確保した。

なお、渇水期の150m<sup>3</sup>/日の場合の水量配分は、蒸発散や浸透による損失も見込んで設定した。(図-6参照)

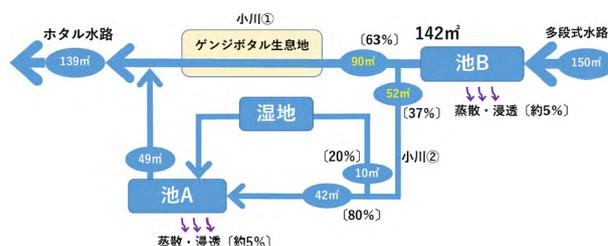


図-6 ビオトープ流量配分 (150m<sup>3</sup>/日の場合)



# 公共施設の組織横断的な再編を図った 適正配置計画の立案

○桐山日菜子<sup>1</sup>・太田直哉<sup>1</sup>

<sup>1</sup> (株) テイコク 都市デザイン部 (〒450-0003 名古屋市名村区名駅南1-17-29 広小路ESビル3階)

豊川市は全国に先駆け、公共施設の更新・統廃合・長寿命化など再編を目的とした公共施設適正配置計画を2015年に策定した。50年間で保有面積を30%縮減する目標が掲げられていたが、策定から10年経過した2025年時点での縮減率は約2%にとどまった。課題に組織横断的な再編の推進があり、適正配置を担う財政部門から、施設所管部門への働きかけができる計画改定が求められた。そこで市内の施設集約事例による利用者増加などの効果を可視化し、所管部門にとってのメリットを共有可能にした。また、所管部門を横断した施設集約を重点取組に定め、財政部門中心の推進姿勢を示せるようにした。以上により組織横断的な再編を促す計画とすることができた。

**Key Words** : 公共施設再編, 公共施設適正配置計画, ファシリティマネジメント (FM)

## 1. はじめに

### (1) 日本全国の様相

日本全国の自治体が抱える共通課題として、老朽化した公共施設の維持更新問題がある。昭和期以降に急増した公共施設は、現在その多くが建替・改修の時期を迎えつつあり、限られた財政資源の中で、いかに持続可能な行政サービスを提供していくかが問われている。こうした背景から、国は公共施設等の状況を把握し、長期的な視点をもって更新・統廃合・長寿命化などを計画的に行うことにより、財政負担を軽減・平準化するとともに、公共施設の最適な配置を実現するため、2014年に「公共施設等総合管理計画」の策定を全国の自治体に求めた。

### (2) 豊川市の公共施設適正配置の経緯

豊川市(以下、市)は、愛知県の東部に位置する、人口約18万人を抱える中規模都市である。現在の市はいわゆる「平成の大合併」の時期にあたる、2006年から2010年にかけて旧宝飯郡(一宮町、音羽町、御津町、小坂井町)との合併により誕生した。この合併により、庁舎をはじめとして余裕施設・余剰施設が顕在化した。

市は全国に先駆け、2011年度から研究会を立ち上げ公共施設の状況把握を開始し、2012年度に公共施設白書、2013年度に「公共施設の削減目標及び用途別における施設の方向性」を策定するなど、ファシ

リティマネジメント(以下、FM)の推進に向けた取組を進めていた。

FMとは、土地・建物・設備といった財産を経営資産としてとらえ、経営的な視点に基づき、総合的・長期的観点から設備投資や管理運営を行うことにより、施設に係る経費の最小化や施設効用の最大化を図る経営管理の手法を指す。

市はこのような取組の一環として、2015年に公共施設適正配置計画(以下、計画)を策定した(表-1)。老朽化した施設の統廃合、機能や利用圏域が重複する施設の多機能化・複合化へ向けた実施プランであり、2015年から2025年の10年間における取組を定めたもので、対象は庁舎や学校、集会施設、福祉施設などの公共建築物である。

当該計画では、公共施設の保有面積を50年間で30%縮減することを目標に掲げていた<sup>1)</sup>。

表-1 豊川市におけるFMの取組経緯の概要<sup>2)</sup>

年度	出来事
2010	4町の合併により現豊川市が成立
2011	研究会発足 公共施設の状況把握開始
2012	「公共施設白書」策定
2013	「公共施設の削減目標及び用途別における施設の方向性」策定
2014	国が「公共施設等総合管理計画」の策定要請
2015	「公共施設適正配置計画」策定
2025	「第2期公共施設適正配置計画」に改定

### (3) 計画改定の経緯

当初の計画期間（第1期）が終了した2025年時点において、公共施設保有面積の縮減率は約2%にとどまり、「50年間で30%縮減」という目標に対して不十分な進捗となった（図-1）。

30%という目標は、2014年に「豊川市公共施設の削減目標及び用途別における施設の方向性」で設定された値である、当時の試算において公共施設をすべて維持する場合2倍程度に膨れ上がる市民1人あたりの負担額を当初金額から大きく上昇させないよう、43%のコスト縮減を図るために設定されたものであり<sup>3)</sup>、各種施設再編や個別施設計画において目標として掲げてきた数値でもあったことから、今回も継続して目指す必要があった。

また、市と人口が近い自治体（人口±10,000人:15自治体）の中で、市の公共施設保有量は上位に分布している状況にある（図-2）。先述の通り、合併市のため、全市的にみると重複している機能があるものの、旧町単位のまとまりが現在も意識されているため、容易に全市的な再編を行うことは難しい面もあるが、一層の縮減が必要であることが認識された。

市はこうした状況を踏まえ、FMをより計画的かつ円滑に推進するため、計画の課題を把握し、2025年度から2035年度までの10年間における取組方針を定めた第2期計画に改定することとした。

### (4) 計画改定の経緯

本論文は、全国の自治体に共通するFMの課題に対し先進的に取り組んできた豊川市の事例を通じて、計画の実行段階における阻害要因とその克服に向けた手法を明らかにするものである。

第1期計画において縮減が低調であったことは、施設統廃合の実行段階において直面する制度的・組織的・社会的課題が原因にあるとみられる。

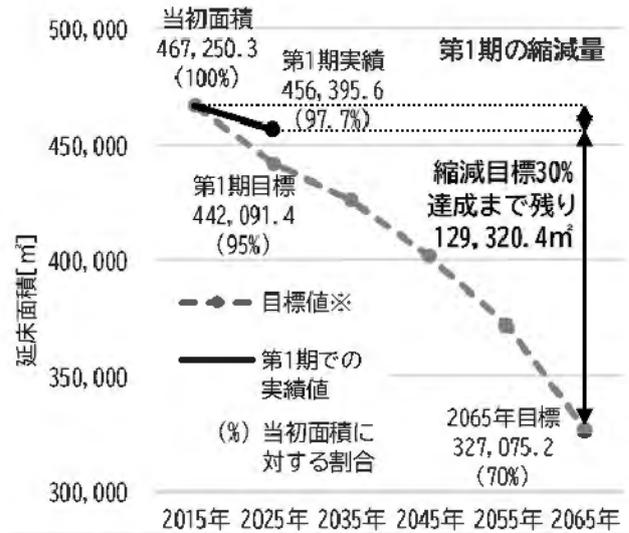
本論文では、こうした第1期計画の状況を踏まえ、第2期計画の改定内容、課題克服の視点を提示する。具体的には、①施設所管部門の理解促進に向けた成果の可視化、②組織横断的な再編の推進に向けた体制強化という2つのアプローチに着目し、それぞれの意義と今後の展望を検討するものである。

## 2. 進捗が鈍化した要因の分析

進捗停滞の要因として、2つの課題が考えられる。第一の課題として、施設所管部門が計画を「財政支出の削減ありきの方針」と受け止め、積極的に取り組む動機を持ちにくかったことが挙げられる。再編による利便性やサービスの向上といった側面が十分に説明・共有されなかったことが、施設所管部門の理解や協力を得る妨げとなったと考えられる。実際に施設所管部門からは、「人口が減少しないと縮減に踏み切れない」という意見や、「利用者からは『施設を残してほしい』という声が上がると考えられる」という意見が出されていた。

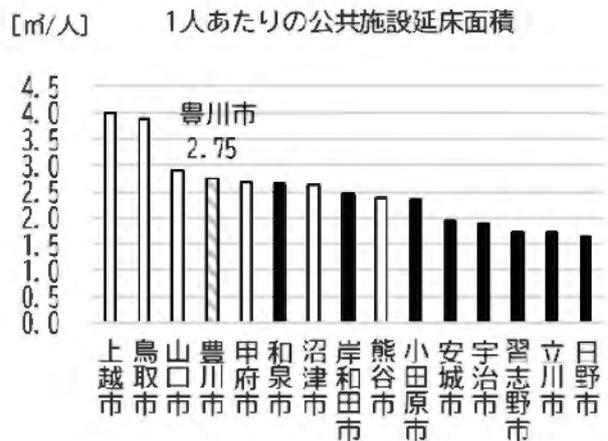
第二の課題は、組織横断的な連携の不足である。

各施設所管部門は所管外の施設の状況を把握するのが難しく、全体を調整する体制も不十分であった。このような状況であったため、実際に再編の機会を逃した例もみられた。第1期においても施設用途等の枠を超えて横断的に進めるため、地域コミュニティ（中学校区・都市機能誘導区域）単位での取組として、5つのモデルエリアのリーディング事業を定めており、一定の検討は進んでいる。しかしリーディング事業に定められていない施設についての意識が不十分であると考えられた。



※目標値：豊川市公共施設等総合管理計画（2016年8月）更新投資等の試算より保全計画対象施設（予防保全）の更新時期に合わせて、面積を30%縮減した場合の参考値

図-1 面積縮減の実績値と目標値<sup>2)</sup>



□：平成11年以降の合併市（豊川市含む）

出典：

・人口：令和2年国勢調査

・公共施設面積：

…公共施設状況調査（総務省） 2022年時点

…各自治体における最新の総合管理計画等

図-2 豊川市と人口の近い自治体の施設保有量<sup>2)</sup>

### 3. 改定計画における新たなアプローチ

上記の課題を踏まえ、第2期計画の改定では実効性を高めるため、以下のようなアプローチをとった。

#### (1) 市内先行事例の効果の可視化

第一の課題である施設所管部門からの理解獲得に対しては、市内事例による効果の可視化を行った。

着目した事例は小坂井エリアの施設再編プロジェクトである。これは第1期計画に定められた、5つのモデルエリアのリーディング事業の一つであった。小坂井エリア内において、小坂井庁舎の支所機能、小坂井生涯学習会館の生涯学習・コミュニティ機能・図書館機能、こざかい児童館の児童館機能が、2021年開館の「こざかい葵風館」という複合施設に集約された(図-3)。3施設は近接して立地しており、複合施設は小坂井庁舎の敷地に建設された。延床面積は3施設合計6,284.8㎡であったが、再編後は約2分の1の3,102.0㎡となった(表-2)。再編にあたっては、アンケートや住民ワークショップ、説明会など、市民との合意形成を図る取組が行われた。当該事業に追随する形で一宮エリアにおいても同様の施設再編プロジェクトが進行中であるほか、他市からの視察もされており、これからの再編のモデルとなる事業といえる。

この取組による効果の可視化として、まずは第1期計画に倣い、エリア単位での施設の老朽化・コスト面での改善効果を掲載し、施設再編による効果を示唆した。評価は、市内を10の中学校区(エリア)・8の都市機能誘導区域(地区)に分け、各エリア・地区内に立地している施設のデータを用い、偏差値で示した(表-3)。小坂井エリアの評価はいずれの指標でも向上したことが確認された。また、第1期計画でモデルエリアとして定められた地区・エリアを抜粋して計画書に掲載した(表-4)。ほかのエリアと異なり総合評価が50未満から50以上に変わったことが確認され、先行して行われた再編事業がエリア全体の評価にも波及したことが伺えた。

しかしこれだけでは、個々の施設へのメリットが見えにくいと考えた。加えて、財政・再編ありきに映り、施設所管部門の協力が得られにくい可能性があった。

こうした理由から、第1期計画では掲載していなかった、利用者数の変化を示すこととした(表-5)。利用者数の増加からは、機能集約による住民の利便性や満足度の向上が推測されることから、再編により利用者や施設所管部門にもメリットがあると示せると考え、掲載することとした。利用者数の値はエリア全体の評価に組み込むとともに、事例自体の利用者数の前後比較を掲載し、施設所管部門にとって効果がわかりやすいようにした。

こざかい葵風館への再編により、利用者数は、児童館部分は横ばい、生涯学習施設部分では増加であり、施設全体では100,636人から207,826人と約2.07倍となっている。単なる施設の統合による面積縮減がな

表-2 こざかい葵風館への再編による縮減<sup>2)</sup>

再編前の施設名	延床面積 (㎡)		
	再編前	再編後	増減
小坂井庁舎	3,622	349	-9割
小坂井生涯学習会館	1,813	2,064.6	+1.4割
小坂井児童館	850	688.4	-1.9割
合計	6,285	3,102	-5.1割

表-3 小坂井エリアの評価改善<sup>2)</sup>

評価項目	施設の老朽化・コスト(偏差値)				
	老朽度	劣化度	1人当たり施設面積	1人あたりLCC	
小坂井	現状	64.1	72.2	62.7	60.7
	前回	40.4	44.4	61.8	60.5
	比較	↑向上	↑向上	↑向上	↑向上
	評価	◆いずれの指標も良好			
備考	値は市内10の中学校区(エリア)に対する小坂井エリアの偏差値50以上で良好と判断				

表-4 第1期計画からのエリア評価の変化<sup>2)</sup>

エリア・地区名	総合評価	
	第1期	第2期
一宮エリア	○	○
音羽エリア	△	△
御津エリア	△	△
小坂井エリア	△	○
諏訪地区	○	○

・エリア・地区名：  
 エリア…中学校区別評価より抜粋  
 地区…都市機能誘導区域別評価より抜粋  
 ・総合評価：  
 各観点の偏差値の平均が○：50以上 △：50未満



図-3 小坂井エリアの施設再編プロジェクト<sup>2)</sup>

表-5 こざかい葵風館への再編による効果<sup>2)</sup>

再編前の施設名	利用者数(人)※		利用者数の変化
	2018年度	2022年度	
小坂井庁舎	31,886	25,315	約0.79倍
小坂井生涯学習会館	36,105	148,119	約4.10倍
小坂井児童館	32,645	34,392	約1.05倍
合計	100,636	207,826	約2.07倍

※2018年度値：再編前(小坂井庁舎・生涯学習会館・こざかい児童館)の施設ごとの値  
 ※2022年度値：再編後施設(こざかい葵風館)における各施設類型に該当する箇所値

されただけでなく、児童館・図書館・ホール・生涯学習機能を統合し多世代が自然に集える拠点として整備されたことから、従来の施設では得られなかった多様な交流や学習の機会が生まれ、市民サービスの質が向上していると考えられる。これは公共施設の面積縮減はサービスの低下につながるというイメージを払拭する事例となると考えられる。

なお、庁舎部分の利用者は減少がみられるが、証明書のコンビニ交付サービスの利用の浸透などの理由が考えられる。

## (2) 組織横断的な再編に向けた体制強化

第二の課題である組織横断的な連携の不足に対しては、財政部門が中心となり、各施設所管部門の連携を促すこととした。

まず、第2期計画の策定段階から施設所管部門の状況把握を行うことにより、財政部門と施設所管部門の連携強化を図った。具体的には、施設ごとに建替や長寿命化の対策やその時期を定める個別施設計画の改定に向けた、施設所管部門に対する各施設の方針についてのヒアリングを行い、第2期計画の参考とした。現段階で進められている事業が把握できた一方、「集約化等には周辺施設や関係機関の動きによるため見通しが立たない」という声や、「今は検討を行う段階ではない」という声も挙がった。ヒアリングをうけて所管部門の課題認識をふまえた、財政部門からの今後の取組の提案はなされたが、第2期計画に具体的な取組を記載できたものは限定的である。

次に、上記の状況も踏まえ、第2期計画の重点取組として、部門を横断した取組である、「単一用途のみで面積縮減の推進が難しい施設」を対象とした、「施設類型を横断した施設間の機能集約や複合化等による公共施設の総量縮減の推進」を位置付けた。これは他の施設の更新時期や利用状況（利用圏域、利用者層、稼働率、地域の実情及び人口推移等）を踏まえ、周辺施設との機能集約、複合化等を行うこととした取組である。全体に関係する横断取組として提示することも考えられたが、より具体的な取組であり、これまでも住民や庁内での説明において強調されてきた重点取組として提示することで、実際に取り組んでいく意思を示せるようにした。

そして今後は、2025年度中に第2期計画を踏まえた個別施設計画の見直しを財政部門から各課へ依頼する予定である。その中で財政部門は、施設所管部門を横断した取組を具体的に検討・提案していく予定としている。

市では、2015年から施設所管部門と財産部門のメンバーにより構成される「FM推進会議」という協議体が設置されており、第1期計画や第2期計画の策定の際に会議の場が設けられてきた。このような既にある連携体制を活かし、継続した状況把握と複数の施設所管部門の間での調整が促進されていくと考えられる。

## 4. まとめ

本論文では豊川市が全国に先駆けて2015年に策定した公共施設適正配置計画について、第2期計画への改定におけるアプローチを整理した。第1期では施設所管部門への動機づけの不足や連携不足といった組織内マネジメントの課題により、公共施設保有面積の縮減が阻害されていた。これに対して第2期計画では施設集約による成果を可視化するとともに、組織横断的な再編方針を明示し、部門間の連携強化を図ることとした。第2期計画の策定を通して、従来からの体制も活かし、財政部門が中心となって、現実的かつ合意形成に配慮した再編を推進する体制が整ったと言える。

## 5. 今後の展望

今後は実際に取組を推進する必要がある、財政部門と施設所管部門のより一層の連携が求められる。また、自治体におけるFMの目的は持続可能な行政サービスの提供にあることから、面積縮減を要請するだけでなく、職員や利用者の利便性向上にもつながる、実現可能な方策を共に考えていく必要がある。

市の人口は2020年の国勢調査時点まで増加しており、再編に着手しにくい状況であった。特に学校は2025年時点で市の公共施設保有面積の48.6%を占めているが、面積縮減が進んでいない。しかし、2023年時点の推計において人口は2020年の約18.5万人をピークに、2050年には約16万人まで減少すると想定されている。学校でも児童・生徒数の減少が見込まれている。このような状況から、人口減少を見込み、庁内・住民との合意形成を図りながら具体的な方向性を検討していくことが求められる。

面積縮減は財政負担軽減のための一つの方法であり、それ以外にもネーミングライツ、クラウドファンディングなどの多様な資金調達や民間活力の導入といった検討も進めていく必要がある。

日本全国で公共施設の老朽化、人口減少、財政状況の悪化が課題となっており、加えて2014年の「公共施設等総合管理計画」の策定の要請から約10年経過し見直し時期に入中、今後一層各地でFMの取組を加速させる必要が生じると想定される。自治体の持続可能な経営に寄与できるよう、計画の策定にとどまらず、実際の取組を推進するための提案が求められると考える。

## 参考文献

- 1) 豊川市：豊川市公共施設適正配置計画（2020年6月改訂版）、2020。
- 2) 豊川市：第2期豊川市公共施設適正配置計画、2026。（各図表は本稿用に加工して掲載）
- 3) 豊川市：豊川市公共施設の削減目標及び用途別における施設の方向性、2014。

# 対話を重視したデマンド交通の導入支援と 多面的な効果検証

○千葉好史<sup>1</sup>・神谷貴浩<sup>1</sup>・浅野貴久<sup>1</sup>

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

本稿は、刈谷市北部の「チョイソコかりや」を対象に、住民との対話を重視した導入支援と、利用者データおよびアンケート調査による効果検証を行った。住民との対話を通じ、利用者のニーズに応じたサービス提供が可能となったほか、効果検証からは外出頻度の拡大や送迎負担の軽減に繋がった。また、刈谷市地域公共交通計画の「将来の公共交通ネットワーク」における「地域路線」として、「幹線軸」の補完・接続の役割を果たしていることを確認した。また、課題解決に加えて“まちの価値”向上に繋がりをうる取組みとなった。

**Key Words** : デマンド交通, 住民対話, アンケート調査, 効果検証

## 1. はじめに

愛知県刈谷市は約15.3万人の人口を有し、市内の各駅から名古屋駅へは約20分でアクセス可能である。市の中央部には世界をリードする自動車関連産業の本社及び工場が集積している。刈谷市は市域が南北に長く、JR東海道本線と名鉄名古屋本線が市内を東西に横断しており、名鉄三河線、名鉄バス、刈谷市公共施設連絡バス「かりまる」（以下、「かりまる」とする。）が南北に縦断している。

一方で、刈谷市の北部地域は、市中心部へ移動する幹線路線バスは整備されているが、東西を移動する公共交通がないことや、大型車両の走行が難しい狭あい道路が多く、他の地域と比べて公共交通（鉄道・バス）利用圏域のカバー率が特に低いことが交通課題となっていた。

そのような中、刈谷市では2024年に地域公共交通計画を策定し、「将来の公共交通ネットワーク」を示している（図-1）。この中における北部地域の交通として、既存の路線バスを市内の「幹線軸」としており、これら幹線軸に沿った各地域では、「地域路線」として、地域内を移動できる、幹線軸の補完・接続の役割を果たす公共交通を整備することを示している。また、本計画の基本的な方針として、「外出機会の増加による地域経済の活性化」や「高齢者などの外出機会の増加による健康増進」といった“まちの価値を高める公共交通の充実”が謳われており、これらを目指す施策が求められている。

このような背景を踏まえ、刈谷市では2024年11月

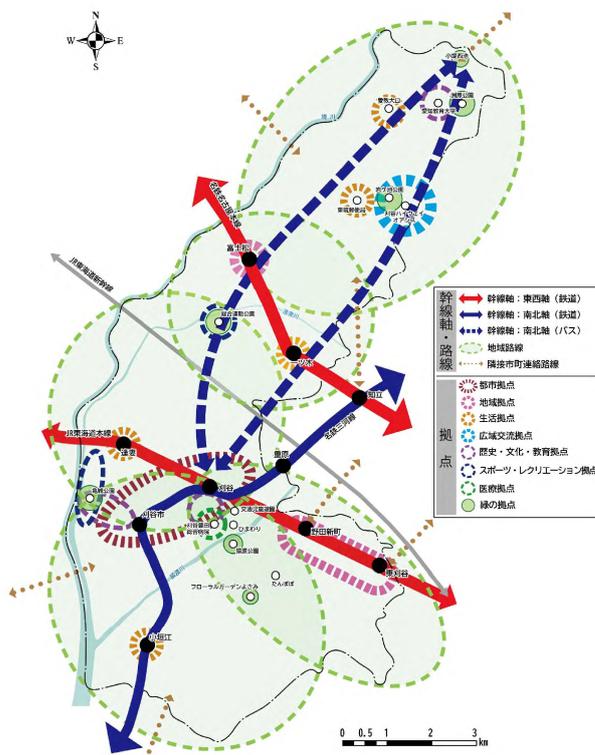


図-1 刈谷市地域公共交通計画における  
将来の公共交通ネットワーク

からデマンド交通「チョイソコかりや」の実証実験を実施し、市北部地域での地域内の移動を支える取組みを始めた。

本稿は、このデマンド交通「チョイソコかりや」の導入支援および導入後の効果検証について報告するものである。

## 2. チョイソコかりやの概要

「チョイソコかりや」は刈谷市が事業主体となり、サービス提供者の㈱アイシン、運行事業者を含めた3者で運行している。

運行区域は刈谷市内の国道1号以北の市域（図-2）で、運行区域に設けられた乗降スポット間でのみ移動が可能である。車両はハイエース1台を利用し、運行時間は8:30～16:00となっている。予約は電話またはインターネットとなっており、利用の30分より前に予約をし、利用が可能であれば予約が成立する。同一方向への移動など、他の利用者と同乗が可能な際は乗合をすることで、効率的な輸送を可能としている。

## 3. 導入に向けた住民との対話

### (1) 住民参加型の意見交換会

「チョイソコかりや」の導入に向けて、地域の移動ニーズや課題を把握し、停留所の位置を決定するため、住民参加型の意見交換会を全13回実施した（図-3）。

意見交換会では、住民から具体的な提案や要望を伺った。例えば、「中央分離帯のある道路の横断が難しいので、道路の対面にも停留所が欲しい」であったり、「このエリアにも停留所があった方がよい」などといった、机上の整理では把握しきれなかった地域特有の状況を踏まえた要望が得られた。

これらの意見を基に、停留所の設置候補地を精査し、地域住民の利用頻度が高いと考えられる場所や、地域の方が利用しやすい場所を考慮し、最終的な停留所位置を決定した。

### (2) オープンハウス形式の利用者説明会

上述の意見交換会に加えて、利用方法が難しいといったデマンド交通の課題克服を目的とし、オープンハウス形式の利用者説明会を実施した。

利用者説明会は、北部6地区3回ずつに加え、共同住宅や団体向けにも別途実施した。利用者説明会は、前節の意見交換会とは異なり、各個人の暮らし方や使い方に応じて、「チョイソコかりや」をどのように利用できるかなど、一人ひとり個別での説明を行った。例えば、毎週決まった時間に通院をする方に対して、このような使い方ができるといった提案をするなど、本説明会を通し、「チョイソコかりや」の普段の使い方・利点を個々人の理解度・生活に応じて分かりやすく伝えることができた。このように利用者説明会を実施したことで、運行開始直後においても、利用者の確保に繋がったものと考えている。加えて、それぞれのお話を伺うことができ、コミュ



図-2 チョイソコかりやの運行区域



図-3 意見交換会の様子



図-4 利用者数の推移<sup>1)</sup>

ニケーションの延長線上で、生活圏の把握など地域の実情を把握する機会となった。

## 4. 導入後の効果検証

導入後については、利用実績データの分析及び、アンケート調査を実施し、導入の効果検証を実施した。

(1) 利用実績データ分析

a) 利用者数の推移

「チョイソコかりや」は、当初の利用者数の目標値として300人/月を設定し、運行開始した。前章の説明会などの取組みもあり、運行開始の翌月には200人/月ほどの利用者が確保できた。また運行開始以後、利用者数は緩やかに増加し続け、運行開始から11か月が経過した2024年10月には359人/月となり、運行開始当初の目標値を達成した(図-4)。また2025年7月時点では、利用者数は連続して400人/月を超えているなど、利用者数は堅調である。

利用者の年齢層としては、75歳以上の後期高齢者が全体の約78%を占めており、時間帯別の利用者数では、出発時刻が8:30~12:00である午前中の移動が全移動の6割を占め、午前中の外出が多い高齢者の移動傾向が反映されている。

b) 既存路線バスへの影響分析

「チョイソコかりや」の運行区域では、前述の通り、「名鉄バス」及び「かりまる」が運行している。運行区域内の移動については、今まで既存路線バスを利用していた方が、「チョイソコかりや」の利用に転換し、バス利用者が減少する可能性が考えられる。そこで、「チョイソコかりや」が既存路線バスに大きな影響を与えていないことを確認するため、「チョイソコかりや」運行開始前後でのバス利用者数を分析した。

分析対象はデータの取得が可能であった「かりまる」の「東境線」および「西境線」とした。そして「チョイソコかりや」の運行区域内外別に、「チョイソコかりや」導入前後の利用者数の変化を比較し、導入の影響を分析した。

図-5、図-6は「かりまる」の両路線それぞれの運行区域内外の利用者数の変化を整理したものである。どちらの路線についても、「チョイソコかりや」運行区域内では「チョイソコかりや」の導入前後で利用者数や傾向の変化は見られず、概ね同様の利用者数を維持している。一方、「チョイソコかりや」運行区域外においては、両路線とも、「チョイソコかりや」の導入以前から継続して利用者増の傾向が見られる。

これらの結果より、運行区域内においては、両路線とも多少の増減はあったものの、「チョイソコかりや」の導入前後で利用者数および傾向の大きな変化は確認できなかった。一方で、運行区域外においては利用者数が継続的に増加しており、「チョイソコかりや」導入以前から同じ傾向であったことから、「チョイソコかりや」の導入は、既存路線バスの利用者数に対して、大きな影響はなかったと考えられる。

また、「チョイソコかりや」と「チョイソコかりや」運行区域内の「かりまる」の1日当たりの利用者数を、北部地域内における公共交通の利用者数の総計として集計をした。その結果、「チョイソコかりや」導入前の1年間(2022/11~2023/10)の利用者

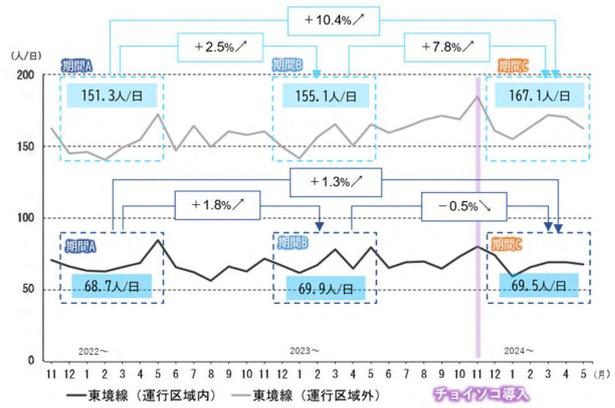


図-5 かりまる(東境線)の利用者数推移<sup>2)</sup>

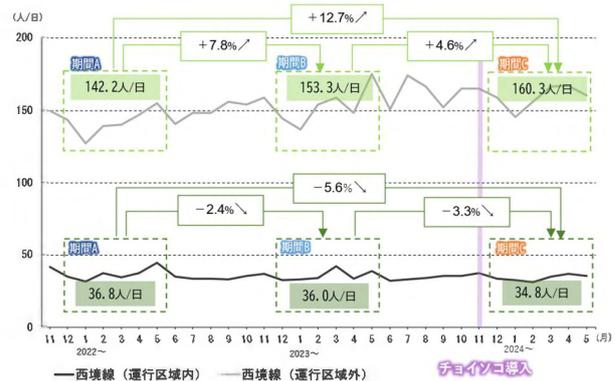


図-6 かりまる(西境線)の利用者数推移<sup>2)</sup>



図-7 チョイソコかりやのOD分布

数は約105人/日であったのに対し、導入後翌月以降の半年(2023/12~2024/5)の利用者数は約113人/日となり、「チョイソコかりや」の導入により、北部地域全体で1日あたり8人程度、公共交通の利用者

が増加していることになる。単に既存の公共交通と競合するというだけではなく、地域内での外出頻度を増加させたり、今まで移動が難しかった人の外出を促進するなどの効果があったものと推察できる。

### c) OD分析

「チョイソコかりや」の利用実態を把握するため、乗降ペアをカウントし、移動傾向を分析した(図-7)。

目的地的としては、商業施設、病院・クリニック、駅などの利用頻度が高くなっているほか、一部の集合住宅では、複数の住民が高頻度に利用しており、住宅地の停留所でありながら上位となっている。

また、既存路線バスでは未カバーの地域間や乗換えが必要となる移動も多く見られるなど、「幹線軸」の補完・接続としての役割を果たしている。

## (2) アンケート調査分析

「チョイソコかりや」の評価にあたっては、導入後に①会員(利用者)②会員(未利用者)③住民(非会員)の3区分でのアンケートを実施した。本章では、これら調査のうち、一部を抜粋して記載する。

### a) 外出頻度の増加

①会員(利用者)を対象に、「チョイソコかりや」利用開始後の外出機会の変化を調査した(図-8)。

「チョイソコかりや」の利用開始後に、外出頻度が増加したと回答した方は約4割、変わらないと回答した方が5割以上となった。「チョイソコかりや」の導入により、今まで移動が難しかった方が移動するようになるなど、一定の外出頻度の増加が期待でき、住民の健康増進や社会参画の促進などに寄与していることが推察される。

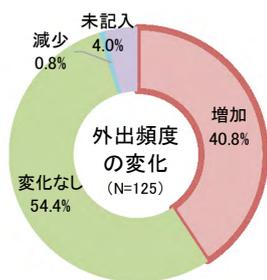


図-8 外出頻度の変化<sup>2)</sup>

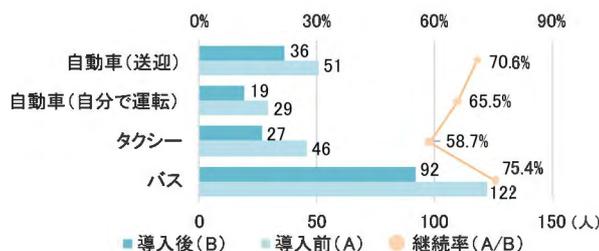


図-9 利用交通手段の変化<sup>3)</sup>

### b) 利用交通手段の変化

①会員(利用者)を対象に、「チョイソコかりや」利用開始後の利用交通手段の変化を調査した(図-9)。

調査の結果、「チョイソコかりや」の利用開始後に、以前まで利用していた交通モードの利用をしなくなった人がいる一方で、半数以上の利用者は、継続して他の交通モードを活用しており、場面や目的に応じた使い分けをしていることが推察できる。

各交通モード別に「チョイソコかりや」利用開始後の利用状況を見ると、「タクシー」「自動車(自分で運転)」「自動車(送迎)」を利用していた人が、特に利用しなくなった方の割合が高い結果となった。要因として、従前は自家用車の運転に不安を抱いていた層や、家族への送迎負担に心理的抵抗を有していた層において、自立的な移動が可能となったことが推察される。

## 5. まとめ

「チョイソコかりや」は、刈谷市北部地域における公共交通の課題解決を目指して導入されたデマンド交通サービスである。本稿ではその導入プロセスから、導入後の効果検証までを報告した。本サービスは、住民との対話を重ねながら地域特性や住民ニーズを反映した設計が行われ、運行開始後も一定の成果を挙げていることが確認された。

一方で、アンケート調査からは、運行区域や時間帯の拡大など、さらなる改善への期待も示されており、これらの要望に応えることで、サービスの利便性を向上させ、より多くの利用者・住民に恩恵をもたらすことが期待される。なお、これらの意見を踏まえ、令和7年10月より新たに車両を1台導入し、運行区域・運行時間帯を拡大しての実証実験が決定している<sup>3)</sup>。

「チョイソコかりや」の導入は、既存バスへの負の影響が小さい一方で、バスでは届きにくい方向の移動や短距離の地域内の外出をサポートしており、地域公共交通計画で求められる「地域路線」として「幹線軸」の補完・接続の役割を果たしている。さらに本サービスは、外出頻度の増加や家族等の送迎負担の軽減を通じて、「公共交通の充実」による“まちの価値向上”に繋がりうるものと考えており、本取組はデマンド交通の今後の普及や他地域での展開に向けた貴重な知見を提供するものである。今後、モビリティの課題解決そのものに加えて、地域全体の移動の質と都市の価値の双方を高めるサービスが、各地で着実に増えることが期待される。

### 参考文献

- 刈谷市第33回都市交通協議会資料, 資料2-3, 2025
- 刈谷市第32回都市交通協議会資料, 資料1-2 (参考資料), 2024
- 刈谷市第35回都市交通協議会資料, 資料6-1, 2025

# 地形条件や合意形成への課題を有する地区への 新たな事業化検討手法

こざかいまさき  
○小堺雅己<sup>1</sup>

<sup>1</sup>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）

現在の市街地整備を取り巻く環境は、人口減少や少子高齢化の進行に対応するため「コンパクト+ネットワーク」型のまちづくりが求められている。一方、事業費の高騰や整備水準の高度化、地権者ニーズの多様化など、市街地整備を展開する環境は複雑化しており、より柔軟かつ戦略的な対応が求められている。

本稿では、市街地整備を推進するにあたり、地形条件の厳しさや地権者合意形成の難しさといった課題を有する地区への新たな事業化検討手法として、3D設計・3D都市モデルを活用する上豊田駅周辺地区（以下、本地区）の取り組みを用いて述べる。

**Key Words**：市街地整備推進、高低差の大きい地形、地権者合意形成、3D設計・3D都市モデルの活用

## 1. 背景

近年、人口減少や少子高齢化の進行により、都市の持続可能性を確保するため、「コンパクト+ネットワーク」型のまちづくりが求められており、特に、人口集約の拠点となる駅周辺では、市街地整備の必要性が高まっている。一方で、近年は建設物価や人件費の高騰が続いており、事業費の増加が深刻化している。これにより、市街地整備事業における事業採算性の確保が困難な状況となっており、特に、地形的な制約が大きい地区では、造成コストが割高となる傾向にあり、事業採算性への影響がより深刻である。

さらに、市街地整備事業では、地権者に土地提供や権利の変換に加え、移転などの負担や生活再建に理解を求めることとなるため、住民ニーズの多様化している今、合意形成が難航するケースも多数見受けられる。

以上の背景を踏まえ、本稿では、地形条件や合意形成に課題を有する地区の市街地整備における新たな事業化検討手法について論じる。

## 2. 地区の概要

### (1) 上位計画等

本地区は、名鉄豊田線・浄水駅および梅坪駅周辺の市街地に挟まれた地域に位置しており、現在は市街化調整区域に指定されているが、名鉄豊田線・上

豊田駅を中心とした交通利便性の高い地区であり、上豊田駅の南側約300mには都市計画道路3・3・8豊田北バイパスが計画されていることから、広域的な交通ネットワークにも恵まれている。

さらに、豊田市都市計画マスタープランにおいては、居住人口の増加や都市機能・生活機能の立地促進を図る「居住誘導拠点」として位置付けられ、また、立地適正化計画においても、当面の人口増加を見据えた「新市街地区域」に設定されており、それらの実現に向けた計画的な都市基盤整備の推進が期待されている。



図-1 位置図

## (2) 地形的条件

本地区は、都市計画道路3・3・46浄水駅北通り線を頂点に東西に傾斜した地形となっており、起伏が大きく最大約10m以上の高低差がある。

また、上豊田駅周辺には既存建物が複数立地しており、接道する道路は急勾配となっている。

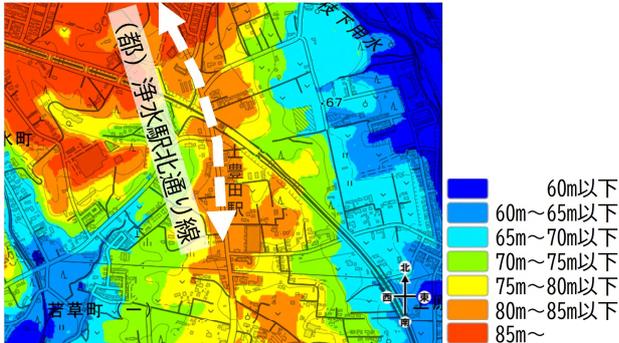


図-2 標高図



図-3 上豊田駅周辺の急勾配な道路



図-4 上豊田駅周辺の既存建物

## 3. 事業化に向けた課題

前項を踏まえ、地区の事業化に向けた課題は以下のとおりである。

### (1) 高低差の解消等への対応

本地区は、高低差が大きく、既存建物も立地してい

ることから、地形的な制約が多く、設計の難易度が高い。高低差の解消には、法面による処理に加え、土地利用の条件などによっては擁壁の整備が必要となるため、平坦地での市街地整備と比較して造成コストが増加するなど、事業費の変動要素が多い。

一方で、建設物価の高騰が進む現在においては、事業費の抑制、それによる地権者負担の低減は、重要な課題である。

したがって、地形的制約の多い地区における市街地整備事業の事業化検討では、計画の有効性と事業採算性の最適解を導き出すための工夫がより一層求められる。

## (2) 合意形成への新たなアプローチ

市街地整備の推進にあたっては、地権者との合意形成が不可欠である。市街地整備事業における従来の地権者説明は、基本構想図や土地利用計画ごとに着色した平面図と必要に応じてイメージ写真や鳥瞰図を補足資料として提示する方法が一般的であった。

しかし、これらの資料は視覚的な情報が限定的であり、まちの将来像が十分に伝わらないことも多く、地権者から「理解しづらい」との意見が寄せられることもあった。

加えて、市街地整備事業では、土地提供や権利の変換など、地権者の負担が必要となるため、市街地整備への理解が得られない場合には、合意形成が難航することも多々ある。

本地区もその一例であり、過去には合意形成の停滞を背景に、まちづくり検討エリアの縮小を余儀なくされた経緯がある。

こうした背景を踏まえ、今後の事業化に向けては、地権者の理解を得るため、合意形成への新たなアプローチが重要となる。

## 4. 新たな事業化検討手法

先述した事業化に向けた課題の解決策として、本地区では、3D設計の導入と3D都市モデルを活用した合意形成を実施している。

本項では、新たな事業化検討手法として、3Dによる事業化検討の連携、3D設計の導入および3D都市モデルを活用した合意形成の概要と期待される効果について述べる。

### (1) 3Dによる事業化検討の連携

新たな事業化検討手法においては、3D設計により作成した道路モデルおよび造成モデルを統合し、基盤整備後の状態をモデル化した3D計画モデルを構築する。さらに、この3D計画モデルと点群データから作成した3D現況地形モデルとの差分を算出することで、土量計算を効率的に行うことが可能となる。こうして得られた土量計算や各種設計成果を基に、事業シミュレーションを実施する一連の流れを円滑に進める点に大きな特徴がある。

また、3D計画モデルを作成したのち、3D計画モデル

に建築物などを加え、まちの将来像の可視化、用途容積等の都市計画や防災計画等をシミュレーションすることを目的とした3D都市モデルを構築する。この3D都市モデルは、地権者説明などの合意形成の場においても活用でき、従来は、設計作業と地権者説明が別個で進められることが多かったが、新手法ではこれらを一体的に進めることが可能となり、事業化検討全体の効率化が期待できる。

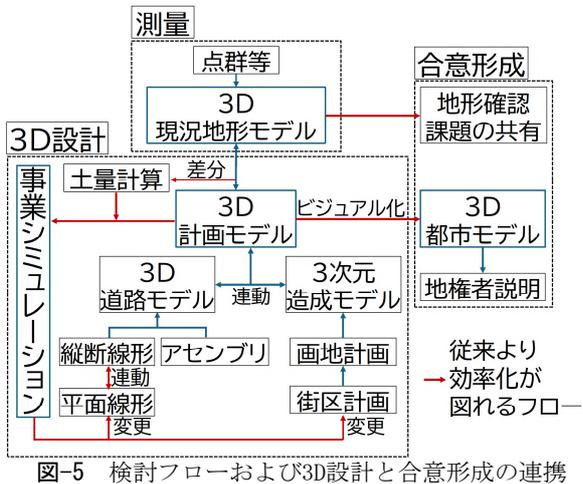


図-5 検討フローおよび3D設計と合意形成の連携

## (2) 3D設計の導入

本地区では、計画案と事業採算性の最適化を効率的に検証するため、3D技術を導入した検討を行っている。

### a) 3D現況地形モデル

3D設計を導入するにあたっては、計画設計の基礎データとなる3D地形モデルの作成が必要不可欠である。本地区では、UAVレーザー測量等を用いて点群データを取得し、現況地形の3Dモデルを作成した。

なお、3D現況地形モデルは、点群データに加えて、座標値データ（XYZ座標）、2次元の等高線、およびDEMデータ（基盤地図情報の数値標高モデル）など、複数の地理空間情報から作成可能である。

なかでも、DEMデータ（基盤地図情報の数値標高モデル）はオープンデータとして公開されており、測量実施前の概略検討段階においても、現況地形を詳細に把握することが可能となる。このように、検討の段階や目的に応じて各種データを使い分けることで、より実用的かつ効果的な計画設計が実現できる。

また、これらの3D現況地形モデルに、ボーリング調査などの地質調査のデータなども統合でき、様々な現況情報を統合できるため、後述する事業費検討精度の向上にも寄与できる。

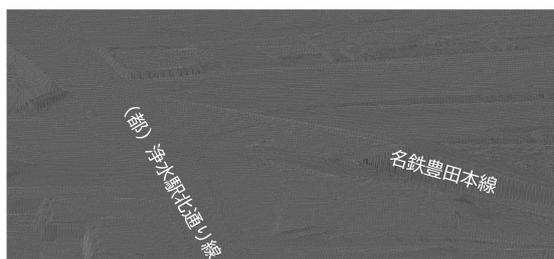


図-6 3D現況地形モデル



図-7 UAVレーザー測量の様子

### b) 道路計画

3D設計における道路計画では、3D道路モデルを構築し、平面線形、縦断線形、横断形状が連動した3次元的设计検討が可能となっている。

縦断線形の検討においては、平面線形を配置した位置に対して、3D現況地形モデルから周辺高さを自動取得できるため、地形や既存建物との整合を考慮した3次元的设计検討が可能である。さらに、道路の標準的な横断形状をモデル化した「アセンブリ」を活用することで、平面線形、縦断線形、横断形状の各要素が連動した3D道路モデルを構築できる。

道路計画においては、既存建物の移転を極力避ける計画とするが、平面線形上は建物を回避していても、縦断計画や造成計画の結果として、建物の移転が必要となる場合がある。特に、地権者の中には、移転を望まない地権者も少なくなく、事業の進捗に伴いその意向が変化するケースも見受けられ、本地区においても複数の地権者が過去の意向調査において、移転を望まない意向を示している。

このような状況下においては、計画案の検討やその後の事業採算性のシミュレーションを進める過程で、地権者意向も踏まえた最適な計画案とするため、設計変更が生じることが想定されるが、3D設計技術を活用することで、現況地形や既存建物の高さを一体的に把握できるため、従来に比べて作業の省略化や設計変更にも柔軟かつ効率的に対応することが可能となり、3次元的设计検討を通じて、効率的に地権者の意向を尊重した合理的な設計を実現できる。

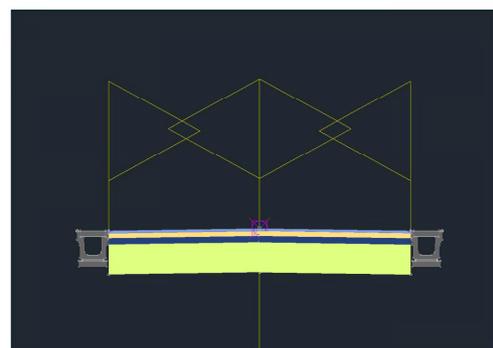


図-8 アセンブリ（標準横断モデル）

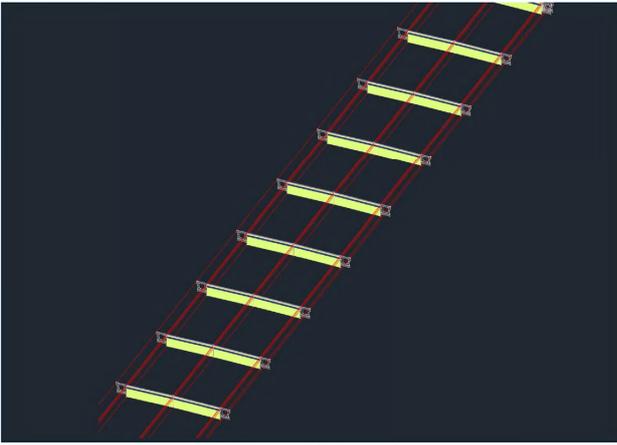


図-9 3D道路モデル

### c) 造成計画

3D設計における造成計画では、各宅地の計画高さを踏まえて、3D造成モデルを作成する。この3D造成モデルは、先述の3D現況地形モデルおよび3D道路モデルと連携した設計が可能となる。例えば、道路の縦断線形が変更になった場合、その道路に接する宅地の高さも合わせて変更することになるが、3D設計においては、各要素が連動しているため、従来の変更作業と比べて、作業の省略化が可能となる。

また、この3D造成モデルを3D道路モデルと統合することで、計画地形の3D計画モデルが形成される。

これにより、3D設計では現況地形と計画地形の両方を3Dモデルとして管理することができ、それらの差分に基づき土量計算が自動で算定できるため、造成設計の比較検討も効率的に行える。

特に、市街地整備事業などの面整備においては、土量バランスの検討が事業採算性に直結する重要な要素であるため、3D設計における造成計画は計画設計の効率化のみならず、事業費の精度向上といった面でも大きな効果が期待できると言える。

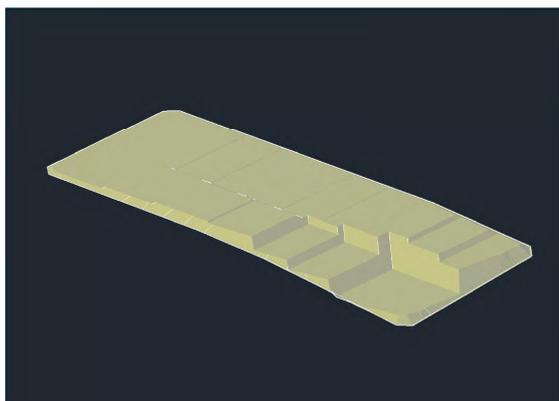


図-10 3D造成モデル

### (2) 3D都市モデルを活用した合意形成

本地区では、過去の合意形成の状況を踏まえ、3D都市モデルを活用した合意形成の取り組みを進めている。この3D都市モデルとは、先述した3D設計の成果である3D計画モデルを活用し、作成できる。

現在は計画案の検討段階にあるため、3D都市モデルを用いた本格的な合意形成はこれからであるが、先述の3D現況地形モデルを活用し、地元組織との間で、現況地形の確認や高低差の解消に関する課題の共有に活用するなど、3D技術の活用効果は高い。

このように、まちの将来像の提示にのみならず、地区が抱える課題への共通認識を図ることで、まちづくりへの機運が高まりつつあり、3Dモデルを活用した合意形成は非常に効果的であると実感している。

また、これまでの市街地整備事業を運営してきた経験から、事業認可前および事業中に反対していた地権者であっても整備が進み、現場の出来形が見えてくる、また、整備が完了すると、市街地整備に対する理解が深まり、「事業をやってよかった」と評価されるケースが多い。

こうしたことから、事業化検討段階から、3D都市モデルを活用し、まちの将来像を可視化することで、事業の初期段階から合意形成が進み、円滑な事業推進につながると考える。

## 5. 結論および今後の展望

本稿では、地形条件や合意形成に課題を有する地区における市街地整備の事業化検討手法について論じた。高低差や既存建物の存在による設計上の制約、地権者負担を伴う合意形成への対応、さらに近年の建設物価の高騰による事業費圧迫への対応など、市街地整備が抱える課題は多岐にわたる。

これらの課題に対して、3D設計や3D都市モデルなどの3D技術の活用は、計画の精度向上や事業採算性の検証に加え、地元との課題共有やまちの将来像の可視化を通じた合意形成支援において有効な手法である。

また、今後の市街地整備においては、近年、国が推進しているまちづくりDXを活用した新たな検討手法の導入が、複雑化する整備環境への対応策として、より重要な役割を果たすと考えられる。

本地区のまちづくりにおいても、まちづくりDXの先進事例となるために、今後の詳細設計や施工計画、公共施設の維持管理など、事業の進捗に応じて、展開していきたい。

# 都市公園の適正配置による 公園面積確保と維持管理負担軽減の両立 ～うるま市公園再編計画～

○石川空<sup>1</sup>・井上僚平<sup>1</sup>・高柳碧伽<sup>1</sup>

<sup>1</sup>日本工営都市空間株式会社 名古屋本社（〒461-0005 愛知県名古屋市中区東桜二丁目17番14号）

本業務は、公園の役割やニーズが変革の時期を迎えている沖縄県うるま市において、都市公園の適正配置による“都市公園の量の確保”と“維持管理負担の軽減”の両立を目標に、配置と機能の再編から、3つのモデルエリアにおいて「公園再編計画」を策定したものである。配置の再編では、都市公園の集約や新規整備により適正配置の実現を目指した。機能の再編では、エリアにおける各公園に対して特化・分担すべき機能をレーダーチャートによる分析に基づき定めた。加えて、関連事業（公民連携や里親制度）などに求められる公園として検討することで、各事業を推進するとともに維持管理負担軽減との両立を実現する再編計画を策定した。

**Key Words**：公園再編計画、配置の再編（集約化）、機能の再編、都市公園面積の確保、配置の最適化、維持管理負担の軽減、再編による都市公園の廃止検討

## 1. 背景と目的

沖縄県うるま市は、少子高齢化及び人口減少に伴う税収の低下を見据え、第2次うるま市都市計画マスタープランでは、中心的な拠点だけでなく点在する各地域の拠点がネットワークで結ばれた多極連携のまちづくりを目指している。多極連携を実現するためには、集約型都市を目指す機能誘導が必要であり、都市機能の生活サービスを維持しつつ、既存ストックの有効な活用を図る必要がある。

都市機能の1つである都市公園においても、約7割が供用後20年以上経過し、老朽化した施設の増加に加えて維持管理予算の減少から、第2次うるま市みどりの基本計画では、従前の配置のまま維持管理し続けることは難しく、持続的な維持管理に向けて公園の集約化の検討及び推進を図るものとしている。

一方で、都市公園の量の指標である1人当たり都市公園面積は、8.78㎡（令和6年8月時点）とみどりの基本計画に掲げる令和25年度目標値11.92㎡とかけ離れた数値となっており、都市公園の量の確保が依然として必要な状況となっている。

このような背景から、本業務では、増加傾向にある維持管理費の軽減を図るとともに、依然として不足している都市公園面積を確保するといった一見矛盾している2つの課題について、ストック再編（配置の再編（集約化）と機能の再編）の観点から公園再編計画を策定することを目的とする。

## 2. 公園再編計画の検討フロー

本業務では、以下の検討フローに基づき公園再編計画を策定した。上位関連計画やニーズ調査結果を踏まえ、配置分析や機能分析を行った上で、配置及び機能の再編を検討するフローとした。



図-1 公園再編計画の検討フロー

### 3. ストック再編を検討するエリア

#### みどり町エリア：全 10 公園

エリア全体が土地区画整理事業にて整備され、市役所をはじめとした各種行政サービス機能や商業、医療等の生活サービスが集積したエリア。公園が満遍なく配置されており誘致圏カバー率が高い。



#### 赤道エリア：全 8 公園

エリア北部は開発行為、南部は土地区画整理事業にて整備され、沖縄市との市境に豊かな自然が残り、医療や商業等の都市機能が集積するエリア。エリア南北のみに公園が存在し各公園の誘致圏重複率が高い。

#### 勝連（平安名・内間）エリア：全 3 公園

集落景観が残り、周辺には農地や丘陵地等のみどりが広がり、歴史文化資源が数多く存在するエリア。エリアの北部のみに公園が存在し各公園の誘致圏重複率が高い。

図-2 エリアの位置と特徴

### 4. 配置分析（量的ニーズの把握）

#### (1) 1人当たり都市公園面積の算出

各エリアに必要な面積を確保するため、目標年次における人口推移を踏まえ、1人当たり都市公園面積を算出した。目標年次は、都市計画マスタープラン等に基づき20年後（2044年）とした。

その結果、全市の1人当たり都市公園面積は目標年次において、人口減少に伴い増加する（8.78㎡/人→8.94㎡/人）が、みどりの基本計画で掲げる目標値（11.92㎡/人）と比べて不足している。

各エリアでは、みどり町エリアと赤道エリアの1人当たり都市公園面積は減少し、勝連（平安名・内間）エリアの1人当たり都市公園面積は増加した。

表-1 各エリアの1人当たり都市公園面積

	都市公園面積	総人口	1人当たり都市公園面積
<b>みどり町エリア</b>			
現状（2024年）	32,500㎡	6,867人	4.73㎡/人
目標年次（2044年）	32,500㎡	7,481人	4.34㎡/人
<b>赤道エリア</b>			
現状（2024年）	10,192㎡	7,087人	1.43㎡/人
目標年次（2044年）	10,192㎡	8,914人	1.14㎡/人
<b>勝連（平安名・内間）エリア</b>			
現状（2024年）	4,238㎡	5,245人	0.81㎡/人
目標年次（2044年）	4,238㎡	5,031人	0.82㎡/人

うるま市人口統計資料を基に本業務にて算出

#### (2) 誘致圏カバー率と誘致圏重複率の算出

各エリアにおける都市公園の適正配置を検討するため、都市公園の誘致圏域を踏まえ、誘致圏域に含まれない地域や誘致圏域が重複している地域を誘致圏カバー率と誘致圏重複率を用いて把握した。

その結果、誘致圏カバー率をみると、みどり町では大部分（98.9%）が誘致圏に含まれている。赤道エリアでは6割程度（64.6%）が誘致圏に含まれており、勝連（平安名・内間）エリアでは誘致圏に含まれる区域が小さい（12.6%）。また、誘致圏重複率の平均値は全エリア6～7割程度（みどり町：67.4%、赤道：63.6%、勝連：61.3%）であり、公園の配置が集中していることがわかった。

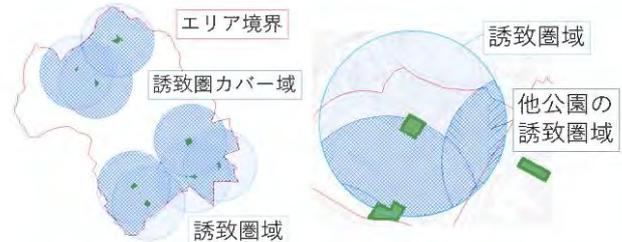


図-3 誘致圏カバー率（左）と誘致圏重複率（右）の例

### 5. 機能分析（質的ニーズの把握）

#### (1) 機能整理表の作成（現況機能の把握）

既存公園が有している機能を把握するため、各公園の施設を9つのストック効果（防災、環境、健康・レク、景観、歴史・文化、子育て・教育、コミュニティ、観光、経済）<sup>1)</sup>に振り分け、機能整理表にて整理した。

#### (2) レーダーチャートの作成

各エリアに不足している機能や求められている機能について、上位計画・現状・地域ニーズを評価項目とし、レーダーチャート（図-4）を作成することで把握した。

上位計画は市や各地域におけるまちづくりや公園の方針が示されているか（複数の方針が示されている場合は◎）、現状は機能整理表（各公園の評価の合計で評価）、地域ニーズはアンケート調査結果に加えて、自治会や学童ヒアリング結果より評価した。

その結果、みどり町エリアでは環境、経済機能が不足し、赤道エリア及び勝連（平安名・内間）エリアでは環境、景観、歴史・文化機能が不足していた。

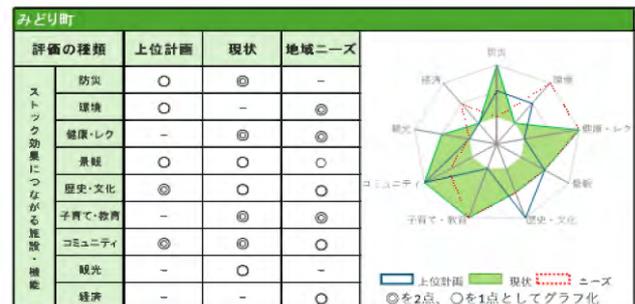
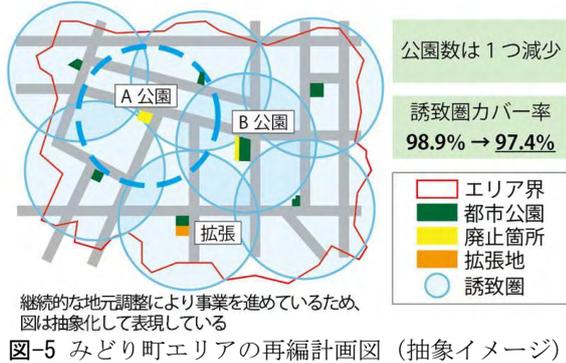


図-4 作成したレーダーチャート例

## 6. 再編計画（みどり町エリア）



### (1) 配置の再編方針

①高い誘致圏カバー率を維持しつつ、誘致圏の重複を解消することで、都市公園の数を削減し維持負担の軽減を図るため“A公園”を廃止の方針とした。

②“B公園”はA公園と同様に、維持管理負担軽減のため廃止が考えられるが、地域利用実績があり、公民連携事業の可能性を検討しているため、利用や事業に影響の少ない一部廃止とし、その他は維持する計画とした。

③廃止するA公園とB公園の代替地を確保しつつ、より大きい魅力ある公園として地域ニーズに応えると共に、民間導入の可能性を広げる公園の拡張を図り、拡張する公園用地は公共用地（道路用地と公共駐車場）とした。

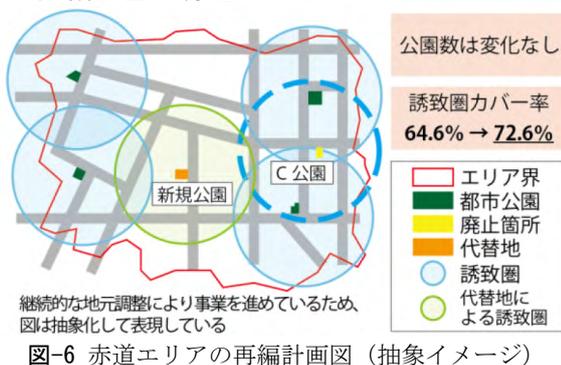
### (2) 機能の再編方針

不足している環境機能はエリア全体で“強化”し、求められている子育てや健康・レク機能は各公園で“特化”や“分担”する方針とした。機能特化・分担を図る際は、機能別による誘致圏重複率を算出し、各公園の周辺環境やスケールメリットを活用することを前提として、今後で地元ワークショップ（以下、WS）を実施することにより設定することとした。

### (3) 集約（廃止）跡地の活用方針

A公園及びB公園の跡地について、土地区画整理事業の成り立ちに配慮し公共用地等とした。また、自治会の意向やアンケート調査結果から把握したニーズ等をふまえて、今後のWSや庁内関係部署調整により、跡地の活用を図る方針とした。

## 7. 再編計画（赤道エリア）



### (1) 配置の再編方針

①誘致圏カバー率を維持しつつ、誘致圏域の重複を解消することで、維持管理負担の軽減を図るため“C公園”を廃止の方針とした。

②エリア中央部に新規公園を配置し、不足しているエリア内の誘致圏カバー率を効果的に拡大するとともに、より多くの住民がアクセスしやすく、公民館に隣接した立地に配置することで地域連携の促進を図った。拡張地は民地であるものの、地元要望があったことから、自治会ヒアリングを踏まえて計画した。

### (2) 機能の再編方針

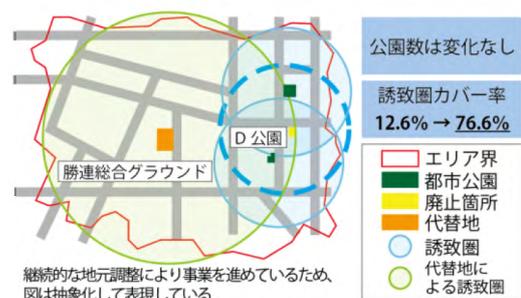
①自治会の利用実態を踏まえつつ、公民館と一体的な地域コミュニティ拠点とし、コミュニティ機能の強化や里親制度<sup>※付録</sup>推進の可能性を広げる新規公園を整備する方針とした。また、C公園が有するエリア内の既存公園にない役割として、健康・レク機能の配置を図った。指定緊急避難場所としての機能も継承し、よりバランスの良い避難所計画を実現した。

②みどり町エリアと同様に、機能特化・分担を図る際は、今後で地元WSを実施し設定する方針とした。

### (3) 集約（廃止）跡地の活用方針

C公園の跡地について、土地区画整理事業の成り立ちに配慮し公共用地等とした。また、自治会の意向やアンケート調査結果から把握したニーズ等をふまえて、今後のWSにより、住宅地内のオープンスペースとしての立地を生かした子育て・教育や介護福祉機能等で跡地の活用を図る方針とした。

## 8. 再編計画（勝連（平安名・内間）エリア）



### (1) 配置の再編方針

①エリア中心部に位置する勝連総合グラウンドを都市公園（地区公園）として再整備することで、不足しているエリア内の誘致圏カバー率及び1人当たり都市公園面積を大きく拡大させるとともに、民間導入が検討されている勝連総合グラウンドにおいて、広い面積を活かすことで民間導入の可能性を広げた。

②勝連総合グラウンドの都市公園化によりエリア内の誘致圏カバー率が拡大することも踏まえ、誘致圏重複率が最も高い“D公園”の廃止により、公園数を削減し維持管理負担の軽減を図る方針とした。

## (2) 機能の再編方針

①不足している環境、景観、歴史・文化機能をエリア全体で“強化”するとともに、自治会の利用自体を踏まえて地元WS等を実施し、地域ニーズにより広く応えるため、勝連総合グラウンドを既存3公園の役割・機能を含めた再編方針とした。

②地元から既存公園に求められていた機能や地域の重要な拝所を都市公園として継続する2公園に継承しつつ、管理対象施設を削減し、地元自治会と十分な調整の上で、里親制度の活用を図る方針とした。

## (3) 集約（廃止）跡地の活用方針

D公園の跡地について、自治会の意向を踏まえて事務所の設置等が考えられる。具体的には地元WS等を実施し、住宅地内のオープンスペースとしての立地を活かした地元管理用地として跡地活用を図る方針とした。

## 9. 都市公園の集約（廃止）可能性検討

### (1) 廃止の可能性がある公園の抽出

都市公園の適正配置を目指すためには、都市公園の集約（廃止）を含めて検討する必要があるため、客観的な指標である「誘致圏重複率」「防災性」を用いた集約（廃止）可能性検討フローを構築した。

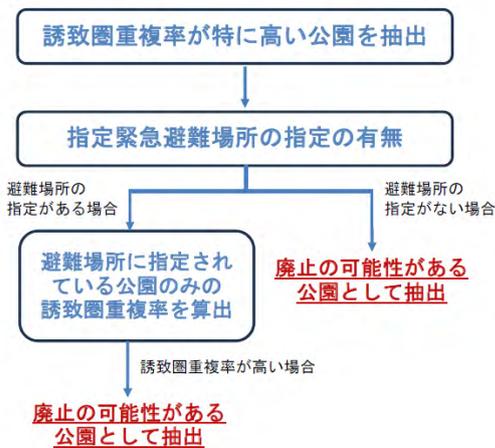


図-8 廃止の可能性がある公園抽出フロー

### (2) 都市公園廃止における法令等の整理

都市公園は都市公園法第十六条により、その保存が義務付けられている。また、本業務のエリアでは土地区画整理事業や開発行為より整備された公園が存在することから、都市公園法や土地区画整理事業実施規則、土地区画整理事業実務問答集<sup>2)</sup>、開発行為に伴い設置された公園等に対する技術的助言に基づき、既存公園の廃止を行う際の方針を定めた。

#### 【方針1】

都市公園の廃止を行う場合は、廃止される都市公園の代替地をエリア内で確保する。

#### 【方針2】

土地区画整理事業において整備された都市公園の廃止を行う場合、当該跡地は公共用地又は公共公益施設用地として活用する。

## 10. 本業務の成果

### (1) 市全体における公園面積の向上

みどりの基本計画では、1人当たり都市公園面積の目標値（11.92㎡/人）を設定しており、人口減少の傾向を踏まえても、目標年次に向けて都市公園面積を増加させる必要があった。本業務では3エリアにおける公園数は減少したが、総面積は向上し1人当たり都市公園面積は向上する計画とした。

### (2) 上位関連計画の方針の促進

みどり町エリアでは公民連携による民間導入の促進や学童クラブ等の利用促進、赤道エリアでは里親制度の推進、勝連（平安名・内間）エリアでは勝連総合グラウンド再整備事業の推進、といった各エリアそれぞれで掲げられている方針を押し進める可能性が広がる計画とした。

### (3) 配置の最適化と維持管理負担の軽減の両立

誘致圏域の重複や誘致圏空白地域に対して、集約や新規整備を含めて配置の最適化を図りつつ、公園数の減少や公民連携・里親制度による維持管理負担軽減との両立を計画した。

### (4) 公園面積の確保と維持管理負担の軽減の両立

都市公園をただ増やすのではなく、既存公園の拡張により都市公園面積を確保しつつ、公園数を変えないことで維持管理の効率化による負担軽減との両立を計画した。

## 11. 考察と今後に向けて

今後において、みどり町エリアは「公園配置バランスの維持と地域・民間事業者の利活用を支える機能再編」、赤道エリアでは「公園配置バランスを改善する地域コミュニティ拠点を核とした公園再編」、勝連（平安名・内間）エリアでは「公共施設の大規模公園化と既存公園の集約による配置再編」として本業務の3エリアが、様々な地域における公園再編計画のモデルエリアとなることが考えられる。

モデルエリアを踏まえて、本市では新たなエリアの抽出など本業務の検討内容が本市全体へ波及し、本市全体で“都市公園の量の確保”と“維持管理負担軽減”が実現されることを目指している。

### ※付録

里親制度とは、地域住民が市との合意に基づきボランティアとして定期的・継続的に公園等の清掃、美化活動等を行う制度。（≒公園愛護会制度）

### 参考文献

- 1) 都市公園のストック効果向上に向けた手引き、国土交通省都市局、平成28年5月
- 2) 土地区画整理事業実務問答集-第4版-、公益社団法人街づくり区画整理協会、令和4年12月

# 地下埋設物の計測と 3次元モデル化の高度化

○中嶋美佳<sup>1</sup>・長谷川美雄<sup>1</sup>・山口隼弥<sup>1</sup>

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

無電柱化事業は、整備推進や事業のスピードアップのためDX化が加速しており、事業プロセスの改善や効率化、生産性の向上が図られている。しかし、現状では地下埋設物の位置精度が低いことなどに起因し、施工に着手した際に現地不整合が発生し、計画そのものの見直しが必要となっている。

従来、試掘調査等において目視や測量機器による計測により地下埋設物の形状と位置を把握し、その数値を用いて2次元図化していたが、今回、LiDARを活用した地下埋設物の3次元スキャンにより3次元モデルを構築し生産性向上を図った事例を紹介する。

**Key Words** : 電線共同溝, 地下埋設物, 施工手戻り, 3次元計測, 3次元モデル化

## 1. はじめに

無電柱化事業は、「道路の防災性の向上」、「通行空間の安全性・快適性の確保」、「良好な景観形成」を目的に推進され、整備推進や事業のスピードアップのためDX（デジタルトランスフォーメーション）化が加速しており、事業プロセスの改善や効率化、生産性の向上が図られている。しかし、現状では電線共同溝工事中に手戻りが多数発生しており、その大半は地下埋設物の位置精度が低いこと、想定外の埋設物・地下水位等が施工段階で確認されることなどに起因し、計画そのものの見直しが必要となっている。

本稿は、現地において測量機器等を用いずとも簡易に地下埋設物の形状と位置の把握、同時に3次元モデルを構築し、簡易に精度向上と効率化を図ることを目的に、LiDARを活用した地下埋設物の3次元スキャンにより3次元モデルを構築した事例を紹介するものである。

## 2. 従来方法の概要と課題

### (1) 従来方法の概要

地下埋設物の計測・図化方法は試掘調査等を行い目視や図-1のとおり測量機器により位置・深度・種別・形状などの情報を現場で計測し、基準点や地物との相対位置を記録する。その後、取得した数値データを基に、CADソフトを用いて2次元図化を行う。

### (2) 従来方法の課題

計測・図化を行う作業は属人的であり、図-1のとおりスタッフを駆使して測量を行うため、計測の実施者により多少の誤差が発生する等計測時の精度の懸念があることが課題である。また、図化時には計測したデータに対して人の手で図面に落とし込むため、誤記をしてしまう等ヒューマンエラーの可能性があることや、人手と時間を要するといった課題がある。



図-1 試掘計測状況<sup>1)</sup>

## 3. 3次元計測と3次元モデルの構築

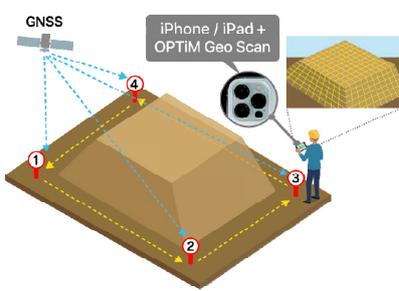
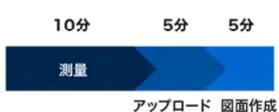
従来の計測・図化方法の課題を改善するため対象物の形状や位置関係を立体的に把握でき、現場の状況をより正確かつ網羅的に記録することが可能な3次元計測について紹介する。

(1) 3次元計測手法

3次元計測方法は、地上レーザー測量、ドローン(UAV)写真測量、UAVレーザー測量、航空写真測量、衛星画像処理、車載写真レーザー測量、マルチビー

ム測深と様々ある。今回は、試掘調査時の床掘内を計測するために活用するものとして、地上からの計測に準備が比較的容易かつ、作業者を選ばない、以下の3つの測量方法について整理した。

表-1 3次元測量手法

種類	概要	費用	精度・点群間隔 測量時間
<p>マルチステーション</p> <p>商品名： Leica MS60<sup>2)</sup></p>	<p>Leica MS60は、トータルステーションと3Dレーザースキャナーの機能を統合した多機能測量機である。1台で高精度のポイント測定と広範囲の点群取得（スキャン）が可能となる。</p> <p>測量する際は、現場に三脚を立てて実施する熟練の技術が必要とされる本格的な測量機器。</p> <p>&lt;メリット&gt;高精度で高密度な点群データを取得。熟練技術者が使うことで詳細な地形や構造物のデータ取得が可能。</p> <p>&lt;デメリット&gt;高価で運用が難しく、専門知識と技術が必要。持ち運びや設置に手間。強風や雨などの気象条件下で計測不可。</p> 	<p>初期費用 (機材費用)： 900万円～1000万円 ※時期や交渉により金額は前後する可能性あり。</p> <p>利用料：特になし ※ただし、メンテナンスやバージョンを行う際は別途費用が発生。</p>	<p>精度： ±1.0mm+1.5ppm (プリズム使用時)</p> <p>点群間隔：約1.4mm (測定距離10mの場合)</p> <p>測量時間： 20～40分程度（800m<sup>2</sup>の現場規模の場合） ※内訳は以下</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・設置・レベル出し：5～10分/セットアップ</li> <li>・1スキャン時間：2～10分（解像度による）</li> <li>・必要スキャン箇所数：3～6箇所</li> </ul>
<p>LiDAR</p> <p>商品名： 3D Scanner App<sup>4)</sup></p>	<p>iPhoneやiPadのLiDARスキャナ搭載機種（例：iPhone Proシリーズ、iPad Pro）で利用できるアプリで、簡単に3Dスキャン（点群生成）が行える。現場で使用の際は、設置機材等は不要である。</p> <p>&lt;メリット&gt;専門機器が不要で測量機器の知識がなくても、高精度の3次元データを取得することが可能。誰でも一人で作業でき、操作が簡単。</p> <p>&lt;デメリット&gt;GNSSレシーバーやトータルステーションとの連携が必須。測量機器より精度は劣る。光沢や透明な素材のスキャンが困難で専用機材に劣る。</p> 	<p>初期費用 (機材費用)： 10万円～20万円※ iPhone代金</p> <p>利用料：特になし (アプリによる)</p>	<p>精度： ±10～50mm程度</p> <p>点群間隔： 1mm～1cm程度 (自由に設定可能)</p> <p>測量時間： 5～15分程度（800m<sup>2</sup>の現場規模の場合）</p>
<p>LiDAR (GNSS活用)</p> <p>商品名： OPTiM Geo Scan<sup>3)</sup></p>	<p>LiDARセンサー搭載のiPhoneとGNSSレシーバー取得の高精度の位置情報を組み合わせて、短時間で高精度な測量を行える3次元測量アプリ。現場で使用の際は、設置機材等は不要である。</p>  <p>&lt;メリット&gt;専門機器が不要で測量機器の知識がなくても、高精度の3次元データを取得することが可能。誰でも一人で作業でき、操作が簡単。</p> <p>&lt;デメリット&gt;GNSSレシーバーやトータルステーションとの連携が必須。測量機器より精度は劣る。</p>	<p>初期費用 (機材費用)： 20万円（+10～20万円※iPhone代金）</p> <p>利用料： 約10万円/月</p>	<p>精度：±50mm</p> <p>点群間隔：5mm程度</p> <p>測量時間： 10分（800m<sup>2</sup>の現場規模の場合） ※測量～図面（点群データ）の作成までは20分</p> 

## (2) LiDARの活用

### a) 当該箇所の課題と適用

今回の業務での作業は、電線共同溝事業に伴う地下埋設物調査であり、試掘調査における床掘時に地下埋設物の状況（位置・管種・管径等）を正確に把握し記録として残す必要があった。また、調査は車道や歩道で実施しており、試掘による床掘、地下埋設物の調査・確認後に早期に埋戻しを行う必要があったため、調査・確認は短時間でを行う必要があった。時間と費用を抑制するため、高精度の測量を行うまでには至らなかった。

そのため、3次元計測の中でもiPhoneと専用のアプリをダウンロードするのみで初期費用が安価で導入が容易であり、現地において測量機器等の設置が不要、簡易的に高精度な点群データを形成することで地下埋設物（位置・管種・管径等）の把握が可能なLiDARを活用した。



図-2 試掘箇所（LiDAR撮影箇所）の状況

### b) 操作方法

用意するものは、以下である。

- ・使用デバイス：iPhone（12pro以上の性能）
- ・使用アプリ：3D Scanner App
- ※上記に記載したアプリ以外にも様々なアプリがあるが、iPhoneに元々入っているメジャーなアプリを採用した。
- ・その他：自撮り棒

※今回は試掘調査の計測で使用するため、試掘内を隅々まで取れるよう自撮り棒を用意した。計測方法は、自撮り棒にiPhoneを取り付け、アプリを起動させて、撮影を行うことで計測が可能なる。撮影したい箇所にiPhoneをかざして点群データを取っていくが、その際、図-4のとおり画面の色が紫に変化したか確認しながら撮影を行う。※今回使用したアプリでは、取りたい箇所が紫になったら、撮

影が問題なく完了していることになる。

3Dデータ（点群データ）の生成の方法は、上記の撮影が終わり、データの保存を行うと自動的に3Dデータが生成（図-5）され、自分自身での特別な作業や操作は必要ない。

### c) 撮影時の留意事項

撮影時の留意事項としては以下があげられる。

- ・縦1.0m×横5.0m程度の試掘形状である場合は、2～3分程度で撮影することが望ましい。（点群間隔を2mmと最も詳細にした場合）

※撮影時間が長引くと、3Dデータを生成する際にエラーが発生する（保存ができない）可能性があるため注意が必要である。また、点群間隔を詳細度の設定によってデータ容量が変わるため、状況に応じて撮影時間を調整する必要がある。

- ・撮影する対象物は、極力様々な角度から撮影することが望ましい。

※試掘調査の場合、埋設管を上から撮影するのみでは管の側面の撮影ができていない可能性があるため、極力対象物に対して360度撮影するとよい。

- ・LiDARは位置情報（X, Y, Z座標）を含まないため地形を測量した点群データに試掘結果を落とし込む際は地表面で合わせる必要がある。そのため、撮影範囲としては埋設管付近のみではなく、地表面まで撮影を行う必要がある。

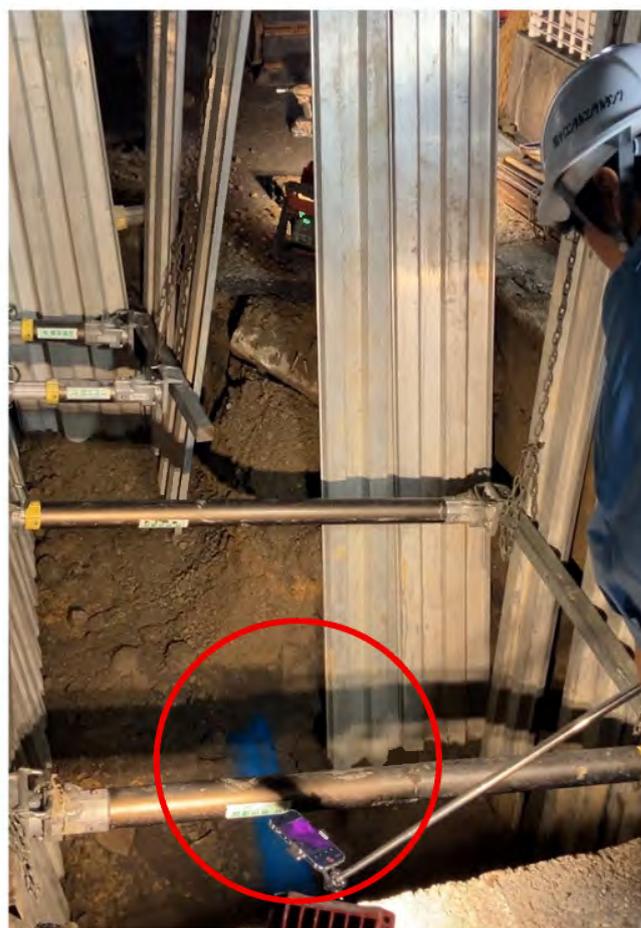


図-3 3次元スキャン状況



図-4 3次元スキャン状況（拡大図）



図-5 LiDARより生成した3Dデータ

#### 4. 3次元モデルの構築と高度化

LiDARを活用した3次元モデルの構築方法としては、取得した点群データを地形データと重ね合わせ、点群をトレースすることにより図-6の通り3次元モデルを構築することが可能となる。

上記の方法で3次元モデルを作成するため、従来の2次元図面では把握することが難しかった管路の位置・深度・交差関係を、正確に3次元モデル化することが可能となる。加えて、点群データをもとに3次元モデルの作成を行うため、従来の方法に比べ作業時間が1/2～1/3程度となり、作業の効率化が図れる。（従来の方法では、3次元モデルを作成するには、2次元図面のデータをもとにモデリングする必要がある。また、2Dデータを基に高さ情報や立体構造を推定する必要があり、細部形状は補完が必要となる。）

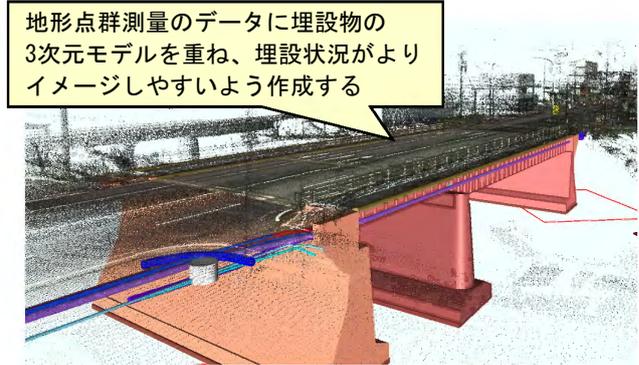


図-6 3次元モデル作成イメージ

#### 7. おわりに

今回は、試掘調査時にLiDARを使用し簡易かつ効率的に3次元モデルを構築することができた。

今後は、計画も含めた3次元モデルを電線共同溝事業の各段階で活用を展開していくのが望ましい。

- ①調査段階：机上調査による地下埋設物整理を補完し設計への基礎資料とする。
- ②設計段階：BIM/CIM原則適用をした3次元設計（3Dモデル化した電線共同溝との統合モデルを作成）を行い、計画時に2次元図面では把握することが困難であった配管の交差部や平面・縦断的に変化している箇所の干渉を把握（図-7）し、設計の手戻り防止を図る。
- ③施工段階：②で作成した統合モデルを活用することで、MG等によるICT施工での作業効率化や事故防止を図る。また、施工前のAR確認によって配管を正確に把握し、誤切断による工事遅延・事故の防止を図る。
- ④維持管理段階：②で作成した3Dモデルで管理することにより工事前の占用物の確認や検索などが容易となり、従来の紙ベースでの管理の道路管理台帳より高度な維持管理の実施を図る。

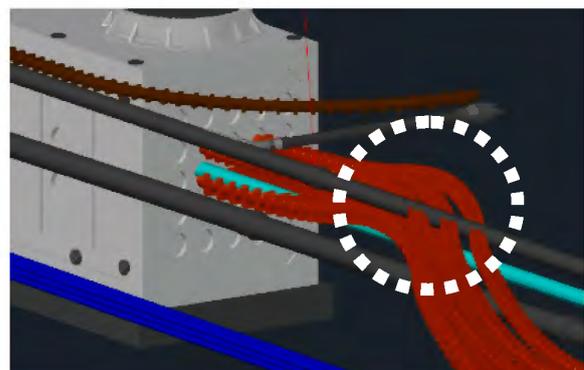


図-7 干渉チェックの実施イメージ

#### 参考文献

- 1) 国土交通省 電線共同溝整備の工程 HP
- 2) <https://www.optim.co.jp/construction/optim-geo-scan/products/optim-geo-scan/>
- 3) <https://kawadu-kensetsu.co.jp/wp-content/uploads/2018/09/MS60.pdf>
- 4) <https://apps.apple.com/jp/app/3d-scanner-app/id1419913995>

# 路線特性や周辺道路ネットワークの変化を踏まえた適切な立体交差形状の検討

○山田悠暉<sup>1</sup> 高羽俊光<sup>1</sup> 松浦佑紀<sup>1</sup> 水谷和真<sup>1</sup> 山崎大嗣<sup>1</sup>

<sup>1</sup>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）

本報告は、暫定2車線供用中の重要物流道路にも指定されている国道本線の完成4車線化に向けた道路概略設計において、過年度設計時から変化している周辺道路ネットワークに着目し、IC機能を再整理することで経済性に配慮した適切な立体交差形状を提案した結果について述べる。

**Key Words** : IC機能の再整理, 周辺道路ネットワーク, 変速車線, 部分出入制限

## 1. はじめに

一般国道246号裾野バイパスは、駿東郡小山町小山（神奈川・静岡県境）～沼津市大岡（一般国道1号）までの延長約35.3kmの主要幹線道路で、首都圏と中京圏を結ぶ重要な路線であり、静岡県東部地域を縦断し一般国道1号、一般国道138号、東駿河湾環状道路を連結し、東名高速道路、新東名高速道路と共に静岡県東部地域の道路ネットワークを担う重要な路線である。また、東名高速道路と並行していることから、東名高速道路の代替路線としての機能も担っており、東海地震発生時の広域緊急輸送路として一時緊急輸送路にも位置づけられている。

本業務は、裾野バイパス1工区の暫定2車線整備区間（90.7kp～93.5kp）を対象に、道路概略設計を実施したものである。

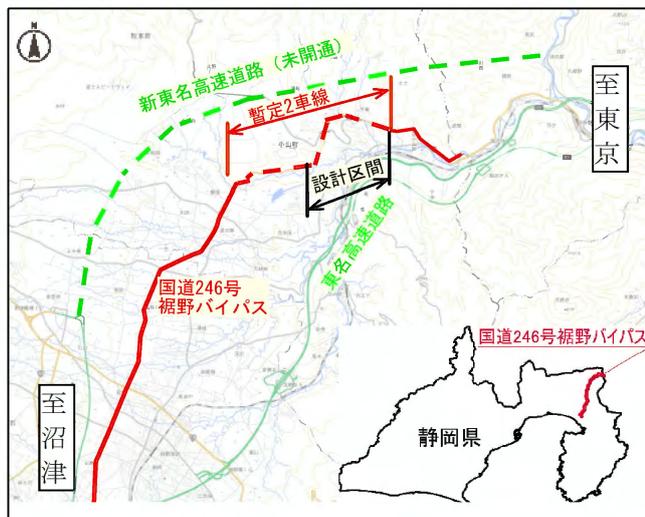


図-1 業務位置図

本報告では、過年度に実施された詳細設計業務においてダイヤモンドICとして計画されている中島ICに対し、路線特性や最新の周辺道路ネットワークを踏まえた適切な立体交差形式の検討を行った結果について報告する。なお、本報告の内容は、概略設計の結果として得られた成果であるため、今後の調査設計において形状が変更となる可能性があることに留意されたい。

## 2. 基本的事項の整理

### (1) 設計条件

以下に、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）
- ・種級区分：第3種第2級
- ・設計速度：V=60km/h
- ・車線数：4車線（W=17.25m）

また、中島ICにて交差する県道山中湖小山線の計画諸元を以下に示す。

- ・種級区分：第3種第3級
- ・設計速度：V=40km/h
- ・車線数：2車線（W=11.0m）

### (2) 検討フロー

本業務における検討フローを図-2に示す。

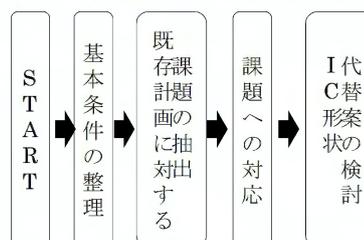


図-2 検討フロー

### 3. 既存計画に対する課題の抽出

#### (1) 概要

現況の中島ICの形式は不完全クローバー型となっており本線と立体交差している(図-3)。また、加減速車線長は平面交差に用いる変速車線長を確保している。なお、当ICの前後は谷地形となっており、橋梁区間となっている。



図-3 現況の中島IC

ここで、既存計画における完成4車線供用時の中島ICは、ダイヤモンド型ICとなっており、高速道路や自動車専用道路の設計において用いられる加減速車線長を確保した計画となっている。その結果、本線のⅡ期線橋の新設に加え、L=230m以上のランプ橋が2橋必要な計画となっている(図-4)。

そこで、詳細設計当時の当ICの機能を整理したうえで、当ICの課題を抽出する。

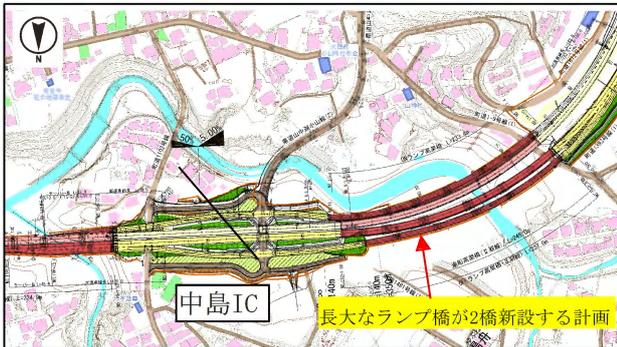


図-4 既存計画の中島ICの形状

#### (1) 詳細設計時のIC機能の整理

##### ① イベント時の交通需要への対応

国道246号は、「自動車レース場」への主要なアクセス経路となっており、イベント時の交通集中による渋滞が問題となっていた(図-5)。当道路から自動車レース場へは主に、中島ICと棚頭ICおよび菅沼交差点の3箇所からアクセスしていると考えられるが、東京方面からのアクセスには中島ICが最寄となる。(図-6)。そのため、当ICはイベント時に東京方面から集中する交通を円滑に処理する機能が求められていたと推察される。

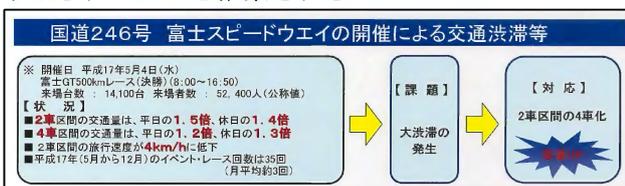


図-5 中島ICの当時の必要性の資料

##### ② 工業団地へのアクセス機能

当ICの接続道路である県道山中湖小山線の沿線にはハイテクパーク富士小山(工業団地)が立地している。このことから、中島ICは国道246号東京方面から工業団地へのアクセス時の利用を想定しており、大型車両の通行を想定した安全性と円滑性を確保することが求められたと推察される。



図-6 周辺道路ネットワーク図

#### (3) 当ICの課題の抽出

上記(2)より、当ICが近隣に立地する自動車レース場や工業団地へのメインアクセス道路の機能を担っており、イベント時の大量の交通と工業団地へ向かう大型車を安全・円滑に処理することが求められていたことを確認した。

そのため、既存計画では、これらの交通需要に対応できるよう、ダイヤモンド型ICとして計画されていたと推察した。しかし、過年度計画の実施年度はH19年であり、その後周辺道路ネットワークにも変化が生じていると考えられることから、中島ICに必要な機能を再度整理する必要があると判断し、IC機能の再整理を課題として抽出した。

### 4. 課題への対応

#### (1) 周辺道路ネットワークの再整理

現在の中島IC周辺のネットワークを整理した結果、自動車レース場の周辺に計画されている新東名高速道路の小山PAスマートICが過年度設計以降に事業化されていることが確認された(図-7)。このことからスマートIC供用後は、東京方面からの自動車レース場へのアクセス経路が新東名高速の小山スマートICへ転換されると考えた。また、現在の工業団地発着交通のETC2.0データを分析したところ、関東方面の交通の約9割が高速道路を利用することが分かった(図-8)。そのため、工業団地から出入りする大型車の多くも小山スマートICへ転換する可能性が高いと考えた。以上のことから、当ICの機能は、当初期待された「イベント時の大量の交通と工

業団地へ向かう大型車を安全に処理する機能」から「主に小山町市街地へアクセスする機能」へと変化していると考え、中島IC形状の見直しの余地があると判断した。



図-7 新東名高速道路小山SIC位置

縦断勾配も急勾配 ( $i=9\%$ ) となっており、 $L=230\text{m}$ 程度の長大なランプ橋が必要であった(図-9)。そのため、当ICの交通量および交通特性を踏まえ、IC規模縮小が課題となった。

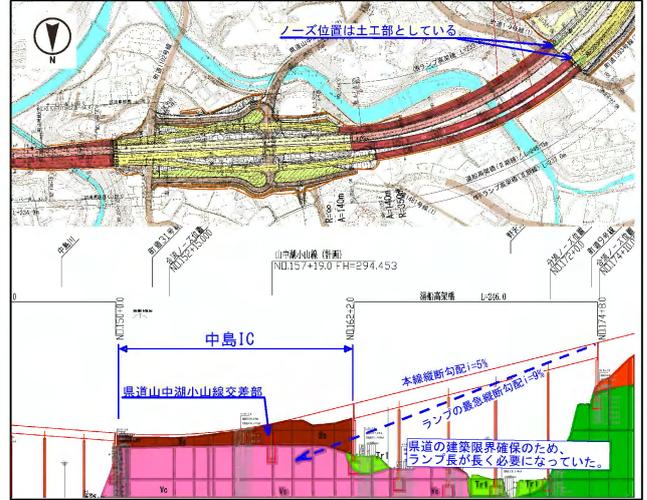


図-9 既存計画の平面図および縦断図



図-8 ETC2.0プローブデータ分析結果

## 5. IC形式代替案の検討

### (1) 計画交通量の確認

新東名高速道路の小山SICの計画により周辺道路ネットワークが変化し、中島ICの役割がIC周辺市街地のための生活ICへと変化する中で、ドライバーの経路選択行動にも影響を与えていると考えられることから、交通量推計結果の確認を行った。その結果、当ICの出入り交通量は約5,000台/日となり、インターチェンジ区分からすると比較的交通量の少ない3級インターに該当することが分かった。

### (2) 既存計画ICの課題

既存計画のIC形式は1万台/日程度の交通量を処理するICとして一般的なダイヤモンド型で計画されている。ここで、IC終点側の本線縦断勾配は、 $i=5.0\%$ となっている。このため、IC終点側のラン

### (3) IC形式代替案

当ICの計画出入り交通量は約5,000台/日と比較的少ないことに着目し、当ICの形式をランプ延長の短縮が可能な不完全クローバー型とした。また、加減速車線長の設定に当たり、平面交差点に用いられる変速車線の加減速車線長(本線の設計速度 $V=60\text{km/h}$ から連結路の設計速度 $V=20\text{km/h}$ までの加減速に必要な変速車線を確保)を採用した。これはランプから本線への分合流時の際に、本線交通にも加減速することを前提としており、本線交通への影響を許容する構造であるが、当道路が第3種第2級の $60\text{km/h}$ 道路であり、路線として信号制御による平面交差点や無信号取付道路が認められている部分出入制限道路であることから、ドライバーにとって許容できるサービスレベルであると判断した(図-10)。



図-10 周辺道路ネットワークの整理図

## 6. 本計画の成果

### (1) 提案のIC形式を用いることの波及効果

IC形式を不完全クローバー型へ変更することにより、ランプターミナルの設置位置を本線橋梁部を避けた土工部へ変更することが可能となった。

具体的には、既存計画の本線縦断勾配 $i=5.0\%$ の位

置から*i*=2.9%の位置に移程することができた(図-11)。その結果、ランプターミナルにおける加減速を円滑に行うことが可能となり、走行安全性の向上を図る事ができた。また、2橋のランプ橋の新設が不要になったことから、経済性を大きく向上させることができた。

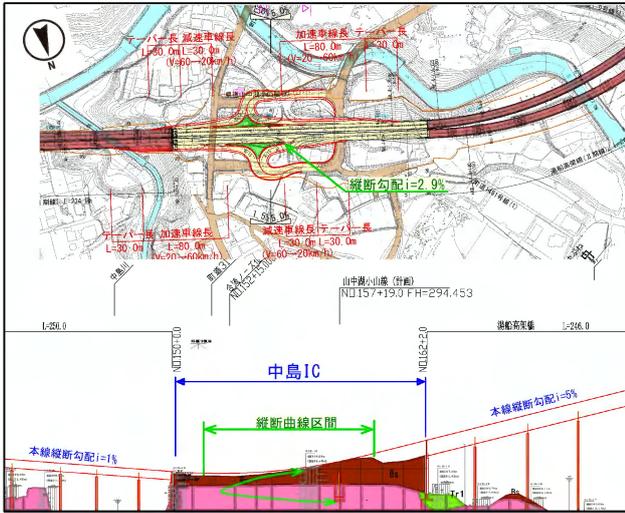


図-11 中島ICの計画平面図および縦断面図

## (2) このIC形式を用いた場合の新たな懸案事項

既存計画および現況の中島ICは、メインアクセス路である県道山中湖小山線に加え、町道1102号線へのアクセスも可能な構造となっている。(図-12, 図-13)



図-12 現況中島IC

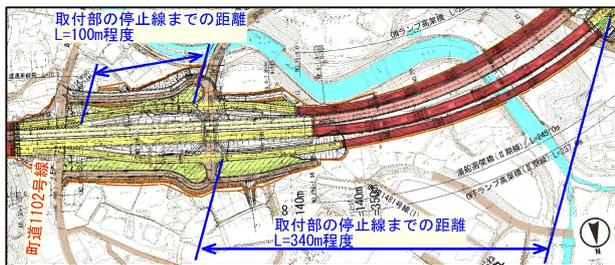


図-13 既存計画のノーズから停止線までの距離

しかし、町道へのアクセスが可能なIC形状とした場合、本線と町道取付部の一時停止線までの距離が短くなるため、取付部で停止する車両が本線加減速車線まで滞留し、本線の走行安全性が低下する懸念があった。(図-14)。

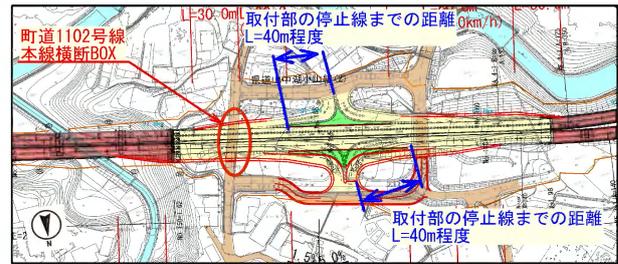


図-14 流出ノーズから停止線までの距離

そこで、町道1102号線の本線横断BOXの建築限界がH=2.8mであることや、町道から迂回して国道246号へアクセスが可能であることを踏まえ、県道山中湖小山線のみアクセスする計画とした。これにより、上り線連結路は停止線が不要となり、流出車両の滞留による本線の影響を回避した。また、下り線においても県道取り付け部の停止線までの延長が長く確保され、停車車両がいた場合においても本線への交通流の影響を低減する計画とし、本線の走行安全性の向上を図った(図-15)。

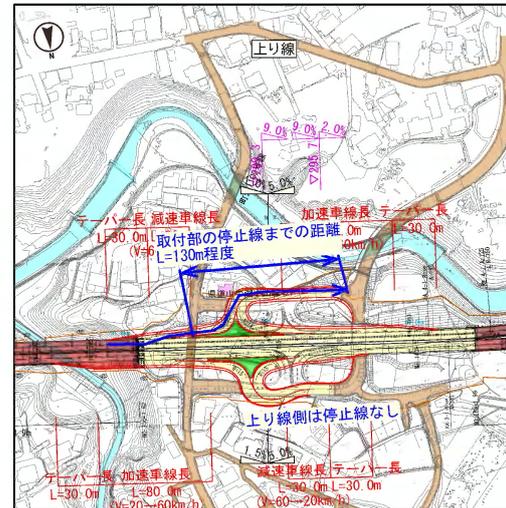


図-15 県道のみアクセスとした形状

## 7. おわりに

本報告では、過年度に設計が実施されている区間の設計の見直しにあたり、ICの周辺道路ネットワークが変化していることに着目し、改めて当ICの機能整理を行った上で、最適なIC形式の決定を行った。具体的には、新東名高速道路のスマートICが自動車レース場の周辺に計画されたことにより、中島ICが担う機能が変化したことを確認し、本線の走行安全性に配慮しつつ、ICの機能に応じた経済的なIC形式を採用した。

今後も、既存計画の見直しの際には、過年度設計の再確認を行った上で、周辺道路ネットワークの変化に留意し、必要な機能を再整理し設計に着手することが重要であると感じた。

# 急峻な地形における狭小幅員道路 の現道拡幅設計

○鈴木玲穂<sup>1</sup>・阿部光伸<sup>1</sup>・兼松聡<sup>1</sup>

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

本業務では、施工時の通行止めを前提に現道拡幅設計が行われていた山岳狭隘部の1車線道路において、新たに地域のバス路線に指定された状況を踏まえ、通行止めを行わないことを前提として現道拡幅に必要な道路詳細修正設計及び道路端部擁壁の構造物設計を実施した。擁壁工法の選定にあたっては、用地制約（用地境界、現道交通の確保）及び地質状況に配慮しつつ、最適な工法を比較検討の上選定した。施工時の現道交通確保のため、重機の進入路・施工ヤード、現道掘削時の仮設道路を考慮した施工ステップを立案した。複数の制約条件がある中で、施工の確実性を確保した現道拡幅設計を実現した。

**Key Words** : 補強土擁壁 地盤改良 仮設計画 現道交通

## 1. はじめに

本業務は、施工時の通行止めを前提に現道拡幅設計が行われていた山岳狭隘部の1車線道路において、新たに地域のバス路線に指定された状況を踏まえ、通行止めを行わないことを前提として現道拡幅に必要な道路詳細修正設計及び道路端部擁壁の構造物設計を実施した。

本稿では、現道交通を確保するための最適な擁壁工法選定及び仮設計画を考慮した施工ステップを検討した取り組みを報告する。

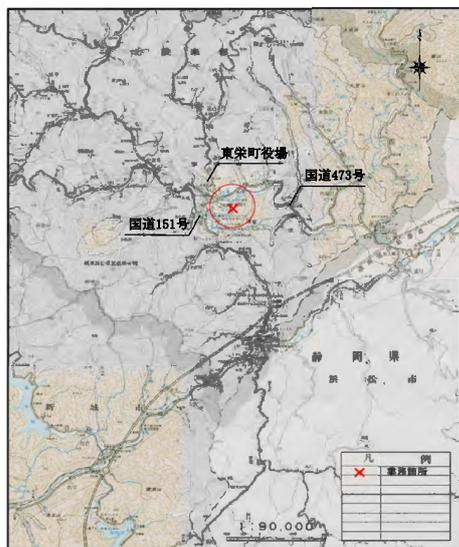


図-1 業務箇所位置図

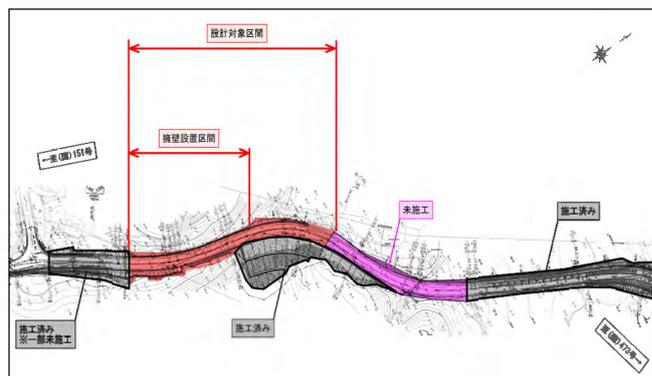


図-2 計画平面図

## 2. 現地状況および地質状況

### (1) 現地状況

対象路線は、山間部に位置している、現道幅員5.0m程度の1車線の町道であり、周辺に迂回路は無く、大型車のすれ違いは困難な状況である。平面線形は緩やかな曲線が連続しており、縦断勾配は7.0%程度となっている。また、当該路線は用地買収済みであり、施工済み区間もあるが設計対象区間の施工が未完了であった。（写真-1）

設計対象区間の現道東側は急峻な山地で一部3段の切土法面が施工されており、西側は谷地形で現道沿いにはブロック積擁壁が設置されている。谷地形の下には沢が位置しており、北側に向かい流れ、大千歳川に流下している。（写真-2）



写真-1 現地状況（現道）



写真-2 現地状況（現道谷側）

## (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、現道下は道路築造時の盛土層が位置しており、擁壁の基礎地盤面には礫質土（岩錐堆積物：N値9程度）の軟弱層が確認された。（図-3）

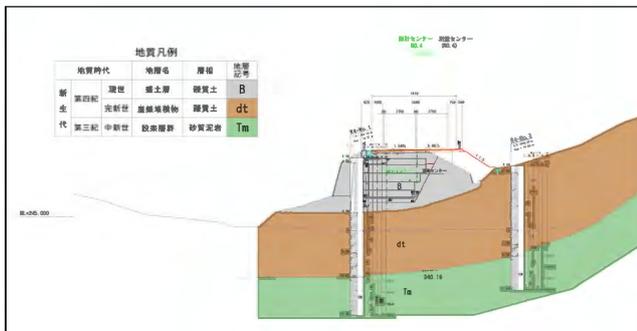


図-3 地質横断面

## 3. 擁壁工法及び基礎地盤対策工法の選定

### (1) 擁壁工法の選定

現道拡幅にあたり、現道より谷側に拡幅する区間があるため、擁壁による高低差処理が必要となる。高低差処理の高さは最大5.5m程度であること、擁壁計画箇所の用地制約を考慮したうえで「道路土工-擁壁工指針」を参考に適用可能な擁壁工法として、L型擁壁及び補強土擁壁を抽出した。（図-4）

また、現道への掘削影響を抑制できることから軽量盛土工法を加えて擁壁工法の一次選定を実施した。

比較検討結果より、経済性・施工性に優れる「補強土壁（多数アンカー工法）」を採用した。（表-2）

表-1 擁壁設計条件一覧表

重要度	重要度2（道路管理者の設計基準より）
耐震設計	地震動に対する照査不要（道路管理者の設計基準より）
裏込め土	砂質土相当 ( $\gamma=19\text{kN/m}^3$ , $\phi=30^\circ$ , $C=0\text{kN/m}^2$ )

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	○						計画箇所不適
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 擁壁工法比較表（一次選定）

	第1案： L型擁壁（現場打ち）	第2案： テールアルメ工法	第3案： 多数アンカー工法
概要図			
片側通行の可否	×	×	○
施工性	△ 47日/10m	△ 39日/10m	○ 27日/10m
経済性	△ 469千円/10m	△ 435千円/10m	◎ 360千円/10m
概要図	第4案： アテムウォール工法	第5案： 軽量盛土擁壁工 (発泡スチロール土工法)	
片側通行の可否	○	○	
施工性	○ 35日/10m	◎ 16日/10m	
経済性	○ 383千円/10m	△ 984千円/10m	
評価	経済性・施工性に優れる第3案を採用した。		

## (2) 基礎地盤対策工法の選定

擁壁の基礎地盤として不適なdt層（岩錐堆積物）の対策として、地盤改良工法、軽量盛土工法、ルートパイル工法が考えられる。地盤改良工法は最大深さ7.0mとなったため、改良工法として中層混合処理工法（パワーブレンダー工法）・深層混合処理工法（スラリー攪拌工法）を抽出した。（図-5）

また、擁壁施工時の掘削により不安定な形状となるため円弧すべり解析を実施した。解析結果より斜面の安定性が確保できないため、地盤改良と合わせて仮設の切土補強土工を計画した。（図-6）

擁壁工法の2次選定として、基礎地盤対策及び仮設の切土補強土工を踏まえた組合せ工法を6案選定し、総合的な比較検討を実施した。

比較検討結果より、経済性・施工性に優れる「多数アンカー工法+背面切土補強土工+地盤改良工（中層混合処理工法）」を採用した。（表-3）

機械攪拌工法	改良深度の目安 (m)		
	1 m	3 m	13 m
浅層混合処理工法	■	■	
中層混合処理工法		■	■
深層混合処理工法		■	■

図-5 地盤改良工の目安

表-3 擁壁工法比較表（二次選定）

	第1案:多数アンカー工法+背面切土補強+地盤改良工(中層混合処理工法(パワーブレンダー工法))	第2案:多数アンカー工法+背面切土補強+地盤改良工(深層混合処理工法(スラリー攪拌工法))	第3案:軽量盛土擁壁工(発泡スチロール土工工法)
概要図			
片側通行の可否	○	○	○
施工性	△ 59日/10m	△ 62日/10m	○ 38日/10m
経済性	○ 1,184千円/1m	△ 1,239千円/1m	△ 1,207千円/1m
	第4案:軽量盛土擁壁工(発泡ウレタン工法)	第5案:気泡混合補強土工法(FCB工法)	第6案:多数アンカー工法+背面切土補強+ルートパイル工法
概要図			
片側通行の可否	○	○	○
施工性	△ 45日/10m	△ 46日/10m	△ 63日/10m
経済性	△ 1,303千円/1m	△ 1,528千円/1m	△ 1,907千円/1m
評価	経済性・施工性に優れる第1案を採用した。		

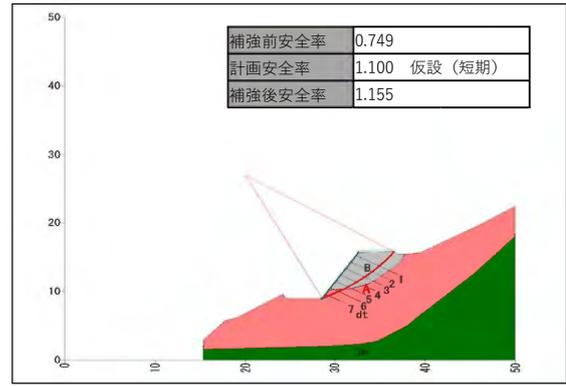


図-6 円弧すべり解析断面図

## 4. 施工計画

### (1) 施工時の仮設計画

対象路線の施工に当たり、補強土壁及び横断管渠施工時に現道の掘削が発生し、現道交通に影響が生じるため仮設道路を計画した。仮設道路は各施工時における掘削影響を考慮し山側に迂回させる計画とした。（図-7）

また、地盤改良工（中層混合処理工法）、仮設切土補強土工、補強土壁の施工時の重機進入、作業スペース確保のため、現道から谷部に向けた進入路及び施工ヤードを計画した。（図-8）

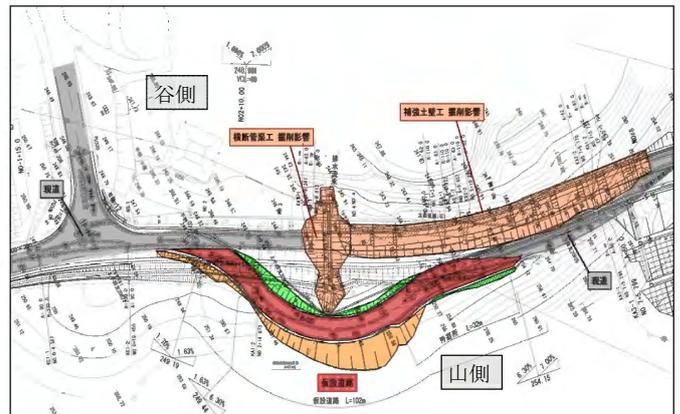


図-7 仮設道路計画図

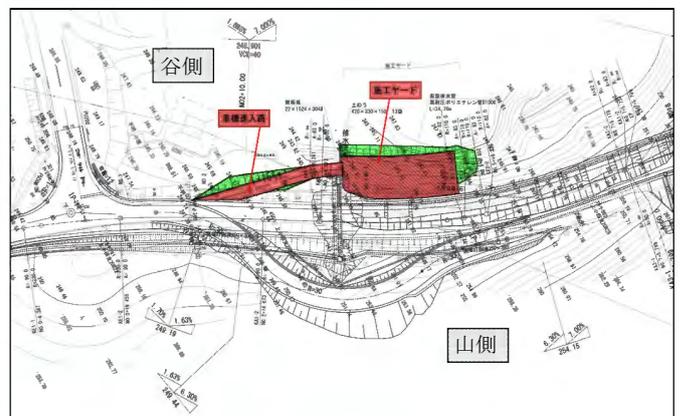


図-8 施工ヤード計画図

## (2) 施工ステップ

各工種にて施工時の現道交通確保が可能かを検証するため、設計区間における仮設道路の施工から施工完了までの施工ステップを立案した。(図-9、図-10) (表-4)

表-4 施工ステップ

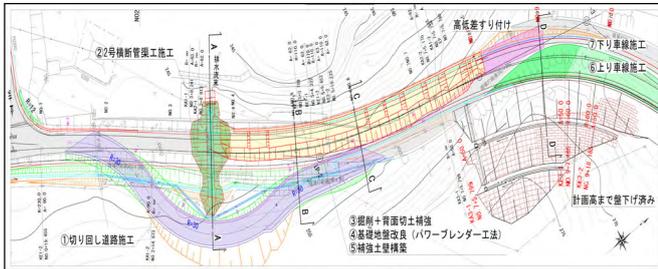


図-9 施工ステップ詳細図 (1)

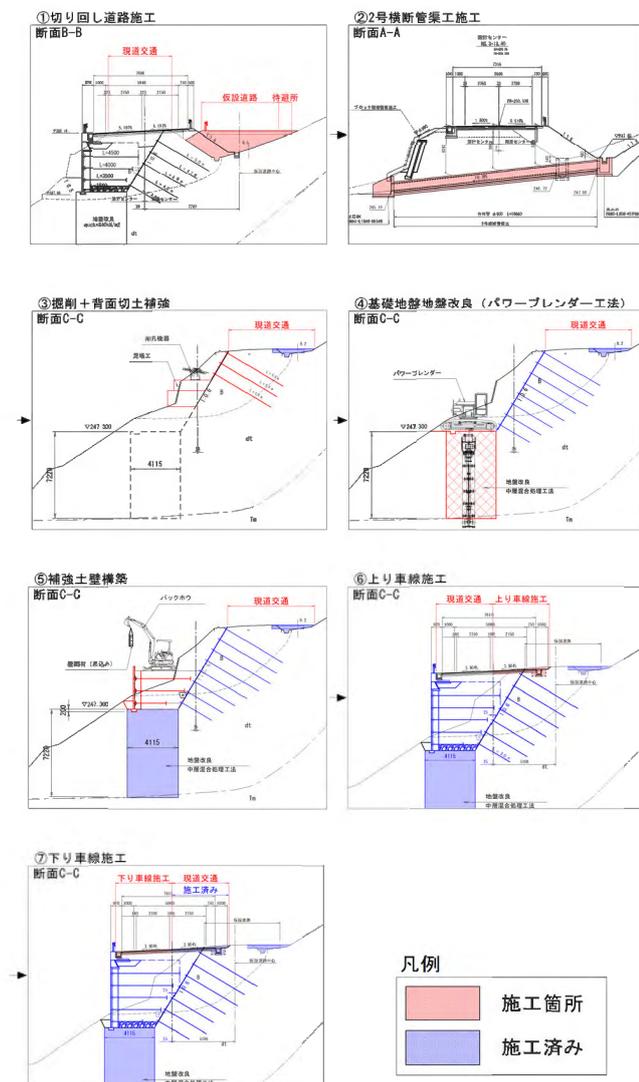


図-10 施工ステップ詳細図 (2)

No.	内容
STEP①	・仮設道路の施工 →現道を通行
STEP②	・2号横断管渠工の施工 →仮設道路を通行
STEP③	・擁壁施工箇所掘削+切土法面補強土工の施工 →仮設道路を通行
STEP④	・基礎地盤の地盤改良工の施工 →仮設道路を通行
STEP⑤	・補強土壁工の施工 →仮設道路を通行
STEP⑥	・上り車線を施工 →下り車線を通行
STEP⑦	・下り車線を施工 →上り車線を通行

## 5. 結論

本設計では、用地制約がある中、施工時の現道交通の確保を条件に擁壁工法の選定及び現道交通を考慮した最適な施工計画（施工ステップ）の検討を行った。

擁壁工法については、現地状況・地質状況に応じた適切な工法選定を行い、前提条件を満足しつつ、経済性・施工性に優れた工法を提案することができた。施工計画では現道への掘削影響、重機の搬入等を考慮した最適な施工ステップを立案することができた。

謝辞：本稿は愛知県新城設楽建設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・ご助言頂いた新城設楽建設事務所の皆様に厚くお礼申し上げます。

### 参考文献

- 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) 愛知県 建設部：道路構造の手引き, 2021. 3

# 津波避難施設を兼用した 国道1号を跨ぐ横断歩道橋詳細設計

くずや かずき やまおか しんたろう  
○葛谷 一貴<sup>1</sup>・山岡 慎太郎<sup>1</sup>

<sup>1</sup>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）

本業務は海側に整備予定である海浜施設と街側の公園をつなぐ立体横断施設であるとともに、津波の発生が想定される非常時においては一時避難施設となる横断歩道橋の詳細設計である。

本業務の課題は、立体横断施設のみならず津波発生時の一時避難施設としての要求性能を満たす計画とすること、及び複数の埋設物を踏まえたP1橋脚の下部・基礎工計画を行うことであった。

本稿では、これらの課題解決に向けた設計計画の検討とBIM/CIMの活用による関係機関協議の円滑化について報告する。

**Key Words** : 立体横断施設, 津波避難施設, 津波, 埋設物, 近接施工, BIM/CIM

## 1. はじめに

本業務の設計対象である横断歩道橋は、南海トラフ地震による津波発生時において、将来計画されている海浜施設の利用者や街側の公園利用者が一時避難するための施設として利用するものである。一方で、通常時は国道1号上で海浜施設と公園を繋ぐ立体横断施設としても利用される。本施設は将来計画と暫定計画があり、将来計画においては立体横断施設の両端に昇降施設が設置される計画であるが、暫定計画ではコの字型に配置した階段により供用される。

本業務は、暫定計画に基づく一時避難施設および立体横断施設の詳細設計であり、階段と歩道橋部分を設計対象とする。（図-1、表-1）

表-1 橋梁諸元

橋長(支間長)	65.0m(1.5m+40.0m+21.5m+2.0m)
幅員構成	歩道部：6.0m,公園側階段：1.5m,海側階段：2.0m)
上部工形式	鋼2径間連続鋼床版箱桁橋
下部工形式	鋼製橋脚
基礎工形式	場所打ち杭 P1～P4：φ3000,P5：φ2000
平面線形	R=∞
交差条件	国道1号、自転車道
支障物件	<b>【公園】</b> ガス管φ300,600、雨水管φ900 情報BOXφ100_3×3条 工業用水管φ1500 <b>【自転車道】</b> 通信ケーブルφ250 電力ケーブルφ200×4条
避難想定人数	700人⇒避難面積を0.5m <sup>2</sup> /人とし、350m <sup>2</sup> /0.5=700m <sup>2</sup> 以上の橋面積を確保する。

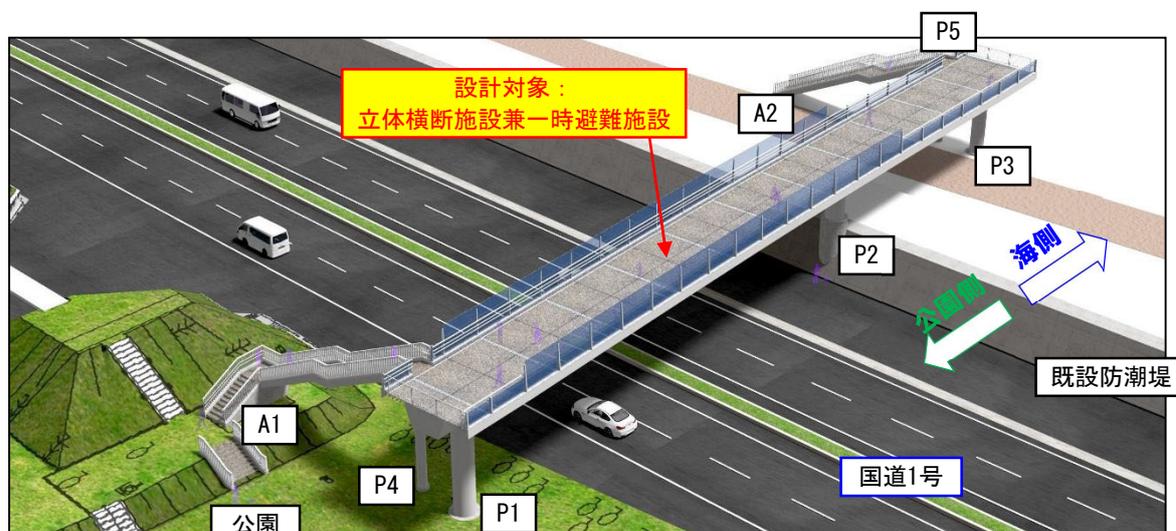


図-1 設計対象施設の周辺状況

## 2. 設計上の課題

### (1) 公園側の埋設管に配慮した下部工配置検討

下部・基礎工の構造検討においては、P1, P4が配置される公園側に埋設管が複数敷設されていることから、一般的な底版を有する下部工とした場合、下部工配置が困難であった。(図-2) また、支持層はTP-21.0m程度であることから、基礎工は杭基礎とする必要があった。このため、下部工配置および基礎工について、近接する埋設管の離隔条件、施工時条件を踏まえた基礎形式・形状・施工方法を検討することが求められた。

底版を有する組杭とした場合、埋設管との必要離隔が確保できないため、橋長が約8m長くなる。

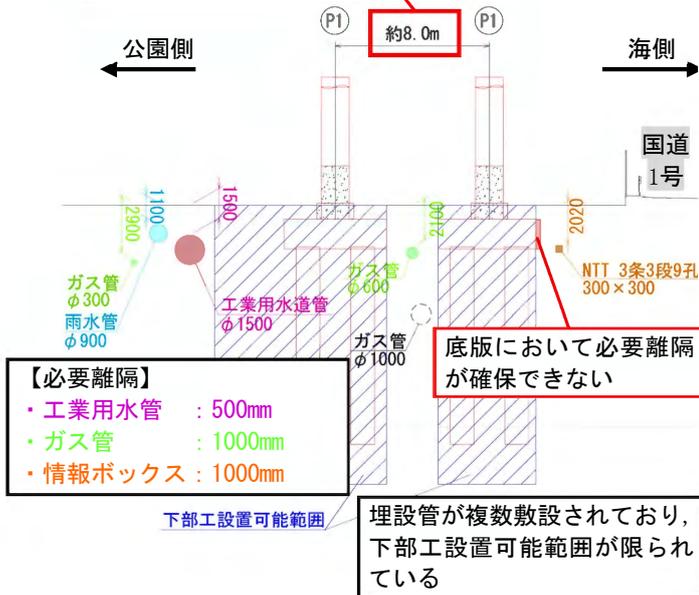


図-2 公園内の埋設管設置状況 (P1, P4付近)

### (2) 両施設の要求性能を満たす幅員設定

本設計では、国道1号を跨ぐ立体横断施設としての条件と津波発生時における一時避難施設としての条件の両方を満たす構造とする必要がある。このため、階段部の幅員は各方向からの利用目的に応じた幅員を確保する必要がある他、本橋部の幅員については想定避難人数を踏まえ、橋長に応じた有効幅員から決定される橋面積を確保する設計が求められた。(図-3)

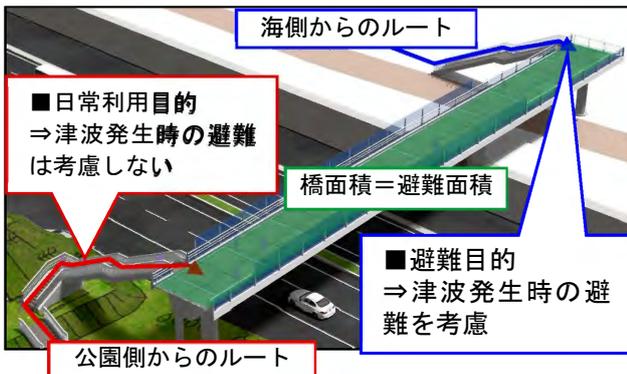


図-3 各段階の利用目的と避難面積

### (3) 津波発生時における各下部工の荷重条件設定

架橋地点周辺において、防潮堤よりも海側は、津波の想定到達高 (TP+6.00m) まで埋め立てられる計画である。

したがって、防潮堤よりも海側に位置するP3, P5は津波影響を受けないが、公園側に位置するP1, P2, P4は津波影響を受けることとなり、海側と公園側の各々で荷重条件を設定する必要があった。(図-4)

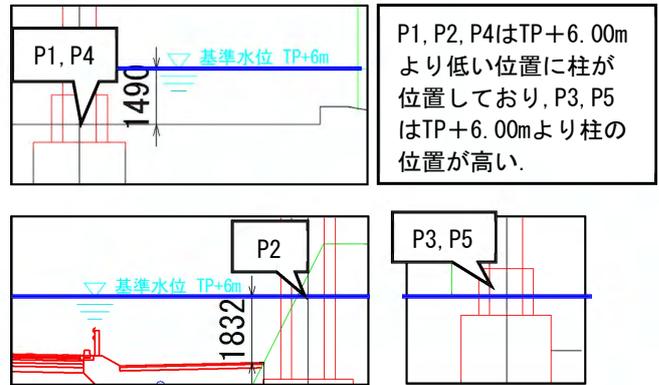


図-4 各橋脚の柱とTP6.00mの位置関係

## 3. 基礎工の縮小化による埋設物との干渉回避

公園内に配置された埋設物の位置関係より、ガス管と情報ボックスの間に下部工を配置するために、フーチングレスの下部工を検討した。また、基礎工については場所打ち杭を選定し、場所打ち杭の天端にアンカーフレームを介して鋼製橋脚を設置する計画とした。(図-5) これにより、一般的な底版を有する組杭とした場合と比較して基礎工が縮小化が可能となり、当初は配置不可と整理されていたガス管と情報ボックスの間に下部工を配置した。これにより橋長はL=65.0m (40.0m+21.5m) となり、支間バランスが改善された。当初想定されていた埋設物の移設を不要とすることができ、埋設物管理者協議の円滑化にも繋がった。また、結果として、コントロール条件に寄せることができ、橋長の短縮によるコスト縮減にも繋がった。

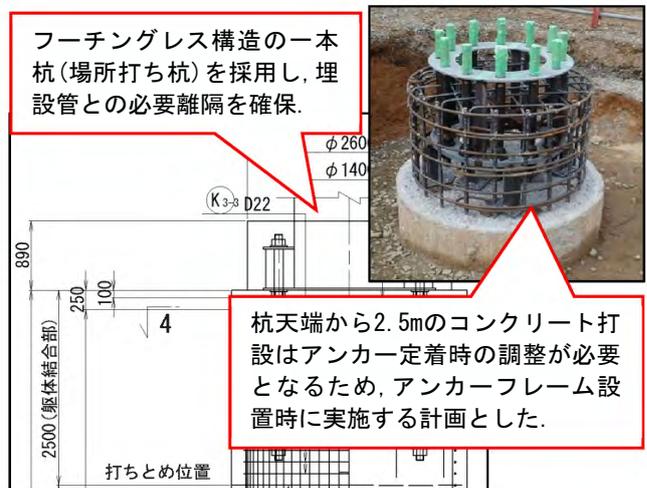


図-5 基礎工形状と柱の接合部

#### 4. 利用目的に応じた幅員設定

本設計では暫定供用時の想定避難人数を海浜施設の規模から700人、避難時における必要面積を $0.5\text{m}^2/\text{人}$ と設定し、一時避難施設として必要となる橋面積は $700\text{人} \times 0.5\text{m}^2/\text{人} = 350\text{m}^2$ とした。よって、本橋部分において橋長 $\times$ 有効幅員 $=350\text{m}^2$ 以上確保する必要がある。橋長は国道1号沿いの橋脚から $65.0\text{m}$ としたことから、幅員は必要面積以上を確保できる $6.0\text{m}$  ( $350\text{m}^2/65.0\text{m}=5.4\text{m}$ )とした。(図-6、表-2)

階段幅員について、公園側階段は、公園側からの利用者は海浜施設へ向かう日常利用によるものが主であり、津波発生時に海側に向かうことになる本施設へ避難する可能性は低いため、公園側は立体横断施設としての最小幅員である $1.5\text{m}$ とした。一方で、海側階段は日常利用に加えて津波発生時において海浜施設周辺の利用者が本施設へ避難することを想定し、避難時に必要な階段幅員について、「静岡県みなど津波避難タワー設計手引書(案)」における必要幅員算定式より $2.0\text{m}$ と設定した。(図-7)

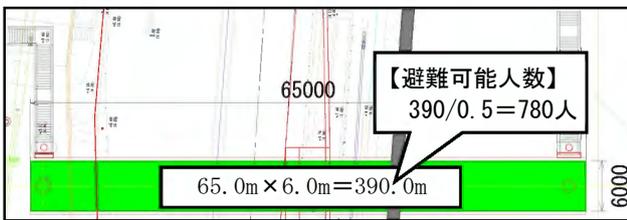


図-6 橋面積と避難人数の設定

表-2 必要避難面積(暫定供用時)

[暫定オープン時: 避難人数 700人]

避難場所	従前面積	従前避難人数 (1㎡/人)	従后面積	従後避難人数 (0.5㎡/人)
・海のギャラリー	100㎡		想定0㎡	
・ブリッジ	500㎡	700人(700㎡)	390㎡	780人(390㎡)
・まちのギャラリー	100㎡		想定0㎡	
		$\geq 700 \rightarrow \text{OK}$		$\geq 700 \rightarrow \text{OK}$

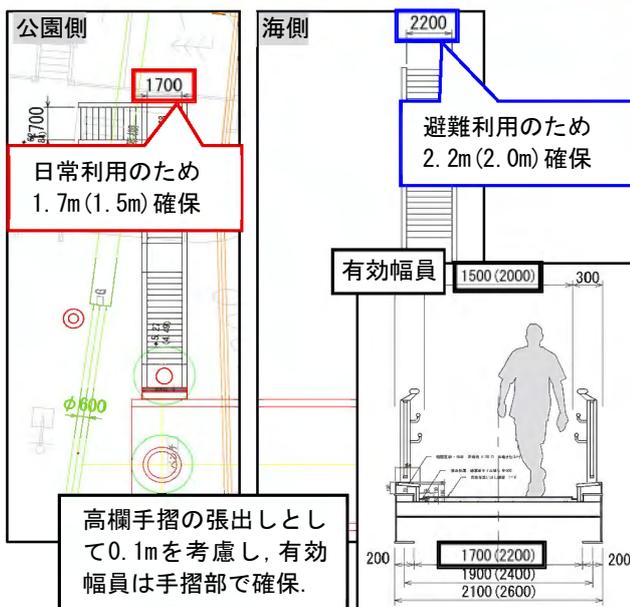


図-7 各階段の幅員設定

#### 5. 津波発生時を想定した荷重条件設定

防潮堤より公園側に位置するP1, P2, P4橋脚は津波発生時に浸水するため、国道1号を走行している車両やコンテナが漂流し、柱に衝突することを考慮する設計とした。漂流物の衝突荷重は鋼製橋脚の断面剛性のみで吸収することができないため、 $\text{TP}+6.00\text{m}$ まで浸水した場合の水位に対して漂流物が衝突すると想定される高さまで中詰めコンクリートを充填することで、衝突荷重を吸収する構造とした。(図-8) 衝突荷重の作用については、衝突時に想定する軌道により衝突エネルギーの算出式が異なるが、国道1号と下部工の位置関係が走行方向上に位置しないため、コンテナや車両は回転して衝突することを想定し、図-7における(2)式を用いた。(図-9)

海側に位置するP3, P5は水位が上昇した場合であっても $\text{TP}+6.0\text{m}$ まで埋立てられていることから、柱に衝突荷重が生じる状況とはならないため、衝突荷重は考慮しない設計とした。

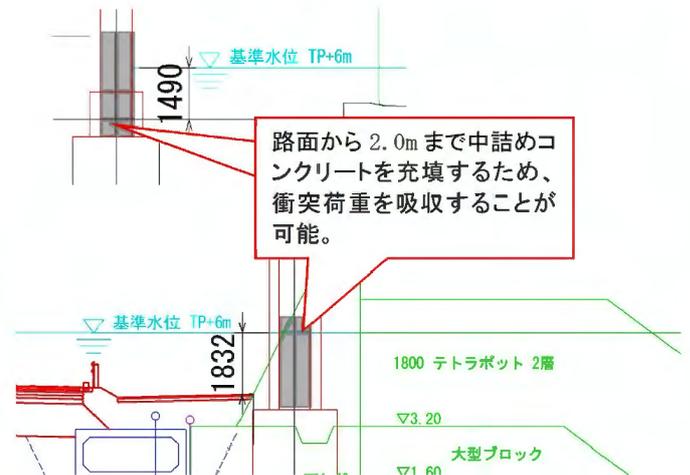


図-8 各橋脚の柱とTP6.00の位置関係

・ $E_0 = WV^2 / (2g)$ . . . (1)	衝突エネルギー : $E_0$
・ $E_0 = WV^2 / (4g)$ . . . (2)	漂流物の仮想重量 : $W$
$\Rightarrow 1/4$ 点衝突の場合(回転により衝突エネルギーが消費される)	漂流物流速 : $V$
	重力加速度 : $g$

出典：津波漂流物対策施設設計ガイドライン  
国土交通省港湾局より

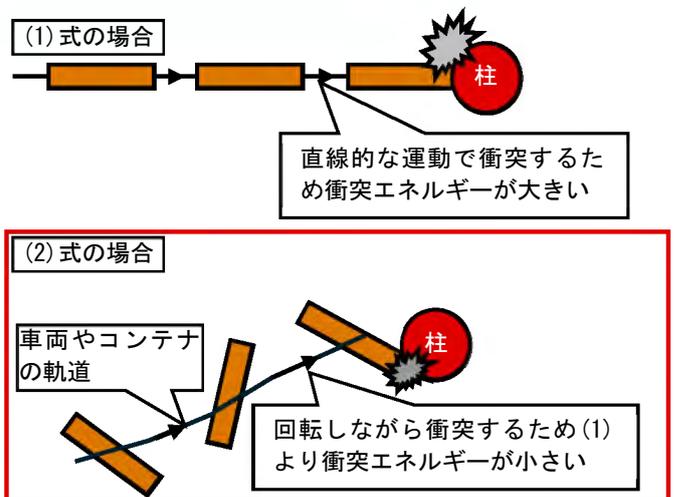


図-9 漂流物の衝突エネルギーについて

## 6. BIM/CIMの活用による関係機関協議の円滑化と設計照査作業の効率化

### (1) 活用内容

本業務では交差物件である国道1号の管理者や公園内に敷設された各埋設管の管理者と多数の関係機関協議が必要であり、各関係機関協議において早期の合意形成を図り、事業工程への影響を与えない業務の遂行が求められた。設計対象施設は現地の制約条件に応じて基礎工形状をフーチングレスかつ一本杭の場所打ち杭としており、一般的な下部工と構造形状や施工方法が異なることから、構造形状や各埋設管、施工時状況などを3Dモデル化し、埋設管と基礎工の取り合いや基礎工施工時における必要離隔について確認した。(図-10, 図-11, 図-12)

また、上部工や階段部も含めた全体モデルを作成し、各構造物間の取り合いや景観協議を想定した桁の配色などの検討に活用した。(図-13)



図-10 情報ボックスと基礎工 (P4) の離隔

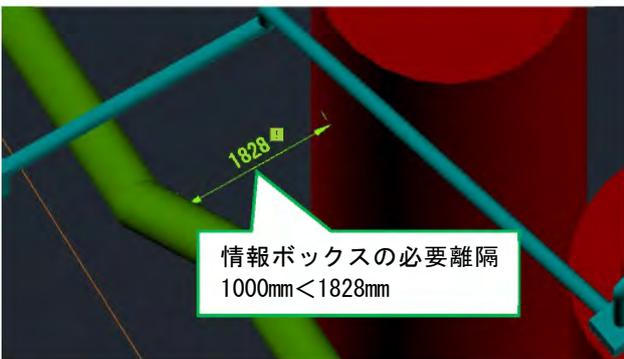


図-11 ガス管と基礎工 (P4) の離隔

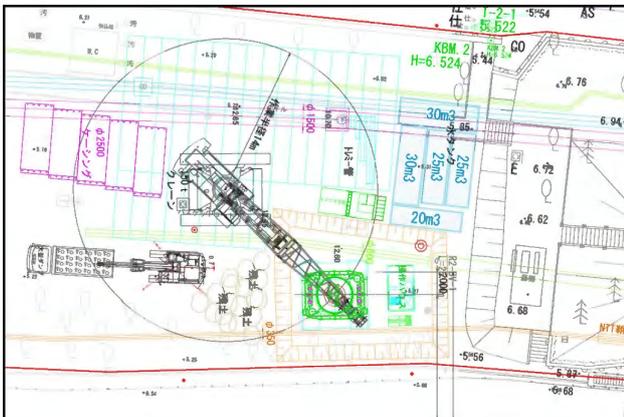


図-12 P1, P4基礎工施工時の施工状況

### (2) 効果

設計対象施設のP1, P4と近接するガス管と情報ボックスについて、基礎工と各埋設管の離隔状況や施工時における対策工を3Dモデルを用いて示すことで、設計照査の省力化に寄与した。施工時においては、対策工として埋設管を露出させた状態で施工することが施工時条件とされたため、杭天端付近を埋設管と共に露出させて施工する計画とした。これに伴い、場所打ち杭の施工時露出部においては、露出部が床掘により土が緩むことから、露出部における基礎工の設計条件は突出部として扱うことで設計に反映した。(図-14)

また、関係機関協議においては、多数の関係者と同時に協議を実施し、協議の中で確実に設計内容の情報共有を図る必要があった。この際、Web会議の画面共有機能を用いて3Dモデルを活用した設計内容の説明を行い、各関係者と円滑な情報共有を図ることを可能とした。

## 6. おわりに

本業務では基礎工の構造対応により橋長の縮小化を図り歩道橋として合理的な設計とした上で、一時避難施設としての要求性能を満たした設計を実現した。また、BIM/CIMを活用することで各構造物の取り合いを可視化し、構造物の位置関係や施工状況を明示することで、各関係機関との円滑な合意形成を可能とした。



図-13 全体モデル(桁下)

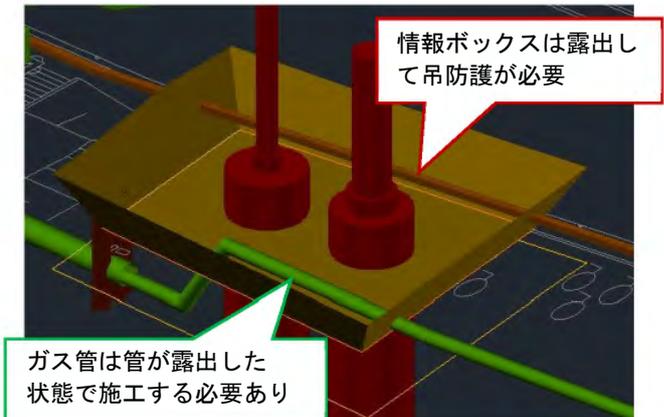


図-14 埋設管への施工時影響対策

# I 期線橋梁に対する近接影響を考慮した II 期線橋梁の設計・施工計画及び維持管理計画

よしだゆうき    うちやままさと    いびひろし    しのはらかずき    まえはらあやの  
○吉田裕貫<sup>1</sup>・内山真人<sup>2</sup>・井樋宙<sup>3</sup>・篠原一輝<sup>4</sup>・前原綾乃<sup>5</sup>

- 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)

対象橋梁は、I 期線橋梁と隣接するII 期線橋梁である。I 期線橋梁は暫定2車線供用に向けて先行的に計画されており、橋台及び橋脚が施工済である。橋台背面の補強土壁の施工においてI・II 期線一体施工の優位性が高いことから、橋台は完成4車線形態で整備する方針となり、II 期線の橋台はI 期線の既設橋台に対して近接施工が必要となった。本稿は、I 期線橋梁に対して近接影響を考慮した構造計画、近接施工対策及び隣接するI 期線橋梁を包括したII 期線橋梁の維持管理計画について報告を行うものである。

**Key Words** : 近接施工, 群杭, 遮断矢板, ゼロクリアランス工法, 場所打ち杭 (オールケーシング工法), BIM/CIM

## 1. はじめに

対象路線は、現道の交通渋滞緩和、交通安全の確保及び周辺の高規格幹線道路へのアクセス向上を目的に計画された路線であり、現在までに一部区間が暫定2車線で供用されている。対象橋梁は未供用区間のII 期線橋梁であり、I・II 期線橋梁の遊間は20mmで計画されている。隣接するI 期線橋梁は暫定2車線供用に向けて先行的に計画されており、橋台及び橋脚が施工済である。橋台背面の補強土壁の施工においてI・II 期線一体施工の優位性が高いことから、橋台は完成4車線形態で整備する方針となり、II 期線の橋台はI 期線の既設橋台に対して近接施工が必要となった。

本稿では、I 期線橋梁に対する近接影響に配慮したII 期線橋梁の設計において、特徴的な以下の内容について報告する。

- ①近接影響に配慮した橋台基礎の計画・施工計画
- ②BIM/CIMを活用した橋梁全体の維持管理計画

## 2. 橋梁概要

対象橋梁の諸元を表-1に、上部工断面図を図-1、平面図を図-2に示す。

表-1 橋梁諸元

橋梁形式	鋼4径間連続鉄桁橋
橋長	186.5m
支間長	49.3m+49.5m+49.5m+35.8m
有効幅員	9.257m~8.662m
車線数	2車線
道路規模	第3種第1級
下部構造	A1橋台 逆T式橋台, 場所打ち杭 φ1500
	P1~P3橋脚 T型橋脚, 場所打ち杭 φ1500
	A2橋台 逆T式橋台, 場所打ち杭 φ1500
地盤種別	II 種地盤
地域区分	A2地域
重要度区分	B種の橋
適用基準	道路橋示方書・同解説 平成29年11月

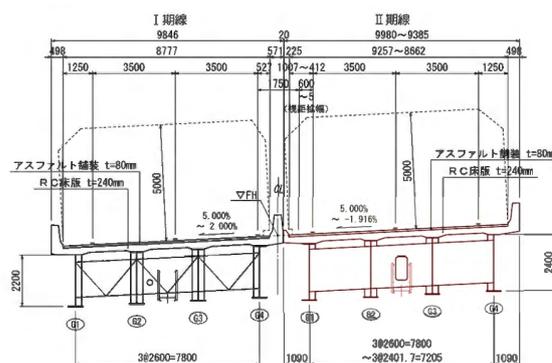


図-1 上部工断面図

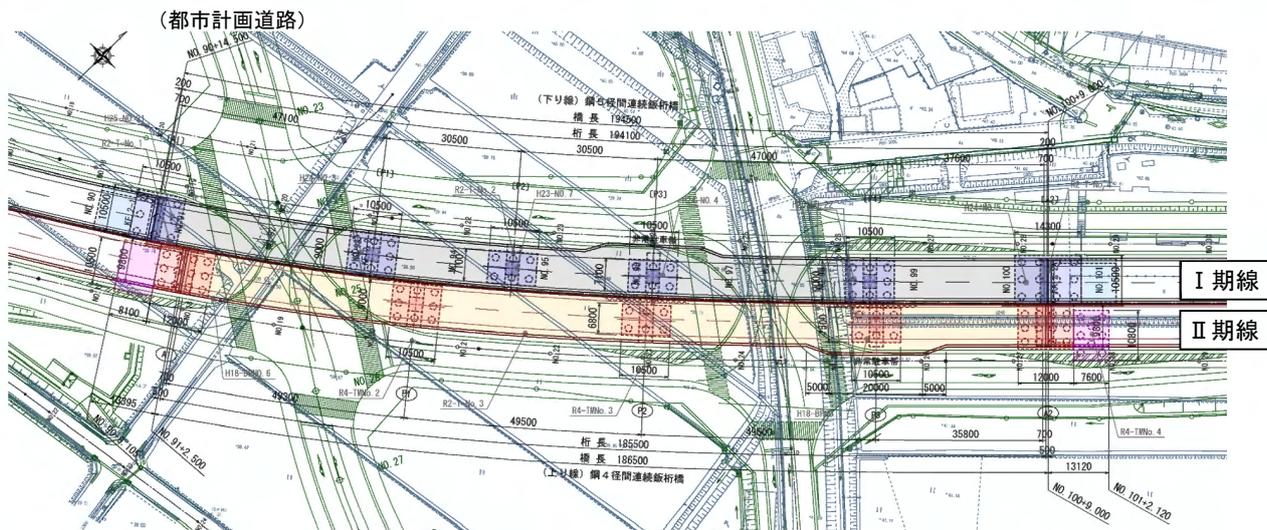


図-2 平面図

### 3. 近接影響に配慮した橋台基礎の計画・施工計画

#### (1) 群杭及び偏心杭配置の採用

I・II期線の橋台基礎形式は杭径1.5mの場所打ち杭基礎であり、I期線の橋台基礎は標準杭間隔2.5D(D:杭径)で設計されていた。II期線の橋台基礎を標準杭間隔2.5Dとして設計するとI期線の橋台基礎との杭間隔が2.5D未満となるため、I期線の橋台基礎は、群杭による水平方向地盤反力係数の低減を考慮した設計照査を行う必要があった。

そのため、II期線の橋台基礎に群杭を採用し、杭間隔を2.0Dまで縮小するとともに、杭配置はI期線の反対側に偏心させ、I・II期線間の杭間隔を2.5D以上確保し、設計照査を不要とする計画とした。

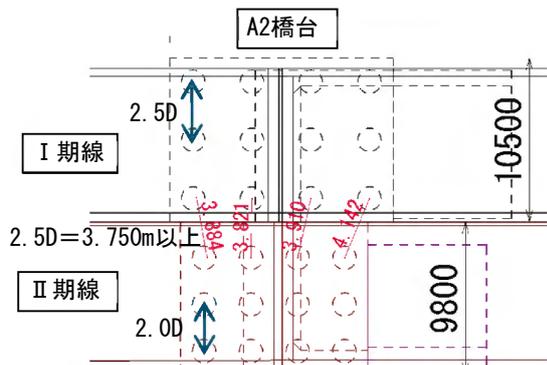


図-3 A2橋台における杭配置計画

#### (2) 下部工底版下面高の統一

I期線の橋台は、暫定2車線供用に向けて単独で施工されていた。底版下面高は、平行する側道に対して底版上の土被り厚が確保できる高さに設定していた。II期線の橋台施工は、近接するI期線の橋台基礎杭頭部の周辺地盤を乱さないよう実施する必要があった。

そのため、II期線の橋台底版下面高は、近接するI期線の橋台底版下面高と極力統一し、I期線の橋台

基礎に対する掘削影響及び地盤変位影響を回避する計画とした。

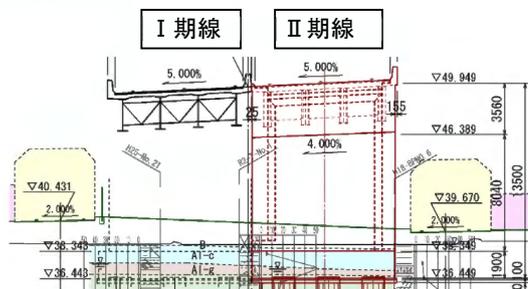


図-4 A1橋台正面図

#### (3) 橋台施工時の近接施工対策

II期線の橋台施工に伴う掘削等がI期線の橋台に影響を与えないよう、近接施工対策として既設構造物側の対策と新設構造物側の対策の2種類が必要であった。

##### a) 遮断矢板工（既設構造物側の対策）

I・II期線の橋台同士が非常に近接していることから、I期線の橋台基礎が「近接基礎設計施工要領(案)」に示される近接影響範囲Ⅲに入る。また、支持地盤は粘性土と砂質土層の互層であり、不均質で硬軟にバラツキがあるとともI・II期線の支持層深度の違いからII期線の杭長はI期線よりも長い計画となった。そのため、II期線の橋台基礎施工時にI期線の杭先端地盤を乱す可能性があった。

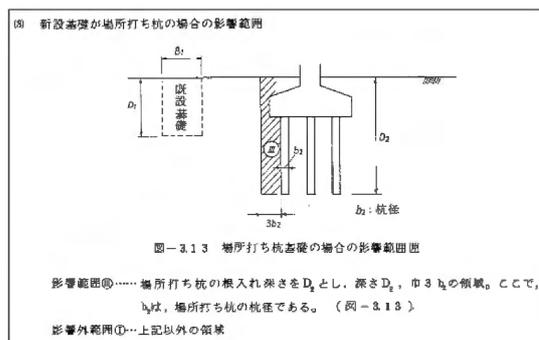


図-3.13 場所打ち杭基礎の場合の影響範囲

影響範囲①……場所打ち杭の根入れ深さをD<sub>1</sub>とし、深さD<sub>2</sub>、巾3h<sub>2</sub>の傾斜。ここで、h<sub>2</sub>は、場所打ち杭の杭径である。(図-3.13)  
影響外範囲②……上記以外の領域

図-5 影響範囲判定<sup>1)</sup>

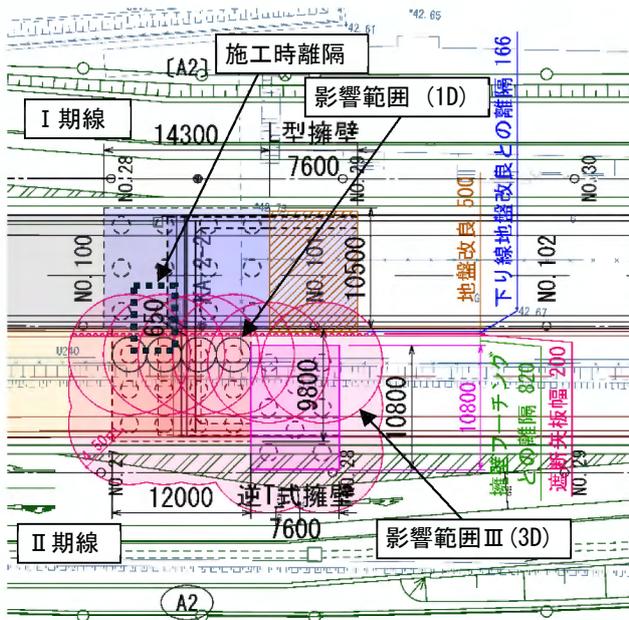


図-6 A2橋台における影響範囲

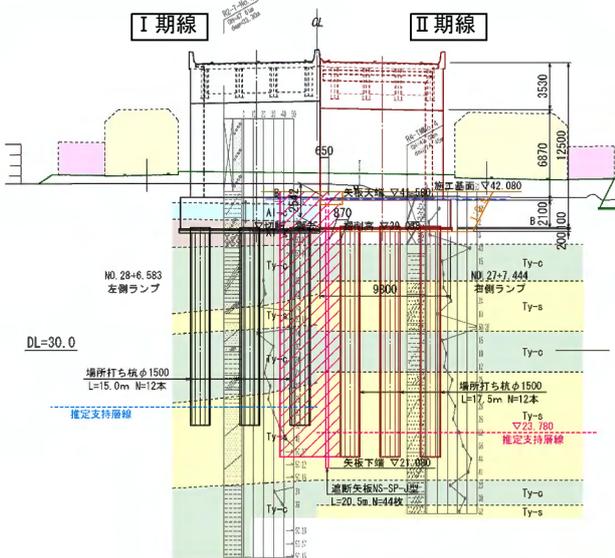


図-7 A2橋台の支持地盤

既設構造物側の近接施工対策として、II期線の橋台施工によってI期線の橋台基礎杭周辺地盤に変位・変状が生じないようにI期線側の地盤とII期線側の地盤を鋼矢板で遮断する方法を採用した。遮断矢板の打設工法は、I期線の橋台基礎杭周辺地盤を極力緩ませない圧入工法による鋼矢板打設とした。遮断矢板の打設位置は、底版縁端距離を目安にII期線基礎杭中心から1Dを確保した位置とした。

A1橋台とA2橋台はI・II期線間の施工時離隔が小さい(A1:759mm、A2:650mm)ため、土木工事標準積算基準書に記載されている油圧圧入工法でなく、ゼロクリアランス工法を採用した。ゼロクリアランス工法とは、側部障害等がある狭小な施工スペースに対応可能な圧入機械によって施工時の離隔を縮小できる工法である。

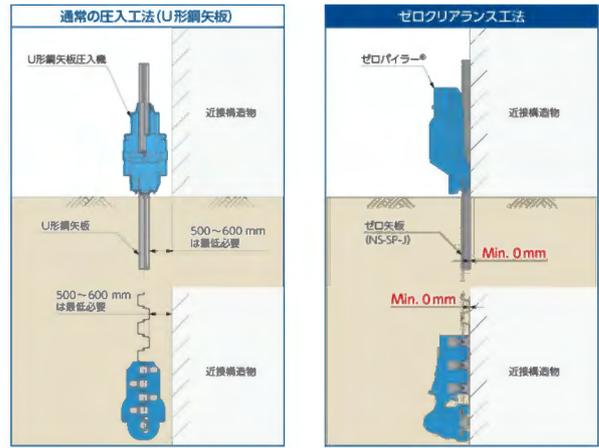


図-8 ゼロクリアランス工法概要図<sup>2)</sup>

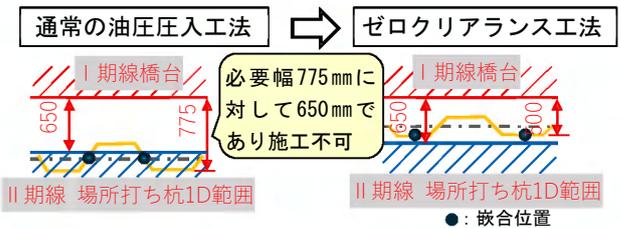


図-9 A2橋台におけるI期線橋台との離隔距離

#### b) オールケーシング工法（新設構造物側の対策）

II期線の橋台基礎施工がI期線の橋台基礎に影響しないよう、新設構造物であるII期線の橋台基礎施工時に近接施工対策を実施する必要がある。

そのため、新設構造物側の対策は、場所打ち杭施工時の掘削側面の崩壊・緩みの回避のため、ケーシングにより孔壁を保護するオールケーシング工法を採用した。

### 4. BIM/CIMを活用した橋梁全体の維持管理計画

#### (1) 桁端部の維持管理空間

II期線のA1橋台位置はI期線のA1橋台位置に対して8m程度前出ししている。橋台位置のずれにより生じる主桁と橋台縦壁及びウイングに囲まれた狭隘なスペースは、風通しが悪く湿潤環境となることが予想されることから、長寿命化対策が必要であった。また、狭隘部における支承及び台座、下部工検査路の取り合い、点検時の作業空間を確認し、維持管理の妥当性を検証する必要があった。

二次元図面では把握しにくい上部工、下部工、付属物をすべてBIM/CIMでモデル化し、構造物同士の取り合いや位置関係を可視化した結果、ウイングとI期線主桁フランジ間が0.5m程度の離隔であり、湿潤環境になりやすいことに加えて、点検及び補修時の作業空間が狭小であることを確認した。そのため、「橋梁の長寿命化に向けた設計の手引き（案）、中部地方整備局」に示される寒冷地域・準寒冷地域において必要とされる橋座周辺の表面保護工に加え、II期線の橋台ウイングにも表面保護工を新設時に実施し、

維持管理性及び耐久性の向上を図った。表面保護工は、ケイ酸塩系の表面含浸材を採用した。

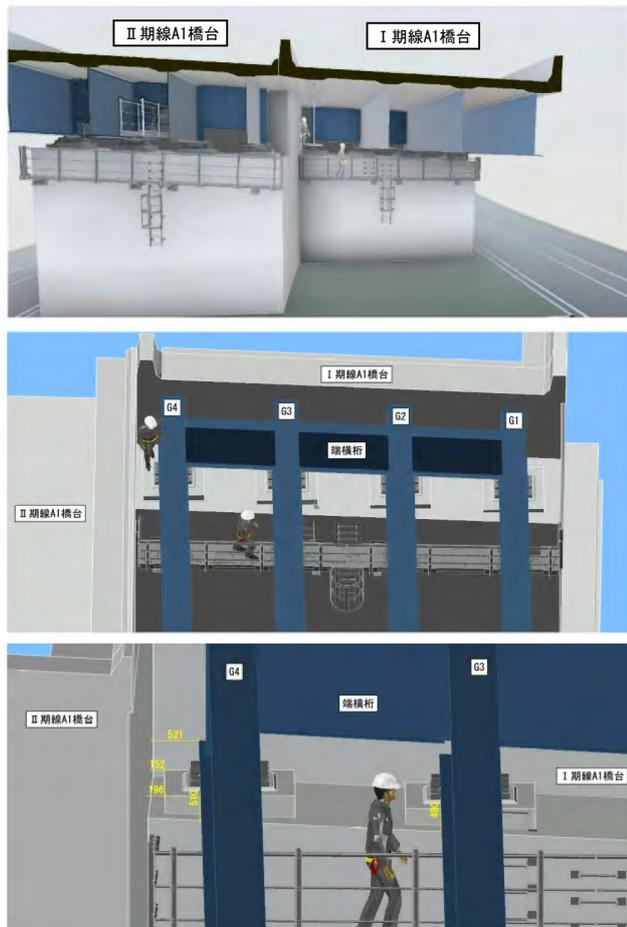


図-10 桁端部の維持管理空間イメージ

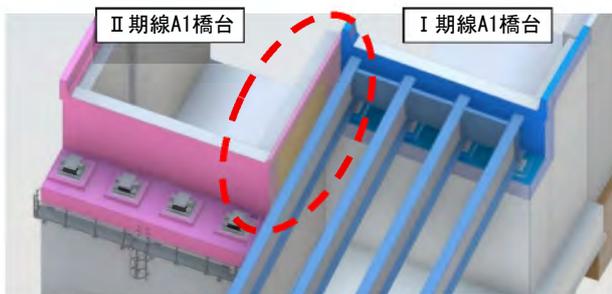


図-11 表面保護工範囲

## (2) 床版張出し部の点検

I期線とII期線の橋梁部には非常駐車帯が配置される計画である。床版張出し部の点検方法として、本線の車線を規制して橋梁点検車により橋面から点検する方法と、桁下から高所作業車により点検する方法がある。I・II期線において、最低限1車線の通行を確保できる点検方法を立案する必要があった。

桁下空間、点検車両モデル及び侵入防止柵をモデル化することにより、床版張出し部において桁下から高所作業車により点検可能であることを確認した。また、交通規制箇所は、高所作業車のバケット直下である側道の右折帯1車線のみであり、最低限の交通規制により床版張出し部が点検可能であることを確認した。

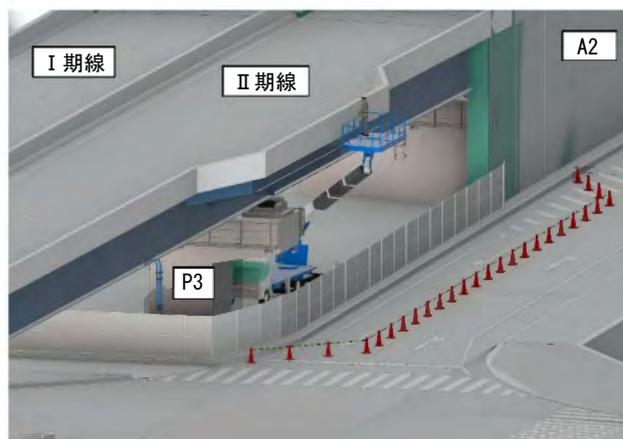


図-12 床版張出し部における点検イメージ

## 5. おわりに

本稿でまとめた近接施工対策は、標準工法に対して特殊な工法を採用するものが多く、工事費や施工の難易度が増加する。本橋では、I期線橋梁が施工済のため計画変更の制限があったが、同様の段階施工が想定される橋梁では、近接施工対策の必要性、費用、施工性等を考慮し、段階施工の優位性を適切に評価する必要がある。

I・II期線橋梁全体を包括した維持管理計画は、BIM/CIMを活用したイメージの共有により、関係者間で円滑な合意形成を図ることができた。また、主構造だけでなく付属物をモデル化することにより構造物同士の干渉等を視認でき、設計の手戻り防止に有効であった。

## 参考文献

- 1) 近接基礎設計施工要領 (案)、土木研究所、S58.6
- 2) ゼロクリアランス工法、株式会社技研製作所、<https://www.giken.com/ja/solution/zero/>

# 乗本2号橋(鋼単純下路ランガー橋)の耐震性に関する一考察

○上山広己<sup>1</sup>・長谷川正<sup>1</sup>・茂呂充<sup>1</sup>・玉利幸一<sup>1</sup>・今村裕一<sup>1</sup>

<sup>1</sup> (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)

乗本2号橋は支間長113.1mの鋼単純下路式ランガー橋であり、本業務では詳細設計を行った。平成24年および平成29年の道路橋示方書以降、下路式のアーチ系橋梁においても動的解析による耐震性能照査が必要とされているが、これ以降にアーチ系橋梁を設計した例は極めて少ないのが現状である。本稿では、鋼単純下路式ランガー橋に対して動的解析を実施した際の傾向について、支承条件を踏まえた考察を行った。支承条件を固定-可動構造とした場合、上部工の板厚が増大することが予想されたから、本設計では、全方向免震支承とすることで、解決を図った。

**Key Words** : 下路アーチ, 3次元動的解析, 免震支承,

## 1. 乗本2号橋の概要

乗本2号橋は1級河川豊川を横断する鋼単純下路式ランガー橋である(図-1.1)。本橋は橋長が115.0m、支間長が113.1mであり、河川の生態保護の観点から中間橋脚の設置は不可能であるため、橋種選定においては、単純形式の下路式のアーチ系橋梁であるトラスランガー橋、ローゼ橋、ニールセンローゼ橋が候補として挙げられたが、主に維持管理性の観点からランガー橋の採用となった。A1, A2ともに橋台形式は逆T式橋台、基礎形式は深礎基礎であり、地盤条件はI種地盤である。また、設計活荷重はB活荷重である。

乗本2号橋では、橋梁区間内で道路線形が緩いS字カーブを描いており、これを包括するよう、主構部材の間隔を広く設定しているという特徴が挙げられる。そのため、道路の全幅11.0mに対して、主構間隔(中心間距離)は13.7mとなっている(図-1.2)。

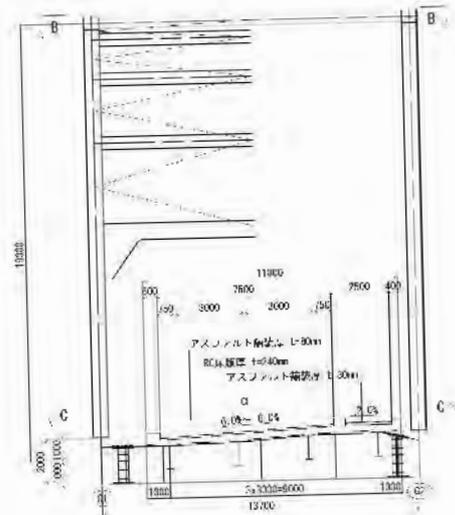


図-1.2 乗本2号橋断面図

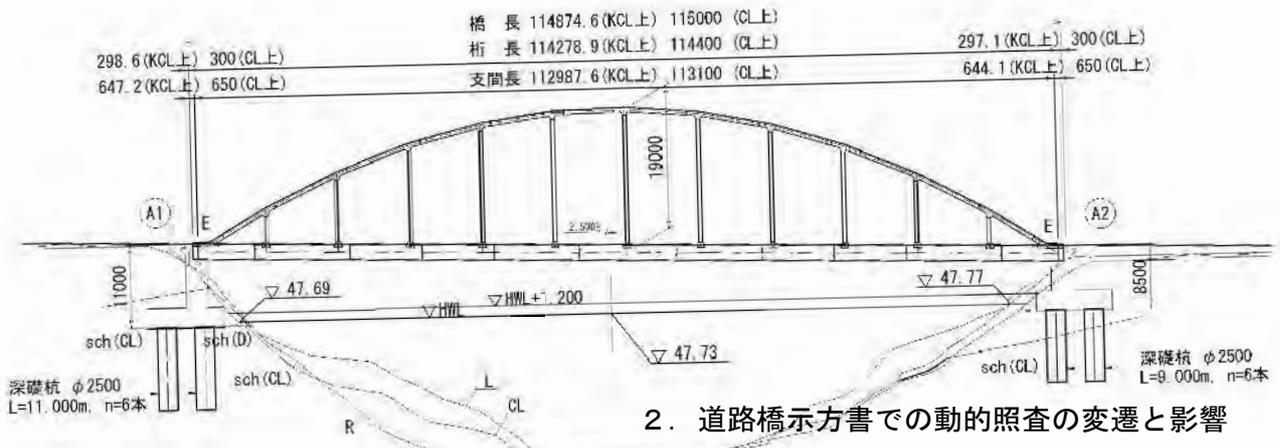


図-1.1 乗本2号橋 側面図

## 2. 道路橋示方書での動的照査の変遷と影響

平成24年以降の道路橋示方書では、上路式、中路式だけでなく、下路式のアーチ橋においても動的照査法により照査を行うのが良いとされている。したがって、平成29年の道路橋示方書を適用する本橋では、動的照査を実施した。

平成14年以前の道路橋示方書では、上路式および中路式のアーチ橋については動的照査を行うのが良いとされている一方で、下路式についての言及はなかった。そのため、下路式のアーチ系橋梁に対して動的解析を行った事例は少ないのが現状であり、動的照査の適用前後で、設計結果にどのような影響が生じるのかは予測が困難であった。

### 3. ランガー橋の構造特性と支承条件

補剛アーチの場合には、アーチ軸線を直線配置とし、アーチリブの部材高を十分に小さく設計することで、アーチリブを軸力のみが作用する部材として設計できる。この考えを採用したものがランガー形式であり、ローゼ形式と比較すると、適用可能な支間長は短くなるものの、鋼重および経済性において有利となりやすい。

一方で、アーチリブの中でも、橋門構から端部にかけての範囲では、上弦材に作用する横荷重を支承部に全て伝達できるようにラーメン構造として設計を行うため、曲げモーメントの影響も考慮する必要が生じる。

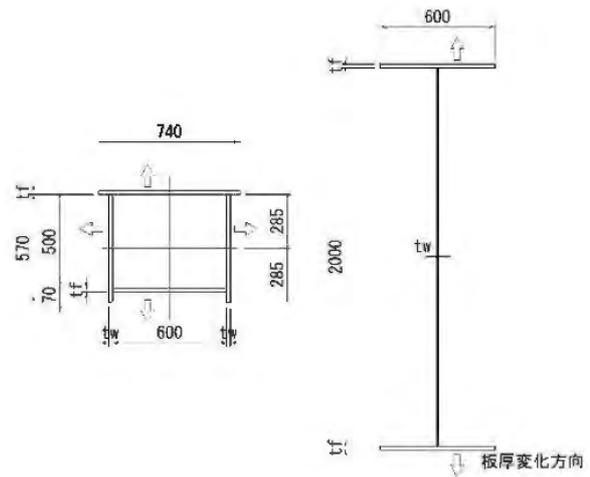
こうした構造的特性から、下路式ランガー橋では橋門構から端部にかけてのアーチリブの強度の確保が困難になると考えられた。特に、動的解析を実施する本設計では、橋軸直角方向にL2地震動を与えた際に十分な板厚が確保できないことが予想された。

本設計では、橋門構から端部にかけてのアーチリブに生じる断面力を緩和するため、全方向免震支承の採用し、次に行う支承形式を変更した解析によってその効果を確認することとした。

### 4. 部材断面の決定方法

静的解析を用いて初期断面の設定を行う。このとき、アーチリブおよび補剛桁のフランジ幅、ウェブ高に加えて、アーチライズや吊材本数についても検討を行い、鋼重が最も小さくなる組合せを採用した。採用した部材断面を図-4.1に示す。アーチリブ、補剛桁ともに板厚は外逃げとし、アーチリブのすみ肉溶接部は(板厚+溶接脚長+10mm)を考慮した張出長としている。また、アーチライズは19m(アーチライズ比 $f/L=1/5.95$ )、吊材本数は11本とした。

次に、設定した初期断面を基に動的解析を実施し、板厚を更新する。本橋は単純桁であることや、道路線形がS字を描いているものの、上部工全体の偏心量は小さいことから、板厚構成は橋軸方向および橋軸直角方向に対称とした。また、主部材の鋼種は主にSM490Y材とし、面外座屈照査が厳しくなるため両端のアーチリブが補剛桁と接続する付近(S1~UJ3の範囲)のみSM570材を採用した。



(A) アーチリブ (B) 補剛桁  
図-4.1 初期断面(概形)

### 5. 解析モデル

動的解析は3次元骨組みモデルを用いて行った(図-5.1)。上部工および下部工は線形はり要素としてモデル化を行った。また、免震支承は非線形ばね要素としてモデル化を行った。地質調査の結果を基に、地盤種別はI種地盤とし、深礎杭基礎は線形ばね要素にてモデル化を行った。

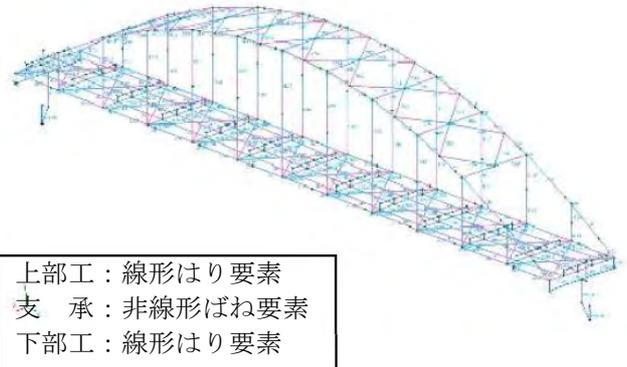
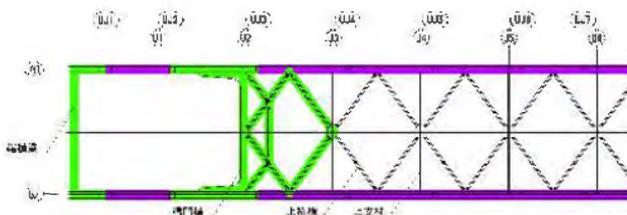


図-5.1 3次元骨組みモデル

### 6. 設計結果

断面の決定項目ごとに部材を塗分けたものが図-6.1である。静的解析の断面力に起因するものを紫、動的解析の断面力に起因するものを緑で着色し、細長比によって決定された部材は無着色とした。なお、橋軸方向に対称であるため、起点側のみの表記としている。

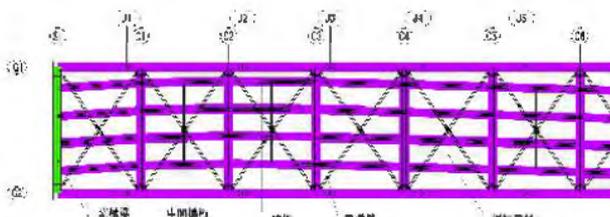
動的解析によって板厚が決定した部材は端横梁、橋門構、およびその周辺のアーチリブ(S1~UJ1, UJ2~UJ3)と吊材であり、概ね予想通りの結果となった。以下に、部材ごとの断面決定要因について述べる。



(A) 平面図—上弦材



(b) 側面図



(c) 平面図—補剛桁

(紫：静的 緑：動的 無色：細長比)

図-6.1 断面決定要因

### 6.1. アーチリブ

アーチリブは全ての断面にて曲げおよび軸力に対する安定照査が板厚決定項目となっており、端横梁に近接するS1~UJ1, および橋門構に近接するUJ2~UJ3では動的解析による安定照査が、それ以外の範囲では静的解析による安定照査が支配的であった。S1~UJ1の範囲では板厚が49mm, UJ2~UJ3の範囲では板厚が35mmであり、他の部材よりも大きい値であったものの、許容値に対する発生応力度の割合は動的解析と静的解析の間に大きな差は見られなかった(表-6.1)。このことから、動的照査法の適用による鋼重への影響は僅かであると考えられる。

表-6.1 安定照査の許容値に対する安全率

	S1~UJ1	UJ2~UJ3
静的	0.92	0.92
動的	0.94	0.95

### 6.2. 端横梁, 橋門構, 吊材

端横梁および橋門構はいずれも、動的解析の結果によって断面が決定された。また、吊材は端横梁および橋門構に近い2本が同様の結果であり、部材長が長くなる支間中央付近の吊材ほど細長比の照査が厳しくなる傾向にあった。これらの部材はどれも橋

軸直角方向加振時に照査が厳しくなる傾向にあった。

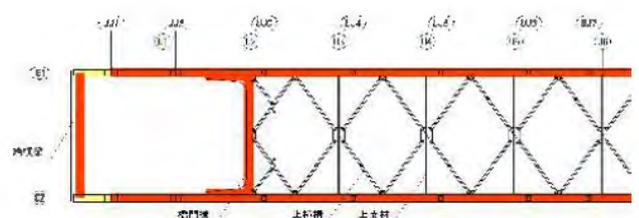
### 6.3. 補剛桁, 横桁, 縦桁

補剛桁, 横桁, 縦桁はいずれも、静的の照査で断面が決定されており、動的照査適用による影響は見られなかった。

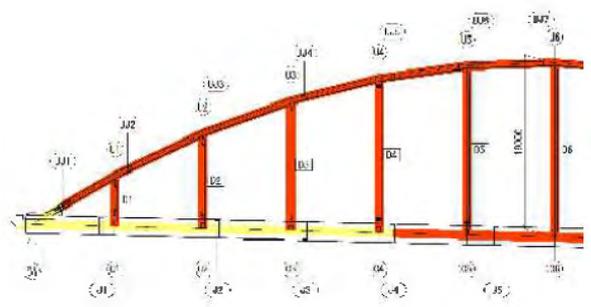
### 7. 全方向免震支承の減衰性能確認

平成24年の道路橋示方書以降、下路式アーチ橋梁において動的照査法を用いることとされているため、それ以前の設計と比べて鋼重が増加すると予想していた。しかし、乗本2号橋の設計において全方向免震支承を採用した結果、動的照査によって断面が決定した部材の合計は93.8tであり、全体鋼重643.0tに対しての約15%であったことから、動的照査による全体鋼重への影響は小さいといえる。

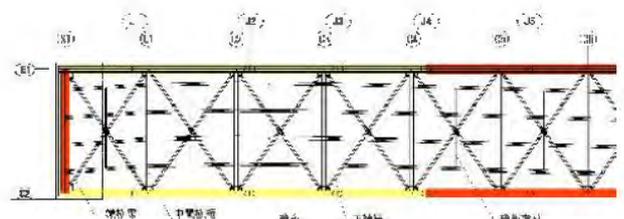
本項では全方向免震支承採用の効果を検証するため、部材断面を変えずに、支承形式のみを固定—可動構造に変更した動的解析を実施し、アーチリブや補剛桁などの主部材に対して応力度照査を行った。



(A) 平面図—上弦材



(b) 側面図



(c) 平面図—補剛桁

(赤：NG箇所 黄：OK箇所 無色：未照査)

図-7.1 固定—可動構造における動的照査

照査の結果を図-7.1に示す。照査を満足しなかった部材を赤、満足した部材を黄で着色し、照査を割愛したものを無色としている。アーチリブ, 橋門構,

端横梁、吊材は全て応力超過し、補剛桁についても約半分の範囲で応力超過となっていた。したがって、全方向免震支承の採用により、構造部材の全体的な断面力の低減が確認された。

## 8. 同形式の他橋梁の設計実績

弊社が2012年に詳細設計を行った鋼単純下路式ランガー橋であるA橋においても平成24年の道路橋示方書に基づいて動的照査を実施している。A橋は支間長69.7m、道路全幅6.2m、主構間隔7.2mであり、乗本2号橋と比べて全体的に5割～6割程度の大きさである。また、上部工全体の鋼重も170tと、4分の1程度である。

A橋の上部工設計では、支承形式を固定一可動構造とした静的解析により初期断面を設定していた。しかし、その後の動的照査の実施前後で、断面が著しく増加する傾向が確認されており、試算では上部工の全体鋼重が約3割増加し、計220tになるという結果であった。なお、これは収束前の値であり、鋼重の増加によって地震時慣性力が増加することを踏まえると、さらなる鋼重増加が見込まれた。

次に、鋼重増加への対策として、粘性ダンパーや座屈防止ブレース等が検討されたが、鋼重の増加は回避できなかった。そこで、支持地盤が良好であることから、最終的には全方向免震支承を採用しており、動的照査実施前と比較してほぼ同等の断面構成となった。

支承形式の違いが設計結果に与える影響については、乗本2号橋と同じ傾向にあるといえる。

## 9. 全方向免震支承の設計

乗本2号橋は支間長が大きく、ランガー橋であるため、面内方向の剛性が比較的小さく、活荷重による支点回転角が支承便覧に記載された標準値よりもやや大きい値となった。

そのため、全方向免震支承（鉛プラグ入り積層ゴム支承）の設計を行う際には活荷重回転角の照査がコントロールポイントとなっており、最終的に、支承ゴムの平面形状は橋軸方向の寸法が短い長方形とした上で、比較的やわらかいせん断弾性係数G10を採用した。

また、動的解析を実施した際には、活荷重回転角の照査を満足させるため支承高を大きくし、ゴムの材質を柔らかいものを採用したため、ゴムの水平剛性が低下し、動的解析実施時の移動量が増加する傾向にあった。

## 10. まとめ

・平成24年以降の道路橋示方書では、下路式のアーチ系橋梁においても動的解析を実施するものとされており、動的解析を実施しない場合と比べて上部工部材の板厚、および鋼重の増大が予想された。今回詳細設計を行った乗本2号橋では、全方向免震支承を採用することで、地震時断面力を緩和することができ、動的照査の影響を受けたのは一部の部材のみであった。

・全方向免震支承ではなく、固定一可動構造の支承を採用した場合の動的解析を実施したところ、主要部材のほぼ全ての範囲で応力超過する結果となり、全方向免震支承の減衰効果が確認された。

・長大が過去に詳細設計を行った鋼単純下路ランガーであるA橋についても、上記の傾向が確認された。A橋は支間長、幅員構成等が乗本2号橋の5割～6割程度であるが、同様の結果が得られたことから、本形式には全方向免震支承採用の効果を得やすいと考える。

・通常、両端が橋台で支持された単純桁では、固定一可動構造の支承が採用されやすいが、A橋や乗本2号橋のように、鋼単純ランガー橋およびその他のアーチ系橋梁においては、最終的に積層ゴムを用いた免震支承が採用される場面が増えると考えられる。これらの橋梁形式は長支間の橋梁に採用されやすく、活荷重回転角が大きくなりやすい点や、支承ゴムの水平剛性が地震時の移動量に影響しやすい点などに注意が必要である。

・本稿では、下路式ランガー橋における全方向免震支承採用の有効性について議論した。しかし、免震支承の採用可否は良質な支持地盤が前提であり、採用不可の場合には大幅な鋼重増加が見込まれる。したがって、橋梁形式選定の段階にて同形式を検討する際には、地盤条件を加味することが望ましい。

# トラス橋の支承取替えにおける端横桁補強設計

武藤 大和<sup>1</sup> 入山 祐一<sup>2</sup> 谷 淳貴<sup>2</sup> 長瀬 弘己<sup>2</sup> 三反崎駿太<sup>2</sup>

<sup>1</sup>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)

<sup>2</sup>中日本建設コンサルタント(株)東京支社 (〒102-0076 東京都千代田区五番町14)

本業務は鋼単純ワーレントラス橋（3連）について過年度橋梁定期点検より、A2橋台部の鋼製ローラー支承のローラー部に著しい腐食損傷が確認され、支承取替を行う事となった。ここで、鋼道路橋の橋梁形式は鉸桁橋や箱桁橋が多く、トラス橋は少ない。また支承取替にあたっては、端横桁を利用するジャッキアップを採用したが、トラス橋の端横桁は、床組反力で断面が決定される一方、ジャッキアップ時は、その30倍程度の主構反力を受けることが確認された。発生する大反力に対して、支承取替えが可能となるようトラス特有の構造に留意して設計対応を行った。

**Key Words** : 鋼単純ワーレントラス橋, 支承取替え, ジャッキアップ補強

## 1. はじめに

本業務の対象となった橋梁は鋼単純ワーレントラス橋（3連）である。過年度橋梁定期点検において、A2橋台部の鋼製ローラー支承のローラー部に著しい腐食損傷が確認され、支承取替を行う事となった。トラス橋の支承取替にあたっては、端横桁を利用するジャッキアップを採用したが、トラス橋の端横桁は、床組反力で断面が決定される一方、ジャッキアップ時は、その30倍程度の主構反力を受けることが確認された。

本稿では、一般道路では事例の少ないトラス橋の端横桁を利用した支承取替えについて報告する。



写真-1. 現況状況

## 2. 検討フロー

検討フローを図-1に示す。

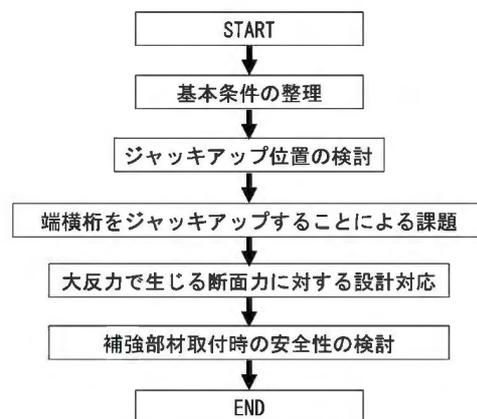


図-1. 検討フロー

## 3. 基本条件の整理

以下に本橋の橋梁諸元を示す。

路線名 : 一般県道 長沖藤代線  
竣工年 : 昭和46年3月  
橋格 : 1等橋 TL-20  
適用基準 : 鋼道路橋設計示方書 (昭和39年)  
橋長 : 171.0m  
径間長 : 57m×3連  
幅員構成 : 全幅員11.5m, 有効幅員:10.9m  
上部工形式 : 鋼単純ワーレントラス橋 (下路式)  
床版形式 : RC床版 (車道t=190mm, 歩道t=150mm)  
縦断勾配 : 放物線1/150

#### 4. ジャッキアップ位置の検討

一般的な鋼桁橋や鋼箱桁橋（以下一般鋼橋と呼ぶ）で支承取替えを実施する場合、支点部周辺の主桁や横桁でジャッキアップを行う。しかし、トラス橋の主構は曲げモーメントの作用を考慮した設計が行われていないため、主構格点部以外でジャッキアップを行う場合、下弦材や斜材にトラス構造を維持するための補強材の設置が必要であった。また、補強材はコンクリート床版と物理的に干渉するため、床版に補強材設置のための開口部（図-2参照）を設ける必要があった。

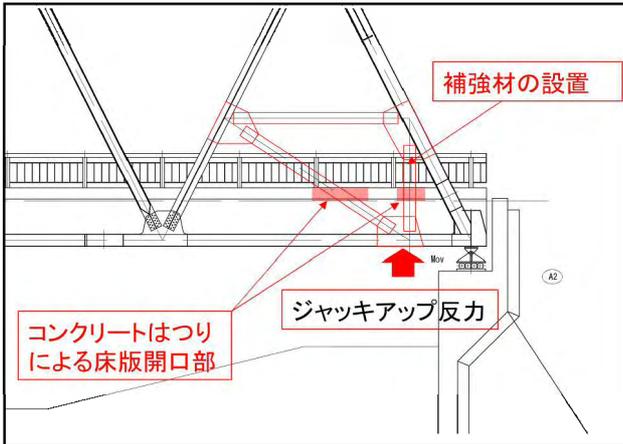


図-2. 主構位置でのジャッキアップ

一方で、端横桁位置でジャッキアップした場合、図-3に示すように、ある程度の断面補強を行う必要があるものの、主構のように物理的な干渉が少なく、桁下からの補強作業のため、交通に与える影響も少ないと考えられた。

よって、本橋の支承取替えは、端横桁をジャッキアップ位置とする方針とした。

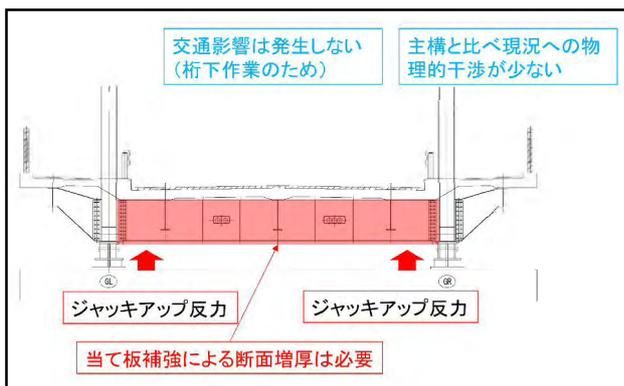


図-3. 端横桁位置でのジャッキアップ

#### 5. ジャッキアップすることによる課題

トラス橋の支点反力は「床組：端横桁」と「主構」の合計となる。（図-4、表-1参照）。これに対し、端横桁は「床組、端横桁」の荷重で部材断面が決定している。そのため、端横桁でジャッキアップ

を行った場合、端横桁には設計荷重の約30倍に相当する大反力が作用することになる。よって、いかにして端横桁でこの大反力をジャッキアップするかが課題である。

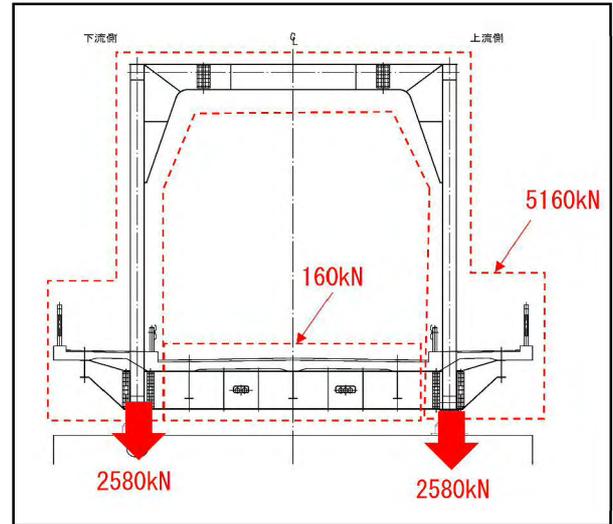


図-4. トラス橋の荷重伝達機構

表-1. トラス橋支点部の反力の内訳

	反力	全体比率
床組+端横桁	160kN	3%
支点反力	5160kN	-

#### 6. 大反力で生じる断面力に対する設計対応

端横桁ジャッキアップ時には、下記に示す断面力が作用することが考えられた（図-5参照）。

- ①端横桁の主構接続部～ジャッキアップ位置間までに作用するせん断力。
- ②端横桁全長に作用する負の曲げモーメント。
- ③主構格点部に作用するねじり。

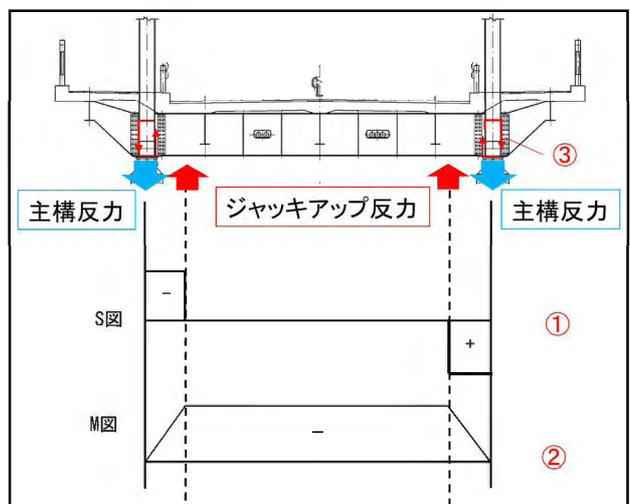


図-5. 主構反力によって発生する断面力

(1) 端横桁の断面補強対策

既設端横桁に対してジャッキアップを行ったときの応力照査結果は、表-2に示す通りとなった。この発生応力度に対して、許容応力度以下となるよう断面補強対策を行った。なお、図-6に各断面の照査位置を示す。

表-2. 既設断面での応力度結果

	断面①	断面②
断面寸法		
	材質: SS400	材質: SM490
せん断応力度	$\tau$ : 350N/mm <sup>2</sup> $\tau_a$ : 80N/mm <sup>2</sup> ... NG	-
曲げ応力度 (上縁)	$\sigma_t$ : 284N/mm <sup>2</sup> $\sigma_{ta}$ : 140N/mm <sup>2</sup> ... NG	$\sigma_t$ : 465 N/mm <sup>2</sup> $\sigma_{ta}$ : 185 N/mm <sup>2</sup> ... NG
曲げ応力度 (下縁)	$\sigma_c$ : 297N/mm <sup>2</sup> $\sigma_{ca}$ : 137 N/mm <sup>2</sup> ... NG	$\sigma_c$ : 499 N/mm <sup>2</sup> $\sigma_{ca}$ : 157N/mm <sup>2</sup> ... NG

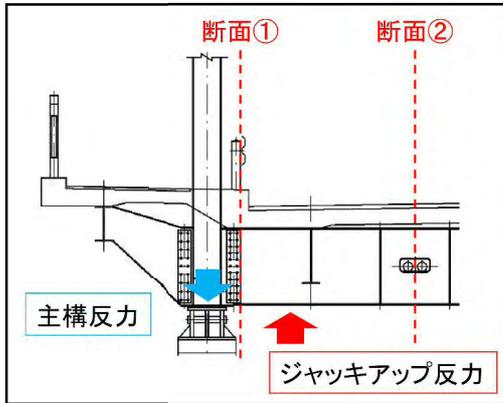


図-6. 端横桁の照査断面

a) 主構接続部～ジャッキアップ位置間における端横桁の断面補強

断面①の材質は、SS400材で構成されており、ジャッキアップ時には許容せん断応力度の4倍のせん断応力度が確認された。よって、SM490材当て板(830mm×25mm, 2枚)により補強することで、せん断照査を満足させた。(図-7参照)

表-3. 断面①のせん断応力度の照査結果

	既設断面	補強断面
せん断応力度	$\tau$ : 350N/mm <sup>2</sup> $\tau_a$ : 80N/mm <sup>2</sup> ... NG	$\tau$ : 53N/mm <sup>2</sup> $\tau_a$ : 80N/mm <sup>2</sup> ... OK

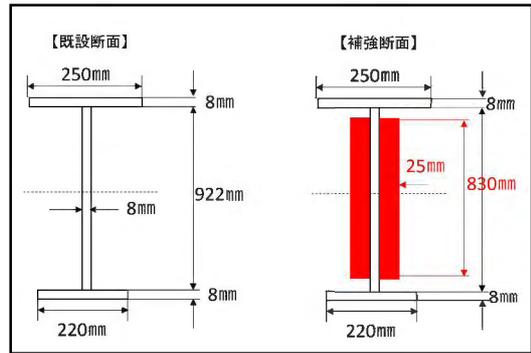


図-7. 断面①における補強断面

ただし断面①の主構取付部はリベット接合部であることから、補強板が既存の添接板やリベットに干渉し、設置が困難であった。そこで、L形補強板の内側にフィラープレートを入れて、主構格点部との取付を行った。なお、L形補強板と主構との接合は、主構が箱断面のため、ワンサイドボルトを用いた接合を行った。

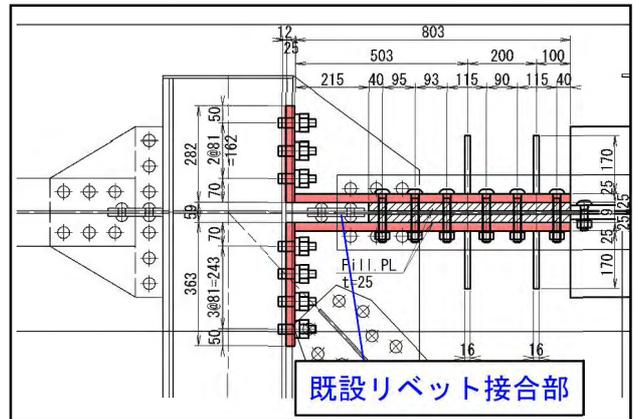


図-8. 取付部の補強平面図

b) 負の曲げモーメントに対する端横桁の断面補強  
端横桁ジャッキアップ時は端横桁全長に負の曲げモーメントが発生し、既設端横桁の断面①、②の上下縁とも許容値を大きく超過することが確認された。この曲げ応力度を小さくするためには、端横桁の断面2次モーメントを大きく(部材高を高く)することが効果的である。

そこで、端横桁の下フランジに補強桁(高さ: 338mm, 幅: 400mm)を増設したが、補強桁を増設を行っても許容曲げ応力度を満足することが出来なかった。なお、上フランジ側はRC床版が打ち下ろされており、下フランジのような補強桁増設ができないこと、下フランジ側の追加断面補強は、油圧ジャッキ設置高さ300mmを確保する必要があるため、物理的に困難である。

そこで、中立軸より上縁側にあたるウェブ断面に、T形補強板(幅230mm, 板厚: 16mm)を増設することで発生応力度を許容値以下におさえた。(表-4参照)

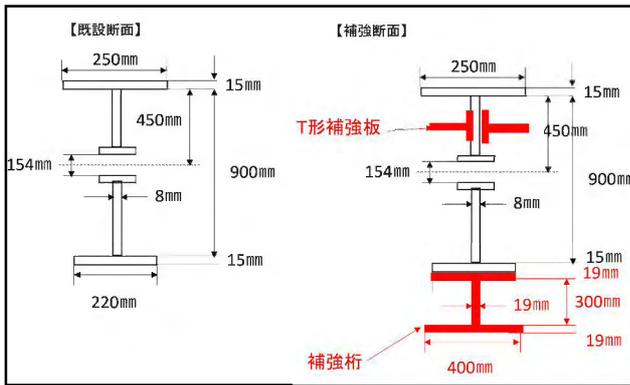


図-9. 断面②における補強断面

表-4. T形補強板追加設置した曲げ応力度照査結果

	補強断面 (補強桁設置)	補強断面 (補強桁 +T形補強板設置)
曲げ 応力度 (上縁)	$\sigma_t$ : 291N/mm <sup>2</sup> $\sigma_{ta}$ : 185N/mm <sup>2</sup> ... NG	$\sigma_t$ : 178N/mm <sup>2</sup> $\sigma_{ta}$ : 185N/mm <sup>2</sup> ... OK
曲げ 応力度 (下縁)	$\sigma_c$ : 154N/mm <sup>2</sup> $\sigma_{ca}$ : 144 N/mm <sup>2</sup> ... NG	$\sigma_c$ : 140N/mm <sup>2</sup> $\sigma_{ca}$ : 144N/mm <sup>2</sup> ... OK

表-5. 補強断面での応力度結果

	断面①	断面②
せん断 応力度	$\tau$ : 53N/mm <sup>2</sup> $\tau_a$ : 80N/mm <sup>2</sup> ... OK	-
曲げ 応力度 (上縁)	$\sigma_t$ : 56N/mm <sup>2</sup> $\sigma_{ta}$ : 140N/mm <sup>2</sup> ... OK	$\sigma_t$ : 178N/mm <sup>2</sup> $\sigma_{ta}$ : 185N/mm <sup>2</sup> ... OK
曲げ 応力度 (下縁)	$\sigma_c$ : 57N/mm <sup>2</sup> $\sigma_{ca}$ : 134 N/mm <sup>2</sup> ... OK	$\sigma_c$ : 140N/mm <sup>2</sup> $\sigma_{ca}$ : 144N/mm <sup>2</sup> ... OK

(2) 主構格点部断面に作用するねじり照査

ジャッキアップ時には、横桁接合部外側に主構の荷重として下向きの鉛直力が作用する。一般的な鋼箱桁では、設計時にねじりを考慮した設計を行っていることから、横桁でジャッキアップした際のねじり照査は省略されている。しかし、トラス橋の主構はねじりに対する設計を行っていないため、主構格点部でのねじり照査を実施し、許容値を満足していることを確認した。(図-10参照) なお、ねじりによって主構断面に生じるせん断応力度は下式で算出される。

$$\tau = \frac{T}{2 \cdot F \cdot t}$$

$\tau$  : せん断応力度  
 $T$  : ねじりモーメント  
 $F$  : ダイヤフラム面積  
 $t$  : ダイヤフラム板厚

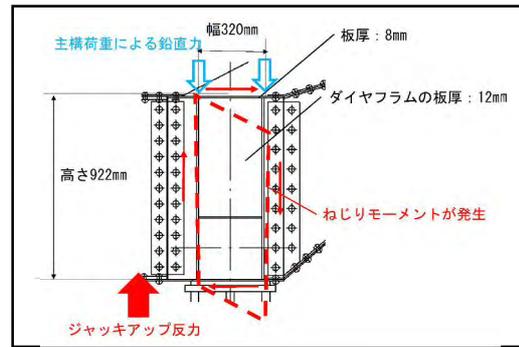


図-10. 主構箱断面に作用するねじり

表-6. せん断応力度の照査結果

せん断応力度	許容せん断応力度	判定
61N/mm <sup>2</sup>	80N/mm <sup>2</sup>	OK

7. 補強部材取付時の安全性の検討

上述したように端横桁の補強断面には、当て板補強のほかに補強桁の設置等が発生する。これによって、補強部材を取り付けるためのボルトの孔明を行う必要があるが、孔明によって死活荷重作用時に既設断面が照査を満足しないことが考えられる。よって、表-7に示す通り孔明による断面欠損を考慮した既設断面で、それぞれの活荷重作用時(T-20通行時、T-14通行時、T-20片側通行時)で照査を行った。照査結果より、T-20では、断面欠損が大きく照査を満足しない結果となったが、交通規制を想定したT-14およびT-20の片側通行時では、断面照査を満足する結果となった。なお、現地交通状況から片側交通が可能であることを踏まえ、片側交通規制を実施することを提案した。なお交通規制期間としては、17日(不稼働係数1.7込)であった。

表-7. ボルト孔明断面の照査結果

	T-20	T-14	T-20片側
せん断 応力度	$\tau$ : 71N/mm <sup>2</sup> $\tau_a$ : 105N/mm <sup>2</sup> ... OK	-	-
曲げ 応力度 (上縁)	$\sigma_c$ : 177N/mm <sup>2</sup> $\sigma_{ca}$ : 177N/mm <sup>2</sup> ... OK	$\sigma_c$ : 137N/mm <sup>2</sup> $\sigma_{ca}$ : 177N/mm <sup>2</sup> ... OK	$\sigma_c$ : 112N/mm <sup>2</sup> $\sigma_{ca}$ : 177N/mm <sup>2</sup> ... OK
曲げ 応力度 (下縁)	$\sigma_t$ : 217N/mm <sup>2</sup> $\sigma_{ta}$ : 185N/mm <sup>2</sup> ... NG	$\sigma_t$ : 168N/mm <sup>2</sup> $\sigma_{ta}$ : 185N/mm <sup>2</sup> ... OK	$\sigma_t$ : 137N/mm <sup>2</sup> $\sigma_{ta}$ : 185N/mm <sup>2</sup> ... OK

8. 結論

本設計ではトラス特有の構造に対応する補強方法の計画・設計を実施したことで、端横桁を利用したジャッキアップが可能であることを検証できた。

道路橋のトラス橋は、その総数は少ないものの、老朽化によって今後、今回と同様のケースが発生することが考えられる。その際は、本稿が参考事例として一助となれば幸いである。

# 立体ラーメン構造の横断歩道橋 における耐震補強設計

○村松登生<sup>1</sup>・河内正彦<sup>1</sup>・木村魁斗<sup>1</sup>・船橋佑太<sup>1</sup>

<sup>1</sup>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)

平成2年道路橋示方書に基づき架設された東山歩道橋（4径間立体ラーメン連続鋼床版箱桁橋・単純鋼床版I桁橋）において、耐震設計を行う上で動的および静的解析の結果から橋脚とアンカー部の補強計画を行った詳細設計である。本橋は県道349号菅刈今渡線および可児市道広見・土田線の交差点を横断する形で設置されており、複雑な橋脚配置（立体ラーメン）区間には3次元立体モデルによる動的解析を、単純な配置（I桁）区間には静的解析を適用し、レベル2地震動に対する橋脚・基礎の照査を行った。照査の結果、橋脚支柱には中詰めコンクリート充填を、アンカー部にはアンカー・スタッド増設による補強を施す設計とした。

**Key Words** : 立体ラーメン構造横断歩道橋 動的解析 静的解析 基礎の照査

## 1. はじめに

兵庫県南部地震（平成7年1月）以降の道路橋示方書では、レベル1およびレベル2地震動を適切に設定し、耐震設計を行うことが定められている。

東山歩道橋は平成2年道路橋示方書に基づいて設計された横断歩道橋であり、都市計画道路を横断して設置されていることから、現行の道路橋示方書で規定されている耐震性能に適合しているかどうか課題となる。

本橋では、立体ラーメン構造における耐震性能照査モデルの作成および基礎の照査について、一例として報告する。

本橋の橋梁諸元を表-1に示す。

表-1 既設橋諸元

設計示方書	平成2年 道路橋示方書
橋梁形式	4径間連続鋼床版箱桁橋 単純鋼床版I桁橋
橋長支柱間隔	25.412m
有効幅員	2.1m
橋脚形式	単柱式橋脚
床版	鋼床版 (t=10)
舗装	磁器タイル (t=20)

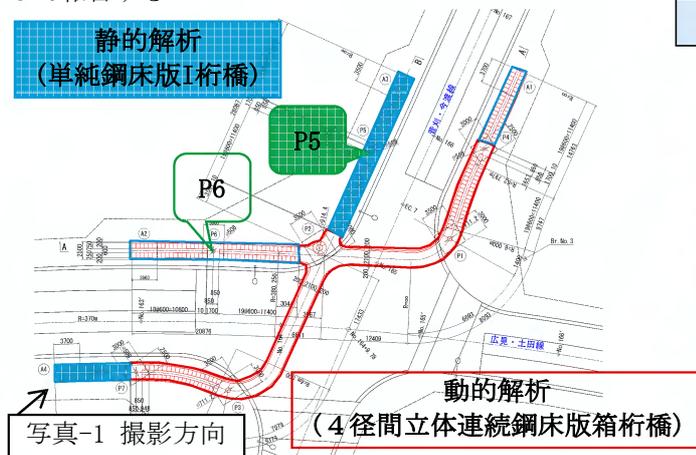


図-1 東山歩道橋 平面図



写真-1 東山歩道橋 全景

## 2. 東山歩道橋の耐震性能照査

### (1) 耐震性能照査モデルの設定

「道路設計要領（中部地整）」<sup>1)</sup>では、レベル2地震動に対する耐震性能の照査における解析手法として「静的解析」を原則としている。

しかし、本橋は複雑な立体ラーメン構造であること、「道路橋示方書・同解説V耐震設計編（日本道路協会）」<sup>2)</sup>において鋼製橋脚に支持される橋に該当することから、動的解析による照査を実施した。ただし、P5・P6橋脚については単径間の階段桁のみを支える構造であるため、静的解析による照査を実施した。

耐震性能に対する橋の限界状態は、県道および市道ともに緊急輸送道路ではないため、A種の橋とし、耐荷性能1（耐震性能3）を確保することとした。

### (2) 最大応答値による鋼製橋脚の照査

鋼製橋脚（P1～P4, P7）の上部工接続部、コンクリート充填直上および基部において、動的解析により得られた最大応答値に対し、既設鋼製橋脚の形状寸法から耐力を仮定して断面照査を行った。

ただし、「道路橋示方書・同解説V耐震設計編」に従い、橋脚の上部工接続部および基部については、塑性化を期待する部位としている。

照査の結果、許容値を満足することは確認したが、P2橋脚のコンクリート充填直上部において降伏が生じることを確認した。（表-2 参照）

### (3) 地震時保有水平耐力法による鋼製橋脚の照査

鋼製橋脚（P5, P6）について、レベル2地震動に対し、静的解析による照査を実施した結果、コンクリート充填直上において耐力を満足しないことを確認した。（表-3 参照）

### (4) アンカー部の照査

全橋脚に対し、「道路橋示方書・同解説V耐震設計編」に従い、アンカー部耐力（ $M_u'$ ）>橋脚基部耐力（ $M$ ）であるかどうかの照査を行った。

照査の結果、全橋脚において耐力を満足しないことを確認した。（表-4 参照）

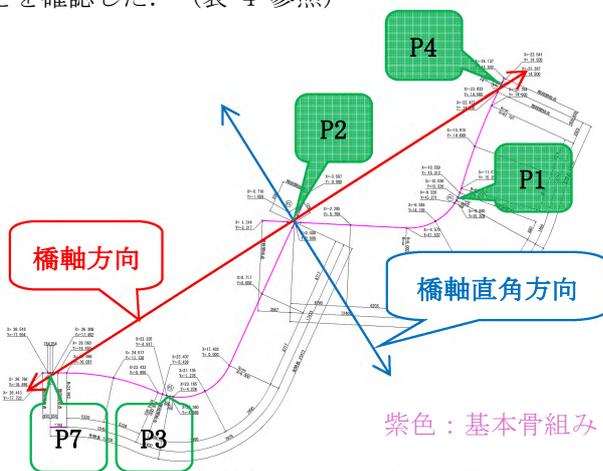


図-2 動的解析の基本骨組み図

表-2 P2橋脚（代表）の照査結果

許容判定		上部工 接続部	コンクリート充填 直上	基部	
タイプII	橋軸方向 加震	最大 応答曲率	0.001586	0.002419	0.005738
		許容曲率	0.03021	0.03007	0.01718
		比率	0.052	0.08	0.334
		判定	OK	OK	OK
	橋軸直角方向 加震	最大 応答曲率	-0.001903	-0.00249	-0.005923
		許容曲率	-0.03021	-0.03007	-0.01718
		比率	0.063	0.083	0.345
		判定	OK	OK	OK
	橋軸方向 減震	最大 応答曲率	0.000269	0.000136	0.001566
		許容曲率	0.03021	0.03007	0.01718
		比率	0.009	0.045	0.091
		判定	OK	OK	OK
橋軸直角方向 減震	最大 応答曲率	-0.001341	-0.00186	-0.001961	
	許容曲率	-0.03021	-0.03007	-0.01718	
	比率	0.044	0.062	0.114	
	判定	OK	OK	OK	
降伏判定		上部工 接続部	コンクリート充填 直上	基部	
タイプII	橋軸方向 加震	最大 応答曲率	0.001586	0.002419	0.005738
		許容曲率	0.002474	0.00247	0.002468
		比率	0.641	0.98	2.325
		判定	OK	OK	OK (NG)
	橋軸直角方向 加震	最大 応答曲率	-0.001903	-0.00249	-0.005923
		許容曲率	-0.002474	-0.00247	-0.002468
		比率	0.769	1.008	2.4
		判定	OK	NG	OK (NG)
	橋軸方向 減震	最大 応答曲率	0.000269	0.001362	0.001566
		許容曲率	0.002474	0.00247	0.002468
		比率	0.109	0.552	0.635
		判定	OK	OK	OK
橋軸直角方向 減震	最大 応答曲率	-0.001341	-0.00186	-0.001961	
	許容曲率	-0.002474	-0.00247	-0.002468	
	比率	0.542	0.753	0.794	
	判定	OK	OK	OK	

表-3 P5・P6橋脚の照査結果

橋軸方向						
照査断面位置	Y(mm)	M(kN・m)	Mu'(kN・m)	M/Mu'	判定	
P5	断面1	0	857.51	857.51	1.0000	-
	制御断面	0	-	857.51	-	-
	コンクリート上端	722	540.63	678.67	0.7966	NG
P6	断面1	0	857.13	857.13	1.0000	-
	制御断面	0	-	857.13	-	-
	コンクリート上端	722	541.25	673.88	0.8032	NG
橋軸直角方向						
照査断面位置	Y(mm)	M(kN・m)	Mu'(kN・m)	M/Mu'	判定	
P5	断面1	0	857.51	857.51	1.0000	-
	制御断面	0	-	857.51	-	-
	コンクリート上端	722	540.63	668.70	0.8085	NG
P6	断面1	0	857.13	857.13	1.0000	-
	制御断面	0	-	857.13	-	-
	コンクリート上端	722	541.25	664.80	0.8142	NG

表-4 アンカー部の照査結果

橋軸方向							
橋脚	M(kN・m)	Mu'(kN・m)	判定	橋脚	M(kN・m)	Mu'(kN・m)	判定
P1	1038.55	1796.69	NG	P5	376.29	857.72	NG
P2	1412.68	3783.37	NG	P6	375.57	857.31	NG
P3	1048.64	1802.01	NG	P7	376.17	857.47	NG
P4	378.71	858.29	NG				
橋軸直角方向							
橋脚	M(kN・m)	Mu'(kN・m)	判定	橋脚	M(kN・m)	Mu'(kN・m)	判定
P1	1038.55	1796.69	NG	P5	376.29	857.72	NG
P2	1412.68	3783.37	NG	P6	375.57	857.31	NG
P3	1048.64	1802.01	NG	P7	376.17	857.47	NG
P4	378.71	858.29	NG				

(5) 最大応力値による基礎構造の照査

橋脚基礎の照査は、「土木研究所資料 既設道路橋基礎の耐震性能簡易評価手法に関する研究」<sup>3)</sup> (平成22年5月) および「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」<sup>4)</sup> (平成27年6月25日) に示された、各基礎形式における損傷度に応じた基礎の塑性率の目安(参考)を基に実施した。

本橋は直接基礎であるため、許容塑性率として、損傷度Ⅲには「4」、損傷度Ⅳには「8」を採用することが一般的である。(図-4および表-5 参照)

本橋においても、レベル2地震動に対し、耐震性能3に相当する基礎の損傷度Ⅳ(U点)を超えていないかどうかの照査を実施した。

表-5 基礎形式ごとの許容塑性率の目安表

基礎形式	損傷度		
	II	III	IV
直接基礎	1	4	8
フーチング	1	2	5
鋼管杭	H2 道示より前	1	2
	H2 道示	1	4
	S46 より前	1	2
場所打ち杭	S46 耐震指針	1	3
	S55 道示	1	4
	S55 道示	1	4
既製コンクリート杭	H8 道示より前	1	2
	H8 道示	1	4
木杭	1	-	-
パイルベント橋脚	単列方向(鋼管杭)	1	4
	単列方向(鋼管杭以外)	1	$1 + \frac{\delta_x - \delta_y}{1.8 \delta_y} \leq 4$
複列方向	各杭種と同様		
ケーソン基礎及び地中連続壁基礎 (M <sub>0</sub> < M <sub>y</sub> < M <sub>0</sub> )	1	$1 + \frac{\delta_x - \delta_y}{1.8 \delta_y}$	$1 + \frac{\delta_x - \delta_y}{\delta_y}$
鋼管矢板基礎	鋼管杭基礎に準じる		

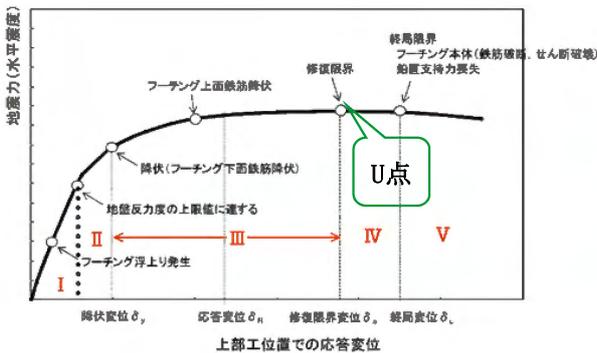


図-3 直接基礎の水平震度-変位関係の例

表-6 基礎の損傷度と基礎の状態

基礎の損傷度	基礎の状態
基礎の損傷度 I	基礎を構成する部材や部材を支持する地盤抵抗のいずれかが弾性(可逆性を有する)とみなせる限界点を超えていない状態
基礎の損傷度 II	基礎を構成する一部の部材やそれを支持する地盤抵抗が可逆性を有するとみなせる限界点を超えるものの、基礎全体系としての水平力-水平変位関係においては基礎の降伏点を超えていない状態
基礎の損傷度 III	Ⅱ点を超えた後、基礎としての最大強度を発揮する点(最大強度点)を超えない状態
基礎の損傷度 IV	基礎の降伏点及び基礎の最大強度点を超えた後、復元力の急激な低下が生じ始める点(終局点)を超えない状態
基礎の損傷度 V	基礎の部材損傷や支持地盤の崩壊により、復元力を喪失した状態

照査の結果、P2橋脚において、降伏曲げモーメントに対して作用曲げモーメントが上回ることを確認した。これに対し、曲げ損傷度の判定を行った結果、応答塑性率は1.10となり、「損傷度Ⅲ」に収まることを確認した。(表-7 参照)

以上の結果より、基礎構造の補強は実施しない方針とした。

表-7 フーチング部材の曲げ損傷度判定結果(P2橋脚)

照査項目	単位	橋軸方向	橋軸直角		
		下面	下面		
曲げモーメントに対する照査	最大曲げモーメント	Mmax	kNm	-	294.1
	降伏曲げモーメント	Mu	kNm	-	267.9
	応答塑性率	$\mu = 1/2(1+(\text{Max}/\text{My})^2)$	-	-	1.10
	損傷度(Ⅲ: $\mu < 4.0$ , $\mu < 8.0$ )	-	-	-	損傷度Ⅲ

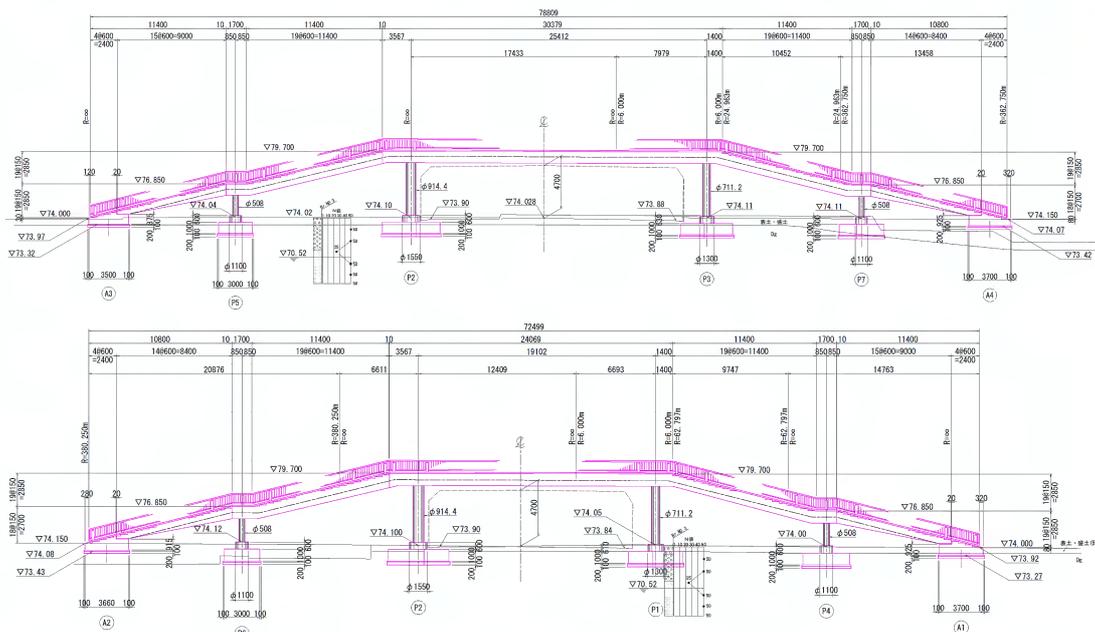


図-4 東山歩道橋 竣工図(復元)

### 3. 対策工法の決定

#### (1) コンクリート充填直上に対する対策

鋼製橋脚 (P2, P5, P6) について、中詰めコンクリートの充填高さを上げて再照査を実施した結果、耐力を満足させることが可能である結果となった。そのため、現況の722mmに対し、1400mmの高さまで中詰めコンクリートの充填を行うこととした。(図-8および表-9 参照)

#### (2) アンカー部に対する対策

アンカー部への対策としては、アンカー部耐力 ( $Mu'$ ) が橋脚基部耐力 ( $M$ ) を上回るように補強した。アンカーボルトおよびベースプレートの増設が一般的と考えられるが、追加するベースプレートは既設のベースプレートに対して下向き溶接を行う必要があるため、施工性および品質維持の観点から、不足耐力 ( $M-Mu'$ ) を補強アンカーで負担させるアンカーボルトおよびスタッドの増設案を採用した。(図-5 参照)

補強アンカーの力を既設橋脚に伝達するため、スタッドを溶接し、根巻きコンクリートを介して一体化させる構造とした。

表-9 P5・P6橋脚の照査結果 (補強後)

橋軸方向						
照査断面位置		Y(mm)	M(kN・m)	$Mu'$ (kN・m)	M/ $Mu'$	判定
P5	断面1	0	857.51	857.51	1.0000	-
	制御断面	0	-	857.51	-	-
	コンクリート上端	1400	540.76	510.84	1.0586	OK
P6	断面1	0	857.13	857.13	1.0000	-
	制御断面	0	-	857.13	-	-
	コンクリート上端	1300	541.36	527.28	1.0267	OK

橋軸直角方向						
照査断面位置		Y(mm)	M(kN・m)	$Mu'$ (kN・m)	M/ $Mu'$	判定
P5	断面1	0	857.51	857.51	1.0000	-
	制御断面	0	-	857.51	-	-
	コンクリート上端	1400	540.76	491.52	1.1002	OK
P6	断面1	0	857.13	857.13	1.0000	-
	制御断面	0	-	857.13	-	-
	コンクリート上端	1300	541.36	510.93	1.0596	OK

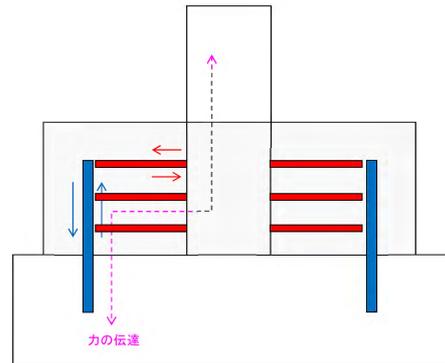


図-5 アンカー補強のイメージ図

表-8 P2橋脚の照査結果 (補強後)

許容判定		上部工 接続部	コンクリート充填 直上	基部	
タイプⅡ	橋軸方向 加震 最大	応答曲率	0.001586	0.002419	0.005738
		許容曲率	0.03021	0.03007	0.01718
		比率	0.052	0.08	0.334
		判定	OK	OK	OK
	橋軸方向 加震 最小	応答曲率	-0.001903	-0.00249	-0.005923
		許容曲率	-0.03021	-0.03007	-0.01718
		比率	0.063	0.083	0.345
		判定	OK	OK	OK
	橋軸直角 方向 加震 最大	応答曲率	0.000269	0.000136	0.001566
		許容曲率	0.03021	0.03007	0.01718
		比率	0.009	0.045	0.091
		判定	OK	OK	OK
橋軸直角 方向 加震 最小	応答曲率	-0.001341	-0.00186	-0.001961	
	許容曲率	-0.03021	-0.03007	-0.01718	
	比率	0.044	0.062	0.114	
	判定	OK	OK	OK	
降伏判定		上部工 接続部	コンクリート充填 直上	基部	
タイプⅡ	橋軸方向 加震 最大	応答曲率	0.001586	0.002419	0.005738
		許容曲率	0.002474	0.00247	0.002468
		比率	0.641	0.98	2.325
		判定	OK	OK	OK
	橋軸方向 加震 最小	応答曲率	-0.001903	-0.002172	-0.005923
		許容曲率	-0.002474	-0.002466	-0.002468
		比率	0.769	0.881	2.4
		判定	OK	OK	OK
	橋軸直角 方向 加震 最大	応答曲率	0.000269	0.001362	0.001566
		許容曲率	0.002474	0.00247	0.002468
		比率	0.109	0.552	0.635
		判定	OK	OK	OK
橋軸直角 方向 加震 最小	応答曲率	-0.001341	-0.00186	-0.001961	
	許容曲率	-0.002474	-0.00247	-0.002468	
	比率	0.542	0.753	0.794	
	判定	OK	OK	OK	

### 4. 結論

本設計では、立体ラーメン構造の横断歩道橋に対して現況照査を実施し、耐力を満足していないコンクリート充填直上とアンカー部の補強設計を行った。

橋脚が直線状に配置されている横断歩道橋の耐震照査では、面外方向への抵抗力が弱い柱下端で耐力不足となる場合が多い。しかし、本橋は橋脚が直線状に配置されていないため、面外方向への抵抗力が高く、柱下端でも耐力を満足したと推測される。

採用工法については、複数案の比較を実施した結果、経済性および施工性の両面で優れているため、管理者の合意を得ることができた。

謝辞：本稿は可見市役所建設部土木課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可見市役所建設部土木課の皆様へ厚くお礼申し上げます。

#### 参考文献

- 1) 国土交通省中部地方整備局：道路橋設計要領，2023.7 一部改訂
- 2) 公益社団法人日本道路協会：道路橋示方書・同解説Ⅴ，2017.11
- 3) 土木研究所資料：既設道路橋基礎の耐震性能簡易評価手法に関する研究，2010.5
- 4) 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，2015.6

# 新産業育成等に寄与する 公共空間（河川空間）オープン化へのプロセス

そら つぼいけんや もりもとまゆ  
空かおり<sup>1</sup>・坪井健家<sup>1</sup>・○森本麻友<sup>1</sup>

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

浜松市の東端に位置する天竜川は、広大な河川敷を有しており、浜松市の産業的特徴と天竜川の河川空間の特性を掛け合わせることで、新たな産業創出の場として活用することが期待されている。こうした可能性のもと、平成29年度から天竜川下流部において、河川空間活用方策の実証を目的とした社会実験が開始され、令和4年度からは、「河輪地区 水辺の楽校」を活用し、「天竜川ミズベリングドローンフィールド」として社会実験が実施されている。本取組は民間事業者主体による産業発展に資する利用を特色としており、利用時には地域住民と密なコミュニケーションがとられながら活用されている。将来的には都市・地域再生等利用区域の指定を目指し、ドローンを軸に地域と産業をつなぐ拠点として整備を進め、天竜川の河川空間を活用によるにぎわいの創出に寄与する空間づくりを進める。

**Key Words** : 天竜川, 河川空間活用, ミズベリング, 都市・地域再生等利用区域, 新産業育成, ドローン, ドローン航路

## 1. はじめに

### (1) 概要

国土交通省では、薄れてきた川と人との繋がりを取り戻し、河川空間を活用した地域課題の解決を図っている。

古来、生活に密着していた河川空間は、時代の変遷と共にその役割を変え、今では水を流す施設として扱われている河川もある。現在、河川管理者ではこの河川空間を活用して地域の活性化を促す規制緩和策が採られ、身近な河川へと復権が図られている。

浜松河川国道事務所は静岡県西部の天竜川（河口から長野県境まで）および菊川とその支川を所管しており、その流域面積はそれぞれ（天竜川：1,386km<sup>2</sup>）、（菊川：158km<sup>2</sup>）を有している。主な流域都市は天竜川が浜松市、磐田市である。天竜川の河川空間は、広い河川敷と整備された河川公園を利用して、地域の凧揚げイベントやスポーツ、散策などが盛んであり、花火大会等のイベントにも利用されている。

流域住民の中から「河川空間を利用して、地域活性化につなげたい」という想いが多数寄せられるようになり、河川空間の利用を検討・実施する一環として、流域におけるミズベリングの取り組みが始動した。

### (2) ミズベリング・プロジェクト

国土交通省では、かつてのにぎわいを失ってしまった日本の水辺の新しい活用の可能性を創造していくため、水辺に対する社会の関心を高め、様々な立場からの参画を得るための取組を推進する「ミズベリング・プロジェクト」を行っている。ミズベリングは「水辺+RING(輪)」、「水辺+R(リノベーション)+ING(進行形)」の造語であり、水辺に興味を持つ市民や企業、そして行政が三位一体となって、水辺とまちが一体となった美しい景観と、新しい賑わいを生み出すムーブメントを、つぎつぎと起こしていくもので、全国の水辺でアイデア出しを行う会議や社会実験等様々な取り組みが実施されている。

天竜川においては「ミズベ共感ビジネスの発掘」をキーワードに「ミズベリング天竜川」を開催し、その中で「天竜川の広大な河川空間をドローンの飛行空域として活用したい」、「天竜川河口をマリンスポーツの聖地としたい」との声があり、これにより交流人口拡大、移住者促進につなげたいと地元浜松市も期待を寄せている。



図- 1 天竜川河口

### (3) 浜松市の取り組み

浜松市は天竜川上流の中山間地域におけるドローンの利活用に関する取り組みを実施しており、平成29年度には、浜松市と国土交通省浜松河川国道事務所、中山間地域におけるドローン等の無人航空機・AI（人工知能）の利活用や天竜川河川の活用について、連携して実用化に向けた取り組みを行うための協定を締結した。

その後、令和3年度より、「浜松市モビリティサービス推進コンソーシアム」が設立され、官民連携および異業種連携によりモビリティサービスを推進することで、地域の移動手段の確立や移動とサービスの連携による地域の活性化を図っている。その中で、天竜川水系が、経済産業省が推進する「デジタルライフライン全国総合整備計画」におけるドローン航路整備の先行地域に指定され、令和7年3月に、世界初の「ドローン航路」が天竜川水系（浜松市）上空に開通し、防災、物流、農林業、インフラメンテナンス、広報&PR、建築&測量という分野での社会実装を重点分野として、ドローンを活用した協調・共創に取り組むことで、浜松市に全国から人を呼び込むことを目指した施策を展開している。



図- 2 ドローン航路開通式典の様子  
(出典：株式会社フジヤマ HP)

## 2. 新産業としての無人航空機の動き

### (1) 概要

現在、物資輸送、防災、インフラ点検等、様々な分野でドローン活用が広がることが期待されており、

ドローンの世界市場規模は大きく拡大することが予測されている。

浜松市内だけでなく、商業応用においては物流・インフラ点検・農業、災害対応など多くの分野に広がりを見せ、無人航空機活用の市場規模の拡大とサービス化の拡大が顕著である。政府は、「空の産業革命」ロードマップや研究開発支援、同時多機運航の実証促進を通じて官民連携を強化し、ドローンポートや機体認証、人材育成といった実務的課題の解決を図っている。

### (2) 地場産業としての素地

天竜川が位置する浜松市は、古くからのものづくり技術を基盤として、楽器、輸送用機器、光・電子分野の世界的企業を輩出するなど、着実な発展を遂げており、これらの地場企業には多くの優秀な技術者がいる。

近年では、輸送用機器産業が中心となって地域産業をけん引してきたが、国内市場の縮小、海外生産へのシフトなどにより、リーマン・ショック以降の製造品出荷額は伸び悩んでいる。

こうした中、地域経済の持続的な発展には、地域全体が一体となって、既存産業の高度化を図るとともに、これからの成長分野へ果敢に挑戦し、新たな産業を創出、集積することが必要であり、それには新技術・新製品の開発や新事業展開など、企業の創造と革新への取り組み、すなわちイノベーションへの挑戦が不可欠である。

### 3. 天竜川における河川空間のオープン化

前項までに示した浜松市の状況等を踏まえ、天竜川の河川空間を地域活性化に活用する案として、国土交通省浜松河川国道事務所と浜松市等では、平成29年度より「天竜川ミズベリング協議会（準備会）」を設立し、天竜川の水辺空間を活かしたまちづくりを進めている。当該協議会において、天竜川下流右岸側（東名高速道路から天竜川河口）の区域にて、日常的に人が集う憩いの場、にぎわいの場、学びの場等として、より一層活用して浜松市の活性化につなげようと、天竜川の利活用を検討し、河川のオープン化に資する社会実験を進めることになった。

このオープン化社会実験では、本格運用に向けた課題の抽出、地域活性への仕組みの検証等、社会実験への取り組みを行うものであり、現在実施中である（実施期間：令和9年3月末までの予定）。



図-3 社会実験募集チラシ

#### 4. 天竜川河川空間での無人航空機を活用したオープン化の取り組み

##### (1) 天竜川河川空間における無人航空機の活用経緯

本取り組みにおいて、浜松市内及び天竜川流域の参加者約70名が集まって、天竜川の水辺に人を呼び込むためのアイデア出しを行うワークショップを、平成29年度から計2回実施した。その中で、ドローンを用いて、天竜川のにぎわいを創出するというアイデアが生まれた。

##### (2) 無人航空機を活用した河川空間活用の取組内容

無人航空機を活用した河川空間のオープン化に資する取り組みとして、令和4年度から、浜松市河輪地区に位置する「河輪地区 水辺の楽校」を活用し、民間組織である「一般社団法人 静岡県無人機安全協会」が「天竜川ミズベリングドローンフィールド」として、無人航空機の機体開発や研究、操縦者の育成フィールドとして将来的に当該区域を実装するための社会実験が行われている。

本社会実験の実施主体である一般社団法人 静岡県無人機安全協会は、実際に当該フィールドを利用した民間企業の利用調整や地域住民との調整を行っている。

令和5年度には2団体が計23回利用していたところに対し、令和6年度には4団体が計46回利用しており、利用頻度が増加傾向にある。無人航空機の操縦等に関して需要があることが推察されるとともに、本フィールドの認知度が向上しており、本フィールドが地場産業に貢献していることも考えられる。



図-4 天竜川ミズベリングドローンフィールドでの無人航空機飛行の様子

##### (3) 地域住民との調整

天竜川ミズベリングドローンフィールドが位置する「河輪地区 水辺の楽校」は、浜松市 河川課が河川管理者である国土交通省浜松河川国道事務所から環境教育の場として占用している。浜松市河川課より、地元NPO団体である「NPO法人 水辺の里まちづくりの会」に水辺の楽校の維持管理を委託している。

前述のとおり、社会実験の実施主体である「一般社団法人 静岡県無人機安全協会」は、本フィールドを実際に利用する民間企業の利用調整や安全管理を行っている。加えて、地域住民との調整として、維持管理主体である、「NPO法人 水辺の里まちづくりの会」との利用調整を行っている。

ドローンフィールドで利用される際には、社会実験主体である静岡県無人機安全協会と、維持管理主体であるNPO法人水辺の里まちづくりの会が密に連絡を取り合いながら、天竜川ミズベリングドローンフィールドの利用者と利用者以外との利用調整を実施している。本社会実験においては、これらの調整において、地域住民との利用調整が円滑に行われており、問題点等についても逐次共有がされている状況である。本取組における各関係者の役割・関係性については、図-5に示す。

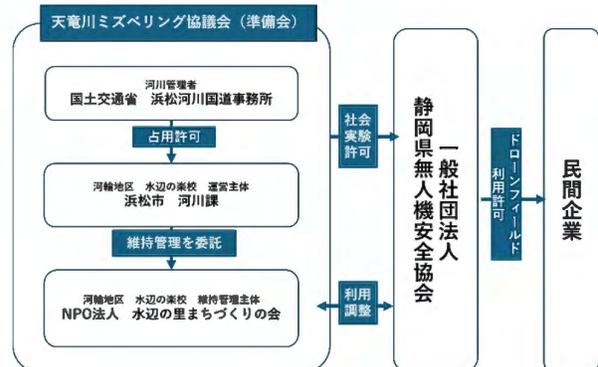


図-5 天竜川河輪地区を取り巻く関係者

##### (4) 天竜川ミズベリングドローンフィールドでの社会実験実施者の取組内容

本社会実験の実施主体である、一般社団法人静岡県無人機安全協会についても、河輪地区水辺の楽校の利用調整だけではなく、ドローンによる不法投棄調査や河川区域内の不法利用調査、水辺の楽校内の草刈りといった、河川区域の維持管理に寄与する取り組みを行っている。そのことにより、維持管理に寄与することに加え、効率的な河川管理における情報収集や担い手不足にも対応しており、河川管理の効率化・高度化に寄与している。

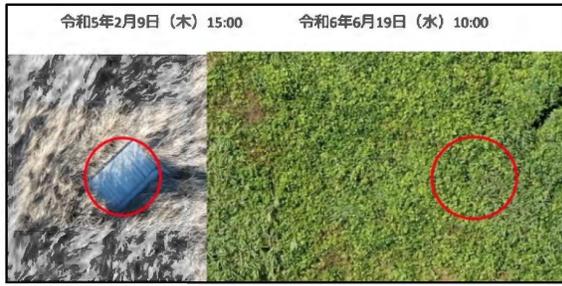


図 6 ドローンによる不法投棄調査

## 5. 天竜川河川空間での新産業育成の展望

令和4年度より、河輪地区での「天竜川ミズベリングドローンフィールド」の運用により、無人航空機という新産業の育成に寄与する河川空間での環境が整備されてきた。それに伴い、利用者数の増加とともに、認知度も着実に向上している。

加えて、水辺空間の活用の主流であるオープンカフェやキャンプ場での河川空間の活用とは違い、産業発展に寄与するための河川空間の活用については全国的にも実装がされていない状況にあることから、新たな活用方法として天竜川の河川空間活用の取り組みは注目を集めている。加えて、天竜川河川上空におけるドローン航路の整備によって、天竜川での無人航空機の活用については注目を集めている。

これらの点から、本フィールドや取り組みを実施する上での環境整備を行い、本取組を令和9年3月末の社会実験終了以降も継続的に利活用を実施することができるような基盤を、民間企業だけでなく、天竜川ミズベリング協議会（準備会）も連携しながら整備していく必要がある。

そのためには、「天竜川ミズベリングドローンフィールド」を、河川区域を活用する上での公的な無人航空機の機体開発・研究フィールドとして位置づけることと、継続的な活動やフィールドの維持管理を行うためのビジネスモデルの見通しを立てる必要がある。そのため、本フィールドを国土交通省が河川空間のオープン化に資する取り組みとして位置づけ、河川区域内での営利行為を可能とする、「都市・地域再生等利用区域」に指定することを目指す。社会実験終了後も継続的に本フィールドを活用できる環境を整備する必要がある。ただし現段階では、占有スキームや実施可能なビジネスモデルの構築に課題が残されている。このためビジネスモデルの見通しを立てつつ継続的に運用できるような、事業スキームを組み立てる必要がある。

そして、天竜川ミズベリングドローンフィールドでの天竜川河川空間での産業育成の場をモデルケースとして、都市・地域再生等利用区域の指定を目指すことによって、天竜川の他地域の河川敷においての水平展開を図り、産業発展という観点からのにぎわい創出を図ることを今後の展望として見据えている。

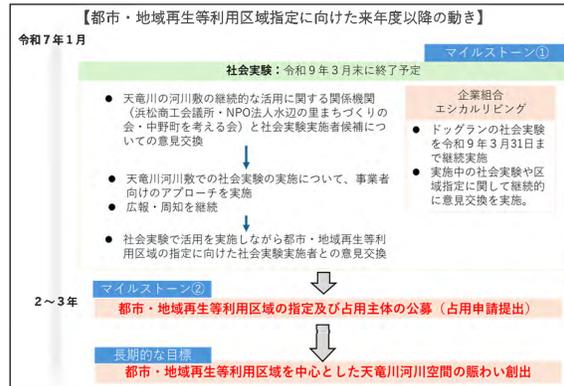


図 7 都市・地域再生等利用区域指定に向けた動き

謝辞：天竜川社会実験に参画していただいている民間企業・団体および、活動趣旨に賛同し協力いただいている地域自治会等の皆様に対し、この場を借りてお礼を申し上げます。

なお、今回取りまとめた河川空間を利用した地域活性化への取り組みについては、ミズベリング遠江のFacebookとInstagramのページにて、活動状況等を随時確認できることをお知らせする。

【ミズベリング遠江 Facebook】  
<https://www.facebook.com/mizberinghamamatsu/>

【ミズベリング遠江 Instagram】  
[https://www.instagram.com/mizbering\\_tohtoumi/](https://www.instagram.com/mizbering_tohtoumi/)

# 堤防，河道および河川構造物 の監理検討

○千村紘徳<sup>1</sup>・岩田経<sup>1</sup>・加藤秀一<sup>1</sup>・後藤健太<sup>1</sup>

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

庄内川において，河川を適切かつ適正に維持管理するため，変状に対する健全度評価を実施し，予防保全段階であるc評価となった変状について，対策工法と対策優先度の検討を行い，モニタリング計画案を作成した。

**Key Words** : 河川管理施設，健全度評価，総合評価，評価指標，評価手法，対策優先順位，モニタリング計画，河道管理

## 1. はじめに

庄内川河川事務所の直轄管理区間を対象に，河川の維持管理を適切かつ適正に遂行していくため，河川特性を踏まえたPDCAサイクル型河川管理の継続と改善に向けた基礎資料を作成した。

具体的には，堤防等の点検結果等を基に異状・損傷の程度および進行の可能性を評価した。さらに，河川管理に与える影響等を分析し，対策優先順位を検討した。

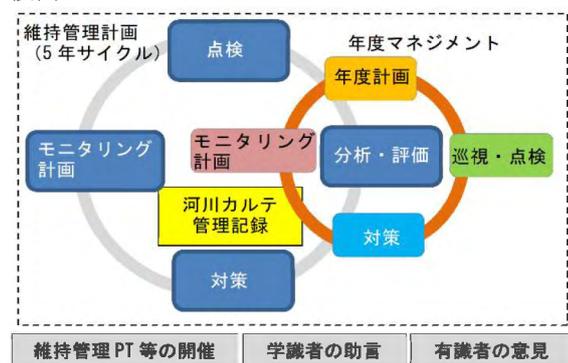


図-1 PDCAサイクルのイメージ

## 2. 河川管理施設の健全度評価

### (1) 健全度評価の概要

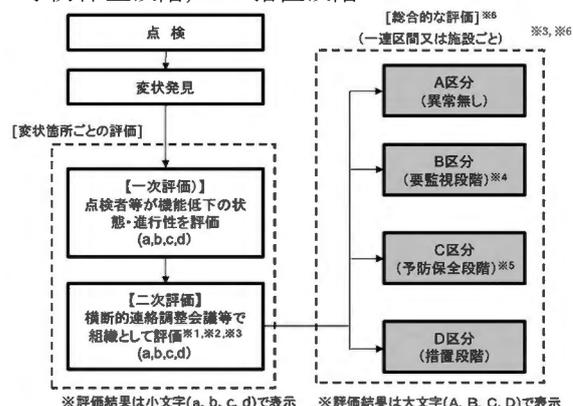
別途，実施された堤防点検と構造物点検の結果，

変状が発見された個別の箇所については，RiMaDIS（河川巡視・点検・対策等の維持管理業務を支援する全国統一版データベースシステム）に記録が登録される。この記録を確認し，個別の変状に対して健全度評価（一次評価）を実施した。一次評価については，小文字のアルファベットa～dで表記した。

a：異常なし， b：要監視段階，  
c：予防保全段階， d：措置段階

その後，事務所内で開催される横断的連絡調整会議等で二次評価が決定される。この二次評価結果を踏まえ，一連区間または施設ごとの総合的な評価を実施した。総合的な評価については，大文字のアルファベットA～Dで表記した。

A：異常なし， B：要監視段階，  
C：予防保全段階， D：措置段階



※評価結果は小文字(a, b, c, d)で表示 ※評価結果は大文字(A, B, C, D)で表示

図-2 評価の手順

## (2) 庄内川独自の評価指標の作成

河川管理施設の健全度評価（一次評価）を実施する際には、堤防等河川管理施設及び河道の点検・評価要領<sup>1)</sup>を参考にすることが基本である。この要領には、変状の種別ごとに評価の判定目安が定められている。ただし、この要領は全国で共通のものであり、河川ごとの特性が考慮されていない。また、定性的な評価の判定目安が多い。

庄内川の特性について、主に愛知県内の中下流域と、岐阜県の上流域に分類できる。中下流域は名古屋市などの都市を流下しており、家屋が近接し、堤防天端は兼用道路として利用されている。一方、上流域の多くは堀込河道である。

定性的な判定目安に基づく評価については、評価者の裁量で実施することになる。そのため、評価者ごとに評価結果が異なるものになる懸念がある。

これらの特性を踏まえ、評価者の裁量に左右されず、定量的な評価が可能で、庄内川の特性を反映した独自の評価指標をフロー形式で作成した。

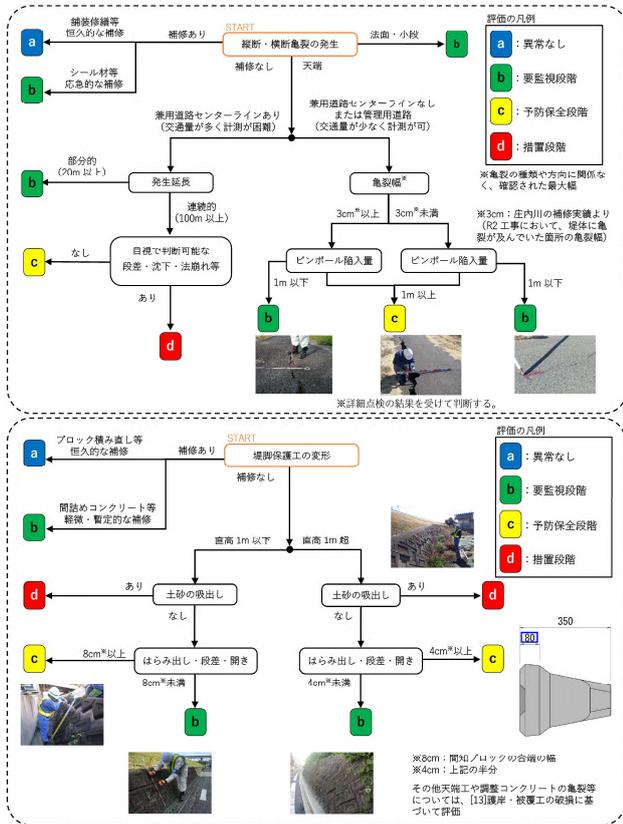


図-3 庄内川独自の評価指標（上：亀裂，下：堤脚保護工の変形）

## (3) 一次評価の実施

別途、実施された堤防点検の結果に対し、作成した庄内川独自の評価指標に基づいて一次評価を実施した。一次評価の結果を集計し、一覧表へ整理、平面図へ位置を明記、出張所や左右岸ごとの変状種や評価結果の統計を示した円グラフを作成した。

表-1 一次評価結果の一覧表（評価と評価根拠部分の抜粋）

c	※補修中 樹木は堆積土からの生育であるが、高木のため漂着物の堆積を助長する要因となるため、c評価とする。
c	護岸の陥没、沈下には至っていないが、空洞が見られるためc評価とする。

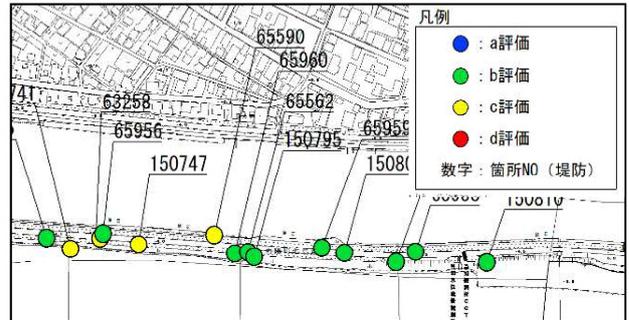


図-4 一次評価結果の位置図

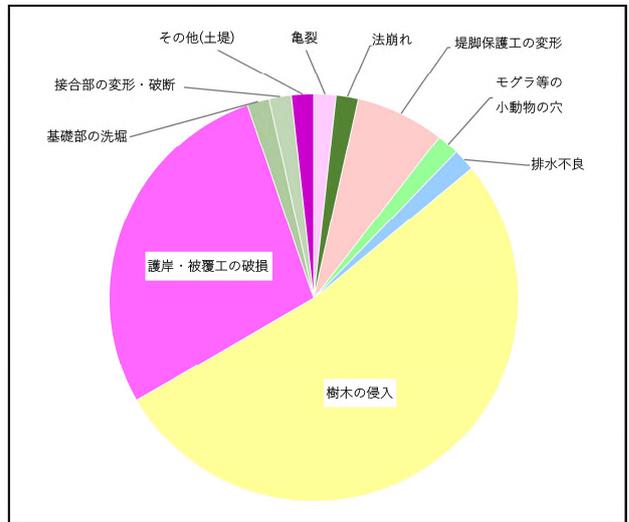


図-5 評価結果の統計を示した円グラフ

## (4) 総合的な評価の実施

堤防等河川管理施設及び河道の点検・評価要領<sup>1)</sup>には、河川管理施設の一連区間の評価（総合的な評価）を実施するための具体的な方法が示されていない。このため、総合的な評価の指標を新たに作成した。なお、一連区間は過年度の業務で設定された。

堤防の総合的な評価について、堤防の一次評価を踏まえて実施することが自然である。ただし、堤防の変状が進行する要因は、経年的な要因と外力的な要因に分類される。特に外力的要因は洪水の影響が大きく、この洪水の影響は水衝部や流下能力などの河道条件と関連する。

したがって、総合的な評価について、堤防と河道の両者の観点を踏まえて実施した。堤防の指標として一次評価の結果と変状の密集度を、河道の指標として重要水防箇所や流下能力等の有無を設定した。



的な対策工法と恒久的な対策工法を検討した。

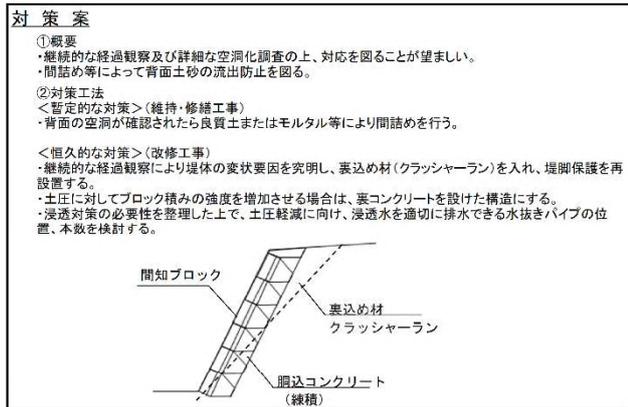


図-7 対策工法の検討 (堤脚保護工の変形)

#### 4. モニタリング計画

##### (1) モニタリング計画の概要

点検で確認された変状箇所の進行状況等を把握し、洪水等による災害発生を防止するため、継続的にモニタリングすることが重要である。そこで、継続的にモニタリングするため、ポイント、時期、および頻度等を検討し、モニタリング計画を作成した。モニタリングの対象箇所は、堤防および河川構造物点検結果 (c, d評価), 防災・減災, 国土強靱化のための3か年緊急対策箇所, 代表的な施工箇所 (維持修繕箇所) である。

##### (2) モニタリング計画の見える化

モニタリング調査の平易化や効率化を図るため、確認すべき点, 進入するルート, および注意すべき点等を記載した平面図を作成した。

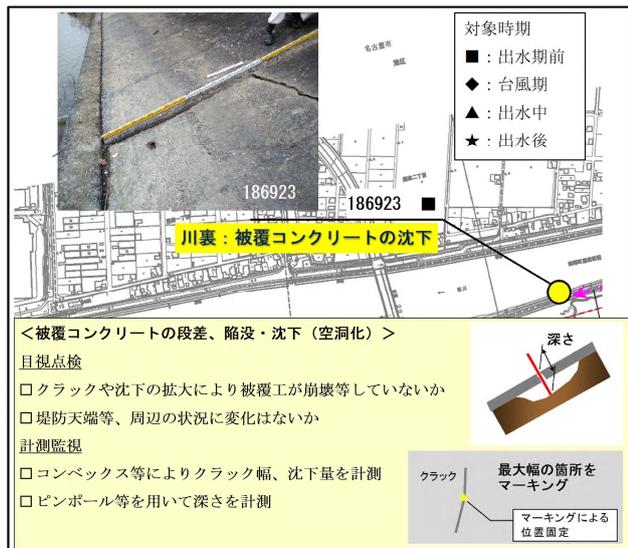


図-8 モニタリング平面図

#### 5. 樹木管理用カルテ

庄内川では、c評価の中で樹木の侵入の割合が特に高い。そのため、現場実務的な観点で樹木を管理できるよう、チェックリスト形式の樹木管理用カルテを作成した。また、チェックした項目に応じて個々の箇所を点数化できる様式としたため、ある程度、樹木の侵入による危険度を判断できる。

■形状・寸法		クスノキ	
樹種		樹高H	8 m
		胸高直径D	0.40 m
		樹形H/D比	20
		繁茂位置	川表HWL以下

■点数化	配点	-3	0	1	2	3
樹高		-	伐採済	2m未満	2~10m未満	10m以上
樹形H/D比		-	伐採済	25未満	25~50未満	50以上
繁茂位置		-	伐採済	川裏:住宅近隣なし	川表:HWL以上	川裏:HWL以下 川表:住宅近隣あり
密集度		-	伐採済	1本	2~8本	10本以上
環境面	<input type="checkbox"/> 桜並、神木、公園利用者などからの存続の要請あり		<input checked="" type="checkbox"/> 桜並、神木ではない公園利用者などからの存続の要請なし 伐採済	-	-	-
合計				8点		

■写真	写真1	写真2
	写真3	写真4

図-9 樹木管理用カルテ

#### 6. おわりに

本業務は、庄内川の直轄管理区間を対象に、河川の維持管理を適切かつ適正に遂行することを目的に、評価指標の改善, 優先順位, およびモニタリング計画等について検討したものである。

今後、継続的にPDCAサイクル型の河川管理を行う上で、今後に向けた課題を整理する必要がある。

庄内川河川事務所が管理する庄内川と矢田川では、概ね5年程度のサイクルを目安としたマクロ的観点における河川維持管理計画が策定されている。さらに、ミクロ的 (実務レベル) な観点で河川管理の向上につなげていくために、以下の取り組みが必要である。

- ・整理・検討した河川の状態把握, 評価, 対策を河川管理の年度マネジメントとして活用する。
- ・今後の継続業務でもデータの蓄積, 評価, 改善を繰り返す。

#### 参考文献

- 1) 国土交通省 水管理・国土保全局 河川環境課: 堤防等河川管理施設及び河道の点検・評価要領, 2023. 3

# 地域の実情に応じた持続可能な水循環のあり方の検討

○大嶋謙介<sup>1</sup>・岩田経<sup>1</sup>・成瀬幹信<sup>1</sup>・五島諒<sup>1</sup>・島田嘉樹<sup>1</sup>

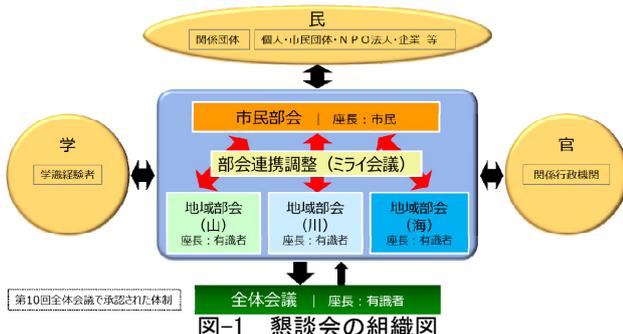
中央コンサルタンツ株式会社（〒460-0002 愛知県名古屋市中区丸の内三丁目22番1号）

2009年7月、河川法に基づいて「矢作川水系河川整備計画」が策定され、様々な課題に対し、民・学・官の連携・協働による取組が必要であることが明記された。これを受けて、河川管理者だけでは解決できない課題に対して、民・学・官の連携・協働による取組を行うために「矢作川流域圏懇談会」を設立する旨が明記された。「矢作川流域圏懇談会」は山・川・海・市民の4つの部会で構成され、地域の課題を抽出して課題解決に取り組んできた。本稿では、各部会の部会活動や流域市民への情報発信等の活動内容を報告するとともに、これらの活動を通じて、今後の「流域総合水管理」に向けた幅広い主体間の交流・連携のあり方について提案する。

**Key Words** : 流域総合水管理, 矢作川, 公開講座, 流域連携イベント, 鼎談, 関連組織のネットワーク化, 担い手確保, 水循環, 流域づくり

## 1. はじめに

長野, 岐阜, 愛知の3県を流れる矢作川には、矢作川沿岸水質保全対策協議会の活動に代表されるように、「流域は一つ、運命共同体」という共通認識のもとで様々な課題に取り組んできた歴史がある。2009年7月、河川法に基づいて「矢作川水系河川整備計画」が策定された。整備計画には治水, 利水, 環境, 総合土砂管理, 維持管理などの課題に対し、民・学・官の連携・協働による取組が必要である旨が明記された。これを受けて、国土交通省豊橋河川事務所は河川管理者だけでは解決できない課題に対して、流域住民・関係機関を含めた連携・協働により、流域圏全体の発展につなげることを目指す「矢作川流域圏懇談会」（以下、懇談会とする）を2010年8月に設置した。懇談会は、市民部会・地域部会（山・川・海）の4つの部会を中心に議論や現地視察、流域市民への情報発信を通じて課題解決に取り組んでいる。



## 2. 領域（山・川・海）ごとに抱えている問題と市民部会の役割

### (1) 山間部で発生している問題

山間部で発生している問題を意見交換・情報共有する山部会では「人と山村」と「森林」の問題に分けている。「人と山村」の問題は少子高齢化や過疎化により、消滅する集落が増えていることである。「森林」の問題は巨木化した森林の適切な管理が行われず、森林の持つ水源涵養機能の低下や土砂流出リスクが増加していることである。山間部の問題を解決するために、「山村の再生（担い手づくり）」、「担い手づくりの支援」、「上下流のビジネスサイクルをつなぐ」、「矢作川流域圏の森づくり・木づかいガイドラインの策定」を目標としている。



図-2 適切な管理がされていない山林の状況

## (2) 河川で発生している問題

河川で発生している問題を意見交換・情報共有する川部会では「川に関する問題」と「地先に関わる問題（河川空間や保全等の川の周辺を結ぶ問題）」に分けている。川に関する問題は土砂問題、水質問題、河川内の生物多様性等であり、地先に関わる問題は川まちづくり、流域全体の防災、外部団体とのネットワーク等の問題が挙げられる。これらを解決するために川部会では「河道に関する課題（本川・支川）」、「流域圏に関する課題」、「交流・共有に関する課題」の3つに分類している。これまでは山から海まで各領域で管理していたが、すべてをつなぐ役割としての河川がプラットフォームとなることを目標としている。



図-3 河床のアーモークート化の状況（土砂問題）

## (3) 海で発生している問題

海で発生している問題を意見交換・情報共有する海部会では「豊かな海」、「海と人との絆」、「ゴミ問題」、「土砂問題」の4つに分類している。特に近年は、水産資源の劣化が顕著であるため、下水道管理運転やゴミ問題、土砂問題等の意見交換・情報発信を通じて、急激に変化している三河湾の原風景を取り戻すことを目標としている。



図-4 海岸に漂着したゴミの状況

## (4) 市民部会の役割

市民部会は地域部会（山・川・海部会）で議論した内容に横串を通すような存在として、流域連携や地域部会合同の勉強会や流域連携イベントへの参加を通じて、地域部会の活動の情報発信等に取り組んでいる。

## 3. 懇談会の主な取り組み

各領域の課題を解決するためには河川管理者だけでは解決できないため、流域住民・関係機関を含めた連携・協働が必要である。懇談会では各部会で学識者・行政・関係団体・市民団体などのメンバーが連携して地域の課題を抽出し、その解決方法を探っている。近年の主な活動として、以下が挙げられる。それらについて以降に詳細を記載する。

- (1) 各部会WG・FWによる議論・現地視察
- (2) 流域圏担い手づくり事例集等の冊子の刊行
- (3) 流域連携イベントでの情報発信
- (4) 公開講座での情報発信

### (1) 各部会WG・FWによる議論・現地視察

懇談会は2025年8月時点で、422名、129組織（行政、NPO団体、学識者、個人等）が活動しており、各部会で設定した課題解決に向けて年2、3回の議論（WG）や適宜、現地視察（FW）を実施している。



図-5 山部会で開催されたFWの様子

### (2) 流域圏担い手づくり事例集等の冊子の刊行

「流域圏担い手づくり事例集」は山部会の中で「人と山村」の課題を解決するための糸口として、矢作川流域等で中山間地振興、川や海の環境保全活動や水辺空間の再生・利活用に携わる団体等への取材記録をまとめ、流域内の多様な主体によるネットワークづくりを支援する目的で刊行している。これまでに8冊刊行しており、新たに事例集Vと事例集VI-1を刊行した。2024年2月に刊行された事例集Vでは海に流域の問題が集約されることから伊勢湾・三河湾の豊かさをテーマとしている。2025年2月に刊行した事例集VI-1では、2025年6月に答申された「流域総合水管理のあり方について」に先んじて、「流域総合水管理」をテーマとした。他にも懇談会のこれまでの活動記録を記した「10年誌」や林業の現場に関する内容を記載した「森の人をつなぐ」を刊行している。これらの冊子は、懇談会メンバーが中心となって作成・配布等を行っており、懇談会メンバーの多様なネットワークを活用して外部団体等に配布している。特に、新たに刊行した事例集V、事例集VI-1はそれぞれ500冊以上配布しており、懇談会から流域市民に向けた重要な情報発信源となっている。



図-6 「流域圏担い手づくり事例集V」および「流域圏担い手づくり事例集VI-1」

### (3) 流域連携イベントでの情報発信

矢作川流域圏付近で実施されているイベントや全国のイベント（いい川・いい川づくりワークショップ等）にも参加し、懇談会活動の紹介や流域の課題等の情報を発信した。直近の活動として以下を紹介する。

#### a) 事例集交流会（鳥羽市）

事例集交流会は流域圏担い手づくり事例集の取材対象者との交流の場として設け、事例集に記載しきれなかった活動報告や取材者同士の交流等を目的として開催している。当日の事例集交流会には41名、翌日のエクスカッションには27名の参加があった。

海をテーマとした事例集であったが、山部会会員からも多数の参加を頂き、部会間の情報共有、課題認識につながった。



図-7 事例集交流会の状況

#### b) 矢作川感謝祭・三河湾大感謝祭（豊田市・蒲郡市）

2024矢作川感謝祭・第11回三河湾大感謝祭では流域市民に向けた情報発信として多数の団体の協力のもと、「食」をきっかけに矢作川流域圏懇談会の活動や流域の課題を共有した。山の獣害、水産資源の劣化状況、安城市で実施している水田貯留事業等の山から海までの幅広い視点で食を通じた情報を発信した。



図-8 矢作川感謝祭の状況



図-9 三河湾大感謝祭の状況

#### c) いい川・いい川づくりワークショップ（白山市）

全国各地のかわづくりに携わる関係者が一堂に会するいい川・いい川づくりワークショップは「各団体が事例や取り組み、思いを持ち寄り、発表、議論することにより、「いい川・いい川づくり」のビジョン、イメージの共有をすること」を目的に開催され、懇談会も参加し、事例発表を行った。過去には2013年11月に東京で開催された第6回の発表では「水と人が山・川・海の流域を繋ぐで賞」の入選をいただいた。



図-10 いい川・いい川づくりワークショップの状況

#### d) 多摩川流域懇談会との交流（川崎市）

同様の取組をしている多摩川流域懇談会との交流会を実施した。多摩川流域懇談会は1998年より活動を続けており、長期にわたって活動している。矢作川流域と多摩川流域では同程度の流域面積を持ちながらも、人口密度が大きく違うことや、山間部の特性・河床材料の違い等から、「流域特性の違い」、「流域が抱えている課題が異なること」、「流域内の都市部の住民が河川に関わることの重要性」等の新たな知見を得られた。



図-11 多摩川流域懇談会との交流状況

#### (4) 公開講座での情報発信

懇談会メンバーが中心となって企画したテーマに沿って、現地・オンラインのハイブリッド形式で配信し、アーカイブについてもYoutube上で配信する形式の公開講座を開催した。これまで4回開催しており、第5回公開講座のテーマは「流域総合水管理」とした。「流域総合水管理のあり方について」の答申に先立ち、2024年12月に開催し、延べ148名の参加があった。また、この公開講座の内容を文字起こしする形で、前述した流域圏担い手づくり事例集VI-1として掲載している。

具体的な公開講座の内容は「流域総合水管理」を地域で実現するためにはどのような手法があるか等を議論し、最後には参加者との意見交換を実施した。



図-12 第5回公開講座の状況

#### 4. 本業務の成果と今後に向けて

食を通じた情報発信では、懇談会の様々なネットワークを活用して自治体や関係団体との連携、イベントへの出展により、流域市民が流域の恵みや課題を知るきっかけとなった。流域市民が「じぶんごと」として捉えることは行政・企業等の行動変化につながるため重要である。

第5回公開講座には合計150名程の参加があった。また、これまでに公開講座だけでも5回実施し、流域圏担い手づくり事例集（旧山村担い手づくり事例集も含む）は10冊刊行しており、130団体への取材を重ねてきた。取材や企画は懇談会メンバーが中心となって活動しており、今後の人口減少社会・人員不足の中で河川・流域管理をしていくための仕組みとして貴重な事例である。

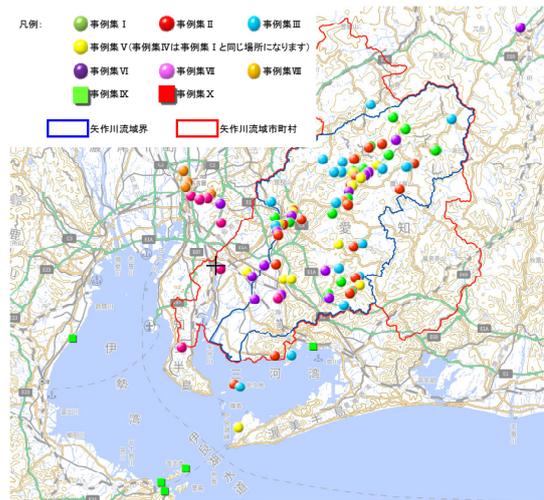


図-13 これまでの事例集取材対象者マップ

近年では、人口減少、貧栄養、水産資源の劣化、森林の巨木化、災害・濁水リスクの増加、インフラの老朽化等の様々な問題が発生している。これらの問題を解決するためには各領域の個別最適解ではなく、各管理者が議論を重ね、流域全体での最適解を目指していく必要がある。そのためには、河川管理者のみではなく、他分野との交流・連携や流域市民の理解醸成が不可欠である。これにより、「利益相反の調整」や「相乗効果の発現」を図り、地域の実情に応じた持続可能な水循環のあり方を検討することで地域と一体となった流域管理を実践していくことが可能となる。懇談会のように、幅広い主体間の交流・連携やプラットフォームの構築は、地域の実情に応じた持続可能な流域管理につながると考える。

懇談会の活動は、「流域総合水管理」における「流域の課題や多様なニーズ等の共有」と一致しており、今後も幅広い主体間の交流・連携により、事例集の刊行や公開講座等の実施による情報発信や新たに答申された「流域総合水管理」の実現に向けて意見交換を実施していく。

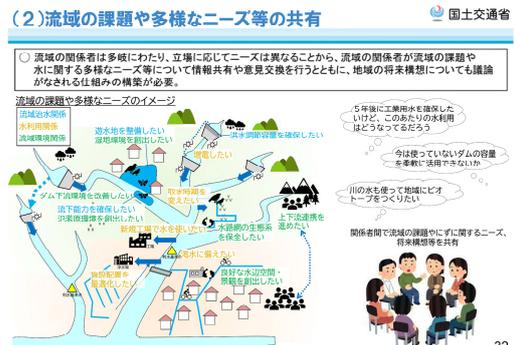


図-14 流域総合水管理のあり方について 参考資料<sup>1)</sup>

謝辞：本業務の実施にあたりご指導、ご協力を頂きました豊橋河川事務所の職員の皆様方・懇談会メンバーに感謝の意を表します。

#### 参考文献

- 1) 国土交通省:流域総合水管理のあり方について 答申 参考資料 令和7年6月,p32

# 海岸施設の更新と長寿命化の判断に関わる調査について

○岡田尚美<sup>1</sup>・安藤智史<sup>1</sup>・前菌隆宣<sup>1</sup>・平田保祐<sup>1</sup>・加藤義規<sup>1</sup>

<sup>1</sup>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)

社会インフラの老朽化対策が課題となる中、本業務では約60年前に整備された海岸部の樋門を対象に、補強による長寿命化が可能かを判断するための詳細な調査を実施した。当該樋門は漂砂の流入により内部に最大約1.0 mの土砂が堆積し、調査の支障となっていた。そこで、地元自治体と連携して干満差を利用したフラッシュ操作により樋門内部の土砂を排除して構造物の調査を実施した。調査結果に基づき、劣化状況と耐震性能を総合的に評価した。調査の結果、鉄筋位置の塩化物イオン濃度が腐食発生限界を超過しており、通常の補修では対応困難な塩害の進行が確認された。さらに一部構造部材の耐力不足も判明したことから、施設の長寿命化が困難であり、全面的な更新が妥当と判断した。

**Key Words** : 海岸施設, 樋門, 長寿命化, 耐震性能照査, 現地調査

## 1. はじめに

高度経済成長期に集中的に整備された社会インフラが更新時期を迎えつつあり、老朽化施設の維持管理と更新・延命化が大きな課題となっている。

本稿では、海岸に位置し、築後約60年を経過した樋門を対象に、「更新」または「補強による長寿命化」の判断材料とすることを目的として実施した構造物調査および耐震照査について、現地調査における創意工夫、劣化度合いの定量評価、ならびに性能の検証を行った事例を紹介する。

## 2. 調査対象樋門の概要

調査対象の樋門は、内空高約3.3m、幅2.0mの2門からなる樋門であり、全長は約70mに及ぶ(図-1)。当該樋門は、門柱を3基有し、現場打ち鉄筋コンクリート造で築造されている(図-2)。昭和30年代後半に完成して以来約60年が経過した施設であり、経年により図面などの資料が無く構造詳細が不明な状況にあった。現地で確認した結果、樋門は、中央付近より海側がB2000mm×H2500mmのRC構造、陸側がφ2000mmのHP構造であった。HP部は目視で健全な状態の二次製品であり、調査対象外とした。また、吐口部は、損傷が激しく取壊しが決まっていることから調査対象外とした。

当該樋門は、干満の影響を受ける厳しい塩害環境下にあるため、鉄筋等鋼材の腐食劣化が懸念されたが、高波浪時の土砂の打込みにより樋門内部に土砂が1m近く堆積しており、調査開始段階では床版部を目視確認できない状態であった。加えて、当該樋門

は敷高が平均干潮位程度であり、大潮の干潮時の限られた時間帯でしか直接観察できないという潮位上の制約も抱えている。このように厳しい現地条件のもと、樋門の調査を実施した。



図-1 対象樋門を下流側から望む

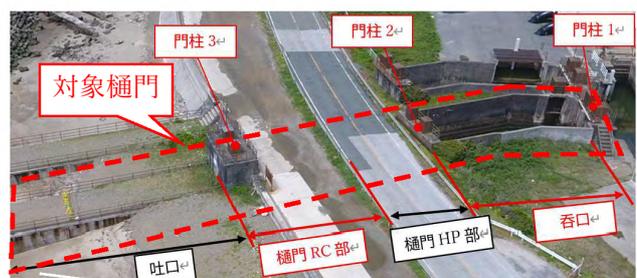


図-2 施設位置図

### 3. 調査方法と工夫

樋門の実態把握にあたっては、現地条件に応じた創意工夫により必要な調査を行った。

調査ではまず堆積土砂の除去を目的に、樋門のゲート操作による排砂を実施した。排砂は、施設管理者である地元自治体の協力のもと、干満差の大きい大潮時に潮位差を利用してゲートを開放し、樋門内部に堆積した土砂を流水で洗い流すフラッシュ操作により行った（図-3）。これにより、堆積土砂を厚さ0.2m～0.6mに減らすことができた。

排砂後、地元自治体の協力のもと、ゲートを閉鎖して樋門内部へ立ち入り調査を行った。特に通常は水没している床版については、大潮干潮時に、調査必要範囲について排砂しきれなかった土砂を人力掘削して木製の簡易土留めを設置し、さらに仮締切を設置して止水し、水中ポンプで排水しながら躯体表面を露出させて調査を行った（図-4）。完全ドライである必要がある調査のみ大潮干潮時（深夜）に実施し、その他の調査は昼間に実施する等、綿密なスケジュール管理により、可能な限り作業員の負担軽減を図った。

露出させたコンクリート躯体に対し目視調査を行い、ひび割れ・剥離や鉄筋露出等の劣化損傷を記録した。加えて、コンクリート内部の鉄筋状況を把握するため、電磁波レーダーによる鉄筋探査およびはつり調査を実施し、鉄筋かぶりや鉄筋配置、鉄筋径、鉄筋腐食度を調査し、小口径コア抜きにより部材厚を確認した。コンクリート劣化の程度を定量的に評価するため、コンクリートコアを各部材から採取し、圧縮強度試験および塩化物イオン濃度試験を室内で実施した。さらに、現況構造の耐震性能照査を実施するため、調査で得た寸法・配筋や材料強度を反映した現況樋門構造のモデルを構築した。



図-3 フラッシュ操作（排砂）状況



図-4 簡易土留めと止水状況

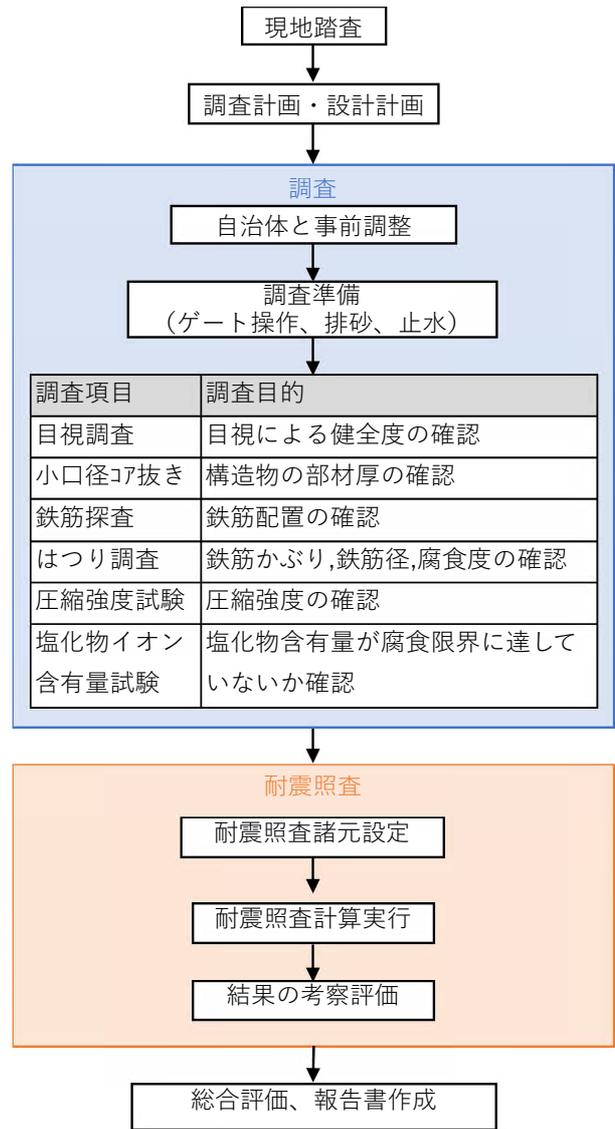


図-5 業務フロー

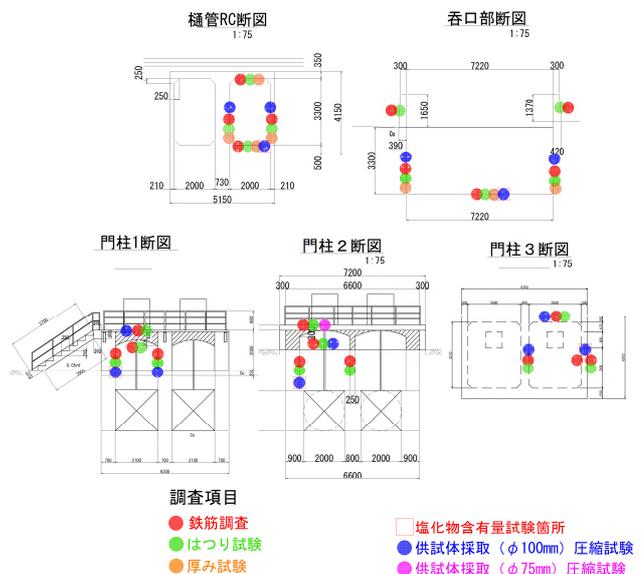


図-6 調査位置図

#### 4. 調査結果および耐震性能の評価

##### (1) 構造物調査結果

調査により、樋門躯体コンクリートの各所でひび割れや鉄筋腐食に伴う錆汁の滲み出しが確認された。特に陸側の門柱では、鉄筋腐食の進行によるコンクリートかぶりの剥離・破損が複数箇所で見られ、一部では鉄筋が露出して断面欠損を生じていた（図-7）。ただし、採取したコア供試体の圧縮強度は、全て現行基準での設計基準強度（24N/mm<sup>2</sup>）を上回った。

一方、コンクリート中の塩化物イオン濃度は極めて高く、表層から鉄筋位置に至る全深度で「農業水利施設の長寿命化のための手引き（平成27年11月）農林水産省農村振興局」<sup>2)</sup>で示されている腐食発生限界塩化物イオン濃度とされる1.2kg/m<sup>3</sup>を超過している（図-8）。このように塩害が深刻に進行していることが判明した。

鉄筋腐食度の評価では、陸側の門柱1および門柱2の一部で腐食度Ⅲ（鉄筋全周にわたる腐食）が判定され、著しい鉄筋腐食が進行していることが判明した。海側の門柱3や呑口部についても、鉄筋位置で限界濃度超過の塩化物イオン濃度が検出されたが、調査位置のかぶり厚が門柱1に比べ20～30mm程度大きいこともあり腐食度Ⅰ（軽微な腐食）に留まった（表-1）。樋門RC部は、頂版のかぶり厚のみが18mm～30mmと薄く、腐食度Ⅱ（表面の大部分が腐食して、部分的に断面が欠損している）と判定され、頂版のみ鉄筋腐食が進行していることが判明した（図-9）。

##### (2) 耐震照査モデルの作成

構造物調査結果に基づいて、現況樋門（樋門RC部、門柱）の照査モデルを作成した。

樋門RC部は、竣工当時の台帳では B2.00×H2.50m×2門であるにも関わらず、構造物調査による断面がB2.00×H3.30m×2門であること、頂版のみ丸鋼ではなく異形棒鋼であることから、竣工当時より頂版が0.8m高く改築されていると想定される。よって、本業務では、①竣工当時の断面、②現況の断面（改築後）の2ケースで構造照査を実施した（図-10）。

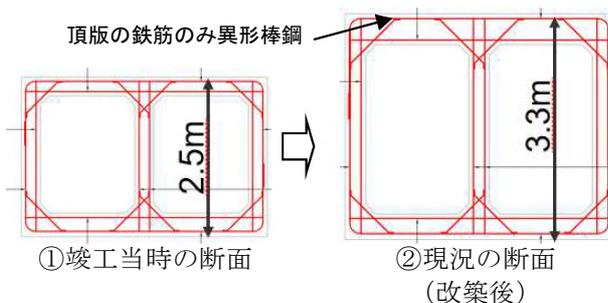


図-10 計算モデル（樋門RC部）



図-7 門柱1カーテンウォール剥離状況

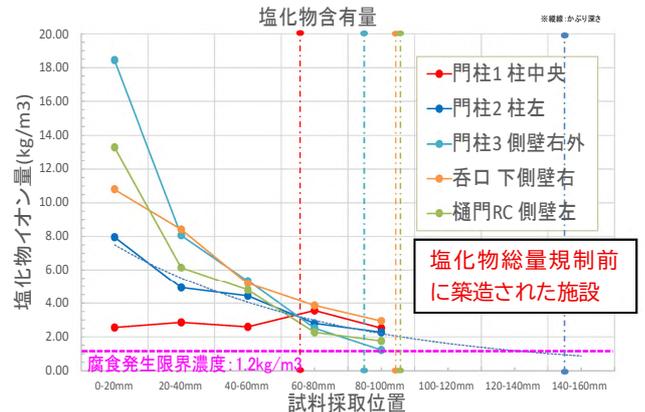


図-8 塩化物イオン濃度

表-1 目視調査およびはつり調査結果

調査位置	部材	目視調査	はつり調査				
			縦鉄筋		横鉄筋		
			調査位置かぶり(mm)	鉄筋腐食	鉄筋径	調査位置かぶり(mm)	鉄筋腐食
門柱1	操作台	A.措置段階	85	0	D16	131	I
	柱・左		177	0	D13	118	0
	柱・中央		67	Ⅲ	D13	72	Ⅲ
	カーテンウォール		91	I	D13	104	I
門柱2	操作台	B.予防保全段階	52	Ⅲ	D16	65	Ⅲ
	柱・左		157	0	D10	145	0
	柱・中央		88	I	D10	77	I
	土留め壁		112	0	鉄筋なし	鉄筋なし	鉄筋なし
門柱3	操作台	B.予防保全段階	105	0	D16	125	0
	側壁・中央		83	0	D13	69	I
	側壁・右外		101	I	D16	84	I
	側壁・右内		-	-	-	-	-
呑口	側壁・左	C.監視段階	46	0	D13	59	0
	側壁・右		90	0	D13	110	0
	下側壁・左		98	0	D13	121	0
	下側壁・右		97	I	D13	112	0
	底版		112	I	D19	63	I
樋門RC	頂版	C.監視段階	30	Ⅱ	D13	18	Ⅱ
	側壁左		96	0	φ12	110	0
	側壁右		58	I	φ12	72	I
	底版		221	0	φ16	193	0



図-9 樋門頂版の腐食状況（腐食度Ⅱ）

### (3) 耐震照査計算結果

樋門RC部および門柱について、柔構造樋門設計の手引き<sup>2)</sup>に準拠して、常時及びレベル1地震動に対する照査を実施した結果、一部で耐力が不足する結果となった。

樋門RC部において、①竣工当時の断面ではすべての部材で許容応力度を満足したが、②現況の断面（改築後）では、横方向検討において側壁上端部の常時荷重時鉄筋応力度が不足した。これは、過去の樋門改修で上部構造の嵩上げが行われたことにより一部の部材の応力が増大しているためと考えられる。

門柱3については、常時・温度荷重時の軸力に対する曲げ耐力が不足する結果となった。

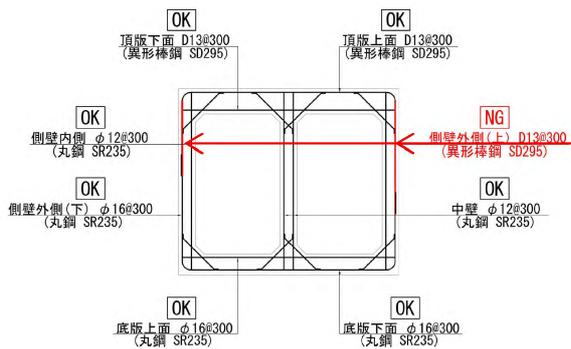


図-11 樋門RC部の横方向計算結果

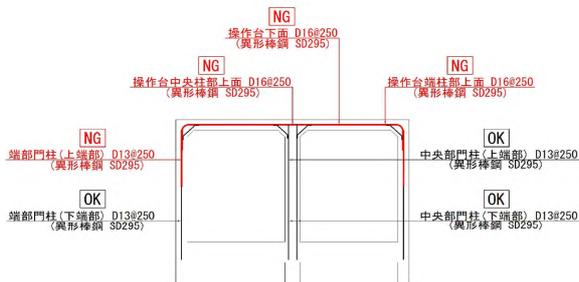


図-12 門柱3の横方向計算結果

## 5. 総合評価

### (1) 当該樋門の問題点

以上の調査結果から、当該樋門における劣化・性能の問題点として以下が明らかとなった。

#### a) 深刻な塩害の進行

コンクリート中の塩化物イオン濃度が鉄筋かぶりより深部まで限界濃度を超過しており、鉄筋腐食が進行している。特に門柱1および門柱2、樋門RC部の頂版では鉄筋断面減少が顕著で、構造的な耐力低下が懸念される。

#### b) 一部構造部材の耐震性能不足

現行基準による耐震照査の結果、樋門および門柱の一部で必要耐力を満たさない部材が判明した。特に樋門RC部は過去の嵩上げ改造の影響で常時荷重時鉄筋応力度が不足していた。

## (2) 結論

上記2点より、当該樋門は構造物の老朽化・性能不足により、抜本的な対策が必要な状況にあることがわかる。塩害に関しては、電気化学的脱塩工法など補修による延命も考えられるが、本調査で確認されたように鉄筋かぶりより深部まで塩化物イオン濃度が高く、補修工法の適用範囲を超過している<sup>3)</sup>ため抜本的な改善は困難である。

実際、かぶりが十分厚い位置では塩化物イオン濃度も腐食度も低かったが、大部分の部材では限界濃度を超過する塩分が深部まで浸透しており、今後も腐食劣化が進展すると推測される。このような状態で耐震補強を施しても十分な耐久性は確保できないことから、当該樋門の長寿命化は困難であり、全面的な更新が妥当と判断した。

今後は、隣接する強制排水の樋門の更新時期や周辺堤防の耐震対策工事時期も考慮し、応急的な対策を含め、更新方法や時期を検討する必要がある。

**謝辞：**本業務を検討するにあたり、調査準備段階よりご協力をいただきました行政関係者の皆様に深く感謝を申し上げます。

## 参考文献

- 1) 「農業水利施設の長寿命化のための手引き」H27.11 (農林水産省農村振興局)
- 2) 「柔構造樋門設計の手引き」H10.11 ((財)国土技術研究センター)
- 3) 「塩害を受けたコンクリート構造物の脱塩工法に関する共同研究報告書」H20.3 ((独)土木研究所)

# 中山間地域を対象とした移動実態調査及び 新たな移動の仕組みの検討

だいかつゆうき まついゆうき おかひきそうた  
大勝友貴<sup>1</sup>・松井祐樹<sup>1</sup>・岡久草太<sup>1</sup>

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

我が国の地域公共交通は、人口減少や少子高齢化、バス路線の縮小や撤退が進み、交通空白地が増加している。一方で、自家用車による移動ができない免許返納後の高齢者や学生にとって、公共交通の重要性が高いことから、地域の移動手段の確保が課題である。

本稿は、人口減少と高齢化が著しい中山間地域を対象に、地域の移動ニーズを把握し、対象地域の今後の公共交通の在り方や公共交通にとられない移動手段、あらゆる移動ニーズを網羅した新たな移動の仕組みの検討を行った。

**Key Words** : 地域公共交通, バス路線, 交通空白, 中山間地域, ライドシェア  
アンケート調査, ヒアリング調査

## 1. はじめに

地域公共交通は、地域住民の暮らしや経済活動にとって不可欠な社会基盤であり、その維持・確保が求められる。しかし、近年の人口減少や少子高齢化、自家用車の普及等による公共交通の利用者減少等によって、地域公共交通の衰退や縮減が進んでいる。

また、地方部では、学校や病院、介護施設の統廃合が進み、自家用車による移動ができない学生の登下校や高齢者の通院において、移動手段の確保・維持が深刻な課題となっている。

本稿では、人口減少と高齢化が著しい、中山間地域であるA地域、B地域、C地域の3地域を対象に、地域公共交通の確保・維持に向けた、移動実態の調査結果、新たな移動の仕組みの検討結果について報告を行う。

## 2. 地域概要

対象地域のA地域、B地域、C地域は隣接しており、その南側には鉄道駅、商業施設等が集積した市街地が存在する。地域内は、日常生活に必要な施設が少なく、市街地に依存するような形となっている。3地域を含む区域全体の高齢化率は約46%であり、国内の平均高齢化率である約29%より高い水準である。

地域の公共交通は、コミュニティバスのみであり、放射状に各地域と市街地を接続している。しかし、バスの運行頻度は、1日3～4往復程度であり、B・C地域を接続するコミュニティバスはデマンド運行となっているため、事前予約が必要である。

対象地域は、地域公共交通網形成計画が策定されているが、令和2年法改正後の地域公共交通計画は未策定である。

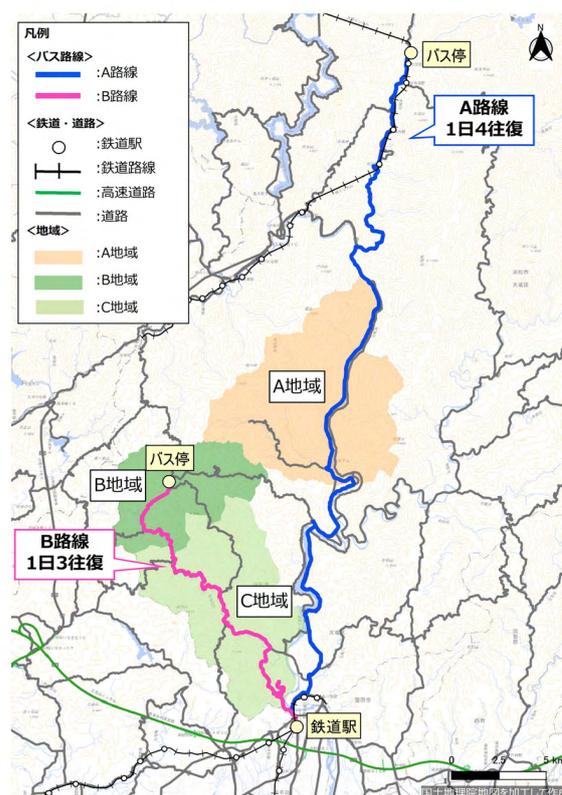


図-1 位置図

## 3. 移動実態調査

各地域の移動実態、移動ニーズを把握するために、地域住民を対象としたアンケート調査、交通事業者や移動の目的地となりうる民間事業者等を対象としたヒアリング調査を実施した。

(1) 移動実態に関するアンケート調査

a) アンケート概要

A・B・C地域の全世帯（1,737世帯）、15歳以上を対象にアンケート調査を実施した。調査の概要は表-1に示す通りである。調査項目は、年齢や性別、職業、居住地等の個人属性、主な目的地先や移動する頻度、移動手段、移動する時間帯等の日常生活の移動、地域で運行しているコミュニティバスに関する設問を入れた。

また、交通不便者（自家用車による移動ができない人）、真の交通不便者（送迎してくれる人が身近にいない人）といった日常生活の移動に制限がある人を把握できるよう、設問に自家用車の有無や身近に送迎してくれる人の有無を設問に入れた。

表-1 アンケート調査概要

項目	概要
調査対象	A・B・C地域に居住する15歳以上 A地域：258世帯 B・C地域：1,479世帯 ※計1,737世帯
調査方法	アンケート用紙の郵送による配布・回収
調査内容	<個人属性> 年齢／性別／職業／免許の有無／自家用車等の有無／身近に送迎してくれる人の有無／移動手段がなく利用できていない施設・頻度を減らしている施設の有無 <日常生活の移動> 主な目的地／移動頻度／移動目的／移動手段／移動時刻／運転の継続意思 <コミュニティバスの利用> 利用の有無／利用頻度／改善要望／利用しない理由
調査期間	2024年12月20日～2025年1月14日

b) アンケート結果

配布したアンケートのうち、世帯単位では約41%（713/1,737世帯）、個人単位では約32%（1,281/4,059人）回収することができた。アンケート調査結果のうち、公共交通による送迎を特に必要とする交通不便者に着目した結果を示す。

年代別の交通不便者の割合を図-2に示す。交通不便者は10代と85歳以上に多く、85歳以上は人数も多い。

交通不便者の移動する時間帯を図-3、図-4に示す。高校生の移動において、登校は6～9時台に集中し、下校は15～21時台でやや分散している。高齢者の移動のうち、通院は午前診療時間に合わせて到着し、昼頃には帰宅する。買い物は午前中に移動し、昼から午後にかけて帰宅する。

地域での移動手段や既存の公共交通（コミュニ

ティバス）に対する要望や意見を表-2に示す。コミュニティバスについて、「事前予約が大変（予約なしで利用したい）」という意見が最も多く、次いで「バス停が遠い」という意見が多い。

また、移動手段の実態として、「親族・知人に送迎してもらっている」という意見が多く、交通不便者を支える家族・地域の負担となっていると考えられる。

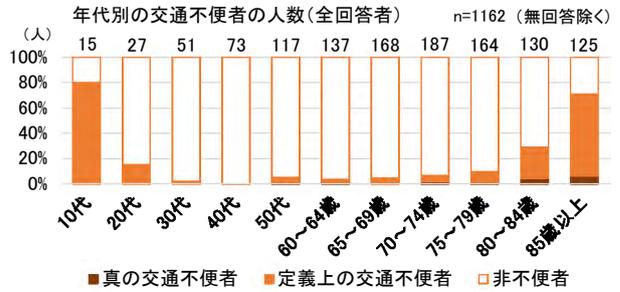


図-2 年代別の交通不便者

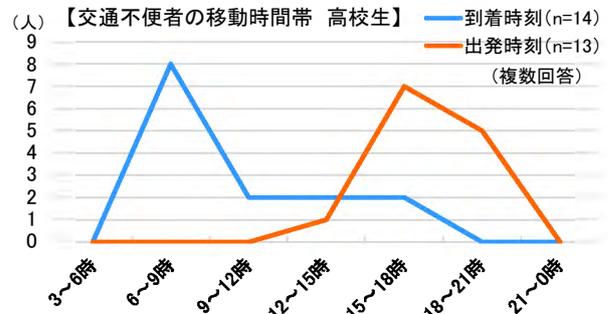


図-3 交通不便者（高校生）の移動時間帯

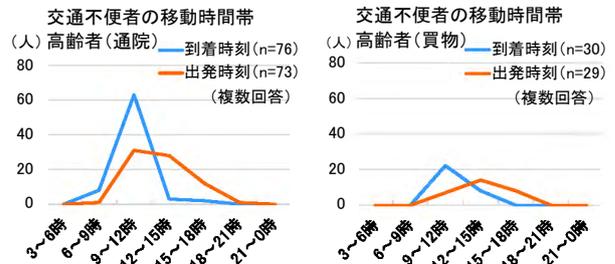


図-4 交通不便者（高齢者）の移動時間帯

表-2 交通不便者の自由回答

意見	合計
事前予約が大変(予約なしで利用したい)	11
バス停が遠い	6
親族・知人に送迎してもらっている	6
運行本数を増やしてほしい	4
自宅まで送迎してほしい	4
介助等が必要でバス利用が難しい	3
土日でも運行してほしい	2
ふれあいバスを継続してほしい	2
交通費が高い・負担に感じる	2
乗り継ぎが困難	1
計	41

(2) 移動実態に関するヒアリング調査

a) ヒアリング概要

対象地域の自治体（関係各課）や交通事業者、地域住民の目的地となりうる民間事業者等に対して、地域の移動実態や問題・課題等に関するヒアリング調査を実施した。ヒアリング調査の概要は、表-3に示す通りである。

表-3 ヒアリング調査概要

項目	概要
調査対象	関係各課 : 8団体 医療関係事業者 : 2団体 交通事業者 : 2団体 教育機関 : 5団体 その他 (NPO等) : 3団体 ※計20団体
調査方法	以下のいずれかにて実施 ・ 対面打合せによる聞き取り調査 ・ メールやり取りによる書面調査
調査内容	地域の移動実態、移動に関する問題・課題について等

b) ヒアリング結果

ヒアリングは、地域内の20団体に対して調査を実施し、地域の移動実態や問題、課題に関する回答を得た。ヒアリング結果のうち、主な意見を抜粋した結果を表-4に示す。

学生の移動のうち、登下校はスクールバスもしくは親の送迎に頼り、遊び目的等の移動も親の送迎に頼っている。そのため、親にとって負担が大きく、学生は自由な移動がしにくいと考えられる。高齢者の移動は、家族や近隣住民の送迎に助けられている。公共交通であるバスは、本数の少なさや事前予約が壁となり、利用が進んでいないと考えられる。

表-4 ヒアリング結果

階層	ヒアリング結果（一部抜粋）
学 生	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 子供はどこに行くにも親の送り迎えが必要になる。</li> <li>・ 高校生に「どのような条件がそろえば、今の地域で生活していけるか？」と質問した際、好きな時に市街地等に遊びに行くことができること（今はできない）という意見が多い。</li> <li>・ 小学校の児童は、全員スクールバスを利用している。下校時は一部親の送迎も存在する。</li> <li>・ 高校の登下校は親の送迎が多いが、寮制の高校を選ぶ話も聞く。また、家族で引越す場合もある。</li> </ul>
高齢者	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 85歳前後で車の運転をやめる傾向があり、その後は家族・近隣住民による送迎に依存している。</li> <li>・ バス、タクシー券をもらっても、タクシーの台数やバスの本数が少なく使えない。</li> <li>・ 合併前の各市町村でバスの運行を行っていたため、旧市町村の枠組みの外に出るような手段がない。</li> <li>・ バス、タクシーの事前予約が高齢者にとって大きな壁となっていると考える。</li> <li>・ 高齢者は年金で限られた中で生活をしているため、バスの片道補助でも嬉しいという声がある。負担がかからない交通手段を作っていないと高齢者が利用しない。</li> </ul>

(3) 地域の求める移動サービス水準

前項におけるアンケート調査及びヒアリング調査の結果を基に整理した、地域の移動について求めるサービス水準を表-5に示す。

学生は徒歩等による移動が可能のため、移動頻度が充実したバス路線を求める。高齢者はバス利用にハードルがあり、サービスが充実したとしても、バス停までの移動が難しいため、ドアtoドアによる移動を求める。

表-5 階層別の求めるサービス水準

階層	現状の移動パターン (調査結果より)	問題 (調査結果より)	求める 移動サービス水準
小 中 学 生	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 通学（週5日※平日）：スクールバスによって移動※徒歩圏内に学校がない。</li> <li>● その他：親の送迎に頼る。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● どこへ行くにも親の送迎が必要となる。</li> </ul>	範囲：地域内 目的：通学（週5日） その他 備考：通学はスクールバスで移動可能。徒歩移動が可能。
高 校 生	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 通学（週5日※平日）：親の送迎に頼っており、朝の登校は集中し、夕方の下校はやや分散。</li> <li>● おでかけ（週1,2日※休日）：親の送迎に頼る等。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 親の送迎に頼れない高校生もいる。</li> <li>◎ バスの運行頻度が少なく、希望する時間帯の運行がない。</li> </ul>	範囲：地域外 目的：通学（週5日） おでかけ（週1,2日） 備考：好きなタイミングで移動したい。徒歩移動が可能（バス停まで移動可能）。
高 齢 者	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 買い物（週1,2日）：マイカーによる移動で、午前から夕方までの幅広い時間帯。</li> <li>○ 通院（月1日）：マイカーによる移動で、診療開始時間に出発し、昼前後に帰宅。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● マイカーによる移動を85歳前後まで続け、その後は近隣住民の送迎か公共交通を利用。</li> <li>○ バス停までの移動が困難。</li> <li>○ 手続きが大変でバス、タクシーの事前予約が大変。</li> </ul>	範囲：地域内外 目的：買い物（週5日） 通院（月1日） 備考：ドアtoドアの送迎が必要。バス等の事前予約のハードルが高い。

凡例：○アンケート結果／●ヒアリング結果／◎アンケート・ヒアリング共通

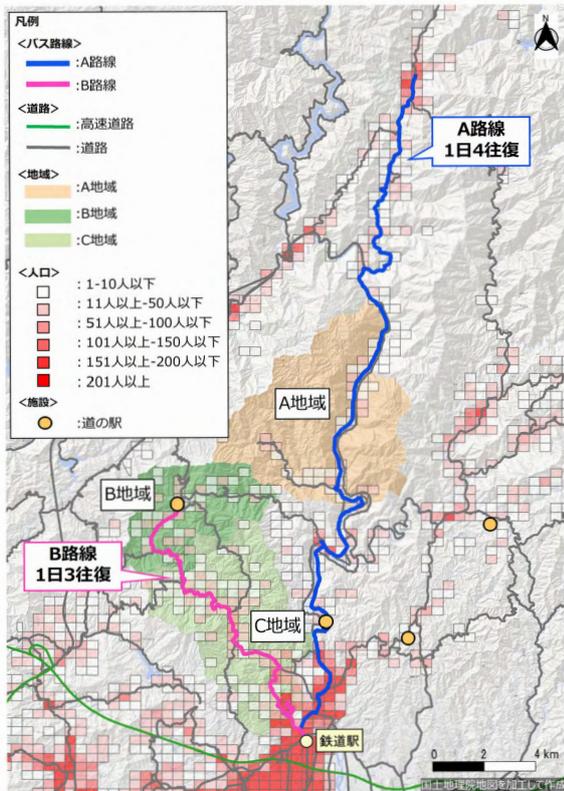
## 4. 新たな移動手段の提案

### (1) 前提条件

公共交通は同じ方向、同じ時間帯に需要を運ぶことに適している。対象地域は、各地域と南側に位置する市街地を行き来する移動が多いため、各地域と市街地を接続する路線バスの運行が適している。

しかし、運行頻度の少なさ、高齢者のバス停までの移動が困難といった問題が存在するため、問題の解消が必要である。また、地域内の移動に対しては、人口分布及び地形（道路網）の状況から、公共交通の求める要件が成り立っていない。

- ①人口分布：川沿いに集中する他、山間部にも小規模集落が点在している。
- ②地形（道路網）：川沿いの幹線道路と小規模集落から幹線道路を結ぶ支線であり、点在する利用者を効率よく運べない。



至 市街地  
図-5 地域条件

### (2) 移動手段の提案

#### a) 幹線バスの強化

前提条件を踏まえ、特に学生の移動の利便性向上の観点から、幹線バスの強化策を検討した。

A路線及びB路線について、毎日6往復に増便することで、バス停までの移動が容易な学生の利便性を向上させることを目指す。

しかし、これまで以上の費用を要するため、地域の財政負担とならないようにする必要がある。各路線について以下の対応が考えられる。

A路線は、平成の大合併により合併した市町村を繋ぐ路線であるため、地域公共交通計画策定時に、地域公共交通利便増進実施計画に位置付けることで、

地域間幹線系統として、国から補助を受ける際の要件緩和を目指す<sup>1)</sup>。

B路線は、昭和の大合併によって合併した市町村を繋ぐ路線であるため、A路線と状況が異なる。路線の延伸によって、地域間幹線系統とし、国庫補助金獲得を目指す。もしくは、市の準基幹路線に位置付けることで、地域住民の財政負担なしで増便が可能となる。

#### b) 地域バスを補強する共助型地域交通の導入

高齢者の移動手段確保の観点から、地域バスを補強する形での共助型地域交通（ライドシェア）の導入を検討した。

高齢者はバス停までの移動が困難であるため、ドアtoドアの移動が可能な共助型地域交通によって、移動手段の確保を目指す。

共助型地域交通は、地域住民がドライバーとなり、移動に困っている人を送迎し、助ける交通である。共助型地域交通は、道路運送法に該当する形態と、該当しない形態の2種類が存在する。

道路運送法に該当する形態は、地域のNPO法人等が主体となり、営利とは認められない範囲の送迎の対価によって有償の送迎を行う形態である。

道路運送法に該当しない形態は、無償の送迎とすることで、制限なく送迎が可能である<sup>2)</sup>。なお、無償ではあるが、送迎された人はドライバーに謝礼やガソリン代等の実費を支払うことが可能であり、実費に関してはドライバー側から請求することも可能である。

## 5. おわりに

本稿では、中山間地域を対象とした、アンケート及びヒアリングによって、地域の移動実態及び問題を調査した。その結果、地域の求める移動サービス水準を階層別に把握した。高校生は地域外の移動を必要としており、自由なタイミングで移動できることを求めている。高齢者は地域内外の移動を必要としており、身体への負担からドアtoドアの移動を求めている。地域の求める移動サービス水準と前提条件を基に、地域に必要な移動手段を検討し、学生の移動に着目した幹線バスの強化と、高齢者の移動に着目した共助型地域交通の導入といった2つの提案内容を報告した。

今後、本稿で提案した移動手段を導入する際は、引き続き、詳細な検討が必要となる。特に、共助型地域交通の導入においては、地域住民がドライバーとなることに対する、地域の受容性や協力可否についてアンケート等で事前に確認した上で、実証運行による検証が必要である。

### 参考文献

- 1) 北陸信越運輸局：地域公共交通に関する補助制度について、2024。
- 2) 国土交通省：道路運送法における許可又は登録を要しない運送に関するガイドラインについて、2024。