

令和 5 年度
国土交通省 国土技術研究会

概要論文集
～一般部門〈活力〉～

研究会 1 日目（12 月 7 日（木））

15：30～18：00

研究会 2 日目（12 月 8 日（金））

9：45～10：45

自由課題(一般部門<活力>) 12月7日(木) 15:30~18:00 ②B会場

発表 順序	発表時間	課題名	発表者所属	発表者名
1	15:30~15:45	国道33号での交通需要マネジメントの取組み	四国地方整備局 道路部 交通対策課	竹内 伸幸
2	15:45~16:00	福山都市圏自転車走行空間整備計画の取組みについて	中国地方整備局 福山河川国道事務所 調査設計課	石井 智貴
3	16:00~16:15	札幌都心部における賑わい創出に向けた新たな道路利用の取組み事例ーさっぽろわざわざわストリート(南一条通)の社会実験ー	北海道開発局 室蘭開発建設部 浦河道路事務所	山内 良輔
4	16:15~16:30	荒々しくも美しい立野ダムの川づくり	九州地方整備局 立野ダム工事事務所 工務課	倉上 健人
5	16:30~16:45	都市におけるパブリックスペースの有機的連携に関する研究	国土技術政策総合研究所 都市研究部 都市施設研究室	小笠原 裕光
-	16:45~17:00	休憩		
6	17:00~17:15	東京国道事務所における街路樹の持続可能な維持管理に向けた取組	関東地方整備局 横浜国道事務所 調査課	伊東 伶菜
7	17:15~17:30	重交通交差点上に架かる高速道路橋の更新事業について ～一般道を止めることなく既設PC橋を解体撤去～	阪神高速道路株式会社	中田 諒
8	17:30~17:45	赤嶺トンネル施工に伴うモノレール橋脚の沈下対策について	内閣府 沖縄総合事務局 南部国道事務所 工務課	下地 涼大
9	17:45~18:00	国道41号黒崎電線共同溝におけるPFI事業の導入について	北陸地方整備局 道路部 交通対策課	山崎 周

自由課題(一般部門<活力>) 12月8日(金) 9:45~10:45 ②B会場

発表 順序	発表時間	課題名	発表者所属	発表者名
10	9:45~10:00	下水処理工程における一酸化二窒素排出量の実態把握調査	国土技術政策総合研究所 下水道研究部 下水処理研究室	石井 淑大
11	10:00~10:15	環境DNAを活用した魚類調査における基礎的データの整備状況	国立研究開発法人土木研究所 流域水環境 研究グループ 流域生態チーム	中島 颯大
12	10:15~10:30	防波堤の石や砂でつくった「あつまれ生き物の浜」の効果 ～小学生が描いた干潟の賑わい～	近畿地方整備局 港湾空港部 経理調達課	三谷 あかり
13	10:30~10:45	仙台塩釜港における浚渫土砂の有効活用について	東北地方整備局 港湾空港部 港湾計画課	遠藤 秀一郎

国道33号での交通需要マネジメントの取組み

竹内 伸幸¹・金倉 弘武²・宮内 広樹³

¹四国地方整備局 道路部 交通対策課 (〒760-8554 香川県高松市サンポート3-33)

²四国地方整備局 松山河川国道事務所 調査課 (〒790-8574 愛媛県松山市土居田町797-2)

³四国地方整備局 大洲河川国道事務所 計画課 (〒795-8512 愛媛県大洲市中村210)

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

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

キーワード 渋滞対策, TDM施策, 出勤時間の調整, ETC2.0プローブデータ

1. はじめに

(1) 松山市近郊の交通状況について

愛媛県松山市は、人口約51万人の四国地方最大の都市である。市中心部には官公庁や各種企業、商業施設、鉄道駅が集積し、日常的に人や車の往来が多い。主要な道路網は放射環状型で構成されているが、朝夕の時間帯には市内中心部を発着だけでなく通過する通勤交通も多く、主要渋滞箇所でも慢性的な渋滞が発生するなどの交通課題を有している。

こうした中、松山市内の外延部を通過し、松山ICと松山空港を結ぶ松山外環状道路が段階的に供用している。現在、側道部が松山空港周辺まで供用したことで、松山環状線を経由する交通は徐々に分散しているが、市内中心部の交通渋滞は、いまだ残存する状況である。



図-1 松山市近郊の主要な道路網と主要渋滞箇所

(2) 緊急事態宣言による国道33号の交通状況の変化

令和2年4月の新型コロナウイルス感染症の流行による緊急事態宣言の発足に伴い、市内各所の交通量は約2割減少し、それにより旅行速度も向上した。特に国道33号は、交通量が減ると、旅行速度が大きく向上する区間であることが確認された(図2)。なお、新型コロナ渦後、再び旅行速度が悪化している。そこで、緊急事態宣言時の交通特性を参考に、国道33号において交通需要マネジメント(TDM)施策の実施を検討した。

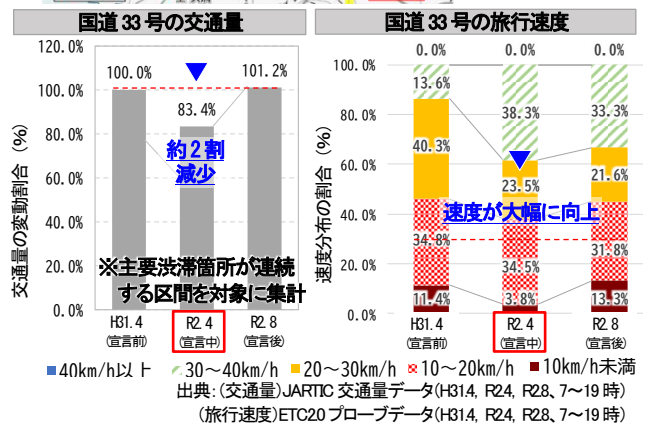


図-2 緊急事態宣言時の国道33号の交通状況

2. 国道33号の交通特性と社会実験の目標値設定

(1) 朝の出勤時間帯における交通状況

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

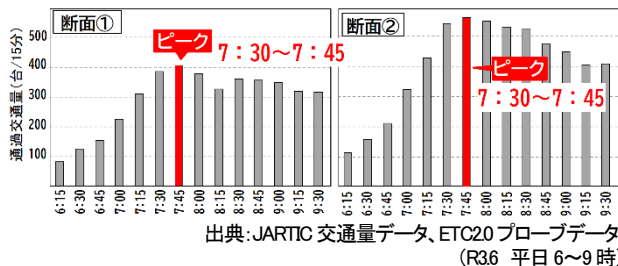


図-3 時間帯別交通量と旅行速度 (国道33号、松山環状線)

また、当該区間のうち森松から南江戸3丁目南 (図3中黄線区間) の通過に掛かる時間帯別の所要時間を分析すると、森松交差点を8時頃を通過する場合は最も時間を要し、非混雑時と比べて約13分の遅れが生じている。また、前後に30分ほど通過時刻をずらすと混雑を回避することも確認できる。

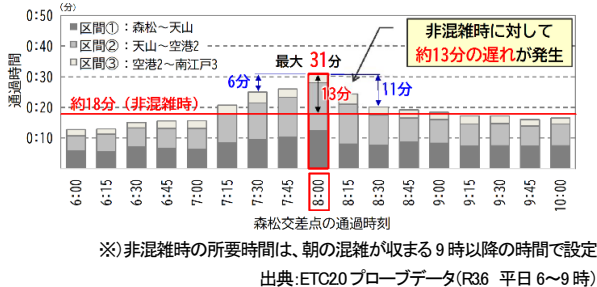


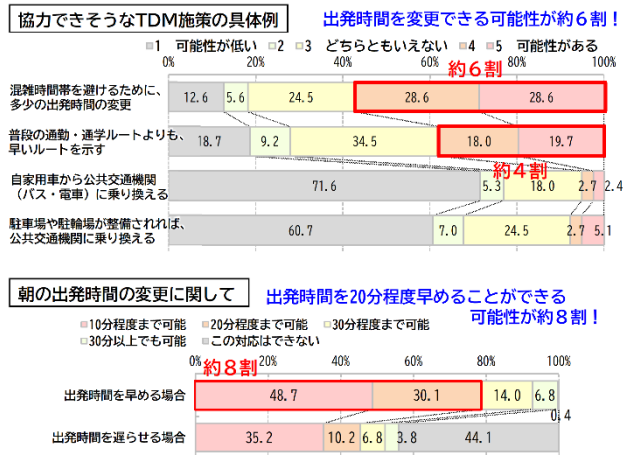
図-4 国道33号森松交差点を通過する時刻ごとの所要時間

(2) 国道33号の交通需要マネジメントの導入検討

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

a) 交通需要マネジメント (TDM) 施策の導入検討

松山市内に通勤で利用する方々を対象に、事前にWEBアンケートを実施し、TDM施策に関する意向を確認した (図5)。当該区間で実効性の高いTDM施策は、移動時間の変更や経路の変更が考えられた。移動手段の変更や自動車の効率的運用 (乗合い等) は、利用者や事業者の協力を得るための困難度が高いため、今回は導入を見送った。



出典: 松山市内の道路利用者へのWEBアンケート調査結果 (R3)

図-5 国道33号の出勤に関するWEBアンケート調査結果

最も取り組みやすい方法は出勤時間の変更 (約6割) で、早める場合であれば、20分程度以内までは可能という意見が多かった (約8割)。そこで、今回は出勤時間の変更 (朝の交通量のピーク時間を前に分散させる) のTDM施策を実施することとした。なお、経路変更も候補に挙げられたが、迂回経路の松山外環状道路は、国道56号との平面交差までの暫定供用であり、当該交差点で渋滞しているため、経路変更のTDM施策は実施しないこととした。

b) 分散させる交通量の目標値の設定

緊急事態宣言時に、約2割の交通量が減少したのに対して旅行速度が大幅に向上したことから、今回は7:30~8:00の交通量のうち、約1割相当 (90台/30分) を分散させる交通量の目標値を設定し、速度向上や通過時間の短縮を確認することとした (図6)。

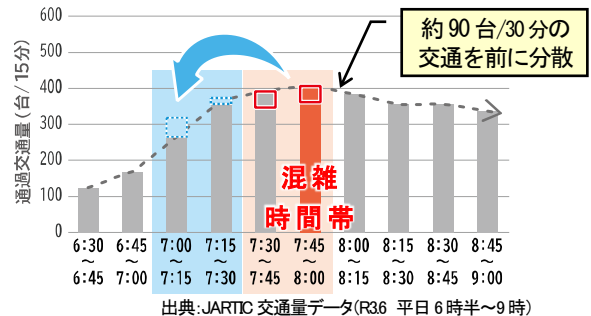


図-6 分散させる交通量の目標値について

3. 社会実験の実施

(1) 実験概要

朝の通勤時間帯に国道33号を北上して市中心部に向かう交通を対象に、出勤時間の前倒しを促すTDM施策の社会実験を実施した。概要について図7に示す。



図7 通勤時間の変更を促す社会実験の概要

(2) 広報計画

対象区間を通過する道路利用者に向けて、社会実験の協力を得るために、様々な広報を実施した（表1, 図8）。

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

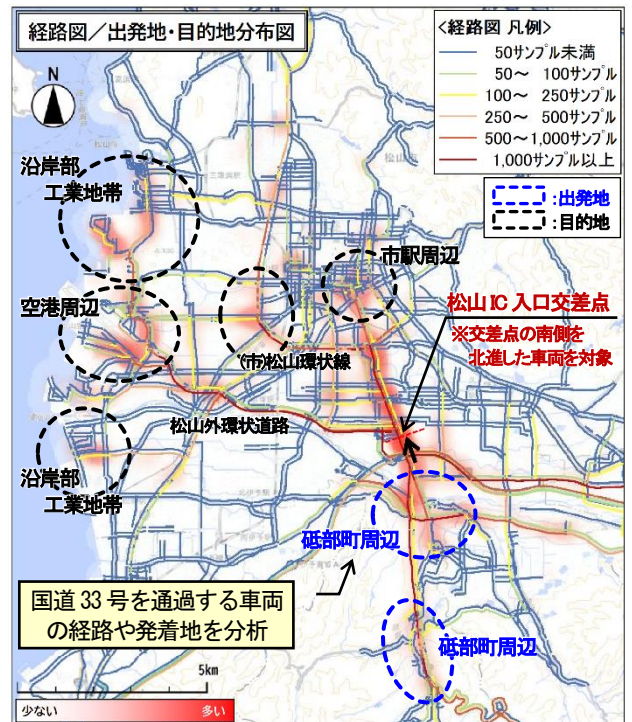
表-1 今回の社会実験で実施した広報の一覧

案内分類	具体的な広報媒体	規模
① 広報媒体	<ul style="list-style-type: none"> ●新聞（記事下広告） ●自治体広報誌、情報誌 ●記者発表 	123,650部 30,315部 -
② SNS等	<ul style="list-style-type: none"> ●twitter（松山河川国道） ●YouTube（愛媛CATV） ●砥部町公式LINE ●自治体ホームページ 	4,183人フォロー 8,480人登録 720人登録 -
③ 道路上	<ul style="list-style-type: none"> ●路側看板 ●横断幕 ●道路情報板 ●VICS（カーナビ） 	8箇所 1箇所 1箇所 2箇所
④ 企業等への直接依頼	<ul style="list-style-type: none"> ●企業への案内郵送/ポスティング ●県市町職員への情報周知 	475社 -
⑤ 公共の場など	<ul style="list-style-type: none"> ●商業施設等へのポスター掲示 ●イベント時のチラシ配布 	9施設 約200人



図-8 今回の社会実験で実施した広報（一部抜粋）

広報の範囲設定は、ETC2.0データの経路情報を用いて対象区間を通過する車両の発着地を抽出し、その周辺を中心に情報周知を強化することとした（図9）。また、広報チラシなどには、社会実験への参加意を確認する事前アンケートを掲載し、約120人から事前に協力の回答を得た。



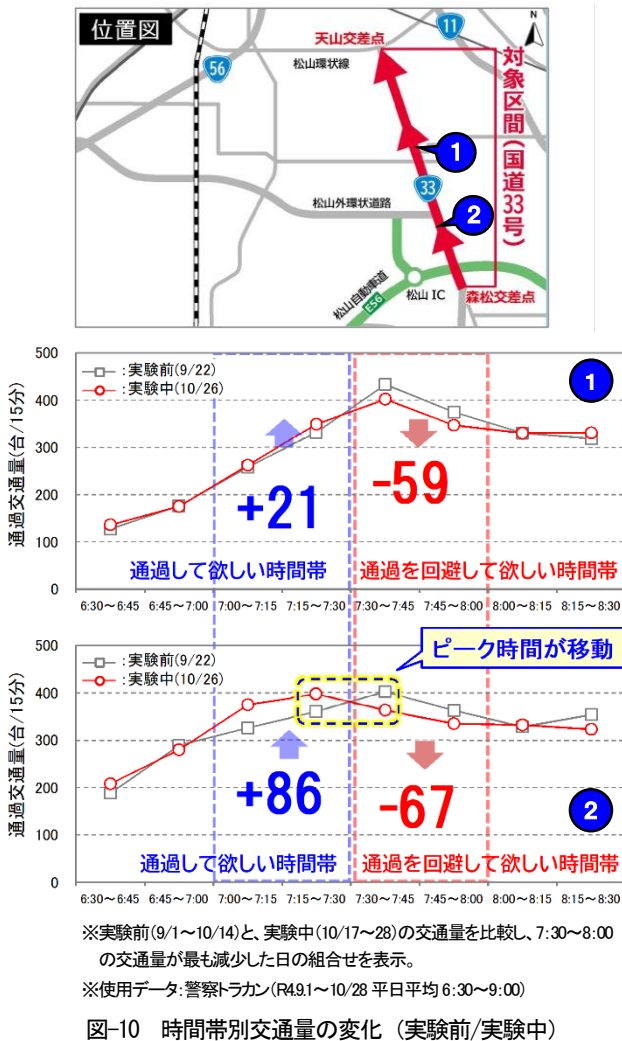
※)ETC2.0プローブデータ(R3.6-7 平日6~10時)
※)国土地理院の数値地図(国土基本情報)を編集

図-9 対象区間を通過する車両の経路と発着地域（想定）

4. 社会実験の実施結果

(1) 時間帯別交通量の変化

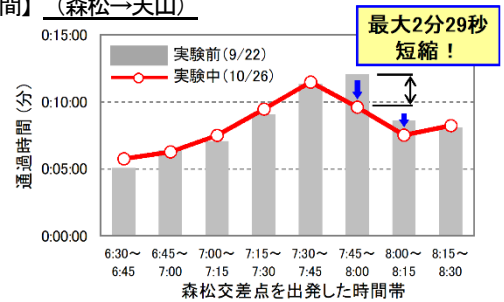
社会実験の実験前と実験中の交通量を比較し、最も交通が分散された実施日の結果を図10に示す。通過を回避して欲しい時間帯（7:30～8:00）の交通量は、目標の90台/30分減に届かなかったものの、ほぼ毎日減少しており、また、図10のように目標に近い形で移動した日も複数日あった。通過して欲しい時間帯（7:00～7:30）の交通量は、約80台/30分増と通過交通量の1割程度であるため、一定の交通分散の傾向を概ね確認することができた。



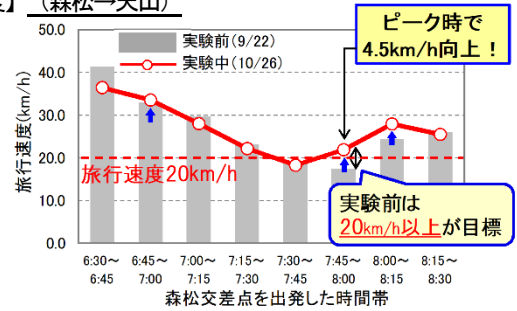
(2) 通過時間と旅行速度

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

【通過時間】(森松→天山)



【旅行速度】(森松→天山)

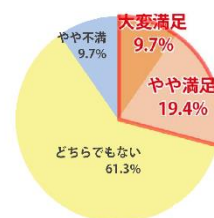


※ETC20プローブデータ【実験前】R4/9/22【実験中】10/26 6:30～8:30
図-11 所要時間と旅行速度の対比(実験前/実験中)

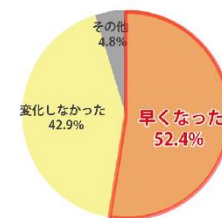
(3) 社会実験に参加した方へのアンケート調査結果

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

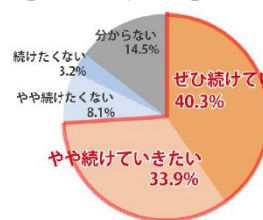
【施策の満足度】



【移動時間の変化】



【取組の継続意向】



【参加出来なかった理由】

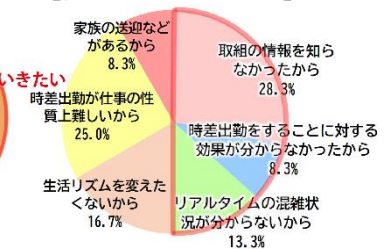


図-12 社会実験に関するアンケート調査結果

5. 今後の課題

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

福山都市圏自転車走行空間整備計画の 取り組みについて

速水 優一¹・山根 直棋¹・石井 智貴¹
松浦 秀明²・赤木 幸靖²・佐藤 加菜²

¹中国地方整備局 福山河川国道事務所 調査設計課（〒720-0031 広島県福山市三吉町4-4-13）

²中国地方整備局 福山河川国道事務所 道路管理課（〒720-0031 広島県福山市三吉町4-4-13）

福山都市圏では、2010年3月に「福山都市圏自転車走行空間整備計画」を策定し、歩行者と自転車が安全で安心して通行できる空間を確保するため、各道路管理者が整備を進めるとともに、整備の進捗を毎年モニタリングしている。整備計画策定から約10年が経過したことを契機に、これまで進めてきた自転車走行空間整備の効果等を確認するため、2020年に当初整備計画を検討した際と同様の調査方法を用いて、交通事故の発生状況分析やアンケート調査を実施し、2時点比較を行うことで得られた分析結果について報告するとともに、一般国道2号の一部区間で整備が完了した自転車道について、2022年に実施した交通実態調査の結果を紹介する。

キーワード 自転車走行空間整備、アンケート、2時点比較、安全性、整備効果

1. はじめに

健康増進や環境保全への意識の高まりで自転車利用ニーズが高まる中、自転車事故が増加している状況を踏まえ「自転車は車両であり車道通行が原則」の観点に基づき、2012年11月に国土交通省道路局と警察庁交通局が「安全で快適な自転車利用環境創出ガイドライン¹⁾」を公表した。福山都市圏ではガイドライン公表に先立つ2010年に福山都市圏自転車走行空間整備計画²⁾（以下、整備計画）を策定している。整備計画では、歩行者・自転車の安全確保と自転車利用者の増大を目標に、福山駅を中心とした概ね5km圏域の主要施設につながる平野部を対象エリアに設定し、自転車交通需要、自転車集中施設、課題等を勘案し自転車ネットワーク候補路線（図-1）を定めている。

これまで、各道路管理者が整備計画に基づき整備を進めてきたが、計画策定から約10年が経過したことを契機に整備効果等の確認を行った。自転車通行空間の整備効果については、通行空間の確保を試行する社会実験での計測結果や、整備後の短期的な変化については全国で多くの事例が報告されているが、10年程度の長期間での変化に着目した事例は少なく、本稿はその知見の蓄積に寄与するものである。

また、一般国道2号の一部区間で整備が完了した自転車道について、交通実態調査により把握した整備効果について報告する。

2. 整備計画策定時との2時点比較に関する概要

(1) 整備形態及び整備状況

整備形態イメージを表-1に示す。

表-1 整備形態イメージ



写真出典：福山市道路総合計画 福山市道路整備計画編より抜粋

調査を実施した2020年時点での自転車通行空間の整備状況を図-1に示す。太い線が整備計画における自転車ネットワーク候補路線であり、着色区間が整備済み区間である。なお、整備形態に「自歩道での通行位置明示」があるが、2016年に改定された「安全で快適な自転車利用環境創出ガイドライン」で自転車歩行者道の活用は除外されたものの、それ以前に計画し整備されたものである。

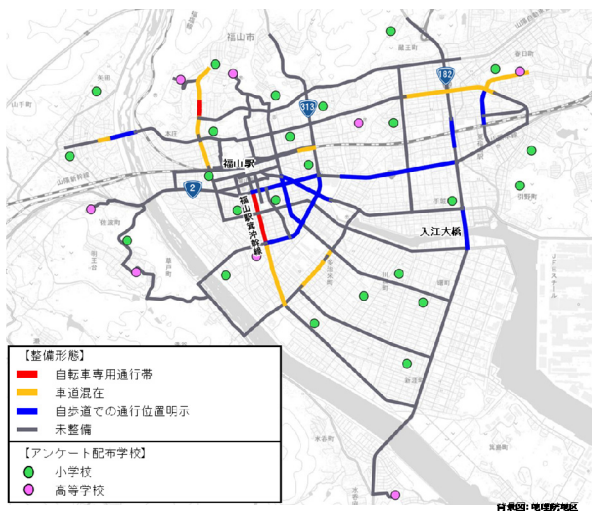


図-1 自転車ネットワーク候補路線の整備状況

(2) 利用データの概要

2010年の整備計画策定時の検討においては、自転車利用の安全性や走行性について、主に自転車の関連する事故データとアンケート調査の2つが用いられた(表-2)。安全性については、事故データとアンケート調査でのヒヤリ体験調査、利用状況については、アンケート調査での利用頻度やよく利用する経路についての回答結果を用いている。今回の調査にあたっては改めて最新の事故データを収集するとともに、アンケート調査を実施した。

事故データは整備前が2005年～2008年の4年間、整備開始後として2016年～2019年の4年間のデータを用いた。

アンケート調査は、比較のために同一の設定を多く設定し、対象の属性も整備前と同一とし、小学5年生とその保護者及び高校1、2年生で、整備計画策定エリア内やその付近にある小学校24校、高等学校8校にアンケートを依頼した(図-1)。実施年は、2008年と2020年である。

表-2 交通事故データとアンケート調査の実施概要

<自転車の関連する交通事故データ>		
事故調査年月	整備前 2005年～2008年	整備開始後 2016年～2019年
<アンケート調査>		
調査目的	自転車利用実態や利用環境に対する意識、さらには危険箇所等の把握を行うためのアンケート調査を実施する。	
調査対象	<ul style="list-style-type: none"> 小学5年生及びその保護者 高校1年生と2年生 ・ ・ ・ 広く一般の利用者 ・ ・ ・ 自転車の主な利用者	
アンケート配布学校	<ul style="list-style-type: none"> 小学校：24校 高等学校：8校 	
配布・回収方法	各学校を通して配布・回収した。	
調査実施年月	2008年12月～2009年1月	2020年11月～12月
回収数	6,065件 (81.1%)	5,444件 (76.2%)

3. 安全性に関する分析結果

(1) 事故件数で見える整備形態別の安全性評価

収集した2時点の事故データの間(2009年～2015年)で整備が完了した区間に着目し、整備形態別に整備前後での自転車事故件数を比較した。

前提として自転車の関連する事故は、全国値で50%減少している(図-2)。福山都市圏に目を向けると、未整備区間において全国値とほぼ同様の47%が減少しており、整備形態別では、自転車専用通行帯で整備された区間は79%減少と全国値や未整備区間より減少率が大きく、事故減少の効果があつたと示唆される(図-3)。



図-2 自転車事故件数の変化(全国値)

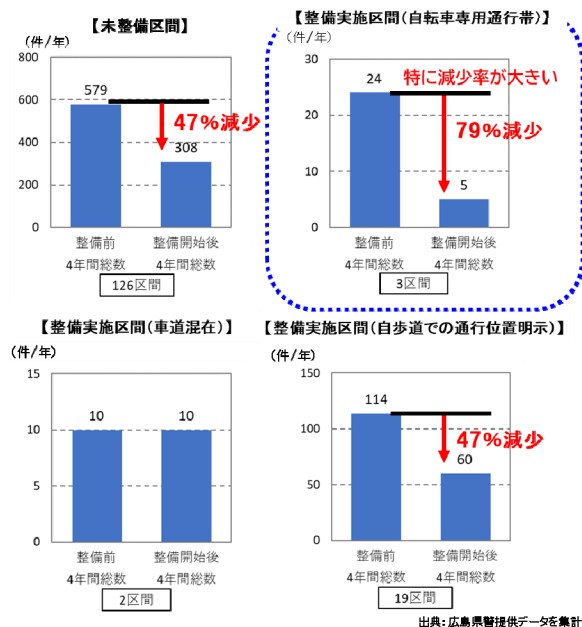


図-3 自転車事故件数の変化(福山都市圏)

(2) アンケートで見える整備形態別の安全性評価

整備形態別に、安全面への実感を2020年のアンケートで調査した(図-4)。自転車専用通行帯は、「安全に走れる」割合が最も高く、車道混在は、「安全に走れる」と「危険である」割合が同程度であった。

自歩道での通行位置明示は、「安全に走れる」割合が高く、「危険である」割合は最も低い結果となった。

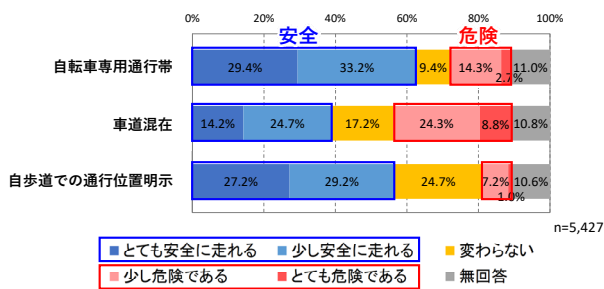


図4 整備形態別で安全面への実感

(3) 自転車専用通行帯での事故の変化

事故件数が減少し、アンケートでは安全性が高いと評価された自転車専用通行帯での事故減少の要因を分析するため、事故類型別の事故件数を比較した(図-5)。

自転車専用通行帯の整備区間では、出会い頭と右左折時の事故が未整備区間と比較して大きく減少している。これは自転車が歩道通行から車道通行へと意識が高まったため、自動車運転手が自転車を認識しやすくなったことが事故減少の要因の1つと考えられる。

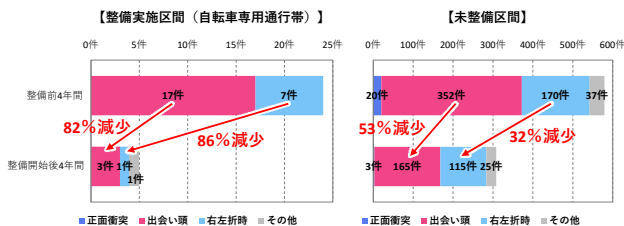


図5 自転車専用通行帯の事故類型別事故件数

(4) 車道混在区間の評価

整備形態としての採用は多いものの、事故の減少は見られず、アンケートでも「危険」と感じている回答割合が高かった車道混在での整備区間に関して、利用者の意見を整理した(図-6)。車道混在での整備区間を利用しない理由として、最も割合が高いのが「狭いから(車の近くを通るのが怖いから)」と危険性を理由としたもので、次に「路肩駐車車が邪魔だから」と走行性に関するこの割合が高い。その他の意見では、「整備箇所がない、見たことがない、知らなかった」といった意見も多くあり、認知されていない実態もあることが分かった。

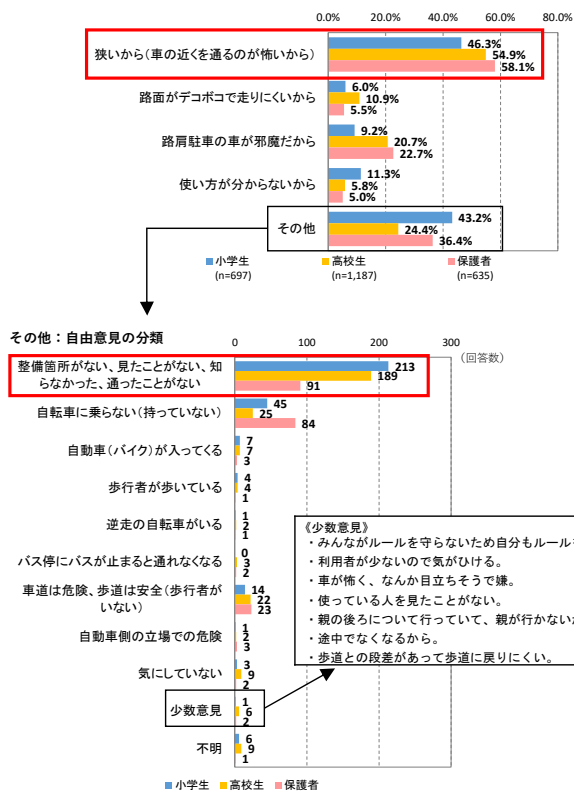


図6 車道混在区間を利用しない理由

4. 自転車の利用状況に関する分析結果

(1) 自転車の利用頻度

自転車の利用頻度は、高校生は変化がないものの、小学生と保護者は「ほぼ毎日の利用」が減少し、「ほとんど使わない」が増加している(図-8)。

保護者については、女性の社会進出の影響、小学生については、コロナ禍における外出機会の減少等の社会情勢の変化が要因となっていると考えられる。

なお、アンケート調査においても、保護者の個人属性については、職業では家事専業が減少し、会社員・公務員及びアルバイト・パートが増加しており本アンケートでも社会進出が進んでいることが確認できる。

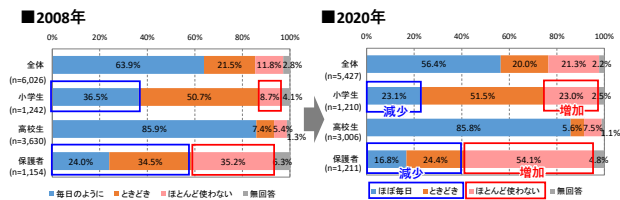


図7 自転車の利用頻度

(2) よく利用するルート平均距離

よく利用するルートの距離も、利用頻度と同様の傾向を示しており、小学生、保護者は減少し、高校生は増加している。

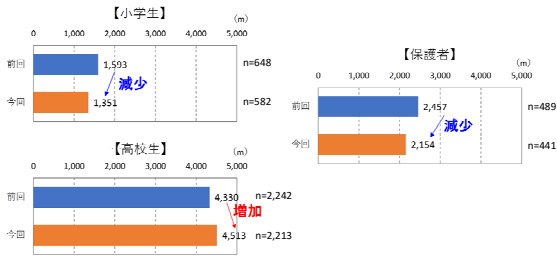


図-8 よく利用するルート平均距離

(3) 新入江大橋整備による変化

2012年に福山港内港に、新たに新入江大橋が開通した。従来の入江大橋では幅員の狭い階段に自転車用の斜路が付けられ、自転車を押して橋を渡る必要があったが、新入江大橋の開通に伴い、自転車歩行者道が整備され、自転車での通行環境が大幅に改善した。

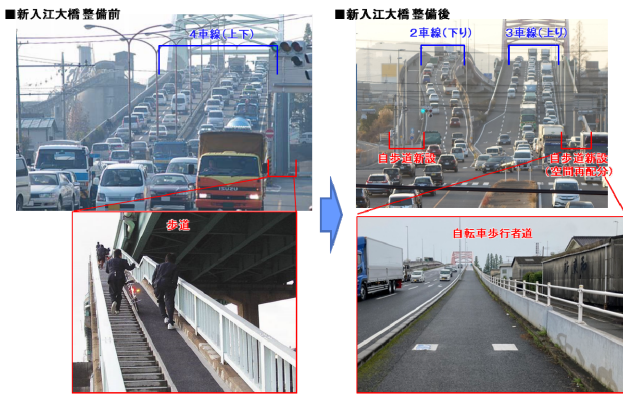


図-9 新入江大橋整備前後の様子

その影響を把握するため、福山港内港を跨ぐ日常的な自転車移動として、通学に着目した分析を行った。具体的には入江大橋の南側に位置する高校へ通う学生のうち、入江大橋北部地域（図-11での破線枠内）を出発し、高校までを到着地としている回答を抽出し、利用経路を比較した。入江大橋北部地域からの通学経路において、整備前は入江大橋の利用が75%だったのに対して、新入江大橋整備後には98%が利用しており、利用率が20ポイント以上増加し、大半が入江大橋区間を利用していることが確認できた。なお、利用率の変化には、社会情勢の変化として、電動アシスト自転車の普及が進んだことも、高低差のある入江大橋区間の利用を促す要因となった可能性も考えられる。

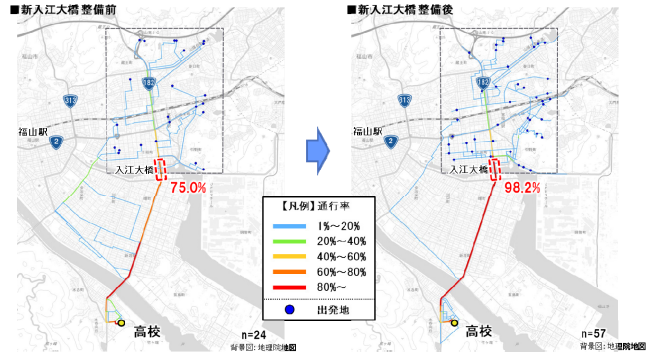


図-10 入江大橋北部地域から高校の通学経路

次に、2008年と2020年で類似する出発地を選び、整備前後での経路を比較すると、入江大橋区間を通過することで、通学距離を約2.4kmも短縮していることが確認でき、自転車通学の負担を小さくすることにも貢献していると言える（図-11）。

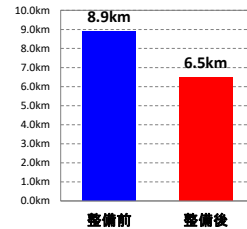
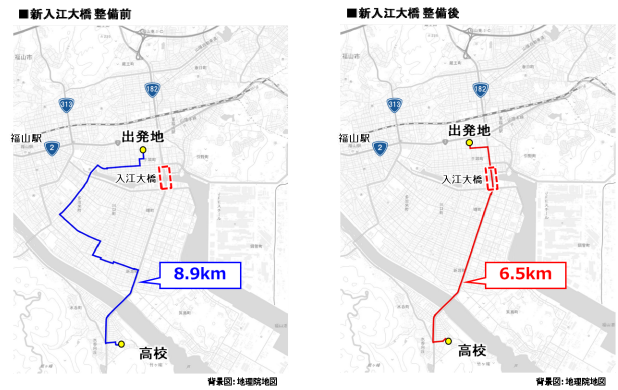


図-11 入江大橋の利用有無による経路長比較

5. 一般国道2号での自転車道整備に関する概要

次に福山河川国道事務所における最近の自転車道整備について紹介する。

(1) 自転車道の整備概要

福山市内の国道2号西桜町一丁目交差点～明神町交差点間の自転車通行空間整備を計画しており、令和4年7月に紅葉町交差点～福山郵便局前交差点間の約0.2kmの整備が完了したところである（図-12）。

整備区間の自転車道の構造については、自転車道と歩道が2.0m、施設帯を0.5mとしている（図-13、図-14）。



図-12 自転車通行空間の事業区間

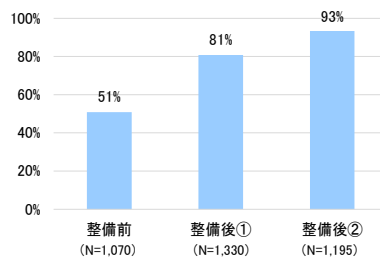


図-15 自転車走行位置の順守率

(2) 自転車通行方向の順守率

自転車道での通行方向の順守を「自転車道を左側通行した自転車」と定義付け、整備後の走行状況より分析した。自転車道の走行位置については、85%が順守しているものの、非順守の割合は15%となった(図-16)。

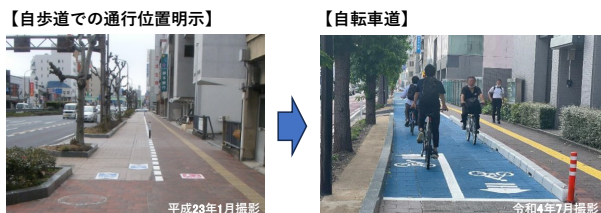


図-13 自転車道整備状況

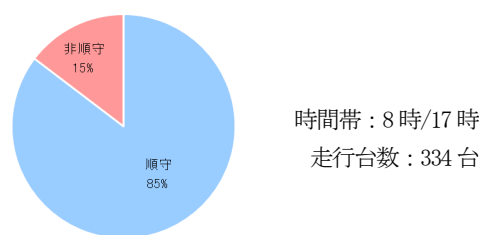


図-16 自転車道の通行方向順守率

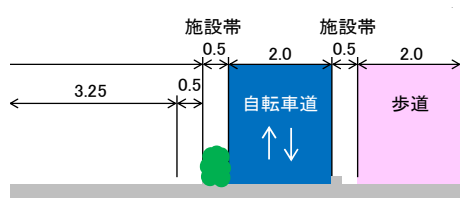


図-14 整備区間における標準幅員イメージ図

(2) 交通実態調査の概要

自転車通行空間整備前後の通行状況の変化を調査するため、複数断面にビデオカメラを設置し通行状況を撮影した。

具体的な撮影日時は以下の通りである。

- 整備前：令和4年1月12日(水)
- 整備後①：令和4年7月20日(水)
- 整備後②：令和4年12月6日(火)
- 撮影時間：7時～19時

6. 自転車道の整備効果

(1) 自転車通行空間の順守率

自転車通行空間の順守を「歩行者通行空間：官民境界から2m」「自転車通行空間：縁石(植樹帯)から2m」と定義付け整備前後の通行順守状況を比較した。自転車通行位置の順守率を整備前後で比較すると、自転車通行空間の順守は、整備前の51%から自転車道整備で93%まで上昇した(図-15)。

非順守の主な要因としては、自転車通行空間内における追い抜きや通学学生による並走が挙げられる(図-17)。



図-17 自転車道を並走する様子

7. まとめ(結論・今後の課題)

(1) 整備計画策定時との2時点比較について

a) 安全性について

交通事故件数の減少だけでなく、利用者の主観的な評価でも安全性の向上が実感されている。特に自転車専用通行帯では、事故の減少効果大きいことが確認でき、利用者から安全性が高いと評価されていることが確認できた。

一方、車道混在での整備区間は、通行に危険を感じる

人も少なくない。自転車利用者だけでなく、自動車ドライバーにも車道混在での整備意図（自転車の車道左側通行の順守率向上や、自動車との共存性を向上させるための整備）を周知していくことも重要と考えられる。

b) 利用状況について

自転車の利用状況については、社会情勢の変化もあり、小学生、保護者の利用頻度が減少し、自転車離れが起きている可能性が示唆される。

また、新入江大橋の整備に伴う分析は、橋梁整備における自転車通行空間の再配分という稀なケースであるが、福山港内港を自転車で横断しやすくなったことで利用経路の変更や通学距離の短縮にも寄与している事が確認できた。

(2) 一般国道2号における自転車道の整備効果

a) 自転車通行空間の順守率

自転車専用通行帯の整備において、時間経過とともに順守率も向上している。自転車道を整備することで自転車と歩行者の通行空間が分離され自転車と歩行者の安全性が確保されたことが確認できた。

b) 自転車通行空間の順守率

自転車専用通行帯での通行方向順守率は85%であり多くの利用者に左側通行の意識が根付いているが、集団移動（並走）や自転車通行空間内の追越し時に右側通行する利用者が見受けられた。

(3) 今後に向けて

整備計画の目標のうち、「歩行者・自転車の安全確保」については、今回の分析により一定の効果を発現していることが確認できた。もう1つの目標である「自転車利用者の増大」に関しては、自転車ネットワークの形成に向けた整備の途上である。新入江大橋のように住民の生活の質を向上させる大きな効果も確認できており、引き続き国、県、市のそれぞれの道路管理者が連携して整備を進め、自転車ネットワークを形成していく。また、身近に整備区間がない等で認知されていない実態もあり、引き続き整備の推進とともに整備に合わせて広報等で周知することや近隣の中学校、高校へマナー啓発のためのチラシ配布等をこれからも行っていきたい。

なお、自転車離れについて、高校生は自転車が日常の移動手段として利用されていることは変わっておらず、社会人になるタイミングで自転車離れが発生していると考えられる。そのため、就職を控えた高校生や大学生に対するアプローチが、自転車離れの抑制に有効な可能性があると示唆される。

謝辞：本調査は、福山都市圏交通円滑化総合計画の前期5ヶ年計画（2018年度～2022年度）の施策の1つとして実施した。調査にあたり、福山市内の24校の小学校、8校の高等学校にアンケート調査へご協力いただいた。また、福山市立大学の渡邊教授及び大門准教授（現、國學院大学 観光まちづくり学部准教授）にご助言を頂きながら調査を進めた。調査にご協力いただいた皆様に、ここに記して感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 国土交通省 道路局、警察庁 交通局：安全で快適な自転車利用環境創出ガイドライン
- 2) 福山都市圏自転車走行空間整備懇談会：福山都市圏自転車走行空間整備計画

札幌都心部における賑わい創出に向けた新たな 道路利用の取り組み事例

—さっぽろわざわざわストリート（南一条通）の社会実験—

山内 良輔¹・三澤 英恵²・平川 貴志³

¹北海道開発局 室蘭開発建設部 浦河道路事務所 （〒057-0034 北海道浦河郡浦河町堺町西4丁目8-1）

²北海道開発局 札幌開発建設部 都市圏道路計画課 （〒060-8506 北海道札幌市中央区北2条西19丁目）

³株式会社ドーコン 交通事業本部 交通部 （〒004-8585 北海道札幌市厚別区厚別中央1条5丁目4-1）

札幌都心部の道路空間は、昼間は「買い物」や「食事」等の賑わい、夜間や早朝は「荷さばき」等の物流というように、時間帯によってニーズが異なり多様化しているが課題も浮き彫りとなっている。そこで、2022年6月の2週間、札幌都心部の南一条通（札幌市中央区南一条西二～三丁目）において、道路空間を再構築にすることにより賑わいの創出および課題解決を目指した社会実験「さっぽろわざわざわストリート」を実施した。本稿では、実施に至った経緯や実験で得られた効果、課題を取りまとめるとともに、歩行者利便増進道路制度の新たな活用を含め、今後の南一条通の整備、運用のあり方の検討状況について報告する。

キーワード 地域活性化、道路空間再構築、ほこみち、タイムシェア、事故防止

1. はじめに

国土交通省は、地域を豊かにする歩行者中心の道路空間を目指し、2020年11月に「歩行者利便増進道路」（通称：ほこみち）制度¹を創設した。

この制度は道路を「通行」以外の目的で柔軟に利用できるようにするもので、道路空間を活用する際に必要となる道路占用許可が柔軟に認められるようになり、幅の広い歩道にオープンカフェやベンチなどを置いて、歩行者にとって便利で賑わいあふれる空間が創出できるようになった。全国各地でこの制度の適用が進み、2023年5月31日時点では100を超える路線が指定²されている。

一方、北海道においては指定されている路線は存在しない。そのような状況において札幌都心部の道路空間は、昼間は「買い物」や「食事」等の賑わい、夜間や早朝は「荷さばき」等の物流というように、道路を「通行」以外の目的で利用することへのニーズは確認されている。そこで、札幌都心部における賑わい創出に向けた道路利用の取り組みとして「歩いて楽しいまち」の実現を目指す中で、ほこみち制度の適用にタイムシェア（時間帯別の運用）の考え方を追加し、道路空間を再構築して生み出された空間をニーズに応じて時間帯で運用を変更する社会実験「さっぽろわざわざわストリート」（以下、

「本実験」）を、南一条通の西二～三丁目の区間（以下、「実験区間」）において実施した。

2. 取り組みの背景

(1) まちづくりにおける札幌都心部の位置付け

札幌の“都心”は、2016年5月に策定された札幌市の「第2次都心まちづくり計画³」において「JR札幌駅北口の一帯、大通東と豊平川が接する付近、中島公園、大通公園の西側付近を頂点とする、ほぼひし型に広がる区域」と定義されている（図-1）。

本実験を実施した区間は、沿道路面の魅力の再生と中心商業地としての歴史・伝統の活用により活性化を図るエリアである「都心商業エリア」と経済発展をけん引する都心まちづくりを先導するエリアである「都心強化先導エリア」に位置付けられている。

また、2015年9月に、札幌都心部の6つの商店街振興組合、札幌商工会議所、エリアマネジメント団体である札幌大通まちづくり株式会社で構成された大通地区再生研究会において策定された「大通中心街まちづくり指針⁴」においては、本実験を実施した区間は「大通中心街の顔『Tゾーン』」に位置付けられている（図-2）。

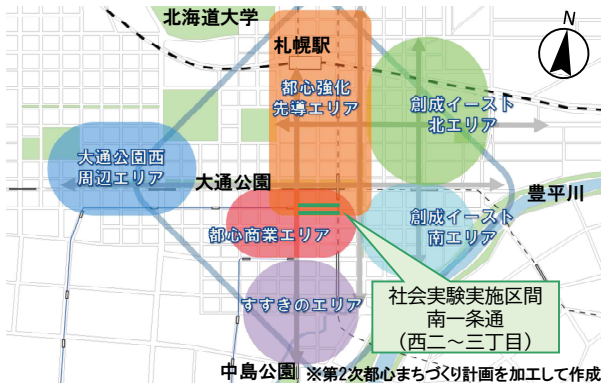


図-1 札幌都心部の位置図



図-2 『Tゾーン』と社会実験実施区間

(2) 札幌都心部と実験区間の現状と課題

前述のとおり、札幌都心部は高次な都市機能の集積や魅力ある都市空間の創出など、札幌の顔にふさわしいまちづくりを重点的に進めていくことで経済の成長や雇用の創出に寄与するとともに、市民生活の質の向上を支え、札幌を世界にアピールすることが求められている。

このようなエリアの中に位置する実験区間では、現状において、ベンチ等が少なく歩行者が快適に休憩・滞留できる環境が整っていないといった歩行者滞在空間が不足していること（図-3）、車道部で最も歩道側の車線に停車車両が長時間存在することやその車列が横断歩道まで形成されるなど道路交通機能が低下していること（図-4）、車道走行が原則である自転車の歩道走行が常



図-3 歩行者滞在空間の不足



図-4 道路交通機能の低下



図-5 歩行者の安全性の低下

態化するなど歩行者と自転車が錯綜し歩行者の安全性が低下していること（図-5）の3つの課題が挙げられた。

これらの課題解消に向けて、施策内容を検討し本実験を行った。

3. 「さっぽろわざわざわストリート」の概要

本実験は、多様なニーズに対応し、新たな賑わい創出に向けた道路空間活用方策の有益な知見を得るとともに、ほこみち制度で想定する道路空間の活用方策にタイムシェアの考え方を加え、新たな道路空間活用方策の必要性を明らかにすることを目的として実施した。

なお、「さっぽろわざわざわストリート」という名称は、「みんなでわざわざまちな出よう」をキーワードに、みんなで“わざわ”盛り上がりれば“わざわ”まちな訪れたいことを期待して設定した。

(1) 関係機関との調整

a) 実施体制

実験区間がある大通地区の商店街やまちづくり会社をはじめ、運送事業者、学識経験者、札幌市など、今回の社会実験の関係者が含まれる札幌都心交通研究会が存在したことから、2021年に研究会内へ新たに道路空間活用部会を設置して実験協議会に位置付け、構成団体・企業ごとに「調査実施、運営」「地元、関係者間調整」「効果検証」など、担当する役割を設定した。

b) 実験協議会の開催

実験協議会は、本実験の実施前に4回、実施後に2回開催した。実験前は、事業者の選定や実験内容の検討、スケジュールの整理など社会実験に向けたベースを固める協議や実験プログラムの共有、記者発表などの広報案の検討を行い、実施後は、実験結果のとりまとめを行った。

なお、実験協議会内部においても様々な利害関係者が関係することから、事前に意見交換の議題を整理し、議論が発散しないよう留意することで、少ない回数で意見がまとまるよう運営した。

(2) 実験概要

2022年6月17日(金)～6月30日(木)の間、実験協議会が主体となり、実験区間で道路空間を再構築し新たな空間を道路に生み出す社会実験を実施した。

なお、課題として挙げられた項目に対応する形で、大きく分けて4つの施策を実施した(図-6)。

a) 道路空間再構築

歩行者滞在空間や賑わい空間の創出に向けて、車道部を片側2車線から1車線へと削減し道路空間再構築を実施した(図-7)。

b) 沿道店舗等との連携による賑わい創出

道路空間再構築により新たに創出した空間を活用し、テーブルやイス、キッチンカーを配置することで、沿道店舗等との連携による賑わい創出の取り組みを実施した(図-8)。

c) 道路空間のタイムシェア

時間帯によって道路空間へのニーズが異なることに着目し、道路空間のタイムシェアを実施した。

これは、道路空間再構築により生み出された賑わい空間について、朝の歩行者が少ないこと、同様にタクシー乗り場についても朝の利用者が少ないこと、一方で荷さばきは午前中に需要が多いことから、午前の一部時間帯を荷さばきスペースとして、それ以外の時間帯を賑わい空間やタクシー乗り場として活用した(図-9)。



図-7 道路空間再構築による歩行者滞在空間の創出



図-8 沿道店舗等との連携による賑わい創出



図-9 道路空間のタイムシェア

(上段：(AM)荷さばきスペース，下段：(PM)賑わい空間)



図-6 実験区間(西三丁目)の概要

d) 自転車対策

車道部では矢羽根型路面表示により自転車走行空間を明示(図-10)し、歩道を走行する自転車に対してはプラカードや声かけにより自転車押し歩きの啓発を実施した(図-11)。さらに、シェアサイクル『ポロクル』のポートを車道向きに設置(図-12)することで、自転車がスムーズに車道走行できる取り組みも実施した。



図-10 矢羽根型路面表示による自転車走行空間明示



図-11 自転車押し歩きの啓発



図-12 車道向きのシェアサイクル『ポロクル』ポート

4. 本実験で得られた効果や課題

(1) 得られた効果

a) 歩行者交通量の増加

歩行者交通量は、実験前と比較して平日では約1.1倍、休日は約1.9倍となり(図-13)、沿道店舗へのヒアリング調査でも特に休日の賑わいが創出されていたとの意見が得られた。また、街頭アンケートにおいても、賑わい

や安全・安心な歩行空間づくりについて半数以上から肯定的な回答を得られた(図-14)。

b) 道路空間のタイムシェアによる配送作業効率化

運送事業者へのヒアリングから、「エリア内の配達時間が短くなり配送のサービス向上につながる」や「トラックから降ろした場所の近くに荷物を保管できてよかった」など、道路上に荷さばきスペースを設置することが配達時間短縮など配送作業の効率化にも寄与することが確認された。

c) 自転車の車道走行率の向上

自転車の車道走行率は、実験前と比較して、平日では約1.4倍、休日は約2.1倍となり(図-15)、歩行者の安全性が向上したことや自転車利用ルールの周知に寄与していることが確認された。

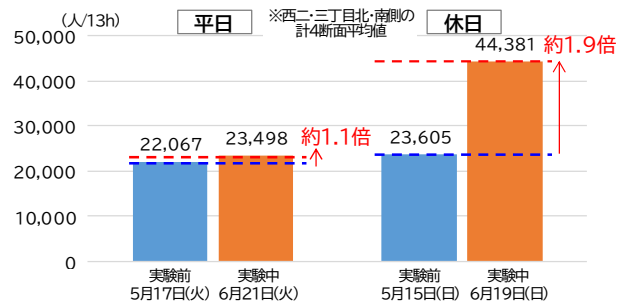


図-13 歩行者交通量の変化

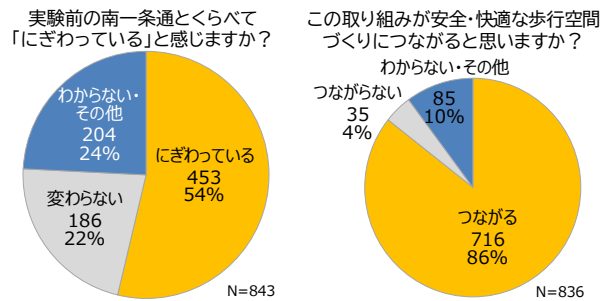


図-14 街頭アンケート調査結果

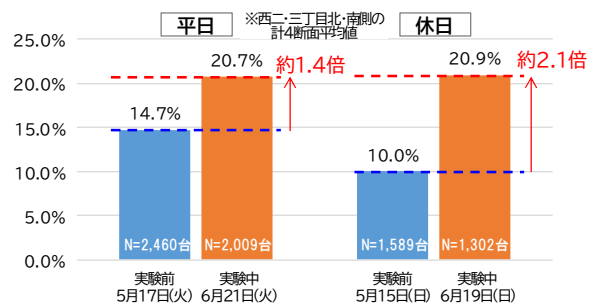


図-15 自転車の車道走行率の変化

(2) 明らかになった課題

a) 一時的な渋滞の発生および路上駐車増加

車線を削減したことにより、朝の通勤時間帯を中心に

一時的な渋滞の発生（図-16）や周辺エリアにおける路上駐車が増加が確認された。

b) タイムシェアの詳細な調整

荷さばきの時間帯においてもタクシー利用者が一定数あり、一部支障となったことが確認された。

c) 持続可能な仕組みの構築

今後、ほこみち制度を本格導入するためには、恒常的な賑わいづくりに向けた担い手や運営・維持管理等を含めた持続可能な仕組みが必要であることから、継続的に議論をしていくことが不可欠であることが確認された。

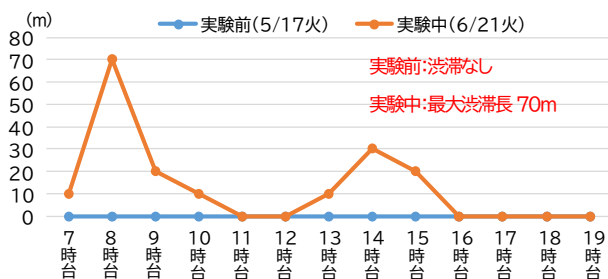


図-16 渋滞長の変化

(南一条通 西二丁目線交差点東側流入部)

5. 今後の展望

研究会では、沿道事業者や運輸事業者、商店街などの理解を得ながら連携し、本実験を通じて得られた課題も参考にして、交通課題の解決方法と都心商業エリアの顔

として魅力が溢れる南一条通のあり方を検討することで、ほこみち制度の本格導入に向けた取り組みを実施していきたいと考えている。

また、本実験で得られた効果が大通地区全体に波及させることも検討しており、荷さばきスペースを確保することによる配送作業効率化とそれにより生まれた空間を活用した新たな賑わい創出に向けた「歩行者利便増進道路制度の機動的な運用やエリア物流マネジメントによる都心部中通り魅力化に向けた社会実験」が2023年度に採択され、今後は路線単位での検討に加えて面的な検討や期間限定での占用など積雪寒冷地においても有効な運用を深めていくところである。

謝辞：本社会実験に多大なご協力・ご助言をいただいた札幌都心交通研究会や地域のみなさまに心より感謝を申し上げます。

参考文献

- 1) 国土交通省：歩行者利便増進道路－ほこみち－, <https://www.mlit.go.jp/road/hokomichi/> (2023. 11. 15閲覧)
- 2) 国土交通省：歩行者利便増進道路（ほこみち）指定一覧, <https://www.mlit.go.jp/road/hokomichi/pdf/ichiran.pdf> (2023. 11. 15閲覧)
- 3) 札幌市：第2次都心まちづくり計画, 2016.5, <https://www.city.sapporo.jp/kikaku/downtown/plan/toshin2.html> (2023. 11. 15閲覧)
- 4) 大通地区再生研究会：大通中心街まちづくり指針, 2015.9, <https://sapporo-odori.jp/guideline/> (2023. 11. 15閲覧)

荒々しくも美しい立野ダムの川づくり

倉上 健人¹・館 新吾¹・遠山 哲生¹

¹九州地方整備局 立野ダム工事事務所 工務課 (〒861-8019 熊本県熊本市東区下南部1-4-73)

立野ダム周辺には豊かな自然環境に囲まれた景観が残されていることから、環境に与える影響を極力抑えるように努め、周辺景観との調和を目指し、事業を進めてきた。立野ダムは普段は水を貯めない流水型ダムであるため、ダムの上流から下流にかけて溪流の状態の水が流れるが、ダムの上流区間は工事に伴い河川景観を大きく改変しているため、建設前の荒々しくも美しい河川景観を再創出するべく、流水型ダムにおける川づくりを行った。本稿では、川づくりにおける検討内容や施工時の配慮事項を中心に報告する。

Key Word: 立野ダム, 流水型ダム, 川づくり, 溪流の復元, 河道景観

1. 立野ダム周辺環境の概要

立野ダムは、白川沿川の洪水被害の防止を目的とした洪水調節専用（流水型）ダムである（図-1）。ダム建設地周辺は「阿蘇くじゅう国立公園」に指定されており、国の天然記念物である阿蘇北向谷原始林を始めとした豊かな自然環境を有している（図-2）。また、建設地である阿蘇地域は「ユネスコ世界ジオパーク」に認定されている。溶岩が冷却・収縮して形成された「柱状節理」がジオサイトとして事業区域内に存在しており、河道においては深く急峻な谷地形で迫力のある景観を形成している。

立野ダムは、治水専用の流水型であり常時は貯水池を持たないことから、上流から下流にかけて常に溪流の状態の水が流れているのが特徴である。



図-1 立野ダム流域図

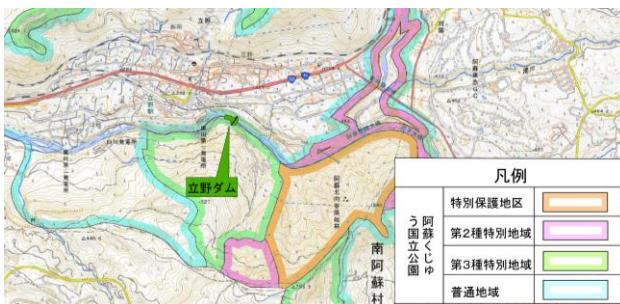


図-2 阿蘇くじゅう国立公園区域図

2. 立野ダムの川づくり

(1) 立野ダムの景観検討と川づくりの必要性

立野ダム周辺には阿蘇北向谷原始林や柱状節理にも触れられる豊かな自然環境が残っている。そのため良好な自然景観の保全・形成を行うために、学識者や地域の意見を踏まえながら景観に配慮し事業を進めている。

立野ダムは貯水池を持たない流水型ダムであり、普段は溪流として流れていることから、工事によって改変した河道を復元し、周辺の風景や河川環境へ配慮した「川づくり」の検討が必要である。

(2) 白川水辺空間計画と川づくりの方針

熊本河川国道事務所と熊本県は、令和4年3月に「白川水辺空間計画」を更新し、白川全域における今後の河川空間整備にあたっての方針等を示している。

本計画において、立野ダム上流部は「峡谷ブロック」に位置付けられ、下記のような整備テーマが示されている。

■整備テーマ

「長い時間をかけて自然の営力で削られた峡谷と礫河原、瀬・淵が織りなす変化に富む水辺空間」

以上から、立野ダム上流部における河道景観の検討においては、本計画における整備テーマや変化のある流水面、連続する瀬・淵といった留意事項を踏まえ、川づくりの検討を進めた。

川づくりの検討方針については以下の通りとした。

- ①当初の自然らしい、荒々しくも美しい峡谷河川景観の再生を目指す
- ②変化のある流水面や連続する瀬・淵を再創出する
- ③人為は最小限にとどめた川の営力による持続的な自然環境の創出を図る。

(3) 検討区間の設定

ダム上流部河道の検討区間は、河道や工事の状況から、下記の3つに区分し設定した。(図-3)

a) ダム直上流区間

ダム本体から仮排水トンネル呑口までの区間は、工事による変化が大きく、管理設備が多く存在する区間である。また、多くの人の目に触れやすく、景観的にも重要な場所であることから、「ダム直上流区間」と設定し、「立野峡谷らしい景観の再創出」を整備方針として施工するものとした。

b) レキ河原区間

仮排水トンネル呑口から上流屈曲部の区間も「ダム直上流区間」同様に工事によって当初の河川景観が改変されているが、管理用道路などの管理設備はほとんどない区間である。この区間は「レキ河原区間」として設定し、整備方針は「仮設構造物の撤去後、自然の営力により当初河道状況を回復する」として、河道整備は仮設構造物の撤去と撤去後の巨レキによる被覆修景など、最低減の河道復元にとどめた。

c) 峡谷区間

上流屈曲部から数鹿流ヶ滝及び鮎返りの滝で囲まれた区間を「峡谷区間」として設定した。この区間は柱状節理や阿蘇北向谷原始林が広がる雄大な峡谷景観が残されており、このダイナミックな峡谷景観を保全するべく「現状のまま保全する」方針とした。

以上から本稿では、全面的に河道整備を行った「ダム直上流区間」について、河道景観の検討内容を述べる。



図-3 検討区間の設定

3. ダム直上流区間における河道計画の設定

ダム直上流区間は、本体工事の施工に伴い仮排水トンネルへ転流を行っており、トンネルからダムまでの区間は工事発生土で埋められていることから、当初の河川景観から大きく改変されている。立野峡谷らしい景観を創出するべく、まず初めに河道計画の設定を行った。

前提条件としてあるのは、通常の河道に戻すのではなく、流水型ダムとしての管理や洪水時の湛水影響を配慮しなければならないことである。峡谷らしい景観を目指しつつも、流水型ダムとしての機能を阻害しない河道計画を検討するという、過去の先例がない中で作業を進めた。

(1) 河床勾配・線形・川幅の設定

計画河床勾配については、川の榮力により長い年月をかけて、峡谷河川景観が復元されることを目指し、建設前の河床勾配と同じ勾配に設定した。

河川線形の検討においては、峡谷に合わせた曲線形状にすることとした。柱状節理が残る現地の形状に合わせて当時の自然環境に近い河道を創出することを目指した(図-4)。また、白川の特長である「ヨナ」が水際へ堆積しないよう低水路(護岸高以下)の流路を狭め、平常水位になった時に川幅全体で流下させることができる川幅の設計とした。

(2) 管理用道路の設定

流水型ダムでは、洪水調節後の流木や塵芥処理を行うため放流孔まで繋がる管理用道路を両岸に設置する必要がある。

ダム直上流区間では柱状節理や噴出年代が異なる溶岩といった貴重な自然環境が残る中で、管理用道路と周辺景観が違和感なく、立野峡谷の風景に溶け込めこむことが重要であった。(図-5)

管理用だけではなく将来的な見学等でのアクセスも考慮し、管理用道路の高さを全体的に下げることでジオサイトの柱状節理をなるべく保全する設計とした。

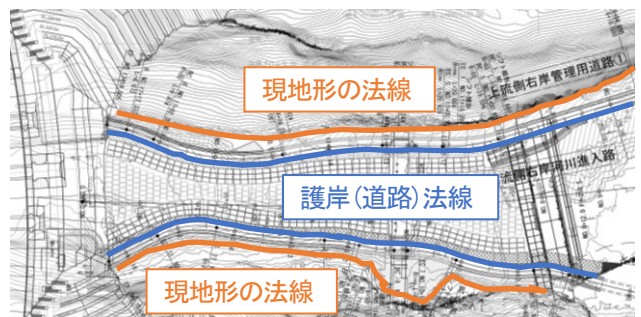


図-4 河川線形の設定



図-5 柱状節理を望める管理用道路



図-6 レキ間に植物が生え自然なじむ護岸（施工事例）

4. 河道景観の検討

河床勾配、河川線形及び管理用道路等の計画を基に河道景観の検討を行った。現地の仮排水トンネル上流域では、基礎掘削工事から4年が経過することで、自然な水際が形成され元々の河川景観に戻ることを確認し、巨円レキなど元々の河床材料を配置することで、時間をかけて本来の峡谷河川環境へ復元することを目指した。また、管理用道路の護岸は、河道から管理用道路につながる景観上の緩衝材として、現地採取した巨レキによる自然な石積護岸の形成を目指した。具体的な検討内容は以下に示す。

a) 護岸構造の検討

前項で示した管理用道路の計画を踏まえ、石積護岸の構造検討を行った。峡谷河川になじむ構造物として、理想の石積を形成するため、他事業での施工事例を参考に検討を行った。様々な施工事例を比較し、それぞれの良い点を踏襲して以下のように具体化していった。

レキ間のコンクリートは充填しすぎないように深目地の練石積擁壁の構造とし、長い年月を重ねることでレキ間に植物が生え峡谷になじむ荒々しい石積を目指した。

(図-6)

石積のレキ径は一定の大きさにそろえず、 $\phi 600 \sim \phi 300$ 程度の様々な自然石を配置することとした。積み方においても、基礎（下位）には粒径の大きなレキを、上部に従って粒径の小さなレキを配置することで、見ている人に安定したイメージを与え、こちよい景観となるよう意識した。また、天端コンクリートを露出させないよう肩の部分が石で凸凹になるイメージとした。(図-7)

b) 護床工の設置

ダム堤体から200m付近までは洪水時の流速が速いため、計画河床高まで埋戻しを行う区間には、河床の洗掘防止のため護床工を設置することとした。工事発生土を除去し、構造上必要な根入れよりも深い計画河床高より1m程度低い位置に設置する方針とし、その上部に元々の河床材料を配置することで自然な峡谷河道を創出する。

(図-8)



図-7 安定したイメージを与える護岸（施工事例）

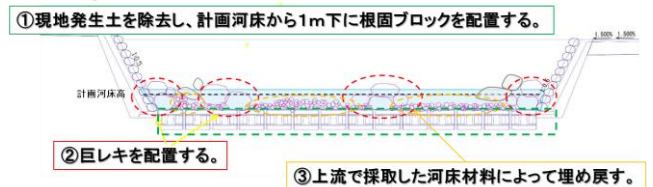


図-8 護床工と修景イメージ

c) 河床材料の配置

ダムサイト周辺は、ダム本体工事の影響により工事発生土が堆積し、元の河床材料の円レキ等が現地でない状況であった。(図-9) また、ダム供用後は洪水時にダムの貯留により湛水するため、湛水が始まると流速がなくなり、将来的な上流からの巨円レキの供給は期待できないため、工事完了時点で元々の河床材料に入れ替えることが最低限必要と考えた。

使用する河床材料は、ダムサイト直下流や河床勾配が同じような河川を参考にし、転流後の状況をイメージしつつ投入する河床材料の大きさ等を検討した。特に直下流においては、水面や石積の前面の巨レキによって自然な水際が形成され心地よい流れを創出しており、このような周辺環境を参考に検討を進めた。(図-10)

以上から、今回の施工時にはできる限り1~2mクラスの巨円レキを河床部に配置することや、河床材料（レキ）で埋め戻すこととした。

下記の4つの河床景観形成を目的として「1~2mクラスの巨円レキ」を配置検討した。(図-11)

- ①掘れて床工ブロックが露出しないよう、流木等捕捉施設の下流に巨石を横断的に配置する。
- ②洗掘防止を目的に、護岸前面に巨石を配置する。
- ③水深と勾配が一定となる区間に、水面に変化をもたらすため巨石をランダムに配置する。
- ④ダム堤体付近区間の左岸部に、低水流向を下段放流口に寄せるため巨石を配置する。



図-9 工事発生土が堆積した河床



図-10 ダムサイト直下流を流れる河川の状況

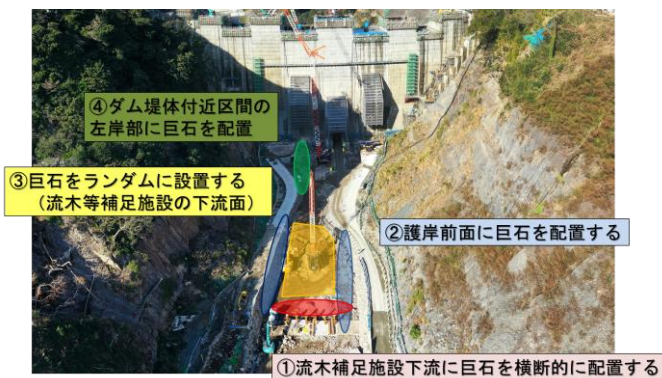


図-11 河床材料の配置イメージ

5. 溪流の復元（施工）

川づくりの検討結果に基づき、溪流の復元に向けた施工を行った。本稿では「石積護岸」、「河床材料」について、施工での配慮事項を中心に述べる。施工においては、本体打設の作業が目の前で進む現場で工事車両などが輻輳する中での作業であった。（図-12）

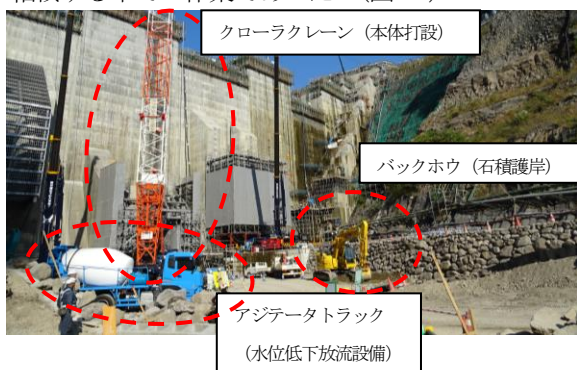


図-12 工事車両等が輻輳する現場

(1) 石積護岸

石積護岸は、現地で採取した巨レキによる自然な護岸形成とともに、長い年月を重ねることでレキ間に植物が生え峡谷になじむ、荒々しい護岸の形成を目指した。施工における主な配慮事項は下記のとおりである。

a) 石の積み方

護岸の石の積み方としては、「四つ目」や「重ね石」など長い石を横積み重ねて使用するのは避け、大きな石から上部に向けて配置することで安定感を与えた。

（図-13）また、ラインを整えず荒々しく噛み合わせ、目地は深く、水抜きパイプが目立たない自然な仕上がりとした。

石積護岸の天端は、形状の異なる石を高く突き出し、舗装と一連の自然な仕上がりとするとともに、コンクリート舗装面は深いほうき目で仕上げ、景観を馴染ませた。

（図-14）

舗装と柱状節理の間は、セメント改良土で埋めて緩衝帯とし自然な仕上がり近づけた。（図-15）

b) 現場での工夫

練石積の目地は、石積の凹凸を阻害しないよう可撓性のある樹脂発泡体目地板を採用した。

管理用道路コンクリート舗装の目地は、一定間隔で目地が目立たないように、杉板を採用した。ダムから見下ろしたときに黒い目地が一定間隔で道路線形を切ってしまうことを防止し、将来的には朽ちて苔むしたり草が生えたりして自然にとけこんでいくよう仕上げた。（図-16）

c) 受発注者間でのやりとり

施工時は、工期が十分に確保されない中でよりよい石積とするため、まずは受発注間で目指している石積施工例のイメージ共有を行った。毎日のように現地確認や撮影した写真にコメントを行い、実際に作業をされている会社も含めて議論を行いながら、良い点や改善点を出し合い作業を進めた。特に石の積み方においては、丁寧に作業を行っている分、段がフラットにそろってしまい不自然に感じる部分もあったが、その後、大小の石を大胆に組み合わせることによって、レキ間の凹凸を創出し、見ている人に安定感を感じさせる石積へ改善した。



図-13 大小の異なる石で凹凸に噛み合わせた状況



図-14 石積のレキが突き出した自然な天端の仕上がり



図-15 セメント改良土で自然な仕上がりとなった舗装面



図-16 杉板を使用した張コンクリートの目地

(2) 河床材料

河床材料は、水面や石積の前面に巨レキを含む河床レキを点在させ、自然な水際を形成する荒々しくも美しい峡谷の流れを目指した。施工における主な配慮事項は下記のとおりである。

a) 工事発生土の除去

現地に残っている土砂は、工事発生土であるため角レキであり本来の河床材料とは異なる。そのため、今回施工時に工事発生土を撤去し、できるだけ1~2mクラスの巨円レキを河床部に配置するとともに、河床材料（レキ）で埋め戻した。

b) 河床材料の復元

水面が白波をたてて流れ、巨円レキが顔を出す、荒々しくも美しい峡谷の流れとなるよう、巨円レキを最大限投入した。また、自然な水際を形成するべく石積護岸の前面に巨円レキを配置した。（図-17）

c) 現場での工夫

使用する材料は上流側の陸域及び土砂止堰堤から採取した。巨円レキは、通常のダンプでは荷台に穴が開く重量であることから、40tアーティキュレートダンプで運搬した。河床材料を投入すると重機の移動ができなくなるため、施工は、ダム側から順次進めた。

護床工の施工においては「レキ河原区間」で撤去した締め切り土留の根固ブロックを転用しコスト縮減につとめた。



図-17 巨円レキの投入状況

6. 景観検討委員会による確認

立野ダムは周辺デザインを検討する「堤体景観ワーキンググループ」を設立している。学識者と現地での確認やリモート確認を随時行うことで、御助言をいただきながら施工を進めた。（図-18）

学識者との検討内容や施工状況は、自治体の首長が委員である「立野ダム景観検討委員会」でも確認をいただいたところである。（図-19）

現場の状況を踏まえて、石の積み方や管理用道路の構造に関する的確なご意見をいただけたことで、川づくりや施工に対する意識も向上した。



図-18 学識者との合同確認の様子

委員会	開催日
第25回 堤体景観ワーキンググループ	2022.8.26
第26回 堤体景観ワーキンググループ	2022.9.21
第27回 堤体景観ワーキンググループ	2023.2.7
第12回 立野ダム景観検討委員会	2023.5.10

図-19 委員会の開催状況

7.二次転流の状況

石積護岸及び河床材料の施工後、令和5年2月6日に二次転流を行った。

石積護岸においては、柱状節理と河道の自然風景になじみ、連続性のある景観を形成することができた。

河床においては、水面が白波をたて巨円レキが顔を出す荒々しい峡谷の流れが現れ、荒々しくも美しい立野峡谷本来の景観を復元することができた。

今後は、長い年月を重ねることで周辺からの植生の遷移が進み、自然の営力により当初の自然らしい峡谷河川へと景観がさらになじむものと期待できる。(図-20)

8. 今後のモニタリング

今回、川づくりの検討・施工から二次転流を経て、今後は洪水時にどのように湛水して河道の変化が生じ、土砂が堆積していくか、綿密なモニタリングが必要である。そのため、定点写真によるモニタリングだけではなく、湛水時の時間変化を調査するための動画撮影や、湛水前後の河道形状、堆積した土砂の粒径を定量的に把握するためUAV測量による3次元点群データの作成を実施していく。

(図-21) (図-22)

9. さいごに

流水型ダムである特徴と周辺の豊かな地形・自然環境といった様々な条件がある中で、川づくりの検討から施工を経て、後生に残る荒々しくも美しい河道景観を形成することができた。

今後は流水型ダムにおける川づくりの先駆けとして、検討内容や施工事例だけではなく、事業従事者の「想い」も引継がれていくことを願う。

謝辞：現場の施工にあたり「西松・安藤ハザマ・青木あすなろ特定建設工事共同企業体」の皆さまには、他工事との兼ね合いや二次転流までのリミットがあるなかで、細かな配慮事項に都度対応して頂きました。ここに記して謝意を示します。



図-20 二次転流状況



図-21 カメラによる時間変化のモニタリング



図-22 UAV測量による3次元点群データの作成

都市におけるパブリックスペースの有機的連携に関する研究

小笠原 裕光¹・堺 友里¹・新階 寛恭¹・益子 慎太郎¹・萩原 岳²・
福島 利彦³・森川 裕貴⁴・藪崎 琳太郎⁵

¹国土交通省 国土技術政策総合研究所 都市研究部 都市施設研究室（〒305-0802 茨城県つくば市立原 1）

²公益社団法人 日本交通計画協会 交通計画研究所（〒113-0033 東京都文京区本郷 3-23-1）

³株式会社トーニチコンサルタント 本社事業本部 計画本部 計画調査部（〒151-0071 東京都渋谷区本町 1-13-3 初台共同ビル）

⁴日本工営株式会社 交通政策事業部 交通都市部（〒102-8539 東京都千代田区麹町 5-4）

⁵日本工営株式会社 中央研究所（〒300-1259 茨城県つくば市稲荷原 2304）

ポストコロナにおける多様で豊かな生活志向（Well-being等）に対応した人中心のまちづくりにあたっては、人々の生活動線であり、多様な活動の拠点でもある街路、広場、公園、河川等のパブリックスペースが、複数で有機的に連携し相乗効果を発揮することが重要である。一方で、効果の要素、程度は不明であり、地域における都市再生施策の展開に際し課題があった。

本研究では、利用者等の各視点から見込める連携効果を挙げ、横浜市、金沢市、岡崎市の中心部において、インタビュー調査（各約200件）を行い検証した。結果、都市空間特性に応じた、利用者の生活満足度の向上や行動範囲・活動内容の広がり等の効果を明らかにした。

キーワード 新しい生活様式、ウォークアブル、ほこみち、かわまちづくり、Park-PFI、
駅まちデザイン、Well-being、公民連携、エリア価値向上

1. 序論：研究の背景及び目的

ポストコロナにおいてデジタル化が急速に進展、人々のライフスタイルが多様化し、Well-being 等のひとりひとりに寄り添った生活の豊かさが志向される中、全国のまちなかの各拠点において、官民一体となったウォークアブルな「居心地が良く歩きたくなるまちなか」の形成等により、多様な人々の出会い・交流を通じたイノベーションの創出、人間中心の豊かな生活の実現を目指す取組が進捗している。

限られた投資余力の中でこうした取組の効果を高めるためには、日常生活において一連で利用される街路、駅前広場、公園・広場、河川空間等のパブリックスペースが、相互に複合的に結びつき全体を形成し、相乗効果を

発揮する（以下、有機的連携効果）ことで、まちなかエリア全体へ効果が波及し、価値を高めていく発想が重要である（図-1）。

パブリックスペースは、まちなかにおいて、「誰に対しても開かれている空間」（open）である。都市の本質は集積・交換とともに人々との交流にあることから¹⁾、まちを歩く人が自然に「まち」として捉えるアイレベル・グランドレベルにあり、誰もが自由にアクセスできる²⁾ 空間として重要である。人々が集い、移動、滞在するため、周辺への波及効果も大きく、面的な広がりを持って多様な活用がなされることで相乗効果が生まれ、当初の個別施設の整備目的を超えて新たな機能を生み出すことが可能である²⁾。

近年は、これまで行政に管理を長年任せきりにしてき

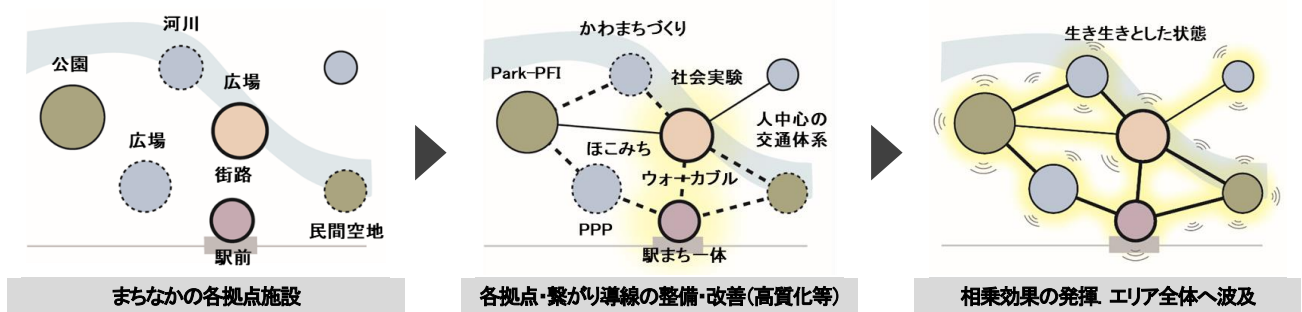


図-1 有機的連携のイメージ

た Government space³⁾としての公共空間から、地域住民や民間事業者等と共につくりあげる、英語圏の public space を語源とする本来のパブリックスペースへリデザインする動きが広がり、官民連携による様々な個別再編事業が全国で進捗している。街路では、まちなかウォークアブル推進事業と歩行者利便増進道路（通称：ほこみち）制度の活用が、公園では Park-PFI 事業が、駅前広場では駅まちデザイン、河川空間では、かわまちづくり、ミズベリングなど、各種個別事業の取り組みが進んでいるところである。また、事業実施に先立ち、官民の多様な主体がまちの将来像の実現に向けて一体となって協議・調整・取組を行うため、横断的かつ対等で平等な多主体間による協議組織（エアラプラットフォーム等）を立ち上げている事例も増えている。今後は、こうした個別再編事業を契機に、パブリックスペースが有機的に連携し、利活用が進むことによる、エリア価値向上⁴⁾を意識した施策展開が一層求められる。

一方で、有機的連携効果の要素及び程度が不明である、体系的な分類がない、実務で応用する方法論が未確立である等により、地域における都市再生施策の展開に際して、現場状態の適切な把握と改善が困難であるという課題があった。実務において、既存市街地を再生する際の取り組みの難しさは、先人が日々の営みを積み重ね、結晶化させ徐々に強化してきた都市の凝集性や結束力を、また、風土や自然、歴史も含めたその地域らしさを、いかに崩さずに将来へ漸進的な方向で引き継いでいくかにある。各種パブリックスペースがコネクションの役割を果たし、周辺施設等との総体として持続可能となるよう、有機的連携効果の効用について、地域の多主体のニーズや施策目的等に応じて、関係者で多面的に共通認知、確認し、取り扱えるようにする必要がある。

また、全国の都市再生を効率的に推進するための国土

交通省の交付金制度である都市再生整備計画事業等の「評価の手引き(令和4年度版)」では、都市再生整備計画区域における複数の公共・公益事業の組み合わせによる相乗効果を狙いの一つとしているが、相乗効果の内容としては事業の連鎖的な誘発効果等の例示に留まっている。

そこで本研究では、先進事例が進みつつある歩行空間ネットワークの強化を、主要な連携効果のひとつとして意識しつつ、まちなかエリアの効果的な再生に向けて、未だ明らかにされていないパブリックスペースの有機的連携効果の要素、程度を把握することで、地域の施策改善に役立てる方法を構築することを目指す。

2. 連携効果の仮定と要素分類

(1) 都市再生施策のアウトカムの整理

SDGsや人口減少・高齢化社会、デジタル化の急速な進展、ポストコロナにおける新しい生活様式など近年の社会情勢の変化により、新たな、都市に求められる機能が生じている。そこで、国土交通省主催の委員会資料を中心に、既往文献やインターネット情報等(計18件)を参照しながら、都市が有する基本的な機能と、新たに求められる機能について、その種類(各8種類計16種類)及び概要を整理し(図-2)、これらから、4つの類型「ウェルビーイング」、「地域活性化」、「防災レジリエンス」、「低炭素、循環型社会」を導いた(図-2)。

次に、4類型について、現場の実務における適用の妥当性を確認するため、全国の各団体(19都市)のHP等を参照し、対応状況を確認した。結果、4分類に含まれるいずれかの機能が掲げられており妥当性が確認できた。

傾向として、「ウェルビーイング」、「地域活性化」の2分類については、全ての事例で掲げられており、「低炭素、循環型社会」については概ねの地区で掲げら

都市が有する基本的な機能

No	機能の種類
1	安全な暮らしを実現する防災機能、防犯機能
2	地球環境への負荷を低減する環境機能
3	騒音等の公害を軽減し、うるおいのある良好な都市環境を形成する環境機能
4	都市活力の創出、経済活動を創出する経済機能
5	個性的で魅力ある空間と景観を形成し、歴史・文化を継承する空間機能
6	多様な移動手段を実現する交通機能
7	多様な世代の社会参加を実現するコミュニティ・交流・教育文化機能
8	情報ネットワーク、双方向の情報提供を実現する情報機能

新たに都市に求められる機能

No	機能の種類
1	多様な人の集積や、多様性の維持を促進する空間機能
2	災害や社会変化に柔軟に対応するレジリエンス、冗長機能
3	ウェルビーイングを向上させる心身の健康機能
4	多様なイノベーションを創出する空間、連携機能
5	居心地がよく多様な使い方ができる人中心のパブリック空間機能
6	柔軟な育成、更新、活用ができる空間機能
7	まちそれぞれの独自性を表すシンボル機能
8	サイバー空間と結合し、持続可能な都市を実現する自己更新機能

4分類⇒主なアウトカムとして整理	
A	ウェルビーイング (生活利便性の向上等)
B	地域活性化 (地域経済の活性化等)
C	防災レジリエンス (帰宅困難者受け入れ一極集中の回避等)
D	低炭素、循環型社会 (公共交通・歩行者中心の移動、環境に優しいモビリティへの転換等)

図-2 都市が有する基本的な機能及び新たに求められる機能の4分類

れており、「防災レジリエンス」については一部の事例で掲げるに留まっていた。

以上を参考に、4類型を、我が国の都市再生施策において今後想定される代表的なアウトカム（実現したい社会的効果）として整理した（図-2）。

(2) 連携効果の要素分類（評価軸）の整理

整理した都市再生施策のアウトカムや都市機能の発現につながると思込める有機的連携効果について、国の示す「都市構造の評価に関するハンドブック」「健康・医療・福祉のまちづくりの手引き」「まちなかの居心地の良さを測る指標」などで用いられている各種評価指標、効果を参考にしつつ、実務者として金沢・横浜・岡崎の市役所職員、都市デザインを専門とする有識者2名の意見もふまえ、可能性として考える要素項目を取り上げ仮定した（表-1）。

次に、仮定した連携効果の要素項目について、都市活動に関わる、利用者、施設管理者、まちづくり団体の3つの立場から、物理面、活動面、心理・社会面の3つの切り口による計9分類を行った。

この9分類は、都市再生施策の展開に際して、アウトカム実現に向けた施策の継続・改善のために、現場状態の適切な把握を行う評価軸として用いることを想定する（図-3）。図-3は、施策の計画・実施から、有機的連携効果の評価・分析し、計画の改善・実施を繰り返すことでアウトカムの実現に至るまでの、マネジメントサイクルを表しており、代表例としてPDCAサイクルを活用した場合である。

3. インタビュー調査による利用者目線の検証

(1) 調査対象と方法

連携効果の要素からポストコロナにおいて関心が高まっており、定性調査による現場検証が必要な利用者目線の物理面、活動面、心理・社会面の3分類について現地調査を行った。対象地区は、エリアの将来ビジョンを策定し、連携を意識した先進的な取り組みがみられることを前提条件として、地域特性、パブリックスペースの多寡、利用者特性等が異なる3事例、金沢市（片町・香林坊・広坂エリア）、横浜市（みなとみらい地区）、岡崎

表-1 有機的連携効果の仮定(利用者の立場11項目のみ抜粋掲載.管理者及びまちづくり団体の立場9項目は省略.計20項目)


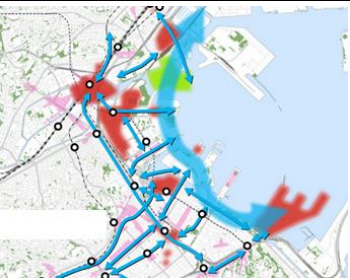
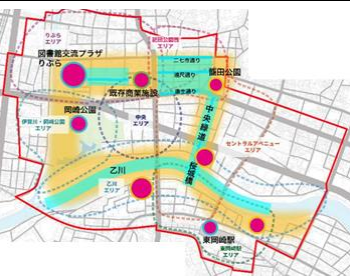
立場	切り口	No	連携効果	4分類との対応	確認指標	指標の出典	今現地調査	
利用者	物理面	1	良好な都市景観形成	■ウェルビーイング	良好な景観の形成、景観のシンボル性	まちなかの居心地の良さを測る指標	●	
		活動面	2	パブリックスペースの来訪者数の増加	■地域活性化	来訪者数、歩行者数	(自治体調査等)	●※
			3	アクティビティの量及びその多様性の増加	■ウェルビーイング	アクティビティ(歩く、話す、座る、飲食…)の量、多様性	まちなかの居心地の良さを測る指標	●※
			4	回遊行動の範囲、行動・滞在時間の拡大	■ウェルビーイング ■地域活性化	回遊行動範囲、回遊行動の内容、滞在時間	(現地調査等)	●※
			5	利用交通手段の変化	■ウェルビーイング ■地域活性化 ■低炭素、循環型社会	来訪交通手段、パブリックスペース間の移動手段	都市構造の評価に関するハンドブック、低炭素まちづくり計画・ハンドブック(現地調査等)	●
		6	来訪者の属性や来訪目的の多様化	■ウェルビーイング ■地域活性化	来訪者の年齢、性別、居住地、来訪目的	(現地調査等)	(●)	
		7	運動量の増加、健康増進効果	■ウェルビーイング	一人当たり医療費、外出率、身体活動量、地域活動参加率	都市構造の評価に関するハンドブック、健康・医療・福祉のまちづくりの手引き	●	
		8	パブリックスペース間におけるイベント開催・参加	■ウェルビーイング ■地域活性化	イベント、市民参加活動の実施数	スマートシティ実行計画の指標	●※	
	心理・社会面	9	来訪者が感じるパブリックスペース間のつながりの強化	■ウェルビーイング ■地域活性化	来訪者が感じるつながりの強さ、認知度	(現地調査等)	△	
		10	パブリックスペース間のつながりのわかりやすさ、情報提供に対する満足度の向上	■ウェルビーイング ■地域活性化	案内版、パンフレット等の情報提供の有無、利用者が感じるわかりやすさ	(現地調査等)	△	
		11	来訪者や周辺居住者が感じる居心地の良さ、暮らしやすさなど心理的満足度の向上	■ウェルビーイング ■地域活性化	快適性、安心感、コミュニティ帰属意識、シンボル性を感じる、シビックプライドの醸成、など	まちなかの居心地の良さを測る指標(現地調査等)	●	

(●：現地調査で質問とした項目。※は質問作成時に他の項目と束ねたもの。△：別途、調査したが十分な成果が今後の課題等。)



図-3 有機的連携効果の評価軸として用いた都市再生施策のマネジメントサイクル

表-2 現地調査地区（金沢市，横浜市，岡崎市）における将来ビジョンの概要

地区名	片町・香林坊・広坂エリア (金沢市)	みなとみらい地区 (横浜市)	乙川リバーフロント地区 (岡崎市)
名称	中心市街地都市機能向上計画 2016.3	横浜市都心臨海部再生マスタープラン 2015.2	乙川リバーフロント地区公民連携まち づくり基本計画-QURUWA 戦略-2019.4
地区情報	・JR 金沢駅より南東約2km ・約200ha	・JR 桜木町駅，関内駅～港方面 ・約942ha（臨海部全体）	・名鉄東岡崎駅の周辺 ・約157ha
パブリック スペース	街路空間、広場、民間空地、ほか既存 施設（公園，21世紀美術館，犀川な ど）	運河パーク，赤レンガパーク，象の鼻 パーク，山下公園，横浜公園，汽車 道，馬車道，日本大通りほか	東岡崎駅，乙川河川緑地，桜城橋，中 央緑道，籠田公園，りぶら，岡崎公園 +回遊動線（街路）
目的	・中心市街地（中心商店街）の都市機 能向上による賑わい創出 ～賑わいコアストリートから～	・都心機能強化（業務・商業） ・横浜スタイルの暮らしづくり ・みなと交流軸形成と地区結節点の 連携強化	・「良質な都市空間を楽しむ日常」， 「暮らしやすいまち」の創出 ・観光産業都市の創造
個別施設の 再編事業等	・賑わいコアストリートの再整備 …歩行者主役のストリート整備， 老朽ビル再整備，景観形成， 町屋保全と活用，広場活用， 駐車場再配置，公共交通・ 歩行者・自転車動線の整備ほか	・パブリックスペースの利活用 ・多彩な交通、歩行者回遊充実 ・スマート、水・緑・風環境の充実 ・災害対応機能の強化 ・エリアマネジメント ・複数の再開発，市庁舎再整備ほか	・PPP 事業 （公園，広場，緑地，市有地， 暫定駐車場） ・道路再構築事業 ・かわまちづくり事業
構想図			

市（乙川リバーフロント地区）を抽出し，各地区について，現地でのパブリックスペース利用者への街頭インタビューにより，パブリックスペース間のつながりによって感じる行動・意識等の変化を確認することとした。

3地区の現地調査にあたっては，事前調査として，自治体ヒアリング及び自治体HP等の閲覧によるWEB調査により，パブリックスペースの連携を施策内容に含む将来ビジョンの特定及び内容の整理，パブリックスペースの配置状況のマッピングを行った。表-2に将来ビジョンの概要を示す。現地調査の対象とする地区の範囲は，将来ビジョンで示された区域を基本とし，鉄道等の主要駅から，バス等の公共交通，徒歩，自転車等で生活できる範囲である。将来ビジョンは，各地区でそれぞれ「金沢市中心市街地都市機能向上計画」，「横浜市都心臨海部再生マスタープラン」，「乙川リバーフロント地区公民連携まちづくり基本計画-QURUWA 戦略-（岡崎市）」を特定し，地区内の面積及びパブリックスペースの種類，目標，個別のプロジェクト内容，構想図等を抽出整理した。

(2) 調査内容

街頭インタビューは，表-3に示す実施日（平日・休日の各1日ずつ計2日間），時間等で行い，サンプル数は各地区それぞれ200件前後（各調査日も100件前後）取得した。各地区の街頭インタビュー箇所は，事前踏査や調査対象自治体へのヒアリングにより，パブリックスペース上で，地区利用者の主要動線となる地点を複数箇所（5～7箇所）選定した。

インタビュー方法は，調査員が，対象地区の範囲と地区内のパブリックスペースの配置状況が記載されたマップを含むアンケート調査票を対象者に提示しながら，口頭により順に質問し回答を得る構造化インタビューとした。質問は，【質問1】居住地，【質問2】来訪目的，【質問3】交通手段等の対象者の属性情報とあわせて，【質問4】「エリア全体のつながりによって感じる行動・意識の変化」の有無と内容，【質問5】「個別のパブリックスペースの再整備によって感じる行動・意識の変化」の有無と内容，要因等の調査を行った。【質問4】と【質問5】の2つの質問については，「行動・意識変化があった」と答えた場合に，その変化内容等を問うこととした。なお，【質問4】については，エリア全体のつながりに関して問うことで，個別の施設そのものが発揮する効果を極力排除して想定できるよう工夫した。質問及び選択肢の詳細を表-4に示す。行動・意識の変化内容を問う質問の選択肢項目の設定は，表-1の利用者の立場で見込まれる連携効果の中から，一部を束ねて，直感的に理解でき回答し易い質問の表現で6項目を挙げた。

(3) 調査結果と考察

a) エリア全体のつながりについて

【質問4】の回答内容を見ると，図-4に示す通り，3都市全てにおいて，回答者の65%以上が，エリア全体のつながりによって行動・意識がプラス面で変化している。図-5では，来訪目的の各都市の内訳を，図-6では，プラス面での行動・意識の変化内容の内訳を示しており，表

-2と図-5と図-6を参照すると、岡崎市と金沢市で結果に特徴がみられた。

岡崎市（乙川リバーフロント地区）では、将来ビジョンの目的で「良質な都市空間を楽しむ日常、暮らしやすいまちの創出」が掲げられている中、市内・地区周辺の在住者の回答をみると、来訪目的として「日常的な余暇・散歩」で訪れている者が60%を占め、行動意識の変化内容は、「生活環境・満足度が向上」が55%以上、「健康になった」が45%以上、「行動範囲・活動内容が広がった」が40%以上、「滞在時間・外出頻度が増えた」が40%以上と高い割合で挙げられていた。都市再生施策のアウトカムとの対応関係では、生活環境・満足度、健康については「ウェルビーイング（生活利便性の向上等）」に、行動範囲・活動頻度の拡大、滞在時間・外出頻度の増加については「地域活性化」へつながる効果が現れている可能性がある。

金沢市（片町・香林坊・広坂エリア）では、将来ビジョンの目的で「中心市街地（中心商店街）の都市機能向上による賑わい創出～賑わいコアストリートから～」が掲げられており、プロジェクトとして「歩行者主役のストリート整備」、「駐車場再配置、公共交通・歩行者・自転車動線の整備」が掲げられている中、県内・県外の在住者の回答をみると、来訪目的として「観光」で訪れている者が64%を占め、行動意識の変化内容は、「車を

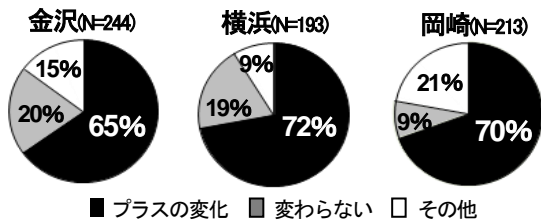


図-4 エリア全体のつながりによって感じる行動・意識変化の有無

表-3 街頭インタビューの実施日時、サンプル取得数等

調査箇所	調査日区分	実施日	調査時間	天候	気温 (°C)	箇所数	サンプル数	インタビューの様子 (例: 横浜)
金沢	平日	2022年11月18日(金)	10:00~16:00	晴れ	16.1~17.6	7	N=128	
	土休日	2022年11月19日(土)	10:00~16:00	晴れ	14.8~16.4	7	N=116	
	2日間合計						N=244	
横浜	平日	2022年11月24日(木)	10:00~16:00	晴れ	18.3~21.3	5	N=94	
	土休日	2022年12月3日(土)	10:00~16:00	晴れ	9.2~11.7	5	N=99	
	2日間合計						N=193	
岡崎	平日	2022年11月21日(月)	10:00~16:00	晴れ	14.8~20.3	7	N=90	
	土休日	2022年11月27日(日)	10:00~16:00	晴れ	15.5~17.9	7	N=123	
	2日間合計						N=213	

表-4 街頭インタビューの質問内容

調査内容	質問に対する回答の選択肢
対象者情報	調査地点、性別、年齢層等 (調査員の目視により確認)
質問1	居住地は?
質問2	来訪目的は?
質問3	交通手段は?
質問4	エリア全体について、「つながり(連続性、利便性、快適性など)」によって感じる、行動や意識の変化は?
質問5	近年の個別施設の整備によって感じる、行動や意識の変化は?

選択肢: 1.地区周辺, 2.市内, 3.県内, 4.県外
 1.日常的な余暇・散歩, 2.遊び・レジャー, 3.飲食・買物, 4.休憩・立ち寄り, 5.待合わせ, 6.観光, 7.仕事, 8.その他
 1.徒歩, 2.自転車, 3.自家用車, 4.送迎, 5.タクシー, 6.バス, 7.鉄道, 8.その他
 有・無
 ⇒「有」の場合の追加質問
 どのような変化の内容か?
 (図6図7の凡例に示す選択肢 a~g 及び不明自由回答)

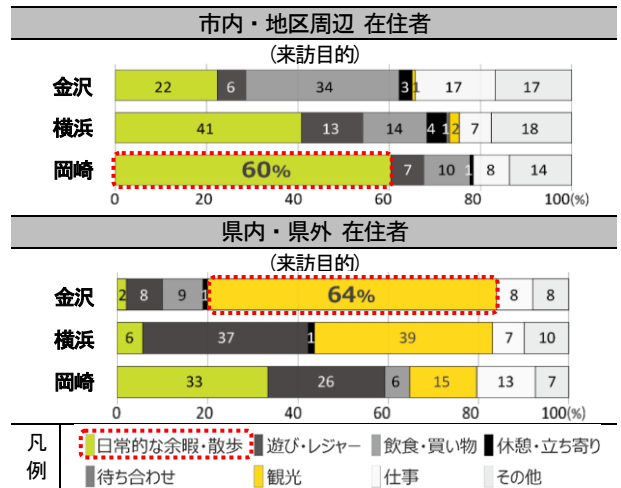


図-5 居住地別の来訪目的

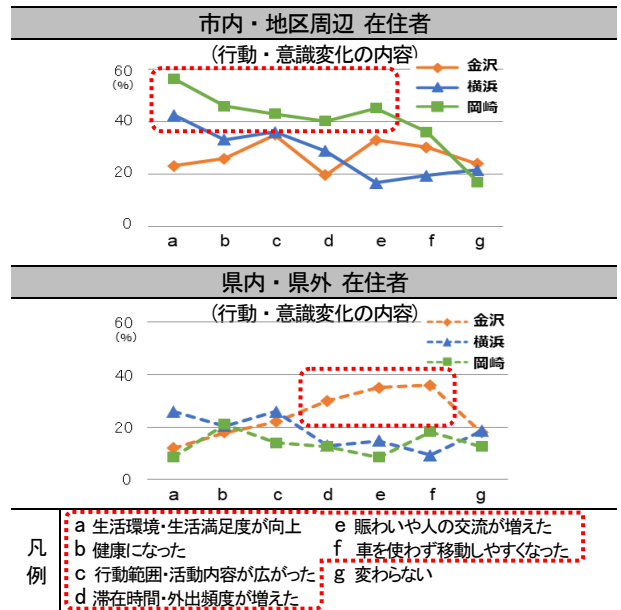


図-6 エリア全体のつながりによる行動・意識の変化

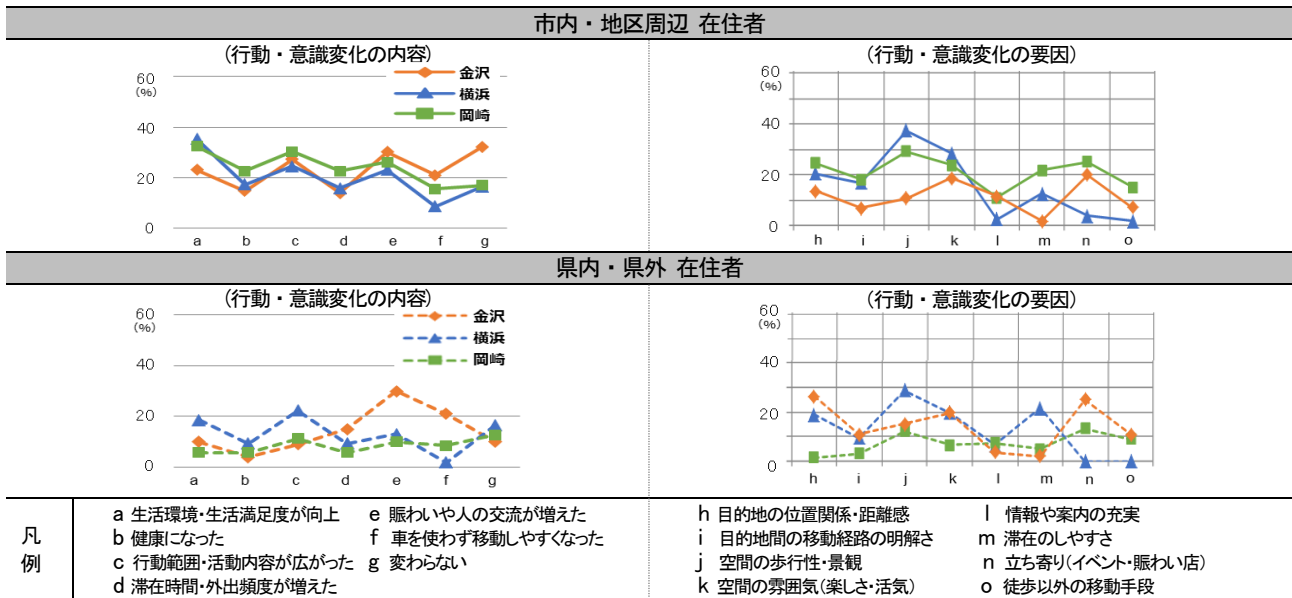


図-7 個別のパブリックスペースの再整備による行動・意識の変化内容と要因

使わず移動しやすくなった」が35%以上、「賑わいや人の交流が増えた」が35%以上、「滞在時間・外出頻度が増えた」が30%以上と、他地区に比較しても高い割合で挙げられていた。都市再生施策のアウトカムとの対応関係では、生活環境・満足度、健康については「低炭素、循環型社会（公共交通・歩行者中心の移動、環境に優しいモビリティへの転換等）」に、賑わいや人の交流の増加、滞在時間・外出頻度の増加については「地域活性化」へつながる効果が現れている可能性がある。

b) 個別のパブリックスペースの再整備について

【質問5】の回答内容をみると、図-7に示す通り、図-6に比較して、市内・地区周辺、県内・県外在住者ともプラスの変化の回答割合は少なく、特徴も顕在化しなかった。今後の精査を要するが、個別施設による点の波及効果よりも、エリア全体でのつながり、まちの全体性の発揮を意識した施策展開が有効であることが示唆される可能性がある。また、プラスの行動・意識変化の回答者に対し、要因については、「空間の歩行性・景観」、「空間の雰囲気(楽しさ・活気)」が他の項目に比べ高く、物理面での明確な変化が、行動・意識変化の実感として影響し易いことが考えられる。

4. 結論と今後の課題

本研究では、4つの代表的な施策アウトカムを挙げ、地域における今後の都市再生施策の展開に際して、有機的連携効果の現場状態の適切な把握・改善を図るための3つの立場（利用者、施設管理者、まちづくり団体）と3つの切り口（物理面、活動面、心理・社会面）の計9類型の評価軸を整理し、都市再生施策のマネジメントサ

イクルでの活用を提案するとともに、連携効果のうち利用者目線での連携効果の内容と発現の程度について、金沢市、横浜市、岡崎市の中心部において、インタビュー調査を行い検証した。結果、都市空間特性に応じた、利用者の生活満足度の向上や行動範囲・活動内容の広がり等の効果を明らかにした。

今後は、管理者、まちづくり団体の立場も含めた9類型全体の適用の可能性や効果の要素項目の広がり、妥当性、相互の要素間の関係性等を精査し現場で総合的かつ詳細に検証するとともに、各種連携効果の発現の程度について、より明確に計測・評価・可視化できる基準を整備することで、個々の施設のエリア全体に対する貢献度を確認し具体の施策内容の検討や合意形成に役立てるなど、体系化された方法論を構築し、全国地区での汎化性を高めていく必要がある。併せて、地域性や各地区の施策目的に応じた適切な評価項目を選択し構成するなど、柔軟な活用方法の提案についても更なる検討を進めたい。

謝辞：調査企画実施にあたり、三浦詩乃客員連携研究員（元特任助教）、野原卓横浜国立大学准教授にご指導を頂くとともに、現地調査実施にあたり、金沢市、横浜市、岡崎市に多くのご協力をいただいた。謝意を表す。

参考文献

- 1) 日本建築学会『建築・都市計画のための空間学事典増補改訂版』，井上書院，2016.10.
- 2) 国土交通省：都市の多様性とイノベーションの創出に関する懇談会 中間とりまとめ報告書，2019.6.
- 3) 出口敦，三浦詩乃，中野卓『ストリートデザイン・マネジメント』，学芸出版社，2019.3.
- 4) 国土交通省：デジタル化の急速な進展やニューノーマルに対応した都市政策のあり方検討会 中間とりまとめ報告書，2021.4.

東京国道事務所における 街路樹の持続可能な維持管理へ向けた取組

伊東 伶菜

現 関東地方整備局 横浜国道事務所 調査課 (〒231-0001 神奈川県横浜市中区新港1-6-1)
元 関東地方整備局 東京国道事務所 管理第二課 (〒102-8340 東京都千代田区九段南1-2-1)

東京国道事務所管内においては、約15,000本の高木を管理しているところであるが、維持管理予算の削減から剪定頻度を抑えるために、強剪定が実施され緑陰の確保を目的とした適切な剪定が出来ない事象や、大径木に起因する管理瑕疵事案が増加し続けている状況がある。本稿は、道路管理者として限られた予算で、道路空間において適切且つ持続可能な街路樹管理を行い、健全性を担保していく必要を鑑み、各樹種の特性を活かし、道路景観の向上や道路交通の安全性・快適性の確保を図ることを目的として 策定した維持管理指針と、今後の対応方針について報告する。

キーワード コスト削減、強剪定、維持管理指針、根茎保護、緑陰形成、持続可能な維持管理

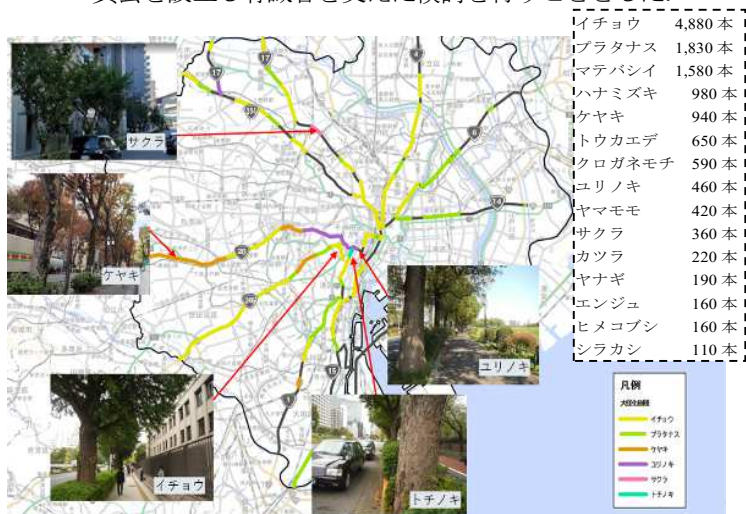
1. 背景

東京国道事務所管内では、イチョウ約4,000本・プラタナス約2,000本・マテバシイ約1,500本・ケヤキ約1,000本等が植栽されており全体で約15,000本の管理を行っている。(図-1)

街路樹は本来、道路景観の向上や沿道環境の保全、道路交通の安全性・快適性の確保等を目的として道路空間に植栽されるものである。

高木約15,000本は良好な管理を行うことで緑陰を形成し、年間約1,000トンのCO2を固定する。(乗用車1台433万km分の二酸化炭素排出分に相当)1)。

適切に管理することにより、カーボンニュートラルにも貢献する事から、街路樹管理に関する検討委員会を設立し有識者を交えた検討を行うこととした。



(図-1 東京国道事務所管内街路樹分布マップ)

2. 課題整理

(1) 維持管理予算の縮減

東京国道事務所管内の街路樹管理ではこれまでコスト縮減等の観点から、剪定回数を減らす為に、強剪定(写真-1, 2)を進めてきた経緯がある。しかし、強剪定は緑陰確保ができず景観上好ましくなく、剪定部分から腐朽菌が入りやすくなっており樹木を傷めやすい状況から樹体衰弱化の要因となっている。



(写真-1, 2 強剪定の主な事例)

(2) 埋設物工事等による根切り

東京23区内の国道における路上工事(ライフライン等の埋設物工事や日常管理上やむを得ない維持作業)は直轄工事と民間工事が年間約1,400件行われており、全国的に見ても多い状況である。(図-2)

都市化した生育環境下における路上工事による掘り返し、根切りが要因となり適切な成長が出来ず腐朽し、倒伏しやすい状況になっている。

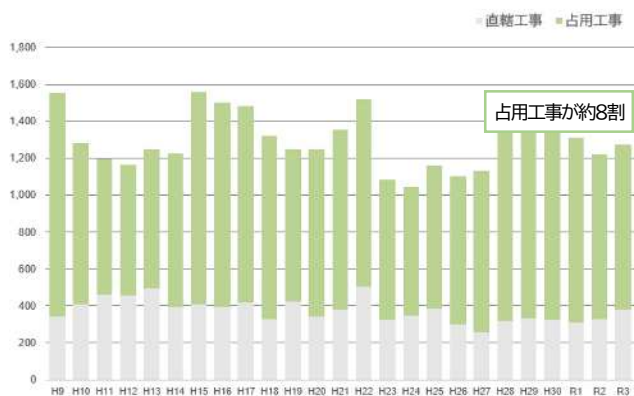
また、腐朽及び枯損の原因調査を行う上で、路上工事の記録はあるが、街路樹の根切り等の処置に関する記録が統一されておらず、いつ誰が根茎を切断したのか経緯の記録がない状況であった。

(3) 街路樹の大径木化

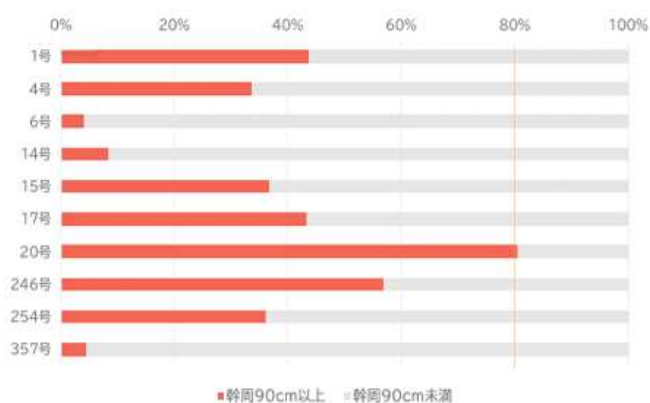
東京国道事務所管内の街路樹の多くが昭和時代に植栽されており、イチヨウ・プラタナス・ケヤキ・ユリノキ・サクラ・トチノキなどは、成長とともに幹周90cm以上の大径木となっている状況である。

このうち国道20号のケヤキ区間においては大径木の割合が全体の80%を占めており（図-3）、特に戦後～東京オリンピック(S39)に植樹された区間では植栽当初より周辺環境が都市化されてきていることもあり、近年では建築限界の越境、横断防止柵や縁石の破壊(写真-3, 4)、歩道部の根上り(写真-5)などにより安全な通行が危惧されるほか、大量の落葉(写真-6)により苦情の増加、排水施設が機能せず道路が冠水する事象などが発生している。

また、沿道住宅等の配水管にケヤキ根が侵入し被害が発生するなど樹木の生長による弊害も増えている。



(図-2 直轄国道における路上工事件数)



(図-3 直轄国道における幹周90cm以上の街路樹の割合)

3. 日常管理の見直し

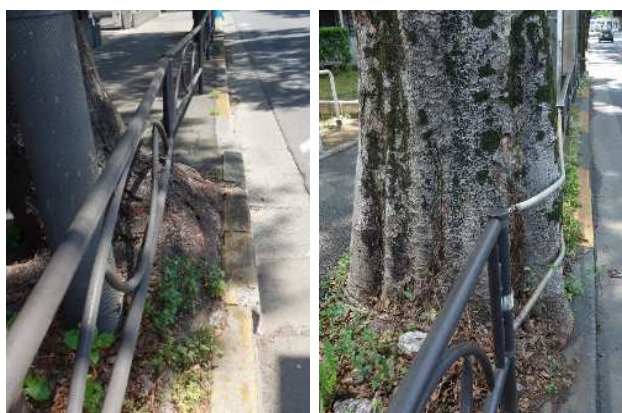
これらの課題への対策として、『大径木化した樹木への対応に関する検討委員会』『樹木の腐朽等への対応に関する検討委員会』を設立し、有識者及び専門家を交えて、直轄国道における管理の在り方の見直しを行い維持管理手引きの大幅改定に向けた検討を行った。

(1) 路上工事への条件付け

東京国道管内においては健全な育成につながると思われるエリアとして「樹木に必要な根系範囲」「根を守るゾーン(根域保全ゾーン)」を指定した。

指定範囲は幹周90cm以上の街路樹では、幹芯から縦断方向に3m、横断方向に1.5m、幹周90cm未満の街路樹では、縦断方向に2m、横断方向に1mを結んだ範囲を指定した。

この範囲内での掘り返し等根茎に影響を与える可能性のある工事行為は原則禁止だが、施工せざるを得ない場合については、道路管理者へ報告するとともに有識者の立ち会いの下、「根系保護の配慮」「適切な支持根切断」「改良土での埋め戻しの処置」等を直轄・占用工事どちらの施工においても確実に実施するよう条件を付けた。



(写真-3 縁石損傷)

(写真-4 防護柵損傷)



(写真-5 街路樹の根上)

(写真-6 落ち葉による排水障害)

また、直轄・民間工事に関わらず、街路樹周辺で工事行為が発生した際には完了検査時に道路管理者の指定する様式にて記録を残すとともに、街路樹へ周辺での施工や根茎保護の観点から問題が無いか確認を行う体制とした。

これらの運用を始めたことにより、街路樹点検にて不自然な腐朽が見られたことから経緯を遡ったところ、過去に掘り返し工事が行われた箇所でも過度な根切りを行った影響で、根元から腐朽し樹木の支持率の低下がみられ、樹木が傾斜していた事象があり、早急に該当木へ処置を施したことにより倒木を防いだ事例もある。

(2) 剪定方法の見直し

従来の剪定方法「強剪定」(写真-1, 2)から、健全な樹木の育成や緑陰確保のために「すかし剪定(緑陰剪定)」(写真-7, 8)へ剪定方法を変更した。

「すかし剪定」は、その名のとおり育成に必要な主枝を残し、透かしていく剪定であり、技術力が必要となる。このため、各出張所の緑地管理工事受注者において施工結果にばらつきが無い様、街路樹剪定士による施工者向けの講習会を2021年より実施している。



(写真-7 剪定前)

(写真-8 剪定後)

(3) 目標管理樹形の設定

街路樹の各樹種が有する樹木の形状・特性を活かしつつ、道路空間・建築限界に収まる管理樹形を設定することで、樹木を痛める強剪定を行わずに、大径木化した街路樹をできるだけ健全な状態で持続することが可能になる。

目標とすべき管理樹形の設定は、歩道幅員や沿道建築物の離隔距離から、その場所で伸長可能な枝張り幅を設定し、樹種の特長による望ましい樹高・枝張り比から最大樹高の目安を算出した。²⁾

管内全ての単位区間(計76区間)を対象に、樹種毎に各区間の歩道幅員から樹高・枝張り幅を設定したところ、合計約100パターン(図-6)の目標管理樹形を設定することが出来た。

これらの成果については、各維持管理手引きで明示している。(図-4)

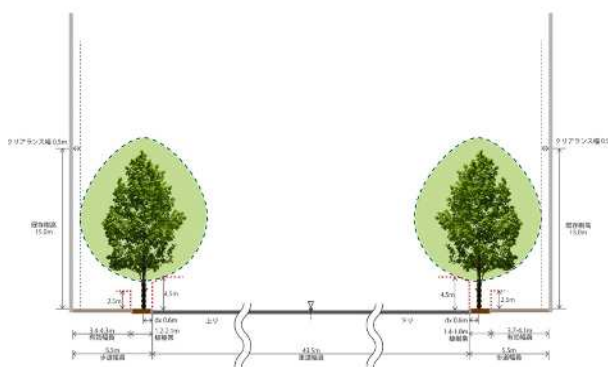
また、設定するだけでは現況とのギャップが明確ではない為、模式図2パターン(図-5, 6)をそれぞれの樹種・地区ごとに作成した。

これにより、約半数のパターンにおいて目標樹形を維持していくためには、十分な剪定を定期的に行う事で、樹高や枝張りを目標樹形の範囲内に収めることが可能であることが分かった。

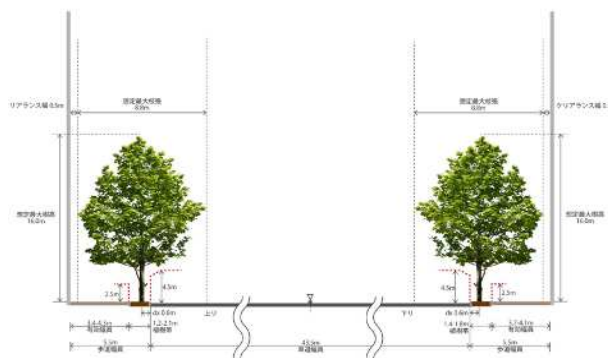
一方で約1割が目標管理樹形とする樹高に対し、現状の樹高が5m以上高く、剪定だけでは対処できず、幹の切詰め等の処置を行って樹高を大幅に縮小する等の対策を講じなければならない事が明らかとなった。



(図-4 維持管理手引き)



(図-5 目標管理樹形の現況とのギャップ)



(図-6 目標管理樹形の模式図)

4. 今後の展望

(1) 維持管理の高度化

管内の持続的な維持管理として、緑地管理台帳・街路樹基礎情報・点検、診断カルテ・埋設物工事履歴・剪定時期等の情報を一元管理できるプラットフォームを整備する予定であり、事務所・出張所・緑地点検業務受注者・緑地管理工事受注者・民間占用工事施工者それぞれが情報を作成するだけでなく、関係機関において円滑に共有されることを目指している。

(2) 大径木対策

日常管理で対応することのできない大径木など、今後長期的に対策を講じていく必要性のある事案については引き続き『持続可能な街路樹の管理に関する検討委員会』にて、適切に検討していく予定である。

特に目標管理樹形と10m以上のギャップが発生している国道20号のケヤキのうち歩道幅員が3m未満となる約2.5km区間では、並木を損なわない形での更新や樹形の縮小、間引きなど具体的な方法やそれを実施する上で有効な合意形成手法について検討する必要があると考えられる。

大径木した樹種の対応については、社会的影響が大きいと予測されることから、有識者や地元・自治体を交えた検討委員会等を設立し、現状課題の共有・整備の方向性・対策事業に関する技術的な検討を進めていく予定である。

なお、技術的な検討においてはモデル区間を設定し3DモデルやAR・VRを活用した施工後のイメージの作成や試験施工を通して、沿道住民及び道路利用者との合意形成手法の有効性を検証することも重要である。

5. まとめ

植栽後、これまで樹木の成長とともに道路の環境保全や景観向上に寄与してきた街路樹を、これからは道路空間に見合った健全かつ持続可能な状態で維持管理していくために、道路管理者として多方面から対策方針を検討していく予定である。

参考文献

- 1) 国土技術政策総合研究所：倒伏対策の手引き 第二版
- 2) 街路樹剪定士認定研修会別冊資料

重交通交差点上に架かる高速道路橋の 更新事業について ～一般道を止めることなく既設PC橋を解体撤去～

中田 諒¹・森 謙吾¹・渡辺 真介¹・毛利 壮志¹・大池 岳人¹

¹阪神高速道路株式会社 管理本部 大阪保全部 改築・更新事業課
(〒552-0006 大阪市港区石田3-1-25)

一日7万台以上の交通量を擁する交差点上に架かる喜連瓜破橋（阪神高速道路）の更新事業は、高速道路本線を終日通行止めのため実施することから、一般道への交通影響を最小限とするため、PC箱桁（約5,000 t）の解体撤去が空中で完結する工法を採用した。工法の主軸となる全長165 mの仮設桁や4基の移動作業車は、既設橋梁の荷重制限や都市部での厳しい施工空間をふまえ、計測管理を充実させ、様々な施工機械を組み合わせながら構築した。既設橋梁の小割切断にはワイヤーソーを用い、内部に残存するPC鋼棒の応力による変位等にも留意しつつ進めた。本工法による解体撤去は昼夜施工により約5か月で完了した。本稿では施工上の課題とその対応を中心に報告する。

キーワード 大規模更新事業、橋梁架け替え、既設PC橋撤去技術

1. はじめに

阪神高速14号松原線の喜連瓜破（きれうりわり）橋は、大阪市平野区の交差点上に張り出し工法により建設され、1980年に供用した全長154 mのPC3径間連続有ヒンジラーメン箱桁橋である（写真-1）。本橋は供用5年後に中央ヒンジ部の垂れ下がりが顕在化し、2003年に下面から外ケーブルとストラット部材による押し上げ補強がなされたが、より長期の健全性と耐久性を確保すべく2015年に大規模更新事業の一環として架け替え方針が決定し、2022年6月より工事を開始した。

本工事は現場直下の一般道の交通を妨げないために、大半の工程が空中で完結する工法を採用している。



写真-1 更新前の喜連瓜破橋（2022年4月）

本稿では更新事業の概要を示すとともに、既設PC橋の解体撤去の施工経過について、本工事特有の課題とその対応を交えつつ報告する。

既設PC橋の撤去事例は全国で複数^{例えば1,2,3)}存在するが、本工事のように都市部において現場直下の一般道の交通を妨げないという制約が付加され、その対応として空中で撤去を実施した事例は確認されなかった。

本工事は空中完結型の既設PC橋撤去技術という点で新規性を有しており、様々な施工上の工夫を行っている。得られた知見は、今後の同種工事を円滑に進めるうえで意義があると考えられる。

2. 事業概要

(1) 架け替え方法の検討

既設橋梁（図-1）の架け替え方法は、案1：仮設のう回路を上下線それぞれに設置したうえで架け替える方法、案2：既設橋梁を上下線分割のう一方を供用しつつ半断面ずつ架け替える方法、案3：高速道路本線を通行止めのう上下線を一括で架け替える方法を検討した。これらを周辺地域への影響、高速道路及び一般道への交通影響、工期の観点から有識者等の意見もふまえて比較した結果、交通影響対策を講じたうえで案3の方法により実施することとした⁴⁾。

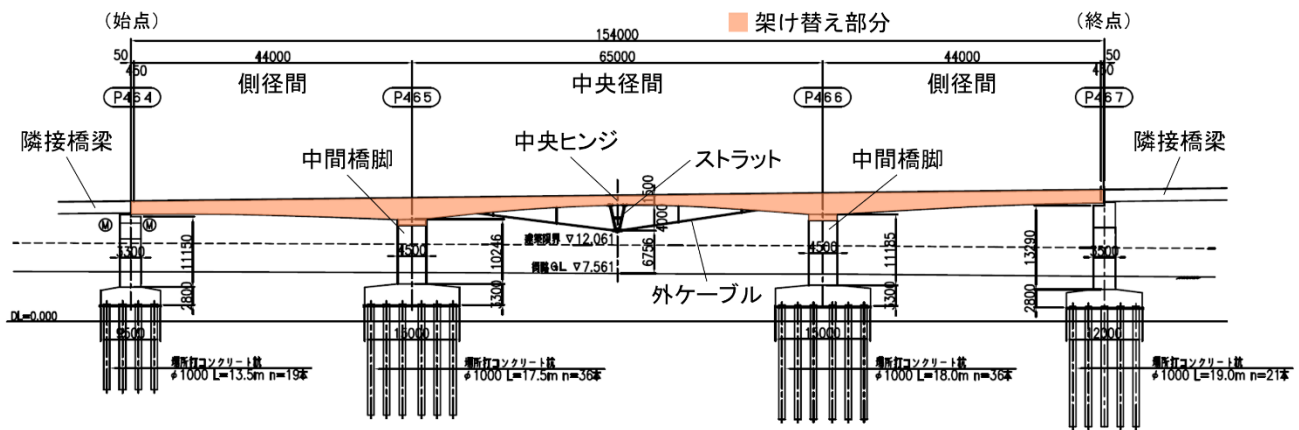


図-1 喜連瓜破橋 (側面図)

(2) 工事手順

図-2に工事手順を示す。既設橋梁の撤去については、まず、既設橋梁上に全長165 mの仮設桁を架設する(①)。次に仮設桁に橋軸方向へ移動可能な4基の移動作業車と2基の運搬台車を設置する。その後、移動作業車内で橋桁部分をブロック状に切り出し、運搬台車で隣接橋梁側へ搬出する(②)。この間、中央ヒンジ下の外ケーブルとストラット部材も撤去し、橋桁部分の撤去後は2基の中間橋脚の上半部を別途撤去する。

新設橋梁の架設については、多軸台車を活用した一括架設(③：橋脚部)、送り出し架設(④：側径間部)、吊り上げ架設(⑤：中央径間部)により施工する。

(3) 工事工程

表-1に本工事の全体工程を示す。既設橋梁の撤去を約2年、新設橋梁の架設を約1年で実施する計画である。以降ではこのうち、着工から2023年11月現在までに進行中の作業である仮設桁の架設(①)及び既設コンクリート橋梁の撤去(②)を中心に報告する。

3. 施工上の主な課題

(1) 交通影響対策の徹底

本工事は高速道路本線を通行止めして実施することから、直下の一般道(国道及び主要地方道)の交通にさらなる負荷をかけないために、一般道では昼間に車線を占用する交通規制を行わない。

やむを得ず交通規制が必要な作業は夜間に実施するとともに、規制範囲の最小化を図る必要がある。

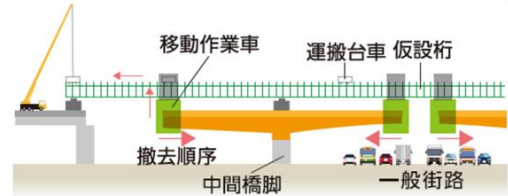
(2) 狭隘な施工空間での作業

既設橋梁上で行う各部材の架設等の作業は、高速道路上の限られた幅員の中で行う必要がある。非常に狭隘な施工空間でありながらも、供用中の交差点上という現場

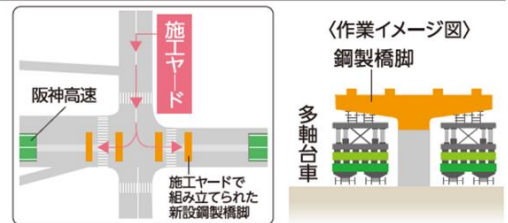
① 仮設桁の架設



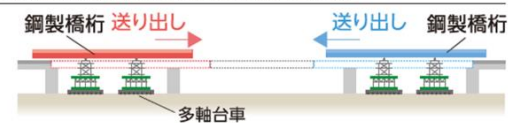
② 既設コンクリート橋梁の撤去



③ 鋼製橋脚の架設(夜間)



④ 鋼製橋桁(側径間)の架設(夜間)



⑤ 鋼製橋桁(中央径間)の架設(夜間)



図-2 工事手順

表-1 全体工程 (概略)

	2022年度	2023年度	2024年度
① 仮設桁の架設	■		
② 既設コンクリート橋梁の撤去		■	
③ 鋼製橋脚の架設			■
④ 鋼製橋桁(側径間)の架設			■
⑤ 鋼製橋桁(中央径間)の架設			■
⑥ 橋面工・付属構造物			■

条件から一切の落下物は許されない。

(3) 既設橋梁の耐力への配慮

既設橋梁（施工の影響範囲となる隣接橋梁も含む）の耐力には、撤去作業のすべてのステップで地震発生時も含めて万全を期す必要がある。また、中央ヒンジ部に垂れ下がりが生じていることもふまえ、不測の事態に備えて計測管理と安全設備の充実が必要である。

(4) 周辺環境への配慮

本工事の現場には住宅や商業施設が近接しており、特に作業音への配慮が必要である。既設橋梁から最も近い施設（集合住宅）との離隔は約15mである。

(5) 工程の確保

本工事は 2025 年の大阪・関西万博の開催までの完了を目指しており、安全を確保しつつ確実な工事進捗を図る必要がある。

4. 施工経過と課題への対応

(1) 舗装及び中央分離帯の撤去

既設橋梁には仮設桁等の撤去用設備が多数積載されることから、施工ヤードを確保し、可能な限り死荷重を軽減するため、はじめに舗装と中央分離帯を撤去した。中央分離帯の撤去には低騒音型の切断機械（ワイヤーソー）を採用した。

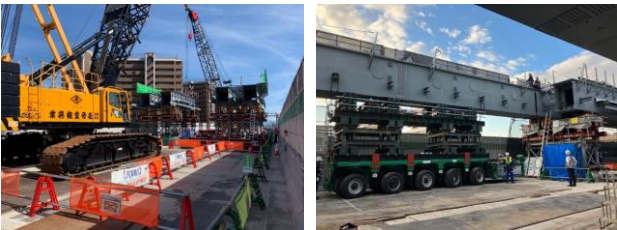


写真-2 仮設桁の架設状況（左：最初のブロック、右：終点側の最終2ブロック）

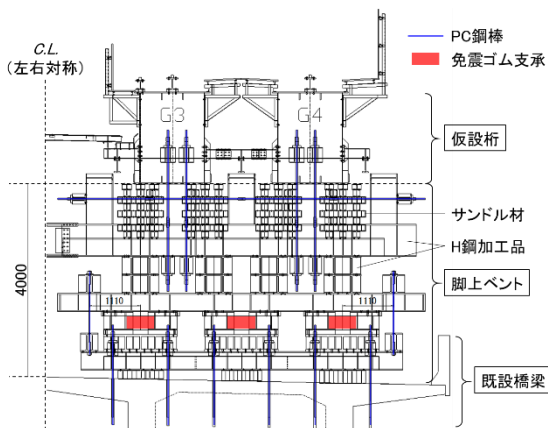


図-3 仮設桁と脚上ベント（断面図）

(2) 仮設桁の構築

仮設桁は移動作業車や運搬台車等のあらゆる撤去用設備が設置される重要な部材であり、4つの箱桁から構成される全長165 m、総重量1,286 tの鋼桁である。仮設桁の組み立ては15ブロックに分割された部材を120 tクローラークレーン2基を用いて、中央ヒンジ部上から橋軸方向外側へ向かってベント工法で構築した。既設橋梁の耐力をふまえ、クレーンは主桁ウェブ上だけに荷重が作用するように管理した。特に耐力への配慮が必要な隣接橋梁（P467）付近では、多軸台車を採用することで荷重をより分散させて架設を進めた（写真-2）。

仮設桁は最終的に橋脚位置に別途構築した4基の脚上ベントで支持した（図-3）。既設橋梁の橋面から仮設桁下面の間には、既設橋梁の切断・撤去時の作業空間（高さ4 m）を設けたことから仮設桁の重心位置が高くなった。そこで、仮設桁も含む全体の耐震性能（レベル2地震動）を確保するために、PC鋼棒や免震ゴム支承を組み合わせることで対応した。

仮設桁の塗装は経済性を考慮しジンクリッチペイントのみを施し、雨水等の滴下対策として天端の隙間（主桁間）には防水層を設け、端支点部まで到達する樋を備えた。

(3) サスペンションクレーンの設置

仮設桁の構築後、サスペンションクレーンと呼ばれるクレーン設備を仮設桁側面のレールに吊り下げる形で設置した（写真-3）。

既設橋梁の切断（ブロック切り出し）は、対象ブロックをクレーンで4点吊りし、姿勢を自在に制御できる状態で行った。ブロックは10 tダンプで搬出するためひとつあたり最大重さ8 tを設定しているが、偏心時の対応として1点あたり4 tの吊り能力を有するクレーンを採用し、十分な安全性を確保した（最大16t）。

サスペンションクレーンは4基の移動作業車にそれぞれ2ユニット設置し、上下線同時施工による工程確保を目指した。

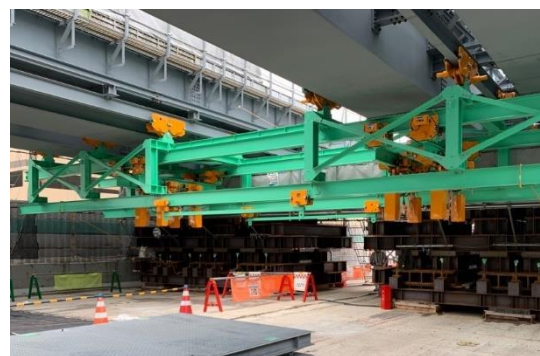


写真-3 サスペンションクレーンの設置状況

(4) 移動作業車及び運搬台車の構築

移動作業車と運搬台車は隣接橋梁上で組み立て、橋梁上に配置したクレーンで仮設桁上面のレール上に設置した。(2)の仮設桁の構築時においても同様であるが、既設橋梁から必要以上に逸脱することを防止するためにレーザーバリアを設置し、クレーンオペレータへの通知システムを設けることで対応した(写真-4)。

移動作業車の下半部は一般道側から取り付ける必要があるため、夜間に交通規制を実施のうえ構築した。中央径間の2機は交差点の一部を夜間通行止めして構築したが、1夜間での完了が難しいため、夜間にユニット化を進めた部材を昼間は中央分離帯スペースで多軸台車によりリフトアップして交通解放し、夜間に再び所定位置まで移動させ上部材と接続する作業を繰り返した(写真-5)。写真-6に撤去用設備設置後の状況を示す。

(5) 既設橋梁の撤去

2023年1月よりワイヤーソーによる既設橋梁の切断作業を開始した(昼夜施工)。さらなる騒音対策として動

力は発電機方式ではなく商用電源方式を採用したほか、移動作業車外周には防音資材(エコーバリア)を設置した。切断は橋軸方向に1.75m間隔で進め、1断面をさらに16分割する(上下線それぞれ8分割、図-4)。橋軸方向には84分割し、撤去ブロックの総数は約1,300に上った。

図-5に橋軸方向の撤去手順を示す。撤去は基本的に建設時の張り出し工法と逆の手順で行うが、本橋の側径間の一部(端部)が固定支保工架設工法により建設されており、桁長が中央径間(1/2)より12m程度長く、撤去開始時点ではアンバランスな状態である。そこで、中間橋脚を中心に両側への張り出し長が均等となるまでは、側径間端部を仮設桁からPC鋼棒で仮吊りしながら切断、撤去した(Step1, 写真-7)。次に、両方の張り出し長がバランスした時点で中央ヒンジ部を切断した(Step2)。その後、2基の移動作業車で同時に中間橋脚へ向かって撤去を進めた(Step3)。

なお、側径間の初期切断時は自重による躯体の急激な変位(たわみ)を抑制するためにセッティングビームで固定のうえ切断し、油圧ジャッキで徐々に応力を解放することで対応した。

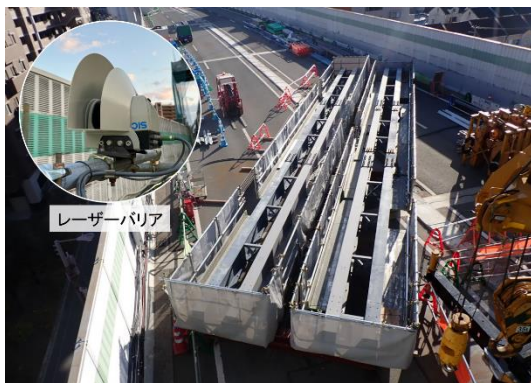


写真-4 移動作業車(上部材)の地組状況

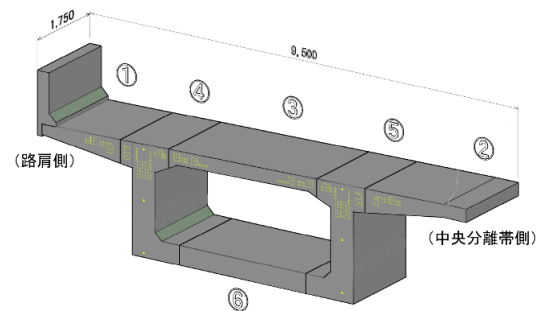


図-4 1断面の撤去順序(①～⑧)



写真-5 移動作業車(下半部)の構築状況(左: 昼間に待機中の部材, 右: 夜間に組立)



写真-6 仮設桁への撤去用設備設置後の状況

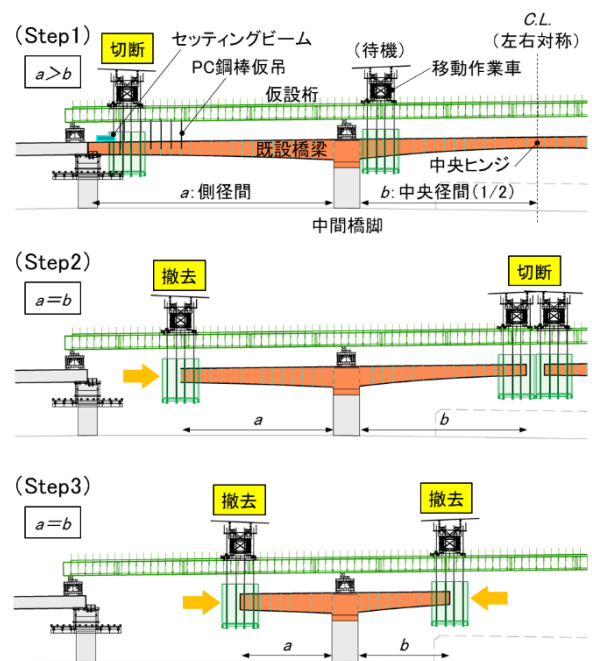


図-5 橋軸方向の撤去手順(側面図)



写真-7 既設橋梁の撤去状況



写真-8 仮設桁引き戻し状況（箱桁撤去完了後）

(6) 箱桁アップリフト対策

本橋の箱桁は建設時に3.5 m間隔での張り出し施工を進める度に、躯体中のPC鋼棒に構造上必要なプレストレスが導入されていた。

ところが、解析の結果、撤去時においては残存プレストレスが解体撤去作業の進捗により自重の小さくなった躯体へ必要以上に作用することで、上向きの変位（アップリフト）が生じ、特に中間橋脚から近い範囲において、コンクリートのわずかなひび割れや剥落が懸念された。

そこで、床版上面からコア削孔（φ54 mm）を行うことでPC鋼棒を切断し、過剰な応力を事前に安全なレベルまで低減する対策を検討した（図-6）。躯体中のPC鋼棒について、橋軸方向の定着位置を確認し、アップリフト対策を行う6つの断面それぞれで切断対象を事前に設定し、鉄筋探査のうえ慎重に切断を進めた。

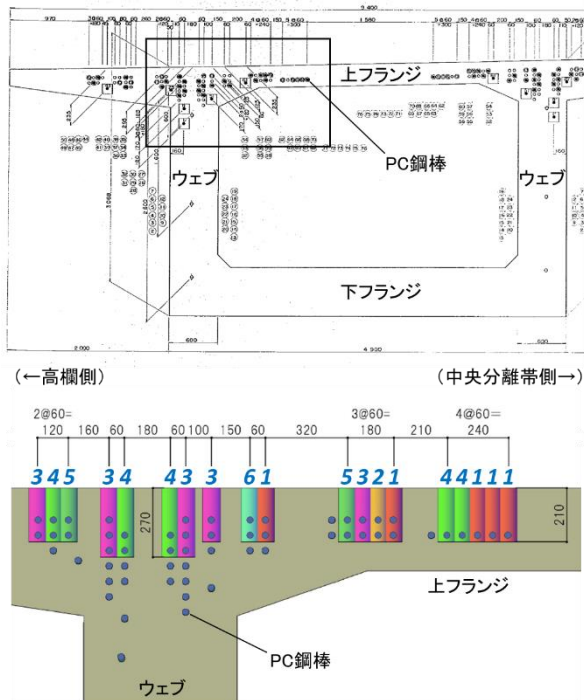


図-6 箱桁断面図（上：しゅん工図で示される PC 鋼棒位置、下：張力低減対象の PC 鋼棒とコア削孔順序）

(7) 仮設桁の引き戻し撤去

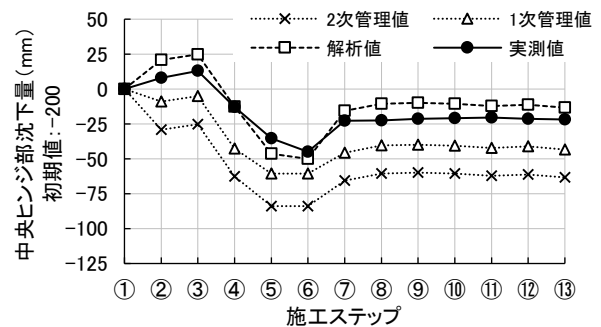
PC箱桁の解体撤去は約5か月の工期で無事に完了した。役目を終えた仮設桁は、手延桁を取り付けて脚上ベント上に設置したエンドレスローラーと先頭の引き戻し設備（油圧ジャッキ）により隣接橋梁側へ一括で引き戻して解体した。交差点上は43年振りに構造物が無い状態となった（写真-8）。

5. 工事を安全かつ円滑に進めるための取組

(1) 詳細設計業務との連携

本工事では、並行して進める詳細設計業務で実施したステップ解析の結果を活用しているが、特に注意を要する作業、とりわけ経験のない作業については、施工計画をふまえたより詳細な検討を行っている。解析には現地で得られる既設橋梁の実際のコンクリート強度等も適宜フィードバックし、解析精度の向上を図っている。

図-7は工事着工から仮設桁完成までの中央ヒンジ部の



① 工事着手	⑧ 仮設桁架設 (7/15 BL)
② 舗装撤去	⑨ 仮設桁架設 (9/15 BL)
③ 中央分離帯撤去	⑩ 仮設桁架設 (11/15 BL)
④ 外ケーブル張力解放	⑪ 仮設桁架設 (全 BL)
⑤ 仮設桁架設 (1/15 BL)	⑫ 仮設桁架設 (全 BL)
⑥ 仮設桁架設 (3/15 BL)	⑬ 仮設桁免震支承受替
⑦ 仮設桁架設 (5/15 BL)	

図-7 中央ヒンジ部の沈下量の推移

沈下量の推移（解析値と実績値の比較）である。工事着手後、はじめに実施した舗装撤去（②）と中央分離帯撤去（③）のステップでは、いずれも死荷重が軽減され沈下量が改善されるが、続く外ケーブル緊張解放（④）と仮設桁架設のうち支間中央に荷重が集中するステップ（⑤～⑥）では、沈下量が增大する。その後のステップでは脚上ベントに荷重が受け替わるため沈下量の変動は安定する解析結果が示された（⑦～⑮）。これに対し、実測値は解析値ほど敏感な挙動ではないものの、いずれも同じ傾向を示した。

(2) DXによる現場管理の高度化

本工事ではDXにも積極的に取組み、現場管理の効率化、オートメーション化を図っている。以下のデータをクラウド上で共有し、活用した。

- ・ 現場に設置したWebカメラ映像（8箇所）
- ・ 自動追尾TSやひずみ計で得られる変位や応力
- ・ クレーンで自動計測された撤去ブロック重量
- ・ 見える化された撤去進捗状況（図-8）
- ・ ビーコンによる作業員・設備の稼働状況

(3) 地域・社会のご理解を得るための取組

本工事では現場付近に工事情報館を設置し、情報発信に活用している。既設橋梁の解体撤去ではワイヤーソーによる昼夜施工での切断作業が工程上の要であるため、作業に先立ち地域向けのイベントを開催し、騒音対策に関する実演等を通じて工事へのご理解をお願いした（写真-9）。将来的なインフラ分野の担い手の確保にも期待し、地元小学校や高校を対象とした課外授業等も適宜開催しているところである。



写真-9 地元理解を得るための取組（左：工事情報館屋上、右：ワイヤーソー実演）

また、NHK番組の解体キングダム取材（2023年4月19日初回放送）や公益財団法人日本デザイン振興会が主催するグッドデザイン賞への応募（2023年度受賞）を通じて、大規模更新事業の意義や社会的影響を低減する工法の有効性を広くPRした。

6. おわりに

本工事は現場直下の一般道の交通を妨げないために、既設PC橋の解体撤去について、大半の工程が空中で完結する工法を採用した。都市部交差点上という現場条件から、その難易度は非常に高いものとなっているが、困難な課題に対して様々な工夫を加えながら確実な工事進捗を図った。

大規模更新事業は、将来にわたって安心して暮らせる社会に向けたものでありながらも、スケールの大きさから、工事中の影響も大きくなってしまいう傾向がある。持続可能な都市及び地域の成長のために、これらの影響を低減させる技術には大きな価値がある。

現場直下に影響を及ぼさず安全に橋梁等の撤去を行う必要のある工事は、道路構造物の老朽化に伴い、今後も阪神高速道路のみならず全国的に生ずる可能性がある。本工事における工夫や実績が参考となれば幸いである。

参考文献

- 1) 松島正, 有利暁, 蔵本修: PC 橋の解体例, コンクリート工学, Vol.29, No.7, pp.73-76, 1991.
- 2) 若松剛臣, 堀田晋, 岡林秀勝: 塩害を受けた PC 桁の撤去・架替—国道一号和瀬川橋架替工事—, (株)ピーエス三菱技報, 第13号, 2015.
- 3) 井手迫瑞樹: NEXCO 中日本 東名本線を跨ぐ橋長 52m の PC斜めラーメン橋を3夜間で撤去, 構造物ジャーナルNET, 2021.
- 4) 阪神高速道路(株): 阪神高速 14 号松原線 大規模更新工事 (喜連瓜破付近橋梁架け替え工事) 実施検討会, 2021.

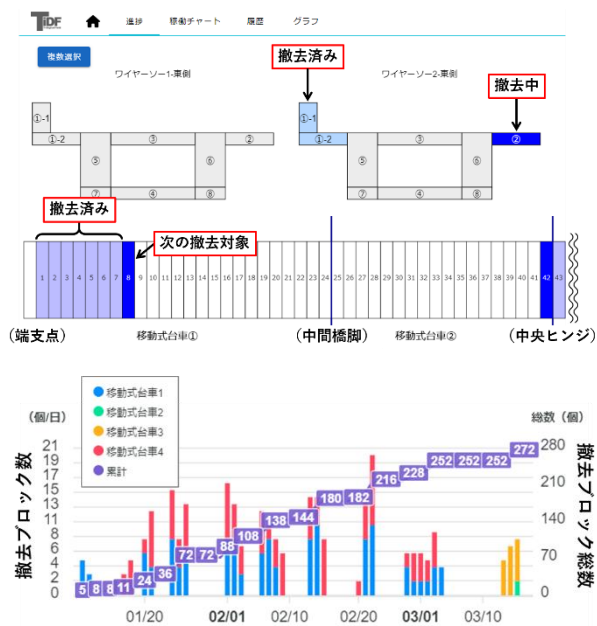


図-8 見える化された撤去進捗状況

赤嶺トンネル施工に伴うモノレール橋脚の沈下対策について

城間 和樹¹・下地 涼大²

¹南部国道事務所 那覇空港自動車道出張所長 (〒901-0234 沖縄県豊見城市田頭165番地)

²南部国道事務所 那覇空港自動車道出張所 技術係員 (〒901-0234 沖縄県豊見城市田頭165番地) .

赤嶺トンネルはモノレール橋脚直下10mの位置を掘削することから、運行中のモノレールに重大な影響が及ばないようにすることが求められた。このような課題に対して、沈下対策を採用するとともに、計測管理として24時間体制で変位を監視することで、モノレール橋脚の変位を最小限に抑えることができた。

キーワード トンネル掘削，モノレール橋脚，沈下対策，計測管理

1. はじめに

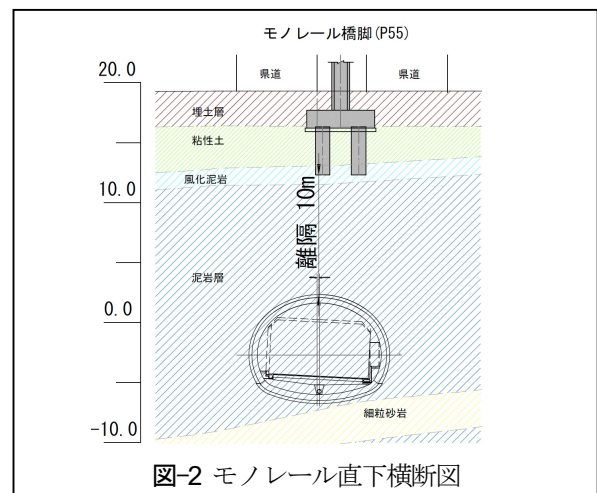
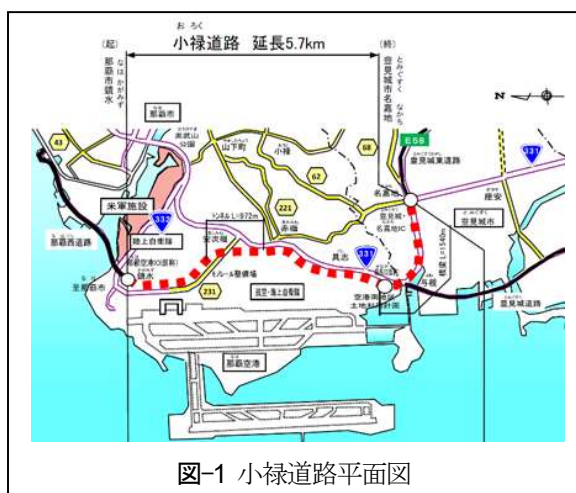
小禄道路は那覇空港自動車道の一部区間であり、延長5.7kmの4車線自動車専用道路である(図-1)。那覇空港自動車道は、沖縄本島北部及び中南部から那覇空港間への定時性、高速性を確保するとともに、都市部の交通混雑の緩和を図ることを目的としている。先行して那覇空港自動車道の南風原道路(L=5.1km)、豊見城東道路(L=6.2km)は供用を開始しており、現在全線開通を目指し事業を進めている。

赤嶺トンネルは上下線2本(上り線L=1,026m、下り線L=907m)のトンネルで構成されており、小禄道路で唯一のトンネル区間である。当区間のルート上には自衛隊基地、沖縄都市モノレール(ゆいレール)および県道那覇空港線が存在し、地上に道路を建設

することが難しかったため、トンネル構造を採用することとなった。赤嶺トンネルの北側工区は、モノレール橋脚直下10mの位置を掘削することから(図-2)、運行中のモノレールに重大な影響が及ばないようにすることが求められた。本稿では、このような課題に対して実施した、モノレール橋脚の沈下対策について報告する。

2. 工事概要

赤嶺トンネルは、トンネルとモノレール橋脚下部との離隔を約10m確保するために、両坑口から下り勾配3%の縦断線形を採用しており、坑内にサグ点を有するトンネルとなっている。赤嶺トンネルの北側工



区はモノレールと那覇空港線の直下を横断し（写真-1），モノレール橋脚への影響回避が課題となる工事である。土被りはほぼ全線で2D以下（D=12m）のため，DIIIパターンを採用している。

本トンネル周辺は東側（那覇市街地側）に標高20~30m程度の起伏の緩やかな丘陵地が広がり，西側（那覇空港側）には標高0~数mの海岸低地が広がる。北側工区の坑口は丘陵地を侵食してできた標高10m程度の低地帯に位置し，直線状の低地帯に沿ってモノレールと県道那覇空港線が通っている。

このエリアの基盤岩は新第三紀の島尻層群であり，その上部に沖積層が堆積する。島尻層群は軟岩の泥岩層と砂岩層からなり，沖積層との境界部は1m程度の厚さで風化した泥岩が分布する。島尻層群の泥岩（島尻泥岩）は沖縄地方では「クチャ」と呼ばれ，スレーキングが発生しやすいことで知られている特徴的な岩石である。浸水崩壊度試験では30分程度で岩石試料全体が細粒化することが明らかとなっている。

3. モノレール橋脚の沈下計測



写真-1 モノレール直下横断図

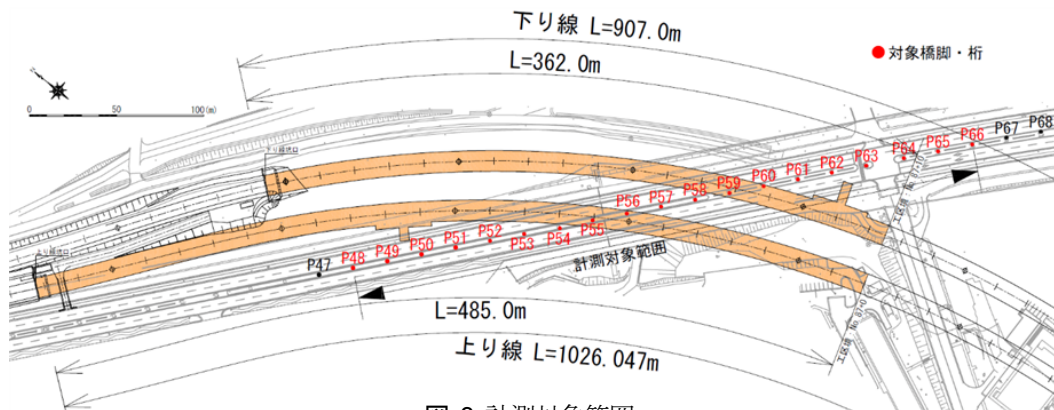


図-3 計測対象範囲

(1)モノレール橋脚の変位に対する管理値

トンネル掘削がモノレール構造物に影響を与えることが想定されていたことから，モノレール関係者（沖縄都市モノレール株，沖縄県土木建築部都市計画・モノレール課）と協議の上，モノレール橋脚と軌道桁の許容変位量および管理レベルを設定した（表-2）。橋脚の相対沈下（隣り合う橋脚との沈下量の差）と傾斜の許容変位量は，軌道桁における管理項目の「高低測定」と「通り測定」（軌道桁接続部4m区間における縦断方向・水平方向のシフト量）の基準値を超過させない条件で設定した。橋脚の絶対沈下（各橋脚の沈下量）の許容変位量は，設計段階における数値解析の予測沈下量を基に設定した。管理レベルの設定は，許容変位量を管理レベルIIIとし，管理レベルII，Iはそれぞれ許容変位量の70%，50%とした。

(2)各管理項目の計測方法

モノレール橋脚および軌道桁の変位は表-2に示す方法で計測した。計測対象範囲を図-3に示す。モノ

表-1 モノレール橋脚・桁の管理レベル

計測項目		管理レベル			
		I	II	III	
橋脚	沈下	相対 (mm)	5	7	10
		絶対 (mm)	8	11	16
	傾斜(rad)	5/1,000	7/1,000	10/1,000	
軌道桁	桁観察	高低 (mm)	4	6	9
		通り (mm)	5	7	11

表-2 計測方法

管理項目		計測方法	計測頻度	計測箇所数
橋脚	沈下 (相対・絶対)	自動沈下計	24時間	38箇所 (2箇所/橋脚)
	傾斜	自動傾斜計	24時間	19箇所 (1箇所/橋脚)
軌道桁	桁観察 (高低・通り)	トータルステーション (手動)	1回/日	38箇所 (2箇所/桁)

レール運行（10分間隔）の安全性を確保するためには、変位をリアルタイムで把握する必要があったことから、橋脚沈下および傾斜計測は自動計測を採用した。沈下計測では連通管式沈下計を採用し、沈下計を各橋脚の両側に設置した（2台/橋脚）。連通管式沈下計は基準装置（基準水槽）と沈下計を連通管（水ホース）で連結し、基準装置と沈下計の水位差を水圧として各沈下計のセンサーが検出する仕組みとなっている。水を利用する計測方法のため、計測値が水温変化の影響を受けてしまうことから、適切な補正方法（温度補正式）を設定するために、トンネル掘削の半年前に沈下計を橋脚に設置して水温変化と計測値のデータを採取した。その結果、温度補正をしても最大±6mm程度の変動が発生したことから、モノレールの影響区間の掘削期間は、1～2回/日の頻度で手動沈下計測（レベル測量）を実施した。これにより、自動と手動の沈下計測を併用しながら、橋脚の変位を正確に把握することに努めた。

4. 沈下対策

モノレール橋脚の変位抑制対策の検討には、トンネル掘削の進捗に応じて橋脚の変位をシミュレーションできる三次元数値解析（FDM解析）を利用した。事前調査の結果を基にした予測解析により設計段階で対策工を選定し、その結果を踏まえ、施工時に試験施工を行い、実際の地山挙動を反映した予測解析で対策工を最終決定した。

試験施工は設計段階で選定した対策工と地中変位計測（地層境界位置の鉛直変位）を1箇所実施した。試験施工で得られた地層毎の変位を基に、各地層の地盤定数を逆解析により同定し、その数値を反映した予測解析で対策工の最終判断を下した。

試験施工による対策工の選定フローを図-4に示す。対策工の選定基準は、絶対・相対沈下が管理レベルⅡに収まることを条件とした。設計段階の対策工以

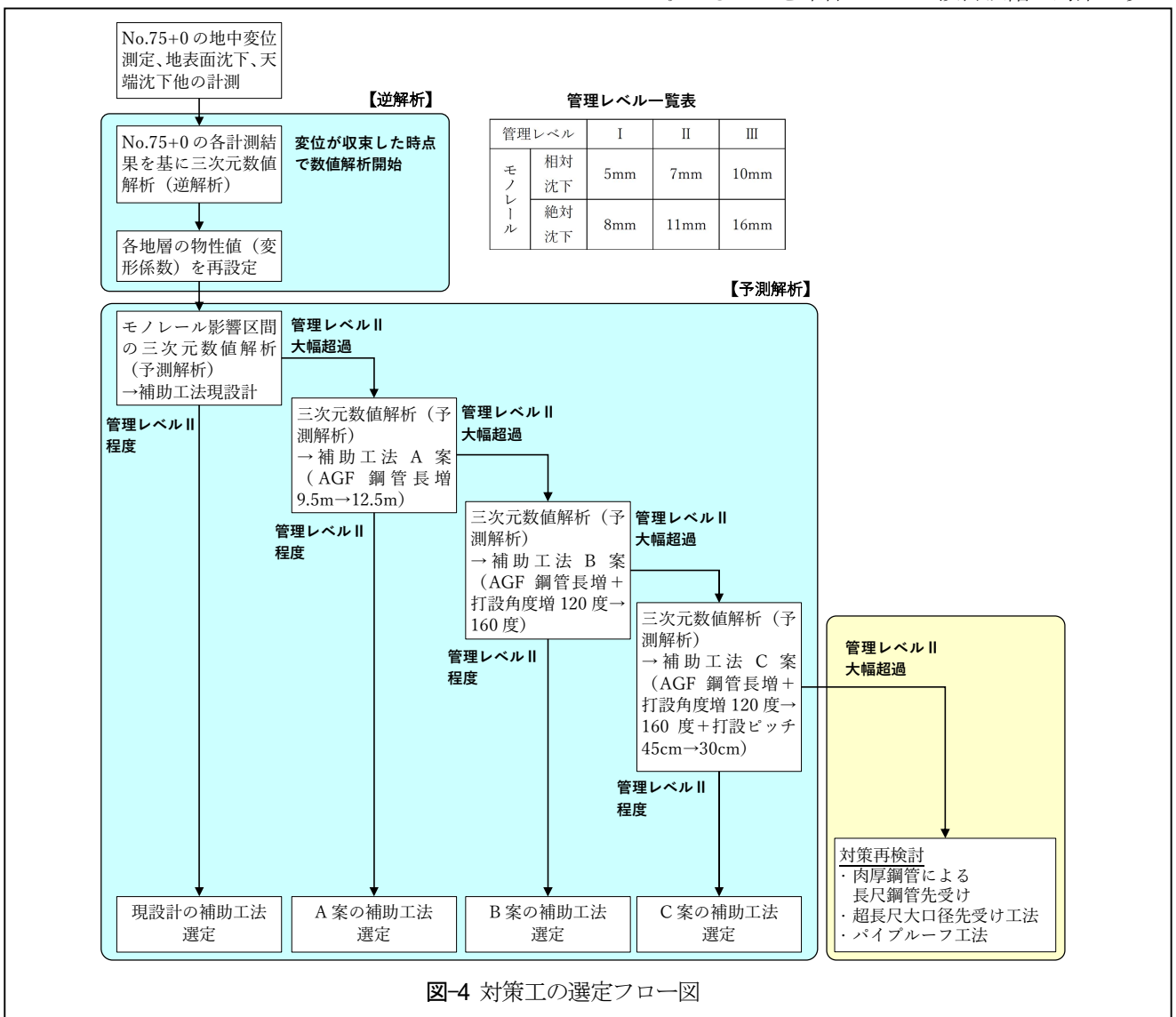


図-4 対策工の選定フロー図

外に、長尺鋼管先受け工の仕様をグレードアップした3案（A～C案 表-3）を用意し、数値解析により各対策工を採用した場合の変位を予測した。各ケースにおける、モノレール橋脚の絶対沈下・相対沈下の予測結果を表-4に示す。この予測結果を受けて、対策工の選定フローに基づき、モノレール影響区間の対策工を以下の通り選定した。

- 当初設計案の沈下の予測結果（図-5）が管理レベルⅡを超過する橋脚（上り線P54～56，下り線

P59～60）の影響区間は、B案を採用する。

- 上記以外の区間は当初設計案を採用する。

また、管理レベルⅡ相当の絶対沈下が予測されたP54, 55, 56, 58, 59の直下区間にはインバートストラットを採用した。これにより、橋脚や補助工法の荷重を確実に一次インバートに伝達・早期閉合せせ、橋脚の沈下が予測以上の値にならないよう対策を講じた。

表-3 対策工案 (A, B, C 案)

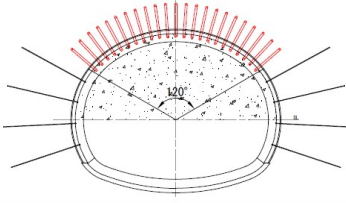
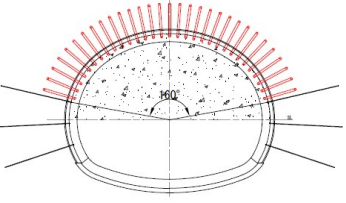
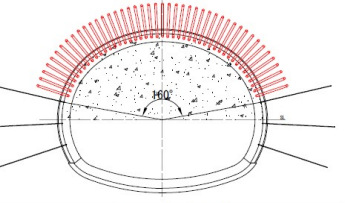
A案	B案	C案
		
先受けの鋼管長増 (9.5m→12.5m)	先受けの鋼管長増 + 鋼管打設範囲増 (120° →160°)	先受けの鋼管長増 鋼管打設範囲増 + 鋼管打設間隔短縮 (45→30cm)

表-4 モノレール橋脚の沈下予測結果（最大値）

管理項目		設計案	A案	B案	C案
沈下 (mm)	相対	4.6 I未満：○	4.8 I未満：○	4.0 I未満：○	3.4 I未満：○
	絶対	-16.3 III超過：×	-16.4 III超過：×	-12.3 II～III：○	-10.5 I～II：○
判定		×	×	○	○

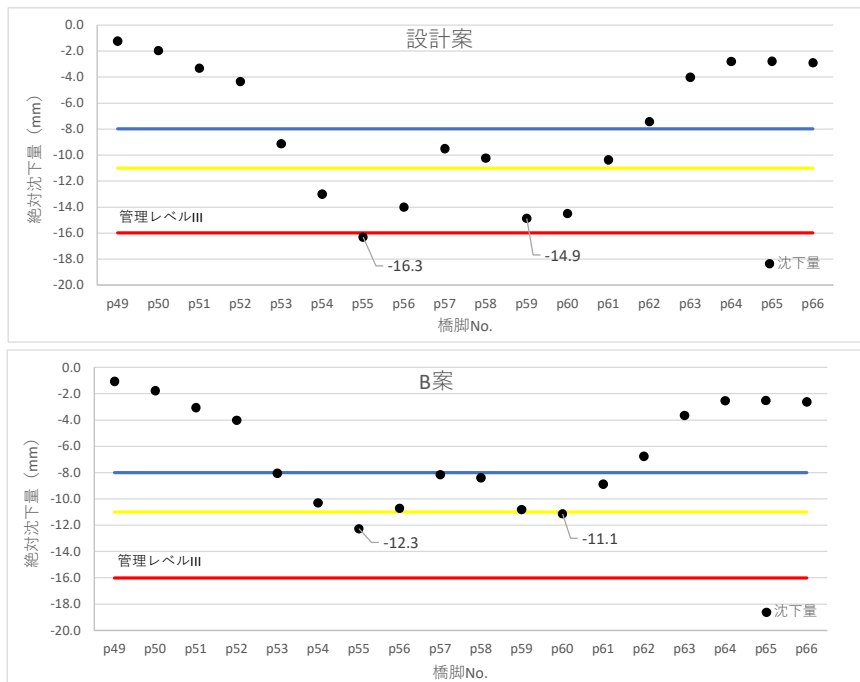


図-5 各橋脚の沈下予測結果（上:設計案, 下:B案）

5. 施工時の変位結果

(1)切羽の状態と坑内変位の傾向

2021年6月下旬から上り線のモノレール影響区間の掘削を開始した。掘削当初の切羽は泥岩が主体で、細粒砂岩の薄層（ $t=10\text{cm}$ 以下）が2～3層挟在する地質であった。当初懸念していた湧水の滲みだしによる切羽の不安定化は生じなかったが、橋脚P54の直下手前から連続性の高い割れ目が複数現れ始め、P54通過後、支保工建込み作業中に鏡面から岩塊（約 15m^3 ）の抜け落ちが生じた（写真-2）。幸い作業員にけがはなく、P54の沈下傾向にも変化はなかったが、今後も同様の現象が発生することで、施工の安全性や橋脚への影響に問題が生じることが懸念されたことから、鏡面からの岩塊抜け落ち対策として長尺鏡ボルト（ $\phi 76.3\text{mm}$, $L=10.5\text{m}$, $N=6$ 本, 6m シフト）を追加した。これ以降も同様の割れ目が切羽に存在し続けたが、前述の対策により岩塊の抜け落ちを生じさせず切羽の安定を確保することができた。P56直下通過後は不連続面を境に層厚 2.5m 程度の細粒砂岩層が現れ始めた（写真-3）。細粒砂岩は手で割れる程度の強度であ

るものの、補助工法の効果もあり、切羽は安定状態を維持できた。上り線は9月初旬にモノレール影響区間の掘削を完了した。下り線のモノレール影響区間は2022年1月中旬から掘削を開始し、2月末に掘削を完了した。下り線の切羽は細粒砂岩が主体であったが、湧水の滲みだしはなく、切羽は安定状態を維持した。

上り線・下り線ともに坑内の変位は小さく、いずれも管理レベルI未満であった。掘削中は坑内変位を常に把握するために自動計測を採用し、1回/3hrの頻度で計測を実施した。

(2)モノレール橋脚の変位結果

図-6にトンネル直上に位置する橋脚P55, P60の絶対沈下グラフを示す。いずれも管理レベルI未満の沈下に収まった。橋脚の相対沈下、傾斜及び軌道桁の高低・通り測定（桁観察）も同じく管理レベルI未満の変位に収まった。沈下量が最も大きかった橋脚P55における沈下の特徴は以下の通りである。

- ① 沈下は切羽が橋脚直下 2m 手前に到達した時点で始まった。数値解析では先行変位が予測されていたが、そのような変位は生じなかった。



写真-2 岩塊の抜け落ち状況



写真-3 切羽状況（不連続面と砂岩層）

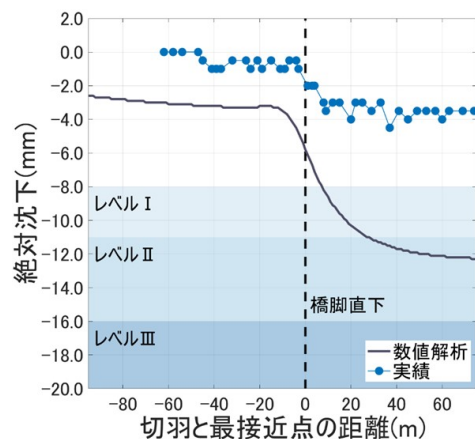
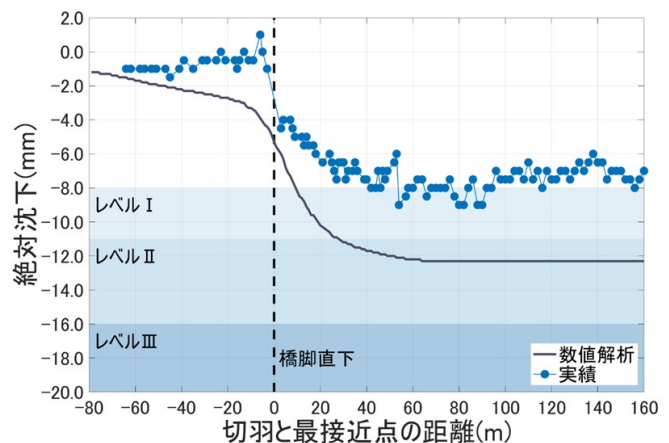


図-6 橋脚沈下グラフ（上:P55, 下:P60）

- ② トンネル掘削4m当りの最大沈下量（1.7mm）は、予測値（1.6mm）とほぼ同じであった。
- ③ 沈下の収束は、切羽が橋脚直下の約25m前方まで進んだ時点で確認できた。予測（60m前方）よりも半分以下の距離で沈下が収束した。
- ④ 最終沈下量（7.5mm）は予測値（12.3mm）の約60%に収まった。

以上のように、数値解析の予測と比べて実際の沈下は小さい結果となったが、5mm弱程度のわずかな差であった。よって、数値解析により対策工の効果を適切に評価し、概ね実際の沈下を予測することができたと判断している。

5. おわりに

本トンネルは2022年3月に下り線、4月に上り線が無事に貫通した。モノレール橋脚の変位計測は覆工完了（2022年12月）まで継続し、長期的な沈下の有無を検証した。その結果、掘削中に沈下の収束を確認して以降、変位は発生していないことが確認でき、今後、トンネル工事が原因でモノレール橋脚に長期的な沈下が生じる可能性は極めて低いと判断することができた。モノレール橋脚は絶対沈下が最大で7.5mm（P55）、相対沈下が4mm（P55-P56）の変位が生じたが、モノレールの乗り心地（軌道の段差、線形のズレ等による車両に生じる振動の評価）については、工事着工前後で変化がほとんど生じていないとの報告を受けている。これらの成果は、設計段階から施工完了まで関係者が協力し合いながらモノレール構造物の変位抑制対策に取り組んだ結果であると考えている。今回の取り組みが、同じような条件下での工事の参考になれば幸いである。

最後に、本工事にあたりご指導、ご協力いただいた関係各位に対しまして、厚く感謝する次第である。

参考文献

- 1) 土木学会：トンネルライブラリー第25号 山岳トンネルのインパクト，2013.11.

国道41号黒崎電線共同溝におけるPFI事業の導入について

川尻 克巳，二川 哲，山本 彰，山崎 周

北陸地方整備局 道路部 交通対策課 (〒950-8801 新潟県新潟市中央区美咲町1丁目1番1号)

事業の長期化，コスト増などの課題をかかえる電線共同溝事業について，事業進捗を図るため，調査設計から工事，維持管理に至るまでの一連の業務をPFI事業として北陸地方整備局において初めて導入した。この新たな取り組みに関して業務契約までのプロセスや考察について報告する。

キーワード 電線共同溝，無電柱化，PFI，コスト縮減，工期短縮

1. はじめに

道路空間における災害の防止，安全円滑な交通の確保，良好な景観の形成等を図るため無電柱化事業を進めているが，近年の台風や豪雨など災害の激甚化・頻発化により，その必要性がより高まっている。

しかしながら，事業を進めるにあたっては，電力及び通信会社，その他占有者との設計協議，既存の地下埋設物件や既設電柱の支障移設，沿道住民や店舗等との工事調整などにより事業期間が長期化している。また，多数の関係者と協議を重ねながら詳細設計を行う必要があり，工事の長期化と合わせてコスト増加の一因となっており，電線共同溝本体工事の発注やそれに伴う協定・依頼契約の締結は，複数工区に分けて行うことから，更なる事業コストの増加につながっている。

今回，上記の様々な課題を解決する一手法として，北陸地方整備局の道路事業としては初めてとなるPFI手法による事業契約手続きを行った。本稿では導入経緯や契約までのプロセス，今後の課題等について報告する。

2. 無電柱化の状況

(1) 無電柱化施策の変遷

電線類を地中へ埋設する無電柱化は1986年に策定された「電線類地中化計画」（第1期計画）に基づき整備しており，当初はCAB（Cable Box）と呼ばれるコンクリートボックスを道路地下に埋設する手法であったが，構造のコンパクト化，コスト縮減を図るため，1995年からは現在の電線共同溝が採用された。

2009年には「無電柱化に係るガイドライン」が策定され，地中化方式以外の建物の軒を活用する「軒下配線」

等，多様な手段で無電柱化事業を進めることが示されている。参考に電線共同溝の整備イメージを図-1に示す。

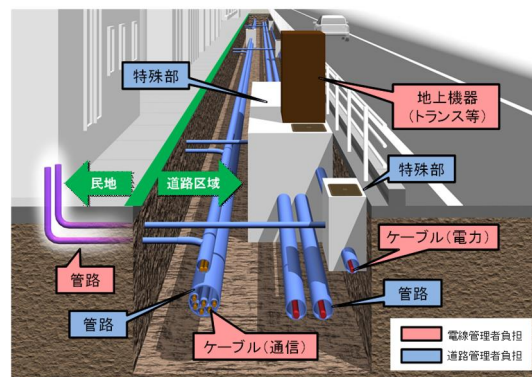
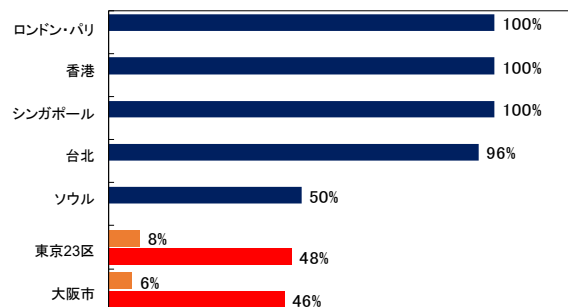


図-1 電線共同溝の整備イメージ¹⁾

(2) 無電柱化推進計画

約30年間にわたり無電柱化事業に取り組んできたが，図-2のとおり，ヨーロッパやアジアの主要都市では無電柱化が概成しているのに対し，日本の無電柱化率は東京23区で8%，大阪市で6%と低迷している。



日本(上段)は，国土交通省調べによる2019年度末の状況(道路延長ベース)
日本(下段)は，電気事業連合会調べによる2018年度末の状況(ケーブル延長ベース)

図-2 欧州・アジア主要都市と日本の無電柱化の現状¹⁾

このような課題を踏まえ、2016年に「無電柱化の推進に関する法律」が成立し、関係省庁の協力や自治体・関係事業者・国民の無電柱化推進に対する責務等が明文化され、2018年には第7期の無電柱化推進計画により新たに全国で1,400kmの事業に着手する目標が掲げられた。

更に同年、災害の激甚化・頻発化を受け「防災・減災、国土強靱化のための3か年緊急対策」が閣議決定され、その後も2019年台風第15号では千葉県内を中心に約2,000本の電柱が倒壊し道路閉塞に伴う通行止め等により復旧活動に支障が発生したことから、2020年閣議決定の「5か年加速化対策」では、無電柱化の達成を前倒しするため更なる事業推進が目標として設定された。

1986年策定の第1期計画から2020年度までの無電柱化整備延長は約11,700kmとなり、現在は2021年度より始まった第8期計画において全国で約4,000kmを目標とし、コスト削減や事業のスピードアップを講じて更なる事業推進に取り組んでいる。

3. PFI手法を用いた無電柱化の推進

(1) 無電柱化の推進にあたっての課題

国土交通省が2020年に実施した全国1,788自治体に対するアンケートによると、図-3のとおり、無電柱化を実施するにあたっての課題として、コストが高い、電力・通信会社等との調整が困難などの課題があることが明らかとなっている。北陸地方整備局が行う電線共同溝事業においても、電力会社や通信会社、更には既設埋設物件管理者や沿道関係者等との各種調整に時間を要しているのが課題となっている。

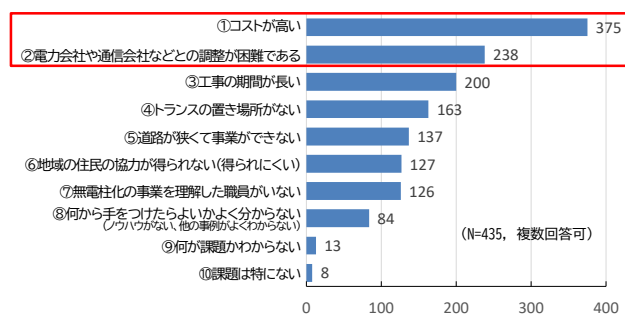


図-3 自治体へのアンケート結果¹⁾

(2) 電線共同溝事業におけるPFI手法の導入

無電柱化推進法成立後に設置された有識者等による「無電柱化の推進のあり方検討委員会」において、課題である低コスト化や整備手法、電柱の占用制限など様々な分野で無電柱化の推進について議論されたが、2017年の中間取りまとめでは、多様な整備手法・コスト削減の促進として、民間技術のノウハウや資金を活用し事業期間を短縮する手法として新たにPFI手法の活用について提案がなされた。

従来手法による電線共同溝事業は、予算的制約等もあり、設計・工事・維持管理の分野で年度ごとに業務を発注し、或いは複数工区に分割して工事発注されている。これに対し、PFIは、設計・工事・維持管理及びこれまで職員が行ってきた電線管理者や占有者等との各種調整業務を含め包括的に民間事業者委ねる手法である。

PFI手法を導入するメリットとして、管路整備に精通した民間の技術やノウハウを活用し、手戻りが少ない設計・工事により整備期間の短縮が期待できる。また従来、複数工区に分割して発注していた工事を、大規模な一つの工事として発注することができ、スケールメリットの効果により諸経費等の圧縮による総合的なコスト削減も可能となる。

更には、受注した民間事業者が資金調達を行いながら事業を進めるため、発注者側の予算的制約もなく、適時、必要な資金を事業に投入することが可能で円滑な事業推進も期待できる。

特に、発注者側のメリットとしては、民間事業者への事業費の支払いが図-4のとおり、完成引渡後から維持管理期間にわたり割賦払いによる一定額を支払う方式のため、電線共同溝本体工事を行う期間に事業費が集中することがなく、予算の平準化が可能となる。また、個別に業務・工事を発注する必要もなく発注事務の負担軽減にも寄与する。

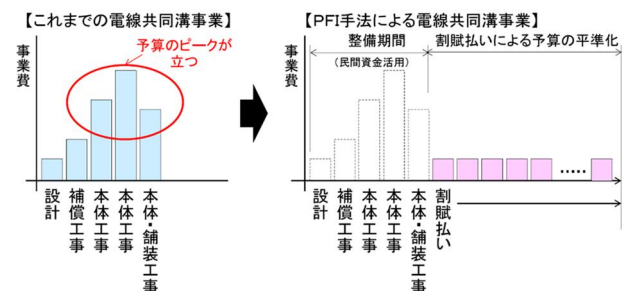


図-4 PFI事業による予算の平準化¹⁾

一方、PFI手法では、資金調達を民間事業者が行うため、建設期間中の資金調達に伴う金利(建中金利)にかかる費用や、割賦払いにかかる割賦手数料、SPC(特別目的会社)の開業・運営費用など、従来手法とは異なる「PFI特有の費用」が必要となる。

ただし、PFI手法の導入にあたっては、後述するVFM(Value for Money)が確保できることが条件とされ、それらPFI特有の費用を考慮してもなおPFI手法で行うメリットがあることを確認してから契約手続きを行うこととしている。

こうして電線共同溝事業におけるPFI手法の効果が整理されたことから、2017年度に中国、四国両地方整備局においてPFI手法による電線共同溝事業が着手され、北陸地方整備局においても2022年度に道路事業としては管内初となるPFI事業の導入に至った。

なお、電線共同溝PFI事業を北陸地方整備局で初めて実施するにあたり、導入効果を適切に把握するため、受注した民間事業者が他事業の影響を受けずに計画的に事業を推進可能な場所を検討した結果、2021年度に予備設計を実施していた国道41号黒崎電線共同溝事業をPFI手法で行うこととした。

また、発注手続きを担う職員の誰もがPFI事業の契約手続きに携わった経験が無かったことから、手続きに着手する前年度より他の地方整備局が契約した電線共同溝PFI事業に関する公表資料の収集を開始し、内容確認及び発注資料の準備作業にあたった。通常の手続きと異なるため、整備局内の調整、発注スケジュールの管理は整備局交通対策課が担当し、契約後にPFI事業を監視する立場となる富山河川国道事務所においても、PFI手続きのための担当職員を定め、事務所・整備局が一丸となってこの新しい取組に臨んだ。

(3) 国道41号黒崎電線共同溝PFI事業の概要

事業概要を表-1に示す。事業箇所は、富山県の玄関口にあたる富山空港、北陸自動車道・富山IC、富山駅を結ぶルート上にあり、良好な都市景観の確保、災害時には避難、救護、消防等の防災活動を支援する重要な道路で、本電線共同溝事業を行うことにより、富山空港から富山駅にかけて全線で無電柱化が完了する。

現場状況として、道路の両側には3.5mの歩道があり、車線数は4、中央帯（ゼブラ帯）があり区画線を工夫すれば終日車線規制も可能な場所である。また、沿道には住宅や店舗等が立地しており、他の電線共同溝事業と比較して特別な条件はない。

4. PFI事業の契約手続き

(1) 契約のプロセス

電線共同溝PFI事業の契約においては、通常の一般競争入札・総合評価落札方式の手続きに加え、「民間資金等の活用による公共施設等の整備等の促進に関する法律（PFI法）」、「民間資金等の活用による公共施設等の整備等に関する事業の実施に関する基本方針」及び内閣府が公表しているPFIに関する各種ガイドライン等に基づき手続きを行った。その流れを図-6に示す。

一般的な工事発注には無い手続きとして、「実施方針」等の公表がある。「実施方針」とは、事業内容、民間事業者の応募・選定に関する事、事業の継続が困難となった場合に関する事、及び発注者と受注者のリスク分担に関する事等が記載され、この時、一般的な業務・工事における特記仕様書にあたる「要求水準書」（案）も同時に公表する。

また、入札公告を行うためには、PFI事業として実施することの妥当性を定量的・定性的に評価し、「特定事

表-1 黒崎電線共同溝PFI事業の概要

事業場所	富山県富山市蜷川～同市黒崎
事業延長	2.18km(道路延長: 1.09km)
契約金額	約1,449百万円(税込)
事業期間	2022年度～2045年度 (設計・工事7年,維持管理16年)



図-5 黒崎電線共同溝位置図



写真-1 黒崎電線共同溝PFI事業箇所の状況

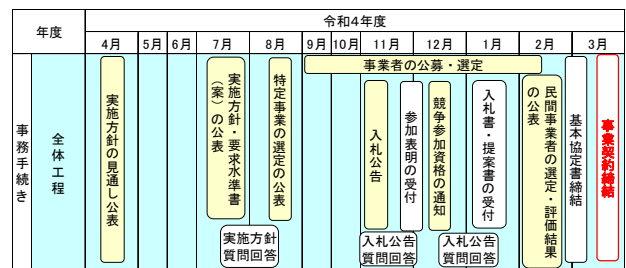


図-6 黒崎電線共同溝PFI事業における事業契約手続きの流れ

業」として選定・公表する必要があるが、この特定事業選定においては、従来手法と比較してPFI手法で実施した場合にどれだけ事業費が削減できるか、長期間にわたる費用を割引率により現在価値化してVFMを算定・検証する。VFM算定イメージを図-7に示す。

この時、従来手法においては、仮に道路管理者がこれまでどおり設計、調査、工事、維持管理をそれぞれ分割

して発注した場合に、PFI事業として想定している事業期間分の必要費用を積み上げる。なお、工事については、現場条件や類似事業、さらには予算制約なども考慮して事業箇所において想定される工区割を検討し、複数の工事を発注して施工する方法で積算する必要がある。

一方、PFI手法においては、大規模な一つの業務・工事として発注することを想定し積算するほか、前述した「PFI特有の費用」を積み上げる必要がある。

なお、行政側コストとして、PFIによる包括発注により発注事務が軽減するがこれら費用は、積算が困難なため、VFMを算定する際は考慮していない。

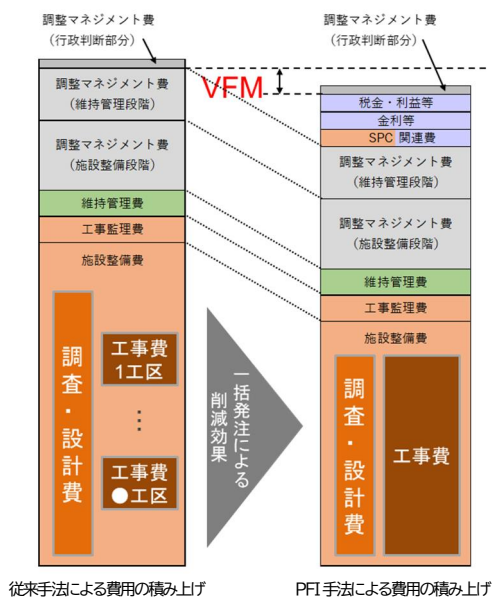


図-7 VFM算定イメージ

このVFMの算定にあたっては、割引率や建中金利の設定、割賦金利の仮設定、SPCの開業・運営費用、発注者側のモニタリング費用など様々な費用を積み上げる必要があることから、PFI手続きのためのアドバイザー業務をコンサルタント会社に委託し技術支援を受け対応した。勿論、このアドバイザー業務に要する費用もPFI手法で実施する場合の費用に計上している。

なお、電線共同溝PFI事業に関する一般競争入札にかかる総合評価落札方式については、予算決算及び会計令第91条第2項の規定により、2020年9月に国土交通省と財務省間で包括協議²⁾が整い、落札方式及び総合評価の方法が確認され、特に総合評価については加算方式で行うことが示された。（除算方式で行うことも可能であるが、別途、財務協議が必要となる。）

このような中で、北陸地方整備局では通常の工事発注等における総合評価で除算方式を用いることが一般的であったが、本PFI事業の契約手続きにおいては、包括協議の範囲内で手続きを行うこととし、総合評価を加算方式で実施した。

(2) PFI審査会と有識者委員会

北陸地方整備局では、PFI事業の契約手続きにおいて、整備局幹部職員で構成される「北陸地方整備局PFI審査会」と、PFI事業に係る審査を行うにあたり審査の客観性を確保するため、「有識者委員会」を設置した。なお、有識者委員会が調査審議した内容は、PFI審査会に報告され、入札公告及び応募者の競争参加資格審査に関すること以外は、PFI審査会において最終的な審議を実施している。

この有識者委員会では、応募者が提案する資金調達計画や企業財務・資金管理計画等について専門的見地から評価する必要があるものの、日頃、整備局ではそれら分野の有識者との関わりが極めて少ない。参考に他の地方整備局等で設立された電線共同溝PFI事業における有識者委員会の委員構成を表-2に示す。

いずれの電線共同溝PFI事業も土木系の有識者が2名選定されており、経済系1~2名、公認会計士又は法律系1~2名、合計4~5名の委員構成となっていた。

表-2 電線共同溝PFI事業における有識者委員会委員の構成

事例	土木系		経済系		公認会計士		法律系		合計	
		PFI		PFI		PFI		PFI		PFI
R2年度東北PFI	2		1	(1)	1		1		5	(1)
R1年度関東PFI	2		2	(2)*2			1	(1)*2	5	(3)
R1年度中部PFI	2		1	(1)*3	1		1		5	(1)
R1年度近畿PFI	2		2						4	
H29年度中国PFI	2		2	(1)*3	1				5	(1)
H29年度四国PFI	2		1				1		4	
R2年度九州PFI	2				1		1		4	
R2年度横浜市PFI	2	(1)*1	1	(1)*2	1	1	1		5	(2)

(北陸地方整備局調べ)

*1 過去にPFI事業有識者委員会の経験あり
*2 内閣府 PFI関係の委員会経験あり
*3 PFIを研究等

この結果を踏まえ、本PFI手続きにおいても、PFIに造詣が深い方を1名以上、委員に選定することとし、その他、総合評価を行うことから、整備局の総合評価審査委員会の経験のある方も委員に選定する方針とした。

この方針に沿って、富山県内の他のPFI事業の有識者委員会の経験のある学識者1名（土木系）、公認会計士1名に、委員委嘱した。また、整備局の総合評価審査委員会の経験のある学識者1名（土木系）と、経済系の有識者として学識者1名に委員委嘱し、合計4名体制で有識者委員会を開催することとした。

なお、土木系の学識者2名については、地域特性を踏まえつつ、建設工事に関する技術的視点で評価していたため、北陸地方整備局が連携協定を締結している富山県内の大学より選定した。

なお、有識者委員会は各分野の専門的知見を有する有識者で構成されていることから、委員会での審議方式は、合議方式とし、委員の総意により一つの評価結果を決定することとして各種審査を行った。

5. PFI導入結果と課題

(1) PFI事業のスキーム

従来事業の進め方との比較を図-8に示す。

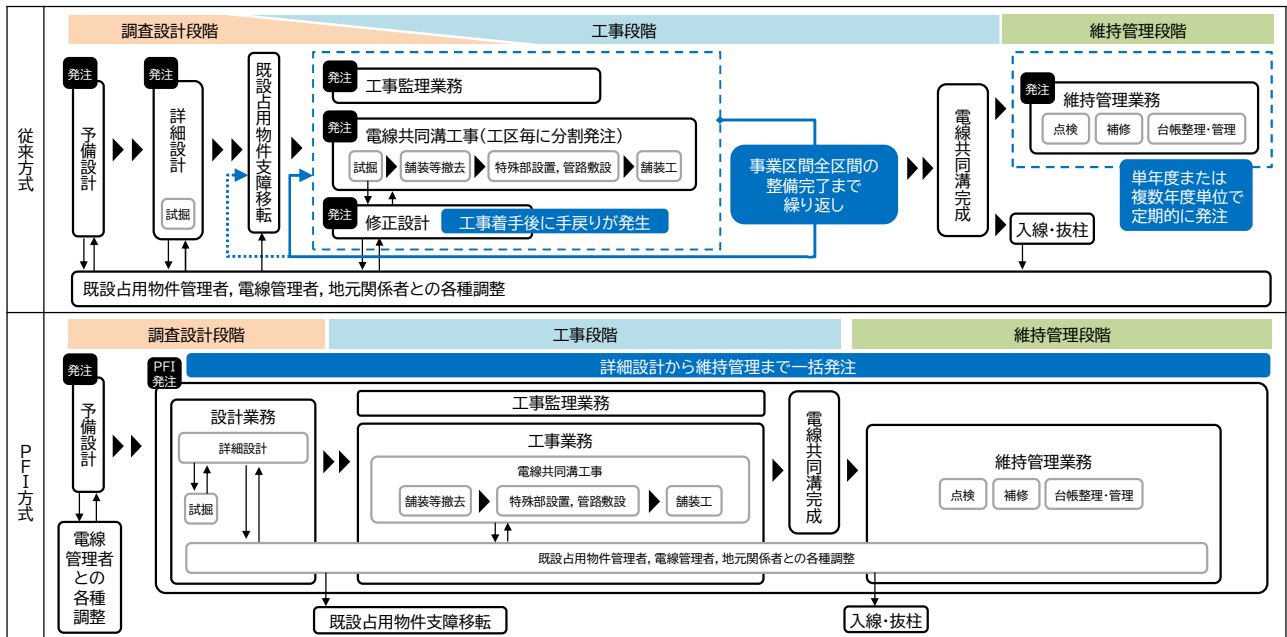


図-8 電線共同溝事業における従来方式とPFI方式の比較

(2) 本PFI事業における民間事業者選定結果

本PFI事業の手続きにおいて選定した民間事業者からは、当初想定したPFI事業のメリットをより具体化した種々の提案があり、評価した主な内容を以下に示す。

a) 精度の高い調査・詳細設計で手戻りを最小化

維持管理まで見据えたフロントローディングにより、調査設計段階において精密に現況埋設物等を把握し、埋設物の占有者との円滑な協議により効率的な詳細設計が期待でき、不測の事態にも即時対応し施工段階の工期遅延を抑制し、整備工事の工期短縮に関する提案があった。

b) 早期の合意形成を行い、円滑に事業を推進

調査設計段階から施工段階、維持管理までの関係機関協議や地元調整等をワンストップ体制で行うことで、管路埋設の同時施工や早期の地元合意形成が図られ、計画的な事業推進が可能であり、継続的な情報共有と監理体制保持により、切れ目なく円滑な事業推進が見込まれる。

(3) 今後の課題

PFI事業は、契約後、当該事業に関する発注事務が無くなることから行政側の負担は軽減し、かつ、施設整備の完成についても民間のノウハウの導入より遅延リスクが低下し、計画的な事業推進が期待できる。

一方で、PFI事業の事業契約手続きを経験し、発注者としての実務的な面から、以下の課題が考えられる。

a) 財政・金融に関する知見の必要性

特定事業選定時のVFM算定にあたり、割引率や割賦金利、SPC開業・運営費用等も設定しなければならず、かつ、PFI事業は民間資金を活用することから応募企業の財務状況や資金管理計画等に係る提案についても審議する必要があり、金融や経済の知識は必須であることからPFIに関する解説図書や新聞情報などで理解を深めた。

また、アドバイザー業務を有効的に活用したほか、有識者委員会委員からご助言等を頂きながら専門的な業務に対応した。

b) 体制の確保

事業契約手続きは1年を通じて行われ、他の業務を行いながら常にPFI事業関係の業務が伴うこととなった。

また、土木分野とは違う専門的知識を有する検討、資料作成等の業務量が膨大なため、PFI事業に関するプロジェクトチーム等の体制確保が必須と考える。今後も、長期間にわたりモニタリングを行う必要があり、PFI事業に対する知識やリスク分担などのノウハウを確実に継承していくことが重要である。

c) 応募者の負担軽減

PFI事業では、資金調達、設計・工事・維持管理まで多岐にわたる事業内容について提案を求めることから、契約できなかった応募者に与える負担は大きい。

本PFI事業においては、参加表明が1グループであったが、北陸地方整備局の道路事業で初めての取組だったこ

とも影響していると考えられるものの、様々な企業が入札に参加いただけるよう対策が必要と考える。

6. まとめ

本稿では、PFI導入のメリットや契約手続きを進めるにあたって検討した内容をまとめ、最後に担当者としての課題整理を行った。本稿が今後、電線共同溝PFI事業の手続きを行う機関にとって一助となれば幸いである。

また、本PFI事業は、設計、工事段階に進んでいくが、今後新たな課題が発生する可能性もあるため、引き続き関係事務所や局内関係各課と連携して解決に向け取り組むとともに、今後もPFI事業の効果を確認していきたい。

謝辞：本PFI事業の契約手続きにあたり「国道41号黒崎電線共同溝PFI事業有識者委員会」で多様なアドバイスをいただき支援して頂きました久保田委員長、鷲見委員、布目委員、原委員に感謝申し上げます。

出典

- 1) 国土交通省 道路局資料
- 2) 2020年9月25日付国官会第16306号 国土交通大臣から財務大臣あて協議文書、及び同年9月28日付財計第4096号財務大臣から国土交通大臣あて回答文書

参考文献

- 1) 国土交通省：無電柱化推進計画（2018年，2021年）
- 2) 国土交通省：無電柱化推進のあり方検討委員会資料
- 3) 内閣府：VFMに関するガイドライン

下水処理工程における 一酸化二窒素排出量の実態把握調査

石井 淑大¹

¹国土技術政策総合研究所 下水道研究部 下水処理研究室 (〒305-0804 茨城県つくば市旭1)

下水道事業から排出される温室効果ガスを削減するために、下水処理工程において生成される一酸化二窒素 (N₂O) の排出量を抑制することが重要である。N₂Oの排出量は、時間変動や場所による変動が大きく実態把握が進んでいないため、本研究では、実下水処理場におけるN₂O排出量を正確に把握するための実態調査を実施した。下水処理工程の6地点から気体採取を4時間ごとに行うことで、N₂Oの排出量が多い地点や時間帯を把握することができ、曝気槽の中段および後段でN₂O排出量が高くなることが明らかとなった。また、水質分析結果と組み合わせることで、流入下水中のアンモニア態窒素の硝化反応とN₂O生成の関係解明を試みた。

キーワード 一酸化二窒素, 下水処理, 地球温暖化対策, 排出係数

1. はじめに

(1) 下水道事業における温室効果ガスの排出状況

日本は、地球温暖化対策として2030年までに温室効果ガス (GHG) の排出量を2013年度比で46 %削減し、2050年までにカーボンニュートラルを達成することを目標に掲げている。日本全体で排出される総GHGの内、約0.5 %は下水道事業により排出されており、下水道事業においてもGHGの排出量削減は喫緊の課題である¹⁾。

下水道事業におけるGHGの排出源内訳は図-1のとおりであり、曝気や汚泥返送等に係る下水処理場における電力消費が半分以上を占めている。続いて、下水汚泥の焼却処理に伴い排出される一酸化二窒素 (N₂O) が約5分の1を占め、水処理により排出されるN₂Oおよびメタン

がそれぞれ約8%と5%、ポンプ場における電力消費が約6%、燃料消費が約5%を占めているとされる²⁾。

(2) 水処理により排出されるN₂Oに着目する理由

電力や燃料の消費に伴うGHGの排出は、高性能な機器への更新や再生可能エネルギーの利活用により削減が可能であり、汚泥処理により排出されるN₂Oについては高温焼却炉の導入により削減が可能とされている。その一方で、水処理により排出されるN₂Oおよびメタンについては、明確な排出抑制の方策が取られていない現状である。メタンについては、下水の収集過程や最初沈殿池等における嫌気条件下で排出されることが分かっており、排出を抑制することは困難とされる。しかしN₂Oについては、下水処理場における運転操作の変更等により排出量の削減可能性があるにも関わらず、排出量の実態や排出量に影響を与える要因が正確に把握できていない現状であるため、さらなる調査研究が求められている³⁾。

(3) 水処理により排出されるN₂Oの現状と課題

下水処理場において水処理に伴い排出されるN₂Oは、図-2に示すように、流入下水に含まれているアンモニア態窒素が下水処理の工程で硝化、脱窒される際の副生成物および中間生成物として生成され、外部へ排出される。硝化、脱窒は活性汚泥中の微生物群集の活動により行われ、その経路や関与する微生物群について、実験室レベルでの解明が進んでいる³⁾。しかし、実際の下水処理場においては、流入下水の水質、水温、活性汚泥中の微生物群、処理方式、曝気方式、溶存酸素量、降雨等の

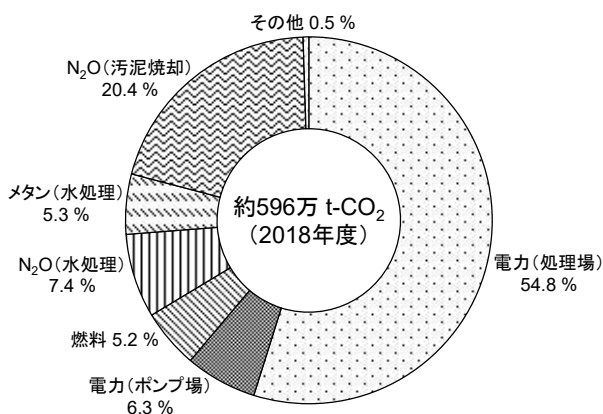


図-1 下水道事業におけるGHG排出源の内訳¹⁾

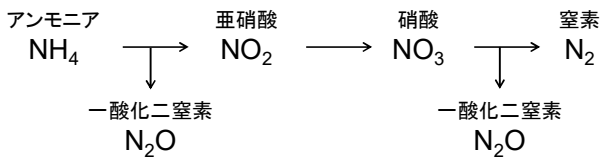


図-2 水処理における N_2O 生成の簡易的な経路図

影響が複雑に関係しており、 N_2O の生成量を決定する要因については未解明の部分が多い。

N_2O の排出量は、時間変動や季節変動が大きく、処理場ごとや、同じ処理場内でも反応槽の場所ごとにばらつきが大きいとされる。 N_2O の排出量を正確に実態把握するためには、これらの変動に対応した調査が必要であるが、調査に費用と時間がかかるため、実態把握が進んでいない現状である。そのため、多くの下水処理場において、 N_2O の排出量は処理方式ごとに定められた N_2O 排出係数に処理水量をかけることで推定している⁴⁾。しかし、この排出係数が実際の値と乖離している可能性が指摘されている。また、排出量の実態把握が進んでいないため、 N_2O の排出抑制方策の立案も困難な状況となっている。

(4) 本研究の目的

これらの課題に対応するため、国土技術政策総合研究所下水処理研究室では、全国の下水処理場において N_2O 排出量の調査を進め、 N_2O 排出量の実態を把握することを目的としている。また、アンモニア態窒素や硝酸態窒素等の水質分析も実施し、水処理における硝化反応と N_2O 生成との関係を明らかにすることを目的としている。

本稿では、 N_2O 排出量の実態調査として10年以上実施してきている「24時間調査」の概要と最新の結果について報告する。

2. N_2O 排出量の調査方法

(1) 24時間調査の概要

水処理に伴う N_2O の排出量は時間変動が大きいため、単発の排出量調査では実態を正確に把握できない。そこで、24時間にわたって4時間ごとに1回、計7回の気体試料採取を行い、その N_2O 濃度を測定することで N_2O 排出量を把握している。この調査方法を「24時間調査」と呼んでいる。以下では、令和3年度から国内のA下水処理場で実施した24時間調査について報告する。

(2) 対象フィールド

本調査で対象とした国内のA下水処理場は、図-3に示すように複数の下水処理系列を有している。本調査では、その中の(a)~(d)の4系列を調査対象とした。系列(a)~(d)では、同一の流入下水をそれぞれ別の処理方式により並

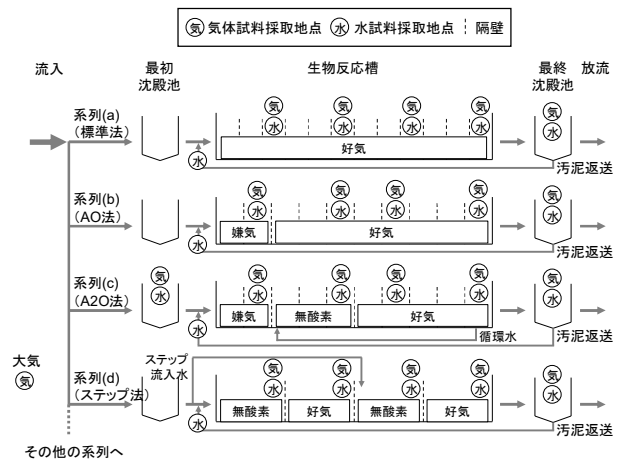


図-3 A下水処理場の処理系列の概要と試料採取地点

列に処理している。各系列における処理方式は、(a)：標準活性汚泥法（以下、「標準法」と呼ぶ）、(b)：嫌気好気活性汚泥法（以下、「AO法」と呼ぶ）、(c)：嫌気無酸素好気法（以下、「A2O法」と呼ぶ）、(d)：ステップ流入式多段（2段）硝化脱窒法（以下、「ステップ法」と呼ぶ）となっている。

A処理場の流入下水は、主に地下水と推測されている不明水の混入により希釈されていると言われており、2020年度の流入下水のBOD濃度および全窒素（T-N）濃度は、全国平均値の約2分の1から3分の1の値となっている。A処理場の集水域の大部分は合流式下水道となっており、降雨時は雨水が流入するため、流入下水のBODやT-N濃度が希釈される。

(3) 試料の採取時間および採取方法

24時間調査では、 N_2O 排出量の時間変動を把握するため、各調査日において昼12時、16時、20時、24時、翌日4時、8時、12時の計7回、試料採取を行った。さらに、 N_2O 排出量の場所による変動を把握するために、(a)~(d)の全系列共通の最初沈殿池1カ所と、(a)~(d)の各系列における生物反応槽から4カ所（計16地点）、各系列の最終沈殿池から1カ所（計4地点）の合計21地点で気体試料の採取を行った。また、これらの地点に加え、A処理場からの排気ガスの影響を受けていない地点で、ブランク試料として大気ガスを採取した。試料の採取地点の詳細は図-3の通りである。

24時間調査における毎回の試料採取において、図-3に示す地点を全て順に回り、各地点で試料採取を行った。1回の試料採取にかかる時間は、全地点の合計で80分程度であった。 N_2O 排出量の季節変動を把握するために、この24時間調査を春夏秋冬の4回実施した。

気体試料の採取は、図-4に示す自作のガス捕集器を用いて、図-5のように各槽の水面から採取した。生物反応

槽の中で、活性汚泥中の微生物に酸素を供給するために曝気が行われている槽（好気槽）では、曝気により発生した空気をガス捕集バッグに採取した。最初沈殿池や最終沈殿池、生物反応槽の中でも曝気を行わない槽（嫌気槽、無酸素槽）においては、水面からの空気の発生量が微量なため、ガス捕集器を水面に20分間静置させ、その間に発生した空気を採取した。気体試料の採取に加え、溶存態の N_2O 濃度や、 N_2O の生成に関わるとされる各態（アンモニア態、亜硝酸態、硝酸態）の窒素濃度を測定するために、水試料もバケツ等を用いて採取した。

(4) 試料の分析方法

採取した気体試料は、実験室へ搬入し、ガスクロマトグラフを用いて N_2O 濃度の測定を行った。水試料も実験室へ搬入し、溶存態 N_2O 濃度をガスクロマトグラフで測定するとともに、有機物濃度や各態の窒素濃度を下水試験方法に準拠して測定した。

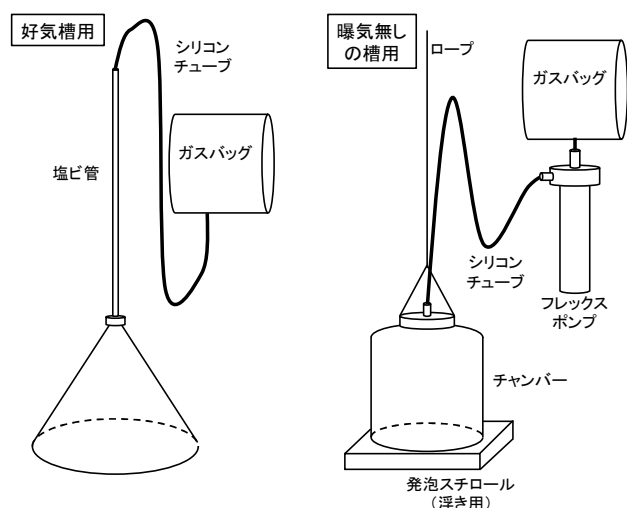


図-4 気体試料の採取に用いた器具の概要



図-5 気体試料採取の様子

3. N_2O 排出量の調査結果

(1) 24時間調査による N_2O 排出量の測定結果

24時間調査において採取した気体試料中の N_2O 濃度を測定し、調査時の下水処理場における曝気風量と処理水量から計算した、単位処理水量あたりのガス態 N_2O 排出量（ N_2O 排出係数）を表-1に示す。表-1の結果は、各24時間調査において7回採取した試料の測定結果の平均値となっている。なお、環境省および国交省が定める N_2O の排出係数（現行値）は、標準法が $142 \text{ mg-N}_2\text{O}/\text{m}^3$ 、AO法が $29.2 \text{ mg-N}_2\text{O}/\text{m}^3$ 、A2O法および循環式硝化脱窒法（当該方法と同程度以上に窒素を処理することができる方法を含むとされているため、ステップ法も含まれる）が $11.7 \text{ mg-N}_2\text{O}/\text{m}^3$ とされている⁴⁾。

現行の排出係数と比較すると、本調査で実測した値は、冬期の系列(b)および系列(c)の2回分の測定結果を除いて、小さい結果となった。また、それぞれの系列における春夏秋冬の4回分の結果の単純平均値は、すべての系列で現行の排出係数よりも小さい値であった。A処理場への流入下水の有機物やT-N濃度が全国平均と比較して低いことが、 N_2O の排出が低い一つの要因であると考えられる。また、A処理場では曝気風量を大きくし、窒素除去を進める硝化促進運転を実施している。この運転方式は N_2O の排出量を削減できる可能性があると考えられており、この運転方針も N_2O の排出量が小さくなった要因の一つであると考えられる。

4系列の中でも、標準法を用いている系列(a)の N_2O 排出係数測定値は、現行値の約100分の1となり、両者には特に大きな乖離が見られた。A処理場では流入下水の負荷が小さいという特徴があることに留意する必要があるが、系列(a)における運転方針を参考にすることで、全国の標準法を採用している下水処理場における N_2O 排出量を削減できる可能性が示された。

(2) N_2O 生成量の時空間変動

系列(b)~(d)における N_2O 排出係数の実測値は、冬期の値が他の季節の値と比較して2倍以上大きくなっていた（表-1）。下水処理により排出される N_2O の排出量は、水温が低下する冬期に高くなることとされている。本調査における冬期の生物反応槽の水温測定結果は17

表-1 N_2O 排出係数の算出結果（ $\text{mg-N}_2\text{O}/\text{m}^3$ ）

	春期	夏期	秋期	冬期	平均
系列(a): 標準法	2.8	0.3	0.5	2.7	1.6
系列(b): AO法	6.8	3.6	8.2	76.6	23.8
系列(c): A2O法	6.1	3.6	6.3	19.3	8.8
系列(d): ステップ法	3.4	0.4	3.1	7.5	3.6

℃程度であり、春期、夏期、秋期の水温は23～25℃であったため、A処理場においても水温の低下によりN₂Oの生成量が増加した可能性が考えられる。

本調査の中で、最もN₂Oの排出量が大きかった系列(b)の冬期について、N₂O生成量の時空間変動を図-6に示す。N₂Oの排出量は時間変動が大きいことが知られており、本調査結果でも時間変動が観測された。A処理場における大きな傾向として、20時～翌4時の深夜ごろにN₂Oの生成量が高くなり、8時～16時のお昼ごろにN₂Oの生成量が小さくなっていった。これは、流入下水中のT-N濃度の時間変動が一つの要因として考えられる。最初沈殿池中のT-N濃度は、朝方の4時～8時に小さくなり、昼12～16時に大きくなっていった。最初沈殿池や生物反応槽における流入下水の滞留時間があるため、最初沈殿池のT-N濃度が増加しておよそ8時間後に生物反応槽のN₂Oの排出量が増加している傾向があった。

空間的変動を見ると、図-6から、系列(b)の冬期においては主に好気槽の中段(②)でN₂Oが生成されていることが分かる。なお、好気槽内のどの地点で主に生成されるかは季節によって異なり、春期、夏期は好気槽の前段(①)から中段(②)で、秋期は前段(①)で生成されていた。そのほかの系列においても、N₂Oの主な生成場所は好気槽であった。

(3) N₂O生成量と硝化反応との関係

同じく系列(b)の冬期において、N₂Oの排出量と各態窒素濃度の採取地点ごとの変動を図-7に示す。A処理場では、硝化促進運転を実施しており、春期、夏期、秋期においては、好気槽の後段(③)の時点で、流入下水中のアンモニア態窒素の99%以上は硝酸等に硝化されている。一方で、冬期は図-7に示すように、好気槽の後段(③)においてアンモニア態窒素が0.4 mg-N/L硝化されずに残存している。冬期は水温が低く硝化速度が遅いため、好気槽の前段(①)や中段(②)だけでは硝化が完了しなかったためだと考えられる。また、他の季節では検出されなかった亜硝酸態窒素が好気槽の中段(②)で検出されている。N₂Oの生成量は、硝化が不十分であり、亜硝酸態窒素の濃度が高くなった際に増加するとされており、本調査結果においても同様となっている。硝化促進運転を実施している処理場においてN₂Oの排出量を削減するためには、水温が低くなり硝化速度が遅くなる冬期において、効率的に硝化を行うことが必要であることが示唆される。

4. おわりに

本調査では、N₂O排出量の季節変動、時間変動、反応槽の場所による変動に対応した調査方法である24時間調

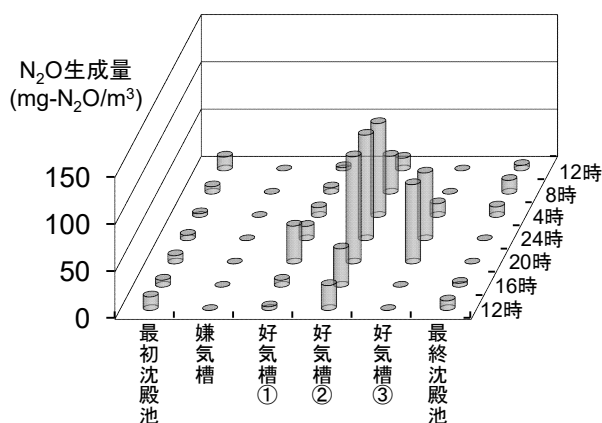


図-6 冬期の系列(b)におけるN₂O生成量の時空間変動

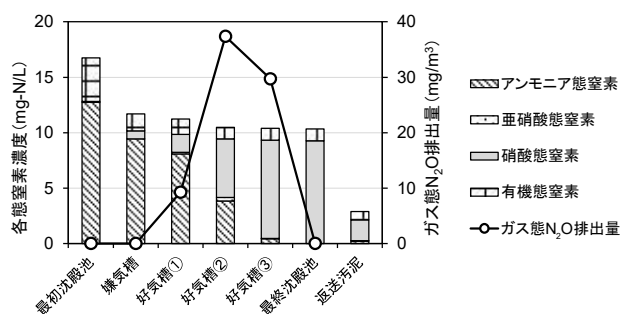


図-7 N₂Oの排出量と硝化反応との関係

査を実施することで、A処理場における4つの異なる処理方式におけるN₂O排出量を実測することができた。今後、さらにN₂O排出量の実態把握を進めていくとともに、調査結果を元にして、N₂O排出量を削減可能な運転方法の提案や、より実態に即したN₂O排出係数へ改定していくことを目指していく。

謝辞：本調査にご協力いただいた自治体職員の皆様および調査分析業務を実施いただいた受託業者各位へ謝意を表す。本研究は、下水道事業調査費により実施された。

参考文献

- 1) 下水道技術開発会議エネルギー分科会：カーボンニュートラルの実現に貢献するための下水道技術の技術開発等に関するエネルギー分科会報告書、2022
- 2) 増田周平：下水処理プロセスにおける GHG 排出の動向と対策、水環境学会誌、46(4)、120-124、2023
- 3) 寺田昭彦：硝化プロセスにおける亜酸化窒素の放出特性と生成機構、水環境学会誌、38(9)、334-339、2015
- 4) 環境省、国土交通省：下水道における地球温暖化対策マニュアル、2016

環境DNAを活用した魚類調査における 基礎的データの整備状況

中島 颯大¹・菅野 一輝^{1,2}・釣 健司¹・村岡 敬子¹・崎谷 和貴¹

¹土木研究所 流域水環境研究グループ 流域生態チーム (〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6)

²現所属：建設環境研究所 流域計画部 (〒170-0013 東京都豊島区東池袋2-23-2)

河川水辺の国勢調査への導入が検討されている環境DNAを用いた魚類調査では、水から得たDNAの配列情報を国際塩基配列データベースに照合することで種名を特定するため、高精度な検出種リストを得るためには全国の魚類について十分な塩基配列情報がデータベースに登録されている必要がある。配列情報の登録状況を把握するため2020～2022年度に実施した環境DNA調査の結果を整理した結果、大半の魚種において配列情報は十分整備されていたが、一部の魚種で配列情報が不足する地域があり、これらの地域では捕獲調査で得られた標本のDNA分析を行いデータベースに登録する等の取り組みが必要と考えられた。

キーワード 河川水辺の国勢調査, 魚類, リファレンス, 塩基配列

1. はじめに

環境DNAメタバーコーディング解析は、河川水などの環境中に含まれる生物のDNAを検出し生物情報を得る技術であり、近年急速に発展した。特に魚類では、2015年にサンプル中に含まれる魚類を網羅的に特定することができるMiFish法¹⁾が発表され、水を1回汲みただけで「そこにどんな魚が息していたか」を明らかにできる²⁾として、生物調査への活用が期待が高まっている。国土交通省は1990年度以降、河川およびダムに関する基礎情報を収集・整備することを目的に全国の一級河川で河川水辺の国勢調査を行っているが、このうち魚類調査については現地調査の負担軽減や生物情報の高度化を目的に、MiFish法を用いた環境DNA調査の導入が検討されている³⁾。土木研究所では現場の実態に即した環境DNA調査技術の活用を見据え、環境DNAの採水からデータ解析までの各段階(図-1)における課題の抽出および基礎的検討を行っている。

環境DNA調査の手順は図-1の通りである。従来の魚類調査では、投網やたも網、定置網などを用いて魚類を直接捕獲していたが、環境DNA調査の場合、調査地では採水を行うだけでよい。水サンプルをろ過した後、実験室にてろ紙からDNAを抽出する。抽出したDNAを用いて、PCRなどの遺伝子分析を行い、サンプル中に含まれていたDNAの塩基配列情報を得る。得られた配列情報は国際塩基配列データベースに登録されている配列(環境DNA調査では「リファレンス」と呼ばれる)と照合

し、サンプルから得た配列情報と最も近い登録配列(リファレンス)に付けられた種名を検出された種として扱う。したがって、リファレンスの整備状況は環境DNA調査の精度に関わる重要な要素である。

ここで、国際塩基配列データベースに登録されている配列は、遺伝子分析が可能となった約35年前から現在にかけて、分類学・生態学の研究者などが蓄積してきたものである。生物のもつ配列情報は種が異なれば異なるとともに、同じ種内でも多様な「型」をもち、地域による違いもみられる。多くの魚類についてはこのような遺伝的違いが研究された際や分類学的検討が行われた際に調べられた配列情報がデータベースに登録されており、環境DNAメタバーコーディング解析はこれに立脚している。MiFish法の対象とする遺伝子領域(ここではMiFish領域と呼ぶ)は多くの魚類で配列情報が登録されている領域ではあるものの⁴⁾、全国の河川の魚類について十分登録されているかは不明であり、環境DNA調査の全国水系への適用を検討するうえでは確認する必要がある。本稿では、2020～2022年度に実施した環境DNA調査の結果をもとに整理した、全国におけるMiFish領域のリファレンス整備状況について報告する。

2. リファレンス整備状況の検討方法

本検討では、河川水辺の国勢調査への環境DNA技術導入に向けた研究を行うために土木研究所と国土交通省が連携して収集した計2416の環境DNAサンプルの分析結

果をデータとして用いた(表-1)。これらのサンプルは主として河川水辺の国勢調査の魚類調査地区や大臣管理区間の水質測定地点で採水されたものである。河川またはダム調査地点において採水した1 Lの表層水を実験室にてメンブレンフィルターでろ過し、ろ紙から抽出したDNAをMiFish法による環境DNAメタバーコーディング解析に供試した。遺伝子分析の詳細は菅野ほか(2023)⁴⁾の通りだが、illumina iSeqだけでなくMiseqでシーケンスしたデータも含まれる。得られた配列情報を国際塩基配列データベースに登録されている配列とBLAST検索により照合し、一致率(リファレンスと得られた配列の相

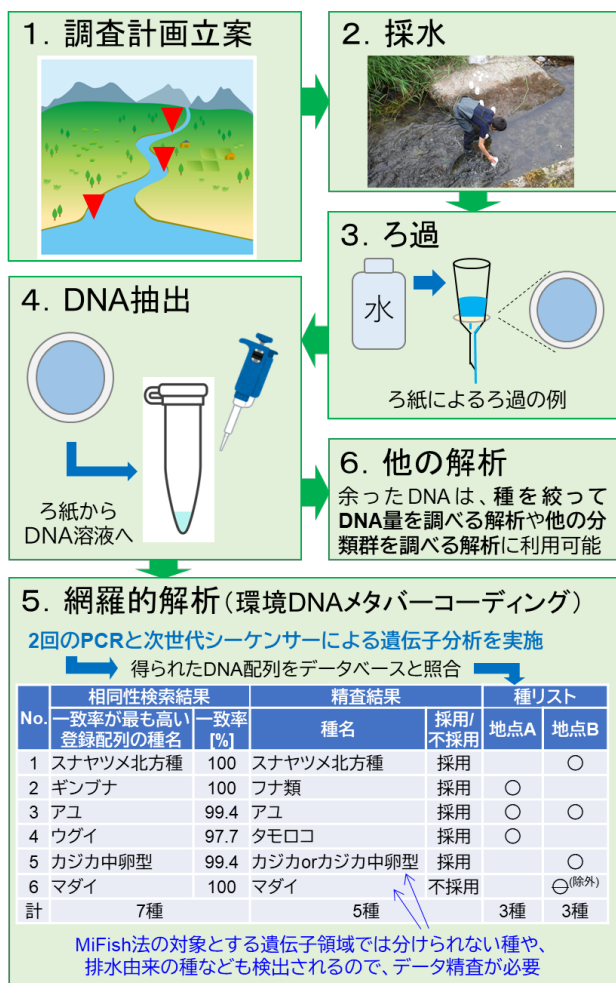


図-1 環境DNA調査の手順

表-1 本検討で使用したサンプルの一覧

サンプルの収集方法, 収集場所	サンプル数
R2テーマ調査, 水国調査地区	202
R2テーマ調査, 水質測定地点	190
R3テーマ調査, 水国調査地区	1324
R3テーマ調査, 水質測定地点	434
R4テーマ調査, 水国調査地区(汽水域)	266
合計	2416

※「水国調査」は河川水辺の国勢調査を示す

表-2 一致率の低い配列が多く検出された種。配列が10回以上検出され、かつ一致率の低い配列が5%以上検出された種を表示。1種に絞れない種は該当する可能性のあるすべての種をスラッシュで結び表記している(以下同様)。

種名	配列数	低一致率配列
カワスズメ	49	100%
ナガレホトケドジョウ	43	69.8%
シマドジョウ種群の1種	71	29.6%
アリアケヒメシラウオ	19	21.1%
ハナカジカ	137	12.4%
ウツセミカジカ	268	11.6%
カジカ/カジカ属	1743	10.4%
キタノアカヒレタビラ	21	9.5%
ホトケドジョウ	99	9.1%
タカハヤ	885	8.8%
アブラボテ	48	8.3%
キタドジョウ	126	7.1%
トサカギンポ	14	7.1%

表-3 各地域において低一致率の配列が多く検出された種。地域における配列が10回以上検出され、かつ一致率の低い配列が10%以上検出された種を表示

地域(地方,面する海)	種名	配列数	低一致率配列
東北,太平洋	エゾウグイ	58	48.3%
	キタドジョウ	42	16.7%
東北,日本海	ハナカジカ	11	100%
	カジカ/カジカ属	168	35.7%
	サクラマス(ヤマメ) / サツキマス(アマゴ) / タイワンマス	77	22.1%
	アブラハヤ	171	19.3%
	ヨシノボリ属(カワヨシ・ゴクラクを除く)	88	15.9%
	コイ(野生型)	32	15.6%
	オイカワ	118	15.3%
	ウグイ	186	15.1%
	ドジョウ類	81	14.8%
	トミヨ属(淡水型・汽水型・雄物型含む)	19	10.5%
関東,太平洋	ウツセミカジカ	111	27.9%
北陸,日本海	カワヨシノボリ	70	38.6%
	シマドジョウ種群の1種	70	30.0%
	ウキゴリ	72	15.3%
中部,太平洋	タカハヤ	140	52.1%
	アブラボテ	11	36.4%
近畿,日本海	ホトケドジョウ	10	90.0%
	カジカ/カジカ属	291	36.4%
中国,瀬戸内海	クサブグ	19	10.5%
中国,日本海	ドンコ	50	36.0%
四国,瀬戸内海	ナガレホトケドジョウ	27	100%
九州,太平洋	カワスズメ	42	100%
九州,東シナ海	アリアケヒメシラウオ	19	21.1%

同性) が最も高い種を検出されたものとした。一致率の算出には 2023 年 10 月 26 日に DLMiFish (github.com/NaokiShibata/DLMiFish) によりNCBIからダウンロードしたMiFish領域のリファレンスを用いた。本検討では、過去の全国の河川水辺の国勢調査(魚類調査)で1度も捕獲されたことのない種に割り当てられた配列は対象外とした。

リファレンス整備状況を確認するため、表-1のサンプルの分析により10回以上配列が検出された種を対象に、リファレンスとの一致率が98.5%未満の配列(低一致率)と98.5%以上の配列(高一致率)の配列が検出された回数を集計した。さらに、特に純淡水魚については地域間の遺伝的違いが大きい場合も多く、一部地域のリファレンスのみが不足していることも考えられることから、サンプルを採取した水系の面している海域および地方(本州は地方整備局の管轄に基づく)で分け、それぞれの地域において低一致率と高一致率の配列が検出された回数も集計した。

3. リファレンス整備状況の検討結果と考察

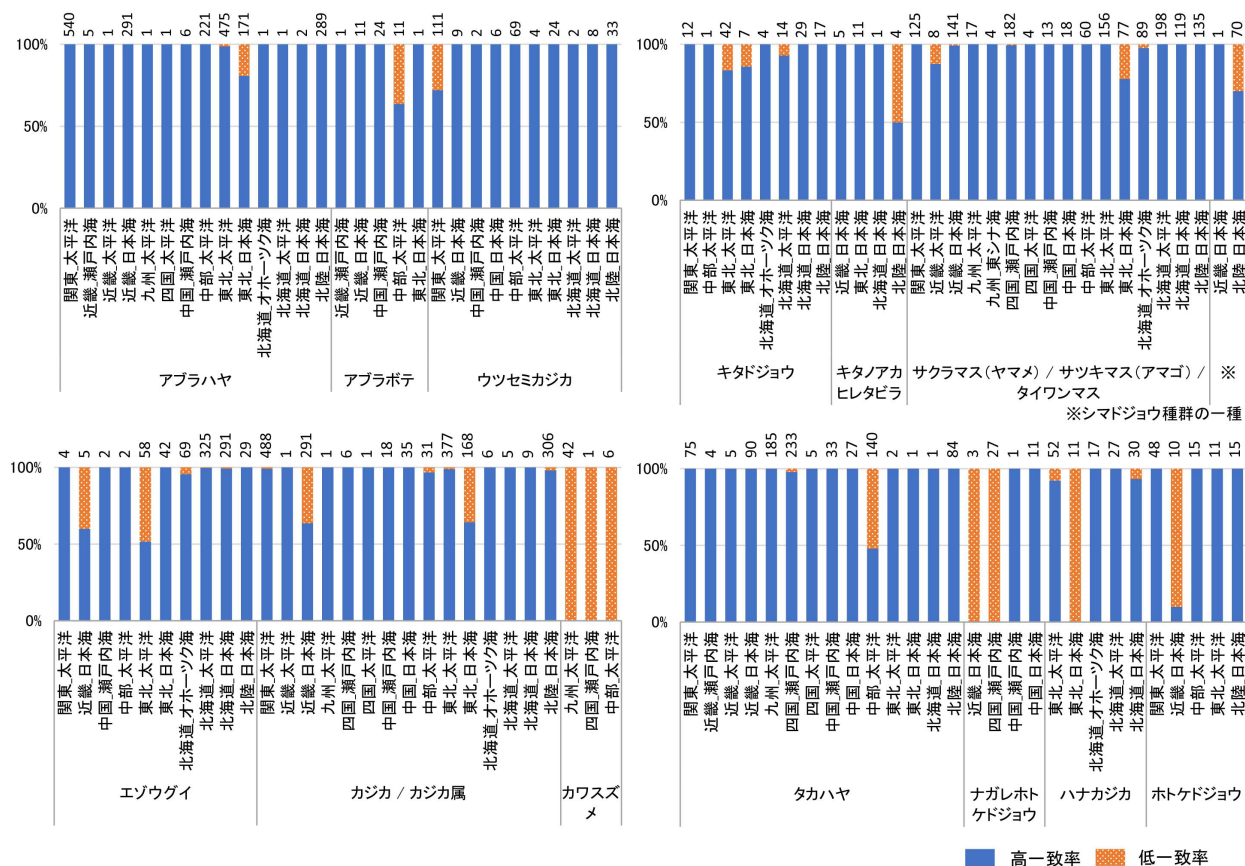


図-2 種別・地域別に整理した主な種のリファレンス整備状況。グラフ上部の数字は配列が検出された回数を示し、グラフはそのうちのリファレンスと高一致率と低一致率の配列が検出された割合を示す。低一致率の割合が大きいほど、当該地域においてその種のリファレンスが不足傾向にあることを示す。

2416の環境DNAサンプルを分析した結果、魚類(過去の全国の河川水辺の国勢調査(魚類調査)で確認されたことのある種)に割り当てられた配列は80923回検出され、うち低一致率とされた配列は約1.2%にあたる1000回の検出であった。低一致率の配列が高い割合でみられた種として、カワズメ、ナガレホトケドジョウ、シマドジョウ種群などが挙げられた(表-2)。各種のデータを地域ごとに整理すると、低一致率の割合が高い種として、東北日本海側のハナカジカ、近畿日本海側のホトケドジョウ、中部太平洋側のタカハヤなどが抽出され、種によって低一致率の割合が高い地域は異なっていた(図-2)。また、東北日本海側では低一致率の割合が高い種が特に多くみられ(表-3)、リファレンスが不足傾向にあることが分かった。

低一致率の割合が最も高い種はカワズメであったが、本種は環境省により「その他の総合対策外来種」に指定されている外来種であり⁹⁾、在来種や、特定外来生物などのより影響の大きい外来種と比較して、国内での遺伝子分析を伴う研究が実施されておらずリファレンスが少なかつたものと考えられる。低一致率の割合が2番目に高かったナガレホトケドジョウは、中国地方では低一致

率の配列はみられなかったが、近畿日本海側と四国の瀬戸内海側では検出された全配列が低一致率であるというパターンを示し（図-2）、リファレンスの地域的な偏りが顕著にみられた。ハナカジカも地域的な偏りが顕著であり、北海道と東北地方の太平洋側では高一致率の配列がほとんどだったが、東北地方の日本海側では検出されたすべての配列が低一致率とみなされた。ナガレホトケドジョウやハナカジカは河川上流部に生息し、地域による遺伝的違いが大きいことが知られているため⁶⁷⁾、MiFish領域の遺伝子分析がされたことのない地域のサンプルから検出された配列が低一致率になったものと考えられる。地域間を比較すると、東北～近畿地方の日本海側において太平洋側よりも低一致率の配列が多くみられる傾向にあった（表-3）。特に東北地方の日本海側では、ハナカジカ以外にもアブラハヤ、エゾウグイ、カジカなど多くの種で低一致率の割合が高い傾向が明らかになり、後述する方法によりリファレンスを登録することで、環境DNA調査の精度がより向上すると考えられた。なお、本検討で用いたサンプルはすべての水系を網羅しているわけではなく、また、水系間でも調査地点数や調査場所の偏りがあるため、表-2, 3で抽出されなかった種のリファレンスが必ずしも完全であるとはいえないことに留意すべきである。

本検討では2000を超えるサンプルの検討の結果、全国から得られた99%近くの配列がデータベースに登録されている配列と高い一致率を示し、国内のMiFish領域のリファレンスは概ね整備されていることが示された。一方、一部の種については、リファレンスが不足傾向にある地域があることが分かり、これらの種および地域を抽出することができた（表-2, 3）。低一致率の割合が高いとされた種・地域では、実際の河川水辺の国勢調査においても同様の傾向を示すと考えられるため、リファレンスを補足することでより高精度な環境DNA調査が可能となると考えられる。

4. リファレンスの登録方法

この章では、参考のため、リファレンスの登録方法について概説する。

リファレンスの登録とは、あらかじめ種がわかっている魚類の塩基配列を分析し、得られた配列情報を国際塩基配列データベースに登録することである。通常、国際塩基配列データベースはInternational Nucleotide Sequence Database (INSD)を指し、日本、欧州、米国が運営する3つのデータベースDDBJ/EMBL/GenBankにより共同構築されたものである⁸⁾。DDBJ/EMBL/GenBankいずれのシステムから作業を行っても同一のデータベースに登録されるが、DDBJは国立遺伝学研究所（日本）が運営してい

るため、リファレンス登録にかかるやり取りを日本語で行える。

リファレンスの登録は、種の分かっている魚類の組織片からDNAを抽出し、対象とする遺伝子領域のプライマーを用いた遺伝子分析（PCR・シーケンス）を行い、得られた配列を登録するという流れで行われる（図-3）。DNA抽出～シーケンスの一連の作業は生物学において一般的な遺伝子分析手順のため、分析会社等への委託も想定できる。また、PCRまでの段階を独自に実施できる場合は、大学等の研究者にも頻繁に用いられているシーケンス受託サービスによりシーケンスを格安で依頼できる。MiFish領域のリファレンスを登録する実際の手順としては、まず、登録する魚類の組織片（数mm程度でよい）から市販のDNA抽出キットなどによりDNAを抽出し、PCR反応を行う。PCRに使用するプライマーはMiFish領域を含む配列を増幅するものであれば任意だが、MiFish-U Forward/Reverseプライマー（アダプター配列は含まなくてよい）を用いることでも、MiFish領域を増幅することができる。PCR産物を精製した後、プライマー1種（PCRにMiFish-U Forward/Reverseプライマーを用いた場合はMiFish-U Forward）を用いたサイクルシーケンス反応を行い、配列情報を得る。得られた配列情報をDDBJに登録する際には、登録する魚類の種名や登録者の情報のほか、登録する遺伝子領域名などの情報が必要となるため、遺伝分野に詳しい人の協力があるとスムーズである。万が一登録した遺伝子領域名などに不備がある場合はDDBJが行うデータの査定により判明・修正できる場合もあるが、種名が入力したもので正しいかどうかは登録者しか知り得ないため、登録する配列が本当にその種のものなのか（種同定が正しいこと）については、特に注意する必要がある。

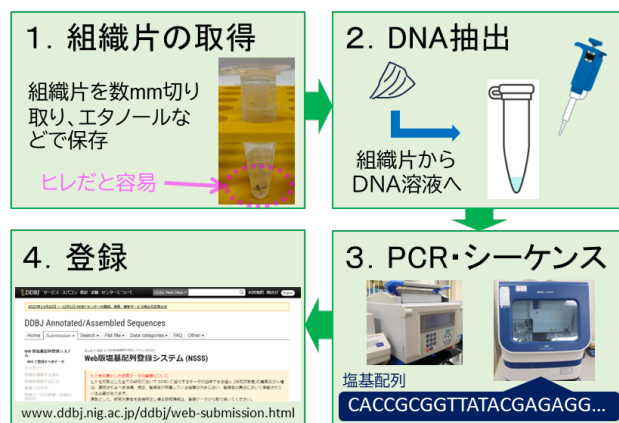


図-3 リファレンス登録の手順

また、種の判明した魚類の生体サンプルを得られる機会は少ないことが多く、リファレンスを登録するにも遺伝子分析も含め多少のコストがかかる。したがって、様々な主体者が魚類サンプルを得られた際に積極的に配列情報の登録を行うことで、リファレンスがさらに充実していくと考えられる。たとえば、河川水辺の国勢調査の魚類調査で得られた標本サンプルは、専門家も交えながら慎重な種同定が行われたものであるため、このようなサンプルの活用が正確で効率的なリファレンスの整備につながるかもしれない。

謝辞：河川水辺の国勢調査テーマ調査にご協力いただいた国土交通省水管理・国土保全局河川環境課、各地方整備局および北海道開発局の皆様には感謝申し上げます。また、遺伝子分析について土木研究所流域生態チームの相島芳江様、雨貝則子様にご協力いただきました。

参考文献

1) Miya M., Sato Y., Fukunaga T., Sado T., Poulsen J.Y., Sato K., Minamoto T., Yamamoto S., Yamanaka H., Araki H., Kondoh M., Iwasaki W. (2015)

MiFish, a set of universal PCR primers for metabarcoding environmental DNA from fishes: detection of more than 230 subtropical marine species. *Royal Society Open Science* 2: 150088

- 2) 北川哲郎, 村岡敬子, 山田拓也, 中村圭吾 (2020) 河川水辺の国勢調査 (魚類) における環境 DNA メタバーコーディング解析の試行事例解析. *河川技術論文集* 26: 319-324
- 3) 村岡敬子, 菅野一輝, 篠原隆佑, 天羽淳, 中村圭吾 (2022) 河川水辺の国勢調査への環境 DNA 導入に向けた取組み. *土木技術資料* 64-5: 12-17
- 4) 菅野一輝, 篠原隆佑, 中島颯大, 村岡敬子, 崎谷和貴 (2023) 汽水域の魚類群集把握に向けた環境 DNA の最適な採水手法の検討. *河川技術論文集* 29: 233-238
- 5) 環境省自然環境局：生態系被害防止外来種リスト <www.env.go.jp/nature/intro/2outline/iaslist.html> (accessed 2023.11.10)
- 6) 中島淳, 西村俊明, 井藤大樹, 宮崎淳一, 大井和之, 平川周作 (2021) 福井県嶺北地方で発見されたナガレホトケドジョウの新たな地域集団. *Ichthy* 6: 33-37
- 7) Yokoyama R. & Goto A. (2002) Phylogeography of a freshwater sculpin, *Cottus nozawae*, from the northeastern part of Honshu Island, Japan. *Ichthyological Research* 49: 147-155
- 8) 国立遺伝学研究所 生命情報・DDBJ センター：INSDC <<https://www.ddbj.nig.ac.jp/about/insdc.html>> (accessed 2023.11.10)

防波堤の石や砂でつくった 「あつまれ生き物の浜」の効果 ～小学生が描いた干潟の賑わい～

三谷 あかり

近畿地方整備局(港湾空港) 総務部 経理調達課 (〒650-0024兵庫県神戸市中央区海岸通29番地) .

神戸港湾事務所では、神戸港が物流・産業・生活の場として持続可能な発展を遂げていくため、環境に配慮した港湾整備を目指しており、2020年10月に兵庫運河旧貯木場跡に防波堤撤去工事の発生材を活用した人工干潟を整備した。

人工干潟は「あつまれ生き物の浜」(以下“あつ浜”と記す)と小学生たちにより名付けられ、整備後は、あつ浜を含む運河域が多様な生物の生息場として機能しつつあることが確認された。また海辺の環境学習の一環としての生き物調査やアマモの移植活動等、あつ浜は地元小学校や各種団体による活動の場としても機能している。

キーワード 環境, 干潟, ブルーカーボン

1. はじめに

(1) 背景

我が国の港湾整備においては、「経済社会活動の確実な回復と経済好循環の加速・拡大」に向けて、強靱なサプライチェーンの構築やDX・GXの取組を強力に推進することとしており、グリーントランスフォーメーション(GX)すなわちカーボンニュートラルポート(CNP)の形成を通じた港湾機能の向上を図っている。また、2022年12月には「命を育むみなとのブルーインフラ拡大プロジェクト」のスタートを公表している。このプロジェクトにおいて港湾工事発生材を活用した兵庫運河のあつ浜の創出は先行事例として位置づけられ、全国的にも注目されている取組となっている。

(2) 兵庫運河のあつ浜について

神戸港湾事務所では、CNPの形成に貢献するとともに、事業の円滑な実施と神戸港の持続的な発展を図るため、神戸港とその周辺海域(神戸港海域)における生物共生方策を検討することを目的に「神戸港における生物共生方策検討委員会」を発足させ、①兵庫運河における港湾工事発生材を活用した生物生息場の創出とその機能・活用の評価、②六甲南護岸における傾斜堤整備における生物生息機能の創出に関する検討、③港湾工事等における海域環境への負荷を検討する新技術に関する検討を行っている。

このうち、①に係る兵庫運河のあつ浜については前報¹⁾に示したとおり、2020年9月に竣工している。干潟は最上部DL+1.5mで整備し、浅場はDL-

1.5m付近まで砂質土を緩やかな勾配で投入した。

その後あつ浜の地形、生物生息状況、周辺水底質環境についてモニタリングを実施するとともに、地域では創出されたあつ浜を様々な活用してきた。本報告では、創出されたあつ浜の生物生息場としての機能の評価ならびに、地域の活用状況をふまえた今後の方策について検討結果を報告する。



図-1 兵庫運河の位置



図-2 完成したあつ浜の位置

2. あつ浜の環境調査結果について

整備したあつ浜の生物生息場としての機能を評価するため、学識経験者等で構成する検討会で検討し、整備前の2020年春季から2022年冬季までの3年間、地形の安定性、水質、底質、生物（付着生物、底生生物、魚類等）の環境モニタリング調査を実施した。

このほか、兵庫運河での栄養塩類やCO₂などの物質収支を明らかにするため、24時間連続調査を5回実施した。24時間調査については2章にて詳述する。なお、この調査の実施にあたっては、高専などの研究機関と連携して実施したが、調査回次ごとに連携の輪が広がっている。

(1) 環境モニタリング調査結果について

環境モニタリング調査の結果をもとに、整備したあつ浜について、地形の安定性、水質・底質の変化、ならびに、生物相の変化のそれぞれの視点から評価すると次のとおりである。

a) 地形の安定性

2020年12月、2021年6月、2022年6月に干潟周辺の地形測量を実施している。あつ浜の地形は、直近の2022年春季の時点では、整備直後の2020年度冬季から大きな変化は生じておらず、安定した状況であることが確認された。一方で、生物生息場としての観点からは、場の攪乱が少ない可能性もあげられている。場の攪乱が少ないと競争に強い種類の生物が卓越して生息するため、生物多様性が低くなる。

b) 水質

神戸市による公共用水域水質測定結果によると、DOは、兵庫運河と港内とで全般的に大きな差異はない。しかし運河では特に夏季においてDOが他地点と

比べて低下する傾向が認められる。これは運河の底泥に有機物が多く、底層付近で酸素消費が活発なこと、また水深が浅くその影響が表層まで及んでいることが考えられる。しかし魚介類が生息できる環境の基準である1Lあたり3mg以上のDOは常に維持されており、2020年以降他地点と同程度に回復しているようにも考えられる。

c) 底質

干潟部の底質は砂質が主体である状況が維持されており、有機物含有量は周辺海域に比べて低い。

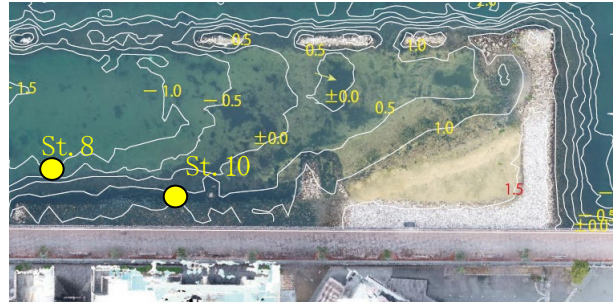


図-3 干潟の地形（令和4年6月調査）

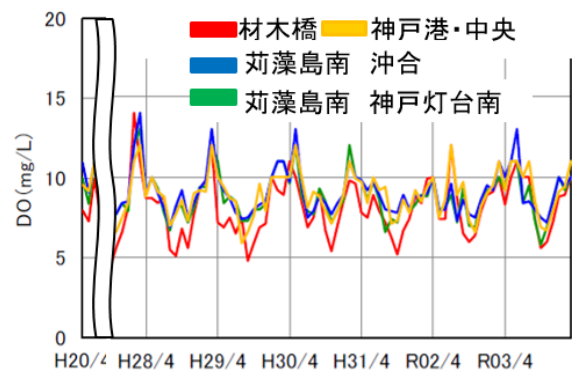


図-4 水質経年変化DO
(公共用水域水質測定結果 神戸市)

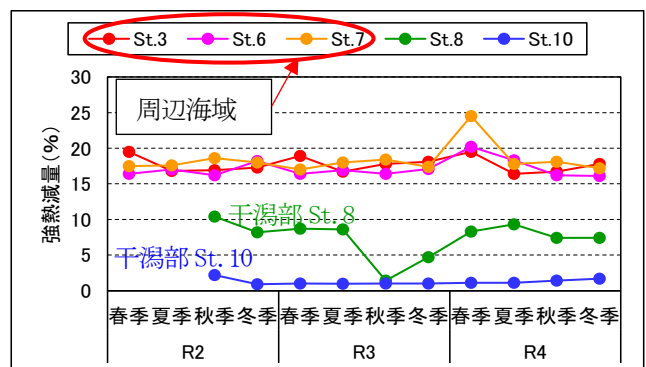


図-5 干潟部の底質（位置は図-2参照）

d) 生物相の変化

干潟部では、底生生物の出現種類数や個体数が徐々に増加し、2022年には周辺海域をおおむね上回る状況となっており、平均水面下50~75cm付近の水深帯では最大で約300個体/m²のアサリの出現が確認されている。浅場部では、ボラ、クロダイ、メバル属など多くの稚稚魚が出現しており、春季には幅広いサイズの稚魚の生息がみられるなど、稚魚の生息場として機能していることが確認されている。

干潟・浅場の外周に整備した石積堤では、主にアオサ属やジュズモ属などの小型の海藻類が出現する状況であったが、2022年冬季には大型海藻類であるタマハハキモクの生育も確認されるようになった。

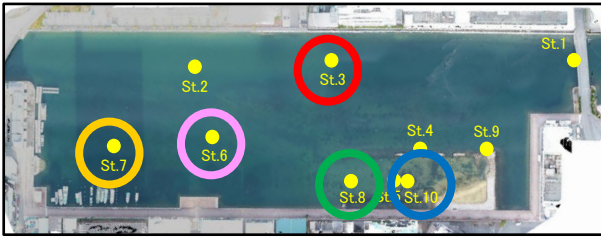


図-6 調査地点

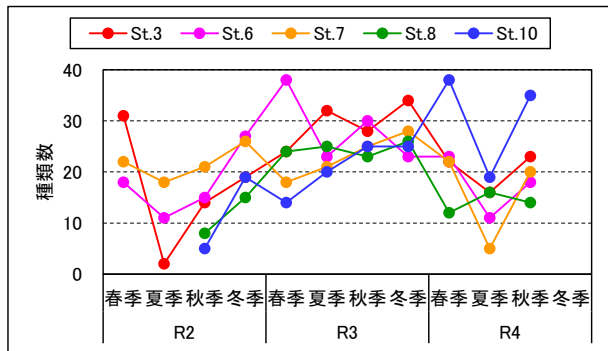


図-7 種類数の変化

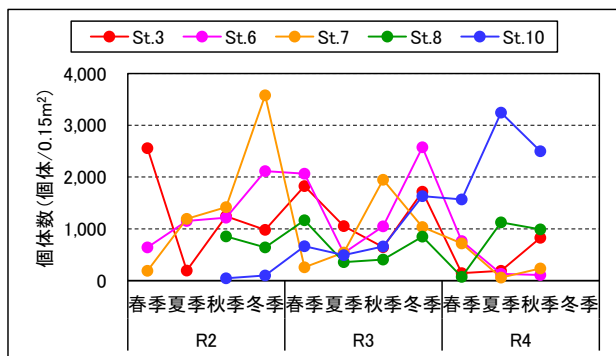


図-8 個体数の変化



図-6 タマハハキモク (左) とメバル属 (右)

(2) 24時間調査の結果について

あつ浜は両サイドに御崎橋と材木橋があり、ここで流速(流量)と水質を測定することにより両橋間の物質収支を定量化し、あつ浜の機能を評価した。収支の測定は窒素・リン及びカーボン(炭素)を対象とした。

また環境DNA分析を行い、あつ浜整備後の出現生物の推移を把握するものとした。調査は、大阪公立大高専大谷准教授が中心となり、学術的な調査として実施した。24時間調査と並行して、漁業者や地域の方が参加し、アサリ調査、アマモ場調査等を研究者の支援を得ながら実施している。



図-7 大阪公立大高専による24時間調査実施状況



図-8 市民参加によるアマモ場調査・アサリ調査

調査の結果、あつ浜はCO₂を固定している場であることが明らかとなった。一方、窒素・リンについては調査海域から外部に放出する場合もあり、明瞭な傾向は認められなかった。また、環境DNA調査で出現した生物種類数は増加する傾向が認められた。

アサリ調査では、あつ浜整備後すぐに生息が認められたが、一定の大きさのアサリが出現しないケースがあり、干潟に来る魚類などの食圧ⁱⁱを受けていることが考えられた。

アマモ場調査の結果はブルーカーボン・クレジット

の認証に活用しており、後述するものとする。

(3) あつ浜の生物生息場としての評価

環境モニタリング調査の結果から、兵庫運河に整備したあつ浜が多様な生物の生息場として機能しつつあると評価できる。

また、24時間調査等の結果からも、周辺海域における生物出現種類が増加し、CO₂を吸収・固定している可能性があるとして評価される。

3. あつ浜における地域住民らの活動について

兵庫運河ではこれまでも、近傍の砂浜等で生き物調査や小学生のアサリ学習、アコヤガイを使った環境学習等の取組があった。あつ浜の整備はこれらの取組に影響を与え、活性化させるとともに新たな活動も生み出している。加えてブルーカーボンの認証効果もあって、より広範な地域住民、研究者、企業等が参加する等、あつ浜を核とした活動は広がり始めており、運河の賑わい創出に貢献している。

(1) 兵庫運河におけるこれまでの活動

兵庫運河では、あつ浜を整備する以前から、地元の兵庫漁協水産研究会を始め、浜山小学校、兵庫運河を美しくする会などが、運河の生き物調査、アサリの成長を観察する環境学習を行っている。また、和田岬小学校では、地元のPTAが始めた「兵庫運河・真珠貝プロジェクト」によりアコヤガイの養殖を通じた環境学習が行われてきた。この取組は真珠の加工量が世界一の神戸で、養殖から加工販売まで行う企業の支援を得て実施している。

これらの取組の中には、「兵庫運河の自然を再生するプロジェクト」として位置づけられている活動もあり、あつ浜での活動もプロジェクトの一部に位置づけられている。

(2) あつ浜における新たな活動の展開

あつ浜の竣工直後から、あつ浜の生き物調査活動、環境学習活動が活発に行われてきた。その主な内容は表-1に示すとおり、延べ750名以上が参加している。

ここでは干潟生き物一斉調査及びアマモ場創出活動ⁱⁱⁱ⁾について紹介する。

表-1 あつ浜生き物調査・環境学習活動概要

実施月	主な活動
令和2年 9月	兵庫運河干潟・浅場竣工(着工は6月)
令和2年11月	干潟・浅場 お披露目会(浜山小:生物観察会 251名) 第1回24時間環境調査(8名)
令和3年 6月	第2回24時間調査(20名) 干潟生き物一斉調査(78名)
令和3年10月 ~	アマモ場モニタリング(水中観察:月1回程度継続中) (2名×11回)
令和3年11月	第3回24時間調査(22名) 浜山小アマモ苗床づくり(播種 45名)
令和4年 4月	浜山小アマモ移植(44名)
令和4年 5月	第4回24時間調査・アサリ調査等(25名) アマモ花枝採取(江井島)(10名)
令和4年 6月	生き物一斉調査(66名) ビッセル神戸協働の生き物調査イベント(120名)
令和4年 8月	アマモ種子選別会(兵庫漁協 19名)
令和4年11月	第5回24時間調査・アサリ調査等(27名) 浜山小アマモ学習(33名) 美しくする会アマモ播種(28名)

人数は集合写真等からの推定値(実際はこれ以上)

a) 干潟生き物一斉調査

大阪湾では毎年沿岸各地で「大阪湾生き物一斉調査」を実施しており、この取組に参加する形で浜山小学校の4、5年生があつ浜の生き物調査を実施した。干潟生物の判定は兵庫・水辺ネットワークの会員が分析指導している。



図-9 ケガキ(貝類)の分布

大阪湾生き物一斉調査情報公開サイトより

この調査では、2021年(令和3年度)に45種、2022年(令和4年度)には62種の水生物が出現し、生物種類数が増加していることが確認された。その成果は大阪湾生き物一斉調査情報公開サイトに報告されており、兵庫運河には上図に示すように、湾奥では確認されていないケガキも生息していることがわかる。

b) アマモ場創出活動

2016年にあつ浜整備以前からあった材木橋東側の干潟（きらきらビーチ）に移植したアマモが運河に広がっていることが2021年春に確認された。



図-10 確認されたアマモ (2021.6)

アマモ場は魚類の産卵場、稚魚の生育場となり、最近では二酸化炭素固定の観点から、漁業者が中心となってアマモ場の広がりの確認や、あつ浜の浅場やその周辺への拡大を目指す取り組みを行うこととなった。

2021年6月の24時間調査時に素潜り調査によってアマモ場を確認し、分布調査を実施した。

また、10月からはアマモの生長を月一回の定点調査を行い確認している。10月には、アマモは草丈が縮小し噛み切られたような跡が見られたが、2022年3月には再び回復する様子が確認された。

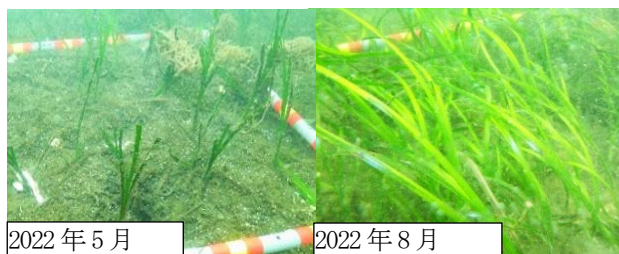


図-11 アマモ場のモニタリング

11月には、アマモの種子を（NPOアマモ種子バンクより）入手し浜山小学校で水槽に種をまき、アマモの苗を育てることとした。水槽のアマモは順調に育ち、2022年4月にあつ浜に移植を行った。



図-12 アマモの学習 と アマモ水槽づくり

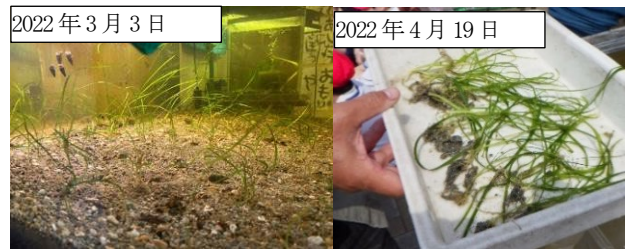


図-13 水槽内のアマモの生長と移植用のアマモ



図-14 アマモの移植 (2022年4月19日)

2022年(令和4年度)のアマモの播種や翌年の移植に向けて、アマモの種子を確保するため、アマモ花枝採取を5月に実施した。

アマモ花枝採取は須磨里海の会等がアマモ育成を行っている江井ヶ島海岸で、地元の漁協の了解を得て採取している。

アマモ花枝は、種子の熟成をまち、8月に不純物を取り除くための種子選別会を実施した。



図-15 アマモ花枝採取と種子選別会

取り出した種子は、粘土につけて運河に直接まく播種作業を行うとともに、昨年同様に水槽で育てるアマモ水槽作りを行った。

播種は浜山小学校、兵庫運河を美しくする会が実施し、アマモ水槽づくりは浜山小学校、和田岬小学校が行うなどアマモ場創出の取組は広がりを見せている。これは2021年(令和3年度)にブルーカーボン・クレジットの認証を受けて、地元企業等がクレジットを購入したことや、マスコミ報道等により取組の認知度が向上したことによるものと考えられる。



図-16 アマモ播種準備 と アマモ水槽づくり

(3) ブルーカーボンの認証について

ブルーカーボン・クレジットの認証については、昨年度前報^{iv)}にて詳細に報告している。

認証に当たっては、前述したアマモ場モニタリング調査を活用しており、これらの活動が評価されてブルーカーボン・クレジットとして認証されている。

4. あつ浜のさらなる活用に向けて

(1) あつ浜の活用における現状と課題について

以上から港湾工事発生材を活用して整備したあつ浜は次のように現状評価され、課題が抽出された。

a) 環境面における現状と課題

あつ浜では、生物の種類数等が増加し、生物生息場、幼稚仔魚の生育場としての機能が確認されている。またあつ浜周辺の水質は良好であるが、夏季に貧酸素化する恐れがある。加えてあつ浜は砂質土でおおむね安定しているが、硬く締まっているとの指摘もある。そのためよりよい水底質環境の維持・改善に務める必要がある。加えて、長期的に干潟の機能を確認することも重要である。

a) 各活動における現状と課題

ⁱ⁾ 神足 美友 防波堤の石や砂から「あつまれ 生き物の浜ができるまで (令和3年発表資料)

ⁱⁱ⁾ 魚類の食圧；兵庫運河ではナルトビエイの存在が話題になった。このエイによりアサリが被害にあっていることが考えられる。しかし、エイも同じ生き物であり、どちらか一方を食害生物と敵のように呼称すべきでないとの漁業者の意見から食圧という表現にした。

アマモ場再生活動・モニタリング活動などが活発に行われており、ブルーカーボン・クレジットとして認証を受けている。また沿岸に立地する企業や団体等の支援や連携が始まり、さらに他地区の小学校へも活動が広がっており、あつ浜を活用する学習活動等の活発化が認められた。これらの活動を継続していくためには、人材面・金銭面でのサポートが必要だと考える。

(2) 今後について

今後は、以下のような取組が求められており、これらの活動を見守りつつ、可能な支援に取り組んでいきたいと考えている。

a) 環境面における方策

干潟・浅場の水底質環境の維持・改善のために、海底耕耘等人の手を加えることも有効であり、現在行われているアマモ場創出、美化等の活動について継続することも重要である。

また干潟の機能をより活性化させるためには研究機関等と連携して、調査・対策等を行うことも必要である。

b) 各活動における方策

ブルーカーボン・クレジット認証による資金調達を用いた維持管理を継続していくこと、地元企業や地域の諸団体・企業等と情報を共有し連携することも求められている。

また小学校等における学習活動の強化は、活動の担い手の育成や発掘につながるのではないかと考える。

加えて取組主体や地域住民を対象にした「兵庫運河の環境活動報告会」等、情報共有の場の創出が重要である。

謝辞：あつ浜での活動に取り組まれた地域の皆様に敬意を表します。またあつ浜での調査・運営にご協力いただいた地方自治体、学識経験者の皆様に深く御礼申し上げます。

ⁱⁱⁱ⁾ アマモ場創出活動：一般にはアマモ場再生活動と呼ばれているが、兵庫運河は掘削した運河であり、もともと自然状態ではアマモ場存在していないと考えられることからここではアマモ場創出活動と記す。

^{iv)} 杉田 徹・宇野 健司 兵庫運河におけるブルーカーボン生態系(藻場・干潟について)～西日本初のJブルークレジット取引～(令和4年発表資料)

仙台塩釜港における浚渫土砂の有効活用について

遠藤 秀一郎

東北地方整備局 港湾空港部 港湾計画課 (〒980-8602 宮城県仙台市青葉区本町3-3-1)

仙台塩釜港は4つの港区から成り、それぞれの役割を果たしている。中でも仙台港区と石巻港区は大水深岸壁が計画されている。今後、水深確保のための航路泊地浚渫に伴い、多量の浚渫土砂が発生する見込みがあることから、周辺海域における干潟・浅場の創出への積極的な利活用に係る検討を行った。

本報告は、発生する浚渫土砂の性状を踏まえた改良方策及び利活用方策の検討結果とブルーカーボンによるCO2削減効果の試算結果についてまとめたものである。

キーワード 浚渫土砂の利活用、藻場の創出、ブルーカーボン

1. はじめに

仙台塩釜港は、仙台港区・塩釜港区・松島港区・石巻港区の4つの港区により構成している港である。東北唯一の国際拠点港湾として指定されており、東北経済の海上物流拠点として機能している。



図-1 仙台塩釜港位置図

中でも仙台港区と石巻港区では、大水深岸壁が計画されている。今後、水深確保のための航路泊地浚渫を行うことから、多量の浚渫土砂が発生する見込みである。

他方、浚渫土砂の処分場確保が課題として挙げられており、土地造成のための埋立材として利用する手法以外に、周辺海域の環境改善に資する干潟・浅場の創出にかかる利活用も考えられることから、今回の検討に至ったものである。

本報告は、仙台塩釜港で発生する浚渫土砂の性状を踏まえた改良方策及び利活用方策の検討結果とブルーカーボンによるCO2削減効果の試算結果についてまとめたものである。

2. 浚渫土砂の性状の整理

(1) 仙台港区

仙台港区の浚渫土砂の性状は、仙台塩釜港水質底質調査¹⁾のうち、航路に近接している地点の底質調査結果をもとに、直近3か年のデータを表-1に示すとおり整理した。

仙台港区の浚渫土砂は、シルト・粘土分が94.3～98.0%とほとんどを占め、中央粒径は9.4～10.0 μ mと小さい特徴がある。

(2) 石巻港区

石巻港区の浚渫土砂の性状は、雲雀野地区航路詳細点検診断調査²⁾のうち、航路内の底質調査結果を表-2に示すとおり整理した。

石巻港区の浚渫土砂は、シルト・粘土分が98.1～99.9%とほとんどを占め、中央粒径は8.7～9.2 μ mと小さい特徴がある。

表-1 仙台港区の浚渫土砂の性状

項目	出現範囲
シルト・粘土分(%)	94.3～98.0
中央粒径(mm)	0.0094～0.010
強熱減量(%)	12.3～13.0

表-2 石巻港区の浚渫土砂の性状

項目	出現範囲
シルト・粘土分(%)	98.1～99.9
中央粒径(mm)	0.0087～0.0092
強熱減量(%)	10.1～11.2

3. 浚渫土砂の改良方策の検討

(1) 改良方策の検討

浚渫土砂の性状ごとの改良技術，改良後の適用用途について一覧表に整理した（表-3）。

仙台港区及び石巻港区の浚渫土砂の性状は，ともにシルト・粘土分がほとんどを占めており，中央粒径も小さい粘性土系である。これらは，安定処理・脱水処理といった改良技術によって，基盤材，被覆材，築堤材，腹付材として適用可能と考えられる。

なお，圧密促進による脱水処理については，性状によらず適用可能であるが，圧密に時間を要するほか，地盤改良や減量化が主たる目的であることから，干潟・浅場創出の用途としての適用可能性はほとんどないと考えられる。

(2) 適用用途の検討

干潟・浅場創出を想定し，細粒分 90%以上の粘性土へ適用可能な改良方策（安定処理，人工石製造技術，造粒固化処理，無処理）の特徴と適用用途について検討し，改良方策として，安定処理と人工石製造技術を選定した。なお，安定処理は，干潟・浅場創出など海域における実績が多いカルシア改質土とする改良方策とした。カルシア改質土の安全性は，港湾・空港・海岸等におけるカルシア改質土利用技術マニュアル⁴⁾から溶出，生物への安全性等を確認した。

表-3 浚渫土砂の性状ごとの改良技術及び適用用途

浚渫土砂の性状	改良技術	適用用途					
		基盤材	被覆材	築堤材	腹付材	地盤改良材	
砂質土	不要(改良なし)	△	△	-	-	△	
砂質土 (粘性土混合)	分級処理	-	○	-	-	-	
粘性土	不要(改良なし)	△	-	-	-	-	
	安定処理	混練処理	○	○	○	○	-
		人工石材製造	○	○	-	-	-
		軽量混合処理	-	-	-	-	-
		造粒固化	-	○	-	-	-
脱水処理	機械式脱水	-	-	△	-	-	
性状によらず適用可能	脱水処理 圧密促進	-	-	-	-	-	

4. 浚渫土砂の利活用方策の検討

(1) 制約条件の整理

干潟・浅場創出への浚渫土砂の利活用検討にあたって，港湾計画，宮城県藻場ビジョン³⁾での整備計画，アマモ場再生ニーズ，定置網等漁業権への影響，地形等の制約条件を整理した（表-4）。

表-4 浚渫土砂利活用方策を検討するうえでの主な制約条件

項目	制約条件
①港湾計画との整合	・施設配置計画や航路・泊地への影響
②藻場ビジョンでの整備計画への影響	・「宮城県藻場ビジョン」での整備計画（地域のニーズ，対策候補地） ・活用方法，実施体制，維持管理方法等の総合的な検討
③アマモ場再生ニーズへの対応	・アマモ場の再生，研究支援，地域の体験学習等のニーズへの対応
④定置網等漁業権への影響	・漁業権の設定状況 ・漁業施設，漁業活動への影響 ・水産生物の生息環境への影響
⑤地形等の制約	・海底地形，底質等の海域特性

(2) 干潟・浅場創出の基本構造パターン

干潟・浅場創出の検討に先立ち既存事例を収集したところ，多くは，既存構造物に付随して整備した場合と海域に単独で整備した場合に大別された。

これらは，整備する場所や活用形態によって構造・形状が異なることが想定され，護岸前面・防波堤背後など既存構造物に付随して整備する場合には，法留の機能を有する築堤材を配置するとともに内側に基盤材を投入し，表面に覆砂を配置することが基本と考えられる（図-2）。

また，藻場を整備する場合には，目標とする海藻・草類の生育に適した地盤高（光条件を考慮した水深帯），被覆材（付着基盤を含む）を設定することが一般的である。

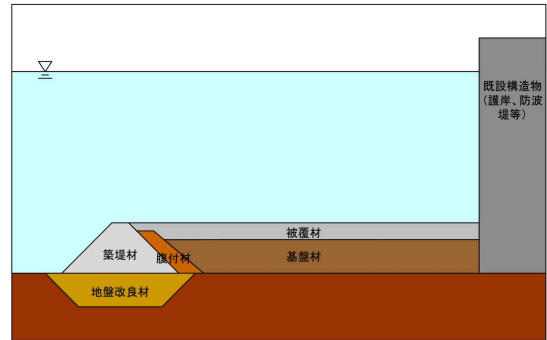


図-2 既存構造物に付随して干潟・浅場を整備する場合の基本構造（イメージ）

(3) 利活用方策の検討

a) 海域特性と対象種

干潟・浅場における対象種を選定するため，対象海域を海岸形状が異なる牡鹿半島の南部と北部に分け，海岸地形・水質・周辺藻場・漁業活動・藻場へのニーズを宮城県藻場ビジョン³⁾等から整理した。南部海域の対象種をアマモとアラメ，北部海域の対象種を岩礁性藻場（ガラモ，アラメ）とした。

b) 対象種の生育条件

アマモ，ガラモ，アラメの生育条件と仙台港区，石巻港区の水質測定結果を表-5 のように整理し，対象種に対して問題ないことを確認した。

表-5 対象種と対象海域の水質

項目	生育条件		水質測定結果		浚渫土砂	
	アマモ	ガラモ	アラメ	仙台港		石巻港
水深	干出ししない	1.0~5.0m	8.0m以浅(5m付近)	-	-	
海底勾配	1/50程度以下	-	-	-	-	
水温	28℃以下	4~28℃	7~27℃	6.3~22.7 ^{①)}	5.6~30.3 ^{②)}	
塩分濃度	17~34psu	26.6psu以上	30.0psu以上	30.6~33.5 ^{③)}	20.6~32.5 ^{④)}	
光子密度	3.0mol/m ² /日以上	-	4.9E/m ² /日(水深3m)	-	-	
透明度	年平均2.3m以上(最小1m)	-	6.2~12.4m(最小3.3m)	3.8~6.0 ^{⑤)}	1.4~5.7 ^{⑥)}	
COD	-	2.2mg/L以下	1.6mg/L以下	1.4~2.7 ^{⑦)}	1.1~5.6 ^{⑧)}	
アンモニア態窒素	2~5 μmol/L(年平均)	0.17~4.57 μmol/L	~2.65 μmol/L	0.7~6.4 ^{⑨)} *	~4.3 ^{⑩)} *	
無機リン態窒素	-	0.3~7.85 μmol/L	0.5~8.96 μmol/L	1.4~9.3 ^{⑪)} *	~20.7 ^{⑫)} *	
リン酸エネルギー	-	0.02~0.92 μmol/L	0.04~0.42 μmol/L	0.1~0.8 ^{⑬)} *	~0.5 ^{⑭)} *	
底質	細粒分	30%以下	-	-	-	94.3以上 ^{⑮)}
	燃熱減量	5%以下	-	-	-	10.1以上 ^{⑯)}
	COD	10mg/L以下	-	-	-	29.1 ^{⑰)}

※窒素の原子量を 14.01，リンの原子量を 30.97 として換算した

c) 干潟・浅場創出場所の選定

干潟・浅場創出場所については、対象海域を仙台塩釜港、松島湾、石巻港（石巻湾）、女川湾及び気仙沼湾の5海域に分けて、それぞれの海域で、航路泊地への影響、港湾施設利用計画や漁業関連施設などへの影響、波浪・潮流の影響、地域ニーズへの考慮に留意して、7か所を干潟・浅場創出の候補地として選定した。その中から浚渫土砂の利活用、ニーズによる対象種及び周辺藻場に着眼し、下図3か所を適地として選定した。



図-3 仙台港区 栄船だまり防波堤前面

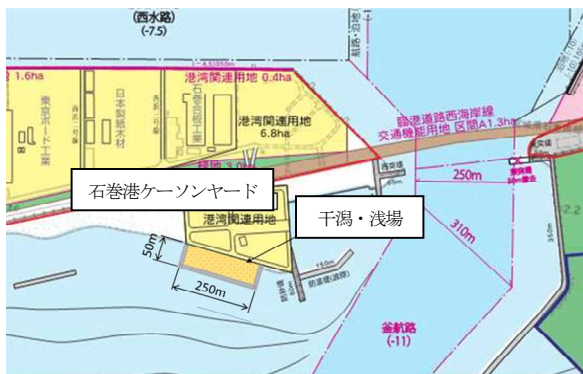


図-4 石巻港ケーソンヤード南護岸前面



図-5 女川港 津波防波堤(南) 港内側

d) 適地における干潟・浅場創出検討

適地の1つである仙台港区 栄船だまりは、アマモを対象とし、覆砂を用いた干潟・浅場とする。構造形式は、図-6に示すように、護岸（防波堤）前面型とし、護岸（防波堤）と沖合に設置した砂留堤との間に基盤材を投入し、表層部を覆砂する。浅場の水深は、仙台港の透明度を参考に-4.0mとする。覆砂厚は、地下茎の成長が可能な厚さとし、施工性を考慮して50cmとする。浚渫土砂を活用可能な用途は、基盤材と砂留堤であり、基盤材は、干潟・浅場での実績と安全性等からカルシア改質土とし、砂留堤は、浚渫土砂を用いた人工石を用いるものとする。

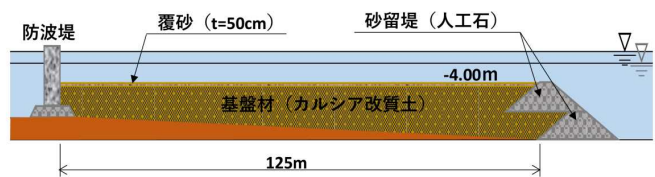


図-6 仙台港区 栄船だまり防波堤前面

石巻港ケーソンヤード南護岸前面は、アマモと岩礁性藻場を対象とし、覆砂と着生基質を用いた浅場とする。構造形式は、図-7に示すように、護岸前面型とし、護岸（防波堤）と沖合を囲うように砂留堤を設置し、内側に基盤材を投入後、表層部に覆砂と着生基質を設置することで、岸側の砂の流出防止効果を期待する。護岸前面水深が-5m以浅で、浅場の水深は、アマモを対象とした覆砂面の高さは、仙台港に比べて石巻港の透明度が低いことから-3.0mとし、覆砂厚は50cmとする。近隣藻場の状況では、藻場の水深が浅くなっており、水深-3.0m以浅で大型海藻が繁茂していることから、着生基質の天端高さを-2.0mとし、宮城県藻場ビジョン³⁾における食害対策を考慮して、基質の周辺は覆砂することとする。着生基質は、浚渫土砂を用いた人工石とし、安定性、大型海藻類の根掛を考慮して、ふとん籠に充填したものとし、1基当りの大きさを、(L)3.0m×(B)2.0m×(H)1.0として、浅場の沖側半分領域に設置する。浚渫土砂の活用可能な用途は、基盤材、着生基質及び砂留堤である。基盤材は、干潟・浅場での実績と安全性等からカルシア改質土とし、着生基質及び砂留堤は、浚渫土砂を用いた人工石と用いるものとする。

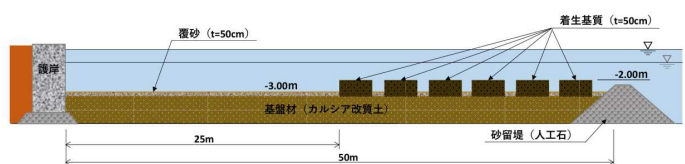


図-7 石巻港 ケーソンヤード南護岸前面

表-6 適地3か所における浅場造成の整理

	仙台港区 栄船だまり防波堤前面	石巻港 ケーンヤード南護岸前面	女川港 津波防波堤(南)港内側
対象種	アマモ	アマモ、岩礫性藻場	岩礫性藻場
面積(L)×(B)	3.75ha (300m×125m)	1.25ha (250m×50m)	3.0ha (200m×150m)
浅場水深	-4.00m	覆砂面:-3.0m、着生基質天端:-2.0m	-3.0m
造成海域水深	-10~-14m	-5.00m	-29.0m
主な使用材料	カルシア改質土:45,000m ³ 人工石(砂留場):37,400m ³ 覆砂:18,750m ³	カルシア改質土:31,300m ³ 人工石(砂留場):5,250m ³ (着生基質):2,700m ³ 覆砂:6,250m ³	カルシア改質土:623,880m ³ 人工石(砂留場):201,530m ³ (着生基質):17,760m ³ 覆砂:15,000m ³
活用浚渫土量(概算)	50,200m ³ カルシア改質土:31,500m ³ 人工石:18,700m ³	25,900m ³ カルシア改質土:21,900m ³ 人工石:4,000m ³	546,420m ³ カルシア改質土:436,720m ³ 人工石:109,700m ³

女川港 津波防波堤(南) 港内側の対象種は、岩礫性藻場とし、浅場の天端高を-5.0mとする。構造形式は、図-8に示すように、防波堤背後型とし、港内にカルシア改質土で砂留堤を設置し、防波堤との内側を基盤材(カルシア改質土)で嵩上げた後、表層部を覆砂する。周辺藻大型海藻は、水深-3.0m程度で繁茂していることから、基盤材面上に高さ2.0mの着生基質を設置する。宮城県藻場ビジョン³⁾によると、近隣藻場の水深が浅くなっており、水深-3.0m以下で大型海藻が繁茂していることから、着生基質の天端高さを-3.5mとし、食害対策を考慮して、基質の周辺は覆砂する。着生基質は、浚渫土砂を用いた人工石とし、安定性、大型海藻類の根掛を考慮して、ふとん籠に充填したものとし、1基当りの大きさを、(L)3.0m×(B)2.0m×(H)1.5として、浅場の全体に設置する。なお、防波堤近傍は越波による洗掘対策として根固めブロックを設置するものとする。

また、3か所の適地における使用材料・活用浚渫土量等を表-6のとおり整理した。

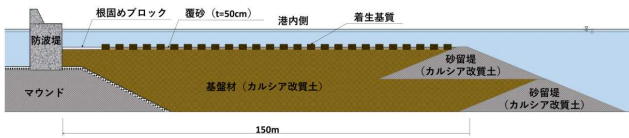


図-8 女川港 津波防波堤(南) 港内側

5. CO2削減効果の試算

適地として選定した3か所において、藻場造成後のCO2削減効果として、Jブルークレジット®(試行)認証申請の手引書⁹⁾に示される、対象生態系の面積と対象生態系ごとの単位面積当たりの吸収量(図-9)より試算した。

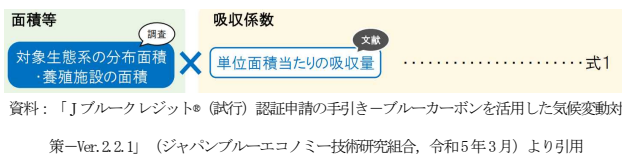


図-9 ブルーカーボンの算定方法

表-7 適地3か所におけるCO2削減効果の試算

適地	対象生態系	分布面積 (ha)	被度 (ha)	①実勢面積 (ha)	②CO ₂ 吸収係数 (t-CO ₂ /ha/年)	③CO ₂ 削減効果 (t-CO ₂ /年)
仙台港区 栄船だまり防波堤前面	アマモ	3.75	25	0.9375	4.9	4.59
	岩礫性藻場	0.625		0.15625	4.9	0.77
石巻港ケーンヤード南護岸前面	岩礫性藻場(アラメ、ガラモ)	0.18		0.045	2.7 [※]	0.12
女川港 津波防波堤(南)港内側	岩礫性藻場(アラメ、ガラモ)	0.888	0.222	2.7 [※]		0.60

対象生態系の分布面積は、創出する浅場のうちアマモ場を対象とするものは浅場(覆砂)面積とし、岩礫性藻場を対象とするものは、着生基質の天端面積(1基当りの面積(6m²)×基質数)に海藻草類の被度(25%)をかけた実勢面積とした。また、生態系ごとの単位面積当たりの吸収量については、Jブルークレジット®(試行)認証申請の手引書⁹⁾に示される日本全国の平均値を採用した。適地におけるCO2削減効果の試算結果は表-7のとおりとなった。

6. まとめ

本検討では、仙台塩釜港において発生する浚渫土砂の活用方策として、仙台塩釜港仙台港区、石巻港区及び女川港を適地として、既設構造物を活用した干潟・浅場の造成にかかる整理を行った。それぞれの制約条件等を考慮しても適用可能なものとしてまとめることができた。

今後、仙台塩釜港で浚渫土砂受入場の不足という課題に直面した際、本検討を活かし、浚渫土砂を干潟・浅場造成に有効活用することで、受入場所不足という課題を解消するだけでなく、干潟・浅場等を創出することで海域環境の改善を図ることに繋げることが可能となる。

国土交通省港湾局では、2020年のパリ協定を受け、ブルーカーボンの取り組みを推進し、カーボンニュートラルレポート(CNP)の実現を目指している。今回検討した浚渫土砂の有効活用による干潟・浅場造成に伴うCO2削減等により、CNPの実現に取り組んで参りたい。

参考文献

- 1) 国土交通省東北地方整備局塩釜港湾・空港整備事務所: 仙台塩釜港水質底質調査報告書(R1d-R3d)
- 2) 宮城県石巻港湾事務所: 雲雀野地区航路詳細点検診断調査報告書(R2d)
- 3) 宮城県藻場ビジョン(令和2年8月)
- 4) (一財)沿岸技術研究センター: 港湾・空港・海岸等におけるカルシア改質土利用技術マニュアル(平成29年2月)
- 5) ジャパンプルーエコノミー技術研究組合: Jブルークレジット®(試行)認証申請の手引きーブルーカーボンを活用した気候変動対策-Ver.2.1