令和 6 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 5 日(木)):B 会場

16:00～18:15

研究会2日目(12 月 6 日(金)):B 会場

9:45～12:00

令和6年度　国土交通省　国土技術研究会　プログラム

1日目(12月5日(木))

	研究発表会場		
会場	A 2号館共用会議室2A・2B	B 2号館共用会議室3A・3B	C 2号館共用会議室5
区分	○自由課題 ・一般部門(安全・安心Ⅰ) ・一般部門(安全・安心Ⅱ) ※国土技術開発賞受賞 技術報告含む	○自由課題 ・イノベーション部門Ⅰ ・一般部門(活力) ※SBIR建設技術研究開発 助成制度成果報告および 国土技術開発賞受賞 技術報告含む	○自由課題 ・アカウンタビリティ部門 ・イノベーション部門Ⅱ ※SBIR建設技術研究開発 助成制度成果報告および 国土技術開発賞受賞 技術報告含む
9:00			
	9:45～ 受付開始		
10:00			
	A1 10:15～12:00 一般部門 (安全・安心Ⅰ) ・審査課題:6本 ・報告課題:1本	B1 10:15～12:00 イノベーション部門Ⅰ ・審査課題:6本 ・報告課題:1本	C1 10:15～12:00 アカウンタビリティ 部門 ・審査課題:7本
11:00			
12:00			
13:00	A2 13:00～14:15 一般部門 (安全・安心Ⅰ) ・審査課題:4本 ・報告課題:1本	B2 13:00～14:15 イノベーション部門Ⅰ ・審査課題:5本	C2 13:00～14:15 イノベーション部門Ⅱ ・審査課題:4本 ・報告課題:1本
14:00	休憩(15分)	休憩(15分)	休憩(15分)
	A3 14:30～15:45 一般部門 (安全・安心Ⅰ) ・審査課題:5本	B3 14:30～15:45 イノベーション部門Ⅰ ・審査課題:4本 ・報告課題:1本	C3 14:30～15:45 イノベーション部門Ⅱ ・審査課題:4本 ・報告課題:1本
15:00			
	休憩(15分)	休憩(15分)	休憩(15分)
16:00	A4 16:00～17:00 一般部門 (安全・安心Ⅱ) ・審査課題:4本	B4 16:00～17:00 一般部門(活力) ・審査課題:4本	C4 16:00～17:00 イノベーション部門Ⅱ ・審査課題:4本
17:00	休憩(15分)	休憩(15分)	休憩(15分)
	A5 17:15～18:15 一般部門 (安全・安心Ⅱ) ・審査課題:4本	B5 17:15～18:15 一般部門(活力) ・審査課題:4本	C5 17:15～18:15 イノベーション部門Ⅱ ・審査課題:4本
18:00			

2日目(12月6日(金))

	研究発表会場			特別講演会場
会場	A 2号館共用会議室2A・2B	B 2号館共用会議室3A・3B	C 2号館共用会議室5	D 3号館10階共用会議室
区分	○自由課題 ・一般部門(安全・安心Ⅱ) ※SBIR建設技術研究開発 助成制度成果報告および 国土技術開発賞受賞 技術報告含む ○各局等提案課題	○自由課題 ・一般部門(活力) ※SBIR建設技術研究開発 助成制度成果報告含む ○各局等提案課題	休憩スペース ※14:00まで	○特別講演 ○表彰式
9:00				
	9:15～ 受付開始			
10:00	A6 9:45～10:45 一般部門 (安全・安心Ⅱ) ・審査課題:3本 ・報告課題:1本	B6 9:45～10:45 一般部門(活力) ・審査課題:4本		
11:00	休憩(15分)	休憩(15分)		
	A7 11:00～12:00 一般部門 (安全・安心Ⅱ) ・審査課題:3本 ・報告課題:1本	B7 11:00～12:00 一般部門(活力) ・審査課題:3本 ・報告課題:1本		
12:00				
13:00	A8 13:00～14:00 各局等提案課題 ・2本	B8 13:00～14:00 各局等提案課題 ・2本		
14:00				14:00～ 受付開始
15:00				15:00～16:00 特別講演
16:00				16:05～16:35 表彰式 16:35～16:50 受賞者記念撮影
17:00				
18:00				

自由課題（一般部門＜活力＞）

B会場 ： 12月5日（木）16:00～18:15

セッション	発表順序	課題区分	発表時間	課題名	発表者所属	発表者名
B4	1	審査課題	16:00～16:15	道路施設等を活用した中継輸送実証実験について ～「生産空間」の暮らしと産業を支える物流の維持に向けて～	北海道開発局　建設部　道路計画課	角張　弘幸
	2		16:15～16:30	八戸港の利活用促進に向けた取り組み ～青森県（弘前）産 りんごのトライアル輸送～	東北地方整備局　八戸港湾・空港整備事務所	古川　就一
	3		16:30～16:45	歩車混在空間への次世代モビリティ導入に向けた取組について	中国地方整備局　広島国道事務所　計画課	鳥取　美里
	4		16:45～17:00	コンパクトプラスネットワークの実現に向けて ～歩きたくなる魅力的なまちづくり～	九州地方整備局　建政部　都市整備課	高原　秀和
B5	5		17:15～17:30	国道357号多摩川トンネル浮島立坑工事のニューマチックケーソンの施工に向けた事前置換工法の導入	関東地方整備局　川崎国道事務所　工務課	鹿間　美咲
	6		17:30～17:45	洋上風力発電基地港湾整備における港湾工事の課題解決事例について	関東地方整備局　鹿島港湾・空港整備事務所　第一工務課	今泉　孔佑
	7		17:45～18:00	官民連携による亀の瀬地すべり対策インフラツーリズムの取組について	近畿地方整備局　大和川河川事務所	田尻　一朗
	8		18:00～18:15	土佐湾沿岸の海岸保全施設における気候変動適応策の検討結果	四国地方整備局　高知河川国道事務所　工務課	武田　侑大

自由課題（一般部門＜活力＞）

B会場 ： 12月6日（金）9:45～12:00

セッション	発表順序	課題区分	発表時間	課題名	発表者所属	発表者名
B6	9	審査課題	9:45～10:00	重要文化財 常願寺川砂防施設 に関する保存活用計画の策定に向けての取り組み	北陸地方整備局　立山砂防事務所	平口　昌樹
	10		10:00～10:15	トキの野生復帰及び情報発信に向けた施設整備における設計や施工時の取組と効果について	北陸地方整備局　営繕部　整備課	矢野　竜太郎
	11		10:15～10:30	沖縄管内のブルーカーボン形成及び活用方策の検討	沖縄総合事務局　港湾計画課	小野木　佑徳
	12		10:30～10:45	環境DNAによる一級水系河川での水生植物の検出可能性について	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	槻　ちがや
B7	13	審査課題	11:00～11:15	少子高齢・人口減少社会における流雪溝の課題克服への取組	北海道開発局　札幌開発建設部	谷野　淳
	14		11:15～11:30	既存オフィスビル等のゼロエネルギービル（ZEB）化改修の促進に関する研究開発	国土技術政策総合研究所　住宅研究部　建築環境研究室	宮田　征門
	15		11:30～11:45	既設アスファルト舗装からコンクリート舗装へ修繕する際に凍上対策として用いる断熱工法の設計・施工手法の提案	国立研究開発法人土木研究所　寒地土木研究所 寒地保全技術研究グループ　寒地道路保全チーム	大場　啓汰
	16	報告課題	11:45～12:00	**【SBIR建設技術研究開発助成制度成果報告】** ※論文掲載なし **断熱効果および遮熱効果を兼ね備えた環境対応型塗料の開発**	**名古屋大学大学院　工学研究科　有機・高分子化学専攻**	**竹岡　敬和**

道路施設等を活用した
中継輸送実証実験について
—「生産空間」の暮らしと産業を支える物流の維持に向けて—

北海道開発局　角張　弘幸[1]・北海道開発局　伊藤　典弘[2]

[1]北海道開発局　建設部　道路計画課　（〒060-8511 北海道札幌市北区北8条西2丁目）

[2]北海道開発局　建設部　道路計画課　（〒060-8511 北海道札幌市北区北8条西2丁目）

北海道は広域分散型の地域構造であり、食や観光などを提供する生産空間の維持の取組の一環として、物流の効率化を図る目的から令和３年度より「中継輸送」の実証実験を行っている。
自動車運転の業務にも適用される労働時間の制約「2024年問題」の解決のため、「道の駅」や道路施設等を活用した中継輸送実証実験を実施し、ドライバーの運転時間の短縮や中継輸送における中継拠点の適正な配置を検討したものである.

キーワード：物流の2024年問題、中継輸送、道の駅、生産空間、道路施設の活用

1. はじめに

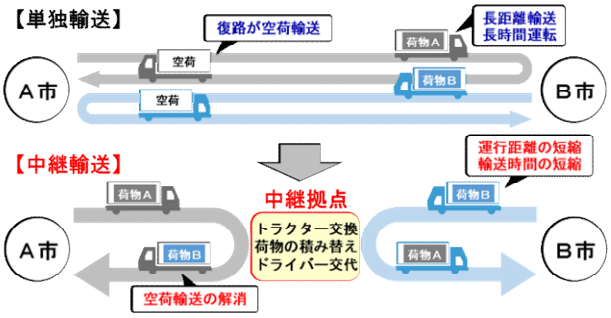
北海道の北部（道北地域）は水産業や酪農などが盛んであり、札幌市など主な消費地との輸送は、長距離トラック輸送が主となっている。令和６年（2024年）４月の運送業への働き方改革関連法適用により、時間外労働時間、拘束時間等の制限が強化される。これにより、トラック運転者の労働環境は改善する一方、労働時間に制約が生じ、長距離輸送にも改革が求められている。

このような状況の中、輸送工程を複数のドライバーで分担し、中間地点に立地する拠点で車両のヘッド交換やドライバーの交替、荷物の積替え等で連携し輸送効率化を図る「中継輸送」が注目されている。北海道開発局においても「物流の2024年問題」を見据え、物流の効率化を目的に道北地域をフィールドとして、令和３年度以降、道の駅等を中継拠点とした「中継輸送」の実証実験を行っており、令和５年度においては地域や対象とする道路施設を拡大し、実証実験を継続している。更に、広大な北海道における適正な中継拠点の配置に向け、物流事業者へのニーズ調査やETC2.0等のビッグデータ分析を活用した効果的な中継拠点の配置検討を進めている。

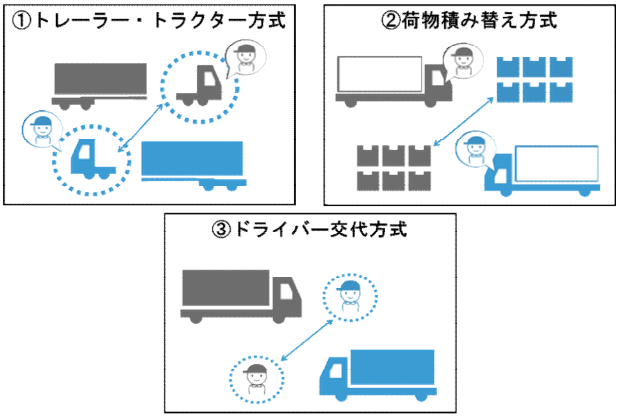
本稿では、これらの検討成果と今後の展望について報告する。

2. 中継輸送について

中継輸送とは、１つの輸送工程を複数のドライバーが分担する輸送方法であり、拠点を介して長距離輸送を分担することにより、ドライバーの拘束時間を短縮し、労働環境の改善や空荷を作らない効率的な輸送を実現する（図－１）。中継輸送の実証実験において、①トラクターを入れ替えて貨物の中継を行う「トレーラー・トラクター方式」、②中継地点で荷物を積み替える「荷物積替え方式」、③トラックを乗り換えてドライバーが交代する「ドライバー交代方式」の３パターンを実施・検証した（図－２）。

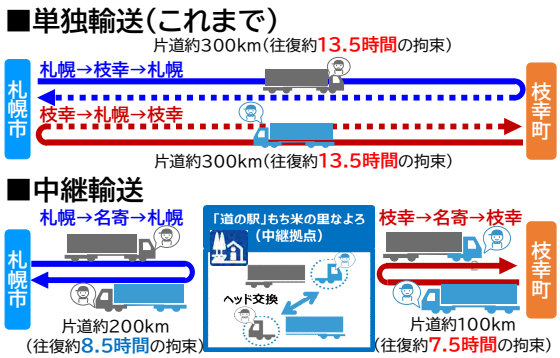


図－１　中継輸送による輸送効率化イメージ



図－２　中継輸送の輸送方式

都市間距離が長大な北海道においては、長距離輸送を分担する中継輸送との親和性が高く、過去に実施した実証実験においては輸送距離が約半分になることにより、ドライバー１人当たりの労働時間（拘束時間）が約４割削減すること等が確認されている（図－３）。



図－３　札幌～枝幸間中継輸送の例

3.　道の駅等を拠点とした中継輸送の実証実験

(1) 実験の概要

中継輸送における道路施設の活用可能性の検討および必要となる機能や課題抽出を目的に、北海道の道北地域をフィールドとして、中継輸送の実証実験を実施した。実験は令和３～４年度の２か年にわたり、道の駅「もち米の里☆なよろ」（以降、道の駅なよろ）を中継拠点として実施した。２か年の実証実験では、道の駅なよろの駐車場内に中継輸送を行うスペースを確保し、道北地域を拠点に長距離輸送を行っている事象者に実験参加を募り、実際にトレーラーのヘッド交換やドライバー交代、荷物の積替えによる中継輸送を実施した。令和３年度の実験では、道の駅なよろを中継拠点とし、札幌～枝幸間の単一経路を対象とした中継輸送を実施した。２年目（令和４年度）の実験では、これに道北圏の集配送を組み込み、より広範なパターンでの中継輸送の検証を行った。表－１にその概要を示す。

	初年度（令和3年度）	2年目（令和4年度）
実験期間	令和3年11月9日～ 令和3年11月12日	令和4年11月21日～ 令和4年12月18日
輸送方式	①トレーラー・トラクター方式	①トレーラー・トラクター方式 ②荷物積替え方式 ③ドライバー交代方式
輸送品目	ほたて、冷凍いくら、飼料	昆布、ほたて、冷凍いくら、 かぼちゃ、飼料、パン、清涼飲料
輸送経路		

表－１　実証実験の実施概要

(2) 中継輸送による効果の検証

a) 効果検証項目の設定

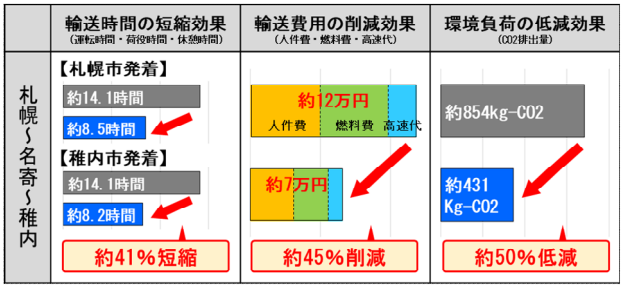
本実験における輸送効率化効果を把握するため、以下の3指標を効果検証項目として設定した。

① 輸送時間の短縮効果：運転時間や荷役時間、休憩時間等を合わせた輸送に関わる時間短縮を検証。
② 輸送費用の削減効果：人件費や燃料費、高速代等の輸送に関わる費用削減を検証。
③ 環境負荷の低減効果：輸送に関わるCO2削減量を検証。

b) 中継輸送の効果検証結果

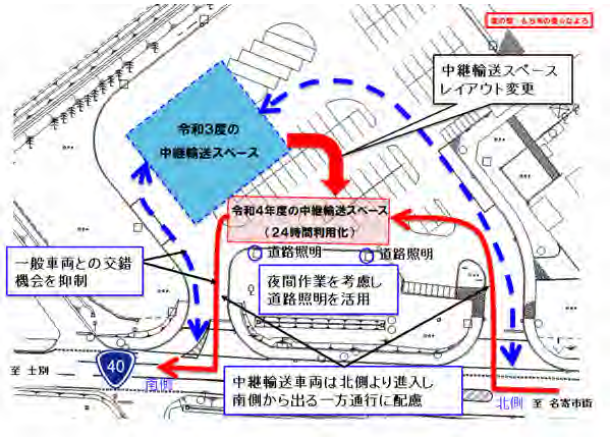
実証実験対象とした全ての輸送経路において、中継輸送の導入による輸送時間の短縮や拘束時間の削減に伴う人件費等の輸送費用の削減、環境負荷の低減効果が確認された。最も輸送効率化効果の大きかった札幌～稚内間では、約41%輸送時間が短縮しており、道路施設を活用した中継輸送は道内の物流効率化においても十分に効果があることが確認できた（表－２）。

表－２　中継輸送の効果検証結果（札幌-稚内間）



(3) 中継拠点に必要となる機能・設備

令和３年度の実験終了後、中継輸送を行ったドライバー・事業者にヒアリングを行い、実験の際に感じた課題やニーズに関する調査を行い、改善すべき内容を抽出した。令和4年度は、それらを踏まえて、拠点の機能改善や中継輸送スペースの再配置を行った上で実施した（図－４）。



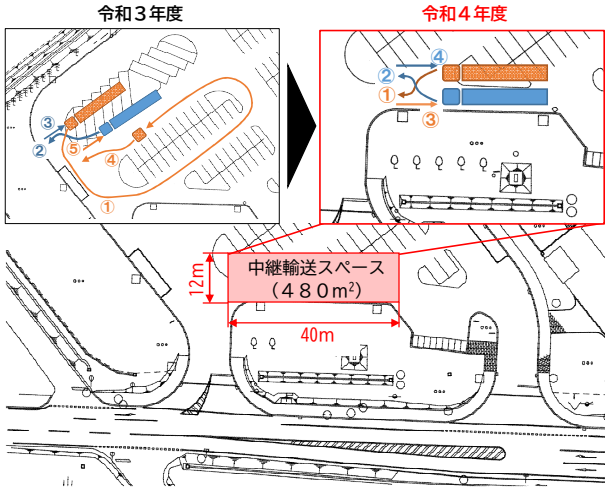
図－４　中継輸送スペースのレイアウト

KAKUBARI Hiroyuki, ITO Norihiro

２か年の実験結果から、以下の機能・設備が中継拠点に必要であることを明らかにした。

a) 中継輸送に必要なスペースの確保

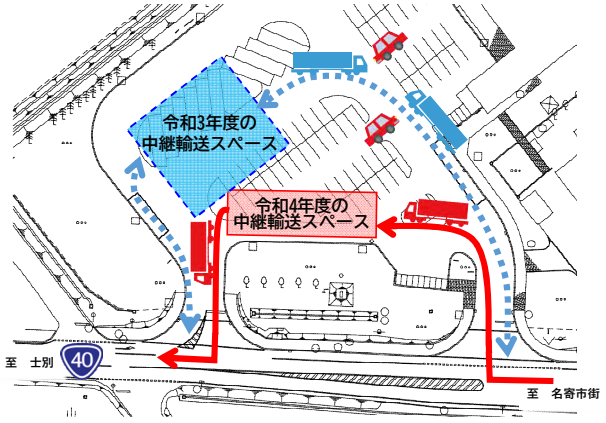
トレーラーのヘッド交換には、車両の切り離し、連結を可能とするための十分なスペースが必要となる。２年目の実験では、全長19mのセミトレーラーを用いて軌跡検討を行い、実際に運用したところ、最低でも12m×40m（480m²）のスペースが必要であることが明らかになった。（図－５）



図－５　中継輸送に必要なスペース

b) 一般車両との動線分離対策

令和３年度の実験では、中継輸送スペースを出入口から離れた場所に確保したため、一般車両との錯綜が課題としてあげられた。そのため、２年目は出入口付近に中継輸送スペースを確保し、出入口を一方通行化することで、大型車両の移動動線をコンパクト化し、一般車両との動線分離を図る必要がある。（図－６）



図－６　大型車両の移動動線

c) 積雪期における対応

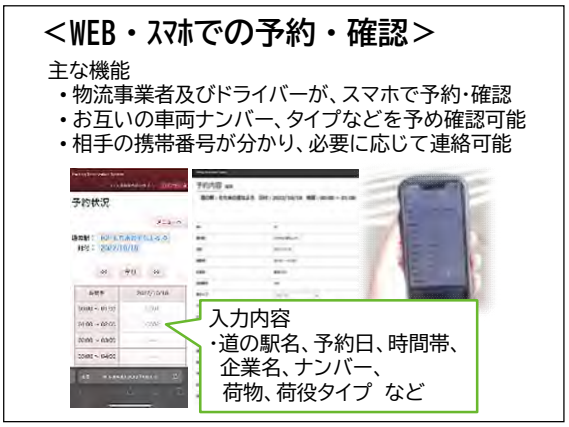
積雪期の作業には、中継作業中のトレーラーのスリップ防止のため、中継輸送スペースの適切な除雪や勾配のないフラットな構造とする必要がある。

d) 夜間作業への対応

２年目の実験では、既存道路照明の配置を考慮し、中継輸送スペースの24時間開放を可能にした。このように、夜間におけるヘッド交換や車両点検の安全性・確実性を高めるための視認性の確保が必要となる。

e) 中継輸送スペース予約管理システム

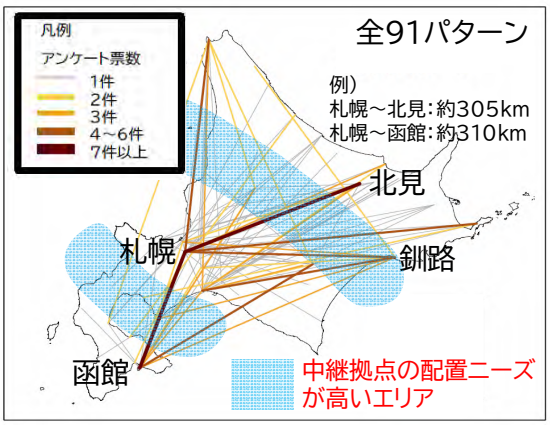
令和３年度の実験では、現地に到着するまで、スペースに空きがあるかわからないという課題があったため、２年目は、事業者やドライバーが中継輸送スペースの事前予約や利用状況を確認できるシステムを構築し運用した。複数の事業者の利用を想定した円滑な運営管理を行うにあたり、予約管理システムの構築が必要であることが確認できた（図－７）。



図－７　中継輸送拠点の予約システム

4.　全道スケールでの最適な中継拠点配置の検討

令和３～４年度の実証実験を踏まえ、令和５年度は、最適な中継拠点の配置検討およびエリアを拡大して実証実験の継続を行っている。この中では検討に先立ち、過年度に実施した北海道内の運送事業者へ向けたアンケート結果から得られた中継輸送のニーズの高い輸送ODから「中継拠点の配置ニーズ」を整理している。また、アンケート結果と、ETC2.0プローブデータから抽出した貨物車両の長距離トリップデータを組み合わせることで、中継輸送ODパターン（図－８）を作成した。

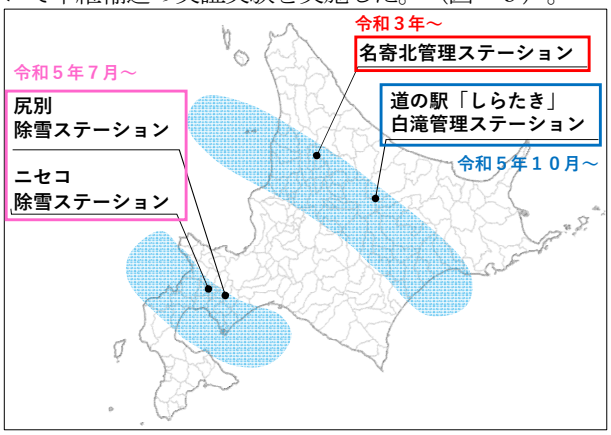


図－８　中継拠点の配置ニーズの高いエリア

KAKUBARI Hiroyuki, ITO Norihiro

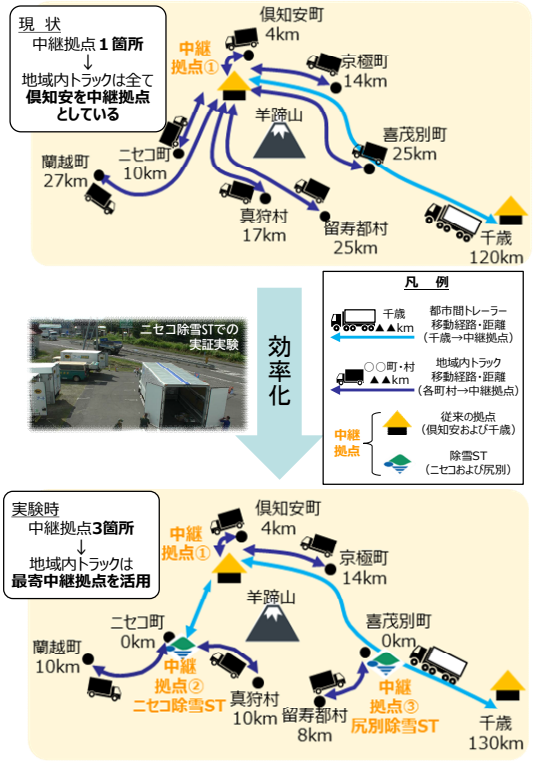
⑴ エリアを拡大した実証実験の実施

令和５年度は、「道の駅」のみではなく、道路施設を対象として、過去の実証実験から得られた中継拠点に必要な「面積」や「大型トレーラーの車両動線の確保」などの要件から施設の選定を行い、該当する道路施設において中継輸送の実証実験を実施した。（図－９）。



図－９　令和５年度における中継輸送実証実験箇所

令和５年度の実証実験では、過年度まで実験を行っていた道北地域から対象とするエリアと道路施設を拡大し、比較的長距離（道北－札幌）の中継輸送において、高速道路のインターチェンジ直結の「名寄北管理ステーション」をはじめ、比較的中距離（旭川－北見）な中継輸送を行う「白滝管理ステーション」、地域内の小分輸送による配送の効率化を行う「尻別・ニセコ除雪ステーション」など、様々な輸送形態に対応し、道路施設を活用した実証実験を実施した。（図－１０）（写真－１）。



図－１０　尻別・ニセコ除雪ステーションでの地域内の小分配送実証実験

写真－１　白滝管理ステーションでの実証実験

⑵ 中継拠点の代替性の確保を目的とした実証実験の実施

令和６年度において、これまで実施した実証実験の検証を踏まえ、中継輸送の「場所」について「中継拠点として選択できる場所の増加が重要（中継拠点の代替性の確保）」であることから、一般車両の利用が比較的少なく、中継拠点として必要な広さを確保できる「簡易パーキングやチェーン脱着場」での中継輸送の実証実験を実施している（図－１１）（写真－２）。

図－１１　令和６年度における中継輸送実証実験箇所

写真－２　名寄市砺波の簡易パーキングでの実証実験

５．今後の展望について

令和６年度に実施している実証実験において、既存簡易パーキング等を活用する有効性や安全性の検証を行っている。また、中継輸送による効率化についても継続して検証している。

働き方改革関連法が適用され、このまま対策を講じない場合、2030年には、輸送能力が現在の34%不足する可能性[1)]があるとされている。物流は、地域の産業や暮らしなど、全ての営みの根底に関わっており、物流が維持できなくなれば、多様な産業や観光資源も活かすことができず、生産空間の魅力的な産業や暮らしを維持していくためには、安定的な物流が必要である。

本検討では、北海道における生産空間の保持・形成を図るため、中継輸送の実装に向け、道路施設を活用した中継輸送の実証実験を通して、拠点に必要となる機能や設備、中継輸送の有効性を検証している。また、北海道全体での効果的な中継輸送の展開に向け、ETC2.0データを活用した貨物車の流動分析とアンケートによる事業者ニーズの把握により、中継拠点の適正な配置を検討し、中継拠点が必要（ニーズの高い）な位置に近い道路施設を抽出し有効性を検証しているところである。

これまで実施した実証実験結果を公表することにより、運送事業者に限らず、荷主側も問題意識を持つようになり、研究会などが立ち上がってきている。また、北海道開発局では、物流事業者、学識者、行政等で構成する「共同輸送・中継輸送実装研究会」において提案された、ワークショップによる共同輸送・中継輸送の実現に向けた、企業間の北海道流マッチングモデル「ロジスク」（ロジスティクス＋スクラムを意味する造語）をこれまで６回開催し、100社以上が参加し、本「ロジスク」の取組により、マッチングした企業同士で共同輸送等の試行も行われるなど、官民一体となって北海道における物流問題の解決に向けて、動き出している（図－１２）。

図－１２　「北海道流」物流マッチングモデル「ロジスク」

今後は、今年度まで実施した実証実験を踏まえ、既存の簡易パーキング等における実装に向け、課題等検証していく。

本稿で示した取組が今後進展することにより、物流にかかわる多くの方々の労働環境の改善が促進され、広域分散型地域構造を有し、北海道の強みである「食」に係る生産物を確実に輸送することにより、生産空間の保持・形成が図られるため、引き続き検討を進めていきたい。

1）「物流の2024年問題」の影響について(2)」（株式会社ＮＸ総合研究所）より

八戸港の利活用促進に向けた取り組み
～青森県（弘前）産りんごのトライアル輸送～

櫻井　博孝[1]・林　秀幸[1]・古川　就一[1]

[1]東北地方整備局　八戸港湾・空港整備事務所　企画調整課（〒031-0071青森県八戸市沼館4丁目3番19号）.

現在，我が国では国内貨物輸送の約8割をトラック輸送が占めている中，2024年4月から適用されるトラックドライバーの時間外労働規定による陸上輸送不足「2024年問題」が懸念されている．青森県のように大都市圏から離れている地域では輸送する産品の競争力が低下し地域経済への影響を考えると輸送力強化が課題となる．

本報告は，八戸港を利用した青森県（弘前）産りんごのトライアル輸送についてまとめたものである．

キーワード　トライアル輸送，モーダルシフト，りんご

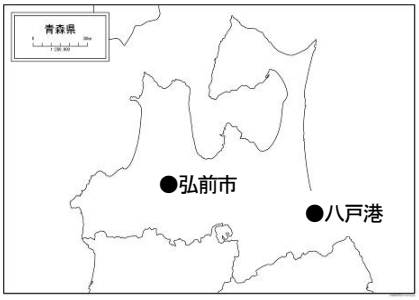
1.　はじめに

現在，我が国では国内貨物輸送の約8割をトラック輸送が占めている中，2024年4月から適用されるトラックドライバーの時間外労働規定による陸上輸送不足「2024年問題」が懸念されている．このため，国内物流ネットワークの維持に向け，特に長距離輸送の受け皿として，内航フェリー・RORO船へのモーダルシフトが可能となるよう，輸送力を強化していく必要がある．

このような背景から，当事務所では現状，京浜港まで陸上運送し輸出している企業に，RORO船・国際フィーダー船を利用したトライアル輸送への関心をヒアリングするとともに，トライアル輸送の働きかけを行った．

そうしたなかで，海外へ農産品の輸出を手がける商社より，青森県（弘前）産りんごの新たな輸送形態構築について相談を受け，港湾運送業者や船社などを交えた意見交換を重ねトライアル輸送を実施した．

本報告は，八戸港を利用した青森県（弘前）産りんごのトライアル輸送についてまとめたものである．



図−１　弘前市と八戸港との位置

2.　2024年問題とは

改めて2024年問題とは，働き方改革関連法によって2024年4月1日以降，自動車運転業務の年間時間外労働時間の上限が960時間に制限されることによって発生する問題の総称．

これまでトラックドライバーの労働環境は，長時間労働の慢性化という課題を抱えていた．

若手不足と高齢化による労働力不足の中，EC市場（インターネット上で商品やサービスを売買するビジネスモデル全般）の急成長による宅配便の取り扱い個数の増加により長時間労働が常態化していた．

2024年の法施行では自動車運転業務の年間時間外労働時間の上限を設定することでトラックドライバーの労働環境を良くしようという狙いがあるが，一方では，青森県のように大都市圏から離れている地域では，これまで通りの輸送が出来なくなり，輸送する産品の競争力が低下して地域経済に影響が出るのではないかと懸念されている．野村総合研究所の試算では，青森県では2030年には約44％もの貨物が運べなくなる可能性があり，全国平均の35％を大きく下回っている．

表−1　自動車運転業務における時間外労働の上限規制

2024年3月31日まで	2024年4月1日以降
適用なし	・特別条項付き36協定を締結する場合の年間の時間外労働の上限が年960時間
	・時間外労働と休日労働の合計について、「月100時間未満」「2～6ヶ月平均80時間以内」とする規制は適用されない
	・時間外労働が月45時間を超えることができるのは年6ヶ月までとする規制は適用されない

3. 青森県産りんご輸出の現状と課題

青森県では，津軽地方に世界でも有数の生産団地が形成されており，現在，全国のりんご生産量の約60%を占める日本一のりんご王国となっている．

また，青森りんごの輸出は，100年を超える長い歴史があり，現在は，台湾を中心として主にアジア地域に輸出され，食味や品質，大きさで高い評価を得ている．

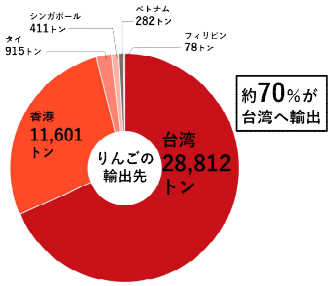


図-2　国産りんごの主な輸出先

令和4年産りんごの輸出量は42,224トンであり，日本から輸出されているりんごの9割以上は青森県産と推定されている．

現状，青森県産りんごは京浜港からの外航コンテナ船で輸出されており，産地（弘前市）から京浜港までの約710kmをトラックで陸上輸送している．トラックドライバーの拘束時間は，りんごの積み込みから京浜港での積み下ろしまでで約16時間に上るが，働き方改革関連法の施行により拘束時間の上限が「最大15時間」に制限されることで，りんごを1日で運べなくなる可能性がある．

この課題の解決策として，京浜港への定期航路が充実している八戸港を利用した青森県産りんご輸送のモーダルシフトの可能性を検討した．

4. トライアル輸送実現に向けて

(1)八戸港利用のセールスポイント

八戸港は，北東北における国際物流拠点として重要な役割を果たしており，中国・韓国を結ぶコンテナ定期航路のほか，国際フィーダー航路も充実している．

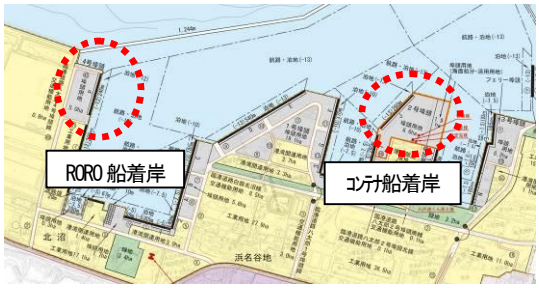


図-3　港湾計画図（コンテナ，RORO）

RORO定期航路

八戸港では，川崎航路，名古屋航路，東京－苫小牧航路の３航路があり，完成自動車輸送のほか，貨物を積んだトラックやシャーシなどを運んでいる．

令和５年7月からは，東京－苫小牧航路の便数が増え，利便性が向上した．

表-2　RORO定期便数の変化

単位：回

日付	1日	2日	3日	4日	5日	6日	7日	8日	9日	10日	11日
増便前(R5.6)	1	1			1	1		1		1	
増便後(R5.7)	1	1		3	1	2	1	2	1		2
日付	12日	13日	14日	15日	16日	17日	18日	19日	20日	21日	22日
増便前(R5.6)	1	1		1	1				3		1
増便後(R5.7)	1	2	2				3	1	2		1
日付	23日	24日	25日	26日	27日	28日	29日	30日	31日	合計	
増便前(R5.6)		1		1	1		1	1		19	
増便後(R5.7)	1	1	2		2	2	1		1	36	

表-3　RORO定期航路

航路名	寄港間隔	主な寄港地
川崎航路	週2便（火・木）	苫小牧・川崎・追浜・仙台
名古屋航路	4日に1便	名古屋・仙台・苫小牧
東京-苫小牧航路	週6便（月以外）	東京・苫小牧

RORO船とは，貨物を積んだトラックやシャーシ（荷台）ごと輸送する船舶のこと．

発地（港）ではトレーラが乗船し，貨物を積んだシャーシを切り離して船側に載せ（ロール・オン），トレーラヘッド（トラクタ）だけが下船する．

着地ではトレーラヘッドだけが乗船してシャーシを連結し，そのまま下船（ロール・オフ），陸送する．

積込みの様子

船内の様子

国際フィーダー航路

八戸港は，京浜港と国際フィーダー航路でつながっており，その先の世界各港ともつながることができるため，航路をつないだ戦略的な運用が可能となる．

国際フィーダー航路とは，国際コンテナ戦略港湾（阪神港・京浜港）と国内各港を結ぶ内航フィーダー航路を指す．

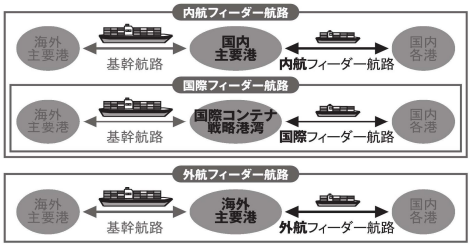


図-4　フィーダー航路の分類

⑵ 企業ヒアリング及び意見交換会開催

当事務所では，過去のヒアリング結果からりんごの輸出関連企業をピックアップし，2024年問題，トラックドライバー不足等に対応するための将来のりんご輸出形態や港湾を利用したトライアル輸送の実現性等についてヒアリングを実施した.

その結果，りんごの生産から輸出までを手掛ける商社にトライアル輸送を検討して頂けることになった.

トライアル輸送の実現に向け，まずは関係者を集めた意見交換会を開催することとした．メンバーは商社，港湾運送事業者，船社，国，県，市とし，意見交換会を数回にわたって開催．「輸送計画の立案」「実施における課題」などの情報を共有した.

当事務所では輸送計画立案の支援や関係者間調整，本取り組みに活用可能な補助事業の情報提供，取り組みのプレスリリースなどを行った.

意見交換会の様子

検討の結果，現状の弘前市から京浜港のトラック輸送に対して，以下の③パターンでトライアル輸送をすることとなった.

① RORO船（八戸港発：夜便）40ftコンテナ1本分
② RORO船（八戸港発：朝便）　〃
③ 国際フィーダー航路　〃

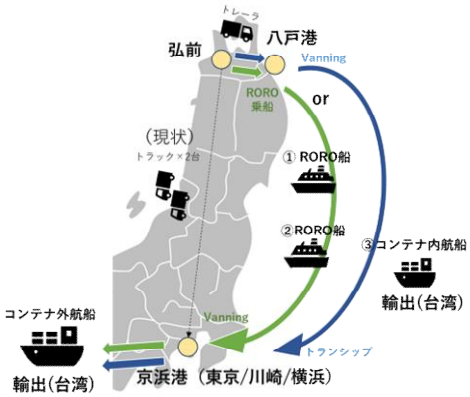


図-5　トライアル輸送パターン

⑶ トライアル輸送実施

ここでは，②RORO船（八戸港発：朝便）で行ったトライアル輸送の流れを紹介する.

1) 弘前選果場にて

前日に植物検疫を終えたりんごは，1/17にトレーラに積込み出発.

トレーラへの積込み

2) 八戸港にて

同日(1/17)に到着したトレーラは，シャーシを切り離し岸壁留め置き.

1/18の朝，到着したRORO船にシャーシを積込み，一路川崎港へ.

岸壁留め置き＆RORO船への積込み

3) 川崎港にて

1/19川崎港に到着，現地ドライバーがシャーシを引き取りフォワーダー倉庫へ運搬.

検数・通関作業を進めながらバンニングを実施.

出発港である横浜港へコンテナを運搬し，1/22台湾に向けてコンテナ船が出航し，1/26現地に到着.

フォワーダーとは，自ら輸送手段を持たず貨物輸送を行う事業者のこと.

荷主と運送手段を持つ運送業者との間に立ち，輸出入や通関業務，運送手段の手配まで，国際物流にはかかせない役割を果たす.

バンニングとは，輸出貨物をコンテナに詰め込む作業のこと.

フォワーダー倉庫へ運搬＆バンニング

５．トライアル輸送結果

トライアル輸送の結果について「コスト」，「リードタイム」，「品質」の項目での分析結果を紹介する．

「コスト」について

「コスト」については，現状の弘前から京浜港までのトラック輸送費用に対し，RORO船は約1.2倍の費用増，コンテナ船は約1.1倍の費用増となった．現状では陸上輸送より海上輸送の方が高い結果となるが，今後トラックドライバーの時間外労働規制による輸送供給の減少により輸送運賃が上昇することや燃料費，人件費などの値上げにより陸上輸送と海上輸送のコスト差は縮まると考えられる．

「リードタイム」について

ここで言う「リードタイム」とは，弘前市出発から台湾到着までの日数を指す．弘前から台湾までの輸送日数は，RORO船利用時は現状の陸上輸送と同等で，コンテナ船利用時は現状の約２倍の日数がかかる結果となった．RORO船は八戸港から直接京浜港へ向かうのに対し，コンテナ船は八戸港から京浜港までの間に他港に寄港することや京浜港で内航船から外航船へトランシップする際に待ちが生じることなどが，RORO船よりもリードタイムが長くなる要因と考える．

「品質」について

今回トライアル輸送したりんごの「品質」については，RORO船，コンテナ船ともに台湾到着時の品質不具合はなかった．コンテナ船についてはコンテナへの積み込み時からリーファーコンテナを利用できるため，台湾到着まで最適な温度でりんごを輸送することが可能となっている．

一方，RORO船については，積荷の大きさの関係で冷蔵シャーシを利用することができず，京浜港までは常温シャーシでの輸送となった．トライアル実施時期が10月末であったため外気温がそれほど高くなく，結果として品質の不具合はなかったが，今後RORO船を利用する場合は外気温が16℃以下となる11月から3月を目安に利用可能と判断した．

台湾到着のりんご

総合評価

今回3パターンのトライアル輸送を行った結果，いずれのパターンも大きな問題点は無く，輸送シフトは可能と判断された．特にRORO船については現状の陸上輸送と同等のリードタイムとなったことから，シフトしやすい輸送形態であることが分かった．

コンテナ船については現状の陸上輸送よりリードタイムが約２倍となることで，品質面での問題は無いものの海外現地での商機を逃すリスクなどの課題があり，優先度はRORO船より下がる結果となった．

トラックドライバーの拘束時間については，現状の京浜港までの輸送が八戸港までの輸送に変わったことで輸送時間の大幅な短縮を図ることができた．

６．まとめ

本取り組みにより，八戸港を利用した青森県（弘前）産りんごのトライアル輸送を実施したことでモーダルシフトの事例を作ることができた．

今年5月に行われた意見交換会では，トライアル輸送の総括が出席者に共有され，その中で本トライアル輸送の取り組みにより，商社では2024年産のりんごから輸出の一部を八戸港からの海上輸送（RORO船メイン）にシフト予定との話を頂いた．

また，本トライアル輸送については，多数のメディア（新聞，テレビ）に取り上げて頂いた八戸港での取り組みをアピールすることができた．

今回の実績を元に他貨物の輸送でも同様なトライアル輸送を展開し，青森県や八戸市などと連携して八戸港の更なる利用促進を図っていきたいと考える．

謝辞：今回のトライアル輸送にご尽力頂いた関係者に感謝申し上げる．

参考文献

1). （一社）青森県りんご対策協議会 HP
2). 八戸港を利用した青森県産りんごのトライアル輸送意見交換会資料

歩車混在空間への次世代モビリティ導入に向けた取組について

鳥取　美里[1]・土居　修人[2]・加藤　大騎[2]・山花　道孝[3]・森　英高[4]

国土交通省　中国地方整備局　広島国道事務所　計画課　[1]係員　[2]係長　[3]専門調査官　[4]課長

（〒734-0022広島市南区東雲二丁目13-28）

人中心の道路の実現に向けて，歩行者と次世代モビリティが共存する道路空間の中で，次世代モビリティを安全に通行させるために，広島国道事務所では，道路施設側からの支援として，車両の通行を歩行者に認識してもらうための方策を検討した．本稿では，そのツールの１つとして，路面に埋設可能な道路鋲を活用し，歩行者向けの自発光鋲であるスマート道路鋲の効果を，呉市内で実施された社会実験にて検証した．今後は，次世代モビリティに対応したインフラ整備や次世代型交通拠点として計画されているバスタプロジェクトと連携し，次世代モビリティ導入に向けた道路施設としての支援方策について，検討・実施を進めていくこととする．

キーワード　自動運転，歩車混在，路側支援，注意喚起，スマート道路鋲

1. はじめに

人中心の道路の実現に向け，駅前やまちのメインストリートなどの道路整備の在り方が，自動車の安全で円滑な通行から人々の多様なニーズへの対応に大きく変わろうとしている．例えば，2017年8月の社会資本整備審議会道路分科会議において，生活道路などにおいては，(1)自動車ドライバによる歩行者等への配慮が自然となされる環境づくりも含め，従来の「分離」に加えて「混在」の考え方も導入すべきであること，(2)多様なモビリティが共存できる道路空間の構築が必要とされていることが示されている[1]．

なお，同会議において，高速バス等の乗降場を集約した公共交通ターミナルを整備し交通結節機能の強化を図る「バスタプロジェクト」が掲げられており，現在，全国各地でバスタプロジェクトの実現に向けた検討が進められている．全国で検討されているバスタプロジェクトの中でも交通ターミナル等での自動車等のモビリティと歩行者との混在・共存について議論されている．たとえば，呉駅交通ターミナルでは，図-1 に示すようにデッキ上に広場のような広い道路空間の整備が計画されており，この歩行者優先空間への自動運転車両等の次世代モビリティの導入が検討されている[2]．このような空間においては，如何に歩行者と交錯させずモビリティを安全に通行させるかが重要なポイントとなる．

このような背景のもと，本稿では，先述したターミナルデッキ上のような歩行者とモビリティとが共存する広い道路空間において広島県呉市が実施した「自動運転車両を用いた交通社会実験」にて，広島国道事務所が併せて実施した路側支援に係る社会実験の結果を報告する．なお，本稿では対象とするモビリティを自動運転車両とする．

図-1　呉駅交通ターミナルデッキ上のイメージ

2. 歩車混在空間における路側支援

(1) 歩車混在空間における路側支援

本稿では，路面に埋設可能で歩行者の通行の妨げとならず景観上の支障も少ない「道路鋲」に着目した．道路鋲を活用した注意喚起としては，長野県飯田市のラウンドアバウト型交差点の事例がある．本事例で使用した道路鋲は，横断歩道両脇に設置されたセンサを歩行者が通過すると同時に，横断歩道手前に埋設された道路鋲が点滅し，ドライバに注意を促すものである．本事例において，道路鋲の発光による注意喚起がドライバの安全確認動作の向上に寄与する可能性があることが報告されている[3]．この事例にも見られるように道路鋲は一般的に車両(ドライバ)向けのものと認識されている設備である．

(2) スマート道路鋲

(1)で述べた通り，通常の道路鋲は車両(ドライバ)向けの設備であり，歩行者を対象としたものではない．歩車混在空間で歩行者に対して道路鋲の発光による注意喚起を行うためには，昼間の明るい環境でも十分な輝度を確保し歩行者が認識できることが必要である．また，車両の接近状況に応じて発光方法を制御できる仕組み(注意喚起システム)の構築も必要である．

新たに開発した道路鋲の概要を図-2 に示す．1 つの道路鋲に「車両向け」と「歩行者向け」の 2 種類の発光部を設けた(図-2(a))．これにより、遠方(車両向け)と近方(歩行者向け)の両方に対し，注意を促すことができる．また，昼間でも認識できるよう十分な輝度を確保したうえで，発光色は赤色などのフルカラーLED と白色 LED とを組み合わせることで目的や景観に応じて様々な色を発光可能とした(図-2(b))．さらに，複数の道路鋲を制御できる装置(制御機)も開発し，複数の道路鋲を組み合わせた発光パターンも表現できるようにした(図-2(c))．これ以降，開発した新たな道路鋲を「スマート道路鋲」という．

なお，スマート道路鋲は，車両の重量に耐えられる耐久性(40t車の輪荷重)を有している．

図-2　スマート道路鋲の概要

(3) 注意喚起システム

構築した注意喚起システムの全体構成を図-3に示す．歩車混在空間における歩行者への注意喚起を踏まえたシステムを構築した．本システムは，自動運転車両より取得する位置情報をもとに車両の接近状況を把握し，制御機(親機)より各スマート道路鋲(子機)に発光等の制御信号を送信する仕組みとした．なお，車両の接近状況の把握には，2.(1)で紹介した長野県飯田市のラウンドアバウト型交差点の事例のように，路側に設置したセンサ等の活用も考えられる．これにも対応できる仕組みとした．また，本システムはLED 表示板とも連携もでき，スマート道路鋲とLED 表示板を組み合わせて歩行者に注意喚起を行うことにも対応できる仕組みとした．

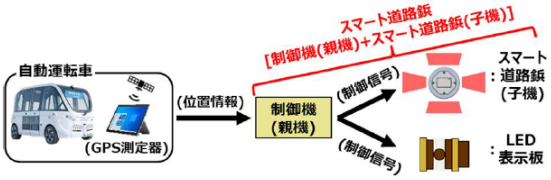


図-3　注意喚起システムの全体構成

3. 社会実験

(1) 呉市が実施した社会実験の概要

呉市において，令和6年1月18日(木)から21日(日)までの4日間、自動運転車両を用いた社会実験が実施された．図-4に走行ルートおよび使用車両を示す．呉市内の約2.2kmの周回ルートを1日6便の計24回走行した．周回ルートのうち，中通り2丁目(約40m)とれんがどおり(約200m)の2区間が歩車混在空間に設定された．なお，中通り2丁目は社会実験中のみ歩車混在区間に設定されたのに対し，れんがどおりは通常時においても特定の時間帯(11時～翌5時)が歩行者優先道路(自転車除く)である．

自動運転車両はNAVYA ARMAを使用した．自動運転車両側の安全対策として，車両にドライバが同乗し，危険時等には手動介入を行うことが可能であった．なお，歩行者との交錯を防ぐため，車両が歩車混在空間に進入する際には車両から警告音が発せられた．

図-4　走行ルートおよび使用車両

(2) 広島国道事務所が実施した路側支援

広島国道事務所では，道路側の安全対策として社会実験中に注意喚起システムを設置した．

注意喚起システムの設置については，通常時においても特定の時間帯(11時～翌5時)が歩行者優先道路(自転車除く)であり，本実験を知らない人も歩車混在空間として通行することが想定されるれんがどおりを検証対象範

囲とした．また，その範囲の中でも社会実験中に特に多くの人通りが期待されるバス停設置前後区間(図-4内の赤色点線で示す区間(約40m))に，スマート道路鋲をはじめとした，社会実験に必要となる各機器を設置した．設置区間を図-5に，設置及び作動状況を図-6にそれぞれ示す．

なお，設置区間にはスマート道路鋲を歩道と車道の境界部に約5m間隔で片側10基，計20基設置した．なお，本来スマート道路鋲は路面に埋設し使用するものであるが，今回は4日間の社会実験であったため，箱型(20cm×20cm×10cm)の可搬型機器を準備し，歩行者が本機器に躓いたり通行に支障をきたさないよう，れんがどおりの歩道と車道の境界にあるポールの足元に固定して設置することとした．また，スマート道路鋲とは別にLED表示板を設置区間の両端に1基ずつ計2基を設置した．このほか，図-3で示した制御機(親機)をアーケードの柱に設置した．

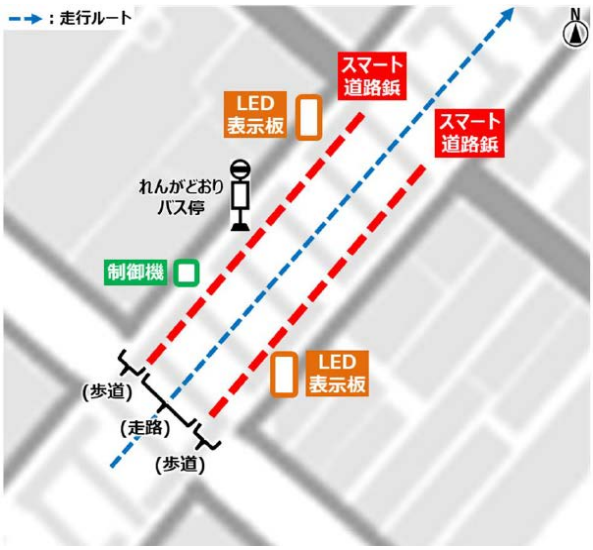


図-5　注意喚起システムの設置区間

(3) 社会実験における検証内容

本社会実験では，スマート道路鋲に図-7に示すパターン①～④の点滅パターンを設定し，自動運転車両を6便ずつ試行することで注意喚起効果を比較した．検証にあたり，車両が接近するとスマート道路鋲が点滅することを歩行者に周知する目的で、社会実験中、設置区間のアーケードの柱に案内ポスターを複数設置した．　LED表示板は、いずれのパターンも内容は同一とし，「注意」と2回表示後に「自動運転車両接近」とスクロール機能を用いて表示した．なお，各機器の発光・表示のタイミングは，れんがどおりに到着した時点(設置区間の約100m手前)とした．歩車混在空間の自動運転車両の走行速度は5km/h であり，発光・表示開始から設置区間に車両が到達するまでの時間は約60秒であった．

図-6　注意喚起システムの設置及び作動状況

図-7　スマート道路鋲の発光パターン

4. スマート道路鋲の効果検証

(1) 検証方法

本システムの注意喚起効果を検証するにあたり，自動運転車両が接近しシステムが稼働している時に，設置区間を通行または滞在していた歩行者にヒアリングを実施した．ヒアリング調査の内容は，(1)スマート道路鋲の注意喚起効果，(2)スマート道路鋲の効果的な発光パターンについての2つである．

(2) ヒアリング調査の回答者属性

ヒアリング調査の回答者数は計111 人であった．回答者の属性等を表-1に示す．

年代・性別は，偏りなくほぼ均等であった．回答者(歩行者)の位置は，自動運転車両が走行すること，事前周知を行っていたこと，歩道上に立ち止まって自動運転車を眺めている人が複数人いたこと，といった特殊な環境下であったことから，走路を通行・滞在していた人は存在せず，歩道上の人が95.5%(106人)とほとんどであった．また，駐輪等に阻害され，歩道上からはスマート道路鋲を確認しづらい環境であったことから(図-8)，回答者には，スマート道路鋲を確認しづらかった人が少なからず含まれていると考えられる．このほか，道路鋲点滅開始後に走路に進入(横断)した人が4.5%(5人)と若干ではあるが存在した．また，スマート道路鋲の点滅理由を理解していた人は12.6%(14人)であり，回答者の多くが理解していなかった．これは現地のみでの案内であったこと，また案内期間が短く十分でなかったことが原因と考えられる．

(3) スマート道路鋲の注意喚起効果について

a)スマート道路鋲の点滅に気づいたか

スマート道路鋲の点滅に気づいた人は56.0%(61 人)であり，全体の半数以上の人が点滅を認識していた(図-9(a))．なお，気づかなかった理由の多くは，他人との会話など「別のことに気を取られていた」ことのほか「周辺環境等により道路鋲が見えなかった」ことであった(表-2)．また，道路鋲点滅開始後に走路に進入した人に限定すると80.0%(4人)が点滅に気づいた(図-9(b))．

駐輪等の影響がない走路上は，歩道と異なりスマート道路鋲が確認しやすい環境であることから，設置位置を障害物のない見通しの良い場所に変更することで，多くの歩行者がスマート道路鋲を認識し，注意喚起効果の発現がより大きくなることが期待される．

また，年代別にみると点滅に気づいた割合が最も高かったのは高年層であった(図-9(c))．ヒアリング時に高年層から「歩行時の視線が低いため気づきやすい」という声も聞かれ，特に高年層に対して注意喚起効果が高い可能性があることが示された．

表-1　回答者属性等

項目	具体内容
年代	若年層[-39 歳]　：28.8%(32 人) 中年層[40-59 歳]：36.0%(40 人) 高年層[60 歳-]　：35.1%(39 人)
性別	男性：51.4%(57 人) 女性：48.6%(54 人)
歩行者の位置	道路鋲点滅開始時、走路を通行・滞在：　0.0%(　0 人) 道路鋲点滅開始後、走路に進入　　：　4.5%(　5 人) 道路鋲点滅前後ともに歩道に滞在　　：95.5%(106 人)
点滅理由の理解	道路鋲の点滅理由を理解していた　　：12.6%(14 人) 道路鋲の点滅理由を理解していなかった：87.4%(97 人)

図-8　歩道からのスマート道路鋲の見え方

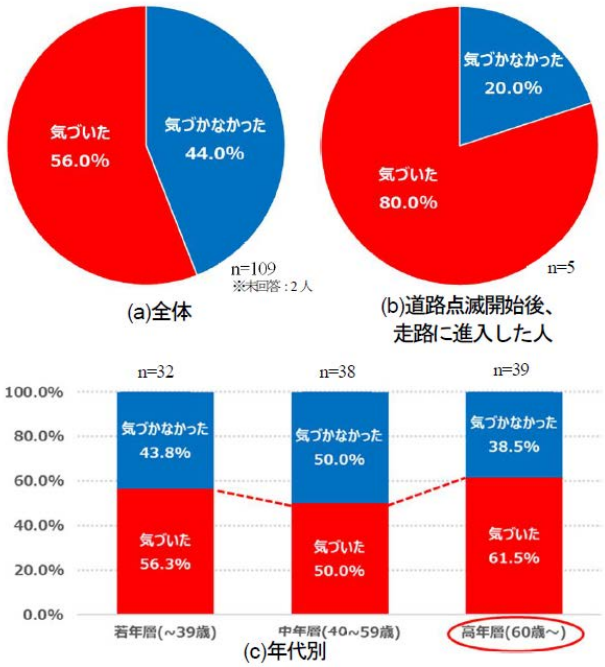


図-9　スマート道路鋲の点滅に気づいたか

表-2　道路鋲の点滅に気づかなかった理由

道路鋲の点滅に気づかなかった理由	割合(人数)
別のことに気を取られていた	54.2%(26 人)
周辺環境等により道路鋲が見えなかった	41.7%(20 人)
その他（自動運転車を見ていた）	4.2%(　2 人)

b)車両の接近に気づいたきっかけ

自動運転車両の接近に気づいたきっかけの多くが目視確認や周囲(関係者等)の動き，車両からの警告音であり，スマート道路鋲が車両の接近に気づくきっかけとなった人は3.6%(4人)とわずかであった(図-10(a))．なお，この4人のうち3人は，スマート道路鋲の点滅理由を理解していなかった．スマート道路鋲の点滅を見て，何か起こるのではないかと周辺を見回したことで車両の接近に気づいたと思われることから，点滅による視覚的な注意喚起は，周辺を確認する動作を促す効果があると考えられる．

なお，道路鋲点滅開始後，走路に進入した人に限定すると，スマート道路鋲がきっかけで車両の接近に気づいた人は40.0%(2人)であり(図-10(b))，全体(図-10(a))よりも割合が高い傾向がみられた．

c)車両接近時の注意喚起として分かりやすいか

スマート道路鋲の点滅による注意喚起の分かりやすさについて確認した．ここでは比較対象としてLED 表示板についてもあわせて調査した．回答結果を図-11に示す．スマート道路鋲は51.9%(57人)と半数以上の人が(とても)分かりやすいと回答した．一方，LED 表示板は45.4%(50人)であり，分かりやすいと回答した割合はスマート道路鋲の方が高い結果となった．

さらに，道路鋲点滅開始後に走路に進入した人に限定すると，スマート道路鋲が分かりやすいと回答した人の割合は80.0%(4人)であり，全体の結果よりも更に割合が高いことが分かる．

次に，年代別でみると，若年層はLED 表示板の方が分かりやすいと回答した割合が多いものの，中年層，高年層と年代が上がるに従い，スマート道路鋲の方が分かりやすいと回答する割合が多くなる傾向が確認できた．

これは，a)でも述べたように歩行時の視線の位置が少なからず影響しているものと考えられる．

(5) スマート道路鋲の効果的な発光パターン

スマート道路鋲の気づきやすい発光パターンについて確認した．なお，回答者が現地で確認した発光パターン以外も意見が聞けるよう図-7で示した4種類の発光パターンの動画とそれが視聴できるタブレットを用意し，最も気づきやすい発光パターンについて回答いただいた．回答結果を図-12に示す．

車両接近前の発光は「常時発光(青色)」よりも「発光無」の方が気づきやすいという回答の割合がやや高く56.4%であり，特に高年層ではこの傾向が強くみられた．

車両接近時の発光は「千鳥点滅」に比べ「流れ点滅」の方が気づきやすいという回答の割合が高い傾向がみられた．この傾向は，どの年代も共通であった．

スマート道路鋲の効果的な発光方法に関する回答者からの自由意見を表-3に整理した．黄色から赤色といった発光色の組み合わせや，パトランプのような回転式の点

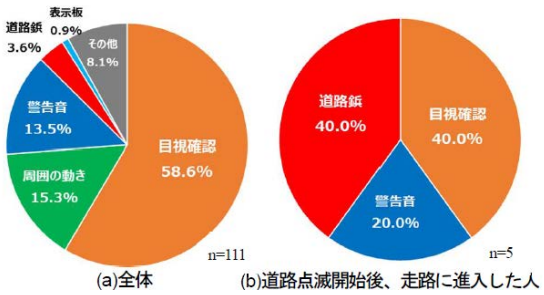


図-10　車両の接近に気づいたきっかけ

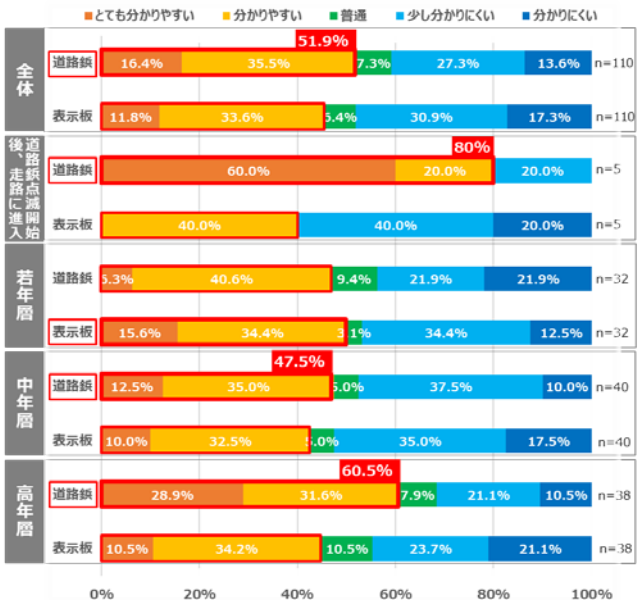


図-11　車両接近時の注意喚起として分かりやすいか

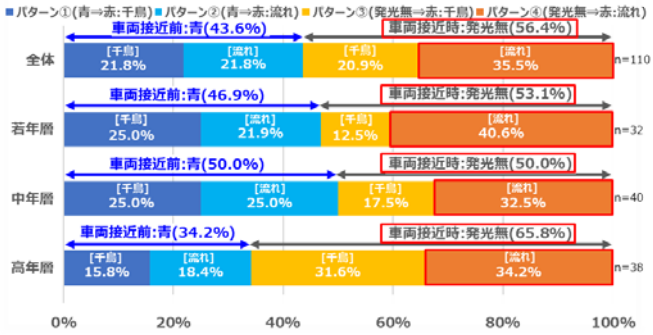


図-12　スマート道路鋲の効果的な発光パターン

表-3　スマート道路鋲の効果的な発光方法に関する主な自由意見

自由意見（スマート道路鋲の効果的な発光方法）
1) 発光パターンの提案
・黄(通常時)⇒赤(車両接近時)等の発光パターンが分かりやすい
・パトランプのような光らせ方が分かりやすい
2) 設置位置の提案
・設置数の増加や、走路の中央にも設置した方が分かりやすい

灯方法などの意見があがった．また，走路の両端ではなく走路の中央など設置位置に関する提案もあった．

5. まとめ

本稿では，歩行者とモビリティとが共存する広い道路空間において，モビリティを安全に通行させるための効果的な路側支援方法を検討し，道路空間の特徴をふまえ路面に埋設可能な道路鋲に着目した．そして，昼間などの明るい環境でも歩行者が認識可能な輝度を有し，かつ様々な発光色・発光パターンが表現可能なスマート道路鋲を開発したうえで，呉市で実施された社会実験にてその効果を検証した．

その結果，障害物のない見通しの良い状況下では昼間などの明るい環境であっても歩行者はスマート道路鋲の発光(点滅)に気づくこと，なかでも高年層のような歩行時の視線が低い人は特に気づきやすいことが確認できた．しかし，道路鋲は埋設物のため，機器周辺に物理的な障害物等があれば当然気づきにくくなる．また，他のことに集中していると点滅に気づきにくい等の課題がある．道路鋲の発光によって車両接近に気づく人は少なく，警告音で車両接近に気づく人が多かったことから，施策の周知が重要であることが示唆された．そのため，設置位置や周辺環境には十分配慮することが必要である．また，少ないサンプルであり今後更なる検証は必要であるものの，発光による視覚的な注意喚起は周辺を確認する動作を促す可能性も示唆された．このほか，車両接近前：発光無、車両接近時：流れ点滅という発光パターンが効果的である可能性を確認した．但し，発光色やパターンは設置環境や車両の走行方法によっても評価結果は変化すると考えられ，本知見を参考にしつつ現地の状況に応じて様々なパターンを試行し適切なものを選択することが望ましいと考える．

以上のように，スマート道路鋲には一定の注意喚起効果があることが確認されたものの，課題もあることが示された．より効果的に注意喚起を行うためには，スマート道路鋲の存在やシステムの概要を周知することはもちろん，警告音など他の注意喚起方法と適切に組み合わせることも必要である．また，本検証は自動運転車両が走行すること，事前周知を行っていたこと，歩道上に立ち止まって自動運転車を眺めている人が複数人いたこと，といった特殊な環境下で実施したこともあり，車両接近時に走路上に歩行者が存在せず行動変容を確認することができなかった．今後は条件を精査してさらなる検証を行い、行動変容に与える効果や，歩行者により気づいてもらいやすくするための効果的な手法を確認することが必要である．

本稿では，スマート道路鋲を歩車混在空間にてモビリティ等を安全に通行させるための注意喚起手段として提案したが，広場やターミナルデッキ上のような人が集まる賑わい空間では，設置したスマート道路鋲をイベント開催時のライトアップや災害時の避難誘導など，注意喚起以外の様々な場面でも，現地の状況に応じて有効な活用が期待できると考える．

謝辞：本稿の作成にあたり，関係者の皆様に多大なるご支援を賜った．ここに厚く御礼申し上げる．

参考文献

1)社会資本整備審議会道路分科会：道路・交通イノベーション，2017.
2)国道 31 号等 呉駅交通ターミナル整備事業計画，2021.
3) 鈴木一史，田中淳，泉典宏，金澤文彦：安全横断支援のためのLED 発光式道路鋲による横断歩行者注意喚起システムに関する検証，土木計画学研究・講演集，2012.

コンパクトプラスネットワークの実現に向けて
～歩きたくなる魅力的なまちづくり～

藤原　伶香[1]・高原　秀和[1]

[1]九州地方整備局　建政部　都市整備課　（〒812-0013 福岡県福岡市博多区博多駅東2-10-7）

多くの都市では，人口減少や少子高齢化，都市の拡大等により，都市の低密度化や空き家の増大等，多くの課題に直面している．本稿では，こうした課題の解決に向けた施策のひとつである「コンパクトプラスネットワーク」の考え方に基づいたまちづくりの必要性について概説し，同施策の一翼を担う「まちなかウォーカブル推進事業」の先行事例について，調査結果等を報告する．

キーワード　人口減少，高齢化，コンパクトプラスネットワーク，ウォーカブル

1. はじめに

我が国の都市はこれまで，人口増加や強い開発需要等を背景に，住宅数の増加や公共交通網の充実，車社会化，社会資本量の増大等，拡大の傾向にあった．

しかし現在では，人口の急激な減少や少子高齢化，住宅や店舗等の郊外における開発による都市の拡大等により，都市の低密度化（図-1）や空き家の増大，公共交通利用者の減少（図-2），社会資本の老朽化等の問題が顕在化する等，これまでの人口増加や強い開発需要を基本とした時代にみられた都市課題とは異なる課題に直面している．

このような人口減少時代においては，例えば医療・福祉・子育て支援・商業等の都市機能を都市の中心拠点や生活拠点に誘導し，同時にその周辺や公共交通の沿線に居住を誘導する等，生活サービスへのアクセスを確保しながら一定のエリアにおいて人口密度を維持することにより，生活サービスやコミュニティの持続性が高まることが期待される．また，地域公共交通のリ・デザインにより，住民ニーズに対応した効率的な交通ネットワークを構築することは，様々な都市機能の持続性や生活拠点の活性化の観点からも有効であると考えられる．

こうした考え方から，生活サービス機能や居住を集約・誘導し，人口を集積したコンパクトなまちづくりと，まちづくりに連携した公共交通ネットワークの再構築を目指す「コンパクトプラスネットワーク」という施策が，都市再生特別措置法の改正とともに掲げられた（図-3）．

また，都市の集約に留まらず，都市の魅力を最大限に引き出し，都市の核となるまちなかのゆとりと賑わいを取り戻し，居心地が良く歩きたくなるまちなかづくりを推進するため，令和２年度に「まちなかウォーカブル推進事業」が新たに創設された．次項では，このコンパクトプラスネットワークの取り組みを概説し，続けてまちなかウォーカブル推進事業の先行事例に関する調査結果等を自治体支援に用いるためにとりまとめた資料を紹介する．

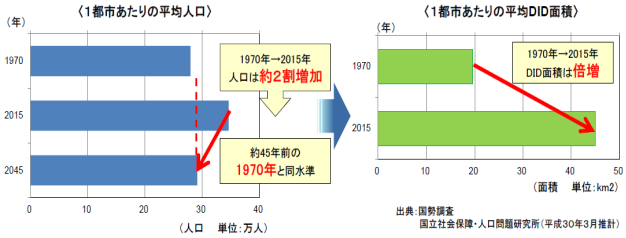


図-1　県庁所在地の人口，DID（人口集中地区）面積の推移[1)]
（三大都市圏及び政令指定都市を除く）

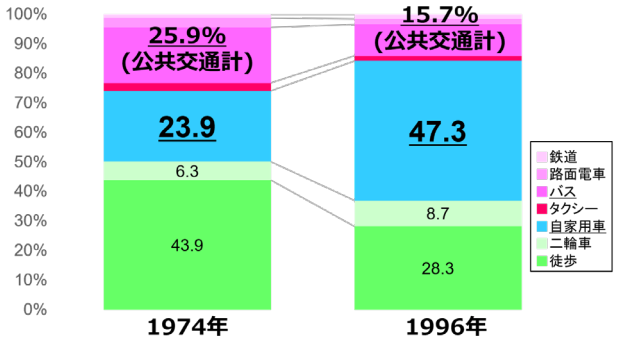


図-2　公共交通衰退のグラフ（九州管内の代表事例）[2)]

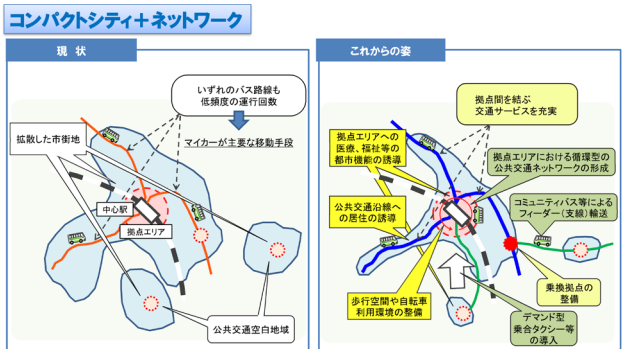
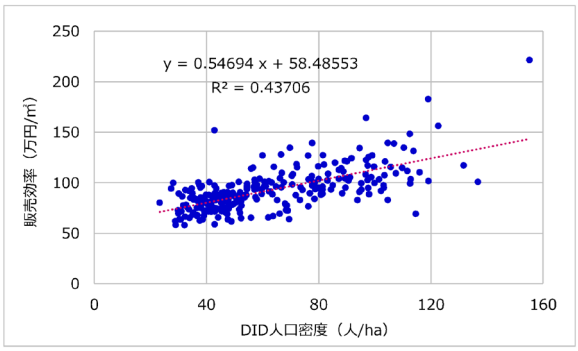
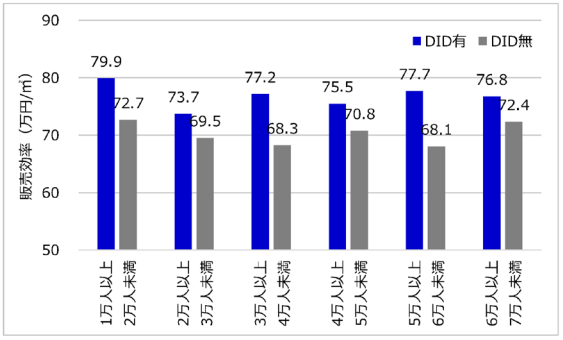


図-3　コンパクトプラスネットワークのイメージ図



○対象は、令和2年時点でDIDを有する人口10万人以上の都市（n=262）である。
○販売効率は、小売業の年間商品販売額を売場面積で除して算出している。
出典：令和2年国勢調査、令和3年経済センサス-活動調査

図-4　集積の効果[3)]
（DID人口密度と販売効率の関係性）



○対象は、令和2年時点で人口1万人以上7万人未満の都市（n=812）である。
※人口が1万人未満でDIDを有しているのは1都市のみであるため、1万人未満は対象としていない。また、DIDを有していない都市の最大人口規模が6万人台であることから、7万人未満の都市を対象としている。
○販売効率は、小売業の年間商品販売額を売場面積で除して算出している。
出典：令和2年国勢調査、令和3年経済センサス-活動調査

図-5　集積の効果[3)]
（小規模都市の販売効率とDIDの有無の関係性）

2. コンパクトプラスネットワークの取り組み

(1) コンパクトプラスネットワークの効果

都市のコンパクト化は，居住や都市機能の集約・集積による「密度の経済」の発揮を通じて，住民の生活利便性の維持・向上や，サービス産業の生産性向上による地域経済の活性化，行政サービスの効率化等による行政コストの削減などの具体的な行政目的を実現するための有効な理念である．

コンパクトプラスネットワークによるまちづくりは，以下のような効果が期待される．

a)　生活利便性の維持・向上等
- 生活サービス機能の維持・アクセス確保などの利用環境の向上
- 高齢者の外出機会の増加，住民の健康増進

b)　地域経済の活性化
- サービス産業の生産性向上，投資誘発
- 外出機会や滞在時間の増加による消費拡大

c)　行政コストの削減と固定資産税の維持等
- 行政サービス，インフラ維持管理の効率化
- 地価の維持・固定資産税収の確保
- 健康増進による社会保障費の抑制

d)　地球環境への負荷の低減
- エネルギーの効率的利用
- CO2排出量の削減

e)　居住地の安全性強化
- 災害リスクを踏まえた居住誘導，対策の実施

(2) コンパクトプラスネットワークの推進

コンパクトなまちづくりを進めるためには，都市再生特別措置法及び地域交通活性化再生法に基づき，都市全体の構造を俯瞰しながら，居住機能や医療・福祉・商業等の都市機能の誘導と，これと連携した，公共交通の改善と地域の輸送資源の総動員による持続可能な移動手段の確保・充実の推進が必要である．

国土交通省では，必要な機能の誘導・集約に向けた市町村の取り組みを推進するため，市町村や都道府県が行う計画策定や，事業に活用できる支援措置を行っている．

a)　コンパクトシティの形成に関連する支援施策

まちなかへの都市機能の誘導や市街地整備を促進するため，立地適正化計画などの計画策定に関する支援や，都市構造再編集中支援事業やまちなかウォーカブル推進事業，都市再生区画整理事業，市街地再開発事業など，様々な事業を実施する自治体に対して支援を行っている．

b)　ネットワーク強化の支援

都市の拠点へのアクセスや拠点間のアクセスを確保するため，地域公共交通網形成計画などの計画策定に関する支援や，都市・地域交通戦略推進事業や街路事業などの事業実施に関する支援，さらに，まちづくりと連携した駐車場施策ガイドラインなどの制度など様々な視点から支援を行っている．

c)　防災との連携

近年，自然災害が頻発・激甚化しており，災害リスクを踏まえた災害に強いまちづくりの重要性が高まっており，災害に強いまちづくりと都市のコンパクト化を併せて進めることが重要である．防災性の向上を図る都市防災総合推進事業や，地震時の宅地被害軽減を図る宅地耐震推進事業など，災害に強いまちづくりに寄与する事業を実施する自治体に対して支援を行っている．

3.　まちなかウォーカブル推進事業に関する全国事例調査

(1)　まちなかウォーカブル推進事業

コンパクトプラスネットワーク推進のための様々な支援策のひとつとして，まちなかウォーカブル推進事業（以下「本事業」という．）が挙げられる．

令和２年度に創設されたまちなかウォーカブル推進事業（再掲）は，車中心から人中心の都市へ転換を目指し，まちなかの歩いて移動できる範囲において，滞在の快適性向上を目的として市町村や民間事業者等が行う，道路・公園・広場等の整備や修復・利活用，滞在環境の向上に資する取り組みを重点的・一体的に支援し，「居心地が良く歩きたくなる」まちなかづくりを推進する事業である．

図-6　ウォーカブルなパブリック空間のイメージ図

(2)　事例調査の概要

a)　本調査の目的

本事業の創設を背景に，街路空間を車中心から人中心の空間へと再構築し，沿道と路上を一体的に使って，人々が集い憩い多様な活動を繰り広げられる場へとしていく取組が進められている．一方で，本事業は制度創設から日が浅く，九州管内の自治体においては，完了した事例が多くないのが現状である．本調査は，国内の先進事例の情報収集を行い，その内容を整理し，本事業の九州管内における更なる活用促進を目的に行うものである．

b)　調査の方法

国土交通省の指定する「ウォーカブル推進都市」（調査時の令和５年１２月末時点で３６１都市）のうち，滞在快適性向上区域を持つ１０１都市から，２３都市を選出し，各HP等より得られる情報を用いた机上調査(ｲ)と現地調査(ﾛ)を行った．

なお，(ｲ)は以下の基準（表-1）で選出し，(ﾛ)は(ｲ)の都市から５都市を下表（表-2）により選出した．

表-1　机上調査先選出基準

・都市再生特別措置法第４６条第１項に基づく都市再生整備計画において「まちなかウォーカブル推進事業」を活用した取り組みがある．
・官民連携あるいは民間主体でまちなかウォーカブル推進事業を取り組んでいる．
・公共交通沿線，駅前，道路，水辺，公園などバリエーション豊富な取り組みを有する．
・大都市に偏らないよう規模のバランスを考慮．

表-2　現地調査先選出時のポイント

事業主体	ポイント
茨城県境町	・自動運転バスの導入が日本初 ・多くの地方都市が抱える課題との類似性が高い
熊本県熊本市	・道路空間の再配分に続く中心市街地への賑わい波及の取組 ・九州管内の事例
和歌山県和歌山市	・複数※の都市再生推進法人による民間主体の取組（Park-PFI，ﾘﾉﾍﾞｰｼｮﾝｽｸｰﾙ）　※指定団体数は国内トップの１３団体
兵庫県神戸市	・日本初のパークレット(道路上の余剰空間における休憩スペース)の整備
愛媛県松山市	・交通結節機能強化の取組（市内電車と郊外電車の近接化）

4. 事例集（自治体支援ツール）

調査の結果は，各自治体の取組の概要，取組の詳細，現在の状況の３項目に仕分けした個票（表-3）に加え，自治体担当者が効率的に事例検索できるよう，自治体名，取組特徴のほか，テーマ（７分野），都市類型，人口，国交省の表彰実績の有無を一覧表に整理した．

表-3　個票の内容

項目	記載事項
取組の概要	人口，行政区域面積，都市計画区域面積，都市計画等の状況（区域区分・立地適正化計画・防災指針の有無），ウォーカブル計画，関連する計画，取組の概要，整備概要
取組の詳細	取組の目的，滞在快適性等向上区域の箇所，指標・目標，事業内容，主な関連事業
現在の状況	事業計画における現在の進捗状況

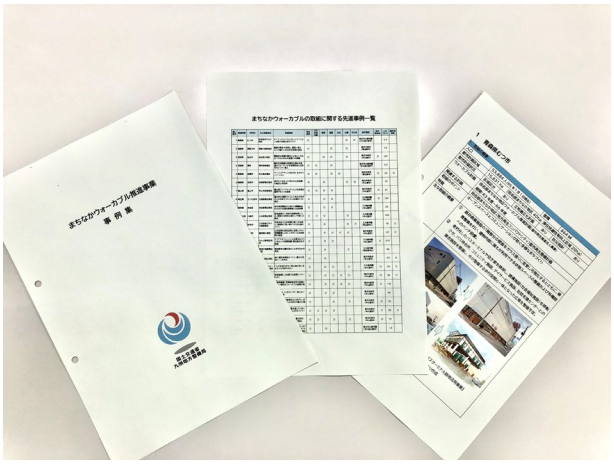


写真-1　まちなかウォーカブル推進事業事例集より

5. 事例紹介

とりまとめた事例集より、現地調査を行った５自治体のうち、２自治体の一部を以下に紹介する．

(1) 茨城県境町

同町では、観光交流の拠点である道の駅の周辺に，近年，著名な建築家が設計したレストランや美術館，カフェなどの施設が相次いでオープンし，観光人口の増加に寄与している一方，各観光交流施設の連動性には課題があり，十分に回遊できる環境が整っていなかった．そこで，まちなかウォーカブル事業を活用し，各観光交流施設を結ぶ道路の歩道拡幅と新たなモビリティである自動運転バスの社会実験を行っている．

a)　取組の詳細

・歩道拡幅と案内誘導線の設置

国道沿いは商店街となっており，道路の境界近くに商店や電柱が建ち並び，歩道を整備するには膨大な時間と経費が掛かることが予想された．そこで現道のまま歩行空間を創出することができないか他自治体の事例などを参考に検討し，片側1車線対面通行道路(国道354号)の中央線を廃止して車道幅員を減少させる一方、片側の路側帯を拡幅し歩行空間を創出している．

また，拡幅後の路側帯には，周遊ルートを安心して移動できるよう，案内誘導線と，各施設までの距離を記した誘導案内シートを５０ｍごとに設置している．

・自動運転バスの導入

地域住民の生活交通と来訪者の交通手段を確保するため，自動運転バス導入に向けた社会実験を実施し，これを経て令和２年１１月には，全国初となる公道での定常運行を開始した（令和６年１月現在町内循環ルートと高速バス連結の２ルート）．これにより，各観光交流施設へのアクセス性を高めているほか，自動運転バスが最高時速２０㎞で公道を走行することにより，一般車の走行スピードが抑制され，安全な歩行環境の実現にも寄与している．

b)　現在の状況

本事業は令和元年度より取り組んでおり、残る一部歩道整備，ポケットパーク整備，情報板設置，照明設置を今年度に終え事業完了予定としている．

（得られた知見）

・自動運転バスのバス停用地確保における一部住民との調整や、歩道拡幅における道路沿線の住民全員からの同意に加え，道路管理者，県警，バス事業者との協議等、多くの関係者の協力により実現した．

・観光交流の拠点である道の駅さかいを運営するさかいまちづくり公社と連携し，周辺の観光施設への誘導に取り組んでいる（スタンプラリー等）．

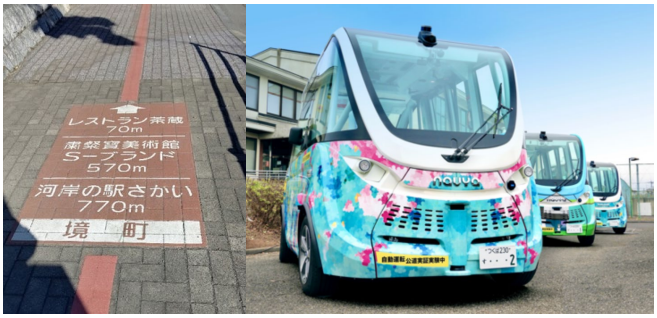


写真-2　　誘導案内シートと自動運転バス[4)]

(2) 熊本県熊本市

同市の中心市街地は，熊本県の象徴である熊本城や商業・業務機能，城下町の風情，陸の玄関口である熊本駅を有する「熊本の顔」であるとともに，本市を含む１９の市町村で構成する熊本連携中枢都市圏においても，圏域全体の経済成長をけん引する役割を担う重要なエリアである．

その一部である「桜町・花畑地区」においては，道路空間の再配分による歩行空間の拡充や，道路の美装化，魅力的な夜間景観の形成，屋外広告物の適正化に加え，民間による公共空間の利活用等を促進させる取り組みを行っている。

a)　取り組みの詳細

・花畑広場の整備

花畑広場は，老朽化により閉館した市公共文化施設等の跡地と，この地区を南北に縦断する市道（幅２７m，延長２２０m），さらに隣接する花畑公園・辛島公園を併せた愛称であり，基本構想の中で，この市道を，「車」中心から「人」中心へ転換する考えのもと，「人が主役のシンボルプロムナード」と位置付け，全面的な歩行者空間とすることとし，平成２７年に市道を廃止した.

こうした道路空間の再配分による歩行空間の拡充や，民間による公共空間の利活用等を促進させる取り組みを行うことにより，誰もが安心して訪れることができる居心地の良い人中心の公共空間整備を進め，回遊性向上及び賑わいの創出を図っている.

・辛島公園北側道路歩行者空間化

歴史ある東口と近年発展した西口，繁華街と静謐な杜や参道，大型商業施設や商店街など，大宮のまちの多様な魅力を感じながら快適に歩けるよう，歩道の整備・道路美装化を通じた，歩行者の回遊性を高める街路空間の整備・高質化の取り組みを進めている.

・まちなか再生プロジェクト（建替え等による賑わい創出事業）

良好な景観形成と防災機能強化のためのオープンスペースの確保及び建築物の建て替えの促進を図る．建築物の建替え等を促進することにより，まちの活力や賑わいの創出を図っている．（具体的な施策は以下のとおり）

①　防災機能等に着目した容積率の割増し
②　高さ基準の特例承認
③　建築物等に対する財政支援制度の創設

b)　現在の状況

今後，花畑広場を回遊の拠点として，人の流れを中心市街地全体に波及させるために，歩行者利便増進道路（ほこみち）制度の導入推進や，建替促進に伴う公開空地や歩行空間の創出，魅力ある夜間空間の魅力向上など，歩行者中心のまちづくりへシフトするウォーカブルの取り組みを行い，昼も夜も歩いて楽しいまちづくりを推進している.

また，多様な移動手段を提供し，中心市街地での回遊性向上や賑わい創出による「歩いて楽しめるまちづくり」の実現のため，グリーンスローモビリティ実証実験に取り組んでいる.

（得られた知見）

・整備した広場や歩行空間でのイベント等の際は，店舗の場所によっては売上の減少や物品管理の煩雑さ等が発生する場合がある．商店街関係者との合意形成が肝要である.

・花畑広場の利活用においては，持続的な賑わい創出のために、屋外空間に新たな価値を生み出すプロデューサーとなる人材の育成が必要である（くまもと広場ニスト育成スクールを開催）.

写真-3　花畑広場の状況[5)]

6.　おわりに

今回，「コンパクトプラスネットワーク」の考え方の下で全国の様々な地域において取り組まれているまちなかウォーカブル推進事業の事例について情報収集を行ったが，どの事例でも地域らしさや魅力を活かしつつ，賑わいが創出されるよう工夫した，各地域の課題に合わせたハード整備・ソフト事業が行われていた．また，持続的なにぎわい創出実現のためには，自治体が地元住民や関係者との綿密なコミュニケーションを図るとともに，民間事業者との連携も重要であることを再認識した.

当課では，本調査で得られた知見を踏まえつつ，それぞれの地域の特性を十分考慮したうえで，様々な支援措置等も活用し，九州管内の自治体による持続可能なまちづくりの取り組みを支援してまいりたい.

参考文献

1)　国立社会保障・人口問題研究所：国勢調査（平成 30 年 3 月推計）
2)　長崎市：長崎市地域公共交通計画（R3.8）
3)　国土交通省都市局都市計画課：立地適正化計画の手引き【資料編】（令和６年４月改訂）
4)　境町町政情報：境町で自動運転バスを定常運行しています【自治体初！】
https://www.town.ibaraki-sakai.lg.jp/page/page002440.html
5)　熊本市都市建設局都市政策部市街地整備課：くまもと広場ニストについて
https://www.city.kumamoto.jp/hpKiji/pub/detail.aspx?c_id=5&id=54681&class_set_id=2&class_id=125

国道357号多摩川トンネル浮島立坑工事のニューマチックケーソンの施工に向けた事前置換工法の導入

鹿間　美咲

川崎国道事務所　工務課　（〒213-8577 神奈川県川崎市高津区梶ヶ谷2-3-3）

国道357号多摩川トンネルは，首都高速湾岸線と並走する外径約16mのシールドトンネルである．現在，羽田地区や浮島地区にて立坑を施工しているが，首都高との近接により施工条件が厳しいことや事前調査結果から地中障害物を確認し，施工の支障となることが判明している．

これらの対策として，φ2,000大深度オールケーシングによる置換工法を導入した．その施工にあたって，ケーシング長が陸上部においてこれまでに経験のない長さであり，周面摩擦が高くなることから，ある一定の深さから径の異なるケーシングを使用すると周面摩擦が減少する．その結果，置換杭の施工に成功し，立坑の施工のための次のステップに進めた．

キーワード　置換杭工法，大深度オールケーシング，地中障害物，軟弱地盤，近接施工対策

1.　はじめに

(1) 国道357号多摩川トンネルの事業概要

国道357号東京湾岸道路は，千葉県・東京都・神奈川県を結ぶ延長約80kmの海岸沿いに伸びる埋立地を利用した道路である．臨海部に面する各都市を結び，空港や港湾等の物流拠点やオフィス・レジャー施設へのアクセスの向上等の様々な都市機能の効率的な交流と連携を図ることを目的としている．

東京湾岸道路の東京都と神奈川県を結ぶ区間において，羽田空港（東京都大田区）と浮島（神奈川県川崎市川崎区）間を一般道で往来する道路が未整備である．一方，国道357号に並走する主要幹線道路（産業道路や国道1号，国道15号）の多摩川の渡河部では，渋滞が慢性化している．そこで，羽田空港周辺地域および京浜臨海部のアクセス性の向上や拠点間の連携強化のため，多摩川トンネルの整備を進めている．

国道357号多摩川トンネルは，延長が3.4kmで，そのうち2.7kmがシールドマシンにて掘削する計画となっている（**図-1**参照）．掘削で使用するシールドは外径約16mの大きさで，暫定的に片側対面2車線の構造である．現在は，シールドマシン掘進のために，浮島側で発進立坑（以下，「浮島立坑」とする．），羽田側で到達立坑（以下，「羽田立坑」とする．）の工事を進めている．

(2) 国道357号多摩川トンネル浮島立坑工事の概要

本項では，浮島立坑の工事概要に関して詳説する．本工事の工事概要を**表-1**に示す．本工事は，神奈川県の浮島町地先にて，トンネルの発進立坑を施工するものである．浮島立坑の大きさを**図-2**に示す．幅は，シールド発進スペース（18.2m），昇降路（5.7m）および内空壁（1.0m）の和である内壁の長さ（24.9m）と躯体厚（3.5m × 2＝7.0m）とを加算した31.9mとしている．長さは，非常駐車帯（30.0m）と躯帯厚（3.5m × 2＝7.0m）とを加算させた37.0mとしている．高さは，吊桁全高である11.2m，底版をシールドより1.3mおよび土被り1D以上から設定し48.4mとしている．

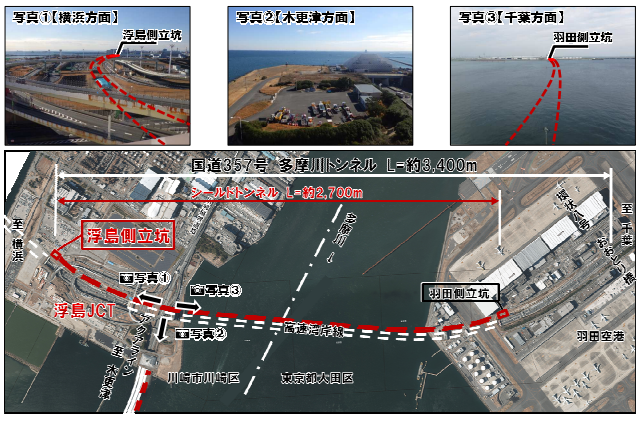


図-1　多摩川トンネルの全体図

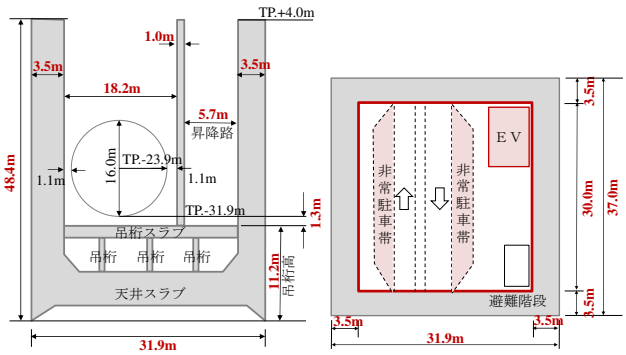
また，本体工着手前のボーリング調査および地中障害物探査の結果より，施工箇所は，軟弱地盤であることを確認している．そのため，軟弱地盤である場合の立坑工事を安全に施工するための工法を比較検討した（**表-2**参照）．本工事の立坑の施工方法では，オープン掘削工法（以下，「開削工法」とする．）およびニューマチックケーソン工法が候補に挙がった．開削工法は，土留めをして，支保工をかけながら掘削する工法であり，ニューマチックケーソン工法は，コンクリートで作られた函の中に空気を送り地下水の流入を防ぎながら掘削する工法である．開削工法は，開削範囲が軟弱であり，土留め時に変位が生じることや掘削範囲が大きく近接構造物との離隔（約2.0m）は少ないため不利である（**図-3**参照）．一方，ニューマチックケーソン工法は，掘削範囲が小さく近接構造物との離隔（約4.0m）が確保できるため変状影響は少ない．そのため，本工事では，ニューマチックケーソン工法を採用した．

表-1　工事概要

工事名	国道357号多摩川トンネル浮島立坑工事
施工場所	神奈川県川崎市川崎区浮島町地先
発注者	国土交通省関東地方整備局
受注者	五洋建設株式会社
主な工事内容	トンネル発進立坑　　1基 立坑：幅31.9m、長さ37.0m、高さ48.4m （ニューマチックケーソン工法） 地盤改良工（置換杭工）　1式 仮設工　　1式

3.　置換工法の導入の背景

本章では，国道357号多摩川トンネル浮島立坑工事にて，当初施工内容に含まれていなかった置換工法を導入した背景に関して詳説する．本体工着手前のボーリング調査および地中障害物探査にて，T.P -33mm付近までコンクリート・アスファルト殻，鋼管矢板および松杭等の地中障害物が確認された（**図-4**参照）．これらの地中障害物は，立坑沈設時に支障となり立坑の安定性を損なう可能性が大きいほか，立坑沈設時に撤去した場合，周辺



(a) 断面図　　(b) 平面図

図-2　浮島立坑の断面図及び平面図

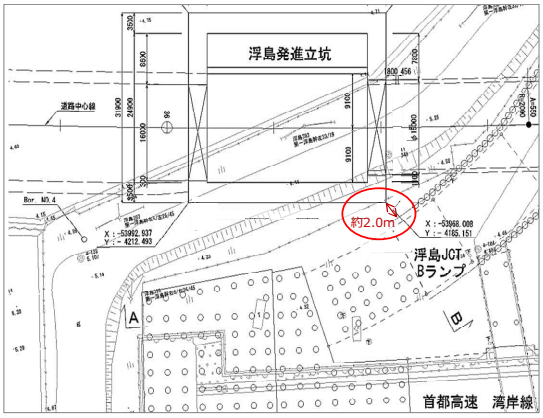
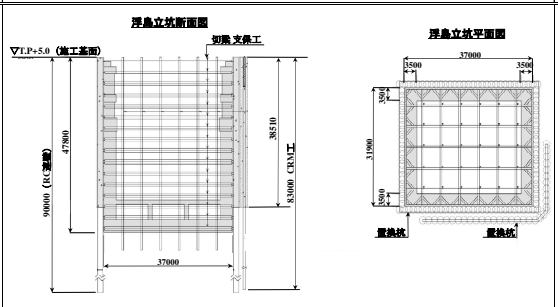
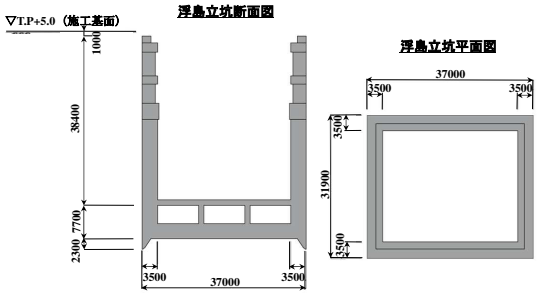


図-3　浮島立坑と近接する首都高構造物との離隔

表-2　立坑の施工比較

項目	開削工法	ニューマチックケーソン工法
施工断面図		
近接影響 （首都高速）	1．近接構造物への影響（地盤変位）の主要因 ・掘削時の土留め変位 ・掘削範囲は軟弱地盤（埋土層，沖積層） ⇒ニューマチックケーソン工法と比較して周辺への変状影響は大きい傾向となる 2．ニューマチックケーソン工法と比較して掘削範囲が大きい ・近接構造物との離隔（約2.0m）が少ない ⇒変状影響は不利となる	1．近接構造物への影響（地盤変位）の主要因） ・沈設時引込 ⇒開削工法と比較して周辺への変状影響は小さい傾向となる 2．開削工法と比較して掘削範囲が小さくできる ・近接構造物との離隔（約4.0m）が確保できる ⇒変状影響は優位になる
	△（右工法に比べて大きい）	○（少ない）

地盤に緩みが生じる恐れがある．そこで，本工事では，ケーシングを回転して押し込みながら掘削するケーシング回転掘削工法（全周回転式オールケーシング工法）による置換工法にて置換杭を施工する（図-5参照）．置換工法は，軟弱地盤の全部または一部を砂や砕石，無筋コンクリート等に置き換える工法である．本工事では，置換工法で使用する材料として，砕石，無筋コンクリートを選定した．地表からケーソンの刃口部までを砕石にすることで，ケーソンが沈下しやすくなる．また，ケーソンの刃口部から下を無筋コンクリートで置換することで，軟弱地盤でも躯体の自重を耐えられる．さらに，これらの置換杭を施工することにより，再度，近接する首都高構造物へ影響検討（FEM解析）した結果，立坑施工時に首都高構造物の変位量が許容値を満足しないことが判明した．そのため，変位対策として，中杭部に地表からケーソン底部までを流動化処理土，ケーソン底部から下を無筋コンクリートで置換する．ここで，流動化処理土は，立坑を安定して沈下させるために選定している．

本工事にて施工する置換杭の配置図を図-6および図-7に示す．本工事では，外杭128本，内杭40本の総数168本で4種類の置換杭を施工している．ケーシングの径は，本体工着手前の調査結果より，支障物の大きさが1,000mm程度であったことや引抜き時の摩擦に対する検討結果から，φ2,000mmおよびφ2,500mmを選定した．均一な層でケーソンを着底させる必要があるため，置換杭は以下の4通りで配置した．

●置換杭(1)　【外杭】
　砕石置換（φ2,000，L=38.51m）　60本
●置換杭(2)　【外杭】
　砕石置換（φ2,500，L=53.45m）　42本
●置換杭(3)　【外杭】
　砕石置換（φ2,500，L=51.40m）
　無筋コンクリート置換（φ2,000，L=29.60m）
　　合計　81.00m　26本
●置換杭(4)　【中杭】
　流動化処理土置換（φ2,500，L=51.40m）
　無筋コンクリート置換（φ2,000，L=29.60m）
　　合計　81.00m　40本

図-4　浮島立坑施工箇所で確認された地中障害物

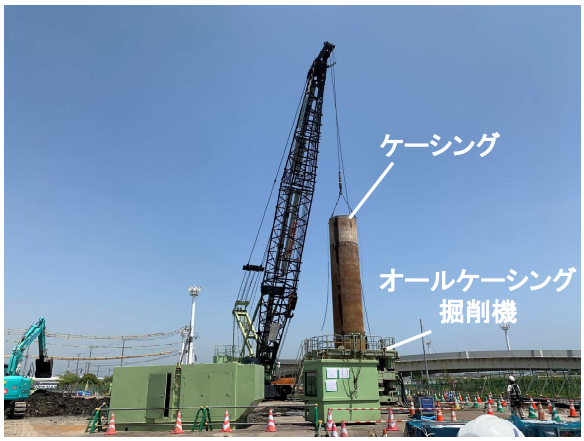


図-5　置換杭工の施工状況

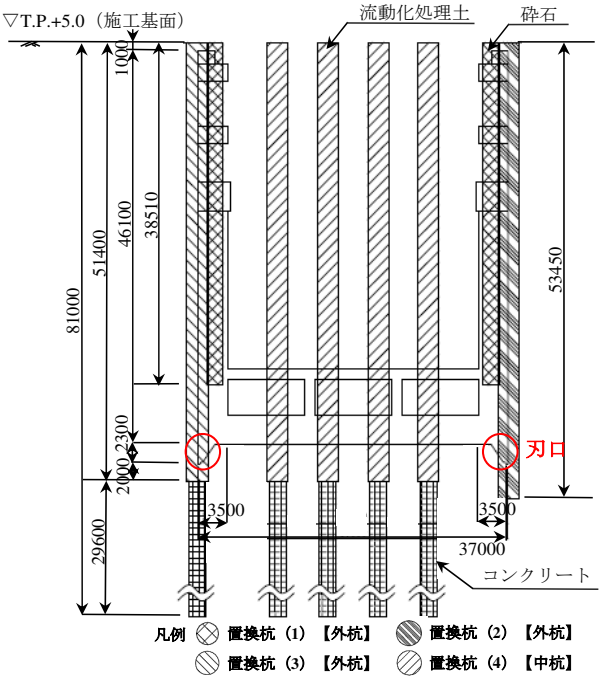


図-6　浮島立坑の置換杭の断面図

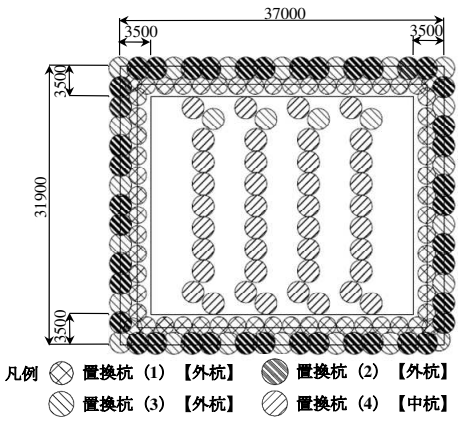


図-7　浮島立坑の置換杭の平面図

本工事の置換杭(3)および置換杭(4)の杭長は81.00mとなっており，陸上部における φ2,000以上の過去実績である約70m（スーパートップ協会）を上回り最長となっている．そのため，施工実績がある協力業者がいないことや施工箇所が埋立地であるため，周面摩擦により引抜きがしづらいことが挙げられる．そこで，本工事では，異径ケーシングである φ2,500の杭を先行圧入することにより，引抜きが可能となると判断した．本工事の置換杭(3)および置換杭(4)の施工手順を**図-8**に示す．置換杭(3)では，まず，オールケーシング掘削機を設置し，地中障害物の撤去および周面摩擦を減少させるために，φ2,500のケーシングで30.00m掘削する．次に，φ2,500のケーシングを抜かずに発生土を埋戻し，φ2,500のケーシングの中をφ2,000のケーシングで81.00m掘削する．そして，コンクリートの打設部である箇所までケーシングを引抜き，29.60mコンクリートを打設する．さらに，21.40mは発生土を埋戻し，φ2000のケーシングを引抜いた後，φ2,500のケーシングで51.40mまで掘削する．最後に，掘削した箇所を砕石で置換えて，φ2,500のケーシングを引抜く．なお，置換杭(4)については，φ2,500の砕石置換えの箇所が流動化処理土となる．また，この手順により置換杭を1本施工するのに昼間施工で約14日かかる．

4. 置換工法の導入による結果

本章では，前章の置換工法を採用したことによる結果を詳説する．置換杭工の進捗を**表-3**に示す．表より，全体168本のうち，168本（約100%）の施工が完了している．ケーシングの引抜きにおいて，増大する周面摩擦が課題となっていたが，異径ケーシング（φ2,500，30.00m）を先行で圧入することにより，周面摩擦を減少させ引抜きが可能となった．

また，施工箇所は1m間で何mm傾斜しているかを測定できる傾斜測定器によって鉛直精度管理している．本施工の許容誤差は，出来形管理基準及び規格値[1]により，φ2,000のとき10mmとなる．鉛直測定器は，φ2,500の掘削完了時およびφ2,000の掘削完了時にて測定している．測定の結果，φ2,500およびφ2,000ともに，x軸方向は最大3mm，y軸方向は最大4mmの誤差が生じた．これは，許容誤差内となっているため，陸上部において，初めてφ2,000以上の置換杭81.00mの施工に成功した．

5. おわりに

本工事では，事前の調査結果にて，地中障害物を確認したが，異径ケーシング（φ2,500，30.00m）を先行で圧入することにより，周面摩擦が減少し引抜きが可能となった．また，鉛直精度も出来形基準内に収めることができ，陸上部において，初めてφ2,000以上の置換杭81.00mの施工に成功した．今後は，支障物を取り除けたため，立坑の施工のための次のステップに進む．

謝辞：五洋建設株式会社の関係者各位には，施工にあたって貴重なご意見および施工実績の資料提供を賜った．ここに記して感謝の意を表す．

参考文献

1) 国土交通省：出来形管理基準及び規格値（案），I-20，<https://www.mlit.go.jp/tec/sekisan/sekou/pdf/300327kouji_sekoukanrikijun01.pdf>，（入手 2024.10.29）．

表-3　置換杭の施工進捗状況

置換工進捗表		首都高影響範囲	首都高影響範囲外	合計
置換(1) φ2,000（38.51m）砕石置換	昼間施工		43本 / 43本	43本 / 43本
	昼間夜間施工	15本 / 15本	2本 / 2本	17本 / 17本
	計	15本 / 15本	45本 / 45本	60本 / 60本
置換杭(2) φ2,500（53.45m）砕石置換	昼間施工		15本 / 15本	15本 / 15本
	昼間夜間施工	12本 / 12本	15本 / 15本	27本 / 27本
	計	12本 / 12本	30本 / 30本	42本 / 42本
置換杭(3) φ2,500（51.40m）砕石置換	昼間施工		6本 / 6本	6本 / 6本
	昼間夜間施工	6本 / 6本	14本 / 14本	20本 / 20本
φ2,000（29.60m）コンクリート置換	計	6本 / 6本	20本 / 20本	26本 / 26本
置換杭(4) φ2,500（51.40m）流動化処理土置換	昼間施工			
	昼間夜間施工	11本 / 11本	29本 / 29本	40本 / 40本
φ2,000（29.60m）コンクリート置換	計	11本 / 11本	29本 / 29本	40本 / 40本
合計		44本 / 44本	124本 / 124本	168本 / 168本 （約100%）

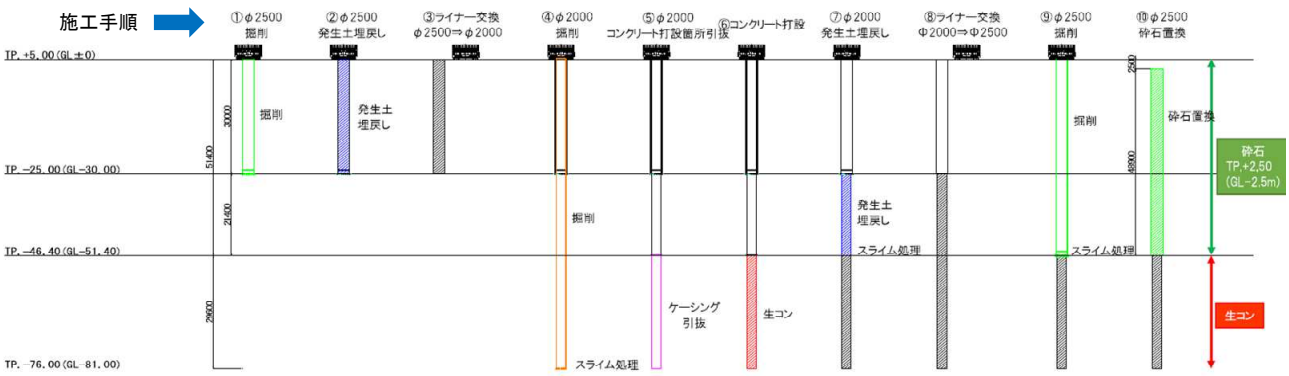


図-8　浮島立坑の置換杭81.00mの施工手順

洋上風力発電基地港湾整備における港湾工事の課題解決事例について

今泉　孔佑

関東地方整備局　鹿島港湾・空港整備事務所　第一工務課

（〒314-0021　茨城県鹿嶋市栗生2254）

現在2050年カーボンニュートラルの実現に向け，再生可能エネルギーが注目される中，洋上風力発電の設置に利用される基地港湾の整備が全国で進められている．その一つである鹿島港における基地港湾の整備事業では，岸壁整備を新技術である疑似重力式（地盤を固化処理する工法）を用いて実施した．しかし地盤改良杭の高止まりが発生し，設計深度までの地盤改良が不能となった．そこで高圧噴射攪拌にて未改良部を打ち継ぎ造成することで所定の地耐力確保に成功した．

本稿では，前例が少ない疑似重力式の岸壁整備における地盤改良工事で発生した課題の解決事例を報告する．

キーワード　基地港湾，疑似重力式，地盤改良工事，高止まり

1.　はじめに

近年，我が国ではカーボンニュートラルが重要な課題として位置づけられ，持続可能な社会資本の整備が全国で進められている．鹿島港湾においても，再生可能エネルギーの普及の一つである洋上風力発電の導入促進に向けた取り組みを行っている．

洋上風力発電とは海上に風車を設置し発電を行うことであり，陸上風力発電に比べて輸送・設置の制約が少ないことから欧州を中心に導入が拡大している．　日本においても普及促進に向けた整備が行われており，鹿島港沖では約680haを対象に，大型の風車19基を設置し年間約16万kW（7万世帯分の年間消費量に相当）を行うプロジェクトが計画されている．そして本稿で紹介する海洋再生可能エネルギー発電設備等拠点港湾（以下基地港湾という）は洋上風力発電の整備事業の一環である．

基地港湾とは洋上風力発電設備の設置及び維持管理に利用される港湾のことであり，現在（2024年10月時点）全国で7港が基地港湾に指定されている．

自身が現場管理を担当する鹿島港も2020年9月に基地港湾に指定されており，2024年10月にかけて工事が行われた．

本稿では基地港湾の整備に際し行った地盤改良工事の概要と施工中発生した課題について示すとともに，課題解決の成果を報告する．

2.　工事概要

(1)　概要

図-1は本港で行った地盤改良工事の概況である．風車部材を取り扱うタワー載荷部側と軽量な部材を取り扱うタワー非載荷部側に分けられ，タワー載荷部側は巨大な資機材の荷重が作用することから，通常の岸壁が約20kN/㎡程度であるのに対し約200kN/㎡と通常の港湾施設の約10倍の地耐力を必要とする．

本稿では施工中に課題が発生したタワー載荷部側の地盤改良工事について報告する．

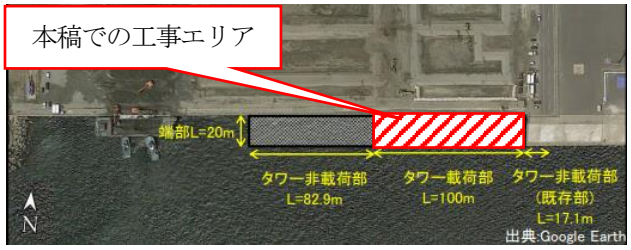


図-1　概況図

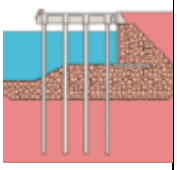
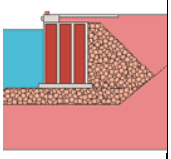
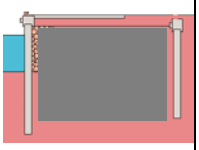
(2)　設計

表1は工法の比較検討結果である．前述のとおり200kN/㎡の地耐力を有することが可能な以下3つが候補として選定され，費用，施工期間，品質全てにおいて疑似重力式が優れた．

また桟橋式は強大な荷重に対応するため大口径の杭を支持層へ30～40m根入れする必要があるものの対応する施工機が日本にあまりないこと，重力式はケーソンの底面反力が高いため，底版厚を通常よりも厚くする必要があり製作・運搬時に必要喫水が確保できない恐れがあることなど施工が困難であった．

対して疑似重力式は新技術のため前例が少ないものの，地盤改良機の調達に問題が無いこと，主に陸上工事となるため海象の影響を受けにくいことなどが優れていた．

表-1　工法比較検討結果

	桟橋式	重力式	疑似重力式
概要	桟橋を設ける 	ケーソンを設置 	矢板を打設し背後を地盤改良 
費用	3728 百 万 円 ×	2360 百 万 円 ×	2260百万円 ○
期間	2 年 0 ヶ 月 ×	2年0ヶ月 ×	1年11ヶ月 ○
品質	問題なし ○	底面反力が高い ×	問題なし ○

(3)　施工計画

a)　疑似重力式について

本工事で採用した疑似重力式とは，打設した矢板の陸側背後を土砂で埋立て後に固化処理工法により地盤改良し，所要の強度や形状を有した固化改良体を形成することで，重力式構造物相当の本体工とする構造形式である（図-2）．

コンクリートの塊を形成するため，自重によって地震や土圧などの外力に対して抵抗をするのが特徴である．

b)　地盤改良概要

地盤改良工事はスラリー攪拌（地盤中にセメント系固化材を攪拌翼で円柱状に混合する工法）にて改良し，地盤の支持層（DL－14.6m）まで改良を行うこととした．

Ds層（硬質地盤）を一部地盤改良する必要があるため硬質地盤対応の地盤改良工法を選定する必要があったが施工性に問題は無かった．

3.　改良杭の高止まりについて

(1)　高止まりの発生

本工事において発生した予期せぬ課題が，改良杭の高止まり（所定の改良深度に満たない）である．

設計深度DL-14.6mに対し，DL-8.2～-13.1mの範囲において地盤改良機のロッドが挿入出来ず，計画662本のうち146本において高止まりが発生した．そこで調査ボーリングを実施したところ高止まりの原因は地中の転石であることが分かった．

(2)　未改良部が発生することによる危険性

岸壁の安定性を検討するに当たり，滑動，転倒，端趾圧（堤体工の端部に作用する単位面積当たりの合力）の照査を原設計において行った（図-3）．　表-2はその結果である．外部安定の照査では L1 地震時の滑動が最も厳しく，内部安定の照査では L1地震時の端趾圧が最も厳しい．

これは計画下端まで改良した際の数値である．未改良部ができることにより抵抗値が減少し，安全率1を上回る可能性があることから，仮に高止まり以深を未改良とした際の危険性は高い．

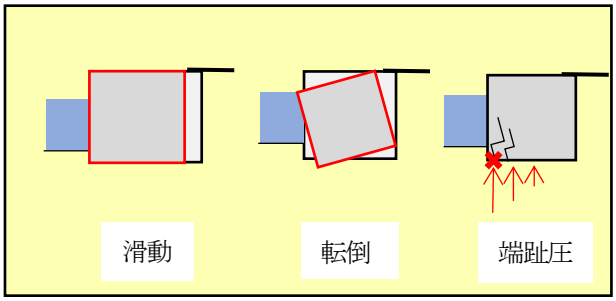


図-3　破壊図

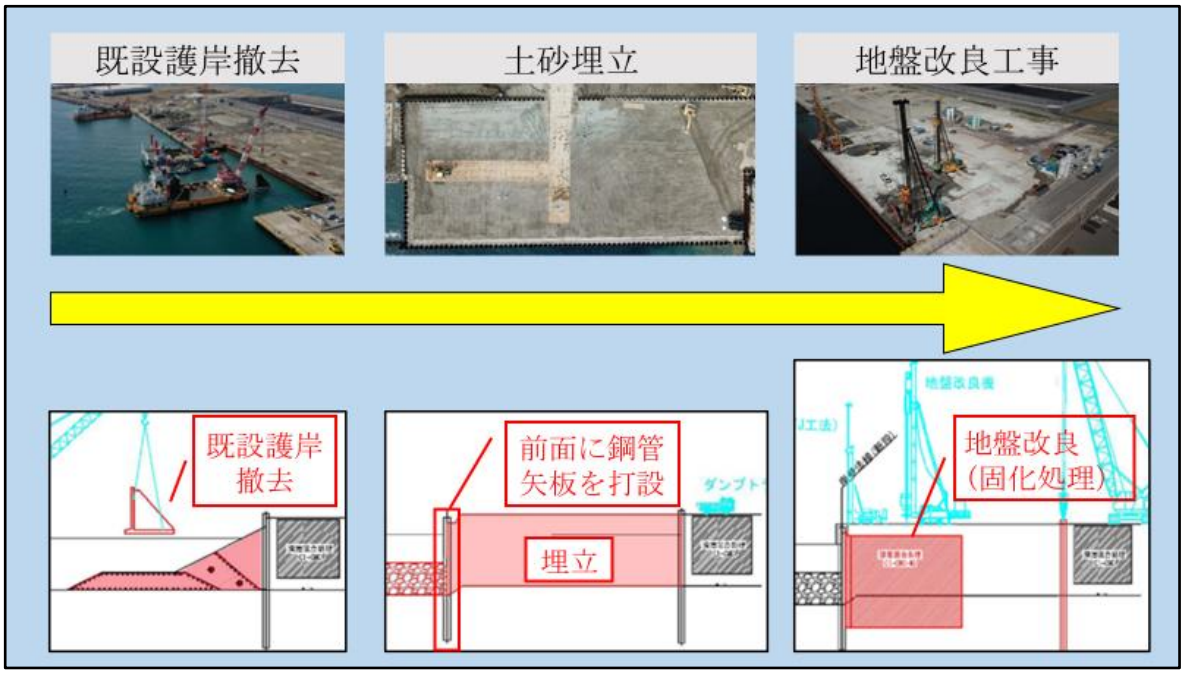


図-2　疑似重力式地盤改良工事の流れ

表-2　安定照査結果（原設計）

照査項目			
外部安定	永続状態	滑動 転倒	0．543 ≦ 1．000 0．198 ≦ 1．000
	地震時	滑動 転倒	0．912 ≦ 1．000 0．453 ≦ 1．000
	暴風時	滑動 転倒	0．369 ≦ 1．000 0．167 ≦ 1．000
内部安定	永続状態	端趾圧	0．525 ≦ 1．000
	地震時	端趾圧	0．976 ≦ 1．000
	暴風時	端趾圧	0．643 ≦ 1．000

(3)　施工法の検討

未改良部の施工にあたり，工法の検討を行った．

表-3は施工法についての比較である．案①は高止まり以深を高圧噴射撹拌（高圧で固化材を噴射し改良）にて打ち継ぎ造成する工法で，案②は先行削孔し全深度を改良する工法である．費用，施工期間，品質全てが良好な案①を採用した．

品質について，疑似重力式は地盤を一体化させ一つのブロックのようにする工法であることから，先行して行った改良体と付着させる必要がある（図-6）．しかし案②では改良体単体の品質には問題がないものの先行削孔により既設改良体と付着が出来ないことを問題視した．

表-3　施工法比較

	①　未改良部を高圧噴射撹拌	②　全深度を先行削孔しスラリー撹拌
施工手順	1. スラリー撹拌にて改良体を造成 2. 高止まり改良体の中止部を先行削孔 3. 先行削孔箇所にロッドをいれ，高圧噴射撹拌にて所定深度まで改良	1. 全深度を削孔機で先行削孔 2. 撤去部を残土で埋め戻し 3. スラリー撹拌にて施工
費用	291百万円 ○	296百万円 ×
期間	機材調達：1ヶ月 先行削孔：2本/日 高圧噴射：4本/日 ○	機材調達：4ヶ月 先行削孔：2本/日 スラリー撹拌：2本/日 ×
品質	未改良部のみの高圧噴射による改良のため，先行改良体との付着は問題ない． ○	改良域全面の障害物を全て破砕できるため，改良体単体の品質は問題ないが，後施工のスラリー撹拌工法では先行改良体への付着ができない． ×

①高圧噴射

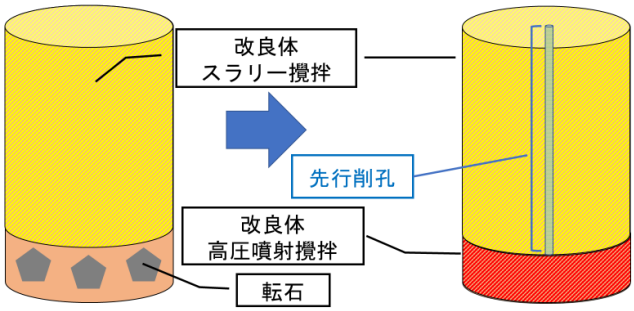


図-4　未改良部を高圧噴射撹拌

②先行削孔

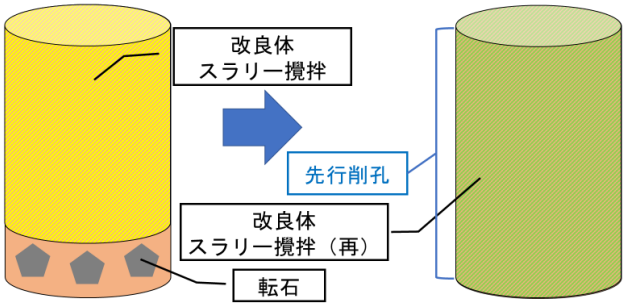


図-5　全深度を先行削孔

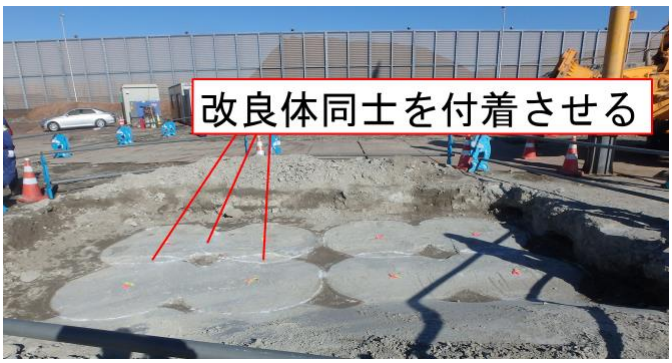


図-6　改良体出来型

(4)　調査ボーリング計画

改良杭の品質確認のためのボーリングは，本施工前の試験施工ボーリングと，本施工後の事後調査ボーリングを行った．以下確認項目である．

a)　所定深度までの改良
b)　スラリー撹拌部と高圧噴射撹拌部の一体化
c)　転石が改良体に取り込まれ一体化している
d)　強度（強度発現までに時間を要することから事後調査ボーリングのみ実施）

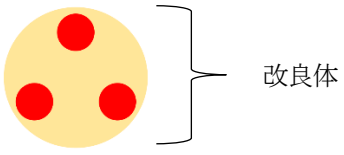


図-7　ボーリングコア採取箇所（3 箇所）

4.　高止まり対応の結果

(1)　改良結果

a)　調査法

改良結果の確認については，エリアごとに改良体を選定して事後ボーリング調査を実施し，コア採取による目視での一体化の確認，一軸圧縮強度試験による強度の照査を行った．

b)　調査結果

コアの目視検査では所定の深度まで改良されていることを確認した（図-8）．また高圧噴射部に石材がくるみ込まれ改良体と一体化していることを確認した．（図-9）

図-10は高止まり対応を行った箇所の一軸圧縮強度試験結果である．高止まり以深を含め，全ての深度で所定の圧縮強度を得た．

図-8　ボーリングコア

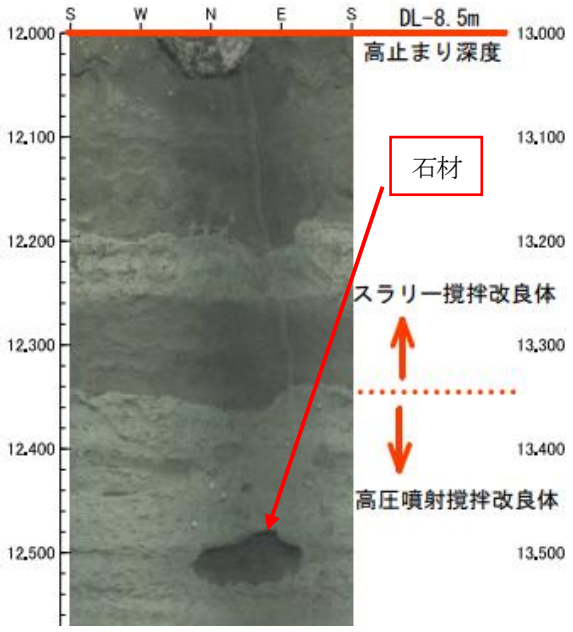


図-9　改良杭コア画像

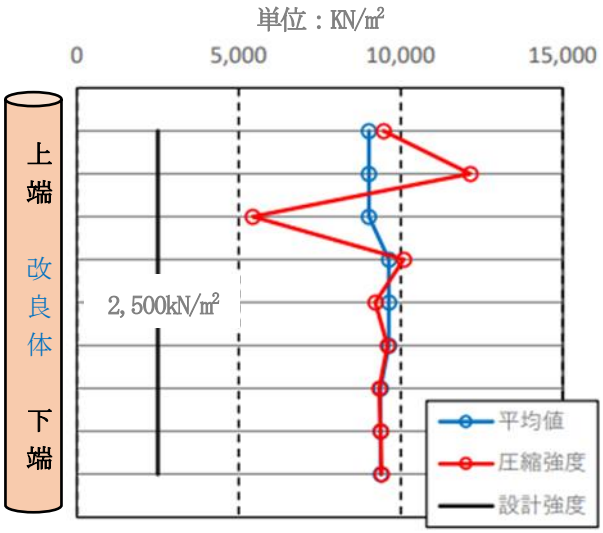


図-10　一軸圧縮強度試験結果

(2)　高止まり対応の成果

高止まり対応を通して得られた成果を以下に示す．

a)　疑似重力式工法における高止まり時の対応法

疑似重力式を用いた岸壁整備は事例が少ないことから，地中の転石を原因とした高止まり時の対応法について確立されていなかった．改良体の一体化を重視した対応法は，今後同様の事例が発生した際に活用が期待できる．

b)　今後の基地港湾整備事業への活用

現在カーボンニュートラルに向け洋上風力発電が注目されており，基地港湾の整備は全国で進められている．岸壁整備に当たり疑似重力式を用いた地盤改良工事も今後予測されることから，設計・計画段階での地中障害物を原因とした高止まり対応法の確立が期待できる．

5.　おわりに

現在，基地港湾の整備は全国で進められているものの基地港湾が改正港湾法により指定されたのは2020年であることから整備事例が少ない．また疑似重力式を用いた岸壁整備についても最新の技術であることから前例が少ない．よって本稿で紹介した事例は今後の基地港湾整備にとって大変希少な事例になったと思われる．

本稿で紹介した高止まり対応については，今後同様の工事を行う際に参考になると思われる．原因と推測される石材混入防止対策や高止まりを予期した設計・工法の検討が今後必要になるだろう．

今後も全国で基地港湾の整備は行われる予定だ．安心・安全な基地港湾を，計画通り整備できるよう疑似重力式工法の更なる改善が求められる．

官民連携による亀の瀬地すべり対策 インフラツーリズムの取組について

田尻　一朗[1]

[1]近畿地方整備局　大和川河川事務所（〒582-0009大阪府柏原市大正2丁目10番8号）

昭和６１年に，国が行う地すべり対策工事の内容等を工事見学者等へ説明するための施設として，亀の瀬すべり歴史資料室を設置．平成２８年度からは，全国的に本格化したインフラツーリズムを亀の瀬でも開始．さらに令和２年，亀の瀬地すべりを含む「龍田古道・亀の瀬」が日本遺産に認定され，令和３年には，亀の瀬を訪れる来訪者は年間約２万人を超えた．

しかしながら，亀の瀬には，観光拠点として必要な休憩スペースや物販，その他サービスの提供等がなく，観光地としてもっと盛り上げたい地元自治体及び民間事業者等から，亀の瀬地すべり歴史資料室のリニューアルを期待する声が多く寄せられた．

そこで，亀の瀬地すべり歴史資料室のリニューアルと合わせ、亀の瀬地すべりインフラツーリズムを核とした地域の賑わいを創出する拠点整備・運営体制を官民連携により構築した．

本研究では，その取組について報告するとともに，今後，亀の瀬地区その他周辺地域を賑わいのある地域として持続的に活性化、発展させる取組するものである．

キーワード　インフラツーリズム，まちづくり，官民連携

1. はじめに

亀の瀬地すべり地帯は，奈良県三郷町と大阪府柏原市にまたがる大和川が奈良盆地から大阪平野へ流れ出る狭窄部に位置し（図-１），約４万年前から地すべりが繰り返されてきた難所でありながら，古代より都の西の玄関口・交通・経済・治水の要衝として，飛鳥時代には既にこの地に「龍田古道」があったが，地すべりが頻発する恐ろしい場所とされてきた．長い歴史の中でも最大規模の地すべりが昭和初期に発生し、国鉄関西本線の亀の瀬トンネルが崩壊し運転休止，大和川が堰き止められ上流側で浸水被害が発生するなど，猛威を振るった.昭和３５年より国による本格的な地すべり対策工事を開始し以降，約１０００億円の予算，６０年以上の歳月を投じ，現在も対策工事を進めている（図-２）．

図-１　亀の瀬地すべり対策　位置図

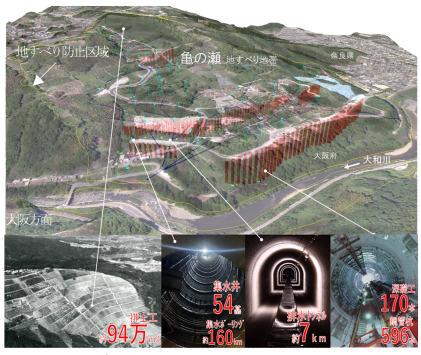


図-２　亀の瀬地すべり対策　事業内容

昭和６１年に国が行う亀の瀬地すべり対策工事の内容を説明する施設として亀の瀬すべり歴史資料室を設置（図-３）．平成２８年度からは，全国的に本格的なインフラツーリズムを亀の瀬地すべりでも開始し取組を進めてきた．亀の瀬地すべりインフラツーリズムでは，平成２０年度に地すべり対策区域内で偶然発見した「旧大阪鉄道・亀の瀬トンネル遺構」と既存の雨水排水トンネル内の見学とあわせたコースが人気となっている（図-４）．

令和２年には亀の瀬地すべりを含む「龍田古道・亀の瀬」の地域の歴史的魅力や特色を通じて我が国の文化，伝統を語るストーリーが認められ，日本遺産「もう、すべらせない！！～龍田古道の心臓部「亀の瀬」を越え

てゆけ～」として認定された．その後，国，三郷町と柏原市が連携し，地域活性化を目的に日本遺産推進協議会を新たに組織，日本遺産観光に関する社会実験の実施や，お土産物開発（図-５），地域全体で観光振興の取組を開始．

令和５年１月には，亀の瀬トンネルを活用したプロジェクションマッピング上映開始など，亀の瀬地すべりインフラツーリズムと日本遺産観光を合わせた観光が話題となり，同年の年内来訪者数は約２万人を超えた．

さらに，令和５年８月に国土交通本省総合政策局が推し進める「インフラツーリズム魅力倍増プロジェクトモデル地区」に亀の瀬地すべりが新たに選定され，今後，亀の瀬インフラツーリズムの魅力を発信し，魅力を倍増させ，更なる来訪者増加を目指すこととなった．

しかし，来場者が増えるにあたり，資料室や駐車場のスペース不足が表面化（図-６，７），また，資料室の老朽化により雨漏りが発生するなど来訪者の受け入れ環境に関する課題が浮き彫りとなってきた．更に，日本遺産として日本遺産観光に関する社会実験，お土産物開発等を進めているものの，現地で物販その他サービスを提供できる拠点・運営体制がないことから，観光地としてもっと盛り上げたい地域住民や民間事業者等から亀の瀬地すべりインフラツーリズムの抜本的なリニューアルを期待する声が多く寄せられた．そこで，これらの課題解決を目的とし，３つの「つくる」取組を行った．

本研究では，国・大阪府柏原市・奈良県三郷町等の行政関係者と，地元民間企業団体「柏原市マイクロツーリズム推進協議会」・ボランティアガイド・地元住民等が連携し，亀の瀬地すべり歴史資料室のリニューアルと合わせ、亀の瀬地すべりインフラツーリズムを核とした地域の賑わいを創出する拠点整備・運営体制を官民連携により構築したことについて報告し、今後，亀の瀬地区その他周辺地域を賑わいのある地域として持続的に活性化、発展させる取組について報告するものである．

図-３　亀の瀬地すべり歴史資料室（昭和６１年整備）

図-４　亀の瀬地すべりインフラツーリズム実施状況

図-５　日本遺産関連のお土産物

図-６　資料室内のスペース不足

図-７　資料室前の道路上での来場者降車状況

2. 課題解決の取組

(1) ３つの「つくる」取組

老朽化と狭小な現亀の瀬地すべり歴史資料室に替わる新たな資料室を「つくる」,来訪者に満足いただく民間事業者による土産物物販やボランティアガイドによる案内等を持続的に行うための運営体制を「つくる」,亀の瀬インフラツーリズムの魅力を倍増させ、亀の瀬地区その他周辺地域を賑わいのある地域として持続的に活性化、発展させていく仕組みを「つくる」,あわせて３つの「つくる」の取組を令和５年度に実施した．

図-８　３つの「つくる」取組

(2) 実施内容

a) 新しい資料室を「つくる」

（令和5年6月から令和6年3月）

新しい資料室は，昭和６１年に整備した資料室と同様に工事期間中の仮設物として，新たな拠点整備として，亀の瀬インフラツーリズムの核となる施設となり、亀の瀬らしさ溢れる親しみやすさと，十分なスペース、民間事業者による土産物物販やボランティアガイドによる案内等の運営体制を考慮し，新たな亀の瀬地すべり歴史資料室を「つくる」取組を実施した.

＜具体な実施内容＞

○親しまれる亀の瀬らしさのデザイン設計

○十分な観覧スペースの確保

○地すべり災害と対策工事を可視化した展示

○大型車両や普通車等十分な駐車スペース確保

○物販（お土産物）スペースの確保

b) 持続可能な運営体制を「つくる」

（令和5年10月から令和6年3月）

インフラツーリズムの運営にあたっては，すでに活躍していただいている地元のボランティアガイドによる来訪者案内の全開館日での実施と，地元民間事業者団体による土産物等の物販その他サービスの提供を，持続可能とする運営体制を構築する必要があるため，意見交換を重ね持続可能な運営体制を「つくる」取組を実施した.

＜具体な実施内容＞

○ボランティアガイド代表者との意見交換会

○地元民間企業団体「柏原市マイクロツーリズム推進協議会」との官民連携協定締結に向けた意見交換

c) 亀の瀬地区周辺の賑わいを「つくる」

（令和5年12月，令和6年1月）

新たな拠点整備・運営体制を構築した後、亀の瀬地すべり対策インフラツーリズムにより賑わいを創出し，地域の観光振興を進めるため，亀の瀬地区周辺の賑わいづくりに関心のある地域住民の皆さんと亀の瀬魅力ある賑わいを「つくる」取組を実施.

＜具体な実施内容＞

○日本遺産推進協議会による観光プラン社会実験

○観光振興ワークショップの実施

3. 各種取組内容

(1) 新しい資料室を「つくる」

a) 重点的に取り組んだ点

仮設建築物を活用した資料室とした．また，平成２０年度に発見した，旧大阪鉄道亀の瀬トンネル，蒸気機関車をイメージした資料室及び修景デザイン，展示空間，十分な駐車スペース等の確保を行うこととした.

更には，地中の見えない地すべり対策施設と昔の地すべり災害の可視化，来場者が理解しやすい展示内容とするよう配慮した.

b) 工夫した点

資料室全体の修景デザインを検討するにあたっては，全国の鉄道会社の車両や駅舎等のモビリティデザインを手がけている専門家の（株）イチバンセン　川西康之氏に依頼し，亀の瀬トンネルや蒸気機関車をイメージした親しみのある特徴的なデザインとして設計していただいた．また，設計時には，将来的に，資料室周辺で賑わい創出が可能なスペースを考慮するため，地元地元民間企業団体の意見も取り入れ設計を行った（図-９，１０，１１）.

また，展示内容は，教育機関による防災教育等で使いやすく工夫する必要があったため，資料室の展示計画や防災教育に関する専門家の東京学芸大学　吉冨友恭教授に依頼し，旧資料室での教育関係者等を対象とした来場者行動観察調査等を実施することで，展示資料や展示空間の特徴，問題点を確認した．また，展示物（案）を作成し，小学校の生徒にアンケートをとることで，見る人の動線やレイアウト，説明内容を改良し展示パネルを作成した（図-１２、１３）.

更に，パネルだけではなく亀の瀬周辺の地形を立体で把握できるようにするため，全国のトンネルツーリズム等の専門家の総務省・地域力創造アドバイザー花田欣也氏に依頼し，大人から子供までが，楽しみながら俯瞰的に亀の瀬全体が理解できるよう亀の瀬ジオラマを作成した（図-１４）．また，地中の地すべり対策施設が理解しやすいように地中の施設を可視化できるようにCIMを活用したパネルや動画作成した（図-１５）.

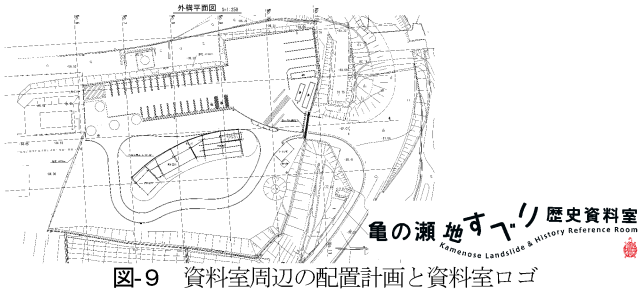


図-９　資料室周辺の配置計画と資料室ロゴ

図-１０　新・亀の瀬地すべり歴史資料室　全景

図-１１　賑わい創出スペースの確保状況

図-１２　行動観察調査・生徒へのアンケート実施状況

図-１３　アンケートを踏まえた展示内容

図-１４　亀の瀬ジオラマ

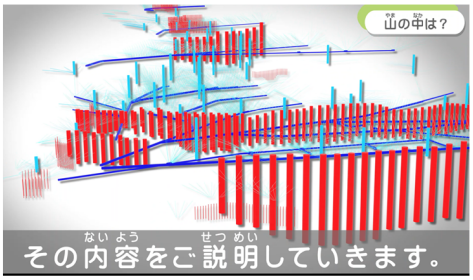


図-１５　CIMを活用した動画

(2) 持続可能な運営体制を「つくる」

a) 重点的に取り組んだ点

亀の瀬では，日本遺産関連の地元ボランティアガイドの方々が施設の案内を実施していたため，引き続きボランティアガイドの方と連携し，持続的な運営できる体制の確保を行える体制を構築した．また，地元民間企業団体「柏原市マイクロツーリズム推進協議会」によるお土産物等の物販や各種イベント開催も実施できるようにするため柏原市マイクロツーリズム推進協議会の活動方針に沿った持続発展的な参画が可能となる運営体制となるよう配慮した．

b) 工夫した点

日本遺産関連のボランティアガイドの方々が，案内しやすい環境を整備するため，案内ルートや案内時間の調整，１日のツアー回数等の調整を行い，ガイドの方の負担にならない持続可能な運営体制になるよう工夫した（図-１６）．

地元民間企業団体「柏原市マイクロツーリズム推進協議会」は，令和３年７月に大阪府柏原市の自然環境や産業，文化等の地域資源を活用し、地域の活性化やにぎわいの創出推進を目的として発足．大和川河川事務所では，亀の瀬インフラツーリズムにより地域活性化につながる取り組みとして実施しており，柏原市マイクロツーリズム推進協議会の活動方針に沿った形で亀の瀬インフラツーリズムの取組に参画いただけるよう，実施内容や協定内容について事前協議を重ねた．また，柏原市マイクロツーリズム推進協議会として本格的に稼働するため，組織内の会員に対し亀の瀬インフラツーリズムの考え方を説明するなど丁寧に対応を行った（図-１７）．事前協議を踏まえ，令和６年３月１３日，柏原市マイクロツーリズム推進協議会と大和川河川事務所間において亀の瀬地すべり対策のインフラツーリズム推進に関する官民連携協定を締結した（図-１８）．

図-１６　新しい資料室前での案内ルート等の調整状況

図-１７　関係機関との協議状況

図-１８　亀の瀬地すべり対策インフラツーリズム推進事業に関する官民連携協定書　調印式

(3) 亀の瀬地区周辺の賑わいを「つくる」

a) 重点的に取り組んだ点

これから，亀の瀬地区周辺での賑わいを創出していくために，地域住民の皆さんの思いを結集し，地域みんなで作り上げる亀の瀬地すべりインフラツーリズムを目指した．

b) 工夫した点

柏原市マイクロツーリズム推進協議会，関係自治体，や地元住民と合同で亀の瀬地区周辺の賑わいをつくるためのワークショップを開催し（図-２０），自由な発想で新たな亀の瀬インフラツーリズムを核とした観光振興について様々な提案を出しあった．ワークショップ実施にあたっては，全国のインフラツーリズム専門家のJTB総合研究所　河野まゆ子氏や関係者にご協力いただき実施した．

ワークショップは，令和５年１２月と令和６年１月の計２回実施．各セッションでテーマを設定し，アイデアを出し合った．また，来場者のターゲット設定や仕掛けづくり（亀の瀬が観光地として選ばれる仕掛け，長く滞在したくなる仕掛け，何度も訪れたくなる仕掛け等）の深掘りの観点からも話しあった．

＜ワークショップによるアイデア（一例）＞

〇アウトドア(アクティビティ)
- 星空観測
- BBQ
- 読書
- 野外スクリーン
- ドローン
- ドッグラン
- ピクニック

〇地形空間を使ったイベント
- 坂道マウンテンバイクイベント
- スケボーなどのダウンロードイベント
- 地すべり対策の杭等を意識したイベント

〇学びや表現に関するイベント
- 音楽イベント
- すべらない話イベント（滑らない場所）
- 写真撮影会イベント
- トークショーイベント
- あなたもガイドになろう（育成イベント化）
- 環境教室(ビオトープ・ホタル観賞等)

図-２０　ワークショップ実施状況

4.　オープン後の状況と課題

令和６年３月２９日の新たな亀の瀬地すべり歴史資料室をオープン以降，７月末時点で来場者は約７０００人を超え，一般住民，自主防災会、教育機関，行政機関等幅広い齢の方々が来場しており，柏原市の新たな観光拠点として話題になった（図-２１）．

また，来場者のアンケート結果からも，わかりやすい展示とガイドさんの丁寧な説明が好評となっており，新たな亀の瀬地すべり歴史資料室，排水トンネル，旧大阪鉄道亀の瀬トンネルを巡る亀の瀬インフラツーリズムのツアーが大好評な状況である（図-２２，２３）．

テレビ取材・放映もあり，認知度が日々高まっており，来場者数が増加中である．

以上のことから，当初から狙っていた新たな亀の瀬地すべりインフラツーリズムを核とした地域の賑わいを創出する拠点整備が成功したと考えられる．

しかしながら，民間団体の取組に関して準備期間が十分とれなかったことから，オープン後にお土産物販売をなかなかスタートできなかったなどの課題も残った．令和６年度に入り，各種イベント等の賑わいづくりの企画立案・実施に向けた検討を進めており，令和６年度後半には順次実施していく予定である．

図-２１　新たな亀の瀬地すべり歴史資料室　内覧会

図-２２　新たな地すべり歴史資料室に訪れる来場者

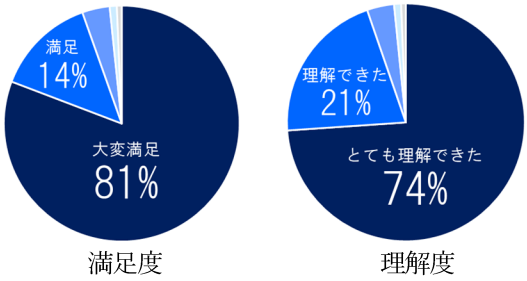


図-２３　インフラツーリズムアンケート結果

5.　今後の展開

今後，更なる賑わい創出のためのコンテンツ整備や展示物の補強等を行う．また，インフラツーリズム運営体制については，令和６年度の運営状況を踏まえ体制の改良や協定書の見直し等を実施し，持続可能な運営体制を構築する．亀の瀬地区周辺の賑わいについても，新しい社会インフラ施設の利用方法の観点から社会実験等を実施し，亀の瀬地区により活発な賑わいを創出していく．

持続可能な運営体制として柏原市マイクロツーリズム推進協議会が軸になる体制を検討しているが，今後は国が主体となり，地元ボランティアガイドも含めて、まちづくりに関する地元地域の熱意を結衆し，持続発展可能な魅力溢れる地域づくりの体制構築を進めたい．合わせて，地すべり対策施設の見える化や，亀の瀬地すべり対策インフラツーリズムと日本遺産観光の推進を核として進めていきたい（図-２４）．

図-２４　賑わいを創出するワークショップ　集合写真

謝辞：官民連携による亀の瀬地すべりインフラツーリズムの取組についてご協力いただきました，（株）イチバンセン 川西康之氏，東京学芸大学　吉冨友恭教授，花田欣也氏，JTB総合研究所　河野まゆ子氏，柏原市マイクロツーリズム推進協議会，大阪府柏原市，奈良県三郷町，ボランティアガイドの皆様，地元民間企業の皆様，その他関係機関の皆様のご理解とご協力に対し深く感謝の意を表し，本報告の結びとさせていただきます．

参考文献

1）国土交通省 総合政策局：インフラツーリズム拡大の手引き拡大の手引き-改訂版-（令和５年１１月）

土佐湾沿岸の海岸保全施設における気候変動適応策の検討結果

武田　侑大[1]・松坂　善仁[1]・滝本　隆也[1]

[1]四国地方整備局　高知河川国道事務所　工務課　（〒780-8023 高知県高知市六泉寺町96-7）

土佐湾沿岸中央部では，「土佐湾沿岸海岸保全基本計画」において，高潮・波浪，侵食，地震及び津波に対する防護の目標・水準を設定のうえ，対策に取り組んでいる．今後，将来においても防護水準を確保していくため，気候変動による影響を明らかにしたうえで，気候変動の影響を考慮した新たな海岸保全へ転換していく必要がある．本稿では，全国に先駆けて「気候変動を踏まえた土佐湾沿岸海岸保全施設技術検討会」を設置し，気候変動を踏まえた防護水準（計画高潮位，設計波，設計津波の水位等）の見直し，及び適応策（段階的な対策，優先順位等）の検討等について，海岸管理者である高知県と国が共同で検討した内容について報告する．

キーワード　海岸事業，気候変動，防護水準，段階的な対策，

1. はじめに

(1) 土佐湾沿岸の概要

土佐湾沿岸は，高知県室戸岬から足摺岬に連なる四国南部の太平洋に面した沿岸である(図-1)．本稿で紹介する中央部(高知中央地域海岸，南国香南地域海岸)では，河川からの土砂供給量の減少，海砂利の採取，港湾施設の整備等によって海岸侵食が進行し，越波等により海岸堤防の被災や県道の通行止め等の被害が発生している．また，砂浜前面の水深が比較的深く，台風常襲地帯であるため，台風期における波浪と高潮によって甚大な被害が発生する危険性が高い地域である．さらに，南海トラフを震源とする地震が発生した場合，既存堤防の沈下や倒壊，高知市中心部では広域的な地盤沈下による長期浸水など，地震・津波による甚大な被害が懸念される地域でもある．

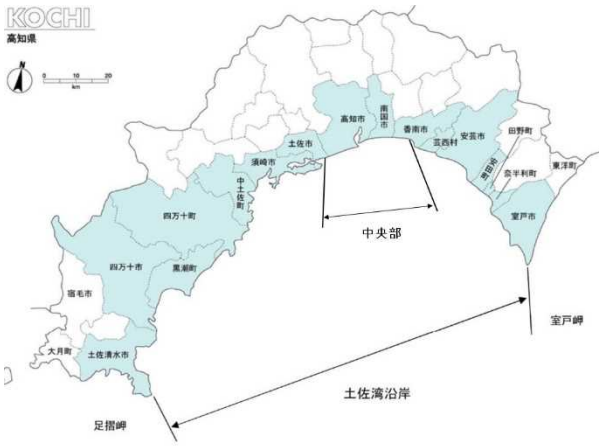


図-1　土佐湾沿岸の区域

(2) 気候変動を踏まえた土佐湾沿岸海岸保全施設技術検討会

「気候変動に関する政府間パネル（IPCC)」による報告書では，気候システムの温暖化には疑う余地がなく，世界平均海面水位は上昇が続くであろうことが報告されている．また，「気候変動を踏まえた海岸保全のあり方検討委員会」により「気候変動を踏まえた海岸保全のあり方」提言[1)]がとりまとめられ，「海岸保全を，過去のデータに基づきつつ気候変動による影響を明示的に考慮した対策へ転換」することが提言された．

土佐湾沿岸においても将来的に海岸保全の防護水準を確保してくため，気候変動による影響を明らかにしたうえで気候変動の影響を考慮した新たな海岸保全へ転換していく必要があることから，「気候変動を踏まえた土佐湾沿岸海岸保全施設技術検討会」を設置し，気候変動を踏まえた防護水準（計画高潮位，設計波，設計津波の水位等）や適応策(段階的な対策，優先順位等)について検討した．本稿ではその検討内容について報告する．

2. 気候変動を踏まえた計画外力の検討結果

(1) 計画外力の設定に関する基本的な考え方

計画外力の設定にあたって対象とする外力の将来予測は「気候変動を踏まえた海岸保全のあり方」提言に基づき，気候変動シナリオ RCP2.6（2℃上昇相当）とし，2100 年時点の予測結果を基に設定した．

(2) 計画外力の検討

a) 朔望平均満潮位

将来予測される平均海面水位の上昇量として，「日本の気候変動 2020」に示される RCP2.6 における予測結果のうち，土佐湾沿岸が位置する領域Ⅲの平均値である 0.39m を採用(表-1)．この値は 20 世紀末(1986～2005 年の平均)から 21 世紀末(2081～2100 年の平均)の 96 年間の上昇量であることを踏まえ，高知検潮所における朔望平均満潮位(2020 年までの近 10 ヵ年)の平均値 T.P.+0.97m に，2021 年～2100 年までの平均海面水位の上昇量+0.33m を加えた T.P.+1.30m と設定した．

表-1　日本沿岸において将来予測される平均海面水位の上昇量

シナリオ	日本沿岸の平均海面水位の上昇量			
	領域Ⅰ	領域Ⅱ	領域Ⅲ	領域Ⅳ
2℃上昇シナリオ（RCP2.6）	0.38m（0.22～0.55m）	0.38m（0.21～0.55m）	0.39m（0.22～0.56m）	0.39m（0.23～0.55m）
4℃上昇シナリオ（RCP8.5）	0.70m（0.45～0.95m）	0.70m（0.45～0.95m）	0.74m（0.47～1.00m）	0.73m（0.47～0.98m）

b) 高潮偏差・波浪（波高，周期）の変化

高潮偏差や波浪の将来変化量の推算方法については，「気候変動の影響を踏まえた海岸保全施設の計画外力の設定方法等について」[2]に示される「B-1 全球気候モデル台風」を適用し，土佐湾に影響を及ぼす台風として，d4PDF（地球温暖化対策に資するアンサンブル気候予測データベース）より足摺岬・室戸岬から東西に 600km の範囲を通過する台風を 100 ケース抽出し，高潮・波浪シミュレーションを行った．その結果から高潮偏差・波高を推算できる簡易推定式を構築し，この簡易推定式を用いて土佐湾沿岸に影響を及ぼす台風の現在気候（過去実験）と将来気候（2℃上昇実験，2100 年時点）の高潮偏差・波高を比較することで，現行計画と同じ安全度において将来予測される高潮偏差・波高の変化率を推算した．

推算結果から，高潮偏差は 12%の上昇となり，2100 年の高潮偏差は現行計画の 1.46m に 12%の上昇率を乗じ，1.64m とした．

波高は 2%の上昇となり，2100 年の波高は，現行計画 13.0m の計算値である 12.6m に 2%の上昇率を乗じ，13.0m とした．なお，周期については，高潮・波浪シミュレーション結果より高知港波浪観測所における波高-周期の関係式を作成し，現行計画で用いられている波高-周期の関係式との比較を行った．この結果，30 年確率波高（13.0m）に対応する周期は，気候変動後も現行計画（15.5 秒）と同じとした．

c) 津波水位の変化

津波水位については，平均海面水位の上昇を考慮した津波シミュレーションを実施した．その際，解析手法，地形・堤防条件等は現行の設計津波の水位の設定方法に準拠した．初期潮位は 2100 年の朔望平均満潮位 T.P.+1.30m とし，対象津波は 2003 年中央防災会議公表の東南海・南海地震連動とした．地形条件は，2012 年に内閣府（南海トラフ巨大地震モデル検討会）により公開された地形データを使用した．

気候変動後の津波水位（各海岸の平均値）は図-2 に示すとおり現行の設計津波の水位を上回る結果ではなかったことから，設計津波水位は，現行の T.P.+8.0m を踏襲した．

3.　土佐湾沿岸中央部における気候変動を踏まえた防護水準（案）

(1) 気候変動を踏まえた防護水準（案）

気候変動を踏まえた防護水準（案）は，計画外力の検討結果より表-2 のとおり設定した．

表-2　気候変動を踏まえた防護水準（案）

高潮・波浪				侵食	設計津波の水位
計画高潮位	設計波（高知港水深 25m 地点）				
	高知港水深 25m 地点の波高	高知港水深 25m 地点の周期	計画安全度		
T.P.+2.94m	13.0m	15.5 秒	1/30 確率	現状の汀線維持 もしくは 必要に応じた汀線の回復	T.P.+8.0m

(2) 段階的な防護水準（計画高潮位）の考え方

気候変動には不確実性があることから，将来の予測結果が変わる可能性がある．また，海岸保全の対策は広範囲にわたり対策実施には長期間を要することから，段階的な防護水準を設定することとした（図-3）．その際，平均海面水位はすでに明瞭な上昇傾向があり，今後も上昇することが確実であることや，その上昇量は RCP2.6 における平均値を基に設定しているが，今後上昇量が大きくなることも想定されるため，施設の整備時期や耐用年数にかかわらず，2100 年時点の平均海面水位の上

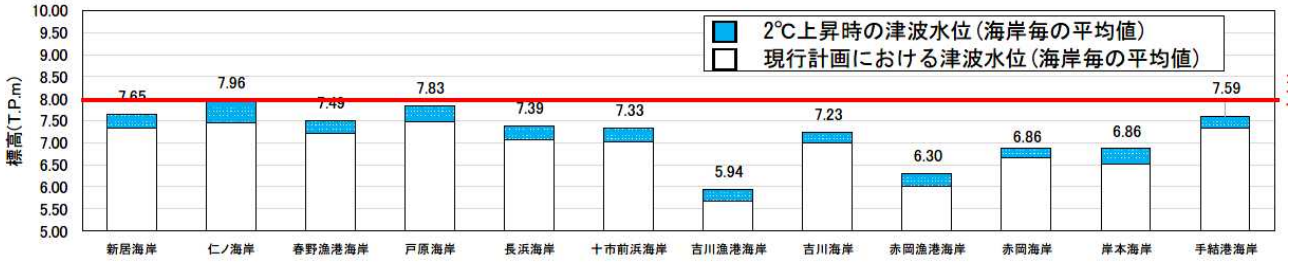


図-2　津波水位の推算結果（各海岸の平均値）

昇量を予め見込むこととした．一方，高潮偏差の増大は現時点では平均海面水位の上昇に比べて不確実性が高いため，施設の整備・更新までには時間を要することも踏まえ，2100 年まで線形的に上昇するものと仮定し，施設整備時点及び施設の耐用年数に応じた増大量を段階的に見込むこととした．

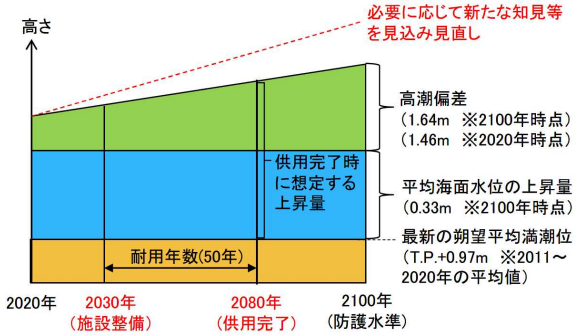


図-3　段階的な防護水準のイメージ

4. ハード・ソフト対策を組み合わせた気候変動への適応策

(1) 気候変動への適応策に関する基本的な考え方

気候変動には不確実性があること等から，段階的な防護水準を設定し段階的なハード対策を実施していく必要がある．その際，ハード対策のみで防御できるレベルには限界があること，ハード対策の完了までには時間を要すること等を踏まえ，ソフト対策についても適切に組み合わせる必要がある．

以上に基づいて，ハード対策，ソフト対策を進める際の考え方を以下のとおりとりまとめた．

a) ハード対策

気候変動の不確実性等を踏まえ，将来の施設改良等を考慮した手戻りのない（施設改良等が容易な）構造等を適用していくとともに，粘り強い構造の堤防整備等についても取り組んでいく．

対策の実施にあたっては，施設の耐用年数（50 年程度），災害発生の危険度，地域ごとの特性（背後地の人口，社会インフラの整備状況，土地の利用状況）等を踏まえ，効果的・効率的な対策となるよう整備時期・整備水準や実施箇所の優先順位についても検討していく．

また，段階的な対策を計画的に実施していくためには施設の健全度が適切に確保されていることが前提となるため，予防保全の観点から長寿命化計画等に基づき施設の維持管理を適切に実施していくとともに，ライフサイクルコストが最小となる施設整備や維持管理を進めることも重要となる．さらに，堤防等の高さの確保等による防護だけでなく，総合土砂管理や順応的砂浜管理等も含めた面的防護を進めていく．

b) ソフト対策

ソフト対策については，長期的な視点から関連する他分野とも連携することが重要であることを踏まえ，国と県と市がそれぞれの役割のもと密接に連携し，総合的な対策を行う必要がある．

c) ハード・ソフト対策の適切な組み合わせ

ハード・ソフト対策の組み合わせの検討に当たっては，まず，外力の規模だけでなくその発生確率と発生する人的・経済的被害をかけあわせた地域の災害リスクを定量化し，その上でハード対策，ソフト対策のそれぞれの限界を認識して適切な組み合わせを提示し，避難や土地利用といったソフト対策との関係性の中で堤防高等のハード対策を決定することが重要である．

(2) 気候変動への適応策

a) 高潮・高波に対する対策（案）

気候変動を踏まえた外力の変化が施設機能に与える影響を段階的に評価するため，①.平均海面水位の上昇，②.①＋高潮偏差の増大，を考慮した 2 ケースについて波のうちあげ高を算定し，現況堤防高と比較し評価した．

評価の結果，表-3 のとおり多くの海岸において現況堤防高のままでは不足することが分かった．

表-3　現況堤防高の評価結果

海岸	波のうちあげ高に対する現況堤防高の評価結果	
	① 平均海面水位の上昇 を考慮した場合	② ①＋高潮偏差の増大 を考慮した場合
新居海岸	堤防高満足	堤防高満足
仁ノ海岸	堤防高満足	堤防高満足
戸原海岸	堤防高不足 （最大0.15m）	堤防高不足 （最大0.56m）
長浜海岸	堤防高不足 （最大0.34m）	堤防高不足 （最大0.67m）
十市前浜海岸 （西側、国管理）	堤防高満足	堤防高不足 （最大0.27m）
十市前浜海岸 （東側、県管理）	堤防高不足 （最大0.60m）	堤防高不足 （最大1.06m）
香南海岸 （吉川・赤岡・岸本）	堤防高不足 （最大0.59m）	堤防高不足 （最大1.17m）

このため，2100 年までには，追加のハード対策として，堤防の嵩上げ，離岸堤の嵩上げ，ヘッドランドの改良，養浜等の順応的砂浜管理，さらには山地から海岸までの総合土砂管理等の気候変動適応策を実施することとした．ただし，想定よりも砂浜が減少する場合や，既往最大の高潮偏差は昭和 45 年台風 10 号の 2.35m であり気候変動を考慮した高潮偏差（1.64m）よりも大きなものが発生していることを踏まえ，将来においても計画規模を超える高潮や最大クラスの高潮が発生する可能性があること等も念頭に，ソフト対策を適切に組み合わせることも必要となる．ソフト対策については，高潮浸水想定区域の指定，ハザードマップや避難計画の作成，土地利用規制などの都市計画との調整，防護ラインの見直し，浜堤の保全，津波避難タワーの高潮避難での活用を想定した改良など，実現性を

踏まえながら検討する必要がある.

b) 侵食に対する対策（案）

気候変動の影響を考慮した侵食対策については汀線の維持または回復を目標とし，離岸堤の嵩上げやヘッドランドの改良等を行うとともに，養浜等の順応的砂浜管理，さらには総合土砂管理による海岸域への土砂の供給に取り組むなど，総合的な対策を行うこととした. また, 海岸侵食が進行し海岸堤防前面の水深が深くなると，基礎部の露出等により海岸堤防が被災することや，平均海面水位の上昇量以上に波のうちあげ高が増大する危険性が高まることも想定される. このため, 海岸保全基本方針に示されている「予測を重視した順応的砂浜管理」の考え方に沿って, 継続的なモニタリングにより海浜地形の変化や越波の状況を適切に把握しつつ，海浜地形の将来変化の予測に基づき必要に応じた対策を実施し，さらにその効果をモニタリングで確認したうえで，次の対策を検討していく必要がある.

c) 津波に対する対策（案）

気候変動後の津波水位（海岸毎の平均値）は現行の設計津波の水位を上回る結果ではなかったことから，基本的には気候変動に適応するための追加のハード対策は必要ないが，海岸保全施設の整備状況や地形の特性等により，局所的に設計津波の水位を超える場合には，堤防の嵩上げ等の追加のハード対策が必要となる. なお, 設計津波の水位は比較的頻度の高い数十年から百数十年の頻度で発生している津波を対象にしており，設計津波以上の規模の最大クラスの津波等に対しては住民避難等のソフト対策で対応する必要がある.

(3) 段階的な対策の考え方

気候変動を踏まえた海岸保全施設の整備・更新は RCP2.6 に基づく 2100 年時点の防護水準を目標に進めるが, 気候変動には不確実性があること, 対策範囲は広範囲にわたり対策実施には長期間を要することから, 施設の耐用年数, 背後地の将来変化等を考慮し，段階的な防護水準を設定し段階的に対策を実施していく必要がある.

段階的な対策の検討では，まず施設毎の更新時期を整理するとともに，2100 年時点の平均海面水位の上昇量と高潮偏差の増大量を基に，現況堤防高では堤防高が不足する箇所や時期，更新後の堤防が再び耐用年数を迎える時に必要となる防護水準を予め確認・設定する（図-4）. その上で，この段階的な防護水準に対応するための対策を設定する. その際, 施設の健全度, 事後的な対策の難易度, 背後地の将来変化等も考慮し，ハード対策の整備水準を検討するとともに，土地利用規制などソフト対策による対応についても検討する.

(4) 土佐湾沿岸中央部における対策の優先順位

気候変動の影響を考慮した波のうちあげ高に対して, 多くの海岸で堤防高が不足することから, 高潮・高波に対する対策の実施箇所の優先順位を堤防高に着目し検討した. 施設の更新時期は, 海岸保全施設台帳等から現況堤防の整備・更新年を整理し，高知海岸では耐用年数を 50 年として次の更新時期を整理した. 気候変動を考慮した将来の被害想定は現況堤防高が不足する時期及び2100 年時点での不足高を整理するとともに，背後地の状況は現時点の主な土地利用, 高潮・高波による浸水想定区域内人口を整理した.

以上の条件にて検討した結果，堤防の不足高が大きく，被害発生が早期に予測され，背後地に人口・資産が多く存在している「長浜海岸」「香南海岸」の対策を優先すべきと考えられた（表-4）.

図-5　土佐湾沿岸中央部の海岸の位置図

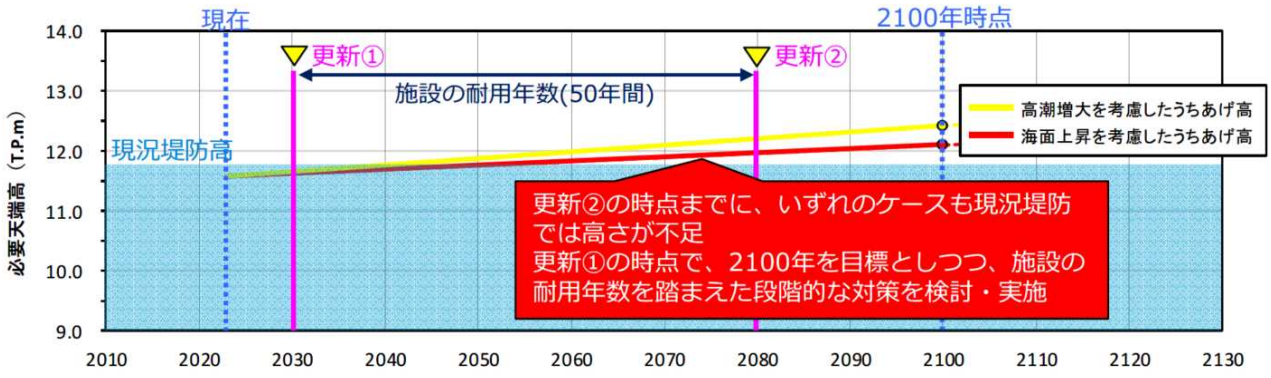


図-4　現状の施設機能の評価に基づく対策必要時期の確認・整理イメージ

表-4　高潮・高波に対する対策の優先順位の整理

項目／海岸		新居海岸	仁ノ海岸	戸原海岸	長浜海岸	十市前浜海岸西側	十市前浜海岸東側	香南海岸（吉川・赤岡・岸本）
2100年時点の堤防高の不足高	海面上昇	ー（堤防高満足）	ー（堤防高満足）	0.15m	0.34m	ー（堤防高満足）	0.60m	0.59m
	海面上昇+偏差増加	ー（堤防高満足）	ー（堤防高満足）	0.56m	0.67m	0.27m	1.06m	1.17m
施設の更新時期（耐用年数50年を想定）		2060年代	2070年代	2070年代	2070年代	2070年代	2070年代	2010年代
堤防高が不足する時期	海面上昇	ー	ー	2080年代	2040年代	ー	2030年代	2050年代
	海面上昇+偏差増加	ー	ー	2050年代	2030年代	2080年代	2020年代	2030年代
背後地	土地利用	宅地・農地	宅地・農地	宅地	宅地	農地・宅地	農地・宅地	宅地
	浸水想定区域内人口	808人	440人	615人	2882人	1174人	715人	2958人
優先度		ー	ー	○	◎	△	○	◎

5. 今後の検討課題

気候変動の影響を考慮した外力の検討は，全国的に進められている途中段階にあり，今後様々な検討手法や知見が得られていく可能性がある．そのため，今後の新たな知見や将来予測データの更新等に基づき，外力の将来変化の予測・評価方法等についても，概ね 5 年毎を目安に，適宜，見直しや更新を行っていく必要がある．

また，波のうちあげ高の重要な要素である海浜地形（砂浜）は，気候変動に伴う平均海面水位の上昇や波高の変化に加え，波向の変化にも影響を受けることから，それらによる海岸侵食についても検討していく必要がある．ただし，特に波向の変化については現時点では不明確な部分が多いことを踏まえ，将来の海浜地形の検討にあたっては，潮位や波浪，海浜地形のモニタリングを継続的に実施するとともに，海岸侵食に影響する波向の将来変化を精度良く予測できる手法を検討する必要がある．

6. まとめ

本稿では，「気候変動を踏まえた海岸保全施設技術検討会」にて検討した，計画外力，防護水準及び適応策について報告した．今後，気候変動を踏まえた海岸保全施設の整備・更新は RCP2.6 に基づく 2100 年時点の防護水準を目標に進めるが，気候変動には不確実性があること，対策範囲は広範囲にわたり対策実施には長期間を要することから，新たな知見や観測データ等を蓄積し，適宜，計画を見直し，順応的な管理を推進していくことが重要である．

参考文献

1）気候変動を踏まえた海岸保全のあり方検討委員会：「気候変動を踏まえたあり方」提言（2022 年 7 月）
https://www.mlit.go.jp/river/shinngikai_blog/hozen/
2）農林水産省・国土交通省：3 農振第 1203 号，3 水港第 1463 号，国水海第 25 号，国港海第 113 号「気候変動の影響を踏まえた海岸保全施設の計画外力の設定方法等について」（2023 年 8 月）

重要文化財 常願寺川砂防施設に関する保存活用計画の策定に向けての取り組み

平口　昌樹[1]・宮島　祥子[2]・中嶋　英樹[3]・村元　陽介[4]

[1]立山砂防事務所　調査課　調査係　（〒930-1405　富山県中新川郡立山町芦峅寺字ブナ坂61番地）
[2]立山砂防事務所　調査課　企画係長　（〒930-1405　富山県中新川郡立山町芦峅寺字ブナ坂61番地）
[3]立山砂防事務所　調査課　保全対策官（設計）（〒930-1405　富山県中新川郡立山町芦峅寺字ブナ坂61番地）
[4]立山砂防事務所　調査課　調査課長　（〒930-1405　富山県中新川郡立山町芦峅寺字ブナ坂61番地）

白岩砂防堰堤、本宮砂防堰堤、泥谷砂防堰堤群の3施設からなる常願寺川砂防施設は、昭和初期に建設された歴史的かつ文化的価値の高い施設である。これらは重要文化財に指定されており、永続的な保存・維持・活用に向けた「保存活用計画」を策定することが義務づけられている。本稿では、それら3施設の保存活用計画の策定に向けた、これまでの取り組みと今後の方向性について報告する。

キーワード　砂防事業，砂防堰堤，重要文化財，世界遺産，保存活用計画，歴史的価値

1.　はじめに

常願寺川は、富山県南東部に位置し、立山連峰を源流として、中新川郡立山町、富山市を流れ富山湾に注ぐ一級河川である。幹川流路延長は56㎞、平均河床勾配が約1/30と我が国最大級の急流河川となっている。図-1は常願寺川流域の概念図を示しており、常願寺川の上流域には立山連峰での過去の火山活動による巨大な窪地「立山カルデラ」が形成されており、1858（安政5）年には飛越地震により立山カルデラ内において、「鳶崩れ」と呼ばれる大規模な土砂崩壊が発生し、現在でも約2億㎥もの不安定な土砂が残っていると考えられている。この土砂崩壊をきっかけに、常願寺川は我が国有数の荒廃河川となり、上流から流出する多量の土砂により、下流に位置する富山平野にて多くの洪水や土砂災害を引き起こすようになった。

図-1　常願寺川流域　概念図

相次ぐ土砂災害をきっかけとして、水源地における土砂流出の抑制対策が必要であるとの認識が高まり、富山県が1906（明治39）年より砂防事業を着手した。しかし、着手後にも度重なる大出水が発生し砂防堰堤が土石流により破壊されるなど事業は難航していた。そこで、1926（大正15）年からは国直轄の砂防事業へと引き継がれ、程なくして本稿で取り上げる重要文化財 常願寺川砂防施設の3施設である、白岩砂防堰堤（1939年）、本宮砂防堰堤（1937年）、泥谷砂防堰堤群（1938年）が相次いで竣工した。これら3施設は完成から約85年以上が経過しているが、補修等の履歴はあるものの完成時の姿を残しており、現役の砂防堰堤として防災機能を発揮し続けている。国土交通省 立山砂防事務所は、これら3施設の砂防堰堤の維持管理を現在まで担っている。

2. 重要文化財 常願寺川砂防施設について

重要文化財 常願寺川砂防施設について、重要文化財に指定される発端となったのは、2009（平成21）年に白岩砂防堰堤が全国で初めて砂防施設として重要文化財に指定されたことである。それに後を追う形で2017（平成29）年に、本宮砂防堰堤と泥谷砂防堰堤群も白岩砂防堰

堤と合わせた3施設で常願寺川砂防施設として重要文化財に指定された。これらの砂防施設を取り巻く状況は近年変化してきており、次の二点が大きな変化として挙げられる。

一点目は、2019（平成31）年に重要文化財に関して根幹の法律である、文化財保護法の一部が改正された点である。法改正以降は、重要文化財の「保存」に加えて「活用」の考え方も徹底されるようになり、砂防施設においても「利活用の促進」が求められるようになった。国土交通省と文化庁によると、砂防施設の利活用方策の検討においては、「見る」「学ぶ」「知る」といった来訪者の体験を基本として検討を行うことが重要であるとしている[1]。重要文化財 常願寺川砂防施設は、その歴史的な価値を保存するだけで無く、砂防学習の場としての機能が求められるようになった。

二点目としては、地球温暖化等を原因とした、災害の激甚化が挙げられる。気象庁によると、最近10年間（2014～2023年）の1時間当たり50ミリを超える降雨の平均年間発生回数は、過去の10年間（1976～1985年）と比べて約1.5倍に増加していることが報告されている。このような短時間における極端な降雨を一つの要因として、近年では令和元年東日本台風による災害や、令和3年7・8月の豪雨災害など、大規模な土砂災害が頻発している。災害の発生リスクが高まっている現在においても、重要文化財 常願寺川砂防施設のような歴史的砂防施設が土砂災害の発生を抑制するための効果を発揮し続けることが必要とされている[2]。

以上のような、重要文化財 常願寺川砂防施設を取り巻く状況を踏まえ、本稿では重要文化財の指定に至るまでの経緯や、現段階で検討中である保存活用計画についての経過と今後の方向性について報告する。

3. 保存活用計画について

(1) 保存活用計画の目的及び構成

「保存活用計画」は重要文化財（建造物）の所有者・管理責任者・管理団体等が対象となる施設の現状と課題を把握し、保存・活用に必要な事項や所有者等が自主的に保存・活用を行うことのできる範囲等を明らかにするとともに、これらに関し施設の所有者等と都道府県及び市町村教育委員会・文化庁の間の合意を形成し、所有者等による自主的な保存と活用が円滑に促進されることを目的として策定するものである[3]。

この保存活用計画は原則として所有者等が都道府県及び市町村教育委員会の指導・助言を得て策定するものであるため、平成21年6月に白岩砂防堰堤が日本初の砂防分野の重要文化財に指定されたことを受け、立山砂防事務所では保存活用計画の策定を開始した。保存活用計画の策定については、記載すべき事項や具体的な内容についての「策定指針」等が文化庁より公表されていたため、それらに準拠して計画策定を行うこととした。しかし、これらの策定指針は、対象とされる重要文化財が神社・仏閣などの「建造物」を想定して作られたものであり、砂防堰堤のように屋外に設置され土石流等の流下も想定されるような施設に対し、そのまま適用することが施設の特性や維持管理上、適切ではないと思われる箇所も多く、神社・仏閣などの「建造物」を対象とした既存の保存活用計画の策定とは異なる対応が必要となった。

立山砂防事務所では、白岩砂防堰堤の保存活用計画の策定の取り組みに際し、過去に砂防分野の重要文化財を対象とした保存活用計画の前例がないことと、この検討が後に続く文化財砂防施設の検討における重要な礎になることに鑑み、砂防分野と文化財分野の有識者から構成される検討委員会を設置し、委員会での協議を踏まえて保存活用計画の策定を行うこととした。図-2に重要文化財（建造物）の保存活用計画の策定手順を示す。

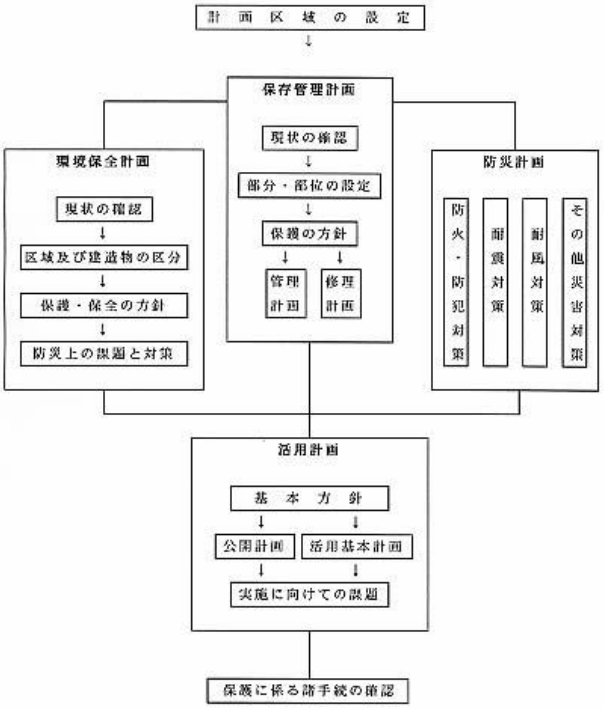


図-2 重要文化財（建造物）保存活用計画策定の手順
（出典：文化庁HP）

(2) 保存活用計画の基本方針

立山砂防事務所では、保存活用計画について独自の基本方針を次のとおり4つ設けている。

ⅰ）防災機能の保持を第一とする
ⅱ）極力原型を保持する
ⅲ）構造・材料に着目した区分での保存を行う
ⅳ）対応の迅速化・簡素化を行う

表-1　「常願寺川砂防施設」における「計画区域」の定義

区域	範囲	定義	範囲の考え方
保存区域	重要文化財（建造物）を含む区域で，この区域内では，原則として新たに建造物等を設けず，土地の形質の変更は防災上必要な場合に限る。	重要文化財の指定範囲。	重要文化財として評価された価値を形成している範囲。
保全区域	保存区域に隣接する区域で，歴史的な景観や環境を保全する。この区域内では建造物等の新築・増改築及び土地の形質の変更は，原則として**当該重要文化財砂防施設の補修・維持管理**若しくは防災上必要な場合に限る。	砂防指定地の一部。	重要文化財の構成資源のバッファーとして機能する範囲。**当該重要文化財砂防施設の補修・維持管理上必要な範囲を含む**。
整備区域	重要文化財（建造物）の活用のために必要な施設の整備を行うことのできる区域で，状況に応じて建造物と一体をなしてその価値を形成している土地として指定されている土地の一部を含むことができる。	施設の補修・維持管理および施設の活用の観点から必要となる範囲。	補修・維持管理や活用のために必要な施設の整備を行うことができる範囲。

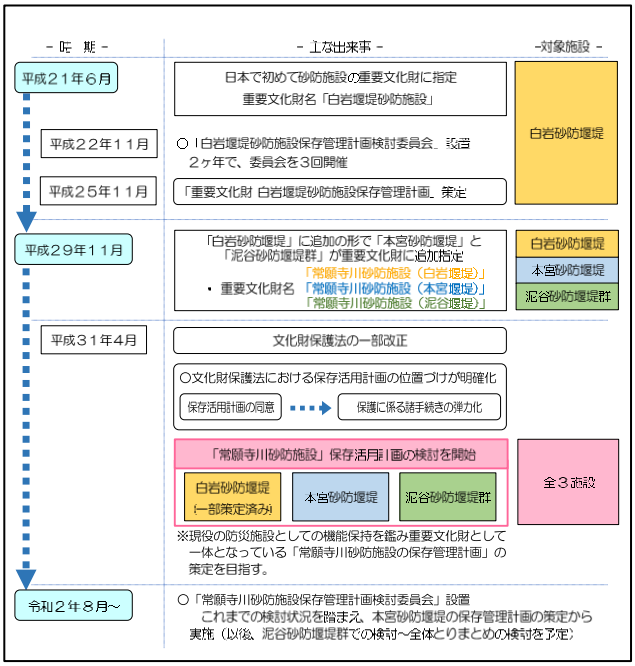


図-3　白岩砂防堰堤 重要文化財指定以降の「常願寺川砂防施設保存活用計画」検討の流れ

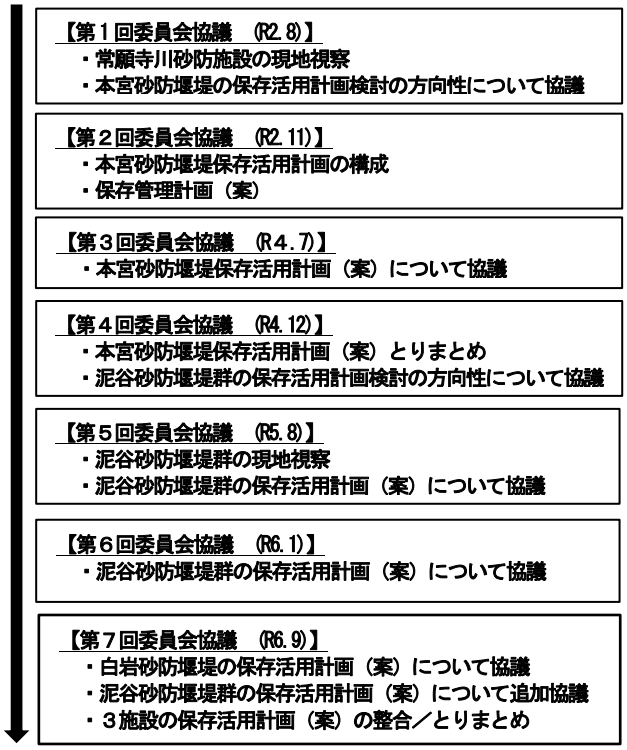


図-4　令和2年度以降に開催の「常願寺川砂防施設保存活用計画検討委員会」の開催時期と概要

ⅱ）～ⅳ）については、寺社仏閣等の重要文化財施設における保存活用計画においても基本となる考え方であるが、ⅰ）防災機能の保持を第一とするについては、砂防施設独自の考え方となっている。重要文化財である砂防堰堤が現役の防災施設として機能しており、寺社仏閣等の構造物とは異なる取り扱いをするべきであることが示されている。これらの基本方針は立山砂防事務所が独自で作成したものであり、全国で初めての試みである。

(3)　計画区域

保存活用計画には計画の対象範囲として「計画区域図（保存区域、保全区域、整備区域）」を示すことが義務付けられている。本宮砂防堰堤及び泥谷砂防堰堤群においては、「常願寺川砂防施設保存活用計画検討委員会」（詳細については後述）での協議を踏まえ、計画区域の設定が行われている。ただし、白岩砂防堰堤については、本宮砂防堰堤および泥谷砂防堰堤群での計画区域の検討を踏まえて検討案を作成し、現在、協議を行っている。表-1に、計画区域の定義や各範囲の考え方を示す。

4.　各堰堤における保存活用計画の策定状況

保存活用計画の検討を行う中で、平成29年に「本宮砂防堰堤」と「泥谷砂防堰堤群」が重要文化財の構成資源として「白岩砂防堰堤」追加の形で指定され、3つの施設で1つの重要文化財として扱われるようになり、重要文化財名も「常願寺川砂防施設」と改められた。

また重要文化財の取扱いを定めた「文化財保護法」が平成30年に改正（施行自体は平成31年4月1日から）され、保存活用計画の策定に関しても改正された文化財保護法に準拠して検討を行うことが求められた。

このため令和2年度より、これら近年の新たな法制度に対応した保存活用計画策定に向けて「常願寺川砂防施設保存活用計画検討委員会」を新たに設置し、計画策定の取り組みを続けている。図-3及び図-4に白岩砂防堰堤の重要文化財指定から始まった保存活用計画の検討の流れと、近年開催した委員会の開催実績を示す。

表-2　「常願寺川砂防施設」の部位の保存の方針（案）

部分の設定	部位に対する保存の方針		
	部材が劣化・損傷し、材料の取り替えをやむを得ず行うとき、当初の材料にできる限り近い材料、なるべく価値を損なわない材料で修理を行うことを基本とする。		常願寺川砂防施設における代表的な部位（案）
保存部分 主として部位の基準1・2に該当する部位により構成される部分	基準1	材料自体の保存を行い、やむを得ない場合には、形状・材質・仕上げ・色彩を保存する。 ● 材料の形状・材質・仕上げ・色彩の保存を行う部位 当初の材料に準じて修理を行う。	○張石・積石 ○積石
	基準2	材料自体の保存を行い、やむを得ない場合には、形状・材質・仕上げ・色彩を保存するが、これに拠り難い場合には、少なくとも形状及び色彩を保存する。 ● 形状及び色彩を保存する部位 現在の技術基準や安全性について確保する必要性から、当初の材料に準ずる修理ができない場合、形状、色彩が近いもので、基準、安全性を満たす材料による修理を行う。	○粗石コンクリート
	基準3	意匠上の配慮を行う。 ● 意匠上の配慮を必要とする部位 管理上（活用）又は補強等のため特に変更が必要な部位に限り周囲の意匠に配慮して改変する。	○竣工当時の純コンクリート ○補修コンクリート
その他部分	基準4	災害による損傷または防災のために行う工事を除き、現状のままとする。	

(1)　白岩砂防堰堤

図-5の色づけされた箇所は白岩砂防堰堤における重要文化財の指定範囲（本堰堤、副堰堤、床固、方格枠の4所）を示したものである。

「重要文化財保存活用計画策定指針」には、対象施設の将来に亘っての維持管理（特に修繕：文化庁用語では「修理」）の検討に際し、施設を構成「部分」と「部位」に区分した上で、それら「部位」に変状が生じた場合の修繕方法を明記することが定められている。そのため、白岩砂防堰堤の重要文化財としての指定範囲を「部分」と「部位」に区分した上で「保存の方針」として具体的な修繕の方法を4段階（「基準1」～「基準4」）に設定した（表-2）。

白岩砂防堰堤の保存活用計画の策定当時、検討委員会における計画策定に向けた議論は既存の重要文化財保存活用計画の検討を踏襲する傾向が強く、防災施設という砂防堰堤の特性や、土石流の流下等による変状の発生のし易さ等の設置箇所の場の条件などに対し、委員からの理解を得るために多くの努力が必要であった。特に施設に使用されている材料、特に石材や粗石コンクリート等、竣工当時の昭和初期に用いられていた材料（材質、形状、色彩）の保存や交換する場合の再現性について、文化庁行政と砂防行政との間には相反する見解があり、合意に至るまでの説明や協議に多くの時間が必要であった。

図-5　白岩砂防堰堤　重要文化財の指定範囲

(2)　本宮砂防堰堤

図-6に本宮砂防堰堤での重要文化財の指定範囲（本園堤、旧第一副堰堤、附・旧混合配給所基礎石垣）を示す。

本宮砂防堰堤の保存活用計画の検討では、基本的に白岩砂防堰堤での検討を踏襲し、部分・部位の区分に応じて当初の使用材料を用いた補修方法を用いる方針とした。

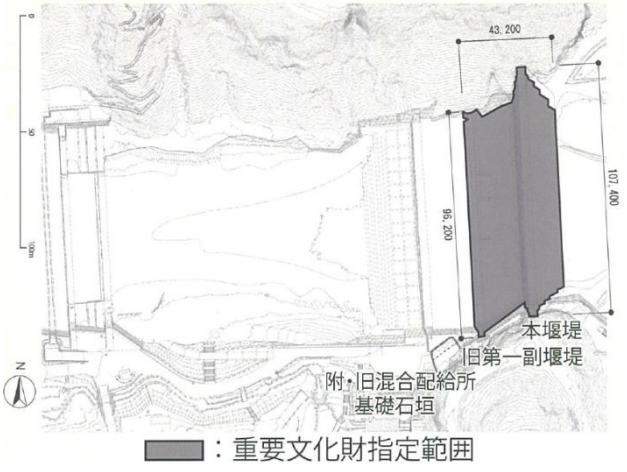


図-6　本宮砂防堰堤　重要文化財の指定範囲

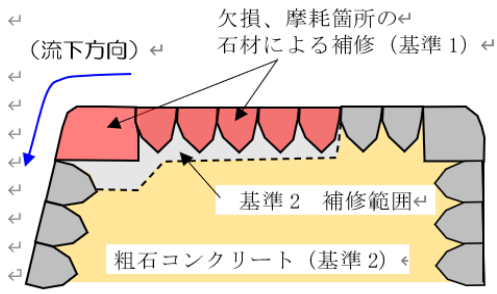
変状	補修方法	利点	留意点
下流側端部の石材が欠損した場合	下流端の石材を積み直し、水通し天端の摩耗・欠損箇所を石材にて補修する。 	・基準 1 および基準 2 に準拠 ・文化的価値への影響が少ない。	・粗石コンクリート（基準 2）の箇所については、オリジナルの状態・性質を尊重しつつ、構造的な安定性・安全性・耐久性の観点から、その時代に最も適した工法で修理を行う。

図-7　「常願寺川砂防施設」の部位の保存の方針（案）

ただし基準2（粗石コンクリート）の箇所についてはコンクリート標準示方書にも粗石コンクリートの記載が現在は無くなっていることや、粗石コンクリートを使用した場合の砂防関係施設としての機能の低下の恐れの問題等から、施設の維持管理上も好ましくないということが課題となった。そのため本宮砂防堰堤での検討において、「基準2」の材料（粗石コンクリート）の箇所の補修に関しては、当時粗石コンクリートを使用した際の思想と白岩砂防堰堤での検討の際に設定した基準2の部位の保存の方針である“現在の技術基準や安全性について確保する必要性から、当初の材料に準ずる修理ができない場合、形状、色彩が近いもので、基準、安全性を満たす材料による修理を行う”を踏まえ、補修を行う際に“使用できる最も適した材料（竣工当時は粗石コンクリート、現在ならば純コンクリート、将来ならばその他の材料）”を用いて補修を行うという趣旨の記載案を考案し、文化庁行政に対し委員会総意による提言事項とすることで承認を得た（図-7）。

(3)　泥谷砂防堰堤群

泥谷砂防堰堤群では、白岩砂防堰堤や本宮砂防堰堤と異なり、全施設のうち19基の「砂防堰堤」と3基の「床固」、それら施設間の「側壁護岸」が重要文化財の主たる施設として、また山腹工等を構成する数多くの「山腹基礎工」「土留工」「水路工」が「附（つけたり）」施設として指定されている（図-8）。

これらの施設うち、「砂防堰堤」「床固」「側壁護岸」については、基本的に白岩砂防堰堤や本宮砂防堰堤と同様の補修方法で補修を行うものとした。一方で「附」施設として指定された施設は荒廃した山腹斜面に植生を回復させるために急勾配の斜面に設置されたものであるが、竣工後長い期間を経た現在は山腹工の機能を見事に果たし「緑の復元」を成し遂げており、自然斜面のようになっているものも少なくない状況であった。このため山腹工を構成している「附」指定の施設を対象に、施設の竣工当時に求められていた機能と今日施設に求められている機能を比較・評価した上で、今後の施設の保存管理においては「砂防堰堤」「床固」「側壁護岸」といった主たる施設とは異なるレベルの維持管理方針を検討し、検討委員会において委員会提言という形で承認を得た。

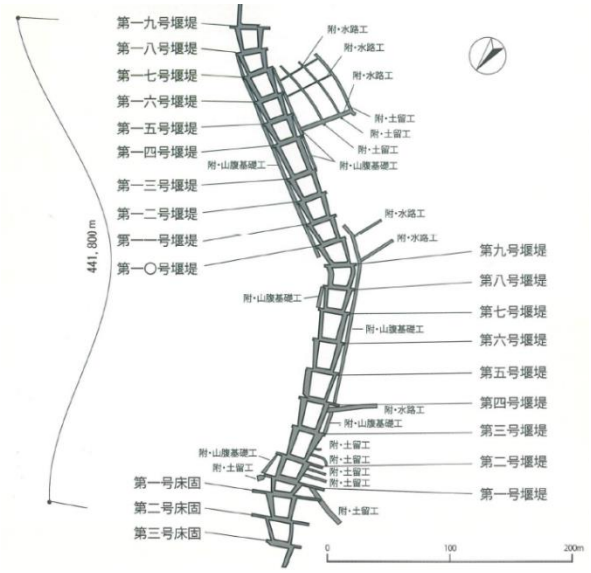


図-8　泥谷砂防堰堤群　重要文化財の指定範囲

このことにより、重要文化財として指定を受けた施設のうち、「附」指定の施設については施設の現状を踏まえた今後の効率的な保存管理に資する保存管理レベル（図-9）を導入してゆくことが可能となった。

なお泥谷砂防堰堤群については、特に山腹工を構成する「附」指定の施設に関しては施設の詳細な状況を確認できる資料の現存が乏しかったため、平成29年度の重要文化財指定時の前から現地で現存調査を繰り返し実施している。

これら近年までの現地調査の際に、現状で重要文化財に指定されていない施設も現地に若干現存している可能性が明らかになってきており、重要文化財の構成施設への追加等を含めて、今後の取扱いに関しては更なる検討の余地がある。

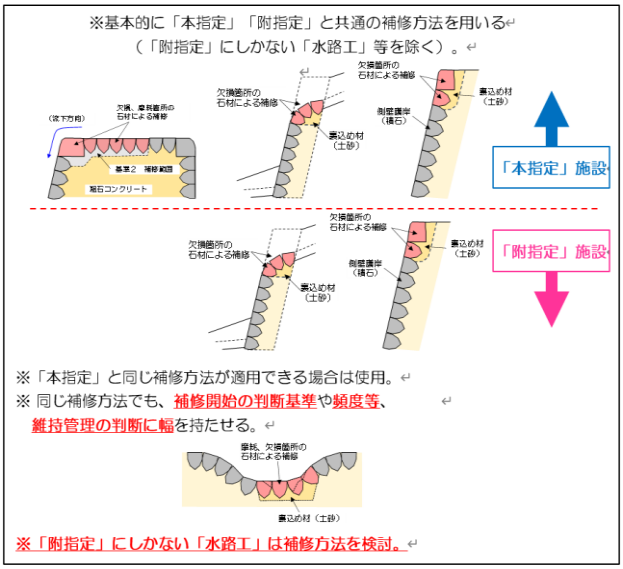


図-9　泥谷砂防堰堤群の「本指定」の施設と「附指定」の保存管理のレベルの違い

5.　常願寺川砂防施設としての保存活用計画

冒頭で触れたように、重要文化財「常願寺川砂防施設」は白岩砂防堰堤、本宮砂防堰堤、泥谷砂防堰堤群という3つの施設から構成されており、施設の竣工年代こそ昭和初期で共通であるが、その施設の構造や設置された箇所や場の条件等は全て異なっている。このため「常願寺川砂防施設」の保存活用計画の策定においては白岩砂防堰堤での検討を皮切りに、一つ一つの施設に対して「保存管理計画」をはじめとする諸計画の策定を個別の施設に対して行ってきた。

当初の検討から数えて約10年に亘る検討の間、構成資源の追加や文化庁行政の法律改正、施設や砂防事業を取り巻く社会情勢等については様々な変化等があり、それらへの対応を図る中で検討開始当初には存在しなかった維持管理と保存活用に関する「常願寺川砂防施設」独自の概念（前述の本宮砂防堰堤での検討で生まれた「基準2」の材料の取扱いや、泥谷砂防堰堤群での検討で生まれた「附指定」施設の管理レベルの概念）等も委員会での協議を経て新たに創出された。

これら近年の検討で生まれてきた新しい概念を3施設間で共通のものとするため、今後、各計画間での調整・整合を取り、三位一体の「常願寺川砂防施設」としての保存活用計画を取りまとめる必要がある。

なお、3施設のうち白岩砂防堰堤と泥谷砂防堰堤群は一般者の入域制限がかけられている立山カルデラ内に設置された施設であり、安全上の観点等から現状では極めて限定的な活用に留まっていることも事実である。文化財保護法や保存活用計画では「文化財の活用により国民の文化的向上と世界文化の進歩に資する」旨も謳われており、可能な限り幅広く公開や活用の拡大を行うことが望ましいと思われるため、今後、管理瑕疵に対する考え方の整理を含めた安全確保の方策の検討を行うとともに、将来的な活用の拡大に向けた検討を継続してゆくことが極めて重要である。

また、改正された文化財保護法では、重要文化財に指定された後に実施した実績のある補修方法の内、保存活用計画の中にあらかじめ記載された補修方法を用いる場合に限り、補修に際して事前に文化庁行政と行う事前協議が簡略化できる可能性が示されている。重要文化財常願寺川砂防施設には、重要文化財の指定後に実施した補修実績はまだないため、将来補修を行う必要に迫られた際には、可能な限り文化庁行政との協議を行い、補修実施に際し、どの程度の補修であれば文化庁との事前相談が不要となるかを明らかにしておくことが望ましい。

6.　おわりに

立山砂防事務所では、平成21年6月の白岩砂防堰堤の重要文化財指定以来、砂防施設本来の防災機能の維持と文化財としての価値の保全の両立や地域活性化資源としての活用を目指し、保存活用計画の策定の取り組みを続けてきた。

今後、白岩砂防堰堤、本宮砂防堰堤、泥谷砂防堰堤群の3施設それぞれでの検討を踏まえ、１つの重要文化財「常願寺川砂防施設」の保存活用計画としてとりまとめ、令和7年度以降に文化審議会への答申を目指している。これらの取り組みが、引き続き常願寺川流域の人々を土砂災害から護るのみならず、富山県による立山砂防の世界遺産への指定の取り組みへの支援を含め、中山間地の地域活性化の向上に対しても資することを期待する。また、重要文化財である砂防施設についての保存活用計画を国が主体となって策定する事例はこれまでに無いため、立山砂防事務所での取り組みが、歴史的砂防施設の保存・維持・活用に関する重要な知見をもたらすことが期待される。

謝辞：本稿を作成するにあたり、一般財団法人　砂防フロンティア整備推進機構より貴重な資料のご提供のみならず、大変参考となるご助言を多くいただきました。ここに深謝の意を表します。また、これまでの検討委員会等で重要文化財　常願寺川砂防施設の保存活用計画に携われた関係者の皆様に感謝申し上げます。

参考文献

1)　国土交通省　河川局・文化庁　文化財部：歴史的砂防施設の保存活用ガイドライン，2003.
2)　渡邊尚：歴史的砂防施設の維持管理－古い年代に竣工した砂防施設の長寿命化と利活用－，ベース設計資料No. 182土木編 後，pp. 45-50，2019.
3)　文化庁：重要文化財（建造物）保存活用計画の策定について，庁保建第164号 文化庁文化財保護部長通知，1999.

トキの野生復帰及び情報発信に向けた施設整備における設計や施工時の取組と効果について

矢野竜太郎

営繕部　整備課　（〒950-8801　新潟市中央区美咲町1-1-1）

1999 年に中華人民共和国からトキが贈呈され、その後、国内で初めて人工繁殖に成功した。飼育羽数の増加につれ、2007 年に飼育下のトキが野生下で自立や生存できるようにする訓練施設が必要となり、環境省が「トキ野生復帰ステーション」を設置した。本年はトキの贈呈から四半世紀という節目の年となる。本論文では、2013 年と 2017 年に環境省からの依頼を受けて整備を行った、「トキ野生復帰ステーション」内の事業における当時の設計や施工時における取組と、施設供用後のトキの生育状況及び野生復帰事業の情報発信からみる効果検証について紹介する。

キーワード　トキ、飼育繁殖、観察、交流の場、天敵、野生復帰

1.　施設概要

(1) トキ飼育ケージ（写真1）

工事名称　：　トキ保護センター(13)飼育ケージ新築工事
所在地　　：　佐渡市新穂正明寺 1277 番(非公開エリア)
延床面積　：　550 ㎡
構造　　：　鉄骨造 1 階建
工期　　：(設計)2013 年 6 月 4 日～2013 年 10 月 22 日
　　：(工事)2013 年 12 月 3 日～2014 年 10 月 25 日
設計　　：　株式会社プレック研究所
施工　　：　伊藤建設株式会社
利用者　　：　トキ野生復帰ステーション内の職員

図 1　　トキ野生復帰ステーション案内図

(2) トキのテラス（写真2）

工事名称　：　野生トキ観察施設(H30)新築工事
所在地　　：　佐渡市新穂正明寺1277番（公開エリア）
延床面積　：　162.90㎡
構造　　：　鉄骨造2階建（一部木材利用）
工期　　：(設計)2017 年 8 月 31 日～2018 年 3 月 23 日
　　：(工事)2018 年 11 月 29 日～2019 年 8 月 9 日
設計　　：　株式会社グリーンシグマ
施工　　：　遠藤建設・中野建設工業共同企業体
利用者　　：　観光客等一般の見学者
利用時間　：　2階屋内観察所は9時～17時まで、
　　屋上観察所については24時間開放

写真 1　トキ飼育ケージ（外観）

写真 2　トキのテラス（外観）

2. 事業の経緯について

(1) トキ飼育ケージ

トキ野生復帰ステーションが竣工して、初めてトキの自然界への放鳥に向けた訓練及び飼育繁殖が実施された。当時は約 10 羽のトキを飼育していたが、環境省職員をはじめとする関係者の尽力により、2012 年では約 20 羽のトキを飼育するようになった。しかし、当時のケージの収容力を超えた高密度飼育に伴うストレスの影響で、「食欲の低下」や「体重減少」が見受けられるようになった。そのため、健康的なトキの飼育を促進する新たな飼育ケージの建設が必要になり、2013 年に設計と工事について環境省から国土交通省に依頼を受けた。

(2) トキのテラス

トキ野生復帰ステーションは、2017年に10周年を迎えて、佐渡島内に多くの野生のトキが生息するようになった。「野生トキの個体数の増加」、「生息域の広がり」に伴い、観光客等が野生のトキに近づくために無断で農地に侵入したり、人間に敏感なトキに影響を与えたりする事例が生じた。つまり、野生トキを観察する機会が求められつつも、「野生トキの観察方法や生態」について認知されていない状況にあった。そこで、野生トキを観察でき、トキの生態に関する情報収集及び一般の利用者への情報発信の場として、トキを恒常的に観察する施設を整備することとなり、2017年に設計と2018年に工事について環境省から国土交通省に依頼を受けた。

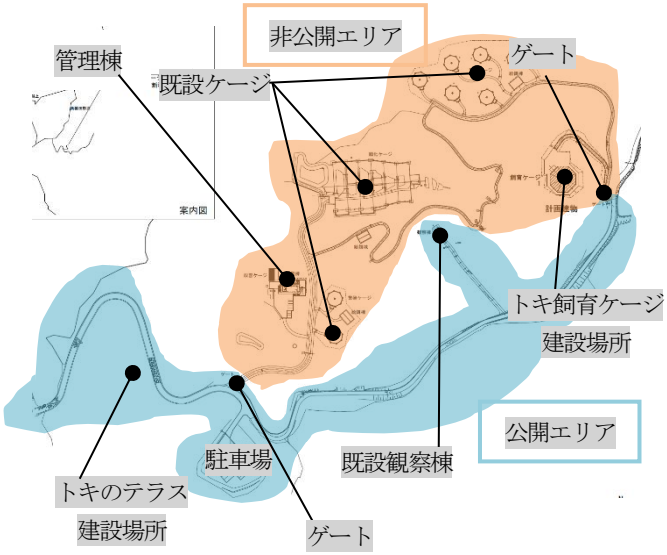


図 2　トキ野生復帰ステーション配置図

3. 設計時の留意事項

(1) トキ飼育ケージ

a) 敷地選定の経緯

環境省から支出委任を受けたものの、具体的な建設場所は決まっておらず、既設ケージ内のトキへの影響や、コストを考慮した建設場所を選定する必要があった。新たなトキ飼育ケージ建設場所であるA～Fの候補地について、営繕部職員含めて現地調査を行い関係者との検討や協議を重ねた。（図3）

【候補地A及びC】

既設ケージと隣接しているため、工事中におけるトキへの影響が大きい。

【候補地B】

既設の飼育ケージと距離があり、工事中のトキへの影響は少ない。また、傾斜が緩やかであること、及び樹木等が少ないことから平坦地確保が容易である。しかし、公開エリアにある既設観察棟への動線に隣接しているため観光客（特に団体客）の騒音などでトキを刺激する要因が多い。

【候補地D】

既設の飼育ケージと距離があり、工事中のトキへの影響は少なく、ゲート内の非公開エリアに整備できるのでセキュリティ性能が高い。しかし、傾斜が大きく平坦地確保が困難であり、アクセスするための通路がない。

【候補地E】

既設観察棟の利用者用トイレ及び駐車場として利用されているため、候補地Eに建設した場合、トイレ及び駐車場を移設する必要がある。

【候補地F】

公開エリアにある既設観察棟を利用する観光客（特に団体客）の動線上にあり、騒音などでトキを刺激する要因が多いこと、及び傾斜が大きく平坦地確保が困難である。

以上を踏まえて環境省と協議を行った結果「工事中のトキへの影響が少ないこと」及び「非公開エリアのため、セキュリティ性能が高いこと」から候補地Dとなった。

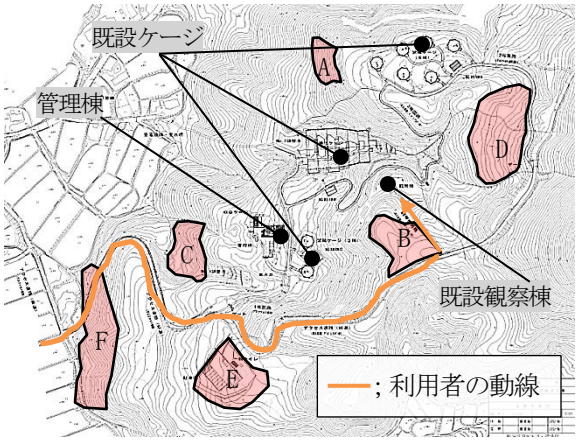


図 3　飼育ケージ新設候補地

b) 天敵への対策

2010年、既設ケージ内にテン1匹が侵入して1晩で9羽のトキが死亡したという事故が発生した。テンは穴を掘る能力、樹木や壁を登る能力及び頭（高さ33㎜、幅45㎜）が通り抜けられる隙間があれば体も通り抜けること

ができる能力がある。当時にテンが侵入したと思われる場所は壁面部の隙間と考えられている。（写真3）

そのため、新しいトキ飼育ケージの設計にあたって、以下の内容の対策を講じる協議を行い、環境省から了解を得ることができた。

・30㎜以上の隙間を1か所も作らない設計とする。
・テンが登れないように高さ6mの半透明のアクリル板を設ける。（図4）
・飼育ケージ内まで穴を掘らせないために、基礎の深さを1mまで設ける。（図4）

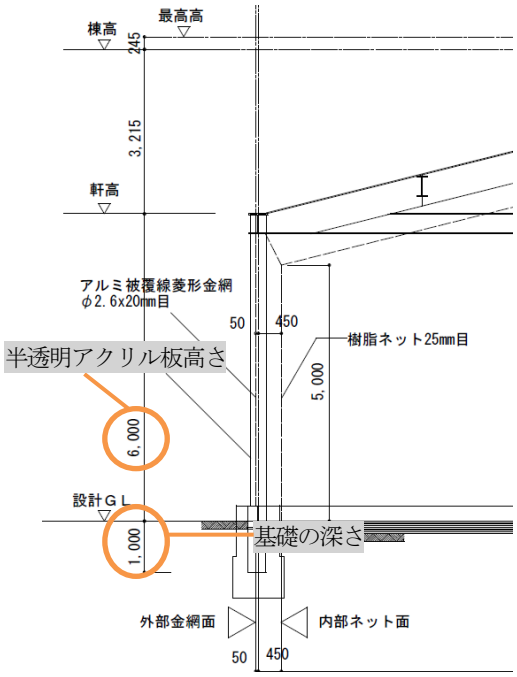


図４　トキ飼育ケージ断面図

写真３　事故当初のケージの隙間
（鉄骨と金網の接する部分）

c）トキ飼育ケージの形状

トキを自然に放鳥することを考慮し、ケージ内部はできる限り自然環境に近づけられるようトキの生態を環境省に確認しながら設計する必要があった。そのため、以下の内容に配慮して設計を行った。

・パニック（トキは神経質な動物であり、ケージ内外の環境変化等に驚くとパニックを起こして飛翔する）による建物への衝突、及び落下時の怪我防止のため、ケージの最低高さはトキが飛翔可能な最小限の高さである5mとし、ケージ内中央の柱を中心にケージ内を一周できる設計とする。（図5）
・監視カメラは可動式でケージ内に死角が生じないようにするとともに、餌場で採餌する様子や止まり木に止まっている様子等を確認できる位置に設ける。（図5）
・休憩場所となる止まり木は天然木を使用し、10 羽程度のトキが止まりやすいように枝張りや枝の長さの調整を行う。（写真4）
・止まり木の天井付近や壁のパネルは雨風を遮るとともに、光源を取り入れるため半透明な材料とする。（写真4）
・ケージ内の地面は川砂敷き、池は土砂を使用して製作する。池水が浸透により枯渇しないように、土砂下にコンリクートを敷き池水をためられる設計とする。（写真4）
・パニックによる建物への衝突防止や鳥インフルエンザの対策として野鳥の侵入を考慮し、ケージの内側には樹脂ネットを設ける。

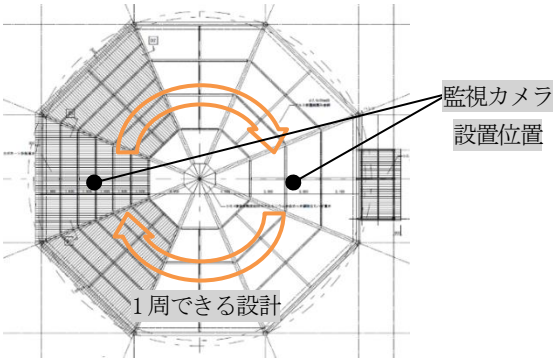


図５　トキ飼育ケージ平面図

写真４　トキ飼育ケージ（内部）

⑵ トキのテラス

a) 利用者及びトキに配慮した設計

以下の事項に配慮して設計を行った。

・野生トキのねぐらが近くにあり、飛翔や餌取りを観察できるという情報及び意見が多く寄せられた候補地F（図3）の一角にトキのテラスを建設をする。

・森の中にひっそり佇むようにするために既存樹木の伐採や剪定を必要最低限にしつつも、屋上や観察室からの眺望及び野生トキの観察の妨げとならないような建物高さの設定と伐採計画を立てる。（写真5）

写真５　　屋上からの全景写真

・観光客や修学旅行生などの利用者に対して、トキのテラス利用前に、雨天時でも施設概要や施設利用時の注意事項を説明することを想定して、1階にピロティを設ける。また、晴天時においては大人数の利用者に対応するために、1階のピロティに加えて屋外広場も使用できる設計とする。（写真6）

写真６　　１階ピロティ部及び屋外広場

・野生トキや展示物を快適に長く観察や閲覧ができるように、冷暖房設備を設置した屋内観察室を設ける。（写真７及び８）

・一度に多くの利用者に対応できるように、無柱空間とする設計とし、天井を張らないことで圧迫感の低減を図る。（写真７及び８）

・展望室の窓は、観察に支障がない大きな１枚のガラスにするとともに、窓の清掃が行えるよう隣に小さな窓を設置する。（写真７）

・環境省発注の展示工事で考えられた展示物やサイン計画等について、環境省と協議を重ねた上で、展示物を照らす間接照明などを設置する。（写真８）

・照明の光に敏感なトキに対して影響を与えることなく観察するために、通常の照明ではなく足下を照らすフットライトを利用し、できるだけ自然光を利用した観察施設となる設計とする。（写真８）

写真７　　２階屋内空間状況

写真８　　２階屋内空間状況

・冷暖房が不要である春や秋の中間期では、地窓と高窓を用いて、自然通風を行うことで省エネを図る。（写真９）

写真９　　自然通風について

b) 木材利用

景観への配慮や利用者の快適性の向上のため、外壁や内装はできる限り木材を使用することとし、材種は断熱性、調湿性及び経済性に優れている「杉」とした。

外壁は横に長い板材を階段状に重ねる張り方で雨水の浸入を防ぐとともに、色に敏感なトキを刺激しない「濃茶色」とした。内装の壁や天井の垂直面は縦張り、水平面は長手方向に横張りで張り方を変えることで杉の直線的な木目でメリハリを効かすようにした。

主構造は鉄骨造であるが、2 階の小梁や床は木材を使用して積極的な木材利用を図った。（写真 10）

写真 10　施工状況

4. 施工時の留意事項

(1) トキ飼育ケージ

トキは通常の飼育動物と異なり、非常に憶病で神経質な動物である。特に、ケージ内外の環境の変化及び人間の接近に対してパニックを起こすなど極めて敏感な動物である。トキ飼育ケージは既設ゲージと適度な距離があったが、トキの特性から以下の事項に配慮をして施工を行った。

【音の対策】

作業で発生する騒音については、環境省職員が常に監視しているカメラを通じて、トキの様子を確認し、工事受注者と常に連絡を取り合って施工を進める。また、事前に想定される騒音（金属音など）は施工前に音を出してトキの様子を確認する試験を実施し、環境省職員の合意を得る。

【色の対策】

工事受注者作業員の服装を赤や黄色等の派手な服装の着用を避けること、及び使用する重機についても派手な色ではなく青色のものを使用する。

【光の対策】

重機や工事用の照明を既設ケージの方面に向けないよ配慮をする。また、工事用照明をできる限り利用しないよう、作業は日没までとする。効率的な作業を行うため、作業中の資機材搬出入は行わないようにし、作業前日までの準備を徹底する。

【動作制限の対策】

工事受注者の作業員が既設ケージ内のトキの視界に入る場合は、走るなどの動きをしないこと、及び傘や大きな鋼材等を携帯しないこと（自然と動作が大きくなってしまうため）に注意をする。トキの視界に入る大きな鋼材等の運搬が必要になる場合は、事前に環境省職員と連絡を取り、視界にはいらないよう、既設ケージの目隠しの対応等をして施工を行う。また、重機のブームは、工事前にブームの伸ばし、トキの様子を確認する試験を実施し、環境省職員と合意を得た上で施工を行う。

【天敵対策】

施工図や施工後において 30 ㎜以上の隙間がないか確認を十分に行う。

【鳥インフルエンザ対策】

工事受注者の作業員の靴及び工事の資機材搬出入の車のタイヤの消毒を徹底する。

【放鳥時の対策】

トキの放鳥時でも作業を一時中断できる柔軟な対応ができるように環境省と密接に確認をとり、施工を行う。

(2) トキのテラス

トキのテラスは、既設の飼育ケージからもっとも離れている候補地Ｆ（図3）の一角に建設することから、既設ケージのトキに配慮した工事制約は無かった。しかし、以下のような観光客等へ配慮した工事制約があった。

・建設場所は公開エリア内で、観光客や島民が既設観察棟の利用ための駐車場に至る動線上である。そのため、既設観察棟の利用を妨げないように一般車両等の通行状況を確認しながら、臨機応変に工事車両の通行や資機材搬出入を行う。（図 6）

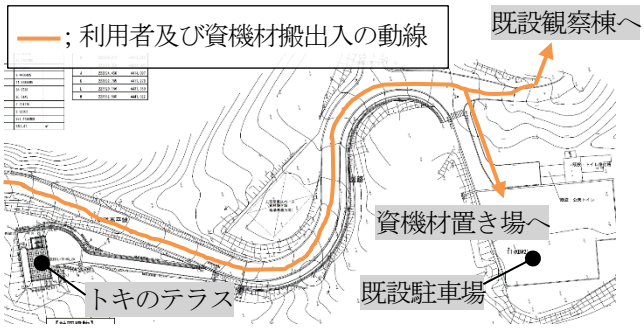


図 6　利用者及び搬出入路の導線について

5. 施設の現在の評価

施設が完成して数年を経て、職員や利用者等から現在の状況について意見を頂いた。

(1) トキ飼育ケージ

a) 環境省職員からの意見

・自然に囲まれた場所に飼育ケージがあり、トキにとってストレスフリーな環境で生育できている。
・2010 年のトキ死亡事故から、天敵の侵入は一度もなく安全にトキを野生復帰まで生育することができている。
・現在は、繁殖引退をした個体及び病気などで飛びづらい個体などを飼育しており、野生復帰や飼育繁殖に関わる個体は既設ケージで対応している。

・実際にトキ飼育ケージが完成しトキを飼育してみると、半透明アクリル板の影響で、全方向に視界が通じていたため、トキにストレスが蓄積しパニック状態になったので、環境省の方でパネルに塗装を施した。

b) 施工者の意見

トキの生態に影響なく施工を進めることにとても苦労した。トキという佐渡を代表する生物の飼育、繁殖及び野生復帰に関わるトキ飼育ケージの整備事業に携わることができ、大変貴重な経験であった。

⑵ トキのテラス

a) 環境省職員の意見

・とても高い確率でトキを観察できる場所に建てられており、当初の目的が実現できている。
・内外装の木材利用により心地よさや落ち着き感がある。
・現在は、野生トキを観察する場所だけでなく、野鳥の観察会や屋上で星を観察する行事など様々な用途で使用されている。

b) 利用者の意見

・2 階屋内観察室の窓が大きく野生トキを観察しやすい。
・2 階屋内観察室は、明るくてとても開放感がある。
・悪天候でも 2 階屋内観察室があるため、楽しむことができる施設である。
・電灯が最小限のため野生トキの観察だけでなく星空も綺麗に観察できる。
・空調設備があるため外の気温に影響なく野生トキを観察できる。
・屋上から両津港や大佐渡山脈、真野湾などを見渡すことができる魅力的な場所である。
・エレベーター未設置施設のため足の不自由な方は使用することができない。
・駐車場からトキのテラスまでの距離が遠い。
・2 階屋内展示物が少ないかつ、わかりづらいことに加え、望遠鏡の使い方がわからない。
・2 階屋内観察室前の木が昔より成長していて、周りの景色が少し見えにくい。

c) 施工者の意見

・トキのテラス周辺には、何も無く静かで素朴な印象の建物のため、野生トキの観察に適している。

6. 施設の効果検証

⑴ トキ飼育ケージ

「建設場所の選定」、「自然環境近いケージの形状」、及び「天敵の対策」で良い評価を得ることができた。繁殖引退の個体等を新たなケージで飼育し、既設ケージでは飼育繁殖等の個体を飼育していることから、トキそれぞれの状態に適した形で、飼育することができている。また、飼育ケージ内部のトキの様子から止まり木や池などを問題なく利用できている。飼育職員等からも高評価を得ることができており、飼育個体数及び野生復帰個体数の増加に寄与できている。

⑵ トキのテラス

「野生トキを高い確率で観察できる敷地の選定」、「内外装の木材利用による利用者の心身に良い影響をもたらす設計」及び「開口部及び屋内空間を大きく取った構造」など高い評価を得ることができた。

また、野生トキを観察するだけでなく様々な用途で利用される交流の場になることによって、観光客等へ野生トキの生態の認知に繋がり、適切に野生トキを観察できるようになった。一方で、指摘点も以下のようにあった。

エレベーター未設置の意見については、設計当時の環境省の方からの言葉として「トキのテラスは博物館のように誰でも施設利用できる施設とは趣旨が異なる。利用できない代わりとして、当施設以外でトキを観察できる場所を紹介するなどソフト面で対応する」という理由で設置しなかった。しかし、現在は多様な使われ方をしていることから、今後同様な施設の整備については、エレベーターの設置等を踏まえたバリアフリー化を予算要求段階から環境省に提案していく必要がある。

駐車場からトキのテラスまでの距離が遠いという意見については、環境省との協議で、「現在の駐車場機能で不足がないこと」、「新たな駐車場の整備による既存樹木の伐採を避けること」及び「トキのテラスと比べてさらに駐車場から距離が離れている既設観察棟と同じような使い方を想定したこと」などから設けなかった。

「2階の屋内展示物が少なくて分かりづらいことに加えて望遠鏡の使い方がわからない」や「樹木が成長していて、2階の展望室から周りの景色が少し見えにくい」の意見については、建物を適切な形で運用していくためにも施設管理者である環境省職員に伝える必要がある。

7. おわりに

自然界では日本から姿を消してしまったトキが、トキ野生復帰ステーションにおいて取組まれている「人とトキが共生する社会づくり」に基づいた「飼育と繁殖」や「自然への放鳥」、「自然繁殖した個体の保護及び観察」によって、約 550 羽のトキが佐渡の自然下に生息している。その一役を担った「トキの飼育ケージ」と「トキのテラス」の整備に関われたことは貴重な経験となった。

非常にデリケートなトキに注意しながら事業を進めなくてはならないなかで環境省職員、設計者及び工事受注者の関係者の尽力により、様々な方から良い評価を得ることができた。

今回の事業を通して得られた知見を今後において、環境省から観察施設の整備依頼など含めて官庁営繕事業に生かしていくとともに、佐渡島を拠点として全国にトキの生態及び野生復帰ついても認知・普及され、全国で野生のトキが見られるようになることを期待する。

沖縄管内のブルーカーボン形成及び活用方策の検討

國場　幸恒[1]・小野木　佑徳[1]

[1]内閣府沖縄総合事務局　開発建設部　港湾計画課　（〒900-0006 沖縄県那覇市おもろまち2-1-1）

海洋生態系によって取り込まれた炭素をブルーカーボン（以下，BC）と呼び，港湾・海岸分野では，脱炭素化の取組の一つとしてCO_2の吸収源であるBC生態系の保全・再生・創出が取り組まれている．一方，沖縄におけるBC生態系の現地調査事例は少なく，海草や海藻藻場等の詳細な生育条件に関する知見が乏しい．そこで，特に藻場の生育環境が整っている金武湾港において，ドローン調査と併用した藻場の現地調査を実施し，周辺の海岸保全施設と藻場の生育状況との関係性を明らかにすることで，藻場造成にかかる条件を整理した．

本論では，その成果と海岸保全施設整備におけるBC形成に向けた方策をとりまとめた．

キーワード　ブルーカーボン生態系，脱炭素化，藻場造成

1. はじめに

2020年，我が国は「2050年カーボンニュートラル（CN）」を宣言し，2021年には，「2030年度に，温室効果ガスを2013年度から46パーセント削減することを目指す」ことを表明した．カーボンニュートラルとは，社会全体として温室効果ガス排出量と吸収量の差し引きがゼロである状態をいう．温室効果ガス削減のため，主要エネルギーを化石燃料から水素・アンモニアや太陽光等の脱炭素エネルギーに転換するなど，技術開発が進められている．しかし，排出量を完全にゼロにすることは困難であることから，解決の一端を担う吸収源として，2009年の国連環境計画（UNEP）中で，海洋生態系に取り込まれ，土壌等に蓄積される炭素がブルーカーボン（以下，BC）と命名され，注目されている．国土交通省は2022年，「命を育むみなとのブルーインフラ拡大プロジェクト」を発表し，藻場・干潟及び生物共生型機能を携えた港湾構造物をブルーインフラと位置付け，海洋生態系の保全・再生・創出の拡大に向けた環境整備等の取組の検討を進めており，沖縄においても藻場・干潟周辺の海岸保全施設などのハード整備と一体とした取組が求められている．

図-1　BC 生態系による CO_2 吸収の仕組み [1)]

沖縄は，サンゴ礁域内側の浅海域に，大型藻類や海草が濃密で広大な群落を形成している藻場が多く見られる．一方，日本本土と異なる亜熱帯気候であり，生態系の構成種や特性も異なることから，現地調査による知見収集が重要視されるものの，詳細な現地調査が実施されている事例は少ない．特に，BC形成に資する海岸保全施設整備の方向性を示すうえで，海岸保全施設とBC生態系の生育状況との関係性を明らかにする必要がある．

以上から，BC形成を推進するための有用な知見を得ることを目的に，BC高ポテンシャル区域と選定した金武湾港における藻場生育状況調査を実施した．本論では，その調査成果と併せ，今後の海岸保全施設におけるBC形成に向けた方策をとりまとめた．

2. BC生態系について

BC生態系は，海草，海藻，干潟，マングローブの計４つが認識されている．各特性は以下のとおりである．

(1) 海草

海中で根をはり，地下茎による栄養繁殖及び花を咲かせ，種子によって繁殖する種子植物であり，内海・内湾の砂泥域の浅い所に生息する．（代表例：リュウキュウスガモ，アマモ）

(2) 海藻

胞子によって繁殖する藻類であり，主に岩礁域に生息する．根を有しておらず，土壌中に炭素を固定化することは難しいが，炭素を吸収した流れ藻が深海に堆積していくことで，大気と海の循環から外れ，炭素が貯留される．（代表例：ガラモ，コンブ，ワカメ）

(3) 干潟

干潮時に現れる砂や泥が堆積した勾配が緩やかな潮間帯の地形をいう．砂泥底の表面に着床する珪藻類である底生藻類が，光合成により炭素を土壌中へ貯留する．

(4) マングローブ

亜熱帯林の一種であり，熱帯，亜熱帯の潮汐干潟に生育する．国内では，鹿児島以南に分布する．

3. BC生態系の現地調査方法の検討

(1) 調査区域の検討

調査区域の検討にあたり考慮した，海岸沿岸域での選定条件及び整理方法を表-1に示す．各港湾区域における水深，底質，海岸保全施設からの藻場分布状況，近接する海岸保全施設の構造から点数別に精査し，藻場の生育ポテンシャル，または，海岸保全施設との関係性が大きいと推定される5点以上の区域数を集計した結果を表-2に示す．結果から，金武湾港及び中城湾港が高ポテンシャル区域であることが分かる．本調査では，海草・海藻藻場の双方が豊富と推定される金武湾港に着目し，特に高ポテンシャル区域が密集する屋嘉地区～伊芸地区周辺の海域において，海岸から50m程度の範囲で調査区域を選定した．

(2) 調査方法の検討

藻場の一般的な現地調査方法を表-3に示す．既往の調査では，船舶を用いた調査や潜水調査などが実施されており，精度が高い一方，準備費用が高額となる．金武湾港選定区域は，沖縄の特徴である浅場かつ透明度が高い海を有していることから，カメラによる目視調査も有効であると判断し，船舶よりも安価でかつ広域を容易に把握可能であるドローン調査を先行的に実施した．ドローン調査により，沿岸浅海域での藻場生育地点を優先的に把握した後，海岸保全施設の関係性が高いと推測される

表-1　藻場の高ポテンシャル区域選定条件

区分	整理項目・方法	海草の選定条件	海藻の選定条件
水深	日本海洋データセンターの500mメッシュ水深データから抽出	1～5 m： 2点 6～10m：1点	1～5 m： 2点 6～10m：1点
底質	平良港：「気候変動適応計画推進のための浅海域生態系現況把握調査業務」（環境省，2019年）から抜粋 上記以外の港湾：既往データが存在しないため，国土地理院の航空写真から判別	砂：1点	岩：1点
海岸保全施設からの距離別の分布状況	「藻場調査(2018～2020年度)」（環境省，2021年）と「琉球諸島沿岸海岸保全基本計画」（沖縄県，2003年）及び「海岸保全施設整備基本計画図」（沖縄県，2003年）の重ね合わせ	100m：5点 500m：2点 1km：1点	100m：5点 500m：2点 1km：1点
構造	「琉球諸島沿岸海岸保全基本計画」（沖縄県，2003年）及び「海岸保全施設整備基本計画図」（沖縄県，2003年）から抽出	養浜または人工リーフ：1点	自然石護岸，緩傾斜護岸，階段護岸，消波ブロック：1点

表-2　藻場の高ポテンシャル区域推定結果

	区分	海草	海藻
		高ポテンシャル区域数	
	那覇港	0	0
	運天港	5	2
	平良港	2	0
	石垣港	1	0
選定	金武湾港	27	10
	中城湾港	9	11

表-3　藻場現地調査方法の一覧

	選定			
	ドローン調査	シュノーケリングによるスポット調査	潜水士によるスポット調査	船上目視観察及びマンタ法
調査範囲（目安）	○ (50ha/日)	△ (6 地点/日)	△ (3 地点/日)	○ (20～40ha/日)
調査の精度	△	○ (潜水調査より劣る)	○	○ (潜水調査より劣る)
藻場の被度	×	○	○	○
出現種	×	○ (潜水調査より精度が劣る)	○	×
水深	浅い場所のみ	浅い場所のみ	～30m 水深	浅い場所のみ
価格	○	○	△	△
その他	安価で広域を調査可能だが，データ整理・解析に時間を要する（AI の発達により短縮可能）	浅場での詳細調査としては取り入れ易い	精度が最も優れているが，高価かつ潜水事故の可能性がある	

地点や生育が著しい地点に限定したシュノーケリングによるスポット調査を実施し，海草・海藻の出現種と被度，付着基盤や詳細な生育状況などを補完することで，効率的な調査とすることを試みた．

4. 現地調査の成果

(1) ドローン調査

3. (1)で述べた調査選定区域（図-2）において，ドローン（Phantom 4 Pro）による航空写真撮影を実施した．

海底が映るよう，潮位が低い時間帯に調査し，撮影した写真を基に，オルソ化（写真の合成処理等）を行い，藻場分布状況写真を作成した．写真-1が示すように，海草藻場は周辺より緑色がかった濃い色，海藻藻場は周辺より褐色～赤褐色がかった濃い色として判別され，海草や海藻藻場の分布範囲を確認することが目的であれば，ドローン調査のみだとしても概略的に把握することが可能であると分かる．しかしながら，詳細な生育状況を把握するために必要な藻場の被度や出現種を確認することは困難であり，やはりドローン調査で選定した地点でのシュノーケリング等のスポット調査を組み合わせることが有効な手段であるといえる．

写真-1　ドローン調査による海草と海藻藻場の航空写真

(2) シュノーケリング調査（スポット調査）

ドローン調査結果を基に，海岸保全施設周辺において海草・海藻の生育環境が向上していると推測される場所，藻場生育状況を代表すると推定される場所に着目し，計18地点でのシュノーケリングによるスポット調査を実施した．また，ドローン調査により藻場と推定されたが，確度が低い地点でのスポット調査も実施した．調査時は，1m×1mのコドラートを設置し，出現種，種別被度，底質，藻体の大きさや各地点における海岸保全施設との関連性を確認した．

調査結果を図-2，3に示す．海草藻場は8地点で確認され，被度は5%未満～45%で，平均すると24%であった．海草藻場構成種については，8地点中6地点でリュウキュウアマモやベニアマモ等の中型海草と呼ばれる種が優占した．2地点（St.16，17）では小型海草と呼ばれるマツバウミジグサやウミジグサが優占した．海草藻場の底質は，8地点中7地点で砂又は砂礫であり，海草の地下茎・根が生長しやすい環境であると分かった．

海藻藻場は9地点で確認され，被度は 25～90%で，平均すると67%であった．海藻藻場構成種については，9地点中8地点で，キシュウモクやヒイラギモクが優占しており，潮下帯を中心に見られた．9地点中1地点では，ヒメハモクが優占しており，こちらも同様に潮上帯で見られた．これらはホンダワラ類に分類され，ホンダワラ類で構成された海藻藻場は「ガラモ場」と呼ばれており，沖縄における海藻藻場は全てガラモ場であることが特徴である．ホンダワラ類は，天然の転石や礫の他，突堤や

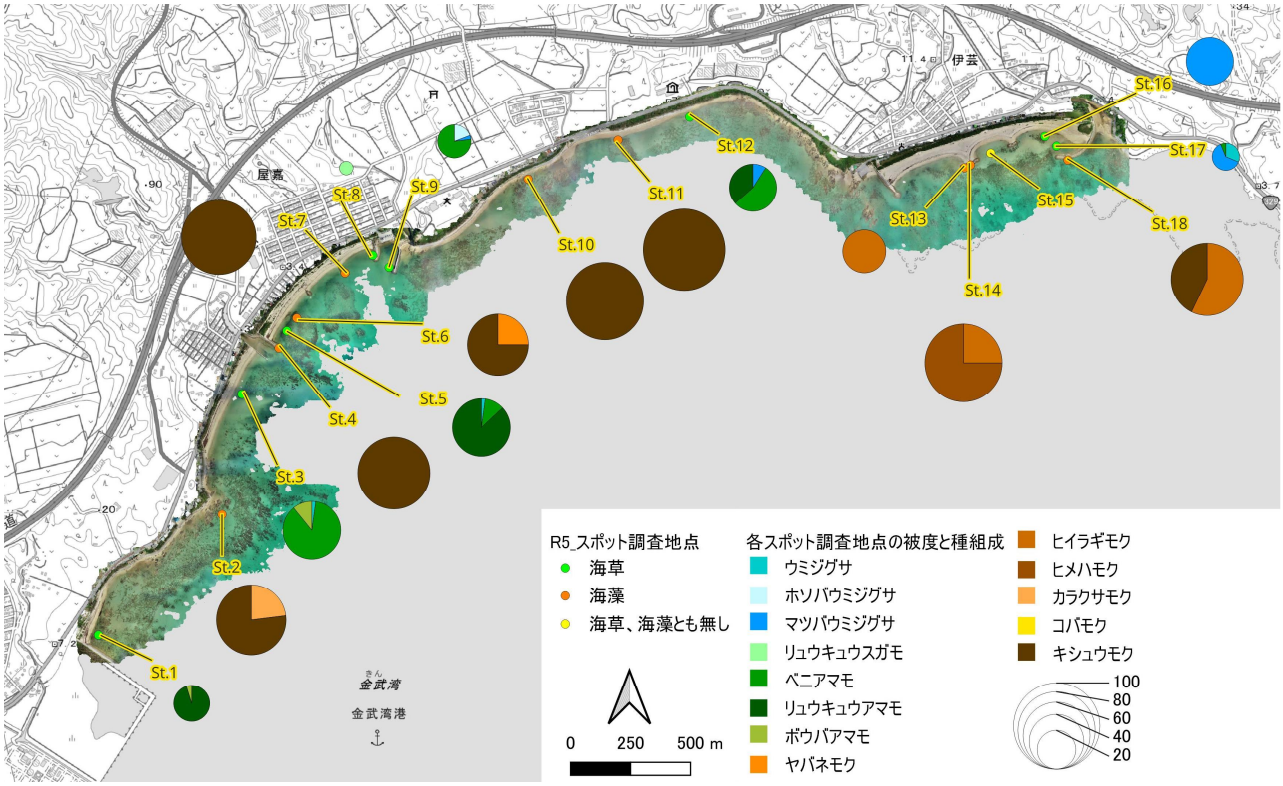


図-2　現地調査範囲と海草・海藻藻場の被度と種組成分布

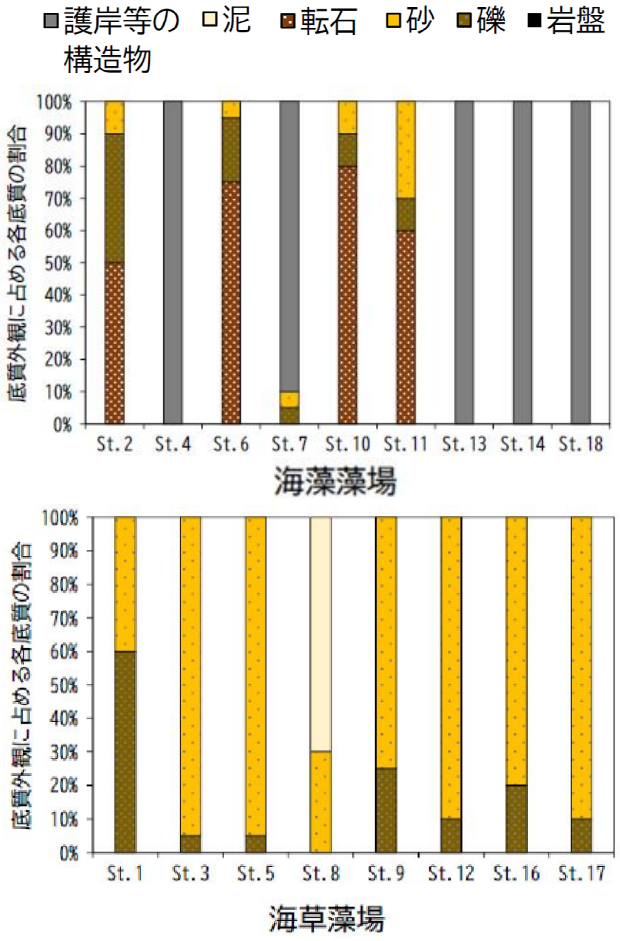


図-3　現地調査範囲における底質分布

離岸堤などの人工構造物にも生育していた．藻体の大きさは，平均するとヤバネモクで34.2cm，ヒイラギモクで43.8cm，ヒメハモクで27.1cm，カラクサモクで27.2cm，キシュウモクで51.8cmであり，金武湾港の屋嘉地区から伊芸地区にかけては，被度の高い藻場が形成されていることが分かった．

(3) 海岸保全施設と藻場形成の関係について

a) 海岸保全施設と海草藻場の関係性

海草藻場の現地調査では，地下茎の露出や海底面のえぐれがしばしば観察された．これらは海草藻場が波浪による洗堀で流出した痕跡と推測され，沖縄の海草藻場ではよく見られる事象である．

海岸保全施設と海草藻場との関係に着目すると，写真-2で示す養浜を目的として整備された突堤の背後で海草藻場が確認され，このような場所では，藻場が洗堀され流出した痕跡が見られなかった．このことから，波浪が著しい環境下において，海岸保全施設等による波浪低減整備には，海草藻場の生育条件向上に効果があるといえる．

b) 海岸保全施設と海藻藻場の関係性

海岸保全施設と海藻藻場との関係に着目すると，養浜を目的として整備された突堤及び離岸堤と，漁港の防波

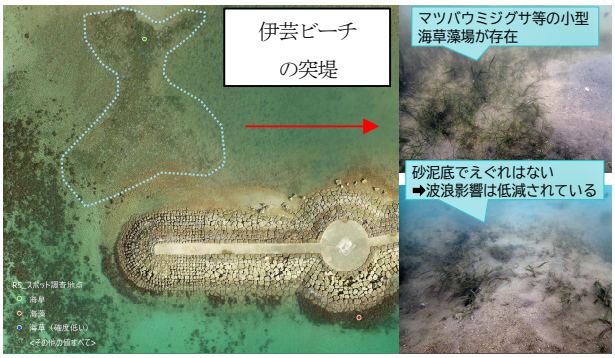


写真-2　伊芸ビーチ突堤背後における海草藻場

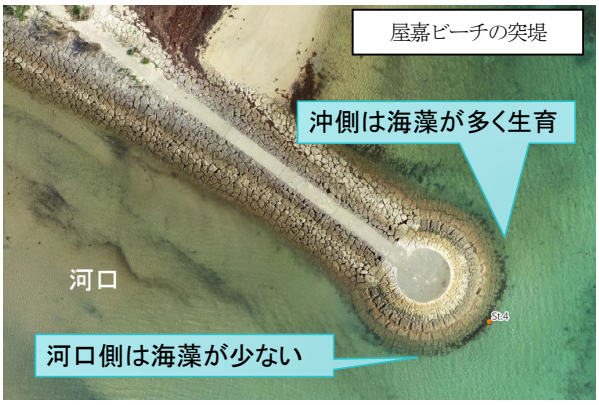


写真-3　屋嘉ビーチ突堤近傍における海藻生育量の違い

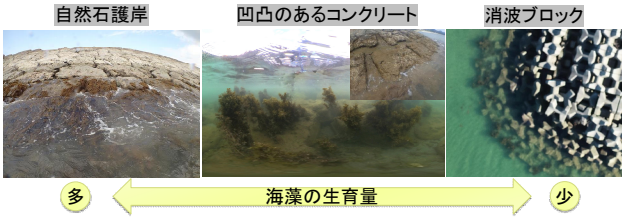


写真-4　護岸の素材・形状による海藻生育量の違い

堤にホンダワラ類が生育しており，海藻藻場が形成されていた．当該区域の藻場の種組成は周辺の藻場と同様であり，特定の種が護岸に着生し易いという状況は確認されなかった．写真-3で示すように，突堤や離岸堤の沖側では海藻が見られたが，岸側や河口部付近では海藻が見られなかった．これは，淡水の影響によるものといえる．写真-4で示すように，護岸の素材においては，自然石護岸，凹凸のあるコンクリート護岸，消波ブロックの順に着床している海藻の被度が高かった．ここで示したいずれの護岸にもキシュウモクやヒイラギモクといったホンダワラ類がみられた．自然石護岸ではこれら2種に加え，浅い場所（潮間帯）にヒメハモクが生育しており，被度が高かった．上記に示したいずれの条件下においても潮間帯下部～潮下帯が主な生育水深であったことから，海藻藻場造成には潮間帯下部～潮下帯の水深帯が適するといえる．ゆえに，海藻藻場を造成するための好条件区域は，①淡水影響が小さく，沖側に面した波が当たる場所，②自然石護岸もしくは凹凸のあるコンクリート護岸，③潮間帯下部～潮下帯の水深帯であるといえる．

表-4　金武湾港全体の BC 吸収量算出結果

BC生態系の種類	吸収係数の区分	吸収係数（トンCO_2/ha/年）	対象生態系の面積(ha)	吸収量（トンCO_2/年）
海草藻場	亜熱帯中型	3.06	928.0	2839.8
海藻藻場	亜熱帯性ホンダワラ	0.42	57.2	24.0
合計	-	-	985.2	2863.8

(4) 現地調査結果を活用したCO_2吸収量の算出結果

現地調査結果を基に，金武湾港全体の藻場におけるCO_2吸収量を算出した結果を表-4に示す．BC生態系による吸収量は，Jブルークレジットの手引き[2]より，吸収量（トンCO_2/年）＝藻場面積（ha）×吸収係数（トンCO_2/ha/年）の数式によって算出した．また，吸収係数は，海草・海藻藻場の CO_2 貯留量算定ガイドブック[3]の値を採用した．海草藻場は「亜熱帯中型海草」に該当する海草が，海藻藻場は「亜熱帯性ホンダワラ」に該当する海藻が多く確認されたため，上記にあたる吸収係数を適用した．金武湾港全体における藻場の分布面積については，環境省の「藻場調査2018～2020 年度」[4]の結果のうち，港湾区域内を対象として面積を算出した．

CNP 形成に際して記載できる CO_2 吸収量は人為的な BC生態系形成によって増加した CO_2 吸収量であり，天然の海草や海藻藻場は対象外である．このため，参考値としての比較となるが，金武湾港内の天然の海草及び海藻藻場で吸収される CO_2は金武湾港における CO_2排出量 9,286 トン CO_2/年[5]（2022 年度における火力発電および船舶の排出量を除いた CO_2 排出量）の 30%に匹敵し，金武湾港のBC形成におけるポテンシャルの高さが分かる．

5. BCの形成・活用に向けた具体的な方策の検討

港湾管理者等において，BC形成に向けた共通認識を深めることを目的に，海岸保全施設における具体的なBC形成及び活用方策を検討した．そのフローを図-4に示す．以下，方策の内容について述べる．

(1) BC形成に向けた契機

今後の大規模なBC形成に向けて，海岸保全施設などのハード整備と絡めた取組が必要といえる．しかしながら，BC形成のみを目的とした改修整備は費用対効果の面で現実的ではない．そこで，海岸保全施設の老朽化や高潮対策にかかる見直しに合わせた更新整備時に，BC形成のための工夫を施すことが望ましい．

(2) BC形成のための海岸保全施設における工夫

4．現地調査の結果から，海草藻場の形成には，既存防波堤や離岸堤の内側に海草を植付することが有効であり，海藻藻場の形成には，護岸の素材に自然石や凹凸の

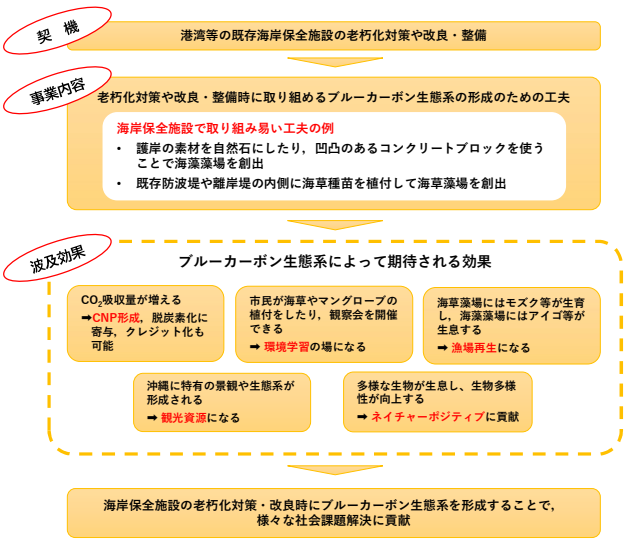


図-4　海岸保全施設における BC 形成促進に向けた方策案

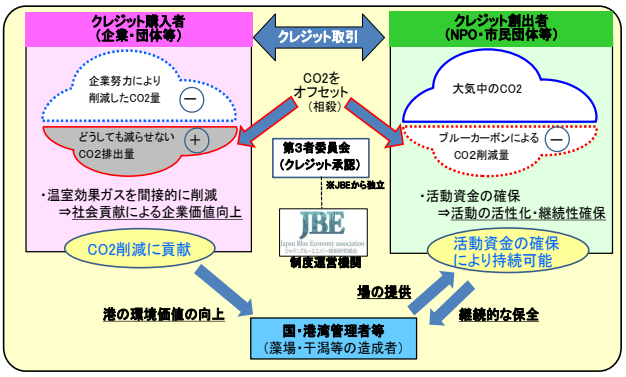


図-5　Jブルークレジットの仕組み

あるコンクリートブロックを採用することが有効であると分かった．上記に示すような費用的，技術的に取り組み易い好事例を海岸保全施設の改修時に採用することで，BC形成の促進が期待される．このため，今後も継続的に，BC形成区域における現地調査結果を収集しつつ，好事例をまとめた一覧表を作成する必要があるといえる．

(3) BC形成における波及効果の周知

BC形成後の維持管理には，食害や風水害などのBC生態系の減少リスクが伴い，形成から維持管理まで全て港湾管理者で実施すると，その負担の大きさから事業の継続性に懸念が生じる．そこで，港湾協力団体などの外部関係組織に対し，BC形成によるインセンティブとして，脱炭素化以外の様々な波及効果を示すことで，事業への参画を促す必要がある．以下，脱炭素化を除いた波及効果を示す．

a) Jブルークレジット制度による収益化

Jブルークレジットとは，BC生態系を活用した吸収源の拡大を図るため，藻場の保全活動等の実施者により創出されたCO_2吸収量を定量化し，認証するクレジットでJBE（ジャパンエコノミー技術研究組合）が主体となり運営している．（図-5）JBEにJブルークレジットとして

認証されたクレジット創出者は，CO_2削減を図りたい企業・団体等とクレジット取引を行うことができ，例えばある企業で，企業努力だけでは減少し難いCO_2がある場合に，クレジット創出者からクレジット（BC生態系）を購入し，相殺するという仕組みである．購入企業は企業イメージの向上が見込め，創出側は活動資金の確保により，保全・創出活動が持続可能なものとなる．

b) 環境学習効果

BC生態系は，沿岸部に形成されるものが多く，身近な自然として環境学習に活用できる．環境学習により，居住地域の自然への関心が高まることで，地域の自然環境を良い状態に保つことができ，地域の生活環境や魅力の向上に繋がると期待される．

沖縄県環境教育等推進行動計画[6]において，環境分野別の学習内容が定められており，その内，BCは「自然・生命」及び「エネルギー・地球温暖化」に該当するため，BCと関連する環境教育活動を推進することは，沖縄県の教育計画にも沿っており，BCは適切な題材といえる．

c) 漁場再生効果

海草，海藻藻場及びマングローブ林には漁獲対象種も生息するため，こうしたBC生態系の創出は漁場再生の取組としても有効である．例えば，海藻藻場は沖縄の水産業において重要な養殖モズクの採苗場所や天然モズクの生育場として重要である．このため，BC生態系の創出は漁業者にとってもメリットがあり，日本国内他地域においても，Jブルークレジットの申請を活用し，漁業協同組合が参画している取組が多い．また，BCの創出を行う沿岸域の大部分は，漁業権が指定されていることから，漁業者の協力は必須であるともいえ，漁場再生効果は広く周知する必要がある．

また，漁場再生効果があることで，水産業振興としての経済価値も生まれるため，水産関係予算の利用や，民間企業からの支援も期待できる．

d) 観光資源としての活用

BC生態系は沿岸域に形成されるため，観光客が目にすることも多い．沖縄における海草，海藻藻場，マングローブ林はいずれも日本国内では沖縄に特有の物であり，観光資源としての価値が高いといえる．漫湖公園のように観光客もアクセスし易いマングローブ林を整備することなど，観光資源として活用することにより，地域経済の活性化が期待される．

e) ネイチャーポジティブや生物多様性地域戦略へ寄与

2022年に生物多様性条約COP15において，昆明・モントリオール生物多様性枠組が採択された．この枠組において，2030年までに「自然を回復軌道に乗せるために生物多様性の損失を止め反転させるための緊急の行動をとる」ことが示されている．これを受けて，わが国でも生物多様性国家戦略が2023年に採択され，2030年までにネイチャーポジティブを実現させることが目標として示された．各地方公共団体においても，生物多様性地域戦略の策定が進められている中で，BC生態系においては，高い生物多様性と多くの生態系サービスがあることから，ネイチャーポジティブ，生物多様性地域戦略の実現に寄与できるといえる．BC形成の取組をこうした地域戦略とも連携させることにより，港湾管理者以外の行政機関も巻き込んだBC形成の取組を推進できる可能性がある．

6. まとめ

本調査では，BC形成における高ポテンシャル区域と位置付けた金武湾港において，ドローンとシュノーケリングによるスポット調査を実施することで，良質な藻場が形成されている地点とその周辺の海岸保全施設との関係性を明らかにし，今後の藻場造成に資する知見を収集することができた．今回の調査方法により藻場の生育状況を十分に確認可能であることから，船舶を用いた既往の調査方法よりも安価な調査方法の有用性を示した1例といえる．

また，本論で整理したBC形成に向けた具体的な方策及び波及効果を幅広に共有することで，BC形成に参画する関係者を増やし，更なる事業促進が期待される．

沖縄においては，日本国内他地域には生育していない生態系が多く，国内の好事例を適用できない可能性がある．ゆえに本調査で実施した低コストで効率的な現地調査手法を用い，沖縄特有条件下での好事例の収集を進めていくことで，沖縄での脱炭素化社会の一助となれば幸いである．

参考文献

1) ジャパンブルーエコノミー技術研究組合作成資料
2) ジャパンブルーエコノミー技術研究組合 ： J ブルークレジット®認証申請の手引きVer.2.4，2023.
3) 国立研究開発法人水産研究・教育機構：海草・海藻藻場のCO_2貯留量算定ガイドブック，2023.
4) 環境省：藻場調査2018～2020年度，2021.
5) 沖縄県：令和5年度第2回 金武湾港・中城湾港脱炭素化推進協議会資料，2024.
6) 沖縄県：沖縄県環境教育等推進行動計画，2023.

環境DNAによる一級水系河川での水生植物の検出可能性について

槻　ちがや[1]・中島　颯大[1,2]・篠原　隆佑[1,3]
菅野　一輝[1,4]・釣　健司[1]・村岡　敬子[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：国土交通省　水管理・国土保全局 河川環境課（〒100-8918 東京都千代田区霞ヶ関2-1-3）

[3]現所属：株式会社ウエスコ（〒690-0047 島根県松江市嫁島町16-1）

[4]現所属：株式会社建設環境研究所（〒170-0013 東京都豊島区東池袋2-23-2）

魚類での活用が進む環境DNAは水中に生育する水生植物に対しても利用できる可能性がある．しかし，国内外において河川に生育する水生植物群集に環境DNAを利用した例は未だ少ない．そのため，本研究では国内の一級水系河川を対象に植生調査と環境DNA調査を実施し水生植物が河川に実際に生育する種が環境DNAで検出可能かどうか検討した．その結果，植生調査で生育を確認できた種が環境DNAにおいて種レベルで検出することができた一方で，植生調査では確認できなかった種や河川の多くの地点で大きい群落を形成する種であっても環境DNAでは検出できない種も存在しため，調査・分析方法やデータベースのさらなる検討・拡充が必要と考えられる．

キーワード　環境DNA，水生植物，沈水植物，生活形，一級水系河川

1. はじめに

日本国内の水生維管束植物（以降，水生植物）は魚類，鳥類，水生昆虫類の生息場として，また隠れ家や採餌場として重要である[1)2)]．その一方で，水生植物の主な生育場である淡水域の都市化や水質の悪化など生育場が減少し，水生植物の種のうち約40%が環境省レッドリストに掲載されている[3)]．一級水系河川を含む日本国内の河川は合計2267km^{2}の面積を占め，湖沼に次いで淡水域の中で二番目に総面積が大きい[4)]．そのため，一級水系河川も水生植物の重要な生育場になっている可能性が高く，水生植物の分布情報や生育状況の正確な把握は重要であると考えられるが，一級水系河川における水生植物の情報のほとんどは河川水辺の国勢調査に限られている．そのため，一級水系河川の水生植物の情報をより効率的に収集しうる方法を検討する必要がある．

近年の研究から，環境DNAメタバーコーディング解析（以降，MB解析）により，水生植物の環境DNAを河川水から得られることが知られている[5)6)]．この手法は，現地での作業が採水のみであり，分類学的な知識が必要無く，採集圧もかからないため[7)]，近年主に水辺に生息する魚類や両生類を対象に急速に利用されている．一方で，日本国内の一級水系河川で多くの研究例がある魚類とは異なり[8-10)]，国内での事例は限られている．そのため，多分類群から構成される水生植物の中でどのような種もしくは種群が検出されるかについての知見がほとんど無い．例えば魚類における検討では雲出川の下流域において，単一の供給源に由来する環境DNA含有物質の有効検出範囲は1.6 km程度に達する 一方で，供給量が少ない場合には0.2 km程度で検出され なくなる可能性が高いとされるが[11)]，細胞が細胞壁に覆われている水生植物は細胞が壊れにくく，魚類に比べて環境DNAの流下距離が長いと考えられ，右岸と左岸でそれぞれ採水したとしてもその差を検出できない可能性がある．そのため，本研究では九頭竜川水系の河川を対象に植生調査と採水を行い，水生植物の環境DNA分析によりどのような種および種群が検出されやすいか，また河川の左右岸の水生植物の植生の違いを捉えることが可能か検討した．

2. 材料と方法

(1) 対象河川・調査地点

福井県福井市を流れる九頭竜川水系の九頭竜川5地点および日野川の1地点の左右岸に調査地点を設定した

（表-1）．九頭竜川水系の位置図，調査地点の概要および代表的な水位観測所は図-1に示した．

(2) 対象とした水生植物

本研究では首藤ほか[12]で定義される水生1（通常の生育形として沈水・浮遊・浮葉のうちいずれか1つ以上をとる）もしくは，水生2（主に抽水状態で生育し，通常は沈水・浮遊・浮葉形とならない）にあたる水生植物を含を対象とした．

(3) 現地調査

2023年5月に表-1に示した各調査地点の表層の河川水を1Lずつ採水した．水試料は10℃以下で保冷運搬した．その後，採水地点から上流に向かって九頭竜川では200m，日野川では1kmの堤外地をできる限り踏査し，その範囲内に生育している水生植物を記録した．

(4) 環境DNA分析

保冷運搬した水試料を土木研究所内において，孔径0.45μmのメンブレンフィルター（ADVANTEC社）を用いてろ過した．メンブレンフィルターからDNeasy Blood & Tissue kit（QIAGEN社）を用いて，DNA抽出を行い，抽出した環境DNAはDNeasy PowerClean Pro Cleanup Kit（QIAGEN社）を用いて精製を行った．MB解析では，核DNAのITS2領域[13]，葉緑体DNAのtmL[14]，matK[15]，rbcL[14]領域上で設計された4 つのプライマーをそれぞれ使用したPCRによって，植物のDNAを増幅した．作成したライブラリはMiSeq システムおよびMiseq Reagent Kit v3（Illumina社）を用いて2×300 bp条件下でシーケンシングを行った．得られた塩基配列データをDADA2[16]を用いたデノイジングを行い，塩基配列相同性検索プログラム（BLAST）を行い，相同性が98.5%以上一致し，そのうちで最も高いものを検出種とした．また，4リード以上の配列について以降のデータ解析に用いた．相同性が同じ種が複数存在する場合は，属もしくは科単位の分類に留めた．属もしくは科単位の分類にとどめた場合，相同性が同じ種の中に1種でも水生植物が含まれればデータ解析対象とした．

(5) データ解析

MB解析による検出種は首藤ほか[12]の定義に基づき，各プライマーにおける生活形を集計した．1つの種で複数の生活形になりうる場合（例えば，ミズハコベ（オオバコ科）は生育場の水位によって沈水形，浮葉形もしくは湿生形になりうる．）は3つすべての生活形をそれぞれ集計に含めた．また，同一のプライマーで同分類群が検出された場合はプライマーごとにそのリード数を合計した．

表-1 調査地点の一覧

河川	調査地点	河口・合流部からの距離	セグメント
九頭竜川	九九福F1（右岸）	3.2km	3
	九九福F2（左岸）	3.8km	2-2
	九九福2（右岸）	17.8km	2-2
	九九福2（左岸）	17.8km	2-2
	九九福3（右岸）	22.6km	2-1
	九九福3（左岸）	22.6km	2-1
	九九福4（右岸）	27km	1
	九九福4（左岸）	27km	1
	九九福5（右岸）	31km	1
	九九福5（左岸）	31km	1
日野川	九日福F1（右岸）	6.2km	2-2
	九日福F2（左岸）	6.2km	2-2

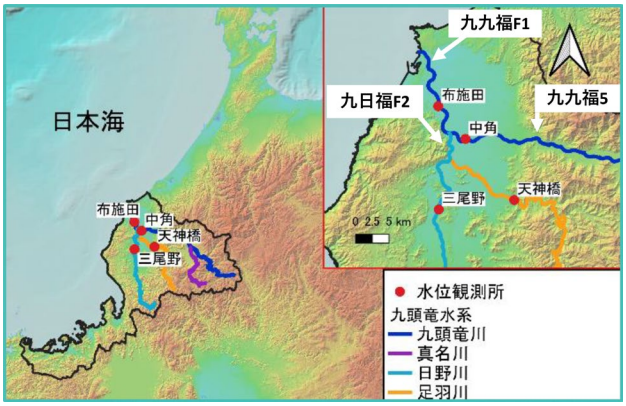


図-1 九頭竜川水系の位置図と調査地点の概略図．地理院タイル（国土地理院）を加工して作成

3. 結果と考察

(1) MB解析で検出された水生植物種群の特徴

MB解析により九頭竜川水系全体で種レベルで検出された水生植物は合計で7科15種であり，各プライマーにおける検出種数は表-2の通りであった．種レベルの検出はITS2が最も多く，matKが最も少なかった．一方で，属レベルの検出はtmLが最も多く，ITS2が最も少なかった．Alsos et al.[17]は研究対象地域で検出されうる可能性のある種のリストを過去の植生調査や標本情報から作成し，属レベルや科レベルでの検出にとどまっている分類群についても種レベルまで同定している．そのため，今後，九頭竜川水系内で生育しうる可能性のある水生植物種のリ

ストを作成することができればより，詳細な検討ができる可能性があると考えられた．

各プライマーについて生活形を比較すると，ITS2では沈水形を持つ水生植物ががもっとも多く検出された．その一方で，matKでは抽水形1種のみが検出された（表-3）．このことから，プライマーによって検出しやすい生活形が異なることが示唆された．農林水産省[18]はため池における環境DNA調査において抽水形よりも沈水形やほうが検出率が高いことを報告しており，本研究の結果はため池での結果と同じような傾向を示した．

表-2 各プライマーで検出された分類群数

階級	ITS2	matK	rbcL	tmL
種レベル	8	1	5	2
属レベル	2	5	9	11
科レベル	0	0	3	2

表-3 各プライマーで検出された生活形の合計（種レベル）

生活形	ITS2	matK	rbcL	tmL
沈水	7	0	3	1
浮遊	0	0	0	0
浮葉	1	0	0	2
抽水	3	1	3	1
湿生	3	0	3	1

(2) 植生調査とMB解析の左右岸における比較

植生調査と MB 解析の確認種を各調査地の左右岸でまとめた（表-4）．植生調査で確認できた種を九頭竜川水系の調地点ですべてまとめると 12 科 19 種だった．そのうち外来種はキショウブ（アヤメ科）とオオカワヂシャ（オオバコ科）の 2 種だった．九頭竜川の九九福 3 より下流ではヨシ，それより上流についてはツルヨシが多くの調査地点で生育が確認できた．日野川の 2 つの調査地点においては九頭竜川では生育が確認できなかった種が合計で 6 科 7 種生育しており，コウキクサ（サトイモ科）やマツバイ（カヤツリグサ科）などが含まれた．

MB 解析でのみ検出された種の中には主にオオカナダモ（トチカガミ科）やエビモ（ヒルムシロ科）などの沈水植物が多く含まれた．現地での植生調査については，堤外地の水域を含む地点をできる限り踏査したものの，踏査では発見することが難しい小さい群落から環境 DNA を検出している可能性がある．また，九頭竜川や日野川本川に接続する一次支川において，今回 MB 解析のみで検出されていたオオカナダモ（トチカガミ科）やセンニンモを著者らで確認しており，本川内ではなく，一次支川由来の環境 DNA を検出している可能性があり，水生植物の環境 DNA が河川でどの程度の流下距離を持つかについて今後さらに検討する必要があると考えられた．

植生調査でのみ確認された種の中には，キショウブやコウキクサ等が含まれていた．しかし，環境 DNA でアヤメ属は検出しているため，分析方法やプライマーの配列を工夫することで，種レベルで検出しうる可能性がある．

左右岸の植生調査の確認と環境 DNA の検出が一致した種はイネ科に含まれる種を除くと，九日福 F1 （日野川の右岸）におけるカワヂシャ（オオバコ科）とイボクサ（ツユクサ科）のみだった．カワヂシャは日野川では植生調査で確認できた調査地点と環境 DNA を検出した調査地点が一致しているが，九頭竜川では環境 DNA ではカワヂシャが検出されているものの，植生調査では発見できていない．そのため，日野川の 1km よりも植生調査の範囲が狭く，200m の堤外地しか植生調査で踏査できていない九頭竜川については調査努力量が足りていない可能性や植生調査の踏査範囲外の支川等から流入している可能性が考えられる．一方で，ヨシやクサヨシといった種については多くの調査地点で他の水生植物に比べ大きな群落を形成しており，環境 DNA も河川水に十分に溶出していると考えられたが，植生調査でそれらの生育が確認できた調査地点においても MB 解析で種レベルでの検出はできていない．また，その 2 種については九頭竜川水系内の調査地の半分以上で生育が確認できたものの，両岸に生育したとしても環境 DNA の検出が片岸もしくはそもそも不検出の場合が多かった．しかし，ヨシやクサヨシが含まれる科レベルのイネ科についてはすべての調査地点で検出されており，それぞれの地点の合計リード数も他分類群と比較してかなり大きく，その中にヨシが含まれていた．そのため，イネ科に含まれる種については種特異で検出ができうるかを検証する必要があると考えている．

各調査地点における植生調査で確認された種に対する環境 DNA による検出割合をプライマーごとに示した（表-5）．九頭竜川の右岸の 1 地点と左岸の 2 地点で rbcL を用いて 33.3%，つまり植生調査で確認できた 3 種のうち 1 種が環境 DNA で検出できた．種レベルを多く検出できた ITS2 については割合が多い地点でも 33.3%以下であり，植生調査で確認できた種をほとんど検出できなかった．このことから，流域内の水生植物種を広く検出したい場合は ITS2，特定の場所は rbcL などとプライマーを使い分ける必要があると考えられた．

4. おわりに

本研究は日本国内で試行事例が少ない，一級水系河川での水生植物のMB解析についての事例について論じた．現状では川幅が広く，流量も大きい九頭竜川水系では左右岸の植生をMB解析で検出することは難しいと考えられた．一方で，植生調査では確認できていないものの，

表-4　各調査地点における植生調査と MB 解析の結果の一覧．eDNA の列の記号は◎：101 リード以上，○：11～100 リード，△：4～10 リードを示す．★：同一のプライマーで同分類群が検出された場合のみリード数を合計した．

			九頭竜川（河口からの距離km）																				日野川（合流点からの距離）			
			九九福F1 (3.2) 右岸		九九福F2 (3.8) 左岸		九九福2 (17.8) 右岸				九九福3（22.6）				九九福4（27）				九九福5（31）				九日福F1 (6.2) 右岸		九日福F2 (6.2) 左岸	
科	Primer	種・属・科レベル検出	eDNA	植生	eDNA	植生	eDNA	植生	eDNA	植生	eDNA	植生	eDNA	植生	eDNA	植生	eDNA	植生	eDNA	植生	eDNA	植生	eDNA	植生	eDNA	植生	eDNA	植生
スイレン	trnL	スイレン科	◎		◎																		○		○	
	rbcL	スイレン属	○		○																		○			
ショウブ	rbcL	ショウブ属	○																							
	trnL	ショウブ属	○																				○			
サトイモ		コウキクサ																								●
オモダカ	rbcL	オモダカ属																					△			
トチカガミ	rbcL	オオカナダモ	○		○																		○		○	
	ITS	オオカナダモ★			◎																		◎		◎	
	matK	コカナダモ属																	△							
	rbcL	コカナダモ属	○		◎		○		○																	
	ITS	コカナダモ★	◎				◎		◎		◎		◎		◎											
	rbcL	クロモ	○																							
	rbcL	トチカガミ科																					○			
ヒルムシロ	rbcL	ヒルムシロ属	◎		○				○		◎										○		◎		◎	
	trnL	ヒルムシロ属★	◎		◎																		◎		◎	
	ITS	ヒルムシロ属★																			◎		◎		◎	
	trnL	エビモ					○		○		○		◎				○				○					
	ITS	エビモ★	◎				◎		◎		○		◎		◎		○		◎		○		○		◎	
	ITS	センニンモ★							○														◎		◎	
	trnL	ホソバミズヒキモ			○																					
	ITS	ヤナギモ★			○						◎										○		◎		◎	
アヤメ	matK	アヤメ属																			○					
	trnL	アヤメ属 ★							△		○				○				○		○		○			
		キショウブ				●				●				●						●		●		●		
ツユクサ	rbcL	イボクサ	○													●							○	●		
ガマ	rbcL	ミクリ属																	○							
	trnL	ミクリ属★	○		○						○		○						○		○		△		○	
	trnL	ガマ科	◎		○		○																			
		ガマ属																								●
		ヒメガマ		●																		●				
イグサ	rbcL	イグサ属			○																					
	trnL	イグサ属	○		○																				○	
		イグサ																						●		
カヤツリグサ		ウキヤガラ				●																		●		
	rbcL	ハリイ属					○														△		○			
		マツバイ																						●		
イネ	trnL	サヤヌカグサ属			○		○																○		○	
	matK	クサヨシ属							○																	
	rbcL	クサヨシ★						●	◎	●	○			●	◎	●		●		●		●		●		●
	ITS	クサヨシ							○																	
	rbcL	ヨシ★		●	○	●				●		●				●				●		●		●		
		ツルヨシ										●		●		●		●		●		●				●
		ウキシバ																								●
	rbcL	イネ科★							◎																	
	trnL	イネ科★	◎		◎		◎		◎		◎		◎		◎		◎		◎		◎		◎		◎	
	trnL	マコモ属	◎		◎												○		◎		◎		◎		○	
	matK	マコモ																	○	●	△	●		●		
キンポウゲ	rbcL	キンポウゲ科																					○			
	matK	キンポウゲ属																	△		△					
	rbcL	キンポウゲ属	○				○		○		◎		○		◎		◎		◎		◎					
	ITS	キンポウゲ属					○		○				◎		◎		◎		◎		◎					
	trnL	タガラシ																					○			
		バイカモ												●												
ハス	ITS	ハス																							○	
アリノトウグサ	matK	フサモ属																			○					
	ITS	フサモ属 ★			◎		◎		◎		◎		◎		◎		○		◎		◎					
		ホザキノフサモ										●														
ミゾハコベ		ミゾハコベ																						●		
ミソハギ	trnL	ヒシ属																					△		○	
アブラナ	rbcL	アブラナ科★	○						○												○		○			
	trnL	タネツケバナ属									○		○		○								○		○	
オオバコ	ITS	イヌタデ属★									○		○													
	trnL	アワゴケ属																					○			
	ITS	ミズハコベ★																							◎	
	trnL	クワガタソウ属					○																			
	ITS	カワヂシャ★			○																		◎	●		
		オオカワヂシャ																						●		
セリ		セリ																		●						●
		合計種数	5	2	5	3	2	1	4	3	4	3	2	4	3	3	1	2	2	6	3	6	7	11	6	6

表-5　各調査地点における植生調査で確認された種の環境 DNA による検出割合．

	右岸					左岸				
	植生調査確認種数	環境DNA確認種数/植生調査確認種数（%）				植生調査確認種数	環境DNA確認種数/植生調査確認種数（%）			
		ITS2	matK	rbcL	trnL		ITS2	matK	rbcL	trnL
九九福F1・F2	2	0	0	0	0	3	0	0	33.3	0
九九福2	1	0	0	0	0	3	33.3	0	33.3	0
九九福3	3	0	0	0	0	4	0	0	0	0
九九福４	3	0	0	33.3	0	2	0	0	0	0
九九福５	6	0	16.7	0	0	6	0	16.7	0	0
九日福F1・F2	11	9.1	0	9.1	0	6	0	0	0	0

筆者らによる過去の調査記録等で九頭竜川本川およびその支川に生育する水生植物の多くを検出することが可能だった．そのため，今後分析方法のさらなる検討や採水時期の検討を行い，より効率的に水生植物をMB解析によって検出できれば，一級河川水系単位の水生植物の生育可能性について網羅的に把握できる可能性が高いと考えられた．今後，生育する水生植物が異なる他の一級水系河川でも詳細な検討を実施したいと考えている．

謝辞：国土交通省近畿地方整備局福井河川国道事務所の皆様には現地調査にご協力いただきました．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) 上田紘司，永井孝志：魚類と甲殻類などに対する水草の生態学的有用性に関するシステマティックマップ，保全生態学研究，Vol. 26, No.1, pp. 33-46, 2021.

2) 嶋田哲郎：伊豆沼・内沼のガンカモ類，伊豆沼・内沼研究報告, Vol. 14, pp. 1-14, 2020.

3) 角野康郎：ネイチャーガイド 日本の水草，文一総合出版，2014.

4) 高村典子.：淡水域の保全, その政策を支える生物多様性評価の現状と課題，保全生態学研究, Vol. 21, No. 2, pp.117-124, 2016.

5) Tsukamoto, Y., Yonezawa, S., Katayama, N., & Isagi, Y.: Detection of endangered aquatic plants in rapid streams using environmental DNA. *Frontiers in Ecology and Evolution*, Vol. 8, pp. 622291, 2021.

6) Espinosa Prieto, A., Beisel, J. N., Verschuren, P., & Hardion, L.: Toward freshwater plant diversity surveys with eDNA barcoding and metabarcoding. *Environmental DNA*, Vol. 5, No. 4, pp. 648-670, 2023

7) 高原輝彦, 山中裕樹, 源利文, 土居秀幸, 内井喜美子：環境DNA分析の手法開発の現状 ～淡水域の研究事例を中心にして～，日本生態学会誌, Vol. 66, No. 3, pp. 583-599, 2016.

8) Tsuji, S., Shibata, N., Inui, R., Nakao, R., Akamatsu, Y., & Watanabe, K.: Environmental DNA phylogeography: Successful reconstruction of phylogeographic patterns of multiple fish species from cups of water. *Molecular Ecology Resources*, Vol. 23, No. 5, pp. 1050-1065, 2023.

9) 村岡敬子, 菅野一輝, 篠原隆佑, 天羽淳, 中村圭吾 ：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 Vol. 64, No. 5, pp.12-17, 2022.

10) 菅野一輝, 篠原隆佑, 中島颯大, 村岡敬子, 崎谷和貴：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 Vol.29, pp.233-238, 2023.

11) 北川哲郎, 村岡敬子, 天野聡, 岡本祐司, 中村圭吾 ：河道内で検出された海産魚類を指標とした環境 DNA 含有物質の有効検出範囲の推定，河川技術論文集, Vol. 27, pp. 295-300, 2021.

12) 首藤光太郎，山ノ内崇志，山口昌子，加藤　将，志賀隆： 日本産水生・湿生植物チェックリスト ver. 1.00，URL: http://wetlands.info/tools/plantsdb/wetlandplants-checklist/，2024年10月2日取得，2019.

13) Fahner, N. A., Shokralla, S., Baird, D. J., & Hajibabaei, M.: Large-scale monitoring of plants through environmental DNA metabarcoding of soil: recovery, resolution, and annotation of four DNA markers. *PloS one*, Vol. 11, No. 6, pp. e0157505, 2016.

14) Taberlet, P., Coissac, E., Pompanon, F., Gielly, L., Miquel, C., Valentini, A., ... & Willerslev, E.: Power and limitations of the chloroplast trn L (UAA) intron for plant DNA barcoding. *Nucleic acids research*, Vol. 35, No. 3, pp.e14-e14. 2007.

15) Coghlan, S. A., Shafer, A. B., & Freeland, J. R.: Development of an environmental DNA metabarcoding assay for aquatic vascular plant communities. *Environmental DNA*, Vol. 3, No. 2, pp.372-387. 2021.

16) Callahan, B. J., McMurdie, P. J., Rosen, M. J., Han, A. W., Johnson, A. J. A., Holmes, S. P. ：DADA2: High-resolution sample inference from Illumina amplicon data, *Nature Methods*, Vol. 13, No. 7, pp. 581-583, 2016.

17) Alsos, I. G., Lammers, Y., Yoccoz, N. G., Jørgensen, T., Sjögren, P., Gielly, L., & Edwards, M. E.: Plant DNA metabarcoding of lake sediments: How does it represent the contemporary vegetation. *PloS one*, Vol. 13, No. 4, pp. e0195403. 2018.

18) 農林水産省農村振興局：防災重点農業用ため池の廃止工事における生態系配慮について，2023.

少子高齢・人口減少社会における流雪溝の課題克服への取組

谷野　淳[1]・西　大志[2]・三原　夕佳[3]

[1]北海道開発局　札幌開発建設部　道路設計管理官付　（〒060-8506 札幌市中央区北2条西19丁目）

[2]苫前町まちづくり企画代表　（〒078-3621 苫前町字古丹別195番地1）

[3]シーニックバイウェイ支援センター　（〒001-0011 札幌市北区北11条西2丁目2番17号）

流雪溝は車道除雪で歩車道境界に寄せられた雪を，沿道住民が各自で側溝に投雪し河川水等を利用して雪を処理するインフラで，北海道内では現在，28市町村で供用されている．これらの大半は，第5期北海道総合開発計画（昭和60年）で提唱された「ふゆトピア事業」の一環で整備された．近年，人口減少等の社会情勢の変化により，投雪の担い手不足や施設の老朽化を起因とする，流雪溝利用の減退を招く課題が顕在化してきた．本稿では，官民連携でこれらの課題克服に取り組んでいる北海道苫前町の事例を中心に紹介するとともに，社会情勢の変化や時代のニーズに則した流雪溝の運用，持続可能な定住環境のあり方に向けて考察する．

キーワード　流雪溝，人口減少，除雪ボランティア，地域協働，地域間共助，定住環境

1. はじめに

積雪寒冷地の冬の暮らしにおいて，除雪・排雪は欠かせない作業であり，日常である．流雪溝は道路下に設置された水路に路上の積雪を投げ入れ，水の流れを利用して近くの河川まで雪を運ぶインフラである（**図-1**）．

流雪溝の整備区間では，沿線住民が各自で流雪溝に投雪を行うことで，非積雪期と同様の道路空間を作り出すことが可能である．流雪溝は沿線住民が投雪に協力することが整備の条件となっているため[1]，行政による車道の除雪は行われるが，除雪によって路肩や歩道に寄せられた雪の排雪は行われない．つまり，流雪溝は沿道住民による道路の雪処理が適切に行われることを前提に成り立っている．

しかしながら，近年急速に進展した少子高齢化や人口減少により，投雪作業に対する住民の負担感が増し，投雪作業そのものが行われていない状況が散見されている．

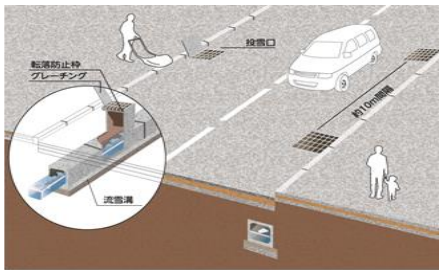


図-1　流雪溝の構造

加え，流雪溝施設そのものの老朽化も重なり，流雪溝を利用した除排雪システムの持続的な運用が課題となっている[2]．また，人口減少下における流雪溝の利用実態に関する既往研究は少なく，流雪溝の現状や持続的な運用に向けた取組などの全体像を把握することが困難であり，地域毎に運用が委ねられているのが実状と言える．

本稿では，地域が直面している流雪溝の課題に対して，地域住民が主体となって取り組んでいる北海道苫前町古丹別地区の事例を中心に紹介するとともに，社会情勢の変化や時代のニーズに則した持続可能な流流雪溝の運用，持続可能な定住環境のあり方に向けて考察する．

2. 北海道苫前町の流雪溝の概要

(1) 苫前町の少子高齢化

北海道北部に位置する苫前町は，かつてニシン漁及び造材業で栄え，現在は漁業・農業・酪農の一次産業が中心の町で，海側の苫前地区，内陸側の古丹別地区に二分される（**図-2**）．また，風の強い地域性を活かした風力発電が盛んで，全国9位の再生可能エネルギー自給率を誇る「風のまち」でもある．一方，人口減少は進行し，令和6年には2,696人（苫前町住民基本台帳）と流雪溝が整備された平成9年度に比べ4割以上減少している．加え，65歳以上の高齢化率の割合は4割を超えている（**図-3**）．

図-2　苫前町の位置図

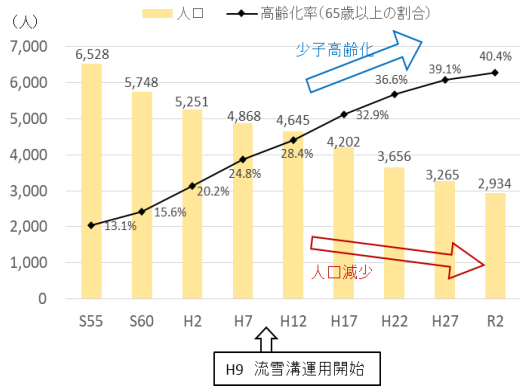


図-3　苫前町の人口の推移　※出典：国勢調査

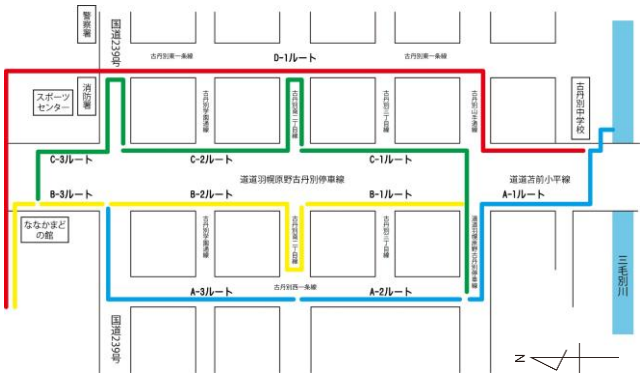


図-4 苫前町古丹別地区の流雪溝ルート図

このうち，流雪溝が整備されている古丹別地区では，人口は 968 人，流雪溝の利用者は 150 人ほどであり，利用者の高齢化率は約 6 割に達しており，急速な少子高齢・人口減少に直面している．

(2) 苫前町の流雪溝の概要

北海道苫前町古丹別地区には，地区内を通る国道，道道，町道の一部に，沿道住民による投雪を前提とした流雪溝が整備されている（**図-4**）．

昭和61年度から計画・調査が進められ平成9年に運用開始された．水源は，市街地南側の2級河川三毛別川から取水し，市街地に流水される．総延長3,271m，日最大流量2,400m^3，平均勾配1/500，平均流速S=1.0m/sの流雪溝である．

3. 流雪溝の持続的運用に対する課題

(1) 少子高齢・人口減少の影響

苫前町の事例を挙げると，流雪溝整備区間では空き地・空き家の増加，高齢化による投雪作業そのものの負担などから，投雪作業が行き届かない箇所が増えてきた．その結果，歩道の閉塞や車道の視認性低下が発生している（**写真-1**）．少子高齢・人口減少が進んだ影響により，沿道住民による道路の雪処理が適切に行われるという流雪溝の前提が崩れ始めている．

写真-1　歩道を塞ぐ雪山（平成 28 年 2 月 10 日）

(2) 施設の老朽化

北海道内の流雪溝供用地域のうち国道が区間内に含まれる 22 地域の流雪溝供用年数と施設の耐用年数を**図-5** に示す．各地域の供用年数を棒グラフで示す．30 年以上経過している地域は苫前町の古丹別流雪溝を含め 9 地域あり，数年後にはこのような箇所が大半となる．また，青線で示した取水ポンプ設備等の機械及び装置の耐用年数を全ての地域で供用年数が超えている．さらに赤線で示すコンクリートの耐用年数にも迫っており，流雪溝本体の老朽化が進行している．このことから，流雪溝施設の更新についても検討すべき段階にあると言える．

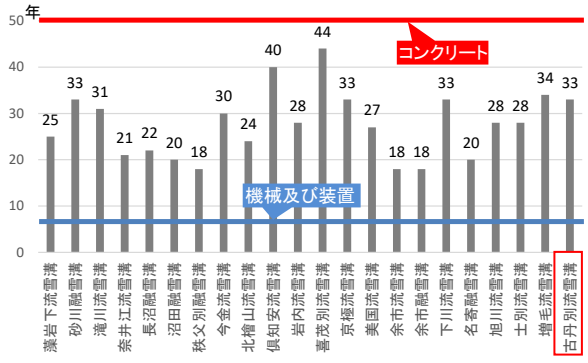


図-5 流雪溝供用年数と施設の耐用年数

※耐用年数は「減価償却資産の耐用年数等に関する省令」を参照．「機械及び装置」の耐用年数は7年，「鉄骨鉄筋コンクリート造又は鉄筋コンクリート造のもの」の耐用年数は50年

(3) ライフスタイルの変化

苫前町の事例を挙げると，水利権の関係で河川から取水できる水量には上限があるため，流雪溝を利用できる時間帯や作業時間は，1日1回，30分と定めていた．このローカルルールは，流雪時間に比較的柔軟に対応できる自営業を対象とした整備当時のルールであった．時代の

経過とともに，勤め人の割合が多くなったり，投雪作業を困難とする高齢者の増加など，住民のライフスタイルの多様化に伴い，投雪したい時間帯と投雪可能時間帯が噛み合わない等の課題が顕出されている．このことから，流雪溝の持続可能性のあり方として運用面の視点でも検討すべき段階にあると言える．

4. 苫前町地域住民によるこれまでの取組

地域住民による任意団体「苫前町まちづくり企画」は，苫前町で生じている様々な地域課題の解決を目指し，平成27年度から地域住民が主体となって地域活性化や地域再生の取組を始めている．取組の一つとして流雪溝の利用が低下している課題解決にも取り組んでいる．本章ではその取組を記す．

(1) 流雪溝に関する地域のニーズ調査

流雪溝に対する沿道住民の利用実態や利用意向を確認するため，平成27年度に流雪溝整備区間の沿道住民を対象とした流雪溝に関するニーズ調査を行った．調査結果は小西ら（2017）[3]に詳しい．

調査の結果，地域住民の半数以上が，今後も流雪溝が必要な施設という認識でいることが分かった．（図-6）．一方で，流雪溝で困っている点として「投雪作業が体力的に困難」，「投雪時間が自分の生活時間に合わない」，「投雪時間が短い」という事が挙げられた．これは，前章の流雪溝の課題と一致する結果であった．

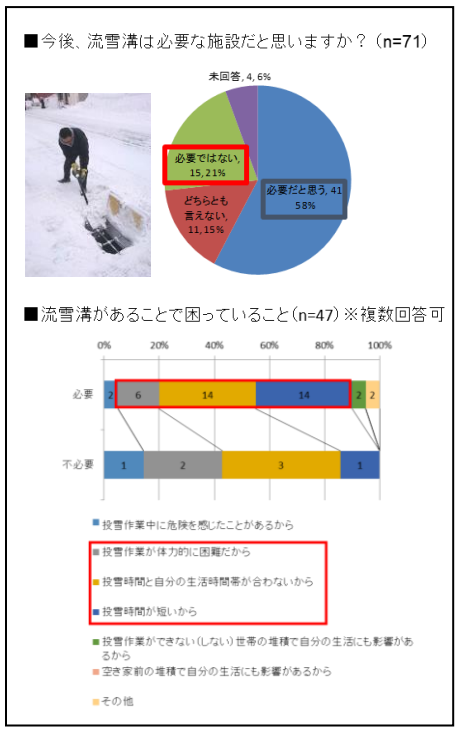


図-6　沿道住民へのニーズ調査（抜粋）
（小西ら，2017）

(2) 関係者間での体制構築と勉強会開催

「苫前町まちづくり企画」は流雪溝利用に関わる課題をはじめとする冬の困りごとに加え，冬の暮らしの中に新しい価値を見出すことを目的とする「流雪溝を考える会（道路管理者，流雪溝管理運営協議会，沿線住民で構成）」を平成28年1月に設置し，これまでに計6回の勉強会を開催した．

エリアマネジメントの視点から，流雪溝の関係者間で前述のニーズ調査結果を共有したり，流雪溝ひいては地域の将来ビジョンに関する意見交換を行ってきた．また，有識者を招いた勉強会も開催した．平成31年1月には上村靖司氏（長岡技術科学大学教授）による「越後雪かき道場」の除雪ボランティアの取組や「利雪」による地域活性化，令和元年12月には篠原靖氏（跡見学園女子大学准教授）によるインフラツーリズムとしての観光ツアー造成についての勉強会を開催した．これらの活動を通じ，流雪溝の課題解決策に加え，積雪寒冷下の環境を活用した地域振興方策についての知見も得た．

(3) 流雪溝の運用ルールの改善

前項の勉強会を重ねたことにより，令和3年度に投雪時間の見直しを実現することができた．従前は1日1回，30分だった投雪時間を，利用世帯の多い流雪溝の経路に投雪時間を多く配分し，1日2回の投雪（朝7時～9時台までの30分，10時～12時台までの20分）に変更することが可能となった．1日の間で投雪時間が分散されることで，投雪作業の自由度が高まり，投雪頻度や投雪量も増加するといった効果が期待される．

(4) 投雪ボランティアの導入

前章の通り，投雪作業が困難な高齢者住宅前や空き地・空き家前の歩道では，投雪が行き届かず雪山で歩道が塞がっている．「苫前町まちづくり企画」は，この雪山を崩して流雪溝に投雪をするボランティアを町内外から募集した．町外からの投雪ボランティアの募集にあたっては，他地域で除雪ボランティアツアーの企画実績がある（一社）シーニックバイウェイ支援センターと連携し，ボランティア活動を通じた都市農村交流を図るとともに，交流人口の創出による地域活性化を目的として，主に札幌市をはじめとする都市部から募集した．これまでに実施した投雪ボランティアの実績を表-1に示す．その実施内容は，山木ら（2018）[4]に詳しい．

当該地区は札幌圏から遠方ということもあり，平成30年と令和元年は参加人数が徐々に減少していった．そこで，令和2年は「ボランティアツアー」から「インフラツーリズムツアー」への転換を図る試行的ツアーとして実施した．その概要を次項に記す．

(5) インフラツーリズムツアーの取組

「インフラツーリズムツアー」への転換は，福祉的な

観点が色濃くある「ボランティアツアー」から，流雪溝という極めて日常的なインフラを観光資源として積極的に活用していこうという企画旅行であった．

地元の旅行会社と協働で企画し，流雪溝への投雪作業を体験してもらうだけではなく，流雪溝の取水ポンプ室や監視室といった普段目にする事の無い施設の見学をツアーに組み入れた．雪国ならではのインフラである流雪溝の仕組みや魅力を知ってもらい，より投雪体験を楽しんでいただくことを目的とした．また，地域住民との交流や浜焼き等の地元の食文化に触れてもらうことで，当該地域の冬の暮らしを参加者と共有する「暮らしぶりの映し」を体現するツアーを造成した（**写真-2**，3）．

流雪溝というインフラに投雪作業を通して参加者がスポーツ感覚で関与する体験機会（付加価値）を与え，インフラを軸とした周辺の地域資源と連動させることで，地域経済にも好影響を与える企画旅行とした．

表-1　投雪ボランティアの開催時期と主な参加者

年月	主な参加者	参加人数
H28年2月	苫前町まちづくり企画（町内商工業者，農漁業従事者），町役場職員，支援センター職員	9名（うち，3名町外参加）
H29年2月	苫前町まちづくり企画，町役場職員，支援センター職員，ボランティアツアー参加者	35名（うち，17名町外参加）
H30年2月	苫前町まちづくり企画，町役場職員，支援センター職員，ボランティアツアー参加者，道路管理者，町内主婦，社会福祉協議会職員	18名（うち，8名町外参加）
H31年1月	苫前町まちづくり企画，町役場職員，支援センター職員，道路管理者，社会福祉協議会職員	13名（うち，5名町外参加）
R2年1月	苫前町まちづくり企画，町役場職員，支援センター職員，道路管理者，社会福祉協議会職員，インフラツーリズムツアー参加者	25名（うち，9名町外参加）

写真-2　流雪溝インフラツーリズムの様子
（左：取水ポンプ室の見学，右：浜焼きの様子）

写真-3　流雪溝インフラツーリズムの様子
（左：投雪作業中，右：投雪後）

(6) 新型コロナウイルスの影響

前項のインフラツーリズムツアーで手応えを掴んだ矢先，新型コロナウイルスの影響により，取組が3年間中断した．結果，道路にはボランティア投雪を開始する以前のように，雪山が点在する状況に戻った（**写真-4**）．このことは投雪ボランティアやインフラツーリズムツアーといった外部人材を投入する効果をより際立たせた結果でもあった．

一方で，外部人材に依存するだけでなく，地域内に潜在していた共助の担い手を掘り起こすといった思考を喚起し，地域内共助を底上げする動機付けにもなり，次章の取組につながっていくものとなった．

写真-4　コロナ禍で雪山が点在する道路（令和3年2月6日）
（雪山のある箇所は，著者により楕円を加筆している）

5.　令和４年度からの苫前町での取組事例

令和4年度，新型コロナウイルスによる行動制限が徐々に緩和されはじめたことから，苫前町の地域住民が中心となって，流雪溝の持続的運用に向けた取組が再開された．以下に記す．

(1) 地域住民主体の流雪溝運営協議会へ移行

先述の通り，流雪溝の機能を発揮するためには，沿道住民による投雪が適切に行われることが前提である．そのため，管理する側の行政と使う側の住民が参画する流雪溝の管理運営協議会の設置は不可欠である[1]．

苫前町古丹別地区においても平成9年に流雪溝運営協議会が設置されているが，幹事の高齢化に伴い協議会への出席率が減少したり，利用改善に向けた協議がされず事務連絡機関に留まったりする等機能しなくなってきた．そこで，苫前町では，住民のニーズ・提案をより反映し，協議会を活性化させるため，事務局を行政から住民（古丹別連合町内会）に移管した．また，協議会の構成員を「住民及び苫前町」から「住民及び関係機関」へと拡大した．このように，苫前町では官民の協働性のあり方を地域住民主体へと移行することで，流雪溝をめぐる協働性を高める体制が構築されつつある．

(2) 流雪溝投雪ボランティアの再開

令和5年2月に3年ぶりの一斉投雪作業が行われた．新型コロナウイルス収束前であったため，大々的に地域外からの投雪ボランティアを募集することは見送られたが，流雪溝運営協議会と「苫前町まちづくり企画」が主体となり，地域住民や苫前町のほか，国や道の道路管理者を主な担い手とする投雪ボランティアが再開された（**図-7**）（**写真-5**）．

図-7　流雪溝投雪を呼び掛けるフライヤー

写真-5　流雪溝投雪ボランティアの状況

写真-6　雪に埋まった流雪溝開閉口の掘り起こし

写真-7　流雪溝開閉口に凍結防止剤を散布

写真-8　機械投雪補助具

写真-9　小型除雪機による投雪作業

(3) 投雪作業の効率化に向けた取組

前項の投雪ボランティア活動当日は，いくつかの作業効率化に向けた実践が確認できた．それらを以下に記す．

まず，凍結による流雪溝投雪蓋の固着を防ぐため，凍結防止剤の散布が行われた(**写真-6**，**7**)．

次に，小型除雪機を活用した投雪（以下，機械投雪）が行われていたので紹介する．

流雪溝の投雪口はスコップやスノーダンプなどの人力投雪を想定して設計[1]されているが，流雪溝に雪を投入する作業には多大な労力が伴う．さらに少子高齢化により，その負担は増している．このことから機械投雪には，住民自らのアイディアによる自家製の機械投雪補助具が使用された（**写真-8**）．機械投雪補助具は単管パイプを溶接した高さ1m，幅0.5mの鉄枠にテント生地が張られたものである．開閉蓋に装着させることで自立させ，小型除雪機のシューターの的にする．シューターで飛ばした雪塊がこの的に当たることで開閉口の転落防止用の安全格子よりも細かくなり，流雪溝にスムーズに落下する．スコップで雪を砕く作業も不要となることから，作業負担が格段に軽減する（**写真-9**）．

また，補助具を製作した住民は，自力での投雪が困難な近隣の高齢者たちの投雪も代わりに担ってきた．機械投雪による投雪作業の効率化は，地域内共助の持続性を担保する重要な要素にもなっていると考えられる．

(4) 北海道開発局の小型除雪機の活用

国土交通省では豪雪地帯に対する新たな支援として，生活道路除雪に対して，自治体へ小型除雪機の無償貸出を行っている．苫前町の流雪溝運営協議会はこの制度を活用し，令和4年度から北海道開発局留萌開発建設部が所有する小型除雪機を使用して流雪溝整備区間の除雪や投雪作業を実施している（**写真-10**）．苫前町や地域住民からは，機械投雪ができる範囲が拡大され，作業負担の軽減につながると歓迎された．

写真-10　北海道開発局留萌開発建設部の小型除雪機

(5) ヒアリング調査

「苫前町まちづくり企画」や地域住民は，これまで流雪溝のポテンシャルを引き出し，流雪溝の利用回復に向けた仕組みづくりや使いこなすための創意工夫などを行ってきた．しかしながら，先駆的な取組や知恵・技術開発を今後も単独で行っていくには限界がある．そこで，苫前町と同様に流雪溝が供用されている他の地域の利用実態や利用上の課題，課題に対する対応等を把握するため，滝川市と砂川市を対象に，令和4年11月にヒアリング調査を行った．調査結果の詳細は三原ら（2023）[5]に詳しい．

ヒアリング調査では，高齢化による投雪作業の担い手不足等が共通の課題として挙げられる一方で，先駆的な取組が参考情報として届いていないことも明らかとなった．このため，持続可能な流雪溝の運用に向けては，地域住民同士の共助（地域内共助）の底上げや流雪溝が供用する地区同士で情報交換できるような関係の構築が必要との考えで一致した．

6. 持続可能な流雪溝の運用に向けて

前章のヒアリング調査を受け，各地域で抱える課題や課題解決のための柔軟なアイディアを共有しあえる関係を構築するため，「苫前町まちづくり企画」が中心となり，苫前町周辺の流雪溝が供用されている市町に声掛けし，流雪溝に係るプラットフォーム会議を令和5年11月に開催した（**写真-11**）．

これは，序論で述べた流雪溝の現状や持続的な運用に向けた取組などが地域毎に委ねられてしまっているという課題に対する解決策にもつなげていこうとするものであった．以下に概要とその後の展開について記す．

(1) 流雪溝プラットフォーム会議の概要

当日の会議には，流雪溝を使う地域住民として「苫前町まちづくり企画」，流雪溝を管理する行政側として苫前町，増毛町，滝川市のほか，流雪溝の持続的な運用に

関する研究を進めている（一社）北海道開発技術センターが参加した．会議では各々が抱える流雪溝の現状や課題，これまでに培われた課題克服に向けた総意工夫の紹介のほか，討議を実施した（**表-2**）．また，登壇者による討議の後には聴講者も交じり様々な討議が行われた．以下，一部を紹介する．

「近隣の同じ流雪溝がある地域の人たちがつながり，自治体の境界を超えて，同じ域内として支え合う方法があると良い」といった地域間共助の必要性が示された．また，「流雪溝を移住・定住の促進メニューにできないか」や「雪処理のみならず冬期景観も流雪溝の役割として再定義する」など，流雪溝にインフラとしての新たな価値を生み出でないかといった提案も挙がった．さらには，「立地適正化計画において居住誘動区域に流雪溝供用地域を候補とする政策誘導も考えられる」といった指摘もあった．

一方，施設の老朽化やアイスジャムの取水口進入に伴う導水路閉塞，吐口凍結による流水路閉塞など，技術面での様々な課題も挙がった．

これらを受け，苫前町と増毛町で相互に協力・連携する一斉投雪を行うことが会議の中で提案された．流雪溝をめぐる課題意識や課題克服に向けた実践を流雪溝が供用されている地区同士が自治体の枠を超えて連携することとなった．

表-2　流雪溝に係るプラットフォーム会議の概要

日時	令和5年11月29日（水）10:00～12:00
場所	TKPガーデンシティPREMIUM札幌大通 ※第39回寒地技術シンポジウム内のセッションを活用して開催
参加者	座長：原文宏（北海道開発技術センター） 登壇：苫前町，苫前町まちづくり企画，増毛町，滝川市，北海道開発技術センター以上5名
内容	テーマ：人口減少時代における持続可能な流雪溝の運用に向けて 第一部：登壇者による流雪溝の現状や課題等の紹介 第二部：パネルディスカッション

(2) 流雪溝プラットフォーム会議後の展開

前項の会議で提案された苫前町と増毛町が相互協力する一斉投雪が令和6年1月27日に苫前町，28日に増毛町で実施された（**写真-12**）．双方の自治体職員や地域住民のほか，道路管理者である国や道の職員，双方の町を含む地域で地域活性化の活動を行っている民間団体シーニックバイウェイ北海道「萌える天北オロロンルート」のメンバーが参加した．

当日は通行の支障になっている雪山を崩し，流雪溝へ投雪する作業を行ったほか，普段みることができない他のまちの流雪溝施設を視察した．投雪作業の担い手確保だけでなく，会議でも話題となった技術面の様々な課題やその対応策，施設の管理策，施設の管理運用面の手法等を双方が現地で学ぶことができたのも成果であった．

写真-11　流雪溝のプラットフォーム会議

写真-12　一斉投雪 増毛町での集合写真

7. おわりに

北海道の農林水産・観光産業の基盤となる地域を，第9期北海道総合開発計画（令和6年3月12日閣議決定）では「生産空間」と定義付けている．この「生産空間」はリアルな人の営み・生業によって成り立っており，計画では，北海道の価値発揮には，その定住環境を如何に維持していくかが最も重要な基礎であるとしている．

積雪寒冷地の自然特性は，時に「生産空間」を支える自然の恵みにもなれば，暮らしの障壁にもなる二面性を持つ．従って，定住環境の維持ひいては持続可能で暮らしやすい社会の形成に至っては，除排雪システムが適切に機能することが不可欠である．沿道住民の手によって除排雪を行う流雪溝は，極めて人間活動に依存しており，人口減少社会に突入した現在においては，コミュニティの協働性のあり方を問いかけるインフラであると言える．このことから，それを使いこなす地域社会が成熟しない限り，流雪溝本来の機能が発揮できない．

今後も少子高齢・人口減少が進行していく中で，流雪溝を利用した除排雪システムを安定的に機能させていくには，流雪溝が供用されている地区同士のつながり（地域間共助）の拡充のほか，連帯と協調に基づく地域づくりという発想へのシフトを期待する．また，それらが成熟されることで，暮らしに必要なサービスが持続的に提供される地域生活圏の形成にもつながるものと考える．

参考文献

1)流雪溝マニュアル編集委員会，『積雪寒冷地における流雪溝マニュアル（案）』，1990.

2)三原夕佳・小西信義・小村健太・原文宏・髙野伸栄・倉内公嘉，「北海道における流・融雪溝供用地域の自治体を対象としたアンケート調査結果報告」『北海道の雪氷』，vol.43, pp.37-40，2024.

3)小西信義・野呂美紗子・原文宏・西大志，「苫前町古丹別地区流雪溝利用者を対象としたアンケート調査報告」『北海道の雪氷』，vol.36，pp.33-36，2017.

4)山木正彦・渡邊博彦・原田小雪，「流雪溝を活用した地域おこしの取組みー苫前町を事例にー」，第 61 回北海道開発技術研究発表会，2018.

5)三原夕佳・小西信義・西大志・谷野淳・原文宏・倉内公嘉，「道内の流雪溝供用地区における地域インフラの持続的発展の可能性と課題について」，『北海道の雪氷』，vol.42, pp.25-28, 2023.

既存オフィスビル等のゼロエネルギービル（ZEB）化改修の促進に関する研究開発

宮田　征門[1]

[1]国土技術政策総合研究所　住宅研究部　建築環境研究室　（〒305-0802 茨城県つくば市立原１）

我が国の温暖化ガス排出量の約2割はオフィスビル等によるものであり、脱炭素化の実現には既存オフィスビル等のゼロエネルギービル（ZEB）化改修の促進が重要である。本研究では、改修設計に関する知見を得ることを目的として、1978年竣工の事務庁舎ビルを対象としてZEB化改修計画の作成を試行した。試行の結果より、エネルギーシミュレーションを活用して設計を最適化すれば、汎用的な技術の組み合わせでエネルギー消費量を現状より約8割削減でき、国が定めるZEB Readyの水準に達することを明らかにした。また、ZEB化改修の投資回収年数は10.8年であり、改修により光熱費削減以外の便益（Non-Energy Benefit）もあることを示した。

キーワード　脱炭素，省エネルギー，建築物，ZEB，改修

1. 研究の背景と目的

2021年4月の気候変動に関する首脳会議にて表明された「温暖化ガス排出量を2030年までに2013年度比46%削減」という高い目標を達成するには、エネルギー需要側の徹底した省エネ化が必要不可欠である。特に、我が国のエネルギー消費量の約20%を占めるオフィスビル等（非住宅建築物）について、更なる対策を講じて省エネ化を加速させることが重要である。

オフィスビル等の省エネ化については、建築物のエネルギー消費性能の向上等に関する法律（建築物省エネ法）により措置が講じられているが、主たる措置の対象は新築ビルである。既存ビルについては補助制度等による誘導的措置は講じられているものの、改修等に対する規制、基準、指針はなく省エネ化への対応は遅れている。**図-1**に示すとおり、我が国のオフィスビル等のストック床面積に対する年間新築床面積の割合は約2%弱しかないため、大きなウェイトを占める既存オフィスビルの省エネ化を早急に実現しなければ、2050年までのカーボンニュートラル化は不可能である。

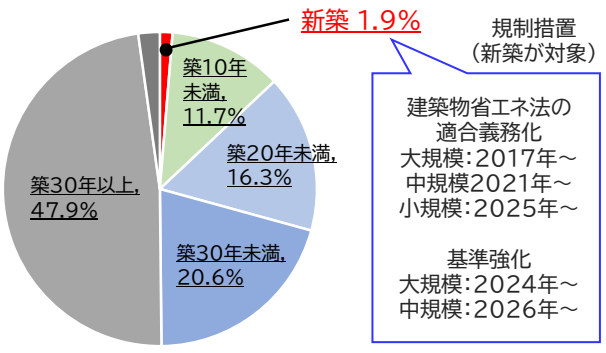


図-1　築年数別のストック床面積

オフィスビル等の空調や照明等の設備機器は一般に10～20年毎に改修（更新）されるが、現状の改修工事の多くは安易な（同等機種への）機器入れ替えに留まっている。改修工事の際に現況調査に基づき再設計すれば合理的な追加投資で大きな省エネ効果が得られる可能性があるが（**図-2**）、その具体的な方法が確立していないため殆ど実施されておらず、省エネ化の機会を逃している。

この課題を解消するため、国土技術政策総合研究所では、改修時に省エネ・省CO_2効果を最大化するための技術的指針及び設計支援ツールの開発を行っている。本報では、改修設計に関する具体的な知見を得ることを目的として、実在する事務庁舎ビルA（1978年3月竣工、地

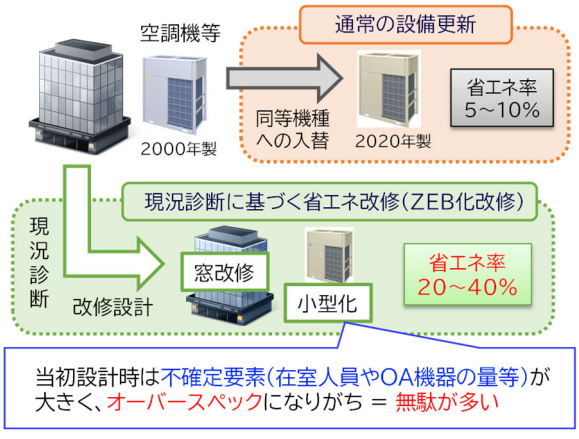


図-2　現況診断に基づく省エネ改修（ZEB 化改修）

上7階・地下1階、延べ面積13,467m²）を対象として、具体的な「ZEB化改修計画」を試行的に作成し、エネルギー消費量の削減量や投資回収年数、光熱費削減以外の便益（Non-Energy Benefit）について分析した結果を示す。

2. 改修レベルの設定

本検討では、次に示す3つの改修レベル（1, 2, 2+）を想定して改修計画の作成を行う。なお、改修前の現状をレベル0とする。

- レベル1：通常の設備更新
  空調設備について、空調方式を現状の「直焚吸収冷温水機を熱源とする中央式空調システム」から変更せずに、機器のみ最新のものに更新する。外皮及び給湯設備は改修せず、換気設備と照明設備については現状で流通している一般的な設備仕様に更新する。
- レベル2：ZEB Readyを目指した改修
  改修後のエネルギー消費量を「ZEB Ready（太陽光発電による創エネ量を加味せずに、エネルギー消費量が省エネ基準における基準値の半分以下となる建築物）」相当とすることを目指した改修を行う[1]。外皮の改修や空調システムの方式変更、自動制御システムの導入等も検討対象に含め、エネルギーシミュレーションを活用して設計を最適化する。
- レベル2+：エネルギー需要の最小化を目指した改修
  レベル2の改修内容に加え、搭載できる限りの太陽光発電設備を設置する。

3. ZEB化改修計画の作成

本試行におけるZEB化改修計画の作成手順及び検討内容を**表-1**に纏める。エネルギーシミュレーションツールとして省エネ基準の適合性判定プログラム（Webプログラム、標準入力法）[2]を使用し、エネルギー消費性能の評価を行いながら設計仕様の検討を行った。ここで、Webプログラムは、Microsoft Excel 形式の入力シートに外皮や設備の設計仕様を入力し、このファイルをプログラムにアップロードすることで年間の一次エネルギー消費量を算出することができるプログラムである。建築物のエネルギー消費性能はBEI（Buildling Energy Index。設計一次エネルギー消費量を基準一次エネルギー消費量で除した値）という指標で表され、BEIが1.00以下となれば省エネ基準に適合、創エネ量を加味せずにBEIが0.50以下となればZEB Readyの水準であると判定される。

(1) 現状の評価（レベル0）

STEP 1として、現状（レベル0）のエネルギー消費性能の把握を行った。事務庁舎ビルAではこれまでにも小規模な改修工事が繰り返し実施されており、改修の度に部分的な図面は作成されているが、建築物全体の現状を表す図面は存在しなかった。そこで、複数の図面を組み合わせて経時的な推移を把握し、図面では不明な箇所については現場調査を行い、Webプログラムの入力シートの作成を行った（**図-3**）。

図-3 現況診断に基づくエネルギーモデリング

Webプログラムにより一次エネルギー消費量を算出したところ、2655.5 MJ/m²年（BEI=2.08）となった。

(2) 通常の設備更新（レベル1）

STEP 2として、通常の設備更新（レベル1）を想定した検討を行った。建築設備設計基準[3]に従って設備機器を選定し、各機器の効率については市場調査に基づき標準的な値を設定した。Webプログラムにより一次エネルギー消費量を算出したところ 2377.5MJ/m²（BEI=1.87）となった（レベル0から約10%減）。

(3) ZEB 化改修設計（レベル2、レベル2+）

STEP 3として、ZEB Readyを目指した改修設計（レベル2）を行った。空調設備をパッケージエアコンによる個別分散方式に変更し、シミュレーションプログラム「The BEST Program (専門版)」による動的負荷計算を援用して、空調負荷の最大値が150W/m²以内に収まるように開口部の断熱強化、全熱交換器の導入、予冷時間の調整等の検討を行った。Webプログラムにより一次エネルギー消費量を算出したところ517.5MJ/m²年（BEI=0.41）となった。導入する技術は汎用的なものばかりであるが、適切に組み合わせることで現状（レベル0）と比べてエネルギー消費量を約80%削減できることが分かった。

また、エネルギー需要の最小化を目指した改修（レベル2+）について検討を行い、屋根面の状況等から太陽光

表-1　ZEB 化改修計画の作成手順及び検討内容

No	項目	内容
STEP 1) 現状のエネルギー消費性能の把握		
1-1	既存図面確認、整理	・図面、資料の有無と状況を確認する(建築図、設備台帳、構造計算書)。図面より、断熱性能、建具、設備の種類、配置等を確認する。
1-2	現場調査	・現地にて、現状の設備の配置、台数、型番などを確認、記録する。設備管理者に設備の状況をヒアリングする。
1-3	エネルギー消費性能の評価	・Webプログラムを使用して、現状の一次エネルギー消費量を算出する。
STEP 2) 通常の設備更新に関する検討		
2-1	設備更新計画の作成	・建築設備設計基準等に従い、設備更新の計画を作成する。
2-2	エネルギー消費性能の評価	・Webプログラムを使用して、設備更新後の一次エネルギー消費量を算出する。
STEP 3) ZEB Readyを目指した改修設計の実施		
3-1	改修設計の実施	
①	最大空調負荷の最適化	・各空調系統の最大空調負荷が平均して150W/㎡程度を下回るように、外皮断熱の強化や全熱交換器の導入等の工夫を図る。 ・断熱化の検討は、実施しやすい部分から進める。建物によって異なるが、一般的には開口部の断熱、屋根の断熱、壁の断熱の順である。 ・空調を行う室には全熱交換器を配置することを基本とする。換気量は1人あたり30㎥/hで設定し、在室人数は実態に合わせて設定する。
②	空調設備の選定	・空調負荷計算の結果を基に空調機の選定を行う。 ・冷房に比べて暖房の必要能力が極めて大きい場合は、寒冷地仕様のエアコンやGHPなどの暖房能力の低下が起こりにくい機種の選定も検討する。
③	照明、換気、給湯の機器選定	・現状と同等の照度となるようにLED照明を選定する。 ・事務室、会議室などには明るさセンサによる調光制御を導入する。トイレ、階段、廊下は人感センサによる点滅/調光制御を導入する。
		・DCブラシレスモーターの一般換気扇を導入する。DCブラシレスモーターで対応が難しい風量の場合は、インバーター制御のIE3モーターのファンを選択する。 ・トイレには人感センサ、電気室・機械室には温度制御、屋内駐車場にはCO制御を導入する。
		・事務庁舎ビルについては、給湯需要は小さいため、小型電気温水器や室内型瞬間湯沸かし器を選定する。
④	太陽光発電の最大搭載量を検討	・建物の敷地内に導入できる最大限の太陽光発電設備容量を検討する。
3-2	エネルギー消費性能の評価	・Webプログラムを使用して、改修後の一次エネルギー消費量を算出する。
STEP 4) 省エネ性・経済性の把握		
4-1	省エネ性の分析	・通常の設備更新とZEB化改修の省エネ効果、CO_2削減効果等を分析し比較する。
4-2	経済性の分析	・通常の設備更新とZEB化改修の工事費用、光熱費削減効果を算出し、投資回収年数を求める。
STEP 5) ZEB化改修計画の取り纏め		
5-1	改修内容等の取り纏め	・改修提案内容、省エネ性・経済性の検討結果等を取り纏める。利用可能な補助事業等がある場合は、補助事業を活用した場合の実質費用を計算する。
5-2	改修スケジュールの作成	・改修設計から竣工までの実施スケジュールを取り纏める。

発電は最大で236kW導入できると判断した。Webプログラムにより一次エネルギー消費量を算出したところ、349.6MJ/m²年（BEI=0.28）となった。

(4) 省エネ性・経済性の分析

STEP 4として、改修前後の光熱費及び改修工事費用の算出を行った。算出結果を**図-4**に示す。光熱費については、電気32.29円/kWh、ガス193.8円/m³、灯油120円/Lとして算出を行った。改修工事費用については、一般財団法人建築保全センター 平成31年版建築物のライフサイクルコスト第2版などを活用して概算した。

また、STEP 5として費用対効果の分析を行った。レベル1とレベル2で光熱費は3,530万円/年の差、改修工事費は3億8100万円の差であり、レベル1からレベル2への投資回収年数（改修工事費の差／年間光熱費の差）は10.8年と算定された。同様に算出すると、レベル1からレベル2+への投資回収年数は14.3年となった。

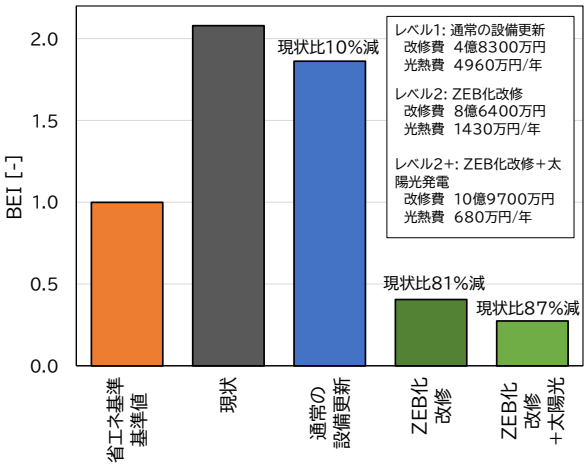


図-4　改修によるエネルギー消費量削減効果

4. NEB（Non-Energy Benefit）に関する検討

(1) 光熱費削減以外の効果の整理

前章で示した試行の結果より、ZEB化改修の投資回収年数は10～15年程度であることが分かる。国や自治体の補助金を使用できれば5～6年程度に短縮される可能性はあるが、補助金なしの場合は業務用エアコンの法定耐用年数（13～15年）と同程度の投資回収年数となるため、エネルギー消費量（光熱費）の削減効果のみのアピールでは建物オーナーへの訴求力は弱いと言える。そこで、ZEB化改修を行うことによる光熱費削減以外のベネフィ

表-2　ZEB 化改修による NEB(Non-Energy Benefit)

分類		今回の改修提案における効果
環境性	CO_2削減量	CO_2排出量は約90%削減(約744t CO_2/年)。
	上水使用量削減	冷却塔が不要となり節水となる(2,668㎥/年)。
	灯油漏洩リスクなし	灯油地下タンクを埋設処理するため、灯油漏洩リスクがなくなる。
経済性	光熱費の安定	外部からのエネルギー購入量が大幅に減るため、年間の光熱水費が安定する。
室内環境の向上（ウェルネス）	温熱環境の向上	窓の高性能化により室内温熱環境が安定し、快適になる。寒冷地向けエアコンを採用したためデフロストも少なく、室温が安定する。
	湿度環境の向上	全熱交換換気の採用により、室内湿度が安定し、快適性が高まる。
	防音性能の向上	真空ガラスの導入により防音性能が向上する。
	十分な換気量	室内のCO_2濃度をモニタリングして新鮮外気導入量を制御することにより、室内の空気質向上と省エネルギーを両立させる。
	個別分散空調による空調の使い勝手の向上	個別分散空調にすることで、残業や休日出勤時も各部屋で空調を利用することができる。
BCP対策	故障耐性の強化	各階2系統以上のマルチエアコンを導入するため、1系統の室外機が壊れても、その他の系統に属する室で業務を継続することが可能である。
	災害対応能力の向上（レジリエンス性能の確保）	施設の稼働に必要となるエネルギー量が小さくなったため、太陽光発電の自立運転、蓄電池等を導入した際、より長時間・広範囲の施設稼働が可能になる。
その他	空きスペース	地下機械室の設備機器等が撤去されることによりスペースができ、書籍や備品の保管などに活用することができる。

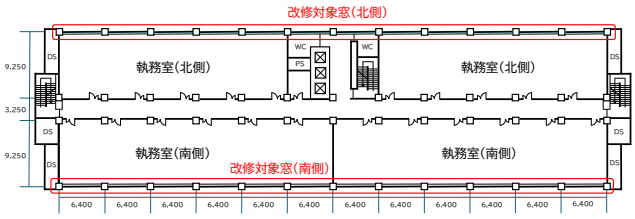


図-5　窓改修を行った事務庁舎ビルBの平面図

ット（Non-Energy Benefit，NEB）の整理を行った。

本検討で作成したZEB化改修計画により得られうるNEBを整理した結果を**表-2**に示す。現状では認知度が低いが、光熱費削減以外にも様々なベネフィットがあることが分かる。ZEB化改修を普及させるためには、光熱費削減以外の効果も含めて総合的に訴求することが重要である。

(2) 窓改修による温熱環境向上効果の測定

事務庁舎ビルAと近接する事務庁舎ビルB（9階建て、延べ面積15,920㎡）において窓ガラスを単板ガラスからLow-ε複層ガラス（日射遮蔽型。U_g=2.4W/m²K、η_g=0.39）に改修する工事が行われたため、室内に温湿度センサーを設置して改修前後の室温変化を測定した。

改修工事は2023年11月から翌年3月にかけて段階的に実施された。事務庁舎ビルBの平面図を**図-5**に示す。改修工事は主に土日に実施され、各フロアを北側と南側に区分して2週間で1フロアの改修が完了するスケジュールで行われた。各フロアの北側及び南側にそれぞれ1室ずつ測定対象室を設定し、各室について窓際（ファンコイルユニットの筐体の上。窓からの距離は20cm程度）と室中央（キャビネットや机の上）におんどとり（TandD製、TR72A）を配置し、5分間隔で室内温湿度を計測した。

計測結果の例として、4階における①改修前、②北側のみ改修後、③南北とも改修後の測定データを比較した結果を**図-6**に示す。それぞれある1日の測定結果であるが、休日明けではなく、外気温の挙動が似ている日のデータを抽出した。図より得られた知見を次に示す。

- 改修前（①）の夜間は室中央と窓際の温度に4℃程度の差がある。一方で北側と南側には大きな温度差はなく、夜間の非空調時間帯はほぼ同じ室温となる。
- 北側のみ改修（②）すると、夜間における北側・窓際の温度が上がり、南側・窓際の温度と差が生じる。北側の方が2℃程度温度が高く、これは窓改修による室温上昇効果と捉えることができる。
- 南側も改修されると（③）、再び北側・窓際と南側・窓際の温度差は小さくなる。改修前（①）と比べて夜間の室温が上昇していることが分かる。

その他の階の測定結果も含めて考察すると、窓改修を行った室については夜間における窓際空間の室内温度が2～5℃程度向上し、これにより特に午前中の室内温熱環境が改善されていることが分かった[4]。

窓改修後に執務者にアンケートをしたところ、夜間に冷えなくなった、窓の開閉が容易になった、景色がよく見えるようになった、静かになった等、好意的な感想が得られた。一方で、サッシはアルミのままであるためサッシ部で結露が発生する、携帯の電波が届きにくくなったなどの意見も得られた。

5. まとめ

既存オフィスビル等のゼロエネルギービル（ZEB）化改修の促進を目指して、実在する事務庁舎ビルを対象としてZEB化改修計画を試行的に作成し、築40年超の事務庁舎でも現状を調査して再設計すれば、汎用的な技術の組み合わせだけでZEB Readyの達成は可能であり、エネルギー消費量を現状比で80%以上削減出来ることを示した。また、ZEB化改修への投資回収年数は約10年となるが、改修により室内温熱環境の向上など光熱費削減以外のベネフィットもあることを示した。

参考文献

1) 環境省: ZEBの定義, https://www.env.go.jp/earth/zeb/detail/01.html
2) 国立研究開発法人建築研究所：建築物のエネルギー消費性能に関する技術情報, https://www.kenken.go.jp/becc/index.html
3) 国土交通省大臣官房官庁営繕部設備・環境課監修, 公共建築協会編集：建築設備設計基準 令和3年版
4) 宮田征門: 既存事務庁舎ビルを対象とした窓改修前後の室温変化の測定, 日本建築学会学術講演梗概集, p.1123-1124, 2024.8

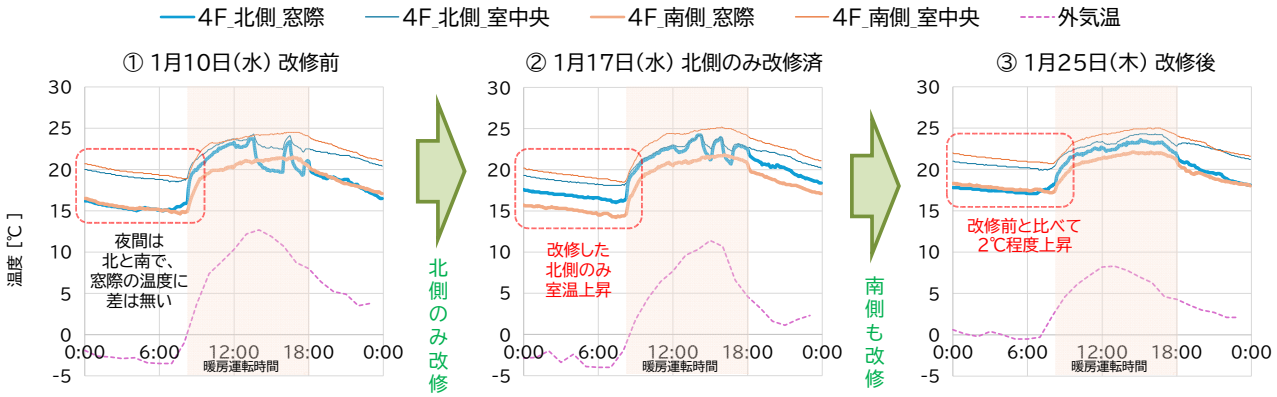


図-6　事務庁舎ビルB（4階）の室内温度測定結果

既設アスファルト舗装からコンクリート舗装へ修繕する際に凍上対策として用いる断熱工法の設計・施工手法の提案

大場　啓汰[1]・上野　千草[1]・丸山　記美雄[1]

[1]国立研究開発法人　土木研究所　寒地土木研究所　寒地保全技術研究グループ　寒地道路保全チーム
（〒062-8602 北海道札幌市豊平区平岸1条3丁目1番34号）

コンクリート舗装はアスファルト舗装よりも耐久性が高くライフサイクルコストの縮減が期待される．修繕工事において老朽化したアスファルト舗装箇所をコンクリート舗装へ打ち換える際，積雪寒冷地である北海道では，凍上対策における置換率の違いなどから置換厚が不足し，必要な深さまで既設舗装を再掘削する必要が生じる場合があり，工期・コスト面で課題を抱えていた．本文では，掘削深さを抑制し，コストおよび工期を縮減することを目的として断熱工法の検討を行い，設計・施工マニュアルとしてとりまとめた結果を報告する．本成果は，令和5年度より北海道開発局道路設計要領に反映され，舗装修繕工事で活用されている．

キーワード　コンクリート舗装，舗装打ち換え，断熱工法

1. はじめに

道路舗装の高耐久化・長寿命化によるライフサイクルコスト（以下，LCC）の縮減が求められており，アスファルト舗装（以下，As 舗装）よりもわだち掘れやひび割れに対する耐久性が高く [1]長寿命化が期待できるコンクリート舗装（以下，Co 舗装）への関心が高まっている．国土交通省は平成 24 年度に，耐久性に優れるコンクリート舗装の積極的活用を施策として示しており [2]，平成 25 年 4 月改訂の設計業務等共通仕様書では，トンネル部以外の箇所でも As 舗装と Co 舗装の LCC を比較検討するよう明記された [3]．

ここでは，寒冷地域における既設As舗装の打ち換え時に，断熱工法を用いたCo舗装を採用する場合の設計法および施工法について報告する．

2. 凍上対策工法

Co 舗装はわずかな凍上でも，路盤面と Co 舗装版の間に隙間が生じ，これが要因となって車両走行時に Co 舗装版下面に発生する引張応力が増大し，短期間でひび割れが発生し舗装寿命が低下することが筆者らのこれまでの研究 [4]で明らかとなっている．このため，国土交通省北海道開発局の道路設計要領では，Co 舗装の凍上対策としての置換厚は，20 年確率理論最大凍結深さまでとされている [5]．一方，As 舗装の置換厚は理論最大凍結深さの 70 %となっており [5]，既設の As 舗装を Co 舗装に打ち換える際に，置換厚が不足する場合がある．

凍上対策は一般的には上記のように置換工法が用いられるが [5]，この工法を As 舗装から Co 舗装へ打ち換える際に用いた場合，凍上抑制層を増厚するため既設路盤・路床を掘り返さなければならず，イニシャルコストの増大，一般交通への影響および工期の長期化により Co 舗装採用の障害となる．

凍上を抑制するためには，凍上の三要素である土質，温度，水について，このうちの一つについて対策を行う必要があり，ここでは，温度に着目した凍上対策である断熱工法について試験施工を行い，Co舗装への適用性を検討した．

3. 検討内容

Co 舗装において断熱工法を採用する際に必要な検討事項として，断熱性能の照査とともに，アスファルト中間層を設ける場合は施工時における熱の影響を検討する必要があり，この他に断熱材上部に施工する路盤材の品質確保のために必要な施工厚の検討，断熱材の交通荷重等に対する耐力照査が必要となる．なお，本検討で使用する断熱材は JIS A 9511 A 種押出法ポリスチレンフォーム保温板（2 種 bA）に適合する耐熱温度 70 ℃，許容応力度 σ_z=180 kPa の材料（以下，XPS）である．

(1) 検討ケース

検討ケースを**表-1**に示す．北海道内の3箇所においてAs舗装からCo舗装へ打ち換える際に検討を実施した．いずれのケースも既設As舗装の置換厚が20年確率理論最大凍結深さを下回っており，As舗装からCo舗装への打ち換えにおいて追加の凍上対策が必要となる．3つのケースのうち，岩見沢，音更はどちらもアスファルト中間層を設けるN_6交通条件であるが，冬期間の路肩の堆雪条件が異なる．苫小牧はアスファルト中間層を設けないN_5交通条件である[5]．

表-1 検討ケース

ケース	岩見沢	音更	苫小牧
交通条件	N_6	N_6	N_5
冬期間の路肩の堆雪	多	少	多
近傍AMeDAS	岩見沢	帯広	苫小牧
試験施工の実施	○	○	×
既設舗装の置換厚	840 mm	1,010 mm	800 mm
20年確率理論設計凍結深さ	1,300 mm	1,600 mm	1,100 mm
設計コンクリート舗装版厚	280 mm	280 mm	250 mm
設計アスファルト中間層厚	40 mm	40 mm	-

(2) アスファルト中間層施工時の熱の影響

アスファルト中間層舗設時の断熱材上面における温度を把握するため，コンテナボックスを用いて**図-1**に示す模擬断面を作製し，アスファルト混合物舗設時の温度計測および断熱材の外観変化を観察した．アスファルト混合物層の厚さはN_6交通断面にあわせ40 mm，断熱材上部の路盤厚は100 mmと200 mmの2断面とし，断熱材下部には不陸整正の目的で敷砂を配置した．供試体作製は室内で行い，アスファルト混合物舗設後の温度計測は，屋外（外気温32.1 ℃）で実施した．

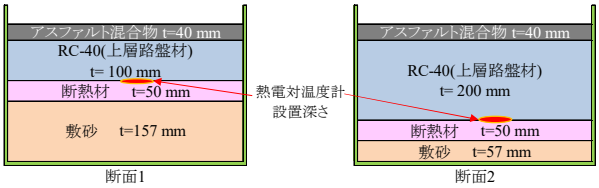


図-1 模擬断面（コンテナボックス）

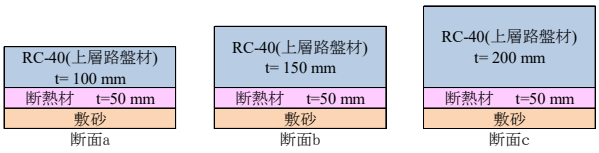


図-2 試験舗装断面（アスファルトプラント内）

アスファルト混合物舗設時の断熱材上面温度を熱電対温度計で計測した結果，断面1で最大57.3 ℃，断面2で最大40.0 ℃となり，両断面とも断熱材の耐熱温度である70℃以下となった．また，両断面とも断熱材の外観変化はないことを確認した．

(3) 路盤の施工厚

断熱材上部の路盤の適切な施工を行うために必要となる施工厚さを決定するため，アスファルトプラント内において**図-2**に示す3断面で試験舗装を行い，路盤材の敷均し転圧後に締固め度と外観の確認を行った．

この結果，全ての断面で規格値の97 %以上[6]を満足する値が得られたが，断面 a，b においては転圧時に路盤材料が断熱材上面で滑るような状態となり，路盤面に転圧方向に対して直角方向に筋が入る状況が見られた．一方，断面 c ではこの現象は見られなかった．

以上の結果より，層厚が 150 mm 以下では施工面に不具合が発生し，上層の施工に悪影響を及ぼす懸念があることから，層厚は200 mm以上が望ましいと判断した．

(4) 交通荷重に対する耐力照査

交通荷重に対する耐力照査を発泡スチロール土木工法開発機構[7]の手法に準拠して行った．ここで，式(1)を満たせば十分な耐力を有することとなる．

$$\sigma_z > \sigma_{z1} + \sigma_{z2} \tag{1}$$

ここに，

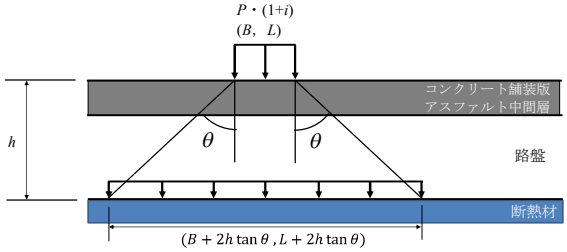


図-3 交通荷重に対する照査

σ_z ：断熱材の許容応力度 (kPa)
σ_{z1} ：断熱材上面での上載物荷重 (kPa)
σ_{z2} ：断熱材上面での活荷重 (kPa)

断熱材上面での活荷重σ_{z2} は，**図-3**に示すとおりであり式(2)で表される．

$$\sigma_{z2} = \frac{P(1+i)}{(B+2h\tan\theta)(L+2h\tan\theta)} \tag{2}$$

ここに，
P：輪荷重 (kN)
B：車輪輪帯幅 (m)
L：車輪接地長 (m)
h：路面から評価面までの深さ (m)
θ：舗装部の分散角 (°)
i：衝撃係数

耐力照査に用いたケースおよび耐力照査結果を**表-2**に示す．断熱材の許容応力度はメーカー推奨値よりσ_z =180 kPaとして照査し，断熱材上部の路盤厚は200 mmに設定した．上載物荷重σ_{z1} と活荷重σ_{z2} の合計は，岩見沢，音更で79. 46 kPa，苫小牧で94.17 kPaとなり，いずれも式(1)の条件を満足した．

(5) 熱伝導解析による断熱性能の照査

市販の熱伝導解析ソフトウェア [8]にて断熱性能の照査を行った．照査に用いた各材料の熱定数 [9]は**表-3** に示すとおりであり，モデルは地表面から 5 m の深さまでとしている．熱伝導解析にはモデル上面・下面の温度を設定する必要があり，本事例では上面にあたる路面温度を近傍 AMeDAS の外気温を用いた．解析には 2000 年度以降の 22 年間で最も凍結指数の大きい年度の冬期間の 1 時間毎の値を用いた．

下面温度は，**表-4** に示す既往の温度計測事例 [10]より地中 5m の深さにおける地中温度の季節変動が小さいことから，期間平均温度を固定値として用いた．各ケースで使用した値は各々の近傍観測地点とし，岩見沢と苫小牧では札幌，音更では帯広とした．これらの入力条件を用いて解析を行い 0 ℃線の深さを 1 時間毎に求め，最も0 ℃線が深くまで達した時間帯において照査を行った．

岩見沢における熱伝導解析結果を**図-4**に示す．図中赤線で示す0 ℃線深さは，断熱材設置深さ内に収まっている． また，音更と苫小牧においても同様の解析を実施し，0 ℃線深さが断熱材設置深さ内に収まる結果となった．さらに，音更は冬期間の路肩部の堆雪が少ない地域であるため，堆雪による路肩の断熱効果が期待できず，路肩側から凍結が侵入する可能性があることから，**図-5**に示す路肩部を追加した断面で再度解析を行った．この結果，路肩側からCo舗装版下への凍結の侵入が見られた．Co舗装版下で凍結に伴う不均一な不陸が生じるとCo舗装版の早期破損の要因となるため[4]，路肩側からの凍結侵入対策として断熱材設置幅の検討を行った．**図-5**より回り込み幅が700 mmであるため，断熱材の拡幅幅を回り込み幅以上とし再度解析を行った．結果を**図-6**に示す．今回の音更の条件では拡幅幅を700mm以上とすることでCo舗装版下へ凍結が入らない結果となった．

(6) 舗装断面の決定

以上の検討結果から，断熱材の埋設深さは岩見沢と音更ではアスファルト中間層より200 mm下の，路面から520 mmの位置，苫小牧ではCo舗装版下面より200 mm下の，路面から450 mmの位置が妥当との結論に至った．

表-2　耐力照査

ケース		岩見沢、音更	苫小牧
断熱材の許容応力度:σ_z		180 kPa	180 kPa
断熱材上面での上載物荷重:σ_{z1}		11.38 kPa	9.75 kPa
計算条件	コンクリート舗装版密度	23.0 kN/m^3	23.0 kN/m^3
	コンクリート舗装版厚	0.28 m	0.25 m
	アスファルト中間層密度	23.5 kN/m^3	-
	アスファルト中間層厚	0.04 m	-
	路盤密度	20.0 kN/m^3	20.0 kN/m^3
	路盤厚	0.20 m	0.20 m
断熱材上面での活荷重:σ_{z2}		68.08 kPa	84.42 kPa
計算条件	輪荷重:P	100 kN	100 kN
	車輪輪体幅:B	0.5 m	0.5 m
	車輪接地長:L	0.2 m	0.2 m
	路面から評価面までの深さ:h	0.28 ＋0.04 +0.20=0.52 m	0.25+0.20=0.45 m
	舗装部の荷重分散角:θ	45°	45°
	衝撃係数:i	0.3	0.3
$\sigma_{z1}+\sigma_{z2}$		79.46 kPa	94.17 kPa
判定		$\sigma_z > \sigma_{z1}+\sigma_{z2}$【OK】	$\sigma_z > \sigma_{z1}+\sigma_{z2}$【OK】

表-3　材料の熱定数

材料名	乾燥密度 ρ_d (g/cm^3)	含水比 w (%)	熱伝導率 λ (W/m･K)	熱容量 Q ×10^6(J/m^3･K)	融解潜熱 L ×10^6(J/m^3)
コンクリート	2.30	—	0.938	2.009	0.0
アスファルト混合物	2.35	—	1.448	1.875	0.0
切込砕石	2.00	7.0	2.132	1.737	33.5
砂	1.65	15.0	1.969	1.951	82.9
断熱材(XPS)	-	—	0.033	0.045	0.0
A曲線細粒度	1.20	50.0	1.574	2.738	200.9

表-4　地中5mの深さの温度

	網走	旭川	札幌	帯広	釧路	根室	浦河	函館
期間最大値(℃)	9.4	11.0	10.5	10.6	9.0	9.0	10.9	12.6
期間最低値(℃)	7.6	7.8	7.0	7.1	7.0	6.6	7.5	9.1
最大値-最低値(℃)	1.8	3.2	3.5	3.5	2.0	2.4	3.4	3.5
期間平均値(℃)	8.5	9.3	8.9	8.7	8.0	7.8	9.4	10.9

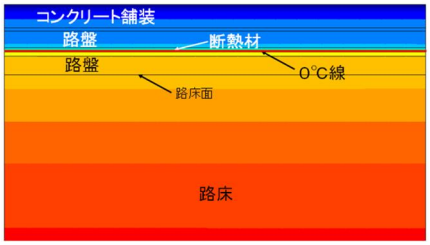


図-4　岩見沢における熱伝導解析結果

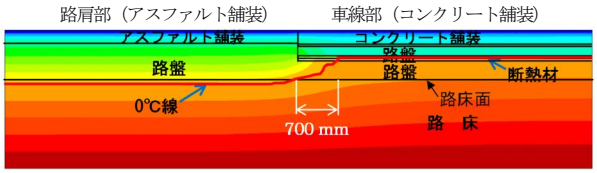


図-5　音更における熱伝導解析結果

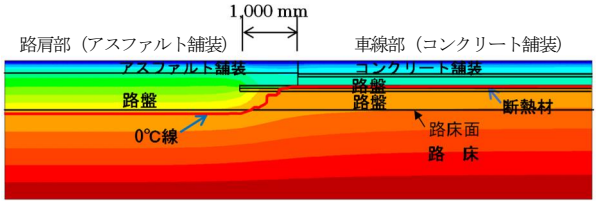


図-6　音更における熱伝導解析結果（断熱材幅拡幅）

また，路肩に冬期間堆雪がなく，堆雪による断熱効果が見込まれない場合は，凍結が路肩側からCo舗装版下へ回り込む幅を求め，この幅以上を拡幅して断熱材を設置することが妥当との結論に至った．これらの検討結果に基づき，岩見沢と音更の供用中の道路において試験施工を実施し，断熱効果と支持力の評価を実施した．

4. 試験施工

試験施工を岩見沢においては2019年度に，音更においては2020年度に実施した．試験施工工区の断面図を**図-7,8**に示す．冬期間路肩に堆雪がある岩見沢においては，**図-7**に示すように，「断熱材の設置幅＝コンクリート舗装版幅」とした．

一方，冬期間路肩の堆雪が少ない音更においては，**図-8**に示すように，熱伝導解析の結果をもとに断熱材幅を700 mm以上拡幅している．なお，拡幅幅は排水桝，縁石の配置状況に応じ，歩道側はL=1,000 mm，中央分離帯側はL=710 mmとした．

(1) 施工手順

片側2車線の中央分離帯を有する供用中の道路の片側車線2車線分をAs舗装からCo舗装へ打ち換えた．これに伴い，中央分離帯の一部を撤去し，施工を行う車線の交通を対向車線に振り替え，工事中は片側1車線の対面通行とした．

既設As舗装の撤去にあたっては，既設アスファルト混合物を舗装切削機で数回に分けて切削し，その後，所定の深さまで既設路盤を掘削した．

Co舗装の施工は，断熱材の接地面となる砂層を施工し平坦を保った後，断熱材を設置し，路盤層，アスファルト中間層，コンクリート舗装版を施工した．

(2) 施工状況

断熱材は**写真-1** に示す厚さ50 mm，幅1,000 mm，長さ2,000 mmのパネル状のXPSを用い，人力によって敷設した．また，路盤の施工にあたり3章で述べた検討結果を踏まえ，工事車両の荷重によって断熱材を損傷させないよう，路盤材を事前に厚さ200 mm程度敷設した後，工事車両を乗せるよう配慮した．

断熱工法の実施に当たる施工日数は，概ね100 m×2車線の施工規模に対し，砂層敷設に1日，断熱材設置と上層路盤材の敷設に1日を要した．

(3) 路盤の品質管理

断熱材上部の路盤において，締固め度，平板載荷試験による地盤反力係数，転圧面性状を評価した．

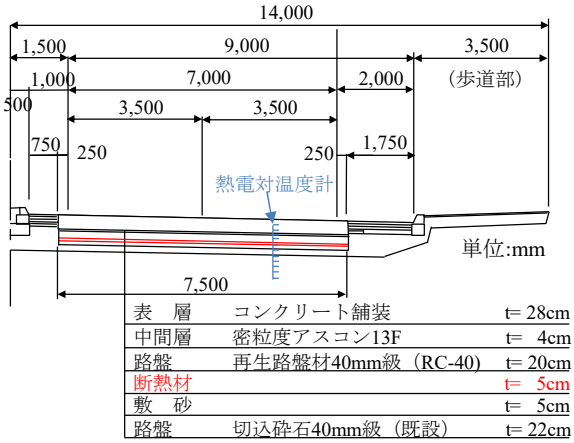


図-7 断面図（岩見沢）

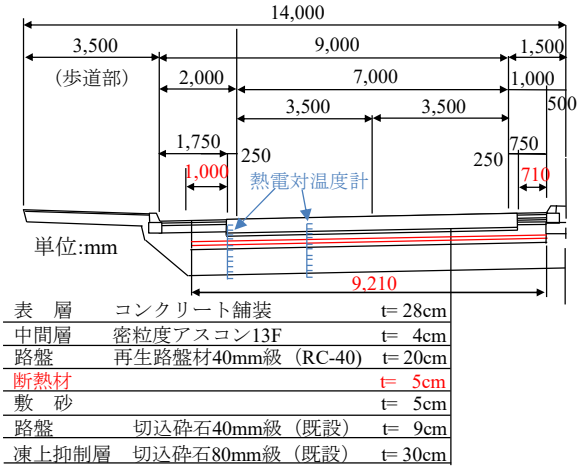


図-8 断面図（音更）

写真-1 断熱材の設置状況

表-5 路盤の締固め度

	締固め度(%)				
	No.1	No.2	No.3	平均	規格値
岩見沢	98.3	98.8	97.9	98.3	97以上
音更	98.9	97.8	98.8	98.5	

締固め度は**表-5**に示す通りであり，測定した3回の平均値は，岩見沢で98.3 %，音更で98.5 %とともに規格値の97 %以上[6]を満足する値となった．

平板載荷試験の結果を**表-6**に示す．音更において4測点で実施しており，地盤反力係数K_{30}は全ての測点で規格値の200 MN/m^{3}以上[11]を満足する値となった．

路盤の転圧後に路盤面の状況を確認した．その結果，音更，岩見沢ともに3章で述べた試験舗装時に確認されたような路盤への筋は見られず良好な路盤面であった．

(4) 熱電対温度計の埋設

断熱材の断熱効果を把握するため**図-7,8**に青色で示す位置に舗装施工時に熱電対温度計を埋設した．

熱電対温度計の埋設位置は，岩見沢，音更ともに走行車線の版央とし，音更においては，路肩側からの凍結の回り込みを観測できるよう版央に加え，路肩側のコンクリート舗装版端部の位置に熱電対温度計を設置した．

熱電対温度計の設置深度は，コンクリート舗装版の中間・下面，アスファルト中間層，断熱材上部の路盤層，砂層および断熱材下部の路盤層以深に深度間隔10 cmとし，断熱材上下の温度の把握，および舗装体全体の温度分布を把握できるよう配置した．

5. 現地計測

(1) 計測項目

表-7に計測項目を示す．舗装体温度については，舗装施工時に埋設した熱電対温度計をロガーに接続し，1時間間隔でデータを採取した．支持力については，FWD（Falling Weight Deflectometer：重錘落下式たわみ測定装置）を用いて通常期（10～11月），融解期（3～5月）の年2回計測を行った．なお，載荷荷重は98 kNとした．

(2) 舗装体温度計測結果

熱電対温度センサを用いて断熱材上下層で舗装体温度を計測した．計測深さは**図-9**に示す舗装表面から500 mmおよび600 mmの深さである．

各年度の最低温度を**表-8**に示す．岩見沢，音更ともいずれの年度も版央における断熱材上側の最低温度は0 ℃以下となったが，断熱材下側は0 ℃以上を示した．また，音更の版端においても断熱材下側は0 ℃以上を示し，**図-5**に示されるような凍結の回り込みは確認されなかった．以上より，岩見沢，音更とも断熱材の設置により路床への凍結の侵入を防いでおり，かつ断熱材下側への凍結の侵入を防止したと判断できる結果が得られた．

(3) 支持力計測結果

路床に凍結が侵入した場合，路床土の中の水分が融解する時期（以下，融解期）に舗装体の支持力低下が生じる場合があるため，10～11月の通常期と3～5月の融解期にD_0たわみ量を計測し，支持力低下状況を評価した．結果を**表-9**に示す．なお，載荷荷重は98 kNであり，単位はμmである．

岩見沢では3年，音更では2年経過した時点においても通常期と融解期のD_0たわみ量に顕著な差は見られないことから，路床の凍結融解に伴う支持力低下は生じていないと判断される．

表-6 平板載荷試験結果

	地盤反力係数K_{30} (MN/m^3)					
	No.1	No.2	No.3	No.4	平均	規格値
音更	298	262	297	327	296	200以上

表-7 計測項目

調査項目	調査方法	調査頻度
舗装体温度	熱電対温度計による凍結深さ測定	1時間間隔
支持力	FWDによるD_0たわみ量測定	通常期と融解期の年2回

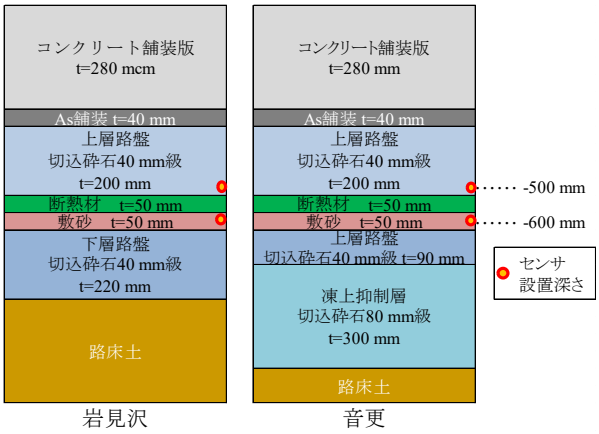


図-9 試験施工断面

表-8 年度別最低温度

	岩見沢（版央）		音更（版央）		音更（版端）	
	断熱材上側 -500 mm	断熱材下側 -600 mm	断熱材上側 -500 mm	断熱材下側 -600 mm	断熱材上側 -500 mm	断熱材下側 -600 mm
2019年度	-3.3 ℃	3.7 ℃	-10.5 ℃	1.6 ℃	-10.0 ℃	0.6 ℃
2020年度	-0.1 ℃	2.9 ℃	-9.9 ℃	1.7 ℃	-9.7 ℃	1.1 ℃
2021年度	-4.1 ℃	3.1 ℃	-7.3 ℃	1.6 ℃	-6.6 ℃	1.4 ℃
2022年度	-5.6 ℃	2.7 ℃	-9.7 ℃	0.6 ℃	-8.8 ℃	0.5 ℃

表-9 *Do*たわみ量

	初期値（11月）	1冬経過（5月）	1年経過（11月）	2冬経過（3月）	2年経過（10月）	3冬経過（3月）	3年経過（10月）	初期値と最終値の差
岩見沢	174.5μm	194.6μm	-	189.2μm	176.0μm	163.8μm	164.4μm	-10.1μm
音更	224.4μm	230.6μm	269.8μm	-	202.6μm	-	-	-21.8μm

6. 設計手法の提案

上記の照査および検討を踏まえた設計手順を**図-10**に示す．なお，フロー図下段にあるとおり，最終的には他の舗装種別および他の工法との経済比較を行った上，断熱工法の採否を決定する必要がある．

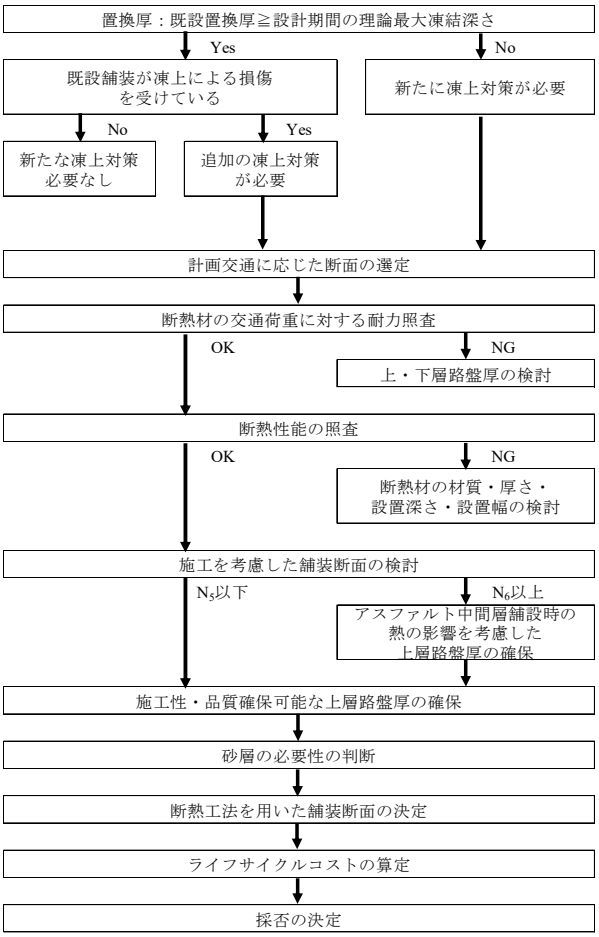


図-10 断熱材を活用したCo舗装修繕工法の設計フロー図

7. まとめ

本検討では，断熱材に対するアスファルト中間層舗設時の影響評価，施工を考慮した路盤の施工厚の検討，断熱材の耐力照査，および熱伝導解析による断熱効果の照査より舗装断面を決定し，これに基づき試験施工を行い，舗装体温度計測およびFWDを用いた支持力調査を実施した．この結果，施工上の問題が無いこと，断熱工法を用いることで断熱材より深くに凍結が侵入していないこと，融解期において舗装体の支持力低下が生じていないことを明らかにした．

以上より，既設アスファルト舗装をコンクリート舗装へ打ち換える場合の凍上対策として，断熱工法を提案した．断熱工法の設計に当たっては本検討で用いた照査手法を用いることとしている．

8. おわりに

本検討は，国土交通省北海道開発局主催の「積雪寒冷地における道路舗装の長寿命化と予防保全に関する検討委員会」の活動の一環として実施されたものである．本成果は「断熱材を活用したコンクリート舗装修繕工法の設計・施工マニュアル(案)」[12]してとりまとめられ，設計手法は北海道開発局道路設計要領に反映されており[5]，令和5年度より既設アスファルト舗装のコンクリート舗装への修繕工事で令和6年10月までに5工事で活用され，コスト削減に寄与している．

参考文献

1) 上野千草，安倍隆二，木村孝司：北海道における既設コンクリート舗装の現状について，寒地土木研究所月報 No.776，pp.12-18，2017.
2) 国土交通省：国土交通省技術基本計画，p.16，2012..
3) 国土交通省：設計業務等共通仕様書 第 6 編道路編，pp.32-33，2014.
4) 上野千草，安倍隆二，井谷雅司，木村孝司：積雪寒冷地におけるコンクリート舗装の設計法に関する一検討，土木学会論文集 E1（舗装工学），Vol.72，No.3，pp.95-103，2016.
5) 国土交通省北海道開発局：道路設計要領，第 1 集道路，p.1-5-3， p.1-5-65～67，2023.
6) 国土交通省北海道開発局：道路・河川工事仕様書，p.2-199，2023.
7) 発泡スチロール土木工法開発機構：EPS 工法－発泡スチロール（EPS）を用いた超軽量盛り土工法－，理工図書，pp.41-42，pp.83，pp.89-93，1993.
8) 地層科学研究所：2 次元熱伝導解析ソフトウェア G-HEAT/2D
9) 公益社団法人地盤工学会北海道支部地盤の凍上対策に関する研究委員会：寒冷地地盤工学，中西出版，p.48，2009.
10) 農林水産省：地中温度等に関する資料，農業気象資料，第 3 号，1982.
11) 公益社団法人日本道路協会：舗装設計便覧，p.151，2006.
12) 積雪寒冷地における道路舗装の長寿命化と予防保全に関する検討委員会：断熱材を活用したコンクリート舗装修繕工法の設計・施工マニュアル(案)，https://www2.ceri.go.jp/jpn/iji/index.htm，2022