

# 東京港海の森トンネル ～沈埋トンネルの確実な接合に向けて～

高橋 和真

関東地方整備局 東京港湾事務所 整備第二課 (〒136-0082 東京都江東区新木場1-6-25)

[現 関東地方整備局 東京港湾事務所 設計課]

東京港では、円滑な物流機能を確保するため、臨港道路南北線を整備している。臨港道路南北線は、東京2020オリンピック・パラリンピック競技大会期間中の物流機能を確保するため、大会前までの供用が望まれていた。海底トンネル部の名称は「東京港海の森トンネル」に決定し、大会は1年延期となったものの、2020年6月に供用を開始した。限られた工期で確実な施工を行うため、沈埋トンネルにおける新しい技術であるキーエレメント工法を採用し、3次元シミュレーションの活用や発注者、設計者、受注者からなる三者間会議を設置した。本論文では、施工精度確保のための取り組みを紹介するとともに、その結果について報告する。

キーワード 臨港道路、沈埋函、キーエレメント工法、沈設精度

## 1. はじめに

### (1) 東京港の概要

2010年、国土交通省は、「大型化が進むコンテナ船に対応し、アジア主要国と遜色ない港湾を整備する」ことを目的に、阪神港と京浜港を国際コンテナ戦略港湾に選定した。東京港は京浜港の一翼を担う港湾である。東京港のコンテナ取扱量は、年々堅調に増加しており、2018年は約511万TEUと、国内コンテナ港湾取扱量の約22%を占めている。また、外貿コンテナに限ると、21年連続で取扱量日本一である。

更なるコンテナ貨物増加への対応を求められる東京港では、中央防波堤外側地区に新たなコンテナターミナル(Y3)を整備しているところである(写真-1参照)。

一方で、中央防波堤地区と青海・有明地区とを結ぶ唯一の幹線道路である第二航路海底トンネルでは交通混雑が頻発している。コンテナターミナルの整備を含む中央防波堤地区の開発により見込まれる周辺交通量の増大に対応する円滑な物流機能の確保が喫緊の課題である。

### (2) 本事業の概要

東京港湾事務所では、第二航路海底トンネルの混雑を緩和し、背後圏との円滑な交通ネットワークを確保す

べく、有明地区と中央防波堤地区を結ぶ約2.5kmの臨港道路を整備している。本事業は、海底トンネル(東京港海の森トンネル)と、接続部及びアプローチ部からなる(図-1参照)。



写真-1 海の森トンネル整備位置

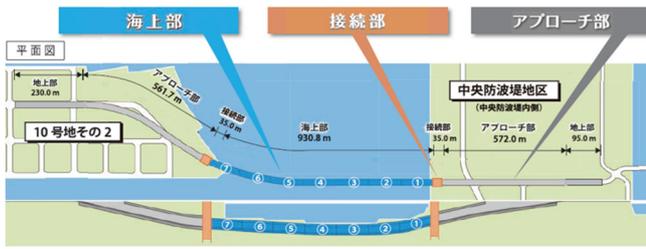


図-1 平面・縦断イメージ図

## 2. 沈埋トンネルの施工手順

海底トンネルの施工はシールド工法と沈埋工法が一般的である。経済性、施工性、工程等を考慮し、本事業においては沈埋トンネル工法を採用することとした。

沈埋トンネルの施工は、沈埋函設置場所を浚渫し、基礎マウンドを築造する。造船所等で沈埋函を製作し、トンネル位置まで曳航したのちに沈設を行う。全ての沈埋函の沈設が完了した後に埋戻しを行い完成。という手順からなる（図-2参照）。

当事業は工程短縮の観点から、日本最長となる1函134mの沈埋函を採用し、全7函の沈埋函を沈設した。沈設は、1号函から5号函まで順に行い、次に7号函、最後に6号函という順番で行った。

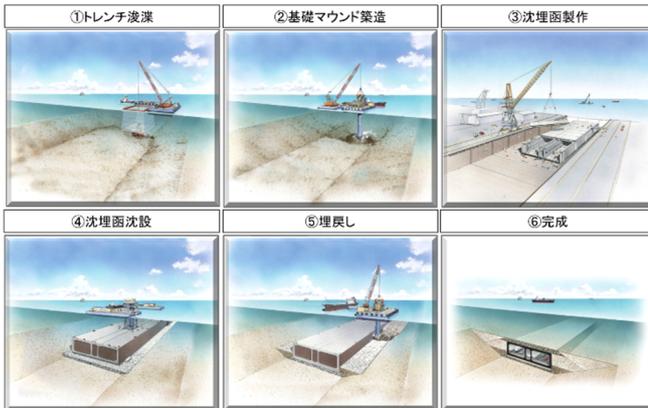


図-2 沈埋トンネルの施工手順

## 3. 確実な施工を行うための取り組み

前述のとおり、本事業は東京2020オリンピック・パラリンピック競技大会前までの供用開始を目指すべく、非常に厳しい工期の設定となっていた。通常、同規模の沈埋トンネルの整備には10年程度を要するが、南北線は約4年で整備する必要があった（表-1参照）。限られた工期で沈埋函を沈設し、接合を完了させるためには、計画された位置にいかにも早く、かつ、いかにも高い精度で沈設するかが求められた。そこで本事業では、最終沈埋函（以下、最終函）である6号函の沈設にキーエレメント工法を採用するとともに、3次元シミュレーションを活用し、工程上のマイルストーンとなる最終函沈設への影

響を確認した。また、沈設協議会を設置して発注者、工事受注者、設計者の連携を図った。

表-1 同規模の沈埋トンネル事例

名称 (事業主体等)	場所	沈埋区間長 (m)	工事期間
川崎航路トンネル (首都高速道路公団)	川崎市 浮島～東扇島	1187	9
大阪港咲洲トンネル (国土交通省、大阪市)	大阪市	1025	8
大阪港夢咲トンネル (国土交通省、大阪市)	大阪市	806	9
東京港海の森トンネル (国土交通省、東京都)	東京都	931	4

## 4. キーエレメント工法

最終函の沈設には工程短縮を目指したキーエレメント工法を採用した（図-3参照）。当工法は2007年に初めて施工された新しい技術であり、国内4例目となる。従来工法による施工と比べ約3か月の短縮が可能となる。



図-3 キーエレメント工法

### (1) 工法の概要

従来工法では、最終函沈設後に最終継手工という工法をもってトンネルの貫通を迎える。最終継手工とは、全沈埋函を沈設した後に残る隙間に対して、最終継手と呼ばれるくさび型のブロックをはめ込み接合する工法である。一方で、キーエレメント工法は最終函に計測機器等を備えることで最終継手の機能を持たせ、最終継手工を省略した工法である。

また、従来工法において接合部に使用していたゴムを伸縮性を持ったゴムに変更することで、施工誤差を吸収しやすい構造となっている。

### (2) 施工方法

キーエレメント工法の施工手順を以下に示す（図-4.5参照）。

- ① 垂直に沈降を始め、最終函から支承ジャッキを伸ばし、基礎マウンド上に設置した仮支承台に着底する。

- ② 押出ジャッキと支承ジャッキを伸縮し、位置を微調整する。
- ③ 伸縮性止水ゴム内部にエアを注入して膨らませる。
- ④ 最終函と両既設函の隙間の止水を確認し、伸縮性止水ゴム内部にモルタルを注入する。
- ⑤ モルタル硬化後に支承ジャッキを縮め、最終函の重量を伸縮性止水ゴムに預ける。
- ⑥ 最終函と既設函の隙間の海水を排水し、水圧による接合を行う。
- ⑦ 沈埋函内部から伸縮性止水ゴム周辺の接合部を鋼材により剛結する。

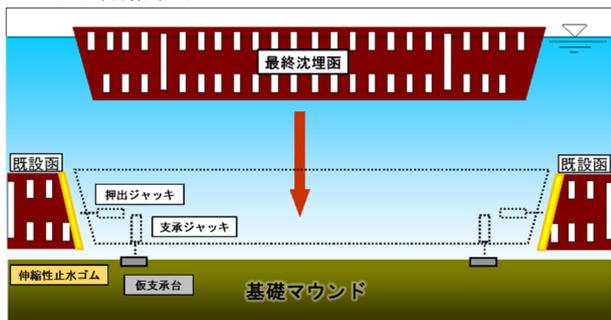


図4 最終函沈設イメージ

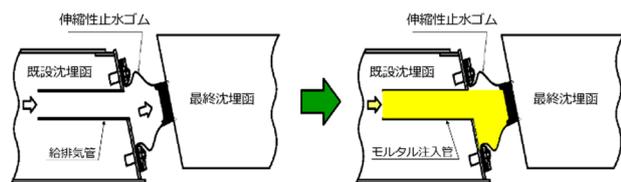


図5 伸縮性止水ゴム

## 5. 沈設協議会の設置

沈埋トンネルでは先行函の沈設出来形が、後続函の沈設に大きく影響を与える。そのため、工事関係者による綿密な調整と、確実かつ迅速な意思決定を行うことを目的として、沈設協議会を設置した。協議会には、発注者、設計者、沈設を行う全ての工事受注者が参加した。

沈設協議会では、主に各函の沈設毎に方向修正のルールを策定し、それを基に実施するかどうかを判断した。

方向修正とは、沈設した沈埋函をジャッキで押し、位置を修正するものである(図-6参照)。沈埋函の接合時には、沈埋函の製作誤差、接合部のゴムの品質のばらつき等が原因で計画した法線からのずれが発生する(図-7参照)。方向修正は、このずれが、許容範囲を逸脱し、後続の沈埋函が接続不可となる際に行われる。

### (1) 方向修正実施のルール

「工程上、方向修正を行う回数は極力少なくする。」  
「各函沈設前には3次元シミュレーションを実施し、法線ずれの限界値を定める。」という基本方針の基に、3

つのルールを策定した。

- ① 沈設した函体の法線ずれ量が $\pm 75\text{mm}$ 超過した場合
- ② 各函沈設前のシミュレーション結果により、以下のいずれかが予測された場合
  - 法線ずれ量 $\pm 75\text{mm}$ 超過。
  - 最終函両側(5号函と7号函)の相対的な法線ずれ量 $\pm 50\text{mm}$ 超過。
  - シミュレーションで定まる許容値を超過。
- ③ 方向修正を行う場合、50mmを修正量の上限とする。

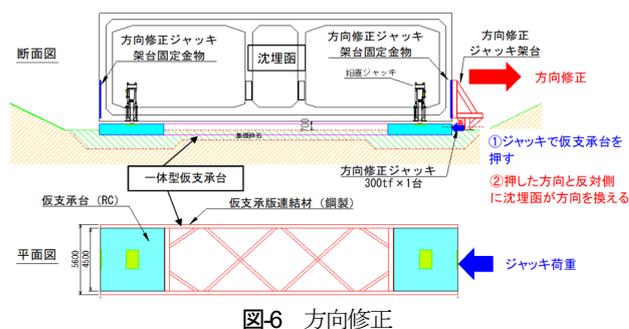


図-6 方向修正

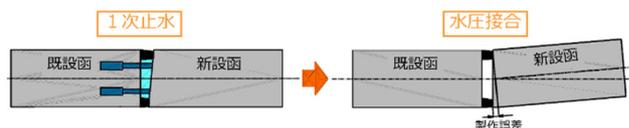


図-7 接合時のずれのイメージ

## 6. 3次元シミュレーションの活用

沈埋函製作時の出来形結果を図化するとともに、各函沈設前後に、先行して沈設した沈埋函の沈設出来形を基に3次元シミュレーション(図-8参照)を実施し、将来予測をすることで最終函が接合可能かを確認した。確認にあたり検討した事項は以下のとおりである。

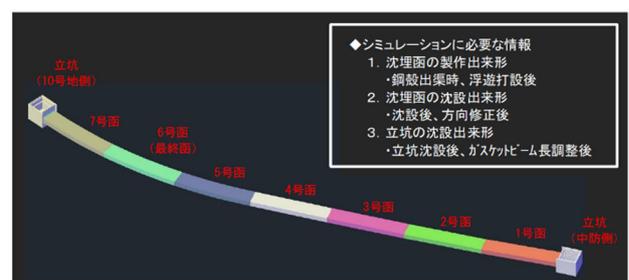


図-8 3次元シミュレーション

### (1) 最終沈埋函の据付位置

各函の沈設出来形、製作出来形、球面補正、温度補正を踏まえて延長誤差を確認し、最終函の沈設位置及び伸縮性止水ゴムで吸収可能な範囲であるかを確認した。

### (2) 方向修正実施の許容値の設定

シミュレーションにより最終函が接続可能であるずれの量(許容値)を設定した。

### (3) 延長誤差を見越した最終沈埋函の加工

通常、最終函の製作は、先行して沈設する沈埋函の沈設出来形結果より長さを決定した後に行うが、製作期間が長くなってしまい、本事業の工期には適さない。そこで今回は、出来形誤差や据付誤差等を考慮して予め500mm長く製作し、2号函を沈設した直後のシミュレーションの結果により必要函体長を決定した。その結果、函長を375mm切断した。

## 7. 方向修正の実施

1号函から4号函にかけては、計画法線に対する沈設精度が-17mmから+51mmとなっており、方向修正は不要と判断した。マイナス側は計画法線に対する西側のずれ、プラス側は東側のずれを意味する。

しかし、2019年4月に5号函を沈設した直後の沈設出来形は、6号函側に計画法線から+63mmのずれが見られた。これはシミュレーションにより決定した許容値（-6mmから+44mm）を超えていた。7号函は+12mm～+13mmに沈設されると予測されており、仮に方向修正を行わず、7号函が予想よりもマイナス側にずれたとき、5号函との相対的な法線ずれ量が±50mmを超えて最終函の接続が不可となるため、沈設協議会において沈設完了から2日後に方向修正を行うことを決定した。方向修正量は、計画法線に近づくようマイナス側に、沈設協議会で定めた限界値である50mmを目標値とした。

2019年5月に7号函を沈設した直後の沈設出来形は、方向修正を実施した5号函と7号函の相対法線ずれ量が17mmとなり、7号函の方向修正は不要と判断した（表-2参照）。

表-2 各函の据付精度

沈設順序	沈埋函	沈設精度	備考
①	1号函	(東)+51mm	
②	2号函	(東)+30mm	-17mm～+51mmの精度で方向修正必要なしと判断。 (法線ずれ量±75mm以下を確保)
③	3号函	(西)-17mm	
④	4号函	(東)+17mm	
⑤	5号函	(東)+63mm	7号函の沈設が一側（西側）にずれた時、最終沈埋函（6号函）の接合が不可。 (最終沈埋函両側の相対的な法線ずれ量±50mmを超過)
<b>5号函に方向修正を実施（西に49mm）</b>			
		(東)+14mm	5号函と7号函の相対ずれ量は17mmとなり、最終沈埋函（6号函）接続可能。
⑥	7号函	(西)-3mm	

## 8. 沈設精度の結果

2019年7月、無事に全7函の沈設が完了した。沈設精度は延長誤差と法線ずれ量で評価することができる。

### (1) 延長誤差

前述のとおり、2号函沈設時に3次元シミュレーションにより6号函の函長を375mm切断した。7号函沈設後の実

測で延長誤差は470mmであり、設計遊間である444mmから+26mm広がっていることが確認されたが、伸縮性止水ゴムが設計遊間から+117mmまで許容可能であったことから、問題なく最終函を沈設することができた。（図-9参照）

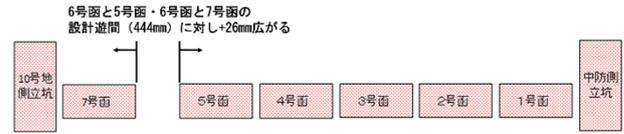


図-9 延長誤差

### (2) 法線ずれ量

計画法線からのずれの許容値は、沈設協議会で決定したとおり±75mmである。全函の沈設で計画法線からのずれの最大値は+55mmであり、限られた工期の中で確実に沈設精度を確保することができた。（図-10参照）

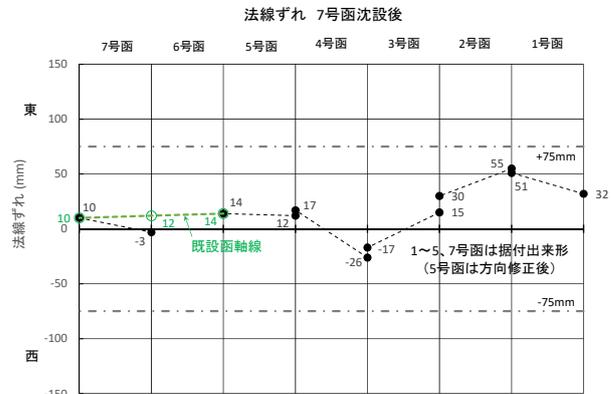


図-10 法線ずれ量

## 9. おわりに

私は、最終函の沈設作動訓練時に、沈埋函の操作を指揮するウィンチタワーに同乗した。沈設を開始し、逐一報告される計測値に対し、想定した出来形との比較を、発注者、工事受注者ともに確認し、沈設を進める様子を確認した。施工と同時に発注者が出来形確認を行っており、両者の一体感を感じることができた。

東京港海の森トンネルは2019年7月に全ての沈埋函を沈設した後、設備工事や舗装工事を進め、2020年6月、無事に供用を開始した。施工スピードと施工精度の確保の両立が求められる非常に難しい事業であったが、新しい技術を活用するだけでなく、協議会を設けることで、急速かつ確実な施工を実現した。正確な予測を可能とした3次元シミュレーションと、全ての工事関係者が情報共有を行う協議会の設置は、工事の円滑な進捗に大きく寄与しており、あらゆる現場での積極的な採用を期待する。

# 本明川河川敷を利用した社会実験！ ～都市・地域再生等利用区域を活用した “幻の高来そば”栽培の取り組みについて～

福村 勇太<sup>1</sup>

<sup>1</sup>九州地方整備局 長崎河川国道事務所 河川管理課 (〒851-0116 長崎県長崎市宿町316-1)

諫早湾干拓事業により本明川の管理区間が約7km延伸して今年で12年が経つ。延伸された干陸地（広大な高水敷）の現状と、干陸地を利用して、地域住民が主体となって取り組んでいる都市・地域再生等利用区域の指定に向けた活動と今後の展望について述べる。

キーワード 河川の利活用, 河川管理, 都市・地域再生等利用区域

## 1. 本明川の概要

### (1) 本明川の特徴

本明川は、2008年4月に諫早湾干拓事業完了に伴い、管理区間が約7km延伸した。本明川は市街部を中心に、市民の貴重な水辺空間として広く親しまれており、本明川を活かして地域の魅力向上につながる「かわまちづくり」にとりくんでいる。（図-1）



図-1 本明川 国管理区間

### (2) 河川管理上の課題

諫早湾干拓事業による潮受堤防の閉め切りにより、本明川左岸には広大な干陸地（約220haの高水敷）が生じた。広いところでは堤防から1kmを超える陸地となり、通常の河川では考えられないような範囲の高水敷の管理が必要となっている。

しかし、河川の堤防等とは違い、維持管理を目的とした除草等行われなことから、樹木、雑草が繁茂、荒地化しユスリカなどの害虫が大量に発生した時期もあり、

近隣住民からは苦情が寄せられていた。（写真-1）

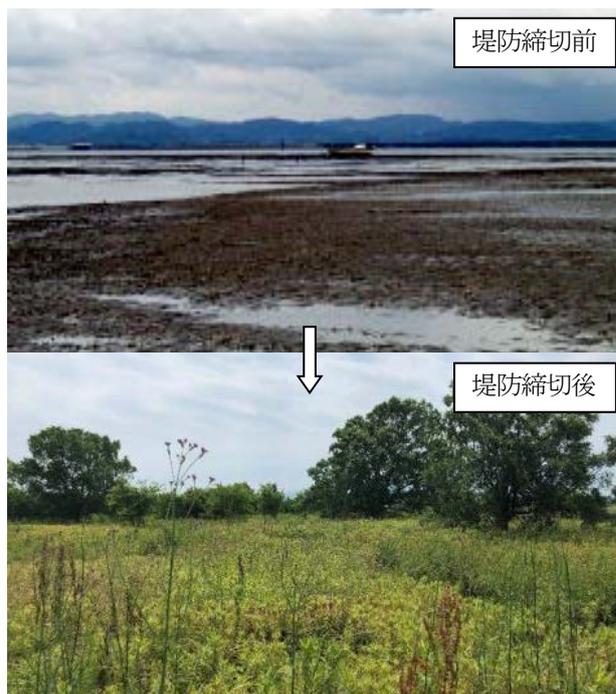


写真-1 干陸地の変遷

## 2. 干陸地での多様な取り組み

### (1) 維持管理, 利活用について

現在、干陸地の適正な維持管理及び河川の利活用の推進に向けて、河川協力団体との意見交換会や、各行政機関（国交省、農水省、長崎県、諫早市、雲仙市）による「本明川水系施設管理等協議会」を設立し、干陸地の維

持管理及び河川の適正な利活用の推進を目指し、調整と連携を図っている。

また、河川協力団体を中心に河川で活動を行う団体や地元企業、地域住民が一体となって高水敷の除草や河川美化活動を実施している。(写真-2)



写真-2 河川美化活動風景

広大な干陸地での地域の取り組みとして、近年活発化している河川管理者と地域住民が共同で実施している干陸地の利活用について紹介する。(図-2)

#### ・ボート競技

潮受堤防の閉め切りにより生まれた直線7kmの河川は、全国でも数少ない淡水域で直線コースが確保できることが判明した。ボートの練習場として適しており、県内の高校生や国体チームの練習を行ったり、他県の大学や実業団チームも合宿を実施。現在ではボートの日本代表合宿にも使用されるなど全国的に注目度の高い練習場となっている。

#### ・クロスカントリーコース

干陸地は元々海に浸かっていた陸地で軟弱地盤であり、車の進入ができなかったため管理用通路を造成した際に、舗装されていない道路が長崎陸上競技協会の目にとまりクロスカントリーコースに適していることが判明した。現在では県内チームの練習や、県外から陸上関係者が視察に訪れるなど注目を浴びている。

#### ・コスモス栽培(干陸地フラワーゾーン)

本明川の河川協力団体「拓生会」は、河川敷の除草及びコスモス300万本の植栽を行っており、河川敷の一部を市民の憩いの場として管理している。近接していることもあり、秋にはコスモスとそばの花によるピンクと白のコントラストが美しい。秋には前述したコスモス畑にてコスモスマつりを主催し、県内外より約2万人以上の来場者が訪れにぎわいを見せている。

#### ・そば栽培

「幻の高来そば」と呼ばれる諫早市高来町に古くから伝わる地域のそばを干陸地で栽培する試みが始まり、そばの栽培販売が可能となるよう、河川敷地占用許可準則に基づく都市・地域再生等利用区域の指定を目指し関係機関と協議を行っている。

干陸地の維持管理及び利活用の更なる発展を見込める本取り組みについて次項より詳細に紹介する。



図-2 そば栽培と周辺環境の位置関係

## (2) 幻の高来そばについて

### (a) そばづくりの継承

諫早市高来町は、多良山麓を背に扇状の傾斜地と裾野に広がる平地地からなり、高齢化・兼業化が進む地域である。「幻の高来そば」は、この地域の在来種と言われており、小粒で粘度が高く、香りが強いのが特徴。製粉業者等からは「幻のそば」と高評価を得ていたものの、この高来町金崎地区の農家約28軒で先祖代々で受け継がれてきたそばは、農業人口の減少と高齢会により栽培をやめる農家が増え、そばは途絶えつつあった。

しかし、素晴らしいそばを途絶えさせはならないと2010年、高来町青年団OB約30人が中心となり「幻の高来そば振興協議会」を設立、残ったそば農家から約48kg弱の種子を譲り受け、種子を元手にそばの生産から加工、販売まで行えることとなった。(写真-3)



写真-3 幻の高来そば

### (b) そば栽培の開始、課題

諫早市高来町内で栽培を開始、耕作放棄地を活用し16haの農地を確保した。しかし、現状確保できた農地では高来町内で消費する程度の収穫しか見込めず、町内での栽培面積拡大には限界があり、地域振興拡大の支障となっていた。

### (c) 栽培面積に関する解決策

栽培面積拡大の為、注目されたのが諫早市高来町に隣接する国土交通省の管理する干陸地であった。干陸地と同質の土壌で栽培したそばの実から生産するそばは良質

であることを確認しており、その土壌を持つ干陸地は220haの面積を誇り、土地を有効活用するのにそばの栽培は最適な場所と考えられたため、2017年河川管理者である長崎河川国道事務所に相談があった。河川管理者としても広大な干陸地の適切な維持管理に頭を悩ませており、そば栽培は地域に資する可能性が高い有効な手段だととらえ、協力を実施する方向で話がまとまった。

### 3. 干陸地そば栽培による地域活性化の取り組み

河川区域で収益をあげるそばを栽培する為には、以下の課題があり、通常では占用を許可することができないが、都市・地域再生等利用区域の指定(図-3)を実施できれば栽培が可能となるため解決方法の検討を行った。

#### ・課題

今回実施するそば栽培は、加工・販売を前提としており、「河川区域内でのそばの販売行為等」は、営利目的にあたり河川法の規定により禁止されている。地域の観光資源になる可能性は高いが、現状では占用許可は与えられない。

#### ・解決方法

この解決のため、以下の①～④の手順で合意が得られればそばの栽培が河川区域内で可能になると整理した。

- ①「河川敷地占用許可準則」による「特例」を利用すると河川区域内での販売用そばの栽培が可能となる。
- ②「特例」を利用する為に「都市・地域再生等利用区域(そば栽培等の区域の指定(以下、区域の指定))」を受ける必要があり、あらかじめ「河川管理者、地方公共団体等で構成する河川敷地の利用調整に関する協議会を設置し、協議会が主体となり実効性の確認のための検証(一時占用による社会実験)と地域の合意形成を行うことで区域の指定が可能となる。
- ③検証と地域の合意形成完了後、諫早市から河川管理者へ区域指定の要望書の提出を実施する。
- ④区域指定完了後、諫早市から占用許可申請を行い、「特例」に基づく許可を受けることができれば、本格実施者(公募)との使用契約を締結し、そばの販売事業が本格的に実施可能となる。

都市・地域再生等利用区域の指定の流れ

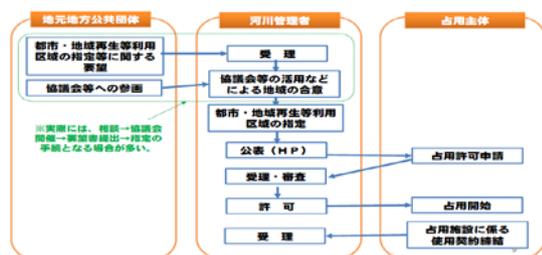


図-3 都市・地域再生等利用区域の指定の流れ

整理された条件を元にそば栽培を実施するため、本明川河川敷の河川空間を活用し「幻の高来そば」の栽培等にかかる取組について、地域の合意形成を図ること及び「幻の高来そば」による地域振興を目的に、長崎県、諫早市、諫早市商工会、地域関係団体等を構成員とし、河川管理者(国交省)をオブザーバーに加えた本明川「幻の高来そば」検討協議会を2018年3月に設立。活動を開始した。(写真-3)



写真-3 本明川「幻の高来そば」検討協議会風景

#### (1) 検証(社会実験)の成果について

協議会の設立から2020年10月までの間の実験の成果は次のとおりである。(現在3年目の検証を実施中)

- ・1年目・8月に種を蒔き11月に収穫。  
台風の襲来や河川敷地の排水性が悪い等栽培条件が整っておらず圃場の準備不足により減収し、損益分岐点を大幅に下回った。土壌は良いため、今後耕耘作業を繰り返しながら優良な圃場環境を整え、更なる収量増加の為、年2回の収穫(春、秋)の可能性を模索していく。
- ・2年目・年2回の収穫を実施。春作は雑草の繁殖によりそばの生育が阻害され、収量が望めない為今後春作は断念。秋作は、台風の襲来や長雨等の影響で収量不足の懸念はあったが、播種後の天候に恵まれ目標に近い収穫を迎えることができた。次回より各種対策(排水不良・強風・早霜・受粉昆虫・雑草各対策)を実施できれば損益分岐点を超え安定的な収穫が見込める状況に近づいた。
- ・3年目・過去2年間の経験を踏まえ実験を継続中。今回で安定した栽培方法を確立し、検証を終え要望書を提出し区域指定を行う予定。

#### (2) 「幻の高来そば」の普及に向けた取り組み

そばをつくるだけでは地域活性化を促すことはできない。そばが認知されてこそ大きな地域資源となりうる為幻の高来そば振興協議会が行っている知名度向上に向けた取り組みを紹介する。

#### (a) クラウドファンディングによる飲食店舗の設置

地域の行事等でのそばの振る舞い、打ったそばを振興協議会の会員が経営する直売所で販売する機会があったが、常設店舗が存在していなかった。そこで、直売所横に店舗を設立する為にクラウドファンディングによる資金調達を実施。賛同者多数により成立し店舗をオープンさせた。現在は常時食することが可能となる。

#### (b) インターネットによるそばの販売

地域に販売するだけではそばの知名度は限定的である。そこでインターネットを活用し、そばの生麺、乾麺等の販売を開始。全国に配送を可能としている。

#### (c) 新そばまつり・そば打ち体験等各種イベント実施

独自にイベントを開催し知名度向上につなげる活動を実施。新そばまつりでは、毎年そばの収穫が終わった直後に開催し、準備する約3,000食は毎年完売。そばの普及に努めている。

#### (d) 諫早市各イベントへの参加

諫早市内で行われるイベントに積極的に提供も行っている。諫早市・雲仙市内を干拓堤防内の調整池を眺めながら42kmを完歩する「諫早・雲仙ウルトラウォーキング」では、全国からの多数の参加者にそばをふるまい好評を博している。

また、高来町で毎年秋に開催され2万人規模の集客があるコスモスまつりにも出店を実施し、毎回完売するなど人気を集めている。まつりの中で実施される人気イベント、そばの早食い競争にもそばを提供しまつりの風物詩として定着しつつある。

#### (e) メディアへの露出について

活動が活発になるに従い、県内のメディア（テレビ、新聞等）にも毎年頻繁に取り上げられるようになり、長崎県内の食の名物を目指し歩みを進めている状況である。

### (3) 地域と河川管理者のメリット

そば栽培を主とした都市・地域再生等利用区域の指定が進めば更なる利活用が推進されると予測される。国と地域の連携が進み距離が縮んだ結果、信頼関係が構築され、干陸地の適切な維持管理が行いやすい環境が整う。

## 4. 今後の展望

現在、そばの実の栽培・そばの販売に限った検証を実施している段階だが、今後更なるそば栽培に関する展望を以下に述べる。

#### (1) そばの実を活用した新商品開発

そばの実をそばとして食すだけでなく、今後新たなるそばの実を使用した商品開発（まんじゅう、かりんとう、

ぼうろ等）を諫早市商工会議所とも連携しながら行っている。諫早市の新名物を新たに創造し、更なる商品価値の向上を目指している。

### (2) 周辺環境を巻き込んだ地域発展

そばの実の栽培地周辺には既に干陸地を有効活用した取り組みが進んでいる。今はまだ各々単独での魅力しか持っていないが、それらをつなぐことで新たな魅力が創出され、（例えば、ボート競技、クロスカントリーコースの利用等におけるそばの販売、ふるまい、コスモスとそばの花(写真-5)による巨大フラワーゾーンの構築など）今後、相乗効果が発生する可能性があり地域から期待されている。

## 5. まとめ

河川管理者の手が及ばない害虫の発生する荒れ地の環境を持っていた干陸地が、地域の利活用が推進されることにより地域にとって有益な土地へと変貌を遂げようとしていることから、広大な干陸地の維持管理を行うには地域の力が不可欠である。このような状況の中、「都市・地域再生等利用区域」の指定は、これまで不可能だった河川区域での民間による営業活動を可能にし、河川法により定められた枠を超え自由な発想を用いて河川敷地の適切な維持管理を地域と河川管理者が協働で行う為にとっても意義のある制度と言える。区域が指定され河川のオープン化が進めば、更なる干陸地の活用方法も考えられる。

荒れ地であった干陸地の環境が改善される上、地域住民が維持管理することで住民間の結束が強まり、さらには、地域振興の一翼を担える新たな観光拠点が形成されるなど、三方良しの関係が構築される環境が整っていく期待が高い。

地域一体の適切な河川の維持管理ができる方法を模索する中、河川管理者として連携し、官民一体となって各種課題の解決を行いながら活動を展開していきたい。



写真-5 コスモスとそばの花

# 地域間産業連関表による 本州四国連絡高速道路の経済効果分析

小山 智<sup>1</sup>・佐藤 高通<sup>2</sup>・遠香 尚史<sup>3</sup>

<sup>1</sup>本州四国連絡高速道路(株) 企画部 経済調査課 (〒651-0088 神戸市中央区小野柄通4-1-22)

<sup>2</sup>本州四国連絡高速道路(株) 企画部 経済調査課 (〒651-0088 神戸市中央区小野柄通4-1-22)

<sup>3</sup>三菱UFJリサーチ&コンサルティング(株) 研究開発第1部 (〒530-8213 大阪市北区梅田2-5-25)

本四高速道路は、2018年4月には神戸淡路鳴門自動車道が全通20周年、瀬戸中央自動車道が開通30周年を迎え、また、2019年5月には西瀬戸自動車道が開通20周年を迎えた。

この間、本州と四国間相互の交流圏域は大幅に拡大し、沿線地域では工業製品・農水産品の出荷額の増加、物流関連施設の新規立地、観光入込客数の増加など様々な効果が発現している。

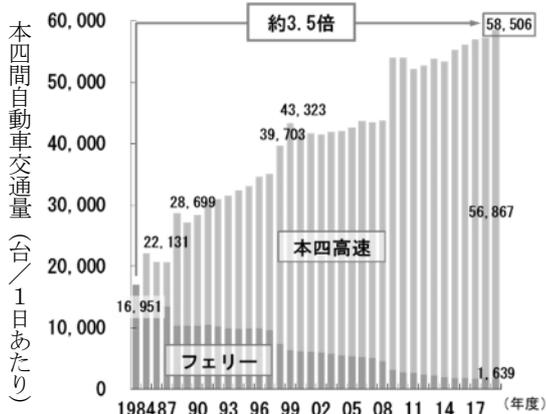
そこで、瀬戸中央自動車道が開通した1988年から2018年にかけて本四高速道路が日本経済へ及ぼした効果を定量的に把握するため、地域間産業連関表を用いた仮説的抽出法により分析した結果をとりまとめた。

キーワード 地域間産業連関表、仮説的抽出法、地域経済

## 1. 本四間流動の推移

### (1) 通行台数の推移

本州と四国間の自動車交通量は、各ルート開通時に大幅に増加している(図-1)。また、瀬戸内地域周辺の高速道路ネットワークの拡充や割引制度の拡充等とともに交通量は増加し、2019年度には、本州と四国間の交通手段がフェリーしかなかった大鳴門橋開通前の1984年度と比較して3倍以上の交通量に達しており、全国平均よりも大きく増加している。



※全国の自動車交通量は1985年度から2015年度の間で1.4倍に増加

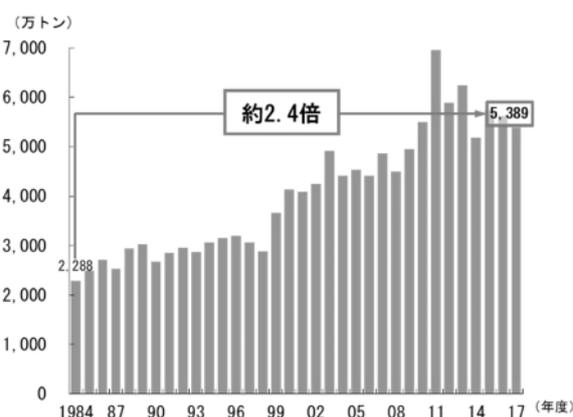
出典：JB 本四高速資料、「四国における運輸の動き」(四国運輸局)

「全国道路・街路交通情勢調査」平均交通量(高速道路+一般道路)(国土交通省)より作成

図-1 本四間自動車交通量の推移

### (2) 自動車貨物流動量の推移

本四高速道路開通によって、地域間交易が拡大され、全国と四国間(地域内は含まない)の自動車貨物流動量は2017年度には1984年度と比較して2倍以上の流動量に達しており、全国平均よりも大きく増加している(図-2)。



※全国のプロック間自動車貨物流動量は1984年から2017年度の間で1.2倍に増加

出典：「貨物・旅客地域流動調査」(国土交通省)より作成

図-2 四国発着の自動車貨物流動量の推移

## 2. 経済効果額の算出

### (1) 計測手法

前に示したように、本四間流動は全国平均よりも大き

く増加し、本四高速道路の役割は年々高まっており、地域間をまたがる経済活動に及ぼす影響も大きくなっていると考えられる。

これらの背景となる地域間相互依存関係は、これまでの高速交通網の拡充に伴う地域間輸送コストの低下、各地域の産業構造の高度化などに伴い大きく変化してきているものと考えられる。

そのため、それぞれ異なった年次を対象とした地域間産業連関表を用いて、各年の経済効果の算出を行うこととした。

計測手法としては、地域間産業連関表を使った「仮説的抽出法」(hypothetical extraction method)を、本四間取引を対象に適用することとした。

### (2) 本稿における仮説的抽出法の適用

本稿では、仮説的抽出法の考え方及び計測手法を参考にしつつ、特定の産業部門あるいは地域を抽出するのではなく、本四間取引のうち、とくに本四高速道路利用分を抽出(extract)することによって、本四高速道路の働きを“浮き彫りにする”ことを目的として計測を行った。すなわち、「本四高速道路がない」ことを「本四高速道路利用分だけ本四間取引が抑制される」と捉え、仮説的抽出法を適用することとした。

計測にあたり、現状(本四高速道路がある状態)の粗付加価値額(≒GDP)と、仮説的抽出法の適用によって求められる(本四高速道路がない状態)粗付加価値額(≒GDP)を比較し、両者の差をもって本四高速道路の効果として整理することとした(図-3)。

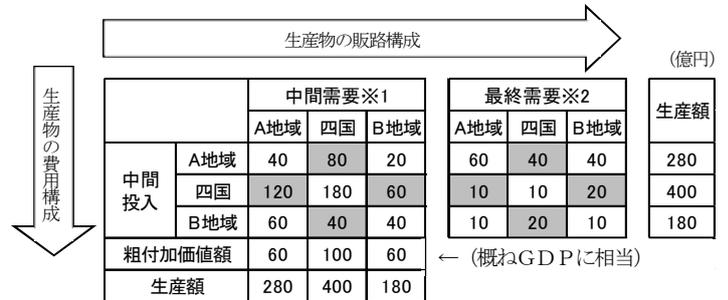


図-3 計測方法のフロー図

### (3) 地域間産業連関表

地域間産業連関表とは、全国を9地域(北海道、東北、関東、中部、近畿、中国、四国、九州、沖縄)に分割し、地域間の財やサービスの取引の流れを明らかにしたものである。表を横方向に見ると、生産された財がどの地域

にどれだけ販売されたかを表しており、表を縦方向に見ると、財を生産するのにどの地域からどれだけ投入されたかを表している。ある産業に新たな需要が生じると、その需要を満たすために各産業で生産が生じ、最終的に各産業でどのくらいの生産額が誘発されるかを計算することが可能である(図-4)。



※1 材やサービスを生産するために必要な原材料等に対する生産者の需要  
 ※2 完成品として販売される商品に対する消費者等の需要

図-4 地域間産業連関表イメージ図

### (4) 本四高速道路分担額の整理・分析

地域間産業連関表は、金額ベースで地域間取引額が整理されている。そのため、金額ベースで本四高速道路分担額を導出することが必要である。つまり、本四間の取引額を表している(図-4)の網掛け部のうち、本四高速道路分担分を金額ベースで算出する必要がある。

重量ベースでは、貨物地域流動調査(国土交通省)を用いると、本四間の品目別輸送機関別分担率を算出できるが、フェリー利用自動車と本四道路利用自動車に区別がないため、フェリーによるトラック輸送台数(四国運輸局データ)と本四高速道路利用大型車台数(本四高速データ)の割合で按分することによって、重量ベースで本四高速道路分担率を算出した。

さらに、重量ベースで算出した分担率を地域間産業連関表の本四間取引額に乗じることによって金額ベースで本四高速道路分担額を算出した。

### (5) フェリーの代替について

本四高速道路による効果の過大評価を避けるため、本四高速道路がない場合の流動量は、「本四高速道路供用前と同水準でフェリーが運航され、当該貨物流動量はフェリーが代替するもの」と仮定した。

さらに、経済成長を考慮し、本四高速道路がない場合、フェリーの輸送量は道路交通センサスの大型車交通量(全国)の伸びと同率で推移するものと想定し、供用前よりもフェリーの輸送量が増加しているものと設定して推計した(図-5)。

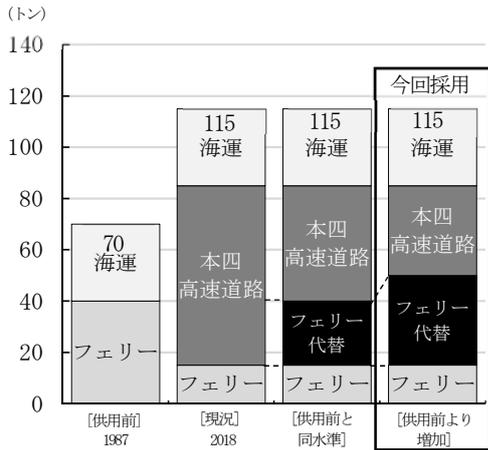


図5 フェリー代替のイメージ図

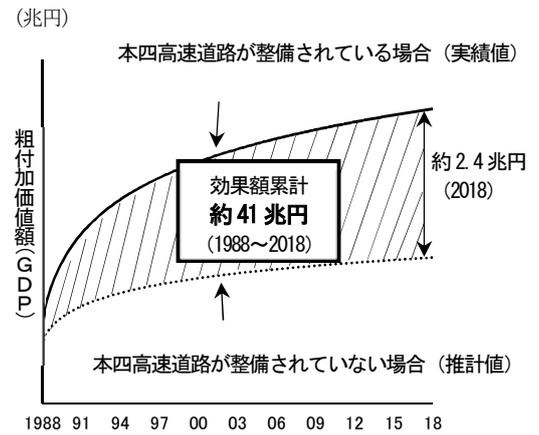


図7 効果額計測のイメージ図

### 3. 経済効果額の算出結果

#### (1) 経済効果額

以上を踏まえた、架橋効果の算出結果は(図-6, 7)のとおりであり、2018年(単年)の効果額は全国で約2.4兆円、このうち四国に対しては約0.9兆円と推計され、この額は2018年の四国4県の総生産(約14兆円)の約6%に相当している。

その他の地域では、近畿地方に約0.4兆円、関東地方に約0.4兆円、中国地方に約0.3兆円など、本四高速道路が日本経済全体に大きく貢献していることが分かる。

また、瀬戸中央自動車道が開通した1988年から2018年までの累計(31年間)の効果額は全国で約41兆円と推計された。

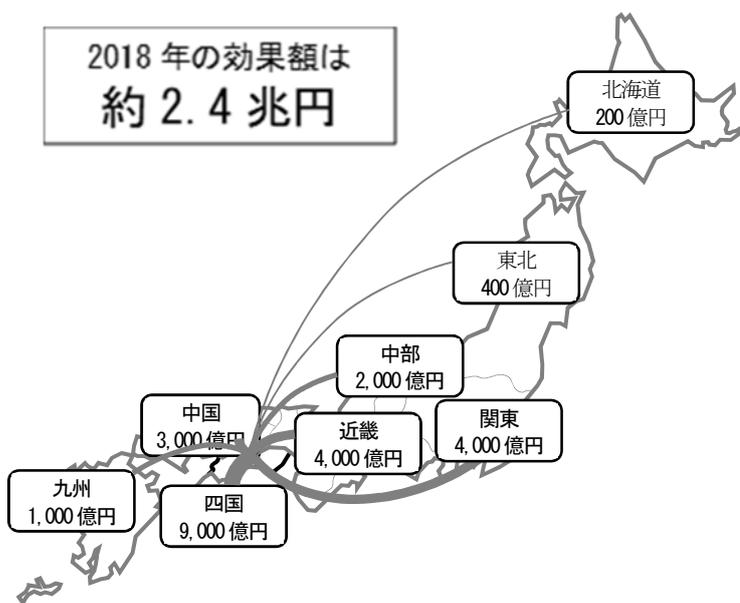


図6 2018年の効果額内訳

#### (2) 産業別の内訳

2018年の全国の効果額を産業別に見ると、「食料品・たばこ・飲料」が約0.28兆円(約12%)で最も多く、続いて「商業」が約0.23兆円(約10%)、「化学工業製品」が約0.23兆円(約9%)、「対事業所サービス」が約0.19兆円(約8%)、「農林水産業」が約0.17兆円(約7%)となっている(図-8)。

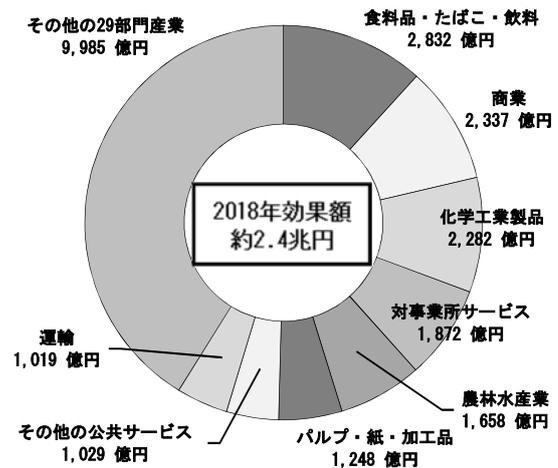


図8 経済効果額の産業別内訳

### 4. 本四高速道路の整備効果事例

本四高速道路の開通により、社会・経済・観光・防災など様々な整備効果が発現しており、そのうちのいくつかを紹介する。

#### (1) 徳島県のLED産業集積に貢献

徳島県には、高輝度青色LEDを世界で初めて製品化した企業をはじめ、100社以上のLED関連企業が集積しており、「LEDバレイ構想」を推進する徳島県では、LEDに関する研究開発の拠点形成、高度技術者の育成に取り組んでいる。

徳島県のLED出荷額は年々増加し、2017年の全国シェア

では約71%（約2,444億円）を占め、日本一となっており、原材料の調達や製品の納品は主に神戸淡路鳴門自動車道を利用して配送・調達を行っている（図-9）。

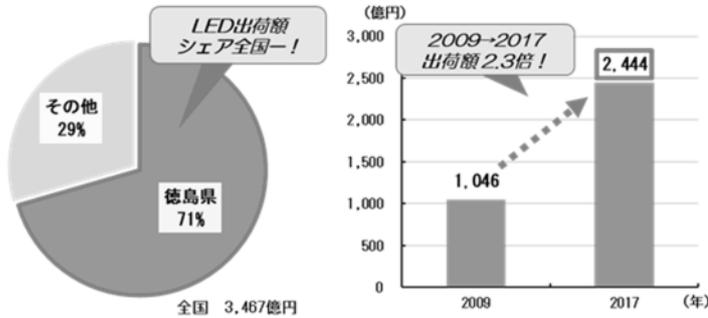


図-9 左 LED出荷額 全国シェア (2017年)  
右 徳島県 LED出荷額の推移

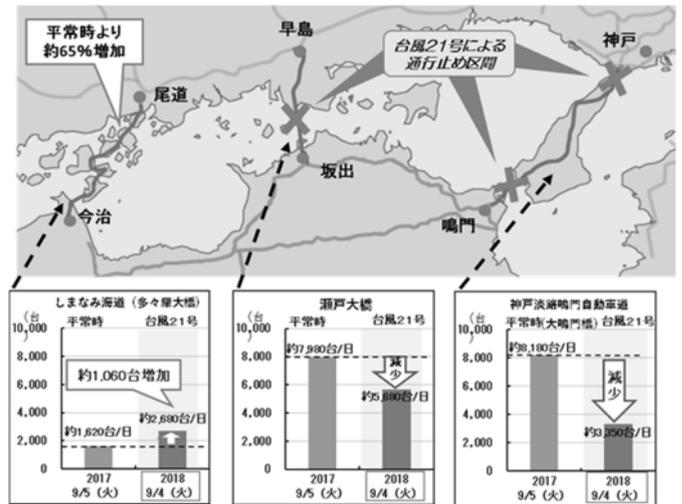


図-11 2018年9月豪雨による通行止め時の交通量の増減

## (2) 高速道路ネットワークの拡充に伴い、四国に「コンビニ」が展開

本四高速道路をはじめとした高速道路ネットワークの拡充に伴い、流通形態が確立されたことから出店が進んできた。

1988年当時の四国内の「コンビニ」店舗数は約200店舗であったが、2017年には約1,650店舗となっており、瀬戸中央自動車道開通から約30年で、8倍以上に増加している（図-10）。

ある大手コンビニでは、お弁当や惣菜類等は四国内の工場で作製し、雑貨やドリンク等の商品は本州から瀬戸中央自動車道経由で坂出市の物流拠点に一度集約し、四国全域に配送している。



図-10 四国コンビニ出店状況の変化

## (3) 本四3ルートによる代替路としての機能

2018年は豪雨や台風が多発して各種交通機関の通行止め・運休が発生した。

2018年9月の台風21号により、神戸淡路鳴門自動車道と瀬戸中央自動車道が通行止めとなったが、しまなみ海道が迂回路として機能し、交通量が約65%増加した（図-11）。

## 5. おわりに

本稿では、本四高速道路を利用する物流に照準を定め、その利用に伴う経済的な波及の総効果を計量的に把握したものである。

もとより、本四高速道路の開通後には、四国と本州各地域間の効率的な輸送が可能となり、企業や個人の生産性を向上させ、全国各地域の経済活動に影響を及ぼしている。

なお、本稿での経済効果の計測と分析は、2018年までを対象としたものとなっているが、今後、本四高速道路の利用に伴う交通量の増加が続けば、その生産誘発額の規模や影響の及ぶ範囲は、引き続き拡大傾向が続くものと考えられる。

謝辞：本検討にあたり、計測手法、開発した計測方法の確認などについてご指導いただいた、香川大学 井原健雄名誉教授、岡山大学院社会文化科学研究科 中村良平特任教授に、深甚なる感謝を申し上げる次第である。

## 参考文献

- 1) 玉村千春, 内田陽子, 岡本信広：アジア諸国の生産・需要構造と貿易自由化—アジア国際産業連関分析—, アジア経済, pp.128-148, 2003
- 2) 公益財団法人 中部圏社会経済研究所：中部圏地域間産業連関表（2005年版）の活用～原表の活かし方と実証分析の例示～, 2013
- 3) 濱田禎, 下元俊英, 前島一陸, 遠香尚史：本四高速道路の利用に伴う経済効果—仮説的抽出法による計測—, 土木計画学研究発表会・講演集, Vol.54, 2016
- 4) 濱田禎, 下元俊英, 前島一陸, 遠香尚史：地域間産業連関表を用いた本四高速道路の経済効果計測～特に第3次産業分の取り扱いについて～, 土木計画学研究発表会・講演集, Vol.55, 2017

# 四国地方整備局における人材育成・採用活動、 広報活動に係る報告

細川 真由<sup>1</sup>・舘井 恵<sup>1</sup>・河野 友佑<sup>1</sup>

<sup>1</sup>四国地方整備局 企画部 企画課（〒760-8554 香川県高松市サンポート3-33）

本発表は2019年度の四国地方整備局における人材育成・採用活動、広報活動について報告するものである。2019年度は、他機関の現場視察を踏まえた研修内容の充実と見直し、SNSを活用した広報活動を実施した。

キーワード 人材育成、採用活動、広報、YouTube、Twitter

## 1. はじめに

四国地方整備局は、社会資本の整備・管理や様々なプロジェクトにより、将来想定される南海トラフ地震への備えや豪雨等災害に対する安全・安心の確保、地域に根ざした産業、歴史・文化、風土を活かした地域づくりの支援等を行っている。これらのプロジェクトを推進するために、地域の協力や人材の確保が重要であり、一般の方々へ情報を伝えるために様々な広報を実施している。少子高齢化社会が到来するなかで、優れた人材を採用・育成するためにも、四国地方整備局の業務内容をより多くの人に理解してもらうためにも、効果的な広報活動・人材育成を実施する必要がある。

四国地方整備局の広報は、主に、記者発表、新聞広告、現場のお知らせ看板等があるが、最近ではSNSの活用（Facebook, YouTube, Twitter, Instagram）も積極的に行っている。しかし、どのような広報を実施すれば効果的か、実際に広報の効果がどの程度あったか等、分析されていないのが現状であり、広報担当者へもフィードバックできていないのが現状である。また、人材育成及び採用活動についても、取り組み内容等が積極的に周知されていない状況である。そこで本稿では、2019年度に実施した採用活動・人材育成の取組について紹介した上で、広報活動の実例を挙げ、広報活動の効果について報告する。

## 2. 人材育成および採用活動

### (1) 研修の充実と見直し

若手技術職員の人材育成として、採用直後に新規採用職員研修及び技術職員研修、採用半年後に初級技術研修、

採用2年目に基礎技術研修を実施した。2019年度は初級技術研修において、担当業務の発表会を実施した。基礎技術研修においては、現在の自分の職務にとらわれず幅広い視野をもった人材を育成するために、他機関（本州四国連絡高速道路株式会社、西日本高速道路株式会社）も含めた現場視察を実施し、研修内容の充実を図った。（写真-1）。さらに3,4年目の技術職員に対して技術力向上、業務円滑化のために同期の繋がりを強化すること、国交省職員としての知見を深めることを目的に、高知港湾海岸事業現場や早明浦ダム周辺砂防事業現場などの視察を実施した。

また、近年のICTを活用した技術力向上を踏まえて、2020年度の研修にBIM/CIMに係る研修を新規に追加し、研修計画の見直しを実施した。



写真-1 現場見学会（基礎技術研修）

### (2) 若手職員による採用活動補助

2019年度は、採用活動として大学や高校を訪問する業務説明会を計40回、インターンシップの受け入れを17人、現場見学会を香川県で2回、徳島県・高知県・

愛媛県で1回ずつ計5回開催した(写真-2)。

2019年度の採用活動では、積極的に採用予定者と年齢層の近い若手職員を業務説明会に同行させた。説明会の参加者に実際の仕事ややりがい、生活を知ってもらうために若手職員から説明を実施してもらった。参加者にとって、働いている姿を想像しやすくなる、質問がしやすくなるなどのメリットがあると考えます。また、若手職員にとっても人前で業務を説明する経験が蓄積され、通常業務におけるプレゼン能力向上に資すると思われる。

2020年度は、新型コロナウイルス感染症対策を踏まえて、WEBでの個別説明会を実施し、公務員試験の受験を検討している方の不安な点、疑問点の解消に向けて、きめ細やかな対応を実施している。対話形式のため一度に複数人での実施ができない、Skype実施による通信・電気料金の個人負担等課題はあるが、社会情勢を踏まえて今後は、WEBでの説明会も引き続き推進していきたい。

### (3) 選考採用について

四国地方整備局の大卒程度試験、高卒者試験の採用数は近年増加傾向にある(表-1,表-2)。

2019年度は、四国地方整備局においてこれからの四国地方整備局を担う30代の係長級職員が不足している実態を踏まえて、新たに選考採用(社会人経験者・係長級(技術))を実施した。

選考採用を実施するにあたっては、四国地方整備局HPによる周知のほか、以下の手段により転職を検討中の方にも広く周知できるよう取り組んだ。

- 1) 本局・事務所・出張所へのポスター掲示(図-1)
- 2) Facebook・Twitter掲載
- 3) 実務教育出版ホームページへの掲載
- 4) 転職サイト(マイナビ)への掲載(図-2)
- 5) 東京アカデミー高松校へのチラシ掲示
- 6) ハローワークへの登録

2019年度は23名からの申し込みがあり、8名を採用した。2020年度も引き続き選考採用を実施し、四国地方整備局の着実な事業推進のために、経験豊かな人材の採用を行う。



写真-2 インターシップの様子

表-1 大卒程度採用者数

【大卒程度試験】	()は女性の採用人数			合計
	行政	土木	その他	
平成28年度	6(3)	13(2)	5(1)	24(6)
平成29年度	10(6)	8(0)	2(0)	20(6)
平成30年度	5(2)	12(4)	3(2)	20(8)
平成31年度	7(3)	14(2)	1(1)	22(6)
令和2年度	6(4)	14(4)	4(0)	24(8)

※その他は電気・電子情報、機械、建築、農業農村工学、化学、林学の合計

表-2 高卒者採用人数

【高卒者試験】	()は女性の採用人数			合計
	四国事務	四国技術	農業土木	
平成28年度	4(2)	7(2)		11(4)
平成29年度	1(1)	9(3)		10(4)
平成30年度	3(1)	9(3)		12(4)
平成31年度	5(2)	7(2)	1(0)	13(4)
令和2年度	4(2)	12(1)	1(0)	17(3)



図-1 選考採用ポスター



図-2 マイナビによる採用周知

### 3. これまでの広報活動

#### (1) 広報テーマの設定

四国地方整備局では、毎年度、広報の重点テーマを設定し、様々な広報を展開している。2019年度は、①社会資本整備やそれに携わる人々の『魅力が伝わる』広報、②求められている情報が『適時的確に伝わる』広報、③好事例を共有しメディアに『ポイントが伝わる』広報という3つの重点テーマを設定した。記者発表やSNS等を有効活用し、ニーズを意識した広報を展開することでメディアに取り上げられる広報に取り組んだ。

#### (2) マスコミに取り上げられた広報

マスコミに大きく取り上げられた好事例として、土佐国道事務所の「車線運用変更に伴う多様な広報活動」がある。渋滞対策として実施する、市街地での車線運用の変更による混乱を回避するため、街頭指導や横断幕の設置等の現地での対策・特設HPの作成・様々な媒体での広告の掲載など、あらゆる手法での広報を展開した。その結果、マスコミを介して多くの道路利用者へ周知することができた。現地では大きな混乱を招くことなく、期待した渋滞対策効果を確認することができた。ただし、SNSを活用した広報については閲覧数が少なく、十分な効果が発揮できなかったため、今後の課題と考えられる。

#### (3) SNS等を活用した広報

近年ではマスコミを通さずとも、SNSを活用して一般の方々に直接かつ即座に情報を発信することが可能となった。SNSで重要とされるのは、投稿の質はもちろんのこと、投稿の頻度や親しみやすさである。四国地方整備局では2018年度より、Twitter, Facebook, YouTube, Instagramを活用した広報を展開している。

SNSを活用した好事例として、徳島河川国道事務所の「建設業のイメージ改善PROJECT！」が挙げられる。これは、建設業の魅力向上のため、建設現場で働く人に焦点をあてた写真の応募を呼びかけ、事務所の玄関に掲示しようという取組みである。当初は事務所HPでの募集を行っていたが、応募件数は1ヶ月でたった1枚であった。しかし、事務所の玄関にたった1枚の写真が飾られている写真を、あえてFacebookに掲載したところ、大きな反響を呼び、Facebook投稿から3ヶ月で20枚の応募をいただくことができた(写真-3)。これはSNSの拡散力を活用した好事例であるといえる。

#### (4) SNSを活用した広報の分析

ここでは主にTwitterについて分析した。Twitterは本局・事務(管理)所合わせて15アカウントを開設している。昨年度を例にとると、発信したツイートの中で多くの反応を獲得しているのは、災害情報・TEC-FORCEの活動情報に関するツイートである(図-3)。特に、道路

関係事務所は事前通行規制等の災害対応についてツイートすることで多くの反応を得ている。これらの情報は当然、地域住民の方々が欲している情報であるため、今後も継続して情報発信していく。

一方で、事業の紹介・整備効果等の情報は十分な反応を得ておらず、うまく伝わっていないのも事実である。事業の効果を十分発揮させるためには、#(ハッシュタグ)の活用、魅力的な写真の添付等、更なる改善の必要があると考えられる。



写真-3 徳島河川国道事務所の取組み



図-3 Twitterアナリティクスより抜粋

### 4. これからの広報活動

#### (1) ホームページの改善

近年では、スマートフォンで情報を取得することが主となっているにもかかわらず、四国地方整備局のHPは旧来の、PCでの閲覧のみを念頭としたつくりとなっていた。そこで、2020年4月にHPをリニューアルし、スマートフォンやタブレットでの閲覧にも対応したつくりとした(図-4)。その他、知りたい情報にすぐアクセスできるように、キービジュアルの設定やアイコン位置の工夫等を行い、分かりやすいレイアウトに変更した。

## (2) YouTubeの積極的な活用

四国地方整備局では公式YouTubeチャンネルを2018年2月より開設しており、事業紹介やリクルートの動画を公開している。現時点（R2.6.10）では視聴回数（39動画・36,143回）、チャンネル登録者数（188人）ともに多いとはいえ、今後も積極的に活用する必要がある。視聴回数が少ない原因としては、以下が考えられる。

- 1) 魅力的な、興味を引きつける動画が少ない
- 2) 検索に引っかかりにくい動画タイトル名
- 3) Youtubeチャンネルの認知度不足
- 4) 工事のスポット的な動画が多く、事業の全体像や効果が見えにくい

そこで、2020年4月には過去に投稿した動画について次のような対策を講じた。まず、動画を見てみたいと思えるようなサムネイルに改善した。また、四国地方整備局HP経由よりも、キーワード検索により直接動画にアクセスするケースが多いことから、専門用語を使わず、検索されやすいタイトルとし、「#ダム」「#道路」等のハッシュタグを入れるなど、説明文も工夫した。これらの改善により、少しずつではあるが、視聴回数が増加する傾向にある(図-5)。さらに、動画を投稿した際には、比較的フォロワー数の多いTwitterやFacebookでお知らせするなど、他のSNSも活用し、認知度を高める工夫を実施する。

今後の課題としては、動画の内容の充実が挙げられる。タイトルやサムネイルが魅力的であったとしても、動画の内容が面白くなければ視聴者は離れていく。特に、事業の全体像を伝えるためには、事前に何を撮影するのかを計画しておき、素材を収集しておくことが重要と考えられる。また、動画撮影・編集手法を含め、広報スキルの向上をはかるべく、実践を踏まえた講義を担当者会議や若手職員の研修等で実施する。

## 5 おわりに

採用活動は、近年の売り手市場の情勢もあり、苦戦を強いられている。従来通りの方法のみでなく、説明に使用する資料として動画を作成したり、WEB形式での説明会を積極的に取り入れたり新しい取り組みが必要となる。

広報の影響は非常に大きく、SNS等のツールも活用して積極的に情報を発信できるようになった。民間企業等も様々な形で広報を実施しており、新しいツールも日々増えている。しかし、現場で活躍している職員は広報をすることは、手間だと考えているかもしれない。この事業を知ってもらう、こういう考え方でやっているんだということを伝えることを意識して、画像や動画を撮影し、SNS等で発信することの重要性を意識してもらうべく、研修等で継続して伝えていく。時代の流れにうまく乗りつつ、今後も四国地方整備局の魅力を発信していきたい。



図-4 四国地方整備局HPのリニューアル

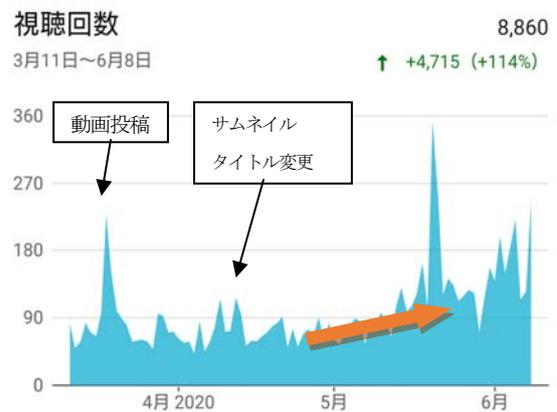


図-5 YouTubeの視聴回数（令和2年3月11日～6月8日）

# 暴風雪の適切な評価にむけた 国道通行止めと吹雪量の関係解析

大宮 哲<sup>1</sup>・原田 裕介<sup>1</sup>・武知 洋太<sup>1</sup>・高橋 丞二<sup>2</sup>・萬 直樹<sup>1</sup>

<sup>1</sup>国立研究開発法人土木研究所 寒地土木研究所 雪氷チーム（〒062-8602北海道札幌市豊平区平岸1-3-1-34）

<sup>2</sup>国土交通省 北海道開発局 事業振興部（〒060-8511北海道札幌市北区北8条西2丁目）

本研究は、一回の暴風雪の厳しさを適切に表現し、通行規制や除雪の実施判断をサポートするための指標を作成することを最終目標としている。本報では、過去に発生した極端な暴風雪による国道通行止めと、気象値から推定した吹雪量の関係を、面的かつ時系列的に整理し、その特徴について整理した。その結果、吹雪が発生してから通行止めが実施されるまでの累積吹雪量や累積吹雪量の増加速度は路線（区間）ごとに異なることが確認され、通行止め実施の判断基準は路線（区間）ごとに検討する必要があることが示された。

キーワード 暴風雪、通行止め、吹雪量、情報提供、タイムライン

## 1. はじめに

北海道内における冬期の国道通行止めは、吹雪によるものが約4割を占める。観光や物流など、北海道の社会経済活動は自動車交通に強く依存しており、通行止めが地域社会に及ぼす影響は大きい。吹雪によるダメージを最小限に留めるためには、的確で効果的な通行規制の実施や除雪体制の構築、情報提供が必要である。

現在、雨による通行規制については、対象とする区間（事前通行規制区間）ごとに具体的な数値基準が定められていることが多い<sup>1), 2)</sup>。一方、吹雪による通行規制については定量的な基準が存在しない。これは、吹雪に関する既存の指標がひと冬を通したもの（年間累積吹雪量や視程障害発生頻度など、吹雪対策時の調査や設計に用いられるもの）しかなく、冬期道路管理に必要な一回の暴風雪の厳しさを表す指標が存在しないためである。したがって、吹雪時の通行規制の実施判断は、各路線の道路管理者が、気象状況に加え、現地パトロールや道路管理用カメラ映像、道路交通状況など、総合的な判断に基づいて実施している。

本研究では、冬期道路管理への活用を念頭にいた、一回の暴風雪の厳しさを適切に評価するための客観的かつ定量的な指標を作成することを目指しており、図-1に示す流れで検討を進めている。このうち、本報では社会的被害の一つである国道通行止めに着目し、その実施履歴と気象値から推定した吹雪量との関係について面的・時系列的に整理した結果について報告する。ここで

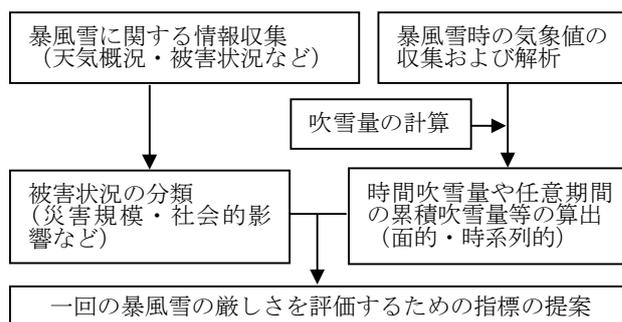


図-1 指標検討の流れ

は、北海道東部を中心に大きな被害をもたらした2つの極端な暴風雪事例（①2013年3月2～3日、②2014年2月16～19日）を解析対象とした。

なお、「吹雪量」とは吹雪の強さを表す物理量の1つであり、単位時間に単位幅を通過した雪の質量のことを指す（単位はkg/m/h）。

## 2. 暴風雪時の天気概況と被害状況

### (1) 2013年3月2～3日の暴風雪（急激に発達した事例）

2013年3月2～3日の暴風雪は、もとは2つだった低気圧が1つに合わさって急激に発達した事例である。2013年3月2日9時と同日15時の地上天気図を図-2に記す。2日9時時点で網走沖と苫小牧沖にそれぞれ低気圧があることが確認できるが、これが12時頃に1つになった。低気圧

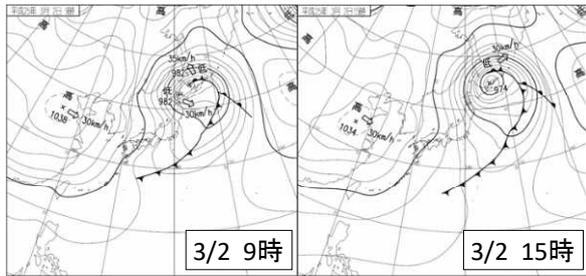


図-2 2013年3月2日9時と15時の地上天気図

の中心気圧は9時から15時の6時間のうちに15hPa低下し、風速が急激に強まった。例えば、9時の北見アメダスの最大瞬間風速は1.8m/sであったが、15時には13.2m/s、その後17時40分には22.7m/sを記録した。日本道路交通情報センター(JARTIC)によると、この暴風雪による北海道内の国道通行止めは22路線43区間におよんだ。また、オホーツク海側や太平洋側東部を中心に合計300台以上の車両が立ち往生した。道路交通以外では、JR北海道で361本が運休したほか、新千歳空港を発着する205便が欠航した。

気象庁の定義<sup>3)</sup>に基づくと、北緯43.8度に位置する北見市においては、中心気圧が24時間に約19.2hPa以上低下した温帯低気圧を「急速に発達する低気圧」と呼ぶ(俗にいう「爆弾低気圧」)。この暴風雪をもたらした低気圧の中心気圧はわずか6時間で15hPaの低下であったことから、いかに急激な発達であったかがわかる。

### (2) 2014年2月16～19日の暴風雪(長時間継続した事例)

2014年2月15～18日の9時の地上天気図を図-3に記す。14日から16日にかけて関東甲信地方に記録的な大雪をもたらした南岸低気圧が発達しながら北東進し、16日21時には根室の南東海上に達した。その後、低気圧は19日にかけて千島近海に停滞したため、北海道東部は長時間にわたって強風が継続した。弟子屈アメダスの平均風速は、16日21時30分から18日12時30分までの39時間にわたって常に15m/s以上であった。JARTICによると、北海道内の国道通行止めは12路線15区間にて実施された。

### 3. 吹雪量の算出

「吹雪量」の算出には、大宮ほかによる推定式<sup>4)</sup>を使用し、気象庁より配信される降水強度、気温、風速の時刻別値(解析雨量・毎時大気解析値)を用いて1kmメッシュの時間吹雪量を求めた。なお、解析雨量は1kmメッシュデータである一方、毎時大気解析値は5kmメッシュデータである。そこで、ここでは5kmメッシュを25個の1kmメッシュに分割し、それらはすべて同値であると仮定した。また、各気象要素や気象履歴から吹雪の発生有無を統計的に判定する「地吹雪発生及び雨雪判別フロー」<sup>5)</sup>

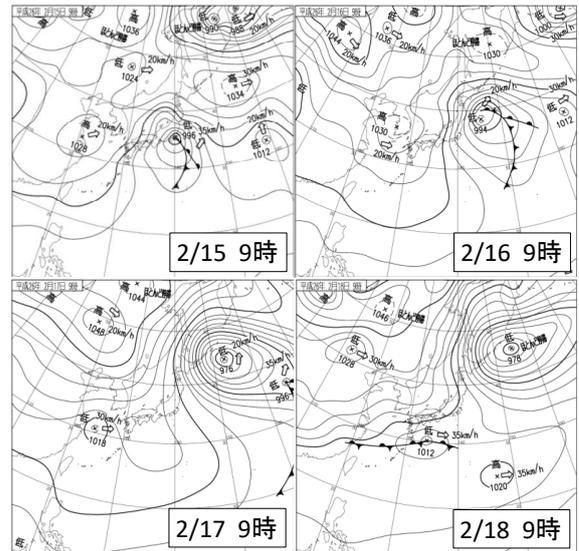


図-3 2014年2月15日～18日の9時の地上天気図

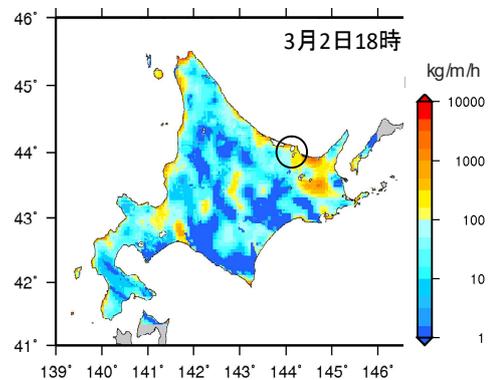


図-4 2013年3月2日18時における時間吹雪量

に基づき、「吹雪あり」と判定された場合についてのみ吹雪量を計算し、「吹雪なし」と判定された場合の吹雪量はゼロとした。図-4に時間吹雪量の計算結果の一例(2013年3月2日18時)を記す。暖色ほど吹雪が強いことを示す。

### 4. 通行止めの実施有無と時間吹雪量の関係

国道通行止めの実施有無(通行止め理由が「吹雪」のみ)と時間吹雪量の時間変化について整理する。ここでは、美幌町を中心としたエリア(図-4の黒丸で囲んだエリア)における国道(高規格幹線道路を除く)を対象に、その特徴を述べる。なお、通行止め履歴についてはJARTICにより提供されたデータを使用した。

#### (1) 2013年3月2～3日の暴風雪

2013年3月の暴風雪事例について、2日11時から21時までの時間吹雪量の時間変化を図-5に示す。図中には、当該エリアにおける国道路線とその番号を付記してある。当該時刻において通行止めが実施されていた路線

(区間)は赤で、実施されていない路線(区間)は黒で示してある。なお、地吹雪発生及び雨雪判別フロー<sup>5)</sup>によって「吹雪なし」と判定された吹雪量ゼロのメッシュについてはグレーで示してある。

2日11時時点では広い範囲において吹雪は発生していないが、時間経過とともに発生エリア・時間吹雪量ともに増加したことが確認される。当該エリアにて最初に通行止めが実施されたのは238号と243号であった(16時30分)。次いで5分後の16時35分に39号が、17時に244号が、18時に334号が、19時30分に39号(区間延伸)と391号が、20時30分に39号(さらに区間延伸)が追加実施された。なお、翌日の15時、243号の通行止め区間の通行止め理由が「吹雪」から「雪崩の恐れ」へと変更になった(当該区間には美幌峠がある)。

この結果より、通行止め路線(区間)や地域ごとの特徴が読み取れる。例えば16時30分前後において通行止めが実施された238号と39号を比較すると、海岸沿いに位置する238号は昼過ぎから強めの吹雪が継続したにも関わらず、吹雪の発生開始が遅く、かつ比較的弱かつ

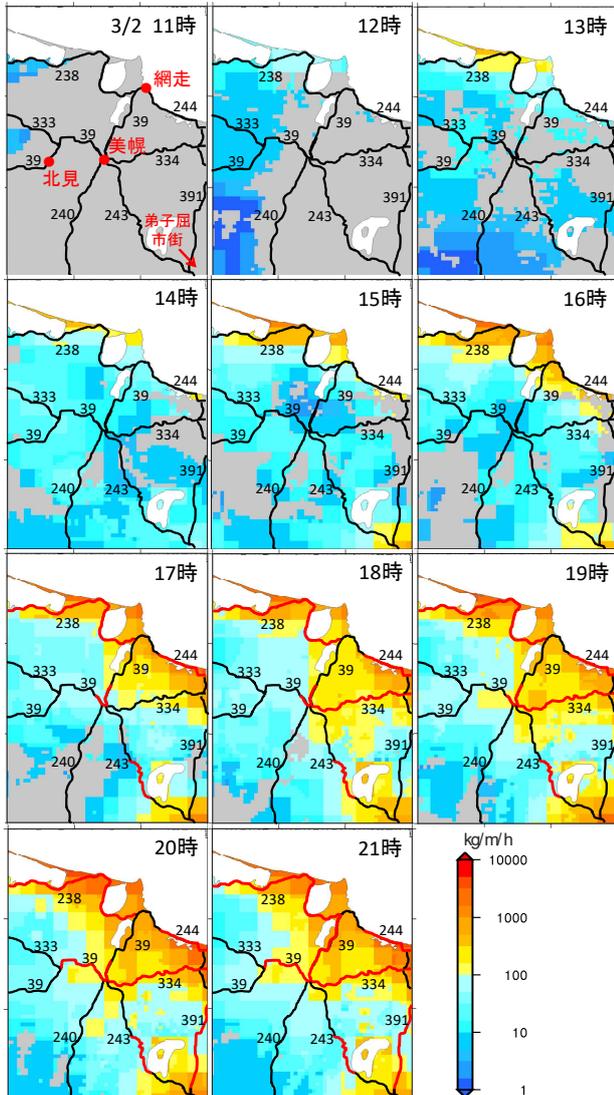


図-5 通行止め実施有無と時間吹雪量の時間変化  
(2013年3月2日11時~21時)

た39号とほぼ同じタイミングで通行止めが実施された。一方、20時30分に延伸された39号の区間については、夕方以降、長時間にわたって強い吹雪が継続していたが、通行止めの実施タイミングは遅かった。また、弟子屈市街も15時頃から長時間にわたって強い吹雪が継続していたが、その中心部が通行止めになることはなかった。

## (2) 2014年2月16~19日の暴風雪

2014年2月の暴風雪時の国道通行止め実施履歴と時間吹雪量の時間変化について、16日19時から17日9時までの1時間ごとの変化を図-6に示す。なお、吹雪量の強さを示すカラーバーは図-5のものと同じである。ここで、

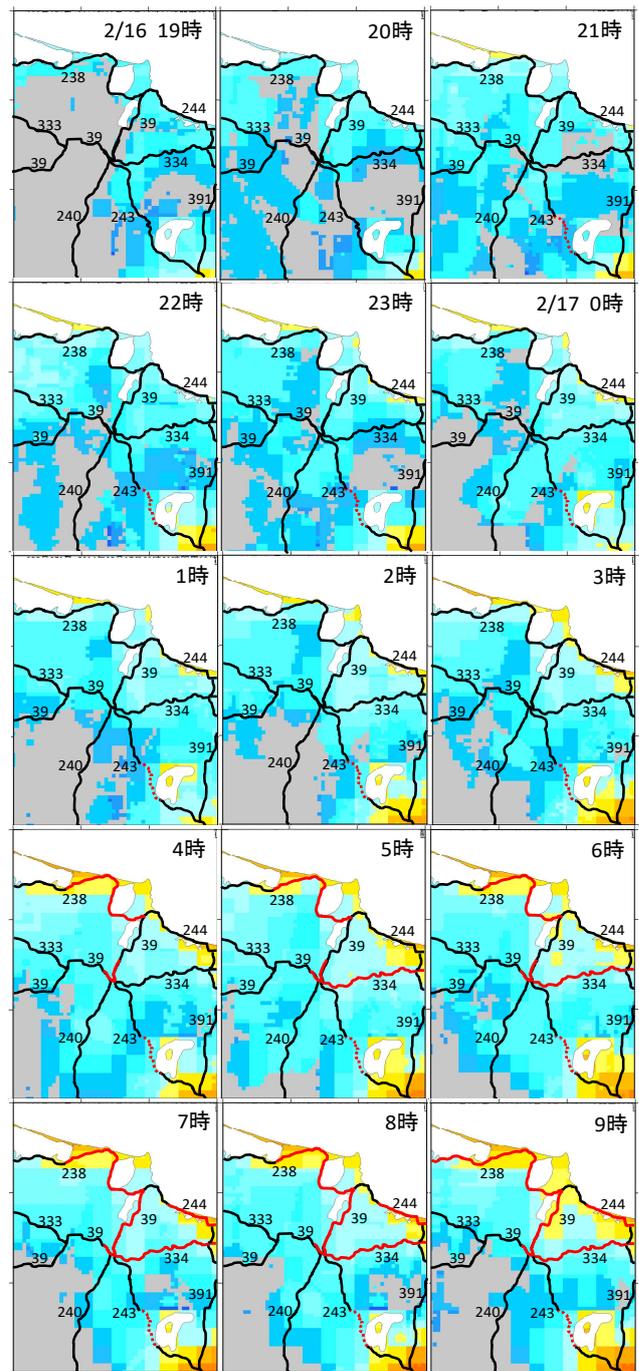


図-6 通行止め実施有無と時間吹雪量の時間変化  
(2014年2月16日19時~17日9時)

2月16日21時以降の243号一部区間を赤の点線で示してあるが、これは当該時刻に「雪崩の恐れ」との理由で通行止めが実施されたものであることから、ここでは解析対象としない。なお、この区間は図-5に記した243号の通行止め区間に等しい。

17日4時、238号と39号の通行止めがいち早く実施された。次いで5時に334号が、6時30分に39号(区間延伸)と244号が、8時30時分に238号(区間延伸)が追加で実施された。通行止めに至るまでの時間吹雪量の推移傾向は2013年3月の事例とも類似しており、海岸沿いに位置する238号は39号に比べて強い吹雪が継続していたが、通行止めの実施は39号と同じタイミングであった。また、弟子屈市街についても同様、長時間にわたって強い吹雪が継続したにも関わらず、通行止めが実施されることはなかった。

これらの結果は、通行止めが実施される基準が路線(区間)や地域ごとに異なることを意味しており、基準を検討するには路線(区間)や地域ごとの特性を考慮に入れる必要があることを示す。

## 5. 通行止め実施と累積吹雪量の関係

次に、通行止め区間ごとに、吹雪発生から通行止め実施に至るまでの累積吹雪量の関係について整理する。ここでは、通行止めの区間延伸が行われた39号と238号について、その延伸区間をそれぞれ別区間として扱うこととし、図-7のように39号は3分割、238号は2分割した。

まず、各通行止め区間の累積吹雪量を代表するメッシュの選定を行う。本解析では、各通行止め区間において最も吹雪が激しかったと推定されるメッシュを「当該区間の累積吹雪量を代表するメッシュ」として扱うこととし、吹雪発生中における任意の3時間累積吹雪量が最大となったメッシュを抽出した。これは、国土交通省が想定する各除雪工区における1サイクルの除雪時間(除雪作業開始から終了後に戻ってくるまでの時間)が約3時間であることに基づく<sup>6)</sup>。

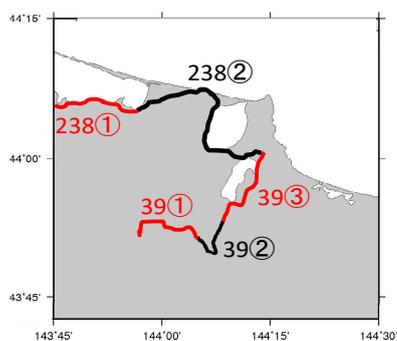


図-7 区間分割

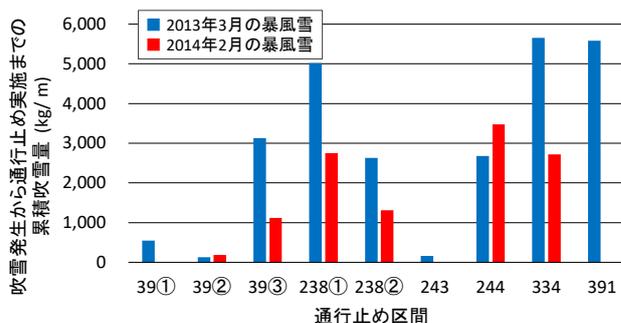


図-8 通行止めが実施されるまでの各区間の代表メッシュにおける累積吹雪量

地吹雪発生及び雨雪判別フロー<sup>5)</sup>によって「吹雪あり」と判定されてから通行止め実施に至るまでの各通行止め区間の代表メッシュにおける累積吹雪量を図-8に示す。これより、通行止めに至るまでの累積吹雪量は通行止め区間ごとに大きく異なることが示され、その差は最大で約43倍であった(2013年3月の39号②と334号の比較)。また、区間ごとの違いのみならず、両事例間においても大きく異なっていた。総じて、通行止め実施までの累積吹雪量は2013年3月の事例の方が2014年2月の事例よりも多い傾向があった。例えば、39号③では約2.8倍、238号②および334号では約2倍、238号①では約1.8倍の差があった。

次に、通行止めが実施されるまでの累積吹雪量の増加の様子を図-9に示す。通行止めが実施されたタイミングを横軸0hとし、それ以前の時間を「通行止め実施までの時間」として示した。暴風雪が急激に発達した2013年3月の事例を実線、長時間継続した2014年2月の事例を破線で示す。なお、同一区間については同色で示してある。この結果から、急激に発達した2013年3月の事例では累積吹雪量も短時間のうちに増加して通行止めに至ったのに対し、長時間継続した2014年2月の事例では累積吹雪量も時間をかけて徐々に増加して通行止めに至ったことが確認された。この結果は、通行止めの実施有無が単純な累積吹雪量の大小や、その増加速度だけでは決まらないことを意味する。

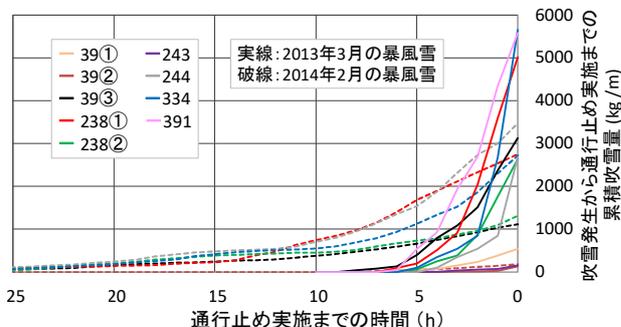


図-9 通行止めが実施されるまでの累積吹雪量の増加の様子

## 6. まとめと今後の展望

本研究によって、通行止め実施と吹雪量の関係は路線（区間）ごとに異なることが確認され、通行止め実施の判断基準は路線（区間）ごとに検討する必要があることが示された。

本研究では極端な暴風雪 2 事例を対象に事例解析を行った。今後は、直近約 10 年間に発生した暴風雪を対象に網羅的かつ多角的に解析を行う予定である。地吹雪発生及び雨雪判別フロー<sup>5)</sup>と吹雪量の推定式<sup>4)</sup>に基づき、時間吹雪量やその累積値、既往最大値等を算出するほか、暴風雪の規模毎の発生頻度、通行止め履歴等との関連づけを行う。また、各通行止め路線（区間）の代表地点（3 時間累積吹雪量が最大となるメッシュ）と、近傍のアメダスや道路気象テレメータ等の固定観測点で得られる気象値や累積吹雪量、累積降雪量等との関係についても検討する。既設の固定観測点で得られる気象値から対象路線（区間）の代表地点における吹雪の厳しさを推定することが可能となれば、より道路管理の実態に即した議論ができることが期待される。

また、本研究の解析結果は気象値のみに基づいたものであり、地形や土地利用状況、道路の周辺環境等については考慮していない。今後は気象値以外の項目、例えば上記に加え、路線ごとの除雪体制の違いや地域特性、路線の重要度、実際のオペレーション事情など、社会科学的観点からもアプローチする。

最後に、国土交通省による「大雪時の道路交通確保対策中間とりまとめ<sup>7)</sup>」によると、情報収集や提供の工夫、地域や道路ネットワーク（路線・区間）ごとにタイムラインの策定を行うべきと指摘している。また、内閣府による「避難勧告等に関するガイドライン①（避難行動・情報伝達編）<sup>8)</sup>」によると、災害時に住民がとるべき行動を 5 段階に分け、情報と行動の対応を明確化している。本研究においても、最終的には上記に類するものを提案したいと考えている。その一例として、暴風雪災害の規模に関する警戒レベル分け案を表-1 に、そのレベル分

表-1 暴風雪災害における警戒レベル（案）

警戒レベル	暴風雪災害の規模	(参考) 気象情報
レベル 5	通行止め+集落孤立 (自衛隊派遣等)	過去に経験のない
レベル 4	通行止め+除雪作業困難 (他地方整備局や開発建設部に 応援、災害対策本部の設定)	数年に 1 度
レベル 3	通行止めまたは立ち往生発生	警報
レベル 2	平均旅行速度の低下	注意報または警報
レベル 1	除雪	注意報

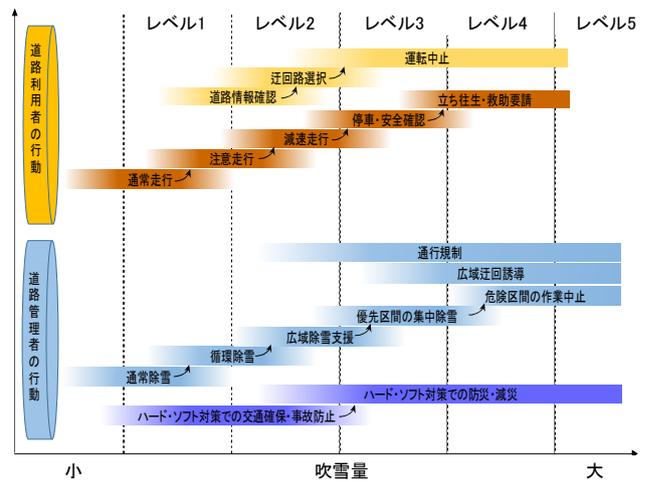


図-10 道路管理における判断支援方策（案）

けに基づいた道路管理における判断支援方策案を図-10 に記す。例えば、「レベル1」の段階においては除雪を要する規模（言い換えれば、通常除雪で対処可能な規模）で、一般の道路利用者はまだ通常走行が可能な状況を、「レベル3」の段階では通行規制が必要で車両の立ち往生が発生しうる状況を、さらに「レベル5」の段階になると集落が孤立して自衛隊が派遣されるような状況の大規模な暴風雪を意味している。今後も、暴風雪被害の軽減に向け、効果的な情報提供内容およびその方法について模索していきたいと考えている。

### 参考文献

- 国土交通省北海道開発局：事前通行規制区間  
[https://www.hkd.mlit.go.jp/ky/kn/dou\\_kei/ud49g700000zegg.htm#s0ffice](https://www.hkd.mlit.go.jp/ky/kn/dou_kei/ud49g700000zegg.htm#s0ffice) (2020年10月15日閲覧)
- 北海道庁：道路維持事前通行規制  
[http://www.pref.hokkaido.lg.jp/ky/sbs/doro\\_iji\\_04\\_jizenkisei.htm](http://www.pref.hokkaido.lg.jp/ky/sbs/doro_iji_04_jizenkisei.htm) (2020年10月15日閲覧)
- 気象庁：気圧配置 気圧・高気圧・低気圧に関する用語  
[https://www.jma.go.jp/jma/kishou/kyou/yougo\\_hp/haichi1.html](https://www.jma.go.jp/jma/kishou/kyou/yougo_hp/haichi1.html) (2020年10月15日閲覧)
- 大宮哲, 武知洋太, 高橋丞二, 松澤勝：降雪時における吹雪量推定式の提案 -降雪強度と風速による吹雪量の算定-, 雪氷研究大会 (2018・札幌) 講演要旨集, p.273, 2018.
- 武知洋太, 松澤勝, 國分徹哉, 大宮哲, 原田祐介：“吹雪の視界情報”における吹雪視程推定手法について, 寒地技術論文・報告集, Vol.32, pp.157-162, 2016.
- 国土交通省：第4回冬期道路交通確保対策検討委員会(2018年1月1日開催)配付資料, 資料4：今冬の大雪対応予定  
[http://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-council/toukidourokanri/giji\\_04.html](http://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-council/toukidourokanri/giji_04.html) (2020年10月15日閲覧)
- 国土交通省：大雪時の道路交通確保対策中間とりまとめ. p.21, 2017.
- 内閣府：避難勧告等に関するガイドライン①（避難行動・情報伝達編）. p.92, 2019.

# 大橋川改修に係る環境保全措置について

宮野 愛理・小田 健二

中国地方整備局 出雲河川事務所 調査設計課 (〒693-0023 島根県出雲市塩冶有原町5-1)

斐伊川水系大橋川では、昭和47年7月洪水、平成18年7月洪水で大規模な浸水被害を受けており、堤防整備に加え、上下流で河道拡幅を行うことになっている。改修により減少するヨシ・コアマモについて環境保全措置を実施することにしており、ヨシ、コアマモの効率的な移植方法を検討してきた。今後、大橋川下流部の河道拡幅が実施される予定であり、それに先立ちヨシ・コアマモの大規模な移植場を創出する必要がある。その移植場（中の島）の創出の考え方について報告を行う。

キーワード 河川改修，環境保全措置，汽水環境，ヨシ，コアマモ，移植

## 1. はじめに

### (1) 斐伊川水系大橋川とは

大橋川は島根県・鳥取県にまたがる斐伊川水系のうち、日本でも希少な連結汽水湖である宍道湖と中海を結ぶ河川である（図-1）。ほとんど河床勾配を持たず潮汐の影響により、中海の水位が高い場合は中海から宍道湖へ、宍道湖の水位が高い場合は宍道湖から中海へ流れる。また、川幅も狭いため洪水時の水はけが悪く洪水が長期化しやすい。大橋川は、ラムサール条約登録地にもなっており、汽水域の多様な生物環境が形成されている。

### (2) 大橋川改修について

斐伊川水系河川整備計画では戦後最大規模の洪水である昭和47年7月洪水が再び発生した場合でも家屋の浸水被害を防止することを目標とし、①上流部のダムの整備により洪水のピーク流量を抑える②斐伊川放水路の整備により宍道湖の流入量を減らす③大橋川改修・湖岸堤整備により宍道湖の水を速やかに排水することとしている。斐伊川上流部の尾原ダム、志津見ダム、中流部の斐伊川放水路の整備は完了しており、下流部の大橋川改修と中海・宍道湖の湖岸堤整備を実施中である。

大橋川改修では全川にわたって水位低減効果が期待出来る「狭窄部の拡幅」と氾濫被害防止のための「築堤護岸整備」を行うこととしている。大橋川には汽水域特有の重要な種が、典型種であるヨシ・コアマモに数多く生息しており、ヨシ・コアマモの環境保全措置として生育面積の確保が必要となる。



図-1 大橋川位置図

## 2. 大橋川の河川環境

### (1) 大橋川の貴重な自然環境

大橋川で典型的に見られる環境は、地形、塩分濃度、生物生息状況の違いにより、a) 大橋川湿性地とb) 大橋川水域に分類される。

#### a) 大橋川湿性地

水田や湿性草木群落からなり、大橋川中流部の中の島、松崎島、中州及び下流左岸に見られる。植物ではヨシ、水田雑草群落が優占する。生物では、カヤネズミ、オオヨシキリ、ヌマガエル、キイロヒラタガムシなどが生息する。

#### b) 大橋川水域

宍道湖と中海をつなぐ水域であり、塩分は上流で低く、下流で高い。流下遡上を繰り返す流動の影響を受け、経時的な変動が大きく、ヤマトシジミとホトトギスガイのせめぎあい（優占種の入れ替わり）が見られる。中下流

部の河岸にはヨシが大規模に分布しており浅場にはコアマモが見られる。マハゼやサツパの生息・生育環境にもなっており、冬季にはホシハジロ、キンクロハジロなどが飛来する。

## (2) 環境保全措置の必要性

大橋川改修の影響があると予測される大橋川湿性地及び大橋川水域のヨシ、大橋川水域のコアマモの2種について、その影響を可能な限り低減するために、環境保全措置を検討した。

検討の結果、大橋川の汽水環境の重要性を踏まえ、ヨシ・コアマモおよびその生育環境を保全・維持し、大橋川改修による河川環境への影響を可能な限り軽減するため、新たに整備する護岸前面にヨシ・コアマモの生育基盤を整備することとした。ヨシ・コアマモの生育箇所を図-2に示す。

## 3. 環境保全措置の実施状況

### (1) ヨシの移植

新たに整備する護岸前面に、生育基盤を整備する。地下茎を含む基盤をバックホウで厚さ50cm程度採取し、生育基盤へ移植する。(図-3)

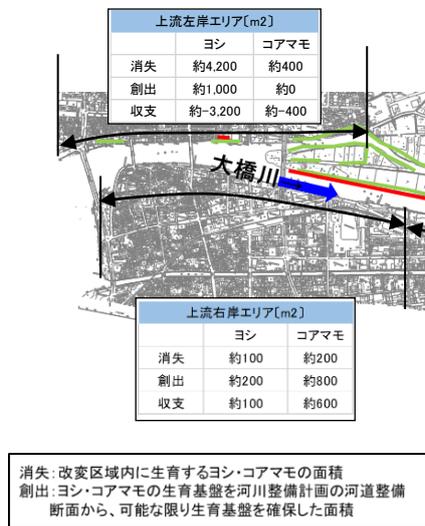


図-2 ヨシ・コアマモの生育箇所

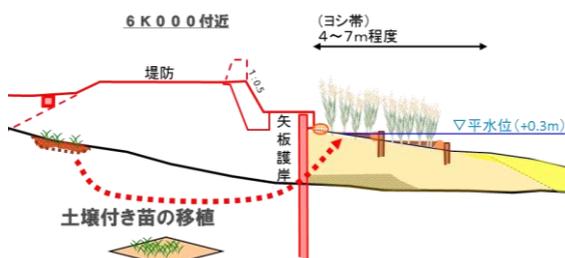


図-3 ヨシの移植方法

護岸工事の進捗に応じ、元々繁茂している箇所近傍の生育基盤を創出した場所に順次移植を実施した。新たに整備するヨシの生育基盤は1/10程度の勾配を設け、多様性を持たせる。生育基盤高は、追子地区でH.P. -0.15m ~ H.P. 0.3m, 福富地区でH.P. -0.28m ~ H.P. 0.6mに移植を実施し、その結果、活着・生育範囲の拡大及びヨシ帯を生息環境とする生物が確認された。

### (2) コアマモの移植

新たに整備する護岸前面に、生育基盤を整備する。地下茎を含む基盤をバックホウで厚さ20cm程度採取する。採取した土壌はベッセルや土のうへ移し入れ運搬し、生育基盤に移植する。(図-4)

護岸工事の進捗に応じ、生育基盤を創出した場所に順次移植を実施した。コアマモの適性水深は0.3~0.8m(平水時)を目安として整備した。その結果、重機の利用を含めた複数の工法において、生育面積は拡大傾向となることが分かった。

## 4. 課題 (移植場の不足)

護岸前面に移植することを基本として、大橋川改修の影響があるヨシ・コアマモの移植を実施しているが、今後整備予定箇所のヨシ・コアマモの面積を考慮すると、移植場の面積が不足することになる。

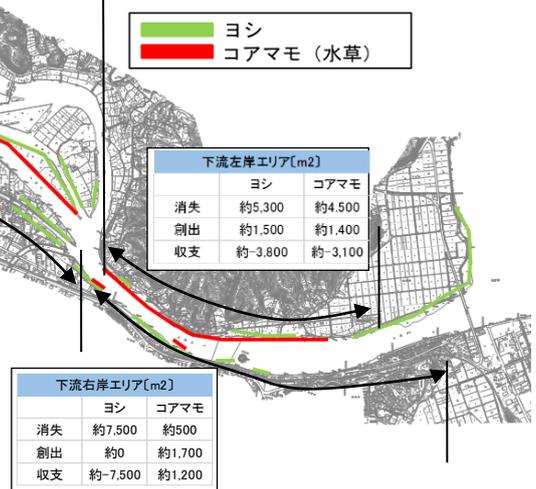


図-4 コアマモの移植方法

## (1) ヨシ

平成23年度の河川水辺の国勢調査で確認されている改変区域に生育するヨシの面積は、約20,900m<sup>2</sup>である。河川整備計画の整備区間で、可能な限り護岸前にヨシの生育基盤を整備すると、約5,200m<sup>2</sup>が移植可能であるが、全体で約15,700m<sup>2</sup>のヨシが移植できない。当面施工する大橋川の下流拡幅部を中心に、移植が必要になる、ヨシ約15,700m<sup>2</sup>が消失する恐れがある。

## (2) コアマモ

平成23年度の河川水辺の国勢調査で確認されている改変区域に生育するコアマモの面積は、約5,600m<sup>2</sup>である。可能な限り護岸前にコアマモの生育基盤を整備すると、約7,500m<sup>2</sup>が移植可能であり、全体では、移植面積に不足はない。しかし、整備順序を考慮すると、当面施工する大橋川の下流拡幅部を中心に、移植場が確保できず、コアマモ約4,000m<sup>2</sup>が消失する恐れがある。

## 5. 対策（移植場の確保）

### (1) 移植場の選定

大橋川改修による影響を可能な限り低減するため、移植場の候補地としての場所を示す。（図-5）今後の堤防や護岸整備の展開等も考慮の上、候補地よりヨシ、コアマモ移植の適地を選定する必要がある。

剣先川左岸側は生物生息空間の候補となっているものの、既設護岸を改築する必要がある。大橋川の下流拡幅部より上流右岸でのヨシ、コアマモの保全措置の実施は、河川整備計画手順による堤防護岸整備と整合させる必要がある。上記より新たな環境保全措置の候補地として、中の島北岸側を選定した。

### (2) 保全措置の留意点

中の島北岸側でのヨシ、コアマモの保全措置の実施に

ついては、下記留意点①～④を考慮し、生育基盤整備に係る形状、移植方法の検討を行った。

当面施工で移植が必要となるヨシ約15,700m<sup>2</sup>、コアマモ約4,000m<sup>2</sup>の中の島北岸側での移植域を検討する。

留意点① 将来の河道整備を見据えた移植計画とする

留意点② 環境保全措置の実施による下流への水害リスク上昇を回避する

留意点③ 掘削による宍道湖の塩分上昇を抑える

留意点④ 移植を行うヨシ、コアマモへの影響を可能な限り軽減できる方法とする

## 6. 生育基盤に係る形状の検討

### (1) 生育基盤の面積確保・掘削形状の決定

留意点①については、下流拡幅部で消失する恐れのあるヨシ約15,700m<sup>2</sup>、コアマモ約4,000m<sup>2</sup>を移植することとし、再度移植が極力必要とならないよう基本方針の将来河道を考慮した掘削法線で、移植帯を計画した。

留意点②については、中の島の環境保全措置による河道掘削は、下流への水害リスクを高める危険があるため、掘削の影響が出ないように、剣先川の現況河道の狭窄部を残した。中の島の環境保全措置の河道掘削による下流への水害リスクは、水位解析により、大橋川下流部及び中海において影響が少ないことを確認した。

### (2) 中の島の流速・粒径特性

河川水辺の国勢調査結果から、ヨシは大橋川、剣先川の多くの箇所でも継続的に確認されるが、コアマモは調査年度によって変動がある。大橋川改修事業環境調査最終とりまとめより、基本方針河道において、宍道湖の塩分上昇は小さく（留意点③）、ヨシ・コアマモの水環境の変化による生育環境の変化は小さいが、中の島の環境保全措置による掘削の塩分影響やヨシ・コアマモの生育状況をモニタリングしていく必要がある。

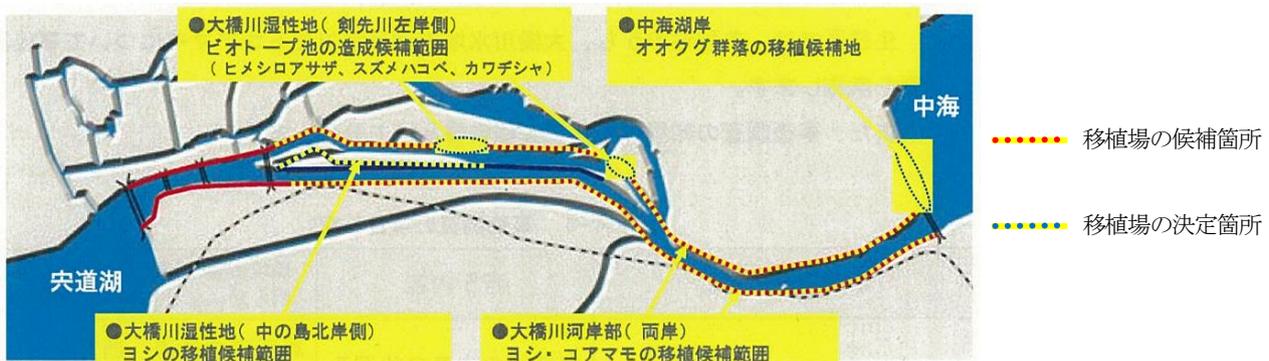


図-5 移植場の候補地

現況河道において、コアマモが多く確認される主な箇所（図-7）は、砂分の割合が多く（図-8）、渇水時、出水時の流速が、シルトの堆積の目安となる移動限界流速より、常に大きい箇所である。

剣先川における環境保全措置後の、渇水時、出水時の流速を予測すると、流速は移動限界流速より大きい。また、中の島下流箇所の底質は、砂分の割合が多い。（図-9）

このため、コアマモの移植については、中の島下流に一体的にコアマモを移植することが得策と考えられる。（留意点④）

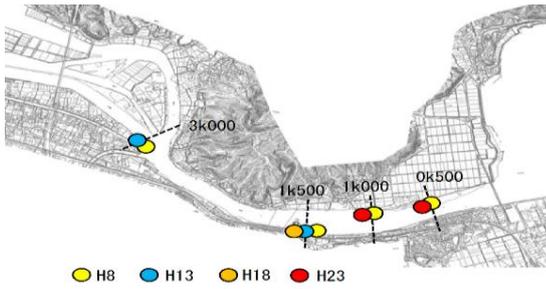


図-7 コアマモの主な生育箇所

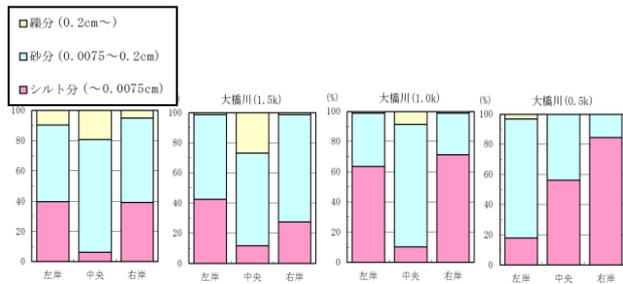


図-8 コアマモ移植場付近の粒径別質量割合

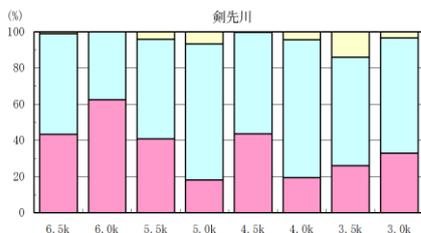


図-9 剣先川河床の粒径別質量割合

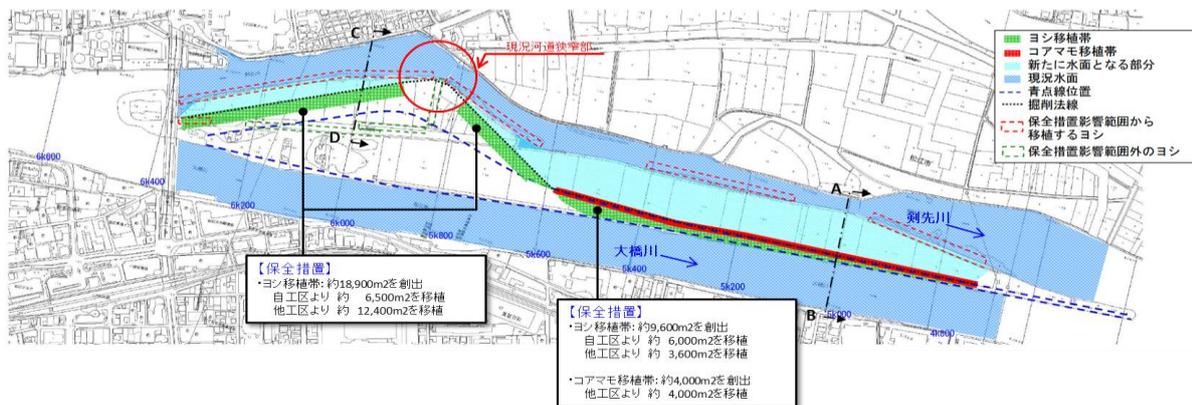


図-12 中の島の環境保全措置の実施後のイメージ

### 3) 中の島の環境保全措置のイメージ

検討の結果より、新たな移植場である中の島の掘削形状と移植方法のイメージを図-10（留意点①）、図-11（留意点②）、図-12に示す。

## 7. まとめ

ヨシ・コアマモの移植場として中の島が適地であると確認できた。過去の移植方法を踏まえ、ヨシ・コアマモの移植を効率的に実施していく。また、大橋川の中州である中の島を大規模に掘削することによる影響の確認、ヨシ・コアマモの定着状況について、有識者の意見を伺いながらモニタリング調査を進めることとする。

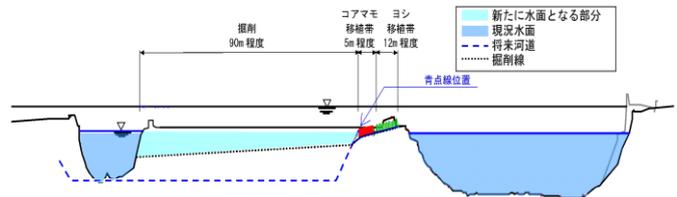


図-10 A-B断面（5k000付近）

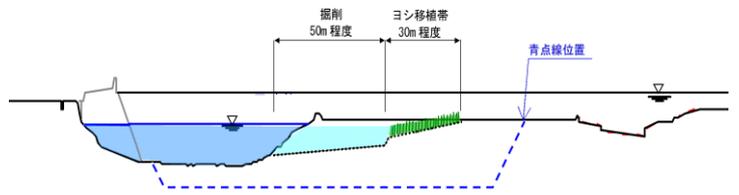


図-11 C-D断面（6k000付近）

# 大阪湾岸道路西伸部(陸上高架橋)のCIMを活用した景観検討について

上中 一弘<sup>1</sup>・谷 成二<sup>2</sup>

<sup>1</sup>近畿地方整備局 和歌山港湾事務所 企画調整課 (〒640-8404 和歌山県和歌山市湊葉種畑の坪1334)

<sup>2</sup>近畿地方整備局 紀南河川国道事務所 副所長 (〒646-0003 和歌山県田辺市中万呂142) .

本稿は大阪湾岸道路西伸部(六甲アイランド北~駒栄)の六甲アイランド地区における高架橋の検討を例に、先進的な橋梁の景観検討について述べたものである。これは、近年普及が進むCIM等の3Dモデルを景観予測や双方向コミュニケーションツールとして活用し、橋梁形式の選定段階から委員会形式にて景観検討を実施したものである。CIM等を活用し複数の景観予測手法を用いることで、多人数で複雑な情報についても、確実に迅速な意思疎通が可能になり、より踏み込んだ景観検討を実施することが可能な事が確認できた。

キーワード 景観検討, 橋梁デザイン, CIM, 双方向コミュニケーション

## 1. 公共事業における景観検討

日本の公共事業における景観への取り組みは平成15年に公布された、「美しい国づくり政策大綱<sup>1)</sup>」にさかのぼる。その後、平成16年に景観法が成立し、同時に「国土交通省所管公共事業における景観評価の基本方針(案)<sup>2)</sup>」が策定され、今日に至っている。

これらに基づき、景観への配慮が公共事業において進められているが、現在多くの道路構造物において、「景観検討」は設計の後半、色や付属物を決める時点でようやく議論される事業が多く、景観に強く影響を与える道路線形、構造形式などの姿形が概ね決定した段階で付加物的な景観検討がなされる事が多い。この一因となっているのは、計画の初期段階はコストに与える影響が大きい一方、景観への投資効果は定量的に評価しにくいとともに、地域住民、学識経験者、事業者、地方自治体、景観コンサルタント、設計コンサルタント等、関係者が多く、各者の意思疎通やその結果のフィードバックに多大な時間と労力を要するからである。

しかしながら、美しい国づくり政策大綱<sup>1)</sup>の中で取り組みの基本姿勢の一つとして述べられているのは、「美しさの形成を、公共事業や建築活動などの際の特別なグレードアップとして実施するのではなく、それらの実施に際し拠るべき原則の一つ、原則として実施すべき要素の一つとして位置づける」とされている。公共事業という特性上、経済性や構造的に重きをおいて、景観の検討は付加物的な思考に陥りがちであるが、まず景観の検討を行うにあたり念頭に置かなければならない原則である。

このように本来であれば景観検討は設計の後半で付加的に実施されるのではなく、設計の上流から検討がなされるべきである。

このような現状の中、模型やフォトモンタージュ等の基本方針(案)<sup>2)</sup>にも示されている従来の手法に加え、CIM等の3Dデータの活用が拡大するなど、景観の予測手法を取り巻く環境も変化し、複雑・多人数であっても、より確実に迅速なコミュニケーションが可能となっている。

よって本稿は、これらを用いた高架橋の景観検討の実例として、大阪湾岸道路西伸部(六甲アイランド北~駒栄)の六甲アイランド地区における高架橋の景観検討を用い、景観形成にあたり配慮すべき事項や景観整備方針を元に、設計の初期段階である橋梁形式の選定から構造物のフォルム検討までをどのように実施するか、また、検討の際の双方向コミュニケーションツールとしてのCIM活用について、留意すべき事項等について述べたものである。

## 2. 大阪湾岸道路西伸部(六甲アイランド北~駒栄)

大阪湾岸道路西伸部(六甲アイランド北~駒栄)は神戸淡路鳴門自動車道(垂水ジャンクション)から関西国際空港(りんくうジャンクション)までを結ぶ大阪湾岸道路の一部を構成する道路で神戸市東灘区から長田区に至る延長14.5kmのバイパス事業である。

本路線は、ほぼすべて橋梁構造で計画されており、人工島である六甲アイランドに存在する六甲アイランド北ランプを起点とし、六甲アイランドと同様の人工島であるポートアイランドへは、神戸港の海上を世界最大級の5径



図-1 大阪湾岸道路西伸部 路線図

間連続斜張橋で結び、ポートアイランドを通過した後は、和田岬までを海上高架橋を経て最大支間長約480mの1主塔斜張橋で結ぶ。和田岬へ上陸した後は海岸沿いを西進し神戸山手線へ連絡する計画である。<sup>3)</sup>

本事業は近年まれに見る大規模橋梁事業であるとともに、「デザイン都市神戸」として優れた景観を有し、景観に対する意識が高い人々が生活する神戸の中心部を通る路線として、景観に特に配慮が必要な路線であるため、3つの計画コンセプトの1つとして、「「みなと神戸」にふさわしい世界に誇れる景観を創出する道路」を掲げて事業を実施している。<sup>3)</sup>

### 3. 構造物のデザイン検討を始めるにあたり

#### (1) 景観検討の体制

景観検討を実施していくための体制については、学識経験者の知見を活用する仕組みの組み込みが重要である。景観という定量的な評価が難しい内容では、景観の専門家である学識経験者の意見は貴重な判断材料となる。これについては基本方針(案)<sup>2)</sup>の中でも学識経験者等＝景観施策アドバイザーの知見を活用することが述べられている。なお、西伸部においては、さらに踏み込んで、「大阪湾岸道路西伸部技術検討委員会」の中に「景観検討小委員会」を設置し、路線全体の景観について景観の専門家のみでなく、構造面からの迅速なフィードバックによる検討スピードの向上を意図して、構造の専門家も加えた学識経験者7名から助言を受けて、検討を進めた。

#### (2) 周辺環境

橋梁のデザインを議論する前に、まずは周辺環境を十分に把握し、景観設計において留意すべき観点をとりまとめる必要がある。平面的な土地利用の状況、鉛直的な構造物の配置、地域住民の生活導線、将来の土地利用計画、景観の評価を行う視点場等を取りまとめ、以降の検討の際の基準となる「景観形成において配慮すべき事項」を策定する。また、この段階で構造等のコントロール条件(支間割りの制約等)の整理も行い、橋梁計画を行うにあ

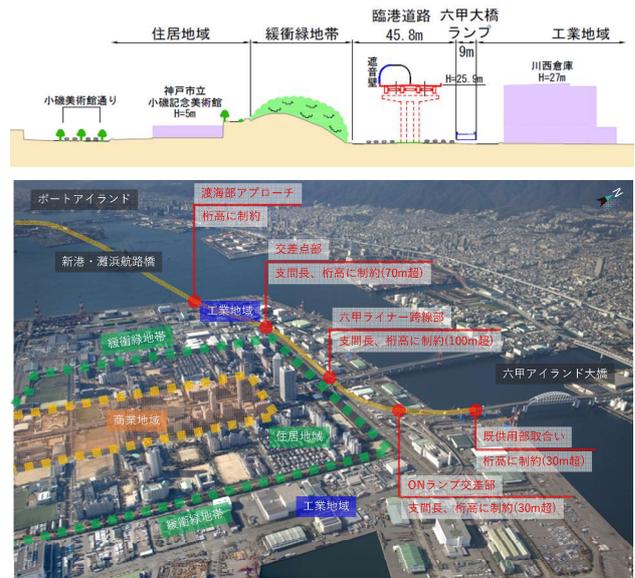


図-2 断面図と斜め写真による周辺環境の明示の例<sup>4)</sup>

たり、何が制約になるのかを整理することも学識経験者に意見を聞く上で重要である。

中でも景観の評価を行う視点場の設定は、景観への配慮にメリハリをつける際の指標になるなど、具体的な対策を方向づける重要な条件となる。この段階で今後のプロポーショナルデザイン段階、フォルムデザイン段階の双方においてどの視点で評価を行っていくかの視点場の絞り込みを適切に行う。この際、ただ漠然と橋梁が見える視点を選定するのではなく、人の往来に合わせて「評価に用いる視点場」は数を極力絞り、その他の視点場については選定案に対する確認に用いる事で議論の発散を防ぐ事ができる。

また、周辺環境の状況を整理する上で有効なのが航空写真であるが、平面写真より、建物等の高さが理解できる斜め写真(鳥瞰写真)を用いるのが有効であった。また、断面図を示す際は、周辺の土地利用の状況と距離感が断面的にわかるよう一定の範囲をもって断面を切り、高さ、幅員等の寸法を明示することが必要である。

### 4. 橋梁形式とプロポーショナルデザイン

#### (1) 橋梁のデザイン検討の進め方

路線が位置する周辺環境の整理ができた後、橋梁の形状を定めていくことになる。橋梁の形状を定める際のステップは大きく2ステップに分かれる。

まず、1つ目のステップで、橋梁形式及び橋脚形式という構造物の大きなプロポーショナルを検討し、2つ目のステップで、橋脚の面取りや意匠等のフォルムを検討する。本章では、ステップ1にあたるプロポーショナルデザインの方法と留意点を述べる。

(2) プロポーショナルデザインを検討する上での考え方

この段階では、主に橋梁予備設計において、橋梁形式や橋脚形式といった構造の主要な形式や材質を決定する。その際、コントロール条件等の制約条件が満たされる事を前提として、特に全体コストの最小化が重要視される。例えば、コントロール条件によってコンクリート橋の適用支間を超える場合はもちろんコンクリート橋は適用できないし、制約条件のない箇所でも、むやみに橋脚数を減らそうと鋼桁版箱桁橋等を適用すると、大幅なコスト増となる。

しかし、景観に全く配慮せずコストのみを優先した場合、道路の最低限の機能は果たされるものの、そこに生活する住民の理解や満足を得られないばかりか、その街の価値を下げ、ひいてはストック効果を下げることになると考える。これらを貨幣的に評価することは現時点では困難であるが、公共事業におけるストック効果を最大限発揮させるためにも景観への配慮は非常に重要である。

このように、プロポーショナルデザインにおいて最も重要な事は、必要な制約条件を満たした上でコストと貨幣換算困難な性能(これは景観だけに限らない)をいかにバランスよく満たす形式を選定するかである。

(3) 橋梁形式・橋脚形式の選定

a) 橋梁形式の選定手法

コストと貨幣換算困難な性能をバランスよく満たす形式を選定するためには、一般的な橋梁形式選定に用いられるコストとその他の性能を得点化して総合的に評価する手法の中で、景観への配慮として、どのような指標に着目して配点するかが重要となる。

この評価項目と配点は、前章で策定した「景観形成において配慮すべき事項」の項目をもとに指標として、設定した。具体的には配慮すべき事項の中から、橋梁形式の選定時に配慮すべき項目(例えば、路線の連続性や、桁下の圧迫感の多少)を抽出する。次に、橋梁形式の選定において決定される構造諸元の中で、それらに影響を与える項目(例えば、橋脚数、桁の材質、桁裏の見方、橋梁形式の統一感等)において評価を実施するという方法である。

この方法をとることで、言語で表現された抽象的な「配慮すべき事項」から具体的な評価指標を設定し、橋

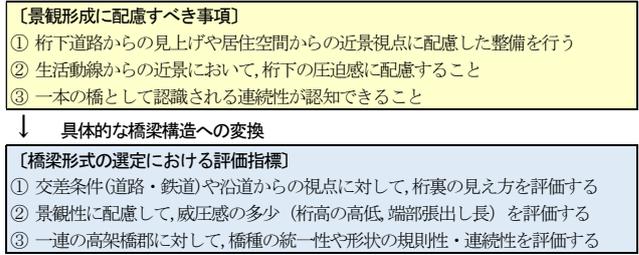


図-3 配慮すべき事項から評価指標への変換例<sup>4)</sup>

梁形式の選定に反映させる事が可能となる。

b) 橋脚形式の選定手法

橋梁形式が選定され、橋脚数や位置が定まった後に橋脚の形式を選定する。橋脚形式の選定においては、形状(T型橋脚、ラーメン橋脚等)、及び柱や梁の部位毎の材質(コンクリート又は、鋼製)を決定する。まずは地盤条件、コントロール条件、施工条件、経済性から、構造的に定まる最適な橋脚形式および形状寸法を選定する。

次に、選定された橋脚形式と形状寸法において景観的な課題を視覚資料(次項で詳述)を用いて検証する。主な着眼点は路線全体の連続性と橋脚による圧迫感の有無である。これらをどこまで重視するかは周辺や桁下空間の利用状況等に依存するが、例えば、桁下周辺に人の往来がある場合は特に圧迫感に留意が必要であり、必要な場合には形式の変更等も視野に、維持管理性やコスト等も踏まえた効果的な対策を検討する。

西伸部(六甲アイランド地区)において、既存の臨港道路の中央分離帯に橋脚を構築する区間はT型橋脚で計画されたが、人の往来や住居の近接があったため、8m程度となる橋脚をスリムに見せ、圧迫感の軽減を図る必要があった。また、6車線幅の約27mの上部工を受けるため、桁下に制約のない箇所ではラーメン式橋脚が標準とされたが、路線全体の橋脚形状の連続性にも配慮が必要であった。これらの問題を解決するため、T型橋脚を柱の中央に2mの間隔を設けたラーメン式橋脚に変更した。

また、圧迫感の大きかった脚高の高いRCラーメン橋脚は、鋼製ラーメン橋脚へ変更した。鋼製ラーメン橋脚への変更にあたっては中央の柱を1本減らす事が可能であり、桁下の有効活用を行いたい神戸市の要望にも合致していた。このように構造の見直しにあたっては景観だけで無

比較案	側面図	評価		評価
		経済性	総合評価	
経済性1位案	<p>4C 連続コンボ 桁 4×39.75 =159m 3C 鋼少数桁 43+54+43 =140m 7C 連続コンボ 桁 7×41.357 =289.5m 3C 鋼細幅箱桁 48.5+60.5 =99m 7C 連続コンボ 桁 7×42.571 =298m 5C 鋼細幅箱桁 68.5+70.5+2×75 +70=359m</p>	経済性 (I/C) 比率: 1.00 橋梁数:6 橋脚数:29 支承数:352	<p>コンセプト① コンセプト② コンセプト③</p>	△
鋼細幅箱桁案	<p>8C 鋼細幅箱桁 4×66+4×60=504m 5C 鋼細幅箱桁 2×64.5+3×68.5=334.5m 8C 鋼細幅箱桁 4×68.5+70.5+2×75+70=564.5m</p>	経済性 (I/C) 比率: 1.04 橋梁数:3 橋脚数:21 支承数:96	<p>コンセプト① コンセプト② コンセプト③</p>	◎

図-4 橋梁形式における比較の例<sup>4)</sup>

橋脚構造形式比較 (PE-2～PE-5橋脚)			
RC張出式(鋼製梁)橋脚	鋼製梁出式橋脚	鋼製ラーメン式橋脚	RCラーメン式(鋼製梁)橋脚
経済性、構造的、施工性により計画した最適案	全構造を鋼製として、形状のスリム化を図った案	左記案に対して、柱に空間を空けて2柱構造とした案	左記案に対して、柱部をRC構造として経済性の向上を図った案
経済性：橋脚工事費の比較（比率）			
1.00	1.18	1.39	1.10（事業者案）

図-5 橋脚形式における比較の例<sup>4)</sup>

く、他のニーズがないかも合わせて検討することで、よりコストに対する説明が容易になる。

#### (4) 視覚資料を用いたプロポーシオン検討

前節で述べた橋梁形式や橋脚形式の検討において、形式の変更に伴う景観上の効果を確認する上で重要な事項が視覚資料である。

まず、用いる視覚資料として橋脚の断面図等の2次元の資料がある。これら資料において求められる事は形状寸法がきちんと把握出来ることである。特に有識者へ意見を聞く場合においては、後述する3次元のCGだけでは具体的な寸法感を把握することができないため、図面を併用することでスケール感を認識しやすくなる。よって掲載する図面等には柱幅や梁の張り出し幅等の寸法の明示が必須である。

次に、3次元の視覚資料を用いて、第3章で述べた視点場からの見え方を確認することになる。本段階においては、子細の部材形状よりも橋梁の全体的なイメージの把握が優先されるため、使用するツールについては比較的遠方の背景まで再現できるものが望ましい。

西伸部においては、Google Earth等の3次元モデルビューアに橋梁の3次元簡易モデルを取り込み、橋梁の見え方を確認した。地形や都市部では個々の建物までモデル化された3次元モデルが閲覧できるGoogle Earthを用いる事で、大まかな景観の評価を手早く実施する事が出来る。また、通常のPCでも比較的軽快に動作し、手軽に閲覧出来ることから、関係者間の認識の共有・確認にも有効であ

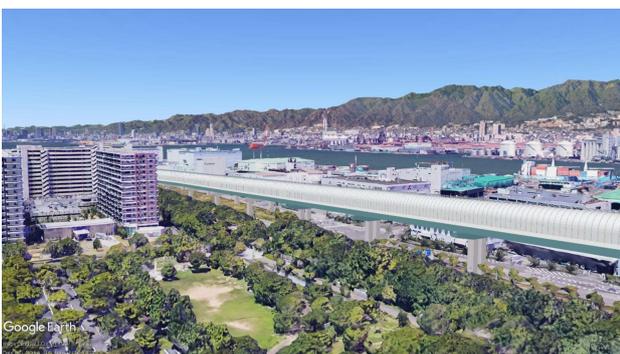


図-6 google Earthによる3次元簡易モデルの例<sup>4)</sup>

る。なお、形式選定の段階で用いることはできなかったが、第5章で述べるVRCGをこの段階から使用するのにも良い。ただし、VRCGで遠景まで再現する場合はパソコンの動作スペックが課題になる可能性があるため注意が必要である。

また、単に視点場からの見え方を見せるのではなく、作成した3Dデータを用いて走行動画にすることで、橋脚が連続して変わっていく様子を的確に短時間で把握できるようになる。

## 5. フォームデザイン

### (1) フォームデザインの考え方

橋梁のプロポーシオンが決定した後はフォームデザインを行う。西伸部においては選定した形式が鋼橋である事に加え、主要視点場が桁下に存在していることもあり、主に下部工についてフォームデザインを検討した。

フォームデザインにおいて重要な事項は、景観整備方針等を受けて、どのような方向性のデザインとするのか、また、いかに共通のデザインコード(デザイン要素)を盛り込めるかである。プロポーシオンデザインにおいて、極力形状をそろえようとしたとしても、コントロール条件等によって完全にそろえることはほぼ不可能である。このため本段階の検討に当たっては、すでにバラツキがでているデザインにおいて、いかに一体性を持たし、景観整備方針に合致する共通のデザインコードを導入できるかが重要である。

### (2) デザインコードの検討

#### a) デザインコードの方向性の設定

ここでは、どのような方向性のデザインとするのか、つまり、景観整備方針からデザインコードをどのように具体化させたかについて述べる。

景観整備方針から具体化させる際の留意点は「景観コンセプト」と「調和の方向性」である。調和の方向性とは、橋梁と環境を結合させる方法の事であり、「消去：橋梁の存在をかくす」、「融和：橋梁と環境をほとんど同じ調子で融合調合させる」、「強調：橋梁の存在を強調

する」の3種があるとされる。<sup>3)</sup>これと以下の景観コンセプトから、橋梁を「何に」、「どのような方法で」調和させるのかを設定し、デザインのヒントとするのである。

西仲部においては、路線全体の景観コンセプトに「「みなと神戸」にふさわしい世界に誇れる景観を創出する道路」を設定しており、ここから調和させる対象として「神戸らしさ」を設定した。また、調和の方向性としては景観整備方針から「融和」の方向とした。

その後、「神戸らしさ」に関する検討、議論をすすめ、神戸を特長付ける印象的な建造物群の特長の1つとして「直線基調の中に曲面を取り入れたデザイン」であると理解し、これを意識して橋脚のフォルム検討を実施した。

### b) デザインコードの導入箇所

次に、定めたデザインコードの方向性に合致するデザインについて、複数の案を出し一つに絞り込んでいく。

まず素形に対して、どの箇所に、どのような処理が必要か問題点の抽出を行う。その後、施工性、構造的性、維持管理性を加味して抽出した箇所に処理の導入が可能かを検討する。西仲部のように鋼部材を多用した形式に曲面処理を導入しようとする場合、部材のどの箇所に曲面処理の導入が可能なのか、また異なる形式や素材の橋脚への展開方法について、事前の検討が肝要である。

デザインコードを導入する箇所が決まれば、その処理に対しての複数のデザイン案を立案し選定していく。

### (3) 視覚資料を用いたフォルム検討

フォルム検討を実施する際は、まず最初にブレインストーミングでデザインコードに沿う案を抽出する事から始める。この際にはSketch Up等の3次元デザインソフトを用いて形状を確認していくことが有効である。これは比較的簡易にモデルが作成でき、3次元的な形状の確認もできるからである。

その後、数案に絞った案について、VRCGと模型を用いて評価選定を実施していく。VRCGの特徴としては背景及び、CIMデータから転換した橋梁モデルを3次元でモデリングしているため、模型では大規模になってしまう橋梁全体を連続的に確認できる事にある。また、背景を含めてモデリングしているため、橋梁の整備に合わせて路下の

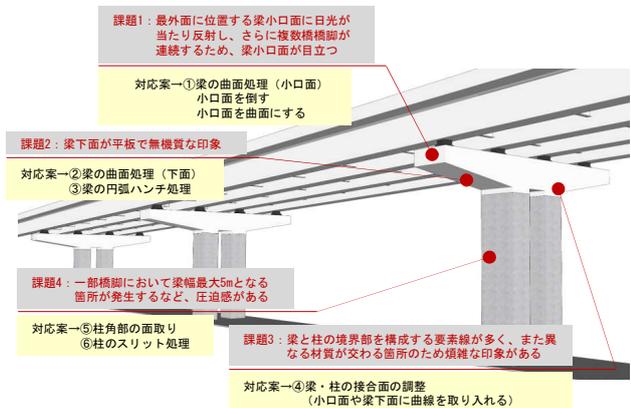


図-7 デザインコードの導入箇所の検討例<sup>4)</sup>

整備を行う場合など、現況に存在しない背景も再現が可能であり、路下からの視点や近景の景観検討を行う場合において、VRCGは非常に有効である。

また、模型は古くから景観検討の手法として用いられ、VRCGを用いるからといって不要になるわけではない。VRCGは画面を通して物体をみるため、モデルは3次元でも表現されるのは2次元上である。これに対して模型は実際の立体物として実在するものを確認できるため、特に正確に寸法感と形状が把握できる点で優れている。

これらデジタル、アナログ2種の視覚資料を用いて、各案のどれが最も設定したデザインコードに合致しているかを評価し選定を行う。

最後に、選定した案に対して、排水管等の附属物を含めた詳細な3次元レンダリングソフト等で、陰影効果を踏まえた実際の見え方確認する。

上記のような流れで複数の視覚資料を用いてフォルムの検討を実施するのであるが、重要な事は3Dモデルのみで学識経験者を含めた関係者の合意形成を図ることは困難である。3Dモデルが不得意とする正確な寸法感や形状の認識や、寸法等の情報明示については従来の図面や模型を用いることでよい良い検討結果を得ることが可能となる。

表-1 検討に用いた視覚資料の特長<sup>4)</sup>

	<p>【簡易CG】 簡易な3Dモデルを再現する すでにある地形モデルを活用することで 手早く検討が可能、主に中、遠景の検討に 適する。</p>
	<p>【3次元デザインソフト】 容易に形状を把握することが可能。ただし 背景との関係や素材の質感の表現は できない。</p>
	<p>【模型】 スチレンボードなどの専用材料を立体に 組み立てて製作 具体的な形状を議論する場合に、寸法感、 形状を正確に把握できる。</p>
	<p>【VRCG】 3次元地図データを用いて仮想空間上に 背景も含めてモデリングを行う。 背景を含めた橋梁の全体系の把握が可能。 実際に存在しない計画段階の背景について も再現が可能。</p>
	<p>【フォトモンタージュ (3次元レンダリングソフト)】 3次元データにレンダリング (陰面処理 などの描写) を行ったものを写真に 合成したものがフォトモンタージュ。 カメラ視点位置、レンズ、画角、光環境 が正確に描写されるため、寸法や素材、 形などが、正確な視点位置からどのよう に見えるかの確認に用いる。</p>

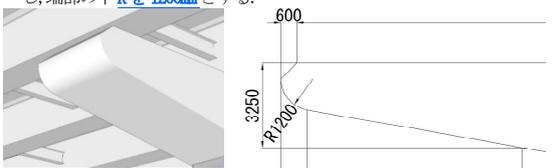
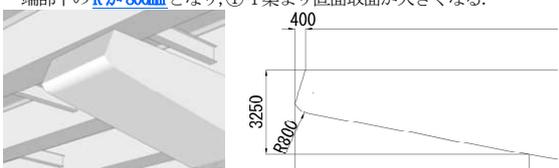
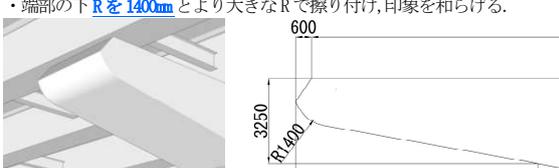
#### (4) フォームデザインの洗練

西伸部(六甲アイランド地区)における景観検討において特徴的な検討を本節でしめす。従来の土木構造物における景観検討であれば、フォーム案が選定された段階で検討は終了であるが、今回の検討にあたっては梁の形状について更なる検討を実施した。

西伸部(六甲アイランド地区)のフォームデザインについては、梁の小口面を傾斜をつけてカットし、さらにその下面にRをつけたデザインを選定した。そこでさらに、Rの大きさについてどの程度のRとするのが良いのか、選定案からさらに検討を行った。これは、今回のデザインが「神戸らしさ」を表現するために、直線的な上部工に対して曲面を複数用いた下部工を合わせる、ある種の「挑戦的なデザイン」としており、上部工と下部工をうまく一体化させるため、より慎重な検討を要したためである。

しかしながら、一般的な橋梁の景観検討においても、このように案の選定で終わるのではなく、そこからデザインをさらに深化させる、解像度を上げるという検討は良いデザインの橋梁とするために非常に重要である。

表-2 フォームデザインにおける洗練の例<sup>4)</sup>

原案	<ul style="list-style-type: none"> <li>小口の傾きを45度として、下から見た時に目立たないように導入</li> <li>Rを導入したことが、一般の方にも分かりやすい形で導入することを意図し、端部の下Rを1200mmとする。</li> </ul> 
洗練の方向性①	<ul style="list-style-type: none"> <li>小口の傾きを浅くして、下から見た時の圧迫感低減に配慮する。</li> <li>端部下のRが800mmとなり、①-1案より直面取面が大きくなる。</li> </ul> 
洗練の方向性②	<p>【選定案】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>小口の傾きは浅くするが、高さを基本案程度として、存在感を低減する。</li> <li>端部下のRを1400mmとより大きなRで擦り付け、印象を和らげる。</li> </ul> 

## 6. まとめ

今回は大阪湾岸道路西伸部(六甲アイランド北～駒栄)の六甲アイランド地区における高架橋の景観検討を例にとり、景観検討の方法と検討の際の留意点等を整理した。西伸部ではこれまで述べたような、CIM等を用いた双方向コミュニケーションにより、学識経験者と事業者の意思疎通が確実・迅速になり、設計の初期段階からより深い

意見交換を実施し、景観性、構造的性、維持管理性、経済性のバランスのとれた橋梁とすることができた。

その意見交換の一部として、学識経験者から助言いただいた、今後景観検討を実施する上で、是非取り組むべき内容を紹介する。

それは、「特異部ではなく、汎用的な箇所をいかに良くデザインできるかが重要である。汎用的な箇所を良くできれば、それが日本全体のデザインをステップアップさせる事ができる」というものである。日本の土木構造物のデザインは、とかく特殊部(例えば西伸部であれば、2つの長大橋)に注力し、他の区間のウエイトが下がる傾向にある。しかしながら前章でも述べたとおり、景観検討は路線全体でなされるものであるべきで、当該路線において最も地元の方々の住環境に密着しているのは高架橋区間である。さらには、日本中で一般的に最も用いられる構造は斜張橋等の長大橋ではなく高架橋である。よって、このような汎用的な区間を美しくデザインする事が、日本の土木構造物のデザインをより良くすることになる。

前章で、今回検討したデザインは「挑戦的なデザイン」としたと述べたが、それは神戸らしさの表現だけではなく、上記のような汎用的な土木構造物のデザインへの挑戦でもある。今後、六甲アイランドだけではなくポートアイランド、和田岬以西、そして長大橋のデザインや路線の色彩が検討される予定であるが、西伸部が神戸にどのような新しい景観をもたらすか楽しみにしていただくとともに、本稿が素晴らしい景観を生み出す助けに少しでもなればよいと考える。

なお、本稿は筆者両名が近畿地方整備局 浪速国道事務所 大阪湾岸道路整備推進室に在籍していた際の所掌にもとづき執筆している。

**謝辞：**大阪湾岸道路西伸部(六甲アイランド北～駒栄)の景観検討にあたり、貴重なご意見を多数いただいた大阪湾岸道路西伸部技術検討委員会の藤野陽三委員長(城西大学 学長)、川崎雅史幹事(京都大学 大学院 教授)をはじめとする幹事・委員の皆様並びに、六甲アイランド地区における景観検討を実施いただいた大日本コンサルタント株式会社の皆様、橋梁設計の観点から景観検討に必要な助言、検討をいただいた株式会社総合技術コンサルタントの皆様へ深い感謝の意を表す。

## 参考文献

- 1) 国土交通省：美しい国づくり政策大綱(平成15年7月)
- 2) 国土交通省：国土交通省所管公共事業における景観検討の基本方針(案)(平成21年4月1日最終改訂)
- 3) 大阪湾岸道路西伸部技術検討委員会：大阪湾岸道路西伸部技術検討委員会中間とりまとめⅡ(令和元年12月)
- 4) 大阪湾岸道路西伸部景観検討小委員会資料を元に筆者で本稿用に修正
- 5) 山本 宏：橋梁美学(森北出版株式会社)

# 魚類に着目した生息場再生のための 適地選定方法に関する検討

秋山 吉寛

国土技術政策総合研究所 沿岸海洋・防災研究部 海洋環境・危機管理研究室

(〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬3-1-1)

沿岸域の海生生物の衰退に対する対策として、生息場間のネットワークを考慮して生息場を再生するため、東京湾の干潟に生息する魚類の生息密度と干潟の周囲の生息場面積との関係を調べた。3魚種の生息密度は、干潟の周囲の生息場面積と有意に正相関した。東京湾で生息場間のネットワークを形成する魚類等の海生生物を再生するために、複数の生息場配置候補地の中から生息場を再生する場所を選定する場合は、候補地の周囲の生息場面積に基づき、各候補地を評価および比較することで、海生生物の再生により貢献する場を抽出できると考えられる。

キーワード 候補地評価、シースケープ、砂浜、干潟、ネットワーク

## 1. はじめに

沿岸域は豊かな生態系サービスを提供してくれる海域であり、この生態系サービスの供給の安定性は豊かな生物多様性によって維持されている。しかし、さまざまな人間活動によって生息環境の改変が起き、生態系サービスは低下してきた。沿岸域の多様な海生生物の衰退に対する対策として生息場を再生する際、生息場面積の増加だけでなく、海生生物が生息場間を移動することによって形成する生息場間のネットワークを考慮したシースケープ（海域の底生環境あるいは水柱環境中で定量化されたパッチのモザイク、空間的勾配、その他の幾何学的様式といった、ヒトが把握可能な沿岸域環境の空間的に不均一な場）のデザインが求められる<sup>1)</sup>。生息場間のネットワークは、繁殖、成長または攪乱回避等のために生息場間の移動を必要とする海生生物にとって重要なシステムである<sup>2)</sup>。ネットワークを形成する生息場の種類は生物種ごとに様々であり、多様な海生生物の生息場の再生には、多様な生息場から成るシースケープへの着目が重要である。著者らにより、干潟の周囲の生息場面積が広いほど、干潟の魚類の出現率は高くなる事が明らかになっている<sup>3)</sup>。しかし、干潟の周囲の生息場面積と干潟の魚類の生息密度との関係は明らかになっていない。各魚種の生息密度を高めることによって、多様な魚種が住む沿岸域を再生できると考えられる。本研究では、東京湾の干潟および砂浜（以下、干潟と呼ぶ）に生息する魚類の分布状況が、生息場間のネットワークと関連して干潟

の周囲の多様な生息場の影響を受けることに着目し、干潟の魚類の生息密度と干潟の周囲の多様な生息場から成るシースケープとの関係を検討する。最後に、生息場間のネットワークを形成する魚類等の海生生物に着目した生息場を再生する適地の選定方法および課題を示す。

## 2. 方法

### (1) 生息密度および生息環境データの収集・整理

稚魚期以降の魚類は能動的に移動し、生涯に利用する生息場の種類は多く、その組み合わせは種ごとに様々である<sup>2)</sup>。そのため、魚類の分布とシースケープの関係を調べる際、種ごとに扱う方が、群集として扱うよりも、



図-1 東京湾の生物生息場 GIS マップ

結果を適切に解釈できると考えられる。そこで、魚種ごとに生息密度と干潟の周囲のシースケープとの関係を調べることにし、以下の方法に従い各魚種の生息密度および生息環境に関するデータの収集および整理を行った。

7か所の干潟（面積：0.35～493 ha）（図-1）における小型地曳網を用いた魚類調査に関する1999年以降発行の文献を収集した。収集した文献の中から、概ね月1回かつ1年間以上実施された魚類調査に関する文献を抽出した。文献ごとに魚種の採集方法が少しずつ異なっていたため、そのままでは各干潟の魚類密度は比較できない状態であった。そこで、各干潟における曳網距離1 kmあたりの魚種別の採集個体数で表される生息密度を求めた。

1つの干潟について複数の文献があった場合は、それぞれで求めた各魚種の採集個体数の平均値を求めた。各文献間で、袖網の長さは4.0～4.5 m、胴網部の目合いは0.8～1.0 mmの間でばらついたが、このばらつきによる魚種の採集個体数への影響は無いものとみなした。

上記の文献で採集記録のあった各魚種が生涯に利用する内湾の生息環境に関する情報を文献から収集した。1文献につき、1生息場あたり1魚種あたり5個体以上採集された場合、その魚種は生息の確認された場の環境を利用するとみなした。内湾における魚種の生息場タイプは基質、塩分、水深に基づき、干潟タイプ、砂浜タイプ、岩礁タイプ、深場タイプの4種類に分類することができる<sup>2)</sup>。文献から得られた生息環境情報に基づき、各魚種の利用する生息場のタイプを決定した。

## (2) 解析

東京湾の生物生息場に関する情報を収集してGISマップ（図-1）を作成した<sup>3)</sup>。このGISマップおよびArcGIS Desktop version 10.7.1を用いて、各干潟の干潮汀線から干潟の外側方向へ水平に一定の距離（ $L$ ）（1, 5, 10, 15, 20, 30 km）だけ離れた点の集合である円と干潟の干潮汀線に囲まれた空間範囲を明らかにした。この空間範囲に含まれる生息場を先述した4種類の生息場タイプに分類し、各生息場タイプごとに面積を求めた。生息場タイプの分類は、具体的には図-1の「干潟」、「浅場\_泥」および「河口」を干潟タイプ、「砂浜」および「浅場\_砂」を砂浜タイプ、「浅場\_岩礁」を岩礁タイプ、「深場\_泥」、「深場\_砂」および「深場\_岩礁」を深場タイプとした。本検討では内湾のシースケープに着目しているため、生息場の面積を求める際、GISマップに無い北緯35度15分以南の生息場の面積は含めなかった。河口の範囲は本検討で扱う河口干潟が含まれるように<sup>4)</sup>の海岸線から陸方向2.6 kmまでの河川域とした。(1)で扱った魚種のうち、生涯に利用する内湾の生息場タイプの情報が十分に得られた魚種について、魚種ごとに利用する生息場タイプの総面積を $L$ ごとに算出した。

干潟における各魚種の生息密度と干潟の周囲の生息場面積との関係は、Kendallの順位相関係数（ $\tau$ -b）を用い

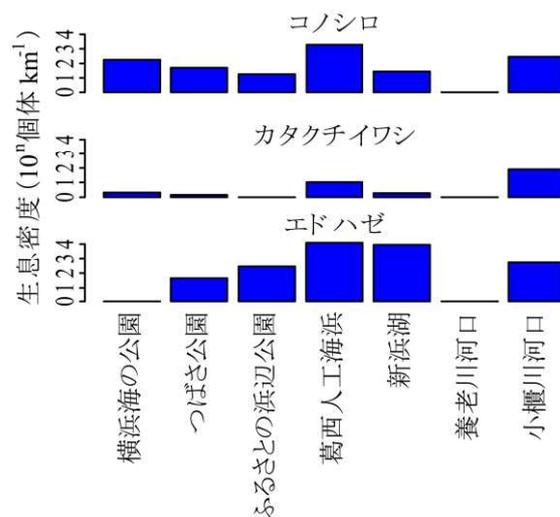


図-2 各干潟における3魚種の生息密度

表-1 各魚種の利用する生息場タイプ (■)

種名	生息場タイプ			
	干潟	砂浜	岩礁	深場
コノシロ	■			
カタクチイワシ	■			
エドハゼ			■	■

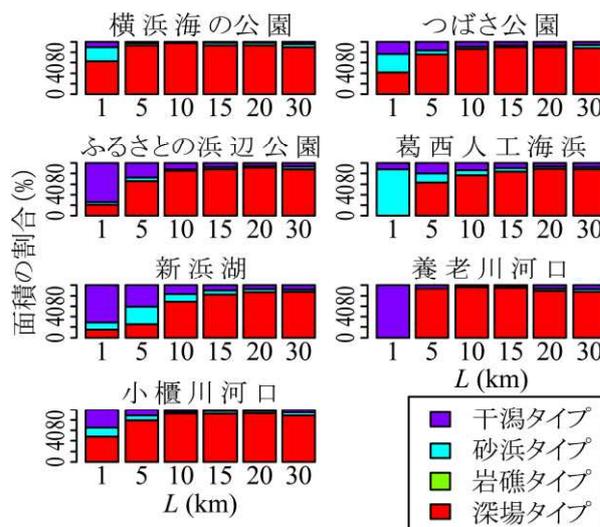


図-3 各干潟の $L$ における空間範囲に含まれる生息場の割合

て調べた。もし、有意な相関関係が確認された場合は、最小二乗法を用いて干潟の周囲の生息場面積（ha）から各魚種の生息密度（ $10^4$ 個体  $\text{km}^{-2}$ ）を推定する回帰直線式を求めた。有意水準は5%とした。統計解析にはR-version 3.6.1を用いた。求めた $\tau$ -bと $L$ との関係を調べた。

## 3. 結果および考察

対象干潟における小型地曳網を用いた魚類調査に関する文献を8報<sup>5)~12)</sup>収集した。これらの文献で採集記録のあった魚種のうち、生涯に利用する内湾の生息場タイプ

の情報が十分に得られた魚種は19魚種であった。本論文ではこれらの魚種のうち、興味深い結果が得られたコノシロ *Konosirus punctatus*, カタクチイワシ *Engraulis japonicus*, エドハゼ *Gymnogobius macrognathos* について報告する。コノシロおよびカタクチイワシは水産生物、エドハゼは絶滅危惧種であり<sup>13)~15)</sup>、このようなヒトの関心を集める魚種は文献が豊富であった。

各魚種の生息密度は干潟間で明らかに異なった (図-2)。また、同一干潟内の魚種間の生息密度も明らかに異なっていた。各魚種の利用する生息場タイプの組合せは魚種ごとに異なり、生息場タイプの種類数は2~4まで変動した (表-1)。

各干潟の各Lにおける空間範囲毎の生息場の種類数の範囲は2~4であり、「深場タイプ」の生息場が優占するケースが多かった (図-3)。しかし、Lが1 kmの時の空間範囲では、「干潟タイプ」や「砂浜タイプ」の優占するケースもあった。

コノシロ、カタクチイワシ、エドハゼの生息密度と各Lにおける空間範囲の生息場面積との関係を調べた結果、有意な正相関が確認された (図-4, 5)。

コノシロの生息密度は、Lが1 kmの時の空間範囲の生息場面積と有意に正相関した (1 km tau-b = 0.81, p = 0.016) (図-5)。干潟の周囲の生息場面積 ( $a_1$ , 単位はha) から生息密度 ( $d$ , 単位は $10^9$ 個体  $\text{km}^{-1}$ ) を推定する以下の回帰式が得られた。

$$d = 0.0019a_1 + 1.2181 \quad (1)$$

決定係数は0.38であった。一方、本種の生息密度とLが5, 10, 15, 20, 30 kmの範囲における生息場面積の間に、有意な相関関係は確認されなかった (5 km tau-b = 0.52, p = 0.13; 10 km tau-b = 0.42, p = 0.23; 15 km tau-b = 0.62, p = 0.072; 20 km tau-b = 0.33, p = 0.37; 30 km tau-b = 0.14, p = 0.76)

カタクチイワシの生息密度は、Lが1 kmの時の空間範囲の生息場面積と有意に正相関し (1 km tau-b = 0.88, p = 0.0098) (図-5), 両者の関係を表す以下の回帰式が得られた。

$$d = 0.0021a_1 - 0.0730 \quad (2)$$

決定係数は0.99であった。一方、本種の生息密度とLが5, 10, 15, 20, 30 kmの範囲における生息場面積の間に、有意な相関関係は確認されなかった (5 km tau-b = 0.59, p = 0.095; 10 km tau-b = 0.49, p = 0.17; 15 km tau-b = 0.59, p = 0.095; 20 km tau-b = 0.29, p = 0.45; 30 km tau-b = 0.098, p = 0.88)

エドハゼの生息密度は、Lが5, 10, 15 kmの時の空間範囲の生息場面積と有意に正相関し (5 km tau-b = 0.68, p = 0.048; 10 km tau-b = 0.78, p = 0.023; 15 km tau-b = 0.88, p = 0.0098) (図-5), 各Lに対して両者の関係を表す以下の回帰式が得られた。

$$L=5 \text{ kmのとき, } d = 0.0019 a_1 + 0.1864 \quad (3)$$

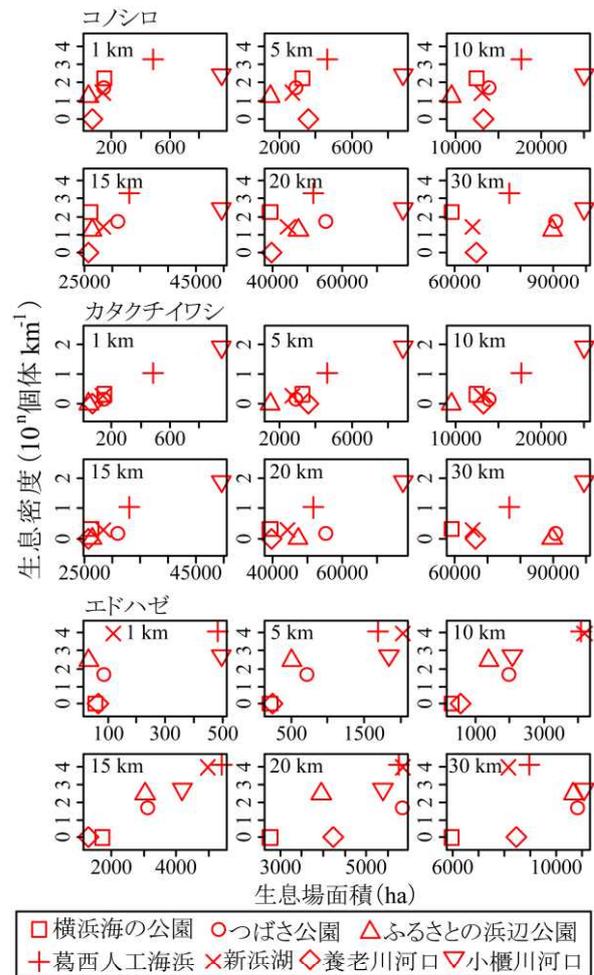


図-4 各魚種における各Lの空間範囲に含まれる生息場面積と魚の出現記録の有無との関係

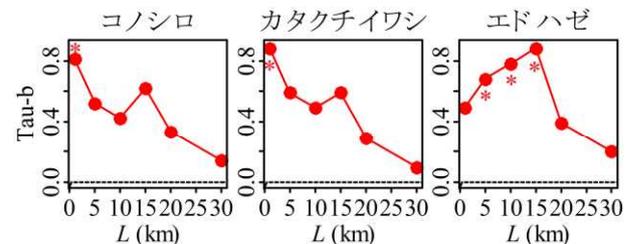


図-5 Lに対する図-4の生息場面積と各魚種の出現記録との相関関係の変化。\*は有意な相関関係を表す

$$L=10 \text{ kmのとき, } d = 0.0010a_1 + 0.0008 \quad (4)$$

$$L=15 \text{ kmのとき, } d = 0.0011a_1 - 1.4467 \quad (5)$$

決定係数はL = 5の時0.77, L = 10の時0.87, L = 15の時0.95であった。一方、本種の生息密度とLが1, 20, 30 kmの範囲における生息場面積の間に、有意な相関関係は確認されなかった (1 km tau-b = 0.49, p = 0.17; 20 km tau-b = 0.39, p = 0.29; 30 km tau-b = 0.20, p = 0.65)。

これらの結果から、コノシロ、カタクチイワシ、エドハゼの生息する干潟を再生し、生息密度を増加させるためには、干潟を再生する候補地からの距離が、コノシロ

とカタクチイワシに関しては1 km, エドハゼに関しては5, 10, 15 kmの空間範囲にある生息場となりうる場所の面積を考慮することが重要と考えられる。

#### 4. 本成果の自然再生事業への活用

本研究では、東京湾の干潟に生息する魚類の分布が、生息場間のネットワークと関連して干潟の周囲の多様な生息場の影響を受けることに着目し、干潟の魚類の生息密度と干潟の周囲の多様な生息場から成るシースケープとの関係を調べた。その結果、魚類の生息密度は各L（コノシロおよびカタクチイワシでは1 km, エドハゼでは5, 10, 15 km）における空間範囲の生息場面積と有意に正相関することが明らかとなった。

この結果に基づき考案した、生息場間のネットワークを形成する生物に着目した生息場を再生する適地の選定方法を示す。自然再生事業において、海生生物の生息場を再生する過程には、目的、計画、施工、管理および評価がある。目的の段階において、再生する生息場での生息を期待する生物を目標として設定すると、計画以降の過程の内容をより具体化できる。この目標とする生物として、生息場間のネットワークを形成し、生息場の周囲のシースケープによって分布が影響を受ける生物を選ぶと、計画の段階において、複数の生息場配置候補地の中から、シースケープに基づき生息地の再生に適した場を抽出できるという利点がある。生息地の再生に適した場を抽出する方法の具体例を以下に示す。ここでは、再生する生息場での生息を期待する生物として、コノシロ、カタクチイワシ、エドハゼを選び、再生する生息場における平均生息密度の目標値を100個体  $\text{km}^{-2}$ 以上と仮定する。これらの魚種ごとに重要と考えられる各候補地からのL（コノシロおよびカタクチイワシでは1 km, エドハゼでは5, 10および15 km）の時の空間範囲における生息場面積（ $a_1$ ）を求める。一方、本検討で求めた回帰式に100個体  $\text{km}^{-2}$ を代入して、再生する生息場の対象魚種の平均生息密度が100個体  $\text{km}^{-2}$ となることが期待される再生する生息場の周囲の生息場面積（ $a_2$ ）を求める（コノシロ： $L=1\text{ km}$ で411.5 ha, カタクチイワシ： $L=1\text{ km}$ で987.1 ha, エドハゼ： $L=5\text{ km}$ で954.5 ha,  $L=10\text{ km}$ で1999.2 ha,  $L=15\text{ km}$ で3133.4 ha）。そして、 $a_1$ と $a_2$ を比較して、 $a_1 \geq a_2$ となることを目安の1つとして、生息密度の目標値を満たすと期待される候補地を評価し、その中でもより $a_1$ の高い候補地をより高く評価する。重要と考えられる各候補地からのLが複数ある場合、どの距離における生息場面積の評価についても平均的に高い方が評価は高いと考えられる。こうした評価に基づき適地を選定する。なお、この適地の選定方法の有効性を表す指標として、生物の生

息密度とLにおける空間範囲の生息場面積の関係の強さを表す決定係数の大きさを活用することができる。

この評価に活用できる生物の種数はまだ少ないため、今後増やす必要がある。3魚種のネットワークは実データに基づいているものの、あくまで魚類とシースケープとの相関関係から推定されたものである。よって、今後はこれらの魚類のネットワークを検証する必要がある。

**謝辞：**国土交通省関東地方整備局横浜港湾空港技術調査事務所には、貴重なデータをご提供いただいた。記して御礼を申し上げます。

#### 参考文献

- 1) 秋山吉寛, 黒岩寛, 岡田知也: 内湾生物の多様性および持続性に着目した生息場の空間配置の検討, 国土技術政策総合研究所資料, No.999,15p.,2018.
- 2) 秋山吉寛, 井芹絵里奈, 岡田知也: 沿岸域の環境デザインに向けた魚類の類型, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol.71, No.2, pp.1\_1495- 1\_1500,2015.
- 3) 秋山吉寛, 内藤了二, 吉村香菜美, 岡田知也: 沿岸域における海生生物の分布とシースケープとの関係, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol.76, No.2, 2020. (印刷中)
- 4) 水産庁: 昭和 56 年度漁場改良復旧基礎調査報告書, 水産庁, 1982.
- 5) 加納光樹, 小池哲, 河野博: 東京湾内湾の干潟域の魚類相とその多様性, 魚類学雑誌, Vol.47, No.2, pp.115- 129, 2000.
- 6) 桑原悠宇, 土田奈々, 本山崇, 河野博, 加納光樹, 島田裕至, 三森亮介: 葛西人工渚西浜 (東京湾湾奥部) の魚類相, *La mer*, Vol.41, pp.28- 36, 2003.
- 7) 山根武士, 岸田宗範, 原口泉, 阿部礼, 大藤三矢子, 河野博, 加納光樹: 東京湾内湾の人工海浜 2 地点 (葛西臨海公園と八景島海の公園) の仔稚魚相, *La mer*, Vol.42, pp.35- 42, 2003.
- 8) 河野博, 横尾俊博, 茂木正人, 加納光樹: 東京湾岸に位置する人工潟湖 (新浜湖) の魚類相, 日本生物地理学会会報, Vol.63, pp.133- 142, 2008.
- 9) 茂木正人, 安田健吾, 山本桂子, 横尾俊博, 河野博, 諸星一信, 鈴木信昭, 松坂省一, 有路隆一: 東京湾京浜島の魚類相の季節変化と長期生物モニタリングの必要性, *La mer*, Vol.46, pp.121- 134, 2009.
- 10) Hermosilla, J. J., Tamura, Y., Moteki, M. and Kohno, H.: Distribution and community structure of fish in Obitsu-gawa River Estuary of inner Tokyo Bay, central Japan, *AACL Int. J. Bioflux Soc.*, Vol.5, No.4, pp.197-222, 2012.
- 11) 村井俊太, 村瀬敦宣, 河野博, 竹山佳奈, 中瀬浩太, 岩上貴弘: 東京湾の湾奥に再生された干潟と人工海浜 (大森ふるさとの浜辺公園) の魚類相, *La mer*, Vol.54, pp.11- 27, 2016.
- 12) 梅田新也, 河野博: 新滑走路の建設によって京浜島の魚類相は変化しているのか?—2014 年京浜島でのサンプリングから—, 東京海洋大学研究報告, Vol.13, pp.36- 44, 2017.
- 13) 環境省: 環境省レッドリスト 2020, <http://www.env.go.jp/press/107905.html>.
- 14) 東京都: レッドデータブック東京 2013, <https://tokyo-rdb.jp/>
- 15) 千葉県: 千葉県レッドデータブック動物編 (2019 年改訂版), [http://www.bdcchiba.jp/endangered/endang\\_index.html](http://www.bdcchiba.jp/endangered/endang_index.html)

# 中部地整初！！ スマートフォンを使った 路面性状データの取得とその活用事例

山本裕彦<sup>1</sup>・桜井亮<sup>2</sup>

<sup>1, 2</sup> 中部地方整備局 北勢国道事務所 上野維持出張所 (〒518-0842 三重県伊賀市上野桑町 2055)

日々の道路巡回では、数多くのポットホール補修対応に追われている。欠損部補修箇所を、劣化速度が速い箇所から優先して補修することが出来れば、ライフサイクルコストの観点から言えば効率的と考えられる。道路巡回においてスマートフォンを活用して路面性状データを取得し、リアルタイムで舗装の劣化状況や劣化速度が見える化され、視覚的に判断出来るようになった効果事例等を報告する。

キーワード：欠損部補修、ポットホール、ライフサイクルコスト (LCC)

## 1. はじめに

### (1) 名阪国道の概要

一般国道 25 号名阪国道 (以降名阪国道) は、三重県亀山市から奈良県天理市までを結ぶ延長 73.2km (内北勢国道事務所管理 56.2km) の自動車専用道路である (図-1)。高速道路の東名阪自動車道、西名阪自動車道と直結し、名古屋～大阪 (中部圏～関西圏) を結ぶ物流の大動脈であると同時に、29 のインターチェンジがあり地域の生活道路としての機能を持ち合わせている。日交通量は 5 万台を越え、大型車混入率は約 40% 以上と 2 台に 1 台が大型車であるため、舗装は痛みやすく日々ポットホールの対

応に追われている。また、国土軸である名神高速道路及び新名神高速道路の代替え機能を有する道路であり、高速道路の東名阪自動車道、西名阪自動車道に挟まれる無料区間の道路のため、設計速度は 60 or 80km/h であるにもかかわらず、旅行速度は 80km/h 以上である。

全国の自動車専用道路において 10km あたりの死亡事故発生件数を調べたものでは、名阪国道は過去 25 年間でワースト 1 を 20 回も記録する、事故が多発する道路となっており、日々の道路維持管理には危険が伴っている。

### (2) 名阪国道の舗装実態

北勢国道事務所が管理している路線は、名阪国道の本線 (上下線 4 車線) 及び側道である。先に挙げた名阪国道の特徴からか、道路異常発見数は舗装・路面が毎日平均約 5 件あがっている。そのため道路巡回は毎日昼夜の 2 回実施している。昼間巡回は月曜日～土曜日が本線及び側道巡回、日曜日が本線及び各インターチェンジの巡回である。夜間巡回は本線のみである。ここで、舗装・路面の異常の内訳を整理すると、ポットホールが最も多く年間約 900 件発生している (図-2)。

大型車交通量と舗装の損傷の関係性では、名阪国道のように大型車が多いほど早期に損傷が進行する



図-1 北勢国道管理区間

H31d 路面異常の内訳

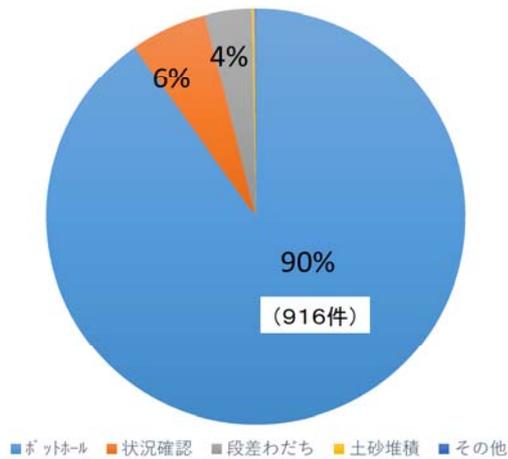


図-2 舗装・路面異常の内訳

ことが分かっている。ポットホールについては、表層のひび割れ等の損傷が進行し雨水等が浸み込み、そこを大型車が通行することにより荷重がかかることが発生要因のひとつであるといわれている。

舗装修繕を効率的に行うには、舗装の劣化を早期に検出し、ポットホールの発生を未然に防ぐ、もしくは大規模な損傷が発生する前に修繕することが重要である。路面の性状調査が日々の道路パトロール中に実施できればLCCの観点から言えば効率的ではないだろうか。

今回「道路パトロール支援サービス<sup>1)</sup>」及びそのオプションの「動画活用ツール」を試験活用し、日々の欠損部補修の計画、今後の舗装修繕箇所の計画立案等に役立てることが出来るのではと考えた。

## 2. 活用ツールの概要

### (1) 道路パトロール支援サービス

前提として、名阪国道では舗装点検要領<sup>2)</sup>（平成28年度10月国道交通省道路局）に基づき、3年に1回の定期点検を実施している。路面性状調査により、ひび割れ率、わだち掘れ量、平坦性が測定される。舗装の管理基準としては、平坦性から変換したIRI（International Roughness Index：国際ラフネス指標）（式(1)<sup>3)</sup>）及びひび割れ率、わだち掘れ量の3指標が基本とされており、3指標と合わせて複合指標であるMCI（Maintenance Control Index：維持管理指数）やその他の指標を用いることも出来る。これらの指標や日々のパトロール、道路利用者からの要望などを元に舗装修繕の発注計画をしたり、維持工事での欠損部補修の予定を立てたりしている。

$$IRI = 1.33 \sigma + 0.24 \quad (1)$$

$\sigma$  : 平坦性 (mm)

今回活用した「道路パトロール支援サービス」は、日々の道路巡回で使用するパトロール車にスマートフォンを固定し、道路巡回をしながら路面の情報を収集するものである。スマートフォンの加速度センサーが走行時の振動を検知し、そのデータから路面性状を簡易推定することができる。この技術による指標は路面劣化評価、DII（Deterioration Information Index：劣化情報指数）としている。舗装点検要領の健全性診断の区分に基づき、舗装の損傷レベルを3段階に区分している。DII<3が区分Ⅰ（健全）、 $3 \leq DII < 9$ が区分Ⅱ（表層機能保持段階）、 $DII > 9$ が区分Ⅲ（修繕段階）である（図-3）。DIIの信頼度としては5回程度の走行データがあれば妥当であるとされている。参考に、路面性状調査によるMCIとDIIを、舗装の診断区分による比較をしたところ、一致箇所は89.6%であった。MCIはひび割れ率の値に大きく影響を受けているため、MCIでは悪くない結果であっても道路利用者の行政相談箇所とリンクしないことがある（式(2a)～(2e)<sup>4)</sup>）。本サービスは、振動から路面の劣化具合を推定しているため、道路利用者の感覚に近く、行政相談箇所と近いという結果になる。

$$MCI = 10 - 1.48C^{0.3} - 0.29D^{0.7} - 0.47\sigma^{0.2} \quad (2a)$$

$$MCI_0 = 10 - 1.51C^{0.3} - 0.3D^{0.7} \quad (2b)$$

$$MCI_1 = 10 - 2.23C^{0.3} \quad (2c)$$

$$MCI_2 = 10 - 0.54D^{0.7} \quad (2d)$$

$C$  : ひび割れ率 (%)

$D$  : わだち掘れ量の平均 (mm)

$\sigma$  : 平坦性 (mm)

平坦性が見測定の場合は式(2b)、式(2c)および式(2d)の算出結果のうち最小値をもってMCIの値とする。

またスマートフォンの位置情報（GPS）と、巡回路線のキロポストをキャリブレーションすることで、インターネットのゼンリンの地図上に路線評価がプロットされる。路線上に劣化度に応じて色分けされて表示されるので、現在の管理路線全体の劣化

アスファルトの舗装の診断区分 出展：国土交通省「舗装点検要領」（平成28年10月）		道路パトロール支援サービス					【参考】
劣化度	DII値	ひび割れ率 (高麗率)	IRI	ひび割れ率	わだち掘れ量	MCI	
1	~0.9	~1	~2.9	~18	~18	5~	
2	1~2.9	~1	~2.9	~18	~18	5~	
3	3~4.9	1~1.5	3~7.9	20~39	20~39	3~4.9	
4	5~6.9	1~1.5	3~7.9	20~39	20~39	3~4.9	
5	7~8.9	1~1.5	3~7.9	20~39	20~39	3~4.9	
6	9~10.9	1.5~	8~	40~	40~	~2.9	
7	11~12.9	1.5~	8~	40~	40~	~2.9	
8	13~	1.5~	8~	40~	40~	~2.9	

図-3 劣化度の指標

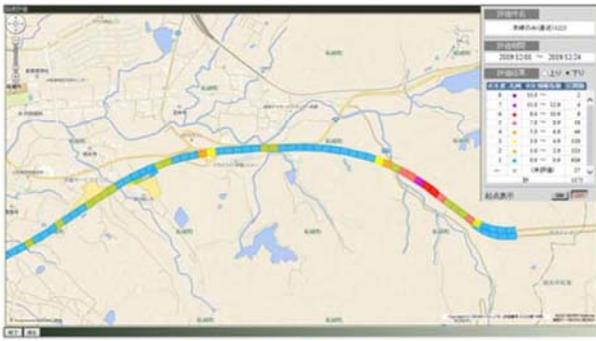


図-4 路線評価出力例

状況を一目でイメージすることが出来る(図-4)。即日結果を確認することが可能であるため、異常箇所は、翌日以降巡回の重点ポイントとして抽出することが出来、応急処理後の巡回時の走行データで改善を確認することも出来る。

路線評価出力結果やCSVファイルの出力される項目は以下のとおりである。

・路線評価

- ①評価件名：走行車線，追越車線，側道
- ②評価期間
- ③評価結果：劣化度別凡例，劣化度別区間数，上り線下り線の切り替え
- ④概要情報：劣化度，劣化情報指数，評価回数，最新日付，区間開始キロポスト，区間終了キロポスト
- ・CSV
- ①路線名
- ②最新評価日時(上り)，(下り)
- ③劣化情報指数(上り)，(下り)
- ④劣化度(上り)，(下り)
- ⑤評価パトロール数(上り)，(下り)
- ⑥区間長(m)
- ⑦区間開始，区間終了(k p)
- ⑧IRI

他にも，スマートフォンを活用していることにより，異常時の発見や災害時にスマートフォンで撮影し，写真をクラウドへ送信，事務所及び出張所と共有することも可能である(図-5)。

費用としては，従来の調査として路面性状測定車

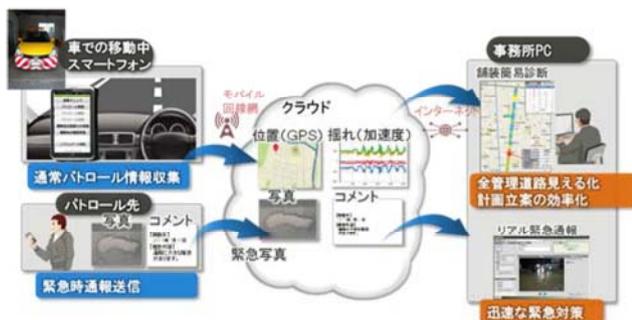


図-5 サービスのイメージ

表-1 費用比較

■ 3年間のコスト例 管理路線100Km(名阪国道)		路面データ計測		パトロール支援機能	費用(3年分)
		計測対象・距離	計測スパン		
路面性状測定車による調査		①管理道路 100Km×上下線	3年に1回	なし	約1,000万円~
道ハト	 スマホ1台 運用の場合	①管理道路 100Km×上下線 + ②複数車線の管理	毎日	・評価の見える化 ・即日評価可能	約380万円

によるものと比較している。路面性状調査は3~5年に1度の頻度であり，また調査にあたっては通常500km(複数事務所)の延長を2~3ヶ月かけて調査し，費用は5万円~/kmが相場である。名阪国道のみの調査であれば高速道路に直結する自動車専用道路のため3年に1度の調査となり，1回あたり1,000万円以上となる。対して，「道路パトロール支援サービス」は1年間約120万円，3年間の場合約380万円となり約60%コスト削減出来る(表-1)。また，3年に1度の調査のため直近の路面性状がつかめなかったり，高い頻度で測定出来なかったりする問題があった(図-6)。対して，毎日データを収集しているため路面性状データは最新のものを見ることが出来，発注計画や欠損部補修計画を練ることが出来るメリットがある。

(2) 動画活用ツール

次に，「動画活用ツール」について紹介する。これはパトロール車に搭載したドライブレコーダーの映像データをパソコンに取り込むことで，「道路パトロール支援サービス」の路線評価と連動させることが出来る(図-7)。これにより，劣化度が高いと出た箇所の路面状況を，現地へ行かずパソコンでの映像で確認することが出来，業務の効率化に繋がる。また，名阪国道のように自動車専用道路で，旅行速度が速い路線では，降車しての現地確認や写真撮影には危険が伴うため，静止画のキャプチャする



図-6 MCI から進行が進んだ事例

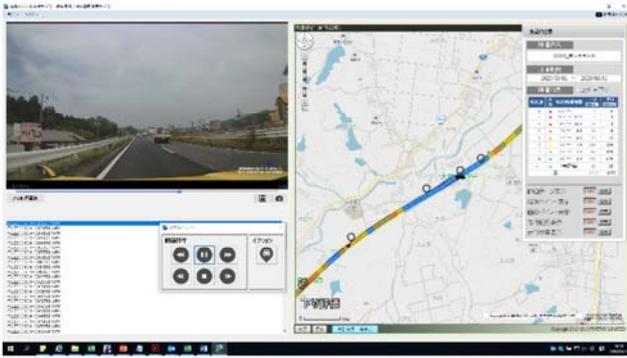


図-7 動画活用ツール出力例



図-9 動画活用ツール活用例

ことが出来るこのツールを利用するメリットは大きい。

### 3. 名阪国道での取り組み

#### (1) 取り組み事例

名阪国道における、「道路パトロール支援サービス」及び「動画活用ツール」の2つのツールの活用事例を報告する。名阪国道では、ポットホールが多発しており、欠損部補修が追いついていない状況である。日々のパトロール時の常温合材による補修も、本線上での作業は非常に危険のため十分転圧することは出来ていない。また、交通量も多いことから補修してもすぐに合材が飛んでしまい、欠損部補修する頃には継ぎ接ぎ状態で、走行性の悪化が目立っていた。従前の補修の手順は、日々の巡回日誌の報告事象や道路利用者からの要望を参考に補修箇所を決め、加熱合材補修、切削オーバーレイ等の補修方法や施工時期、優先順位は監督職員及び維持業者の采配によることがほとんどであった。

今回、2つのツールを活用することで、管理路線全体の現在の劣化状態が、色分け画像や動画により視覚的に判断出来るようになった。このため、補修箇所の選定は主観で判断することはなくなり、DIIの値により優先順位を決定出来るようになった。

舗装修繕工事の施工箇所を発注担当課と打ち合わせする際にも、3年前の路面性状調査だけではなく、本ツールの劣化度も合わせて確認し、行政相談が多い区間を選択するなど活用した。現場を把握仕

切れていない担当者や着任して間もない係長とも管理路線のイメージを共有することが出来た(図-8)。他にも、路肩の除草、法面の樹木伐採の計画や、夜間の照明灯点検、標識の反射確認にも活用することが出来た(図-9)。

#### (2) 試行

「道路パトロール支援サービス」はGPSと連動しているが、トンネルのようにGPSが届かないもしくはずれが大きい箇所は、サービスとして路線評価出力は適用されない。しかし、パトロール車の走行速度からトンネル内の大まかな位置は算出されると考えた。今回、名阪国道で試行的にトンネル区間における路線評価出力を行い、その妥当性を検証した。

路線評価データは、トンネル内も振動データ、動画データ共に取得出来ている。課題の位置情報は、トンネルの入口直前と出口直後のGPSデータにおける時刻と速度をベースとして考えた。トンネル内を一定の速度で走行していると仮定して、トンネル内の評価を割り振り出力することが出来た。評価の妥当性について、ドライブレコーダーの映像で比較すると大幅な不一致は見られなかったため、評価可能であることが検証出来た(図-10)。GPSの届かない範囲においても、一部手作業が必要となるが、対応可能であるといえた。

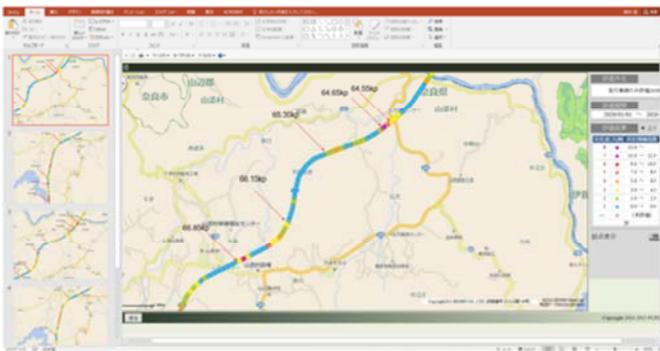


図-8 発注課との共有活用例



図-10 トンネル内評価の例

#### 4. まとめ、課題

##### (1) まとめ

従前は監督職員や維持業者の采配によって決定していた欠損部補修箇所の優先順位が、「道路パトロール支援サービス」及び「動画活用ツール」を活用したことで、現在の劣化状態が着色や動画・画像により視覚的に判断出来るようになった。また、道路利用者からの行政相談時にもパソコンから直近の路面状況を見ながら話すことが出来るようになった。舗装修繕計画に本サービスを活用することで、最新のデータを反映し、工事発注予定箇所の見直しをすることが出来た。コスト面においても路面性状測定車による調査と比較すると、約60%縮減出来たといえる。

本サービスは路面性状調査結果と比較しても約90%一致しており、目視点検と組み合わせることで、今後は舗装点検ツールとしての活用にも期待が持てる。

##### (2) 課題

出力された地図画像を比較することで、変化が著しい箇所が把握出来、異常箇所の抽出も可能となる。劣化度が高い地点や劣化が著しい地点を抽出することでポットホールの予兆検知に繋がるか検討した。

表-2はDIIの値が翌月以降悪化している具合に応じて着色をしている。また翌月以降のポットホール発生件数を区間毎に入力している。劣化度が悪化している区間にはやはり翌月以降にポットホールは発生していることは判明した。しかし、あまり変化が見られない区間においても、ポットホールが発生しているものも見受けられた。結果として翌月以降の劣化度の悪化具合とポットホールの発生の明確な因果関係はつかめなかった。

「動画活用ツール」において現在AIによるひび

表-2 ポットホール予兆検知

北勢国道 評価出力結果 走行期間：2019/10/01～2020/03/31																			
区間 (km)	区間番号 K P	R2.02			R2.03			R2.02			R2.03			R2.02			R2.03		
		DII	DII	DII	DII	DII	DII	DII	DII	DII	DII	DII	DII	DII	DII	DII	DII	DII	
50.67900	67900	1.6	3.6	0.6	1.6	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
46.79750	79750	1.6	1.0	0.6	1.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
50.68200	68200	1.6	0.6	0.6	1.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
50.68950	68950	7.0	9.0	4.6	7.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
50.68100	68100	9.6	12.0	6.6	9.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
50.68150	68150	4.0	3.6	4.0	4.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
50.68250	68250	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
50.68250	68300	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
50.68300	68350	2.0	3.6	4.6	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
50.68350	68400	5.0	6.6	3.6	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
50.68400	68450	2.6	2.0	1.6	2.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
50.68450	68500	2.6	4.6	2.0	2.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
50.68500	68550	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
50.68550	68600	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
50.68600	68650	1.0	0.0	0.6	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
50.68650	68700	6.6	4.6	4.6	6.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
50.68700	68750	7.6	7.6	4.6	7.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
50.68750	68800	1.6	2.6	0.6	1.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
50.68850	68850	6.6	4.6	4.6	6.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
50.68850	68900	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
50.68900	68950	4.0	6.0	2.6	4.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
50.68950	681000	2.6	5.0	6.6	2.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
13.681000	681002	2.0	6.0	0.0	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
50.68400	68490	12.6	13.6	6.6	12.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
50.68450	68410	4.0	9.0	6.6	4.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
50.68410	684150	7.6	13.0	9.4	7.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
50.684150	684200	1.0	1.6	2.6	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	

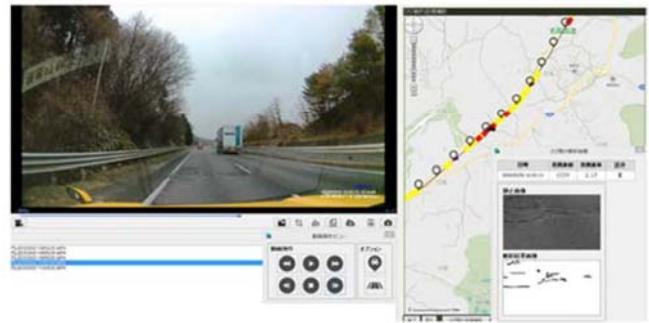


図-11 ひび割れ検知結果の表示例



図-12 ひび割れ解析の仕組み

割れ解析を試行しているところである(図-11)。ポットホールの予兆検知はDIIの値の進行だけでは結びつけられなかったが、ひび割れ(ひび割れ率)の解析精度が上がれば、因果関係が見えてくるかもしれない(図-12)。また、日常の道路巡回での傾向としてポットホールの発生件数は天候が雨の時に多く発生している傾向にあるので、時間当たり雨量との関係性も加味していきたい。補修履歴から使用材料、施工方法も確認して改善出来るように検討していきたい。

#### 5. おわりに

本報告におけるツールの活用は、日々の道路巡回が路面性状の把握に繋げることが出来たといえるものである。試行ではあったが、GPSが途切れるトンネル内においても評価の出力が概ね出来、今後の日常点検の向上に繋がるといえる。現在はドライブレコーダーを活用している「動画活用ツール」のひび割れ解析技術と平行して、区画線の剥離状況の把握も合わせて出来ないか試行し始めているところである。引き続き名阪国道の道路巡回で有効と思われる新技術を活用して舗装の予防保全に取り組むとともに、今後は課題であるひび割れの解析精度の向上、

ポットホールの予測検知，区画線の診断など継続して検討を進めていきたい。

#### 参考文献

- 1)株式会社富士通交通・道路データサービス NETIS 登録番号：QS-170023-VR
- 2)国土交通省 道路局 国道・防災課：舗装点検要領,2017
- 3)舗装性能評価法-必須および主要な性能指標編-（平成25年版）公益社団法人 日本道路協会
- 4)舗装設計施工指針（平成18年版）社団法人 日本道路協会

# 関門航路(南東水道)における埋没メカニズムについて - 効率的な航路整備・維持管理方法の提案 -

納戸 陽大<sup>1</sup>・栗畑 竜志<sup>2</sup>・石橋 悟朗<sup>1</sup>

<sup>1</sup>九州地方整備局 関門航路事務所 海洋環境・防災課 (〒802-0001 福岡県北九州市小倉北区浅野3-7-38)

<sup>2</sup>九州地方整備局 関門航路事務所 工務課 (〒802-0001 福岡県北九州市小倉北区浅野3-7-38)

国の開発保全航路に指定されている関門航路の一部である南東水道は、全長約11km、航路幅700mの航路で、国内外の物流・人流輸送の大動脈となっている。本検討は、長大かつ幅広い航路における複雑なシルテーション埋没現象を解明し、従来の自然外力要因の埋没予測に加えて、新たに人為的影響を考慮した埋没予測手法を構築し、実現象に即した埋没予測を可能とした。そして、現在の供用水深-12mを維持管理すると共に、計画水深-14mまで効率かつ計画的に施設整備していくための施策を提案したものである。

キーワード 埋没メカニズム, シルテーション埋没予測手法, 航路開発と水深維持管理

## 1. はじめに (検討の背景)

周防灘の北西部に位置する南東水道は、関門海峡と繋がる関門航路の一部であり(図-1 参照)、直営船であるドラグサクシオン浚渫兼油回収船「海翔丸」による浚渫事業が継続的に実施されてきた。全長約11km、全幅700mの航路は2019年現在において水深 D.L.-12mで暫定供用されている。今後は、水深 D.L.-12mを維持管理しながら、計画水深 D.L.-14mへの整備・開発を進めていくことが求められている。

整備事業を効果的に推進していくためには、航路への土砂流入による埋没メカニズムを解明し、将来埋没量を実務上必要な精度で予測し、今後の効果的な水深維持管理と施設整備(増深化)計画を作成する必要がある。長大かつ幅広い南東水道は埋没による水深変化予測が難しく、事後対応では整備計画の見直しや最適化が困難であった。本検討は、予防保全的な埋没対策と効果的な整備事業の推進に寄与するために行ったものである。

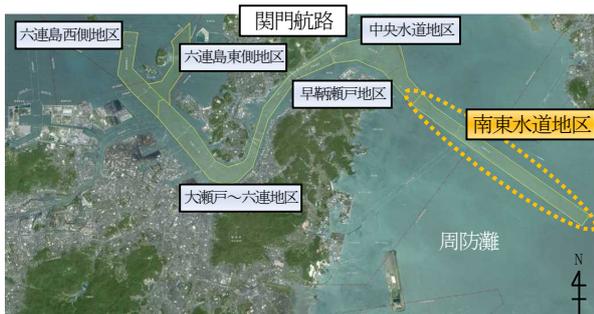


図-1 関門航路と南東水道の位置関係

## 2. 南東水道の埋没現象の検討

### (1) 航路周辺海域の底質分布と埋没土砂流入のイメージ

現地を表層採泥で得られた南東水道航路内と周辺海域の底質の特徴および浮泥移動の現地観測や数値計算から把握できた埋没土砂移動のイメージを図-2に示す。航路内には高含水比のシルト粘土分が堆積しており、浮泥流入によるシルテーション埋没現象が生じている。周辺海域の底質は航路北西側海域では砂泥質であり、下げ潮～干潮時の強い流れで巻き上げられた北西海域の浮泥が航路内に流入しているものと考えられる(2)で後述)。

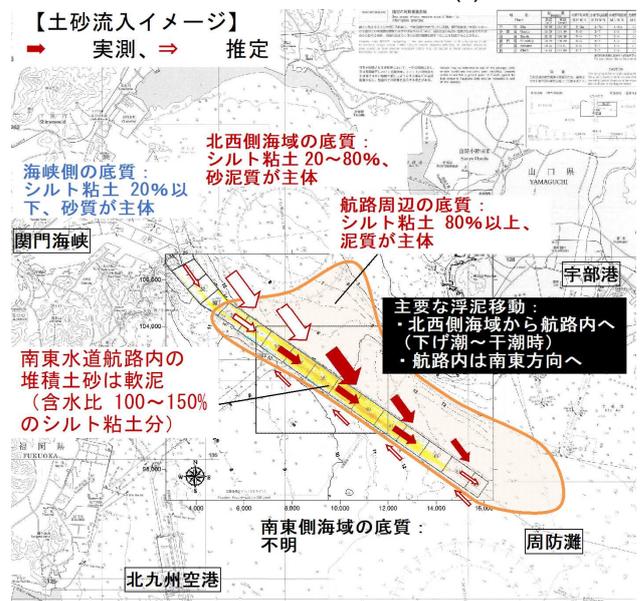


図-2 南東水道・周辺の底質分布と埋没土砂移動のイメージ

(2) 航路縦断—横断方向の埋没特性と要因

a) 航路内の代表的な埋没分布

過去23年間の深淺測量データを解析して得られた南東水道の平均的な埋没量分布を図-3に示す。また、管理ブロック（縦断方向）・区画（横断方向）別の平均的な年間埋没速度の分布を図-4に示す。航路縦断方向に着目すると、南東水道においては中央付近のブロックNo. 39～40で最も埋没量が多い傾向があることがわかる。また、航路横断方向に着目すると、航路北側と航路中央南側の区画の埋没量が多く、航路中央北側と南側の区画の埋没量が少ない特徴があることがわかる。

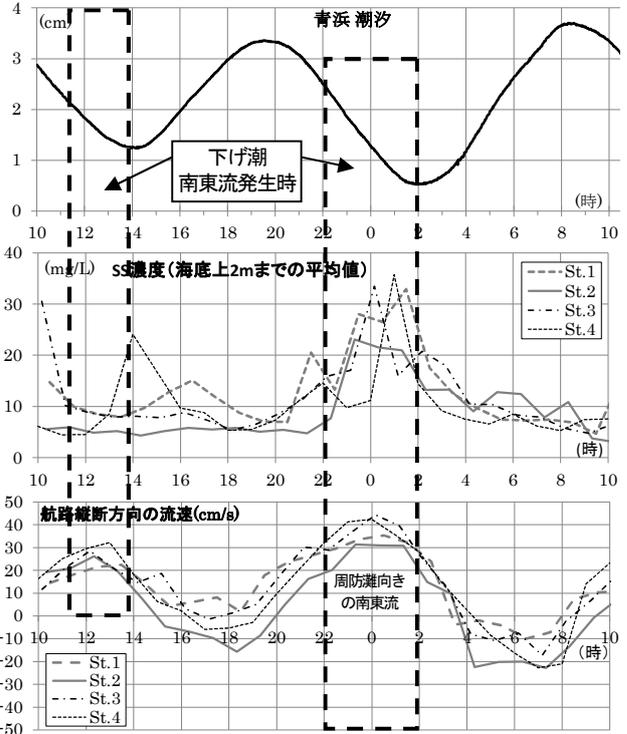
b) 航路縦断方向の埋没特性

図-5はブロックNo.39にて実施された浮泥輸送の現地観測結果であり、上段が潮汐、中段が海底付近のSS濃度、下段が航路縦断方向の流速時間変化である。干潮前の南東流発生時に濁りが最も高まること、航路内底層の浮泥輸送の収支は海峡側から東向きに輸送が卓越している事が読み取れる。この浮泥輸送傾向と図-1と図-2で前述した航路周辺海域の底質分布特性を総合判断すると、下げ潮から干潮時にかけての強い潮流で巻き上げられた北西海域からのシルト粘土分の浮泥流入によって航路縦断方向の埋没分布が生じていると考えられた。

c) 航路横断方向の埋没特性

次に、航路横断方向において埋没量の多い区画は船舶航行が少ない傾向が認められたため、両者の相関関係を分析した。図-6は喫水8m以上の大型船の月間通過隻数（AISデータ解析結果）である。図-4の年間埋没速度分

布と比較すると、船舶航行の多い航路中央北側区画と航路南側区画は埋没量が少ないことが分かる。一方、灯浮標があって船舶航行が非常に少ない航路中央南側区画の埋没量が多い傾向が明確に認められる。すなわち、南東水道内の横断方向の埋没パターンに航行船舶が強い影響を与えている可能性が高いことが確認できた。



※調査地点 (St.1～4) 配置は図-3を参照のこと  
 図-5 南東水道 (No.39) における浮泥輸送の現地観測結果

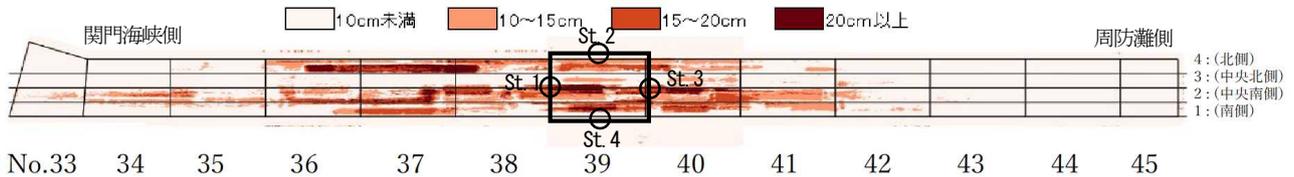


図-3 平均的な年間埋没速度分布

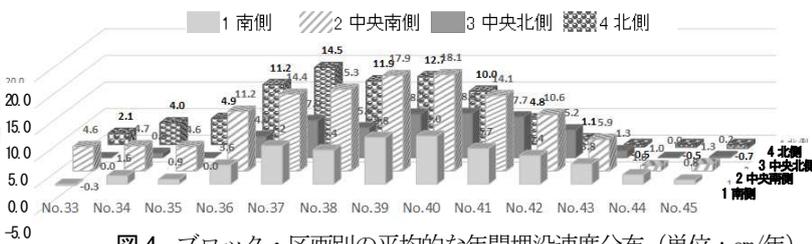


図-4 ブロック・区画別の平均的な年間埋没速度分布 (単位: cm/年)

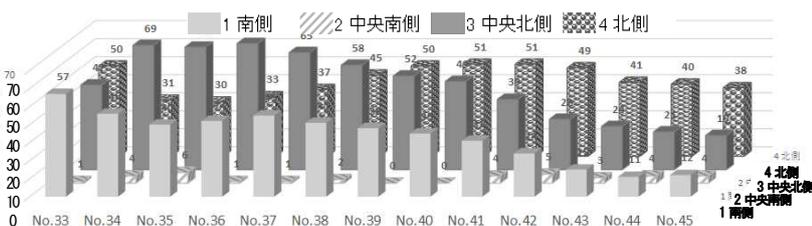


図-6 ブロック・区画別の喫水8m以上の大型船の航行船舶数 (単位: 隻/月)

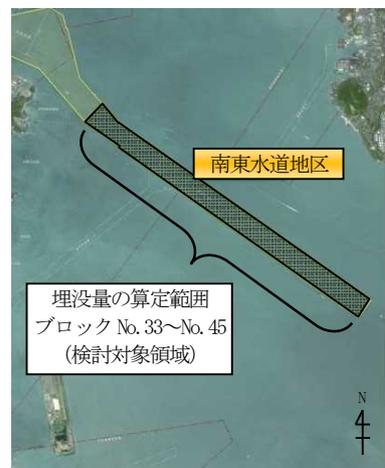


図-7 埋没特性の解析範囲 (図-3～図-6)

#### d) 浚渫に伴う底泥の移動特性

南東水道地区における水深変化の1例として1999年～2001年の水深差分を図-8に示す。図中には「海翔丸」による浚渫範囲を明記している。浚渫域のごく近傍における水深変化に着目すると、図-3で前述した長期的な年平均埋没量と比較して、局所的に顕著な堆積が生じる場合があることがわかった。

浚渫作業と浚渫域周辺における土砂堆積の関係を確認するために、「海翔丸」による浚渫作業中に海底土砂の巻き上げ・移動状況の現地観測を実施した。図-9は濁りの観測結果の一例であるが、浚渫時には海底付近において高濃度の濁りが発生し、時間の経過とともに周辺へ移動している様子が捉えられていた。すなわち、「海翔丸」による浚渫作業に伴って底泥の移動と再堆積が生じているものと考えられた。

次に、近年の浚渫前後の水深変化について、深浅測量データを解析し、浚渫土量と近傍への土砂移動量の関係を整理した。両土量の相関結果を図-10に示す。浚渫時の近傍への土砂移動量は浚渫土砂総量の約33%に相当し、深浅測量データからも浚渫時に浚渫域から周辺域へ航路内土砂移動（再堆積）が生じていることが確認できた。

#### (3) 南東水道における3つの土砂移動

(2)の解析結果から、南東水道の深浅測量データの水深差分解析で得られる「見掛けの水深変化（平均埋没量）」は、式(1)に示す3つの自然・人為的要因による埋没・侵食現象の相互作用の結果として生じているものと考えられた。

$$\begin{aligned} \text{「見掛けの埋没量」} &= \\ & \text{「自然埋没量」} + \text{「航行船舶による侵食量」} \\ & + \text{「浚渫時の土砂移動量」} \end{aligned} \quad (1)$$

そこで、第3章以降では、航路の水深維持管理上重要な埋没量として、「実質埋没量」を式(2)のように定義して検討を進めるものとした。すなわち、式(1)に示した3つの土量のうち、「浚渫時の土砂移動量」は航路内で閉じた現象であり、航路内外での土砂収支を考える上では無視できるものと考えた。

$$\begin{aligned} \text{「実質埋没量」} &= \text{「自然埋没量」} \\ & + \text{「航行船舶による侵食量」} \end{aligned} \quad (2)$$

### 3. 新たな埋没予測手法の開発と維持管理上重要な実質埋没土量の推定

#### (1) 潮流等自然要因の埋没予測モデルの構築

シルテーション現象による埋没予測、すなわち、地形変化数値モデルは、下関港湾空港技術調査事務所が開発した海底付近の高濃度浮泥の流動を考慮した多層レベルモデル<sup>12)</sup>をもとに、南東水道の埋没土砂移動に大きな影響を与えている密度流を考慮できるように改良して使用

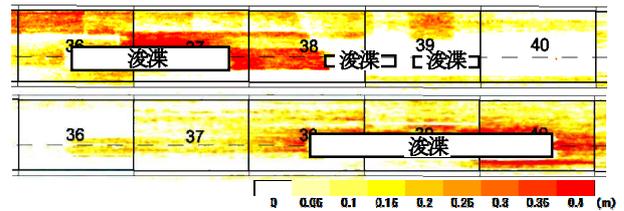


図-8 水深変化図（上：1999～2000年、下：2000～2001年）

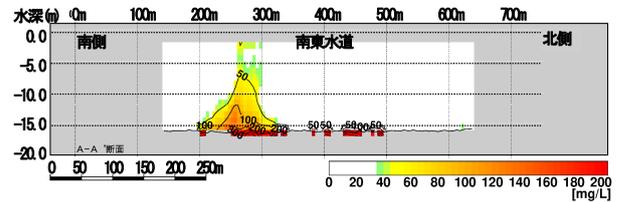


図-9 南東水道における浚渫時の濁りの観測結果

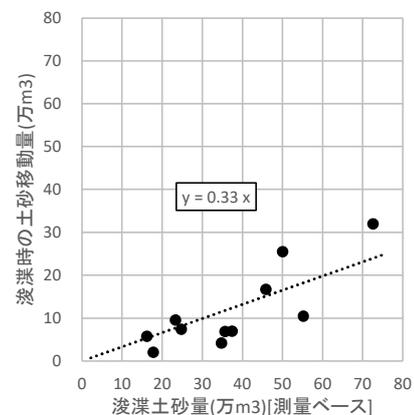


図-10 浚渫土量と近傍への土砂移動量の関係

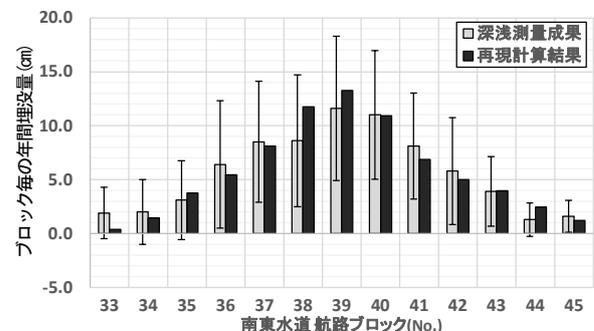


図-11 長期平均的な航路埋没量の再現計算結果

した。地形変化の外力となる流況は、潮汐と海水密度を境界条件として算定した。土砂移動及び地形変化は、流況及び底質のシルト粘土含有率を入力条件として「海底からの土砂の巻き上げ」「潮流による浮泥の移動（移流・拡散）」及び「航路への沈降・堆積」の過程を考慮して計算を実施した。

南東水道におけるブロック別の平均埋没量の計算結果を年間換算したものを図-11に示す。南東水道に適合するように改良した埋没予測モデルを用いることで、潮流等の自然外力で移動して航路へ堆積する細粒土砂による長期間の平均的な埋没量（航路縦断分布）を良好に再現することができた。

## (2) 船舶航行時の土砂移動モデルの構築

航行船舶による土砂移動実態を把握するため、南東水道において複数の船舶通過後の土砂巻き上げ量を取得する目的の現地調査を実施した。そして、中国地方整備局で構築<sup>3)</sup>された航行船舶による土砂移動モデルに適用し、南東水道で適用できるようにモデルの最適化を図った。南東水道における船舶航行時の土砂巻き上げ量の再現計算結果を図-12に示す。各検証ケースにおいて、船舶通過時の底泥巻き上げ量を概ね表現できるようになった。

航行船舶による巻き上げ量の再現性が確認できたことにより、南東水道における航行船舶隻数と土砂移動モデルの巻き上げ量計算結果の線形重ね合わせにより、航行船舶による年間の侵食量を推定することが可能となった。更に、当モデルを活用することで、将来の航行船舶条件の変化や航路整備に伴う水深変化を与条件とした実質埋没量の予測・評価が可能となった。

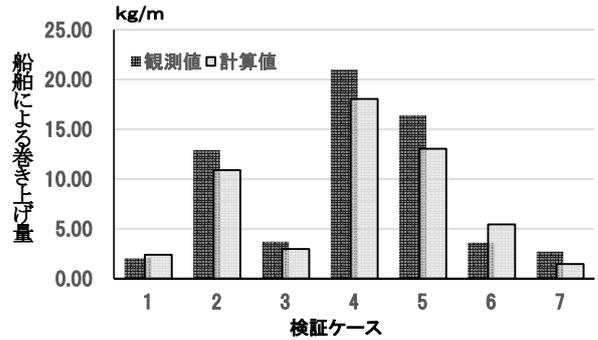


図-12 航行船舶による土砂の巻き上げ量の再現計算結果

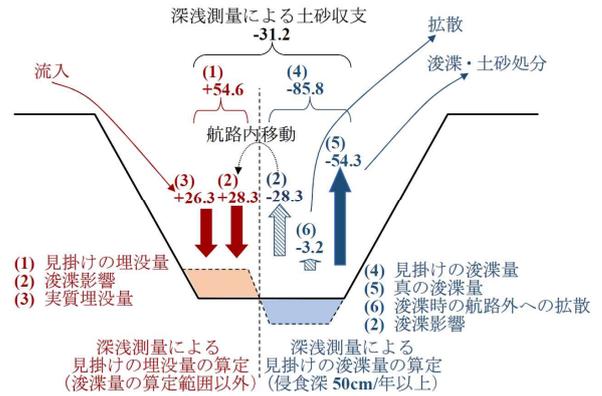


図-13 南東水道の土砂收支イメージ (現況条件)

## (3) 維持管理・整備計画に必要な実質埋没土量の推定

深淺測量による見かけの埋没量・侵食量から、維持管理上浚渫が必要な指標として「実質埋没土量」の推定を行った。現況条件での長期平均的な土砂收支イメージを図-13に示す。まず、長期の深淺測量データから得られる「見掛けの埋没量」+54.6万 $m^3$ /年のうち、「実質埋没土量」は+26.3万 $m^3$ /年である。両者の差分の±28.3万 $m^3$ /年は浚渫時の航路内土砂移動量であり、図-10の結果から「見掛けの浚渫量」の約33%に相当すると想定した。また、「見掛けの埋没量」+54.6万 $m^3$ /年と「見掛けの浚渫量」-85.8万 $m^3$ /年の差分、すなわち土砂収支量-31.2万 $m^3$ /年が平均して増深できている土量に相当する。なお、海翔丸による「真の浚渫土量」は-54.3万 $m^3$ /年である。

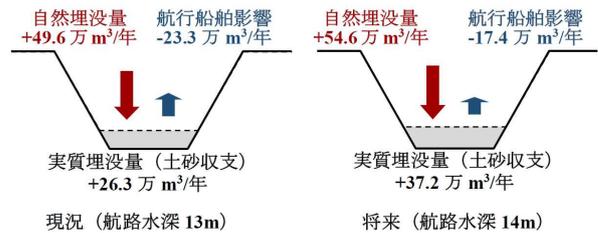


図-14 現況と将来条件の実質埋没量

※ 航行船舶影響は、モデルによる推定値で不確実性がある

## (4) 実用的な埋没予測手法の開発

(3)の実質埋没量と(1),(2)の2つの数値計算モデルを組み合わせることで、自然要因と人為的要因の相互作用を考慮した長大航路の縦断—横断方向の埋没予測が可能となった。図-14は本検討成果で得られた現況(航路水深13m化)及び将来(航路水深14m化)条件による南東水道全体の実質埋没量の算定結果である。ここで、航行船舶の喫水や隻数は、現況と将来で同一と仮定している。

現況の平均水深に対し、計画水深14mまで増深した将来条件下においては、維持管理すべき実質埋没量が372万 $m^3$ /年に増加する結果となった。これは、増深によって潮流等の自然埋没量が増加すること、船舶のクリアランス(船底から海底までの距離)が大きくなることによって航行船舶の侵食効果が弱まるためである。なお、将来的に供用水深がD.L.-14mとなって航行船舶の隻数や喫水が増加すれば、航行船舶による堆積土砂の侵食量が増加し、実質埋没量が減らせるものと期待できる。

以上のように、本検討で構築した手法を用いることで各将来条件下における埋没量の定量予測が可能となった。

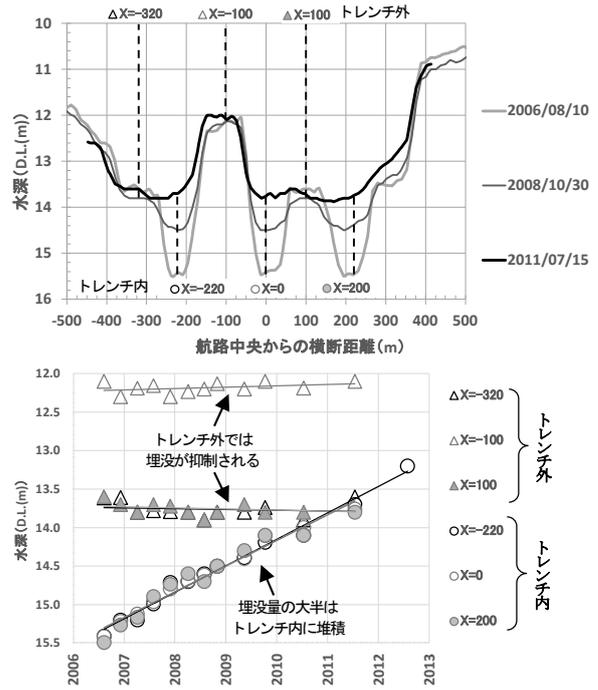


図-15 トレンチ施工前後の水深変化

#### 4. 水深維持管理と増深に向けた検討

##### (1) 既設トレンチ効果の検証

南東水道では維持（増深）浚渫に合わせて周辺より水深の深い「トレンチ（溝）」を試掘し、トレンチによる埋没抑制効果を検証している。南東水道内で最も埋没量が多いブロックNo.39におけるトレンチ施工後の水深変化の推移を図-15に示すが、トレンチ周辺の埋没（浅化）の程度をみると、航路横断3箇所の特レンチ施工後は埋没が抑制されていることが分かる。すなわち、埋没対策としてのトレンチ工法は、初期の浚渫土量が増えるというデメリットはあるものの、埋没を抑制したい重要箇所等の近傍に的確な規模で施工できれば、当該箇所の施設延命化が図れる有効な施策と考えられる。

##### (2) 水深維持管理と増深に関する検討

###### a) 検討の概要と与条件

前述した一連の検討成果を活用し、航路水深、航行船舶及び浚渫土量・時期を与条件として管理区間毎の将来の水深変化を予測した。さらに、水深予測結果を用いて現時点の供用水深-12mと水深-13mの維持管理方法、計画水深-14mの開発必要期間等を検討した。検討条件の概要を表-1に示す。

###### b) 航路開発過程における水深-12m,-13m維持管理方法

2019年の保全測量による最新の航路内水深を初期値とし、現時点の浚渫時の制約を厳守して水深-12mと-13mを維持していく場合の施策を検討した。ここで、浚渫時の制約とは、図-16に示すとおり、施設延長の長さで現行の浚渫能力等から3つの浚渫管理区間が存在する点、各区間で浚渫終了年から次の浚渫開始年まで7年以上の期間を空ける点である。

2つの浚渫の仕方によるブロック・区画別の将来水深の予測結果を図-17に示す。水深-12mに対しては現時点の浚渫スケジュールと浚渫土量で問題なく維持できること、水深-13mに対しては南東水道の東西2つの管理区間では概ね維持可能であることが分かった。一方、中央の管理区間2については、2034年の次のサイクルの浚渫開始年までに浅所が発生するブロックが存在すると予測さ

表-1 水深維持管理方法の主な検討と条件

項目	設定値
初期水深	2018～2019年の水深（深淺測量成果）
埋没量	26.3万m <sup>3</sup> （現況、水深13m化） 37.2万m <sup>3</sup> （将来、水深14m化） （上記の水深間は線形補間して利用）
浚渫量	33.0万m <sup>3</sup> （1～7年目：陸上排送方式） 54.0万m <sup>3</sup> （8年目以降：直接投入方式）
目標水深	DL-14.3m（南東水道内の平均水深）

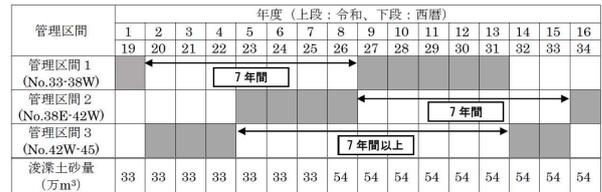


図-16 南東水道における管理区間毎の浚渫スケジュール

れた。その対策として、エリア内を一様に浚渫するのではなく、浅所懸念箇所を重点的に浚渫することで浅所発生を未然に予防できることを示した。

なお、南東水道においては、現行の海翔丸の浚渫能力等を勘案して3つの管理区間の浚渫スケジュールが決められており（図-16参照）、例えば、相対的に埋没量の多い管理区間2の次期浚渫着手は2023年度、管理区間1は2027年度で確定している。したがって、現行浚渫サイクルでの浚渫により、次のサイクルまでに浅所を発生させないことが重要課題となり、本検討成果を踏まえた海翔丸の浚渫能力の最適配分、浚渫能力の向上、および次回浚渫スケジュール見直しのタイミングにおける工程の全体最適化が必要と考えられた。

###### c) 計画水深-14mの開発必要期間

2019年時点の水深を初期値とし、将来想定される平均的な年間埋没土量と浚渫土量の収支から計画水深-14mまでの開発必要期間を概略検討した。図-18に示すとおり、直営測量船「海燕」の測深値が真値（現時点の南東水道の平均水深がDL-14.1m）である場合、航路全域があと0.2mほど深くなるまで、すなわち、平均水深がDL-14.3mに達するのに約18年必要という結果を得た。

2034年水深(m)	管理区間1						管理区間2						管理区間3			
区域No.	No.33	No.34	No.35	No.36	No.37	No.38W	No.38E	No.39	No.40	No.41	No.42W	No.42E	No.43	No.44	No.45	
4 北側	14.32	14.30	14.29	14.15	14.09	14.15	13.17	13.21	13.39	13.65	13.83	14.35	14.36	14.35	14.35	
3 中央北側	14.53	14.38	14.42	14.33	14.27	14.31	13.64	13.54	13.51	13.44	13.51	14.31	14.34	14.34	14.34	
2 中央南側	14.25	14.83	14.64	14.17	14.12	14.08	12.90	12.78	12.74	12.93	13.08	14.27	14.29	14.33	14.33	
1 南側	14.39	14.37	14.41	14.38	14.30	14.32	13.60	13.50	13.46	13.52	13.50	14.32	14.32	14.33	14.33	

浚渫エリアを一様に浚渫した場合

2034年水深(m)	管理区間1						管理区間2						管理区間3			
区域No.	No.33	No.34	No.35	No.36	No.37	No.38W	No.38E	No.39	No.40	No.41	No.42W	No.42E	No.43	No.44	No.45	
4 北側	14.32	14.30	14.29	14.15	14.09	14.15	13.10	13.15	13.35	13.61	13.78	14.35	14.36	14.35	14.35	
3 中央北側	14.53	14.38	14.42	14.33	14.27	14.31	13.63	13.42	13.41	13.38	13.46	14.31	14.34	14.34	14.34	
2 中央南側	14.25	14.83	14.64	14.17	14.12	14.08	13.27	13.16	13.13	13.30	13.46	14.27	14.29	14.33	14.33	
1 南側	14.39	14.37	14.41	14.38	14.30	14.32	13.54	13.36	13.19	13.26	13.21	14.32	14.32	14.33	14.33	

堆積量が多いエリアを重点的に浚渫した場合

図-17 2つの浚渫パターンによる水深予測結果（2034年）

## 5. おわりに（成果と今後の課題）

### (1) 主要な成果（南東水道の埋没対策への提言）

本検討によって、全長約 11km という国内でも非常に長大な南東水道航路の軟泥土砂によるシルテーション埋没現象の実態が明らかになってきた。特に、従来は自然要因の埋没現象のみを扱って埋没予測や対策効果を検討する港湾が殆どであったが、航行船舶や浚渫作業時の土砂移動という人為的な影響を加味することで、実現象に即した埋没予測が可能となった。

前述したとおり、南東水道は、施設延長の長さと同様の海翔丸の浚渫能力等を勘案して3つの管理区間を設定して浚渫スケジュールが決められている。そして、現在の供用水深 D.L.-12m を維持しながら、全域の水深-13m への展開、最終的には計画水深-14m まで効果的に開発整備を進めていくことが求められている。

本検討で得られた実質埋没量および現時点における海翔丸の浚渫可能土量やスケジュール等を勘案すると、まず、現在の供用水深 D.L.-12m は今の事業計画にて十分に維持可能であることが分かった。次に、水深 D.L.-13m に対しては、埋没量の多い南東水道中央付近の管理区間にて浅所発生に注意が必要で、当該エリアの水深状況を注意深く継続監視していくことが重要である。なお、ブロック No.38E~41 については、浅所懸念箇所を重点的に深掘り浚渫することで浅所発生を未然に予防できることも分かった。最後に、埋没土量と浚渫土量の収支で試算すると、2019年時点の南東水道の平均水深 D.L.-14.1m に対してあと 0.2m ほど深くなる、すなわち、平均水深が D.L.-14.3m に達するのに最短で約 18 年必要との結果を得た。

### (2)（施設維持管理と整備計画を深化するための）課題

今後も保全測量による水深把握や底質調査による堆積土砂性状の把握を継続実施し、基礎データを蓄積していくことが基本となる。更に、以下の追加調査・検討を実施することで、埋没予測精度が向上し、水域施設の維持管理と開発整備の関連計画を深化させることに繋がるものと考えられる。

- 土砂収支に係る各現象のうち、「自然埋没量」や船舶通過時の航路外への「土砂流出量」などは定量的把握が十分ではない。流れや濁りの時空間変

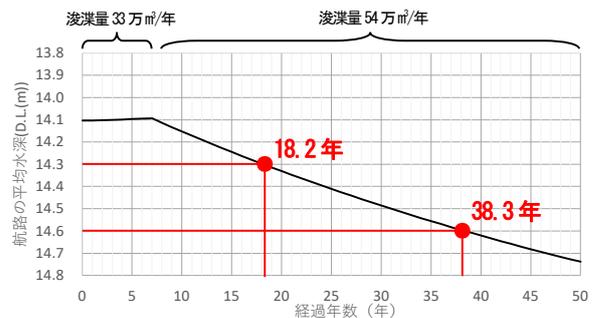


図-18 平均水深の長期予測結果

化に着目した現地調査や室内実験等を実施し、推定土量の精緻化を図る。

- 「航行船舶による底泥の侵食量」は厳密には底質性状や水深で変化すると考えられる。本検討で実施したブロックNo.37と底質や水深が異なる場所において「航行船舶による侵食量」を把握するための濁り等の現地調査を実施し、構築した数値モデルの汎用性を高める。
- 各種土量や解析手法の高精度化を図った上で、将来の船舶航行状況（喫水や隻数の変化）や海翔丸浚渫能力・土捨て可能量の変化を踏まえ、南東水道の埋没予測と航路整備・維持管理計画を適宜更新する。

謝辞： 関門航路埋没対策検討会（座長：九州大学大学院橋本典明教授，委員：九州大学大学院 山城賢准教授，海上・港湾・航空技術研究所 中村聡志上席研究官，中川康之領域長，九州産業大学 横田雅紀准教授）において助言を頂いた。ここに記し、感謝の意を表す。

### 参考文献

- 1) 鶴谷広一，村上和男，入江功，笹嶋博，糸井正夫: Fluid mud を考慮した三次元シルテーション予測モデルについて，海岸工学論文集，第 41 巻，pp.308-312, 1994.
- 2) 国土交通省 九州地方整備局 下関港湾空港技術調査事務所: シルテーションに関する埋没予測計算のための利用マニュアル, 2016.
- 3) 国土交通省 中国地方整備局 広島港湾空港技術調査事務所 注：管内航路・泊地埋没対策等検討業務, 2017.

# 除雪機械格納庫の有効利用に関する 社会実験について

道路・高規格整備主査 高橋 善則

山形県最上総合支庁建設部道路計画課（〒996-002新庄市金沢字大道上2034）

社会インフラにおいては、維持管理費のコスト削減やネーミングライツ等の歳入を増やす取り組みが求められている現状である。既存のインフラ施設に生じる遊休スペースがある中で、新たな需要を見つけることが出来れば、住民サービスの向上につながり、更には施設の価値を高めることが可能となる。本取り組みでは、追加のコストをかけずに新たな既存施設の用途を探るために、社会実験による需要調査を行ったものである。

キーワード インフラ活用、遊休スペース、社会実験

## 1. はじめに

山形県の除雪体制は、約600台の除雪機械を配置しているが、そのうち約9割が県保有機械となっている。この除雪機械を保管するための格納庫を整備しているが、除雪シーズン中は除雪請負業者へ県保有機械を貸与することから、この間格納庫内は空の状態となる。また、屋外スペースは、除雪機械が転回するために広大に整備されているが、機械の出し入れ時以外に利用されないことから、格納庫には時期に応じて遊休スペースが生じている現状である。（図-1, 2, 3）

本稿では、遊休スペースの活用手法について取り組んだ内容について報告する。

## 2. 社会実験の概要

施設の有効利用に関する手法について、関係課や民間企業との意見交換を重ね、官民連携した社会実験として、遊休スペースに対する需要調査を行うこととした。調査の内容は、利用目的別に区分けされた遊休スペースに対し、民間企業を公募し利用に応じた管理を委託して行うものとした。追加コストをかけないことから、委託料が生じない契約とし、契約内容に責任分担等を示した。

## 3. 対象施設

社会実験を行う施設は、東北自動車道山形中央インターチェンジに近い西田車両基地（山形市西崎地内）に於いて実施した。山形駅から2km圏内であり、住宅街や農地が隣接する立地である。（敷地面積約3,100㎡、建物面積約1,300㎡）（図-4）

格納庫の状況については、図-2～4のとおりである。



図-4 施設位置図



貸出前（4月～11月）

図-1 除雪機械の格納状況



貸出後（12月～3月）

図-2 冬期間の空き状況（屋内）



図-3 夏期間の空き状況（屋外）

#### 4. 事業の内容

社会実験による需要調査を行うにあたり、民間企業、施設利用者との事業分担を図-5のようにして実施した。委託者は、施設の利用環境を整備し、利用に応じた利用料を徴収し、定められた施設の貸付料を県に納付する仕組みとした。



図-5 事業分担イメージ

#### 5. 需要調査の内容

西田車両基地を夏期や冬期中に利用目的別に区分けして、公募によって各々の管理者を選定した。（図-6）

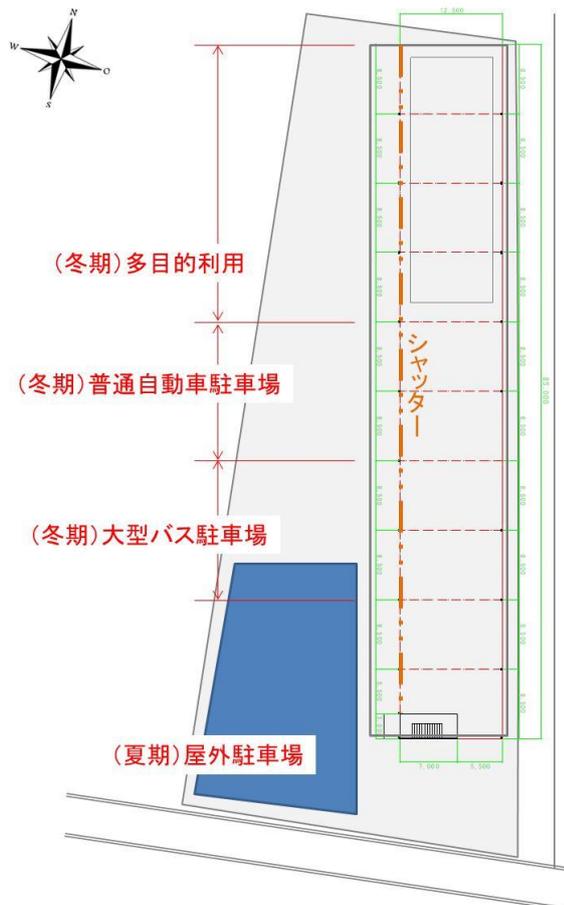


図-6 施設内の区割り状況

##### (1) 屋外駐車場（夏期）R1.8～R1.10

屋外の転回スペースにおいては、夏期の普通自動車駐車場として需要調査を実施した。委託先は、タイムズ24（株）とし、1台24時間利用で普通自動車400円、キャンピングカー1000円の利用料を徴収する提案を受け、県には利用料の6割の貸付料を納付する契約内容とした。

施設管理は、タイムズBの予約サイト（図-7）を通して行った。

##### (2) 屋内大型バス駐車場（冬期）R1.12～R2.3

格納庫内の南側2室分は、冬期間の大型バス駐車場としての需要調査を実施した。委託先は、大型バス専用駐車場の予約サイトを運営する大和リース（株）とし、1台24時間利用で700円の利用料を徴収する提案を受け、県にはバス1台分の駐車面積分の貸付料として240円を納付する契約内容とした。



図-7 タイムズのB



図-8 バスパークナビ

##### (3) 屋内普通自動車駐車場（冬期）R1.12～R2.3

格納庫内の中央2室分は、冬期間の普通自動車又はキャンピングカー駐車場とし需要調査を実施した。委託先は、駐車場予約サイトを運営するタイムズ24（株）とし、夏期の契約内容と同様に実施した。

##### (4) 屋内多目的利用（冬期）R1.12～R2.3

格納庫内の北側4室分は、多目的利用の公募に対し、地元の建設業者（株）矢萩土建より冬期間のスケートボードコースとして運営・管理を行う提案を受け、利用料1名につき500円、県には占有する面積分として1時間の利用あたり90円の貸付料を納付する契約内容とした。スケートボードコースは、毎週火・木（18:00～21:00）・土（12:00～18:00）の営業を実施した。予約は専用Webサイトで行い、現地にて現金を徴収する管理手法とした。

## 6. 需要調査の結果

夏期及び冬期の需要調査の結果を以下に報告する。

### (1) 夏期の屋外駐車場としての需要

R1. 8～10の期間中、9台の利用実績があり利用料として3,600円を徴収し、県への貸付料として1,160円が納付された。特に山形市大花火大会時は、会場まで近いということから、県内外より5台の利用があった。近隣に民間の駐車場が少ないことから、平時でも少なからず駐車場としての需要を確認することができた。

### (2) 冬期の屋内大型バス駐車場としての需要

R1. 12～R2. 3の期間中、大型バスの利用は無かったが、福島県の企業にて民間の除雪業務で使用する除雪車2台を格納するため、15日間の利用実績があった。利用料として、21,000円を徴収し、県への貸付料として7,200円が納付された。大型バスの需要が無いという現状と、大型特殊車両の格納庫としての需要があることが確認できた。



図-9 駐車場利用状況

### (3) 冬期の屋内普通自動車駐車場としての需要

期間中、キャンピングカー6台の利用実績があり、利用料6,000円を徴収し、県への貸付料として3,600円が納付された。利用者は全て県外の方であり、旅行者のキャンピングカーの駐車場として需要があることが確認できた。この結果は、委託者と日本RV協会が業務提携を結び、広く利用者へPRできた影響も考えられる。

表-2 スケートボードコースの利用実績

利用月	利用者数	利用料	営業時間	貸付料
R1. 12	190名	95,000円	36時間	3,240円
R2. 1	208名	104,000円	63時間	5,670円
R2. 2	229名	114,500円	56時間	5,040円
R2. 3	139名	69,500円	51時間	4,590円
合計	766名	383,000円	206時間	18,540円



図-10 スケートボードコース利用状況



(NHK山形)



(YBC山形)

表-1 駐車場利用の実績

期間	車種	利用台数	利用料	貸付料
夏期	普通	9台	3,600円	1,160円
冬期	普通	6台	6,000円	3,600円
冬期	大型	(30台)	21,000円	7,200円
合計			30,600円	11,960円

### (4) 冬期の屋内スケートボードコースとしての需要

期間中、最も多くの利用実績が確認できたのは、屋内スケートボードコースであった。委託者側でのSNSを通じた広報や、マスコミによる取材効果(図-12)により利用者の総計は766名となり、潜在需要の大きさを確認することができた。(表-2)



(読売新聞)

(山形新聞)

図-11 マスコミ取材状況

利用者の年齢構成（図-9）では、10代以下の利用者が半数を占めていることが分かる。オリンピック種目となったスケートボード競技への人気の大きさが確認できると考えられる。

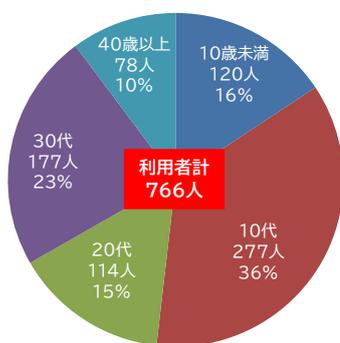


図-12 利用者の年代内訳

また、委託者が実施した利用者へのアンケート調査では、以下のような意見が寄せられた。

- ・天候に左右されない施設があるので有難い。
- ・冬にこの施設があるおかげで子供が上達した。選手育成の観点からこのような施設が必要である。
- ・他県までの子供の送迎を考えると、山形市内にこのような施設があると嬉しい。
- ・テレビや新聞でスケートパークが取り上げられ、愛好家としては非常に嬉しい。
- ・行政でこのような取り組みをすることが、非常に素晴らしいことで来年も是非行って欲しい。
- ・行政が所有する土地で、屋根がある施設を積極的に利用できるようにして欲しい。
- ・利用料金をもう少し安くして欲しい。
- ・営業日数を増やして欲しい。
- ・ミニランプや大きなセクションがあると良かった。

## 7. 事業結果

社会実験による需要調査を通して、駐車場や屋内スケートボードコースの潜在需要を確認することができた。

### （1）駐車場としての利用

駐車場については、期間中の利用トラブルが無く終了することができた。これは、委託業者による運営サイトにおいて、利用上の注意が事前に徹底されていることが考えられる。利用料におけるトラブルも、予約時にWeb上でクレジット決済される仕組みで解消されていた。

委託者のWebサイトによる運営手法により、初期コストが不要であり、利用実績に応じた貸付料を得ることができる手法であることから、互いに赤字リスクの少ない取り組みであることが確認できた。

### （2）屋内スケートボードコースの利用

山形県のような積雪寒冷地では、冬期に屋外でスケートボードを滑ることができないことから、多くの方が屋内施設を求めている実態が分かった。

冬期間におけるコースの施設整備は、委託者側の負担にて行ったが、建設資材を利用した障害物を設置するなど、コスト縮減につなげた。利用者からは、障害物に対し比較的満足な声が多かったことから、最低限のスケートボードコースとしての施設整備が出来たと考えられる。

スケートボードコースとしての運営は、施設整備やインストラクターを常駐させるための人件費等により、利用収入があったものの約600千円の赤字収支を確認した。

最終的に委託者側への負担が大きくなったが、委託者側からは、想定以上の利用者を確認できたことや、企業PRにつながったことで継続した取り組みにしたいという意向を確認しており、今後は本取り組みを継続するための課題整理を行い、委託者側にも利益が生じる仕組みづくりが必要である。



図-13 施設管理状況

## 8. まとめ

スケートボードコースの利用者から、本取り組みに対して賛同の声が多かったことから、遊休スペースの利用に対して理解が広まったと感じられた。

また、マスコミ等の取材により、行政が管理する遊休スペースの存在が再認識され、新たな潜在需要の掘り起こしに繋がることで、施設の付加価値が上がることを期待したい。更には、本取り組みを継続したものとするために、並行したルール作り（利用規則等の制定）が必要であることから、需要調査を通した課題整理が必要であると考えている。

最後に、本県と同様な問題を抱えている雪国の自治体において、遊休スペースの活用が拡充されることにより、積雪寒冷地における住民サービスの向上に繋がることを期待したい。

# 農産物を清水港から世界へ ～農産物輸出促進に向けた海上輸送試験～

西家 健宏<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 中部地方整備局港湾空港部 港湾計画課（〒460-8517 名古屋市中区丸の内 2-1-36）

農産物の輸出促進に向けて、廉価な海上輸送の利用拡大が期待される。海上輸送による農産物輸出を進める上で、輸送時における品質維持や輸送工程の最適化が課題である。本稿では、清水港背後圏の農産物をシンガポール港へ海上輸送する試験について報告する。輸送した 98 品目のうち 83 品目（85%）で十分な品質を確保できた。ただし、ナス、オクラ及びキュウリは低温障害、レタス等の葉物野菜やシャインマスカット等の薄皮果実は乾燥による劣化が生じたことから、これらの品目には品質低下防止措置を施す必要があることが分かった。また、国内の輸送工程を見直し、市場に連携、パニング機能を集約すること、海上輸送網を活かして広域的に集荷する国内の輸出拠点的形成することを提案した。

キーワード： 農産物輸出、高機能冷凍・冷蔵コンテナ、コールドチェーン、物流効率化

## 1. はじめに

日本の農産物は、品質と安全性から海外で高い評価を受けており、輸出拡大のポテンシャルは高い<sup>1)</sup>。農産物のうち、長期の鮮度維持が難しい品目は空輸されるが、現地では輸送コストが反映された割高な価格設定となる。近年、海上輸送に高機能冷凍・冷蔵コンテナが導入され、これまで鮮度の維持が難しかった「いちご」などの海上輸送が可能となりつつある<sup>2)</sup>。著者らは、海上輸送に耐えられる品目が増えれば農産物の輸出促進に大きく寄与すると考える。

農産物の海上輸送の普及に向け、次の 2 つの課題が挙げられる。

1 点目は輸送時における鮮度の維持である。航空輸送に比べて輸送時間が長い海上輸送であっても十分な鮮度を維持できる必要がある。国内の農産物は季節毎に生產品目が異なるため、それぞれの品目について鮮度維持状況を確認する必要がある。また、多品目を混載輸送するケースも想定され、貯蔵温度帯の違いやりんご等から発生するエチレングスの他品目への影響を防げるのかといった混載の可能性についても検証が必要となる。

2 点目は輸送工程の最適化による、輸送日数の削減である。コンテナ貨物を輸出する際、集荷、通関の手続き、コンテナへの積込み作業（パニング）、船舶への積込みといった輸送工程を経る。また農産物輸出では一貫した温度管理を行う低温流通（コールドチェー

ン）が求められる<sup>3)</sup>。コールドチェーンを維持しつつも、最適化された輸送工程を構築する必要がある<sup>4)</sup>。

このため、本稿では、清水港からシンガポール港への農産物の海上輸送試験をもとに、海上輸送における農産物の品質の確認と輸送工程の最適化にむけた検討を行う。まず、第 2 章では、海上輸送試験の概要と、品質の評価方法を述べる。第 3 章では、合計 4 回の輸送試験の結果を整理する。また、輸送コンテナの違いが品質に与える影響や、鮮度保持フィルムの有効性も評価する。第 4 章では、航空輸送と比較した海上輸送のコスト削減効果を試算する。また輸送日数の削減に向けた輸送工程の見直しを行う。最後に、得られた知見と残された課題を整理する。

## 2. 海上輸送試験の概要

### (1) モデル地域の選定

農産物の海上輸送試験の実施にあたり、中部地方整備局管内の、清水港及びその背後の 3 県（静岡県、山梨県、長野県）からなる地域をモデル地域として選定した（図-1）。

3 県は、清水港の背後に位置し、いずれも農産物の生産が盛んな地域である。2021 年には中部横断自動車道（山梨県区間）の全線開通が予定されており、産地と清水港の時間距離が大幅に短縮される見通しだ。

清水港はコンテナ船の定期航路によって海外港と結ばれ、我が国の農産物の主要な輸出先国である香港、

米国、台湾、中国及び韓国との航路が就航している。また、モデル地域が今後の農産物輸出のターゲットとしているタイ、マレーシア、及びベトナム（平成30年農林水産物輸出入概況）との航路も就航している。

このように、農産物輸出拡大に向けた物流面での適性を有する当該地域をモデル地域とし、既存販路を有するシンガポールへ農産物を海上輸送した。

## (2) 輸送経路

本輸送試験の輸送経路を図-2、各施設の位置関係を図-3に示す。農産物は、全国の農産物が集まる静岡中央卸売市場において選定した。貨物の輸出には通関の手続きを要し、手続きは関税法に基づく保税地域内で実施される必要がある。市場で選定した農産物を保税地域に位置付けられた民間の冷凍・冷蔵倉庫（保税倉庫）に運搬し、通関とパニング作業を行った。その後、コンテナを清水港新興津コンテナターミナルへ運搬し、船積みした後シンガポール港へと海上輸送した。

輸送経路は、既存の施設や航路を組合せ、最短の輸送日数となるよう設定した。市場における品目選定からシンガポール港での船積みまでにかかる輸送時間は17日間であった。国内の流通であれば、市場で競り落とされた農産物は長くとも2日程度で小売店の店頭と並ぶ。海上輸出の実現に向けて、長時間となる海上輸送中の品質維持状況を詳細に評価する必要がある。

## (3) 試験回数と輸送品目

季節毎の品目の海上輸送品質を確認するため、令和元年8月から翌年2月にかけて概ね2ヶ月毎に1回、計4回の輸送試験を実施した。輸送品目は、流通しているものの中から、シンガポールでの需要や生産者の意向に基づき選定し、4回の試験で野菜62品目、果実36品目を輸送した。

## (4) 試験条件

### a) 使用するコンテナ

試験では、「リーファーコンテナ」、「futecc（フーテック）」<sup>9)</sup>、「CA（Controlled Atmosphere）コンテナ」の3種類のコンテナを用い、使用するコンテナが輸送品質に与える影響を分析した。

リーファーコンテナは一般的な冷凍・冷蔵コンテナで、冷却装置によりコンテナ内の温度調節を行うことが可能なコンテナである。設定温度に対して庫内に最大で±5℃程度の温度ムラが生じることがあるため、0℃付近の低温管理が困難である。

futeccは、高性能な冷却装置により、従来の冷凍コンテナに比べ高い精度±0.5℃で温度管理できる冷凍コンテナである。農産物が冷凍する寸前の温度に設定でき、



図-1 モデル地域の位置図

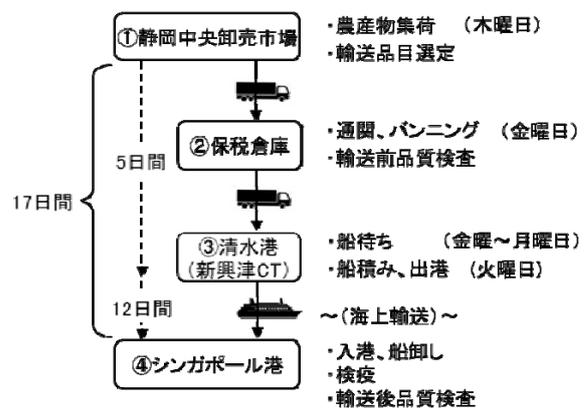


図-2 輸送経路



図-3 各施設の位置関係

農産物の呼吸を抑え長期の鮮度維持が可能となる。

CAコンテナは、コンテナ内に窒素ガスを充填し、酸素濃度と二酸化炭素濃度を調節することが可能な高機能冷凍・冷蔵コンテナである。低酸素のガス組成を生成することで農産物の呼吸を抑え、長期間の鮮度維持が可能となる。

4回の試験では、庫内温度を0℃に設定したfuteccを

使用した。第2回試験では futecc に加えてリーファーコンテナを使用し、第3回試験では futecc に加えて CA コンテナを併せて使用し比較した。

#### b) MA (Modified Atmosphere) フィルムによる包装

MA フィルムは、フィルム包装内を鮮度維持に最適なガス組成に調整し鮮度を維持する機能がある。フィルムの有効性を検証するため、第1回及び第4回試験では MA フィルム包装有り・無しの2種類を用意し比較した。また、第1回試験では出荷箱ごとに MA フィルムで包装したのに対し、第4回試験では窓付き強化段ボールケースの窓部分に MA フィルムを貼り付けた「鮮度保持ボックス」(写真-1)を試作し複数の出荷箱をまとめて梱包した。これにより、より簡易にフィルムの鮮度保持効果を発現することを狙った。



写真-1 試作した鮮度保持ボックス

#### (5) 調査項目と評価指標

輸送後の各品目の状態を以下に示す5段階で評価(以下、スコアと称する)するとともに、販売可能な割合を算出し(以下、可販率と称する)、商品としての品質維持状況の評価指標として設定した。

- 5: 集荷時と同等の品質
- 4: 集荷時には劣るが良好な品質
- 3: 品質は劣るが販売可能な品質
- 2: 集荷時よりも大幅に品質が劣る
- 1: 販売は不可能

また、輸送前後に品質(重量、糖度・酸度、果実硬度、色彩、写真撮影)を検査し、輸送後はシンガポール在住者及び日本人による官能評価(外観、食感、甘み、及び風味)を、輸送中は温湿度と衝撃を計測した。

### 3. 試験結果

#### (1) 結果概要と考察

全4回の試験における代表品目のスコアと可販率を表-1に示す。代表品目には、モデル地域における季節毎の主力品目や、著しく品質が劣化した品目等、着目すべき品目を抽出して表示した。

ここでは、代表品目を「葉物野菜」、「多水分野菜」、「薄皮果実類」、「特筆果実」、「その他」に分類し、品質維持状況や輸送品質の向上策を整理する。

#### a) 葉物野菜、薄皮果実類

葉物野菜では、MA フィルムの有無によって、スコアにして最大2.5程度の輸送品質向上効果を発揮することが分かった。MA フィルム無しでは、「白菜」と「キャベツ」、及び「レタス」に5~8%の重量減少が生じ、特に「レタス」は販売の際に外葉除去を要する低スコア(2)となった。一方、MA フィルム有りでは、重量減少が大幅に抑制され、販売に適する良好な品質

表-1: スコアと評価結果

回次	第1回		第2回		第3回		第4回			
実施時期	8月1日(木)~21(木)		10月10日(木)~31日(木)		12月19日(木)~1月8日(水)		2月6日(木)~26日(水)			
使用機材	futecc (0°C)	futecc (0°C) + MAフィルム包装	futecc (0°C)	リーファー コンテナ (5°C)	futecc (0°C)	CAコンテナ (0°C)	futecc (0°C)	futecc (0°C) + 鮮度保持ボックス		
検証項目	MA包装の効果検証		futeccとリーファーコンテナの比較		futeccとCAコンテナの比較		鮮度保持ボックスの効果検証			
野菜	葉物	白菜	4(100)	5(100)			3.5(100)	4(100)	4(100)	4(100)
		キャベツ	4(100)	5(100)			5(100)	5(100)	5(100)	5(100)
		レタス	2(100)	4.5(100)			4(100)	4.5(100)	4(100)	4(100)
	多水分	ナス	1(0)	1(0)	1(0)	1(0)	1(0)	1(0)	1(5)	2(30)
		オクラ	1(0)	1(0)						
		キュウリ	1(0)	1(0)	1(0)	1(0)	3(77)	3(87)	2(78)	2(80)
	その他	甘藷☆	5(100)	5(100)	5(100)	5(100)	4.5(100)	5(100)	5(100)	5(100)
		馬鈴薯☆			5(100)	5(100)	4.5(100)	5(100)	5(100)	5(100)
		しいたけ			5(100)	5(70)	3.5(95)	3.5(75)	3.5(100)	3.5(100)
果実	薄皮	シャインマスカット	4(100)	5(100)	4(100)	4(78)				
		巨峰	4(100)	5(100)	5(100)	5(100)				
		桃	4(100)	5(100)						
		メロン	4(100)	5(100)	4(100)	4(100)	4.5(100)	5(100)	3(100)	3.5(100)
	特筆	いちご☆					4.5(100)	4.5(100)	4.5(100)	4.5(99)
		いちじく			3(60)	2(25)				
		プラム	4(96)	5(100)						
	その他	みかん					5(97)	5(97)		
		りんご☆			5(100)	5(100)	5(100)	5(100)		
輸送品目全体の平均	4.2(97.7)		4.2(87.3)		4.4(95.8)		4.2(97.7)			

☆: 複数品種の平均値

※括弧内の数字は可販率を示す。

が保持された(写真2)。

MA フィルムの有無による重量減少の変化は「シャインマスカット」等の薄皮果実類でも同様の傾向が見られた。重量減少を生じやすい品目の輸送においては、MA フィルム包装が有効であると言える。

#### b) 多水分野菜

「ナス」、「オクラ」、「キュウリ」では、輸送後に変色や変質といった著しい品質の劣化が見られた(写真3)。これらの症状は「低温障害」であると考えられる。これら3品目の最適貯蔵温度帯は7~12℃であり、試験で設定した0℃には適さなかったと言える。温度に対して敏感な品目を含めて混載輸送する場合は、最適貯蔵温度帯の近い品目同士を選定したり、一部の品目に保温梱包を施す等の工夫が必要である。

#### c) 特筆果実

現状、「いちご」の99%以上、「プラム」の90%以上が航空輸送されている(2019年貿易統計)。今回の試験では4品種の「いちご」と1品種の「プラム」を輸送した。いずれの品種においてもスコア4以上の良好な輸送品質であり、3週間程度の運搬日数であれば海上輸送は十分に可能であることが示された。

「いちじく」には、futecc(0℃)を用いた場合は乾燥による重量減少と収縮が発生し、リーファーコンテナ(5℃)では高温によるカビやドリップ漏出が発生した。今回の結果を踏まえれば、乾燥防止措置を施した上でfuteccコンテナを用いることで品質維持が期待できる。

#### d) その他

「甘藷」、「馬鈴薯」、「みかん」、「りんご」等の貯蔵性の高い品目については、一般的なリーファーコンテナであっても高い品質が維持され、問題無く輸送されることが分かる。

### (2) その他の検証事項

#### a) 「りんご」を混載する際の留意点

「りんご」はエチレングスを放出し、他の品目の品質に影響を与えることがわかっている<sup>9)</sup>。しかし、第2回試験では3品種の「りんご」を輸送しているが、各箱にエチレン除去剤を入れるとともに、外装にフィルム包装を施す処置を講じたところ、他品目への影響は見られなかった。また、5℃に設定したリーファーコンテナよりも、0℃に設定したfuteccの方がエチレン放出量は少なかった。これらから、包装や温度設定において適切な処置を施すことで、他品目への影響は最小限に抑制できることが分かる。

#### b) 季節毎の輸送品質

表-1の最下段に、各回試験で輸送した全品目の平均スコアと平均可販率を示している(スコア及び可販率



写真2 MA包装の重量減少抑制効果(レタス)



写真3 低温障害の症状が見られるナス(第4回試験)

は、各品目ごとに高い方の数値を採用)。いずれの試験でも平均スコアは4以上、平均可販率も概ね90%を超えており、高い品質で輸送されていることが分かる。各回の試験結果の間にスコアの偏在は見られない。このことから、本モデル地域の農産物は、季節を問うことなく海上輸送可能であることが示された。

### (3) 試験結果のまとめ

全体を通して、多品目の混載によって品質に著しい影響が出る農産物は無かった。一部の品目では、低温や湿度低下の影響による品質低下を防ぐ措置を施す必要はあるが、それ以外の農産物においては特段の措置無しで輸出が可能であると判断できる。また、4回の試験を通じて、季節毎に輸送品質の偏在は無く、年間を通して高い品質で輸送可能であることが示された。

MA フィルムによる包装は有用であるものの、梱包に費用と手間がかかることを考慮すれば乾燥しやすい品目に限定して使用することが望ましい。また、本試験における鮮度保持ボックスのように、MA フィルムの効果をより簡易に得るため今後さらなる検討の余地があると言える。

高機能冷凍・冷蔵コンテナによる輸出はリーファーコンテナによる輸出に比べて海上輸送費用は高くなるが、輸出品目に最適貯蔵温度0℃付近の農作物を含む場合、販売時のロス率等を考慮すればトータルの収益性において有利となる。

高機能冷凍・冷蔵コンテナのfuteccとCAコンテナでは、両コンテナのスコアと可販率においてはほとんど差は無かった。しかし、官能評価(外観・食感等)による比較では20品目で有意な差がみられ、果実類は概ねfuteccが優位で、野菜類は概ねCAコンテナが優位であった。

#### 4. 輸送工程最適化に向けた検討

##### (1) 海上輸送の経済性検証

海上輸送は航空輸送と比べて輸送コストを大幅に抑制できる。単価が安い農産物輸出では輸送コストの比重が大きく、輸送コストの抑制は価格競争力向上や生産者の増収に直結する重要な要素である。

ここでは、海上輸送と航空輸送の具体的な輸送コストを試算し、海上輸送のコスト面での優位性を調べる。

##### a) 輸送コストの試算条件

各輸送モードの輸送コスト試算条件を表-2に示す。

経路の始点は静岡中央卸売市場とし、航空輸送の終点はシンガポール港から約20kmの位置にあるチャンギ空港とした。航空輸送は、静岡中央卸売市場の最寄りの静岡空港から、那覇空港を経由する経路を設定した。この経路は、輸送費用が最安値となる経路である。

試算に用いる輸送品目には、高付加価値で海外での需要が高い「いちご」を選定した。輸送ロットは、海上輸送にはコンテナ満載を想定した1,600kgを設定し、航空輸送にはパレットの積載重量を想定した100kgをそれぞれ設定した。

##### b) 試算結果と考察

各輸送モードの輸送コストの試算結果を図-4に示す。

航空輸送から海上輸送へと輸送方法を変更することで、輸送コストが約76%削減されることが分かった。

今後、生産者や輸出事業者に対して海上輸送の経済性を周知していくことで、積極的な新規参入を期待できる。

##### (2) 機能再編案の立案

今回の輸送試験では、図-2に示した通り、静岡中央卸売市場に集荷した農産物を保税倉庫へと運搬している。保税倉庫におけるバンニングの際は、外気との接触を遮断し、コールドチェーンを維持するための「ドックシェルター」と呼ばれる設備が必要となる。現状、静岡中央卸売市場には保税地域の位置付けは無く、ドックシェルターも無いため、静岡中央卸売市場から保税倉庫までの運搬は不可欠な工程である。しかし、通関とバンニングのみを目的とした運搬は合理的でない。今後、機能再編による効率化の検討を進めるべきである。

ここでは、集荷、通関手続き、バンニング、及び港湾の機能それぞれが合理的な配置となる機能再編案を検討する。まず、本輸送試験で設定した現状の輸送工程の課題を解決するための中期的な再編案（フェーズ1）を立案する。続いて、将来的な輸出形態の多様化を見据えた再編案（フェーズ2）についても立案する。

表-2 輸送コストの試算条件

	航空輸送	海上輸送
概略経路	静岡中央卸売市場 ↓ 静岡空港 ↓ 那覇空港 ↓ チャンギ空港	静岡中央卸売市場 ↓ 清水港 ↓ シンガポール港
輸送品目	いちご	
輸送ロット	100kg	1600kg

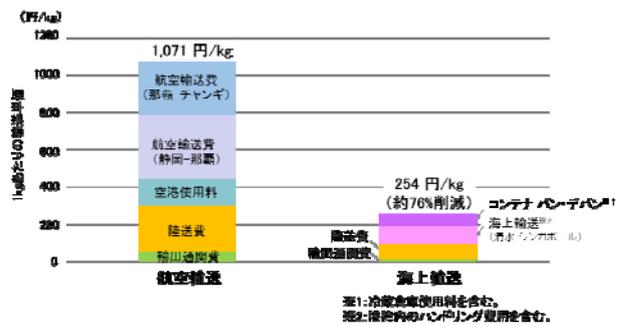


図4 航空輸送と海上輸送の輸送コスト比較

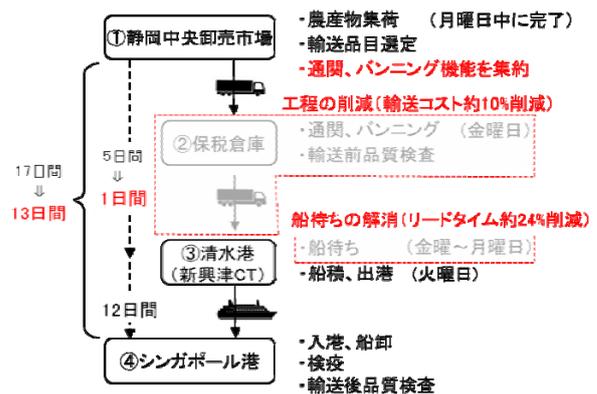


図5 フェーズ1の概念図

##### a) フェーズ1：市場への機能集約

フェーズ1は、通関手続きとバンニング機能を市場に集約することで、国内輸送に要する日数と輸送コストの削減を図るものである。概念図を図-5に示す。

フェーズ1では、市場から保税倉庫への運搬工程が省略される。このため、市場から清水港のコンテナターミナルへ直接運搬することができ輸送コストが約10%削減される。

また、市場での品目選定から出港までの時間が大幅に削減される。通関とバンニング機能を市場へと集約できれば、出港前日に、品目選定からコンテナターミナルへの搬入までが完了でき、リードタイムが4日間程度短縮される。今回の輸送試験の条件では、現状必要となる輸送時間を約24%削減できることが分かった。

フェーズ 1 の実現にあたっては、市場を保税地域として位置付ける必要がある。これには、他の国内向け農産物と混同しないよう厳密に入出場管理することが求められる。このため、輸出用農産物のみを扱う区画や倉庫施設を整備し、監視カメラにより貨物の不正な混入を防止するといった措置が必要となる。また、コールドチェーン維持のため、輸出用農産物限定の施設を整備する際は、併せてドックシェルターを整備する必要がある。

## b) フェーズ 2：港湾への機能集約

フェーズ 2 は、将来的に農産物の輸出が普及し、流通経路が多様化した場合に有効となる機能配置案である。概念図を図-6 に示す。

フェーズ 1 への再編後、フェーズ 2 では、コンテナターミナルに近接した場所にも通関手続きとバンニング機能を配置するものである。

将来的に想定される流通経路として、フェーズ 1 で示した市場を介する経路の他に、以下に示すケース①～③が共存する状態が考えられる。

ケース①は、他地域の農産物を満載したコンテナを、清水港経由で輸出する経路である。海外のバイヤーへのヒアリングにより、同一の港から国内各地の農産物を一括して輸入できることは、販売競争におけるメリットとなることが分かっている。

ケース②は、他の農産地から、輸出向けと国内向けの農産物を併載して輸送し、清水港において仕分けと再バンニングするケースである。

ケース③は、市場を介さない大手農業経営体等が清水港から直接輸出するケースである。

ケース①と②における国内輸送は、今後モーダルシフトされ海上輸送により清水港に集荷されると予想される。ケース③についても、直接清水港に運搬し、通関・バンニングを行える体制が理想的である。いずれのケースにおいても、各機能がコンテナターミナル直近に集約している状態が理想的であると言える。

## 5. まとめ

本稿では、海上輸送試験を軸として、2つの課題に対する解決方策について報告した。

輸送試験では、高機能冷凍・冷蔵コンテナを用い、静岡中央卸売市場にて集荷・選定された農産物を清水港からシンガポール港へと輸送し、品質維持状況を検証した。その結果、大半の農産物が高い品質で輸送可能であることが示され、年間を通じた輸出が可能であることが分かった。また、多品目を混載して輸送する際に配慮すべき事項や適切なコンテナの選定方法、MA フィルムの効果的な使用方法を考察した。

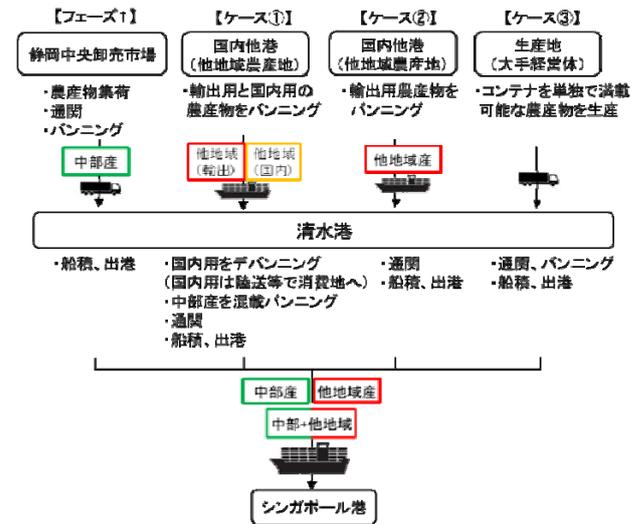


図-6 フェーズ 2 の概念図

次に、現状の輸送工程における具体的な輸送コストを試算したうえで非効率な部分を検証し、最適化に向けて通関とバンニング機能を市場へ集約する方法を提案した。さらに、将来的な流通経路の多様化を想定し、清水港にも同機能を追加する方法を提案した。

試験を進める中で、冬場の荷量不足という新たな課題も抽出された。海上輸送の経済性を最大化するためには、コンテナを満載できる荷量を確保する必要がある。今後は、既存の内貿航路を活用した広域集荷を組み入れた輸送ネットワークの確立に向けて検討を進める必要がある。

謝辞：本検討は、JA 静岡経済連及び静岡県の協力のもと実現した。ここに謝意を表す。

## 参考文献

- 1) 糸井明美：世界の飲食料市場規模の推計，農林水産政策研究所レビュー，No. 91，2019
- 2) 平栄蔵，御手洗正文：農産物定温調湿貯蔵庫の開発および実証実験，宮崎県工業技術センター・宮崎県食品開発センター研究報告，No. 58，2013
- 3) 安永円理子：農産物・食品の安全と品質の確保技術 (第 11 回)-収穫後青果物の品質変化予測モデルについて-，農業食料工学会誌 77(4)，pp. 246-251，2015
- 4) 下渡敏治：卸売市場の集荷機能を活用した農産物輸出と輸出拡大への課題，野菜情報，36，1月号，2017
- 5) Futec コンテナ：(株)デンソーが開発した，海上コンテナ業界初の 2 コンプレッサー 2 インバーター方式の冷凍コンテナ機。インバーターを用いてコンプレッサーをきめ細かく制御し高い温度安定性を実現したもの。  
<https://www.denso.com/jp/ja/products-and-services/industrial-products/futec/>
- 6) 椎名武夫：野菜の品質保持技術について，野菜情報，44，9月号，2016

# 商業地域における地域熱電併給システムの導入効果推定

上野 貴広<sup>1</sup>

<sup>1</sup>国立研究開発法人建築研究所 環境研究グループ (〒305-0802 茨城県つくば市立原1番地)

本論文では、商業地域における中央熱源とコージェネレーションシステムを組み合わせた地域熱電併給システムの面的普及効果を推定するためにシミュレーションを行った。地域熱電併給システムの運転をそれぞれ5分間隔で再現するシミュレーションモデルを開発した。次に、推定した各地域のエネルギー需要とシミュレーションモデルを使用して、地域熱電併給システムの導入による省エネ効果とCO<sub>2</sub>効果を推定した。

キーワード コージェネレーションシステム, 空調熱源設備, 一次エネルギー消費量, ライフサイクルCO<sub>2</sub>排出量, エネルギー需要

## 1. はじめに

地域の省エネ化およびエネルギー自立化のために、燃料から電力と熱を生産し供給するコージェネレーションシステム(以下、CGS)の普及推進や、供給エネルギーの面的利用である地域熱電併給(District co-generation: 以下、DCG)による高効率なエネルギー利用が期待されている。商業地域へのCGSの導入効果に関しては、これまで様々な既往研究で推定や測定が行われている。しかし、大容量の電力熱源設備とCGSを併用したDCGシステムの導入による省エネルギー効果については、実建物の地理条件まで含めた詳細な導入効果や最適な設定、また商業地域の特性の違いが導入効果に与える影響については十分な知見がない。そこで本報では、複数の商業地域へのDCGシステム導入による省エネ、省CO<sub>2</sub>効果を推定する。

## 2. 熱電併給モデルの作成

図-1にDCGシステムモデルのエネルギー供給フローを示す。本モデルはCGSモデルと電力熱源設備モデルに分かれており、どちらを先に運転させるか設定できる。また、本モデルにはDCGシステムから需要家建物への熱搬送を再現するモデル(以下、地域熱搬送モデル)も組み込まれている。本システムはCGSの発電電力を対象地域内のみに供給し、また地域内の全空調熱需要をまかなう。なお、本報ではDCGシステムから各建物の給湯への熱供給は行われず、給湯熱需要は計算対象外とした。

### (1) CGSモデル

任意の台数のコージェネレーションユニット(以下、CGU)、2台の排熱投入型吸収冷温水機(以下、RHA)、1台の熱交換器(以下、HEX)で構成したCGSの運転を5分間隔で再現するモデルを使用した。CGUの性能曲線<sup>1</sup>)を図-2に示す。CGUは5分前の需要に追従して運転し、対象需要が1台あたりの定格能力(電力追従なら定格発電量、熱追従なら定格排熱量)の50%を超えるとCGUを稼働させ、需要が定格能力の50%を超えるごとに運転台数を1台増やす。CGUの排熱は温水で利用し、冷房、暖房の順番でそれぞれにRHA、HEXを介して供給する。RHAとHEXの各効率是一定の値<sup>2</sup>)とした(表-1)。なお、RHAには定格能力に対する排熱利用可能割合<sup>3</sup>)を設定した(図-3)。また、冷却塔といったCGU補機の消費電力は発電量の5%とした。

### (2) 電力熱源設備モデル

省エネルギー基準に準拠したプログラム<sup>2</sup>) (以下、Webプログラム)を基に、電力熱源設備の運転を5分間隔でモデル化した。また、外気温度特性といった機器特性もWebプログラムの設定値を用いた。設備構成はターボ冷凍機(以下、TR)2台、インバーターターボ冷凍機(以下、ITR)1台、空冷ヒートポンプ(以下、EHP)2台とした。冷房時はTR、ITR、EHPの順で運転し、暖房時はEHPのみが運転する。それぞれの性能曲線<sup>2</sup>)を図-4に示す。送水温度は冷水:5°C、温水:50°Cとした。なお、冷却塔といった冷凍機補機の消費電力は、冷凍機の合計消費電力の5%とした。

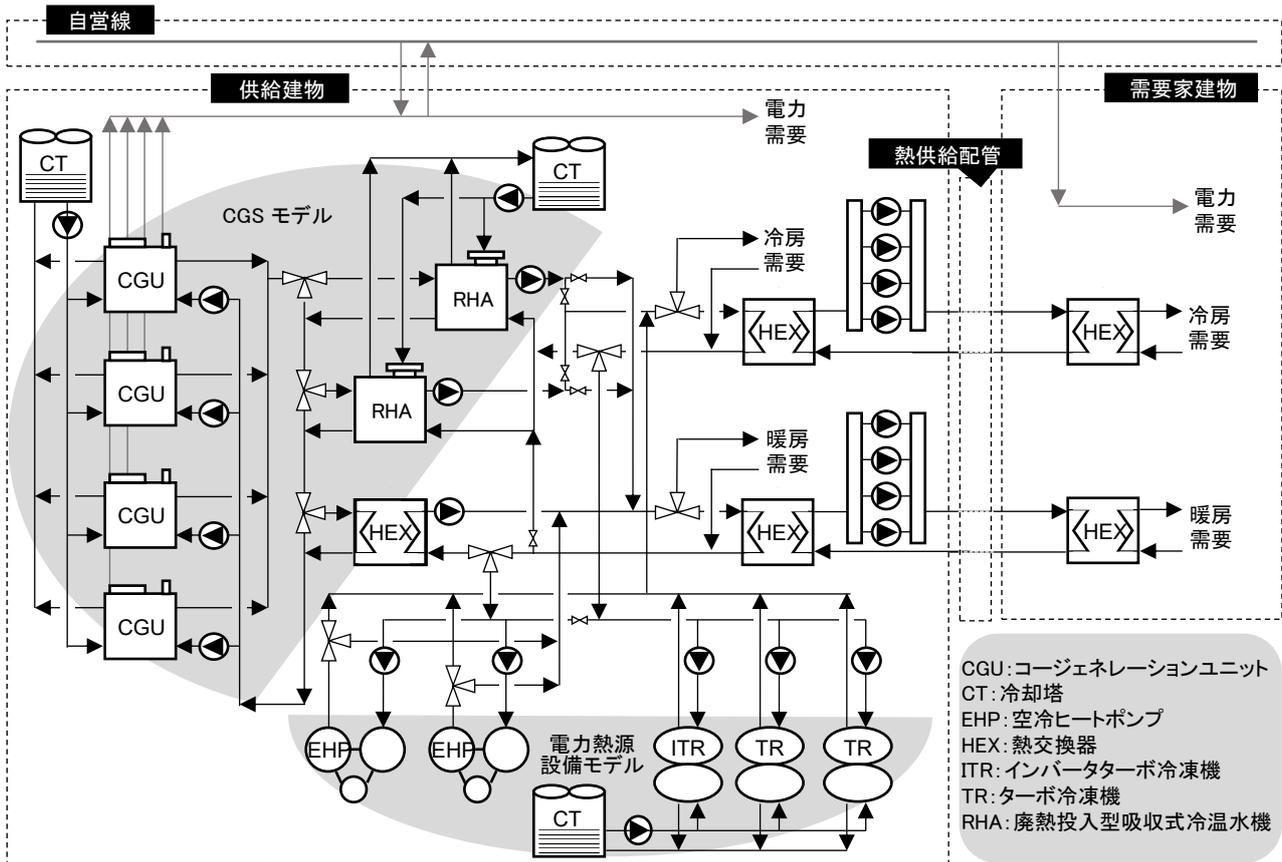


図-1 DCGシステムのエネルギー供給フロー

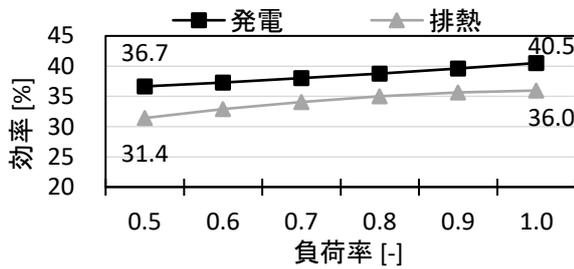


図-2 CGUの性能曲線

表-1 RHAおよびHEXの効率

RHA			HEX
冷房(排熱利用)	冷房(ガス)	暖房(ガス)	
0.70	1.30	0.88	1.00

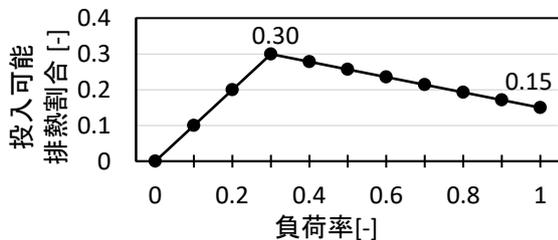


図-3 RHAへの投入可能排熱割合

### (3) 地域熱搬送モデル

構築した、熱源設置建物から需要家建物への熱供給を、冷水と温水を熱交換器(交換効率[-]: 1.0)および熱供給配管を通して供給するモデルを使用した。配管が建物間の

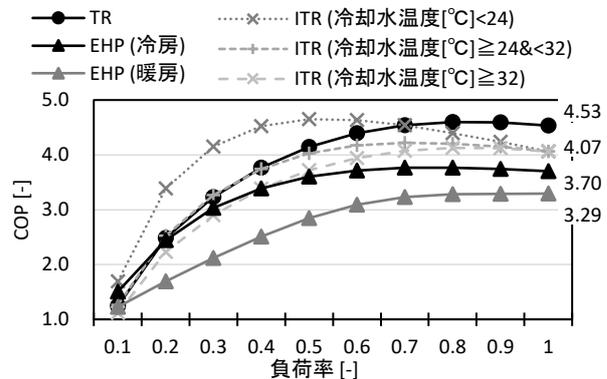


図-4 電力熱源設備の性能曲線

直線距離を結んで設けられることは少ないため、片道の長さを、DCGシステムと需要家建物の経度差と緯度差それぞれに基づく距離の合計とした。また、熱搬送動力は配管1mにおける消費電力を式(1)から計算した。

$$W_{pump} = \frac{P \cdot Q_{pump} \cdot 10^3}{\Delta t \cdot c \cdot p \cdot E_{pump} \cdot 3.6 \cdot 10^6} \quad (1)$$

ここで、 $W_{pump}$ : 熱供給配管 1m における消費電力[kWh/m],  $P$ : 単位長さあたりの圧力損失 [Pa/m] (=400),  $Q_{pump}$ : 熱損失を含めた搬送熱量[MJ],  $\Delta t$ : 往還温度差 [K] (=10),  $c$ : 比熱[kJ/kg·K] (=4.217),  $p$ : 密度[kg/m<sup>3</sup>] (=1000),  $E_{pump}$ : ポンプ効率[-] (=0.6)

### 3. ケース検討

本報では、建物ごとにCGSおよび電力熱源設備を導入した場合と比較することで、DCGシステムの導入効果を推定した。対象地域は福岡県福岡市から設定した。九州地方は大規模PV発電の出力抑制が行われるなど再生可能エネルギー増加が困難になってきており、都市部での省エネ、創エネ推進による需給調整がより一層求められている。そこで九州地方で最大、日本全国でも5番目に大きい人口を有する市区町村である福岡市の商業地域を対象に、DCGシステムの導入効果を推定した。

#### (1) 対象地域の設定

地域冷暖房の事業成立条件の1つに熱需要密度の高さが挙げられている<sup>3)</sup>ため、DCGシステムの導入効果にも熱需要密度が大きな影響を与えると考えられる。そこで福岡市の全1154の小地域の中から、熱需要密度に関連する非住宅の容積率の市内順位を基準に、対象地域を選出した。市内順位の上位群の中で商業地域に指定されている地理的にまとまっている地域(A~C)を3つ選び、4つ目には逆に下位で商業地域に指定されている地理的にまとまっていた地域Dを選んだ(表-2)。各地域の特徴のまとめを表-3に、建物用途別延床面積割合を図-5に示す。A地域は4地域で最も容積率が高く、また事務所建物と商業施設の延床面積割合が大きい。B地域は駅前のため他の地域より宿泊施設の割合が大きい。C地域は低層の建物が多いため、建物数が多い割には容積率が低い。D地域は容積率が他地域と比べ小さいため、エネルギー需要の集約効果が小さくなると考えられる。

#### (2) エネルギー需要データの作成

既報で開発した需要推定手法<sup>4)</sup>を用いて、各地域の非

表-2 対象地域における小地域の容積率および市内順位

地域 小地域	A		B		C		D	
	1	2	1	2	1	2	1	2
容積率[%]	429	417	336	259	171	239	31	49
順位	3	4	6	9	20	12	204	114

表-3 対象地域の特徴

	面積[m <sup>2</sup> ]	非住宅建築物数[-]	合計延床面積[m <sup>2</sup> ]	容積率[%]
A	383,513	302	1,621,154	423
B	301,566	252	877,941	291
C	311,525	440	641,048	206
D	299,570	121	132,606	44

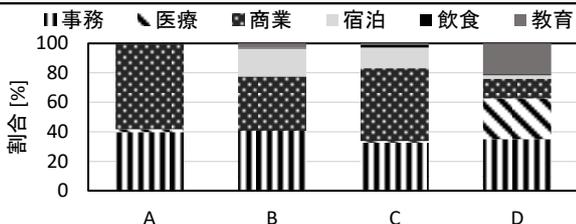


図-5 非住宅建築物の用途別延床面積割合

住宅建築物の5分間電力需要と、冷暖房の各5分間隔熱需要データを作成した。表-4に各地域の地域面積1hあたりのピークエネルギー需要密度と年間エネルギー需要密度を示す。冷房のピーク需要については、熱供給事業の成立が期待される8GJ/ha・h以上<sup>3)</sup>をA~C地域は満たしているが、暖房のピーク需要については、熱供給事業の成立が期待される6GJ/ha・h以上を満たす地域はA地域のみとなっている。また一方で、D地域については冷房、暖房ともに熱供給事業が成立しないとされる2GJ/ha・h未満となっている。年間エネルギー需要密度については、C地域の値は容積率が1.5倍のB地域と同程度であるが、延床面積に対する外皮面積や設備面積の割合が大きくなる小規模な商業施設がC地域に多く立地しており、地域の電力や空調熱需要が大きくなるためである。

#### (3) 検討ケース

建物ごとにCGSと電力熱源設備を導入した場合(以下、個別建物パターン)とDCGシステムを地域の中心部に導入し、全建物へ供給した場合(以下、DCGパターン)とで検討したケースをそれぞれ表-5、表-6に示す。RHA、TR、ITRの定格能力は、個別建物パターンでは建物用途別のピーク冷房需要から作成した冷房能力(表-7)、DCGパターンでは各地域のピーク需要から作成した冷房能力(表-

表-4 対象地域のエネルギー需要密度

	ピーク需要密度			年間需要密度		
	電力 [MW/ha]	冷房 [GJ/ha・h]	暖房 [GJ/ha・h]	電力 [GWh/ha]	冷房 [TJ/ha]	暖房 [TJ/ha]
A	2.3	18.0	9.1	9.5	21.6	6.2
B	1.4	11.9	4.5	6.1	13.7	4.3
C	1.3	10.5	4.8	5.8	12.9	4.4
D	0.2	1.7	0.8	0.7	1.6	0.5

表-5 個別建物パターンの検討ケース設定

CGU容量[kW]	延床面積 <20000m <sup>2</sup>	延床面積 ≥20000 m <sup>2</sup>	CGS			電力熱源設備		
			CGU 台数 [-]	CGU 追従 需要[-]	RHA 割合 [%]	EHP 割合 [%]	TR&ITR 割合 [%]	運転 順位 [-]
5	100	1	電力	0	0	0	CGS前	
35	700	2	熱	25	25	25	CGS後	
100	1200	4	-	50	50	50	-	
-	-	8	-	75	75	75	-	
-	-	-	-	100	100	100	-	

表-6 DCGパターンの検討ケース設定

CGU容量[kW]	CGS 台数 [-]	CGU 追従 需要[-]	RHA 割合 [%]	電力熱源設備			
				EHP 割合 [%]	TR&ITR 割合 [%]	運転 順位 [-]	
100	3800	1	電力	0	0	0	CGS前
350	5200	2	熱	25	25	25	CGS後
700	9600	4	-	50	50	50	-
1200	-	8	-	75	75	75	-
2000	-	-	-	100	100	100	-

表-7 個別建物パターンの熱源冷暖房能力原単位[MJ/m<sup>2</sup>h]

	事務	医療	商業	宿泊	飲食	教育
冷房	0.29	0.33	0.35	0.27	0.45	0.26
暖房	0.21	0.30	0.18	0.26	0.40	0.24

8)にそれぞれ25%刻みの割合を掛け合わせて設定した。EHPの暖房能力は冷房と同様に表-7、表-8における暖房能力に割合を掛け合わせて設定し、冷房能力は暖房能力の値と同じとした。なお、TR 2台とITRは設定値をさらに0.35:0.35:0.3で分割したものを、EHP 2台は設定値をさらに半分ずつに分割したものを各定格能力とした。

個別建物パターンでは、建物ごとに表-7に示す原単位に延床面積を掛け合わせて各建物の必要冷房能力と必要暖房能力を決め、CGSと電力熱源設備の設定を組み合わせた計6,000ケースの中から、熱源設備の冷暖房能力がこれらを満たすケースを計算した。DCGパターンも同様に、各地域で16,000ケースの中から総冷房能力および総暖房能力がそれぞれ表-8の値以上のケースを計算した。

#### 4. 最適ケースの分析

計算したケースの5分間隔の系統電力とガス消費量を求め、時刻別一次エネルギー換算係数やCO<sub>2</sub>排出係数と掛け合わせることで年間の一次エネルギー消費量、CO<sub>2</sub>排出量を計算した。2017年発電データ<sup>9)</sup>を基に、系統電力の時刻別一次エネルギー換算係数は、火力発電の削減を目的として全火力平均で作成した。一方で、時刻別CO<sub>2</sub>排出係数については、設備の建設や解体も考慮したCO<sub>2</sub>排出量の削減を目的として全電源平均で作成した(図-6)。また、ガス消費によるCO<sub>2</sub>排出係数は0.062 kg-CO<sub>2</sub>/MJ<sup>9)</sup>で一定とした。なお、年間のCO<sub>2</sub>排出量には、導入設備の製造や維持などの運転以外によるCO<sub>2</sub>排出量も、参考文献<sup>78)</sup>を基に1年分の負担値(表-9、表-10)を加えた。

また、それぞれのパターンにおける各ケースの省エネ効果を計算するための比較ケースとして、全建物にビル用マルチ空調(以下、VRF)を導入したケース(以下、VRFケース)の年間の一次エネルギー消費量、CO<sub>2</sub>排出量を計算した。VRFの定格能力は各建物のピーク需要をまかなえる程度とし、性能曲線やLCCO<sub>2</sub>排出年間原単位は、DCGシステムと同様に参考文献<sup>2)</sup>から図-7、表-11のように設定した。また、外気温度特性といった機器特性も参考文献<sup>2)</sup>から設定した。

検討ケースのうち、各エネルギー指標がVRFケースから最も小さくなったケースを、それぞれの最適ケースとし、式(2)から最適ケースにおける各指標の年間削減率を計算した。

$$R_{best} = \frac{C_{vrf} - C_{best}}{C_{vrf}} \cdot 100 \quad (2)$$

ここで、 $R_{best}$ : 最適ケースの対象エネルギー指標における年間削減率[%]、 $C_{vrf}$ : VRFケースにおける対象エネルギー指標の計算値[MJ, kg-CO<sub>2</sub>, kWh]、 $C_{best}$ : 最適ケースにおける対象エネルギー指標の計算値[MJ, kg-CO<sub>2</sub>, kWh]

個別建物パターンとDCGパターンそれぞれで、各建物や地域全体で一次エネルギー消費量やCO<sub>2</sub>排出量の年

表-8 DCGパターンの熱源冷暖房能力[MJ/m<sup>2</sup>h]

	A	B	C	D	A	B	C	D	
冷房	733	376	352	54	暖房	323	182	164	26

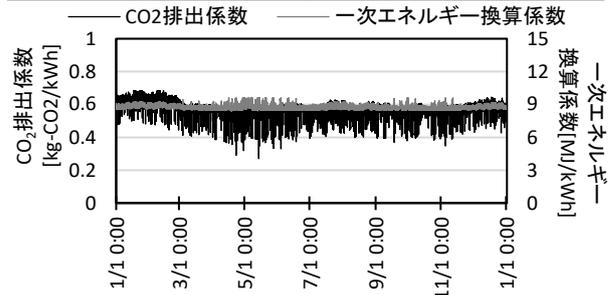


図-6 系統電力の時刻別係数

表-9 主な DCG システムの年間 CO<sub>2</sub> 排出原単位

単位 [☆]	変数 [kg-CO <sub>2</sub> /☆年]	定数 [kg-CO <sub>2</sub> /年]	
CGU & 補機	kW	70.634	-
RHA	MJ/h	1.717	1438.8
HEX	MJ/h	0.134	43.8
ITR	MJ/h	1.057	2166.6
TR	MJ/h	1.057	2166.6
EHP	MJ/h	2.715	181.7
DCGポンプ	MJ/h	3.030	53.7
AHU & FCU	MJ/h	2.241	183.5

表-10 地域熱供給配管の年間 CO<sub>2</sub> 排出原単位 [kg-CO<sub>2</sub>/m 年]

	25A	50A	100A	200A	300A	400A	500A
	40.89	42.46	46.49	57.22	72.03	88.02	110.25

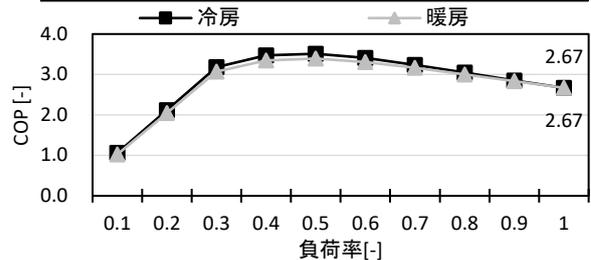


図-7 VRF の性能曲線

表-11 VRF の年間 CO<sub>2</sub> 排出原単位

変数 [kg-CO <sub>2</sub> /(MJ/h)]	1.169	定数 [kg-CO <sub>2</sub> ]	0.000
---------------------------------	-------	--------------------------	-------

間削減率が最も大きくなったケースをまとめて最適ケースとし、両パターンの削減率を比較した。なお、個別建物パターンの最適ケースではほぼ全ての建物にRHAとTR&ITRが導入され、さらに一次エネルギー消費量の最適ケースではRHAの容量の方が大きい建物が多く(各地域で68%~81%の建物)、一方で、CO<sub>2</sub>排出量の最適ケースではTR&ITRの容量の方が大きい建物が多かった(各地域で65%~75%の建物)。

各地域のVRFパターンの年間一次エネルギー消費量と、個別建物パターンおよびDCGパターンにおける最適ケースの年間一次エネルギー消費量およびVRFパターンからの年間一次エネルギー削減率を図-8に示す。また、各地域のVRFパターンのLCCO<sub>2</sub>年間排出量と、個別建物パターンおよびDCGパターンにおける最適ケースのLCCO<sub>2</sub>年間排出量およびVRFパターンからのLCCO<sub>2</sub>年間削減率を図-9に示す。一次エネルギー消費量に関しては、どの地域でもDCGパターンの方が個別建物パターンよりも

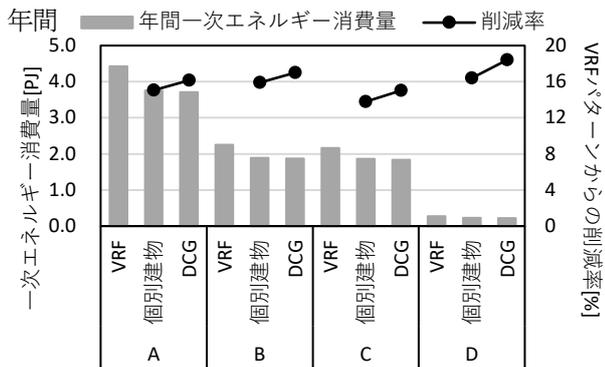


図-8 年間一次エネルギー消費量の計算結果

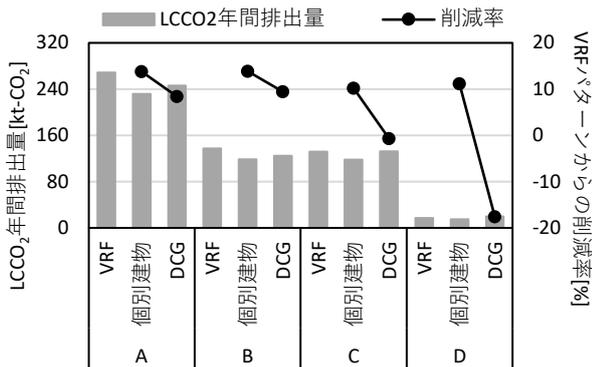


図-9 LCCO<sub>2</sub>排出量の計算結果

削減率が大きい。これはエネルギー需要の集約によって変動が平準化されたことで設備が安定して稼働し、余剰供給の発生を減らしたためであり、その効果は熱搬送時の損失や動力の電力消費による増エネを上回ることを示している。一方で、CO<sub>2</sub>排出量の年間削減率は個別建物パターンの方がDCGパターンよりも大きく、その差はAとB地域よりもCとD地域の方が顕著であり、CとD地域のDCGパターンでは最適ケースでもVRFよりも年間LCCO<sub>2</sub>排出量が増加している。これは、DCGシステムと各需要家建物をつなぐ熱供給配管の建設や維持によるCO<sub>2</sub>排出量の増加が、DCGシステムの省CO<sub>2</sub>効果を上回ったためであり、特にC地域とD地域には小規模な建物が多いことから、熱供給配管の建設や維持などによるCO<sub>2</sub>排出量の割合が大きくなっている。

これらのことから、商業地域へのDCGシステム導入

はシステムの火力発電量を削減するが、地域のCO<sub>2</sub>排出量の削減も行うには何らかの対策が必要であると言える。

## 5. おわりに

本報では、商業地域におけるDCGシステムの普及による省エネ、省CO<sub>2</sub>効果を推定した。DCGシステムシミュレーションモデルを作成し、4つの地域を対象に建物単体と地域熱電併給の2つの普及パターンによる省エネ、省CO<sub>2</sub>効果の違いを明らかにした。

今後は蓄電池や蓄熱槽といった蓄エネルギー設備のモデルを組み合わせ、対象地域全体で電力の需給バランス調整を行うバーチャルパワープラントの効果を推定する。

謝辞：本研究はJSPS科研費JP17K14773およびJSPS科研費JP18J12025の助成を受けた。記して謝意を表す。

## 参考文献

- 1) 空気調和・衛生工学会：都市ガスによるコージェネレーション評価プログラム：CASCADE III, 2013.12
- 2) 平成 25 年住宅・建築物の省エネルギー基準解説書編集委員会：平成 25 年省エネルギー基準に準拠した算定・判断の方法及び解説 I 非住宅建築物(第二版), pp.149-261, 2014.4
- 3) 都市環境エネルギー協会：地域冷暖房技術手引書 改訂第 4 版, p.31, 2013.11
- 4) 上野貴広ほか：モンテカルロシミュレーションを用いた商業・業務街区における需要変動の推計, 日本建築学会環境系論文集, Vol.84, No.757, pp.291-301, 2019 年 3 月
- 5) 九州電力株式会社：エリア需給実績, (online), available from <[http://www.kyuden.co.jp/wheeling\\_disclosure.html](http://www.kyuden.co.jp/wheeling_disclosure.html)>, (参照 2019-05-07)
- 6) 田村至ほか：都市ガス及び LNG のライフサイクル CO<sub>2</sub> 分析, エネルギー・資源, Vol. 20, No.6, pp.68-75, 1999.11
- 7) 武田晃成ほか：コージェネレーションシステム導入効果の LCA, 日本建築学会技術報告集, No.17, pp.275-278, 2003.6
- 8) 日本建築学会：建物の L C A 指針 ―温暖化・資源消費・廃棄物対策のための評価ツール― 改定版, p.134 および p.147, 2013.2
- 9) 酒井 寛二：建築活動と地球環境―建築のライフサイクル環境負荷(空気調和・衛生工学会新書), p.133, 1995.9

# 国道7号紫竹山道路事業における交通への影響を最小限に抑えた旧橋撤去への挑戦

瀬川 莉子<sup>1</sup>・加藤 耕一郎<sup>1</sup>・森田 義一<sup>2</sup>

<sup>1</sup>新潟国道事務所 工務第一課 (〒950-0912 新潟県新潟市中央区南笹口2-1-65)

<sup>2</sup>新潟国道事務所 新潟維持出張所 (〒950-0914 新潟市東区紫竹山3-12-2)

昼夜を問わず交通量が多く、新潟都市圏における物流の大動脈である国道7号紫竹山ICでの旧橋撤去において、交通流への影響を最小限に抑えるため、課題の抽出から工法検討、施工結果までを報告するもの。

キーワード 紫竹山道路、橋梁撤去、交通量、交通影響、工期短縮

## 1. はじめに

全国第2位の交通量を誇る新潟バイパスに接続する紫竹山ICは、新潟市中央区紫竹山に位置し、国道7号・8号・49号が交差する主要交通結節点である。

国道7号紫竹山道路事業および栗ノ木道路事業は、国道7号栗ノ木バイパスの笹越橋交差点～紫竹山交差点間を連続立体道路化するとともに、紫竹山ICを完全立体交差型のインターチェンジに改築するものである。紫竹山ICの改築は、2014年度に工事着手され、2018年11月には栗ノ木バイパスから国道8号長岡市方面に向かうランプの付替え工事が完了し、新ランプが供用されている。

本稿では、新ランプの供用後、交通量の多い国道49号亀田バイパスを跨ぐ旧ランプ橋の撤去について、現道交通への影響、安全性、確実性に重点を置いた施工計画、施工結果を報告する。



写真-1 紫竹山IC全景（旧橋撤去前）



図-1 紫竹山IC位置図

## 2. 紫竹山ICの計画概要

現況の紫竹山ICは、阿賀野市方面から新発田市方面に向かう場合、平面交差点を右折する通行形態となっており、右折車両の滞留による渋滞や交通事故が発生している。また、紫竹山ICに隣接する栗ノ木バイパス紫竹山交差点においても渋滞、事故が多発している。

紫竹山道路事業では、これらの課題を解消し、交通の円滑性・安全性向上を図るため、紫竹山ICを次のように改築する計画としている。

- ① 阿賀野市方面から新発田市方面に向かうランプの立体化
- ② 連続立体道路となる笹越橋交差点～紫竹山交差点間の本線高架橋とランプの接続

この改築に伴い、既設ランプの大半が利用できなくなることから、ランプの付替えならびに旧ランプ橋の撤去が必要となった。

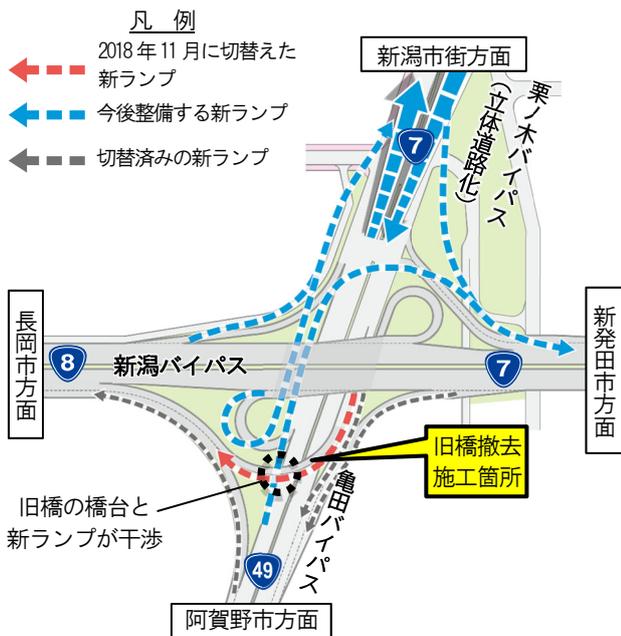


図-2 紫竹山ICの改築計画

### 3. 旧橋撤去工事の概要

旧橋は、1978年に完成した橋長28.5mのRC2径間連続中空床版橋である。2019年度に施工された撤去工事の概要を表-1に、旧橋の概要図を図-3に示す。

表-1 旧橋撤去工事の概要

工種	数量
上部工撤去工	336.7t
橋脚撤去工	1基
飛雪防止柵撤去工	72m
仮設工	一式

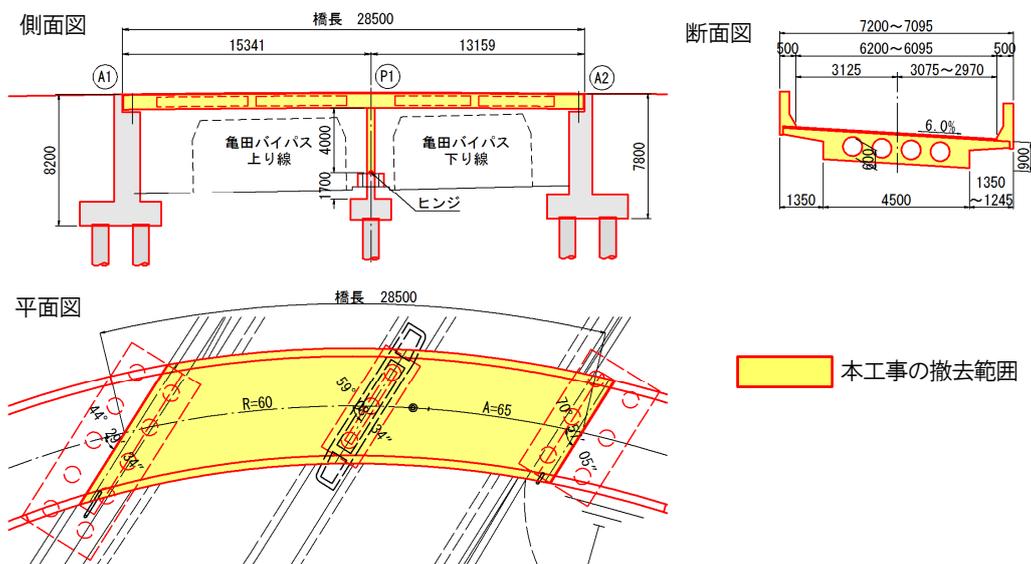


図-3 旧橋の概要図

旧橋の特徴は、次のとおりである。

- ① 交通量の多い国道49号亀田バイパスを跨ぐ橋梁であり、紫竹山ICのランプとも近接し作業ヤードが限られる。
  - ② 桁下高は5m以下であり、建築限界に対する余裕が小さい。
  - ③ 曲線橋 (R=60m) かつ斜橋で、幅員の変化もある。
  - ④ 固定支保工により施工された場所打ち床版のため、上部工全体が継ぎ目のない一体構造となっている。
- これらの現場状況、構造的特徴を踏まえ旧橋撤去設計を行い、下記①～④の理由から「多軸式特殊台車による2分割撤去工法」を上部工撤去の基本工法に採用した。
- ① 長時間の通行規制を行えないため、ベントや桁下防護工を併用し、上部工を小割りにしてクレーンによる分割撤去する工法は適用できない。
  - ② 橋脚付近で上部工を2分割し、1径間ずつ撤去する場合、国内最大級の1200t吊オールテレーンクレーンを使用しても吊能力が不足する。クレーンの組立解体ヤードも確保できない。
  - ③ 新旧ランプとも平面曲線半径が小さく、橋台背面のスペースが小さいため、バックヤードが必要な架設桁やケーブルクレーンは使用できない。
  - ④ 多軸式特殊台車による分割撤去は、車線規制を伴う常設の作業ヤードや仮設備が必要なく、交通量が少ない夜間の通行規制のみで施工可能である。

橋脚の撤去は、夜間に亀田バイパスの1車線を規制して行う計画とし、騒音が小さく、コンクリート片等の飛散も抑えられる「ワイヤーソーによるブロック解体」を採用した。

多軸式特殊台車の分解・組立および撤去後のコンクリート破砕は、旧橋近傍のループランプの内側で行うこととした。ループ内は、撤去工事前の2018年度に伐採、水路の暗渠化等のヤード整備を行った。

#### 4. 旧橋撤去の施工計画

多軸式特殊台車による撤去を実施するにあたり、施工上の課題を抽出し、それを解消可能な対策、施工計画の検討を行った。

##### (1) 施工時の交通規制

旧橋撤去工事を行う亀田バイパス交通量は図-4のとおりである。22時から6時までの深夜・早朝は、上下線とも交通量は1,000台/時を下回るが、この時間帯の交通量合計は約5,200台である。

施工箇所を全面通行止めする場合は、亀田バイパス姥ヶ山IC～紫竹山IC間（延長約2.1km）が規制区間となり、最寄りの幹線道路に迂回すると、亀田バイパス利用に比べ走行距離が約1.7km増加する。

交通量と迂回距離を考慮すると、撤去工事の作業開始から完了までの全面通行止めは、地域住民の生活、救急救命活動、経済活動などへの影響が大きいことから、作業中も交通を確保することを条件とした。

上部工撤去作業中は多軸式特殊台車を上下線いずれかに配置するため、もう一方の車線を使用し、交通を確保する規制計画を検討した。2車線で双方向通行とする案は、交通処理上は有利であるが、作業帯に近接して一般車両が通行し、対向車との事故も発生しやすく、安全性に劣る。これに対し、作業帯から離れた第1走行車線を使用して片側交互通行とする案は、多少の渋滞が見込まれるものの、工事の安全性が高く、一般車両の事故も起きにくい。

当該工事においては、安全性を最優先事項として片側交互通行規制を採用した。

この規制計画により、撤去作業は多軸式特殊台車1台を使用し、上下線を各1日、計2日で実施することとした。

なお、規制帯の設置・撤去時と多軸式特殊台車が一般車両通行車線を横断する際は、30分程度の通行止めが必要である。

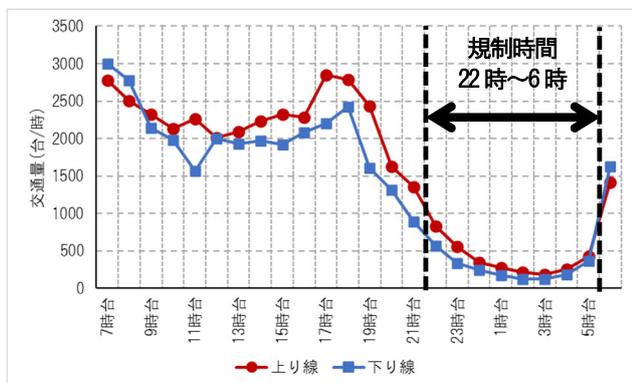


図-4 亀田バイパス・姥ヶ山IC～紫竹山IC間の時間交通量  
(2014年6月5日～6日調査：平日)

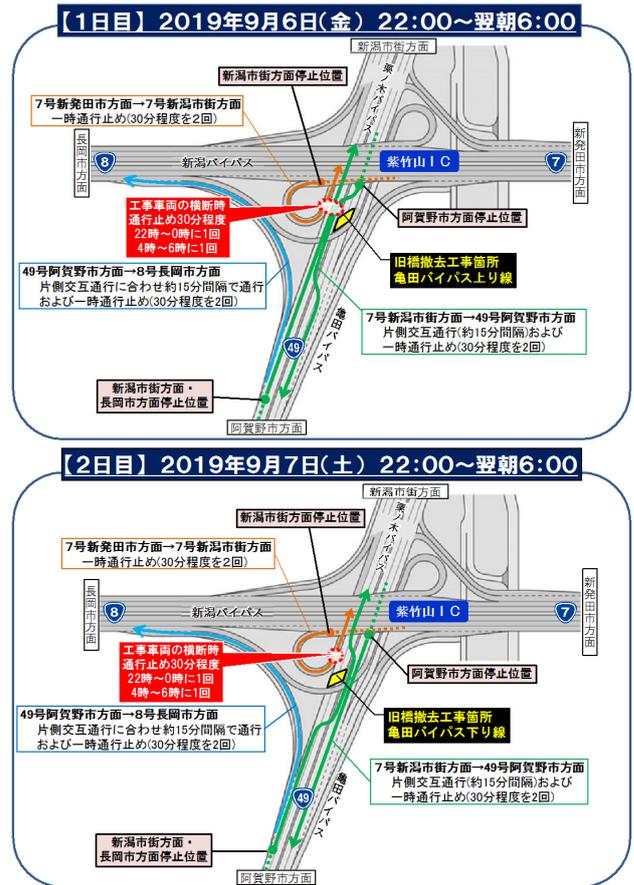


図-5 上部工撤去時の通行規制

##### (2) 作業時間帯と施工日の設定

亀田バイパスにおける車線規制を伴う他の工事と同様、規制時間は22時から6時とした。

上部工撤去の施工日は、予期せぬトラブル等により万一、6時までに交通開放できない事態を想定し、翌朝の交通量が少ない金曜日、土曜日に計画した。イベント等の開催予定を確認し、夜間交通量が増加する可能性の低い2019年9月6日（金）と9月7日（土）の2日間を施工日に決定した。

旧橋は、橋脚がヒンジ構造となっており、事前にヒンジ部の回転防止対策を施したが、レベル2地震動クラスの大いな水平力は負担できないため、上部工撤去日の間隔を空けず、2日連続で実施することとした。

##### (3) 旧橋および周辺施設の事前確認

多軸式特殊台車による撤去においては、台車上に設置した油圧昇降ジャッキ（ユニットジャッキ）で上部工をリフトアップし、運搬する。運搬時に積荷の安定を保つためには、桁下の路面形状、上部工の形状や重心を正確に把握し、形状に合わせて油圧昇降ジャッキの調整を行う必要がある。

当現場では、撤去の実施に先立ち桁下に施工機械を設置できないため、事前の3次元測量により形状を確認し、施工機械の設置位置や高さを詳細に計画した。



図6 事前測量による3次元点群データ

#### (4) 撤去当日の作業量削減、トラブル回避

上部工撤去当日の作業は、22時～6時の規制時間のうち、規制に係る時間を除く5時間程度に限られる。この時間を有効に利用するため、多軸式特殊台車で上部工本体（中空床版）をリフトアップする前に可能な作業を事前に済ませることとした。

また、リフトアップ時および運搬時に想定されるトラブルを予め抽出し、それを回避する対策も事前に行った。

##### a) パラペットの事前切断

上部工とパラペットとの遊間が小さく、上部工をリフトアップする際に接触し、撤去不能となるおそれがあることから、事前にパラペットの切断・撤去を行うこととした。（写真-2）

##### b) 上部工分割位置における壁高欄の事前切断

上部工分割位置において、撤去当日の切断量を極力減らすため、上部工の耐力に影響のない壁高欄を事前に切断・撤去することとした。事前撤去することにより、パラペットと同様のリフトアップ時におけるトラブルや、横移動時の干渉の回避を図った。（写真-3）

##### c) 支承の縁切り確認

支承のアンカーボルトの腐食等により上部工と下部工を分離できないことが想定されたため、プレートジャッキを用いて縁切りが可能なことを事前に確認した。（写真-4）

##### d) 撤去当日の上部工切断には乾式ワイヤーソーを使用

通常のワイヤーソーイング工法では経済的な湿式を使用するが、切断水が通行車両に飛散するのを防止するためシート等で養生を行う必要がある。また、作業後には切断水の清掃も必要である。

上部工撤去当日は、養生や清掃に伴う作業時間のロスが生じない、乾式ワイヤーソーを使用することとした。

##### e) 上部工切断面の工夫

ワイヤーソーによる切断幅は1cm程度しかなく、切断面の鉛直度によりリフトアップ時に切断面が干渉するおそれがある。これを避けるため、先行して撤去する上部工に対し、上面が広く、下面が狭くなるよう斜めに切断することとした。



写真-2 パラペット事前切断後の状況

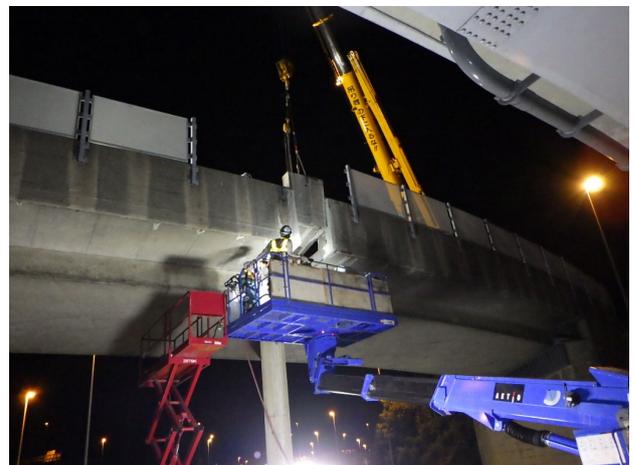


写真-3 分割位置の壁高欄事前切断



写真-4 プレートジャッキによる支承の縁切り

#### (5) タイムスケジュールの共有とリスク管理

当現場での撤去作業は、予行演習を行うことが不可能であり、わずかな手順の違いや作業の遅れが制限時間の超過につながる。そのような事態を招かぬよう、約1時間の余裕時間を確保した分単位のタイムスケジュールを作成した。工事関係者全員にタイムスケジュールの周知徹底と合わせてリスク管理を行った。（表-2）





写真-8 クレーンによる大型土のう設置



写真-9 上り線側上部工の運搬



写真-10 上部工・橋脚の撤去後



写真-11 解体ヤードでの上部工の破碎作業

## 6. 施工後の振り返り

今回、昼夜問わず交通量が多く、新潟都市圏の物流の大動脈である国道7号紫竹山ICの旧ランプ橋の撤去ということから、交通を確保しながら限られた時間の中での工事であった。

2日間にわたる撤去工事においては、規制に伴う交通事故、著しい渋滞、苦情もなく、予定した時間内に無事終了した。

施工中には、ワイヤーソーの不具合、リフトアップ時の荷重の偏心等、多少のトラブルも生じたが、徹底して行った事前準備やリスクマネジメント、入念に作成されたタイムスケジュールが成功の鍵であった。

現在、設計・施工されている橋梁は、耐用期間を100年以上としており、既設橋の予防保全も実施されていることから、老朽化による架け替えは減少することが確実である。しかし、道路の改築や大規模自然災害などで橋梁の撤去が必要となる場合は少なからずある。

今後新設される橋梁、特に桁下での作業制限が厳しい跨道橋、跨線橋については、どのように撤去するかを念頭に置いて橋種、径間割、細部構造を決定することも必要と考える。

## 7. おわりに

今回の工事は本事業においてほんの一部の工事に過ぎない。しかし、このほんの一部の工事であっても、多くの方が携わり、様々な経験や知識を取り入れ、設計、計画、事前準備、施工、監督を行い、無事工事を終えることができた。

本稿を通じ、ノウハウの継承及び経験の積み重ねが重要であること、コンサル、施工業者、現場監督員が丸となって成り立っていることを再確認して頂ければ幸いである。

今回ご協力頂きました、設計：エヌシーイー株式会社、施工：丸運建設株式会社、ならびに施工に携わった協力会社の皆様に深く感謝し、本稿を終えるものとする。

## 参考文献

- 1) 北陸橋梁撤去技術委員会：橋梁撤去技術マニュアル〔第5回改訂版〕。

# 小規模下水処理場における電力消費量の実態調査

濱田知幸<sup>1</sup>・田中裕大<sup>1</sup>・高村和典<sup>2</sup>

<sup>1</sup>国土技術政策総合研究所下水道研究部下水道研究室（〒305-0804 茨城県つくば市旭1番地）

<sup>2</sup>研究当時 国土交通省 国土技術政策総合研究所 下水道研究部 下水道エネルギー・機能復旧研究官  
現 日本下水道事業団 研修センター次長

下水処理場の電力消費量の削減対策は、効果の大きい大規模処理場を対象とした技術開発が進んでいる一方で、小規模処理場をターゲットとした研究、調査報告は殆ど行われていない状況にある。小規模処理場を対象とした新技術の開発、導入促進の推進策を検討していくためには、運転状況等の実態を把握して、課題を明らかにする必要がある。本検討では、小規模下水処理場の課題を踏まえた電力消費量の削減対策に資する技術開発の方向性、行政的なニーズを整理することを目的に、小規模下水処理場の電力消費量の大小を決める要因について運転状況等の実態調査を行った。

キーワード 小規模下水処理場、オキシデーションディッチ法、電力消費量、

## 1. 背景・目的

下水道施設の年間消費電力量は68億kWh/年であり、我が国の電力量の約0.7%を占める。人口減少や電力料金の高騰など、下水道経営は厳しさを増しておりエネルギー消費量の大きい下水処理場において省エネ対策が必要であることから、国土交通省では新下水道ビジョン加速戦略<sup>1)</sup>(平成29年8月)において「概ね20年で下水道事業における電力消費量の半減」を目標として取り組むことを掲げている。また、流入水量1万m<sup>3</sup>/日以上を対象とした「下水処理場のエネルギー最適化に向けた省エネ技術導入マニュアル(案)」を策定し、地方公共団体の省エネ施策を支援している。

一方で、平成28年度版下水道統計<sup>2)</sup>を基に全国の下水処理場の年間消費電力量を規模別に整理すると(図1)、大規模、中規模処理場がそれぞれ66%、21%を占めるが、流入水量1万m<sup>3</sup>/日以上小規模処理場も電力消費量の13%を占めており、電力量半減のためには小規模下水処理場

の省エネルギー化も必要となる。加えて、人口減少の下水道経営へのインパクトは大規模処理場よりも小規模処理場の方が大きいことが想定される。

小規模下水処理場の電力量について、図2に平成28年度版下水道統計<sup>2)</sup>を整理した水処理における流入水量別の電力消費量原単位を示す。電力消費量原単位は、流入水量を晴天時日最大処理水量(現有施設能力)で除算した流入比率や流入水量と概ね負の相関があるが、処理場毎の差異も大きく、同水量でも2倍以上の電力消費量原単位の差が生じている例もある。このことから流入比率や、流入水量以外の要因が処理場の電力消費量に影響している可能性がある。

このように小規模処理場毎におけるエネルギー使用量の差が大きく、省エネの余地は大きいことが想定されるが、小規模処理場を対象とした実態の調査等も行われていない。そこで小規模処理場における電力使用量原単位の大小を決める要因、根本原因を調査し、実態を把握したうえで、省エネ推進に必要となる新技術、対応策を明らかにすることとした。

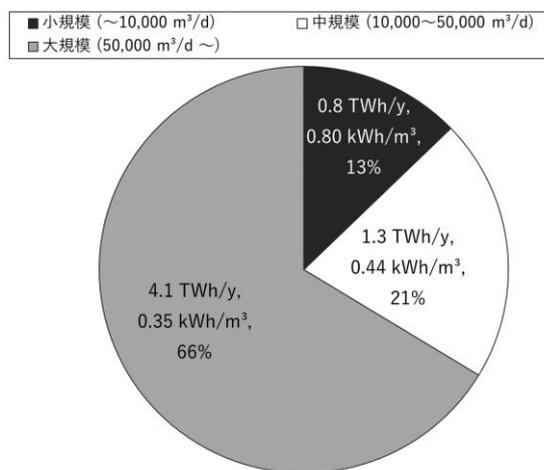


図1 流入水量別の年間消費電力量の割合の比較

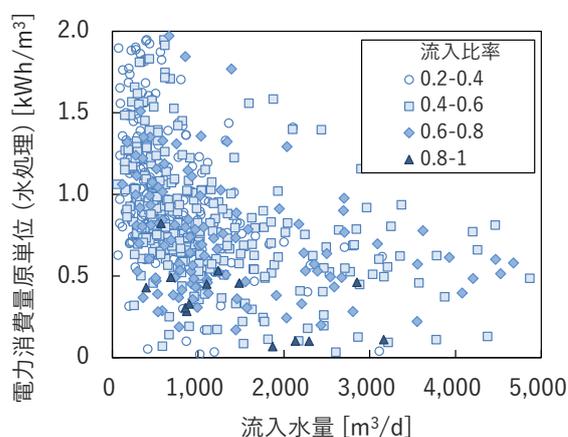


図2 OD法における水処理の電力消費量原単位(平成28年度版下水道統計<sup>2)</sup>を整理)

## 2. 調査方法

計画晴天時日最大処理水量が5,000 m<sup>3</sup>/d以下の小規模処理場の水処理方式は、1,221処理場のうち910処理場がオキシデーションディッチ（以下OD）法である（下水道統計<sup>2)</sup>）。OD法の処理場を対象として電力消費量の大小を決める要因について明らかにするため、地方公共団体職員と処理場の受託業者運転員からヒアリング調査した。ヒアリング調査の実施にあたり、OD法の電力消費量の構成を机上で整理したうえで、ヒアリングで着目する処理工程を整理した。また、OD法のうち、処理場の躯体やエアレーション装置による影響を排除するため、導入実績の多い形式の処理場をヒアリング対象とした。

### (1) OD法の概要、電力消費の構成

OD法は最初沈殿池を設けず、機械式エアレーション装置を有する無終端水路を反応タンクとして、低負荷条件で活性汚泥処理を行う処理法である。低負荷条件で運転するため、流入下水量、水質の時間変動があっても安定した有機物除去が可能である<sup>3)</sup>ため、小規模処理場で多く採用されている。

図3にOD法の電力消費量の内訳の試算値<sup>4)</sup>を示す。OD法では反応タンク設備が電力消費量の50%以上を占めていた。OD法の反応タンク設備で主として電力を消費する機器はエアレーション装置であることから、電力消費量の大半はエアレーション装置の仕様や運転方法によって決まることが考えられるため、本検討では電力消費量のうち反応タンク設備が含まれる水処理に係る部分に着目した。

### (2) ヒアリング調査対象処理場の選定

ヒアリング対象の選定にあたり、平成28年度版下水道統計を基に、電力消費量原単位、日平均流入水量（1,000 m<sup>3</sup>/d以上）、反応槽の有効水深（2.5～3.6 m）等によって絞り

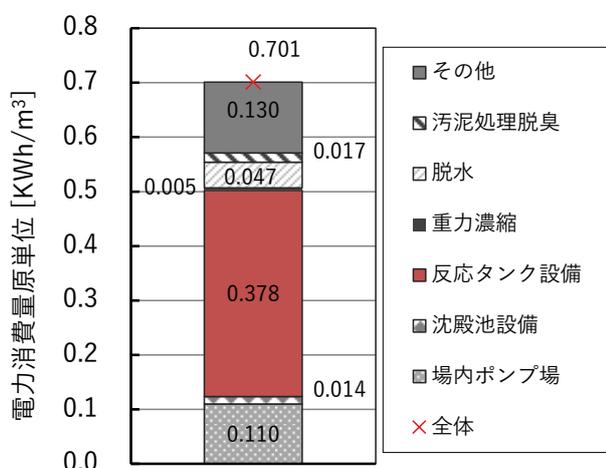


図3 OD法における電力消費量原単位の内訳の試算（計画日最大汚水量 5,000 m<sup>3</sup>/d）

込みを行った。その後、エアレーション装置の種類や反応槽の形状、間欠運転の有無などを電話にてヒアリングし、電力消費量原単位とエアレーション装置の観点から9箇所まで絞り込みを行った上で現地にてヒアリング調査を実施した。

図4にヒアリング対象の処理場の電力消費量原単位を示す。電力消費量原単位はヒアリング時に入手した運転管理年報に基づいて算出した。これらのグラフより、A、E、F、H、I処理場の電力消費量原単位はB、C、D、Gに対して小さいことが読み取れる。

### (3) ヒアリング項目と解析方法

「電力消費量の現況に関する直接的な因子」を整理するため、水処理の電力消費を解析に必要な処理場の運転状況をヒアリングした。具体的には、エアレーション装置の運転状況（酸素供給を目的とした高速運転、かく拌を目的とした低速運転、停止時間など）、エアレーション装置の形式・定格電力・回転数等を確認し、さらに電力消費量と水質を確認するために運転管理年報・月報を入手した。この運転時間とエアレーション装置の定格出力および回転数を用いて、エアレーションによる電力消費量の試算を行った。

さらにこの値と酸素移動効率（2.2 kgO<sub>2</sub>/kWh、日本下水道事業団標準仕様）を用いて、酸素供給量を試算した。また、下水道統計に記載の水質を用いて必要酸素量を試算し、酸素供給量との比較を行った。

また、現況の処理場の運転状況を決定する間接的な要因を明らかにするため、処理場の管理体制、下水道事業に係る職員数、処理場管理の職員数や兼務の状況、また業務を受託した業者の運転員の要員数や年齢層、契約方式、運転管理調整方法、研修受講機会等について把握した。

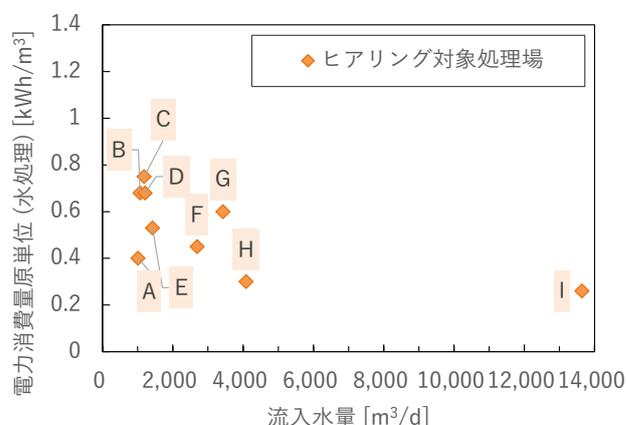


図4 ヒアリング対象処理場の処理水量と電力消費量原単位の関係

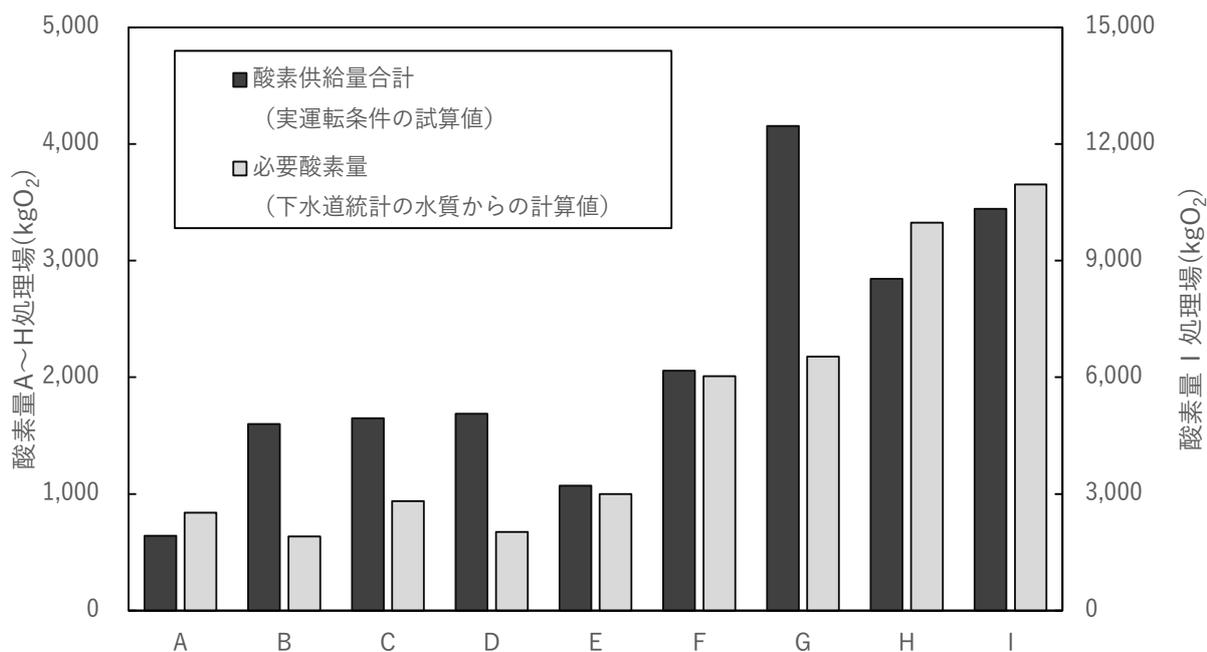


図5 各処理場の酸素供給量（実運転条件での試算値）と必要酸素量の比較

### 3. 調査結果

#### (1) 水処理の運転状況に関するヒアリング

ヒアリングにより得たエアレーション装置の運転時間から試算した酸素供給量合計と、下水道統計の水質から試算した必要酸素量とを比較すると、電力消費量原単位が比較的多い処理場B, C, D, Gは試算された必要酸素量に対して酸素供給量が1.75~2.5倍多くなった（図5）。

より詳細に比較するために同規模であるA, B, D処理場を抜粋し、エアレーション装置の運転時間を比較した。A, B, Dは流入水量がおよそ1,000 m<sup>3</sup>/dの処理場で、流入水の生物化学的酸素要求量（BOD）がおよそ200 mg/Lである。エアレーション時間について比較した結果を図6に示す。

電力消費量の少ない処理場Aは主に酸素供給を目的とした高速運転時間が9時間程度となっているのに対して、処理場B, Dは高速運転時間が12, 18時間となっているため電力消費量原単位が多くなっていると考えられる。エ

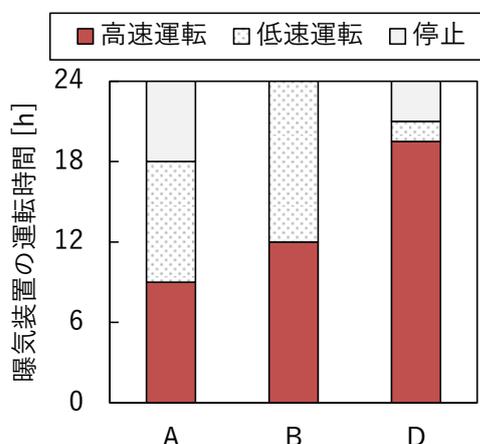


図6 各処理場のエアレーション装置運転時間

アレーション装置の運転時間を短縮することが可能であれば、処理場の電力消費量の低減ひいては電力使用料の削減に寄与するものと考えられる。

#### (2) 処理場の管理体制等に関するヒアリング

##### ① 地方公共団体の体制

下水道事業に係る地方公共団体職員へのヒアリング結果を表1に示す。全体の職員数に対して処理場管理に係る職員は少なく、またそのほとんどが他業務との兼務であった。

地方公共団体側の処理場への関与について、処理場管理業務が全体の仕事の中でどの程度であると感じているか、地方公共団体職員から聞き取り調査・整理した結果を図7に示す。地方公共団体職員の処理場業務の比率は、ヒアリング対象の処理場では10%未満が多かった。

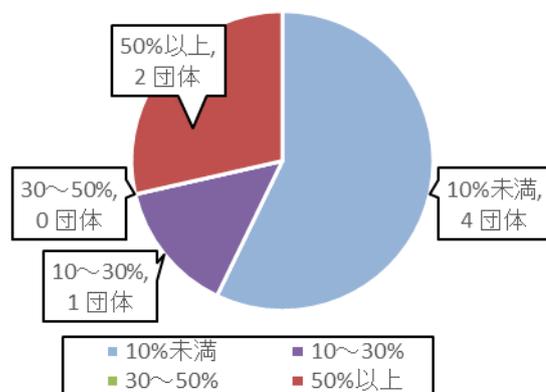


図7 ヒアリング対象の処理場管理担当職員の全体業務に対する処理場管理業務の比率

表1 下水道事業に係る地方公共団体職員

処理場	処理場の管理体制	下水道事業に係る職員数	処理場管理の職員数	下水道事業以外の兼務		備考
				状況	兼務の内容	
A	委託	4	0	○	農集、浄化槽、料金なども兼務	何かあった場合は4名のうち対応できるもので対応
B	委託	3	3	○	浄化槽補助金等	3名で分担して対応
C	委託	2	2	○	道路管理を兼務	-
D	委託	17	0	-	-	何かあった場合のみ、維持管理系の職員で対応
E	委託	17	-	-	-	-
F	委託	12	1	-	-	-
G	委託	6	1	○	水道事業を兼務	-
H	委託	11	1	-	-	-
I	委託	17	-	-	-	-

## ② 処理場の運転管理に関する体制

地方公共団体や受託業者運転員の支援体制について確認するために維持管理に関する指導の事例と受託業者の社内での相談体制等のヒアリング結果、今回のヒアリング対象とした地方公共団体の多くは他団体からの運転管理に関する指導や助言を受けたことが無く、受託業者は発注元の地方公共団体からの運転管理に関する指導や技術供与を受けた経験は特になかった。

受託者の社内での指導・相談・連携体制については、運転方法についての簡易なマニュアルやトラブル集が社内で共有されている例があり、運転の不具合などを社内で相談できる体制がある一方で、社内での指導・連携体制が無い業者があり、社内でのノウハウ共有等の技術力向上の機会が少ない場合があることが分かった。

また、維持管理員の年齢構成は40才以上が多く、人材確保の懸念している事業者もあった。

## ③ その他

多くの処理場で処理場管理の業務委託は仕様発注であった。エアレーション装置の運転に関して、省エネを推進するという観点でなく、法令順守の観点からなるべく処理水質を低くするという観点で管理していた。また、自動制御に必要となるセンサーなど制御機器のメンテナンスを実施していない処理場が多かった。

## 4.小規模下水処理場の省エネ方策

### (1) 調査結果まとめ

ヒアリングにより得たエアレーション装置の運転時間から試算した酸素供給量合計と、下水道統計の水質からOD法の処理場について地方公共団体職員と維持管理業者運転員に対して、体制や運転管理方法についてヒアリングすることで電力消費量の大小を決める要因について調査し、次の結果が得られた。

- ①エアレーション装置の運転時間を短縮することが可能であれば、処理場の電力消費量の低減が期待できると考えられる。
- ②ヒアリング対象の地方公共団体職員や維持管理業者は運転管理に関する指導を受けた経験が無く、技術力向上の機会が少ない。
- ③処理場管理の業務委託は仕様発注となっており、電力削減にむけての受託業者側の工夫が期待しにくい。

### (2) 省エネの推進方策

小規模処理場の省エネ方策として、地方自治体や受託事業者にメリットがあることを示す「事例紹介」が重要であると考えられる。まずは、地方公共団体や処理場の受託事業者と連携して「省エネ運転実証」を行い、これらの成果を基に、具体的な取り組み内容と効果（エネルギー使用量、電気使用料）を整理する予定である。これを都道府県単位の会議等で説明することにより、小規模処理場の省エネに関する取組の波及を目指している。

また、この取組を推進するために、維持管理員の研修機会確保の他、受託者にもメリットが得られる契約方式の検討など制度面での検討も重要と考えている。加えて、人材確保が困難になることを見据え、下水処理場の遠隔管理技術や省メンテナンスな制御技術などの技術開発を促進していく必要がある。

### 参考文献

- 1) 国土交通省水管理・国土保全局下水道部：新下水道ビジョン加速戦略、2017
- 2) 日本下水道協会：平成28年度版下水道統計、2018
- 3) 日本下水道協会：下水道施設計画・設計指針と解説-2019年版-
- 4) 橋本敏一、渡邊航介、高村和典：第56回下水道研究発表会講演集、pp.635～637、2019