

ICT浚渫工（港湾）の推進に向けた 底泥特性を踏まえた音響測深結果に関する検討

坂田 憲治¹・井山 繁¹

¹国土技術政策総合研究所 港湾研究部（〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬3-1-1）

マルチビーム測深による3次元データを活用する事で生産性向上を目指すICT浚渫工（港湾）が2017年度より開始され、マルチビーム測深における測深性能や測深精度は、試行工事等を踏まえ、毎年改定されている。引き続きICT浚渫工（港湾）の推進に向けて取り組んでいく必要があるが、浮泥が堆積する一部海域でマルチビーム測深を実施した場合、音波による観測海底面が船舶の航行上支障が生じる水深と一致しない場合がある。そこで、本研究では上記海域における効率的な測深手法の構築に向け、東京湾で現地観測を実施し、底泥特性を踏まえた音響測深結果について検討した。

キーワード ICT浚渫工（港湾）、底泥、マルチビーム測深、東京湾

1. はじめに

マルチビーム測深による3次元データを活用する事で調査、測量、設計、施工、維持管理まであらゆる建設生産プロセスの生産性向上を目指すICT浚渫工（港湾）（以下「ICT浚渫工」という。）が2017年度より開始されており、今後、より一層マルチビーム測深の普及が想定される。マルチビーム測深における測深性能や測深精度は、「マルチビームを用いた深浅測量マニュアル（浚渫工編）」¹⁾（以下「深浅測量マニュアル」という。）等に規定されており、生産性向上に資するため、ICT浚渫工試行工事等を踏まえ、2017年度と2018年度に一部改定が実施されている（表-1）。

引き続き、ICT浚渫工の推進に向けて各種要領の改定等に取り組んでいく必要があるが、浮泥が堆積する一部海域でマルチビームやシングルビームの音響測深を実施した場合、浮泥層の上面が音響測深による海底面（以下「観測海底面」という。）となり、船舶の航行上支障が生じる水深と一致しない場合がある。なお、ここでは、船舶の航行上支障が生じる水深とは、航行上支障が生じる底泥密度の限界値（PIANC, 2014）を示す水深のことである。

観測海底面が航行上支障が生じる水深より浅く観測され、さらに設計水深も満たさない場合には、航行上支障がないにも関わらず、設計水深を確保するための維持浚渫を実施せざるを得ない可能性が生じる。

浮泥が堆積する海域において、底泥密度を考慮した測

深が可能となれば、浮泥の船舶航行への影響を考慮した合理的な維持浚渫等、より効率的な水深管理が可能となるが、現在密度計等による物性値測定を別途実施する必要がある、作業コストの増大につながる。したがって、音響測深の測深結果と底泥密度との関係を評価した上で、音響測深等による効率的な測深手法を構築することにより、更なる生産性向上に資することが望まれている。

そこで、本研究では、東京湾を対象とした、音響測深及び密度測定の実地観測を行い、底泥特性を踏まえた音響測深結果について検討した。

表-1 マルチビーム測深の測深性能と測深精度¹⁾

2016年度初版	
測深性能 (取得点密度)	I. 0.5m 平面格子に3点以上 II. 達成率 90%以上 III. 未達成平面格子の連続不可
測深精度	i. $\pm 10\text{cm}$
2017年度改定版	
測深性能 (取得点密度)	I. 1.0m 平面格子に3点以上 II. 達成率 90%以上 III. 未達成平面格子の連続不可
測深精度	i. $\pm 10\text{cm}$, ii. 達成率 90%
2018年度改定版	
測深性能 (取得点密度)	I. 1.0m 平面格子に3点以上 II. 達成率 99%以上
測深精度	i. 平成 14 年度海上保安庁告示第 102 号で定められた通りとする。

2. ICT浚渫工におけるマルチビーム測深の導入

(1) ICT浚渫工におけるマルチビーム測深の概要

マルチビーム測深は、船の進行と共に多数の音響ビームを海底に扇状に照射する測深システムであり、これまで一般的に用いられてきたシングルビーム測深が送受波器直下の水深情報を線で測深しているのに対し、面的に詳細な海底地形を測深可能なため、全域を対象とする深浅測量が可能となる（図-1）。マルチビーム測深によって取得された3次元データを設計・施工計画、施工、検査、維持管理の各段階で活用することにより、作業の効率化や品質、安全性の向上につながる（図-2）。

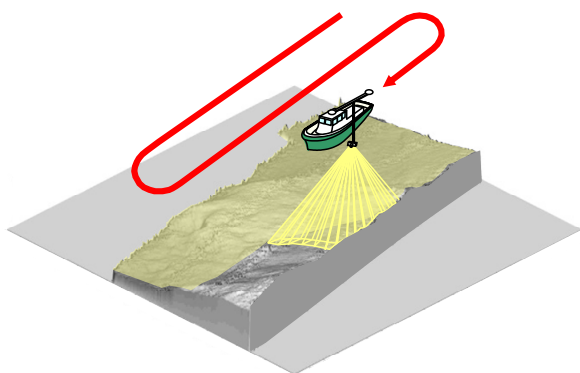


図-1 マルチビーム測深のイメージ図¹⁾

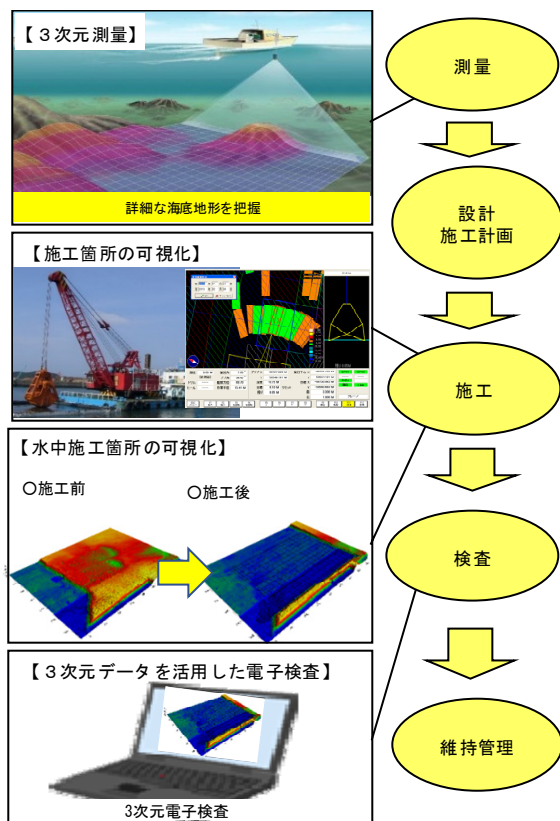


図-2 ICT浚渫工における各段階のICTの活用²⁾

(2) マルチビーム測深における測深性能・測深精度

深浅測量マニュアルにおいて、マルチビーム測深に関する測深性能や測深精度が規定されており、2016年度に策定された後、2017年度にICT浚渫工試行工事等を踏まえ一部改定され、2018年度にもICT浚渫工試行工事や港湾におけるICT導入検討会での議論を踏まえ、再び改定され、現在、上記測深性能等は前述した通り規定されている（表-1）。なお、測深性能の達成率（例えば、99%以上）とは、1.0 m平面格子当たり点群が3点以上取得された格子数の全体格子数に対して占める割合を意味する（図-3）。また、平成14年度海上保安庁告示第102号で定められた測深精度とは、当該告示の別表第二³⁾に海域に応じて記載されている算定式によるものである。

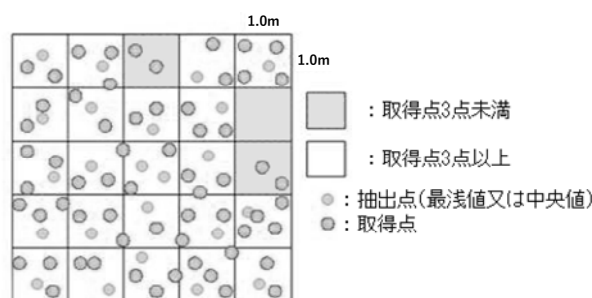


図-3 取得点密度の確認¹⁾

3. マルチビーム測深における底泥の影響

浮泥が堆積する海域において音響測深を実施した場合、音波の周波数の違いによる観測海底面の違いについては、これまで数多くの現地観測調査が実施されており、例えば、古くは1960年代に木原⁴⁾が複数の周波数による観測海底面の違いを現地調査から把握しており、また近年でも森⁵⁾がマルチビーム音響測深機の周波数200 kHzと400 kHzの違いにより観測海底面差10 cm程度の観測海底面差が生じることなどを示している。

音響測深の周波数が高くなるほど、観測海底面は浅く計測される結果となっており、周波数に応じて観測海底面に違いが生じるのは、周波数が高いほど粒子に反射しやすく、また浮泥層内において音響ビームのエネルギーが減衰され、反射距離が減少してしまうためと思われる。

また、船舶の航行上支障が生じる水深は、ベルギー等では模型実験結果を踏まえ底泥密度 $1,200 \text{ kg/m}^3$ と設定されており（表-2）、底泥の密度分布は海域に応じて異なり、当該水深を音響測深機によって測深することは現在困難である。そのため、密度計による物性値測定を別途実施する必要がある、作業コストの増大につながる。したがって、船舶の航行上支障が生じる水深を効率的に把握するためには、今後、当該水深を推計可能な音響測深手法の構築が望まれる。

表-2 海外における船舶の航行上支障が生じる水深
(PIANC Report No.121(2014) より)

	船舶の航行上支障が生じる水深の定義
ベルギー	底泥密度 $1,200 \text{ kg/m}^3$ を航海上の海底面とする。
フランス	同上。
オランダ	同上。
ドイツ	剪断強度 10 Pa を航海上の海底面とする。当該海底面は底泥密度 $1,100 \sim 1,250 \text{ kg/m}^3$ に相当。
アメリカ	特に基準等はない。

4. 東京湾を対象とした現地観測

(1) 現地観測の概要

2018年11月5日～7日の3日間に、東京湾の東京東航路周辺海域（図-4）において、観測海底面と底泥密度の関係を把握するため、計4点で船舶を停止させた状態で観測した。なお、対象海域は既往知見⁹⁾から浮泥が一定程度堆積していることが想定される海域を設定した。

現地観測ではマルチビーム（周波数：400 kHz、図-5）及びシングルビーム（周波数：200 kHzと10 kHz）による音響測深を行った。音響ビームの干渉を防ぐため、同時観測は実施せず、シングルビーム測深を実施した後にマルチビーム測深を実施した。なお、周波数は今後の実務的な運用を想定し、現在、比較的一般的に使用されている周波数を設定し、マルチビームによる測深データは、測深直下の値を使用した。

また、上記音響測深の他、現地式密度計による底泥密度の鉛直分布測定及びレッド（底面反力： 0.0187 kg/cm^2 ）による測深を行った。底泥密度の鉛直分布測定では、底泥の浮遊状態から堆積状態に至るまでの連続的な密度分布を水深データと共に測定可能である現地式密度計⁶⁾（図-5）を使用した。当該密度計は、振動子センサーの振動数変化から周辺媒体の密度を推計するもので、密度と水深を約1秒間隔で同時に測定・記録する事が可能である。また、密度の測定範囲と測定精度は各々 $900 \sim 1,500 \text{ kg/m}^3$ 及び 1 kg/m^3 である。今回当該密度計を船上から海底付近まで徐々に降下させ、密度計の自重ではそれ以上沈降不可な地点までの密度を測定し、また密度計測時の船舶の動揺の影響を考慮し、密度が海水密度 $1,027 \text{ kg/m}^3$ から上昇を開始する点を浮泥層の上面とし、最も密度変化に敏感となる400 kHzの観測海底面を浮泥層の上面に並べて、水深値を設定した。

これらを用いて、音響測深による観測海底面と船舶の航行上支障が生じる底泥密度の限界値として参照されることの多い底泥密度 $1,200 \text{ kg/m}^3$ の水深位置との関係を把握検討した。底泥密度 $1,200 \text{ kg/m}^3$ の水深位置は、現地式密度計によって計測された当該密度直前直後の水深値を直線補完した際の底泥密度 $1,200 \text{ kg/m}^3$ との交点とした。

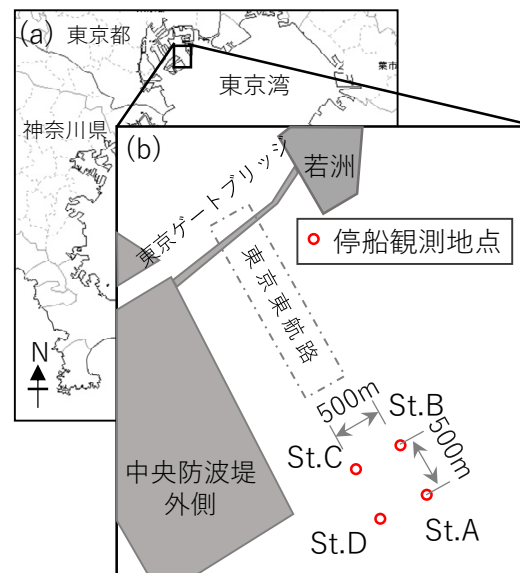


図-4 観測対象海域（(a)東京湾内での観測海域、(b)停船観測地点）

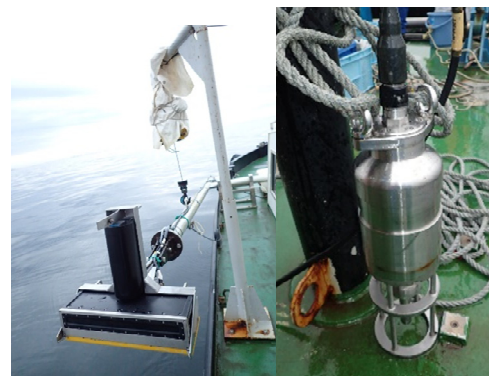


図-5 マルチビーム（左写真）と現地式密度計（右写真）

(2) 現地観測結果

音響測深の周波数が、10 kHz、200 kHz、400 kHzと高くなるほど、既往観測結果と同様に観測海底面が浅く計測される結果となった（図-6）。また、レッドの停止位置はいずれの観測地点でも10 kHzと200 kHzの間の水深で計測された。しかし、現地式密度計により定めた底泥密度 $1,200 \text{ kg/m}^3$ の水深位置は観測地点によって異なり、St.Bでは10 kHzの観測海底面より深い地点に、St.Cではレッドの停止位置と10 kHzの観測海底面の間に、St.Dではレッドの停止位置とほぼ同地点に計測された。なお、St.Aでは、現地のオペレーションや不均一な密度分布の影響により、現地式密度計が底泥密度 $1,200 \text{ kg/m}^3$ の水深位置まで沈降しきらず、そのため、底泥密度 $1,200 \text{ kg/m}^3$ の水深位置を計測することができなかった。

上記底泥密度 $1,200 \text{ kg/m}^3$ の水深位置の違いについて、底泥密度の変化率及び各観測海底面との相対関係に着目して分析してみると、 $1,200 \text{ kg/m}^3$ 以下の密度変化率が小さくなる（ $\text{St.D} > \text{St.C} > \text{St.B}$ ）に伴い、底泥密度 $1,200$

kg/m³の水深位置は、観測海底面との相対関係上深い地点（レッドの停止位置と同地点、レッドの停止位置と10 kHzの観測海底面の間、10 kHzの観測海底面より深い地点）で計測されていることがわかった。なお、底泥密度1,200 kg/m³以下の密度変化率とは、底泥密度が海水密度1,027 kg/m³から上昇を開始し1,200 kg/m³に至るまでの距離で両密度差を除算した値のことを表す。当該結果から、底泥密度1,200 kg/m³の水深位置は、底泥密度の変化率に応じて観測海底面との相対的な位置関係は変化する事が確認され、底泥密度の変化率に代替可能な値を把握することができれば、底泥密度1,200 kg/m³の水深位置の観測海底面との相対的位置を推計可能であることが示唆された。

5. まとめ

2017年にICT浚渫工が開始されて以降、生産性向上に向け、試行工事等を踏まえた各種要領の改定が毎年実施されてきた。浮泥が堆積する一部海域においても、合理的な維持浚渫等が可能となり生産性向上に資するため、今回効率的な測深手法の構築に向けて、東京湾における現地観測を実施した。その結果、底泥密度の変化率に応じた水深位置について、音波による観測海底面との相対的な位置関係は変化する事が確認された。

今後は、更なる観測データの蓄積等を図り、効率的な測深手法の構築に向けた検討を実施するとともに、浮泥が堆積する海域に限らず、ICT浚渫工におけるその他課

題（例えば、点群データの解析時間の短縮など）の解決に向け、引き続き関係者が一丸となって取り組んでいく必要がある。

謝辞：現地観測結果の分析等に当たっては、九州大学中川康之教授、東京工業大学岩波光保教授をはじめ、多くの方々に助言を頂き、また現地式密度計の使用については、港湾空港技術研究所沿岸環境研究領域沿岸土砂管理研究グループの協力を得ました。末尾ながらここに記して深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 国土交通省港湾局：マルチビームを用いた深浅測量マニュアル（浚渫工編）（平成 31 年 4 月改訂版）、2018.
- 2) 国土交通省港湾局：第 5 回港湾における ICT 導入検討委員会資料、2018, <http://www.mlit.go.jp/common/001224632.pdf>.
- 3) 海上保安庁：海上保安庁告示第 102 号, https://www1.kaiho.mlit.go.jp/GIJUTSUKOKUSAI/SHIDOW/site0013/_userdata/annex2.pdf.
- 4) 木原純孝：音響測深機に関する研究—4 周波音測機による室内及び現地実験について—、港湾技研資料、No. 45, 1968.
- 5) 森洋、林健次、宇都宮好博、大西健二：東京湾の海底面判読に関する一考察、土木学会論文集 B3（海洋開発）、Vol. 69, No. 2, I_1156-I_1161, 2013.
- 6) 中川康之、渡邊和重、谷川晴一、黒田祐一：海底面近傍における底泥密度の鉛直分布特性の把握、海岸工学論文集、第 51 巻, pp. 986-990, 2004.

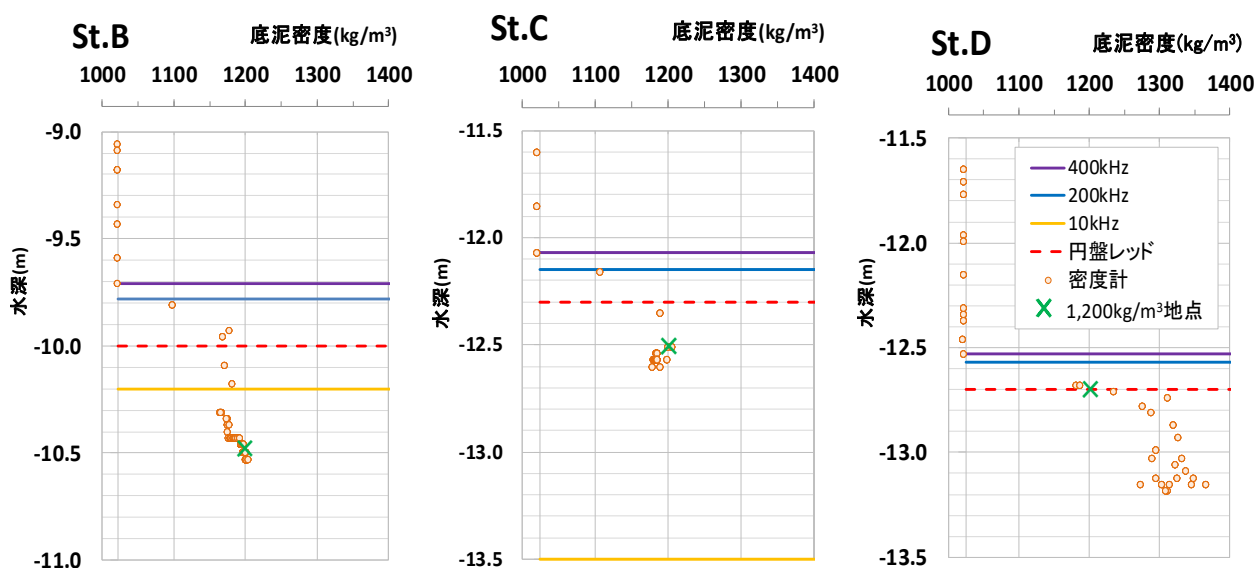


図-6 現地観測結果 (St.B, St.C, St.D)

G I Sを活用した外国人ドライブ観光客 の動向等分析 ー世界水準の魅力ある観光地域づくりに向けてー

笹田 一徳¹・小竹 輝幸²

¹北海道開発局 開発監理部 開発連携推進課 (〒060-8511 北海道札幌市北区北8条西2丁目)

²株式会社ナビタイムジャパン 交通コンサルティング事業部 (〒107-0062 東京都港区南青山3-8-38)

株式会社ナビタイムジャパンと北海道開発局が共同で開発したスマートフォン用アプリケーション「DriveHokkaido!」から取得できる位置情報等のデータをGISにより可視化し、外国人ドライブ観光客の移動経路や滞在スポット、宿泊地等に関する情報を通年で把握、その季節的、地域的な傾向の分析を行った。これにより、外国人ドライブ観光客は、より地方部に滞在する傾向があることなどが分かった。

キーワード GIS分析, 観光, インバウンド, ドライブ

1. はじめに

平成28年3月に閣議決定された第8期北海道総合開発計画では、主要施策として「世界水準の観光地の形成」を掲げる中で、課題として外国人観光客の地域的、季節的な偏在などが挙げられているところである。

本稿ではアプリから得られた2018年1月から2018年12月までの位置情報等のデータをGISにより可視化し、北海道における外国人ドライブ観光の地域的、季節的な傾向等を把握、分析しその考察を述べる。

2. 北海道における外国人観光客の状況

近年の訪日外国人観光客の増加に伴い、北海道を訪れる外国人観光客も年々増加傾向にある。2018年（平成30年）の外国人来道者数は298万人（図-1）となり、北海道においても2020年度の来道外国人旅行者数500万人を目指して、さらなる観光振興に取り組んでいるところである。

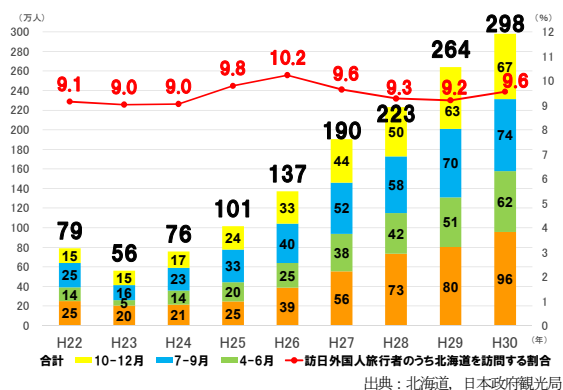


図-1 外国人来道者の推移

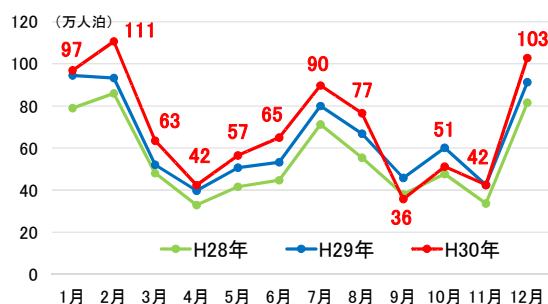


図-2 月別来道外国人宿泊者数

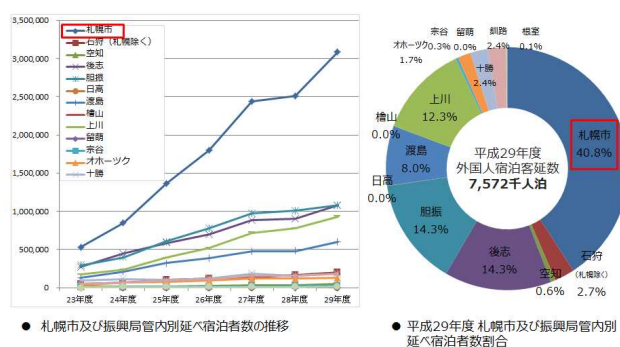


図-3 地域別来道外国人宿泊客延数

外国人観光客が増加する一方、季節的な偏在及び道央圏、特に札幌市への集中が課題となっている（図-2、3）。

3. アプリ「DriveHokkaido!」

(1) アプリの利用状況

株式会社ナビタイムジャパンと北海道開発局が共同で開発したスマートフォン用アプリケーション「DriveHokkaido!」は2017年7月にリリースを開始し2019年8月末で27,062ダウンロードされている。リリース当初の対応言語は英語及び中国語（繁体字）であったが、2018年8月からは韓国語によるサービスも提供している。

本稿で取り扱う位置情報データは、2018年1月から同年12月までの1年間に北海道において測位が確認できた2,540ユーザーとする。これは同期間における外国人レンタカー貸出数90,908台の2.8%に相当する。取得したデータは、外国人へのレンタカー貸渡台数の傾向と同様に夏に多く冬に少ないこと及び外国人へのレンタカー貸渡台数の傾向と比較して韓国の割合が低く、シンガポール及びタイの割合が高くなる特徴を有する（表-1、図-4）

表-1 アプリユーザー数と外国人へのレンタカー貸渡台数（2018年1月～12月）

	1/1～3/31	4/1～6/30	7/1～9/30	10/1～12/31	合計
①外国人に対するレンタカー貸渡台数	16,167台	20,954台	32,964台	20,823台	90,908台
②測位ユーザー数	193人	519人	1,213人	695人	2,540人
②/①	1.2%	2.5%	3.7%	3.3%	2.8%

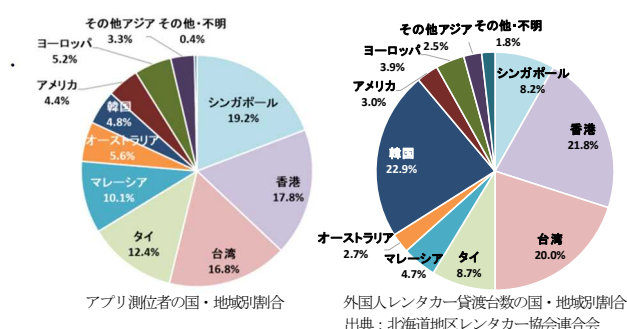


図4 アプリユーザーと外国人へのレンタカー貸渡台数の国籍別割合（2018年1月～12月）

(2) アプリを活用した情報発信

アプリに掲載している観光資源は、季節的、地域的な偏在緩和のため、春、秋の閑散期に見頃を迎える観光資源及び地方部における魅力的な観光資源も数多く発信している（図-5）。また、長時間に渡る北海道のドライブ自体を楽しんでもらえるよう、シーニックバイウェイ北海道において重点的に景観形成に取り組む区間などの美しい景観を楽しむことができる「道」を紹介している。

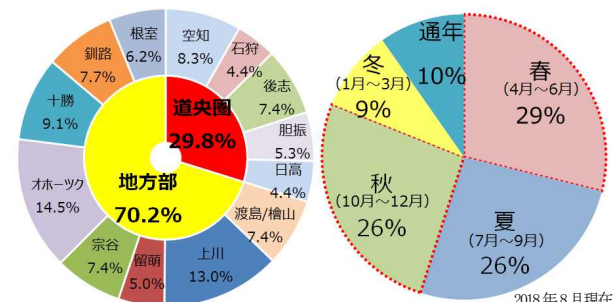


図5 アプリで発信している情報の地域的、季節的割合

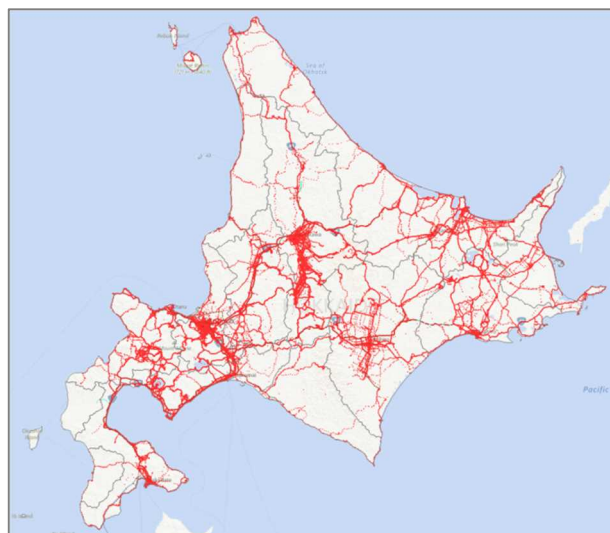


図6 位置情報取得状況（2018年1月～12月）

(3) アプリから取得できるデータ

アプリ利用規約について同意を得たユーザーからは、国籍及び来道回数に関する情報及びスマートフォンのGPS機能を活用して2分ごとに位置情報を取得している（図-6）。本稿で分析する位置情報には「日時」「来道回数」「緯度・経度」「移動・滞在判定」「想定される入出道空港」「国籍」に関する情報が含まれており、これらを統計化、匿名化の処理を行い分析した。

また、アプリに掲載した情報の閲覧回数等を把握し、閲覧されている観光スポットの傾向を分析した。

4. GIS分析と観光情報の閲覧状況

(1) GISを活用した北海道全域の滞在分析

位置情報を統計化処理し、測位メッシュ（図-7）と滞在メッシュ（図-8）を作成、滞在傾向が強い市町村を把握した。なお、本稿において測位とは特定メッシュ内において1回でもGPSが確認された状態、滞在とは1kmメッシュ内に30分以上の測位が確認された状態と定義する。

測位は全道各地で確認されており、レンタカー以外の交通手段では訪問が難しい地域も含めて、北海道内各地をドライブしていることが伺える。また、概ね測位が多い地域において滞在が多く見られる傾向が確認できる。しかしながら滞在が多く確認される観光地間の経路上にある地域では測位数が多い反面、滞在数が少ない特徴があることを確認できる。

次に測位がどれだけ滞中に結びついているか検討するため、市町村別に滞在率（滞在数／測位数）を算出して整理した（図-9）。

これにより目的地になっていると推測される滞在率が高い市町村は、札幌市、小樽市や函館市など道内の主要観光地のほか、稚内市、根室市、えりも町や斜里町など北海道の先端部などで確認できる。

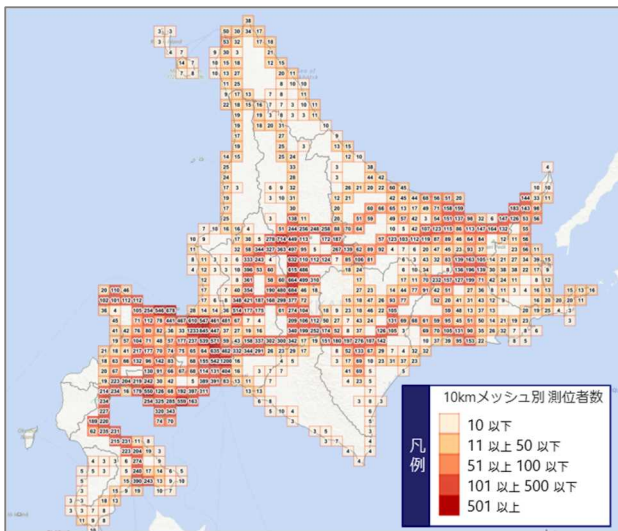


図-7 GPSデータ測位者数（10kmメッシュ）

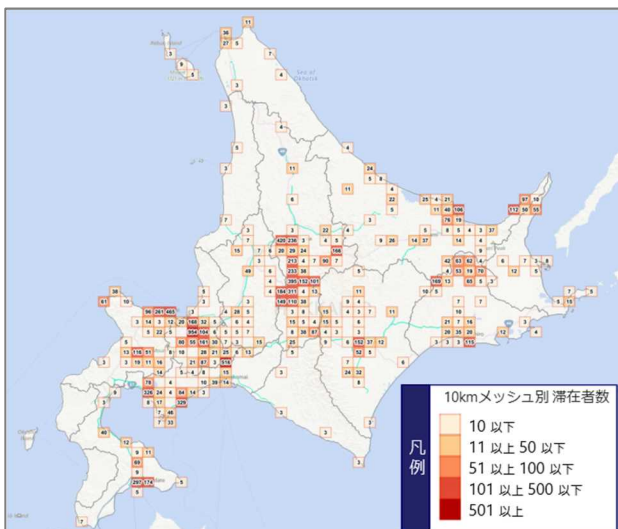


図-8 GPSデータ滞在者数（10kmメッシュ）

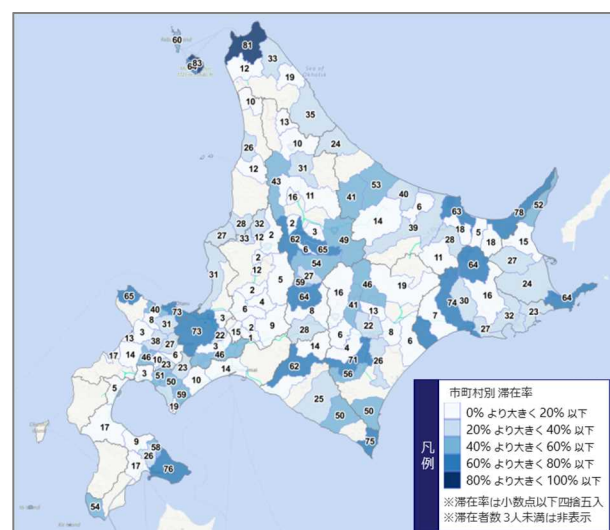


図-9 市町村メッシュ滞在率（2018年1月～12月）

(2) GISを活用した季節間の滞在分析

GISを活用して地図上で季節ごとの滞在率を整理する

ことにより、通年で滞在率が高い傾向となる市町村、季節によって滞在率の高低差が大きくなる市町村及び滞在されていない市町村を視覚的に把握できる（図-10）。

桜やチューリップなどの花が咲く春は道南の松前町、鹿部町、オホーツク地方の滝上町、湧別町などで滞在率が高くなり、流氷が楽しめる冬は紋別市などで滞在率が高くなるなど、外国人ドライブ観光における各市町村の滞在傾向が把握できる。

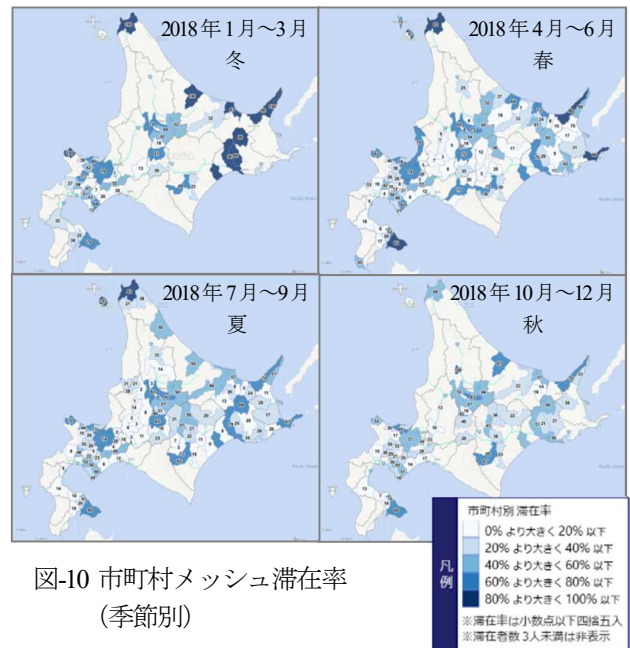


図-10 市町村メッシュ滞在率（季節別）

(3) アプリに掲載している観光情報の閲覧状況

北海道をドライブで観光している外国人観光客が、どの程度アプリに掲載している観光情報を参考に行っているのかについて分析を行う。

国内における閲覧と国外からの閲覧を分けて地域別の閲覧状況を整理したところ、いずれも7月に閲覧数が最も多く、国内の閲覧よりも国外からの閲覧が多い。また、地域別閲覧割合の国内及び国外の傾向に大きな差がないことから、国外で閲覧された情報は国内においても閲覧されていると思われる。状況であることが確認できることから来日前の旅行のプランニングに使用されていることが推測される（図-11）。

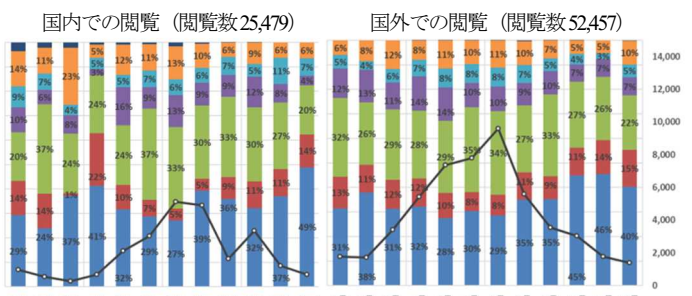


図-11 観光情報閲覧状況（2018年1月～12月）



国内における月別の閲覧上位20コンテンツを整理したところ、季節の推移と共に変化する閲覧情報の特徴が確認できる。参考として3月から6月までを確認すると、3月は釧路地方で鶴や釧路湿原が、4月になると渡島地方で桜が、5月は芝桜やチューリップが楽しめるオホーツク地方の閲覧が多くなり、6月以降は上川地方の有名な観光地やラベンダーなどの閲覧が多くなる（表-2）。

閲覧傾向とGPS測位状況を比較すると、例えば春、松前町の桜に関する観光情報の閲覧が増えると、同時期同町において測位される者が増えるなど、閲覧と測位で同じ傾向を示すケースが確認できる（図-12）。ここから北海道におけるドライブ観光中、実際にアプリが使用されていることが推測される。



図-12 位置情報取得状況（2018年4月～6月 松前町）

表-2 観光情報閲覧上位20（3月～6月抜粋）

順位	2018年3月	市町村	順位	2018年4月	市町村
1	阿寒国際ツルセンター【クルス】	釧路市	1	登別桜並木	登別市
2	鶴居・伊藤タンチョウサンクチュアリ	鶴居村	2	有珠山ロープウェイ	仕舞町
3	三井アウトレットパーク	北広島市	3	青い池	美瑛町
3	釧路市丹頂鶴自然公園	釧路市	4	大雪山旭岳ロープウェイ	東川町
5	円山公園	札幌市	4	洞爺湖	洞爺湖町
5	小樽市総合博物館	小樽市	4	五稜郭タワー	函館市
5	音羽橋	鶴居村	7	五稜郭公園	函館市
5	よいち大好きフェスティバル	余市町	7	もりまち桜まつり	森町
5	サイロ展望台	洞爺湖町	7	函館朝市	函館市
5	サルモイ展望台・サルレン展望台	標茶町	7	桜が丘通の桜並木	函館市
5	釧路市湿原展望台	釧路市	7	「道の駅」みたら室蘭	室蘭市
5	大雪山層雲峡・黒岳ロープウェイ	上川町	7	かにめし	長万部町
13	「道の駅」ウトナイ湖	苫小牧市	13	十勝岳望岳台	美瑛町
13	フロストフラワー	釧路市	13	もいね山ロープウェイ	札幌市
13	杜音公園	札幌市	13	余市川桜づつみ	余市町
13	青い池	美瑛町	13	函館山	函館市
13	ホワイトイルミネーション	札幌市	13	昭和南山熊牧場	杜町
13	北防波堤ドーム	稚内市	13	大雪山層雲峡・黒岳ロープウェイ	上川町
13	手宮公園	小樽市	13	函館山ロープウェイ	函館市
13	大倉山ジャンプ競技場	札幌市	13	松前さくらまつり	松前町
13	小樽の伝統 製作体験	小樽市	13	サイロ展望台	洞爺湖町
13	屈斜路湖砂湯	弟子屈町			
13	青の洞窟	小樽市			
13	屈斜路湖	弟子屈町			
13	有珠山ロープウェイ	札幌市			
13	流水観光砕氷船「おーら」	網走市			
13	ハイランド小清水725	小清水町			
13	レストラン摩周	弟子屈町			

順位	2018年5月	市町村	順位	2018年6月	市町村
1	芝さくら池公園	滝上町	1	青い池	美瑛町
2	青い池	美瑛町	2	ラベンダー畑（富良野）	中富良野町
3	東藻琴芝桜公園	大空町	3	富良野メロン	中富良野町
3	大湯沼川天然足湯	登別市	4	白ひげの滝	美瑛町
5	かみゆづつチューリップ公園	湧別町	5	ぜるぶの丘・亜斗夢の丘	美瑛町
5	登別桜並木	登別市	6	花人街道	中富良野町
7	朝日ヶ丘公園	富良野市	6	とみたメロンハウス	中富良野町
8	洞爺湖有珠山ジオパーク	洞爺湖町	8	マイルドセブンの丘	美瑛町
9	大正地獄	登別市	9	大雪山層雲峡・黒岳ロープウェイ	上川町
10	大雪山層雲峡・黒岳ロープウェイ	上川町	9	かなやま湖ラベンダー園	南富良野町
10	青の洞窟	小樽市	11	上野ファーム	旭川市
10	洞爺湖	洞爺湖町	11	神威岬	枝幸町
13	白ひげの滝	美瑛町	13	大雪山旭岳ロープウェイ	東川町
13	くだもの狩り（杜音）	杜音町	14	当麻鍾乳洞	当麻町
14	上野ファーム	旭川市	14	硫黄山	弟子屈町
14	杜音公園	杜音町	14	くだもの狩り（杜音）	杜音町
17	富良野メロン	中富良野町	17	摩周湖第一展望台	弟子屈町
17	たきかわ菜の花まつり	滝川市	17	ケンとメリーの木	美瑛町
17	釧路市湿原展望台	釧路市	17	地球岬展望台	室蘭市
17	とみたメロンハウス	中富良野町	20	大函	上川町
17	桜が丘通の桜並木	函館市	20	摩周湖第三展望台	弟子屈町
17	有珠山ロープウェイ	杜音町	20	新登別大橋	登別市
17	地球岬展望台	室蘭市	20	大雪山旭岳・裾合平	東川町
17	花人街道	中富良野町	20	十勝岳望岳台	美瑛町

5. 宿泊の地域的及び季節的傾向

(1) 宿泊地の地域的傾向（通年）と旅行日数

21時から翌3時の間においてGPSが最後に測位された地を宿泊地と定義付け、北海道庁が旅行形態を問わずに調査している「北海道観光入込客数調査」と地域別の延べ宿泊日数割合について比較を行った（図-13）。

結果、アプリデータから推測される宿泊地の方が北海道庁調査と比較して、地方部に宿泊されている割合が21%ほど高くなり、ドライブ観光客はより地方部に宿泊している傾向が確認できた。

また、平均宿泊日数に1日足した日数を平均旅行日数とみなして、アプリデータの宿泊日数を算出すると6.19日となり、北海道庁調査の全外国人観光客の旅行日数3.71日と比較すると、アプリデータの方が2.48泊程度長く宿泊することを確認できる。

これらのことから、外国人ドライブ観光客は、来道外国人旅行者全体に比べ、より地方部を訪れ、より長い期間滞在していると推測されるため、外国人ドライブ観光の促進は来道外国人旅行者の地方部への誘客に有効と考えられる。

なお、アプリユーザーから取得されたデータは2018年1月から同年12月であり、北海道観光入込客数調査は2017年1月から同年12月である旨、留意されたい。

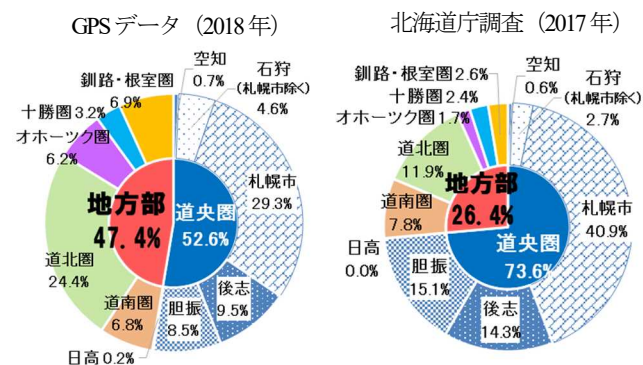


図-13 外国人観光客の宿泊割合（通年）

(2) 宿泊地の地域的傾向（季節別）

アプリデータから推測される宿泊地を季節別に円グラフで整理した（図-14）。いずれの期間も北海道庁が実施する「北海道観光入込客数調査」と比較して、より地方部に滞在している実態を確認することができる。特に上川地方における宿泊の割合が多くなる春と夏は、約半数の者が地方部へ宿泊している実態が確認できる。

外国人観光客が減少する春と秋は道南圏、オホーツク圏の宿泊割合が大きくなる傾向が確認できる。この時期に閲覧される情報及び取得される位置情報を確認すると、季節の花々や紅葉などに関心をもち、これを楽しめるスポットを訪れていることが確認できる。秋と冬は道央圏の宿泊割合が多くなるが、特に、道央圏内においても冬は後志の宿泊割合が多くなる傾向が確認できる。

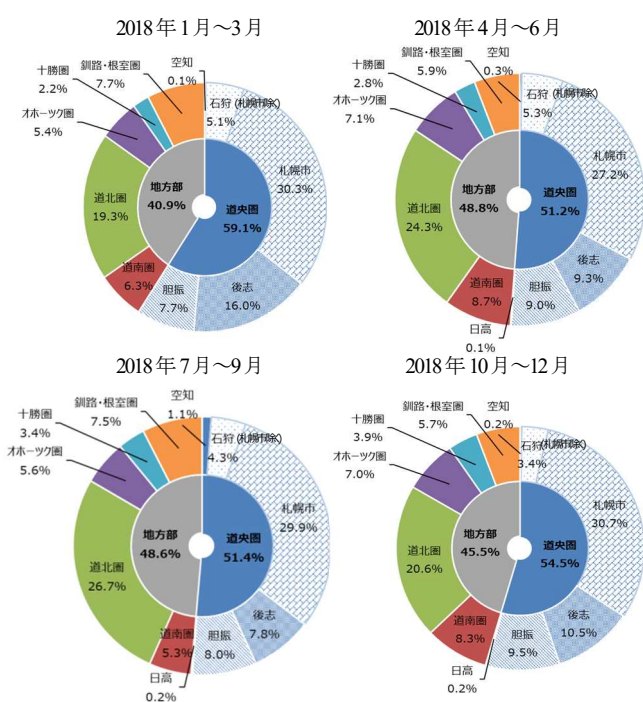


図-14 外国人ドライブ観光客の宿泊割合（季節別）

6. 国・地域別の外国人観光客の滞在状況

アプリデータから、2018年の主な国・地域別（香港・シンガポール・台湾・タイ）の市町村別滞在者数について整理すると、香港、シンガポール及び台湾は道南や道東など道内を広く訪れていることが分かる。一方、韓国は、札幌市周辺及び美瑛・富良野地域周辺に集中していることが分かる（図-15）。

また、市町村毎の主な国・地域別の滞在者数の割合を整理すると、道東、道南地方では、台湾の滞在割合が高くなる傾向があり、札幌市周辺では、韓国の割合が比較的高くなる傾向がある。

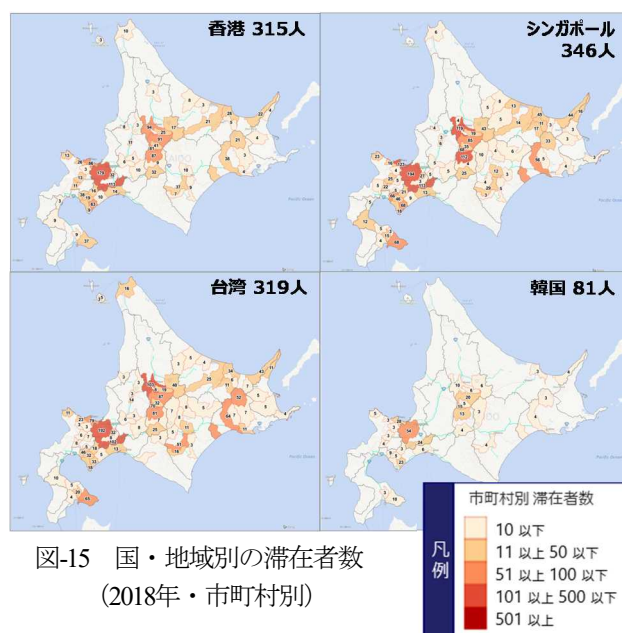


図-15 国・地域別の滞在者数（2018年・市町村別）

さらに、5. (1)と同様の方法により、国・地域別の平均旅行日数を算出すると、香港5.8日、シンガポール6.9日、台湾6.1日に対して、韓国は4.4日と短くなっており、国・地域ごとに周遊範囲の大きさと旅行日数の長さには差があることが推測される。

7. 関係機関との協働体制の構築

北海道開発局は、株式会社ナビタイムジャパンとの連携のもと、前述の通年での分析結果を含めて、アプリから得られる外国人観光客のデータを市町村や観光関係団体等の関係機関と共有し、有効に活用することで、北海道における外国人ドライブ観光の促進を図ることを目的とする「北海道ドライブ観光促進プラットフォーム」を2019年6月に設立し、参加機関を募っている。

本プラットフォームに参加した機関には、アプリから得られたデータの一部を提供するとともに、アプリと合わせて外国人観光客の誘客に活用しているSNS（フォロワー数約13万人：2019年9月時点）での道内各地の観光情報等の発信機会を提供しており、設立当初、北海道開発局及び株式会社ナビタイムジャパンのほか、北海道運輸局、公益社団法人北海道観光振興機構等の全道規模の11機関で発足した本プラットフォームの構成員は、市町村、観光協会、商工会議所、金融機関、研究機関等の幅広い関係機関の参加を得て、91機関にまで拡大している（2019年10月11日時点）。

また、2019年5月には、参加機関が一堂に会するプラットフォーム会合を初めて開催し、100名を超える参加者のもと、データのさらなる活用に向けた意見交換などを実施した。（図-16）

これらにより、本プラットフォームで共有されたアプリデータのプラットフォーム構成員による活用事例も見え始めた。旭川市、鷹栖町、東神楽町、比布町、愛別

町，上川町，東川町，当麻町で構成される地域の滞在交流型観光を促進する目的で設立された一般社団法人大雪カムイミンタラDMOは，各種計画の策定，来訪者満足度調査の実施，観光プロモーション等を行う中で，大雪エリアへの来訪者増加に繋げるために必要な認知を増やす手段として，デジタルマーケティングの活用に取り組んでおり，各種統計データ，アンケート調査，FAMトリップ，SNS解析等と合わせてアプリデータを活用している．具体的には，2019年度にこれらの分析を行い，ターゲット毎の課題の把握のうえ，DMO各部の方針協議等の内部環境への活用を行うとともに，セミナー，ワークショップ，ブランディング，プロモーションを始めとした各種事業推進にも活用していくことを予定している．



図-16 北海道ドライブ観光促進プラットフォーム
会合の開催状況

おわりに

本稿では，アプリから得られた通年の位置情報等のデータをGISを活用した視覚化処理を施し，地域的，季節的傾向の分析を行った．

これにより，北海道における外国人ドライブ観光客がより地方部に滞在する傾向や適切な情報提供によるさらなる観光地等への立ち寄りを促す可能性などをデータにより示す事ができた．これらのデータには観光等施策の企画立案及び実施した観光施策の効果検証に活用できる可能性がある．

そして，今まで把握できなかった外国人ドライブ観光客の移動経路や立ち寄りスポットを明らかにすることは，北海道内の各地域で観光に携わる方々にビジネスチャンスを感じていただくと共に，外国人観光客の受け入れに対する理解促進にも資すると考える．実際に，DMO等による本データのマーケティングへの具体的な活用事例も見え始めた．

また，これらの情報は旅行者の周遊促進に寄与する「シーニックバイウェイ北海道」に代表される北海道の雄大な景観の中での移動そのものを楽しむドライブ観光関連施策や増加する外国人観光客等への情報発信及び効果的なインフラ整備など北海道開発局が実施する取組の検討，検証材料として活用できる可能性がある．

今後も外国人ドライブ観光に関する諸データを情報インフラとして提供できる体制を整備するとともに，これらのデータを地方公共団体や観光団体の施策立案等に役立てていただき，北海道ドライブ観光のより一層の促進に努めていく．

道路機械設備の効率的なメンテナンスに向けて ～新たな維持管理手法の提案～

松尾久美子¹・桜田明彦²

¹名古屋国道事務所 工務課 (〒467-0833名古屋市瑞穂区鍵田町2-30)

²沼津河川国道事務所 品質確保課 (〒410-8567静岡県沼津市下香貫外原3244-2)

名古屋国道事務所では、9種類、台数にしておよそ約1600台の多種多様な道路機械設備を維持管理しているが、老朽化が進行しており、より効率的な維持管理が必要となっている。そこで、道路機械設備のほとんどは「日々稼働している」という特徴に着目して信頼性解析を行った結果を報告し、道路機械設備の新しい維持管理手法を提案する、

キーワード：維持管理、道路機械設備、信頼性解析、設備保全、点検

1. はじめに

名古屋国道事務所は、愛知県内の直轄国道8路線436.8kmの道路を管理し、道路利用者へ安全で安心な道路を提供し円滑な道路交通を確保している。

道路には、橋梁やトンネルなど土木構造物だけでなく、立体交差における地下道路の排水設備やトンネルの消火設備、共同溝の排水設備や換気設備など、道路の機能を維持するための多種多様な機械設備（以下「道路機械設備」という）が設置されている。これらの道路機械設備は運転することでその目的が達せられることから、土木構造物とは異なる手法により点検及び維持管理するための「道路関係設備(機械設備)点検・整備・更新マニュアル(案)」及び「道路管理施設等点検整備標準要領(案)」(以下「点検基準等」)が定められておりこれに基づき維持管理し機能の確保を図っている。

しかし、点検と整備や修繕の実施にあたっては「点検基準等」と現場実態が乖離している事例があり、結果として道路機械設備としての機能が確保されているとは言い難い状況も発生している。

そこで、現場実態に即した道路機械設備の効率的・効果的なメンテナンスを目指して信頼性工学を用いた検討を行い、新たな維持管理手法をとりまとめた。

本稿ではその新たな維持管理手法について紹介する。

2. 現状と課題

(1) 名古屋国道事務所における維持管理の現状

名古屋国道事務所が管理する国道は都市部から山間部まで様々で管理延長も長いことから、多種多様な道路機械設備を管理しており、その数は9種類1600台にも及ぶ(表-1、写真-1)。

これら設備は昭和の時代に設置されたものが多く存在し老朽化が進行している状況である(図-1)。また、「点検基準等」に基づき維持管理を実施しているが、老朽化により多くの不具合が発生しており、すべてに対応が出来ていない現状がある(図-2、写真-2)。

これまで、不具合発生に対して設備の設置環境や稼働状況等を経験的に判断し対応しており機能停止による

表-1 名古屋国道事務所が管理する道路機械設備

道路機械設備名	設備概要	箇所数	台数
トンネル非常用設備 (トンネル消火設備)	トンネル内の消火設備。	1	2
共同溝附帯設備 (換気設備)	共同溝内で発生する有害ガスの排除、除湿及び温度の上昇を防止する設備。	425	795
共同溝附帯設備 (排水設備)	共同溝内の滞水を排除する設備。	385	796
道路排水設備	道路の雨水、融雪水、地下水などを強制的に排出するための設備。	10	29
道路排水設備 (地下横断歩道)		19	37
車両重量計設備	一般的制限値を超える車両の総重量等を停止状態で計測する設備。	4	4
車両計測設備	一般的制限値を超える車両の総重量等を走行状態で計測する設備。	4	4
昇降設備 (エレベータ)	横断歩道橋や地下横断歩道等に設置される設備。	6	11
ホイストクレーン	凍結防止剤散布車に薬剤を積載するための設備。	4	4
植樹帯散水設備	植樹された土地に水を撒くことを目的として設置されている設備。	2	2

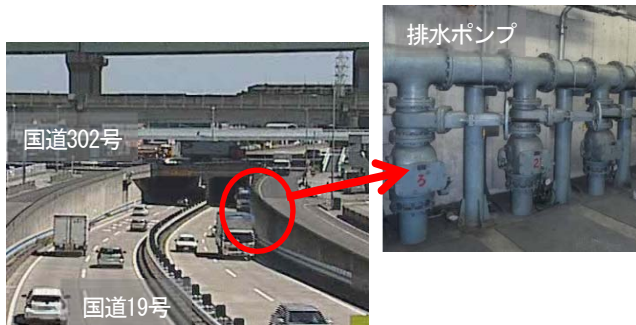


写真-1 道路排水設備（国道19号と国道302号の交差点部）

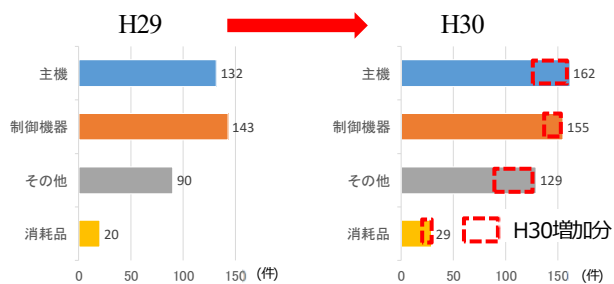


図-2 名古屋国道事務所道路機械設備の不具合発生状況

重大な事象は発生させていないが、今後さらに老朽化が進行し不具合に対しての修繕等がますます追いつかなくなるという看過できない状況に陥ることが予想される。

(2) 名古屋国道事務所における維持管理の課題

道路機械設備は「点検基準等」に基づき実施しており、その内容は、①定期的点検（月点検と年点検）による不具合箇所の把握と機能評価のための計測の実施、②計測結果による機能評価、③機能評価により使用不可と判断された機器の修繕・更新、という保全サイクルとなっている（図-3）。

しかし、名古屋国道事務所においては管理する設備数が多く仮に全設備の月点検を実施しようとするとも年間645日が必要となり、またコストも多大となることから、年点検1回に加え年1～3回程度（設備で異なる）の月点検相当の点検を実施している現状にある。

このため、「点検基準等」に基づく傾向管理のための計測が不十分となりデータが不足するため、不具合箇所を発見しても修繕や機器更新に踏み切れず経過観察と判定し不具合傾向が解消されず存置されている設備が増加する状況（図-2）となっている。

さらに、設備数が多いため年間の点検データは膨大で資料の取り纏めにも多大な労力を要しており保全サイクルを妨げる要因となっている。

また、現行の「点検基準等」は河川の排水ポンプやダムの水門扉などと同様の点検や管理の手法が定められているが、稼働形態や設備規模等が異なる道路機械設備と河川・ダム等の機械設備で定期点検の頻度などが同じでなければならないのかという機械工学面からの疑問もある。

これらの問題を解消し、名古屋国道事務所管理す

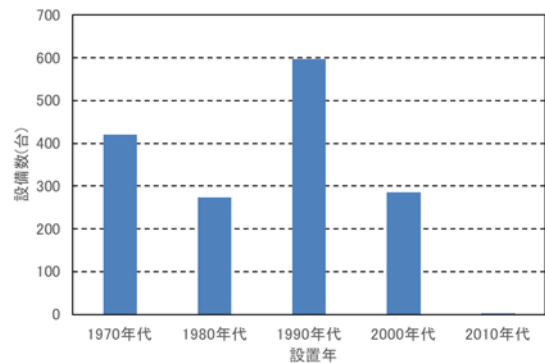


図-1 名古屋国道事務所の管理する設備の設置年度



写真-2 共同溝付帯設備の不具合状況

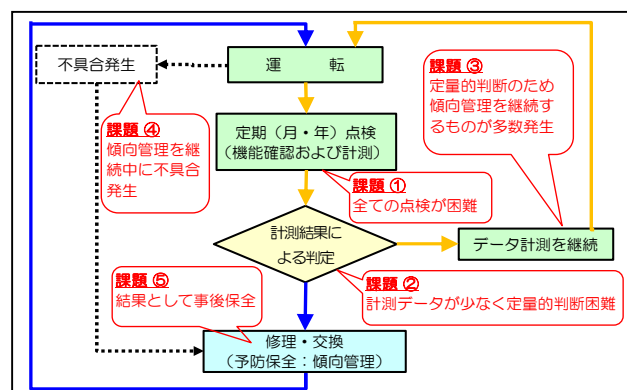


図-3 道路機械設備の保全サイクル図と課題

道路機械設備をより合理的に維持管理する方法を検討するため、第一の問題点である点検について再整理することとした。

3. 点検項目の検討

(1) 道路機械設備の特徴

道路機械設備は河川・ダム用の機械設備と比べると、①規模が小さい、②常時動いている、という点が大きく異なっている。

たとえばポンプ設備の特徴を表-2に示すが、河川の内水被害を防止する内水排除用ポンプは洪水時以外運転しないことから、「管理運転」（毎月の点検で運転し動作と機能を確認すること）が定期点検の目的のひとつとなっている。また、点検対象のポンプは大口径であり羽根車や軸など内部部品のレベルで点検する

基準となっている。

一方、道路排水ポンプは、常に運転しているため「管理運転」は不要であり、また、ポンプは小口径の汎用製品で、製造者による取扱説明書においても内部部品の点検までは求められていない。

こういった特徴をふまえ名古屋国道事務所管理するすべての道路機械設備について最適な点検項目を設定するための検討を行うこととした。

(2) FMEA解析による機器の分析

点検項目の検討にあたっては客観的な分析を行う必要があることから信頼性解析に利用されるFMEA解析¹⁾を実施した。

FMEA解析とは、重大故障の抽出を目的とする信頼性解析として一般的に広く活用されている手法で、設備の構成要素（機器・部品）ごとに、故障モードを抽出し、その故障が設備にあたえる影響度を相対的に定量評価し「設備に重大な影響を及ぼす部品（致命

部品）か否か」を判断する手法である（図-4）。

よって解析を行う構成要素は設備を構成する機械、機械を構成する部品、とできるだけ詳細に展開するのが基本となるが、道路機械設備を構成する小型汎用機械の内部部品の故障の復旧において①機能を失った機械を取外し→②機械を分解→③内部部品交換→④機械を組立て→⑤機械を取付け、という手順ではなく、①機能を失った機械を取外し→②新しい機械を取付け、という手順による復旧活動の方が、整備が短時間で済み早い時間で機能回復できる（信頼性が向上する）と考えられる。

このことから、道路機械設備のほとんどは常時運転しており点検や万一の故障時の復旧などの作業は短期間が望ましく、復旧手順や時間も含めた「設備に重大な影響を及ぼす部品（致命部品）」設定を重視することとし、各道路機械設備の稼働状態やこれまで経験している故障形態や修繕方法等も踏まえ、構成部品すべてを詳細に展開しないこととした。

解析結果のうちポンプの致命部品の一部事例を図-5に示すが、道路排水設備においては排水ポンプそのものを致命部品と評価することで、河川の内水排除用ポンプに比べ致命部品数（点検対象）が大きく変化することがわかる。

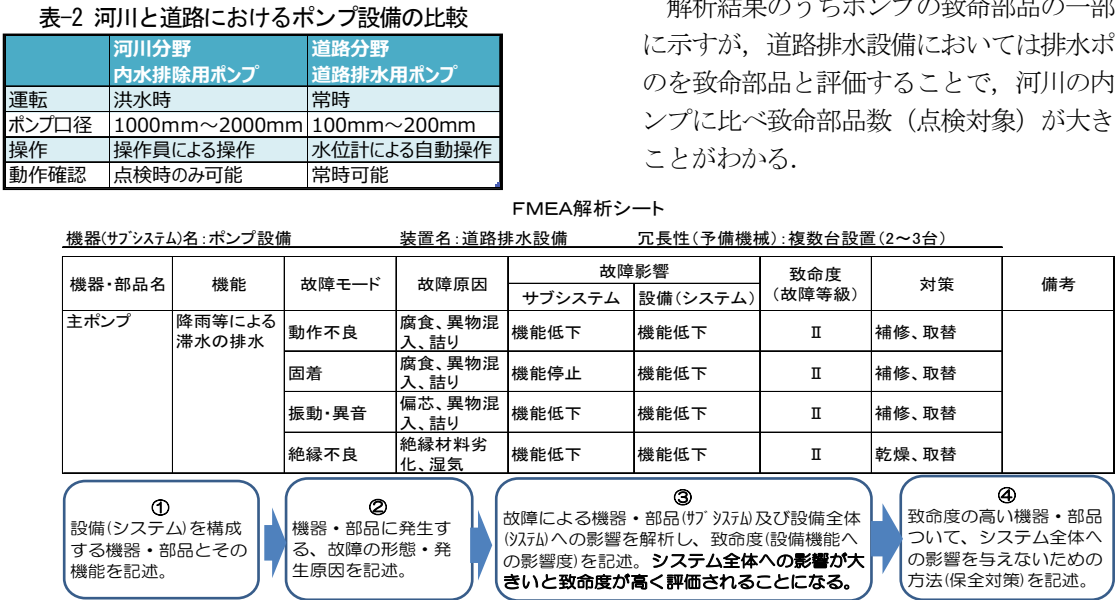


図-4 FMEA解析シートと解析手順

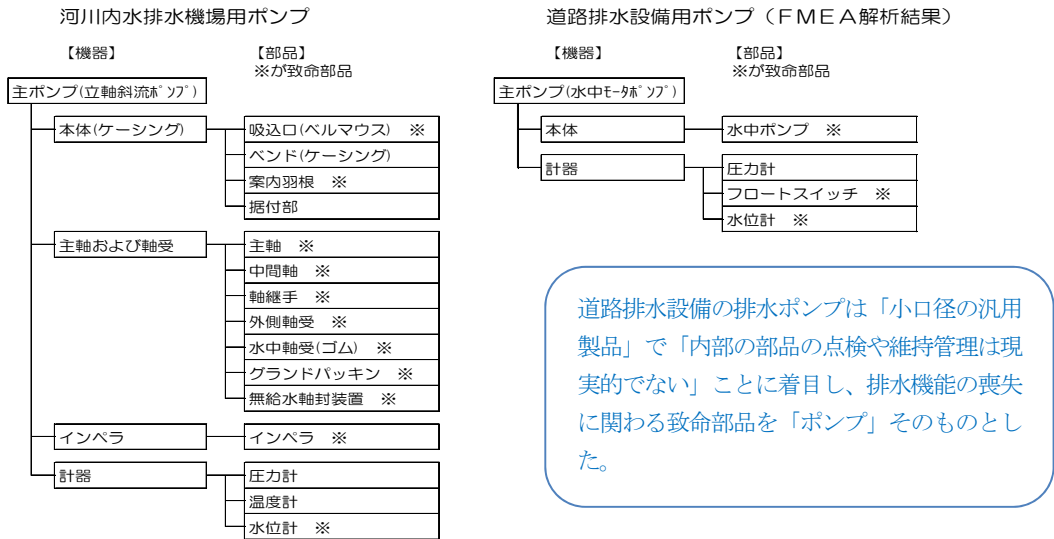


図-5 河川用設備と道路用設備の致命部品比較

4. 保全方法の検討

(1) RCM解析による保全項目の検討

FMEA解析により道路機械設備の維持管理対象とした致命部品の維持管理手法を検討するために、RCM解析²⁾を実施した。

RCM解析とは信頼性向上保全性作業計画手法とも呼ばれ、FMEA解析を用いて抽出した致命部品について、信頼性の確保に着目しながらその致命部品に対しての保全方式と保全周期を検討する手法で、航空、発電をはじめとする多くの産業分野で活用されている。

今回は、道路機械設備の特性を考慮した図-6に示すRCMロジックツリーといわれる検討フローにより、点検区分と保全区分を整理することとした。以下に解析のポイントを示す。

a) 故障形態

維持管理手法は、図-7に示すように予防保全と事後保全に分類され、河川・ダム用機械、道路機械設備とも「点検基準等」により状態監視保全による予防保全が実施されている。

しかし、そもそも突発的に故障する機器や部品は故障したら交換する事後保全とすることで点検を省略できるため、FMEAで抽出した致命部品の故障モードに基づき、予防・事後の保全区分を分類することとした。

b) 稼働形態の反映

機械の稼働とは機能を発揮している運転状態（主たる機械が運転している状態）と考えるのが一般的でこれまで河川・ダムや道路に設置される機械設備のほとんどは「非」常用として考え、常時は機械が休止状態にあるという前提で維持管理がなされている。しかし、道路機

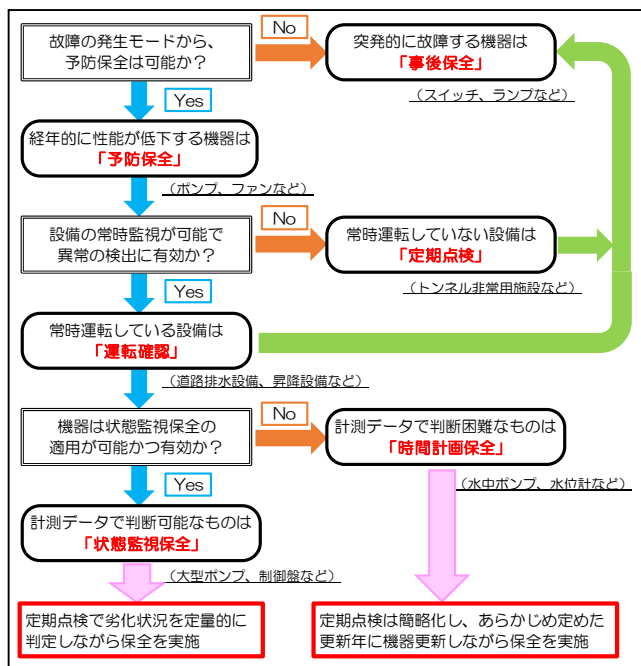


図-6 RCMロジックツリー

械設備は、常時無人で規定の水位や温度、時間になった場合ただちに運転を開始しなければならないため、FMEA解析において致命部品と評価した水位計やタイマーなど監視・制御装置は常に稼働している。

したがって、主機械は停止していても運転のための条件を常時監視している時間を「ホットスタンバイ」と定義し、設備の稼働中として各道路機械設備の稼働形態を評価し点検区分を分類することとした。

道路機械設備の稼働状況の整理結果を表-3に示す。

c) 点検区分の整理

「点検基準等」では定期点検は「月点検」「年点検」が設定されているが、月点検は洪水時のみに稼働する河川・ダム用機械設備の試運転と点検を行うために設定されているもので、常時稼働状態にある道路機械設備で試運転を目的に月点検を実施する必要性は薄いと考えられる。

道路機械設備は、出張所における道路の巡視やCCTVによる監視で異常の発見がしやすく、また従来から名古屋国道事務所においては10カ所の道路排水設備の遠方監視システムを導入し、機械係において日常の監視を行っている(写真-3)。そこでこれら日常の確認行為を新たな点検区分「運転確認」として設定し、従来からの定期点検と区分しRCM解析で有効性を判断することとした。

d) 保全手法の整理

FMEA解析により致命部品は小型水中ポンプなどの機器単位で抽出されることがわかった。これらは汎用



図-7 保全方式の分類 (JIS-Z8115)

表-3 稼働形態区分

区分	待機系設備	常用系設備
定義	日常の大半は待機状態で稼働しておらず、必要な時に稼働する機械設備	常にホットスタンバイの状態を維持し、日常的に稼働している機械設備
該当設備	トンネル非常用施設	道路排水設備 共同溝付帯設備 車両計測設備 駐車場設備 車両重量計設備 道路用昇降設備 植樹帯散水設備 雪寒基地荷役設備



写真-3 名古屋国道事務所工務課の監視システム

表-4 今回設定した道路機械設備の更新年数

設備	項目	標準年数	考え方
道路排水設備	水中ポンプ	18	名古屋国道事務所管内の水中ポンプ（共同溝附帯設備（排水）含む）の取替実績
	逆止弁	28	汎用品であり、河川ポンプ設備点検・整備・更新マニュアル（案）における「逆流防止弁：弁体」更新年数を参照
	配管	40	汎用品であり、機械設備管理指針における「排水ポンプ設備：主配管」更新年数を参照
	取付ボルトナット	—	小修繕対応により定期的な整備は計画しない。
	操作盤	19	名古屋国道事務所管内の操作制御設備（共同溝附帯設備含む）の取替実績
	PLC	10	汎用品であり、機械設備管理指針における「排水ポンプ設備：PLC本体」取替年数を参照
	盤内配線	—	小修繕対応により定期的な整備は計画しない。
	フロッツスイッチ	14	名古屋国道事務所管内のフロッツスイッチ（共同溝附帯設備含む）の取替実績
	投込み式スイッチ	14	名古屋国道事務所管内のフロッツスイッチ（共同溝附帯設備含む）の取替実績
	伝送盤	19	名古屋国道事務所管内の操作制御設備（共同溝附帯設備含む）の取替実績
	分電盤	19	名古屋国道事務所管内の操作制御設備（共同溝附帯設備含む）の取替実績
	配線用遮断器	10	汎用品であり、機械設備管理指針における「排水ポンプ設備：電磁接触器」取替年数を参照

機械であり経過年数により寿命が定まるものがほとんどで故障時には機器を一体で交換するため、傾向管理ではなく時間管理による予防保全（経時保全）も取り入れRCM解析で有効性を判断することとした。

なお、経時保全の前提となる道路機械設備の機器寿命は定められたものが無いため、今回名古屋国道事務所におけるこれまでの更新実施年数により定めることとし、汎用品については河川・ダム用機械の基準に準じて設定した（表-4）。

また、時間管理による予防保全を基本とするものの日常的に「運転確認」による突発の異常発見がされた際は、緊急事後保全を実施することで機能を確保することとした。

(2) RCM解析結果

上記(a)から(d)のポイントに着目しRCM解析を実施した結果のうち、道路排水設備のポンプの事例を表-5に示す。

表-5 RCM解析結果（道路排水設備）

稼働形態	設備形式	機器名	機能	故障モード	致命度(故障等給)	劣化モード	保全タイプ	予防保全作業の内容			
								ヒヤリッ保全	ヒヤッフェイアンス保全	経時保全	経時保全
常用系設備	道路排水設備	ポンプ設備	主ポンプ	降雨等による滞水の排水	動作不良	Ⅱ	総化	監視・巡回	排水状況確認 電流値測定 電圧値測定	1年	取替
常用系設備	道路排水設備	ポンプ設備	主ポンプ	降雨等による滞水の排水	動作不良	Ⅱ	総化	監視・巡回	排水状況確認 電流値測定 電圧値測定	1年	取替

道路機械設備の特性を踏まえて設定した検討項目のほとんどが適用でき点検をはじめとする維持管理方法の見直しに効果が期待できることがわかった。

5. 新たな維持管理手法

(1) 新たな点検方法

FMEA解析及びRCM解析の結果、道路機械設備の点検方法と内容を大きく見直しできることがわかった。

そこで、常時稼働している設備については、月点検は実施せず日々の「運転確認」で異常の有無を点検することとし、点検項目（箇所）も機器単位を基本とするなど大幅な合理化を図ることとした。道路排水設備（ポンプ）の点検項目表の対比を図-8に示す。

(2) 新たな修繕、機器更新方法

従来の部品レベルの傾向管理に基づく機能評価結果による修繕や更新（状態監視保全）では時期の見極めが困難で最適な時期に対応できていなかったことから、機器単位で経過年数により更新する時間計画保全を取り入れることとした。なお、故障による早期更新や逆に故障がなく更新年数が伸びる可能性があるため、更新データを蓄積し、更新年を定期的に見直すことで適切な保全を実施することとする。

現行の点検項目表

区分	点検整備		点検・整備周期と点検方法				点検条件	良否の判定方法および判定基準	
			トレンド管理	定期点検		臨時点検			定期整備
	点検項目	点検内容		月点検	年点検				
道路排水設備	水中ポンプ	清掃状態		E	E		休	汚れが付着していないこと。	
		外観		E	E		休	汚損、塗装の剥離、劣化がないこと。	
		ボルト	緩み・腐食・脱落	-	E, H		休	緩み・腐食・脱落のないこと。	
	羽根車	状態		-	E, H		休	損傷・磨耗がないこと。	
		軸受	状態		-	E, H, S		休	異常のないこと。
		油量	油量		-	E		休	規定量であること。
	潤滑油	油質		-	E, H		休	変質していないこと。	
		水	絶縁抵抗		-	M		休	規定値以上であること。
		モーター	絶縁抵抗		-	M		休	規定値以上であること。
	浸水検知器	絶縁抵抗		-	M		休	規定値以上であること。	
	運転	振動・騒音		E, H	E, H		運	異常のないこと。	
	電流値	正常確認		E	E		運	規定値であること。	
	電圧値	正常確認		E	E		運	規定値であること。	
	吐出圧	正常確認		E	E		運	規定値であること。	
	排出量	正常確認		E	E		運		
ガイドパイプ	状態		-	E		休	緩みがないこと。		

検討の結果合理化された点検項目表

区分	点検整備		トレンド管理	点検方法			点検条件	良否の判定方法および判定基準	
				運転確認	定期点検				
	点検項目	点検内容		月点検	年点検	臨時点検	定期整備		
道路排水設備 ポンプ設備	清掃状態	汚れ	○	-	E		休	ひどい汚れ、油等の付着がないこと。	
	外観	変形、損傷		-	E		休	変形、損傷がないこと。	
	水中ポンプ	振動・騒音		-	E・H・S		運	異常のないこと。	
		電流値			-	M		運	規定値であること。
		電圧値			-	E		運	規定値であること。
		吐出圧			-	E		運	規定値であること。
		絶縁抵抗			-	M		休	基準値以上であること。
		排出状況			-	E		運	正常に排水していること。

図-8 RCM解析結果に基づく点検項目表の改善

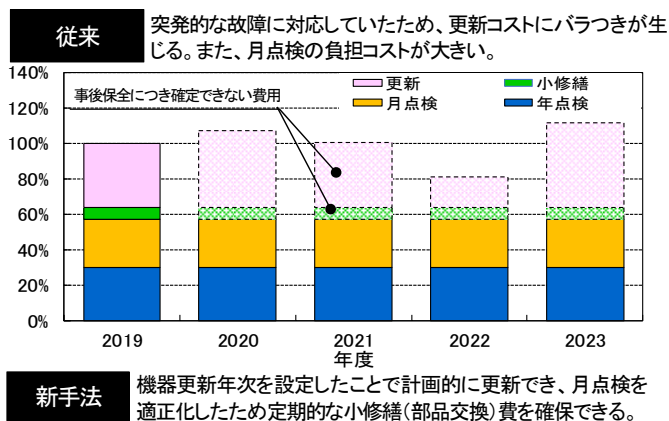


図-9 コスト配分の改善効果

(3) 新しい維持管理手法の効果（維持管理計画）

新しい維持管理手法による維持管理を行う維持管理計画を策定しコスト効果を検証した結果を図-9に示す。

特に、月点検を日々の運転確認に変更することで、月点検のコストをこれまで後回しとなっていた小修繕（部品交換）に安定して活用できることから、緊急事後保全の確実な実施の担保となることがわかった。

また、機器更新の年数を定めたことで計画的に機器更新できるようになり、結果として毎年の維持管理コストを平準化できる。

このように、機能の確保の確実性の向上が経済的に実現できる。

(4) 業務の効率化を進めるための取り組み

今回の検討により、維持管理（特に点検）の合理化が図られるが、名古屋国道事務所において維持管理する設備数そのものは変わらないため、点検結果の整理や維持管理計画の立案と見直しなどには多大な労力を要することは変わらないといえる。

このため、今回すべての設備の信頼性解析を実施し新しい点検項目を整理したのに合わせ、点検結果を電子化して保存することで、設備や機器の履歴の管理や、機器更新年の定期的な見直しなどを行うデータベースシステムも整理した。

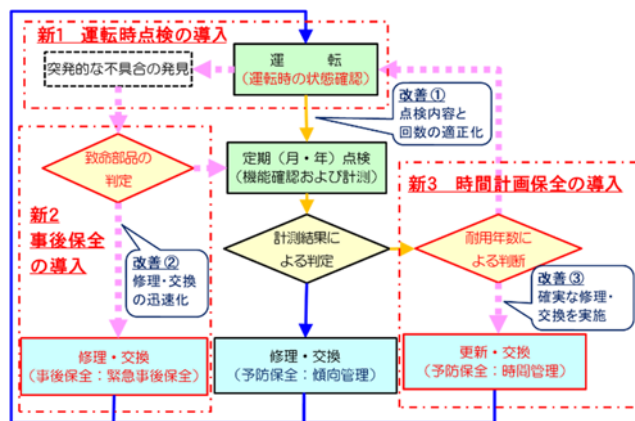


図-10 新たな手法による道路機械設備の保全サイクル図

これによりこれまで時間を要していた点検結果がペーパーレスで即時に点検者から事務所担当課へ送付されるため点検作業そのものも効率化できる。

また、このデータベースも含む今回の検討成果を用いて既存の「点検基準等」を補足する「名古屋国道事務所道路関係設備(機械設備)点検・整備・更新マニュアル(案)」を策定して、事務所担当者または保守点検や維持修繕受注者が変わっても同一思想で維持管理を続けていけるような体制作りも行った。

図-10に今回の検討結果に基づく維持管理手法による保全サイクルを示す。

6. おわりに

今回名古屋国道事務所の道路機械設備をより効率的に維持管理していくための検討を行った結果に基づき新しい維持管理手法をとりまとめることができた。

すでに新しい手法による点検や維持管理を始めており、効果の確認や新たな問題点の有無等を確認しながら、維持管理の合理化を進めていきたい。

名古屋国道事務所は多数の設備を管理していることから新たな取り組みによる改善の効果は大きいものと考えられるが、道路機械設備がもつ特徴は共通していることから、本報告が他事務所における維持管理業務の改善の参考になれば幸いである。

謝辞：本検討にあたり現場調査の実施には名古屋国道事務所各維持出張所の皆様及び維持管理工事・業務等受注者の皆様のご協力があったことを記し謝意を表します。

参考文献

- 1) 小野寺勝重：実践FMEA手法，1999
- 2) 小野寺勝重：保全性設計技術，1990

野洲川自然再生事業の 地域連携から育む河川管理について

古賀 裕英¹・高木 早智²

¹国土交通省 近畿地方整備局 河川部 河川環境課（〒540-8586 大阪市中央区大手前1-5-44）

²国土交通省 近畿地方整備局 琵琶湖河川事務所 河川環境課（〒520-2279 滋賀県大津市黒津4-5-1）

環境に配慮した河川管理を考える際、生物の視点からの多様性、人の視点からの親水性・安全性等が重要な要素となるが、それらの要素に対応するためには様々な課題もある。琵琶湖河川事務所では自然再生事業箇所において地域と連携した環境保全（環境に配慮した河川管理）に取り組んでいる。しかし、河川管理者だけで解決することが困難な課題もあり、課題の中には当事務所の管理する河川だけでなく、他の河川でも課題となっている内容もある。

今回、当事務所での取り組み内容について、問題点、苦慮した内容、工夫した内容等も併せて紹介することで、他河川も含めた、今後の河川管理の参考になると考えている。

キーワード 住民連携、環境、維持管理

1. はじめに

(1) 琵琶湖河川事務所の概要について

淀川水系は、滋賀、京都、大阪、兵庫、奈良および三重の2府4県にまたがり、流域面積は8,240km²、そのうち、琵琶湖流域の面積は3,848km²（琵琶湖含む）と、淀川流域の47%、滋賀県の面積の96%を占めている。

琵琶湖の面積は674km²で、野洲川、姉川、安曇川など流入する一級河川は117本を数え、流入した水は唯一の自然流出河川の瀬田川から宇治川を通り、木津川、桂川と合流したのち、淀川となって大阪湾に注ぐ。

琵琶湖河川事務所では、琵琶湖流入河川の中で最大の河川である「野洲川」、及び琵琶湖からの唯一の流出河川である「瀬田川」等を管理している（図1）。

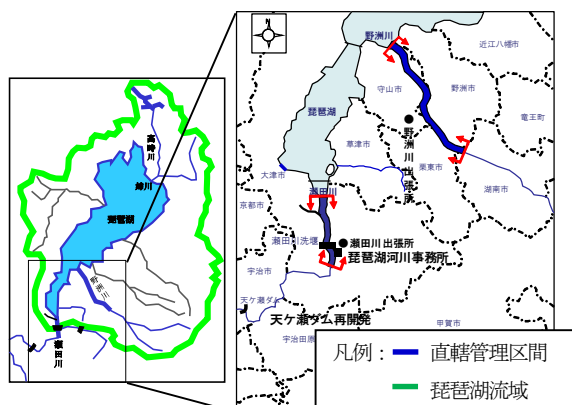


図-1 琵琶湖河川事務所管内図

今回フィールドである「野洲川」は河口部で北流と南流に分かれていたところを1979年に放水路として現在の形に改修された（図2）。

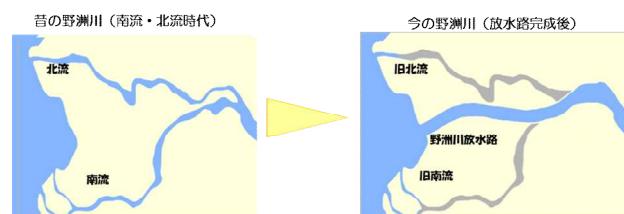


図-2 野洲川河口部の改修前・改修後

しかし改修された野洲川河口部は矢板護岸構造（図3）となっており、琵琶湖固有の魚類であるニゴロブナなどの生息・生育環境を再生するため、2009年度よりヨシ帯の再生を実施している（図4）。



図-3 野洲川河口部の矢板護岸



図-4 野洲川右岸ヨシ帯再生工事施工後
(2010年4月)

2. 野洲川における植生の課題とその取り組み

(1) 野洲川における近年の課題

野洲川においては、みお筋が固定化することにより、河道内の樹林化が進行している箇所があり、河川内に繁茂している樹木は流水を妨げる恐れや、流出した際に河川構造物に損傷を与える恐れがあるため、定期的な伐木が必要である。2009年度より直轄管理区間河口部から上流に向かって伐木を順次行い、2016年度で管理区間を一巡したが、成長の早い樹木（ヤナギ類）も多く、3～4年で元の高さまで戻ってしまい、再繁茂している。

現在の維持管理費の予算規模で行う伐木では樹木の生長に追いついていないため、維持管理上伐木対策は必要であるが、コスト削減の観点からも新たな樹木繁茂対策を検討する必要がある。

(2) 公募伐採について

樹木繁茂対策は、維持作業による伐採や、工事の施工に伴う伐木、公募伐採や伐採木の無料配布を行っている。

公募伐採では、新たな参加者の取り込みを目指し、それまで平日のみ設定していた公募伐採作業の許可を、要望の多かった休日にできるよう、土曜日に試行を行った。

2018年度公募伐採を実施した一般市民は図5のとおり17名で2017年度の8名より倍増している。

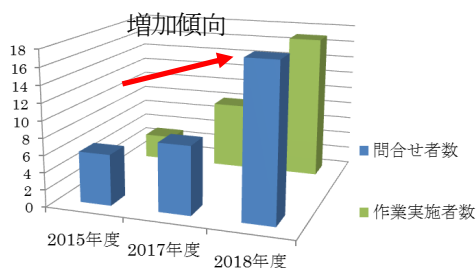


図-5 野洲川における公募伐採の事務所への問合せ
及び実施者数

しかし休日の公募伐採実施については、対応する職員の確保等の課題もある。

(3) 地元中学生からのヨシ帯箇所におけるヤナギ抑制の要望

当事務所で行っている、河口部でのヨシ帯再生事業において、地域との協働として「立命館守山中学校サイテック部」がヨシ帯の育成経過のモニタリングを2012年より行っている。2016年には中学生から「ヨシ帯造成箇所にはヤナギが繁茂し、ヨシ帯再生に悪影響を与えているのではないか」と意見があったため、当事務所としてもヨシ帯造成箇所における伐木の実施などの対策を講じてきた。

また、中学生からは2018年2月に実施した「2017年度ヨシ帯モニタリング成果発表会」で野洲川河口部の「ヨシ帯」の中に占める植生の割合のうちヨシやヒメガマなどの在来植生と比較し、以前より更にヤナギの割合が多くなっているとの報告に加え、以前に伐木したヤナギの木が急激な速度で再繁茂しているとの考察から、今後のヤナギ抑制活動の必要性を当事務所へ訴えた（図6）。



図-6 中学生によるヤナギ対策の報告

1) 中学生が考えるヤナギ対策の実験

2018年度より中学生がヨシ帯造成箇所で、ヤナギ繁茂対策のフィールド実験を行っている。

実験を進めるにあたって立命館守山中学校サイテック部が立案した野洲川復元計画『Yasuriver Restoration Project』（以下YRPという）の取組として、当事務所河川環境課職員を講師として2018年5月15日に立命館守山中学校でヨシ帯モニタリングの勉強会を開催し、実験方法検討を行った。その結果、表1のようなヤナギ対策の実験方法について意見が出され、2018年5月17日に行った、定例の野洲川河口部のヨシ帯モニタリング調査にあわせてフィールド実験を行うことにした。

表-1 実験方法の選定

実験方法	内容	採用・不採用	備考
伐木・剪定	のこぎり・チェーンソーでの伐木	不採用	刃物を扱うため、事故等を考慮し今回不採用。
事務所が伐木し切断面に試料等を塗布	事務所職員が切断し、切断面に試料等を塗布	不採用	大雨でない降雨による水位上昇でも冠水し資料の流出が懸念されるため今回不採用
環状剥皮し、試料等を塗布	中学生、部顧問、事務所職員でヤナギの皮をはがし、試料等を塗布し、ラップ等で密着させ、枯死状態にする	今回採用	刃物を使うが、一度皮がめくれれば、容易に残りを剥くことが出来る。使用する試料については、再度検討

今回YRPの勉強会で選定候補として意見があった実験方法は表1のとおり、「伐木・剪定」、「切断面に試料等を塗布」、「環状剥皮し試料等を塗布」の3つの方法である。中学生が行う実験のため、安全面を最優先に考慮し、のこぎり・チェーンソーを使用する伐木は今回不選定とし、比較的安全な「環状剥皮」の方法を選定し、剥皮した箇所に試料を塗布し、密着させることにした。

剥皮した箇所に塗布する試料については下記の表2のとおり事前に中学生が11品目を考えていたが、河川管理者の意見として、「身近にある手軽に手に入りやすい物」、「人体への影響が限りなく小さいと思われる比較的安全なもの」を選定することにした。

表-2 塗布用試料の選定

試料名	採用・不採用
重曹	○
醤油	○
食塩	○
わさび	○
にんにく	○
ドリップコーヒーの出がらし	○
トイレ発砲洗剤	×
パイプ洗浄剤(ジェル)	×
融雪剤(塩化カルシウム)	△
害虫駆除農薬	×
グリサポート系除草剤	×

2018年5月のヨシ帯モニタリング調査は、立命館守山中学校サイテック部総勢28名、担当顧問等5名、当事務所職員11名が参加した。

生徒は、40本の試験木を鎌やカッターナイフ等を用いて、ヤナギの木の皮を剥皮していき(図7)、剥皮した箇所に表2に記載の6種類の試料を塗布し(図8)、食品用ラップを周囲に巻いて状態を保存した(図9)。また、顧問の先生の提案で、環状剥皮を根元まで行った場合について、対比実験も行った。(図10)。



図-7 環状剥皮実験



図-8 試料塗布実験



図-9 実験木全景



図-10 対比用の環状剥皮(根元まで)

2) 実験のモニタリング

実験を行った箇所については、中学生が効果の発現を確認するため、モニタリングを行った。

今回、モニタリングの方法としては中学生にも簡単に効果を発見することができるよう「葉」に注目し、実験を行ってから7月～9月の期間、中学生と事務所職員合同でモニタリングを行った。

その方法としては、「葉の枯れ具合による色の定量化」と「乾燥重量の減少率」について観察した。

「色の定量化」とは、実験を行っている木について葉の色を解析ソフトを用いて光の三原色(赤・緑・青)の割合を調べ、どの試料を用いた実験木の葉が枯れているか(赤色が割合として多いか)を調べた。

解析は7/20、8/6、8/17、9/18の4日間行い、現地で各試料の木から葉を採取し、スキャナーで画像として取り込み、解析した。

光の三原色(赤・緑・青)RGB値中の赤の数値をR、緑の数値をG、青の数値をBと記述する。葉のR、Gの値を採用し計算式 $\{(G-R)/(G+R)\}$ にそれぞれの葉のR、Gの値を代入して赤色の割合を計算した(図11)。

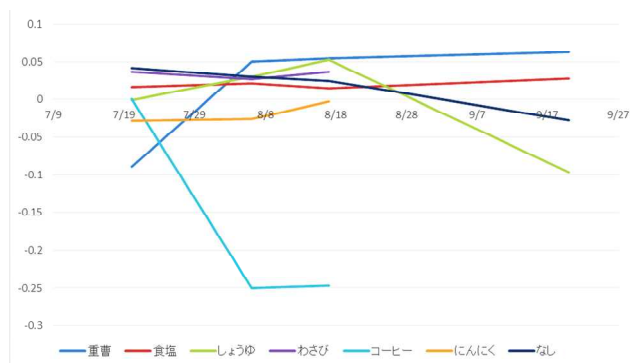


図-11 野洲川河口部のヤナギ葉の色から判断したRGB値

その結果、7/19の調査では重曹を塗布した実験木に関しては、赤色の割合が多いため、マイナスの数値が出ていることが分かる。これは試料を塗布した直後に効果が発現している。

重曹の成分的にこのような効果があるのかを重曹製造メーカーに確認したところ、「炭酸水素ナトリウム」成分のアルカリ性が土壌やヤナギの成長を阻害している可能性が考えられる。¹⁾

しかし、即効性はあるが持続性がなく、1ヶ月足らずで、新葉が出てきていることがわかった。

また、コーヒーについては、重曹ほど即効性はないが効果が見られた。

コーヒーについても製造メーカーに確認したところ、コーヒーに含まれる成分「カフェイン」と「ポリフェノール」が植物に対し何らかの抑制効果を発揮しているのではないかと回答を得た。²⁾

「乾燥重量の減少率」については各試料の木から葉を採取し、採取後の重量を測定し、一週間乾燥させた後に再度重量を測定した。採取した直後の重量に対する、乾燥させた後の重量減少率を分析した。

重量減少率が低いものほど、試料の効果によって葉の採取時点で水分量が減少し樹木の活動を抑制していたと判断し、それぞれの試料における効果を比較分析した(図12)。

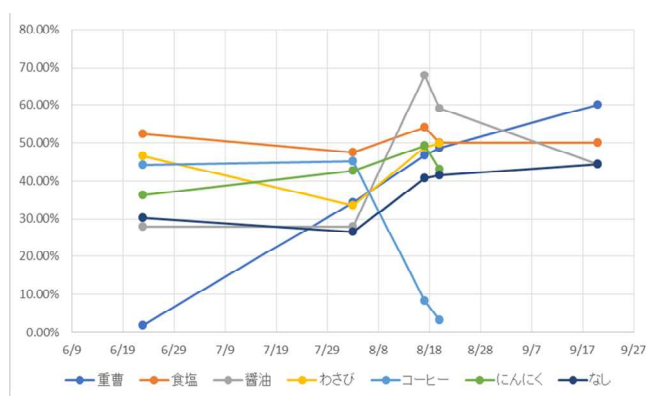


図-12 野洲川河口部のヤナギ葉の乾燥重量減少率

ここでも、重曹を塗布した実験木については、モニタリング初期の葉の水分量が大きく減少していることが分かる。しかし、モニタリングを継続すると徐々に復帰することが分かった。

しかし、コーヒーについては1ヶ月を過ぎた程度から急激に減少することがわかった。

また、モニタリング後期では重曹を塗布した実験木については9本のうち5本が台風により環状剥皮を行った箇所から折れている状況が確認された。

そのため、重曹とコーヒーについてはヤナギに対して成育を抑制することが確認された。

3. 野洲川におけるこれからの取組み

今後、当事務所では野洲川での樹木対策として、以下の3つの方法を考えている。

- ① 維持作業等予算内での継続した伐木。
- ② 公募伐採や伐採木の無料配布の継続的な実施。
- ③ 中学生が行った今回のヨシ帯造成箇所でのフィールド実験の継続。

特に③は、中学生が自主的に実験している地域と連携した河川管理の有効的な事例であり、今年度も引き続き、

昨年度の実験の反省点を踏まえ、新たな箇所での実験を行うこととしており、今後少しずつ事務所管内の河川管理に適用できないか検討が必要である。

4. まとめ

野洲川における「ヤナギの除去方法」に関して、それぞれ効果を上げながらコストや労力をいかに抑制するかが今後持続的な河川管理を行う上で重要な課題であると考える。

まず着目する点として当事務所としては「住民連携」の重要性が不可欠と言える。

野洲川においては、地元中学生が河川環境や河川管理を学ぶ、フィールドを提供することにより、今後の担い手候補である中学生がヨシ帯保全のために「ヤナギの対策が必要」と気づき、自ら考え実験を行っていくことで、河川と触れあう場、教育の場となり、河川管理者へも、「ヤナギ対策の必要性」を更に再認識させる機会を与えることができる。そのためにも、今後も琵琶湖河川レンジャー³⁾を通じ地域住民と連携したモニタリングを継続していく必要がある。

しかし、住民連携の拡大だけでは、根本的な課題の解決には至らない。地域連携での河川管理は河川管理者と地域との結束が重要で有り、その場限りや継続性がないものが多いのが他事務所の事例をみても現状と考える。

今回中学生が行った「野洲川でのヤナギの環状剥皮実験」等の結果を通して今度は河川管理者が問題解決に適した対策の上乗せを再度検討し、地域連携で行っていく。

このような、地域と連携した取り組みは河川を管理する効果的な手法であると考えられるため、河川管理者は地域と共に考え、率先して持続的な河川管理を地域と共に行う必要がある。

謝辞：最後に論文を書くにあたり御協力いただいた、立命館守山中学校サイテック部、琵琶湖河川レンジャー、京都大学 田中周平准教授、いであ(株)、(株)ピーエムコンサルタント、AGC(株)、UCC上島珈琲(株)の皆様に感謝致します。

<参考文献>

- 1) AGC(株)へのヒアリングによる
- 2) UCC上島珈琲(株)へのヒアリングによる
- 3) 淀川水系で活動する、行政と住民との間に介在して、住民が河川に関心を持つような活動やニーズの収集に取り組む、河川管理者より任命された個人

既設プレキャストアーチカルバートの耐震性能 評価と補強方法に関する検討

野田翼¹・山崎旬也¹・石田雅博¹

¹国立研究開発法人 土木研究所 構造物メンテナンス研究センター（〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6）

東北地方太平洋沖地震によりプレキャストアーチカルバートに損傷が生じた。このようなプレキャストアーチカルバートは耐震補強を行う必要があるが、どのような耐震補強が有効なのか、具体的な対策案がないのが現状である。そこで、本検討では動的遠心模型実験によりプレキャストアーチカルバートの損傷メカニズムの解明と補強方法の選定を行った。その結果、損傷メカニズムについては縦断方向の荷重によって損傷したことが分かった。補強方法は縦断方向に連結することが効果的であり、脚部と頂部を補強することにより、脚部のみに比べ、補強量を低減できることが分かった。また、検討結果をもとに補強設計法の提案を行った。

キーワード プレキャストアーチカルバート、縦断方向荷重、炭素繊維シート、補強設計法

1. はじめに

建設現場では人手不足を背景に現場作業の省力化や効率化を目的として、コンクリート構造物のプレキャスト化が行われている。地中構造物についても、大型のプレキャスト部材を用いたカルバートの採用実績が増えている。また、プレキャスト工法は、国土交通省の取り組む、建設現場の生産性向上を目的とした方策「i-Construction」においても、課題解決の手段として挙げられている。

このような背景の中、大断面、架設の効率化および工期の短縮を目的として、3ヒンジ式プレキャストアーチカルバート（以下、3ヒンジアーチ）が採用されている。図-1に3ヒンジアーチの1993年～2014年までの施工実績を示す。なお、この施工実績数はテクスパン工法協会にヒアリングした内容である。3ヒンジアーチは、写真-1に示すように脚部に2箇所と頂部に1箇所、計3箇所のヒンジ接合部を持つ、鉄筋コンクリートの構造物である。

カルバートのような地中構造物の耐荷性能は、一般的に図-2に示すような、横断方向（図軸直角方向）の耐荷力によって上載荷重を支えており、縦断方向（図軸方向）に上載荷重の支持機能は無いとされている¹⁾。そのため、地中構造物の耐震性能に関する研究においては、横断方向の研究が優先されてきた。

そのような中、2011年東北地方太平洋沖地震において、3ヒンジアーチに写真-2～4に示すような接合部のコンクリート片の剥落が高速道路で生じた²⁾。藤原ら³⁾はこの損

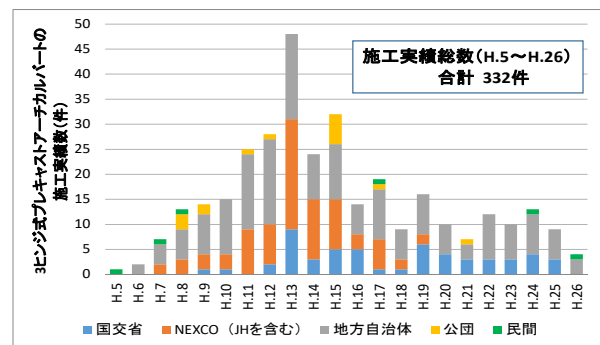


図-1 3ヒンジアーチの施工実績



写真-1 施工時の3ヒンジアーチ

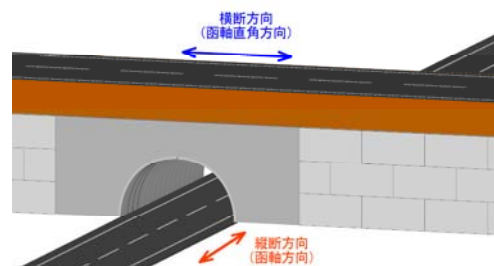


図-2 カルバート検討方向の定義

傷が、カルバート縦断方向の強い地震動により、部材同士が強く接触し合い発生したものと推測している。このような損傷はカルバートの内空が確保できなくなるような損傷では無いが、コンクリート片の落下による第三者被害が想定され、耐震補強を行う必要があると考えられる。しかし、どのような耐震補強が有効なのか、具体的な対策案がないのが現状である。

そこで、本検討では動的遠心模型実験と3次元FEM解析により、3ヒンジアーチの縦断方向の損傷メカニズムの解明および補強方法について検討を行うものである。

2. 実験概要

(1) 実験ケース

表-1に実験ケース一覧を示す。実験ケースは損傷メカニズムを確認するために補強を行っていないものをCASE-1とし、脚部のみ補強を行ったものをCASE-2、脚部と頂部の補強を行ったものをCASE-3とした。本実験

は遠心力50G場で行うため、相似則を考慮し模型寸法は実物大寸法の1/50とした。使用した遠心模型実験機と模型設置状況の写真をそれぞれ写真-5、6に示す。

(2) 3ヒンジアーチのモデル化

実験で想定した断面形状は、2車線道路を想定し、内空幅9.0mとした。部材厚は規格内の最小厚さである250mmとし、内空高さはこれらの条件から逆算して4.7mとした。実験では想定した1/50サイズのアルミ合金製模型を作製した。構造材の違いを考慮し、曲げ剛性EIが相似則をできる限り満足するように、模型の部材厚を4mmに決定した。写真-7に3ヒンジアーチの模型を示す。

(3) 基礎地盤および裏込め地盤のモデル化

3ヒンジアーチの基礎地盤は良質な地盤を選定すること⁴⁾とされているため、3号硅砂を用いて相対密度85%以上となるよう締固め管理を行い作製した。裏込め地盤は、3ヒンジアーチの設計施工マニュアル⁴⁾において締固め度90%以上で締固め管理することが規定されているため、湿潤江戸崎砂を用いて締固め管理を行い作製した。



写真-2 ヒンジ部の損傷（その1）



写真-3 ヒンジ部の損傷（その2）



写真-4 落下したコンクリート片

表-1 実験ケース一覧

	土かぶり	補強方法	補強位置
CASE-1	3.0m	補強なし	-
CASE-2	3.0m	炭素繊維シート	脚部
CASE-3	3.0m	炭素繊維シート	頂部・脚部



写真-5 遠心模型実験機

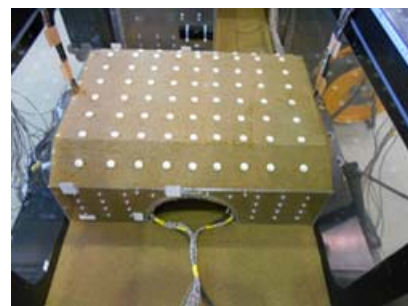


写真-6 模型設置状況

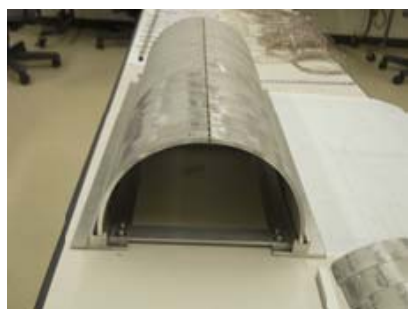


写真-7 3ヒンジアーチ模型



写真-8 帯状補強材の配置状況



写真-9 補強状況

(4) 坑口壁のモデル化

坑口壁は、帯状補強材を使用した補強土壁構造とした。坑口壁は厚さ5mmの亚克力板でモデル化した。帯状補強材はりん青銅板の表面に乾燥状態の7号珪砂を付着させることでモデル化した。帯状補強材の配置状況を写真-8に示す。

(5) 補強工法のモデル化

本検討は既設カルバートを対象としているため、内空側から施工が可能な補強工法を選定した。さらに、補強後に建築限界を侵さない工法として、炭素繊維シートによる補強を選定した。炭素繊維シートは異方向材料であることや、本実験では引張強度および引張剛性だけでなく接着剤の付着強度や付着面積も影響することが考えられることから、別の材料でモデル化するのではなく、目付量ができるだけ小さい $100\text{g/m}^2 \times 1$ 層を実構造物と同様の面積に設置した。その場合、相似則を考慮して実構造物に換算すると目付量 $600\text{g/m}^2 \times 8$ 層程度のシート厚さとなっている。炭素繊維シートによる補強を行った模型の状況を写真-9に示す。

(6) 入力波形

本実験では、遠心力50G場に達した時点をSTEP0とした。STEP1では入力加速度 100gal を縦断方向に加振し、その後、1ステップごとに入力加速度を 50gal ずつ漸増させ、実験装置の最大加速度 600gal まで11ステップの加振を行った。本実験はステップ加振法により地震動を載荷しているため、前ステップの残留変形や応力がある状態での地震動の載荷となっている。入力波は周波数を 1Hz とした正弦波を20波入力した。

3. 実験結果と解析結果

(1) 補強を行っていないケースの実験結果 (CASE-1)

CASE-1ではSTEP5にてアーチの縦断方向の目開きが大きくなり、上部盛土がアーチ内部に流入し崩壊に至ったため、実験を終了した。写真-10に加振後の内部の状況を示す。アーチカルバートが縦断方向に変形し、部材同士がぶつかり、角当りが生じていることが分かる。写真-11に加振後に土を取り除いた状況を示す。坑口から3～5リング目で目開きが生じている。写真-2に示すように実現場での状況と同様の角当りが確認できたため、損傷は縦断方向荷重によるものであることが分かった。

加速度は図-3に示すように、アーチ天端に設置した加速度計と高さ方向に同位置の土中に設置した加速度計および土槽底面に設置した加速度計により計測した。図-4に応答加速度の最大値を示す。図-4に示すように、STEP3において坑口付近 (AC) の応答加速度が大きくなっている。同位置の土中に設置された坑口付近 (土) の応答加速度との差が大きいことから、部材が土とは独立して挙動していると考えられる。

(2) 補強を行っていないケースの解析結果 (CASE-1)

実験時のアーチカルバートの挙動を詳細に把握するため、3次元FEMによる再現解析を実施した。その結果、図-5に示すように、①鉛直軸回りの変形、②縦断方向の倒れ・たわみ変形、③縦断方向の倒れ込み変形の3つの変形モードが複合的に作用していることが分かった。補強方法は、このような複雑な変形を抑制する必要があると考えられる。



写真-10 CASE-1 加振後の内部状況



写真-12 CASE-2 加振後の内部状況



写真-13 CASE-3 加振後の内部状況



写真-11 CASE-1 加振後の状況

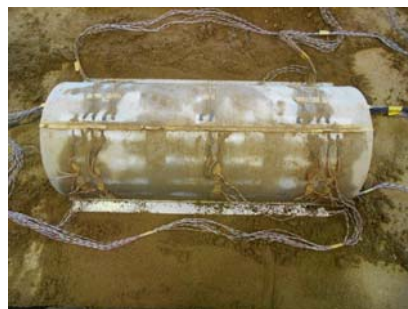


写真-14 CASE-2 加振後の状況



写真-15 CASE-3 加振後の状況

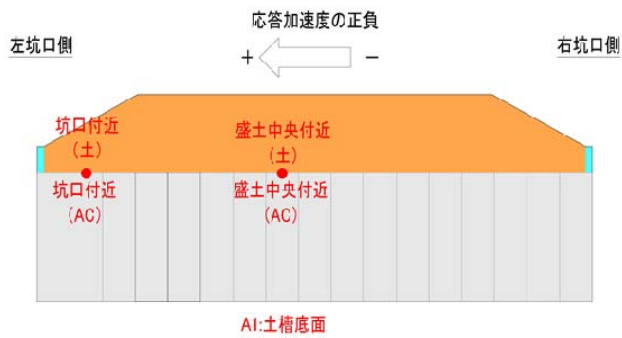


図-3 加速度計設置位置

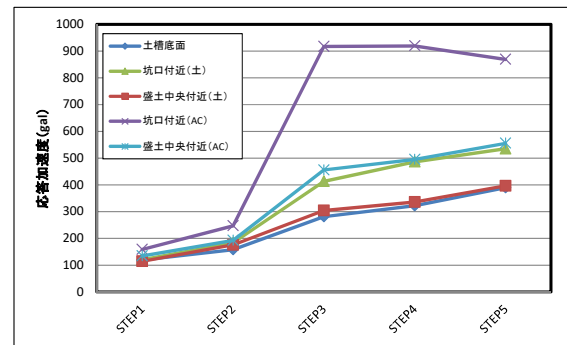


図-4 CASE-1応答加速度

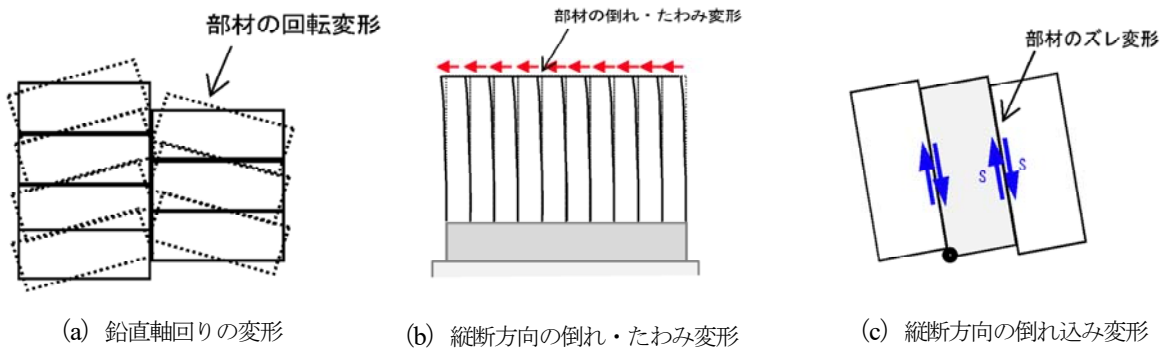


図-5 想定される変形モード

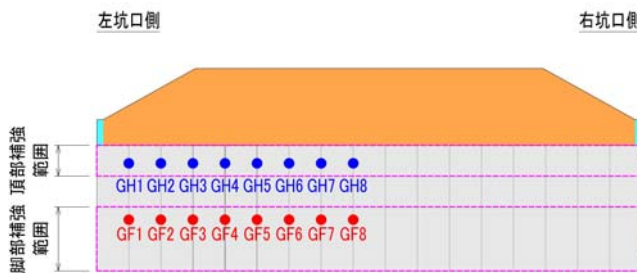


図-6 ひずみゲージ設置位置

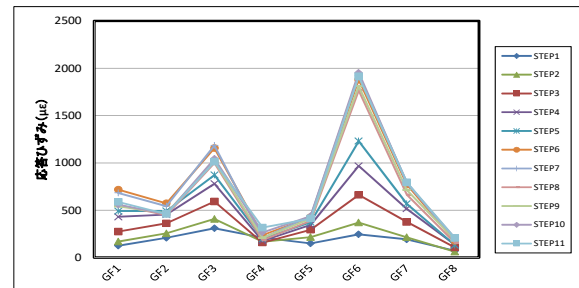


図-7 CASE-2応答ひずみ[脚部]

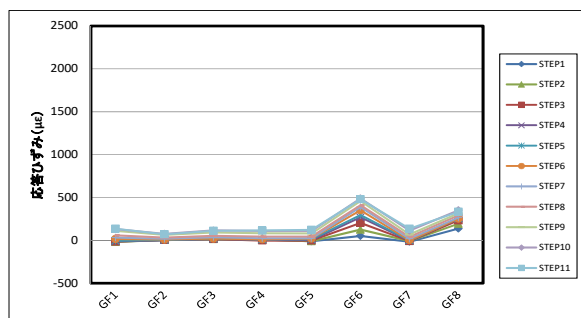


図-8 CASE-3応答ひずみ[脚部]

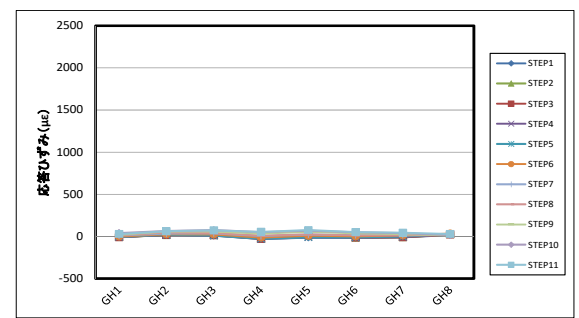


図-9 CASE-3応答ひずみ[頂部]

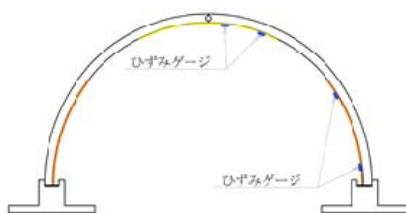


図-10 2リング目と3リング目の目地部のひずみゲージ設置位置図

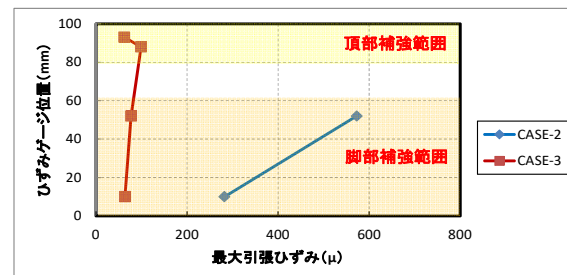


図-11 2リング目と3リング目の目地部の最大応答ひずみ

(3) 補強を行ったケースの実験結果 (CASE-2, 3)

写真-12, 13にそれぞれCASE-2, 3の加振後の内部状況を示す。CASE-1で見られたような角当り等は確認できなかった。また、写真-14, 15にそれぞれCASE-2, 3の加振後に土を取り除いたアーチカルバート状況を示す。CASE-1で見られたような目開きは発生しておらず、変形も確認できなかった。また、応答加速度についてもCASE-1のように、アーチカルバートのみ大きな値を示すようなことはなかったため、土とアーチが独立して挙動することは無かったと考えられる。なお、CASE-2, 3ではCASE-1のような明確な崩壊が確認できなかったため、実験機の最大加速度であるSTEP11まで加振した。

(4) 炭素繊維シートへの応答ひずみ (CASE-2, 3)

炭素繊維シートに設置したひずみゲージ位置 (GH1~8, GF1~8) を図-6 に示す。ひずみゲージはアーチ部材の目地と同位置に設置している。

図-7に CASE-2 の脚部の応答ひずみを示す。また、図-8, 9にそれぞれ CASE-3 の脚部と頂部の応答ひずみを示す。CASE-2 は最大で 2000μ 程度の応答ひずみが発生している。脚部と頂部に補強をした CASE-3 の脚部では、最大でも 400μ 程度と約 1/4 程度に応答ひずみが小さくなっている。CASE-3 の頂部の応答ひずみについては、最大で 100μ 程度とほとんど発生していなかった。

図-10 に左坑口側から 2 リング目と 3 リング目の目地位置の炭素繊維シートに設置したひずみゲージ位置を、図-11 にその応答ひずみの最大値を示す。図-11 に示すように、脚部のみ補強した CASE-2 では、脚部の炭素繊維シートの上部と下部で計測された最大応答ひずみに約 300μ の差が生じていたが、脚部と頂部の補強した CASE-3 では、約 30μ の差しか生じていなかった。CASE-2 では下部に比べ上部の応答ひずみが大きいことから、アーチ部材が回転するような変形モードであったと考えられる。CASE-3 では頂部も補強することにより、変形モードがより並進に近くなることで、炭素繊維シートの一部に応力が集中することなく、分散したものと考えられる。

実験の結果、脚部のみを補強した場合に比べ、脚部・頂部を補強した場合の補強面積は約 1.7 倍に増加するが、応答ひずみは約 1/4 に低下するためシートの厚み (層数) を低減することが可能であり、脚部だけでなく頂部も補強した方が、補強量を低減できると考えられる。

4. 補強設計法の提案

(1) 縦断方向荷重の推定

遠心模型実験の結果と3次元FEMによる再現解析によって縦断方向荷重を検討した。脚部だけでなく頂部も補強することで補強量が低減できることから、CASE-3の

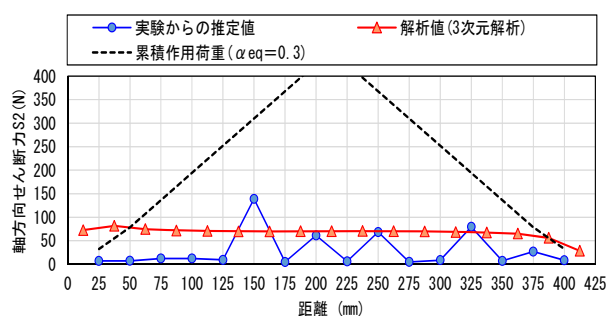


図-12 縦断方向荷重の推定

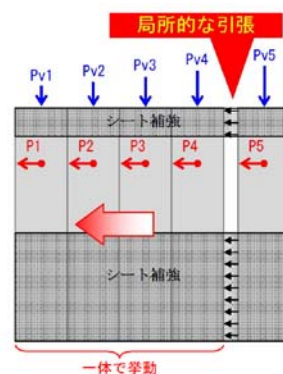


図-13 補強による一体化のイメージ

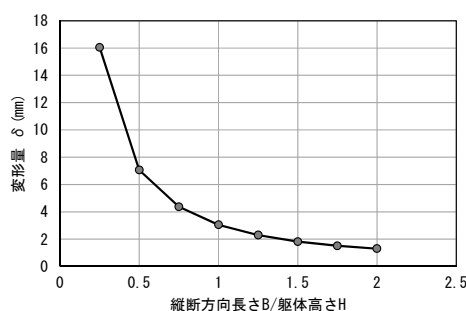


図-14 カルバートの形状効果と変形量の関係

結果から縦断方向荷重を推定することとした。また、以降に述べる結果は1/50サイズで推定した値である。

図-12に縦断方向荷重の推定結果を示す。再現解析の結果では、全体に渡って75N程度となったが、実験結果では、局所的に大きな値を示しており、10N~130N程度とばらついている。これは図-13に示すように、短冊状のプレキャスト部材が縦断方向に連結されることにより、何体が連結された状態のものが一体として挙動し、局所的な引張が生じていると考えられる。

そこで、一体化の範囲を確認するため縦断方向長さ (連結数) の異なる躯体モデルでの3次元FEM解析を実施し、幾何学的に縦断方向の変形量が抑えられるアーチ部材の縦断方向長さを算出した。図-14に示すように、縦断方向長さBに対する躯体高さHの比が1.0を超えると変形量が急激に大きくなることが分かった。

以上の検討の結果、各部材の変形の抑制の照査を行うとともに、一体化による局所的な引張に対する照査を行う必要があることが分かった。

(2) 補正係数 α_{eq} の算出

本検討で対象とした3ヒンジアーチは解析等に土の影響を考慮する必要があるが、3次元FEM解析を行う際に、土とカルバートをモデル化すると作業が煩雑になることや計算時間が非常に長くなるため、本検討では簡易式による補強設計法を提案する。図-15に示すように、鉛直荷重と縦断方向荷重の比を補正係数 α_{eq} とし、縦断方向荷重を土かぶり厚に応じた係数を用いて簡易式(1)のように算出する。図-12に示すように一体化による累積荷重を考慮し補正係数は $\alpha_{eq}=0.3$ とすることで、安全側に設計を行えると考えられる。

$$\tau = \alpha_{eq} \times \sigma'_v \quad (1)$$

ここに、 τ ：周面せん断力 [kN/m²]
 α_{eq} ：補正係数=0.3
 σ'_v ：最大土かぶり厚 [kN/m²]

検討位置は最大土かぶり位置とし、図-16に示すように算出された縦断方向荷重を全長にわたって適用するものとした。

(3) 補強設計法の考え方

検討の結果、3ヒンジアーチの縦断方向の連結が十分でないと、アーチ部材が縦断方向の作用により変形する。カルバート補強設計法の基本的な考え方を図-17に示す。プレキャスト部材が単体で挙動し変形することを抑制するために、①相対回転に対する検討、②相対ずれに対する検討、③相対傾斜に対する検討を行う。補強後の一体化による局所的な引張に対しては、④相対開きに対する検討を行うこととした。これらの炭素繊維シートへの設計によってカルバート縦断方向の変形を抑制できる。

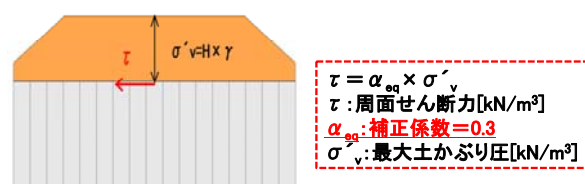


図-15 簡易式による縦断方向荷重の算出方法

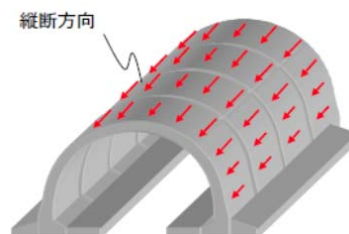


図-16 縦断方向荷重の作用位置

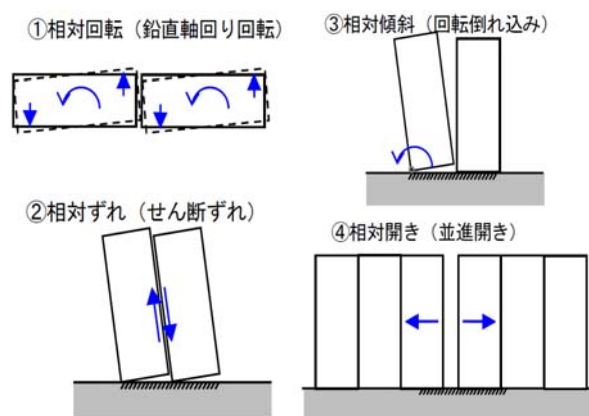


図-17 補強設計法の基本的な考え方

5. まとめ

3 ヒンジアーチの損傷メカニズムと補強方法を検討するため、動的遠心模型実験と 3 次元 FEM 解析を実施した。以下に、得られた知見を示す。

- ・ 3ヒンジアーチの損傷は縦断方向の荷重によって、変形することで頂部の接合部に損傷が生じている。
- ・ 3ヒンジアーチの頂部の接合部の変形を抑えるには、縦断方向に連結する必要があることが分かった。また、補強については、脚部および頂部を補強することにより、脚部のみの補強に比べ、補強量を低減できることが分かった。
- ・ 補強設計法は補正係数 $\alpha_{eq}=0.3$ とすることで安全側設計することが可能で、プレキャスト部材単体の挙動を抑制することにより、一体化し局所的な引張が発生するため、その検討も必要であることが分かった。

今回の検討結果をもとに、既設プレキャストアーチカルバートの耐震補強マニュアルを整備する予定である。

謝辞：本研究は土木研究所、京都大学、(株)高速道路総合技術研究所との共同研究である「プレキャスト部材を用いた既設カルバートの耐震性能評価と補強方法に関する共同研究」の成果の一部である。

参考文献

- 1) 土木学会：続・実務に役立つ耐震設計入門（実践編），2014.10
- 2) 安部哲生，中村雅範：高速道路における大型プレキャスト部材を用いたカルバートの活用と適用上の留意点，基礎工，Vol.42，No.4，2014.4
- 3) 藤原優，藤岡一頼，佐伯宗大：3 ヒンジプレキャストアーチカルバートの上載盛土の影響に関する分析，土木学会第 71 回年次学術講演会，2016.9
- 4) (財) 先端建設技術センター，テクスパン工法設計施工マニュアル検討委員会：テクスパン工法設計施工マニュアル（案），1998.12

インフラツアーの実施と今後の課題

北 沢子¹・飯野 俊一¹¹東北地方整備局 新庄河川事務所 寒河江川砂防出張所

(〒990-0702 山形県西村山郡西川町大字海味字下毛山916-2)

近年、インフラは公共施設という役割だけではなくひとつの観光資源として注目されている。東北地方整備局管内のインフラ施設を紹介する「インフラツアーポイントガイド第2弾」（2017年10月発刊）には、寒河江川砂防出張所の「月山地区地すべり対策」が掲載されている。インフラツアーといえば橋やダム等の見学が比較的認知度が高いが、地すべり対策事業は一般になじみがない。インフラ見学と周辺の地域観光を連携させより広く興味をもってもらい、インフラへの理解を深めてもらうと同時に地域の魅力を知ってもらうため企画に工夫を重ね、さらにインフラツアーの内容充実に向け、課題検討を行ったものである。

キーワード インフラ活用, インフラツアー, 地域連携, 観光資源, 地域活性化

1. 月山志津地すべり対策事業の概要

月山地区は山形県西川町、山岳信仰で有名な出羽三山の主峰月山の麓に位置している。地区一帯は第四紀の月山火山噴出物からなる非常に多様な地質が分布し、また、東北有数の豪雪地帯であるため、春の雪解けと多様な地質が原因となって、地すべりの活動が地区内の各所で発生している。地区内には山形県の内陸部と庄内地域を結ぶ国道112号が通過しているとともに、庄内平野、山形盆地における治水・利水上、重要な役割を果たす月山ダム・寒河江ダムや、志津温泉をはじめとする多くの観光地がある。このため、地区内の観光地や交通・物流の要である国道112号などの重要な公共施設への被害防止のため、2009年度から直轄地すべり対策事業に着手し、集水井及び集水ボーリング等の工事を継続実施している。

抑制工 地すべりの誘因を排除し、停止・緩和を図る工法です

- 地表水排除工 (水路工、浸透防止工)
- 地下水排除工 (暗渠工、横ボーリング工、集水井工、排水トンネル工など)
- 排土工
- 押さえ盛土工
- 河川構造物 (堰堤、谷止工、護岸工など)

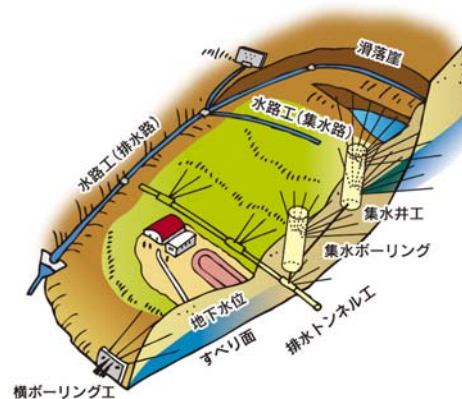


図-2 主な地すべり対策施設



図-1 月山地区全景と周辺観光資源の位置図



图-3 集水井

2. 月山志津地区の周辺観光と歴史

山形県の内陸部と庄内地域をつなぐ出羽の古道・六十里越街道は、1200年前に出羽三山への参詣道として開かれたと伝えられ、参詣者以外にも様々な物資を背負って運ぶ人たちが行き来していた。月山志津地区の街道には石畳や様々な史跡が現在も残り、ブナ林に囲まれた自然豊かな出羽の古道歩きを楽しむ人が訪れている。¹⁾



図-4 六十里越街道

また、この地区はかつて出羽三山参詣の宿場町として栄え、現在の月山志津温泉は月山観光の拠点として10軒ほどの旅館が営業を行っている。4月～7月にかけては月山の春・夏スキーを楽しむことができ、高山植物や紅葉を楽しむトレッキングや月山登山など県内外から多くの観光客が訪れている。この地区の冬の積雪は毎年5mを超え、毎冬、その豪雪を活かし温泉街に雪の旅籠で当時の街並みを再現した「雪旅籠の灯り」のイベントが開催されている。



図-5 志津温泉の冬のイベント「雪旅籠の灯り」

3. 「月山地区志津地すべり対策」インフラツアーの目的

事業箇所は月山志津温泉に近接しており、ブナ林など豊かな大自然に囲まれている。地すべり対策施設を観光資源のひとつとして活用し、また、インフラ見学と周辺地域観光を連携させることでインフラへの理解を深めようと同時に、地域の魅力を知ってもらえることができると考えた。

3. ツアー実施までの流れ

(1) 施設をどう見せるか、原案とルート設定

インフラツアーの受付開始を雪解け後の2018年6月と設定し、前年秋から準備を進めた。志津の自然を感じながらインフラ施設を見学してもらうためには、歩いてまわるトレッキングが最適だと考えた。見学する施設や景観ポイントは点在するように配置し、見学ポイントは8ヶ所とした。



図-6 原案とルート設定

設定したルートを実際に歩き、ポイント間の時間や問題点・改良点がないかを確認した。実際に歩くと、通行できないルートや上り坂が続いて歩くのがきつい箇所があり、ルートの再検討や見学順序の工夫が必要だとわかった。

(2) ルートの決定

通行できなかったルートは草木が生い茂りすぐに開通することができないため、今後の検討課題とした。新たに別のルートを設定し、見学ポイントの位置を変更した。コースは、A: 見学ポイント8ヶ所を112分（この地域

の交通網である国道112号に関連させて設定した)で歩くコースと、B:5ヶ所を60分(出羽の古道 六十里越街道に関連させて設定した)で歩くコースの二つを設定した。

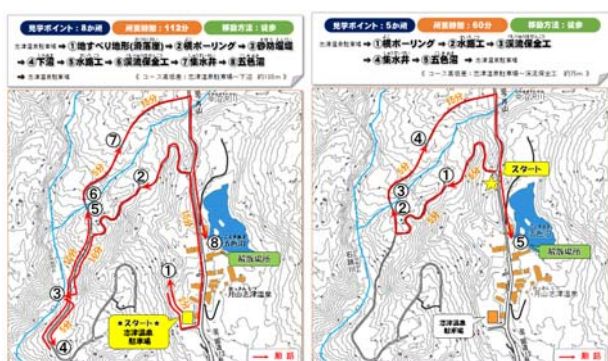


図-7 Aコース(8ヶ所112分)とBコース(5ヶ所60分)

(3) 地元への情報提供と協力要請

地域観光と連携したツアーを実施し、事業終了後もインフラ施設を観光に活用してもらうには、地元の協力が不可欠である。地元西川町の商工観光課、建設水道課、月山志津温泉旅館組合と打ち合わせを実施し、インフラツアーの情報提供と協力要請を行った。地元関係者からは「地すべり対策施設を観光に活用できないか」という要望が以前から出されていたこともあり、今後も積極的に協力していくというお話をいただいた。今後の活用方法、将来的な運営をどのようにしていくかという問題点も出され、今後さらに検討が必要である。

(4) 資料づくりの工夫

地元関係者の意見を踏まえツアー内容を修正し、現地説明用資料、持ち歩き用ガイドブック、広報用チラシを作成した。

現地説明用資料は、紙芝居方式とした。紙芝居に説明内容が記載してあれば、誰でも見学対応をすることができる。説明内容は、専門用語に偏らないような説明、大きな文字、イラストや図を使い、わかりやすさ・親しみやすさを心がけた。



図-8 出張所キャラクターを使った紙芝居

インフラ施設の説明だけではなく、月山志津地区の観光スポット六十里越街道の歴史や月山志津温泉の紹介、また、豪雪を活かした冬のイベント「雪旅籠の灯り」を写真で紹介している。四季を通じた地元の魅力を伝えられるような内容とした。



図-9 観光スポット・イベントを紹介した紙芝居

持ち歩き用ガイドブックは、コース毎に作成し持ち歩きしやすいようにA4版二つ折りとした。

広報用チラシは、見学の詳細や注意事項以外にも、周辺の観光情報や地元のおいしい味覚、日帰り温泉の情報などを紹介し、インフラ見学と周辺観光を組み合わせる来てもらえるような工夫をした。

(5) ツアー実施前の最終確認、広報活動

受付開始一ヶ月前に見学コースをまわり、最終確認を行った。また同時に、出張所ホームページにバナーを貼り広報用チラシを掲載し、見学の詳細を確認できるようにした。出張所で発行している広報誌「寒河江川さばう」では、開始時期に合わせて記事を掲載し、インフラツアーの開始をPRした。

(6) モニターツアーの実施

2018年7月には地元関係者(西川町建設水道課・西川町商工観光課・月山朝日観光協会・月山志津温泉旅館組合)を招待し、モニターツアーを実施した。参加者から様々な意見やアドバイスをいただいた。気づけなかった点が数多くあり、大変参考になった。モニターツアーの実施により、地元の方にもインフラツアーに興味を持っていただくことができた。

《地元モニターの意見》

- ・地すべりの原因が大量の水であることをもっと詳しく説明した方がよい。
- ・地すべりの深さを例えるのに、共通で想像できる建物などを示すとよい。
- ・積雪量の説明の際、写真だけでなく実際の建物で高さ

を示すとイメージがわく。

- ・紙芝居は、雨天時にも対応できるようにラミネート加工した方がよい。さらに長いひもをつけると移動時に楽である。
- ・クイズ形式の説明があれば、楽しめる。

モニターツアーでの意見を踏まえ、紙芝居の雨対策、見学ポイント3ヶ所でクイズを出題するなどの改良を行った。



図-10 地元関係者が参加したモニターツアー

4. ツアーの実施

2018年10月には、13名のツアーの申し込みがあった。当日は、志津温泉旅館組合長からごあいさつをいただき、地元観光をPRしていただいた。説明の合間にクイズを入れることで参加者とのコミュニケーションを図ることができ、より楽しんでいただくことができた。様々な質問が出され、熱心に見学していただくことができた。



図-11 志津温泉旅館組合長(写真左)が地元観光をPR

5. 今後の課題

(1) 通行不可ルートの開通

現在、通行不可ルートの開通に向け現地調査を行い、コースの改良を進めている。現在の設定コースは一部同じ道を歩かなければならないが、一周まわれるコースができれば違う景観を楽しむことができるうえ、時間も効率よく見学することができる。

(2) 継続していくための体制づくり

地すべり事業終了後も長期的に実施していくための体制づくりが必要である。除草などの維持管理は、地域の協力が必要である。また、見学ポイントへの看板設置や地元案内人の確保、誰でも案内できるような説明マニュアルを作成するなどの工夫が必要である。2019年7月には地元関係者と二回目のモニターツアーを実施し、様々な視点からの意見を集めているところである。

(3) 地域観光との連携

今年度ポスターを製作し、インフラツアーと地域観光を組み合わせた旅行プランを提案した。今後、旅行会社への情報提供など、地元観光協会と連携しながら進めて行きたい。

(4) 積極的なPR

PR用ツールとして、見学ポイントになっている「石跳川第三砂防堰堤」の砂防カードを2019年2月に作成した。ツアー参加者の特典として配布しているほか、大型連休には、近隣の道の駅にしかわなど町内二ヶ所で期間限定配布を行った。その際の反響が大きかったため、現在は道の駅内の観光案内所に常設して配布している。道の駅内の観光案内所で配布することにより、インフラツアーを効果的にPRできるのと同時に、道の駅に立ち寄る観光客が増えれば地域観光にも効果あると考えられる。引き続き、様々な手法で効果的に情報発信していきたい。



図-12 石跳川第三砂防堰堤の砂防カード

6. まとめ

ツアーの開始にあたっては、地元関係者との打ち合わせやモニターツアーの実施などで様々な意見を集めながら、出張所と地元関係者が連携しながら準備を進めてきた。

今後は地すべり排水トンネルが施工される予定であり、また新たな見学ポイントが加わる。さらに、防災学習への活用として、地元小中学校のインフラツアー実施も検

討しているところである。

ひとつひとつ工夫と改良を重ねながら、地すべり対策事業への理解と地域の魅力を伝えるために、今後も地域と方々と連携しながら、より多くの方にインフラツアーを知っていただき来ていただけるよう努力していきたいと思う。

参考文献

- 1) あさひむら観光協会：はじめての古道歩き！出羽の古道六十里越街道ホームページ

播但連絡道路の料金施策を通じた交流促進 ～観光交流による地域活性化～

山根 彬寛¹・齊藤 俊洋²

¹兵庫県 県土整備部土木局 高速道路推進室 (〒650-8567 兵庫県神戸市中央区下山手通5-10-1)

²兵庫県道路公社 技術部 経営企画課 (〒650-0011 兵庫県神戸市中央区下山手通4-18-2)

兵庫県及び県道路公社は、2005年度から播但連絡道路(以下「播但道」)の利用促進及び交流促進による地域経済の活性化等を目的に料金施策を実施し、一定の成果を上げてきた。しかし、近年、但馬地域の定住人口が大幅に減少しており、そのような中、地域創生を図るには、より一層の交流促進が求められている。そこで、県及び道路公社は、2017年度から播但道で新たな料金施策(社会実験)を実施し、交流促進による観光をはじめとした地域経済の活性化に取り組んでいる。本論文では、交通量の変化やアンケート調査等により経済波及効果を分析し、本料金施策の効果等について述べる。

キーワード 有料道路, 料金施策, 社会実験, 交流人口, 経済波及効果

1. はじめに

兵庫県は、日本列島のほぼ中央に位置し、北は日本海、南は瀬戸内海から淡路島を介して太平洋に面しており、大阪湾ベイエリアをはじめとする瀬戸内臨海部、中国自動車道を中心とした内陸部、豊かな自然・観光資源を有し、山陰海岸国立公園の一部をなす日本海岸沿岸部からなっている。また、かつての摂津・播磨・但馬・丹波・淡路の5つの国からなり、これらの地域が織りなす多彩な産業や変化に富んだ地理的・社会的特性、国際性の豊かさなどから、「日本の縮図」とも言われてきた。

この多彩な地域特性を踏まえ、本県では、阪神播磨臨海軸、山陽内陸軸、中国内陸軸、日本海沿岸軸の東西4本、日本海太平洋軸、播磨丹波但馬軸、播磨但馬軸、播磨因幡軸の南北4本の916.7kmの路線網からなる「基幹道路八連携軸」を中心とする道路網の整備を通じ、都市

と多自然居住地域との交流促進や地域産業の振興など県土の均衡ある発展に取り組んでいる。そのような中、近年では北近畿豊岡自動車道(2016年度八鹿日高道路開通)や新名神高速道路(2017年度兵庫県内全線開通)など高規格幹線道路の整備も進み、2018年度末には県内の基幹道路の約8割供用するなど、県内の基幹道路ネットワークは着実に構築されてきている。また、本県の高速道路は供用延長が北海道に次いで全国2位の753kmを誇ることや、全道路延長、可住地面積に占める延長等も全国の中で上位に位置することから(表-1)、重要性の高いインフラストックと言える。

本論文では、「基幹道路八連携軸」のうち播磨但馬軸を構成する播但道で、交流促進等を目的に実施している料金施策(社会実験)について、交通量の変化やアンケート調査等により経済波及効果を分析し、本料金施策の効果等について述べる。

表-1 高速道路延長の都道府県別比較

指標	高速道路 実延長(km)	道路延長 ¹⁾ 当たり(km/1,000km)	総面積 ²⁾ 当たり(km/100km ²)	可住地面積 ³⁾ 当たり(km/100km ²)
時点	2018.4.1	2014.4.1	2015.10.1	2010.2.1
1 北海道	1126	兵庫県 20.65	大阪府 20.52	新潟県 48.37
2 兵庫県	753	大阪府 20.09	神奈川県 14.20	大阪府 29.57
3 広島県	555	山口県 19.51	東京都 12.83	兵庫県 27.08
4 福島県	489	広島県 19.10	新潟県 10.30	広島県 24.24
5 新潟県	460	福井県 17.08	兵庫県 8.96	三重県 23.40
6 愛知県	450	鳥取県 16.28	静岡県 8.47	神奈川県 23.39
：	：	：	：	：
47 沖縄県	78	群馬県 5.06	北海道 1.35	石川県 3.86
全国平均	292	11.24	3.63	11.09

(兵庫県高速道路推進室調べ)

※1「高速道路」の定義

①出入りがインターチェンジに限定されていること(立体交差等)
②往復車線が分離されていること(ボール等による分離可)
③高速走行が可能なこと(50cc原動付自転車、自転車、歩行者が通行できないこと)

※2「道路延長」の定義

高速自動車国道、一般国道、都道府県道、市町村道の合計延長

※3「可住地面積」の定義

総面積から林野面積(森林面積と森林以外の草生地面積を含む)と主要湖沼面積(面積が1km²以上の自然湖)を差し引いた面積

2. 播但道の概要

道路公社が管理する播但道は、播磨地域の中心都市である姫路市と温泉や自然環境を主とした観光資源に富む但馬地域を結ぶ延長65.1kmの一般有料道路で、全国で最も長い公社管理路線である。

また、中国自動車道、山陽自動車道、北近畿豊岡自動車道の高規格幹線道路等と接続し、重要な高速道路ネットワークを形成していること（図-1）、沿線に県内有数の観光施設が多数あることから、広域的に利用されている路線である。

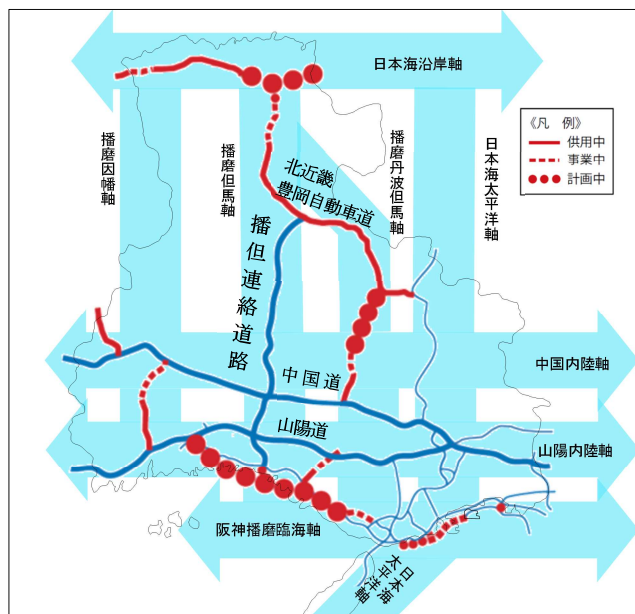


図-1 兵庫県的高速道路網図

3. 施策の背景

(1) 但馬地域の課題

但馬地域は総人口約167,500人（2017年度）で、毎年約2,500人もんの人口が減少している。また、近年の人口減少率（2013年～2017年）は△6.5%と全県の△1.4%を大きく上回っており（図-2）、人口減少が大きな課題である。その中、但馬地域の特性（次記(2)）を踏まえると、播但道の料金施策は但馬地域と播磨地域等の交流促進に有効であり、人口減少対策に寄与すると考えられる。

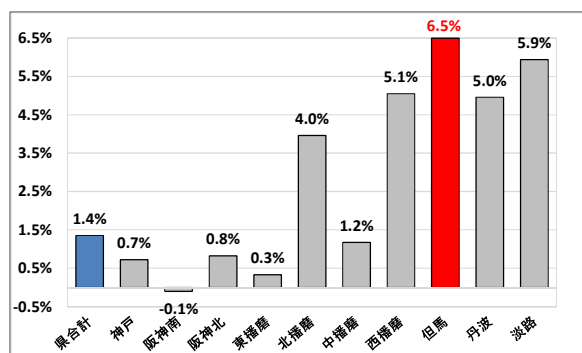


図-2 兵庫県の地域別人口減少率^④

(2) 但馬地域の特性

a) 来訪手段

但馬地域においては、観光客の来訪手段の70%以上を自動車に占めており、全県45%と比較しても非常に高いことから（図-3）、基幹道路を介したさらなる交流促進が必要である。

【但馬地域】



【兵庫県】



図-3 但馬地域及び兵庫県への来訪手段^⑤

b) 観光GDP

但馬地域は地域内GDPに占める観光GDPの割合が約11.1%と全県の約3.7%を大きく上回っており（図-4）、観光業が重要な産業となっていることから、地域経済に及ぼす影響も大きい。

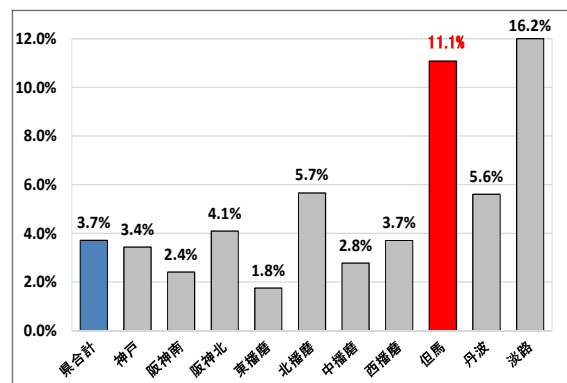


図-4 地域内GDPに占める観光GDPの割合^⑥

c) リピート率・再訪意向

但馬地域を訪れる観光客のリピート率は77%と非常に高く、再訪意向も平均90%（図-5）と全国の観光地平均60.4%^⑦を大きく上回っている。また、再訪意向が来訪回数の増加に伴い上昇することから、「来訪のきっかけ」を提供することが交流促進の重要なカギとなる。

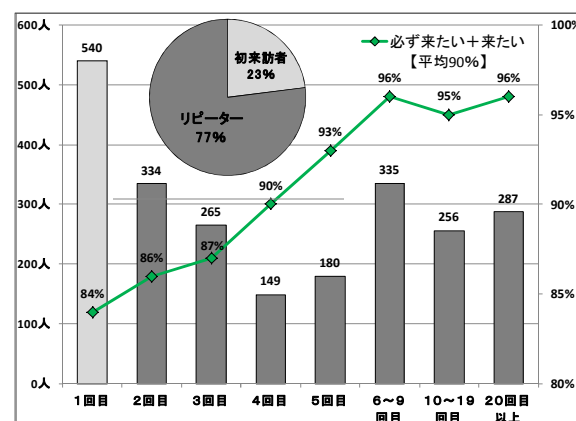


図-5 但馬地域のリピート率と再訪意向

4. 取り組み

(1) 施策のねらい

人口減少が課題である但馬地域においては、交流人口の拡大により維持人口（定住人口＋交流人口）を確保することが、地域の活力維持につながる。

2016年度末（H28年度末）に北近畿豊岡自動車道が但馬地域の中心都市である豊岡市（日高神鍋高原IC）まで延伸され、但馬地域と播但道を介した播磨地域との移動時間が短縮された（表-2）。この効果に、播但道の料金施策による料金低減効果を加えることにより、一層の交流人口の拡大が期待できる。

表-2 時間短縮効果と料金低減効果

項目	H28年度以前	H29年度以降	低減効果
移動時間※	85分	75分	10分
料 金	1,440円	1,000円	440円

※ 姫路JCTから豊岡市（日高町）

(2) 平日に割引を導入する理由

a) 世代人口

若年・中高年世代（65歳以下）は時間に余裕がなく、料金施策のみでは交流促進が期待できない。また、仮に交流促進が図られたとしても、若年・中高年世代は人口が減少していくため、効果は相殺されてしまう。これに対して、シニア世代（65歳以上）は他の世代より時間・お金に余裕があるとされており、平日の移動拡大が期待できる。さらに、シニア世代は人口が2040年ごろまで増加し続けることから（図-6）、交流促進が図られれば、人口の増加と合わせた相乗効果により、大きな効果が期待できる。

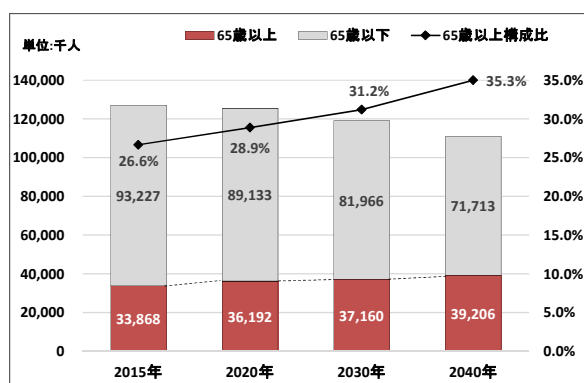


図-6 将来の総人口と65歳以上の構成比[※]

b) 播但道の料金体系

播但道の普通車の基本料金は22.32円/km×利用距離（km）で、接続するNEXCO路線（26.57円/km×利用距離（km）＋162円（初乗り料金））と比べて非常に安い（消費税8%で計算）。また、休日においては、料金施策（交流促進）として、休日割引（△30%）・休日全線割引（△40%）を既に導

入しており、全線利用（姫路JCT～和田山）時の料金が860円と、全国で最も安いキロ当たり単価となっている。これに対し、平日は通勤時間帯割引（△30%）以外の割引を導入しておらず、全線利用時が1,440円と休日に比べ580円も高いことから、平日に更なる割引を導入することは、効果的であると考えられる（図-7）。

(3) 社会実験の概要

- ① 実施期間 2017年（H29）4月から2年間（2019年から2年間延伸し、2020年度末まで継続実施）
- ② 対象車種 普通車・軽自動車等（ETC限定）
- ③ 対象日 平日（祝日を除く月から金）
- ④ 割引内容

普通車 上限料金 1,000円（最大440円引き）
軽自動車等 上限料金 800円（最大330円引き）

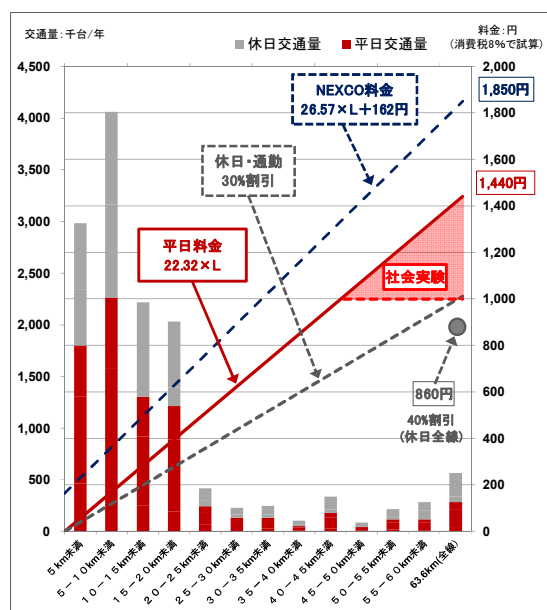


図-7 利用料金（普）と距離別年間利用台数（普＋軽）

5. 効果検証

(1) 平日交通量（普・軽）の変化

割引対象区間の交通量の増加率が+6.4%と割引対象区間外の増加率+3.0%を上回っており（図-8）、割引の効果が確認できる。また、区間別では全線利用（姫路JCT～和田山）の増加台数が一番多く（+73台/日：68%）、播磨南部地域から但馬地域への来訪客増加に寄与したものと考えられる。

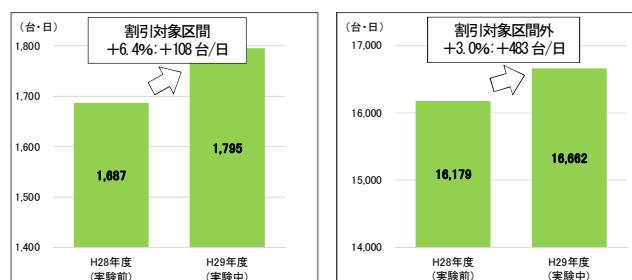


図-8 割引対象区間と区間外の交通量の変化

(2) 増加要因

割引対象区間の交通量の増加要因は、下記3点から、割引の導入に伴う純増と考えられる。

a) 他路線からの転換

並行している国道312号や遠阪トンネルの小型車交通量も増加(+1%程度)しており(図-9)、国道312号や北近畿豊岡自動車道からの転換ではないと考えられる。

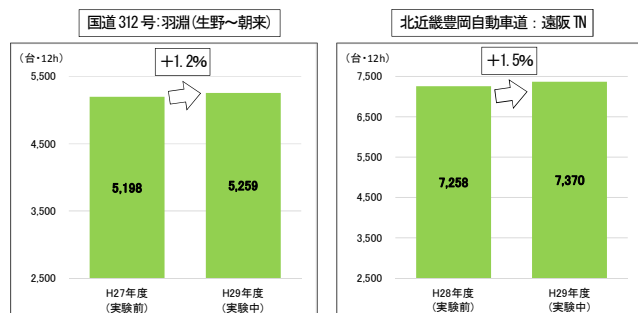


図-9 並行路線等の交通量の変化

b) 播但道利用者の利用距離の変更

割引対象区間に近接する区間(普800円以上・軽600円以上)の交通量が減少していないことから、割引導入に伴う、既存利用者の割引対象区間外から割引対象区間への転換ではないと考えられる。

c) 播但道利用者の利用距離の変更

播但道のSA・PA及び観光地等で実施したアンケート調査の結果、「割引きがあったから播但道を利用した」と回答した方が78名/日おり、割引対象区間の交通量の増加108台/日と大きさ差がない。

※アンケート調査:11月・2月・3月に実施。総数2,021名。

(3) 料金収入

割引導入による播但道の収入は、誘発台数(6.4%)が少ないことから、約80百万円/年の減収となった。

【減収額の計算方法】

$$\begin{aligned} & \text{実験前交通量(2016年度)} \times \text{実験前料金(2016年度)} \\ & - \text{実験中交通量(2017年度)} \times \text{実験中料金(2017年度)} \end{aligned}$$

(4) 経済波及効果

割引の導入に伴い、①交流人口の拡大(観光客の増加)と②移動コストの低減による消費額の増加(観光利用・業務利用等)が見込まれ、経済効果は約172百万円/年(下記a)~c)の合計)と算定される。

a) 観光客の増加による経済効果

割引により新たな観光客が但馬地域へ来訪し、観光消費行動を行うことによる経済効果は約134百万円/年と算定される(表-3)。

(直接効果92百万円/年、間接効果※42百万円/年)

※兵庫県公表の産業連関分析により、直接効果の約0.45倍に相当する間接効果が発生するとされている。

表-3 観光客の増加による経済効果の算定方法

割引導入に伴う新たな但馬地域への観光客					
増加台数 (台/日)※1	往復 考慮	平日数 (日)	播但道観光 割合(%)※2	平均乗車数 (人/台)※3	観光客数 (人/年)
108÷	2×	247×	49.3×	1.34=	8,811
観光客の増加に伴う直接効果					
		観光客数 (人/年)		観光消費額 (人/円)※4	経済効果 (直接効果)
		8,811×		10,425=	92百万円

※1:2017年度播但道交通実績

※2:2017アンケート調査

※3:道路交通センサス①から但馬地域へ観光目的の来訪トリップを集計

※4:2015年度兵庫県観光客動態調査報告書

b) 消費額の増加による経済効果(観光関係)

播但道利用者が割引により移動コストが軽減され、観光客の飲食等の消費額が増加することによる経済効果は約26百万円/年と算定される(表-4)。

(直接効果18百万円/年、間接効果8百万円/年(aと同様))

表-4 消費額の増加による経済効果(観光関係)の算定方法

割引が適用される来訪者(観光目的)					
割引対象区間 交通量(台/日)※1	往復 考慮	平日数 (日)	播但道利用 割合(%)※2	平均乗車数 (人/台)※3	増加人数 (人/年)
1,795÷	2×	247×	49.3×	1.34=	146,447
移動コスト低減に伴う直接効果					
		増加人数 (人/年)		消費増額 (円/人)※4	経済効果 (直接効果)
		146,447×		123=	18百万円

※1:2017年度播但道交通実績

※2・4:2017アンケート調査

※3:道路交通センサス①から但馬地域へ観光目的の来訪トリップを集計

c) 消費額の増加による経済効果(観光以外)

播但道利用者が割引により移動コストが軽減され、観光額以外(業務・通勤利用者等)の飲食等の消費額が増加することによる経済効果は約12百万円/年と算定される(表-5)。

(直接効果8百万円/年、間接効果4百万円/年(aと同様))

表-5 消費額の増加による経済効果(観光以外)の算定方法

割引が適用される来訪者(業務・通勤利用等)					
割引対象区間 交通量(台/日)※1	往復 考慮	平日数 (日)	播但道利用 割合(%)※2	平均乗車数 (人/台)※3	増加人数 (人/年)
1,795÷	2×	247×	50.7×	1.26	141,615
移動コスト低減に伴う直接効果					
		増加人数 (人/年)		消費増額 (円/人)※4	経済効果 (直接効果)
		141,615		59	8百万円

※1:2017年度播但道交通実績

※2・4:2017アンケート調査

※3:道路交通センサス①から但馬地域へ観光目的以外の来訪トリップを集計

6. 考察

(1) 検証結果

交通量の分析結果から、上限料金の導入により、但馬地域への観光客が定住人口の年間減少数の約3.5倍に相当する8,811人/年増加したと考えられる。また、移動コストの軽減により但馬地域内での消費行動も促進されており、本料金施策による経済波及効果は約172百万円/年

と算定される。以上のことから、本料金施策は道路公社の収入減(約80百万円/年)というマイナス要因はあるものの、県の施策である地域経済の活性化には有効であると考えられる。

(2) 今後の対応

本料金施策は一定の効果が確認されたものの、播但道のSA・PA、観光地等で実施したアンケート調査では、割引の認知率が36.8%と低い。また、北近畿豊岡自動車道が豊岡南IC、さらには豊岡ICまで延伸される予定であり、さらなる播磨地域と但馬地域の時間短縮効果が見込まれる。よって、平日上限料金(社会実験)をさらに2020年度末まで2年間継続し、交通流の変化や経済波及効果等について引き続き、検証を行っていく。

また、道路公社の収入減を解消するためには誘発台数を増加させる必要があることから、SA・PAなどで新たな播但道利用者をターゲットとした企画割引などを実施し、道路公社の経営改善に努めたい。

7. おわりに

効果検証の結果からもわかるように、播但道における料金施策は地域経済に与える影響が大きい。一方、播但

道は、料金の割引率に対し、交通量の増加率が低いため、料金収入は減少する。また、今後、播但道においては老朽化に伴う維持管理費の増加が見込まれており、その財源確保が喫緊の課題である。以上のことから、今後、料金施策を展開する上では、大きな視点(地域経済の活性化)と、道路管理者の本来の目的(適切な維持管理を行うための財源確保)のバランスを考慮し、持続可能で最もストック効果が発現できる料金施策を検討していく必要がある。

謝辞：国土交通省道路局高速道路課及び近畿地方整備局路政課の皆様には、本社会実験の実施方法及び効果検証にあたっての手法等について、ご教示頂きましたことに、厚く感謝の意を表します。

参考文献

- 1)国土交通省：道路統計年報 2015
- 2)国土地理院：全国都道府県市区町村別面積調
- 3)総務省統計局：統計でみる都道府県のすがた 2013
- 4)兵庫県：兵庫県の人口の動き
- 5)国土交通省：H22 パートトリップ 調査
- 6)兵庫県：H28 市町内 GDP 速報及び H28 観光客動態調査報告書
- 7)国土交通省観光庁：2016 年旅行・観光消費動向調査
- 8)国立社会保障・人口問題研究所：日本の将来人口

郊外部の無電柱化へ向けた トレンチャー活用に関する施工試験

大竹 まどか¹・中島 淳一¹・小林 勇一¹・澤口 重夫²

¹国立研究開発法人 土木研究所 寒地土木研究所 技術開発調整監付 寒地機械技術チーム
(〒062-8602 北海道札幌市豊平区平岸1条3丁目1-34)

²国立研究開発法人 土木研究所 寒地土木研究所 技術開発調整監付 寒地機械技術チーム
(現 土木研究所 寒地土木研究所 技術開発調整監付 寒地技術推進室)
(〒062-8602 北海道札幌市豊平区平岸1条3丁目1-34)

電線共同溝事業に代表される電線電柱類の地中化は、施工費が極めて高いこともあり、多くが市街地の幹線道路などで限定的に進められている。郊外部も含めた無電柱化推進のためには、埋設手法の低コスト化や施工性の向上が求められる。一方、無電柱化が進んでいる諸外国では、ケーブル埋設用掘削機械を使用し、日本と比較して大幅に短時間で施工している事例がある。そこで、低コスト・高効率の埋設技術検討のため、海外で使用されているケーブル埋設用掘削機械を用い、掘削から埋戻し・締固めまで一連の作業を想定した施工試験を行った。

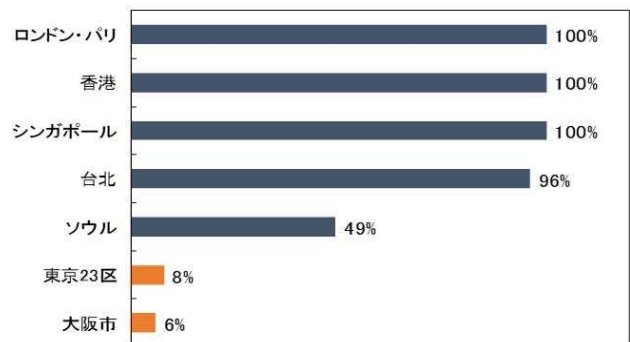
キーワード 無電柱化、ケーブル埋設、施工機械、トレンチャー

1. はじめに

近年、防災、景観・観光、安全・快適の観点から無電柱化が推進されている。しかし、電線共同溝事業に代表される電線類の地中化事業は、高額な整備コストなどを理由に中心市街地や都市部の幹線道路を中心として限定的に進められており、日本における無電柱化は諸外国と比べて大きく遅れている¹⁾(図-1)。一方、郊外の美しい沿道景観を有する農村自然域においては、無電柱化により市街地以上に大きな景観改善効果が得られ、景観をいかした観光振興面からも無電柱化の潜在的なニーズは高い²⁾。今後、これまで無電柱化の対象となりにくかった郊外部においても無電柱化が推進されることが期待され、郊外部も含めた無電柱化推進のためには、埋設手法の低コスト化や施工性の向上が求められている。

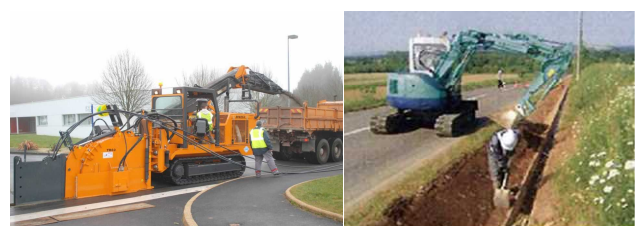
無電柱化が進んでいる諸外国では、ケーブル埋設用掘削機械(以下、「トレンチャー」という)が導入されており、バックホウによる掘削が主体である国内と比較して、大幅に短時間で施工している事例がある³⁾(写真-1)。国内においてもこのような専用機械の導入を図ることで、施工性の向上が期待できる。

そこで、郊外部における低コスト・高効率の電線類地中化技術検討のための基礎的研究として、トレンチャーを用いた掘削から埋戻し・締固めまで一連の作業を想定した施工試験を行ったので報告する。



※1 ロンドン、パリは海外電力調査会調べによる2004年の状況(ケーブル延長ベース)
※2 香港は国際建設技術協会調べによる2004年の状況(ケーブル延長ベース)
※3 シンガポールは『POWER QUALITY INITIATIVES IN SINGAPORE, CRED2001, Singapore, 2001』による2001年の状況(ケーブル延長ベース)
※4 台北は台北市道路管線情報センター資料による台北市区の2015年の状況(ケーブル延長ベース)
※5 ソウルは韓国電力統計2017による2017年の状況(ケーブル延長ベース)
※6 日本は国土交通省調べによる2017年度末の状況(道路延長ベース)

図-1 海外と日本の無電柱化率の比較¹⁾



海外における専用機械による施工例
(ウェブページより引用⁴⁾)

国内における油圧ショベルによる施工例
(北海道内自治体提供)

写真-1 海外と国内の施工例

2. トレンチャーを用いた施工試験

日本では道路敷地内のような締め固まった箇所でトレンチャーを使用した事例を確認できなかったため、小林・田所³⁾は、トレンチャーの道路路盤に対する掘削能力を確認するための掘削試験を実施した。その結果、道路路盤の掘削においても、トレンチャーの掘削速度は従来のバックホウによる施工に比べて大幅に速く、電線類地中化における大幅な施工速度の向上が期待できることを確認した。しかし、一般的に埋戻しに使用される締め固め機械では、トレンチャーの幅の狭い掘削溝には対応できないことから、効率的な締め固めに対応可能な施工方法を検討する必要があることを報告している。諸外国ではコンクリートやモルタルによる埋戻しが行われている事例があるが、この工法では施工場所を再度掘削する場合に支障となる可能性がある。

そこで、以上の状況を踏まえ工法を検討した上で、トレンチャーによる掘削から埋戻し・締め固めまで一連の作業を想定した施工試験を道路路肩（未舗装部）において行った。

(1) 施工条件および施工フロー案

試験条件の設定にあたり、トレンチャーが効果的に活用される条件を検討した。トレンチャーは、既設埋設物が多い場所では回避動作による掘削速度の低下が懸念されるため、既設埋設物が少ない郊外部などでの活用が効果的と考えられる。また、ケーブルは主に道路沿いに埋設されることから、ここでは郊外部の路肩における施工を想定し、使用機械の検討を行った。

郊外部の路肩における施工フロー案を表-1に示す。郊外部では輸送距離が長くなることが考えられるため、輸送コストを考慮すると、トレンチャーの大きさはなるべく小型のものが望ましい。また、郊外部にも歩道が点在し、乗り上げが必要になる場合があることから、歩道への対応が可能となる条件を検討した。その結果、機械幅は道路構造令の歩道幅である2m以下⁶⁾とし、車両に対する歩道の耐荷重の基準等がないため、機械総質量は冬季に使用される歩道除雪車を参考に7.5t以下⁷⁾とした。

(2) 使用機械及び材料

試験に使用した機械の外観を図-2、掘削機械と締め固め機械の諸元を表-2、表-3に示す。

本試験で使用したトレンチャーは、日本国内でレンタル可能であった専用機械であり、この機種掘削機構は、

表-1 施工条件および施工フロー案

施工条件	施工箇所	郊外部、路肩（未舗装部）
	埋戻し材	発生材
施工フロー案	フロー	使用機械
	床堀り	ケーブル埋設用トレンチャー（幅 2.0m 以下、7.5t 以下）
	ハンドホール設置	バックホウ（山積 0.45m ³ クレーン付）
	ケーブル敷設	—
	埋設シート敷設	—
	埋戻し	小型バックホウ（山積 0.08m ³ ）
	締め固め	タンバ（トレンチ溝転圧用）
	土砂等運搬	ホイールローダー（山積 0.34m ³ ） ダンプトラック（2t 級）

※下線は土木工事標準積算基準書⁹⁾と異なる規格

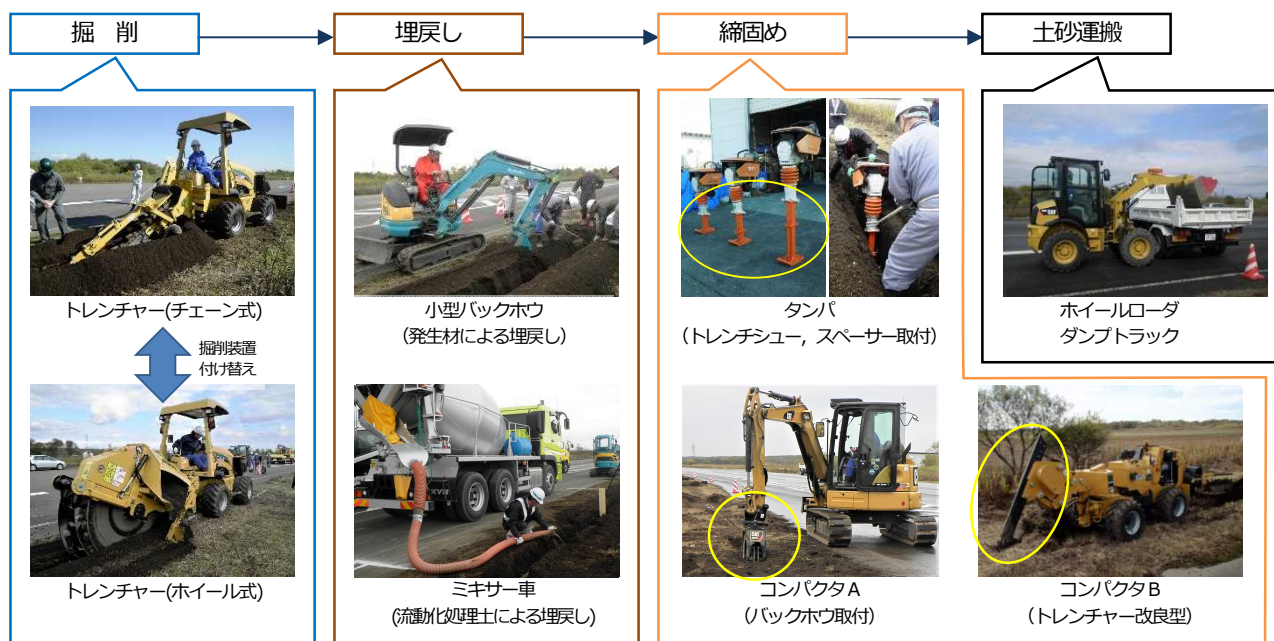


図-2 使用機械の外観

チェーン式とホイール式の付け替えが可能である。

埋戻しは、発生土及び流動化処理土を埋戻し材料として使用した。発生土の埋戻しには、バックホウによる掘削に比べ土量が少ないことや掘削溝の幅が狭いことから、標準機械の規格（バックホウ山積0.28m³）よりも小型の機械（バックホウ山積0.08m³）を使用した。流動化処理土は、締固めが不要で、再掘削が可能な固さに配合できる材料である。その要求品質は、「流動化処理土利用技術マニュアル⁸⁾」より表-4のとおりとした。

締固め機械は、トレンチャー掘削による深く幅の狭い掘削溝を転圧できるものとし、タンパ、バックホウ用幅狭型振動コンパクタ（以下、「コンパクタA」という）、トレンチャー用改良型振動コンパクタ（以下、「コンパクタB」という）を使用した。タンパは、市販のトレンチャー（溝用転圧盤）に高さ調整のために製作したスペーサーを取り付けた規格の異なる3機種を、掘削溝の幅や深さに応じて使用した。コンパクタAは、汎用バックホウのアームに振動コンパクタアタッチメントを取り付けたもの、コンパクタBは、遠隔操作が可能な小型トレンチャーのプラウ等装着用アタッチメントを、振動コンパクタに改造したものである。

(3) 試験方法

試験は、苫小牧市にある苫小牧寒地試験道路の路肩（未舗装部）にて実施した。試験区間の土質材料試験の結果を表-5に、試験条件を表-6に示す。

表-2 掘削機械の諸元

使用機械	ケーブル駆動掘削機械（トレンチャー）	
機械構成	専用機械	
掘削機構	チェーン式	ホイール式
最大掘削深 [cm]	120	60
掘削幅 [mm]	150, 305	150, 250

表-3 締固め機械の諸元

	タンパ			コンパクタ A	コンパクタ B
	A	B	C		
転圧盤幅 [mm]	100	114	200	305	150
トレンチャー高さ [cm]	0	0, 34	34, 50, 80	-	-
ベースマシン	(40kg級 1台)	(60kg級 2台)	(70kg級 3台)	超小旋回バックホウ	遠隔操作型トレンチャー

表-4 流動化処理土の要求品質

最大粒径	13mm以下
フロー値	140mm以上（打設時）
ブリーディング率	3%未満
処理土の湿潤密度	1.40 g/cm ³ 以上
（後日復旧）一軸圧縮強さ	（歩道下）28日後 200～600kN/m ²

掘削深さは、平成28年2月に国土交通省から発出された「電線等の埋設物に関する設置基準の緩和について」に示されている埋設深さ及び使用したトレンチャーの最大掘削深を参考に、30cm、50cm、60cm、75cm、100cm及び120cmに設定した。掘削延長は20mを基本とし、掘削幅は、トレンチャーの最大掘削幅及び締固め機械の施工可能幅を考慮した幅とした。

埋戻し・締固めは、各層の仕上がり厚を30cm以下とし、層ごとに締固めを行った。締固め度の確認は、国土交通省「土木工事施工管理基準及び規格値」に規定される現場密度の測定を、砂置換法（JIS A 1214）により実施した。本試験における規格値は、路体の基準を適用し、最大乾燥密度の90%以上（締固め試験（JIS A 1210））とした。測定は、試験条件③、⑥、⑧、⑩、⑮にて3回ずつ実施し、条件毎の平均値が規格値を満たすかどうかを確認した。

表-5 試験区間の土質材料試験結果（H29）

土質材料試験結果			
土粒子の密度 [g/cm ³]	含水比 [%]	最大乾燥密度 [g/cm ³]	最適含水比 [%]
2.615	38.7	1.302	34.4

地山密度（3点平均）		
湿潤密度[g/cm ³]	含水比[%]	乾燥密度[g/cm ³]
1.606	40.0	1.147

表-6 試験条件

掘削（H29、H30実施）				埋戻し（H29、H30実施）						
使用機械	幅 [mm]	深さ [cm]	年度	埋戻し材料	使用機械	幅 [mm]	深さ [cm]			
トレンチャー チェーン式	305	30	H29/30	発生材	小型 バックホウ	305	30			
		50	H29/30				50			
		75	H29				75			
		100	H30				120			
		120	H29/30				30			
	150	30	H30			50				
		50	H30			30				
		75	H30			60				
		100	H30			30				
		120	H30			50				
トレンチャー ホイール式	250	30	H29	流動化 処理土	ミキサー車	150	30			
		60	H29				50			
	150	30	H29							
		50	H29							

締固め（H29実施）								
条件	使用機械	幅 [mm]	深さ [cm]	条件	使用機械	幅 [mm]	深さ [cm]	トレンジャー 高さ[cm]
①	コンパクタ A	305	30	⑦	タンパ A	150	30	0
②			50	⑧			50	0
③			75	⑨	タンパ B	150	30	0
④			120	⑩			50	34
⑤	コンパクタ B	150	30	⑪		250	30	0
⑥			50	⑫		250	60	50
				⑬	タンパ C	305	30	34
				⑭			50	34
				⑮			75	50, 34
				⑯			0	80, 34

3. 試験結果

(1) 掘削

a) 掘削速度

設定掘削深と掘削速度の関係を図-3に示す。掘削速度は、掘削深が深くなるに従い低下する傾向であることを、従来のバックホウによる施工よりも大幅に速いことを確認した。また、トレンチャー（チェーン式、掘削幅150mm）で相関にバラツキが生じているが、本試験は未舗装部で実施したため、地面の不陸箇所で負荷の増大や施工性の低下が生じたことなどが、掘削速度に影響したと考えられる。

チェーン式、ホイール式とも幅の違うアタッチメントを2種類使用したが、チェーン式は、掘削幅が狭い方が掘削速度は大きくなり、ホイール式は、幅の違いによる掘削速度の大きな違いは見られなかった。

b) 掘削溝の深さ

掘削溝の深さは掘削延長10m間隔で測定した。測定値にはバラツキが見られ、設定掘削深に対し、最大で30%、平均で8%程度の差があった。不陸箇所で特に掘削深さのバラツキが大きくなったほか、掘削土や掘削溝側面から崩れた土砂が溝内に溜まってしまうこともバラツキの原因となっていた。

(2) 埋戻し

a) 発生土による埋戻し

トレンチャー掘削後、発生土は掘削溝の両側に堆積した状態となり、埋戻しはバックホウで発生土の山を崩す方法で行った。そのため、埋戻し時には、草や石などの発生土以外のものが混入しないよう注意を要し、施工速度の低下を招いていた。

b) 流動化処理土による埋戻し

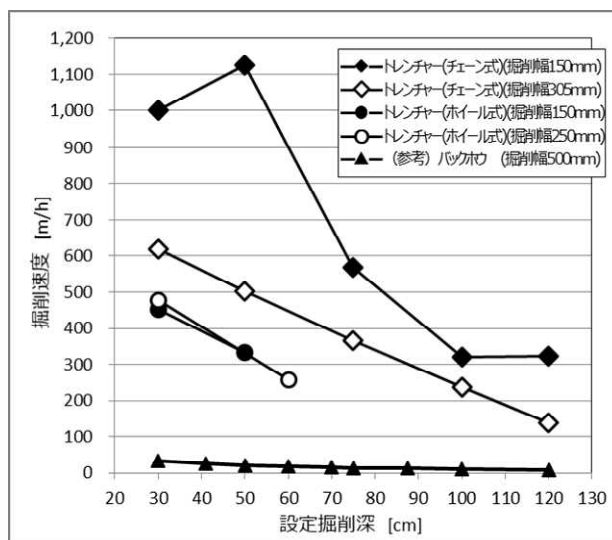
流動化処理土の施工速度を表-7に示す。平成29年度は、樋から掘削溝側面に流動化処理土を当てるように流し入れたが、平成30年度はホースを取り付け、掘削溝方向に流し入れる方法に変更した（写真-2）。これにより、こぼれや跳ねが軽減し、流動性をいかにせる打設が可能となり、施工性が向上した。ただし、流動化処理土は時間経過により流動性が変化するため、施工速度には流動性の違いも影響したと考えられる。

このように流動化処理土は、現場条件に合った施工方法を検討することが必要なほか、製造から打設までの時間の制約や、管路の埋戻しの場合は管に働く浮力への対策にも留意が必要である。

(3) 締固め

a) 締固め度

締固め度の結果を表-8に示す。いずれの施工方法も、最大乾燥密度の90%以上となり、規格値を満たす結果と



(※1) 掘削速度には、掘削開始から設定掘削深へ到達するまでの工程は含まない
(※2) バックホウの掘削速度は平成30年度土木工事標準算定基準書¹⁰⁾を元に試算。

図-3 設定掘削深と掘削速度の関係

表-7 流動化処理土の施工速度

幅 [mm]	深さ [cm]	施工速度 [m/h]	
		樋 (H29)	ホース (H30)
150	30	77	255
	50	105	197*

*H30の深さ50cmの条件は、溝に継ぎ管(FEP100)を複数設け流動化処理土を打設。



写真-2 流動化処理土の施工状況

表-8 締固め度の測定結果（砂置換法）

試験条件	⑧	⑩	⑮	③	⑥
締固め機械	タンパA	タンパB	タンパC	コンパクトA	コンパクトB
締固め度[%]	104.4	93.9	104.6	99.8	92.5

なった。機械毎の締固め度を比較すると、タンパ（3機種）の平均値101.0%が最も締固め度が高く、次にコンパクトA、コンパクトBの順となった。

b) 締固め速度

設定掘削深と締固め速度の関係を、図-4に示す。締固め速度を比較すると、表層を除き、コンパクタAが最も速く、タンパ、コンパクタBの順となった。

コンパクタAには施工性向上のためスイベルを取り付け、掘削溝の形状に追従し任意の角度に旋回する構造とした。しかし、全層埋戻し後の溝がない状態では方向が不安定となり、締固め速度が劣る結果となった。また、掘削溝が深い場合、側方からの施工では狭い溝にアームが入らず、さらに、掘削溝の両側に堆積する発生土の量が多いため、掘削溝を跨いで施工ができず、作業範囲が限定的となった。しかし、搭乗作業が可能であることから、これらの課題に対応できれば、長距離の施工に適していると考えられる。

タンパによる施工は、掘削深さ120cmの条件では、掘削溝両側の発生土が多くなり足場が悪かったことや、長いトレンチシューが必要となりタンパのバランスが悪くなったことから、作業補助者を1名追加した。そのため、設定掘削深が75cmよりも120cmの条件の方が速い結果となった。また、掘削溝が深い条件では作業者の疲労が大きくなり、長距離の施工は困難と考えられる。

コンパクタBは、他機種に比べ施工速度は遅かったが、掘削溝を目視しながらリモコンで操作が可能であり、人員の負担も少ないため、作業形態としては長距離の施工に適していると考えられる。

c) コンパクタAの改良

掘削溝が深い場合でも、コンパクタAによる側方からの施工を可能とするため、試験後にスペーサーを製作し、コンパクタAに取り付けた。また、全層埋戻し後の溝がない状態での締固め時に、コンパクタの方向を固定できるようスイベルにピンを取り付ける改良を行った。

この改良したコンパクタAにて締固めを行ったところ、深い溝でも側方からの施工が可能となり、また溝がなくても安定した施工が可能となった（写真-3）。

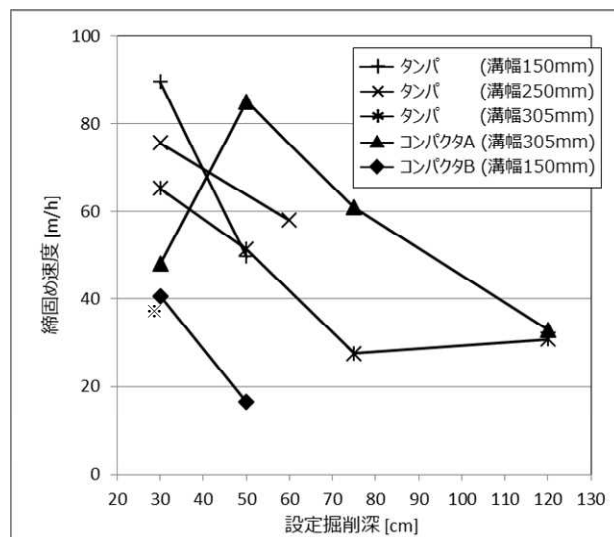
締固め度の確認のため、幅305mm、深さ30cm、延長20mの掘削溝を埋戻して締固めを行ったところ、締固め度は、最大乾燥密度の99.9%となり、規格値を満たした。また、締固め速度は124m/hとなり、溝のない状態での締固め速度が向上した。

(4) 今後の課題

今回の試験から得られた、トレンチャー施工を行う上での課題を以下に示す

a) 掘削以外の施工速度及び施工性の向上

トレンチャーの掘削速度に対し、埋戻し・締固め速度は4分の1以下であった。通常の電線類の地中埋設工事で行われているように日々復旧することを考慮し、トレンチャー掘削の日施工量を制限した場合、施工費はバックホウによる標準工法よりも高額となることが想定される。このことから、埋戻し・締固め施工速度の向上が求め



※コンパクタB設定掘削深30cmの値は参考値

図-4 設定掘削深と締固め速度の関係



写真-3 コンパクタA（スペーサー・スイベルピン取付）

られる。

一方、日々復旧や出来形管理の不要な箇所においては速度差が問題とならないため、まずこのような条件の現場でトレンチャーが活用されることが期待される。

また、今回の試験では検証していないが、トレンチャー掘削による幅の狭い溝に管路を敷設する場合、人が掘削溝に入って作業ができないことや、管路の配置等の制約が生じることを考慮した配管材料や施工方法の検討が必要となる。

b) 発生土の積み込み作業の効率化

トレンチャー掘削後、掘削溝の両側に発生土が堆積した状態となる。その堆積量は、掘削幅 305mm、掘削深さ 120cm の条件において、最大で高さが 47cm、幅が 119cm（片側）であった。特に掘削深が大きく発生土が多い場合に埋戻しや締固め作業の支障になるため（写真-4）、発生土の効率的な搬出方法の検討を行うことは、全体の施工速度の向上に寄与するものと考えられる。また、掘削と同時に土砂運搬車両へ発生土の積み込みが可能な機能を有するトレンチャーも存在することから、このような機械の効果も期待される。



写真4 発生土の堆積状況

4. まとめ

低コスト・高効率の電線類地中化技術を検討する基礎資料とするため、トレンチャーを用いた掘削から埋戻し、締固めまで一連の作業を想定した施工試験を実施した。試験結果から、トレンチャー掘削による幅の狭い掘削溝も締固め可能であることを確認した。また、トレンチャーによる掘削速度をいかにするためには、締固めなどの施工速度の向上が必要であることを確認した。

今後は、今回の試験結果をもとに、埋戻し・締固め速度の向上や発生土排出作業の効率化に向けた検討を行うなど、トレンチャーを活用した効率的な電線類地中化技術について、検討を進めていく。

参考文献

- 1) 国土交通省ウェブページ：無電柱化の整備状況，http://www.mlit.go.jp/road/road/traffic/chicyuka/chi_13_01.html（2019年9月1日確認）
- 2) 岩田圭佑，松田泰明，高橋哲生：観光振興に向けた農村自然域の無電柱化による景観向上効果の考察，土木計画学研究・講演集，Vol.57，No.01-12，2018.
- 3) 小林勇一，田所登：海外の無電柱化で使用されている建設機械=ケーブル埋設用掘削機械の実態調査と掘削試験=，建設機械，第53巻第8号（通巻630号），pp.53-60，2017.
- 4) RIVARD 社ウェブページ：<http://www.rivard-international.com/en/products/riv1254tr103a-2>（2019年9月1日確認）
- 5) 国土交通省：平成30年度土木工事標準積算基準書，II-1-②-12-18，II-1-③-2-10，II-2-⑩-21，VIII-2-1，2018
- 6) 公益社団法人日本道路協会：道路構造令の解説と運用，P232，2015.
- 7) 一般社団法人日本建設機械施工協会：除雪機械技術ハンドブック，P9・7，2007.
- 8) 独立行政法人土木研究所，株式会社流動化処理工法総合監理：流動化処理土利用技術マニュアル《平成19年/第2版》，2007.
- 9) 国土交通省：平成30年度土木工事標準積算基準書（共通編），I-12-①-1，2018.
- 10) 北海道開発局：平成30年度版建設機械等損料算定表北海道補正版，p.57，2018.

地元自治体・都民との協働のあり方 —井の頭公園アートマーケットの成果と継承—

宮崎 猛¹・柳 久美²

東京都建設局 西部公園緑地事務所 管理課 (〒180-0005 東京都武蔵野市御殿山1-17-59)

平成29年に開園100周年を迎えた都立井の頭恩賜公園では、手づくりアート&大道芸を年間登録制で出展できる全国初の試み「井の頭公園アートマーケット」が12年開催されてきた。その実施主体である「井の頭恩賜公園100年実行委員会」が解散した後、「公園を核とした賑わい創出」事業を継承すべく東京都と地元自治体、都（市）民とでアートマーケット運営委員会を結成し、新しい地域連携・協働のあり方を追求した。さらに静かな公園散策を望まれる来園者や公園関係者にも配慮し、来園者の声を聴取する取組を行ったうえで、新しいアートマーケットの制度構築を図った。

キーワード 井の頭恩賜公園、手づくりアート&大道芸、アートマーケット、協働、継承

1. はじめに

東京駅からJR中央線で25分の吉祥寺は多くの商業ビルとトレンドカジュアルやコスメ雑貨などの店が集まり、「おしゃれ」なイメージで毎年、住みたい街上位に選ばれている。その吉祥寺駅から歩いて5分、七井橋通りの雑踏を抜けると、日本初の郊外公園として開園した都立井の頭恩賜公園（以下、「井の頭公園」）がある。初めて江戸にひかれた神田上水、今は神田川の源流である井の頭池の水面にせり出すサクラの独特な美しさはたとえようもなく、初夏の新緑、秋の紅葉と井の頭公園は四季折々に訪れる人々の心を癒やしている。



図1 開園100年を迎えた井の頭恩賜公園

2. 井の頭公園に“露店”現れる

1990年代後半、都心の駅前や広場でストリートミュージシャンが流行した頃、井の頭公園にも楽器演奏やジャグリング等で投げ銭をとる大道芸とともにポストカードやアクセサリ等の手づくり品を園地に並べて販売する者たちが出現した。

彼らは井の頭公園の“露店”と呼ばれ、ロコミ（当時SNSはない）で広がり、好天の週末には100人を数えることもあった。いずれも都立公園条例で禁止されている無許可営業行為にあたるため、公園管理者である東京都西部公園緑地事務所では発見次第、注意して帰ってもらっていた。

“露店”の者たちは、公園職員の注意には従うものの「売らなくてもいい、作品を見てもらいたんだ」と主張する。手づくり品を通じて来園者との会話を楽しんでいるようにもみえる。

静かに公園散策したい方々から「人だかりは通行の支障」「騒音」と苦情が寄せられる一方で、彼らを楽しみに訪れる来園者から「認めてやればいいじゃないか」と公園職員が抗議を受ける場面も起きるようになった。彼らは何度注意されても井の頭公園にやってくる。規制・排除という行政の基準だけでは“露店”を止めることはできなくなっていた。

3. 井の頭恩賜公園100年実行委員会

吉祥寺周辺でも郊外の都市化が進み武蔵野の面影が失われつつある中で、豊かな水と緑が残る井の頭公園は貴重な都会のオアシスである。しかし、いつのまにか湧水は減少し、水は濁って外来種ばかりの池になっていた。水質浄化と水辺の再生は、井の頭公園を所管する東京都西部公園緑地事務所の積年の課題であった。

平成 18 年 7 月、井の頭池の復活をテーマに画期的な試みが始まった。東京都西部公園緑地事務所が事務局となり武蔵野市、三鷹市、地元商工会やライオンズクラブ等関係団体で井の頭恩賜公園 100 年実行委員会（以下、「100 年実行委員会」）が立ち上がり、平成 29 年の開園 100 周年を目指して、地域連携・都民協働による様々な事業を展開していくことになった。

100 年実行委員会事業の二つの柱は、かいばりを中心に井の頭池の再生や生態系の回復に取り組む「水と緑部会」と賑わい創出のイベントを手がける「賑わい部会」であり、「賑わい部会」のメイン事業が、手づくりアート&パフォーマンスに公園を提供する「井の頭公園アートマーケット」である。



図2 アートマーケットロゴマーク

4. 井の頭公園アートマーケット

平成 18 年 8 月、公園職員は発想を転換して“露店”取り締まりから一転、新たな制度づくりに取り組んだ。同年 10 月から毎週末、“露店”の者たちと来園者との交流に着目しながらヒアリング調査を重ねていった。

彼らは、吉祥寺と井の頭公園への愛着とこだわりもっていた。また、「テキ屋」や仕切人はいなかったことが制度づくりに転換できた重要なキーでもある。

並ぶ作品は手づくりアクセサリーやポストカードが多く、中には驚くほど精巧かつ繊細な作品や美術的に優れた絵画等もある。モノづくりの面白さを熱心に語る彼らに来園者は目を輝かせて聞き入り、会話を楽しんでいる。大勢の子どもを喜ばせたり、熱心なファンに支えられた上級者のパフォーマーも誕生していた。井の頭公園に集う人と人同士のふれあい交流に触れ、公園職員には応援する気持ちが芽生えていた。

アートマーケットの仕組みは、100 年実行委員会が事業主催者となり、表現者（アートキャスト）の募集、登録、運営を行い、東京都から占用許可を受けて実施する。100 年実行委員会は、運営経費として年 1 万 2 千円の登録料を徴収する。年間登録制としたため、アートキャストは一度登録すれば、土日祝（概ね 110 日）、何度でも出展できる。条例の禁止行為（販売・投げ銭）を伴うため、本庁との調整に時間を要したが、100 年実行委員会事業として時限的に実施することで了承を得た。

平成 18 年 12 月、不適正な出店者を排除するため、1 か月の出展禁止期間を経て、平成 19 年 1 月、井の頭公園アートマーケットがスタートした。

5. アートマーケットの理念

アートマーケットの理念は、公園がアート表現者に一定のエリアを提供し、表現者と来園者とはアートを介してふれあい交流を楽しむ。そして、そのふれあい交流が賑わい創出の原点となり公園の活性化につながるというものである。

表現者と来園者と公園との協働でおりなすアート表現の場であることから事業名は複数形にし、語呂がよいので「恩賜」はつけないで“井の頭公園アートマーケット”と名づけた。

東京都は事務局を担い、アートキャストと一緒にルール見直しを図ることにし、定期的にアートキャストミーティングを設けた。公園管理者の論理も踏まえてアートキャストの主体性を大事に育てていくことで、やがてはアートキャスト自ら管理運営に参画するようになることを目指したのである。

井の頭公園アートマーケットは、都市公園の新しい利活用を提唱する社会実験でもあった。

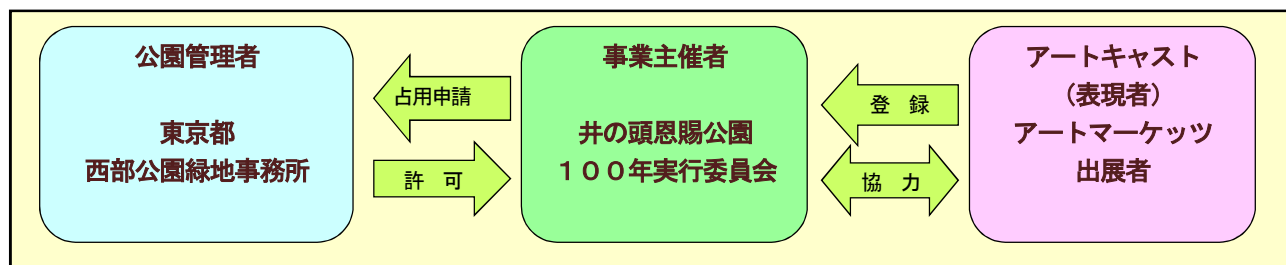


図3 アートマーケット運営の仕組み

6. アートマーケットの成果

(1) 公園管理の適正化と活性化、そして協働を学ぶ

アートマーケットが始まると、無秩序な集団だった「露店」は、整然と「ART*MR T出展登録証」を掲げてルールを守るアートキャストに転化した。

アートマーケットの知名度が上がり、週末の井の頭公園の風物詩として定着すると多くの来園者が訪れ、心温まるふれあい&交流が育まれ、公園を核とした賑わいが創出されている。公園管理の適正化と活性化を同時に図れたことが最も大きな成果といえる。

毎週末、アートキャストが公園にいて、無断出店や違法駐輪、ゴミの投棄等の防止効果があり、迷子や事故、遺失物の連絡役も務めている。

また、井の頭公園が手づくり文化の発信基地になり、アートマーケットを登竜門にしてテレビ出演するようになったキャスト、二科展特選賞受賞者や井の頭公園の公式キャラクター「ひやくさいくん&ひゃっこちゃん」等を描いたイラストレーターなど優れた芸術家もキャスト登録している。

登録者数は、年々増えてピークには400人を超え、遠方、岡山県、奈良県からの登録者もいる。

東京都西部公園緑地事務所職員は、無許可営業行為の規制という役人的な発想から視野を広げ、事務局として懸命に制度づくりを行った。100年実行委員会、アートキャストとともに協働を学びながら、相乗効果による賑わいの創出が新たな文化、価値の創造につながることを体験することができた。



図4 ふれあいパフォーマンス

(2) 「井の頭恩賜公園100歳記念ウィーク」と「井の頭100祭」

井の頭公園は、平成29年5月に開園100周年を迎えた。5月1日から7日まで東京都西部公園緑地事務所は100年実行委員会と共催で「井の頭恩賜公園100歳記念ウィーク」を開催した。

小池都知事をひやくさいくんがお出迎えして始まり、地元武蔵野市、三鷹市、ジブリ美術館、映画会社PARKS、近隣大学等と地域連携により実施した1週間

のイベントは36万人の来園者を迎えて大成功した。アートキャストも企画から参画し、パンフづくり、ワークショップやステージ演奏等大いに存在感を示している。

一方、毎年秋に東京都西部公園緑地事務所とアートキャスト有志とで「井の頭100祭—Countdown to2017—」を継続開催し、一昨年で8回目を数えた。アートキャストは無報酬で年20回を超えるミーティングに参画し、企画・立案からポスターづくりまで地元有志、近隣大学生のボランティア等と連絡調整を行うなど協力し、「井の頭100祭」は手づくり感あふれるイベントとして開催されてきた。

一昨年、フィナーレとなる「井の頭100祭2017」は雨天順延を乗り越えて、4万人の来園者とともに紅葉真っ盛りの井の頭公園で幕を閉じた。「100歳記念ウィーク」と「井の頭100祭」では、協働のパートナーとして成長してきたアートキャストの姿をみる事ができた。



図5 アートキャストがデザインした井の頭公園公式キャラクター ひやくさいくん&ひゃっこちゃん

7. 井の頭恩賜公園100年実行委員会の終焉

(1) 100年実行委員会の解散とアートマーケット終了

100年実行委員会は、平成29年5月の開園100周年記念行事と秋の「井の頭100祭2017」、そして「かいぼり2017」の終了後、その目的を達成して、その使命を終えた。

精算業務等のため平成30年度まで存続することになり、アートマーケットも暫定的に1年延長されたが、100年実行委員会の解散に伴い、井の頭公園アートマーケットは、事業主催者を失うことになっていた。

(2) アートマーケット存続を求める声、声、声

平成27年度、アートキャスト有志による「アートマーケットをつなぐ会（アート部門）」そして「アートマーケット存続の会（パフォーマー部門）」結成とともに、切なるアートマーケット存続の要望が事務局に寄せられた。また、来園者から「是非、続けてほしい」

というメッセージに加えて新規登録希望の問い合わせも数多く、100 年実行委員会構成団体からも「継続すべきではないか」と応援の声が届けられ、複数の議員要望も聞こえてきた。

東京都西部公園緑地事務所（アートマーケット事務局）は、「アートキャストとの協働で 10 年続いたアートマーケットであるから、行政の論理で一方的に終了するのではなく、アートキャストとともに考えて存続の可能性をみつけよう」と覚悟を固めた。

しかしながら、本庁との約束（100 年実行委員会解散とともに終了）もある中で、存続できるものなのか、どのようにして存続したらよいのか、ひと言では言い表せない苦悩の日々が続いた。アートキャストミーティング、「つなぐ会」や「存続の会」でキャスト有志と本音の話し合いを重ねていく。

季節限定で開催するイベント（案）も提案してみたが、アートキャストの強い意思は、「年間登録制」による通年開催のアートマーケットの存続であった。

(3) 再び本庁との調整、地元両市と相談

“年間登録制”で存続させるためには、100 年実行委員会に代わってキャストを登録する「事業主催者」が必要である。いくつかの選択肢の中から①行政同士で新たな新機構をつくる。②両市の監理団体による主催事業とする。③キャスト自ら NPO 等をつくり実施主体となる案が可能性として残る。

平成 29 年夏、改めて本庁との調整に臨む。条例の禁止行為を伴うためハードルは高かったが、「100 年実行委員会のパートナーである地元両市がアートマーケット存続を希望すること」「アートマーケットの存続が地元両市のメリットになる」等の条件を出しながら存続の方向に理解を示してくれた。

平成 29 年秋、武蔵野市、三鷹市とともにアートマーケット存続の方策について協議を始める。両市から「アートマーケットは吉祥寺、井の頭公園の貴重な資源」と 11 年の開催実績を讃える評価をいただく。事務局が考えていた以上にアートマーケットの存在意義、価値を認めてくれていたことに感動を覚えた。

両市と行政の枠組みを超えて真摯に検討を重ねた。

②の監理団体は運営実態として困難、③は時期尚早で無理、①の行政同士の新機構づくりを具体化することになった。100 年実行委員会で顔を合わせていたとはいえ、アートマーケット新機構づくりは、両市の職員に新たな負担をかける。それだけに「一緒に、街の新しい文化を発信していきましょう」と前向きな回答をいただいた時は本当に嬉しかった。両市と同じ価値観、方向性を共有することができた。

8. 井の頭公園アートマーケット運営委員会

平成 29 年 12 月、東京都西部公園緑地事務所、武蔵野市、三鷹市とで「井の頭公園アートマーケット運営委員会」構想（案）をまとめた。井の頭公園をベースに将来的には地元両市のイベントやワークショップ等への参加を期待するものとして、両市及び両監理団体との協働で運営する新機構とする。

同月、本庁の了承も得ることができ、足かけ 2 年、アートマーケットの存続が成就することになった。

両市が協力するときの課題として、「顔も知らないアートキャストが個々バラバラでは市側で管理、協力はできない。キャストは、まとまることはできないか」と提案を受けた。

平成 30 年 3 月、アートキャストに「自主管理グループ」づくりを提言した。すると、次のミーティングにアートキャスト有志から「アートキャスト自治会構想（案）」が提出され、同年 4 月のキャストミーティングで満場一致で決定された。

平成 30 年度登録者によって、自治会から連絡協議会へと名称を変え、役員候補者が決まる。平成 31 年 4 月の新アートマーケットのスタートを目指して連絡協議会の設立準備が進められていった。

9. まさかのアートマーケット存続にブレーキ

平成30年度後半、アートマーケット開始当初からあった否定的なご意見をお持ちの方々から、100年実行委員会解散後もアートマーケットが継続することを知って、改めて「反対」の強いご意見が寄せられた。

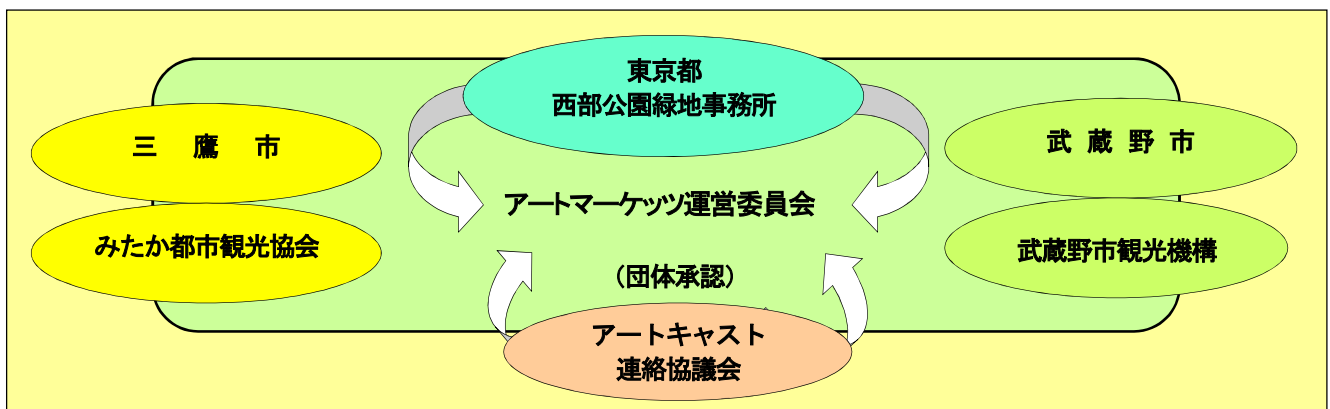


図6 アートマーケット運営委員会

井の頭公園は広場が狭小のため、アートマーケット開催によって、「遊具が利用しにくい」「親子で自由に遊べない」「静かに公園散策ができなくなった」というご意見はあった。また、近隣住民から「パフォーマンスの音がうるさい」とか「ルールが守られてない」といった苦情もあったことも事実である。

東京都西部公園緑地事務所は改善に努めてきたとはいえ、否定的なご意見をお持ちの方々にも真摯に対応し、アートマーケット制度と管理体制を検証したうえでスタートする判断をした。

平成31年3月10日、再開の目途がないまま、100年実行委員会の下でのアートマーケットは終了、12年の幕を閉じた。

10. アートマーケット開催に向けて

(1) イベント・アートマーケット

東京都西部公園緑地事務所は、令和元年5月3日、4日、5日と開園記念イベントとして、「イベント・アートマーケット」を開催し、多くの来園者からアートマーケットに対する意識調査（アンケート）を行った。

3日間でアンケートは445枚、出展協力の平成30年度登録キャストは延べ159名、イベントは大成功であった。

アンケート結果は、多くの方々からアートマーケットへの高い評価と期待を確認することができた。

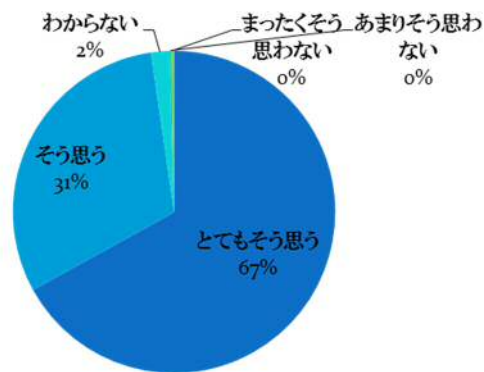


図7 ひゃくさいくんも登場

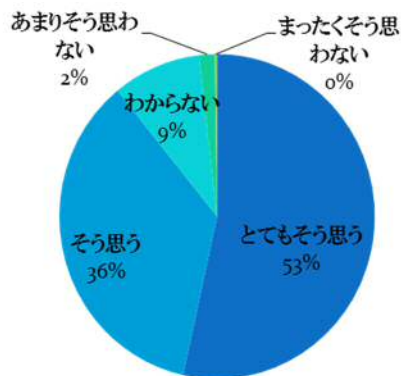


図8 多くの来園者がアンケートに協力

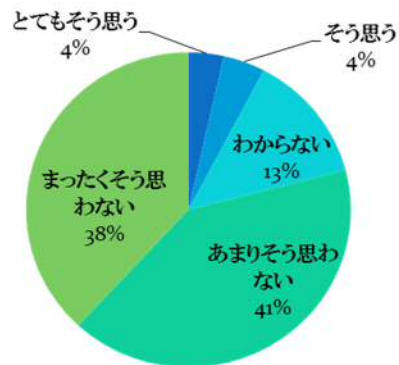
手づくりアート作品に魅力がある



公園の雰囲気がよくなる(活気ができる)



静かな公園散策の妨げ



アートマーケットの開催頻度(毎週末・祝日)

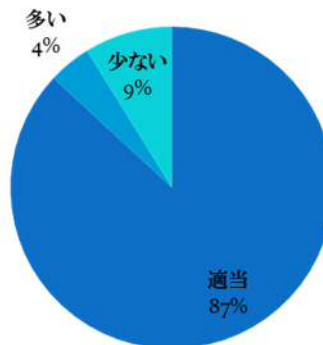


図9 アンケート結果(抜粋)

(2) アートキャスト連絡協議会準備会

平成31年度、アートキャスト平成30年度登録者は新しいアートマーケットに向けて、出展ルール見直し等の協議を重ね「アートキャスト連絡協議会準備会」を毎月開催してくれた。新アートマーケット開催の声が聞こえたら、いつでも連絡協議会が動き出せるよう準備を進めているという。その健気な姿勢には、改めて応援したい気持ちを強くした。連絡協議会は、事務局とキャストとの連絡手段を飛躍的に向上させる。



図 10 温かなふれあい交流

新しい井の頭公園アートマーケットは、改めて東京都西部公園緑地事務所の主催事業に位置づけられ、アートマーケット運営委員会が運営主体となる協働事業として令和元年9月21日から事業開始している。

井の頭公園に来園者とアートキャストのふれあい交流が戻ってきた。アートマーケットは「心の交差点」「心と心のキャッチボールが楽しい」というアートキャストの笑顔が素晴らしい。

年間登録制とアートキャスト連絡協議会という2大特色をもつNEWアートマーケットは、両市エリアに根ざした手づくりアート文化を発信する協働ツールに進化を遂げ、吉祥寺と三鷹の街のつながりと新たな魅力向上を図るユニークな事業として発展していくものと確信している。

Inokashira Park
ART*MRT

図 12 ロゴマークはグリーンに

11. おわりに

アートマーケット成功の鍵は、温かく見守ってくださった多くの来園者、モノづくりと人との交流を楽しむアートキャストのひたむきな姿勢、そして公園管理の限界を協働で乗り越え、新しい文化を生み出そうとした公園職員の情熱にある。



図 11 心と心のキャッチボール

アートマーケットの継承は、東京都、武蔵野市、三鷹市と両監理団体、そしてアートキャストとともに新しい地域連携、協働のあり方を追求したものである。

協働事業では、通常業務だけでは感じることもできない感性や知見を得ることもでき、自治体職員として一歩、高い次元に成長できたように思う。お互いを尊重し、立場の違いを乗り越えて協力、補完し合うことで、信頼関係が醸成され、プラスαの事業効果を得ることができた。

²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)

策定や、大橋川改修が環境に与える影響を予測・評価した結果をとりまとめた「大橋川改修事業環境調査最終とりまとめ」が策定された。

4. 環境保全措置の検討

(1) 大橋川の自然環境

「大橋川改修事業環境調査最終とりまとめ」の中で、大橋川で典型的に見られる環境を地形、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)大橋川水域に分けられる。

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。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。マハゼやサッパの生息・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)環境保全措置の検討

環境保全措置は予測の結果、生息環境の改変の程度が大きい種や、生育箇所の多くが消失する種を対象として実施するものとし、動物ではヒトハリザトウムシ、ウデワユミアシサシガメ、ムシヤドリカワザンショウガイ、ヨシダカワザンショウガイの4種について、植物ではヒメシロアサザ、スズメハコベ、カワデシャ、オオクグ（群落）、コアマモ、ヨシの5種1群落について、生態系（典型性）では影響があると予測された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群落について、その影響を可能な限り低減するために、環境保全措置が検討された。

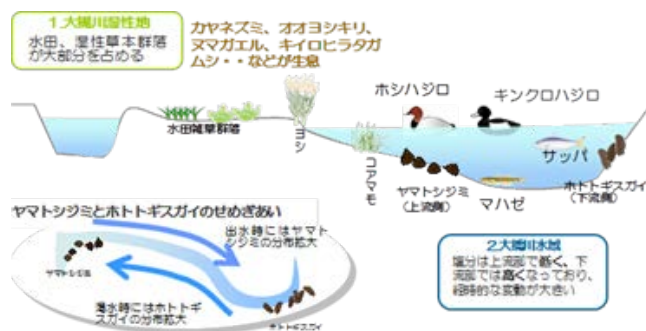


図-2 大橋川における典型性

(3)大橋川改修事業に係る環境モニタリング協議会

大橋川改修事業が環境に与える影響の程度、並びに環境保全措置の実現の程度を確認するために必要となるモニタリング計画の策定とモニタリングの結果、環境保全措置に対して意見及び助言を頂くために、学識経験者や関係自治体などから構成される「大橋川改修事業に係る環境モニタリング協議会」を設立した。

策定された大橋川改修事業環境モニタリング計画書では、工事着手前の環境保全措置対象種の有無を確認する「工事モニタリング」、「環境保全措置の事後調査」、環境保全措置は講じないが特に配慮が必要とされたヤマトシジミとホトトギスガイの分布調査や大橋川における底生魚の稚魚の遡上状況を確認する「環境監視」、大橋川改修が塩分をはじめとする水環境や動植物及び生態系に与える影響について確認する「広域モニタリング」を行うことが定められており、毎年モニタリング協議会でその実施状況を報告している。

5. 環境保全措置の実施

環境保全措置を行うこととなった対象種のうち、ヨシ、コアマモについてはこれまで試行錯誤を重ねながら、改修により影響がある範囲の移植を実施しており、昨年度一部の実施箇所では3年間のモニタリングを終了した。以下に大橋川におけるヨシ・コアマモの保全措置の取り組みについて報告する。

(1) 保全措置の実施方法

a) ヨシ

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50cm程度採取し、生育基盤へ移植する。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する。新たに整備するヨシの生育基盤は1/20程度の勾配を設け、多様性を持たせる。生育基盤高は冠水しない高さとして、各地区の水位変動に配慮した基盤高に移植を実施する（追子地区においてはH.P. +0.45～0.65、福富地区においてはH.P. +0.35～0.65）。風波による浸食に対しては前面に蛇籠を設置する。



図-3 コアマモ群落（左）とヨシ群落（右）

b) コアマモ

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20cm程度採取、採取した土壌はコアマモの株が埋没しないようにベッセル（土砂運搬用の鉄製の箱）や生分解土のうへ移し入れて運搬し、生育基盤に移植する。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する。コアマモの適性水深は学識者の意見により0.3～0.8m（平水時）を目安として整備する。

(2)保全措置実施中の課題

a) ヨシ移植箇所の基盤低下による生育不良

保全措置実施後のモニタリングにおいて、ヨシの移植を実施した基盤の一部が沈下し、移植したヨシの一部で生育不良が確認された。原因としては護岸の盛土による沈下と考えられ、モニタリング協議会で対策が必要と判断された。

b) シオグサの堆積によるコアマモへの影響

平成27年6月に糸状藻類であるシオグサが大繁茂し、コアマモを被陰する状況がみられた。シオグサは河床を覆うように繁茂するため、コアマモの光合成を阻害し生育不良や枯死することが懸念された。その発生原因については不明な部分が多い。

c) コアマモの移植効率

保全措置を実施していく中で、コアマモについてはこれまで知見も少なく、試験移植では手作業での移植を実施していたが、10m²を移植するために潜水士2名が約1日半がかりで実施していたため作業の効率化が課題であった。

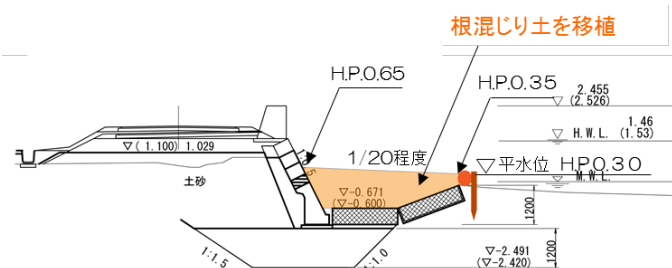


図-4 ヨシ移植イメージ（福富地区）

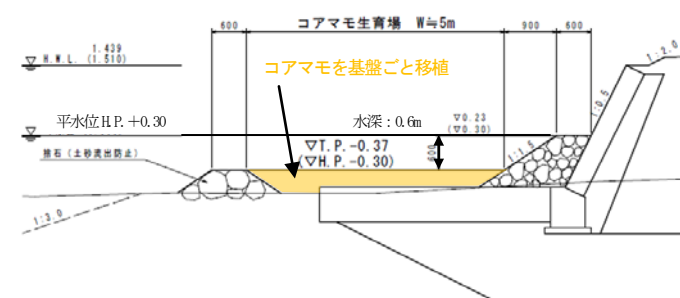


図-5 コアマモ移植イメージ（井出・馬潟地区）

(3)課題への対応

a) ヨシ移植箇所^①の基盤低下による生育不良

沈下した基盤の補修を実施するとともに、播種による補植を試行した。これまでヨシは地下茎を基盤ごと移植する手法で移植を行ってきたが、当面の工事でヨシを移植する予定が無いことから、学識者の指導のもとに、新たな試みとして種からの補植を試行した。補修する基盤高は当該地区でヨシが繁茂している高さをもとに H.P. +0.65 ~ H.P. +0.45 程度と設定し、発芽期の冠水も防止する高さとした。基盤補修は水位が下がる3月に、重機により土砂を投入、敷き均しを行い、発芽期である同時期に人力によりヨシの穂を播種した。

b) シオグサの堆積によるコアマモへの影響

学識者と協議の結果、シオグサの堆積によるコアマモへの影響を確認するため、保全措置実施範囲の半分程度を試験除去し、除去を行わない区間と対比することとした。これまでもシオグサの繁茂は確認されていたが、今回は最大80cmの堆積が確認され、学識者からの要望により除去を実施した。全て除去を実施しなかったのは、コアマモは土中に地下茎が残っていれば再生すること、シオグサは5～6月の暖水期のみ繁茂すること、人力施工のためコストがかかることなどから、その効果を確認するためである。

c) コアマモの移植効率

効率的にコアマモの移植を行うために、建設機械を用いたコアマモ群落の移植を試行した。移植方法は土のう（製造機使用）、土のう（手作業）、ベッセル（バケツ一杯分）、ベッセル（バケツ複数回分）、ベッセルを改良した小型ベッセルにより試行した。またコアマモを基盤ごと採取する際に法面バケツや、水抜き孔を設けた改良法面バケツで基盤ごと採取し、株が埋没しないように移植を行った。

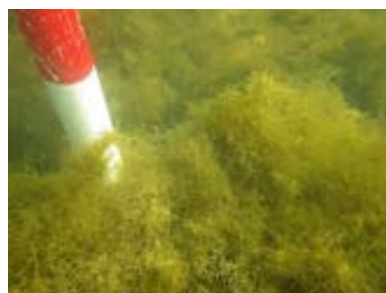


図-6 シオグサの堆積状況



図-7 播種に使用する乾燥したヨシの穂

(4)対応策の評価

a) ヨシ移植箇所の基盤低下による生育不良

播種により実生株を確認するまでに至ったが、発芽した後は、夏季～秋季の高潮位の時期にヨシの穂が冠水したことにより、枯死してしまったと考えられる。補修した基盤高は陸域の競合種が繁茂しない高さで設定しており、これ以上基盤高を上げる対策を実施しても陸域のヨシとなってしまうため、抽水植物としてのヨシにはならない。播種による補植は水位変動の大きい当該水域では効果が確認出来なかった。

b) シオグサの堆積によるコアマモへの影響

平成27年度にシオグサが繁茂したが、3年間のモニタリングを終えて、除去の有無による生育状況に明瞭な違いは見られなかった。出水によりシオグサが流出していた可能性もあり、今後シオグサが発生した場合に繁茂期間等のモニタリングが必要である。

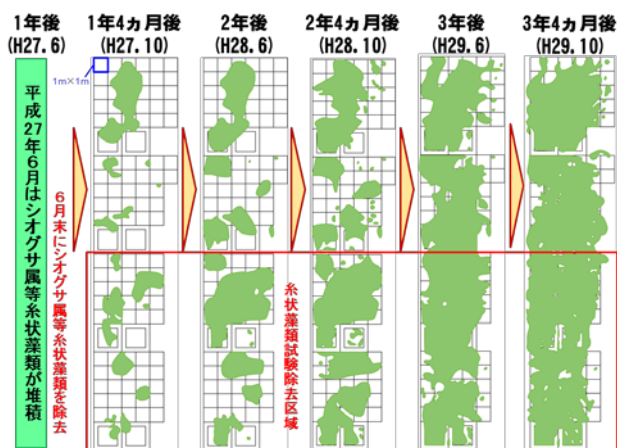


図-8 シオグサ除去による繁茂状況の比較

①採取	②移し変え	③移植	残存率 (%)	作業時間 (H)
	土のう(土のう製造機) 		28	4～5
	土のう(手作業) 		43	3～4
	ベッセル(バケツ1杯) 		34	2～3
	ベッセル(バケツ複数杯) 		42	2

図-9 建設機械を用いた移植方法の比較

また、ベッセル (バケツ複数回分) を使用した箇所 で、コアマモの基盤高にばらつきがあり、基盤が低いところにシオグサが多く堆積していたことから、作業性が良くより均等な基盤高に移植が可能な小型ベッセルでの移植が効果的であると思われる。

c) コアマモの移植効率

コアマモの移植方法については知見が少なかったが、これまでのコアマモのモニタリング結果から、建設機械の利用を含めた複数の移植工法を試行し、どの工法においても生育面積は拡大傾向となることが分かった。中でも小型ベッセルによる移植は作業効率に優れ、有効な移植手段だと思われる。

6. まとめ

大橋川で移植を実施しているヨシ・コアマモについて、移植手法においては一定の知見が得られ、ある程度手法が確立された。3年間のモニタリングにおいて、一部のヨシ基盤の低下などが見られるものの、全体的に活着・生育範囲の拡大及び、ヨシ・コアマモを生育基盤とする生物が確認されている。

モニタリング協議会においても、今後も同様の手法で移植を実施すれば定着するであろうということを確認した。一方、シオグサの堆積によるコアマモへの影響や、ヨシ移植基盤の変動について引き続きモニタリングを実施し、必要に応じて対策を検討していく必要がある。

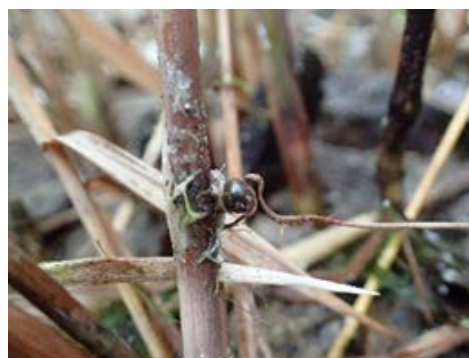


図-10 ヨシを生育基盤とする生物カワザンショウガイ類



図-11 コアマモを生育基盤とする生物シモフリマハゼ

車線運用に着目した国道32号 はりまや橋交差点周辺の渋滞対策検討

岡安 光太郎¹・宮武 貴志¹・秋森 良一¹

¹四国地方整備局 土佐国道事務所 計画課 (〒780-0055 高知県高知市江陽町2-2)

限られた道路空間を最大限賢く使い渋滞緩和を目指すピンポイント渋滞対策が全国で実施されている。高知県高知市の中心部に位置するはりまや橋交差点周辺では慢性的な渋滞が発生しており、抜本的な対策が必要とされてきた。本稿では、はりまや橋交差点周辺の交通状況や渋滞要因の分析とともに、車線運用に着目し、既存道路空間を有効に活用した渋滞対策の概要と対策効果を示す。最後に対策に向けて実施した広報活動について紹介する。

キーワード 渋滞対策、車線運用変更、道路空間、広報活動

1. 序論

近年、これまで把握出来なかった旅行速度や最大交通量等の交通データに基づく科学的分析を用いて、限られた道路空間を最大限賢く使い、渋滞緩和を目指すピンポイント渋滞対策が全国で実施されている。高知県高知市の中心部に位置する国道32号はりまや橋交差点（以降はりまや橋交差点と称す）は、各種関係機関から構成される高知県渋滞対策協議会において、平成24年度に主要渋滞箇所として特定されている。はりまや橋交差点の東行き方面は片側3車線の道路を有しているものの、第二走行車線に車両が集中することにより慢性的な渋滞が発生しており、道路空間を有効に活用出来ていない状況であった（写真-1）。本稿では、初めに高知県渋滞対策協議会によるはりまや橋交差点の渋滞対策の経緯を示す。次にははりまや橋交差点周辺を対象に、対策前の交通状況と渋滞発生要因を分析するとともに、車線運用に着目した渋滞対策の概要及び対策効果を示す。最後に、対策に向けた広報活動について報告する。

2. 高知県渋滞対策協議会

図-1は高知県渋滞対策協議会におけるはりまや橋交差点の渋滞対策の検討経緯を示す。平成5年度に設立された高知県渋滞対策協議会は、客観的かつ効率的に渋滞箇所を抽出するため、道路利用者の移動情報（プローブデータ）等の基礎データを活用するとともに、道路利用者、民間事業者（トラック協会等）、道路管理者（自治体）から渋滞箇所に関する意見を伺うパブリックコメントの

結果を鑑みて、平成24年度に高知県内の主要渋滞箇所を公表した。その後、地元住民からの要望であるはりまや橋交差点が渋滞対策の検討箇所に選定された。以降、対策案や対策案実現に向けた課題及び対応方針について検討し、平成30年度に最終対策案が各種関係機関から一定



写真-1 渋滞発生状況（朝7時）

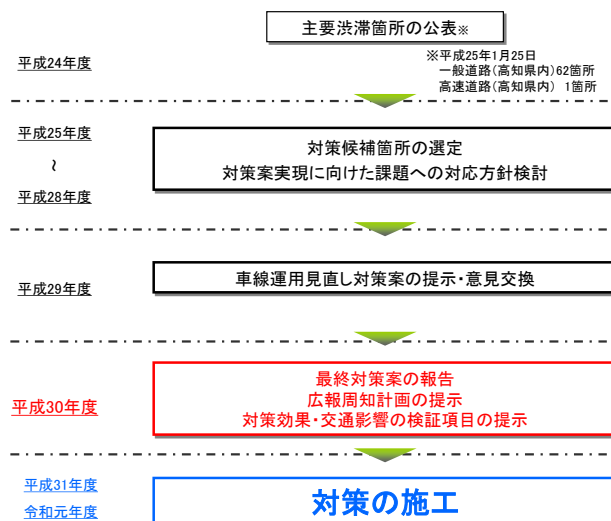


図-1 検討経緯

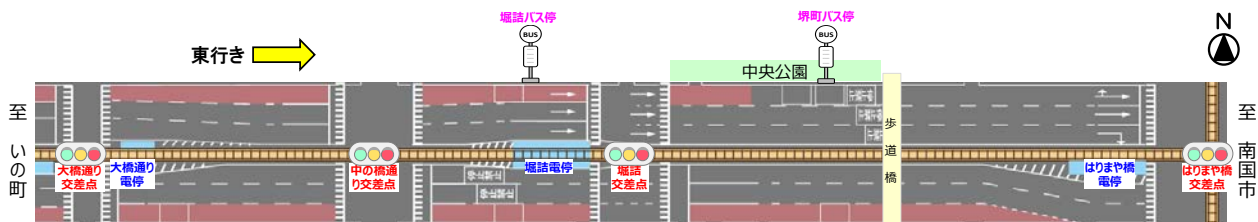


図-2 道路構造及び交通運用状況

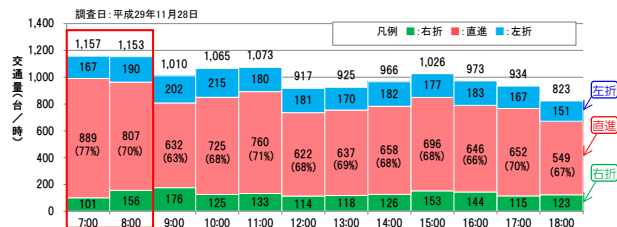


図-3 時間帯別交通量

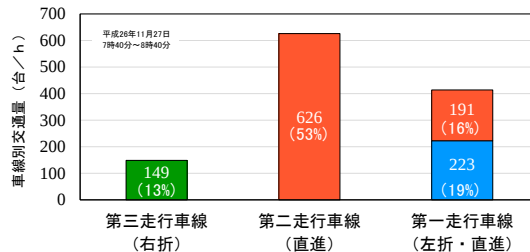


図-4 車線別交通量

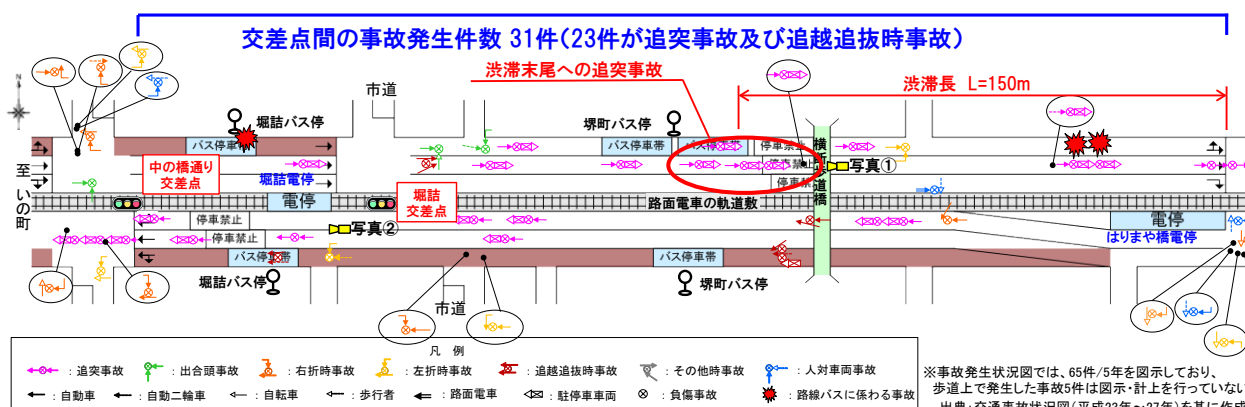


図-5 事故発生地点平面図

の理解を得られたため、はりまや橋交差点における渋滞対策の施工が決定した。

3. 対策検討区間の概要

(1) 道路構造及び交通運用

図-2ははりまや橋交差点周辺の道路構造及び交通運用状況を示す。対策検討区間は国道32号大橋通り交差点～はりまや橋交差点の東行き方面区間であり、路面電車が道路中央を通過する片側3車線の道路構造を有している。はりまや橋交差点の第一走行車線は左折及び直進車線であり、朝夕の通勤時間帯（7:30～8:30、17:00～18:00）は、県庁前交差点（大橋通り交差点より約100m上流）～堺町バス停付近までバス専用レーンとして運用されている。第二走行車線は直進車線であり、第三走行車線は右折車線である。

(2) 交通状況

図-3は時間帯別交通量を示す。朝の通勤時間帯である7:00～9:00において、車両通行量が約1,200台/hと最も多い。

また、調査の時間帯を通じて約7割の通行車両が直進車両である。図-4は車線別交通量を示す。第二走行車線の交通量は全交通量の約5割を占めており、特に直進車両の約8割は第二走行車線を通過して直進する。なお、対策直前の調査で、朝ピーク時には最大約180m（車両約40台）の渋滞が発生している。図-5は事故発生地点の平面図を示す。バス停周辺（中の橋通り交差点～はりまや橋交差点）の事故発生件数31件のうち、約7割が追突事故及び追越追抜時事故である。特に堺町バス停周辺で追突事故が顕著に発生しており、バス停車直後に後続車両が第一走行車線から第二走行車線へ車線変更する危険な状況が発生していると考えられる。

4. 渋滞発生要因の分析

(1) 通過車両集中の要因

第二走行車線に直進車両が集中する要因として、1点目に第一走行車線の利用回避が考えられる。図-6は中の橋通り交差点～はりまや橋交差点間の駐停車発生台数を示す。対策検討区間は沿道に企業が立地しているため、第一走行車線に駐停車両が日常的に発生している。朝夕

の通勤時間帯ではバス専用レーンに伴う影響を避けるため、通勤時間帯以外では駐停車車両の影響を避けるため、第一走行車線の利用を避ける傾向にあると考えられる。2点目は第三走行車線の利用回避である。第三走行車線ははりまや橋交差点で右折専用車線に直結しているため、直進車両は予め第三走行車線を回避して走行する傾向にあると考えられる。

(2) 交通容量に着目した渋滞発生要因の分析

交通容量について分析する。図-7は車線別需要交通量を示す。第二走行車線の需要交通量は640台/hである。渋滞が継続した状況における第二走行車線の交通容量（最大交通量）は626台/hであるため、需要交通量は交通容量を超えている。これより、第二走行車線に直進車両が集中し、第二走行車線の需要交通量が交通容量を超えることにより、渋滞が発生していると考えられる。

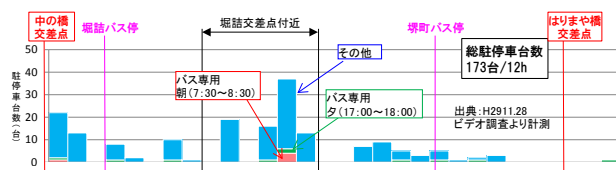


図-6 駐停車発生台数

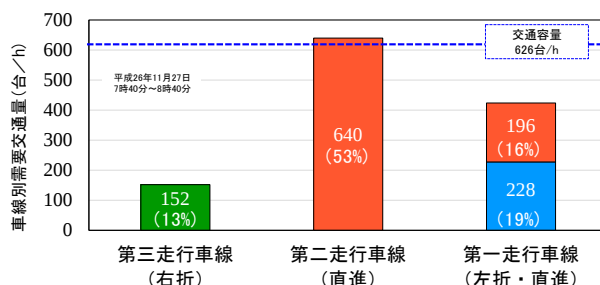


図-7 車線別需要交通量

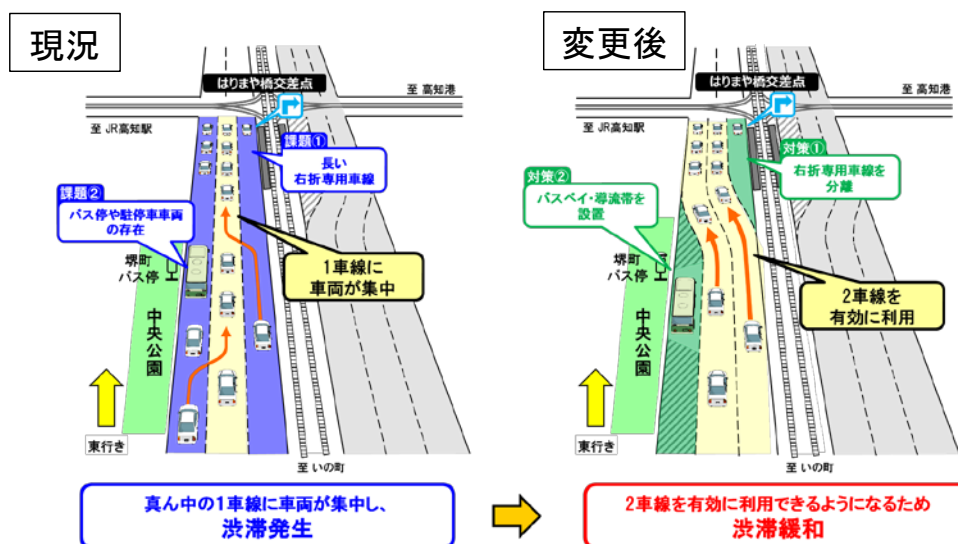


図-8 渋滞対策イメージ図

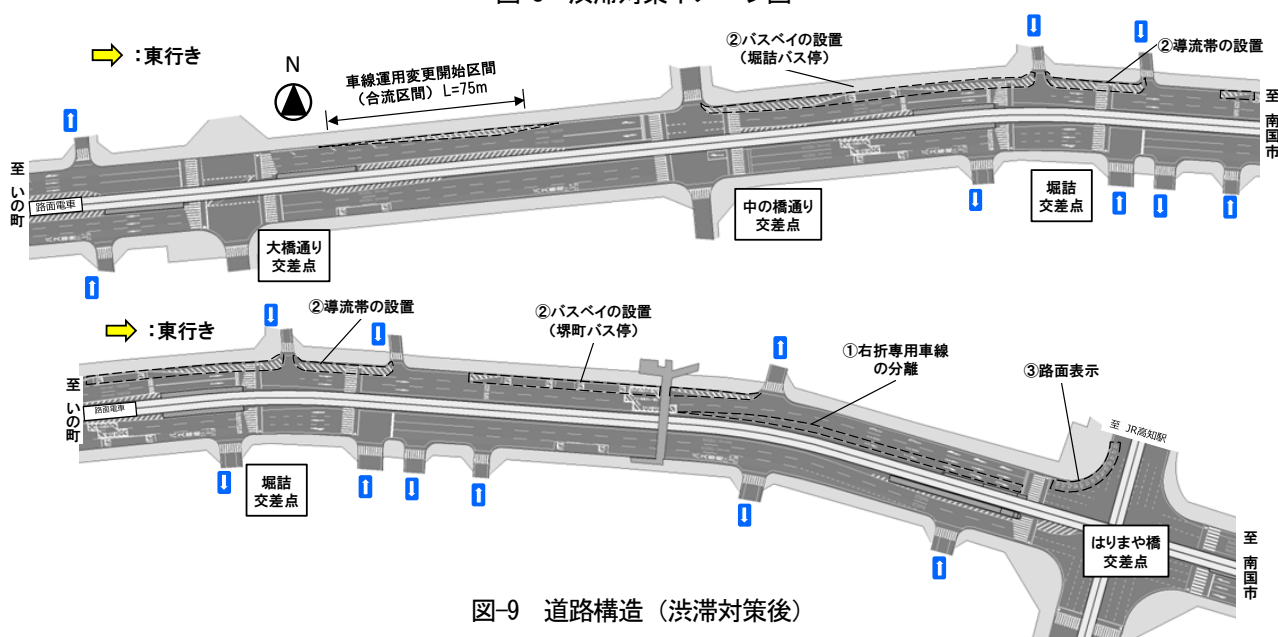


図-9 道路構造（渋滞対策後）

5. 渋滞対策の検討

(1) 渋滞対策概要

これまで示した交通状況や渋滞発生要因を踏まえて、車線運用に着目した渋滞対策を実施した。対策前は第二走行車線に直進車両が集中しており、道路空間を効率的に利用出来ていない状況であった。このため、直進車両を2車線に分散させることで渋滞の緩和が期待されると考え、道路空間を効率的に利用した車線運用の変更を実施した。図-8は車線運用に着目した渋滞対策のイメージ図を、図-9は渋滞対策後の道路構造平面図を示す。第一走行車線から第二走行車線へ車線変更を行う際の交通流率低下を防ぐため、第一走行車線はバス専用レーンの一部を廃止するとともに、バスペイと導流帯を設置することにより交通の整流化を図った。また、第三走行車線の右折専用車線を本線から分離することにより、直進車両が第二走行車線及び第三走行車線の2車線を利用して直進出来る構造とした。

(2) 対策効果の予測検証

渋滞対策を実施するに当たり、対策効果を事前に予測するため、検討対象区間の実交通量に基づき、交通シミュレーションによる対策効果の検証を実施した。結果として、第二走行車線は約45%、第三走行車線は約55%の利用率となる予測結果となり、第二走行車線の直進車両の集中が緩和され、2車線を利用して効率的に直進出来ることを確認した。

6. 渋滞対策効果

前章で示した渋滞対策は令和元年6月7日に運用を開始した。その後現地調査を実施し、対策効果の検証を実施した。図-10は運用変更後の車線別交通量を示す。車線利用率は第二走行車線で約55%、第三走行車線で約44%となり、交通シミュレーションの予測検証に近い車線利用率になるとともに、車線利用が分散されている。図-11は対策前後の渋滞長の変化を示す。運用変更前に最大で約180mの渋滞が発生していたはりまや橋交差点では、運用変更後は最大で約80mの渋滞長に短縮し、渋滞が改善した。更に、大橋通り交差点～堀詰電停前交差点間の旅行速度は渋滞の基準である20km/hを上回る旅行速度に改善し、対象区間の旅行時間が約21秒短縮する結果となった(図-12)。以上により、渋滞対策の効果が発現していると考えられる。今後も引き続き対策効果の検証を実施していく予定である。

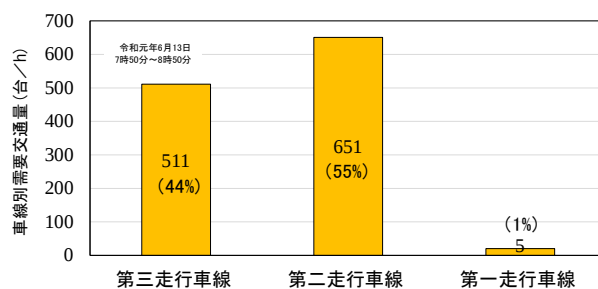


図-10 車線別交通量(対策後)

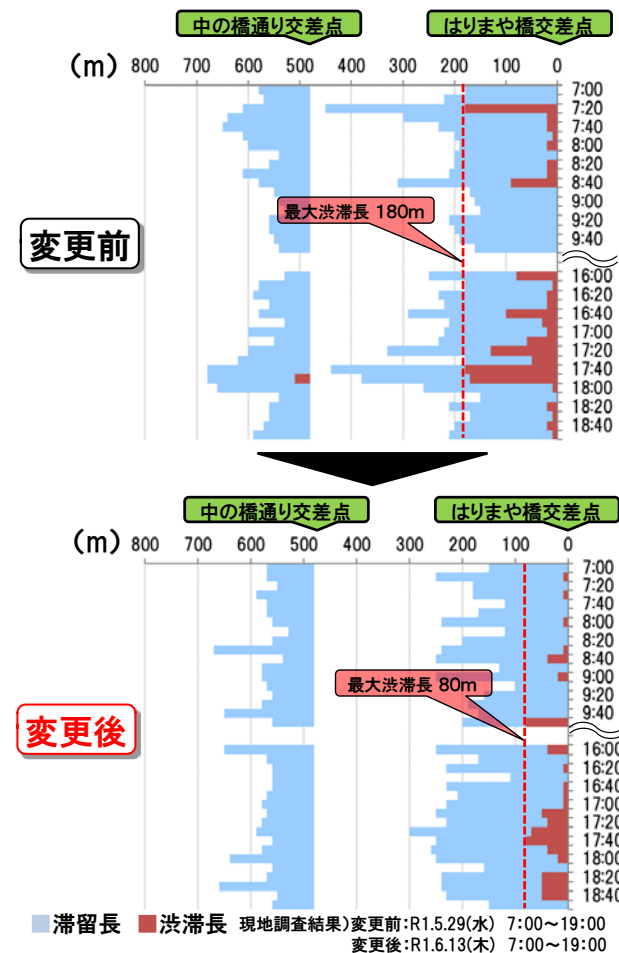


図-11 渋滞長(対策前後)

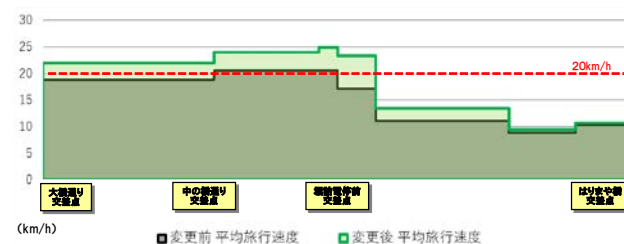


図-12 旅行速度(対策前後)

7. 対策実施に伴う広報活動

渋滞対策による車線運用の変更に伴う道路利用者の混乱を防ぐため、道路利用者への広報及び事前周知を実施した(図-13)。記者発表を定期的の実施するとともに、

土佐国道事務所HPやSNSで交通シミュレーションの動画を公開した。また、車線運用の変更直前には新聞広告やラジオ広告、各種関係機関施設等へのポスター掲示（写真-2）や道路利用者へのチラシ配布（写真-3），更に対策区間への路側看板（写真-4）や横断幕の設置を実施した。更に、運用開始日の早朝には街頭指導を実施し、スムーズな道路利用をしてもらうよう努めた（写真-5）。

今年度実施した広報活動の結果、新聞（全国紙地方版及び地方紙）記事として掲載されたとともに、地元放送局から取材を受け、合計9回ニュースとして報道された（写真-6）。更に、事務所に直接道路利用者から渋滞が緩和されたとの電話も数件頂いている。

項目	関係機関 (実施者)	実施時期							備考 (実施箇所候補 等)
		12月	1月	2月	3月	4月	5月	以降	
渋滞対策協議会									
広報ツールの検討・作成									
記者発表	土佐国道								土佐国道事務所
HP（動画公開）	土佐国道								土佐国道事務所HP
HP（協議会）	土佐国道								渋滞対策協議会HP (土佐国道事務所内)
SNS (Twitter/Facebook)	土佐国道								土佐国道事務所
新聞広告	土佐国道								高知新聞
ラジオ広告	土佐国道								FM高知
広報誌への掲載	土佐国道 ⇒高知県								高知県広報誌 (5/1発行)
ポスター掲示	土佐国道 ⇒協議会関係者								庁舎内、免許センター、警察署、 バス停、道の駅 等
チラシ配布	土佐国道 ⇒協議会関係者								庁舎内、免許センター、 レンタカー会社 等
路側看板	土佐国道								大橋通り～電話交差点の路側
横断幕	土佐国道								旭町三丁目横断歩道橋（東行き） 横町横断歩道橋（東行き）
その他	土佐国道 ⇒関係機関								路側/横断幕の事後確認 等
周知	路側・外・外特PR (のぼり、チラシ配布)								大橋通り、中の橋通り、電話交差点 中央公園開園イベント時 等

図-13 広報取組スケジュール

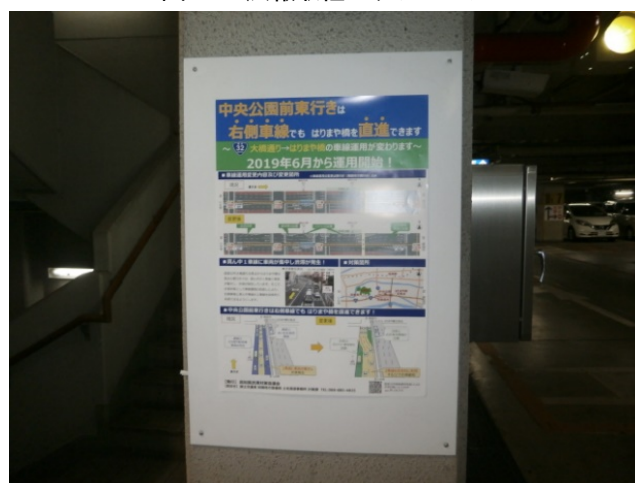


写真-2 ポスター掲示（地下駐車場）



写真-3 チラシ配布



写真-4 看板設置



写真-5 街頭指導



写真-6 現地取材

RC造建築物の長期耐久性に及ぼす仕上材料の影響ー屋外曝露したコンクリートの水分状態ー

中田 清史¹

¹建築研究所 材料研究グループ (〒305-0802 茨城県つくば市立原1番地)

鉄筋腐食の進行にはコンクリート内部の水分状態が関係していることが知られている。コンクリート中の水分状態は外部からの水分供給の影響を受けるが、建築物の外壁面には仕上材料が施されているのが一般的であり、仕上材料によって水分供給の程度が異なる。本研究では、薄塗材Eおよび防水形複層Eの2種類の仕上塗材、そして、無塗布の鉄筋コンクリート供試体について北海道、茨城、沖縄で屋外曝露を行い、曝露期間中のコンクリート内部の温湿度変化を測定し、コンクリートの水分状態に及ぼす仕上塗材の影響を検討した。あわせて、曝露期間1年時における鉄筋腐食状況を確認した。

キーワード コンクリート内部温湿度、仕上塗材、屋外曝露、鉄筋腐食

1. はじめに

近年、鉄筋コンクリート（以降、RC）造建築物に長寿命化が求められており、その供用期間中に生じる劣化事象を適切に予測あるいは抑制することが課題となっている。RC造建築物に生じる劣化事象のうち、鉄筋腐食は部材耐力の低下やコンクリート片の剥落を招くと考えられ、その進行を抑制することが長寿命化には不可欠である。

鉄筋腐食の進行にはコンクリート内部の水分状態が関係していることが知られている。このことから、近年ではコンクリート含水率やコンクリート内温湿度を測定するなどして、鉄筋腐食環境とコンクリート内水分状態の関係を明らかにするという試みがなされている^{1) 2)}。ここで、コンクリート内部の水分状態は、外部環境（雨掛け、温湿度）に応じて変化すると考えられる。表面に仕上塗材が施されている場合、外部環境の影響が抑制され結果としてコンクリート内の水分状態ならびに鉄筋腐食環境が変化すると考えられる。RC造建築物外壁においては、仕上塗材が施されていることが一般的であり、その耐久性を評価し向上させるには、仕上塗材の水分移動抑制効果を適切に把握し耐久設計や維持管理に活かすことが望ましい。

そこで本研究では、コンクリート内部の水分状態ならびに鉄筋腐食環境に及ぼす仕上塗材の影響を比較検討することを目的として、各種仕上を施した鉄筋コンクリート供試体について屋外曝露試験を行った。コンクリート内部の水分状態については曝露期間中の内部温湿度変化

により評価することとし、併せて曝露1年経過後の鉄筋腐食状況や中性化深さ、塩化物イオン含有量の確認を行った。

2. 実験概要

(1) コンクリート試験体および仕上塗材

表 1に試験体概要を示す。本研究では、コンクリート内の温湿度測定および鉄筋腐食状態の確認を目的として

表 1 試験体概要

	コンクリート試験体		仕上種類
	寸法	かぶり厚さ	
温湿度測定用	15cm*15cm*15cm	10, 30, 50mm	薄塗材E 防水形複層E
鉄筋腐食用	15cm*20cm*30cm	10, 20, 30mm	無塗布

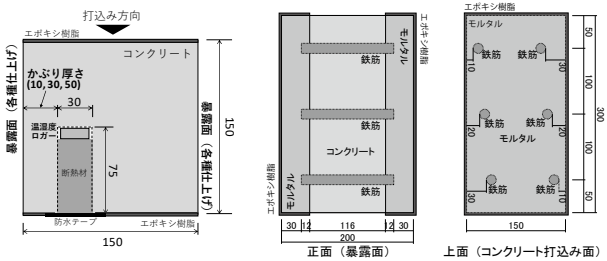


図 1 試験体断面図（左：温湿度測定用、右 2 つ：鉄筋腐食確認用）

表2 コンクリートの調合・使用材料

W/C (%)	S/A (%)	単位質量 (kg/m ³)				混和剤 量
		W	C	S	G	
60	47.7	180	300	841	938	0.003

セメント：普通ポルトランドセメント（密度 3.16g/cm³），細骨材：掛川産山砂（表乾密度 2.59 g/cm³），粗骨材：桜川産砕石（2.64 g/cm³）。

表3 屋外曝露試験場の概要

		茨城県 (つくば)	北海道 (共和)	沖縄県 (那覇)
温度 (°C)	8月	27	20.5	28.5
	1月	3.0	-2.8	18.1
湿度 (%Rh)	8月	80	86*	82
	1月	59	83*	67
降水量 (mm)	8月	72	171	310
	1月	17	17 (90**)	55
雨掛り		有，無	有	有
飛来塩分		無	有	有

*共和観測所では湿度データが得られなかったため，最寄りの観測所（倶知安）の湿度データを示している。**降雪量（cm）。



写真1 屋外曝露場（左）および温湿度ロガー（右）

コンクリート試験体をそれぞれ作製した。かぶり厚さは温湿度測定用で10～50mm，鉄筋腐食用で10～30mmとした。また各試験体の曝露面の仕上げは，JIS A 6909「建築用仕上塗材」に規定される「薄塗材E」および「防水形複層E」に加えて，仕上を施さない「無塗布」の3種類とした。

図1に作製した試験体の断面図を示す。試験体形状は温湿度測定用，鉄筋腐食確認用それぞれ立方体，直方体であり，打込み面を上面とした場合の相対する側面2面を曝露面とした。曝露面については各種仕上げを施し，残り2面と上面・底面については水分の出入りを遮断することを目的としてエポキシ樹脂でシーリングした。また，温湿度測定用の試験体については，3cm四方，深さ8cmの空洞を予め設けておき，ここに温湿度ロガー（後述）を設置した。ロガー設置後の空洞は発泡プラスチック系断熱材で充填し表面をアルミテープやシーリング材でシールした。

表2にコンクリートの調合・使用材料を示す。本研究で用いたコンクリートは水セメント比60%の普通コンクリート1水準でありコンクリートの基礎性状はスランプ，空気量，4週強度がそれぞれ19.0cm，4.2%，30.8N/mm²であった。試験体は打込み後1週間で脱型し，20°C/60%Rh環境で3か月整置した。その後，「薄塗材E」および「防水形複層E」の試験体についてはそれぞれ仕上塗材を施

した。

(2) 曝露環境

表3に曝露試験場の気象データやその他の環境条件を示す。本研究では曝露試験場を茨城県，沖縄県，北海道の3か所とした。茨城県の曝露場については，雨掛り有りおよび無し環境である。また，北海道および沖縄については雨掛り有りのみであり，海岸沿いの曝露場であることから飛来塩分の影響が想定される。上記のような屋外曝露試験場において2018年6月から曝露試験を開始した（写真1左）。

(3) 測定項目および測定方法

コンクリート内の温湿度は，小型温湿度ロガー（写真1右）を用いて測定した。温湿度ロガーの測定範囲は-20°C～+80°C，0～95%Rhであり，測定分解能は0.5°C，0.6%Rhとした。また，測定ピッチは1時間とし，データ回収のため6か月程度おきにロガーを交換した。ロガー交換後は再度断熱材による空洞の充填およびアルミテープ等によるシールを行った。

鉄筋腐食状況の確認については日本建築学会「鉄筋コンクリート造建築物の耐久性調査・診断および補修指針（案）」に準拠して行った。対象とした試験体は曝露後1年程度経過した試験体である。

中性化深さおよび塩化物イオン量の測定についても，鉄筋腐食状況を確認した試験体を用いて行っている。測定方法についてはそれぞれ，JIS A 1152「コンクリート中の中性化深さの測定方法」およびJIS A 1154「硬化コンクリート中に含まれる塩化物イオンの試験方法」に準拠した。なお，塩化物イオン量の測定については深さ方向で分けて測定を行っており，その深さは曝露表面から0～5，5～15，15～25，25～35mmとした。

3. 結果と考察

(1) コンクリート内湿度の月平均

図2に測定した湿度のうち夏季（2018年8月）および冬季（2019年1月）の月平均・月標準偏差を示す。図では湿度平均・標準偏差を深さ方向ごとに示しているが，この図からは深さ方向の湿度分布に明確な傾向は見出すことができなかった。一方，雨掛りの有無や季節，仕上げ材によってそれぞれコンクリート内の湿度が異なることが確認できる。以下では各条件がコンクリート内湿度に与える影響について検討する。

まず，雨掛りの無い環境に比べ雨掛りの有る環境ではコンクリート内の湿度が高くなっており，雨水による水分供給がコンクリート内の水分状態に大きく影響を与えることが確認できる。また，この影響度合いは「無塗

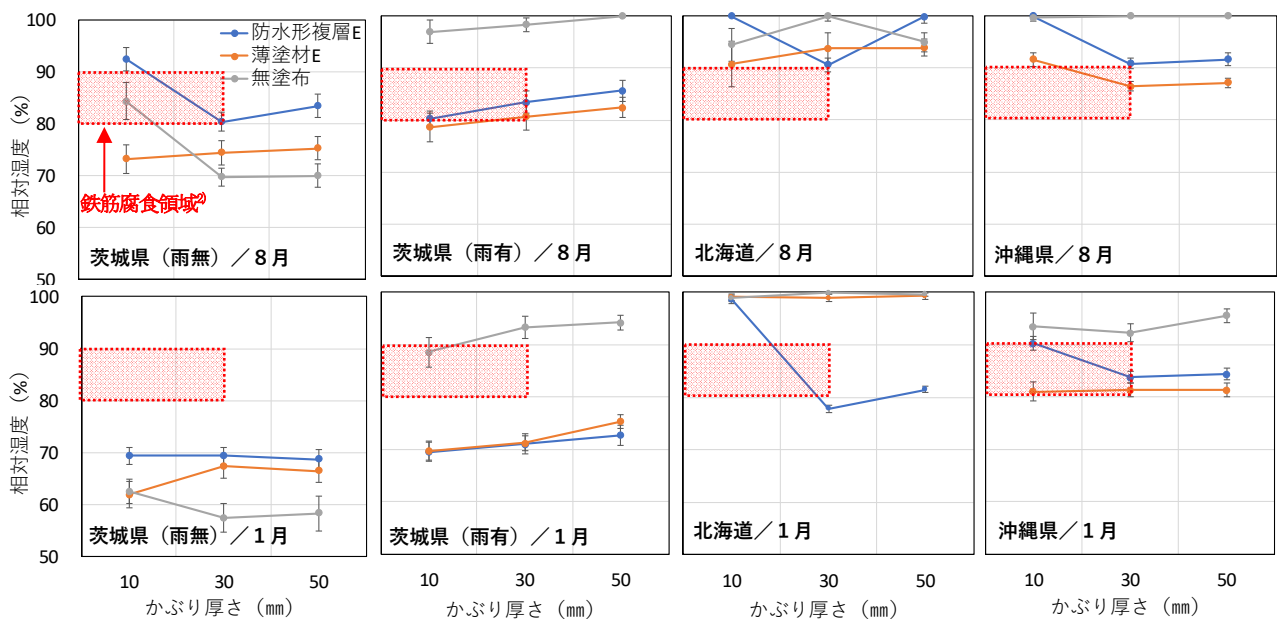


図2 コンクリート内湿度の月平均・月標準偏差±σ

布」試験体で顕著に表われており、多くの場合、雨掛りの無い環境で最も湿度が低く、雨掛りの有る環境で最も湿度が高くなるという結果となった。さらに、その他の仕上り種類も含めてその影響度合いを比較すると、雨掛りの無い環境では、無塗布<薄塗材E<防水形複層Eの順に湿度が高い傾向があることが確認できる。また、雨掛り有りの環境では、北海道については明確な傾向は見出せないものの、茨城県、沖縄県については薄塗材E<防水形複層E<無塗布の順で湿度が高い傾向となっている。

次に、季節間での違いに着目すると、夏季に対して冬季の湿度はやや低いことが分かる。これは、いずれの曝露環境も冬季は降水量が少ない(表3)ために生じているものと考えられる。ただし、降水の影響のない「雨無」環境においても、コンクリート内湿度が季節間で異なっており(夏季: 70~90%Rh, 冬季: 60~70%Rh)、降水以外にもコンクリート内の湿度に影響を及ぼす要因があるものと考えられる。この要因として温度が考えられるが、この点については後述する。

なお、図2では実構造物調査に基づいた鉄筋腐食可能性の高い湿度領域²⁾について枠線で示している。この点についても後述する。

(2) コンクリート内湿度の日平均推移

a) 雨掛り有りの場合

図3にコンクリート内湿度の深さ方向分布を示す。ここでは代表的な湿度測定結果として、茨城県(雨掛り有り)の結果を示している。また、示している測定期間は曝露開始直後(2018年2月~4月)および曝露開始1年後(2018年12月~2019年6月)である。まず「無塗布」試験体では曝露開始後、降水によって内部の湿度が急激に上昇し、その後は90%Rh以上の範囲で推移していることが

分かる(左図)。また、曝露開始1年経過以降(右図)も概ね90%Rh以上の値を推移しており、特に表層10mm付近では降水のたびに急激な乾湿繰返しが生じていることが確認できる。また、表層30mm、50mmについても、表層10mmよりは湿度変化は緩やかではあるものの、表層10mmにおける乾湿繰返しに追従してその湿度も変化する様子が見えてくる。

一方、「薄塗材E」試験体では曝露開始直後の降水によって内部湿度が上昇していることが確認できるものの、その上昇の度合いは「無塗布」試験体よりも穏やかである。特に、短期間の降水(右図2月3日付近)であれば表層10mmにおいても湿度変化は見られず一定の吸水抑制効果を有すると思われる。しかし、比較的長期間の降水(右図3月上旬)があった場合には湿度の上昇がみられ、曝露一年経過後の内部湿度は、曝露前の湿度(70%Rh)よりも高い範囲(70~85%Rh)で推移する結果となっている。

「防水形複層E」については、降水後の内部湿度変化は見られず、降水の影響は極めて小さいと考えられる。また、深さ方向での湿度の違いは認められず、各深さの湿度は概ね同様の値を推移している。曝露一年経過後の湿度については70~80%Rhの範囲で推移しており、降水の影響がない分「無塗布」や「薄塗材E」よりも低い湿度に保たれていると考えられる。

b) 雨掛り無しの場合

図4に表層10mmにおける湿度変化を示す。図では比較のため雨掛り無しの場合と有りの場合をそれぞれ示している。まず、雨掛り有りの場合、降水に対して内部湿度が大きく変化し、「防水形複層E」「薄塗材」「無塗布」の順に湿度が高い領域を推移している(図4右)。一方、雨掛りがない場合は、「防水形複層E」について

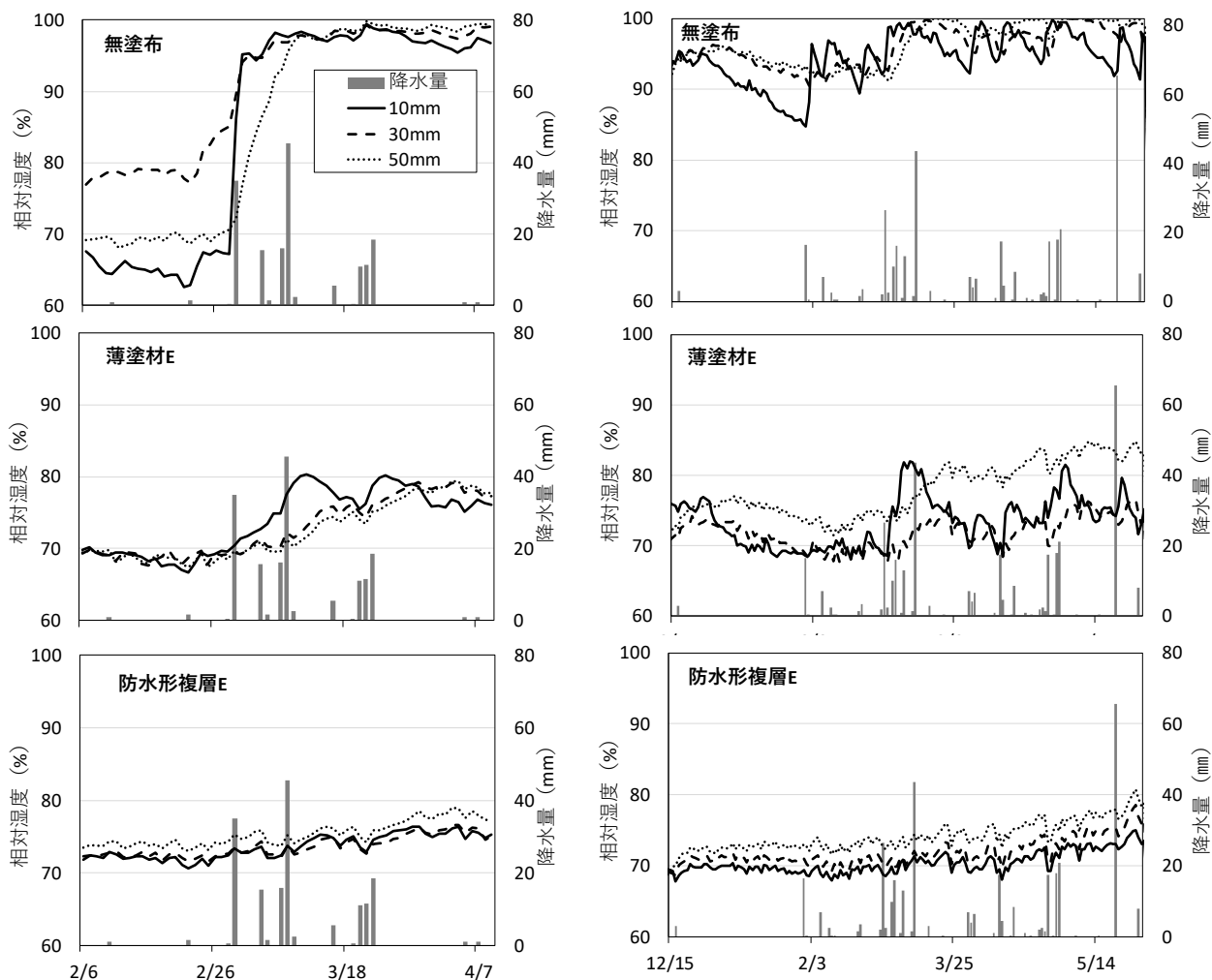


図3 コンクリート内湿度の日平均推移（茨城・雨有，左：2018年2月～4月，右：2018年12月～2019年6月）

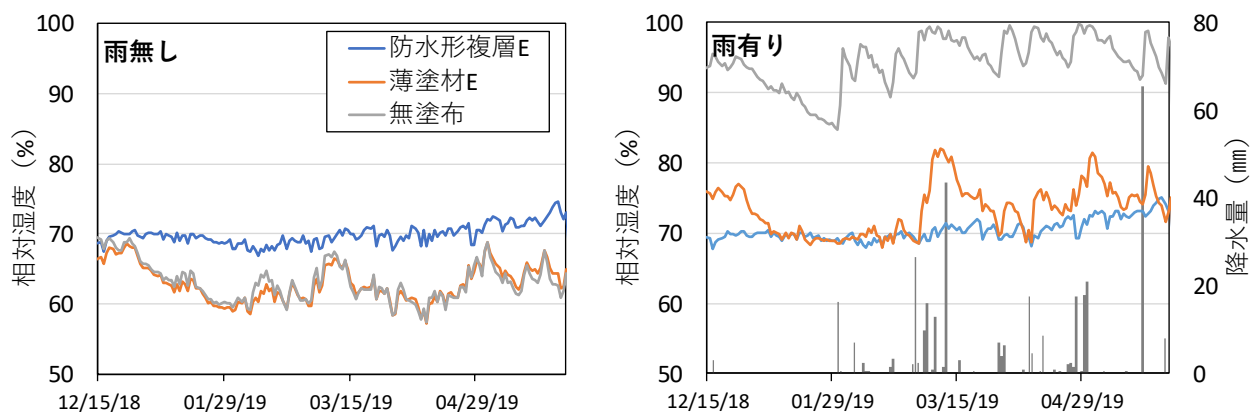


図4 雨掛かり有無による日平均推移の比較(表層 10mm 部分)

は雨掛り有りの場合と同様に70%rh前後を推移している。また、「薄塗材」「無塗布」についてはこれよりも低い湿度域を推移しており、両者は概ね同様の分布を示していることが分かる。

c) 各仕上の水分移動抑制効果

以上、a)項およびb)項の比較から、各仕上の水分移動抑制効果について検討する。まず「防水形複層E」については降水の影響はほぼ見られず、他の仕上げ材に比べ乾燥の進行も抑制されると考えられる。一方、薄塗材E

については、比較的短期間の降水であればコンクリート内への水の侵入を防ぐことができるものの、乾燥の進行は無塗布と同程度に進行すると考えられる。

なお、本研究で報告した結果は、暴露開始後1年間程度のものであり仕上げ材の劣化は目視で確認する限り見られなかった。今後も曝露試験を継続し、仕上げ材が劣化した際のコンクリート内水分状態についてもデータを取得する必要があると考えられる。

(3) コンクリート内湿度の日内変動とその要因

図4「防水形複層E」では降水や乾燥による水分移動の影響が小さいと考えられるにも拘らず内部湿度が変動していることが分かる。このことは外部からの水分供給等以外にも、コンクリート内の湿度を変化させる要因があることを示唆している。この点に関して、本研究では温度の影響に着目しコンクリート内湿度と比較することとした。

図5にコンクリート内温湿度の日変動を示す。本図では2019年1月に測定した温湿度データを3時間おきに表示している。図から仕上げ種類ごとに湿度の推移は異なるものの、いずれの試験体においても温度と湿度の上昇・下降が連動していることが確認できる。このことは、図2において季節ごとにコンクリート内湿度が異なり夏季の方が冬季よりも湿度が高い傾向にあったことと関連していると考えられる。通常、ある空間内の水蒸気量が同じ場合、温度が上がるほど相対湿度は低下するものと考えられる。しかし、図5における温湿度の関係はこの逆となっており、このことはコンクリートの平衡含水率の温度依存性が関連していると考えられる。すなわち、コンクリートの温度が上昇すると平衡含水率は低下し、その分の水分が温湿度ロガーの設置されている空洞に水蒸気として放出され湿度が上昇したと考えられる。

コンクリート内の湿度は鉄筋腐食環境を評価する上で有用な指標であると考えられるが、測定の際には温度の影響に留意する必要があると考えられる。また、この湿度上昇が本研究の測定方法に起因するものかどうか、あるいは実際にコンクリートの空隙内で同程度の湿度上昇が生じるかどうかは今後検討が必要であると考えられる。

(4) 中性化深さおよび塩化物イオン量

図6、図7に曝露後1年経過後の中性化深さおよび塩化物イオン量を示す。中性化深さについては仕上種類により明確な違いが見られ、「無塗布」で最も大きく「防水形複層E」で最も小さい結果となった。また、最も中性化が進んだ試験体でもその深さは6.8mmであり、鉄筋位置にまで中性化は達していないものと考えられる。

一方、塩化物イオン量についても「無塗布」で最も塩分浸透が進んでおり、「防水形複層E」では塩分浸透がほぼ見られなかった。また、「無塗布」や「薄塗材E」では、5～15mmで浸透塩化物イオン量の限界値（水セメント比60%の場合、 1.6kg/m^3 ）を超える試験体が見られ、かぶり厚さ10mm付近に埋設した鉄筋は腐食が始まっている可能性があると考えられる。

4. 現状の鉄筋腐食状況および今後の課題

本研究では鉄筋を含む試験体を曝露し鉄筋腐食状況の確認も行っている。しかし、暴露1年の段階ではいずれ

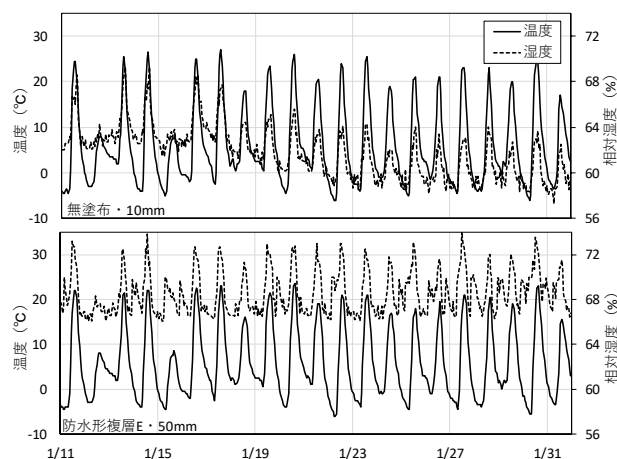


図5 コンクリート内温湿度の時間変動

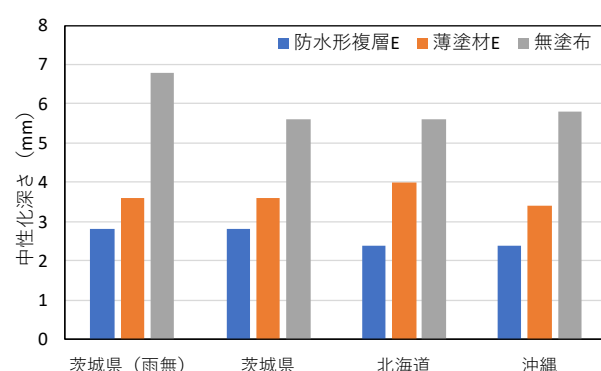


図6 曝露試験体の中性化深さ

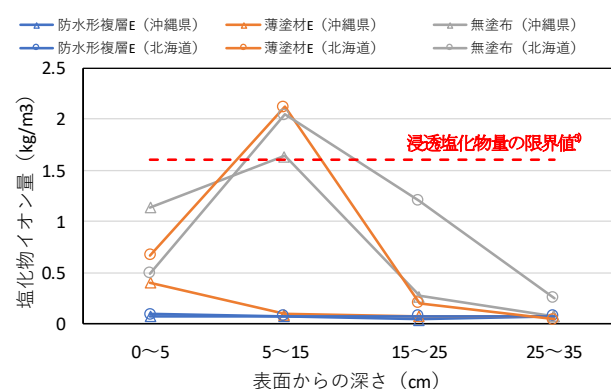


図7 曝露試験体中の塩化物イオン量

の試験体においても鉄筋腐食は確認されなかった。1年間という期間は屋外曝露としては比較的短く、著しい鉄筋腐食に至るまでにはより長い期間を要するものと考えられる。このことから、今後も屋外曝露試験を継続しコンクリート内温湿度や鉄筋腐食等の基礎データを蓄積・分析することにより、RC造建築物の長期耐久性に与える仕上塗材の影響を明らかにしていく予定である。

以下では、前章で得られた結果をもとに、鉄筋腐食環境に与える仕上塗材の影響について考察を加える。まず、中性化に伴う鉄筋腐食については、既往の実構造

表 4 湿度平均±標準偏差がかぶり厚さ 30mm 以下
かつ湿度 80~90%Rh の領域に含まれる点数

	茨城県		北海道	沖縄県
	雨無	雨有		
無塗布	1	1	0	0
薄塗材 E	0	2	1	3
防水形複層 E	1	2	0	3

の結果²⁾ から「かぶり厚さ30mm以下かつコンクリート内湿度が80~90%Rh付近」の領域は鉄筋腐食を生じる可能性が高いと考えられる。表 4ではこの知見に基づき、測定された湿度月平均±標準偏差（図 2）がこの領域内に含まれる点数を曝露環境および仕上げ種類別に集計している。表のみを見た場合、「無塗布」の点数が低くなっており、仕上げを施した試験体よりも腐食可能性が低いということになる。一方、既往の実験結果に基づけば仕上がが施されている方が鉄筋腐食は進行しずらいと考えられ（例えば）表 4の結果とは異なると考えられる。このような違いが生まれた原因として、試験体寸法や試験体が曝露された環境がそれぞれの実験で異なることが挙げられる。また、図 5で述べたように温度変化に伴うコンクリート内湿度変動も影響している可能性がある。今後は、曝露試験を継続していくとともに、上記のような実験条件に起因する違いを考慮に入れたうえで長期耐久性評価につなげる必要があると考えられる。

次に、塩害に伴う鉄筋腐食について考察を加える。先にも述べた通り、図 7の結果から一部の試験体ではすでに鉄筋腐食が始まっている可能性があるものと考えられる。特に、湿度変動の激しい「無塗布」や「薄塗材」の表層部（10mm）では比較的早い段階で鉄筋腐食が顕在化するものと考えられる。塩害に伴う鉄筋腐食とコンクリート内水分状態の関係についても今後の課題としたい。

最後に、本研究の曝露期間内においては仕上塗材の著しい劣化は見られなかった。しかし、「薄塗材E」も「防水形複層E」も経年劣化により物質移動抵抗性が低下するものと考えられる。仕上塗材の効果の持続性という観点からも今後検討する必要があるものと考えられる。

5. まとめ

本研究では、異なる仕上げを施した試験体を屋外環境に1年間曝露し、コンクリート内部の水分状態に与える仕上げ塗材の影響等について比較検討を行った。その結果得られた知見を以下に示す。

1. 「無塗布」の場合、表層部では降水等の影響を受け急激な乾湿繰り返しが生じ、それよりも深い部分の湿度は表層部の湿度変化に追従して変化する。
2. 「防水形複層 E」は吸水や乾燥を抑制する効果が極めて高い。「薄塗材 E」は吸水を抑制する効果はあるもの2~3日程度降雨が継続するとコンクリート内の湿度が上昇する。また、乾燥抑制効果は本研究では確認できず「無塗布」と同等であった。
3. コンクリート内の湿度は温度変化と連動して変化する。本研究と同様の方法で測定された湿度変動の中には、この要因による変動が含まれる可能性があり、鉄筋腐食と関連付ける際は留意が必要である。
4. 1年間曝露では、いずれも鉄筋腐食は見られなかった。ただし、仕上種類によって中性化や塩化物イオンの浸透量が異なり比較的早い段階で腐食を生じ得る試験体も見られた。
5. 今後も曝露試験を継続し、コンクリート内部水分状態に基づく鉄筋腐食環境評価や仕上塗材の効果の持続性について検討していく必要がある。

参考文献

- 1) 日本建築学会パネルディスカッション(1)資料：鉄筋コンクリートの限界状態再考—中性化は寿命か？—, 2017年9月
- 2) 山田宗範ほか：実構造物におけるコンクリート内部の水分が鉄筋腐食に与える影響に関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.40, No.1, pp621-626
- 3) 土木学会：2013年制定 コンクリート標準示方書（維持管理編）, 2013
- 4) 福島 敏夫, 友澤 史紀, 福士 勲, 田中 斉：表面仕上材の中性化したコンクリート中の鉄筋腐食抑制効果に関する実験的研究, コンクリート工学 Vol. 10, No. 2, pp. 83-94, 1999

「やまこし復興交流館おらたる」を拠点とした 自動運転サービス実証実験について

焼田 聡¹・木下 大介¹・田中 周弥¹

¹北陸地方整備局 長岡国道事務所 計画課 (〒940-8512 新潟県長岡市中沢4丁目430番地1)

中山間地域では高齢化が進行しており、日常生活における人流・物流の確保が喫緊の課題となっている。こうした地域では地域生活を維持し、地方創生を果たしていくための路車連携の移動システムを構築することが望まれている。2018年に長岡市山古志地域において、路車連携の検討を目的として「やまこし復興交流館おらたる」を拠点とした自動運転サービス実証実験を実施した。本稿では、道路・交通、社会受容性（快適性・利便性）、ビジネスモデル検討の結果について報告する。

キーワード 地方創生、中山間地域、実証実験、自動運転サービス、やまこし復興交流館おらたる

1. はじめに

国土交通省では交通事故の削減、渋滞の緩和、地域公共交通の活性化、トラック・バス等の運転者不足等の自動車及び道路をめぐる課題の解決に大きな効果が期待される、自動車の自動運転の早期実現を目指している。中でも中山間地においては、高齢化の進行により日常生活の人流・物流の確保が喫緊の課題になっている。この問題を解決するために、国土交通省では全国 1160 箇所(2019年7月1日現在)の道の駅のうち、約8割が中山間地域にあることから、これらを拠点とした自動運転サービスの実証実験を、2017年9月より開始している。

長岡市山古志地区は、ビジネスモデルの具体化に向けた検討を行う箇所として2017年FS（フィージビリティスタディ）箇所を選定され机上検討を実施。検討の結果、中越地震での体験や復興の経験を伝え、山古志地域の魅力を全国に発信する施設である、「やまこし復興交流館おらたる」（以下「おらたる」）を拠点として、地域住民・観光客の移動支援、地元野菜を使用した弁当配達、これらを通じて高齢者や小中学生の見守り支援等を自動運転車両の導入による効果検証を目的とし、1週間の実証実験を実施した。

本論では自動運転サービス実証実験の検証結果および、検証結果を踏まえたビジネスモデルの検討結果について報告する。

2. 山古志地域の現状と課題

(1)「おらたる」周辺の施設状況

本実験の拠点となる「おらたる」は、地域住民が多く訪れる「地域住民の憩いの場」と、観光客が訪れる「総合案内所」として地域住民に定着している。長岡市山古志支所（診療所併設）、山古志体育館（児童館併設）が隣接しており、周辺には観光地であるアルパカ牧場や地域で唯一の山古志小中学校が存在する。



図-1 山古志地域図

(2) 地域の現状

山古志地区は人口の高齢化が進んだ地域であり、高齢者の人・社会とのつながりの希薄化および地域の見守り機能の低下が懸念されている。また、2007年には路線バスが廃止となり、それ以降コミュニティバス「クローバーバス」がNPO法人

「中越防災フロンティア」により運行されている。このバスが地域の足としての役割を担っており、山古志小中学校への通学手段としても利用されている。

山古志地区では農業が盛んであり多種多様な野菜が生産されている。各地域が直売所を設けているが、それぞれの直売所を取りまとめる拠点が存在しないため、野菜の集荷や地域全体の活性化等が課題である。

3. 方法

(1) 自動運転サービス実証実験の計画

2018年11月と2019年3月に2回地域実験協議会を開催し、新潟県、長岡市、警察署、地元代表、有識者等による協議で自動運転の実験計画を作成した。また、地元協議も複数回行い、地元の意見を実験計画に反映させた。協議の結果下記の項目について実証実験を実施することが決定した。

a) 物流の確保

自動運転車により地元野菜を集荷、調理場である「おらたる」へ運搬し弁当を作る。作った弁当を地元の高齢者へ宅配する。さらに宅配サービスにすることで独居高齢者の見守りを実施する。

b) 観光支援

山古志を訪れた観光客のアルパカ牧場への移動支援として、「おらたる」に自家用車を駐車して自動運転車に乗車（パーク＆ライド）するというもので、特にアルパカ牧場は駐車場が少なく、周辺道路が狭小なため、パーク＆ライドによりアクセス性・安全性の向上を期待する。また、「おらたる」には毎年3万人以上の来館者があるため、本実験によりアルパカ牧場への来訪を促進する狙いがある。

c) 生活の足の確保

高齢者が利用する診療所、山古志小中学校生徒が利用する児童館への移動を自動運転車で支援する。

d) 道路交通の検証

操作介入状況等の集計を行うために車載カメラによる撮影と不具合事象等の発生日時を記録する。その記録より発生日時を突き合わせて状況把握及び要因推定を行う。

e) 社会受容性の評価

社会受容性とは企業・施設・新技術などが地域社会や国民の理解・賛同を得て受け入れられることであるが、本実験で評価するのは地域に提供する「自動運転サービス」の社会受容性、「自動運転」自体の社会受容性を本実証実験での「社会受容性」とする。実証実験及び実験前後のアンケート

調査結果より評価を行う。

f) ビジネスモデル検討

実証実験及び実験前後のアンケート調査結果より、図-2のビジネスモデルの実用性について検討を行う。

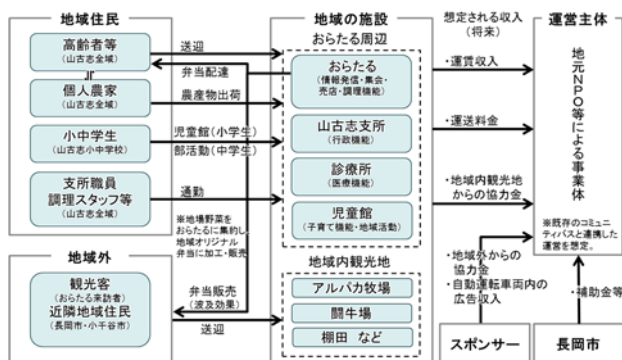


図-2 ビジネスモデル

(2) 実証実験ルート

「おらたる」を拠点として、油夫（ゆぶ）地区、山古志小中学校、アルパカ牧場を経由して拠点に戻る、総延長約3kmのルートで実施した。

運行便の設定に関しては、個々のニーズの移動需要が少ないため、多様なニーズに対応できるよう複数の目的に対応できる便設定を行った。運行シナリオ概念図を図-3に示す。



図-3 運行シナリオ概念図

(3) 自動運転の概要

本実証実験ではヤマハ発動機株式会社が開発した車両のうち、人の移動を目的とした6人乗り車両、野菜・弁当を運ぶ牽引車のついた4人乗り車両の2台を使用した。（図-4）

自動走行システムは電磁誘導式を取り入れ、道路

の舗装に埋設した電磁誘導線の上を車両が進むものである。車両の動作制御は、舗装に埋設したradio frequency identifierタグ（以下RFIDタグ）を車両に付いているRFIDリーダーで読み取り、停止やウィンカーなどの制御をおこなう。なお、緊急時等については手動介入により安全性を確保した。



図-4 6人乗り（左），4人乗り＋牽引車（右）

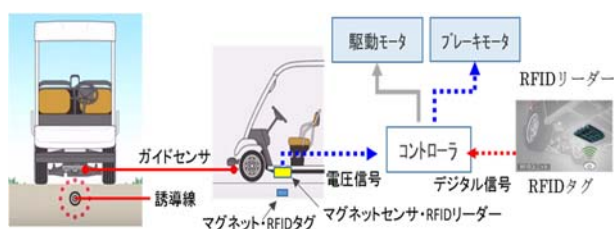


図-5 自動運転メカニズム

(4) 安全対策の計画

安全対策として、自動運転車両の周知として注意喚起看板の設置、及び速度差による追突防止として後方警戒車を設置した。また、実験ルート流入部での周知として、安全マップを配布、そして社会実装を見据えた安全対策として、油夫地区内に回転灯を用いた安全施設の設置を計画した。



図-6 安全マップの配布（左），回転灯（右）

4. 実証実験結果と考察

(1) 物流の確保（野菜の集荷，弁当の配達）

生産者による野菜の集荷からNPOによる「おらたる」内での販売、または宅配弁当への活用といったビジネスモデルを実施することができた。また、野菜作りに生きがいを感じておられる地域の方の支援をすることができた。

課題として“産直”機能（生産者・出荷物管理等）をNPO側で強化する必要があること、そして時期により保冷箱などを用いて、食品衛生上の配慮が必要である。また、弁当以外の購買品の同時配達など行うことができれば、高齢者の移動販売を兼ねるだけでなく、その売り上げを運営資金に充てることができる等のメリットが考えられる。



図-7 野菜の出荷（左），弁当受渡（右）の様子

(2) 観光支援

今回の実験では乗車モニターを募ったが、繁忙期では「おらたる」からのパークアンドライドの必要性が伺えた。またアルパカ牧場側との協力体制を確立できた。

課題として繁忙期の路上駐車による自動運転車両への影響が懸念される。移動途中の観光振興策（車内映像等）の工夫や、観光者への周知（パーク&ライド）を検討する必要がある。

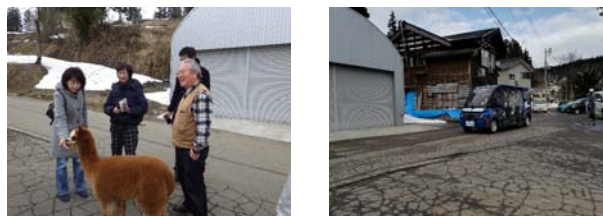


図-8 アルパカ牧場観光の様子

(3) 生活の足の確保（診療所への移動支援）

自動車免許を保有していない、あるいは運転に不安な高齢者の診療所への移動が支援できた。

課題として診療所以外の定期的に利用する施設（郵便局、床屋、商店等）への立ち寄りルート、おらたる周辺以外のルートなど、ニーズの発掘と拡張性の検討を推進することが望ましいと考える。



図-9 地域住民利用の様子

(4) 生活の足の確保（児童館、体育館へ移動支援）

歩道の無い区間の徒歩移動に比べ安全を確保することができた。

課題として利用希望者全員を運送することができない可能性が高いため、車両の大型化が求められる。また座席へのシートベルト設置など車両側の安全対策及び、荷台スペースが小さいため、荷物が多い場合の対応が必要である。



図-10 小・中学生の移動支援の様子

(5) 道路交通の検証

対向車、急勾配、狭小区間、駐車場内の走行は問題なく走行することができた。

課題として自動運転車を一般車が追い越す際に事故を起こすリスクを考えなければならない。また、安全管理の水準を一般化させるための工夫・対策を検討する必要がある。



図-11 一般車とのすれ違いの様子

(6) 社会受容性

a) 山古志地域における自動運転車の導入受容性

自動運転車導入の賛否についてアンケート調査をおこなったところ、乗車モニターの過半数が肯定的な回答であったため、山古志地域における導入の受容性があることが伺える。また、乗車モニターと近隣住民を比較すると実際に乗車したモニターの方が肯定的な回答が多いため、乗車することにより、肯定的な意見になることが考えられる。

自動運転車の乗り心地について 4 割が肯定的であり、6 割が否定的な意見であった。否定的な意見として、車両の揺れに関する意見が最も多く、今後車両の揺れを低減する解決策を考えなければならない。

b) 自動運転車が地域内を走行することの受容性

近隣住民の 3 割が交通の不案を感じ、4 割がどちらともいえないという回答、そして残りの 3 割は

不案と感じていないという回答であった。不案を感じる理由としては、走行速度が遅いこと、追い越しの難しさが理由であった。

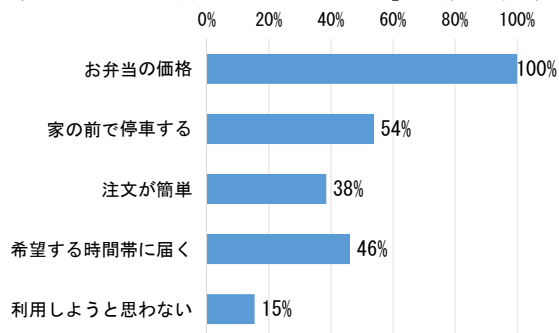
(7) ビジネスモデル検討

a) 実証実験についてのアンケート調査結果

普段地域の直売所に出荷していない人が今回の実験に協力的であり、ビジネスモデルを確立するための参考の 1 つと考えられる。また、今回の実験から集荷を 1 日 2 回行うのが良いということがわかった。

お弁当の宅配で求められるのは、お弁当の価格であり、アンケート調査の結果その平均額は 480 円であった(配達サービス込)。

表-1 「宅配弁当に求めること」の調査結果



b) 検証結果を踏まえたビジネスモデルの検討

ビジネスモデルを実験関係者へのヒヤリング、アンケート調査結果を踏まえて試算した結果、収入試算額より支出試算額の方が大きくなることがわかった。そのため、運営をするためには収入の増加や補助金等で補う必要がある。

5. まとめ

1 週間の自動運転サービス実証実験の結果より、山古志地区のビジネスモデルの課題・改善点を多数見つけることができた。また、実証実験後のアンケート調査で乗車モニターの過半数が肯定的な回答であったため、地域住民が自動運転サービスを受け入れられる可能性が高いといえる。そしてこのビジネスモデル実現させるためにも、自動運転技術のさらなる進歩を期待する。

謝辞：本論文に記載した調査・計画の実施にあたり、多くの関係機関の皆様方にご協力頂きました。ここに深く感謝申し上げます。

中小河川の災害復旧における 地域合意形成について ～模型実験等を活用した復旧河道の見える化～

上杉 幸輔¹・古賀 満¹・坂井 靖幸¹

¹筑後川河川事務所 九州北部豪雨復興出張所

(〒838-1511 福岡県朝倉市杷木池田483番地1 朝倉市役所杷木支所3階)

平成29年7月九州北部豪雨により筑後川右岸流域では多数の人的被害や家屋被害が生じた。その中でも赤谷川流域は被害が甚大であったため、権限代行制度を適用した災害復旧工事に着手している。平成30年5月末で概ね応急復旧が完了し、順次復旧の計画について住民説明を行い、工事に着手している。住民説明においては、地域の不安解消及び合意形成のため、模型実験等を活用し復旧河道の見える化を図っている。地域住民と地域全体の復興のイメージを共有しながら、地域の安全、安心に向けた災害復旧を進めているところである。

キーワード 九州北部豪雨, 模型実験, 見える化, VR

1. はじめに

平成29年7月5日の昼頃から夜にかけて、九州北部の福岡県から大分県に強い雨域がかかり、短時間に記録的な雨量を降らせ、特に朝倉市から日田市北部においては観測史上最大の雨量であった。この九州北部豪雨により、同時多発的に斜面崩壊が発生し、大量の土砂や流木が流下した。このため、福岡県の管理河川である赤谷川流域や白木谷川流域等の筑後川右岸流域で多数の人的被害や家屋被害が生じた。特に、被害が甚大であった赤谷川及び乙石川、大山川について、福岡県知事の要請を受け、「権限代行制度」を全国で初めて適用し、福岡県に代わって河川災害復旧工事を実施することとなった。

さらに、赤谷川流域は斜面崩壊が特に多く発生しているため、溪流や河道に大量の不安定土砂や流木が堆積している。このため、これら土砂等の再移動による二次災害発生を防止するため、同じく福岡県知事からの要望を受け、河道整備と一体的に災害対策を進めるよう、国による砂防事業を実施しているところである。

赤谷川流域において、応急復旧が完了した今日、復旧河道の計画について模型実験等を活用し、地域の安全・安心に向けた災害復旧を進めているところであり、本稿においては、その内容について現状を報告する。

2. 平成29年7月九州北部豪雨の概要

平成29年7月5日、朝鮮半島から中国地方に伸びた梅雨前線の南下に伴い、前線に向かって南から温かく湿った空気が次々と流れ込み、バックビルディング型の線状降水帯が形成され、短時間に記録的な雨量を観測した。

この豪雨により、小石原川（福岡県朝倉市）から花月川（大分県日田市）までの筑後川右岸流域において、死者40人、行方不明者2人、全壊家屋約300戸、半壊約1,100戸、床上浸水約180戸、床下浸水約1,600戸（2018年1月16日時点）の被害が発生した。このように人的被害を含む甚大な被害が発生した要因としては、河床勾配が急で幅の狭い谷底平野を形成する中小河川において、豪雨に伴い斜面崩壊が同時多発的に発生し、大量の崩壊土砂と流木が下流域まで流出したことが挙げられる。これらの土砂と流木は、赤谷川、乙石川の河道を埋め尽くし、民家等を破壊しながら宅地や農地等に堆積し被害を拡大させた。

3. 赤谷川等の災害復旧工事

(1) 応急復旧工事

防災直後は、土砂や流木が河道内を埋め尽くしており、次期出水に耐えられない上に、周辺の排水施設も機能していない状況であった。このため、家庭排水や雨水も排

水できず、住民の暮らしは非常に危険な状況にあった。そこで、流木の撤去、堆積土砂の掘削等で排水機能を復活させること、通常の雨程度であれば流下させることのできる河道断面を確保し、住民の最低限の日常生活を取り戻すことを最優先に考え復旧にあたった。

被災前河道と同程度の断面の確保、土砂止め工の整備、大型土のうや袋詰玉石の設置による家屋等の保護、流路の安定化等の応急的な復旧工事は、発災から約11ヶ月後の平成30年5月末で概ね完了した。

(2) 復旧工事

赤谷川流域の復旧工事は、大きく原形復旧区間と改良復旧区間に分けられる。原形復旧は赤谷川の上流域、大山川の中上流域を対象としている。これらの区間の工事は、主に河床洗掘や土砂の吸出しを受け被災した護岸や落差工等を、元の位置に復旧するものである。現在、順次工事に着手し、復旧を進めているところである（写真-1）。

改良復旧は、赤谷川と大山川の上記以外の区間および乙石川を対象としている。主に、河道の拡幅、河床勾配の是正、湾曲部の解消、河道法線の是正等を実施し、再度災害の防止を図ることとしている。赤谷川下流の東林田地区は、出水時に河道埋塞を起こし、大量の土砂とともに洪水が住宅地を流下した。応急復旧においては、この流下した部分を仮河道として整備したが、改良復旧においても、この仮河道をベースとして掘削、護岸整備等を実施し新河道を整備する方針としている（写真-2）。乙石川は特に河床勾配が急であることから、河道拡幅、法線是正等と併せて落差工の設置により勾配を是正する方針である。その他、朝倉市の農地改良復旧事業と併せた宅地農地の嵩上げなども複合的に実施することで、一体的に赤谷川流域の治水安全度を向上させる。一方、このような改良復旧計画の中で、洪水流の流れ、外力の働き方等の想定が極めて難しい地点が、赤谷川・乙石川・小河内川の三川合流部であり（写真-3、写真-4）、本区間において模型実験を実施している。

4. 模型実験について

(1) 模型実験の概要

a) 目的

平成29年7月の豪雨で被害の大きかった乙石川合流点周辺は、大きな湾曲箇所があり、急勾配で流速の速い3河川（赤谷川・乙石川・小河内川）が近接して合流しているため、複雑な流れが発生すると考えられる。そのため、洪水の安定した流下と局所的な土砂堆積を是正する観点から、乙石川及び小河内川の赤谷川へのスムーズな合流形状について、机上の検討と併せて模型実験により確認を行い、最適な河道法線、縦横断面形状を決定することを目的とする。



写真-1 原形復旧の様子



写真-2 東林田地区



写真-3 三川合流部

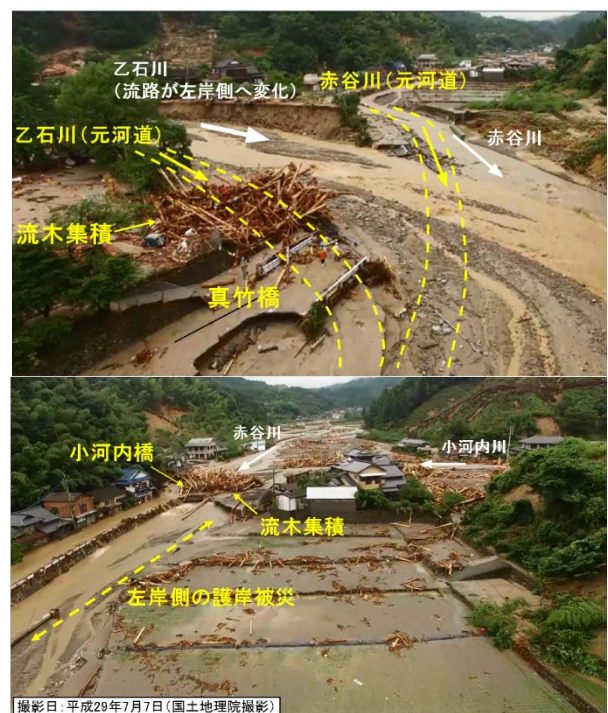


写真-4 乙石川（上）・小河内川（下）合流部の被災状況

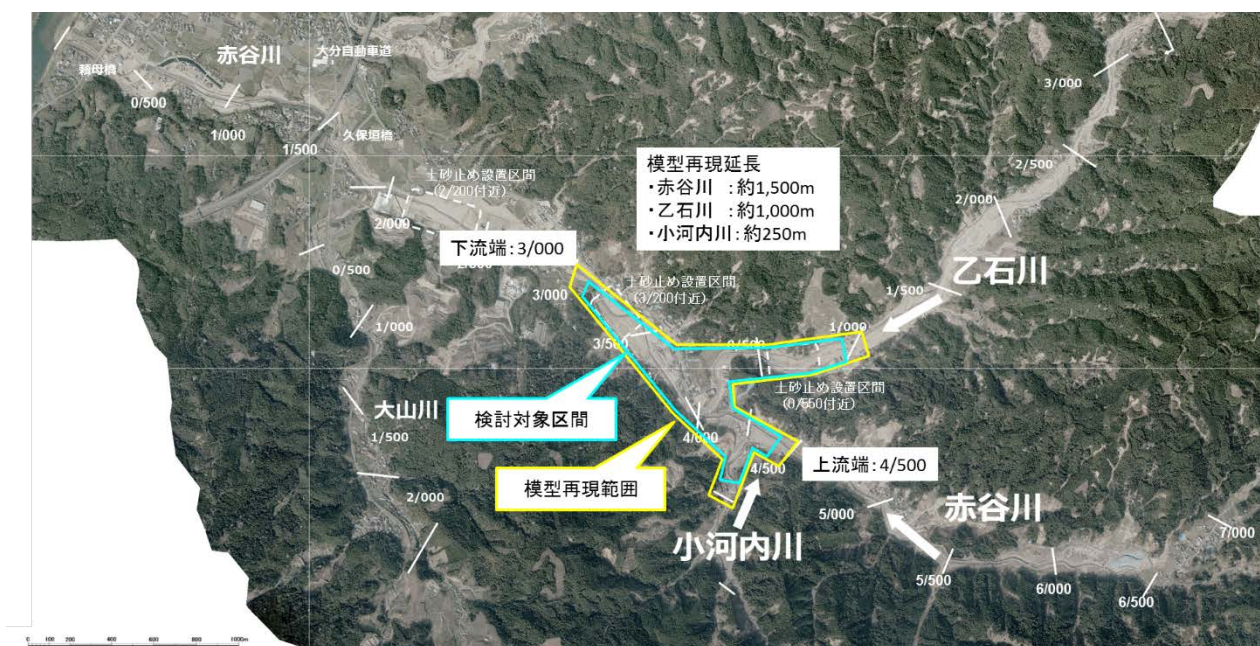


図-1 模型対象区間



写真-5 被災前河道 (左) と計画河道 (右) の模型

b) 対象区間と当時の被災状況

模型実験の対象区間は、赤谷川：3k000～4/500，乙石川：合流点～0k900，小河内川：合流点～0k100である（図-1，写真-5）。この区間では，以下に示す様々な被害が発生した。①赤谷川上流，乙石川，小河内川から大量の土砂や流木が流下してきたことで，乙石川合流後の区間で河道が埋塞。②乙石川合流点の真竹橋，小河内川合流点直下流の小河内橋の流木集積により河道が閉塞し，流路が変更（写真-4）。③乙石川合流部の斜面浸食（写真-3）。④小河内川合流部の護岸の被災（写真-4）。⑤松末小学校周辺の護岸の被災。このように，当該区間は非常に複雑な流れが発生し，被害が拡大したと想定され，計画河道において水理計算では表現できない実際の流れを確認できるよう模型実験を実施する必要があると考えた。

c) 模型実験の着眼点

模型実験にあたって，明らかにしたい事象を以下のとおり整理した。

①整備後の河道による効果

被災前河道における氾濫状況と水理計算結果等で検討

した計画河道での流下状況を比較する。

②支川の合流角度による影響

合流部において上流部への背水による水位上昇や偏流の助長の程度，有無を確認する。

③乙石川湾曲部による影響

水位上昇，水衝部の高流速化，流速の低減・土砂堆積による本川への負担軽減等を確認する。

④両支川の近距離合流による影響

水位上昇，土砂堆積の助長について確認する。

⑤水流の不安定化

常斜流の混在によるうねりの発生状況を確認する。

⑥複断面形状との接合付近の流況

単断面形状から複断面形状に切り替わる区間の流況変化を確認する。

主に，以上の観点に着目して模型実験を実施することとした。

d) 実験模型の諸元

実験模型の諸元は，表-1（次頁）に示す通りである。模型の縮尺1/30は各諸元の制約条件を考慮して選定した。まず，河道の最小水深について，水の粘性の影響を無視

表-1 模型縮尺と各諸元

項目	単位	現地	縮尺(1/N)				
			20	30	40	50	60
再現区間	m	1,500	75.00	50.00	37.50	30.00	25.00
河道の最小水深	m	1.5	0.075	0.05	0.038	0.03	0.025
最大河幅	m	20.9	1.045	0.697	0.523	0.418	0.348
計画流量(下流端)	m ³ /s	260	0.145	0.053	0.026	0.015	0.009
被災流量(下流端)	m ³ /s	400	0.22	0.081	0.04	0.023	0.014
乙石川平均粒径	mm	5.0	0.25	0.17	0.13	0.1	0.08
今次災害での堆積土砂粒径	mm	2.0	0.10	0.07	0.05	0.04	0.03
粗度係数		0.032	0.019	0.0182	0.0173	0.0167	0.0162
流れのレイノルズ数		3104569	106,172	57,793	37,538	26,880	20,433

※赤字: 制約条件不足



写真-6 粗度調整の様子

できる最低水深は0.03m以上であるが、模型で1cm程度の突起を用いて粗度調整する場合、突起の5倍程度の水深は必要となることから、0.05m以上とした。次に、流量は再現精度が確保できる最小流量0.01m³/s以上とした。また、給砂の際に必要な土砂の粒径に関して、容易に入手が可能な砂(8号珪砂)の粒径0.07~0.08mm以上とした。最後に、模型の製作場所は、地域の方にも確認していただくため、筑後川河川事務所の資材置き場を選定した。そのため、施設規模で制約がかかり、量水槽、帰還水路の設置範囲も考慮すると、この土地では最大50mの模型に抑える必要があった。これら制約条件を満足する縮尺1/30を採用し、模型を製作した。なお、粗度係数(模型材料となるモルタルの粗度係数0.013以上)、レイノルズ数(粘性の影響なく乱流が形成できる約2,000以上)はいずれの縮尺においても満足している。

河床は、水理特性を詳細に把握するため、水面変動(うねり)、高流速域、落差工周辺の局所流れ等の水理現象を確認することに適している固定床とした。粗度は計画の河床を再現できるよう次のとおり調整した。模型河床はモルタル製のため粗度係数が0.013(現地換算で0.0229)程度である。だが、これは計画の河床の粗度係数(0.035~0.042)を満足できていない。そこで、模型河床に小石を任意の密度で設置し、計画の河床の粗度係数を再現することとした。設置する小石の密度の調整にあたっては、実験模型とは別に、赤谷川、乙石川の代表断面を直線水路で再現した模型を作成した(写真-6)。この模型を用いて調整した密度、粗度の大きさで、実験模型の河床も粗度付けし、計画の河床を再現した。

表-2 実験ケースの概要

実験ケース	河道形状	実験項目	対象流量	実験条件
ケース1	被災前河道	水理量	計画流量、被災流量	定常流通水
ケース2	計画河道(原案)	水理量	計画流量、被災流量	定常流通水
		土砂堆積状況	計画流量	ハイドロ通水
ケース3	改良案	水理量	計画流量	定常流通水
ケース4	最終案形状	水理量	計画流量、被災流量	定常流通水
		土砂堆積状況	計画流量	ハイドロ通水

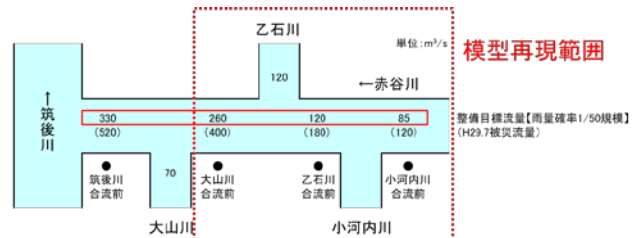
※(乙石川合流後)計画流量260m³/s、被災流量400m³/s

図-2 流量配分図

(2) 実験ケース

実験は、以下に示すとおり、大きく4つのケースに分けて実施した(表-2)。現在、ケース4を実施し、地域の方へ最良案をお示しし、法線等にご理解を得たところである。なお、図-2に示すとおり、乙石川合流後で計画流量が260m³/s、平成29年7月の被災流量が400m³/sである。

a) ケース1(被災前河道の洪水流下・氾濫特性把握)

整備後の効果を確認するために、まず被災前の河道を再現することで、平成29年7月の洪水がどのように流下し氾濫したのか、その特性を把握する。被災前河道に計画流量、被災流量を流し、水位縦断、流速分布の計測及び流況、氾濫状況の観察を行う。土砂流木抜きの実水条件で、主に、乙石川湾曲部の水位、支川合流点水位の計測、氾濫開始流量、氾濫位置の把握を目的とする。

b) ケース2（水理解析により設定した河道の効果検証と問題点把握）

実験前に水理解析等の結果を用いて設定した計画河道が、実現象において洪水を安全に流下させ得る断面や合流点の形状となっているのかを把握する。主に、乙石川湾曲部の水位、支川合流点の水位、流速、土砂堆積位置、氾濫箇所の有無等を計測、観察し、被災前河道の結果と比較することで、計画河道の効果及び問題点を把握することを目的とする。

c) ケース3（改良案の効果検証と問題点把握）

ケース2で把握した問題点に対して、改良案を検討し、模型の改造を行う。改良後の河道で計画流量を流下させ、特にケース2で抽出した問題点が改善されているか確認し、必要であれば改良案の検討・模型改造・実験をくり返し実施する。

d) ケース4（最良案の水理特性把握）

ケース3の改良案の検討により、洪水を安全に流下させ得る最良案が決定した後に、それを最終案の河道形状として、計画流量及び被災流量を流下させる。その結果から、乙石川湾曲部の水位、支川合流点の水位、土砂堆積位置、氾濫箇所の有無を把握し、被災前河道との比較を行うことで、三川合流部の改修効果を明確にする。

(3) 実験結果

本稿においては、被災前河道、計画河道及び改良後の河道に対して、計画流量 $260\text{m}^3/\text{s}$ （乙石川合流後の流量）を流下させた場合の結果について報告する。

a) 被災前河道

計画流量に対し、越水や反転流・死水域の形成が各所でみられた。赤谷川では主に、堰下流で跳水が発生することによる越水、湾曲外湾水衝部からのもどりによる水位上昇による越水、偏流が顕著となることによる主流線部対岸での死水域形成等が確認された。乙石川では、偏流の発生による主流線部での越水が確認された。特に合流前の湾曲部では、遠心力と二次流の作用により外湾が越水し、さらにそのもどりによって対岸が越水した。小河内川では赤谷川との合流部付近で越水が確認された（写真-7）。また、乙石川、赤谷川合流部では、堰直下で跳水が発生し、流速低下に伴う水位上昇により合流部対岸が顕著に水位上昇、かつ合流部直下で反転流が形成されるといった非常に複雑な流れが確認された（写真-8）。

b) 計画河道

被災前河道に比べ、湾曲部を是正した法線となっているため越水する箇所は減少した。しかし、赤谷川では単断面から複断面への変化点で水面変動が大きく越流が見られた。また、赤谷川・小河内川合流部において、赤谷川に設置した落差工下流で発生した跳水により、その下流で水位が上昇した。そのため、小河内川の出発水位が高くなり、背水の影響で小河内川の下流部で越水が発生した（写真-7）。さらに、赤谷川・乙石川合流部では、



写真-7 赤谷川・小河内川合流点

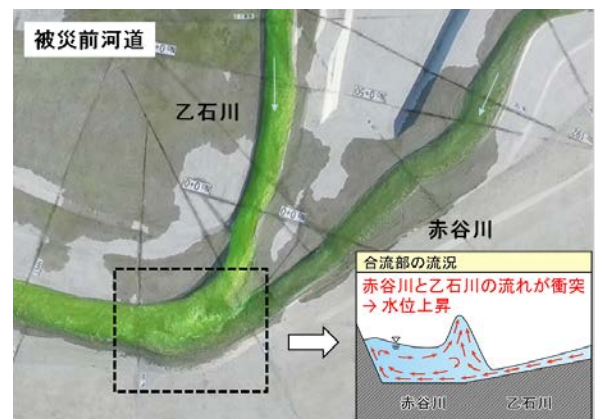


写真-8 赤谷川・乙石川合流点



写真-9 模型を用いた説明の様子

乙石川からの高流速の流入により赤谷川で水位が上昇、かつ死水域の形成も確認された（写真-8）。このように、被災前の河道と比べ改善はされたものの、水理解析では分かりえなかった課題も見つかった。

c) 改良案の河道

当初の計画河道で抽出された課題に対し、支川の合流線形、落差工の位置や高さ、堤内地盤高の見直し等の検討を行った改良案での実験の結果、水位の上昇、越水等は抑えられ、改善がみられた。ただし、一部で課題は残っているため、現在も更なる改良案を検討しているところである。

5. 復旧河道の見える化

(1) 模型を活用した地域の方々への説明

これまで、地域の方々に対して、計画の法線や断面等を説明する際には、図面を使つての説明であった。そのため、およその河道の位置は分かるものの、周囲との位置関係や地盤からの高さ関係などが詳しく伝わらないこともあった。平成30年10月には、計画の法線に沿って現地に幅杭を設置し、実際に現地を地域の方と歩きながらの法線の説明も行ったが、やはり川の流れに対して伝わりづらい部分が残った。

そこで、平成31年3月30日に、初めて模型を活用した地域の方々への説明を行った（写真-9）。約40名の地域の方が参加した当説明会では、計画河道（前述ケース2）に計画流量、被災流量を流下させ、計画河道についての説明を行った。見学した住民からは、「どこにどのような川ができるのかイメージができた」「洪水の流れの速さが伝わった」などの意見が挙がった。これこそが模型の利点だと考えられる。直感的に川の位置や広さ、深さなどが伝わりやすいのはもちろんだが、流れの速さ（洪水の恐ろしさ）を感じてもらえたのもポイントではないかと思う。計画流量や被災流量が何 m^3/s と言われても、我々も含めイメージするのは難しいのではないかな。特に赤谷川流域は河床勾配が急で、流速が非常に速くなる。被災前の河道に比べ安全に流れるようになっていること



写真-10 VRで見る東林田復旧河道の様子

を知ってもらうのも大事だが、早期避難を促すという観点からは、危険性が伝わることも大事だと思う。もちろん伝わりやすいからこそ、地域からは要望等もいくつか出てくる。このような要望等も踏まえつつ、計画河道の改良案を検討し、模型の改造、実験を繰り返し最良案を検討してきた。令和元年8月17日には、法線等を確定させた最終案で、地域の方へ2度目の説明会を実施し、地域の方からご理解を得たところである。

(2) VRを活用した復旧河道の見える化

見える化のもう一つの事例とし、河道閉塞を起こし、ショートカットするように洪水が流下した東林田地区において、現在計画河道の検討と併せてVR動画も作成している（写真-10）。これも復旧河道の見える化の一つである。若干の法線は正を行う他の地区と比べ、東林田地区は現在の計画では被災前と比べ大きく様子が変わることになる。たとえば、前述したショートカット河道や、一部新たにできる有堤区間である。以前はなかった川が家の前にくことになる方もいる。地区がどのような風景になるのかイメージするのは容易ではない。そこで、模型同様、直感的にイメージしてもらえよう、VRを作成している。これを用いれば、周囲を自分の目線で360°見渡すことができ、前後に移動することも可能である。家からどのくらい離れているのか、川の深さはどうなっているのかなど、イメージしやすくなると考えられる。現在は作成途中であり、まだ活用はできていないが、今後説明会等での活用も考えていく。

6. おわりに

被災から2年が過ぎ、復旧が進む赤谷川流域において、一層地域の方々のご理解、そして信頼を得ることが重要となってくる。これまで同様真摯に向き合い丁寧な説明を心がけるとともに、地域の方々も明確に将来の地域の姿を思い浮かべた状態で合意形成を図れるよう、模型やVR等を活用し、地域の安全・安心に向けた災害復旧計画を進めていく所存である。