

本四技報

HONSHI TECHNICAL REPORT

Vol.49 No.142 2024.9

本州四国連絡高速道路株式会社編集

EDITED BY HONSHU-SHIKOKU BRIDGE EXPRESSWAY COMPANY LIMITED

本四技報 第142号 目次

Contents of Honshi Technical Report No.142

【巻頭言】

技術支援室、発足しました……………林 昌弘… 1
The Technical Service Center has been established

【技術論文】

海峡部橋梁路面上の強風特性調査……………花井 拓・本郷誠人… 2
Survey of Strong Wind on Road Surface of Long-Span Bridges over Strait

逆走誤検知率低下手法等に関する取組……………入江桃子・長尾和馬・亀谷貴之… 8
Efforts related to methods to reduce wrong-way false detection

舞子トンネル換気設備改修における合理化への取組……………中村将秀・香川 晃・大浦善司…14
Rationalization Efforts in the Maiko Tunnel Ventilating Equipment

脆弱層を有する本線盛土の補強設計施工……………瀧川歩実・木内愛理・小野一樹…20
Retrofit design and construction of the existing embankment with vulnerable layers

【高速道路事業高度化年次報告】

防災・安全業務高度化部会の取組……………山本和弘・弓山茂樹…26
Report of subcommittee for disaster prevention and safety

保全業務高度化部会の取組……………藤田憲二…27
Report of subcommittee for maintenance

交通運用高度化部会の取組……………松谷達也…29
Report of subcommittee for traffic control

ETC・サービス運用高度化部会の取組……………萬城基樹…31
Report of subcommittee for ETC and service

【技術ニュース】

2023年度インフラメンテナンスプロジェクト賞受賞……………花井 拓…32
2023 Infrastructure Maintenance Project Award

第12回 橋梁の維持管理と安全性に関する国際会議 (IABMAS 2024)……………本郷誠人…32
12th International Conference on Bridge Maintenance, Safety and Management (IABMAS 2024)

IABSE シンポジウム マンチェスター 2024……………WANG HONGXIN…33
IABSE Symposium Manchester 2024

国際技術交流会……………町田 陽・山下 洋…34
Technical meeting with Sund & Bælt Holding A/S and CCI Seine Estuaire

【保有特許】

保有特許一覧……………35
List of patents

【文献紹介】

本州四国連絡橋関連技術文献紹介……………37
Technical articles related to Honshu-Shikoku Bridges

海峡部橋梁路面上の強風特性調査

Survey of Strong Wind on Road Surface of Long-Span Bridges over Strait

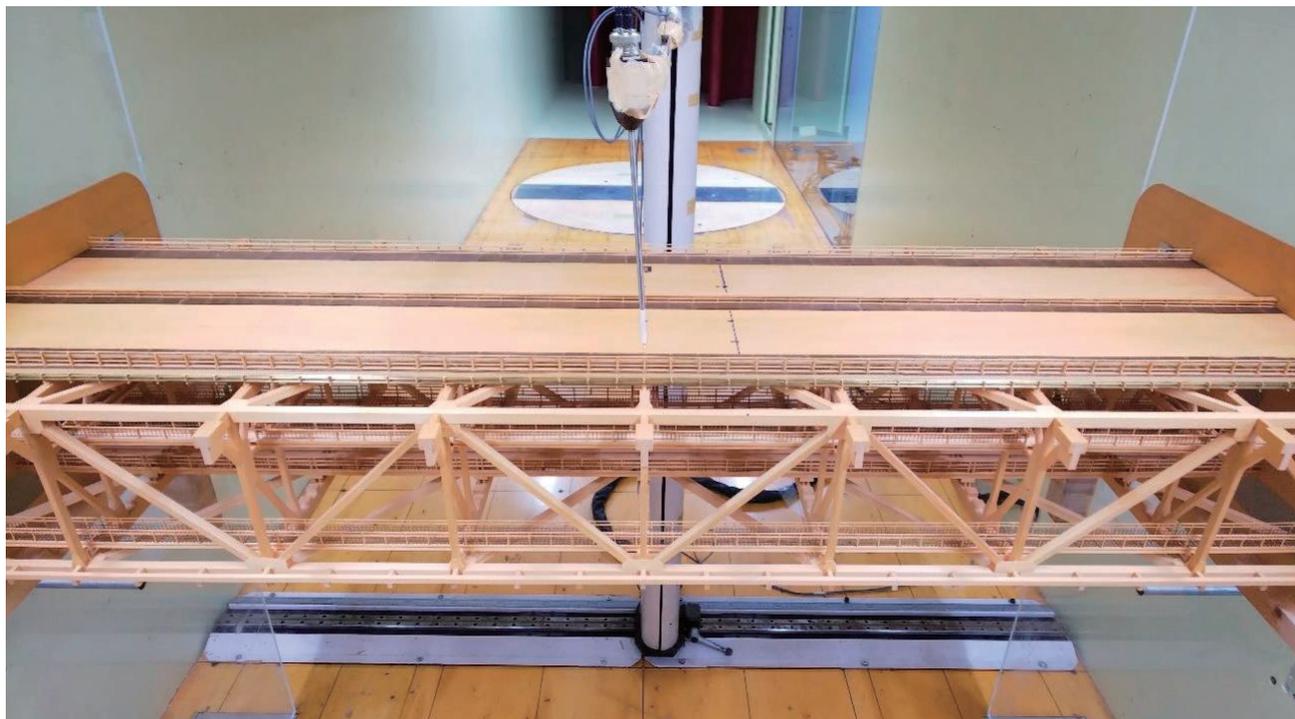


写真-1 風洞試験による風速計測

Photo 1 Wind speed measurement in wind tunnel test



写真-2 風観測用テスト車両

Photo 2 Test vehicle for wind measurement

逆走誤検知率低下手法等に関する取組

Efforts related to methods to reduce wrong-way false detection



写真-3 逆走検知・警告システム 衝突回避情報表示状態

Photo 3 Wrong-way driving detection and warning system (collision warning is indicated)



写真-4 逆走検知・警告システム 近景

Photo 4 Wrong-way driving detection and warning system (Close view)

舞子トンネル換気設備改修における合理化への取組

Rationalization Efforts in the Maiko Tunnel Ventilating Equipment



写真-5 更新後ジェットファン

Photo 5 Replaced jet fan

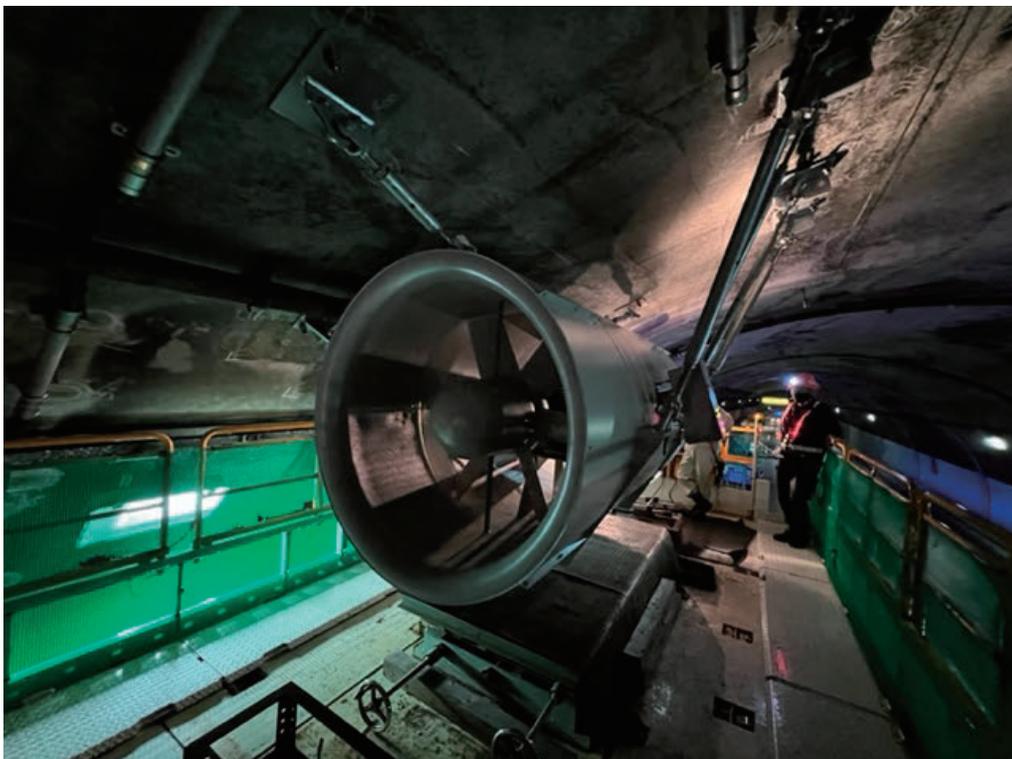


写真-6 更新後ジェットファン 近景

Photo 6 Replaced jet fan

脆弱層を有する本線盛土の補強設計施工

Retrofit design and construction of the existing embankment with vulnerable layers



写真-7 施工箇所全景

Photo 7 Retrofitted embankment



写真-8 GI コラム工法

Photo 8 GI column method

技術支援室，発足しました

The Technical Service Center has been established

技術支援室長 林 昌弘
Masahiro Hayashi

2024年は、西瀬戸自動車道の新尾道大橋・多々羅大橋・来島海峡大橋が完成・供用を始めてから25周年にあたります。この2024年4月1日、技術支援室が新たに発足しました。技術支援室は、これまで長大橋・技術部等で実施していた国内・海外への技術支援・技術協力業務を引き継いで取り組む組織です。

本州四国連絡高速道路株式会社の技術支援・技術協力は、その前身である本州四国連絡橋公団時代から連綿と受け継がれてきたものです。建設省（当時。現在は国土交通省）－JICA（国際協力事業団（当時）。現在は独立行政法人国際協力機構）経由での長期・短期専門家（調査団含む）派遣のほか、技術供与や発注者支援、海峡横断プロジェクト検討等、様々な技術支援・技術協力を実施してきました。その結果、海外に限っても、これまでに長期専門家57名を16か国に、短期専門家等を238名派遣してきました（2023年7月現在）。公団時代には法律の制約があり、人材派遣や技術協力を公団が直接行うことができなかったため、（財）海洋架橋調査会（当時）に一旦出向したうえで派遣しなければならないといったこともありました。現在はそのような制約を受けることもほとんどなく、技術者の派遣や開発した技術の展開に取り組んでいるところです。

さて、わが社が2020年4月に制定した『次世代グランドデザイン』においては、本四高速グループが目指すべき姿の1つとして「長大橋建設プロジェクトにも核として参画できる技術集団であり続ける。」と書かれています。これを技術支援・技術協力業務にあてはめると次の3つの目標を達成することで目指すべき姿に到達できたとみなすことができるでしょう。

- (1) 長大橋の建設・維持管理プロジェクトを請け負える組織になる。
- (2) 長大橋の建設・維持管理に必要な人材を派遣できる組織になる。
- (3) 開発・培ってきた長大橋の建設・維持管理技術を販売・展開できる組織になる。

これら3つの目標を達成し、目指すべき姿「長大橋建設プロジェクトにも核として参画できる技術集団であり続ける。」に到達できるのがいつ頃になるかは正直わかりません。10年後には技術支援・技術協力だけで独立

ちできるような組織体制ができているのでしょうか？

かつて、前田建設工業株式会社が「ファンタジー営業部」を立ち上げ、空想の施設をいくらで請け負えるか試算したことがあるそうです。漫画家永井豪とダイナミックプロ原作のテレビアニメ「マジンガーZ」地下格納庫一式が工期6年5か月、72億円（ただし機械獣の襲撃期間を除く）。同じく松本零士作のSF漫画「銀河鉄道999」メガロポリス中央ステーション銀河超特急発着用高架橋一式が工期3年3か月、37億円（土地代を除く）。他にもいろいろなプロジェクトについて現在も検討を続け（依頼まで来ているそうです）、書籍のみならず2020年には実写映画まで制作しているとのこと。わが社の技術支援室でも、近いうちに「『〇〇国◆◆長大橋プロジェクト』工期▲年、□□億円で請け負います！！」と自信をもって声を上げることができるようになりたいものです。そのためには、優秀な人材が不可欠です。本四高速の将来を担う若者よ、技術支援室にぜひ来られたし！

最後に、技術支援・技術協力を実施していくうえで私が心にとどめている言葉を紹介します。

「何事も成し遂げるまでは不可能と思えるものだ」（“It always seems impossible until it's done.”）

アパルトヘイト撤廃に尽力し、1993年ノーベル平和賞を受賞した南アフリカ共和国の第8代大統領、ネルソン・マンデラ氏の言葉です。これから先、様々な困難が技術支援室の前に立ちはだかってくると思います。ですがこのネルソン・マンデラ氏のように、何があっても何とかするという決意をもって、これからの技術支援・技術協力に本四高速グループ一丸となって取り組んでいきたいと思えます。どうぞ皆様のご協力をよろしくお願い致します。

海峡部橋梁路面上の強風特性調査

Survey of Strong Wind on Road Surface of Long-Span Bridges over Strait

花井 拓 Taku Hanai

長大橋技術部次長
(兼) 長大橋技術部 総括・耐震・耐風課長

本郷 誠人 Masato Hongo

企画部企画課
(前) 長大橋技術センター 防食・耐風グループ

概要

本州四国連絡橋において強風時のより安全かつ効率的な交通管理を行うためには、周辺地形、構造物、風向などの路面上の風況への影響を把握することが重要である。このような影響を把握することを目的として、実際の橋梁において風速計の設置や風速計を設置したテスト車両を走行させることにより強風時の風況調査を行った。また、海峡部橋梁路面上のより詳細な風の分布状況を見るために風洞試験による計測を行った。本報告では、これらの調査の結果についてまとめ、報告を行うものである。

It is important to understand how surrounding terrain, highway structures, and approaching wind affect wind condition on the road surface to conduct safe and efficient traffic control of Honshu-Shikoku Bridges during strong wind. In order to grasp such effect, strong wind condition survey was conducted by installing temporary anemometers and measuring along-bridge wind condition by test vehicle with anemometer mounted on actual bridges. Also, wind tunnel test was conducted to see more precise wind distribution on the road surface of long-span bridges. This paper summarizes result of these studies and report.

1. はじめに

本州四国連絡橋の強風による通行止めは、2010年から2019年の間に40回あり、自然現象による通行止め全体の約6割を占めている(図-1)。特に日本に上陸した台風が5回と多かった2018年は、通行止めが7回と集中するとともに、明石海峡大橋と瀬戸大橋で空荷トラックが横転するなどの事象が発生した。このような背景のもと、強風時におけるより安全かつ効率的な交通管理に役立つことを目的に、瀬戸大橋を対象に海峡部橋梁の路面上における強風特性調査を行った。また、あわせて風洞試験による路面上の風速分布についても計測を行い、実橋での計測結果との比較も行った。

2. 橋面上強風特性調査

風速計、GPS位置計測器等を搭載したテスト車両を走行させて、走行車両に作用する路面上の風速を調査するとともに、橋上に設置した定置風速計による風観測を実施し、橋梁路面上の風況の調査を行った(図-2)。写真-1に計測に用いたテスト車両を示す。路面上から

1.8mの位置となるように風向風速計を搭載し、サンプリング周波数500Hzで計測を行った。定置風速計は、既設の交通管理用風速計(路面上11m)が設置されている、南備讃瀬戸大橋格点10(KP28.7, 4Aから約120m)下り線の照明柱の路面上から1.8m, 9mの位置に設置した(図-3)。テスト車両による瀬戸大橋の橋上における実車走行計測については、今回の調査期間中(2019年11月~2021年7月)、台風接近時及び冬型の気圧配置により強風が予測される日をねらって合計4回、橋上の通行が可能な時間帯に行われた。

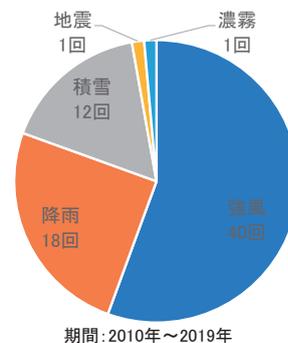


図-1 本州四国連絡橋の自然事象による通行止め実績
Fig.1 Road closure of Honshu-Shikoku Bridges by natural events

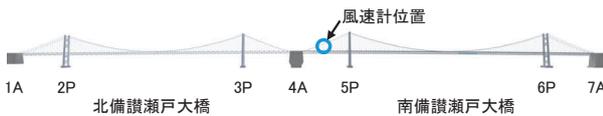
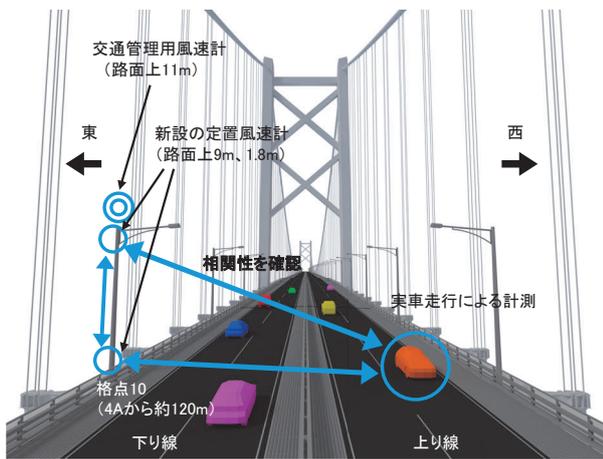


図-2 瀬戸大橋路面上の強風特性調査

Fig.2 Wind survey on road surface of Seto-Ohashi Bridges



写真-1 テスト車両

Photo 1 Test vehicle

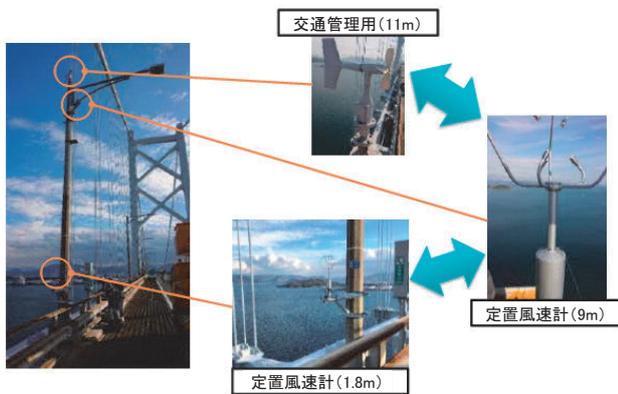


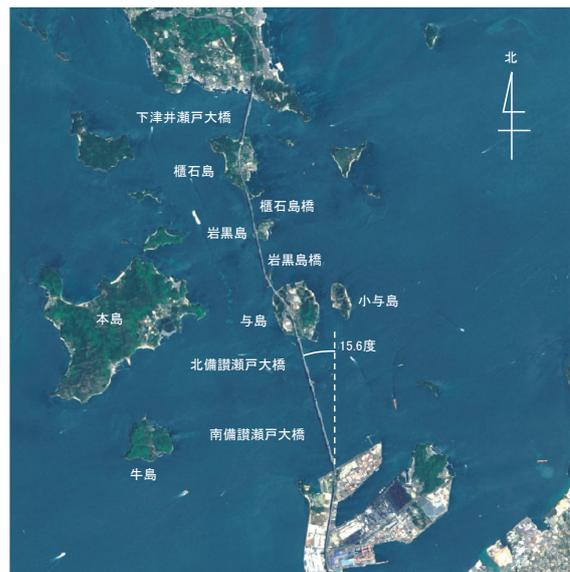
図-3 風速計配置状況

Fig.3 Anemometers

2.1 瀬戸大橋橋上の風況

図-4にテスト車両による瀬戸大橋橋上の実車走行計

測結果の例を示す。(a)は台風の接近に伴う、東寄りの風が卓越したケースで下り線走行で得られたデータ、(b)は季節風により西寄りの風が卓越したケースで上り線走行で得られたデータである。実車走行により得られたデータは図の上部に示した瀬戸大橋の各位置での計測データである。また、図にはあわせて交通管理用風速計で得られたデータ(10分間平均)と定置風速計(路面上9m)で得られたデータ(1秒間平均)も示すが、これらはテスト車両がその位置を通過した時刻における風速計のデータを示している。また、図-5に瀬戸大橋と周辺地形の関係を示す。



地理院地図Vectorを加工して作成

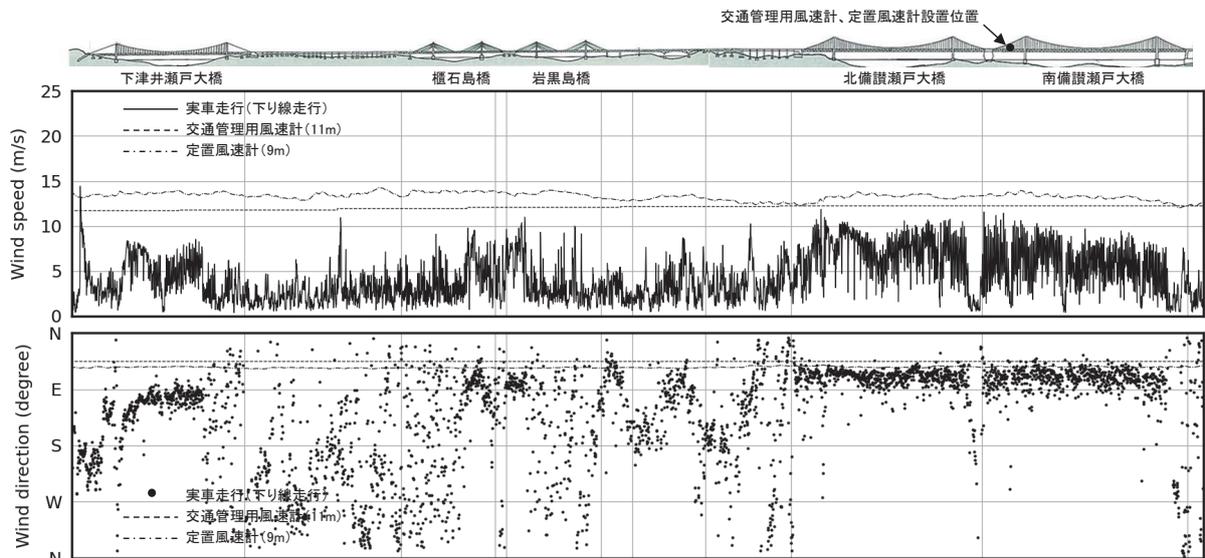
図-5 瀬戸大橋と周辺地形

Fig.5 Seto-Ohashi Bridges and surrounding terrain

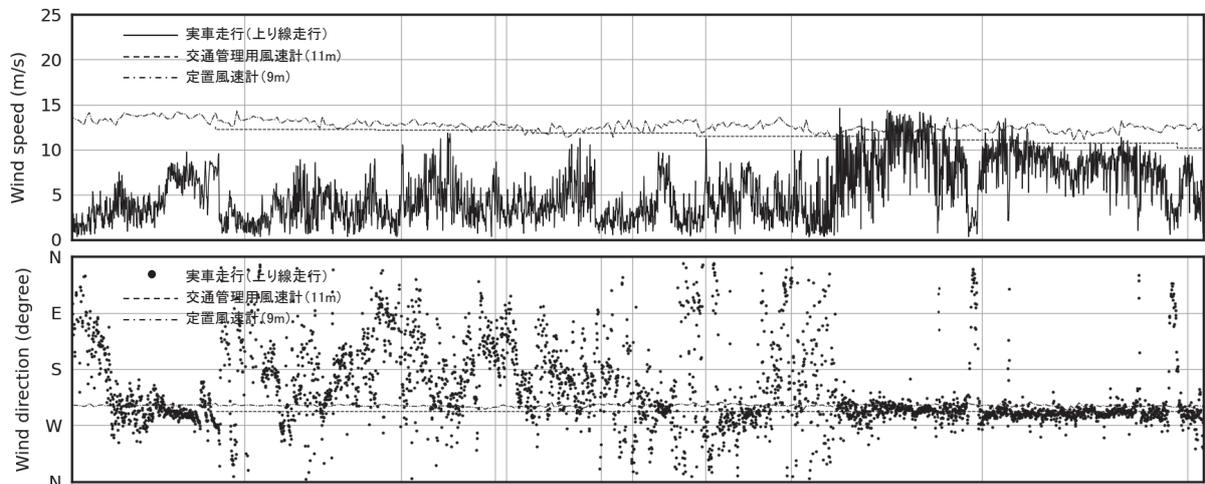
いずれのデータにおいても、開けた海上部である南・北備讃瀬戸大橋の橋上で風速が高まる傾向が見られる。また風向のばらつきについては、吊橋部(下津井瀬戸大橋、南・北備讃瀬戸大橋)では小さいのに対して、その他の箇所においては大きくなっている。これらは、計測が行われた時間内での交通管理用風速計、定置風速計で計測された風速、風向の平均値に大きな変動が無いことから、周辺地形や構造物の影響によるものと考えられる。

また、定置風速計で観測された東寄りの風と西寄りの風を比較すると、東寄り風の方が風速、風向とも変動が小さい(当該時間帯の10分間乱れ強度:東より3~5%、西より6~17%)。定置風速計が東側に設置されているため構造物の影響が出ている可能性もあるが、南・北備讃瀬戸大橋の西側には牛島が存在しているのに対して東側は海上がより開けており、東寄りの風では一様な風が吹いていることも想定される。

また、交通管理用風速計と定置風速計は設置位置が近いこともあるが、高い相関を示している。



(a) 2020年8月26日14時19分～26分



(b) 2021年1月28日19時6分～13分

図-4 瀬戸大橋路面上の風向風速の例

Fig.4 Measured wind data on road surface of Seto-Ohashi Bridges

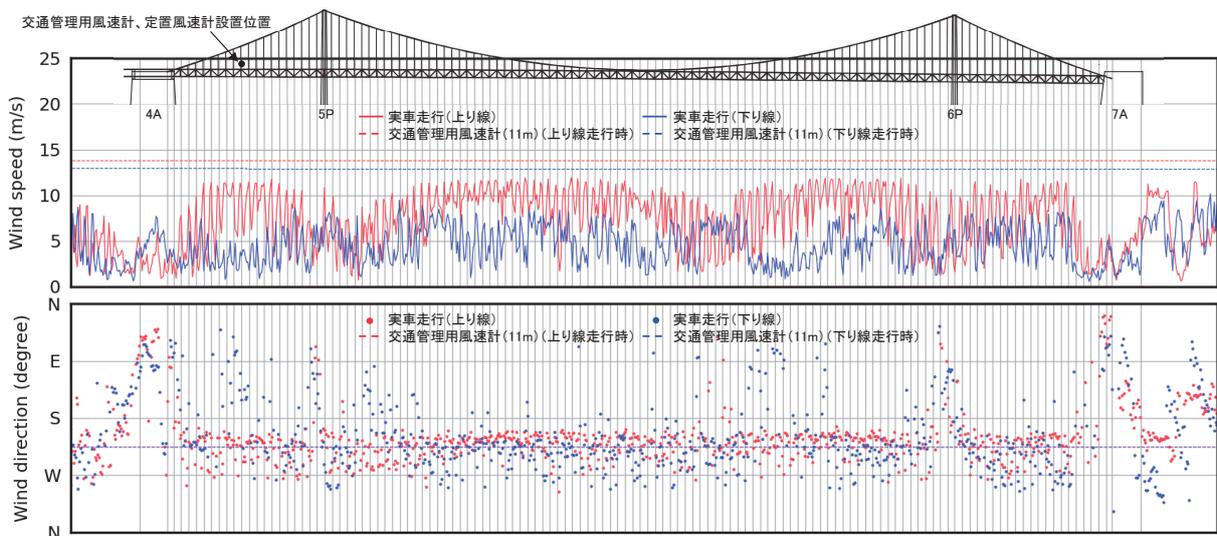


図-6 南備讃瀬戸大橋路面上の風向風速の例 (2020年1月20日15:03～15:23)

Fig.6 Measured wind data on road surface of Minami Bisan Seto-Ohashi Bridge

2.2 吊橋橋上の風況

図-6に南備讃瀬戸大橋テスト走行時の実測データを示す。計測時は、南西からの季節風が卓越する風況であった。比較的短い時間間隔で、上り線と下り線両方での計測を行った。図の赤で示したのが上り線走行時、青で示したのが下り線走行時である。また、破線で示した交通管理用風速計は実車走行時のテスト車両通過時点の観測データで、車両が走行する側にあわせて色分けしている。

図から分かるように、上り線側の風速が下り線側のそれに比べて大きな値を示す傾向にある。同時刻の交通管理用風速計の値はおおむね同程度の値を示していることを考えると、橋体の影響が現れていると考えられる。今回は西寄りの風であり、風上側の上り線に比べると、風下側の下り線で風速が低下していると考えられる。

図にはハンガーロープ位置を示しているが、これらの位置と風速変動には大きな相関が見て取れる。風上側の上り線では変動幅が5m/sを超える大きなものだが、風下側の下り線側ではその変動は小さくなる傾向にある。

風速は、主塔やアンカレイジの位置で急激に低下する傾向が見られる。また、これらの位置では風向も大きく変化するのが見て取れる。

2.3 橋上に設置した定置風速計による計測

図-7に調査期間中に橋上に設置した定置風速計（路面高さ1.8m及び9m）で計測された風速の、橋軸直角方向成分の相関を示す。今回設置した定置風速計は、南備讃瀬戸大橋の下り線側（東側）に設置されており、東風作用時には1.8m及び9mに設置された風速計で計測された風速にほぼ違いは見られないが、西風作用時には、これらの風速計が風下側となるため、9m位置で計測された風速に比べ、1.8m位置では30～50%に低減された風速となっていることが分かった。これは、風上側の桁端からの流れの剥離及び路面上の摩擦等の影響によるものと推察される。

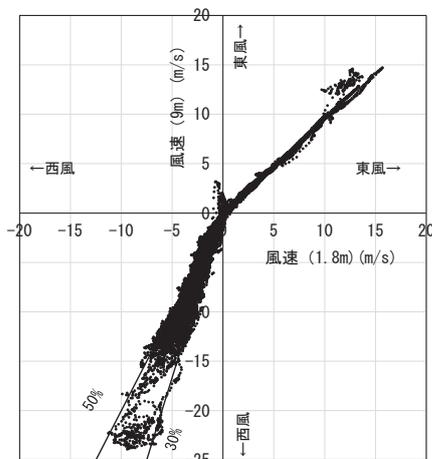


図-7 定置風速計で計測された風速の高さ方向の相関
Fig.7 Correlation of wind speed measured at two different heights

また、図-8は図-7と同じデータのうち、定置風速計（9m）の風速が5m/s以上のものについて、1.8mと9mで計測された風速の比を風向に対してプロットしている。橋軸直角方向西寄りの風では、図-7で示したように風速比が0.3～0.5程度であるが、この比率は風向との相関も見られ、連続的に変化する傾向が見て取れる。図-9は東寄りの風から西寄りの風に遷移する強風が観測された2021年2月15日に定置風速計で計測された風速、風向である。朝7時頃までの東寄りの強風時には風速は高さ方向に変化が無いが、9時頃以降西風に遷移した後は9m位置と1.8m位置の風速に大きな乖離が見られる。

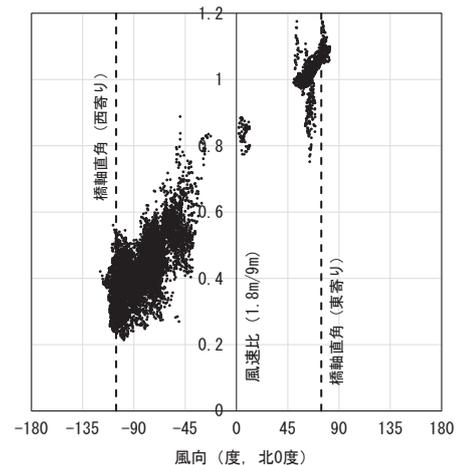


図-8 風向と風速比の関係

Fig.8 Relation between wind direction and wind speed ratio

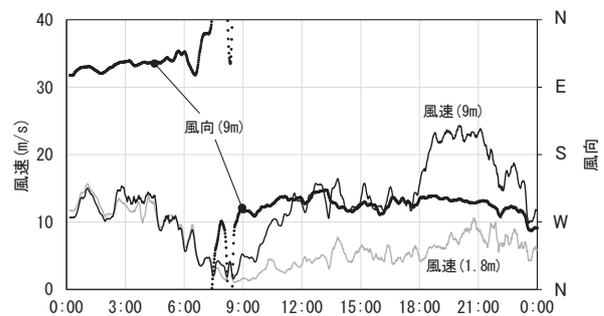


図-9 風向変化による高さ方向の風速の相違

Fig.9 Difference of wind speed by varying wind direction

3. 風洞試験による橋面上の強風特性調査

南備讃瀬戸大橋のトラス補剛桁（主構幅 30m、高さ 13m）の模型（縮尺 1/80）を用い、風洞試験により橋面上の風速を熱線風速計（X型プローブ）によって計測した（写真-2）。模型では、主ケーブルやハンガーロープは再現していない。気流は、一様流および格子乱流（ $I_u=11.5\%$ 、 $I_w=9.6\%$ ）の2種類で、風速は約10m/sとした。計測位置は、横断方向に路肩防護柵、路肩オープングレーチング中央、走行車線中央、追越車線中央、中央分離帯の直上とし、路面から40cm毎に5.2mの高さまでとした。橋軸方向には、約13mおきにハンガーロープ定着部（以下、「定着部」という）が存在するが、この定

着部の路面上風速分布の影響を確認するために、定着部位置と定着部中間位置について計測を行った。1,000Hzでサンプリングを行い、30秒間を2回計測した。

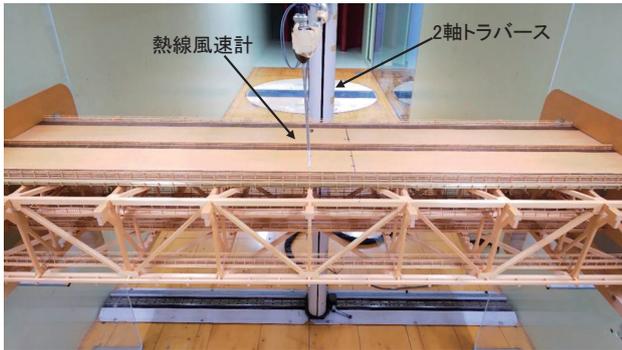


写真-2 風洞試験による風速計測
Photo 2 Wind speed measurement in wind tunnel test

図-10 に一様流中、定着部中間位置のトラス桁断面上の風速分布（接近流との風速比）を示す。風速比1の境界が剥離せん断層に相当すると考えられるが、上流側の桁端、防護柵から剥離した流れが厚みを増しながら下流に流れていることが分かる。風上側走行車線では路面上1.5m~2m程度、風上側追越車線では同2m~2.5m程度、風下側車線では同3m~3.5m程度より下側では風速は接近流速よりも低減されており、同1m以下においては、接近流の8割以下に低減されているのが分かる。

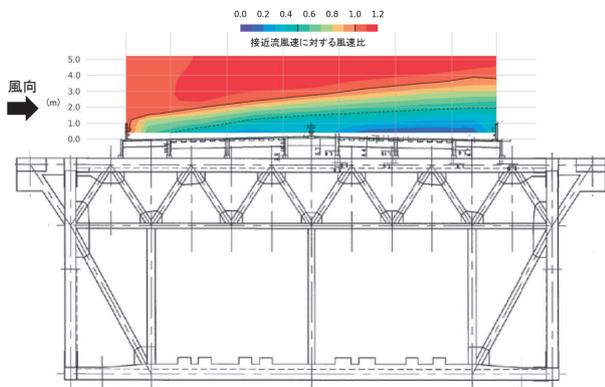


図-10 トラス桁路面上の風速分布
Fig.10 Wind speed distribution on road surface of truss girder

図-11 に一様流・定着部中間部、図-12 に一様流・定着部、図-13 に乱流・定着部中間部の計測結果を示す。また、図には2.で述べた、交通管理用風速計、定置風速計の位置、テスト車両の風速計の位置についてもあわせて示している。

一様流中の計測位置の違いによる風速比分布を見ると、定着部中間部（図-11）に比べて定着部（図-12）の剥離せん断層の厚みが薄くなっているのが分かる。乱れ強度についても風速分布との相関があり、剥離せん断層境界付近から路面に向かって大きくなっていく様子が見て

取れる。定着部のハンガーブラケットは路面より下側にあるものの、橋軸直角方向に約3m突出しており、これによって空気の流れの剥離点が変化することが影響していると考えられる。

一様流と乱流での結果を比較すると、一様流中の剥離せん断層境界付近からの風速比分布、乱れ強度の違いには大きな差が見られないが、風下側の風速比として乱流の場合の方が低減がやや小さい。

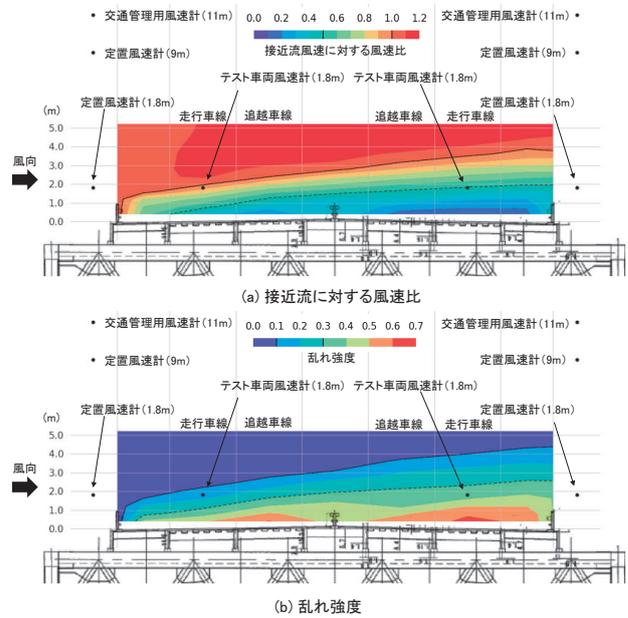


図-11 トラス桁路面上の風速、乱れ強度分布
（一様流・ハンガーロープ定着部中間部）

Fig.11 Distributions of wind speed and turbulence intensity on road surface of truss girder (smooth flow, center of suspender anchorages)

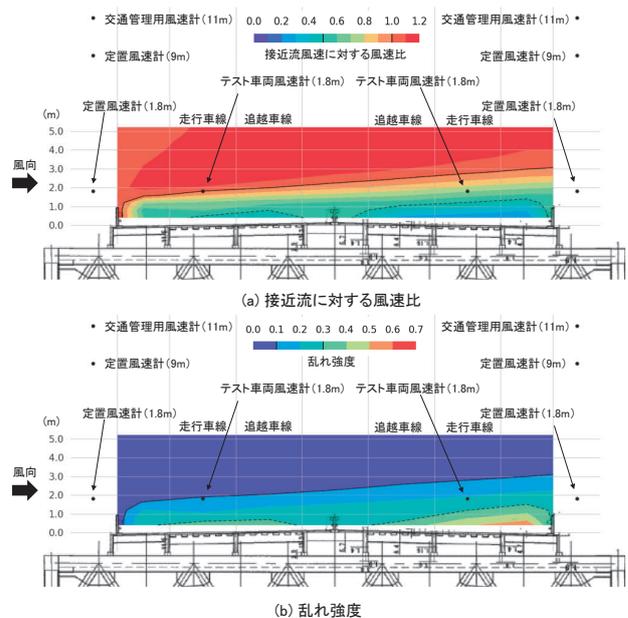


図-12 トラス桁路面上の風速、乱れ強度分布
（一様流・ハンガーロープ定着部）

Fig.12 Distributions of wind speed and turbulence intensity on road surface of truss girder (smooth flow, at suspender anchorage)

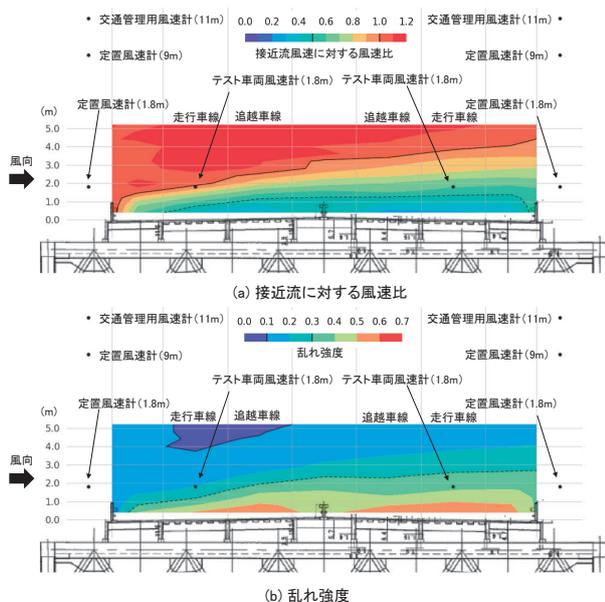


図-13 トラス桁路面上の風速、乱れ強度分布
(格子乱流・ハンガーロープ定着部中間部)

Fig.13 Distributions of wind speed and turbulence intensity on road surface of truss girder (turbulence flow, center of suspender anchorages)

3.1 風向と車線位置の風速への影響

テスト車両風速計が通過した位置の風速比、乱れ強度について表-1、表-2 にまとめる。値は、風洞試験での計測位置の値を線形補完し、二回の計測結果の平均として算出している。全体的に、風上側に対して風下側の風速が低い傾向を示しており、図-6 に示した実際の橋梁上での傾向と同様となっている。定着部中間部と定着部と比較すると、風上側では風速比がそれほど変化しないが、風下側では定着部での低減が小さい。図-6 では、格点毎の風速の変動は風上側でも大きいことから、風上側についてはハンガーロープの影響が大きいと想定される。一方の風下側については、ハンガーロープの影響に加え、補剛桁の定着部の影響も加わっていると考えられる。また、定着部中間部も定着部も風下側の乱れ強度が大きく、図-6 の風下側（下り線）での格点毎の変動が不規則になっている要因と考えられる。図-6 の中央径間中央付近の上り線側の風速変動が小さくなる傾向が見られるが、この近傍では主ケーブルが路面にかなり接近しているため、ハンガーロープの影響が小さくなっていると想定される。

表-1 テスト車両風速計通過位置の風速比

Table 1 Wind speed ratio at test vehicle anemometer

接近流	橋軸方向位置	風上側	風下側
一様流	定着部中間部	0.93	0.48
	定着部	1.00	0.70
乱流	定着部中間部	1.02	0.61

表-2 テスト車両風速計通過位置の乱れ強度

Table 2 Turbulence intensity at test vehicle anemometer

接近流	橋軸方向位置	風上側	風下側
一様流	定着部中間部	0.16	0.38
	定着部	0.11	0.21
乱流	定着部中間部	0.20	0.38

3.2 交通管理用風速計、定置風速計位置の風速への風向の影響

今回の風洞試験においては、交通管理用風速計、定置風速計が設置されている照明柱位置での風速は計測されていないが、計測結果の図から推定すると風上側については、いずれの高さ、橋軸方向の位置においても接近流と同等であると考えられる。一方の風下側については、高い位置にある交通管理用風速計（11m）や9m位置の定置風速計では接近流と同等と考えられるが、1.8m位置の定置風速計ではおおむね接近流の60~70%程度に低減されると想定される（照明柱は格点位置に設置されているため、図-12(a)から推定）。現地計測結果（図-7）からは、風下側で30~50%の低減となっているが、この相違の要因として、ハンガーロープの存在や、接近流の乱れなどが考えられる。

4. おわりに

実際の橋上において定置風速計やテスト車両走行により、橋梁路面の強風特性について調査を行った。また、風洞試験により、より詳細な路面上の風の状態について計測を行った。以上の結果として、海峡部橋梁で特に海上に開けた場所において風速が大きくなること、風向と路面上の位置（風上側、風下側）によって風速が変化すること、ハンガーロープ定着部などの構造物の影響によっても風速が変化することなどが分かった。

強風時の交通管理においては、特に風速が高まる海峡部全体についての風況の把握が望まれる一方、実際に設置される交通管理用の風速計の数は限定される。そのため、今回のような調査を通じて、交通管理用風速計で得られたデータから安全な交通管理が可能となるような更なる知見の蓄積が期待される。

謝辞

本検討にあたっては、本四高速と株式会社本田技術研究所、国立大学法人横浜国立大学との共同研究の中で実施した。ここに記して感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 遠山直樹, 大西康之, 勝地弘: 海峡部橋梁路面上の強風特性調査, 第77回年次学術講演会概要集, I-156, 2022
- 2) 勝地弘, 金恵英, 山田均, 松岡弘真, 竹口昌弘, 大西康之: 車両走行安全性検討のためのトラス桁と箱桁橋梁上の横風特性の計測, 第75回年次学術講演会概要集, I-238, 2020

逆走誤検知率低下手法等に関する取組

Efforts Related to Methods to Reduce Wrong-Way False Detection

入江 桃子

Momoko Irie

保全部 電気通信課

長尾 和馬

Kazuma Nagao

本四高速ブリッジエンジニアリング

向島点検管理室

(前) 保全部 電気通信課

亀谷 貴之

Takayuki Kametani

保全部 電気通信課

概要

高速道路で発生する逆走は深刻な問題であり、逆走によって引き起こされる事故は重大事故となる可能性が非常に高い。本州四国連絡高速道路では、逆走の防止を目的として逆走車への警告措置を行ってきたが、逆走事故の根絶には至っていない。

逆走事故への更なる対策として、逆走車への警告だけでなく、順走車へも情報提供を行うことが有効と考え、独自の仕様を策定した「逆走検知・警告システム」を整備した。本稿では、本システムの概要及び利用者に情報提供を行うトリガーとなる逆走検知の仕組み、そして誤検知抑制のための取組とその結果について述べる。

Wrong-way driving on expressways is a serious problem, and the accidents it causes are very likely to be serious. On the Honshu-Shikoku Bridge Expressway measures have been taken to warn wrong-way driving vehicles in order to prevent wrong-way driving, but wrong-way driving accidents have not been eradicated.

As a further measure against wrong-way driving accidents, we believe it is effective not only to warn wrong-way driving vehicles but also to provide information to vehicles driving in the correct direction. We have developed a "wrong-way driving detection and warning system" with unique specifications. In this paper, we provide an overview of this system, the mechanism of wrong-way driving detection that triggers the provision of information to users, and our efforts to reduce false positives and the results of those efforts.

1. はじめに

高速道路で発生する逆走は深刻な問題であり、逆走によって引き起こされる事故は、車両同士の正面衝突など、重大事故となる可能性が非常に高い。逆走の防止を目的として、本州四国連絡高速道路では、インターチェンジの合流部等にラバーポールや標識の設置を行うとともに、分合流部の路面標示による進行方向の明示等、逆走対策及び逆走車への警告措置を行ってきた。加えて、逆走車を自動検知するカメラセンサーや、逆走車への警告を行う表示板、スピーカ等を、インターチェンジやサービスエリアの逆走が発生しやすいと判断される箇所へ設置し、逆走発生直後に逆走車への警告を行う設備の整備も行ってきた。

しかしながら、このような対策をもってしても、本州四国連絡高速道路では2016年度から2018年度で逆走確保

に至った事例が14件発生し、うち死傷事故を含む本線上の事故が4件発生していることから、更なる対策を講じる必要があった。

逆走事故防止には、逆走車への警告だけでなく、順走車へも情報提供を行うことが有効であると考え、本線上の交通量計測設備のループコイル式センサーで逆走を自動検知し、回転灯（光）、スピーカ（音）、表示板（文字）にて順走車、逆走車の双方に警告を行う「逆走検知・警告システム」を整備した。本稿では、本システムの概要及び利用者に情報提供を行うトリガーとなる逆走検知の仕組み、そして誤検知抑制のための取組とその結果について述べる。

2. システムの概要

「逆走検知・警告システム」は、逆走車への警告及び

順走車への衝突回避支援を行うため、次の構成で構築した。なお、2.1(2)～(4)の設備は過去の逆走事故実績より、神戸淡路鳴門自動車道の東浦IC～北淡IC間及び瀬戸中央自動車道の水島IC～児島IC間に設置されている。

2.1 現場側設備 (図-1)

- (1) センサー及び処理部 (車両検知器)

逆走を自動検知する。ループコイル式センサーによる交通量計測設備に機能追加を行うことで整備した。
- (2) 警告表示設備 (表示板, スピーカ, 回転灯)

(1)処理部からの信号を受けて、逆走車に対する警告表示を行う。表示板に「逆走です」の文字を表示、スピーカでサイレン音と音声で警告し、回転灯で異常を認識させる。
- (3) 衝突回避情報設備 (表示板, スピーカ, 回転灯)

2.2(1)交通管制システムからの信号を受けて、順走車に対する警告表示を行う。表示板に「逆走車あり」の文字を表示、スピーカでサイレン音と音声で注意喚起し、回転灯で異常を認識させる。
- (4) カメラ装置

本線上の映像を取得し、2.2上位側設備の(1)交通管制システム及び(2)逆走中央システムに送信する。

2.2 上位側設備

- (1) 交通管制システム

逆走検知信号を受信し、交通イベントデータベース書き込みを行うとともに、交通管制大型ディスプレイや本線情報板、2.1(3)衝突回避情報設備を制御する。
- (2) 逆走中央システム

交通イベントデータベースに書き込まれた逆走検

知信号をトリガーとし、逆走監視卓、大型ディスプレイへカメラ装置からの逆走状況の映像等を表示するとともに、静止画切り出し、映像蓄積処理を行う。

3. 逆走検知の仕組み

逆走車両の検知には、舗装に埋設しているループコイル式センサー (電線を複数回巻いたセンサー) を使用している。ループコイル式センサーは、埋設コイル上に金属体である車両が通過する際の磁界の変化で通行車両の台数、速度、車種を検知するものである。

本センサーによる逆走検知は、1車線あたり上流、下流の2箇所に埋設されたセンサー上 (上流と下流のセンサーは5.5m間隔) を、順走車が通行する際に上流、下流と信号を検知するのに対し、逆走の場合はその反対となる仕組みを利用している。(図-2)

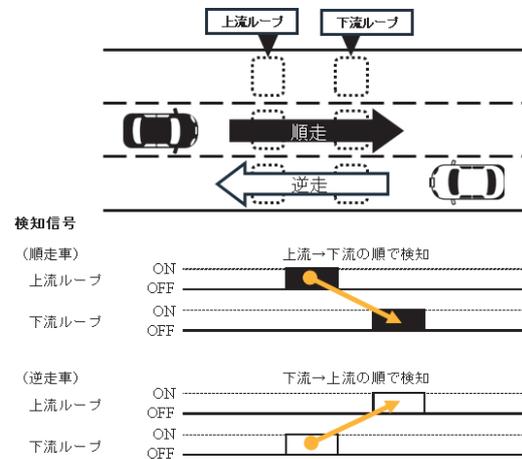


図-2 順走車・逆走車の検知信号
Fig.2 Detection signal when vehicle passes

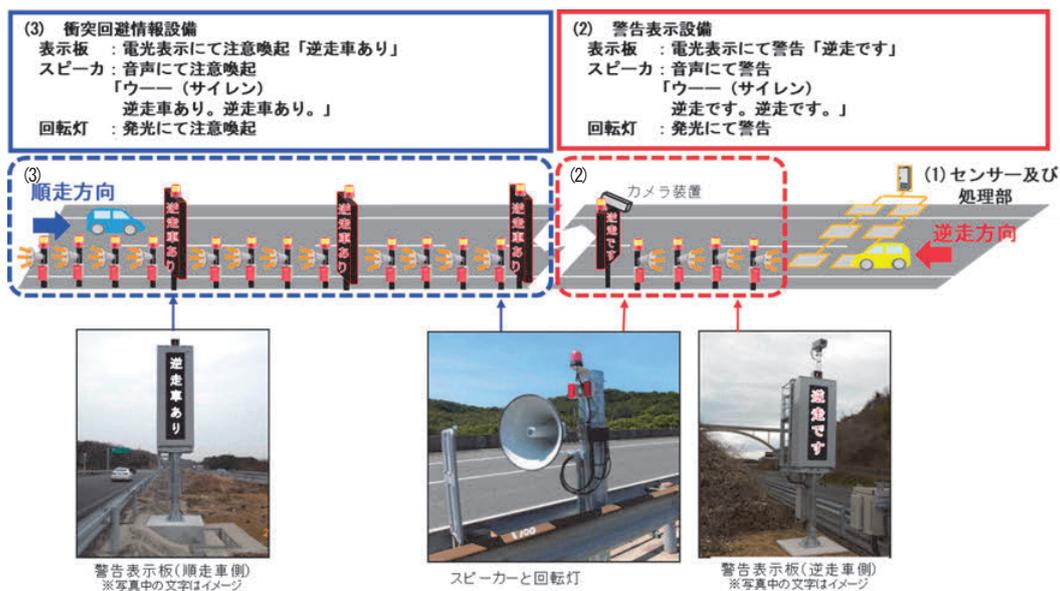


図-1 現場側設備構成図

Fig.1 System configuration on expressways

また、2車線道路においては、走行車線及び追越車線の信号を組合せて処理する、検知信号の車線マージ機能を設け、上流、下流ループ間での車線変更に伴う誤検知を抑制している。(図-3)

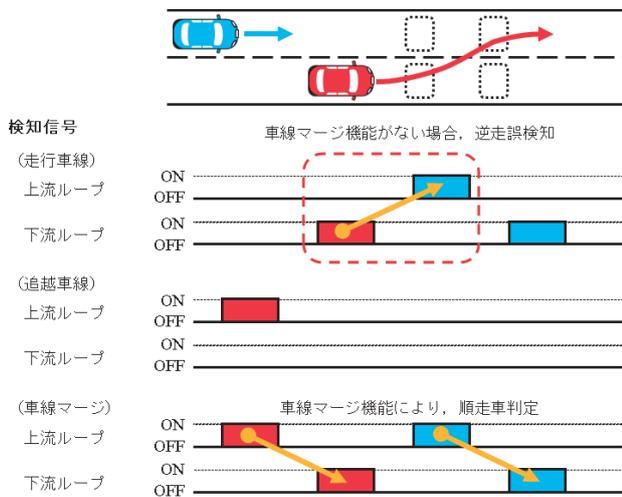


図-3 検知信号の車線マージ機能
Fig.3 Function to merge detection signals

4. 誤検知の発生とその抑制

4.1 異常走行に起因する逆走誤検知

ループコイル式センサーを用いた逆走検知には、渋滞などの異常走行に起因した誤検知が発生する可能性がある。誤検知を発生させる異常走行パターンとして、異常接近状態での走行、渋滞時の低速走行がある。

順走、逆走の判定は、上流、下流ループの検知信号を組み合わせる結果で行うが、上記の走行パターンの場合、信号を誤った組合せで処理することにより逆走誤検知が発生する。(図-4)

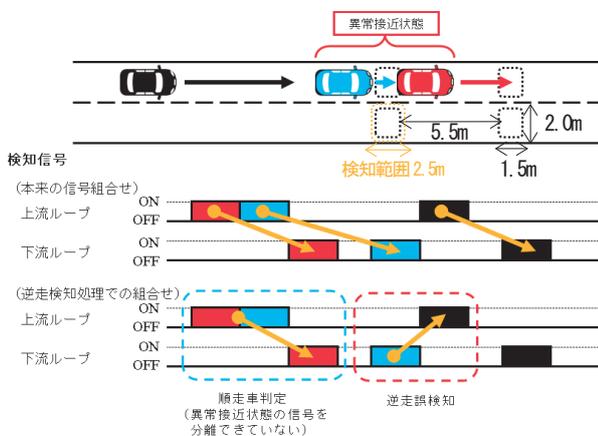


図-4 異常走行に起因した誤検知の例
Fig.4 Example of false positive due to abnormal driving

ループコイルは約2.5mの検知可能範囲を持つため、車間距離2.5m以下の異常接近状態で先行、後続車両が通過した場合、検知信号の分離が不可能である。

4.2 逆走誤検知の抑制

本システムの運用には、誤検知が頻繁に発生しないことが重要である。そこで、逆走判定処理において、前述の異常走行が発生した場合にも誤検知しないための抑制機能を実装した。抑制機能には、車間時間及び車間距離(図-5)を用い、誤検知であるか否かの判定を行っている。

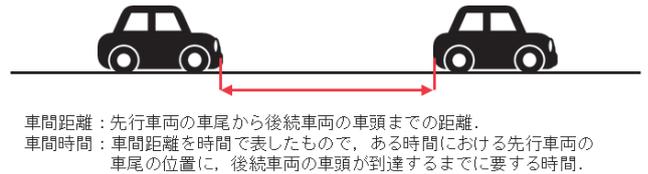


図-5 車間時間及び車間距離の定義
Fig.5 Definition of time clearance and space clearance

逆走車の判定は以下の手順で行われる。

- (1) 下流、上流ループの順で信号検知した場合、逆走車候補とする。
- (2) 誤検知抑制機能にて、誤検知であるか否かを判定する。誤検知と判定した場合、逆走車候補を順走車と訂正する。
- (3) 誤検知でないと判定された場合、逆走車と判定し、警告表示設備及び上位側設備に逆走検知信号を送信する。

車間時間及び車間距離を用いた誤検知抑制について、詳細を述べる。

(1) 車間時間を用いた誤検知抑制

逆走検知した際、車間時間が設定値以下である場合は車両の異常接近による誤検知であると判断し、逆走車候補を順走車と訂正する。

車間時間の設定値の決定にあたり、逆走車の検知漏れが発生しない値を設定する必要がある。逆走車が順走車とすれ違ったのちに車線変更をした際、順走車と逆走車の車間時間が設定値以下の場合、逆走車による信号を逆走誤検知と判定し、検知漏れが発生する可能性がある。(図-6)

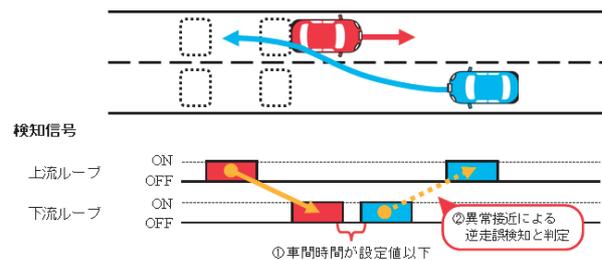


図-6 逆走車の検知漏れの例
Fig.6 Example of false negatives

そこで、車間時間の設定値として、運転手が車線変更に要する時間以上の値を設定すれば、検知漏れは発生しないと考えた。ハンドル操作による障害物の回避（車線変更）についての既往実験¹⁾²⁾では、障害物の出現から障害物の余裕時間が2秒を下回ると、障害物に衝突する被験者が現れたことが報告されている。（図-7）この結果より、車線変更には2秒以上の時間が必要と考え、車間時間の設定値は2秒とした。

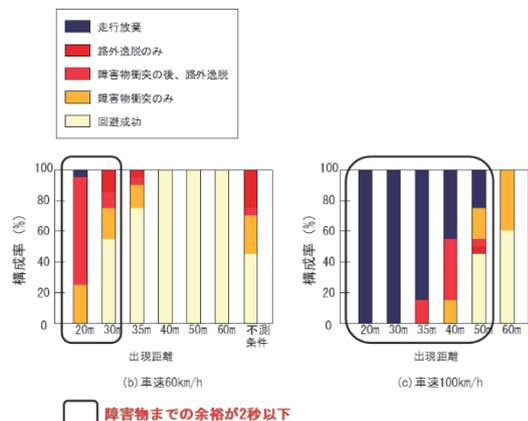


図-7 ハンドル操作による障害物の回避

Fig.7 Avoiding obstacles by operating the handle

(2) 車間距離を用いた誤検知抑制

車間時間を用いた誤検知抑制だけでは、渋滞による低速走行時に、車間時間が設定値以上になり誤検知が発生する場合がある。そのため、誤検知抑制には、車間距離を用いた抑制機能も必要である。

車間距離は、先行車両の速度及び車間時間から算出する。高速道路における渋滞時は、実績として逆走車走行の可能性が低いことが判明している。

渋滞時における最大車間距離を設定することで、逆走検知した際に車間距離が設定値以下である場合は、渋滞時の低速走行による誤検知であると判断し、逆走車候補を順走車と訂正する。

車間距離の設定値は、車両の走行速度と車間距離の相関（図-8）³⁾を参考に決定した。

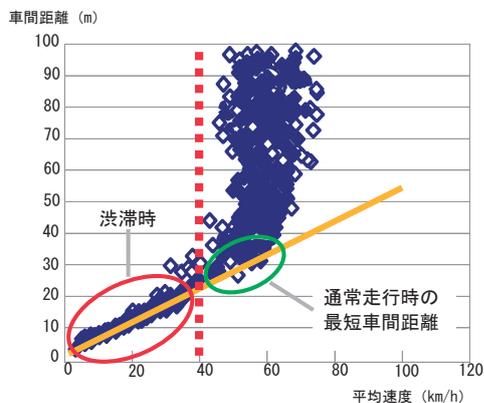


図-8 車両の走行速度と車間距離の相関

Fig.8 Correlation between vehicle speed and space clearance

高速道路における渋滞は、一般的に時速40km以下での低速走行あるいは停止発進を繰り返す車列が1km以上かつ15分以上継続した状態を指す。相関図によると、渋滞時（時速40km以下）においては車間距離が30m以下に多く分布していることが確認できる。この結果より、車間距離の設定値は30mとした。

5. 誤検知抑制機能の検証と改良

5.1 誤検知抑制機能の検証

2018年4月から約3ヶ月間に蓄積した実走行車両の検知信号から誤検知率を算出したデータを表-1に示す。渋滞の発生頻度が高い淡路 SA（下り）K ランプでは誤検知率約0.07%と、平均誤検知率約0.003%に比べ約25倍の誤検知が発生している。

表-1 逆走誤検知率（2018年4月から約3ヶ月間）

Table 1 False positive rate (For about three months from April 2018)

トランク設置位置	順走全台数 (台)	逆走誤検知数	逆走誤検知率 (%)
0.820KP 神戸西 (上り)	569893	11	0.00193
4.740KP 神戸西 (下り)	426992	6	0.00141
5.300KP 布施畑 (上り)	347337	6	0.00173
5.301KP 布施畑(上り)ランプ流出	243042	0	0
7.987KP 布施畑 (下り)	521404	18	0.00345
9.520KP 垂水1 (上り)	1530599	8	0.00052
9.675KP 垂水1 (下り)	1516636	26	0.00171
12.928KP 垂水2 (上り)	1529545	40	0.00262
19.320KP 垂水2 (下り)	1520871	232	0.01525
19.791KP 淡路 SA (下り) Kランプ	363015	258	0.07107
19.792KP 淡路 SA (下り) Bランプ	252182	23	0.00912
20.038KP 淡路 SA (上り) Fランプ	328657	91	0.02769
20.039KP 淡路 SA (上り) Dランプ	18878	2	0.01059
22.020KP 淡路 (上り)	1214654	2	0.00016
24.700KP 淡路 (下り)	1191422	1	0.00008
26.000KP 東浦1 (上り)	1143002	5	0.00044
28.490KP 東浦1 (下り)	1148237	0	0
29.750KP 東浦2 (上り)	1148935	12	0.00104
33.800KP 東浦2 (下り)	1146534	1	0.00009
34.904KP 北淡1 (上り)	1120184	0	0
38.910KP 北淡1 (下り)	1122229	3	0.00027
40.175KP 北淡2 (上り)	1121276	4	0.00036
43.798KP 北淡2 (下り)	1121552	0	0
0.590KP 早島 (上り)	930660	85	0.00913
7.720KP 早島 (下り)	950911	0	0
8.725KP 水島 (上り)	839791	0	0
18.185KP 水島 (下り)	859321	5	0.00058
19.500KP 児島 (上り)	938380	0	0
34.110KP 児島 (下り)	952882	0	0
35.100KP 坂出北 (上り)	688687	0	0
36.990KP 坂出北 (下り)	678004	6	0.00088
合計	27485712	845	0.00307

これは、インターチェンジやサービスエリアの分流ランプ部において、渋滞による低速走行となった際の誤検知抑制が不十分であるためと推察した。渋滞時において、車両は一定の速度で走行するだけではなく、急な減速を行ったり、一時停止を行ったりする場合がある。センサー上でそのような走行を行った場合に、車間時間又は車間距離が設定値より大きくなると、誤検知抑制が機能しないことが判明した。

5.2 誤検知抑制機能の改良

前述の問題の改善のため、車間距離の設定値の引き上げを検討した。引き上げにあたっては、車間時間の設定と同様に、車線変更が可能かどうかを基に検討を行った。

ランプ部の規制速度及び一般的な渋滞速度とされる40km/hに対し、既往研究¹⁾より確認できる車線変更必要時間を基に車線変更必要距離の計算を行った資料⁴⁾では、40km/hで順走車と逆走車が正対した際、順走車と逆走車の車間距離が38m以下の場合、逆走車が順走車とすれ違った後に車線変更することは不可能と算出されている。

(図-9) この結果より、車線変更には38m以上の車間距離が必要と考え、車間距離の設定値を30mから38mに変更し、逆走誤検知抑制の効果を確認した。

		判別対象車 (逆走車)			
		20km/h	40km/h	60km/h	80km/h
順走車	20km/h	2.68	1.8	1.35	1.08
		15	10	8	6
		22	38	55	72
		NG	NG	NG	NG
	40km/h	1.8	1.35	1.08	0.9
		20	15	12	10
		22	38	55	72
		NG	NG	NG	NG
	60km/h	1.35	1.08	0.9	0.77
		23	18	15	13
		22	38	55	72
		OK	NG	NG	NG
80km/h	1.08	0.9	0.77	0.68	
	24	20	17	15	
	22	38	55	72	
	OK	NG	NG	NG	

←順走車と逆走車が出会う時間(s)
 ←順走車と逆走車が出会う距離A (m)
 ←車線変更必要距離B (m)
 ←回避判定: B - A

※ 車線変更必要距離は、車線変更出来ない時間2s+離合状況(すれ違い)を確認する時間1s=3sから算定した距離とする。

図-9 車線変更必要距離

Fig.9 Distance required to change lanes

5.3 改良後の再検証

車間距離設定値変更後の2018年7月から約3ヶ月間の誤検知率算出データを表-2に示す。

逆走誤検知率が最も高かった淡路SA(下り)Kランプにおいては、誤検知率が約0.07%から約0.0005%と大きく改善された。他の箇所においても誤検知率が改善されており、車間距離設定値として、より最適であることが確認できた。

表-2 逆走誤検知率 (2018年7月から約3ヶ月間)

Table 2 False positive rate
(For about three months from July 2018)

トランカ位置	順走全台数 (台)	逆走誤検知数	逆走誤検知率 (%)
0.820KP 神戸西 (上り)	619459	2	0.00032
4.740KP 神戸西 (下り)	476290	2	0.00042
5.300KP 布施畑 (上り)	381207	2	0.00052
5.301KP 布施畑(上り)ランプ流出	304828	0	0
7.987KP 布施畑 (下り)	598295	0	0
9.520KP 垂水1 (上り)	1668436	0	0
9.675KP 垂水1 (下り)	1655785	0	0
12.928KP 垂水2 (上り)	1664583	0	0
19.320KP 垂水2 (下り)	1659857	0	0
19.791KP 淡路SA (下り) Kランプ	418693	2	0.00048
19.792KP 淡路SA (下り) Bランプ	257743	0	0
20.038KP 淡路SA (上り) Fランプ	392203	0	0
20.039KP 淡路SA (上り) Dランプ	20691	0	0
22.020KP 淡路 (上り)	1351488	0	0
24.700KP 淡路 (下り)	1328904	0	0
26.000KP 東浦1 (上り)	1278021	0	0
28.490KP 東浦1 (下り)	1280741	0	0
29.750KP 東浦2 (上り)	1280782	0	0
33.800KP 東浦2 (下り)	1280211	0	0
34.904KP 北浜1 (上り)	1249037	0	0
38.910KP 北浜1 (下り)	1251979	0	0
40.175KP 北浜2 (上り)	1249921	0	0
43.798KP 北浜2 (下り)	1251034	0	0
0.590KP 早島 (上り)	987675	1	0.0001
7.720KP 早島 (下り)	1007967	0	0
8.725KP 水島 (上り)	885114	0	0
18.185KP 水島 (下り)	907733	0	0
19.500KP 児島 (上り)	982411	0	0
34.110KP 児島 (下り)	999973	1	0.0001
35.100KP 坂出北 (上り)	728434	0	0
36.990KP 坂出北 (下り)	717021	1	0.00014
合計	30136516	11	0.00004

6. 現在の逆走誤検知率

2019年4月から2023年9月までの4年6ヶ月間の誤検知率算出データを表-3に示す。全体の逆走誤検知率は約0.00008%と、表-2より上昇してはいるものの、良好な逆走誤検知抑制を保っている。

総誤検知数は425であり、そのうち渋滞時の逆走誤検知が249 (58.6%)、その他異常走行及び検知原因不明な検知が176 (41.4%)であった。

表-3 逆走誤検知率 (2019年4月~2023年9月)

Table 3 False positive rate
(April 2019 - September 2023)

トランカ位置	順走全台数 (台)	逆走誤検知数	逆走誤検知率 (%)
0.820KP 神戸西 (上り)	11182050	0	0
4.740KP 神戸西 (下り)	8417810	14	0.00017
5.300KP 布施畑 (上り)	6857341	30	0.00044
5.301KP 布施畑(上り)ランプ流出	5702034	3	0.00005
7.987KP 布施畑 (下り)	10409384	36	0.00035
9.520KP 垂水1 (上り)	29893275	4	0.00001
9.675KP 垂水1 (下り)	29634403	3	0.00001
12.928KP 垂水2 (上り)	29909044	1	0.00000
19.320KP 垂水2 (下り)	29682751	43	0.00014
19.791KP 淡路SA (下り) Kランプ	6518006	37	0.00057
19.792KP 淡路SA (下り) Bランプ	5393914	17	0.00032
20.038KP 淡路SA (上り) Fランプ	8628284	22	0.00039
20.039KP 淡路SA (上り) Dランプ	436309	12	0.00275
22.020KP 淡路 (上り)	22970635	7	0.00003
24.700KP 淡路 (下り)	22731606	7	0.00003
26.000KP 東浦1 (上り)	21681425	45	0.00021
28.490KP 東浦1 (下り)	21751891	3	0.00001
29.750KP 東浦2 (上り)	21673379	20	0.00009
33.800KP 東浦2 (下り)	21747219	0	0
34.904KP 北浜1 (上り)	20828410	20	0.00010
38.910KP 北浜1 (下り)	20897961	2	0.00001
40.175KP 北浜2 (上り)	20805564	13	0.00006
43.798KP 北浜2 (下り)	20870333	0	0
0.590KP 早島 (上り)	16666298	25	0.00015
7.720KP 早島 (下り)	17080245	1	0.00001
8.725KP 水島 (上り)	14872265	0	0
18.185KP 水島 (下り)	15346903	7	0.00005
19.500KP 児島 (上り)	16972877	4	0.00002
34.110KP 児島 (下り)	17363253	46	0.00026
35.100KP 坂出北 (上り)	11943128	2	0.00002
36.990KP 坂出北 (下り)	11846608	1	0.00001
合計	517714605	425	0.00008

車間距離の設定値を38mに引き上げることで、渋滞に起因すると推定される誤検知が改善したものの、渋滞時の誤検知は総誤検知数の約6割を占めている。車両が滞留するほどの渋滞が発生し、車間時間または車間距離が設定値以上になった場合、誤検知抑制は機能しない。

本システムの運用として、滞留が予想される混雑期や、通行止め時には、逆走検知機能を交通管制システム側で停止することとしている。

7. おわりに

本稿では、「逆走検知・警告システム」にて情報提供を行うトリガーとなる逆走検知機能について、誤検知抑制機能の整備及び改良手法に関する取組について述べた。

本システムは、既設交通量計測設備の更新にあわせて検討したものであり、前述した検知機能の改良のほか、情報提供設備（スピーカ、回転灯、警告表示板）についてはシミュレーターを用いた評価試験（写真-1）を行い、提供情報の効果検証と一部改良等を行ったうえで、2023年7月3日より試行運用を開始した。試行運用開始にあたっては、本四高速ホームページにて公表するとともに、SAPA等でもポスター掲示を行い広報している⁹⁾。



写真-1 情報提供設備の評価試験

Photo 1 Evaluation test of information provision equipment

国や高速道路会社では、逆走事故の重大性を認識し様々な対策に取り組んできたが、高速道路の逆走事故は現在も根絶には至っていない。逆走の発生には、利便性向上を目的とした高速道路網の整備に関連する複雑な路線接続や、高齢ドライバーの増加など、様々な要因が存在する。

逆走事故の防止には、今回整備した「逆走検知・警告システム」のような、逆走をいち早く検知し、利用者に対して警告を行う、逆走が発生したとしても事故を防止するための仕組みが有効と考える。引き続き、道路管理者として一層の逆走対策に取り組む所存である。

参考文献

- 1) 宇野 宏：運転者の通常時ならびに緊急時の行動特性に関する研究，広島大学博士論文，2010.9
- 2) 児玉 知之：高速道路における適正な車両間隔に関する調査研究，高速道路調査会研究発表会，2016.
- 3) 閑上 直浩，杉山 裕樹，薄井 王尚，菊池 正庸：阪神高速道路の渋滞時における車間距離調査，土木学会年次学術講演会講演概要集，No.66 I-117，pp.233-234，2011.
- 4) パナソニックシステムソリューションズジャパン：逆走誤検知抑制機能説明資料，2018
- 5) 本州四国連絡高速道路：本四高速における逆走検知・警告システムの試行，
https://www.jb-honshi.co.jp/corp_index/news/pdf/2023/230605news-1-a.pdf，2023.6.5

舞子トンネル換気設備改修における合理化への取組

Rationalization Efforts in the Maiko Tunnel Ventilating Equipment

中村 将秀
Masahide Nakamura
神戸管理センター
施設課

香川 晃
Akira Kagawa
保全部設備課長
(前) 神戸管理センター施設課長

大浦 善司
Yoshiji Oura
本四高速道路ブリッジエンジニア(株)
技術事業本部 技術開発部 技術3課長
(兼) 施設部 施設課(機械) 課長
(前) 神戸管理センター施設課長代理

概要

舞子トンネルは、神戸市垂水区に位置し、お客様の安全で快適な交通環境と周辺住民の生活環境への影響に配慮して、集中排気方式のトンネル換気設備を設置している。トンネル換気設備の保全では、点検と整備を適切に実施し、その機能を十分発揮できるよう取り組んできた。しかし、供用開始から約25年が経過し、装置類の保守対応期限による保全性の低下、経年劣化による付属物の腐食進行などによる落下リスク及び保全費用の増大などが課題となり、対象となる装置類を更新するものとした。

本稿では、最新の技術・基準を取り入れた安全性、信頼性及び経済性を考慮したトンネル換気設備改修に関する取組について報告する。

The Maiko Tunnel is located in Tarumi Ward, Kobe City, and a tunnel ventilating equipment with a centralized exhaust system has been installed to ensure a safe and comfortable traffic environment for customers and to protect the living environment for the surrounding residents. The tunnel ventilation system has been properly inspected and maintained to ensure that it is fully functional.

However, approximately 25 years have passed since the equipment was put into service, and the maintenance of the equipment has deteriorated due to maintenance deadlines, and the risk of falling due to corrosion progression of accessories caused by age-related deterioration and increased maintenance costs have become an issue, leading to the decision to renew the subject equipment.

This report describes our efforts to renovate tunnel ventilating equipment in consideration of safety, reliability, and economy, incorporating the latest technologies and standards.

1. はじめに

本州四国連絡高速道路は、本州と四国を連結する3本のルートからなる総延長172.9kmの高速道路であり、瀬戸内地域における交通の大動脈の役割を果たしており、3本のルートには合計15本のトンネルを有する。その中でも舞子トンネルは、神戸淡路鳴門自動車道の垂水JCTから淡路IC間の神戸市垂水区に位置し、住宅密集地の地下を通る3車線断面を有する全長約3kmの上下線2本の都市型トンネルである(写真-1)。そのため舞子トンネルにはお客様の視程環境などの走行環境の確保のほか、周辺住民の生活環境への影響に配慮してトンネル出口から排気ガスを排出しないようにする除塵設備を有した集中排気方式の換気設備を設置している。更に、トンネル延長が1.5km以上のため、火災時における避難環境を確保するため排煙機能も付与している。

舞子トンネル換気設備は、前述のとおりお客様の安全・安心な利用のほか周辺環境へも配慮したものであり、その保全に当たっては、機能を十分発揮できるよう点検による診断結果から予防保全や計画事後保全を行い、あ



写真-1 舞子トンネルの周辺環境
Photo 1 The Maiko Tunnel Vicinity

わせて、装置の改修を行いながら、その保全に努めてきた。しかし、供用開始から約25年が経過し換気制御処理装置などの保守対応期限の経過、ジェットファンやじゃま板などの経年劣化による腐食の対応などの課題から、多くの装置類の更新が必要となった。

一方、トンネル換気設備を取り巻く環境として、ジェットファンなどのトンネル内付属物の落下リスク対策の強化、車両の環境性能向上によるトンネル内環境の改善、換気処理装置の汎用化・高性能化など、舞子トンネルの建設当時とは大きく変化している。そのため装置類の更新に当たっては、それら最新の知見と技術を取り入れた仕様や構成を合理的に見直すものとした。

本稿では、供用後約25年が経過した舞子トンネル換気設備の概要と課題、最新の技術・基準を取り入れた安心・安全かつ安価で使用性が高いトンネル換気設備の改善検討と更新による合理化の取り組みについて報告する。

舞子トンネルの主な換気設備の機器配置を図-1に示す。トンネル換気設備は、(a)トンネル内の空気を直接外に出さないようにトンネル内の空気を吸い込んで換気所から排気する「排風機」、(b)排風機前でトンネル内の車両から発生するばいじんを除去する「除塵装置」、(c)正逆運転により排風機の負荷を軽減及び火災時の排煙を行う「ジェットファン」、(d)長い下り勾配を有する下り線において交通換気力を低減する「じゃま板」、(e)トンネル内環境の計測を行う風向風速計（以下「AV計」という。）、視程計測用の煙霧透過率計（以下「VI計」という。）、一酸化炭素濃度計（以下「CO計」という。）からなる「計測装置」、トンネル内環境計測データ、交通量データを基に各換気機器を自動制御する「換気制御処理装置」で構成するとともに、多くの補機類（消音装置、空気圧縮機、油圧装置など）で構成している。

2. 舞子トンネル換気設備の概要

3. 舞子トンネル換気設備の課題と対応

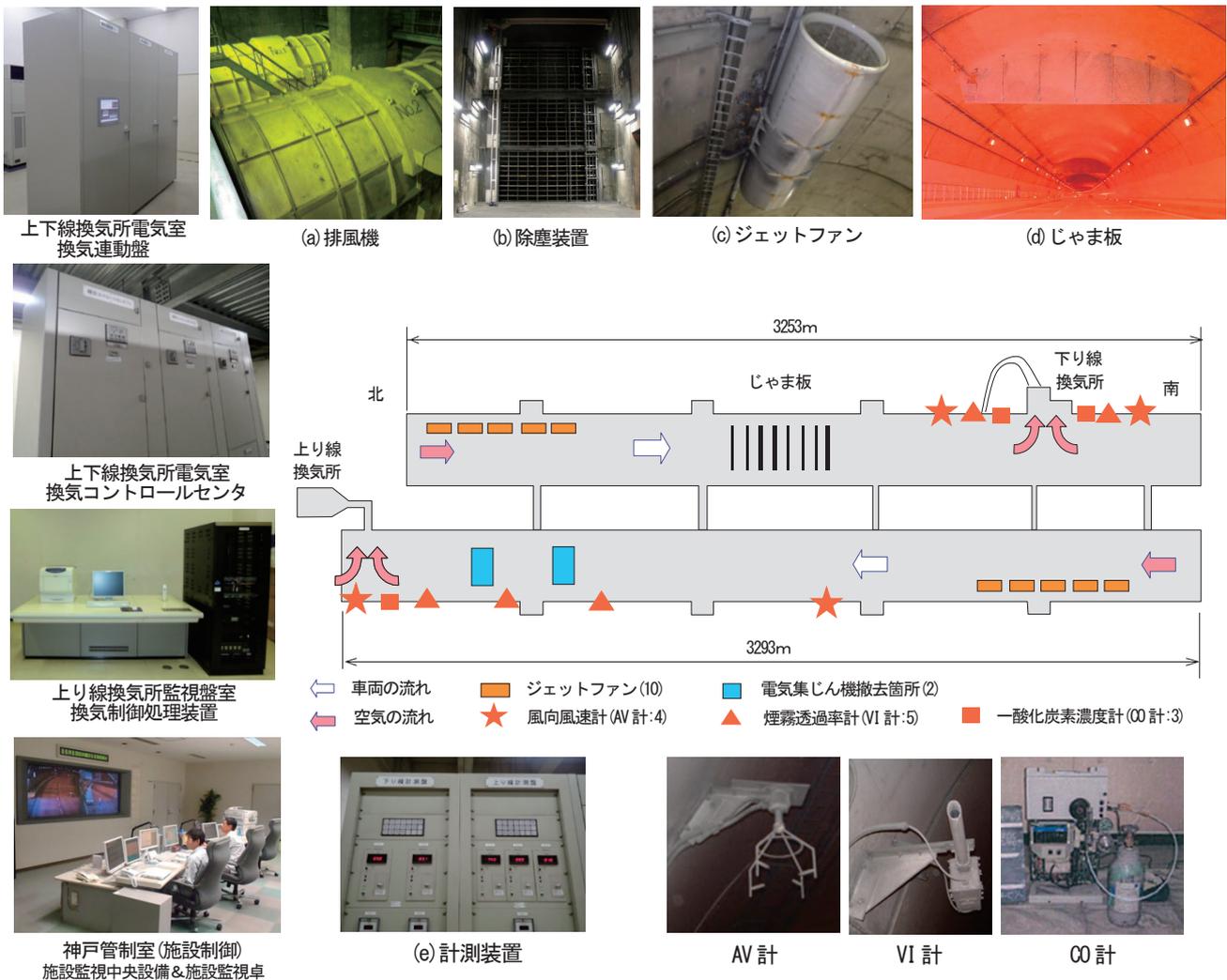


図-1 舞子トンネル換気設備の機器配置（更新前）

Fig. 1 Equipment layout of the Maiko Tunnel ventilating equipment (before upgrade)

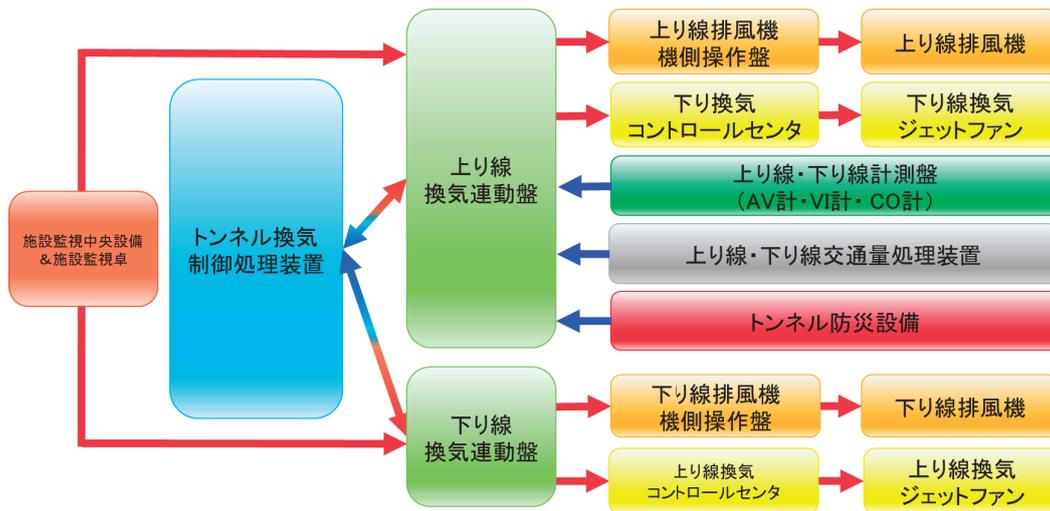


図-2 舞子トンネル換気設備の制御系統図

Fig. 2 Control system diagram of the Maiko Tunnel ventilating equipment

3.1 換気制御装置

(1) 舞子トンネル換気設備の制御

図-2に舞子トンネル換気設備の制御系統図を示す。舞子トンネル換気設備の主な制御装置は、トンネル内のAV計、VI計、CO計の計測装置及びトンネル入口付近の交通量計測装置 (TC) の計測データを基に上下線それぞれの出口風速を0.0m/sにするために必要な換気量を計算する換気制御処理装置、上下線それぞれの排風機及びジェットファンの運転を制御する換気連動盤で構成している。

また、メンテナンスや火災などの非常時に施設監視中央設備などから換気連動盤に指令することで、あらかじめ設定しているノッチパターンによる遠隔制御が可能である。

(2) 換気制御装置の課題と対応方針

既設換気制御処理装置は、ジェットファン、送排風機などの複数の換気機器が設置される長大トンネル用の高度な換気制御を行う高度制御 (UNIXサーバによるファジー制御) を採用していた (写真-2)。また、供用後12年に1回目の更新を実施しているが、その後約10年で保守対応期限を超過し2回目の更新が必要となった。その内容は、既設システム仕様を継続して更新したとしてもサーバ本体の更新に留まらず換気制御プログラムも合わせて新規に作成する必要があるなど、主にコスト面で負担が大きいものであった。そのため、既に保守対応期限を超え早期に更新する必要があるが、万が一に既設換気制御処理装置が故障した場合でも火災時の排煙制御には影響しないこと、通常の換気制御についても、神戸管制室などからの操作により遠隔制御が可能であることから、検討期間を設けて換気制御処理装置のシステム仕様を見直すものとした。

(3) 換気制御装置の更新仕様

近年、設備制御用プログラマブルロジックコントローラ (以下「PLC」という。) の高性能化が進み、処理速



写真-2 換気制御処理装置 (更新前)

Photo 2 Ventilation control processor (before upgrade)



写真-3 換気制御処理装置 (更新後)

Photo 3 Ventilation control processor (after upgrade)

度や演算性能の向上により比較的複雑なプログラムを組めるようになったほか、ネットワーク接続による通信も可能となり既設サーバー機と同等の機能を発揮するようになった。

PLCは、設備制御用に製作され長寿命であり安価に調達できるほか、ハードやソフトによる制約が少なく同一メーカーの後継機であればプログラムを流用することも可能であることから、PLCを活用した換気制御処理装置の適用が可能か検討を行った。

その結果、交通量予測を取り込んだフィードフォワード (予測制御) 方式とAV計・VI計・CO計によるカス

表-1 換気制御処理装置の比較
Table 1 Comparison of ventilation control processing equipment

項目	更新前	更新後
制御方式	高度制御（ファジー制御）※1	新フィードフォワード制御（新FF制御）※2
制御方法	交通量予測から汚染濃度の変化をファジー理論により予測し最適な換気量を演算する方式	交通量予測から必要な換気量を演算，汚染濃度のほか風速補正を加えた方式
演算部	UNIX サーバ（OS Solaris） ※1) 汎用ハードウェア・ソフトウェアのコンピュータ	PLC（プログラマブルロジックコントローラ） ※2) 工業機器の制御に特化したラダープログラムで動作するコンピュータ
長所・短所	<ul style="list-style-type: none"> ・長大トンネルなどの高度な換気制御が可能 ・電力量低減効果（大） ・更新周期：10年 ・更新はハード（OS），プログラムの更新が必要 	<ul style="list-style-type: none"> ・PLCの高性能化で，高度な制御が可能 ・坑内風速による制御が主体の舞子トンネルに最適 ・電力量低減効果（大） ・更新周期：15年 ・更新はハードのみ（プログラム流用可）
経済性	新FF制御より高価（更新周期10年）	高度制御より安価（更新周期15年）
評価	×	○

ケードフィードバック制御を組み合わせた新フィードフォワード制御（以下「新FF制御」という。）の換気制御処理装置が開発されており，舞子トンネルの規模であれば適用可能であることが分かった。

更新前（高度制御）と更新後（新FF制御）の換気制御処理装置の特徴や経済性などを比較した結果を表-1に示す。PLC（新FF制御）を採用することで，これまでと同程度のトンネル換気制御ができ，かつ更新費用の低減及び更新周期の長期化が可能となる。写真-3に更新後の換気制御処理装置を示す。

3.2 ジェットファンの課題と対応

(1) 既設ジェットファンの課題

1) ジェットファンの分解整備

既設ジェットファンは，呼び口径1,500mm（JF-1500）の鋼製であり，上下線各5台の計10台設置している。その設置時期は，建設時の転用品が4台あり28年を経過し，転用時の分解整備も含め3回目の整備時期を迎える。供用時に設置した6台は，供用後25年を経過し，2回目の整備時期を迎える。また，鋼製であ

ることから腐食などの進行を考えると整備周期の長期化は難しい。一方，最新のジェットファンの仕様は，ステンレス製かつ小口径のものでも既設ジェットファンに近い性能のものが製品化されている。

2) ジェットファンの落下リスク

省令改正後，ジェットファンの近接目視点検やフェールセーフの設置などを実施しているが，次のような課題があり，また，落下リスクからも台数の低減などが望まれた。

- ・新建築限界への対応：既設JF-1500の建築限界は4,500mmであり，新建築限界4,800mmに対し余裕がなく，実際に車両接触と思われる擦過痕も確認している。
- ・省令点検に基づく近接目視点検の結果：吊り金具近傍にクラックがある箇所があり，5年ごとを2年ごとに短縮して点検を実施し，進展の有無を確認していた。

(2) ジェットファンの課題への対応方針

以上の課題から，既設ジェットファンの分解整備を行い継続使用するか，新仕様のジェットファンに更新するか検討を行った。

既設JF-1500と1サイズ小さい呼び口径1,250mm（JF-

表-2 更新前後のジェットファンの仕様比較¹⁾
Table 2 Comparison of jet fan specifications before and after upgrade

項目	更新前	更新後
形式	軸流型電動機直結内装式 JF-1500	軸流型電動機直結内装式 JF-1250
口径×長さ	φ1,530mm×5,500mm	φ1,250mm×2,500mm
平均吹出風速	30m/s以上	35m/s以上
風量	55m³/s以上	43m³/s以上
ファン効率	65%以上(電動機 93.5%以上)	75%以上(電動機 94.5%以上)
電動機出力など	55kW,AC440V,3φ,60Hz	50kW,AC440V,3φ,60Hz
概算質量(吊金具含まず)	2,610kg以下	1,700kg以下
備考	<ul style="list-style-type: none"> ・電動機は通常仕様 ・筒，金具などはSS400,羽根車はアルミ合金 	<ul style="list-style-type: none"> ・電動機はトップランナー制度(IE3)対応規格 ・筒，金具などはSUS304,羽根車はアルミ合金

1250) の仕様を表-2に示す。JF-1250が軽量・小型であることが分かる(写真-4)。検討の結果、JF-1250を採用することで、小型化により、新建築限界に対応可能(4,500mmから4,800mm)となるほか、ケーシングなどの材質が鋼製からステンレス製になることで耐食性が向上し、整備周期を長期化できることからライフサイクルコスト(以下「LCC」という)上有利となった。また、台数についても後述の排煙時の換気計算結果から小口径化しても台数を削減可能である。以上からJF-1250を採用するものとした。

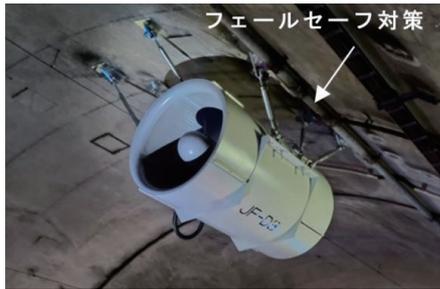


写真-4 ジェットファン (JF-1250)
Photo 4 jet fan (JF-1250)

3.3 じゃま板の課題と対応

(1) じゃま板の課題

下り線においては、長い下り勾配のため交通換気力が増大し、排風機の換気負荷が増大する。この交通換気力を抑制するためにじゃま板を8枚設置している。

しかし、省令改正後、じゃま板の近接目視点検の結果腐食の進行が見られ、フェールセーフであるターンバックルの取り換えなどを実施したが、本体の計画的な更新が必要である。更新する場合にはジェットファンと同様に、ステンレス化などの対策が必要であり、一定の落下リスクは残存しつつ、コストの負担も増大するため、じゃま板の廃止が望まれた。

(2) じゃま板の課題への対応方針

じゃま板以外の交通換気力の抑制方法としては、ジェットファンの逆転運転による方法がある。じゃま板を全廃した場合には、落下リスクを削減できる反面、排風機の電力消費量は増大する。そのため、じゃま板廃止の影響を検証するため、じゃま板8枚のうち4枚を撤去して影響調査を行った。

調査の結果、じゃま板撤去により排風機の負荷が約15%増大し電力量約747MWh/年の増加が見込まれた。一方、じゃま板の代わりに新FF制御方式によりジェット

ファンの逆転運転を行い交通換気力を抑制する場合には電力量の増加を約308MWh/年に抑えられる試算結果となった。

以上の検証結果から、電力消費による影響とじゃま板の更新費用などを比較し、落下リスクの削減、じゃま板点検や更新作業に伴う車線規制回数の削減によるお客様への安全・安心を第一に考え、じゃま板を廃止するものとした。

4. 換気機器の必要台数と排煙制御の取り組み

4.1 換気機器の必要台数の算定

トンネル換気に使用する排風機、ジェットファンなどの換気機器の台数は、トンネル内の視程などの交通環境の確保及び周辺環境への影響に配慮して求められる台数並びに火災時の排煙に必要な台数から決定される。

なお、トンネル内の交通環境などの確保に必要な換気機器の台数は、車両の環境性能向上により諸数値が見直されているため、最新の設計要領²⁾を用いて照査するものとし、排煙に必要な換気機器の台数と合わせて照査した。

照査の結果、舞子トンネルに必要な換気機器の台数は、排風機は、環境対策として上下線各3台と変わらず、ジェットファン(JF-1250)は、排煙用として上下線各4台となった(表-3)。

4.2 排煙制御における新たな取り組み

(1) 火災時の排煙方法

舞子トンネルのような一方通行トンネルの火災初期段階での排煙方法は、トンネル非常用設備などと自動で連動して、排煙設計により求められた台数のジェットファンを正転させ、車両の通行方向に送風して出口側の坑口から煙を排気することで火点より後方に煙が遡上することを防ぎ、お客様の避難環境を確保する(初期排煙)。なお、消防隊の到着後、その要請に基づいて神戸管制室が遠隔操作で排煙の停止や方向の変更などを行う場合がある(後期排煙)。

(2) 排煙設備の設計と照査

この排煙設備に必要な能力は、設計要領により坑内風速を2.0m/s程度以上確保するものとされている。また、トンネル換気設計においては、坑内には常に2.5m/sの自然風の影響があるとされているため、排煙設備の設計

表-3 更新後の排煙操作による坑内風速の推定結果
Table 3 Estimation results of pit wind speed due to smoke exhaust operation after upgrade

区分	ジェットファン運転台数	坑内風速 (m/s)		
		+2.5(追い風)	±0.0	-2.5(向かい風)
上り線	JF1250 x 4台	3.51	2.91	2.17
下り線	JF1250 x 4台(じゃま板無し)	3.77	3.13	2.33

においては、排煙方向に対し2.5m/sの向かい風があると
して坑内風速2.0m/s程度以上を確保できる設備を選定す
る。

一方、設計要領には坑内風速が4~5m/s ぐらいの風
速で炎があおられるおそれがあるとされているが、これ
まで追い風の照査を行っていなかったため、今回の排煙
設計において風向を変えて照査を行った。その結果を表
-3に示す。ジェットファン4台正転時の追い風におい
ても坑内風速が4.0m/sを超えることがないことを確認した。

(3) 初期排煙における風速一定制御の導入

前述のとおり、排煙時の坑内風速は炎をあおらないと
される4m/s以下になることを確認したが、これは自然風
の影響が2.5m/sとした場合であるため、それ以上の場合
には4m/sを超える可能性もある。そこで、今回導入する
新FF制御の標準機能の一つとして、風速を一定に保つ
機能がある事に着目した。通常、集中排気方式に必要な
トンネル出口側の風速をマイナス方向にするために必要
な換気量を自動制御する機能であるが、この機能を活用
し初期排煙時にはジェットファン台数を制御して排煙風
速を2.0m/s程度に保つ風速一定制御を導入した。

5. 舞子トンネル換気設備のLCCの推定

表-4に舞子トンネル換気設備の更新前後の換気機器
の数量を示す。この数量を基に舞子トンネル換気設備全
体の整備費、更新費、電気代からなるLCCを推定した結
果、初期投資は約1.4億円削減でき、また、LCCは40年で
約7億円削減できる試算となった。

表-4 舞子トンネル換気設備のLCC算定の項目及び数量
Table 4 Items and quantities for LCC calculation of Maiko
tunnel ventilation equipment

項目	更新前設備		更新後設備	
	上り線	下り線	上り線	下り線
換気制御処理装置	1面		1面	
排風機	3台	3台	3台	3台
除塵設備	3台	3台	3台	3台
ジェットファン	JF-1500		JF-1250	
	5台	5台	4台	4台
じゃま板	—	8枚	—	—
計測設備制御盤	1面	1面	1面	1面
AV計	2台	2台	2台	2台
VI計	3台	2台	1台	2台
CO計	1台	2台	1台	2台

6. 設備更新後の換気制御結果

舞子トンネル換気設備の更新後の上下線の自動運転時
10日間のトンネル坑口風速の結果を図-3に示す。トン
ネル入口風速は3m/s~5m/sで変動しているが、トンネル

出口風速は概ね0m/s以下となっており、良好に制御でき
ている。

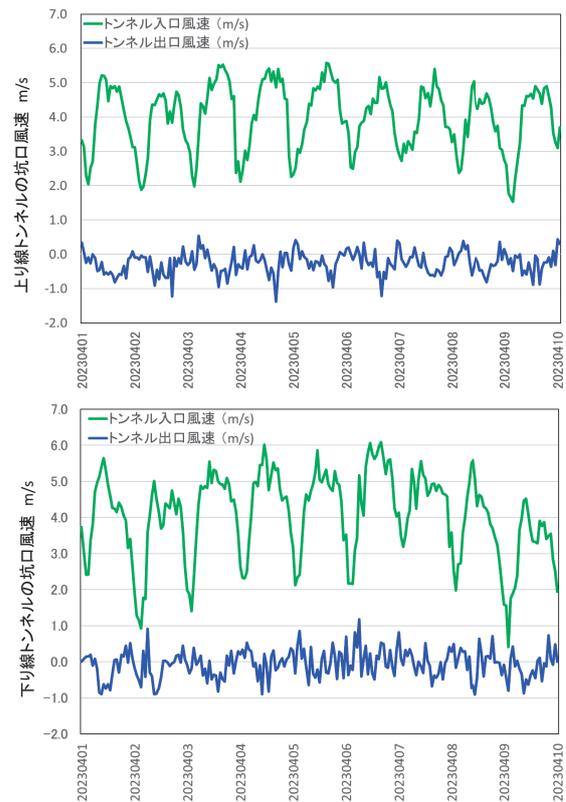


図-3 舞子トンネルの上下線の坑口風速の事例

Fig. 3 Example of wind speed at the entrance to the upper and lower lines of Maiko Tunnel

7. おわりに

舞子トンネルは本州四国高速道路で唯一の長大トン
ネルであり、トンネル換気設備の保全事例も少ない。一方、
お客様に安全、安心、快適に本州四国高速道路を利用し
ていただくためには、トンネル内に設置している多くの
換気機器の機能維持を行いながら、保全コストの縮減と
安全性の確保を両立させる適切な保全を行うことがま
ず重要となっている。今回のトンネル換気設備の更新
では、最新技術を取り入れた機器更新による適切な保
全を行うことができた。今後も点検、補修、定期整備、改
修を確実にを行い、これらの結果を解析して維持管理を
するとともにカーボンニュートラルの推進に努めていく
所存である。

参考文献

- (株) 高速道路総合技術研究所：施設機材仕様書集 (機械) トンネル換気設備標準仕様書他 全4編 令和元年7月版
- (株) 高速道路総合技術研究所：設計要領 第七集 機械施設編 第2編 トンネル換気設備 令和2年7月版
- (株) 高速道路総合技術研究所：設計要領 第三集 トンネル保全編 (2) トンネル換気 令和2年7月

脆弱層を有する本線盛土の補強設計施工

Retrofit Design and Construction of the Existing Embankment with Vulnerable Layers

瀧川 歩実 Ayumi Takikawa 木内 愛理 Eri Kinouchi 小野 一樹 Kazuki Ono

鳴門管理センター 保全課

鳴門管理センター 計画課長代理
(前鳴門管理センター 保全課)

本四高速道路ブリッジエンジニア(株)
技術事業本部
(前鳴門管理センター 保全課)

概要

淡路島中央スマートIC～洲本IC間に位置する対象盛土では、耐震照査結果より大規模地震発生時において、せん断強度の低い粘性土層にすべり線が通り、本線に約200cm程度の段差が生じることが土質調査、安定解析によりわかった。緊急輸送道路としての機能を早期に確保すべく段差量を50cm以内に抑えるために“深層混合処理工法”を実施した。

本稿は、対象既設盛土の性能照査結果、深層混合処理工の工事概要、施工中に発生した課題対応結果と今後の維持管理について報告する。

The result of the seismic performance verification showed that a 200 cm gap in an embankment located between Awajishima-chuo Smart IC and Sumoto IC was caused by a landslide through the viscous soil layer with low shear strength during large-scale earthquakes. In order to function as an emergency transportation route promptly, the “deep mixing method of soil stabilization” was used to ensure that the gap value is less than 50 cm in case of large-scale earthquakes.

This paper reports on the performance verification of the embankment, outline of the construction using “deep mixing method of soil stabilization”, the handling of issues during the construction phase, and the future of maintenance of the embankment.

1. はじめに

2009年8月に発生した静岡県駿河湾の地震で、東名高速道路の牧之原地区における盛土のり面が崩壊したことをきっかけに、2011年3月に発生した東日本大震災による盛土のり面崩壊事象も踏まえ、類似の盛土を対象として、地山の地形、地下水及び盛土材料の観点から盛土の性状を確認するため、全国で緊急点検を実施している。本四高速ではこの緊急点検及び詳細調査に基づき、2015年より特定更新等事業（大規模修繕）として、盛土補強対策を進めているところである。

今回、淡路島中央スマートIC～洲本IC間に位置する補強対象盛土において行った盛土のり面の詳細調査、地下水位観測、調査ボーリングデータ等を踏まえた耐震性能照査を行い、盛土補強対策工として“深層混合処理工法”を選定して工事を行った。本稿では、対象盛土の性能照査結果、補強設計・施工及び、今後の維持管理について報告する。

2. 盛土概要

補強対象盛土が位置する淡路島中央スマートIC～洲本ICに分布する地質は、花崗閃緑岩、花崗岩、大阪層群などで形成されている。盛土上部は砂質土（Bs層）、下部は切土で発生した流用土で、大阪層群（Os層）を起源とする粘性土（Bc層）からなり、基盤は大阪層群である。また、本線を境として西側に山地、東側に水田を含む低地が位置しており、山地から流下する河川水を貯蔵するため池や水田が本線東西両側に点在している。盛土前の地形から対象盛土には3つの沢があり、せん断強度の低いBc層は沢部に分布していると考えられる（図-1）。また、盛土内のBc層中に地下水位が位置しており、飽和度が高い状況にある。

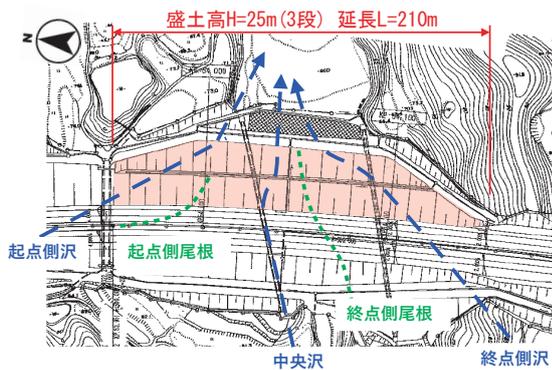


図-1 補強対象盛土平面図

Fig.1 Plane figure of project embankment

3. 盛土の性能照査と補強工法の選定

3.1 盛土補強対策検討のフロー

既設盛土の補強対策検討は、地盤条件、地下水位条件、周辺環境条件等を考慮したうえで、「NEXCO設計要領第一集 土工 保全編」¹⁾ (以下、「設計要領」という。) に準じて行うこととした。本四高速では大規模地震(レベル2地震動)において簡易的な応急復旧等により24時間以内の緊急車両の通行が可能となるよう、すべり破壊によって発生する路面の段差量が50cm以内に収まることを条件とし、これを満たさない場合は補強対策工を検討する。

3.2 盛土の性能照査

常時、降雨時、レベル1地震動の作用に対する照査については、設計要領に基づき、テンションクラックを考慮した修正フェレニウス法による単一すべり円弧を用いた全応力法により安定解析を行う²⁾。なお、レベル1地震動時における設計水平震度はI種地盤であることから0.08とした³⁾。

レベル2地震動の作用に対する照査については、設計要領に基づき、残留変位量(すべり土塊の滑動変位量)をニューマーク法により算定し、それを道路面垂直方向の段差量に変換して求める方法とした。3つの沢にそれぞれ対応する3断面のうち、地層傾斜のない断面(2断面)については設計地震動を直接用いた従来型ニューマーク法、傾斜のある断面(1断面)については盛土内の地震時応答特性を考慮したNEXCO型ニューマーク法を使用した⁴⁾。また、すべり面の設定については、地震後の修復性や車両通行の機能確保などの観点から、のり肩から路肩範囲内に発生するすべり線は無視し、盛土天端の路肩部より中央分離帯側に入るすべり線のうち、降伏深度が最小となるすべり面とした。

図-2に土質調査による対象盛土断面図と性能照査結果を示す。地表から深度約13mまでは礫混じり砂からなる砂質土層(Bs層)、深度約13~16mは砂混じり粘土か

らなる粘性土層(Bc層)、深度約16m以上は砂質シルトと砂の互層からなる大阪層群(Os層)により構成される盛土で、Bc層ではN値が一桁値の、盛土として強度の乏しい脆弱層が確認された。また、盛土材の性質や土質定数、工学的基盤面の把握のため、室内土質試験を実施し、得られた試験結果をもとに設定した土質定数を表-1に示す。

盛土全体にわたって強度を弱めるBc層が分布している地形であるため、レベル1地震動の作用に対しては許容安全率(1.00)を下回り、レベル2地震動の作用に対する安定解析については、残留変位量が約195cmとなり、許容値(50cm)を大幅に超える結果となった。

安全率		残留変位量	
常時 (1.25以上)	降雨時 (1.25以上)	レベル1 地震動 (1.00以上)	レベル2 地震動 (50cm以内)
1.140	1.147	0.952	195cm

※ () 内は許容値

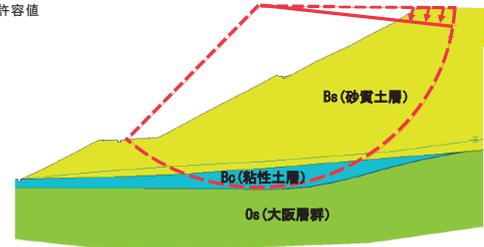


図-2 対象盛土断面図と性能照査結果

Fig.2 Cross-section Diagram and the performance verification result of the project embankment

表-1 土質定数

Table 1 Soil parameter

土質	記号	せん断強さの設定条件	単位体積重量		せん断強さ			
			湿潤 γ_t (kN/m ³)	飽和 γ_{sat} (kN/m ³)	ピーク強度		残留強度	
				粘着力 c (kN/m ²)	内部摩擦角 ϕ (°)	粘着力 c (kN/m ²)	内部摩擦角 ϕ (°)	
盛土 (砂質土)	Bs	不飽和	19.5	—	4.0	37.0	16.0	33.0
		飽和	—	19.5	—	—	—	—
盛土 (粘性土)	Bc	飽和	—	18.5	43.6	3.5	45.0	2.0
大阪層群	Os	—	18.0	18.0	54.0	37.0	54.0	37.0

3.3 補強工法の選定

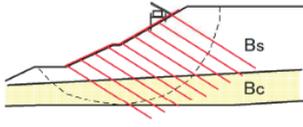
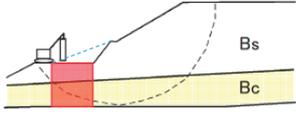
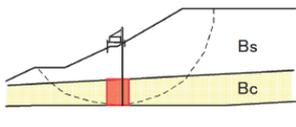
レベル2地震動の作用に対して、せん断強度の低い粘性土盛土(Bc層)にすべり線が生じる結果となったことから、脆弱地盤の要因となっているBc層に対する補強が必要となる。一般的な軟弱地盤対策工のうち既設盛土地盤の安定化に有効で、特にすべりに対して抵抗の増加や滑動力の低減が期待できる工法のうち、本盛土現場条件への適合性が高い工法として、①NEXCO標準工法(盛土補強土工)、②-1固結工法(混合処理工法—機械攪拌工法)、②-2固結工法(混合処理工法—高圧噴射攪拌工法)を選定した(表-2)。

(現場条件)

- 供用中の路面及び周辺環境(地下水の遮断、地下水の水質等)に影響を与えないもの
- 道路用地内に収まるもの
- 側道または本線からの搬入出等、施工可能なもの

表-2 軟弱地盤対策工（既設盛土地盤の安定化）工法比較

Table 2 Comparison of soft ground stabilization method (stabilization of existing embankment)

	①NEXCO標準工法	②固結工法	
	盛土補強土工（鉄筋挿入工+のり枠）	混合処理工	
		②-1機械攪拌	②-2高圧噴射攪拌
工法説明	棒状補強材（モルタルまたはセメントミルク内に鉄筋等の芯材を配置したもの）を地山に配置し、主に補強材の引張り力によってのり面を補強する工法。	粉体状あるいはスラリー状を主としたセメント系の固化剤を地中に供給して、原位置の軟弱土と攪拌翼を用いて強制的に攪拌混合することによって原位置で深層に至る強固な柱体状、ブロック状または壁状の安定処理土を形成する工法。	ロッド先端に取り付けられた特殊なノズルから高圧で噴射される固化剤等で地盤を切削し、同時に切削された軟弱土と固化剤とを原位置で混合し、改良する工法。
断面イメージ			
供用中ののり面への影響	× 施工規模が大きく盛土の広範囲に水圧による削孔が必要となるため、部分沈下の恐れあり	○ 施工基面を構築するための切土変更量が少なく済み、不安定リスクが小さい	△ 改良部が一時的に泥状になるため、盛土の変状に注意が必要
経済性	× 脆弱層の深度が深いため、施工規模が著しく大きくなる	△ 機械搬入のための道路仮設工が必要	× 汚泥処理費が高い

次に、選定した3工法について、安定解析及び安定解析結果に基づく補強工法の概算工事費の算出を行った。

①NEXCO標準工法（盛土補強土工）については、レベル2地震動の安定解析について許容値を満足する結果が得られたものの、盛土高さが25m（3段）と高く、対策が必要なBc層や支持層となるOs層の深度が深く、両層が盛土全面に広く分布していることから、鉄筋挿入工の施工規模が著しく大きなものとなり、経済性が劣る結果となった。

②-1固結工法（混合処理工法-機械攪拌工法）と②-2固結工法（混合処理工法-高圧噴射攪拌工法）については、NEXCO標準工法より安価であり、また、既存道路用地内での施工が可能で、地下水遮断等の影響も低く、レベル2地震動の安定解析についても許容値を満足する結果が得られた。高圧噴射攪拌工法については、施工中の現場排出土が汚泥状態となるため、汚泥処理費用が多額となるなど、機械攪拌工法に比べて経済性が劣る評価となった。以上の理由により、②-1固結工法（混合処理工法-機械攪拌工法）を最終選定した。

4. 盛土補強工法の設計

4.1 改良形式

固結工法（混合処理工法-機械攪拌工法）のうち、深層混合処理工法による改良体の設計には、改良体を相互にラップさせる高い施工精度が不要であることや改良範囲に対して改良容積が少ないことなど、施工性と経済性に優れている「杭式（接円式）改良」を採用した。

また、改良体径については、脆弱層である粘性土（Bc層）の最大N値が10程度で硬質粘土層での貫入攪拌能力の低下が懸念されることや、供用中の既設盛土とい

う特有の地形的制約の中、現場搬入や場内移動が容易である小型改良機でも、安全に施工が可能なることからφ1.0mとした。

4.2 支持方式

改良体の支持方式については、Os層を支持層として改良地盤下端を着底させることとした。

4.3 改良強度及び改良率の設定

過去の施工実績から仮の設計基準強度を500～600kN/m²を設定したうえで、供用中の既設盛土という特有の地形的制約（施工可能範囲）を考慮し、改良幅、改良深さ及び改良位置等の改良範囲を決定する。

次に、決定した改良範囲において改良率（改良対象範囲の水平投影面積に対する改良体面積の割合）を10%ずつ低減しながら解析を繰り返し行った結果、残留変位許容値を満足するときの最下限の改良率を50%と設定することで、改良後に盛土内地下水を排除させる空間を確保する設計とした。これにより、改良対象幅10～11mに対して幅3mの未改良区間を設けることができ、改良後に盛土内地下水の流動を阻害しないよう排除させる空間（浸透水排除層）及び水抜きボーリングを設けている（図-3）。以上から、盛土内浸透水の通水幅確保のため改良率50%を設計条件として性能照査解析を行った結果、改良体の設計基準強度 q_{ck} を600kN/m²に最終決定した。

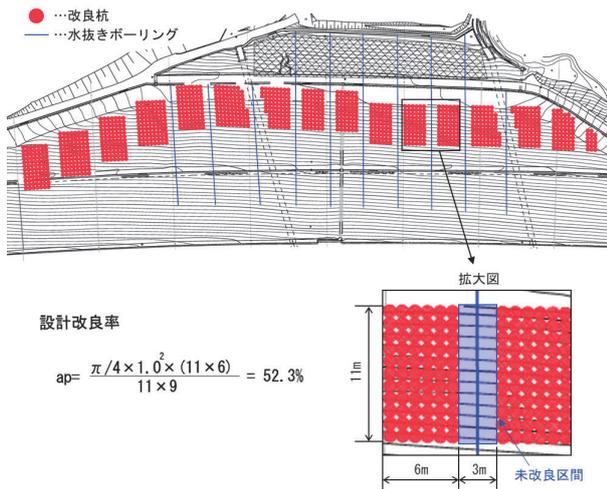


図-3 地盤改良工平面図

Fig.3 Working diagram of ground improvement

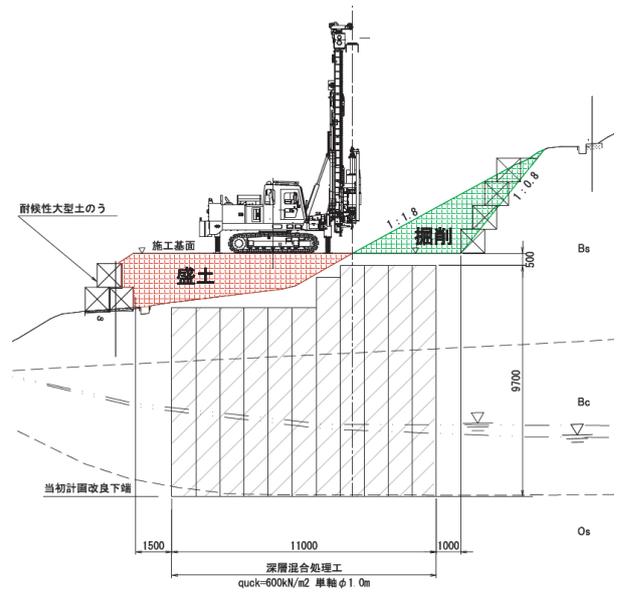


図-5 施工基面造成

Fig.5 Site preparation

5. 深層混合処理工の施工と維持管理

5.1 施工フローチャート

施工方法を図-4に示す。

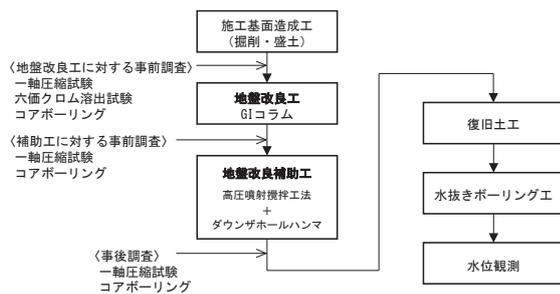


図-4 施工フロー

Fig.4 Construction flow

5.2 施工基面造成工

図-5のとおり補強範囲で既存盛土の一部掘削と盛土を行うことにより施工基面を造成した。

5.3 GIコラム工法

本工事では現場施工ヤードの制約や既設盛土への影響を考慮し、大型機械が主流の機械攪拌式スラリー系深層混合処理工法のうち、小型軽量の施工機械でφ0.8~2.0mの改良体を造成可能としたGIコラム工法(図-6)で施工を行った⁴⁾。本工法では、GNSS(衛星測位システム)での杭の位置出し、リアルタイムで攪拌翼の回転数や深度計を一括で監視が可能である。

5.4 品質管理

GIコラム工法の品質管理は、一軸圧縮試験による強度確認と支持層への着底管理により実施した。

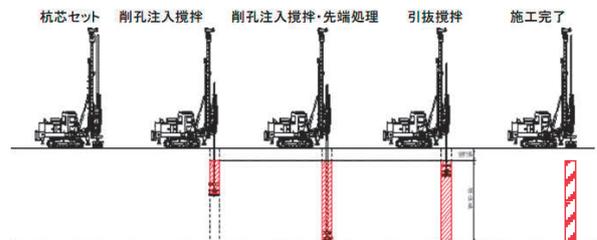


図-6 GIコラム工法施工手順

Fig.6 Procedure for the construction using GI column method

(1) 一軸圧縮試験

強度確認は、5本の改良体の全長コアをコアボーリングにより採取し、28日後の一軸圧縮試験を実施した。一軸圧縮試験は、採取した設計基準強度を満足していることを確認した。なお、固化材添加量については「陸上工事における深層混合処理設計・施工マニュアル」³⁾に基づき、設計基準強度に対して3倍の1,800kN/m²を目標強度として、原位置から採取した試料と固化材を混合した供試体の一軸圧縮試験を行い決定した。

(2) 着底管理

前述4.2のとおりGIコラム工法は支持層に着底する支持方式である。着底管理方法を定めるべく試験施工を実施した。まず、試験施工予定位置にてコアボーリングを実施し、支持層深度と土質層の確認を行った。次に、施工機械により回転トルク値、貫入速度を深度1mごとに記録し、ボーリングデータと比較した。記録内容と施工状況から以下の条件を着底判断とした。

- ① 粘性土層より下部にて、回転トルク値が40kN・m以上を2回確認かつ施工機械に大きな横揺れが発生すること。
- ② 貫入速度が0.1m/分となり、著しく貫入速度が低下していること。

5.5 施工中の課題

前述の5.2の掘削時に最大1mを超える転石が発見された。地盤改良工範囲においても転石が存在しており、転石により攪拌翼が折れ曲がってしまい、GIコラム工法での施工を進めることができなかった（写真-1）。



写真-1 攪拌翼破損状況

Photo 1 Stirring blade damage situation

ある改良範囲でのGIコラム工法の施工結果を図-7に示す。GIコラム工法では $N \leq 30$ までの施工が可能であるが、施工範囲に転石があると支持層の着底は不可能である。前述4.2, 4.3のとおりGIコラム工法は、改良体を支持層に着底かつ、着底した改良体の改良率は50%を満たすことが条件であることから、転石に対応する必要があった。

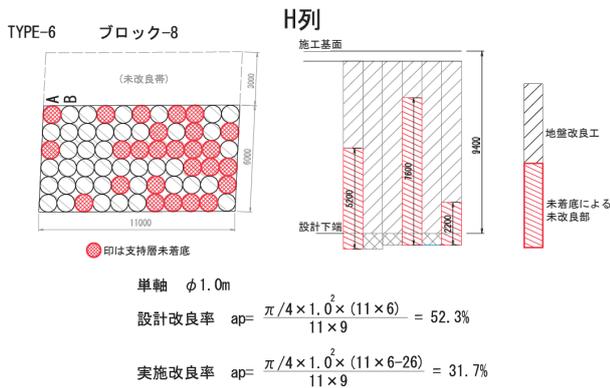


図-7 施工ブロック改良結果

Fig.7 Improvement of a part of the ground

(1) 地盤改良補助工法の選定

転石の対策については、発注者、受注者及び設計者による三者会議により、「単管式高圧噴射攪拌工+ダウンザホールハンマ工法」（図-8）を以下の理由により採用することとした。

- ①GIコラム工法の施工機械を使用できることから、施工基面条件を変更する必要がない。
- ②転石など硬質層用のハンマビットと粘土層用のメタルビットを付け替えるだけで支持層まで改良体を造成できる。

転石については、圧縮空気によるハンマビット打撃で粉砕し、超高圧大容量ポンプによる高圧噴射・切削エネルギーにより、地盤中に噴射攪拌することで、大口徑の改良体が造成される。

高圧噴射時はリアルタイムに吐出圧力と吐出量を確認することで品質管理が可能である。

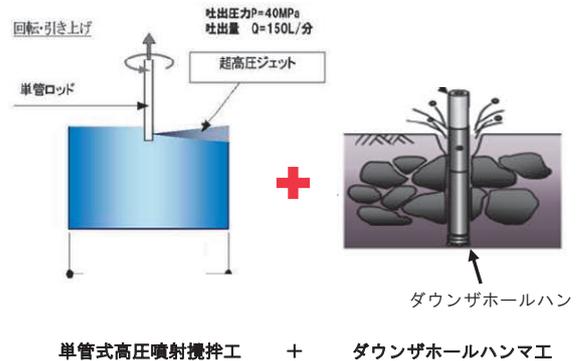


図-8 地盤改良補助工法概要

Fig.8 Overview of auxiliary method for ground improvement

(2) 設計基準強度の変更

補助工法による改良体径は、改良土質においては $\phi 0.9\text{m}$ となり、現設計の $\phi 1.0\text{m}$ を下回ることから、改良範囲の強度低下が生じる。すでに地盤改良工施工済み箇所がある中で施工や改良範囲の強度など設計内容に変更しないという条件で対応することとし、補助工法による改良体1本当たりの設計基準強度を大きくすることにより改良範囲の強度を確保することとした。設計基準強度は、GIコラム工法での改良体断面積からの減少分（81%）を割り増すこととし、 750 kN/m^2 （1.25倍）とした。また、改良体径の実証のため試験施工を行った結果、実測値 $\phi 0.92\text{m}$ となったことから設計基準値強度の設定値には問題ないものとした。

(3) 補助工法の品質管理

補助工法の品質管理は、一軸圧縮試験による強度確認により実施した。固化材添加量については、補助工法の施工実績等に基づき、設計基準強度に対して1.5倍⁶⁾の $1,125\text{ kN/m}^2$ を目標強度として、原位置から採取した試料と固化材を混合した供試体の一軸圧縮試験を行い決定した。なお、支持層への着底管理については、前述5.4(2)と同様の着底反応がないため、隣接したGIコラム工法での改良体の全長と同じ長さとなるように施工機械にて深度管理を行った。

(4) 排泥対策

補助工法による改良体の造成は、GIコラム工法での改良体より深い位置で行うこと、改良体に囲われていることから、施工中の排泥について考慮しなければならない。GIコラム工法での改良体内で目詰まりが発生した場合、固化材スラリーの側圧が上昇して改良体の造成ができなことが懸念された。そこで、ハンマビット径の大きさを高圧噴射孔があるロッド径より大きくすることによってGIコラム工法での改良体とロッドの間隙から排泥しやすくなるように工夫した（写真-2）。



写真-2 汚泥対策

Photo 2 Slurry discharge countermeasures

5.6 復旧土工

5.2の既存盛土の一部掘削と盛土を行うことにより造成した施工基面を原形に盛土形状に復旧する。今回の復旧土工における盛土（5.2の掘削範囲）では、施工幅員2.5m以上の箇所は4t振動ローラー、2.5m未満の箇所は振動コンパクターを使って転圧を行うこととした。土木施工管理要領（令和2年7月版）⁷⁾に基づき、一層仕上り厚、締固め機種及び締固め回数、品質管理方法、管理基準値の検討のため、モデル施工を実施した。盛土材料として、現場掘削土、他現場発生土、地盤改良工隆起土の3種類を使用した。地盤改良工で発生した隆起土はセメント系固化材を使用したため、環境に配慮して水素イオン濃度8.6以下であることを確認できたものをり面表面に使用した。

盛土施工状況を写真-3に示す。



写真-3 復旧土工

Photo 3 Restoration work

5.7 維持管理の留意点

前述4.3のとおり地下水の流動阻害防止のため、未改良区間（浸透水排除層）を設けている。さらに、水抜きボーリング工により、地盤改良以前より盛土内水位を上

昇させない対策を行っている。今後は、これらの対策が機能しているか、図-9のとおり改良体の上下段に設置した水位観測計を用いた定期的な水位観測と大雨後水位観測により、継続的に検証を行う。

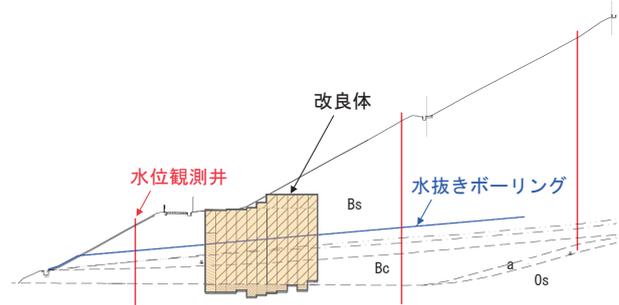


図-9 水抜きボーリング工断面図

Fig.9 Cross-sectional diagram of drainage boring

6. おわりに

今回、淡路島中央スマートIC～洲本IC間に位置する補強対象盛土に対する詳細設計と耐震性能照査を行い、供用しながらでも施工可能な「深層混合処理工法（GIコラム工法）」を本州四国連絡高速道路で初めて盛土補強対策工として選定した。施工段階で転石による未着底改良杭が発生したが、地盤改良補助工法の追加によって対応することができた。水位観測井を設置することで、水抜きボーリングの効果が検証できるようにした。今後も大規模地震発生時において緊急輸送道路として機能する道路となるよう盛土構造物の維持管理に取り組んでいく。

謝辞

既設盛土補強工法については、（当時）土木研究センター常田理事長より多くの助言をいただいた。ここに記して感謝の意を表す。

参考文献

- 1) NEXCO：設計要領第一集 土工（保全編），2020.7
- 2) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 V耐震設計編，2017.3
- 3) 日本道路協会：道路土工－盛土工指針，2010.4
- 4) GIコラム研究会：GIコラム工法紹介資料，2022.6
- 5) 土木研究センター：陸上工事における深層混合処理工法設計・施工マニュアル，2022.4
- 6) ダイナミック工法研究会：SJMM-Dy工法技術・標準積算資料（第5版），2022.11
- 7) NEXCO：土木施工管理要領，2020.7

防災・安全業務高度化部会の取組

Report of subcommittee for disaster prevention and safety

山本 和弘 Kazuhiro Yamamoto 弓山 茂樹 Shigeki Yumiyama

安全防災・技術部 安全課長

安全防災・技術部 防災課長

1. 取組項目

防災・安全業務高度化部会では、安全・安心で信頼できる本州四国連絡高速道路の提供を目的に、大雪時の迅速な状況把握及び桁外面作業車等の支障物接触防止装置の開発について、取り組んでいる。

本稿は、令和5年度に実施した防災・安全業務の取組のうち、主要な取組の概要を報告するものである。

2. 大雪時の迅速な状況把握

大雪時の迅速な状況把握・対応を行うために、現場状況の可視化を目的にカメラの導入を行うこととした。

令和5年度は、降雪時に撮影した映像を遠隔からリアルタイムで確認できるウェアブルカメラを全管理センターで導入し、迅速な情報収集体制を整備した。

今後は、大雪時の活用を図るとともに、現場状況の迅速な把握が必要な渋滞や災害対応などへもウェアブルカメラの活用を図る予定である。

3. 桁外面作業車等の支障物接触防止装置の開発

本州四国連絡橋には、保全作業を安全かつ効率的に施工するため、桁作業車等が設置されている。しかし、進行方向の障害物の確認不足等のヒューマンエラーに起因する接触事故が継続的に発生している状況である。

桁外面作業車等の接触発生時は、その都度原因究明を行い、ハード及びソフトの両面で再発防止策を講じている。しかし、ソフト面の再発防止対策では、確認項目の追加や確認者の増員などの人を介する対策となるため、ヒューマンエラーに起因する事故発生等を招く要因となる。このため、最新のセンシング技術を活用した接触防止装置の開発による桁作業車の安全性能の高度化に取り組んだ。

令和5年度は、過去の事故事例を元に、桁作業車の接触事故防止が見込まれる次の作業車の3動作を抽出し、各動作ごとにセンサ方式の選定、障害物の検出性能を実橋による動作確認を実施し、良好な結果が得られた。

- (1) 桁外面作業車の走行動作
- (2) 桁外面作業車伸縮足場の昇降及び伸縮動作

(3) 桁内面作業車移設台車の走行動作

令和6年度は、作業車の代表号機に上記3通りの安全装置を設置し、実機による作業性及び安全性能等を検証する予定である。

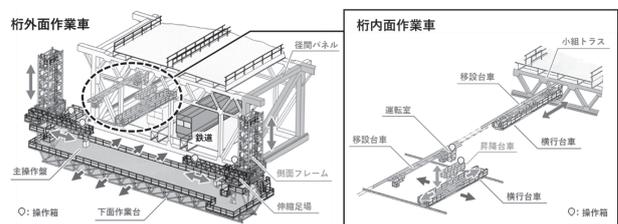


図-1 本州四国連絡橋の桁作業車

Fig.1 Girder maintenance vehicle for Honshu-Shikoku Bridges

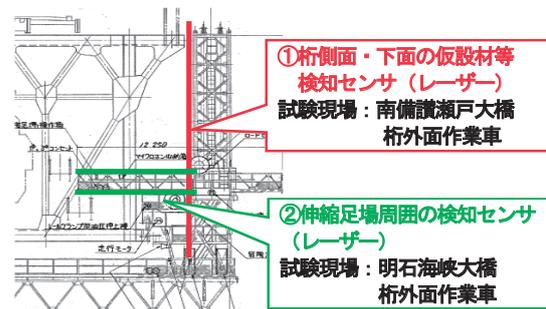


図-2 桁外面作業車の接触防止センサの設置案

Fig.2 Detection sensor plan of maintenance vehicle for outside girder

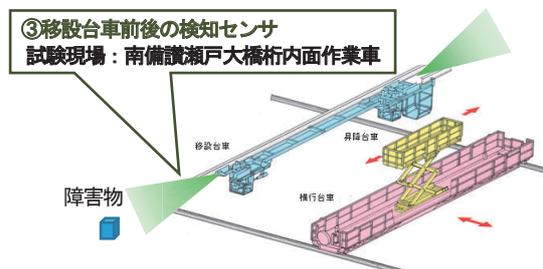


図-3 桁内面作業車の接触防止センサの設置案

Fig.3 Detection sensor plan of maintenance vehicle for inside girder

保全業務高度化部会の取組

Report of subcommittee for maintenance

藤田 憲二 Kenji Fujita

長大橋技術センター
技術革新・アセットマネジメント課長

1. 検討目的及び経緯

保全業務高度化部会では、保全業務の高度化の取組として、2009年より技術開発計画を策定し推進してきた技術開発に加え、点検から補修に至るPDCAの一連（図-1）のプロセスについて更なる高度化、効率化を目指し、ロボット開発、点検作業の高度化、システム開発及び補修機材・材料の高度化の4部門を設け、技術開発を推進している。ここでは、保全業務高度化部会の活動の概況について報告する。



図-1 PDCA 高度化イメージ
Fig.1 PDCA upgrade image

2. 活動報告

2.1 アセットマネジメントシステムWG

長大橋は規模が大きく、複雑かつ多くの部材を有していることに加え、橋梁ごとに異なる特徴を有していることから、効率的かつ高度に長大橋の維持管理業務を行うための支援を目的として、次世代維持管理システム等のシステム開発を行っている。

2023年度は大島大橋を対象に次世代長大橋維持管理システムのプラットフォームであるBIM/CIMの3次元モデルを作成し、3次元モデルと連携したタブレット端末による点検支援ツールの開発、現場実証を実施した。

開発した点検支援ツールは、MR（Mixed Reality）技術により端末に表示されるカメラ画像（以下、端末画像という。）と3次元モデルとを重畳させ、端末画像から3次元モデルに変状写真、変状情報の記録が可能である。

現場実証では、点検開始時にGNSSにより自己位置情報を取得した後、SLAM（Simultaneous Localization and Mapping）技術によってタブレット端末使用者の移動に対して自己位置を推定しながら、端末画像と3次元モデルとの重畳が追従することが確認された（図-2）。更に、写真-1のように衛星電波の受信が困難な場所への移動に対しても、重畳が追従することが確認された。また、端末画像と3次元モデルとの重畳機能により、端末画像上で部材を選択して変状を記録する際に変状箇所の位置情報、及び対象部材の構造情報を自動登録でき、登録した変状の位置をAR（Augmented Reality）技術により端末画像上に表示し、変状調査を閲覧できる機能によって、点検業務の作業効率化に繋がる可能性が確認された。

現場実証で確認された課題を踏まえ、重畳精度の向上、及び操作性の向上に向けて、システム開発を進める。

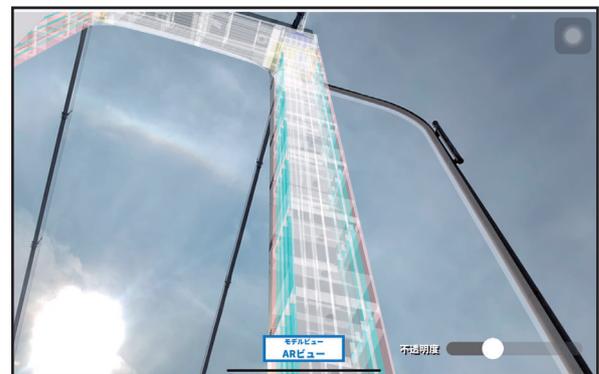


図-2 3次元モデルとタブレット端末の画像の重畳
Fig.2 Superimposition of 3D model and tablet images



写真-1 衛星電波不感地帯でのタブレット端末操作状況
Photo 1 Operation of tablet devices in satellite radio dead zones

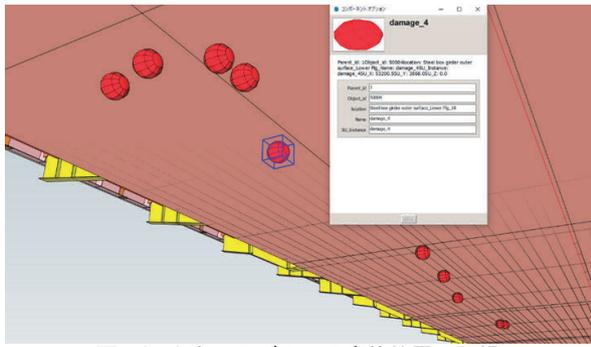


図-3 3次元モデルへの変状位置の記録
Fig.3 Recording of deformation location on 3D model

撮影した変状写真から診断を支援するための診断結果を説明する説明型AIの開発も東京大学と共同研究を2022年度より3か年計画で進めている。2023年度は点検管理システム（IRIS）のデータを活用し、2022年度に構築した鋼材腐食検出AIにより検出した鋼材腐食に対して輪郭追跡処理による腐食面積の算出技術、及びオプティカルフロー法を活用した位置情報の取得技術を開発し、取得した鋼材腐食の位置情報を3次元モデルに記録できることが確認された（図-3）。

2.2 ロボットWG

点検や補修など人の手によって行ってきた作業の軽減や自動化を目指してロボット開発等の取組を行っている。

長大橋の点検作業のうち、吊橋の主ケーブルの点検では、専用の維持管理用作業車（以下、ケーブル作業車という。）を吊橋全体の点検、補修計画に基づいて移設しながら点検、補修作業を進めているが、ケーブル作業車の台数が少ないことが課題となっている。更に、ケーブル作業車の設置、撤去は、交通規制を実施し、移動式クレーンにより行われるため、交通事故のリスクが避けられない。これらの課題に対して、2023年度はケーブル作業車を使用せずケーブル全周を撮影可能な点検ロボットを開発し、大島大橋での現場実証（写真-2）により、撮影時の走行性、取得画像に問題ないことが確認された。

この他、トラス補剛桁や斜張橋ケーブルを対象とした点検ロボットや箱桁裏面を対象とした補修塗装ロボットについても開発を進めている。



写真-2 点検ロボットによるケーブル点検状況
Photo 2 Cable inspection by inspection robot

2.3 点検高度化WG

点検技術の高度化として遠隔、非接触による計測・診断技術の開発を目的とした取組を行っている。

2023年度は神戸大学との共同研究成果で既に実用化され現場適用している鋼床版下面亀裂検出システム（T-GAP法）について、長大橋で実績のあるカメラを搭載した台車と走行レールによる連続点検作業が困難な橋梁に対し、新たな撮影方法と新たな撮影方法に対応したシステム改良について検討を実施した。新たな撮影方法として手持ちカメラを使用した撮影方法を現場実証により検証し、静止画から亀裂の検出が可能であることが確認された。また、伸縮棒等にカメラを取付けて遠隔操作による撮影が可能なカメラヘッドを試作し、現場実証により亀裂の検出が可能であることが確認された（写真-3）。現場実証で確認された課題を踏まえ、現場適用に向けた装置及びシステムの開発を進める。



写真-3 遠隔操作の現場実証
Photo 3 Field demonstration of remote control

2.4 補修機材・材料検討WG

点検作業や補修工事などの現場で活用する機材や材料等の技術開発を目的とした取組を行っている。

飛来塩分等による腐食環境の厳しい海峡部橋梁において鋼材の局所的な腐食の補修を実施する場合、補修箇所の再劣化防止のために錆と塩分の十分な除去が重要となる。しかし、狭隘部や添接部のボルト等では錆や塩分の完全な除去が難しいことから、錆や塩分の完全な除去が難しい場合でも防食効果を発揮する補修材料に期待し、数種の防食材料について比較的腐食環境の厳しい場所で暴露試験を継続実施し、その効果を定期的に検証している。

3. まとめ

保全業務高度化部会では、研究段階の要素技術の取り組みから現場での活用を視野とした適用技術に渡る様々な検討を本四高速グループ一体となって行っている。これまでの研究開発で得られた成果と課題を基に、「自動点検・補修技術開発コンソーシアム」のオープンイノベーションによる技術開発の取組とも連携しながら更なる技術開発を図り、2025年度以降、点検から補修までの一連のプロセスを通じたPDCA高度化として大島大橋をモデルとしたプロトタイプの実証活用を目指している。

交通運用高度化部会の取組

Report of subcommittee for traffic control

松谷 達也 Tatsuya Matsutani

業務部次長

1. 検討目的及び経緯

本州四国連絡高速道路(株)の交通運用において、事故・渋滞をなくし、安全・快適で使いやすい高速道路を提供するための手段として、先進技術の導入検討や渋滞対策の高度化を検討、調整することとしている。グループ一体となってこれらの高度化・効率化を推進することを目的に、令和3年に高速道路事業高度化本部が発足し、この高度化本部の下でテーマ毎に検討を行う部会の一つとして、交通運用高度化部会が設置されている。

本稿は、令和5年度における交通運用高度化部会の取組内容を概説したものである。

2. 交通監視・情報提供の高度化

交通運用高度化部会での主な取組として、交通状況の速やかな把握をはじめとする迅速かつ確かな交通運用(図-1)を目指すべく検討を行っているところであり、各取組の状況については以下のとおりである。



図-1 部会が目指す交通運用高度化
Fig.1 Image of Traffic control advancement

2.1 交通動向把握システム導入

令和4年度にETC2.0プローブデータの分析による速度把握システムを管制室に導入したが、現認状況と突合したところ、アンテナ設置間隔が約10kmピッチと長いため、

収集データにタイムラグが生じることや、車両時速30km/hの場合、10km離れたデータは約20分遅れでの受信となることが課題として判明した。今後は、予測結果の渋滞長に合わせた所要時間の算定補正、交通中央システムと連携して渋滞情報を道路情報板で提供するための改修を検討していく(図-2)。



図-2 交通動向の把握時間短縮に係る検討

Fig.2 Study on time reduction of traffic trend monitoring

2.2 渋滞予測システムの検討

渋滞予測の手法として、節2.1で紹介した交通動向把握システムを介して収集されるデータのタイムラグに対してAI学習を利用したデータ補正を行い、予測渋滞長に合わせた所要時間の算出、自然渋滞と異なる渋滞の動きの検知(速度変化による異常検知)をリアルタイムで把握する手法について検討していく。

2.3 路側設置画像共有カメラの試行導入

交通状況を直接目視することを目的とした管制室への画像伝送システム(図-3)を構築中であり、令和5年度は路側カメラ設置計画を策定し、先行設置箇所として東浦に路側カメラを設置した。また、渋滞や事故多発区間、休憩施設の混雑状況及び降雪時の路面状況等の監視を目的に3ルート全体のカメラ増設配置計画を策定し、AI画像認識技術導入に向けた要件整理を行った。

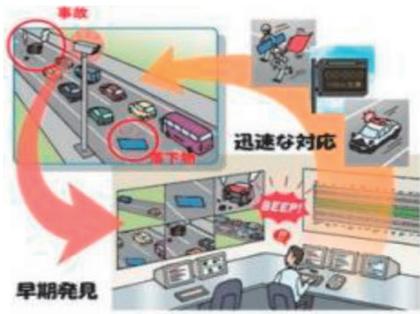


図-3 路側設置画像共有カメラによる画像転送システム
Fig.3 Image transmission system using roadside cameras

2.4 車載型画像共有カメラの試行導入

道路上での事象発生を速やかに管制室と共有することを目的に、交通管理隊車両に車載型カメラを搭載し、その情報を活用する交通監視の手法について試行を重ねた(図-4)。試行導入後の検証において、車両停止位置が規制の後方となり対象物捕捉に難がある等実用性に課題が見つかったことから、今後は路側カメラなどの他の手段による交通監視の方向で検討していく。



図-4 車載型画像共有カメラによる検証
Fig.4 Verification of on-vehicle cameras

3. 先進技術の動向把握

3.1 自動運転

将来の自動運転普及に備える取組として、令和5年度は車線維持支援システムの作動に必要な区画線の剥離率の閾値特定等について情報収集を図るため、自車位置特定情報WG(国土交通省道路局、国総研ITS推進室、高速道路会社、自動車メーカー)への参画及び他会社へのヒアリング等を行っている。

3.2 ダブル連結トラック駐車マス

ダブル連結トラック駐車マスについて1箇所整備を行ったところであり、今後長時間駐車の実態を確認する調査を予定している。

4. まとめ

当部会は、令和5年度に検討、試行を実施した各種施策について、今後も引き続き本格導入を目指して活動し、本四道路における交通運用高度化を実現することで、事故・渋滞の低減を目指し、安全・円滑で使いやすい高速道路の提供を実現する。

ETC・サービス運用高度化部会の取組

Report of subcommittee for ETC and service

萬城 基樹 Banjo Motoki

企画部 経済調査課長

1. 検討目的及び経緯

本部会は、先進技術の導入検討やETC2.0等のデータの分析・活用を通じ、お客様のニーズを踏まえた快適で便利な高速道路サービスの提供、お客さまの満足度を向上させることを目的としている。

本稿では、令和5年度に行ったETCデータを活用した利用分析の事例を紹介するものである。

2. 検討内容及び成果

車両の逐次データとして時刻及び位置情報等を有するETC2.0プローブデータを活用し、観光利用交通の立寄り地分析を試みることにした。

対象期間は2022年ゴールデンウィーク期間とし、神戸淡路鳴門自動車道の淡路島内のICで流出入する車両のうち、同月のゴールデンウィーク期間外に淡路島内IC利用が一度もない車両を対象とした。立寄り地の判定は、30分以上停止した場所とした。

分析の結果、淡路島内の立寄り地は、立寄り箇所数別に図-1 a) b) c)の赤色で着色された場所であった。赤色が濃いエリアほど、多くの来訪があったことを示している。なお、対象交通の52%が立寄り1箇所であった。

次に、立寄り1箇所の車両と2箇所の車両が訪れたエリアの違いを示したものが図-1 d)である。ピンクで表示されたエリアは、立寄り2箇所の車両の方が多く選択する観光地で、1箇所のみで立寄る車両の立寄り地として選択されにくい観光地を示している。一方、青色で表示されたエリアはその逆の傾向を持つエリアを示しており、立寄り箇所数の違いによる立寄り地の差異を把握することができた。

以上のことから、淡路島内観光利用の誘発、淡路島内の短トリップ利用促進策の一つとして、淡路島内の観

光地1箇所しか訪れていない車両に対する、新たな目的地情報の効果的な発信や快適な観光周遊ルート提案等の施策が考えられる。

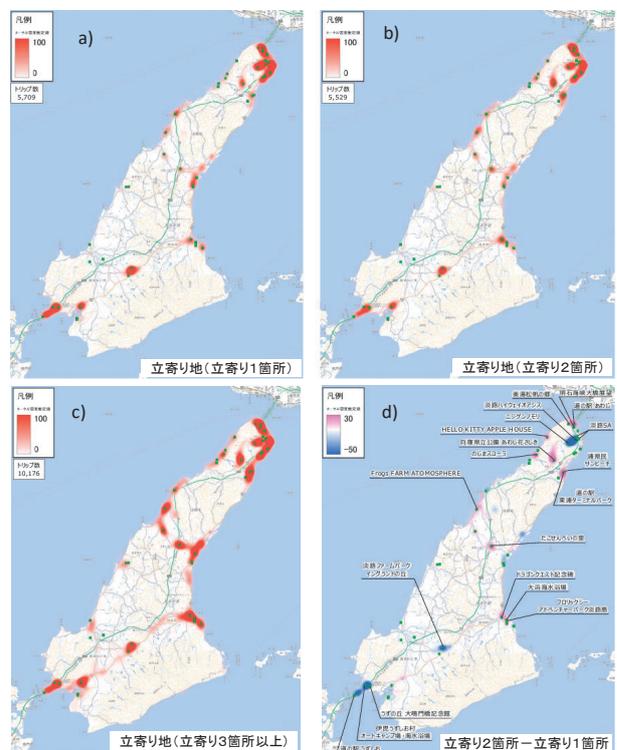


図-1 淡路島内の立寄り状況

Fig.1 Drop-in in Awajishima Island

3. まとめ

本四高速道路を利用した自動車から把握できるデータにはETC2.0プローブデータを含め様々なものがある。より効果的かつ効率的なサービスの提供及びビステークホルダーのニーズに応え様々な施策提案に繋げていくためには、データの活用が重要であり、関係部署と連携しデータの分析・提供を進めていく必要があると考える。

2023年度インフラメンテナンスプロジェクト賞受賞

2023 Infrastructure Maintenance Project Award

本四高速で実施した、「多々羅大橋他2橋耐震補強工事」（受注者：株式会社 IHI インフラシステム）が2023年度のインフラメンテナンスプロジェクト賞を受賞しました。

土木学会では、2021年度よりインフラメンテナンス分野の表彰制度としてインフラメンテナンス賞を創設しています。この表彰制度は、インフラメンテナンス分野に特化し、インフラメンテナンスに関連する優れたプロジェクト（事業）、人・団体（技術者、オペレーター、管理者等）、個別要素技術（点検・診断、施工方法、材料等）および論文（実践的研究）を評価し、共有することによりメンテナンス関係者のインセンティブを高めることを目的としています。

今回受賞した工事は、西瀬戸自動車道海峡部区間のうち、今後30年間に震度6弱以上の揺れに見舞われる確率が26%以上の地域にある新尾道大橋、多々羅大橋、大三島橋の耐震補強工事を行ったものです。新尾道大橋では橋軸方向の移動量が許容値を超過していたため桁端への緩衝ゴムを設置、多々羅大橋では橋軸方向の移動量を抑制するための粘性ダンパー、パネルストッパーの設置、大三島橋では道路桁（側タイ）の当て板補強と橋台の繊維シート補強を行っています。

今回は、本四高速と受注業者である株式会社 IHI インフラシステムをプロジェクト主体として、インフラメンテナンスプロジェクト賞に応募しました。本プロジェクト賞には8件の応募があり、その中から5件が選定され受賞しています。当該プロジェクトの受賞理由としては、「広島県尾道市と愛媛県今治市を結ぶ西瀬戸自動車道路の多々羅大橋、新尾道大橋、大三島橋の（中略）耐震補強工事を実施し、市民の生活や仕事を支える重要ルートの耐震性能向上に貢献した」というものです。表彰式は、2024年2月28日、第3回インフラメンテナンス・シンポジウムの1日目に実施されました。



写真-1 表彰状



写真-2 表彰式

(長大橋技術部 次長 花井拓)

第12回 橋梁の維持管理と安全性に関する国際会議 (IABMAS 2024)

12th International Conference on Bridge Maintenance, Safety and Management (IABMAS 2024)

第12回橋梁の維持管理と安全性に関する国際会議 (12th International Conference on Bridge Maintenance, Safety and Management) が、2024年6月25日～27日の3日間、デンマークのコペンハーゲンで開催されました。同会議は、1999年に設立された International Association for Bridge Maintenance and Safety (IABMAS) の協賛により、2002年から2年ごとに開催されている会議であり、今回で12回目の開催となります。

今回の会議テーマは、「橋梁の維持管理、安全性、マネジメント、デジタル化、持続可能性」であり、基調講演10件、査読が行われた計470件（44ヶ国）の論文が、11の会議室で50を超えるセッションに分かれて口頭発表が行われ、活発な議論が交わされました。

本州四国連絡高速道路(株)（以下「本四高速」という。）からは、企画部企画課の本郷より「Maintenance of Large Expansion joint in Honshu-Shikoku Bridges（本州四国連絡橋の大型伸縮装置の維持管理）」と題して、本四高速の長大橋に設置されている大型伸縮装置（リンク式伸縮装置）のこれまでの維持管理の状況及び今後長期的に維持管理を行っていくうえでの課題等についての発表を行いました。多くの方に興味を持っていただくとともに、本四高速の長大橋の維持管理について情報発信をすることができました。

次回、第13回目となる国際会議は、2026年にアメリカ・フロリダにて開催される予定です。



写真-1 基調講演の様子

(企画部 企画課 本郷誠人)

IABSE シンポジウム マンチェスター 2024

IABSE Symposium Manchester 2024

2024年4月10日～12日の日程で、国際構造工学会（International Association for Bridge and Structural Engineering：IABSE）のシンポジウムがイギリスのマンチェスターにて開催されました。

IABSEは、土木構造物の計画、設計、建設、維持管理及び補修にかかわる様々な技術・研究成果を発信する国際学会として、毎年シンポジウムとコンGRESSがそれぞれ開催されます。今回のシンポジウムのテーマは「緊急事態にある世界のための建設業界の役割 (Construction's Role for a World in Emergency)」であり、38か国357名（日本から約40名）の技術者が一堂に会し、論文発表等を通じて技術交流を行いました。その中、CO2排出量削減に注目した構造物設計や廃棄物の削減、既設構造物の長寿命化となる改修など持続可能社会の実現に関する論文発表が多数ありました。

本四高速からは保全部道路橋梁保全課のWANGが「供用40年を超える因島大橋の未来への挑戦：耐震補強の取り組み (Efforts of Seismic Retrofit：The Future Challenge of Innoshima Bridge Beyond 40 Years of Service)」について、鳴門管理センター計画課の木内が「電気防食を用いたコンクリート床版の防食方法 (An Anti-corrosion Method for Concrete Slab with Cathodic Protection)」について技術発表を行いました。

その他、基調講演では「技術者と気候変動対策 (Engineers and climate action)」や「コンクリート構造物のサプライチェーンで問われる低炭素技術 (Low carbon technologies to be challenged in the supply chain of concrete structures)」等の地球温暖化に対する技術者が持つべき姿勢や責任を問うようなテーマがありました。また、「フィリピン・バターン・カビテ連絡橋 (BCIB) プロジェクトの設計 (Design of the Bataan-Cavite Interlink Bridge (BCIB) Project in The Philippines)」等について長大橋に関する情報提供も行われました。

テクニカルツアーでは、マンチェスター市内の様々な形式の橋梁をご案内頂きました。

次回のIABSE2025シンポジウムは、日本（東京）で開催される予定です。

(保全部道路橋梁保全課 WANGHONGXIN)



写真-1 開会式

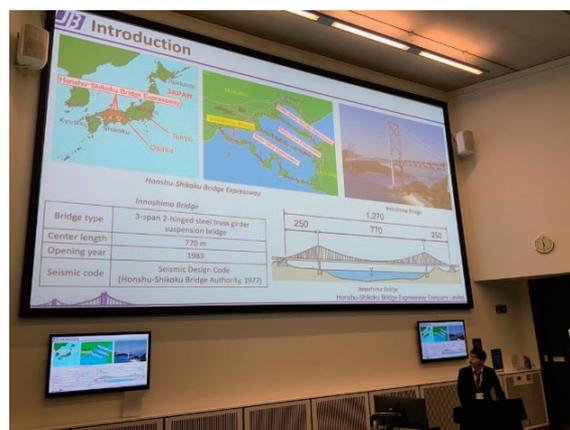


写真-2 本四高速の発表 (WANG)



写真-3 本四高速の発表 (木内)



写真-4 テクニカルツアー

国際技術交流会

Technical meeting with Sund & Bælt Holding A/S and CCI Seine Estuaire

2024年6月22日～28日の日程で、デンマークのストアベルト社、フランスのセヌ・エストゥワール準州商工会議所（以下「セヌ商工会議所」）との技術交流会に技術支援室長の林，企画部企画課の本郷，坂出管理センター保全課の町田，しまなみ尾道管理センター計画課の山下が参加しました。

ストアベルト社が管理するグレートベルト・イースト橋（吊橋）と本州四国連絡高速道路（株）（以下「本四高速」という）が管理する明石海峡大橋は姉妹橋の関係にあり，姉妹橋協定を締結して今年で26年となります。また2018年7月に技術交流に関する協定を締結した以降，2020年のコロナ禍の時期を除いて毎年交流会を実施してきました。

ストアベルト社との交流会（写真-1）では，先方より橋梁の点検の自動化，モニタリングの高度化について情報提供いただきました。本四高速からはハンガーロープの維持管理，吊橋ケーブル送気システムの現況について情報提供し，意見交換を行いました。

セヌ商工会議所は現在ノルマンディー橋（斜張橋）とタンカヴィル橋（吊橋）を管理しています。ノルマンディー橋と本四高速が管理する多々羅大橋は姉妹橋協定を締結してから今年が25年となります。セヌ商工会議所とは今回が初めての対面での打ち合わせであるため，今後の協力体制の構築及び技術的な意見交換を目的に訪問しました。

セヌ商工会議所との交流会（写真-2）では，先方より側径間部主桁にポストテンションとして設置したPCケーブルが破断したことに伴う補強として被覆ケーブルを追加設置していること，斜張橋ケーブル桁側定着部の近傍の素線が破断（雨水侵入に伴う腐食）したことに伴うケーブルの架け替え工について紹介いただきました。本四高速からは斜張橋ケーブル被覆の亀裂やケーブル素線の腐食状況を診断するロボットを開発中であることを紹介したところ，大変興味を持っていただきました。またノルマンディー橋の斜張橋ケーブルの健全性診断は，全てのケーブルで超音波反響による損傷部を検知する超音波探傷試験と常に測定器を設置し破断音を検知する音響モニタリングを実施することで行っており，全体の5%程度素線の破断を検知した段階でケーブルを交換するとのことであり，損傷を許容する考え方は日本のメンテナンス方法に対する考え方との違いを感じました。

さらにノルマンディー橋の現場を案内していただき（写真-3），現地の舗装工事，斜張橋ケーブルの音響モニタリング状況，主桁内の状況等を説明していただきました。今後さらに技術交流を行っていく予定です。



写真-1 ストアベルト社との技術交流会



写真-2 セヌ商工会議所との技術交流会



写真-3 ノルマンディー橋にて

（坂出管理センター保全課 町田 陽）
（しまなみ尾道管理センター計画課 山下 洋）

保有特許一覧

国内特許

2024.7 時点

特許番号	特許名	特許権者
4115472	橋梁構造物における足場の組立方法	本四高速道路ブリッジエンジニア(株)
4252982	橋梁及び橋梁の構築方法	本州四国連絡高速道路(株)、国立研究開発法人土木研究所、日立造船(株)、川田工業(株)、一般財団法人土木研究センター、JFEエンジニアリング(株)、エム・エムブリッジ(株)、清水建設(株)、一般財団法人橋梁調査会、(株)三井E&Sマシナリー
4327834	斜張橋のケーブル定着部の防水処理方法およびその装置	本四高速道路ブリッジエンジニア(株)
4627765	トンネル用換気ガス浄化装置のフィルタ再生方法及び装置	本州四国連絡高速道路(株)
5255516	ワイヤロープの防錆剤圧入方法及び装置	本州四国連絡高速道路(株)、本四高速道路ブリッジエンジニア(株)、東京電設サービス(株)
5539793	打撃工具	本四高速道路ブリッジエンジニア(株)、(株)技術開発研究所
5582883	素地調整装置	本州四国連絡高速道路(株)、本四高速道路ブリッジエンジニア(株)、(株)技術開発研究所
5757657	鋼管杭の防食施工方法	本州四国連絡高速道路(株)、本四高速道路ブリッジエンジニア(株)、日鉄防食(株)
5873785	ボルト・ナットの素地調整工具	本四高速道路ブリッジエンジニア(株)
5881984	素地調整工具	本四高速道路ブリッジエンジニア(株)、(株)技術開発研究所
5887249	土木構造物補修用ブラスト装置およびそれを用いた土木構造物補修方法	本州四国連絡高速道路(株)
5926078	素地調整装置	本四高速道路ブリッジエンジニア(株)、(株)技術開発研究所
6052737	鋼床版の亀裂検出方法および亀裂検出装置	本州四国連絡高速道路(株)、公立大学法人 滋賀県立大学、国立大学法人神戸大学
6341897	鋼床版の下面補修方法	本州四国連絡高速道路(株)、学校法人 関西大学
6478948	ワンサイドボルトで縦リブとデッキプレートとを接合した鋼床版構造を備える鋼橋	本州四国連絡高速道路(株)、坂野 昌弘

特許番号	特許名	特許権者
6671661	塗膜劣化検出方法	本州四国連絡高速道路(株)、国立大学法人神戸大学
6693997	主塔改修工事に用いる移動昇降式足場及び主塔改修工事における移動昇降式足場を用いた構造物の補修施工方法	本州四国連絡高速道路(株)、本四高速道路ブリッジエンジニア(株)、エム・エムブリッジ(株)、(株)IHIインフラシステム、(株)タカミヤ
6691519	構造物の塗膜消耗量測定方法	本州四国連絡高速道路(株)、本四高速道路ブリッジエンジニア(株)
6718910	ヘッド装置及びブラスト装置	本州四国連絡高速道路(株)、本四高速道路ブリッジエンジニア(株)、エム・エムブリッジ(株)、(株)IHIインフラシステム、(株)ナカタ・マックコーポレーション
6718426	ケーブルの防食方法	本州四国連絡高速道路(株)
6885888	足場設置方法及び足場設置構造	本州四国連絡高速道路(株)、本四高速道路ブリッジエンジニア(株)、エム・エムブリッジ(株)、(株)IHIインフラシステム
6925876	網状物観測装置、及び画像編集装置	本四高速道路ブリッジエンジニア(株)、東京電設サービス(株)
6975212	鋼橋の鋼製閉断面部材の座屈防止構造	本州四国連絡高速道路(株)
7323380	網状構造体の維持管理方法及び網状構造体の維持管理装置	本四高速道路ブリッジエンジニア(株)、東京電設サービス(株)
7402903	ハンガーロープ防錆処理方法	本州四国連絡高速道路(株)、本四高速道路ブリッジエンジニア(株)、東京電設サービス(株)
7503270	伸縮ブームの接触防止装置	本州四国連絡高速道路(株)、岡田エンジニアリング(株)

■国際特許

2024.7 時点

特許番号	特許名	特許権者
US11346011B2 米国	METHOD FOR PREVENTING CORROSION OF CABLE	本州四国連絡高速道路(株)

文 献 紹 介

本州四国連絡橋関連技術文献紹介 (24. 01~24. 06)

題 名	著 者	雑誌名等	巻	号	年月	頁
本州四国連絡橋の維持管理業務の高度化・効率化	福永勸	橋梁と基礎2021. 12 Vol. 55		55	202112	1
明石海峡大橋の動態観測設備と強風時観測事例	花井拓 竹口昌弘 本郷誠人	日本風工学会誌第48 巻第01号	48	1	202301	9
社会的共通資本としての本四架橋	片山雄也 前島一陸 遠香尚 史	高速道路と自動車 第66巻 第8号	66	8	202308	6
本州四国連絡高速道路株式会社	本州四国連絡高速道路(株) 経理部経理課	高速道路と自動車 第66巻 第8号	66	8	202308	5

※本四技報，技術発表会は除外。

本四技報編集委員会・幹事会名簿(五十音順) 令和6年4月1日現在

委員長	竹口昌弘	幹事長	花井拓
委員	有馬敬育	幹事	池田秀
	白田幸生		白田幸生
	香川晃樹		大浦義司
	楠原栄巳		大串弘幸
	佐伯成雄		小島晴彦
	長尾幸二		河野浩之
	西野晋拓		小坂佳也
	花井基樹		坂本祐一
	萬城憲二		杉本輝良
	藤田太夫		田中和哉
	藤田幸夫		玉津居勇人
	森口和弘		辻田淳至
	山本和弘		松上善昭
	山本和茂		山口和範

本四技報 第142号

発行 令和6年9月20日
編集・発行 本州四国連絡高速道路株式会社
印刷 有限会社 セキグチ

本州四国連絡高速道路株式会社
Honshu-Shikoku Bridge Expressway Company Limited
〒651-0088 神戸市中央区小野柄通 4-1-22
アーバンエース三宮ビル内
電話番号：078(291)1000 (代表)
<https://www.jb-honshi.co.jp>



当紙/印刷配合率70%再生紙を使用

