

吊橋『白鳥大橋』の唯我独尊的な維持管理(第1報)

－ ケーブルバンドボルト軸力管理と

省電力に資する航路標識のLED化 －

国土交通省 北海道開発局 室蘭開発建設部 室蘭道路事務所 計画課 ○松島哲郎
 同 室蘭道路事務所 工務課 河内義則
 同 室蘭道路事務所 所長 葛西 聡

一般国道37号 白鳥大橋は、室蘭市に位置する橋長1,380mの長大橋である。本橋は国内で唯一、積雪寒冷地に架設された吊橋であり、一般橋梁とは異なる維持管理が必要不可欠である。

それら多数ある唯我独尊的な維持管理手法のうち、平成23年度は予防的修繕の一環として、ケーブルバンドボルト軸力計測、及び同ボルト増し締め工事を行った。それら計測結果、及び増し締め工事から、供用後13年が経過した同ボルトの軸力低下状況、及び今後の軸力低下予測などの知見を得た。本論文では、これら今後の維持管理に必要となる知見、及び本橋を取り巻く状況などを報告するものである。

キーワード：白鳥大橋、ケーブルバンドボルト、軸力管理、航路標識、予防的修繕

1. はじめに

日本国内には様々な形式の橋梁が多数架設されているが、そのうち、延長15m以上の橋梁だけでも152,000橋が存在¹⁾する。それら無数に存在する橋梁の中でも、吊橋(写真-1²⁾)という形式の橋梁は、日本国内には、表-1³⁾に示した16橋しか存在しない。

それら吊橋独自の維持管理手法は多岐にわたり、例えば、点検を行う場合も、特殊な専用機器⁴⁾を用いなければならない場合も多い。しかし、それら点検などは局所的な把握にとどまる場合が多く、部材の多さや複雑さ、及び技術的な面などから橋梁全体の現況状況を把握することさえも困難な場合がある。

よって、それら数多くの部材に対して、きめ細やかな予防的修繕⁵⁾を施すなど、地道な維持管理を積み重ね、橋梁全体としての長寿命化を図らなければならない。

さらに、近年、公共事業に対してのコスト意識が向上しており、現在のリソースを最大限に生かしつつ、プライオリティーを的確に判断し、必要最小限の投資で最大限の効果を生む、様々なBMS(橋梁マネジメントシステム：Bridge Management System⁶⁾)の活用が検討された。

現在まで多くの研究者や技術者により、実務レベルでの提案^{7) 8) 9)}などが多数なされているものの、残念ながら、これらBMSは実用化に至らず^{10) 11) 12) 13)} 吊橋に限らず一般橋梁含め、実務レベルでの長期に渡る維持管理、及び修繕計画立案は困難を極めているのが現状である。

それら状況を踏まえ、本橋の供用開始から現在までの13年の間に、城ヶ端^{14) 15)}や、大島^{16) 17)}、及び筆者ら^{18) 19)}が報告した、長寿命化に資する吊橋独自の維持管理から得られた知見を醸成しつつ、今年度行ったケーブルバンド増し締め工事から得られた新たな知見、及び本橋を取り巻く昨今の状況などを報告するものである。

表-1 日本国内に架設されている吊橋一覧³⁾

No	橋梁名	所在地	最大支間長	橋長(m)	供用開始年	道路管理者名	
1	明石海峡大橋	兵庫県	1,991	3,911	1998	本州四国連絡高速道路(株)	
2	南備讃瀬戸大橋	香川県	1,100	1,723	1988		
3	来島海峡第三大橋	愛媛県	1,030	1,570	1999		
4	来島海峡第二大橋	愛媛県	1,020	1,515	1999		
5	北備讃瀬戸大橋	香川県	990	1,611	1988		
6	下津井瀬戸大橋	岡山県	940	1,447	1988		
7	大鳴門橋	徳島県	876	1,629	1985	広島県道路公社	
8	因島大橋	広島県	770	1,270	1983		
9	安芸灘大橋	広島県	750	1,175	2000	国土交通省 北海道開発局	
10	白鳥大橋	北海道	720	1,380	1998		
11	関門橋	山口県	712	1,068	1973		西日本高速道路(株)
12	来島海峡第一大橋	愛媛県	600	960	1999		本州四国連絡高速道路(株)
13	レインボーブリッジ	東京都	570	798	1993		首都高速道路(株)
14	伯方・大島大橋	愛媛県	560	1,230	1988		本州四国連絡高速道路(株)
15	豊島大橋	広島県	540	903	2008		広島県
16	平戸大橋	長崎県	465	665	1977		長崎県

平成23年6月現在



写真-1 ライトアップされた吊橋『白鳥大橋』²⁾

2. 吊橋のケーブルバンドボルト軸力管理

(1) 吊橋のケーブルバンドとは

吊橋のケーブルバンドは、メインケーブルに設置され、ハンガーロープを介して道路面を有する補剛桁を吊るための部材である(図-1、写真-2)。

これらケーブルバンドは、メインケーブルを両側から挟み込む構造となっている。よって、それらケーブルバンドボルトに軸力を導入し、メインケーブルとケーブルバンドの間に摩擦を発生させ、一定の滑り抵抗力を確保し、吊橋の機能を確保するものである。

(2) ケーブルバンドボルト軸力管理の必要性

これらケーブルバンドボルトの軸力は、時間の経過とともに低下する。よって、計画的にケーブルバンドボルトの軸力を計測し、滑りに対する所要の安全率を確保できるように管理を行っていく必要がある。

なお、本州四国連絡高速道路株式会社により定められた要領²⁰⁾などを参考としつつ、本橋独自に策定された『バンドボルト、側塔上蓋ボルト軸力管理マニュアル²¹⁾』に則り、導入軸力が70%まで低下した場合での滑りに対する安全率を、3.0以上確保することとしている。

(3) ケーブルバンドボルト軸力低下に起因する弊害

メインケーブルとケーブルバンド間の摩擦力が低下すると、ケーブルバンド設置位置のずれや、変位が生じると、所謂『バンドスリップ』が発生し、荷重伝達の均等性が崩れると同時に、一部の部材への応力集中などが発生し、吊橋として、強いては橋梁として不安定な状態に陥る。

さらに、本橋は側塔を境とし、側塔の前後でメインケーブルの張力に差異がある構造となっている。よって、側塔部サドルの上蓋でメインケーブルを押さえ付け、摩擦力を発生させる独特な構造が採用されている²²⁾。従い、側塔部サドルも同様にボルトの軸力が低下すると、前述した同様の理由により、不安定な状態になってしまう。

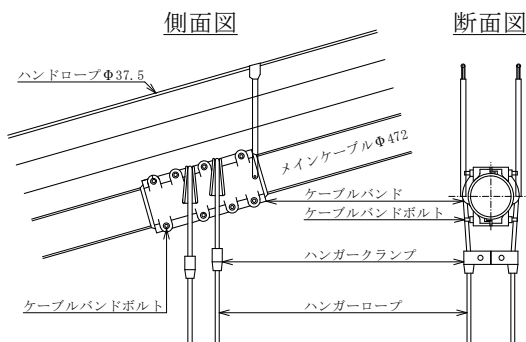


図-1 本橋のケーブルバンドの姿図

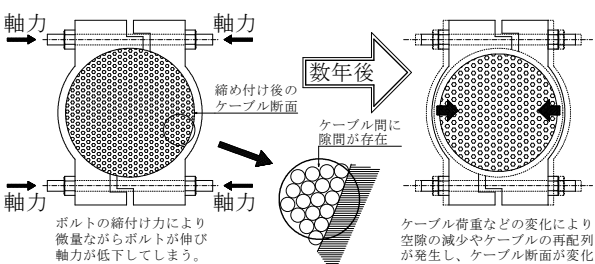


図-2 メインケーブル内の鋼線の再配列模式図

(4) ケーブルバンドボルト軸力低下の原因

軸力低下の原因は諸説あり、本州四国連絡高速道路株式会社らを中心とし、様々な調査検討^{23) 24) 25) 26)}や、増し締め工事報告^{27) 28) 29)}などが行われている。しかし、軸力低下の明確な原因や因果関係は未解明である。なお、現在までに得られている知見³⁰⁾を以下に示す。

- ✓ 鋼線の亜鉛めっき層のクリープ
- ✓ 締め付けボルトのリラクゼーション
- ✓ 応力増大によるケーブルの細り
- ✓ ケーブルバンドの変形
- ✓ 荷重変動などによって生じる鋼線の再配列(図-2)
- ✓ ケーブル内に入っているシーリングテープの変形
- ✓ ケーブルバンドとメインケーブルの温度差による伸縮

3. 白鳥大橋における軸力管理

(1) 本橋でのケーブルバンドボルト軸力管理の経緯

本橋は、供用開始後13年が経過している。表-2は、過年度にケーブルバンドボルト増し締め工事を行った年次などを示している。建設時、及び供用開始後に増し締め工事を行っており、今年度は『第5次締め付け』となる。

なお、供用開始後は、数年ごとに軸力計測を行っており、軸力低下状況の把握に努めている。

それら、軸力低下状況の経年変化を踏まえつつ、本年、ケーブルバンドボルト、及び側塔部サドル上蓋ボルトの全数について増し締め工事を行ったので報告する。

(2) 軸力管理を行う際に使用するケーブル検査車

軸力計測を行う際は、メインケーブル上を移動可能なケーブル検査車(写真-3)を用いる。夜間に片側交互通行規制を行い、クレーンでメインケーブル上にケーブル検査車³¹⁾を架設し(写真-4)、移動しながら計測を行う。

なお、軸力計測はケーブル検査車に作業員4名が乗車し、一連の作業を行う。よって、軸力計測は、一般車両の通行規制は伴わず昼間に行うことが可能である。

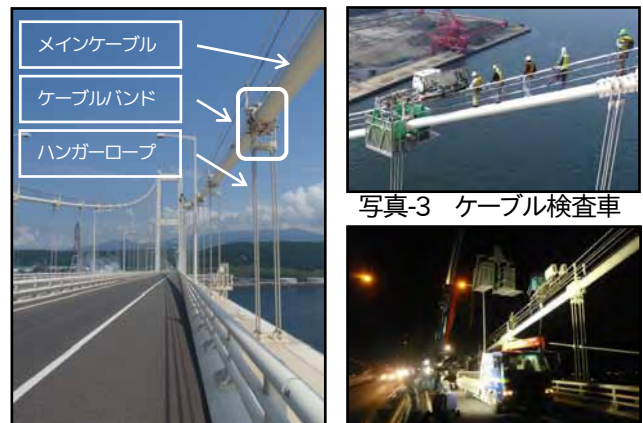


写真-2 本橋のケーブルバンド 写真-4 検査車架設状況

表-2 本橋のケーブルバンドボルト増し締め工事履歴

軸力導入 (増し締め実施年度)		備考
第1次	平成06年	ケーブルバンド架設時
第2次	平成06年	補剛桁架設前
第3次	平成08年	補剛桁架設後の死荷重増加時
第4次	平成11年	舗装敷設、供用後の活荷重増加時
第5次	平成23年	経時変化計測結果に基づき実施

(3) 平成11年度以後の軸力低下状況と考察

平成11年度に行った『第4次締め付け』の増し締め工事施工日を0日とし、それ以後の軸力低下状況を年度別に整理したものを、図-3に示す。

この計測結果から、微量ではあるが、日々、軸力が低下していくことは明確である。これは、前述した理由だけではなく、橋梁が架設されている場所の気象条件、通行車両の振動、橋梁の形状など、様々な要因から影響を受け、徐々に軸力が低下していくことが示されている。

なお、現在までの計測結果から、概ね、本橋は増し締め後、約4,500日(約12年)を経過すると、所定の安全率の確保²⁾が難しくなることが明らかとなった。

(4) 平成23年度軸力計測結果

今年度、増し締め工事を行う際に、ケーブルバンド全箇所、現時点での残存軸力を計測した。その結果を、図-4に示す。軸力の設計値54.6tに対して、平均値が43.2tとなり、概ね79%の残存率であった。

また、前述した通り、安全率3以上²⁾を確保するための残存軸力、即ち、設計値の70%を下回っているケーブルバンドも数カ所存在していることが明らかとなった。

この状況を放置すると、時間の経過と共に、更なる軸力低下が生じ、吊橋として不安定な状態に陥る可能性が高かったことが伺える。

(5) 増し締め工事施工状況

これらの状況を踏まえ、今年度、全箇所のケーブルバンドボルト増し締め工事を行った。前述したケーブル検査車に、白鳥大橋専用で作られた軸力測長器、及びボルトテンショナーを搬入し、残存軸力を確認しつつ、低下した軸力の再導入、即ち増し締めを行った(写真-5,6,7)。

なお、今年度増し締めを行った後に軸力を再度計測した値を、図-3に黄色でプロットしてある。『軸力管理マニュアル²⁾』に則り、設計値±10%の範囲内の精度で、適切に増し締めが行なわれており、概ね、平成11年度に行った『第4次締め付け』の軸力まで回復している。

(6) 今後に向けての課題

今後、同じような傾向で軸力が低下するかは明らかではなく、不明な点も多い。よって、今後も、今までと同様に、2~3年に一度の頻度で、ケーブルバンドボルトの軸力計測を行い、状況把握を行う必要がある。

なお、供用開始後から今日までと同様の傾向で軸力低下が生じると仮定した場合、12年後の平成35年前後に、再度、増し締め工事を行う必要性が高いことが示された。

また、軸力低下が著しい箇所を図-5に示す。主塔頂上付近、及び側塔付近に位置するケーブルバンドボルトの軸力低下量が多い傾向にある。これらの原因は、現時点では明らかとなっていない。よって、原因追求のための詳細な調査解析、及び維持管理コスト縮減に資する適切な安全率の設定などの検討は、今後の課題としたい。

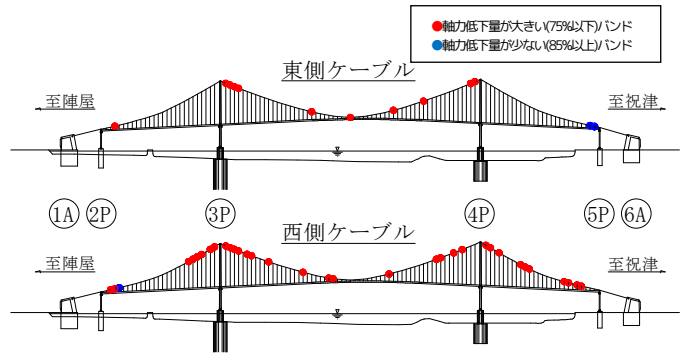


図-5 ケーブルバンドボルトの軸力低下が著しい箇所

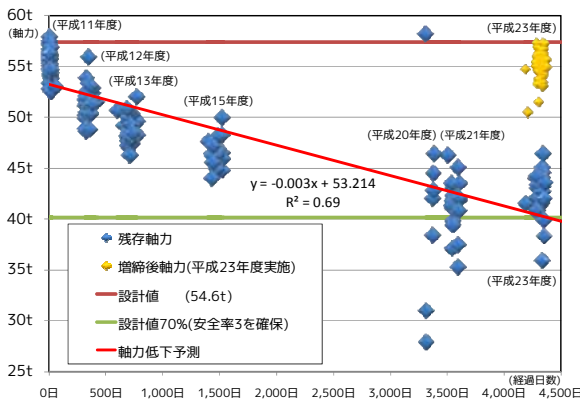


図-3 平成11年度以後の軸力低下状況

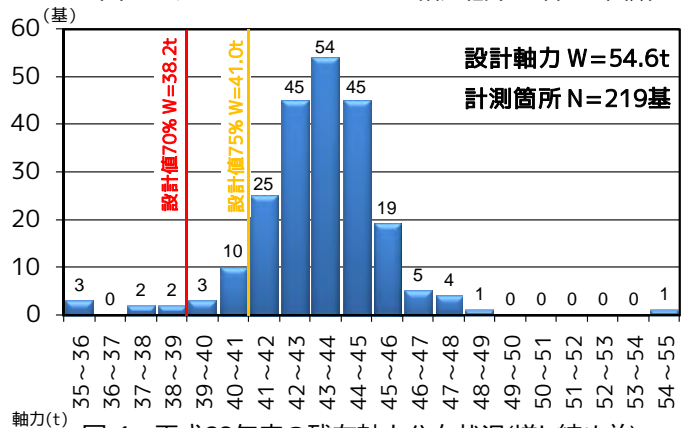


図-4 平成23年度の残存軸力分布状況(増し締め前)

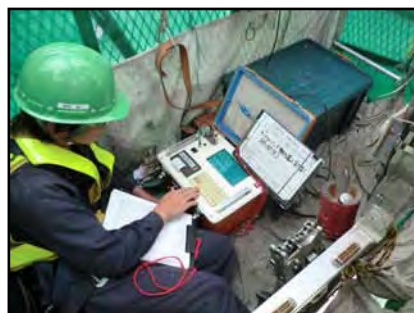
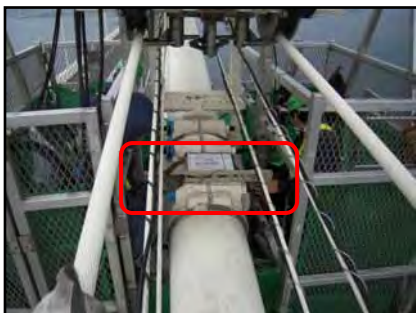


写真-5 本橋専用軸力測長機設置状況 写真-6 本橋専用機器での軸力計測状況 写真-7 ボルトテンショナー設置状況
Tetsuro Matsushima, Yoshinori Kawauchi, Satoshi Kasai.

4. 省電力に資する航路標識のLED化

(1) 入港船舶数からみる室蘭港の重要性

本橋が架設されている室蘭港は、残念ながら、平成20年11月を最後にフェリーの入港は絶えてしまい³²⁾、室蘭市長を会長、登別市長・伊達市長・洞爺湖町長を副会長とした『室蘭港フェリー航路誘致促進期成会³³⁾』を発足し、航路再開に向けた様々な取り組みを行っているものの、近年の入港船舶数は減少の一途を辿っている(図-6)。

しかし、それでもなお、平成22年度においては、年間5,751隻もの船舶が入り出している³⁴⁾。

さらに、全道港別貿易額でみると、北海道内1位の苫小牧港に逼迫し、道内2位の貿易額を誇り、全道の37.6%のシェアを占めている³⁵⁾。室蘭港に続く、道内3位の釧路港のシェアが4.7%であることから、物流の拠点としての室蘭港の重要性が伺える(図-7)。

(2) 航路標識とは

これら多くの船舶が来港する本港において、漁業施設含め構造物を設ける際には、その施設の保安を図ると共に、航路近くの暗礁や浅瀬なども含め、危険な障害物の存在を知らせるために、夜間に灯光を発する『航路標識』の設置が必要となる³⁶⁾。

本橋は、海上保安庁の指導のもと、平成12年度に黄色灯火の航路標識を、1Aアンカレイジに2基、2P側塔に1基、3P、4Pの築島に各4基ずつ、合計11基が設置されている。

これらの航路標識の塗色・灯火の色・光り方(灯質)などは世界統一規格として定められており、本橋に設置されている航路標識の告示要項書(抄録)を表-3に示す。

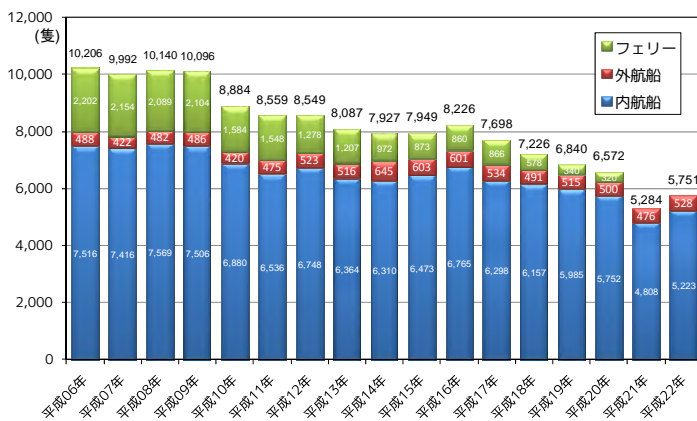


図-6 室蘭港の入港船舶隻数の推移³⁴⁾

(3) 既設航路標識

本橋の供用開始時から設置されていた既設航路標識は、(財)日本航路標識協会の許可標識用認定灯器³⁶⁾で、白熱電球式の広拡散角形灯ろう(ZL-200P型)である。

これは、球切れによる消灯事故を防ぐために、電球断芯状態を監視しており、もし球切れが発生すると、制御板にアラートが上がると同時に、予備の新しい電球に自動的に切り替わり消灯事故を防ぐ、6球式の電球交換機能を有している(写真-8)。

今まで特段の問題もなく運用してきた既設航路標識であるが、平成22年度に電球交換機が損傷し、球切れが発生しても電球が切り替わらない事象が発生した。よって、電球交換機の修理、あるいは部品交換などを試みたが、部品製造メーカーにおいても平成20年3月に販売供給終了³⁷⁾となっており、事実上、修理不可能な状態に陥った。

(4) 新たな航路標識の検討

これらの状況を踏まえ、新たな航路標識への交換検討を行った。その際、航路標識のみならず、本橋に設置されている風速計³⁸⁾や視程計、ケーブル送気³⁹⁾、アンカレイジ除湿⁴⁰⁾など、様々な情報収集機器や情報提供装置などの既存通信システムとの融合性、及びRAS(Reliability Availability Serviceability)にも配慮した。

また、イニシャルコスト縮減に資するよう、既存航路標識の雲台や、分電盤、制御盤などの既存設備を最大限活用し、更に室蘭道路事務所と接続されている既存通信システムなども改修することなく航路標識を交換することを必要条件とし、かつ、維持管理費縮減のため、省電力に資するものとした。

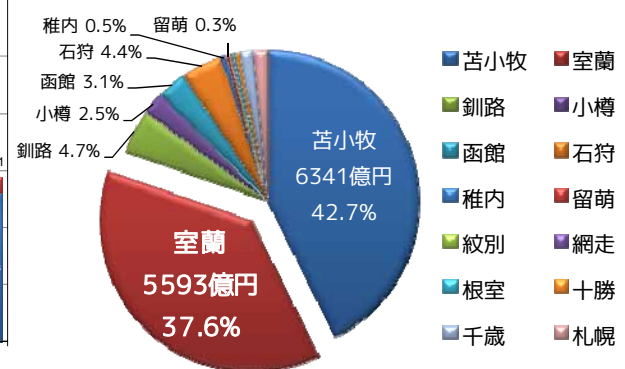


図-7 平成22年度 全道港別貿易額シェア³⁵⁾

表-3 本橋の航路標識告示要項書(抄録)

名称	むろらんこうはくちようおおし 室蘭港白島大橋 橋梁灯 (P五灯)
所在地	室蘭港白島大橋橋梁灯 (C-灯) の北方約42.0メートル
北緯	42-21-22 (22, 0) 13 (12, 98)
東経	140-57-02 (02, 0) 15 (15, 06)
灯質	不動黄光
光度	110カンデラ
光達距離	5.5海里 7.0海里
明弧高さ	全度 平均水面上から灯火まで 5.4メートル (5.44)
変更予定年月日	平成23年9月末
記事	1. 本灯は、橋脚基部の中央及び両端に各1個設置されている。 2. 北海道開発局 室蘭開発建設部 室蘭道路事務所管理
参考	ZL-L S 1 6 0 B型灯具 (購入電力) NO. 16, 14, 17, 1034, 1030, 43



写真-8 既設航路標識
(左写真:電球切替機)

Tetsurou Matsushima, Yoshinori Kawauchi, Satoshi Kasai.

(5) 省電力に資するLED航路標識の設置

これら検討結果、航路標識の灯ろうは、視認性の向上、長寿命かつ省電力なLED(Light Emitting Diode)式のものへ交換することとした(図-8、写真-9)。

また、交換部位は、灯ろう本体と、電源を供給するAC/DC変換器のみとし、既設雲台などには加工を施さず、必要最小限のコストにおさえることができた。

なお、白熱電球式の航路標識は、前述した通り定期的に電球を交換する必要があり維持管理コストが発生した。しかし、光源をLED式にした場合、灯ろう本体が小型軽量化されると同時に、断芯することがないため、維持管理コストの低減が期待できる。

さらに、消費電力量は、白熱電球式151.8wから、LED式41.8wと、微量ではあるが省電力化が達成できた。

これら検討結果を踏まえ、海上保安庁と協議、及び航路標識に使用する機器の変更申請を行い、平成23年9月下旬に現場の施工を行った(写真-10,11)。

5. おわりに

本橋が架設されている室蘭港は、来年度、開港140周年を迎える⁴¹⁾。そのため、港湾管理者である室蘭市を中心として様々な記念事業が予定されている。さらに、近年、室蘭に立地している工場群や白鳥大橋を中心とした『室蘭夜景²⁾』が脚光を浴びつつあり、日本全国を対象として、様々な情報発信が行われている。

これら官民一体となった活動、及び情報発信に対し、我々は道路管理者という立場を踏まえつつ、最大限協力させていただき、相乗効果を生みたいと考えている。

また、本橋は、一般市民の方々⁴²⁾、地元自治体の技術系職員⁴³⁾、胆振地域の観光ボランティア協議会の方々、及び工学系の学生⁴⁴⁾などを対象とした見学会などの啓蒙活動も行っており、それらの開催状況が新聞に

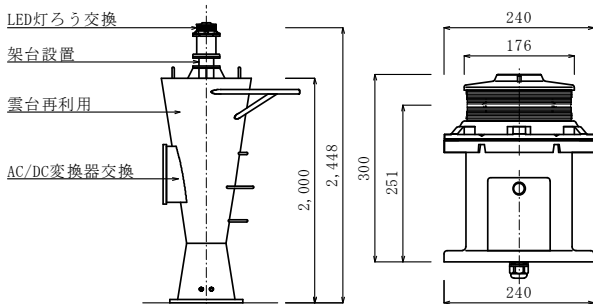


図-8 航路標識の姿図と、LED式灯ろう



写真-9 LED式航路標識



写真-10 航路標識の交換作業状況



写真-11 LED式航路標識の点灯状況

掲載⁴⁵⁾されたと同時に、テレビの道内ニュースのなかで放送され、本橋への関心の高さが伺える。なお、平成23年度(平成23年4月1日から同年12月28日までの累計)は、228名の方々が、本橋の見学に来訪いただいた。

さらに、見学会に訪れていただいた、日本工学院北海道専門学校においては、それら見学会の様子をオフィシャルWebサイトに掲載⁴⁶⁾していただいた事例などからも、本橋が胆振地域に与えているインパクトの強さを改めて感じている。

従い、本橋は、道路としてコモディティ化されるものではなく、胆振地域のシンボリック存在、即ち、地域の方々の誇りと愛着の醸成などに貢献し、かつ、地域活性化に資する高いポテンシャルを秘めている¹⁹⁾。よって、今後も地域貢献に資する付加価値を持ち続け、胆振地域の魅力度向上に寄与し続けられるよう、鋭意努力したい。

6. 謝辞

本対策を検討、及び施工するにあたり、国土交通省海上保安庁 第一管区海上保安本部 室蘭海上保安部、(株)ドーコン 交通事業本部 構造部、日鉄トピーブリッジ(株)技術本部プロジェクト管理部、(株)ゼニライトプライ札幌営業所、及び函館どつく(株)室蘭製作所に、ご尽力いただいた。この場を借りて御礼申し上げる。

なお、函館どつく(株)室蘭製作所においては、本橋の供用開始時から長きに渡り、本橋専用の特殊な維持管理用設備などの点検、保守管理、及び橋体修繕工事などを行っていただいていると同時に、本橋に愛着を抱いていただき、維持管理にご尽力いただいている。

さらに、写真-12⁴⁷⁾に示すように、自社工場内の見学会など、地域の教育機関などに対して広く門戸を開き、胆振地域全体としてのリテラシー向上に資する啓蒙活動を精力的に行っていた。

なお、室蘭市は平成14年に『ものづくりのマチ宣言⁴⁸⁾』を行った。これらのアイデンティティ向上に資する啓蒙活動、広報広聴活動は、地域の豊かさの醸成には必要不可欠である。しかし、これらの活動は、多大な労力やコスト、及びきめ細やかな気配りなども必要である。

よって、これら誠意を持った広報広聴活動や、地道な地域貢献などが、いつか必ず実を結ぶ日が訪れることを期待し、重ねてお礼申し上げる次第であり、この場を借りて深く感謝の意を表すものである。



写真-12 地元園児を招いた新船の進水式の状況⁴⁷⁾

参考文献

- 1) 国土交通省道路局:「予防保全の推進」[「予防保全の取り組み」],2008.
http://www.mlit.go.jp/road/sisaku/yobohosen/yobo1_1.pdf
- 2) 室蘭観光推進連絡会議:「むろらん夜景」Web サイト,2011.
<http://www.muromikan.com/yakei/index.html>
- 3) 本州四国連絡高速道路株式会社:「長大橋技術センター」[「長大橋ランキング」]Web サイト,2011.
<http://www.jb-honshu.co.jp/center/job/frank.html>
- 4) 本州四国連絡高速道路株式会社:「本州四国連絡橋の保全技術」[「長大橋の維持管理設備」]Web サイト,2005.
<http://www.jb-honshu.co.jp/technology/maintenances.html>
- 5) 国土交通省道路局:「新たな道路行政マネジメント平成 15 年度道路行政の業績計画書」[「橋梁延命化のイメージ」]予防的修繕,2003.
<http://www.mlit.go.jp/road/tr/ir/perform/11.html>
- 6) 玉越隆史・大久保雅憲・渡辺陽太:「道路橋の計画的な管理に関する調査研究」[「国土技術政策総合研究所」]国総研資料第 523 号,2009.
<http://www.mlit.go.jp/lab/bcg/siryou/trn/trn0523.htm>
- 7) 坂井康人・荒川貴之・井上裕司・小林潔司:「阪神高速道路橋梁マネジメントシステムの開発」,土木学会情報利用技術シンポジウム論文集 Vol.17,pp.63-70,2008.
<http://psa2.kuciv.kyoto-u.ac.jp/lab/images/stories/users/kobayashi/papers/HEBMS.pdf>
- 8) 和田圭仙・本間淳史:「橋梁マネジメントシステムの現状と課題」,文部科学省学術フロンティア推進事業,都市・建築のストック再生を目的とした環境共生技術の戦略的開発研究,研究発表講演会,pp.69-72,2006.
<http://home.kanto-gakuin.ac.jp/kg068504/doc/12.pdf>
- 9) 原田吉信:「橋梁のアセットマネジメントについて」,建設マネジメント技術 2006 年 9 月号,pp.12-15,2006.
http://kenmane.kensetsu-plaza.com/bookpdf/16/fa_02.pdf
- 10) 渡邊一悟・石川博之・佐藤京:BMS の構築と運用における課題,北海道開発土木研究所月報 No.625,pp.35-39,2005.
<http://thesis.ceri.go.jp/center/doc/geppou/kouzou/0005706040.pdf>
- 11) 但木純・佐藤誠・大島俊之・三上修一・池田憲二・竹田俊明:「BMS における補修事業シミュレーション」,平成 15 年度土木学会北海道支部年次技術研究発表会,pp.228-231,2004.
<http://kairilbl.kitami-it.ac.jp/dspace/bitstream/10213/1185/1/8669692-10.pdf>
- 12) 渡邊一悟・石川博之・佐藤京・加藤静雄・佐藤誠・大島俊之:「北海道 BMS の開発と本格運用に向けた課題」,土木学会平成 16 年度年次技術研究発表会,2004.
http://www.jsce.or.jp/library/open/proc/maglist2/00039/200406_no29/pdf/90.pdf
- 13) 石川博之:「橋梁マネジメントシステム(BMS)に関する研究への取組について」,北の交差点 Vol.23 SPRING-SUMMER,財団法人北海道道路管理技術センター,pp.12-13,2008.
<http://www.hokuhokune.jp/mec/23pdf/12-13.pdf>
- 14) 城ヶ端政次・松坂昇・浮田正:「白鳥大橋におけるメインケーブルの腐食調査について」,第 44 回北海道開発技術研究発表会,pp.287-294,2001.
- 15) 城ヶ端政次・菅原登志也・石川雅人:「積雪寒冷地における下路橋の着雪対策」,第 57 回土木学会年次学術講演会,pp.517-518,2002.
<http://library.jsce.or.jp/jsce/open/00035/2002/57-1/57-1-0259.pdf>
- 16) 大島雅人・浅利雅裕・山田弘幸:「白鳥大橋補剛桁内除湿実験について」,第 48 回北海道開発技術研究発表会,CD-ROM,2004.
- 17) 大島雅人・田高準・鈴木恵太・坂本良文・藤野陽三:「鋼箱橋梁の経済性を考慮した桁内除湿設計と実証実験」,土木学会論文集 F,Vol.63,pp.119-130,2007.
http://www.jsce.or.jp/article/jsce/63/1/119_/pdf/char/ja/
- 18) 松島哲郎・北田公三・沼田秀昭:「白鳥大橋照明柱の長寿命化に資する耐風対策」,第 53 回北海道開発技術研究発表会,2010.
http://www.hkdmlit.go.jp/topics/sjyutu/giken/h21_pre_intra/pdf_files_h20/GT/GT-6.pdf
- 19) 松島哲郎・安倍明政・小野裕二:「白鳥大橋に求められる役割についての一考察」,FRP 製マンホールによる予防的修繕と見学会から得られた知見~,第 54 回北海道開発技術研究発表会,2011.
http://www.hkdmlit.go.jp/topics/sjyutu/giken/h22_pre_intra/pdf_files/RK/RK-6.pdf
- 20) 本州四国連絡橋公団:「ケーブルバンド設計要領(案)」,1978.
- 21) 北海道開発局 室蘭開発建設部・新日鐵神鋼特定建設工事共同企業体:「バンドボルト側塔上蓋ボルト軸力管理マニュアル」,1998.
- 22) 本間徹・佐々木靖宗・田高淳・大島雅人・山田弘幸:「白鳥大橋側塔ケーブル縮付ボルトの軸力経時変化特性について」,土木学会第 60 回年次学術講演会,pp.303-304,2005.
<http://library.jsce.or.jp/jsce/open/00035/2005/60-6/60-6-0152.pdf>
- 23) 岩垣富春・蔵森和生:「ケーブルバンドボルトの再締め付けにおける軸力管理」,本四技報,Vol.30,No.106,pp.38-39,2006.
- 24) 森山彰:「吊橋ケーブルバンドボルトの管理手法に関する検討」,本四技報,Vol.31,No.108,pp.9-14,2007.
- 25) 山田郁夫・森山彰:「吊橋ケーブルバンドの維持管理」,本四技報,Vol.32,No.110,pp.28-30,2009.
- 26) 山田郁夫・森山彰・山口和範:「ケーブルバンドすべり安全性の検討」,本四技報,Vol.34,No.113,pp.29-30,2009.
- 27) 西岡直樹・沖本文雄・鳥海隆一・木下真人:「安芸灘大橋ケーブルバンドボルト増し締め工事報告」,土木学会第 56 回年次学術講演会,pp.226-227,2001.
<http://library.jsce.or.jp/jsce/open/00035/2001/56-1/56-1B0113.pdf>
- 28) 栗野純孝・池田秀継:「明石海峡大橋ケーブルバンドボルトの軸力管理」,土木学会第 57 回年次学術講演会,pp.753-754,2002.
<http://library.jsce.or.jp/jsce/open/00035/2002/57-6/57-6-0377.pdf>
- 29) 大広始・岩垣富春・小原誠:「因島大橋ケーブルバンドボルトの軸力管理」,土木学会第 60 回年次学術講演会,pp.301-302,2005.
<http://library.jsce.or.jp/jsce/open/00035/2005/60-6/60-6-0151.pdf>
- 30) 森山彰・大谷康史・薄井稔弘:「ケーブルバンドすべり安全性の検討」,土木学会第 60 回年次学術講演会,pp.133-134,2005.
<http://library.jsce.or.jp/jsce/open/00035/2005/60-1/60-1-0068.pdf>
- 31) 新日鉄エンジニアリング株式会社:「ケーブル検査車」,日本国特許庁(JP),2007-120242(P2007-120242A),2007.
<http://www.patent.jp/19/N/N100106/DA10003.html>
- 32) 室蘭市港湾部総務課:「事業者(港湾)フェリーについて」Web サイト,2009.
<http://www.city.muromi.lg.jp/main/org8100/ferry.html>
- 33) 室蘭市港湾部総務課振興係:「室蘭港フェリー航路誘致促進期成会」Web サイト,2009.
<http://www.city.muromi.lg.jp/main/org8100/fenykouroyuuch.html>
- 34) 室蘭市港湾部総務課:「室蘭港統計年報」Web サイト,2010.
http://www.city.muromi.lg.jp/main/org8100/port_data.html
- 35) 室蘭市総務部総務課統計係:「室蘭市統計書」,港湾・貿易,2011.
<http://www.city.muromi.lg.jp/main/org1200/toukeisho.html>
- 36) 財団法人日本航路標識協会:「航路標識とは」Web サイト,2011.
<http://www.jana.or.jp/>
- 37) 株式会社ゼニライトバイ:「白熱電球式商品廃止のご案内」,2008.
<http://www.zenilite.co.jp/topics/ich.html>
- 38) 新山惇・佐藤昌志・池田憲二・菅原登志也・佐藤浩一:「白鳥大橋の固有振動数評価に関する常時微動観測法の適用性」,土木学会構造工學論文集 Vol.47A,pp.469-477,2001.
- 39) 中屋宏則・松坂昇・城ヶ端政次:「白鳥大橋ケーブル送気システムによる防食工について」,第 44 回北海道開発技術研究発表会,pp.295-302,2001.
- 40) 三浦高義・佐藤勝正・佐々木克典:「白鳥大橋におけるスプレー室の除湿について」,第 46 回北海道開発技術研究発表会,CD-ROM,2003.
- 41) 室蘭市総務部総務課総務係:「室蘭市開港 140 年・市制施行 90 年記念事業」Web サイト,2011.
<http://www.city.muromi.lg.jp/main/org1200/kinenjiyou.html>
- 42) 室蘭開発建設部広報官・技術管理課:「地域の方のための現場見学会」今年も開催しました!,2011.
http://www.mrhkdmlit.go.jp/event_news/h23/110915.pdf
- 43) 室蘭開発建設部広報官・技術管理課:「白鳥大橋勉強会を開催します!」,報道提供資料,2011.
<http://www.mrhkdmlit.go.jp/houdou/h23/110823.pdf>
- 44) 室蘭開発建設部広報官・技術管理課:「若小牧工業高等専門学校の生徒の皆さんを対象に現場見学会を行います」,報道提供資料,2011.
<http://www.mrhkdmlit.go.jp/houdou/h23/110902.pdf>
- 45) 室蘭民報社:「工学院生が室蘭・白鳥大橋見学」,内部構造つぶさに,2011 年 10 月 26 日(水)朝刊,Web サイト,2011.
http://www.murominmr.jp/muromin-web/back/2011/10/26/20111026m_04.html
- 46) 日本工学院北海道専門学校:「キャンパス通信」,白鳥大橋見学,2010.
<http://blog78.necc.ac.jp/archives/51035717.html>
- 47) 学校法人 明星学園 清泉幼稚園:「清泉日記」Web サイト,2011.
<http://www.16plala.or.jp/seisens/>
- 48) 室蘭市企画財政部企画課高度情報推進:「e ものづくりのマチ」,2011.
http://emooconet/index_01.html