

白鳥大橋の大規模補修と維持管理について ー長大吊橋における安全安心な交通の確保に向けた取り組みー

室蘭開発建設部 室蘭道路事務所 工務課 ○坪井 颯汰
工務課 伊藤 優
副所長 長谷川 健一

白鳥大橋は道内唯一の長大吊橋である。供用開始後27年が経過したが、平時はもとより災害時においても安全で安心な道路網を確保するため、これまで20年に及ぶ大規模な塗替補修を進めてきた。本橋は部材数が多く、補修は長期に及ぶとともに、その施工方法も吊橋独特のものとなる。本稿では、これまでに実施した補修や今後必要とされる補修について概説するとともに本橋の維持管理に必要な活動・取り組みについて報告する。

キーワード：長大吊橋、大規模補修、維持管理

1. はじめに

一般国道37号室蘭市に架かる白鳥大橋(写真-1)は、橋長1,380mの3径間2ヒンジ形式の吊橋で1998年6月に供用が開始された。東日本最大の吊橋であり、積雪寒冷地に架かる国内唯一の吊橋でもある。室蘭市は半島が馬蹄形に突き出た湾形状であり、室蘭港を取巻くように行政地域・商工業地域・住宅地域などが環状に広がっている。本橋は半島先端の湾口海上に架橋され、広域幹線ネットワークを形成し室蘭市内幹線道路を環状化する重要な構造物である。また室蘭地域のランドマークのひとつであり、本橋の開通を記念し始まったスワンフェスタが現在も開催されるなど、地域住民にも親しまれるインフラ施設となっている。さらにはインフラ施設を観光資源として活用するインフラツーリズムとして、湾内クルーズとセットにしたツアーを行っており、近年、全国的に知名度は広がっている。



写真-1 白鳥大橋全景

2. 白鳥大橋の維持管理

本橋は架替の難しい大規模橋梁のため、合理的かつ計画的な維持管理により長寿命化を図ることが重要となる。しかし大規模吊橋は国内でも数が少なく、維持管理に関する技術的知見も少ないのが実情である。中でも吊橋にしかない特殊部材の管理は、補修事例が少ない一方で、特殊かつ高度な技術が要求される。そのため室蘭開発建設部では2012年9月に学識経験者らによる「白鳥大橋維持管理計画検討会」(以下、検討会という)を設置。本橋に関する調査・検討結果をもとに検討会での審議をふまえ維持管理計画を作成している。これまでの主な開催履歴(表-1)のうち、主要な審議事項となった塗替塗装は、部位毎に順次施工を進め、現時点で主塔・側塔・補剛桁がほぼ完了している。ハンガーロープと主ケーブルが残されているが、塗装劣化が進行しているハンガーロープの塗替を先行して進めているところである。

表-1 白鳥大橋維持管理計画検討会 開催履歴

| 開催年度 | 主な審議事項 |
|------|-----------------------------|
| 2012 | ・塗装塗替 ・ハンガー腐食① |
| 2013 | ・ハンガー腐食② ・付属設備補修 |
| 2014 | ・ハンガー口元腐食対策① ・鋼床版舗装補修 |
| 2015 | ・ハンガー口元腐食対策② ・主ケーブル塗替 |
| 2016 | ・ハンガー口元腐食対策③ ・主ケーブル端部補修① |
| 2017 | ・主ケーブル端部補修② ・バンドボルト軸力管理① |
| 2018 | ・バンドボルト軸力管理② ・ハンガー塗替(浸漬塗装①) |
| 2019 | ・ハンガー塗替(浸漬塗装②) |
| 2020 | ・ハンガー塗替(浸漬塗装③) |
| 2021 | ・ハンガー塗替(素地調整器①) |
| 2022 | ・ハンガー塗替(素地調整器②) |
| 2023 | ・ハンガー塗替(素地調整器③) ・照明柱亀裂① |
| 2024 | ・照明柱亀裂② |
| 2025 | ・ハンガー塗替(効率化) |

3. ハンガーロープの塗替

(1) ハンガーロープの構造

ハンガーロープは、桁に作用する荷重をメインケーブルに伝達させる重要な構造部材である。ロープは亜鉛メッキ鋼線を撚り合わせた構造(CFRC)で、1格点当たり4本、橋梁全体で888本のロープが配置されている。ロープ長は2～70mと格点毎に変化しており、表面はロープ素線相互の隙間や伸縮への追従性を考慮して柔軟型塗料を採用、下塗はエポキシ樹脂、上塗はふっ素樹脂による塗装仕様としている(写真-2、表-2)。

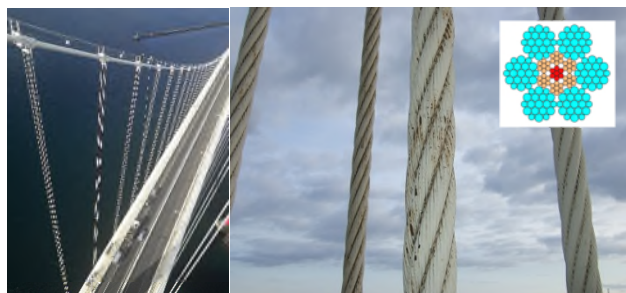


写真-2 ハンガーロープの構造

表-2 ハンガーロープの塗装仕様(建設時)り

| 区分 | 塗料種別 | 塗布量(g/m ²) | 膜厚(μm) |
|----|-------------|------------------------|--------|
| 下塗 | 柔軟型エポキシ樹脂塗料 | 1,000 | 150 |
| 上塗 | 柔軟型ふっ素樹脂塗料 | 550 | 45 |

(2) 現在の劣化状態

ハンガーロープの発錆は外観調査で以前から確認されていたが、素線内部の腐食状態の評価が難しかったため2013年に実橋からハンガーロープを抜き取り、解体調査による腐食量(断面欠損率)や引張強度等を確認した。この結果、口元部で腐食量(断面欠損率)が最大4%程度あったが、引張強度は安全率が確保されていることが確認されている(図-1)。その後は一般部の状態把握を目的とした調査(表-3)を行っているが、残存耐力に影響するような大きな腐食(=断面欠損)は確認されていない。一方でロープ表面の発錆が近年広がっており(図-2、3)、防錆機能の迅速な回復(塗替塗装)が求められる状況にある。

(3) 塗替方法と施工課題

ハンガーロープの塗替は現道近傍の高所作業であり、塗料の飛散防止や塗膜確保が難しい部材への対応に慎重な塗布作業が求められるため、一般的な刷毛塗りでは施工に時間を要する。そのため建設時に採用した浸漬塗装による工法とし作業効率化による時間短縮と品質の均一化を図っている。浸漬塗装はロープに専用の塗装器(浸漬塗装器)を取り付け、その内部に塗料を貯めたまま容器を降下させる方法(図-4)であり、1回塗りで所定の厚膜確保が可能のため、2回塗りが必要な刷毛塗りに比べて施工時間の大幅な短縮が可能になる²⁾。

しかしゴンドラと浸漬塗装器の構造的な取合い等の理

由からロープの上下端1m程度は塗装器が届かないため、上下端のみ刷毛塗りで施工する計画とし(図-5)、現場施工に臨んだ。

表-3 ハンガーロープの調査履歴

| 実施年 | 調査項目 |
|------|------------------------|
| 2013 | ・腐食量調査①(解体調査)、・残存強度試験 |
| 2017 | ・発錆面積調査① |
| 2020 | ・発錆面積調査②、・腐食量調査②(全磁束法) |
| 2025 | ・発錆面積調査③ |

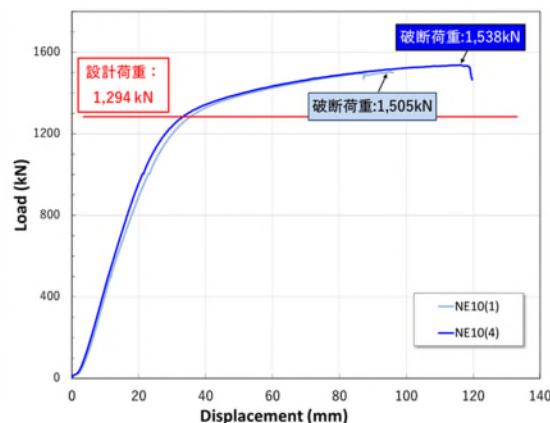


図-1 4%腐食したロープの強度試験結果

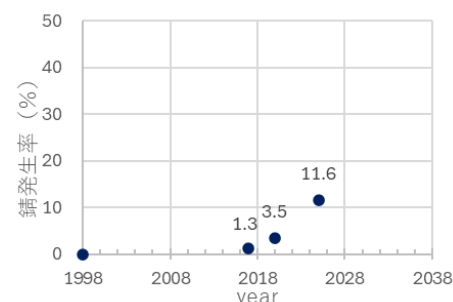


図-2 ロープ表面における発錆率の推移

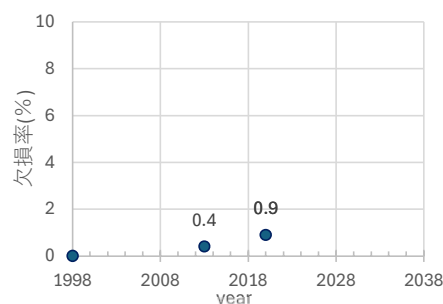


図-3 腐食量(断面欠損率)の推移

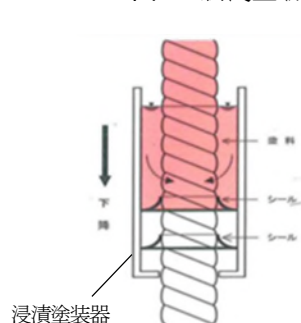


図-4 浸漬塗装

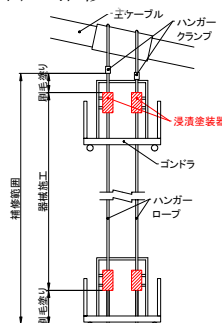


図-5 施工区分図

(4) 効率化に向けた取り組み

ハンガーロープの浸漬塗装は、2024年より本格的に開始した(写真-3、4、5)。現在の塗替工事における作業工程を図-6(上)に示すが、2格点ロープ8本の施工に26日間を要している。本橋は強風日が多く作業休止率が高いこともあり、全数塗替までの期間は長期に及ぶことが想定される。一方でこの間に劣化状態の顕在化と費用の更なる増加が懸念されることから、工期短縮化が必要と考え、作業の効率化を検討した。

時間がかかる要因について以下の事項が考えられる。

- ① **ゴンドラ使用上の制約**：1格点のうちロープ2本をゴンドラ昇降時のガイドロープに使用。塗料の乾燥までガイドロープとして使用不可。
- ② **塗装器の洗浄処理**：作業後の塗装器は付着した塗料を洗浄する必要があるため、連続作業が困難。
- ③ **塗料の気泡処理**：浸漬塗料は粘度が高く、調合時の気泡が残留し易い。気泡除去に時間を要する。
- ④ **上下端の刷毛塗り**：機械の届かない上下端は刷毛塗りとなるが、所定の厚膜には2回塗りが必要。

このうち②③④の効率化に向けて以下の対応を進めている。

- ・②に対し「**浸漬塗装器の追加**」による塗替作業の連続化
- ・③に対し「**消泡効果の高い添加剤の適用**」による濾過作業の省略
- ・④に対し上下端の刷毛塗りから「**簡易塗装器を用いた浸漬塗装へ変更**」(写真-6)

これらを適用することで図-6(下)に示すように作業日数が26日から16日となり、工程が大幅に短縮される。現

在、適用に向けた試験などを実施しており、次年度以降の早い段階で塗替工事への適用を考えている。



写真-3 ゴンドラ

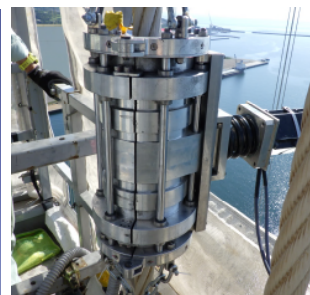


写真-4 素地調整器



写真-5 浸漬塗装器

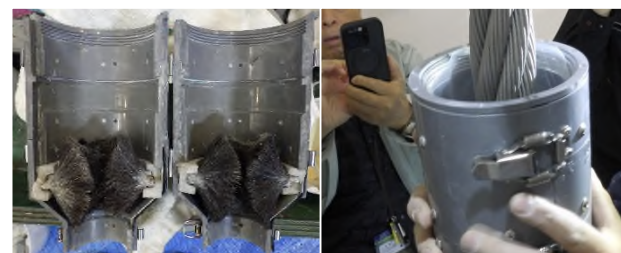


写真-6 簡易塗装器

◆現在の工程計画

| 格点 | ロープ番号 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 |
|----|-------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| ① | 1 | キ | | 錆 | 錆 | 錆 | | | ろ | 端 | ろ | 浸 | ろ | 端 | ろ | 浸 | | | | | | | | | | | |
| | 2 | キ | | 錆 | 錆 | 錆 | | | ろ | 端 | ろ | 浸 | ろ | 端 | ろ | 浸 | | | | | | | | | | | |
| | 3 | | キ | | | | | | | | | | | | | 錆 | 錆 | 錆 | | ろ | 端 | ろ | 浸 | ろ | 端 | ろ | 浸 |
| | 4 | | キ | | | | | | | | | | | | | 錆 | 錆 | 錆 | | ろ | 端 | ろ | 浸 | ろ | 端 | ろ | 浸 |
| ② | 1 | | | キ | | 錆 | 錆 | 錆 | | | | ろ | 端 | ろ | 浸 | ろ | 端 | ろ | 浸 | | | | | | | | |
| | 2 | | | キ | | 錆 | 錆 | 錆 | | | | ろ | 端 | ろ | 浸 | ろ | 端 | ろ | 浸 | | | | | | | | |
| | 3 | | | | キ | | | | | | | | | | | | | 錆 | 錆 | 錆 | | | | ろ | 端 | ろ | 浸 |
| | 4 | | | | キ | | | | | | | | | | | | | 錆 | 錆 | 錆 | | | | ろ | 端 | ろ | 浸 |

凡例

- キ 素地調整器によるケレン
- 錆 上下端の人力ケレン+錆処理
- 錆 錆部への有機ジンク塗布
- ろ 塗料の濾過作業(気泡処理)
- 端 上下端の刷毛塗り(中塗り1回目)
- 浸 浸漬塗装(中塗り) + 上下端の刷毛塗り(中塗り2回目)
- 端 上下端の刷毛塗り(上塗り1回目)
- 浸 浸漬塗装(上塗り) + 上下端の刷毛塗り(上塗り2回目)

◆効率化した工程計画

| 格点 | ロープ番号 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 |
|----|-------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| ① | 1 | キ | | 錆 | 錆 | 錆 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 2 | キ | | 錆 | 錆 | 錆 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 3 | | キ | | | | | | | | | 錆 | 錆 | 錆 | | | | | | | | | | | | | |
| | 4 | | キ | | | | | | | | | 錆 | 錆 | 錆 | | | | | | | | | | | | | |
| ② | 1 | | | キ | | 錆 | 錆 | 錆 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 2 | | | キ | | 錆 | 錆 | 錆 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 3 | | | | キ | | | | | | | | | 錆 | 錆 | 錆 | | | | | | | | | | | |
| | 4 | | | | キ | | | | | | | | | 錆 | 錆 | 錆 | | | | | | | | | | | |

凡例

- キ 素地調整器によるケレン
- 錆 上下端の人力ケレン+錆処理
- 錆 錆部への有機ジンク塗布
- 浸 浸漬塗装(中塗り) + 簡易塗装器(中塗り)
- 浸 浸漬塗装(上塗り) + 簡易塗装器(上塗り)

図-6 ハンガーロープ塗装作業の効率化

4. その他、今後補修が必要となる設備

本橋には、橋梁健全性を維持していくための特殊設備が多く設置されている(表-4、写真-7)。供用開始前後に整備されたものが多く、中には30年近く経過しているものもある。また、一部では既に不具合や故障も発生しており、抜本的な対策の実施が望まれる。橋梁本体に関する大規模補修を進める一方で、それら設備についても今後補修や更新を進めていくことが重要と考えている。

表-4 主な維持管理設備

| 主な維持管理設備 | 設置数 | 設置(更新)年 |
|---------------|-----|-------------|
| ケーブル送気乾燥システム | 5基 | 1999-2000 |
| 桁内除湿システム | 18基 | 2008-2009 |
| アンカレイジ内除湿システム | 4基 | 2002 |
| ケーブル検査車 | 2基 | 1995,1999 |
| 桁下作業車 | 3基 | 2012,2013更新 |
| 主塔ゴンドラ | 1基 | 1995-1997 |

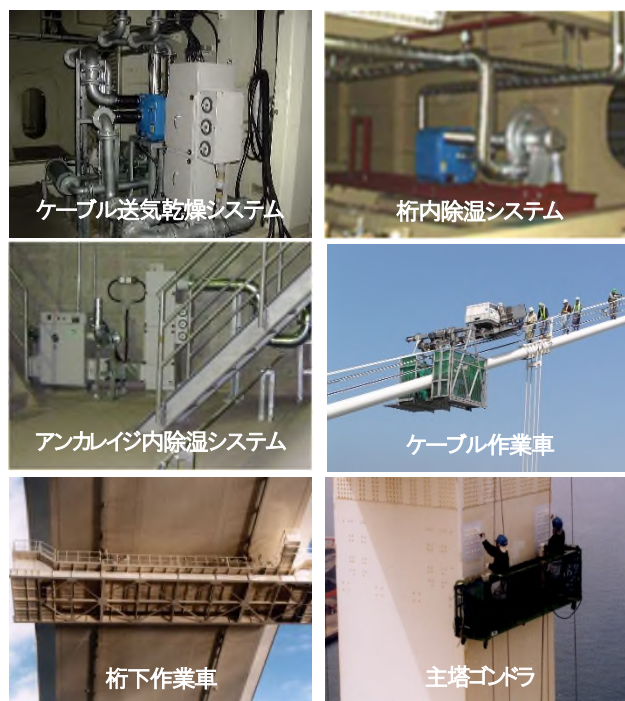


写真-7 主な維持管理設備

5. まとめ

現在工事を進めているハンガーロープの塗替について以下の効率化方策により、作業工程を約2/3に短縮化する計画を作成した。

- ・塗装器の増設
- ・塗料濾過作業の省略
- ・上下端の刷毛塗りを浸漬塗装に変更

今後は現場施工をふまえて作業性の確認や工期短縮効

果の検証を行い、効率化した作業工程の実績データに基づきハンガーロープ塗替完了までの全体工期を把握し、今後の白鳥大橋の補修計画工程にフィードバックする予定である。また、劣化状態についてもモニタリングを継続し、状態に応じて更なる工程短縮化の検討などを進める所存である。

6. おわりに

本橋は北海道開発局が管理する積雪寒冷地唯一の長大吊橋である。冬期間は強い季節風や低温環境下にあるため補修工事が困難であり、夏期においても強風日が多いことから年間を通じて工程上の制約が大きい。補修工事の工程効率化は重要な課題と認識している。また将来にわたり、本橋を適切に維持するには、新たな技術に関する情報収集はもとより、これまでに蓄積された技術的知見や経験を失うことなく研鑽し、次世代に継承、活用していくことが重要と考える。

我が国において、長大吊橋の維持管理は本四高速道路(株)が主導的な役割を担っており、先進的な維持管理技術の開発に取り組んでいる。室蘭開発建設部は本年7月に本四高速道路(株)との包括連携協定を締結し、今後、積極的に技術交流をおこなっていく。我が国における吊橋維持管理技術の発展及び蓄積に寄与していくとともに、架替が困難な本橋の長寿命化を図っていくことが使命と考えている。

参考文献

- 1) 白鳥大橋技術ニュース：No.34 ハンガーロープの塗装・キャットウォークの撤去
- 2) 鬼海 伸之、福田 悟史、豊島 真生：白鳥大橋ハンガーロープの塗替塗装について、第64回(2020年度)北海道開発技術研究発表会論文、管理10、2021.2