

長大吊橋における維持管理事例

Case report on maintenance of long-span suspension bridge

株式会社ドーコン ○正 員 三浦 和馬 (Kazuma Miura)
 // 正 員 佐々木康史 (Yasushi Sasaki)

1.はじめに

我が国において、本格的な長大吊橋の建設は 1962 年に開通した若戸大橋(北九州市)から始まる。その後、関門橋、平戸大橋と続いたのちに瀬戸大橋や明石海峡大橋などの本四架橋群の建設に至る。吊橋の構造や技術はそれらの建設を通して蓄積・活用されるとともに各々の時代における最新技術を導入しながら発展してきた。

一方、維持管理という面では、我が国における吊橋維持管理は 60 年程度の経験しかなく、一般橋梁の維持管理に比べると必要な知見や技術は非常に乏しいのが実情といえる。長大吊橋は規模が大きく、架け替えは現実的ではないことから現在の構造を適切に管理しながら、将来にわたって健全性を維持していくことが求められる。そのためには数少ない知見や技術を広く共有し、次代に継承していくことが重要と考える。

本報告では我が国で唯一、積雪寒冷地に建設された長大吊橋を対象に、その維持管理における事例を紹介する。

2.対象橋梁

対象橋梁の諸元を表-1に、側面図を図-1に示す。

表-1 橋梁諸元

橋種	道路橋 (自動車専用道)	
活荷重	B活荷重	
構造形式	上部工	3径間2ヒンジ補剛吊桁 (側塔付) 補剛桁: 鋼床版箱桁 主塔: 4層ラーメン形式 側塔: 2層ラーメン形式 ケーブル: PWS127×52st Φ5.2
	下部工	アンカレイジ基礎: ニューマチックケーソン 主塔基礎: 地中連続壁併用円形逆巻基礎 側塔基礎: 地中連続壁剛体基礎
橋長・支間割	橋長: 1380m 支間: 330m+720m+330m	
幅員構成	有効幅員: 14.25m (上下各1車線)	
供用開始年	1998年	

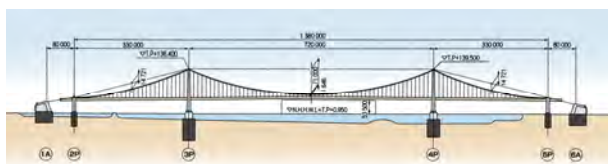
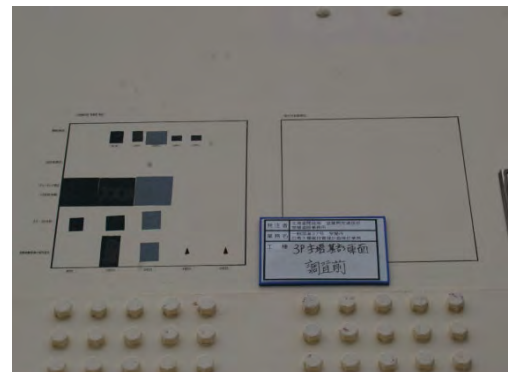


図-1 側面図

3.事例紹介

(1)塗装の維持管理

本橋は、約 11 万 m² の塗装面積があり、一般的な桁橋(3径間連続鋼桁橋)に換算すると 20~30 橋ほどの塗り替えに相当する。試算した結果、10 年程度の長期施工となることから、計画的に塗り替えを進める必要があった。そのため供用開始直後から定期的に塗膜の定点観測(写-1)を実施し、塗膜劣化のデータ収集に努めた。その結果から得られた塗膜劣化の予測式を基に塗り替え計画を立案した(図-2)。観測結果からは 1 年あたりで約 0.5 μm~1.0 μm の塗膜減少が認められたが、安全側での評価となるよう 1.0 μm/年の劣化速度を採用した。また建設時の施工記録から得られた膜厚分布を利用して塗替えが必要と判断される減厚量(限界膜厚)を設定し、劣化予測と組み合わせることで、限界膜厚になるまでの年数を求めた。これにより塗り替え完了の目標年と部位ごとの施工順序を定めた。現在は計画に基づいて塗り替えを実施している。



写-1 実橋に設置した塗膜観測用の定点

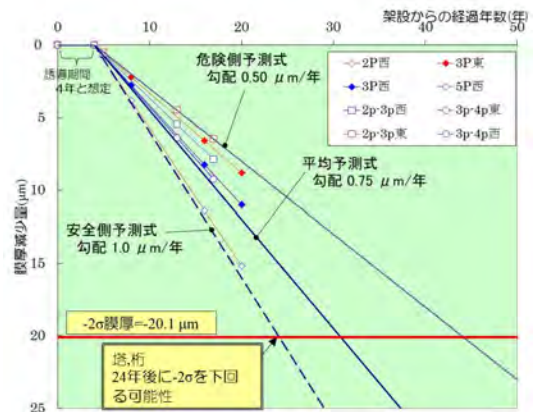


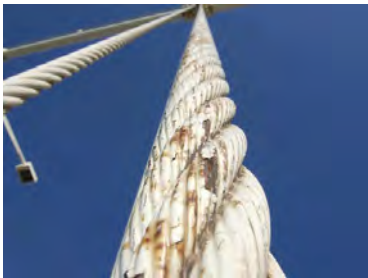
図-2 塗膜の劣化予測

(2)ハンガーロープの維持管理

1)健全性評価

ハンガーロープはメインケーブルと補剛桁をつなぐ重要部材であるが、定期点検で表面の錆や腐食が認められた(写-2,3)。またより線構造(図-3)のためロープ強度に影響する内部腐食の状態を評価できなかった。

そのため、実橋からロープの抜き取り、解体試験・強度試験等を行い腐食状況を把握し、健全性を評価した。試験の結果、一般部のロープは外面に軽微な腐食が認められたが、内部への進展はなかった。一方、口元部は外面・内部ともに腐食が認められた(図-4)。しかし腐食量は最大 4%程度でロープ強度への影響は認められなかったことから、健全性は問題ないと判断した(図-5、表-2)。ただし、今後の腐食進行により強度低下が懸念されること、またロープ交換は高額となることから、腐食進行を抑制し現状を維持することで、既存ロープの長寿命化対策を図ることが現実的と評価した。



写-2 一般部の劣化状況



写-3 口元部の腐食状況

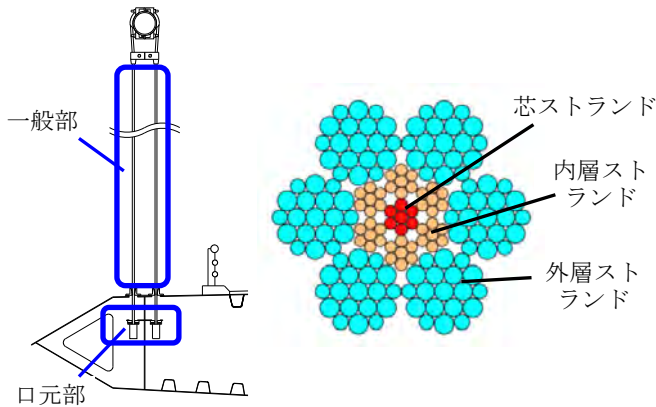


図-3 ハンガーロープの構造

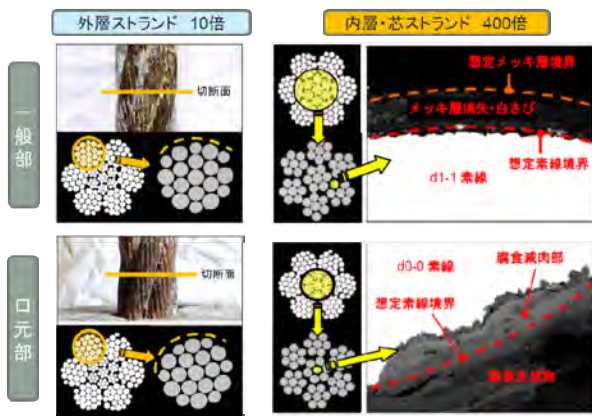


図-4 解体による断面観察結果

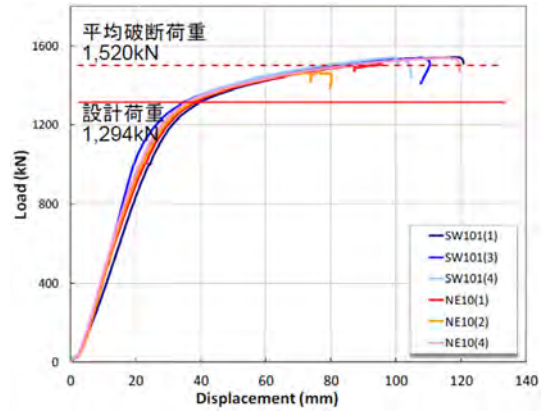


図-5 腐食ロープの引張強度試験

表-2 腐食量と引張強度

試験体No.	外観状態	破断荷重 kN	破断位置	腐食量 %
SW101(1)	健全	1,540	中間部分	0
SW101(3)	健全	1,538	中間部分	0
SW101(4)	口元部に腐食	1,529	口元部分	2
NE10(1)	口元部に腐食	1,505	口元部分	4
NE10(2)	口元部に腐食	1,467	口元部分	3
NE10(4)	口元部に腐食	1,538	中間部分	4(口元)
設計値		1,294		

2)長寿命化対策

一般部の腐食は、塗膜ワレから浸入した雨水が原因で、外周部にのみ生じており、強度への影響もなかった。そのため止水効果の高い材料による表面被覆が効果的と考え、「柔軟型塗料による塗り替え」を採用した。

口元部は支圧板等で囲まれた狭隘な空間であり雨水が滞水しやすい構造である。強度への影響はないがロープ中心部も腐食している状態であったことから滞水防止と腐食の進行抑制を図るため内部空隙を充填する「防錆材圧入工法(図-6)」を採用した。

本橋のハンガーロープは 444 本あるため、腐食が進行しやすい口元部を優先して補修を開始している。一般部の塗り替えも早期に着手できるように、現在補修計画の策定に取り組んでいる。

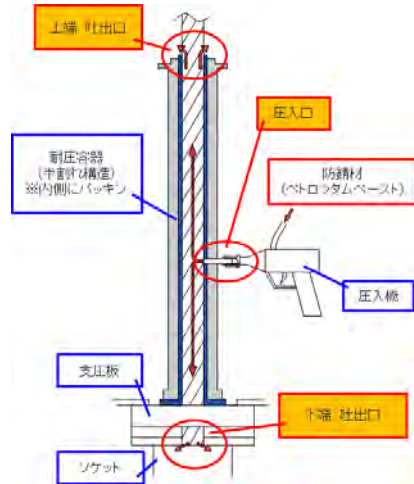


図-6 防錆材圧入工法イメージ

(3)メインケーブル塗膜の局部補修

1)ケーブルの防食構造

メインケーブルは吊橋における最重要部材であり、交換困難な部材である。そのため長寿命化にはケーブル防食構造の維持が重要である。本橋のメインケーブルは①ケーブル素線の亜鉛メッキ、②防錆ペースト、③S字ラッピングワイヤー、④柔軟型塗装で構成される防食構造(図-7)を採用しており、さらにケーブル送気乾燥システムを併用することで腐食の発生を予防している。

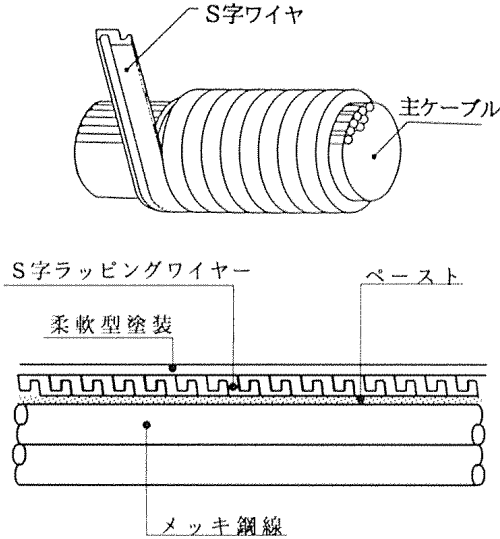


図-7 メインケーブルの防食構造

2)ケーブル端に生じた塗膜損傷

定期点検において、塔近傍に位置するケーブル端にラッピングワイヤーに沿った塗膜ワレが確認された。柔軟型塗料の経年劣化による柔軟性の喪失が主な原因と考えられたが、一般部のケーブルには発生しておらず、端部のみに生じていることから、ケーブル端に生じる面外変形や送気システムのエア漏れなどが影響している可能性が考えられたが明確な原因特定には至っていない。



写-4 ケーブル端に生じた塗膜ワレ

3)補修対策

前述したようにケーブル塗装は、重要性の高い防食構造の一つであり、早期に補修を進めることが求められたが、明確な損傷原因が特定できていないことから、想定された個々の原因に対する対策を各々立案し、それらを試験的に施工したうえで、長期の経過観察を計画・実施している。表-3に試験仕様、図-8に試験施工位置図を示す。

表-3 試験仕様

	下塗り	中塗り	上塗り
基本仕様	柔軟型エポキシ樹脂	柔軟型エポキシ樹脂×2層	柔軟型ふっ素樹脂
試験仕様 A	柔軟型エポキシ樹脂	柔軟型エポキシ樹脂×2層	柔軟型ふっ素樹脂×2層
試験仕様 B	防水シリコン粘着シート巻き付け		
試験仕様 C	柔軟型エポキシ樹脂	柔軟型エポキシ樹脂×2層	柔軟型ふっ素樹脂 + 特殊コーティング剤

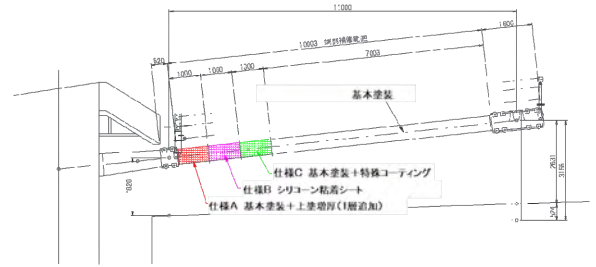


図-8 試験施工位置図

4.おわりに

長大吊橋の維持管理は、長大吊橋ならではの課題のほか橋固有の課題も多い。部材の交換や架け替えはコストが高く、施工難易度も高いことから、日々の点検や損傷部位の早期発見・調査が重要である。しかし維持管理に必要な技術的な知見の蓄積は少なく、適切な管理手法を確立するためには試行錯誤を繰り返す必要がある。長大吊橋を健全な状態で維持・活用していくため、新たな課題等に対して今後も真摯に取り組んでいきたい。本報告が、我が国の吊橋維持管理に少しでも貢献できれば幸いである。

最後に、日頃から長大吊橋の維持管理に携わっておられる関係者皆様にこの場を借りて深く謝意を示します。