

白鳥大橋におけるハンガーロープの現状について

Hakucho-Ohashi Bridge - Inspecting the current deterioration state of the hanger ropes

(株)ドーコン構造部 ○正員 佐々木康史 (Yasushi Sasaki)
 北海道開発局室蘭開発建設部 非会員 島田 武 (Takeshi Shimada)
 北海道開発局室蘭開発建設部 非会員 福田 孝志 (Takashi Fukuda)

1. はじめに

白鳥大橋は、日本で唯一積雪寒冷地に建設された長大吊橋で中央径間 720m の 2 ヒンジ補剛吊橋であり、1998 年に供用開始した(写真-1).



写真-1: 白鳥大橋の全景

過年度に実施され

た点検にて多数のハンガーロープに塗膜割れと腐食が確認された。内部腐食によるロープの強度低下が懸念されたが、狭隘な定着構造のため非破壊検査による腐食量の把握が難しく、加えて腐食によるロープの強度低下に関する既往研究事例も少ないことなど、健全性評価における課題を有していた。

今回、ハンガーロープの健全性評価に向けた技術的知見を得るため、実橋からハンガーロープを抜き取り、各種室内試験を実施したのでその結果を報告する。

なお、対象ロープは外観目視による腐食程度と施工性に着目し、2 格点(SW101, NE10)を選定した。

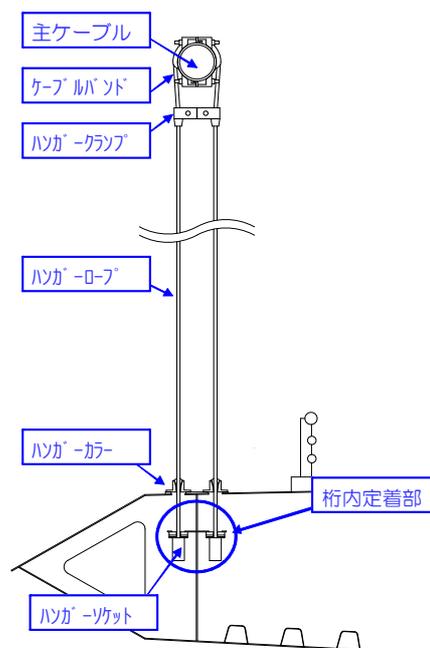


図-1:ハンガーロープ構成図

2. ハンガーロープの構造概要

本橋のハンガーロープは垂鉛メッキ鋼線を撚り合わせた構造で、補剛桁内部で定着されており、1 本のロープを主ケーブルに鞍掛けした構造で、1 格点あたり 2 本、全体で 444 本設置されている。(写真-2,3, 表-1, 図-1)



写真-2:ハンガーロープ



写真-3:定着部

表-1:ハンガーロープ諸元

ロープ種類	CFRC 7 + 6 × 7 + 6 × W (19)
ロープ径	φ 44 mm (φ 48 mm:端部)
使用本数	444 本 (2本 / 格点、222 格点)
最小切断荷重	1,293 kN (132 tf)

3. 腐食状態と推定原因

一般部の腐食は塗膜内部から滲み出た様相(写真-4)を呈していたことから、塗膜内部に浸入した水分によるものと考えられた。さらにソケット口元部では、ロープ全周に腐食が拡がっており(写真-5)、一般部より著しい腐食状態であることも確認された。これは周囲を支圧板に覆われ、水分や湿気が滞留し易い環境によるものと推察される。

ハンガーロープの腐食は、断面欠損による強度低下に繋がるが、外観点検ではロープ内部の腐食状態の把握は困難である。したがって、ロープの健全性を適切に把握するためには、内部の腐食状態のほか、それによる強度低下への影響を確認する必要がある。



写真-4:一般部の腐食状況



写真-5:定着部の腐食状況

4. ハンガーロープの抜き取り

4.1 施工方法

ハンガーロープは支圧板を介し補剛桁に定着されている。抜き取りに際し一時的に支圧板を取り外す必要があったため、桁内に反力架台を設置、センターホールジャッキにて下方への引張力を導入し、支圧板に作用している圧縮力を開放した(写真-6)。ハンガーロープは1格点あたり2本のロープで構成されるが、安全性に配慮し1本ずつ交換した。施工は一般交通への影響を抑えるため夜間に交通規制を行いながら実施した(写真-7)。

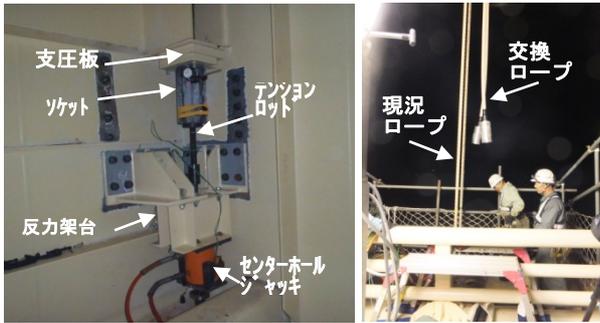


写真-6 張力導入

写真-7 ロープ交換

4.2 張力変動

ハンガーロープを抜き取る際に、隣接格点に張力が再配分されると予想された。そのため、施工段階毎に張力測定を実施し張力変動を記録した(表-2,3)。抜き取り時には両隣の格点で10~20%程度張力が増加したが、交換完了後、復元することが確認された。

交換完了から数日経過した段階でも僅かな変動があることから、補剛桁やケーブルの振動等の影響により徐々に張力バランスが復元されたものと考えている。

表-2 ロープ交換による張力変動(格点 SW101)

格点番号	SW100	SW101 交換対象	SW102
交換前	750.7 (1.00)	627.2 (1.00)	740.9 (1.00)
1 本目	撤去	814.4 (1.08)	487.1 (0.78)
	再設置	739.9 (0.99)	690.9 (1.10)
2 本目	撤去	836.9 (1.11)	522.3 (0.83)
	再設置	758.5 (1.01)	674.2 (1.07)
2日後	765.4 (1.02)	634.1 (1.01)	746.8 (1.01)

表-3 ロープ交換による張力変動(格点 NE10)

格点番号	NE9	NE10 交換対象	NE11
交換前	761.5 (1.00)	671.3 (1.00)	697.8 (1.00)
1 本目	撤去	877.1 (1.15)	532.1 (0.79)
	再設置	807.5 (1.06)	676.2 (1.01)
2 本目	撤去	893.8 (1.17)	485.1 (0.72)
	再設置	811.4 (1.07)	640.9 (0.95)

5. 室内試験

5.1 スtrandの解体による素線観察

抜き取ったロープを切断し、長さ30mm程度の試験片を作成した後、素線単位に解体し、素線の腐食状態を観察した。試験片は一般部及び口元部から腐食状態の悪い部分を採取した(写真-8)。腐食状態のものとは酸洗浄した鉄素地状態のものとは各々観察を行った。



写真-8 試験片の採取箇所

一般部の外周部に位置する素線は腐食生成物で覆われており鉄素地の断面減少も確認された(写真-9)。内側に位置する素線は表面に腐食生成物が付着していたが酸洗浄後の鉄素地には断面減少が認められなかった(写真-11)。同様に芯に位置する素線も健全であった(写真-13)。一方、口元部は、外周部(写真-10)から内部(写真-12)、芯(写真-14)に至るまで、腐食生成物が確認されるとともに、鉄素地の断面減少が確認された。

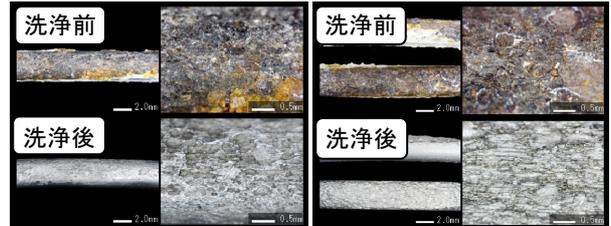


写真-9 一般部 d3

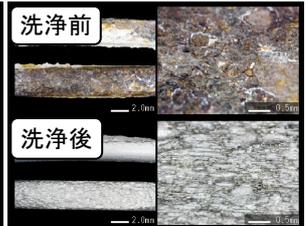


写真-10 口元部 d3

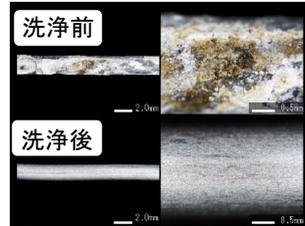


写真-11 一般部 d1-1

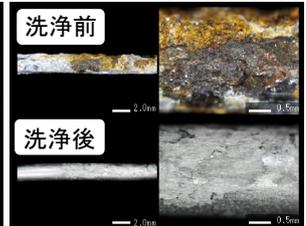


写真-12 口元部 d1-1

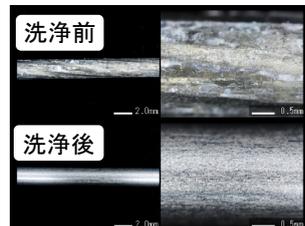


写真-13 一般部 d0-0

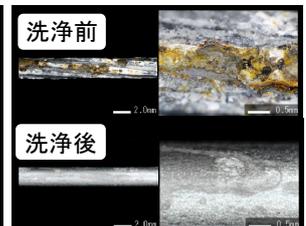


写真-14 口元部 d0-0

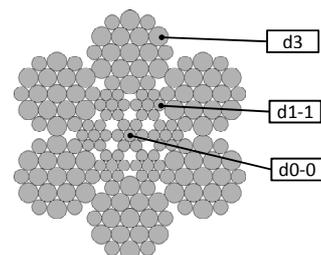


図-2 素線の配置

5.2 断面観察

内部の腐食状態を確認するため、切断面を顕微鏡にて観察した。外周表面に露出している箇所に明らかな断面減少が確認され、特に口元部では著しい腐食が発生していた。写真-15,16 に一般部及び口元部の外層ストランドの状態を示す(倍率×10 のマクロ観察)。一方、内層ストランドはマクロ観察では判読できず、倍率×400 のミクロ観察を実施した。その結果、一般部は断面減少に至っていないが、亜鉛メッキ層が消失していることが判明した(写真-17)。口元部はメッキ層の消失とともに、芯素線に僅かな断面減少が存在することも判明した(写真-18)。

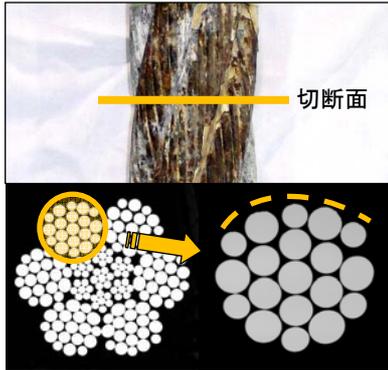


写真-15 一般部外層ストランドの腐食状態

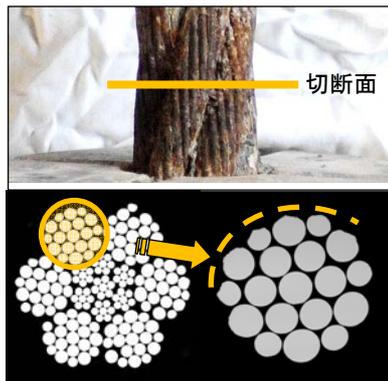


写真-16 口元部外層ストランドの腐食状態

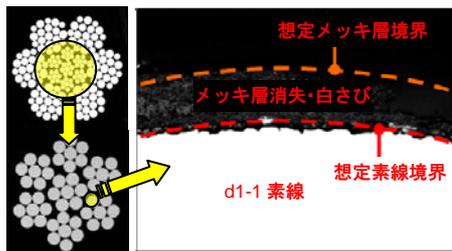


写真-17 一般部内層素線の腐食状態

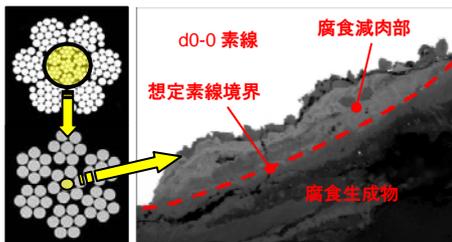


写真-18 口元部芯素線の腐食状態

5.3 腐食量測定

腐食量算定は測定精度の高い「全磁束法による腐食量測定」¹⁾を基本としたが、口元部の測定では金属ソケットによる測定値への影響が懸念された。そのため全磁束法とともに重量法による測定を行い精度を確認した。

重量法による測定は長さ 40mm の試料片を腐食部から別途採取し実施した。一般部および口元部の腐食部から採取するほか、外観異常の認められなかった鞍掛部から試料を採取し初期値(健全値)とした。表-4 に示すとおり、僅かに誤差があるものの両者は同等であった。したがって、強度試験では全磁束法による測定値を腐食量として採用した。

なお、全磁束法にて発生する磁束流はメッキ部を除いた鋼線部を流れるため、重量法ではメッキ部断面積を除いた鋼線部断面積から算定した。また、口元から 10mm の位置では、切断作業が困難であったことから、35mm の位置で試料採取を行った。

表-4 腐食量の測定結果

		健全部	腐食部		
		(基準値)	一般部	口元部	
重量法	餌料採取位置 (口元からの距離) mm	---	11,950	35	
	鋼線部断面積 mm ²	957.5	957.6	941.9	
	断面減少率 %	0	0	2	
全磁束法	計測位置 mm	---	12,000	10	60
	腐食率 %	0	0	3	2

5.4 強度試験

腐食量と強度低下の関係を把握するため、口元部の腐食が激しいロープを対象に強度試験を実施した。各試験体の腐食量と測定強度を表-5、図-3 に示す。各試験体とも残存強度は設計荷重を超えており、これにより、現在確認されている腐食状態では、ハンガーロープの安全性は確保されているものと判断される。したがって、今後はこのような腐食の進行を早期に抑制することで、健全性を確保するべきであるものと考えられる。

表-5 強度試験の結果

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		

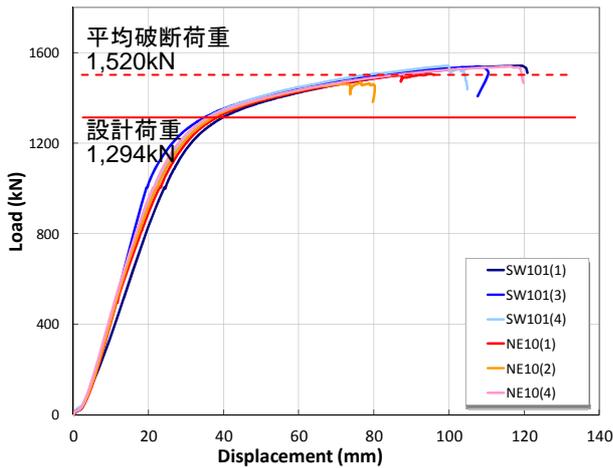


図-3 ハンガーロープの荷重-変位

6. まとめ

6.1 試験結果

本試験により、下記のことが判明した。

(1)一般部の試験結果

- ・全体的に塗膜劣化が進行、表面腐食が多い。
- ・最外層はメッキ層の消失と断面減少が発生。
- ・内層の断面減少はないが局部にメッキ層消失を確認。
- ・ロープ全体での腐食は極めて僅かで引張破断強度への影響は認められず。

(2)口元部の試験結果

- ・狭隘な湿潤環境下のため表面は著しく腐食。
- ・最外層はメッキ層消失と断面減少が進行。
- ・内層も腐食し、芯部にも僅かであるが断面減少を確認。
- ・全体での腐食量は最大4%であり、引張破断強度への影響は認められず。

6.2 総合評価及び対策

本橋のハンガーロープは完成から18年が経過し、外観には塗膜劣化や腐食が多数確認されている。しかしながら、本試験の結果、腐食はロープ全断面積の数%程度（最大4%）と僅かな量であり、さらに引張破断強度への影響も認められないことから現状では健全と評価した。

ただし、ロープの内側においてもメッキ層の消失や素線の局部的な腐食が認められたことを踏まえると、今後の腐食進行により健全性が低下することが危惧される。

ロープの交換は莫大な費用を要するため、腐食の進行抑制を行い、現状を維持しつつ、長寿命化を図ることが現実的な対策であると評価した。

7. おわりに

我が国における長大吊橋の維持管理は僅か50年程度の実績であり、特に吊橋固有部材に対する点検や評価方法等に関する技術的な知見、研究開発事例は全国的にも数が少ないというのが実情である。

本報告が他の長大吊橋における適切な維持管理に貢献出来れば幸いである。

謝辞

本試験の実施にあたり、釧路工業高等専門学校長 岸徳光先生を始め、白鳥大橋維持管理計画検討委員の皆様には、度重なるご指導を賜った。この場を借りて謝意を表する。

参考文献

- 1) 吉田好孝, 前田泰男, 横沼庸助, 若狭信明, 守谷敏之, 吊橋ハンガーロープ(C.F.R.C)の全磁束法による非破壊調査と強度試験, 土木学会年次学術講演会講演概要集, 55-1A, p630-631, 2000.