

## 吊橋ケーブル送気乾燥システムの改良

本州四国連絡高速道路 正会員 花井 拓  
 本州四国連絡高速道路 上村 博文

## 1. はじめに

吊橋のケーブルは、橋梁を構成する部材の中でも最も重要度が高いため、その防錆対策は維持管理上極めて重要である。その一方で、直径約 5mm の素線を数万本束ねて直径約 1m の円形に形成する構造であるため、その内部の腐食状況をモニタリングすることが困難となっている。本四連絡橋のいくつかの吊橋ケーブルにおいて、供用から数年後にケーブル内部の調査を行ったところ、滞水と発錆が確認された。これを受けて、本州四国連絡高速道路(株)(旧本州四国連絡橋公団)では、発錆の原因となる高湿度状態の改善を行うため、ケーブル内部に乾燥空気を送り込むケーブル送気乾燥システム(以下「送気システム」)を導入し実施している。

本四連絡橋 3 ルートの中央に位置する瀬戸大橋においても、吊橋三橋(下津井瀬戸大橋、北備讃瀬戸大橋、南備讃瀬戸大橋)で平成 14 年度より送気システムが本格稼働している。しかし、約 3 年が経過した時点においてもケーブルの一部には高湿度の区間が存在していた。本報告では、この高湿度区間の改善を目的として行った送気設備の改良検討、施工、改良の効果について報告する。

## 2. 改良前送気システムの状況

瀬戸大橋吊橋三橋の送気システムでは、片側ケーブル当たり、塔頂二箇所、中央径間中央一箇所の合計三箇所から乾燥空気をケーブル内に送っている。改良前の送気システムの配置と、ケーブル内の湿度分布状態を図-1 に示す。送気の末端である中央径間 1/4 点の排気口付近と、橋台部付近に高湿度区間がみられる。

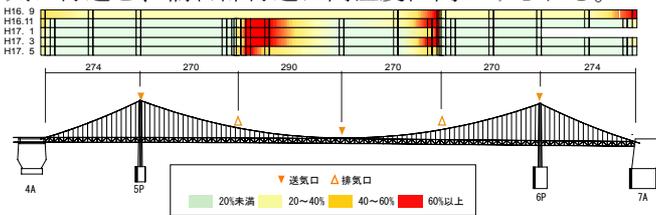


図-1 改良前の送気システム配置とケーブル湿度分布(南備讃瀬戸大橋東ケーブル)

この高湿度の原因として、乾燥空気送気流量の不足が想定されたためその計測を行ったところ、設計流量 1.5m<sup>3</sup>/min に対して 0.2~1.0m<sup>3</sup>/min 程度の流入量であった。このため、乾燥空気流入量の確保を目的として、送気口部のケーブル素線間に八方位からクサビを打設した。この結果として若干の改善は見られたものの、依然として 0.5~1.0 m<sup>3</sup>/min 程度の箇所が大半であった。

## 3. 改良前送気システムの評価

## (1) 空気流推定式

本四橋梁への送気システム導入時において、ケーブル内の乾燥空気の流れを「一定率のケーブル表面からの漏洩を伴いながら、素線間の摩擦により圧力損失を生じる」と仮定し、以下のような空気流推定式を用いて設計している。

送気距離  $X(\text{m})$  での流量  $Q_x(\text{m}^3/\text{min})$  :

$$Q_x = Q \cdot (1-x)^X \quad (1)$$

送気距離  $X(\text{m})$  での圧力損失  $\Delta P(\text{mmAq})$  :

$$\Delta P = CQ \int_1^X (1-x)^{n-1} dx \quad (2)$$

ここに、 $Q$  : 送気口での送気流量(m<sup>3</sup>/min)、 $x$  : 単位長さ当たりの漏洩率、 $C$  : ケーブル素線間空隙形状、気体の粘性などをパラメータとした係数。

また、延長  $L(\text{m})$  のケーブル内部の除湿に要する時間  $T(\text{min})$  は以下の式に基づき計算される。

$$T = \int_0^L \frac{w}{(D_s - D) \cdot Q(X)} dx \quad (3)$$

ここに、 $w$  : 単位長さ当たりのケーブル内の滞水量(ケーブル内空隙の 3% と仮定) (g/m)、 $D_s$  : 飽和絶対湿度(g/m<sup>3</sup>)、 $D$  : 乾燥空気の絶対湿度(g/m<sup>3</sup>)

## (2) 改良前送気システムの評価

瀬戸大橋の送気システム設計においても、北備讃瀬戸大橋 2P 塔頂からの試験送気結果(圧力分布)を用いて、式(2)から漏洩率  $x$  の値を推定した。結果として  $x=0.017$  という値を得、当初の設計を行っている。今回、この漏洩率の妥当性を検証するために、中央径間中央付近に密な計測点を設け、圧力・湿度の分布を計測した。圧力測定結果を図-2 に示す。●、○が計測値、実線、破線が式(2)を示す。式(2)に用いる漏洩率  $x$  の値は、設計に用いた 0.017 に加えて、0.011、0.023 の値についても併せて示した。また、初期流量としては、計測された値をもとに、北備讃瀬戸大橋東中央 1.0m<sup>3</sup>/min、南備讃瀬戸大橋東中央 0.5m<sup>3</sup>/min を用いた。

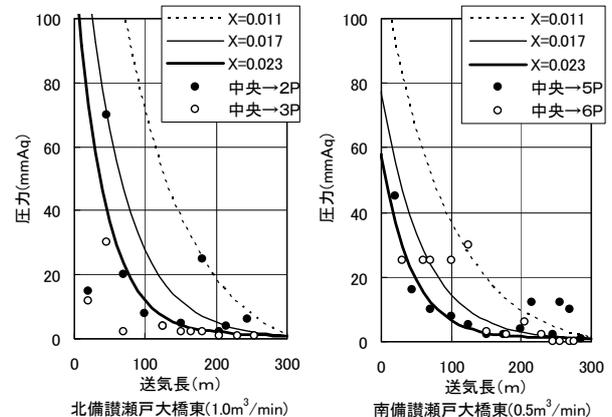


図-2 改良前の送気圧力分布状況

キーワード 吊橋、ケーブル、除湿、防錆

連絡先 〒762-0025 坂出市川津町下川津 4388-1 本州四国連絡高速道路 坂出管理センター TEL: 0877-45-5511

この結果から分かったこととその原因を以下にまとめる。

1)送気入口での圧力損失が大きく、流入量が小さい

送気口での圧力が 500mmAq であるのに対し、20m 程度離れると 50mmAq まで低下している。これは、当初の設計根拠である北備讃瀬戸大橋 2P 塔頂からの試験送気が、空気の流入面積の比較的広い塔頂サドル部からのものであるのに対し、中央送気ではケーブル一般部からの送気となり、流入面積が小さくなるのが入口部の大きな圧力損失の原因であると想定される。

2)当初想定よりもケーブルの漏洩率が大きい

計測されたデータは漏洩率  $x=0.017$  よりも、 $x=0.023$  で計算した結果に近い。これは、当初の設計根拠である北備讃瀬戸大橋 2P 塔頂からの試験送気区間ではケーブル表面をゴムシート巻きにより気密化しているのに対し、他の箇所では柔軟型塗装のみとなっていることが原因であると想定される。

(3) 送気システムの改良方法

高湿度区間を改善するためには、以下のような方法が考えられる。

- ・漏洩を極力小さくする
- ・送気流量を大きくする
- ・送気距離を短縮する

以上の三手法の優劣を判断する目的で、漏洩率、送気流量、送気距離をパラメータとし、式(3)を用いて、除湿に要する時間（ここでは気温 20 度において、相対湿度を 30%まで低下させるために要する時間とした）を計算した。結果を表-1 に示す。

表-1 パラメータの違いによる除湿時間（日）

送気距離 (m)	送気流量 (m <sup>3</sup> /min)	漏洩率		
		0.011	0.017	0.023
280	1.5	536	1,969	8,087
	1.0	805	2,954	12,130
	0.5	1609	5,907	24,260
140	1.5	94	164	300
	1.0	141	246	449
	0.5	282	491	899

現状では、280m の送気距離を除湿するためには約 12,000 日（30 年以上）を要することになる。送気流量と除湿時間は反比例の関係にあるので、何らかの方法により送気流量を増加しても、大きな時間短縮にはつながらない。また、漏洩率を当初想定レベル ( $x=0.017$ ) まで下げることにより、除湿時間は 1/4 となるが、ケーブル全長にわたる気密化（ゴム巻きなど）は非常に高価となる。

一方、送気距離を半分にすることにより、除湿時間 12,000 日が 450 日となり、最も効果的であることがわかる。既にある程度の除湿は進んでいるため、ケーブル内高湿度の改善には 1 年を要しないものと期待される。

以上より、送気システムの改良方法としては、送気口を増設し、送気距離を短縮する方法を選定した。

4. 送気システムの改良

送気システムの改良概要を図-3 に示す。中央径間中

央の送気口を排気口に変更し、中央径間 3/8、5/8 点に新しい送気口を設けることとした。また、橋台部の高湿度区間改善手段として、橋台部付近の気密化を行った。

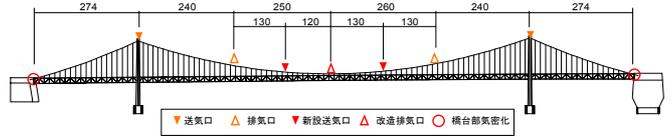


図-3 送気システム改良概要（北備讃瀬戸大橋）

5. 送気システム改良の効果

送気システム改良後のケーブル内の湿度分布状態を図-4 に示す。中央径間の排気カバー付近における高湿度状況が改善されてきているのが見て取れる。平成 18 年 3 月以降の南備讃瀬戸大橋東ケーブル 5P 側塔頂送気（中央径間側）の湿度状況変化を図-5 に示す。常時 80% 程度と高湿度が継続していた排気カバー周辺で徐々に除湿の効果が見れているのが見て取れる。

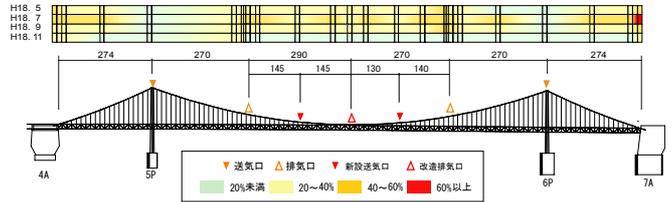


図-4 改良後のケーブル湿度分布（南備讃瀬戸大橋東ケーブル）

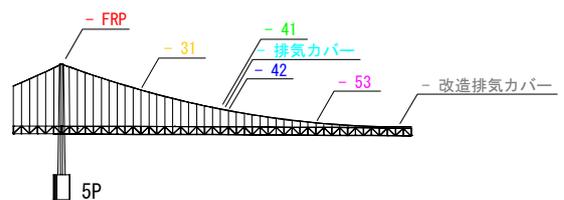
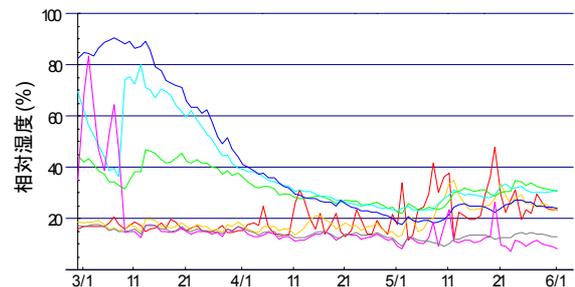


図-5 改良後のケーブル湿度分布（南備讃瀬戸大橋東ケーブル H18.3~5）

6. まとめ

瀬戸大橋吊橋三橋のケーブル内高湿度状況改善を目的として、送気システムの改良について検討した。結果として、高湿度区間の送気距離を短縮するのが最も効果的であることが分かったため、送気口の増設を行った。改良後の経過時間は短いものの、徐々に効果は出はじめている。

一方で、夏場の排気カバー近傍、橋台部近傍（通年）では現在でも相対湿度 40%を超過している箇所があり、これらについては、今後原因の究明、改善策の検討を行っていく予定である。