

長大橋ハンドロープの 浸漬塗装工法の開発

Development of Dip Coating Equipment for Hand Rope of Super-Long Bridge



船舶・鉄構塗料本部
第1技術部
加藤裕司
Hiroshi
KATOH



船舶・鉄構塗料本部
第1技術部
酒井政義
Masayoshi
SAKAI

要 旨

吊橋は塔、補剛桁、ケーブルで構成されている。それぞれの部材はそれぞれの役割を担っているが、中でもケーブルは吊橋の構造上、重要な部材である。今回の塗装対象であるハンドロープはこのケーブルの上に平行に張られたスパイラル状のロープであり、ケーブル維持管理作業者の安全を確保する目的や、ケーブル作業車の支持ロープとしての役割を果たしている。

ハンドロープの保護を目的とした塗装はローラーや刷毛によって現地で施工されている。しかし、ロープの形状がスパイラル状でしかも表面の凸凹が大きいため、

- ① ロープの凹部に塗料が浸透しにくい。
- ② 塗り斑、塗り残しが多い。
- ③ 塗料ミストが飛散し、航行船舶や橋桁に付着する。

などの問題点が多く、対策が求められている。

当社では過去に垂直に設置されているハンガーロープの

自動塗装機を開発し、実橋に適用して好評を得ている実績がある¹⁾。

今回、このハンガーロープ用の塗装機をハンドロープ用に応用して、建設中の来島第二大橋で試験塗装を行なった結果、現行の刷毛やローラーでの塗装方法による上記問題点を解消し、且つ均一な膜厚の確保と工程削減が可能な浸漬塗装工法の開発に成功したので、ここに紹介する。

1. はじめに

吊橋は塔、補剛桁、ケーブルから構成されている。

ハンドロープはメインケーブル上に平行に張られたロープであり、ケーブルの維持管理作業を行なう点検歩行者の安全を確保するための手摺りとして、また、ケーブル作業車を吊り下げて走行する際の支持ロープとしての役割を担っている。ハンドロープは多数の素線が束ねられた表面の凹凸が大きい被塗物である。(写真1)

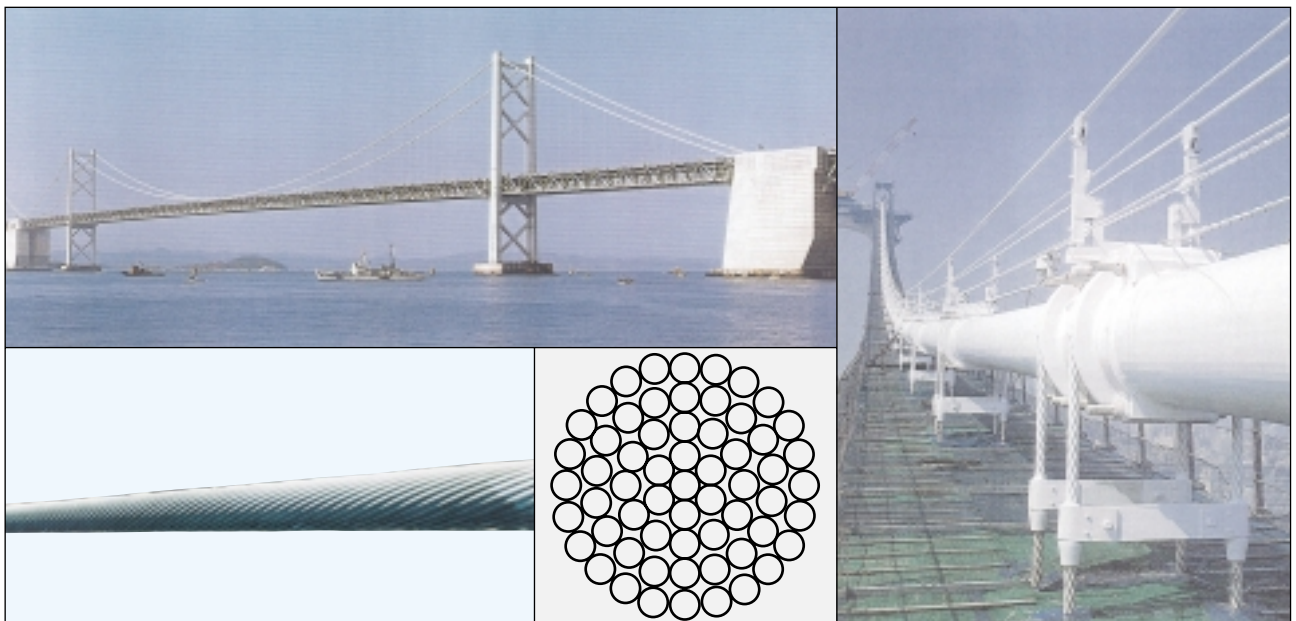


写真1 吊り橋とケーブル、ロープの構造

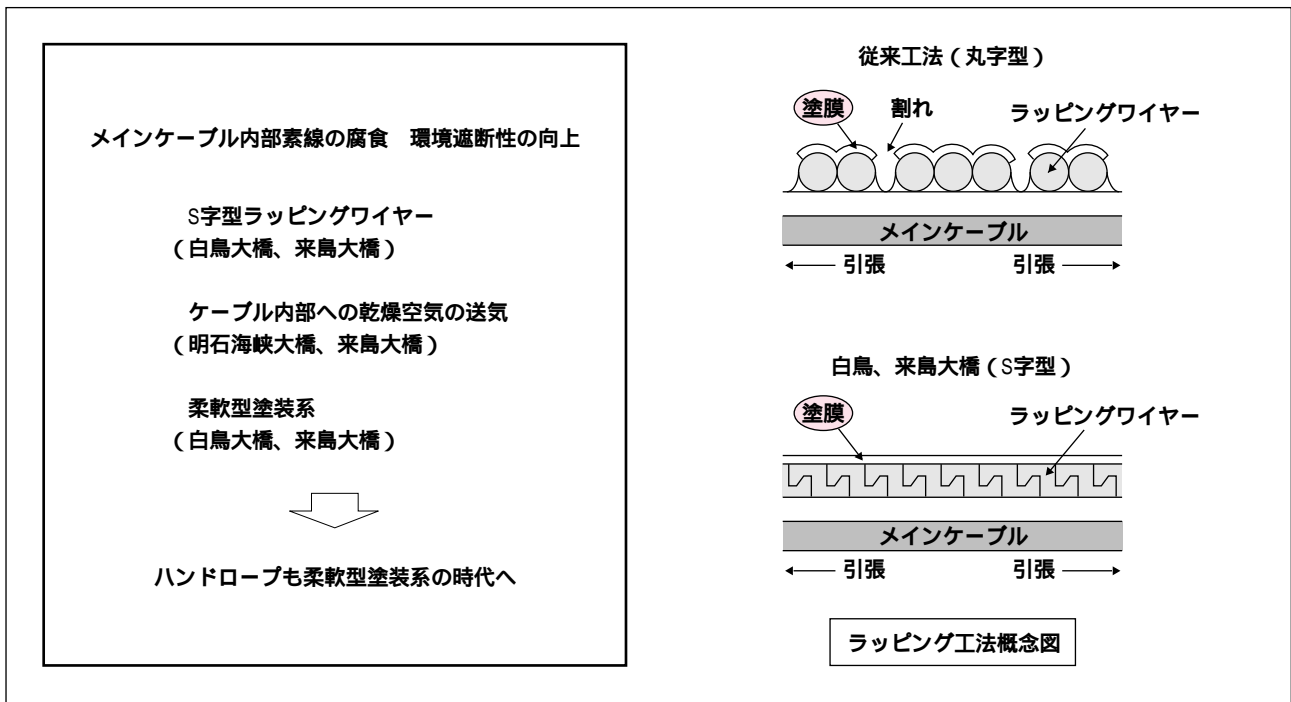


図1 メインケーブルの防食工法の変遷

近年、メインケーブルには柔軟型の塗装仕様が適用されるようになってきた。これは、供用後の荷重や振動による素地 (ラッピングワイヤー) のズレに対する追従性を柔軟型塗装塗膜によって確保して、塗膜の割れや剥がれを防ぎ、水分・海塩粒子などの腐食因子の進入を防止し、ケーブル内部の腐食を低減することを目的にしたものである。メインケーブルでは更なる耐久性の向上を目的としてケーブル内へ乾燥空気を送気したり、ラッピングワイヤーをS字型にするなどの耐久性向上策が導入されている^{3)、4)、5)}。(図1)

ハンドロープの塗装仕様にもメインケーブルと同様の柔軟型仕様が適用され、供用後の塗膜の割れ等の問題への対策を講じるようになってきた(表1)。ハンドロープはケーブルと同様に刷毛やローラーで現地塗装されていた。しかし、ロープがスパイラル状構造で表面の凸凹が大きく高所作業であるため、以下の問題点が発生しており、施主および管理者側から迅速な対策が求められていた(写真2)。

- ① ロープの凹部に塗料が浸透しにくい。
- ② 塗り斑、塗り残しが多い。

- ③ 塗料ミストが飛散し、環境を汚染したり航行船舶や橋桁へ付着する問題が後を立たない。
- ④ 塗り回数が多い。
- ⑤ 非効率作業である。

そこで、これらの問題点を解決するために塗装器の開発に着手した。



写真2 現行の塗装方法

表1 新設ハンドロープ用柔軟型塗装仕様 (本州四国連絡橋公団 N2 塗装系)

素地調整	第1層	第2層	第3層	第4層	合計乾燥塗膜厚
パワーツール等	柔軟型塗装用 エポキシ樹脂塗料 下塗 刷毛 180g/m ² (40 μm)	柔軟型塗装用 エポキシ樹脂塗料 中塗 刷毛 300g/m ² (65 μm)	柔軟型塗装用 エポキシ樹脂塗料 中塗 刷毛 300g/m ² (65 μm)	柔軟型塗装用 ふっ素樹脂塗料 上塗 刷毛 120g/m ² (25 μm)	(195 μm)

2. 検討経過

当社では、約15年前に垂直に設置されたハンガーロープの自動浸漬塗装機を開発して平戸大橋、因島大橋での試験塗装を経て、大鳴門橋で全面的に採用された。以後、本州四国連絡橋⁶⁾、レインボブリッジ⁷⁾、白鳥大橋などの実橋で採用され、好評を得ている。

この浸漬塗装工法は、均一な膜厚の確保と工程削減(4回塗¹⁾から2回塗²⁾りを可能にした。(表2)

表2 新設ハンガーロープ用自動浸漬塗装仕様
(白鳥大橋ケーブル製作要領)

素地調整	第1層	第2層	合計乾燥塗膜厚
パワーツール等	柔軟型エポキシ樹脂塗料 下塗 浸漬塗装 1000g/m ² (155 μm)	柔軟型ふっ素樹脂塗料 上塗 浸漬塗装 550g/m ² (40 μm)	(195 μm)

ハンガーロープは垂直に設置されているが、ハンドロープは水平～傾斜して設置されているため、この塗装機をそのまま適用することはできない。そこで、今回、このハンガーロープ用自動浸漬塗装機の原理を基にハンドロープ用に改良した手動浸漬塗装器を用いて、以下実用化に向けての検討を実施した。(図2)

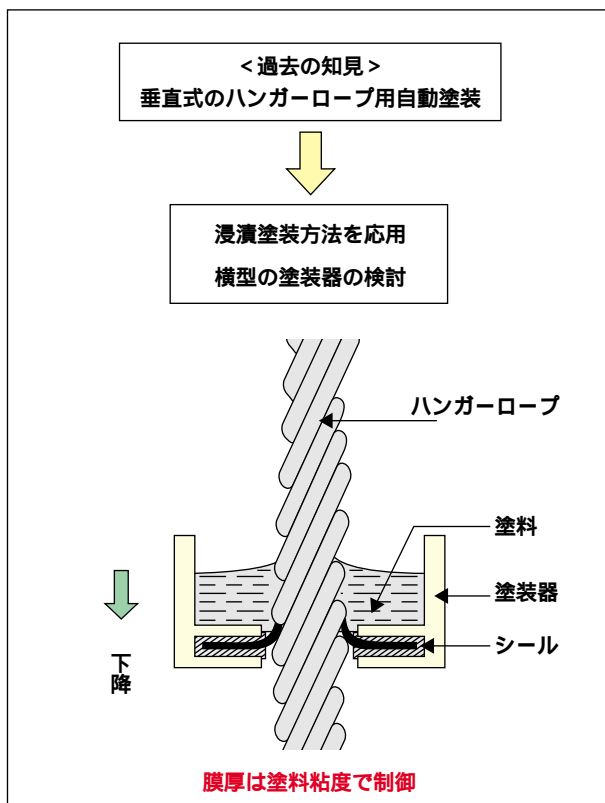


図2 塗装器の開発、改良

3. 検討内容

検討を始めるにあたって、単純な条件(素線のみ)で浸漬塗装での塗着膜厚と塗料の粘度の関係を調査した。

3.1 塗料の粘度と付き回り性

粘度を変えた塗料の中に1本の素線を浸漬し、水平で乾燥させたときの塗着膜厚の分布を断面写真から測定した(図3)。低粘度(4Pa・s)の場合には上面、側面での膜厚が目標膜厚である160 μmに達せず、下面での塗料のタレが顕著になる。また、高粘度(12Pa・s)の場合には素線の各部位で過剰膜厚になる。

この結果、目標膜厚である160 μmを確保するには粘度を8Pa・sに調整することが必要ことが判った。

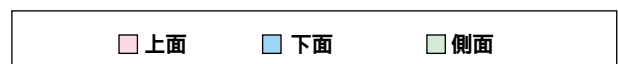
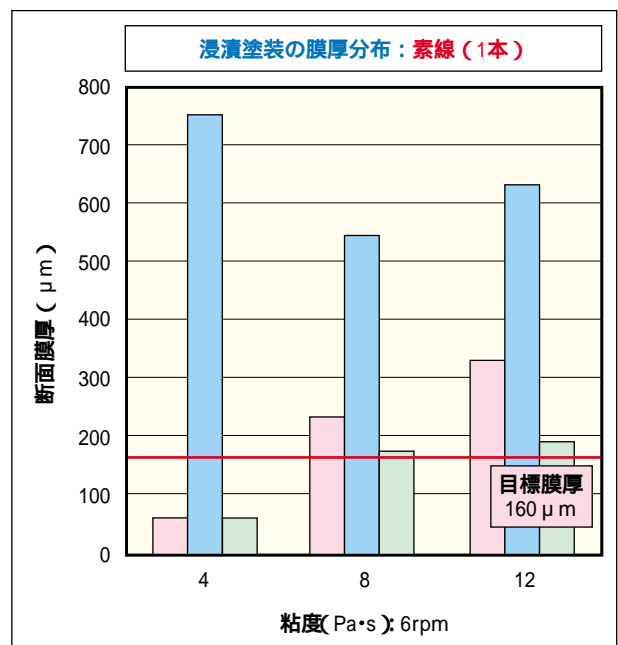


図3 塗料の粘度と付き回り性

3.2 最適粘度での浸漬塗装における膜厚分布

7本束の素線を用いて最適粘度での浸漬塗装を行ない、素線表面の凹部への塗料の浸透性を確認した。素線凹部への塗料の浸透性も良好であり、ブリッジなどによる空隙部の発生は見られなかった(図4)。

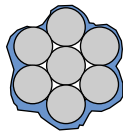
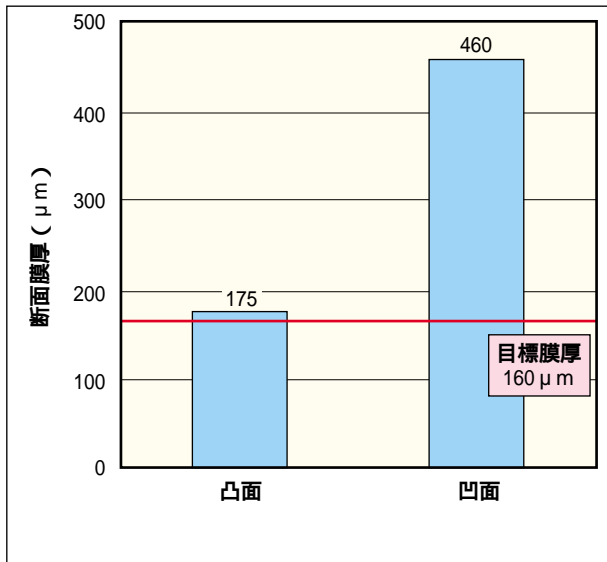


図4 最適粘度での浸漬塗装における膜厚分布：素線束（7本）



<ロープの条件>

- 外径： 40mm、35mm（上段用）
18mm（中、下段用）
- 傾斜角度：水平、30度（来島大橋での最大傾斜角）
- 長さ：3m

写真3 模擬ハンドロープでの社内検討

4. 模擬ハンドロープでの社内検討

ハンガーロープ用の塗装機を横型にしたプロトタイプの塗装器を用いて、実橋に使用されているハンドロープで、適性を評価した。

ハンドロープの外径サイズは既存橋では上段用には 42mm、40mm、35mmの3通りのタイプがあり、中・下段用には 18mmが一般的に使用されている。

模擬ハンドロープは 40mm、35mm、18mm、長さ3m、設置角度は水平と最大傾斜角である30度の2水準とした。

（写真3）

4.1 塗装器の詳細と仕上がり性の関係

プロトタイプの塗装器の形状を図5に示す。

塗装器の構成要素は塗料タンク、ブラシ、ガイドローラーの三つである。

<ブラシの材質>（図6）

塗装器の重要な構成要素であるブラシは硬さ、構造、隙間（ロープの外径とブラシの内径との差）の三要因が重要であり、これらが仕上がり性を大きく左右する。

材質が馬毛の場合には毛先が硬すぎて、塗着した塗料を削り取ってしまうため、適性がない。

ブラシの材質としては豚毛か山羊毛が適当であった。特に仕上がり性が要求される上塗用には最も柔らかい山羊

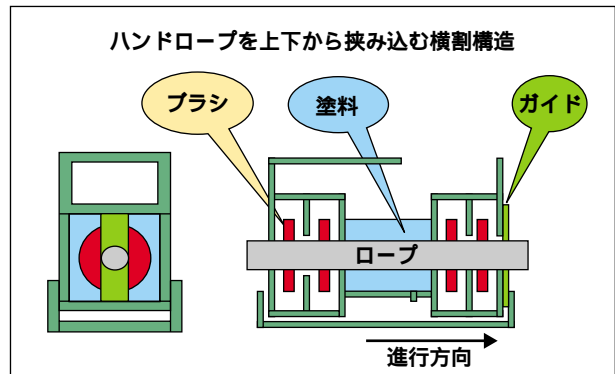


図5 浸漬塗装器の形状（プロトタイプ）

硬さ	材質	構造	適用性
硬い	馬毛	剛性が高く、隙間が大きい。ロープ素線に塗料が削り取られる。	適用不可
中位	豚毛	適度な柔軟性と隙間。ロープ素線に塗料が均等に塗着する。	中塗に使用
柔らかい	山羊毛	非常に柔軟で隙間が小さい。ロープ素線に塗料が密着する。	上塗に使用

図6 ブラシの材質と塗装適性

毛が最適であった。また、山羊毛よりコシの弱い材質の場合には塗装器本体の重量を支えきれず、ロープとブラシの隙間が不均一になって、隙間から塗料が洩れることも判った。塗着量と仕上がり性の関係から下塗用には豚毛を上塗用には山羊毛を使用することとした。

< ブラシの構造 > (写真4)

ブラシは当初、一對の半円状のものを上下から重ね合わせる構造を試みた。しかし、ブラシ合わせ部に隙間ができ、そこから塗料が洩れる不具合が発生した。そこで、2枚のブラシの角度をずらして重ね合わせる擦り合わせ構造の形態へ変更した。こうすることによって、ブラシ合わせ部に隙間がなくなり、塗料の洩れを解消した。

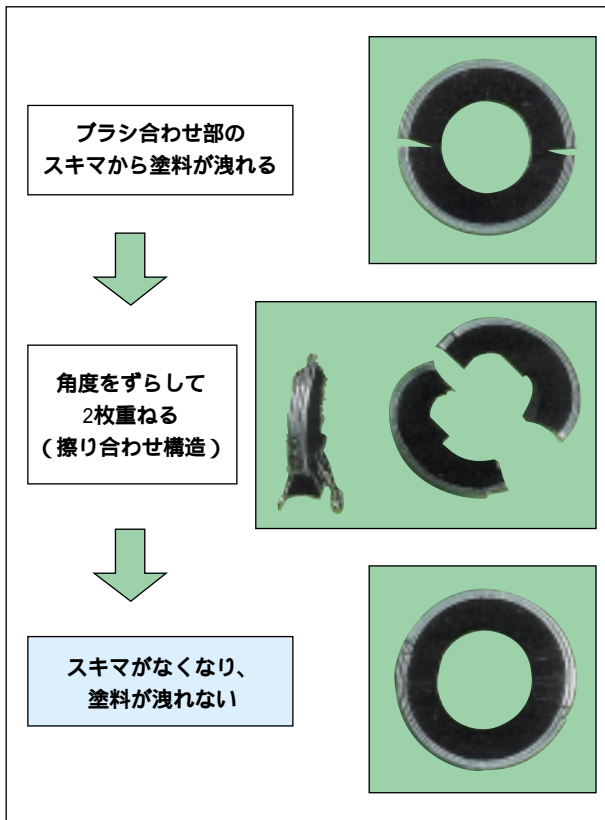


写真4 ブラシの構造

< 隙間(ロープの外径とブラシの内径との差) > (図7)

- ① ブラシの内径がロープの外径より大きい場合
ロープに過剰の塗料が付着し、塗料が垂れ落ちる。
- ② ブラシの内径とロープの外径が同じ場合
①と同様で塗料が垂れ落ちる場合がある。
- ③ ブラシの内径がロープの外径より小さい場合
2mm以上小さい場合にはブラシの摩擦抵抗によって塗装器がスムーズに動かず、部分的に塗料が擦り取られる場合がある。
2mmの場合に塗装器の操作性と良好な仕上がり性が得られることが判った。

条 件	仕上がり
	 モレ多い
	 部分的モレ 2mm
	 良好 2mm <
	 カスレ

図7 隙間(ロープの外径とブラシの内径との差)

< ガイドローラーの形状 > (図8)

ガイドローラーは当初、2本の円柱型で設計していたが、ロープへの接触状態が点接触になるため、塗装中に塗装器の振動が激しく、塗着量の変動による塗料の垂れ落ちが顕著であった。

そこで、ロープの形状に合わせて鼓型にし、ロープを上下から包み込むような構造に改良することで塗装器の横振れ対策を施した。

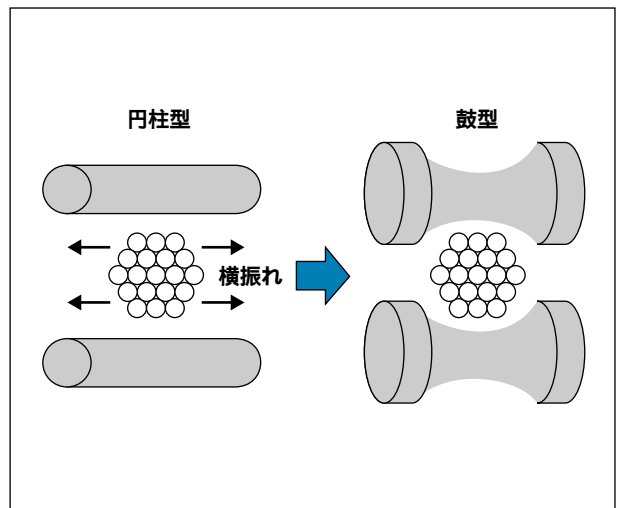


図8 ガイドローラーの形状

新技術開発

<ガイドローラーの支点数> (図9)

ブラシとガイドローラーの2点支持では塗装中に塗装器の縦振れが発生し、塗着量に変動が見られた。そこで、後ろ方向の上にガイドローラーを1個増設し、3点支持の方策を採ることとした。3点支持により、塗装中の塗装器の動きがスムーズになり、常にロープの外周とブラシの内径とのクリアランスが一定に確保できるようになった。

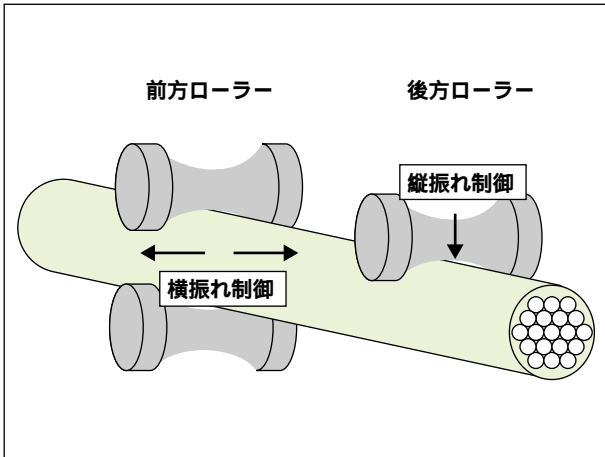


図9 ガイドローラーの支点数

<ロープ設置角度の影響> (図10)

実橋のロープの設置角度は水平から最大でも30度以下である。模擬ロープの設置角度として、水平と30度の2水準をとり、塗装器の操作性と塗着膜厚の確認をおこなったがロープの設置角度による差は認められなかった。

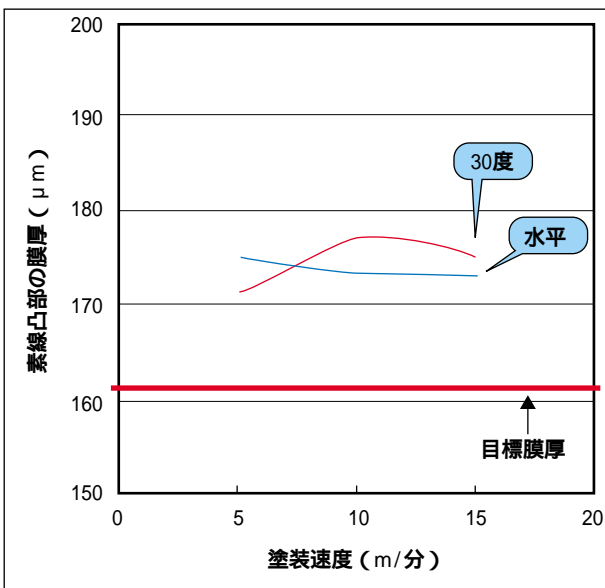


図10 ロープ設置角度と塗装速度の影響

<塗装速度の影響> (図10)

メインケーブル上を人が歩く上で安全とされる速度は15 m / 分程度であり、実用範囲の速度内では塗装器の操作性と塗着膜厚に影響は認められなかった。

5. 実橋での試験塗装結果

社内での検討結果で得られた塗装器(写真5)を基に実橋での試験塗装を実施した。

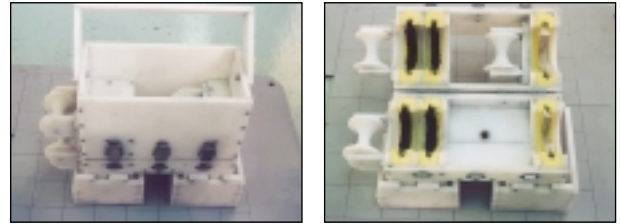


写真5 改良後の塗装器

試験塗装は本州四国連絡橋公団殿の絶大なるご協力の元、建設中の来島第二大橋で実施させて頂いた。施工要領を図11に施工状況の模様と塗装後の仕上がり状態を写真6に示す。

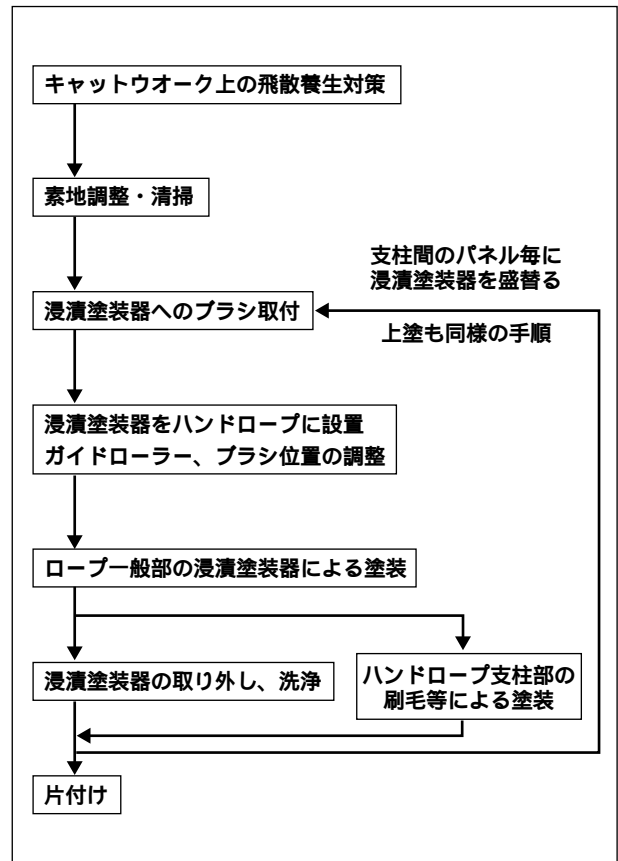


図11 施工要領



写真6 施工状況と仕上がり状態

- 1) 塗装場所: 来島第二大橋4A~5Pの北ライン
- 2) 塗装長さ: 約70m
- 3) 工事期間: 平成10年11月24日~28日

施工要領に基づき、ハンドローブを浸漬塗装器で塗装した結果、次の成果が得られた。

- ① ロープ凹部にも十分塗料が浸透していた。
- ② 塗り斑、塗り残しがなかった。
- ③ 塗料ミスの飛散はなく、環境汚染への影響や航行船舶や橋桁への付着の問題が発生しなかった。
- ④ 塗り回数が4回から2回に削減できた。
- ⑤ 塗り回数削減による作業効率は向上したが、塗装器への慣れによる更なる向上が必要であろう。(支柱部での塗装器の盛替手順、洗浄手順の効率化)

6. まとめ

ハンドローブの手動浸漬塗装工法のポイントは右記の通りである。

7. おわりに

ハンドローブの手動浸漬塗装工法は、従来の刷毛やローラー塗装に比べて多くの長所をもつことが実橋での試験塗装において実証できた。

今後、既設ハンドローブのメンテナンス工事が増えてくる。これらの工事への適用に向け、本塗装工法の作業効率の更なる向上(支柱部での塗装器の盛替作業や塗装器の洗浄作業の簡便化等)検討が必要と思われる。

参考文献

- 1) 菊田真人、梶浜哲二郎、松村真佐男:「長大橋ハンガーローブの自動塗装装置の開発」、塗料の研究、No.110、p.56~59
- 2) 加藤裕司、長野孝行:「吊橋ハンドローブの浸漬塗装工法の開発」、1999年度色材研究発表会講演要旨集、p.148、149
- 3) (財)海洋架橋調査会編:「長大橋の健全度評価と補修補強技術に関する研究調査報告書(昭和63年度海外調査)」
- 4) 本州四国連絡橋公団編:「吊橋ケーブル防食システム検討報告書」1996年3月
- 5) 高田敦、渋谷元、山地健治、坂本良文:「白鳥大橋ケーブルラッピング施工」、平成9年9月土木学会第52回年次学術講演会予稿集
- 6) 本州四国連絡橋公団編:「南備讃瀬戸大橋ケーブル架設工事(後期)記録写真集」
- 7) 首都高速道路公団編:「レインボーブリッジケーブル工事記録写真集」

塗料	粘度	8 Pa・s
塗装器	ブラシの材質	豚毛、山羊毛
	ブラシの構造	擦り合わせ構造
	隙間(ローブの外径とブラシの内径との差)	ローブ外径>ブラシ内径(差:2mm)
	ガイドローラー(形状、支点数)	鼓型、3点支持
塗装条件	ローブの設置角度	水平~30°
	塗装速度	5~15m分

表3 ハンドローブ用手動浸漬塗装仕様(案)

素地調整	第1層	第2層	合計乾燥塗膜厚
パワーツール、 溶剤脱脂等	柔軟型エポキシ樹脂塗料 下塗 浸漬塗装 1000g/m ² (155μm)	柔軟型ふっ素樹脂塗料 上塗 浸漬塗装 550g/m ² (40μm)	(195μm)