

# ダストレススプレーハンドガンによる鉄道橋りょうの塗替え塗装

○鈴木 周一<sup>1)</sup>

大嶋 啓<sup>2)</sup>

和泉 大祐<sup>3)</sup>

市川 昭人<sup>4)</sup>

## 1. はじめに

鉄道橋りょうの塗替工事では、これまではけまたはローラーによる塗装作業が一般的となっている。これは、鉄道橋の場合、開床式構造の橋りょうが主体であることから、軌道直下に養生シートなどを敷くことが困難であり、スプレー塗装による塗料の飛散防止が著しく困難なためである。

一方、近年、建設技能労働者が減少傾向にあることから、塗装業界においても作業の機械化の促進や作業効率の向上が求められている。本塗装試験では、鉄道橋りょう塗装工事の機械化導入の一環として、スプレーダストが一般のスプレーに比べ著しく少ない「ダストレススプレー技術」を鉄道橋りょうに適用した場合の効率性、塗装品質、周辺への塗料飛散防止効果等を検証したものである。

## 2. 開発の経緯

ダストレススプレーノズルは、塗料と空気の二流体を一对のノズルにより至近距離で塗装するもので、色見本を塗装する装置のノズルとして開発されたものである<sup>1)</sup>。

2012年度、JR 東日本研究開発センター・テクニカルセンターの研究開発において、このダストレススプレー技術を活用した自動塗装機械が開発され、大型箱桁橋りょうのような大きな平面を有する橋りょうへの適用に一定の見通しを得た<sup>2)</sup>。この開発において、ダストレススプレーノズルは、単独でハンドガンとしても使用できることが確認されたことから、2013年度よりダストレススプレーハンドガンを用いた鉄道橋りょうの塗装試験を行ってきた。2013年度は、スパン 13.4m のデッキガーダ上り線（溶接桁）と下り線（リベット桁）を、2014年度は、スパン 12.9m のデッキガーダ 2 連を塗装試験した。本報告では、後者の試験結果を報告する。

---

1) 建設塗装工業株式会社 技術本部 技術部 部長

〒101-0044 東京都千代田区鍛冶町 2-6-1

2) 東日本旅客鉄道株式会社 鉄道事業本部 設備部 副課長

〒151-8578 東京都渋谷区代々木 2-2-2

3) 東日本旅客鉄道株式会社 JR 東日本研究開発センター テクニカルセンター 研究員

〒331-8513 埼玉県さいたま市北区日進町 2-479

4) 関西ペイント株式会社 R&D 本部 SD 研究所 係長

〒254-8562 神奈川県平塚市東八幡 4-17-1

### 3. ダストレススプレーの原理

ダストレススプレーのノズルは、中心部から塗料、その外周からエアーを噴出するもので、塗料粒子はエアーで霧化され被塗面に塗着する。この時、塗料粒子が大きいほど、粒子速度が速いほど塗着効率（使用塗料に対する被塗物への塗着塗料の割合）が高くなる。また、ノズルと被塗物との距離が近いほど、塗料粒子の直進性が強くなり粒子速度も速くなることから、塗着効率が高くなることがわかっている<sup>1)</sup>。さらに吹き付け角度が鉛直に近づくほど塗着効率は向上する<sup>1)</sup>。

ダストレススプレーノズルを用いた自動塗装機では、ノズルと被塗物との距離を 5cm と近接させて施工したことから、塗着効率として 88% の高効率が得られている<sup>2)</sup>。

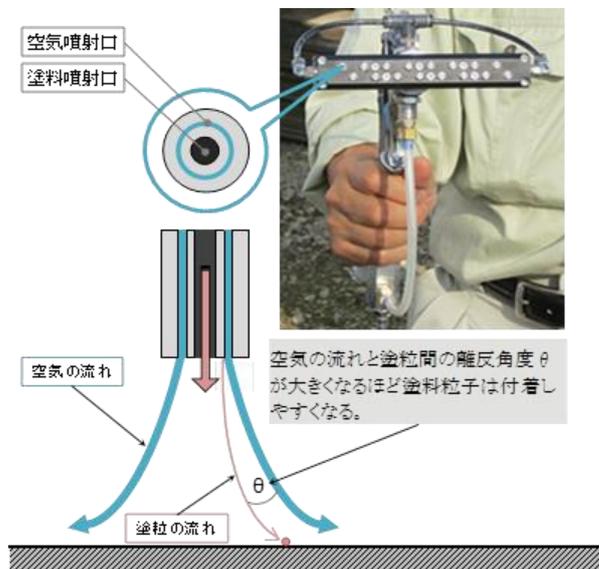


図-1 ダストレススプレーの塗着原理

### 4. ダストレススプレーハンドガンの概要

ダストレススプレー装置は作業者が扱うハンドガン (①) と塗料を圧送するための支援装置 (②)、これを動かすためのコンプレッサー (③) によって構成される (図-2)。

ハンドガンは 16 個のノズルを有するガンヘッド部と作業者が扱うためのトリガーグリップによって構成されている。支援装置は塗料を圧送するダイヤフラムポンプ、洗浄ユニット、塗料缶及び移動用カートから成り、これらを一体化させることで移動を容易にしている。

また、ダストレススプレー装置はオールエア駆動方式であり、ダイヤフラムポンプへ圧縮した空気を送るための、コンプレッサーを使用している (写真-1)。

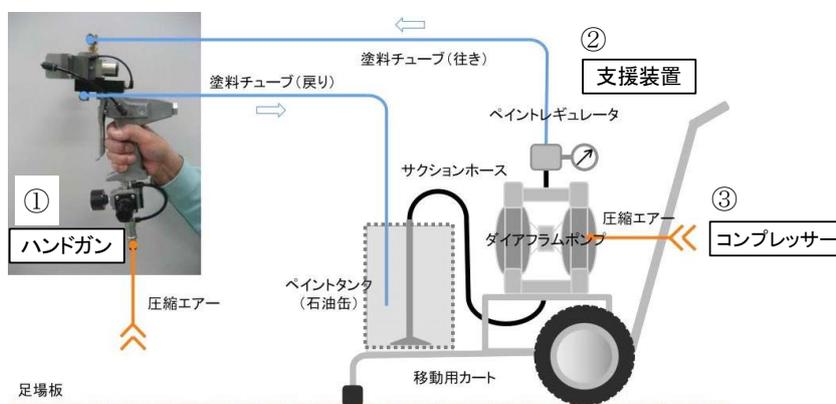


図-2 塗装機のシステムイメージ



写真-1 コンプレッサー

## 5. 試験塗装の概要

### (1) 試験対象橋りょう

試験対象橋りょうの概要は、以下のとおりである。

- ・形式：デッキガーダ（リベット桁） L=12.9m×2連 塗装面積 426 m<sup>2</sup>（橋側歩道含む）
- ・試験施工期間：2014年7月24日～28日



写真-2 試験対象橋梁

### (2) 試験対象範囲

ダストレススプレーによる試験塗装は、日中とし、主桁の主体部（ウェブ、下フランジ）を対象とした。夜間施工となる部位（上フランジ等）、横綾材、対傾構など部材断面が小さく、先行はけ塗り範囲が大部分を占める部位、狭隘部でノズルの取り回しが困難な部位（端横桁、支承部付近）は、試験対象から外し、はけ塗りとした。

### (3) 先行はけ塗り

スプレー塗装では、一般に塗膜厚確保が困難な部位については、スプレー塗装に先行してはけ塗りを実施することとされている。本試験塗装においては、先行はけ塗りの対象部位を文献<sup>3)</sup>を参考に以下のとおりとした。

- ① 部材の板厚面（木端面）
- ② リベット部（隅角部側）
- ③ 隅角部（部材が直角に交わる箇所）

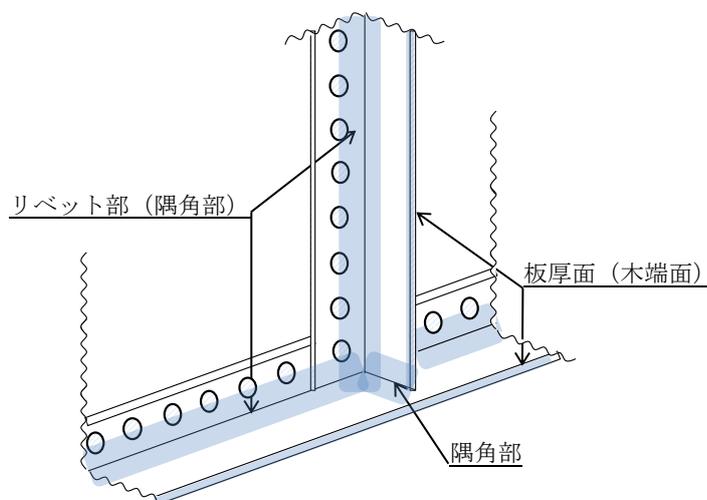


図-3 先行はけ塗り範囲

#### (4) 塗替え塗装仕様

塗替塗装の仕様は、表-1のとおりである。

設計標準使用量は、ダストレススプレーの実橋でのロス率のデータが十分でないため、目安としてはけ及びローラー塗りの標準使用量とする。ただし、ウェットフィルムゲージによる湿潤膜厚測定により、目標乾燥膜厚が得られる塗布量を確保する。

表-1 塗替塗装仕様

塗装系		素地調整種別／使用塗料	塗装法 使用量／乾燥膜厚	区分
素地調整		替えケレン2	—	—
T-7 塗装系	第1層	厚膜型変性エポキシ樹脂系塗料	はけ・ローラ <sup>ア)</sup> 200mg/m <sup>2</sup>	補修
	第2層	厚膜型変性エポキシ樹脂系塗料	スプレー <sup>イ)</sup> 60μm	全面
	第3層	厚膜型変性エポキシ樹脂系塗料	スプレー <sup>イ)</sup> 60μm	全面
	第4層	厚膜型ポリウレタン樹脂塗料上塗	スプレー <sup>イ)</sup> 50μm	全面

ア) はけ・ローラーにて塗装する箇所。使用量で管理。

イ) ダストレススプレーで塗装する箇所。目標乾燥膜厚を設定。ウェット膜厚で管理。

厚膜型変性エポキシ樹脂塗料：ウェット膜厚 125μm

厚膜型ポリウレタン樹脂塗料：ウェット膜厚 100μm



スプレー作業



支援装置

写真-3 主桁ウェブのスプレー塗装

## 6. 試験塗装結果

### (1) 乾燥塗膜厚

#### 1) 測定要領

主桁ウェブ面を対象に、電磁式膜厚計により、旧塗膜を除去した箇所の乾燥塗膜厚を測定した。測定箇所は、**図-4**に示すように鉛直リブと上下フランジに囲まれた面の9か所、1か所の測定値は5回測定値の平均とした。

測定は、はけ・ローラーによる第1層の補修塗装を含め、第2層から第4層まで、各層ごとに実施した。

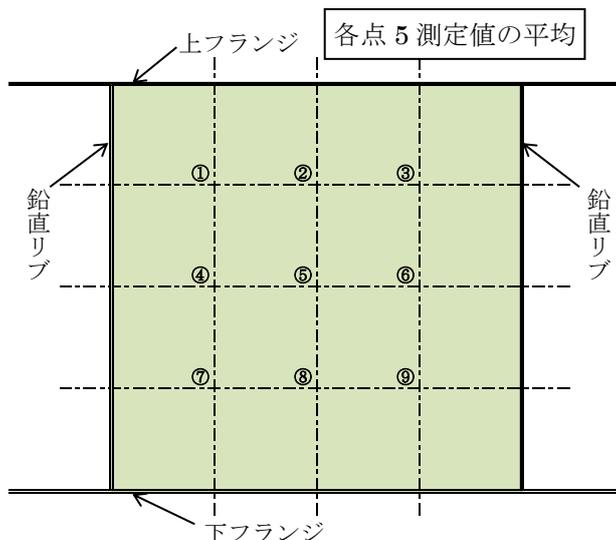


図-4 乾燥塗膜厚測定箇所

#### 2) 測定結果

各層毎の乾燥塗膜厚測定結果を**図-5**に示す。

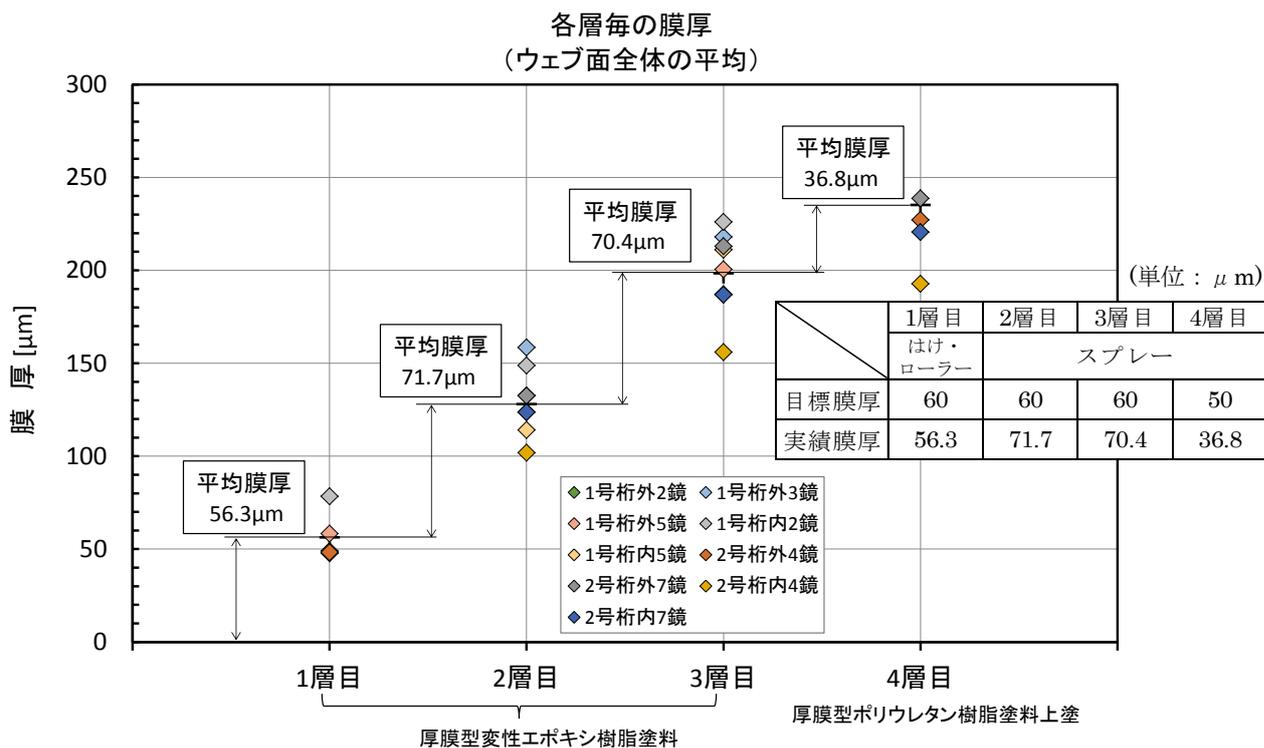


図-5 乾燥塗膜厚測定結果

2層目および3層目は、スプレー塗装による厚膜型エポキシ樹脂塗料の塗装結果であり、それぞれ  $71.7\mu\text{m}$ 、 $70.4\mu\text{m}$  と目標膜厚の  $60\mu\text{m}$  を上回っている。一方、4層目の厚膜型ポリウレタン樹脂塗料上塗については、 $36.8\mu\text{m}$  と目標膜厚の  $50\mu\text{m}$  を下回っている。

上塗りの膜厚不足については、後述のダスト量がやや多いことと合わせ、今後、改善の余地がある。

## (2) 塗膜仕上り

塗膜の仕上りは、ゆず肌が全体的に見られるが、塗膜品質としては問題の無いレベルである。また、一部に上塗りの透けが見られ、当該箇所では、上塗り塗膜の膜厚不足が考えられる。

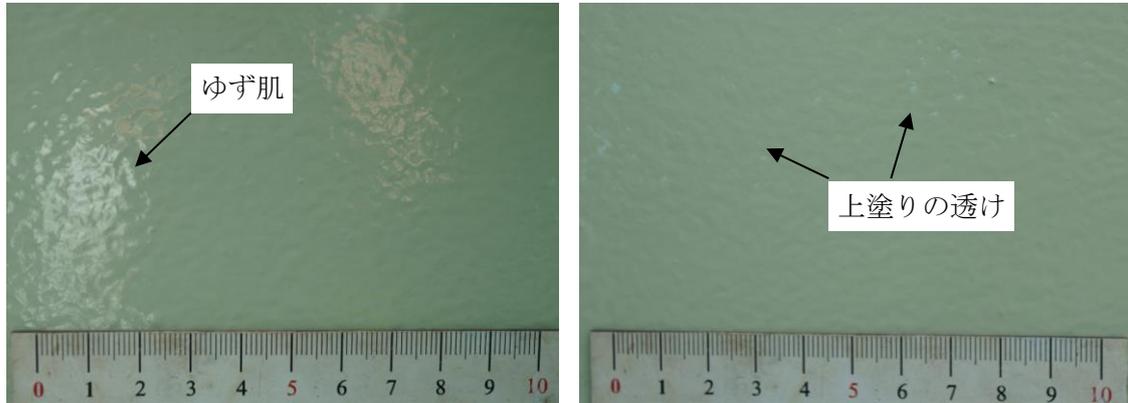


写真-4 塗膜の仕上り

## (3) 塗料の飛散状況

### 1) 飛散防止対策

塗料の上部および外部への飛散防止対策として、以下のとおりとした。

- ・ 上部部材の上向き噴射を禁止した。(下フランジの下面およびその添接用リベット部まではけ塗りとした)
- ・ 足場床面および朝顔立ち上がり部分は、ブルーシート養生とした。(写真-5)

### 2) 飛散確認要領

ウェブ上方への飛散については、橋まくら木の目視確認、上フランジ下面に設置した黒色色紙で確認を行った。また、塗料の橋りょう部外への飛散状況を確認するため、確認用の黒色色紙を貼り付けた板、箱を足場側面および河川敷地内に設置し、飛散した塗料つぶを確認した。



写真-5 足場床面および朝顔部のブルーシート養生

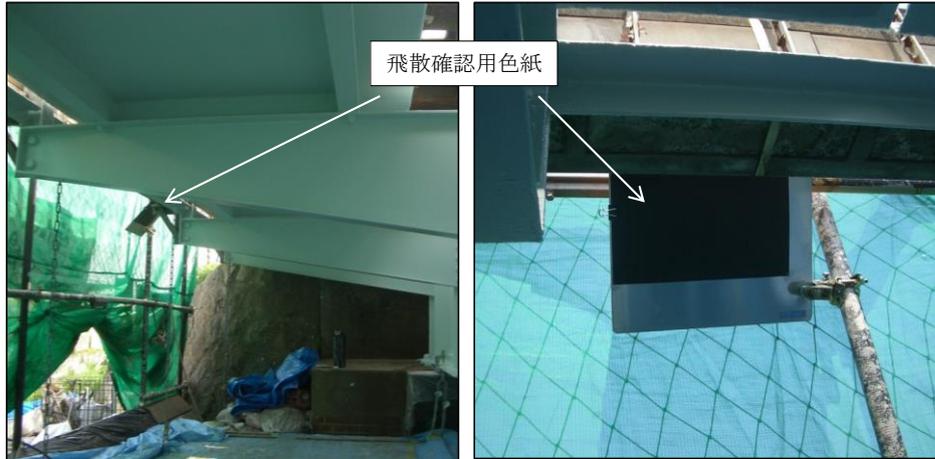


写真-6 朝顔内部の確認用色紙



写真-7 河川敷内の確認用色紙

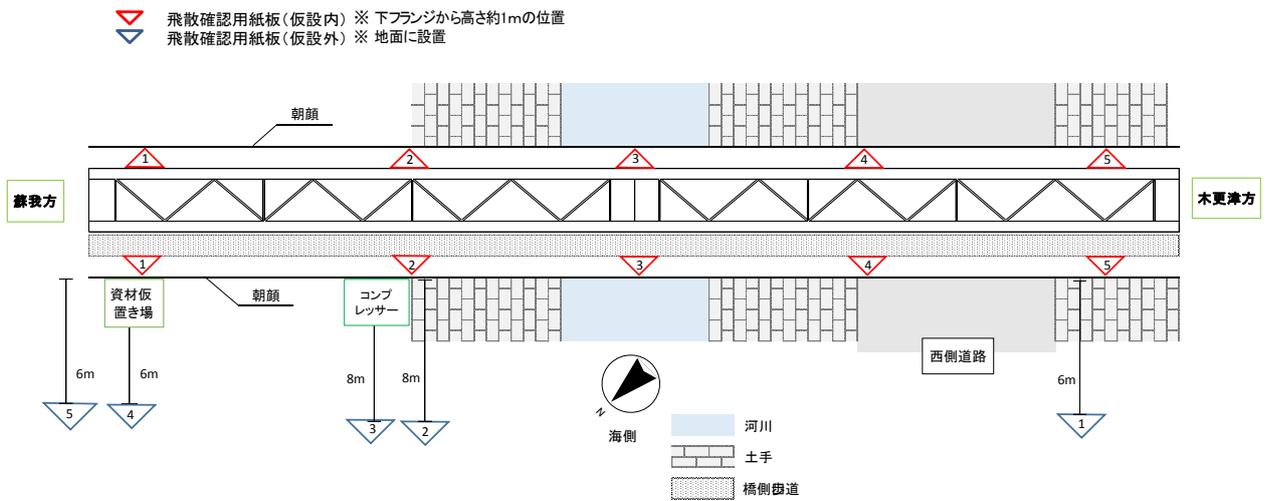


図-6 塗料飛散確認箇所

### 3) 飛散確認結果

#### ① ウェブ上方への飛散確認

ウェブ上方への飛散確認として、橋まくら木表面への塗料の飛散を確認した。目視確認では、塗料飛散は確認されなかった。

また、ウェブへのスプレー塗装時に上フランジの下面に黒色色紙を設置し、飛散状況を確認した。



橋まくら木に塗料飛散の跡は見られない

写真-8 ウェブ上方への塗料飛散確認

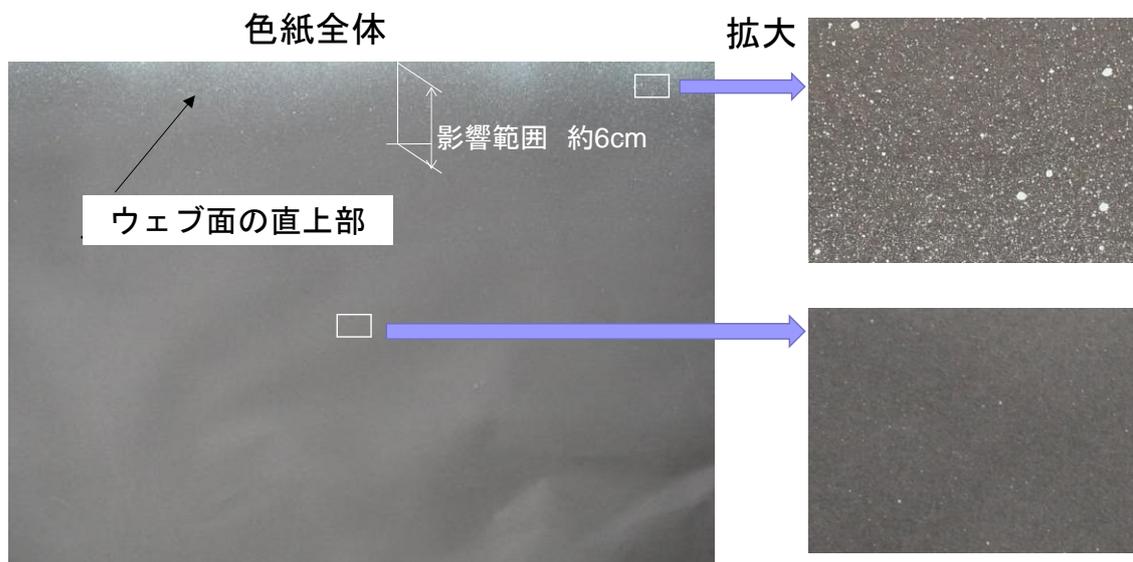


図-7 上フランジ下面の色紙確認結果

スプレー機の直上部では、色紙への塗料ダストの付着が多く見られる。一方、影響範囲(約6cm)を離れた部位では、ダストの付着は少なくなる。

塗料の種別ごとの比較では、厚膜型ポリウレタン樹脂塗料上塗が変性エポキシ樹脂塗料に比べ、ダスト量がやや多く、改善の余地があると思われた。

② 橋りょう外部等への飛散確認

橋りょうの外部近傍で計測した風速は、1.5～3.5m/s であり、塗料ダストが遠方まで飛散する風速では無かった。

足場朝顔内部および橋りょう外部への飛散確認結果は、表-2 のとおりである。

表-2 によれば、試験開始初期(24日)に機器調整に伴う朝顔内部での飛散が見られたが、橋りょう外部への飛散は、非常に少ないレベルであった。

表-2 塗料飛散確認結果

飛散確認用紙板位置		24日	25日		26日		28日
		2号桁	1号桁	2号桁	1号桁	2号桁	1号桁
		下塗り	下塗り	中塗り	中塗り	上塗り	上塗り
右朝顔内	1	微少		微少		微少	
	2	微少		微少		付着無	
	3	多少	微少		微少		
	4		微少		微少		微少
	5		微少		微少		微少
左朝顔内	1	多		微少		少	
	2	多		微少		微少	
	3	多	微少		微少		
	4		微少		少		微少
	5		微少		少		少
橋梁外	1	微少		微少		微少	微少
	2	少		微少		微少	付着無
	3	少		微少		付着無	微少
	4	少		微少		微少	微少
	5	微少		微少		付着無	付着無

付着無	微小粒	付着力、低
微少	微小粒	3粒未満
少	微小粒	3粒以上
多少	小粒	広い範囲、3粒未満
多	小粒	狭い範囲、3粒以上

微小粒	粒径、30μm未満
小粒	粒径、30μm以上

塗料の飛散状況をまとめると以下のとおりである。

- 朝顔内部の塗料の飛散については、足場の養生により側方および下方は、防護されるものの、上方への飛散については、色紙による調査により確認された。ただし、まくら木への付着は、目視では確認できない程度であった。今後、上方への塗料飛散対策について検討を行う。
- 橋りょう外部への塗料の飛散については、黒色の紙への塗料粉付着を観察した結果、検出された付着量はわずかであった。しかし、近隣に人家等がある場合には、ダストレススプレーの使用に課題が残る。
- 厚膜型ポリウレタン樹脂塗料上塗では、ダスト量がやや多く、塗料の組成を含めた対応策の検討が必要である。

(4) 塗装効率

1) スプレー塗装時の塗装効率

スプレー塗装を実施している時間と対象面積から求めたスプレー塗装時の塗装効率を表-3に示す。

表-3 スプレー塗装時の塗装効率

単位: m<sup>2</sup>/hr

施工日	1号桁				2号桁			
	右外側	左外側	内側	下フランジ	右外側	左外側	内側	下フランジ
7月24日	/	/	/	/	33.7	16.7	80.7	19.2
7月25日	52.2	50.0	66.7	19.2	68.8	75.7	80.7	28.8
7月26日	55.1	55.1	68.8	3.8	44.9	80.7	86.5	8.2
7月28日	71.5	71.5	100.9	—	/	/	/	/



表-3に示すウェブ面の塗装効率を図化すると図-8のとおりとなる。

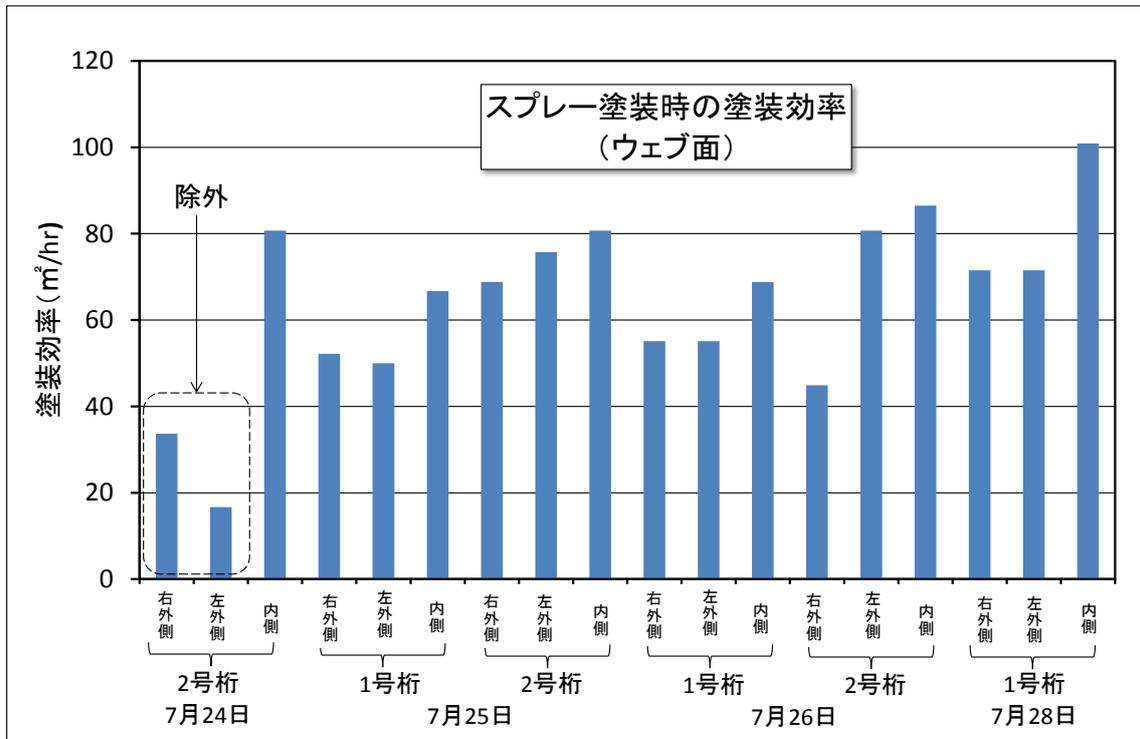


図-8 スプレー塗装時の塗装効率

図-8 より、試験施工初期の 2 データは、作業員の不慣れや装置の安定稼働までの調整などの影響で、それ以降に比べ、能率が著しく低く、以下の検討からは除外する。下フランジは、全平均とする。これより平均的な塗装効率は、以下のとおりとなる。

ウェブ平均 69.4 m<sup>2</sup>/hr (塗装初期の 2 データを除く)

下フランジ平均 15.0 m<sup>2</sup>/hr

## 2) 不稼働時間を考慮した塗装効率

一方、実作業においては、塗料準備、機械調整、洗浄のほか、休憩の時間（昼休みを除く）など不稼働時間が発生する。1 日の施工時間を記録した結果より、橋りょうモデル（本橋 2 連分）施工パターンは、表-4 のとおりとなる。

表-4 不稼働時間を考慮した塗装効率（橋りょう 2 連を対象）

項目	面積 (m <sup>2</sup> )	塗装時間 (分)	塗装効率 (m <sup>2</sup> /hr)
ウェブ塗装	161.52	139.7	69.4
下フランジ塗装	11.52	46.1	15.0
準備・調整・洗浄	—	102.0	—
休憩	—	29.3	—
計	173.04	317.1	32.7

ダストレススプレー塗装では、塗装作業者と支援装置操作者の 2 人体制で塗装作業を行うため、一人当たりの塗装効率は、表-4 に示す値の 1/2 の 16.4 m<sup>2</sup>/hr (=32.7 m<sup>2</sup>÷2) となる。

## 3) 先行はけ塗りを考慮した塗装効率

先行はけ塗りの歩掛り調査の結果によると、本橋の先行はけ塗り対象範囲にかかる労務は、1 層 2 連（1 日施工分）当り約 2 人であった。

ダストレススプレー塗装が 2 人体制であり、先行はけ塗りの 2 人であることから、先行はけ塗りを含めた塗装効率は、2) の 1/2 となり約 8 m<sup>2</sup>/hr/人となる。

## 4) まとめ

従来のはけ・ローラー塗りの塗装効率は、8 m<sup>2</sup>/hr/人程度である。

このことから、ダストレススプレー塗装では、はけ・ローラー塗りに対し、ほぼ同等の塗装効率となった。

今後、ダストレススプレー塗装を活用していくため、先行はけ塗り範囲の検証や、先行はけ塗り部等の狭隘部に適用できるスプレーノズルの検討を行う。

# 7. まとめ

## (1) 塗装品質

塗膜の仕上りは、ゆず肌が全体的に見られるが、塗膜品質としては問題の無いレベルで

ある。乾燥膜厚は、ほぼ標準値に近いものの、上塗りでは、やや膜厚不足が見られ、上塗り塗装時のダストの改善とともに検討する。

## (2) 塗装効率

ウェブ面のスプレー塗装の塗装効率は、平均 69.4 m<sup>2</sup>/hr、下フランジ下面は、平均 15.0 m<sup>2</sup>/hr となった。準備、機器調整、洗浄、および休憩時間（昼休み除く）を含めた不稼働時間を考慮した塗装効率は、32.7 m<sup>2</sup>/hr であり、さらにダストレススプレー塗装では 2 人体制で塗装作業を行うことから、一人当たりの塗装効率は、その 1/2 の 16.4 m<sup>2</sup>/hr となった。先行はけ塗りの人工を含めた塗装効率は、その 1/2 となり約 8 m<sup>2</sup>/hr/人となった。

今後、ダストレススプレー塗装を活用していくため、先行はけ塗り範囲の検証や先行はけ塗り部等に適用できるスプレーノズルの検討を行う。

## (3) 塗料の飛散

朝顔内部の塗料の飛散については、足場の養生により側方および下方は、防護されるものの、上方への飛散については、色紙による調査により確認された。ただし、まくら木への付着は、目視では確認できない程度であった。今後、上方への塗料飛散対策について検討を行う。

橋りょう外部への塗料の飛散については、黒色の紙への塗料粉付着を観察した結果、検出された付着量はわずかであった。しかし、近隣に人家等がある場合には、ダストレススプレーの使用に課題が残る。

厚膜型ポリウレタン樹脂塗料上塗では、ダスト量がやや多く、塗料の組成を含めた対応策の検討が必要である。

## (4) 機器の改良等

塗装作業中に塗料の詰まりが一時発生した。夏季の高温による塗料粘度の上昇や顔料の沈降などが発生する要因と思われるが、塗料詰まりの生じた支援装置の塗料供給部の構造改善を検討する。

また、狭隘部の塗装は、現状のスプレーノズルには不向きであり、より小型化したスプレーノズルの可能性について検討する。

## 参考文献

- 1) 大本宗治、田中孝司、竹内徹；ダストレス塗装システムとその応用、塗料の研究 No.133 Oct. 1999
- 2) 内藤孝和、鈴木周一、市川昭人、芝彰男；箱桁用自動塗装機械の開発、土木学会年次学術講演会講演概要集、Vol. 68、2013
- 3) 一般塗装系塗膜の重防食塗装系への塗替え塗装マニュアル、一般社団法人日本鋼構造協会、平成 25 年 5 月 1 日