

平成26年度

# 寒冷地用塗料の耐久性、施工性、施工対策に関する検討

(独) 土木研究所 寒地土木研究所 耐寒材料チーム ○林田 宏  
 (独) 土木研究所 つくば中央研究所 新材料チーム 富山 禎仁  
 特定非営利活動法人 鋼構造物塗膜処理等研究会 石田 博文

寒冷地用塗料の耐久性、施工性、施工対策を明らかにするための検討を行った。室内促進試験および暴露試験の結果、有機ジンクリッチペイント、ふっ素樹脂塗料を使用した仕様は通常塗装仕様Rc-Iと同等以上の耐久性を有していた。また、氷点下の温度域において模擬橋梁を用いた施工試験を行った結果、作業性、外観、乾燥性に大きな問題は認められなかった。また、施工対策として送風機による換気を行うことで、試験場内の揮発溶剤濃度を管理基準以下に保つことができた。また、既設塗装の塗替えに対する耐久性を確認するため、実橋を用いた試験塗装を行った結果、外観や付着力は良好な結果となった。

キーワード：通年施工、塗装工事、寒冷地用塗料、耐久性、施工性、施工対策

## 1. はじめに

冬期の低温時に塗装工事を行う場合、変性エポキシ樹脂塗料などの低温用塗料を適用しても、5℃以下での塗装は制限される。このため、①施工可能時間が夏期に比べ短い、②暖房機によるコスト・CO<sub>2</sub>の増加、③発注時期が春から夏に集中するなどの問題が生じていた。

そこで、これらの問題を解決するため、イソシアネートでの重合反応硬化等により5℃以下の低温領域で硬化が可能となる寒冷地用塗料が開発された<sup>1)</sup>。しかし、寒冷地用塗料の耐久性や施工性等の性能に関する検討は十分に行われていない。

このため、本研究では、室内促進試験、実環境における暴露試験、模擬橋梁を用いた施工試験などを通して、

寒冷地用塗料の耐久性、施工性、施工対策を明らかにするための検討を行った。

## 2. 耐久性に関する検討

### (1) 試験概要

塗装系としての防食性を短時間で確認するため、促進劣化試験を行った。また、耐候性を確認するため、実環境における暴露試験を行った。

#### a) 塗装仕様

表-1に示す寒冷地用塗料を用いて、試験を行った。また、鋼道路橋防食便覧<sup>1)</sup>に示されている通常塗装仕様Rc-Iとの比較を行った。

表-1 塗装仕様

	仕様名	1層目	2層目	3層目	4層目	5層目
	膜厚(μm)	50	50	50	30(55 <sup>**2</sup> )	25
IIIシリーズ	III P1~5	エポキシ下塗	エポキシ下塗	エポキシ下塗	ポリウレタン用中塗	ポリウレタン上塗
	III P6	湿気硬化形 ポリウレタン下塗	湿気硬化形 ポリウレタン下塗	湿気硬化形 ポリウレタン下塗	ポリウレタン用中塗	ポリウレタン上塗
	III S1~4	エポキシ下塗	エポキシ下塗	エポキシ下塗	シリコン変性 アクリル用中塗	シリコン変性 アクリル上塗
Iシリーズ	I F1~2	有機ジンクリッチ ペイント	エポキシ下塗	エポキシ下塗	ふっ素用中塗	ふっ素上塗
	I AF1	有機ジンクリッチ ペイント	湿気硬化形 ポリウレタン下塗	湿気硬化形 ポリウレタン下塗	厚膜 ふっ素上塗	
	I AF2~4	有機ジンクリッチ ペイント	エポキシ下塗	エポキシ下塗	厚膜 ふっ素上塗	
(比較)	Rc-I	有機ジンクリッチ ペイント	エポキシ下塗	エポキシ下塗	ふっ素用中塗	ふっ素上塗

※1: 塗料名は「寒冷地用」を省略 ※2: 厚膜塗料の場合の膜厚

b) 試験板

試験板は寒冷地用塗料の適用温度の下限目標である-5℃に設定した低温実験室内において、はけで塗装した。塗装終了後は、-5℃で7日間、続けて23℃で2日間、合計9日間の養生を行った。

c) 試験方法

① 促進劣化試験

図-1に示す促進劣化試験を200サイクル行った。

② 暴露試験

作成した試験板を美々コンクリート・凍害実験場（北海道苫小牧市）に5年間、暴露した。

ンクリッチペイントを使用しているIシリーズについては、全ての仕様で、Rc-Iの値を下回っていた。一方、IIIシリーズについては、いくつかの仕様で、Rc-Iの値を上回るものが見られた。

c) 付着力

促進劣化試験後の付着力の測定結果を図-3に示す。全ての試験板において、表-2に示す付着力評価基準<sup>2)</sup>で最も良い評価となる2MPa以上の付着力を確保していた。また、鋼板素地からの剥離は認められなかった。

d) 光沢保持率

暴露5年後の光沢保持率を図-4に示す。上塗にふっ

(2) 試験結果

a) 外観

促進劣化試験後、目視観察で膨れ、さび、割れ、はがれなどの塗膜異状の有無を評価した結果、塗膜異状は認められず良好だった。

b) 膨れ幅

促進劣化試験後の膨れ幅の測定結果を図-2に示す。なお、点線はRc-Iの値を示している。最下層に有機ジ

表-2 付着力の評価方法

評価点	引張付着力(MPa)
0	2.0 ≤ X
1	1.0 ≤ X < 2.0
2	0.0 < X < 1.0
3	X = 0.0

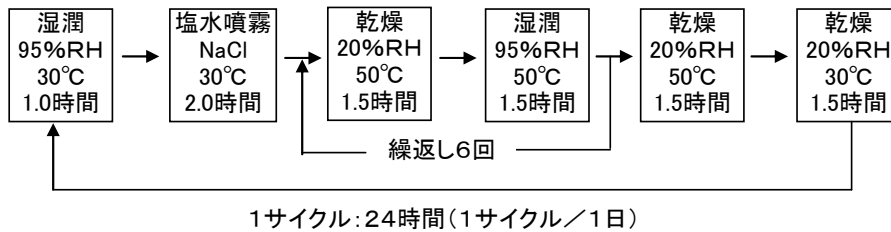


図-1 促進劣化試験条件

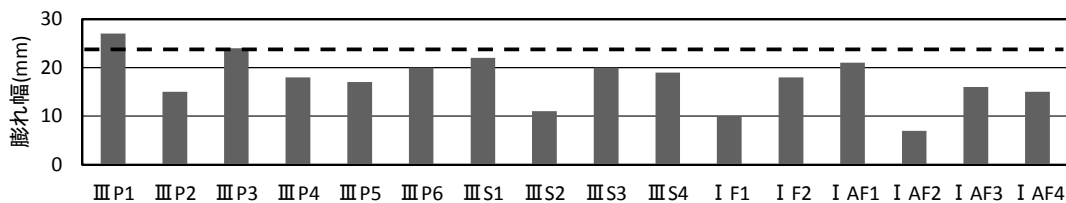


図-2 膨れ幅（促進劣化試験）

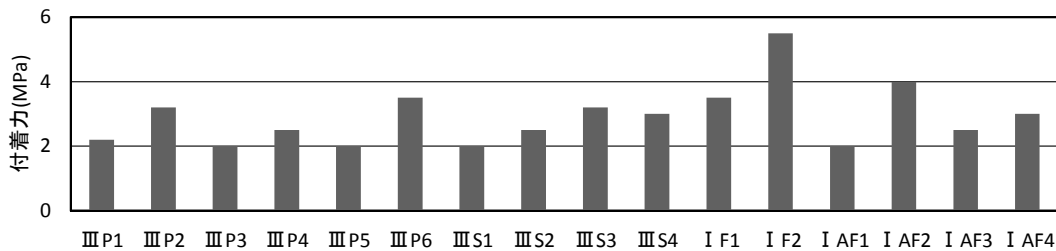


図-3 付着力（促進劣化試験）

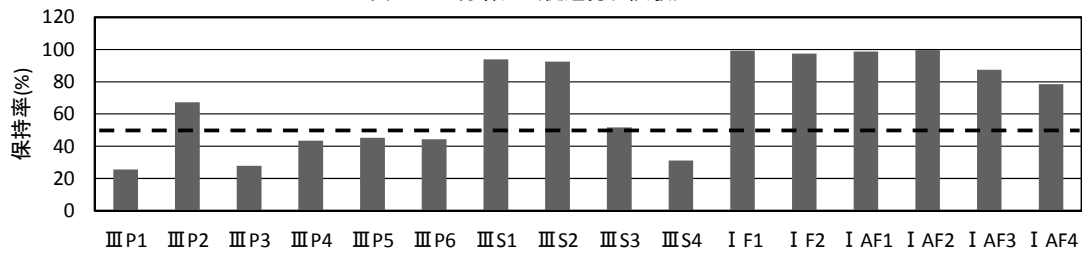


図-4 光沢保持率（暴露試験）

素樹脂塗料を使用している仕様については、全ての仕様で Rc-I の値を上回っていた。一方、ポリウレタン樹脂塗料およびシリコン樹脂塗料については、いくつかの仕様で Rc-I の値を下回るものが見られた。

### 3. 下限温度での施工性に関する検討

#### (1) 試験概要

厳寒期を想定した氷点下の温度域における、寒冷地用塗料の施工性について確認するため、模擬橋梁を用いた施工試験を行った。

##### a) 目標温度

札幌における 1971~2000 年の平均気温の平年値<sup>3)</sup>は -5℃以上であることから、今回の施工試験においては、寒冷地用塗料の適用温度の下限目標を -5℃に設定した。

##### b) 模擬橋梁

施工試験に使用した模擬橋梁（図-5）は、架け替えに伴い、その一部を角山試験場（北海道江別市）に移設したもので、極めて実橋に近い状態となっている。形状等は図-5に示すとおりである。

##### c) 塗装仕様

表-1に示す I シリーズのうちの 5 仕様の寒冷地用塗料を用いて、施工試験を行った。なお、各仕様の塗装範囲を図-6に示す。

##### d) 塗装方法

旧塗膜を除去するため、ブラストによる素地調整を行った後、はけ塗りにて塗装作業を行った。なお、旧塗膜飛散防止のため、実施工と同様に、シート等による養生を行った（写真-1）。この養生は降雪等の影響を避けるための養生も兼ねている。

##### e) 評価項目

施工性の評価は、表-3に示す項目について実施した。

#### (2) 試験結果

施工性の評価結果を表-4に示す。

##### a) 作業性

いくつかの塗料で「やや作業性が悪い」という評価

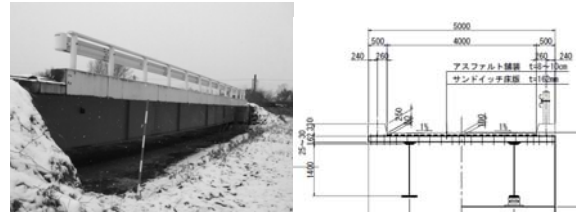


図-5 模擬橋梁

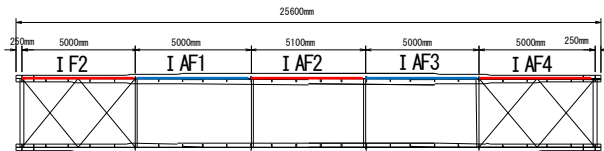


図-6 各仕様の塗装範囲



写真-1 養生状況

表-3 施工性の評価項目

項目	評価
作業性 Rc-I との作業性の比較	○： 同等以上
	△： やや作業性が悪い
	×： 作業性が悪い
外観 塗膜異状の有無	○： 異状なし
	△： わずかに異状あり
	×： 異状あり
乾燥性 翌日の乾燥状態	○： 半硬化乾燥以上
	△： べたつき有
	×： 指触乾燥以下

表-4 施工性の評価結果

仕様名	作業性					外観					乾燥性				
	ジンク	下塗	下塗	中塗	上塗	ジンク	下塗	下塗	中塗	上塗	ジンク	下塗	下塗	中塗	上塗
I F2	○	△	△	○	○	○	○	○	○	△	○	○	○	○	○
I AF1	○	△	△	-	△	○	△	○	-	○	○	○	○	-	○
I AF2	○	○	△	-	△	△	○	○	-	○	○	○	○	-	○
I AF3	○	○	○	-	○	△	○	○	-	○	○	○	○	-	○
I AF4	○	△	○	-	○	○	○	○	-	○	○	○	○	-	○

となった。具体的には、時間経過によって、はけさばきがやや重く、つっぱり感を感じるようになるというものであったが、はけ塗り作業が困難となるほどのものではなかった。

**b) 外観**

ほとんどの塗料の外観は概ね良好であったが、一部の塗料で写真-2に示すような「はけ目」や「たれ」が見られたが、所定の膜厚は確保されており、防食性には問題ないと考えられる。

**c) 乾燥性**

すべての塗料において、乾燥性は良好であった。

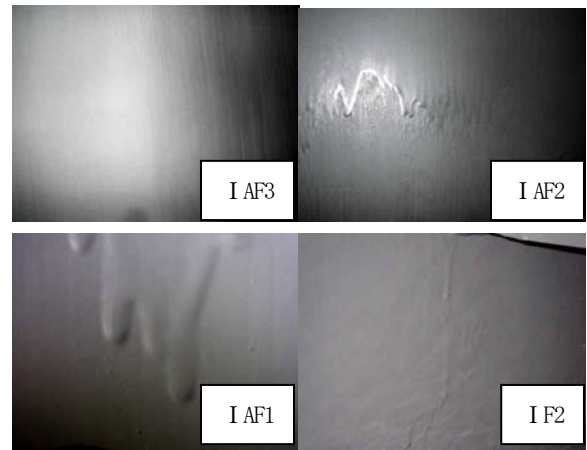


写真-2 外観異常の状況

**4. 揮発溶剤への施工対策に関する検討**

**(1) 試験概要**

寒冷地用塗料中には、乾燥性向上のため、トルエンなどの蒸発の早い溶剤が含まれている。したがって、養生シート等により密閉構造となっている作業場内では、作業安全性を確保するため、揮発溶剤への施工対策が必要となる。そこで、揮発溶剤への施工対策として、送風機による換気の有効性を確認するため、模擬橋梁での施工試験を行った。

**a) 模擬橋梁**

施工試験では、3章で述べた模擬橋梁のうち、図-7に示す対傾構で分割された2区画を用いて、施工試験を行った。

**b) 試験時期**

試験時期に関しては、気温が比較的高く溶剤の揮発量が多いと推定される11月中旬に実施した。

**c) 塗装方法、塗料**

寒冷地用塗料を用いた施工で生じる溶剤の揮発量等を再現するため、実施と同様に、模擬橋梁の桁を対象として、寒冷地用塗料の塗装作業を行った。塗装作業は、はけ塗りにて行い、塗料は寒冷地用有機ジメチルシリコンペイントを用いた。これは、予備検討<sup>4)</sup>の結果、寒冷地用塗料のうち、寒冷地用有機ジメチルシリコンペイントの溶剤発生量が最も多かったためである。

**d) 測定項目**

小型自動吸引式のガス検知器を用いて、場内に発生するトルエンの揮発溶剤量の測定を行った。測定箇所は作業場内のほぼ中間位置とし、床面から500mmの位置<sup>5)</sup>で測定を行なった。なお、測定を行う揮発溶剤としてトルエンを選定したのは、予備検討<sup>4)</sup>の結果、18項目の含有溶剤のうち、管理基準濃度<sup>5)</sup>を超えたのはトルエンのみであったためである。

**e) 施工対策**

揮発溶剤への施工対策として、送風機による換気を行った。送風機の機種選定に当たっては、試験場内の空体積を算出し、計算上、試験場内の空体積が約1分間で換

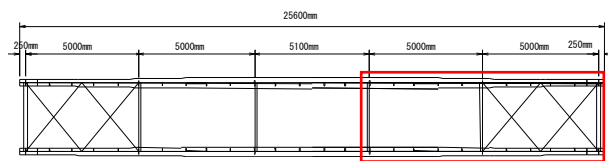


図-7 施工試験の実施区画

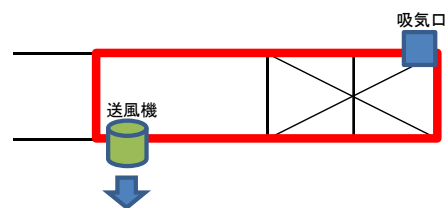


図-8 送風機の設置位置

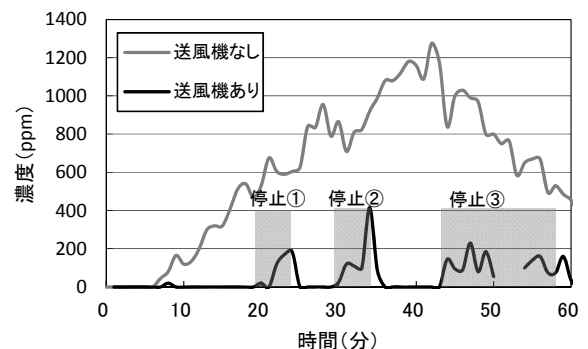


図-9 濃度測定結果

気できる送風能力のある機種を選定した。また、爆発事故防止のため、防爆型構造の機種を選定した。

送風機の設置位置については、塗装作業時の動線等を考慮し、図-8に示すように試験場内の隅角部付近に設置して、場内の空気を排気する形とした。外気の取り入れは送風機を設置した対角の養生シートを開放して吸気口とする、自然流入方式とした。

## (2) 試験結果

### a) 送風機なし

送風機を使用しない場合の濃度測定結果を図-9の灰色実線で示す。濃度は塗装開始後しばらくの間、ほぼ0 ppmであったが、8分経過後から急激に濃度が上昇し始めた。その後も濃度の上昇は続き、塗装が終了した40分後には1160ppm、42分後には最大値の1275ppmに達した。この数値はトルエンの管理濃度20ppm<sup>5)</sup>の60倍を越す濃度であり、作業者がこの環境下に長時間晒されると、有機溶剤中毒の発症が懸念される。なお、濃度上昇中に一時的に濃度が低下している部分が数箇所あるが、これは場内の測定者の移動により、場内の空気が攪拌され、測定位置での濃度が一時的に下がったためと推測される。

### b) 送風機あり

送風機を使用した場合の濃度測定結果を図-9の黒色実線で示す。濃度は塗装開始後しばらくの間、ほぼ0 ppmであったが、8分経過後に管理濃度である20ppmに達したため、送風機を稼働させた。送風機稼働1分後には0 ppmとなり、計算どおり、試験場内の空体積が約1分間で換気でき、送風機の有効性が確認された。さらに送風機の有効性を確認するため、図-9の網掛け部分に示すように、3回にわたり、送風機を一時的に停止し、濃度を管理濃度である20ppmよりも高めた状態から、適切な換気が可能となるか検証を行った結果、いずれの場合も場内の溶剤ガスを全量排気することは可能であるが、計算上の換気時間よりも多くの時間を要する場合があった。したがって、揮発溶剤に対して作業安全性を確保するためには、作業中は恒常的に送風機を稼働させ、作業終了後においても、しばらくの間は稼働させておくことが必要である。

## 5. 実橋を対象とした既設塗装の塗替えに関する検討

### (1) 試験概要

実橋における寒冷地用塗料の耐久性を確認するため、既設塗装の塗替えを想定し、実橋を用いた試験塗装を行った。

#### a) 対象橋梁

対象橋梁は、A塗装系<sup>1)</sup>(油性さび止めペイント/フタル酸樹脂塗料)のI橋とC塗装系<sup>1)</sup>(無機ジンクリッチペイント/エポキシ樹脂塗料/ふっ素樹脂塗料樹脂塗料)のH橋である。表-5に各橋梁の諸元等を示す。

#### b) 塗装仕様

表-1に示す塗装仕様のうち、3章において下限温度での施工性が確認されているIシリーズの5仕様を試験塗装に用いた。また、鋼道路橋防食便覧<sup>1)</sup>に示されている塗装仕様であるIII P4の仕様についても、あわせて試験塗装に用いた。なお、塗替え塗装であるため、Iシリーズの5仕様については、各仕様の1層目に有機ジンク

表-5 対象橋梁の諸元



橋梁名	I 橋	H 橋
		
架設年月	1986年11月	1998年3月
橋梁形式	鈹桁	鈹桁
橋長	230.0m	127.2m
幅員	9.5m	13.6m
桁高	2.0m	2.0m
塗装年月	2006年10月	1998年3月
塗装系	Ra-III	C-4

表-6 付着力

仕様名	I橋 (MPa)	H橋 (MPa)
I F2	2.0	2.0
I AF1	2.5	1.5
I AF2	3.5	1.5
I AF3	3.0	2.5
I AF4	3.0	3.0
III P4	4.0	3.0

リッチペイントではなく、2層目の下塗塗料を使用した。

### c) 塗装方法

塗装作業は、はけ塗りにて行った。塗装作業前の素地調整については、旧塗膜にさびがほとんどなかったため、素地調整程度4種とした。

### d) 評価項目

既設塗装の塗替えに対する耐久性を確認するため、塗装から7ヶ月後に、外観と付着力について評価を実施した。

## (2) 試験結果

### a) 外観

各橋梁のいずれの塗装仕様においても、割れ、はがれ、膨れ等の異状は見られなかった。

### b) 付着力

付着力の測定結果を表-6に示す。ほとんどの仕様で表-2に示す付着力評価基準で最も良い評価となる2 MPa以上の付着力を確保していた。また、2 MPaを下回ったI AF1、I AF2の仕様についても、1.5 MPaと高い値を示しており、鋼板素地からの剥離は認められず、いずれも接着剤での剥離であった。

## 6. まとめ

室内促進試験、実環境における暴露試験、模擬橋梁を用いた施工試験などを通して、寒冷地用塗料の耐久性、施工性、施工対策を明らかにするための検討を行った。その結果、以下のことが明らかとなった。

- (1) 室内促進試験および実環境における暴露試験の結果、最下層に有機ジンクリッチペイント、上塗にふっ素樹脂塗料を使用している仕様については、膨れ幅、付着力、光沢保持率が通常塗装仕様である Rc-I と同等以上、または、一般的な塗膜評価基準で最も良い評価となり、防食性や耐候性などの耐久性については良好な結果であった。
- (2) 氷点下の温度域において、模擬橋梁を用いた施工試験を行った。その結果、作業性については、一定時間をすぎると、作業性がやや低下した塗料が見られたが、はけ塗り作業が困難となるような著しい作業性の低下は見られなかった。また、仕上がり外観については、一部の塗料で若干の「はけ目」や「たれ」が見られたが、所定の膜厚は確保されており、防食性には問題ないと考えられる。また、乾燥硬化性については、すべての塗料において、問題は認められなかった。
- (3) 揮発剤への施工対策として、送風機による換気の有効性を確認するため、模擬橋梁での施工試験を行った。その結果、試験場内の空体積に対応した送風能力を持つ送風機を用いることで、試験場内の揮発剤濃度を管理基準以下に保つことができた。
- (4) 既設塗装の塗替えに対する耐久性を確認するため、実橋を用いた試験塗装を行った。その結果、塗装から7ヶ月後の外観や付着力は良好な結果となった。

## 謝辞

実橋を用いた検討の実施に当たっては、北海道開発局札幌開発建設部札幌道路事務所および千歳道路事務所の方々に多大なご協力、ご支援をいただきました。この場をお借りして、感謝の意を表します。

## 参考文献

- 1) 鋼道路橋防食便覧、公益社団法人日本道路協会、平成 26 年 3 月
- 2) 鋼構造物塗膜調査マニュアル JSSIV03-2006、社団法人日本鋼構造協会、平成 18 年 10 月
- 3) 気象庁ホームページ
- 4) 石田博文ほか：寒冷地用塗料の発生溶剤管理に関する検討、第 36 回鉄構塗装討論会予稿集、pp.37 -

52、2013 年 10 月

- 5) 有機溶剤作業主任者テキスト第 4 版、中央労働災害防止協会、平成 25 年 2 月