

第3章 供試体を用いた塗り重ね部の仕様検討

既設の塗装橋梁において、部分的な塗り替えを行う場合、旧塗膜と新しい塗膜の境界部に鋼材面が露出する弱点部をつくらないう、旧塗膜の上に新しい塗膜を塗り重ねる部位（以下「塗り重ね部」という。）が必要となる。既設橋のA塗装系等の旧塗膜を重防食塗装のC塗装系で部分的に塗る替える場合、塗り重ね部において、旧塗膜の上に異なる塗装系の塗料を塗り重ねることになる。このような異なる塗装系の塗り重ね部において、塗膜がはく離せず新旧塗膜に十分な付着力のあることの確認、ふくれ、しわ等の欠陥が生じない良好な品質の塗膜ができることの確認が必要となる。そのため、新旧塗膜の付着力の確認及び塗り重ね部分の塗膜の耐久性の確認を行った。

3.1 試験概要

桁端部の施工性評価で使用した撤去橋梁の鋼桁を使用して、塗り重ね部において旧塗膜と接する新塗料の下塗を対象として、素地調整部と旧塗膜部の境界付近に新塗料を塗布して塗り重ね状況を再現し、基盤目試験及びプルオフ法により新旧塗膜の付着力を確認した。また、この塗装した鋼板を切断して曝露試験の供試体を作成し、海岸付近で曝露試験を行い塗り重ね部分の耐久性の確認を行った。

3.2 試験ケースと試験体製作

(1) 対象とする塗装系

対象とする旧塗膜の塗装系は、一般環境に設置されるA塗装系とした。

新しい塗装系は、鋼道路橋塗装・防食便覧において、塗り替え用の重防食塗装として示されている表-3.1のRc-I塗装系に準拠することとした。

表-3.1 塗り替え塗装仕様Rc-I塗装系^{1.8)}

塗装工程	塗料名	使用量 (g/m ²)	塗装間隔
素地調整	1種		4時間以内
下塗	有機ジンクリッチペイント	600	1～10日
下塗	弱溶剤形変成エポキシ樹脂塗料下塗	240	1～10日
下塗	弱溶剤形変成エポキシ樹脂塗料下塗	240	1～10日
中塗	弱溶剤形ふっ素樹脂塗料用中塗	170	1～10日
上塗	弱溶剤形ふっ素樹脂塗料上塗	140	1～10日

(2) 試験ケース

1) 素地調整の方法

素地調整の方法は、表-3.2 に示す 3 種類とした。3 体の試験体に 1 種類ずつの素地調整を適用し、図-3.1 に示す左半分に素地調整を行った。なお、右半分の塗り重ね部に対しては、粉化物、汚れなどを除去する 4 種ケレンを行った。

表-3.2 素地調整の方法

供試体番号	作業方法	研削材	種別
No.2	機械工具	—	3 種ケレン
No.3	バキュームブラスト	アランダム	1 種ケレン
No.4	オープンブラスト	スチールグリッド	1 種ケレン

2) 塗装の種類

塗料の種類は、塗り重ね部において既存の塗膜と直接接する下塗りの塗料として、表-3.1 に示す Rc-I 塗装系における下塗り塗料である有機ジンクリッチペイント及び既存塗膜への影響が少ないとされる弱溶剤形変性エポキシ樹脂塗料のほかに、箱桁内面で使用される無溶剤形変性エポキシ樹脂塗料、新設橋で使用される強溶剤形変性エポキシ樹脂塗料を加えた計 4 種類とした。塗装の作業方法は、有機ジンクリッチペイントについてのみ、スプレー塗りと刷毛塗りの 2 種類とした。これより、表-3.3 に示す計 5 種類のパラメータとなった。

なお、弱溶剤形変性エポキシ樹脂塗料は、VOC（揮発性有機化合物）を低減し環境にやさしい塗料として開発されたものであるものの、可使時間が短いなど施工性に課題があるとされている。また、無溶剤形変性エポキシ樹脂塗料は、溶剤を全く含まないが、塗料粘度が高いため塗布作業が難しく、作業者によっては硬化剤がかぶれなどの障害を起こすことがあるとされている。

表-3.3 塗装のパラメータ

塗料種類	塗料名称	塗布方法
塗料①	有機ジンクリッチペイント	刷毛塗り
塗料①	有機ジンクリッチペイント	スプレー塗り
塗料②	弱溶剤形変性エポキシ樹脂塗料	刷毛塗り
塗料③	無溶剤形変性エポキシ樹脂塗料	刷毛塗り
塗料④	強溶剤形変性エポキシ樹脂塗料	刷毛塗り

3) 試験ケース

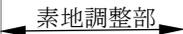
施工性評価で用いた No.2~No.4 の 3 体の供試体の一般部の腹板を用いて、表-3.2 に示す 3 種類の素地調整を各 1 体ずつ行った後、表-3.3 に示す 5 種類の塗装を図-3.1 に示す配置で行い、計 15 種類の試験ケースとした。

なお、各ケースの試験体は、次の記号で表している。

「素地調整の種類 α (供試体番号 No.2~No.4 の数字) - 塗料種類 (塗料①~④の数字) - 有機ジンクリッチペイントの塗布方法 (1 : スプレー塗り or 2 : 刷毛塗り) - 試験体の左右 (L : 素地調整部 or R : 塗り重ね部) 」

α-1-1-L	α-1-1-R	塗料① : 有機ジンクリッチペイント (スプレー塗り)
α-1-2-L	α-1-2-R	塗料① : 有機ジンクリッチペイント (刷毛塗り)
α-2-L	α-2-R	塗料② : 弱溶剤形変性エポキシ樹脂塗料 (刷毛塗り)
α-3-L	α-3-R	塗料③ : 無溶剤形変性エポキシ樹脂塗料 (刷毛塗り)
α-4-L	α-4-R	塗料④ : 強溶剤形変性エポキシ樹脂塗料 (刷毛塗り)

※ α は、素地調整の種類 (供試体 No.2~4)



素地調整部



塗り重ね部

図-3.1 試験体の塗装

(3) 試験体の製作

桁端の施工性評価試験で用いた橋の架替で撤去された A 塗装系の鋼桁の供試体 No.2～No.4 の腹板を使用して 3 本の鋼桁の片面に素地調整を 1 種類ずつ行い (図-3.2) , 各鋼桁に 5 種類の塗装を行い, 試験体とした (図-3.3) 。素地調整及び塗装は, 2006 年 (平成 18 年) 11 月 29 日～30 日に行った。各塗装の塗布範囲は, 幅 600mm×高さ 220mm の寸法とした。



供試体 No.2 (2CR) 機械工具
(ディスクサンダー)



供試体 No.3 (3CL) バキュームブラスト
(研削材: アランダム)



供試体 No.4 (4CL) オープンブラスト
(研削材: スチールグリッド)
注) 研削材は出てない状態

図-3.2 素地調整の作業状況

素地調整部 ← | → 塗り重ね部



No.2-1-1 (塗料①スプレー塗り)

No.2-1-2 (塗料①刷毛塗り)

No.2-2 (塗料②)

No.2-3 (塗料③)

No.2-4 (塗料④)

供試体 No.2 素地調整：機械工具

素地調整部 ← | → 塗り重ね部



No.3-1-1 (塗料①スプレー塗り)

No.3-1-2 (塗料①刷毛塗り)

No.3-2 (塗料②)

No.3-3 (塗料③)

No.3-4 (塗料④)

供試体 No.3 素地調整：バキュームブラスト (アランダム)

素地調整部 ← | → 塗り重ね部



No.4-1-1 (塗料①スプレー塗り)

No.4-1-2 (塗料①刷毛塗り)

No.4-2 (塗料②)

No.4-3 (塗料③)

No.4-4 (塗料④)

供試体 No.4 素地調整：オーブンブラスト (スチールグリッド)

図-3.3 塗装後の試験体

3.3 付着力試験

部分塗装の塗り重ね部における新旧塗膜の付着力を確認するため、塗装施工後3ヶ月経過後に、塗膜の付着力試験としてプルオフ試験を行い、その他に塗膜と鋼材素地のはく離に対する耐性を評価する基盤目試験を行った。試験は、各ケースの素地調整部及び塗り重ね部の図-3.4に示す位置において全ケースで行った。

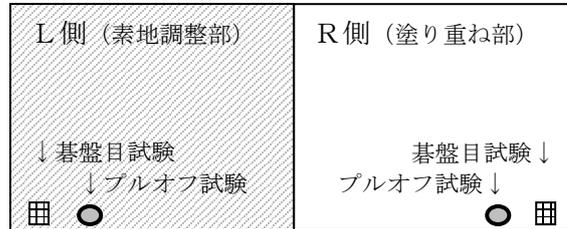


図-3.4 付着力試験の実施位置

3.3.1 基盤目試験

(1) 試験方法

基盤目試験は、クロスカット法 (JIS K 5600-5-6) ^{3.1)}によった。この試験は、塗膜に基盤目状に素地に達するカッター傷を入れた後、セロハン粘着テープを塗膜に貼り付けた後に粘着テープを引きはがし、その粘着力で塗膜をはく離することにより、鋼材素地からのはく離に対する塗膜の耐性を評価するものである。本試験では、素地調整部における鋼材素地と新塗膜の間の付着性のほかに、塗り重ね部における旧塗膜と新塗膜のはく離に対する付着性を評価するために行った。

旧塗膜が残存している塗り重ね部においては、旧塗膜と新塗膜を合わせると塗膜厚が250 μm を超えるため、カッター傷の導入時点で塗膜割れのおそれがあることを考慮して、基盤目の間隔は5mmとした。図-3.5に基盤目試験の要領を、図-3.6に試験状況を示す。

基盤目試験結果の評価は、表-3.4に示すはく離状態と評価点によった。

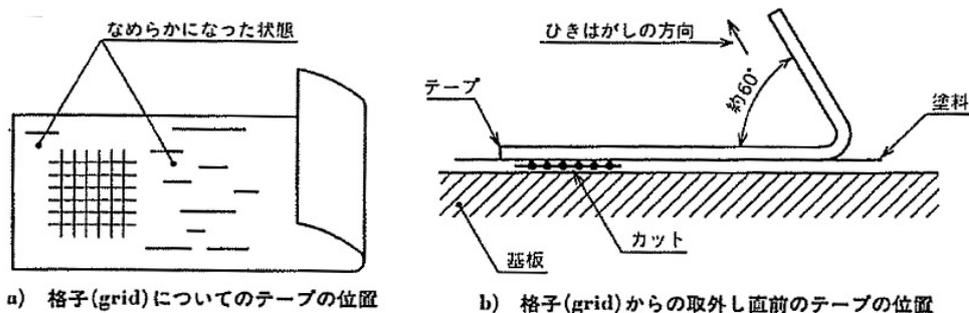
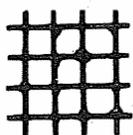
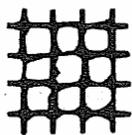
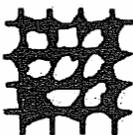


図-3.5 基盤目試験方法^{3.1)}



図-3.6 基盤目試験状況

表-3.4 基盤目試験評価点^{3.2)}

評価点 (RN)	0	1	2	3
				はく離面積 50%以上
JSS IV03-1993	3	2	1	0

(2) 試験結果

基盤目試験の評価点を表-3.5 に、試験結果の詳細を表-3.6 (a) ~表-3.6 (c) に示す。一部で塗膜のはく離 (評価点 1) があつたものの、いずれも旧塗膜層内または新塗膜層内ではく離であり、鋼材素地面ではく離及び新旧塗膜の境界面におけるはく離はなかつた。なお、各種変成エポキシ樹脂塗料の写真において、塗膜全体が赤みを帯びているものは、旧塗膜の赤色の影響が屋外での日照変化によって変わって見えたものである。また、テープ側の写真は、隣接する塗膜の上で撮影しているため、塗膜の色が透けて見えている。

1) ブラストによる素地調整 (L 側, No.3 及び No.4)

いずれの塗料も剥がれが無く (評価点 0), 鋼材面と塗膜は十分に付着していた。

2) 機械工具による素地調整 (L 側, No.2)

有機ジンクリッチペイントの一部で剥がれ (評価点 1) が認められたものの、旧塗膜層内及び有機ジンクリッチペイント層内ではく離であつたので、鋼材面と塗膜は十分に付着していた。

3) 旧塗膜との塗り重ね部 (R 側)

一部で剥がれ (評価点 1) が認められたものの、有機ジンクリッチペイントでは有機ジンクリッチペイント層内ではく離、3 種類の変性エポキシ樹脂塗料ではいずれも旧塗膜層内ではく離であつた。

表-3.5 基盤目試験結果 (評価点)

下地の種類 塗料種類と塗布方法			供試体No.2		供試体No.3		供試体No.4	
			素地調整 (機械工具)	A塗装系 塗り重ね	素地調整 (ブラスト: アランダム)	A塗装系 塗り重ね	素地調整 (ブラスト: グリッド)	A塗装系 塗り重ね
塗料①	有機ジンクリッチペイント	スプレー	1	1	0	1	0	1
塗料①	有機ジンクリッチペイント	刷毛	1	1	0	1	0	1
塗料②	弱溶剤形変性エポキシ樹脂塗料	刷毛	0	0	0	0	0	1
塗料③	無溶剤形変性エポキシ樹脂塗料	刷毛	0	0	0	0	0	1
塗料④	強溶剤形変性エポキシ樹脂塗料	刷毛	0	0	0	1	0	1

表-3.6 (a) 碁盤目試験（供試体 No.2 機械工具）

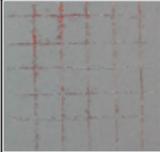
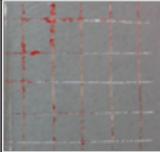
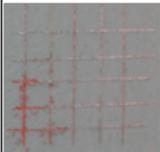
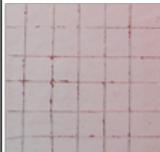
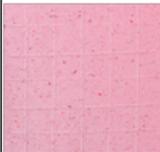
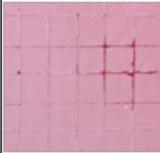
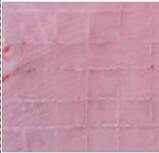
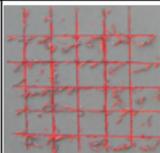
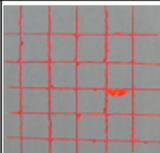
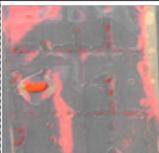
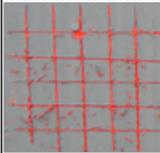
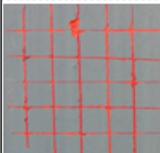
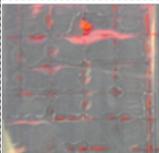
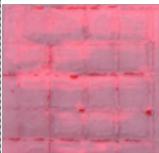
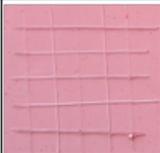
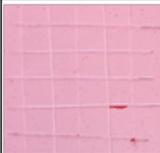
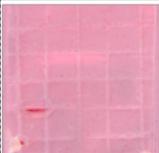
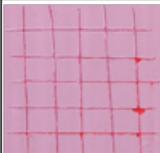
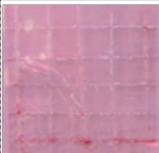
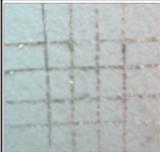
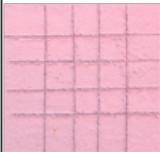
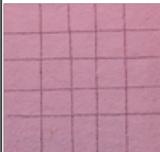
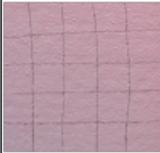
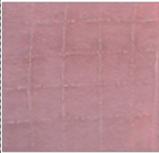
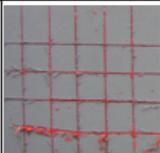
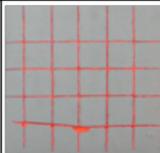
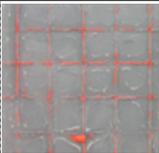
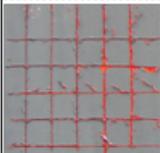
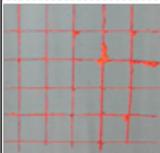
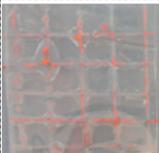
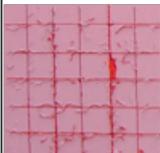
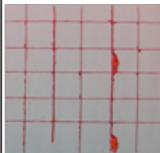
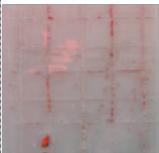
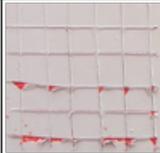
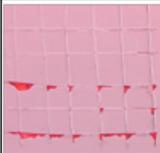
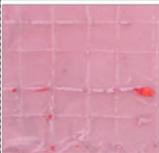
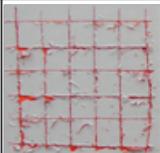
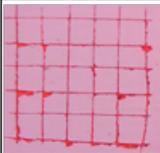
記号	素地調整	塗装仕様		評価点	剥離箇所	試験前 (カット後) 状況	試験結果	
		旧塗膜	新塗膜				試験体側	テープ側
2-1-1L	機械工具 (3種ケレン)	—	有機ジंक リッチ ペイント (スプレー)	1	旧塗膜・ジंक層内の 剥離			
2-1-2L		—	有機ジंक リッチ ペイント (刷毛)	1	旧塗膜・ジंक層内の 剥離			
2-2L		—	弱溶剤形 変性 エポキシ 樹脂塗料 (刷毛)	0	---			
2-3L		—	無溶剤形 変性 エポキシ 樹脂塗料 (刷毛)	0	---			
2-4L		—	強溶剤形 変性 エポキシ 樹脂塗料 (刷毛)	0	---			
2-1-1R	4種ケレン	A塗装系	有機ジंक リッチ ペイント (スプレー)	1	新塗膜層内剥離			
2-1-2R		A塗装系	有機ジंक リッチ ペイント (刷毛)	1	新塗膜層内剥離			
2-2R		A塗装系	弱溶剤形 変性 エポキシ 樹脂塗料 (刷毛)	0	---			
2-3R		A塗装系	無溶剤形 変性 エポキシ 樹脂塗料 (刷毛)	0	---			
2-4R		A塗装系	強溶剤形 変性 エポキシ 樹脂塗料 (刷毛)	0	---			

表-3.6 (b) 基盤目試験 (供試体 No.3 バキュームブラスト)

記号	素地調整	塗装仕様		評価点	剥離箇所	試験前 (カット後) 状況	試験結果	
		旧塗膜	新塗膜				試験体側	テープ側
3-1-1L	ブラスト (アラシダム)	—	有機シク リッチ ペイント (スプレー)	0	---			
3-1-2L		—	有機シク リッチ ペイント (刷毛)	0	---			
3-2L		—	弱溶剤形 変性 エポキシ 樹脂塗料 (刷毛)	0	---			
3-3L		—	無溶剤形 変性 エポキシ 樹脂塗料 (刷毛)	0	---			
3-4L		—	強溶剤形 変性 エポキシ 樹脂塗料 (刷毛)	0	---			
3-1-1R	4 種 ケ レ ン	A塗装系	有機シク リッチ ペイント (スプレー)	1	旧塗膜の中塗り 剥離			
3-1-2R		A塗装系	有機シク リッチ ペイント (刷毛)	1	旧塗膜の中塗り 剥離			
3-2R		A塗装系	弱溶剤形 変性 エポキシ 樹脂塗料 (刷毛)	0	---			
3-3R		A塗装系	無溶剤形 変性 エポキシ 樹脂塗料 (刷毛)	0	---			
3-4R		A塗装系	強溶剤形 変性 エポキシ 樹脂塗料 (刷毛)	1	旧塗膜の中塗り 剥離			

表-3.6 (c) 基盤目試験 (供試体 No.4 オープンブラスト)

記号	素地調整	塗装仕様		評価点	剥離箇所	試験前 (カット後) 状況	試験結果	
		旧塗膜	新塗膜				試験体側	テープ側
4-1-1L	ブラスト (グリッド)	—	有機シク リッチ ペイント (スプレー)	0	---			
4-1-2L		—	有機シク リッチ ペイント (刷毛)	0	---			
4-2L		—	弱溶剤形 変性 エポキシ 樹脂塗料 (刷毛)	0	---			
4-3L		—	無溶剤形 変性 エポキシ 樹脂塗料 (刷毛)	0	---			
4-4L		—	強溶剤形 変性 エポキシ 樹脂塗料 (刷毛)	0	---			
4-1-1R	4 種 ケ レ ン	A塗装系	有機シク リッチ ペイント (スプレー)	1	旧塗膜 (中塗り層内) 剥離			
4-1-2R		A塗装系	有機シク リッチ ペイント (刷毛)	1	旧塗膜 (中塗り層内) 剥離			
4-2R		A塗装系	弱溶剤形 変性 エポキシ 樹脂塗料 (刷毛)	1	旧塗膜 (中塗り層内) 剥離			
4-3R		A塗装系	無溶剤形 変性 エポキシ 樹脂塗料 (刷毛)	1	旧塗膜 (中塗り層内) 剥離			
4-4R		A塗装系	強溶剤形 変性 エポキシ 樹脂塗料 (刷毛)	1	旧塗膜 (中塗り層内) 剥離			

3.3.2 プルオフ試験

(1) 試験方法

プルオフ試験は、アドヒージョンテスト (JIS K 5600-5-7) ^{3.3)}によった。この試験は、直径 20mmの試験円筒を接着剤で対象部分の塗膜に固定し、接着剤の硬化後、塗膜に鋼材素地までの切込を入れ、垂直引張試験を行い、塗膜の付着力を計測するとともに、はく離状態を観察する。塗膜と素地、あるいは塗膜の層間の最も脆弱な箇所ではく離が発生することになる。なお、この試験器の計測限界 7N/mm^2 を超える場合は、「>7」と表記している。

図-3.7 にプルオフ試験要領を、図-3.8 に試験状況を示す。

試験結果の評価は、表-3.7 に示すはく離状態と評価基準・評価点によった。

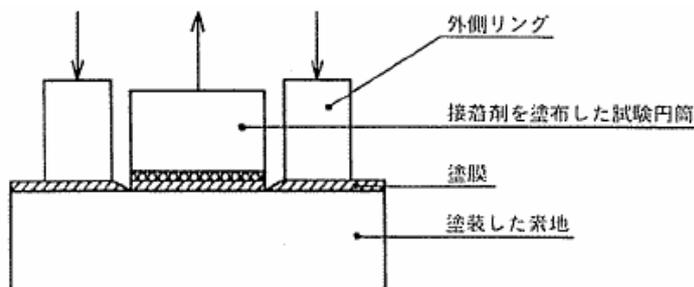


図-3.7 プルオフ試験要領^{3.3)}



図-3.8 プルオフ試験状況

表-3.7 引張付着力の評価点の例^{3.2)}

評価点 (RN)	引張付着力 (MPa)
0	$2.0 \leq X$
1	$1.0 \leq X < 2.0$
2	$0 \leq X < 1.0$
3	$X = 0$

(2) 試験結果

プルオフ試験の引張付着力を図-3.9 に、試験結果の詳細を表-3.8(a) ~ (c) に示す。各ケースの素地調整部、塗り重ね部ともに、試験は各々1回のみ実施のため値のばらつきは不明であるものの、全て引張付着力 2N/mm^2 以上 (評価点 0) であった。

1) ブラストによる素地調整 (L側, No.3 及び No.4)

変成エポキシ樹脂塗料では、 $2 \sim 4\text{N/mm}^2$ 程度であったが、有機ジンクリッチペイントでは、 $5 \sim 7\text{N/mm}^2$ 以上の高い付着力を示した。いずれも、新旧塗膜の境界部に

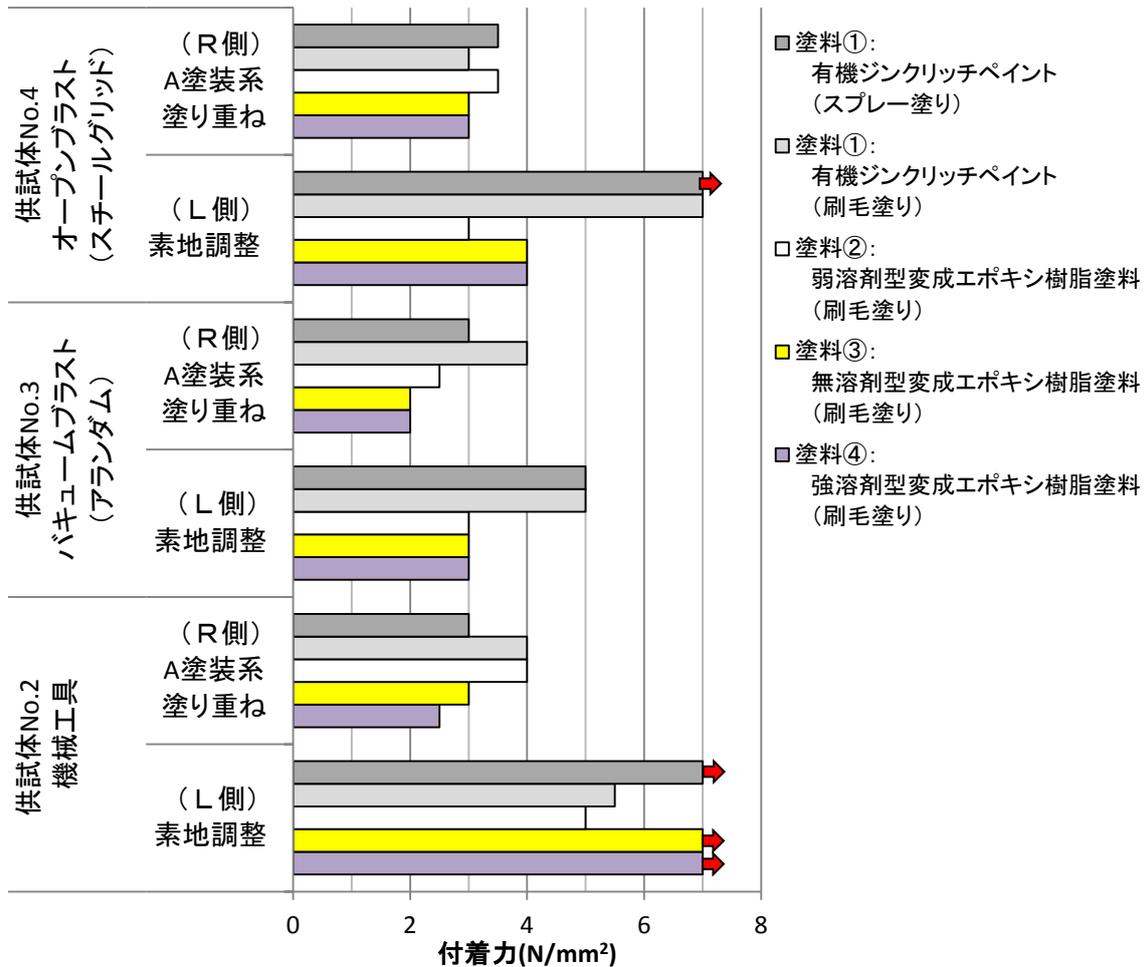
おけるはく離はなかった。

2) 機械工具による素地調整 (L側, No.2)

いずれの塗装も, $5\sim 7\text{N/mm}^2$ 以上の高い付着力を示していた。いずれも, 新旧塗膜の境界部におけるはく離はなかった。

3) 旧塗膜との塗り重ね部 (R側)

いずれの塗装も, $2\sim 4\text{N/mm}^2$ 程度であった。いずれも, 新旧塗膜の境界部におけるはく離はなかった。



※矢印は, 付着力が 7N/mm^2 以上であることを示す。

図-3.9 プルオフ試験結果 (付着力)

表-3.8 (a) プルオフ試験結果一覧 (供試体No.2 機械工具)

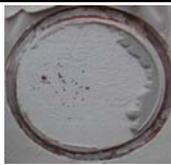
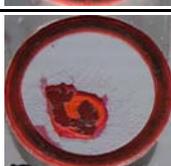
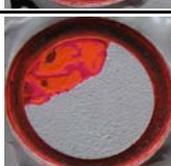
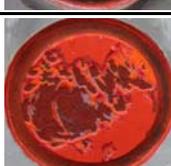
記号	素地調整	塗装仕様		付着力 (N/mm ²)	剥離箇所	剥離状況写真	
		旧塗膜	新塗膜			試験体側	試験治具側
2-1-1-L	機械工具 (3種ケレン)	---	有機ジンクリッチペイント (スプレー)	>7	剥離せず	---	
2-1-2-L		---	有機ジンクリッチペイント (刷毛)	5.5	治具/接着材 80% 新塗膜(凝集) 10% 旧残存塗膜 10%		
2-2-L		---	弱溶剤形変性エポキシ樹脂塗料 (刷毛)	5	治具/接着材 5% 接着材/新塗膜 10% 新塗膜(凝集) 85%		
2-3-L		---	無溶剤形変性エポキシ樹脂塗料 (刷毛)	>7	---	---	
2-4-L		---	強溶剤形変性エポキシ樹脂塗料 (刷毛)	>7	---	---	
2-1-1-R	4種ケレン	A塗装系	有機ジンクリッチペイント (スプレー)	3	接着材/新塗膜 3% 新塗膜(凝集) 3% 旧塗膜(凝集) 94%		
2-1-2-R		A塗装系	有機ジンクリッチペイント (刷毛)	4	新塗膜(凝集) 2% 接着材/新塗膜 3% 旧塗膜(凝集) 95%		
2-2-R		A塗装系	弱溶剤形変性エポキシ樹脂塗料 (刷毛)	4	接着材/新塗膜 45% 新塗膜(凝集) 30% 旧塗膜(凝集) 25%		
2-3-R		A塗装系	無溶剤形変性エポキシ樹脂塗料 (刷毛)	3	接着材/新塗膜 80% 旧塗膜(凝集) 20%		
2-4-R		A塗装系	強溶剤形変性エポキシ樹脂塗料 (刷毛)	2.5	旧塗膜(凝集) 100%		

表-3.8 (b) プルオフ試験結果一覧 (供試体No.3 バキュームブラスト)

記号	素地調整	塗装仕様		付着力 (N/mm ²)	剥離箇所	剥離状況写真	
		旧塗膜	新塗膜			試験体側	試験治具側
3-1-1-L	ブラスト (アランダム)	---	有機ジンクリッチ ペイント (スプレー)	5	治具/接着材 50% 接着材/新塗膜 30% 新塗膜(凝集) 20%		
3-1-2-L		---	有機ジンクリッチ ペイント (刷毛)	5	治具/接着材 60% 接着材/新塗膜 5% 新塗膜(凝集) 35%		
3-2-L		---	弱溶剤形 変性 エポキシ 樹脂塗料 (刷毛)	3	接着材/新塗膜 100%		
3-3-L		---	無溶剤形 変性 エポキシ 樹脂塗料 (刷毛)	3	新塗膜(凝集) 100%		
3-4-L		---	強溶剤形 変性 エポキシ 樹脂塗料 (刷毛)	3	治具/接着材 35% 接着材/新塗膜 65%		
3-1-1-R	4種 ケレン	A塗装系	有機ジンクリッチ ペイント (スプレー)	3	治具/接着材 15% 新塗膜(凝集) 15% 旧塗膜(凝集) 70%		
3-1-2-R		A塗装系	有機ジンクリッチ ペイント (刷毛)	4	接着材(凝集) 5% 新塗膜(凝集) 20% 旧塗膜(凝集) 75%		
3-2-R		A塗装系	弱溶剤形 変性 エポキシ 樹脂塗料 (刷毛)	2.5	接着材/新塗膜 60% 新塗膜(凝集) 5% 旧塗膜(凝集) 35%		
3-3-R		A塗装系	無溶剤形 変性 エポキシ 樹脂塗料 (刷毛)	2	新塗膜(凝集) 35% 旧塗膜(凝集) 65%		
3-4-R		A塗装系	強溶剤形 変性 エポキシ 樹脂塗料 (刷毛)	2	接着材/新塗膜 5% 旧塗膜(凝集) 95%		

表-3.8 (c) プルオフ試験結果一覧 (供試体No.4 オープンブラスト)

記号	素地調整	塗装仕様		付着力 (N/mm ²)	剥離箇所	剥離状況写真	
		旧塗膜	新塗膜			試験体側	試験治具側
4-1-1-L	ブラスト (グリッド)	---	有機ジンクリッチ ペイント (スプレー)	7	治具/接着材 95% 新塗膜(凝集) 5%		
4-1-2-L		---	有機ジンクリッチ ペイント (刷毛)	>7	---	---	
4-2-L		---	弱溶剤形 変性 エポキシ 樹脂塗料 (刷毛)	3	治具/接着材 10% 接着材/新塗膜 90%		
4-3-L		---	無溶剤形 変性 エポキシ 樹脂塗料 (刷毛)	4	治具/接着材 20% 接着材/新塗膜 80%		
4-4-L		---	強溶剤形 変性 エポキシ 樹脂塗料 (刷毛)	4	治具/接着材 90% 接着材/新塗膜 10%		
4-1-1-R	4 種 ケ レ ン	A塗装系	有機ジンクリッチ ペイント (スプレー)	3.5	治具/接着材 10% 新塗膜(凝集) 5% 旧塗膜(凝集) 85%		
4-1-2-R		A塗装系	有機ジンクリッチ ペイント (刷毛)	3	治具/接着材 30% 旧塗膜(凝集) 70%		
4-2-R		A塗装系	弱溶剤形 変性 エポキシ 樹脂塗料 (刷毛)	3.5	接着材/新塗膜 50% 新塗膜(凝集) 10% 旧塗膜(凝集) 40%		
4-3-R		A塗装系	無溶剤形 変性 エポキシ 樹脂塗料 (刷毛)	3	治具/接着材 5% 新塗膜(凝集) 60% 接着材/新塗膜 35%		
4-4-R		A塗装系	強溶剤形 変性 エポキシ 樹脂塗料 (刷毛)	3	治具/接着材 15% 接着材(凝集) 20% 旧塗膜(凝集) 65%		

3.4 曝露試験

部分塗装の塗り重ね部における耐久性を確認するため、付着力試験で使用した試験体から塗装の種類ごとに曝露試験片を作成し、厳しい塩分環境において曝露試験を行った。

3.4.1 試験方法

(1) 曝露試験片の作成

付着力試験に使用した図-3.3 に示した鋼桁の試験体から、付着力試験を行った部位を避け、寸法 200mm×300mm で工場でのシャーリング（せん断）により切断して、切断面のグラインダー仕上げや四隅のφ12mm 削孔、切断面周囲 50mm 幅のタールエポキシ樹脂塗料塗布を行い、曝露試験片とした（図-3.10）。

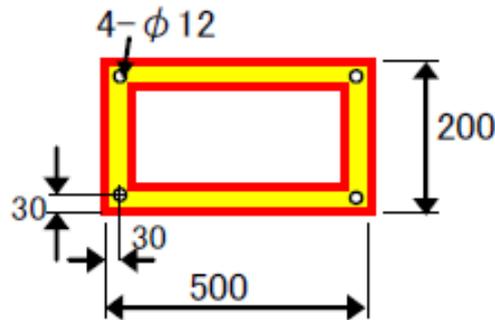


図-3.10 曝露試験片の形状、寸法

(2) 曝露試験

1) 曝露地点

短期間で傾向を把握できるように、厳しい塩分環境において曝露を行うこととし、図-3.11 に示す新潟県糸魚川市市振の海岸にある独立行政法人土木研究所所管の曝露試験場（市振曝露試験場）とした。

2) 曝露方法

鋼製の曝露用架台を使用して、曝露試験片をボルトで固定した（図-3.12）。

3) 曝露期間

曝露期間は、平成 19 年 12 月 18 日に開始した。

設置時点の曝露試験片の写真を表-3.9 (a) ～ (c) に示す。

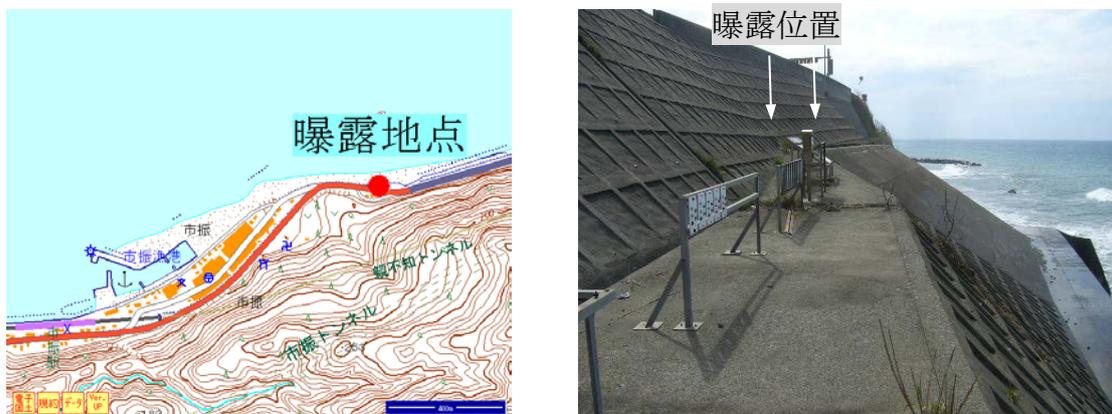


図-3.11 曝露地点



図-3.12 曝露試験片取付け状況

3.4.2 試験結果

(1) 曝露1年経過

曝露開始1年経過の各曝露試験片の写真を、表-3.10 (a) ~ (c) に示す。

1) 有機ジンクリッチペイント (塗料①)

スプレー塗りと刷毛塗りで差が出ていないものの、素地調整を機械工具で行ったもの (No.2-1-1, No.2-1-2) は、素地調整部において部分的に有機ジンクリッチペイントの塗膜のはく離がみられた (図-3.13)。

2) 変性エポキシ樹脂塗料 (塗料②~④)

強溶剤形 (塗料④) において、塗り重ね部 (No.4-4) に塗膜割れが (図-3.14) , 素地調整部 (No.2-4, No.3-4, No.4-4) に点さびの発生 (図-3.15) が確認された。他の弱溶剤形 (塗料②) , 無溶剤形 (塗料③) の塗膜には異状がなかった。

(2) 曝露2年4ヶ月经過

曝露開始後2年4ヶ月经過の各曝露試験片の写真を、表-3.11 (a) ~ (c) に示す。曝露1年後よりも傾向が顕著に現れていた。

1) 有機ジンクリッチペイント (塗料①)

素地調整を機械工具で行ったもの (No.2) は、素地調整部に全面的な塗膜のはく離とさびが確認された (No.2-1-1, No.2-1-2)。素地調整をブラストで行った No.3, No.4 の塗膜には異状がなかった。なお、スプレー塗りと刷毛塗りで各素地調整の方法ともに塗装方法による差はなかった。

2) 変性エポキシ樹脂塗料 (塗料②~④)

塗り重ね部では、曝露1年経過で塗膜割れが確認された強溶剤形 (No.4-4) でさびが確認された。

素地調整部では、各素地調整のケースともに点さびが発生しており、強溶剤形 (塗料④) > 弱溶剤形 (塗料③) > 無溶剤形 (塗料②) の順番で点さびが少なかった (図-3.16)。



曝露 1 年経過後



曝露 2 年 4 ヶ月経過後

図-3.13 素地調整部の塗膜はく離 (No.2-1-1 有機ジンクリッチペイント, 機械工具)



曝露 1 年経過後



曝露 2 年 4 ヶ月経過後

図-3.14 塗り重ね部の塗膜割れ (No.4-4 強溶剤形変成エポキシ樹脂塗料)

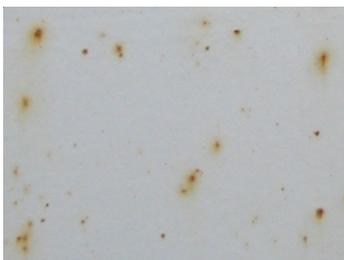


曝露 1 年経過後



曝露 2 年 4 ヶ月経過後

図-3.15 素地調整部の点さび (No.4-4 強溶剤形変成エポキシ樹脂塗料)



No.4-2 弱溶剤形



No.4-3 無溶剤形



No.4-4 強溶剤形

図-3.16 変成エポキシ樹脂塗料の素地調整部の点さび (曝露 2 年 4 ヶ月経過後)

表-3.9 (a) 曝露試験片写真 (曝露前)

観察日：曝露前 (平成 19 年 12 月 18 日設置)

曝露場所：市振曝露試験場 (新潟県糸魚川市市振 (親不知))

曝露試験片 No.		No.2-1-1	No.2-1-2	No.2-2	No.2-3	No.2-4
仕様	素地調整	機械工具				
	塗装	有機ジンクリッチペイント (スプレー塗り)	有機ジンクリッチペイント (刷毛塗り)	弱溶剤形変性エポキシ樹脂塗料 (刷毛塗り)	無溶剤形変性エポキシ樹脂塗料 (刷毛塗り)	強溶剤形変性エポキシ樹脂塗料 (刷毛塗り)
写真						
	塗り重ね部 ↑ ↓ 素地調整部					
状況	塗り重ね部	-				
	素地調整部	-				

表-3.9 (b) 曝露試験片写真 (曝露前)

観察日：曝露前 (平成 19 年 12 月 18 日設置)

曝露場所：市振曝露試験場 (新潟県糸魚川市市振 (親不知))

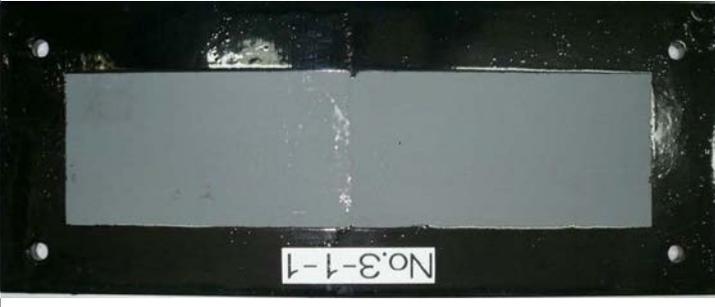
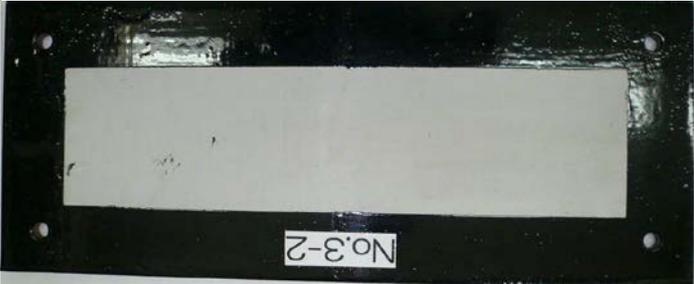
曝露試験片 No.		No.3-1-1	No.3-1-2	No.3-2	No.3-3	No.3-4
仕様	素地調整	バキュームグラスト (アランダム)	有機ジエンクリッチペイン	弱溶剤形変性エポキシ樹脂塗料 (刷毛塗り)	無溶剤形変性エポキシ樹脂塗料 (刷毛塗り)	強溶剤形変性エポキシ樹脂塗料 (刷毛塗り)
	塗装	有機ジエンクリッチペイント (スプレー塗り)	有機ジエンクリッチペイント (刷毛塗り)	弱溶剤形変性エポキシ樹脂塗料 (刷毛塗り)	無溶剤形変性エポキシ樹脂塗料 (刷毛塗り)	強溶剤形変性エポキシ樹脂塗料 (刷毛塗り)
写真	塗り重ね部 ↓ 素地調整部 ↓					
	状況	塗り重ね部 素地調整部	—	—	—	—

表-3.9 (c) 曝露試験片写真 (曝露前)

観察日：曝露前 (平成 19 年 12 月 18 日設置)

曝露場所：市振曝露試験場 (新潟県糸魚川市市振 (親不知))

曝露試験片 No.		No.4-1-1	No.4-1-2	No.4-2	No.4-3	No.4-4
仕様	素地調整	オープンプラスチック (スチールグリッド)				
	塗装	有機ジンクリッチペイント (スプレー塗り)	有機ジンクリッチペイント (刷毛塗り)	弱溶剤形変性エポキシ樹脂塗料 (刷毛塗り)	無溶剤形変性エポキシ樹脂塗料 (刷毛塗り)	強溶剤形変性エポキシ樹脂塗料 (刷毛塗り)
写真						
	塗り重ね部 ↓ 素地調整部	—	—	傷有り	—	—
状況	塗り重ね部	—	—	—	—	—
	素地調整部	—	—	—	—	—

表-3.10 (a) 曝露試験片写真 (1年経過)

観察日：平成20年12月16日 (平成19年12月18日設置, 1年経過)
 曝露場所：市振曝露試験場 (新潟県糸魚川市市振 (親不知))

曝露試験片 No.		No.2-1-1	No.2-1-2	No.2-2	No.2-3	No.2-4
仕様	素地調整	機械工具				
	塗装	有機ジンクリッチペイン ト (スプレー塗り)	有機ジンクリッチペイン ト (刷毛塗り)	弱溶剤形変性エポキシ樹 脂塗料 (刷毛塗り)	無溶剤形変性エポキシ樹 脂塗料 (刷毛塗り)	強溶剤形変性エポキシ樹 脂塗料 (刷毛塗り)
写真						
	塗り重ね部 ↑ 素地調整部 ↓	—	—	—	—	—
状況	塗り重ね部	—	一部で有機ジンクのはく 離, さび	—	—	—
	素地調整部	一部で有機ジンクのはく 離	—	塗膜の一部に点さび	—	塗膜の一部に点さび

表-3.10 (b) 曝露試験片写真 (1年経過)

観察日：平成20年12月16日 (平成19年12月18日設置, 1年経過)

曝露場所：市振曝露試験場 (新潟県糸魚川市市振 (親不知))

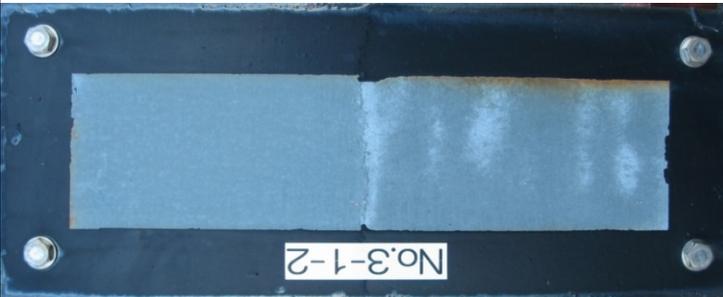
曝露試験片 No.		No.3-1-1	No.3-1-2	No.3-2	No.3-3	No.3-4
仕様	素地調整	バキュームプラスチック (アランダム)	有機ジンクリッチペイン	弱溶剤形変性エポキシ樹脂塗料 (刷毛塗り)	無溶剤形変性エポキシ樹脂塗料 (刷毛塗り)	強溶剤形変性エポキシ樹脂塗料 (刷毛塗り)
	塗装	有機ジンクリッチペイント (スプレー塗り)	有機ジンクリッチペイント (刷毛塗り)			
写真	塗り重ね部 ↑					
	素地調整部 ↑					
状況	塗り重ね部	—	—	—	—	—
	素地調整部	—	—	塗膜全体に点さび	—	塗膜全体に点さび

表-3.10 (c) 曝露試験片写真 (1年経過)

観察日：平成20年12月16日 (平成19年12月18日設置, 1年経過)
 曝露場所：市振曝露試験場 (新潟県糸魚川市市振 (親不知))

曝露試験片 No.		No.4-1-1	No.4-1-2	No.4-2	No.4-3	No.4-4
仕様	素地調整	オーブンプラスチック (スチールグリッド)				
	塗装	有機ジンクリッチペイント (スプレー塗り)	有機ジンクリッチペイント (刷毛塗り)	弱溶剤形変性エポキシ樹脂塗料 (刷毛塗り)	無溶剤形変性エポキシ樹脂塗料 (刷毛塗り)	強溶剤形変性エポキシ樹脂塗料 (刷毛塗り)
写真						
	塗り重ね部 ↓ 素地調整部 ↓					
状況	塗り重ね部	—	—	—	—	塗膜の割れ
	素地調整部	—	—	塗膜の一部に点さび	—	塗膜全体に点さび

表-3.11 (a) 曝露試験片写真 (2年4ヶ月経過)

観察日：平成22年4月16日 (平成19年12月18日設置, 2年4ヶ月経過)

曝露場所：市振曝露試験場 (新潟県糸魚川市市振 (親不知))

曝露試験片 No.		No.2-1-1	No.2-1-2	No.2-2	No.2-3	No.2-4
仕様	素地調整	機械工具				
	塗装	有機ジンクリッチペイント (スプレー塗り)	有機ジンクリッチペイント (刷毛塗り)	弱溶剤形変性エポキシ樹脂塗料 (刷毛塗り)	無溶剤形変性エポキシ樹脂塗料 (刷毛塗り)	強溶剤形変性エポキシ樹脂塗料 (刷毛塗り)
写真						
		塗り重ね部 ↑ 素地調整部				
状況	塗り重ね部	-	-	-	-	-
	素地調整部	全面的に有機ジンクのはく離, さび	全面的に有機ジンクのはく離, さび	塗膜の一部に点さび	-	塗膜の一部に点さび

表-3.11 (b) 曝露試験片写真 (2年4ヶ月経過)

観察日：平成22年4月16日 (平成19年12月18日設置, 2年4ヶ月経過)

曝露場所：市振曝露試験場 (新潟県糸魚川市市振 (親不知))

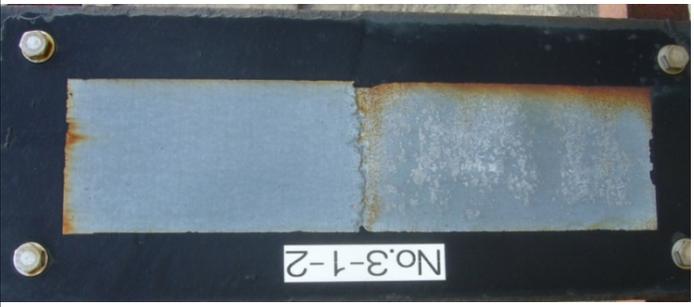
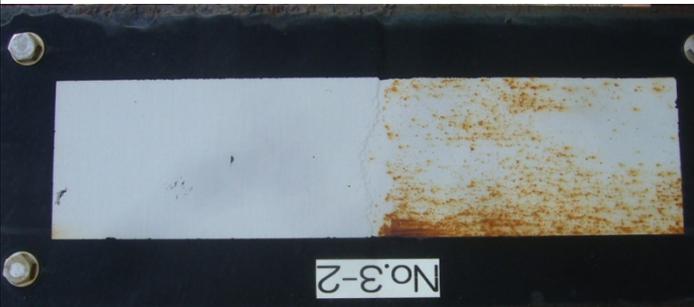
曝露試験片 No.		No.3-1-1	No.3-1-2	No.3-2	No.3-3	No.3-4
仕様	素地調整	オーブンプラスチック (アランダム)				
	塗装	有機ジンクリッチペイント (スプレー塗り)	有機ジンクリッチペイント (刷毛塗り)	弱溶剤形変性エポキシ樹脂塗料 (刷毛塗り)	無溶剤形変性エポキシ樹脂塗料 (刷毛塗り)	強溶剤形変性エポキシ樹脂塗料 (刷毛塗り)
写真						
	塗り重ね部 ↓ 素地調整部	—	—	—	—	—
状況	塗り重ね部	—	—	—	—	—
	素地調整部	—	—	塗膜全体に点さび	塗膜の一部に点さび	塗膜全体に点さび

表-3.11 (c) 曝露試験片写真 (2年4ヶ月経過)

観察日：平成22年4月16日 (平成19年12月18日設置)
 曝露場所：市振曝露試験場 (新潟県糸魚川市市振 (親不知))

曝露試験片 No.		No.4-1-1	No.4-1-2	No.4-2	No.4-3	No.4-4
仕様	素地調整	オーブンプラスチック (スチールグリッド)				
	塗装	有機ジンクリッチペイント (スプレー塗り)	有機ジンクリッチペイント (刷毛塗り)	弱溶剤形変性エポキシ樹脂塗料 (刷毛塗り)	無溶剤形変性エポキシ樹脂塗料 (刷毛塗り)	強溶剤形変性エポキシ樹脂塗料 (刷毛塗り)
写真						
	塗り重ね部 ↓ 素地調整部 ↓	—	—	点さびは、曝露前にあった傷に発生 塗膜全体に点さび	—	塗膜の一部に点さび
状況	塗り重ね部	—	—	—	—	—
	素地調整部	—	—	—	—	—

3.5 まとめ

(1) 付着力試験

有機ジンクリッチペイントと変成エポキシ樹脂塗料 3 種類（強溶剤形、弱溶剤形、無溶剤形）を対象としたA塗装系の塗り重ね部と素地調整部において、基盤目試験及びプルオフ試験を行った結果、新旧塗膜の境界ではく離せず、引張付着力 $2\text{N}/\text{mm}^2$ 以上あることが確認された。

このことから、A 塗装系への重防食塗装の塗り重ね部における新旧塗膜間では、十分な付着力を有していることが確認された。

(2) 曝露試験

1) 有機ジンクリッチペイント

スプレー塗りと刷毛塗りで差は認められなかった。

機械工具で 3 種ケレンを行ったケースにおいて、曝露 1 年経過後の比較的早期から、素地調整部において塗膜はく離しているのが確認された。

このことから、A 塗装系の下塗りの残存塗膜と有機ジンクリッチペイントの付着性の耐久性が劣ると考えられる。そのため、機械工具のみで行うⅡ種ケレンやⅢ種ケレンは、残存した下塗り塗膜との付着性が良くないため避けるべきであり、ブラストによる 1 種ケレンを基本とし、やむを得ず機械工具で処理する部分は、ごく小さな範囲に留める必要がある。

また、旧塗膜と有機ジンクリッチペイントの塗り重ね部では、旧塗膜の残存塗膜には付着性の劣る下塗りが露出する可能性もあることのほか、ジンクリッチペイントは鋼材と直接接しないと亜鉛の犠牲防食効果を期待できないことより、新旧塗膜に隙間を空けない程度の最小限の幅とし、旧塗膜端部の断面形状は下塗りが露出する幅をむやみに広げないように配慮する必要があることが確認された。

2) 変性エポキシ樹脂塗料

強溶剤形塗り重ね部において塗膜のうきが生じ、その後、さび汁が確認された。また、素地調整部において、強溶剤形では、曝露 1 年経過後の比較的早期に多数の点さびの発生が確認された。

強溶剤形では、旧塗膜に影響があること、塗膜の耐久性が劣ることから、弱溶剤形又は無溶剤形を使用する必要があることが確認された。

(3) 塗り重ね部の塗装仕様

A 塗装系の旧塗膜の橋において、部分的に重防食塗装を適用した場合の新旧塗膜の塗り重ね部の塗装仕様は、表-3.12 に示す塗り替え用の重防食塗装を適用しても問題のないことが確認された。塗り重ね部の幅は、有機ジンクリッチペイントは旧塗膜からはく離することが想定されるため、新旧塗膜に隙間を空けない程度の幅として 10mm 程度、弱溶剤形エポキシ樹脂塗料下塗りでは 50mm 程度の幅とするのが良い。なお、塗り重ね部の旧塗膜は、白亜化の劣化していることがあるため、素地調整程度 4 種の処理により、粉化物や汚れを取る必要がある。

表-3.12 部分塗替えの塗装仕様

塗装工程	旧塗装 (A 塗装系)	塗替え塗装		
		塗料名	使用量 (g/m ²)	塗装間隔
素地調整		素地調整程度 1 種 (ISO Sa2 1/2相当)		4 時間以内
下塗		有機ジンクリッチペイント	600	1~10 日
下塗	鉛系さび止めペイント 1 種	弱溶剤形変性エポキシ樹脂塗料下塗	240	1~10 日
下塗	鉛系さび止めペイント 1 種	弱溶剤形変性エポキシ樹脂塗料下塗	240	1~10 日
中塗	長油性フタル酸樹脂塗料中塗	弱溶剤形ふっ素樹脂塗料用中塗	170	1~10 日
上塗	長油性フタル酸樹脂塗料上塗	弱溶剤形ふっ素樹脂塗料上塗	170	1~10 日