

阪神高速技術(株) 企画部付 八 田 法 大  
 阪神高速道路(株) 保全交通部 保全企画課 青 木 康 素  
 阪神高速技術(株) 工事部 阿倍野事業所 井 口 祐 樹  
 (一財) 日本塗料検査協会 西支部 検査部 山 田 卓 司  
 松 本 倫 毅

### 1. はじめに

近年、阪神高速道路では、構造物の定期点検の際に行われる接近点検の機会を最大限に活用し、構造物延命化の一助、あるいは計画的な恒久補修や次回点検時までの劣化進行抑制として、鉄筋露出部に対する防錆措置などの可能な限りの応急措置を実施している。

しかしながら、鋼部材を対象とする応急措置に使用している材料の評価選定については、多種材料を同条件で耐久性能を比較するのではなく、材料規格・仕様やメーカーヒアリング等から得られる情報より評価選定し運用しているのが現状である。そこで、鋼部材に対する応急措置材料の耐久性能を評価することを目的に、鋼構造物等の補修に実績のある既往の補修材料でスプレータイプを基本としつつ、一部刷毛塗りタイプや現場適用は困難と想定したが、腐食因子を遮断できるフィルムタイプも比較用として選定し、11種類13仕様について塗膜性能評価を実施した。

本稿では、錆鋼板に応急措置材料を塗布した試験片を用いて促進腐食試験を実施し、塗膜外観評価ならびに付着性試験結果等から、今後の点検時に使用する応急措置材料について検討を行った。

### 2. 試験片

#### (1) 錆鋼板の作製

促進腐食試験に供する試験片は、プラスト鋼板を腐食させた錆鋼板を試験片基板として用いた。錆鋼板は、JIS K 5600-7-9 塗料一般試験方法-第7部：塗膜の長期耐久性-第9節：サイクル腐食試験方法-塩水噴霧/乾燥/湿润(サイクルD)を約4週間実施した後、屋外にて8週間暴露して作製した。なお、錆鋼板の作製にあたっては、試験面以外の裏面および端面をエポキシ樹脂塗料で塗り込み防錆処理を行った。

#### (2) 錆鋼板の素地調整

作製した錆鋼板は、表面及び錆層の内部に塩分が残存しているため、湯洗を繰返して塩分を除去した。その後、現場での施工を模擬するため、図-2.1のように錆鋼板

の上部半面は、マジクロン処理により浮き錆および異物を除去する程度の低レベルな3種ケレンを施し、下部半面はサンドペーパー(＃150)を軽くあて、浮き錆及び異物を除去する程度の4種ケレンを施した。これは、点検時施工のため限られた時間の中で点検作業に支障をきたさない範囲での作業を想定したものである。また、塗替時の表面塩分付着量は、規定値である50 mg/m<sup>2</sup>以下にする必要がある<sup>1)</sup>ため、写真-2.1に示すように付着塩分測定を行い、約10 mg/m<sup>2</sup>～30 mg/m<sup>2</sup>程度になるよう調整した。



図-2.1 試験片基板(錆鋼板) 写真-2.1 付着塩分量の測定状況

#### (3) 塗装仕様

今回検討に供した補修材料一覧を表-2.1に示す。試験片への塗装は現場での施工性を重要視して作製した。現場では、対象構造物の定期点検時に点検員が応急措置として実施するため、メーカーが推奨するような複数回塗装などは行えない。そのため、試験片の塗装(貼付け)は1層(回)塗りとした。

エアゾールスプレータイプは塗布面を上下に計5回移動吹付け塗装して作製したが、これは実際の応急措置作業を想定した予備試験の結果、塗付量や膜厚、補修外観を確認して決定したものである。各仕様でノズル口径や霧化性の良否の違いはあるものの、標準的な一定条件を設定して作製した。ただし、仕様2～4はノズル変更が可能のため、仕様1の吐出量の多い楕円形ノズルに付替えて塗布した。刷毛塗りタイプや貼付けタイプは材料

表-2.1 試験に用いた補修材料と試験片の膜厚

仕様 No	分類	樹脂系等	標準膜厚 (μm)	試験膜厚 (μm)
1	エアゾールスプレー	一液反応硬化型エポキシ樹脂	40	31.8
2	エアゾールスプレー	エポキシ系	—	26.2
3	エアゾールスプレー	ジンクリッチペイント	40	55.6
4	エアゾールスプレー	エポキシ樹脂	30	32.4
5-1	エアゾールスプレー	モルタル系	—	279
5-2	エアゾールスプレー	モルタル系(保護塗膜あり)	—	216
6	エアゾールスプレー	潜在硬化型エポキシ樹脂	—	15.4
7	エアゾールスプレー	無溶剤形一液性特殊エポキシ樹脂	100	104
8	刷毛塗り	一液反応硬化型エポキシ樹脂塗料	40 60	42.2
9	貼付け	マーキングフィルム	—	90
10	エアゾールスプレー	二液形変性エポキシ樹脂塗料	60	47.1
11	刷毛塗り	ケイ酸リチウム水溶液 水系特殊アクリル樹脂	—	10
12	刷毛塗り	水系特殊アクリル樹脂	—	10

メーカーの標準施工条件を目標に作製した。写真-2.2～2.4に塗装状況を示す。なお、塗装方法ならびに試験膜厚については表-2.1に記載した。

また、膜厚確認用として各塗装試験片4枚の横に磨き軟鋼板(70×150×0.8mm)を試験板と同じ高さになるように並べて置き、試験片と同様に塗装した磨き軟鋼板から各仕様の膜厚を測定した。

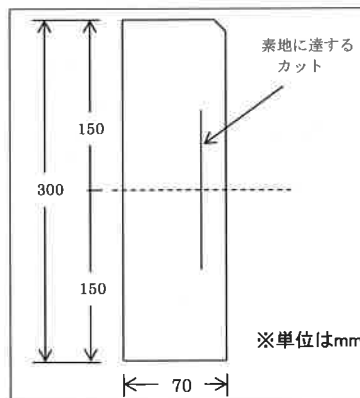


図-2.2 試験片のカット入れ模式図



写真-2.2 I7Z-ルイスプレー  
塗装状況

写真-2.3 はけ塗り  
塗装状況



写真-2.4 へら塗り・フィルム貼り付け状況

#### (4) カット入れ

試験片へのカット入れは補修工事の足場設置による接触や工具接触などによる外部要因損傷を想定したものであり、外部環境を受け易くなった箇所の防食効果を評価する。カットは素地に達するまで行い、図-2.2に示すように上下部連続した直線状とした。

### 3. 試験方法

#### (1) 促進腐食試験

促進腐食試験は JIS K 5600-7-9 塗料一般試験方法-第7部：塗膜の長期耐久性-第9節：サイクル腐食試験方法-塩水噴霧/乾燥/湿潤(サイクルD)に基づき試験を実施した。図-3.1に促進腐食試験のサイクル図を示す。なお、促進腐食試験は180日間実施し、各経日後の塗膜外観を目視にて評価した。なお、外観評価終了後の試験片は、次項に示す促進腐食試験後の付着性試験に用いた。

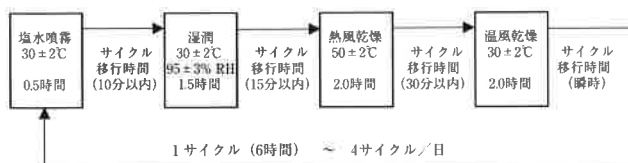


図-3.1 促進腐食試験の試験条件

#### (2) 付着性試験

付着性試験は JIS K 5600 5-7:1999 塗膜の機械性質・付着性(プルオフ法)に準じて行い、試験は促進腐食試験の前後で行った。なお、評価する時間軸を合わせるため、180日まで促進腐食試験を実施した仕様は150日の付着性試験も実施している。図-3.2に付着試験箇所と付着性試験状況を示す。なお、①⑥は一般部として、②③④⑤はカット部の試験値とする。初期付着性は各試験片とも、3種ケレン試験面(上半面①②③)および4種ケレン試験面(下半面④⑤⑥)それぞれ3カ所(合計6カ所)実施する。促進腐食試験後の付着性については、各試験片とも3種ケレン試験面(上半面①②)および4種ケレン試験面(下半面⑤⑥)それぞれ2カ所(合計4カ所)実施する。

- 3種ケレン面
- ①
- ②
- ③
- 
- ④
- ⑤
- ⑥
- 4種ケレン面



図-3.2 付着試験箇所と付着性試験状況

#### 4. 評価方法

##### (1) 外観評価

促進腐食試験片の外観評価は、15日、30日、60日、90日、

120日、150日、180日経過後に JIS K 5600-8-1 ~ 8-5 に準じて行い、一般部とカット部に区別して、錆・ふくれ・われ・はがれの程度を調査した。一般部およびカット部の評価は、欠陥の程度により点数<sup>2),3),4)</sup>をつけた。評価は数式(1)の様に総合評価式とし、一般部に80%、カット部に20%の重み付けを行い、総合評価とした。なお、全く劣化がない良好な状態を「0」、著しい欠陥があり最も悪い状態を「5」とする。

総合評価＝

$$(一般部評価 \times 0.8) + (カット部評価 \times 0.2) \dots (1)$$

#### 5. 試験結果

##### (1) 外観評価

促進腐食試験後の塗膜外観評価結果のまとめを図-5.1～図-5.6に示す。ただし、早期に錆やふくれなど

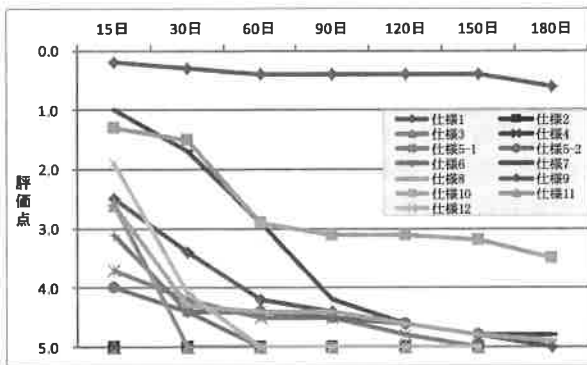


図-5.1 促進腐食試験結果（総合評価）上部3種ケレン

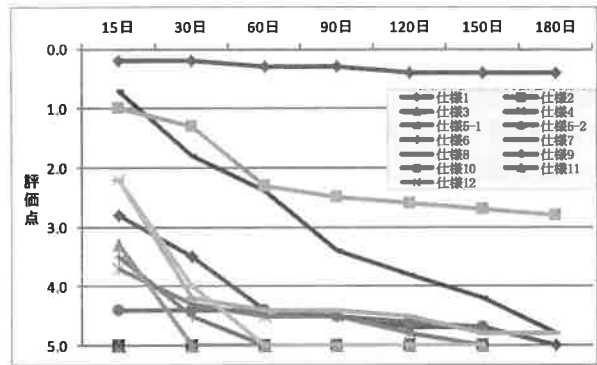


図-5.4 促進腐食試験結果（総合評価）下部4種ケレン

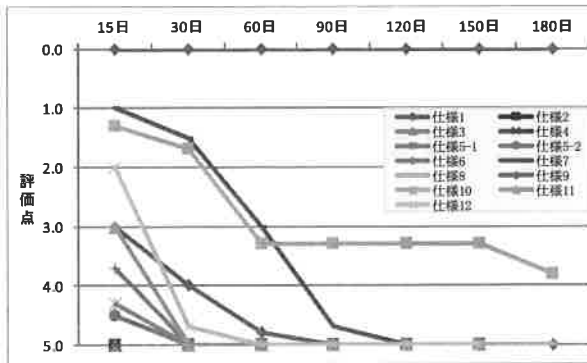


図-5.2 促進腐食試験結果（一般部評価）上部3種ケレン

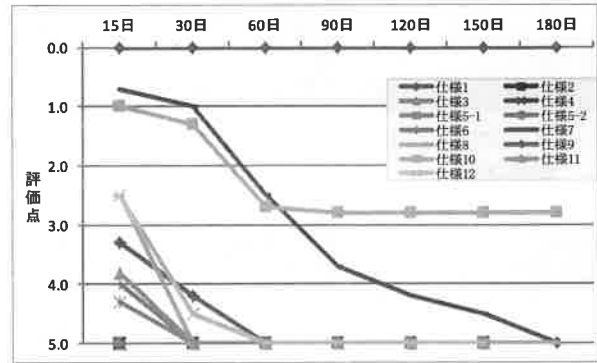


図-5.5 促進腐食試験結果（一般部評価）下部4種ケレン

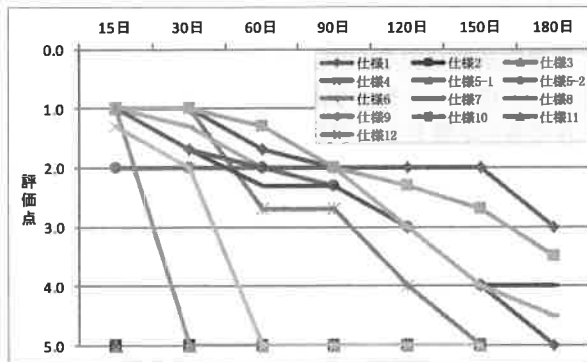


図-5.3 促進腐食試験結果（カット部評価）上部3種ケレン

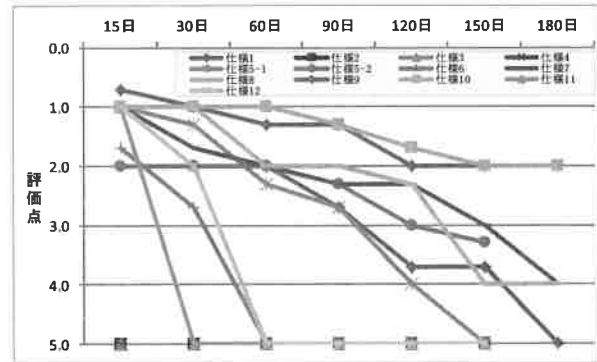


図-5.6 促進腐食試験結果（カット部評価）下部4種ケレン

による表面劣化が著しい仕様については150日で試験を終了した。なお、当初計画した180日まで促進腐食試験を行った仕様は13仕様中5仕様であった。

促進腐食試験150日での外観評価について、3種ケレンの総合評価では13仕様中11仕様が4～5を示す結果となった。比較的良好であった仕様は、フィルムタイプ系の仕様9が0.4、二液形変性エポキシ樹脂塗料である仕様10が3.2の2仕様のみであった。また、清掃程度の4種ケレンでも前述の2仕様（仕様9：0.4、仕様10：2.7）が比較的良好であった。仕様9はマーキングフィルムが外部からの水の進入を防止しているため強い防食性能を発揮していると考えられる。また、仕様10は60日までは腐食が進むものの、60日以降の劣化傾向は小さく、比較的良好な防食性を示している。エポキシ樹脂系に注目すると、エポキシ樹脂系〔無溶剤形一液性〕の仕様7は150日で総合評価4を下回る結果（4.2）となった。同系のエポキシ樹脂系〔一液反応硬化形〕仕様1は、3種・4種ケレンとも60日で4に到達しており、同一液硬化形のエポキシ樹脂系である仕様8は30日で4に達しているが、150日では共に5に近い状況まで劣化している。

防錆顔料に亜鉛末（鱗片状を含む）を用いたもの（仕様2、仕様3、仕様4）に注目すると、促進腐食試験15日時点で総合評価が5を示し、3種ケレンおよび4種ケレン共、既存の錆の進行を抑制することはできな

かった。

また、モルタル系の仕様5-1および仕様5-2、エポキシ樹脂系〔潜在硬化形〕の仕様6、エポキシ樹脂系〔一液反応硬化形〕仕様8、水系特殊アクリル樹脂系の仕様11および仕様12の6仕様については30日には総合評価が4を下回る結果であり、仕様2～4と大差ない結果となった。これらは下地処理レベルや塗装膜厚などが影響していると考えられるが、エアゾールスプレー系では特に補修の施工性を考慮に入れて試験片を作製しているため、錆層上で防錆効果を発揮するには塗装膜厚が少なかった可能性もある。防錆スプレー系（仕様5-1・2）はセメント系のためか、素地からの錆が塗膜層を通し表面に現れる傾向があった。仕様6は粘度が低く施工性が劣ったため、塗装膜厚が小さく耐久性が低くなり防錆性に影響を与えた可能性がある。仕様11および仕様12は水系材料であり、基板錆層との付着性低下等により、塗膜劣化が進行した。

## (2) 付着性試験の評価

初期および促進腐食試験終了後の付着性試験結果および減少率を図-5.7～図-5.10に、また、破壊箇所を表-5.1に示す。なお、破壊箇所表記のAは基板破壊（錆層）、ABは基板-塗材間の界面はがれ、BGは塗材内の凝集破壊を示す。促進腐食試験後の付着性は、シリコンコーキング材を用いて貼付けるタイプである仕様9を除き、大

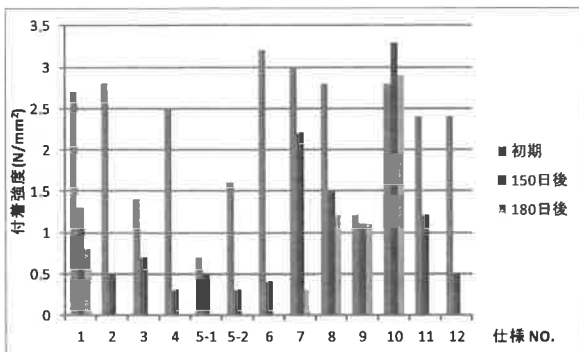


図-5.7 付着性試験の付着強度と減少率（上部3種ケレン 一般部）

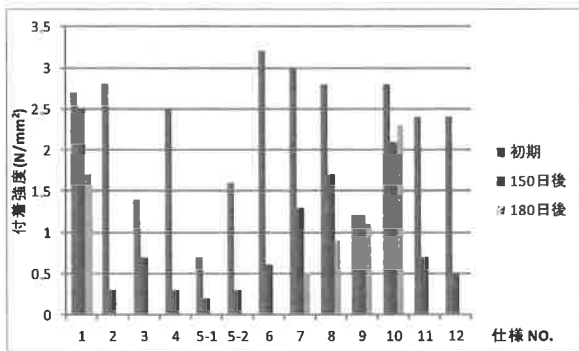
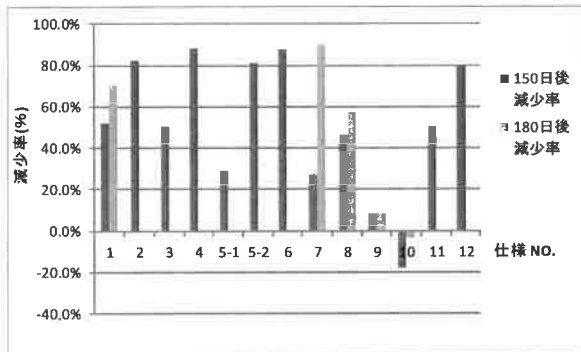


図 5.8 付着性試験の付着強度と減少率（上部3種ケレン カット部）

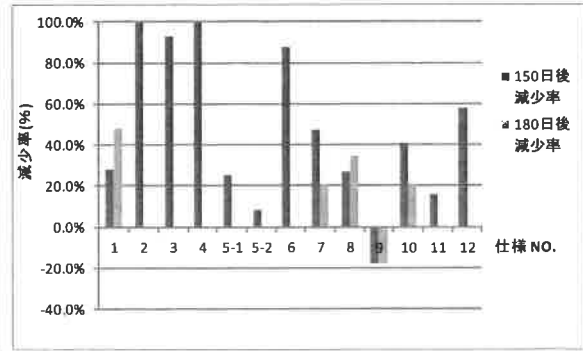
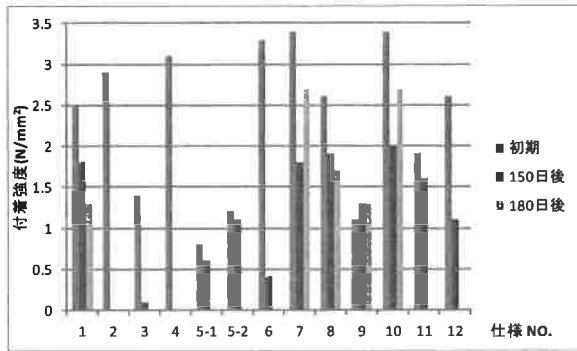


図-5.9 付着性試験の付着強度と減少率（下部4種ケレン 一般部）

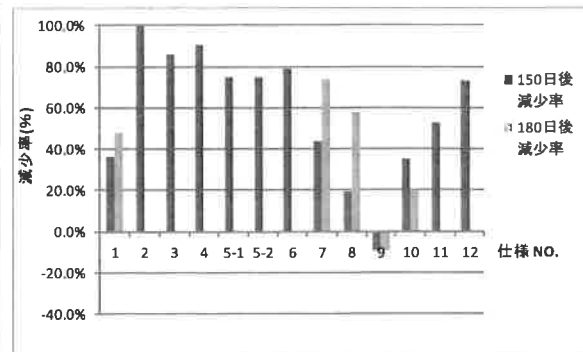
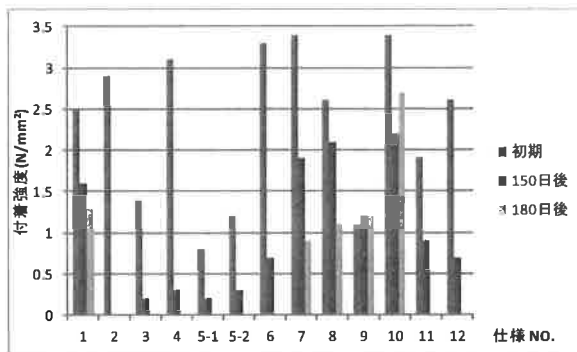


図-5.10 付着性試験の付着強度と減少率（下部4種ケレン カット部）

表-5.1 付着性試験破壊箇所  
（左：3種ケレン部，右：4種ケレン部）

仕様 No.	箇所/値	初期	150日後	180日後	仕様 No.	箇所/値	初期	150日後	180日後
1	一般部	BG	A/BG	A	1	一般部	BG	A/BG	A
	カット部	BG	BG	A		カット部	BG	BG	A
2	一般部	A	A	-	2	一般部	A	A	-
	カット部	A	A	-		カット部	A	A	-
3	一般部	BG	A	-	3	一般部	AB	A	-
	カット部	BG	A	-		カット部	AB	A	-
4	一般部	BG	A	-	4	一般部	A	A	-
	カット部	BG	A	-		カット部	A	A	-
5-1	一般部	AB	A	-	5-1	一般部	AB	A	-
	カット部	AB	A	-		カット部	AB	A	-
5-2	一般部	AB	A	-	5-2	一般部	AB	A	-
	カット部	AB	A	-		カット部	AB	A	-
6	一般部	A	A	-	6	一般部	A	A	-
	カット部	A	A	-		カット部	A	A	-
7	一般部	A	A	A	7	一般部	A	A	A
	カット部	A	A	A		カット部	A	A	A
8	一般部	A	A	A	8	一般部	A	BG	BG
	カット部	A	A/BG	A		カット部	A	BG	A
9	一般部	BG	BG	BG	9	一般部	BG	BG	BG
	カット部	BG	BG	BG		カット部	BG	BG	BG
10	一般部	A	A	A	10	一般部	A	A	A
	カット部	A	A	A		カット部	A	A	A
11	一般部	BG	A	-	11	一般部	BG	A	-
	カット部	BG	A	-		カット部	BG	A	-
12	一般部	A	A	-	12	一般部	A/BG	A	-
	カット部	A	A	-		カット部	A/BG	A	-

幅な低下傾向を示したものが大半であった。仕様9の破壊箇所は何れもフィルムを貼る際に用いる接着材のシリコンコーキング材での凝集破壊であり、現時点では、基板鍍層の劣化進行は窺えない。マーキングフィルムの防食性能が大きいと考えられる。基板破壊でありながら、

著しく低下している仕様（仕様2・3・4・5-1・5-2・6・12）は、期待された防食性能が望めず、基板鍍層の腐食が促進されたため大きな低下傾向を示した。なお、150日の二液形エポキシ樹脂系の仕様10、一液形エポキシ樹脂系の仕様1（3種ケレン：カット部）、仕様7（3種ケレン：一般部）、仕様8（4種ケレン：カット部）については、初期に比べ低下しているが、促進腐食試験後も2.0N/mm<sup>2</sup>以上を示しており、基板鍍層の劣化進行度合いも他の仕様に比べて大きくないといえる。ただし、180日になると仕様10以外は3種ケレン4種ケレンとも初期に比べて明らかな低下傾向を示した。付着性良好なエポキシ樹脂系塗膜であるが、促進腐食試験による基板表面での付着劣化が進み、大きく付着活性点を失ったと推察できる。仕様10は減少率が小さいことより経時安定性が高いといえる。また、現時点では、二液タイプのエポキシ樹脂系の方が腐食環境因子を遮断し、付着性が維持できる塗膜を形成したと推察される。

破壊箇所については、一般的に基板鍍層の破壊より、塗膜の凝集破壊の方が良好とされているが、鍍層破壊でもその進行が抑えられている間は一定の効果があると評価できる。今回の試験では付着強度1.0N/mm<sup>2</sup>以上あれば付着性が良いと評価できるものとし、一律に促進腐食試験150日の付着強度を評価すると、一般部およびカット部ともに1.0N/mm<sup>2</sup>以上の仕様は、仕様1・7・8・9・10であった。

## 6. まとめ

本稿では鋼部材腐食部に対する応急措置材料の耐久性を評価するため、促進腐食試験を実施することで多種材料を同条件で評価した。

これまでの評価結果を総合的に評価するため、表-6.1～表-6.3に示すような各試験結果に対する評価点数換算値を設定し、重要度に応じて設定した係数（1～1.5）を乗じた結果を、各材料の性能を総合的に評価した結果として表-6.4にまとめた。なお、評価する時間軸を合わせるため、促進腐食試験150日で評価することとする。

外観評価結果では3種、4種ケレン共に総合評価として4.0未満の仕様を◎（3点）とした。付着性試験結果では付着強度が3種、4種ケレン共に2.0N/mm<sup>2</sup>以上の仕様を◎（3点）とした。なお、本試験では現場での施

表-6.1 外観総合評価結果に対する評価点数換算表

外観総合評価結果	評価	点数
3種・4種ケレン共に4.0未満	◎	3
3種・4種ケレン共に4.0～4.9	○	2
3種・4種ケレンどちらかが4.0～4.9	△	1
3種・4種ケレン共に5.0	×	0

表-6.2 付着強度結果に対する評価点数換算表

付着強度(N/mm <sup>2</sup> )	評価	点数
3種・4種ケレン共に2.0以上	◎	3
3種・4種ケレン共に1.0～2.0	○	2
3種・4種ケレンどちらかが1.0～2.0	△	1
3種・4種ケレン共に0～0.9	×	0

※付着強度は一般部・カット部の平均

表-6.3 現場施工性に対する評価点数換算表

現場施工性	評価	点数
エアゾールスプレータイプ	◎	3
刷毛塗り	○	1
エアゾールスプレーを複数種類使用	△	1
へら塗りや貼付けタイプ	×	0

表-6.4 促進腐食試験150日の性能を総合的に評価した結果

	重要度	仕様1	仕様2	仕様3	仕様4	仕様5-1	仕様5-2	仕様6	仕様7	仕様8	仕様9	仕様10	仕様11	仕様12
外観評価	×1	○	×	×	×	×	○	×	○	○	◎	◎	×	×
付着強度	×1	○	×	×	×	×	×	×	○	○	○	◎	△	×
現場施工性	×1.5	◎	◎	◎	◎	△	△	◎	◎	△	×	◎	△	△
評価点合計		8.5	4.5	4.5	4.5	1.5	3.5	4.5	8.5	5.5	5	10.5	2.5	1.5

工性を考慮していることから、重要度の係数を1.5として現場施工性の評価を加えた。現場施工性ではエアゾールスプレータイプの仕様を◎（3点）とした。以上を評価条件として総合的に判定する。

各試験結果に重要度係数を乗じたものを合計（評価点合計）した結果、仕様10が10.5点で最も高い結果となった。特に性能面（外観評価・付着強度）で他より評価点合計が高い結果となった。二液形塗料は強靱な塗膜を形成するため性能は良好であるが、現地にて二つの液体を混ぜ合わす必要があったため施工性に難があった。しかし、本材料はエアゾールタイプで施工性が良好なうえ防食効果も高く、点検時応急措置に使用できると判断できる。

## 7. おわりに

今回、これまでに阪神高速道路の定期点検時に使用していた応急措置材料を含め、合計13仕様の促進腐食試験による性能確認を行った結果、仕様10が現在使用している応急措置材料を上回った。このように良好な評価を得た材料を劣化構造物に適用することは、劣化進行抑制に寄与し、ライフサイクルコストの低減につながるものと考えられる。また、今回の試験は促進腐食環境下での実施であり、平常環境での有効防食期間などは一概に算出できない。したがって、実際の現場で応急措置として適用した材料の追跡調査を実施し、その有効性を把握していくことが今後の課題である。

また、応急措置材料の開発は日進月歩であり、今後もより高性能な製品が開発されることが予想される。これからの新たに開発される材料の評価を行い、応急措置に適した材料を見出していくことが必要と考える。

## 参考文献

- 1) 阪神高速道路(株)：道路構造物の補修要領 第3部 舗装・伸縮・塗装 平成19年9月
- 2) 財団法人塗料検査協会：塗膜の評価基準、2003
- 3) 丹波寛夫、閑上直浩、山田卓司：塗装塗替における素地調整および塗装仕様に関する検討、(社)土木学会、第64回年次学術講演会、平成21年9月
- 4) 財団法人塗料検査協会：昭和60年度石油製品需要適正化調査 石油製品品質面需給対策調査 昭和61年7月