

省工程防食材料の比較検証試験

石橋 正博¹⁾ 田中 誠²⁾ 政門 哲夫³⁾

はじめに

首都高速道路の高架橋（鋼桁）では、点検により多くの腐食損傷が確認されている。腐食損傷の多くは、伸縮継手からの漏水が主な原因であり、部分的かつ小規模な腐食が点在して発生している（写真-1）。

これら腐食損傷の補修は、通常、高架橋と並行している街路を車線規制し、高所作業車を用いて部分的な塗装塗替えを行っている。弊社における塗装塗替仕様は、腐食損傷の多い鋼桁端部においては耐久性を向上させるため、塗膜総数は5層となっている（表-1）。そのため、施工工程は1層/日となることから5日間を要し、併せて車線規制も必要となるため、時間と費用を要する。従来の塗装仕様では、増え続ける腐食損傷の補修が進捗せず、予算も限られている状況から、より効率的な補修を行うために各種の省工程防食材料を平成23年頃より試験的に使用を開始した。

しかし、省工程防食材料による補修箇所が、数年後に腐食する状況が確認され始めたため、より耐久性のある省工程防食材料を選定することを目的として、耐久性比較検証試験を実施した。

試験は、複合サイクル試験にて実施し、より耐久性

表-1 桁端部塗装塗替仕様

塗装系	素地調整	工程	塗料名	使用量 g/m ²	回数	塗装 間隔
NS-P3	3種	下塗 第1層	変性エポキシ 樹脂塗料下塗※	(200)	1	1日 ~10日
		下塗 第2層	変性エポキシ 樹脂塗料下塗	200	2	1日 ~10日
		下塗 第3層	超厚膜型エポキシ 樹脂塗料下塗	500	3	1日 ~10日
		下塗 第4層	超厚膜型エポキシ 樹脂塗料下塗	500	4	1日 ~10日
		中上 兼用	厚膜型ポリウレタン 樹脂塗料上塗	230	5	1日 ~10日

※素地調整により鉄面露出した箇所に塗布する

のある省工程防食材料を選定するためにサイクル数を最大180日（4,320時間）、6種類の塗料を用いて試験を実施した結果、無溶剤型エポキシ樹脂塗料が特に耐久性に優れていた。しかし、刷毛塗りに適さない等の施工上の課題を有していたため、塗料改良を実施した。

本稿は、これら部分的かつ小規模な腐食損傷の補修としての省工程防食材料の耐久性比較検証試験結果と耐久性に優れた無溶剤型エポキシ樹脂塗料の改良について報告する。

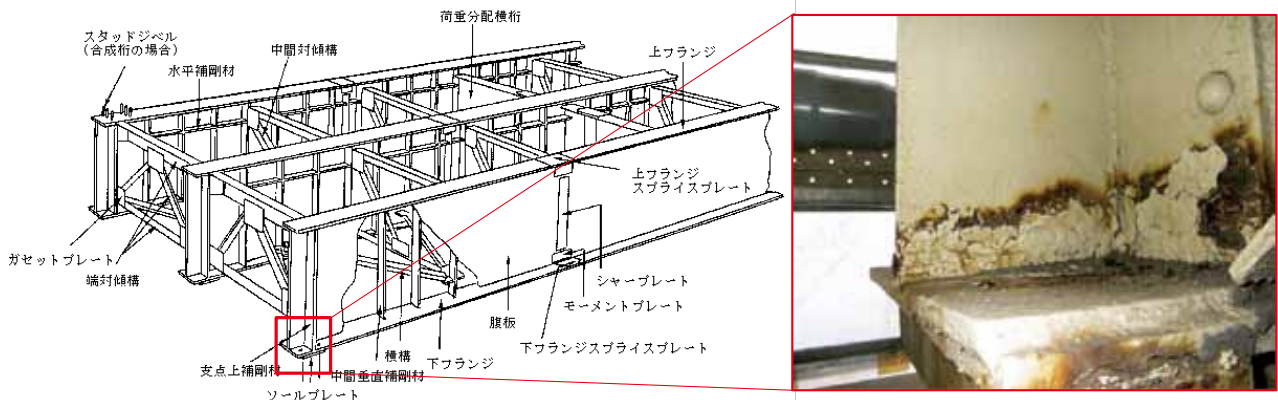


写真-1 腐食損傷状況

- 1) 首都高速道路株式会社 東京西局
- 2) 首都高メンテナンス西東京株式会社
- 3) 日本エンジニアリング株式会社



図-1 複合サイクル試験条件

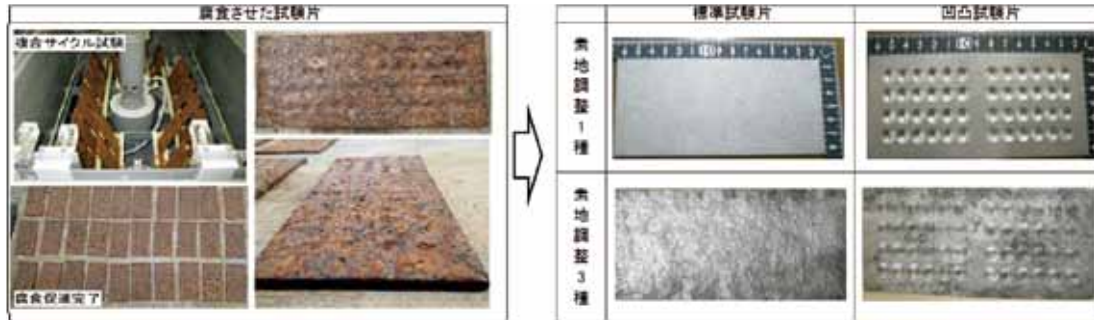


写真-2 試験片

2 耐久性比較検証試験

2.1 試験概要

省工程防食材料の耐久性評価は、実環境に近似した試験方法と言われている複合サイクル試験^{※1}を図-1に示すサイクルにて実施した。試験期間は、通常、サイクル数30日(720時間)であるが、より耐久性のある材料を選定するためサイクル数を最大180日(4,320時間)まで実施した。試験では、7日毎(168時間)に外観状況を確認し、その際に試験体の配置による環境条件の違いができるだけ生じないように試験体の設置場所をローテーションした。また、30日毎(720時間)にクロスカット幅の測定を行った。

2.2 試験片

試験片は、既設構造物の腐食箇所を塗装塗替することを想定し、試験片を複合サイクル試験にて腐食させ、

ディスクグラインダで素地調整をしたものを用いた。なお、既設構造物では腐食により断面欠損が生じている箇所は凹部となり完全にさびが除去出来ないため、その状況を再現するために標準試験片の他に凹凸試験片を製作して試験を行った。

試験は、残存さびによる影響も比較確認するため、素地調整1種(ブラスト処理)と素地調整3種としたそれぞれ標準及び凹凸試験片の計4種類の試験片を用いて実施した。試験片の状況は写真-2に示す。

2.3 試験塗料(省工程防食材料)

試験する省工程防食材料は、弊社で使用実績のある5種類の塗料と使用実績のない無溶剤型エポキシ樹脂塗料の全6種類を用いて試験を実施した。省工程防食材料とは、塗膜総数が少なく短期間で施工できる塗料である。(表-2)

表-2 試験塗料

NO	省工程防食材料	下塗り塗膜総数	下塗り膜厚 μm	下塗り施工日数	素地調整1種 (試験4,320時間)		素地調整3種 (試験2,160時間)	
					標準試験片	凹凸試験片	標準試験片	凹凸試験片
A	無溶剤系	2	150	1日	○	○	○	○
B	亜鉛系	2	400	1日	○	○	○	○
C	マグネタイト系A	2	45	2日	○	○	○	○
D	アルミ系	1	70	1日	○	○	○	○
E	マグネタイト系B	1	70	1日	○	○	— ^{※1}	○
F	無溶剤型エポキシ樹脂系	1	1,000	1日	○	○	—	—
F'	無溶剤型エポキシ樹脂系 (塗料改良版)				—	—	○ ^{※2}	○ ^{※2}
G	(参考) NS-P3(弊社塗替仕様)	4	420	4日	— ^{※1}	— ^{※1}	— ^{※1}	○

※1 試験機の配置可能数量から試験未実施
 ※2 試験時間は4,320時間まで実施

3 試験結果

複合サイクル試験後の評価は、外観（さび、はがれ、われ、ふくれ）、カット幅、塗膜付着力にて評価を行った。

3.1 外観

外観は、日本鋼構造協会の鋼橋塗膜調査マニュアルに示されている塗膜の目視調査評価方法に従って、さび、はがれ、われ、ふくれの4項目で評価を行った。

3.1.1 さび

さびの評価は、目視にて図-2に示す等級により決定した。試験結果を図-3に示す。

無溶剤型エポキシ樹脂塗料（F、F'）は、4,320時間で標準・凹凸試験片ともに等級2以下で良好な結果であった。その他塗料の多くは、1,440時間を超えると等級3以上となり試験片全体にさびが発生した。また、素地調整1種、3種を2,160時間において比較すると、無溶剤系塗料（A）、アルミ系（D）が1種で等級3に対し、3種では等級5であり3種の方がさびの進行が早く、素地調整時の残存さびの影響が寄与しているものと考えられる。

3.1.2 はがれ

はがれの評価は、図-4に従いはがれの面積にて等級を決定した。代表して凹凸試験片の結果を図-5に示す。無溶剤型エポキシ樹脂塗料（F、F'）は4,320時間で等級8と良い結果に対し、その他塗料は720時間を超えると等級が下がる傾向を示した。

3.1.3 われ

われの評価は、図-6に従い基準図版にて等級を決定した。代表して凹凸試験の結果を図-7に示す。マグネタイト系B（E）、無溶剤型エポキシ樹脂塗料（F、F'）は、4,320時間で等級8以上で良い結果であった。

3.1.4 ふくれ

ふくれの評価は、図-8に従いふくれの大きさにより評価を行った。代表して凹凸試験の結果を図-9に示す。無溶剤型エポキシ樹脂塗料（F、F'）はふくれが発生せずもっとも良い結果であった。

3.2 カット部からの劣化幅

試験片に設置したクロスカット部からの劣化幅を図-10に示す。カット幅は、無溶剤型エポキシ樹脂塗料（F、F'）が4,320時間まではほぼ変化がなく良い結果であった。その他塗料は、2,160時間経過後にカット幅が大きくなる傾向を示した。

3.3 塗膜付着力

塗膜付着力は、複合サイクル試験終了後にアドヒージョンテストにより定量的に計測し、図-11に従って評価を行った。アドヒージョンテスト結果を図-12に示す。

素地調整3種は塗料F'、G以外は2.0MPa以下であったのに対し、素地調整1種は塗料C、D、E、Fが2.0MPa以上あり付着力が大きい結果であった。残さびの影響により、素地調整3種の省工程防食材料は付着力が落ちたと考えられる。

3.4 試験結果のまとめ

弊社の複合サイクル試験塗膜品質判定基準を表-3に示す。今回試験では、大半の塗料がサイクル数30日

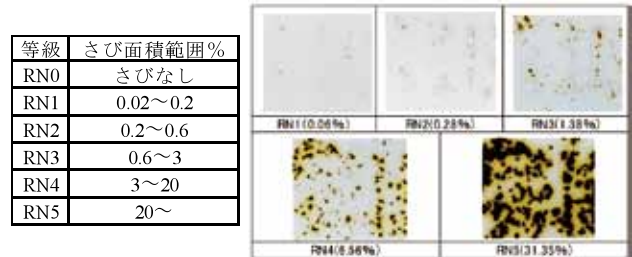


図-2 さび評価の等級と発錆程度

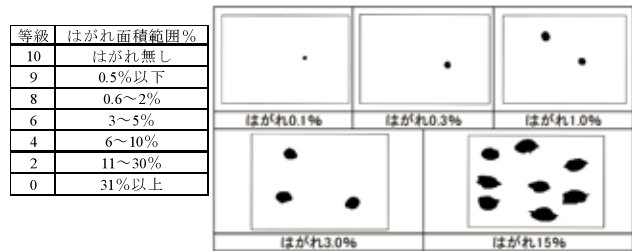


図-4 はがれ評価の等級とはがれ程度



図-6 われ評価の等級とわれ程度

等級	大きさ
10	膨れ無し
3	径約0.1mm以下
6	径約0.2~0.5mm
4	径約0.6~1mm
2	径約2~3mm
0	径約4mm以上

図-8 ふくれ評価基準

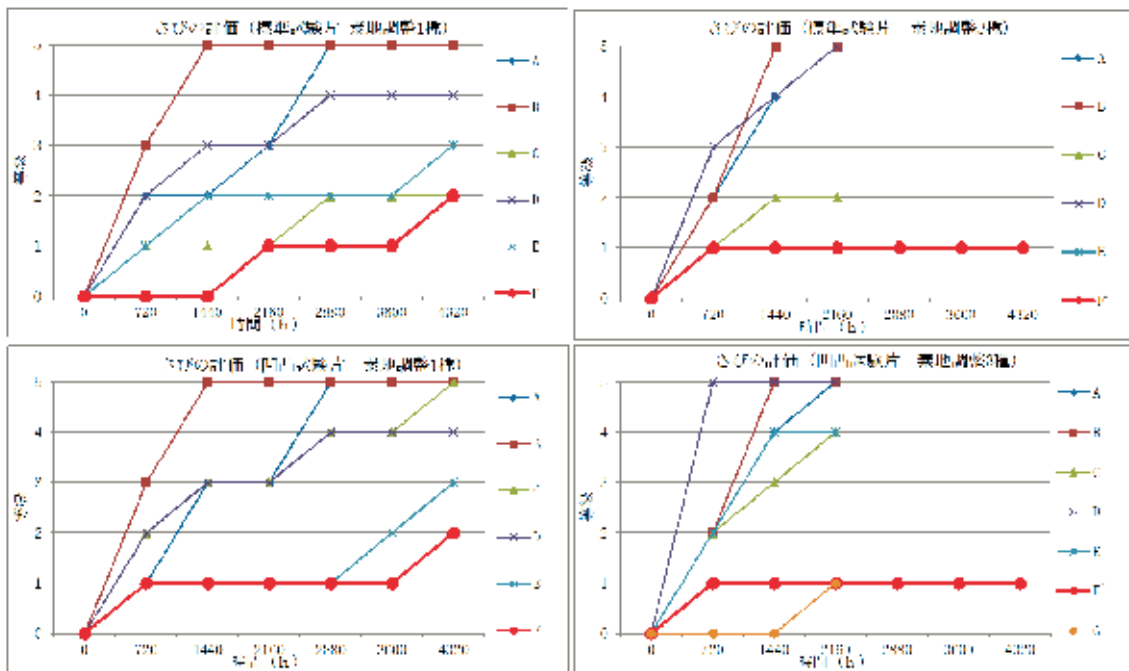


図-3 さび評価結果

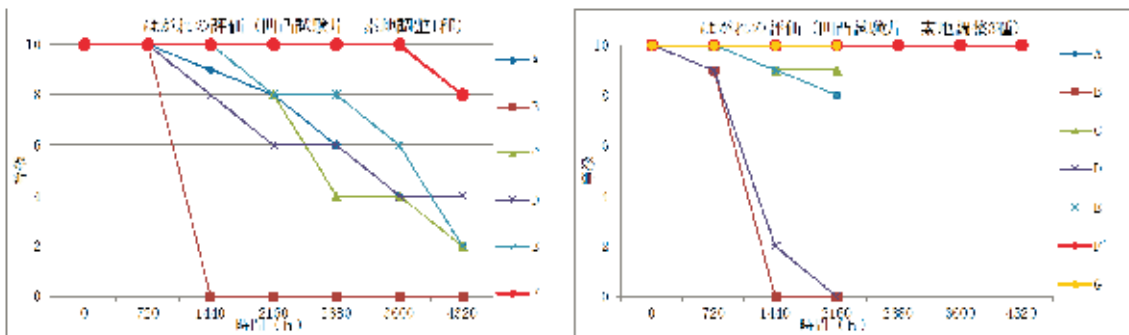


図-5 はがれ評価結果

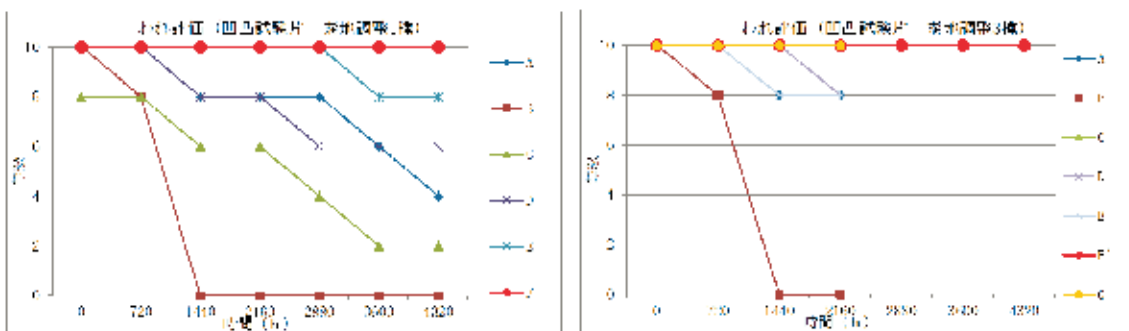


図-7 われ評価結果

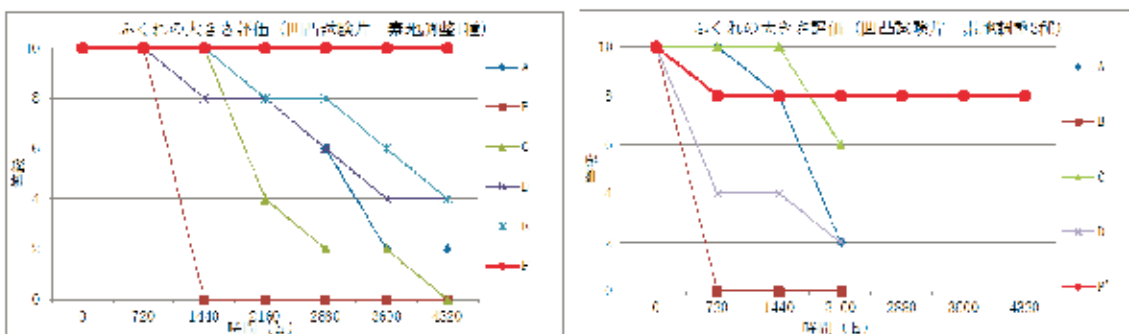


図-9 ふくれ評価結果

(720時間)においては塗膜に異常がなく、さび・ふくれ幅が4.0mm以下となっており、弊社規定をクリアしている。しかし、サイクル数30日経過後に耐久性が落ちる材料がほとんどであった。このような中で、無溶剤型エポキシ樹脂塗料(F、F')はサイクル数180日(4,320時間)経過後も耐久性が落ちることなく耐久性に優れた省工程塗装材料であることが確認できた。

4 無溶剤型エポキシ樹脂塗料の改良

4.1 塗料改良概要

今後の小規模塗装塗替は、複合サイクル試験にて良好な結果を示した無溶剤型エポキシ樹脂塗料(F)を使用することとした。塗料性能を表-4に示す。

本塗料は1層で1,000 μ mも塗布できる超厚膜型エポキシ樹脂塗料であるが、表-5に示す施工上の課題があった。そのため、主剤・硬化剤の配合率を変化させる等して、施工性の改善を実施した。表-5に塗料改良状況を示す。なお、塗料改良に伴い耐久性に変化を生じている可能性もあるため、改良塗料の耐久性検証試験(複合サイクル試験)を実施した。

4.2 耐久性検証試験結果

複合サイクル試験は、2.1、2.2と同方法で実施した。試験条件は、試験時間を180日(4,320時間)、試験片は標準試験片2片と凹凸試験片2片、素地調整は3種にて実施した。

試験結果の試験片外観状況(抜粋)を写真-3、さび、はがれ、われ、ふくれ等は図-3、5、7、9、10、12のF'に示す。外観写真のとおり、標準試験片1片のみが30日(720時間)からクロスカット部のさびが確認されたが、180日までにははがれ、われは生じることなく、試験後のアドヒージョンテストの結果も最小値が3.37MPaと、塗料改良前と同等の耐久性を有していることが確認できた。

よって、今後の小規模塗装塗替は表-6に示す仕様で施工を実施する予定である。

5 まとめ

部分的かつ小規模な腐食損傷箇所の補修に、より耐久性のある省工程防食材料を適用することを目的として耐久性比較検証試験を実施した。試験の結果、無溶剤型エポキシ樹脂塗料の耐久性が良いことが確認された。しかし、無溶剤型エポキシ樹脂塗料は超厚膜型塗料であり施工性の課題を有していたため、主剤・硬化剤の配合率を変化させたり、添加剤を加える等して塗料改良を行い施工性の改善を図った。また、改良塗料の耐久性試験を実施し、改良前後で耐久性に変化が生じていないことを確認した。

今後、改良した無溶剤型エポキシ樹脂塗料にて、部分的かつ小規模な腐食損傷の塗装塗替を実施する予定である。本塗料を使用することで、これまで弊社塗替仕様で施工に5日を要していたが、2日にて施工が完了する。また、無溶剤型であり火災に対する安全性も高いため今後広く補修塗装に適用し、併せて経過観察することでその耐久性の確認を引き続き実施していく予定である。

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

図-11 付着力の評価基準

表-3 品質判定基準

			サイクル数	判定基準
エポキシ系 下塗塗料	単膜	一般部	30日 (720時間)	塗膜に異常がないこと さび・膨れ幅4.0mm以下
		カット部		

表-4 塗料性能

可使時間(25°C)	20分
硬化時間(25°C)	16時間
耐熱温度	180°C
発火点	無し
引火点	主剤 204.4°C 硬化剤 93.3°C
消防法	主剤 指定可燃物 硬化剤 危4類3石

表-5 施工上の課題と改良状況

	施工上の課題	塗料改良後
① 塗料粘性度	粘性度が高く刷毛塗りに適さない	刷毛塗り可能
② 可使時間	20分と短い	50~60分に改善
③ 硬化時間	16時間と長い	8時間に改善

表-6 小規模塗装塗替仕様

工程	塗料名	塗料規格	使用量 g/m ²	回数	塗装 方法	塗装 間隔
下塗	無溶剤型 エポキシ樹脂塗料 (塗料改良版)	-	1,000	1	はけ	8時間~
上塗	厚膜型ポリウレタン 樹脂塗料上塗	SDK P-432	230	1		

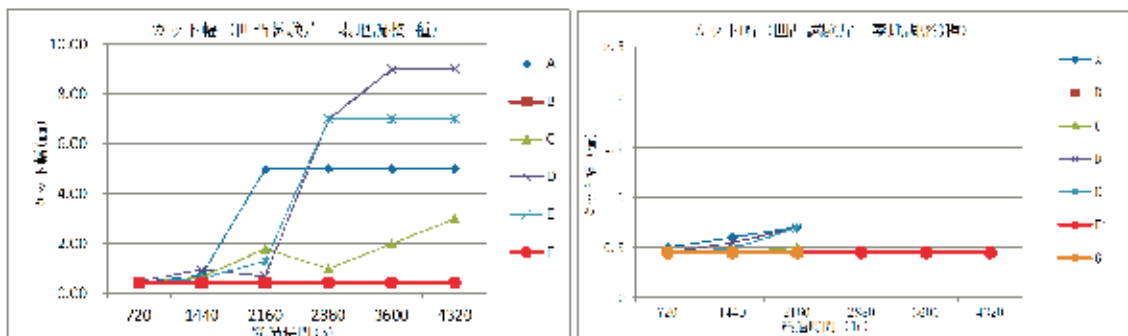


図-10 カット部からの劣化幅の評価結果

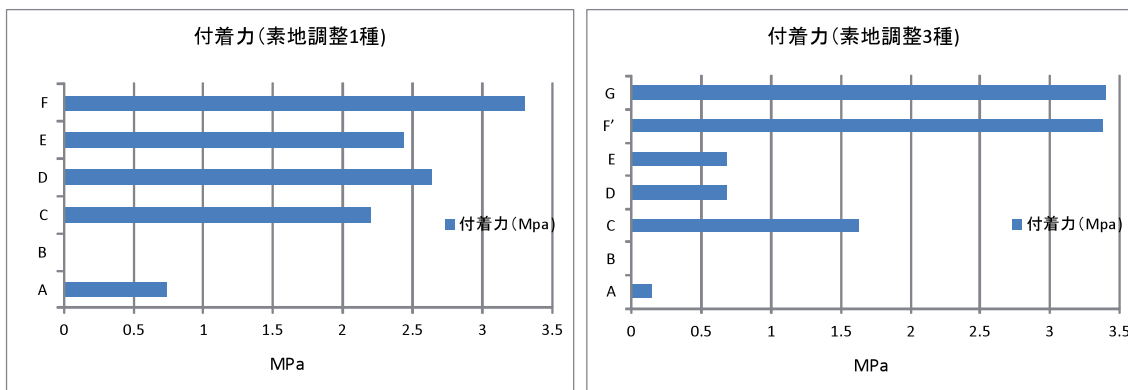


図-12 塗膜付着力結果



写真-3 試験片外観状況 (抜粋)
F'無溶剤型エポキシ樹脂系 (塗料改良版)

【参考文献】

※1 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 - 附属書1 (規定) サイクルD