

土木建築における腐食に関する研究（その15）

——外装用被覆鋼板の劣化診断および補修法の検討例——

喜田大三 守屋正裕
西村清一 住野正博

Study on Corrosion in Civil Engineering and Building Construction (part 15)

——Degradation Diagnosis and Repair of Coated Steel Plate——

Daizo Kita Masahiro Moriya
Seiichi Nishimura Masahiro Sumino

Abstract

For large buildings such as power stations, factories, and gymnasiums, roofing and exterior wall materials often employ a core of thin steel plate to which anti-corrosive coating has been applied. Problems often arise in maintaining these materials. To solve these problems, degradation diagnosis of exterior steel plate and performance tests of a commercially available repair coating were carried out, and degradation diagnosis and repair methods were established. In addition, performance evaluations were made of new fluoro resin-coated high-durability materials in practical use, comparing them with conventional materials. Diagnoses, tests, and evaluations showed that visual and coated layer impedance measurements were effective for adequate degradation diagnosis. For the repair method, repair coating specifications were prepared corresponding to four degradation classes. In the cases of new fluororesin-coated materials, performance evaluations were made based on test data of ten items required for exterior wall materials. These performance evaluations showed that the new fluororesin-coated materials are high in practical value.

概要

薄鋼板を芯材として表面に防食被覆を施した被覆鋼板は、発電所や各種の工場、スポーツ施設などの屋根や外壁に多用されており、しばしばそのメンテナンス方法が問題となっている。そこで、施工実績の多い市販材の1種類について、劣化状況の実態調査と補修用塗材の性能試験を行ない、劣化診断法および補修法を確立した。また、近年開発されたふっ素樹脂被覆の高耐候性被覆鋼板について、従来の材料との比較で性能比較を行ない、実用性を評価した。

劣化診断の調査法としては、目視およびインピーダンス測定などが効果的であった。補修については、劣化状態を4段階に分け、適した塗材と塗装仕様を選定した。また、ふっ素樹脂被覆の新材料は、外装材としての要求機能に基づく十数種類の試験データを基に、実用価値が高いと判断された。

1. はじめに

近年、建築物や土木構造物の耐久性が大きな注目を集め、材料や部材の早期劣化の問題や劣化診断、補修技術、耐久性向上技術などが重要な研究課題となっている。

この報告では、建物の外装材として使われている防食被覆鋼板の1種類を取り上げ、その劣化診断、補修法ならびに新材料の性能について検討した事例を紹介する。

被覆鋼板は、工場や発電所、スポーツ施設などの屋根材や外壁材として非常に多く使われている。厚さ0.4～1.0 mmの薄鋼板に、亜鉛めっきや着色樹脂コーティングを組み合わせて防食被覆し、折板や波板に加工した

製品で、鉄骨組の母屋、胴縁にフックボルトで取り付けられる。施工が簡単で、軽量、防水層が要らないなどの特長を有し、工場建屋など大スパンの建物に活用されている。耐久性に関わる耐候性や耐食性は、メーカーや製品によって被覆層の材料構成が異なるので、一概に評価できず、当然使用環境の条件によっても大きく変化するが、大まかには、次のような劣化過程をたどる。すなわち、ある程度の年数が経過すると、有機材料の被覆層に、光沢低下、チョーキング、変色、ヘアクラック、ふくれなどの劣化症状が現われる。そのまま放置してさらに劣化が進むと、被覆層が風化し、やがて芯材の鋼板に腐食が発生する。芯材の板厚は薄いので、一旦腐食が始まると、穴

があくまでの期間は短く、腐食孔が貫通して外装材にとって重要な防水機能が損なわれる。

従って、この種の材料に限らないが、経年劣化のパターンをある程度把握した上で、劣化状態の点検と適切なタイミングでの補修が建物の維持管理上重要となる。同時にまた、設計、施工に際しては、構造や機能、意匠だけでなく耐久性やメンテナンス性についての十分な配慮が要求される。

ここに報告する事例は、市販の被覆鋼板のうち、比較的施工実績の多い1種類を対象に検討したものである。

図-1に示す骨子で一連の調査、試験、検討を実施した。

2. 対象とした被覆鋼板の材料構成

市販材の1種類で、ここでは以下にCS材と記述する。その材料構成は、鉄板を芯材とし、被覆層は、亜鉛めっき層、高分子接着剤層、無機繊維補強アスファルト防食層、着色樹脂層の複合被覆となっている。材質の詳細はメーカーのノウハウに属するので割愛する。表面は、アスファルト層の補強繊維によって樹枝状の凹凸模様を呈している。膜厚は計250~450 μm である。

3. 劣化診断法の検討

3.1. 実態調査

劣化状況の実態を把握するために、CS材が屋根または壁に使われている既設建物を対象に、現地調査を行った。

3.1.1. 調査項目と方法

(1) 表面状態の目視調査 外観、ルーペ観察、近接写真の撮影。

(2) 膜厚測定 電磁式膜厚計を使用。

(3) 付着性試験 粘着テープ(ガムテープ)を表面に貼付けて引きはがし、被覆層の剝離有無と、テープ粘着面の付着物の状態を調査。

(4) インピーダンス試験 市販の簡易型インピーダンスメーターを使い、周波数1000 Hzで、交流抵抗(Rx)と $\tan \delta$ を測定した。測定原理、方法については、文献¹⁾を参照されたい。なお、被覆層の表面に接触させる電極板には、30×40 mmの大きさのチタン板を使い、1% NaCl水溶液に増粘剤を加えて塗布した。

3.1.2. 対象建屋 記号A~Jで示す10建屋で、屋根面、壁面合わせて総計13箇所を調査した。CS材取り付け後の経過年数は、4~19年の範囲にあった。

3.1.3. 調査結果

(1) 被覆層の劣化状況 目視調査の結果、CS材は、艶の消失が非常に早く、4、5年で軽度のチョーキングが

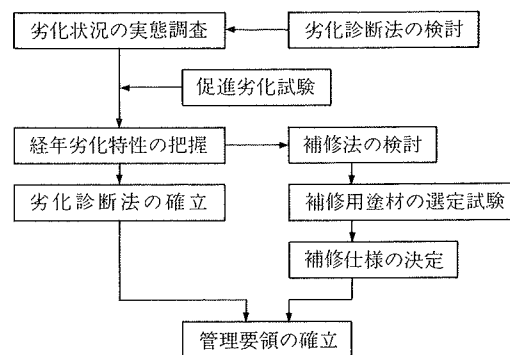


図-1 検討概要

認められた。また、写真-1に例示するような樹脂層のひび割れが、多くの調査建屋で見られ、早ければ4年程度で発生している。年数を経るほどひび割れ幅は大きくなり、15年以上では樹脂層の粉状化が認められた。

粘着テープによる付着性試験(以下、テープ試験とする)では、粘着面への付着物の状態から、チョーキングの程度と被覆層(主としてアスファルト層)の脆弱化がある程度把握できた。同一箇所でもテープ試験を繰り返すと、チョーキングが軽度の場合には、1、2回で白色付着物がなくなるが、チョーキングが著しい場合、4、5回目まで続いた。また、アスファルト層まで劣化が進んでいると、小片状のアスファルトがテープ面に付着した。

被覆層の劣化状態を電氣的に評価するためのRxと $\tan \delta$ の測定結果によると、図-2に示すように、両者間に直線の対応関係が見られ、被覆層の劣化に伴って、水分や各種のイオンが被覆層に侵入しやすくなると、Rxは小さく、 $\tan \delta$ は大きくなる傾向を示していると推察された。CS材が使われている建物の部位や方位によっても劣化程度は異なるので、経過年数との対応関係は必ずしも明瞭ではなかったが、劣化が進むほど図-2の右下方へプロットされる傾向が把握できた。

(2) 芯材の腐食状況 発錆の有無と程度を目視で調査し、興味深い特徴点が判明した。使用環境が、潮風(海塩粒子)の影響を受ける臨海地であっても雨水が直接当たるような部位では、外観的に被覆層の劣化が相当進んでいても芯材の発錆は認められなかった。しかし、雨水の当たらない屋根の軒裏面などでは、外観的には被覆層の劣化が軽度でも「塗膜下腐食」の状態が発錆している例があった。これは、雨水による付着塩分の洗浄効果の有無に起因していると考えられる。

雨がかり面で発錆が見られたのは、約19年経過しているA建屋の屋根面のみであった。

3.2. 診断方法の提案

経年劣化状況の実態を踏まえて、管理要領を図-3のように設定した。図中の定期点検は、目視による簡単な

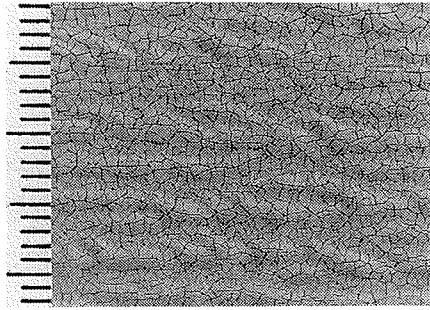


写真-1 CS材被覆層のひび割れ

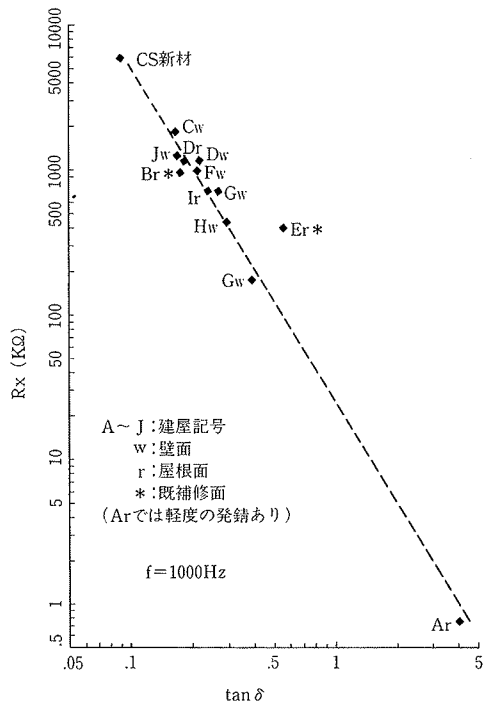


図-2 実態調査でのインピーダンス測定結果

外況調査程度である。劣化状態の診断は、前述の目視調査、テープ試験、インピーダンス測定によって行ない、それぞれ表-1~3に示す内容で劣化グレードを判定する。劣化度の分類と補修要否、補修内容との関連は表-4のように設定した。3種類の調査による劣化度の判定結果は、当然ながら必ずしも一致しない。従って、建物の重要度や要求される余寿命なども考慮して総合的な判断を下す必要がある。

なお、調査項目としては、他にもサンプルを採取しての化学分析や顕微鏡観察など、より詳細な手法もあるが、ここでは、できるだけ現場的に簡単で、しかも効果的と思われる方法を採用した。

参考までに、実態調査を行なった建物のCS材について、上記診断法を適用し、劣化度判定した結果を表-5に例示する。

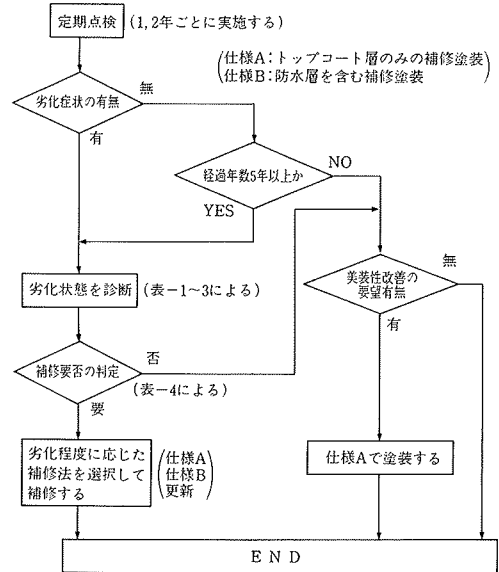


図-3 管理要領フロー

調査結果	劣化度
<ul style="list-style-type: none"> 着色樹脂層にひび割れが見られない。 微細なひび割れは見られるが、アスファルト層および繊維は露出していない。 小口部分に顕著な発錆は認められない。 	I
<ul style="list-style-type: none"> 着色樹脂層の微細な剥離が見られ、ひび割れ部でアスファルトもしくは繊維の露出が確認できる。 小口部分に明らかな発錆が見られる。 	II
<ul style="list-style-type: none"> 着色樹脂層の風化が著しく、アスファルト層の露出面積が多い(ルーペを使わなくてもアスファルト層の露出が確認できる)。 平面部で軽度の発錆が認められる。 	III
<ul style="list-style-type: none"> 広い面積にわたって発錆が著しく、芯材の断面欠損が生じている。 局部的に腐食の著しい箇所が散在し、部分補強では対処できない。 	IV

この調査で判定がIVの場合には以下の調査は不要

表-1 目視調査による劣化度判定

調査結果	劣化度
<ul style="list-style-type: none"> 付着物が2回以内でほとんどなくなる。 着色樹脂層が剥離しない。 	I
<ul style="list-style-type: none"> 白い粉状の付着物が3、4回目でも認められるがアスファルトの付着はない。 着色樹脂層の微細な剥離が僅かに認められる。 	II
<ul style="list-style-type: none"> アスファルトの付着が認められる。 着色樹脂層の剥離が多い。 	III

表-2 テープ試験による劣化度判定

tan δ	<0.2	0.2~0.5	>0.5
劣化度	I	II	III

表-3 インピーダンス測定による劣化度判定

劣化度	劣化状態	補修要否と補修法
I	着色樹脂層の劣化がほとんど生じていないか軽度で、アスファルト層は健全な状態にある。	補修は不要
II	着色樹脂層の劣化がかなり進行し、アスファルト層が劣化しやすい状態で、外観も損なわれている。	A仕様で塗装する(着色樹脂層の塗替)
III	着色樹脂層の風化が著しく、アスファルト層も劣化してきている。または、軽度の発錆が認められる。	B仕様で塗装する(防水層を含む塗替)
IV	発錆面積が広く、芯材の板厚が明らかに欠損している。または、腐食の著しい箇所が散在し、部分補強では対処できない。	部材を交換する

表一四 劣化状態と補修内容

建家	部位	経過年数	診断結果(劣化度)		
			(1)	(2)	(3)
A	屋根	19	III	III	III
B	屋根*	14	I	I	I
C	壁	4	I	I	I
D	屋根	8	II	II	I
#	壁東面	8	II	II	II
E	屋根*	—	I	I	III
F	壁南面	4	I	II	—
#	壁東面	4	I	II	II
G	壁西面	8	I	I	II
#	壁南面	8	II	III	II
H	壁北面	13	II	II	II
I	壁北面	15	I	II	II
J	壁南面	5	I	II	I

(1) 目視調査 (2) テープ試験
 (3) tan δ測定 *は既補修面

表一五 劣化度調査例

4. 補修法の検討

4.1. 補修用塗材の選定試験

表一四のA仕様、B仕様に対応する補修塗装の塗材を選定するために、市販塗材について性能試験を行なった。

4.1.1. 供試塗材

(1) A仕様の補修塗材 チョーキングやひび割れなどによって劣化したCS材の樹脂層のみを塗り替える補修塗装を想定し、溶剤型アクリル樹脂系、塩化ゴム系、軟質アクリルウレタン樹脂系、軟質ふっ素樹脂系、軟質ウレタン樹脂系など、計6種類を供試した。

(2) B仕様の候補塗材 CS材のアスファルト層まで劣化が進行している状態での塗装を想定し、長期の防食、防水性を考慮して、アクリルゴム系複層塗材、ウレタンゴム系複層塗材、アスファルト系、タールエポキシ系+ふっ素系など、計12種類を供試した。

(3) 発錆箇所のサビ止め塗材 軽度の発錆箇所に、錆止め兼プライマーとして塗布する塗材として、キレート結合型エポキシ樹脂系、エポキシウレタン樹脂系、汎用エポキシ樹脂系の計4種類を供試した。なお、この試験結果は省略した。

種類 No.	塗 装 系			塗膜厚 (μm)	試験結果の総合評価		
	下 塗	中 塗	上 塗				
A	1	—	溶剤アクリル	40	耐候性が劣る	×	
	2	塩化ゴム	塩化ゴム	塩化ゴム	100	耐候性が劣る	×
	3	エポキシ	軟質ウレタン	軟質ウレタン	140	良好	○
	4	—	—	軟質ふっ素	60	新材面に付着せず	△
	5	塩素化樹脂	—	軟質アクリルウレタン	100	付着力がやや小	○~△
	6	—	—	軟質アクリルウレタン	100	良好	○
B	7	塩化ゴム	弾性アクリル	アクリルウレタン	1050~1150	界面剥離	△
	8	エポキシ	エポキシ	ふっ素	110~130	付着力小	△
	9	アスファルト	アスファルト	アスファルト	約300	割れ、発錆	×
	10	アスファルト	—	アスファルト	290	発錆、付着力小	×
	11	塩化ゴム インシアンネート	ウレタンゴム	アクリルウレタン	1290~1710	良好	○
	12	セメント/ アクリルゴム	アクリルゴム	ふっ素	1360~2060	付着力小、ちぢみ	△
仕 様	13	塩素化樹脂	アクリルゴム	アクリルウレタン	1340~1560	一部で界面剥離	○~△
	14	タールエポキシ	エポキシ	ふっ素	130~170	割れ、剥離	×
	15	エポキシ	アクリルゴム	ふっ素	1400~1700	ちぢみ	○~△
	16	アスファルト	アスファルト	アスファルト	200	割れ、発錆、変色	×
	17	エポキシ	アクリルゴム	軟質アクリルウレタン	950~2570	割れ	×
	18	塩素化樹脂	アクリルゴム	アクリルウレタン	1350~1580	界面剥離、色差大	×

表一六 補修用塗材の試験結果

4.1.2. 試験概要

(1) 試験体の作製 被覆層の劣化がある程度進んだCS材を実際の建物から取り外し、15 cm角程度に切断して供試塗材を塗装した。塗装は一部を除いて各塗材メーカーにお願いした。また、一部の塗材は、CS材の新材面に対する付着性を検討した。

(2) 供試内容と方法 劣化促進試験として、促進耐候試験機によるウェザリング試験を最長2000時間行ない、その後に腐食促進条件として塩水噴霧試験を500時間または1000時間行なった。劣化を促進する前後およびその途中で、外観検査、塗膜の付着性試験、光沢度測定、色差測定、顕微鏡観察、インピーダンス測定を行ない、性能および適性を評価した。

4.1.3. 試験結果

供試した塗装系と総合評価の結果を表一六に示す。紙数の関係で、試験データの幾つかを例示すると、まず、図一四は、A仕様の塗材について、促進劣化試験(ウェザリング 1000 hr+ 塩水噴霧 500 hr)前後のインピーダンス測定結果の例である。同図で、劣化したCS材の表面に塗装した(No.5, 6)テストピースは、初期状態において、CS材の新材と同程度の特性を示し、促進劣化後は、No.6が最も良好で、No.6 > No.5 > CS劣化材の順になっている。

また図一五は、A仕様塗材のウェザリング試験における光沢保持率を示している。ふっ素系のNo.4が最も良好であった。なお、同塗材は、CS新材面への塗装性が不良であった。

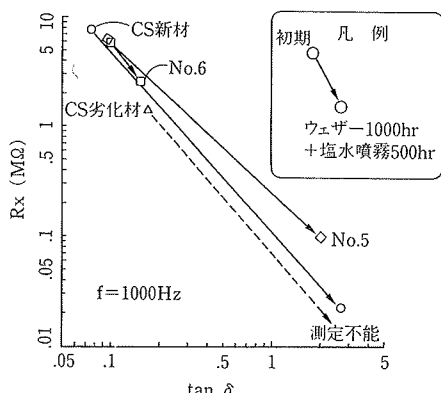


図-4 促進劣化試験でのインピーダンス測定例

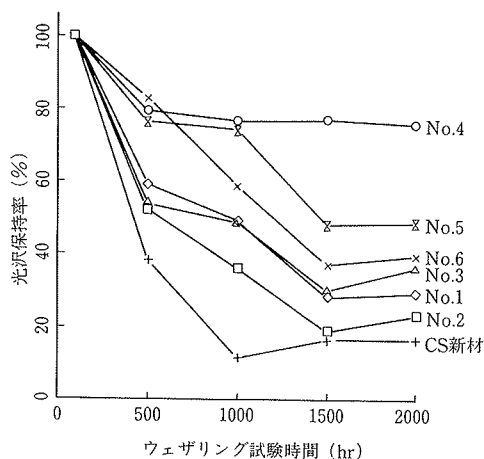


図-5 促進劣化試験での光沢度変化

以上のような試験結果から、推奨塗材として、A仕様では、No.3, 5, 6が、B仕様ではNo.11, 13, 15が選定された。

4.2. 補修仕様の提案

選定された推奨塗材の塗装仕様をベースに、A, B両仕様の補修塗装要領をまとめた。詳細は省略するが、ブラシ掛け水洗の下地処理、止めボルト周りのシーリング、小口処理、部材取り合い部の処理法についても併せて基本要領を作成した。

5. ふっ素系被覆鋼板の性能評価

最近、被覆鋼板の一種で、ふっ素樹脂系の被覆を施した製品が新しく開発された。言うまでもなくふっ素樹脂は、C-F結合が強固なために、従来の合成樹脂系塗材と比べて耐候性が非常に優れている。この特長を生かして、耐候性、美装性の向上を意図した被覆鋼板である。このような新しい材料を実用化していく上では、耐候性だけでなく、耐食性、補修性、加工性など様々な観点からその特性を把握し、総合的な評価が必要となる。そこで、市販材の1種類について、従来実績の多い前出のCS材との比較で諸性能を検討し、実用性を評価した。

5.1. 供試材の概要

芯材の薄鋼板に、亜鉛めっきを施し、その上に、ふっ素系樹脂とアクリル系樹脂の2層構造をもつ着色シートを熱融着する方法で製造されている。被覆層の厚さは約200 μmである。以下、ここではこの材料をFS材と呼ぶ。

5.2. 検討概要

外装材として要求される機能と関連する特性項目を図-6のように整理し、関連試験項目を抽出した。試験項目は、ウェザリング試験、塩水噴霧試験など、十数種類となった。このうち、メーカーが第三者機関に委託して実施済の保有データについては、その内容を確認し、当技研では9種類の試験を実施した。

5.3. 試験検討結果

表-7に総合的な性能評価結果を示し、以下幾つかの試験結果を例示する。

図-7は、ウェザリング試験での光沢保持率を示している。FS材の優位性が明瞭である。耐候性については、米国の試験機関による20年間相当の促進暴露試験が行なわれており、その結果も非常に良好である。

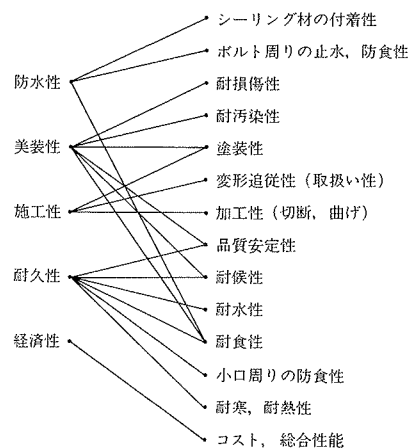


図-6 外装材の要求機能と関連特性

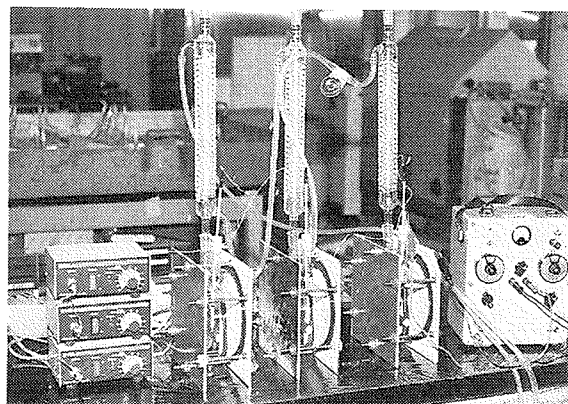


写真-2 水蒸気拡散促進試験

比較検討項目	FS材の性能評価 (CS材と比較した性能優劣)
(1) 品質安定性	□ 最少被覆厚を200 μ m確保
(2) 耐候性	◎ 特に優れている
(3) 耐食性	○
(4) 小口周りの防食性	□ 現場切断を最小限とする
(5) 耐水性	○
(6) 耐寒, 耐熱性	□~○
(7) 耐損傷性	○
(8) 耐汚染性	○
(9) 変形追従性	◎
(10) 加工性	□~○
(11) 塗装性	□, ☆ 塗料の選定に要注意
(12) シーリング材の付着性	□, ☆ 材料の選定に要注意
(13) ボルト周りの止水, 防食性	□, ☆ 工法の検討を要する
(14) 経済性	○
(15) 総合評価	実用性, 優位性が認められる

◎: CS材よりも優れている。 △: CS材よりもやや劣る。
 ○: " 良好である。 ×: " 明らかに劣る。
 □: 試験した範囲内で, CS材と同等である。 ☆: 実用上対応可能であるが, 要注意。

表一七 ふっ素系被覆鋼板の (FS 材) 性能評価結果

図一八は、水蒸気拡散促進試験時の $\tan \delta$ の経時変化を示している。

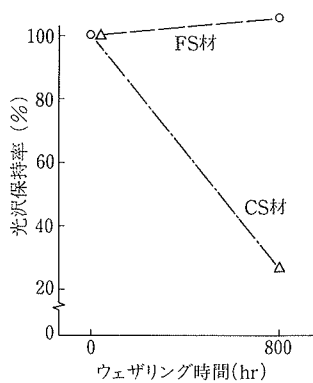
NACE (National Association of Corrosion Engineers) TM-01-74方式に準じた試験器 (写真一 2) を使用し、3% NaCl 水溶液、40°Cの条件

で、水蒸気拡散を促進しながら、インピーダンスメータで $\tan \delta$ を測定した。従来の CS 材は、水分やイオンの浸透によると思われる $\tan \delta$ の顕著な増加が認められ、FS 材の方が耐食的であると判定される。

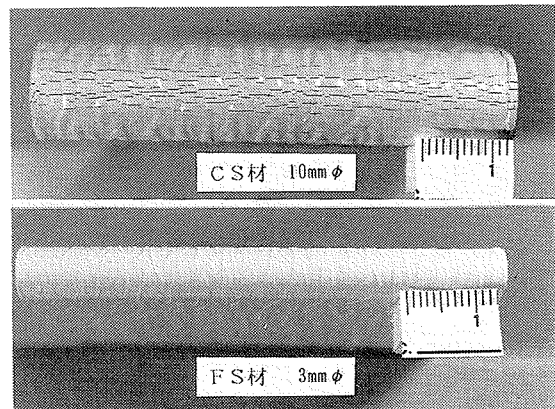
写真一 3 は、JIS K5400による耐屈曲性試験後の状態である。CS 材は、直径 10 mm の屈曲で被覆層にひび割れの発生が著しく、一方の FS 材は、直径 3 mm の屈曲でもひび割れが生じていない。

上塗り適性の試験結果では、12種類の塗材を供試したが、そのうち 9種類は明らかに付着性が悪かった。この結果から明らかのように、FS 材のふっ素樹脂被覆の上には塗料が付着しにくく、現場でのタッチアップ塗装や模様付け塗装に際しては、塗料の選定に十分注意を要することが判明した。

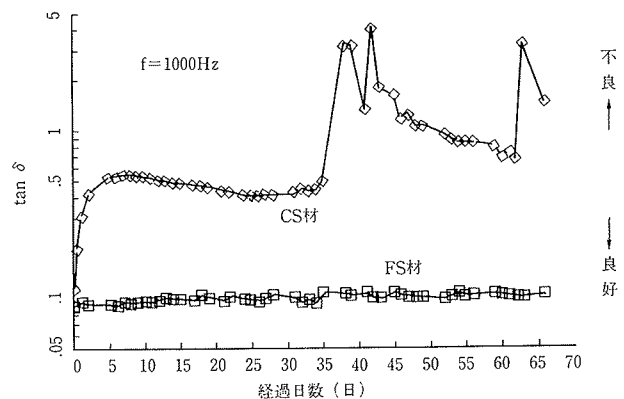
その他、塩水噴霧試験、切断小口の耐食性試験、汚れ



図一七 耐候性比較



写真一三 耐屈曲性試験



図一八 水蒸気拡散促進試験での $\tan \delta$ 変化

除去性試験、シーリング材の付着性試験、耐熱性試験などの試験結果を踏まえ、表一七の評価を行なった。

結論として、FS 材は、従来の CS 材と比較してより実用価値が高いと判断した。なお、材料コストは、FS 材の方が幾分高くなるが、耐久性を考慮すると経済的であると思われる。

6. おわりに

屋根や外壁材として使われている耐候性被覆鋼板を取り上げ、その経年劣化の実態調査、劣化診断法、補修法について検討事例を示した。併せて、ふっ素樹脂系被覆の新しい高耐候性被覆鋼板の性能評価結果を概説した。

今後も各種材料の耐久性、耐食性に注目し、試験法や評価法も含めて調査研究を進める所存である。

参考文献

- 1) 茨木一郎：塗膜のインピーダンスと等価回路の推定、防錆管理, Vol. 26, No. 4, (1982, 4), pp.2~6