

(論文)

屋外暴露試験による塗装鋼板の耐久性

岩井正敏*・斉藤隆司**・田中尚義***

*鉄鋼部門・生産技術部 **鉄鋼部門・薄板商品技術部 ***鉄鋼部門・加古川製鉄所・薄板部

Investigating Pre-painted Galvanized Steel Sheet Durability through Weathering Test

Masatoshi Iwai・Takashi Saitou・Takayoshi Tanaka

The durability of pre-painted galvanized steel sheets was investigated through weathering tests at five outdoor exposure sites in Japan over a five-year period. Heavy zinc coated Z25 samples showed the best corrosion resistance. Fluorocarbon surface coating showed better performance than polyester coating in terms of corrosion and discoloration. Okinawa had the most severe weather conditions of the five sites for high temperatures, large amounts of precipitation and solar radiation. Creep width was closely correlated to the amount of precipitation, and discoloration was closely correlated to ultra-violet radiation.

まえがき = 溶融亜鉛めっき鋼板や溶融亜鉛 - 5%Al めっき鋼板を原板とした塗装鋼板は建材分野を中心として広く使用されている。塗装鋼板を屋外にて使用すると太陽光線、雨水、海塩粒子、硫酸化物、窒素酸化物などの環境汚染物質の影響を受けその性能が劣化する。塗装鋼板の長期耐久性を評価し、めっき層、塗膜、気象因子の影響を検討するため、塗装鋼板の製造開始に合わせ 1992 年より屋外暴露試験を開始した。

本稿では暴露 5 年までの結果について報告する。

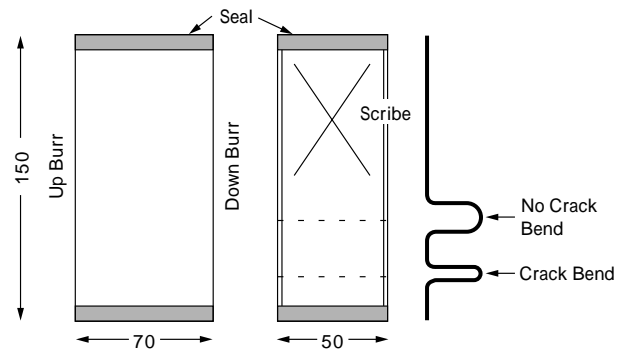
1. 試験方法

1.1 試験片

試験片の一覧を第 1 表に示す。原板の板厚は 0.8mm とし、めっき付着量が Z25 と Z08 の 2 種類の溶融亜鉛めっき鋼板、およびめっき付着量 Y08 の溶融亜鉛 5% Al めっき鋼板をもちいた。これらの原板に塗布型クロメート処理、膜厚 5 μ m のエポキシ変性ポリエステル系下塗、さらに上塗を順次被覆した。上塗塗装にはポリエステル系とふっ素系の 2 種をもちいた。耐食性を評価する試験片は上塗色をベージュ色とし第 1 図に示す 2 種の形状 (70 \times 150mm, 50 \times 150mm) に加工した。耐候性 (塗膜の変色と光沢劣化) を評価する試験片にはベージュ色、茶色、れんが色、青色、銀色の 5 色の上塗色を準備し、70 \times 150mm の平板にて評価した。

1.2 屋外暴露試験

屋外暴露試験は、第 2 図に示す北海道 (早来町, 寒冷地域), 新潟 (三和町, 多雪地域), 滋賀 (高島町, 田



第 1 図 腐食評価用試験片の形状
Fig. 1 Shapes of corrosion test pieces



第 2 図 暴露場の位置
Fig. 2 Location of outdoor exposure sites

第 1 表 試験片一覧
Table 1 Sample preparation

Aim	Size mm	Galvanized Layer	Primer	Top Coat	Color of Top Coat
Corrosion Resistance	70 \times 150 50 \times 150 (See Fig.1)	Z25	Epoxy Modified Polyester 5 μ m	Polyester or Fluorocarbon	Beige
		Z08			Beige
		Y08			Brown
Weathering Resistance	70 \times 150	Z25			Blue Silver

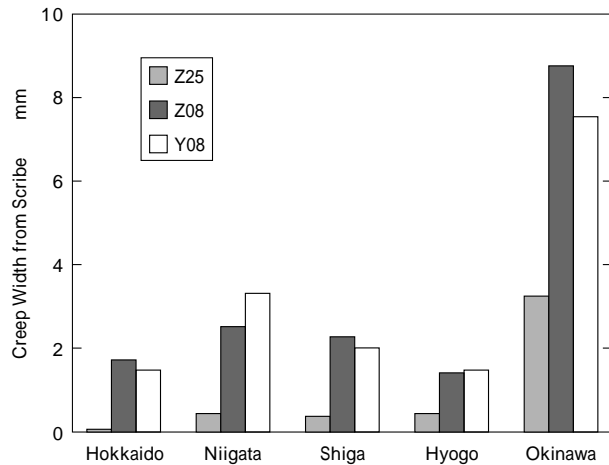
園地域), 兵庫(加古川市加古川製鉄所構内, 工業地域, 海岸より約 50m), 沖縄(北谷町, 亜熱帯, 海岸より約 10m) の 5 カ所でおこなった。暴露試験は 1992 年に開始し, 1 年後, 3 年後, 5 年後に評価した。

2. 結果および考察

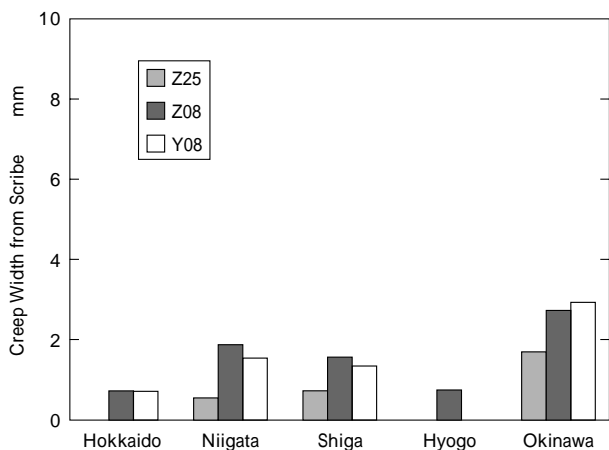
2.1 耐食性

2.1.1 クロスカットからの膨れ

膨れは暴露開始 1 年後で観察され, 膨れ幅は暴露期間とともに増加した。第 3 図, 第 4 図にポリエステル系およびふっ素系塗装鋼板の暴露 5 年後のクロスカットからの膨れ幅を示す。膨れ幅はめっき種, めっき付着量, 塗料系, 暴露地により変化している。めっき付着量としては厚目付した Z25 (めっき付着量 250g/m²・両面) の溶融亜鉛めっき鋼板が, 塗料系, 暴露地によらず膨れ幅がもっとも少なく, 優れた耐食性を示した。この理由については次のように考えられる。



第 3 図 暴露 5 年後におけるポリエステル系上塗の場合のクロスカットからの膨れ幅
Fig. 3 Creep width from scribe of polyester top coat after 5 years



第 4 図 暴露 5 年後におけるふっ素系上塗の場合のクロスカットからの膨れ幅
Fig. 4 Creep width from scribe of fluorocarbon top coat after 5 years

第 2 表 暴露地の気象データ
Table 2 Meteorological data of outdoor exposure sites

	Hokkaido	Niigata	Shiga	Hyogo	Okinawa
Temperature	8.2	13.2	14.1	15.6	22.4
Relative Humidity %	71	73	75	67	76
Precipitation mm/y	1130	1778	1653	1315	2036

Yearly Mean or Yearly Amount Value

腐食は電気化学反応であり, クロスカット周辺では露出した鋼板がカソード, めっき層がアノードとなっている。腐食初期には露出した鋼板の面積はめっき厚にかかわらずほぼ同じであるため, 鋼板表面で起こる酸素還元反応が律速となって, アノード反応であるめっき層の溶解量はめっき厚によらずほぼ一定となる。したがって, めっきの厚い Z25 はめっき層が溶解して塗膜下を腐食が進行する速度が小さくなる。

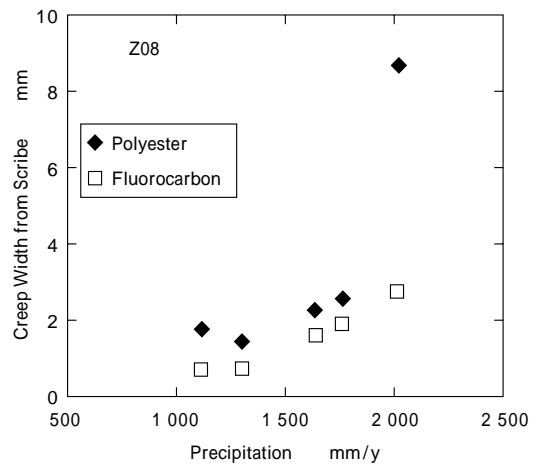
また, 樹脂の酸素透過性, 水透過性, 耐薬品性に優れたふっ素系上塗りはポリエステル系より膨れ幅が小さく耐食性が優れていた。

さらに, 膨れ幅は暴露地によって大きく変化し, 沖縄で暴露したサンプルは膨れ幅がもっとも大きかった。暴露地による差の原因を明らかにするため, 5 カ所の暴露地の気象データを検討した。暴露地での気象観測は実施していないので, 最寄りの気象台のデータで代用した。結果を第 2 表に示すが, 亜熱帯に位置する沖縄は年平均気温, 年平均湿度, 降水量のいずれも 5 カ所中もっとも大きい値となっている。さらに, 沖縄暴露地は海岸直近に位置し, 海塩粒子の飛来もいちじるしい。これらが, 沖縄の腐食がもっとも厳しかった要因と考えられる。

新潟, 滋賀, 兵庫の 3 カ所は年平均気温がほぼ同じであるが, 年間降水量はかなり異なっている。第 5 図に年間降水量とクロスカットからの膨れ幅との関係を示した。図から明らかなように, 膨れ幅と年間降水量, すなわち水の供給量とはよい相関にある。水は腐食反応に必須の物質であり, 第 5 図は降水量が塗装溶融亜鉛系めっき鋼板の塗膜下腐食を左右する主要な因子であることを示唆している。

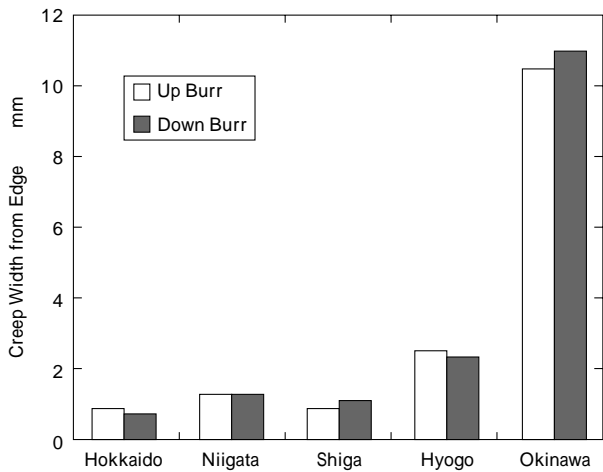
2.1.2 エッジからの膨れ

エッジからの膨れについても第 1 図に示すサンプルにて評価した。一般的にエッジからの膨れは, 試験片切断



第 5 図 Z08 原板の場合のクロスカットからの膨れ幅と年間降水量との関係

Fig. 5 Relationship between creep width from scribe of painted Z08 steel sheets and annual precipitation



第6図 ポリエステル上塗 Z08 原板の場合のエッジからの膨れ幅
Fig. 6 Creep width from edge of polyester top coat painted Z08 steel sheets

時に生ずるバリの方向によって変化するといわれている。そこで、エッジ腐食評価サンプルは左側を上バリ（バリが表面側に突出）、右側を下バリ（バリが裏面側に突出）とした。第6図にはZ08の熔融亜鉛めっき鋼板上にポリエステル系塗料を塗布した場合のエッジ膨れの結果を示すが、今回の試験ではバリの方向の影響は明確でなかった。エッジからの膨れ幅は第3図で示したクロスカットからの膨れ幅とほぼ同じ値を示しており、暴露地ごとの傾向もほぼ同じであった。クロスカットからの塗膜膨れとエッジからの塗膜膨れが同様の挙動を示した理由は、どちらも鋼板の露出部（クロスカット部、エッジ）が存在し、鋼板の露出部がカソード、その周辺の塗膜下のめっき層がアノードとなって腐食が進行するためと考える。

2.1.3 曲げ部

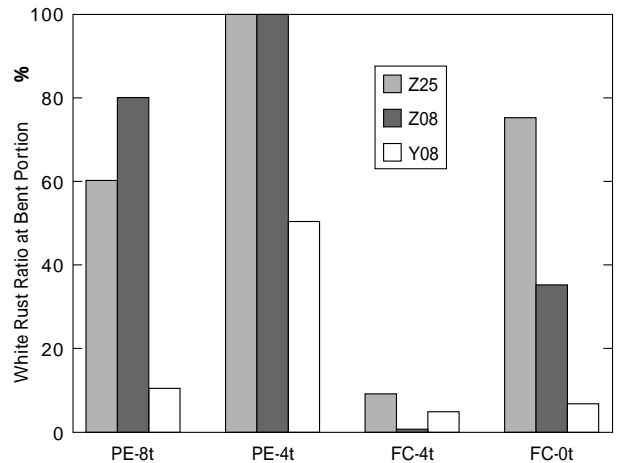
曲げ加工は建材用塗装鋼板の代表的加工方法である。そこで、第1図に示すように塗膜にクラックが生成する曲げ加工とクラックが発生しない曲げ加工の2種の曲げを実施した。曲げ曲率はポリエステル系では4t曲げと8t曲げを、塗膜が柔軟なふっ素系では0tと4tとした。

曲げ部には、沖縄においては暴露開始3年後に白錆の発生が認められたが、他の4カ所の暴露地においては暴露5年後でも白錆の発生は認められなかった。第7図には暴露5年後の沖縄における曲げ部の白錆発生率を示す。クラックが発生した曲げ部（ポリエチレン-4tふっ素-0t）にはクラックの発生しない曲げ部（ポリエチレン-8tふっ素-4t）より白錆発生率が高い。Zn-5%Alめっき（Y08）を原板とした塗装鋼板は、熔融亜鉛めっき（Z08 Z25）を原板とした塗装鋼板より白錆発生率が小さかった。これは、Zn-5%Alめっき中のアルミニウムが亜鉛の腐食生成物を緻密にしてクラックからの白錆流出を抑制していること¹⁾、さらにZn-5%Alめっき層が熔融亜鉛めっきにくらべ加工性に優れるため同じ塗膜でも塗膜のクラックが微細となるためである²⁾。

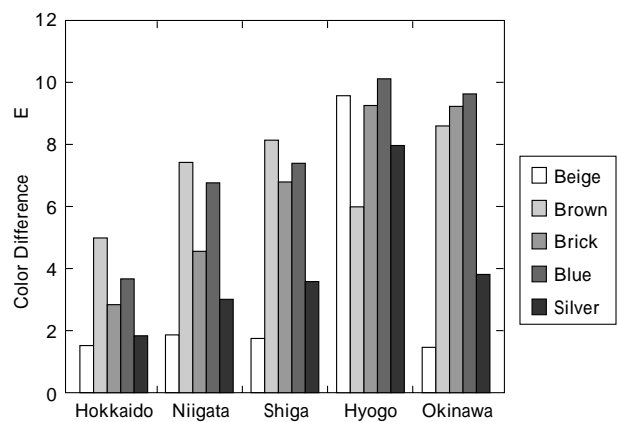
2.2 耐候性

2.2.1 変色

塗装鋼板は屋外に暴露すると日光、雨、雪、凍結、大



第7図 沖縄暴露した曲げ部からの白錆発生率
Fig. 7 White rust ratio at bent portions of Okinawa exposed steel sheets



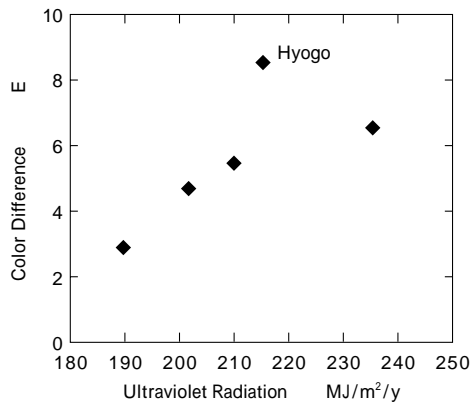
第8図 ポリエステル系上塗の暴露5年後の変色
Fig. 8 Discoloration of polyester top coat after 5 years

気汚染物質などの作用で徐々にその色調と光沢を劣化させる。第8図にはポリエステル系の場合の暴露5年後の色差の値を示す。茶色、れんが色、青色という濃色がベージュ色、銀色にくらべ色調の変化が大きい。これは、濃色が塗膜のチョーキング（白亜化）の影響を受けやすいこと、および青の塗料には有機系の着色顔料がもちいられているが、これが他の無機系着色顔料にくらべ太陽光により変化しやすいためと考えられる。ベージュ色と銀色は兵庫にて暴露したもののみ色調が大きく変化した。これは、暴露場が製鉄所構内にあるため、鉄粉の影響を受けたためである。

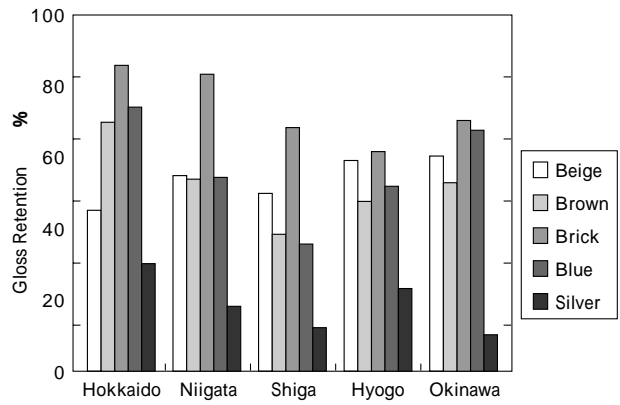
太陽光のなかでも紫外線がもっとも塗膜の変色に影響を及ぼすといわれている。そこで、5カ所の暴露地での変色の値を紫外線量との関係で第9図に示した。変色の値は5色の平均をとり、紫外線量としては榎木らの図³⁾から推定した。鉄粉の影響がある兵庫以外では変色の値と紫外線量との間に明確な相関が認められた。

2.2.2 光沢保持率

塗膜の表面光沢も暴露期間とともに変化する。第10図には暴露5年後の光沢保持率を示す。光沢保持率とは60°鏡面光沢を暴露前の値を100%として表示したものである。銀色塗膜の光沢保持率の低下がもっとも大きかった。写真1には沖縄暴露5年後のポリエステル系塗



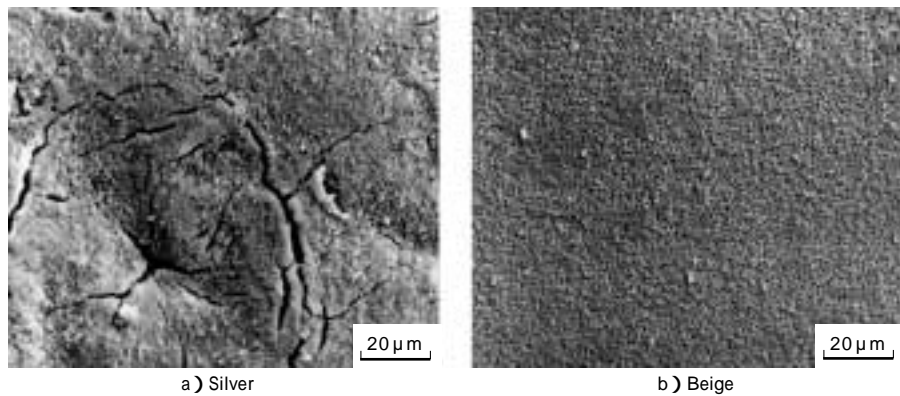
第9図 変色と紫外線量との関係
Fig. 9 Relationship between color difference and ultraviolet radiation



第10図 ポリエステル系上塗の暴露5年後の光沢保持率
Fig. 10 Gloss retention of polyester top coat after 5 years

写真1 沖縄暴露5年後のポリエステル系上塗表面のSEM写真

Photo 1 SEM observation of paint surfaces of polyester top coat exposed in Okinawa for 5 years



膜の表面SEM像を示す。銀色にのみ塗膜にクラックが認められた。銀色にはメタリック顔料としてアルミニウム粉が含まれているが、アルミニウム粉は他の着色顔料のように紫外線を吸収せず、反射する。塗膜に入射した紫外線は塗膜中のアルミニウム粉の間で反射を繰り返す、塗膜のビヒクルである樹脂の劣化を促進する。このため塗膜にクラックが発生したものと考えられる。

むすび = 以上の塗装鋼板の暴露試験結果を要約すると以下のとおりである。

- 1) 厚目付け(Z25)の溶融亜鉛めっきがクロスカット、エッジからの膨れがもっとも小さかった。
- 2) Zn-5%Alめっきは曲げ部の白錆発生が少なかった。
- 3) ふっ素系はポリエステル系より耐食性・耐候性が優れていた。
- 4) 沖縄が耐食性、耐候性の観点でもっとも過酷な環境条件であった。
- 5) クロスカットからの膨れ幅は年間降水量と、また塗膜の変色は紫外線量とそれぞれ相関が大きいことがわかった。

塗装鋼板の耐久性の評価方法としては、塩水噴霧試験、サンシャインカーボンアーク試験などの促進試験が使用されており、当社においても塗装鋼板の開発や品質管理に使用している。しかし、当社の塗装鋼板をユーザに安心して使用していただくため、また製品の耐久性をさらに向上させるためには屋外暴露試験にて塗装鋼板の長期耐久性を調査していくことが必要であり、当社としては今後とも塗装鋼板の暴露試験を継続しデータを積み重ねていきたい。

参考文献

- 1) H. Okada et al. : Proc. of International Congress on Metallic Corrosion, (1972) p.275 .
- 2) 高杉政志ほか、第10回防錆防食技術発表大会講演予稿集、(1990) A203 .
- 3) 楡木 勇ほか：日本建築学会構造系論文報告集、Vol. 381 (1987) p.17 .