

---

建材用ステンレス鋼の腐食挙動と評価方法

Atmospheric Corrosion Behavior of Stainless Steels for Buildings and its Estimation Method

栃原 美佐子(Misako Tochiwara) 宇城 工(Takumi Ujio) 佐藤 進(Susumu Satoh)

---

要旨：

ステンレス鋼を建材に使用した場合の腐食挙動を詳しく調べるために、全国各地での大気暴露調査に加えて、実建築物での発錆調査と『屋根と軒をシミュレートした架台』を用いた大気暴露試験を行った。この結果から、全国各地での暴露結果は海塩粒子量とよく対応すること、建築物においては軒部は屋根部に比べて発錆しやすく、軒部においては軒角度が急であるほどその傾向が強いことを確認した。屋根および軒部の付着物中の塩化物イオン量の分析をすると、軒部は屋根部に比べて付着塩化物イオン量が多く、軒部においては軒角度が急であるほど付着塩化物イオン量が多い。さらに屋根部と発錆が目立った軒部(60°)について、湿度の1日の経時変化を測定すると、軒部はステンレス鋼が発錆しやすいと言われる相対湿度33~75%の範囲にある時間が屋根部に比べて長いことがわかった。

---

Synopsis：

Atmospheric corrosion behavior of stainless steels applied to buildings has been studied through atmospheric corrosion tests, inspection of actual buildings and an exposure test of building-simulating stand. Results are, as follows: (1) The corrosion of the stainless steels corresponded to the amount of chloride ion in atmospheric dust on the specimens, (2) Stainless steels used for eaves corroded more severely than those for the roofs, (3) The steeper the eaves angle, the more the stainless steel corroded, (4) The amount of chloride was found to be larger on the eaves than on the roofs and increased as the angle of the eaves increased, (5) The humidity on the eaves remained at 33 to 75% for a long time in a day. The humidity (RH33 to 75%) on the eaves accelerates the atmospheric corrosion.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

## Atmospheric Corrosion Behavior of Stainless Steels for Buildings and its Estimation Method



栃原 美佐子

Misako Tochihara

技術研究所 ステンレス鋼研究部門



宇城 工

Takumi Ujiro

技術研究所 ステンレス鋼研究部門 主任研究員 (課長)



佐藤 進

Susumu Satoh

技術研究所 ステンレス鋼研究部門長・工博

### 要旨

ステンレス鋼を建材に使用した場合の腐食挙動を詳しく調べるために、全国各地での大気暴露調査に加えて、実建築物での発錆調査と『屋根と軒をシミュレートした架台』を用いた大気暴露試験を行った。この結果から、全国各地での暴露結果は海塩粒子量とよく対応すること、建築物においては軒部は屋根部に比べて発錆しやすく、軒部においては軒角度が急であるほどその傾向が強いことを確認した。屋根および軒部の付着物中の塩化物イオン量の分析をすると、軒部は屋根部に比べて付着塩化物イオン量が多く、軒部においては軒角度が急であるほど付着塩化物イオン量が多い。さらに屋根部と発錆が目立った軒部(60°)について、湿度の1日の経時変化を測定すると、軒部はステンレス鋼が発錆しやすいと言われる相対湿度33~75%の範囲にある時間が屋根部に比べて長いことがわかった。

### Synopsis:

Atmospheric corrosion behavior of stainless steels applied to buildings has been studied through atmospheric corrosion tests, inspection of actual buildings and an exposure test of building-simulating stand. Results are, as follows: (1) The corrosion of the stainless steels corresponded to the amount of chloride ion in atmospheric dust on the specimens, (2) Stainless steels used for eaves corroded more severely than those for the roofs, (3) The steeper the eaves' angle, the more the stainless steel corroded, (4) The amount of chloride was found to be larger on the eaves than on the roofs and increased as the angle of the eaves increased, (5) The humidity on the eaves remained at 33 to 75% for a long time in a day. The humidity (RH33 to 75%) on the eaves accelerates the atmospheric corrosion.

## 1 緒 言

ステンレス鋼は、優れた耐候性や加工性、意匠性を有するという機能的な特性の他に、建築物として街に存在したときのメタルの持つ独特の景観美が注目され、最近では、建築物の内装に止まらず、外装材としても広く普及してきている<sup>1,2)</sup>。すなわち、これまでは、都市部のインテリジェントビルのエスカレーター、エレベーター、エレベーター回り、壁パネル、柱などの内壁・内装に SUS304 が用いられるケースが多かったのに対し、最近では、幕張メッセや関西新空港などに代表されるような腐食環境の厳しい臨海地域において屋根材などの外装用として高純度 30%Cr-2%Mo 鋼や 22%Cr-1%Mo 鋼などが使用されるケースが多くなっている<sup>3,4)</sup>。このように使用される環境が多様化するという背景の中で、建材用に使用されるステンレス鋼の耐候性を適切に評価し、適切な素材を選定することが必要とされている。そこで、本報告では、従来から行っている日本国内数ヵ所での大気暴露試験に加えて、実建築物の発錆調査とステンレス鋼を建築物に適用した場合の状況をより詳しくシミュレ-

ートした『屋根と軒のシミュレート架台』を用いた大気暴露試験によって明らかとなった建材用ステンレス鋼の腐食挙動とそこで用いた評価方法について紹介する。

## 2 実験方法

### 2.1 全国各地大気暴露試験

沖縄、潮岬、伊賀上野など日本国内数ヵ所において、JIS Z 2381 に準拠した大気暴露試験を行った。供試材は Table 1 に示す化学成分からなる SUS447J1, R445M などの当社開発鋼をはじめ、SUS304, SUS316 などの汎用鋼種を用いた。表面仕上げは建材として代表的なヘヤーライン仕上げ材 (HL)、ダル仕上げ材と鏡面仕上げ材に加え、冷延焼鈍酸洗材 (2B 仕上げ材) を用いた。サンプルサイズは 10 cm × 15 cm とし、各条件とも 2 枚ずつ暴露試験に供し、暴露期間は 3y とした。いずれのサンプルも、サンプル下側をステンレス製のボルト 1 個で架台に固定した。

各暴露試験地の平均飛来海塩粒子量は JIS 2381 記載のガーゼ法を用いて 1y 測定した値より算出した。

\* 平成10年2月13日原稿受付

Table 1 Chemical compositions of steels used

	(mass%)						Others
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	
SUS447J1	0.004	0.19	0.10	30.0	0.2	2.0	Nb, Ti
R445M	0.020	0.49	0.15	22.0	0.2	0.75	
SUS316	0.060	0.51	1.30	16.6	12.5	2.0	—
SUS304	0.070	0.58	1.10	18.2	8.5	—	—
SUS430	0.060	0.40	0.65	16.2	—	—	—

## 2.2 実建築物の発錆調査

海から約 400 m 離れた位置にある実建築物の屋根部および軒部で使用された R445M (22%Cr-0.8%Mo) における発錆調査を行った。環境調査としては、屋根部および軒部の一定面積 (15 cm × 15 cm) からガーゼで付着物を拭き取り、付着塩化物イオンの定量分析を行った。

## 2.3 『屋根と軒のシミュレート架台』を用いた大気暴露試験

### 2.3.1 大気暴露試験方法

Fig. 1 に屋根と軒をシミュレートした暴露架台の構造を示す。供試材には、SUS430 (16Cr) の冷延焼鈍酸洗材 (2B 仕上げ材) を用いた。サンプルサイズは 10 cm × 15 cm とし、各条件とも 2 枚ずつ暴露試験を行った。いずれのサンプルも、サンプル下側をステンレス製のボルト 1 個で架台に固定した。架台の上面を屋根部、裏面を軒部とし、サンプルを取り付けて暴露試験を行った。屋根部は水平面から 45° に板を固定し、軒部は、板を可動式にして、Fig. 1 に示すように、軒角度を 15°, 30°, 45°, 60° と変化させ各々の角度に固定した。架台は臨海製鉄所の岸壁から約 10 m の場所に、南向き (海向き) に設置した。

### 2.3.2 耐候性評価方法

暴露後サンプルの耐候性評価は、目視による発錆程度の評価 (赤さび; 腐食生成物を伴うさびを示す。しみさび; 目視上腐食生成物を伴わないステンレス鋼表面におけるくもりを示す。) とステンレス鋼の表面さび発生程度評価のための標準写真 (ステンレス協会腐食専門委員会編)<sup>9)</sup> を用いたレーティングナンバー (S.A.R.N.) による評価を行った。また、発錆の起点となっている食孔の深さの測定には暴露後のサンプルから端部を除いて切り出した 2 cm × 5 cm サンプルを、80°C、20% クエン酸二アンモニウム水溶液により腐食生成物を除去して用いた。まず、光学顕微鏡で直径の大きい順に 10 個の食孔を選定し、レーザー顕微鏡 (レーザーテック製、共焦点走査型レーザー顕微鏡 1LM21) を用いて食孔の深さの測定を行った。得られた食孔の深さの 10 個のデータよりサンプルごとに平均値を求めた。

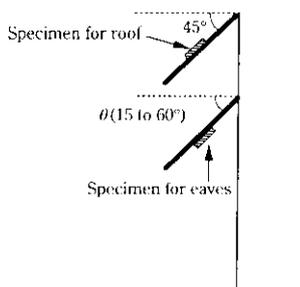


Fig. 1 Exposure test stand for the simulation of roof and eaves

### 2.3.3 環境調査方法

各々のサンプルに近い取り付け板から 1y 堆積した付着物を採取し、採取した付着物中の主に塩化物イオンなどの定量分析を行った。また、屋根部および軒部 (60°) における気温、湿度などの一日の経時変化をマルチ環境測定装置 (テストターム(株)製、エアプロ・シリーズ FC-452) を用いて記録した。測定の際には、マルチ環境測定装置のセンサーをステンレス鋼サンプルから 1 cm 離れた部分に取り付け、サンプル近傍大気の状態を測定した。さらに、屋根部と軒部のステンレス鋼サンプルの板面温度の変化を接触温度計で測定した。

## 3 実験結果および考察

### 3.1 全国各地暴露試験

沖縄、潮岬、伊賀上野の各暴露試験場において、3y 暴露した各種ステンレス鋼のうち、SUS304, HL 材の外観写真を Photo 1 に示す。沖縄では全面において赤さびが発生し、金属光沢が失われているのに対し、潮岬では点状に赤さびはあるものの、金属光沢は残存している。さらに、伊賀上野ではわずかなしみさびはあるものの、ほとんど表面に変化はない。これらの結果から、同鋼種でしかも同じ表面仕上げの材料であっても、暴露地によって発錆状況に大きな差があることがわかる。さらに、以上のような発錆状況を S.A.R.N. で評価した結果と各地の飛来海塩粒子との関係を Fig. 2 に示す。同鋼種・同表面仕上げであっても、飛来する海塩粒子量が異なると発錆程度が異なることがわかる。すなわち、SUS304 は、飛来海塩粒子量が  $0.1 \times 10^{-3} \text{ g/dm}^2 \cdot \text{d}$  以下である伊賀上野においては赤さびが発生せず、飛来海塩粒子量が  $0.2 \times 10^{-3} \text{ g/dm}^2 \cdot \text{d}$  以上である潮岬や沖縄においては赤さびが発生する領域となる。一方、SUS447J1 は、沖縄においてもごくわずかなしみが発生するだけであることがわかる。

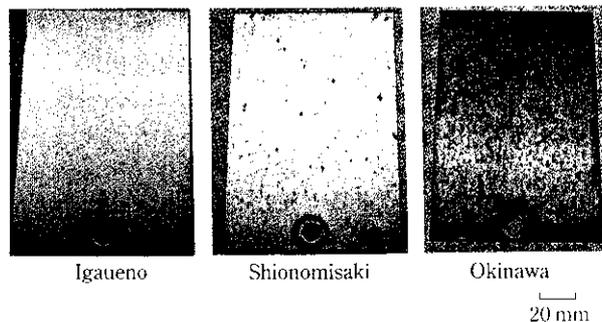


Photo 1 Appearance of specimens (SUS304; HL) after Atmospheric corrosion test for 3y

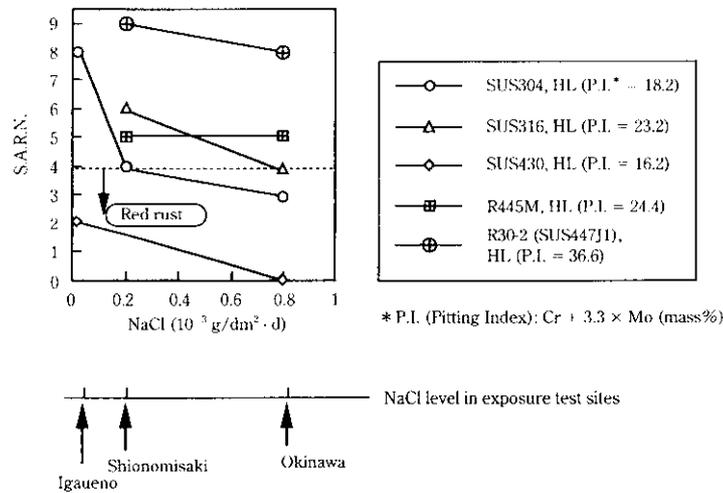


Fig. 2 Relationship between rating number (S.A.R.N.) and NaCl concentration

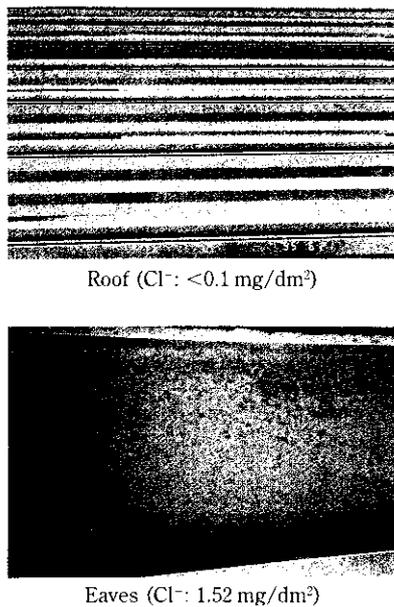


Photo 2 Typical corrosion on the roof and eaves of building in coastal environment

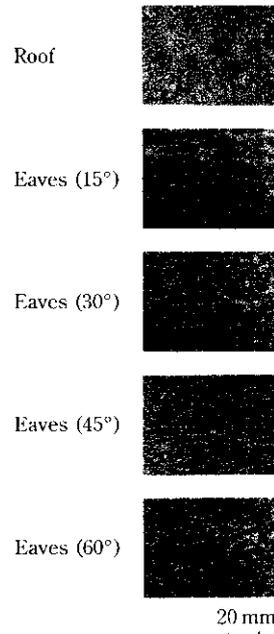


Photo 3 Surface appearances of type 430 stainless steel sheets exposed on roof and eaves for 1y

### 3.2 実建築物発錆調査結果

海から約 400 m 離れた位置にある実建築物の屋根部および軒部に使用された R445M (22%Cr-0.8%Mo) おける施工 5 年後の屋根部および軒部の外観を Photo 2 に示す。屋根部においてはほとんど外観上の劣化は認められないのに対し、軒部は赤さびが生じることがわかる。屋根部および軒部の各部位の規定面積 (15 cm × 15 cm) からガーゼで採取した付着物を分析すると、軒部は屋根部に比べて、付着塩化物イオン量が多いことがわかった。

### 3.3 『屋根部と軒部のシュミレート架台』による大気暴露試験結果

屋根部と軒部をシュミレートした架台を用いて、SUS430 (2B 仕上げ材) を臨海製鉄所内に 1y 大気暴露したサンプルの外観写真を Photo 3 に示す。いずれのサンプルにもしみさびと赤さびが生じているが、屋根部および軒部 15° のさびは、写真ではごく薄い斑点状

に見えるしみさびがほとんどであった。一方、軒角度 30°, 45°, 60° には写真では黒く濃く見える凸型の赤さびが発生している。この赤さびは軒角度が急なほどサイズも大きく、数も多くなる。また、それに伴って金属光沢も無くなっていく。これらのサンプルについて S.A.R.N. 評価を行った結果を Fig. 3 に示す。S.A.R.N. は暴露期間が長くなるに従い低下するが、その割合は軒角度が急であるほど顕著であった。S.A.R.N. は、暴露開始後 3 ヶ月間の低下が大きく、軒角度 30°, 45°, 60° では 5 ポイント以上低下して赤さび領域にまで達する。その後の変化は比較的穏やかとなり、3 ヶ月後から 1 年後までの変化は 1 から 2 ポイントである。

食孔深さの経時変化について測定した結果を Fig. 4 に示す。屋根部と軒角度 15° の食孔深さはほぼ同程度であり、他の軒部サンプルの食孔に比較して浅い。また、軒においては、軒角度が急になるに従い食孔深さも大きくなる傾向を示す。特に、軒角度 60° のサンプルの食孔は暴露 3 ヶ月経過の時点ですでに他の軒角度のものより

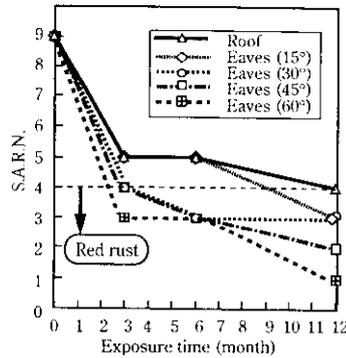


Fig. 3 Change in the rating number (S.A.R.N.) of specimens as a function of exposure time

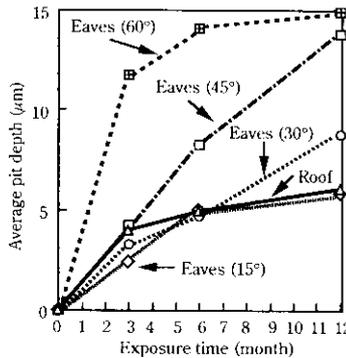


Fig. 4 Change in the average pit depth of specimens as a function of exposure time

約3倍深い食孔となっている。屋根部、軒角度15°および60°の場合は暴露6ヵ月以後食孔深さの挙動が飽和する傾向を示したが、軒角度45°と軒角度30°は6ヵ月以降も食孔深さが進行する傾向を示した。

以上の結果から、軒部は屋根部と比較すると、S.A.R.N. 評価による外観上の発錆程度からも、食孔の深さからも発錆しやすいといえる。しかも、軒角度が急なほど、発錆しやすくなる傾向を示す。その他、さび個数や食孔の径などの測定も同時に行ったが、S.A.R.N. や食孔深さと同様に屋根部に取り付けたサンプルに比べて、軒部に取り付けたサンプルは発錆しやすく、しかも、軒角度が急であるほど発錆しやすい傾向があることを確認した。特に、軒角度が60°の場合に発錆が目立つことがわかった。

暴露試験1年後の各種耐候性評価結果とそれぞれのサンプル取り付け位置における付着塩化物イオン量との関係を Fig. 5 に示す。軒部での付着塩化物イオン量は屋根部に比べて約3~5倍多く、軒角度が急になるほど付着塩化物イオン量は増加した。発錆程度は付着塩化物イオン量の増加とともに顕著となるが、本実験条件では  $1 \times 10^{-3} \text{ g/dm}^2$  を境にして、S.A.R.N. は低下して外観上の劣化が生じる。食孔深さは付着塩化物イオン量  $0.75 \times 10^{-3} \text{ g/dm}^2$  を境にして深くなり  $1.3 \times 10^{-3} \text{ g/dm}^2$  程度で若干飽和する傾向を示している。屋根部に比べ、軒部での付着塩化物イオン量は多く、さらに、軒角度が急であるほど、付着塩化物イオン量が多くなっている。このように、軒部において付着塩化物イオンが多い原因は、降雨により付着塩化物イオンが洗浄されることがないためと考えられる。また、軒角度が急であるほど付着塩化物イオン量が多くなっている原因としては、屋根部と軒部の風の動きを白煙を用いて調べたところ、軒部では風が巻き込むように動いており、軒角度が急であるほど風は

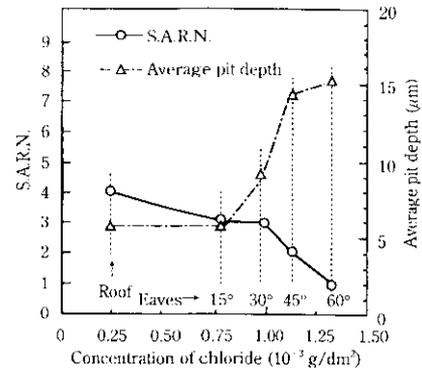


Fig. 5 Effect of chloride concentration in the accumulation on the roof and eaves on atmospheric corrosion

激しく巻き込み、海塩粒子などを巻き込んで付着しやすい状況があることがわかり、このような風の巻き込みが関係していると考えられる。

### 3.4 屋根部および軒部の環境測定結果

屋根部および特に発錆が目立つ軒角度60°における温度および湿度などの環境測定を行った。測定はサンプルを取り付けた9月と暴露3ヵ月後の12月の降雨のない数日について実施した。いずれの測定でも、月が同じであればほぼ同様の値を示したので、測定した数日のうちの代表的な1日を示した。Fig. 6 に9月および12月に測定したサンプル近傍の大気の1日の温度変化およびサンプル自体の温度変化と1日の湿度変化を示す。9月、12月ともに、1日の大気温度変化は軒部の方が屋根部に比べわずかに小さいが、屋根と軒の温度差は1~2°Cであり気温の差はほとんどないといえる。

一方、サンプル温度の場合は、屋根部と軒部では大きく異なる。とくに、9月の昼間の気温が30°C以上になる場合には、屋根部のサンプルの温度は日中50°C以上となる。1日の屋根部での温度変化は約35°Cであった。これに対して、軒部では日中でも、また夜間においてもサンプル温度は大気温度とほとんど同じであり、1日の温度変化は約10°Cであった。材料温度の点からは、屋根部の方が軒部に比べて腐食環境は厳しいと推定されるが、暴露試験結果では軒部の方が発錆しやすいことから、発錆に対しては材料温度以外の因子の影響が大きいと考えられる。

湿度については、9月において、相対湿度が75%以上となるのは屋根部・軒部ともに夕方18:00以降から翌朝の6:00~7:00頃までの合計12~13hであった。また、屋根部は日中8:00頃から15:00頃まで相対湿度が33%以下に低下するが、軒部は昼間でも相対湿度33%以下にはほとんどならなかった。12月には、屋根部は夕方17:00頃から翌朝7:00頃まで合計約14h相対湿度が75%以上となった。一方、軒部においては、夜間においても相対湿度は75%以上とはならない。また、日中9:00頃から16:00頃までの間、屋根・軒ともに約7h程度相対湿度33%以下となる。実海水を用いてステンレス鋼の発錆と湿度の関係性を調査した結果<sup>6)</sup>によると、SUS430、SUS304などの代表的なステンレス鋼数種において、湿度が75%を超える高い湿度の場合よりも、相対湿度33~75%の範囲において発錆しやすいことが明らかにされている。そこで、屋根部と軒部において、ステンレス鋼にとって腐食環境として厳しいと見られる相対湿度33~75%の範囲にある時間を比較すると、軒部は屋根部に比べて9月では約6h、12月では約13h長いことがわかった。以上の結果から判断すると、屋根部に比べ軒部は相対湿度33~75%の範囲に保持されている時間が長く、軒部は屋根部より湿

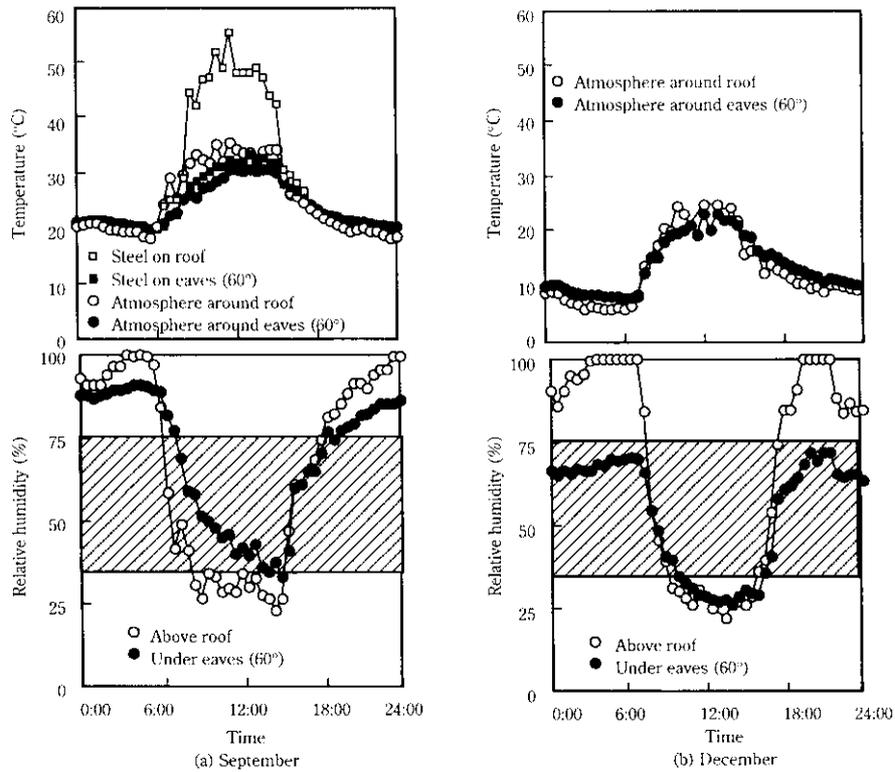
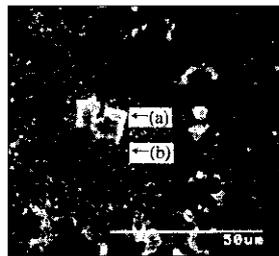


Fig. 6 Change in temperature and relative humidity for one day in September and December



	EDX analysis of the chloride
(a)	Na, Cl
(b)	Na, Mg, Ca, K, Cl, S

Photo 4 Scanning electron micrograph and EDX analysis of the chloride on type 430 stainless steels exposed for 1y

度の点からも発錆しやすい環境にあると考えられる。

相対湿度 33~75% の範囲で発錆しやすい理由としては、以下の機構が考えられる。すなわち、実海水には NaCl の他に MgCl<sub>2</sub> などが含まれており、30°C における NaCl の飽和溶液の平衡湿度は 75%、MgCl<sub>2</sub> の平衡湿度は 33% であるため、相対湿度 33~75% の範囲では MgCl<sub>2</sub> は溶液状態で存在し、NaCl は結晶として存在する。また、相対湿度 30% 以上の範囲においては、相対湿度の低下とともに MgCl<sub>2</sub> 溶液の濃度が増加することが確認されており<sup>8,9)</sup>、このような濃厚 MgCl<sub>2</sub> 溶液と NaCl 結晶の存在による隙間腐食が発錆を促進させていると考えられる<sup>10,11)</sup>。実暴露サンプルのさび部を走査型電子顕微鏡で観察すると、円形状のさびの中心部に塩化物と考えられる付着物が存在することが多かった。Photo 4 に示すように、この付着物は 10μm 程度の角型結晶 (a) とこれよりも小さい 1μm 以下の球状結晶 (b) とからなっている。これらを、EDX (energy-dispersive X-ray spectrometer) により分析すると、10μm 程度の角型結晶 (a) は Na, Cl 主体、これよりも小さい 1μm 以下の球状結晶

(b) には Na, Cl 以外に Mg, S, Ca などが含まれていた。また、NaCl の結晶を除去して観察すると、NaCl 結晶の下部では鋼の腐食が確認され、マイクロな隙間腐食が生じていたことを示している。さらに、この海塩粒子付着サンプルを暴露場で回収した時点では、ルーペで角型結晶が確認でき、その周辺が湿った状態であった。

以上のことから軒部で発錆しやすい理由は、付着塩化物イオン量が多いことに加えて、ステンレス鋼にとって腐食が顕著となる相対湿度 33~75% の範囲にある時間が屋根部より長いこと、結晶化した NaCl の周辺および隙間に Mg イオンを含む濃厚塩化物溶液が存在し、腐食を促進したと考えられる。

### 3.5 建築物用ステンレス鋼の選定方法

建築物におけるステンレス鋼の耐候性を考える場合、その建築物が位置する場所の地域的な環境因子は大気暴露試験などによって評価することができる。しかしながら、地域的な環境の他に建築物における屋根と軒などのような構造的な因子が影響する。本研究から、建築物における飛来塩分量は風の巻き込みが影響するため、軒角度のような建築物の構造因子が重要であることがわかった。したがって、ステンレス鋼を建築物に適用する場合は、腐食環境の厳しい部位には耐候性に優れた素材を選定することなどが必要であると考えられる。また、建築物の構造をステンレス鋼の腐食に対して穏やかな環境となるように工夫することも有効であろう。

## 4 結 言

日本各地での大気暴露試験、実建築物での発錆調査および『屋根部と軒部をシミュレートした暴露架台』を用いた大気暴露試験を行い、ステンレス鋼の耐候性を定量的に比較評価するとともにそこでの環境を調査し、以下の知見を得た。

- (1) 日本各地での大気暴露試験結果から、飛来海塩粒子量が多く

なるにしたがい、発錆しやすくなる。SUS304 は、伊賀上野ではほとんど外観上の劣化は認められないのに対し、潮岬と沖繩では赤さびが発生する領域となる。

SUS447J1 (30%Cr-2%Mo) であれば、飛来海塩粒子量が多く、腐食環境が厳しい沖繩での使用が可能である。

- (2) 実建築物での発錆調査から、軒は屋根に比べて発錆しやすい。この原因としては、軒は屋根より付着塩化物イオン量が多いことが考えられる。
- (3) 『屋根と軒のシミュレート架台』を用いた大気暴露試験結果からも、実建築物での調査結果と同様に軒部は屋根部に比較して発錆しやすいことを確認した。しかも、軒角度が急なほど発錆しやすい傾向を示した。
- (4) 軒部は屋根部に比べ、付着塩化物イオン量が多く、その量は

軒角度が急なほど増加した。その理由として、軒部は降雨により洗浄される機会が少ないこと、さらに、軒部では風の巻き込みにより付着塩化物が多くなることが考えられる。

- (5) 屋根部と軒部の環境（温度、湿度）を測定した結果、軒部の湿度の1日の変化は屋根部より小さく、海塩粒子により発錆しやすくなる相対湿度 33~75% の範囲にある時間が長かった。
- (6) 以上の結果から、屋根部より軒部において発錆しやすい理由は、付着塩化物イオンが多いこと、およびステンレス鋼が発錆しやすい相対湿度 33~75% の範囲にある時間が長いためであると考えられた。
- (7) 軒部は屋根部より腐食環境が厳しいため、ステンレス鋼を使用する場合、より耐候性に優れた鋼種を用いることが必要である。

## 参 考 文 献

- 1) 樫野紀元：腐食防食'94 講演集、(1994)、369
- 2) 樫野紀元：「美しい環境をつくる建築材料の話」、(1992)、[彰国社]
- 3) 佐藤 進：科学と工業、68(1994)、551
- 4) 矢沢好弘、宇城 正、佐藤 進、古岡啓一：材料と環境、44(1995)12、654
- 5) ステンレス協会腐食専門委員会編、ステンレス協会発行：「ステンレス鋼の表面さび発生程度評価のための標準写真研究報告」
- 6) 押川 渡、糸村昌裕、福島敏郎：琉球大学工学部紀要、49(1995)、11
- 7) 宇野秀樹、久間英典：腐食防食'94 講演集、(1994)、363
- 8) Y. Fujiwara, R. Nemoto, A. Kurimoto, S. Kaneko, S. kiya, and M. Ogaya: Proc. of Int. Con. on Stainless Steels '91, (1991), 367
- 9) 武藤 泉、紀平 寛：材料と環境、44(1995)9、505
- 10) 水流 徹、高崎康裕、奥野俊明、西方 篤：ステンレス鋼の耐候性研究報告書、日本鉄鋼協会編、(1995)、176
- 11) 幸 英昭、石賀淳子、宇野秀樹、久間英典：ステンレス鋼の耐候性研究報告書、日本鉄鋼協会編、(1995)、127