

論 文

シンガポールにおける屋外暴露31年後の溶融アルミニウムめっき鋼板の耐食性

内山 真明* 辻村 太佳夫** 服部 保徳***

Atmospheric Corrosion Resistance of Hot-dip Aluminized Steel Sheet after 31 Years in Singapore

Masaaki Uchiyama, Takao Tsujimura, Yasunori Hattori

Synopsis:

We carried out an outdoor exposure test in Singapore for 31 years to investigate the corrosion resistance of hot-dip aluminized steel sheet in severe corrosive environment with high temperature and humidity, and also performed comparison survey with hot-dip 55mass% Al-Zn alloy coated steel sheet and galvanized steel sheet. The following results were obtained:

- (1) Aluminized steel sheet shows superior corrosion resistance to 55mass% Al-Zn alloy coated steel sheet and galvanized steel sheet.
- (2) Adherent and chemically stable corrosion products mainly composed of Al, Fe, S, O are formed on the flat portion of aluminized steel sheet after 31 years of exposure, leading to excellent corrosion resistance even after long period of exposure.
- (3) Cut edge of Aluminized steel sheet shows superior corrosion resistance to that of 55mass% Al-Zn alloy coated steel sheet. The following points are considered as the factor. Firstly, protective amorphous corrosion products are formed on cut edge. Secondly, outer side of the corrosion products is mainly composed of Al, Fe, S, O, and furthermore, lower side of the corrosion products is formed by Al-Fe-O-S-Ca layer in which Ca exist as a layer structure.

1. 緒言

溶融アルミニウムめっき鋼板は、耐食性および耐熱性に優れることから自動車材料や建築材料などに広く用いられている。日本国内では最長31年におよぶ屋外暴露試験が行われており¹⁾、風雨にさらされる屋外でも、長期にわたって優れた耐食性を示すことが報告されている¹⁾⁻⁹⁾。

近年、日本国内の鉄鋼見掛消費量は1991年の9900万トンピークとして、その後減少傾向にあったが、2010～2013年では7000万トン程度で推移している¹⁰⁾⁻¹³⁾。これに対して、経済発展の著しいASEAN諸国では鉄鋼消費量が急増しており、2014年のASEAN主要6カ国（シンガポール、インドネシア、マレーシア、フィリピン、タイ、ベトナム）における鉄鋼見掛消費量は前年比7.8%増の7400万トンとなり過去最高を更新した¹⁰⁾⁻¹³⁾。これ

らの国々は高温多湿となる地域が多く存在し、鉄鋼材料にとっては厳しい使用環境にあるといえる。ところが、炭素鋼、耐候性鋼、あるいは各種亜鉛系めっき鋼板などについては、従来からこれらの国々における屋外暴露試験の報告例¹⁴⁾⁻¹⁶⁾があるものの、溶融アルミニウムめっき鋼板の屋外暴露試験の報告例は少なく、とりわけ数十年もの長期にわたる暴露試験を行った例はない。

そこで本稿ではASEAN諸国の中でも四季がなく、一年を通して高温多湿であるシンガポールにおいて31年間溶融Alめっき鋼板の屋外暴露試験を行った結果を報告するとともに、その防食機構を検討した。

2. 実験方法

2.1 暴露地

屋外暴露試験は海岸から約2.6 kmに位置するシンガポ

*技術研究所 表面処理研究部 表面処理第一研究チーム
**技術研究所 表面処理研究部 表面処理第一研究チーム 主任研究員
***技術研究所 表面処理研究部 表面処理第一研究チーム チームリーダー

ールの工業地帯で行った。Fig. 1 にシンガポールと国内で腐食が厳しいとされている沖縄県那覇市のクライモグラフを示す。グラフ中の各プロットは1929～1941および1948～2013年における各月の平均気温および平均湿度¹⁷⁾¹⁸⁾を示す。那覇市は気温および湿度が比較的低下する冬季が存在するのに対して、赤道直下のシンガポールは一年を通じて高温多湿な環境である。

2.2 供試材

屋外暴露試験に供した溶融めっき鋼板をTable 1 に示す。溶融アルミニウムめっき鋼板（以下、Alめっき鋼板と記す）とともに、比較として溶融55mass%アルミニウム-亜鉛合金めっき鋼板（以下、55%Al-Znめっき鋼板と記す）および溶融亜鉛めっき鋼板（以下、Znめっき鋼板と記す）についても暴露試験を実施した。各供試材はいずれも連続式溶融めっきラインで製造されたものであり、めっき後に付着量10～20 mg/m²程度のクロメート処理を行っている。供試材は100^W×200^L mmに切断

後、Fig. 2 (a) で示す箇所ドリル穴、鋼素地に達するクロスカットおよびFig. 2 (b) に示す2t曲げ加工を施し、切断端面の1辺を残して他の3辺をラッカー塗料で被覆した。供試材は南向きの架台に水平面に対して5°の角度で取り付け、31年間の暴露試験を行った。

2.3 腐食状態の調査

暴露試験片の平坦部、2t曲げ部、切断端面部の外観観察を行った後、平均的な腐食部を光学顕微鏡で断面観察した。各部位に形成された腐食生成物は電子線マイクロアナライザ (EPMA) による分析を行った。また、平坦部、2t曲げ部および切断端面部における鋼素地の最大侵食深さはFig. 3 に示す方法で測定した。暴露31年後のめっき層の腐食減量については、光学顕微鏡による断面組織写真から画像処理によりめっき層残存付着量を求め、元のめっき付着量から差し引くことで腐食減量を算出する方法¹⁹⁾を用いて測定を行った。その際、観察倍率は200倍とし、めっき層の密度はAlめっき鋼板が2.7 g/cm³,

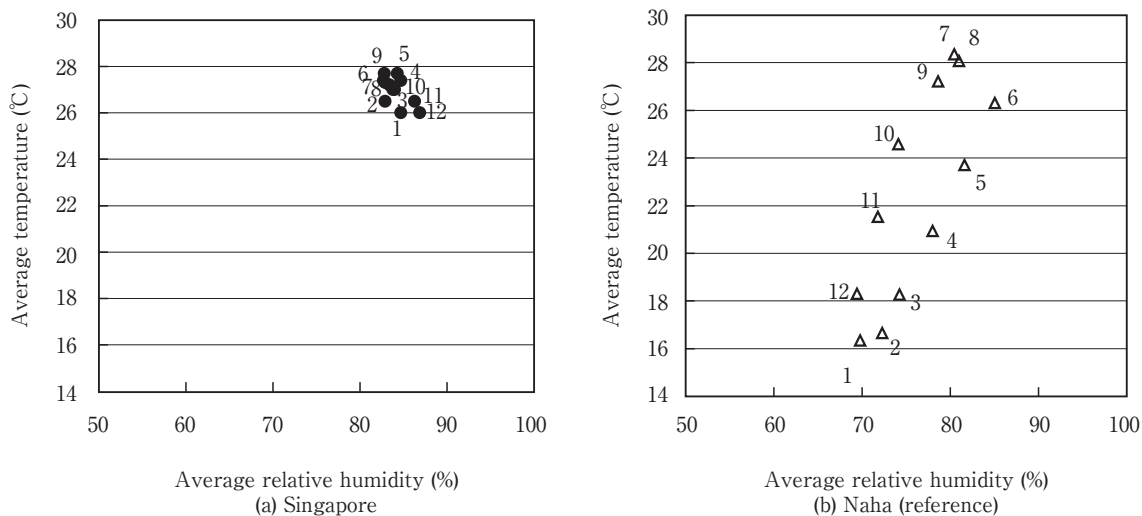


Fig. 1 Climograph.
(a) Singapore (b) Naha
(Each number means each month.)

Table 1 Details of test panels

Specimen	Sheet thickness (mm)	Coating weight (g/m ²)	Coating layer Composition(mass%)			
			Al	Si	Fe	Zn
Aluminized steel sheet	0.6	75	bal.	9.1	1.8	N.D.
55mass%Al-Zn alloy coated steel sheet	0.5	100	54.8	1.7	0.9	bal.
Galvanized steel sheet	0.9	150	0.18	N.D.	0.17	bal.

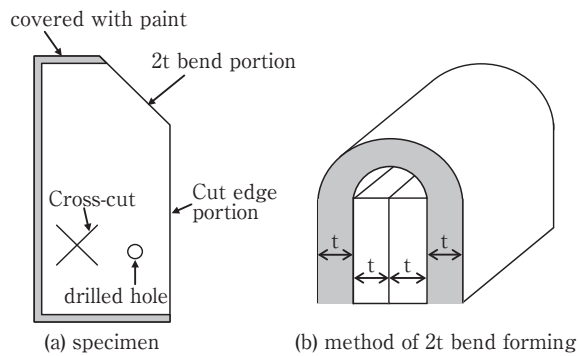


Fig. 2 Scheme of the (a) specimen and the (b) method of 2t bend forming.

55%Al-Znめっき鋼板が 3.7 g/cm^3 の値を用いた。Znめっき鋼板は暴露31年でめっき層が完全に消失していたため、腐食減量の測定を行わなかった。

鋼素地露出部の大きい切断端面部に関しては、さらに詳細な調査を行う目的で走査型電子顕微鏡 (SEM) による腐食部の断面観察および微小部X線回折を行った。微小部X線回折 (Co管球, 40 kV, 30 mA) はコリメータ径を $100 \mu\text{m}$ とし、切断端面部に形成された腐食生成物の同定を行った。なお、暴露試験片の調査は、経時変化を比較するため外観観察のみ暴露10年および31年の試験片を調査した。その他の調査については暴露31年の試験片で調査した。

3. 実験結果

3.1 表面外観変化

シンガポールで10年および31年暴露した各めっき鋼板の表面外観をFig. 4に示す。

(1) 平坦部

Alめっき鋼板は暴露10年で茶褐色を呈するようになり、暴露31年で灰黒色となるものの比較的良好な外観を維持している。55%Al-Znめっき鋼板については、暴露10年で灰色となり、暴露31年になるとAlめっき鋼板と同じく灰黒色に変色する。また、曲げ加工部および切断端面部近傍には約5mmの幅で赤錆と白錆が混在し、若干盛り上がった箇所がみられる。これらに対してZnめっき鋼板は暴露10年の時点でめっき層の残存は認められず、全面赤錆となる。

(2) 2t曲げ部、切断端面部

Alめっき鋼板の2t曲げ部については、暴露10年で微小な赤錆が観察されるが、暴露31年になると曲げ部全体が黒褐色の色調となる。一方、55%Al-Znめっき鋼板は、暴露10年で白錆と赤錆が混在した状態となるが、暴露31年では、Alめっき鋼板とは異なり、白錆に比べ赤錆が目立つようになり赤褐色の色調を呈する。また、Znめっき鋼板は、暴露10年の時点で平坦部と同様にほぼ全面赤

	aluminized steel sheet 55mass%Al-Zn alloy coated steel sheet	galvanized steel sheet
Flat portion and 2t bend portion	<p>Measure the maximum corrosion depth within observation area of cross-sectional structure.</p>	<p>Measure the minimum uncorroded steel thickness and subtract the value from the steel thickness before exposure.</p>
cut edge portion	<p>Estimate the surface location of cut edge before exposure by EPMA (yellow broken line) and measure the maximum corrosion depth. (yellow allow)</p>	<p>Measure the minimum width of the specimen after exposure and subtract the value from the width of the specimen before exposure.</p>

Fig. 3 The method for measurement of corrosion depth of each specimen.

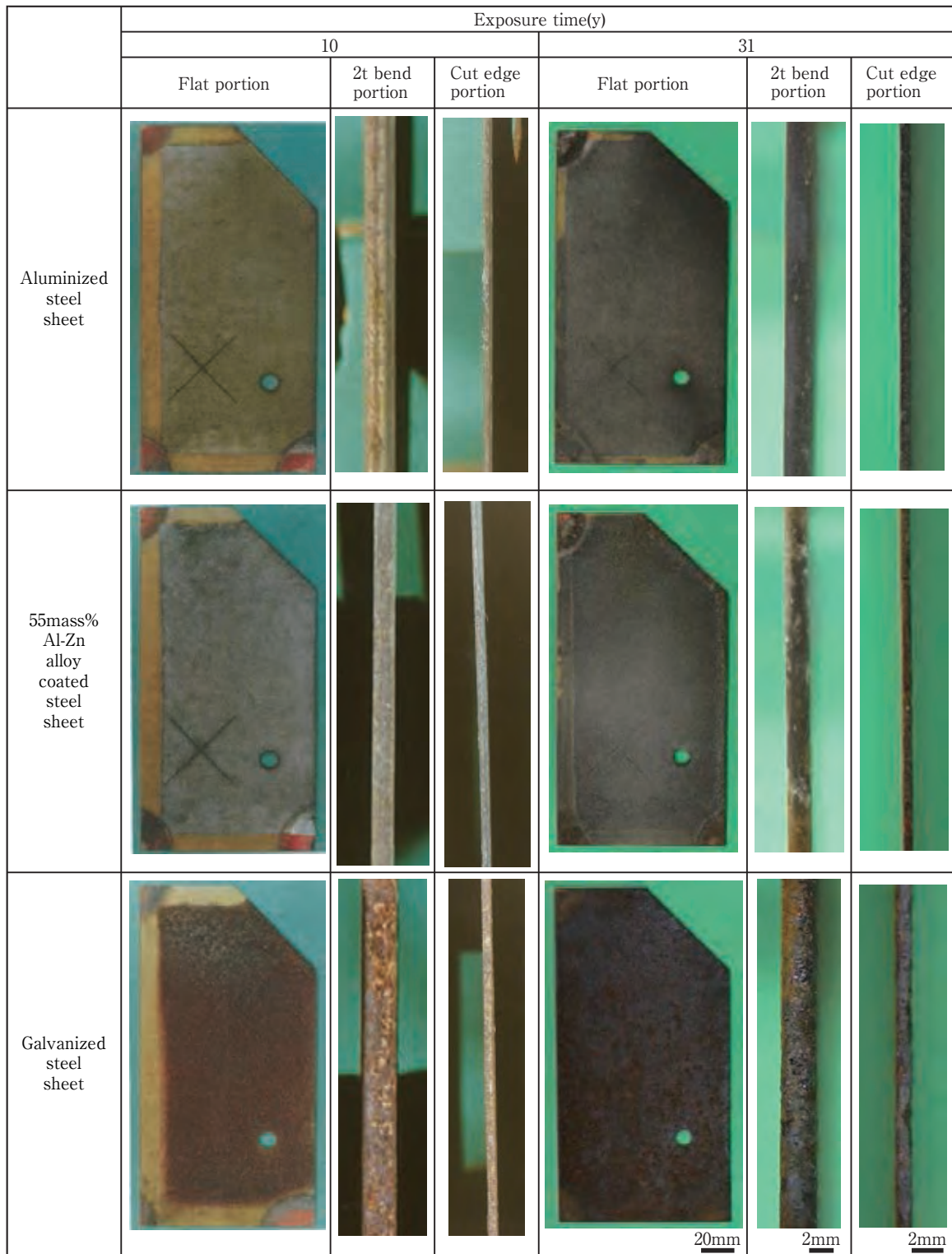


Fig. 4 Surface appearance of specimens exposed in Singapore for 10 years and 31 years.

錆となり、暴露31年では赤錆がこぶ状に成長するほど腐食が進行している。

切断端面部については、いずれの供試材とも2t曲げ部とはほぼ同様な外観変化を示す。

3.2 めっき層の腐食形態

各試験片のめっき層および鋼素地の腐食状態を調査するため、31年暴露材の断面観察を各部位で行った。

(1) 平坦部

Fig. 5 に平坦部について断面観察した結果を示す。Alめっき鋼板はめっき層に部分的な腐食の進行がみられ、鋼素地がわずかに侵食されている箇所も認められる。しかし、めっき層が健全に残存している箇所は多く、全体的に腐食は軽微といえる。55%Al-Znめっき鋼板では、めっき層の腐食が網目状に進行し、めっき層自体が部分的に鋼素地から浮き上がるという特徴的な腐食形態を示す。これは腐食の進行に伴い、めっき層-合金層界面で

形成された腐食生成物が膨張すること起因する^{2) 3)}。なお、Znめっき鋼板では暴露31年になるとめっき層が完全に消失し、鋼素地が著しく侵食されている。

(2) 2t曲げ部

2t曲げ加工部は、Fig. 6 に示すとおり、Alめっき鋼板、55%Al-Znめっき鋼板とも曲げ加工で生じためっき層のクラック発生部で鋼素地の侵食が認められる。しかしその程度は軽微であり、平坦部の鋼素地侵食状況と比較しても大差ないレベルである。めっき層に関しても、両めっ

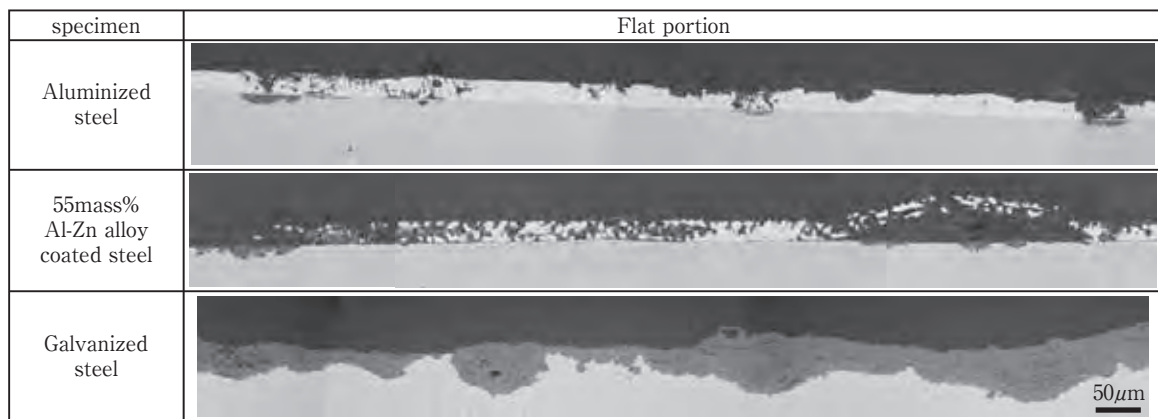


Fig. 5 Cross-sectional structure of each specimen after 31 years of exposure.

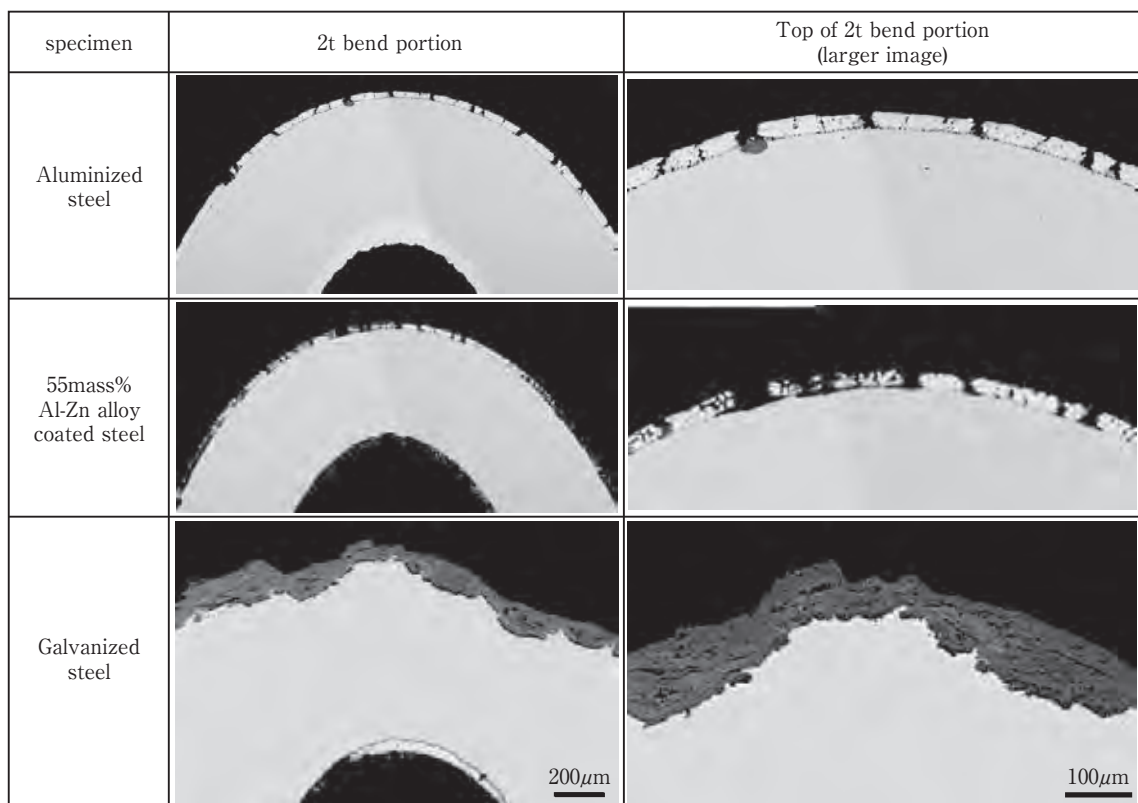


Fig. 6 Cross-sectional structure of 2t bend portion of each specimen after 31 years of exposure.

き鋼板とも暴露31年後もほぼ残存していることがわかった。Znめっき鋼板は平坦部と同様にめっき層の残存は認められず、鋼素地が著しく侵食されている。

(3) 切断端面部

Fig. 7 に切断端面部の腐食状況の一例を示す。Alめっき鋼板では、シャー切断によるめっき層の回り込みがない鋼素地露出箇所において鋼素地の侵食が認められ、その部分には厚さ100 μm 程度の腐食生成物が存在している。端面近傍のめっき層は平坦部と比べるとやや腐食が進行しているが、めっき層が健全に残存している部分も多く観察され、比較的軽微な腐食状況であるといえる。55%Al-Znめっき鋼板も、鋼素地露出部はAlめっき鋼板と同様に鋼素地の侵食が認められる。しかし、切断端面部近傍のめっき層は平坦部と比べて腐食の進行が著しく、めっき層がほぼ消失した状態となっており、端面からの腐食長さは約5mmであった。この長さはFig. 4

の平坦部外観観察で認められた切断端面近傍の赤錆、白錆が盛り上がっている幅に対応する。これらに対して、Znめっき鋼板は平坦部、曲げ加工部同様に鋼素地の侵食が著しく、めっき層が完全に消失している。

3.3 腐食生成物

暴露31年後の各溶融めっき鋼板の平坦部、2t曲げ部、切断端面のそれぞれの腐食部位について、EPMAにて元素分布状態を調査した。

(1) 平坦部

Fig. 8 に平坦部における腐食生成物の元素分布を示す。Alめっき鋼板ではめっき層表層全域にAl-Fe-O-Sからなる腐食生成物が生成している。また、鋼素地が侵食された部位についてもAl-Fe-O-Sから成る腐食生成物で覆われている。55%Al-Znめっき鋼板のめっき層最表層にはAlめっき鋼板と同様にAl-Fe-O-Sから成る腐食生成

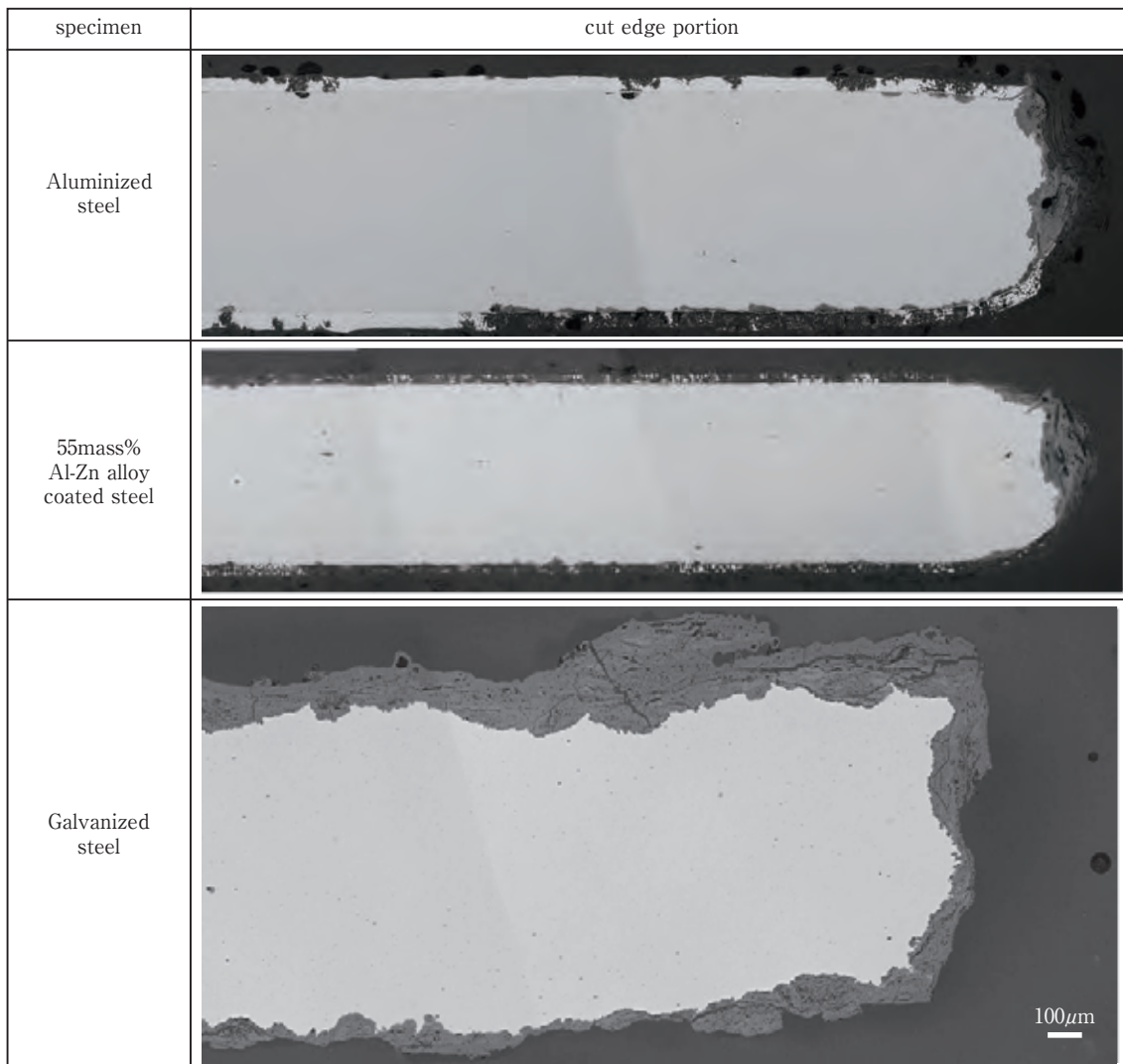


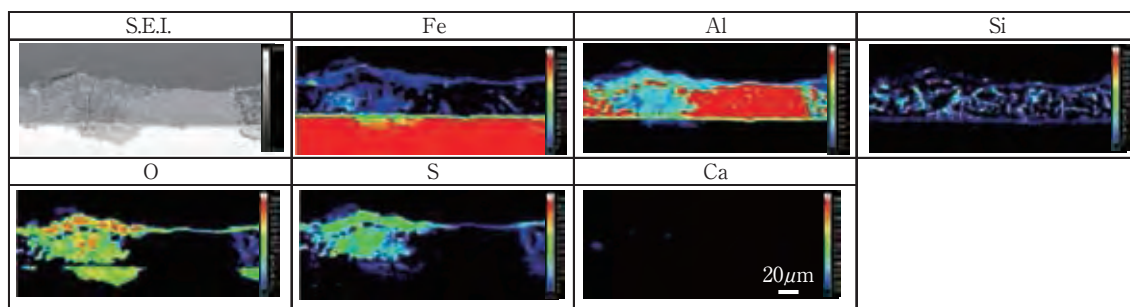
Fig. 7 Cross-sectional structure of cut edge portion of each specimen after 31 years of exposure.

物が存在しており、その腐食生成物中には、めっき層の主成分であるZnは含まれていないことがわかる。また、55%Al-Znめっき鋼板のめっき層が押し上げられる特徴的な腐食を示す箇所も、主としてAl-O-Sから構成される腐食生成物から成り、その部分にZnはほとんど検出されない。一方、Znめっき鋼板は、めっき層が完全に消失しており、わずかにSを含むFe、Oから成る腐食生成物が形成されている。

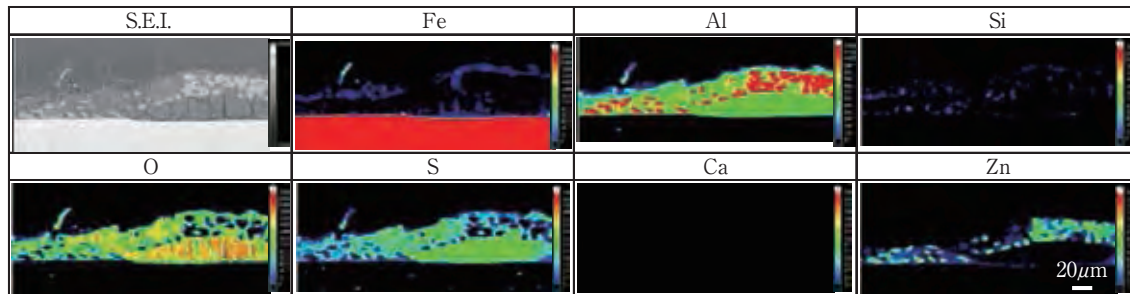
(2) 2t曲げ部

Fig. 9 に2t曲げ部における腐食生成物の元素分布状態を示す。Alめっき鋼板の2t曲げ部のめっき層表層は、平

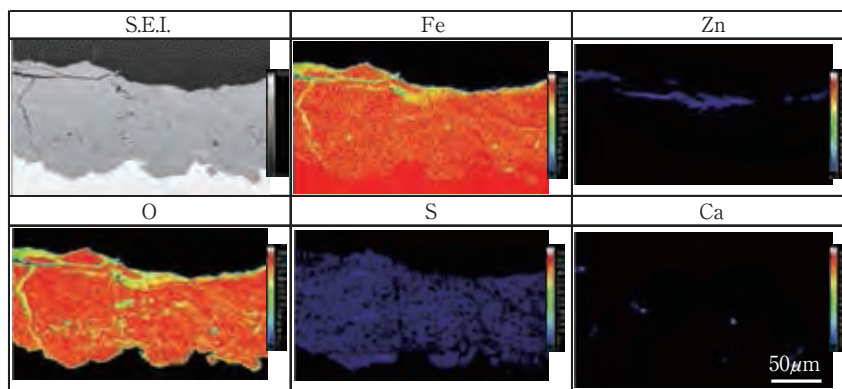
坦部と同じくAl-Fe-O-Sから成る腐食生成物で覆われている。また、めっき層にクラックが生じた部位にも平坦部と同様にAl-Fe-O-Sから成る腐食生成物が生成しているが、その下層側にはCaが存在していることがわかった。Caは雨水や海塩粒子に由来する元素と推定されるが、Caはめっき層表層の腐食生成物には含まれず、鋼素地露出部にのみ存在している。また、55%Al-Znめっき鋼板の2t曲げ部は、平坦部とは異なり、最表層がAl-Fe-O-Sを主とする腐食生成物で覆われ、その下層にAl-Zn-Fe-O-Sから成る層が形成されている。また、曲げ加工時のクラックによって鋼素地が露出していたと思われ



(a) Aluminized steel sheet



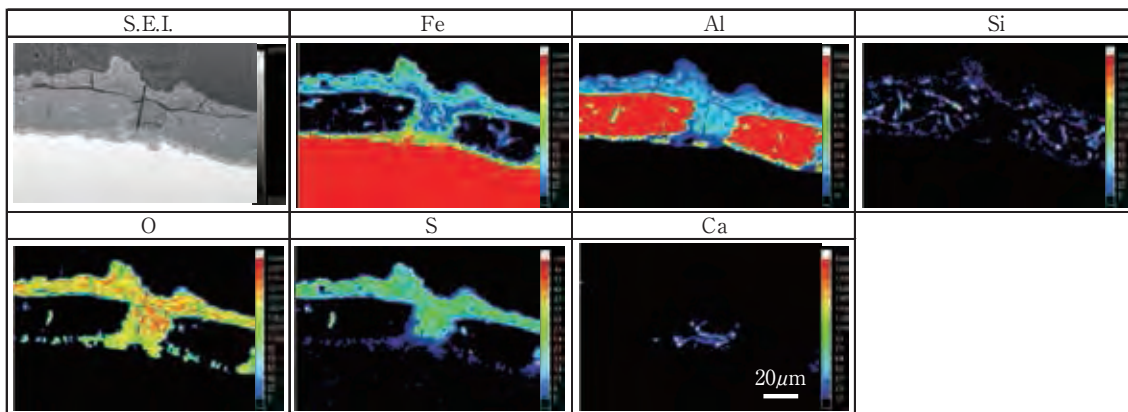
(b) 55mass%Al-Zn alloy coated steel sheet



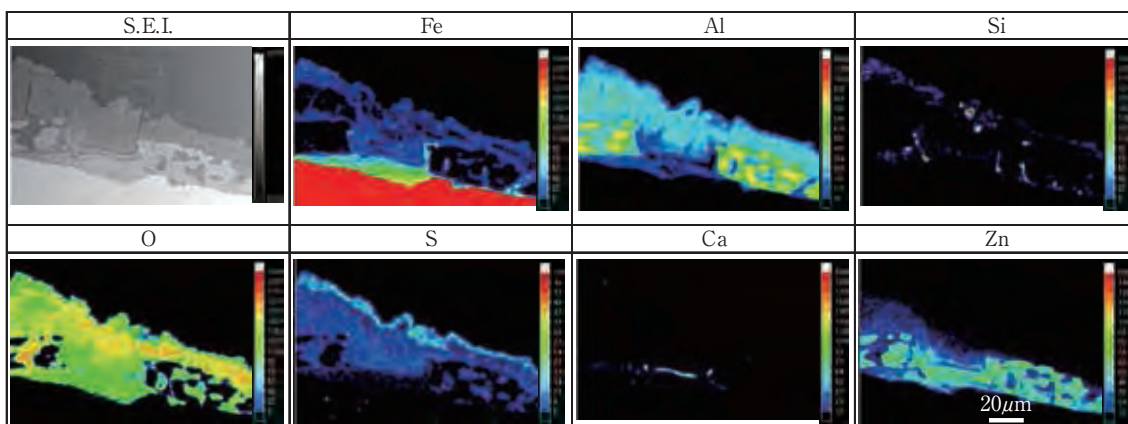
(c) Galvanized steel sheet

Fig. 8 Cross-sectional structure and distributions of elements in corrosion products formed on flat portion after 31years of exposure.

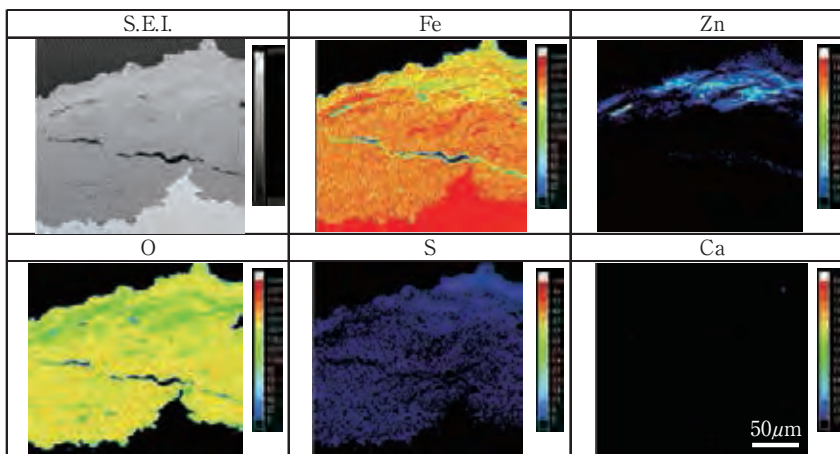
(a) Aluminized steel sheet (b) 55mass%Al-Zn alloy coated steel sheet (c) Galvanized steel sheet



(a) Aluminized steel sheet



(b) 55mass%Al-Zn alloy coated steel sheet



(c) Galvanized steel sheet

Fig. 9 Cross-sectional structure and distributions of elements in corrosion products formed on 2t bend portion of aluminized steel after 31years of exposure.

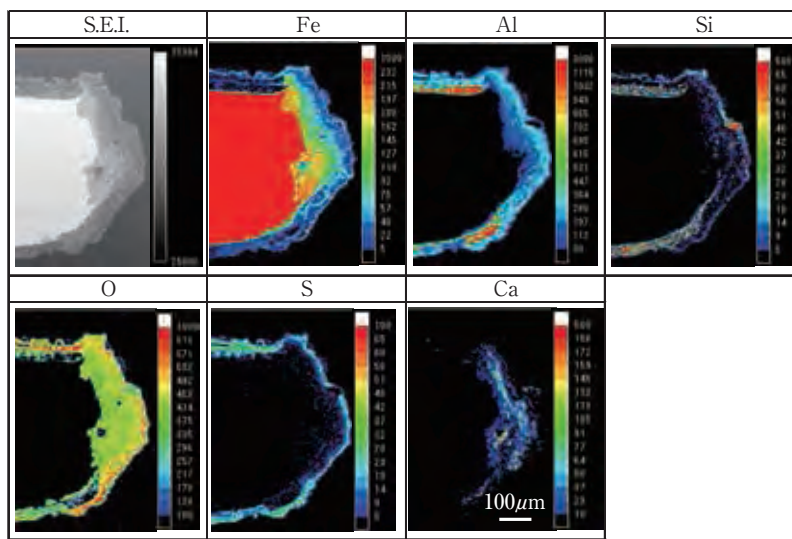
(a) Aluminized steel sheet (b) 55mass%Al-Zn alloy coated steel sheet (c) Galvanized steel sheet

る部位の腐食生成物下部には、Alめっき鋼板と同様にCaの存在が認められた。Znめっき鋼板の2t曲げ部は平坦部と同様に、わずかにSを含むFeとOから成る腐食生成物が形成され、その上部はZnを含む腐食生成物で覆われている。なお、Alめっき鋼板および55%Al-Znめ

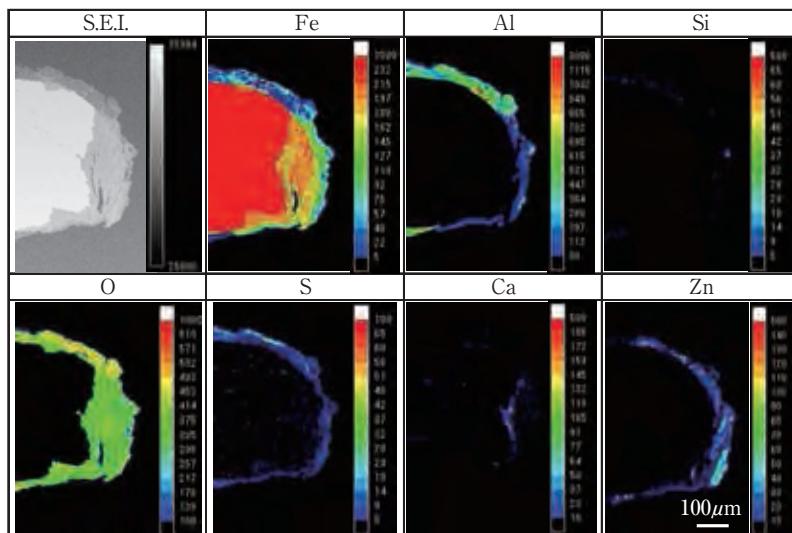
っき鋼板で検出されたCaの存在は認められない。

(3) 切断端面部

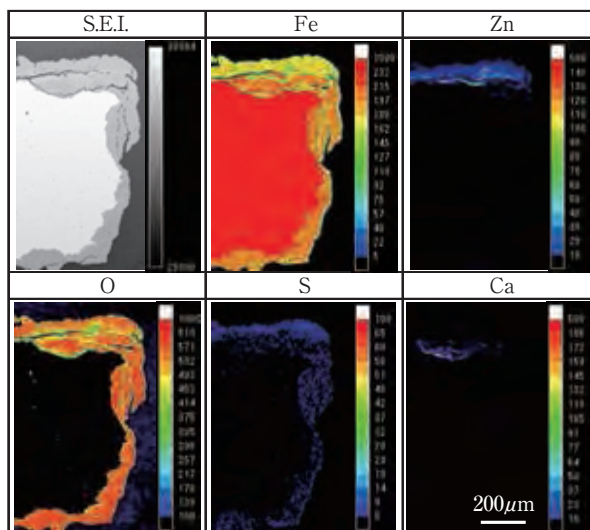
Fig.10に切断端面部のEPMA分析結果を示す。Alめっき鋼板の切断端面部は、平坦部、2t曲げ部と同様に、Al-Fe-O-Sから成る腐食生成物で全面覆われている。ま



(a) Aluminized steel sheet



(b) 55mass%Al-Zn alloy coated steel sheet



(c) Galvanized steel sheet

Fig.10 Cross-sectional structure and distributions of elements in corrosion products formed on cut edge portion after 31years of exposure.

(a) Aluminized steel sheet (b) 55mass%Al-Zn alloy coated steel sheet (c) Galvanized steel sheet

た2t曲げ部と同様に鋼素地が露出した部分にのみCaが存在していることがわかった。次に55%Al-Znめっき鋼板では2t曲げ部と同様にAl-Fe-O-SおよびAl-Fe-Zn-O-Sの2層から成る腐食生成物で覆われている。鋼素地露出部でのAl, Sの検出強度は、Alめっき鋼板に比べ低い。また、その部分にCaの存在も確認されるが、その検出強度はAlめっき鋼板に比べ低い。一方、Znめっき鋼板の腐食生成物は、平坦部、2t曲げ部と同様にFe, Oが主体であり、鋼素地露出部ではCaの存在は認められない。

3.4 鋼素地の侵食深さ

31年暴露した各溶融めっき鋼板の平坦部、2t曲げ部および切断端面部それぞれの鋼素地最大侵食深さを測定した結果をFig.11に示す。平坦部におけるAlめっき鋼板お

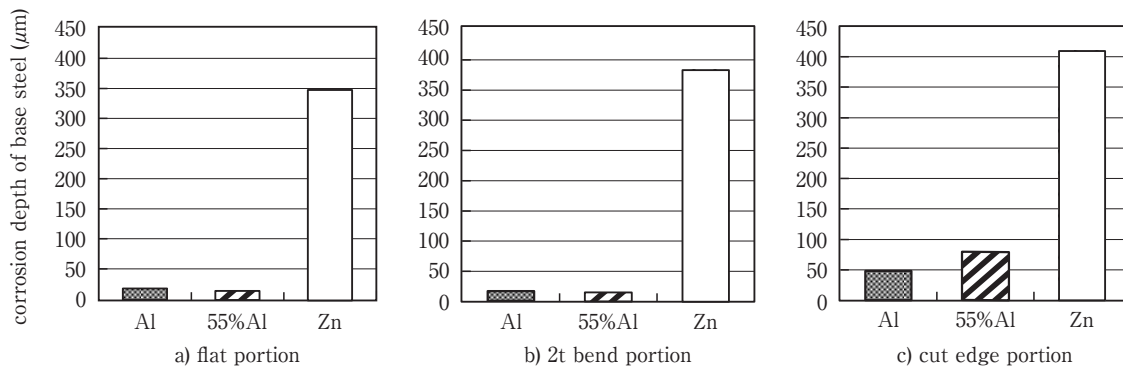


Fig.11 Corrosion depth of base steel of each specimen after 31 years exposure.

Al: Aluminized steel sheet
55%Al: 55mass%Al-Zn alloy-coated steel sheet
Zn: Galvanized steel sheet

よび溶融55%Al-Znめっき鋼板における侵食深さは15～20 μmであり、Znめっき鋼板の侵食深さが350 μmに達するのに比べて非常に軽微である。

Alめっき鋼板および55%Al-Znめっき鋼板の2t曲げ部の侵食深さは、加工によってめっき層に鋼素地まで達するクラックが生じているにもかかわらず、平坦部とほぼ同等の侵食深さを示し、軽微な腐食程度であることがわかった。一方、Znめっき鋼板の侵食深さは380 μm程度であり、平坦部と同様に非常に大きな値を示す。

切断端面部の侵食深さは、Alめっき鋼板が48 μmであるのに対し、55%Al-Znめっき鋼板は80 μmであり、Alめっき鋼板の方が鋼素地の侵食は小さい。切断端面部は平坦部や2t曲げ部に比べて鋼素地の露出が大きい部位であることから、その侵食深さは平坦部や2t曲げ部に比べて大きな値を示すが、Znめっき鋼板の切断端面部の侵食深さ400 μmと比べると小さい値である。

4. 考察

4.1 各めっき鋼板の平坦部腐食挙動の比較

Znめっき鋼板はFig. 4に示すように暴露10年で全面赤錆が生じ、めっき層が完全に消失している。これに対して、Alめっき鋼板および55%Al-Znめっき鋼板の平坦部は暴露31年後もめっき層の消耗はわずかであり、非常に良好な耐食性を示す。Alめっき鋼板と55%Al-Znめっき鋼板はいずれもAl, S, Oを含む腐食生成物からなることをFig. 8に示した。これらの腐食生成物は、大気中のSO₂の酸化により生成されるSO₄²⁻を取り込んで形成され、固着性があり、かつ化学的に安定であるとされ²⁾、Alめっき鋼板および55%Al-Znめっき鋼板の高耐食性に

寄与していると考えられる。Fig.12にAlめっき鋼板および55%Al-Znめっき鋼板の腐食減量を示す。Alめっき

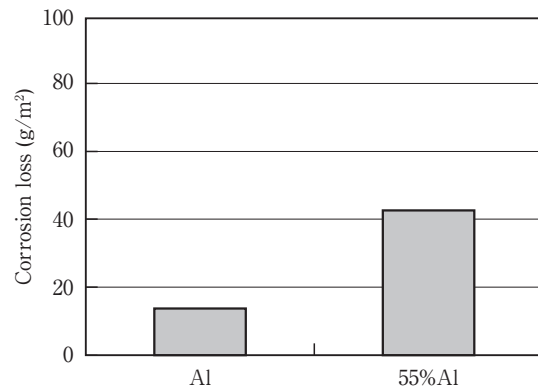


Fig.12 Corrosion loss of coating layer of each specimen after exposure.

Al: Aluminized steel sheet
55%Al: 55mass%Al-Zn alloy-coated steel sheet

鋼板の腐食減量は55%Al-Znめっき鋼板の約1/3程度であり、Alめっき鋼板の方が高い耐食性を示すといえる。55%Al-Znめっき鋼板では、めっき層-合金層界面にめっき層を押し上げるように腐食生成物が形成されるのに対して、Alめっき鋼板ではそのような現象はみられず、めっき層の上にAl-Fe-O-Sから成る安定な腐食生成物が形成される。このことがAlめっき鋼板の耐食性が優れる一因であると考えられる²⁾。

4.2 鋼素地露出部の防食機構

Alめっき鋼板は、平坦部のみならず、2t曲げ部および切断端面部の鋼素地が露出した部分においても優れた耐食性を有し、暴露31年においても鋼素地の侵食は非常に小さいことが明らかとなった。そこで、その防食能を詳細に調査するため、鋼素地露出部分が大きい切断端面部を取り上げ、検討を行った。調査は切断端面部に生成した腐食物について、X線回折による同定、SEM観察およびEPMA分析を実施した。

Fig.13は切断端面部の腐食生成物の微小部X線回折結

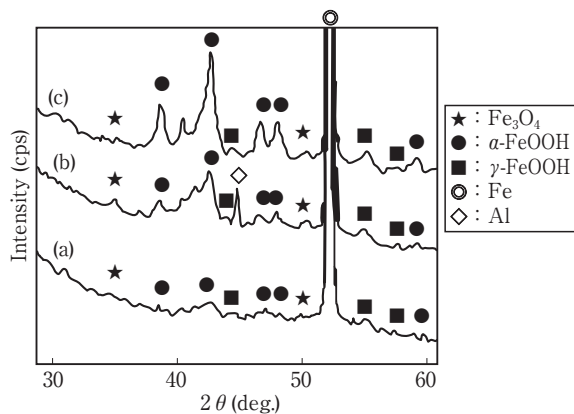


Fig.13 X-ray diffraction patterns of corrosion products on a cut edge portion of each specimen after 31 years exposure. (a) Aluminized steel, (b) 55mass%Al-Zn alloy coated steel, (c) galvanized steel.

果である。Alめっき鋼板は、 α -FeOOH、 γ -FeOOHが主体となる腐食生成物といえるが、そのピークは不明瞭であり、結晶性に乏しい腐食生成物も多く存在しているものと推察される。これに対して55%Al-Znめっき鋼板とZnめっき鋼板は、 α -FeOOH、 γ -FeOOHとわずかに Fe_3O_4 が検出され、両者は明瞭なX線回折ピークパターンを示す。内田らは、Alめっき鋼板および55%Al-Znめっき鋼板の平坦部には保護性の高い腐食生成物が形成されるが、これらの腐食生成物は結晶性に乏しいことを述べている²⁾。シンガポールで暴露試験を行ったAlめっき鋼板の切断端面部にも類似の腐食生成物が形成され、Alめっき鋼板切断端面部の高耐食性に寄与していると推察される。

Fig.14に切断端面部の腐食生成物をSEMで観察した結果を示す。Znめっき鋼板では腐食生成物中に空隙が存在し、ポーラスな状態となっていることが認められる。これに対して、Alめっき鋼板および55%Al-Znめっき鋼板の腐食生成物中には空隙が非常に少ないことがわかる。このことから、Znめっき鋼板よりも腐食生成物が緻密で腐食因子の遮断効果に優れていると考えられる。また、Alめっき鋼板では腐食生成物が何層にも重なり層状となる特徴的な形成状態となっている。

さらにその部分を詳細調査するため、Fig.15にミクロ的に観察した切断端面部のEPMA分析結果を示す。Alめっき鋼板は最表層部がAl-Fe-O-Sから成る腐食生成物で覆われ、その下層にAl-Fe-O-Ca主体の腐食生成物が形成されている。この腐食生成物は層状に形成され、Fe検出強度の強い層とAl強度の強い層が交互に積層していることが認められる。またCaはFeが強く検出される層のみに存在していることがわかった。55%Al-Znめっき鋼板およびZnめっき鋼板ではAlめっき鋼板でみられた層状の腐食生成物は認められず、層状の腐食生成物の形成はAlめっき鋼板特有の現象であるといえる。松本らは、切断端面部を模擬した鋼素地露出部を形成し

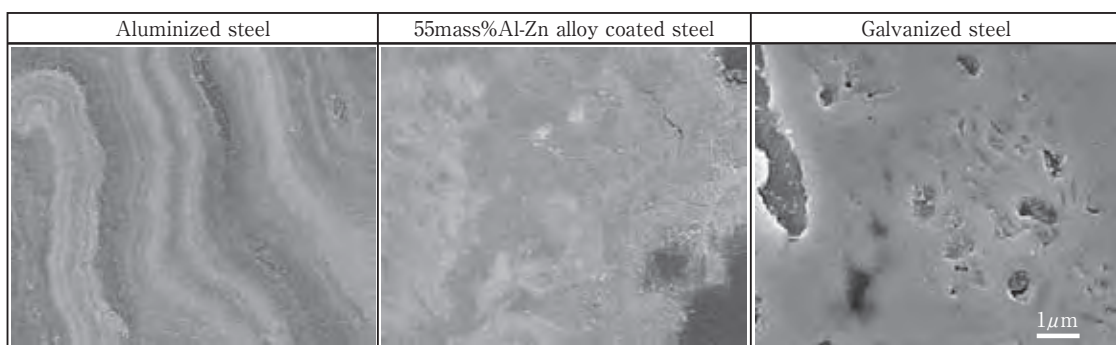
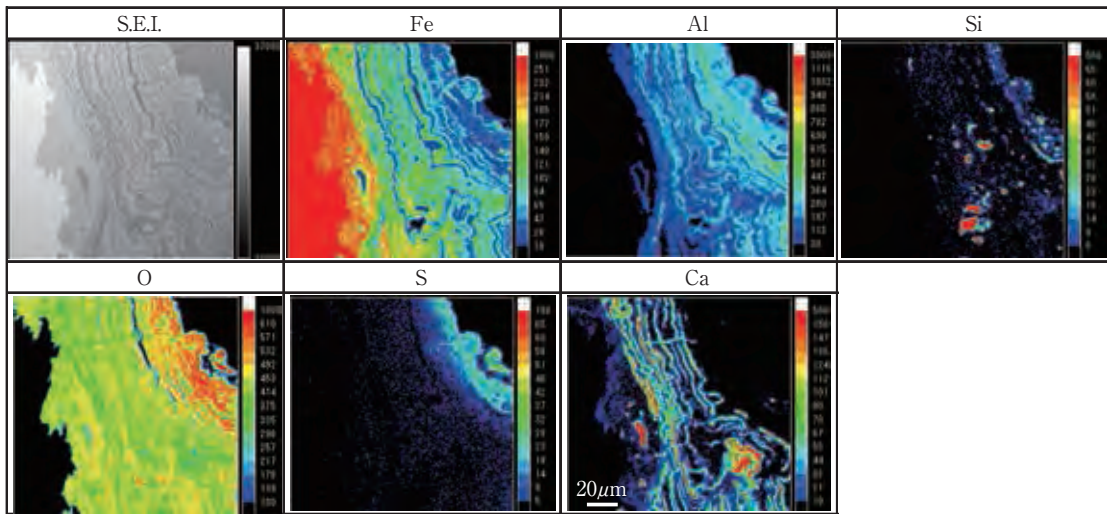
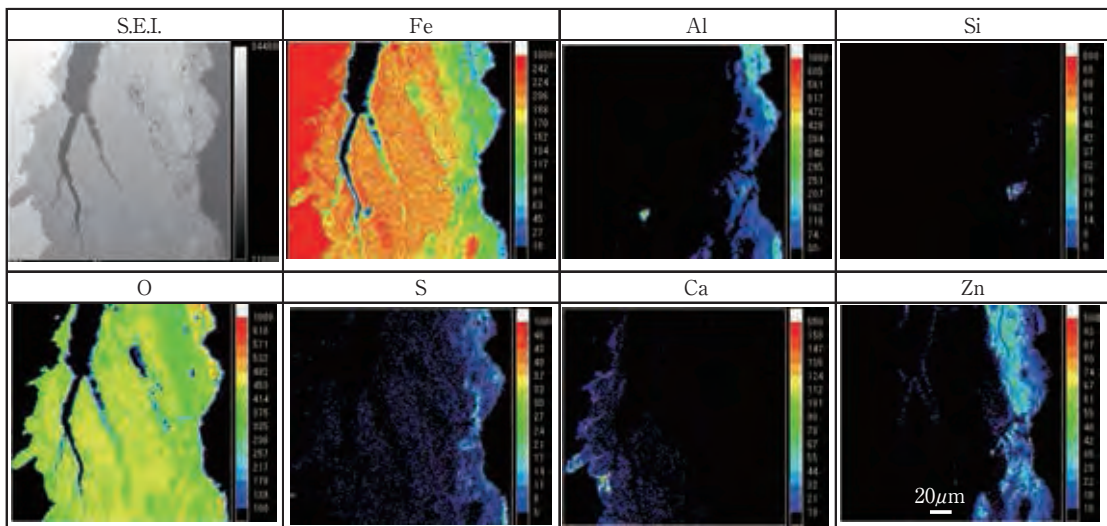


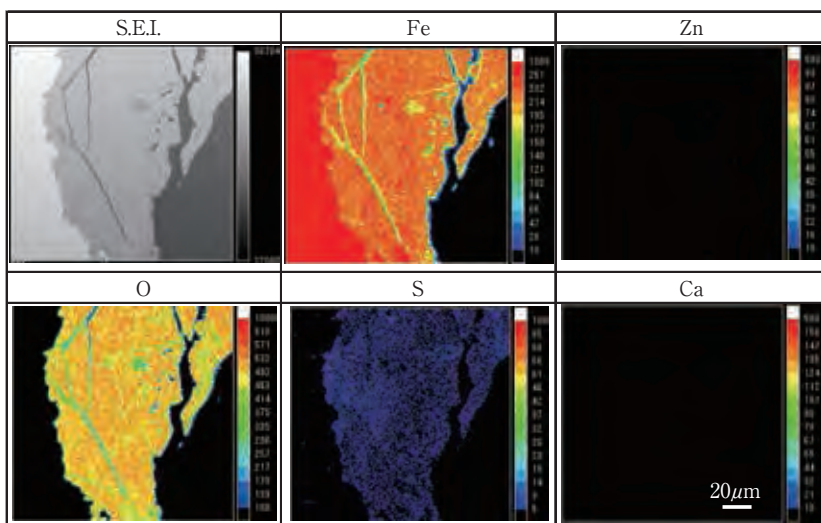
Fig.14 Cross-sectional structure of corrosion products formed on cut edge portion of each specimen after 31 years exposure.



(a) Aluminized steel sheet



(b) 55mass%Al-Zn alloy coated steel sheet



(c) Galvanized steel sheet

Fig.15 Cross-sectional structure and distributions of elements in corrosion products formed on cut edge portion after 31years of exposure.

(a) Aluminized steel sheet (b) 55mass%Al-Zn alloy coated steel sheet (c) Galvanized steel sheet

た55%Al-Znめっき鋼板にCa²⁺を含む人工海水を連続噴霧して、その模擬端面部に形成された腐食生成物中にCaCO₃が存在していることを報告している。その中で、この腐食生成物は電気絶縁性を有するとともに酸素の拡散障壁として機能することで優れた腐食抑制効果を有すること、ならびに模擬端面部では溶存酸素還元反応によってpHが上昇し、溶解度積を超えたCaCO₃が析出することを述べている²⁰⁾。今回、屋外暴露環境下のAlめっき鋼板および55%Al-Znめっき鋼板で、いずれも鋼素地側にCaを含む腐食生成物が認められた。それら腐食生成物の形成過程や、防食効果におよぼすCaの影響は不明であるが、上述と類似の機構によって、Caを含む腐食生成物が鋼素地露出部に生成することでCaが強く検出されるAlめっき鋼板が31年暴露においても高耐食性を有している可能性が考えられる。これらについては今後さらに詳しく調査を行う予定である。

5. 結 言

Alめっき鋼板、55%Al-Znめっき鋼板およびZnめっき鋼板についてシンガポールで31年間の屋外暴露試験を行い、各めっき鋼板の耐食性および腐食挙動を調査した。得られた結果は以下の通りである。

- (1) Alめっき鋼板は平坦部および鋼素地露出部のいずれにおいても55%Al-Znめっき鋼板あるいはZnめっき鋼板よりも優れた耐食性を示す。
- (2) Alめっき鋼板および55%Al-Znめっき鋼板の平坦部には、固着性があり化学的に安定なAl-Fe-O-Sからなる腐食生成物が形成される。この腐食生成物が長期にわたり高耐食性を示す要因であると考えられる。
- (3) 切断端面部においてAlめっき鋼板が55%Al-Znめっき鋼板より優れた耐食性を有するのは、切断端面部に形成される腐食生成物が保護性の高い結晶性に乏しい層であることと、最表層部がAl-Fe-O-Sを主とする層で覆われ、さらにその下層部にCaが層状に存在するAl-Fe-O-S-Ca層が形成されることに起因すると考えられる。

参考文献

- 1) 真木純, 伊藤輝明, 田野和広: 表面技術, 51 (2000), 1229.
- 2) 内田幸夫, 三吉泰史, 広瀬祐輔: 日新製鋼技報, 55 (1986), 26.
- 3) 川口洋充, 三吉泰史, 橘高敏晴: 日新製鋼技報, 78 (1998), 52.
- 4) 大居利彦, 高瀬朗, 鷲山勝, 島田聰一: CAMP-ISIJ, 9 (1996), 1281.
- 5) 大居利彦, 山下正明, 島田聰一: CAMP-ISIJ, 10 (1997), 1231.
- 6) 真木純: 表面技術, 62 (2011), 20.
- 7) 吉崎布貴男, 服部保徳, 三吉泰史, 清水剛: 日新製鋼技報, 87 (2006), 1.
- 8) 吉崎布貴男, 服部保徳, 三吉泰史, 安藤敦司: Tetsu-to-Hagane, 89 (2003), 180.
- 9) 吉崎布貴男: 防錆管理, 52 (2008) 1.
- 10) Steel Statistical Yearbook 2014, world steel association, (2014), 81.
- 11) Steel Statistical Yearbook 2004, world steel association, (2004), 79.
- 12) Steel Statistical Yearbook 1994, world steel association, (1994), 143.
- 13) Steel Statistical Yearbook 1984, world steel association, (1984), 33.
- 14) 秋岡幸司, 今井和仁, 松本雅充, 星野信也: 防錆管理, (2010) 204.
- 15) 石川博司: 塗装工学, 36 (2001), 7, 251.
- 16) 竹内武: 防錆管理, 41 (1997), 45.
- 17) National Environment Agency, "Weather Statistics", National Environment Agency, <http://app2.nea.gov.sg/weather-climate/climate-information/weather-statistics>, 2014年11月13日参照
- 18) 気象庁, "過去の気象データ・ダウンロード", 気象庁 <http://www.data.jma.go.jp/gmd/risk/obsdl/index.php>, 2014年11月13日参照
- 19) 清水剛, 吉崎布貴男, 三吉泰史, 安藤敦司: 日新製鋼技報, 85 (2004), 11.
- 20) 松本雅充, 岡田信宏, 西原克浩, 木本雅也, 工藤越夫, 藤本慎司: Zairyo-to-Kankyo, 59 (2010), 468