

# 複数暴露条件下での WIRE-ON-BOLT 試験による金属腐食性の評価

日本軽金属株式会社 花崎昌幸

## 1. 緒言

JIS Z 2381 に規定される大気暴露試験条件は、南向き・30度或いは45度が基本的な暴露条件であり、弊社ではこれまで種々のデータを収集してきた。その結果、多くのアルミニウム合金の大気暴露試験における最大孔食深さの値は大雑把に言って  $300 \pm 100 \mu\text{m}$  の範囲内であり、1年経過後も10年経過後も大差ない結果が得られている。しかしながら各種構造物や実使用環境に用いられる製品を見ると、北向き面や直接風雨に曝されない部位での腐食が量的に多いことが明らかであり、必ずしも JIS 暴露条件とは整合した結果となっていない。

そこで国内2箇所の大気暴露試験場において WIRE-ON-BOLT 試験体を用いて、暴露角度・方位を変えた条件において金属腐食性の比較を試みた。本報では、27ヶ月間実施した各種金属材料の暴露条件による腐食挙動の相違について報告する。

## 2. 実験方法

### 2.1 供試材

供試体は ASTM G116-93 に準拠して普通鋼、SUS304 鋼、プラスチックボルトに巻き付けた A1070 線の腐食減量を求め、その重量減少率(%)の多寡によって評価を行った。一方オープンコイル供試体はアルミニウム線そのものの腐食量を示している(図1参照)。

また各条件におけるアルミニウム合金板の腐食挙動評価のため 1100-H14, 5052-H34 材(70×150mm)を供試した。

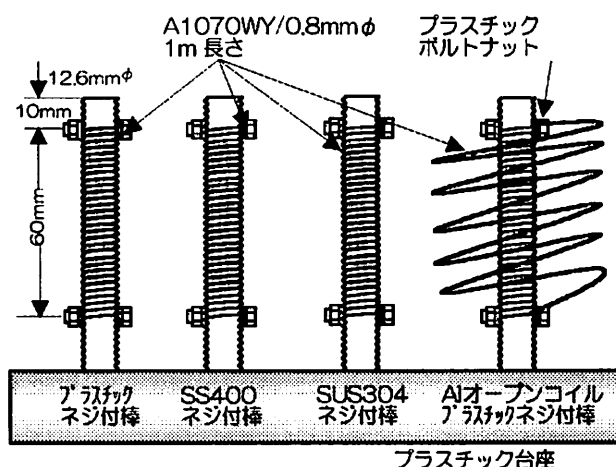


図 1. 各種 WIRE-ON-BOLT 試験体

### 2.2.1 嘉弥真島大気暴露試験

図 2 に示すように、弊社嘉弥真島大気暴露試験場において海に背を向けた北向き条件で、垂直から水平までの5暴露角度条件と比較の南向き・30度暴露に

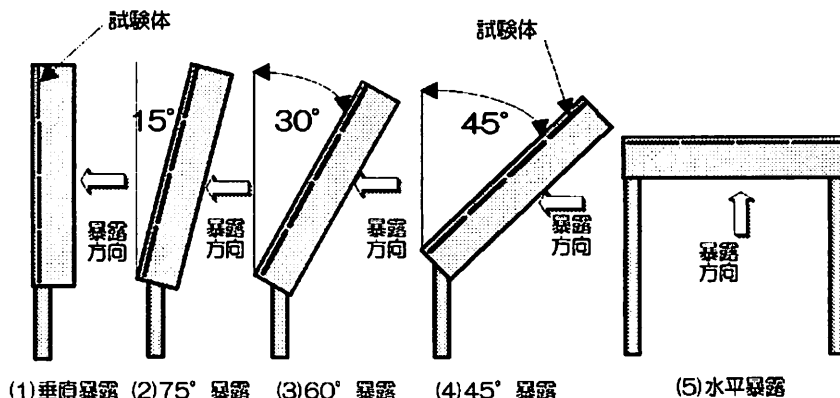


図 2. 暴露試験条件

より評価を実施した。

## 2.2.2 JWTC 銹子大気暴露試験

写真 1 に示すように（財）日本ウェザリングテストセンター殿銹子暴露場に設置された軒天井暴露状況を模擬した小屋の軒部分（東西南北面）に WIRE-ON-BOLT 試験体を、軒天井に平行方向と直角方向の 2 暴露条件で取り付けて金属腐食性を評価し、南向き・30 度（JIS 暴露条件）も併せて評価した。

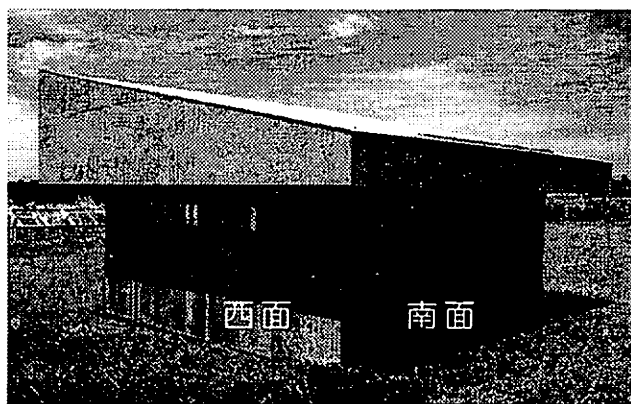


写真 1. JWTC 銹子暴露場軒天暴露施設

## 2.2.3 試験期間

試験は 1998 年 7 月～2000 年 10 月までの 27 ヶ月間実施した。WIRE-ON-BOLT 試験 1 ユニットの暴露期間は 90 日間である。板材は 9・21・27 カ月間試験を行った。

## 3. 結果及び考察

### 3.1 嘉弥真島大気暴露試験結果

#### 3.1.1 暴露角度と腐食量の関係

##### 1) WIRE-ON-BOLT 試験結果

図 3 に Al-Fe 対のアルミニウム線重量減少率（海洋腐食性指数）の経時変化を示す。また各種指数（平均値）と暴露条件との関係を図 4 に、暴露条件による鋼腐食性とアルミニウム腐食性との関係を図 5 に示す。海洋腐食性指数は季節要因を比較的敏感に検知しており、各年度とも 7～10 月の台風襲来時期に指数が大きくなっている。

そして Al-Fe 対における普通鋼の発錆状況は、南向き 30 度、北向き・垂直、北向き・75 度暴露条件で、鋼製ボルトに赤橙色のいわゆる積層錆生成が著しく、それに伴って巻き付けられるアルミニウム線の腐食が多くなっている。北向き・45 度や

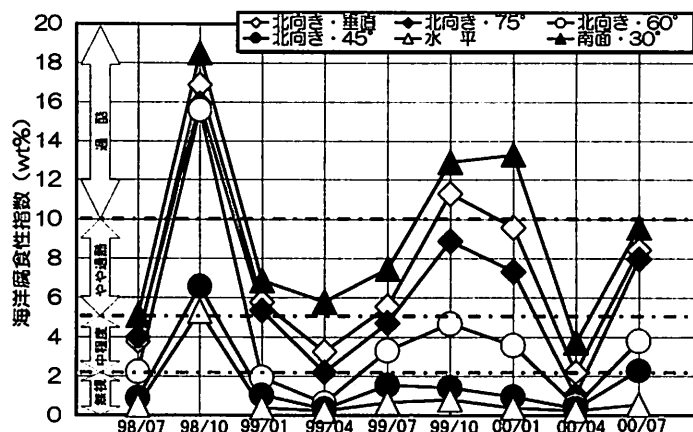


図 3. 暴露条件を変えた場合の海洋腐食性指数経時変化

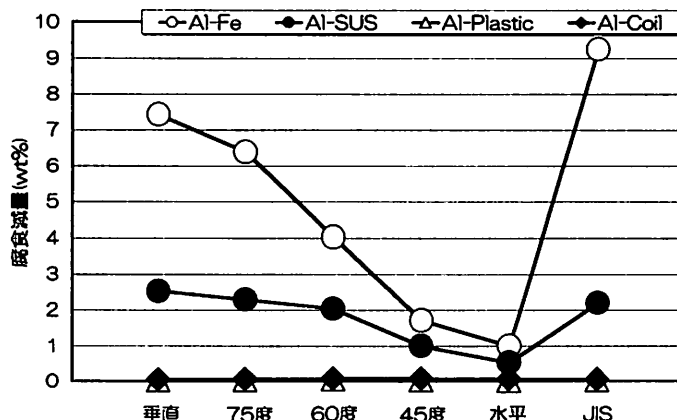


図 4. 各組合わせボルト材腐食性指数と暴露条件の関係

水平暴露条件における鋼製ボルト表面は赤味がかった黒褐色の緻密錆の付着が認められ、接触しているアルミニウム線の腐食も他暴露条件より少なくなっている。この際の鋼製ボルト錆層の X 線回折による同定結果は表 1 に示すようであり、 $\alpha$ -FeOOH 量とアルミニウム線腐食量（鋼との接触腐食程度：発錆程度）とが似た傾向にある。

表 1. 鋼製ボルト錆層の X 線回折による同定結果\*

	錆量	$\beta$ -FeOOH	$\alpha$ -FeOOH	$\gamma$ -FeOOH	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	$\alpha$ -Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
北向き・垂直	多	11.0	20.2	100	44.5	9.9
北向き・75度	多	2.5	14.1	100	39.3	5.1
北向き・60度	多	15.6	49.5	100	41.1	44.3
北向き・45度	少	11.5	77.9	100	54.8	21.6
水平	少	97.7	139.2	100	28.8	0
南向き・30度	多	5.4	11.7	100	25.6	0
測定ピーク位置	—	11.6°	21.0°	26.9°	30.0°	33.0°

\*各成分の積分回折強度と  $\gamma$ -FeOOH の積分回折強度との比を 100 倍した値。

Al-SUS 対でのアルミニウム線腐食性指数は絶対量が少ないものの、暴露条件と接触腐食量の関係が Al-Fe 対の挙動と酷似している。

Al-Plastic 対や Al-Coil 重量減少率は極めて小さく、0.5%以下に留まっている。

Al-Plastic 対は暴露条件による差が認められない。同様に Al オープンコイルも暴露条件による差は認められない。これらのカップルにおいては全般に僅かではあるがオープンコイルの腐食量が多くなっている。これは Al-Plastic 対における Plastic ボルトとアルミニウム線の間で隙間腐食の影響を受けにくいことを示唆している。

## 2) アルミニウム板材と暴露条件の関係

### ① 腐食面積について

A1100P-H24 材と A5052P-H34 材の 27 ヶ月間経過後のレイティングナンバと暴露条件の関係を図 5 に示す。この 5 種類の北向き暴露条件（水平条件含む）と南向き・30 度暴露条件では腐食面積、腐食形態とも大きく異なっている。即ち、JIS 暴露条件では RN9.5 以上と腐食の発生が軽微であるのに対し、合金種に

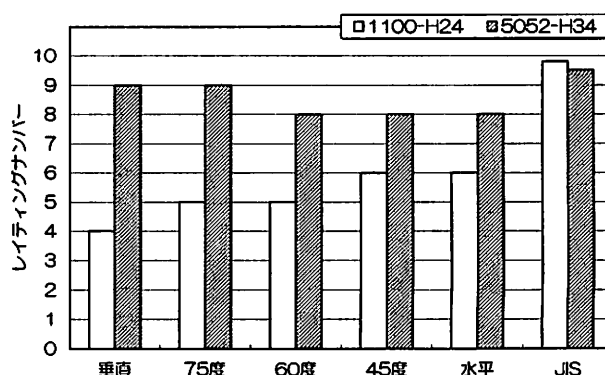


図 5. 腐食面積率と暴露条件との関係

よって差はあるものの軒天状態を模試した条件で腐食面積が大きくなっていることが判る。2 種類の合金とも南向き・30 度暴露条件と顕著な差が認められるのは北向き・60 度、45 度及び水平暴露条件である。

### ② 腐食量について

各暴露条件での 27 ヶ月間暴露試験後の腐食量測定結果を図 6 に示す。この結果は合金種の影響が顕著に現れており、マグネシウムを少量含む A5052P-H34

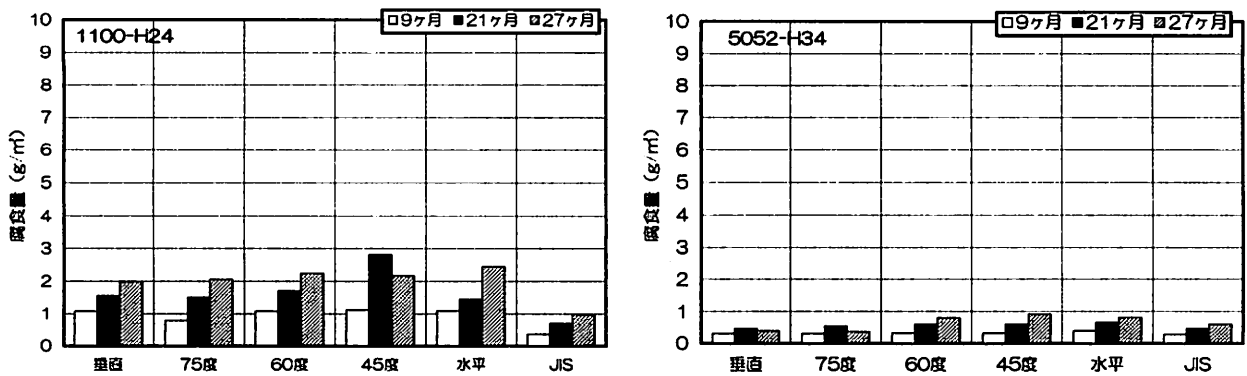


図 6. 腐食量と暴露条件の関係

材の優れた耐食性が確認された。しかしながら A1100-H34 材も侵食量は  $1 \mu\text{m}/\text{year}$  以下であって特に問題となる数値ではない。また暴露条件による差は南向き・30度暴露条件が少ない他はそれほど明瞭な差があるわけではないが、両合金とも北向き・60度～水平暴露条件の間でやや大きい数値を示している。

### ③ 孔食深さについて

孔食深さ測定結果を図 7 に示す。2種類の合金を比較すると明らかに Al-Mg 系のほうが優れている値を示すが、純アルミ系合金 (A1100) であっても海浜地区の孔食最大値は  $130 \mu\text{m}$  程度であって、この値が他地域に比して大きい値ではない。また南向き・30度暴露条件が腐食量と同様に最も小さい値を示している。

この数値はこれまで実施された各種大気暴露試験結果と比して必ずしも大きな値ではない。

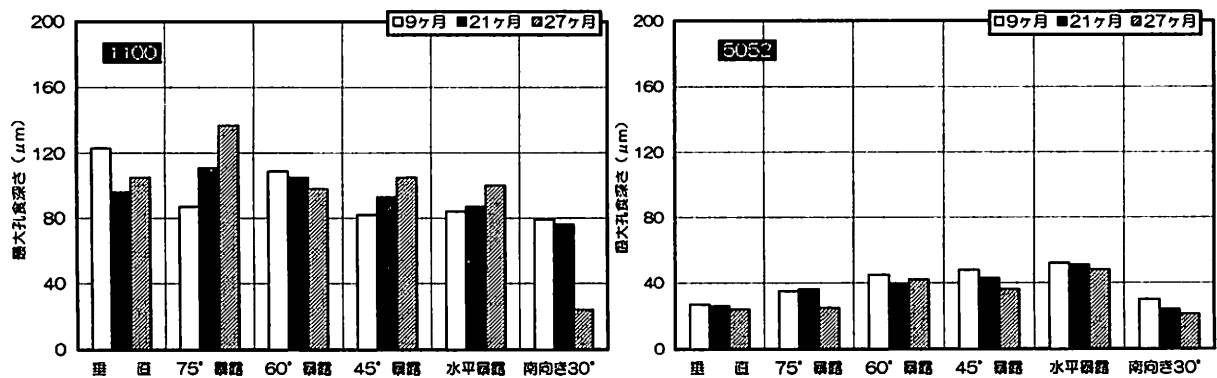


図 7. アルミニウム合金孔食深さと暴露条件の関係

これらの測定結果から、暴露条件を北向きに変えることによって南向き・30度暴露条件に比して腐食面積率が増加し、腐食量がやや増加する傾向が明らかになった。孔食測定結果は進行速度が小さいこと、必ずしも右肩上がりでないこと等を勘案するとバラツキの範囲内に留まっていることが考えられる。北向き暴露を行うことによって腐食量が増加し、孔食深さがそれほど変わらないため、腐食面積のみが増えていてと考えてもあながち無理がないと思われる。

### ④ 試験片付着元素分析結果

21ヶ月間経過後 A1100 試験片表面付着元素の蛍光 X 線分析結果及びイオンクロマトグラフ法による 27ヶ月間暴露試験片表面の付着塩素イオン量測定結果を

図 8 に示す。南向き・30 度暴露条件に比して何れの暴露条件ともアルミニウムの腐食に影響を与えると考えられる付着元素量が多いが、採取時期によって北向き・60 度が多かったり、北向き・45 度や水平暴露条件が多かったり変動が認められる。これは直近の気象条件により変化するものと考えられる。

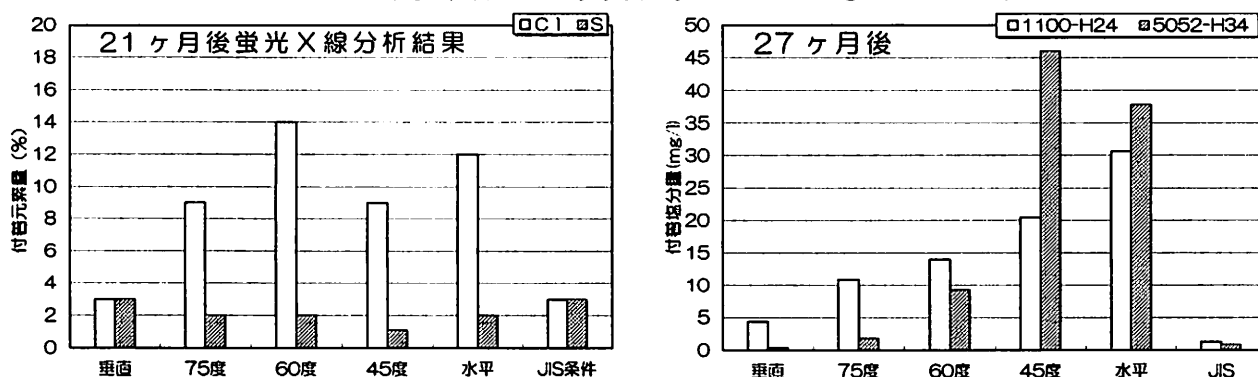


図 8. アルミニウム試験片表面の付着元素分析結果

### 3) 鋼材及びアルミニウム材共通の暴露条件について

図 9 に WIRE-ON-BOLT 試験結果と大気暴露試験後のアルミニウム腐食量を重ね合わせた結果を示す。

WIRE-ON-BOLT 試験はアルミニウムの異種金属接触腐食の大きさを測定しているといいながら、鋼腐食の多寡がそのまま影響していると言い換えることも出来る。従って鋼腐食の大きさを示していると考えた場合、アルミニウム単独の腐食と鋼材腐食は暴露条件によって全く異なる挙動を示すことが判る。即ち、アルミニウムの腐食が最も小さい南向き・30 度暴露条件が鋼腐食量が最も大きく、逆にアルミの腐食量が最も大きい北向き・60 度～水平暴露条件で鋼の腐食が低下するといった相反する挙動を示していることが明らかである。

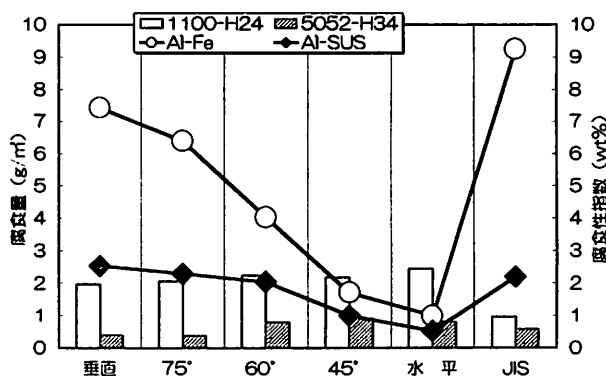


図 9. WIRE-ON-BOLT 試験結果とアルミ板腐食の関係

これらのことから鋼材とアルミニウムの腐食挙動を満足する条件（特にアルミニウムの異種金属接触腐食を再現する条件）は北向き・75～45 度暴露であると思われる。

## 3.2 JWTC 銚子大気暴露試験結果

### 3.2.1 各組み合わせにおける腐食挙動

#### 1) Al-Fe 対の腐食挙動

銚子暴露における Al-Fe 対の腐食性指数経時変化を図 10 に示す。銚子において腐食性指数のピーク時は梅雨を経過した時点であることが明瞭である。またそ

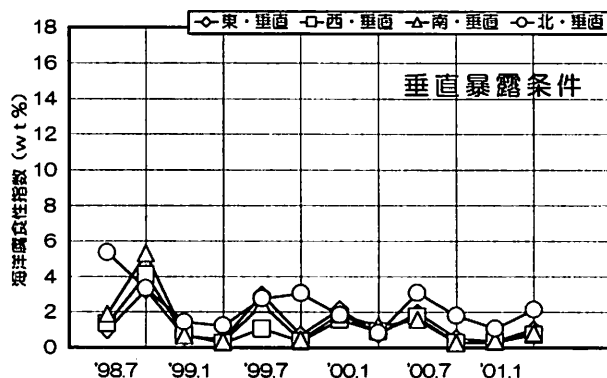
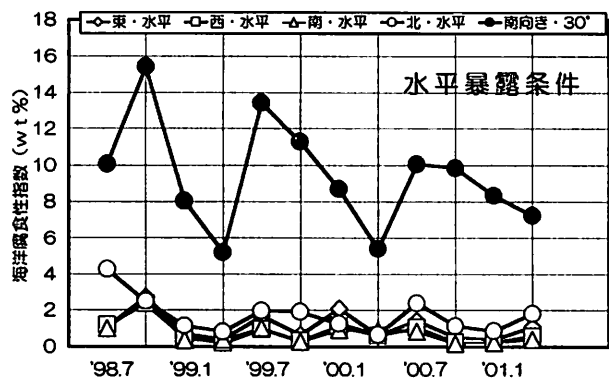


図 10. JWTC 銚子暴露場における Al-Fe 対の腐食性指数経時変化

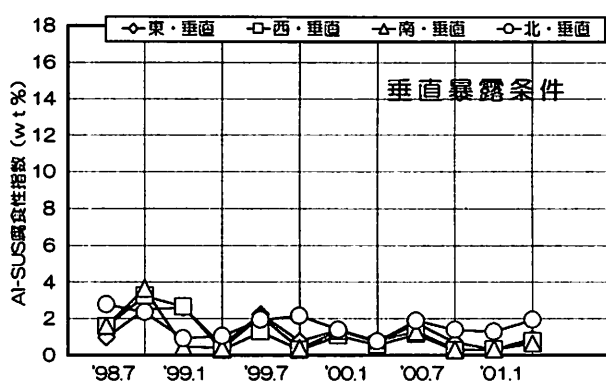
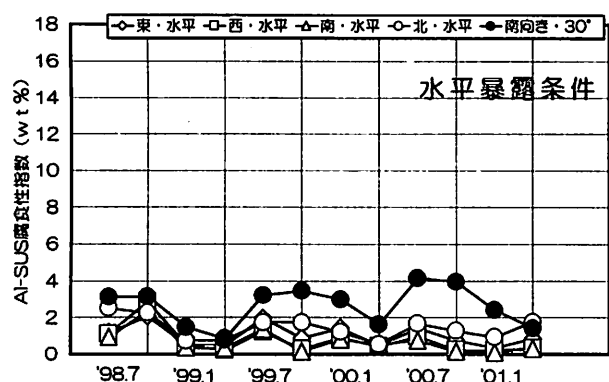


図 11. JWTC 銚子暴露場における Al-SUS 対の腐食性指数経時変化

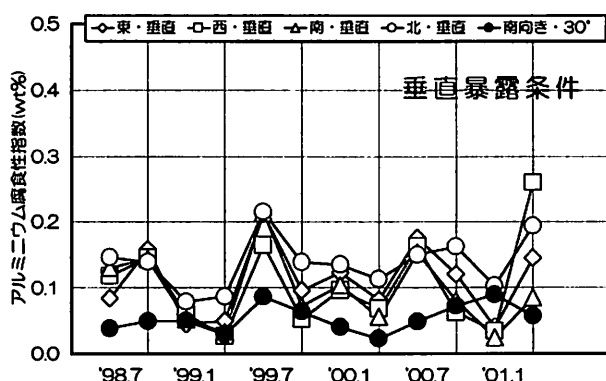
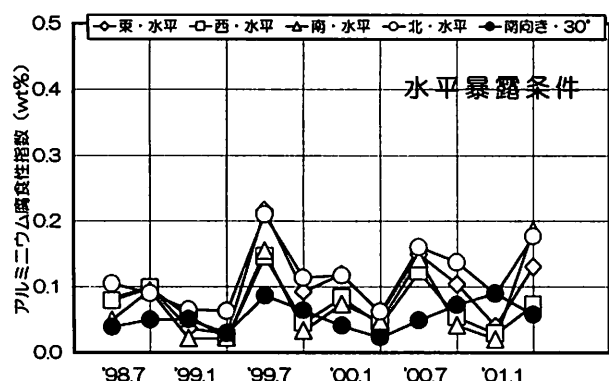


図 12. JWTC 銚子暴露場における Al-Plastic 対腐食性指数経時変化

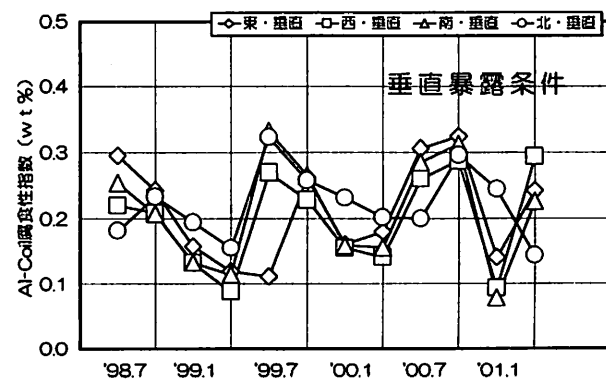
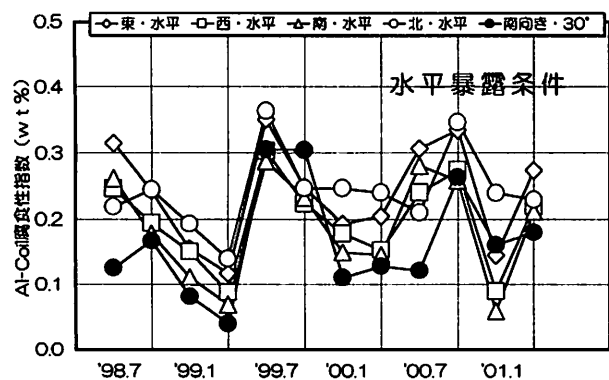


図 13. JWTC 銚子暴露場における Al-Coil 腐食性指数経時変化

の腐食性指数は南向き・30度暴露条件が突出しており、海から4kmと離れているにも関わらず、極めて高い結果が得られた。軒天井暴露条件は南向き・30度暴露条件よりもかなり低い指数で推移している。これは前項で述べたように普通鋼の腐食挙動と密接な関係があると考えられる。

2) Al-SUS 対の腐食挙動

Al-SUS 対の腐食性指数経時変化を図 11 に示す。季節変動の影響は Al-Fe 対とほぼ同様の挙動を示しているが、指数の大きさは嘉弥真島よりも軒天井暴露条件でむしろ高い値を示している。

3) Al-Plastic 対の腐食挙動

Al-Plastic 対の腐食性指数経時変化を図 12 に示す。指数の最大値は 0.3wt% 未満であり、異種金属接触腐食を伴わないアルミニウムの腐食性が極めて小さいことを示している。

4) Al-Coil 対の腐食挙動

Al-Coil 対の腐食性指数経時変化を図 13 に示す。指数最大値は 0.4wt% 未満と Al-Plastic 対に比してやや大きくなっている。

3.2.2 暴露方位の影響

1) 鋼材接触時の腐食挙動

普通鋼，SUS304 鋼製ボルト接触時の方位による指数平均値比較結果を図 14 に示す。指数は、南向き・30度暴露条件が飛び抜けて高い値を示している。東西南北面の方位による差は、北面がやや高い他は大差ない値となっている。

2) アルミニウム線単独の腐食挙動

単独暴露（Al-Plastic 対及びオープンコイル）時の方位による指数比較結果を図 14 に併記した。単独暴露では異種金属接触腐食接触よりも一桁小さい値を示す。この場合、南向き・30度暴露条件では数値が小さくなっているのが特徴である。方位は鋼材接触時と同様に北向き面がやや高い数値を示すことが判る。

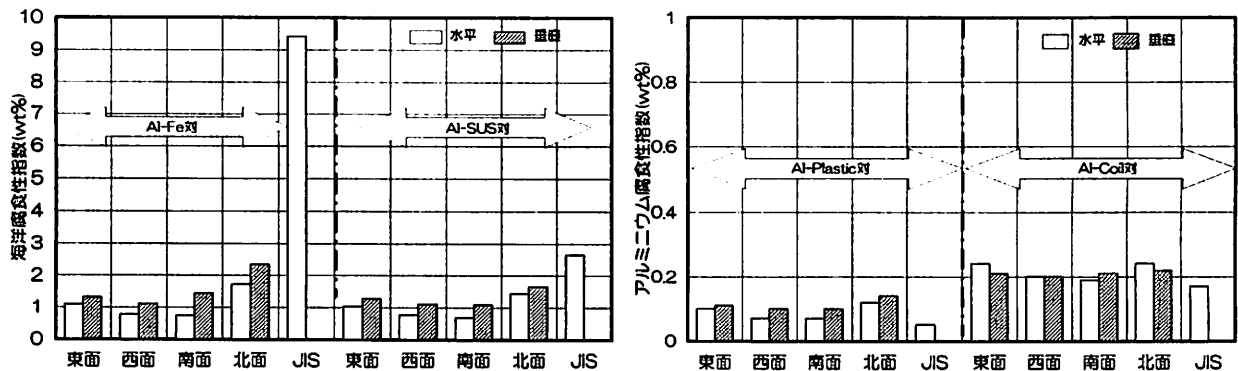


図 14. 暴露方位と腐食性指数の関係

3) 水平面・垂直面の腐食挙動

WIRE-ON-BOLT 試験体ユニットを暴露時に軒天井に取り付けた場合と、垂直壁面に取り付けた場合の差は Al-Fe 対，Al-SUS 対及び Al-Plastic 対では垂直面が各方位ともやや大きい指数を示した。Al-Coil のみ挙動にバラツキが見られた。

これは写真 2～3 に示すように、水・電解質や塵埃が溜まり易い垂直面において腐食性の差が顕れたものと考えられる。

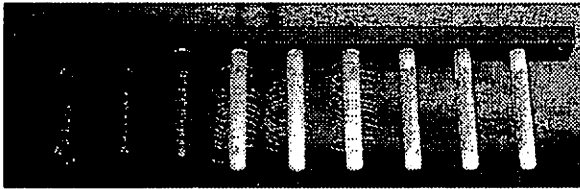


写真 2. 水平暴露面

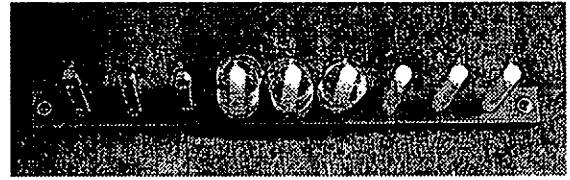


写真 3. 垂直暴露面

### 3.3 宮古島海岸暴露試験

同時併行して行われた宮古島海岸での WIRE-ON-BOLT 試験結果を図 15 に示す。JWTC3 暴露場と弊社嘉弥真島大気暴露試験場の環境腐食性比較結果を図 15 に併記した。

この結果宮古島海岸暴露場は著しい金属腐食性（特に鋼材）を有することが明らかとなった。鋼材が腐食することにより、短絡されているアルミニウム側にも悪影響が出るのが判る。アルミニウム単独ではこのような環境においても腐食性は極めて小さい。

当該暴露場は写真 4 に示すように岩礁の上に建造されており、多少の波高でも多量の海塩粒子が暴露場に供給されることが鋼材腐食を加速する要因であろう。

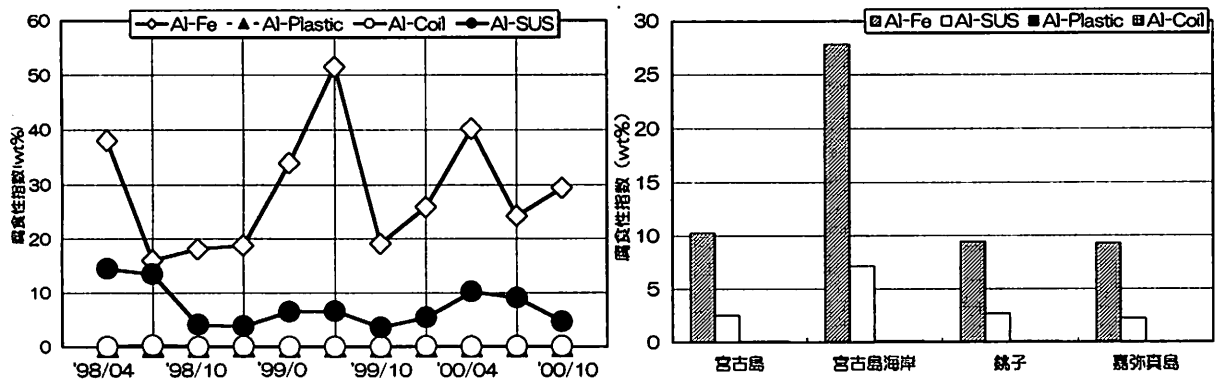


図 15. 宮古島海岸暴露場における WIRE-ON-BOLT 試験結果と他暴露場との比較

### 3.4 国内各地の環境腐食性

海からの距離と海洋腐食性指数の関係については平成 9 年度のウェザリング技術研究成果発表会で発表したが<sup>1)</sup>、今回のデータを追加して作図したのが図 16 である。多くの場合海からの距離で腐食性の大小が決定されるが、この図では腐食性の高いピ



写真 4. 宮古島海岸暴露場



ークが2箇所（海岸線の直近と1.7~4km近傍）に存在し、海からの距離という観点からは整合性のある曲線が得られない。その原因となったのが宮古島暴露場と銚子暴露場である。金属腐食性は飛来塩分量と濡れ時間で決定されると言われている。飛来塩分量は海からの距離だけで決定される訳ではなく、地勢上の影響を加味しなければならない。即ち、風上の地形が大きく影響する。海岸に岩礁が存在するか、テトラポットが投入されているかどうか、風の通り道であるかどうか等を総合的に判断する必要がある。直接的には試験体表面の付着塩分量を測定すればよいが、残留塩分は可溶性であるために直近の気象条件に大きく左右されることを念頭に置く必要がある。

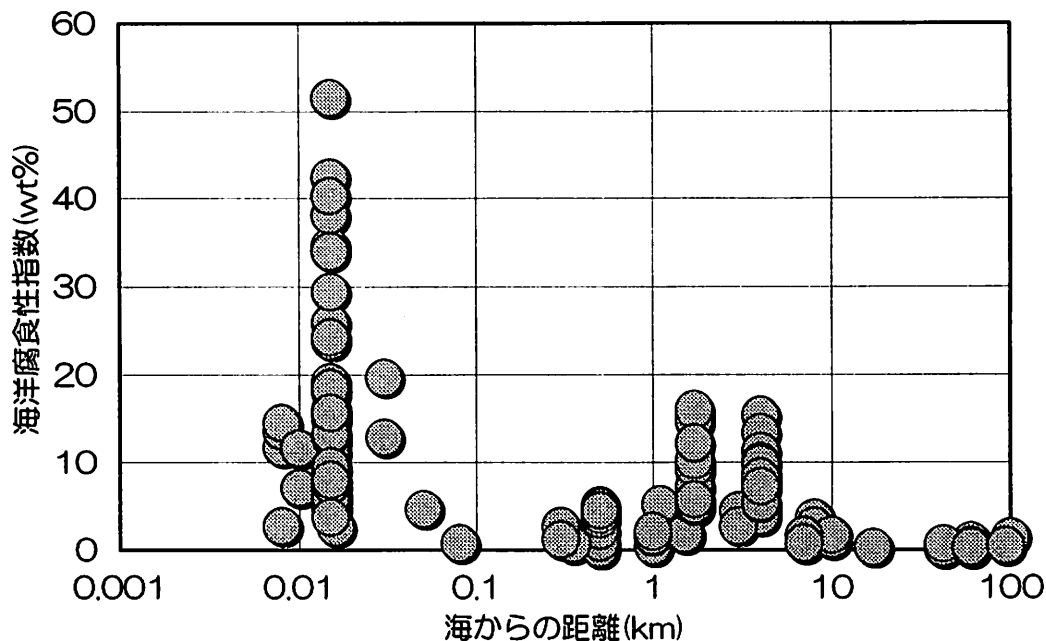


図 16. 海からの距離と WIRE-ON-BOLT 試験海洋腐食性指数との関係

#### 4. 終わりに

JIS Z 2381 に規定される南向き・30度暴露条件は、これまで感覚的に良好なアルミニウム耐食性データを得られると考えられてきたが、今試験結果から定量的に証明された。またアルミニウム製品の機能に影響を及ぼす異種金属接触腐食は、構造物の陰になる部位や軒天井部よりも屋外に曝される条件において大きく進行する可能性が予測されるようになった。

また建物の方位による影響は、アルミニウム材料においてはこれまで言われてきた建物の陰になりやすい北面で影響を受けることが数値的に明らかとなった。

これらの調査結果を元に、鋼材、アルミニウム合金共通の促進大気暴露試験方法として北向き・60度暴露条件（JIS Z 2381：南向き・30度暴露の裏側条件）を設定した。

現在、各種アルミニウム合金素材や表面処理材の暴露試験を開始し、より耐久性に優れた表面処理材の開発を目指してデータの収集に当たっている。これまでのところかなり加速性のあるデータが表面処理材でも得られている。

#### 引用文献

1) (財) 日本ウェザリングテストセンター編：ウェザリング技術研究成果発表会テキスト，(1997)，p38

#### 『謝辞』

本研究は財団法人日本ウェザリングテストセンター殿の多大なるご協力を仰いで実施された。ここに深甚の謝意を表すものである。