

アルミニウム合金の異種金属接触腐食と 環境腐食性評価法への応用

日本軽金属株式会社 花崎昌幸

1. はじめに

アルミニウム合金は表面に薄い緻密な自然酸化皮膜を有するため、自然環境中では優れた耐食性を有しており、100年を超える実績を示す事例も存在する。しかし電気化学的に卑な金属であるため、貴な金属と接触することにより多かれ少なかれ影響を受ける。最近ではアルミニウム製品のより厳しい腐食環境への展開が図られており、しかも製品が大型化していることからアルミニウム単独で使用されるケースは稀であり、異種金属との接触腐食防止は避けて通れない問題である。本講演では海浜地区におけるアルミニウム合金の異種金属接触腐食挙動とその防食対策及び異種金属接触腐食を利用した環境腐食性評価方法について述べる。

2. 海浜地区における異種金属接触腐食挙動¹⁾

2. 1 実験方法

1) 供試材料

①アルミニウム材料：JIS A 6063-T5陽極酸化材（9 μ m）及び複合皮膜材（陽極酸化9 μ m + アクリル電着塗装6 μ m）。

②接触異種金属：SM400B及びSUS304ボルトナット・ワッシャー（M16）を基材として、表1に示す各種表面処理を施した。

試験片は図1に示すように75×150mm寸法のアルミニウム材にSM400B及びSUS304ボルトナットを同材質のワッシャーを介して150kgf/cmのトルクで締結した。

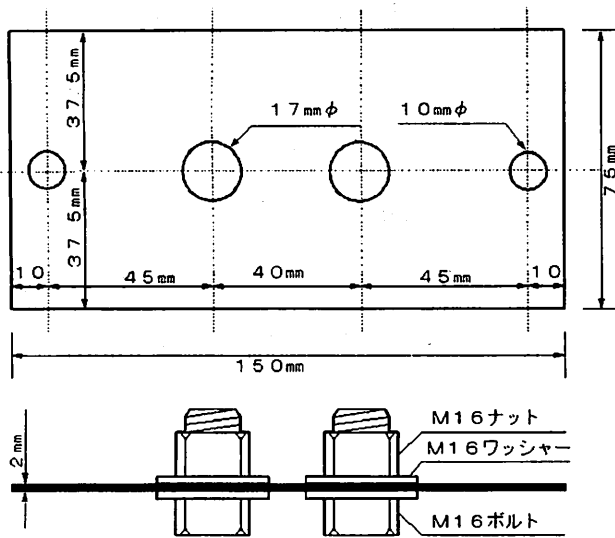
2) 暴露条件

暴露場所は弊社沖縄嘉屋真島試験場とした。該暴露場は北緯24°20′・東経123°0′に位置し、海拔2mで海からの直線距離は10

～15mである。暴露期間は1年及び3年とした（5年目は計測中）。

表1. 異種金属防食処理仕様

表面処理名		付着量 (g/m ²)	表面処理の系統
A	無処理	—	—
B	ダクロ処理	20	Zn粉末系化成処理(反応型クロメート)
C	ダクロ380処理	20	上記にコバルト塩添加
D	CZコート①	13	Znメカニカルフ ^レ ーティング ^ク + (反応型クロメート)
E	CZコート②	13	Znメカニカルフ ^レ ーティング ^ク + (塗布型クロメート)
F	Gコート SM400B	15	Al粉末系化成処理 (塗布型クロメート)
	SUS304	3	
G	サーマガード SM400B	48	Al粉末系化成処理+ふっ素変性 シリコン樹脂
	SUS304	4	



2. 2 試験結果

1) 供試体外観

SM400B 締結部材が発錆したのは、無処理材の他に CZコート、Gコート及びサーマガード等であった。また SUS304 材では無処理材の他に僅かではあるが、CZコート

図1. 接触腐食試験体の形状

やGコート等のアルミ粉末系処理に発錆が認められた。発錆した多くの表面処理鋼材と6063-T5材界面では、ワッシャー端に沿って円周上にアルミニウムの腐食生成物付着が、その下では孔食が発生している。無処理鋼材はSM400B、SUS304ともアルミニウムに深い孔食を生じさせている。この他ボルト穴周辺では無処理のSUS304接触部で腐食が生じ、SM400B接触部では侵食が認められなかった。

2) 孔食深さ

無処理のSM400B及びSUS304材と接触した陽極酸化処理材、複合皮膜材の孔食発生挙動を図2～3に示す。また各種表面処理を施した異種金属接触部の6063-T5材側に発生した孔食深さの比較結果を図4～5に示す。接触する相手材がSM400BであってもSUS304

であっても鋼材側が無処理の場合には、同じように深い孔食が主としてワッシャー近傍に発生する。

表面処理の効果は、Zn 末入り化成処理が最も高い。同じ Zn 末入り化成処理でもメカニカルプレーティングの場合には芯金からの鉄汚染によって Zn の自己消費速度が大きく、防食能の持続効果が小さいと推定される。

一方アルミニウム粉末系化成処理は、鋼部材の発錆進行と同時にアルミニウム側に孔食が発生しているものが存在する。粉末作成時にアルミニウム表面に生成する熱酸化皮膜の存在により、犠牲陽極効果を有していないことが原因と考えられる。さらに長期の暴露試験で発錆が進行していることから、長期的な防食能は期待できないものと思われる。

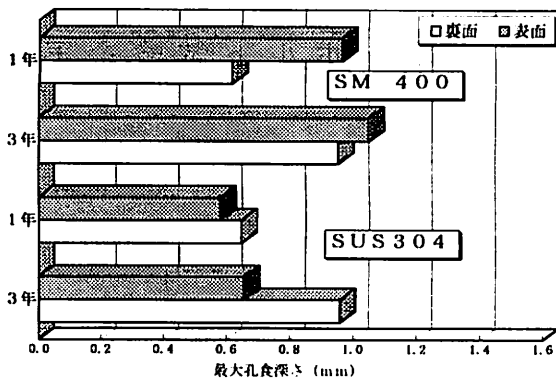


図 2 . 陽極酸化処理材と無処理鋼材接触時の最大孔食深さ

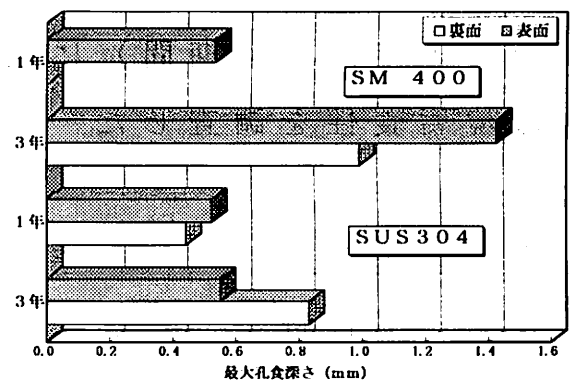


図 3 . 複合皮膜材と無処理鋼材接触時の最大孔食深さ

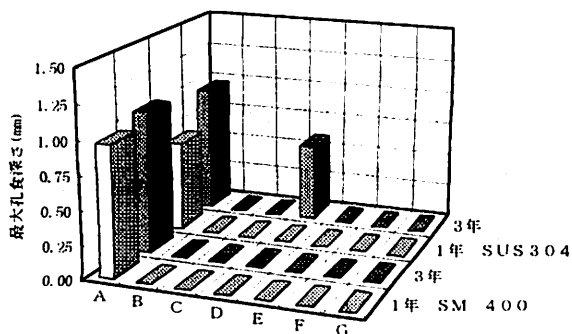


図 4 . 表面処理鋼材接触の影響 (陽極酸化皮膜材)

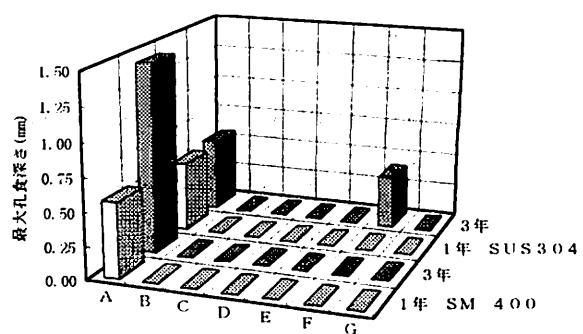


図 5 . 表面処理鋼材接触の影響 (複合皮膜材)

3. ワイヤーオンボルト試験

ワイヤーオンボルト試験はアメリカのベル研究所で接触腐食試験法として開発された。その後カナダのアルキャン社 (Alcan International Ltd.) が大気環境腐食性試験方法として評価方法を確立し、1993年には ASTM-G116 として規格化された。この方法はアルミニウムと鉄鋼の異種金属接触腐食を利用した環境腐食性調査のための電源のいらぬ一種のガルバニックセンサとして捉えることができる。

現在国内各地でアルミニウム合金の耐食性及び耐汚染性等に関する大気暴露試験が進行中であり、合計9箇所にも上っている。

これら暴露場大気腐食性を比較・評価すること、海からの距離と大気腐食性を明らかにすること及びワイヤーオンボルト試験の迅速試験法としての適性を評価することは、今後長期の金属耐久性を占う上で極めて有用であると考えられる。そこで各大気暴露試験場において1年間(4期間)に渡ってワイヤーオンボルト試験を実施し、環境腐食性を調査した²⁾。

3. 1 実験方法

1) カソード材料

一般的な鋼材種である SM400B をボルト材料とし、比較材としてナイロン 66 を用いた。寸法は ASTM-G116 試験片作成条件に準拠した。試験体の概要を図 6 に示す。

2) アノード材料

ボルト溝に巻き付けるアルミ線は JIS 1070WY(0.8mm φ) であり、1 供試体当たり約 1 m を使用した。組み合わせ試験体を以下に示す。

- イ) アルミニウム-鋼(SM400B)供試体
- ロ) アルミニウム-プラスチック(ナイロン 66) 供試体
- ハ) アルミニウム螺旋状オープンコイル供試体

3) 試験場所

試験場所は表 2 に示す通りの 9 暴露場である。

4) 暴露条件

塩化ビニール製台枠に固定された各供試体は、大気暴露試験架台に取り付け、1試験期間として90日間暴露した。試験は平成7年10月から開始し、平成8年10月までの4期間で評価を行なった。

5) 評価方法

評価はASTM-G116を採用せず、海洋腐食性指数・アルミニウム大気腐食性指数及びアルミニウムオープンコイル大気腐食性指数等を求めた³⁾。

① 海洋腐食性指数 (Marine Corrosivity Index : M.C.I.と略記)

海洋腐食性指数は、アルミニウム-鋼製ボルト試験体におけるアルミニウム線の腐食減量%より得られる。M.C.I.の値に基づく海洋腐食性指数のレベル区分は表3に示す通りである。

② アルミニウム大気腐食性指数 (Aluminium Corrosivity Index : A.C.I.と略記)

アルミニウム大気腐食性指数は、アルミニウム-プラスチック試験体のアルミニウム線重量減少率から計算できる。この値はプラスチックボルトとアルミニウム線間の隙間腐食量を内包する。

③ アルミニウムコイルの大気腐食性指数

この値はまさにアルミニウム線の大気中における腐食値である。

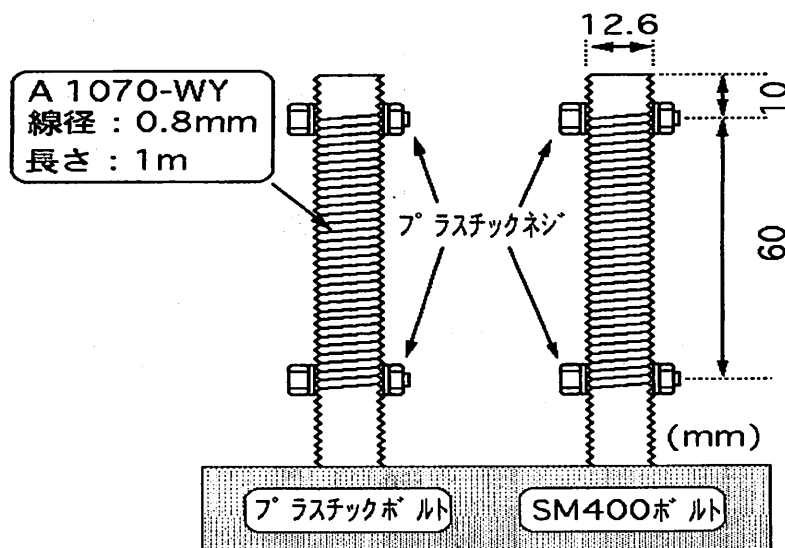


図6. ワイヤオンボルト試験体

表 2. ワイヤーオンボルト試験場所

暴露場所	海からの距離 (k m)	環境区分
土研沖縄大宜味村	0.008	南西諸島・海浜
土研江戸川河口	1.0	太平洋北・都市沿岸
土研つくば	42	太平洋北・内陸田園
土研東京大井南	0.5	太平洋北・都市沿岸
土研親不知海岸	0.015~0.1	日本海北・海浜
JWTC宮古島	1.7	南西諸島・沿岸
JWTC旭川	60	北海道東・内陸
JWTC銚子	4	太平洋北・準沿岸
日軽金沖縄嘉屋真島	0.015	南西諸島・海浜

表 3. M.C.I.の値に基づく海洋腐食性のレベル区分

M.C.I.	区 分	該 当 地
0 ~ 2	無視できる (Negligible)	平均的居住地
2 ~ 5	中程度 (Moderate)	海 浜
5 ~ 10	やや過酷 (Moderately Severe)	海浜で海に露出
10 ~ 20	過酷 (Severe)	海に露出
> 20	非常に過酷 (Very Severe)	海に露出し、風と砂に暴露

3. 3 結果及び考察

1) 暴露場間の海洋腐食性指数比較

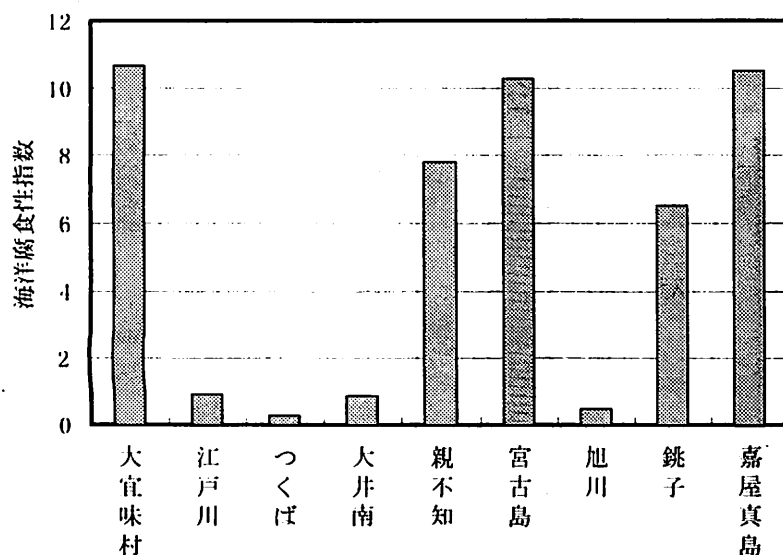


図 7. 各暴露場間の年平均海洋腐食性指数の比較

各暴露場間の年間平均 M.C.I. 比較結果を図 7 に示す。この結果からも明らかかなように海洋腐食性指数の年平均値は、南西諸島 3 暴露場 (大宜味村・宮古島及び嘉屋真島) とほぼ同等である { 評価 : 過酷 (Severe) }。

南西諸島に次いで海洋腐食性指数の高い暴露場は親不知海岸であり、次いで銚子が続いている。その他の暴露場は何れも評価が{無視できる (Negligible)} であり、環境腐食性は小さい。

2) 海洋腐食性指数の季節的変動について

季節的変動の大きかった南西諸島3暴露場と、親不知海岸及び旭川暴露場についての経時変化を図8に示す。

南西諸島の3暴露場は何れも第3四半期(4月~7月)に急激な海洋腐食性指数の低下をみている。

この時期沖縄地方は小雨傾向が続き(離島では雨不足のためサトウキビ畑が壊滅状態であった)、その影響を大きく受けていると考えられる。また最も大きな値を示したのは第4四半期であった。この時期には沖縄地方に複数の台風が襲来し、しかも長期間停滞したため海塩粒子の供給が多かったものと推察される。

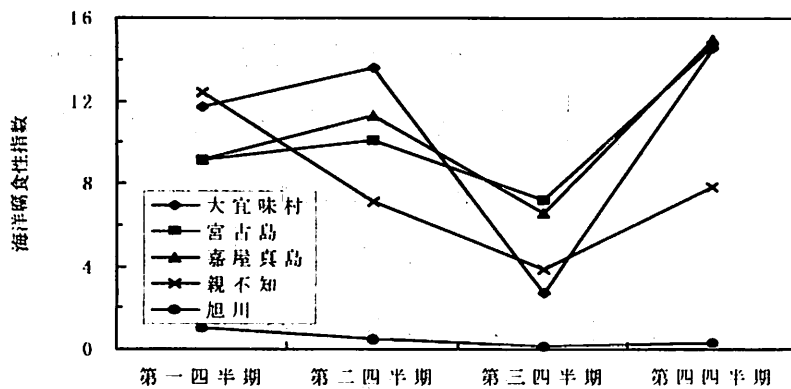


図8. 海洋腐食性指数の季節変動

季節の影響を受けているのは、この他親不知暴露場が挙げられる。日本海側の親不知は第1四半期(11月~2月)がこの時期の全暴露場で最も大きいことが特

徴である。そして夏期に

向かい海洋腐食性指数は低下し、冬期に向うと指数が上昇するといったサイクルを示している。似たような傾向を示すのは数値こそ小さいが積雪・寒冷地の旭川である。積雪による濡れ時間の長いことが、低温による腐食反応速度低下の影響を上まわっているものと推測される。夏期が高温・多湿の太平洋側及び南西諸島は、夏期に向かって指数が上昇する傾向にある。

3) 海からの距離と海洋腐食性指数の関係について

縦軸に海洋腐食性指数、横軸に海からの距離をとり、土木研究所の5箇所の暴露場データをプロットした結果を図9に示す。また図

10 には 9 箇所の暴露場における全海洋腐食性指数データをプロット

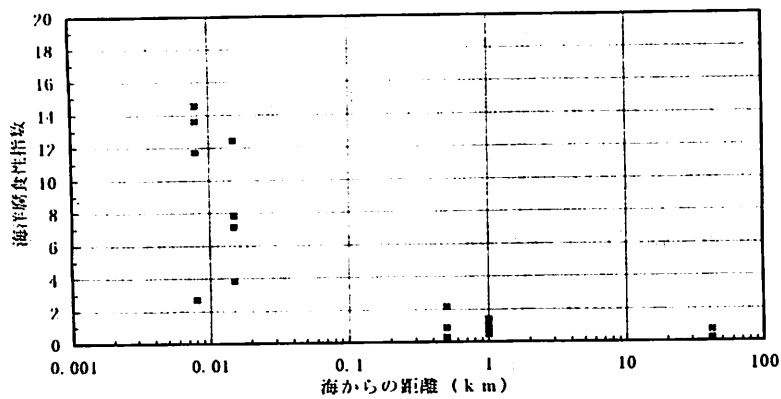


図 9. 土木研究所暴露場の海からの距離と海洋腐食性指数の関係

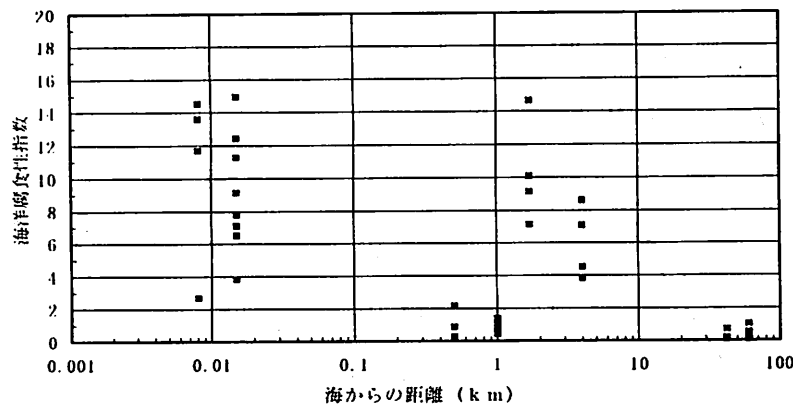


図 10. 全暴露場における海からの距離と海洋腐食性指数の関係

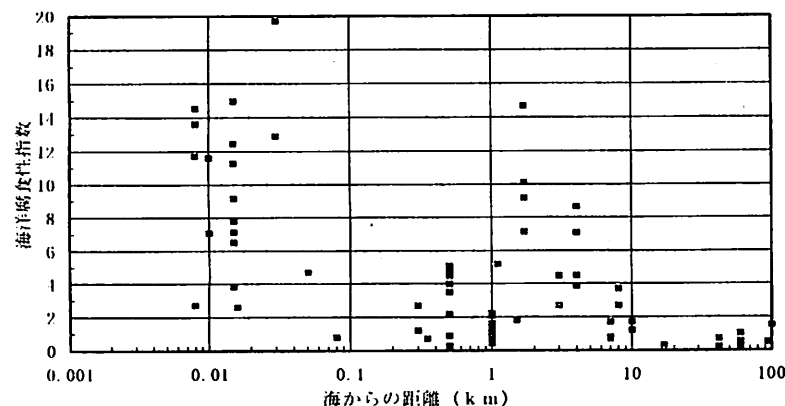


図 11. 国内各地の海からの距離と海洋腐食性指数の関係

した結果を示す。さらに過去に日本国内各地で実施されたワイヤーオンボルト試験結果と海洋腐食性指数の関係を図 11 に示す。図 9 を見る限り、海洋腐食性指数は概略海からの距離で説明できる。

海からの距離が短い場合には海洋腐食性指数が大きく、海から離れるに従って急速に海洋腐食性指数が低下していく様子が窺える。そして腐食を無視し得る数値を示すのは（海洋腐食性指数 2 以下）

、海からの距離が概略 500 m 前後である。しかし今試験における 9 箇所の暴露場の全数値をプロットすると必ずしもそのような関係は成り立たない場所があることが判る。図 10 ではデータが正規分布しておらず、宮古島と銚子のデータが外れていることが明白である。また図 11 の場合も多くの場所で正規分布しているとは言い難い。

これらの場所が異常値とは考えられない。そこで濡れ時間と飛来塩分量のデータが入手できた宮古島と銚子について、これらの数値と海洋腐食性指数との関係を調査した。その結果を図12に示す。

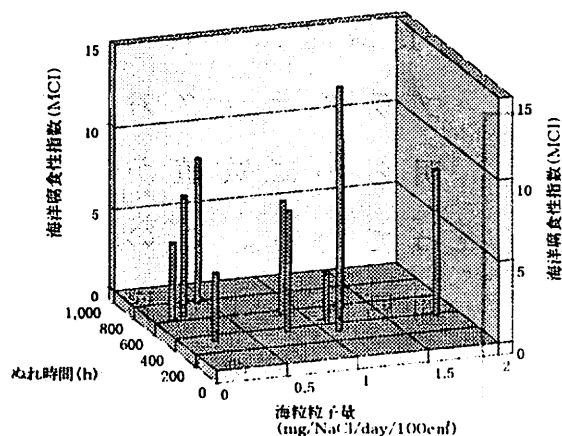


図12. 濡れ時間・飛来塩分量と海洋腐食性指数の関係

図からも明らかのように海洋腐食性指数と濡れ時間、飛来塩分量の間にはかなり密接な関係が示されている。この結果から、海からの距離で海洋腐食性指数を論ずるよりも濡れ時間・飛来塩分量で考えたほうが適切であると思われる。この考え方を補強するため今後さらなるデータの蓄積が必要であろう。

4) アルミニウム腐食性指数について

各暴露場における年平均のアルミニウム腐食性指数（アルミニウム-プラスチック対の腐食減量）を図13に示す。海洋腐食性指数からこの値を差し引けば環境のガルバニック効果が算出できるが、図からも明らかのようにアルミニウム線の腐食はごく軽微である。従って海洋腐食性指数イコールガルバニック効果と言っても過言ではない。また海からの距離が近い暴露場であってもアルミニウム腐食性指数はそれほど大きいとは言えず、

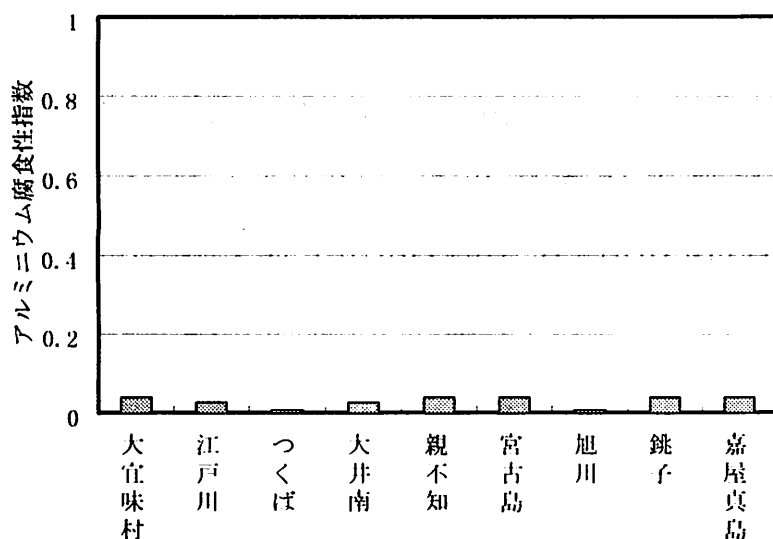


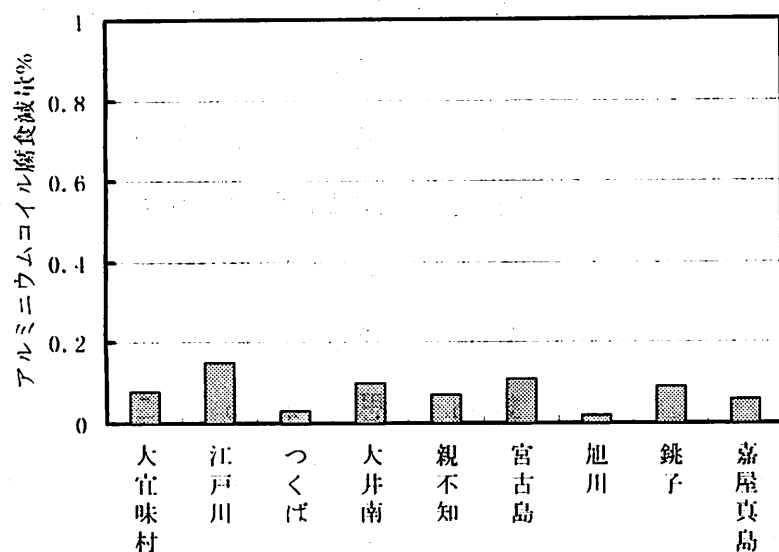
図13. 各暴露場間の年平均A.C.I.比較結果

環境のガルバニック効果が算出できるが、図からも明らかのようにアルミニウム線の腐食はごく軽微である。従って海洋腐食性指数イコールガルバニック効果と言っても過言ではない。また海からの距離が近い暴露場であってもアルミニウム腐食性指数はそれほど大きいとは言えず、

アルミニウム自体が飛来塩分量や濡れ時間の影響を受け難い材料であるとも考えられる。

5) アルミニウムコイルの腐食減量について

各暴露場における年平均のアルミニウムオープンコイル腐食減量(%)を図14に示す。オープンコイルの腐食減量はアルミニウム-



プラスチック対に比して明らかに数値が大きくなっている。この結果は隙間腐食による腐食の進行よりも、環境と遮断されたことによる腐食軽減効果のほうがアルミニウム材料にとっては大きいことを示唆しているものと

図14. 各暴露場間の年平均コイル腐食減量%比較結果

考えられる。オープンコイルにおいては暴露場間を

比較しても、海洋腐食性指数の大きい環境イコールオープンコイルの腐食性が大きい環境とは必ずしも言えない。

引用文献

- 1)花崎,小林:第92回軽金属学会春期大会講演予稿,(1997),p331-332.
- 2)花崎:第93回軽金属学会秋期大会講演予稿,(1997),
- 3) D.P.Doyle,T.E.Wright :Atmospheric Corrosion,(ed.W.H.Ailor), Wiley ,(1982),p227-243.

『謝辞』

ワイヤーオンボルト試験は、財団法人日本ウェザリングテストセンター殿と、[河川・ダム施設の防食技術研究会(建設省東北地方建設局殿・土木研究所殿主催)]の多大なる御協力を仰いで実施された。ここに深甚の謝意を表するものである。