

# 原子力リスク低減研究－海塩粒子による構造物腐食－

中 安 文 男 \*

## **Nuclear Risk Reduction Study The Study of Structure Corrosion caused by Sea Salt Aerosols**

Fumio Nakayasu\*

Present all nuclear power plants in Fukui prefecture are located at the bay side of Japan Sea coast. New facilities may be planed to be at ocean side. The sea salt corrosion at the ocean side should be larger than it at the bay side. We have the salt damage experimental yard at Awara sea coast and at Fukui city (about 15km from coast) for the corrosion comparison study between Japan Sea coast and inland.

We confirm the amounts of sea salt aerosol vary among the season and year. The weight loss of specimen inside of shelter without filter is higher than both of sheltered with filter and inland specimen. The weight loss of specimen inside of shelter with filter is almost same as it of inland specimen. We confirmed the filter which we used is sufficient capability to prevent corrosion. We confirmed the corrosion rate of both opened specimen and sheltered specimen without filter increased after some periods,.

### 1、緒言

日本海沿岸地域における施設で用いられる主要構造部材を対象に、あわら市海岸（海浜地区）及び福井市内（準沿岸地区）に大気暴露試験装置を設置し、海浜地区（海岸線より 300m 以内）と準沿岸地域（海岸線より 20km 以内）における環境因子と構造物腐食の関係評価を目的として本研究を実施している。

福井県には、現在 15 基の原子力発電所が立地され、そのすべてが湾岸に面しているが、新たな原子力施設は、日本海沿岸に立地される可能性が強い。原子力発電所構造物の経年劣化を考える場合、海塩粒子による腐食が重大な因子の一つであり、多くの研究者により構造物腐食が研究<sup>4-7)</sup>されているが、構造物腐食は環境因子に強く影響を受けるため、ある特定の環境下での腐食試験が必要となる。この観点から、従来、ほとんど実施されていなかった日本海南区分、海浜地区に属する福井県あわら海岸（海岸線から 200m 程度）と準沿岸地区（海岸線から 15Km 程度）に属する福井市街（福井工業大学屋上）に大気暴露試験装置（以下暴露装置という）を設置し、開放及び遮へい大気環境下での暴露試験を実施している。

海浜地区では、開放暴露環境下、空気取り入れ口にフィルターを有する遮へい暴露環境下及び空気取り入れ口にフィルターを有しない遮へい暴露環境下での 3 種類の暴露試験を実施し、準沿岸地域では、開放暴露環境下での暴露試験を実施している。また、海浜地区には、気象観測装置を設置し、風向、風速、気温、雨量などの気象因子を 10 分毎に測定記録すると共に、JIS に準じたドライガーゼ法により、環境汚染因子である海塩粒子の飛来量を 1 ヶ月毎の平均値として測定している。

---

\* 原子力技術応用工学科

## 2、試験方法

図-1 に示す大気暴露試験装置をあわら海岸（海浜地区）に設置している。本試験装置は、JIS Z 2381 (2001)に準じて製作・設置されたものであり、図-1 左側は、開口部にフィルターを有しない遮へい暴露装置であり、中央は、フィルターを有する暴露装置である。開口部は海岸線と平行に2箇所（前面と後面）に設けている。フィルターは、新菱冷熱製「平型フィルター」<sup>1)</sup>を用いた。図-1 右側は、当該試験場に設置したデータロガー付きの気象観測装置である。

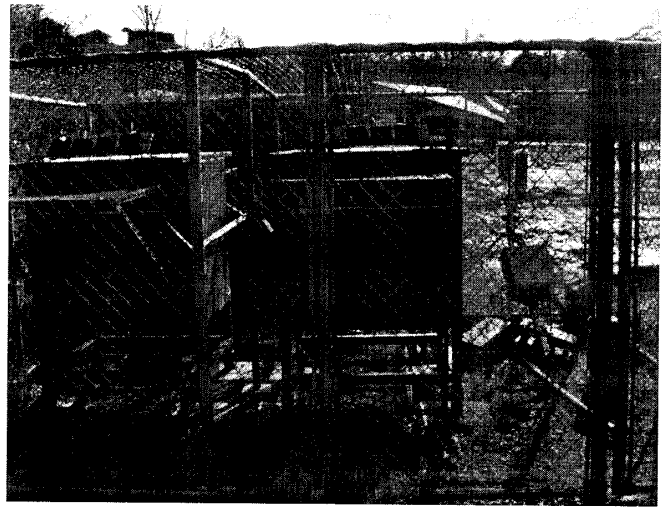


図-1 大気暴露試験装置（海浜地区）

図-2 には、準沿岸地区（福井工業大学 3 号館屋上）に設置した大気暴露試験装置及び開放大気暴露試験片の設置状況を示す。

図-3 の左側に開放大気暴露試験片の設置状況を、右側に遮へい大気暴露試験片の設置状況を示す。試験片は JIS Z 2383 (1998)に準じて製作し、10cm×10cm の大きさとした。規定の暴露期間を経過した試験片については、JIS-Z2383 に準じて腐食性生物を除去し、その後の重量を測定し、試験開始前との差を腐食減量とした。また、腐食度は、JIS に準じて ( $\text{g}/\text{m}^2/\text{y}$ ) と規格化したものを算出した。

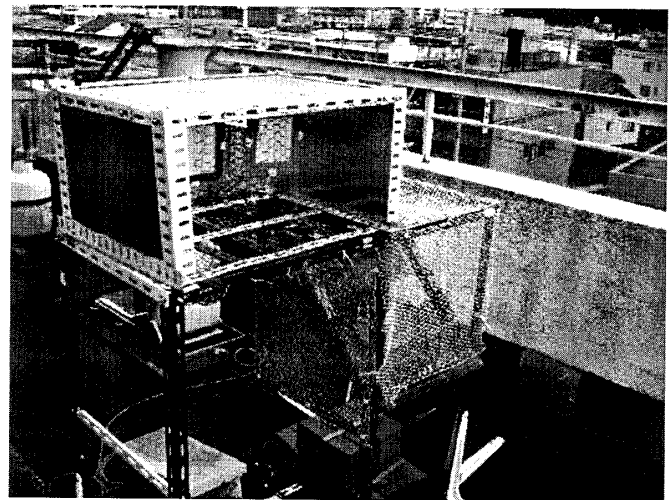


図-2 大気暴露試験装置（準沿岸地区）

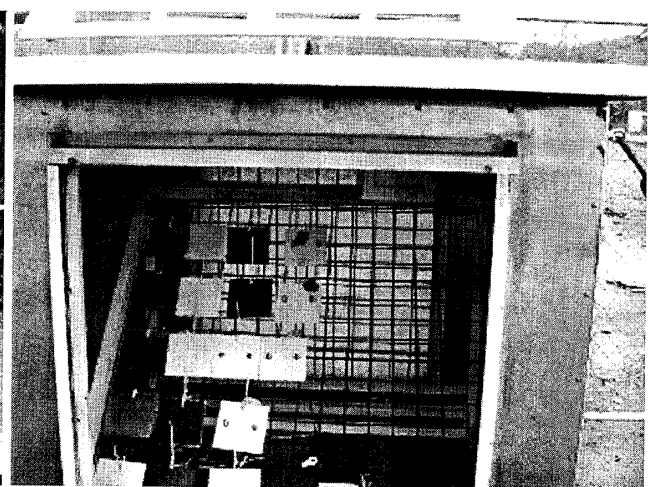
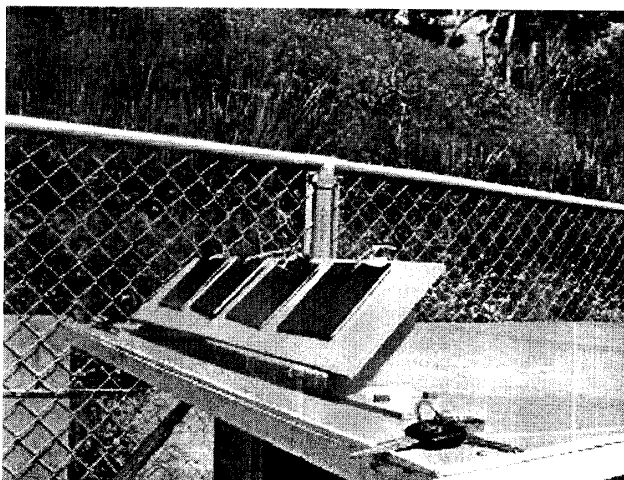


図-3 試験片設置状況（左：開放暴露試験片、右：遮へい暴露試験片）

飛来塩化物量測定は、JIS Z 2382 (1998)に規定する「ドライガーゼ法」で行った。図-1及び図-2に示す暴露装置内に、ドライガーゼプレートを設置<sup>1)</sup>し、原則1月に1回取替えを行ない、飛来海塩粒子量をイオンクロマトで測定した。飛来海塩粒子の捕集面積はJIS Z 2382に準じて100cm<sup>2</sup>とした。

### 3、試験結果および結果の評価

#### 3-1、海塩粒子飛来量

図-4に、2006年及び2007年の海塩粒子飛来量の季節変動を示す。同図に見られるように、海浜地区における海塩粒子飛来量は冬季に多く、夏季に少ないという傾向を示す。また、台風が日本海沿岸を通過した時期に、海塩粒子飛来量が増加するという傾向も示している。

図5-1に海塩粒子飛来量について、福井

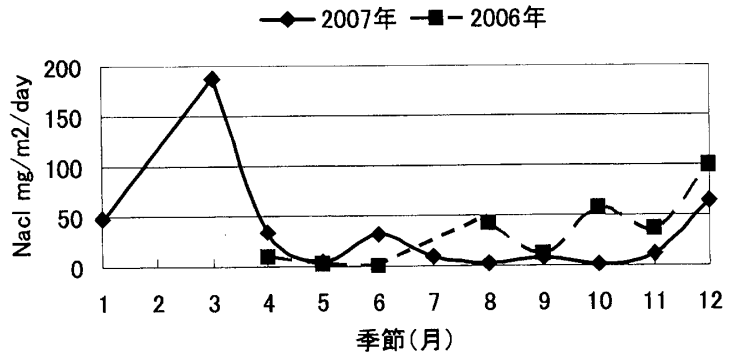


図-4 海塩粒子飛来量の時期的変動（海浜地区フィルター無し）

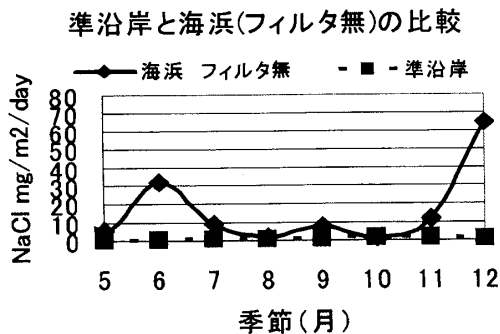


図5-1 海塩粒子飛来量の季節変動比較

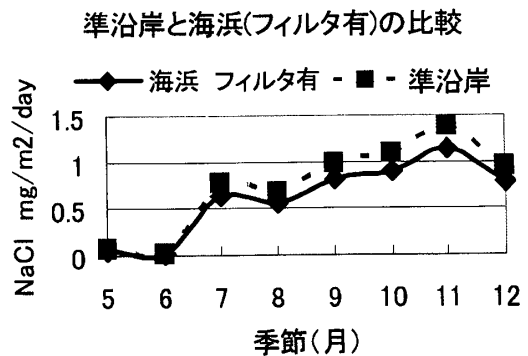


図5-2 海塩粒子飛来量の季節変動比較

市街（準沿岸地区）とあわら海岸（海浜地区）フィルター無との比較を示す。同図及び図-4に見られるように海浜地区では、海塩粒子の飛来量の季節変動は大きく、準沿岸地区の数十倍に達する場合もある。他方、図5-2に示す海塩粒子飛来量の準沿岸地区と海浜地区フィルター有の比較では、海塩粒子の飛来量の差は小さく、ほぼ同一オーダーであり、その季節変動の絶対値も小さい。これは、試験したフィルターが十分な性能を発揮していることを示している

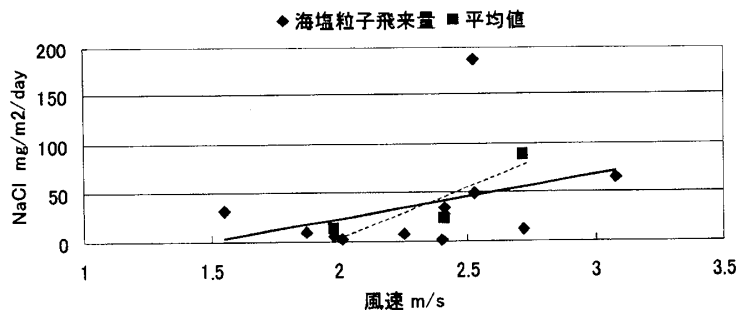


図-6 海塩粒子飛来量と風速との関係（海浜地区）

と考えられる。

図-6に海浜地区における海塩粒子飛来量と風速の関係を示す。同図の実線は測定値の近似曲線を示し、破線は、ある風速範囲の海塩粒子量の平均値の近似曲線を示している。これらにより、風速が増加すると、海塩粒子飛来量が増加することが判明した。

前報<sup>1)</sup>で述べたように、海塩粒子飛来量と降雨量の関係では、降雨量3~5mm/hのところ、海塩粒子飛来量が極大値を示す。これは、降雨量が小さい時には、雨が海面をたたき、海水が空气中に飛散し、海塩粒子となって飛来するので、降雨量の増加と共に、海塩粒子飛来量が増大するが、降雨量がある値を超えると、飛散した海水が、雨と共に海面に戻り始め、降雨量の増加と共に、海塩粒子飛来量が減少し始めるからだと考えている。

海塩粒子飛来量と日照時間は負の相関、即ち、日照時間が増加すると、海塩粒子飛来量が減少することが確認できた。これは日照時間の短い冬季に風の影響で海塩粒子飛来量が多く、日照時間の長い夏季に少ないことに起因していると考えている。

窒素酸化物とイオウ酸化物についての海浜地区（あわら海岸）と準沿岸地区（福井市街）の比較を図7-1及び図7-2に示す。窒素酸化物はあわら海岸より福井市街の方が多いが、これは、車の通行量の相違によるものである。イオウ酸化物はあわら海岸の方が、福井市街より多いが、これは、大陸からの飛来ではなく、海水中に含まれているイオウ酸化物であることを確認している。即ち、イオウ酸化物量と海塩粒子飛来量は比例関係にある。

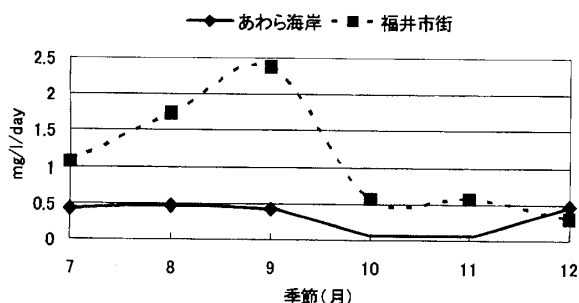


図 7-1 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>の比較

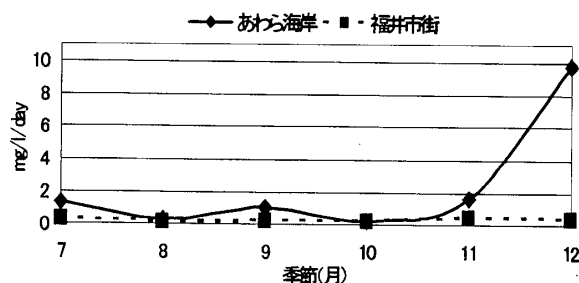


図 7-2 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>の比較

2007年12月に実施したあわら海岸（海浜）と福井市街（準沿岸）の海塩粒子飛来量の時間変化を図-8に示す。同図に見られるように昼間時の海浜地区での飛来量は、福井市街での飛来量よりかなり大きい。これは、日中には、海風が、夜間には陸風が吹くことと関連している。なお、図-8の縦軸単位は、相対値である。

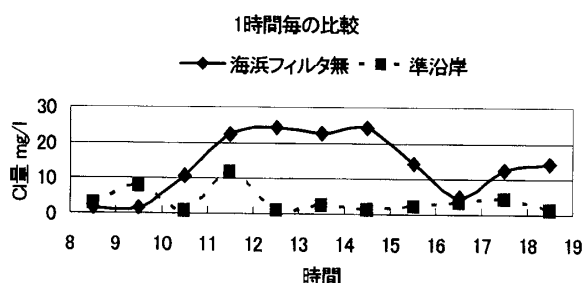


図-8 海塩粒子飛来量の時間変化

### 3-2 構造物腐食

図-9に海浜地区における2006年開始の開放暴露試験と2007年開始の開放暴露試験結果を示す。いずれの場合も、腐食減量は暴露期間と共に単調に増加している。開放暴露試験による腐食は、環境因子、即ち、環境汚染因子（海塩粒子、NOX、SOXなど）及び気象因子により変動するが、2006年と2007年の結果は、ほぼ同一の傾向を示しているとみることができる。

図-10に腐食度（腐食減量を単位面積・年で規格化）の経過日数による変化を示す。同図から明らかに、2006年の試験結果によると腐食度は経過日数と共に直線的に増加しているが、2007年も、腐食度は単調増加している。但し、図-9と図-10は、グラフの縦軸の定義を変更している。

図-11にあわら海岸（海浜地区）の開放暴露試験、フィルター付き遮へい暴露試験、フィルター無し遮へい暴露試験及び福井市街（準沿岸地区）の開放暴露試験結果を示す。同図にみられるように、海浜地区の開放暴露試験の腐食速度が最も大きく、次いで、海浜地区のフィルター無し遮へい暴露試験となる。海浜地区のフィルター有遮へい暴露試験と準沿岸地区の開放暴露試験の腐食速度は、ほぼ同一であり、使用しているフィルターは、その効果を十分発揮していると考えられる。また、同図によると、海浜地区暴露試験（開放及びフィルター無し遮へい）の腐食速度は、ある時期を境に増加している。これは、腐食の進行に伴い、腐食皮膜が破壊されて、腐食速度が増加したと考えている。

### 4. 結言

暴露装置を設置したあわら市波松区海岸の腐食度は、宮古島のそれと比較しても数倍大きいことを前報<sup>1)</sup>で示した。腐食度は、試料の前処理方法などにも強く依存するが、それらを考慮しても、暴露装置

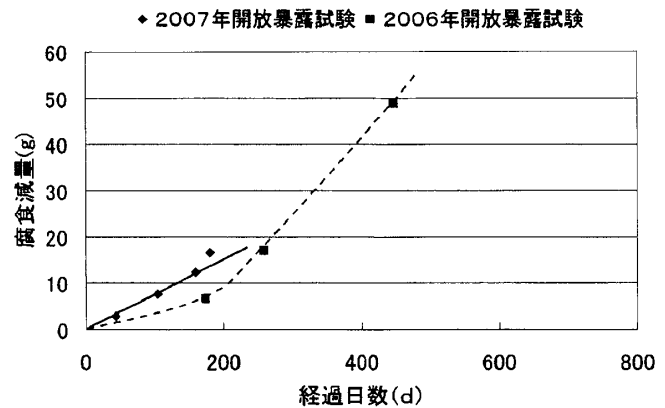


図-9 2006年と2007年の開放暴露試験比較

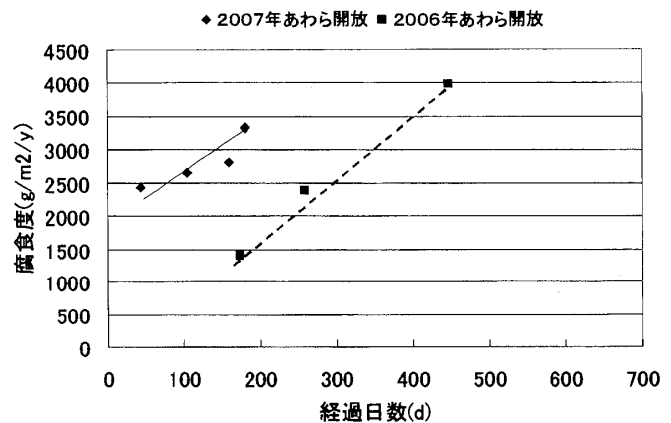


図-10 腐食度と経過日数

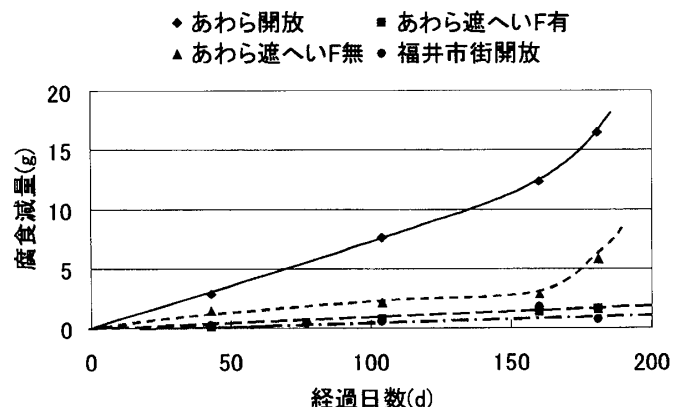


図-11 暴露試験比較

を設置した海浜地区の腐食度は大きいので、本暴露装置を使用しての腐食試験は、十分意味のあるものと考えている。日本海南区域、海浜地区に属する福井県あわら市波松区海岸および準沿岸地区に属する福井市街（福井工業大学3号館屋上）に暴露試験装置を設置し、日本海特有の環境条件下で直接暴露試験および遮へい暴露試験を実施し、次のことが判明した。

- ① 海塩粒子飛来量は季節により変動する。
- ② 海塩粒子飛来量は風速に対し、近似的に正の直線関係が成立する。
- ③ 海塩粒子と降水量の関係には極大値が存在する。降雨量が増加すると、海塩粒子飛来量が増え、ある程度の量を超えると海塩粒子飛来量は減少する。
- ④ フィルターを設置することで海浜の海塩粒子量は準沿岸と同程度に抑えられる。
- ⑤ 海浜でのイオウ酸化物量は飛来海塩粒子量に比例する。
- ⑥ 準沿岸では窒素酸化物の影響を考慮する必要がある。
- ⑦ 直接暴露試験は環境因子の影響を直接うけるので、遮蔽暴露試験より腐食減量が大きい。
- ⑧ 海浜地区のほうが準沿岸地区より腐食減量が大きい。これは、海浜地区のほうが準沿岸地区より海塩粒子飛来量が多いためである。
- ⑨ フィルターの使用により、海浜地区での腐食を準沿岸地区並みに抑えられる。
- ⑩ 腐食減量は経過日数と共に増加し、ある時間経過後に、腐食速度が大きくなる。
- ⑪ 2006年と2007年の腐食は、ほぼ同一の傾向を示し、その差は環境汚染因子（海塩粒子）及び気象因子の差によるものである。
- ⑫ 図-12に示すように腐食減量と海塩粒子飛来量との間に、ある関係が存在する。しかし、この関係は普遍的ではなく、ある特定の条件下のみに成立するものと推定できる

本研究の実施には、福井工業大学の特別研究費の交付を受けています。

#### 参考文献

- 1) 中安 文男：原子力リスク低減研究－海塩粒子による日本海沿岸地域構造物の腐食－、福井工業大学研究紀要第37号（第一部） p379-386、2007年5月
- 2) 中安 文男他：海塩粒子腐食に及ぼす環境因子の影響、日本保全学会第4回学術講演会 要旨集 P457-458、2007年7月
- 3) 中安 文男他：The Effect of Sea Salt Aerosols in the Japan Sea Coast Facilities、ENC 2007 Transactions p188-191、2007年9月
- 4) 岸川結香、小島知子：大気エアロゾル粒子のキャラクタライゼーション、九大H17-040、平成17年
- 5) 日本化学会編：大気の化学、学会出版センター、1990年9月
- 6) 三浦和彦：海洋起源エアロゾルの放出と変質、SOLAS WORKSHOP IN NAGOYA 2002.8
- 7) 森 芳徳他：飛来塩分量全国調査（1）、土木研究所資料、No.2203、1985

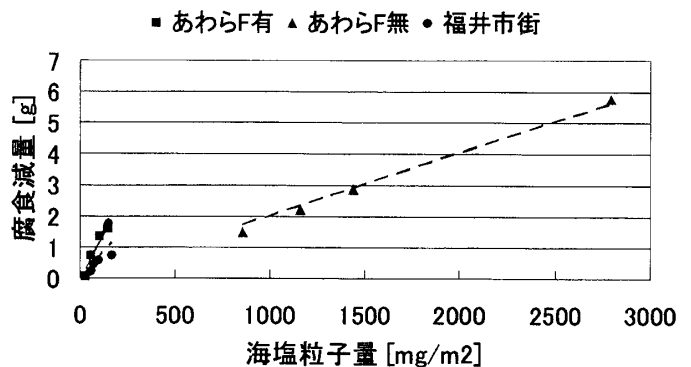


図 12 海塩粒子飛来量と腐食減量

（平成 20 年 3 月 31 日受理）