

金属の塩害に関する調査研究 (第Ⅳ報)

——— 大気暴露36ヶ月の結果 ———

機械金属室 石原金盛 国吉和男
長山純朗 比嘉敏勝

1. まえがき

九州工業技術試験所による「九州、沖縄地域における腐食防食技術に関する調査報告書」によると、沖縄の腐食問題は「単なる腐食問題をとおりこして、社会問題化している」と報告されている。これは沖縄における各種鋼構造物の腐食、コンクリート建造物中鉄筋の腐食および埋設配管の腐食など各種の腐食トラブルを指してのことである。

また、同報告書は九州、沖縄地区の機械金属製造業を含む1,400社についてアンケート調査した結果として、およそ78%の企業が何らかの形で、腐食問題とのかかわりを持っていることが明らかにされたと報告している。

腐食問題はこのように重要な問題でありながら、国内においてはこれに関する専門的総合的機関が存在しない。

英国マンチェスター大学では付属機関として、腐食防食センターを有し、東南アジアを含む各国からの留学生の実学的指導をはじめ、各種腐食問題の解決にあたっているとのことである。国内においても、同様な機関が、腐食の最も激しい沖縄の地に設立される必要があるとの意見があり、関係者の間で論議されているところである。

沖縄における腐食問題の元凶は海塩粒子であるとの想定のもとに、金属の大気暴露試験を実施してきた。既報のⅠ報からⅢ報までに調査研究の途中経過を報告してきたが、今回はそのまとめの報告である。

2. 調査研究経過

本調査研究は昭和56年8月1日から59年7月31日までの3年間暴露と、暴露前後の計画・まとめの期間を含めると約4カ年の期間を経過している。第Ⅰ報から第Ⅲ報に途中経過を報告してきたが、ここでは理解の便宜上、試験片の種類やその設置場所など既報資料を付表1～5にまとめて掲載した。

また、試験項目は試験片によってかわるが、普通鋼および耐候性鋼については腐食減量の測定、アルマイト、ステンレスおよび亜鉛メッキ試片については外観および重量測定、塗装試片については外観、光沢度、明度、インピーダンス、エリクセンおよびpull off値の各項目を測定した。

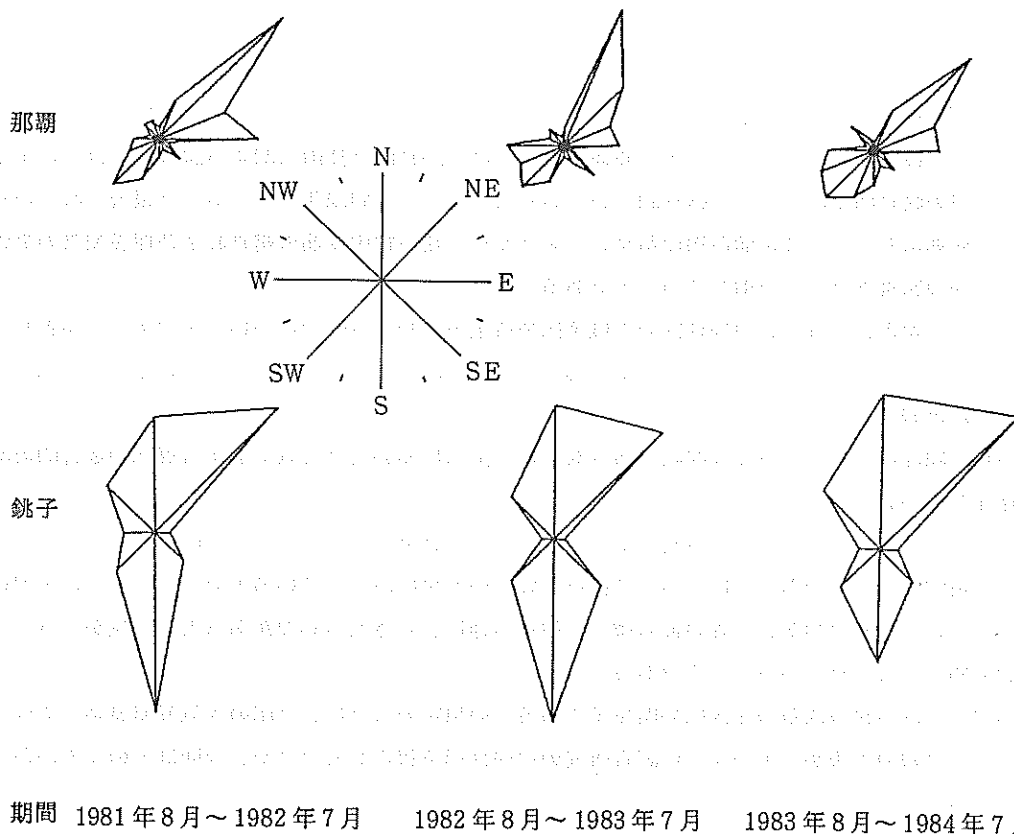
環境因子のうち、海塩粒子については毎月1回各暴露地においてガーゼ捕集したものの測定を行ったが、その他の因子については、沖縄気象台および(財)日本ウェザリングテストセンターの資料を活用した。

3. 沖縄の自然条件と金属腐食

3.1 風向、風速

気温、湿度、日照時間等については第Ⅱ報においてふれたのでここではふれない。

図一に那覇と銚子における最大風速値とそのときの風向から計算した「年間累計風向速値」を



図一 年間累計風向速値の比率

示した。ここで「風向速値」とは次のようにして求めた値のことである。すなわち、那覇の場合は1日のうち10分間最大風速値とそのときの方位を、銚子の場合は日最大風速と日最多風向をとり、これを各方位毎に年間累計し、全方位に対する百分率で示したものである。このため、データの統一性に欠けるところもあるが、概括的にみると、那覇の場合、北東方位と南西方位が目立つのに対し、銚子は北東、北、南方位が多く、風向速の明らかなちがいがみられる。

また、これらの風向速値を月別に、3カ年間にわたって区分したのが付図一である。那覇の場合、冬は北東の強い風が多く、春から夏にかけては南西風が比較的多いが、その他の風向もみられて分散している。銚子の場合、冬季は北を中心に北西ないし北東に分散しているが、春から夏にか

けては南風が圧倒的に多い傾向を示している。

これら那覇と銚子の風向速のちがいと海塩粒子量の関係については後述する。

3.2 大気中の海塩粒子量と硫酸化物量

図-2は海塩粒子量の月別、地域別変動状況である。月別変動は沖縄地区についてみると、11月と2月の冬場にピークがあり、銚子については3月にピークがみられる。これらの傾向と既述の風向速および海塩粒子の捕捉方法とは、相互に関連があるものと予測される。

図-3は大気中硫酸化物量の比較である。那覇が銚子より多い結果を示しているが、これは測定点のちがいによるものと考えられる。すなわち、那覇の測点は都市地区で車の排気ガスその他の影響が考えられるのに対し、銚子は田園地区でこれらの影響が少ないためであろう。ともあれ、本測定値の絶対量は陸防研報告¹⁾²⁾にみる御前崎、輪島の半分以下であり高い値とは言えない。

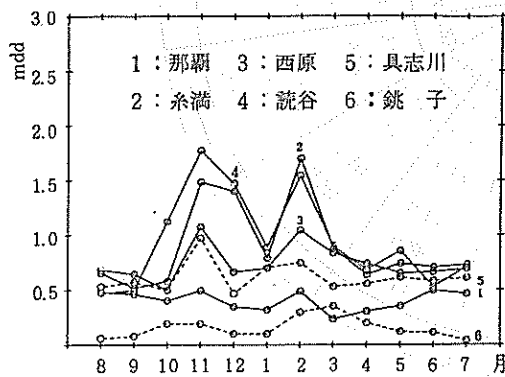


図-2 海塩粒子量の月別、地域別変動状況
(3カ年間平均)

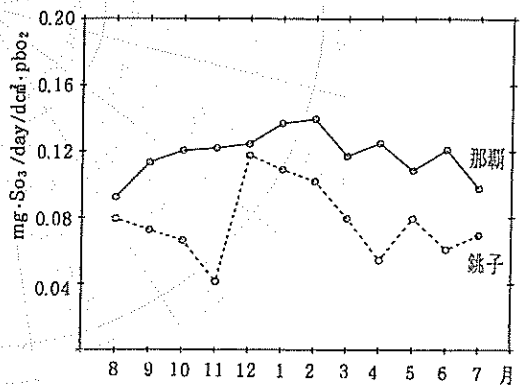


図-3 硫酸化物量の比較
(暴露期間3カ年の平均値)

資料：(財)日本ウェザリングテストセンターによる。

3.3 海塩粒子量と「風向速」との関係

図-4は海塩粒子量と「風向速値」との二次相関係数を各方位毎に配したものである。数字は内側から沖縄平均、那覇、糸満、西原、読谷、具志川、銚子の順である。沖縄の場合、5地区とも風向速値は沖縄気象台資料の活用による「那覇」の値を適用した。

本図における相関係数を危険率5% ($R = 0.3246$) で検討してみると、図中に※を付したものが有意である。したがって、沖縄の場合、海塩粒子量と有意な関係にある風向速は北及び南であるといえる。その他の北北東、西南西に比較的有意性の認められる場所もあるが、全く有意性の認められない方位も存在している。銚子については北、北西、南西の方位に有意性がみとめられる。

南北の方位が、銚子の例外を除く各場所とも高い相関性を示すのは海塩粒子捕集用ガーゼの設置方位との関係があるものと考えられる。このことは他の文献⁴⁾においてもガーゼの指向性が明らかにされていることと一致する。

これらの関係と既述の年間累計風向速値比率との関係を見ると、那覇の場合、北風は相関度は高

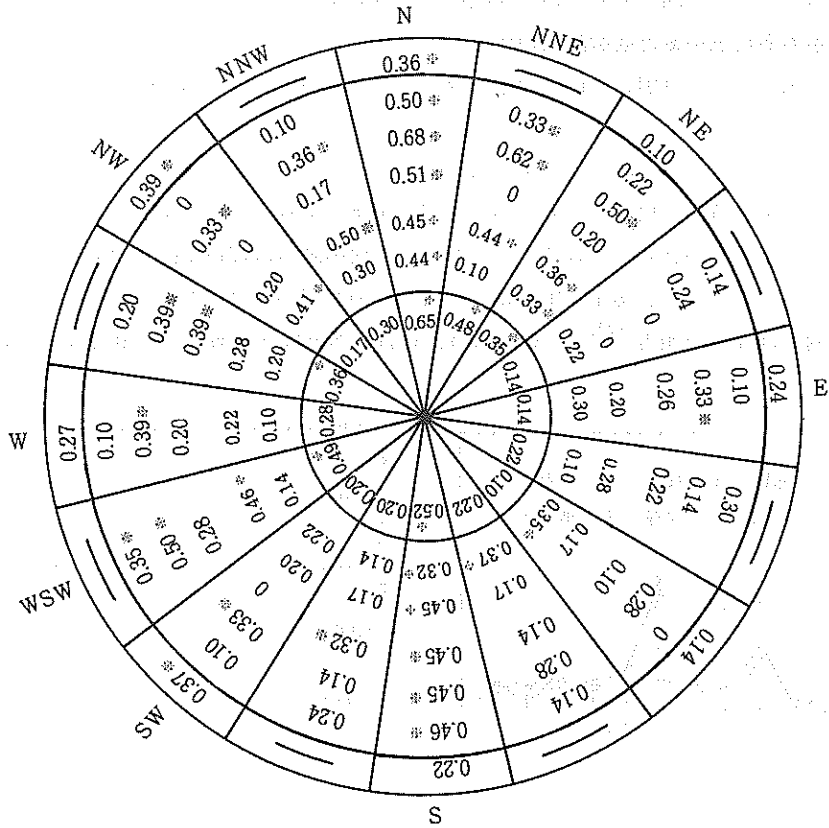


図-4 海塩粒子量と風向速値との相関々係

いが、南西風は低い値を示している。銚子の場合も北と北西は相関があるが、北東と南には相関がみられないなど、年間累計風向速値比率と海塩粒子量との関係は明らかでない点も多い。荒谷と糸満の場合、北北東と西南西の高い相関度は海岸の方位と関係しているものと考えられる。

4. 金属腐食量の地域別経時変化

図-5 に腐食減量の経時変化を示した。図からその傾向は糸満、荒谷、具志川の高腐食地域と西原、銚子、那覇の低腐食地域とに分けることができる。高腐食地域では36ヶ月間に40%前後の腐食量を示すのに対し、低腐食地域では10%前後で3～4倍の差がみられる。

糸満と荒谷の腐食量は海塩粒子量との関係で、暴露初期から両鋼種とも常に高い腐食量を示しているが、具志川における普通鋼の腐食量は36ヶ月時点で急激に高い値を示しており、その理由は明らかでない。普通鋼と耐候性鋼の腐食度を較べると高腐食地域で約4倍、低腐食地域で約2倍量普通鋼がさびやすいことを示しており、この値は平均的に見ると通常値と考えられる。また、那覇と銚子とを較べると、普通鋼では、途中経過において、両者の間に逆転がみられる。しかし銚子の24ヶ月腐食量は36ヶ月よりも高い値を示すなどデータのバラツキも大きい上、36ヶ月時点では両者が接近していることおよび耐候性鋼においてもわずかながら逆転がみられるもののその差はわずかで

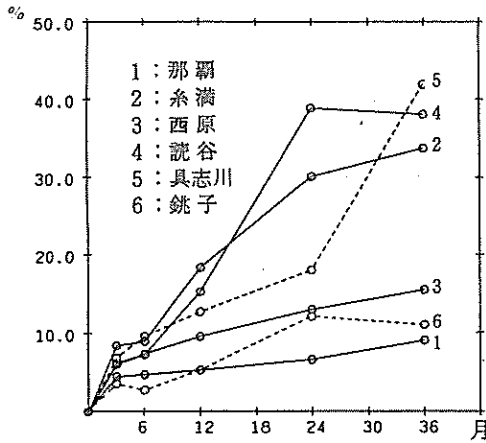


図-5-1 普通鋼の腐食減量
経時変化

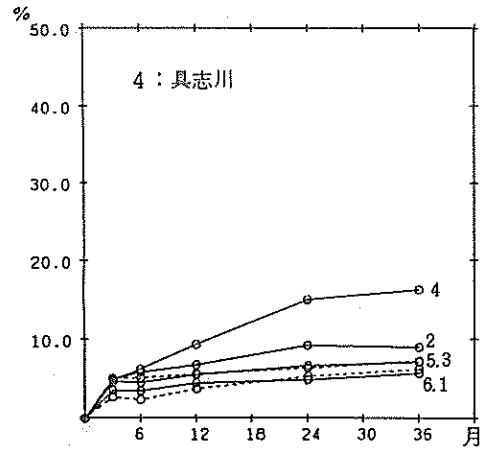


図-5-2 耐候性鋼の腐食減量
経時変化

あることなどからすると実測値だけで両者の差を論ずるのは難しい。

沖縄5地区の平均と銚子とを較べると普通鋼では沖縄が銚子の2倍量を越すが、耐候性鋼では例外的な読谷地区を除けば、両者の間の差は殆んど認められない。

また同じ測定値を用いて、陸防研報告²⁾にみる下記の腐食回帰式に適用し、各地区別、鋼種別に回帰式を求めると、腐食量の経時変化を求めることができる。

$$Y_x = AX^B e^{\frac{C}{X}} \quad Y_x: X \text{ 月間の腐食量 (g/2 dm}^2\text{)}$$

X : 暴露日数

A, B, C : 定数

本式は金属の腐食量が指数関数的な経時変化を示すという推定のもとに導入されたものであり、実測値と推定値との間に実用に耐える相関々係のあることが実証されている。

表-1 回帰式係数表

$$Y = AX^B e^{\frac{C}{X}} \quad \ln Y = \beta_0 + \beta_1 \ln X + \beta_2 \frac{1}{X}$$

Sample	場所	β_0	β_1	β_2
普通鋼	1	1.14081	0.25665	-0.06867
	2	1.31176	0.62704	-0.05332
	3	1.38939	0.36800	-0.06602
	4	0.70611	0.84774	-0.03710
	5	1.10653	0.64605	-0.05039
	6	0.34438	0.58714	-0.04548
耐候性鋼	1	1.02402	0.18759	-0.07068
	2	1.33189	0.25298	-0.07075
	3	1.29999	0.18085	-0.07375
	4	0.99047	0.51331	-0.05534
	5	1.44527	0.13635	-0.07725
	6	0.41637	0.37883	-0.05579

本式は両辺の対数をとると次のような形になる。

$$\ln Y_x = \beta_0 + \beta_1 \ln X + \beta_2 \frac{1}{X} \dots\dots\dots (1)$$

この式に各場所の測定値を代入すると表-1のような回帰係数が求められ、回帰式は高い相関を示した。本式にもとづく経時変化を図-6に示した。これで見ると図-5と同様、高腐食地域と低腐食地域とにわかれるが、具志川地区の腐食量がゆるやかな形となっている。

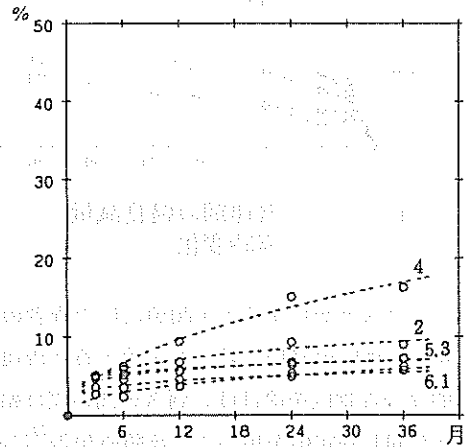
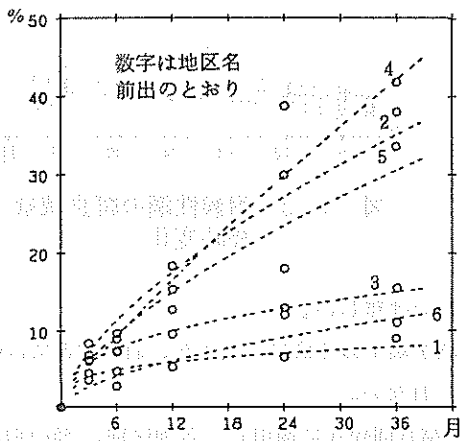


図-6-1 普通鋼の腐食減量の推定

図-6-2 耐候性鋼の腐食減量の推定

また、本式により、10年後（120ヶ月）の腐食量を推定すると表-2のとおりである。これによると、高腐食地域と低腐食地域との地域差はもちろん、普通鋼と耐候性鋼の鋼種差も大きく現われている。また、那覇と銚子とでは、銚子の方が腐食量は大きいと推定される。

表-2：回帰式による腐食量の推定（重量%）

地区	サンプル 暴露期間	普通鋼			耐候性鋼		
		5年	7年	10年	5年	7年	10年
那覇		8.9	9.7	10.7	6.0	6.4	6.8
糸満		48.3	59.7	74.7	10.7	11.6	12.7
西原		18.1	20.5	23.4	7.7	8.2	8.7
読谷		65.1	86.6	117.3	22.0	26.2	31.4
具志川		42.6	52.9	66.6	7.4	7.8	8.1
銚子		15.6	19.0	23.5	7.1	8.1	9.3

5. 金属の腐食量と環境因子との相関々係

5.1 単相関々係

5.1.1 海塩粒子量

図-7にmdd値でみる海塩粒子量と腐食減量の相関関係を示した。海塩粒子量はそれぞれの経過月における平均値を用いた。これについては既報においても報告してきたとおりであるが、測定回毎に相関式が異なるほか、その相関係数は有意性を示さない場合が多い。そこで、海塩粒子量の影響をより実態的に促えるため、その累計絶対量を横軸にとり、両者の相関々係を検討したのが図-8である。結果はいずれの地区および鋼種とも、両者の間に比較的高い相関がみられ、普通鋼は耐侯性鋼よりも高い相関を示した。しかし、これらの相関式は単に両者の相関を見るためのものであり、腐食量を推定するためのものではない。腐食量を推定するためには、その他の因子をとり入れた重相関式を用いる必要があるが、これについては後述する。

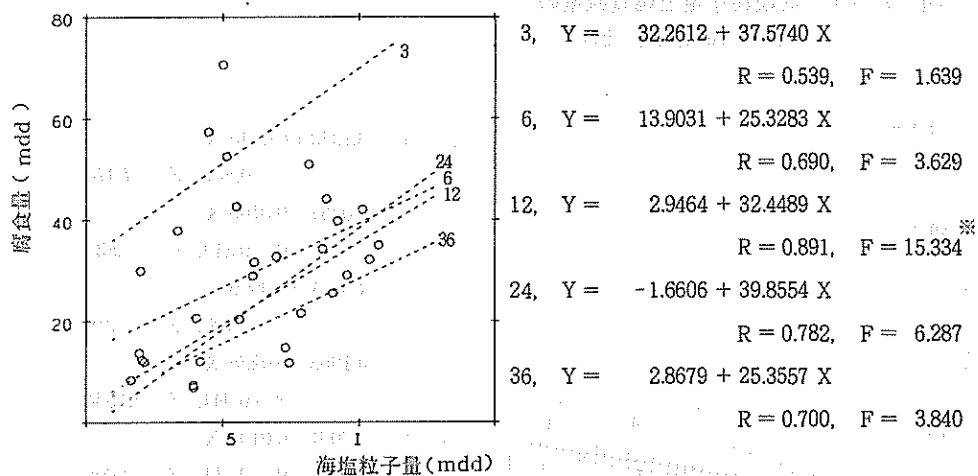


図-7-1 海塩粒子量と腐食減量の相関々係(普通鋼 その1)

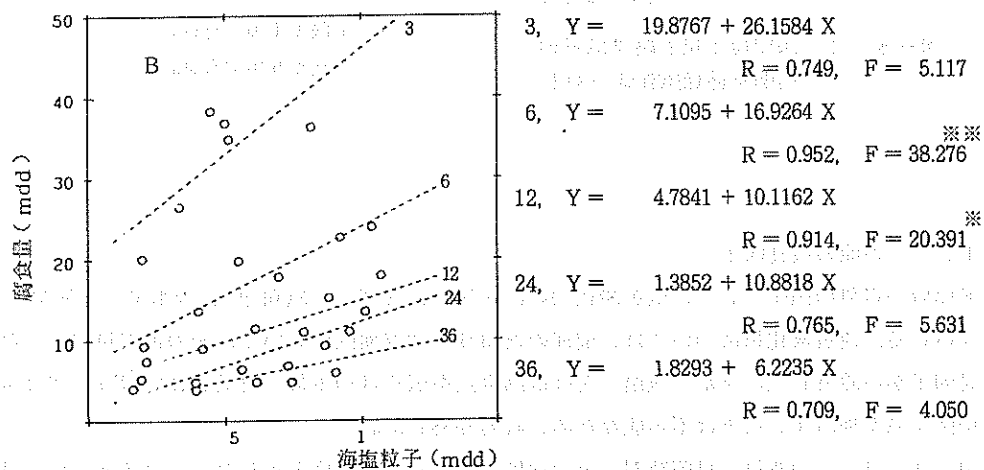


図-7-2 海塩粒子量と腐食減量の相関々係(耐侯性鋼 その1)

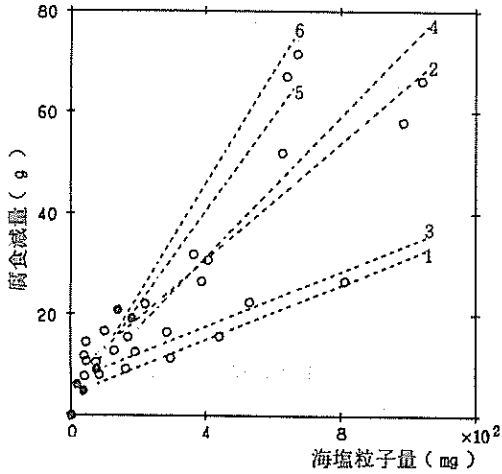


図-8-1 海塩粒子量と腐食減量の
相関々係(普通鋼 その2)

1. 那 覇 $Y = 3.9974 + 0.0272 X$ ※
 $R = 0.892, F = 15.578$
2. 糸 溝 $Y = 7.5327 + 0.0576 X$ ※※
 $R = 0.960, F = 48.713$
3. 西 原 $Y = 6.5836 + 0.0273 X$ ※※
 $R = 0.919, F = 21.866$
4. 読 谷 $Y = 3.3153 + 0.0695 X$ ※※
 $R = 0.939, F = 29.900$
5. 具志川 $Y = 2.9608 + 0.0932 X$ ※※
 $R = 0.968, F = 60.243$
6. 千 葉 $Y = 1.6328 + 0.1102 X$ ※※
 $R = 0.955, F = 41.167$

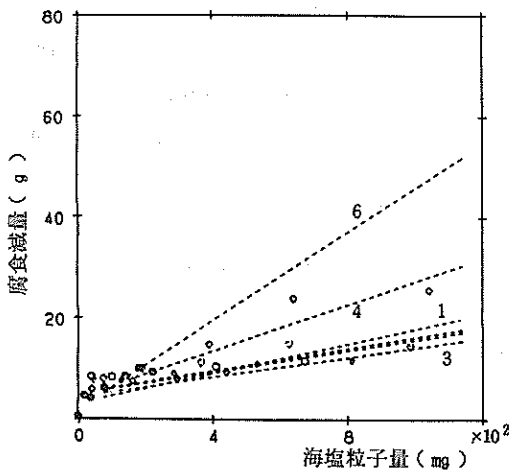


図-8-2 海塩粒子量と腐食減量の
相関々係(耐候性鋼 その2)

1. $Y = 3.1242 + 0.0145 X$
 $R = 0.807, F = 7.474$
2. $Y = 5.0357 + 0.0109 X$
 $R = 0.814, F = 7.838$
3. $Y = 4.3551 + 0.0096 X$
 $R = 0.780, F = 6.219$
4. $Y = 4.1962 + 0.0228 X$ ※※
 $R = 0.944, F = 32.834$
5. $Y = 4.9031 + 0.0106 X$
 $R = 0.711, F = 4.095$
6. $Y = 1.7715 + 0.0439 X$ ※※
 $R = 0.946, F = 34.206$

※※：危険率1%で有意。

※：危険率5%で有意。

5.1.2 その他の腐食因子

海塩粒子以外の因子として、硫黄酸化物のほか気温、湿度、「風向速」、降水量、日照時間等が考えられる。硫黄酸化物については、前述のとおり、調査地区においてはその絶対量が少いため、検討因子から除外した。また、気温、湿度は測定点を広く且つ多数に分散しない限り、腐食量との単相関々係を検討することは不可能なためこれも除外した。

図-9~11に、降水量、日照時間、風向速値(北風)との関係を示した。これをF表によりF検定を行うと表中に※印を付したとおり5%ないし1%の危険率で有意性を示している。

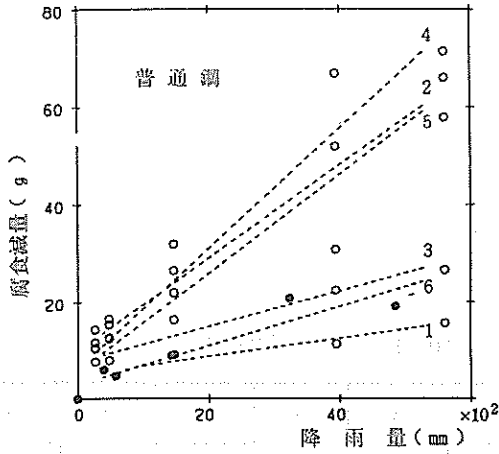


圖-9 降雨量と腐食減量

1. $Y = 4.9048 + 0.0019 X$ ※
R=0.847, F= 10.185
2. $Y = 9.8686 + 0.0095 X$ ※※
R=0.958, F= 44.577
3. $Y = 7.6016 + 0.0037 X$ ※
R=0.896, F= 16.274
4. $Y = 6.2379 + 0.0123 X$ ※※
R=0.967, F= 57.669
5. $Y = 5.5440 + 0.0101 X$ ※※
R=0.936, F= 28.409
6. $Y = 2.8864 + 0.0040 X$ ※※
R=0.930, F= 25.513

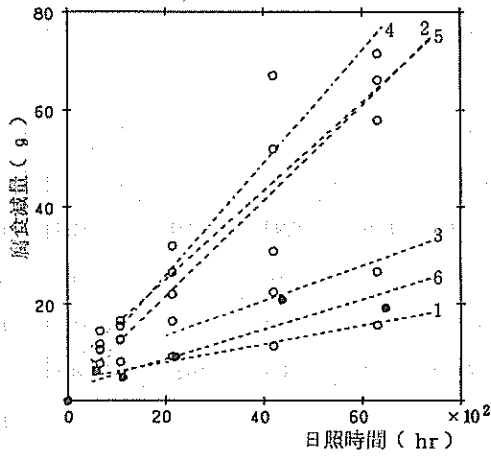


圖-10 日照時間と腐食減量

1. $Y = 4.0880 + 0.0019 X$ ※
R=0.890, F= 15.194
2. $Y = 6.6460 + 0.0091 X$ ※※
R=0.967, F= 57.631
3. $Y = 6.1534 + 0.0036 X$ ※※
R=0.927, F= 24.373
4. $Y = 2.6144 + 0.0116 X$ ※※
R=0.958, F= 44.341
5. $Y = 1.7585 + 0.0099 X$ ※※
R=0.960, F= 47.017
6. $Y = 2.3765 + 0.0031 X$ ※※
R=0.931, F= 25.941

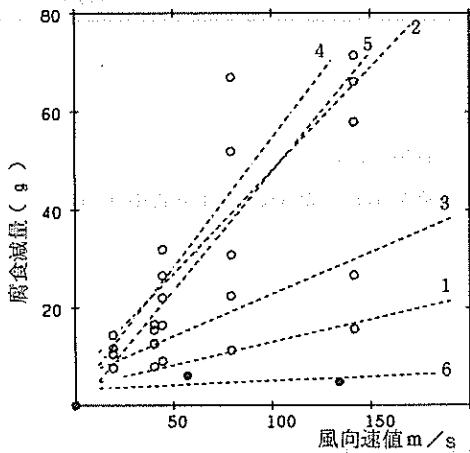


圖-11 風向速値(北風)と腐食減量

1. $Y = 3.6062 + 0.0930 X$ ※
R=0.912, F= 19.781
2. $Y = 5.8595 + 0.4206 X$ ※※
R=0.928, F= 24.944
3. $Y = 5.5075 + 0.1719 X$ ※※
R=0.923, F= 23.062
4. $Y = 2.0550 + 0.5245 X$ ※
R=0.905, F= 18.213
5. $Y = -0.8400 + 0.4856 X$ ※※
R=0.987, F= 156.497
6. $Y = 3.2801 + 0.0168 X$ ※
R=0.914, F= 20.332

5.2 重相関々係

腐食量を Y とし腐食因子を X とするとき、

$$Y = AX_1 + BX_2 + CX_3 + D$$

という形の重相関モデル式を活用することとした。因子を3個に限定せざるを得ないのはデータが、3、6、12、24、36ヶ月の5個に限定されており、これ以上の因子についての解析は不可能なためである。そこで表-3のように9種の組合わせについて回帰式を求め、それぞれの相関度を検討することとした。用いたデータは沖縄の場合、腐食減量および海塩粒子量の測定値を5地区平均として加工し、

表-3 重相関モデル因子の組合わせと相関係数

式 No		1	2	3	4	5	6	7	8	9
気 温	No 2	○	○	×	×	○	○	○	○	○
湿 度	No 6	○	×	○	×	○	○	○	○	○
降 水 量	No 12	×	○	×	○	×	○	×	×	○
sun/Hr	No 15	×	×	○	×	○	×	×	○	×
北 風	No 9	×	×	×	○	×	×	○	○	○
海塩粒子	No 25	○	○	○	○	○	○	○	○	○
沖 繩	A ¹⁾	R	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99
		F	40.5	262.1	72.9	3662.5	71.9	235.8	38.7	1709.9
子	B ²⁾	R	0.99	0.99	0.97	0.99	0.98	0.98	0.99	0.99
		F	17.4	13.8	6.3	42.0	6.7	11.3	15.5	205798.3
銚 子	A ¹⁾	R							0.98	0.98
		F							7.2	10.24
子	B ²⁾	R							0.99	0.99
		F							300.3	117.5

注1) 普通鋼

注2) 耐候性鋼

F(3.1.0.01) = 5403^{***} F(3.1.0.05) = 216^{*}

その他の因子は沖縄気象台による「那覇」のデータを活用した。

求めた結果はNo 9の組合わせがR値及F値とも高い値を示したため、これを活用することとした。すなわち、導かれた重回帰式は次のとおりである。

$$Y = AX_1 + X_2 + BX_3 + CX_4 + X_5 + D$$

Y: 腐食量 (重量%)

X₁: 気温 (月平均℃)

X₂: 湿度 (月平均 %)

X₃: 日照時間 (暴露期間中の累積hr)

X₄: 風向速値 (北風、全上、m/sec)

X_5 : 海塩粒子量 (暴露期間中の累積mg)

A、B、C、D : 係数

普通鋼の回帰式

$$Y_A = 0.00181 X_1 \cdot X_2 + 0.00488 X_3 - 0.00005 X_4 \cdot X_5 - 0.35901 \dots\dots\dots (2)$$

耐候性鋼の回帰式

$$Y_B = 0.0002 X_1 \cdot X_2 + 0.00147 X_3 - 0.00003 X_4 \cdot X_5 + 3.32762 \dots\dots\dots (2)'$$

導びかれた回帰式に測定値を代入し、腐食量の経時変化を計算して実測値と比較したのが表-4であり、良い一致を示している。

表-4 腐食量の実測値と計算値の比較

単位(g)

経過月	普通鋼			耐候性鋼		
	実測値	重回帰式	複合式	実測値	重回帰式	複合式
3	6.36	6.35	6.73	4.65	4.66	4.85
6	7.55	11.43	9.09	5.03	5.50	5.69
12	12.23	12.49	13.18	6.35	6.43	6.64
24	21.26	21.29	17.82	8.46	8.66	7.53
36	27.61	27.97	21.36	9.05	9.60	8.20

また、金属腐食を時間の関数として表示した(1)式と、腐食環境因子のみによる重相関式との複合が、中村らによって提唱されているので、この手法によって、表-1の沖縄5地区 β_0 から β_0 の回帰式を求めると、普通鋼の場合次式となる。

$$\beta_0 = 1.9583 - 0.1513 \ln(Y_3 \times 10)$$

$$Y_3 = 3 \text{ 年間の腐食量(}\mu\text{)の年間平均値}$$

本式と先に求めた重回帰式を複合すると、時間と腐食因子を含む重回帰式(3)式が得られる。これのもとづく計算結果は表-4中に併記したとおりである。

$$\ln Y_X = \underbrace{1.9583 - 0.1513 \ln(Y \times 10)}_{\beta_0} + \underbrace{0.549096 \ln X_T}_{\beta_1} - \underbrace{0.055802 / X_T}_{\beta_2} \dots\dots\dots (3)$$

6 素材試験片の耐候性

6.1 アルマイト・ステンレス

アルマイト試片では表面色がわずかに黄変する以外は白さびの発生等はみられなかった。黄変の程度は環境差を表わしているものとみられるが、銑子の場合が最も少ない変化を示した。重量の変化もわずかであり、地域による差があるとは認められない。

ステンレスはSUS-304、BA処理の試片であるが、海塩粒子の大きい環境においては、その耐食性には問題があるといわれており、場所によっては3ヶ月の時点から鏡面のくもりや赤さびの発生がみられた。赤さびの発生程度はRN法による外観々察では36ヶ月時点で表-5のとおりであり、

読谷が最大で銚子が最小である。しかし、糸満より西原が大きく、また、那覇、糸満、具志川が同程度であるなど、普通鋼や耐候性鋼の腐食度とはちがった結果を示している。

暴露期間を長くして、腐食を更に進行させれば、普通鋼と同様、除錆法により腐食減量を比較できるものと考えられるが、36ヶ月時点では不可能であった。しかし、沖縄5地区に較べて銚子のさび発生程度が最も少ない事は、ステンレス試片の場合他の試片より明らかであった。

なお、重量については殆んど変化がみられなかった。

6.2 亜鉛メッキ試験片

亜鉛メッキ試片として、電気亜鉛、溶融亜鉛メッキおよび亜鉛溶射の3種類を用いた。これらの試片はメッキ面又は溶射面特有の光沢を有しているが、時間の経過とともに光沢が落ち、メッキ面は黒変を示したのち、この黒色が斑点状にさめて行き、その後には白さびの発生を見るようになる。

この課程は環境がきびしい程早く進行するものとみられ、沖縄5地区に較べ銚子が遅い変化を示した。

亜鉛溶射についてはRN法で表現できるような白さびの発生もみられなかったが、重量の変化が素材試片の中で最も顕著であった。その理由は表面における亜鉛化合物の生成によるものと考えられる。

表一5はこれら4種の試片のさび発生度を総合することによって、腐食環境の評価を試みたものである。数字の大きい順に環境がきびしいとみると、具志川、読谷、糸満、西原、那覇、銚子の順となり、普通鋼の腐食減量でみた場合と殆んど一致している。また海塩粒子量の順位と較べると、具志川の場合のみ例外であり、他の地区はみな海塩粒子量と同順位を示している。

表一5 RN法による試験片の評価(さび発生面積%)

	那 覇	糸 満	西 原	読 谷	具 志 川	銚 子
ス テ ン レ ス	1.0	1.0	2.5	5.0	1.0	0.02
電 気 亜 鉛 メ ッ キ	1.8	2.5	0.5	2.5	10.0	0.5
溶 融 亜 鉛 メ ッ キ	1.0	1.8	1.0	3.8	7.5	0.5
※ 亜 鉛 溶 射	1	2	1	3	4	1
計	4.8	7.3	5.0	14.3	22.5	2.02
劣 化 順 位	5	3	4	2	1	6

※は劣化程度の少い順位

7. 塗装試験片の耐候性

7.1 外観検査による評価

表一6にRN法による塗膜外観検査の結果を地域別・試験片別さび発生度として表わした。表は数字が大きい程塗膜の劣化が大きいことを示すことになるがこれから試験片別による耐候性の序列ならびに地域別腐食環境の序列を検討することができる。

表-6 RN法による外観検査結果（さび発生面積％）

	那覇	糸満	西原	読谷	具志川	銚子	計	劣化順位
H	0	0.25	0.07	0.25	0	0	0.57	6
J	0.02	0.75	5.25	50	0.75	0.14	56.91	2
K	0.02	0.03	0.02	2.0	0.01	0	2.58	3
L	0	0.07	0.035	1.0	0.02	0	1.125	5
M	0	0.02	1.00	1.0	0.02	0	2.04	4
N	0.02	0.02	0.02	0.035	0.02	0	0.115	8
P	0.02	0.02	0.07	0.035	0.025	0	0.17	7
Q	0.01	1.0	50	50	50	0	151.10	1
計	0.09	2.16	56.465	104.82	50.845	0.14		
劣化順位	6	4	2	1	3	5		

目視観察結果

地区別劣化 読谷>西原>糸満>具志川>那覇>銚子

試験片別劣化 Q>J>K>P>L=M>H>N

RN法検査結果

地区別劣化 読谷>西原>具志川>糸満>銚子>那覇

試験片別 " Q>J>K>M>L>H>P>N

腐食環境差をみると、読谷、西原、具志川、糸満、銚子、那覇の順であり、普通鋼等の素材腐食の場合と較べると、西原と糸満の順序が不自然に感じられるが、これは目視観察による評価の限界とみるべきであろう。また、那覇と銚子の場合、単に数字の比較よりも、各試験片の劣化度合からして、銚子は那覇よりおだやかな環境とみるべきである。

試験片別による劣化はQ>J>K>M>L>H>P>Nの順であり、高価な塗料が必ずしも良い耐食性を示しているとはいえない。エポキシ樹脂粉体塗料は沖縄の環境においては良い耐食性を示さず、逆にポピュラーなカラートタンやNCラッカー、塩化ゴムが耐食性の良い結果を示している。

7.2 各種特性値による評価

表-7に各種特性値で見る塗膜の評価を良い順に並べた。またこれらの評価に用いた各特性値の経時変化は付図に示したとおりである。

光沢度の評価は光沢残存率の経時変化と最終残存率に注目することとした。エポキシ粉体塗料(J)はチョーキングが早いと、急激に光沢度が減少する。また塩化ゴム塗料(L・N)は表面によごれの付着が目立ち、ふきとれば光沢度は残っているが、そのままの状態では急速に光沢を失っている。ポリウレタンやアクリル仕上げ(M・Q)はやはり最も良い光沢度を示している。

明度の変化も光沢度と同様な傾向を示している。試験片のカラーを種々変えて試験すれば、色の三要素である色相、明度、彩度の変化にもとづく色差を較べることができるのであるが、ここでは耐候性に影響を及ぼすことを懸念して白色に統一したため、明度の変化のみを測定する結果となった。

表-7 各特性値による塗膜の評価

特性値 \ 試験片	H	J	K	L	M	N	P	Q
光 沢 度	2	5	4	5	1	5	3	1
明 度	4	6	5	7	1	7	3	2
Pull off 値	8	1	3	4	2	6	7	5
エリクセン値	1	8	5	2	4	3	6	7
ゴバン目試験	1	1	4	3	2	3	4	1
インピーダンス	6	3	1	5	2	5	4	2
評 点 計	22	24	22	26	12	29	27	18
順 位	3	4	3	5	1	7	6	2
RN 法 順 位	3	7	6	4	5	1	2	8
目 視 順 位	2	6	5	3	3	1	4	7

また塗膜付着力の変化を見るため、Pull off 試験とゴバン目試験を実施した。Pull off 試験では暴露期間中に付着力の急速な変化を示す塗膜はみられなかった。測定値のバラツキが大きく判定が困難であるが、初期付着力に重点をおいて評価すると J・M の塗装系が大きく、H・P の塗装系が小さい結果を示している。ゴバン目試験では塗膜の硬さと付着力を同時に判定することとなるが、ブランクテストの時点から塗膜による多少の差がみられ、エポキン、ポリウレタン、アクリルは剝離し難く、フタル酸、NC ラッカー、塩化ゴム等は剝離しやすい傾向を示している。

次に塗膜の延展性をみるために実施したエリクセン試験の結果では初期値にかなりのちがいがみられるほか経時変化においても塗膜特性が現われている。すなわち、塩化ゴム・ポリウレタンは伸びがよく、エポキン・アクリルは割れやすい結果を示した。

なお、H 試片は市販のカラートタンであり、素地、塗膜ともに薄く、ゴバン目試験及びエリクセン試験では有利となるため、他の試験片とストレートに比較できない。

以上の5特性値を統合して塗膜の序列を良い順にナンバリングし、外観検査の結果と較べると、Q・J・Nなどにおいて特に明らかなように、両評価法の結果には一致点がみられない。すなわちここにとり上げた特性値は実際の耐候性、耐食性を判断することには不向きであることがわかった。なお、塗膜インピーダンスの経時変化については $\tan \theta$ の値を付図に示した。

8 まとめ

36ヶ月間の大気暴露試験をとおして言えることは次のとおりである。

- (1) 沖縄の高温、多湿、高塩分という環境条件は金属腐食にとって、国内他地区よりきびしい条件にある。
- (2) 地域における日最大風速と風向との関係である「風向速値」と海流粒子量との相関について検討した結果、南北方向、特に北風の場合が高い相関を示した。
- (3) 暴露地における海塩粒子量は、海岸からの距離の差もあって、銚子と較べると那覇は約2.5倍、沖縄5地区平均は4.6倍の差であった。
- (4) 銚子の腐食量は暴露初期には那覇より小さいが1～2年後から逆転し、那覇より大きな値を示した。
- (5) 海塩粒子量の累積値が腐食量に関係すると考えるとき、両者の間には高い相関々係が成りたつ。
- (6) 海塩粒子のほか、気温、湿度、日照時間、「風向速値」を因子として腐食量との重相関々係を検討した結果、実測値と良く一致する重回帰式を導びくことができた。
- (7) アルマイト、亜鉛メッキ、ステンレスについては3カ年暴露は期間不足であり、アルミ及びメッキ素地のさび発生はみられなかった。
- (8) 塗膜の暴露試験では塩化ゴムやポリウレタンが良い耐候性を示し、アクリルやエポキシ粉体は比較的耐食性の悪い結果を示した。
- (9) 塗膜の耐候性、耐食性を評価する特性値として、光沢度、明度、pull off、エリクセン、ゴバン目試験及びインピーダンス測定を行ったが、現実的な塗膜評価につなげることができなかった。

9 あとがき

本調査研究を振り返って見て反省すべき点は次のとおりである。

- (1) 暴露計画期間は3カ年は短いこと。
- (2) 本土と沖縄との比較研究のためには、本土側測点が1点では決論が出せず、この種の調査研究は本土側研究機関との共同研究が必要であること。
- (3) 塗膜耐候性の試験項目として、必ずしも多くの項目を実験する必要はなく、不可欠な項目にしぼる必要があること。

等が上げられる。

本調査研究にあたっての困難性は、素材、メッキおよび塗膜の耐食性、耐候性に関する試験法とその評価法が確立されていない点であった。今後はこれらの試験法及び評価法が確立されることを期待したい。

本研究のまとめの作業はパソコン（日本電機製 pc 9801）を活用して行なわれたが、そのプログラミングおよびデータ処理は報告者のうち、国吉が担当した。

本稿の報告にあたり、終始調査研究にご協力をいただいた(社)日本鋼橋塗装専門会、(財)日本ウエザリングテストセンター並びに暴露試験場を長期にわたって提供して下さった読谷村社会福祉協議会、県経済連製糖工場、県企業局南部浄水管理所および県水産試験場に対し心からお礼申し上げます。

参考文献

- (1) 陸上鉄骨構造物防食研究会：各種金属材料および防錆被覆の大気腐食に関する研究（第9報）、大気腐食量の実測値と計算値の考察、防食技術、Vol. 22, No3, 昭和47年
- (2) 堀川一男ほか3名：同上第5報、金属素材類暴露5カ年の結果、防食技術16, 昭和42年、
- (3) (財)日本ウエザリングテストセンター：耐久製品の耐候性の標準化に関する調査研究報告書 昭和57年
- (4) 渋谷豊次郎ほか1名：上下水道プラントの腐食環境と防食対策、東京芝浦電気(株)1983年
- (5) 中村元治ほか4名：耐候性鋼の腐食量予測モデルの開発、金属表面技術、Vol. 33, No2, 1982年
- (6) 石原ほか2名：金属の塩害に関する調査研究（第I報）～（第III報）、沖工試業務報告第9号～11号、1982～1984年

本文関連付表および付図

付表-2 暴露試験片設置場所

付表-1 暴露試験片の取りはずし時期

暴露期間	時 期	試験片の 番 号
0カ月目	昭和56年7月31日	1、2
3カ月目	昭和56年10月31日	3、4
6カ月目	昭和57年1月31日	5、6
12カ月目	昭和57年7月31日	7、8
24カ月目	昭和58年7月31日	9、10
36カ月目	昭和59年7月31日	11、12

地域別	試験片設置場所	Location		番号	海までの 距離
		北 緯	東 経		
那 覇	沖縄県工業試験場機械金属棟屋上	26°12'	127°42'	1	西へ1.8 km
糸 満	沖縄県水産試験場漁具倉庫屋上	26°08'	127°40'	2	南へ0.03 km
西 原	沖縄県企業局南部浄水管理所電気室屋上	26°14'	127°47'	3	東へ1 km
読 谷	読谷村社会福祉協議会センター屋上	26°24'	127°45'	4	西へ2 km
具志川	沖縄県経済連製糖工場食堂屋上	26°20'	127°52'	5	南へ0.15 km
読 子	(財)日本ウエザリングセンター構内	26°43'	140°45'	6	南へ4 km

付表-3 暴露試験片の種類・枚数等

試験片種別	形 状 (mm)	記 号	1カ所当 りの枚数	暴露地 の 数	合 計	
素 材 試験片	普通鋼板	100×100×2.3	A	12	6	72
	耐候性鋼板(無)	100×100×2.0	B	12	6	72
	アルミニウム(アルマイト)	100×100×2.0	C	12	6	72
	ステンレス鋼	100×100×2.0	D	12	6	72
金属被覆 試験片	電気亜鉛メッキ(30 g/㎡)	100×100×2.0	E	12	6	72
	溶融亜鉛メッキ(100 g/㎡)	100×100×3.2	F	12	6	72
	亜鉛溶射(100 μ)	100×100×3.2	G	12	6	72
塗 装 試験片	カ ラ ー ト タ ン	150×150×1	H	12	6	72
	粉 体 塗 料 (エポキシ)		J	12	6	72
	鉛系さび止め+フタル酸		K	12	6	72
	エポキシジンク+塩ゴム		L	12	6	72
	エポキシ+ポリウレタン		M	12	6	72
	無機ジンク+塩ゴム		N	12	6	72
	ラ ッ カ ー 仕 上 げ		P	12	6	72
	エポキシ+ポリウレタン+アクリル		Q	12	6	72

付表-4 試験片素材の規格

試験片種別	規 格	
素材試験片	普通鋼板	J I S. G. 3101 (SS-41)
	耐候性鋼板(無)	J I S. G. 3125 (SPAC)
	アルミニウム(アルマイト)	J I S. H. 4000 (A1050 P)
	ステンレス鋼	J I S. G. 4305 (SUS-304)
金属被覆 試験片	電気亜鉛メッキ(30 g/㎡)	J I S. G. 3141 (SPCC-SB)
	溶融亜鉛メッキ(100 g/㎡)	J I S. G. 3101 (SS-41)
	亜鉛溶射(100 μ)	J I S. G. 3101 (SS-41)
塗装試験片	軟鋼板	J I S. G. 3141 (SPCC-SB)

付表-5 塗装試験片の塗装系

記号	一 層 目	二 層 目	三 層 目	四 層 目	五 層 目	膜厚計	備 考
H	エポキシ	ポリエステル				24 μ	市販カラートタン
J	エポキシ(粉体)					100 μ	静電塗装
K	鉛系さび止め	全 左	フタル酸	フタル酸		125 μ	スプレー
L	ジンクリッチ (有機)	塩化ゴム系	塩化ゴム系	塩化ゴム系	塩化ゴム系	145 μ	スプレー
M	ジンクリッチ (有機)	(下) エポキシ	全 左	ポリウレタン	全 左	200 μ	スプレー
N	ジンクリッチ (無機)	(下) 塩化ゴム系	(下) 塩化ゴム系	(上) 塩化ゴム系	(上) 塩化ゴム系	145 μ	スプレー
P	ジンククロメー プライマー	NCラッカー	全 左			65 μ	スプレー
Q	エポキシ	ポリウレタン	アクリル	全 左		130 μ	スプレー

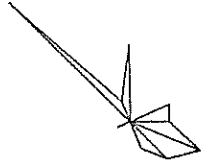
付表-6：大氣中海塩粒子量測定結果

※ $\text{mdd} \times 10^{-3}$ $\text{mg} / \text{dm}^2 / \text{day}$

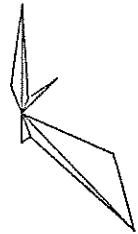
月	地区名	沖繩 平均	NO 1 (那覇)	NO 2 (糸満)	NO 3 (西原)	NO 4 (読谷)	NO 5 (具志川)	NO 6 (読子)
	区分							
1月	(1)	1019	473	1339	1077	1444	764	98
	(2)	291	130	309	280	449	290	90
	(3)	732	351	732	742	784	1052	120
	平均	681	318	793	700	892	702	103
2月	(1)	1284	330	2500	1110	1690	790	428
	(2)	618	541	696	754	618	483	242
	(3)	1417	588	1918	1278	2330	969	217
	平均	1106	486	1705	1047	1546	747	296
3月	(1)	830	290	1140	930	1230	560	269
	(2)	539	203	778	736	659	321	565
	(3)	660	207	722	848	812	713	226
	平均	676	233	880	838	900	531	353
4月	(1)	614	210	590	800	780	690	339
	(2)	467	211	575	609	541	397	131
	(3)	672	491	751	818	722	577	135
	平均	584	304	639	742	681	555	202
5月	(1)	664	330	690	500	1280	520	123
	(2)	553	448	698	605	507	507	175
	(3)	714	279	837	861	779	813	58
	平均	644	352	742	655	855	613	119
6月	(1)	714	659	812	806	655	637	113
	(2)	516	362	628	628	450	511	140
	(3)	556	466	684	568	466	596	93
	平均	595	496	708	667	524	581	115
7月	(1)	921	778	884	1108	998	837	56
	(2)	570	385	738	652	627	447	53
	(3)	427	221	568	322	486	539	19
	平均	639	461	730	694	704	608	43
8月	(1)	433	440	393	512	518	305	136
	(2)	701	736	786	778	461	744	—
	(3)	557	255	782	764	437	546	55
	平均	564	477	654	685	472	532	95
9月	(1)	454	229	540	424	685	391	227
	(2)	504	550	393	646	375	559	—
	(3)	652	599	617	864	423	758	123
	平均	537	459	517	645	494	569	175
10月	(1)	741	640	569	606	1240	651	232
	(2)	576	285	592	434	1138	434	233
	(3)	549	282	583	470	996	414	117
	平均	622	402	581	503	1125	500	194
11月	(1)	887	571	1283	791	1090	698	346
	(2)	975	262	1299	1141	1407	1028	180
	(3)	1570	647	1886	1299	2827	1190	58
	平均	1144	493	1489	1077	1775	972	195
12月	(1)	855	371	1406	763	1249	486	188
	(2)	722	290	1098	796	1011	414	25
	(3)	1037	375	1711	437	2161	499	96
	平均	871	345	1405	665	1474	466	103
年平均		757	402	904	673	953	615	166



No 8111



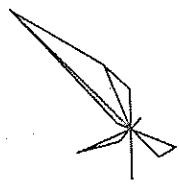
No 8203



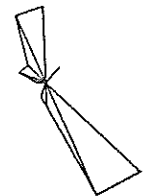
No 8207



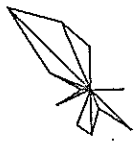
No 8110



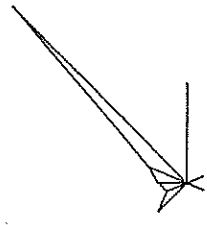
No 8202



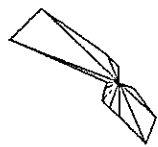
No 8206



No 8109



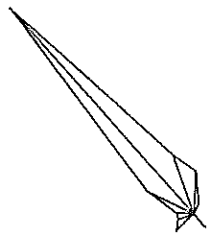
No 8201



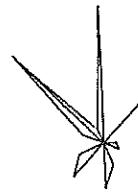
No 8205



No 8108 (注)



No 8112



No 8204

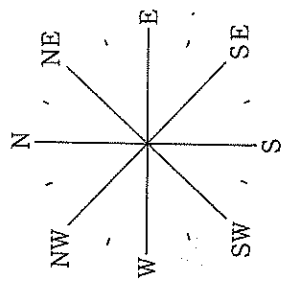
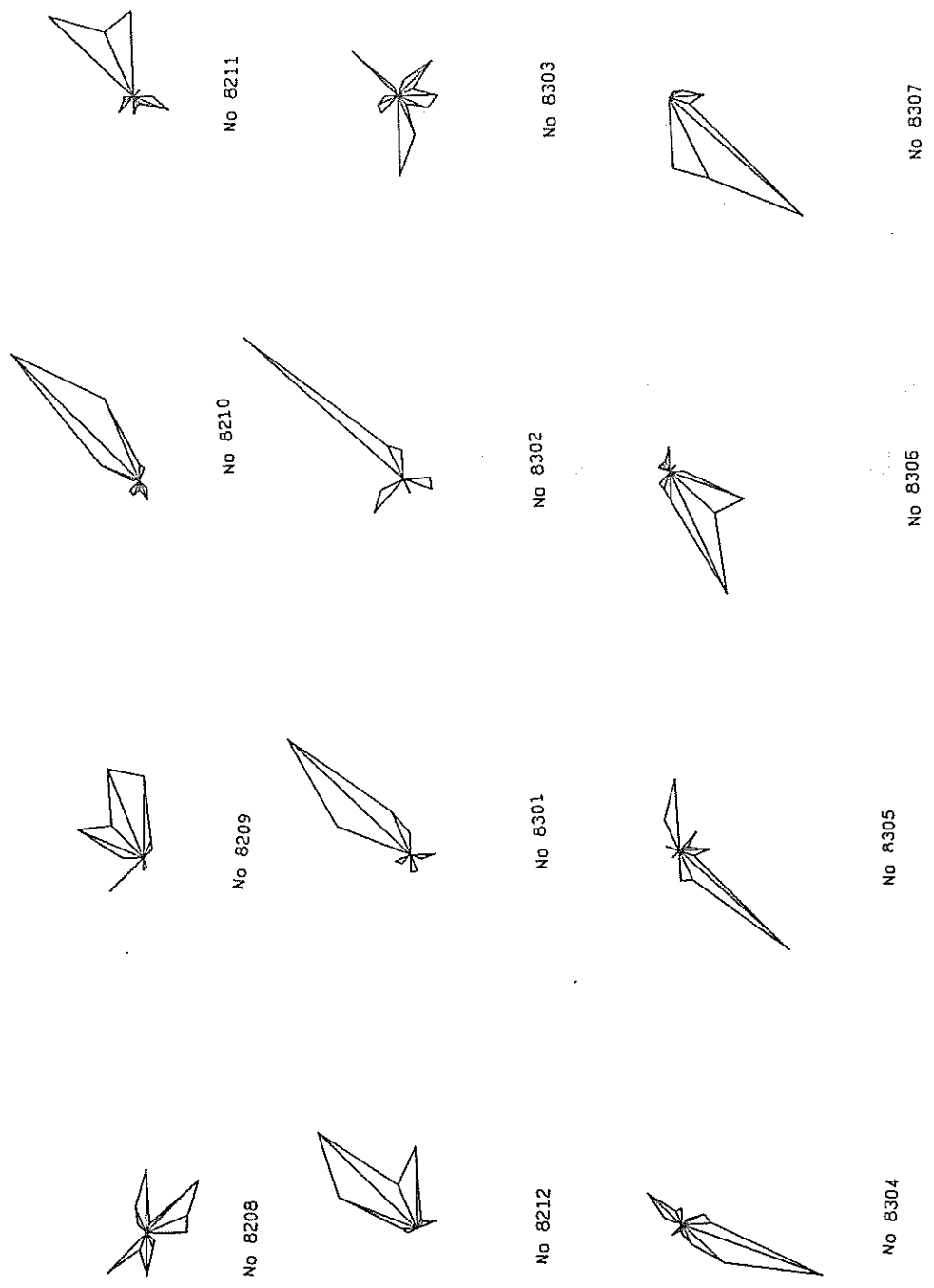
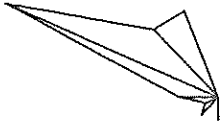


図-1の付図 那覇の風向速(1981年8月~1982年7月)

注) No 8108 : 1981年8月を意味する。以下同様。



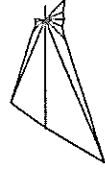
図一1の付図 那覇の風向速（1982年8月～1983年7月）



No 8311



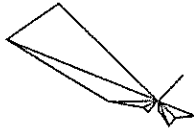
No 8403



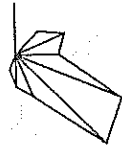
No 8407



No 8310



No 8402



No 8406



No 8309



No 8401



No 8405



No 8308

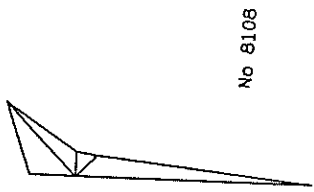


No 8312

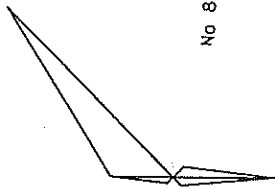


No 8404

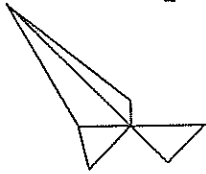
図-1の付図 那覇の風向速(1983年8月~1984年7月)



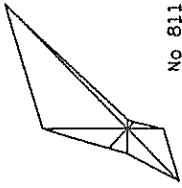
No 8108



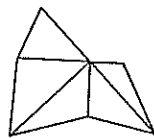
No 8109



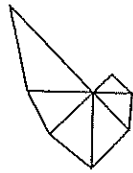
No 8110



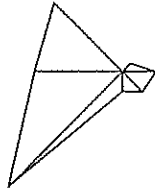
No 8111



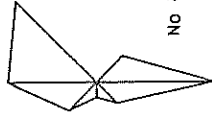
No 8112



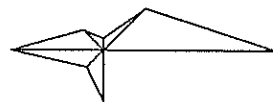
No 8201



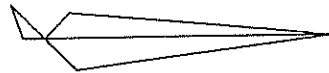
No 8202



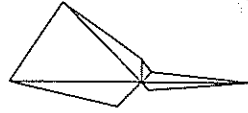
No 8203



No 8204



No 8205



No 8206

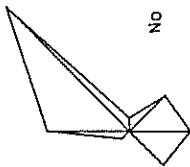


No 8207

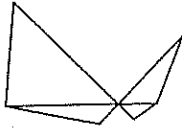
図-1の付図 銚子の風向速(1981年8月~1982年7月)



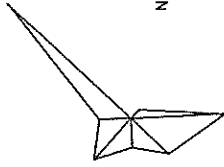
No 8208



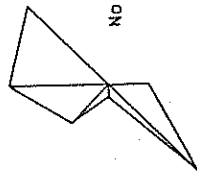
No 8209



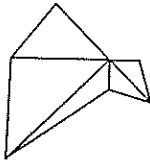
No 8210



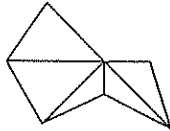
No 8211



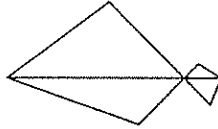
No 8212



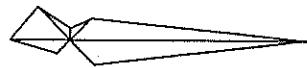
No 8301



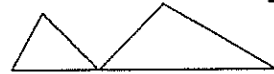
No 8302



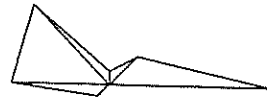
No 8303



No 8304



No 8305

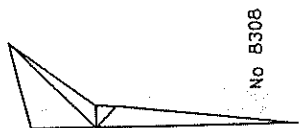


No 8306

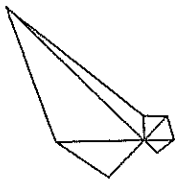


No 8307

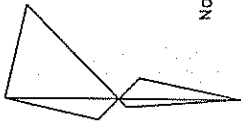
図-1の付図 銚子の風向速（1982年8月～1983年7月）



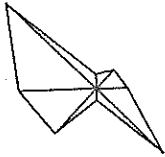
No 8308



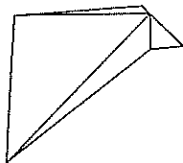
No 8309



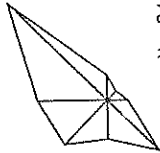
No 8310



No 8311



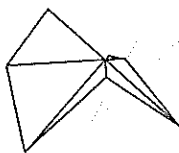
No 8401



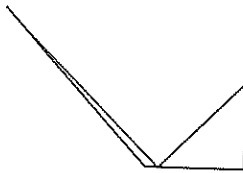
No 8403



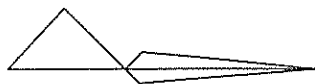
No 8402



No 8312



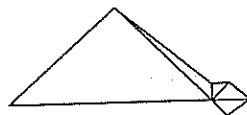
No 8407



No 8406



No 8405



No 8404

図-1の付図 銚子の風向速(1983年8月~1984年7月)

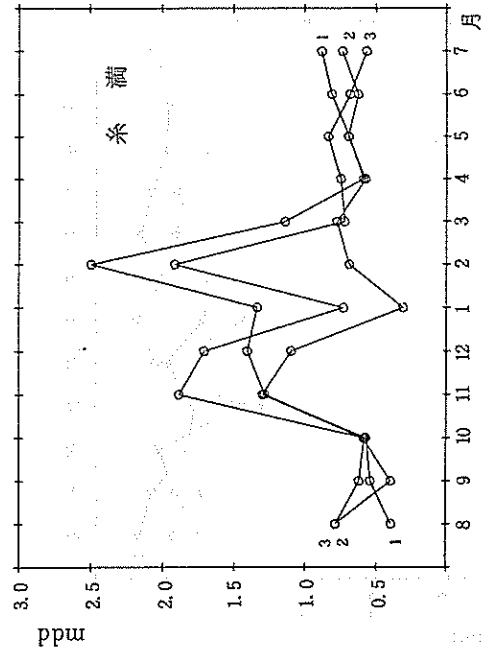
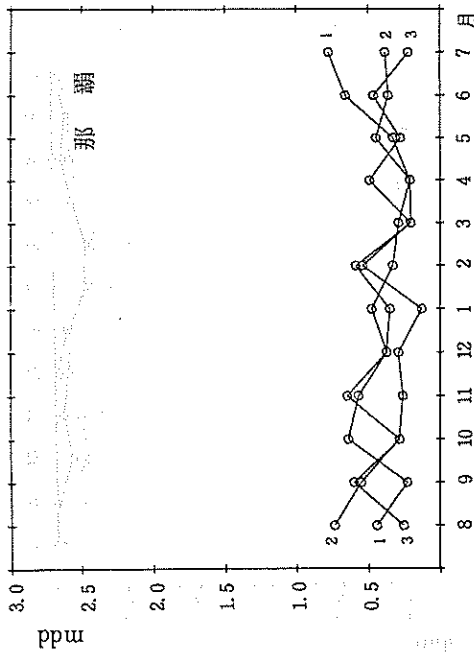
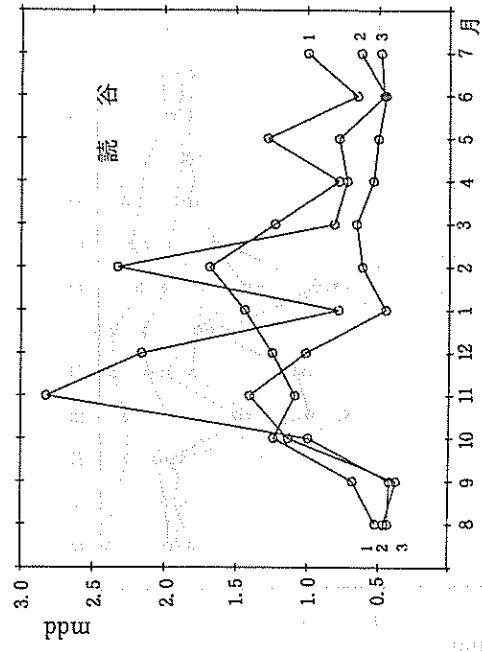
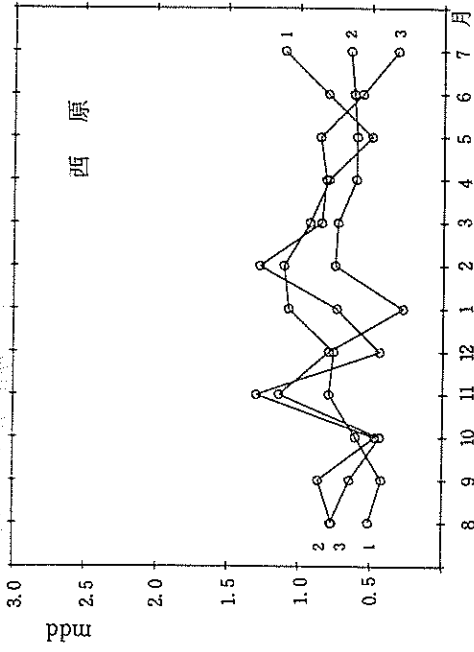


図-2の付図：海塩粒子量の地域別・月別変動状況

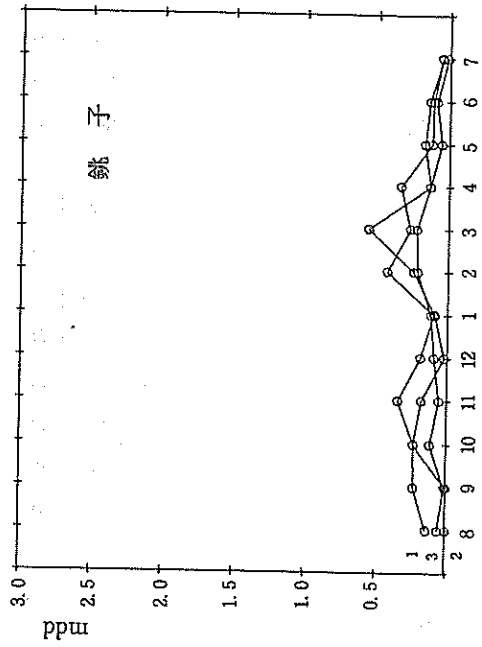
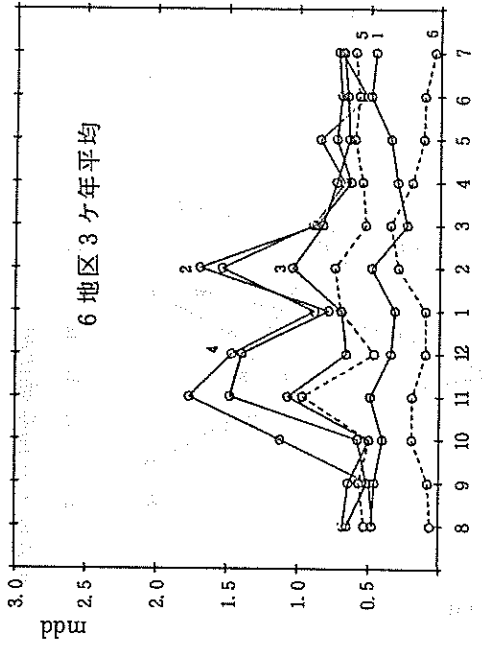
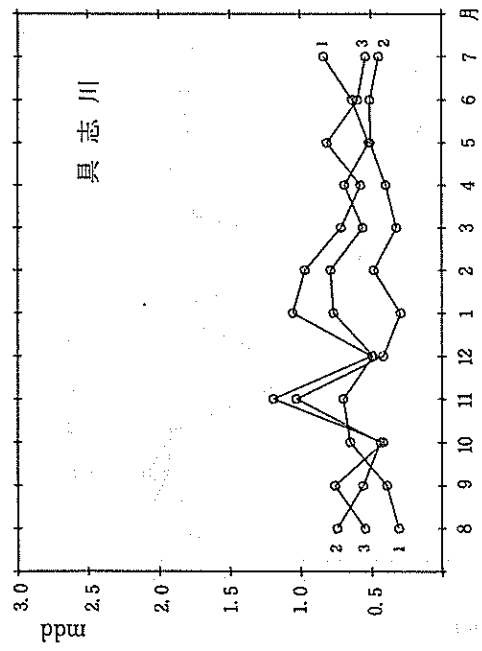


図-2の付図 海塩粒子量の地域別・月別変動(続)

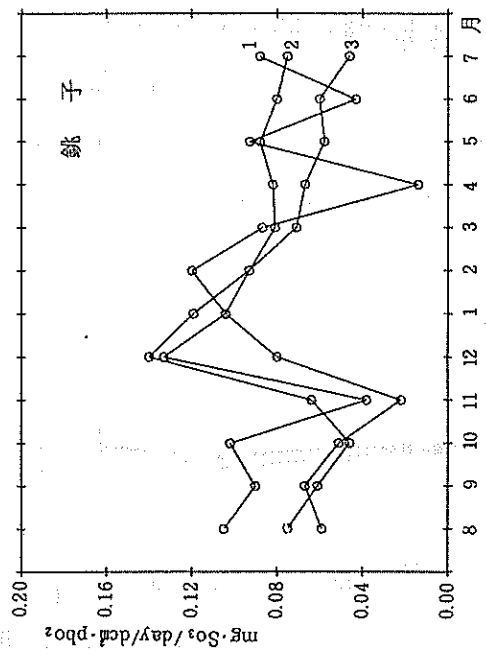
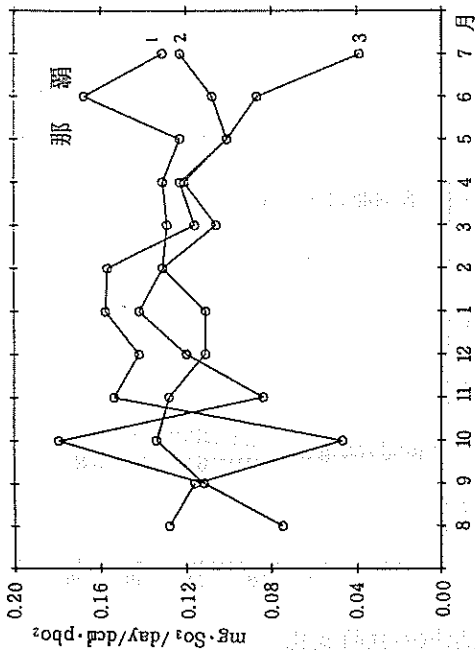
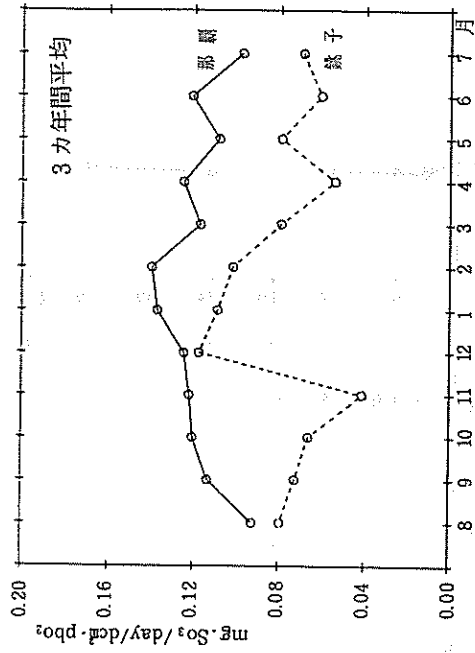


図-3の付図：硫酸化物量の比較（資料：日本ウエザリングテレストセンター）

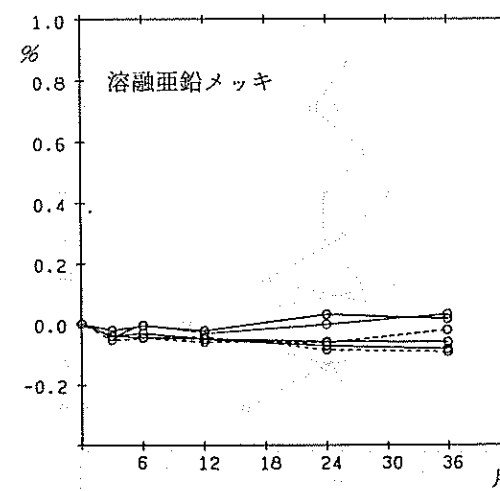
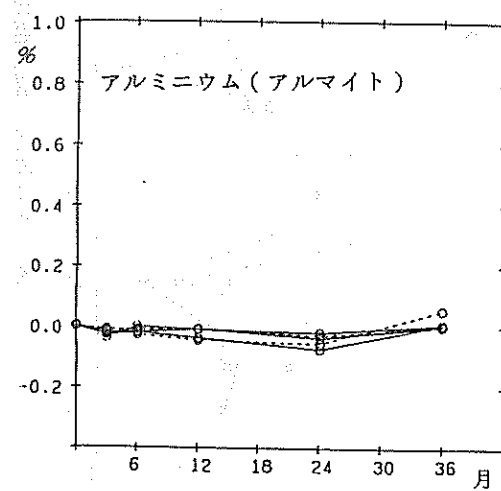
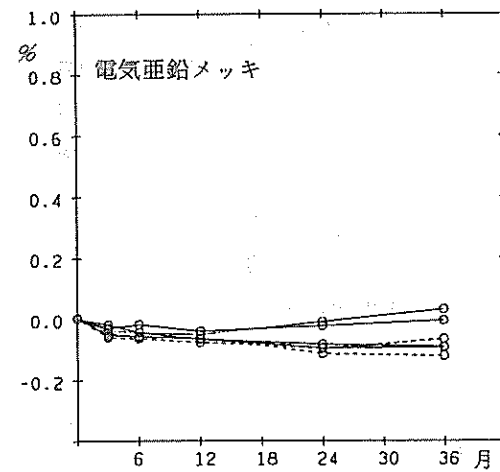
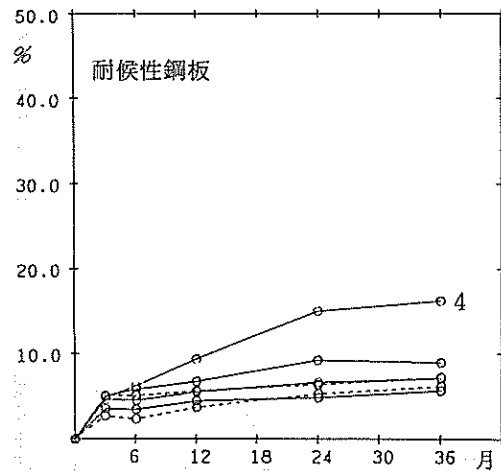
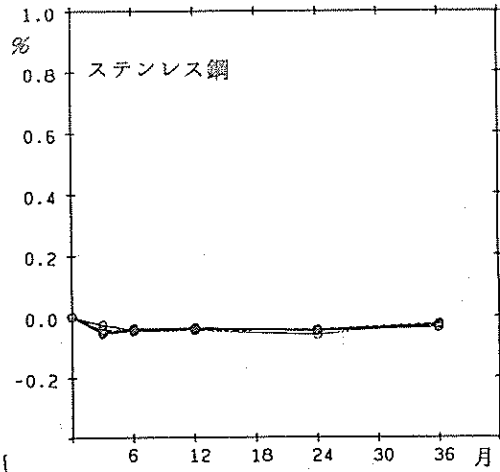
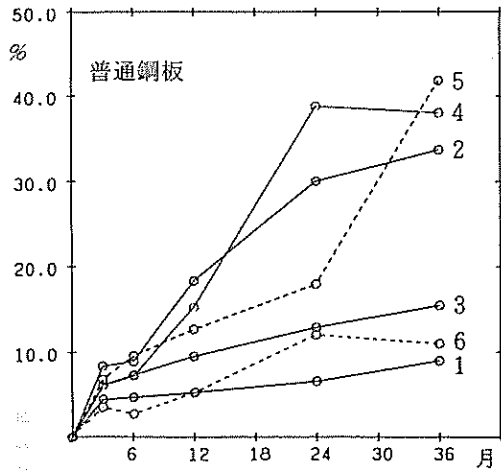


図5-の付図 腐食減量の経時変化

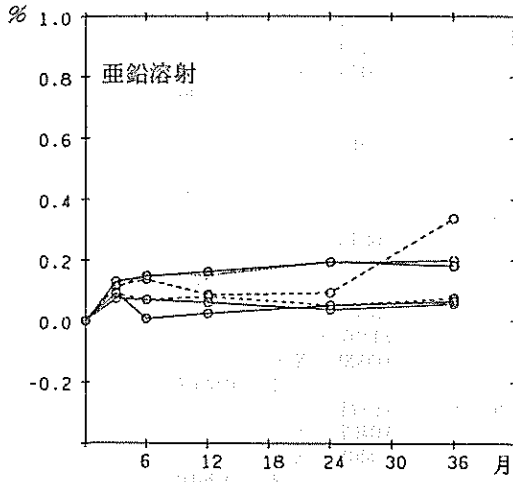
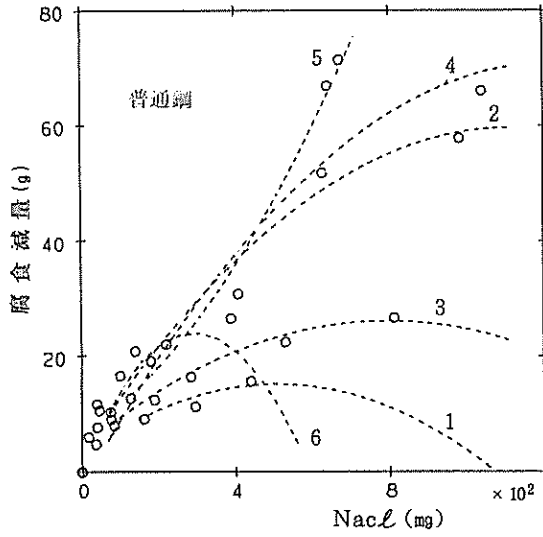
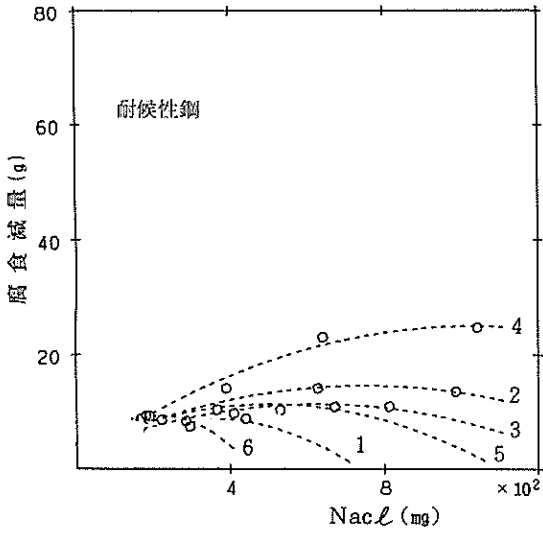


図-5の付図(つづき)

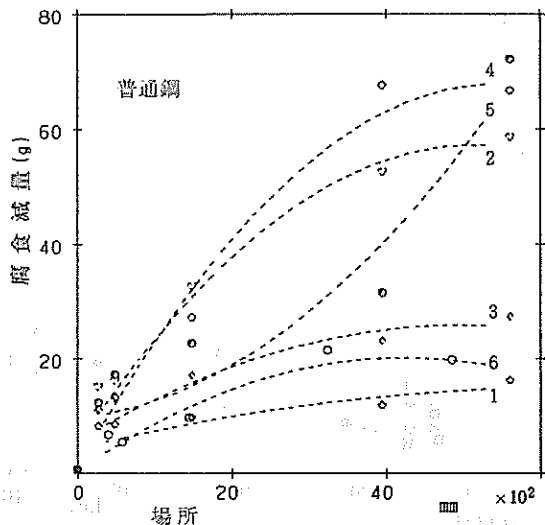


1. $Y = 2.9610$
 $+ 0.0479 * X^{**} 1$
 $+ -0.0000 * X^{**} 2$
 $R = 0.8299$
2. $Y = 3.1529$
 $+ 0.1013 * X^{**} 1$
 $+ -0.0000 * X^{**} 2$
 $R = 0.9680$
3. $Y = 4.3138$
 $+ 0.0548 * X^{**} 1$
 $+ -0.0000 * X^{**} 2$
 $R = 0.9097$
4. $Y = -2.5160$
 $+ 0.1197 * X^{**} 1$
 $+ -0.0000 * X^{**} 2$
 $R = 0.9207$
5. $Y = 6.6371$
 $+ 0.0407 * X^{**} 1$
 $+ 0.0001 * X^{**} 2$
 $R = 0.9610$
6. $Y = 0.6428$
 $+ 0.1591 * X^{**} 1$
 $+ -0.0003 * X^{**} 2$
 $R = 0.9227$



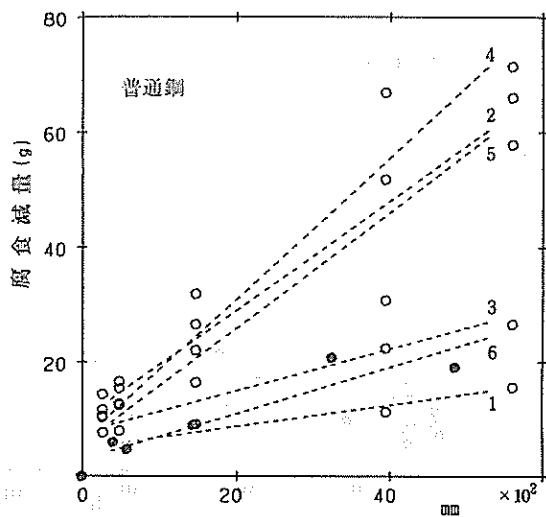
- Sample B
1. $Y = 1.8753$
 $+ 0.0395 * X^{**} 1$
 $+ -0.0001 * X^{**} 2$
 $R = 0.7948$
 2. $Y = 3.0844$
 $+ 0.0304 * X^{**} 1$
 $+ -0.0000 * X^{**} 2$
 $R = 0.8352$
 3. $Y = 2.9550$
 $+ 0.0266 * X^{**} 1$
 $+ -0.0000 * X^{**} 2$
 $R = 0.7501$
 4. $Y = 1.5043$
 $+ 0.0460 * X^{**} 1$
 $+ -0.0000 * X^{**} 2$
 $R = 0.9684$
 5. $Y = 3.4341$
 $+ 0.0316 * X^{**} 1$
 $+ -0.0000 * X^{**} 2$
 $R = 0.6598$
 6. $Y = 1.1640$
 $+ 0.0739 * X^{**} 1$
 $+ -0.0002 * X^{**} 2$
 $R = 0.9216$

図-8の付図：海塩粒子量と腐食減量（2次回帰）



2次相関

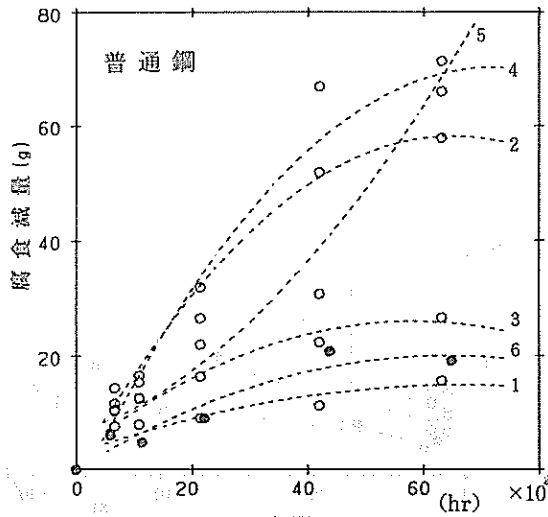
1. $Y = 4.2844 + 0.0033 * X^{**} 1 - 0.0000 * X^{**} 2$
R = 0.7379
2. $Y = 4.9650 + 0.0203 * X^{**} 1 - 0.0000 * X^{**} 2$
R = 0.9805
3. $Y = 5.5915 + 0.0081 * X^{**} 1 - 0.0000 * X^{**} 2$
R = 0.8652
4. $Y = 0.6281 + 0.0247 * X^{**} 1 - 0.0000 * X^{**} 2$
R = 0.9855
5. $Y = 9.4747 + 0.0015 * X^{**} 1 + 0.0000 * X^{**} 2$
R = 0.9109
6. $Y = 0.3351 + 0.0093 * X^{**} 1 - 0.0000 * X^{**} 2$
R = 0.9567



1次相関

1. $Y = 4.9048 + 0.0019X$
R = 0.7180
2. $Y = 9.8686 + 0.0095X$
R = 0.9177
3. $Y = 7.6016 + 0.0037X$
R = 0.8027
4. $Y = 6.3379 + 0.0123X$
R = 0.9351
5. $Y = 5.5440 + 0.0101X$
R = 0.8766
6. $Y = 2.8864 + 0.0040X$
R = 0.8645

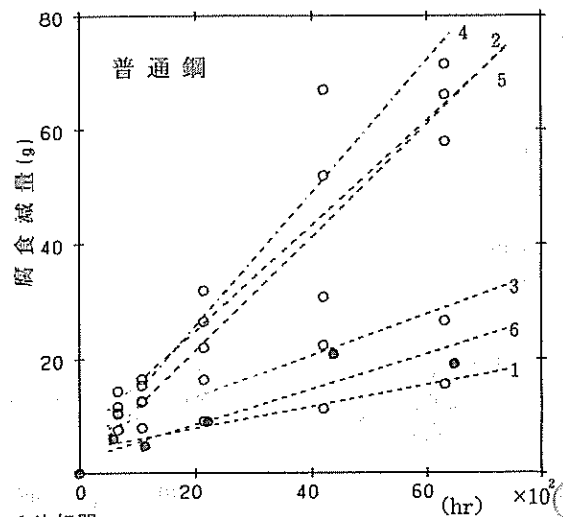
図-9の付図：降雨量と腐食減量



場所

2次相関

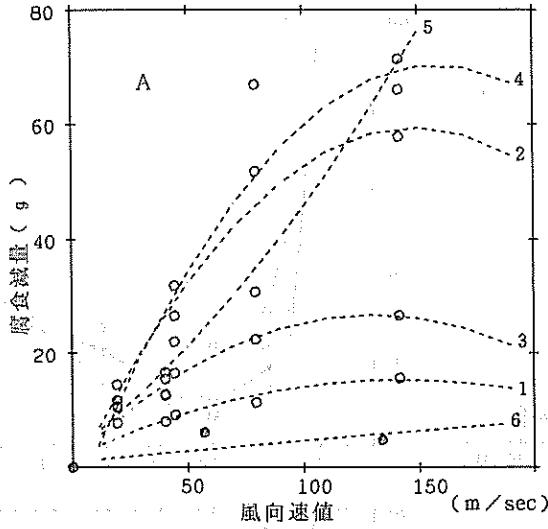
1. $Y = 2.8558 + 0.0036 * X^{**1} - 0.0000 * X^{**2}$
R = 0.8365
2. $Y = 0.3696 + 0.0179 * X^{**1} - 0.0000 * X^{**2}$
R = 0.9941
3. $Y = 3.0541 + 0.0079 * X^{**1} - 0.0000 * X^{**2}$
R = 0.9441
4. $Y = -3.9575 + 0.0207 * X^{**1} - 0.0000 * X^{**2}$
R = 0.9568
5. $Y = 6.3315 + 0.0035 * X^{**1} + 0.0000 * X^{**2}$
R = 0.9482
6. $Y = 0.1016 + 0.0063 * X^{**1} - 0.0000 * X^{**2}$
R = 0.9300



1次相関

1. $Y = 4.0880 + 0.0019X$
R = 0.7916
2. $Y = 6.6460 + 0.0091X$
R = 0.9351
3. $Y = 6.1534 + 0.0036X$
R = 0.8590
4. $Y = 2.6144 + 0.0116X$
R = 0.9173
5. $Y = 1.7585 + 0.0099X$
R = 0.9216
6. $Y = 2.3765 + 0.0031X$
R = 0.8664

図-10の付図：日照時間と腐食減量



2次回帰

1. $Y = 1.6979 + 0.1907X - 0.0007X^2$
 $R = 0.9128$

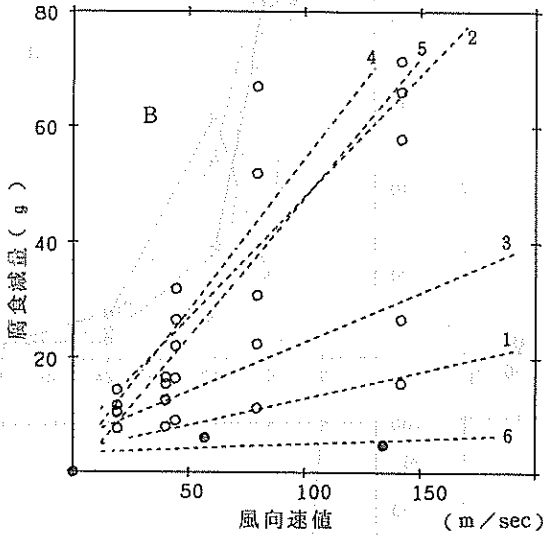
2. $Y = -2.0443 + 0.8256X - 0.0028X^2$
 $R = 0.9321$

3. $Y = 1.2444 + 0.3904X - 0.0015X^2$
 $R = 0.9733$

4. $Y = -6.7014 + 0.9731X - 0.0031X^2$
 $R = 0.8728$

5. $Y = -2.6369 + 0.3075X + 0.0012X^2$
 $R = 0.9866$

6. $Y = 0.9274 + 0.0388X$
 $R = 0.9355$



1次回帰

1. $Y = 3.6062 + 0.0930X$
 $R = 0.8318$

2. $Y = 5.8595 + 0.4206X$
 $R = 0.8618$

3. $Y = 5.5075 + 0.1719X$
 $R = 0.8522$

4. $Y = 2.0550 + 0.5245X$
 $R = 0.8199$

5. $Y = -0.8400 + 0.4856X$
 $R = 0.9751$

6. $Y = 3.2801 + 0.0168X$
 $R = 0.8356$

図-11の付図：風向速度値（北風）と腐食減量（2次回帰）

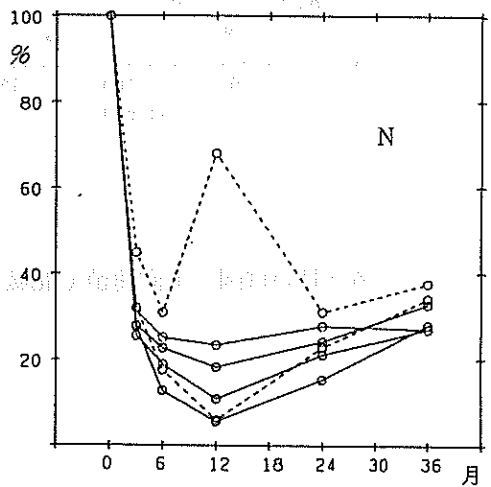
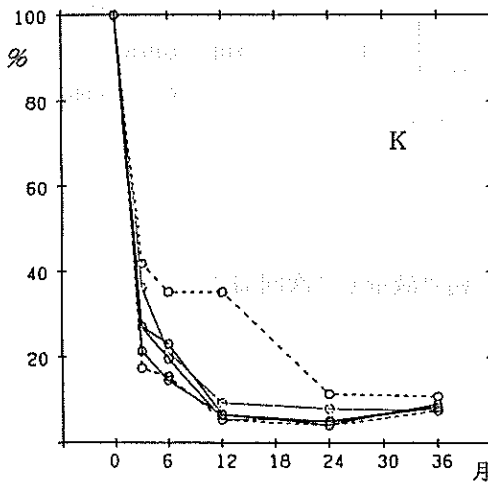
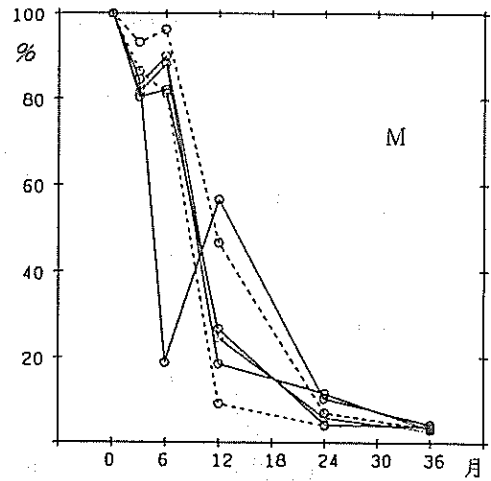
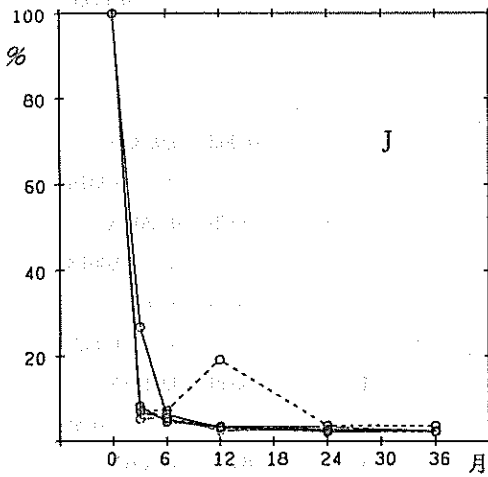
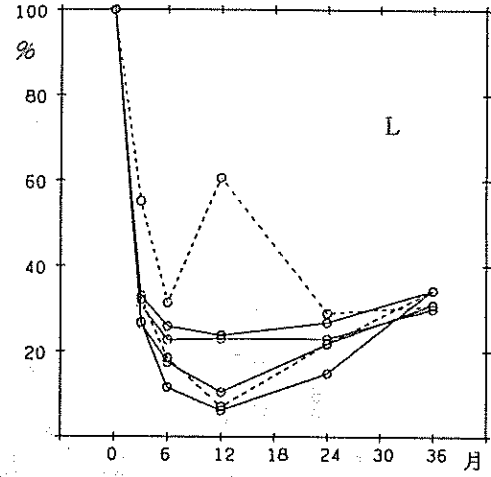
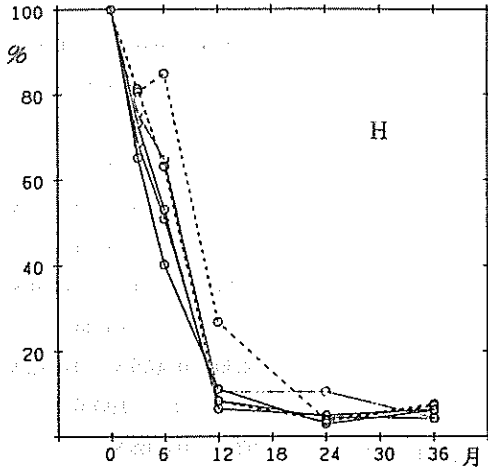
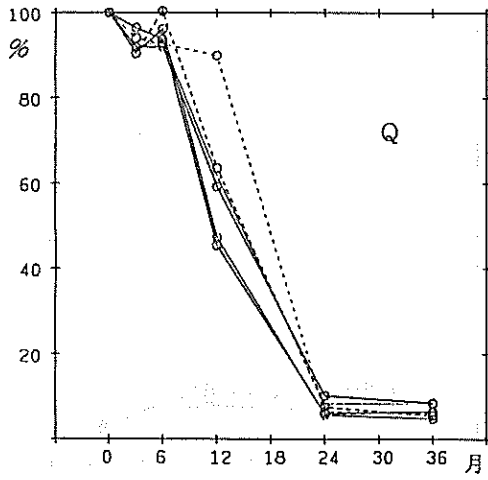
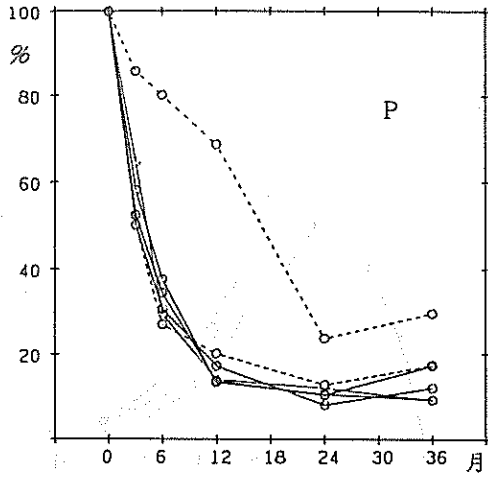


表-7の付図：光沢残存率の経時変化



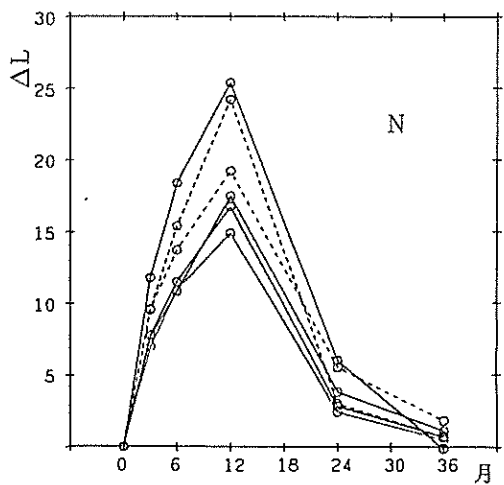
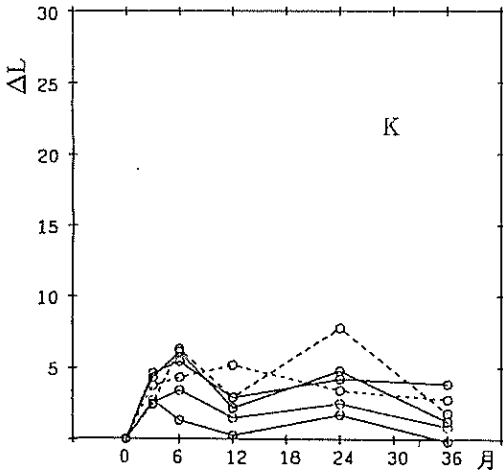
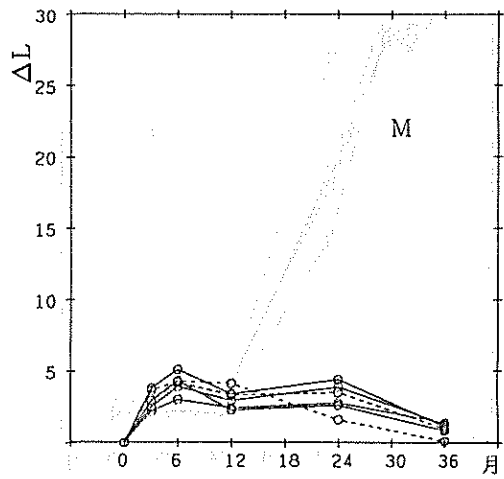
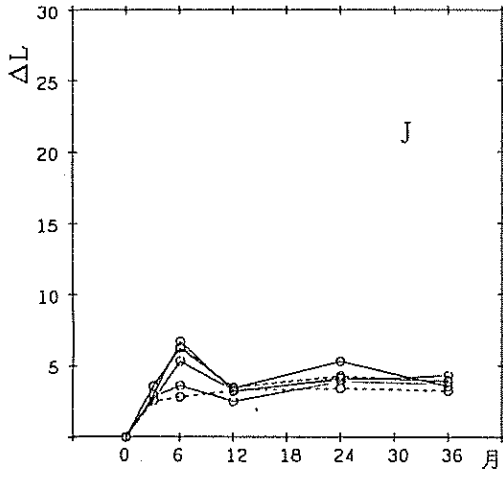
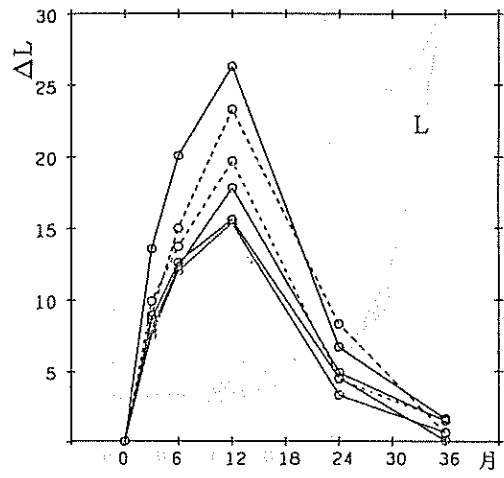
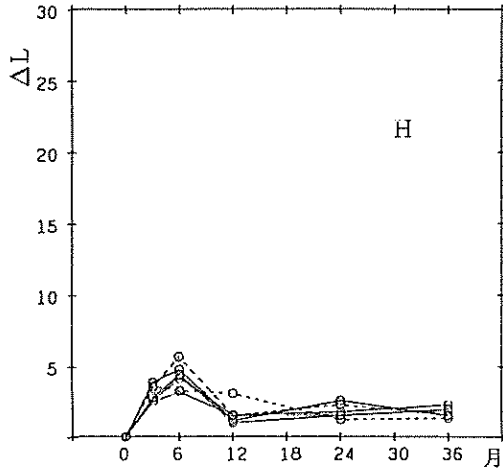
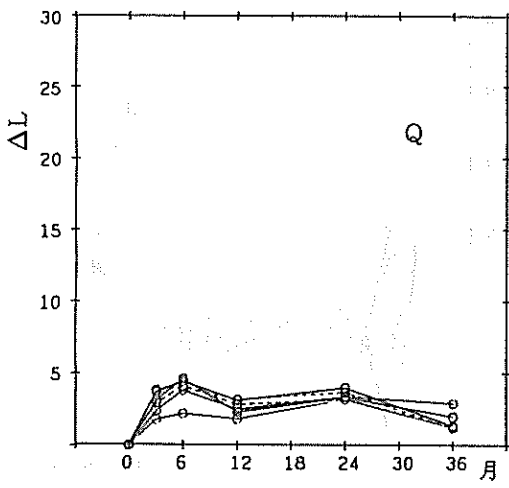
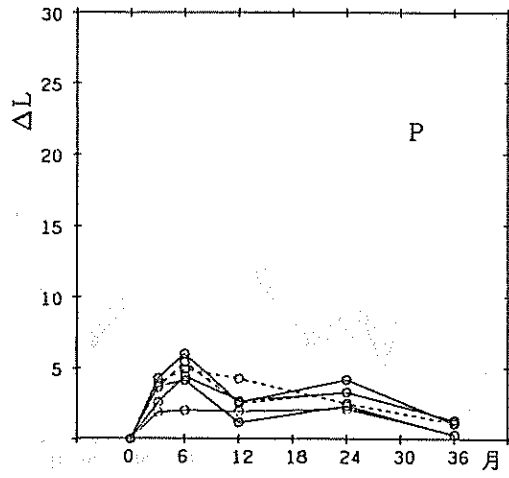


表-7の付図：明度差の経時変化



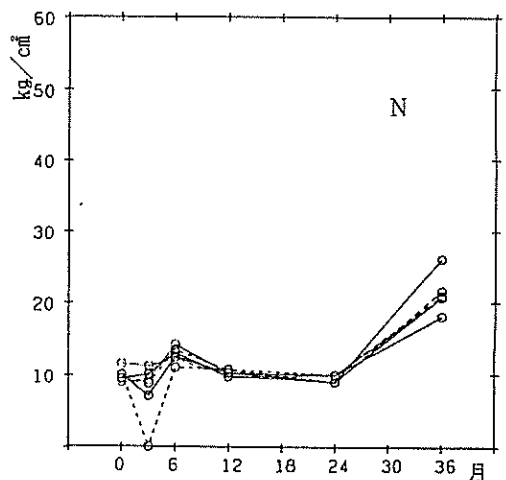
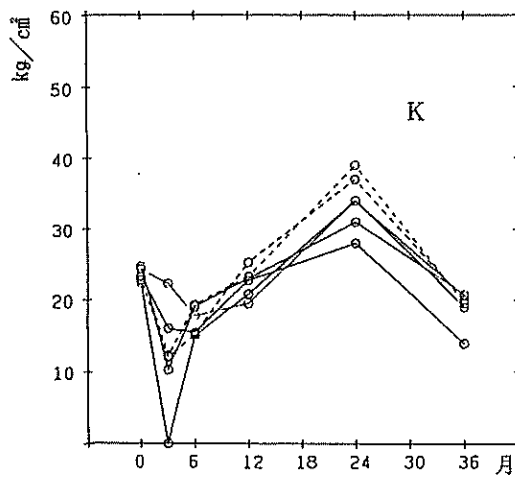
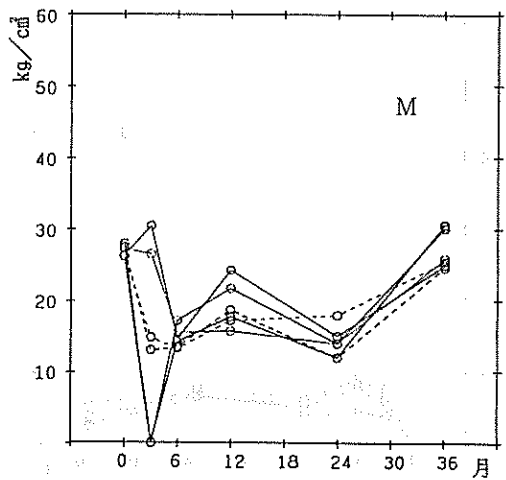
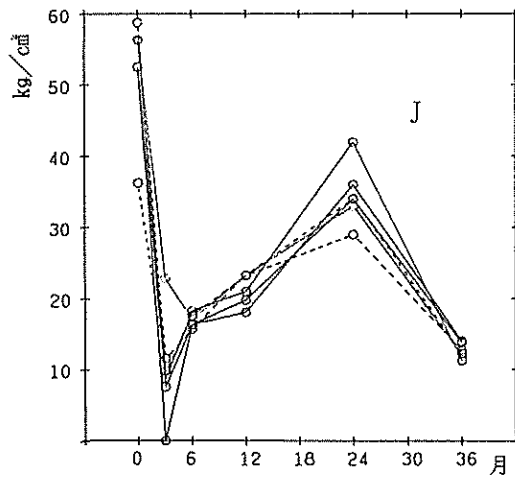
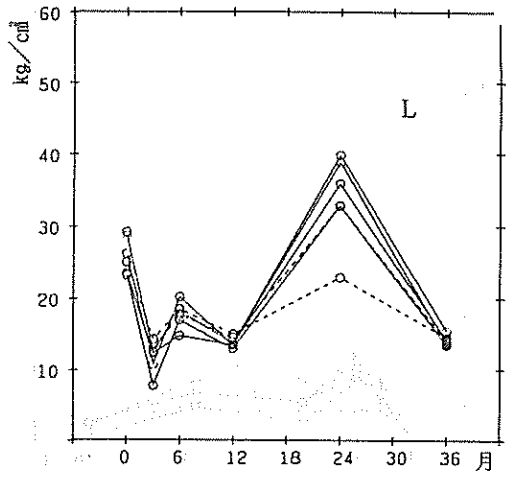
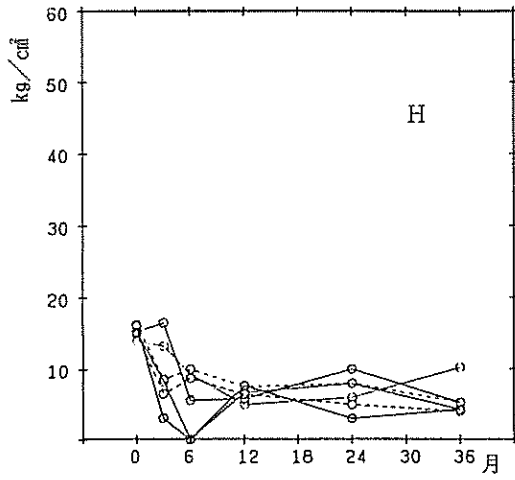
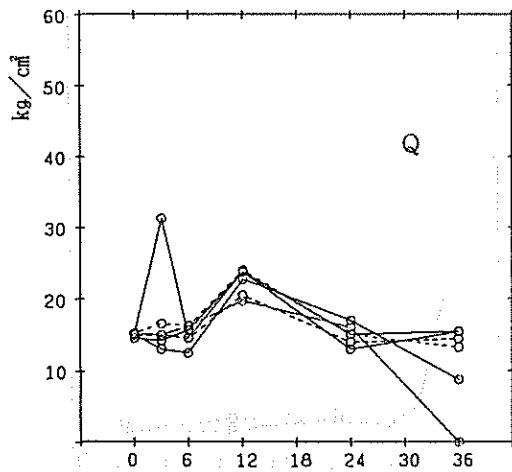
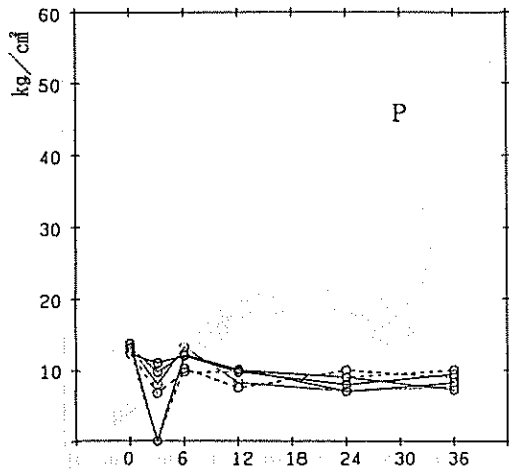


表7の付図 pull off 値



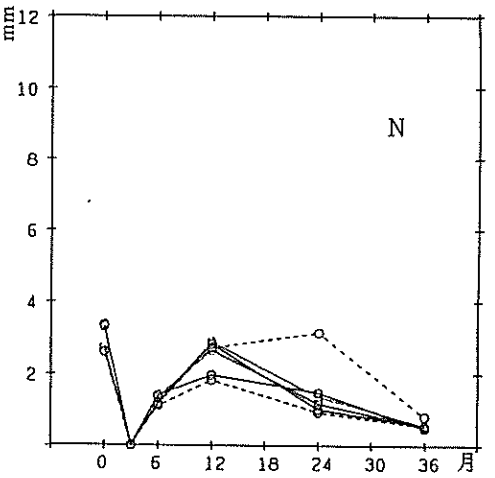
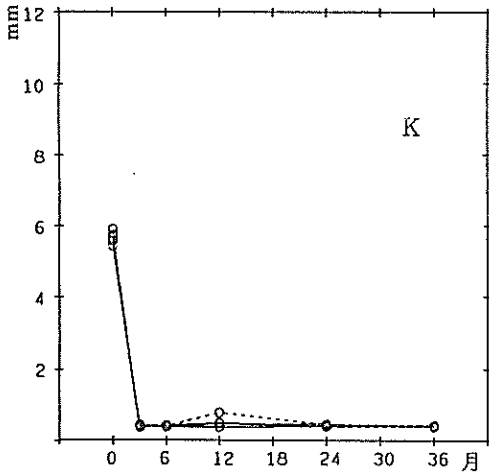
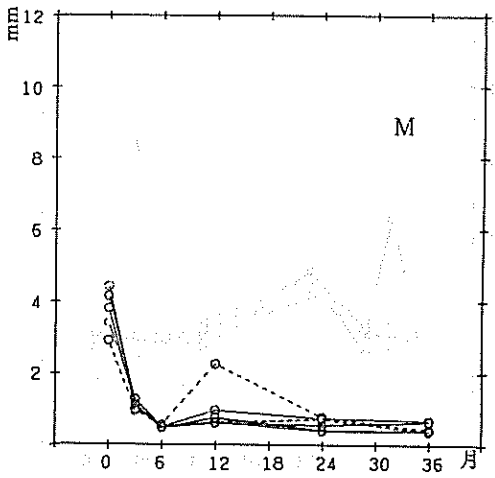
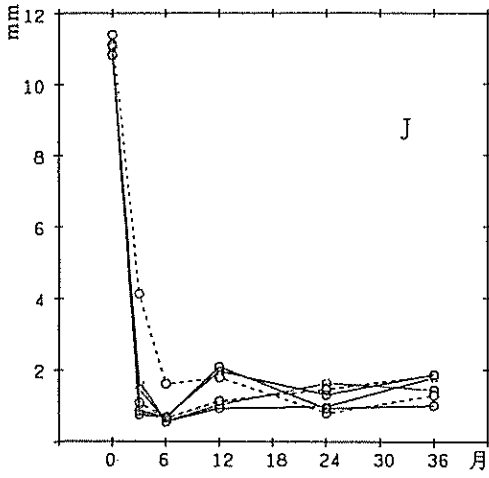
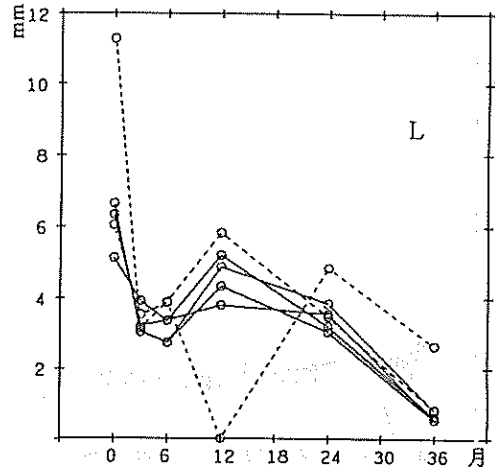
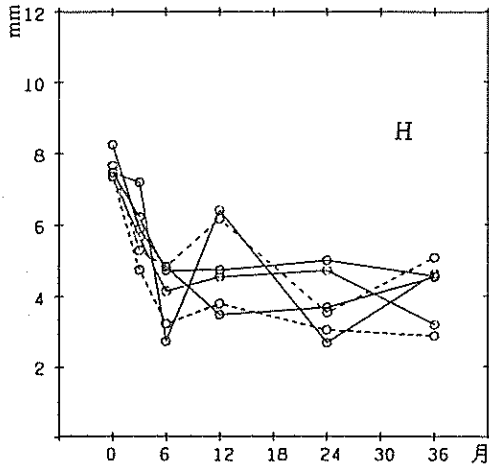
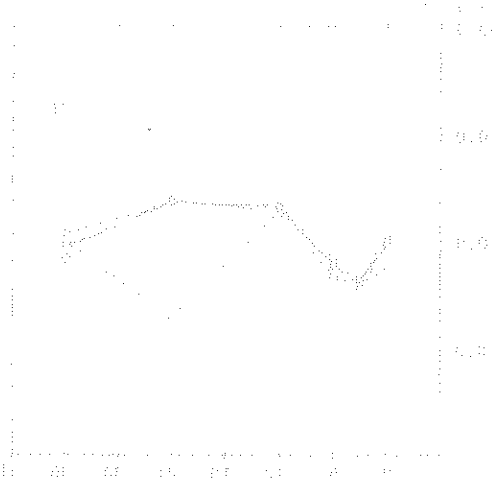
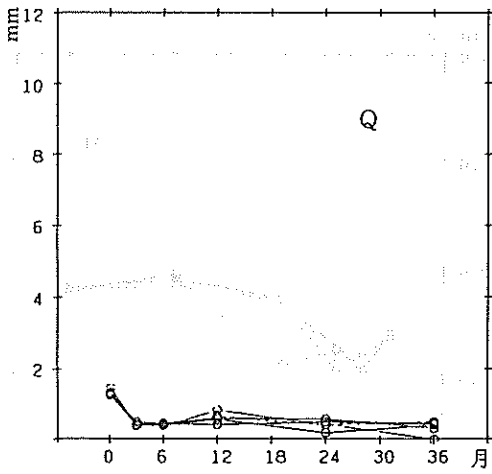
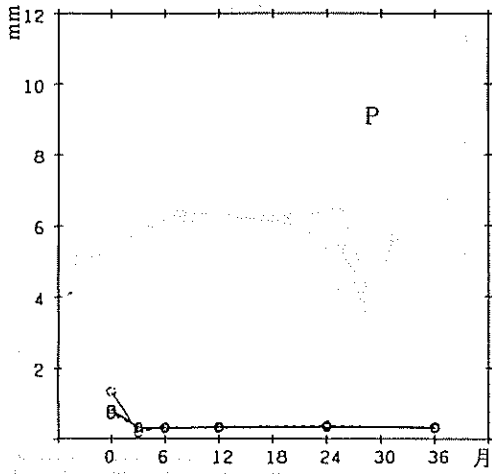


表-7の付図 エクセリン値



— 141 —

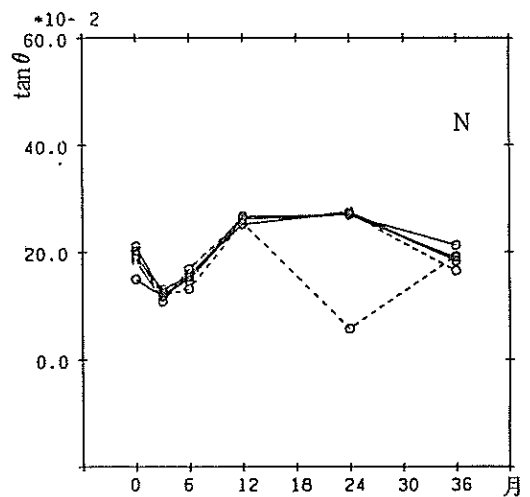
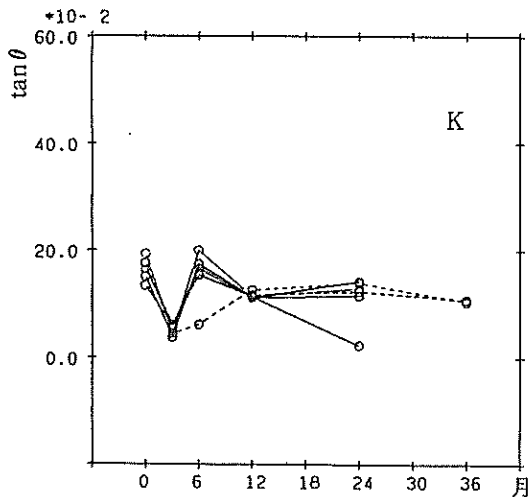
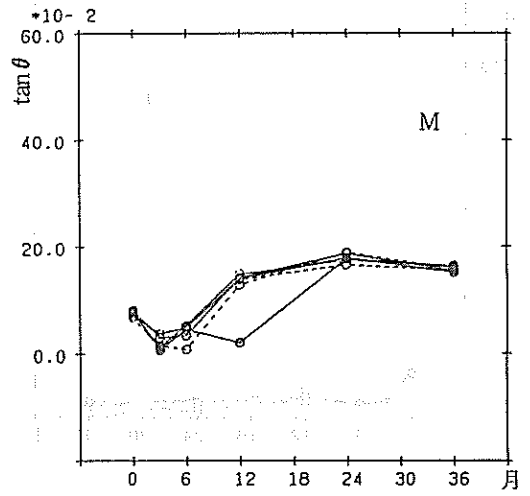
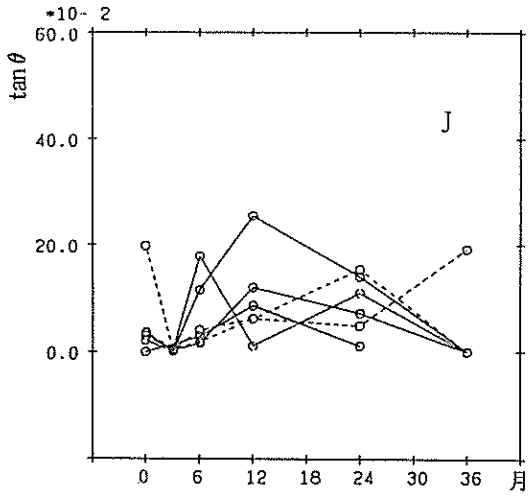
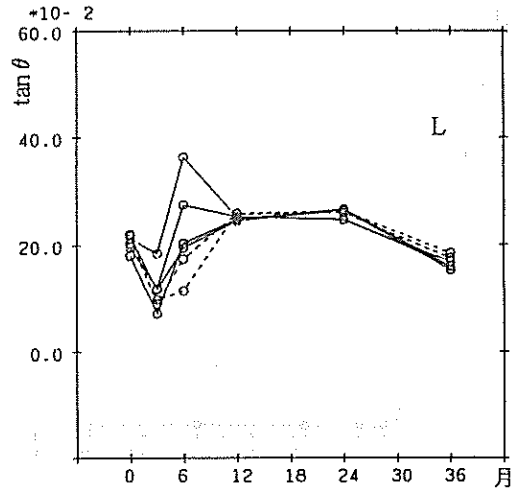
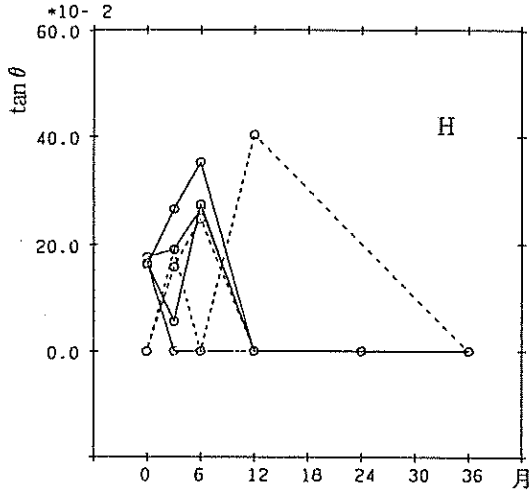
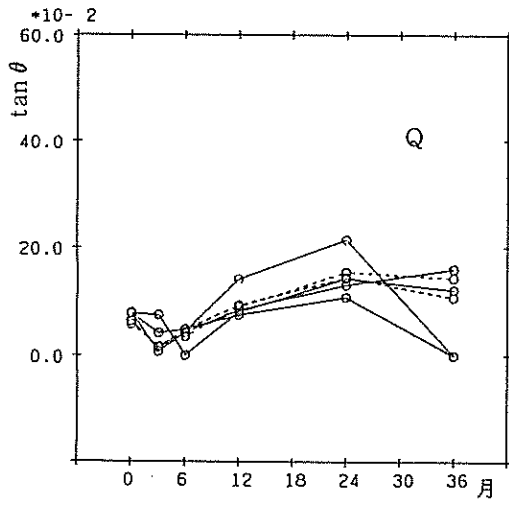
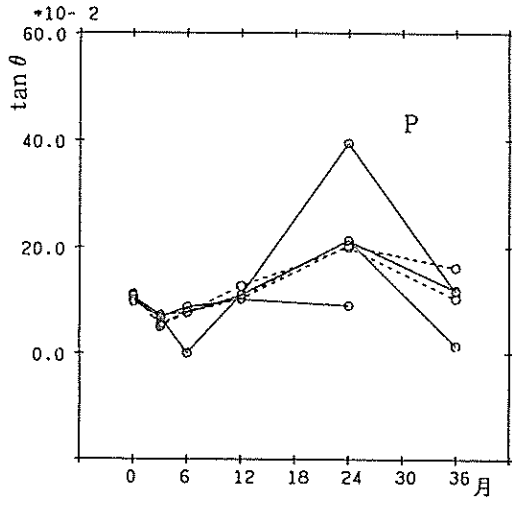


表-7の付図 $\tan \theta$ (F = 1.0HZ)



編 集 沖縄県工業技術センター

発 行 沖縄県工業技術センター

〒904-2234 沖縄県うるま市字州崎 12 番 2

T E L (098)929-0111

F A X (098)929-0115

U R L <https://www.pref.okinawa.lg.jp/site/shoko/kogyo/>

著作物の一部および全部を転載・翻訳される場合は、当センターに

ご連絡ください。