

劣化に及ぼす大気環境条件について

(財) 日本ウェザリングテストセンター 高根由亮

1. はしがき

材料を屋外に暴露した場合，高分子材料は光により劣化し，金属の腐食は表面のぬれ時間や海塩粒子などに影響されることはよく知られている。また，この際，単一の劣化因子だけでなく，複数の因子が相乗的に作用するといわれている。したがって，屋外暴露試験の結果を評価するためには気象因子の測定が不可欠であり，暴露場所の気象条件を把握する必要がある。

近年，ISOでは，プラスチックに対して光や温度を重要因子として取り上げ，また，金属に対する腐食因子としては海塩粒子量，いおう酸化物量及びぬれ時間を取り上げ，この3因子により大気環境の腐食性を分類することが検討されている。

ここでは，これらに関連して日射量，海塩粒子量，いおう酸化物量など，当センターにおける気象因子の測定例を紹介するとともに，これらが劣化に及ぼす影響について検討する。

2. プラスチックの劣化要因

プラスチックを劣化させる要因は，紫外線や温度，湿度，雨，活性ガス等数多くあるが，これらの測定には多くの測器を必要とし，その管理や，データの整理に多大の労力を必要とするので，気象台のデータをそのまま利用することも多い。したがって，ここでは気象台で測定しているデータの中でプラスチックの劣化要因として代表的なものとして全天日射量，温度及び湿度を取り上げ，暴露地による環境条件の違いについて検討する。

表1及び図1～4に各地域の気象条件を示す。旭川と那覇のデータはそれぞれの気象台のデータであり，銚子のデータは当センターにおける測定値である。

1) 全天日射量 年間の累積値は那覇>銚子>旭川の順とな

表1 各地の気象環境 (S51.7~S59.6)

項目	月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	計年平均
量全 M/m 日射	旭川	174.79	241.25	401.62	452.39	531.09	548.47	558.72	482.58	376.48	258.04	145.31	132.66	4203.40
	銚子	259.91	295.98	377.10	444.81	533.33	455.24	525.58	500.56	359.95	313.44	233.73	295.92	4555.55
	那覇	256.73	268.99	342.87	451.56	499.37	548.60	623.76	578.50	577.90	479.29	317.18	291.01	5735.76
平均 C 気温	旭川	-8.8	-9.1	-3.2	4.4	11.3	16.6	20.5	20.3	15.0	8.6	1.8	-3.7	6.1
	銚子	5.7	5.6	8.5	12.6	16.8	19.2	22.5	24.3	22.6	18.7	14.0	9.0	15.0
	那覇	16.0	15.9	18.5	21.1	23.5	26.4	28.2	28.1	27.1	24.5	21.2	17.9	22.4
湿度 相対 %	旭川	82.4	79.4	75.0	67.9	66.8	72.0	74.6	76.9	77.8	75.9	79.3	83.1	76.0
	銚子	61.0	60.3	66.5	73.8	79.3	85.6	85.5	84.1	80.1	73.4	70.1	65.1	73.7
	那覇	70.5	72.0	76.6	79.0	82.3	84.0	80.4	80.3	79.0	73.5	71.3	68.1	76.4

るが、季節的にみると春から夏にかけては3地域とモ大きな差はみられない。この全天日射量の中で400nm以下の紫外線がプラスチックを劣化させる大きな要因であるが、当センターの測定によると水平面の紫外線量と全天日射量との比は地域や季節による変動はあるがおよそ6.5%である。

図1 全天日射量

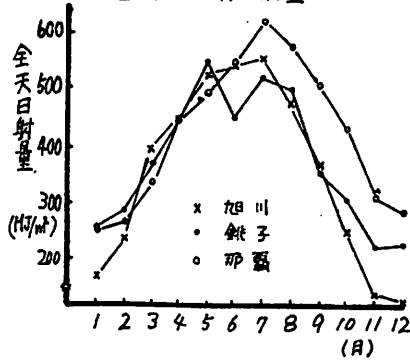


図2 平均気温

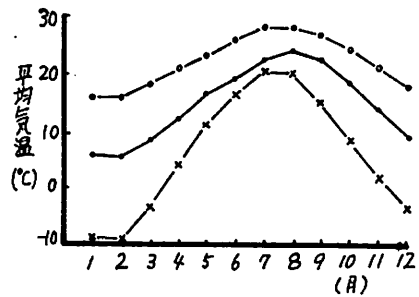


図3 相対湿度

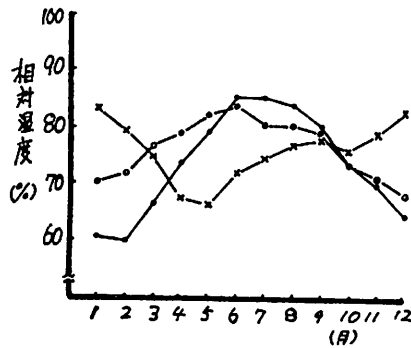
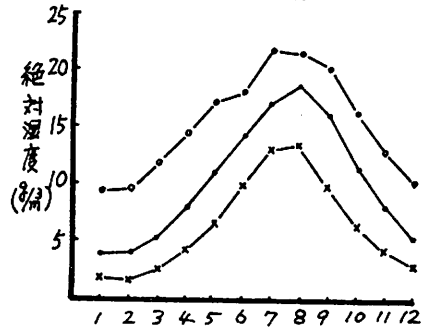


図4 絶対湿度



2) 温度

プラスチックの劣化反応が化学反応であることから温度(気温)が高くなれば反応速度が大きくなることが予想される。また、太陽光線中の赤外線による物体の表面温度の上昇も考えられる。气象台では表面温度の測定は行っていないが、当センターでは、ウェザー-キータ-試験に用いるブラックパネル温度計と同様の構造をもつ温度計で表面温度を連続記録している。過去8年間の最高温度は昭和54年8月22日の57.6度で、今まで一度もサンシャインウェザー-キータ-試験の規格である63℃にはなっていないといふことは注目すべき点と考える。

3) 湿度 プラスチックは湿度が高くなると劣化を促進するといわれているが、相対湿度としてみると那覇と銚子は夏季に増加し、旭川は冬季に高くなる傾向がある。しかし、単位体積中に含まれる水分量で表わされる絶対湿度で見ると、年間を通じ那覇>銚子>旭川の順となる。

次に、紫外線量と劣化との関係について測定した例を図5に示す。これから、同じ変化が起こる紫外線量は暴露地によって下す差があり、温度や湿度など他の因子にも影響されていると考えられる。そこで、気象因子を単独で考えているだけではなく、ある条件の組み合わせられた状態を考えると表2~3及び図6のようになる。

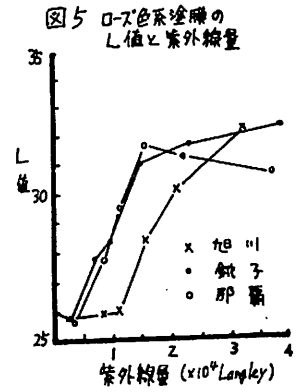


表2 気象条件の組み合わせ日数 (S59)

場所	10MJ/m ² >				15MJ/m ² >				20MJ/m ² >				25MJ/m ² >			
	10℃>	15℃>	20℃>	25℃>	10℃>	15℃>	20℃>	25℃>	10℃>	15℃>	20℃>	25℃>	10℃>	15℃>	20℃>	25℃>
旭川	124	110	54	16	98	92	48	13	54	49	25	8	17	16	6	0
銚子	136	106	80	35	103	84	61	34	61	51	42	27	17	10	9	5
那覇	239	229	203	123	155	152	148	107	79	79	77	60	21	21	21	20

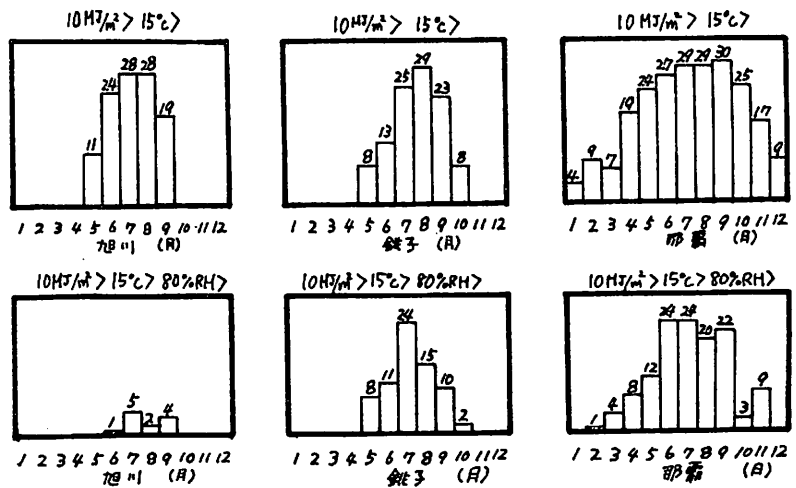
表3 気象条件の組み合わせ日数 (S59)

場所	80% RH >															
	10MJ/m ² >				15MJ/m ² >				20MJ/m ² >				25MJ/m ² >			
条件	10℃>	15℃>	20℃>	25℃>	10℃>	15℃>	20℃>	25℃>	10℃>	15℃>	20℃>	25℃>	10℃>	15℃>	20℃>	25℃>
旭川	16	12	7	1	6	5	5	1	0	0	0	0	0	0	0	0
銚子	86	69	48	23	69	58	41	23	39	33	24	17	10	9	6	4
那覇	126	125	125	91	87	87	87	74	46	46	46	42	13	12	12	12

表2は全天日射量が10MJ/m²以上で、かつ平均気温が10℃以上の日があるかなどを数えたもので、表3はそれに相対湿度が80%以上の条件を加えたものである。

これらの数値と劣化とがどのような関係

図6 気象条件組み合わせ出現日数 (S59)

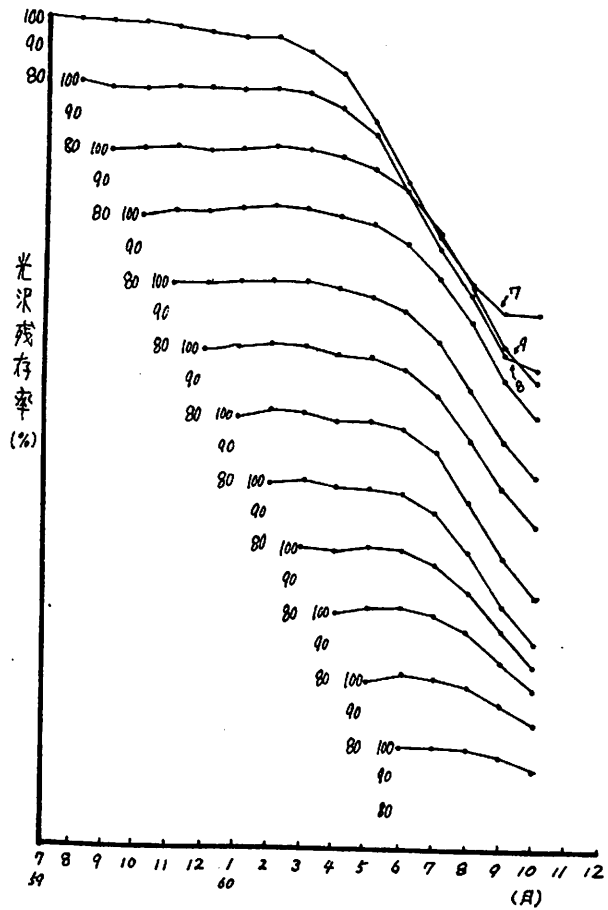


にあるのはまだ明らかではないが、昭和59年に液板分科会で行った鉄子におけるFRPの10ヶ月毎の黄変度の測定では、10ヶ月間の平均が 10 MJ/m^2 以上で 15°C 以上の場合黄変が増加傾向を示し、 20 MJ/m^2 以上で 25°C 以上の場合は特に大きく変化していた。また、これと同じような測定を着色亜鉛鉄板の光沢度について測定した結果を表4及び図7に示す。これは暴露開始日を1ヶ月づつずらし季節の影響を計ったものである。表4によると、同じ変化が起こるのに必要な月数は、夏から秋にかけて暴露したものが長く、冬から春にかけて暴露したものは短かくなっている。また、9月に暴露したものは、3月に暴露したものに比べ同じ変化が起こるのに約1.5倍の全天日射量を必要としている。したがって、これも光沢度の変化が日射量だけに影響されていると考えよりその他の因子の影響も受けていると考えられる。そこで、ある気象条件の組み合わせられた日が暴露期間中に何日あったかを数えると、表4に示すように、 10 MJ/m^2 以上 10°C 以上の日は7月～10月及び1月～3月に開始したものは80日前後あるが、11～12月に開始したものは60日前後と少なくなっている。つまり、11～12月に始めたものは変化

表4 光沢度低下と気象条件

暴露開始日	光沢残存率が90%以下に達する月数	光沢残存率が90%以下に達する日数	全天日射量の積算(MJ/m^2)	$10 \text{ MJ/m}^2 > 10^\circ\text{C} >$	$15 \text{ MJ/m}^2 > 10^\circ\text{C} >$	$20 \text{ MJ/m}^2 > 10^\circ\text{C} >$
7.2	3～4	8～9	3084.88	95	66	39
8.1	4～5	8～9	3026.58	86	63	36
9.1	5～6	8～9	3294.61	81	53	27
10.1	6～7	8～9	2891.34	74	52	35
11.1	6～7	7～8	2601.92	61	49	35
12.1	6～7	6～7	2383.59	57	49	35
12.31	7～8	6～7	2696.44	79	68	51
2.1	7～8	5～6	2431.43	79	68	51
3.1	7～8	4～5	2165.94	79	68	51
4.3	8～9	4～5	2521.33	108	93	73
5.1	9～10	4～5	2407.63	109	90	66

図7 暴露開始日別光沢度の変化



件

が出始める6月頃までの間に、より強い日射量、高い温度を経験したために短い日数で変化したと考えられる。そこで、 20 MJ/m^2 以上 10°C 以上の日を数えると、7月から12月までに始めたものはほぼ同じ日数となり、1月から5月までに始めたものはこの日数がより少なくなるとともに、光沢の変化に要する月数も少なくなる。

このように気象条件の組み合わせとして与えたほうが、劣化との関係をつかみやすくなるが、これでもまだ十分ではない。FRPや着色亜鉛鉄板の例のように、ある気象条件ではあまり変化しないが、ある条件では大きく変化するというようなことが考えられるため、特定の気象条件の日を数えるだけでは不十分で、これらの条件を何らかの形で定量化することが必要であろう。なお、この実験は銑子だけで行ったので、同じことが旭川や那覇についても言えるかどうかは不明であり、気象条件の組み合わせ方もこのようにしてよいかどうかは不明である。また、プラスチックの種類によって劣化する条件も異なるので、これら気象条件の定量化はより多くの実験とデータの蓄積が必要であろう。

渡辺氏はこの気象条件の定量化に関し、試料が受けた日射量を温度一定条件 (336°K) で等しい劣化を生ずる日射量に換算し、これを等価日射量と定義している。この等価日射量が劣化と非常によく相関を示し、場所や期間、季節が変わっても等価日射量が同じであれば試料に生じる劣化度合が等しいとしている。

3) 金属に対する腐食要因

腐食に対する環境区分は従来、都市、工業、海岸及び田園と分類することが多いが、最近ISOではこのような地域的区分ではなく、重要因子としていおう酸化物量 (SO_2 汚染量)、海塩粒子量及びぬれ時間を取り上げ、これらの組み合わせによって大気の腐食性の分類を行うことを検討している⁴⁾。表5に重要因子の分類、表6にこれをもとに作成した炭素鋼に対する大気の腐食性の分類を示す。しかし、この重要因子の測定方法がISO方式とJIS方式とでは若干異なるため、この分類を摘要するためには測定方法の違いを検討する必

表5 腐食要因のカテゴリー (ISO/TC156 WG4 4th Draft)

SO ₂ 汚染カテゴリー		海塩粒子汚染カテゴリー		ぬれ時間カテゴリー	
mg/m ² /day	記号	mg/m ² /day	記号	h/年	記号
≤ 10	P ₀ (田園)	≤ 5	S ₀ (海より2千m)	≤ 10	τ ₁ (環境制御のできる室内)
10~75	P ₁ (都市)	5~100	S ₁ (海より数百m)	10~100	τ ₂ (環境制御のできない屋内)
75~200	P ₂ (工業)	100~500	S ₂ (海に近接)	100~2500	τ ₃ (熱帯乾燥、温暖地帯)
		500~1500	S ₃ (飛沫帯)	2500~5500	τ ₄ (温暖地帯)
				>5500	τ ₅ (湿気のある熱帯森林地帯)

表6 平板の炭素鋼を用いて評価した大気腐食性カテゴリー (ISO/TC156 WG4)

	τ ₁			τ ₂			τ ₃			τ ₄			τ ₅		
	S ₀ -S ₁	S ₂	S ₃	S ₀ -S ₁	S ₂	S ₃	S ₀ -S ₁	S ₂	S ₃	S ₀ -S ₁	S ₂	S ₃	S ₀ -S ₁	S ₂	S ₃
P ₀	1	1	1-2	1	2	3-4	3	3-4	4	3	4	5	4	5	5
P ₁	1	1	1-2	1-2	3	3-4	3-4	3-4	4-5	4	4	5	5	5	5
P ₂	1-2	1-2	2	2	3	4	4	4-5	5	5	5	5	5	5	5

注) 大気腐食性カテゴリー

1-非常に弱 2-弱 3-中 4-強 5-非常に強

要がある。なお、この重要因子の測定は気象台では行っており、以下のデータはすべて当センターによる測定値である。

1) ぬれ時間 ぬれ時間とは気温と湿度の変化によって起こる結露現象と降雨によるぬれを合せたものであるが、この測定方法は標準化された方法がなく、測定方法によって数値がまちまちである。ISO/TC156 WG4では0°C以上80%RH以上の持続時間をぬれ時間と定義している。この方法で計算したぬれ時間は、実際のぬれ時間と必ずしも一致しないが、その理由としてぬれは金属の種類、物体の質量と向き、腐食生成物の量、表面上の汚染物の種類その他で影響を受けるか⁴⁾としてしているが、大気特性化に関しては、この計算は通常十分に的確であるとしている。

当センターでは従来からガ-セを用いた電気導通方式によって測定している。表7~8に銹子におけるぬれ時間及びISO方式とガ-セ方式との比較を示す。

銹子以外の地域での測定例はあまりないが、建築研究所の⁵⁾榎野氏は昭和55年のア×ダスの4時間毎のデータを用い、0°C以上80%

表7 銚子におけるぬ水時間 (S57.1~S59.12)

項目	年	51	52	53	54	55	56	57	58	59	平均
結露時間		3149	3157	2804	2972	2815	2635	2951	2971	2786	2916
降水時間		851	853	614	984	1031	797	1047	976	736	876
ぬ水時間		4000	4010	3418	3956	3846	3432	3998	3947	3522	3792

表8 銚子におけるぬ水時間の比較 (S54)

方法	月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	計
ISO式		164	222	196	308	397	554	612	560	454	402	300	212	4381
ガーゼ式		189	275	235	282	311	402	424	395	376	418	327	322	3956

RH以上の持続時間を日本各地について計算したところ、銚子が3348時間、旭川は2574時間、那覇は3828時間であったという。旭川は銚子の0.75倍、那覇は銚子の1.14倍となる。

2) 海塩粒子量 JISでは10cm角のガーゼを2枚重ねたガーゼ補集法により塩素イオンの分析を行いNaClに換算しているが、ISOでは円筒にガーゼを巻きつけ、そのガーゼを常にぬらした状態で暴露するウェットキャンドル法によることにしている。現在、当センターではこのウェットキャンドル法は行っていないが、これに似た方法として、10cm角のガーゼをぬらした状態にしたもの、また、ガーゼを6枚重ねたそのヤシ木研究所方式といわれる10cm角のステンレス板を暴露し雨水も含めて補集する方法などと合わせて行っているが、これらと比較したものを表9に示す。これらはデータが

表9 海塩粒子補集方法の比較 (S59.5~S60.4)

方法	月	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	平均
JIS法		0.105	0.278	0.052	0.093	0.137	0.245	0.347	0.533	0.204	0.398	0.364	0.089	0.237
6枚重ね		0.128	0.190	0.107	0.270	0.244	0.264	0.417	0.570	0.186	0.399	0.346	0.393	0.293
ウェット法		0.042	0.104	0.039	0.079	0.057	0.053	0.080	0.060	0.131	0.188	0.188	0.082	0.092
土研法(75x2)		0.098	0.118	0.078	0.097	0.151	0.410	0.196	0.539	0.042	0.935	0.551	0.764	0.332

1年分しかなく、これから各方法の特徴を論じるのは早計であるが、土研法は雨水の影響が大きいようである。

次にJISではガーゼを設置する場所、方向などは風通しのよい雨にぬれやすい所としているが、当センターでは2枚重ねのガーゼを百葉箱の中に南北に向けたものや、地上1.2m及び5mの位置に小さな屋根を設けその下に南北及び東西方向に向けガーゼを暴露したものをなどを行い、方向性や高さによる違いを検討している。表10にその結果を示す。百葉箱の中の値は他と比較して1/10~1/5と低くなる

ている。また、上下方向の違いは同方向の場合、南北方向、東西方向とも上が下の1.16倍となる。方向別では図8~11に示すように両者に高い相関がみられ、南北方向と東西方向の違いはないようである。表11に旭川と那覇の測定値を示す。これらは2枚重ねのガーセを建物の軒下などに南北方向に向け暴露したものである。

表10 位置による海塩粒子捕集量の比較 (S51.1~S59.12)

位置	51	52	53	54	55	56	57	58	59	平均
百葉箱	0.022	0.021	0.023	0.022	0.015	0.013	0.025	0.020	0.018	0.020
上南北	0.366	0.307	0.396	0.430	0.383	0.246	0.202	0.275	0.282	0.321
上東西	0.442	0.340	0.383	0.378	0.335	0.189	0.125	0.219	0.249	0.296
下南北	0.315	0.243	0.323	0.366	0.401	0.212	0.175	0.172	0.274	0.276
下東西	0.405	0.268	0.261	0.302	0.331	0.176	0.122	0.185	0.248	0.255

表11 地域による海塩粒子量の比較 (S51.7~S59.6)

場所	51	52	53	54	55	56	57	58	59	平均
旭川	0.076	0.096	0.089	0.085	0.053	0.062	0.065	0.093	0.085	0.078
那覇	0.133	0.292	0.221	0.223	0.198	0.240	0.205	0.194	0.216	0.214

い相関がみられ、南北方向と東西方向の違いはないようである。表11に旭川と那覇の測定値を示す。これらは2枚重ねのガーセを建物の軒下などに南北方向に向け暴露したものである。

図8 下南北と上東西の関係

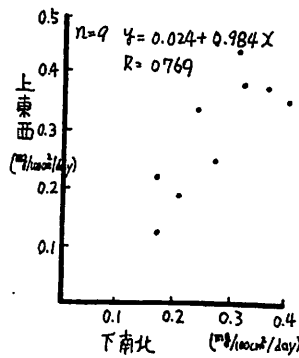
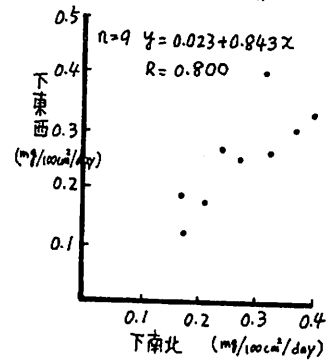


図9 下南北と下東西の関係



3) いおう酸化物量 ISO方式, JIS方式とも二酸化鉛を塗布したものを暴露し、いおう酸化物との化学反応により硫酸鉛を生成させる方法であるが、

図10 上南北と上東西の関係

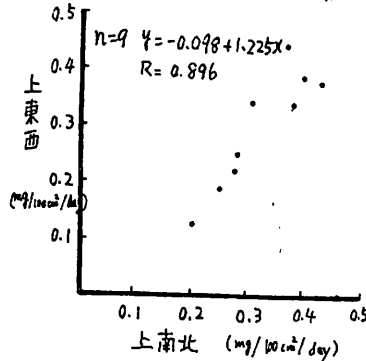
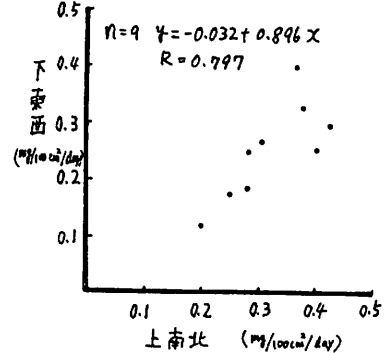


図11 上南北と下東西の関係



暴露する形態がISOではシャーレーのようなプレートの中に二酸化鉛を塗りつける方法で、JISは素焼円筒に綿布を巻きつけ、それに二酸化鉛を塗布する方法である。また、ISOではSO₂として計算し、JISではSO₃として計算している。このISO方式はまだ当センターでは行っていないため比較することはできないが、同じ二酸化鉛法であるのでそれほど大きな違いはないと考えられる。

JISでは素焼き円筒を用い百葉箱の中などに設置することになっているが、当センターではこれらの他に小さなステンレス製のシエルターの中に、ホリエタレンの円筒にガーセを巻きつけた形式の

ものを暴露している。これは百葉箱のない所や遠隔地への輸送に便利なようにできており、加川と那覇はこの方法により測定している。これらの測定結果を表12～13に示す。

表12 いほう酸化物量の補集法の比較 (S52.1-559.12)

方法	52	53	54	55	56	57	58	59	平均
ISO(百葉箱)	0.030	0.063	0.067	0.099	0.077	0.060	0.057	0.035	0.061
フィルター	0.096	0.078	0.096	0.082	0.079	0.085	0.080	0.072	0.084

表13 地域によるいほう酸化物量の比較

場所	52	53	54	55	56	57	58	59	平均
加川	0.112	0.227	0.143	0.142	0.109	0.112	0.123	0.111	0.135
那覇	0.140	0.402	0.143	0.124	0.134	0.126	0.116	0.111	0.162

以上、3つの重要因子の測定方法や、3地域の値などをみてきたが、ISO方式とは測定方法が異なるため、これらの値を直接表5～6の分類にあてはめるわけにはいれないが、大よその推測をしてみると、いほう酸化物量(SO₂汚染量)について加川と銚子がP₀、那覇はP₁、海塩粒子量は銚子と那覇がS₁、加川はS₀、ぬれ時間については銚子と那覇がT₄、加川はT₃とすると、表6より加川と銚子は3となり那覇は4となる。

4. おわりに

以上、当センタで測定している気象データなどを紹介してきたが、今後は气象台と同じような観測ばかりではなく、材料のかかれた局地的条件などの観測も重要としよう。そして、最大の問題はこれらのデータをどう活用するかであり、それは今後我々に課された大きな課題であろう。

参考文献

- 1) J W T C 耐久製品の耐候性の標準化に関する調査研究成果報告書 昭和60年3月
- 2) J W T C 同 昭和57年3月
- 3) 渡辺幸雄 劣化因子の定量化による内装材料の耐光性寿命推定法 自動車技術会
- 4) ISO/TC 156/WG4 Corrosion of Metal and Alloys. Classification of Corrosivity of Atmospheres. Deduction. Methods of Determination
- 5) J W T C 複合促進劣化試験装置開発専門部会報告書 昭和60年5月