寒地における金属屋根材料の耐候性

WEATHERABILITY OF METALLIC ROOFING MATERIALS IN COLD REGIONS

井上 貞弘*

Sadahiro INOUE

A weathering test was conducted at three regions in Hokkaido for eleven years. Color, weight and gloss were measured and defects were inspected annually.

The data were analyzed statistically and rankings concerning weatherability were decided. The specimens which consist of aluminum alloy or galvanised steel as substrates with polyvinylidene fluoride as vehicle of baking paints showed best rankings. All population means of these properties increased with the lapse of time throughout the test term. The best rankings were found for Rumoi concerning discoloration, for Rumoi and Kitami concerning gloss decrease and for Sapporo and Kitami concerning maximum defectless terms.

Keywords : *metallic roofing materials, weatherability, weight decrease, discoloration, gloss decrease, defects.*

金属屋根材料、耐候性、質量減少、変色、光沢減少、欠陥。

1. はじめに

寒地の戸建住宅の屋根材料が具備すべき条件は下記のとおりである。(1)軽量であること、(2)凍害を受けないこと、(3)不燃材料であること、(4)水密性がよいこと、(5)耐用年数が高いこと、(6)工費が安いこと、(7)施工性がよいこと、(8)安定供給できること、(9)品質のむらがないこと、など。金属屋根材料はこれらの条件をほぼ満たすことができる^{1)~4)}。そのために、北海道では近年の新築戸建住宅の96%以上が金属屋根材料で葺かれている⁵⁾。この事実は北海道の戸建住宅の特徴の一つである。金属屋根材料の劣化要因として、雨、雪、結露、風、気温、湿度、酸性ガス(SO₂, NO₂)、酸性ばい塵、海塩粒子、紫外線などが上げられる¹⁾。北海道の場合は、下記の特徴が指摘される。一日の温度変動が大きい地域(北見など)では屋根面への結露が度々発生し、その分濡れ時間が長い。降雪量が多い地域(旭川など)では屋根の積雪が滑落する際に塗膜が摩耗する。この現象は、屋根から滑落した雪に塗膜の色が付くことで知ることができ

る。無落雪屋根が多い地域(札幌など)では、直ちに流れ去る雨水と異なり積雪が凍結融解を繰り返しながら年間約4箇月にわたって屋根の上に滞留し続ける。風が強い海岸地域(留萌など)では、飛砂による塗膜の摩耗と海塩粒子による素地の発錆の促進が見られる。北海道では梅雨や台風の影響は極めて少ない。本来、紫外線量が暖地より少ない上に屋根面が積雪で覆われる期間が長いため、紫外線による塗膜の劣化は寒地の方が少ない。総体的に寒地の方が劣化条件が緩やかであり、暖地よりも傷みが少ないことが知られている^{1), 17)}。しかし現実には塗り替え、張り替えの適期を過ぎて塗膜が傷んだり素地から錆が出た屋根が各所に認められる。

一方、金属屋根材料の耐候性に関する研究は暖地を中心とする研究^{6)~30)}が大部分であり、寒地を中心とする研究^{31)~35)}は極めて少なく未解明の部分が多いのが現状である。

耐候性試験による金属屋根材料の劣化の評価項目とし

本論文の一部は、文献31), 32), 35)として発表した。

* 北海道立寒地住宅都市研究所 主任研究員・博士(工学)

Senior Researcher, Hokkaido Prefectural Cold Region Housing and Urban Research Institute, Dr. Eng.

て、光沢度減少率^{5).7).8).11).12).14).21).24).25).}
 27).32).35)、色差^{7).9).11).12).14).21).23).24).27).}
 28).30).32).35)、白亜化の程度^{6).11).14).20).21).}
 23).27).30)、塗膜厚減少率^{12).28).34)}、質量減少率
 11).12).15).16).19).26).31).32).35)、顕微鏡観察⁷⁾
 21).26).30)、発錆面積率^{16).18).20)}、錆の深さ^{13).}
 15).16).18).22)、発錆に至るまでの時間¹⁰⁾、塗膜中
 の特定の元素の量^{5).29).33)}、酸化増量¹³⁾、塗膜のふ
 くれ、ひび割れ、はく離の発生状況^{6).9).27).31).32).}
 34).35)、汚れの程度^{14).23).27).28).30)}などが上げ
 られる。

金属屋根材料の劣化機構として、①塗膜の紫外線劣化
 型、②塗膜の付着力の低下型、③素地の腐食型などを上
 げることができる⁷⁾。塗装した金属屋根材料の劣化は、
 塗膜の光沢の減少、塗膜の色調の変化、塗膜の白亜化、
 塗膜のふくれ、ひび割れ、はく離、素地の発錆の順序で
 進行する³⁸⁾ため、劣化機構の順序は①→②→③である。
 素地自体及び非塗装タイプの金属屋根材料の劣化機構は
 ③である。ステンレス鋼、アルミニウム合金、アルミニ
 ウム合金めっき鋼の場合は表面のち密で安定な薄い不動
 態被膜による防食作用、亜鉛めっき鋼の場合は塩基性炭
 酸亜鉛の薄い被膜による防食作用、鋼の一部が露出した
 場合は亜鉛による犠牲防食作用によって、それぞれ内部
 が保護される^{2).38).39)}。

本研究では、気象条件がかなり異なる北海道内の3地域
 で金属屋根材料の耐候性試験を行い、データを統計学的
 に処理して各性質ごとに劣化の材種差、地域差、期間差
 を求め、同時に劣化に対する材種、地域、期間の寄与率
 を求めることによって劣化を定量的に評価した。

2. 耐候性試験

2.1. 試験片

Table 1に示す27種類の屋根材料を本研究の試料とした。
 1条件に3枚の試験片を使用した。焼付塗料の試験片は、
 コイルを金属板用カッターで所定の寸法に切断し、四隅
 から15mmの部分に直径2.5mmの穴を開けた。切断面と穴の
 部分は各試料に最適な錆止塗料で防錆処理を行った。常
 温乾燥型塗料の試験片は、所定の形状に切断し、穴を開
 けた溶融亜鉛めっき鋼板に、それぞれの塗料に十分に慣
 れた塗装技能者が、仕様書に従って全面に塗装を行い、
 常温で4週間以上硬化させて作製した。非塗装の試験片は、
 所定の形状に切断し、穴を開けて作製した。試料の色彩
 は、年代にかかわらず安定した需要を示す青を基準と
 したが、メーカーの都合で青の製品の在庫がない試料の
 場合は最も広く使用されている色彩の製品を本研究に使用
 した。試験片の形状寸法をFigure 1に示す。

2.2. 試験方法

耐候性試験の状況をPhoto 1に示す。各試験片の色彩と

してUCS系のa, b, L及びCIE系のX, Y, Zの測定、光沢度とし
 て60度鏡面反射法による光沢度の測定、精度0.1mgでの質
 量の測定を暴露以前に行った。試験片は正南に向け、水
 平に対して30度傾斜させて直径0.8mmのステンレス鋼製針
 金で暴露架台に堅固に取り付けた。試験期間は1982年7
 月25日から1993年8月26日までの約11年間である。1年ご
 とに全試験片を暴露架台から取り外し、レコードキーパ

Photo 1. Weathering test of metallic roofing materials

Figure 1. Figure & dimension of specimens

Figure 2. Map of exposure sites

Table 1. Materials tested

No.	Sub - strates	Coatings	Thickness		Color	Wt ca. g	Light - ness	Chroma	Hue	White - ness	Gloss	Hard. cond.	Remarks
			Coat μ	Whole mm									
1	Gl steel	Acrylics	15	0.39	Green	33	23	9	0.3	4.5	66	Baking	2 coats
2	do.	Polyester	15	0.40	Blue	31	26	16	2.4	12.6	46	do.	do.
26	do.	do.	20	0.41	do.	31	30	16	2.9	15.5	2	do.	Gf mix
16	do.	do.	20	0.82	Brick	34	34	13	1.1	6.6	0	do.	Sd mix
31	do.	MI - polyester	30	0.46	Yellow	35	80	12	-5.1	50.3	12	do.	3 coats
5	do.	VI - fluoride	15	0.65	Green	52	43	8	-1.5	14.6	10	do.	2 coats
32	do.	do.	15	0.52	Gray	40	66	3	-0.1	43.6	13	do.	do.
4	do.	SI - polyester	70	0.39	Ocher	26	44	23	1.6	6.8	12	do.	do.
30	do.	do.	30	0.65	Gray	51	57	2	-0.6	31.0	51	do.	do.
8	do.	Plastisol	200	0.58	Blue	37	28	19	3.0	15.6	12	do.	do.
11	do.	do.	180	0.56	Gray	33	74	2	-0.7	53.5	12	do.	with film
14	do.	Acrylics	90	0.52	Blue	37	23	22	6.2	12.9	17	do.	do.
19	Gl steel	Acrylics	100	0.50	Blue	32	27	18	3.0	13.8	72	NT dry	4 coats
27	do.	do.	120	0.43	do.	33	27	19	2.7	14.7	78	do.	do.
21	do.	Urethane	150	0.53	do.	36	25	17	2.5	12.1	58	do.	do.
22	do.	Phthalate	100	0.48	do.	35	27	18	2.9	14.5	28	do.	do.
24	do.	Drying Bo	200	0.58	do.	36	29	15	2.4	14.3	3	do.	do.
20	do.	Cl rubber	150	0.53	do.	36	25	17	2.7	12.3	78	do.	do.
28	do.	Pm cement	1250	1.65	do.	57	31	14	1.3	14.8	2	do.	do.
9	Al alloy	Bare	-	0.48	Silver	13	59	9	-0.4	32.3	100	-	No Pt
10	Steel	do.	-	0.80	do.	61	70	4	-1.3	51.4	51	-	Al Pt
17	do.	do.	-	0.58	Gray	49	54	2	-0.7	28.5	4	-	Zn Pt
18	St steel	do.	-	0.30	Copper	24	32	6	1.9	7.7	100	-	Cu Pt
12	St steel	SI - polyester	15	0.40	Choco	31	26	2	6.2	6.1	14	Baking	2 coats
6	Al alloy	VI - fluoride	15	0.50	do.	14	33	6	5.8	8.5	14	do.	do.
13	do.	Acrylics	15	0.61	do.	17	34	6	5.1	8.9	19	do.	do.
29	Wp steel	Linseed oil	70	2.35	Black	182	25	0	-1.3	6.2	0	do.	Pk

Gl : Galvanised

Al : Aluminum

St : Stainless

Wp : Weather proof

MI : Melamine

VI : Vinylidene

SI : Silicone

Bo : Boiling oil

Cl : Chlorinated

Pm : Polymer

Zn : Zinc

Cu : Copper

Brick : Brick red

Choco : Chocolate

brown

Gf : Glass fiber

Sd : Sand

Pt : Plating

Pk : Parkarizing

NT : Normal temperature

Hard. cond. : Hardening condition

Table 2. Conditions of exposure sites (Average values)

Conditions	Unit	Sapporo	Kitami	Rumoi
Max. temp. of day	°C	12.3	11.2	10.8
Min. temp. of day	°C	5.2	0.5	4.2
Freeze - thaw cycl./y	time	82	92	74
Precipitation/y	mm	993	718	1124
Duration of sunshine/y	h	1898	2080	1744
Wind velocity	m/s	2.4	1.7	4.9
Temp. change of day	°C	7.1	10.7	6.6
SPM conc. : 10^{-2}	mg/m ³	2.7	2.4	2.3
SO ₂ conc.	ppm	8	6	2
Population : thousands	-	ca.1700	ca.108	ca.32
Topography	-	Fan	Basin	Hill
Distance to seashore	km	ca.13	ca.26	ca.0.5

Table 3. Measuring apparatus

Properties	Apparatus *	Relative items **
Color	Colorimeter	Color diff. Lightness diff. Hue diff. Chroma diff. Whiteness diff. Contamination ratio.
Gloss	Glossmeter	Gloss diff.
Weight	Chemical balance	Weight loss ratio.
Thickness	Thickness gauge	Coat thickness. Whole thickness.

* Electronic devices. ** Items in Table 1, Tables 4 to 11 and 13. ※ diff.: difference.

y:Year. conc.:Concentration.
SPM:Suspended particulated matter.

ーに立て、常温の実験室の棚の上で1週間状態調節を行い、前述と同一の方法で色彩、光沢度、質量を測定し、次に表面の塗膜のふくれ、ひび割れ、はく離及び素地の錆などの欠陥⁴⁰⁾の目視検査を行い、それらがすべて終了した後、直ちにまた試験片を暴露架台に取り付けた。試験地域をFigure 2に、各地域の試験期間中の環境条件をTable 2に、測定装置をTable 3に、それぞれ示す。

金属屋根材料の表面は、耐候性試験の経過とともに各種劣化要因の作用によって劣化し、塗膜の一部は白亜化して失われ、同時に塵あばい煙が付着する。それに伴って色彩、光沢、質量が変化し、塗膜のはく離などの欠陥が発生することがある。耐候性試験後、測定の前に洗浄すると付着している塵あばい煙は除去することができるが、同時に表面の劣化した部分が除去され健全な部分が露出してしまうので、本研究では劣化した部分の測定を行うために洗浄しないですべての測定を行った。三刺激値の一つであるYによって汚染の度合を示す方法があり³⁷⁾、本研究ではこの方法で汚染率を求めた。

3. 分散分析及びF検定

各測定値から算出した質量減少率 Weight decrease ratio、色差 Color difference、明度差 Lightness difference、色相差 Hue difference、彩度差 Chroma difference、白度差 Whiteness difference、汚染率 Contamination ratio、光沢度差 Gloss differenceの値は、コンピュータで計算を行う際に容量の範囲内に収めるために下記の平均値を求めて分散分析を行った。0～1年:Term 1、2～3年:Term 2、4～5年:Term 3、6～7年:Term 4、8～9年:Term 5、10～11年:Term 6。光沢度については、つや消しの試料 (No16、17、24、26、28、29) の測定値をつや有りの試料の測定値と同等に扱うことは不適当であり、これらを計算から除外し、つや有りの試料21種類について分散分析を行った。

耐候性試験によって欠陥が発生しない最長期間を求めた。その結果を下記のとおり最長無欠陥期間として表現してこの値の分散分析を行った。0～1年:Term 0、1～2年:Term 1、2～3年:Term 2、3～4年:Term 3、4～5年:Term 4、5～6年:Term 5、6～7年:Term 6、7～8年:Term 7、8～9年:Term 8、9～10年:Term 9、10～11年:Term 10、11年以上:Term 11。非塗装製品はすべてTerm 0で裏錆が発生した。非塗装製品を除く23種類の試料の値の分散分析を行った。

分散分析表をTable 4～Table 12に示す。これらの表で、交互作用及び誤差の数字は省略した。分散分析表の記号の意味は下記のとおりである。S:変動 Variation、 ϕ :自由度 Degree of freedom、V:不偏分散 Unbiased estimation of variance、 F_0 :分散比 Ratio of variance、LS:有意水準1% One per cent level of significance、*:有意差の存在 Existence of significant dif-

ference。

次に、有意差が認められた場合にt検定を行い、有意水準1%で差があるか否かを判定した。大きい順序から差がない値を同一グループとしてランキングした。

耐候性試験による金属屋根材料の劣化の程度に関する材料要因として、塗料のビヒクル、顔料、添加剤などの種類と調合、素地の種類と表面処理方法、塗膜のコート数、塗膜の硬化温度と硬化時間などを挙げるができる。本研究の試料はすべて市販の製品であり、製造担当者以外の者が詳細な調合と製造条件を知ることはできない。この理由から、本研究では、耐候性が優れた方から4ランクまでを材種及び地域ごとに各性質について図示した。そして各試料をビヒクル、色彩、素地の種類、塗膜の硬化方法など、我々が知り得る要因で表現した。

4. 各性質の材種依存性の傾向

各試料ごとの性質のランクをまとめてFigure 3に示す。亜鉛めっき鋼板を焼付塗料で仕上げた試料 (左端のNo1

Table 4. Table of analysis of variance of weight loss ratio $W_r=100 \times (W_0-W_x)/W_0$

Factors	S	ϕ	V	F_0	LS
Materials	140.24	26	5.39	54.52	*
Terms	27.98	5	5.60	56.56	*
Regions	0.32	2	0.16	1.61	—

Table 5. Table of analysis of variance of color difference $\Delta E=(\Delta a^2+\Delta b^2+\Delta L^2)^{1/2}$

Factors	S	ϕ	V	F_0	LS
Materials	12546.97	26	482.58	353.46	*
Terms	2816.77	5	563.35	412.63	*
Regions	219.91	2	109.95	80.54	*

Table 6. Table of analysis of variance of lightness difference $\Delta L=L_0-L_x$

Factors	S	ϕ	V	F_0	LS
Materials	19388.19	26	745.70	579.28	*
Terms	676.88	5	135.38	105.16	*
Regions	282.36	2	141.18	109.67	*

Table 7. Table of analysis of variance of hue difference $\Delta H=(\Delta E^2-\Delta L^2 a-\Delta C^2)^{1/2}$

Factors	S	ϕ	V	F_0	LS
Materials	1713.81	26	65.92	149.53	*
Terms	311.08	5	62.22	141.14	*
Regions	23.75	2	11.87	26.94	*

Table 8. Table of analysis of variance of chroma difference $\Delta C=C_0-C_x$

Factors	S	ϕ	V	F_0	LS
Materials	4090.74	26	157.34	241.76	*
Terms	106.33	5	21.27	32.68	*
Regions	64.37	2	32.19	49.46	*

Table 9. Table of analysis of variance of whiteness difference $\Delta Z=(Z_0-Z_x)/1.18$

Factors	S	ϕ	V	F_0	LS
Materials	16238.57	26	624.56	606.18	*
Terms	93.41	5	18.68	18.13	*
Regions	151.87	2	75.94	73.70	*

Table 10. Table of analysis of variance of contamination ratio $P_x=(1-Y_x/Y_0) \times 100$

Factors	S	ϕ	V	F_0	LS
Materials	541228.0	26	20816.46	228.73	*
Terms	70327.2	5	14065.44	154.55	*
Regions	16926.2	2	8463.12	92.99	*

Table 11. Table of analysis of variance of gloss difference $\Delta G=G_0-G_x$

Factors	S	ϕ	V	F_0	LS
Materials	221028.82	20	11051.44	959.19	*
Terms	40131.40	5	8026.28	696.62	*
Regions	825.82	2	412.91	35.84	*

Table 12. Table of analysis of variance of maximum defectless terms

Factors	S	ϕ	V	F_0	LS
Materials	360.20	22	16.37	2.73	*
Defects	822.17	3	274.06	45.66	*
Regions	919.18	2	459.59	76.58	*

Figure 5. Term dependence of weight loss ratio

からNo.14までの12種類)の中では、ふっ化ビニリデン樹脂系及びメラミンポリエステル樹脂系の焼付塗料で仕上げた試料 (No.32, No.5, No.31) の耐候性のランクが特

Figure 4 Regional difference

Table 13. The ratio which were classified by best ranking of types of substrates and dryness conditions of paints (%)

Substrates	Galvan. steel		Others
Dryness conditions	Baking	NT dry	Baking
Weight loss ratio	33	0	100
Color difference	17	0	25
Other difference*	75	0	33
Whiteness difference	42	0	50
Gloss difference	20	0	33
Contamination ratio	42	0	25
Max. defectless terms	25	29	100

* Lightness difference and chroma difference.
NT dry: Normal temperature dryness

Figure 6. Term dependence of color variation

Figure 3. Materials difference

Figure 7. Term dependence of gloss difference and contamination ratio

Figure 8. Population mean of color variation

Figure 9. Population mean of contamination ratio and gloss difference

に優れている。亜鉛めっき鋼板を常温硬化性塗料で仕上げた試料（No.19からNo.28までの7種類）の中では、耐候性のランクが特に優れた試料は認められない。非塗装金属板の試料（No.9からNo.18までの4種類）の中では、耐候性のランクが特に優れた試料は認められない。その他の金属板（ステンレス鋼板、アルミニウム合金板、耐候性鋼板）を焼付塗料で仕上げた試料（No.12から右端のNo.29までの4種類）の中では、アルミニウム合金板をふっ化ビニリデン樹脂系焼付塗料で仕上げた試料（No.6）の耐候性のランクが特に優れている。

5. 試料の耐候性と塗料の硬化方法、下地の材種の関係

試料の性質ごとの最良のランクに属する比率を下地の材種ごと、塗料の硬化方法ごとにTable 13に示す。

Table 13から、下地は亜鉛めっき鋼板以外の板（ステンレス鋼板、アルミニウム合金板、耐候性鋼板）が、塗料の硬化方法は焼付塗装が、それぞれ優れていることが判明した。

6. 各性質の期間依存性の傾向

有意差を示すTermをまとめてTable 14に、質量減少率の母平均の経時変化をFigure 5に、明度差、色差、色相差、彩度差、白度差の母平均の経時変化をFigure 6に、汚染率、光沢度差の母平均の経時変化をFigure 7に、それぞれ示す。これらの図から、各性質の値は全試験期間を通じて経時的に増加する傾向を示すことが判明した。

7. 各性質の地域依存性の傾向

地域ごとの各性質のランクをまとめてFigure 4に、明度差、色差、彩度差、白度差の母平均の地域依存性をFigure 8に、汚染率、光沢度差の母平均の地域依存性をFigure 9に、それぞれ示す。これらの図から、明度差、白度差、汚染率は北見の値が、色差、彩度差は札幌の値が、それぞれ最も大きいこと、色相差、光沢度差の値は地域による差が極めて小さいこと、白度差は北見と留萌の値が正数、札幌の値が負数であることなどが判明した。

8. 各要因の寄与率

諸性質における各要因の寄与率をまとめてTable 15に示す。Table 15から下記の事実が判明した。質量減少率、色差、明度差、色相差、彩度差、白度差、汚染率、光沢度差の場合は材質の寄与率が格段に大きく、次は期間の寄与率で、地域の寄与率は極めて小さい。これに対して、最長無欠陥期間の場合は地域の寄与率が最も大きく、次は欠陥種の寄与率で、材質の寄与率はかなり小さい。

9. まとめ

9.1. 材種差 (Figure 3)

試料No.6（素地:アルミニウム合金板、ビヒクル:ふっ化

ビニリデン樹脂、色彩:チョコレートブラウン、塗膜硬化方法:焼付け）及び試料No.32（素地:亜鉛めっき鋼板、ビヒクル:ふっ化ビニリデン樹脂、色彩:灰色、塗膜硬化方法:焼付け）の耐候性のランクが最も優れている。試料No.24（素地:亜鉛めっき鋼板、ビヒクル:乾性油、色彩:青、塗膜硬化方法:常温乾燥）及び試料No.20（素地:亜鉛めっき鋼板、ビヒクル:塩化ゴム、色彩:青、塗膜硬化方法:常温乾燥）の耐候性のランクが最も劣る。

9.2. 期間差 (Figures 5~7, Table 14)

最も早く変化が緩やかになるのは白度差（Term 1~2）で、次は彩度差（Term 2~3）、色差、明度差、色相差、汚染率（Term 5~6）の順序であり、質量減少率と光沢度差はTerm 5~6でも変化が緩やかにならなかった。全期間差の約62%に有意差が認められた。

9.3. 地域差 (Figures 4, 8 and 9)

明度差、色差、色相差、彩度差、白度差については留萌が、光沢度差については留萌、北見が、欠陥については札幌、北見が、それぞれ最もよい耐候性のランクに分類された。3地域の中で留萌だけが海塩粒子の悪影響を受ける距離にある³⁶⁾ことが最長無欠陥期間の地域差の原因と考えられる。

Table 14. Term difference

Term	1 &2	2 &3	3 &4	4 &5	5 &6	d (0.01)
Weight loss ratio	*		*	*	*	0.13
Color difference	*	*	*	*		0.47
Lightness difference	*	*		*		0.46
Hue difference	*	*	*	*		0.27
Chroma difference	*					0.69
Whiteness difference			*			0.41
Contamination ratio	*	*		*		4.0
Gloss difference	*	*	*	*	*	1.6

Symbol * indicates the terms which show significant difference.

Table 15. Contribution ratio(%) of every factor

Properties	Materials	Terms	Regions
Weight loss ratio	50.5	10.1	0.0
Color difference	67.3	15.1	1.2
Lightness difference	79.8	2.8	1.2
Hue difference	61.0	11.1	0.8
Chroma difference	78.3	2.0	1.2
Whiteness difference	82.3	0.4	0.8
Contamination ratio	67.8	8.8	2.1
Gloss difference	74.2	13.5	0.3
Max. defectless terms	5.0	17.8*	20.0

The values of error and interaction were omitted.

* The value of types of defects.

謝 辞

本研究の文献調査、試験及び取りまとめに際して亜鉛鉄板会の御協力を得た。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 亜鉛鉄板会、亜鉛鉄板・着色亜鉛鉄板・性能・構法ハンドブック、p. 1~388, 1983.
- 2) 軽金属協会、アルミニウムハンドブック、p. 1~353, 1990.
- 3) 増原憲一、家電・建材用表面処理鋼板の諸性質と今後の動向、西山記念技術講座、Vol. 138, p. 211~242, 1991.
- 4) 鋼材倶楽部、明日を創る外装用建材、p. 1~60, 1991.
- 5) 工藤博樹、大垣直明、新築住宅の使用材料の地域差に関する研究・その2、屋根材の地域差とその要因、日本建築学会大会梗概集・F、p. 721~722, 1990.
- 6) C. Low and O. C. Vorster, Investigations into coatings for weathered galvanised steel roofing, Journal of oil color chemists association, Vol. 55, No. 10, p. 901~916, 1972.
- 7) 竹島鋭機、塗装鋼板の耐久性寿命予測法、塗装技術、Vol. 22, No. 3, p. 91~99, 1983.
- 8) 橋本博和、松橋俊一、鶴田 裕、鈴木邦臣、富谷義人、環境条件の異なる各地での屋外暴露による耐久性比較試験・その3、外装材の暴露3年までの結果、日本建築学会大会梗概集・A、p. 673~674, 1987.
- 9) D. M. Howell, Metal cladding for roofs and walls: will it meet your needs? Construction and building materials, Vol. 1, p. 10~15, 1988.
- 10) H. E. Townsent, A. R. Borzillo and W. D. Baker, Performance of Al-Zn alloy coated steel sheet after twenty-two years of atmospheric corrosion testing, Proceedings of 2nd conference on zinc coat steel sheets, p. 1~11, 1989.
- 11) 西田和生、樫野紀元、金属外装材の耐久性試験・その1、金属外装材の自然暴露試験1年目の結果、日本建築学会大会梗概集・A、p. 65~66, 1991.
- 12) 新美宣伸、塗装鋼板の特性と動向、鉛と亜鉛、Vol. 29, No. 1, p. 53~65, 1992.
- 13) 玉川克軌、亜鉛-アルミニウム合金めっき鋼板の特性、鉛と亜鉛、No. 165, p. 45~52, 1993.
- 14) 長谷川 完、大澤 悟、白石章二、表面処理金属板の耐久性に関する研究・3年間暴露後の状況、日本建築学会大会梗概集・A、p. 527~528, 1993.
- 15) 遅沢浩一郎、ステンレス鋼の耐候性について、防錆管理、Vol. 27, No. 2, p. 34~40, 1983.
- 16) 吉井紹泰、西川光昭、名越敏郎、小田一麿、神余隆義、ステンレス鋼の耐候性・大気暴露10年間の結果、防腐防食協会大会予稿集、p. 312~315, 1984.
- 17) 特殊鋼材倶楽部、ステンレス鋼の耐候性、特殊鋼、Vol. 41, No. 5, p. 16~38, 1992.
- 18) 西川光昭、足立俊郎、吉井紹泰、沖縄地区での10年間の大気暴露試験によるステンレス鋼の耐候性、腐食防食討論会講演集、p. 349~352, 1993.
- 19) 曾根雄二、矢沢好弘、岡 裕、高耐食性ステンレス鋼屋根材の開発、日本建築学会大会梗概集・A、p. 529~530, 1993.
- 20) C. R. Cox, A. M. Sunner and B. G. Nokes, Durability of prepainted aluminum strip, Transactions of Institution of metal finish, Vol. 55, No. 3, p. 107~111, 1977.
- 21) 松元秀男、星 尚利、アルミニウム建材の前処理・塗料・塗装を展望する、工業塗装、No. 77, p. 105~113, 1985.
- 22) H. Wetzel, Langzeit-Verhalten von Aluminium-Bleichen: Überprüfung nach 30 jähriger Bewitterung DDH, Vol. 20, No. 106, p. 34~37, 1985.
- 23) 在見三郎、カラーアルミの耐久性、アルトピア、Vol. 15, No. 7, p. 69~71, 1985.
- 24) 青山 幹、堀 長生、西尾章男、常乾型ふっ素樹脂塗料の研究・その1・耐候性、日本建築学会大会梗概集・A、p. 631~632, 1986.
- 25) D. S. D. Northwood, The benefits and use of powder coatings for architectural aluminum, Pigment and resin technology, Vol. 16, No. 3, p. 4~8, 1987.
- 26) R. G. Mathey, Investigation of the corrosion of aluminum standing-seam roofing at an army facility, P. B. Report, No. 86-213378, p. 1~21, 1986.
- 27) 軽金属協会、カラーアルミ・その耐久性・5年間の暴露試験、軽金属協会資料、p. 5~13, 1989.
- 28) 土屋正一、アルミニウム表面処理材の耐久性・10年間の大気暴露試験、日本建鉄技術フォーラム梗概集、Vol. 10, p. 16~20, 1992.
- 29) 森田 彰、小林秀行、阿部ゆかり、アルミ建材へのふっ素樹脂電着塗装技術・3. 5年間の屋外暴露試験アルトピア、Vol. 21, No. 10, p. 19~20, 1991.
- 30) 藤本博志、長谷川完、大澤 悟、白石章二、外装アルミ用塗料の耐久性に関する研究・その5・7年間の屋外暴露試験、日本建築学会大会梗概集・A、p. 519~520.
- 31) 井上貞弘、萬徳昭夫、後藤 茂、小笠原建二、十河哲也、北海道における薄板状屋根材料の耐候性・その1・寒地技術シンポジウム要旨集、p. 223~228, 1986.
- 32) 井上貞弘、十河哲也、後藤 茂、小川 貢、北海道における薄板状屋根材料の耐候性・その2、寒地技術シンポジウム要旨集、p. 501~506, 1989.
- 33) C. H. Sjöström, P. Jernberg and D. Lala, X-ray photoelectron spectroscopy studies of the degradation of PVF₂ coatings, Materials and structures, Vol. 24, No. 139, p. 3~12, 1991.
- 34) 伊東敏幸、苔米地 司、星野政幸、積雪地域における屋根用塗装鋼板の表面劣化に関する研究、日本建築学会構造系論文集、No. 444, p. 7~12, 1993.
- 35) S. Inoue and S. Gotoh, Weatherability of metallic roofing materials for housing in cold regions, Proceedings of 6th international conference on durability of building materials and components, p. 57~66, 1993.
- 36) 樫野紀元、建築物への海塩粒子影響調査、建築研究成果撰あらか、No. 3, p. 165~181, 1985.
- 37) 橋高義典、梅本定良、建築外装材の汚染に及ぼす高さ、方位の影響、日本建築仕上学会大会学術講演会研究発表論文集、p. 89~92, 1993.
- 38) 亜鉛鉄板会、亜鉛めっき鋼板・種類と特長、p. 1~29, 1982.
- 39) ステンレス協会、ステンレス建材の手引き、p. 1~51, 1986.
- 40) (財) 塗料検査協会、塗膜の評価基準、p. 1~41, 1971.

付 記

本研究の耐候性試験は、著者自身及び後藤 茂氏ほかの多数の研究所員によって実施された。

英文要約 (Summary)

1. Introduction

The characteristic requisites of roofing materials of detached houses in cold regions are as follows: ① light weight. ② superior frost damage resistance. ③ incombustibility. ④ superior watertightness. ⑤ superior durability. ⑥ moderate construction cost. ⑦ easiness of execution. ⑧ stable supply and ⑨ uniform qualities. Metallic roofing materials have been using more than 96 percent at newly built detached houses in Hokkaido because they have most of these requisites. The fact is a characteristic feature of detached houses in Hokkaido. Sometimes deteriorated paint films and rust from substrates of metallic roofing materials are found out because of environmental factors such as rain, snow, condensation, wind, temperature, moisture, acidic pollutants (SO_2 , NO_2), acidic dust and soot, sea salt particles and UV ray accelerate the degradation of metallic roofing materials.

The progress of three types of degradation mechanisms of painted metallic roofing materials are as follows: ① UV ray degradation of paint films. → ② adhesive strength drop of paint films. → ③ corrosion of metallic substrates. The properties to estimate of degree of degradation of metallic roofing materials in literatures are as follows: gloss decrease ratio, color difference, degree of chalking, paint film thickness decrease, weight decrease, variation of surface states with microscopic observation, rusting area ratio, rusting depth, elapsed time till rust occurrence, amount of a specific chemical element of the surfaces, weight increase with oxidation, state of the defects such as blistering, cracking and peeling of paint films and contamination ratio.

2. Weathering test

The 27 types of specimens in Table 1 were used in this research. The figure and dimensions of specimens were as shown in Figure 1. For each condition, three specimen pieces were used. Rust-resisting paints were applied to cut and bored parts of substrates. The standard color of the specimens was blue but other colors were also tested when there were no blue goods in stocks at all. The test setup is shown in Photo 1. All of the specimens were measured the colors of a, b, L in UCS system and X, Y, Z in CIE system, gloss of 60 degree specular reflection and weight with accuracy of 0.1mg before the weathering test. Then, specimens were faced south, were inclined 30 degrees to level, and were firmly fixed to exposure racks by stainless steel wire that diameter is 0.8mm. The test term was approximately eleven years from 25 July 1982 to 26 August 1993. After the conditioning for seven days at normal temperature, color, gloss and weight of all specimens were measured and the defects such as blistering, cracking and peeling of paint films and rusting of metallic substrates were inspected by naked eye, annually. The situation of the exposure sites are shown in Figure 2. The average exposure conditions in whole weathering test term are shown in Table 2. Measuring apparatus and relative items are shown in Table 3.

3. Calculations

The data of weight loss ratio, color difference, lightness difference, hue difference, chroma difference, whiteness difference, contamination ratio and gloss difference were divided from Term one to Term six, and were calculated by analysis of variance. The data of maximum defectless terms were divided from Term zero to Term eleven, and were also calculated by analysis of variance. The results of calculations are shown in Tables 4 through 12 except the values of interactions and errors. After the F-examinations and t-examinations, $d(\alpha)$ were calculated.

4. Results

The population means were arranged in decreasing order, and rankings were made such that there were no difference between the values belonging to same range. The results are shown in Figure 3 and Table 13 for material difference, Figure 4, Figure 8 and Figure 9 for regional difference, Figures 5 to 7 and Table 14 for term difference, and Table 15 for contribution ratio of each factor.

5. Material difference

In the case of the specimens of galvanised steel sheets with baking paints (12 types from No.1 to No.14 of left side in Figure 3), specimen No.32 (vehicle: polyvinylidene fluoride, color: gray) showed best rankings on weatherability, and specimen No.5 (vehicle: polyvinylidene fluoride, color: green) also showed very good rankings. On the other hand, in the case of specimens of galvanised steel sheets with normal temperature dryness paints (seven types from No.19 to No.28 in Figure 3), specimen No.20 (vehicle: chlorinated rubber, color: blue) and specimen No.24 (vehicle: drying boiling oil, color: blue) showed worst rankings. In the case of the specimens without paint (four types from No.9 to No.18 in Figure 3), it was no specimen which showed good rankings. In the case of miscellaneous metallic sheets with baking paints (four types from No.12 to No.29 of right side in Figure 3), specimen No.6 (substrate: aluminum alloy, vehicle: polyvinylidene fluoride, color: chocolate brown) showed best rankings on weatherability.

6. Term difference

It was found out that all of the population means of these properties increased with the lapse of time throughout the test term. The order which show gentle variation were whiteness difference (Term 1~2), chroma difference (Term 2~3), color difference as well as lightness difference, hue difference and contamination ratio (Term 5~6), but weight loss ratio and gloss difference didn't show gentle variation till the end of the weathering test term. About 62 per cent out of all term difference were found to be significant.

7. Regional difference

The best rankings were found for Rumoi concerning lightness difference as well as color difference, hue difference, chroma difference and whiteness difference, for Rumoi and Kitami concerning gloss difference, and for Sapporo and Kitami concerning maximum defectless terms. Among environmental conditions in Table 2, most decisive condition is the distance from seashore, that is, only Rumoi has an aggressive influence of sea salt particles, and then, it was found that rankings of Rumoi were more inferior than that of Sapporo and Kitami concerning maximum defectless terms.

8. Contribution ratios

In the case of all properties except maximum defectless terms, the order of contribution ratios is as follows: Materials>Terms>Regions. On the other hand, in the case of maximum defectless terms, the order of ones is as follows: Regions>Defects>Materials.

Acknowledgement

The author wishes to express appreciation to the Japan Galvanised Iron Sheet Association for cooperation in collecting the literatures, in experimentations and in reviewing the research.

Additional remark

Weathering test of this research was conducted by myself, Mr. Shigeru Gotoh and many other staffs of our Institute.

(1994年10月10日原稿受理, 1995年3月8日採用決定)