

木材に取り付けられたアルミニウム合金の腐食

今村 浩人⁽¹⁾・木口 実⁽²⁾Hirotō IMAMURA, and Makoto KIGUCHI: Corrosion of
Aluminum Alloy Attached to Wood.

要 旨：木材に取り付けられたアルミニウム合金製のサッシに発生する腐食は、海水に由来する木材中の塩化物が主な原因とされている。本研究ではアルミニウム合金の腐食の発生原因をさらに明らかにし、防止対策の資料を得ることを目的とした。実験としては、木材にアルミニウム合金をステンレス釘で固定した試験体および木粉中にアルミニウム合金を埋め込んだものを湿潤に保ち、アルミニウム合金の腐食量を求めた。その結果、アルミニウム合金の腐食量は木材の食塩含有量とともに大きくなる傾向がある。とくにイオン化傾向でアルミニウム合金より低い順位にある銅やステンレス鋼が接触すれば腐食は促進される。サッシではステンレス鋼の木ねじを使用しており、腐食は接触部に発生する。実際に腐食の発生したサッシに使用された木材のねじ穴部分の塩化物含有量は他の部分より高い。これは、ねじ穴を通じての水の侵入および脱出のくり返しに伴って、この部分に塩化物が蓄積されたものと考えられる。腐食の防止方法は、未乾燥材や塩化物の多い材を使用しないこと、サッシとステンレスねじおよび木ねじと木材をそれぞれ接触させないことであり、例えばねじ穴にシリコンのコーキング剤を注入したうえでねじを締めると効果がある。

1. ま え が き

住宅のアルミサッシ（サッシ枠）に腐食が発生することがあり、特に木材に取り付けられている場合の腐食については、その原因の一つに海水に由来する木材中の塩化物があげられている¹⁾²⁾。すなわち、サッシ枠と木材の接触部が湿潤状態になったとき、水に溶出した塩素イオンがアルミニウム合金（以下アルミ合金）の腐食を促進する現象である。サッシ枠の腐食は、全体の施工数からみると多い発生件数ではなく¹⁾、また建物の強度に影響する程度でもないが、改修工事が簡単でないため、かなり深刻な問題となることがある。本研究の目的は、腐食の発生の原因と機構を解明し、その防止策の資料をつくることである。

2. アルミ合金の腐食の概要

金属が腐食する環境は、一般には水が存在することが前提で、水に塩化物や硫化物が存在すれば Cl^- 、 SO_4^{2-} が腐食を促進する³⁾。異種の金属が接触すれば多くの場合イオン化傾向のより高い方が腐食する。また、水中における溶存酸素量に差があれば、いわゆる通気差電池が形成され酸素量の少ない部分が腐食する。特にすきま部分では空気の流通が悪く、すき間腐食を起こす⁴⁾。金属に応力が発生していると、その部分が腐食しやすい⁵⁾。これらの腐食の理論的な取り扱いとしては、化学反応の平衡状態では標準電極電位と pH を軸とした図で腐食領域と非腐食領域を決定し、また腐食が発生している状態における電極電位に対する電流密度（単位面積当たりの電流値）を表わす曲線（分極曲線）から腐食速度を決定する方法がとられている^{6)~8)}。

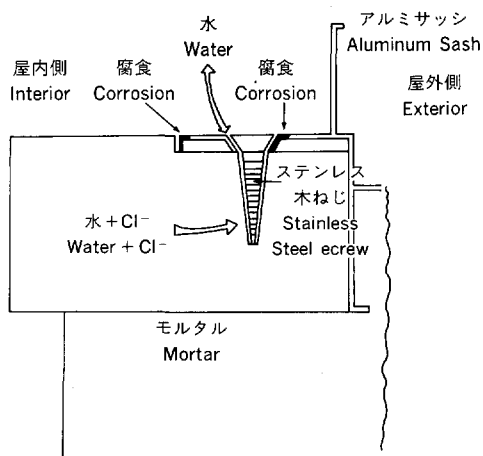


Fig. 1. サッシ枠と木材の接合部
Joint part of aluminum
frame and wood.

住宅部材として用いられるアルミ合金の腐食の原因および形態は次のようである。屋外に直接さらされる部分では、空気中の塩化物、亜硫酸ガス、金属粉、炭素などの有害物質が雨水にはいりこみ、これが原因となって斑点状の腐食が発生することがある。屋内においても結露が発生するような場所では、水によってほこりが特定の場所に集められ、乾燥して付着物となる。これには有害物質が含まれているうえに、他の部分との間に通気差電池が形成されて腐食が発生する。防止策としては水洗いが有効とされている²⁾⁶⁾。また、アルミ合金が外壁の鉄骨や鉄網と接触するときも腐食がみられるといわれている¹⁾²⁾。サッシ枠の場合も以上の要因があれば腐食するほか、塩化物を含んだモルタルと接触するときも腐食が発生す

る¹⁾²⁾⁷⁾。

サッシ枠はアングルで木材と全面に密着する形状のものと Fig. 1 のように端部の脚と木ねじの穴の部分で木材と接触するものがある。腐食は外部から見ると木材との境界付近およびサッシ枠を木材に接合する木ねじ用の穴（ビス穴）の周辺部である。腐食の徴候は、まず透明な液が現われ、中に泡が入り、白く濁ってくる。その後固まった白い腐食生成物が吹き出す。腐食の徴候は実験では数日で現われ、実際の場合には1年以内に発見することが多い¹⁾。

3. アルミ合金の腐食に及ぼす塩化物の影響

木材が塩化物を含む場合のアルミ合金の腐食を検討するため、まず塩化物の存在により腐食が増加することを確認し、次に木材中の塩化物量の変化に従って、腐食量がどのように増加するかを調べた。

塩化物の存在の影響

木材をソリッドで用いたものを木材試験体、木粉としたものを木粉試験体と呼ぶ。

木材試験体

樹種：アガチス、ベイツガ

木材寸法：35(W)×22(H)×100(L)mm

アルミ合金：サッシ枠を長さ100mmに切断したもの

木材の塩化物量を変化させるため、上記木材寸法で次のような処理を行った。

(1) 純水で10時間煮沸

(2) 無処理

(3) 5%の食塩水に5日間浸せき

この処理により食塩含有量は、アガチスの処理で(1)で0%、(2)で0.2%、(3)で4~8%、ベイツガでは(1)0%、(2)で1.4%、(3)で2~3%である。これらの木材は(2)の無処理でも塩化物を含有することから、

海水貯木されたものと考えられる。木材試験体には、アルミ棒 (複雑な形状) をその一面が密着するように2箇所釘で止めした。釘は直径2.3 mm、長さ45 mmのステンレス製の釘 (SUS 27, 18-8) を15 mmに切断したものを用いた。

木粉試験体は、上記の処理を施した木材の一部を用いて作成した。

木粉試験体

樹種: アガチス, ベイツガ

木粉: 60~100メッシュ

アルミ合金: サッシ枠から切り取った10×50 mm, 厚さ1 mmのプレート

木粉試験体は、シャーレの中に木粉を入れ、アルミ合金のプレートを埋め込んだ状態とした。

両試験体は水を添加して湿潤にし、60°Cに保った。5か月後の重量変化率をTable 1に示す⁸⁾。表の結果はそれぞれ2つの試験体の平均値である。金属の腐食量を重量変化で求めるさい、試験体に固着した腐食生成物を除去する方法が問題となる⁹⁾。本実験では、腐食生成物をワイヤーブラシで除去したが、腐食の初期で腐食生成物が完全に脱離しない場合、重量変化率は正となる。Table 1を見れば食塩を含浸させた木材でアルミ合金の腐食が大きいことがわかる。

食塩による腐食量の変化

Fig. 2はアルミ合金の腐食量を食塩含有率 (測定法は5の樹種特性の影響のところ述べる) に対してプロットしたものである。実験条件は次のとおりである。

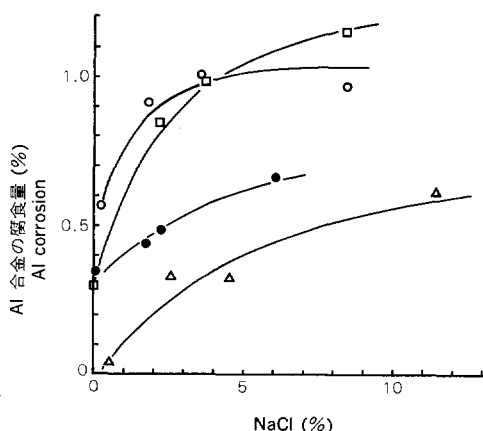


Fig. 2. 木粉に埋め込んだアルミ合金の腐食量と食塩含有率の関係

Relation between salt content and corrosion of Al alloy buried in wood powder. Kept wet at 23°C for 40 days.

- カプル Kapur
- アガチス Agathis
- △ ベイツガ West hemlock
- ダグラスファー Douglas fir

Table 1. 食塩の影響
Effect of salt.

試料 Sample	Al 合金重量変化(%) Al weight change.		
	t ₁	t ₂	t ₃
アガチス 木材試験体 Agathis, solid	+0.11	+0.11	-0.10
ベイツガ 木材試験体 West. hemlock, solid	+0.12	+0.14	-0.05
アガチス 木粉試験体 Agathis, powder	+0.08	-0.03	-0.14
ベイツガ 木粉試験体 West. hemlock, powder	+0.03	+0.05	-0.10

60°Cで5か月間湿潤に保った。

Kept wet at 60°C for 5 months.

t₁: 水で10時間煮沸 Boiled with water for 10 hrs.

t₂: 無処理 Not treated.

t₃: 5%食塩水に5日間浸せき
Immersed in 5% NaCl aqueous Solution for 5 days.

樹 種：カプル、アガチス、ベイツガ、ダグラスファー

木 粉：40 メッシュ通過

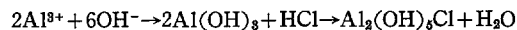
アルミ合金：15×60 mm，厚さ 1 mm，無塗装

温度，期間：23°C，40 日

処 理：食塩水（0.5%，1%，3%）を 1 樹種について等量づつ加える

Fig. 2 によれば，腐食量は食塩含有率とともに増加するが，その増加割合は食塩含有率が 5% 付近から小さくなる傾向にある。

塩素イオンがアルミニウムの腐食を促進することについては次のように考えられている。アルミニウムは自然の状態でも表面に酸化皮膜が形成され，腐食しにくい，塩素イオンがこの皮膜を犯すといわれている⁹⁾。McGeary によれば塩素イオンが存在することにより次の反応が進む⁷⁾⁹⁾。



サッシ枠の腐食生成物の一つとして $\text{Al}_2\text{Cl}_6(\text{OH})_{12} \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ が確認されている⁹⁾。木材中の塩素イオンはほとんどすべて海水の浸入によるものである¹⁰⁾。海水に含まれる塩類は NaCl が最も多く(78%)，次に MgCl_2 (11%)， MgSO_4 (5%) となっている⁹⁾。塩分という用語は海水 1 kg 中の全塩類量を表わすが，一般には NaCl 量と同意語的に用いられている¹¹⁾。本実験では塩化物として食塩を用い，また塩化物量は硝酸銀による沈でん法により，すべて NaCl に換算して求めた。

木材中の NaCl の含有率は，海水貯木された場合，1 本の丸太でも水面の上下，木口付近と中央部，表面と中心部では異なり，製材されてからでも当然その分布が一様でないことが多い。この分布のばらつきは実際にアルミサッシが腐食した例にもみられる。

サッシ枠の実際の腐食例

千葉県のある小学校の北側の窓のサッシ枠が腐食した。腐食はねじ穴の周辺に発生している。木材は非常に軽い（比重 0.25）南洋材であり，防腐剤または防ばい剤のようなにおいがする。この木材の 25 cm 間隔の 2 つのねじ穴付近とその中間の部分から木粉をつくり，塩化物含有量と pH を求めると次のようである。

ねじ穴部(1) 塩化物：1.02%，pH：3.60

ねじ穴部(2) 塩化物：0.82%，pH：3.60

中間部 塩化物：0.56%，pH：5.00

Fig. 3 は沖縄県の住宅に使用されたアガチスの一部で，これに取り付けられたサッシ枠（アングル）に腐食が発生した。Fig. 3 においてサッシ枠は No. 7 から No. 12 に沿って取り付けられ，室内側は 2 本の障子溝がある。塩化物含有量と pH の測定結果は Table 2 のようになり，ねじ穴部分の No. 11 で塩化物量と pH が高い値を示している。木材のねじ穴の断面を見ると，ねじのあったところから 2 mm 程度は黄褐色となり，そこから外側は白くなっている。pH が No. 11 以外は 6 以下であるのに対し，No. 11 では 9.10 とアルカリ性を示すが，これはアルミ合金の腐食生成物の影響であろう。pH については千葉県の例と異なった結果であるが，沖縄県の例の場合はサッシ枠のねじ穴のプレス加工された部分が消滅するほど腐食が大きい。アルミニウムの塩素イオン存在下における反応式から推察すると，木材の pH は腐食の進展に従い変化するようである。なお，沖縄県の例ではアガチスを海水貯木後の未乾燥状態で塗装して使用

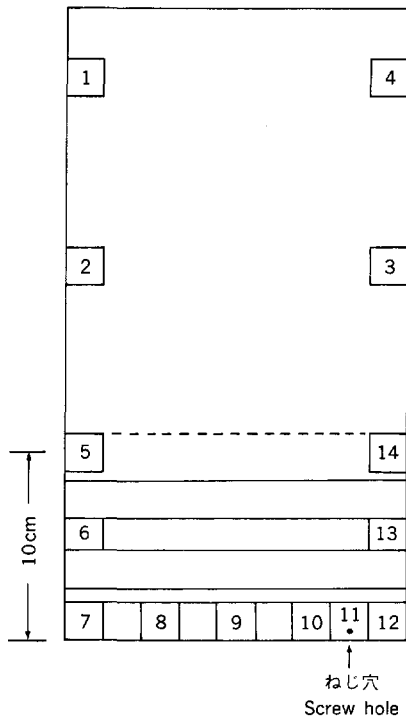


Fig. 3. 腐食したサッシ枠から取りはずした木材の塩化物および pH の測定箇所

Measuring points for chloride content and pH of the wood which caused aluminum frame corrosion.

し、サッシの取り付け後、1~2か月目の夏期に腐食が発見されている。このアガチスの心材部の塩化物はきわめて少なく、海水が辺材に浸透したことを示している。このように、木材中の塩化物の分布は、海水の浸透状態によるほか、施行後の水の浸透によっても不均一になるため、実際例から腐食を引き起す塩化物量を決定するのが困難である。

4. アルミ合金の腐食に及ぼす異種金属の影響

異種金属として住宅部材周辺に普遍的に存在する銅イオン、およびサッシ枠の取り付けに用いられるステンレス鋼を取りあげ、銅粉および木ねじの代わりとしてステンレスの釘を用い、腐食の要因または防止策を探るための実験を行った。

銅粉添加の影響

Table 3 は、先に述べた木粉試験体に気乾木粉重量の1%の銅粉(試薬)を加えた結果であり、銅粉を添加した木粉の方がアルミ合金の腐食が大きいことがわかる。

ステンレス釘の存在の影響

アルミ合金を無処理の木材にステンレス釘と木釘を用いて取り付け、腐食量を比較した⁸⁾。アルミ合金

Table 2. 腐食したサッシ枠から取りはずした木材の塩化物含有量と pH
Chloride content and pH of the wood caused Al frame corrosion.

Nc.	塩化物含有量(%) Chloride content	pH	備考 Remark
1	0.08	4.88	
2	0.02	5.00	心材 Heartwood
3	0.00	5.80	
4	0.00	5.03	
5	0.30	5.49	
6	0.75	5.50	
7	5.31	5.11	
8	5.91	4.89	
9	5.79	5.12	
10	6.39	5.63	
11	7.59	9.10	
12	6.50	5.79	
13	1.01	5.70	
14	0.25	5.79	

ねじ穴は No. 11 (Fig. 3)

Wood (Agathis) was used while high moisture content and caused Al frame corrosion found 1~2 months after construction. Screw hole was at No. 11 (see Fig. 3).

Table 3. 銅粉の影響

Effect of copper powder.

Al 合金重量変化(%)
Al weight change.

試料 Sample	t ₁	t ₂	t ₃
アガチス Agathis, powder	-2.79 (+0.08)	-2.64 (-0.03)	-8.39 (-0.14)
ベイツガ West. hemlock, powder	-3.05 (+0.03)	-1.30 (+0.05)	-4.976 (-0.10)

条件は Table 1 と同じ。

Conditions are same as Table 1.

(): 銅粉なし Without copper powder.

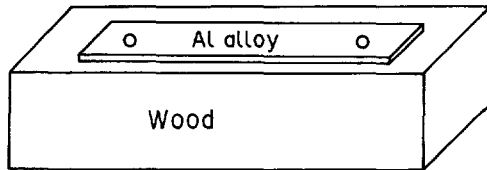


Fig. 4. アルミ合金のプレートを用いた試験体
Sample with aluminum alloy plate.

Table 4. ステンレス釘の影響

Effect of stainless steel nail.

Al 合金重量変化(%)
Al weight change.

試料 Sample	ステンレス釘 Stainless steel nail	木釘 Wooden nail
アガチス Agathis, solid	-1.15	-0.03
ヒノキ Hinoki, solid	-0.96	+0.10

60°C で5か月間湿潤に保った。

Kept wet at 60°C for 5 months. Figures are incomparable with those in Table 1 because of different Al shape.

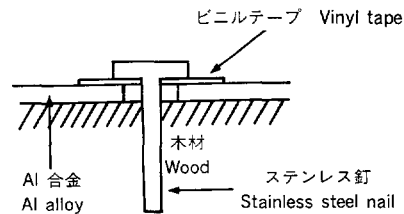


Fig. 5. ビニルテープによるアルミ合金と
ステンレス釘の隔離

Insulation of Al alloy from stainless steel nail by vinyl tape.

はサッシ枠から切り取った 20×60 mm, 厚さ 1 mm のプレートを用い, 先の木材試験体と同じ寸法の木材 (アガチスとヒノキ) に取り付けられた (Fig. 4)。他の条件は Table 1 と同じである。結果を Table 4 に示す。これを見るとアガチスの場合, 腐食量は木釘よりもステンレス釘を使用した方が明らかに大きい。なお, ヒノキはアガチスより小さい値を示すが, 木釘の場合でも腐食がないとはいえない。

ステンレス釘の接触状況の影響

次に, ステンレス釘とアルミ合金との接触状態が腐食に及ぼす影響を検討した。ステンレス釘の直径が 2.3 mm (頭径約 5.5 mm, 長さは 15 mm に切断) に対し, アルミ合金のプレートの釘穴の直径を次の大, 小 2 種類とした。

釘穴径大: 5 mm

釘穴径小: 2.5 mm

また, 釘穴径大の釘穴の上から絶縁用ビニルテープをはり, この上からステンレス釘を打って釘の頭および首部とアルミ合金の接触を避ける試みも行った (Fig. 5)。アルミ合金のプレートの 2 つの釘穴の組み合わせを次のようにした。大, 小は釘穴径を指す。

Table 5. 釘穴の直径の影響
Effect of nail hole diameters.

釘穴直径(mm) Nail hole diameter		Al 合金重量変化(%) Al weight change
5	2.5	-0.58
5 Taped	2.5	-0.58
5 Taped	5 Taped	-0.25

1枚のアルミ合金には釘穴が2つある。室内で15か月間湿潤に保った。
Each Al plate has two nail holes. Kept wet in room for 15 months.

- (1) 大と小
- (2) 大(テープ)と小
- (3) 大(テープ)と大(テープ)

木材はアガチスを用いた。室内で15か月間湿潤に保った結果、腐食量(試験体2個の平均)は Table 5 のようになり、上記(3)が低い値となる。

アルミ合金とステンレス釘が一方の穴で接触する(2)は(1)と同じ値を示す。腐食量にはアルミ合金の端部の腐食も含むため、釘穴部のみの腐食量は求められないが、アルミ合金とステンレス釘との接触を避ければ腐食を減少させる効果がある。

接合法による影響

アガチスを用い接合法を変化させて腐食量を調べた。処理は次のようである。

- (1) アルミ合金と木材とを輪ゴムで固定し、アルミ合金の釘穴部にステンレス釘から切り取った頭部のみを置く。
- (2) ポリカーボネート製のボルトで接合する。
- (3) 木材の釘穴部にシリコンのコーキング剤を注入してからステンレス釘を打つ。
- (4) 亜鉛めっきをした鉄釘で接合する。
- (5) ステンレス釘で接合し、同一アルミ合金内の離れた場所に亜鉛粒を埋める。

これらの1種類につき3個の試験体を作成した。23°Cに13か月間湿潤に保った後の腐食量は Table 6 のようになる¹²⁾。表には無処理の値がないが、16か月後の重量変化は-0.3~-1.5%である。この実験から、ステンレス釘を使用しないか、またはシールすると腐食量は小さくなる。ステンレス釘の頭部が接触する程度では腐食は促進されない。亜鉛めっき釘の場合にはめっきがはく離すると効果がなくなる。また亜鉛粒を埋めた試料では、亜鉛が犠牲電極として作用しない¹³⁾ため効果が期待できないと考えられる。

ステンレス釘の長さの影響

この実験でステンレス釘の頭だけでは腐食が促進されないことから、次の長さの釘を用いて釘の長さの影響を検討した。

長い釘：23mm

短い釘：5mm

Table 6. 接合部に関する処理の影響
Effects of treatments around joint.

No.	処 理 Treatment	Al 合金重量変化(%) Al weight change
1	ゴム止め、釘頭 Rubber-banded, nail head	+0.013
2	ポリカーボネートボルト Polycarbonate bolt	+0.06
3	シリコンシール Silicon-sealed	+0.22
4	亜鉛めっき鉄釘 Galvanized iron nail	-0.70
5	ステンレス釘、亜鉛 Stainless nail, zinc	-0.03

23°Cで13か月間湿潤に保った。
Kept wet at 23°C for 13 months.

Table 7. ステンレス釘の長さの影響
Effect of nail length.

試料 Sample	釘長さ(mm) Nail length	Al 合金重量変化(%) Al weight change	木材 Wood	釘長さ(mm) Nail length	Al 合金重量変化(%) Al weight change
アガチス Agathis	23	-1.15	アガチス Agathis	23 Painted	-0.67
ヒノキ Hinoki	23	-0.85	アガチス Agathis	5	-0.40

室内で16か月間湿潤に保った。
Kept wet in room for 16 months.

長い釘の一部にはペイント（フタル酸系）を塗布した。木材はアガチスを主とし、ヒノキも用いた。アルミ合金の釘穴は3mmである。1種類の試験体の数は3個である。室温で16か月間湿潤に保った後の腐食量はTable 7のとおりである¹⁴⁾。表のアガチスについて見れば、短い釘より長い釘の方が腐食量は大きい。ペイントを塗布した場合効果があるが、平均値としては予想したほどではないようにみえる。これはペイントが一部はく離したためであり、はく離がない場合の重量変化率は-0.17%である。釘の長い方がアルミ合金の腐食が大きいことについては、木材の釘穴が長いほど釘穴部に水分と塩化物を多く集める可能性があることが考えられる。一方、冬期コンクリート住宅の結露の発生しやすい場所で、木材の枠に取り付けられたサッシ枠のステンレスねじの頭部に結露水が見られることがある。これは木材の厚さと比較してねじが長い場合、その先端が温度の低いコンクリートに近く、冷熱橋¹⁵⁾となってサッシ枠より低温になるための現象と考えられる。したがってねじは短いほど結露を生じにくいことになり、サッシ枠の腐食を軽減させることになるであろう。

これまでの実験で異種金属がアルミ合金の腐食に大きな影響を及ぼすことが明らかとなった。2種類の異種金属が接触する場合、一般にイオン化傾向の大きい金属が電子を放出し腐食する。海水中におけるイオン化傾向ではアルミニウムは銅、18-8ステンレス鋼および鉄より高い順位にある⁹⁾。アルミ合金はアルミニウムに銅、マグネシウム、マンガン、けい素あるいは亜鉛などが添加されたものである。NaClの水溶液(53g/l)にH₂O₂の水溶液(3g/l)を加えた溶液中(25°C)における自然電極電位は、サッシに使われるアルミ合金6063が-0.83V、銅が-0.20V、ステンレス鋼が-0.09Vである⁷⁾。自然電極電位とは、はじめに述べた極極曲線において腐食の発生する電極電位であり、2種類の金属では電位の小さい方が腐食する。

銅イオンは1ppm程度の存在でアルミ合金の孔食を起こすといわれ⁸⁾、異種金属としては最も注意を要するものである。アルミ合金の腐食とステンレス鋼の関係について、大気中または淡水中では安全であるが、海上の大気中または海水中ではアルミニウムの方が腐食すると報告されている⁷⁾¹⁸⁾¹⁶⁾。

5. アルミ合金の腐食に及ぼす樹種特性の影響

樹種特性として塩化物含有量、pH、比重および熱水抽出物を取りあげ、アルミ合金の腐食との関係を調べた。木材は主に材鑑（日本木材加工技術協会製）を利用した。

樹種：60種、心材、辺材の区別はしてない。

木材寸法：100×75×12.5 mm

アルミ合金：15×60 mm，厚さ1 mm，無塗装，釘穴3 mm

温度，期間：23°C，11か月

接合法：ステンレス釘，直径2.3 mm，長さ12 mmに切断

塩化物量測定：乾燥木粉（40メッシュ通過）1 g当たり100 mLの純水を加え，24時間室内放置後の上澄み液を硝酸銀による沈でん法によりAgCl量を求め，NaClに換算し，乾燥木粉重量当たりで表わす。

pHの測定：(1)木材表面に直径と深さが1 mm程度の穴をあけ，純水で繊維飽和点以上の湿潤¹⁷⁾にし，微量pHガラス電極（Microelectrode社製，MI-408，先端直径0.4 mm）で測定（Table 8で木材表面）。(2)先の上澄み液を一般のガラス電極で測定（Table 8で抽出液）。

熱水抽出物量：木材の小片を100°Cで10時間煮沸して求めた。

結果をTable 8に示す¹⁸⁾。樹種間で腐食量にはかなりの差がみられるのに対し，それぞれの測定項目の中での樹種間の値の変動幅が小さいため，腐食の要因が明確に把握しにくい。ここで用いた木材の中には，塩化物量が多いため腐食量が大きくなっていると思われるものもあるが，塩化物量が少なくても，これ以外の要因が作用して腐食量が大きくなっていると考えられるものもある。この要因については不明であるが，木材の化学的成分およびアルミ合金との接触にかかわる表面状態や，塩化物の移動にかかわる水分拡散係数などの因子が考えられる。

金属の腐食の原因の一つにしばしば木材のpHがとりあげられるが，本実験結果ではアルミ合金の腐食量とpHとの間に明確な関係がみられない。木材のpHは大体3～7の範囲にあり，大部分が4～6に集中し¹⁹⁾，Table 8の結果とはほぼ一致している。アルミニウムはpH4～8の範囲で安定な酸化皮膜が形成されている，という報告がある²⁰⁾。この皮膜が塩素イオンの存在下で破壊されやすいこと²¹⁾を考えると，pHが低いことが腐食を引き起す条件となることは少なく，やはり塩化物の存在がより支配的な条件となるであろう。pHがサッシ枠の腐食生成物によって変化することは既に述べた。

6. アルミサッシの腐食の発生原因とその対策

サッシ枠の腐食の発生箇所は，先に述べたように，主にサッシ枠の木材と接する境界部分とねじ穴部分である。木材が塗装されていない場合，Fig. 1のような裏面が全面で木材と密着していないサッシ枠を結露の発生する環境に置いて観察すると，サッシ枠の脚の下に接する部分の木材が乾燥しにくいことがわかる。この部分の腐食は，初め木材と接する部分で，長さ方向にある間隔をもって小さな孔食が発生し，やがて上面の部分も腐食する。この部分の腐食については観察のみであるが，すき間腐食であると考えられる。すき間部分は水とともに塩化物を集めやすく陽極酸化皮膜を犯す状態をつくり，酸素濃淡電池の概念を当てはめれば，溶存酸素が他の部分より少なく，アルミ合金内で電池が発生することになる。一方，アングル状で裏面が木材と全面で密着するものについては，観察例が少ないため，腐食の形態が明らかでないが，サッシ枠との境界面から腐食生成物が吹き出した実例がある。

サッシ枠のねじ穴部分の腐食の発生については，サッシ枠と木ねじのすき間を通して水の浸入と蒸発が行われ，木材のねじ穴部分の周辺に塩化物が集められ，木材表面まで塩化物が多くなる。サッシ枠のねじ穴部分周辺のプレス加工された部分は表面の結露水を集めやすい形をしているうえ，ひずみが存在し，塗

Table 8. 樹種別のアルミ合金腐食量
Corrosion of aluminum alloy with various wood species.

一般名 Common name	学名 Scientific name	Al 合金腐食量 (%) Al corrosion	塩化物含有量 (%) Chloride content	pH (木材表面) pH (Wood surface)	pH (抽出液) pH (Wood powder extraction)	比重 Specific gravity	熱水抽出物 (%) Hot water extractives	
カポール	Kapur	<i>Dryobalanops spp.</i>	7.93	0.03	4.41	5.70	0.60	2.37
カメレレ	Kamerere	<i>Eucalyptus deglupta</i>	6.16	0.05	4.81	6.08	0.45	0.84
イエローメランチ	Yellow Meranti	<i>Shorea spp.</i>	6.13	0.14	4.47	5.97	0.55	2.79
ペルポック	Perupok	<i>Lophopetalum spp.</i>	5.90	0.00	5.01	6.00	0.49	1.78
ターミナリア	Terminalia	<i>Terminalia spp.</i>	5.88	0.00	5.16	6.02	0.95	0.97
ニューギニアウォルナット	New Guinea Walnut	<i>Dracontomelon spp.</i>	5.63	0.00	4.88	6.14	0.62	0.62
タガヤサン	Bombay blackwood	<i>Cassia Siamea</i>	5.16	0.14	6.37	6.90	0.91	2.07
プランチョネラ	Planchonella	<i>Planchonella spp.</i>	4.92	0.00	4.87	6.21	0.50	1.00
ホワイトセラヤ	White Seraya	<i>Parashorea malaanonan</i>	4.85	0.06	4.92	5.80	0.79	0.47
ナト	Nato	<i>Palaquium spp.</i>	4.55	0.00	4.92	6.27	0.71	0.66
マンガシノロ	Manggasinoro	<i>Shorea spp.</i>	4.54	0.13	4.16	6.18	0.47	0.90
バユル	Bayur	<i>Pterospermum spp.</i>	4.52	0.14	4.86	6.20	0.36	0.84
ホワイトメランチ	White Meranti	<i>Shorea spp.</i>	3.88	0.00	4.25	5.89	0.67	0.78
カナリーウッド	Canarium	<i>Canarium spp.</i>	3.83	0.15	5.01	6.30	0.37	0.58
ライトレッドメランチ	Light Red Meranti	<i>Shorea spp.</i>	3.79	0.00	3.55	5.30	0.36	0.88
クルイン	Keruing	<i>Dipterocarpus spp.</i>	3.74	0.00	3.91	5.40	0.62	1.89
テラリン	Tarrietia	<i>Tarrietia spp.</i>	3.51	0.00	4.28	6.28	0.47	0.99
シルキーオーク	Silky oak	<i>Cardwellia sublimis</i>	3.34	0.13	3.96	6.47	0.61	1.19
セプター	Sepetir	<i>Sindora spp.</i>	3.27	0.00	4.56	6.01	0.54	0.96
レッドラワン	Red Lauan	<i>Shorea negrosensis</i>	3.20	0.00	3.78	5.75	0.65	0.90
メルクシマツ	Tenasserium Pine	<i>Pinus merkusii</i>	3.02	0.00	3.79	5.61	0.91	9.97
アンペロイ	Amberoi	<i>Pterocymbium beccarrii</i>	2.63	0.36	5.36	5.55	0.37	0.87
ケンパス	Kempas	<i>Koompassia malaccensis</i>	2.62	0.00	3.63	5.72	0.79	0.47
マヤピス	Mayapis	<i>Shorea Squamata</i>	2.51	0.00	4.16	6.22	0.39	1.53
シタン	Rosewood	<i>Dalbergia cochinchinensis</i>	2.45	0.06	4.56	5.29	0.69	1.92
ペリコプシス	Pericopsis	<i>Pericopsis spp.</i>	2.35	0.00	3.64	5.08	0.68	2.03
ホワイトラワン	White Lauan	<i>Pentacme contorta</i>	2.10	0.03	4.50	6.10	0.53	0.62
コクタン	Ebony	<i>Diospyros spp.</i>	2.07	0.00	4.80	5.61	0.96	0.89
テレンタン	Terentang	<i>Campnosperma spp.</i>	1.94	0.00	4.52	6.61	0.50	0.56
ジェルトン	Jelutong	<i>Dyera spp.</i>	1.89	0.26	5.26	6.19	0.35	1.98

Table 1. (つづき)

一般名 Common name	学名 Scientific name	Al 合金腐食量 (%) Al corrosion	塩化物含有量 (%) Chloride content	pH (木材表面) pH (Wood surface)	pH (抽出液) pH (Wood powder extraction)	比重 Specific gravity	熱水抽出物 (%) Hot water extractives	
プジック	Phdiek	<i>Anisoptera glabra</i>	1.88	0.00	4.73	5.94	0.61	0.76
マンゴ	Mango	<i>Mangifera spp.</i>	1.85	0.00	5.03	6.31	0.70	0.93
ステルキュリア	Sterculia	<i>Sterculia spp.</i>	1.29	0.36	5.80	6.13	0.35	1.73
アガチス	Agathis	<i>Agathis spp.</i>	1.25	0.03	4.32	5.83	0.53	0.88
プライ	Pulai	<i>Alstonia spp.</i>	1.17	0.02	5.11	6.10	0.44	1.29
ラミン	Ramin	<i>Gonystylus bancanus</i>	0.68	0.01	4.54	6.78	0.60	0.88
チーク	Teak	<i>Tectona grandis</i>	0.60	0.00	4.82	5.95	0.54	1.43
ローズウッド	Rosewood	<i>Dalbergia spp.</i>	0.40	0.15	4.50	5.31	0.92	1.96
ベイツガ	Western Hemlock	<i>Tsuga heterophylla</i>	5.90	0.29	4.69	5.60	0.47	1.16
ベイヒ	Lawson cypress	<i>Chamaecyparis lawsoniana</i>	5.10	0.17	4.54	5.14	0.51	1.53
ベイマツ	Douglas fir	<i>Pseudotsuga menziesii</i>	4.22	0.00	4.14	5.39	0.57	1.45
ベイヒバ	Yellow cypress	<i>Chamaecyparis nootkatensis</i>	3.63	0.08	4.93	6.19	0.48	1.83
ノーブルファー	Noble Fir	<i>Abies procera</i>	3.09	0.01	4.97	6.04	0.51	1.30
セコイア	Sequoia	<i>Sequoia Sempervirens</i>	2.93	0.03	4.19	6.20	0.42	1.65
ペイトウヒ	Sitka spruce	<i>Picea sitchensis</i>	2.06	0.00	4.38	5.70	0.43	2.20
ブラックウォールナット	Black walnut	<i>Juglans nigra</i>	1.99	0.00	4.24	5.32	0.62	2.33
アフリカンパドーク	African Padauk	<i>Pterocarpus soyauxii</i>	4.35	0.00	4.84	6.08	0.70	0.96
サペリ	Sapele	<i>Entandrophragma cylindricum</i>	4.32	0.06	4.77	6.09	0.72	1.03
イデワ	Idewa	<i>Hoplormosia monophylla</i>	3.37	0.00	3.85	5.95	0.90	0.75
オクメ	Okoume	<i>Aucoumed Klaineana</i>	3.37	0.00	4.46	6.40	0.48	0.59
アボジラ	Avodire	<i>Turraeanthus africanus</i>	2.76	0.00	4.97	6.24	0.55	0.85
マコレ	Makore	<i>Tieghemella hekelli</i>	1.85	0.00	—	5.30	0.67	1.35
ブビンガ	Bubinga	<i>Guibourtia spp.</i>	1.16	0.00	4.36	5.50	0.92	0.58
オウシュウアカマツ	Scotch pine	<i>Pinus sylvestris</i>	4.54	0.06	4.42	5.84	0.54	3.29
ベニマツ	Corean pine	<i>Pinus koraiensis</i>	2.22	0.00	3.79	5.87	0.42	3.17
ラジアタパイン	Radiata pine	<i>Pinus radiata</i>	3.66	0.08	4.37	5.50	0.58	1.15
バルサ	Balsa	<i>Ochroma pyramidale</i>	3.50	0.73	4.71	5.82	0.16	0.37
ベニヒ	Formosa cypress	<i>Chamaecyparis formosensis</i>	1.98	0.11	5.32	5.38	0.41	2.80
カラマツ	Japanese larch	<i>Larix Kaempferi</i>	5.58	0.00	4.19	6.00	0.60	2.93
ヒノキ	Japanese cypress	<i>Chamaecyparis obtusa</i>	3.96	0.16	5.52	5.60	0.57	2.45

アルミ合金を木材にステンレス釘で固定し、23°Cで11か月間湿潤に保った。

Al alloy was nailed on a wood with stainless steel nails. The specimen was kept wet at 23°C for 11 months.

膜にしばしば微小なクラックがみられ、さらにねじ穴の断面は表面処理がない。この部分にステンレスねじが押しつけられている。このようにねじ穴部分は水、塩化物、応力、異種金属、すき間という腐食発生の要因が満たされている。腐食は多くの場合、ねじ頭の円すい面と接するサッシ枠のプレス加工された面に始まり、上の表面に広がる。このことから、ねじ部分の腐食もすき間腐食といえるであろう³⁾。

サッシ枠の腐食の重大な原因物質は水と塩化物である。未乾燥材の使用または結露に由来する水の浸入と、その後の乾燥によって、木材が乾湿くり返しを受ける環境条件のうち、湿潤時に木材中に局所的に自由水（木材重量の約 30% 以上の水）が生じ、木材の細胞こう中の塩化物が溶解することが腐食発生の条件となる。さらにこの塩化物が特定の部位に移動するには乾燥を必要とする。このように木材が乾湿くり返しを受けることによって塩化物は徐々にねじ穴部分などに集中する。水と食塩を含んだ試験体でも密閉容器に入れて恒温に保つと、アルミ合金の腐食がみられないことがある。塩化物は木材が海水に貯木されるときに浸透する。したがって先に述べたように、木材中の塩化物は浸透しやすい木口付近や辺材部、および海面下の部分に多く¹⁰⁾、特に注意が必要である。また同じ貯木期間であれば、塩化物の浸透性において樹種間で差があるであろう。樹種特性の影響の検討では比重と腐食量の関係が明らかでなかったが、塩化物の浸透性から考えると、比重の小さな樹種を使用するさいは注意を払った方がよいであろう。未乾燥材を使用すれば、塗装されている場合では、水はねじ穴のみで蒸発することになり、多くの塩化物がねじ穴に集められ、施工して間もなく、著しい腐食をもたらすことになる。したがって必ず乾燥材を使用し、サッシ枠で覆われる部分もすべて塗装しなければならない。海水貯木された輸入材の使用量に比べると、サッシ枠の腐食の例が少ないのは、腐食が使用される環境に依存することを示していると考えられる。このように、サッシ枠の腐食の発生と大きさは施工時の木材中の塩化物量と使用時の水分に関する環境によって大きく影響される。

実験によれば、サッシ枠のねじ穴から木材のねじ穴へシリコンのコーキング剤を注入してから再びねじを取り付けると、特にねじ穴部分の腐食防止にかなりの効果がある。またねじ頭に結露水が盛り上がって見られる場合は、より短いねじに替えると結露水が減少するものと思われる。最近是企业による腐食防止対策も進展し、サッシ枠と木材との接触を避けるためのポリエチレンシートの製品化やテフロンコーティングしたステンレスねじの利用があり、両者を併用すれば効果は大きいであろう。

謝 辞

本研究を行うにあたりご指導いただいた林業試験場の山井良三郎前次長、故阿部 寛元科長、雨宮昭二木材利用部長および高木純科長に、また実際にサッシ枠の腐食を起した木材を提供いただいた各位に感謝の意を表わすものである。

文 献

- 1) 軽金属製品協会：アルミニウムサッシのモルタル接触部及び木材接触部の異常腐食について。(1979)
- 2) 軽金属製品協会はか：いつまでも美しく保つために。(1976)
- 3) 岡本 剛，井上勝也：腐食と防食。大日本図書，42～165 (1977)
- 4) 増子 昇：分極曲線とその応用。金属材料，17 (8)，10～105 (1977)
- 5) 増子 昇：電位—pH 図とその使い方。金属材料，17 (9)，100～105 (1977)

- 6) 朝日新聞：さびにくいアルミサッシぼろぼろ。3月10日（朝刊），（1980）
- 7) 中川弘昭：なぜアルマイトに固執するのか。金属材料，14（8），77～87（1974）
- 8) 今村浩人：木材と接触するアルミ合金の腐食。32回木材学会大会要旨，282（1982）
- 9) 鷹部屋亮平，鯉淵芳伸：セメント・コンクリート・モルタルによるアルミサッシ腐食生成物の実験的研究，第3報。建築学会大会学術講演梗概集（北陸），535～536（1983）
- 10) 江口幸司：原木・海水・合板機械(1)。木工機械，No. 70，16～19（1975）
- 11) 桜井孝一：木材に含まれる塩分について。木材工業，41，28～32（1986）
- 12) 今村浩人：木材と接触するアルミ合金の腐食Ⅲ。34回木材学会大会要旨，28（1984）
- 13) イ・エリ・ローゼンフェルド：金属の腐食と防食。日・ソ通信社，123～124（1972）
- 14) 今村浩人：木材と接触するアルミ合金の腐食Ⅱ。33回木材学会大会要旨，232（1983）
- 15) 山田雅士：建築の結露—その原因と対策。井上書院，115（1980）
- 16) 増尾 誠：ステンレス鋼の耐食性。ステンレス，26(3)，33～37（1982）
- 17) STAMM, A. J.: Three methods for determining the pH of wood and paper. For, Prod. J., 11, 310～312（1961）
- 18) 木口 実，今村浩人：木材と接触するアルミ合金の腐食Ⅳ。35回木材学会大会要旨，328（1985）
- 19) 今村博之ほか5名：木材利用の化学。共立出版，134～135，400～401（1983）
- 20) 山本洋一ほか：さびを防ぐ事典。産業調査会，79（1981）

Corrosion of Aluminum Alloy Attached to Wood.Hiroto IMAMURA⁽¹⁾ and Makoto KJGUCHI⁽²⁾

Summary

Sometimes it is reported that a window frame made of aluminum alloy corrodes in contact with wood. Generally, the aluminum frame is attached to the wood by stainless steel Phillips recessed head wood screw through the funnel shaped hole punched in the aluminum frame. The corrosion occurs mostly on imported wood that contains some chlorides penetrated during storage in sea water. The corrosion is found around the punched hole and along the interior side edge of the aluminum frame (Fig. 1). At the first stage of corrosion, transparent liquid appears with some bubbles if any, followed by white corrosion products. The corrosion, in many cases, becomes noticeable within one or two years after the construction.

Experiments have been carried out in order to clarify the causal factors for the corrosion. Aluminum alloy plate was taken from the commercial aluminum frame, and two holes were drilled. The plate was nailed to the wood with stainless steel nails (Fig. 2). Wood powder was also used. The aluminum plate was immersed in the wood powder without a stainless steel nail. The results are shown in Tables and Figures with some comments.

The corrosion of the aluminum alloy increases with the salt content in the wood, and increases when the aluminum alloy is in contact with copper or stainless steel that are nobler than it. When the nail hole in the wood is filled with silicone resin elastic sealant in order to insulate the aluminum alloy, the stainless steel and the wood, the corrosion decreases.

A difference was found in the amount of corrosion of the aluminum alloy between the wood species with small amount of the chloride. The relationship, however, can not be found between the amount of the corrosion and the any of the factors such as pH, specific gravity and amount of hot water extractives.

Important facts were obtained on the wood that caused the corrosion of the aluminum frame actually used: High chloride content was measured around the screw hole of the wood (Agathis) where the heavy corrosion of the aluminum frame occurred. This suggests that the chloride migrates as the water moves in the wood. The pH of the wood also seems to change with the amount of chloride and corrosion products.

Stress and crevice are also favorable factors for the corrosion, besides water, chloride and nobler metals. Stress corrosion probably happens around the punched hole of the aluminum frame, because strain has been induced by press punching and stress is produced by screwing. Crevice corrosion probably happens also at the slits between the head of the screw and aluminum frame, and between the wood and the interior side edge of the aluminum frame.

Received December 21, 1985

(1) (2) Wood Utilization Division