

# 土木建築における腐食に関する研究 (その7)

—アルミニウム建材の腐食事例と対策—

喜田大三 守屋正裕

## Study on Corrosion in Civil Engineering and Building Construction (Part 7)

—Investigation of Corrosion of Aluminum Materials—

Daizo Kita Masahiro Moriya

### Abstract

This paper deals with corrosion and corrosion protection of aluminum materials. Examples are given as follows: (1) Pitting corrosion occurred in the aluminum spandrels of a certain building. The causes were found to be the influence of inferior paint coats and the effect of chloride. (2) Pitting corrosion occurred in the aluminum surfaces of outer wall panels. The causes was found to be the effect of air pollution. (3) Rapid corrosion occurred in aluminum frames for holding sashes at parts of contact with lumber. The cause was found to be reaction with chlorine ions which had impregnated the lumber. (4) Corrosion occurred in aluminum plates at parts of contact with mortar. The cause was found to be reaction of chloride in sand used for the mortar. (5) Breaking of the aluminum oxide film occurred due to corrosion in the aluminum frame of a sunshade screen and the cause of the corrosion was found to be the influence of corrosive chemicals contained in the polishing powder used in cleaning glass.

### 概 要

本報告では、アルミニウム建材の腐食トラブルを防止する観点から、これまでに調査した腐食事例をいくつか紹介し、アルミニウムの腐食特性、防食上の留意点について述べている。

腐食事例は次のようである。(1) アクリル樹脂塗装の施されたスパンドレルの表面に、腐食による無数のふくれが発生した。原因は、塗装の不備と塩化物の作用であった。(2) 外壁パネル面に点食が発生し、美観が著しく損われた。原因は、大気中の汚染物質の付着であり、表面の清掃を怠ったためであった。(3) サッシ取り付け用アングルの木材接触部に、特異な腐食が発生した。原因は、海上貯木時に含浸した木材中の塩分の作用であった。(4) 屋上の笠木がモルタル接触面で著しく腐食した。原因は、モルタルの骨材に海砂が混入し、その塩分の作用であった。(5) 外壁面に取り付けられた日除けガラスの枠が腐食し、酸化皮膜が剝離した。原因は、ガラスの清掃に使われていたみがき粉であった。

### 1. はじめに

この一連の報告は、土木建築分野における腐食トラブルの低減および適切な防食法の確立を目標として、腐食原因の調査例や腐食機構、防食法についての研究成果をまとめている。

本報告では、アルミニウム建材の腐食問題を取り上げ、腐食事例を中心に報告する。

アルミニウム (およびその合金) は、サッシをはじめ

として、カーテンウォール、壁パネル、屋根板、ブラインドなど、建築物の内外装に非常に多く使われている材料である。特にサッシは、わずか10年程の間に90%以上がアルミニウム製に替わり、その普及率はきわめて高く、現在では、サッシと言えばアルミサッシのことを指すと思われるほど利用度が高くなっている。

これは、アルミニウムの持つ、軽量性、耐久性、美観などのすぐれた特徴によるものである。同時に、その裏に秘められた技術の進歩も大きいことは言うまでもな

い。耐食性を向上させるための陽極酸化（アルマイト）処理をはじめ、各種の表面加工法、着色法が開発され、現在の位置をしめるに至ったのである。

ところで、アルミニウム建材（以下アルミ建材とする）も同様に略す）の目ざましい普及に伴って、腐食によるトラブルが少なからず発生していることも事実である。アルミ建材の用途は、装飾的な美観を重視される場合が多いために、構造材と違って、わずかな腐食でも問題となることが多い。したがって、腐食要因を把握し十分な防食上の配慮が必要となる。

## 2. アルミ材の種類と表面処理法

アルミニウムは、非常に柔らかい金属である。したがって、主として強度特性や加工性を改善するために合金が造られ、用途に応じて多くの種類がある。

例えば、純Al系、Al-Cu系、Al-Mn系、Al-Mg系などである。

サッシ等の建材では、主に、Mg（マグネシウム）、およびSi（シリカ）を添加した合金が多く使われている。

これら母材の耐食性は、通常、アルミニウムの純度が高いほど良好で、Cu（銅）などの重金属を添加した合金は耐食性がかなり劣る。

一方、アルミ材は、耐食性や美観上、表面処理（表面皮膜）が非常に重要である。アルミ建材の表面皮膜には、大きく分けて次の三種類がある。

①アルマイト（陽極酸化）皮膜、②複合皮膜（アルマイト+塗装）、③塗装（化成皮膜+塗装）皮膜。

耐食性については後述するが、サッシ類はほとんどが複合皮膜であり、皮膜厚さ、耐食性区分等がJIS規格で定められている。また、用途によって、意匠上ツヤ消し仕様とする場合は、①の材料が使われる。

さらに、アルマイト皮膜には、着色法によって次の4種類がある。

(1) シルバーアルマイト 特別な着色処理をしてないアルマイト皮膜で、最も一般的である。

(2) 自然発色皮膜 電解発色皮膜ともいい、合金成分や電解条件の組合せで、アルマイト処理と同時に発色させる。

(3) 電解着色皮膜 シルバーアルマイト処理後に、金属塩を含む溶液中で二次電解を行ない着色させる。

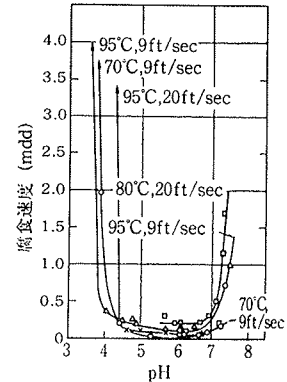
(4) 染色皮膜 シルバーアルマイト処理後に、有機染料、無機染料で染色する。

以上の他にも、アルマイト処理時の電解液の種類、アルマイト処理後の封孔処理の有無とその方法、塗料および塗装法の種類等によって、さらに細分化されるが、ここでは詳述を省く。

## 3. アルミニウムの腐食特性

### 3.1. 基本性質

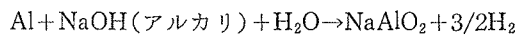
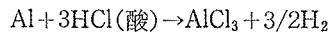
アルミニウムは、電気化学列では鉄よりも非常に卑な金属である。したがって、本来は鉄よりもはるかに腐食し易い。ところが、その表面に自然に形成される酸化皮膜（不働態皮膜）の効果によって、鉄以上に耐食



図一1 pHとアルミの腐食<sup>1)</sup>

的である。この皮膜が緻密に形成され、破壊されない環境においてはすぐれた耐食性を示す。すなわち、アルミニウムの耐食性は、表面皮膜の性能如何による。

pHとの関係においては、図一1に示すように、アルミニウムは両性金属のために、酸によってもアルカリによっても激しく侵食され、中性付近（pH=5~7）で安定である。酸およびアルカリとの反応を次式に示す。



アルミニウムの腐食は、酸化皮膜の欠陥部や破壊部から発生するため、その形態は、局部的な孔食状となる。この点は、ステンレス鋼の特性によく似ている。

腐食による生成物は、通常は、水酸化アルミニウム（ $\text{Al}(\text{OH})_3$ ）が主体であり、腐食部に白い粉状に発生する。また、塩化物による腐食では、塩化アルミニウム（ $\text{AlCl}_3$ ）が生成し、この物質は、吸湿性が大きくしかも加水分解によって塩酸を生成するので、腐食が著しく加速される。

### 3.2. 表面皮膜による耐食性の向上

上述のように、アルミニウムの耐食性は、表面の酸化皮膜に依存する。

空气中で自然に形成される酸化皮膜の厚さは、0.02~0.1ミクロン程度である。一方、アルマイト処理で人工的に、厚くかつ均一に形成される酸化皮膜の厚さは、数ミクロンから数十ミクロンである。

当然ながら、アルマイト皮膜が厚いほど耐食性は増し、また、複合皮膜（アルマイト+塗装）はより一層耐食性向上に寄与する<sup>2)</sup>。

表面皮膜（表面処理）の違いによる耐食性の特徴は次のようである。

(1) アルマイト皮膜 絶えず表面が清浄に保たれ、

酸化皮膜の破壊部が自己補修されるのに必要な酸化剤(酸素)の供給が十分な環境ではすぐれた耐食性を示す。汚れや塩化物、重金属等の付着は皮膜を破壊し、孔食の原因となる。

(2) 複合皮膜 アルマイト処理後に塗装を施した複合皮膜は、アルマイト皮膜のみの場合に比べてかなり耐食性が向上する。合わせて、汚れが付きにくく、独特の光沢と美観を持つという特徴がある。

(3) 塗膜 通常、母材と塗膜との密着をよくするために、化成処理を施して塗装される。この場合は、塗膜のみの耐食性に依拠する。したがって、塗膜の性能によって耐食性が決まる。

### 3.3. 腐食要因

一般に、アルミ材は、次のような要因が単独にあるいは相乗的に作用して腐食トラブルの原因となる。

(1) 酸, アルカリ 前述のように、アルミニウムは、酸にもアルカリにも腐食される。

アルミ建材では、モルタルやコンクリートとの接触による腐食がしばしば問題となる。モルタルやコンクリートは、セメントの水和物である水酸化カルシウムを多量に含み、強いアルカリ性を示す。したがって、水分の多い状態で接触すると腐食傾向となる。

(2) 塩素イオン 塩素イオンは、表面の酸化皮膜を破壊する作用が強い。したがって、塩素イオンの多い環境では、局部的に皮膜が破壊され孔食が発生し易い。特に、塩分を含んだモルタルやコンクリートとの接触による腐食は著しく、その事例も多く知られている<sup>31)</sup>。

(3) 大気汚染物質 大気中の塵埃や硫酸化合物、金属酸化物などによって表面が汚染し、酸化皮膜が破壊されて孔食が発生する。この種の腐食は、工場地帯や都市部の外装材によく見受けられる。

(4) 異種金属の接触 前に述べたように、アルミニウムは、本来、非常に卑な金属である。したがって、鉄や銅などの相対的に貴な金属との接触によって、両金属間で電池が形成され、アルミニウムの腐食が促進される。

(5) 重金属イオン 銅イオン( $\text{Cu}^{++}$ )や鉄イオン( $\text{Fe}^{++}$ )などの重金属イオンは、腐食を促進する。

例えば、銅材や鉄材のサビ汁がアルミ面に付着したような場合に、その部分の腐食が促進される。

## 4. 腐食事例

### 4.1. 電解発色外壁パネルの腐食例

竣工後、約12年経過した都内の建物で、外壁に使われているアルミパネルの腐食が目立つようになった。

このパネルは、電解着色(ブラック)のツヤ消しで、

塗装はされていない。腐食の状況は、直径1~4mmの孔食(点食)が無数に発生し、黒色の表面に、水酸化アルミニウムの白色粉状の腐食生成物が付着し、外観が著しく損われた。

外壁全体について、腐食の発生状況を調査した結果、雨の当たる部位ではほとんど腐食はなく、雨の当たらない軒天井の下部等に集中していた。

したがって、直接的な腐食原因は、大気中の汚染物質の付着によるものと考えられ、定期的なクリーニングを怠ったことが大きな要因であった。

この種の腐食事例は他でも多く見られる。複合皮膜の場合にはほとんど問題ないが、アルマイト処理のみの材料では特に注意が必要である。

対策としては、定期的にクリーニングを実施し、表面を清浄に保つことが効果的である。

### 4.2. 樹脂塗装スパンドレルの腐食例

某建物の玄関廻りに取り付けられたアルミスパンドレルが、竣工後わずか半年経過した頃から腐食し始め、直径数ミリのふくれが多数発生した。

このスパンドレルは、下地処理として、脱脂、エッチング、化成処理を施した、アクリル樹脂の焼付け塗装仕上げである。

原因を調査した結果、一つには、材料側の要因として、塗装に問題のあることが判明した。同塗料は、メーカーによれば、ツウコート、ツウバークが標準塗装仕様で、その際の塗膜厚は、40~60 $\mu$ である。ところが、当スパンドレルは、塗膜厚が14~20 $\mu$ 程度であり、ワンコート、ワンバークであったと考えられる。したがって、当然、塗膜面にピンホールが無数に残っており、防食皮膜としての本来の効果が十分得られない状態であった。また、複合皮膜でないだけに、塗膜の欠陥が耐食性に大きく影響したのと考えられる。

他方、環境側の要因として、塩化物の付着が認められた。腐食部について、走査型電子顕微鏡による観察を行った結果、写真-1, 2に示すように、孔食部に塩素(Cl)が濃縮していた。おそらく外部から塩化物が表面に付着し、塗膜の欠陥部に作用して腐食が促進されたものと考えられる。

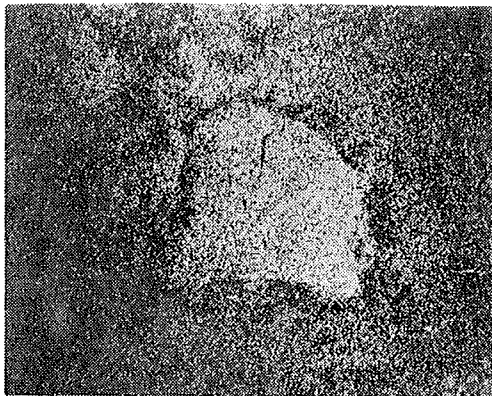
補修対策として、まず、サンドペーパーで、表面の汚れや腐食生成物を清掃除去し、次いで、エポキシ樹脂プライマー、ポリウレタン樹脂塗装を施す方法を提案した。

### 4.3. モルタル接触による腐食例

竣工後約5年経過した建物で、屋上のパラペット部に取り付けられていたアルミニウムの笠木が、裏側から異常に腐食しているのが発見された。



写真一1 孔食部二次電子像 (×100)



写真一2 同上, Cl 特性X線像 (×100)

腐食状況は、図一2に模式図で示したように、笠木の裏面が腐食し、その部分が直径数センチ程の大きさにふくれ上り、その中心部には長さ数センチのクラックが発生していた。

このアルミ材は、厚さ約1mmで、表面は塗装されており、裏面は無塗装である。

腐食原因を調査した結果、詰めモルタルから約0.2%の塩分が検出されたことから、その影響で腐食が促進されたものと判断した。この塩分は、おそらくモルタルの骨材に海砂が使われ、それに付着して混入したと推定される。

前述のように、アルミニウムは、モルタルやコンクリートのアルカリによっても腐食されるが、通常、その腐食は軽微であり、次第に腐食速度も低下する。しかし、そこに塩素イオンが介在すると、腐食は著しく促進される<sup>3)~5)</sup>。

なお、腐食部のふくれとクラックは、腐食による板厚の減少と、腐食生成物に伴う膨張圧によって発生したものである。

#### 4.4. 木材中の塩分による腐食例

竣工後約1年半経過した建物で、窓や出入口のサッシ取付け用のアルミアングルに特異な腐食が発生しているのが発見された。

このアングルは、シルバーアルマイトのクリア塗装仕上げで、木製の額縁に、木ビスで取付けられており、図一3に示すように、腐食は、木ビスの周辺および額縁との接触部に集中していた。

この腐食原因は次のように究明された。

まず、腐食生成物と額縁の木片について行なった蛍光X線分析で、腐食生成物からアルミニウムと塩素が、木片からは塩素が検出された。

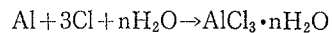
次いで、腐食生

成物のX線回折結果から、その主成分は、塩化アルミニウムの水和物であることが判明した。

さらに化学分析から、腐食生成物がpH 4.3と強い酸性を示すこと、および額縁の木材中に、約3.3%の塩分(NaCl)が含有していることが明らかとなった。

以上の結果から、腐食の主要因は塩分の作用であり、その塩分は、額縁に使われた木材(米ツガ)が海上貯木されている間に、海水が含浸したことに由来するものであると判断した。

また、腐食生成物の塩化アルミニウム水和物が、強い酸性を呈していることから、腐食の進行過程で、次式に示すように、加水分解で塩酸(HCl)が生成し、腐食を著しく促進したものと考えられる。



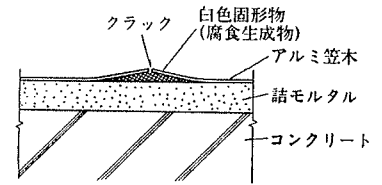
#### 4.5. 日除けガラス枠の腐食

某ビルの外壁廻りに取り付けられた日除けガラスのアルミ枠が、わずか半年足らずで腐食し始めた。

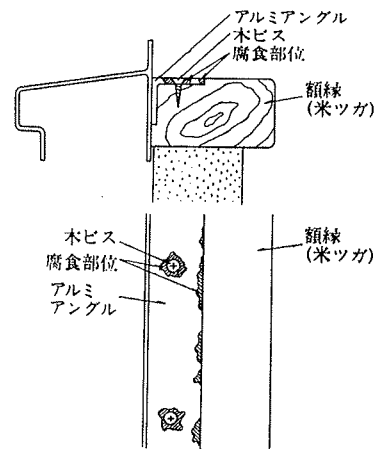
このアルミ枠は、アルマイト処理後に電解着色(ブラック)が施されている。

腐食は、まず微小なふくれとして発生し、次第に黒色酸化皮膜が剝離した。

調査の結果、原因は次のように推定された。



図一2 笠木の腐食状況



図一3 アングルの腐食状況

この日除けガラスは、銹物質のみがき粉でかなり頻りに清掃されていた。このみがき粉を分析したところ、pH 4.5の弱酸性を示し、腐食作用のある塩素イオンや硫酸イオンも検出された。一方、腐食は、ガラス清掃時にこのみがき粉が付着する可能性のある部位に集中していた。

したがって、みがき粉による化学的作用と、物理的な研磨作用とによって酸化皮膜が損傷し、腐食が発生したものと判断した。

参考までに、このみがき粉を水に懸濁し、アルミ板を浸漬しておいたところ、数日でかなりの腐食が発生した。

## 5. 防食上の留意点

アルミ建材の腐食トラブルを防止する上で、設計、施工、管理上注意すべき点を以下を列記する。

(1) 材料選定 環境条件（工場地帯、都市部、海浜地帯、郊外）、使用部位（内装、外装、屋根等）を考慮し、適切な材料を選ぶ。特に、表面処理仕様については、十分検討の上で決定し、図面および仕様書に明記する。その内容は、母材の種類、表面処理の種類、アルマイト皮膜の厚さ、着色法、塗装の種類と塗膜厚等である。

サッシ類については、JIS A4706に規格化されている。

環境や管理状況にもよるが、防食上は、できる限り複合皮膜仕様とし、無塗装材の使用は避けたほうがよい。

(2) 設計 アルミ面に、付着物や雨水がたまらない構造とする。

異種金属との接触はできるだけ避けるとともに、モルタルやコンクリート、木材との接合部は、塗装などの方法による絶縁処理を配慮する。

また、施工上化学薬品が付着するような場合、あるいは特殊な環境にさらされると予測される場合には、メーカー、専門家と相談して対処する。

(3) 発注 材料の発注に際しては、材質ならびに表面処理仕様を明確に指定するとともに、流通経路も確認し、信頼できるメーカー、加工業者を選ぶ。

(4) 受け入れ 材料受け入れ時には、メーカー、加工業者に対して、材質、製造法、表面処理仕様等の確認を行ない、発注内容と相違ないことをチェックする。

また、できれば現場で簡単な品質チェックを行なうことが望ましい。たとえば、膜厚計による皮膜厚さ、ピンホールテスターによる塗膜のチェックなど。

(5) 取扱い 前に述べたように、アルミ材は、表面皮膜が耐食性の生命である。したがって、取扱は、傷をつけないよう十分注意する。また、腐食性の化学薬品の

付近で取扱う際は、作業に注意し、必要に応じて養生を行なう。

(6) 取り付け(施工) 異種金属との接触部、コンクリートやモルタル、木材との接触部は、塗装などによって絶縁する。特に、コンクリートやモルタルに、やむをえず海砂を使用するような場合には入念な絶縁処理を施す。

施工時に、コンクリートやモルタルあるいはそれらのアク水が付着した場合は、速やかに清掃除去する。

(7) 養生 施工中および施工後工事完了までの間、傷の発生やアク水の付着等がないよう、養生テープやシートで表面を保護する。接着剤や溶接の火花にも注意が必要である。

(8) 記録の保存 材質、表面処理仕様、加工法、納品系路等を記録し、工事記録、図面と共に保存する。

(9) メンテナンス 定期的（年2回以上）な表面のクリーニングを行なうことが大切である。クリーニング方法を次に示す。

a) 軽微な汚れの場合、乾いた布で拭く。

b) a) で落ちない場合は、中性洗剤を含ませた布で拭く。その際、少量のアルコールを水に入れておくとよく落ちる。

c) 汚れの固着がひどく、あるいはすでにかなり腐食しているような場合には、補修塗装を前提として、スチールウールやサンドペーパーで研磨する。

なお、定期的なクリーニングの際、表面に傷をつける恐れのある銹物質のみがき粉や、サビ落とし剤等は使用しないこと。

## 6. おわりに

本報では、アルミニウム建材の腐食・防食問題について、腐食事例を中心に、腐食特性、腐食要因、防食上の留意点について述べた。

腐食トラブルを防止する上での参考となれば幸いである。

## 参考文献

- 1) H. H. Uhlig: 腐食反応とその制御, 産業図書, (1968)
- 2) 内山, 長野: 複合皮膜の耐食性について, 軽金属学会第12回シンポジウム, (1978, 12)
- 3) 中川, 海部: モルタル接触によるアルミニウムの腐食について, 同上シンポジウム
- 4) 軽金属協会: アルミニウム建材の腐食と防食
- 5) 中川弘昭: アルミ建材の腐食と防食, 金属材料, Vol 16, No. 8, (1976. 8), pp. 16~21