アルミニウム材料の腐食

Corrosion on Aluminum Materials

アルミニウム材料の腐食防止には、取扱いや施工上の不注意、設計上の配慮など人為的な原因をなくすることが大切であるが、さらに基本的に防食と表面処理法のあり方について一考の余地があるということを認識すべきである。

中 川 弘 昭*

Hiroaki Nakagawa

1. 環境要因と腐食の形態

戦後我が国ではじめてアルミニウムが民需用として開発されるに当り、用途や加工法などについて海外の技術が盛んに取り入れられあるいは参考として、今日のアルミニウム工業が築き上げられた。

アルミニウムの腐食についても海外の研究や試験結果、それも使用ふん囲気における曝露試験の結果が、技術展開の指針として参考とされてきた。しかしながら我が国におけるアルミニウム利用の多様化と複雑な使用環境、例えば国土の狭い我が国では戦後の人口増が工業地帯と居住地域の区別をなくし、モータリゼーションの激化は都会ばかりでなくかなりの山間僻地にまでおよび、これらによる人為的な環境汚染は規制の強化によって相当成果をあげてきているが、しかし我が国の

自然破壊は急速に進められているのが偽らぬ姿である。しかも北からは寒帯性、南からは熱帯性のそれぞれ相異なる前線の交流する複雑な気象条件は、年間を通じて多雨多湿できわめて不安定である。表1は世界の主要都市における年間降雨量および気温について比較した1例であるが、これによってもわが国の自然環境がいかなるものであるか大凡その見当はつけられよう。

さらに昭和35年前後から急激に需要が伸びはじめたアルミニウム建材や土木構築物などは、モルタル、木材その他異種材料と接して使用される場合の、海砂、海砂利、急結剤として添加される塩化物、あるいは海からの塩風による塩素の影響に加えて、鉄骨、鉄釘、メタルラスその他の異種金属との接触による電気化学的な腐食の問題など、アルミニウム材料の腐食発生の形態は実に複雑なものがあり、試験片による大気曝露や促進試験の結果

* 共立化工(株) 代表取締役 工博
〒229 相模原市中央3-9-13
☎ 9427 (58) 6821

* Kyoritu Industry Corporation
9-13, Chuo 3-chome, Sagami-hara-shi,
kanagawa 229

表 1. 世界の主要都市における気象 (国連統計より)

都 市 名	都 市	年間平均降 雨量(ミリ)	年 間 平 均 気 温 (°C)		
			*最 高	*最 低	温度差
ロ ン ド ン	イ ギ リ ス	593	21.8	2.2	19.6
ストックホルム	ス ウ ェ ー デ ン	554	21.9	- 5.4	27.3
モ ス ク ワ	ソ 連	624	22.8	-16.2	39.0
フランクフルト	西 独	676	24.8	1.5	23.3
パ リ	フ ラ ン ス	619	24.0	0.9	23.1
ロ ー マ	イ タ リ ア	744	30.4	4.5	25.9
マドリッド	ス ペ イ ン	444	30.8	1.5	29.3
カ イ ロ	エ ジ プ ト	28	35.6	8.3	27.3
リ ヤ ド	サウジアラビア	81	41.7	7.8	33.9
テ ヘ ラ ン	イ ラ ン	246	37.2	- 2.8	40.0
バグダード	イ ラ ク	140	43.3	3.9	39.4
ハルツーム	ス ー ダ ン	157	41.1	15.0	26.1
ア ル ジ ェ	アルジェリア	762	29.4	9.4	20.0
アビジャン	コートジボアール	1,958	32.2	21.7	10.5
キンシャサ	ザ イ ー ル	1,354	31.7	17.8	13.9
ブレトリア	南 ア	785	27.8	2.8	25.0
ダルエスサラーム	タ ン ザ ニ ア	1,064	31.1	18.9	12.2
上 海	中 国	1,135	32.2	0.6	31.6
東 京	日 本	1,565	30.0	- 1.7	31.7
ニューデリー	イ ン ド	640	40.6	6.7	33.9
バンコック	タ イ	1,397	35.0	20.0	15.0
ジャカルタ	インドネシア	1,798	30.6	23.3	7.3
オ タ ワ	カ ナ ダ	871	27.2	-16.1	43.3
ワシントン	ア メ リ カ	1,064	30.6	- 2.8	33.4
リオデジャネイロ	ブ ラ ジ ル	1,082	29.4	17.2	12.2
ブエノスアイレス	アルゼンチン	950	29.4	5.0	24.4
キャンベラ	オーストラリア	584	28.0	0.6	27.4

(1) *印注：各年の最高平均、最低平均を示す。

(2) 東京(日本)は世界でも3番目に雨が多く、8番目に年間平均の最高と最低の温度差が大きい。

だけで耐食性や表面処理による防食効果を論じても無意味である。すなわち腐食の実態を知らないで議論を繰り返しても、実際の腐食機構を解明する手がかりにはならないのである。

2. 腐食発生の原因

アルミニウム材料の腐食原因を大別すると、使用環境および対象物が包含する外的要因によるものと、材料自身の原因に帰する内的要因とに分けられる。

すなわち前者については使用される環境ふん囲気中にふくまれる煤塵、鉄粉、塩化物、硫化物、硫酸酸化物その他自動車の排気ガスを最大の発生源とする炭化水素と窒素酸化物など光化学反応によって生ずるオキシダントといった大気汚染物質、モルタルやコンクリートに海砂、海砂利、急結剤として添加される塩化物からくる塩素イオン、アルミニウムと接する異種金属などのごとく、アルミニウム材料に接するふん囲気や諸材料がもたらす種々の要因が腐食原因となることをいい、後者については材料の防食処理の不備、製品の搬送中あるいは工事中の取扱い不良によってうけた傷、施工法の不注意、ならびに製品そのものあるいは構造上の設計不良が腐食発生の原因となる場合をいう。

さきにものべたごとく我が国における環境ふん囲気はきわめて悪く、アルミニウム材料の腐食に影響をおよぼす汚染物質の排除は事実上不可能であり、川砂、川砂利資源の枯渇しつつある現状では海岸資源の利用に頼らざるをえない状態にあり、ある程度前者の外的要因からくる影響は不可避とせざるをえない。したがってアルミニウム材料の防食法としては後者にあげたアルミニウム自身の原因に帰する内的要因について、徹底的にこれを分析究明して解決する対策を構することを考

えなければならぬ。

2-1 何のための表面処理か

アルミニウムは非常に汚染されやすく、素手でさわったときの手脂や汗などはしみとなって残り、またごみやよごれは堆積固着しやすいという欠点がある。陽極酸化皮膜はこのようなアルミニウム素地のもつ汚染性を多少改善する効果はあるが、しかし皮膜の耐汚染性は封孔処理の程度にもよるが一般に塗膜にくらべて劣る。

普通屋外で使用されるアルミニウム材料は、陽極酸化処理したのち塗装を施す複合皮膜処理法が標準として採用されている。たしかに屋外で使用されるアルミニウム材料は、塗装の有無によって汚染あるいは腐食発生の状態に著しい差がみられる。例えば図1は陽極酸化皮膜のみで塗装していない高速道路用高欄の横桟を示したもので、写真のごとく全

図1 全面汚染から全面腐食となった自動車用高欄

図2 陽極酸化皮膜の汚染状況（矢印より上部は汚染された面で、下部は清掃後の面）

面に汚染物質が堆積して容易に除去できないほど固着しており、ほぼ全面腐食の状態となっている。

この高速道路は工事がおくれて未開通のまゝ3年を経過しているが、高欄汚染の原因は勿論自動車の排気ガスによるものではなく、近くにある工場からの煤煙、煤塵、海岸からの塩風などによるものである。また図2は陽極酸化処理パネルをカーテンウォールとする高層ビルの、低層部壁面の一部を示したもので、写真矢印の下部は清掃した面、上部は未清掃の壁面である。このようにカーテンウォール壁面は一見してよごれの状態は目立たないが、清掃によってはじめて大気による汚染の状況がよくわかる。最近市街地にあるビルは清掃がよく行届いているため、陽極酸化皮膜のみの壁面でも汚染物質が固着し美観をそこなくことなく維持されているのであり、陽極酸化皮膜の耐汚染性や耐食性がすぐれているからではないということを間違えてはならない。

アルミニウムは表面に生成する自然酸化皮膜の防食効果によって、普通の環境下ではある一定値以上はほとんど腐食は進行しないか、あるいは進行してもきわめてゆるやかで特殊な場合を除いて致命的な欠陥となることはまれである。

陽極酸化処理によって耐傷性、耐摩耗性はたしかに改善される。しかし耐汚性、耐食性は一般に過信されている程すぐれた改善効果はない。試験片による大気曝露や促進試験の結果では、陽極酸化皮膜の耐食性を優位とするデータもみられよう。しかし複合腐食や電気化学的な腐食の実態からみれば、むしろ否定的なケースの方が多い。

例えば昭和27年から解体されるまで25年という実に長い年月、一部の塗装材を除いてほとんど無処理のままで建材として使用されたアルミニウム板には、大した腐食もなく実用に供されたいという事実（軽金属協会、「ア

図3 無処理のパイプ屑を利用した花壇

図4 泥のついたまま取付け施工された建材（矢印乾燥したまま固着している泥）

ルミニウム長期使用建物の腐食状況調査」、(1978))からみても、何のための表面処理法かと問い質したい。

図3は無処理のパイプ屑を切断して花壇に利用した例で、10年を経過した今日まで施肥の影響、風雪の影響、土壌によるいちぢるしい腐食もなく、パイプの中に植えられた小さい草花が四季折々の色どりをそえて、多くの人の眼を楽しませている。

現在のように陽極酸化処理を施せばすべて耐食性の保証がえられるかのごとき、陽極酸化処理盲信の表面処理方法に対して誰が一体本気になって疑問を感じているのか。ここで原点にかえてアルミニウムそのものの性質を再認識して、表面処理法はいかにあるべきかをあらめて考え直す必要がある。

2-2 技術サービスはこれでよいのか

製品が梱包出荷されるまでの生産工場内に

図5 電気化学的な腐食によって生じた貫通孔（矢印は腐食孔で周囲の白い部分は腐食生成物）

おける取扱いについては、実に慎重かつ神経質であるにもかかわらず、輸送中あるいは工事の際の取扱い不注意によってうけた傷が原因で腐食が発生する例は少なくない。また施工上の不注意か無知による、あるいは手抜き工事による腐食事故もあとをたたない。

図4は工事中建材を覆うことなく直接地面に放置し、付着した泥を払うこともなくそのまま取付け完了とした例である。なお驚くことに清掃もしないで施主に引渡し、施主も特に気にもとめない無神経ぶりである。このような無神経ぶりが輸送中の乱棒取扱い、工事中傷をつけあるいは歪めるような取扱いとなつてあらわれる。出荷までの慎重配慮は一体何のためか。施工完了までの製品の動きをホローして、取扱い注意を徹底させるような技術サービスを製品メーカーはなぜ積極的にやらないのか。図5はモルタル仕上げの木造建築で、壁内装のメタルラスがアルミニウム建材に接触したままモルタル内に塗込まれたため、モルタル壁とアルミニウム枠材との接触部の乾燥収縮によって生じた隙間から、毛細管現象によって浸透した雨水がモルタル内の塩素イオンを抽出し、これが電解液となって電気化学的な腐食の媒体となり建材に貫通孔を生じさせた例である。また図6は下枠下部の水切りを普通の鉄釘でモルタルに直接打ち

図6 鉄釘で取付けられたため釘孔部分のアルミニウムが腐食して欠落した建材（施工後1年未満）

付けたため、この部分のアルミニウムが同じく電気化学的な腐食によって完全に欠落した状態を示したものである。このような施工法に対し業者はほとんど専門的な知識がないため侵しがちなあやまちであるが、施工業者に対するメーカー側の事前注意あるいは技術説明は十分なされていないのではないか。施工上の注意事項を書いたサービスカード1枚でも入っていればそれだけでもかなりの事故防止が出来るであろうに。製品を無傷で出荷するだけでなく、後々まで無事故で使用されるような配慮こそ生きた技術サービスであって、このような意識を欠いているメーカー側の不勉強と怠慢は責められてよい。

2-3 自己中心の設計態度がまねくもの

橋梁や高欄などの土木構造物では必要とする機能本位で設計され、かなり複雑な断面形状の部材を使用することはあっても装飾的な要素はほとんど取入れない。しかしビルの外壁面については建築構造物としての造形美を意識するあまり、ときにはかなり装飾性を加味することも少なくない。ビルの壁面は風雨による洗浄効果の点から、あるいは壁面清掃のやり易さからでもできるだけ凹凸面の少ない平滑な面構造であることがのぞましい。したがって設計者は自己本位で外壁を複雑形状にすることなく、またできるだけ装飾面を平滑

図7 外壁に張出したサンシェード

な面で表現するような配慮がほしい。例えば図7は壁面をかざる見事なサンシェードで、ビル街にあっては実に華やかな建物である。しかし都心部にあってはビル壁面がいかに苛酷な腐食環境にさらされているという事実認識を欠いた設計であって、この出っ張りが年毎に汚れと腐食によって醜惡な存在に変わり果てるのだということを忘れている。

図8に示すX型パネルは単調なウィンドウオール面を引きしめるアクセントとして、このビルをひととき美しく引き立たせているが、矢印で示すXメンバーの下部面は風雨による洗浄効果はえられず、ましてや人為的に清掃されるところでもない、したがってこの部分は全面に都心特有の煤塵、自動車や暖房用重油燃焼からくる汚染物質が固着しており、丁度図1のような全面腐食の様相を呈しはじめている。

図9は浴室ドアのカラーアルミ面板の腐食例を示したもので、このドアは米ツガを心材

図8 X型パネルの下面
矢印部に全面汚染がみられる。

図9 水分と湿気によって腐食の生じたドアの面板（矢印ふくれと破損の箇所）

として両面に耐水合板を張り合せ、その上にカラーアルミを接着して周辺の断面をアルミニウム形材で枠取りした構造である。この周辺の縁取り形材は丁度面板をだき込む形となっているため、とくに下枠部は水分や湿気をうけて隙間から毛細管現象で面板内部に吸い込まれる状態となる。合板と面板との接着力の弱い箇所は集中的に吸い上げられた水分が溜って、写真のようにふくれを生じ接着剤や木材の樹脂分、あるいは腐食の媒体となるような成分が水によって抽出され、矢印下部のように面板に孔があくほど腐食させたものである。このようなドア構造は室内用には美しいデザインであるが、浴室のようにたえず水分や湿気にさらされるところに使用されるにはあまりにも不適当な構造である。

これらの例は設計者がデザイン中心に設計しており、使用環境の条件を全く考慮に入れていないためで、使用条件に対する配慮やアルミニウムに関する日頃の勉強不足のあらわれである。このような設計上の問題によってアルミニウムに腐食が生じても、すべて製品メーカーの責任にされ設計者には果がおよばない。事故処理に当たっても製品メーカーはすべて内々に自分からの責任において処理しようとする。したがっていつまでたっても設計者は腐食事故に対して他人の出来事としか思わないし、自己中心の設計態度から独善と思い上りを押しつけてはばからない。設計の時点で製品メーカーと設計担当のそれぞれの技術者が、使用条件や防食対策について十分議論し

万全の対策を構ずるような協調ムードが生まれないかぎりこの問題は解決しない。

3. 腐食の責任は誰が負うのか

はじめにのべたごとく、我が国の環境ふん囲気は世界的にみてもきわめて悪く、また用途の多様化や使用条件は実に複雑である。したがってアルミニウムの腐食は、促進試験や試験片による大気曝露では説明のつかない諸要因の組合せて生ずる複合原因による場合が非常に多い。しかしこのような悪条件にあっても、適切な防食処理、輸送や工事の際における取扱い上の注意、防食上無理のない設計上の配慮などすべてに問題がなければ、短期間に腐食を生ずるようなことはまずないといつてよい。生産管理、品質管理上のミスによって、表面処理不良が腐食の原因となる場合は勿論製品メーカーの責任であるが、さらに重い責任は輸送業者、施工業者や設計技術者に対する製品メーカーの技術サービスあるいは技術指導の不徹底、不勉強ぶりである。また腐食事故を生じたときの対応にしても、企業間相互の協調性のなさからすべてを秘密裡に内々で処理しようとし、しかも相手に得心のゆく説明もできずまた具体的対策も積極的に打出せない技術的なレベルの低さから、アルミニウムに対する不信を植付けているようでは、すべての責めは製品メーカーにあるとされても仕方のないところである。(完)