

— 論 文 —

金属製照明ポールにおける地際腐食事故とAl合金による防止

—多消費時代からライフサイクルアセスメントの時代へ、施設品用素材としてのアルミニウム合金の価値と可能性（2005研究会発表大会特別講演より）—

内山アールアンドディー事務所

内 山 智 晴*

本誌No.236において、Al合金製照明ポールが海岸環境において50年の腐食寿命を実証したことを述べた¹⁾。すなわちAl合金は海塩粒子の厳しい大気環境で非常に優れた耐食性を示すことがわかった。一方、「照明ポール」、「腐食」、「倒壊」などをキーワードとしてWeb上や新聞報道を検索すると、その多くが台風や強風時のポールの倒壊記事であり、その原因が鋼製ポールの地際を含めた根元部分への腐食集中によるものである。著者の現地調査でも、海岸線だけでなく内陸部の地域において地際腐食集中の傾向が強く認められた。すなわちこれらの照明ポールの寿命が本来金

属の持つ大気腐食に対する耐食性を全うする以前に到来し、しかもその時期が予測できないことに重要な問題がある。またその腐食原因が散歩犬の尿であるという報道も見られる。そこで本報では、ポール本体の通常部分と地際に近い根元部分における腐食メカニズムの違いを中心に検討し、腐食集中の原因の考察とその防止方法について考える。

1. 照明ポールに用いられる各種金属の大気腐食に対する耐食性と腐食寿命

表1は50年以前に世界各地で実施された各種金属の大気暴露試験結果²⁾である。

表1 世界各地におけるAl,Zn,軟鋼の大気中の腐食速度 ($\mu\text{m/y}$)

曝露試験場所	アルミニウム	亜鉛	軟鋼
Kingston, Canada (Ru)	0.15	0.12	17.5
Yao, Osaka, Japan (Ru+Re)	0.33	1.6	21.3
Cape Beale, Canada (M)	0.025	2	34.3
Kure Beach, USA (M)	0.18	1.1	26.9
Chebucto head Canada (M)	0.28	1.8	20.3
Brixham, England (M)	0.43	1.4	24.1
Lagos Beach Nigeria (M)	0.86	4.4	50.3
Sable Island, Atlantic Ocean (M)	1.52	2.7	*
Montreal, Canada (I)	0.89	5.1	23.4
Niihama, Japan (M+I)	0.51	12.8	*
Durban, South Africa (M+I)	0.94	4.7	*
Halifax, Canada (M+I)	1.27	6.2	41.6

注)

1) Ru:田園地帯
Re:住宅地帯
M:海岸地帯
I:工業地帯

2) *:試験中に崩壊

3) 腐食速度は原典のmil/yを換算

4) 5年間の試験結果より算出

ASTM Special Publication No.175 (1956)

* 〒270-1142 我孫子市泉34-22

— 論 文 —

これらの試験データをもとにポールに用いられる材料の腐食消耗を考えると、

①海岸地域における軟鋼の腐食は、1mmの腐食しろを設計した場合、これが消耗するのに20～50年かかると予測される。(一部の試験中崩壊のデータを除いて)

②亜鉛では海岸地域において20年経過で20～90 μm が消耗するので、550g/m²の溶融亜鉛メッキ鋼では、防食亜鉛層が消耗するのに、18～40年を費やすと考えられる。なお、臨海工業地帯を含めると厳しい環境では6年で消耗することも予測される。

③アルミニウムの腐食速度は海岸地域でも最も緩慢であり、0.1mm腐食しろを設計した場合、これが消耗するのに非常に厳しい臨海工業地帯を含めても65年以上を要すると考えられる。

このようなテストピースによる大気暴露試験結果に対して、本調査における実際の照明ポールの腐食耐久状態は、純粋に大気腐食の影響を受けると考えられるポールの本体通常面(地表より約1m以上の部分)について以下のことが言える。

①多くの塗装された軟鋼製ポールは、カラー塗装が施されているが、設置20年程度のポールには劣化などによって塗膜はがれや欠損部を生じているものが多く認められたが、直接倒壊事故の原因になるようなものはほとんど見当たらなかった。

②溶融亜鉛メッキ鋼製ポールについては、前報で述べたように550g/m²の亜鉛防食層の消耗速度は海岸線からの距離に強く依存しており、海塩粒子の緩やかな環境ではZn層の寿命が20～30年であるのに対し、平均的海岸環境で10～20年、海水飛沫を直接被るような地域では、10年未満の結果を得た。これは他の屋外暴露試験結果³⁾ともよく一致していた。

③アルミニウム合金製ポールは、前報1)の通り、表面のクリア塗膜が海塩粒子や紫外線の影響によって劣化、離散した後も、前述大気暴露試験の結果同様、腐食の進行は極めて緩やかであり、海塩粒子の最も厳しい環境においても、0.1mm

程度の腐食しろを設計することにより、50年の腐食耐久性が発揮されることがわかった。

以上のように照明ポールの地上より1m以上の通常部位では腐食寿命は、これまで蓄積されてきた大気暴露試験データによる実力値として設計できることがわかった。

2. 照明ポール地際周辺の腐食と腐食寿命

2.1 地際付近で認められた腐食集中の現象⁴⁾

本調査によって観察された地際周辺(地表から1m高さ)へ腐食集中現象の傾向を以下に代表的な実例で示す。

(1) 塗装鋼製ポールの腐食集中の実例

1a) 海浜公園の植栽の茂み中で発生した貫通孔食

図1aに示すように26年経過した照明ポールには、植栽の茂みの制御ボックス周辺に、いくつかの貫通孔食が認められた。(なお、犬の尿の痕跡は認められなかった)



写真1a 塗装鋼製ポールの植栽の茂みに発生した貫通孔食
瀬戸内海明石灘浜海浜公園
26年経過

— 論 文 —

1b) 制御ボックス開口部付近の腐食集中・・・

図1bに示すように海岸線から5～6km離れた公園の20年経過のカラー塗装ボールの制御ボックス付近には激しい侵食が認められ、地際に貫通孔食が発生していた。(根元には散歩犬の尿の跡が明瞭に認められた)

なお、制御ボックスの周辺に腐食集中する傾向が強く、環境の厳しい、海岸地区では、10年以下の短い期間で貫通孔食に至った他例がある。



写真1b 塗装鋼製ボールの制御ボックスの腐食と地際の貫通孔食
大阪府、海岸線から遠く離れた大泉緑地公園（犬の尿跡あり）
20年経過

1c) 地際のコンクリート製ベースプレート付近の腐食集中（貫通孔食）

図1cは、海岸線から6kmほど離れたニュータウン内バス道路の歩道で30年ほど経過した照明ボールで、地際に貫通孔食が発生し、その内部には雨水の滞留しているのが観察された。この住宅地では、10年ほど前に、地際の腐食集中が原因と見られるボールの倒壊事故が発生し、その後腐食進行程度の激しいものから順次アルミ合金製ボールへの更新

が進められている。(住宅内の道路は犬の散歩によく利用される)

1d) 土中埋め込み式ボールの土壌による侵食

図1dは海岸線から15～20km離れた万博記念公園内の野鳥の森の照明ボールであり、33年経過して地際と埋め込まれた地中の部分が土壌によって侵食が進んでおり、順次更新が進んでいる（有料入場の公園で、犬の散歩は禁止されている）。



写真1c 塗装鋼製ボールの地際コンクリート路面の貫通孔食
大阪府、海岸線から離れた泉北ニュータウン内道路の歩道
25～30年経過、海岸線6km



写真1d 塗装鋼製ボールの地中の深い侵食
大阪府、海岸線から離れた万博記念公園内の遊歩道（公園内犬の散歩禁止）33年経過、海岸線15km
（参考）同公園内お祭り広場の同時期設置のAⅠ合金製ボール地際周辺には顕著な腐食なし

— 論 文 —

(2) 溶融亜鉛メッキ鋼製ポールの地際腐食集中の例

2a) 海岸線での海水による地際腐食集中例
波しぶきのかぶる海岸線バス道路でコンクリート地際の部分のみが9年の短い期間に海水の停滞が原因と思われる腐食集中で、亜鉛防食層が消失、鋼の侵食が進む。



写真2a 溶融亜鉛メッキ鋼製ポール
国道8号線日本海海岸道路
コンクリートベースの割れ目に波しぶき
による海水が溜まり、際部分で優先して
Zn防食層消失
9年経過

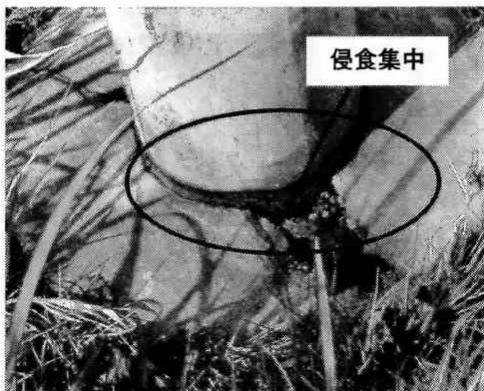


写真2b 溶融亜鉛メッキ鋼製ポール
九州自動車道SA内（海岸線2km）
コンクリートとの間にできた隙間に 雨
水が溜まり、優先的にZn層を侵食し、
鉄さび激しく、鋼の侵食進む。
29年経過

2b) 海岸線から離れた地域での雨水による地際腐食集中例

コンクリートベースの割れなどによって出来たポールとの隙間に滞留する雨水は

海水ほど早くはないが、溶融亜鉛メッキの防食層を優先的に侵食し、鋼素地の侵食に至っていた。

(3) Al合金製ポールの地際の腐食の傾向

3a) 散歩犬の多い公園内A1合金製ポールの地際

図1bと隣接して設置されたA1合金製ポールの地際付近は、犬の尿の跡が目立ち

薄灰色に変色しているが、30年経過にも拘らず地際・地中とも顕著な侵食なし。

3b) 国内で最も古い（38年経過）A1合金製ポールの地際

制御ボックス周辺には薄灰色の汚れ、変色



写真3a アルミ合金製ポール
写真1bと同じ大泉公園の隣接箇所
地表より40cmの部分に犬の尿による
と思われる変色が見られるが、地際・地
中とも顕著な腐食なし。
30年経過

— 論 文 —

が見られるが、深い侵食なし。

3c) 公園の植栽の中のA I 合金製ポール
植栽に覆われた地際に顕著な腐食なし。

3d) 海浜住宅地道路中央分離帯のA I 合金製ポールの地際
コンクリートベースが割れ、ポール地際に

隙間が出来、雨水が溜まる状態であるが、地際、地中に顕著な侵食なし。

3e) 海水浴場砂地に埋もれたA I 合金製ポールの地際

海砂に埋もれた部分を含めて、地際周辺に顕著な侵食見られず。



写真3b アルミ合金製ポール
大阪府営住江公園（大阪南港隣接）
根元部分に散歩犬の尿の跡が見られるが、地際・地中共顕著な腐食なし。38年経過



写真3d 千葉県美浜区の海浜埋立大規模住宅地のA I 合金製ポール：コンクリートベースとの隙間に腐食集中見られず。26年経過



写真3c 吹田市服部緑地公園のA I 合金製ポール：植栽に埋もれている地際周辺に腐食の集中なし。（犬の尿の跡なし）海岸線から10km以上。29年経過



写真3e 秋田県鰹ヶ沢海浜公園の砂浜に埋設されたA I 合金製ポール
海砂に埋もれた地際に腐食集中の傾向なし。23年経過

— 論 文 —

2.2 地際付近で生じる腐食集中現象の特徴

以上、各材種のボールの地際付近の様子を実例で示したが、その特徴をまとめると以下のようになる。

(1) 地際への腐食集中のもっとも顕著な材種は、塗装鋼製ボールである。

i) 制御ボックス周辺と地表までの部分および地中に集中する現象である。

ii) 20～30年経過で貫通孔食に達するものが見られ、海岸地域では10年以下で貫通孔食に達するものも観察された。腐食による貫通孔から内部の雨水の溜りが観察されるものがあった。

iii) 貫通孔食に達するまでの期間の予測が困難で寿命の設計が難しい。

iv) 地中に埋設された部分でも、土壌と接する部分で侵食が見られ、30年経過程度で更新されているケースがある。

(2) 溶融亜鉛メッキ鋼製ボールへの地際腐食集中では、貫通孔食に至ったものは観察されず、主に亜鉛防食層の局部消耗・鋼素地侵食進行の形で観察された。

i) コンクリートベースとの間に生じた隙間に溜まった雨水との接触が頻繁に続くところでは、地際の亜鉛メッキ層が選択的に侵食され、鋼素地の腐食に至るケースが見られた。

ii) 雨水の溜まりによる鋼素地の著しい侵食は主に20年以上で見られたが、海水の溜まりによる著しい侵食は10年程度の経過で生じていた。

(3) Al合金製ボールの場合、塗装鋼製ボール、溶融亜鉛メッキ鋼製ボールに認められた①制御ボックス周辺、②植栽の茂みの中、③停滞する雨水や海水との接触部位などにおいて、顕著な腐食集中の傾向は全く認められなかった。

また土壌埋設、コンクリート埋設の部分についても、多くはタールエポキシ塗料や絶縁テープで保護されているものが多く、健全であった。

3. 照明ボールにおける地際周辺腐食集中の機構の考察と防止方法の検討

3.1 地際周辺の腐食集中の機構の推定

照明ボールの通常部分と地際周辺との腐食機構の違いは、前者が降雨・降雪時以外は表面が乾燥されやすい典型的な大気腐食支配の機構あるのに対して、後者が①地表・植栽等からの水蒸気の蒸発・停滞、②地際に残留・滞留する雨水・海水との長時間の接触、③ボール内部に侵入・停滞した雨水などとの内面の長時間接触、④土壌中水分との長時間の接触など、主に水腐食支配の機構に依存していることである。

(1) 地際周辺における各材種の水腐食挙動

図4(参考図)は、銅、亜鉛、Alの水に対する腐食速度を過去の文献(5)(6)(7)を基にpHとの関係で示したものである。

雨水のpHは平成14年度全国の降水のpH調査データ(8)では、概ね4.3～5程度であり酸性雨(pH5.6以下)にあたる。またわが国の土壌は珪藻土質を主体としており弱酸性を示すが、酸性雨の影響も心配されるようになり、全国の調査ではpH5.7～6.2で、森林土壌では平均pH5.1のデータもある。

一方海水のpHは通常7.6～8.4といわれており、海水による金属の腐食は主に塩素イオンによるされている。

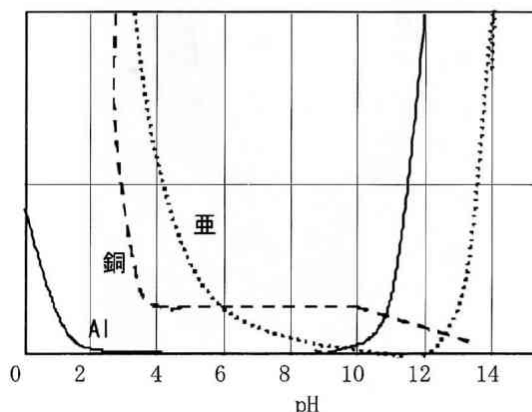


図4 鉄、亜鉛、Alの腐食度とpHの関係

— 論 文 —

i) 塗装鋼製ポール

図4のように、 $pH4$ 以下では激しく鋼の溶解が進むが、 $pH4 \sim 10$ の水と接触して $0.2 \sim 0.3mm$ / 年の侵食が進む。塗装鋼製ポールが地際やポール内部で停滞した雨水と接すると、あるいは水分を多く含んだ土壌と接すると、大気腐食のポール通常部分に比べるとはるかに早く塗膜欠損部から集中的に侵食が進む可能性がある。

また、海水を含んだ水の停滞の場合は、塩素イオンの影響により、その腐食速度はさらに加速される可能性がある。

ii) 溶融亜鉛メッキ鋼製ポール

亜鉛はAlと共に両性金属であるが、図のように安定域は $pH10 \sim 12$ 付近の弱アルカリ域である。海水の接触が継続すると緩やかな亜鉛防食層の腐食が進行し、やがて素地鋼の侵食へと移る。 pH が低くなるに従い雨水の溜まりや水分の多い酸性土壌との継続的接触では、鋼の腐食速度を上回る可能性があり、亜鉛防食層の消耗を早める。

iii) Al合金製ポール

アルミニウムも亜鉛同様両性金属であるが、 $pH4 \sim 8$ の範囲が不動態域にあたり、表面にパイアライト水和皮膜が形成されるため腐食がほとんど起こらない。したがって雨水や海水などの停滞水と常時接触しても顕著な侵食には至らないと考えられる。

み、貫通孔食に至る。

iii) 広告防止の目的で巻きつけられた樹脂フィルム下への雨水浸入や結露水の滞留 塗装鋼製ポールや溶融亜鉛メッキ鋼製ポールと樹脂ファイルの間に滞留した水分と十分な温度上昇により、予想以上に早く侵食が進む。(図5)

iv) 土壌に含まれる水分や海砂に含まれる海水による埋設部分の侵食

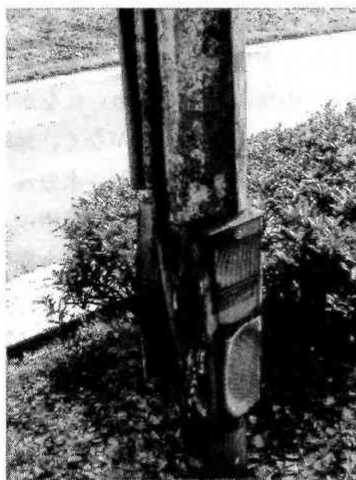


図5 塗装鋼製道路照明ポールに被せられた広告防止シートを取り除いた後の状態：シートとの間に停滞した水分により鋼素地全体が赤褐色さび、腐食が進んでいる。(溶融亜鉛メッキ鋼製ポールにおいても同様の現象が観察された)

(2) 地際における水の滞留

i) 雨水のポール管内への漏水・滞留

管内にいったん流入した雨水は外部に逃げ出しにくく、長く滞留し、鋼管内部から侵食が進み、やがて貫通孔食に至る。

ii) 地際のポール周囲における雨水・海水の滞留

コンクリートベースの割れなどが原因で生じたポールとベースの間に溜まった雨水や海水によって塗装鋼管や溶融亜鉛メッキ鋼管の外表面から亜鉛防食層を消耗し、鋼の侵食が進

3. 2 地際周辺の腐食集中の防止方法の選択

(1) 地際周辺への水分の滞留を防ぐ設計・施工方法の工夫 (特に塗装鋼製ポール、溶融亜鉛メッキ鋼製ポール)

①ポール管内への雨水の侵入を防ぐ ②コンクリートベースの割れ防止、③土中部分の防錆処理強化 (Al合金製ポールでは土中、コンクリート中埋め込み部分をタールエポキシ樹脂塗装や防食テープの被覆で効果を挙げている) ④広告防止など水分の滞留を促すような表面被覆を避ける。

－ 論 文 －

(2) 適切な材種の選択

①長年月の寿命設計を期待し、地際に海水や雨水の滞留の避けがたい用途、あるいはメンテナンスの困難な用途では、Al合金製ボールが力を発揮し、通常面と同等の高い腐食寿命が期待できる。

(なお、コンクリートへの埋設式では、コンクリート施工時において固形化前の段階でAl合金性ボールが比較的強いアルカリ性の状態と接触することとなるが、今回の調査では、多くの場合タールエポキシ塗料の塗布や絶縁テープが施されており、アルカリによる腐食集中の傾向は全く認められなかった。)

②地際に海水の滞留の心配がなく、地際にコンクリートベースの割れなど、水分滞留が防止できれば、溶融亜鉛メッキ鋼製ボールは通常面に近い腐食寿命が地際周辺でも期待できると思われる。

③塗装鋼製ボールはボール管内部から腐食の制御が難しく、内部への雨水の侵入を防止できれば、注意深いメンテナンスによって寿命設計の比較的短い用途に適用できると思われる。

4. まとめ

(1) 市場の最も多くを占める塗装鋼製ボールは予測不可能で点検困難な地際への腐食集中現象のために本来鋼の持つ大気腐食耐食性が生かされないため、そのため腐食寿命設計が出来ず、メンテナンスに多大なエネルギーを費やさざるをえない。ボール管内への雨水など水分の侵入防止の工夫が最大の課題であると思われる。

(2) 溶融亜鉛メッキ鋼製ボールは管内への進入水分に対しても亜鉛メッキ層が防食を役割果たすため、この材料の持つ大気腐食耐食性が生かされ、腐食設計が可能であるが、酸性雨や土壌の酸性化など地際の滞留水や海水による亜鉛メッキ層の侵食速度が高いため、コンクリートベース割れなどの防止策や定期点検

が重要である。

(3) Al合金製ボールはpH 4～8の範囲の水に対して不働態皮膜形成して安定なため、地際の滞留水の腐食を受けることがなく、本体通常部分と同等の腐食寿命を発揮でき、50年以上の長期の使用に適しており、今後トータルコスト、ライフサイクルアセスメントの面からも期待が大きい。

(参考)

市場では、地際周辺の腐食集中の原因を「犬の尿」とであるとする見方があるが、明確な根拠は見当たらない。

ただ、正常な犬の尿のpHが5～7であり、人間の場合(6～8)に比べやや酸性に偏っている点があるが、酸性雨や酸性土壌と比較すると影響は小さいと見るべきであろう。

また今回の調査で、犬の散歩が禁止されている公園や植栽の茂みに隠れた地際でも塗装鋼製ボールに貫通孔食が観察された。

したがって「犬の尿」にその原因を求めるのは不適切と考えられ、ボール管内への雨水の進入防止、コンクリートベース割れの防止など水の滞留を防止する本来の対策、適切な材料の選択を進めるべきだあと考える。

5. 参考文献

- 1) 本誌No. 236 (2005)
- 2) ASTM Special Publication No.175(1956)
- 3) 後藤春雄：鉛と亜鉛, No155(1990)p23
- 4) 内山 アルトピアNo4(2004)
- 5) W.Whitman, Russel and V.Altieri: Ind. Eng. Chem.,16,65(1924)
- 6) B.Roetheri, G.Cox, W.Ittreal: Metals and Alloys3.73(1932)
- 7) Shatalov, Dokl.Akad.Hauk(USSR), 86775(1952)
Deltombe and Poulbaix: Corrosion,14,498(1958)
- 8) 環境庁：平成16年度環境白書