

外装鋼板における 接触腐食現象と使用条件

JFE鋼板(株)技術サービス 木村 肇

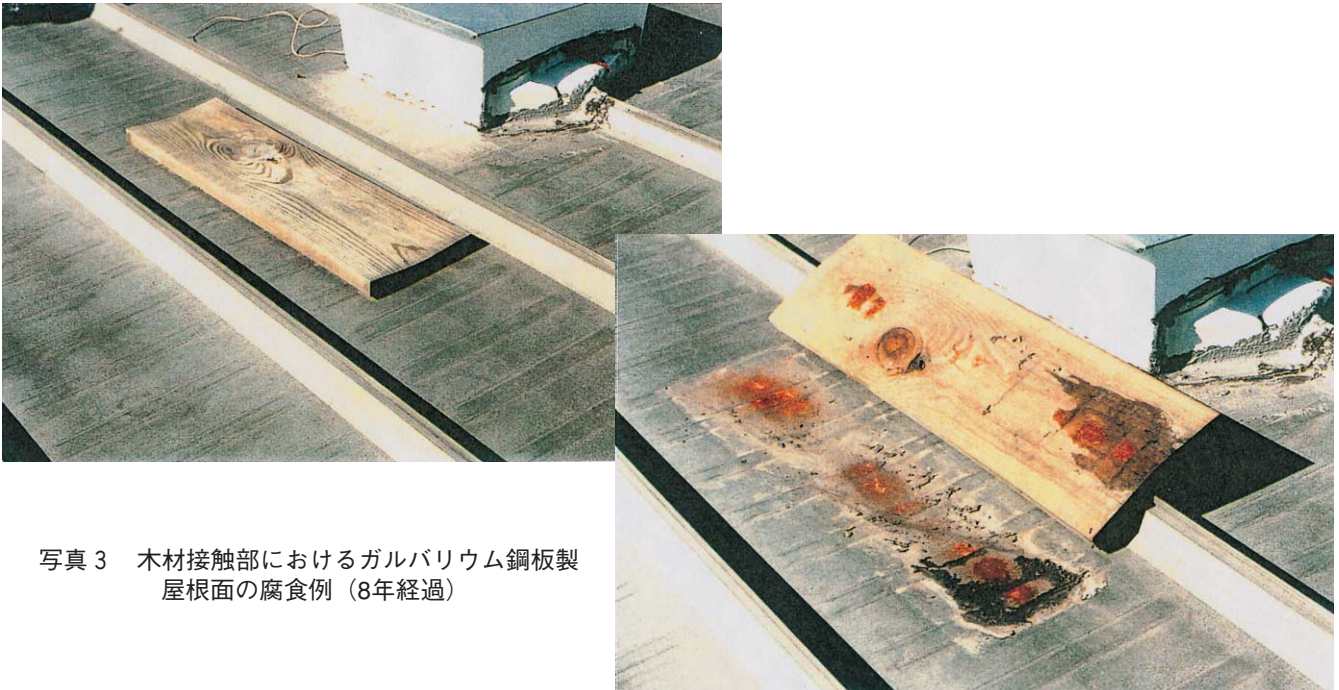


写真3 木材接触部におけるガルバリウム鋼板製屋根面の腐食例（8年経過）

1. はじめに

施工されたガルバリウム鋼板製屋根など外装材に部分的に発生することが懸念される接触腐食現象について述べ、適正な使用条件を検討する。

2. 電食（異種金属接触腐食）

(1) ガルバリウム鋼板とステンレス鋼の電食について

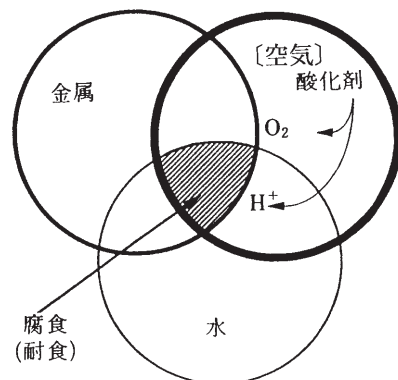
図1に腐食（湿食）の起こる条件を示す。ここでは、金属は亜鉛系めっき鋼板のガルバリウム鋼板（GL）に該当する。ガルバリウム鋼板の組成はアルミ55質量%、亜鉛43.4質量%、シリコン1.6質量%で、金属の腐食は空気（酸素： O_2 ）および水の存在により生じる。腐食促進の主要因として塩害（水への塩素イオンの溶解）、酸性雨（水への硫酸イオンの溶解）および電食（異種金属接触腐食）がある。

図2に各種金属の海水中における電位列を示す¹⁾。電位的に卑な金属（亜鉛など）は活性で腐食（溶出）しやすく、貴な金属（ステンレス鋼など）は不活性で腐食しに

くい。このような卑な金属と貴な金属が接触した場合、水濡れ部において水中に卑な金属が溶出する。この溶出（腐食）は卑な金属と貴な金属との電位差が大きいほど、速度（腐食電流）が大きくなる。

ステンレス鋼製雪止め金具取付け部分とガルバリウム鋼板製屋根面が接触している場合、取付け部分は雪が滞留しやすい場所とみられ、水濡れ（融雪水など）時間が

図1 湿食の起こる条件



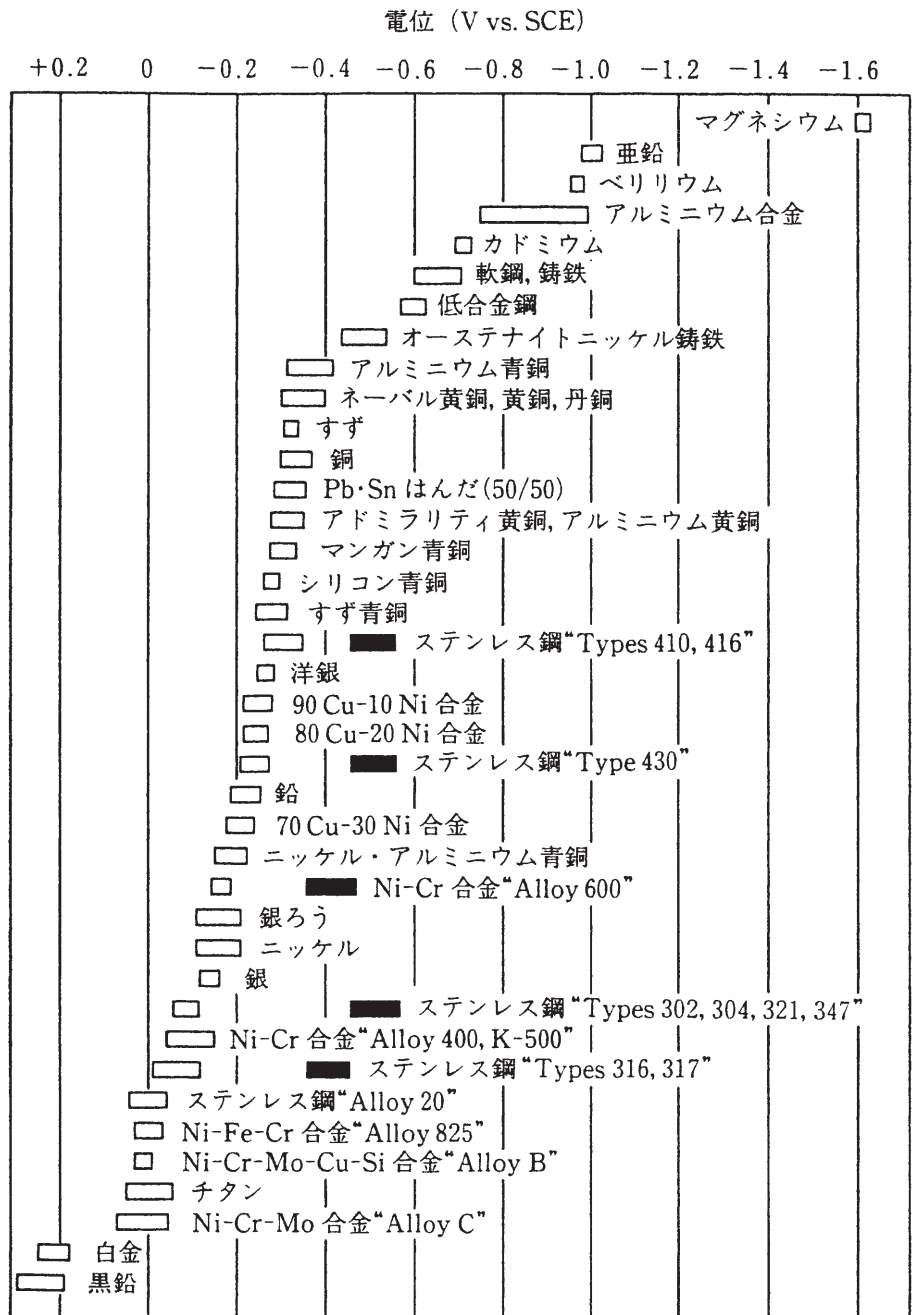
長く、ステンレス鋼とガルバリウム鋼板との電食による腐食が進行する。なお、屋根形状によっても腐食の程度は異なり、屋根勾配が大きい場合は水濡れ時間が短いので腐食は小さく、フラットな場合は長時間の水濡れのため腐食が大きくなると推測される。

図3にガルバリウム鋼板(AZ150)めっき層による鋼板露出部の防食距離を示す(GLめっきと鋼板Feとの異種金属接触)²⁾。塩水噴霧試験(SST)において、鋼板露出幅が数mm程度までは赤錆発生までの時間が長く、塩水(電解質)で濡れた状態における防食距離とみられる。このような電解質環境の抵抗の影響は大気環境において顕著である。すなわち、大気中で金属表面に生成する水膜は薄く、水の導電率も低いので数mm以下の範囲内(ミリ単位)での局所的な腐食となる。従って、面積比の影響は一般に存在せず、接触近傍部分の両金属を塗装するなどの対策を施せばよい。

(2) ステンレス鋼くぎの異種金属接触腐食

亜鉛系めっき鋼板にステンレス鋼くぎを用いたり、ステンレス鋼金物に鉄くぎを用いると、異種金属接触腐食(電食)を起こす。異種の金属を接触させて用いると卑な方の金属が異種金属接触腐食を受ける恐れがあるが、大気中では影響が及ぶ範囲は接触部のごく近傍に限られる。しかし、せつかく打たくぎが少しばかりの腐食によって効かなくなるので対策が必要である。ここで問題とするステンレス鋼、鉄くぎ、亜鉛系めっき鋼板の場合、大気中での電位はこの順に卑である。亜鉛系めっき鋼板にステンレス鋼くぎを用いるときは、亜鉛系めっき鋼板のめっきがステンレス鋼くぎの頭で腐食して鉄さびを生じる。また、素地の鋼板も減肉し、薄い鋼板では腐食が貫通してくぎが効かなくなる。ステンレス鋼金物に鉄くぎを用いる場合、ステンレス金物は防食されるが、鉄くぎが頭を中心に腐食損傷を受ける。

図2 海水中における電位列

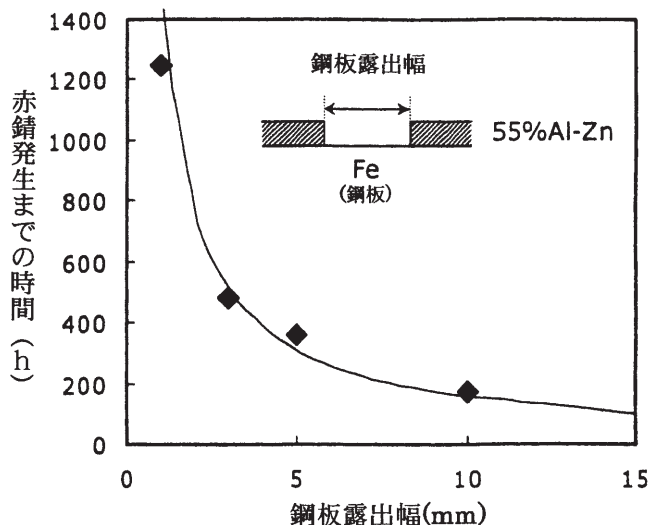


測定条件 : 流速 2.4~4.0 m/s, 温度 11~27℃

■ : 腐食状態の電位

より貴な金属くぎ(ステンレス鋼くぎなど)をより卑な材料に打つことは異種金属接触腐食の恐れはあるものの、くぎ自体に耐久性を持たせるという意義がある。この場合、くぎが打たれた側の腐食促進を防ぐためには、まず貴なくぎの頭を塗装してその作用を殺す(下表のb)。くぎの頭とその周辺の卑な材料の両方に塗装すれば最善である(下表のa)。逆に、より卑な金属くぎをより貴な材料に打つことは危険な組み合わせをつくるから基本的に避けるべきで、やむなく必要な場合は、くぎの周りの貴な材料に塗装する(下表のb)のがポイントであるが、卑なくぎはそれ自体腐食しやすいから同時にくぎにも塗

図3 ガルバリウム鋼板 (AZ150) の鋼板露出部に
おける赤錆発生モデル (塩水噴霧試験: SST)



装するのがよい (下表の a)。卑なくぎのみに塗装するのは、塗膜に存在する欠陥部に腐食が集中するので最もよくない (下表の c) ³⁾。

異種金属接触への塗装

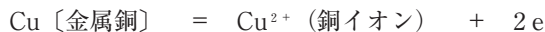
	卑な金属	貴な金属	評価
a	塗装	塗装	◎
b	—	塗装	○
c	塗装	—	×

(3) 亜鉛めっき鋼板と銅の接触腐食について

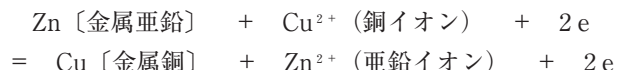
表1に世界各地における各種金属の腐食量を示す⁴⁾。日本における銅 (Cu) の腐食 (溶出) 量は銚子 $1.32 \mu\text{m}/\text{年}$ 、東京 $0.62 \mu\text{m}/\text{年}$ 、沖縄 $2.26 \mu\text{m}/\text{年}$ で、平均的には $1.4 \mu\text{m}/\text{年}$ となる。比較として日本の亜鉛 (Zn) 腐食量は平均で $2.2 \mu\text{m}/\text{年}$ となり、Cuの1.5倍程度の腐食量となる。このようにCuは大気中において雨水、結露水等に

溶出し、その腐食量はZnの6割ほどあり、年間ではかなりの量が溶出していることになる。

写真1にカラー鋼板製屋根面に避雷針ケーブル (銅製) が亜鉛めっき鋼板製支持具で設置されているケースを示す (海岸・温暖地: 4年経過)。Cu製ケーブルに亜鉛めっき鋼板が直接接触していなくても、次のような電気化学反応により電食が生じる。



Cuが溶出し、亜鉛めっき鋼板面に銅イオンが接触した場合、めっき層のZnと反応し、次のようにZnがイオンとなって腐食溶出する。



したがって、Cuケーブル直下の屋根面においては、継続的にCu [金属] と接触していることになる。ガルバリウム鋼板の場合、ガルバリウムめっき層のZnと主に反応し、Znがイオンとなって腐食溶出する。

以上のように、避雷針アース用銅製ケーブルでは水濡れにより継続的に銅が溶出するので、塗装を施すか、またはアルミ製のものに取替えるなどの対策が考えられる。

注) 純銅が水溶液中で耐食性を発揮するpH範囲は6.5~12である。雨水のpHは大気中の炭酸ガスCO₂ (330ppmV) を0.49mg/L溶かし込んで約5.6になる。この中にNO_x・SO_xの影響が加わると酸性雨になる。また純銅は約1 m/s以上の流水中でエロージョン・コロージョンによる浸食をうけ (雨だれ落下部など)、低pH条件はこれを加速する。

写真2に積雪地におけるカラー鋼板屋根面の銅線による腐食例を示す。積雪がある場合、濡れ時間が長く、銅線の溶解が多くなり、カラー塗膜を浸透したCuイオンを含む水がめっき面と反応して比較的早く腐食 (電食) が進行するとみられる。

表1 世界各地の腐食量
(平板：暴露4年間の平均)

No	Country (国名)	Test cite (暴露地)	Al (アルミ) μm / year	Zn (亜鉛) μm / year	Cu (銅) μm / year	Steel (鋼) μm / year	環境因子		
							SO ₂ μg / m ³	TOW* h / year	NaCl mg / m ² d
1	Canada	Boucherville	0.43	1.41	1.12	23.2	15.4	1409	59.8
2	Checho-	Kasp. Hory	0.49	1.89	2.03	26	17.1	3206	*
3	slovakia	Praha	0.61	2.78	1.31	47.4	67.4	2991	*
4		Kopisty	0.68	3.46	3.32	70.7	89.9	2444	*
5	Finland	Helsinki	0.28	1.27	0.72	33.3	20	3482	3.67
6		Otaniemi	0.13	0.88	0.82	25.6	15.4	3048	2.5
7		Ahtari	0.08	0.7	0.74	12.8	3.58	3049	*
8	France	St. Denis	1.17	1.48	1.17	36.4	46	4492	26.7
9		Ponteau-Mart	0.98	2.63	2.72	72.4	108	3908	241
10		Picherande	0.28	0.93	1.4	17	13.1	4406	7
11		St. Remy	0.74	1.52	1.8	43	33.7	6353	458
12		Salin de Gir	0.74	4.57	3.17	73	20	3311	112
13		Ostende	1.52	5.13	3.07	99.2	10	5936	171
14		Paris	0.92	3.6	1.24	43.3	53.6	3828	*
15		Auby	1.68	5.6	1.86	106	188	4571	16
16		Biarritz	1.18	4.31	3.69	87.2	*	*	369
17	W. Germany,	Bergisch Glad.	0.26	2	0.8	37.9	20.3	4628	*
18	Japan	Choshi	0.16	1.46	1.32	43.7	6.96	5648	55.8
19		Tokyo	0.32	1.4	0.62	40.8	13.7	2097	4.3
20		Okinawa	0.3	3.82	2.26	80.2	5.06	4061	97
21	Norway	Oslo	0.15	1.26	0.63	25.2	14.9	2563	2.16
22		Borregaard	0.62	3.8	1.38	61.7	44	3271	8.8
23		Birkenes	0.1	2.28	1.25	19.7	1.24	4230	*
24		Tanager	0.63	3	1.9	59.6	4	4304	308
25		Bergen	0.13	2.1	0.98	27.9	8.7	4294	6.9
26		Svanvik	0.12	0.83	0.83	20.2	16.5	2535	1
27	Soviet	Murmansk	0.8	1.11	1.69	30.8	5	3227	19
28	Union	Batumi	0.12	1.74	2.11	31.7	25.5	3254	1
29		Vladivostok	0.29	2.32	1.43	25.9	28.6	3921	18.4
30		Oymyakon	0.07	0.44	0.09	0.82	5	381	*
31	Spain	Madrid	0.07	0.58	0.47	27.7	34.6	1905	*
32		El Pardo	0.05	0.5	1.14	15.5	4.83	2859	*
33		Lagoas-Vigo	0.18	1.05	1.01	28	58.5	3120	29.5
34		Baracaldo-Vizcaya	0.23	1.23	1.15	43.9	39.5	4387	25
35	Sweden	Stockholm Vanadis	0.19	0.66	0.57	25.6	9.7	2814	*
36		Kattesand	0.37	1.48	1.69	36	5	3250	75.8
37		Kvarnvik	0.59	1.79	2.72	63.5	5	3250	650
38	United	Stratford	0.93	0.98	0.89	42.3	*	*	*
39	Kingdom	Crowthorne	0.93	0.98	0.89	36.4	*	*	*
40		Rye	*	1.85	1.82	65.9	*	*	*
41		Fleet Hall	0.07	1.56	0.98	39.6	*	*	*
42	USA	Kure Beach	0.28	2.05	2.81	37.9	6.92	4225	102
43		Newark Kearney	0.29	2	2.2	26.4	*	*	*
44		Point Reyes	0.26	1.73	2.42	40.1	*	*	*
45		Research Tri.Park	0.11	0.83	2.43	23.1	*	*	*
46		Panama Canal Zone	0.6	17.5	6.16	373	*	*	1720
47		Los Angeles	0.51	1.15	1.7	21.4	20	4003	*
48	New Zealand	Judgeford	0.05	0.6	1.32	19.8	*	*	*
平均			0.46	2.26	1.66	47.7	28.5	3544	164

図 1. TOW = Time of wetness : 全ぬれ時間
2. * はデータなし
3. アンダーライン下線 _____ は、ISO分類のC4(激しい), ~ は C5(非常に激しい). Zn, Cu, Steelの場合.

表2 金属の熱力学的「貴/卑」と耐食性との対応

熱力学的 貴/卑		イオン化反応	E* (V vs. SHE)	実環境中 耐食性
貴	卑			
金	Au/Au ³⁺		1.5	Au 高
パラジウム	Pd/Pd ²⁺		0.99	Ti
銀	Ag/Ag ⁺		0.80	Pd
銅	Cu/Cu ²⁺		0.34	Zr
鉛	Pb/Pb ²⁺		-0.13	Ag
ニッケル	Ni/Ni ²⁺		-0.25	Cu
コバルト	Co/Co ²⁺		-0.28	Al
鉄	Fe/Fe ²⁺		-0.44	Cr
亜鉛	Zn/Zn ²⁺		-0.76	Fe
クロム	Cr/Cr ³⁺		-0.74	Ni
マンガン	Mn/Mn ²⁺		-1.19	Co
ジルコニウム	Zr/Zr ²⁺		-1.54	Pb
アルミニウム	Al/Al ³⁺		-1.66	Zn
チタン	Ti/Ti ²⁺		-1.63	Mg
マグネシウム	Mg/Mg ²⁺		-2.37	Mn 低

なお、表2に示すように、金属によっては自然環境において表面に生成する酸化層（不動態膜）の関係で理論的な電位と実環境中の電位とが大きく異なるケースがあり、施工環境条件に応じて適切に材料を選択することが望まれる。例えば、チタン、アルミなどは理論的には非常に卑な電位にあるが、実環境では表面に強固な酸化膜を形成するため貴な電位を示す。鉄は理論的な電位と実環境でほとんど相違がないが、銅、亜鉛などは実環境の方がより卑な電位を示す⁵⁾。

写真1 銅製ケーブル下の腐食例
(海岸・温暖地：4年経過)



写真2 カラー鋼板屋根面の銅線による腐食例
(積雪地：2年経過)



3. ガルバリウム鋼板の耐酸・耐アルカリ性について

(1) 身のまわりの酸性・アルカリ性

図4に身近に存在するものの酸性・アルカリ性を示す。⁶⁾ 通常的一般環境は酸性側（低pH側）であるが、アンモニア水、セメントおよびその主成分である石灰（CaO：酸化カルシウムの俗称）はアルカリ側（高pH側）にあることが分かる。アンモニアガスは畜舎、堆肥舎などで糞尿から発生し、結露水などに吸収されるとアンモニア水となる。

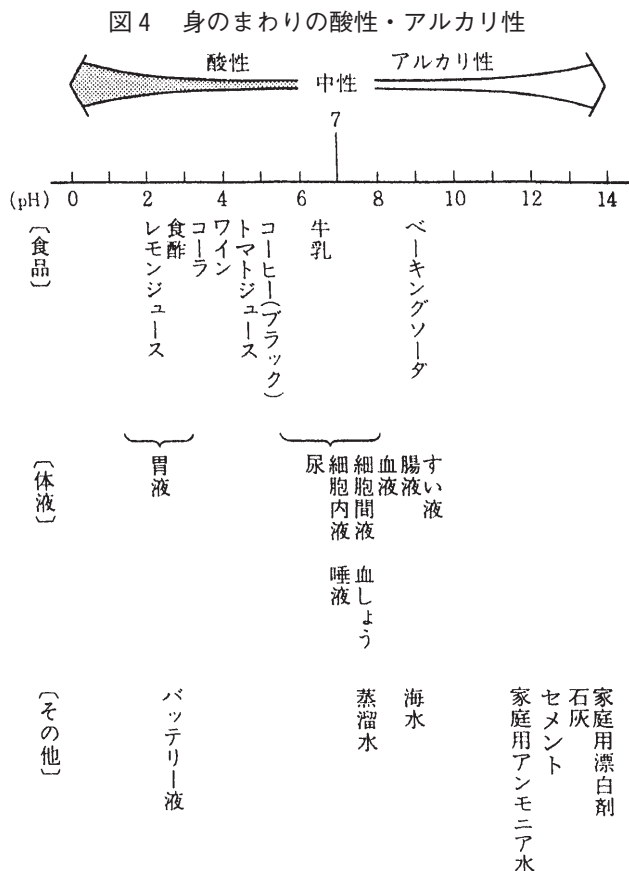


表3にコンクリート・セメントの化学を示す。コンクリート・セメント中の酸化カルシウムは水分の存在により水酸化カルシウムCa(OH)₂として存在し、強いアルカリ性（約pH12.5）に保たれる。

(2) pHとガルバリウム鋼板の腐食

図5に液pHとめっき鋼板の腐食減量との関係を示す。ガルバリウム鋼板の場合、酸性側では亜鉛めっき鋼板に比べて腐食減量が少なく、優れた耐食性を示す。しかし、アルカリ性側になると腐食減量が大きくなる。このような傾向はアルミめっき鋼板の方がさらに大きく、アルミはアルカリに弱いことと合致している。

(3) ガルバリウム鋼板と木材との接触による腐食

写真3（2頁の写真参照）にガルバリウム鋼板製屋根面と木材との接触による腐食例を示す。ガルバリウム鋼板が湿った木材に接触した場合、表4に示すように、木材中に含まれる酢酸を主成分とする木酢液が滲出し、水分が酸性となるためガルバリウムめっき層が腐食（白錆、黒変）溶解し、その結果、鋼板の腐食（赤錆）に至る。

木酢液：木材を乾留して得られる液体生成物の一つで、酢酸を多量に含む。収量は乾材に対して約35%前後であり、黒褐色の特有の刺激臭のある液体で80~90%は水である。広葉樹の場合には酢酸5~7%、メチルアルコール1.5~2.5%で、針葉樹の場合にはこれらの数値は半減する。

写真4に心木あり瓦棒葺屋根キャップ部の腐食例を示

表3 コンクリート・セメントの化学

コンクリートはセメント、砂、砂利(砕石)を水で練り固めたものである。コンクリート構造物によく用いられているポルトランドセメントは、石灰質原料と粘土質原料物質を混合、焼成して得られるクリンカーに石膏を3~4%加えて混合微粉砕して製造されている。ポルトランドセメントの主な鉱物組成はケイ酸三カルシウム(3CaO·SiO₂)、ケイ酸二カルシウム(2CaO·SiO₂)、アルミン酸三カルシウム(3CaO·Al₂O₃)、鉄アルミン酸四カルシウム(4CaO·Al₂O₃·Fe₂O₃)であるが、コンクリートはこれらの鉱物の水和反応によって硬化する。以下にその水和反応を示す。

3CaO·SiO₂+xH₂O→mCaO·SiO₂·nH₂O+(3-m)Ca(OH)₂ (1)

β-2CaO·SiO₂+xH₂O→mCaO·SiO₂·nH₂O+(2-m)Ca(OH)₂ (2)

3CaO·Al₂O₃+3CaSO₄·2H₂O+26H₂O→3CaO·Al₂O₃·3CaSO₄·32H₂O (3)

4CaO·Al₂O₃·Fe₂O₃+3CaSO₄·2H₂O+xH₂O
→3CaO·Al₂O₃·3CaSO₄·32H₂O+CaO·Fe₂O₃·(x-26)H₂O (4)

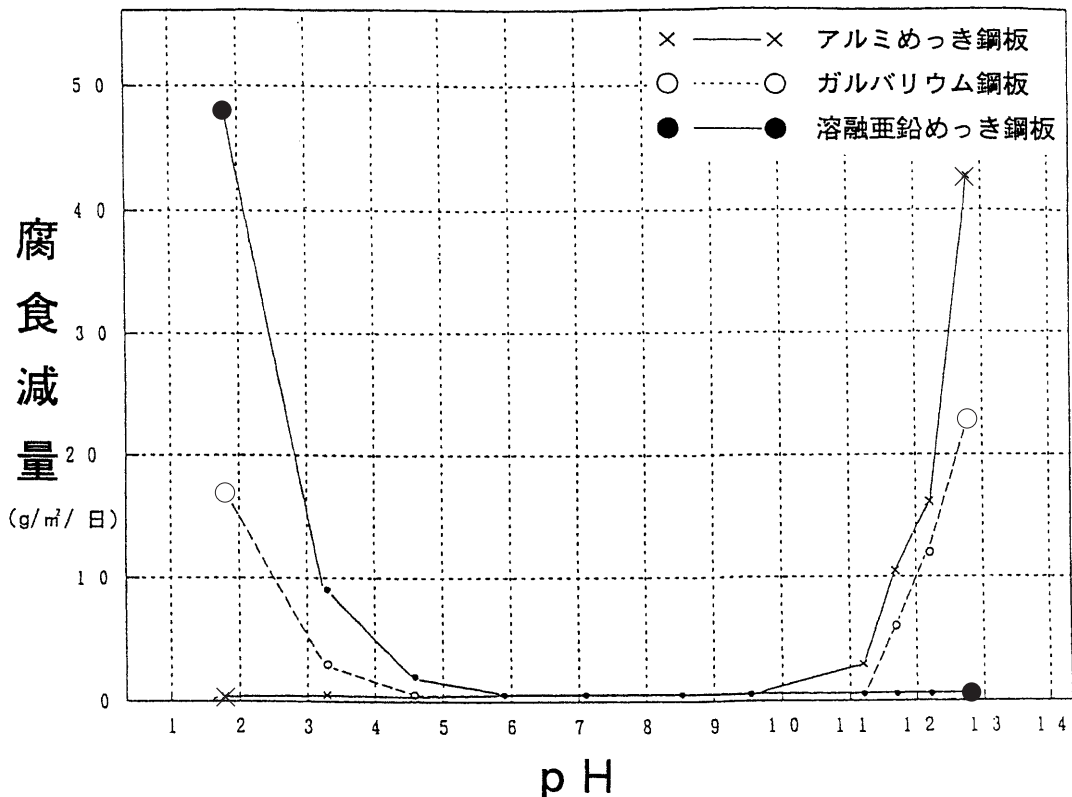
(1)および(2)式で生成するmCaO·SiO₂·nH₂Oはケイ酸カルシウム水和物(C-S-H)と呼ばれており、mは約0.83~1.8の値を、nは約2~4の値をとる。また、Ca(OH)₂はコンクリート内部で結晶あるいは空隙中の飽和水溶液として存在しており、硬化したコンクリートは強アルカリ性(約pH12.5)に保たれている。

表4 木酢液の成分

酸およびラクトン	蠟酸、酢酸、7αヒノ酸、酪酸、吉草酸、パロチン、カゾ酸 など
アルコール	メチルアルコール、アリアルアルコール など
エステル	酢酸メチル、蠟酸メチル など
アルデヒド	ホルムアルデヒド、アセトアルデヒド、フェルワン など
ケトン	アセトン、ジエチルケトン、エチルメチルケトン など
塩基	アンモニア、メチルアミン、ピリジン など
炭化水素	トルエン、キシレン、クメン など

(化学大辞典より抜粋)

図5 pHとめっき鋼板の腐食減量との関係



す。何らかの原因で隙間等から屋根の裏側に雨水等が浸入した場合、濡れた心木に部分的に長時間接触しているカラー鋼板裏面の腐食速度は大きくなり、早期に穴あき

腐食に至ったと推測される。

木質系住宅には一部木材に保存処理を義務づけられている箇所(地上から1m以内など)がある。表5に木材用

写真4 瓦葺葺屋根（心木あり）キャップ部の穴あき腐食例（一般カラー：3年経過）

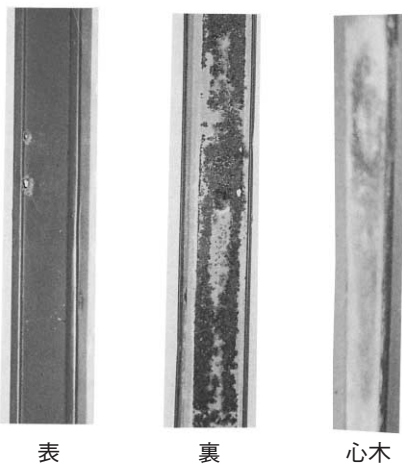


表5 防腐圧入処理剤の種類

記号	薬 剤 系	JIS K 1570-1998	改訂予定版
A0	なし	—	—
A1	銅・アルキルアンモニウム化合物系	ACQ-1	ACQ-1
A2	アルキルアンモニウム化合物系	AAC	AAC-1
A3	銅・ほう酸・アゾール系	CUAZ	CUAZ-1
A4	ナフテン酸銅系	NCU	NCU-0
A5	シプロコナゾール・プロベンタフォス系	AZP	なし

防腐圧入処理剤の種類を示す。金属の腐食に対しては、銅を含む薬剤 A 1, A 3, A 4 の影響が大きく、直接接触を避ける措置が必要である⁷⁾。一般的な注意点は次の様である。

- ・防腐処理木材は十分に乾燥したものを選ぶ。一般に多く使われる水溶性薬剤を用いた注入材では、水分が抜けるのに3年もかかるため高含水率のものが多
- ・水分や湿度の影響が大きいと考えられる部位では、ゴムシートなどの厚めの有機膜を挟み込んで金物との直接接触を避ける。

以上、ガルバリウム鋼板を中心に異種金属接触腐食、木材との接触腐食について述べたが、カラー鋼板についても腐食程度の差はあるものの同様な現象が懸念されるので、設計・施工に際し注意が望まれる。

参考文献

- 1) 腐食防食協会：腐食・防食ハンドブック（丸善 2000年発行）
- 2) 松本雅光、他：鉄と鋼 Vol.91, No.9, p.700 (2005)
- 3) 腐食センターニュース：No.030, p.4 (2004.6.1)
- 4) 須賀 霧：塗装工学Vol.28, No.8, p.341 (1993)
- 5) 腐食防食協会：材料環境学入門（丸善 1995年発行）
- 6) 原 宏：大気汚染学会誌Vol.26, No.1, (1991)
- 7) 腐食防食協会編：住宅の腐食・防食（丸善2004年発行）

以上