

環境における金属腐食の教材化に関する研究Ⅱ

－ 鉄 の 腐 食 実 験 －

富山 哲之* 町田めぐみ** 宮川真希子***

(平成13年3月15日受理)

A Study of the Corrosion of Metals in Environment as a Teaching Material

－ An Experiment of Corrosion of Iron －

Noriyuki TOMIYAMA* Megumi MATIDA** Makiko MIYAGAWA***

(Received, Mar. 15, 2001)

1. はじめに

近年、小学校から高等学校までの多くの教科で環境教育に関わる内容が重要視されている¹⁾。理科を中心とする環境教育では、座学における学習指導は主に温暖化、酸性雨、環境汚染等の環境問題に関する題材が取り扱われている。学習者の直接体験を十分なものにするためにも、これからは環境教育教材の開発とその実践が重要であり、具体的な活動を通じた基本的な科学概念の形成が必要になると思われる。そこで、一つの事例として、材料と環境に触れるような教材の開拓が必要であると思われるが、この試みはあまりなされていないようである。これまでに筆者ら²⁾は、材料と環境の相互作用としての金属腐食の問題に着目し、身近な河川環境で金属の腐食実験を行い、金属の腐食性が単に材料の特性だけでなくそれを取り巻く環境の特性に強く依存することを明らかにした。電子天秤による質量測定だけを行う実験として、また身の回りの材料を題材にした実験学習に使える可能性を示した。

本稿では、同報(I)の金属腐食のアンケート調査結果のデータを参考にして、既報³⁾の金属の腐食実験と同様な手法で実験を行い検討した。本実験は、市街地から離れた比較的清浄な海岸の環境で行われたものである。以下にその要点を述べる。

2. 実験方法

試料には、鉄板、亜鉛めっき鉄板、鉄丸釘の鏡面仕上げされた普通材料を使用した。鉄板から切り出した鉄片または亜鉛めっき片の寸法はそれぞれ $5.0 \times 5.0 \times 0.03 \text{ cm}^3$ である。鉄丸釘の寸法は $6.0 \text{ cm} \times 0.3 \text{ cm} \phi$ である。鉄釘は5本組にして単位試料とした。各試料は超音波洗浄器を使って洗浄した後ドライヤーで乾燥した。質量は電子天秤(実感量 $1 \times 10^{-3} \text{ g}$)で秤量した。防食効果を判定するために鉄釘について次のような処理を施した。水性塗料塗布

*長崎大学教育学部理科教育講座 **西海建設(株)
***長崎市管内郵便局

(2回塗り)、油性塗料塗布(2回塗り)、パラフィン塗布、グリース塗布、ペットボトル被覆(底部開口)、紙袋被覆(密閉)、ビニール袋被覆(密閉)である。各種の溶剤を塗布したものについては十分に自然乾燥した後で秤量した。

実験は2000年10月から12月にかけて長崎市式見地域及び本学実験室において行った。式見地域は長崎半島の西海岸に位置しており、清浄な海辺の環境である。この地域には南または南西方向に開いた谷地形が多く、海側から吹き込んでくる湿潤な気流が谷間を上昇しやすい地形をなしている。小江谷と称する所は長崎市小江町と小江原町にあり、南西側に開いた深い谷になっている。また、谷も尾根もほぼ南西方向に延びている。標高差は150m程である。谷の海岸付近または最上部付近には小さな集落がある。図1に試料設置または採取場所の1から12までの「地番」(図中○印)と主要な地名等を示す。「地番」1から12の間は、5、12を除けば、建物は密集していない。幹線道路の交通量は日平均約3500台である。

以下の方法により、実験開始後7日おきに最長70日間に渡り、試料表面の目視による観察と電子天秤による腐食量測定を行った。屋外実験の試料は実験室に移して質量測定した後、その日に再び元の場所に戻した。実験期間中に観測した天気概況の一部は次のようである。快晴日数は23日間、晴日数44日間、曇日数25日間であった。この内、降水日数は18日間であった。以下、各環境中における実験方法を示す。

2.1. 大気中の腐食法

試料設置場所は、図1の地図上の地番1～4であり、海水面から20m程離れた風通しのよい海岸である。一本の細い木材に11種類の金属試料を水糸で等間隔に結び付けておき、これを地面から1mの高さに固定した。試料の外貌を図2に示す。

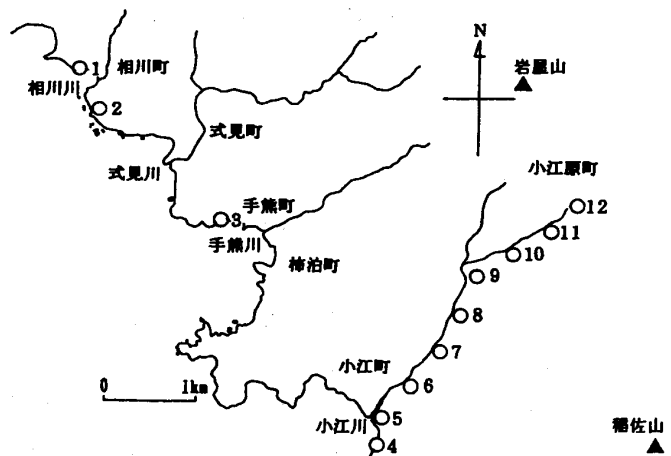


図1 試料設置地点等の概況図

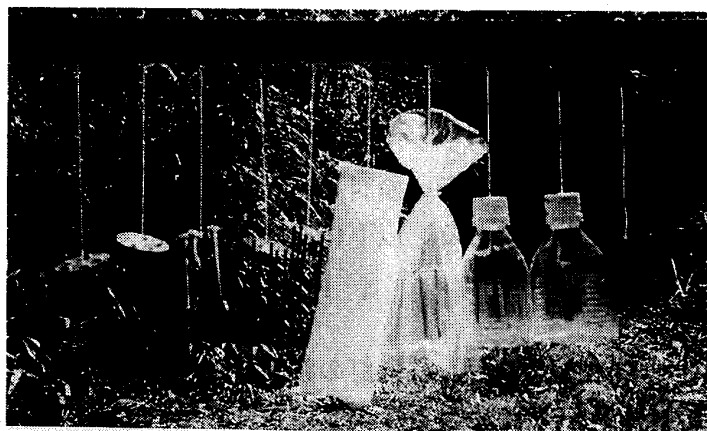


図2 試料の種類と設置状況

試料は、右側から左側まで順次、鉄片、ペットボトル被覆鉄片、ペットボトル被覆釘、ビニール被覆釘、紙袋被覆釘、油性塗料塗布釘、水性塗料塗布釘、パラフィン塗布釘、グリース塗布釘、鉄釘である。

2.2. 海水中の腐食法

地番1～4の海水を地点別に用意したポリタンクに採取した。実験室において各地点別に用意したポリ容器に採取した海水(約500cc)を入れ各試料を浸漬した。質量測定の際に、当初採取した海水を新たに容器に満たして実験を行った。

2.3. 土壌中の腐食法

地番1～4の海岸土壌(以下「土壌」と略称する)を採取した。各地点の土壌の粒度は平均直径0.25mmの粗砂である。実験室において、各地点別に用意したポリ容器に採取した土壌(約500cm³)と同地点の海水を補充し試料を埋設した。

2.4. 金属腐食と距離依存性を調べるための実験法

地番5～12は海岸からの直線距離0～3.5kmまでの幅0.5km間隔である。道路沿いで周囲に障害物のない風通しのよい各地番に試料を設置した。無塗装の鉄丸釘試料は、ペットボトル(500cc)の側面だけを短冊状(約60cm²)切り開いた試料ケースの中に装填した。1地番に対し3組の試料ケースを細い木材に結んで地面から1mの高さに吊るした。時々各地番での試料の設置状況の確認を行いながら28日間放置した。

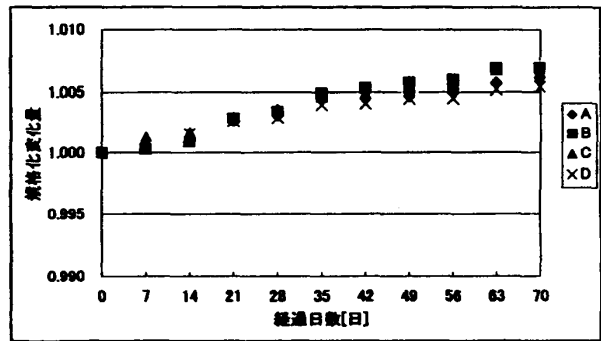
項目2.1.～2.4.について、大気中腐食の試料は実験室に持ち帰りドライヤーで充分乾燥してから天秤で秤量した。海水中または土壌中腐食の試料は表面の付着物や腐食生成物をブラシかけて落としした後超音波洗浄を行いドライヤーで充分乾燥してから秤量した。腐食実験に用いた金属試料の質量変化と腐食度の算出法は既報で述べた方法³⁴⁾による。

3. 実験結果と検討

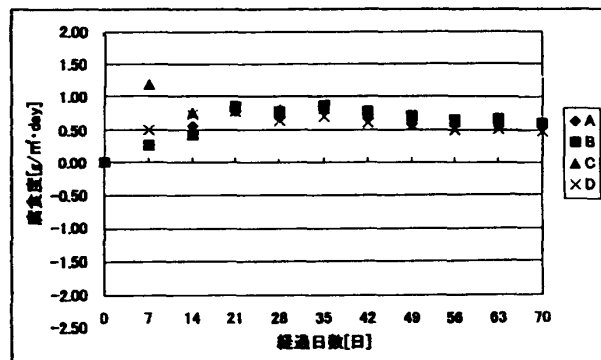
3.1. 大気腐食

(1) 海岸の大気中に曝したときの鉄片の腐食模様の特徴は次のようである。試料を設置した後、7日目に試料全面に赤茶色の錆が生じた。その後、時間経過とともに腐食が進行し、試料設置後70日目で試料全体が赤茶色の厚い錆層皮膜で覆われた。図3に鉄釘(下地)の腐食量の変化を示す。図3(a)に示す腐食による質量変化は70日目で最大約0.6%に達する。図3(b)に示すように、地番3(C)では、7日目に腐食度が最大値1.2 g/m²・dayを示したが、14日目以後は緩やかに変化している。地番1(A)、2(B)、4(D)では21日目に腐食度の小さなピークがある。何れも70日目には腐食度0.6 g/m²・dayに達する。

(2) 表1に試料設置後70日間経過時の腐食量の変化を示す。



(a) 大気中における鉄釘の質量変化



(b) 大気中における鉄釘の腐食度

図3 大気腐食による鉄丸釘の質量変化と腐食度

表 1

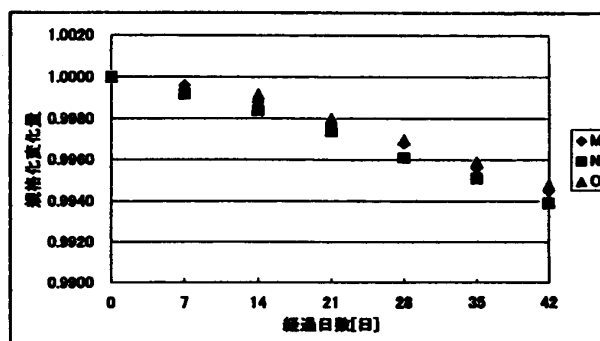
処 理 法	質量変化	腐 食 度	処 理 法	質量変化	腐 食 度
鉄 釘 の 場 合			紙 袋 被 覆	1.0002	0.004
下 地 (母材)	1.0064	0.60	ビニール袋被覆	1.0001	0.004
水性塗料塗布	1.0003	0.03	鉄片の場合		
油性塗料塗布	1.0004	0.05	下地(母材)	1.0091	0.26
パラフィン塗布	1.0009	0.08	ペットボトル被覆	1.0034	0.09
グリース塗布	1.0034	0.30	亜鉛めっき	1.0003	0.01
ペットボトル被覆	1.0016	0.13			

全試料を比較すると、何らかの保護性の膜で覆った試料では質量変化と腐食度は極めて低い。身近な防食方法として、ペンキまたはパラフィン等の被覆剤を試料に塗布して保護性の皮膜を作ることが有効であることが分かる。また、紙またはビニールの袋で試料を覆うことにより水や酸素の供給が不十分になり腐食反応が抑制されたと考えられる。亜鉛めっき鉄片の腐食度は低い。金属光沢は保持された。亜鉛めっき法は卑の金属で下地金属を被覆する有効な防食法である。グリース塗布または底部を開けたペットボトル被覆により腐食度を半分以下に低下させることができる。

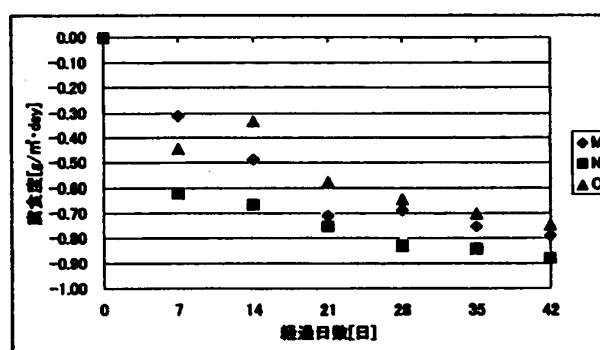
3.2. 海水腐食

(1) 鉄釘の試料全面が薄茶色に変色した。時間経過につれて錆層が厚くなり所々青みがかかった錆が生じた。海水を濾過した濾紙上に見る鉄片の腐食生成物は赤茶色を呈した。図4 (a) に示すように、地番1 (M)、3 (N)、4 (O)の何れも42日目の質量変化率は約0.6%に達する。図4 (b) の腐食度は、地番3 (N)で最大値約0.9 g/m²・dayに達する。

(2) 表2に試料設置後42日間経過時の腐食量の変化を示す。



(a) 海水中における鉄釘の質量変化



(b) 海水中における鉄釘の腐食度

図4 海水腐食による鉄丸釘の質量変化と腐食度

表 2

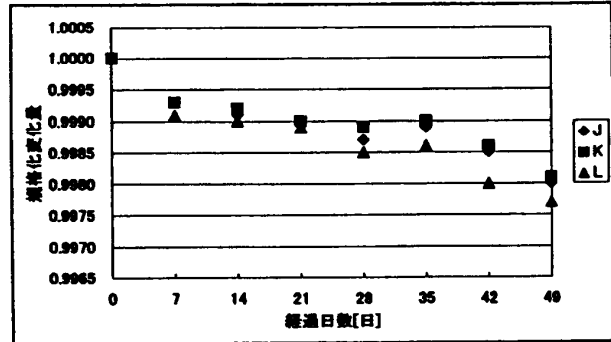
処 理 法	質量変化	腐 食 度	処 理 法	質量変化	腐 食 度
鉄 釘 の 場 合			鉄 片 の 場 合		
下 地 (母材)	0.9949	0.81	下 地 (母材)	0.9830	0.50
水性塗料塗布	0.9994	0.05	亜鉛めっき	0.9920	0.22
油性塗料塗布	0.9988	0.19			

表1と表2の各試料の数値を比較した場合、防食処理を施していない釘または鉄片の腐食度は大きい。亜鉛めっき鉄片は腐食度が20倍以上である。防食効果が低下していることが分かる。亜鉛皮膜が優先的に腐食することにより亜鉛の結晶粒界からなるモザイク状の模様がみられた。前項3.1.の場合に比べて全試料の腐食度が増加したことが分かる。

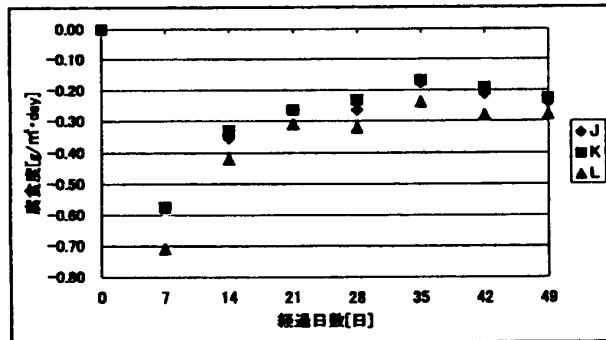
3.3. 土壌腐食

(1) 鉄釘の光沢は最後まで残るが斑点状の腐食生成物の色は時間経過につれて黄土色から次第に黒ずんだ色を呈した。図5(a)に示すように、地番1(J)、3(K)、4(L)の何れも49日目の質量減少は0.2%程度である。各地番の土質は堅く細かい砂からなり試料面に接触する間隙水が少ないために、腐食量は前項3.2.の場合に比べて少ないことが分かる。図5(b)に示すように、どの地番においても腐食度は7日目にピークがある。地番4(L)では最大値約0.7 g/m²・dayに達する。その後、腐食度は減少を続け21日目頃から何れも安定した数値を示す。

(2) 表3に試料設置後49日間経過時の質量変化を示す。



(a) 土壌中における鉄釘の質量変化



(b) 土壌中における鉄釘の腐食度

図5 土壌腐食による鉄丸釘の質量変化と腐食度

表 3

処 理 法	質量変化	腐 食 度	処 理 法	質量変化	腐 食 度
鉄 釘 の 場 合			鉄 片 の 場 合		
下 地 (母材)	0.9980	0.25	下 地 (母材)	0.9956	0.14
水 性 塗 料 塗 布	0.9987	0.17	亜 鉛 め っ き	0.9987	0.03
油 性 塗 料 塗 布	0.9996	0.02			

表1と表3の各試料の数値をを比較した場合、防食処理を施していない釘または鉄片の腐食度は小さい。小さい粒子の粗砂が試料面に密着したために、間隙水が少なくなり、水や酸素の供給が不足したためである。亜鉛めっき鉄片ではモザイク状の模様が観察された。

3.4. 大気中の金属腐食と海岸線からの距離との関係

図6に鉄丸釘の腐食度と海岸線からの距離依存性を示す。地番5～12における鉄釘の腐食度の平均値は海岸からの距離が離れる程急激に減少した。片対数方眼紙上でグラフはほぼ直線関係を示すことから指数関数型であることが分かる。海岸から距離3.5kmの地点は標高差約150mであり、小江谷の最上部である。この地点での腐食度は、海拔2mの海岸での

腐食度と比較して約1/5に低下する。小江谷に向かって南寄りの風が吹けば、海塩粒子を含んだ潮風が谷に沿って上昇することが容易に想像できる。海岸から遠ざかるにつれて腐食度が減少することについては大気中の海塩粒子濃度に関係していることを示唆する。

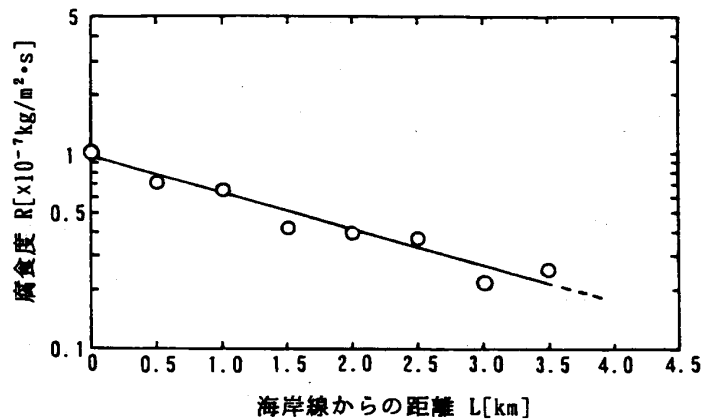


図6 鉄丸釘の腐食度と海岸線からの距離依存性

4. おわりに

本小論では、金属の腐食概念理解・把握のための教材化の一助として、身近な海辺の環境中で鉄材の腐食実験を行った。以下にこの実験の特徴を列挙する。

電子天秤による質量測定だけで行う実験である。金属の腐食度について関連試料に関する文献値⁶⁾と同程度である。鉄釘または鉄板等の普通材料を試料として使用できる。このような鉄材を使用すれば金属腐食、主として酸化による質量変化が短期間で判定できる。日常生活の中で取り入れられている身近な防食法はそれなりに鉄材の錆を抑制する効果があるといえる。海辺の地域は内陸部に比べて潮風が金属腐食に及ぼす影響が強いようである。金属の腐食度と海岸からの距離依存性についての解明は今後に残されている。

参 考 文 献

- 1) 文部省編：中学校学習指導要領(平成10年12月)解説-理科編-(大日本図書、1999)103.
- 2) 文部省編：中学校学習指導要領(平成10年12月)解説-技術・家庭編-(大日本図書、1999)17、74.
- 3) 富山哲之、寺崎望美、中村新奈：長崎大学教育学部紀要（教科教育学）,No.36,(2001)33.
- 4) 橋口隆吉編：金属学ハンドブック（朝倉書店、1969）251.
- 5) 金子尚和：防錆管理、25(1981)25.
- 6) D.W.Rice, *et al.*:in “Atmospheric Corrosion” ed.W.H.Ailor(Wiley Interscience、1982) 651.