

鉄 と さ び

IRON AND RUST

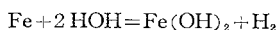
堀 武 男*

By Takeo HORI

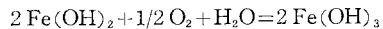
1. 鉄はさびるものである

鉄という金属は、地球上に天然物としては存在しない。酸化鉄から成立っている鉄鉱石を還元して人為的に作り出したものが鉄である。この鉄は不安定なものであって、大気、水、海水、土壌などの中で使われると、腐食して長い年月の間に元の酸化鉄に戻って初めて安定する。さび易い不安定な鉄をできるだけさびにくい状態に保って、その硬くて強い性質を利用して構造物や機械、器具として利用しているのである。維持管理が十分でなければ、鉄を使った構造物や機械器具は容易にさびて使用に耐えられなくなる。しかしさびにくい成分の鉄を作るか、または鉄の空気や水に触れる表面を処理してさびにくい状況下におけば、鉄製品は相当の長期間にわたって使用に耐えるものである。

鉄はただ空気中においてもさびることはない。湿った空気中でも、鉄の表面に結露現象が起こらない限り、乾いた鉄の表面では鉄はさびない。鉄の表面が濡れないようにきれいに拭いておれば、決してさびることはない。しかし表が濡れたり、特に温度が高かったりするとたちまちさびてしまう。この関係は、非電解質の水 H_2O が、分子と分子の反応により、 $H_2O + H_2O \rightarrow 2HOH$ となり、電解質の水酸化水素 HOH を生じ、これが鉄に作用して、



水酸化第一鉄 $Fe(OH)_2$ を作り、さらに空気中の酸素により



水酸化第二鉄 $Fe(OH)_3$ を作り、鉄のさびに発展して行くのである。

鉄のさびを防ぐために、常に表面を乾いた状態に保つことは困難であるから、表面を空気や水分に触れないようにするために表面塗装や金属の表面処理その他が行われている。

2. さびによる経済損失は莫大である

わが国は、国内で約 6000 万トンの鋼材を毎年新しく使用している。これらの鋼材は、さびというあまり気のつかない形で、われわれの身近で、あるいは目に触れない所で、一瞬の休みもなく失われつつある。貴重な鉄資

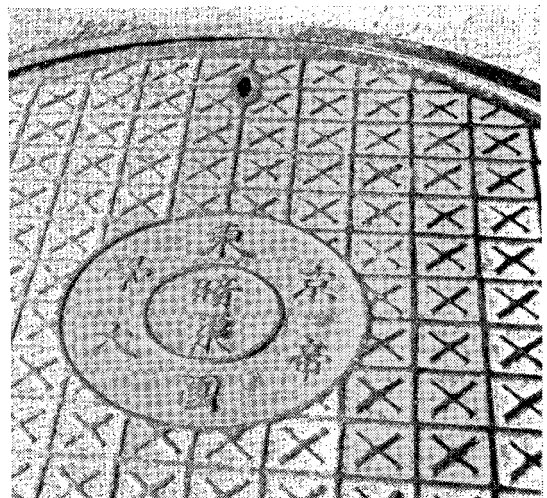


写真-1 帝国大学時代のマンホール

* 正会員 (社) 鋼材倶楽部土木専門委員長
(〒103/東京都中央区日本橋茅場町 3-2-10)

源が、「炎なき火災」と言われるさびのために失われている。

このさびの進み方を年間侵食度でみると、大気中での平均値は、日本 0.16 mm/年、イギリス 0.14 mm/年、アメリカ合衆国 0.12 mm/年などで、各国の年雨量または湿度に比例している。乾燥した砂漠地のアラブ諸国では、0.002 mm/年 にすぎない。

四面を海に囲まれた高温多湿のわが国としては、いたし方がない。また、経済の中心が海岸地帯にあり、山間部には構築物も産業施設も少ないことも事由の一つであろう。北海道ではさびは少なくて沖縄では甚しくさびるのは当然である。

さびによる損失は鋼材の損失でなく、鋼材を使用した構築物や機械器具の重大な損失である。投下資産の損失だけでなく、産業能率の低下、安全性の劣化等、目に見えない大きな損失である。この損失額を推計することは難しい。

わが国における損失額の試算例では、1977 年に(社)腐食防食協会と(社)日本防錆技術協会による腐食損失調査委員会が腐食対策費の調査を行った報告によると、1974 年度 2兆 5500 億円と算定された。さびによってこうむった損失額そのものは明らかではないが、対策費を含めたいわゆる損失額を海外における調査結果から推定すると、各国でおよそ GNP の 2.0~4.2% であることから、わが国の今日のさびによる年間損失額は、およそ 5~10 兆円にも達するであろう。恐るべき莫大な金額である。このうちの相当部分は減価償却等で処理される金額と予想される。

3. さびを防ぐには

さびは、瞬時の休みなく進行するもので、これを完全に停止させる方法はない。しかし、管理が適切であれば、普通に土木建造物の寿命と考えられる年月は大丈夫である。一般に土木建造物の寿命は、さびが原因であるような物理的寿命よりも、橋梁であれば荷重が増大したとか、港湾であれば水深が深くなったとかのような社会経済的寿命がつきて撤去されることが多い。私の持論で言えば、土木建造物は壊れるものではなく、壊すものである。

しかしながら、とにかくさびはできるだけ防がなければならぬ。

これには次の方法がある。

- ① 表面塗装、ペンキ塗装、歴青質被覆、モルタル、コンクリート被覆等。
- ② 金属の表面処理、電気めっき、化学めっき、溶解めっき等。
- ③ 電気防食、流電陽極、外部電源等。
- ④ 耐食材料、ステンレス、耐候性鋼等。これはさびを防ぐのではなく、さびは発生するが、そのさびが緻密であるのでこれが金属面を外気から守り、そのためにさびの進行を防ぐ、比較的新しい金属材料である。

以上は鋼製土木建造物等をさびから守る戦である。これらの研究は各研究機関および企業でも行われている。さびは鉄鋼の本質に関する問題であり、関係企業の共通の研究課題であるので、鋼材倶楽部においては古くから調査研究しており、特に最近、防せい特別委員会(委員長：岡田秀彌新日鉄常務)を設置して、橋梁等土木建造物をはじめ、各方面におけるさびを防ぐ対策、さびた建造物に対する措置を研究している。

4. 橋は手入れがよければ長持ちする

実例をもって説明しよう。山陰本線の餘部鉄橋は、兵庫県餘部駅の近くにある陸橋で、明治 44 (1911) 年に完成した当時としては画期的な大鐵橋である。長さ 388 m、高さ 40 m の偉観は大正時代の小学校の教科書にも紹介されたものである。それが 73 年経過した今日でも

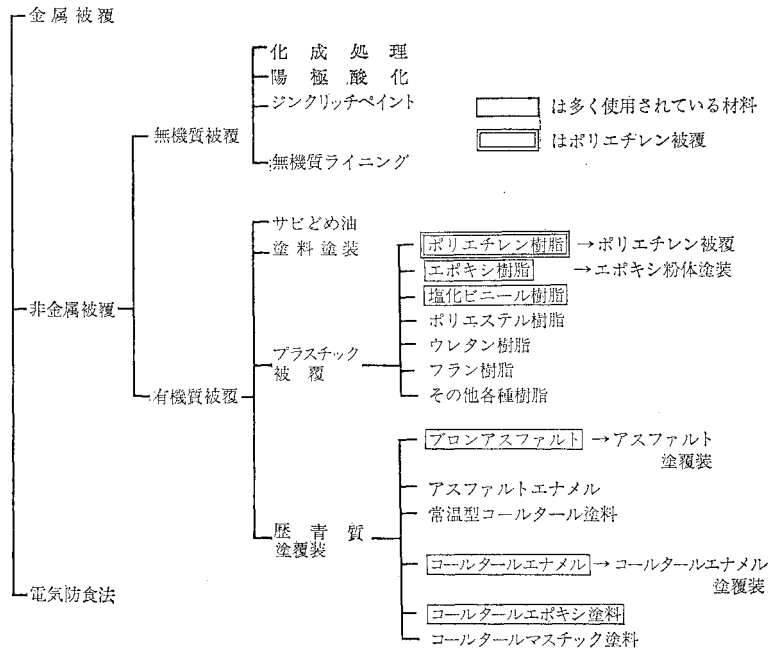
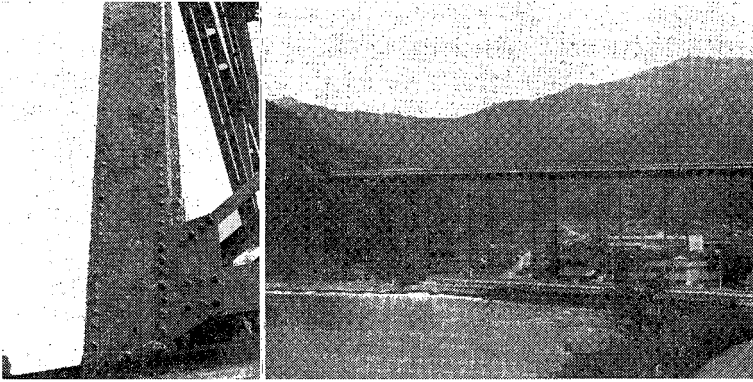


図-1 防食方法



写真—2 山陰本線 餘部鉄橋

立派に山陰本線の大橋梁として任務を果たしている。これには管理人が居て常にペンキを塗りかえており、腐食がひどくなった部分は修理を施している。このように維持・管理の万全を期せば鋼橋の寿命は半永久的に長らえるであろう。ドイツ人技師の設計による単純桁である。

ゴールデンゲート橋は、合衆国のサンフランシスコ湾入口にある中央径間 1280 m の吊橋で、1937 年に完成している。この橋のペンキ塗り替えは、一作業隊が一端から作業を始めて他端まで完了するのに 5 年かかり、また直ちに作業起点から塗装を始める。つまり、年中どの部分かでペンキ塗りが行われている。非常に重要な橋であるからこのように管理の万全を期している。防せいには条件の悪い海面上の橋梁であるが、このように手入れをすれば長期使用に耐えるであろう。

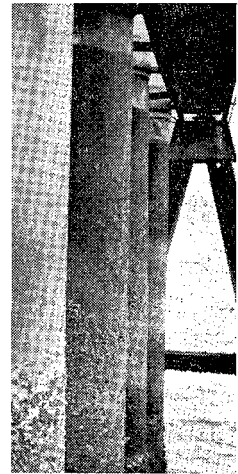
これとは反対に手入れの十分でなかった東京兜町の鐵橋は、さびのため危険となり、新しい橋に架け替えられた。

鉄の本来の姿はさびるものであって、さびない状態は鉄のかりそめの姿であり、手抜きをすると直ちにさびて、またもとの天然の土に戻ってしまう。

5. 海洋構造物はどうすればよいか

鉄鋼使用による海洋構造物は、最も悪条件下の環境に設置されるため、防せいは甚だ重大な課題である。海洋構造物は 3 つの部分に分けて考えなければならない。最上部は全く海水にあたらぬ部分で、これは一般の陸上構造物と同じである。その下に海水に濡れたり、乾いたりする部分がある。この部分は最もさびの甚だしい部分である。その下の部分は、常に海水中にある部分であることから、さびを防ぐためには、電気防食が最も有効である。着底式の海洋構造物では、さらに下部に土中部があるが、これについては別記する。

最上部の大気中の鋼材の防食は、他の陸上構造物と同



写真—3 栈橋脚部

じようにジンクリッチペイントやプラスチックペイントで被覆する方法が取られる。その下の飛沫帯は、腐食が最も激しいため、ここでは重塗装が必要である。海水中は 0.05 mm/年 程度のさびであるが、水深が増せばさびは少なく、温度が低下するとさびは減少する。対策としては、電気防食が専ら採用されている。古くは外部電源法が多かったが、最近では流電陽極法が多い。電気防食が採用されるようになったのは戦後のことで、昭和 27 年運輸省尼崎港湾建設工事所（所長：佐藤 肇、後の港湾局長）で東京工業試験所技師重野隼人（現・中川防蝕会長）の指導によって、鋼矢板岸壁に応用された。これによって港湾建設における鋼矢板の使用の門が開かれ、大型港湾建設が促進され、天然資源の全くない日本に世界で最も安く、良質の工業原料を豊富に運べるようになり、日本の経済急成長の基を築いたといっても過言ではないだろう。世界 GNP 総額の 10% までに日本経済が発展した出発点は、尼崎港における鋼矢板の電気防食からである。

6. 土の中の鉄はさびるか

土の中で鉄を利用した構造物には 2 種類ある。一つは鋼材を杭のように鉛直方向に使用するものであり、他は鋼材を配管のように水平方向に使用するものである。土中の鋼構造物の寿命は鋼材の腐食によって決定される。この腐食量は使用場所の環境によって異なるが（土質および地下水質）大体 0.01 mm/年 程度である。鋼材倶楽部では、鋼杭の腐食について土質工学会に研究を委託し、大崎順彦前東大教授にとりまとめをお願いした。

試験方法は、全国 10 か所に試験杭群を設置し、2 年、5 年、10 年後に引き抜き腐食量を測定した。測定結果は場所により多少の差はあるが、腐食率 0.01 mm/年 を見れば十分であることが判明した。また、時間とともに

に腐食率は低下し、構造物としては安全の方向にある。

土中の鋼材腐食については、局部電池腐食、濃淡電池腐食、細菌腐食、迷走電流腐食等があげられる。

局部電池腐食は、本文の初めに述べたように土中の水分が水酸化水素 HOH となり、これが鉄に作用し第 1 水酸化鉄 $Fe(OH)_2$ を作り、これが土中の酸素と作用して第 2 水酸化鉄 $Fe(OH)_3$ となり、さびへと発展してゆく。土中では水分や酸素の供給が大気中より少ないから、局部電池作用による普通のさびの量は大気中より少ない。特に、鋼管杭の内側は残存する酸素はさびに使われ、外部からの酸素の供給がないので、ほとんどさびは進行しない。

濃淡電池腐食は、杭が土質、水質の異なる層を貫いて打込まれると、この場所に濃淡電池の作用を発生する。この電氣的ポテンシャルのため電流を生じ腐食を発生する。この腐食は杭全体に及ぶものでなく、水質、土質に不連続な段差の生じた場所のみ発生する。

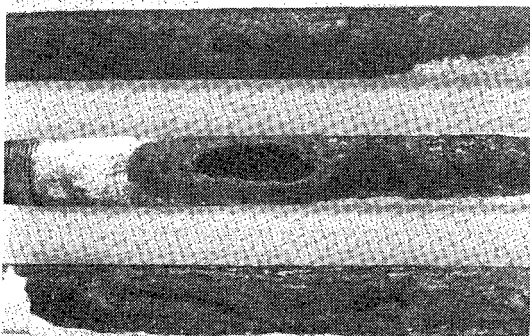
細菌腐食は有機物を細菌が消化し、生化学反応を起こし、蛋白質の分解により H_2S を生じ、硫化鉄 FeS となって鉄がさびてゆく。

迷走電流腐食は地中に電流が流れるもので、電車軌道は直流電車モーターのアースの役をなし、電気施設のアース、電気防食の電流等が迷走電流の原因となっている。迷走電流は鋼杭のように鉛直のものには被害はないが、水道配管、ガス配管のように水平に走っている鋼構造物は被害を受けやすい。孔があいて水道管、ガス管として使用できなくなる。

しかし、一般的にいて土中の鉄は、思ったよりはさびないものである（大崎順彦：鋼ぐいの腐食，鋼材倶楽部，参照）。

7. さびない鉄の発見——ステンレス

鉄は元来さびるものであるもので、鉄で作った鋼構造の寿命を延ばすための対策を述べたのであるが、さびない



写真—4 孔食を生じた配管

鉄があればそれに越したことはない。

鉄に他の金属を入れてさびを止めようと試みた。たとえばクロム (Cr) を入れる試みは早くから行われた。少量のクロムを入れると鉄の原子の組織が乱されて、腐食を促進することがわかっていた。Cr の量を増せば増すほど腐食は大きくなった。しかし、もっと Cr を増量して、13% を越えると腐食しないことが偶然にも発見された。今から 70 年前である。

イギリスの研究所で大砲の地金を強くするために高クロム鋼を試作したが、使いものにならないのでスクラップとして捨てた。しばらくしてこの鋼が全くさびないことが発見され、今日のステンレス鋼の出発となった。クロム 13% 以上、シングルクロムステンレス鋼の誕生である。間もなくドイツにおいてクロムとニッケルの鉄合金が発見された。クロム 18%、ニッケル 8% のいわゆる 18-8 ステンレス鋼が誕生した。

ステンレス鋼はさびない上に加工が容易であるので、器具、工具や住宅の台所設置、浴槽等に多く使われている。さびをきらう配管には、これらの鋼管が大きくなって変りつつあり、設備のユニット化が進むようになれば、さらに大きなマーケットを持つことになる。ただ残念なことに、強度が小さいので直接的に土木材料として用いられることは少ない。

8. さびにくい鉄の応用——耐候性鋼

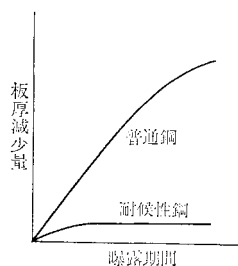
強度が十分あって、さびない鋼材があれば、橋梁等に甚だ便利である。これに応える鋼材が 1962 年 US Steel 社から発表された。大気中でさびは生ずるが、その組織が非常に緻密であるため、大気の浸入を抑制してさびが進行しないようになるのである。

耐候性鋼は、その成分として耐候性に効果のある元素として P, Cu, Cr, 促進効果のある元素として Ni, Mo, Al, その他の元素として Si, C, Mn, S を含んでいる。

加工性は多少劣る点もあるが、技術的にはすべて解決されており、また、強度も十分あることから今日わが国でも橋梁に多く使用され、さらにはこれを伸ばさなければならぬとされている。わが国でも耐候性鋼は 20 年

の歴史を持ち、鉄鋼各社独自の耐候性鋼を開発している。

耐候性鋼の最も有利な使用法は、鋼材の表面処理も塗装もしないで、いわゆる裸使用することである。橋梁を例にとってみても、その使用場所



図—2 曝露による板厚減少量

の環境条件は必ずしも一様ではない。

耐候性鋼のさびの状態を日本全国津々浦々にわたって調べる研究が2年前にスタートした。鋼材倶楽部は、建設省土木研究所、橋梁建設協会等と協同して研究委員会を設置した（耐候性鋼材の橋梁への適用に関する研究委員会、委員長：伊藤学東京大学教授）。

北海道から沖縄に至るまでの41橋梁に、各々144枚の試験片、合計 $41 \times 144 = 5904$ 枚を取り付け、1年目、3年目、5年目、7年目、9年目にさびの量を測定することになっている。

曝露期間が長くなるに従って普通鋼材は厚板減少量が大きくなり、このままでは橋梁に裸使用できない。一方耐候性鋼材は初期のさび発生はあるものの、緻密な表面さびによってその後のさびの生成はなく、板厚の減少は止まり、鋼材は安定し、橋梁も安全である。この状態を安定さびと呼んでいる。

しかし、耐候性鋼でも、材質により、使用場所により、使い方により、安定さびの生じない場合もあり得る。

今回の曝露試験は耐候性鋼材の適用性についての試験であるが、このような大規模試験は世界最初である。

なお、橋梁の腐食については鋼材の性質（耐候性）によって防ぐとともに、設計においても耐候性鋼材の性能が最もよく発揮できるように配慮すべきである（たとえば、ボ

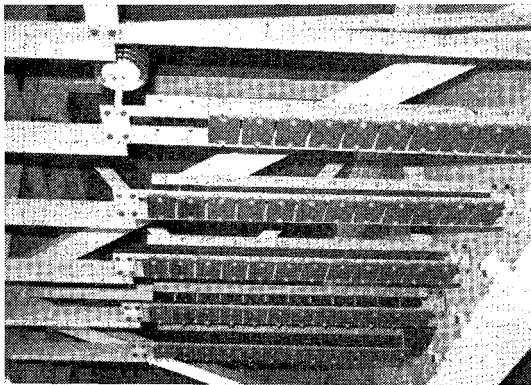


写真-5 曝露試験片

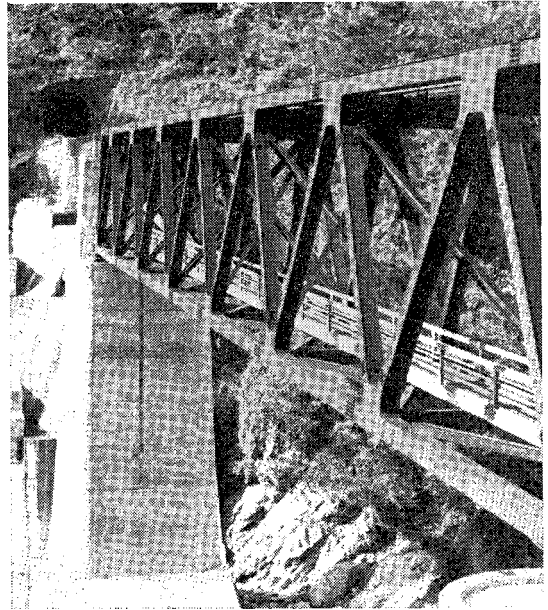


写真-6 耐候性鋼材を用いた橋梁（会津線・第3大川鉄橋）

ックスガーダーの内側の結露をいかに防ぐか等）。

おわりに

繰り返し述べたように、鉄はさびやすいものである。しかし、努力次第で必要な期間さびないで使用できる状態を維持することは容易である。構造物がさびることは、国民経済の大きな損失であるばかりでなく、これに携わる技術者の恥である。それにしてもさびにくい鋼があればそれにこしたことはない。その意味で耐候性鋼の研究は立派な成果を期待してやまない。

鋼材倶楽部は、ユーザーの方の立場に立って鋼材を最も有効に使っていただく各種のテーマを取り上げて研究を進めている。鋼が社会のために少しでも多くお役に立つこと念願してやまない。

（1984.8.1・受付）