

# C 異種材料接触腐食の評価技術 (腐食原理、試験・CAE解析)

異種材料が接触して同時に腐食環境にさらされると腐食しやすい材料の腐食が加速される。この現象は「異種材料接触腐食」、「ガルバニック腐食」、あるいは、本来の定義とは異なるが通称として「電食」と呼ばれる。異種材料の接触は、従来から、あらゆる分野で存在し、とくに、自動車などの輸送機分野では軽量化のためのマルチマテリアル化によって増えている。近年多用されているCFRP(Carbon Fiber Reinforced Plastics: 炭素繊維強化プラスチック)は炭素繊維を含むことから接触する相手材の腐食を加速しえる。

本稿では、異種材料接触腐食の原理、試験、および、CAEによる解析を紹介する。



技術本部 材料ソリューション事業部 材料評価技術部 和田 浩司  
技術本部 計算科学センター やまぐち たつや 山上 達也

## C-1 異種材料接触腐食の原理

### 1.1 腐食の一般原理

腐食は材料と環境のそれぞれの反応が組み合わさって起こる。材料の反応をアルミニウム(Al)を例に式(1)に、環境の反応を塩酸(HCl)水溶液を例に式(2)に示す。



式(1)のように電子(e<sup>-</sup>)を放出する反応をアノード反応、式(2)のように電子を受け取る反応をカソード反応と呼ぶ。材料のアノード反応で放出された電子を環境のカソード反応が受け取ることで腐食が進行する。2つの式を1つにまとめると式(3)となり化学反応式の形となるが、アノード反応とカソード反応による電子の授受をとまなうため、腐食は電気化学反応である。

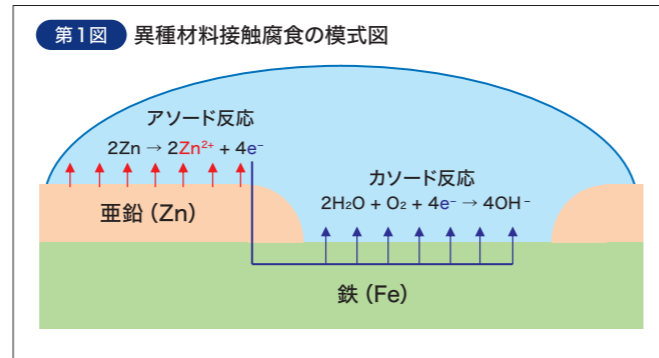


中性環境では、水(H<sub>2</sub>O)と大気から水に溶け込んでいる酸素(O<sub>2</sub>: 溶存酸素)が電子を受け取る式(4)がカソード反応となる。



### 1.2 異種材料接触腐食の原理

異種材料接触腐食の例として、中性環境中で亜鉛(Zn)と鉄



(Fe)が接触して亜鉛が腐食している様子を第1図に示す。腐食しやすい亜鉛の表面でアノード反応が生じ、放出された電子(e<sup>-</sup>)が材料中を流れ、鉄表面でのカソード反応で消費されることで亜鉛の腐食が進行する。鉄表面でのカソード反応量が亜鉛のアノード反応量となるため、鉄の表面積が大きくなると亜鉛の腐食が加速される(電気化学的な観点での説明は後述)。したが、異種材料接触腐食は、両材料の面積比によっても加速度が変動する。

逆に、鉄は腐食が抑制される。これを亜鉛による犠牲防食と呼んでいる。この原理がもちいられているのが亜鉛めっき鋼板で、何らかの原因で被覆された亜鉛の一部に欠陥が生じて鋼板表面が露出しても欠陥周辺の亜鉛が優先して腐食するため、鋼板が守られる。なお、約60℃以上では水質によっては亜鉛と鉄の腐食性が逆転し、むしろ、鉄の腐食が加速されるため、注意が必要である。

試験体は、母材となる各種材料の板に異種材料をチタンのボルトやナットで締結して作製した。チタンとの異種材料接触腐食を避けるために樹脂製のワッシャーをもちいて電気絶縁した。第2図に示すとおり、試験体を塩水噴霧試験機内に並べて設置し、50g/Lの食塩水(NaCl水溶液)を162時間噴霧した。

アルミニウム単体、および、アルミニウムに各種異種材料を締結した試験体での結果を第3図と第4図に示す。腐食速度は、試験後、異種材料を取り外し、アルミニウムに発生した腐食生成物をJIS Z2371の附属書JBに記載されているりん酸-クロム酸水溶液で除去して重量を測定し、試験前との単位面積当たりの重量変化量で算出した。試験面積は、アルミニウム表面が露出している塩水が噴霧された面の寸法から求めた。

アルミニウム単体の腐食速度は0.3mg/cm<sup>2</sup>/162hで、電気導通しない樹脂を締結しても腐食速度は変わらなかった。一方、ステンレス鋼、炭素鋼、および、CFRPを締結した場合、アルミニウムの腐食速度が単体にくらべて7倍以上大きくなった。

CFRPは表面が樹脂で覆われていて電気導通しないこともあるが、今回もちいたCFRPの表面にテスターを当てると電気抵抗が小さい部位、すなわち、炭素繊維が露出している部分があった。接着剤での接着性向上のためにCFRP表面を研削すると炭素繊維露出のリスクがさらに高まるので、接着剤で十分に覆い尽くすなどの注意が必要である。

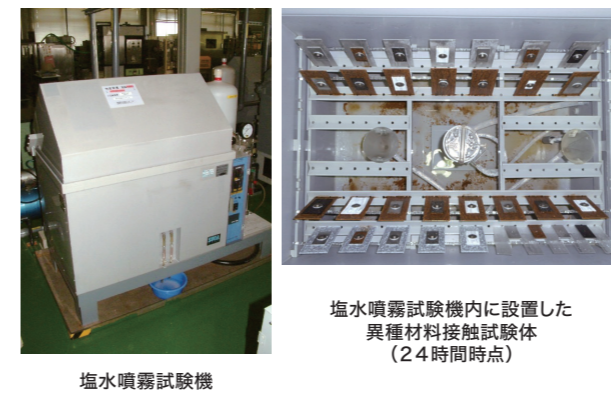
材料単体ではステンレス鋼の方が炭素鋼より耐食性に優れ、この観点でステンレス鋼の方がアルミニウムの腐食を加速させようであるが、結果は逆となる。これは、ステンレス鋼表面に不動態皮膜(酸化皮膜)が存在し、これがアルミニウムとの接触部で抵抗となって炭素鋼より電子を流しにくくしているためである。また、炭素鋼はアルミニウムからの犠牲防食で腐食速度が抑制されているが腐食しており、腐食生成物の還元反応によるカソード反応の増大によってアルミニウムの異種材料接触腐食が増したためである。

カソードとなる異種材料の面積比が大きい試験体で母材の腐食速度がさらに増大した結果もえている。

## 2.2 異種材料接触腐食の電気化学反応挙動からの解析

電気化学反応は電子の授受をとまなう、すなわち、電流が流れる反応であり、電気回路でのオームの法則(V=I・R)のような関係がある(電気化学反応の関係式は後述)。電気化学反応では、電気回路で言うI-V曲線を「分極曲線」と呼ぶ。分極曲線測定の模式図を第5図に示す。試料に導線を取り付け、測定面(通常は□10mm)以外を樹脂などでマスキングしている。ポテンショスタットにて、参照電極をもちいて試料の(電気化学では「電圧」ではなく)「電位」を制御し、電気化学反応で流れる「電流」を測定する。対極は、試料から流れ出す電流、あるいは、試料に流れ込む電流を打ち消すためのものであり、試料の電気化学反応に直接は関与しない。対極には通常、耐食性が良い白金をもちいている。試料極、参照電極、対極の3極をもちいるので「3極式」と呼ばれるが、試料の1極のみが電気化学反応に関与している。陽極(+極)と陰極(-極)の2極間に「電圧」を加え、両電極の電気化学反応が関与する「2極式」とは異なる。なお、CFRPのように導線との接触部で電流が流れにくい材料の測定では、接触させる異種材料も併用した試料作製を工夫している。

第2図 塩水噴霧試験の様子



塩水噴霧試験機

塩水噴霧試験機内に設置した異種材料接触試験体(24時間時点)

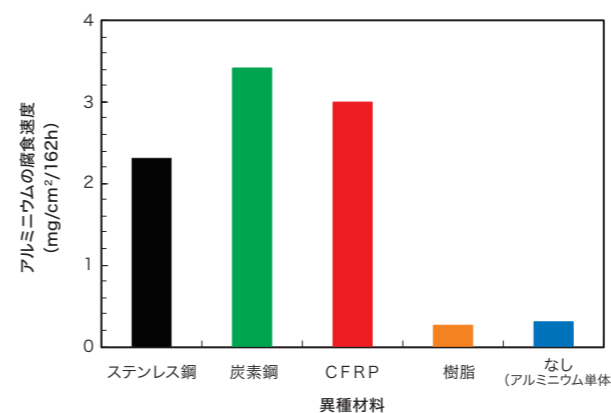
第3図 異種材料接触試験体の塩水噴霧試験162時間後の外観



ステンレス鋼 炭素鋼 CFRP 樹脂 なし(アルミニウム単体)

各種異種材料を締結したアルミニウム板(150×70mm)

第4図 各種異種材料を締結したアルミニウム板の腐食速度



第5図 分極曲線測定システム(3極式)

