

# 湿潤環境下におけるアルミニウム合金の脆化特性に関する研究(第2報)

勝又 信行・星野 昌子

## Effect of Corrosion on Mechanical Properties of Aluminum Alloys (2nd Report)

Nobuyuki KATSUMATA and Shoko HOSHINO

### 要 約

アルミニウム合金の腐食による機械的性質の変化を調査するために、模擬腐食環境下で腐食させたアルミニウム合金に対し、引張試験、衝撃試験を行い、腐食深さが機械的性質の変化に与える影響を調査した。アルミニウム合金には、A6061とA7075改良材を用い、塩酸と過酸化水素を添加したイオン交換水中で局所的に腐食を生じさせた。腐食速度は、塩酸濃度の影響を受け、高濃度の方が腐食速度は大きくなった。腐食後の機械的性質の変化を調査したところ、引張強さは、腐食が発生しても大きく低下しなかった。一方、シャルピー衝撃吸収エネルギーは、わずかな腐食でも大きく低下し、機械的に加工したノッチと比較した場合、小さな値であった。以上のことから、表面に発生した腐食は、引張強さにはあまり影響しないが、衝撃吸収エネルギーの著しい低下をまねくことが明らかになった。

### 1. 緒 言

アルミニウム合金は、軽量という特徴を生かし、輸送機器をはじめさまざまな分野で利用されている。アルミニウム合金は、ベースとなるアルミニウム自体のイオン化傾向は卑であるが、表面に緻密な酸化膜が形成されるため、中性雰囲気での耐食性は比較的良好である。そのため耐食性に優れた合金では表面処理を施さずとも使用でき、また耐食性が要求される場合には、陽極酸化や塗装の表面処理を行い、使用されている。

アルミニウム合金は、化学成分により非熱処理型と熱処理型に大別でき、機械的性質を幅広く調整できる。非熱処理型と熱処理型を比較した場合、非熱処理型は強度が低いものの耐食性に優れ、熱処理型は高強度であるものの耐食性に劣る、というようにそれぞれ長所短所を有している。

アルミニウム合金の耐食性については、古くから大気暴露試験やアルコールによる腐食<sup>1)</sup>、応力腐食割れ<sup>2)</sup>、腐食雰囲気での疲労強度<sup>3) 4)</sup>など、数多くの研究が行われてきた。これまでの多くの研究により、海岸や海水中などでの腐食速度や孔食の発生機構、腐食環境下での疲労限などについて報告されているが、比較的単純なモデルである腐食深さと機械的性質の関係についてはほとんど調査されていない。前述したとおり、アルミニウム合金は、ほとんどの場合、表面処理により耐食性を向上させたのち使用されているが、何らかの原因により表面皮膜が破壊され、素地があらわれた場合、そこを起点に孔食や粒界腐食、全面腐食が発生し、美観の低下を招くと

ともに構造物の破損につながる恐れがある。経験的に腐食が構造物の破損の起点になることは容易に想像できるが、破損の起点となるための腐食深さについてはほとんど知られていない。これまでに疲労強度を中心に腐食と材料強度の関係について数多くの研究が行われてきたが、腐食環境が自然環境であるため評価に長期間を要し、また腐食深さではなく腐食時間との関係でまとめられているため、腐食状況との関係については十分把握できていない。

そこで本研究では、模擬腐食環境下で腐食させたアルミニウム合金の腐食深さと機械的性質の関係について調査した。

### 2. 実験方法

供試材には、展伸用アルミニウム合金であるA6061-T4(以下、A6061)、A7075改良材-T651(以下、A7075改良材)の圧延板(板厚3mm)を、図1に示す引張試験片、衝撃試験片と腐食深さ測定用試験片(幅10mm、長さ20mm)に機械加工したものをを用いた。

引張試験片と衝撃試験片は、局所的に腐食を生じさせるために、腐食させない部分を被覆し、保護した。引張試験片は、平行部の中央部分を約2mm幅で露出するようにビニルテープで被覆した。また衝撃試験片は、一般的なシャルピー衝撃試験片のノッチに相当する部分を腐食部とするために、この部分を約2mmの幅で露出するようにビニルテープで被覆した。腐食深さ測定用試験片は、機械加工した試験片の中央部が約2mm露出するように両

撃試験結果は、一般的な衝撃試験片とは異なる試験片寸法であるため、吸収エネルギー (J) で求めた。

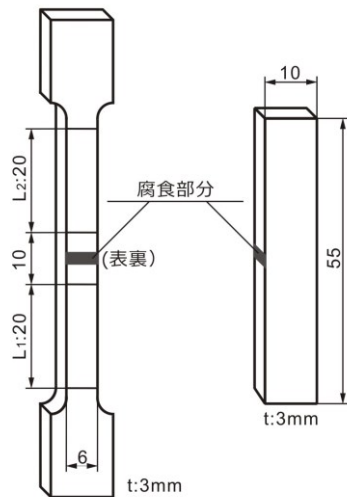


図1 試験片 概略図

表1 腐食条件

合金名	A6061		A7075 改良材	
	6A	6B	7A	7B
条件				
腐食液	HCl	10	4	10
(ml)	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	20		
	H <sub>2</sub> O	1000		
液温(K)	293±2			

端をビニルテープで被覆したものを用いた。引張試験片、衝撃試験片は各3本を1組とし、これに腐食深さ測定用の試験片を加えて模擬腐食環境下に設置した。

試験片の腐食は、表1に示す2種類の腐食液中を用い、その腐食液中に試料を浸漬させて行った。この腐食液中に試験片を浸漬し、スターラーで搅拌しながら、液温293±2Kとした。この腐食液に前述の試験片を所定時間浸漬させることでアルミニウム合金表面に腐食を発生させた。所定時間の浸漬終了後、試験片を純水で洗浄し、乾燥させた。

腐食深さは、腐食した部分を切断、断面研磨した後、金属顕微鏡で観察して測定した。

引張試験は、万能材料試験機（オリエンテック社 RTC-1310）を用い、試験速度2mm/minで行った。引張強さと耐力を算出する際の断面積は、腐食による寸法減少を含まない原断面積を用いた。伸びは、試験片平行部に20mmの標点を2カ所けがき、試験後の標点長さとの差から求めた。

衝撃試験は、森試験機製作所 シャルピー衝撃試験機（秤量300J）を用い、試験温度は室温とした。なお衝

### 3. 実験結果および考察

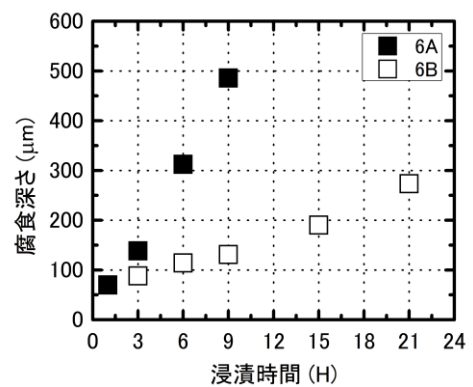
#### 3-1 浸漬時間と腐食深さの関係

図2に腐食液A,Bに浸漬したときの浸漬時間と腐食深さの関係を示す。ここで腐食深さは、一様ではなく観察位置により変化するため、4視野の平均腐食深さで求めた。A6061, A7075 改良材のいずれの場合においても浸漬時間の増加とともに腐食深さは増加した。

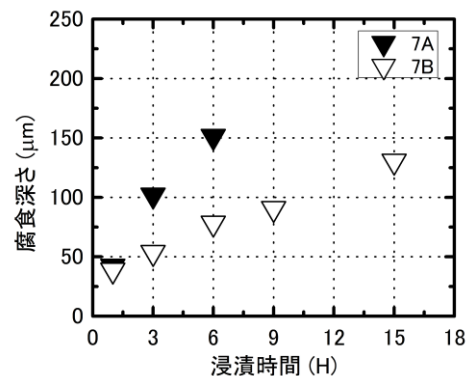
#### 3-2 腐食による機械的性質の変化

図3,4に腐食後のそれぞれの合金の材料試験結果を示す。ここで横軸はそれぞれの条件における平均腐食深さで示した。

A6061の場合、引張強さは腐食深さが約100μm付近から徐々に低下した。腐食後の引張試験において、腐食深さ約90μmまででは、破断は腐食部以外で発生し、それ以上になると腐食部で破断した。このことから、腐食深さが90μm以上になると応力集中を起こし、破壊の起点になると考えられる。一方、伸びは、腐食により大きく低下し、腐食深さ約100μmで腐食前の約55%まで低下し、腐食深さの増加に伴い、さらに低下した。



(1) A6061



(2) A7075 改良材

図2 浸漬時間と腐食深さの関係

吸収エネルギーは、腐食の初期段階から大きく低下し、腐食深さ約 100  $\mu\text{m}$  で 30%、約 200  $\mu\text{m}$  では 25%まで低下した。ここで衝撃試験において、局所的な腐食がノッチとして作用したことを確認するために、先端半径 5mm のボールエンドミルでノッチを加工した試験片に対し同様に衝撃試験を行い、腐食させた試験片と機械加工による試験片を比較した。ここでノッチ深さは、切削加工の切込み深さで表記した。試験片にノッチ加工を施した試験片の場合、ノッチ深さが 200  $\mu\text{m}$  で初期値の約 66%まで低下したが、この値は腐食させた試験片と比較すると大きい。このことから、局所的な腐食は切欠きとして作用し、その影響は、機械加工による切欠きよりも大きくなることが確認できた。これは、腐食が局所的に材料内部の深くまで進展していたためと考えられる。

A7075 改良材の場合、引張強さは浸食深さ約 150  $\mu\text{m}$  までは腐食前と同程度であった。また腐食深さが約 100  $\mu\text{m}$  までは腐食部以外で破断したが、それ以上になると腐食部で破断した。このことから、腐食深さが 100  $\mu\text{m}$  以上になると応力集中を起し、破壊の起点になると考えられる。

衝撃試験における腐食深さの影響について検証するため、A6061 と同様に先端半径 5mm のボールエンドミルでノッチを加工した試験片を作製し、同様に吸収エネルギーを測定し、腐食試験片との比較を行った。ノッチを加工したことで吸収エネルギーは低下し、ノッチ深さが 150  $\mu\text{m}$  では初期値の 70%まで低下した。それに対し、腐食させた試験片の場合、腐食深さ約 100  $\mu\text{m}$  で初期の 60%程度まで低下した。このことから、A7075 改良材も A6061 と同様に局所的な腐食は切欠きとして作用し、その影響は、機械加工による切欠きよりも大きくなることが確認できた。

A6061, A7075 改良材のいずれも塩酸濃度の低い 6B, 7B の方が腐食速度は小さい。それぞれの腐食条件ごとの腐食深さと機械的性質の関係をみると、いずれも腐食速度に関係なく、単純に腐食深さが増加するにつれ減少した。このことから、腐食環境により腐食速度が異なる場合でも腐食深さを測定することで、機械的性質の劣化を予測できると考えられる。

ここで、前報<sup>5)</sup>で検討した A2017、A5052 も含めて、腐食速度と腐食深さと衝撃吸収エネルギーの関係をまとめた結果を図 5、図 6 に示す。図 5 は腐食液 B による 4 種類の合金の浸漬時間と腐食深さの関係である。4 種類の合金の腐食速度を比較すると、A5052 が最も遅く、次いで A7075 改良材であり、A2017 と A6061 は初期の腐食速度に違いがあるものの、腐食時間 6 時間以上では同程度であった。

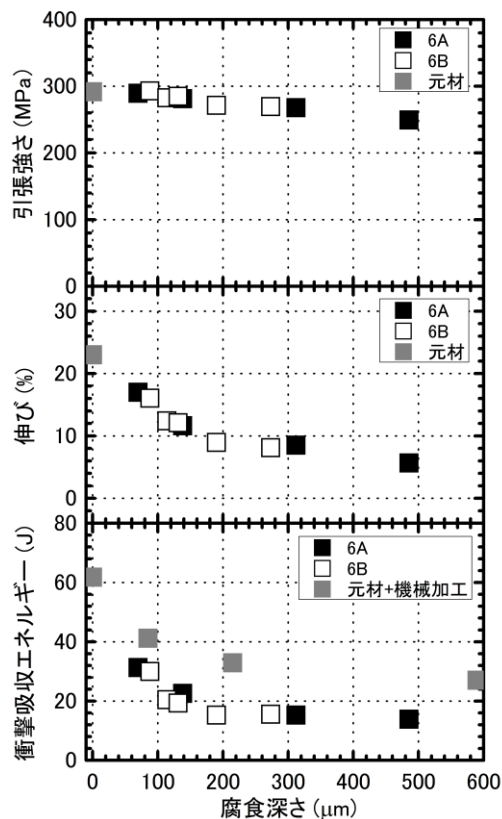


図 3 腐食後の機械的性質の変化 (A6061)

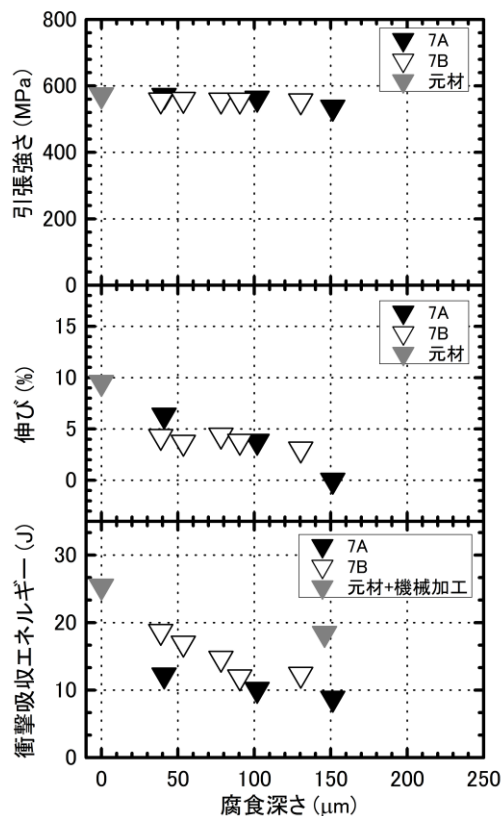


図 4 腐食後の機械的性質の変化 (A7075 改良材)

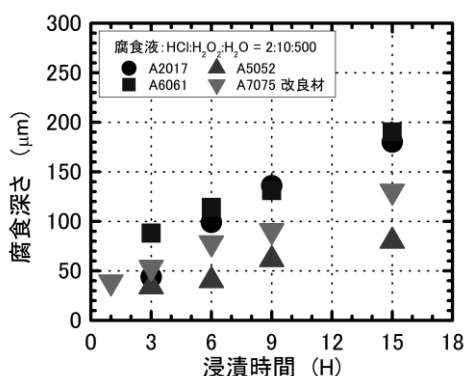


図5 浸漬時間と腐食深さの関係

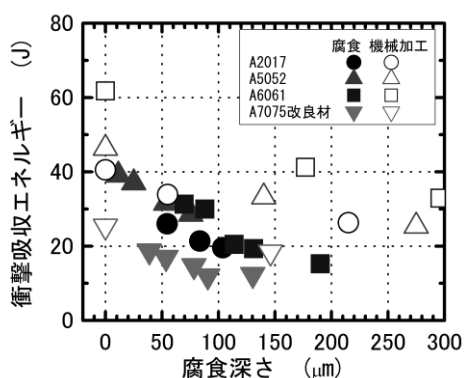


図6 腐食深さと衝撃吸収エネルギーの関係

また、腐食深さと衝撃吸収エネルギーの関係から、いずれの合金も腐食により衝撃吸収エネルギーは低下し、その度合いは、機械加工によるノッチよりも大きかった。いずれの合金も腐食による引張強さの低下はわずかであったことから、構造部材として用いる場合、静的荷重の負荷であれば腐食の影響は少ないと考えられる。しかし、衝撃的な荷重が負荷される状況の場合、腐食痕は打痕等の機械的なくぼみよりも衝撃吸収エネルギーの低下が大きいため、腐食には注意する必要があると考えられる。また衝撃吸収エネルギーは、腐食の初期段階で大きく低下するため、腐食を生じさせない対策が重要であると考えられる。

#### 4. 結言

A6061 と A7075 改良材について、模擬環境下で局所的に腐食させたときの腐食深さと機械的性質の関係について調査した結果、次のことが明らかになった。

- 腐食による引張強さの変化を調査したところ、A6061, A7075 改良材のいずれにおいても腐食深さが 150 μm 程度までであれば、引張強さは低下しなかった。いずれの合金も腐食深さが約 100 μm 以上になると腐食部

から破断した。

- 衝撃吸収エネルギーは、腐食により大きく低下し、A6061 では、腐食深さ約 100 μm で初期値の 30%程度まで低下し、切削加工で切欠きを加工した場合よりも小さな値であった。A7075 改良材の場合、腐食深さ約 100 μm で初期値の 60%まで低下した。いずれの合金も切削加工で切欠きを加工した場合よりも小さな値であった。
- A2017、A5052、A6061、A7075 改良材の腐食速度を比較したところ、A5052 が最も遅く、次いで A7075 改良材であり、A2017 と A6061 は初期の腐食速度に違いがあるものの、腐食時間 6 時間以上では同程度であった。

#### 参考文献

- 土田 敬之：Zairyo-to-Kankyo, Vol. 53, No. 1, P. 44 (2004)
- 伊豆 正弥, 皆川 一泰, 佐藤 栄一：軽金属, Vol. 33, No. 7, P. 386 (1983)
- 竹内 勝治：軽金属, Vol. 16, P. 110 (1955)
- Haftirman, 服部 修次, 岡田 庸敬：日本機械学会論文集(A編), Vol. 62, No. 597, P. 1140 (1996)
- 勝又 信行, 星野 昌子：山梨県工業技術センター研究報告, No. 27, P. 73 (2013)