

CuAlMn 超弾性合金 形状記憶合金 プレース
 耐食性 海岸地 塩水噴霧

1. はじめに

超弾性合金は常温環境下で形状記憶効果を発揮する形状記憶合金であり、建築の耐震要素として繰り返し地震や長時間地震に対して非常に期待できる。昨今、銅を主成分とする CuAlMn 超弾性合金の研究が進んでおり、長期間使用に対する材料の耐食性の確認が重要となる。建築においては、海塩粒子が腐食速度に大きく影響するイオン付着物としてあげられる。本研究では、超弾性合金を耐力壁として壁体内で使用することを想定し、海岸地での耐食性の検証を目的とし、塩水噴霧による促進試験を実施した。

2. 超弾性合金の概要

CuAlMn 超弾性合金は Cu を主成分とし、7~10%が Al、8~13%が Mn で構成されている。熱処理により結晶粒を成長させることも可能であり、結晶状態を図1の通り、多結晶、非単結晶及び単結晶と示す。非単結晶材は破断が粒界面部で決定することがあるため、伸び性能の点においては、単結晶材を用いることが望ましい。ここでは、試験体仕様として非単結晶及び単結晶を用いて、結晶状態の腐食に対する影響を確認する。

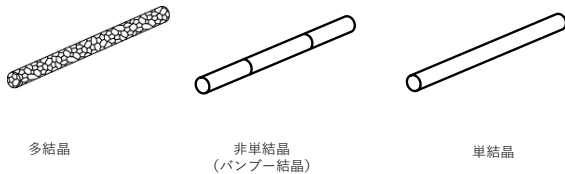


図1 CuAlMn 超弾性合金の結晶状態

3. 試験概要

実環境での劣化度合いを確認するため、複合サイクル試験 (JASO M 609/以降 CCT 試験) を実施した。塩水噴霧 (5±0.5%NaCl, 35±1℃) 2 時間→乾燥 (60±1℃、20~30%RH) 4 時間→湿潤 (50±1℃、95%RH 以上) 2 時間の複合サイクルを 50、100 及び 150 回行う。試験体は結晶状態の異なる 2 仕様とし、各サイクル経過後の表面観察及びひずみ 3%までの引張試験、150 サイクル後は破断試験を実施した。単結晶材の試験片については各サイクル経過後の SEM-EDX 観察も行った。ここで、鉄の CCT 試験においては 50 サイクルを長期優良レベルとし、より厳しい環境を想定し最大 150 サイクルまで評価している。

表2 CCT 試験体概要

サイクル数	試験体仕様		評価方法
	単結晶	非単結晶 中央粒界	
50	3本	0本	SEM EDX
100	3本	0本	
150	3本	0本	
各サイクル経過観察	3本	3本	各サイクル後 表面観察及び3%引張試験 150サイクル後 破断まで引張試験

4. 1. 表面観察

各試験体の試験前及びサイクル経過後の様子を図3に示す。複合サイクル数増加と共に表面腐食が進み、50 サイクル後には赤色物質、100 サイクル経過後には白色及び黒色物質が確認された。150 サイクル後には全体的に黒みを帯びた。表面観察では単結晶と非単結晶に目立った差異は観られない。

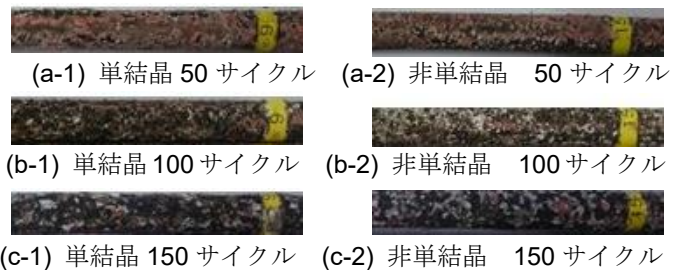


図3 各サイクル経過後の表面状態

4. 2. SEM-EDS 分析

各サイクル経過後に腐食部を円周方向及び長手方向の切断し SEM 観察及び EDX 分析した。図4に 50 サイクル経過後の SEM-EDS 分析結果を示す。EDX 分析から表層部の Al が少なく SEM の白色部分で Al 及び O が非腐食部分と比較して多い。一方、Cu は少なく、わずかに内側のところで多くみられる。100 サイクル、150 サイクル後でも同様の傾向がみられる。表面で Al がイオン化して溶け出し、さらに表面の腐食により生じたひび割れから浸透した塩水により、酸化アルミニウムが内部に出来たことが推測できる。(図5) サイクル数が増えると、マンガン及び銅の酸化物の形成が推測される。図6の長手方向の断面分析をすると、50 サイクルで一部、100、150 サイクルで全体に浸食が確認できた。最大浸食深さは 50 サイクル

0.15mm、100 サイクル 0.25mm、150 サイクル 0.35mm である。特に腐食が観られた箇所の SEM 像を図 7 に示す。図中の赤線は、腐食の観られた箇所を示す。半周分程度腐食している箇所があることがわかる。最も腐食の観られた箇所が約 150 μm 程度進行しており、半周分の外周全て 150 μm 腐食されていたとすると、約 2.7% 断面欠損したことになる。

複合サイクル試験前の断面積： $(5.5)^2 \times \pi = 95\text{mm}^2$
 腐食した断面積： $((5.5)^2 \times \pi - (5.35)^2 \times \pi) = 2.55\text{mm}^2$

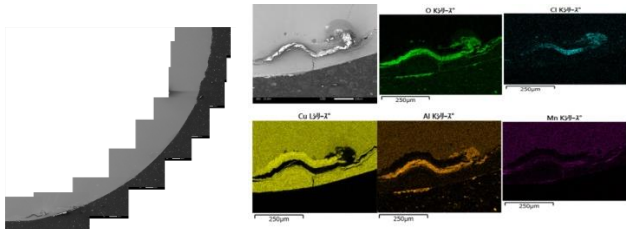


図 4 50 サイクル経過後

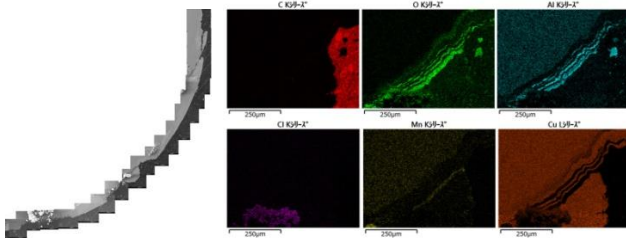


図 5 150 サイクル経過後

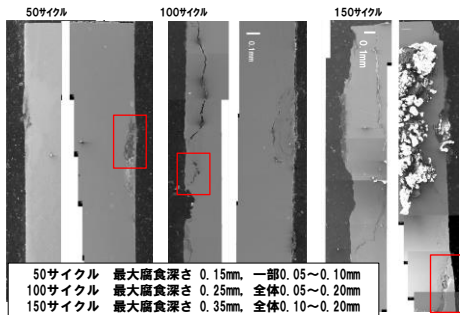


図 6 長手方向断面 SEM 像

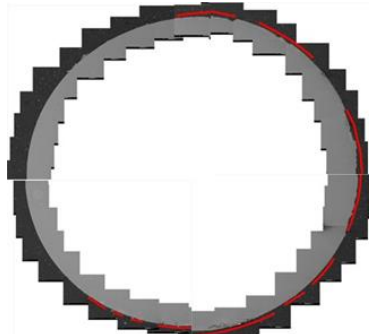


図 7 50 サイクル経過後の断面

4. 3. 引張試験

3%及び破断までの引張試験結果を図 8 に示す。150 サイクル後も荷重低下は観られず、破断伸び及び破断面形状は正常な挙動を示した。150 サイクル経過後の試験体の破断試験結果及び破断面を図 9 及び 10 に示す。非単結晶材は延性破断した試験体もあったが、粒界破断した試験体（図 10）もみられた。荷重変形履歴からは、粒界破断した試験片は急激な荷重低下があることが分かる。粒界破断の断面は褐色をおびており、粒界腐食が進んでいる様子が確認できる。

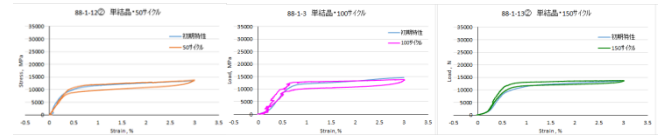


図 8 単結晶材 各サイクル経過後 3%引張試験

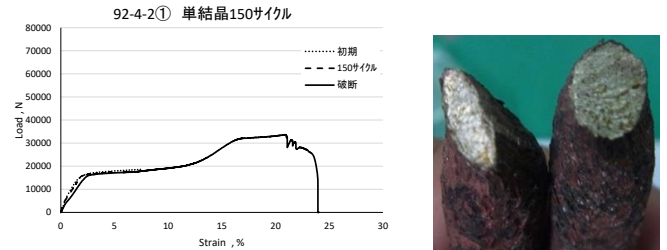


図 9 単結晶材 破断試験

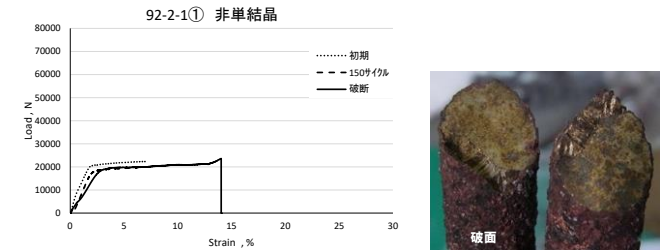


図 10 非単結晶材 破断試験

6. まとめ

CuAlMn 超弾性合金を耐力壁として壁体内で使用することを想定し、塩水噴霧の複合サイクル促進試験による海岸地での耐食性の検証を行った。検証より分かったことを以下に示す。

- ・CuAlMn 超弾性合金素地は塩水により腐食し、サイクル数を増すごとに腐食が進む。
- ・アルミの酸化物が先行して生成され、次いでマンガン、銅の酸化物生成が推測される。
- ・腐食による断面欠損が生じるが、引張試験結果より、耐力に大きな影響は与えない。
- ・破断試験により、単結晶材は破面に腐食がなかったが、非単結晶材は粒界で破断する試験体もあり、その破面では腐食が生じていたことから、粒界から腐食が進む。

*積水ハウス株式会社

**株式会社古河テクノマテリアル

***名古屋大学大学院環境学研究科 教授

*Sekisui House LTD.

**Furukawa Techno Material Co., LTD.

***Nagoya University.