

## 腐食環境下における耐候性鋼材の亀裂進展に関する研究

1070487 岡本光司

### 1. はじめに

耐候性鋼材は、Cu(銅)Cr(クロム)Ni(ニッケル)など耐候性能促進効果のある合金元素を添加した鋼材であり使用していると次第に保護性錆が生成され始め、水や空気を遮断し更なる腐食の進行を防止する。また適切に維持管理することにより、塗装を施さなくても優れた防食性能を発揮する。これはライフサイクルコストの観点から考えても大変魅力的であり、近年使用される機会が増えてきている。しかし耐候性鋼材であっても長期の使用による疲労損傷の可能性は普通鋼と同様であり、橋梁の維持管理の面からも、疲労亀裂を早期に発見することが重要である。一般的に疲労亀裂の発見方法としては磁粉探傷検査や浸透探傷検査など種々の非破壊検査があるが、橋梁中の溶接箇所や、その溶接線の長さを考えるとすべてに対して、これらの非破壊検査を行うことは非現実的である。塗装の施してある橋梁ならば塗膜割れやそこからの錆汁出現が、疲労亀裂を見つけるヒントになり、塗膜を剥し磁粉探傷検査や浸透探傷検査を行うことにより亀裂の確認が行われている。一方、耐候性鋼材は裸使用されるために、疲労亀裂がどう見えるのかがわからず、亀裂を発見する方法が現在の課題となっている。

本研究では、上記の課題が大きな問題に繋がる前に解決することを目的として、腐食環境下で耐候性鋼材の疲労試験を行い、亀裂の見え方および亀裂の進展状況を調査する。

### 2. 無腐食環境下での疲労試験

#### 2-1 疲労試験の概要

まず腐食環境下での試験と比較するため、無腐食環境下で疲労試験を行った。試験体の寸法・形状・塗装工程などを図-1と表-1に示す。試験

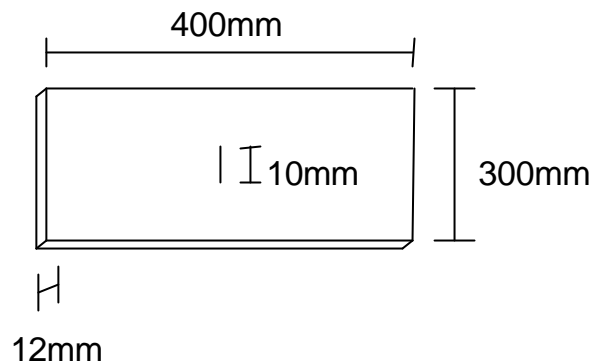


図-1 試験体の寸法

試験体	鋼材	塗装	腐食	備考
1	SM490	無	無	
2	SM490	有	無	
3	SM490AW	無	無	
4	SM490	有	有	
5	SM490	有	有	
6	SM490AW	無	有	事前の腐食有り
"	"			プラスHによる黒皮除去

鋼材	降伏点耐力 (N/mm <sup>2</sup> )	引張強さ (N/mm <sup>2</sup> )	化学成分(%)								
			C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	
SM490A	386	561	17	34	147	21	4	-	-	-	
SMA490AW	469	553	12	29	111	14	4	35	20	49	

下塗	グリーンスポイド速乾 アカサビ JPMS26 2種
中塗	グリーンスポイド JIS K5516 2種 N-7 淡目
上塗	グリーンスポイド JIS K5516 2種 N-7

表-1 試験体の概要

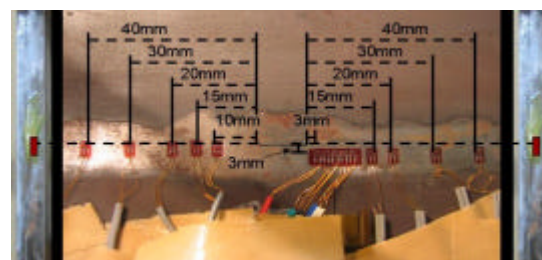


写真-1 ゲージの配置

では表-1で示す試験体1・2・3を使用する。亀裂発生位置を特定するために試験体中央部には放電加工により、長さ10mmのスリットを設けた。

写真-1にひずみゲージ貼付位置を示す。荷重範囲は、すべての実験で10～140kNとし試験中に亀裂長さとひずみ挙動を計測した。

### 3. 腐食環境下での疲労試験

#### 3-1 疲労試験の概要

次に腐食環境下で疲労試験を行った。試験体4・5で塗膜割れから錆汁が出現する環境で亀裂を観察し亀裂進展状況に変化があるか調べること及び、その環境で試験体6の試験を行う目的として腐食環境下で疲労試験を行った。写真-3の腐食装置は試験体にアクリル板で作った環境チャンバーを取り付け、横から市販の加湿器で蒸気を送り込み1時間加湿、1時間半放置し腐食させる仕組みである。環境チャンバー内は加湿中で温度30前後、湿度90%以上を保っていた。試験体4は、試験体1～3と同様に1.5Hzで載荷したが、試験体5は図-2示すサイクル、すなわち亀裂が現れるまでは2Hz、亀裂が発生したら0.75Hzで試験を行った。

写真-4の試験体6は、あらかじめ保護性錆を生成させるため2ヶ月間、研究連携センターの腐食機械(写真-3)で30分加湿、1時間半乾燥し腐食させた。しかし、緻密な保護性錆が発生せず、今後大気中での暴露を検討中である。

### 4. 結果

#### 4-1 試験体1と試験体2の亀裂の比較

塗装の有無によって亀裂の見え方に差があるか調べた。塗装がある場合は亀裂が短くても肉眼で確認できたが、塗装がない場合は顕微鏡でなければ亀裂を確認することができなかった

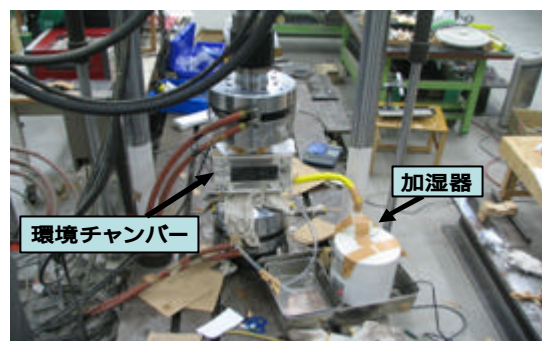


写真-2 腐食装置

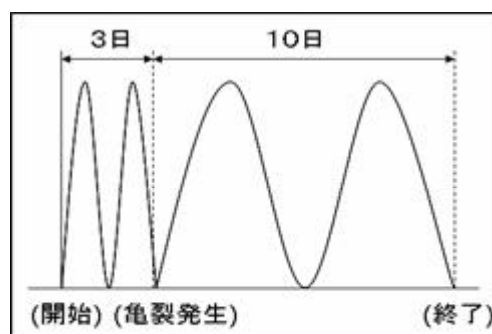


図-2 疲労試験のサイクル

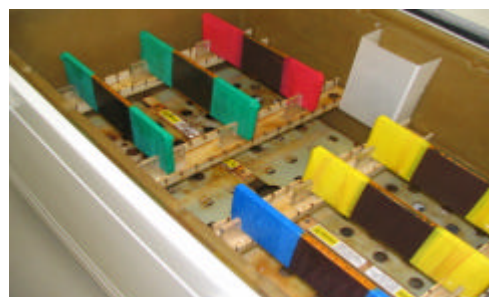


写真-3 研究連携センターでの腐食



写真-4 {左・腐食前} {右・腐食後}

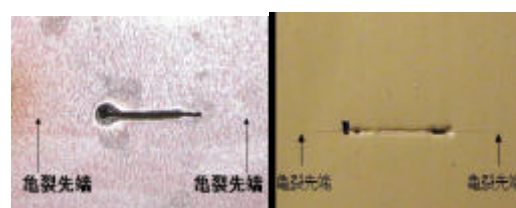


写真-5 {左・試験体1} {右・試験体2}

#### 4 - 2 試験体 2 と試験体 5 の亀裂の比較

試験体 2 と試験体 5 の亀裂について比較した。どちらも塗装を施してある試験体だが、腐食環境下で疲労試験を行った試験体 5 (写真-6・右) は塗装の膨れが見られ、また塗膜割れから錆汁が出現しており、試験体 2 (写真-6・左) に比べ、容易に亀裂を発見することができる。

#### 4 - 3 試験体 5 と試験体 6 の亀裂の比較

試験体 5 と試験体 6 の亀裂について比較した。塗膜割れから錆汁が出現している試験体 5 に比べ、試験体 6 は錆びているため亀裂が非常に見えにくい。このため、データをあまり取れないうちに破断してしまった。

#### 4 - 4 破断面の比較

無腐食環境下および腐食環境下で破断した試験体 1 と 5 の破面を写真-7 が示す。試験体 5 では破面が著しく腐食していた。

#### 4 - 5 試験体 2 の表裏の比較

試験体 2 において塗装面と、ひずみゲージ貼付のために塗装を除去した面とで亀裂の長さを比較した。若干の差はあるが塗装面とゲージ貼付面の亀裂長さは、ほぼ等しく、精度良く亀裂進展に追従して塗膜が割れていると言える。

#### 4 - 6 亀裂進展速度

図-4 に試験体 1 ~ 5 の疲労試験から得られた亀裂進展速度と応力拡大係数範囲との関係を示す。日本鋼構造協会の疲労設計指針(案)の亀裂進展速度の平均設計曲線を併せて図-4 に示す。

試験体 1 ~ 4 の亀裂進展速度は、ほぼ等しく、また日本鋼構造協会の疲労設計指針(案)の亀裂進展速度の平均設計曲線上にプロットされた。

試験体 5 は試験体 1 ~ 4 よりも亀裂進展速度が若干小さい結果となった。試験体 6 は試験体 1 ~ 4 に比べ、大きい結果になったがこれはデータが少なかったことと、腐食による鋼材表面の凹凸が亀裂進展に影響したのではないかと考えられるが、今後の課題としたい。

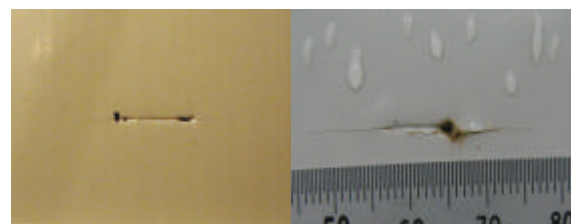


写真-6 {左・試験体 2} {右・試験体 5}

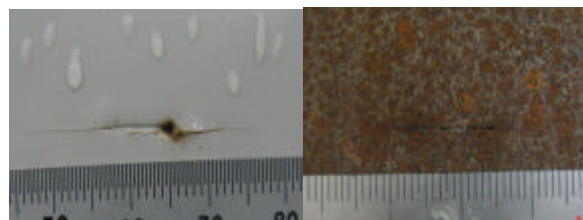


写真-7 {左・試験体 5} {右・試験体 6}

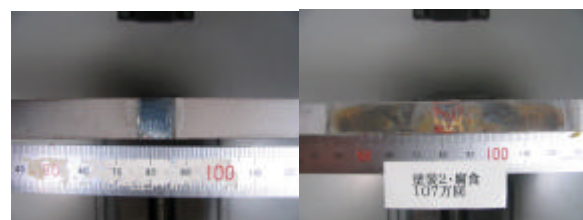


写真-8 {左・試験体 1} {右・試験体 5}

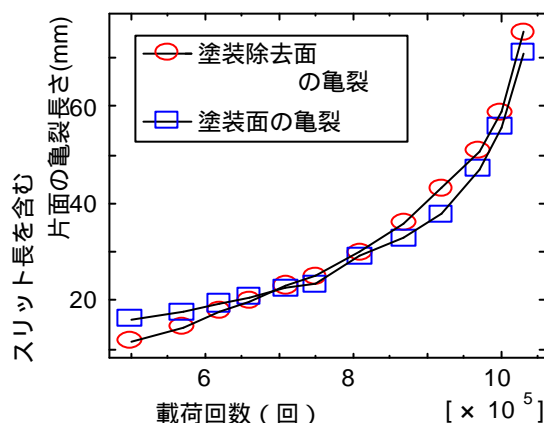


図-3 塗装鋼材の荷重回数と表裏の亀裂長さ

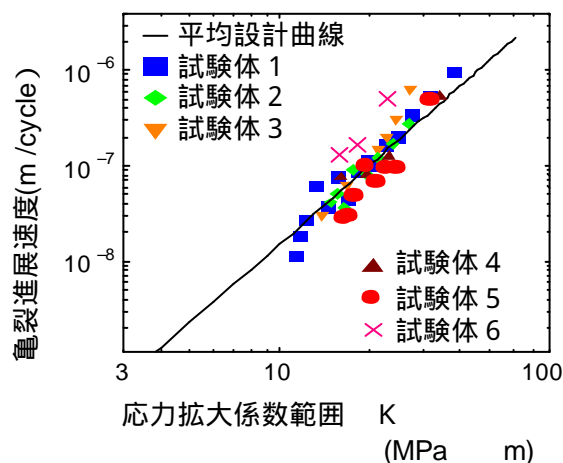


図-4 亀裂進展速度と応力拡大係数の関係図

### 4 - 7 亀裂開口比

亀裂は図-5に示すように载荷サイクルの中で、常に開口しているのではなく、閉口している領域（荷重範囲）がある。この現象を亀裂開閉口と呼び、亀裂が開口している間だけが亀裂の進展に寄与することが知られている。この亀裂開閉口挙動には亀裂先端近傍の弾塑性挙動だけでなく、亀裂面の酸化物なども影響することが知られている。ここで亀裂開閉口挙動を表す亀裂開口比  $U = (P_{max} - P_{op}) / P$  を比較の指標にするため算出する。Uを求めるために図-6に示す、ひずみゲージの計測結果を同じ図-6の加工後データのように加工する。この加工後データを基にそれぞれの試験体で亀裂開口比Uを算出し、亀裂長さと併せて図-7に示した。腐食環境下で疲労試験を行った試験体4・5・6は試験体1～3に比べ、亀裂長さによらず亀裂開口比が若干低い結果となった。これは、写真-7に示したように試験体4・5では亀裂面が腐食したためであると考えられ、これが、試験体5で亀裂進展速度が若干他の試験体よりも小さくなった原因であると考えられる。

### 5 まとめ

以上の結果から、腐食環境下では亀裂開口比や亀裂進展速度を低下させる可能性があると考えられる。試験体6については亀裂開口比が若干小さいにもかかわらず、亀裂進展速度が大きい結果となったが、これは腐食による鋼材表面の凹凸が亀裂進展挙動に影響するか検討が必要だと思われる。

また耐候性鋼材は周辺の錆び層により、疲労亀裂が非常に見えにくい。今後、データを増やすとともに耐候性鋼材の暴露試験を行い、より実際に近い保護性錆を発生させた試験体を製作し疲労試験を行う。

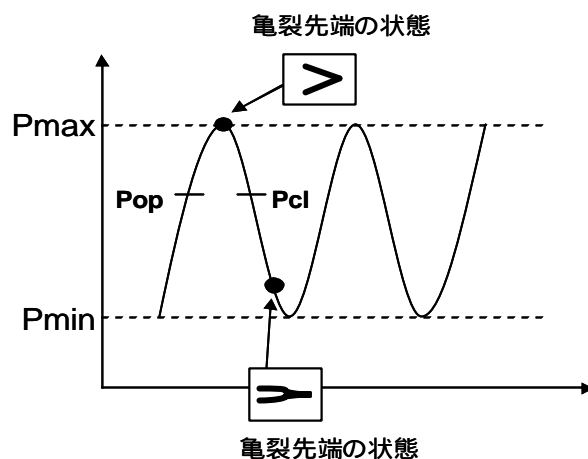


図-5 亀裂開閉口

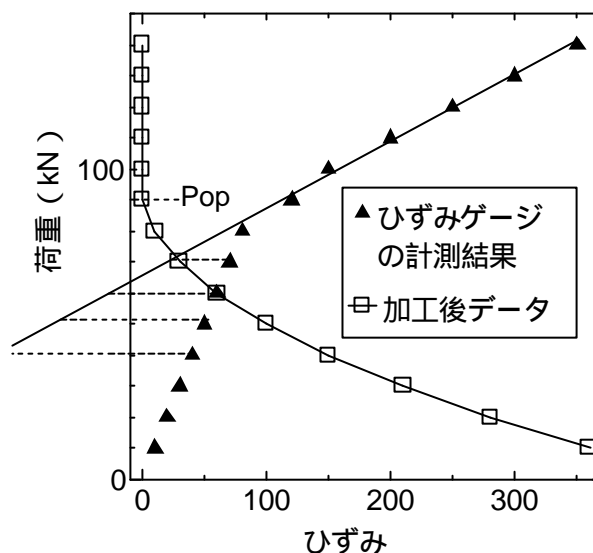


図-6 実験データおよび加工データ例

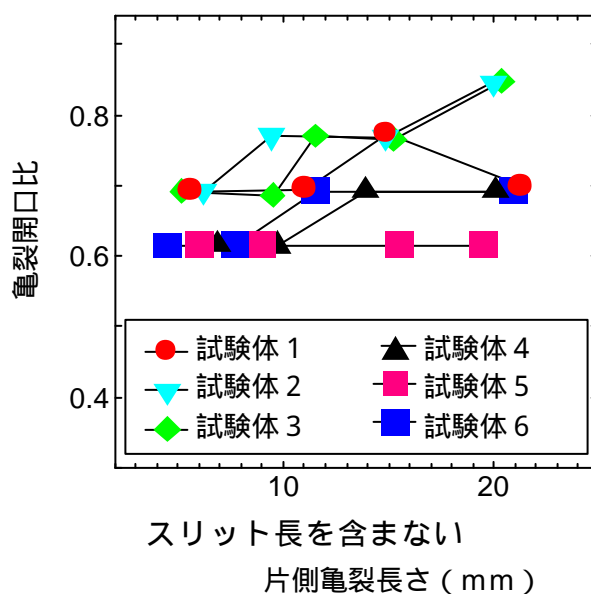


図-7 亀裂開口比と亀裂長さの関係図