

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

高知工科大学 学生会員 ○ 岡本 光司
高知工科大学 正会員 穴見 健吾

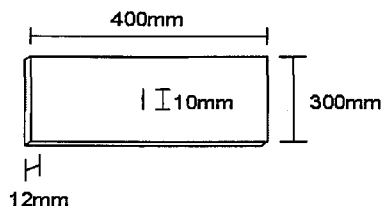
1. はじめに

耐候性鋼材は、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、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. 疲労試験の概要

無腐食環境下と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。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。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。



試験体	鋼材	塗装	腐食	備考
1	SM490A	—	—	
2	SM490A	○	—	
3	SMA490AW	—	—	
4	SM490A	○	○	亀裂発生後載荷日数5日
5	SM490A	○	○	亀裂発生後載荷日数8日
6	SMA490AW	—	○	黒皮除去・事前腐食

下塗	グリーンスボイド速乾 アカサビ JPM526 2種									
中塗	グリーンスボイド JIS K5516 2種 N-7 液目									
上塗	グリーンスボイド JIS K5516 2種 N-7									

	降伏点耐力	引張強さ	化学成分(%)						$\times 10^{-2}$	$\times 10^{-3}$
鋼材	(N/mm ²)	(N/mm ²)	C	Si	Mn	Cu	Ni	Cr	P	S
SM490A	386	561	17	34	147	/	/	/	21	4
SMA490AW	469	553	12	29	111	35	20	49	14	4

図-1 試験体の寸法

表-1 試験体の概要

腐食環境下の疲労試験では、写真-1に示すようにアクリル板で製作した箱に試験体を設置し、横から市販の加湿機で蒸気を送りながら載荷を行った。試験体4・5(塗装試験体)で塗膜割れから錆汁が発生することが確認できた腐食及び疲労試験条件で試験体6の実験を行った。

写真-2に示すように試験体6は予め保護性錆を生成させるため2ヶ月間腐食させたしかし緻密な保護性錆が発生せず、現在大気中での暴露を行い事前腐食させている。



写真-1 腐食装置

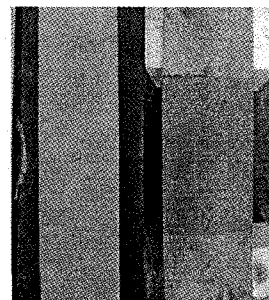


写真-2 事前腐食

3. 結果

3-1 試験体2と試験体5の亀裂の比較

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に比べ容易に亀裂を発見することができる。

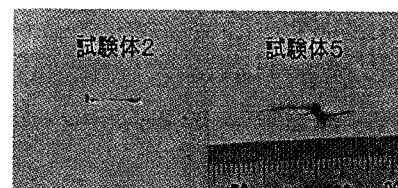


写真-3 試験体2・5の亀裂

3-2 試験体5と試験体6の亀裂の比較

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。

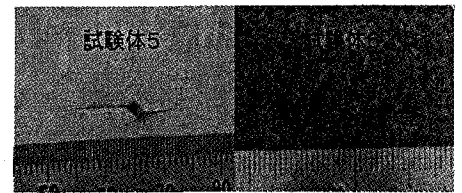


写真-4 試験体5・6の亀裂

3-3 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-5に示す。

試験体5では破面が著しく腐食していた。

3-4 試験体2・5の表裏の比較

試験体2と5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(図-2)。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。

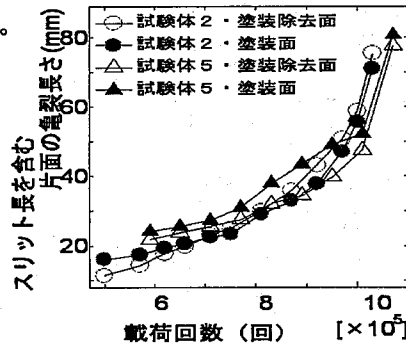


図-2 試験体2・5の表裏



写真-5 試験体1・5の破断面

3-5 亀裂進展速度

図-3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-3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による応力集中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。

3-6 亀裂開口比

亀裂は図-4に示すように載荷サイクルの中で、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 $U = (P_{max} - P_{op}) / \Delta P$ を比較の指標にするため算出する。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-5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-5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。

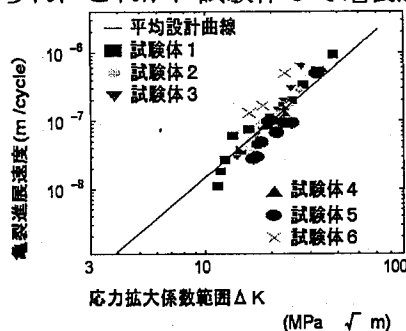


図-3 亀裂進展速度

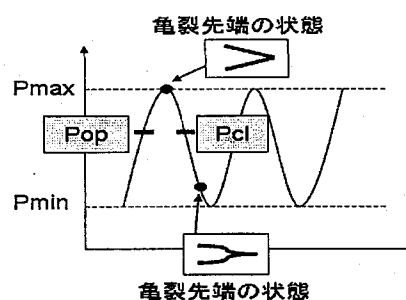


図-4 亀裂開閉口

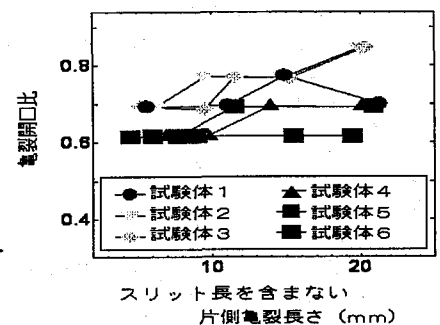


図-5 亀裂開口比

* 本研究は、社団法人四国建設弘済会による平成18年度「建設事業の技術開発に関する助成事業」の研究課題として行われたものであり、ここに記して謝意を表する。