

41 年間大気暴露された耐候性鋼材溶接継手の緻密なさび上からの疲労き裂検出に関する検討

岐阜大学大学院 学生会員 ○佐々木雄也
 岐阜大学 正会員 木下幸治
 岐阜大学 正会員 小野友暉

1. はじめに

耐候性鋼材は、大気中の暴露により、鋼材表面に緻密な保護性さび層が形成されることにより、高い防食効果を発揮するという特徴を持った鋼材である。1970年代以降、塗装を必要としない耐候性鋼材を使用した鋼橋が数多く建設され、それらの多くは現在 40~50 年程度の供用期間を迎えている¹⁾。これまでに 2, 4, 10, 25 年間無塗装で大気暴露された耐候性鋼材溶接継手の疲労強度の検討^{2)~4)}が行われてきているが、25 年間を超えて大気暴露された耐候性鋼材を用いた疲労試験データは殆どない。耐候性鋼橋の多くは、現在 40~50 年間程度の供用期間を迎えており、長期大気暴露された耐候性鋼材溶接部の疲労挙動について不明な点があるため、長期大気暴露された耐候性鋼材の緻密なさびが疲労強度に与える影響に関する実験データの継続的な蓄積が必要である。

他方、耐候性鋼材は表面が緻密な保護性さび層で覆われているため、塗装鋼材のようにき裂近傍の変色や塗膜割れが見られず、さび上から目視で早期に疲労き裂を発見するのが難しい場合があり^{6)~7)}、かつさび上から疲労き裂を非破壊的に検出する方法も確立されていない。このため、長期大気暴露された耐候性鋼材に生じた疲労き裂を早期に非破壊的に検出する手法について検討の余地が残されている。

以上より、本研究では、41 年大気暴露された耐候性鋼溶接継手の疲労試験を実施し、その疲労挙動について検討するとともに、溶接部に生じた疲労き裂のさび上からの非破壊的な検出方法について検討する。

2. 試験体概要

本研究では、1977 年 9 月から 2018 年 9 月までの 41 年間大気暴露された耐候性鋼溶接継手試験体を 3 体使用した。試験体一覧を表-1 に示す。試験体は図-1 に示すような荷重非伝達型十字すみ肉溶接継手で、使用鋼材は SMA50 (現 SMA490) である。大気暴露は、三河湾の海岸から約 1km 離れた工場の敷地内において、試験体を架台上に碍子で挟み、南向き 30° の角度で雨ざらしにすることで実施されていた。ここで、表中の対地面は暴露時の下面を、対空面は暴露時の上面である。なお、試験体両端部は、さび層厚さの計測及び分析のため切断した。

3. 疲労試験概要

図-2 のように、200kN 電気油圧サーボ式疲労試験機を用いて、一軸引張疲労試験を実施した。応力比はほぼ 0、公称応力範囲は既往文献^{2)~4)}に従い、160MPa および 215MPa、繰返し速度を 5Hz とした。また、1 体目と 2 体目は溶接ビードから 15mm の位置に、3 体目は溶接

表-1 試験体一覧

試験体	き裂発生面	き裂確認(目視)	磁粉探傷試験	疲労寿命	ピーチマーク試験	SEMIによる破面観察
1体目	対地面			115000回 (応力範囲215.6MPa)		
2体目	対地面	56.2万回		602535回 (応力範囲214.0MPa)	実施	
3体目	対空面	40万回	~35万回：未検出 40万回：6mm 41万回：22mm	424950回 (応力範囲215.6MPa)	実施	実施

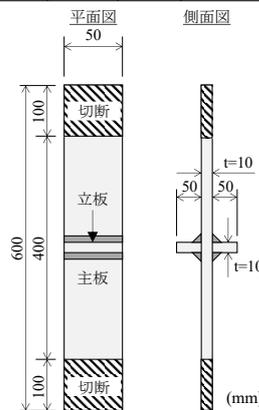


図-1 試験体寸法

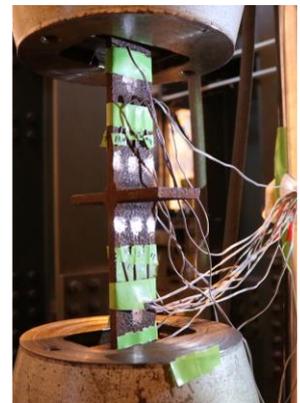


図-2 疲労試験実施状況

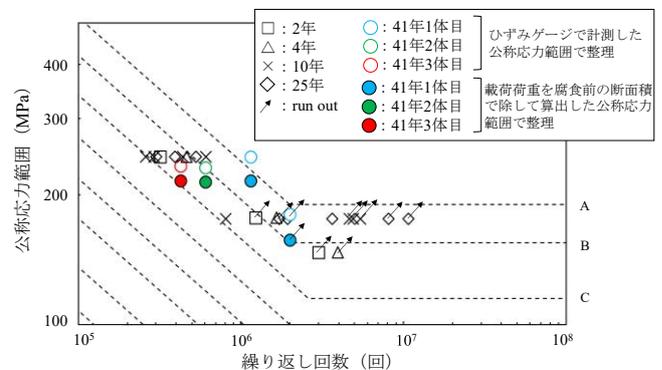


図-3 疲労試験結果

ビードから 10mm の位置にき裂検知用のひずみゲージを貼付した。また、疲労試験と並行し、溶接部近傍のひずみ計測、目視、磁粉探傷試験 (3 体目のみ) により、き裂の発生および進展の状況の確認を行った。

4. 疲労試験結果

疲労試験結果を図-3 に示す。図中には既往文献^{2)~4)}より得られた、暴露期間 2, 4, 10, 25 年の試験体の疲労試験結果も合わせて示した。41 年暴露試験体については、貼付したひずみゲージから得られた公称応力範囲で整理したデータと既往文献^{2)~4)}に従い、載荷荷重を腐食前の断面積で除して算出した公称応力範囲で整理したデータの 2 種類をプロットした。41 年暴露

キーワード：耐候性鋼材、疲労強度、疲労き裂、さび、磁粉探傷試験

連絡先：〒501-1193 岐阜県岐阜市柳戸 1-1 岐阜大学 社会基盤工学科 TEL：058-293-2424

試験体では、前者の公称応力範囲が後者の公称応力範囲よりも値が大きくなったが、これは腐食に伴う断面減少に起因していると考えられる。なお、両者の応力範囲の比較より、41年暴露試験体は腐食により、各面あたり平均で0.3~0.4mm程度の断面減少があると推定できた。図-3より、41年暴露試験体の疲労強度は2年、4年、10年、25年暴露試験体の疲労強度と比較すると、断面減少があるにも関わらず、試験結果の下限値は同程度の疲労強度等級であった。

5. SEMによる破面の観察

疲労試験後、試験体3体目について、疲労破面の観察を行った。図-4にその破面を示す。ビーチマークから、最初にC点付近を起点としてき裂が発生し、その後A点とB点、D点付近から発生したき裂と合体して半楕円形状を形成し、その後のき裂進展に伴い、破断に至ったと考えられる。次に、走査型顕微鏡(SEM)を用いて、C点付近の詳細な破壊起点の観察を行った。放射状に広がるき裂進展の痕跡をたどることで、き裂の起点を同定した。図-5にSEMによる撮影画像を示す。緑色の破線は、地金とさび層との境界を示している。図-5より、腐食による凹部が破壊起点となっていることが分かった(図中では橙色矢印の箇所)。観察された2箇所における凹部は、近傍より125 μ m、237 μ m程度低くなっていた。

6. 緻密なさび上からの疲労き裂検出

緻密なさび上から疲労き裂の非破壊検出の精度について検討するため、試験体3体目について、疲労試験と並行して目視と磁粉探傷試験の2種類の方法により、疲労き裂の検出を試みた。3体目の目視と磁粉探傷試験による試験体表面のき裂長さの検出結果を図-6に示す。また、目視及び磁粉探傷試験でのき裂の検出状況を図-7に示す。図-4の破面に残されていた最も内側のビーチマークは30万回終了時のものであった。ビーチマーク試験では30万回終了時に8.4mm、35万回終了時には11.5mmの表面き裂が確認できたが、いずれも目視と磁粉探傷試験ではき裂を検出することができなかった。40万回終了時には目視と磁粉探傷試験により6mmの表面き裂が検出できたが、このときビーチマーク試験で確認できた表面き裂長さは29.8mmであり、実際のき裂の20%程度の検出率であった。41万回終了時には磁粉探傷試験により22mmの表面き裂を検出し、このときビーチマーク試験で確認できた表面き裂長さは32.3mmであったことから、検出率は68%程度に向上したと言える。

以上より、緻密なさび上からき裂発生の初期段階の検出は難しいが、き裂がある程度進展した段階では十分に検出可能であると言える。また、通常なき裂探傷では、目視よりも磁粉探傷試験の方が良好に検出できるため、緻密なさび層の存在によって磁粉探傷試験でのき裂の検出精度が低下したと考えられる。

参考文献

1) 三木千壽, 市川篤司: 現代の橋梁工学—塗装しない鋼と橋の技術最前線, 数理工学社, 2004.12. 2) 山田健太郎, 村山眞, 近藤明雅, 菊池洋一: 大気暴露された無塗装の耐候性鋼および普通鋼溶接継手の疲れ強さ, 土木学会論文報告集, 第337号, pp.67-74, 1983.9. 3) 近藤

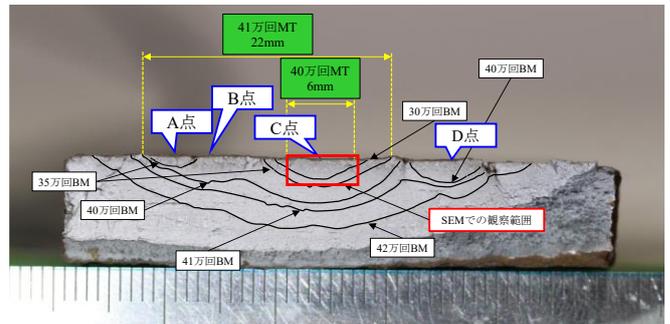


図-4 疲労破面(3体目)

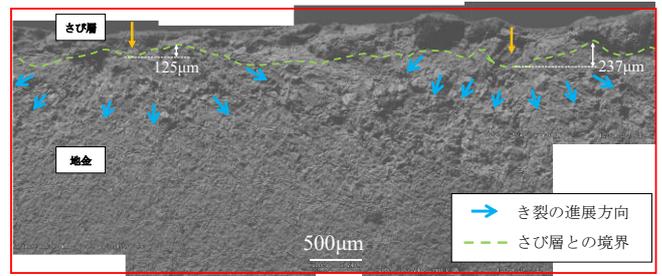


図-5 SEMによる観察結果(3体目)

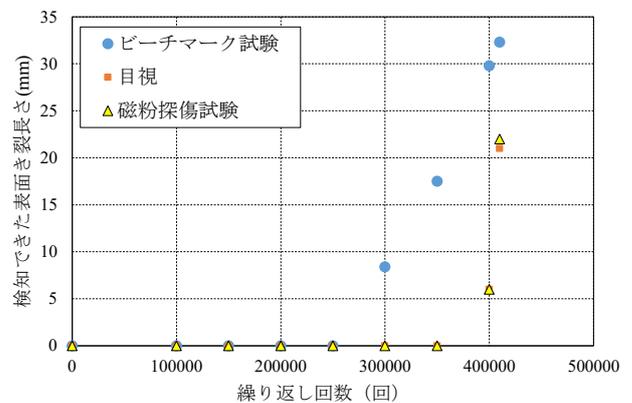


図-6 疲労き裂の検出結果(3体目)

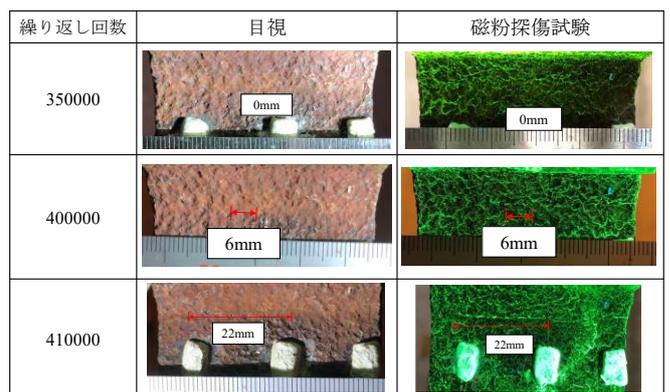


図-7 疲労き裂の検出状況

明雅, 山田健太郎, 菊池洋一: 10年間大気暴露した耐候性鋼と普通溶接継手の疲労挙動, 土木学会論文集, No.489/I-27, pp.121-127, 1994.4. 4) 近藤明雅, 山田健太郎, 小野彰之: 25年間大気暴露した耐候性鋼と普通溶接継手の疲労強度, 土木学会論文集 A, Vol.63, No.3, pp.434-443, 2007.7. 5) 細見直史, 小峰翔一: 耐候性鋼材の溶接継手に生じた疲労き裂の非破壊検査による検知方法に関する基礎的検討, 土木学会第73回年次学術講演会, I-168