

## 耐候性鋼材溶接継手の疲労挙動とさび上からの疲労き裂検出

岐阜大学 学生会員 ○佐々木雄也

岐阜大学 正会員 木下幸治

瀧上工業株式会社 正会員 櫻井勇太

### 1. はじめに

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ている。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、地金部分に水や酸素の供給を防ぎ、防食性が高いという特徴を持った鋼材である<sup>1)</sup>。耐候性鋼橋の普及当初から現在までに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、不明な点が残されている。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溶接継手の疲労強度の検討が行われており<sup>2-4)</sup>、今後も引き続き、長期大気暴露された耐候性鋼材試験体の実験データの取得の継続が必要である。

一方、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、目視で疲労き裂を発見するのが難しい<sup>5)</sup>。このため、長期大気暴露された耐候性鋼材に発生し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。

そこで、本研究では、41年間大気暴露された耐候性鋼溶接継手の疲労試験を実施し、その疲労挙動を調べるとともに、さび上からの疲労き裂の検出方法について検討する。

### 2. 試験体及び疲労試験概要

本研究では、1977年9月から2018年9月までの41年間大気暴露した耐候性鋼溶接継手試験体を使用した。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、試験体を三河湾の海岸から約1km離れた工場の敷地内の架台上に碇子で挟み、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。本研究では41年暴露試験体3体を使用した。試験体一覧を表-1に、疲労試験状況を図-2に示す。応力比をほぼ0、公称応力範囲を160, 215MPa程度、繰り返し速度を5Hzとし、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。1体目と2体目は溶接止端部から15mmの位置に、3体目は溶接止端部から10mmの位置にひずみゲージを貼付した。疲労試験時には、溶接止端近傍のひずみの変動、磁粉探傷試験(3体

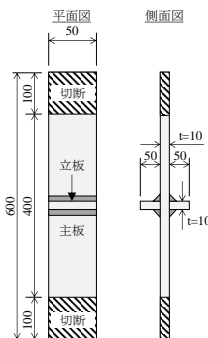


図-1 耐候性鋼材試験体寸法



図-2 疲労試験状況

表-1 疲労試験体一覧

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	マイクロスコープによるさび形状の計測
1体目	対地面	/	/	1150000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：未検知 40万回：6mm 41万回：22mm	424950回 (応力範囲215.6MPa)	実施	実施

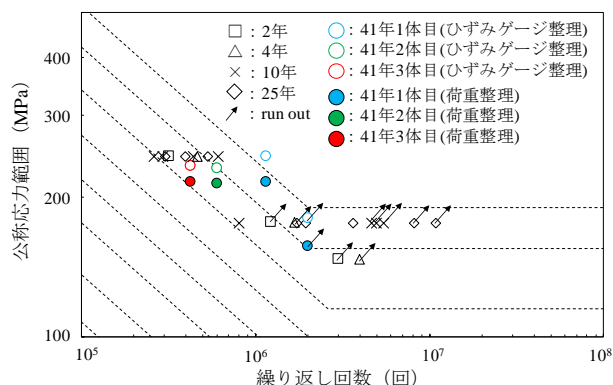


図-3 疲労試験結果

目のみ)、目視により、き裂の発生及び進展の確認を行った。

### 3. 疲労試験結果

疲労試験結果を図-3に示す。図中には既往の文献<sup>2)～4)</sup>より得られた、暴露期間2, 4, 10, 25年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、載荷荷重を腐食による断面減少を考慮せず、腐食前の断面積で除して算出した公称応力範囲で整理(以下荷重整理)したデータと、ひずみゲージで計測した公称応力範囲で整理(以下ひずみゲージ整理)したデータの2種類をプロットした。41年暴露試験体は腐食による断面減少があると考えられ、ひずみゲージ整理値は荷重整理値よりも大きくな

っている。41年暴露試験体の疲労強度は3体でバラつきが見られ、1体目、2体目、3体目の順に大きくなった。一方、暴露期間2年、4年、10年、25年のものと比較すると、バラつきが大きいものの、疲労強度の下限値は同程度であり、1体目のみ疲労強度が向上する結果が得られた。

疲労強度に影響を及ぼす要因を調べるため、3体目試験体の溶接止端部を顕微鏡を用いて観察し、き裂の起点とさびの形状を比較した。3体目の疲労破面を図-4に、顕微鏡による溶接止端部のさび形状の観察結果を図-5に示す。破面より、3体目はA点、B点、C点、D点がき裂の起点と考えられる。このうち、A点、C点、D点には近傍に凹凸が見られたことから、腐食ピットが疲労き裂の発生に影響を及ぼすと考えられる。よって、疲労強度には溶接部の仕上げ状況、腐食状況による影響が大きいと言える。

#### 4. さび上からの疲労き裂の検出

疲労き裂をさび上から非破壊的に検出するため、本研究ではひずみ範囲の変動によるき裂の非破壊的検出と磁粉探傷試験によるき裂の非破壊的検出の2種類の方法を試みた。本概要では3体目について記述する。3体目の疲労破面を図-4に示す。図-4より、C点を起点としたき裂が半楕円状に進展し、その後A点、B点、D点を起点として進展したき裂と合体し、破断に至ったと考えられる。3体目のひずみ計測結果を図-6に示す。破面に残されていた最初のビーチマークは300000回終了時であり、このときき裂の起点に最も近いゲージ(ch2)のひずみ範囲は0.44%減少していた。破面のビーチマークと比較すると、き裂の進展によるひずみの挙動を捉えられていると言える。3体目の表面き裂の検出状況を図-7に示す。目視および磁粉探傷試験でき裂を検知できたのは400000回終了時であった。試験体破断時の繰り返し回数は424950回であったため、磁粉探傷試験ではき裂がある程度進展してからの検出になった。また、磁粉探傷試験で検出できた表面き裂長さは400000回終了時にはビーチマーク試験結果の20%程度、410000回終了時にはビーチマーク試験結果の69%程度であり、表面き裂長さの一部しか検出できなかった。これらの原因として、磁粉探傷試験の際に形成させる磁場がさび層の影響で弱くなった可能性と、き裂発生直後にさび層が割れていなかった可能性が考えられ、今後これらを検証する必要がある。

##### 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

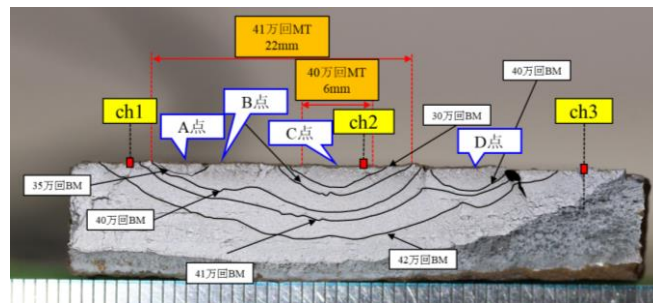
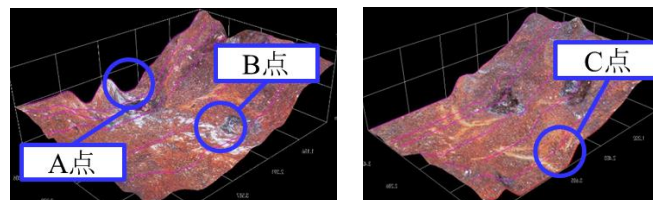
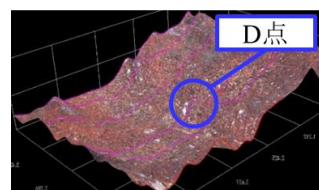


図-4 3体目の疲労破面



(a) 3体目 A点とB点近傍

(b) 3体目 C点近傍



(c) 3体目 D点近傍

図-5 顕微鏡による溶接止端部のさび形状観察

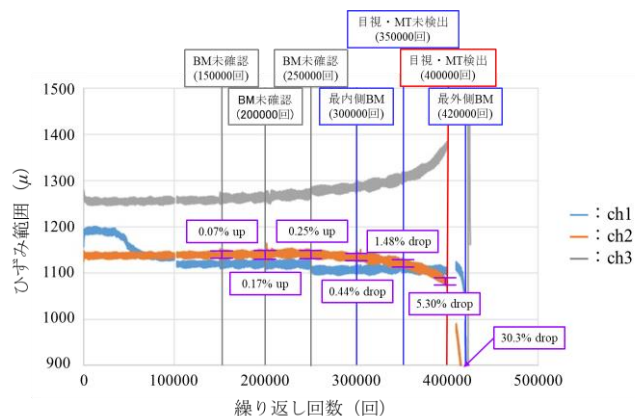


図-6 3体目のひずみ計測結果

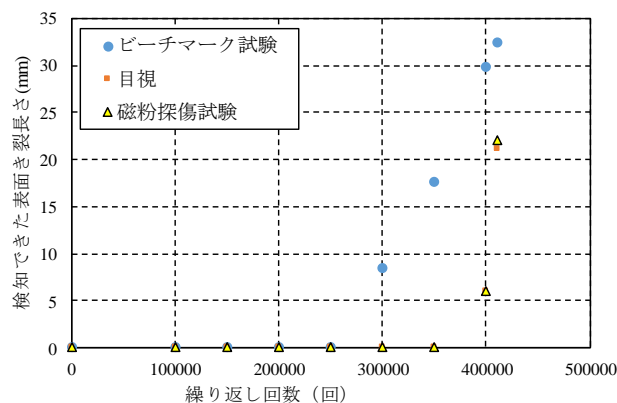


図-7 3体目の表面き裂検出状況

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鋼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鋼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出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