岐阜大学大学院 学生会員〇佐々木雄也 岐阜大学 正会員 木下幸治 正会員 小野友暉 施工技術総合研究所 正会員 井上一磨 正会員 小野秀一

## 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、地金部分 に水や酸素の供給を防ぎ、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, 耐候性 鋼材を使用した鋼橋が数多く建設されており、それら の多くは現在40~50年程度の供用年数を迎えている<sup>1)</sup>. このため、緻密な保護性さび層を有する溶接継手の疲 労強度について、これまでに、2,4,10,25,41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 度の検討が行われてきた 2)~5). 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検知するのが難し い場合があるとされる の. 実際に, 第 1~3 著者らの既 往研究 <sup>7)</sup>では、41 年間大気暴露された溶接部に生じた 疲労き裂をさび上から非破壊的に検出を試み、その結 果、き裂に被る保護性さびの存在により、き裂初期段 階では検出精度が低下することが示唆された. 以上よ り、無塗装耐候性鋼橋梁の維持管理の観点から、緻密 な保護性さび層を有する溶接継手の疲労試験データ, 並びにそのさび層上から疲労き裂の非破壊的な検出精 度について更なるデータの蓄積が必要である. そこで, 本研究では、2.5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、その疲労強度を明らかにし、さ び上から疲労き裂を非破壊的に検出を試み、その検出 精度を検討する.

### 2. 試験体と疲労試験の概要

本研究では、図-1 に示す耐候性鋼を用いた面外ガセ ット溶接継手試験体 4 体 (No.0, No.1, No.2, No.7) を対象とした. No.0 と No.7 試験体は無暴露 (0 年) で ある. No.1 と No.2 試験体の大気暴露は,離岸距離約 0.05km の琉球大学辺野喜試験場にて行われた. 試験体 は,木製の土台上に南向き約 45°の角度で設置されて いた.暴露期間は、2018 年 7 月から 2021 年 3 月の 2.5 年間程度である. 鋼種は、SMA400AW である. 疲労試 験は、300kN 電気油圧サーボ式疲労試験機を用いて、 繰返し速度 20Hzの一軸引張下で実施された. 応力比は、 0.04 程度、公称応力範囲は、135、150MPa とした. 疲 労試験と並行して、目視、並びに磁粉探傷試験 (MT) により、疲労き裂の発生と進展の確認を行った. また、 応力範囲を半分にし、ビーチマーク試験を定期的に実 施した.

## 3. 疲労試験結果

疲労試験結果を図-2 に示す. 図中には, 既往文献<sup>2)-4)</sup>





図-2 疲労試験結果



図-3 疲労き裂の検出例(No.1 試験体, 36 万回時)

の暴露期間 0, 2, 4, 10, 25 年の疲労試験結果も合わ せて示し、本研究の結果と比較した.なお、No.7 試験 体のデータは、疲労き裂が溶接止端から離れて主板に 進展する際の繰返し数 (N<sub>b</sub>) である点に注意されたい. まず、既往文献<sup>2)</sup>の暴露期間0年の疲労強度は、D等級 程度であるのに対し、本研究でのNo.0 試験体の疲労強 度は、E等級程度、No.7 試験体は、G等級 (ただし,N<sub>b</sub>) と低い傾向にあった.この低い傾向は、本研究で使用 された試験体のガセット長さと主板幅が既往研究より 大きいためであると考えられる<sup>8)</sup>.一方、2.5 年大気暴 露されたNo.1 と No.2 試験体の疲労強度は、それぞれ F 等級と E 等級であり、0 年よりも、若干疲労強度が高 い結果となった.この疲労強度の向上は、既往文献 <sup>2)-4)</sup>の 2 年以上のデータの下限値が 0 年よりも高い傾向

#### 令和3年度土木学会中部支部研究発表会



と一致している.

# 4. さび上からの疲労き裂検出

試験体に発生した疲労き裂の検出精度を調べるため, 目視及び MT による検出を試みた. き裂の検出は、疲 労試験時の最大または最小荷重を維持した状態で行っ た. 目視では, 溶接部から 20cm 程度の離れた位置か ら肉眼でさび上からき裂の長さを確認した. 図-3 に No.1 試験体の最大荷重時に実施した目視, MT による 検知時の写真を例示する. No.1と No.2 試験体の繰返し 回数と検出された表面き裂長さの関係を図-4 に示す. 検出精度の検証のため、図-5 に示す疲労破面に残され たビーチマークを基に正確な表面き裂長さを計測し, 比較している. なお, No.1 試験体のき裂の起点は図-5(a) 中の1点, No.2 試験体は図-5(b) 中の2点であっ た.このため、図-4のNo.2試験体に関しては、左側の 起点から発生したき裂,右側の起点から発生したき裂, 両者の合体後それぞれ分けて示した. 図-4(a)より, 最も内側のビーチマークから計測された 24mm のき裂 長さに対する MT と目視では、約 16mm の表面き裂が 検知された.一方,図-4(b),(c)より,最も内側のビ ーチマークから計測された左側で 5mm, 右側で 4mm のき裂長さに対する MT では、左側で 2mm、右側で 4mmの表面き裂が検知されており、No.1 試験体よりも 早期にき裂を検知できたと言える. この理由について 考察を加えるため、走査型顕微鏡 (SEM) を用いて、 疲労破面上のき裂の発生位置及びその周辺のさびの位 置関係の観察を行った. No.1と No.2の右側の疲労き裂 の起点付近に対する SEM による観察結果を図-6 と図-7 にそれぞれ示す. 図-6(a)と図-7(a)は、破面に対し て上面から,図-6(b)と図-7(b)は,破面に対して上面 45°から撮影したものである.図-6より,No.1試験体 では、さび層の割れ目から破面(地鉄)が最大で 0.32mm程度の露出、即ち観察した破面反対側からさび 層が覆いかぶさっていたことが示唆される.一方,図 -7より, No.2 試験体では、さび層の割れ目と破面(地 鉄) はほぼ一致した. 以上から, No.1 試験体では, 41 年大気暴露された十字すみ肉溶接継手 7の知見と同様 に、き裂にさび層が被り、目視及び MT でのき裂検知 精度が低下し, No.2 試験体では、き裂にさび層の被り が小さく、き裂を早期に検知できたと考えられる.

## 5. 結論

✓ 2.5 年大気暴露された耐候性鋼面外ガセット溶接 継手の疲労強度は大気暴露前よりも高く,既往研 究の疲労試験結果と同様の傾向であった.

(a) No.1 試験体



(b) No.2 試験体 図−5 試験体の疲労破断面



(a) 上面から撮影
(b) 上面 45° から
図−6 SEM での観察結果(No.1 試験体)





(a) 上面から撮影
(b) 上面 45°から撮影
図-7 SEM での観察結果(No.2 試験体 右側)

✓ 大気暴露年数に関わらず、緻密なさび層が形成された後は、き裂に被るさび層の存在により、疲労き裂の検知精度が低下する可能性が示唆された.

参考文献:1)三木, 篤司:現代の橋梁工学一塗装しない鋼と橋の技術最前線, 数理工学社,2004.12.2)山田ら: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,1983.9.3)近藤ら: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,1994.4. 4)近藤ら: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,2007.7.5)日本鋼構造協会:鋼橋の強靭化・長寿命化に向けた疲 労対策技術資料,JSSCテクニカルレポート,2020.6)細見,小峰:耐候性鋼 材の溶接継手に生じた疲労き裂の非破壞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,2008.7)木下ら:長期大気暴露され た耐候性鋼溶接継手のさび上からの疲労き裂検出,鋼構造年次論文報告集, 2021.11.8)Ono et al: A reanalysis of fatigue test data for longitudinal welded gusset

joints in as-welded and high frequency mechanical impact (HFMI)-treated state" International Journal of Fatigue, 2021.

謝辞:本研究は,一般社団法人 日本鋼構造協会「鋼橋の強靱化・長寿命化研究 委員会」(委員長 舘石和雄 名古屋大学教授)の「疲労強度研究部会」(部会長 穴見健吾 芝浦工業大学教授)における活動の一部として実施している.