

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

日本ファブテック (株) 正会員 ○細見 直史

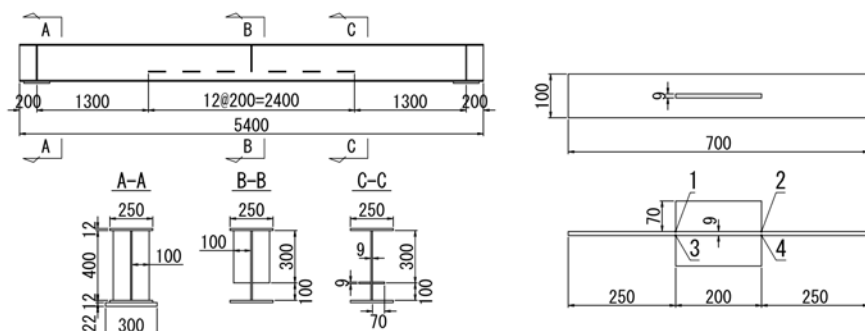
日本ファブテック (株) 正会員 小峰 翔一

1. はじめに 耐候性鋼材は、適切な乾湿繰り返し環境下では、緻密で遮蔽性・保護性が高い腐食生成物層が形成され、鋼材表面のさびの進行を抑えることで防食を可能にする。この特性を生かすことで鋼橋の維持管理コストの縮減が期待できることから、1978 年以降、耐候性鋼材を使用した鋼橋が増加し、1978 年度から 2016 年度まで建設した鋼橋の全鋼重に対する累計比率は約 9% に及ぶ。一方、既設橋梁の定期点検では、近接目視による点検が基本であり、必要に応じて非破壊検査等を併用するとしている。このとき橋梁点検員は、塗装橋梁の場合、疲労き裂が発生しやすい溶接止端部に塗膜割れが生じているかを目視で点検する。しかし、耐候性鋼橋では、鋼材表面が腐食生成物で覆われているため、目視での点検は不可能であり、点検の精度が低下することが予測される。そこで、本研究では、保護性さびが生じた耐候性鋼材の試験体に疲労き裂を導入し、渦電流探傷法（以下、ET）および超音波探傷法（以下、UT）によるき裂調査を行い、腐食生成物を除去した後に実施した磁気探傷法（以下、MT）の結果と比較することで、的中率や見逃し率、空振り率について検証した。

2. 暴露試験と疲労試験 試験体に用いた供試鋼材は、板厚 9mm の SMA400W である。試験体は図-1(a) に示す面外ガセット継手を有する I 桁試験体を 3 体製作し、工場敷地内のヤードで 3 年間大気暴露を行った。暴露試験後の腐食生成物の状況、および MT による磁粉模様を図-2 に示す。MT では腐食生成物に蛍光磁粉が付着し、溶接止端部に疑似模様が生じるため、腐食生成物を除去せずに疲労き裂を検知することは困難であると考えられる。次に、試験体に疲労き裂を導入するため、疲労試験を行った。疲労試験は桁試験体での疲労試験に先立ち、的中率や見逃し率、空振り率の検討を行うため、桁試験体から図-1(b) に示すクーポン試験体を 11 体切り出して片振り引張荷重下で疲労試験を行った。なお、疲労試験には、動的能力 $\pm 1000\text{kN}$ 電気油圧サーボ式疲労試験機を用いた。

クーポン試験体および桁試験体の疲労試験結果を図-3 に示す。面外ガセットの JSSC による疲労強度等級は、G 等級であるが、本試験体の疲労試験では E 等級程度で疲労き裂が発生し C 等級程度で約 40mm まで疲労き裂が進展した。そのため、E 等級から C 等級までの繰り返し载荷回数を変化させることで、大（き裂長さ $L=30\text{mm}$ 以上）、中（ $L=10\text{mm}$ 程度）、小（ $L=5\text{mm}$ 程度）の疲労き裂を発生させた。

3. 非破壊検査 ET は渦流センサの異なる 2 種類の装置を用いて行った。ET はセンサのガタによるノイズ信号が $V_x=0\text{V}$ になるように位相角を調整し、人工スリット傷（幅 0.2mm、深さ 0.5mm、長さ 5mm）のきず信号による振幅の絶対値を $V_x=2\text{V}$ に調整した。次に、斜角探触子 5C10×10A70、および表面 SH 波探触子



(a) 桁試験体

(b) クーポン試験体

図-1 試験体形状



(a) 腐食生成物

(b) 磁粉模様

図-2 試験対象部位

キーワード 腐食, 疲労, 耐候性鋼材, 非破壊検査, 渦電流探傷, 磁気探傷法

連絡先 〒302-0038 茨城県取手市下高井 1020 日本ファブテック (株) 技術本部技術研究所 TEL: 0297-78-1113

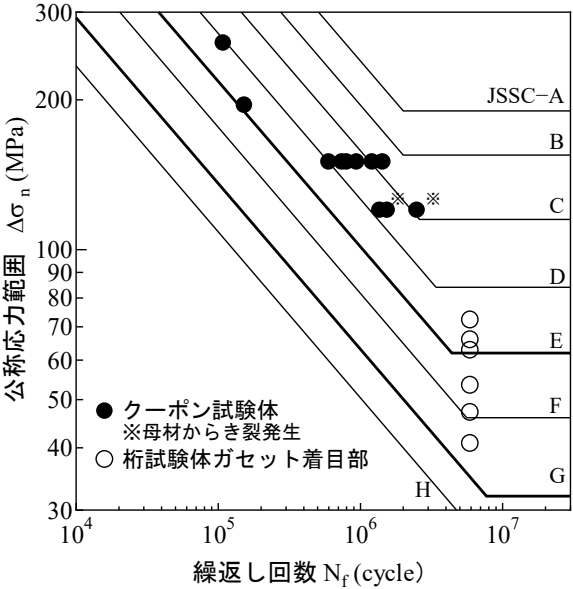


図-3 疲労試験結果

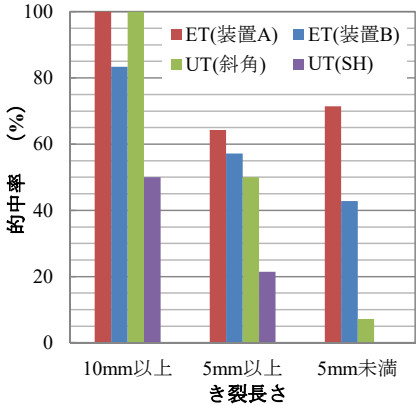
表-1 ET と UT の探傷条件

検査	ET		UT	
種類	装置 A	装置 B	斜角	SH
周波数	30kHz	100KHz	5MHz	5MHz
位相				
屈折角	43°	133°	70°	90°
基準	5mm 2.0V	5mm 2.0V	φ 4mm 80%	5mm 80%

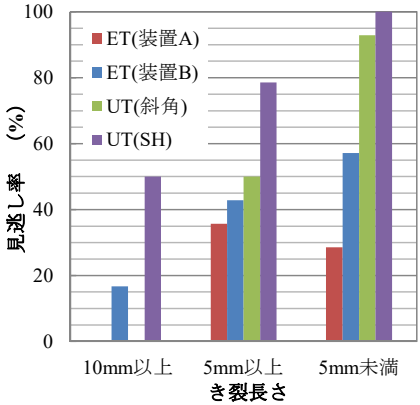
表-2 探傷結果

単位：箇所

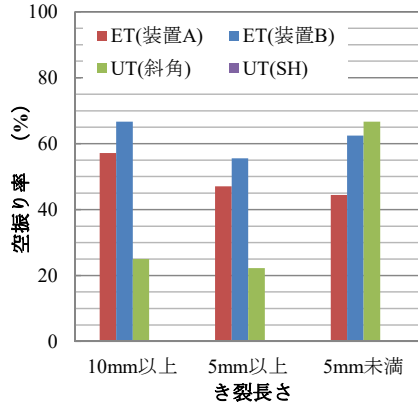
	きず長さ	MT	ET		UT	
			装置 A	装置 B	斜角	SH
的中数	10mm 以上	6	6	5	6	3
	5mm 以上	14	9	8	7	3
	5mm 未満	14	10	6	1	0
見逃し数	10mm 以上	—	0	1	0	3
	5mm 以上	—	5	6	7	11
	5mm 未満	—	4	8	13	14
空振り数	き裂なし	16	8	10	2	0



(a) 的中率



(b) 見逃し率



(c) 空振り率

図-4 ET と UT による疲労き裂の検出結果

5C5×10HA90 による超音波探傷試験を実施した。斜角探傷試験の基準感度は STB-A2 標準試験片のφ4×4mm の標準穴のエコー高さが 80%になるように調整した。表面 SH 波法は、人工スリット傷（幅 1.0mm、深さ 5mm、長さ 5mm）と探触子前面との距離を 10mm としたときのエコー高さが 80%になるように調整し検査を行った。その後、MT を行い、最後に緻密な腐食生成物をワイヤーブラシで完全に除去した後、MT を実施した。ET と UT の探傷条件を表-1 に示す。

4. 検査結果 11 体のクーポン試験体の各 4 箇所のまわし溶接部の探傷結果を表-2 に示す。MT により疲労き裂を確認したところ、44 箇所のまわし溶接部に対して、5mm 以上の疲労き裂が生じたまわし溶接部は 14 箇所（内 10mm 以上は 6 箇所）、5mm 未満は 14 箇所であり、16 箇所に疲労き裂が確認できなかった。ET と UT による的中率（MT、ET と UT で検出）、見逃し率（MT で検出、ET と UT で不検出）、空振り率（MT で不検出、ET と UT で検出）の算出結果を図-4 に示す。ET（装置 B）、UT（斜角）および UT（SH）の的中率は、き裂長さが小さくなるに従って低下する傾向にある。一方、ET（装置 A）は ET（装置 B）に比べ、的中率が高く空振り率も低い傾向にあり、特に、き裂長さが 5mm 未満の小さなき裂に対しても的中率が低下していない。また、10mm 以上のき裂長さの的中率は 100%となっている。しかし、空振り率は 50%程度あり、今後、原因を調査する必要がある。

5. まとめ (1) MT では、腐食生成物層に蛍光磁粉が付着し、溶接止端部に疑似模様が生じるため、腐食生成物を除去せずに止端部に生じた疲労き裂を検知することは困難である。(2) ET（装置 B）、UT（斜角）および UT（SH）の的中率は、き裂長さが小さくなるに従って低下する。(3) ET（装置 A）は ET（装置 B）に比べ、的中率が高く空振り率も低い。特にき裂長さが 5mm 未満の小さなき裂でも的中率が低下しない。