

東京工業大学工学部 正員 森 猛
 大阪大学溶接工学研究所 正員 堀川 浩南

1. はじめに

残留応力を有する溶接継手部に欠陥が存在すると、疲労寿命の大半は疲労き裂の伝播期間に占められることが知られている。したがって、溶接部材の疲労寿命推定には、疲労き裂伝播速度 da/dN と応力拡大係数範囲 ΔK の関係を用いる破壊力学的手法をつかうのが有効であろう。従来の研究により、溶接継手材の da/dN は素材に比べ大きくなり、その第一の原因は引張残留応力であるということが知られている。本研究の目的は、引張残留応力か応力履歴による疲労き裂伝播の遅延現象に及ぼす影響を実験的に調べることにある。

2. 試験方法

試験に供した材料は、板厚6mmの800MPa級調質型高張力鋼 ($\sigma_y = 755$, $\sigma_b = 819$ MPa) である。図1に示すように、素材試験片(B材)、溶接継手試験片(W材)とも同じ形状・寸法の中央貫通切欠き付き平板試験片である。疲労き裂伝播の遅延現象を調べる目的で、単一過大荷重試験(OL試験)とステップ荷重試験(ST試験)を行なった。それらの試験条件を表1に示す。

3. 試験結果

図2に切断法によって求めたB材とW材の残留応力分布およびW材のき裂進展に伴う残留応力の変化を示す。W材の引張残留応力のピーク値はき裂先端で生じ、その値はき裂が長くなるにつれて小さくなっている。また、き裂がないときには圧縮残留応力場であったところをさえ、き裂が近づくと引張残留応力場となっている。

図3および図4に疲労試験結果の一例を、き裂長さ a と繰返し回数 N , da/dN と a の関係として示す。B材、W材とも、き裂伝播の遅延現象が生じている。

この遅延現象を定量化するために、図3に示す遅延繰返し回数 ΔN_b と $(da/dN)_{\min}/(da/dN)_{\max}$ を用いる。 $(da/dN)_{\min}$ は遅延現象によって生じた最小の da/dN であり、

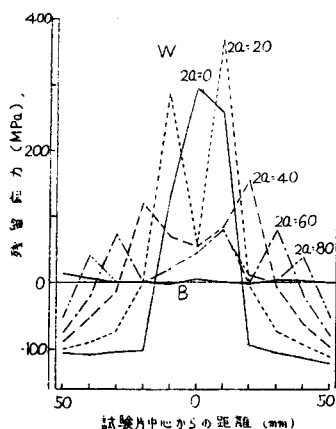


図2. 残留応力分布

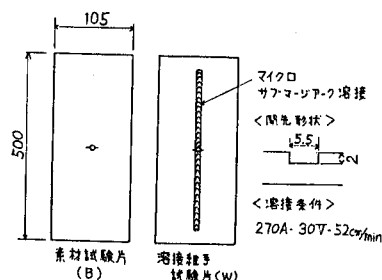


図1. 試験片形状

表1. 試験条件

＜単一過大荷重試験＞				
試験片記号	基準応力波	$R_{\max}/R_{\min}$	$R_{\max}$ を保持したき裂長さ	
BOL-1	{0.86 MPa}	2	11, 18, 28 mm	
WOL-1	{0.86 MPa}	2	〃	
BOL-2	{57.57 MPa}	2	〃	
WOL-2	{57.57 MPa}	2	〃	
＜ステップ荷重試験＞				
試験片記号	基準応力波	過大応力波	応力履歴を有するき裂長さ	
BST-1	{0.86 MPa}	{57.144 MPa}	過大 → 基準	
WST-1	{0.86 MPa}	{57.144 MPa}	11, 12, 18, 28 mm	
BST-2	{56.56 MPa}	{0.94 MPa}	基準 → 過大	
WST-2	{56.56 MPa}	{0.94 MPa}	11, 16, 25 mm	

$R_{\max}$ $R_{\min}$ $0 \leq 11 \text{ mm} (0.172 \text{ MPa})$ **BST-1のみ

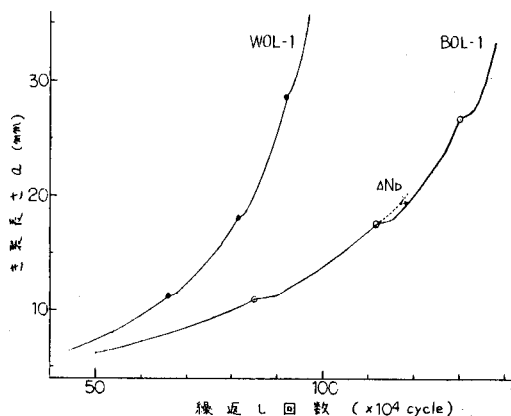


図3. 疲労き裂伝播曲線

$(da/dN)_{con}$ は $(da/dN)_{min}$ が生じたき裂長さにおける定応力波での da/dN である。図5に ΔN_b と Q の関係を示す。同じ試験条件でのB材とW材の ΔN_b は、すべてB材の方が大きい。また、B材ではき裂が長くなるにつれて ΔN_b が減少しているのに対し、W材ではほぼ一定、あるいは増大する傾向にある。図6に $(da/dN)_{min} / (da/dN)_{con}$ と Q の関係を示す。同一の試験条件では、W材の $(da/dN)_{min} / (da/dN)_{con}$ の方がB材のそれよりも大きい。OL-2を除いて、その差はき裂が長くなるにつれて小さくなっている。また、その差は基準応力波の応力比-1の方が、応力比0よりも大きくなっている。

疲労き裂伝播の遅延現象をき裂の開閉理論から考える。

$$\frac{da}{dN} = C(K_{max} - K_{op})^m = C(\Delta K_{eff})^m = C\left(\frac{\Delta K_{eff}}{\Delta K}\right)^m = C(U\Delta K)^m \dots (1)$$

K_{max} : 最大応力拡大係数, K_{op} : 開口点での応力拡大係数

U : 開口比, C, m : 常数

図7に開口比の測定結果の一例を示す。過大応力を負荷することによって、開口比 U が減少している。B材の U の減少幅 ΔU は、き裂長さによらずほぼ一定であるのに対し、W材の ΔU はき裂が長くなるにつれて小さくなっており、 $Q=28mm$ ではB材の ΔU とほぼ同じ大きさになっている。前記の $(da/dN)_{min} / (da/dN)_{con}$ は、(1)式より次式で与えられる。

$$\frac{(da/dN)_{min}}{(da/dN)_{con}} = \frac{C\{(U_{con} - \Delta U)\Delta K\}^m}{C(U_{con} - \Delta K)^m} = \left(\frac{U_{con} - \Delta U}{U_{con}}\right)^m \dots (2)$$

U_{con} : 定応力波での開口比

したがって、 ΔU が等しいとしても、 U_{con} が高いほど $(da/dN)_{min} / (da/dN)_{con}$ は大きくなる。

以上の検討から、引張残留応力を有する溶接継手材での遅延現象は、素材での遅延現象よりも小さくなることわかった。

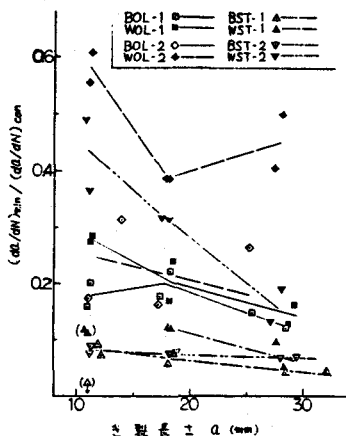


図6. da/dN の減少度

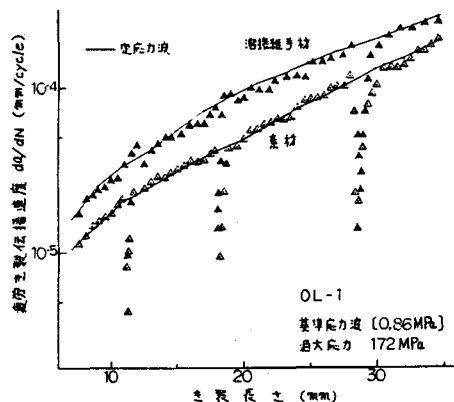


図4. 疲労き裂伝播速度とき裂長さの関係

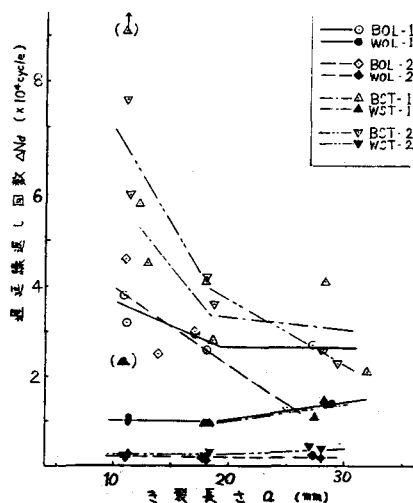


図5. 遅延繰返し回数

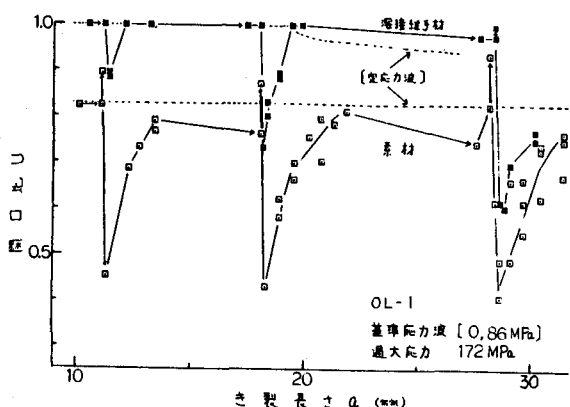


図7. 開口比の変化