疲労き裂伝播速度に及ぼす溶接残留応力の影響*

森

猛**, 堀川 浩 甫***

The Effect of Welding Residual Stresses on Fatigue Crack Propagation Rate*

by Takeshi Mori** and Kohsuke Horikawa**

The purpose of this study is to clarify the effect of welding residual stresses on fatigue crack propagation rate. Materials used are steel of 800 MPa in tensile strength. Specimens are center cracked plate and consist of four kinds: base metal, welded joint with a longitudinal bead on center of specimen, this welded joint done post heat treatment and welded joint with longitudinal beads on both sides of specimen. Results obtained are summarized as follows:

- (1) Tensile residual stresses increase fatigue crack propagation rate and compressive one decrease it.
- (2) The effect of residual stresses on fatigue crack propagation rate (da/dN) is more remarkable when stress intensity factor range (ΔK) is small and stress-ratio is low.
- (3) When tensile residual stresses are large and ΔK is small, da/dN - ΔK relation is unique and independent of stress-ratio.
- (4) Above results are closely related with fatigue crack closure phenomena.

1. 緒 言

スラグ巻き込みなどの欠陥を含む溶接部材が繰返し応力を受けると、欠陥を起点として疲労き裂が発生し、それが伝播することによって破壊にいたることがある。そのような場合、疲労寿命の大半はき裂伝播に費やされると言われている¹⁾。また、溶接部近傍には溶接による熱履歴のために引張残留応力が生じ、そこにピーニングなどの適切な処理を施せば溶接部近傍の一部は圧縮残留応力場となることもある。したがって、溶接部材の疲労寿命を推定するためには溶接残留応力場での疲労き裂伝播についての知見を得ることが重要となる。

引張残留応力が存在すると、疲労き裂伝播速度 da/dN は素材での da/dN よりも加速され、圧縮残留応力場では減速されると言われている²⁻⁴⁾。素材を用いた試験では、応力比 R が高くなるにつれて da/dN も大きくなるという結果が得られており^{5,6)}、この現象はき裂の開閉口挙動を考慮することによって整理できると言わ

れている⁷⁾。また、比較的大きな引張残留応力場では応力比 R にかかわらず ($-\infty \sim 0.5$) 開口比が1.0となり、 R による da/dN の相違は見られず、その da/dN は素材・ $R=0.5$ での da/dN とほぼ等しいという結果が示されている²⁾。圧縮残留応力場での da/dN は応力比の影響を受けるという結果も示されている⁸⁾。ところで、引張残留応力が軽減された場合、 da/dN に対する応力比の効果がどのようになるか定かではない。また、負荷応力あるいは応力拡大係数の大きさによって da/dN に対する残留応力の効果がどのように異なるのか、あるいは相違ないのか明らかではない。

以上のことから本研究では、引張残留応力および圧縮残留応力が疲労き裂伝播速度に及ぼす影響ならびにそれらの残留応力場での疲労き裂伝播速度に及ぼす応力比および応力拡大係数範囲の効果を実験を行なうことによって調べた。そして、その結果にき裂の開閉口理論から検討を加えた。

2. 供試材料および試験方法

試験に供した材料は板厚 6 mm の 800 MPa 級調質型高張力鋼である。焼入れ温度は 930℃ であり、焼もどし温度は 625℃ である。供試材の機械的性質ならびに化学組成を Table 1 に示す。

*原稿受付 昭和57年10月21日 (昭和57年度春季全国大会にて発表)

**正 員 大阪大学大学院 (現在東京工業大学) Member, Welding Research Institute of Osaka University (Present Address: Tokyo Institute of Technology)

***正 員 大阪大学溶接工学研究所 Member, Welding Research Institute of Osaka University

Table 1 Mechanical Properties and Chemical Compositions

chemical compositions (%)										yield point	tensile strength	elongation
C	Si	Mn	P	S	Cu	Cr	Mo	V	B			
0.16	0.06	1.13	0.016	0.006	0.29	0.76	0.21	0.03	0.015	755MPa	819MPa	20.6%

試験片の作成は文献〔2〕の方法に準じた。Fig. 1 に示すように試験片は中央切欠き付き平板試験片であり、次の4種からなっている。素材 (BM) は納入のままである。中央溶接継手材 (WT) は引張残留応力場での疲労き裂伝播速度 da/dN を調べるために用いた試験片であり、試験片中央に長手方向の溶接ビードをおいている。中央溶接継手熱処理材 (SR) は WT 材に後熱処理 (620℃, 1 hr) を施した試験片であり、それによって残留応力を軽減した場合の da/dN を求めた。圧縮残留応力場での da/dN を調べるために用いた両側溶接継手材 (WC) は試験片の両端から各々 10 mm 離れた位置を長手方向に溶接ビードをおき、後熱処理 (500℃, 1 hr) を施した試験片である。

溶接は所定の寸法に試験片を切り出した後で試験片の片面に幅 5.5 mm, 深さ 2 mm の溝型開先を施し、サブマージアーク溶接機を用いて行なった。溶接条件は各試験片とも同じであり、270 A-30 V-52 cm/min, ワイヤ径 1.6 mm である。なお、溶接は1パスで行っている。

残留応力の測定は Fig. 2 に示すように、10 mm ピッチで1軸のひずみゲージ (ゲージ長 2 mm) を試験片の両面に貼付し、切断法によって行なった。それによって、試験片長手方向の残留応力分布を求めた。また、幅 0.2 mm ののこを用いてゲージ中心から 4 mm 離れた位置 (想定き裂線) を切断してゆき、そのときのひずみの変化からき裂進展に伴う残留応力の変化を求めた。

Fig. 1 Shape of Specimen

Fig. 2 Method for Measurement of Residual Stresses

疲労試験には動的能力 ± 30 ton の電気油圧式サーボ試験機を用いた。荷重波形は正弦波、繰返し速度は 10 Hz である。き裂長さの測定には読取り顕微鏡 ($\times 50$) を用いた。疲労き裂伝播速度を調べるために一定応力範囲 ($\Delta\sigma$ -constant) 試験と一定応力拡大係数範囲 (ΔK -constant) 試験を行なった。その試験条件を Table 2 に示す。 ΔK -constant 試験での K 値の制御はき裂が 0.5 mm 程度伸びるごとに荷重を階段状に減少させることによって行なった。

Table 2 Testing Conditions

$\Delta\sigma$ -constant test				ΔK -constant test			
No.	$\Delta\sigma$ (MPa)	R		No.	ΔK (MPa $\sqrt{m}$)	R	
BMI-1	117	-1		BMC-1	24.8	-1	
2	97	-0.5		2	17.1	0	
3	87	0		WT-1	12.4	-1	
4	84	0.18		2	24.8	-1	
5	79	0.33		SRC-1	15.5	-1	
6	82	0.49		2	24.8	-1	
WTI-1	114	-1		WCC-1	24.8	0	
2	86	0					
3	81	0.5					
SRI-1	116	-1					
2	88	0					
WCI-1	114	-1					
2	97	0.33					

疲労き裂の開閉口挙動を調べるために、き裂が通過すると思われる想定き裂線から 1.5 mm 離れた位置にひずみゲージ (ゲージ長 0.3 mm) を貼付し、ゲージ出力と荷重出力の関係を求めた (Fig. 3 参照)。き裂の開口点は Fig. 3 に示すように、荷重-ひずみ曲線の傾きが最小となる位置から離れる点と定義した。

Fig. 3 Definition of Crack Opening Point

3. 残留応力分布

残留応力の測定結果を Fig. 4 に示す。これらの値は表裏面での平均である。表裏面での残留応力の差が大きい箇所も何点もあった。たとえば、WT 材の中央付近の残留応力は、表面（ヒード側面）で +160, +400, +220 MPa であり、裏面で +100, +180, +290 MPa である。しかし、表面と裏面でのき裂進展に顕著な差は見られなかった。試験片中央における残留応力の値は WT 材で 290 MPa, SR 材で 35 MPa, WC 材で -60 MPa である。BM 材の残留応力は -2.3~7.4 MPa であり、きわめて小さい。

溶接継手材のき裂進展に伴う残留応力の変化を Fig. 5 に示す。残留応力の最大値はき裂先端で生じており、その値はき裂がないときの値と比べきわめて大きくなっている。WT 材および SR 材の残留応力の最大値はき裂が長くなるにつれて小さくなっているが、測定範囲すべてにわたって引張である。WC 材の残留応力の最大値は $2a=40$ mm までき裂長さとともに大きくなっている。

4. 疲労試験結果および考察

4.1 疲労き裂伝播速度

$\Delta\sigma$ -constant 試験より得られた疲労き裂伝播速度 da/dN と応力拡大係数範囲 ΔK の関係を Fig. 6 に示す。なお、 ΔK は K_{min} が負 ($R < 0$) の場合も含めて $\Delta K = K_{max} - K_{min}$ と定義した。

素材 (BM) の da/dN は応力比 R が -1~0.18 の範囲において、 R が高くなるにつれて大きくなっているが、 $R=0.18\sim0.49$ では da/dN - ΔK 関係に対する R の効果は見られない。中央溶接継手材 (WT) の da/dN -

Fig. 4 Residual Stress Distribution

dN - ΔK 関係には $\Delta K \leq 28 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$ において、応力比 (-1~0.5) による違いは見られない。さらに ΔK が大きくなると、応力比が低い順にこの da/dN - ΔK 関係からはずれ、 da/dN が小さくなっている。 $\Delta K \leq 28 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$ において、WT 材の da/dN - ΔK 関係は BM 材・ $R \geq 0.18$ での da/dN 関係とはほぼ一致している。同じ応力比での BM 材の da/dN - ΔK 関係との差は応力比が小さいほど大きい。中央溶接継手熱処理材 (SR)・ $R=0$ での da/dN - ΔK 関係は $\Delta K \leq 15 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$ において、WT 材の da/dN - ΔK 関係とはほぼ同じであり、それ以上に ΔK が大きくなるとそれにつれて、BM 材・ $R=0$ での da/dN - ΔK 関係に近づいている。SR 材・ $R=1$ での da/dN は測定開始時 ($a \approx 7$ mm) から WT 材の da/dN より小さく、 ΔK が大きくなるにつれて BM 材の da/dN に近づいている。引張残留応力の軽減による da/dN -

Fig. 5 Residual Stress Redistribution due to Crack Extension

Fig. 6 da/dN - ΔK Relations in $\Delta\sigma$ -constant Tests

ΔK 関係の改善度は $R=-1$ の方が大きい、BM 材の da/dN と比較すると引張残留応力による da/dN の加速度は $R=-1$ の方が大きい。つまり、引張残留応力を軽減したことによって da/dN - ΔK 関係に対する応力比効果が現われたが、その応力比効果は BM 材に比べ小さい。両側溶接継手材 (WC) の da/dN は同じ応力比における BM 材の da/dN よりも小さい。その差は応力比の小さい方が大きい。したがって、圧縮残留応力場での da/dN - ΔK 関係に対する応力比効果は素材での応力比効果よりも大きいといえる。

ΔK -constant 試験より得られた da/dN とき裂長さ a との関係を図 7 に示す。Fig. 7(a) は $\Delta K=24.8 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$ 、 $R=-1$ という条件で試験した BM 材、WT 材、SR 材の結果を示している。Fig. 7(b) は(a)に示すようなデータを比較しやすくするために曲線におきかえて示した図である。

同一の ΔK で $R=-1$, $R=0$ とともに BM 材の da/dN にはき裂長さによる差はなく、ほぼ一定となっている。WTC-1 ($\Delta K=12.4 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$, $R=-1$) での da/dN は測定したき裂長さにおいてほぼ一定となっている。WTC-2 ($\Delta K=24.8 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$, $R=-1$) での da/dN は $a \leq 20 \text{ mm}$ ではほぼ一定であり、 $a > 20 \text{ mm}$ ではき裂が長くなるにつれて小さくなっている。Fig. 5 に示すように、WT 材での残留応力はき裂が長くなるにつれて小さくなっているにもかかわらず、 da/dN が一定であるということは、 ΔK , R を一定した場合、引張残留応力がある程度以上大きければ、残留応力が da/dN に及ぼす影響は飽和するということを意味している。SRC-1 ($15.5 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$, -1), SRC-2 ($24.8 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$, -1) での da/dN

Fig. 7 da/dN in ΔK -constant Tests

dN はき裂が長くなるにつれて小さくなっており、き裂長さに伴う残留応力の変化と対応している。WCC-1 ($24.8 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$, 0) での da/dN はき裂が伸びるにつれて小さくなっており、その減少もき裂が長くなるにつれて大きくなっている。これは WC 材の圧縮残留応力がき裂長さと共に急激に大きくなっていることと対応している。

4.2 開口比

き裂の開閉理論ではき裂が開いている間の応力拡大係数範囲 ΔK_{eff} がき裂伝播に寄与するとしている。パリズ則をき裂開閉理論から表わせば、次式となる。

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

C , m ; 常数; U ; 開口比

$\Delta\sigma$ -constant 試験から得られた開口比 U を Fig. 8 に示す。BM 材の開口比は応力比 R が高くなるにつれて高くなっている。ただし、 $R=0.18 \sim 0.49$ では R による開口比の顕著な差はない。 $R=-0.5$ での開口比はき裂が長くなるにつれて若干下がっているが、他の試験での開口比はき裂長さによって系統的には変化していない。WT 材の開口比はき裂が短い間、応力比にかかわらず ($-1 \sim 0.5$) 1.0 となっている。その後き裂が長くなるにつれ、応力比が低い順に開口比は小さくなっていく。SR 材での開口比は $R=-1, 0$ とともにき裂が長くなるにつ

Fig. 8 Crack Opening Ratio in $\Delta\sigma$ -constant Tests

れて小さくなっており, き裂が短い間, BM 材の同じ応力比での開口比よりも高い. WC 材での開口比は $R=0$, $R=0.33$ と BM 材の同じ応力比での開口比よりも小さい.

ΔK -constant 試験において測定した開口比を Fig. 9 に示す. BM 材の開口比はき裂長さによって変化しておらず, $R=-1$, $R=0$ とほぼ一定である. また, その値は $\Delta\sigma$ -constant 試験の同じ試験片・応力比での開口比の値とほぼ一致している. WTC-1 ($\Delta K=12.4 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$, $R=-1$) での開口比はき裂長さの全測定範囲にわたって 1.0 である. また, WTC-2 (24.8, -1) での開口

Fig. 9 Crack Opening Ratio in ΔK -constant Tests

比はき裂が短い範囲で 1.0, その後き裂が長くなるにつれて減少している. SR 材の開口比は $\Delta K=15.5$, $24.8 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$ とともにき裂が長くなるにつれて減少している. WC 材の開口比はき裂長さに伴って減少しており, その減少率もき裂が長くなるにつれて若干大きくなっている.

以上の結果より, き裂長さに伴う開口比の挙動は, (1) 式を考慮することによって, $\Delta\sigma$ -constant 試験での da/dN - ΔK 関係あるいは ΔK -constant 試験での da/dN - a 関係とよく対応していることがわかる. この開口比より求めた da/dN - ΔK_{eff} 関係を Fig. 10 に示す. 各試験で得られた da/dN - ΔK_{eff} 関係は da/dN - ΔK 関係よりもせまい範囲に集まっている.

4.3 応力拡大係数範囲の影響

応力拡大係数範囲 ΔK の大きさによって, 疲労き裂伝播速度 da/dN に及ぼす残留応力の影響がどのように変化するかを調べるため, ある基準となる da/dN - ΔK 関係で与えられる da/dN に対する各試験で得られた同一の ΔK での da/dN の比 (速度比) を用いる. 基準となる da/dN - ΔK 関係として, WT 材・ $\Delta\sigma$ -constant 試験の $\Delta K \leq 28 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$ で得られた da/dN - ΔK 関係を用いる. この da/dN - ΔK 関係を基準として用いたのは以下の実験事実による.

$\Delta K \leq 28 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$ ではすべての応力比 (-1 , 0 , 0.5) で da/dN - ΔK 関係に差がなく, そのときの開口比は 1.0 となっている. WT 材・ ΔK -constant 試験ではき裂長さによって残留応力の値が変化するのもにかかわらず, da/dN はき裂長さとは関係せず一定であり, 基準とした da/dN 関係にはほぼ一致する. さらに, そこでの開口比は 1.0 である. 以上の事実から, この da/dN - ΔK 関係は本実験により得られた上限であり, 基準となりうる関係である. この da/dN - ΔK 関係をパリズ則で表わせば, 次式となる.

Fig. 10 da/dN - ΔK_{eff} Relations

$$da/dN = 1.72 \times 10^{-8} (\Delta K)^{2.72} \quad \dots\dots (2)$$

$$da/dN (\text{mm/cyc}/e), \Delta K [\Delta K (\text{MPa}\sqrt{\text{m}})]$$

$\Delta\sigma$ -constant 試験・ ΔK -constant 試験の WT 材・SR 材の $R=-1$ における速度比を Fig. 11 に示す。WT 材では三つの速度比 (WTI-1, WTC-1, 2) が $a \leq 17 \text{ mm}$ においてともにほぼ 1.0 となっている。WTI-1 では $a = 17 \text{ mm}$ ($\Delta K = 28 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$)、WTC-2 ($\Delta K = 24.8$) では $a = 20 \text{ mm}$ から速度比が減少しており、WTC-1 ($\Delta K = 12.8$) での速度比は $a = 32 \text{ mm}$ にいたるまでほぼ 1.0 となっている。また、速度比が 1 未満の範囲ではき裂長さが同じであれば、 ΔK が小さいほど速度比が高くなっている。SR 材においても SRI-1 での ΔK が $24.8 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$ 以下の範囲では、速度比の順序が SRC-1 ($\Delta K = 15.5$) > SRI-1 > SRC-2 ($\Delta K = 24.8$) となり、SRI-1 での ΔK が $24.8 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$ 以上の範囲では SRC-1 > SR SRC-2 > SRI-1 となっている。

以上の結果より以下のことがわかる。引張残留応力が疲労き裂伝播速度 da/dN を速める効果は応力比を一定とすれば、残留応力が大きいほど、応力拡大係数範囲 ΔK が小さいほど顕著となる。さらに残留応力が大きく、 ΔK が小さくなると、残留応力による加速効果は飽和し、それ以上の応力比では da/dN - ΔK 関係に及ぼす応力比の効果も消滅する (Fig. 12)。なお、Fig. 12 の残留応力の値はき裂線から 4 mm 離れた位置でのひずみの変化から算出した Fig. 5 に示す WT 材の残留応力のピーク値を結んで求めた値である。

WC 材・ $R=0$ での速度比とき裂長さの関係を Fig. 13 に示す。 ΔK を一定とした WCC-1 ($\Delta K = 24.8 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$) での速度比は Fig. 5 に示す WC 材のき裂長さに伴う残留応力の変化を反映してき裂が長くなるにつれて小さくなっている。それに対し、 $\Delta\sigma$ を一定とした WCI-1 での速度比はき裂長さに関係なくほぼ一定となっている。このことは圧縮残留応力の da/dN に対する減速効果が、引張残留応力の da/dN に対する加速効果と同様に、残留応力が大きいほど、 ΔK が小さいほど顕著とな

Fig. 11 Ratio of Rate in Tensile Residual Stress Field

Fig. 12 Relation of Residual Stress and ΔK expressing Region where da/dN - ΔK Relation is not influenced by R -ratio

Fig. 13 Ratio of Rate in Compressive Residual Stress Field

ることを意味している。

4.4 開口比からの考察

疲労き裂の開閉口挙動は、き裂先端前方に生じる塑性変形・その塑性域での残留応力、塑性域をき裂が進展することによる塑性変形のき裂面への残留・残留応力の開放にともなうき裂面の変位などに支配される。

Fig. 14 は中央溶接継手材 (WT) および両側溶接継手材 (WC) のき裂進展 (のこ引き) にともなうき裂先端前方および後方でのひずみ値を示している。その測定方法は残留応力再配分の測定方法と同じである。引張残留応力場からき裂進展を開始すると (WT 材)、き裂先端前方は膨張し、き裂先端後方は前方に比べ収縮している。逆に、圧縮残留応力場からき裂進展を開始した場合 (WC 材)、き裂先端前方は収縮し、後方は膨張している。したがって、前者でのき裂は開きやすくなり、後者でのき裂は閉じやすくなる。

素材と同じ応力比および ΔK をもつ引張残留応力場

Fig. 14 Strain near to Crack Tip in Residual Stress Field

での繰返し応力におけるき裂開口点は、前述のき裂先端前方・後方でのひずみにより、素材での開口点よりも低く、 ΔK_{eff} は大きくなる。最大応力拡大係数 K_{max} による残留応力の軽減を無視すれば、Fig. 15 に示すように低応力比と高応力比における引張残留応力場での開口点と素材での開口点の差は等しくなると考えられる。低応力比と高応力比での ΔK も等しいとすれば、開口比の差も等しくなる。素材での開口比を U_B 、引張残留応力場と素材での開口比の差を U_n とおけば、(1)式より、引張残留応力場での da/dN と素材での da/dN の比は(2)式で表わすことができる。

$$\frac{C\{(U_B+U_n)\Delta K\}^m}{C(U_B\Delta K)^m} = \left(\frac{U_B+U_n}{U_B}\right)^m \quad \dots\dots (2)$$

素材での開口比は応力比が高いほど大きくなるので、応力比が高くなるにつれて引張残留応力が da/dN に及ぼ

Fig. 15 Illustration of Crack Opening Points in No Residual and Residual Stress Field

す影響は小さくなる。なお、ここでは K_{max} による引張残留応力の軽減を無視して検討したが、 K_{max} が高いほど引張残留応力場と素材での開口比の差は小さくなる。圧縮残留応力が da/dN に及ぼす影響も、同様に応力比が低くなるにつれて顕著となる。なお、圧縮残留応力場ではき裂閉口のために最小応力拡大係数 K_{min} による圧縮残留応力の軽減は、引張残留応力場での K_{min} による軽減と比べ、きわめて小さいと考えられる。引張残留応力場での開口比は素材での開口比よりも大きいので、引張残留応力場での da/dN に対する応力比効果は前記の検討と同様に素材での応力比効果よりも小さくなる。圧縮残留場での開口比は素材での開口比よりも小さいため、 da/dN に対する応力比効果は素材での応力比効果よりも大きくなる。

残留応力の da/dN に対する加速・減速効果に及ぼす ΔK の大きさの影響について検討する。同じ応力比をもち、異なる ΔK の大きさをもつ二つの繰返し応力において、 K_{max} , K_{min} による残留応力の軽減がないとすれば、双方の繰返し応力における残留応力と素材での開口点の差は等しくなる。この開口点の差が開口比に及ぼす影響は ΔK が小さいほど大きくなる。したがって、残留応力が da/dN に及ぼす影響は ΔK が小さいほど大きくなる。

5. 結 言

素材および溶接継手試験片を用いて疲労き裂伝播試験を行なうことにより、以下の結論が得られた。

(1) 引張残留応力は疲労き裂伝播速度 da/dN を加速し、圧縮残留応力は da/dN を減速する。

(2) 引張残留応力場での da/dN - ΔK 関係に対する応力比効果は素材での応力比効果よりも小さく、圧縮残留応力場での応力効果は素材での応力比効果よりも大きい。

(3) 引張および圧縮残留応力が da/dN - ΔK 関係に及ぼす影響は応力拡大係数範囲 ΔK が小さいほど、応力比 R が低いほど顕著となる。

(4) 引張残留応力場では残留応力が大きく、 ΔK が小さいと、 da/dN - ΔK 関係に対する応力比効果が見られなくなる。このときの開口比は1.0であり、この da/dN - ΔK 関係は試験材の da/dN - ΔK 関係の上限となる。また、この範囲では残留応力の大きさ、 ΔK の大きさがかかって、 da/dN - ΔK 関係は変化しない。

(5) (1)~(4)のことはき裂の開閉挙動と密接に関係している。

本研究をまとめるにあたり、東京工業大学 三木千寿

助教授に有益な御助言をいただいた。実験に際しては、
大阪大学溶接工学研究所 中辻義弘氏に御協力いただいた。
ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 例えば, C. Miki, F. Nishino, J. Tajima and Y. Kishimoto; Initiation and Propagation of Fatigue Cracks in Partially Penetrated Longitudinal Weld, Proceeding of JSCE 312 (1981), 129-140
- 2) 福田, 渡, 堀川; 疲労き裂伝播におよぼす溶接残留応力の影響, 機械学会論文集, (A), 416 (1981), 384-390
- 3) V.I. Trafiakov, P.P. Mikheev, A.Z. Kusmenko; Effect of Scale Factor and Residual Welding Stress on the

Rate of Fatigue Crack Propagation, IIS/IIW Colloquium on Practical Application of Fracture Mechanics (1979), 46-51

- 4) 太田, 外6名; SM50B 突合せ溶接継手における疲労き裂伝播しきい値に及ぼす引張残留応力の影響, 本誌50-2 (1981) 35-42
- 5) R.G. Forman, V.E. Kearney, R.M. Engle; Numerical Analysis of Crack Propagation in Cyclic-Loaded Structures, Journal of Basic Engineering, 89 (1967), 459-464
- 6) 太田, 佐々木, 小管; 疲労き裂伝播速度におよぼす平均応力の影響 機械学会論文集, 373 (1977) 3179-3191
- 7) W. Elber; The significance of Fatigue Crack Closure, ASTM STP 466 (1971), 209-220
- 8) 村上, 秋園; 溶接残留応力場での疲労き裂進展挙動に及ぼす板幅の影響, 本会講演概要, 30 (1982) 222-223

溶接施工管理への AE 法の適用に関する研究(第1報)*

—AE 計測解析システムおよび擬似 AE を用いた溶接シミュレーション実験—

菊田 米男**, 荒木 孝雄**, 千原 哲生***, 岩本 博之****

Practical Application of Acoustic Emission Detection for Welding Process (Report 1)*

—Instrumental Construction of the AE Monitoring System and
Simulation Experiment for Welding Process—

by Yoneo Kikuta**, Takao Araki**, Hiroo Chihara***, and Hiroyuki Iwamoto****

One of the most fruitful areas for application of the AE technique lies in monitoring defects of weld part. AE monitoring system was designed to apply AE technique to the continuous detection of weld defects and classification of noise during welding process by using synchroscope and spectrum analyzer.

The system applied to a simulation welding experiment where several simulating AE were generated at the simulated weld line on the test specimen like as travelling weld arc and weld defects in weld bead, if occurred, and received at the various location of different distance from the signal source of the simulated weld line.

Both reproducibility of simulated AE source and directivity of transducer have of good performance to detect the weld defects and noise. Further the system will be successfully applied to monitor and analyze the signal from weld defects and noise by the AE signal shape and frequency spectra.

1. 緒 言

アコステック・エミッション (AE) は種々の非破壊検

*原稿受付 昭和58年3月3日 (昭和58年度溶接冶金研究委員会にて発表)

**正 員 大阪大学工学部 Member Faculty of Engineering, Osaka University

***正 員 大阪大学大学院 (現在日立造船(株)) Member, Graduate School, Osaka University (Present Address: Hitachi Shipbuilding & Co., Ltd.)

****学 生 員 大阪大学大学院 Student Member, Graduate School, Osaka University

査法に比して,リアルタイムに欠陥を検出する特徴を有しており,従来から構造物の各種試験に多く利用されている^{1,2)}。この AE 法の特徴を生かすべく溶接作業監視に利用すれば,さらに AE 法の適用範囲が広がるものと考えられる。例えば,溶接時には種々の欠陥が生じる場合があるが,AE 法を適用し,それらの欠陥をリアルタイムに検出できれば,補修処置が迅速に行われるだけでなく,溶接施工での技術管理および溶接部の品質管理にも有益と考えられる。