

# 作用応力に斜めな荷重非伝達型リブ十字すみ肉 溶接継手の疲労挙動

山田健太郎<sup>1</sup>・金仁泰<sup>2</sup>・伊藤健一<sup>3</sup>

<sup>1</sup>正会員 Ph.D. 名古屋大学大学院 教授 工学研究科土木工学専攻 (〒464-8603 名古屋市千種区不老町)

<sup>2</sup>学生会員 工修 名古屋大学大学院 工学研究科 博士課程後期課程 (同上)

<sup>3</sup>正会員 工修 清水建設㈱ (〒105-8007 東京都港区芝浦 1丁目 2-3, 前名古屋大学大学院)

実構造物の疲労照査で生じる問題の1つに、作用応力範囲が溶接線に垂直でない場合がある。本研究では、作用応力に対して垂直に溶接された荷重非伝達型リブ十字すみ肉溶接継手( $\theta=0^\circ$ )に加え、 $\theta=15^\circ$ と $30^\circ$ 傾けた場合の疲労試験を行い、溶接止端からの疲労き裂の発生・進展挙動、および疲労寿命の違いを定量的に評価した。 $\theta=0^\circ$ の場合は、溶接止端部に沿って複数点から疲労き裂が発生し、同一面上で合体を繰り返しながら進展するのに対して、 $\theta=15^\circ$ と $30^\circ$ の場合は、疲労き裂が同一面上ではなくなり、しばらく独立に進展した後、段差を生じて合体し、作用応力の垂直方向へ進展する。疲労寿命は、斜めの角度が $0^\circ$ 、 $15^\circ$ 、 $30^\circ$ と大きくなるにしたがって長寿命になる。

*Key Words : fatigue test, non-load-carrying fillet welded joints, inclined rib, fatigue behavior*

## 1. まえがき

溶接継手の疲労照査を行う場合、一般に作用応力範囲を溶接線に垂直、あるいは平行に作用させる。これは、疲労設計基準のもとになった疲労試験データが、そのような試験から得られていることによる。たとえば、荷重非伝達型すみ肉溶接継手では、短冊状に製作したリブ十字すみ肉溶接継手を用いて疲労試験を行う<sup>1)</sup>。この場合、疲労き裂は作用応力に対してほぼ垂直に溶接止端から発生して進展する。作用応力範囲が溶接線に対してある角度を持つような場合でも、溶接線に垂直な応力成分ではなく、主応力範囲を溶接線に垂直に作用させて疲労照査を行うことが多い<sup>2)</sup>。この方法を用いることで、安全側の疲労耐久性を評価していると考えられる<sup>3), 4)</sup>。

ところが、この方法で実構造物の疲労耐久性を評価すると耐久性が短く評価され、場合によっては補修・補強を要するような判定になることがある。このような問題が生じるのは、溶接線に対して応力範囲がある角度を持って作用する場合の疲労挙動が必ずしも明確にされてこなかったことに起因すると考えられる。

本研究では、作用荷重に対して垂直にリブが溶接された荷重非伝達型リブ十字すみ肉溶接継手(以下、リブ十字継手と呼ぶ)に加えて、溶接止端に対して作用応力範囲が傾きを持つ場合の疲労試験を行った。作用応力範囲に垂直な場合、すなわち通常のリブ十字継手(傾きの角度 $\theta=0^\circ$ )の他に、 $\theta=15^\circ$ 、 $30^\circ$

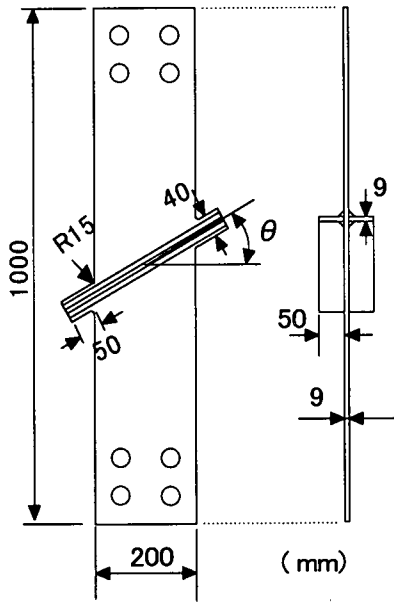
とした試験体を製作し、疲労き裂の発生・進展挙動、および疲労寿命について実験的に検討した。

## 2. 疲労試験

### (1) 疲労試験体の設計

リブ十字継手の引張疲労試験では、ある幅を持つ主板の両面にリブをすみ肉溶接したものから短冊状に切り出した試験体で実施されることが多い。本研究で対象とする溶接線が斜めの試験体をこの方法で製作すると、傾いたリブ端の応力集中が他の溶接止端より高くなり、疲労き裂もこの部分から発生する可能性がある<sup>4)</sup>。そこで、試験体の中央部から疲労き裂を発生させるため、図-1に示すような幅広の試験体を製作した。

この試験体は、板厚9mm、幅200mmの母板の両側の一部を拡幅し、リブの端部をはり出させることで、リブ端の応力集中を軽減した。この形状を決めるため、図-2に示す突起部の幅 $w$ とすりつけ部の半径 $R$ を変えたモデルに対し、有限要素応力解析を行った。解析で考慮した点は、 $w$ を小さくすることで突起部によるすみ肉溶接止端部の応力分布への影響を小さくし、同時に $R$ を大きくすることで、この部分からの疲労き裂の発生を防止することである。この結果、突起部の形状は、リブ厚(9mm)とすみ肉溶接の脚長(6mm)の両側に約10mmの余裕をもつ $w=40\text{mm}$ とし、 $R=15\text{mm}$ とした。



$\theta = 0^\circ, 15^\circ, 30^\circ$

図-1 疲労試験体の形状

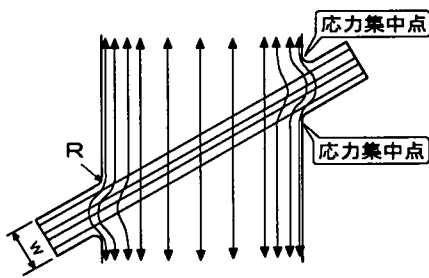
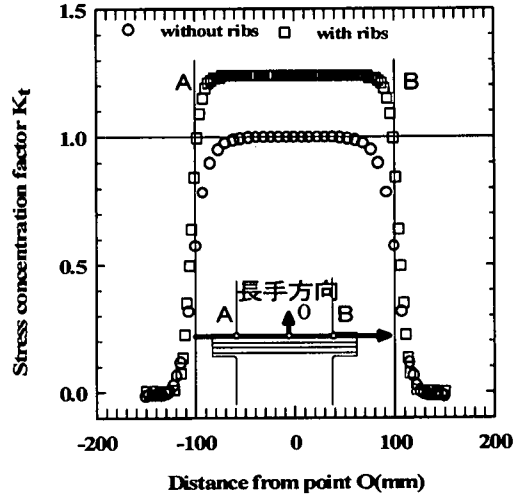
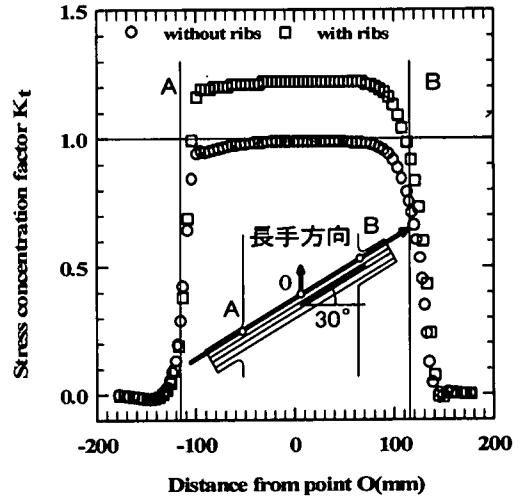


図-2 主板の応力の流れ



(a)  $\theta = 0^\circ$



(b)  $\theta = 30^\circ$

図-3 止端部に沿った応力分布

表-1 鋼材の化学成分(%)と機械的性質(ミルシート値)

C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	降伏点(MPa)	引張強さ(MPa)	伸び(%)
0.15	0.34	1.46	0.022	0.007	0.02	0.02	0.02	417	546	24

採用した形状の  $\theta = 0^\circ$  と  $30^\circ$  の試験体に対する応力解析結果を図-3 に示す。解析には固体要素(最小サイズ  $1.5 \times 2.5 \times 2.0\text{mm}$ )を用いた。解析は、リブがないケースとリブを溶接したケースについて行い、いずれも溶接止端に沿った応力集中係数  $K_t$  で示した。試験体の中央部の  $K_t$  は、リブがないケースはともに  $K_t \approx 1$  になる。リブがあるケースの溶接止端に沿った  $K_t$  も両者とも約 1.23 となっている。したがって、 $\theta = 0^\circ$  と  $30^\circ$  の試験体の溶接止端部の  $K_t$  はほぼ等しいと考えられる。また、応力集中が一定になる区間は、試験体の幅 200mm の中央部の幅約 160mm になっている。なお、この解析では、 $\theta$

$= 0^\circ$  と  $30^\circ$  の比較をするため、比較的粗い要素で  $K_t$  を求めたため、 $K_t = 1.23$  程度の値となった。より細かい要素を用いた場合は、すみ肉溶接止端の  $K_t$  は 2.5 より大きい値になることを付記する。また、試験体の端部に近づくに従って、 $K_t$  が小さくなっているため、 $\theta = 15^\circ$  と  $30^\circ$  の試験体では、 $K_t$  の大きい中央部から疲労き裂が発生し、 $\theta = 0^\circ$  の場合の疲労試験結果と比較できる。

## (2) 疲労試験体の製作

疲労試験体は図-1 に示す  $\theta = 0^\circ, 15^\circ, 30^\circ$  の 3 種類である。鋼材は、普通構造用鋼 JIS G3106

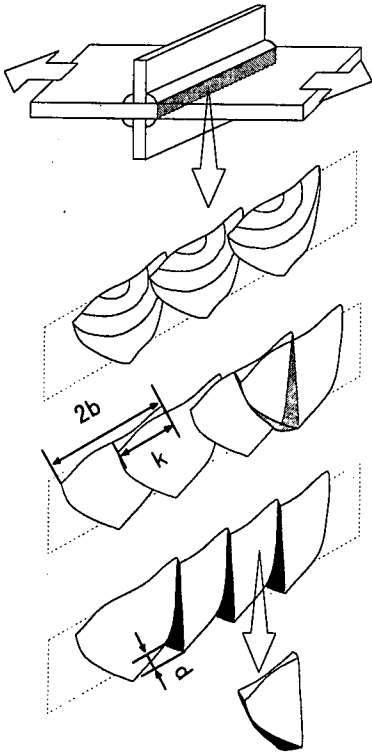


図-4  $\theta=15^\circ$  と  $30^\circ$  の疲労き裂の進展挙動

SM490YA であり、その化学成分と機械的性質を表-1に示す。リブの溶接は、フラックス入りワイヤー(1.2mm $\phi$ )を用いた  $\text{CO}_2$  半自動溶接で、電圧 36V、電流 250A、溶接速度 50~60cm/min、 $\text{CO}_2$  流量 25~28 l/min の溶接条件で施工した。また、溶接時には主板をクランプで固定し、溶接による変形を防止した。

### (3) 疲労試験の方法

疲労試験はアムスラー型万能試験機(容量 980 kN)を用いて、4.5Hz の繰り返し速度の一定振幅荷重で行った。また、下限荷重 30kN(公称応力 16.4MPa)を一定とした。

疲労き裂の進展挙動は、ダイマーキングやビーチマーク試験によって追跡した。ダイマーキングは、試験の途中で浸透性のよい速乾性のインクを溶接止端部に塗布し、その時に存在する疲労き裂に浸透させることによってマーキングする方法である。この方法によって、小さな疲労き裂やき裂の形状が確認できた。ビーチマーク試験は、疲労試験の途中で上限荷重をそのまま下限荷重を変化させ、き裂進展速度を変化させることによって、疲労破面にき裂形状の模様を残す方法である。本研究では、 $\theta=0^\circ$  はビーチマークが破面に残っていたが、 $\theta=15^\circ$ 、 $30^\circ$  ではビーチマークが見えにくい状況であった。

## 3. 疲労き裂の発生と進展挙動

### (1) 概要

$\theta=0^\circ$ 、 $15^\circ$ 、 $30^\circ$  のいずれも、疲労き裂は、応力が集中する溶接止端部から発生し、進展した。しかし、 $\theta$  によって、疲労き裂の進展挙動が異なった。

$\theta=0^\circ$  では、これまで報告されているように、止端部に沿って複数の疲労き裂が発生した。その後、き裂は同一面上で隣接するき裂と合体を繰り返しながら進展し、破断に至った。 $\theta=15^\circ$  と  $30^\circ$  でも、図-4 に模式的に示すように、止端部に沿った面に複数の疲労き裂が発生する。しかし、このき裂は進展するに従って作用応力に垂直な面を形成する方向に進展する<sup>3),5),6)</sup>。従って、個々のき裂はある段階まで独立して進展し、隣接したき裂が重なり合った状況になったとき、段差を生じて合体してゆく<sup>3)</sup>。 $\theta=30^\circ$  では、個々のき裂が独立して進展する割合が大きく、その分段差も  $\theta=15^\circ$  より大きくなった。

### (2) 疲労破面の観察結果

$\theta=0^\circ$  では、通常のリブ十字すみ肉溶接継手と同様な破面が見られた。すなわち、図-5(a)の上縁にダイマーキングされたように、止端部に複数個の疲労き裂が発生し、合体を繰り返しながら進展した。

$\theta=15^\circ$  では、図-5(b)に示すように、破面に縦筋が多く見られ、その中に比較的大きな段差が複数見られる。縦筋は、溶接止端に発生した疲労き裂が作用応力の垂直方向に進展しようとするが、隣接するき裂の面と同一でないために形成されたものと思われる。また、比較的大きな段差は、合体して成長した異なる疲労き裂面が重なり、ついには段差の部分が切れてき裂が連続したために生じたと思われる。

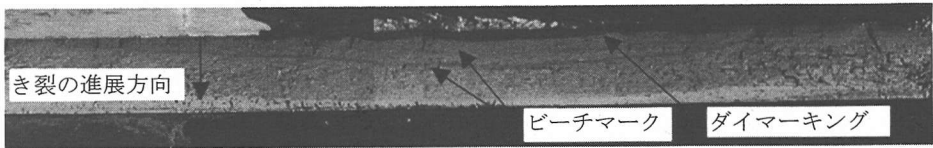
$\theta=15^\circ$  は 8 体の疲労試験を行った。その内の 7 体は  $\theta=0^\circ$  に比べて長寿命側の疲労寿命を示したが、1 体は、 $\theta=0^\circ$  相当の疲労寿命を示した。この試験体の疲労破面を図-5(c)に示す。縦筋は多少見られるものの、大きな段差は見られず、疲労き裂が一つの面で進展したことが分かる。

$\theta=30^\circ$  は、図-5(d)と 5(e)に示すように、 $\theta=15^\circ$  の場合より、縦筋や段差が多く見られ、その段差は大きい。また隣り合う段差の間隔が  $\theta=15^\circ$  の場合より小さい。

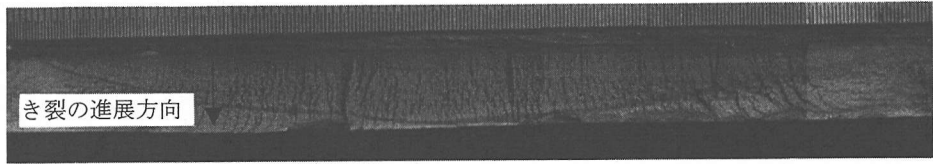
### (3) 疲労き裂形状の変化

疲労き裂が進展する過程で示す形状は、前述したように  $\theta$  によって異なる。破面に残ったダイマーキングやビーチマークの寸法を計って、き裂形状の変化を追跡した。ここで、き裂形状は半円形のき裂深さを  $a$ 、表面の幅を  $2b$  として示した。また、図-4 に示すように疲労き裂の重なり長さを  $k$ 、疲労き裂面の距離を  $d$  とした。

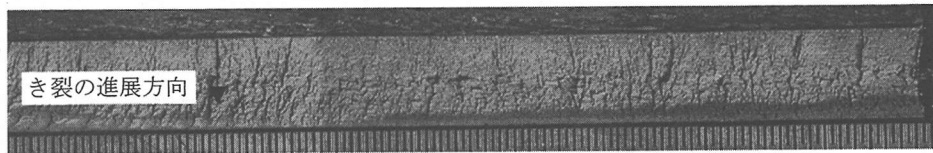
$\theta=0^\circ$  では、前述したように合体を繰り返しながら進展する。そのため、疲労き裂の形状  $a/b$  は、図-6 に示すように、 $a/b=1/30\sim 1/3$  に分布して、バラツキが大きい。また、 $a$  が大きくなるにしたがって



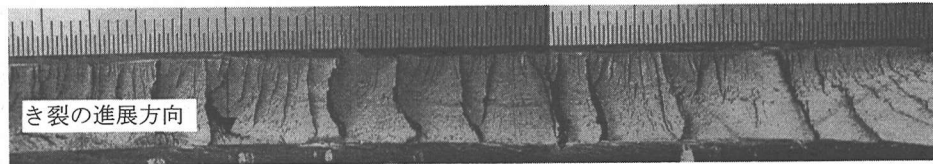
(a)  $\theta=0^\circ$  の疲労破面



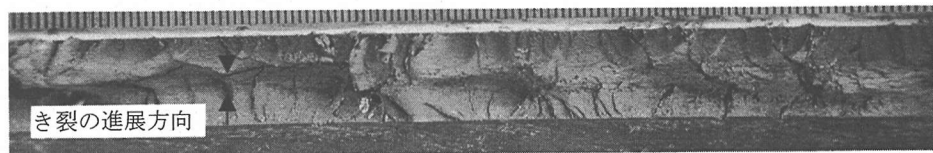
(b)  $\theta=15^\circ$  の疲労破面



(c) 短寿命になった  $\theta=15^\circ$  の疲労破面 (K15-3)



(d)  $\theta=30^\circ$  の疲労破面 1



(e)  $\theta=30^\circ$  の疲労破面 2

図-5 典型的な疲労破面の写真

$a/b$  が小さくなる傾向が見られる。つまり、初期段階の半だ円形き裂が進展するに従って合体を繰り返し徐々に扁平なき裂になる傾向がわかる。

$\theta=15^\circ$ ,  $30^\circ$  では、疲労き裂は溶接止端部に沿って複数個発生し、進展する。破面を見ると、隣り合う疲労き裂が合体する場合と合体しない場合がある。合体しない場合は、半だ円形のままき裂が進展し、合体する場合は、初期の段階で横に細長い疲労き裂となる。しかし、 $\theta$ によって、一つの疲労き裂が進展することができる幅の限界が存在するようである。

図-7 に、 $\theta=15^\circ$  の形状変化を示す。 $a$  が  $0.3\text{mm}$  より小さい所では、 $\theta=0^\circ$  とほぼ同じ疲労き裂形状であるが、その後、 $a/b$  は  $1/10\sim 1/1$  となっている。き裂深さ  $a$  が  $1\text{mm}$  より大きくなって隣り合うき裂と重なると、 $b$  は大きくなり、 $a$  のみ大きくなる。つまり、疲労き裂は板厚方向へ進展し、その形状は円形に近づく。 $\theta=15^\circ$  の場合、疲労き裂が大きくなることのできる限界の幅は  $b_{\max}=10\text{mm}$  で、疲労き

裂が重なる長さは  $k\approx 0\sim 1\text{mm}$  であった。き裂面の傾きが変化するためき裂面の距離  $d$  は一定ではないが、最大で  $d\approx 1\text{mm}$  であった。

図-8 に示す  $\theta=30^\circ$  では、 $a$  が  $0.3\text{mm}$  より小さい所では、 $b$  は  $1\text{mm}$  以下で、 $\theta=0^\circ$  と  $\theta=15^\circ$  に比べ  $a/b$  が大きい。その後、 $a/b\approx 1/2\sim 1/1$  で進展し、隣り合う疲労き裂と重なり、 $b_{\max}=7\text{mm}$  まで大きくなる。このとき、疲労き裂の重なり長さ  $k$  は、 $2b$  の  $1/4$  程度である。つまり、 $\theta=30^\circ$  の場合、き裂が  $2b\approx 3/4\times b_{\max}$  で重なりはじめ、 $b$  は  $b_{\max}$  まで大きくなり続ける。これは、 $\theta=30^\circ$  のき裂面の距離  $d\approx 2\text{mm}$  であり、 $\theta=15^\circ$  よりも離れているため、隣り合う疲労き裂による干渉の影響が、 $\theta=15^\circ$  よりも小さいためと考えられる<sup>7),8)</sup>。

以上のように、異なる疲労き裂の進展面、および段差により、 $\theta$  が大きいほど、大きくなることのできる疲労き裂の限界の幅  $b_{\max}$  は小さいことが明らかになった。また、このとき、疲労き裂の重なり長さ  $k$  は大きくなり、疲労き裂面の距離  $d$  も大きくなり、

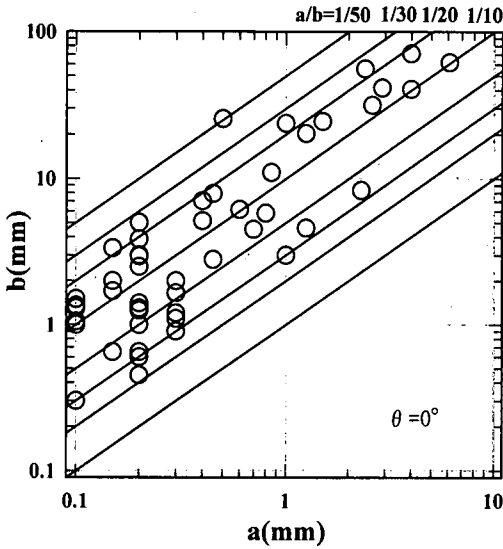


図-6  $\theta = 0^\circ$  の疲労き裂の形状

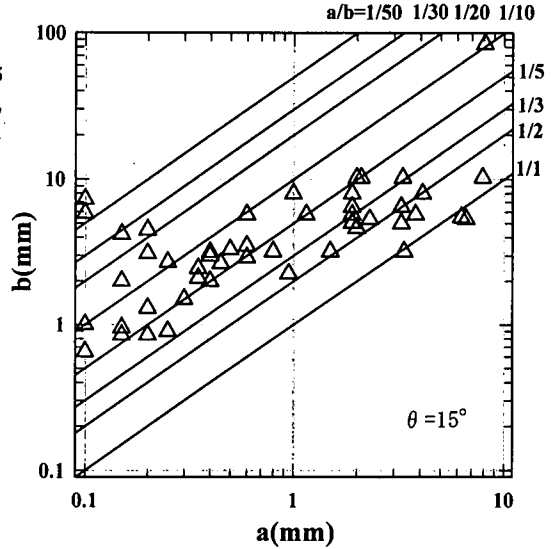


図-7  $\theta = 15^\circ$  の疲労き裂の形状

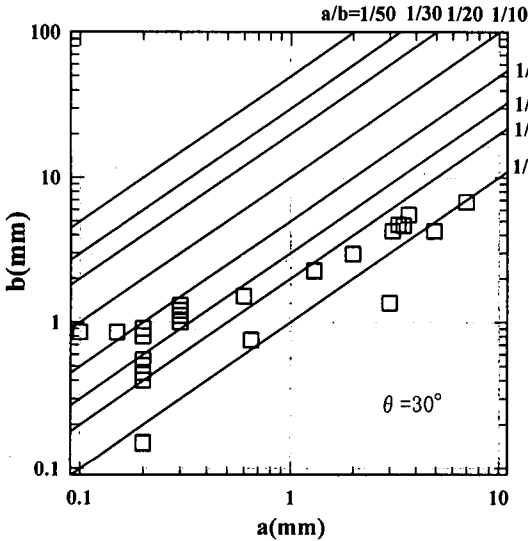


図-8  $\theta = 30^\circ$  の疲労き裂の形状

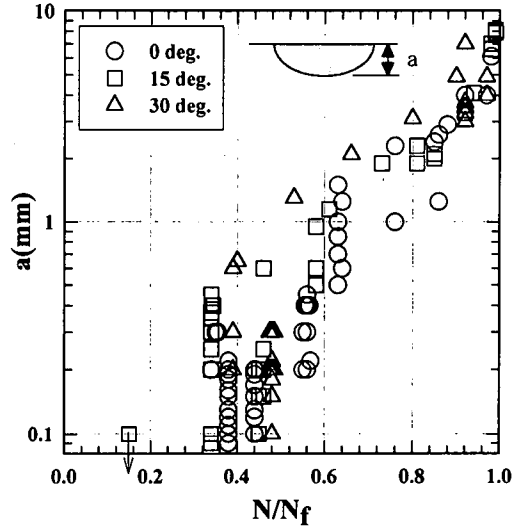


図-9 疲労き裂の深さ a と  $N/N_f$

疲労破面の段差は大きくなる。

#### (4) 疲労き裂の発生

図-9 に、ダイマークとピーチマークから得られた疲労き裂の深さ  $a$  と、その時の繰返し数  $N$  を疲労寿命  $N_f$  で無次元化したものの関係を示す。この図を見ると  $N/N_f = 0.4$  あたりで  $a = 0.1 \sim 0.3 \text{ mm}$  が確認されており、少なくとも疲労寿命の 40% でほとんどの試験体に疲労き裂が生じていたことになる。また、ある応力範囲で疲労荷重したとき、 $\theta$  が大きいほど疲労寿命は長くなるため、同じ 40% でも、 $\theta$  が大きいほど  $N$  は大きいことになる。

#### 4. 疲労寿命

疲労試験結果を表-2 に整理し、公称応力範囲を用いた S-N 線図として図-10~12 に示す。図中の実線は、JSSC 疲労設計指針<sup>2)</sup>に示される強度等級である。疲労寿命  $N_f$  は溶接止端部から発生したき裂が板厚を貫通するまでの繰返し数とした。

##### (1) $\theta = 0^\circ$

$\theta = 0^\circ$  の疲労試験結果を図-10 に示す。荷重非伝達型リブ十字すみ肉溶接継手は、JSSC では E 等級である。本試験結果は E 等級より長寿命側となっている。

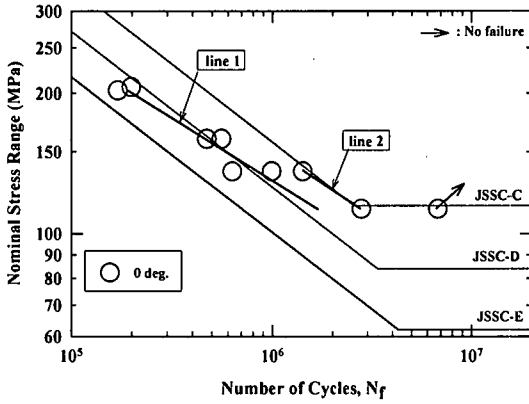


図-10 疲労試験結果 ( $\theta = 0^\circ$ )

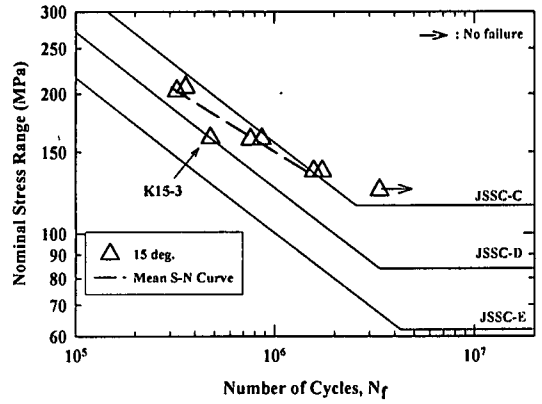


図-11 疲労試験結果 ( $\theta = 15^\circ$ )

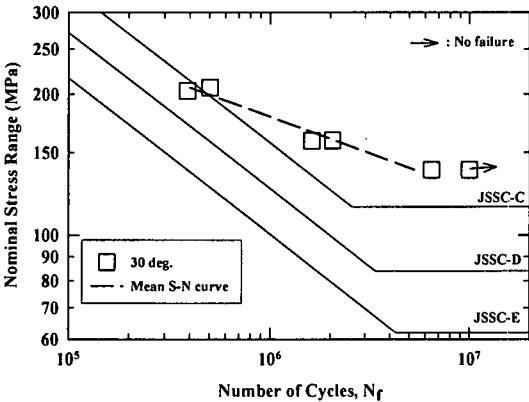


図-12 疲労試験結果 ( $\theta = 30^\circ$ )

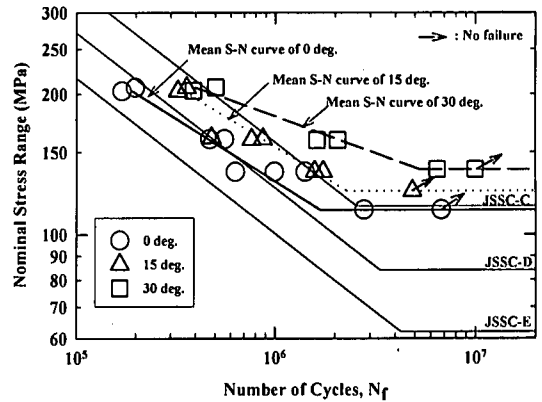


図-13  $\theta$  による S-N 線図

表-2 疲労試験結果

試験体	応力範囲 (MPa)	疲労寿命 ( $\times 10^3$ )	試験体	応力範囲 (MPa)	疲労寿命 ( $\times 10^3$ )	試験体	応力範囲 (MPa)	疲労寿命 ( $\times 10^3$ )
K0-1	203	170	K15-1	203	324	K30-1	203	389
-2	206	198	-2	206	360	-2	206	502
-3	160	470	-3	161	479	-3	159	2,053
-4	160	556	-4	160	867	-4	159	1,620
-5	136	1,415	-5	160	760	-5	138	6,449
-6	136	630	-6	136	1,577	-6	138	>10,000
-7	136	990	-7	136	1,739	<記号の説明> K0: $\theta = 0^\circ$ , K15: $\theta = 15^\circ$ K30: $\theta = 30^\circ$ , >: 未破断		
-8	113	>6,764	-8	124	>4,860			
-9	113	2,788						

ここでは、疲労き裂の形状を分離して 2 種類の S-N 曲線 line1 と line2 を示した。疲労き裂の形状が  $a/b=1/30 \sim 1/10$  であったものが line1,  $a/b=1/3$  であったものが line2 で、この順に疲労寿命が長くなっている。き裂の形状  $a/b$  が大きいほど破壊力学で示される応力拡大係数範囲が小さく、そのため疲労き裂進展速度は小さくなることからわかっている<sup>2),9)</sup>。すなわち、疲労き裂形状が  $a/b=1/30 \sim 1/10$  である line1 に対して、 $a/b=1/3$  と半円形に近づ

くに従って、疲労寿命が長くなったと考えられる。

(2)  $\theta = 15^\circ$

図-11 に示すように  $\theta = 15^\circ$  の疲労寿命は JSSC-D 等級より長寿命側となり、また  $\theta = 0^\circ$  の疲労寿命に比べて長くなっている。 $\theta = 15^\circ$  では、き裂が独立して進展することで  $\theta = 0^\circ$  に比べ  $a/b$  が  $1/10 \sim 1/1$  と大きい。K15-3 試験体だけは、図-5(c) に示すように溶接止端部に発生した疲労き裂が全て合体し、

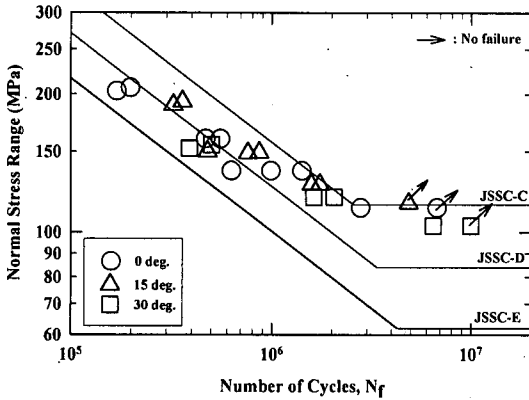


図-14 溶接止端に垂直な応力範囲で整理

それが一つの疲労き裂として進展したため、疲労寿命は短くなり、同一応力範囲下における $\theta=0^\circ$ の疲労寿命とほぼ同程度となった。

### (3) $\theta=30^\circ$

$\theta=30^\circ$ の疲労試験結果を図-12に示す。 $\Delta\sigma=203\text{MPa}$ で試験した一つのデータを除いて、JSSC-C等級より長寿命側となっている。また、 $\theta=0^\circ$ 、 $15^\circ$ と比較して、さらに長寿命になっていることがわかる。 $\theta=30^\circ$ においては、疲労き裂は $a/b=1/2\sim 1/1$ で進展する。

### (4) 疲労寿命の比較

平均的な疲労寿命を算出するため、 $\theta=0^\circ$ 、 $15^\circ$ 、 $30^\circ$ の平均曲線と繰返し数 $2\times 10^6$ 以上で破断しなかったデータを打ち切り限界とし、平均S-N曲線をそれぞれ実線、点線、破線で図-13に示す。 $\theta=0^\circ$ の場合、初期き裂形状 $a/b=1/30\sim 1/10$ を対象とし、 $\theta=15^\circ$ は図-11に示すK15-3を除いて平均曲線を求めた。

点線で示す $\theta=15^\circ$ の平均S-N曲線は、 $\theta=0^\circ$ の疲労寿命と比較して、約1.8倍であり、JSSCの疲労設計指針の継手等級で言えばおよそ1ランク上の疲労寿命を示している。ただし、この場合は、前述のK15-3で見られたような疲労き裂進展する場合を除いている。この試験では8体中の1体であるが、 $\theta=0^\circ$ の寿命になる場合があることを注意しなければならない。また、応力範囲の打ち切り限界も大きくなり、約124MPaである。

破線で示す $\theta=30^\circ$ の平均S-N曲線は、 $\theta=0^\circ$ の疲労寿命と比較して、 $\Delta\sigma=200\text{MPa}$ で約2.3倍、 $\Delta\sigma=137\text{MPa}$ で約6.6倍であった。また、打ち切り限界も大きくなり、約135MPaである。また、 $\theta=0^\circ$ と $15^\circ$ に比べ、応力範囲が小さくなると長寿命になる傾向を示した。この試験体では、前述のように疲労き裂が単独に半だ円形状で進展してある段階で段差を生じて大きなき裂に成長する挙動を示した。この効果と後述する疲労き裂を発生させる溶接止端の応力範囲が作用応力より小さくなることによって $\theta=30^\circ$ の疲労寿命が長くなったものと思われる。

### (5) 溶接線に垂直方向の応力で整理したS-N線図

溶接線に垂直な方向の応力は、 $\Delta\sigma\cos^2\theta$ で計算される。この計算を行うと、 $\theta=0^\circ$ に比べて止端部の垂直応力範囲は $\theta=15^\circ$ で0.93、 $\theta=30^\circ$ で0.75となる。この応力範囲で疲労試験データを整理したものを図-14に示す。この場合、溶接線に垂直な方向の応力範囲で疲労寿命が決まるとすれば、 $\theta=15^\circ$ と $30^\circ$ のデータと $\theta=0^\circ$ のデータがほぼ同一のS-N曲線上に図示されると思われる。図-14に示す溶接線に対して垂直方向の応力範囲で整理した場合、 $\theta=15^\circ$ と $30^\circ$ の疲労寿命は、 $\theta=0^\circ$ とほぼ同程度となる。

以上のように、溶接線に対して斜めに応力が作用する場合、たとえば、 $\theta=0^\circ$ 、 $15^\circ$ 、 $30^\circ$ では、図-13に示す $\theta=0^\circ$ の場合の平均S-N曲線より疲労寿命を溶接線に対して垂直な応力範囲で評価することも可能である。

## 5. 結論

本研究では、荷重非伝達型リブ十字すみ肉溶接継手で、作用応力が溶接止端部に対して傾いている場合を対象にして、疲労試験を行なった。作用応力が溶接止端部に直角な $\theta=0^\circ$ に加え、 $15^\circ$ 、 $30^\circ$ 傾いた場合の疲労寿命を定量的に評価した。また、それぞれの疲労き裂の進展挙動を明らかにした。

本研究で得られた主な結果を以下にまとめる。

- (1)  $\theta=0^\circ$ では、止端部に発生する複数の疲労き裂の発生面と進展面が同一であるため、疲労き裂は合体しながら進展する。これに対して、 $\theta=15^\circ$ 、 $30^\circ$ と傾きが大きくなると、それらは同一面上ではなく、交互に重なり合いながら進展する。このき裂はある段階まで独立して進展し、隣接したき裂が重なり合った状況になり、段差を生じて合体して進展する。
- (2)  $\theta$ が大きくなるにしたがって、疲労寿命は長くなった。 $\theta=0^\circ$ 、 $15^\circ$ 、 $30^\circ$ の場合の疲労寿命を定量的に評価し、S-N線図で示した。
- (3) 斜めの角度が $\theta=0^\circ$ 、 $15^\circ$ 、 $30^\circ$ と大きくなると疲労寿命が長くなるのは、この疲労き裂の発生と進展の挙動に加えて、疲労き裂を発生させる溶接止端に垂直な応力範囲が溶接線が傾くことにより小さくなることによるものと思われる。
- (4) 試験に用いた荷重非伝達型リブ十字すみ肉溶接継手では、溶接線に垂直な応力範囲を用いることで、 $\theta=15^\circ$ と $30^\circ$ も $\theta=0^\circ$ の試験体と同様の疲労寿命となった。実構造物の疲労耐久性の評価に際して、作用応力が溶接線に対してある傾きをもつ場合、溶接線に対して垂直な応力範囲で評価することがより現実的な疲労耐久性の評価につながるものと思われる。

謝辞：本研究を行うあたり，名古屋大学の貝沼重信，小塩達也助手には試験体の設計に貴重な助言を頂いた。日立建機株式会社の下平貴之氏には貴重な参考文献を頂いた。試験体の製作は，瀧上工業株式会社の中川賢治氏にお世話になった。ここに記して謝意を表します。

#### 参考文献

- 1) 山田健太郎，牧野時則，菊池洋一：横リブ十字隅肉溶接止端部に発生する疲労亀裂の解析，土木学会論文報告集，第292号，pp. 1-12，1979.
- 2) 日本鋼構造協会：鋼構造物の疲労設計指針・同解説，技報堂出版，1993.
- 3) 山田健太郎，加藤秀一郎，岡部篤紀，金仁泰，小塩達也：作用応力に斜めに溶接された面外ガセット継手の疲労試験，構造工学論文集，Vol. 47A，pp. 1039-1045，2001.
- 4) 下平貴之，中門公明，橋本昭：荷重が斜めに作用する場合のリブ十字すみ肉継手の疲労強度，茨城講演会講演論文集(日本機会学会関東支部，精密工学会，日本塑性加工学会，97-9-26)，pp. 131-132，1997.
- 5) 吉岡純夫，渡辺勝彦，北川英夫，井上彰夫，熊沢道夫：モードⅢ下での疲労き裂進展の下限界条件( $\Delta K_{th}$ ) (応力比，混合モードの影響)，日本機械学会論文集(A編)，50巻454号，pp. 1267-1274，1984.
- 6) 真壁朝敏，兼城英夫，玉寄博道，屋宮祖建樹，屋良秀夫：板厚方向に傾斜した切欠きからのモードⅠ，Ⅱ，Ⅲの混合モード形疲労き裂伝ば，日本機械学会論文集(A編)，59巻，562号，pp. 1421-1428，1993.
- 7) 石田誠，廣田晃一，野口博司，吉田忠継：2個の平行なだ円板状き裂の干渉(き裂に直角方向の引張り)，日本機械学会論文集(A編)，50巻，450号，pp. 148-157，1983.
- 8) 村上敬宜，石田誠：任意形状傾斜表面き裂のモードⅠ，Ⅱ，Ⅲの応力拡大係数の解析法，日本機械学会論文集(A編)，50巻，455号，pp. 1359-1366，1984.
- 9) 矢川元基：破壊力学，培風館，pp. 3-110，1988.

(2001. 12. 7 受付)

## FATIGUE BEHAVIOR OF INCLINED NON-LOAD-CARRYING FILLET WELDED JOINTS

Kentaro YAMADA, In-Tae KIM and Kenichi ITO

In estimating fatigue resistance of existing steel bridges, applied stresses are not always perpendicular to weld toes. Fatigue tests of non-load-carrying fillet welded joints with inclined ribs are carried out. The ribs are inclined at 0, 15 and 30 degrees to perpendicular direction of applied stress. Fatigue cracks for the specimens with inclined angle of 0 degree are initiated at multiple points along the fillet weld toes, and then coalesce with adjacent cracks to propagate in a same plane. On the other hand, numerous fatigue cracks are initiated along the weld toes and propagated in different planes for the specimens with inclined angle of 15 or 30 degree. This fatigue crack propagation pattern yields increase in fatigue life as the inclined angle increases. The test results show that the normal stress perpendicular to fillet weld can be used for estimating fatigue life of inclined non-load-carrying fillet welded joints.