

応力比の差異による鋼材のき裂進展特性

大同工業大学 正員 事口壽男
大同工業大学大学院 学生員 岡本英明
大同工業大学工学部 加藤正幸

1. まえがき

一般に疲労微小き裂は、応力比や環境に敏感に影響を受けることはよく知られているが、この疲労過程の解明から疲労寿命予測や、疲労損傷評価などの方法論の確立・向上が図られるものと期待される。実際に引張・圧縮荷重は、鉄道橋のトラス部材を除いて通常は発生しないが、地震による極度な変動荷重を鋼構造物が受けるとき生じるため、本研究では特に圧縮荷重に起因する鋼材のき裂発生及び、微視き裂進展に関して考察検討するものである。また、応力比は荷重条件に左右されるものであり片振、両振正弦波を用いて応力比がき裂進展に与える影響を追求するものであり、引張・圧縮の両振りに関する疲労研究は数少ない。そこで、ノッチ先端近傍の動的応力-ひずみを検出し、き裂開閉口点応力と応力比の関係を重ねて検討し、応力拡大係数 ΔK とき裂進展速度の関係を求めることにより応力比を種々変化させた時のき裂進展特性を得ることを目的とする。

2. 試験概要

本実験使用鋼材は片側切り欠き付帯板SS400材(JIS引張5号)であり、その機械的特性と化学的成分を表-1に示す。試験機は250KN油圧式サーボ疲労試験機を使用し、試験片定着部は油圧式Gripにより等圧・等面積・等方向でチャッキングされているため両振り荷重による圧着部の「ずれ」は生じない。繰返しサイクル数は10Hzで大気環境下で施行し、試験片番号、荷重条件と応力比及び各載荷重波形Typeを表-2に表記する。試験片表面は0.05 μm まで鏡面仕上げし(アルカリ水溶液)、動的観察手法により微小疲労き裂を結晶粒オーダ(平均粒径15.5 μm)で追跡し、き裂進展速度とき裂距離および応力拡大係数の関係を求める。更に、切り欠きノッチ先端から1mm、3mm点に貼付した動ひずみゲージにより、き裂開閉口点応力と応力比の関係を照査した。

3. き裂開閉口応力と応力比

ノッチ先端から1mm点に貼付したひずみゲージより得た応力-ひずみ曲線を図-1に応力比 R の差異に対するき裂開閉口点応力(σ_{coc})の実験結果を示す。これらより、 $R>0$ のda-1、da-2は、全応力振幅の約20%がき裂開閉口点応力を占めており、残りの80%が直接き裂進展駆動力(σ_{df})として効いてくることがわかる。次に $R=0$ のda-3の片振り正弦波によるき裂開閉口点応力は $R>0$ の場合と比しほぼ同様に全応力振幅の約20%の、き裂開閉口点応力の確認ができる。つまり応力比 R が正をとる場合、直接き裂進展力として稼働するき裂駆動力は、各全応力振幅の約8割が効いてくるといえる。ところが、 $R<0$ の両振り正弦波を有するda-4、da-5、da-6は、 $R=-0.25$ の場合を除いてき裂開閉口点応力は繰返し荷重の引張側と圧縮側の変換点つまり載荷重の中立応力と一致する結果が明確に得られた。このことは、 $R<0$ の場合き裂進展駆動力は引張側荷重の全てが効くことを示している。 $R=-0.25$ に関しては、中立応力点を若干引張荷重側にき裂開閉口点がみられるため、 $R<0$ 域中でも R の絶対値が0に近似するに伴い $R>0$

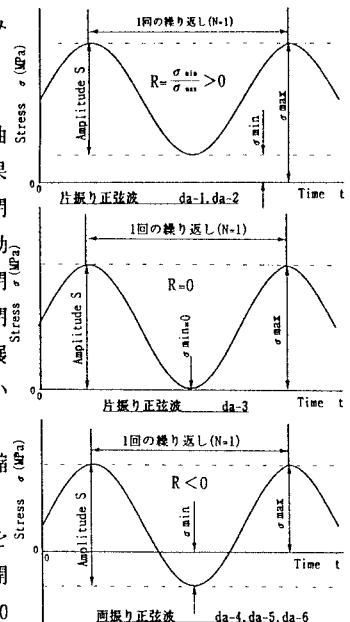
表-1 試験片の機械特性・化学成分

Items	Young's Modulus	Yield Point	Tensile Stress	Elongation	Poisson's Ratio
Specimen	208GPa	287MPa	438MPa	32%	0.28

Items	Chemical Composition (wt%)				
Specimen	C	Si	Mn	P	S
SS400	0.16	0.16	0.63	0.013	0.006

表-2 荷重条件と荷重波形

Items	σ_{Max} (MPa) maximum Stress	σ_{Min} (MPa) minimum Stress	R Stress ratio
Specimen			
da-1	93.7	37.5	0.4
da-2	93.7	18.7	0.2
da-3	87.5	1.7	0.0
da-4	62.5	-15.6	-0.25
da-5	75.0	-37.5	-0.5
da-6	62.5	-46.8	-0.75



の片振り傾向が若干みられると思われる。R<0域でR=-1の両振り波形に近づくに伴いき裂開閉口点が載荷重の中立点により近似すると思われる。また、R<0域内はR>0に比して、全応力振幅に対するき裂開閉口点応力の割合がda-4が20%、da-5が35%、da-6が43%と増加している。これは、Rの低減に伴いき裂進展駆動力が低減することを示唆しており、R<0域でのき裂進展速度とき裂距離の関係よりRの減少に伴い、き裂進展速度が低減することが判る(図-2)。また、R>0域ではRの増加に伴いき裂進展速度は増加することがいえる(図-3)。図-4は ΔK とda/dNのR=0, R<0における実験結果であり、R値が増大するに連れてda/dN値も増加することが顕著に現れており、全応力振幅に対する σ_{coc} の割合値に反比例している。なを、き裂駆動力(σ_{df})は(全応力振幅- σ_{coc})である。

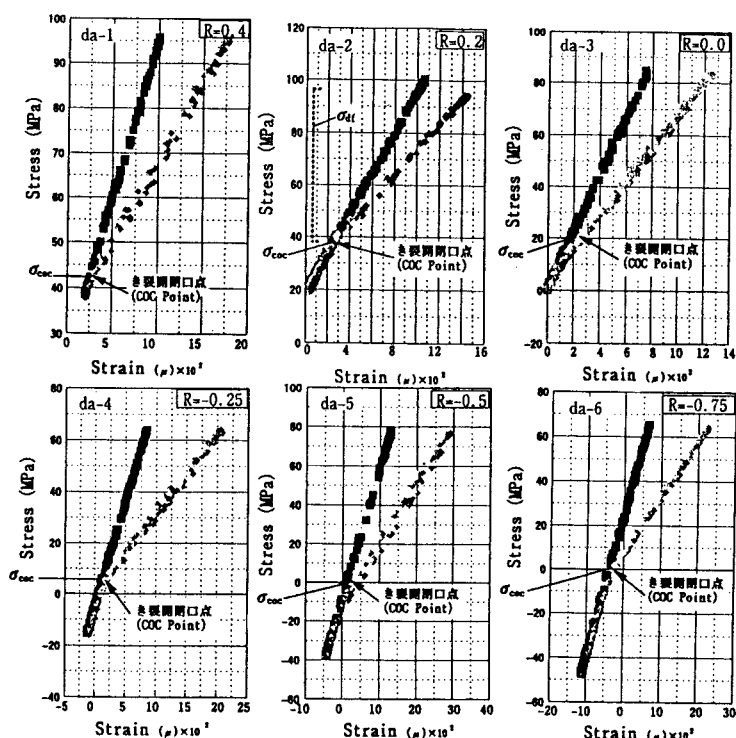


図-1 応力比の差異によるStress-Strain Curve (き裂開閉口点応力 σ_{coc})

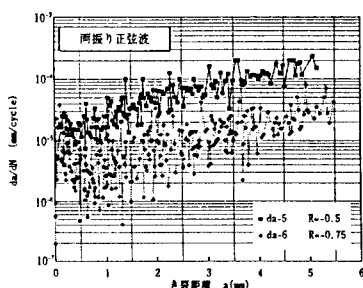


図-2 き裂距離-da/dN(き裂進展速度)関係(R=0の場合)

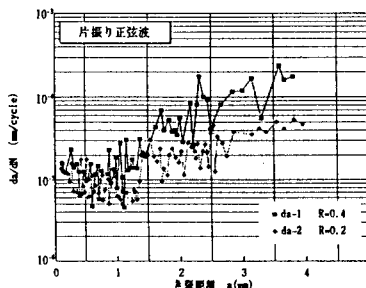


図-3 き裂距離-da/dN(き裂進展速度)関係(R>0の場合)

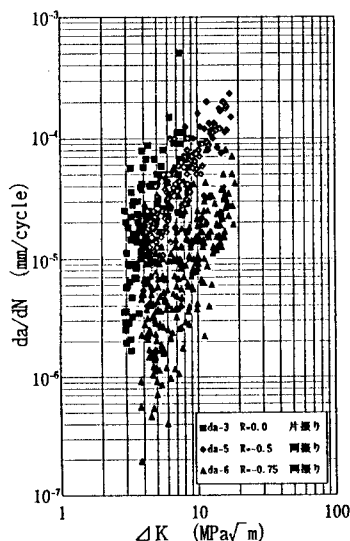


図-4 ΔK (応力拡大係数)-da/dN(き裂進展速度)関係

4. まとめ

応力比の差異が疲労き裂に及ぼす影響を検討すると以下になる。

- ①R>0域は、き裂駆動力は応力振幅の約80%を占め直接のき裂進展駆動力として効く。
- ②R<0域でのき裂開閉口点応力は、載荷重の中立応力と一致し、載荷重の引張側が全てき裂駆動力として効く。
- ③R<0域では、Rの低減に伴いき裂開閉口点応力が増加する、つまり、き裂駆動力が減少することを示唆し、結果き裂進展速度はRの低減に伴い低くなる。
- ④R>0域では、Rの増加に伴いき裂進展速度は増加する。
- ⑤応力比の差異は、き裂進展速度に関与し、き裂開閉口点応力が疲労き裂寿命の一検出の目安となる。

参考文献 1) Hisao KOTOGUTI, Tadayuki ITO, Hideaki OKAMOTO and Tetsuo YAMAMORI: Experimental Study on Microcrack Behavior of Mild Steel, 4th Pacific Steel Conference, 1995.