

# X線回析法によるき裂進展に関する研究

小 川

壽\*

## Study on The Crack Propagation Using X-Ray Diffraction Technique

Hisashi OGAWA

### Abstract

In this paper the relation between Stress intensity factor and half-value breadth in fatigue fracture was examined by using X-ray diffraction. The material was SS41, S45C steel and I-had pulsating load fatigue test by DCB type model.

In conclusion half-value breadth spread with the increase of Stress intensity factor, and  $\kappa\alpha_1$ ,  $\kappa\alpha_2$  lines were difficult to separate.

### 1. ま え が き

材料の破壊に関する研究は最近非常に多く、機械構造物の設計・製造および保守の上で安全性のことが厳密になりつつある。従来、設計等に関し巨視的力学問題の領域において処理されてきたものが、微視的領域において取り扱う必要性に迫られつつある。そのため巨視的力学問題と微視的金属学との境界領域としての新しい方法論の開発が急がれている。

材料の破壊面には何らかの結晶学的履歴が残っていると考えられるが、これらを調べる手法としてはフラクトグラフィとX線回析が考えられるが、前者については多くの研究が現在なされている<sup>1)</sup>。後者については破壊様式によってX線回析像の半価幅に違いが生ずることが知られており<sup>2)</sup>、本稿では疲れ破壊過程における破壊表面層の違い、すなわち疲れ破壊より延性破壊へ移る結晶組織状態の変化をX線回析によって調べてみた。

### 2. 応力拡大係数

応力拡大係数は図2に示す形状 DCB Type の場合、(1)式で定義される。修正係数は有限要素法を使ってJ積分、(2)式より求めた。J積分法は他の手法に比べてき裂近傍の要素を少なくとれる利点がある<sup>3)</sup>。

図2の形状を(節点数274、要素数474の三角形メッシュ

ユ)にて任意のき裂長での解を求め最小二乗法により求めたグラフを図1に示す。

$$\Delta k = \frac{4P}{BW} \sqrt{\pi a} f(a/W) \quad \dots\dots(1)$$

$$J = \int_p (Wdy - T \cdot \frac{\partial u}{\partial x} ds) \quad \dots\dots(2)$$

ただし  $W$  は歪エネルギー密度、 $T$  はトラクションベクトル、 $u$  は変位ベクトル、 $s$  は弧長である。

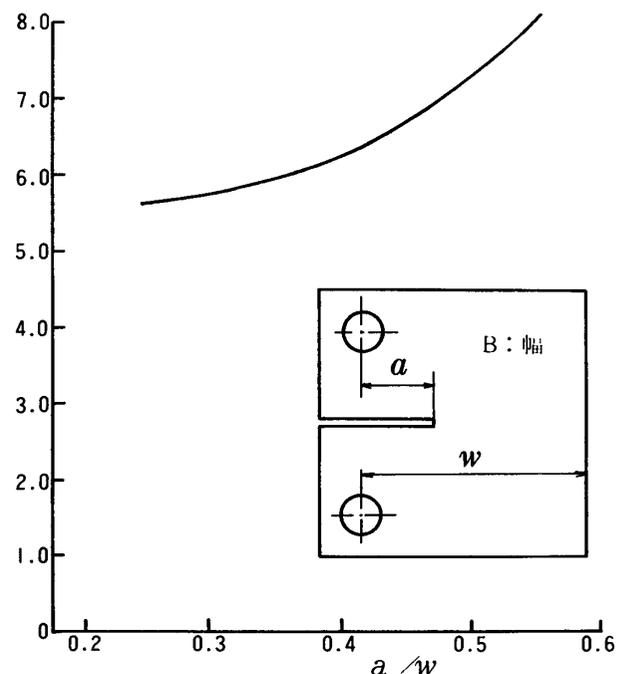


図1 修正係数

\* 宇部工業高等専門学校機械工学科

### 3. 実験方法

#### 3.1 試験片・負荷条件

試験片は圧延方向に直角にクラックを入れ、形状寸法は図2に示す。表面はき裂近傍状態が顕微鏡で明瞭にわかるように鏡面仕上げを行なった。切欠き先端は繰返し速度10Hz、最大荷重1500kg、最小荷重50kgで切欠き先端から5mmのヘアークラックを入れ初期クラックとした。実験時における荷重は表2に示す。

試験機は±5ton電気・油圧式疲れ試験機（島津サーボベット）を使用し、図3のような片振り繰返し荷重を加えて実験を行なった。き裂長の測定は40倍の読取り顕微鏡を使った。使用した材料はSS41、S45Cの2種類とし、それぞれの熱処理、化学成分、機械的性質を表1に示す。

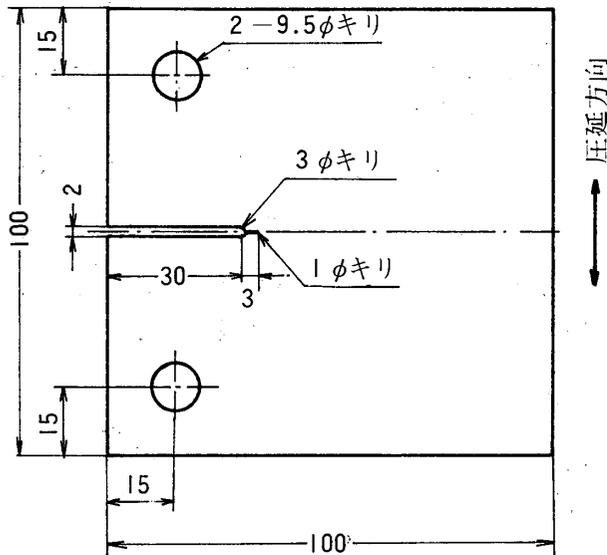


図2 形状

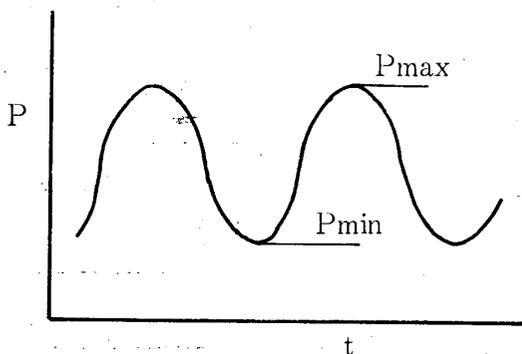


図3 荷重状態

表1.1 熱処理

	焼鈍温度	時間
SS41	900°C	90min
S45C	880°C	90min

表1.2 化学成分(%)

	C	Mn	Si	S	P
SS41	0.22	0.82	0.04	0.008	0.011
S45C	0.40	0.76	0.28	0.025	0.021

表1.3 機械的性質

	降伏点	引張強さ	伸び
SS41	23.89kg/mm <sup>2</sup>	43.57kg/mm <sup>2</sup>	39.5%
S45C	62.80 "	62.80 "	26.5%

表2 荷重条件

番号	繰返し荷重(kg)	
	最大荷重	最小荷重
1	1700	50
2	1700	350
3	1700	550
4	1700	850

#### 3.2 X線回析

実験に用いた方法は背面デバイ法でCr-K $\alpha$  X線により(211)面からの結晶回析像をフィルムに写した。フィルムに写った像は自作のマイクロフォトメータでX-Yプロッタに描かせて読み取った。X線の照射位置は切欠き先端より任意の位置に取り、き裂破壊面の中央と付近

表3 X線撮影条件

X線	Cr-K $\alpha$
回析面	Fe(211)
管電圧	40KV
管電流	14mA
コリメータ径	1mm
コリメータ・サンプル間距離	70mm
照射面積	1 $\phi$ mm
露出時間	10min
フィルム	富士Ix150

した。測定条件は表3, 4に示す。

表4 切欠き先端と照射位置の距離

番号	材 質	
	S S 41	S 45 C
1	6 mm	6 mm
2	10 "	11 "
3	14 "	16 "
4	18 "	21 "
5	22 "	26 "
6	26 "	31 "

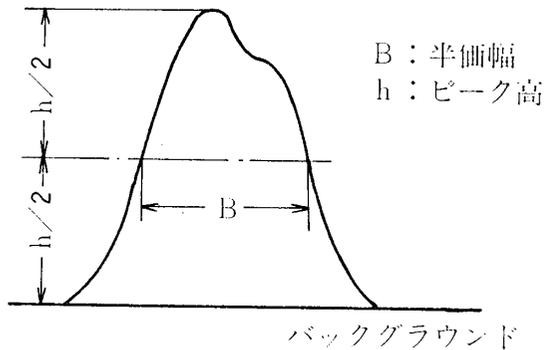


図4 半価幅

4. 結果と考察

各荷重条件でのき裂進展速度と応力拡大係数の関係を図5に示す。SS41, S45C 材とも Paris の式<sup>4)</sup>に従い、一本の直線に乗ってくる。負荷の違いによる平均応力の違いはこの場合出ていない。

次に X線回析像をみている。図6, 7に X線回析像とマイクロフォトメータによる回析曲線を示す。切欠きからの距離が短い場所では、デバイ環上で  $\kappa\alpha_1$  線と  $\kappa\alpha_2$  線の回析環は識別することが可能である。遠のくにつれて  $\kappa\alpha_1$  線と  $\kappa\alpha_2$  線の分離が困難となって半径方向の幅の広がりが大きくなっている。すなわち、き裂が進展するにつれて疲労破壊から延性破壊状態に移行してくると思われる。また、破面下の結晶組織が破壊様式によって異なってくるのが理解できる。

半価幅と応力拡大係数との関係を図8に示す。フィルム の現像による濃淡の影響を考慮して、半価幅はピーク 高さで除した値を使った。図からそれ程までの大きな変 化は見いだせないが、わずかに応力拡大係数の増加にと もなって半価幅も増加する傾向がある。すなわち、き裂 破面結晶上の変化が応力拡大係数の違いによって少しず

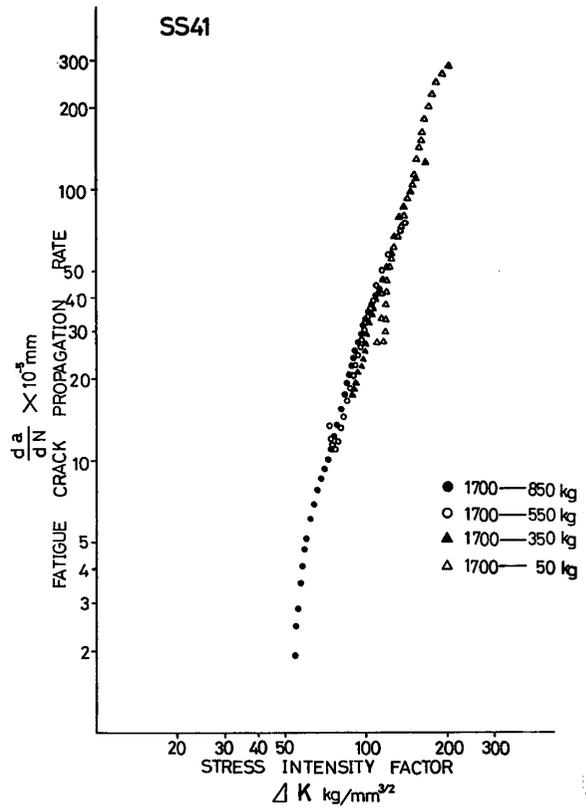


図 5-1

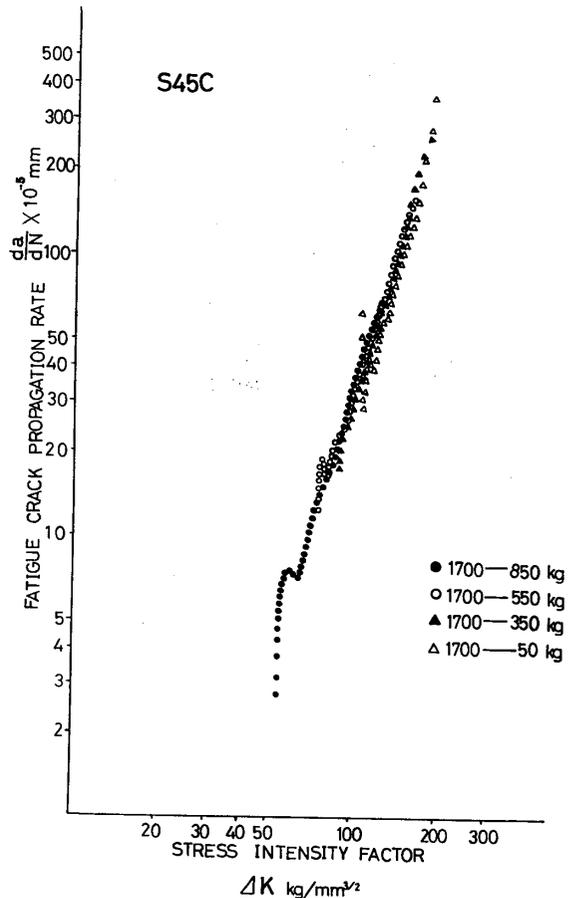


図 5-2

図5 応力拡大係数と疲れき裂進展速度の関係

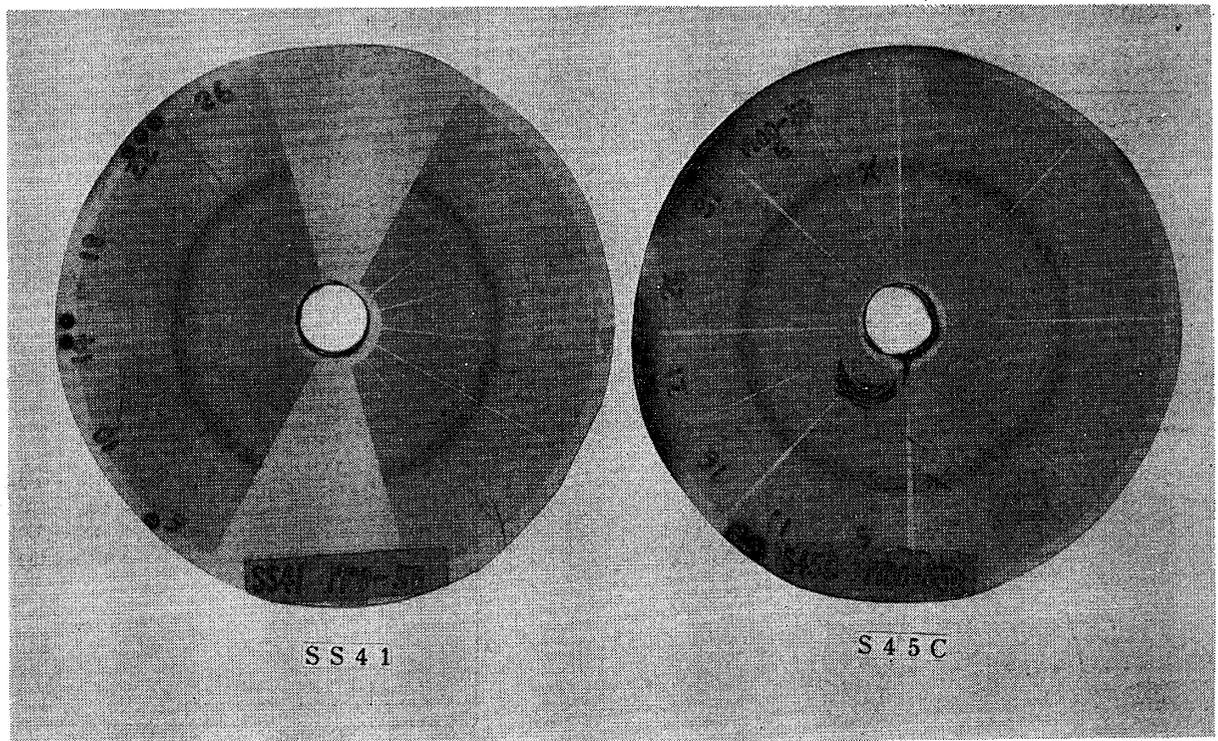


図6 X線回析像

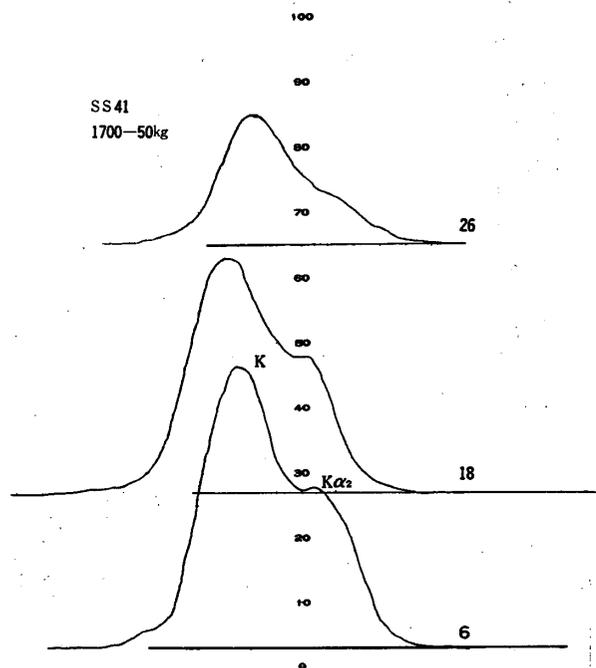


図 7-1

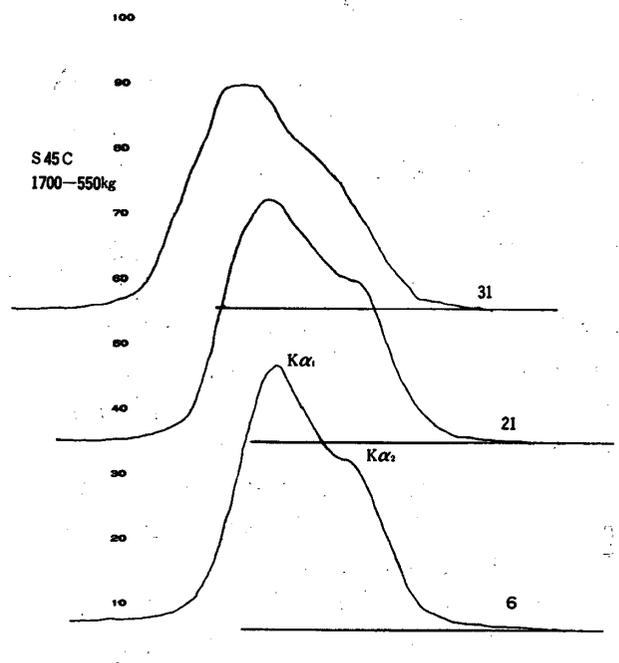


図 7-2

図7 ミクロフォトメータによる回析曲線

## 5. む す び

本実験により得られた結論を要約すると、

(1) 疲労破壊より延性破壊への移行についてはX線回析写真より破壊面での  $\kappa\alpha_1$ - $\kappa\alpha_2$  線の分離が徐々に困難となる。

(2) 半価幅は応力拡大係数の増加にともない定性的にはあるが若干増加の傾向にある。疲れき裂伝播におけるX線回析での上記現象について本論文では物理的意味を明らかにしていないが、機会があればそのことについて深く追求してみたいと思っている。

最後に本研究にあたり熱心に実験を進めてくれた当時本校学生、重村隆司・重岡武彦の両君に感謝する。

## 参 考 文 献

- 1) 例えば小寺沢；機械の研究23—1. 1 (1971)
- 2) 後藤徹；三菱重工技報., 11—3 (1974)
- 3) J. R. Rice et al: J Appl. Mech., 39. 185 (1972)
- 4) Paris et al: ASME. D., 85—4. 528 (1963)

(昭和53年9月1日受理)

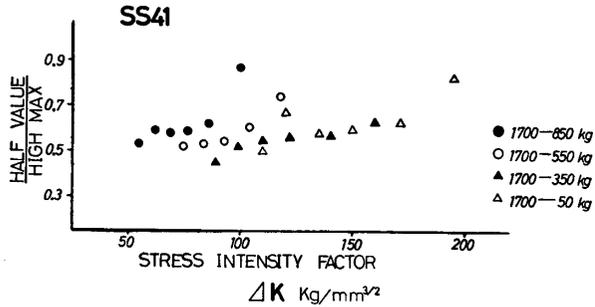


図 8-1



図 8-2

図 8 応力拡大係数と半価幅の関係

つであるが生じていることがわかる。応力拡大係数の増加にともない残留歪の増加と破壊様式が疲労から延性破壊へ変化している二つの影響が考えられるが、この段階では両者の関係は定かでない。