

疲労亀裂の伝播について (その1) 広幅板における亀裂伝播

在 田 正 義*

On the Propagation of Fatigue Cracks (First Report) Crack Propagation in Wide Thin Plate

By

Masayoshi ARITA

Abstract

Fatigue crack propagation rates were measured in wide thin mild steel plate specimens (width : 500 mm, length : 840 mm, thickness : 6 mm). Experimental parameters were stress range and mean stress value applied to specimens.

Results were compared with those obtained by experiments of standard specimens (width : 100 mm, length : 500 mm, thickness : 6 mm).

On the basis of fatigue crack propagation law,

$$da/dN = C(\Delta K)^m$$

where da/dN : crack propagation rate

ΔK : stress intensity factor range

C, m : material constants

following results were obtained.

- ① For the same size specimen, value of C increases as the mean stress value increases, but value of m remains constant.
- ② Value of m decreases when the size of specimen becomes larger. It was seemed to be due to the increase of constraint around tips of cracks.

目 次

1. 緒 言

2. 実 験

2.1 実験方法

2.2 実験結果

3. 実験結果に対する考察

3.1 亀裂伝播速度の表わし方

3.2 実験結果との比較

4. 結 論

参考文献

附 録

* 船体構造部 原稿受付 : 昭和50年9月9日

1. 緒 言

一般に鉄鋼材料が疲労破壊するまでの過程を、いくつかの段階に分けて考えることができる。例えば¹⁾ 4つの段階に分け、第1段階：負荷開始後加工硬化が完了するまで。第2段階：加工硬化完了後、超微視的クラックの発生するまで。第3段階：この微視的クラックが認知検出可能な大きさのクラックに達するまで。第4段階：この認知可能クラックが多く結晶粒を横切って最後の破壊に至るまで、とすることができる。鋼構造物の疲労破壊に対する設計基準として、第3段階の認知可能クラックの発生を考える場合と、第4段階のクラックの伝播も考慮に入れる場合とがある。溶接構造物では一般に溶接部分に不溶着部分、割れ、形状的不連続などの欠陥が潜在すると考えられる。このように溶接構造物では負荷開始前からクラックを内包しているとも考えられ、クラックの成長、伝播が重要となる。

疲労亀裂の伝播としては、第3段階のもの第4段階のものがある。第3段階については転位論、物性論的アプローチがなされているが、実験的に検証することは極めて困難である。ここで取り上げたのは実用上重要な第4段階の認知可能な亀裂の伝播である。この種の研究は、実験的アプローチが可能であり、力学的解析も種々提案されるようになったが、実験室での結果を構造物に応用する上では、未だ問題が山積みしている。

この研究では、第1段階として、薄板広幅試験片と小型試験片による疲労亀裂伝播速度を比較してみることにした。

疲労亀裂の伝播を測定するには、多くの時間と人手を必要とするが、試験片の表面処理の工夫と、モータードライブ35ミリカメラによる亀裂長さの自動撮影とによる測定を試みた。

2. 実 験

2.1 実験方法

供試材および試験片：供試材は板厚6mmの構造用圧延鋼板SM41Aである。ミルシートの化学成分および機械的性質を表-1に示す。

疲労亀裂伝播速度測定用の試験片の形状寸法を図-1(a), (b)に示す。各々広幅試験片(CPシリーズ)、小型試験片(CPPシリーズ)である。

引張試験は、JIS7号試験片を用い、島津製作所製の50トンのアムスラー型万能試験機で実施した。

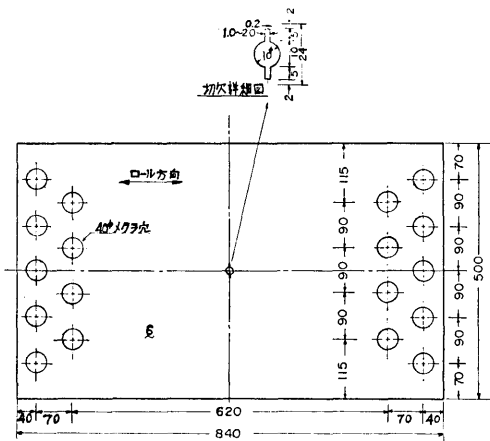
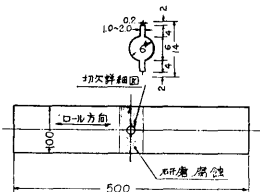


図-1 (a) 広幅試験片 (CPシリーズ)



(b) 小型試験片 (CPPシリーズ)

表-1 材料の化学成分と機械的性質

Chemical Composition and Mechanical Properties of Material Tested

Steel	Chemical Composition (%)					Mechanical Properties G. L. =200mm			
	C	Si	Mn	P	S	σ_y (kg/mm ²)	σ_u (kg/mm ²)	Elongation (%)	Bending
SM41A	0.20	0.04	0.79	.009	.009	30	46	30	Good

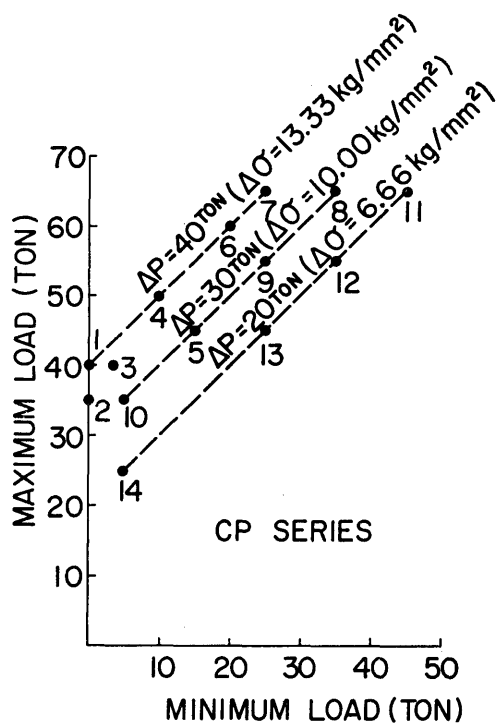
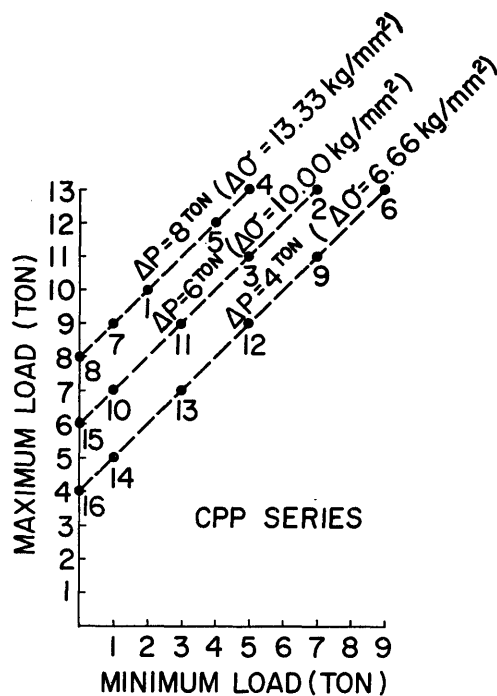


図-2 (a) 実験条件 (CPシリーズ)



(b) 実験条件 (CPPシリーズ)

試験機：使用した疲労試験機は、西独 CARL SCHENCK 社製の PBNV 型 PROGRAM PULSER で、広幅試験の場合は、荷重増幅装置をつけて荷重容量を±200トンとし、小型試験片では、荷重増幅装置をつけず荷重容量±30トンとした。

実験条件：広幅試験片、小型試験片による疲労実験のパラメーターは、荷重全振幅（最大荷重と最小荷重の差）と平均荷重である。これらのパラメーターを含

む実験条件と実験番号の対応を図-2、表-2に示す。

亀裂の測定：疲労亀裂は、荷重方向にほぼ直角に進行するので、初期切欠き両端から亀裂の進展が予想される部分の試験片表面をよく研磨し（エメリー紙 800番以上。ほぼ鏡面仕上げ）、さらに鉛筆にて表面上の目盛線を記入した。

35ミリカメラで、荷重繰り返し数を示すカウンターと試験片上の亀裂の様子を撮影すると同時に、目視観

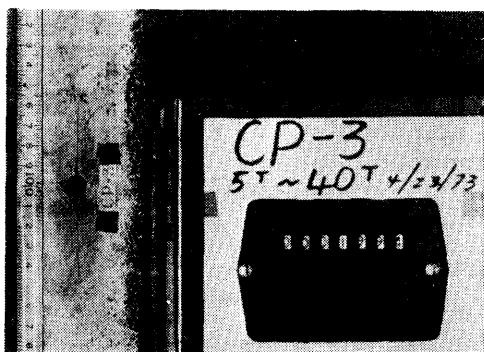


写真-1 広幅試験片での亀裂

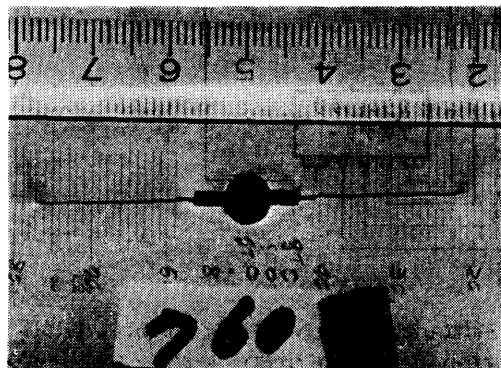


写真-2 小型試験片での亀裂

表-2 広幅試験片，小型試験片の実験条件一覧

広幅試験片での設定試験条件			対応する小型試験片での設定試験条件		
実験番号	最大荷重-最小荷重 (ton)	切欠のない断面での* 最大応力-最小応力 (kg/mm ²) (kg/mm ²)	実験番号	最大荷重-最小荷重 (ton)	切欠のない断面での* 最大応力-最小応力 (kg/mm ²) (kg/mm ²)
CP-1	0 - 40	0 ~13.33	CPP-8	0 - 8	0 ~13.33
-3	3.4 - 40	1.13~13.33	-7	1 - 9	1.67~15.00
-4	10 - 50	3.33~16.67	-1	2 - 10	3.33~16.67
-6	20 - 60	6.67~20.00	-5	4 - 12	6.67~20.00
-7	25 - 65	8.33~21.67	-4	5 - 13	8.33~21.67
CP-10	5 - 35	1.67~11.67	CPP-15	0 - 6	0 ~10.00
-5	15 - 45	5.00~15.00	-10	1 - 7	1.67~11.67
-9	25 - 55	8.33~18.33	-11	3 - 9	5.00~15.00
-8	35 - 65	11.67~21.67	-3	5 - 11	8.33~18.33
CP-14	5 - 25	1.67~ 8.33	-2	7 - 13	11.67~21.67
-13	25 - 45	8.33~15.00	CPP-16	0 - 4	0 ~ 6.67
-12	35 - 55	11.67~18.33	-14	1 - 5	1.67~ 8.33
-11	45 - 65	15.00~21.67	-13	3 - 7	5.00~11.67
			-12	5 - 9	8.33~15.00
			-9	7 - 11	11.67~18.33
			-6	9 - 13	15.00~21.67

*ここに示す応力は，試験片の板厚を6mm，板幅を500mm（広幅），100mm（小型）としての計算値で，実験は荷重を設定して実施している。

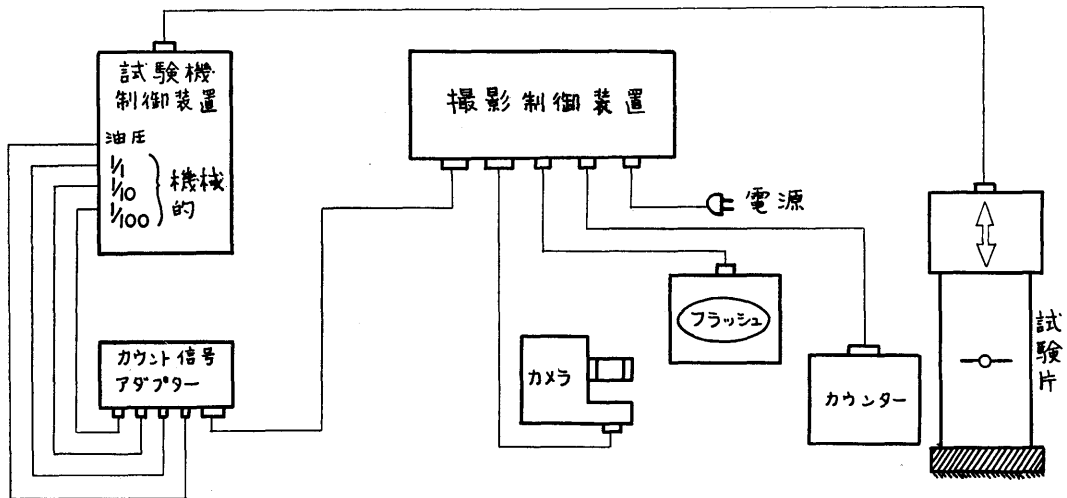


図-3 亀裂撮影方式

測を行なった。亀裂撮影の方式を図-3に示す。撮影した写真の一例を写真-1（広幅），写真-2（小型）に示す。

2.2 実験結果

引張試験：引張試験は3本の試験片について行なった。この結果から材料の機械的性質は，3本の試験片

表-3 (a) 広幅試験片の実験結果

*) 実験番号	最大荷重—最小荷重 (ton)	平均 荷重 (ton)	荷重 振幅 (ton)	荷重速度 (ヘルツ)	最終繰り 返し数 (10 ² 回)	最終亀裂 長さ (mm)	最大荷重での 全面降伏亀裂 長さの全長 (mm)	m の値	C の値
CP—1	0—40	20	40	14.6	1,633	250.54	272.7	3.2473	3.778×10^{-11}
—3	3.4—40	21.7	40	15.5	2,807	285.0	271.8	3.2220	3.407×10^{-11}
—4	10—50	30	40	15.7	1,216	326.5	205.6	2.3272	4.851×10^{-9}
—6	20—60	40	40	15.9	933	189.5	159.1	2.8045	6.114×10^{-10}
—7	25—65	45	40	15.9	841	161.4	128.7	2.7056	1.034×10^{-9}
CP—10	5—35	20	30	15.9	3,586	305.6	297.99	2.4298	3.343×10^{-9}
—5	15—45	30	30	15.9	2,187	251.6	235.67	2.6174	1.456×10^{-9}
—9	25—55	40	30	16.0	1,854	190.4	178.54	2.6347	1.5535×10^{-9}
—8	35—65	50	30	16.0	1,480	133.7	119.3	2.7164	1.1370×10^{-9}
CP—14	5—25	15	20	15.0	12,039	335.2	357.46	3.0494	1.370×10^{-10}
—13	25—45	35	20	15.6	8,821	252.5	250.5	2.9960	2.3580×10^{-10}
—12	35—55	45	20	15.7	7,475	193.4	186.95	3.1036	1.694×10^{-10}
—11	45—65	55	20	15.7	5,123	135.4	116.0	3.1199	1.883×10^{-10}

*) 各実験番号に対応する試験片の平均板厚, 板幅は, 附録の表に示す。

表-3 (b) 小型試験片の実験結果

*) 実験番号	最大荷重—最小荷重 (ton)	平均 荷重 (ton)	荷重 振幅 (ton)	荷重速度 (ヘルツ)	最終繰り 返し数 (10 ² 回)	残存断面が最大荷 重で全面降伏する 亀裂長さの全長 (mm)	m の値	C の値
CPP—8	0—8	4	8	—	782	51.59	3.689	7.586×10^{-12}
—7	1—9	5	8	—	556	45.807	4.120	1.462×10^{-12}
—1	2—10	6	8	37.5	490	39.581	3.319	6.375×10^{-11}
—5	4—12	8	8	37.4	375	28.484	4.041	3.334×10^{-12}
—4	5—13	9	8	37.8	256	22.245	4.079	3.963×10^{-12}
CPP—15	1—6	3	6	36.7	2,201	63.468	4.6894	1.0663×10^{-13}
—10	1—7	4	6	35.1	1,847	57.485	4.5053	2.8712×10^{-13}
—11	3—9	6	6	36.0	1,643	45.60	5.3434	9.7746×10^{-15}
—3	5—11	8	6	37.0	1,296	34.050	4.713	1.683×10^{-13}
—2	7—13	10	6	37.2	880	21.240	3.486	4.266×10^{-11}
CPP—16	0—4	2	4	35.3	7,109	<亀裂発生せず>	—	—
—14	1—5	3	4	35.2	6,907	69.312	4.0765	2.7723×10^{-12}
—13	3—7	5	4	35.2	5,904	58.790	4.2243	2.0291×10^{-12}
—12	5—9	7	4	35.1	5,501	45.082	5.0675	6.8011×10^{-14}
—9	7—11	9	4	34.1	4,485	34.55	6.731	1.213×10^{-16}
—6	9—13	11	4	35.2	3,357	22.720	3.503	4.159×10^{-11}

*) 各実験番号に対応する試験片の平均板厚, 板幅は, 附録の表に示す。

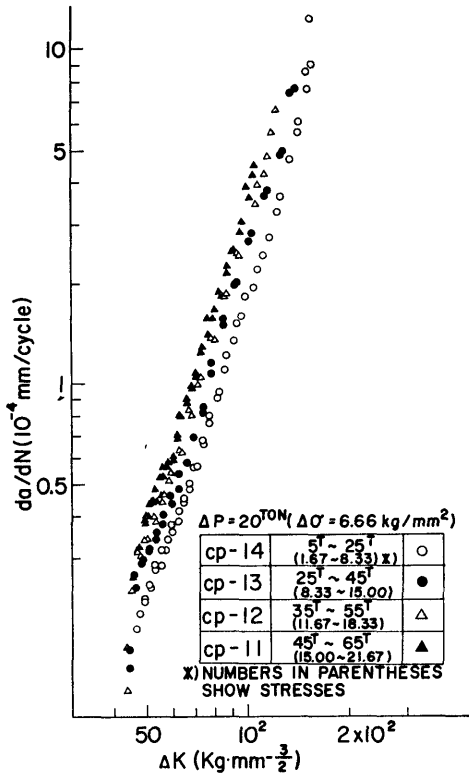
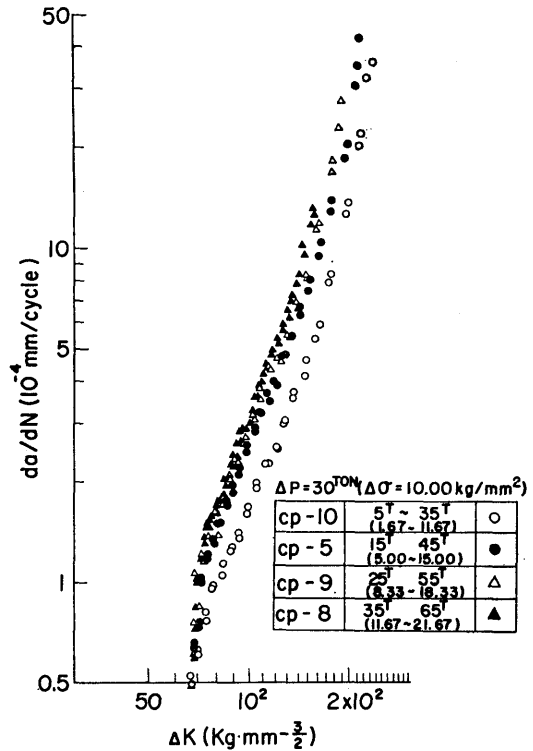


図-4 (a)-1 広幅試験片における亀裂伝播速度
荷重振幅 20トン



(a)-2 広幅試験片における亀裂伝播速度
荷重振幅 30トン

の平均で、上降伏応力 $\sigma_{yu} = 32.81 \text{ kg/mm}^2$ ，下降伏応力 $\sigma_{yl} = 30.97 \text{ kg/mm}^2$ ，引張強さ $\sigma_B = 47.97 \text{ kg/mm}^2$ ，伸び (GL=50mm) $\varphi = 48.19\%$ ，断面収縮率 48.28%であった。

疲労試験：広幅試験片13枚，小型試験片16枚についての実験結果を，表-3(a)，(b)および附録の表，附録の図に示す。広幅試験片では，全体の伸びが約5mmに達すると実験を続行することができないため，この時点を終局荷重繰返し数，最終亀裂長さとした。小型試験片では破断に至るまで実験した。繰返し荷重の最大値で残存断面が全面降伏するに相当する亀裂長さは計算から求めた。表-3中のC，mの値は，後述の(6)式中の値で，試験片ごとに求めたものである。これを求めた時に仮定した直線は，附図中に記入したものである。

測定した亀裂長から，C，mを求めるまでの手順は次のようにした。まず測定した亀裂長さを繰返し数をベースとして方眼紙上にプロットする。プロットし

た点をなめらかな曲線で結び，この曲線の接線として任意の繰返し数における亀裂伝播速度 da/dN (a：亀裂長さ，N：繰返し数)を求める。後述する有限幅板中に亀裂がある場合の応力拡大係数範囲 ΔK を求め，両対数グラフに $da/dN - \Delta K$ の各点をプロットし，この直線を示すパラメーターとして(6)式に示されるC，mを求める。

図-4(a)，(b)は，広幅，小型両試験片について，荷重全振幅を一定として平均荷重を変えたシリーズ実験ごとに，亀裂伝播速度 da/dN と応力拡大係数範囲 ΔK の関係を示したものである。

図-5(a)は図-4(a)1~3を，また図-5(b)は図-4(b)1~3を同一図上に示したものである。この図では図示の都合上，図-4の実験点を曲線でおきかえてある。

広幅試験片では，実験が終了後，バンドソー (band saw) により切断して，疲労破面の角度変化を計測した。結果を図-6に示す。

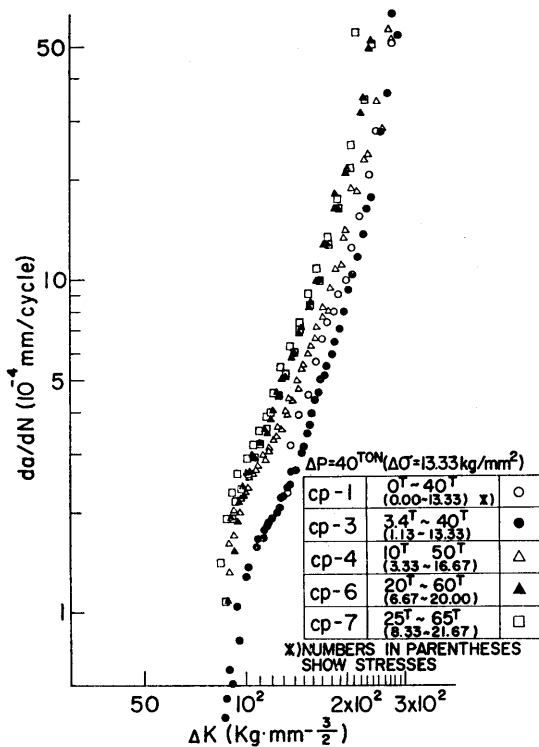


図-3 広幅試験片における亀裂伝播速度
荷重振幅 40トン

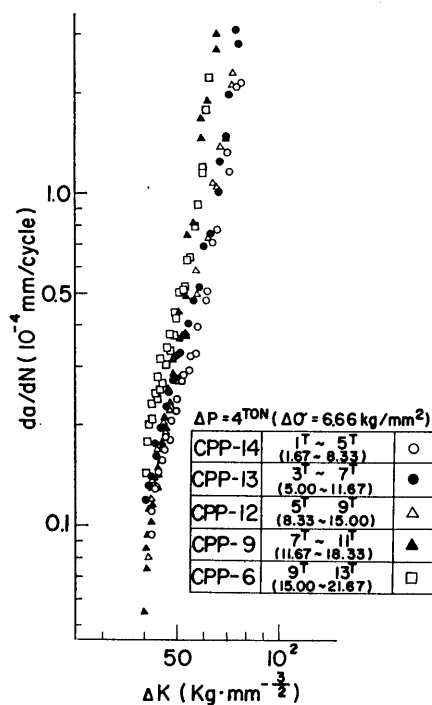


図-4 (b)-1 小型試験片における亀裂伝播速度
荷重振幅 4トン

3. 実験結果に対する考察

3.1 亀裂伝播速度の表わし方

無限板中に長さ $2a$ の亀裂があり、この亀裂に直交する方向に一定の繰り返し応力が作用する場合を考える。荷重の繰り返し数を N とすれば、亀裂伝播速度 da/dN は、一般に応力振幅 σ_r 、平均応力 σ_m 、亀裂長さ $2a$ 、亀裂先端の塑性域の大きさ w 、材料定数 c_i などで表わせると考えると、

$$da/dN = f(\sigma_r, \sigma_m, a, w, c_i) \quad (1)$$

となる。

種々のモデルによる計算や、実験結果から現在までに提案されている主な伝播則は、次のようなものである²⁾。

① Head によるもの

$$da/dN = \frac{c_1 \sigma_r^3 a^{3/2}}{(c_2 - \sigma_r) w^{1/2}} \quad (2)$$

c_1, c_2 は材料定数、 $w = \text{const}$ と考えている。

② McMillan と Illg によるもの

$$da/dN = F(\alpha \sigma_{net}) \quad (3)$$

α : 亀裂端の応力集中係数

σ_{net} : 亀裂のある断面での真応力 (net stress)

③ Paris によるもの

$$da/dN = f(K) \quad (4)$$

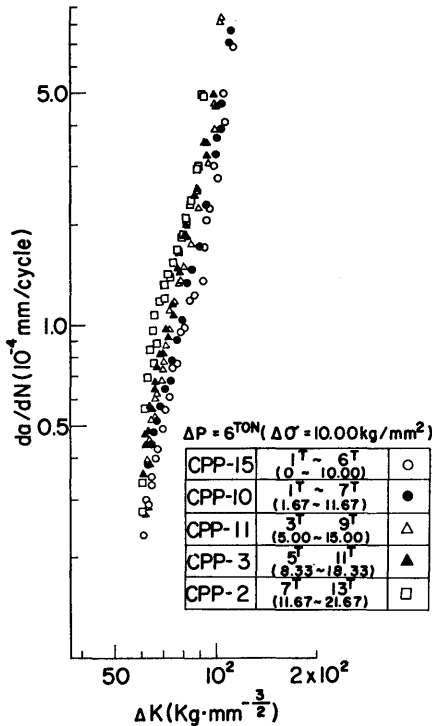
K : Irwin の応力拡大係数

(2)式は(1)式より直接導かれるものである。(3)式は亀裂先端の応力 ($\alpha \sigma_{net}$) で亀裂伝播速度を表わしており、(4)式は、外力の亀裂先端周辺での応力場の特異性の大きさを示す量である応力拡大係数 K で亀裂伝播速度を表わしている。

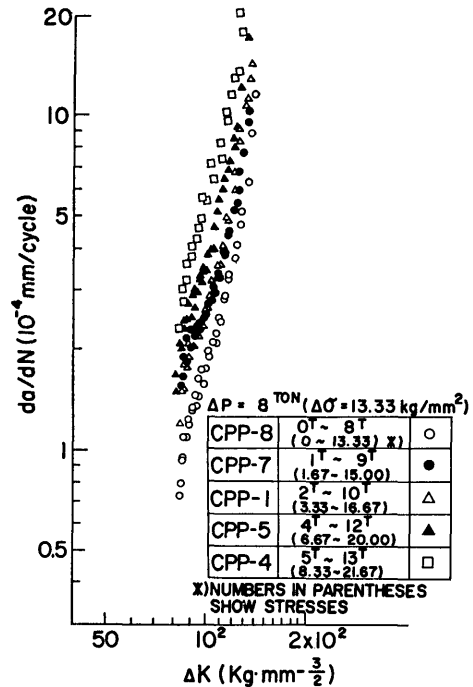
しかし平板に亀裂が存在し、この亀裂に直交する方向の荷重を受ける場合(2), (3), (4)式は次の(5)式で代表されることになり、(3)式ともほぼ同一の表示をしていることがわかる。

$$da/dN = \frac{\sigma_r^n a^m}{C_0} \quad (5)$$

そこで、本実験の整理の仕方としては、現在広く用



(b-2) 小型試験片における亀裂伝播速度
荷重振幅 6 トン



(b-3) 小型試験片における亀裂伝播速度
荷重振幅 8 トン

いられている(4)式から導かれる(6)式を用いることにする。

$$da/dN = C(\Delta K)^m \quad (6)$$

$$\Delta K = \sigma_r \sqrt{\pi a} \sqrt{\frac{2w}{\pi a} \tan\left(\frac{\pi a}{2w}\right)} \quad (7)$$

ただし, C, m : 材料定数

ΔK : 応力拡大係数範囲

$\sigma_r = (\sigma_{\infty \max} - \sigma_{\infty \min})$: 応力全振幅

$\sqrt{\frac{2w}{\pi a} \tan\left(\frac{\pi a}{2w}\right)}$: 有限板であることによる
 ΔK の修正項

w : 板幅

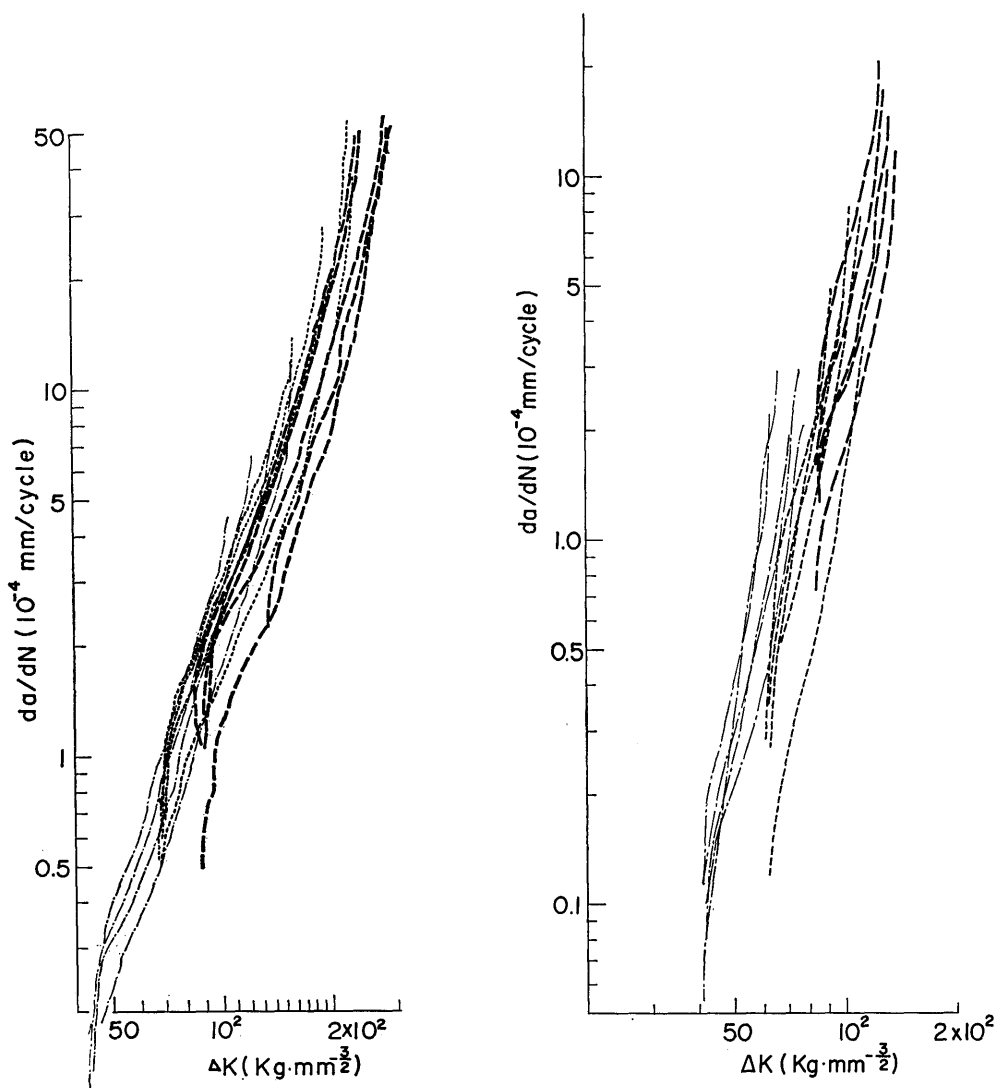
(7)式は, 試験片の板幅を考えた場合の応力拡大係数である³⁾。

3.2 実験結果との比較

(6)式で疲労亀裂伝播則が与えられるとすると, 実験データから C, m の値を求めればよい。しかし, 表-3に示すように, 個々の試験片の実験結果から得られる C, m の値は, ばらつきが大きい。特に小型試験

片で, 最大荷重が高い場合は, 少々亀裂の進展によって, 残存断面が全面降伏を起こして C, m を求めるのが困難になるなど, 個々の実験結果から求まる C, m について論ずることは, あまり意味のないことになる。

しかし, 個々の実験データをまとめて, 図-4のようにすると, 各荷重振幅ごとに一定の傾向があることがわかる。すなわち, 荷重振幅を一定にして, 平均荷重を順次増加させると, $\Delta K - da/dN$ 曲線は左上方へ平行移動する。各曲線は, ほぼ3つの部分から構成されている。第1の部分は, 立上がりの部分, 第2の部分は, ほぼ直線と見なせる部分, 第3の部分は, da/dN が急速に増加する部分である。第3の部分に入る近傍では, 試験片は残存断面で全面降伏を起こしており, 図に示した ΔK は形式的意味しか持たない。図-4から各荷重全振幅ごとに第1の部分の ΔK の値が一定値として存在するようにみえる。一般に, ΔK 値がある値以下になると亀裂は伝播しなくなると考えられてい



CP - SERIES

$\Delta P = 40^{\text{TON}}$	$\Delta \sigma = 13.33 \text{ kg/mm}^2$	----
$\Delta P = 30^{\text{TON}}$	$\Delta \sigma = 10.00 \text{ kg/mm}^2$	-----
$\Delta P = 20^{\text{TON}}$	$\Delta \sigma = 6.66 \text{ kg/mm}^2$	-----

CPP - SERIES

$\Delta P = 8^{\text{TON}}$	$\Delta \sigma = 13.33 \text{ kg/mm}^2$	----
$\Delta P = 6^{\text{TON}}$	$\Delta \sigma = 10.00 \text{ kg/mm}^2$	-----
$\Delta P = 4^{\text{TON}}$	$\Delta \sigma = 6.66 \text{ kg/mm}^2$	-----

図-5 (a) 広幅試験片における亀裂伝播速度 (総合)

(b) 小型試験片における亀裂伝播速度 (総合)

る。この限界の値は、 ΔK THRESHOLD といわれ ΔK_{TH} で表示される。図-4 (a), (b) の各図から形式上の ΔK_{TH} が存在し、これを $(\Delta K_{\text{TH}})_v$ とすると次の値となっている。

$$\left. \begin{array}{l} \Delta P = 40 \text{ トン} \quad (\Delta K_{\text{TH}})_v = 87 \text{ kg} \cdot \text{mm}^{-3/2} \\ \Delta P = 30 \text{ トン} \quad (\Delta K_{\text{TH}})_v = 68 \text{ kg} \cdot \text{mm}^{-3/2} \\ \Delta P = 20 \text{ トン} \quad (\Delta K_{\text{TH}})_v = 47 \text{ kg} \cdot \text{mm}^{-3/2} \end{array} \right\} \quad (8)$$

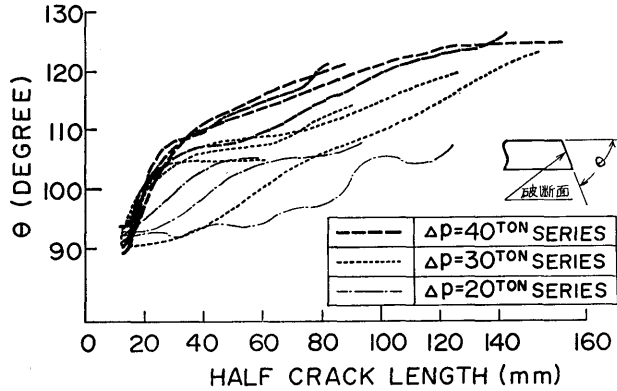


図-6 広幅試験片における破断面の角度変化

小型試験片

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta P=8 \text{ トン} \quad (\Delta K_{TH})_V=85\text{kg}\cdot\text{mm}^{-3/2} \\ \Delta P=6 \text{ トン} \quad (\Delta K_{TH})_V=62\text{kg}\cdot\text{mm}^{-3/2} \\ \Delta P=4 \text{ トン} \quad (\Delta K_{TH})_V=41\text{kg}\cdot\text{mm}^{-3/2} \end{array} \right. \quad (9)$$

これらの $(\Delta K_{TH})_V$ 値は、各試験系列での疲労試験開始時の ΔK 値にほぼ等しくなっている。

このことは、(8)、(9)式に示す値は、試験片と荷重振幅がきまると定まる見掛けの ΔK_{TH} であることがわかる。見掛けの ΔK_{TH} が存在する理由としては、初期切欠による影響が考えられる。このことから、図-4の曲線のうち、疲労亀裂の定常的な伝播としては、ほぼ直線と見なせる第2の部分のみを採用すべきことがわかる。

広幅試験片、小型試験片を通じて、初期切欠から亀裂が発生しなかったのは、小型試験片の CPP-16 の場合だけである。荷重振幅一定で、平均荷重を順次低くしてゆくと、ついに亀裂は発生しなくなると考えられ、小型試験片の荷重振幅4トンの場合に、CPP-16で実現できたと考えられる。同じく荷重振幅6トン、8トンの場合は、平均荷重を実験した値以下にすると最小荷重は負となる。荷重が負となる場合は、実験上の困難さから実施できなかった。適当な工夫をすることによって、亀裂が発生しなくなるまで、平均荷重を低くする実験シリーズが実施できれば、 ΔK_{TH} に関して有効な資料が得られると考えられる。

図-5は、広幅、小型各試験片の実験で得られた $da/dN-\Delta K$ 曲線を全部1つの図に記入した場合である。前記の考察から da/dN 曲線の直線部分のみに注目すると、全曲線は同図に示す2本の平行な直線で挟まれた帯の中に、ほぼ入ることがわかる。この帯の幅

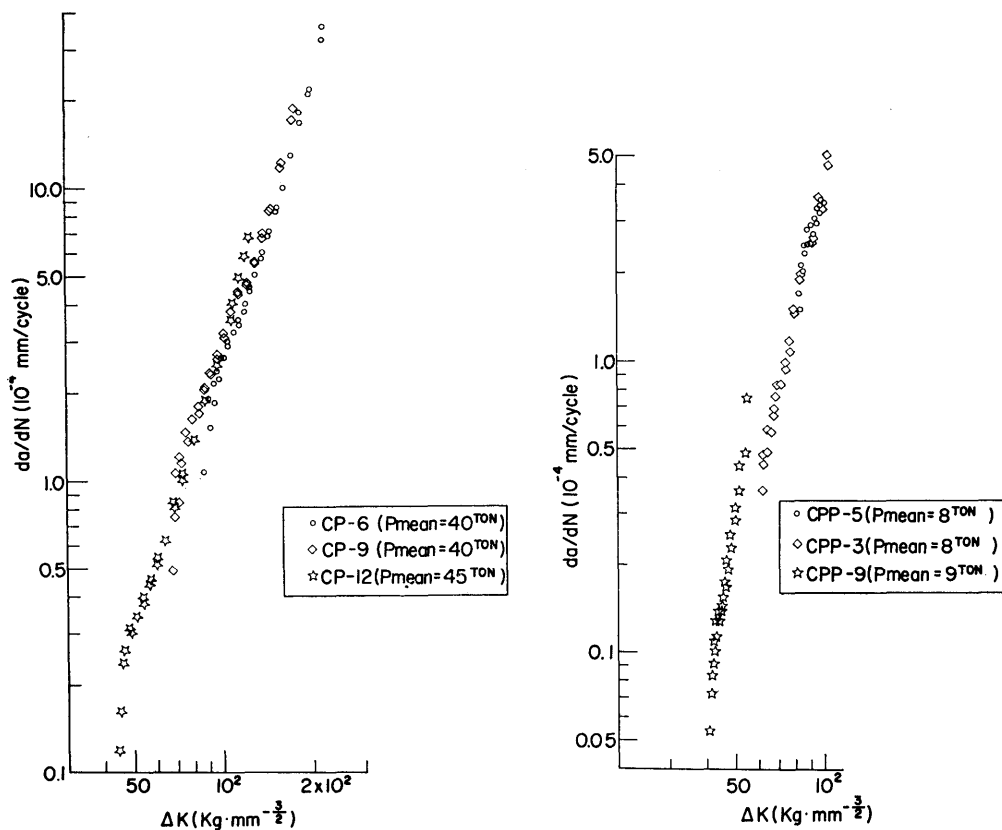
(10)

は試験片に加える平均荷重を増減させれば変化するものである。本実験シリーズでは、平均荷重、荷重振幅をパラメーターとしたため、実験点が帯状分布となったが、平均荷重を一定として、荷重振幅を変化させると、図-7に示されているように、 $da/dN-\Delta K$ の分布はほぼ直線状となる。

以上の考察から(6)式で材料定数と考えた C 、 m のうち、 C は、平均荷重により変化するものであることがわかる。次に広幅試験片と小型試験片で m の値を比較してみる。 m の求め方としては、図-5の平行線の傾きをとると

$$\left. \begin{array}{l} \text{広幅試験片} : m_w=2.67 \\ \text{小型試験片} : m_n=3.38 \end{array} \right\} \quad (10)$$

このように材料定数と考えた m の値も、試験片の大きさによって著しく異なった値となることがわかった。(10)式の結果からいえることは、試験片が小型になるほど亀裂の伝播速度が ΔK ベースで速くなるということである。一般に構造物での亀裂伝播は、試験片で得られた結果ほど速くないといわれているが、実験結果はこのことを、定性的に示している。(6)式は、亀裂先端近傍での応力の特異性だけで亀裂の進展速度が規定できると考えているが、これだけでは不十分であることがわかる。試験片の大きさによる m 値の差を説明する量として考えられるものの一つは、亀裂先端の拘束度といわれるものである。拘束度の定義としては、亀裂先端に荷重を加えたときの亀裂先端の開口量をとることなどが考えられる。一般に試験片が大きくなれば、拘束度は増加し、構造物になれば、さらに増加すると考えられ、 m の値は、拘束度の増加とともに



(a) 広幅試験片 (平均荷重 40トン)

(b) 小型試験片 (平均荷重 8トン)

図-7 平均荷重を一定とし荷重振幅を変動させた場合

減少することが考えられるが、実験上では、大きさを2通りでしか実施していないので、定量的に取扱うことはできなかった。

図-6で示した広幅試験片の破断面の角度変化は、亀裂の発生初期から始まっているが、こうした現象は小型試験片では観測されなかった。勿論小型試験片の場合でも亀裂が進展して、残存断面が全面降伏を起こし、ついに最終破断に至るところでは、急激な破断面の角度変化が見られるが、亀裂が安定成長している段階での破断面角度は、初期切欠で設定された通りの試験片の表面に対しほぼ90°のままである。このように破断面の角度変化の様子が広幅試験片と小型試験片で著しく異なることは、前記の考察で述べた、亀裂進展速度と拘束との関連を示す一つの資料と考えられる。

4. 結 論

大型疲労試験機を用いて、広幅薄板試験片による疲労亀裂の伝播速度を測定し、同一板厚で幅の狭い小型試験片での測定結果と比較した。得られた結論としては、

- ① (6)式を基準に荷重振幅と平均荷重をパラメータとした実験データを整理した場合、 C の値は、平均荷重により変動するが、 m の値はほぼ一定値になる。ただし、この場合、亀裂の安定成長期のみを考えるものとする。
- ② 同じく(6)式を基準にして、広幅試験片と小型試験片により得られた m 値は、広幅試験片の場合の方が相当小さい(10式)。これは拘束度の影響によるものと考えられ、構造物では、さらに小さい値となることが予想される。このことから、構造物での疲労亀裂伝播は小型の試験片の結果から予想されるより相当遅くなると考えられる。

③ 同一試験片の m 値は、平均荷重を一定として、荷重振幅を順次増加させて得られる $\Delta K-da/dN$ の関係から求められるようである*。

今後、試験片の大きさによる m 値の変化の原因、 ΔK ベースによる疲労亀裂伝播速度の整理法の再検討、構造物で予想される諸要素の伝播速度への影響の実験的解明などが必要となる。

疲労亀裂伝播機構をエネルギー論の面から追求することや、実用上必要になる「発見された亀裂が疲労の面からみて大丈夫かどうか」の判定基準などの検討が必要である。

参 考 文 献

- 1) 横堀武夫「材料強度学」技報堂 (1955)
- 2) P. Paris and Erdogan "A Critical Analysis of Crack Propagation Laws"
Journal of Basic Engineering, Trans. AME Vol 30, Dec. (1963)
- 3) P. Paris, G. Sih "Stress Analysis of Cracks"
Fracture Toughness Testing, ASTM STP 381 ASTM (1965)
- 4) 豊貞雅宏「部分片振領域における疲労亀裂伝播速度について」日本造船学会誌 133 号, 6 月 (1973)

附 録

本文では、疲労亀裂伝播を、応力拡大係数をベースとして整理し、考察を加えた。しかし、亀裂の伝播則は未だ確立途中であることから、種々のデータが蓄積されることが必要である。そこで、ここでは観測されたデータから①試験片寸法と荷重 ②荷重繰り返し数 N のときの亀裂の半長（初期切欠の中央から成長した亀裂の先端までの距離）③亀裂伝播速度 ④(7)式から計算される応力拡大係数を表にして示す。亀裂は切欠の両端から発生し成長するが両方で均一に成長するとは限らない。表の ΔK 値を計算する際の亀裂長さは、試験片中央から亀裂先端までの距離をベースにし、両亀裂端で別々に求めた。ただし両亀裂端での成長に著しい違いは観測されなかった。

附図は、附表から計算された $da/dN-\Delta K$ を試験片ごとに両対数グラフにプロットしたもので、本文の図-4, 5, 7 の基になっている。図中の一点鎖線より右側 (ΔK 値か大きい側) では、試験片の残存断面（初期断面から、亀裂全長分の断面を差引いた断面）が繰り返し荷重の最大値で全面降伏することを示している。

附表の記号説明

- B : 試験片の幅 (mm)
- t : 試験片の板厚 (mm)
- $2a_0$: 実験前の切欠長さ (mm)
- P_{\max} : 最大荷重 (ton)
- P_{\min} : 最小荷重 (ton)
- P_{mean} : 平均荷重 (ton)
- N : 荷重繰り返し数
- a : 亀裂長（初期亀裂の中央から亀裂先端までの距離, mm)
- da/dN : 亀裂伝播速度 (10^{-4} mm/cycle)
- ΔK : 応力拡大係数 ($\text{kg}/\text{mm}^{-3/2}$)

*) zero-tension の実験結果から考えるべきだと主張もある⁴⁾。

実験結果 附表-a 1

C P-1			
$B = 500.0 \text{ mm}$		$P_{max} = 40.0 \text{ T}$	
$t = 5.696 \text{ mm}$		$P_{min} = 0.0 \text{ T}$	
$2a_0 = 23.54 \text{ mm}$		$P_{mean} = 20.0 \text{ T}$	
上方キレツ			
荷重繰返し数 N (10^3 回)	亀裂半長 a (mm)	亀裂伝播速度 da/dN (10^{-4}mm/cycle)	応力拡大係数 ΔK ($\text{kg}\cdot\text{mm}^{-3/2}$)
700	29.26	2.3	134.84
800	31.16	3.2	139.031
900	33.79	3.85	145.034
1000	38.10	4.5	153.706
1100	43.69	5.625	165.236
1150	46.46	6.625	170.382
1200	50.37	7.375	177.624
1250	54.21	8.125	184.199
1300	58.26	9.00	191.156
1350	63.74	10.425	200.018
1400	69.56	12.475	209.547
1450	76.91	15.425	220.410
1500	86.04	20.45	233.656
1550	97.19	27.875	249.284
1600	116.19	51.75	274.250

附表-a 2-1

C P-3			
$B = 499.7 \text{ mm}$		$P_{max} = 40.0 \text{ T}$	
$t = 5.672 \text{ mm}$		$P_{min} = 3.38 \text{ T}$	
$2a_0 = 24.03 \text{ mm}$		$P_{mean} = 21.69 \text{ T}$	
上方キレツ			
荷重繰返し数 N (10^3 回)	亀裂半長 a (mm)	亀裂伝播速度 da/dN (10^{-4}mm/cycle)	応力拡大係数 ΔK ($\text{kg}\cdot\text{mm}^{-3/2}$)
200	14.625	4.875	87.224
400	15.725	6.75	90.454
600	17.145	1.0438	94.460
800	19.675	1.375	101.567
1000	22.825	1.6813	109.579
1100	24.525	1.7688	113.584
1200	26.325	1.875	117.590
1300	28.225	2.000	122.501
1400	30.305	2.200	126.636
1500	32.625	2.3875	131.417
1600	35.125	2.6375	136.198
1700	37.875	2.9125	141.884
1800	40.875	3.1375	147.311
1900	44.305	3.6813	153.643
2000	48.225	4.375	160.233
2100	53.025	5.0813	167.598
2200	58.325	5.5375	175.610
2300	64.325	6.425	184.785
2400	71.425	8.000	195.122
2500	80.625	10.250	208.044
2600	92.475	13.8261	223.551
2680	105.075	17.8672	239.057
2760	124.575	36.6042	262.317
2800	141.825	54.5833	281.700

附表-a 2-2

C P-3			
下方キレツ			
荷重繰返し数 N (10^3 回)	亀裂半長 a (mm)	亀裂伝播速度 da/dN (10^{-4}mm/cycle)	応力拡大係数 ΔK ($\text{kg}\cdot\text{mm}^{-3/2}$)
200	14.675	5.563	87.611
400	15.875	15.875	91.100
600	17.325	8.313	95.106
800	19.375	1.2875	100.792
1000	22.375	1.575	108.545
1100	23.925	1.6875	112.163
1200	25.725	1.8125	116.298
1300	27.625	1.9375	120.433
1400	29.575	2.0844	125.085
1500	31.725	2.2563	129.349
1600	34.115	2.4375	134.389
1700	36.725	2.6938	139.558
1800	39.475	3.0094	144.726
1900	42.675	3.4375	150.800
2000	46.405	4.0000	157.261
2100	50.695	4.5688	164.109
2200	55.625	5.1688	171.475
2300	61.125	5.9188	179.616
2400	67.645	7.175	189.824
2500	75.875	9.3688	201.583
2600	86.575	11.7563	215.927
2680	97.675	16.3393	230.012
2760	114.875	28.025	250.687
2800	131.575	63.3333	270.845

附表-a 3-1

CP-4			
$B = 500.0 \text{ mm}$		$P_{max} = 50.00 \text{ T}$	
$t = 5.489 \text{ mm}$		$P_{min} = 10.00 \text{ T}$	
$2a_0 = 23.50 \text{ mm}$		$P_{mean} = 30.00 \text{ T}$	
上方キレツ			
荷重繰返し数 N (10^4 回)	亀裂半長 a (mm)	亀裂伝播速度 da/dN (10^{-4} mm/cycle)	応力拡大係数 ΔK ($\text{kg}\cdot\text{mm}^{-3/2}$)
50	12.1	1.31	89.5
100	12.7	1.70	92.0
150	13.84	2.00	95.9
200	14.90	2.30	99.9
250	16.14	2.54	103.4
300	17.5	2.68	108.2
350	18.88	2.83	112.5
400	20.3	3.03	116.7
450	21.9	3.27	121.0
500	23.54	3.60	125.6
550	25.5	4.03	130.7
600	27.57	4.40	135.2
650	29.9	4.92	141.7
700	32.48	5.40	147.1
750	35.3	5.87	153.6
800	38.44	6.61	160.4
850	42.03	7.69	167.8
900	46.07	8.0	175.8
950	50.96	10.73	185.3
1000	56.96	13.12	196.0
1050	64.35	18.61	208.9
1100	74.46	22.86	225.0
1150	88.32	34.00	245.8
1180	101.27	57.20	264.7

附表-a 3-2

CP-4			
下方キレツ			
荷重繰返し数 N (10^4 回)	亀裂半長 a (mm)	亀裂伝播速度 da/dN (10^{-4} mm/cycle)	応力拡大係数 ΔK ($\text{kg}\cdot\text{mm}^{-3/2}$)
50	12.2	1.61	89.8
100	13.1	2.01	93.3
150	14.2	2.19	97.2
200	15.34	2.37	101.0
250	16.54	2.59	104.9
300	17.9	2.77	109.5
350	19.36	2.95	113.4
400	20.9	3.10	118.2
450	22.5	3.38	122.4
500	24.26	3.51	127.5
550	26.1	3.9	132.0
600	28.13	4.32	136.9
650	30.46	4.68	142.6
700	33.02	5.47	148.5
750	36.62	6.23	156.5
800	39.32	7.18	162.3
850	43.27	8.23	170.3
900	47.7	9.39	179.2
950	53.93	11.02	190.8
1000	59.06	14.08	199.8
1050	67.3	18.23	213.6
1100	77.84	23.86	230.1
1150	92.5	28.26	252.0
1180	105.9	53.20	271.1

附表-a 4-1

CP-6			
$B = 499.8 \text{ mm}$		$P_{max} = 60.0 \text{ T}$	
$t = 5.677 \text{ mm}$		$P_{min} = 20.0 \text{ T}$	
$2a_0 = 24.58 \text{ mm}$		$P_{mean} = 40.0 \text{ T}$	
上方キレツ			
荷重繰返し数 N (10^4 回)	亀裂半長 a (mm)	亀裂伝播速度 da/dN (10^{-4} mm/cycle)	応力拡大係数 ΔK ($\text{kg}\cdot\text{mm}^{-3/2}$)
0	12.35	1.08	87.689
50	13.15	1.91	90.650
100	14.19	2.16	94.033
150	15.35	2.37	97.558
200	16.61	2.62	101.505
250	18.02	2.93	105.876
300	19.55	3.22	110.246
350	21.30	3.53	115.321
400	23.15	4.01	120.819
450	25.32	4.53	125.895
500	27.79	5.25	132.098
550	30.60	6.09	138.724
600	33.91	7.10	146.196
650	37.79	8.50	154.514
700	42.39	9.97	163.818
750	48.07	12.80	174.533
800	55.55	16.62	187.080
850	64.95	21.60	202.729
900	79.09	35.175	224.581
920	87.15	51.85	236.423

附表-a 4-2

CP-6			
下方キレツ			
荷重繰返し数 N (10^4 回)	亀裂半長 a (mm)	亀裂伝播速度 da/dN (10^{-4} mm/cycle)	応力拡大係数 ΔK ($\text{kg}\cdot\text{mm}^{-3/2}$)
50	13.55	1.52	91.778
100	14.41	1.87	94.456
150	15.45	2.24	97.981
200	16.65	2.62	101.646
250	18.07	3.00	106.017
300	19.65	3.22	110.810
350	21.30	3.40	115.462
400	23.11	3.79	120.115
450	25.25	4.50	125.613
500	27.59	5.07	131.393
550	30.29	5.72	138.160
600	33.45	6.86	145.209
650	37.28	8.37	153.527
700	41.95	9.97	162.831
750	47.49	12.77	173.405
800	54.65	15.80	185.670
850	63.65	20.90	200.332
900	76.79	31.92	221.197
920	84.80	50.03	232.899

附表-a 5-1

CP-7			
$B = 499.7 \text{ mm}$		$P_{max} = 65.0 \text{ T}$	
$t = 5.657 \text{ mm}$		$P_{min} = 25.0 \text{ T}$	
$2a_0 = 24.08 \text{ mm}$		$P_{mean} = 45.0 \text{ T}$	
上方キレツ			
荷重繰返し数 N (10^6 回)	亀裂半長 a (mm)	亀裂伝播速度 da/dN ($10^{-4}\text{mm}/\text{cycle}$)	応力拡大係数 ΔK ($\text{kg}\cdot\text{mm}^{-3/2}$)
0	11.9	1.42	85.827
50	12.76	1.91	88.632
100	13.85	2.30	92.278
150	15.10	2.62	96.345
200	16.50	2.94	100.833
250	18.04	3.21	105.320
300	19.70	3.58	110.369
350	21.65	3.91	115.838
400	23.75	4.60	121.308
450	26.30	5.55	127.759
500	29.32	6.35	134.911
550	33.36	7.53	144.167
600	37.62	9.12	153.563
650	42.64	10.90	163.380
700	48.64	13.40	174.599
750	56.28	17.22	187.220
800	66.72	25.52	204.330
820	72.70	56.4	213.866

附表-a 5-2

CP-7			
下方キレツ			
荷重繰返し数 N (10^6 回)	亀裂半長 a (mm)	亀裂伝播速度 da/dN ($10^{-4}\text{mm}/\text{cycle}$)	応力拡大係数 ΔK ($\text{kg}\cdot\text{mm}^{-3/2}$)
0	11.90	1.18	85.827
50	12.58	1.74	88.211
100	13.50	2.01	91.156
150	14.70	2.37	95.083
200	16.05	2.84	99.150
250	17.57	3.27	103.918
300	19.30	3.70	109.107
350	21.25	3.91	114.716
400	23.30	4.26	120.045
450	25.50	4.68	125.936
500	28.06	5.50	131.826
550	32.18	6.69	141.642
600	35.88	8.00	149.776
650	40.45	10.10	159.172
700	46.32	13.23	170.392
750	53.94	16.91	183.434
800	63.74	23.36	199.421
820	69.27	31.74	208.397

附表-a 6-1

CP-10			
$B = 499.8 \text{ mm}$		$P_{max} = 35.0 \text{ T}$	
$t = 5.600 \text{ mm}$		$P_{min} = 5.0 \text{ T}$	
$2a_0 = 23.90 \text{ mm}$		$P_{mean} = 20.0 \text{ T}$	
上方キレツ			
荷重繰返し数 N (10^6 回)	亀裂半長 a (mm)	亀裂伝播速度 da/dN ($10^{-4}\text{mm}/\text{cycle}$)	応力拡大係数 ΔK ($\text{kg}\cdot\text{mm}^{-3/2}$)
200	12.77	.520	67.634
400	13.90	.620	70.636
600	15.37	.808	74.173
800	17.15	.960	78.353
1000	19.17	1.032	83.176
1200	21.45	1.244	87.893
1400	24.16	1.440	93.359
1600	27.27	1.668	99.576
1800	30.86	1.972	106.007
2000	35.11	2.284	113.081
2200	39.95	2.556	120.906
2400	45.52	3.036	129.159
2600	52.30	3.732	138.163
2800	60.69	4.600	148.667
3000	71.03	5.840	161.315
3200	85.15	8.328	177.607
3400	106.65	13.840	199.688
3500	124.30	22.08	217.480
3550	138.50	36.06	230.664

附表-a 6-2

CP-10			
下方キレツ			
荷重繰返し数 N (10^6 回)	亀裂半長 a (mm)	亀裂伝播速度 da/dN ($10^{-4}\text{mm}/\text{cycle}$)	応力拡大係数 ΔK ($\text{kg}\cdot\text{mm}^{-3/2}$)
200	12.80	.496	61.742
400	13.92	.604	70.743
600	15.30	.760	74.066
800	17.01	.972	78.139
1000	19.16	1.124	83.176
1200	21.59	1.280	88.214
1400	24.28	1.400	93.681
1600	27.27	1.604	99.576
1800	30.82	1.928	105.900
2000	35.00	2.276	112.760
2200	39.83	2.560	120.156
2400	45.45	3.024	128.945
2600	52.08	3.548	137.948
2800	59.76	4.168	147.488
3000	69.18	5.336	159.064
3200	82.36	7.976	174.492
3400	102.06	12.733	195.079
3500	118.00	20.380	211.264
3550	130.77	32.440	223.912

附表-a 7-1

CP-5			
$B = 500.0 \text{ mm}$		$P_{max} = 45.0 \text{ T}$	
$t = 5.497 \text{ mm}$		$P_{min} = 15.0 \text{ T}$	
$2a_0 = 23.99 \text{ mm}$		$P_{mean} = 30.0 \text{ T}$	
上方キレツ			
荷重繰返し数 N (10^2 回)	亀裂半長 a (mm)	亀裂伝播速度 da/dN (10^{-4} mm/cycle)	応力拡大係数 ΔK ($\text{kg}\cdot\text{mm}^{-3/2}$)
100	12.61	.66	68.655
200	13.29	.76	70.620
300	14.20	1.02	72.912
400	15.37	1.21	75.532
500	16.65	1.33	78.806
600	18.11	1.50	82.081
700	19.79	1.78	86.010
800	21.67	1.97	90.049
900	23.82	2.20	94.524
1000	26.05	2.565	98.999
1100	28.77	2.82	103.911
1200	31.75	3.205	109.259
1300	35.20	3.69	115.481
1400	39.07	4.045	121.484
1500	43.51	4.800	128.688
1600	48.75	5.48	136.001
1700	54.85	6.71	143.969
1800	62.29	8.105	153.356
1900	71.12	10.30	164.598
2000	83.27	13.915	178.788
2100	100.13	20.7	196.579
2160	116.22	35.6	213.061
2180	125.70	59.067	222.775

附表-a 7-2

CP-5			
下方キレツ			
荷重繰返し数 N (10^2 回)	亀裂半長 a (mm)	亀裂伝播速度 da/dN (10^{-4} mm/cycle)	応力拡大係数 ΔK ($\text{kg}\cdot\text{mm}^{-3/2}$)
100	12.61	.64	68.655
200	13.33	.84	70.511
300	14.22	1.00	72.803
400	15.35	1.18	75.532
500	16.68	1.31	78.806
600	18.13	1.53	82.190
700	19.78	1.70	86.010
800	21.58	1.835	89.721
900	23.55	2.10	93.869
1000	25.80	2.48	98.344
1100	28.49	2.87	103.693
1200	31.51	3.21	109.041
1300	34.87	3.49	114.717
1400	38.55	3.92	120.720
1500	42.67	4.725	127.378
1600	47.82	5.51	134.691
1700	53.62	6.3	142.222
1800	60.55	7.49	151.173
1900	68.92	9.57	161.760
2000	80.05	12.89	174.858
2100	95.80	18.8	192.213
2160	109.95	31.0	206.948
2180	117.49	43.33	214.480

附表-a 8-1

CP-9			
$B = 499.8 \text{ mm}$		$P_{max} = 55.0 \text{ T}$	
$t = 5.528 \text{ mm}$		$P_{min} = 25.0 \text{ T}$	
$2a_0 = 23.74 \text{ mm}$		$P_{mean} = 40.0 \text{ T}$	
上方キレツ			
荷重繰返し数 N (10^2 回)	亀裂半長 a (mm)	亀裂伝播速度 da/dN (10^{-4} mm/cycle)	応力拡大係数 ΔK ($\text{kg}\cdot\text{mm}^{-3/2}$)
100	12.18	.5	67.32
200	12.97	1.07	69.274
300	14.05	1.21	71.989
400	15.41	1.47	75.463
500	16.91	1.62	79.046
600	18.65	1.80	83.064
700	20.49	2.05	86.973
800	22.67	2.34	91.533
900	25.23	2.70	96.745
1000	28.11	3.19	102.174
1100	31.65	3.80	108.580
1200	35.71	4.31	115.421
1300	40.2	4.72	122.695
1400	45.27	5.57	130.296
1500	51.45	6.70	138.874
1600	58.93	8.42	148.429
1700	69.08	12.01	160.916
1800	83.99	18.37	178.723
1860	92.97	28.00	188.278

附表-a 8-2

CP-9			
下方キレツ			
荷重繰返し数 N (10^2 回)	亀裂半長 a (mm)	亀裂伝播速度 da/dN (10^{-4} mm/cycle)	応力拡大係数 ΔK ($\text{kg}\cdot\text{mm}^{-3/2}$)
100	12.75	.76	68.623
200	13.55	.85	70.686
300	14.55	1.165	73.074
400	15.90	1.38	76.549
500	17.25	1.39	79.806
600	18.77	1.70	83.607
700	20.69	2.08	87.624
800	22.93	2.30	92.184
900	25.38	2.61	97.179
1000	28.21	3.08	102.500
1100	31.59	3.535	108.58
1200	35.35	3.90	114.986
1300	39.55	4.61	121.61
1400	44.65	5.51	129.536
1500	50.77	6.92	137.897
1600	57.73	8.30	146.583
1700	67.75	11.50	159.504
1800	81.47	16.99	175.791
1860	89.48	23.35	184.586

附表-a 9-1

CP 8			
$B= 499.9 \text{ mm}$		$P_{max} = 65.0 \text{ T}$	
$t = 5.514 \text{ mm}$		$P_{min} = 35.0 \text{ T}$	
$2a_0 = 24.66 \text{ mm}$		$P_{mean} = 50.0 \text{ T}$	
上方キレツ			
荷重繰返し数 N (10^3 回)	亀裂半長 a (mm)	亀裂伝播速度 da/dN ($10^{-4}\text{mm}/\text{cycle}$)	応力拡大係数 ΔK ($\text{kg}\cdot\text{mm}^{-3/2}$)
50	12.69	.59	68.6755
100	13.05	.73	69.5462
150	13.49	1.01	70.7435
200	14.05	1.185	72.2127
250	14.65	1.320	73.682
300	15.37	1.480	75.315
350	16.10	1.515	77.230
400	16.87	1.63	79.124
450	17.72	1.715	81.137
500	18.61	1.81	82.987
550	19.60	2.035	85.273
600	20.65	2.29	87.667
650	21.83	2.41	90.225
700	23.11	2.60	92.674
750	24.21	2.87	94.851
800	25.85	2.87	98.116
850	27.31	2.98	101.109
900	28.85	3.21	104.102
950	30.50	3.58	106.823
1000	32.45	4.00	110.360
1050	34.61	4.50	114.060
1100	37.01	4.99	117.869
1150	39.65	5.40	122.114
1200	42.49	5.99	126.631
1250	45.61	6.54	131.365
1300	49.01	7.20	135.882
1350	52.88	8.45	140.943
1400	57.59	10.35	146.929
1450	63.31	12.68	154.329

附表-a 9-2

CP-8			
下方キレツ			
荷重繰返し数 N (10^3 回)	亀裂半長 a (mm)	亀裂伝播速度 da/dN ($10^{-4}\text{mm}/\text{cycle}$)	応力拡大係数 ΔK ($\text{kg}\cdot\text{mm}^{-3/2}$)
50	12.60	.61	68.458
100	12.99	.85	69.492
150	13.49	1.02	70.743
200	14.01	1.20	72.049
250	14.70	1.3	73.791
300	15.38	1.5	75.478
350	16.15	1.55	77.382
400	16.95	1.6	79.233
450	17.76	1.71	81.192
500	18.65	1.82	83.314
550	19.60	1.94	85.273
600	20.59	2.08	87.450
650	21.69	2.27	89.790
700	22.83	2.38	92.293
750	24.11	2.62	94.796
800	25.49	2.91	97.680
850	26.97	3.29	100.238
900	28.71	3.6	103.557
950	30.56	3.9	107.040
1000	32.59	4.2	110.795
1050	34.78	4.49	114.387
1100	37.13	4.8	118.196
1150	39.59	5.2	122.060
1200	42.33	5.65	126.25
1250	45.31	6.235	130.712
1300	48.58	6.95	135.338
1350	52.35	7.915	140.290
1400	56.75	9.62	145.84
1450	62.15	12.0267	152.642
1470	64.69	13.1846	155.962

附表-a 10-1

CP-14			
$B= 499.8 \text{ mm}$		$P_{max} = 25.0 \text{ T}$	
$t = 5.671 \text{ mm}$		$P_{min} = 5.0 \text{ T}$	
$2a_0 = 24.53 \text{ mm}$		$P_{mean} = 15.0 \text{ T}$	
上方キレツ			
荷重繰返し数 N (10^3 回)	亀裂半長 a (mm)	亀裂伝播速度 da/dN ($10^{-4}\text{mm}/\text{cycle}$)	応力拡大係数 ΔK ($\text{kg}\cdot\text{mm}^{-3/2}$)
2000	15.49	.22	49.182
2500	16.70	.246	51.017
3000	18.05	.284	53.063
3500	19.58	.316	55.321
4000	21.23	.340	57.650
4500	23.03	.376	59.979
5000	24.99	.414	62.660
5500	27.09	.456	65.341
6000	29.45	.498	68.093
6500	32.05	.560	71.198
7000	35.07	.664	74.373
7500	38.69	.796	78.325
8000	43.27	.946	82.841
8500	48.67	1.216	87.780
9000	55.59	1.506	93.708
9500	63.89	1.82	100.482
10000	73.99	2.214	108.667
10500	86.27	2.764	117.770
11000	101.93	3.68	128.354
11500	124.67	5.616	143.384
11700	137.80	7.572	151.569
11800	146.05	8.960	155.874

附表-a 10-2

CP-14			
下方キレツ			
荷重繰返し数 N (10^3 回)	亀裂半長 a (mm)	亀裂伝播速度 da/dN ($10^{-4}\text{mm}/\text{cycle}$)	応力拡大係数 ΔK ($\text{kg}\cdot\text{mm}^{-3/2}$)
1000	13.75	.182	46.360
1500	14.71	.204	47.842
2000	15.75	.234	49.394
2500	16.95	.244	51.44
3000	18.27	.274	53.275
3500	19.63	.284	55.321
4000	21.15	.312	57.579
4500	22.77	.356	59.696
5000	24.61	.382	62.095
5500	26.70	.438	64.777
6000	28.95	.480	67.529
6500	31.53	.560	70.492
7000	34.54	.654	73.879
7500	37.99	.758	77.549
8000	42.12	.900	81.712
8500	47.11	1.100	86.510
9000	53.02	1.34	91.591
9500	60.18	1.584	97.377
10000	68.97	1.916	104.574
10500	79.75	2.412	112.901
11000	93.59	3.232	122.780
11500	112.57	4.680	135.481
11700	123.37	6.080	142.537
11800	137.67	8.528	151.499
12000	147.95	12.353	156.650

附表-a 11-1

CP-13			
$B = 499.5 \text{ mm}$		$P_{max} = 45.0 \text{ T}$	
$t = 5.610 \text{ mm}$		$P_{min} = 25.0 \text{ T}$	
$2a_0 = 23.49 \text{ mm}$		$P_{mean} = 35.0 \text{ T}$	
上方キレツ			
荷重繰返し数 N (10^6 回)	亀裂半長 a (mm)	亀裂伝播速度 da/dN (10^{-4} mm/cycle)	応力拡大係数 ΔK ($\text{kg}\cdot\text{mm}^{-3/2}$)
500	12.35	.14	44.465
1000	13.40	.244	46.250
1500	14.75	.292	48.462
2000	16.35	.318	51.032
2500	17.95	.340	53.530
3000	19.75	.374	56.242
3500	21.81	.460	59.168
4000	24.31	.534	62.451
4500	27.05	.582	65.949
5000	30.15	.678	69.731
5500	33.95	.838	74.085
6000	38.79	1.144	79.224
6500	45.40	1.54	85.790
7000	54.21	2.00	93.499
7500	66.05	2.806	103.491
8000	82.19	3.780	116.052
8400	99.39	4.81	128.257
8700	117.03	7.64	139.891

附表-a 11-2

CP-13			
下方キレツ			
荷重繰返し数 N (10^6 回)	亀裂半長 a (mm)	亀裂伝播速度 da/dN (10^{-4} mm/cycle)	応力拡大係数 ΔK ($\text{kg}\cdot\text{mm}^{-3/2}$)
500	12.29	.158	44.394
1000	13.42	.264	45.893
1500	14.83	.28	48.534
2000	17.35	.32	51.032
2500	18.05	.356	53.601
3000	19.94	.402	56.385
3500	22.05	.432	59.311
4000	24.27	.482	62.380
4500	26.96	.576	65.735
5000	30.05	.674	69.660
5500	33.65	.816	73.728
6000	38.25	1.056	78.582
6500	44.61	1.500	85.077
7000	53.10	1.98	92.714
7500	64.50	2.636	102.063
8000	79.65	3.624	114.197
8500	100.57	4.956	128.900
8700	112.21	7.433	136.822

附表-a 12-1

CP-12			
$B = 500.00 \text{ mm}$		$P_{max} = 55.0 \text{ T}$	
$t = 5.673 \text{ mm}$		$P_{min} = 35.0 \text{ T}$	
$2a_0 = 23.84 \text{ mm}$		$P_{mean} = 45.0 \text{ T}$	
上方キレツ			
荷重繰返し数 N (10^6 回)	亀裂半長 a (mm)	亀裂伝播速度 da/dN (10^{-4} mm/cycle)	応力拡大係数 ΔK ($\text{kg}\cdot\text{mm}^{-3/2}$)
500	12.55	.163	44.28
1000	13.71	.264	46.113
1500	15.13	.302	48.44
2000	16.75	.344	51.049
2500	18.55	.384	53.728
3000	20.73	.46	56.83
3500	23.25	.544	60.144
4000	26.13	.624	63.952
4500	29.73	.800	68.323
5000	34.39	1.045	73.470
5500	40.39	1.384	79.957
6000	48.65	1.876	87.713
6500	59.35	2.462	96.668
7000	74.59	4.004	108.936
7200	83.05	4.886	115.282
7400	94.57	6.680	123.391

附表-a 12-2

CP-12			
下方キレツ			
荷重繰返し数 N (10^6 回)	亀裂半長 a (mm)	亀裂伝播速度 da/dN (10^{-4} mm/cycle)	応力拡大係数 ΔK ($\text{kg}\cdot\text{mm}^{-3/2}$)
500	12.38	.12	43.998
1000	13.25	.24	45.408
1500	14.68	.314	47.805
2000	16.40	.342	50.484
2500	18.25	.400	53.375
3000	20.31	.444	56.337
3500	22.69	.514	59.580
4000	25.55	.624	63.388
4500	29.21	.842	67.689
5000	33.85	1.000	73.047
5500	39.78	1.366	79.252
6000	47.79	1.824	86.938
6500	58.45	2.484	95.892
7000	73.11	3.506	107.808
7200	80.50	4.296	113.449
7400	90.53	5.755	120.570

附表-a 13-1

CP-11			
$B = 500.00 \text{ mm}$		$P_{max} = 65.0 \text{ T}$	
$t = 5.470 \text{ mm}$		$P_{min} = 45.0 \text{ T}$	
$2a_0 = 23.97 \text{ mm}$		$P_{mean} = 55.0 \text{ T}$	
上方キレツ			
荷重繰返し数 N (10^4 回)	亀裂半長 a (mm)	亀裂伝播速度 da/dN ($10^{-4}\text{mm}/\text{cycle}$)	応力拡大係数 ΔK ($\text{kg}\cdot\text{mm}^{-3/2}$)
500	12.89	.324	48.263
1000	14.65	.382	49.506
1200	15.45	.400	50.823
1400	16.25	.440	52.139
1600	17.23	.480	53.675
1800	18.23	.528	55.210
2000	19.27	.560	56.8920
2200	20.45	.584	58.5008
2400	21.63	.588	60.2558
2600	22.87	.688	62.0108
2800	24.45	.804	64.2046
3000	26.19	.914	66.4715
3200	28.05	.964	68.738
3400	30.05	1.064	71.152
3600	32.33	1.280	73.8573
3800	35.22	1.560	77.2942
4000	38.40	1.684	80.7311
4200	41.87	1.848	84.3143
4400	45.87	2.120	88.4825
4600	50.47	2.50	92.724
4800	56.01	3.04	97.3307
5000	62.89	3.916	103.2539
5100	67.32	4.440	106.9833

附表-a 13-2

CP-11			
下方キレツ			
荷重繰返し数 N (10^4 回)	亀裂半長 a (mm)	亀裂伝播速度 da/dN ($10^{-4}\text{mm}/\text{cycle}$)	応力拡大係数 ΔK ($\text{kg}\cdot\text{mm}^{-3/2}$)
500	13.18	.314	47.02
1000	14.95	.392	49.945
1200	15.75	.400	51.261
1400	16.55	.440	52.578
1600	17.50	.446	54.113
1800	18.35	.464	55.503
2000	19.35	.526	56.965
2200	20.45	.560	58.574
2400	21.61	.608	60.183
2600	22.95	.690	62.157
2800	24.41	.806	64.095
3000	26.15	.878	66.398
3200	27.97	.986	68.738
3400	30.05	1.084	71.152
3600	32.39	1.248	74.040
3800	35.12	1.400	77.148
4000	38.07	1.566	80.366
4200	41.53	1.880	84.095
4400	45.73	2.228	88.336
4600	50.49	2.512	92.724
4800	55.78	2.854	97.221
5000	62.33	3.644	102.815
5100	66.28	4.224	106.142

実験結果 附表-b 1-1

CPP-8			
$B = 99.95 \text{ mm}$		$P_{max} = 8.0 \text{ T}$	
$t = 5.341 \text{ mm}$		$P_{min} = 0.0 \text{ T}$	
$2a_0 = 18.23 \text{ mm}$		$P_{mean} = 4.0 \text{ T}$	
上方キレツ			
荷重繰返し数 N (10^4 回)	亀裂半長 a (mm)	亀裂伝播速度 da/dN ($10^{-4}\text{mm}/\text{cycle}$)	応力拡大係数 ΔK ($\text{kg}\cdot\text{mm}^{-3/2}$)
100	9.80	.735	83.772
140	10.12	.935	84.971
180	10.54	1.1	86.769
220	11.01	1.24	88.717
260	11.53	1.33	90.815
300	12.10	1.475	93.213
340	12.70	1.645	95.461
380	13.41	1.87	98.158
420	14.19	1.995	101.156
460	15.01	2.105	104.003
500	15.88	2.26	107.150
540	16.73	2.44	109.997
580	17.78	2.90	113.594
620	19.04	3.395	117.790
660	20.53	4.14	122.436
700	22.38	5.21	128.430
720	23.54	6.38	132.027
740	25.04	9.035	136.373

附表-b 1-2

CPP-8			
下方キレツ			
荷重繰返し数 N (10^4 回)	亀裂半長 a (mm)	亀裂伝播速度 da/dN ($10^{-4}\text{mm}/\text{cycle}$)	応力拡大係数 ΔK ($\text{kg}\cdot\text{mm}^{-3/2}$)
90	9.87	.80	83.922
130	10.22	.955	85.420
170	10.63	1.1	87.219
210	11.10	1.2	89.317
250	11.60	1.325	91.265
290	12.14	1.36	93.363
330	12.70	1.445	95.461
370	13.30	1.59	97.709
410	13.96	1.755	100.106
450	14.69	1.905	102.954
490	15.50	2.10	105.801
530	16.37	2.51	108.798
570	17.42	2.85	112.395
610	18.64	3.25	116.441
650	20.04	3.80	120.937
690	21.71	4.74	126.182
720	23.37	6.39	131.577
750	25.88	11.82	139.070

附表-b 2-1

CPP-7			
$B = 99.93 \text{ mm}$		$P_{max} = 9.0 \text{ T}$	
$t = 5.369 \text{ mm}$		$P_{min} = 1.0 \text{ T}$	
$2a_0 = 17.98 \text{ mm}$		$P_{mean} = 5.0 \text{ T}$	
上方キレツ			
荷重繰返し数 N (10^2 回)	亀裂半長 a (mm)	亀裂伝播速度 da/dN (10^{-4} mm/cycle)	応力拡大係数 ΔK ($\text{kg}\cdot\text{mm}^{-3/2}$)
100	9.88	1.56	83.50
130	10.40	1.90	85.737
160	11.01	2.15	88.272
190	11.68	2.285	91.105
220	12.38	2.33	93.789
250	13.08	2.395	96.324
280	13.81	2.485	99.157
310	14.59	2.73	102.139
340	15.46	3.09	105.121
370	16.44	3.405	108.700
400	17.54	3.945	112.129
430	18.80	4.405	116.304
460	20.24	5.30	120.927
480	21.37	6.05	124.505
500	22.75	7.80	128.978
520	24.54	10.325	134.197

附表-b 2-2

CPP-7			
下方キレツ			
荷重繰返し数 N (10^2 回)	亀裂半長 a (mm)	亀裂伝播速度 da/dN (10^{-4} mm/cycle)	応力拡大係数 ΔK ($\text{kg}\cdot\text{mm}^{-3/2}$)
120	10.3	1.66	85.439
150	10.83	1.85	87.526
180	11.40	2.03	89.912
210	12.04	2.195	92.447
240	12.7	2.305	94.833
270	13.41	2.44	97.666
300	14.16	2.56	100.499
330	14.96	2.80	104.077
360	15.84	2.97	106.612
390	16.77	3.30	109.594
420	17.85	3.85	113.322
450	19.11	4.56	117.199
480	20.62	5.495	122.269
500	21.84	6.84	126.145
520	23.46	9.64	132.706

附表-b 3-1

CPP-1			
$B = 99.98 \text{ mm}$		$P_{max} = 10.0 \text{ T}$	
$t = 5.346 \text{ mm}$		$P_{min} = 2.0 \text{ T}$	
$2a_0 = 18.36 \text{ mm}$		$P_{mean} = 6.0 \text{ T}$	
上方キレツ			
荷重繰返し数 N (10^2 回)	亀裂半長 a (mm)	亀裂伝播速度 da/dN (10^{-4} mm/cycle)	応力拡大係数 ΔK ($\text{kg}\cdot\text{mm}^{-3/2}$)
75	9.9	1.2	84.115
100	10.24	1.505	85.462
125	10.66	1.8	87.258
150	11.14	2.09	89.203
175	11.68	2.26	91.598
200	12.26	2.355	93.693
225	12.86	2.41	96.088
250	13.46	2.475	98.184
275	14.10	2.61	100.728
300	14.78	2.9	103.123
325	15.54	3.23	105.817
350	16.40	3.605	108.810
375	17.36	4.185	112.103
400	18.51	5.035	115.845
425	19.96	6.75	120.634
450	21.98	9.25	127.070
465	23.53	11.21	131.859
475	24.73	12.79	135.301

附表-b 3-2

CPP-1			
下方キレツ			
荷重繰返し数 N (10^2 回)	亀裂半長 a (mm)	亀裂伝播速度 da/dN (10^{-4} mm/cycle)	応力拡大係数 ΔK ($\text{kg}\cdot\text{mm}^{-3/2}$)
100	10.45	1.525	86.210
125	10.85	1.785	87.856
150	11.34	1.875	90.101
175	11.825	2.065	92.047
200	12.36	2.205	93.993
225	12.94	2.340	96.238
250	13.54	2.495	98.483
275	14.19	2.690	101.027
300	14.90	2.935	103.572
325	15.66	3.245	106.266
350	16.53	3.600	109.109
375	17.49	4.105	112.402
400	18.62	4.945	116.294
425	19.97	6.000	120.634
450	21.75	8.450	126.321
465	23.23	10.88	130.961
480	25.12	14.48	136.499

附表-b 4-1

CPP-5			
$B = 99.95 \text{ mm}$		$P_{max} = 12.0 \text{ T}$	
$t = 5.422 \text{ mm}$		$P_{min} = 4.0 \text{ T}$	
$2a_0 = 18.48 \text{ mm}$		$P_{mean} = 8.0 \text{ T}$	
上方キレツ			
荷重繰返し数 N (10^3 回)	亀裂半長 a (mm)	亀裂伝播速度 da/dN ($10^{-4}\text{mm}/\text{cycle}$)	応力拡大係数 ΔK ($\text{kg}\cdot\text{mm}^{-3/2}$)
70	9.69	1.70	81.935
90	10.07	2.10	83.411
110	10.55	2.48	85.625
130	11.06	2.80	87.692
150	11.63	2.90	90.054
170	12.22	3.02	92.269
190	12.86	3.28	94.631
210	13.52	3.32	97.141
230	14.19	3.42	99.650
250	14.92	4.00	102.160
270	15.81	4.70	105.408
290	16.87	5.71	108.803
310	18.10	6.53	112.937
330	19.50	7.37	117.513
340	20.26	8.07	119.728
350	21.12	9.31	122.533

附表-b 4-2

CPP-5			
下方キレツ			
荷重繰返し数 N (10^3 回)	亀裂半長 a (mm)	亀裂伝播速度 da/dN ($10^{-4}\text{mm}/\text{cycle}$)	応力拡大係数 ΔK ($\text{kg}\cdot\text{mm}^{-3/2}$)
60	9.825	1.50	82.525
80	10.18	2.01	84.149
100	10.63	2.31	85.773
120	11.11	2.48	87.840
140	11.61	2.50	90.054
160	12.13	2.69	91.826
180	12.69	2.93	94.040
200	13.30	3.18	96.402
220	13.96	3.50	98.026
240	14.70	3.90	101.422
260	15.55	4.02	104.374
280	16.48	5.22	107.622
300	17.60	6.05	111.313
320	18.89	6.92	115.742
340	20.43	8.62	120.466
360	22.46	12.31	126.814
370	23.93	17.62	131.243

附表-b 5-1

CPP-4			
$B = 99.95 \text{ mm}$		$P_{max} = 13.0 \text{ T}$	
$t = 5.402 \text{ mm}$		$P_{min} = 5.0 \text{ T}$	
$2a_0 = 17.94 \text{ mm}$		$P_{mean} = 9.0 \text{ T}$	
上方キレツ			
荷重繰返し数 N (10^3 回)	亀裂半長 a (mm)	亀裂伝播速度 da/dN ($10^{-4}\text{mm}/\text{cycle}$)	応力拡大係数 ΔK ($\text{kg}\cdot\text{mm}^{-3/2}$)
60	9.91	2.31	83.272
80	10.45	3.05	85.346
100	11.11	3.61	88.309
120	11.89	4.10	91.273
140	12.75	4.66	94.532
160	13.78	5.80	98.385
180	15.09	7.28	105.274
200	16.68	8.50	108.757
220	18.55	10.39	114.832
230	19.66	11.94	118.536
240	20.97	14.00	122.685
250	22.57	18.30	127.574

附表-b 5-2

CPP-4			
下方キレツ			
荷重繰返し数 N (10^3 回)	亀裂半長 a (mm)	亀裂伝播速度 da/dN ($10^{-4}\text{mm}/\text{cycle}$)	応力拡大係数 ΔK ($\text{kg}\cdot\text{mm}^{-3/2}$)
70	10.30	2.80	85.050
90	10.90	3.27	87.420
110	11.62	3.82	90.384
130	12.45	4.31	93.495
150	13.385	4.97	97.051
170	14.44	5.69	100.904
190	15.66	6.60	105.201
210	17.07	7.51	109.942
230	18.76	9.85	115.573
240	19.89	13.18	119.277
250	21.57	21.07	124.463

附表-b 6-1

CPP-15			
$B = 99.96 \text{ mm}$		$P_{max} = 6.0 \text{ T}$	
$t = 5.309 \text{ mm}$		$P_{min} = 0.0 \text{ T}$	
$2a_0 = 17.95 \text{ mm}$		$P_{mean} = 3.0 \text{ T}$	
上方キレット			
荷重繰返し数 N (10^4 回)	亀裂半長 a (mm)	亀裂伝播速度 da/dN (10^{-4} mm/cycle)	応力拡大係数 ΔK ($\text{kg}\cdot\text{mm}^{-3/2}$)
280	9.275	.233	61.39
480	9.815	.290	63.20
680	10.425	.335	65.12
880	11.185	.422	67.61
1080	12.165	.558	71.00
1280	13.465	.742	74.17
1480	15.185	.951	78.92
1680	17.305	1.18625	84.46
1880	20.145	1.362	91.58
1960	21.425	2.057	94.74
2040	23.425	3.005	99.38
2120	26.445	4.895	106.28

附表-b 6-2

CPP-15			
下方キレット			
荷重繰返し数 N (10^4 回)	亀裂半長 a (mm)	亀裂伝播速度 da/dN (10^{-4} mm/cycle)	応力拡大係数 ΔK ($\text{kg}\cdot\text{mm}^{-3/2}$)
240	9.605	.300	62.41
440	10.265	.350	64.67
640	11.015	.4025	66.82
840	11.895	.4875	69.76
1040	12.995	.6075	72.92
1240	14.365	.77125	76.65
1440	16.095	.9775	81.40
1640	18.315	1.220	87.06
1840	21.165	1.705	93.84
1920	22.655	2.220	97.57
2000	24.605	2.7306	101.98
2080	27.135	4.0679	107.63
2140	30.305	6.815	114.76

附表-b 7-1

CPP-10			
$B = 99.98 \text{ mm}$		$P_{max} = 7.0 \text{ T}$	
$t = 5.319 \text{ mm}$		$P_{min} = 1.0 \text{ T}$	
$2a_0 = 17.70 \text{ mm}$		$P_{mean} = 4.0 \text{ T}$	
上方キレット			
荷重繰返し数 N (10^4 回)	亀裂半長 a (mm)	亀裂伝播速度 da/dN (10^{-4} mm/cycle)	応力拡大係数 ΔK ($\text{kg}\cdot\text{mm}^{-3/2}$)
400	10.18	.438	64.31
600	11.13	.516	67.36
800	12.29	.637	70.74
1000	13.72	.783	74.92
1200	15.51	1.019	79.77
1400	17.95	1.473	85.86
1600	21.63	2.293	95.00
1700	24.51	3.624	101.65
1750	26.52	4.586	106.17
1800	29.43	7.673	112.15

附表-b 7-2

CPP-10			
下方キレット			
荷重繰返し数 N (10^4 回)	亀裂半長 a (mm)	亀裂伝播速度 da/dN (10^{-4} mm/cycle)	応力拡大係数 ΔK ($\text{kg}\cdot\text{mm}^{-3/2}$)
300	9.81	.383	63.07
500	10.69	.480	66.00
700	11.75	.571	69.16
900	13.00	.681	72.77
1100	14.55	.900	77.17
1300	16.76	1.330	82.93
1500	19.85	1.725	90.71
1700	24.51	3.263	101.65
1750	26.61	3.868	106.28
1800	29.18	6.967	112.03

附表-b 8-1

CPP-11			
$B = 100.01 \text{ mm}$		$P_{max} = 9.0 \text{ T}$	
$t = 5.440 \text{ mm}$		$P_{min} = 3.0 \text{ T}$	
$2a_0 = 18.18 \text{ mm}$		$P_{mean} = 6.0 \text{ T}$	
上方キレツ			
荷重繰返し数 N (10^4 回)	亀裂半長 a (mm)	亀裂伝播速度 da/dN (10^{-4} mm/cycle)	応力拡大係数 ΔK ($\text{kg}\cdot\text{mm}^{-3/2}$)
400	10.18	.285	62.857
500	10.52	.382	63.850
600	10.97	.522	65.173
700	11.54	.605	66.827
800	12.18	.685	69.364
900	12.90	.785	70.797
1000	13.76	.972	73.223
1100	14.84	1.177	76.201
1200	16.10	1.350	79.399
1300	17.66	1.845	83.369
1400	19.84	2.527	88.662
1500	22.79	3.505	95.389
1550	24.82	4.650	99.910
1600	27.81	8.295	106.527

附表-b 8-2

CPP-11			
下方キレツ			
荷重繰返し数 N (10^4 回)	亀裂半長 a (mm)	亀裂伝播速度 da/dN (10^{-4} mm/cycle)	応力拡大係数 ΔK ($\text{kg}\cdot\text{mm}^{-3/2}$)
300	10.05	.275	62.306
400	10.39	.400	63.409
500	10.81	.460	64.622
600	11.30	.530	66.166
700	11.89	.625	67.930
800	12.56	.737	69.915
900	13.36	.875	72.121
1000	14.35	1.112	74.216
1100	15.59	1.342	78.075
1200	17.00	1.492	81.604
1300	18.60	1.740	85.574
1400	20.55	2.225	89.765
1500	23.16	3.050	96.381
1550	24.87	3.855	100.020
1600	27.54	8.150	105.865

附表-b 9-1

CPP-3			
$B = 99.98 \text{ mm}$		$P_{max} = 11.0 \text{ T}$	
$t = 5.387 \text{ mm}$		$P_{min} = 5.0 \text{ T}$	
$2a_0 = 18.07 \text{ mm}$		$P_{mean} = 8.0 \text{ T}$	
上方キレツ			
荷重繰返し数 N (10^4 回)	亀裂半長 a (mm)	亀裂伝播速度 da/dN (10^{-4} mm/cycle)	応力拡大係数 ΔK ($\text{kg}\cdot\text{mm}^{-3/2}$)
100	9.44	.36	61.05
200	9.85	.4425	62.38
300	10.30	.4825	63.83
400	10.82	.5713	65.39
500	11.44	.675	67.29
600	12.19	.8225	69.51
700	13.11	.9675	72.19
800	14.15	1.1475	75.53
900	15.42	1.470	78.43
1000	17.13	1.880	82.88
1100	19.30	2.4625	88.23
1200	22.21	3.525	95.14
1260	24.71	4.99	100.71

附表-b 9-2

CPP-3			
下方キレツ			
荷重繰返し数 N (10^4 回)	亀裂半長 a (mm)	亀裂伝播速度 da/dN (10^{-4} mm/cycle)	応力拡大係数 ΔK ($\text{kg}\cdot\text{mm}^{-3/2}$)
200	9.90	.472	62.61
300	10.40	.580	64.06
400	11.01	.647	66.06
500	11.675	.750	68.07
600	12.51	.830	70.40
700	13.39	.932	72.97
800	14.40	1.075	75.75
900	15.64	1.430	78.98
1000	17.34	2.000	83.33
1100	20.09	2.585	90.01
1200	22.61	3.277	96.03
1260	24.64	4.600	100.48

附表-b 10-1

CPP-2			
$B=99.98 \text{ mm}$		$P_{max}=13.0 \text{ T}$	
$t=5.331 \text{ mm}$		$P_{min}=7.0 \text{ T}$	
$2a_0=18.43 \text{ mm}$		$P_{mean}=10.0 \text{ T}$	
上方キレット			
荷重繰返し数 N (10^4 回)	亀裂半長 a (mm)	亀裂伝播速度 da/dN ($10^{-4}\text{mm}/\text{cycle}$)	応力拡大係数 ΔK ($\text{kg}\cdot\text{mm}^{-3/2}$)
50	9.36	.280	61.464
100	9.55	.442	62.027
150	9.80	.567	62.928
200	10.12	.697	63.941
250	10.51	.850	65.067
300	10.97	.975	66.530
350	11.28	1.072	67.543
400	12.04	1.182	69.795
450	12.66	1.320	71.596
500	13.35	1.427	73.622
550	14.10	1.540	75.648
600	14.91	1.697	77.900
650	15.81	1.870	80.264
700	16.79	2.072	82.740
750	17.90	2.355	85.667
800	19.21	2.990	88.819
850	21.09	4.945	93.435

附表-b 10-2

CPP-2			
下方キレット			
荷重繰返し数 N (10^4 回)	亀裂半長 a (mm)	亀裂伝播速度 da/dN ($10^{-4}\text{mm}/\text{cycle}$)	応力拡大係数 ΔK ($\text{kg}\cdot\text{mm}^{-3/2}$)
200	10.4	.705	64.729
250	10.78	.775	65.967
300	11.19	.885	67.431
350	11.66	1.000	68.781
400	12.19	1.122	70.245
450	12.79	1.210	71.934
500	13.46	1.400	73.847
550	14.20	1.557	75.986
600	15.01	1.680	78.125
650	15.89	1.842	80.489
700	16.865	2.075	82.966
750	17.965	2.372	85.667
800	19.29	3.050	89.157
850	21.21	4.955	93.660

附表-b 11

CPP-16			
$B=99.99 \text{ mm}$		$P_{max}=4.0 \text{ T}$	
$t=5.242 \text{ mm}$		$P_{min}=0.0 \text{ T}$	
$2a_0=18.10 \text{ mm}$		$P_{mean}=2.0 \text{ T}$	
<亀裂伝播せず>			
荷重繰返し数 N (10^4 回)	亀裂半長 a (mm)	亀裂伝播速度 da/dN ($10^{-4}\text{mm}/\text{cycle}$)	応力拡大係数 ΔK ($\text{kg}\cdot\text{mm}^{-3/2}$)

附表-b 12-1

CPP-14			
$B = 100.00 \text{ mm}$		$P_{max} = 5.0 \text{ T}$	
$t = 5.261 \text{ mm}$		$P_{min} = 1.0 \text{ T}$	
$2a_0 = 18.10 \text{ mm}$		$P_{mean} = 3.0 \text{ T}$	
上方キレツ			
荷重繰返し数 N (10^4 回)	亀裂半長 a (mm)	亀裂伝播速度 da/dN (10^{-4}mm/cycle)	応力拡大係数 ΔK ($\text{kg}\cdot\text{mm}^{-3/2}$)
1000	9.77	.093	42.35
1500	10.32	.129	43.57
2000	11.04	.155	45.17
2500	11.88	.182	46.84
3000	12.85	.205	48.74
3500	13.95	.237	50.79
4000	15.24	.280	53.23
4500	16.74	.323	55.89
5000	18.51	.391	58.85
5500	20.70	.495	62.50
6000	23.72	.767	67.22
6400	27.44	1.139	72.99
6700	31.97	2.093	79.69

附表-b 12-2

CPP-14			
下方キレツ			
荷重繰返し数 N (10^4 回)	亀裂半長 a (mm)	亀裂伝播速度 da/dN (10^{-4}mm/cycle)	応力拡大係数 ΔK ($\text{kg}\cdot\text{mm}^{-3/2}$)
1100	9.75	.110	42.35
1600	10.35	.130	43.64
2100	11.02	.143	45.01
2600	11.78	.159	46.69
3100	12.64	.180	48.36
3600	13.62	.22	50.26
4100	14.85	.269	52.54
4600	16.33	.289	55.13
5100	18.05	.325	58.09
5600	20.08	.471	61.43
6000	22.24	.700	65.01
6500	26.97	1.308	72.16
6700	30.23	2.049	77.10

附表-b 13-1

CPP-13			
$B = 100.02 \text{ mm}$		$P_{max} = 7.0 \text{ T}$	
$t = 5.483 \text{ mm}$		$P_{min} = 3.0 \text{ T}$	
$2a_0 = 18.10 \text{ mm}$		$P_{mean} = 5.0 \text{ T}$	
上方キレツ			
荷重繰返し数 N (10^4 回)	亀裂半長 a (mm)	亀裂伝播速度 da/dN (10^{-4}mm/cycle)	応力拡大係数 ΔK ($\text{kg}\cdot\text{mm}^{-3/2}$)
1000	9.77	.1195	40.70
1500	10.41	.1405	42.02
2000	11.17	.161	43.48
2500	12.06	.196	45.23
3000	13.17	.250	47.27
3500	14.59	.320	49.97
4000	16.33	.3695	52.89
4500	18.41	.470	56.32
5000	21.23	.680	60.84
5500	25.73	1.219	67.48
5700	28.64	1.950	71.71
5800	31.08	3.017	75.14

附表-b 13-2

CPP-13			
下方キレツ			
荷重繰返し数 N (10^4 回)	亀裂半長 a (mm)	亀裂伝播速度 da/dN (10^{-4}mm/cycle)	応力拡大係数 ΔK ($\text{kg}\cdot\text{mm}^{-3/2}$)
1100	10.07	.130	41.29
1600	10.86	.175	42.97
2100	11.80	.196	44.79
2600	12.86	.226	46.76
3100	14.08	.268	49.02
3600	15.57	.328	51.50
4100	17.36	.396	54.64
4600	19.61	.516	58.21
5100	22.76	.750	63.10
5400	25.38	1.016	66.97
5600	27.81	1.461	70.47
5800	31.78	2.762	76.16

附表-b14-1

CPP-12			
$B = 99.99 \text{ mm}$		$P_{max} = 9.0 \text{ T}$	
$t = 5.293 \text{ mm}$		$P_{min} = 5.0 \text{ T}$	
$2a_0 = 17.90 \text{ mm}$		$P_{mean} = 7.0 \text{ T}$	
上方キレツ			
荷重繰返し数 N (10^4 回)	亀裂半長 a (mm)	亀裂伝播速度 da/dN (10^{-4} mm/cycle)	応力拡大係数 ΔK ($\text{kg}\cdot\text{mm}^{-3/2}$)
1200	10.03	.135	42.63
1700	10.80	.170	44.29
2200	11.70	.188	46.26
2700	12.71	.220	48.15
3200	13.95	.274	50.57
3700	15.56	.371	53.44
4200	17.70	.491	57.22
4700	20.71	.725	62.13
5000	23.30	1.028	66.21
5200	25.70	1.422	69.91
5350	28.37	2.085	73.77

附表-b14-2

CPP-12			
下方キレツ			
荷重繰返し数 N (10^4 回)	亀裂半長 a (mm)	亀裂伝播速度 da/dN (10^{-4} mm/cycle)	応力拡大係数 ΔK ($\text{kg}\cdot\text{mm}^{-3/2}$)
1000	9.48	.080	41.50
1500	9.96	.119	42.55
2000	10.70	.169	44.22
2500	11.65	.2015	46.11
3000	12.71	.2265	48.15
3500	13.96	.271	50.49
4000	15.56	.3765	53.44
4500	17.93	.575	57.52
5000	21.90	1.070	64.02
5200	24.32	1.381	67.80
5400	27.65	2.240	72.86

附表-b15-1

CPP-9			
$B = 99.95 \text{ mm}$		$P_{max} = 11.0 \text{ T}$	
$t = 5.431 \text{ mm}$		$P_{min} = 7.0 \text{ T}$	
$2a_0 = 18.26 \text{ mm}$		$P_{mean} = 9.0 \text{ T}$	
上方キレツ			
荷重繰返し数 N (10^4 回)	亀裂半長 a (mm)	亀裂伝播速度 da/dN (10^{-4} mm/cycle)	応力拡大係数 ΔK ($\text{kg}\cdot\text{mm}^{-3/2}$)
300	9.5	.055	40.528
600	9.7	.074	40.972
900	9.95	.093	41.487
1200	10.25	.102	42.151
1500	10.575	.115	42.740
1800	10.940	.130	43.551
2100	11.35	.146	44.361
2400	11.83	.175	45.319
2700	12.40	.210	46.425
3000	13.09	.254	47.751
3300	13.94	.311	49.225
3600	15.02	.434	51.141
3900	16.72	.741	54.088
4200	20.01	1.660	59.468
4400	24.45	2.972	66.321

附表-b15-2

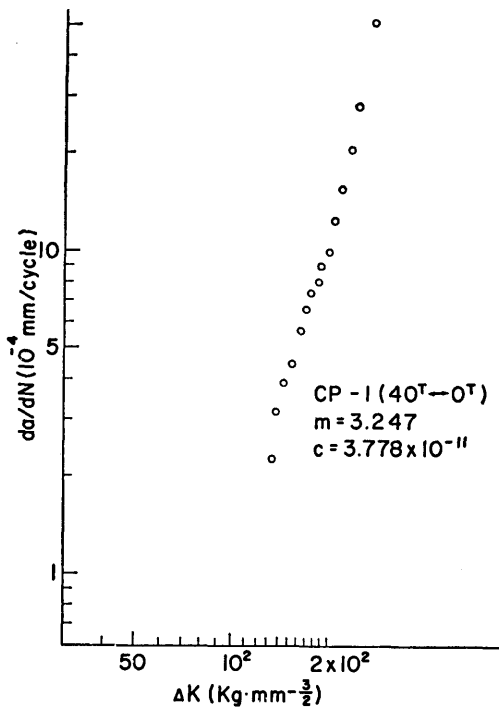
CPP-9			
下方キレツ			
荷重繰返し数 N (10^4 回)	亀裂半長 a (mm)	亀裂伝播速度 da/dN (10^{-4} mm/cycle)	応力拡大係数 ΔK ($\text{kg}\cdot\text{mm}^{-3/2}$)
400	9.7	.0855	40.972
700	10.0	.111	41.561
1000	10.35	.1295	42.298
1300	10.75	.1395	43.109
1600	11.17	.141	43.993
1900	11.61	.1545	44.877
2200	12.10	.1705	45.835
2500	12.65	.1950	46.867
2800	13.28	.230	48.046
3100	14.05	.286	49.446
3400	15.02	.360	51.141
3700	16.26	.4815	53.352
4000	18.11	.805	56.373
4200	20.27	1.430	59.910
4300	21.94	1.867	62.489
4400	24.15	2.660	65.879

附表-b 16-1

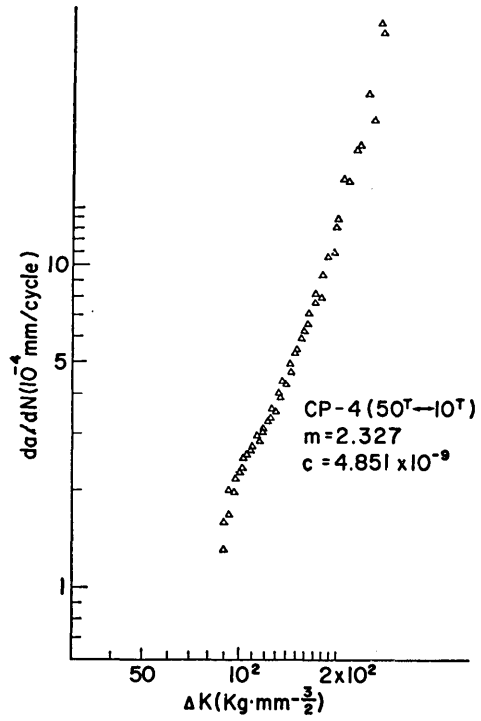
CPP-6			
$B = 99.95 \text{ mm}$		$P_{max} = 13.0 \text{ T}$	
$t = 5.435 \text{ mm}$		$P_{min} = 9.0 \text{ T}$	
$2a_0 = 18.42 \text{ mm}$		$P_{mean} = 11.0 \text{ T}$	
上方キレット			
荷重繰返し数 N (10^6 回)	亀裂半長 a (mm)	亀裂伝播速度 da/dN (10^{-4} mm/cycle)	応力拡大係数 ΔK ($\text{kg}\cdot\text{mm}^{-3/2}$)
600	9.80	.143	41.159
800	10.15	.201	41.822
1000	10.58	.230	42.705
1200	11.05	.250	43.736
1400	11.58	.278	44.841
1600	12.18	.320	45.945
1800	12.85	.342	47.197
2000	13.57	.381	48.449
2200	14.37	.420	49.995
2400	15.25	.507	51.541
2600	16.13	.509	53.014
2800	17.29	.640	55.002
3000	18.71	.794	57.358
3100	19.57	.939	58.683
3200	20.62	1.195	60.377
3300	22.09	1.784	62.733

附表-b 16-2

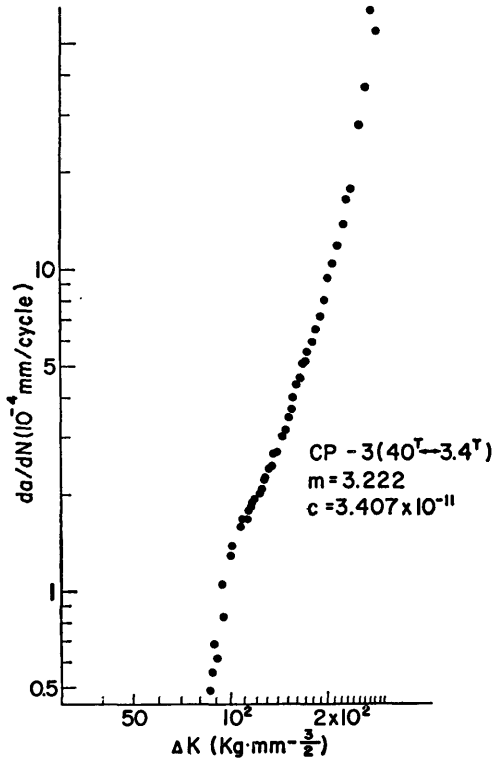
CPP-6			
下方キレット			
荷重繰返し数 N (10^6 回)	亀裂半長 a (mm)	亀裂伝播速度 da/dN (10^{-4} mm/cycle)	応力拡大係数 ΔK ($\text{kg}\cdot\text{mm}^{-3/2}$)
500	9.96	.180	41.527
700	10.35	.211	42.264
900	10.80	.232	43.147
1100	11.27	.238	44.178
1300	11.75	.255	45.135
1500	12.275	.268	46.092
1700	12.85	.307	47.197
1900	13.50	.339	48.375
2100	14.20	.372	49.700
2300	15.01	.440	51.099
(2500)	(15.99)	(.538)	(52.793)
2500	(15.96)	(.496)	(52.719)
2600	16.47	.527	53.603
2800	17.65	.639	55.591
3000	19.06	.780	57.873
3200	20.89	1.153	60.745
3300	22.47	2.223	63.248



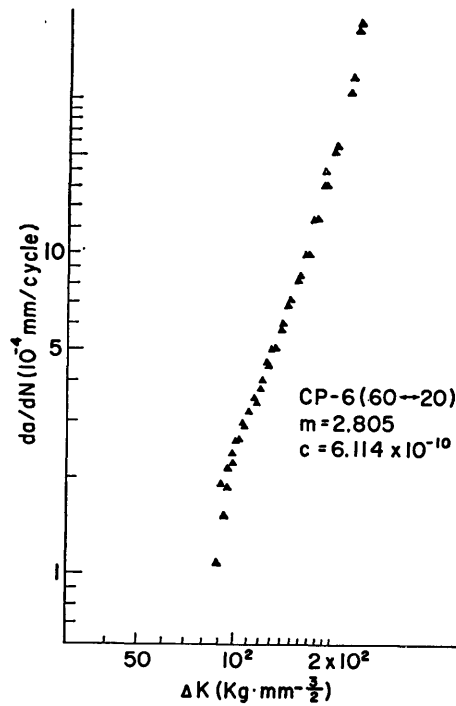
附图 (a)-1



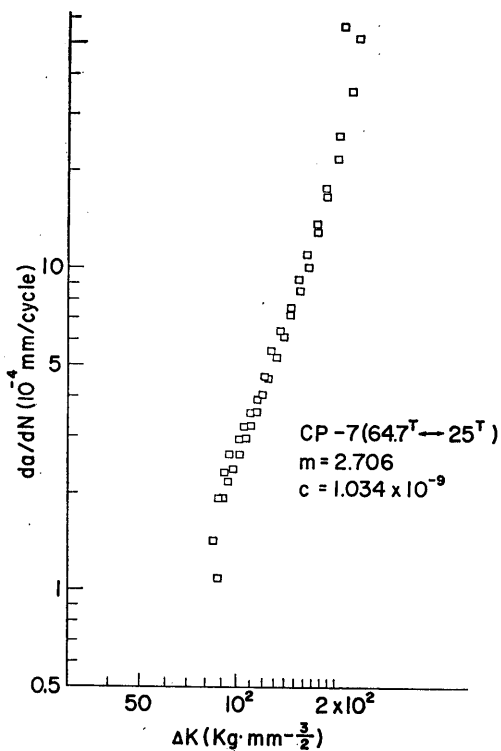
附图 (a)-3



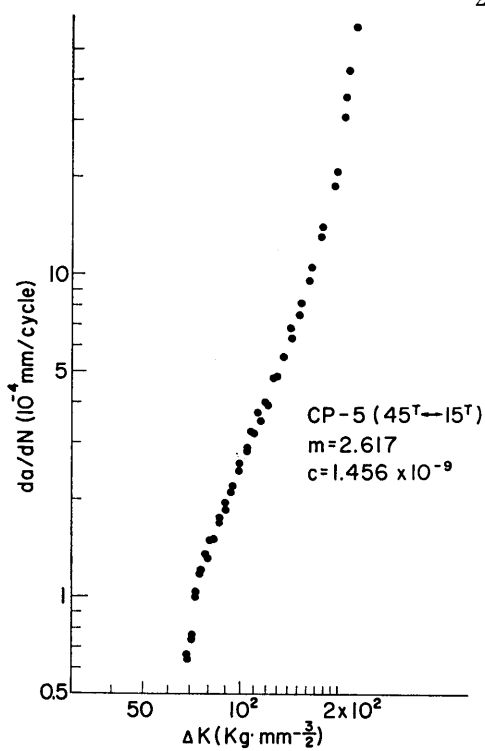
附图 (a)-2



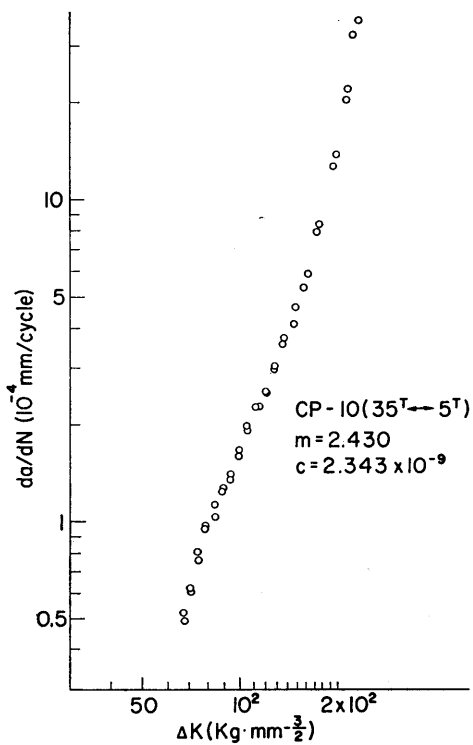
附图 (a)-4



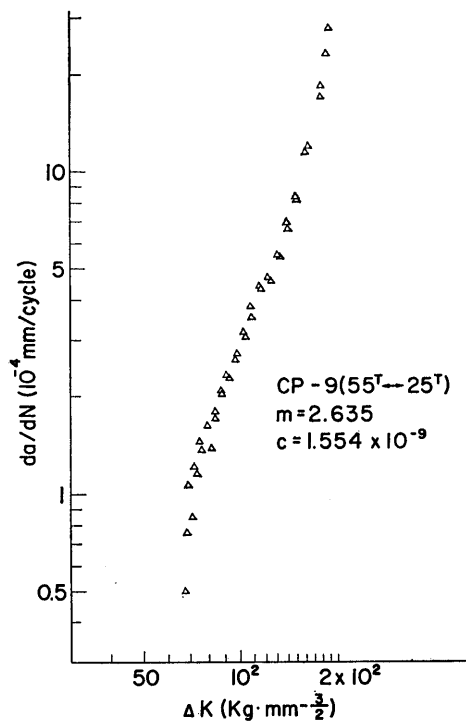
附图 (a)-5



附图 (a)-7



附图 (a)-6



附图 (a)-8