

JAERI - M  
82-208

表面欠陥付平板試験片のき裂伝播試験  
結果およびき裂伝播評価法の検討

1982年12月

柴田 勝之・横山 憲夫・大場 敏弘  
川村 隆一・宮園昭八郎

JAERI-Mレポートは、日本原子力研究所が不定期に公刊している研究報告書です。  
入手の問合わせは、日本原子力研究所技術情報部情報資料課（〒319-11茨城県那珂郡東海村）あて、お申しこしてください。なお、このほかに財団法人原子力弘済会資料センター（〒319-11茨城県那珂郡東海村日本原子力研究所内）で複写による実費領布をおこなっております。

JAERI-M reports are issued irregularly.  
Inquiries about availability of the reports should be addressed to Information Section, Division of Technical Information, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-11, Japan.

©Japan Atomic Energy Research Institute, 1982

編集兼発行 日本原子力研究所  
印 刷 いばらき印刷株式会社

表面欠陥付平板試験片のき裂伝播試験  
結果およびき裂伝播評価法の検討

日本原子力研究所東海研究所安全工学部  
柴田勝之・横山憲夫・大場敏弘  
川村隆一・宮園昭八郎

(1982年12月11日受理)

構造機器において発見される欠陥のうち表面欠陥は高い割合を占めており、その伝播挙動を把握することは構造機器の安全評価上重要な課題のひとつとなっている。

表面欠陥の伝播においては表面付近では応力状態が複雑であり、き裂伝播の様相も他の場合と若干異なっている。また、欠陥が複数の場合には欠陥の干渉効果が生ずる。

従って表面欠陥の伝播挙動を正確に予測するにあたっては自由表面の効果および複数欠陥の干渉効果等を把握する必要がある。これまで各種の配管疲労試験において配管試験体における複数内面欠陥の伝播挙動を調べたが、今回の試験では上記の基礎データを得るため表面欠陥付平板試験片の疲労試験を配管疲労試験の一環として実施した。

疲労試験は1個または2個の人工欠陥を加工したSUS 304Lステンレス鋼製平板試験片を用いて3ケースの実験を行った。試験結果をもとに表面き裂伝播における自由表面の効果の補正係数 ( $C_s$ ) および複数欠陥の表面における干渉効果の補正係数 ( $C_i$ ) を求めた。これらは次式で表わされる。

$$C_s = 0.824$$

$$C_i = \left\{ 0.227 \left( \frac{a}{b} \right)^2 \left( \sec \frac{\pi x}{2} - 1 \right) + 1 \right\}^{\frac{1}{m}}$$

これらの補正係数を基にき裂伝播則を深さ方向および表面方向に適用することにより複数表面欠陥の伝播予測を行い実験結果と比較した。さらに ASME Code Sec. XI に基づいたき裂伝播予測および上記の補正係数を各々 1.0 とした場合 (表面効果および干渉効果を見捨てる) のき裂伝播予測も行った。

これらの方法によるき裂伝播予測と実験結果とを比較した結果、本報に示す伝播予測法が伝播寿命およびき裂形状変化に関して最も実験結果と一致した。また、ASME Codeの方法はき裂合体点の評価基準およびき裂形状変化の評価基準に関して実験結果とかなり差異があった。

---

本報告書は電源開発促進対策特別会計施行令に基き、科学技術庁から日本原子力研究所への委託研究昭和56年度配管信頼性実証試験のうち平板試験体の疲労試験結果をまとめたものである。

Fatigue Test Results of Flat Plate Specimens with Surface Cracks  
and Evaluation of Crack Growth in Structural Components

Katsuyuki SHIBATA , Norio YOKOYAMA , Toshihiro OHBA ,  
Takaichi KAWAMURA and Shohachiro MIYAZONO

Division of Nuclear Safety Research, Tokai Research Establishment, JAERI

(Received December 11, 1982)

Part-through surface cracks are most frequently observed in the inspection of structural components , and it is one of the important subjects in the assessment of safety to evaluate appropriately the growth of such cracks during the service life of structural components.

Due to the complexity of the stress at the front free surface ,the crack growth at the surface shows a different behavior from the other part. Besides, an effect of interaction is caused in the growth of multiple surface cracks. These effects should be included in the growth analysis of surface part-through cracks.

Authors have carried out a series of fatigue tests on some kinds of pipes with multiple cracks in the inner surface, and subsequently the fatigue test of flat plate specimens, made of Type 304L stainless steel, with a single or double surface cracks was carried out to study the basic characteristics in the growth of multiple surface cracks. Based on the results of the flat plate test, the correction factors for the front free surface ( $C_s$ ) and interaction ( $C_i$ ) of surface cracks were derived quantitatively by the following empirical expressions;

$$C_s = 0.824$$

$$C_i = (0.227(a/b)^2 (\sec(\pi X/2) - 1) + 1)^{1/m}$$

Using these two correction factors, a procedure to predict the growth of surface cracks was developed by applying the crack growth formula to both the thickness and surface directions. Besides, the crack growth predictions based on the procedure of ASME Code Sec. XI, and the above procedure without the correction of the free surface and interactions on the crack growth behaviors were compared with the test results of flat plate specimens. The crack growth behavior predicted by the procedure described in this report showed the best agreement with the test results in respects of the crack growth life and the change in the crack shape. The criteria of the ASME Code did not agree with the test results.

Keywords: Fatigue, Surface Defect, Crack Growth, Surface Effect,  
Interaction Effect, 304L Stainless Steel, Correction Factors

---

This work was performed under the contract between the Science and Technology Agency of Japan and JAERI to demonstrate the integrity for fatigue life of the primary coolant pipes in nuclear power plant.

## 目 次

1. まえがき .....	1
2. 試験方法および疲労試験結果 .....	3
2.1 試験方法 .....	3
2.2 疲労試験結果 .....	3
3. 自由表面の影響の評価 .....	4
4. 隣接欠陥の干渉効果の評価 .....	5
5. き裂伝播評価法の検討 .....	7
6. 結 論 .....	9
謝 辞 .....	9
参考文献 .....	10
付 録 .....	53

## Contents

1. Introduction .....	1
2. Fatigue test procedure and result .....	3
2.1 Test procedure .....	3
2.2 Test result .....	3
3. Evaluation of the influence of front free surface .....	4
4. Evaluation of the interaction effect of surface cracks .....	5
5. Discussion on evaluation procedures of surface cracks .....	7
6. Conclusions .....	9
Acknowledgement .....	9
References .....	10
Appendix .....	53

## 1. ま え が き

軽水炉配管の安全性に関する試験研究のひとつとして配管疲労試験をこれまで各種実施してきた。<sup>1), 2), 3)</sup>

原子炉配管において配管破断が発生する可能性の高い欠陥状態として、複数の初期欠陥からき裂が伝播し、さらに合体を繰返すことにより大きな未貫通欠陥へと成長してゆく場合が想定される。配管疲労試験ではこの想定のもとに、配管内面において複数欠陥から大きな未貫通欠陥へとき裂が成長していく過程を明らかにすることにより、配管の安全性評価に資することを目的としている。

配管疲労試験ではすでにいくつかの配管試験体を供試体にした疲労試験を実施するとともに各種の材料試験についても実施し、いくつかの事を明らかにした。<sup>1), 2), 3)</sup>

一方、複数表面欠陥の伝播挙動を正確に把握するには表面欠陥における自由表面の効果、干渉効果、および形状変化について把握しておくことが重要である。以上のデータを得る目的で配管疲労試験の一環として複数表面欠陥付平板試験片による疲労試験を実施した。

表面欠陥あるいは複数欠陥は実際の構造物において多く発見される欠陥形態であり、その評価は構造物の安全評価上重要であり、これまでにいくつかの研究結果が報告されている。<sup>4)~8)</sup>

川原、栗原<sup>4), 5), 6)</sup>は膜応力および曲げ応力下における表面き裂の伝播試験結果を基にき裂形状変化の予測法を提案するとともに複数欠陥が板厚を貫通するまでの間の合体判別法や伝播推定法についても提案している。

また、飯田、川原<sup>7)</sup>は川原らによって得られた形状変化予測式および Kobayashi<sup>9)</sup>による応力拡大係数の解を基にして複数表面欠陥の伝播予測法を提案するとともに多数の実験結果と比較している。さらに、飯田、安藤<sup>8)</sup>らは多数の実験結果を統計的手法を用いて解析し、修正した川原らの形状予測法<sup>10)</sup>を用い、Kobayashiによる応力拡大係数の解を用いた複数表面欠陥の予測法を提案している。

以上に述べた表面欠陥の伝播評価法では深さ方向への伝播には Paris 則<sup>11)</sup>を適用し、表面方向の伝播には実験的に得られたき裂形状変化式を用いて伝播評価を行うのが特徴である。表面方向に Paris 則を適用せず、実験から得られた形状予測式を用いる理由は欠陥前面の自由表面では応力状態が複雑であり信頼できる応力拡大係数解が得られておらず、さらに実際に観察されるき裂伝播挙動も表面では複雑であるなどの理由によると思われる。

Newman and Raju<sup>12)</sup>は多数の有限要素法解析結果から膜応力または曲げ応力が負荷される半楕円欠陥付平板のクラックフロントに沿った応力拡大係数の推定式を与えている。さらに、小さな半円欠陥の伝播挙動の観察結果から表面における応力状態の特殊性により約 10% 程度表面付近では応力拡大係数が低下するという推定を行うとともに深さ方向および表面方向への Paris 則の適用に基づきき裂形状の変化を予測している。

一方 ASME Boiler and Pressure Vessel Code Sec. XI<sup>13)</sup>ではすでに 1974 年から供用期間中に発見された表面または内部欠陥に対し供用中における伝播評価法および脆性破壊防止法が

規定されている。

ASME Codeにおける伝播評価法ではつぎの点が骨子となっている。

- (1) 発見された欠陥を楕円又は半楕円にモデル化する。
- (2) 定められた方法により最深部の応力拡大係数を求め、材料のき裂伝播特性（ $da/dN$  vs.  $\Delta K$  曲線）から荷重サイクルに対応するき裂深さ増分を計算する。
- (3) き裂は初期の形状を保持しながら伝播する（アスペクト比＝一定）と仮定しき裂長さの増分を決定する。
- (4) 複数のき裂は間隔が深さの2倍までに成長したとき合体とみなす（表面欠陥の場合）

ASME Codeの評価法は表面欠陥の伝播に関して十分な研究データが得られていない時期に導入されたものであり、その後、き裂形状予測、複数欠陥の干渉効果および合体条件等について以上に述べたように多くの試験研究が行われ、ASME Codeの評価法に関して検討が加えられた。<sup>4)~8)</sup>

また著者らの試験研究においても同コードを実構造物に適用するという観点から検討を加えた。<sup>1)~3)</sup> これらの結果からASME Codeの評価法における問題点として、複数欠陥の干渉効果および合体条件が過大に安全側に設定されており干渉効果を無視し、き裂間隔がゼロにまで成長した時を合体と仮定しても全体の寿命にほとんど影響しないこと、曲げ応力が支配的な場合き裂は扁平な楕円形状へと変化していくためASME Codeの仮定は非安全側の寿命評価となる可能性があること等が明らかとなっている。著者らの配管疲労試験結果においても平板で実施した上記の試験結果と同様であった。

すでに述べたように表面欠陥の伝播挙動を予測するにあたっては自由表面の影響、形状変化、および複数欠陥の干渉効果および合体条件等を定量的に把握しておくことが重要である。

そこで今回実施した平板試験では実験結果を基に自由表面の影響および干渉効果を定量化し、これに基づき表面方向にも深さ方向から独立してき裂伝播則を適用することにより、き裂形状変化および伝播寿命の予測ができる解析モデルを提案することを目的として検討を行った。

## 2. 試験方法および疲労試験結果

### 2.1 試験方法

平板試験片の疲労試験は1個または2個の人工欠陥を加工したSUS 304Lステンレス鋼製の平板試験片を用いて行った。供試材の化学成分および機械的性質をTable 1およびTable 2に示す。試験片形状および人工欠陥位置をそれぞれFig.1およびTable 3に示す。試験は欠陥数および欠陥間隔を変えて3ケース行った。人工欠陥の寸法は5mm深さ×12mm長さでCase 1では1個, Case 2では2個(き裂間隔42mm, 1.75t), Case 3では2個(き裂間隔60mm, 2.5t)試験片に加工した。

疲労試験では100Tonの油圧式疲労試験機を用いて、応力範囲,  $\Delta\sigma = 14 \text{ kg/mm}^2$ , 応力比,  $R = 0.05$ の軸力繰返し荷重により, 室温, 大気中で行った。試験条件をTable 4に示す。顕微鏡によるき裂長さ測定を行うとともに, ビーチマーク法によるき裂伝播測定を各試験片とも10回程度行った。各Caseについて同一条件の試験を2回ずつ実施した。

なお, ビーチマーク操作中の繰返し数は, ビーチマーク操作前後のき裂伝播速度, ビーチマーク操作中のき裂進展量より補正し, 等価繰返し数を求めて, 全体の繰返し数を補正した。

### 2.2 疲労試験結果

疲労試験はき裂が板厚を貫通するまで行った。その後疲労破面を切り出しビーチマーク観察を行った。Photo.1~Photo.3に疲労破面を示す。これらの破面写真から分るようにはほぼ良好なビーチマーク模様が得られた。

測定結果から深さ方向および表面方向についてき裂伝播挙動を良好に把握できた。

試験結果の詳細についてはここでは省略する。なお, 試験結果の一部についてAppendixに示す。



### 3. 自由表面の影響の評価

表面欠陥の伝播実験では表面付近のき裂伝播が破壊力学で予測されるより遅れて伝播する現象がしばしば観察されている。<sup>2), 3), 12), 14)</sup> 後で示すように、今回実施した平板試験結果においてもその傾向が生じており、あるき裂長さの範囲ではアスペクト比が 1.0 以上となっている。これまでに公表されている半円表面き裂の解析結果では表面の応力拡大係数は最深部より 10% 程度高いのが普通である。このことは、き裂伝播速度は応力拡大係数によって一義的に定まるという従来の研究結果を前提にすれば、表面欠陥は 1.0 以下のアスペクト比へと均衡して成長しなければならないことを示しており今回の実験結果と矛盾している。表面付近で上記のような特異な伝播挙動が生じる理由は自由表面による 3 次元的な効果およびき裂先端における塑性変形挙動の違いによると考えられる。

すなわち、き裂が表面に突出している部分では自由表面があるため平面応力状態であり、内部へ行くに従って拘束が大きくなり平面歪に近くなる。このことはまた、表面付近では内部より塑性変形が起りやすくその結果内部より応力が低くなるという現象をもたらすのである。

自由表面付近でき裂伝播が遅れる理由は以上のような事情によると考えられるが、このことはこれまでに得られている応力拡大係数解析結果には考慮されていない。

以上のことから表面での伝播をより正確に記述するには表面付近の応力拡大係数に対して表面効果補正が必要となってくる。

そこで、今回行った平板試験結果に基づきつぎの方法で表面効果補正係数を導いた。

Fig. 2 ~ Fig. 11 は各実験結果について表面および最深部のき裂伝播速度と応力拡大係数範囲の関係を示したものである。応力拡大係数は Newman and Raju によって得られた結果を用いた。

これらの図から明らかなように、応力拡大係数範囲とき裂伝播速度の関係は最深部と表面で異なり、表面の方が伝播速度が低くなっている。表面における  $db/dN$  vs.  $\Delta K_b$  曲線は最深部における  $da/dN$  vs.  $\Delta K_a$  曲線に対してほぼ平行であり、さらに、各試験片の結果は同程度の移動量となっている。

このことから表面効果補正として  $\Delta K_{eff} = C_s \Delta K$  の形式の補正ができることが分る。各試験片の間に若干バラツキはあるが Fig. 2 ~ Fig. 11 における補正係数の平均値すなわち平行移動量の平均は 0.824 である。

この表面効果補正係数、 $C_s$  に基づいた各試験片の  $db/dN$  vs.  $\Delta K_{b, eff}$  曲線は  $da/dN$  vs.  $\Delta K_a$  曲線によく一致しており、この補正が妥当であることが分る。従って表面効果補正として次式が適当である。

$$C_s = \frac{K_{eff}}{K} = 0.824 \quad (1)$$

#### 4. 隣接欠陥の干渉効果の評価

実験で得られたき裂伝播挙動から判断すると、隣接欠陥の干渉効果は疲労寿命の全体には大きな影響をおよぼさない。しかし、疲労破面観察を行った結果では合体直前に明らかに干渉効果が認められた。そこで、隣接欠陥の干渉効果を調べる目的で、複数欠陥の試験（FL-3～FL-6）について、き裂長さを右側き裂長さ、左側き裂長さに区別して、合体前までのき裂伝播挙動を整理し検討した。Table 5～Table 8にその結果を示す。このTableから明らかなように、合体直前において隣接欠陥に近い側のき裂の方が大きく進展しており、き裂伝播速度も速くなっている。

この関係を明確にするために縦軸に隣接欠陥がある場合のき裂伝播速度と隣接欠陥がない場合のき裂伝播速度との比、横軸に隣接欠陥の両側のき裂長さの和をき裂間隔で割った値をパラメータにとり図示した結果をFig.12～14に示す。ただしFL-4については左右のき裂がアンバランスに進展し、正しい評価が得られないので、ここでは削除した。これらの図から、合体点に近づくにつれて（ $x$ が1に近づく）と、き裂伝播速度の比が増加していることがわかる。そこでこの関係を干渉効果がない場合には（ $x=0$ ）、き裂伝播速度の比が1、き裂合体点（ $x=1$ ）ではき裂伝播速度が無限大に発散するような式で表わすことを検討した結果、近似式として次式の形が適当であると判断された。

$$\alpha = A \left( \sec \frac{\pi x}{2} - 1 \right) + 1 \quad (2)$$

A : き裂のアスペクト比（ $a/b$ ）によって決まる係数

$x$  :  $(b_{12} + b_{21}) / L$

L : き裂の中心間隔

$b_{12}$  : 左側き裂の右側表面長さ

$b_{21}$  : 右側き裂の左側表面長さ

(2)式で示される伝播速度の増加係数はき裂形状（アスペクト比）およびき裂間隔に主として依存する係数である。各ケースは相対的なき裂間隔、 $x$ のみで $\alpha$ の値が決まると仮定しケース2およびケース3についてそれぞれ最小二乗法によりAの値を求めた結果図12に示すケース2の場合は $A=0.24$ 、図13および図14に示すケース3の場合は $A=0.18$ であった。この値の差は合体前のアスペクト比の違いによるものである。Fig.12～Fig.14に示す曲線において干渉効果が生じている領域（ $\alpha > 1.2$ から合体まで）ではアスペクト比はケース2の場合1.06から0.97に変化し、同様にケース3の場合は1.01から0.76に変化する。き裂長さおよび間隔が同じであってもき裂が深い場合には干渉効果は大きいと考えられる。従って、アスペクト比が大きくなればAの値も大きくなると推定されるがこのことは実験事実と一致している。さらに、アスペクト比がゼロになると干渉効果は無く、 $A=0$ になると考えられる。これらの事から各ケースの平均のアスペクト比におけるAの値および原点を通る曲線を求めた結果 $A=0.227 (a/b)^2$ が得られた。

以上の結果から伝播速度の増加係数は次式のように表わすことができる。

$$\alpha = 0.227 \left( \frac{a}{b} \right)^2 \left( \sec \frac{\pi X}{2} - 1 \right) + 1 \quad (3)$$

上式はアスペクト比の影響に関して概算したものであるが、き裂の干渉による伝播寿命への影響は小さいので(3)式で十分に干渉効果を評価できる。

干渉効果による応力拡大係数の補正係数を  $C_I$  ( $C_I = K_{\text{multi-crack}} / K_{\text{single-crack}}$ ) とし、き裂伝播に Paris 則を適用すると、(3)式の  $\alpha$  はつぎのように表わすことができる。

$$\begin{aligned} \alpha &= \frac{(db/dN)_{\text{multi-crack}}}{(db/dN)_{\text{single-crack}}} \\ &= \frac{C_I K_{\text{multi-crack}}^m}{C_I K_{\text{single-crack}}^m} \\ &= C_I^m \end{aligned} \quad (4)$$

ここで  $m$  の値は鋼材の場合  $m = 2.0 \sim 4.0$  である。

(4)式から補正係数  $C$  は次の通りである。

$$\begin{aligned} C_I &= \alpha^{\frac{1}{m}} \\ &= \left\{ 0.227 \left( \frac{a}{b} \right)^2 \left( \sec \frac{\pi X}{2} - 1 \right) + 1 \right\}^{\frac{1}{m}} \end{aligned}$$

複数欠陥の干渉効果は最深部に対しても存在するかも知れないが、この場合は無視できるほど小さいと推定される。

## 5. き裂伝播評価法の検討

ASME Boiler and Pressure Vessel Code Sec. XI<sup>13)</sup>では供用期間中に発見された許容基準以上の欠陥に対するき裂伝播解析法および不安定破壊に対する評価法を与えている。この解析法は下記の通りである。

- (1) き裂（単一および複数）をモデル化する。
- (2) モデル化されたき裂に対して荷重条件から  $\Delta K$  を定められた方法により決定する。
- (3) き裂深さ増分  $\Delta a$  を決め、(2)で得られた  $\Delta K$  と材料の  $da/dN$  vs.  $\Delta K$  曲線より、 $\Delta N$  を決定する。き裂長さ増分  $\Delta b$  はき裂が相似形状を保つという仮定より決める。
- (4)  $a = a + \Delta a$  ,  $b = b + \Delta b$  として次のステップの計算を行う。ただし、複数欠陥の場合は、き裂端が深さの2倍までに接近したときに合体が起きるとし、それ以後は合体した単一のき裂とみなして新たなき裂形状で次のステップの計算を行う。
- (5) 以上の手順の繰返しにより疲労き裂の伝播解析を行う。

以上の ASME Code に基づく解析を行い、実験結果との比較をつぎに行う。

この解析を行うには材料の  $da/dN$  vs.  $\Delta K$  曲線が必要であるが、供試材と同一鋼種の材料で中央貫通き裂試験片を製作し、その疲労試験結果から求めた材料データ (Fig.15) に基づいて行った。この図から上限曲線と下限曲線を解析に用いて、き裂伝播の上限予測、下限予測を行った。応力拡大係数  $\Delta K$  の計算はつぎの通りである。

$$\Delta K = \sqrt{\frac{\pi a}{\theta}} (\Delta \sigma_m M_m + \Delta \sigma_b M_b)$$

$\theta$  : flaw shape parameter

$M_m$  : correction factor for membrane stress

$M_b$  : correction factor for bending stress

以上の評価法で解析した結果と実験結果について Fig.16 ~ Fig.21 に示す。いずれの場合も、き裂伝播予測はかなり安全側になっている。特に複数欠陥の case 2 および case 3 の場合、実験結果よりき裂が進展しないうちに合体が起きる予測となるのでかなり安全側の評価となっている。

直管試験体および曲管試験体の疲労試験結果<sup>1),2),3)</sup>でも同様の傾向が得られており、ASME Code における合体基準は過大に安全側の設定となっている。

また、ASME Code では同一形状を保ちながらき裂が伝播すると仮定しているが Photo.1 ~ Photo.3 に示す破面観察結果や配管疲労試験結果から分るようにき裂伝播に従って形状は変化する。このため、形状不変の仮定はき裂伝播評価に不正確さを生じさせるだけでなく、非安全側の評価となる場合もある<sup>3)</sup>。

そこでつぎに本実験結果から得られた表面効果および干渉効果に関する実験式に基づき、形状変化および伝播寿命により正確に予測する方法を述べるとともに実験結果との比較を行う。

ここで提案する表面欠陥の伝播評価法では Newman and Raju<sup>12)</sup> によって得られた応力拡大係数の解を深さ方向および表面方向に適用する方法であり、き裂形状変化についても予測が可能

である。また上記のごとく表面効果および干渉効果も含まれている。

伝播予測はつぎの手順により行う。

- (1) き裂形状は ASME Code と同様に半楕円とする。
- (2) モデル化されたき裂に対して荷重条件より Newman and Raju の解を用いて、最深部の応力拡大係数範囲 ( $\Delta K_a$ ) および表面の応力拡大係数範囲 ( $\Delta K_b$ ) を求める。
- (3) き裂深さ増分  $\Delta a$  を決め、(2) で得られた  $\Delta K_a$  と材料の  $da/dN$  vs.  $\Delta K$  曲線より、 $\Delta N$  を決定する。 $\Delta N$ 、 $\Delta K_b$  と  $da/dN$  vs.  $\Delta K$  との関係より  $\Delta b$  を決める。
- (4)  $a = a + \Delta a$ 、 $b = b + \Delta b$  として次のステップの計算を行う。ただし、き裂の合体は隣接するき裂が接したときに生ずると仮定し、合体後は新たに最深部と  $1/2$  き裂長さを短軸および長軸とする単一の半楕円き裂とする。
- (5) ただし、 $\Delta K_b$  は表面効果を補正した  $\Delta K_{beff} = 0.824 \times \Delta K_b$  とする
- (6) 複数欠陥の場合は隣接する欠陥の干渉効果より、表面の伝播速度を補正する。
- (7) 以上の手順の繰返しにより疲労き裂の伝播解析を行う。

上記の評価法により行ったき裂伝播予測結果と実験結果との比較を Fig. 22 ~ Fig. 27 に示す。

疲労寿命の長かった FL-2 を除いて、いずれも上限予測と下限予測の幅の中に入っていることがわかる。合体が起きるき裂深さも実験結果とほぼ一致する。

なお、表面効果、隣接欠陥の干渉効果を補正しない場合のき裂伝播予測 ((5), (6) を無視する) 結果と実験結果との比較を Fig. 28 ~ Fig. 33 に示す。

いずれの場合も、安全側に伝播評価をしているが、表面効果、干渉効果で補正を行うと、実験結果に近い評価ができることがわかる。

つぎにき裂の進展に伴うき裂形状の変化を、アスペクト比と無次元化したき裂深さの関係で求め実験結果と比較した結果を Fig. 34 ~ Fig. 39 に示す。

実験結果はいずれの場合も、き裂の進展に伴って、アスペクト比は初期の値 (0.83) から増加し、 $a/t$  が 0.5 程度で、1.0 ~ 1.2 の最大値をとり、その後減少していくことがわかる。

予測結果 (method 1) はいずれの場合も実験結果の傾向とほぼ一致していることがわかる。ただし、 $a/t$  が 0.7 以上になると実験値の方がアスペクト比の減少の割合が大きくなる。このことは、き裂が深くなると、最深部では予測されるよりき裂が伝播しにくくなることを示しており、Back Surface の影響により最深部付近に局所的な塑性変形が生じ応力の緩和現象が生じている可能性がある。

一方、表面効果およびき裂の干渉効果を無視した予測結果 (method 2) では、き裂が進展してもアスペクト比はほぼ平坦で、実験事実と合致していない。

複数欠陥の場合合体が起きるき裂深さは case 2 では、予測値と実験値はほぼ一致するが、case 3 では、予測値よりき裂が進展しないうちに合体が起きている。このことは、前述した Back Surface 効果によるものと思われるが、本予測法は  $a/t$  が 0.8 以内にしか適用できず、き裂が深い場合の伝播挙動の予測についてはさらに検討していく必要がある。

また、ASME Code の評価法では相似伝播則に基づいているため、アスペクト比は一定で、実験事実とは一致していない。また、実験結果よりき裂が進展しないうちに合体が起きることを予測しており、合体条件が保守的すぎるということがわかる。

## 6. 結 論

複数表面欠陥の伝播挙動に関し、自由表面の効果および欠陥の干渉効果を明らかにするため単数または複数表面欠陥付平板試験片によ軸力荷重下におけるき裂伝播試験を3ケース実施した。

実験結果を整理した結果表面効果 ( $C_s$ ) および干渉効果 ( $C_i$ ) についてつぎの補正係数が得られた。

$$C_s = 0.844$$

$$\alpha = 0.227 \left( \frac{a}{b} \right)^2 \left( \sec \frac{\pi x}{2} - 1 \right) + 1$$

$$C_i = \sqrt{\alpha}$$

$\alpha$  : 干渉による伝播速度増加係数

また、表面における等価応力拡大係数はつぎのように表わされる。

$$K_{eff} = C_s C_i K$$

平板試験の結果について ASME Code Sec. XI によるき裂伝播解析との比解を行うとともに、上記の補正係数を基にしたき裂伝播予測も行い試験結果と比較した。

以上の結果からつぎの結論が得られた。

- 1) ASME Code による伝播予測結果は、これまでに各種の文献で指摘されているように、き裂の合体が早く起るためかなり安全側の伝播寿命評価となり、また、き裂形状の仮定 (相似形状伝播) についても適切とはいえない。
- 2) 本報で述べた伝播予測法を適用した結果では伝播寿命および形状変化の予測とも実験結果と良く一致する。一方、表面効果および干渉効果を見捨てて伝播予測を行った結果ではアスペクト比は低目の予測であり、伝播寿命については若干安全側の予測となった。

## 謝 辞

本報告書は配管疲労試験の一環として実施した平板試験の結果をまとめたものである。試験を進めるにあたり安全研究センター長 能沢正雄氏、安全工学部長 桂木学氏ならびに構造安全性研究委員会 (安藤良夫委員長) より多くの助言と協力を得た。試験の遂行にあたっては原子力エンジニアリング(株)、八木岡隆一氏ほか多くの方々より協力を得た。ここに謝意を表します。

## 6. 結 論

複数表面欠陥の伝播挙動に関し、自由表面の効果および欠陥の干渉効果を明らかにするため単数または複数表面欠陥付平板試験片によ軸力荷重下におけるき裂伝播試験を3ケース実施した。

実験結果を整理した結果表面効果 ( $C_s$ ) および干渉効果 ( $C_i$ ) についてつぎの補正係数が得られた。

$$C_s = 0.844$$

$$\alpha = 0.227 \left( \frac{a}{b} \right)^2 \left( \sec \frac{\pi x}{2} - 1 \right) + 1$$

$$C_i = \sqrt{\alpha}$$

$\alpha$  : 干渉による伝播速度増加係数

また、表面における等価応力拡大係数はつぎのように表わされる。

$$K_{eff} = C_s C_i K$$

平板試験の結果について ASME Code Sec. XI によるき裂伝播解析との比解を行うとともに、上記の補正係数を基にしたき裂伝播予測も行い試験結果と比較した。

以上の結果からつぎの結論が得られた。

- 1) ASME Code による伝播予測結果は、これまでに各種の文献で指摘されているように、き裂の合体が早く起るためかなり安全側の伝播寿命評価となり、また、き裂形状の仮定 (相似形状伝播) についても適切とはいえない。
- 2) 本報で述べた伝播予測法を適用した結果では伝播寿命および形状変化の予測とも実験結果と良く一致する。一方、表面効果および干渉効果を見捨てて伝播予測を行った結果ではアスペクト比は低目の予測であり、伝播寿命については若干安全側の予測となった。

## 謝 辞

本報告書は配管疲労試験の一環として実施した平板試験の結果をまとめたものである。試験を進めるにあたり安全研究センター長 能沢正雄氏、安全工学部長 桂木学氏ならびに構造安全性研究委員会 (安藤良夫委員長) より多くの助言と協力を得た。試験の遂行にあたっては原子力エンジニアリング(株)、八木岡隆一氏ほか多くの方々より協力を得た。ここに謝意を表します。

## 参 考 文 献

- 1) K. Shibata, T. Oba, T. Kawamura, N. Yokoyama, and S. Miyazono:  
Fatigue Test Result of straight Pipe with Flaws in Inner Surface,  
JAERI-M 9246, Jan, 1981.
- 2) K. Shibata, T. Oba, T. Kawamura, N. Yokoyama, and S. Miyazono:  
Fatigue and Fracture Behavior of Straight Pipe with Flaws in Inner  
Surface, Nucl. Eng. Des., Vol.66, No.1, Aug. 1981.
- 3) K. Shibata, N. Yokoyama, T. Ohba, T. Kawamura, and S. Miyazono:  
Fatigue Behavior of Pipes Containing Multiple Flaws in Inner Surface,  
IIW Doc. XIII-1038-82, 1982.
- 4) 川原, 栗原: 表面き裂の疲労による伝播成長過程に関する予備的考察, 日本造船学会論文集,  
Vol.137, No.137
- 5) 川原, 栗原: 表面欠陥からの疲労き裂伝播 (第1報), 日本造船学会論文集, Vol.139, No.  
139
- 6) 川原, 栗原: 表面欠陥からの疲労き裂伝播 (第2報), 日本造船学会論文集, Vol.141, No.  
141
- 7) K. Iida and M. Kawahara: Propagation and Coalescence of Fatigue  
Cracks Initiated from Collinear or Parallel Adjacent Surface Flaws,  
Proc. 4th Int. Conf. PVT., Vol.1, 1980, London.
- 8) 飯田, 安藤, 平田: 複数表面欠陥からの疲労亀裂伝播寿命評価, 日本造船学会論文集, Vol.  
148, No.148
- 9) A.S. Kobayashi: Crack Opening Displacement in a Surface Flawed  
Plate Subjected to Tension or Plate Bending, Proc. 2nd. ICM., Boston,  
1976.
- 10) 飯田, 高: 表面き裂の形状表現式について: 日本造船学会論文集, Vol.147, No.147
- 11) P.L. Paris and F. Erdogan: A Critical Analysis of Crack Propagation  
Laws, Trans. ASME., Ser. D, Vol.85, No.4, 1963.
- 12) J.C. Newman, Jr, and I.S. Raju: Analyses of Surface Cracks in Finite  
Plate Under Tension or Bending Loads, NASA TP. 1570, 1979.
- 13) ASME Boiler and Pressure Vessel Code Sec. XI, Div.1, App.A.
- 14) L. Hodulak, H. Kordisch, et al.: Growth of Part-Through cracks,  
ASTM STP 677, 1979.



Table 1 Chemical composition of test material

(%)

	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	N
Spec.	Max 0.020	Max 1.00	Max 2.00	Max 0.040	Max 0.030	18.00- 20.00	8.00- 12.00	Max 0.12
H9237	0.010	0.45	1.50	0.026	0.008	18.41	10.33	0.10

Table 2 Mechanical properties of test material

	0.2% YS kg/mm <sup>2</sup>	UTS kg/mm <sup>2</sup>	Elong. %	Hardness H <sub>B</sub>	Grain size ASTM No.	Ferrite %
Spec. (Aimed)	Min 21.0 (26.0- 28.0)	Min 53.0 (53.0- 63.0)	Min 30 (60.0- 70.0)	— (150- 155)	— (4-6)	— (max 0.01)
H9237	L	26.3	57.9	60.4	156	3.5 0.15
	T	25.5	59.6	59.6	156	

Table 3 Location of artificial defects

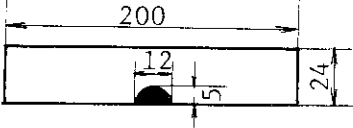
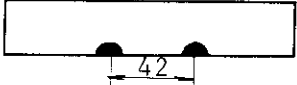
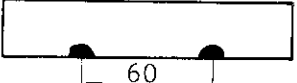
case 1		Specimen No. FL-1, FL-2
case 2		Specimen No. FL-3, FL-4
case 3		Specimen No. FL-5, FL-6

Table 4 Test conditions

Case No. Items	Case 1 (FL-1 -2)	Case 2 (FL-3 -4)	Case 3 (FL-5 -6)
number of cracks	1	2	2
crack interval	—	42 mm (1.75 t)	60 mm (2.5 t)
stress range	14 kg/mm <sup>2</sup>		
stress ratio	0.05		
geometry of test section	24 mm t × 200 mm W		
geometry of EDM defect	5 mm depth × 12 mm width		
cyclic rate	7 Hz		

Table 5 Result of crack length measurement in FL-3.

N	b11	b12	b21	b22	db11/dN	db12/dN	db21/dN	db22/dN
140.00000	6.12000	6.44501	6.28749	6.28250	0.00259	0.00581	0.00352	0.00410
160.00000	6.20500	6.47501	6.36000	6.29500	0.00395	0.00602	0.00425	0.00328
180.00000	6.32999	6.65001	6.45750	6.41750	0.00381	0.00539	0.00430	0.00343
200.00000	6.38249	6.73750	6.57500	6.44501	0.00391	0.00561	0.00326	0.00401
220.00000	6.41249	6.85251	6.61000	6.53000	0.00374	0.00381	0.00355	0.00400
240.00000	6.55699	6.93500	6.71000	6.63000	0.00374	0.00381	0.00295	0.00400
260.00000	6.67500	7.01001	6.77000	6.67999	0.00465	0.00422	0.00340	0.00420
280.00000	6.81749	7.03999	6.79001	6.78000	0.00381	0.00486	0.00422	0.00660
300.00000	6.81500	7.22250	6.85999	6.89500	0.00451	0.00486	0.00422	0.00660
320.00000	6.81500	7.31500	6.98750	7.18251	0.00404	0.00638	0.00557	0.00606
340.00000	6.94499	7.51001	7.15500	7.08499	0.00410	0.00719	0.00557	0.00565
360.00000	7.01498	7.61501	7.20000	7.25000	0.00454	0.00650	0.00561	0.00464
380.00000	7.12750	7.72249	7.31500	7.32500	0.00454	0.00644	0.00528	0.00332
400.00000	7.17749	7.85251	7.43501	7.39499	0.00451	0.00564	0.00500	0.00315
420.00000	7.31499	7.95502	7.53749	7.52750	0.00546	0.00639	0.00569	0.00499
440.00000	7.46750	8.13750	7.65750	7.66751	0.00548	0.00650	0.00561	0.00616
460.00000	7.53000	8.23000	7.76500	7.81500	0.00555	0.00660	0.00591	0.00676
480.00000	7.62498	8.37502	7.91251	7.92749	0.00514	0.00794	0.00615	0.00718
500.00000	7.75000	8.62999	8.02499	8.10501	0.00567	0.00838	0.00685	0.00830
520.00000	7.92499	8.77501	8.21249	8.33250	0.00790	0.01015	0.00747	0.00935
540.00000	8.16998	9.04501	8.36249	8.54750	0.01024	0.01265	0.00822	0.00920
565.93896	8.53249	9.54251	8.62750	8.66251	0.01225	0.01352	0.01011	0.00940
585.93896	8.80249	9.73750	8.95499	8.97002	0.01378	0.01391	0.01069	0.01082
605.93896	9.11000	9.97000	9.07249	9.26250	0.01389	0.01356	0.01108	0.01266
625.93896	9.34500	10.28000	9.32251	9.58249	0.01418	0.01324	0.01171	0.01449
645.93896	9.65001	10.59500	9.61501	9.81999	0.01488	0.01545	0.01289	0.01486
665.93896	9.95000	10.97000	9.97249	10.17751	0.01744	0.01725	0.01608	0.01650
685.93896	10.29500	11.35001	10.35501	10.59999	0.02428	0.02169	0.01911	0.01686
699.32495	10.62250	11.86751	10.69998	10.72501	0.02803	0.02795	0.02303	0.01965
719.32495	11.36999	12.55501	11.26250	11.27750	0.03145	0.03145	0.02374	0.02183
729.32495	11.62500	12.87000	11.56750	11.56750	0.03546	0.03512	0.03015	0.02663
739.32495	12.08749	13.26750	11.90500	11.82501	0.03587	0.03842	0.03419	0.02902
749.32495	12.40500	13.73500	12.33749	12.16751	0.03815	0.04160	0.03920	0.03230
759.32495	12.88750	14.20250	12.83749	12.59250	0.04492	0.05087	0.04532	0.03582
767.05908	13.34750	14.79250	13.23500	12.87000	0.05275	0.06579	0.05263	0.04462
772.05908	13.64500	15.25000	13.56250	13.23250	0.05470	0.07678	0.05333	0.04862
777.05908	13.86999	15.61000	13.81499	13.43001	0.06130	0.07648	0.06069	0.05029
782.05908	14.29999	15.94000	14.20000	13.69501	0.08860	0.08250	0.06715	0.05025
787.05908	14.48500	16.50999	14.59500	13.89500	0.06100	0.08830	0.07900	0.04990
792.05908	14.86250	17.00751	15.14749	14.27501	0.07082	0.10277	0.09172	0.05697
795.80908	15.25500	17.48000	15.49249	14.48750	0.08882	0.12395	0.10164	0.06276
800.80908	15.87750	18.26750	16.07249	14.82751	0.10177	0.12929	0.11232	0.07219
805.80908	16.36250	18.91249	16.75999	15.29500	0.10340	0.14283	0.12662	0.08215
808.30908	16.52748	19.32251	17.15500	15.53501	0.08808	0.16368	0.16363	0.09831
810.80908	16.76248	19.87251	17.70500	15.81500	0.09235	0.20095	0.18702	0.10143
					0.11652	0.25384	0.22925	0.11794

Table 6 Result of crack length measurement in FL-4.

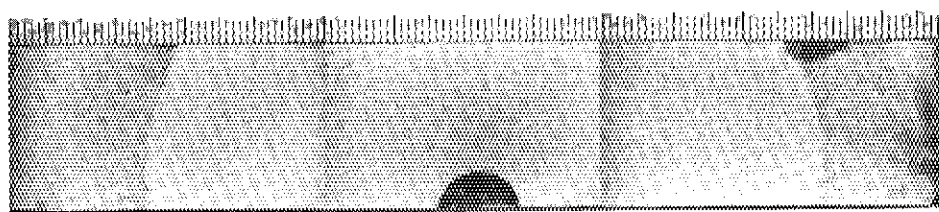
N	b11	b12	b21	b22	db11/dN	db12/dN	db21/dN	db22/dN
180.00000	6.28000	6.39499	5.85498	5.89001	0.00252	0.00259	0.00466	0.00626
200.00000	6.34000	6.40500	5.87250	5.91751	0.00319	0.00274	0.00497	0.00511
225.00000	6.39250	6.46750	6.20999	6.15001	0.00099	0.00453	0.00538	0.00651
250.00000	6.37000	6.63501	6.21750	6.21750	0.00156	0.00450	0.00477	0.00743
275.00000	6.37250	6.85251	6.30750	6.54251	0.00420	0.00266	0.00360	0.00581
300.00000	6.54500	6.77499	6.42000	6.65001	0.00546	0.00115	0.00662	0.00647
320.00000	6.76750	6.75751	6.52499	6.64500	0.00309	0.00233	0.00796	0.00540
340.00000	6.76498	6.84502	6.79250	6.91751	0.00174	0.00364	0.00769	0.00441
360.00000	6.64000	7.01999	6.93750	6.96251	-0.00009	0.00419	0.00637	0.00615
380.00000	6.78250	7.00749	6.98250	6.93251	0.00115	0.00317	0.00510	0.00610
400.00000	6.75000	7.09500	7.06749	7.25250	0.00276	0.00219	0.00563	0.00610
420.00000	6.82500	7.12500	7.23750	7.38249	0.00117	0.00298	0.00783	0.00882
440.00000	6.89500	7.17999	7.37250	7.34750	0.00229	0.00196	0.00973	0.00728
460.00000	6.82748	7.26251	7.61250	7.76750	0.00359	0.00234	0.01077	0.00783
480.00000	6.97751	7.22250	7.85249	7.78751	0.00540	0.00325	0.01224	0.00916
500.00000	7.14250	7.33751	8.07500	7.94499	0.00560	0.00457	0.01279	0.01031
520.00000	7.27750	7.46750	8.36499	7.94499	0.00320	0.00602	0.01656	0.01654
540.00000	7.23750	7.59750	8.63501	8.17500	0.00398	0.00601	0.02246	0.02374
551.16504	7.28249	7.64252	9.01750	8.60500	0.00522	0.00680	0.02203	0.02261
561.16504	7.41499	7.72000	9.25000	8.86250	0.00755	0.00515	0.01212	0.03162
571.16504	7.43251	7.80748	9.38751	9.17500	0.00578	0.00777	0.00910	0.02810
581.16504	7.54750	7.78250	9.11499	9.29749	0.00338	0.00828	0.01527	0.02102
591.16504	7.50500	8.00000	9.53999	9.98001	0.00275	0.00830	0.01783	0.01783
601.16504	7.54752	8.03749	9.93750	9.86501	0.00385	0.00755	0.02508	0.01352
611.16504	7.57001	8.09500	9.86751	9.94249	0.00540	0.00425	0.02098	0.02223
621.16504	7.70752	8.11249	10.20500	10.20750	0.00635	0.00260	0.02278	0.02568
631.16504	7.69501	8.17499	10.45500	10.48500	0.00731	0.00174	0.02941	0.02719
641.16504	7.80251	8.12749	10.78250	10.70500	0.00538	0.00227	0.02941	0.02979
655.30811	7.92001	8.12749	11.16251	10.97750	0.00649	0.00794	0.03254	0.03388
665.30811	7.88499	8.17499	11.53000	11.45750	0.01065	0.00904	0.04036	0.03519
670.30811	8.02251	8.25999	11.53000	11.84000	0.00593	0.01154	0.04283	0.03213
675.30811	8.09749	8.37750	11.97751	11.96250	0.00385	0.01245	0.04210	0.02980
680.30811	8.00500	8.34250	12.18251	12.17750	0.00035	0.01035	0.04105	0.03685
685.30811	7.99001	8.47000	12.34500	12.28249	0.00010	0.01260	0.03805	0.03825
690.30811	8.08501	8.52499	12.55000	12.42501	0.00890	0.00980	0.04390	0.04190
695.30811	8.06000	8.54500	12.74501	12.76000	0.01005	0.01115	0.04960	0.04350
700.30811	8.19250	8.62000	13.08000	12.89500	0.01040	0.01187	0.05093	0.04336
705.30811	8.18750	8.66750	13.32001	13.09500	0.01422	0.01039	0.05405	0.04936
713.24609	8.33000	8.74249	13.67250	13.34499	0.00580	0.02097	0.03995	0.04862
718.24609	8.41000	8.80499	13.80499	13.80750	0.01130	0.02290	0.04259	0.05618
723.24609	8.29500	8.84500	14.05501	13.99000	0.01015	0.02102	0.04849	0.05630
728.24609	8.51750	8.97499	13.97501	14.22999	0.01222	0.01669	0.05233	0.06327
738.24609	8.64500	9.16750	14.37500	14.66000	0.01222	0.03455	0.05555	0.05230
740.24609	8.62000	9.14000	15.12500	15.24000	-0.01581	0.03663	0.06912	0.05507
743.24609	8.47499	9.24001	15.21501	15.35999	0.00159	0.04060	0.07470	0.05590
745.24609	8.67001	9.49501	15.32501	15.51499	0.00200	0.03556	0.08540	0.07025
748.24609	8.64500	9.43500	15.63750	15.64250	0.01359	0.02532	0.09437	0.09698
751.70605	8.74001	9.55000	15.84750	15.79749	0.03005	0.02889	0.09112	0.11523
754.20605	8.81500	9.67499	16.10500	16.20000	0.04066	0.00932	0.09124	0.10006
756.70605	8.95749	9.75999	16.39751	16.70749	0.01879	0.03011	0.09123	0.06728
758.70605	9.03751	9.76251	16.61501	16.77998	0.01842	0.02327	0.08662	0.05527
760.70605	8.89999	9.69249	16.77251	16.90749	0.01675	0.02650	0.07588	0.06888
762.70605	9.04752	9.99500	16.96251	16.96748	0.02225	0.03025	0.07587	0.06363
764.70605	9.12001	9.87749	17.13000	17.17499	0.03113	0.01937	0.06075	0.07325
766.70605	9.15001	9.93500	17.19501	17.33499	0.02350	0.03900	0.06713	0.08762
768.70605	9.16000	10.02499	17.41499	17.35999	0.02888	0.03237	0.08875	0.08850
770.70605	9.26251	10.11499	17.42752	17.60748	0.03237	0.03762	0.09825	0.09950
772.70605	9.35251	10.17749	17.68501	17.91498	0.02500	0.04275	0.11812	0.08263
774.70605	9.37750	10.18250	17.94751	17.94249	0.02086	0.04587	0.10865	0.06719
776.70605	9.35251	10.36749	18.13751	18.18748	0.01728	0.05199	0.09791	0.07668
781.88696	9.53500	10.44748	18.38251	18.29749	0.03778	0.03903	0.10178	0.09468
783.88696	9.56999	10.62000	18.80251	18.61249	0.04429	0.03605	0.10189	0.11365
785.88696	9.72000	10.78499	19.09500	18.88498	0.04700	0.04100	0.11625	0.11775
787.88696	9.80501	10.78499	19.26250	19.08749	0.05025	0.04425	0.13325	0.09800
789.88696	9.90500	10.86501	19.46001	19.37999	0.04100	0.06200	0.13338	0.09638
791.88696	9.94501	10.99001	19.78250	19.54250	0.03300	0.07150	0.12625	0.10075
793.88696	10.06001	11.12500	20.16750	19.63750	0.03037	0.07437	0.12175	0.11400
795.88696	10.05750	11.27499	20.24251	19.92249	0.03762	0.07562	0.13525	0.13350
797.88696	10.15250	11.43750	20.49251	20.19748	0.04432	0.07629	0.18225	0.14842
799.88696	10.27501	11.57750	20.83749	20.40250	0.05129	0.11516	0.18354	0.17758
800.93799	10.31250	11.73000	21.22250	20.73248	0.05204	0.11408	0.20308	0.18420
802.93799	10.41751	11.81749	21.46500	20.95499	0.05718	0.12262	0.20308	0.17273
804.93799	10.51750	12.20248	21.76750	21.36249	0.07950	0.12262	0.21048	0.13737
806.93799	10.72751	12.34250	22.35249	21.65250	0.08225	0.12300	0.21988	0.13688
808.93799	10.95250	12.51250	22.69499	21.87000	0.08225	0.10600	0.24063	0.17201
810.93799	11.02251	12.89250	23.20001	22.07498	0.06514	0.12712	0.21308	0.16381
811.93799	11.02251	12.98749	23.75000	22.51999	0.05928	0.14044	0.21049	0.18142
813.71191	11.19751	13.24249	23.73001	22.76498	0.05019	0.15018	0.21480	0.19231
814.71191	11.21251	13.49249	24.21251	22.90248	0.05201	0.17683	0.22562	0.24097
815.71191	11.25250	13.71750	24.48001	23.18999	0.08532	0.22517	0.27021	0.25349
816.71191	11.45500	13.86749	24.66000	23.42999	0.08228	0.24226	0.29250	0.23524
		14.25999	25.04500	23.76498	0.09150	0.33650	0.38127	

Table 7 Result of crack length measurement in FL-5.

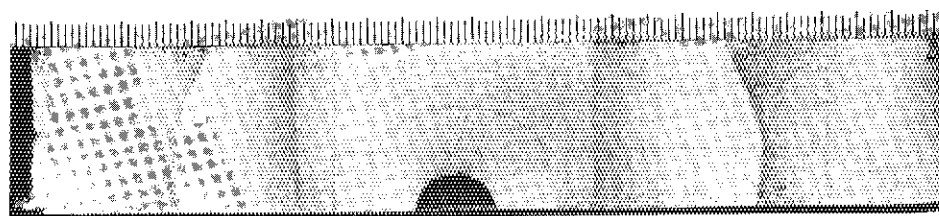
N	b11	b12	b21	b22	db11/dN	db12/dN	db21/dN	db22/dN
120.00000	5.76500	6.10500	6.10750	6.04251	0.00203	0.00460	0.00560	0.00295
140.00000	5.74500	6.19001	6.24500	6.10001	0.00498	0.00475	0.00540	0.00353
160.00000	5.97500	6.32001	6.34250	6.16249	0.00731	0.00431	0.00531	0.00376
180.00000	6.15249	6.36752	6.43250	6.26752	0.00829	0.00444	0.00534	0.00404
200.00000	6.29249	6.44750	6.54500	6.33501	0.00881	0.00376	0.00512	0.00395
220.00000	6.41500	6.57001	6.67749	6.41751	0.00569	0.00416	0.00566	0.00411
240.00000	6.52500	6.59500	6.73250	6.48250	0.00565	0.00460	0.00516	0.00401
260.00000	6.60500	6.71000	6.90500	6.60500	0.00586	0.00609	0.00523	0.00510
280.00000	6.76249	6.83751	6.94751	6.64250	0.00694	0.00709	0.00571	0.00624
300.00000	6.88249	7.05750	7.09250	6.84750	0.00729	0.00691	0.00631	0.00556
320.00000	7.08000	7.13000	7.20999	6.98502	0.00729	0.00576	0.00616	0.00566
340.00000	7.17499	7.25501	7.40500	6.99001	0.00783	0.00493	0.00536	0.00389
360.00000	7.34499	7.31501	7.40750	7.13750	0.00851	0.00609	0.00553	0.00410
380.00000	7.53250	7.45751	7.53000	7.16000	0.00894	0.00721	0.00594	0.00389
400.00000	7.75250	7.63750	7.70000	7.31000	0.00891	0.00914	0.00714	0.00419
420.00000	7.86499	7.81500	7.85251	7.29250	0.00816	0.00924	0.00655	0.00540
440.00000	8.07000	8.05000	7.96001	7.49001	0.00832	0.01030	0.00696	0.00539
460.00000	8.19000	8.17500	8.05499	7.61000	0.00924	0.01029	0.00722	0.00692
480.00000	8.42249	8.48751	8.29500	7.69000	0.00949	0.00971	0.00846	0.00640
555.13989	9.23000	9.11001	8.92999	8.30000	0.01332	0.01152	0.00852	0.00671
575.13989	9.48250	9.37250	9.09000	8.38501	0.01494	0.01262	0.00971	0.00669
595.13989	9.83250	9.67751	9.28499	8.52000	0.01598	0.01408	0.01001	0.00816
615.13989	10.15750	9.90750	9.52249	8.67751	0.01544	0.01456	0.01085	0.00910
635.13989	10.49000	10.25001	9.71500	8.97000	0.01535	0.01503	0.01196	0.01009
655.13989	10.69749	10.54250	9.95999	9.07001	0.01598	0.01659	0.01273	0.01085
675.13989	11.09750	10.86250	10.26248	9.33250	0.01705	0.01723	0.01426	0.01061
736.09302	12.31500	12.09000	11.18250	10.11751	0.02184	0.02446	0.01653	0.01354
746.09302	12.43000	12.34000	11.35750	10.28751	0.02802	0.02642	0.01571	0.01840
756.09302	12.79749	12.62251	11.53999	10.40001	0.02907	0.02663	0.01640	0.01895
766.09302	13.14749	12.90250	11.65251	10.70749	0.03247	0.02743	0.01695	0.02025
776.09302	13.41000	13.14001	11.85500	10.85500	0.02980	0.02930	0.01870	0.02180
786.09302	13.74749	13.45251	12.04750	11.07249	0.02763	0.03390	0.02398	0.02289
796.09302	13.98750	13.81251	12.27750	11.30750	0.03293	0.04028	0.02901	0.02636
806.90601	14.25999	14.30000	12.66750	11.65250	0.04164	0.04506	0.03380	0.02663
816.90601	14.85750	14.79250	13.04500	11.92000	0.04891	0.04638	0.03340	0.02509
826.90601	15.41750	15.26250	13.38750	12.13251	0.04531	0.04198	0.02824	0.02507
831.90601	15.56000	15.46000	13.48001	12.25999	0.04298	0.04443	0.03200	0.02668
836.90601	15.78500	15.63499	13.62000	12.41000	0.04083	0.04273	0.03285	0.02883
841.90601	16.00000	15.92500	13.85750	12.54750	0.04638	0.04898	0.04290	0.03148
846.90601	16.21251	16.09250	14.01498	12.70502	0.05252	0.05968	0.04667	0.03452
851.90601	16.50000	16.45000	14.34999	12.89500	0.06448	0.06324	0.04945	0.04060
856.77490	16.83749	16.85249	14.53250	13.09250	0.06607	0.06989	0.05349	0.04376
861.77490	17.27750	17.10750	14.81999	13.35501	0.06381	0.06793	0.05071	0.04578
866.77490	17.45999	17.49501	15.10500	13.56000	0.05811	0.06721	0.05257	0.04615
871.77490	17.77000	17.81500	15.32249	13.79750	0.05951	0.07411	0.05313	0.04440
876.77490	18.03751	18.17250	15.59000	14.02000	0.06847	0.08107	0.05938	0.04706
881.77490	18.47000	18.61501	15.89999	14.23000	0.08550	0.09101	0.06671	0.05142
886.77490	18.81500	19.11499	16.29500	14.51500	0.09851	0.10712	0.07665	0.06483
891.02490	19.41750	19.52750	16.56999	14.78000	0.10402	0.11826	0.08203	0.06949
896.02490	19.89000	20.23500	17.06000	15.25500	0.10244	0.13449	0.09187	0.06641
898.52490	20.13000	20.52501	17.24249	15.31252	0.10489	0.14328	0.10330	0.05714
901.02490	20.41000	20.89500	17.50749	15.48750	0.09849	0.15813	0.11083	0.06251
903.52490	20.68250	21.29750	17.83250	15.58751	0.11281	0.15945	0.12184	0.07852
906.02490	20.83000	21.81000	18.13750	15.88750	0.13556	0.15109	0.11979	0.09746
908.52490	21.31499	22.04501	18.43748	16.08250	0.15697	0.14944	0.12517	0.11739
910.71509	21.70999	22.36501	18.66000	16.40500	0.17392	0.14613	0.13993	0.12482
913.21509	22.10500	22.81001	19.06250	16.72749	0.15626	0.16844	0.15712	0.12601
915.71509	22.49750	23.18251	19.50999	17.06502	0.14990	0.18759	0.16435	0.10645
918.21509	22.80000	23.67999	19.92499	17.26501	0.17882	0.24251	0.19856	0.11591
919.21509	23.02249	23.93752	20.03999	17.36000	0.18907	0.23767	0.20883	0.13899
920.21509	23.25249	24.22751	20.39250	17.56749	0.18819	0.22887	0.19402	0.14889
921.21509	23.40001	24.39999	20.53250	17.69751	0.16219	0.20209	0.18686	0.16058
923.76489	23.69000	24.78000	20.78000	18.06001	0.16608	0.21277	0.18369	0.12313
924.76489	23.86249	25.06252	21.07500	18.16000	0.20255	0.23877	0.21675	0.12038
925.76489	24.08998	25.28502	21.25999	18.27000	0.19919	0.27786	0.22607	0.11873
926.76489	24.34000	25.55501	21.51999	18.39500	0.19321	0.28539	0.22363	0.14525
927.76489	24.43250	25.90750	21.67500	18.52501	0.16573	0.30941	0.25941	0.12100
928.76489	24.64249	26.16251	21.97250	18.74750	0.17903	0.32070	0.26194	0.15256
929.76489	24.75250	26.51250	22.31750	18.68750	0.23529	0.31649	0.30497	0.17607
930.76489	25.06000	26.84000	22.49500	19.06500	0.25362	0.35522	0.32315	0.23283
931.76489	25.38499	27.13501	22.92499	19.23502	0.29839	0.41571	0.38693	0.29323
932.45996	25.48750	27.50250	23.15999	19.50500	0.29795	0.44341	0.42772	0.26540
933.45996	25.83499	27.96001	23.63000	19.76500	0.30292	0.46901	0.42535	0.26584
934.45996	26.13000	28.41000	24.02998	19.96001	0.31056	0.46791	0.41330	0.23281
935.45996	26.45000	28.81000	24.44000	20.19501	0.29968	0.49655	0.44121	0.22865
936.45996	26.68500	29.36501	24.77750	20.41750	0.32051	0.57202	0.53488	0.26424

Table 8 Result of crack length measurement in FL-6.

N	b11	b12	b21	b22	db11/dN	db12/dN	db21/dN	db22/dN
180.00000	6.22500	6.14001	6.26999	6.38000	0.00434	0.00476	0.00321	0.00406
200.00000	6.24249	6.24751	6.44499	6.38501	0.00454	0.00554	0.00391	0.00341
220.00000	6.45249	6.40750	6.50749	6.43752	0.00456	0.00574	0.00433	0.00292
240.00000	6.48499	6.50501	6.57001	6.53000	0.00526	0.00496	0.00361	0.00451
260.00000	6.56000	6.58500	6.64000	6.60001	0.00453	0.00463	0.00390	0.00458
280.00000	6.71500	6.65501	6.73999	6.75500	0.00480	0.00535	0.00386	0.00476
300.00000	6.79000	6.79501	6.81248	6.78252	0.00487	0.00595	0.00450	0.00400
320.00000	6.85000	6.93500	6.87000	6.91501	0.00410	0.00508	0.00354	0.00276
340.00000	6.98000	7.04001	7.02499	6.92000	0.00445	0.00442	0.00331	0.00301
360.00000	7.04000	7.04000	6.98750	6.96249	0.00457	0.00383	0.00400	0.00310
380.00000	7.14500	7.18500	7.08499	7.06000	0.00410	0.00385	0.00361	0.00406
400.00000	7.22499	7.24500	7.23999	7.15500	0.00481	0.00481	0.00490	0.00493
420.00000	7.29250	7.32250	7.25999	7.23001	0.00481	0.00434	0.00555	0.00488
440.00000	7.43749	7.45251	7.39000	7.37000	0.00479	0.00521	0.00393	0.00495
460.00000	7.52000	7.51500	7.56500	7.44000	0.00516	0.00564	0.00283	0.00505
480.00000	7.59000	7.67000	7.48000	7.54500	0.00509	0.00504	0.00186	0.00484
500.00000	7.73249	7.77751	7.49750	7.64751	0.00580	0.00483	0.00285	0.00497
520.00000	7.83999	7.82500	7.61000	7.75000	0.00681	0.00536	0.00546	0.00526
540.00000	7.97500	7.92000	7.78500	7.83499	0.00658	0.00673	0.00676	0.00534
560.00000	8.14999	8.13500	7.88249	7.97751	0.00615	0.00823	0.00716	0.00536
580.00000	8.23499	8.29501	8.03749	8.06750	0.00653	0.00940	0.00753	0.00637
600.00000	8.32500	8.46000	8.20000	8.17000	0.00677	0.00946	0.00857	0.00638
724.98389	9.86999	10.05501	9.71249	9.77751	0.01446	0.01565	0.01914	0.01971
744.98389	10.17250	10.35250	10.09750	10.24750	0.01200	0.01482	0.01895	0.01982
764.98389	10.44000	10.71000	10.59500	10.65500	0.01154	0.01741	0.01665	0.01631
774.98389	10.45000	10.77499	10.63000	10.78500	0.01524	0.01991	0.01793	0.01695
784.98389	10.65499	11.07500	10.81500	10.91000	0.01665	0.01850	0.01870	0.01800
794.98389	10.89499	11.29501	11.06999	11.14500	0.02105	0.02050	0.02270	0.02220
804.98389	11.05000	11.37500	11.31000	11.37500	0.02220	0.02025	0.02518	0.02478
814.98389	11.30499	11.65001	11.51750	11.66251	0.02350	0.02585	0.02765	0.02680
824.98389	11.56000	11.91000	11.84999	11.89001	0.02528	0.02988	0.03078	0.02998
834.98389	11.81500	12.32000	12.18250	12.22751	0.02959	0.03434	0.03947	0.03577
844.98389	12.05750	12.53250	12.51500	12.59000	0.03484	0.03908	0.04709	0.04402
870.22290	13.27999	13.81001	14.17749	14.00751	0.04619	0.04525	0.06515	0.05414
880.22290	13.64499	14.17001	14.69749	14.47751	0.04563	0.04931	0.06059	0.05589
885.22290	13.92500	14.39000	15.12000	14.77501	0.04503	0.05764	0.06115	0.05943
890.22290	14.17499	14.80001	15.35249	15.11751	0.05397	0.06467	0.07418	0.06944
895.22290	14.34999	15.09001	15.67250	15.40750	0.05457	0.06717	0.08282	0.08310
900.22290	14.77998	15.43501	16.32249	15.47749	0.05502	0.06588	0.08282	0.08310
905.22290	14.98500	15.75000	16.48749	16.12251	0.06349	0.07147	0.08020	0.08310
910.22290	15.25499	16.15001	17.04999	16.55000	0.07045	0.07511	0.08512	0.09145
915.22290	15.75250	16.57750	17.35750	17.02750	0.08251	0.07549	0.10008	0.08651
918.22290	15.90749	16.72751	17.74500	17.22501	0.09743	0.07541	0.10400	0.10062
920.22290	16.11250	16.91751	17.98499	17.42502	0.08213	0.07596	0.13800	0.09518
923.22290	16.48000	17.11501	18.22749	17.79752	0.07294	0.09357	0.12041	0.10519
925.22290	16.48500	17.32500	18.83249	17.92250	0.07685	0.10868	0.11952	0.11050
928.22290	16.62498	17.68501	18.81749	18.28250	0.08354	0.11418	0.12000	0.11355
930.22290	16.99249	17.98250	19.17499	18.55501	0.10893	0.12279	0.11600	0.12392
933.42603	17.29750	18.22751	19.56749	18.92252	0.11769	0.12397	0.15466	0.11827
935.92603	17.53749	18.61751	19.95500	19.17500	0.11581	0.12521	0.16433	0.12850
938.42603	17.85500	18.94000	19.95500	19.47751	0.12175	0.14797	0.17380	0.13738
940.92603	18.17250	19.20750	20.83499	19.89500	0.13086	0.15988	0.17231	0.15249
943.42603	18.49750	19.77751	21.29500	20.27499	0.14576	0.15138	0.18372	0.15910
945.92603	18.84749	20.19250	21.65250	20.67749	0.14726	0.17578	0.19933	0.14021
948.42603	19.33499	20.33501	22.27499	21.07001	0.14405	0.21213	0.22889	0.12643
950.26709	19.48000	21.00999	22.65999	21.17001	0.14008	0.25491	0.23131	0.13879
951.26709	19.65251	21.19749	22.90999	21.37001	0.16072	0.22144	0.23610	0.17786
952.26709	19.83000	21.39000	23.14000	21.55499	0.18701	0.19108	0.23172	0.20465
953.26709	20.00999	21.54001	23.37250	21.78751	0.17982	0.20392	0.21555	0.20547
954.26709	20.20000	21.75500	23.54500	21.94501	0.16588	0.21498	0.21463	0.21055
955.26709	20.32999	21.99501	23.74249	22.16251	0.15670	0.24332	0.23970	0.19361
956.26709	20.46249	22.19751	23.98500	22.38000	0.14650	0.31366	0.26230	0.19067
957.26709	20.62500	22.49501	24.30750	22.49750	0.15305	0.29774	0.28439	0.19426
958.26709	20.74750	23.03250	24.52998	22.69000	0.16962	0.27834	0.29950	0.21483
959.26709	20.91501	23.02499	24.84749	22.93750	0.18384	0.26207	0.31140	0.24057
960.26709	21.12750	23.28250	25.16750	23.19250	0.22125	0.25124	0.35324	0.24182
961.62793	21.42499	23.74501	25.66501	23.52499	0.25197	0.36572	0.38048	0.22390
962.62793	21.72749	24.14751	26.07750	23.68251	0.25474	0.40675	0.41212	0.19174
963.62793	21.98000	24.56001	26.46500	23.93500	0.28030	0.44626	0.44945	0.19850
964.62793	22.20000	25.01001	26.93500	24.02000	0.28065	0.45767	0.46087	0.23586
965.62793	22.55000	25.50000	27.43500	24.30499	0.29075	0.50833	0.51379	0.28368
966.62793	22.80499	25.92001	27.84750	24.63251	0.35034	0.59311	0.56120	0.38187
967.62793	23.08998	26.60001	28.52750	25.00250	0.34322	0.75313	0.68359	0.37856
968.28101	23.47749	27.08250	28.88240	25.34261	0.43835	0.86018	0.85632	0.39734

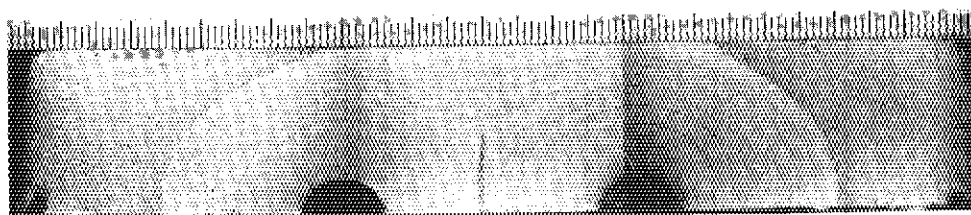


FL-1

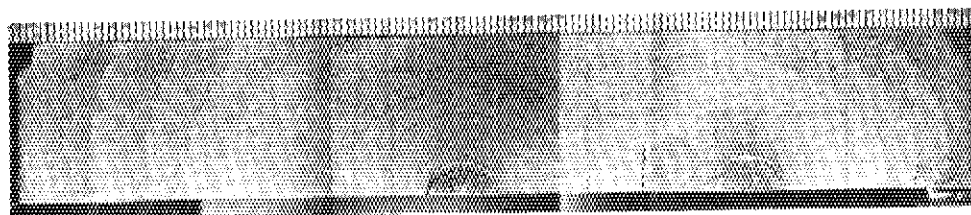


FL-2

Photo. 1 Fatigue cracked surface of FL-1 and FL-2 (case 1).

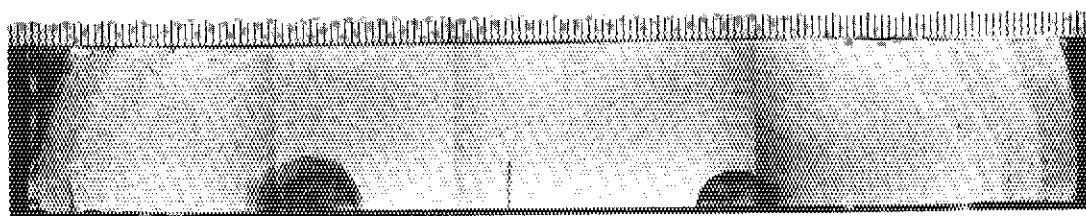


FL-3

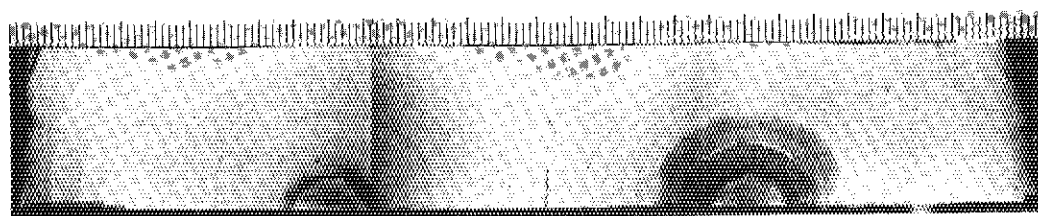


FL-4

Photo. 2 Fatigue cracked surface of FL-3 and FL-4 (case 2).



FL-5



FL-6

Photo. 3 Fatigue cracked surface of FL-5 and FL-6 (case 3).

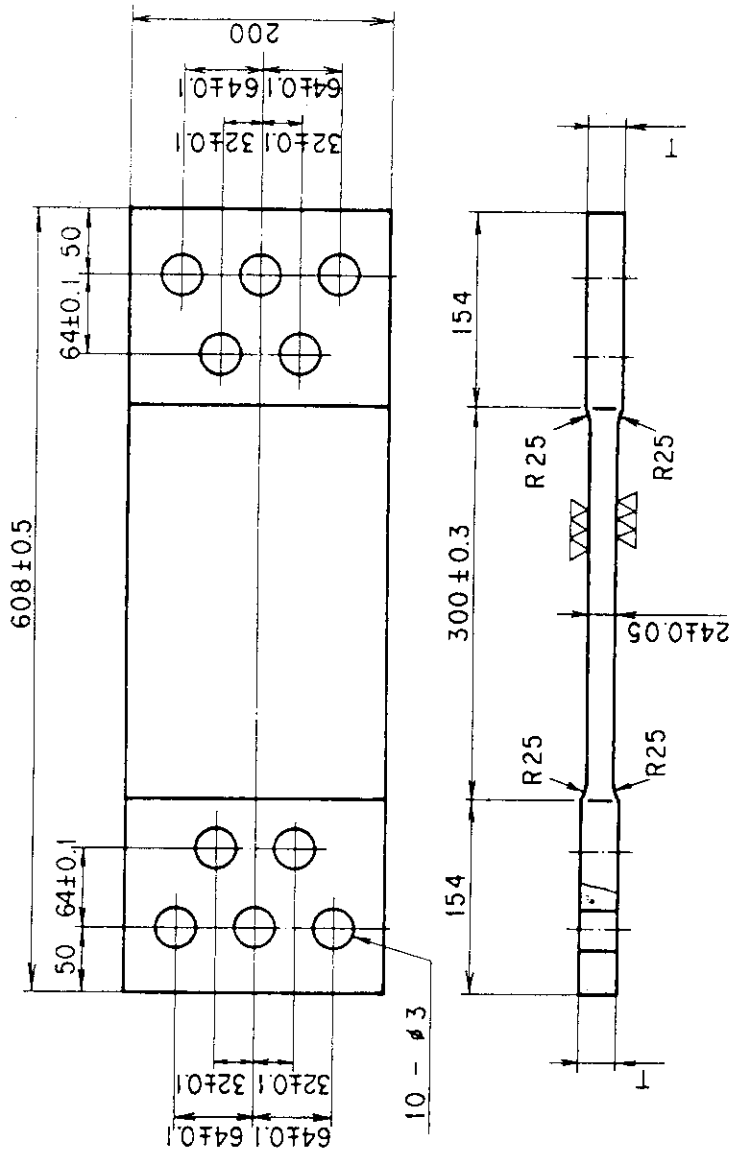


Fig. 1 Geometry of flat plate specimen



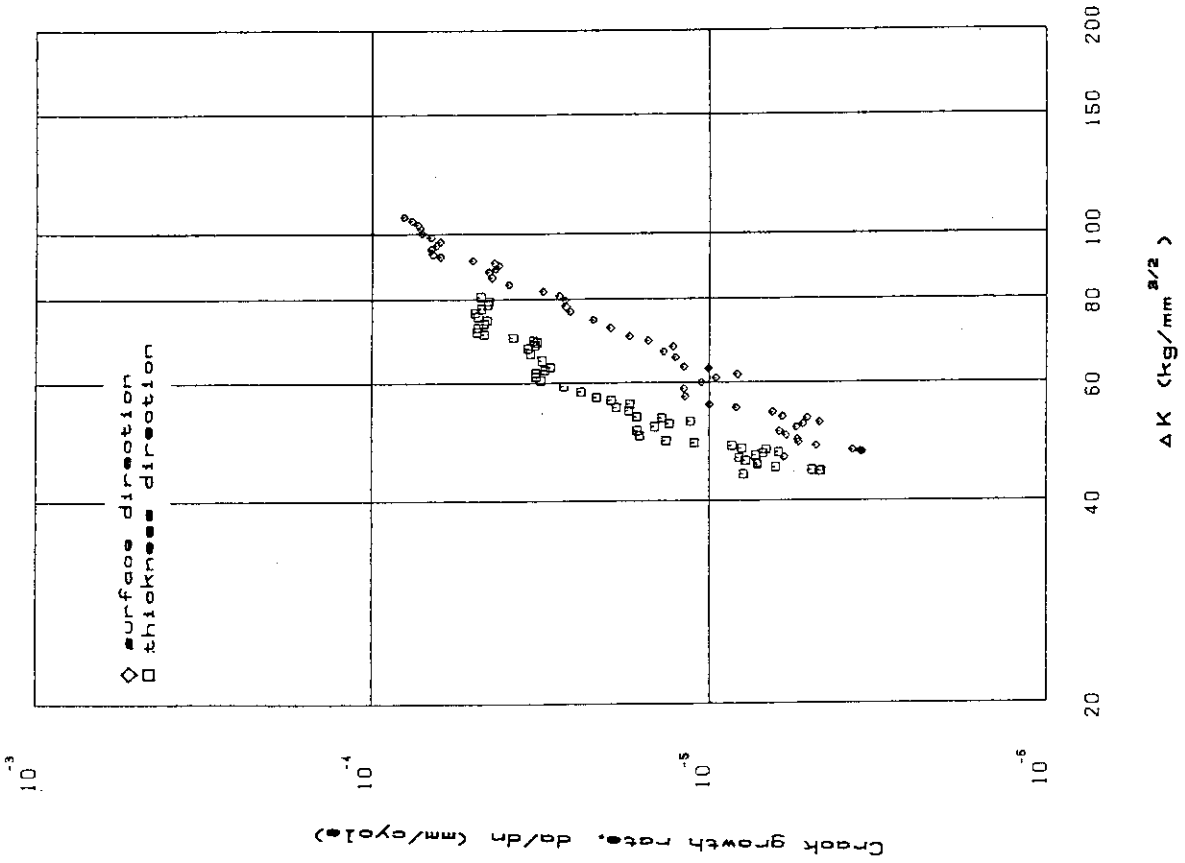


Fig. 3 Relationship between crack growth rate and range of stress intensity factor in FL-2

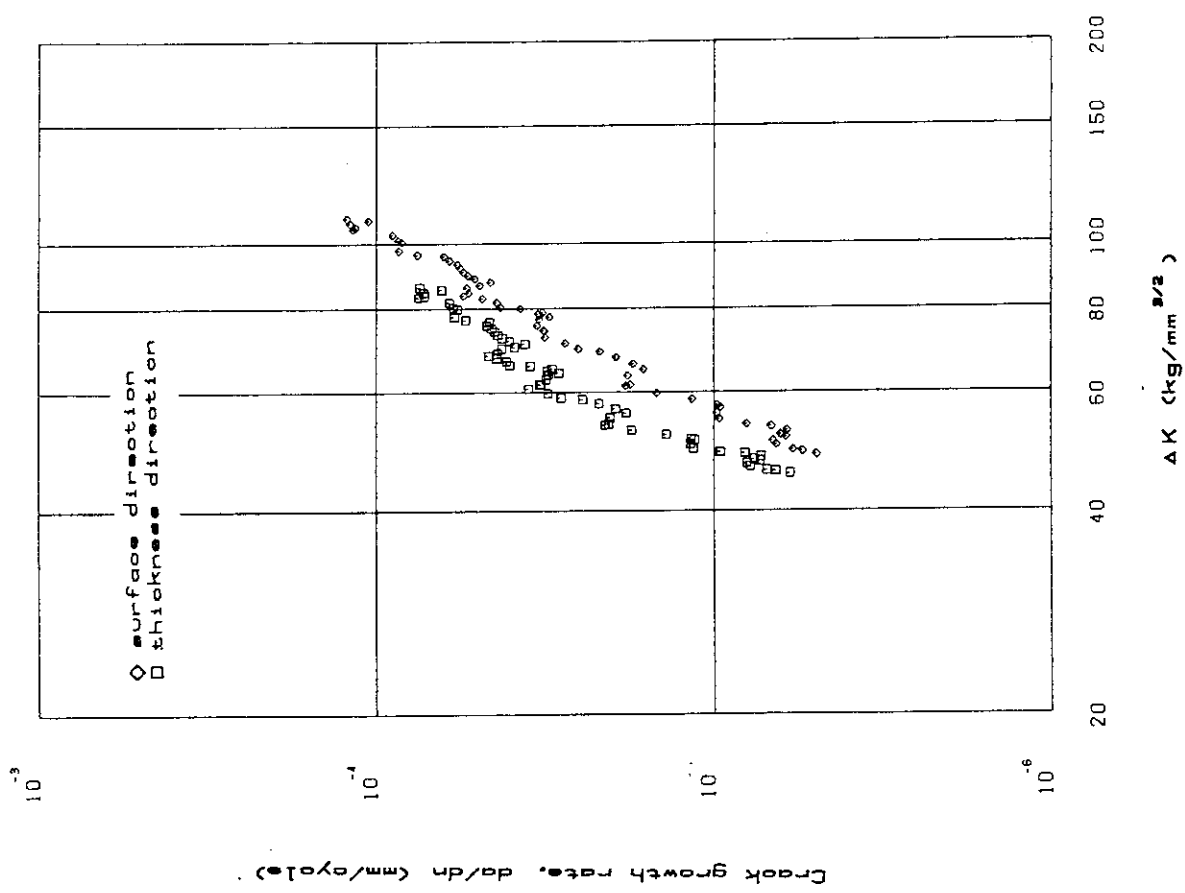


Fig. 2 Relationship between crack growth rate and range of stress intensity factor in FL-1

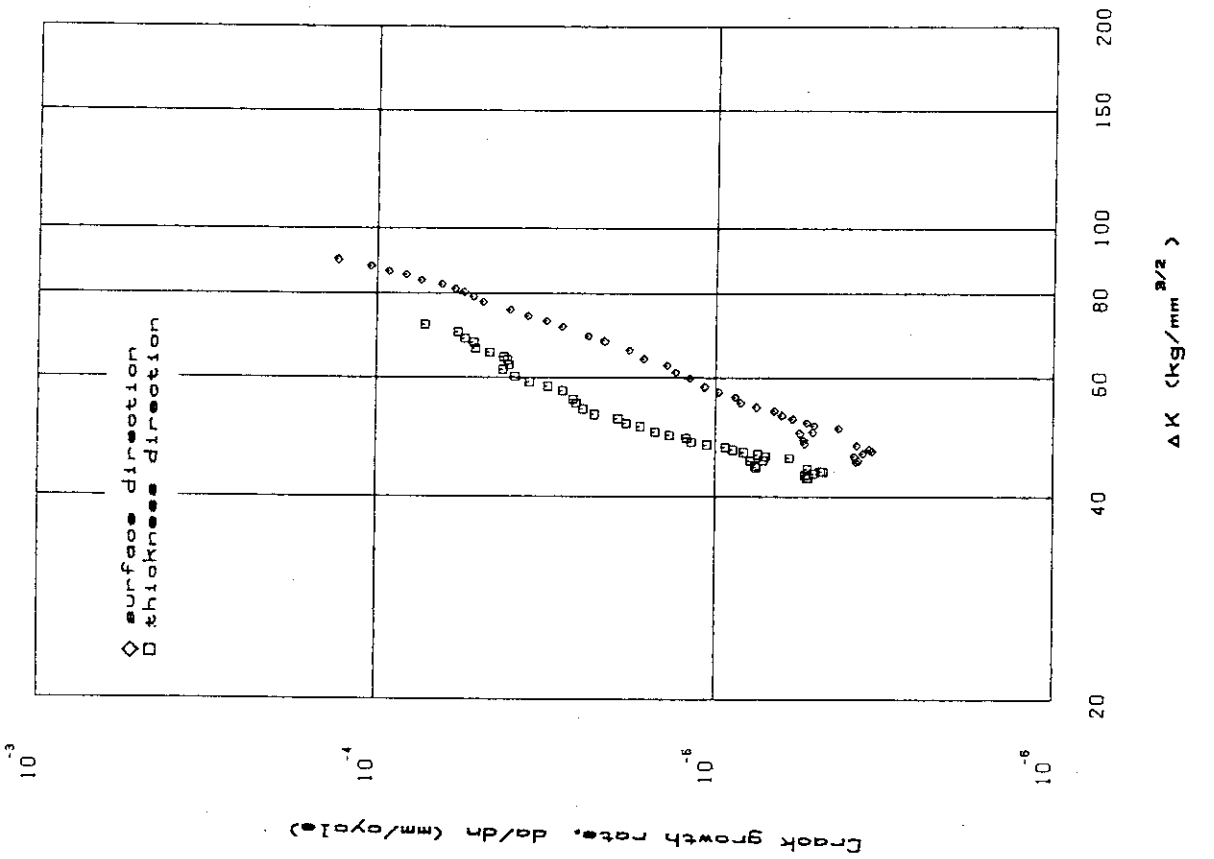
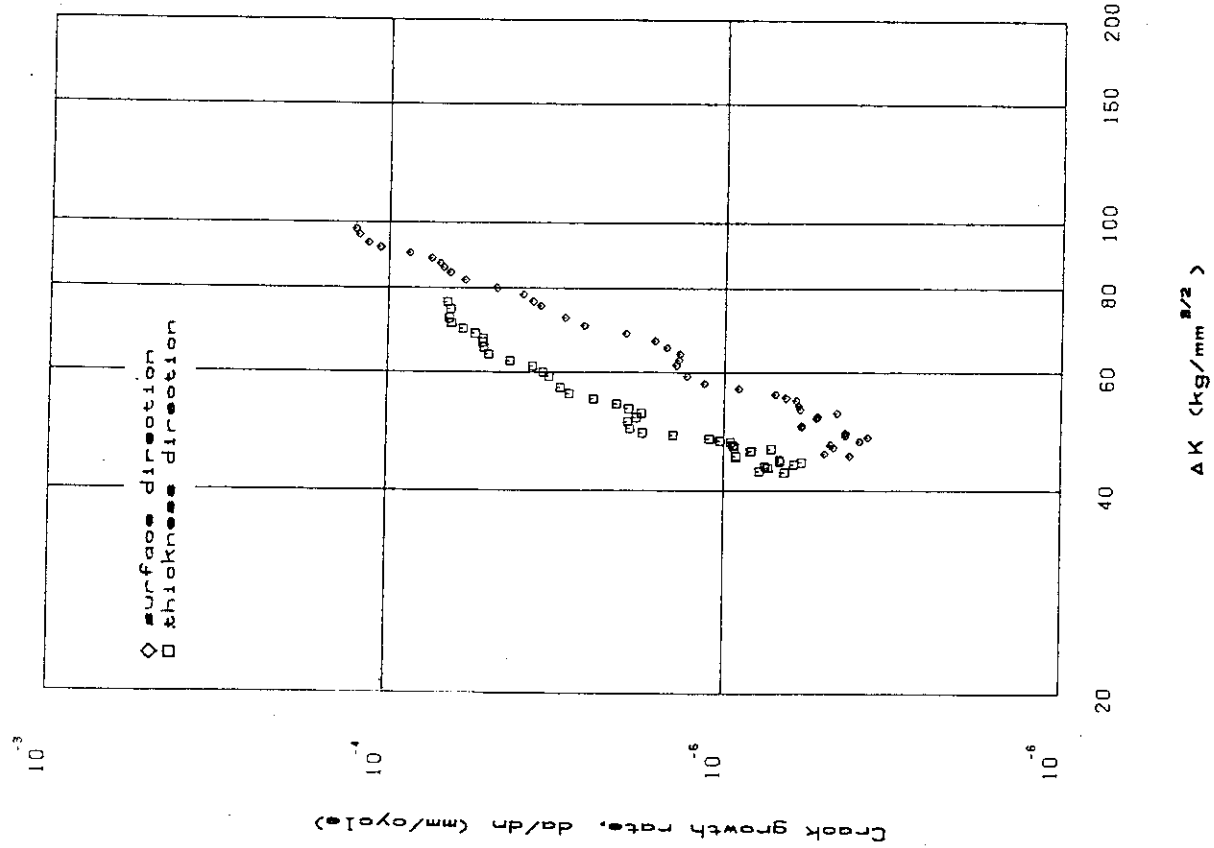


Fig. 4 Relationship between crack growth rate and range of stress intensity factor in FL-3 (right crack)

Fig. 5 Relationship between crack growth rate and range of stress intensity factor in FL-3 (left crack)

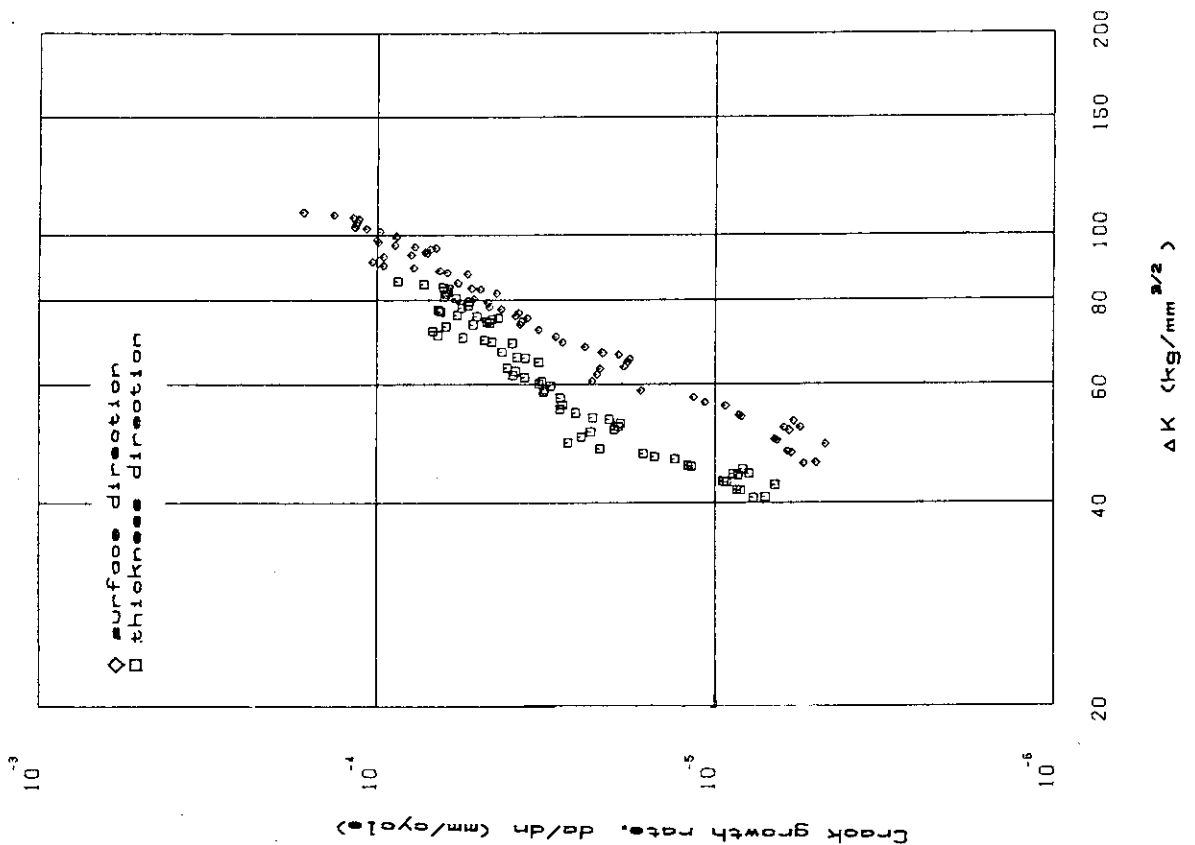
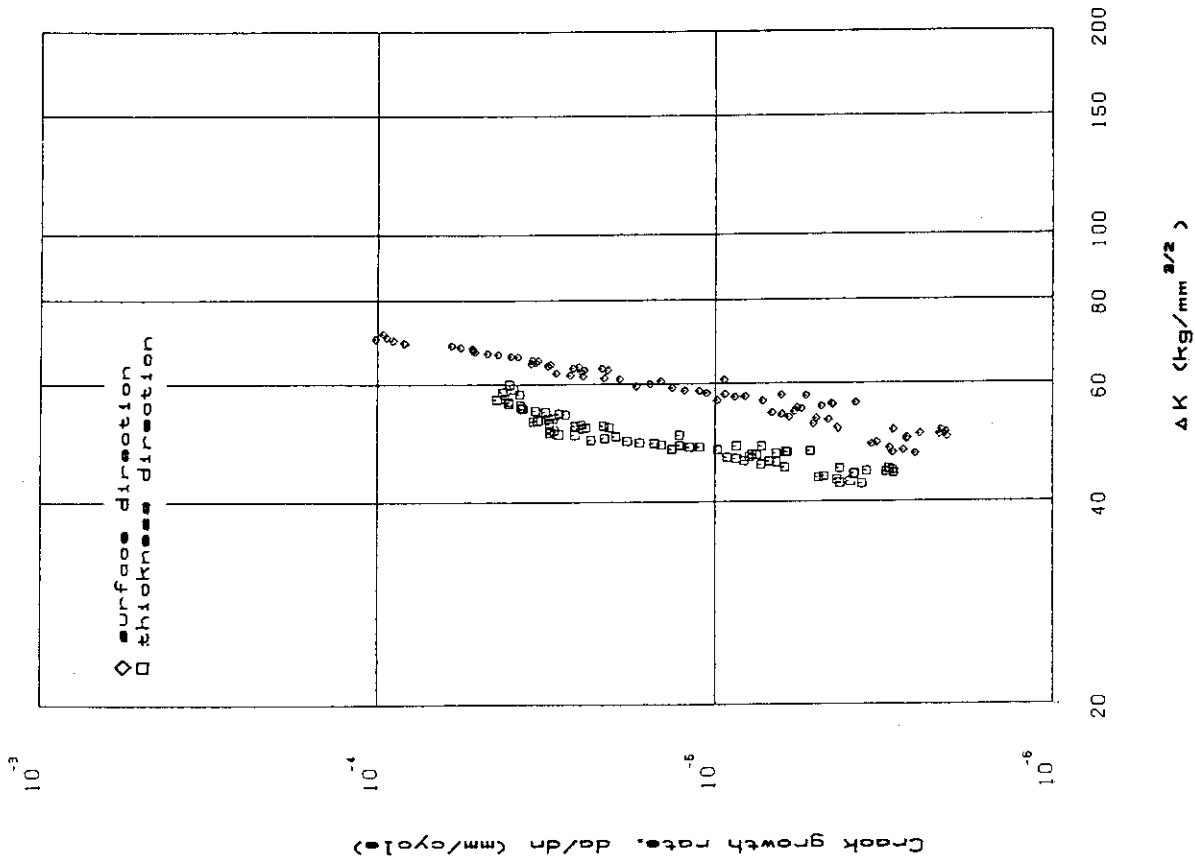


Fig. 6 Relationship between crack growth rate and range of stress intensity factor in FL-4 (right crack)

Fig. 7 Relationship between crack growth rate and range of stress intensity factor in FL-4 (left crack)

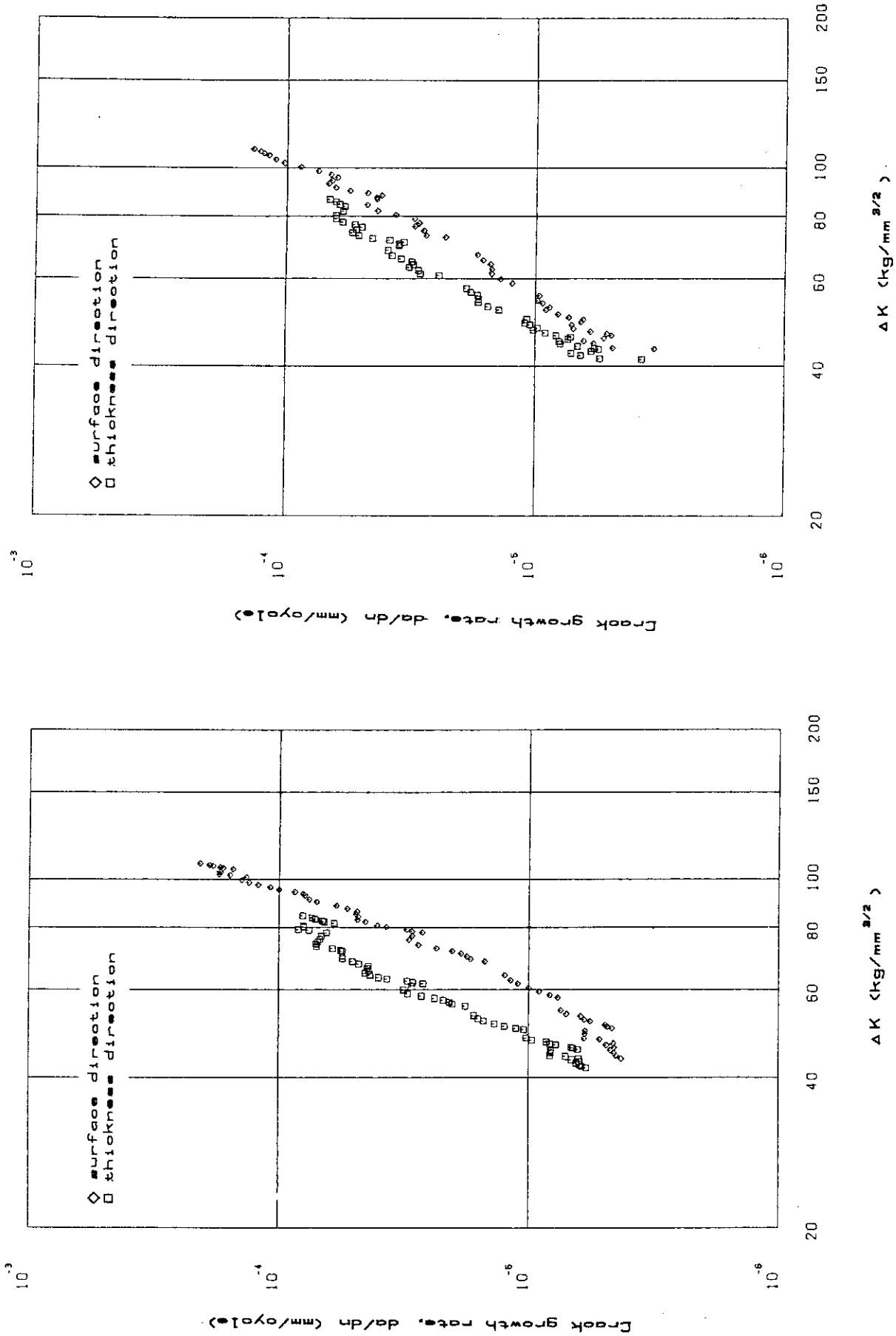


Fig. 8 Relationship between crack growth rate and range of stress intensity factor in FL-5 (right crack)

Fig. 9 Relationship between crack growth rate and range of stress intensity factor in FL-5 (left crack)

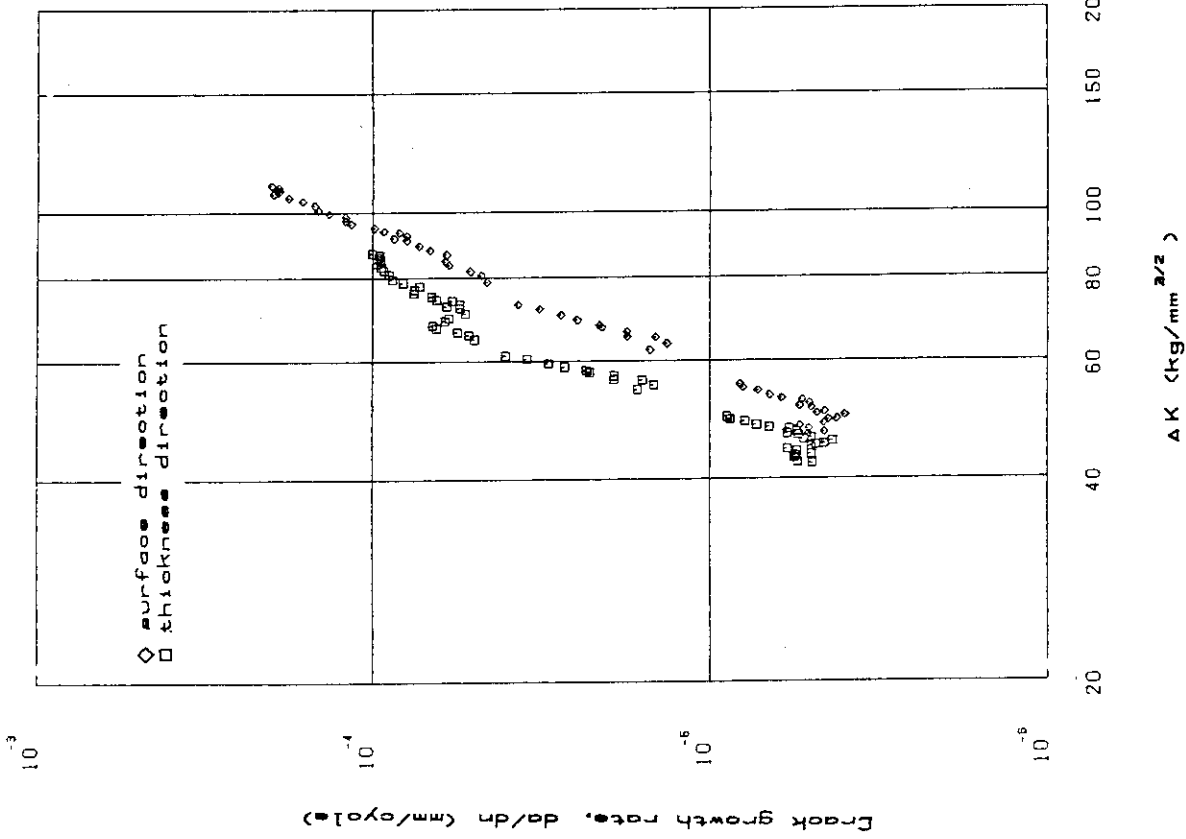


Fig. 11 Relationship between crack growth rate and range of stress intensity factor in FL-6 (left crack)

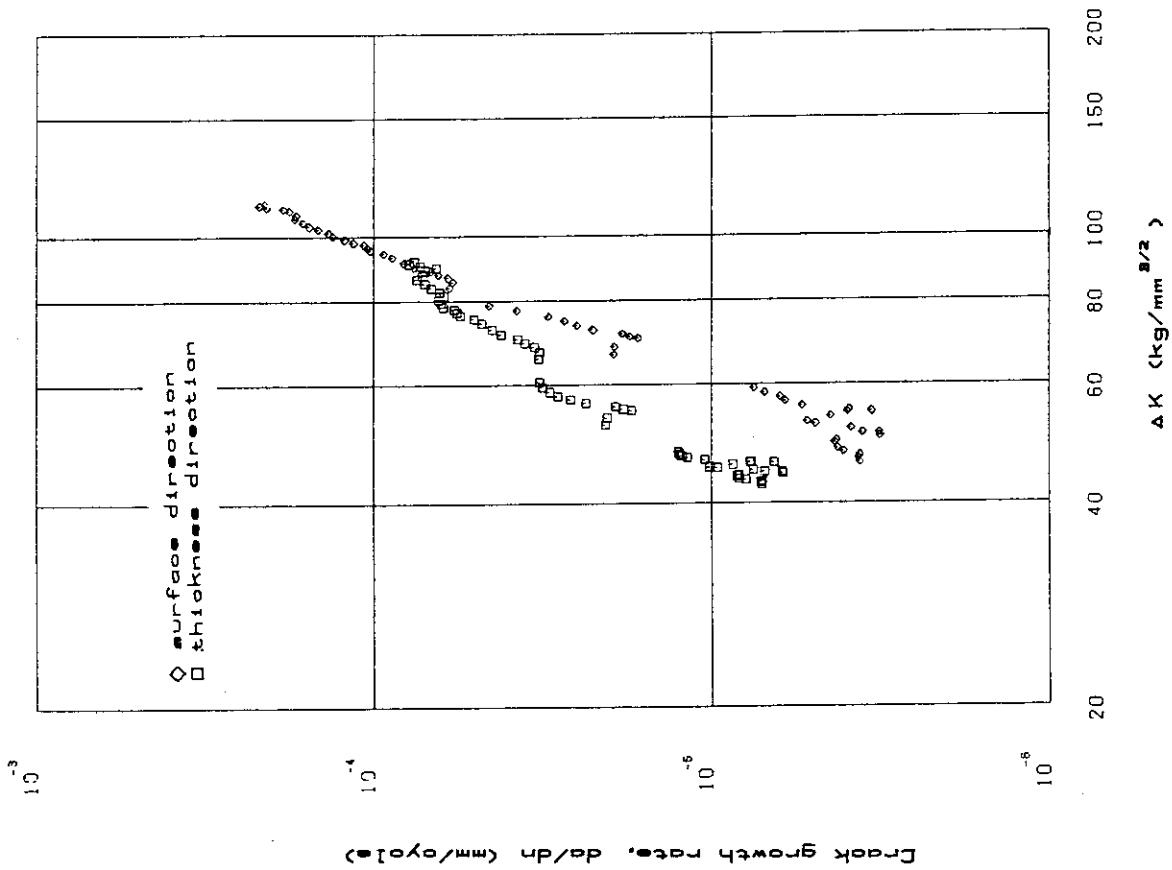


Fig. 10 Relationship between crack growth rate and range of stress intensity factor in FL-6 (right crack)

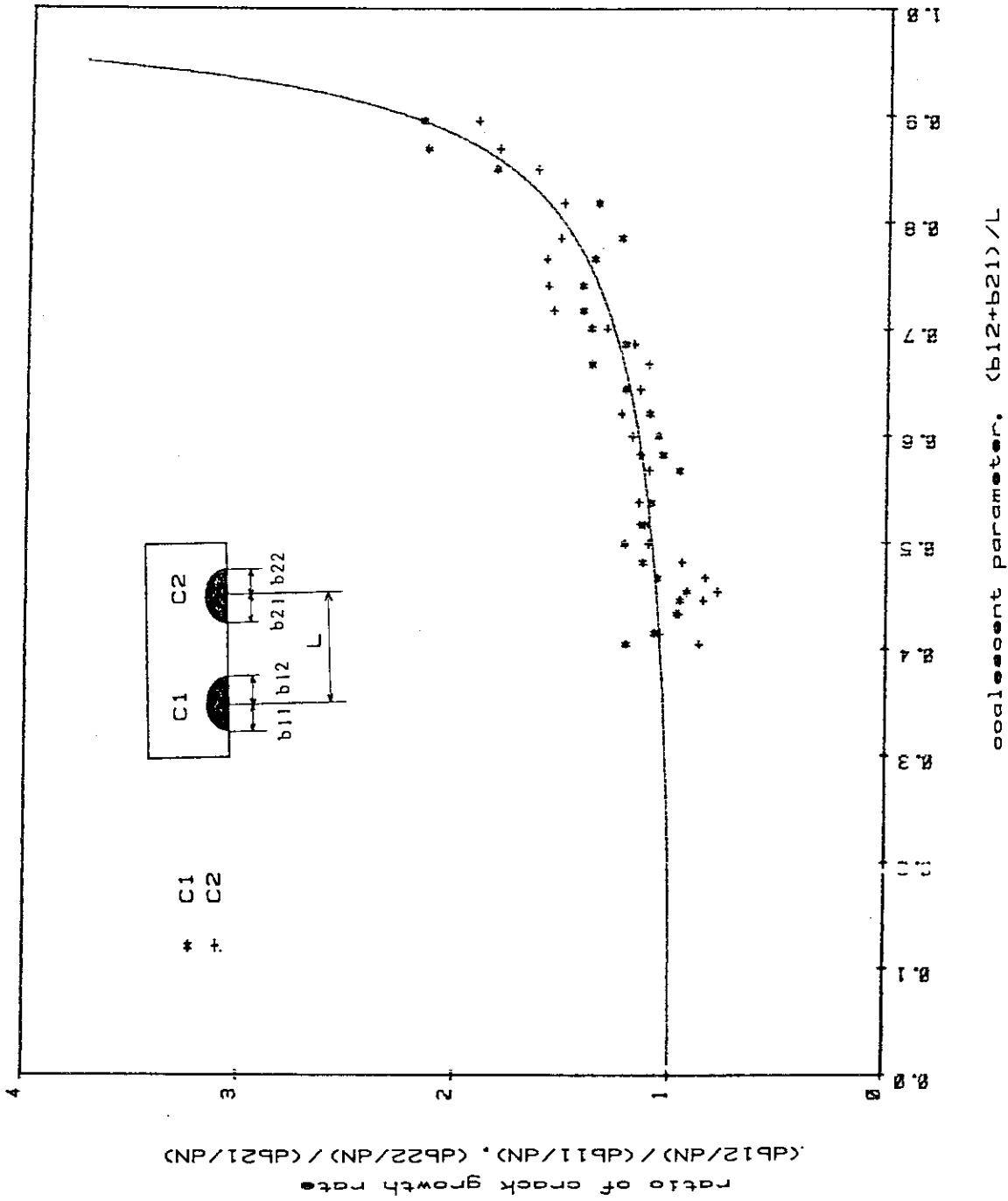


Fig. 12 Relationship between ratio of crack growth rate and coalescent parameter in FL-3

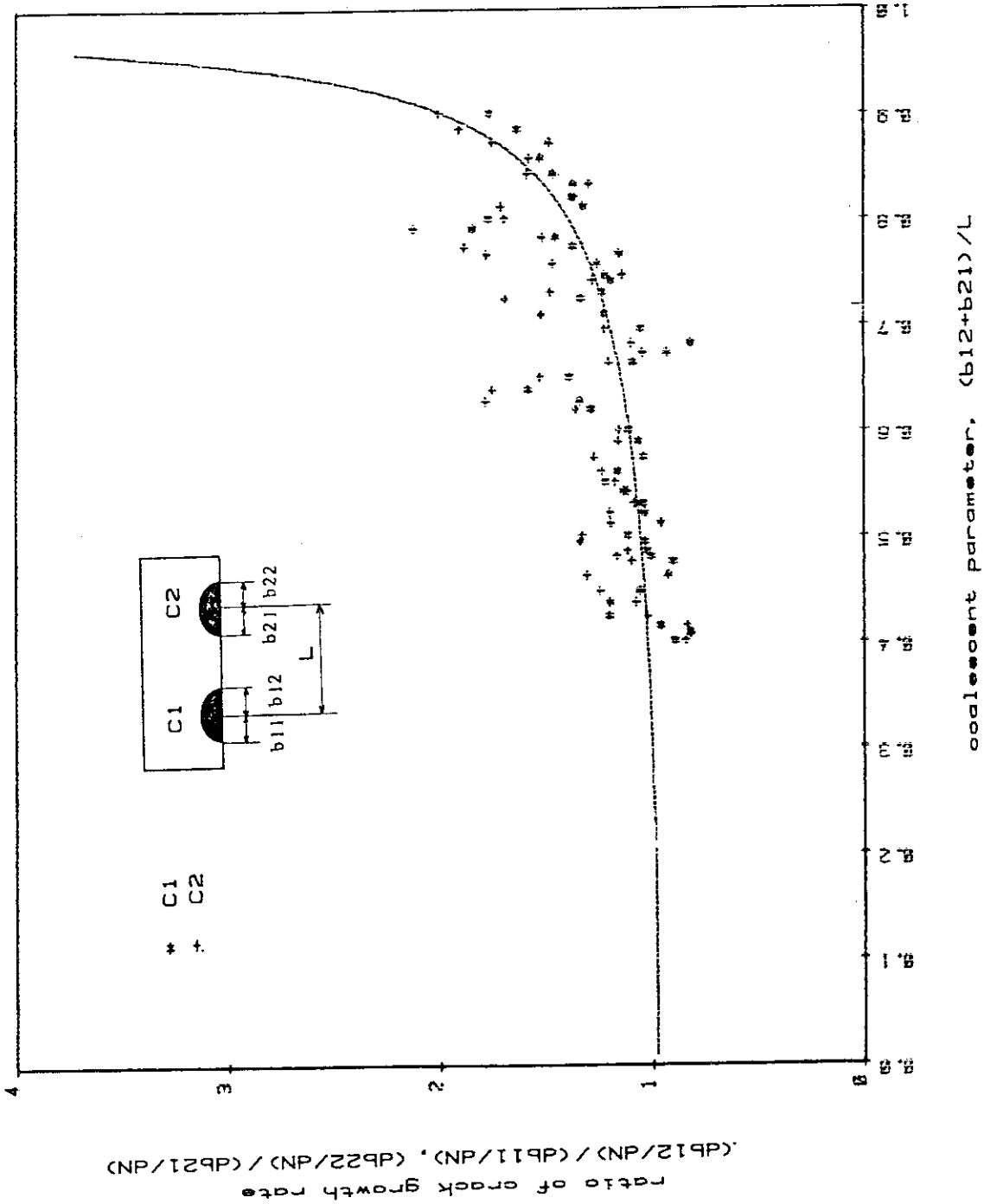


Fig. 13 Relationship between ratio of crack growth rate and coalescent parameter in FL-5

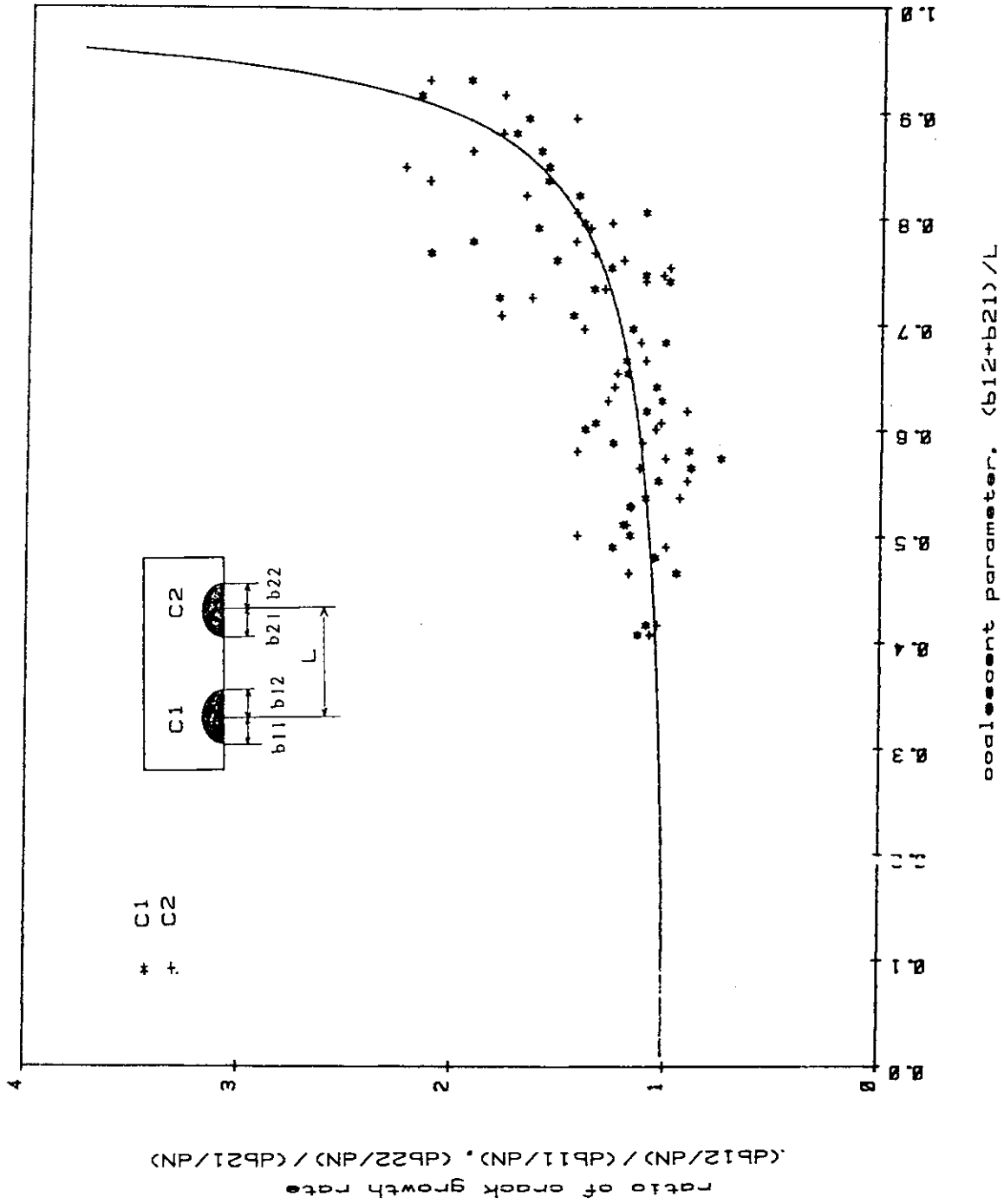


Fig. 14 Relationship between ratio of crack growth rate and coalescent parameter in FL-6



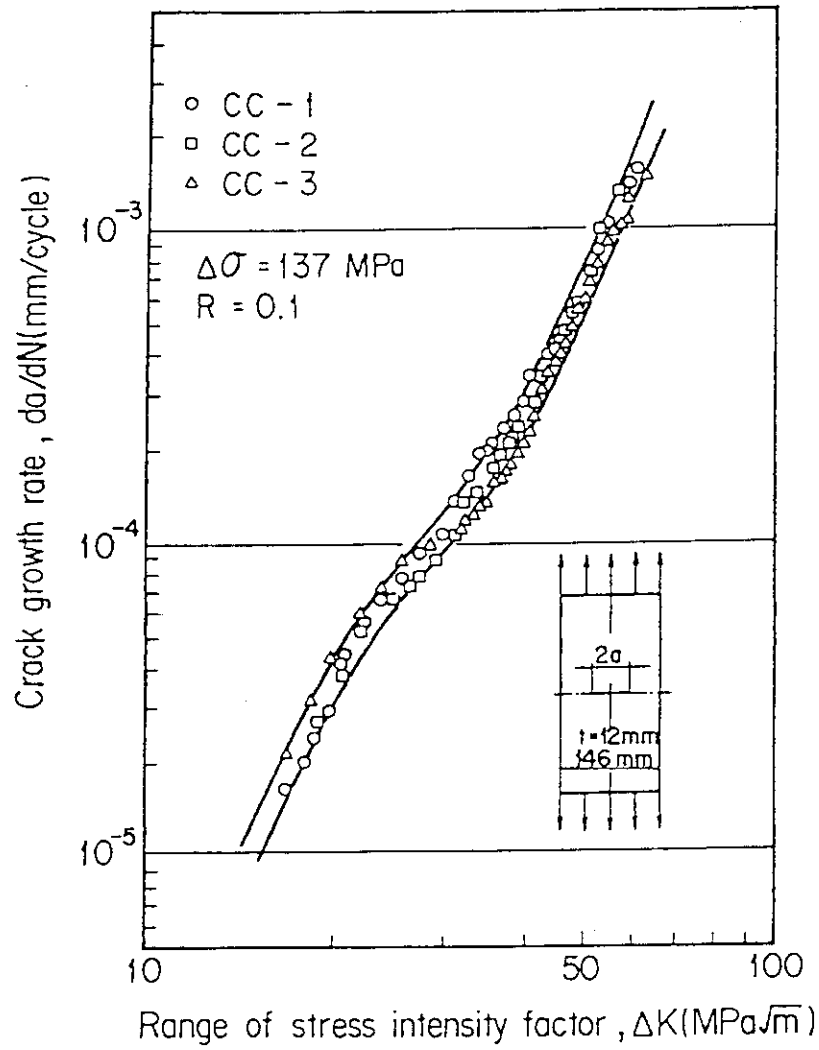


Fig. 15 Relationship between crack growth rate and range of stress intensity factor of test material

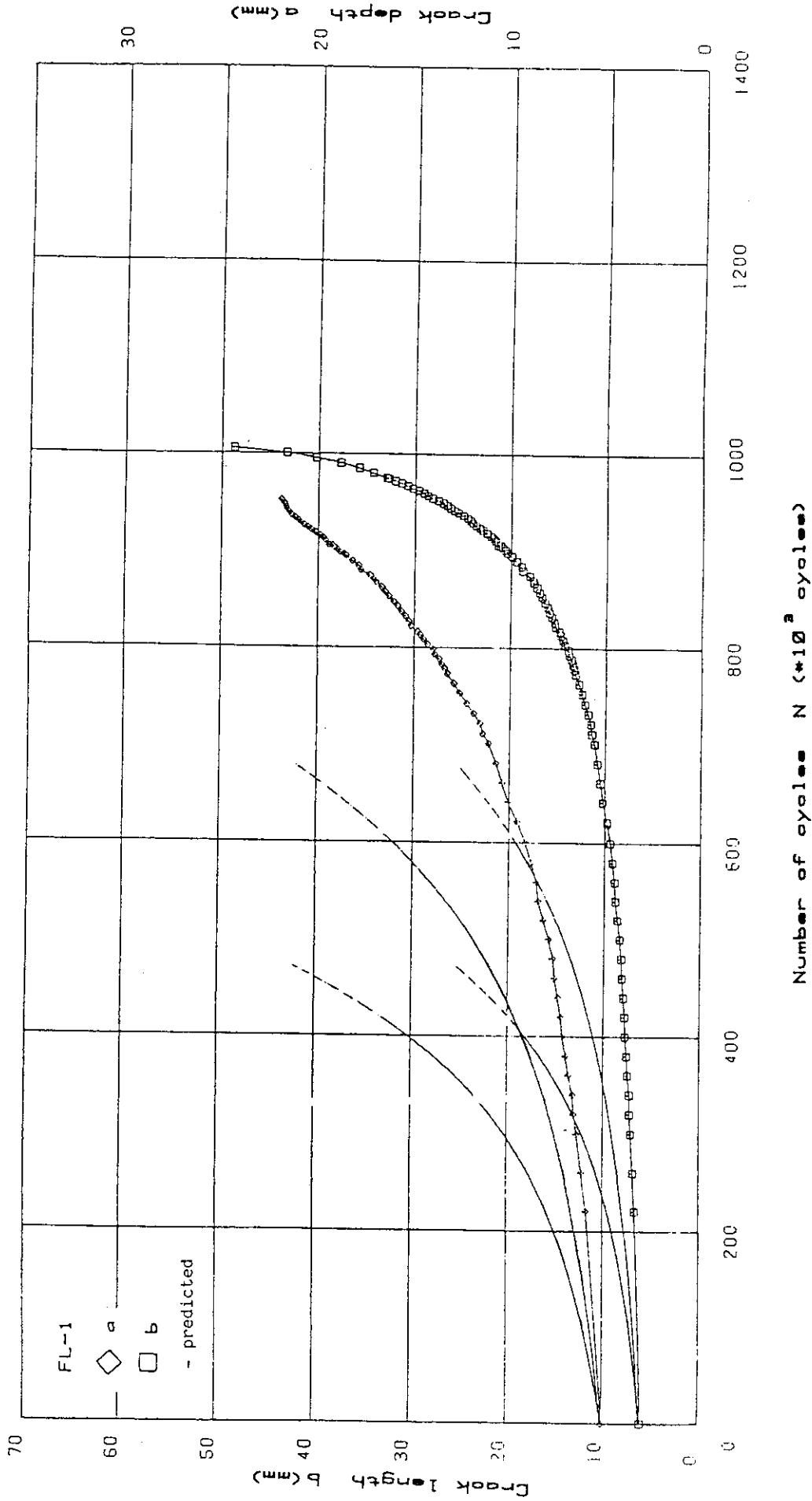


Fig. 16 Comparison of crack growth curves between test results in FL-1 and analytical results by ASME code

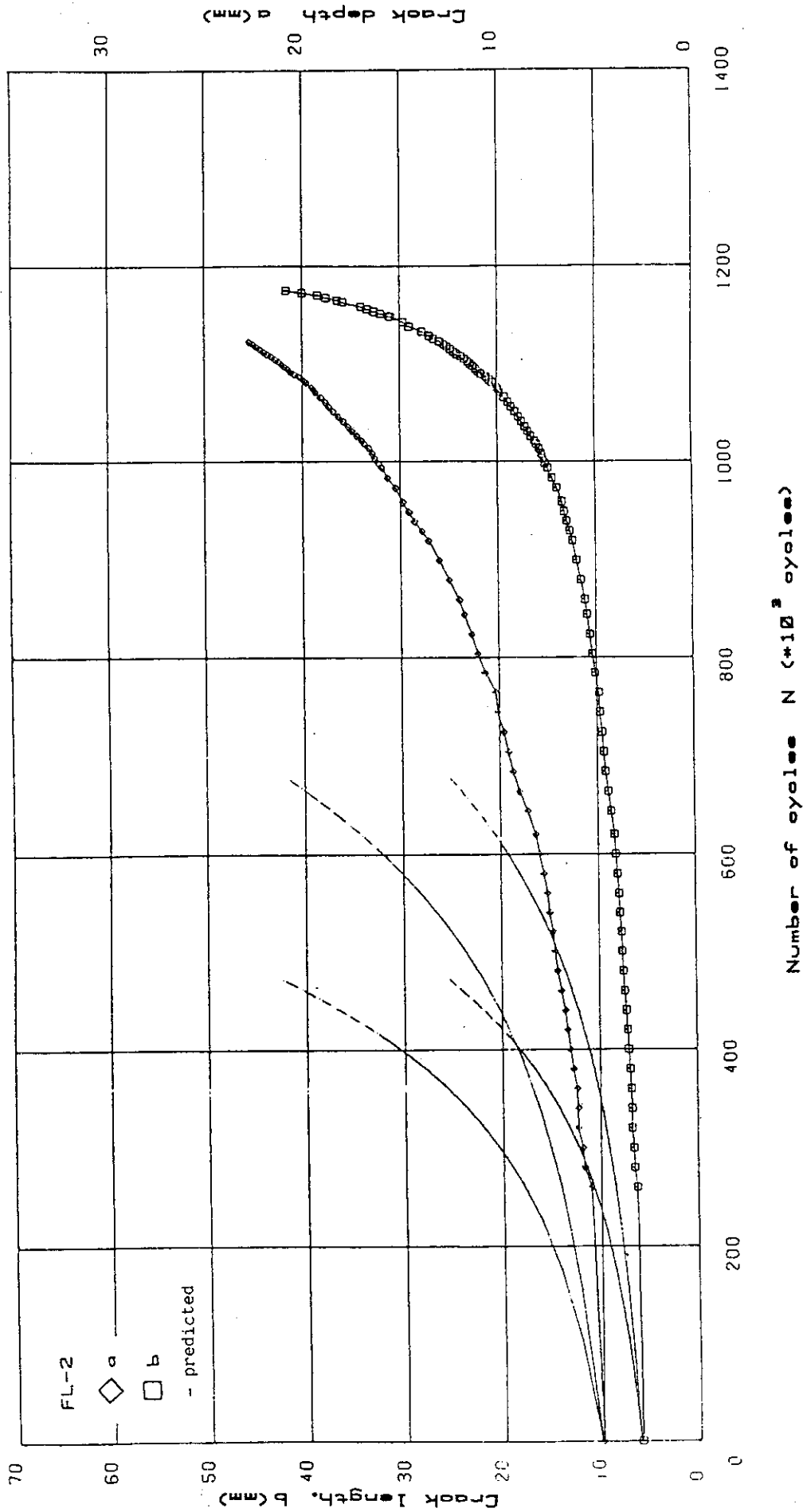


Fig. 17 Comparison of crack growth curves between test results in FL-2 and analytical results by ASME code

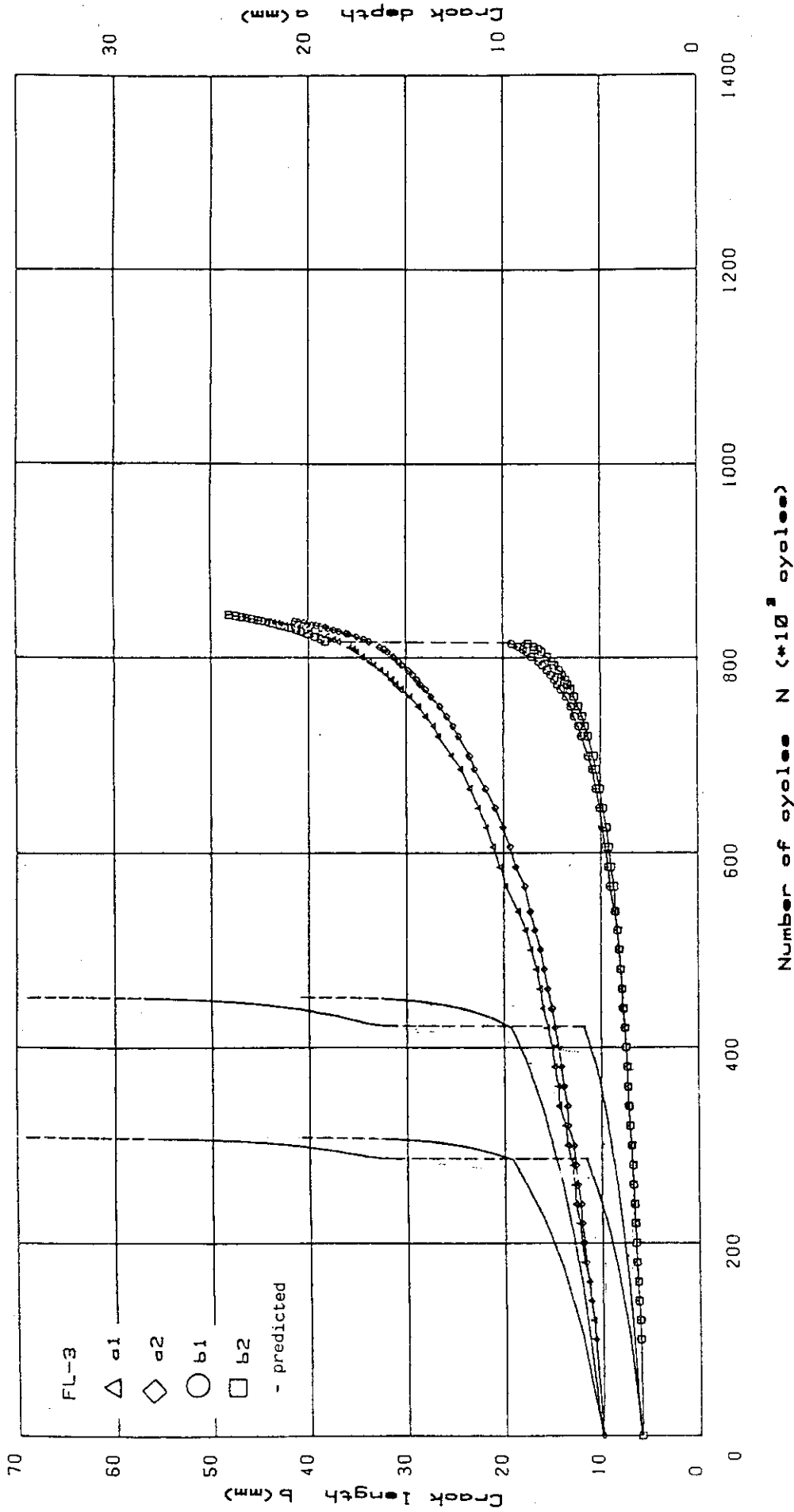


Fig. 18 Comparison of crack growth curves between test results in FL-3 and analytical results by ASME code

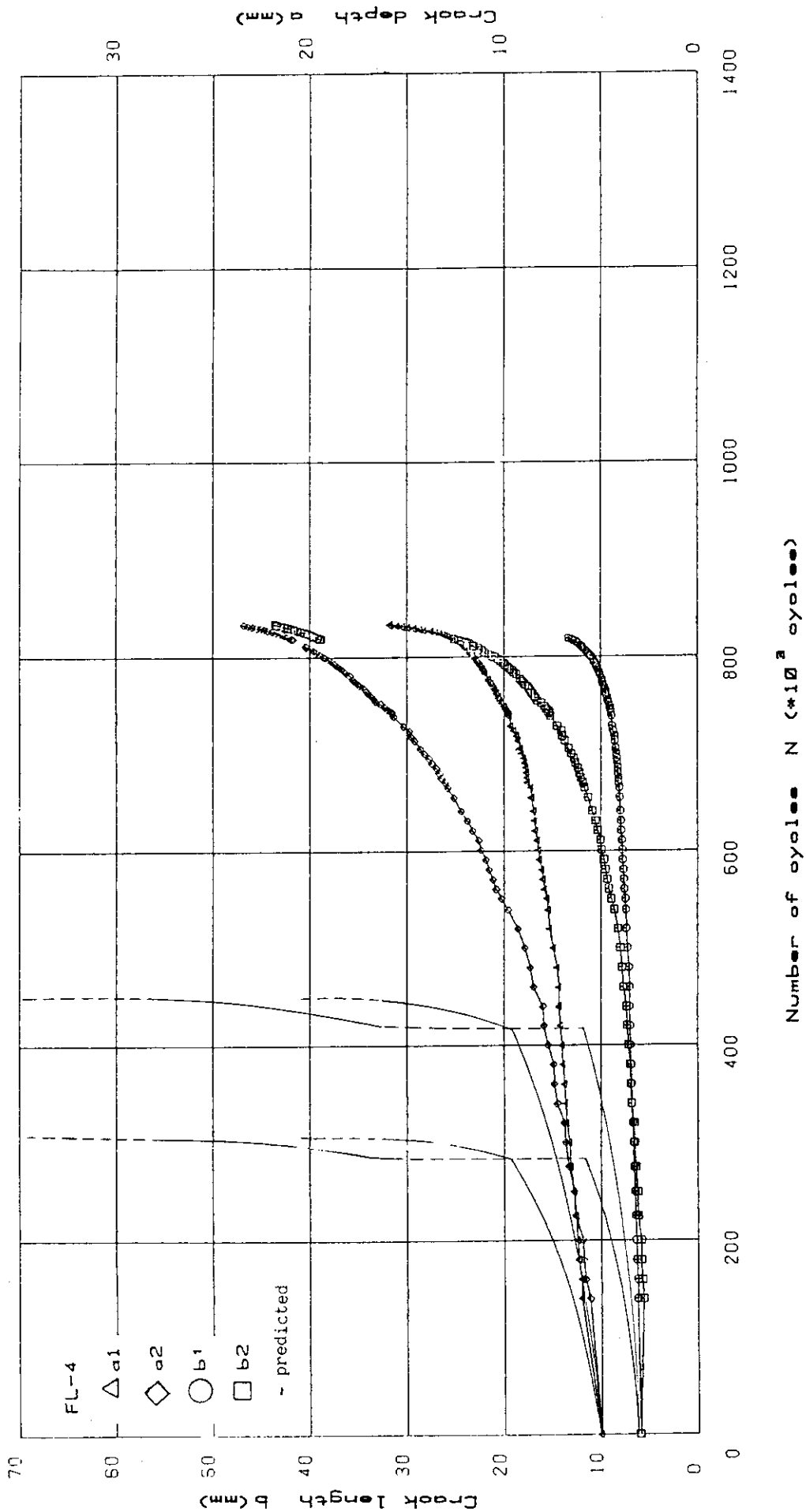


Fig. 19 Comparison of crack growth curves between test results in Fig. 4 and analytical results by ASME code

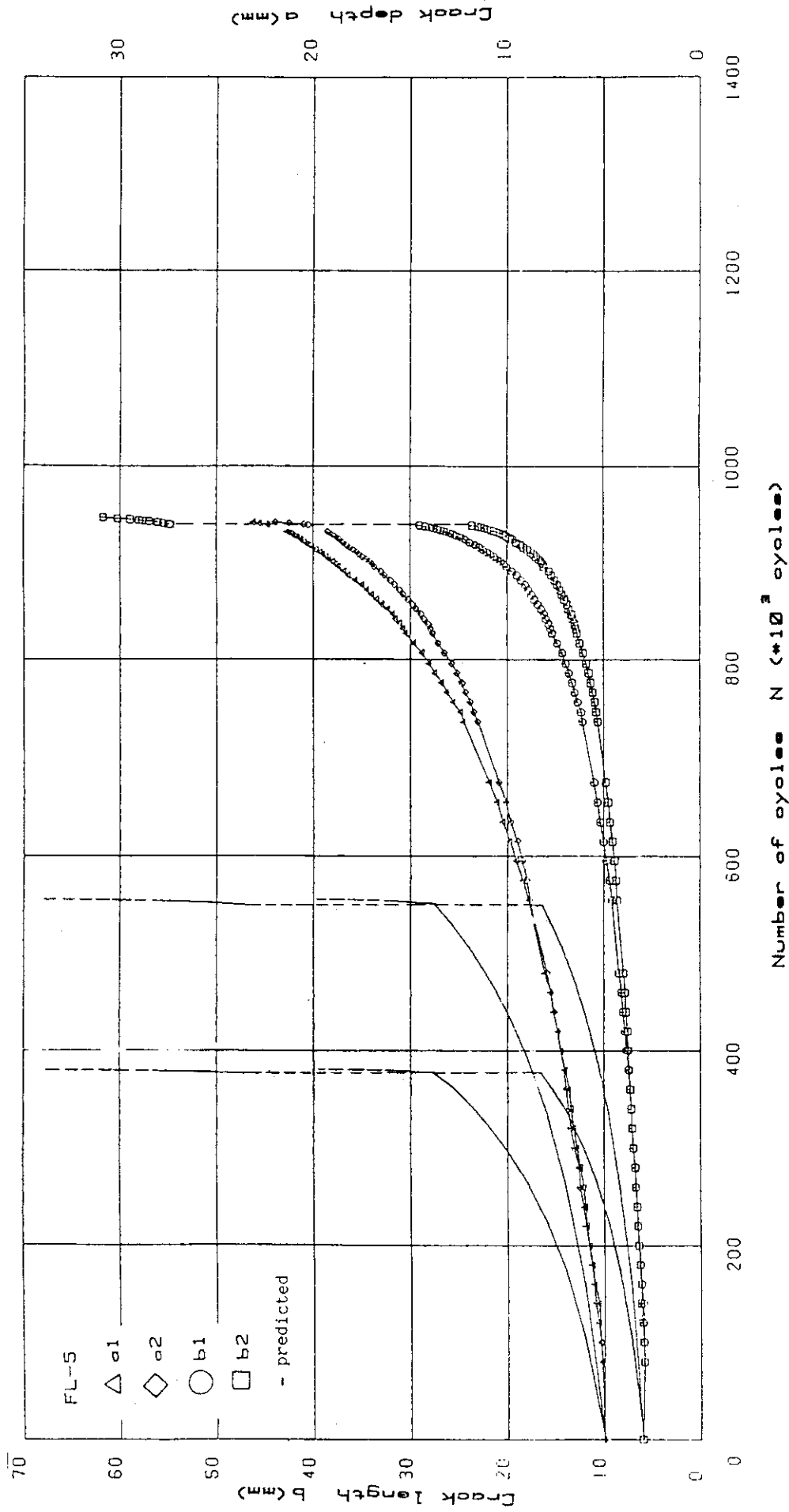


Fig. 20 Comparison of crack growth curves between test results  
in FL-5 and analytical results by ASME code

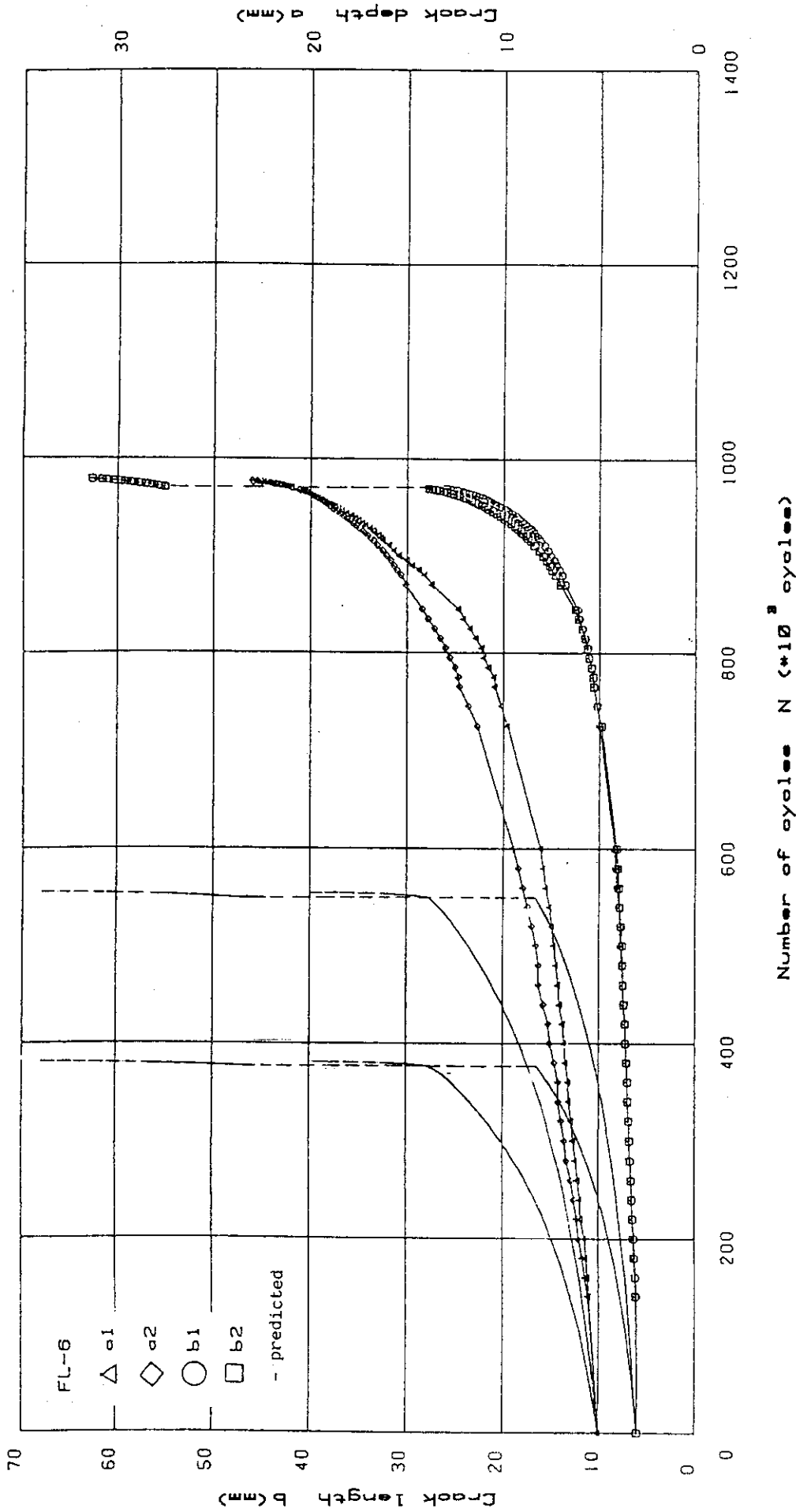


Fig. 21 Comparison of crack growth curves between test results in FL-6 and analytical results by ASME code

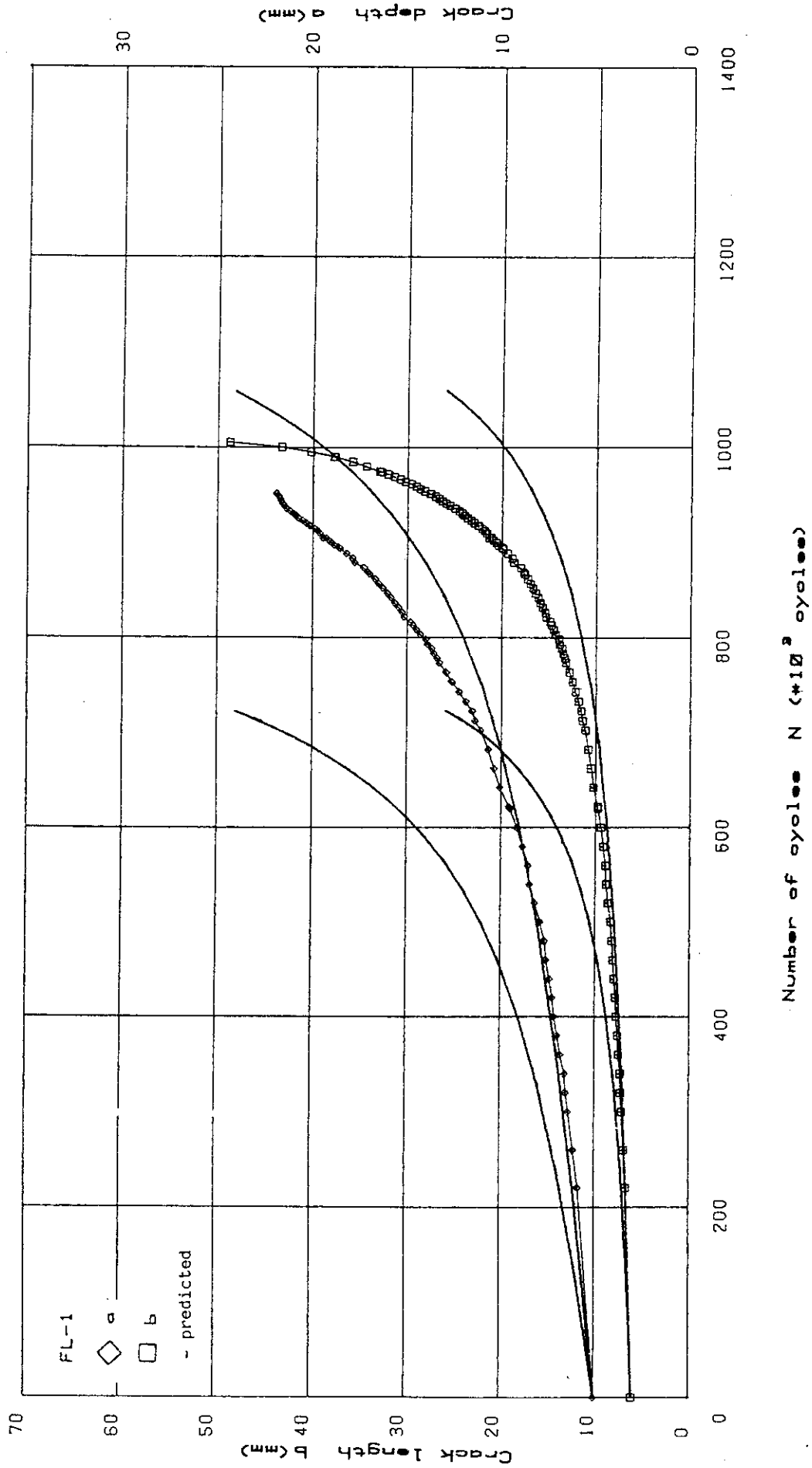


Fig. 22 Comparison of crack growth curves between test results in FL-1 and analytical results by present study



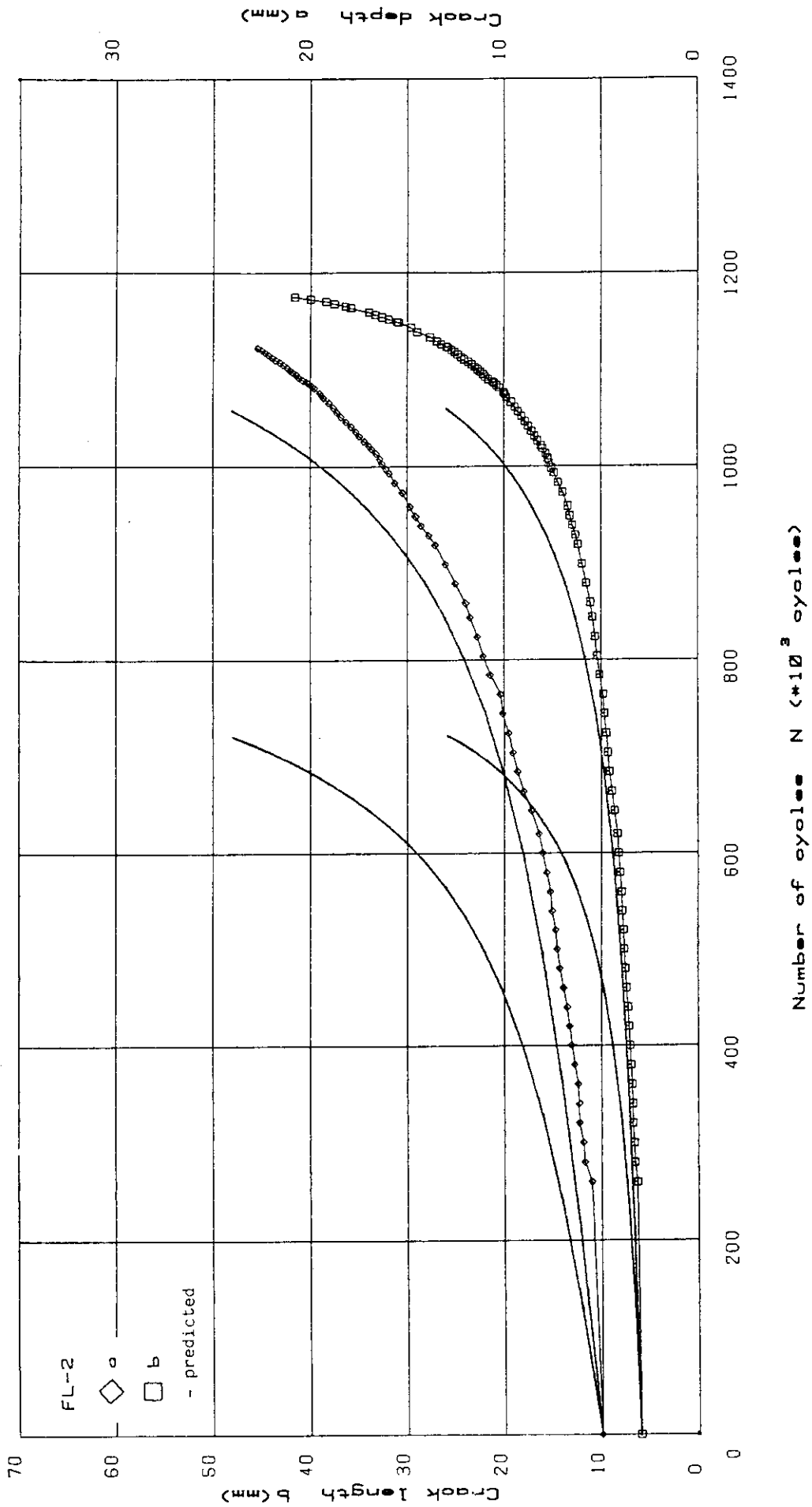


Fig. 23 Comparison of crack growth curves between test results  
 in FL-2 and analytical results by present study

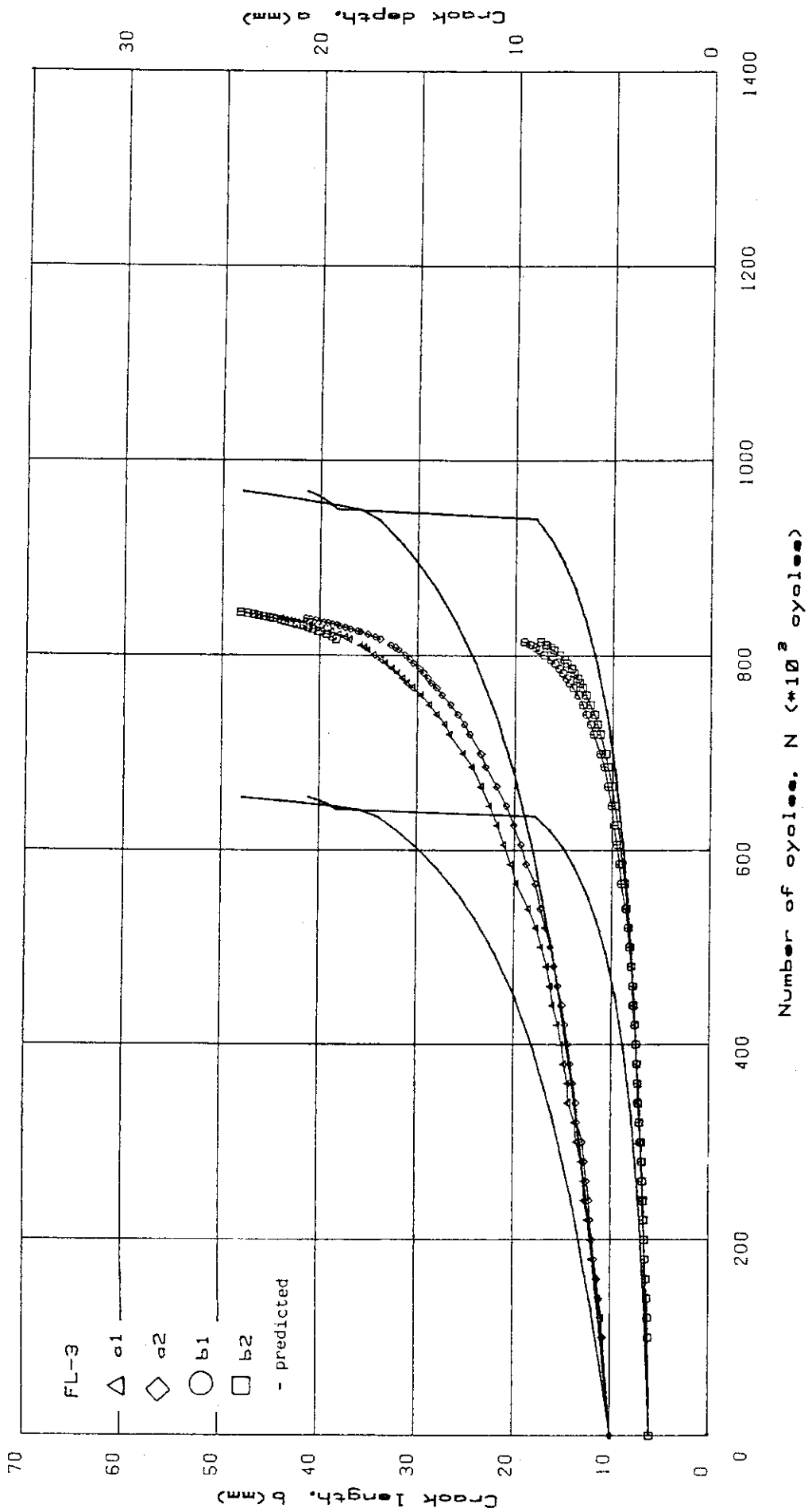


Fig. 24 Comparison of crack growth curves between test results in FL-3 and analytical results by present study

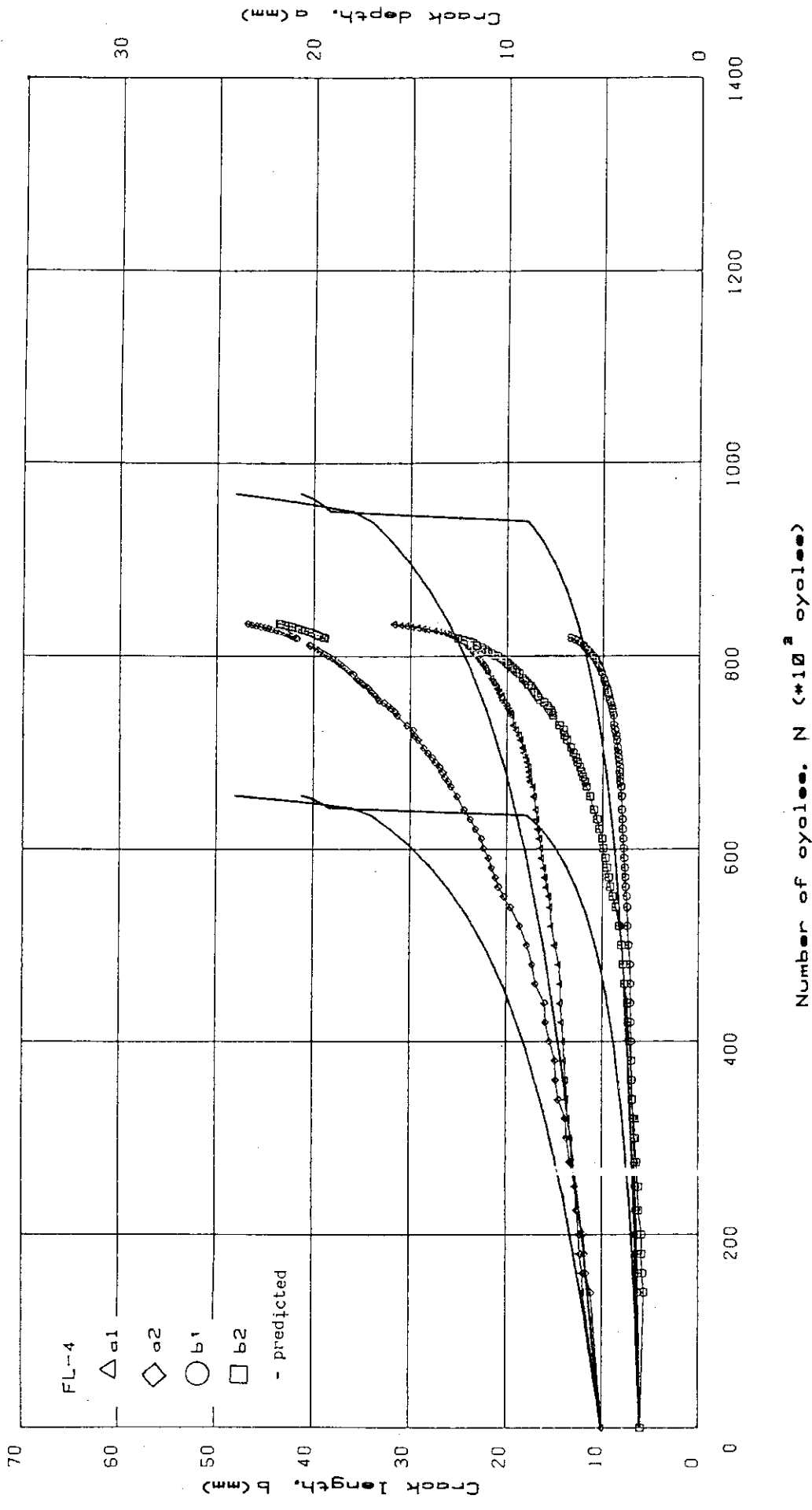


Fig. 25 Comparison of crack growth curves between test results in FL-4 and analytical results by present study

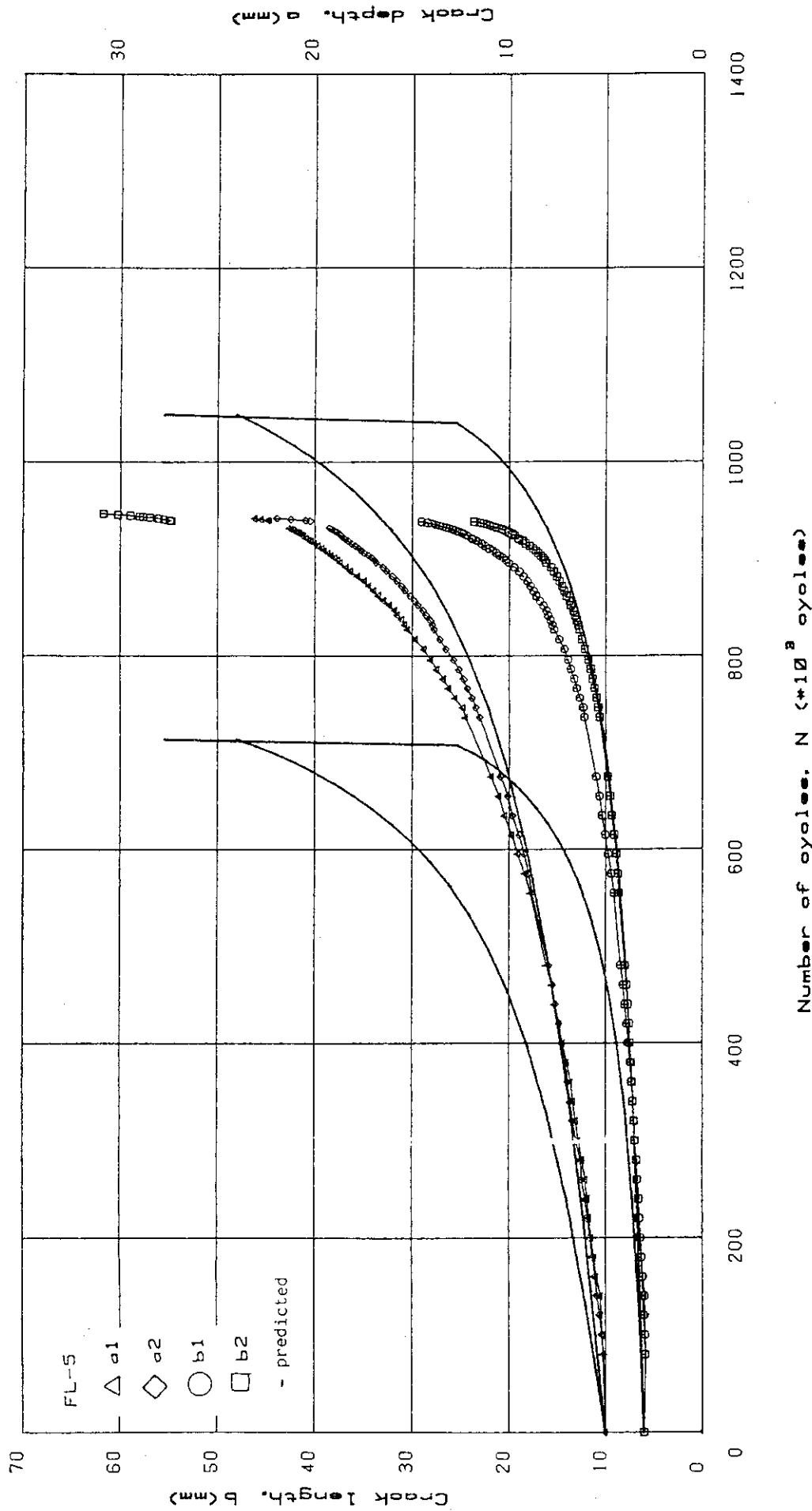


Fig. 26 Comparison of crack growth curves between test results in FL-5 and analytical results by present study

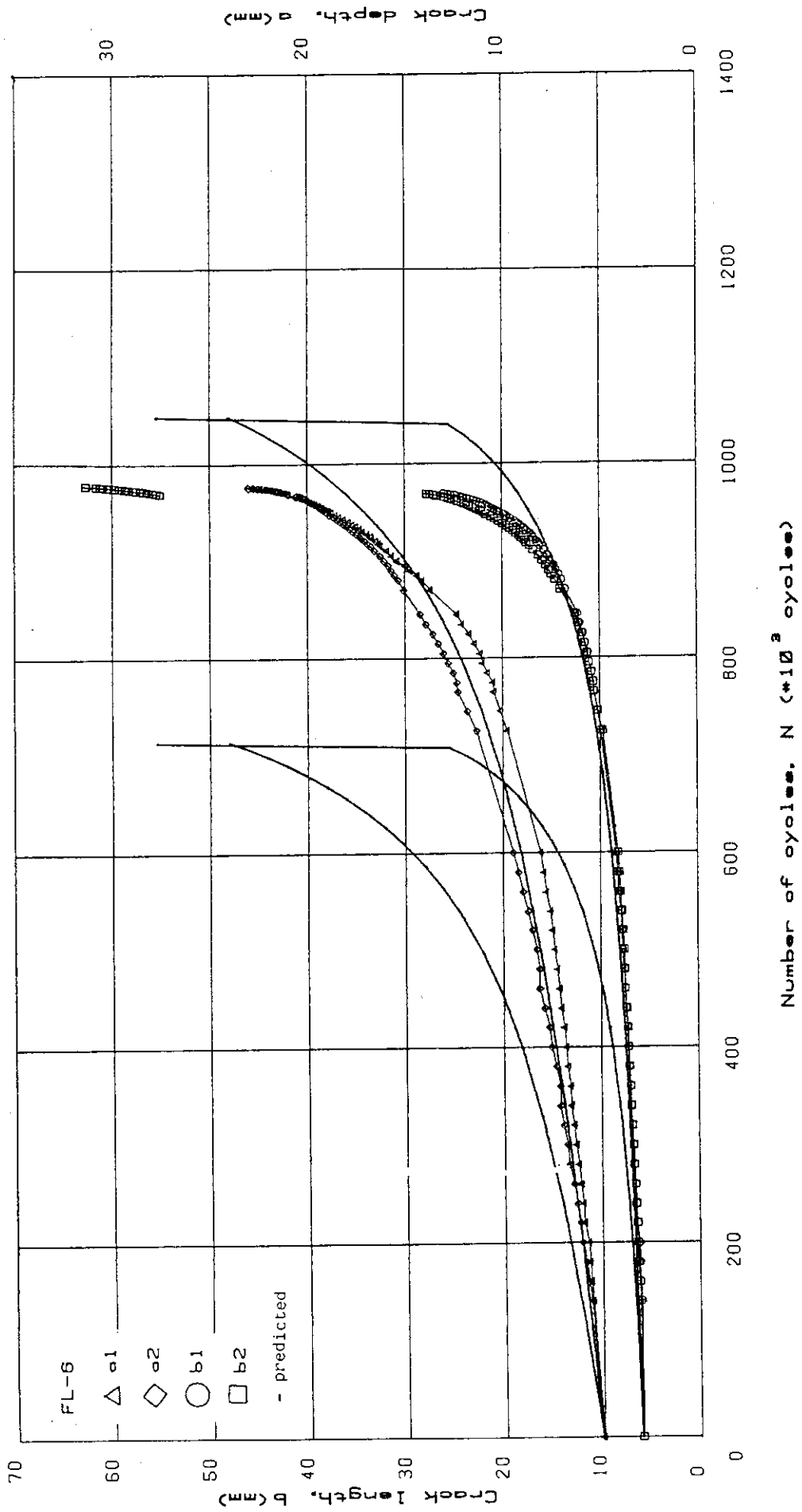


Fig. 27 Comparison of crack growth curves between test results in FL-6 and analytical results by present study

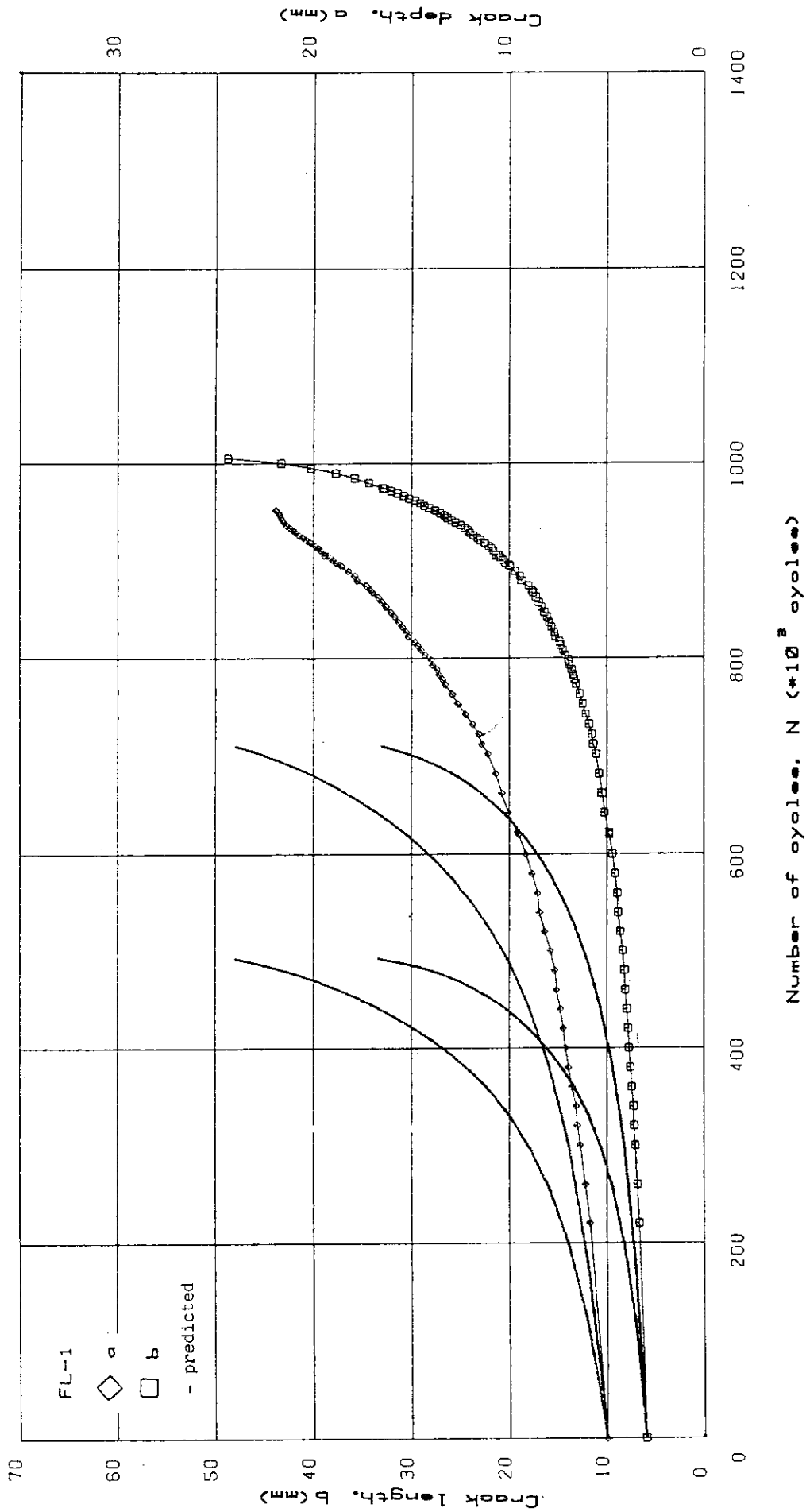


Fig. 28 Comparison of crack growth curves between test results in FL-1 and analytical results by present study, without surface effect and interaction effect

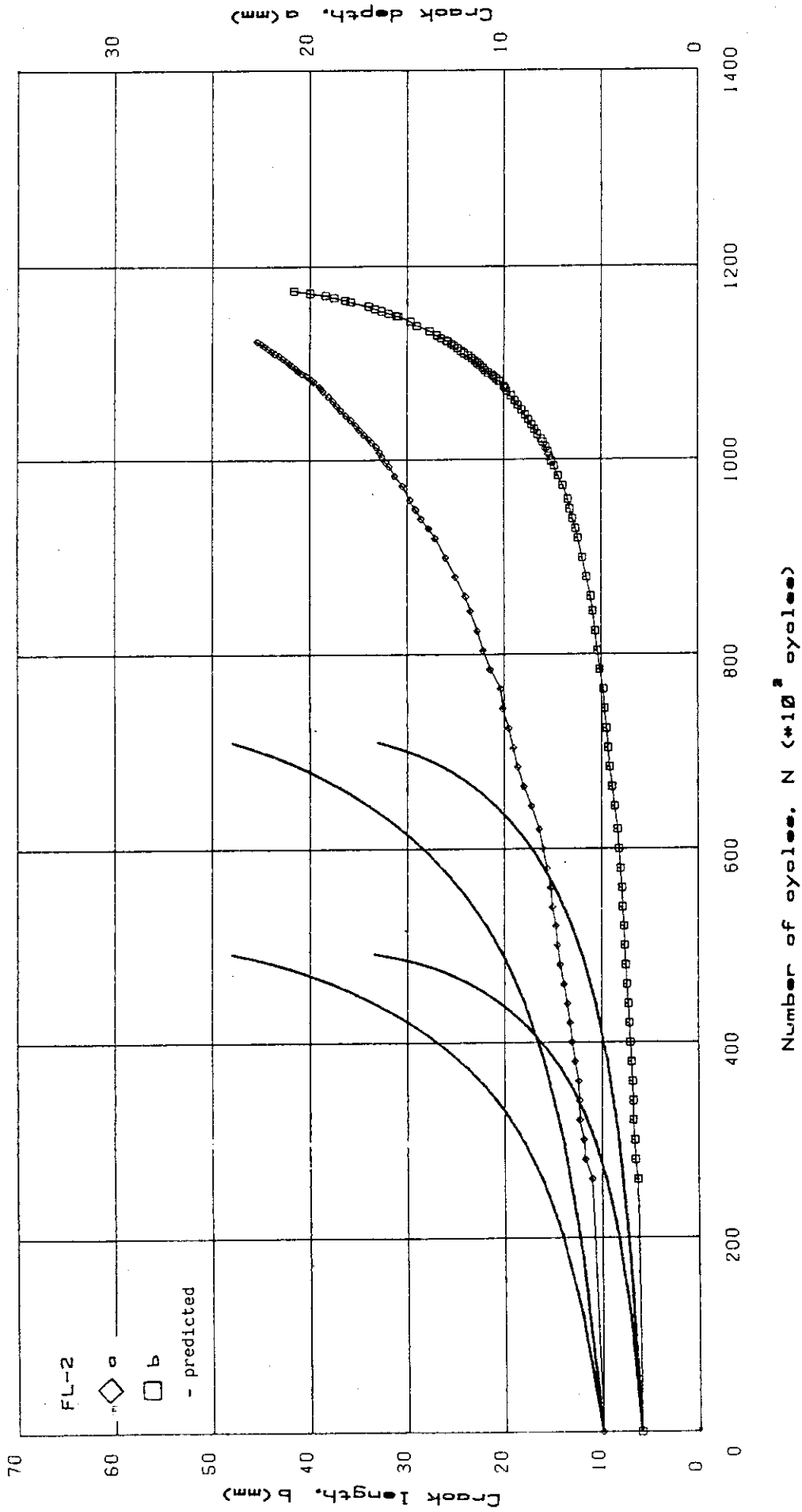


Fig. 29 Comparison of crack growth curves between test results in FL-2 and analytical results by present study, without surface effect and interaction effect

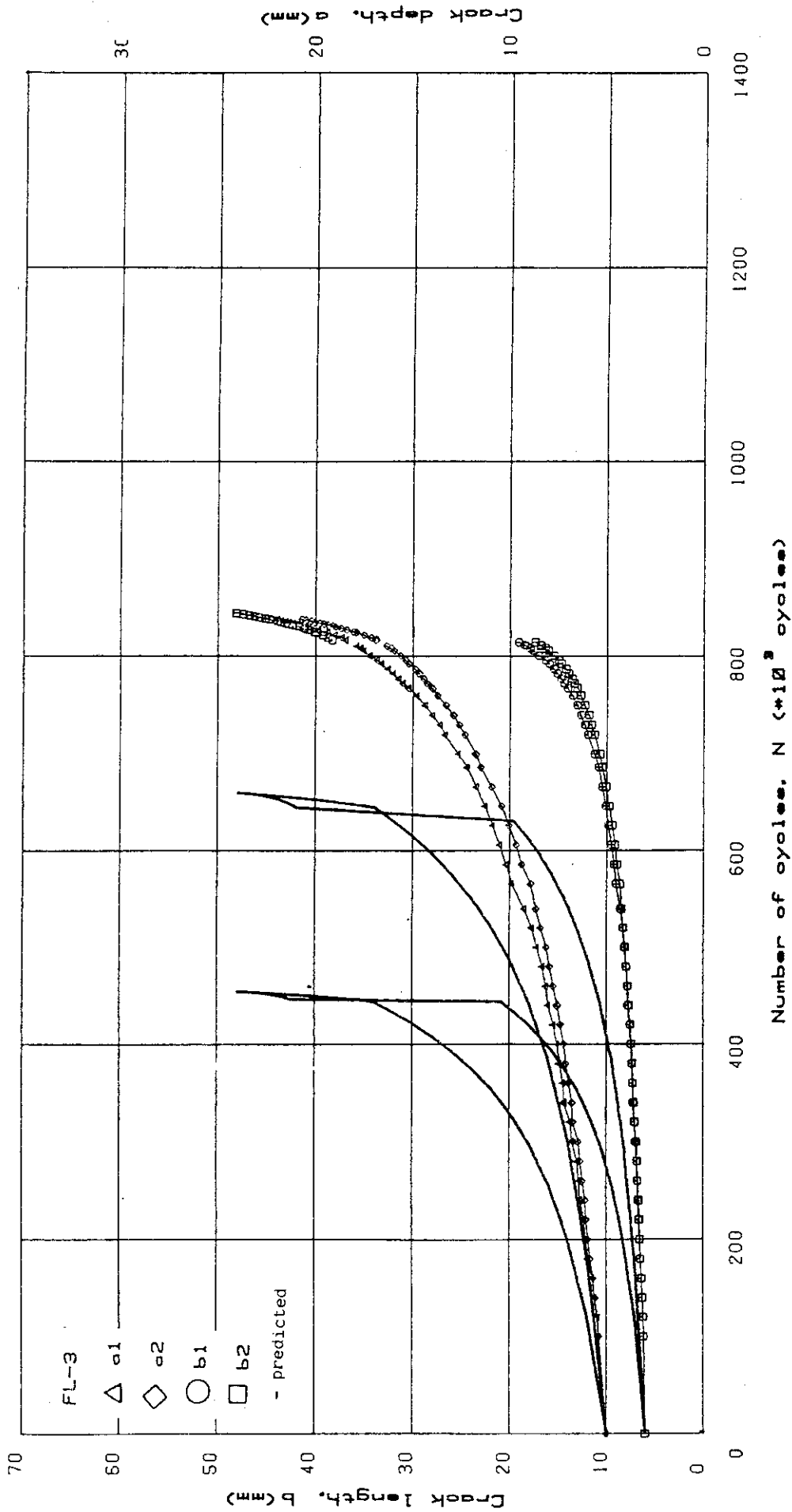


Fig. 30 Comparison of crack growth curves between test results in FL-3 and analytical results by present study, without surface effect and interaction effect



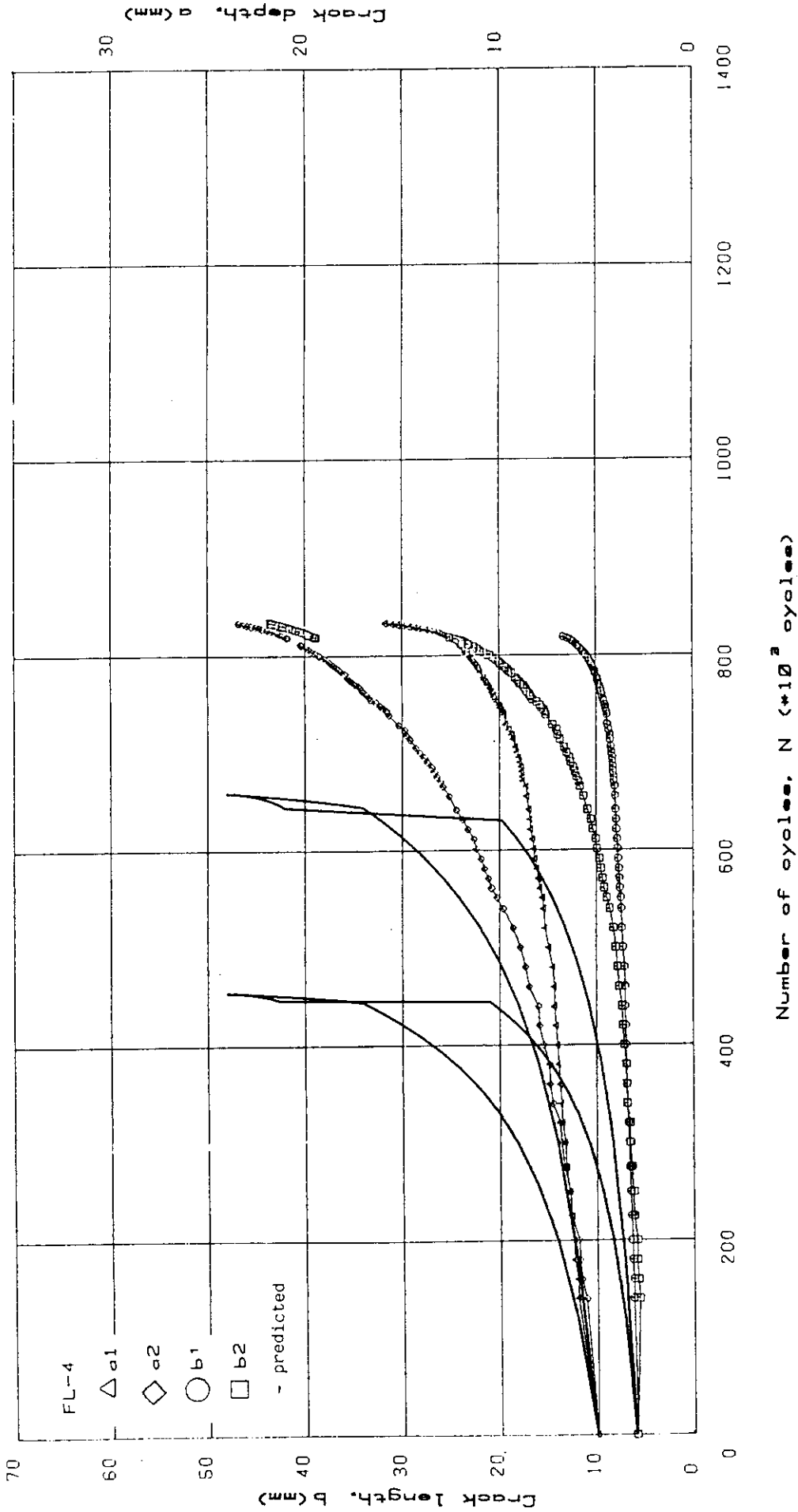


Fig. 31 Comparison of crack growth curves between test results in FL-4 and analytical results by present study, without surface effect and interaction effect

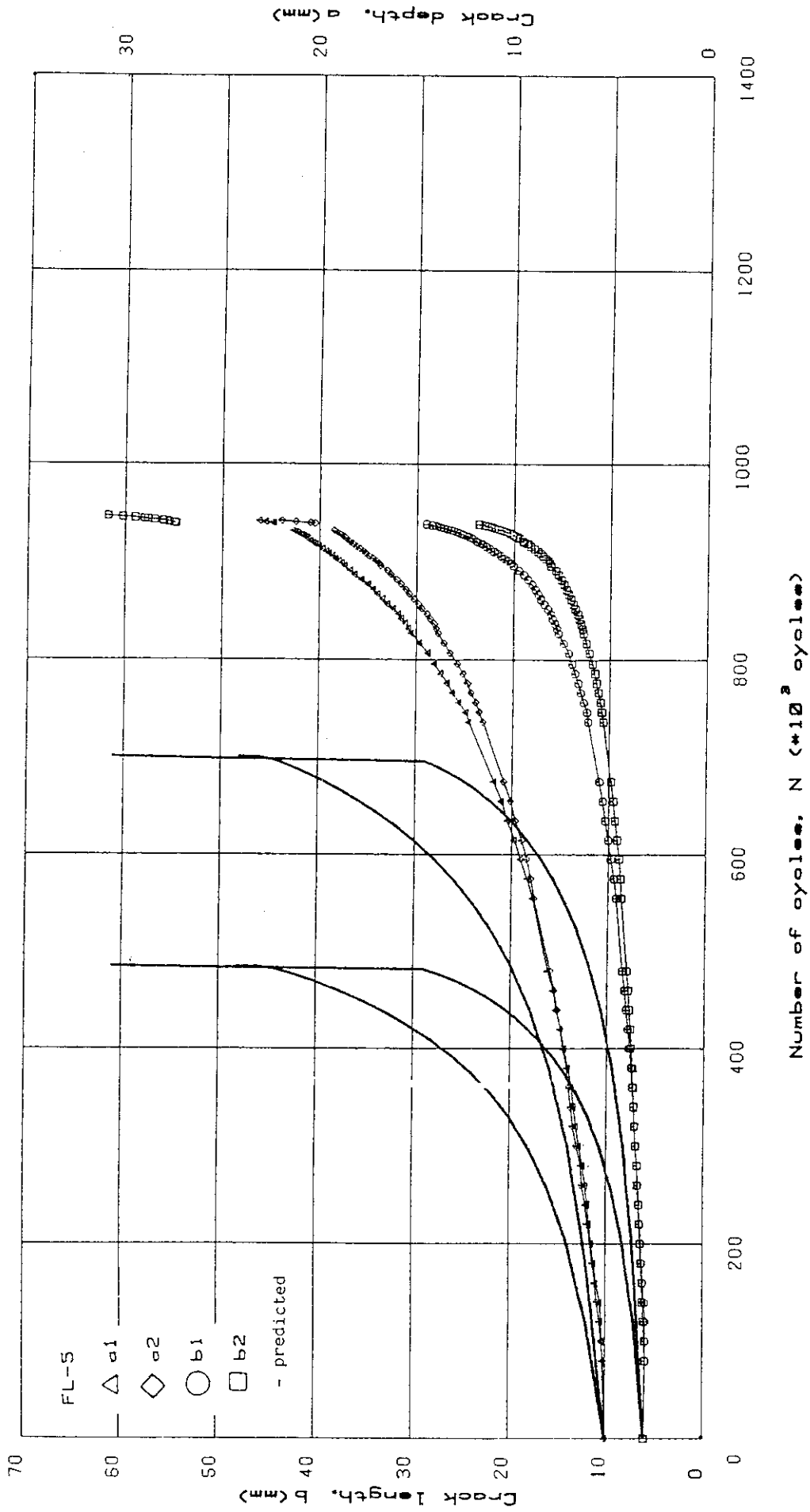


Fig. 32 Comparison of crack growth curves between test results in FL-5 and analytical results by present study, without surface effect and interaction effect

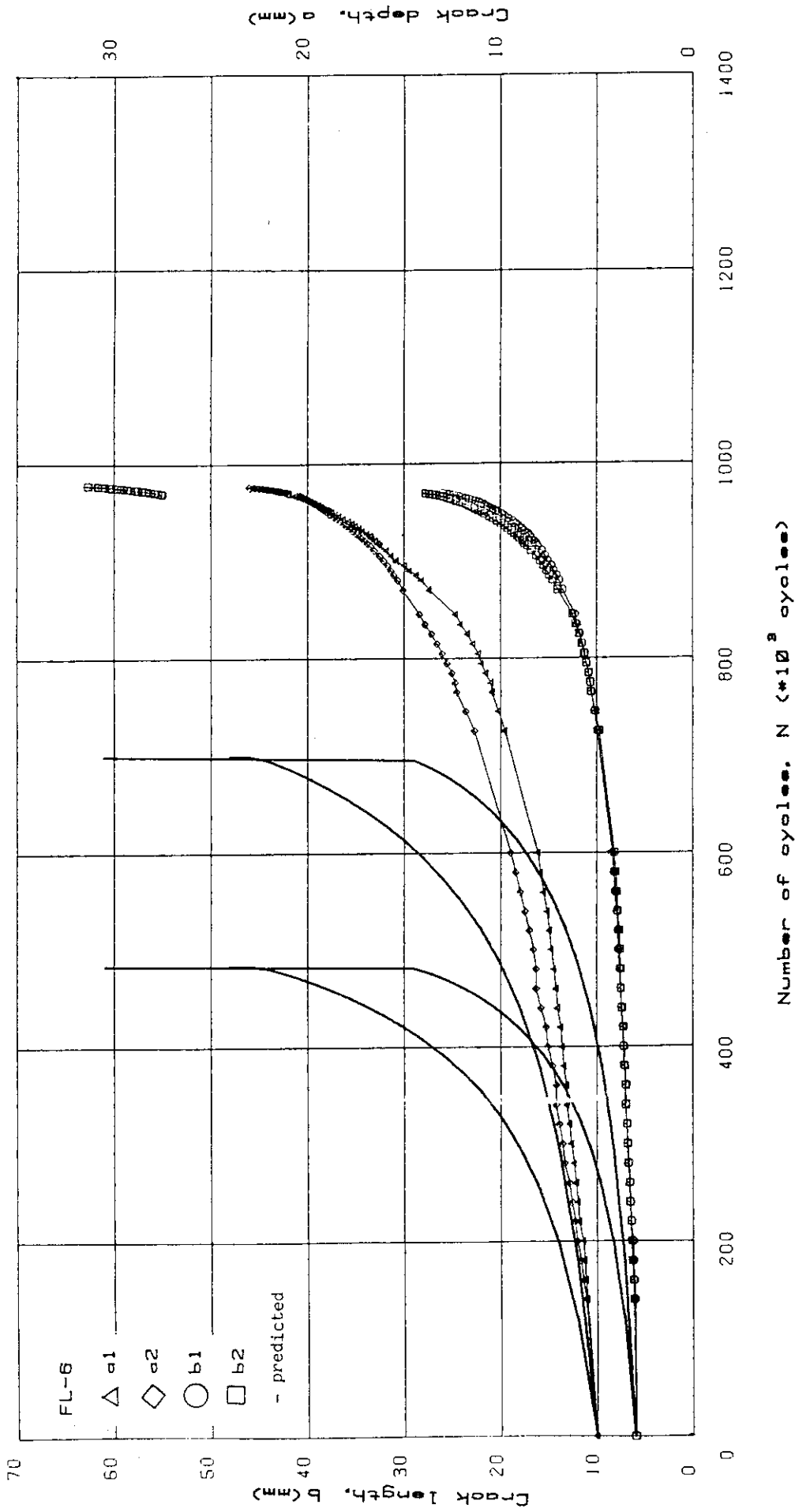


Fig. 33 Comparison of crack growth curves between test results in FL-6 and analytical results by present study, without surface effect and interaction effect

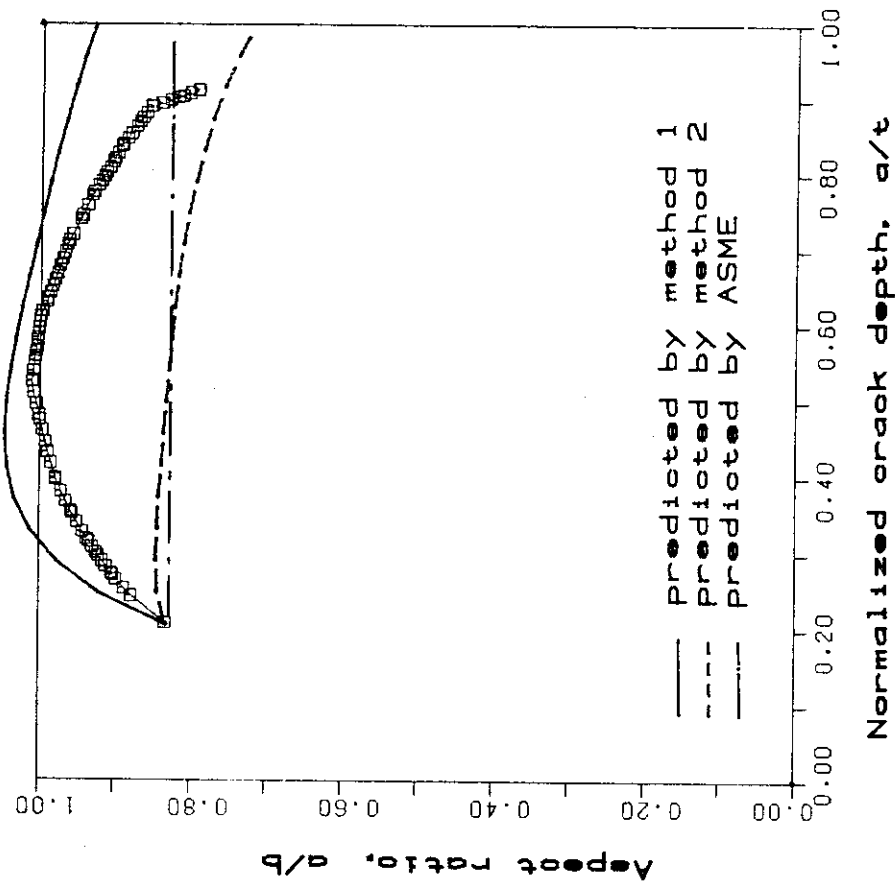
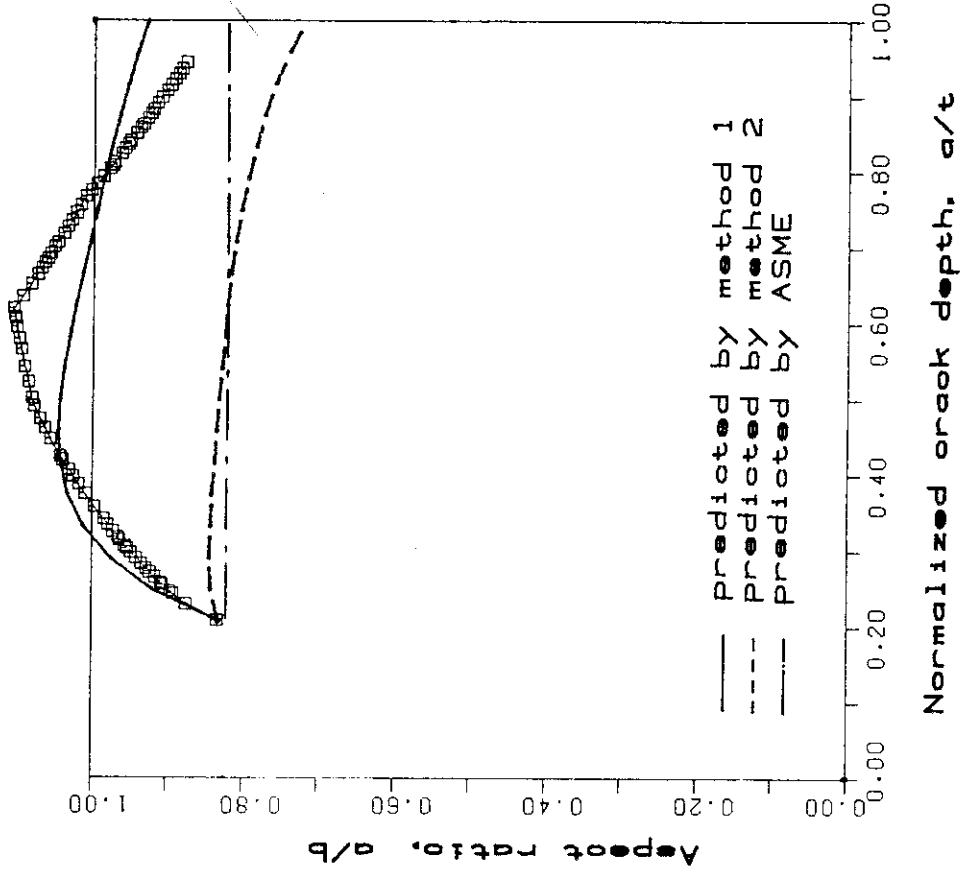


Fig. 34 Change in aspect ratio with the crack growth in FL-1  
 Fig. 35 Change in aspect ratio with the crack growth in FL-2

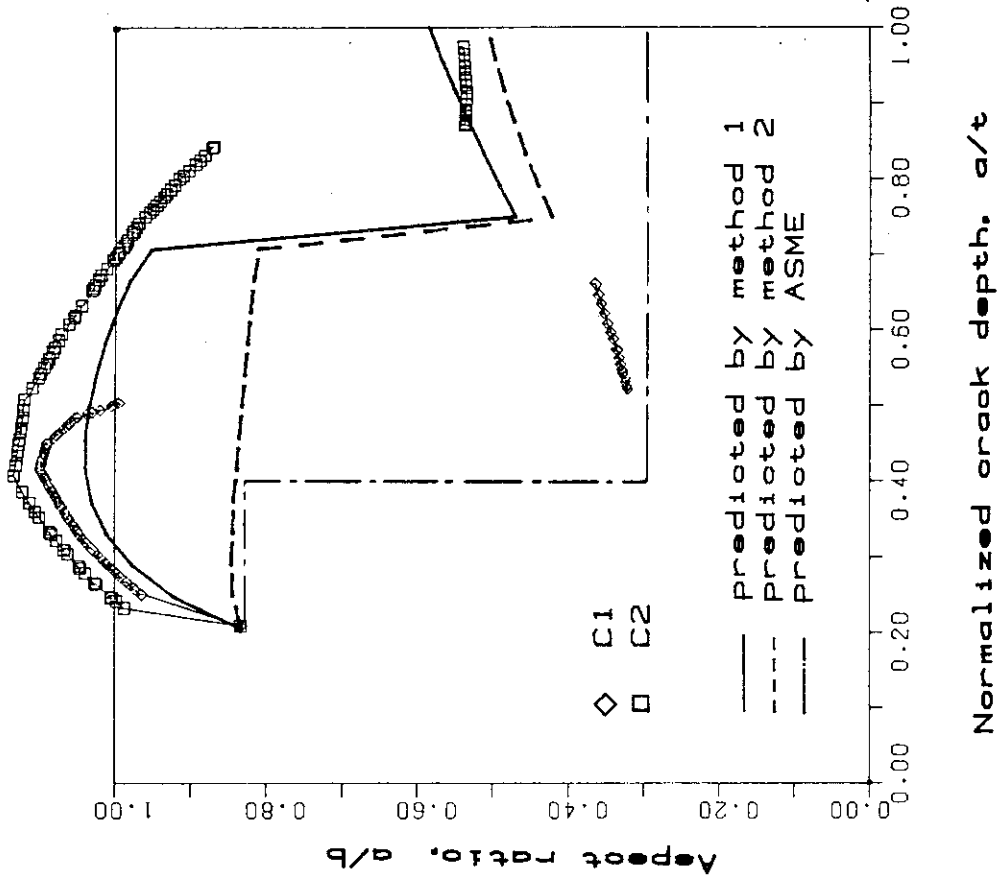


Fig. 37 Change in aspect ratio with the crack growth in FL-4

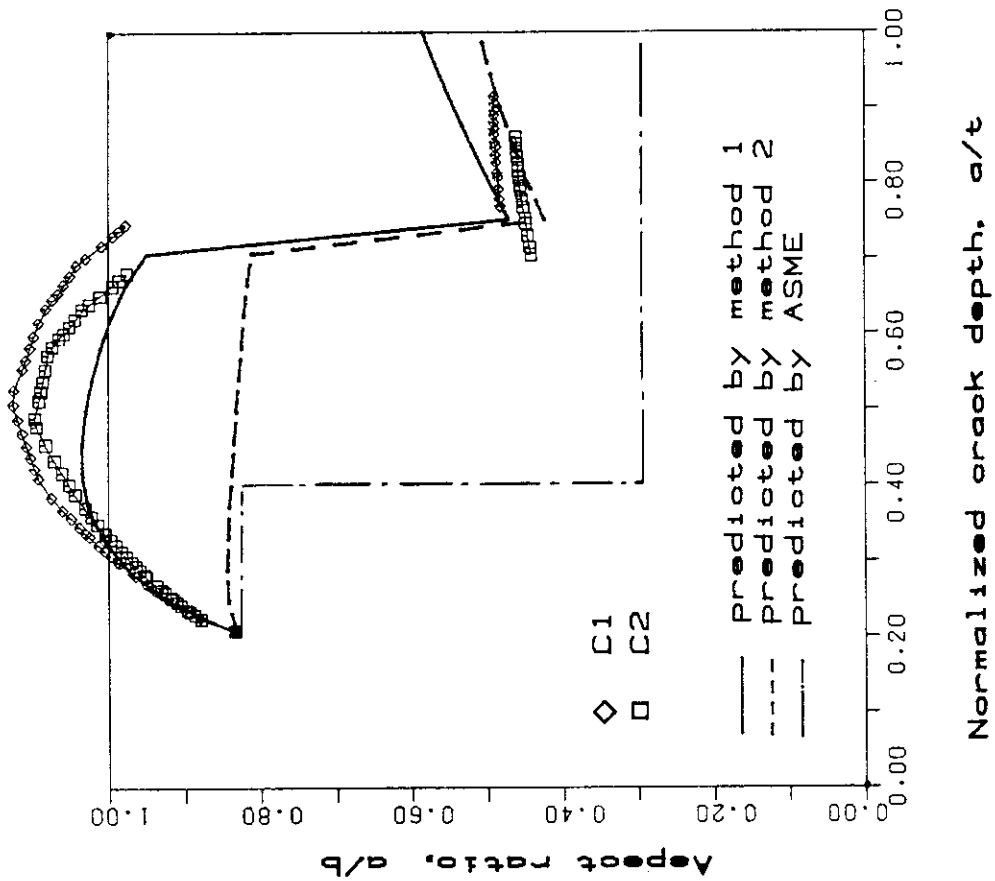


Fig. 36 Change in aspect ratio with the crack growth in FL-3

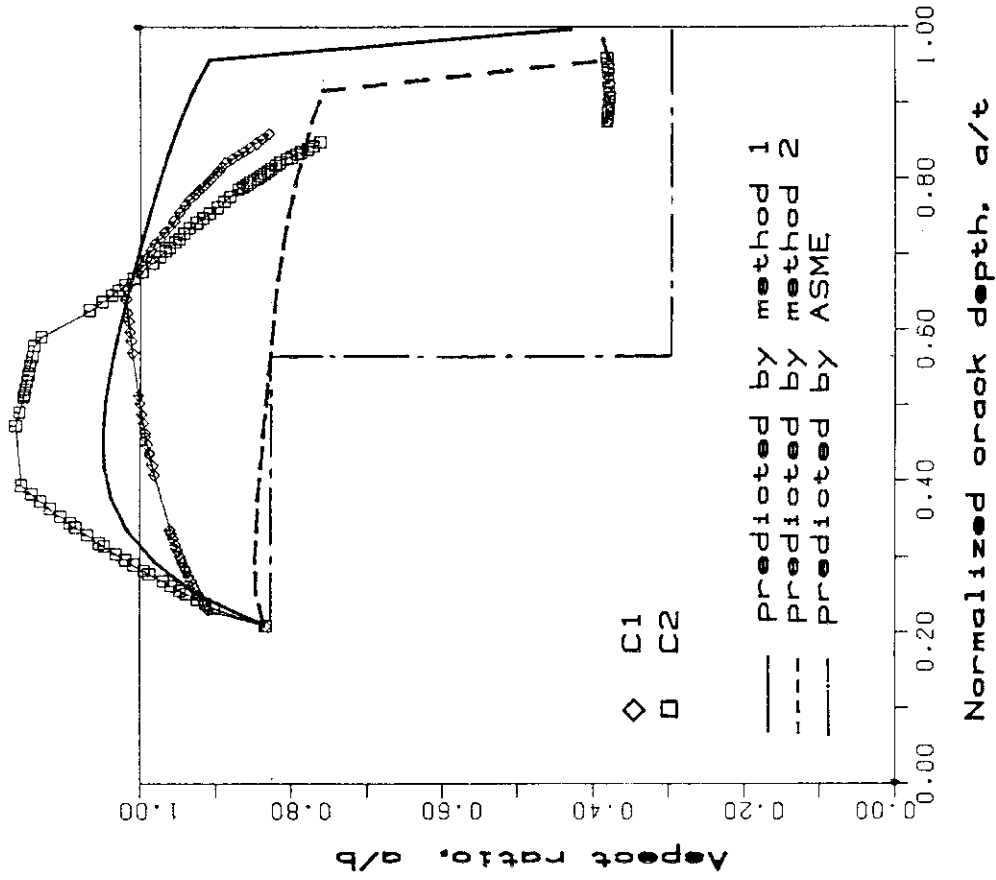


Fig. 39 Change in aspect ratio with the crack growth in FL-6

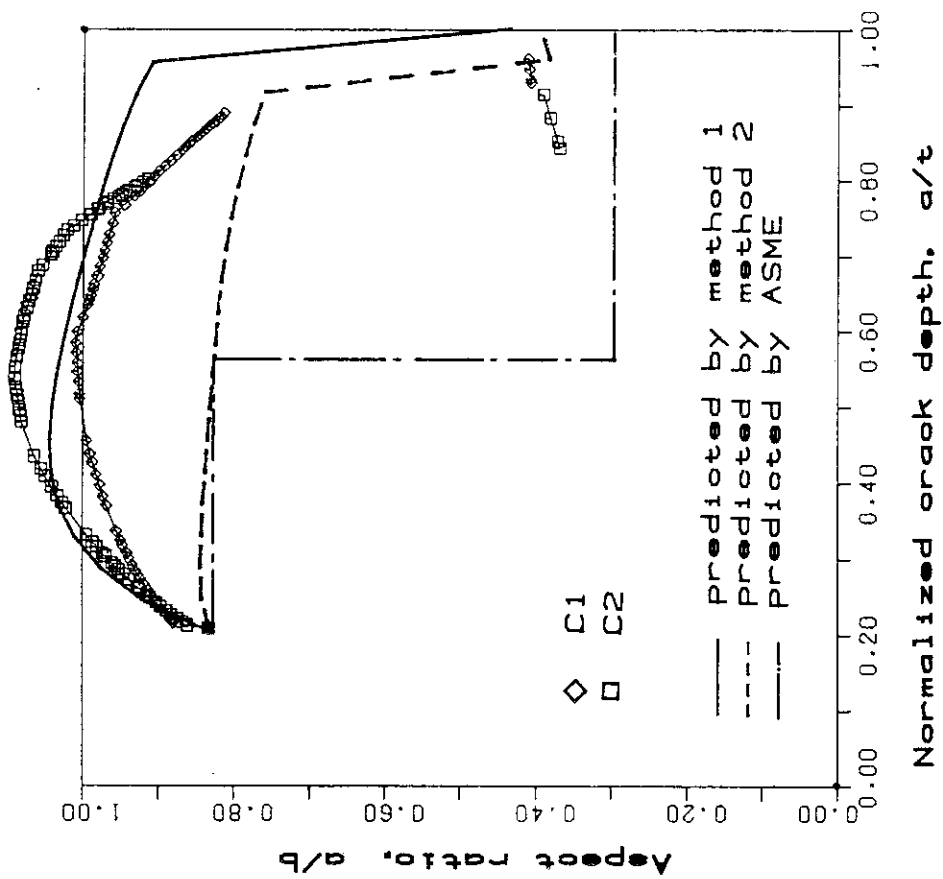


Fig. 38 Change in aspect ratio with the crack growth in FL-5

## 付 録

本付録には平板試験の結果得られたデータの一部を Table A1, A2, A3 に収録した。

Table A1 Result of beach mark measurement

(FL-4)

crack No.  Neff cycle	C1 (left side)				C2 (right side)			
	b1 mm	a1 mm	b1' mm	$\frac{b1+b1'}{2}$ mm	b2 mm	a2 mm	b2' mm	$\frac{b2+b2'}{2}$ mm
(BM-0)	5.650	5.174	5.650	5.65	5.250	5.015	5.250	5.25
1	7.238 7.283	7.714- 7.809	7.598- 7.643	7.418- 7.463	8.635- 9.018	9.777- 10.095	8.605 8.863	8.62- 8.941
2	7.803- 7.920	—	8.128- 8.175	7.966- 8.048	10.783- 11.163	12.190- 12.380	10.978- 11.458	10.881- 11.311
3	8.188- 8.330	—	8.743- 8.805	8.466- 8.568	13.320- 13.673	14.285- 14.412	13.345- 13.808	13.333- 13.741
4	8.645 8.740	10.0	9.550- 9.675	9.098- 9.208	15.848- 16.105	16.126	15.798- 16.200	15.823- 16.153
5	9.353- 9.570	10.793	10.448- 10.620	9.901- 10.095	18.383- 18.803	17.777	18.298- 18.613	18.341- 18.708
6	10.275- 10.313	11.587	11.730- 11.818	11.003- 11.066	21.223- 21.465	19.206	20.733- 20.955	20.978- 21.210
7	11.023- 11.198	12.063	13.243- 13.493	12.133- 12.346	23.730- 24.213	20.222	22.765- 22.723	23.248- 23.468
8	32.580 32.683	12.507	45.110- 45.268	38.845- 38.976	← coal.	20.857	← coal.	← coal.
9	34.173 34.227	13.714	47.628 47.677	40.901 40.952		21.904		
10	36.185- 36.308	15.841	50.550- 50.773	43.368- 43.541		23.396		
11	38.640- 38.715	17.523	53.265- 53.540	45.953- 46.128		—		

Table A2 Record of BM, operation and Neff

(FL-4,  $\times 10^3$ )

BM, No,	$N_T$	$\Delta N_{BM}$	$\Delta N_{eff}$	$N_{eff} = N_T - \Sigma \Delta N_{BM} + \Sigma \Delta N_{eff}$
BM- 1	540.0- 640.0	100.0	11.0	540.0 -551.17
- 2	730.0- 790.0	60.0	14.14	641.17-655.31
- 3	840.0- 875.0	35.0	7.94	705.31-713.25
- 4	910.0- 925.0	15.0	3.46	748.25-751.71
- 5	950.0- 962.0	12.0	5.18	776.71-781.89
- 6	980.0- 987.0	7.0	1.05	799.89-800.94
- 7	998.0-1003.0	5.0	1.77	811.94-813.71
- 8	1008.0-1011.0	3.0	0.49	818.94-819.43
- 9	1018.0-1020.0	2.0	0.14	826.43-826.57
-10	1034.0-1035.0	1.0	0.40	839.03-839.43

Npenetration (right) = 834.99

Nend = 843.43



Table A3 Result of crack growth measurement in

(FL-4)

C1 crack			C2 crack				
N eff	b(mm)	a(mm)	N eff	b(mm)	a(mm)		
1	140.00000	6.23250	6.01085	1	140.00000	5.64750	5.57669
2	160.00000	6.22750	6.00367	2	160.00000	5.79500	5.78512
3	180.00000	6.33750	6.16170	3	180.00000	5.87250	5.89463
4	200.00000	6.37250	6.21198	4	200.00000	5.89500	5.92642
5	225.00000	6.43000	6.29459	5	225.00000	6.18000	6.32914
6	250.00000	6.50250	6.39874	6	250.00000	6.21750	6.38213
7	275.00000	6.61250	6.55678	7	275.00000	6.42500	6.67534
8	300.00000	6.66000	6.62502	8	300.00000	6.53500	6.83078
9	320.00000	6.76250	6.77227	9	320.00000	6.58500	6.90143
10	340.00000	6.80500	6.83333	10	340.00000	6.85500	7.28295
11	360.00000	6.83000	6.86925	11	360.00000	6.95000	7.41720
12	380.00000	6.89500	6.96263	12	380.00000	6.95750	7.42779
13	400.00000	6.92250	7.00214	13	400.00000	7.16000	7.71394
14	420.00000	6.97500	7.07756	14	420.00000	7.31000	7.92590
15	440.00000	7.03750	7.16735	15	440.00000	7.36000	7.99655
16	460.00000	7.04500	7.17813	16	460.00000	7.69000	8.46286
17	480.00000	7.10000	7.25714	17	480.00000	7.82000	8.64655
18	500.00000	7.24000	7.45827	18	500.00000	8.01000	8.91504
19	520.00000	7.37250	7.64863	19	520.00000	8.27000	9.28243
20	540.00000	7.41750	7.71328	20	540.00000	8.62000	9.77700
21	551.16504	7.46250	7.77457	21	551.16504	8.94000	10.11859
22	561.16504	7.56750	7.91749	22	561.16504	9.21250	10.40947
23	571.16504	7.62000	7.98895	23	571.16504	9.34250	10.54824
24	581.16504	7.66500	8.05020	24	581.16504	9.54750	10.76707
25	591.16504	7.75250	8.16929	25	591.16504	9.70250	10.93253
26	601.16504	7.79250	8.22374	26	601.16504	9.94000	11.18605
27	611.16504	7.83250	8.27818	27	611.16504	10.03750	11.29013
28	621.16504	7.91000	8.38367	28	621.16504	10.34500	11.61837
29	631.16504	7.93500	8.41770	29	631.16504	10.58000	11.86923
30	641.16504	7.96500	8.45853	30	641.16504	10.88000	12.18946
31	655.30811	8.04750	8.57082	31	655.30811	11.31000	12.55696
32	665.30811	8.07250	8.60485	32	665.30811	11.68500	12.87737
33	670.30811	8.20000	8.77839	33	670.30811	11.83500	13.00553
34	675.30811	8.22000	8.80562	34	675.30811	12.07750	13.21272
35	680.30811	8.23750	8.82944	35	680.30811	12.23250	13.34515
36	685.30811	8.25750	8.85666	36	685.30811	12.38500	13.47545
37	690.30811	8.31500	8.93493	37	690.30811	12.65500	13.70614
38	695.30811	8.34000	8.96895	38	695.30811	12.82000	13.84712
39	700.30811	8.43000	9.09145	39	700.30811	13.08750	14.07567
40	705.30811	8.46500	9.13909	40	705.30811	13.33250	14.28500
41	713.24609	8.56750	9.27860	41	713.24609	13.74000	14.58623
42	718.24609	8.62750	9.36028	42	718.24609	14.02250	14.79505
43	723.24609	8.72000	9.48618	43	723.24609	14.10250	14.85419
44	728.24609	8.84250	9.65291	44	728.24609	14.51750	15.16097
45	738.24609	8.89250	9.72097	45	738.24609	15.18250	15.65254
46	740.74609	8.93000	9.77201	46	740.74609	15.28750	15.73016
47	743.24609	8.98500	9.84687	47	743.24609	15.42000	15.82810
48	745.74609	9.05250	9.93875	48	745.74609	15.64000	15.99073
49	748.24609	9.09750	10.00000	49	748.24609	15.82250	16.12563
50	751.70605	9.20750	10.10863	50	751.70605	16.15250	16.34209
51	754.20605	9.28750	10.18763	51	754.20605	16.55249	16.60440
52	756.70605	9.36000	10.25923	52	756.70605	16.69749	16.69949
53	758.70605	9.36500	10.26417	53	758.70605	16.84000	16.79295
54	760.70605	9.44750	10.34564	54	760.70605	16.96500	16.87492
55	762.70605	9.46250	10.36046	55	762.70605	17.15250	16.99789
56	764.70605	9.52750	10.42464	56	764.70605	17.26500	17.07167
57	766.70605	9.58750	10.48390	57	766.70605	17.38750	17.15201
58	768.70605	9.63750	10.53327	58	768.70605	17.51750	17.23726
59	770.70605	9.72000	10.61475	59	770.70605	17.80000	17.42253
60	772.70605	9.76750	10.66166	60	772.70605	17.94499	17.51761
61	774.70605	9.87250	10.76535	61	774.70605	18.16249	17.66025
62	776.70605	9.90000	10.79251	62	776.70605	18.34000	17.77666
63	781.88696	10.09500	10.93314	63	781.88696	18.70749	17.97581
64	783.88696	10.16000	10.97997	64	783.88696	18.98999	18.12888
65	785.88696	10.25250	11.04662	65	785.88696	19.17500	18.22913
66	787.88696	10.33500	11.10606	66	787.88696	19.42000	18.36186
67	789.88696	10.44750	11.18712	67	789.88696	19.66249	18.49324
68	791.88696	10.53500	11.25016	68	791.88696	19.90250	18.62328
69	793.88696	10.66750	11.34563	69	793.88696	20.08249	18.72079
70	795.88696	10.74750	11.40327	70	795.88696	20.34500	18.86302
71	797.88696	10.86500	11.48793	71	797.88696	20.62000	19.01202
72	799.88696	11.00250	11.58700	72	799.88696	20.97749	19.20572
73	800.93799	11.06500	11.61332	73	800.93799	21.20999	19.30984
74	802.93799	11.31000	11.71647	74	802.93799	21.56500	19.46878
75	804.93799	11.43000	11.76700	75	804.93799	22.00250	19.66464
76	806.93799	11.62000	11.84700	76	806.93799	22.28250	19.78998
77	808.93799	11.92250	11.97437	77	808.93799	22.63750	19.94891
78	810.93799	12.00500	12.00910	78	810.93799	23.13499	20.17163
79	811.93799	12.13250	12.06279	79	811.93799	23.24750	20.22198
80	813.71191	12.34500		80	813.71191	23.55750	
81	814.71191	12.46500		81	814.71191	23.83499	
82	815.71191	12.56000		82	815.71191	24.04500	
83	816.71191	12.85750		83	816.71191	24.40500	
84	817.71191	12.96000		84	817.71191	24.63750	
85	818.71191	13.33500		85	818.71191	25.08000	
after coalescence			after coalescence				
1	818.94312	38.84500	12.50700	1	818.94312	38.84500	20.87500
2	819.42993	38.97499	12.58333	2	819.42993	38.97499	20.94006
3	820.42993	39.21500	12.72426	3	820.42993	39.21500	21.06021
4	821.42993	39.46249	12.86959	4	821.42993	39.46249	21.18411
5	822.42993	39.70250	13.01053	5	822.42993	39.70250	21.30426
6	823.42993	39.88249	13.11622	6	823.42993	39.88249	21.39438
7	824.42993	40.17999	13.29091	7	824.42993	40.17999	21.54330
8	825.42993	40.53500	13.49938	8	825.42993	40.53500	21.72102
9	826.42993	40.89999	13.71370	9	826.42993	40.89999	21.90375
10	826.57007	40.95250	13.75883	10	826.57007	40.95250	21.93546
11	827.82007	41.35249	14.10370	11	827.82007	41.35249	22.17735
12	828.57007	41.59500	14.31279	12	828.57007	41.59500	22.32402
13	829.57007	41.91499	14.58868	13	829.57007	41.91499	22.51755
14	830.57007	42.30249	14.92277	14	830.57007	42.30249	22.75189
15	831.57007	42.63750	15.21161	15	831.57007	42.63750	22.95450
16	832.57007	42.98250	15.50906	16	832.57007	42.98250	23.16315
17	833.57007	43.36749	15.84100	17	833.57007	43.36749	23.39598
18	834.03491	43.53999		18	834.03491	43.53999	

JAERI-M 82-208

- 55 ~ 56 -