

JAERI-M
82-149

電位差法によるき裂伝播の自動計測化

1982年10月

中島 伸也・菊池 正明*・鳴 誠之*

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。

入手の間合わせは、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）で複写による実費頒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 | 日立高速印刷株式会社 |

電位差法によるき裂伝播の自動計測化

日本原子力研究所東海研究所安全工学部

中島 伸也・菊池 正明^{*}・嶋 誠之^{*}

(1982年10月1日受理)

高温高圧純水中における配管材料のき裂伝播を測定する方法として電位差法に着目し、試験片形状、サイドグループの有無、通電方法、及び電位差計測に及ぼす負荷レベルの影響等の検討を行った。この大気中での予備的試験の結果、直流電源を用い、一定時間間隔でその極性を交番して試験片に通電する方法を用いれば、CT試験への通電時間を短縮でき、長時間安定した計測を行えることが明らかとなった。また、電位差計測において、負荷に伴うき裂先端の変形の影響がほとんど無視できること、疲労または静荷重によるき裂伝播においてき裂長さの比(a/w)と電位差の比(V_a/V_0)により対応が見い出され、高温高圧下での計測の可能性を見出した。

* 外来研究員；東京芝浦電気（株）

Automatic Measurement for Monitoring Crack Growth with Electric
Potential Technique

Nobuya NAKAJIMA, Masaaki KIKUCHI* and Seishi SHIMA*

Division of Nuclear Safety Research,
Tokai Research Establishment, JAERI

(Received October 1, 1982)

In the study of fracture mechanics, it is one of the most important problems to monitor the crack growth phenomena. Recently, many experimental methods have been developed. In this report, the Direct Current (DC) potential method is employed for measuring the crack growth length in the pressuried high temperature water. The objective of the current investigation is to develop an experimental method to quantify the sensitivity of this method in the air environment using the Compact Tension (CT) specimen.

The main results obtained are as follows:

- 1) It is ignored that the electrical potential changes with plastic deformation at the crack tip of the specimen.
- 2) Using the Reversible Direct Current (RDC) Method, the measurement system gives no effect on the electrical stability for a long time.
- 3) For the fatigue and statical crack growth length, good relation is observed between the crack length-to-specimen width ratio (a/W) and potential ratio (V_a/V_o).

Keywords : Crack Growth, Electric Potential, CT Specimen, Plastic
Deformation, RDC Method, Materials Testing

* On leave from TOSHIBA CORPORATION

目 次

| | |
|------------------------|---|
| 1. まえがき | 1 |
| 2. 実験方法 | 1 |
| 2.1 供試材及び試験片形状 | 1 |
| 2.2 疲労き裂伝播試験 | 2 |
| 2.3 静荷重下でのき裂伝播試験 | 2 |
| 2.4 電位差計測システム | 3 |
| 2.5 データ処理 | 3 |
| 3. 実験結果 | 4 |
| 4. まとめ | 8 |
| 謝 辞 | 9 |
| 参考文献 | 9 |

CONTENTS

| | |
|---|---|
| 1. Introduction | 1 |
| 2. Experimental procedures | 1 |
| 2.1 Materials and test specimens | 1 |
| 2.2 Fatigue crack propagate tests | 2 |
| 2.3 Monotonic loading crack propagate tests | 2 |
| 2.4 System of RDC potential measurement | 3 |
| 2.5 Data treatment method | 3 |
| 3. Experimental results | 4 |
| 4. Conclusions | 8 |
| Acknowledgment | 9 |
| References | 9 |

1. ま え が き

電位差法は約30年前に大構造物の表面き裂を検出する目的で開発され、その後、疲労き裂伝播、¹⁾ 応力腐食割れ、⁹⁾ 静的増加荷重下における延性き裂の発生点ならびに伝播の計測等を行う目的に応用されてきている。^{2)~8)} ^{10)~15)} ¹¹⁾

電位差法は導体中を流れる電流により形成される電位分布がき裂の存在またはその進展、あるいは塑性変形により変化することを応用したものである。実際には、電位差変化とき裂進展量との較正曲線を作成しておかなければならない。

高温高圧水中のき裂伝播特性の解析において数多くの試験片を用いることは時間的、経済的に制約されるので一本の試験片によりき裂進展を間接的にでも計測できることが望まれる。電位差法はこれらに対応する方法の一つと考えられる。

き裂の計測に応用されている電位差法には交流電流式、直流電流式、及びに両者の長所を取り入れようと最近、Praterらにより試みられている通電電流の極性を交番する直流式電位差法^{4)~6)} (以後RDC電位差法とする)があげられる。これまでの研究により、それらの長所及び短所、共通する問題点が指摘されてきた。表1にはそれらのまとめを示す。

高温高圧純水中におけるき裂の計測に関しては、き裂伝播に及ぼす電氣的影響をできるだけ少なくする必要がある。表1に示すようにRDC電位差法は通電側の極性の交番及び通電時間の短縮を併せて実施可能であること、及び長時間計測の場合、計測機器の電氣的変動も除去できるもので、高温高圧純水中のき裂計測方法として有望と考えられる。ただし、極性の交番時に雑音の発生を併う可能性、極性の交番に要する時間による計測系の応答性及び表1に示す電位差法共通の問題点等の解決すべき点がある。

本報では高温高圧純水中におけるき裂長さ計測法を目的としてRDC電位法に着目し、問題点の検討を行うとともに、極性を交番しない連続直流通電(NDC電位差法)についても併せて検討した。

2. 実 験 方 法

2.1 供試材及び試験片形状

本実験には軟鋼およびSUS304ステンレス鋼の溶体化処理材を用いた。試験片形状は25mm板厚のコンパクトテンション試験片(CT試験片)とし、試験片の両表面のき裂伝播方向には断面形状が半円形の板厚の20%のサイド・グループ付とサイド・グループ無し試験片を加工した。試験片形状及び寸法を図1に示す。ここで、試験片は切欠長さが約10~28mmとなるように、数種類を放電加工にて作成した。

1. ま え が き

電位差法は約30年前に大構造物の表面き裂を検出する目的で開発され、その後、疲労き裂伝播¹⁾、^{2)~8)} 応力腐食割れ⁹⁾、静的増加荷重下における延性き裂の発生点ならびに伝播の計測等^{10)~15)}を行う目的に応用されてきている¹¹⁾。

電位差法は導体中を流れる電流により形成される電位分布がき裂の存在またはその進展、あるいは塑性変形により変化することを応用したものである。実際には、電位差変化とき裂進展量との較正曲線を作成しておかなければならない。

高温高圧水中のき裂伝播特性の解析において数多くの試験片を用いることは時間的、経済的に制約されるので一本の試験片によりき裂進展を間接的にでも計測できることが望まれる。電位差法はこれらに対応しうる方法の一つと考えられる。

き裂の計測に応用されている電位差法には交流電流式、直流電流式、及びに両者の長所を取り入れようと最近、Praterらにより試みられている通電電流の極性を交番する直流式電位差法^{4)~6)}（以後RDC電位差法とする）があげられる。これまでの研究により、それらの長所及び短所、共通する問題点が指摘されてきた。表1にはそれらのまとめを示す。

高温高圧純水中におけるき裂の計測に関しては、き裂伝播に及ぼす電氣的影響をできるだけ少なくする必要がある。表1に示すようにRDC電位差法は通電側の極性の交番及び通電時間の短縮を併せて実施可能であること、及び長時間計測の場合、計測機器の電氣的変動も除去できるもので、高温高圧純水中のき裂計測方法として有望と考えられる。ただし、極性の交番時に雑音の発生を併う可能性、極性の交番に要する時間による計測系の応答性及び表1に示す電位差法共通の問題点等の解決すべき点がある。

本報では高温高圧純水中におけるき裂長さ計測法を目的としてRDC電位法に着目し、問題点の検討を行うとともに、極性を交番しない連続直流通電（NDC電位差法）についても併せて検討した。

2. 実 験 方 法

2.1 供試材及び試験片形状

本実験には軟鋼およびSUS304ステンレス鋼の溶体化処理材を用いた。試験片形状は25mm板厚のコンパクトテンション試験片（CT試験片）とし、試験片の両表面のき裂伝播方向には断面形状が半円形の板厚の20%のサイド・グループ付とサイド・グループ無し試験片を加工した。試験片形状及び寸法を図1に示す。ここで、試験片は切欠長さが約10~28mmとなるように、数種類を放電加工にて作成した。

2.2 疲労き裂伝播試験

本試験には容量10トンの電気油圧サーボ式試験機を使用した。疲労き裂伝播試験は応力拡大係数範囲 $\Delta K = 60 \sim 200 \text{ kg} \cdot \text{mm}^{-3/2}$ 程度の範囲で行った。応力比 (R比) はほぼ0~0.1程度とした。ただし試験の途中で、数カ所にピーチ・マークをつけるために荷重振幅を減少し、また、R比を0.1~0.5程度に変えて1000~2000回の繰返し負荷を与えている。

応力拡大係数範囲 ΔK の算出には次式^{16, 17)}を用いた。

i) 軟鋼の場合

$$K = (P/B^{1/2} \cdot B'^{1/2} \cdot W^{1/2}) \cdot f(\alpha) \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$f(\alpha) = 29.6 - 185.5 \alpha + 655.7 \alpha^2 - 1017 \alpha^3 + 638.9 \alpha^4$$

ii) SUS304鋼の場合

$$K = (P/B^{1/2} \cdot B'^{1/2} \cdot W^{1/2}) \cdot f(\alpha) \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$f(\alpha) = \frac{(2+\alpha)(0.886+4.64\alpha-13.32\alpha^2+14.72\alpha^3-5.6\alpha^4)}{(1-\alpha)^{3/2}}$$

$$\alpha = a/w$$

ここにaはき裂長さ、Bは試験片板厚、B'は試験片のサイド・グループ間の厚さ、Wは試験片幅、Pは荷重である。疲労試験の繰返し速度は電位差計測時を除き1.0および2.5 Hzとした。電位差計測時には静止、又は繰返し速度を0.0033~0.0167 Hzに減速した。

2.3 静荷重下でのき裂伝播試験

本試験には疲労試験に用いたものと同一の試験機を用いた。供試材はSUS304鋼のみで供試試験片は疲労試験を途中まで実施した2本の試験片すなわち、 $a/w = 0.521$ 、最終 $\Delta K = 193 \text{ kg} \cdot \text{mm}^{-3/2}$ (Sp. B) および $a/w = 0.521$ 、最終 $\Delta K = 188 \text{ kg} \cdot \text{mm}^{-3/2}$ (Sp. C) を用いた。Sp. Cには最大荷重点を少し越えた点(荷重点変位7.2 mm)まで荷重を加え、その後除荷した。荷重-荷重点変位曲線をX-Yレコーダにて記録した。また電位-時間、荷重-時間をX-tレコーダにて記録した。荷重点変位はチャックピンの位置に装着した出力端子付ダイヤルゲージにて測定した。その後試験片には疲労き裂を入れ静的負荷により進展したき裂面を区別できるようにした。一方Sp. Bは最大荷重点に到る前の数カ所(荷重点変位量3.6 mm, 4.2 mm, 4.8 mm及び5.2 mm)で順次除荷一再負荷をした。また除荷した時点で電位差を測定した。それぞれの荷重レベルに対応するき裂進展量を区別するために、揮発性インク、及び400℃程度でのヒート・チンテングを行った。試験終了後、さらに疲労き裂を入

れ、静的荷重下でのき裂長さを識別できるようにした。静的負荷によるき裂長さはマイクロメータ付デジタル工具顕微鏡を30倍にて使用し、板厚表面部も含め板厚方向に9点計測した。

2.4 電位差計測システム

疲労き裂伝播及び静的負荷によるき裂伝播量の計測に使用した電位差法による計測システムを図2に示す。同図にはCT試験片を試験機に装着した様子を示したが負荷を加えない場合における計測にも電気的な絶縁について注意を払っている。ここに示す計測システムについての具体的検討は次節以降に述べる。ここではシステムの概要を示す。

試験片に通電する直流電源（菊水PAD-105改造）の電流設定を行う。ここでは電流計測部に内蔵されている抵抗（ 0.1Ω ）にマイクロボルトメータを直結し、 0.01 A の精度で読み取れるようにしている。直流定電源からの電流はRDC電位差法の場合、水銀リレー部で一定時間で極性を交番させる。極性の交番はパーソナル・コンピュータ（HP-9825T）によりデータ処理／制御ユニット（HP3497A）の電源アクチュエータの通電-停止を繰返し、それにより水銀リレー部が一定時間間隔で極性が交番するようにしている。一方、試験片からの電位の出力はデータ処理／制御ユニットの内蔵のマイクロボルトメータを通してパーソナル・コンピュータに記憶されるようにしてある。図2は以上に述べた過程を図式的に示したものである。通常の直流法（NDC電位差法）を行う場合は上述の水銀リレー部を通電状態にパーソナルコンピュータから命令を送ればよい。

これらの各システムコンポーネント用供給電源については、一般の交流公称 100 V は $100 \sim 105 \text{ V}$ 程度の幅で経時変化するため、また他の装置などからパルス的なノイズが入りやすいため、 100 V 安定化電源装置（NF回路、PA-213）を通して安定なAC 100 V を全て使用している。

試験片と治具はピンをビニール・シートで巻いて絶縁した。

2.5 データ処理

き裂の進展とともに電位差 ΔV は増大する。その様子を模式的に示すと図3および図4のごとくなる。図3-(a)の繰返し数 N は時間 T と同意語と見ることができ T/Hz で表わすことができ、例えば繰返し数 N_n で ΔV_n となる。この時、図3-(b)のように $a/w - V_a/V_{a0}$ の関係が既に知られており、 A_0, A_1, A_2 が知られていれば ΔV より $V_a (= V_{a0} + \Delta V)$ を求め、さらに a/w を知ることができる。 W は実験開始前に試験寸法測定によって得られるので、結局、繰返し数 N （あるいは時間 T_N ）の時のき裂長さ a_n を知ることができるわけであって、図3-(c)のような $a - N(T)$ 関係図を作成することができる。以上の動作、手順を繰返すことによって $a - N, (T)$ を連続的あるいは不連続的にも知ることが可能となる。疲れき裂測定の場合はさらに、図4-(a)に示すごとく、 N_m の前後 $N_m - 2 \sim N_m + 2$ までの5点（これは奇数点ならば何点でもよい）をとり、その $a_m - N_m$ の5組の点によって $a_m = f(N_m) = C_0 + C_1 N_m + C_2 N_m^2$ の2次式の多項式を仮定した最小二乗法による多項式フィテングを計算処理し、 C_0, C_1, C_2 を求めその時のき裂長さ a および疲労き裂伝播速度 $da/dN = C_1 + 2C_2 N$ を求め、さらに(1)あるいは(2)式によって応力拡大係数範囲 ΔK を計算する。よって、計算処理の最終目標である、疲労き裂伝播速度 da/dN と応力拡大係数範囲 ΔK の関係が得られる。この動作を N_m, \dots と繰返すことによって図4-(b)を得ることができる。

前項までに述べたように、この種の実験の全過程において計算処理をし、そのデータの客観的な取扱いと、その処理の迅速化を期することが不可欠となる。

3. 実験結果

3.1 軟鋼の電位差測定

サイドグループをつけたCT試験片とつけない試験片を用意し供試した、図5にサイド・グループの無い試験片(No.5)の目視によるき裂長さ(試験片の電位差(NDC電位差法による)変化の関係について示した。同図にはビーチマークによって得た試験片の表・裏面、表・裏面から1/4内部、中央部のき裂長さについても示している。同図より知られるようにき裂長さが表面と裏面で差が認められた。き裂先端形状の湾曲も認められた。一方、サイド・グループをつけた試験片ではサイド・グループ無しのCT試験片にみられた湾曲は認められなかった。図6にビーチマークにみられる、サイド・グループのき裂先端湾曲に及ぼす影響を模式的に示す。

サイド・グループの効果は巨視的なき裂進展挙動に大きく現われ、湾曲を防止することがあきらかとなった。目視による表・裏のき裂長さの平均に対する較正曲線をサイド・グループの無い場合と有る場合について、それぞれ図7および図8に示す。1次式と2次式を示すが、2次式の方が良好なフィッティングがみられた。得られた較正式は次の通りである。

サイド・グループ無しの場合(No.5)

$$\begin{cases} \text{1次式} & a/w = -0.2502 + 0.6932 (V_a/V_{a0}) \\ \text{2次式} & a/w = 0.1337 + 0.0266 (V_a/V_{a0}) + 0.2875 (V_a/V_{a0})^2 \end{cases}$$

サイド・グループ有りの場合(No.6)

$$\begin{cases} \text{1次式} & a/w = -0.273 + 0.740 (V_a/V_{a0}) \\ \text{2次式} & a/w = -0.803 + 1.675 (V_a/V_{a0}) - 0.410 (V_a/V_{a0})^2 \end{cases}$$

2次式において2次の項がサイド・グループ有りの場合にマイナスとなっていることがわかる。図7および8の比較より知られるように、サイド・グループの無い場合は、 a/w は V_a/V_{a0} に対して直線関係から増加の傾向を示すのに対し、サイド・グループの有る場合は逆の傾向がやや認められた。

3.2 SUS304鋼の電位差測定

前項で述べたNDC電位差法による軟鋼CT試験片による結果を踏えて、SUS304鋼CT試験片を用い、高温・高圧水中試験の場合を前提として次の各項目について検討した。

3.2.1 CT試験片への通電端子及び出力端子の取付け

(1) 通電端子及び出力端子位置

通電端子位置及び出力端子位置の決定には(a)試験片と治具との位置関係及び試験片に取付ける他の計測器具(CODゲージ等)との関係、(b)感度良く計測できることの2点を考慮し、通電端子と出力

前項までに述べたように、この種の実験の全過程において計算処理をし、そのデータの客観的な取扱いと、その処理の迅速化を期することが不可欠となる。

3. 実験結果

3.1 軟鋼の電位差測定

サイドグループをつけたCT試験片とつけない試験片を用意し供試した、図5にサイド・グループの無い試験片(No.5)の目視によるき裂長さ(試験片の電位差(NDC電位差法による)変化の関係について示した。同図にはビーチマークによって得た試験片の表・裏面、表・裏面から1/4内部、中央部のき裂長さについても示している。同図より知られるようにき裂長さが表面と裏面で差が認められた。き裂先端形状の湾曲も認められた。一方、サイド・グループをつけた試験片ではサイド・グループ無しのCT試験片にみられた湾曲は認められなかった。図6にビーチマークにみられる、サイド・グループのき裂先端湾曲に及ぼす影響を模式的に示す。

サイド・グループの効果は巨視的なき裂進展挙動に大きく現われ、湾曲を防止することがあきらかとなった。目視による表・裏のき裂長さの平均に対する較正曲線をサイド・グループの無い場合と有る場合について、それぞれ図7および図8に示す。1次式と2次式を示すが、2次式の方が良好なフィッティングがみられた。得られた較正式は次の通りである。

サイド・グループ無しの場合(No.5)

$$\begin{cases} \text{1次式} & a/w = -0.2502 + 0.6932 (V_a/V_{a0}) \\ \text{2次式} & a/w = 0.1337 + 0.0266 (V_a/V_{a0}) + 0.2875 (V_a/V_{a0})^2 \end{cases}$$

サイド・グループ有りの場合(No.6)

$$\begin{cases} \text{1次式} & a/w = -0.273 + 0.740 (V_a/V_{a0}) \\ \text{2次式} & a/w = -0.803 + 1.675 (V_a/V_{a0}) - 0.410 (V_a/V_{a0})^2 \end{cases}$$

2次式において2次の項がサイド・グループ有りの場合にマイナスとなっていることがわかる。図7および8の比較より知られるように、サイド・グループの無い場合は、 a/w は V_a/V_{a0} に対して直線関係から増加の傾向を示すのに対し、サイド・グループの有る場合は逆の傾向がやや認められた。

3.2 SUS304鋼の電位差測定

前項で述べたNDC電位差法による軟鋼CT試験片による結果を踏えて、SUS304鋼CT試験片を用い、高温・高圧水中試験の場合を前提として次の各項目について検討した。

3.2.1 CT試験片への通電端子及び出力端子の取付け

(1) 通電端子及び出力端子位置

通電端子位置及び出力端子位置の決定には(a)試験片と治具との位置関係及び試験片に取付ける他の計測器具(CODゲージ等)との関係、(b)感度良く計測できることの2点を考慮し、通電端子と出力

端子はき裂をはさんで点対称の位置とした。図9は通電端子及び出力端子位置として検討した3つの場合、図10はそれらの位置での出力電圧の計測結果を示したものである。

(2) 通電端子線直径及び取付方法

通電端子及び出力端子ともに(a取付は容易であること(b高温高圧純水中で用いるため、き裂伝播に及ぼす電気化学的影響を少なくするため試験片と同一材質であること、(c通電端子は接触抵抗による熱発生の防止のため、ある程度の太さが必要なことを考慮し、通電端子及び出力端子ともにSUS304ステンレス鋼のM3のネジを用いることにした。表2は検討に用いたデータである。

3.2.2 通電方法の検討

(1) 通電電流量依存性

高温高圧純水中におけるき裂長さ計測に電位差法を用いるためには、精度の良い計測を行うことが必要であるとともに、き裂伝播に及ぼす通電の影響をできるだけ抑えなければならない。ここでは通電電流による出力電圧の変化を調べた。通電端子位置及び出力端子位置は図9-(a)に示す位置である。図11から切欠の単位長さ当りの出力電圧を通電電流値に対してプロットしたものはほぼ直線関係にあることがわかる。これより、通電電流値4Aでは $10\mu\text{V}/\text{mm}$ の出力があることが示される。ただし、信号処理/制御ユニットのマイクロボルトメータの精度は $\pm 0.5\mu\text{V}$ 程度なので4Aの電流値で1mmのき裂伝播量に対しては $\pm 0.05\text{mm}$ の誤差が生じる。疲労き裂伝播試験に関する規格から本試験で用いる試験片形状及び寸法ではき裂長さの測定の間隔が1mm以内程度に抑えることが望ましいとされている¹⁸⁾。この点も考慮すれば電流値を4A以上にし、 $10\mu\text{V}$ 程度の変化を読み取るようにすれば、き裂長さを $\pm 5\%$ 以下の精度で計測できると考えられる。

(2) 通電電流をパルスで与える場合のパルス周期及びパルス回数

電位差計測システムには通電電流値をできるだけ小さくすることに加え、その通電時間を短縮することが必要である。ここでは、通電時間の短縮の方法として通電電流の極性を数回交番させ、それによる出力電圧を計測した後に、通電停止をするようにした。図12にはその流れを示してある。図12に示すパルス波形の模式図の番号①～⑨が1個のパルスである。はじめ1個のパルス周期を0.6～4.0秒まで6つの場合に分けて、出力電圧の変化をみた。図13(a)及び(b)は $a/w = 0.504$ (Sp. D)、及び $a/w = 0.194$ (Sp. A)の場合について示したものである。図より1パルスの周期が1秒以上では出力電圧はほぼ一定になることがわかる。表3には、Sp. Dの場合についてパルス周期及び1回の計測のパルス回数をパラメータにして、ばらつきをみたものである。表から、パルス周期1秒以上でパルス回数を3個以上にし、その平均値をとれば、ばらつきは $\pm 0.5\mu\text{V}$ 以内になる。表4-(1)、及び(2)には疲労き裂伝播時での計測の結果を示してある。この場合においても、放電加工による切欠の場合と同様に、ばらつきが $\pm 0.5\mu\text{V}$ 以下になり、十分き裂進展の推定に用いることができる。

(3) システムの応答性

以上の検討からパルス周期を1秒以上、パルス回数を3個以上にすれば測定のばらつきを少なくできることが示された。高温高圧水中ではき裂面に形成される腐食物等の影響も考えられるので、できるだけ最大荷重点に近い負荷レベルでき裂長さを計測することが望まれる。このことより、荷重波形を三角波の繰返し荷重と仮定し、平均荷重以上でき裂長さを計測するとしても、ここで考えている電位差計測システムでは1回の計測に3秒は要するので、繰返し荷重周期は12秒以上のものでなければならない。この点がさらに速い荷重速度の試験では問題となる。

3.2.3 切欠又はき裂長さと電位差

(1) 破面先端形状の影響

3.1で述べたように、電位差法を用いるに当たり、破面先端の湾曲により電位差とき裂長さの関係が若干異なることが示された。これは負荷レベルが高くなれば、なおき裂の湾曲が大きくなり、き裂長さとき裂長の正確な関係が得られなくなる。前節では、断面形状が半円形のサイド・グループを軟鋼のCT試験片に加工することにより、き裂の湾曲を防止し、電位差とき裂長さの良好一致を見出している。ここではこの結果にもとづき、断面形状が半径2.5mmの半円形の、板厚の20%サイド・グループをき裂伝播方向に平行に加工したもので、疲労き裂伝播試験を行っている。試験片には負荷の途中で負荷の振幅及び応力比を変化させることにより、ビーチ・マークを破面上につけ、試験後に板厚表面を含む板厚内部数点のき裂長さを読み取り、電位差との対応をみたものである。

図14(a)、(b)はそれぞれ $a/w = 0.194$ (Sp. A)、 $a/w = 0.196$ (Sp. B)についての結果である。疲労き裂伝播はともに負荷応力拡大係数範囲 $\Delta K = 60 \sim 190 \text{ kg} \cdot \text{mm}^{-3/2}$ (R比=0~0.1)程度の範囲である。ただし同図(b)のSp. Bの結果には延性き裂伝播と電位差の関係も示してある。同図(a)、(b)に示されるように、出力電位に対応するき裂の長さは板厚表面及び内部をとわずほぼ1mm以上になっている。同図(a)のSp. Aの場合は同じ電位差に対応するき裂長さは板厚表面と内部で若干のばらつきがあるが、それらの平均値と電位差の関係はよりばらつきの少ないほぼ直線で近似できる。一方同図(b)のSp. Bの場合は同じ電位差に対応するき裂長さは、電位差の大小のレベルにかかわらず板厚表面が内部に比較して若干短かめに評価される。Sp. Aの場合と同様に、板厚表面及び内部のき裂長さとき裂長の関係が最もよく対応する。

(2) 温度依存性

高温における電位差計測の場合、問題となるのは常温に比べて(i)対象とする材料の比抵抗の上昇による電位差の上昇、(ii)変形の影響の増大、(iii)通電端子及び出力端子の酸化等による計測値のばらつきである。ここでは288℃における結果と常温とのそれを比較した。図15には288℃における無次元化したき裂長さ a/w とそれに対応する無次元化した電位 V_a/V_{ao} の関係を示す。ここに V_{ao} はSp. Bの放電加工による切欠の288℃における電位とした。同図から288℃においても切欠、疲労き裂とも常温における電位とき裂長さの関係にはほぼ一致する。ここに疲労き裂の点は応力拡大係数範囲 ΔK が $60 \sim 100 \text{ kg} \cdot \text{mm}^{-3/2}$ である。また、これらの測定点のばらつきは1 μV 以下となり常温と変わらず安定している。同一長さの切欠又はき裂による電位差は常温に比較して、比抵抗の増加分だけ増加しているだけである。288℃においても、その温度での初期の電位差 V_{ov} をあらかじめ求めておき、それにより、き裂進展による電位差 V_T を除いたものを用いるかあるいは常温および288℃における比抵抗を正確に求め、その比を測定される電位差に乗じるようにすれば常温におけるき裂長さとき裂長の校正曲線を用いて、288℃のき裂伝播を推定できる。

(3) 負荷依存性

ここでは疲労き裂伝播に電位差法を用いる場合の電位差への負荷の影響を検討した。検討は試験片を試験機から電氣的に絶縁しない場合と絶縁した場合についての比較、及び疲労き裂伝播時におけるき裂の開閉口について行った。

図16には試験片を試験機から電氣的絶縁をせずに繰返し荷重を加えた場合の電位差の変化の例を示した。同図は、通常の直流電位差法(通電電流値5A)にして得たものである。同図(a)の電位差及び荷重出力を時間に対して記録したもの、同図(b)は荷重出力に対して電位差を記録したものである。

得た結果を図18に示す。サイドグループを有する試験片で若干バラツキがみられるが、一般の疲労き裂伝播挙動との差違は認められなかった。サイドグループの効果は、 ΔK の比較的小さい領域で、き裂伝播速度を増大させる効果がある。軟鋼のCT試験片で得た ΔK_{th} は約 $90 \sim 100 \text{ kg} \cdot \text{mm}^{-3/2}$ ふきにあると思われる。

3.3.2 SUS304鋼の疲労き裂伝播特性

SUS304鋼の疲労き裂伝播曲線を描いたものが図19である。データ処理はパーソナルコンピュータを用いた方法により自動化されている。同図中に遊尺顕微鏡により光学的に測定したデータから直接き裂伝播速度を算出したものも合せて示した。図よりRDC電位差法を用いた方法は光学的とほぼ一致しており、疲労き裂伝播の計測方法として十分期待できるものと考えられる。

3.3.3 静的負荷によるき裂伝播

疲労き裂伝播試験において荷重応力拡大係数範囲 ΔK を約 $190 \text{ kg} \cdot \text{mm}^{-3/2}$ まで加えた2本の試験片(Sp. BおよびSp. C)に静的負荷を加えてき裂伝播させ、延性き裂播量と電位差の関係を調べた。Sp. Cは最大荷重点を若干越える段階まで負荷を加えた。その荷重-荷重点変位曲線を図20に示す。一方、Sp. Bは同図に示す番号に従い、順次負荷-除荷-再負荷を繰返した。各負荷レベルに伴うき裂伝播に対応する電位差は除荷後計測された。同図中には負荷に対応させたき裂伝播量と電位差の関係を前節で得たき裂長さ-電位差の関係とあわせて示したものが図21である。図より、静的負荷による延性き裂の伝播量と電位差の関係もほぼ疲労き裂長さ-電位差の関係の線上に示される。これらの結果より、本試験の範囲では、疲労き裂伝播及び延性き裂伝播ともに一本の校正曲線で推定することができる。このようにき裂先端部の塑性変形が大きく拡大されても、き裂長さ-電位差の関係が放電加工による切欠及び疲労き裂と電位差の関係と変わらない理由としては(a)塑性変形による比抵抗の変化は小さく、本実験での電流値ではその影響が表面に現われないこと、(b)試験片全体の形状変形が小さく、またサイド・グループにより、き裂のトンネリングが防止されること、(c)疲労き裂の最終の負荷レベルが高く、静的負荷を加える時点ですぐにその影響が打消されていたこと等があげられる。以上から、本試験の範囲内では疲労き裂伝播又は延性き裂伝播にかかわらず一本の校正曲線で推定することができる。

4. ま と め

高温高圧水中のき裂伝播特性のき裂長さ測定に当たっての予備的な実験を室温、大気中にて実施した結果、次の点があきらかになった。

- 1) 電位差法により良好なデータが得られたが、今後高温などの環境下での実験にあたっては、サイド・グループを入れたCT試験片を用いるのが有望である。
- 2) 計測システムについては本実験に使用したシステムで十分試験に供することが可能であることがわかった。
- 3) 出力電圧端子位置は試験の結果の良否を大きく左右するためその取付には細心の注意を払う必要がある。

得た結果を図18に示す。サイドグループを有する試験片で若干バラツキがみられるが、一般の疲労き裂伝播挙動との差違は認められなかった。サイドグループの効果は、 ΔK の比較的小さい領域で、き裂伝播速度を増大させる効果がある。軟鋼のCT試験片で得た ΔK_{th} は約 $90 \sim 100 \text{ kg} \cdot \text{mm}^{-3/2}$ ふきにあると思われる。

3.3.2 SUS304鋼の疲労き裂伝播特性

SUS304鋼の疲労き裂伝播曲線を描いたものが図19である。データ処理はパーソナルコンピュータを用いた方法により自動化されている。同図中に遊尺顕微鏡により光学的に測定したデータから直接き裂伝播速度を算出したものも合せて示した。図よりRDC電位差法を用いた方法は光学的とほぼ一致しており、疲労き裂伝播の計測方法として十分期待できるものと考えられる。

3.3.3 静的負荷によるき裂伝播

疲労き裂伝播試験において負荷応力拡大係数範囲 ΔK を約 $190 \text{ kg} \cdot \text{mm}^{-3/2}$ まで加えた2本の試験片(Sp. BおよびSp. C)に静的負荷を加えてき裂伝播させ、延性き裂播量と電位差の関係を調べた。Sp. Cは最大荷重点を若干越える段階まで負荷を加えた。その荷重-荷重点変位曲線を図20に示す。一方、Sp. Bは同図に示す番号に従い、順次負荷-除荷-再負荷を繰返した。各負荷レベルに伴うき裂伝播に対応する電位差は除荷後計測された。同図中には負荷に対応させたき裂伝播量と電位差の関係を前節で得たき裂長さ-電位差の関係とあわせて示したものが図21である。図より、静的負荷による延性き裂の伝播量と電位差の関係もほぼ疲労き裂長さ-電位差の関係の線上に示される。これらの結果より、本試験の範囲では、疲労き裂伝播及び延性き裂伝播ともに一本の校正曲線で推定することができる。このようにき裂先端部の塑性変形が大きく拡大されても、き裂長さ-電位差の関係が放電加工による切欠及び疲労き裂と電位差の関係と変わらない理由としては(a)塑性変形による比抵抗の変化は小さく、本実験での電流値ではその影響が表面に現われないこと、(b)試験片全体の形状変形が小さく、またサイド・グループにより、き裂のトンネリングが防止されること、(c)疲労き裂の最終の負荷レベルが高く、静的負荷を加える時点ですぐにその影響が打消されていたこと等があげられる。以上から、本試験の範囲内では疲労き裂伝播又は延性き裂伝播にかかわらず一本の校正曲線で推定することができる。

4. ま と め

高温高圧水中のき裂伝播特性のき裂長さ測定に当たっての予備的な実験を室温、大気中にて実施した結果、次の点があきらかになった。

- 1) 電位差法により良好なデータが得られたが、今後高温などの環境下での実験にあたっては、サイド・グループを入れたCT試験片を用いるのが有望である。
- 2) 計測システムについては本実験に使用したシステムで十分試験に供することが可能であることがわかった。
- 3) 出力電圧端子位置は試験の結果の良否を大きく左右するためその取付には細心の注意を払う必要がある。

- 4) 計測システムは試験開始に当たって十分暖機する必要がある。
- 5) 電位差計測系の精度を考慮すれば通電電流値は4 A以上としたほうがよい。
- 6) 通電電流極性の交番回数を3回以上とし、出力電圧を計測し、その絶対値の平均値を採用すれば、計測値のばらつきを1 μ V未満に抑えることができる。
- 7) 試験片を試験機から電氣的に絶縁することにより安定した出力電位を得ることができる。また、通電電流値が5~10 A程度であれば出力電位は繰返し荷重に依存しない。
 今後の課題としては以下の項目が挙げられる。
 - (1) 高温高圧純水中の通電側及び出力電位側導線部の開発及び試験片の絶縁方法。
 - (2) 高温高圧水中き裂伝播試験による確認。

謝 辞

終りに、本試験に関して御協力頂いた、日本原子力研究所安全工学部構造強度研究室宮園昭八郎室長に感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) A. Trost ; Metallursh, vol. 23 (1944), P.308
- 2) R. Brazill et. al.; J. Engineering Materials and Technology vol. 101, No.7, (1979), pp. 199 - 204
- 3) R. P. Wei and R. L. Brazill. ASTM STP 738, (1981), pp. 103~119
- 4) T. A. Prater and L. F. Coffin ; Proc. 2nd Int. Conf. on Environmental Degoodation of Engineering Materials, Virginia Polytechnic Institute, (1981), pp. 59-72
- 5) T. A. Prater and L. F. Coffin ; General Electric Technical Information Series, No.81, CRD067 (1981), pp 639 - 654
- 6) T. A. Prater and L. F. Coffin ; General Electric Technical Information Series No.81. CRD 013, (1981), pp. 627 - 638
- 7) 山内, 他 ; 日本鉄鋼協会第102回講演大会講演概要集(II), 鉄と鋼, 第67巻, 第13号 (1981)
- 8) E. Hay and M. W. Brown ; Fatigue of Engineering Materials and Structures vol. 4, No.3 (1981), pp. 287 - 290
- 9) F. P. Ford and Silverman ; Corrosion, Vol. 30, No.11 (1980), pp. 597 ~ 603
- 10) 松下, 三好 ; 日本機械学会論集, 第46巻406号, (1980), pp. 613 - 620
- 11) 古平, 他 ; 日本鉄鋼協会第102回講演大会講演概要集(II), 鉄と鋼, 第67巻第13号, (1981), pp. A173 - A176

- 4) 計測システムは試験開始に当たって十分暖機する必要がある。
- 5) 電位差計測系の精度を考慮すれば通電電流値は4 A以上としたほうがよい。
- 6) 通電電流極性の交番回数を3回以上とし、出力電圧を計測し、その絶対値の平均値を採用すれば、計測値のばらつきを1 μ V未満に抑えることができる。
- 7) 試験片を試験機から電氣的に絶縁することにより安定した出力電位を得ることができる。また、通電電流値が5~10 A程度であれば出力電位は繰返し荷重に依存しない。
今後の課題としては以下の項目が挙げられる。
- (1) 高温高圧純水中の通電側及び出力電位側導線部の開発及び試験片の絶縁方法。
- (2) 高温高圧水中き裂伝播試験による確認。

謝 辞

終りに、本試験に関して御協力頂いた、日本原子力研究所安全工学部構造強度研究室宮園昭八郎室長に感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) A. Trost ; Metallursh, vol. 23 (1944), P.308
- 2) R. Brazill et. al.; J. Engineering Materials and Technology vol. 101, No.7, (1979), pp. 199 - 204
- 3) R. P. Wei and R. L. Brazill, ASTM STP 738, (1981), pp. 103~119
- 4) T. A. Prater and L. F. Coffin ; Proc. 2nd Int. Conf. on Environmental Degoodation of Engineering Materials, Virginia Polytechnic Institute, (1981), pp. 59-72
- 5) T. A. Prater and L. F. Coffin ; General Electric Technical Information Series, No.81, CRD067 (1981), pp. 639 - 654
- 6) T. A. Prater and L. F. Coffin ; General Electric Technical Information Series No.81. CRD 013, (1981), pp. 627 - 638
- 7) 山内, 他 ; 日本鉄鋼協会第102回講演大会講演概要集(II), 鉄と鋼, 第67巻, 第13号 (1981)
- 8) E. Hay and M. W. Brown ; Fatigue of Engineering Materials and Structures vol. 4, No.3 (1981), pp. 287 - 290
- 9) F. P. Ford and Silverman ; Corrosion, Vol. 30, No.11 (1980), pp. 597 ~ 603
- 10) 松下, 三好 ; 日本機械学会論集, 第46巻406号, (1980), pp. 613 - 620
- 11) 古平, 他 ; 日本鉄鋼協会第102回講演大会講演概要集(II), 鉄と鋼, 第67巻第13号, (1981), pp. A173 - A176

- 4) 計測システムは試験開始に当たって十分暖機する必要がある。
- 5) 電位差計測系の精度を考慮すれば通電電流値は4 A以上としたほうがよい。
- 6) 通電電流極性の交番回数を3回以上とし、出力電圧を計測し、その絶対値の平均値を採用すれば、計測値のばらつきを1 μ V未満に抑えることができる。
- 7) 試験片を試験機から電氣的に絶縁することにより安定した出力電位を得ることができる。また、通電電流値が5～10 A程度であれば出力電位は繰返し荷重に依存しない。
 今後の課題としては以下の項目が挙げられる。
 - (1) 高温高圧純水中の通電側及び出力電位側導線部の開発及び試験片の絶縁方法。
 - (2) 高温高圧水中き裂伝播試験による確認。

謝 辞

終りに、本試験に関して御協力頂いた、日本原子力研究所安全工学部構造強度研究室宮園昭八郎室長に感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) A. Trost ; Metallursh, vol. 23 (1944), P.308
- 2) R. Brazill et. al.; J. Engineering Materials and Technology vol. 101, No.7, (1979), pp. 199 - 204
- 3) R. P. Wei and R. L. Brazill. ASTM STP 738, (1981), pp. 103~119
- 4) T. A. Prater and L. F. Coffin ; Proc. 2nd Int. Conf. on Environmental Degradation of Engineering Materials. Virginia Polytechnic Institute, (1981), pp. 59-72
- 5) T. A. Prater and L. F. Coffin ; General Electric Technical Information Series, No.81, CRD067 (1981), pp. 639 - 654
- 6) T. A. Prater and L. F. Coffin ; General Electric Technical Information Series No.81. CRD 013, (1981), pp. 627 - 638
- 7) 山内, 他 ; 日本鉄鋼協会第102回講演大会講演概要集(II), 鉄と鋼, 第67巻, 第13号 (1981)
- 8) E. Hay and M. W. Brown ; Fatigue of Engineering Materials and Structures vol. 4, No.3 (1981), pp. 287 - 290
- 9) F. P. Ford and Silverman ; Corrosion, Vol. 30, No.11 (1980), pp. 597 ~ 603
- 10) 松下, 三好 ; 日本機械学会論集, 第46巻406号, (1980), pp. 613 - 620
- 11) 古平, 他 ; 日本鉄鋼協会第102回講演大会講演概要集(II), 鉄と鋼, 第67巻第13号, (1981), pp. A173 - A176

- 12) 布村, 肥後; 同上, pp. A 177 - A 180
- 13) 中野; 同上, pp. A 193 - A 196
- 14) 奥村; 鉄と銅, 第67巻, 第13号. (1981), p. 58
- 15) 藤田, 他; 鉄と鋼, 第67巻, 第2号, (1981), pp. 382 - 390
- 16) ASTM. Standard E 399 - 72, (1972)
- 17) ASTM. Standard E 399 - 78, (1978)
- 18) ASTM. Standard E 647

表 1 ポテンシャル法の長所及び短所

| | 長 所 | 短 所 | 共 通 の 問 題 点 |
|-------|---|--|--|
| A C 法 | <ul style="list-style-type: none"> 表皮効果により、直流式に比し通電電流を小さくできる。 熱起電力の影響を除去でききる。 S/N比がDC法に比して良好 | <ul style="list-style-type: none"> 表皮効果があるので使用周波数の選択の注意必要。(き裂のトネリクダ変形大の場合) 通電導線の動きによるポテンシャル変化に注意を払う必要がある。 | <p>(1) 計測上の問題</p> <ul style="list-style-type: none"> 通電端子、出力端子の位置の設定、取付方法等の影響 塑性域の増大によるポテンシャル増分の影響 破面先端の形状の影響(ピーチマーク形状) き裂の開閉口の影響(特に環境中疲労き裂進展計測の場合) 割れ破面の状態の影響[粒内(ディンプル・パターン、ストリエーションパターン)、粒界等] <p>(2) 環境中き裂伝播に及ぼす影響</p> <ul style="list-style-type: none"> 腐食電位、割れ速度等への影響 |
| | <ul style="list-style-type: none"> AC法に比してシステムが簡単、取扱い容易 | <ul style="list-style-type: none"> 注入電流量が大きく、試験体が発熱しやすい。(BS. DD 19 では10 A/cm²以上を推奨) 熱起電力の影響が大きい。(温度変動等の防止が必要) | |
| D C 法 | <ul style="list-style-type: none"> 長時間使用によるドリフトを少なくできる。 通電の極性の交番及び通電時間の短縮を併せて実施することにより環境中の測定の可能性が大きい。 | <ul style="list-style-type: none"> 極性の交番時に雑音の発生を伴う可能性がある。 極性交番によるシステムの応答性が低い。 | |
| | <ul style="list-style-type: none"> Reversed DC法 | | |

表 2 通電端子径及び取付方法による出力電位差

| 端子径 | | 電位差 (μV) [*] | | | | |
|-----|--------------------|------------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------------|
| | | 9.715 ($a/w=0.194$) | 20.035 ($a/w=0.401$) | 25.200 ($a/w=0.504$) | 27.985 ($a/w=0.560$) | 単位切欠長さ当りの 電位差($\mu V/mm$) |
| 1 | | 376.0 | 513.0 | 582.0 | 613.0 | 12.97 |
| 2 | | 379.0 | 515.0 | 580.0 | 615.0 | 12.92 |
| 3 | (i) | 378.5 | 519.5 | 581.0 | 616.0 | 13.00 |
| | (ii) ^{**} | 379.0 | — | 578.5 | 610.0 | 12.64 |
| 4 | | 385.5 | 514.5 | 580.0 | 620.0 | 12.84 |

注) * 通電電流 5 A

** M3 のステンレス製ネジ

表 3 電位差計測に及ぼすパルスの周期及び個数

| | | 電 位 差 (μV) | | | | | | |
|----------------------------|---|-------------------------|------------------------|------------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|--------|
| | | 1 個 の パ ル ス の 周 期 (秒) | | | | | | |
| | | 0.6 | 0.8 | 1.0 | 1.2 | 2.1 | 4.0 | |
| パ ル ス 個 数 個 | | 最大 最小 平均 | 最大 最小 平均 | 最大 最小 平均 | 最大 最小 平均 | 最大 最小 平均 | 最大 最小 平均 | |
| | 1 | × | 5715-5705 — | — — | — — | — — | — — | — — |
| | 2 | × | 5715-5705 5713-5705 | 5715-5705 5715-5708 | 5715-5705 5715-5708 | 5715-5705 5713-5705 | 5715-5705 5713-5708 | |
| | 3 | × | 5715-5705 5713-5707 | 5715-5705 5715-5705 | 5715-5705 5713-5708 | 5715-5705 5715-5707 | 5715-571.0 5713-5707 | |
| | 4 | × | 5715-5695 5709-5701 | 5715-5705 5713-5709 | 5715-5705 5710-5706 | 5715-5705 5711-5706 | 5715-5705 5711-5708 | |
| | 5 | × | 5720-5705 5715-5712 | 5715-5705 5715-5712 | 5715-5705 5714-571.1 | 5715-5705 5714-5709 | 5715-5705 5711-5708 | |

供試試験片は切欠深さ $a = 25.1\text{mm}$, 切欠幅 0.3mm のもの。

表 4 (1) 検出電位差のパルス周期依存性

(試験片 No 20)

| 検出電位差 (μV) 繰返数 N | パルス周期 (秒) | | | |
|-------------------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| | 2.0 | 1.2 | 1 | 0.8 |
| 102000 ($a/w=0.4245$) | 511.3 - 510.8 | 511.3 - 511.0 | 511.5 - 511.2 | 511.4 - 511.0 |
| 103000 ($a/w=0.4364$) | 516.2 - 515.8 | 516.1 - 515.9 | 516.2 - 515.7 | 516.2 - 515.7 |
| 106000 ($a/w=0.4562$) | 527.6 - 527.1 | — | 527.7 - 527.1 | 527.5 - 527.3 |
| 107000 ($a/w=0.4678$) | 532.9 - 532.5 | 532.8 - 532.5 | 533.0 - 532.7 | 532.9 - 532.7 |
| 109000 ($a/w=0.5089$) | 551.3 - 551.0 | 551.7 - 550.9 | 551.3 - 551.1 | 551.4 - 550.8 |
| 11000 ($a/w=0.538$) | 568.1 - 567.8 | 568.2 - 568.0 | 568.5 - 568.1 | 568.4 - 568.2 |

表 4 (2) 検出電位差のパルス個数依存性

(試験片 No 20)

| 繰返数 N | パルス個数 I | | |
|------------------------|---------------|---------------|--|
| | 5 | 3 | |
| 80620 ($a/w=0.3582$) | 465.0 - 464.5 | 465.0 - 464.7 | |

表 5 検出電位に及ぼす試験片の絶縁の有無の影響

| 試験片 No | 繰返数 N | 荷重レベル (kg) ($K: \text{kg mm}^{-\frac{1}{2}}$) | 電位差 (μV) | |
|--------|--------|--|-----------------------|---------------|
| | | | 絶縁有 | " 無 |
| 20 | 103000 | 1800 ($K=145$) | 516.2 - 515.8 | 407.8 - 406.2 |
| | | 250 ($K=15.7$) | 551.3 - 551.0 | 438.6 - 438.4 |
| | 109000 | 500 ($K=31.3$) | " | 436.3 - |
| | | 1000 ($K=62.6$) | " | 435.6 - 435.3 |
| 19 | 157220 | 1800 ($K=90.6$) | 511.4 - 511.1 | 405.1 - 404.1 |

表6 電位差の荷重依存性

| 試験片条件 | 荷重(kg) ($K \text{ kg mm}^{-\frac{1}{2}}$) | 電位差 (μV) |
|--|---|-----------------------|
| 繰返し数 N = 18000 き裂長さ a = 15.38 (疲労き裂長さ) a _f = 5.665 | 75 (2.7) | 433.5 - 433.0 |
| | 250 (9.1) | 434.4 - 434.1 |
| | 500 (18.1) | 434.7 - 434.4 |
| | 1000 (36.3) | 435 - 434.7 |
| | 1500 (54.4) | 435.2 - 434.7 |
| | 2000 (72.5) | 434.7 - 434.6 |
| | 2500 (90.6) | 434.4 - 434.1 |
| | 3000 (108.8) | 433.9 - 433.6 |
| N = 94000 | 除荷 | 484.8 - 484.0 |
| | 85 (5.1) | 485.0 - 484.5 |
| | 1000 (60.1) | 485.5 - 485.1 |
| | 2000 (120.2) | 484.9 - 484.8 |
| | 3000 (180.3) | 484.7 - 484.1 |

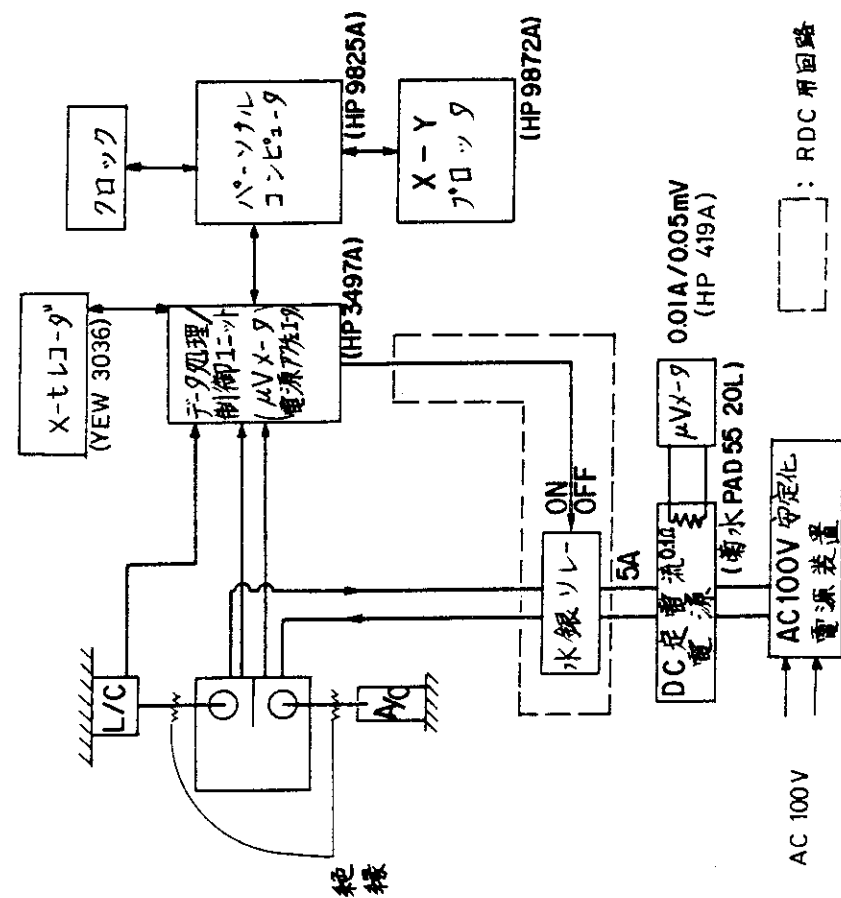


図2 き裂進展計測システム模式図

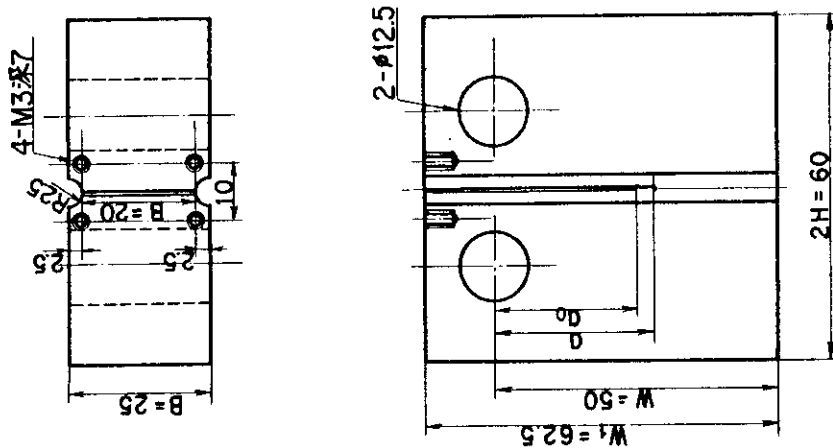
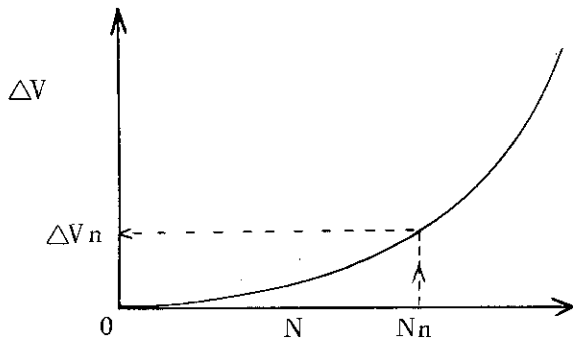
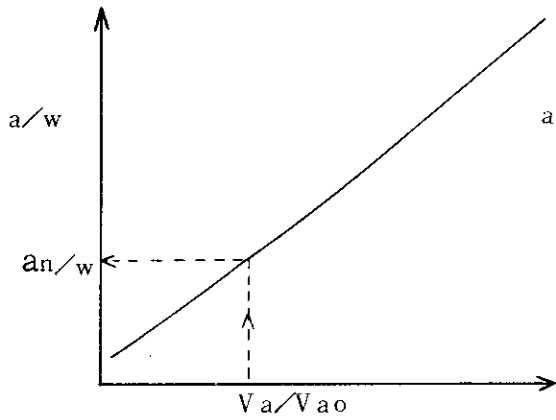


図1 コンパクト試験片形状



(a) $N - \Delta V$ の関係



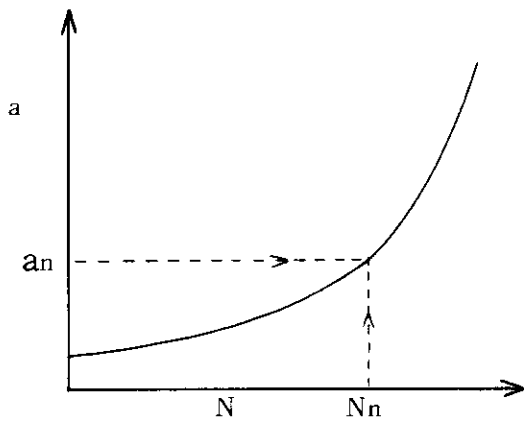
$$a/w = f(Va/Va0)$$

$$= A_0 + A_1 X + A_2 X^2$$

ここで $\begin{cases} X = Va/Va0 \\ Va = Va0 + \Delta V \end{cases}$

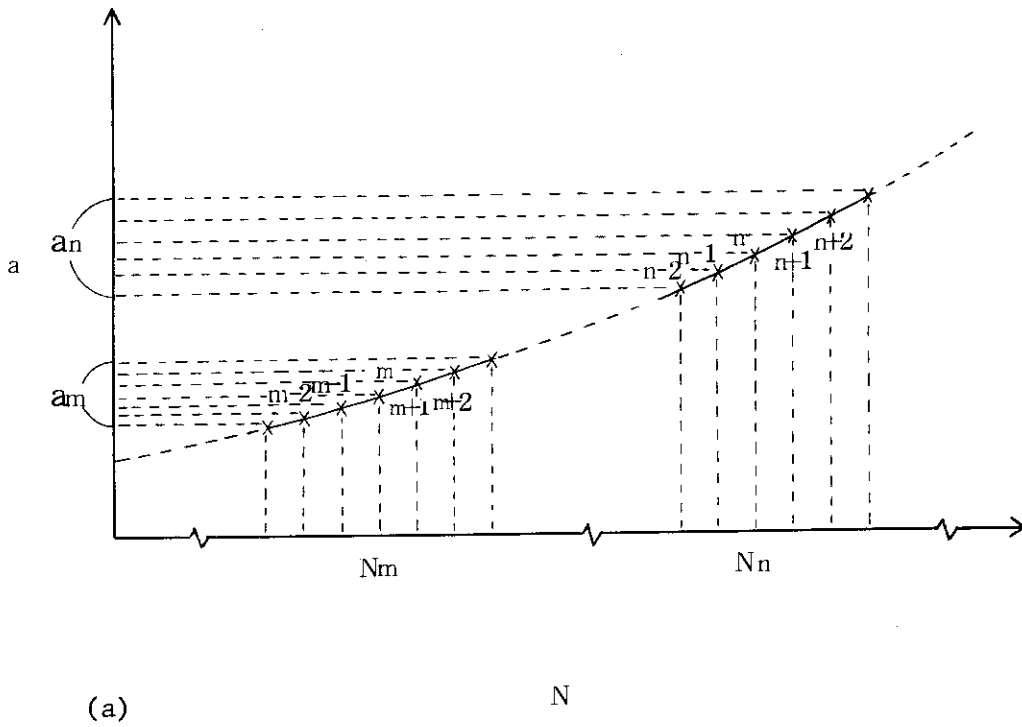
A_0, A_1, A_2 を予備実験等で決定し、較正式とする。

(b) $a/w - Va/Va0$ の関係



(c) $a - N$ の関係

図3 電位差法によるき裂伝播試験の概念図 (その1)



$$a = f_m(N)$$

$$= C_0 + C_1 N + C_2 N^2$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \circ \frac{da}{dN} = C_1 + 2C_2 N \\ \circ \Delta K = \Delta P \cdot f(a/w) \end{array} \right.$$

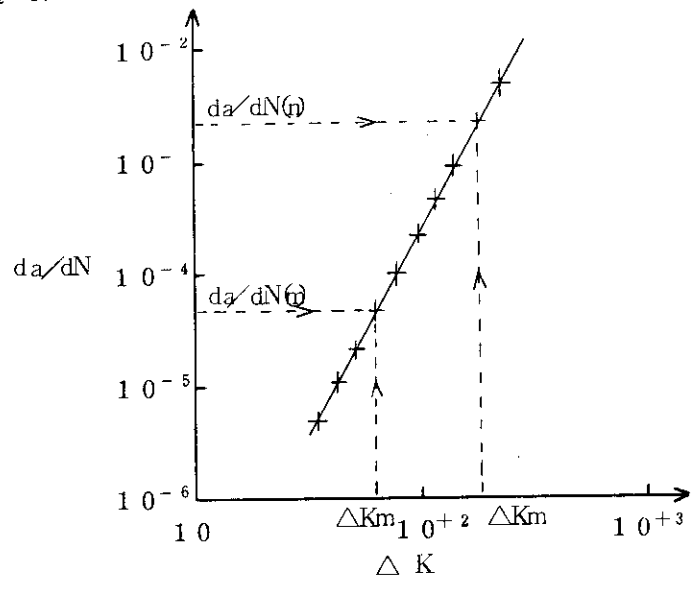


図4 電位差法による疲れき裂伝播試験の概念図 (その2)

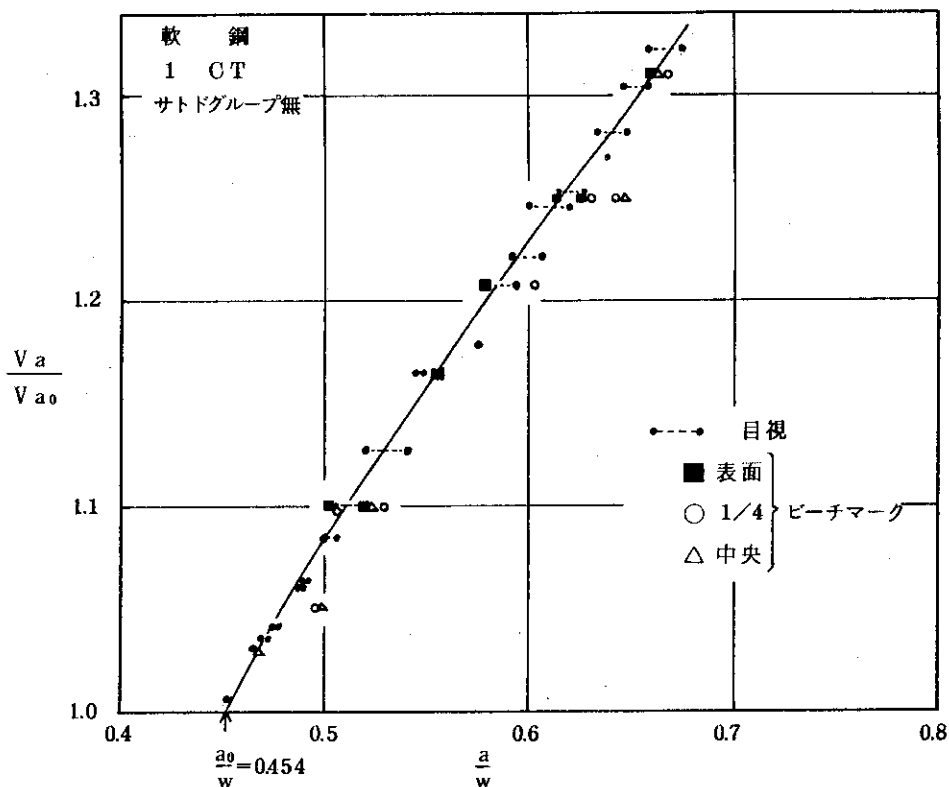


図 5 目視およびビーチマーク法より得たき裂長さに対する電位差の関係 (試験片 No 5)

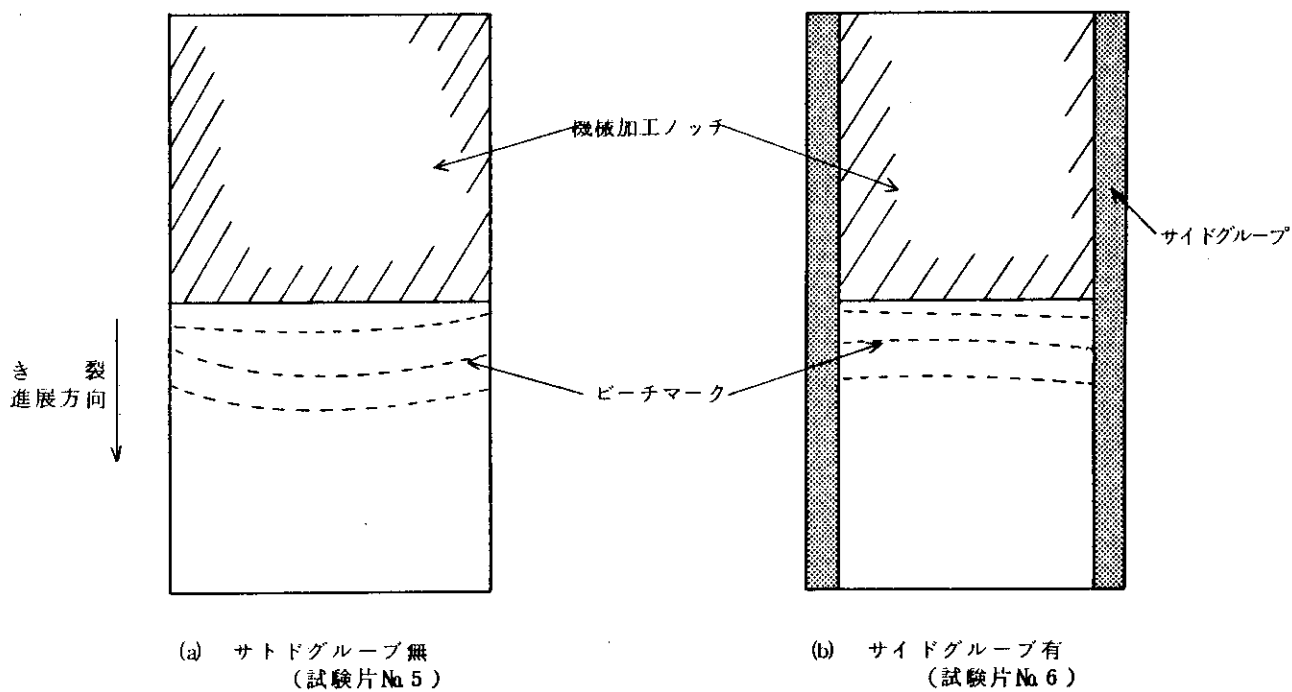


図 6 ビーチマークの模式図 (CT)

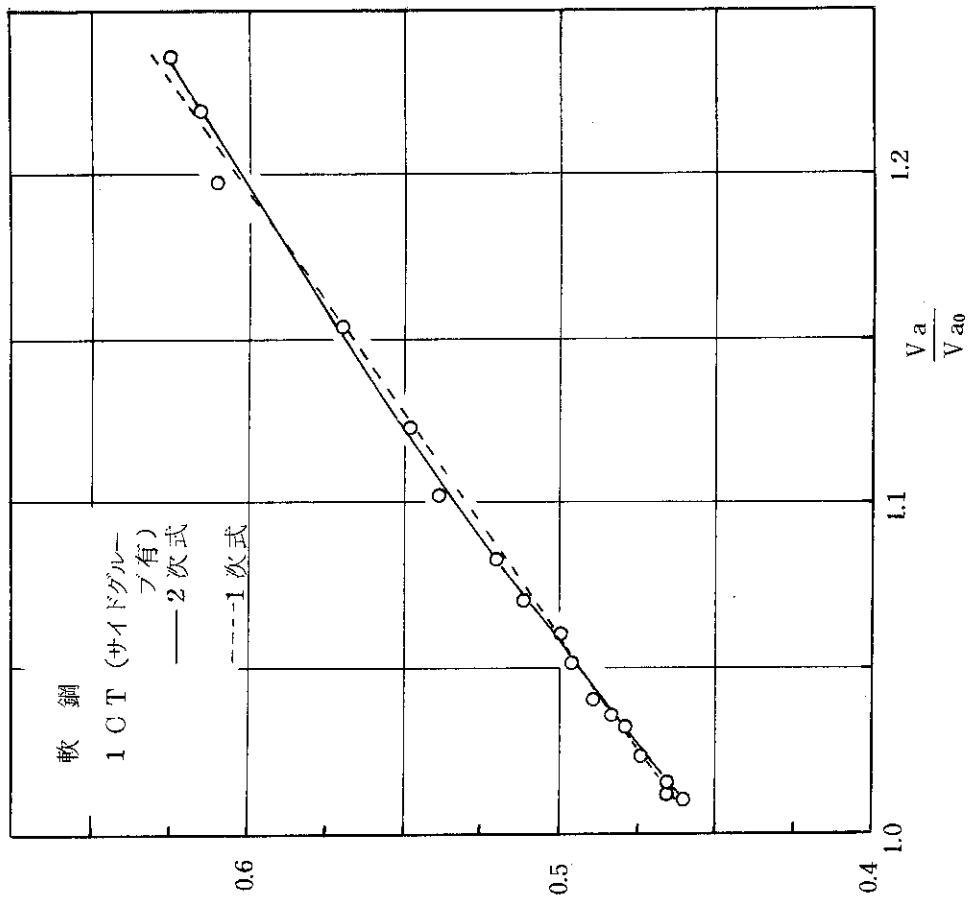


図8 軟鋼のCT試験片における校正曲線 (サイドグループ有)

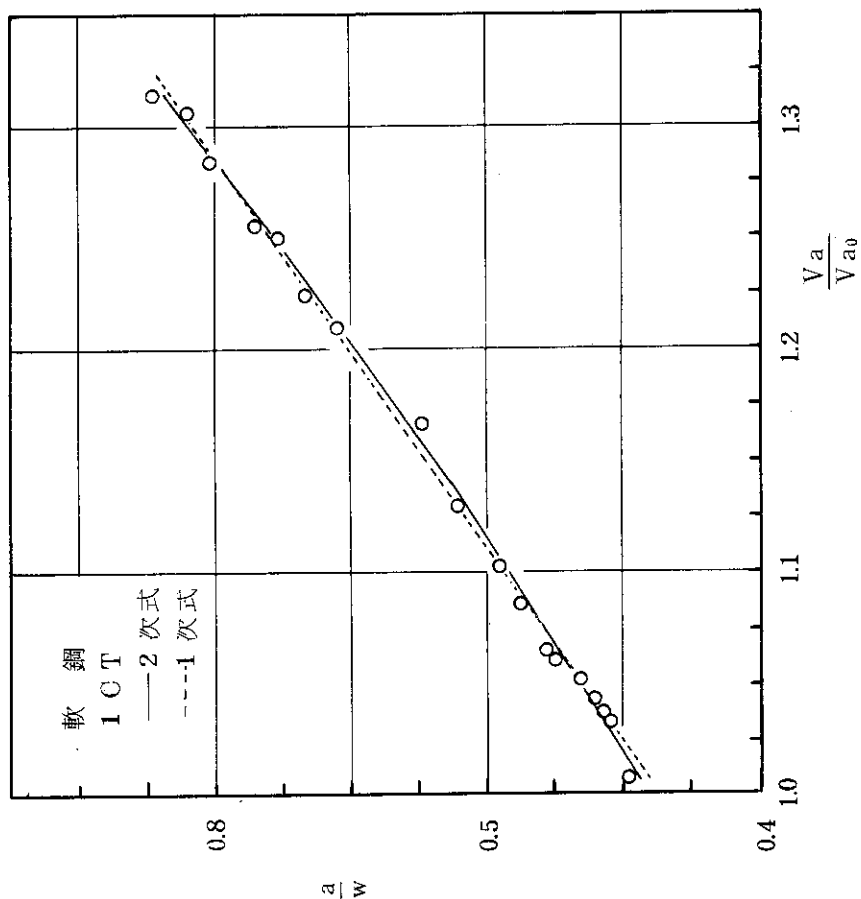


図7 軟鋼のCT試験片における校正曲線 (サイドグループ無)

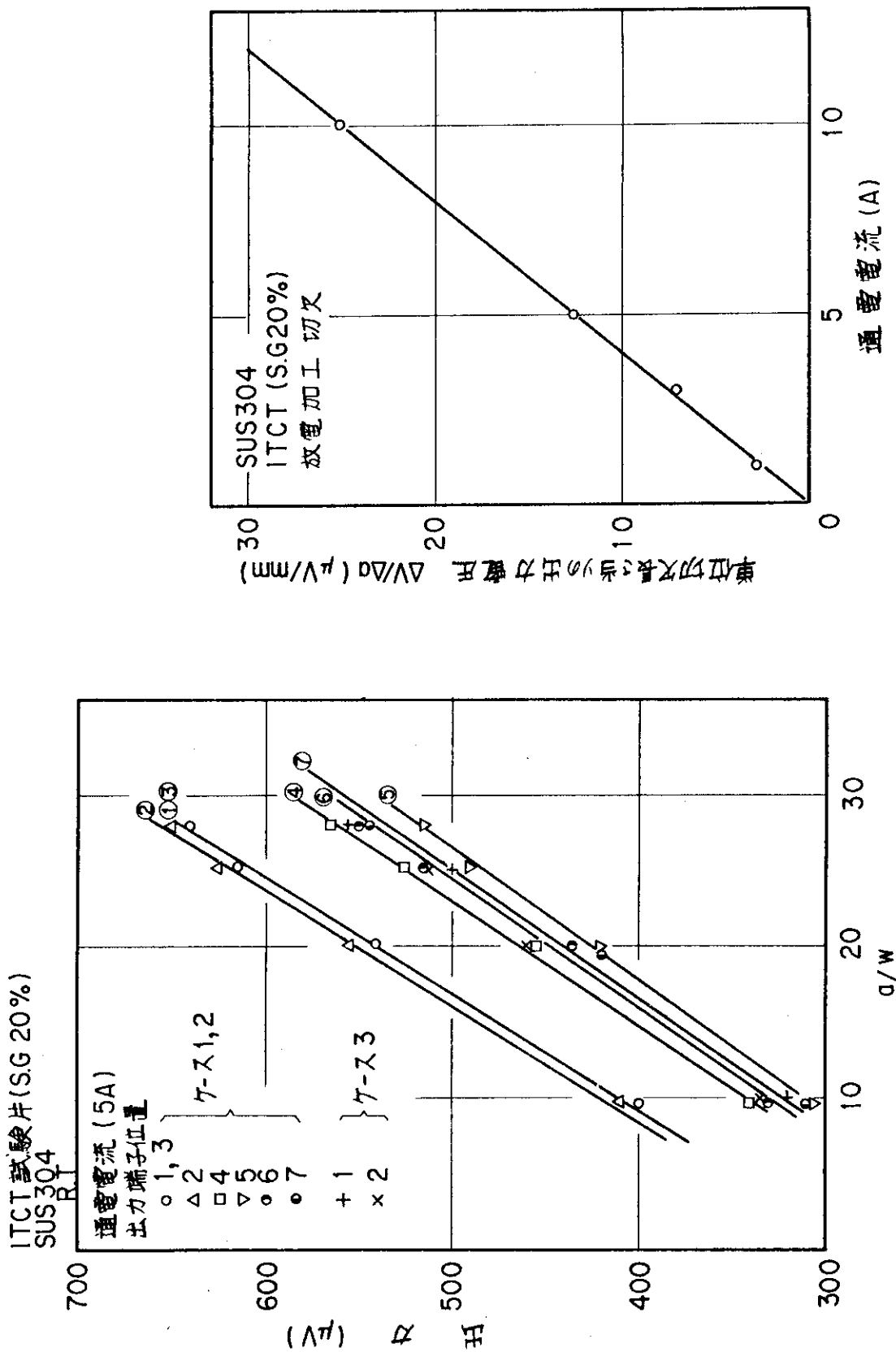


図 10 通電端子位置及び出力電圧端子位置

図 11 通電端子位置及び出力端子位置依存性

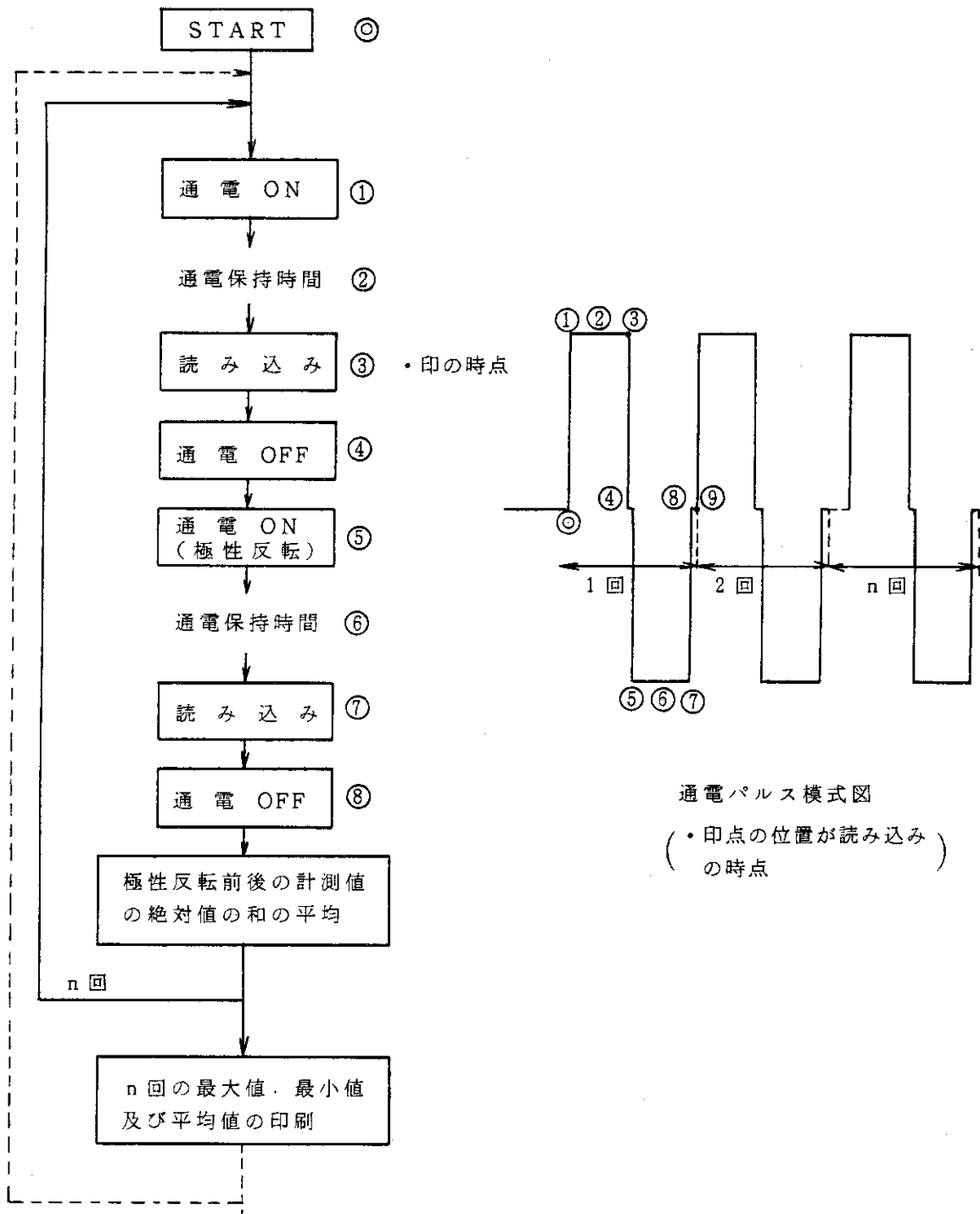


図 12 継続通電の場合のパルス幅，パルス個数の依存性
検討の流れ

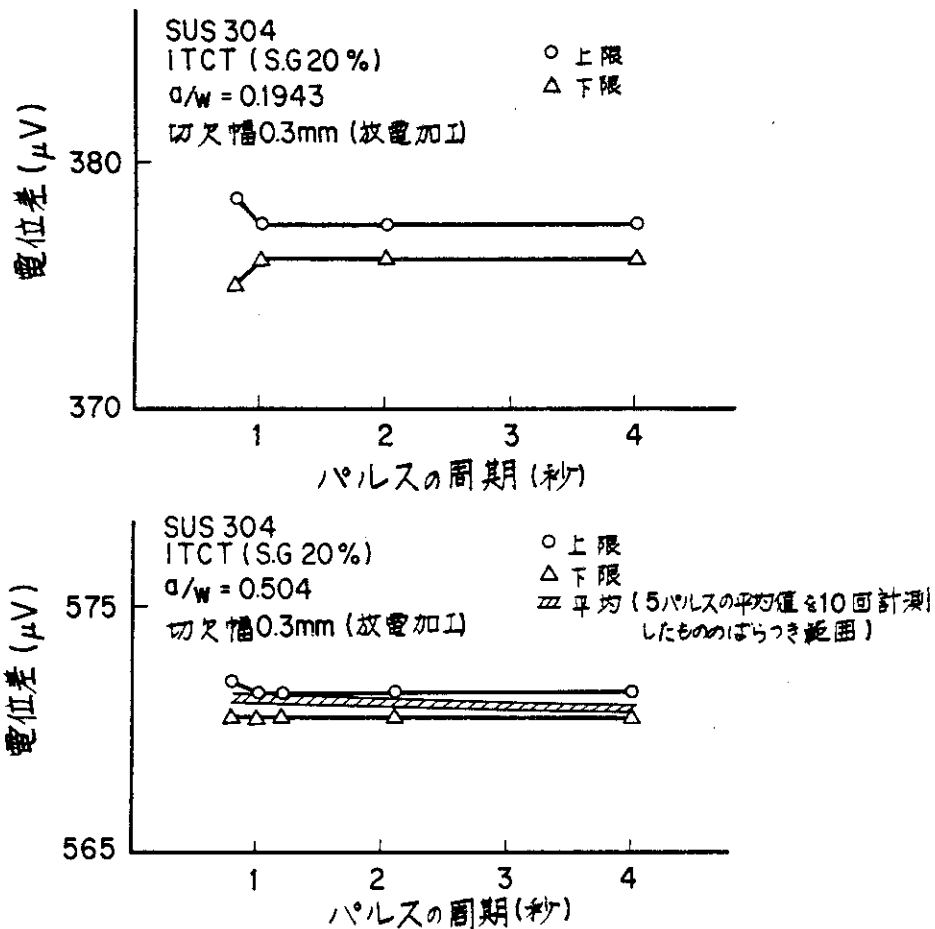


図 13 電位差のパルス周期依存性

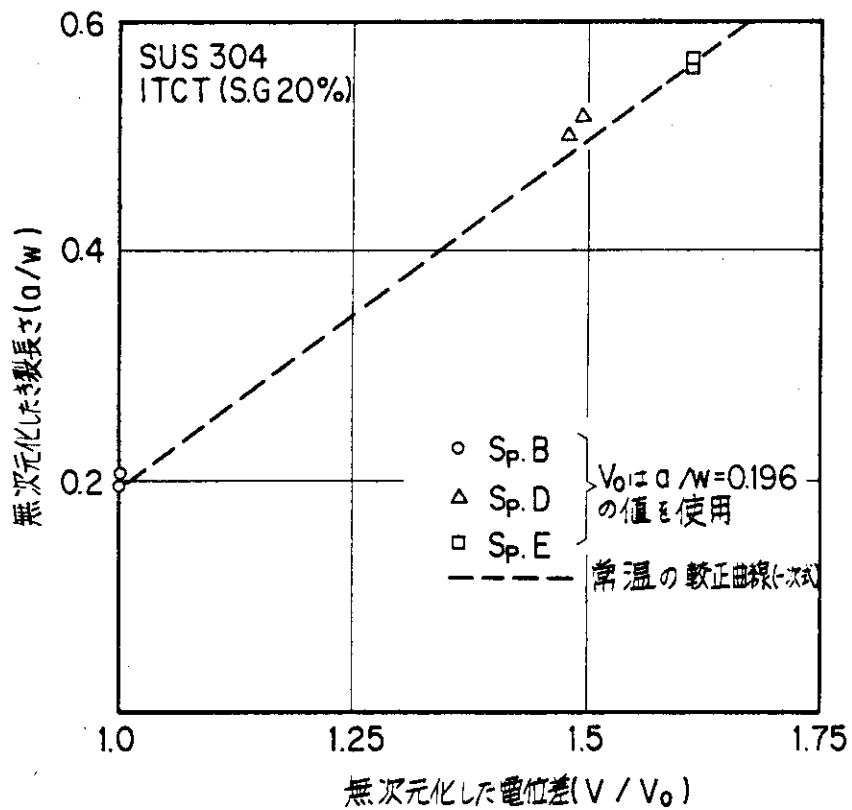


図 15 無次元化したき裂長さ(a/w)と電位差(V/V_0)の関係(288°C)

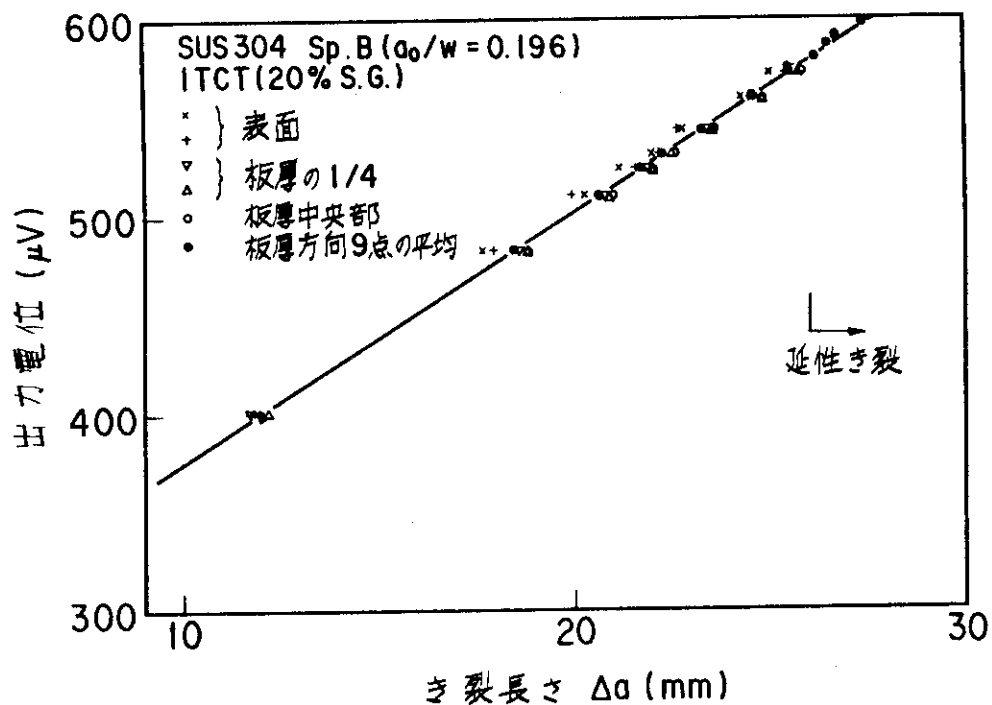


図14(a) 電位差とき裂長さの関係(表面, 板厚1/4, 板厚中央部, 板厚平均)

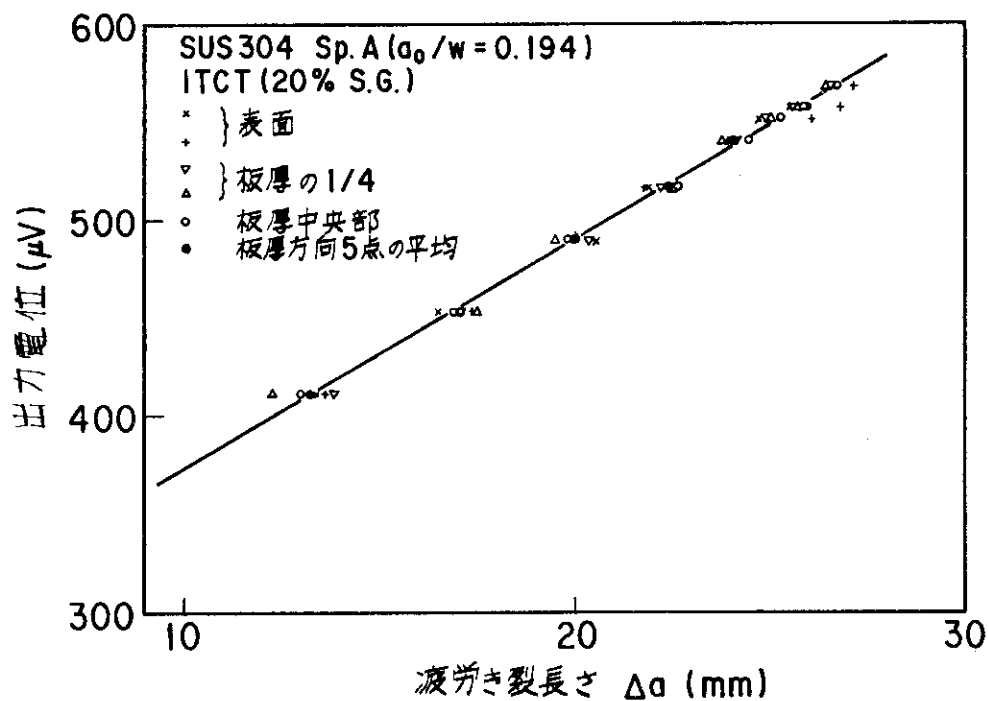


図14(b) 電位差とき裂長さの関係(表面, 板厚1/4, 板厚中央, 板厚平均)

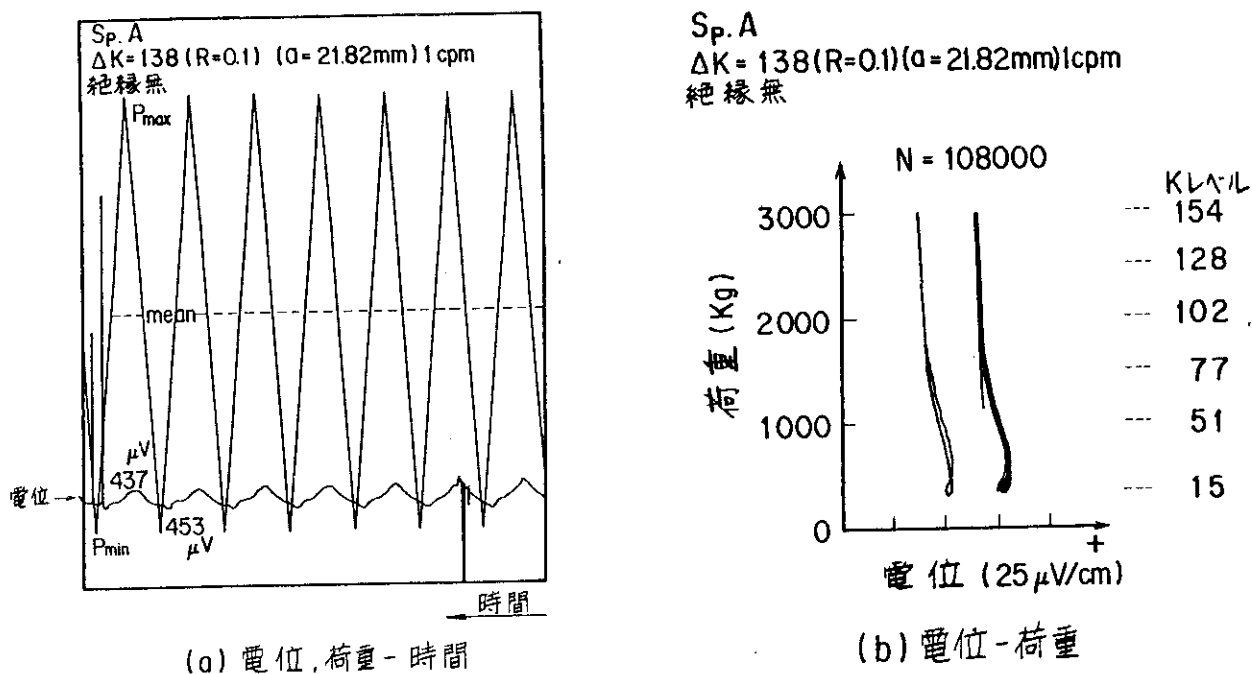


図 16 荷重位相と電位差の変動 (絶縁なし)

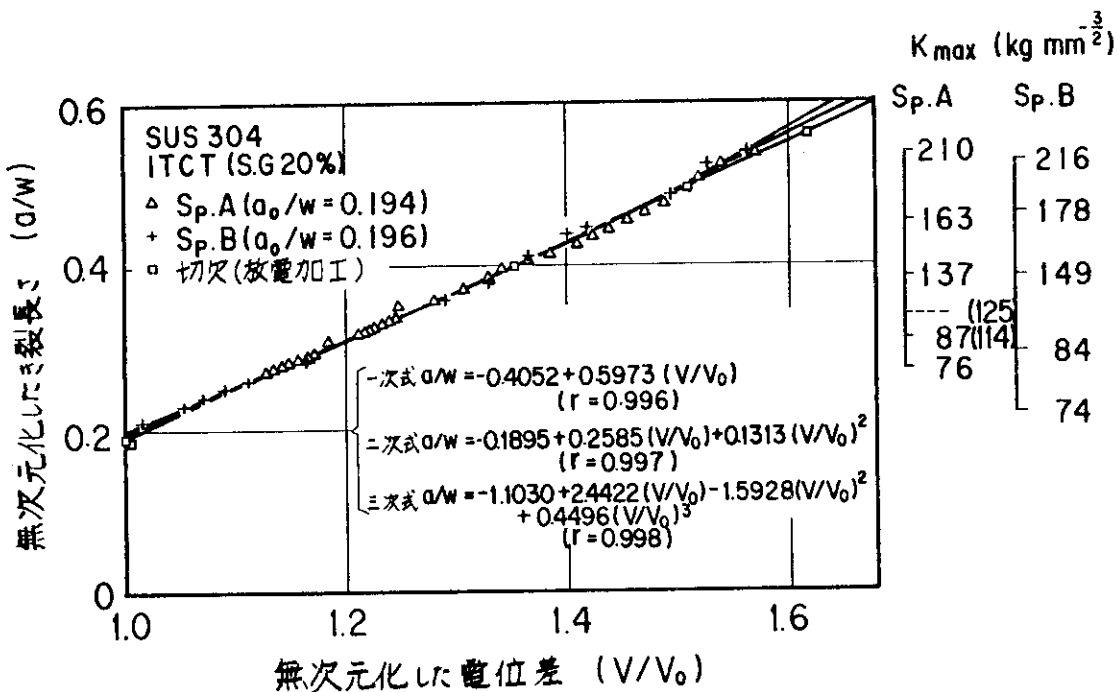


図 17 疲労き裂進展量と電位差の関係

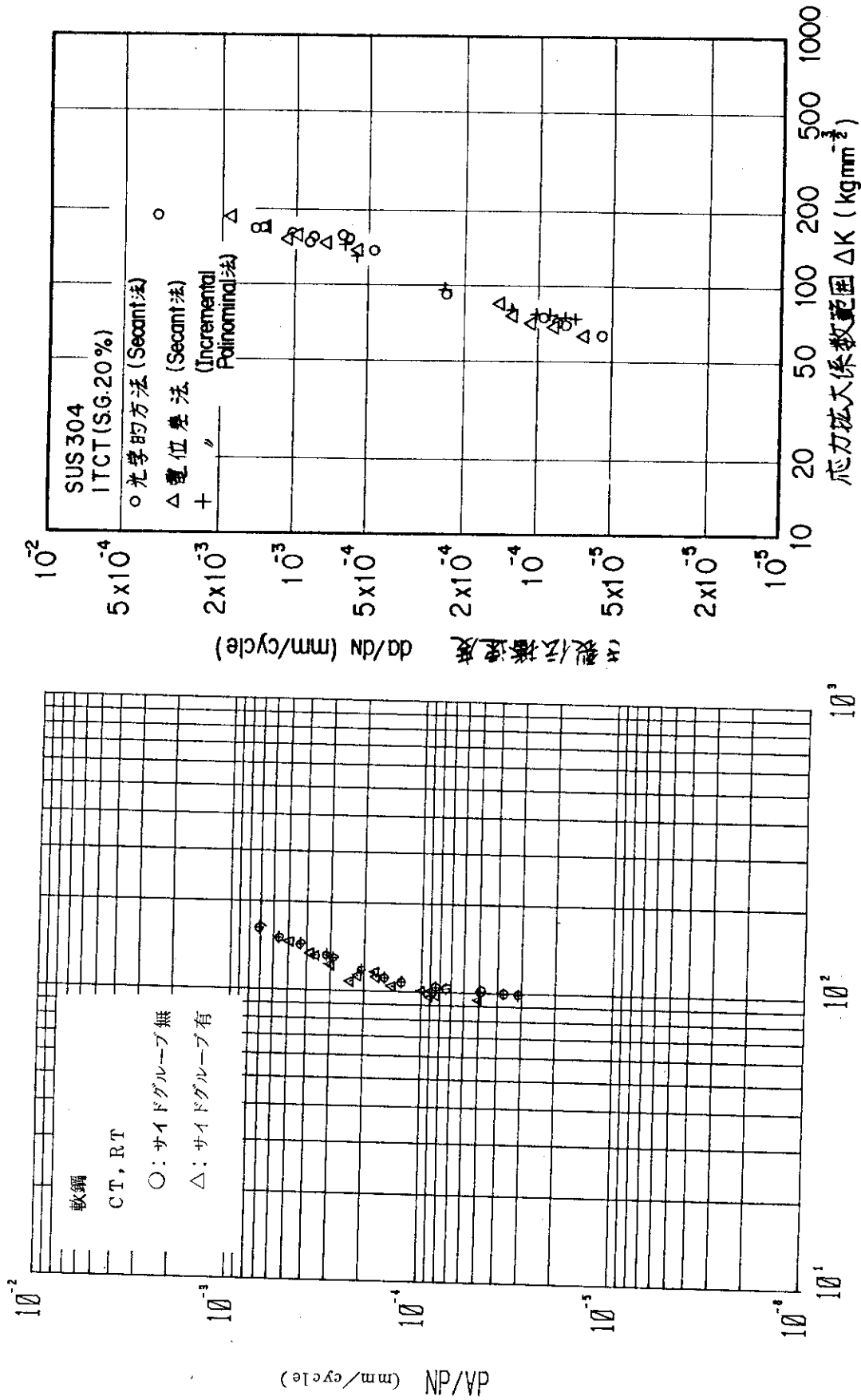


図 18 CT型試験片による疲労き裂伝播特性

図 19 光学的方法及び電位差法によるき裂伝播速度 (da/dN) と応力拡大係数範囲 (ΔK) の関係

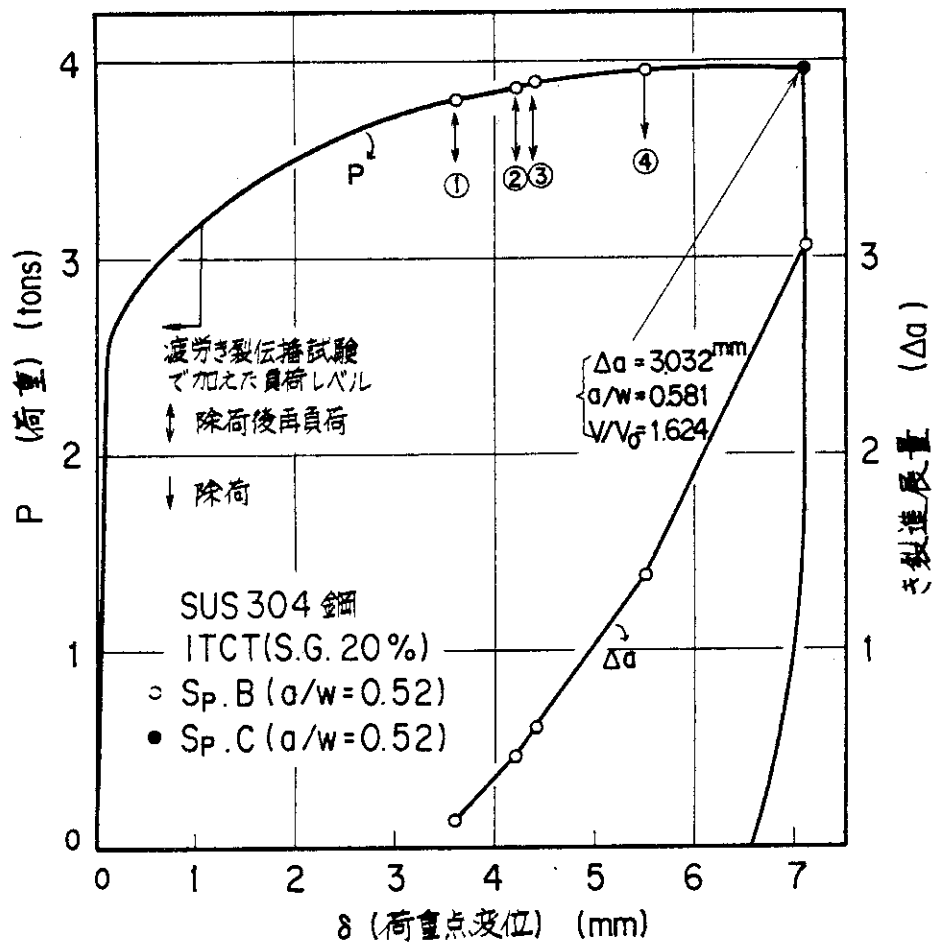


図 20 SUS 304 鋼 ITCT 試験片の荷重変位曲線

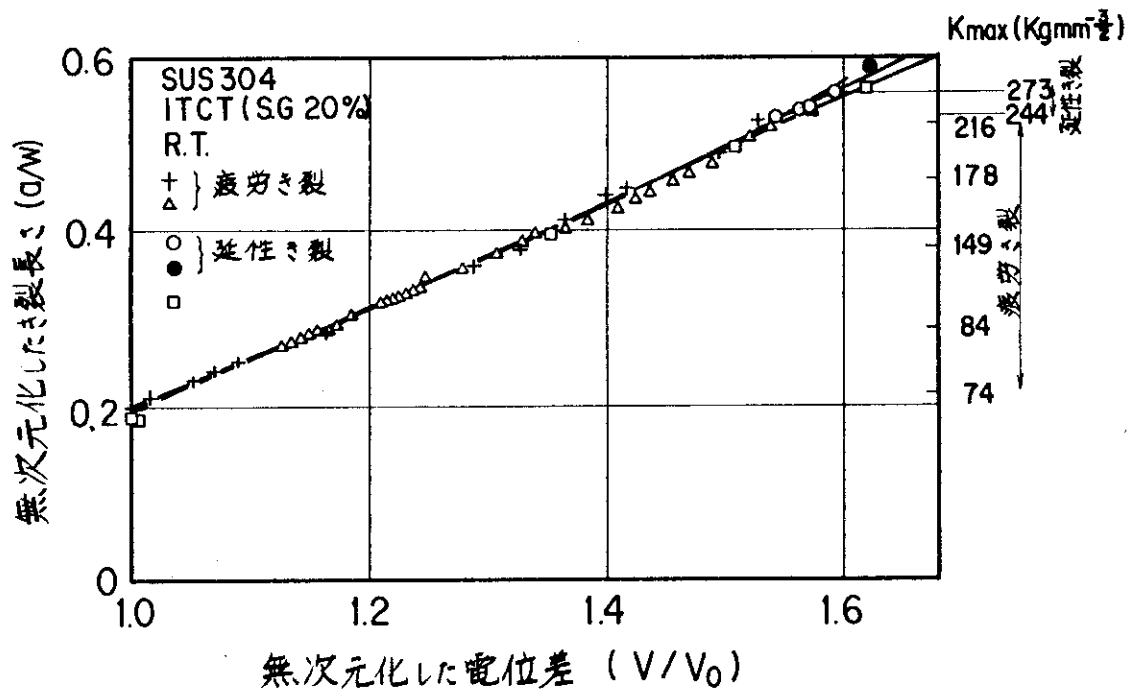


図 21 延性き裂進展量と電位差の関係