

# 熱応力緩和構造モデル(1)供試体熱過渡強度試験

## 第5報 き裂の解析と進展評価

1991年9月

動力炉・核燃料開発事業団  
大洗工学センター

複製又はこの資料の入手については、下記にお問い合わせください。

〒311-13 茨城県東茨城郡大洗町成田町4002

動力炉・核燃料開発事業団

大洗工学センター システム開発推進部・技術管理室

Enquires about copyright and reproduction should be addressed to: Technology Management Section O-arai Engineering Center, Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation 4002 Narita-cho, O-arai-machi, Higashi-Ibaraki, Ibaraki-ken, 311-13, Japan

動力炉・核燃料開発事業団 (Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation)

## 熱応力緩和構造モデル(1)供試体 熱過渡強度試験

## 第5報 き裂の解析と進展評価

田中 信之\* , 渡土 克己\*  
岩田 耕司\* , 吉田 博治\*\*

## 要 旨

構造物強度確性試験施設 (TTS)を用いて、熱応力緩和構造モデル(1)供試体の熱過渡強度試験を実施した。これまでに、供試体の設計・製作から熱過渡強度試験、解体検査、強度評価について一連の成果を報告してきている。

本報告書は熱応力緩和構造供試体(1)に発生した熱クリープ疲労き裂について破壊力学的手法を用いて解析・評価を行った結果について述べたものである。まず、き裂を有する軸対称あるいは3次元の有限要素モデルについて熱過渡荷重が負荷される場合の弾塑性クリープ解析を実施した。続いて、破壊力学パラメータとして、疲労き裂進展挙動を記述する $\hat{J}$ 積分およびクリープき裂進展挙動を記述する $\hat{j}$ '積分について解析した。これらの破壊力学パラメータの解析は、CANIS-Jを用いて行った。

熱過渡荷重が負荷される場合には熱歪が板厚方向に分布するため、通常用いられる $J$ 積分は経路独立性を失うことが知られている。これに対して、今回の解析に採用した $J$ 積分の拡張である $\hat{J}$ 積分は経路に独立であり、熱応力場における破壊力学パラメータとして有効であることが確認された。一方、定常クリープ場に対して適用可能な $J'$ 積分を非定常クリープ場にまで拡張した $\hat{j}$ '積分についてもほぼ経路独立と見なし得る結果が得られ、非定常・熱応力場における破壊力学パラメータとして有効であることが確認された。

熱過渡荷重下では板厚方向にき裂が進展するのに伴って、疲労 $\hat{J}$ 積分範囲 $\Delta \hat{J}$ あるいはクリープ $\hat{j}$ '積分範囲 $\Delta \hat{j}'$ があるき裂深さで最大値を示し、その後減少することが知られている。今回解析した結果では、内筒溶接部、入口ノズルー上鏡周継ぎ手部、支持スカートシンニング部において板厚のほぼ1/2近傍で最大値を示した。

さらに、供試体に発生したいくつかの代表き裂についてき裂深さと $\Delta \hat{J}$ および $\Delta \hat{j}'$ の関係を把握し、熱クリープ疲労き裂の進展挙動を定量的に検討した。その結果、小型試験片を用いたき裂進展試験で定式化された材料のき裂進展速度データ(疲労に対して $da/dN$  vs  $\Delta J$ 、クリープに対して $da/dt$  vs  $\Delta J'$ )を用いて、解析で得られた $\Delta \hat{J}$ 、および $\Delta \hat{j}'$ を適用して得られるクリープ疲労き裂進展速度を用いれば、本供試体に発生した熱クリープ疲労き裂の進展挙動を比較的精度良く表現することができた。

\* 大洗工学センター 機器構造開発部 構造工学室

\*\* センチュリ リサーチ センタ (株)

Creep Fatigue Test of Thermal Stress Mitigation Structure Model (1)  
under Thermal Transient Loadings  
(5) Fracture Mechanics Analysis of the Cracks

TANAKA. N. \*, WATASHI. K. \*  
IWATA. K. \* , YOSHIDA. H. \*\*

Abstract

A failure test of a structure model was carried out under cyclic thermal transient stress in the Thermal Transient Test Facility for Structures(TTS). After the test, destructive examination of the model clarified crackings as planned.

Formerly inelastic analysis was applied to creep-fatigue damage evaluation, and good relationship was obtained between creep-fatigue damage and observed cracks. The result showed damage distributions were well corresponding to those of crack depth.

The damage was not able to explain the crack propagation behavior, although could describe the crack initiation behavior. It was, therefore, important to assess the crack propagation behavior by fracture mechanics method in order to understand the crack propagation behavior.

This report describes the crack analysis results of several cracks observed on the model named Thermal Stress Mitigation Structure Model (1).

Axisymmetric finite element analyses were carried out for cyclic thermal transient loadings. It has been known that J-integral is path-dependent for thermal transient stress field. Therefore,  $\hat{J}$  and  $\hat{J}'$  integrals for fatigue and creep crack growth, respectively were calculated by the CANIS-J code (Crack Analysis in Structure-J version).

---

\* Structural Engineering Section, O-arai Engineering Center

\*\* Century Research Center Corporation

As the analysis results,  $\hat{J}$  and  $\hat{J}'$  were almost path-independent, so these parameters were considered to be suitable for assessing the intensity of the crack-tip stress-strain field under thermal transient loadings. The distribution of  $\hat{J}$  and  $\hat{J}'$  along the thickness direction were obtained. It was confirmed that  $\hat{J}$  and  $\hat{J}'$  take the maximum values in nearly middle depth of the thickness and decrease gradually when crack depth exceed that point.

Crack propagation behavior was simulated by such a manner that crack propagation rate was calculated from  $\hat{J}$  and  $\hat{J}'$  integrals distributions with material crack growth law. The number of cycles of thermal transient, which was needed for cracks to propagate from the initial length (supposed to be 1mm) to the final length, were calculated.

As for the results, several-hundred cycles were obtained as the needed thermal transient cycles on each crack, and the ratio of these cycles against the total transient cycles of 1,300 were considered to be reasonable value. Therefore, it has been concluded that crack propagation behavior observed as the final length on the test model could be estimated well by these methods.

## 目 次

1. まえがき	1
2. き裂解析の方法	4
2.1 解析概要	4
2.2 弾塑性クリープ解析法	6
2.3 破壊力学パラメータの解析法	20
2.4 き裂の進展評価法	27
3. 解析結果	30
3.1 弾塑性クリープ解析結果	30
3.2 破壊力学パラメータの解析結果	37
3.3 き裂の進展評価結果	58
4. 考 察	79
4.1 き裂解析結果に及ぼす弾塑性応力-歪関係の影響	79
4.2 き裂解析結果に及ぼす溶接金属部材質不連続の影響	84
4.3 き裂発生熱過渡サイクル数に基づくクリープ疲労損傷評価	91
4.4 まとめと今後の課題	104
5. 結 論	109
6. 謝 辞	110
参考文献	111
付 録	113
付録A 入口ノズルモデルの縮小化に関する検討	115
付録B 入口ノズルモデルの伝熱解析条件の修正に関する検討	123
付録C き裂入りモデルの非弾性解析結果	131
付録D 破壊力学パラメータの解析結果	213
付録E スカートモデルのクリープJ積分の検討	243

## List of Tables

Table 2.2.1	Analysis Model and Selected Cracks for Evaluation .....	7
Table 2.2.2	Inelastic Analysis Steps (MIG Weldment, D702W) .....	14
Table 2.2.3	Inelastic Analysis Steps (SMAW Weldment, D703W) .....	15
Table 2.2.4	Inelastic Analysis Steps (EBW Weldment, D704W) .....	16
Table 2.2.5	Inelastic Analysis Steps (TIG Weldment, D705W) .....	17
Table 2.2.6	Inelastic Analysis Steps (Skirt;Thinning Portion) .....	18
Table 2.2.7	Inelastic Analysis Steps (Inlet Nozzle-Upper head Junction) .....	19
Table 3.2.1	Fracture Mechanics Parameter Calculation Results (Inner Shell Weldments) .....	45
Table 3.2.2	Fracture Mechanics Parameter Calculation Results (Skirt, Inlet Nozzle) .....	46
Table 3.3.1	Crack Growth Calculation Results (MIG Weldment, D702W) .....	60
Table 3.3.2	Crack Growth Calculation Results (SMAW Weldment, D703W) .....	61
Table 3.3.3	Crack Growth Calculation Results (EBW Weldment, D704W) .....	62
Table 3.3.4	Crack Growth Calculation Results (TIG Weldment, D705W) .....	63
Table 3.3.5	Crack Growth Calculation Results (Skirt;Thinning Portion) .....	64
Table 3.3.6	Crack Growth Calculation Results (Inlet Nozzle-Upper head Junction) .....	65
Table 4.1.1	Strain Rate Effect of Stress-Strain Relationship on Crack Growth Rate .....	80
Table 4.2.1	Metallurgical Discontinuity Effect on Fracture Mechanics Parameters .....	86
Table 4.2.2	Metallurgical Discontinuity Effect on Crack Growth Rate .....	87

## List of Figures

Fig. 1. 1	Position of This Report in This Study .....	3
Fig. 2. 1	Flow of This Study .....	5
Fig. 2. 2. 1	Finite Element Model for Crack Analysis (MIG Weldment, D702W) .....	8
Fig. 2. 2. 2	Finite Element Model for Crack Analysis (SMAW Weldment, D703W) .....	9
Fig. 2. 2. 3	Finite Element Model for Crack Analysis (EBW Weldment, D704W) .....	10
Fig. 2. 2. 4	Finite Element Model for Crack Analysis (TIG Weldment, D705W) .....	11
Fig. 2. 2. 5	Finite Element Model for Crack Analysis (Skirt;Thinning Portion) .....	12
Fig. 2. 2. 6	Finite Element Model for Crack Analysis (Inlet Nozzle-Upper head Junction) .....	13
Fig. 2. 3. 1	Integration Paths for $\hat{J}, \hat{J}'$ (MIG Weldment, D702W) .....	21
Fig. 2. 3. 2	Integration Paths for $\hat{J}, \hat{J}'$ (SMAW Weldment, D703W) .....	22
Fig. 2. 3. 3	Integration Paths for $\hat{J}, \hat{J}'$ (EBW Weldment, D704W) .....	23
Fig. 2. 3. 4	Integration Paths for $\hat{J}, \hat{J}'$ (TIG Weldment, D705W) .....	24
Fig. 2. 3. 5	Integration Paths for $\hat{J}, \hat{J}'$ (Skirt;Thinning Portion) .....	25
Fig. 2. 3. 6	Integration Paths for $\hat{J}, \hat{J}'$ (Inlet Nozzle-Upper head Junction) .....	26
Fig. 2. 4. 1	Creep and Fatigue Crack Growth Rate Data of the Material .....	29
Fig. 3. 1. 1	Stress and Strain History at the Crack Tip (MIG Weldment, a=10mm) .....	31
Fig. 3. 1. 2	Stress Distribution on the Crack Line (MIG Weldment, a=10mm) .....	32
Fig. 3. 1. 3	Stress and Strain History at the Crack Tip (Skirt, a=16mm) .....	33
Fig. 3. 1. 4	Stress Distribution on the Crack Line (Skirt, a=16mm) .....	34
Fig. 3. 1. 5	Stress and Strain History at the Crack Tip (Inlet Nozzle, a=18mm) .....	35
Fig. 3. 1. 6	Stress Distribution on the Crack Line (Inlet Nozzle, a=18mm) .....	36



Fig. 3.2.1	$\hat{J}$ and $\hat{J}'$ History in the Thermal Cycle (MIG Weldment, D702W) .....	39
Fig. 3.2.2	$\hat{J}$ and $\hat{J}'$ History in the Thermal Cycle (SMAW Weldment, D703W) .....	40
Fig. 3.2.3	$\hat{J}$ and $\hat{J}'$ History in the Thermal Cycle (EBW Weldment, D704W) .....	41
Fig. 3.2.4	$\hat{J}$ and $\hat{J}'$ History in the Thermal Cycle (TIG Weldment, D705W) .....	42
Fig. 3.2.5	$\hat{J}$ and $\hat{J}'$ History in the Thermal Cycle (Skirt;Thinning Portion) .....	43
Fig. 3.2.6	$\hat{J}$ and $\hat{J}'$ History in the Thermal Cycle (Inlet Nozzle-Upper head Junction) .....	44
Fig. 3.2.7	Relation between $\Delta J_f$ and Crack Depth (MIG Weldment, D702W) .....	47
Fig. 3.2.8	Relation between $\Delta J_f$ and Crack Depth (SMAW Weldment, D703W) .....	48
Fig. 3.2.9	Relation between $\Delta J_f$ and Crack Depth (EBW Weldment, D704W) .....	49
Fig. 3.2.10	Relation between $\Delta J_f$ and Crack Depth (TIG Weldment, D705W) .....	50
Fig. 3.2.11	Relation between $\Delta J_f$ and Crack Depth (Inner Shell Weldments Summary) .....	51
Fig. 3.2.12	Relation between $\Delta J_c * TH$ and Crack Depth (Inner Shell Weldments Summary) .....	52
Fig. 3.2.13	Relation between $\Delta J_c$ and Crack Depth (Inner Shell Weldments Summary) .....	53
Fig. 3.2.14	Relation between $\Delta J_f$ and Crack Depth (Skirt;Thinning Portion) .....	54
Fig. 3.2.15	Relation between $\Delta J_c$ and Crack Depth (Skirt;Thinning Portion) .....	55
Fig. 3.2.16	Relation between $\Delta J_f$ and Crack Depth (Inlet Nozzle-Upper head Junction) .....	56
Fig. 3.2.17	Relation between $\Delta J_c$ and Crack Depth (Inlet Nozzle-Upper head Junction) .....	57

Fig. 3.3.1	Relation between $[da/dN]_f$ , $[da/dN]_c$ and Crack Depth (MIG Weldment, D702W) .....	66
Fig. 3.3.2	Relation between $[da/dN]_f$ , $[da/dN]_c$ and Crack Depth (SMAW Weldment, D703W) .....	67
Fig. 3.3.3	Relation between $[da/dN]_f$ , $[da/dN]_c$ and Crack Depth (EBW Weldment, D704W) .....	68
Fig. 3.3.4	Relation between $[da/dN]_f$ , $[da/dN]_c$ and Crack Depth (TIG Weldment, D705W) .....	69
Fig. 3.3.5	Relation between $[da/dN]_f$ and Crack Depth (Skirt;Thinning Portion) .....	70
Fig. 3.3.6	Relation between $[da/dN]_c$ and Crack Depth (Skirt;Thinning Portion) .....	71
Fig. 3.3.7	Relation between $[da/dN]_f$ and Crack Depth (Inlet Nozzle-Upper head Junction) .....	72
Fig. 3.3.8	Relation between $[da/dN]_c$ and Crack Depth (Inlet Nozzle-Upper head Junction) .....	73
Fig. 3.3.9	Relation between Thermal Cycles and Crack Depth (Inner Shell Weldments, Average $da/dN$ base) .....	74
Fig. 3.3.10	Relation between Thermal Cycles and Crack Depth (Inner Shell Weldments, Upper $da/dN$ base) .....	75
Fig. 3.3.11	Relation between Thermal Cycles and Crack Depth (Inner Shell Weldments, Lower $da/dN$ base) .....	76
Fig. 3.3.12	Relation between Thermal Cycles and Crack Depth (Skirt;Thinning Portion) .....	77
Fig. 3.3.13	Relation between Thermal Cycles and Crack Depth (Inlet Nozzle-Upper head Junction) .....	78
Fig. 4.1.1	Strain Rate Effects of Stress-Strain Relationship on $\Delta J_f$ .....	81
Fig. 4.1.2	Strain Rate Effects of Stress-Strain Relationship on $\Delta J_c$ .....	82
Fig. 4.1.3	Strain Rate Effects of Stress-Strain Relationship on $[da/dN]_f$ , $[da/dN]_c$ .....	83
Fig. 4.2.1	Metallurgical Discontinuity Effect on $\Delta J_f$ .....	88
Fig. 4.2.2	Metallurgical Discontinuity Effect on $\Delta J_c$ .....	89
Fig. 4.2.3	Metallurgical Discontinuity Effect on $[da/dN]_f$ , $[da/dN]_c$ .....	90
Fig. 4.3.1	Comparison between $N_p$ and $N_t$ (MIG Weldment, D702W) .....	94

Fig. 4.3.2	Comparison between $N_p$ and $N_t$ (SMAW Weldment, D703W)	95
Fig. 4.3.3	Comparison between $N_p$ and $N_t$ (EBW Weldment, D704W)	96
Fig. 4.3.4	Comparison between $N_p$ and $N_t$ (TIG Weldment, D705W)	97
Fig. 4.3.5	Comparison between $N_p$ and $N_t$ (Inner Shell Weldments Summary)	98
Fig. 4.3.6	Comparison between $N_p$ and $N_t$ (Skirt;Thinning Portion)	99
Fig. 4.3.7	Comparison between $N_p$ and $N_t$ (Inlet Nozzle-Upper head Junction)	100
Fig. 4.3.8	Creep-Fatigue Damage based on $N_t$	101
Fig. 4.3.9	Creep-Fatigue Damage based on $N_i$ (Elastic Analysis base)	102
Fig. 4.3.10	Creep-Fatigue Damage based on $N_i$ (Inelastic Analysis base)	103

## 1. まえがき

本報告書は構造物強度確性試験施設（略称TTS）で実施した熱応力緩和構造モデル(1)供試体（略称熱緩(1)）の熱過渡強度試験において、1,300 サイクルの熱過渡負荷後に観察された主要き裂を対象として、き裂深さをパラメータとした試験体モデルのき裂解析を実施し、これらのき裂に対する破壊力学パラメータを算出して、クリープ疲労き裂進展挙動を評価した結果について述べたものである。

本熱過渡試験は、FBR 実機構造と同等の材料、施工法及び検査法により製作した供試体に、実機条件を上回る厳しい熱過渡荷重を繰返し負荷することにより、クリープ疲労強度データを得るとともに、これらの構造物の熱過渡荷重下におけるクリープ疲労強度を弾性あるいは非弾性解析により精度良く予測し得る評価手法を開発する事を主たる目的として行われている。本熱過渡試験供試体の設計・製作から、強度試験、試験後解体検査<sup>(1)</sup>、弾性解析に基づいた強度評価<sup>(2)</sup>、および非弾性解析に基づいた強度評価<sup>(3)</sup>についてはFig. 1.1に示すような一連の報告を行っている。

このうち、弾性解析及び非弾性解析に基づいた強度評価では、き裂の無い状態の解析モデルを用いて、熱応力解析を行い、構造物表面上評価点のクリープ疲労損傷と供試体上のき裂発生状況との対比に基づいて強度評価法の妥当性を検証しているが、試験側の制約によりき裂についてはその発生過程、進展過程を含めた形の最終き裂深さとして、一方損傷値については熱過渡サイクル全数(1,300サイクル)に対する累計値としての評価までを実施している。

構造物のき裂発生試験においては、材料試験における疲労破損あるいはクリープ破断のような損傷値1に対応させる状態の定義が明確でなく、経験的に深さ数mm程度の存在が損傷値1に対応することが分かっているにすぎない。一方で、既に存在するき裂の進展挙動については破壊力学的手法に基づいて、想定した初期き裂深さから熱過渡試験で得られた最終き裂まで進展するのに要する熱過渡サイクル数は近似的に算出できる状況にある<sup>(4)</sup><sup>(5)</sup>。従ってき裂の発生過程に対応させるべきより厳密な損傷評価を行うには、試験熱過渡全サイクル数から、進展過程に要したサイクル数を減じた形で評価を行うことが有効と考えられる。

また、破壊力学的手法は軽水炉の分野では既に配管のLBB(破断前漏洩)の成立性を検証するために採用されており、設計の合理化さらには欠陥を有する配管においてもその健全性、信頼性を維持しつつ、プラントの有効利用が計れるような技術の確立に寄与している。これに対して、高速炉の分野では使用条件の過酷化にともない、破壊力学パラメータとして軽水炉条件で適用可能と考えられた応力拡大係数Kだけでは不十分であり、非線形領域まで有効なJ積分さらに非定常温度場においても有効な $\hat{J}$ 積分等の導入が必要と考えられ、現在このような破壊力

学的手法確立のための研究が盛んに行われている<sup>(6)</sup>。この観点からも熱過渡荷重下の構造物中のき裂進展挙動を精度良く解析できる手法を確立する意義は大きい。

以上のような背景から今回熱応力緩和構造供試体(1)に発生した主要なき裂を評価対象としたき裂の解析を実施し、き裂の進展に伴う破壊力学パラメータの挙動、さらにこれに基づいて、材料試験で標準化されているき裂進展速度データを適用したき裂の進展挙動の評価を試みた。

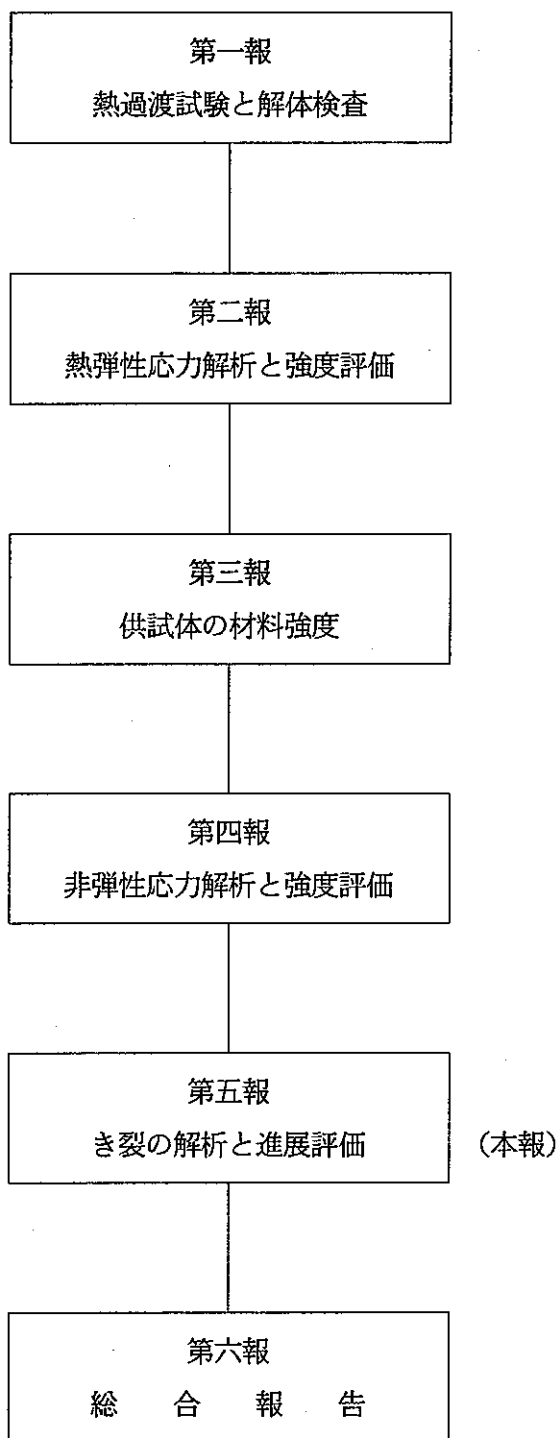


Fig. 1.1 Position of This Report in This Study

## 2. き裂解析の方法

### 2.1 解析概要

熱応力緩和構造供試体(1)の内筒溶接部(MIG, SMAW, EBWおよびTIGの4種類の周継手), 支持スカート, 入口ノズルに発生した主要なき裂を評価の対象とした。解析・評価の流れを Fig. 2.1 に示す。

まず1本なき裂についてき裂深さを変えた複数の解析モデルを作成した。これらの解析モデルを用いて試験時熱過渡に対する熱弾塑性クリープ解析を実施した。続いてこの解析結果より破壊力学パラメータを算出した。さらにこれらの破壊力学パラメータに基づいて材料試験で標準化されている疲労及びクリープき裂進展速度データを適用し, クリープ疲労き裂進展挙動を評価した。

上記熱弾塑性クリープ解析は FINASにより, また破壊力学パラメータの算出およびクリープ疲労き裂進展挙動の解析はCANIS-J<sup>(7)</sup>により実施した。

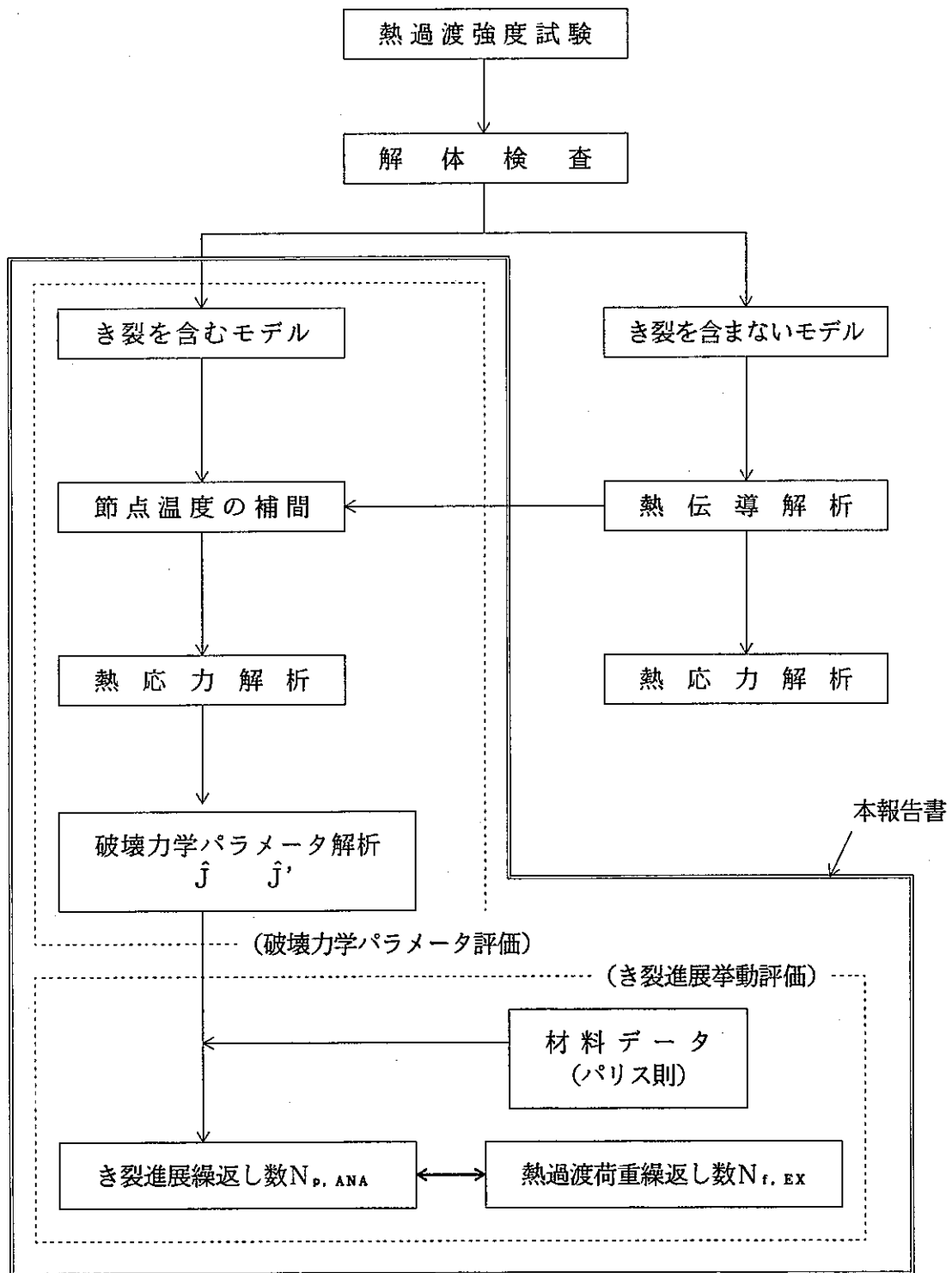


Fig. 2.1 Flow of This Study



## 2.2 弾塑性クリーブ解析法

き裂進展挙動を評価するうえで必要となる破壊力学パラメータを算出するために内筒溶接部、支持スカート、入口ノズルの各々の部位について主要なき裂を選定し、各き裂に対して複数のき裂深さのモデルを作成し、個々のき裂深さ状態のモデルに対する熱弾塑性クリーブ解析を実施した。Table. 2.2.1に各部位において評価対象としたき裂と各き裂を評価するために作成した複数のモデルでのき裂深さをまとめて示す。Fig. 2.2.1～2.2.6には各き裂に対して作成した複数のき裂深さのモデルを示す。これらのモデルは本研究第4報<sup>(3)</sup>で使用したき裂の無い非弾性解析用モデルを基に、新たに導入したき裂まわりのメッシュ分割を細かくすることにより作成した。

熱弾塑性クリーブ解析は上記第4報<sup>(3)</sup>で示した伝熱解析結果を入力条件として実施した。ここで細分化されたき裂近傍の要素に対しては、き裂のないモデルでの伝熱解析結果をモデル化した細かい要素分割のモデルに補間して与えることとした。

弾塑性特性としては、SUS304の繰返し応力-ひずみ曲線（ひずみ速度効果考慮のもの）を用い、ひずみ速度 $1 \times 10^{-6}$  1/sec、ひずみ範囲1%における二直線近似の値を温度依存性を考慮して用いた。

またクリーブ特性はPNCのBLACKBURN型のクリーブひずみ式を用い、構造温度が425°以上となる時間域においてクリーブ解析を行った。

各解析モデルに対する非弾性解析のステップをTable. 2.2.2～2.2.7に示す。各モデルについて弾塑性クリーブ解析は2,400秒のコールドトランジェットと4,800秒のホットトランジェットを連続した熱過渡1サイクルに対して実施した。

入口ノズルの解析はモデル全体に対して実施した場合、計算時間が大きくなるため、き裂を考慮した部位に影響を及ぼさない範囲でモデル化範囲を縮小して実施した。この検討結果については付録Aに示した。

なお入口ノズルの伝熱解析条件については第4報<sup>(3)</sup>で設定した条件を若干修正した条件とした。修正内容とその条件に基づいた解析結果については付録Bに示す。

上記非弾性解析条件の詳細は本研究第4報<sup>(3)</sup>を参照されたい。

Table. 2.2.1 Analysis Model and Selected Cracks for Evaluation

## (a) 内筒溶接部

D702W	最終き裂	$a_f = 9.85\text{mm}$	(評価ラインE) ※
D703W	〃	$a_f = 8.0\text{ mm}$	(評価ラインC)
D704W	〃	$a_f = 9.4\text{ mm}$	(評価ラインB)
D705W	〃	$a_f = 14.4\text{ mm}$	(評価ラインA)

解析モデル	D702W	} $a = 1, 4, 7, 10\text{mm}$
	D703W	
	D704W	
	D705W	$a = 1, 6, 11, 16\text{mm}$

## (b) スカート部

最終き裂	$a_f = 16.5\text{mm}$	(評価ラインA)
解析モデル	$a = 1, 6, 11, 16\text{mm}$	

## (c) 入口ノズル部

最終き裂	$a_f = 24.0\text{mm}$	(評価ラインH)
解析モデル	$a = 1, 6, 12, 18, 24\text{mm}$	

※ 評価ライン名は本研究第4報<sup>(3)</sup>参照

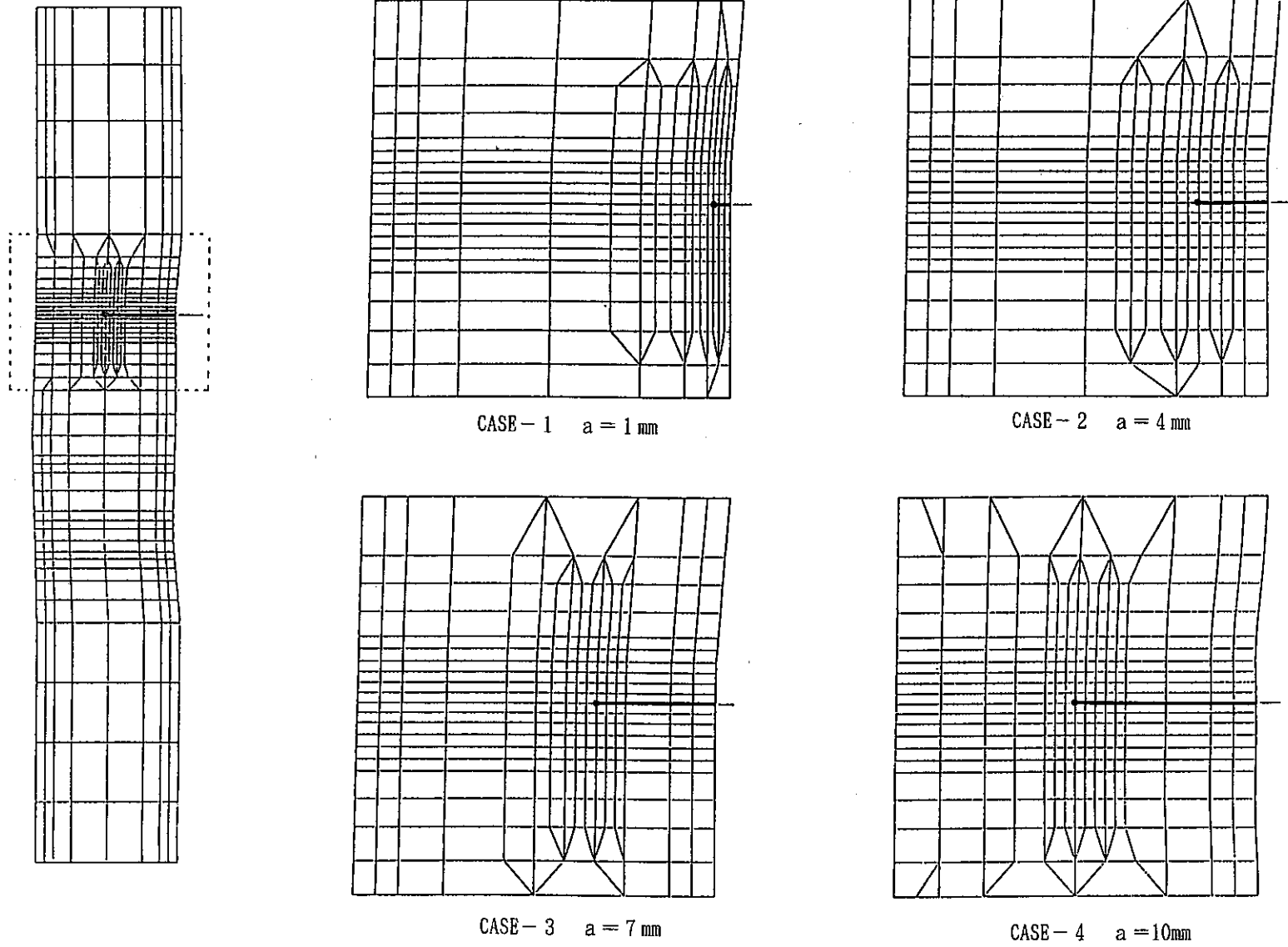


Fig. 2.2.1 Finite Element Model for Crack Analysis (MIG Weldment, D702W)

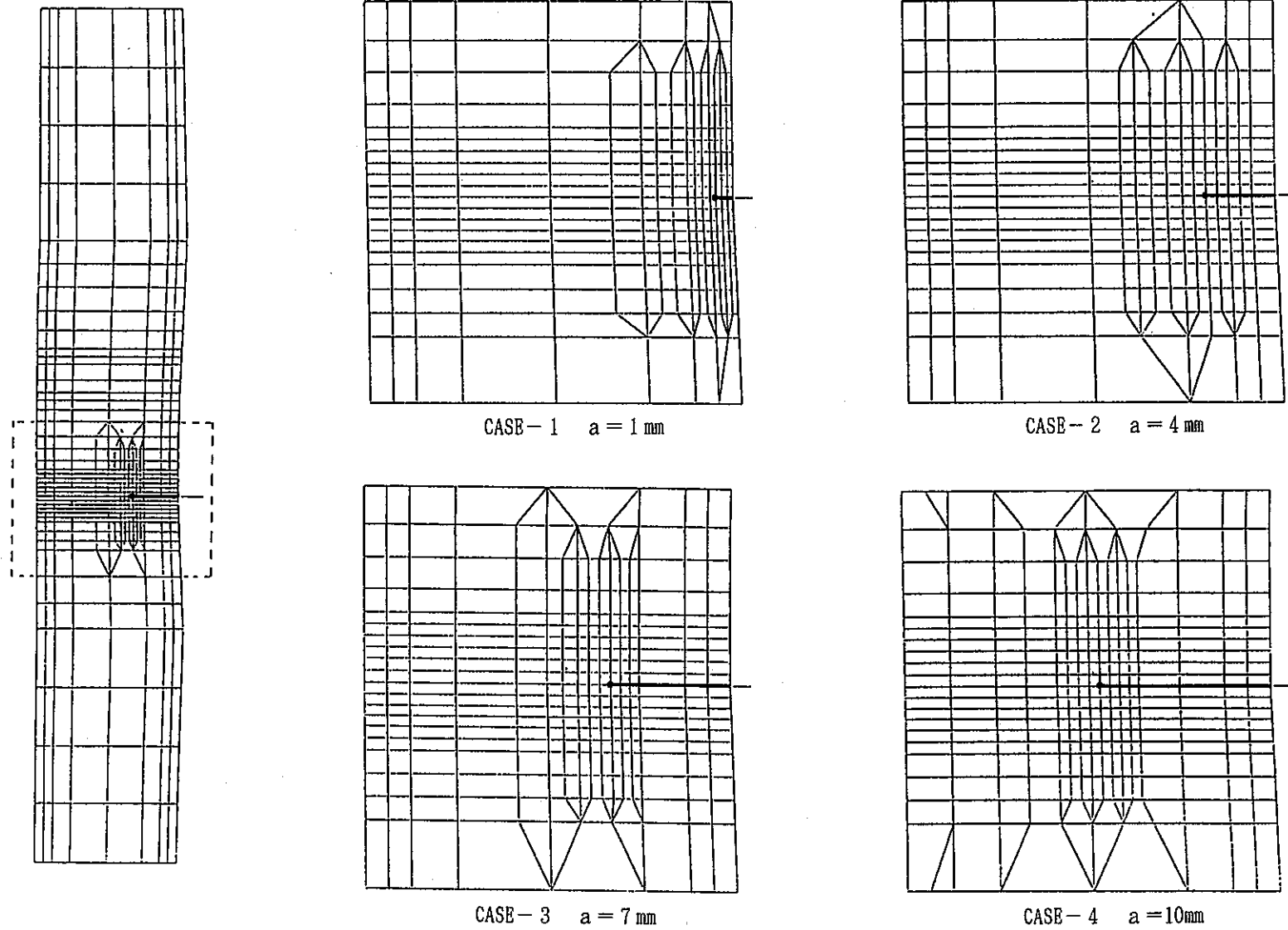


Fig. 2.2.2 Finite Element Model for Crack Analysis (SMAW Weldment, D703W)

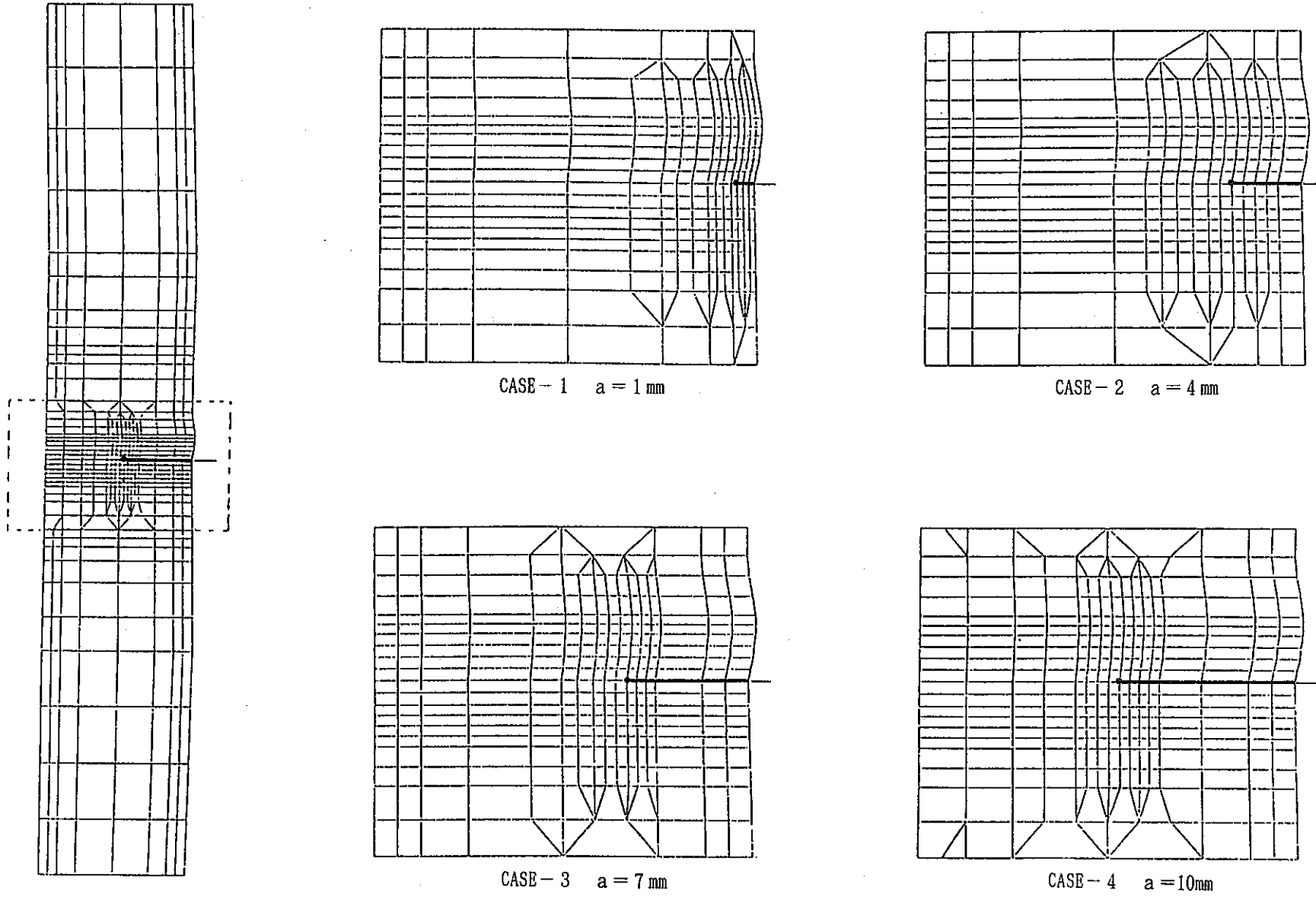


Fig. 2.2.3 Finite Element Model for Crack Analysis (EBW Weldment, D704W)

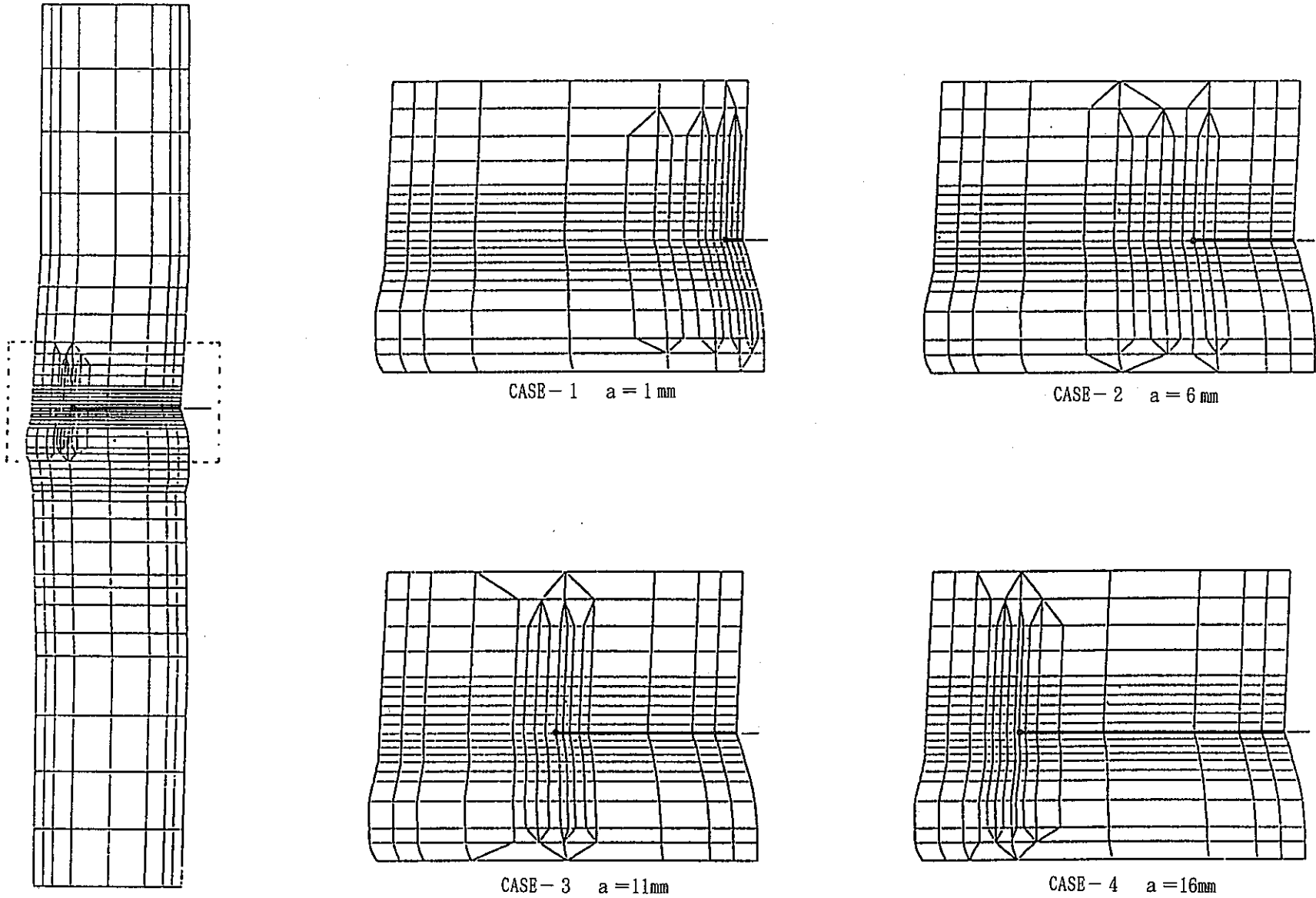


Fig. 2.2.4 Finite Element Model for Crack Analysis (TIG Weldment, D705W)

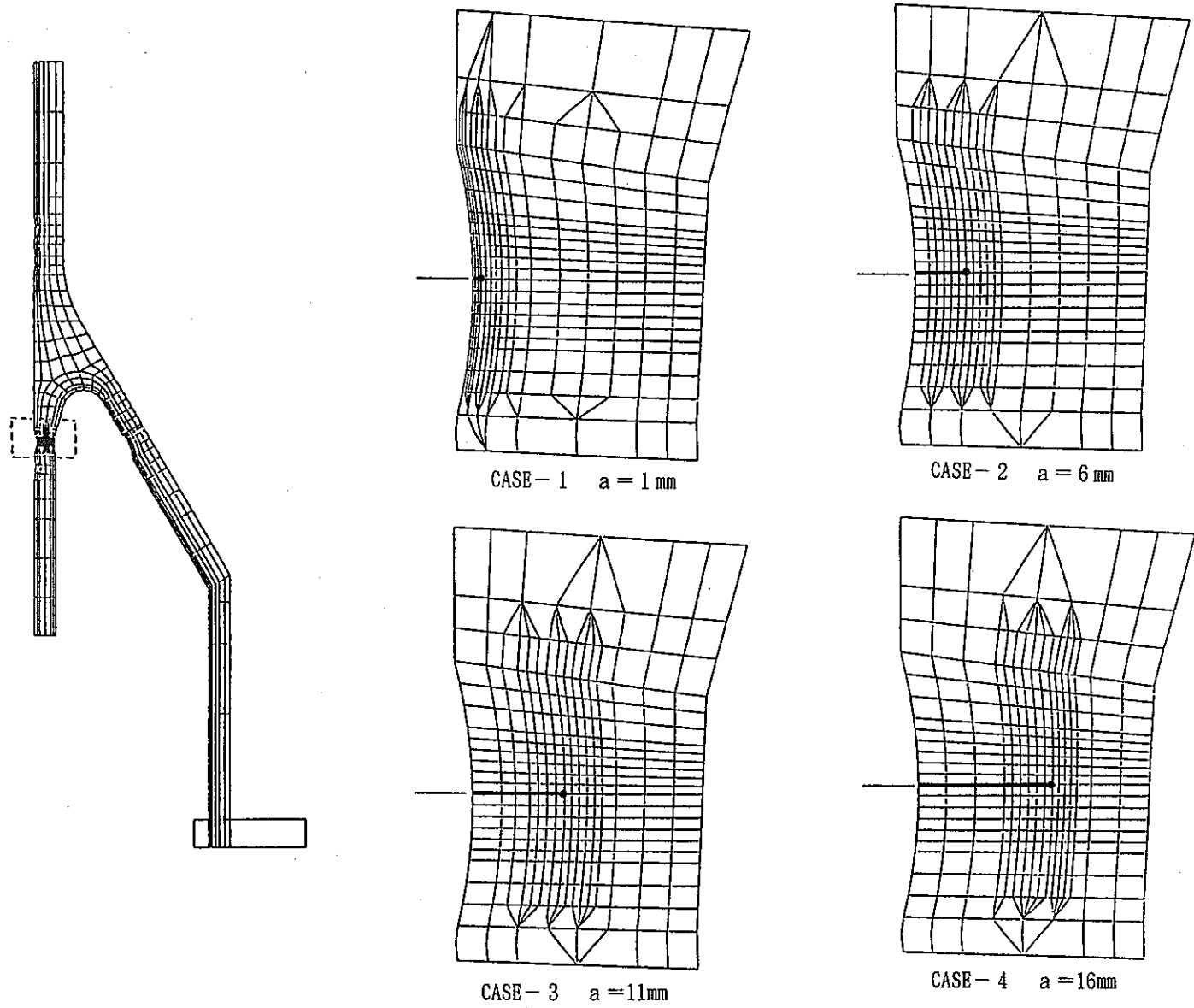


Fig. 2.2.5 Finite Element Model for Crack Analysis (Skirt; Thinning Portion)

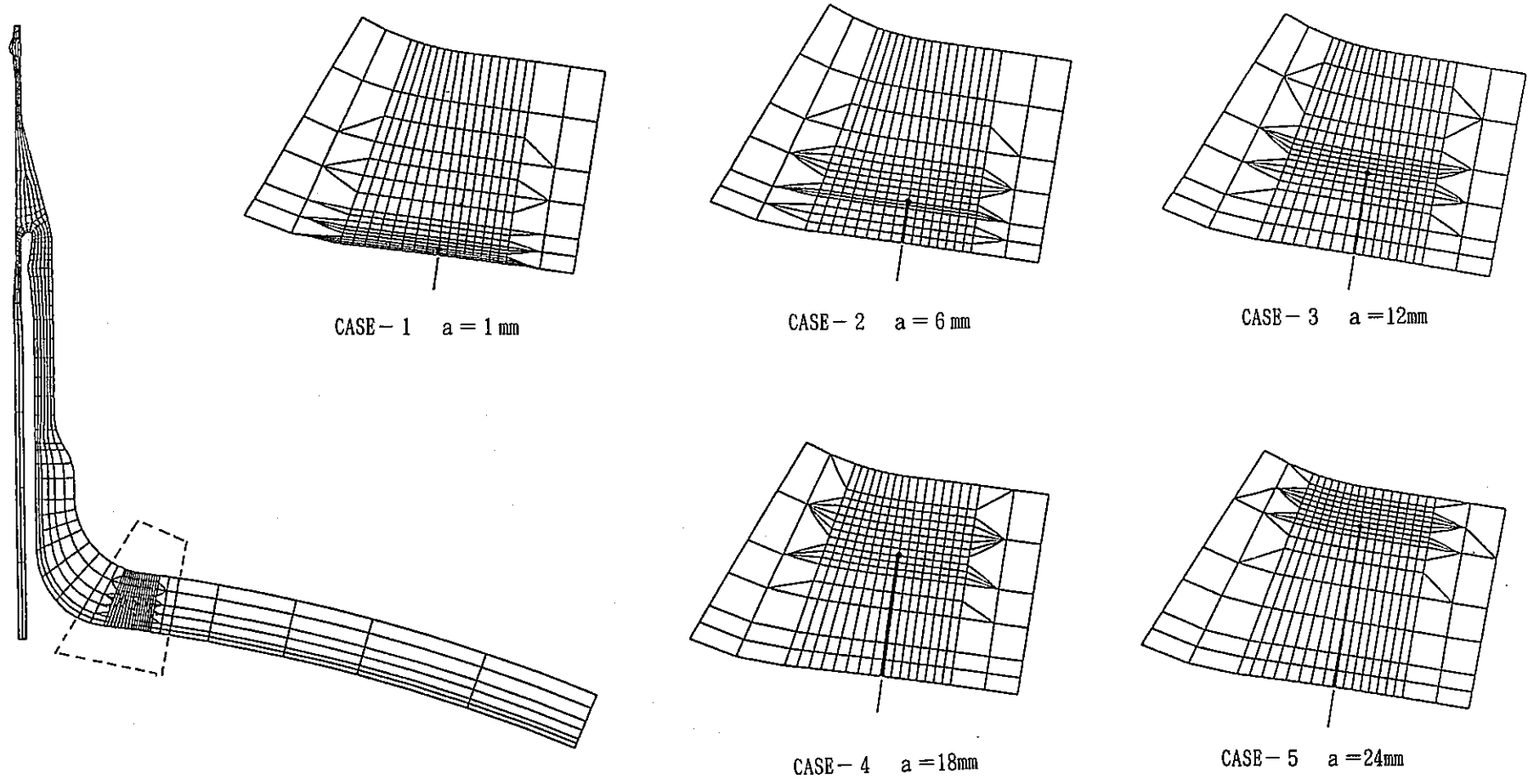


Fig. 2.2.6 Finite Element Model for Crack Analysis (Inlet Nozzle-Upper head Junction)



Table 2.2.2 Inelastic Analysis Steps (MIG Weldment, D702W)

1 サイクルめ コールド・ショック

1 サイクルめ ホット・ショック

ステップ	分割数	熱伝導の ステップ	時間 (sec)	ステップ	分割数	熱伝導の ステップ	時間 (sec)	クリープ時間 (sec)
1	1	2	0.000	63	1	63	15.000	
2	1	3	15.000	64	1	64	16.000	
3	1	4	15.500	65	1	65	17.000	
4	1	5	16.000	66	1	66	18.000	
5	1	6	16.500	67	1	67	19.000	
6	1	7	17.000	68	1	68	20.000	
7	1	8	17.500	69	1	69	21.000	
8	1	9	18.000	70	1	70	22.000	
9	1	10	18.500	71	1	71	23.000	
10	1	11	19.000	72	1	72	24.000	
11	1	12	19.500	73	1	73	25.000	
12	1	13	20.000	74	1	74	26.000	
13	1	14	21.000	75	1	75	27.000	
14	1	15	22.000	76	1	76	28.000	
15	1	16	23.000	77	1	77	29.000	
16	1	17	24.000	78	1	78	30.000	
17	1	18	25.000	80	2	79	32.000	
18	1	19	26.000	81	1	80	34.000	2.000
19	1	20	27.000	82	1	81	36.000	4.000
20	1	21	28.000	83	1	82	38.000	6.000
21	1	22	29.000	84	1	83	40.000	8.000
22	1	23	30.000	85	1	84	42.500	10.500
24	2	24	32.000	86	1	85	45.000	13.000
25	1	25	34.000	87	1	86	47.500	15.500
26	1	26	36.000	88	1	87	50.000	18.000
27	1	27	38.000	89	1	88	55.000	23.000
28	1	28	40.000	90	1	89	60.000	28.000
29	1	29	45.000	91	1	90	70.000	38.000
30	1	30	50.000	92	1	91	75.000	43.000
31	1	31	60.000	93	1	92	80.000	48.000
32	1	32	70.000	94	1	93	85.000	53.000
33	1	33	80.000	95	1	94	90.000	58.000
34	1	34	90.000	96	1	95	95.000	63.000
35	1	35	100.000	97	1	96	100.000	68.000
36	1	36	110.000	98	1	97	105.000	73.000
37	1	37	120.000	99	1	98	110.000	78.000
38	1	38	135.000	100	1	99	120.000	88.000
39	1	39	150.000	101	1	100	130.000	98.000
40	1	40	165.000	102	1	101	140.000	108.000
41	1	41	180.000	103	1	102	150.000	118.000
42	1	42	200.000	104	1	103	160.000	128.000
43	1	43	220.000	105	1	104	170.000	138.000
44	1	44	240.000	106	1	105	180.000	148.000
45	1	45	260.000	107	1	106	195.000	163.000
46	1	46	280.000	108	1	107	210.000	178.000
47	1	47	300.000	109	1	108	225.000	193.000
48	1	48	330.000	110	1	109	240.000	208.000
49	1	49	360.000	111	1	110	260.000	228.000
50	1	50	400.000	112	1	111	280.000	248.000
51	1	51	440.000	113	1	112	300.000	268.000
52	1	52	480.000	114	1	113	330.000	298.000
53	1	53	560.000	115	1	114	360.000	328.000
54	1	54	640.000	116	1	115	420.000	388.000
55	1	55	720.000	117	1	116	480.000	448.000
56	1	56	880.000	118	1	117	600.000	568.000
57	1	57	1040.000	119	1	118	720.000	688.000
58	1	58	1200.000	120	1	119	960.000	928.000
59	1	59	1500.000	121	1	120	1200.000	1168.000
60	1	60	1800.000	122	1	121	1800.000	1768.000
61	1	61	2100.000	123	1	122	2400.000	2368.000
62	1	62	2400.000	124	1	123	3000.000	2968.000
				125	1	124	3600.000	3568.000
				126	1	125	4200.000	4168.000
				127	1	126	4800.000	4768.000

Table 2.2.3 Inelastic Analysis Steps (SMAW Weldment, D703W)

1 サイクルめ コールド・ショック

1 サイクルめ ホット・ショック

ステップ	分割数	熱伝導の ステップ	時間 (sec)	ステップ	分割数	熱伝導の ステップ	時間 (sec)	クリープ時間 (sec)
1	1	2	0.000	64	1	64	15.000	
2	1	3	15.000	65	1	65	16.000	
3	1	4	15.500	66	1	66	17.000	
4	1	5	16.000	67	1	67	18.000	
5	1	6	16.500	68	1	68	19.000	
6	1	7	17.000	69	1	69	20.000	
7	1	8	17.500	70	1	70	21.000	
8	1	9	18.000	71	1	71	22.000	
9	1	10	18.500	72	1	72	23.000	
10	1	11	19.000	73	1	73	24.000	
11	1	12	19.500	74	1	74	25.000	
12	1	13	20.000	75	1	75	26.000	
13	1	14	21.000	76	1	76	27.000	
14	1	15	22.000	77	1	77	28.000	
15	1	16	23.000	78	1	78	29.000	
16	1	17	24.000	79	1	79	30.000	
17	1	18	25.000	81	2	80	32.000	
18	1	19	26.000	82	1	81	34.000	
19	1	20	27.000	83	1	82	36.000	
20	1	21	28.000	84	1	83	38.000	2.000
21	1	22	29.000	85	1	84	40.000	4.000
22	1	23	30.000	86	1	85	42.000	6.000
24	2	24	32.000	87	1	86	44.000	8.000
25	1	25	34.000	88	1	87	46.000	10.000
26	1	26	36.000	89	1	88	48.000	12.000
27	1	27	38.000	90	1	89	50.000	14.000
28	1	28	40.000	91	1	90	55.000	19.000
29	1	29	45.000	92	1	91	60.000	24.000
30	1	30	50.000	93	1	92	65.000	29.000
31	1	31	60.000	94	1	93	70.000	34.000
32	1	32	70.000	95	1	94	75.000	39.000
33	1	33	80.000	96	1	95	80.000	44.000
34	1	34	90.000	97	1	96	85.000	49.000
35	1	35	100.000	98	1	97	90.000	54.000
36	1	36	110.000	99	1	98	95.000	59.000
37	1	37	120.000	100	1	99	100.000	64.000
38	1	38	135.000	101	1	100	105.000	69.000
39	1	39	150.000	102	1	101	110.000	74.000
40	1	40	165.000	103	1	102	120.000	84.000
41	1	41	180.000	104	1	103	130.000	94.000
42	1	42	200.000	105	1	104	140.000	104.000
43	1	43	220.000	106	1	105	150.000	114.000
44	1	44	240.000	107	1	106	160.000	124.000
45	1	45	260.000	108	1	107	170.000	134.000
46	1	46	280.000	109	1	108	180.000	144.000
47	1	47	300.000	110	1	109	195.000	159.000
48	1	48	330.000	111	1	110	210.000	174.000
49	1	49	360.000	112	1	111	225.000	189.000
50	1	50	420.000	113	1	112	240.000	204.000
51	1	51	480.000	114	1	113	260.000	224.000
52	1	52	540.000	115	1	114	280.000	244.000
53	1	53	600.000	116	1	115	300.000	264.000
54	1	54	660.000	117	1	116	330.000	294.000
55	1	55	720.000	118	1	117	360.000	324.000
56	1	56	840.000	119	1	118	420.000	384.000
57	1	57	960.000	120	1	119	480.000	444.000
58	1	58	1080.000	121	1	120	600.000	564.000
59	1	59	1200.000	122	1	121	720.000	684.000
60	1	60	1500.000	123	1	122	960.000	924.000
61	1	61	1800.000	124	1	123	1200.000	1164.000
62	1	62	2100.000	125	1	124	1800.000	1764.000
63	1	63	2400.000	126	1	125	2400.000	2364.000
				127	1	126	3000.000	2964.000
				128	1	127	3600.000	3564.000
				129	1	128	4200.000	4164.000
				130	1	129	4800.000	4764.000

Table 2.2.4 Inelastic Analysis Steps (EBW Weldment, D704W)

1 サイクルめ コールド・ショック

1 サイクルめ ホット・ショック

ステップ	分割数	熱伝導の ステップ	時間 (sec)	ステップ	分割数	熱伝導の ステップ	時間 (sec)	クリープ時間 (sec)
1	1	2	0.000	60	1	61	15.000	
2	1	3	15.000	61	1	62	16.000	
3	1	4	16.000	62	1	63	17.000	
4	1	5	17.000	63	1	64	18.000	
5	1	6	18.000	64	1	65	19.000	
6	1	7	19.000	65	1	66	20.000	
7	1	8	20.000	66	1	67	21.000	
8	1	9	21.000	67	1	68	22.000	
9	1	10	22.000	68	1	69	23.000	
10	1	11	23.000	69	1	70	24.000	
11	1	12	24.000	70	1	71	25.000	
12	1	13	25.000	71	1	72	26.000	
13	1	14	26.000	72	1	73	27.000	
14	1	15	27.000	73	1	74	28.000	
15	1	16	28.000	74	1	75	29.000	
16	1	17	29.000	75	1	76	30.000	
17	1	18	30.000	77	2	77	32.000	
18	1	19	32.000	78	1	78	34.000	
19	1	20	34.000	79	1	79	36.000	
20	1	21	36.000	80	1	80	38.000	2.000
21	1	22	38.000	81	1	81	40.000	4.000
22	1	23	40.000	82	1	82	42.000	6.000
23	1	24	45.000	83	1	83	44.000	8.000
24	1	25	50.000	84	1	84	46.000	10.000
25	1	26	55.000	85	1	85	48.000	12.000
26	1	27	60.000	86	1	86	50.000	14.000
27	1	28	70.000	87	1	87	55.000	19.000
28	1	29	80.000	88	1	88	60.000	24.000
29	1	30	90.000	89	1	89	65.000	29.000
30	1	31	100.000	90	1	90	70.000	34.000
31	1	32	110.000	91	1	91	80.000	44.000
32	1	33	120.000	92	1	92	90.000	54.000
33	1	34	130.000	93	1	93	100.000	64.000
34	1	35	140.000	94	1	94	110.000	74.000
35	1	36	150.000	95	1	95	120.000	84.000
36	1	37	165.000	96	1	96	130.000	94.000
37	1	38	180.000	97	1	97	140.000	104.000
38	1	39	195.000	98	1	98	150.000	114.000
39	1	40	210.000	99	1	99	160.000	124.000
40	1	41	225.000	100	1	100	170.000	134.000
41	1	42	240.000	101	1	101	180.000	144.000
42	1	43	260.000	102	1	102	195.000	159.000
43	1	44	280.000	103	1	103	210.000	174.000
44	1	45	300.000	104	1	104	225.000	189.000
45	1	46	330.000	105	1	105	240.000	204.000
46	1	47	360.000	106	1	106	260.000	224.000
47	1	48	400.000	107	1	107	280.000	244.000
48	1	49	440.000	108	1	108	300.000	264.000
49	1	50	480.000	109	1	109	330.000	294.000
50	1	51	560.000	110	1	110	360.000	324.000
51	1	52	640.000	111	1	111	420.000	384.000
52	1	53	720.000	112	1	112	480.000	444.000
53	1	54	880.000	113	1	113	600.000	564.000
54	1	55	1040.000	114	1	114	720.000	684.000
55	1	56	1200.000	115	1	115	960.000	924.000
56	1	57	1500.000	116	1	116	1200.000	1164.000
57	1	58	1800.000	117	1	117	1800.000	1764.000
58	1	59	2100.000	118	1	118	2400.000	2364.000
59	1	60	2400.000	119	1	119	3000.000	2964.000
				120	1	120	3600.000	3564.000
				121	1	121	4200.000	4164.000
				122	1	122	4800.000	4764.000

Table 2.2.5 Inelastic Analysis Steps (TIG Weldment, D705W)

1 サイクルめ コールド・ショック

1 サイクルめ ホット・ショック

ステップ	分割数	熱伝導の ステップ	時間 (sec)	ステップ	分割数	熱伝導の ステップ	時間 (sec)	クリープ時間 (sec)
1	1	1	0.000	60	1	60	15.000	
2	1	2	0.000	61	1	61	16.000	
3	1	3	15.000	62	1	62	17.000	
4	1	4	16.000	63	1	63	18.000	
5	1	5	17.000	64	1	64	19.000	
6	1	6	18.000	65	1	65	20.000	
7	1	7	19.000	66	1	66	21.000	
8	1	8	20.000	67	1	67	22.000	
9	1	9	22.000	68	1	68	23.000	
10	1	10	24.000	69	1	69	24.000	
11	1	11	26.000	70	1	70	25.000	
12	1	12	28.000	71	1	71	26.000	
13	1	13	30.000	72	1	72	27.000	
14	1	14	32.000	73	1	73	28.000	
15	1	15	34.000	74	1	74	29.000	
16	1	16	36.000	75	1	75	30.000	
17	1	17	38.000	76	1	76	32.000	
18	1	18	40.000	77	1	77	34.000	
19	1	19	42.000	78	1	78	36.000	
20	1	20	44.000	79	1	79	38.000	
21	1	21	46.000	80	1	80	40.000	
22	1	22	48.000	81	1	81	42.000	2.000
23	1	23	50.000	82	1	82	44.000	4.000
24	1	24	55.000	83	1	83	46.000	6.000
25	1	25	60.000	84	1	84	48.000	8.000
26	1	26	65.000	85	1	85	50.000	10.000
27	1	27	70.000	86	1	86	55.000	15.000
28	1	28	80.000	87	1	87	60.000	20.000
29	1	29	90.000	88	1	88	65.000	25.000
30	1	30	100.000	89	1	89	70.000	30.000
31	1	31	110.000	90	1	90	75.000	35.000
32	1	32	120.000	91	1	91	80.000	40.000
33	1	33	130.000	92	1	92	90.000	50.000
34	1	34	140.000	93	1	93	100.000	60.000
35	1	35	150.000	94	1	94	110.000	70.000
36	1	36	165.000	95	1	95	120.000	80.000
37	1	37	180.000	96	1	96	130.000	90.000
38	1	38	200.000	97	1	97	140.000	100.000
39	1	39	220.000	98	1	98	150.000	110.000
40	1	40	240.000	99	1	99	160.000	120.000
41	1	41	260.000	100	1	100	170.000	130.000
42	1	42	280.000	101	1	101	180.000	140.000
43	1	43	300.000	102	1	102	195.000	155.000
44	1	44	320.000	103	1	103	210.000	170.000
45	1	45	340.000	104	1	104	225.000	185.000
46	1	46	360.000	105	1	105	240.000	200.000
47	1	47	400.000	106	1	106	260.000	220.000
48	1	48	440.000	107	1	107	280.000	240.000
49	1	49	480.000	108	1	108	300.000	260.000
50	1	50	560.000	109	1	109	330.000	290.000
51	1	51	640.000	110	1	110	360.000	320.000
52	1	52	720.000	111	1	111	420.000	380.000
53	1	53	880.000	112	1	112	480.000	440.000
54	1	54	1040.000	113	1	113	600.000	560.000
55	1	55	1200.000	114	1	114	720.000	680.000
56	1	56	1500.000	115	1	115	960.000	920.000
57	1	57	1800.000	116	1	116	1200.000	1160.000
58	1	58	2100.000	117	1	117	1800.000	1760.000
59	1	59	2400.000	118	1	118	2400.000	2360.000
				119	1	119	3000.000	2960.000
				120	1	120	3600.000	3560.000
				121	1	121	4200.000	4160.000
				122	1	122	4800.000	4760.000

Table 2.2.6 Inelastic Analysis Steps (Skirt;Thinning Portion)

1 サイクルめ コールド・ショック				1 サイクルめ ホット・ショック				
ステップ	分割数	熱伝導の ステップ	時間 (sec)	ステップ	分割数	熱伝導の ステップ	時間 (sec)	クリープ時間 (sec)
1	1	74	0.000	50	1	123	30.000	
2	1	75	20.000	51	1	124	36.000	
3	1	76	30.000	52	1	125	42.000	
4	1	77	33.000	53	1	126	48.000	
5	1	78	36.000	54	1	127	54.000	
6	1	79	39.000	55	1	128	60.000	
7	1	80	42.000	56	1	129	66.000	
8	1	81	45.000	57	1	130	72.000	
9	1	82	48.000	58	1	131	78.000	
10	1	83	51.000	59	1	132	84.000	
11	1	84	54.000	60	1	133	90.000	
12	1	85	57.000	61	1	134	100.000	
13	1	86	60.000	62	1	135	110.000	
14	1	87	65.000	63	1	136	120.000	
15	1	88	70.000	64	1	137	130.000	
16	1	89	75.000	65	1	138	140.000	
17	1	90	80.000	66	1	139	150.000	
18	1	91	85.000	67	1	140	160.000	
19	1	92	90.000	68	1	141	170.000	
20	1	93	100.000	69	1	142	180.000	
21	1	94	110.000	70	1	143	190.000	
22	1	95	120.000	71	1	144	200.000	
23	1	96	135.000	72	1	145	210.000	
24	1	97	150.000	73	1	146	220.000	
25	1	98	165.000	74	1	147	230.000	10.000
26	1	99	180.000	75	1	148	240.000	20.000
27	1	100	195.000	76	1	149	260.000	40.000
28	1	101	210.000	77	1	150	280.000	60.000
29	1	102	225.000	78	1	151	300.000	80.000
30	1	103	240.000	79	1	152	320.000	100.000
31	1	104	270.000	80	1	153	340.000	120.000
32	1	105	300.000	81	1	154	360.000	140.000
33	1	106	330.000	82	1	155	380.000	160.000
34	1	107	360.000	83	1	156	400.000	180.000
35	1	108	400.000	84	1	157	420.000	200.000
36	1	109	440.000	85	1	158	440.000	220.000
37	1	110	480.000	86	1	159	460.000	240.000
38	1	111	540.000	87	1	160	480.000	260.000
39	1	112	600.000	88	1	161	520.000	300.000
40	1	113	660.000	89	1	162	560.000	340.000
41	1	114	720.000	90	1	163	600.000	380.000
42	1	115	840.000	91	1	164	660.000	440.000
43	1	116	960.000	92	1	165	720.000	500.000
44	1	117	1080.000	93	1	166	800.000	580.000
45	1	118	1200.000	94	1	167	880.000	660.000
46	1	119	1350.000	95	1	168	960.000	740.000
47	1	120	1500.000	96	1	169	1080.000	860.000
48	1	121	1800.000	97	1	170	1200.000	980.000
49	1	122	2400.000	98	1	171	1350.000	1130.000
				99	1	172	1500.000	1280.000
				100	1	173	1800.000	1580.000
				101	1	174	2100.000	1880.000
				102	1	175	2400.000	2180.000
				103	1	176	3000.000	2780.000
				104	1	177	3600.000	3380.000
				105	1	178	4200.000	3980.000
				106	1	179	4800.000	4580.000

Table 2.2.7 Inelastic Analysis Steps (Inlet Nozzle-Upper head Junction)

1 サイクルめ コールド・ショック				1 サイクルめ ホット・ショック				
ステップ	分割数	熱伝導の ステップ	時間 (sec)	ステップ	分割数	熱伝導の ステップ	時間 (sec)	クリープ時間 (sec)
1	1	2	0.000	82	1	76	10.000	
2	1	3	10.000	83	1	77	11.000	
3	1	4	10.500	84	1	78	12.000	
4	1	5	11.000	85	1	79	13.000	
5	1	6	11.500	86	1	80	14.000	
6	1	7	12.000	87	1	81	15.000	
7	1	8	12.500	88	1	82	15.500	
8	1	9	13.000	89	1	83	16.000	
9	1	10	13.500	90	1	84	16.500	
10	1	11	14.000	91	1	85	17.000	
11	1	12	14.500	92	1	86	17.500	
12	1	13	15.000	93	1	87	18.000	
13	1	14	15.500	94	1	88	18.500	
14	1	15	16.000	95	1	89	19.000	0.500
15	1	16	16.500	96	1	90	19.500	1.000
16	1	17	17.000	97	1	91	20.000	1.500
17	1	18	17.500	98	1	92	20.500	2.000
18	1	19	18.000	99	1	93	21.000	2.500
19	1	20	18.500	100	1	94	21.500	3.000
20	1	21	19.000	101	1	95	22.000	3.500
21	1	22	19.500	102	1	96	22.500	4.000
22	1	23	20.000	103	1	97	23.000	4.500
23	1	24	21.000	104	1	98	23.500	5.000
24	1	25	22.000	105	1	99	24.000	5.500
25	1	26	23.000	106	1	100	24.500	6.000
26	1	27	24.000	107	1	101	25.000	6.500
27	1	28	25.000	108	1	102	26.000	7.500
28	1	29	26.000	109	1	103	27.000	8.500
29	1	30	27.000	110	1	104	28.000	9.500
30	1	31	28.000	111	1	105	29.000	10.500
31	1	32	29.000	112	1	106	30.000	11.500
32	1	33	30.000	113	1	107	32.000	13.500
33	1	34	32.500	114	1	108	34.000	15.500
34	1	35	35.000	115	1	109	36.000	17.500
36	2	36	40.000	116	1	110	38.000	19.500
39	3	37	50.000	117	1	111	40.000	21.500
41	2	38	60.000	118	1	112	42.500	24.000
45	4	39	90.000	119	1	113	45.000	26.500
46	1	40	120.000	120	1	114	47.500	29.000
47	1	41	180.000	121	1	115	50.000	31.500
48	1	42	190.000	122	1	116	55.000	36.500
49	1	43	200.000	123	1	117	60.000	41.500
50	1	44	210.000	124	1	118	65.000	46.500
51	1	45	220.000	125	1	119	70.000	51.500
52	1	46	230.000	126	1	120	75.000	56.500
53	1	47	240.000	127	1	121	80.000	61.500
54	1	48	260.000	128	1	122	90.000	71.500
55	1	49	280.000	130	2	123	105.000	86.500
56	1	50	300.000	132	2	124	120.000	101.500
57	1	51	320.000	135	3	125	150.000	131.500
58	1	52	340.000	137	2	126	180.000	161.500
59	1	53	360.000	139	2	127	210.000	191.500
60	1	54	400.000	141	2	128	240.000	221.500
61	1	55	440.000	143	2	129	300.000	281.500
62	1	56	480.000	144	1	130	360.000	341.500
63	1	57	520.000	145	1	131	480.000	461.500
64	1	58	560.000	146	1	132	600.000	581.500
65	1	59	600.000	147	1	133	900.000	881.500
66	1	60	640.000	148	1	134	1200.000	1181.500
67	1	61	680.000	149	1	135	1800.000	1781.500
68	1	62	720.000	150	1	136	2400.000	2381.500
69	1	63	780.000	151	1	137	3000.000	2981.500
70	1	64	840.000	152	1	138	3600.000	3581.500
71	1	65	900.000	153	1	139	4200.000	4181.500
72	1	66	960.000	154	1	140	4800.000	4781.500
73	1	67	1040.000					
74	1	68	1120.000					
75	1	69	1200.000					
76	1	70	1350.000					
77	1	71	1500.000					
78	1	72	1650.000					
79	1	73	1800.000					
80	1	74	2100.000					
81	1	75	2400.000					

### 2.3 破壊力学パラメータの解析法

本解析において破壊力学パラメータとしては、疲労によるき裂進展を記述するパラメータとして $\hat{J}$ 積分を、またクリープによるき裂進展を記述するパラメータとして $\hat{J}'$ 積分を用いた<sup>(7)</sup>。

$\hat{J}$ 積分は $J$ 積分を熱過渡荷重下に拡張したものであり、

$$J = \int_{\Gamma} \left( W_{dy} - \{T\}^T \frac{\partial \{u\}}{\partial x} ds \right)$$

$$\hat{J} = - \int_{\Gamma} T_i \frac{\partial u_i}{\partial x} d\Gamma + \iint_A \left\{ (\rho \dot{u}_i - F_i) \frac{\partial u_i}{\partial x} + \sigma_{ij} \frac{\partial \varepsilon_{ij}}{\partial x} \right\} dA$$

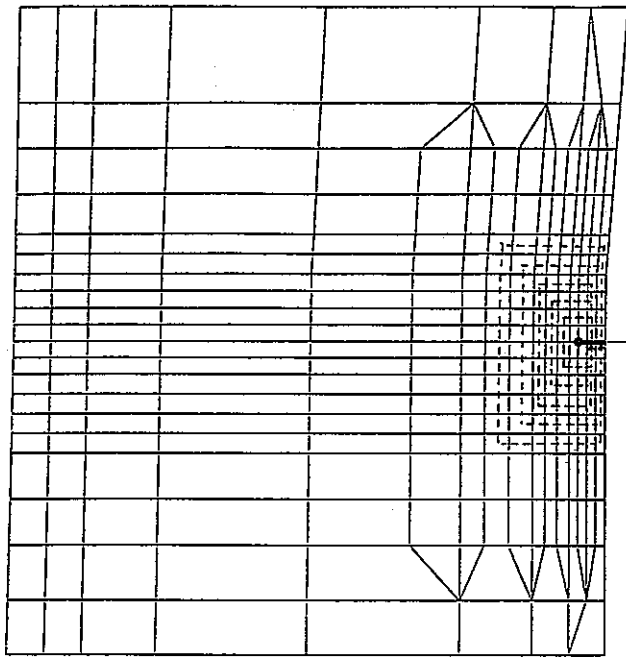
一方、 $\hat{J}'$ 積分は $J'$ 積分を非定常クリープ場に拡張したものであり、

$$J' = \int_{\Gamma} \left( \dot{w}_{dy} - \{T\}^T \frac{\partial \{\dot{u}\}}{\partial x} ds \right) \quad (\cdot \text{は時間微分を示す})$$

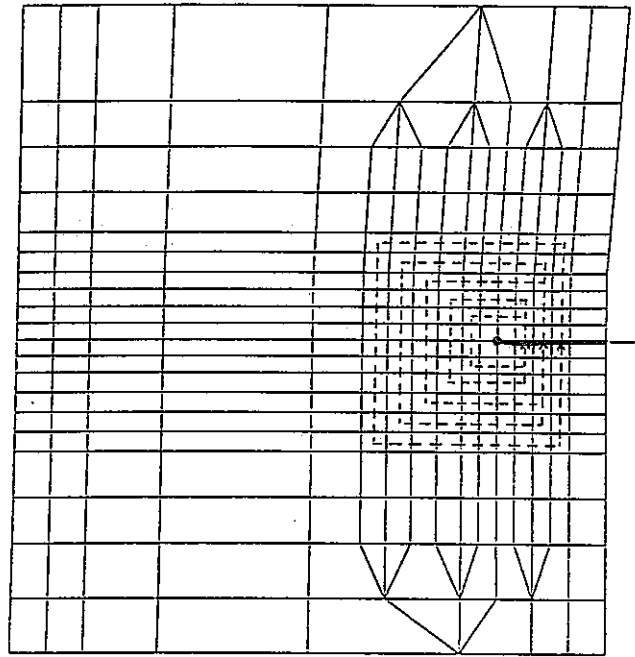
$$\hat{J}' = - \int_{\Gamma} T_i \frac{\partial \dot{u}_i}{\partial x} d\Gamma + \iint_A \left\{ (\rho \dot{u}_i - F_i) \frac{\partial \dot{u}_i}{\partial x} + \sigma_{ij} \frac{\partial \dot{\varepsilon}_{ij}}{\partial x} \right\} dA$$

解析では熱過渡1サイクルにおける $\hat{J}$ 、 $\hat{J}'$ の変化を算出し、 $\hat{J}$ についてはコールドトランジェットおよびホットトランジェットにおける各々の最大値の和として $\Delta J_F$ を求め、これを1サイクル当りの疲労き裂進展量 $(da/dN)_F$ と結びつける。また $\hat{J}'$ については熱過渡1サイクル中のクリープ時間域において時間積分を行うことにより1サイクル当りの $\Delta \hat{J}'$ を算出し、さらにクリープ時間 $(TH)$ に対する平均値として $\Delta \hat{J}' / TH$ を求め、これをクリープ時間 $TH$ を考慮して1サイクル当りのクリープき裂進展量 $(da/dN)_c$ と結びつける。

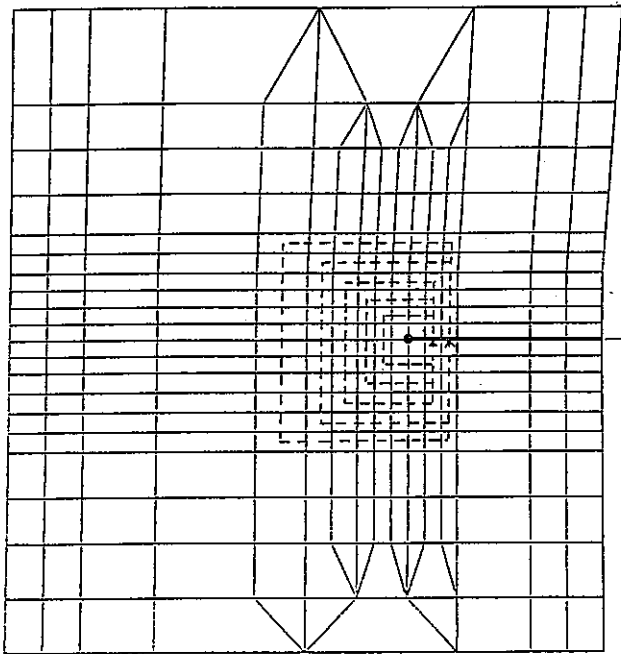
上記 $\hat{J}$ および $\hat{J}'$ の算出には経路積分法を用いた。各き裂深さモデルでの積分経路をFig. 2.3.1～2.3.6に示す。各モデルについて積分経路としては5種設定した。



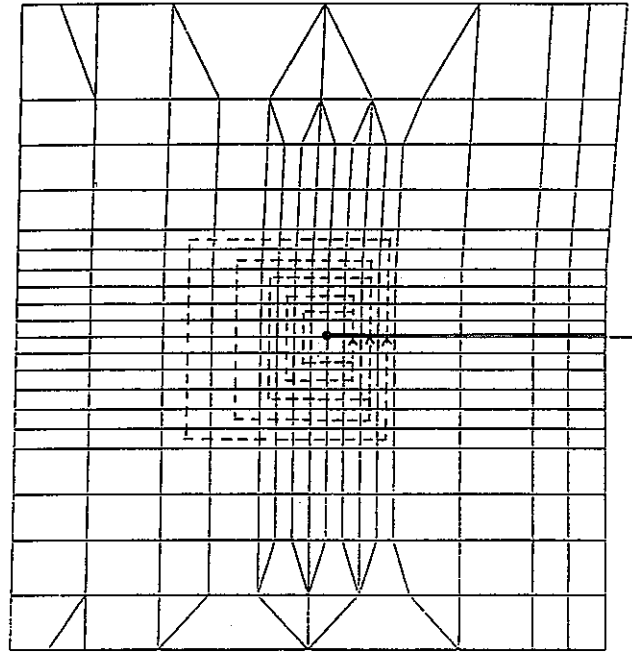
D702W CASE-1 a = 1 mm



D702W CASE-2 a = 4 mm



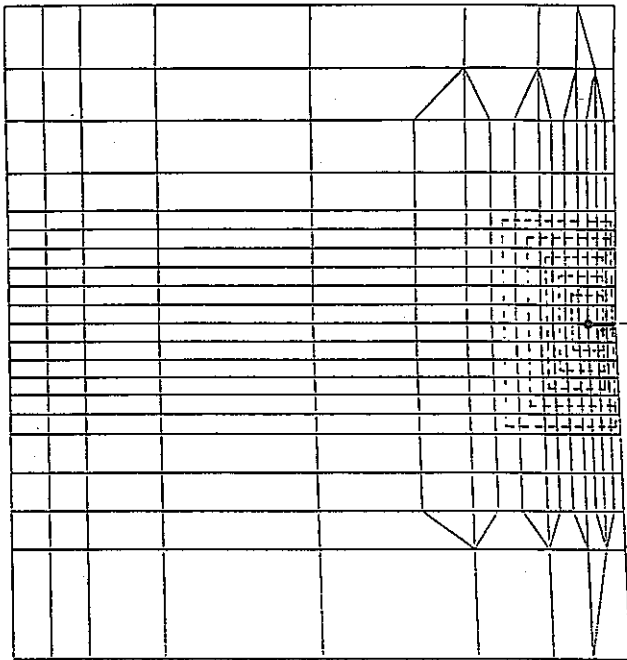
D702W CASE-3 a = 7 mm



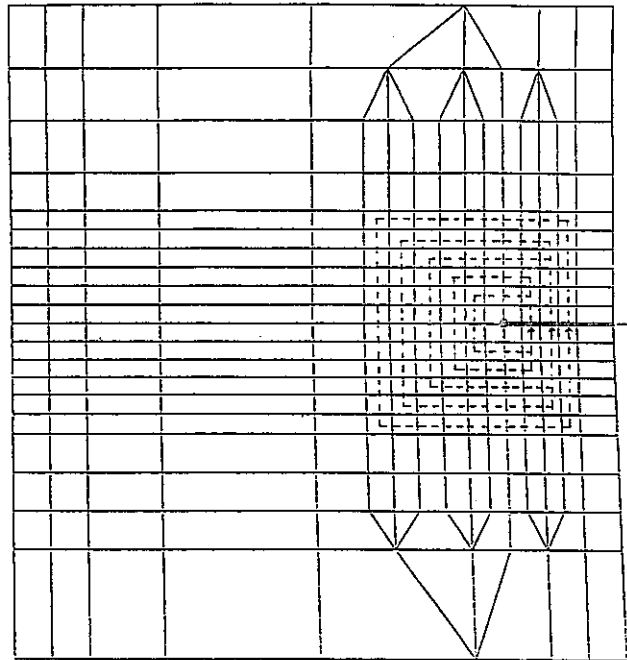
D702W CASE-4 a = 10 mm

Fig. 2.3.1 Integration Paths for  $\hat{J}$ ,  $\hat{J}'$  (MIG Weldment, D702W)

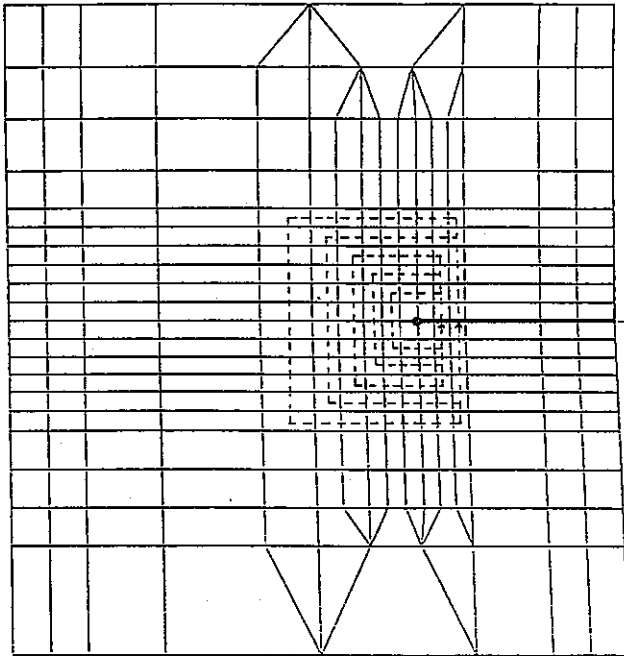




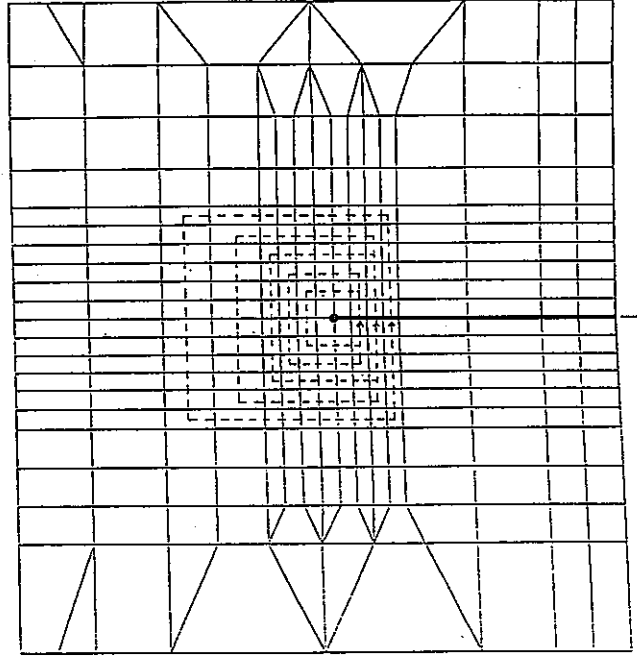
D703W CASE-1 a = 1 mm



D703W CASE-2 a = 4 mm

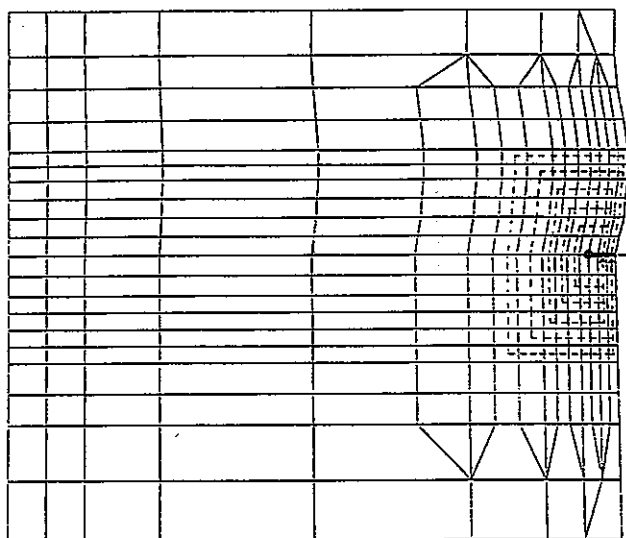


D703W CASE-3 a = 7 mm

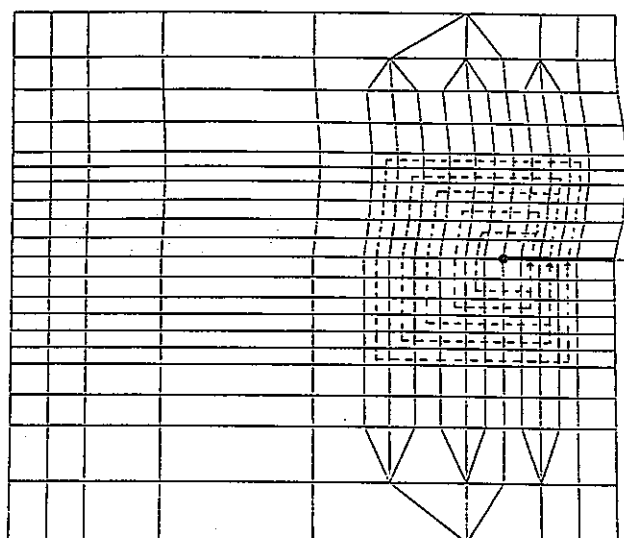


D703W CASE-4 a = 10 mm

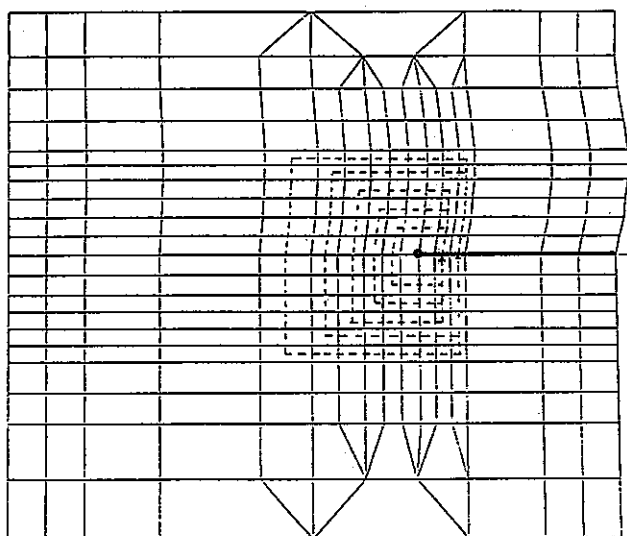
Fig. 2.3.2 Integration Paths for  $\hat{J}$ ,  $\hat{J}'$  (SMAW Weldment, D703W)



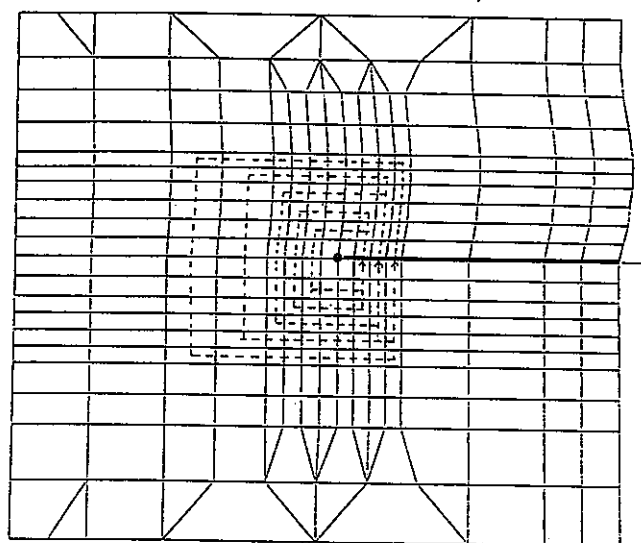
D704W CASE-1 a = 1 mm



D704W CASE-2 a = 4 mm

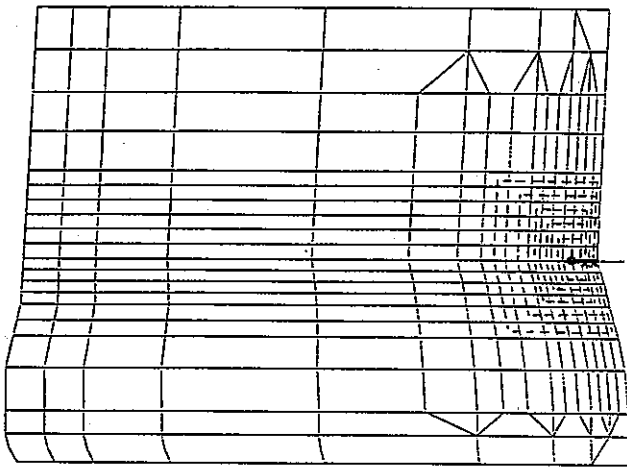


D704W CASE-3 a = 7 mm

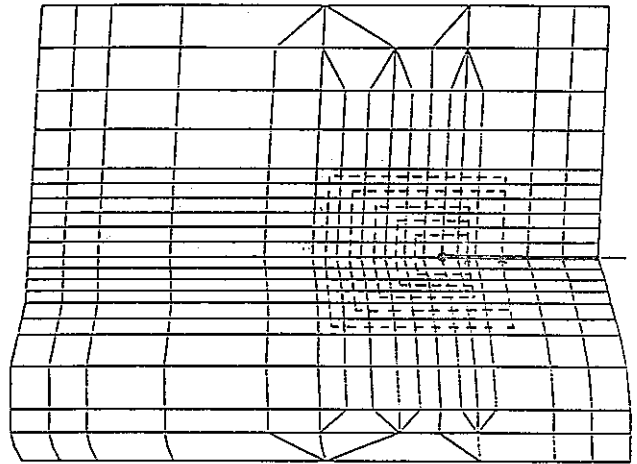


D704W CASE-4 a = 10 mm

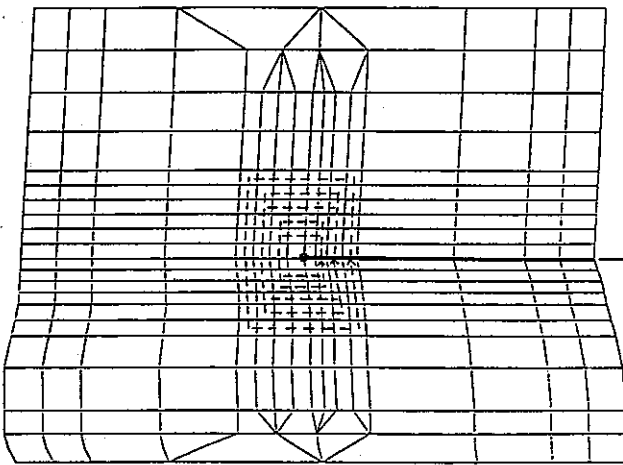
Fig. 2.3.3 Integration Paths for  $\hat{J}, \hat{J}'$  (EBW Weldment, D704W)



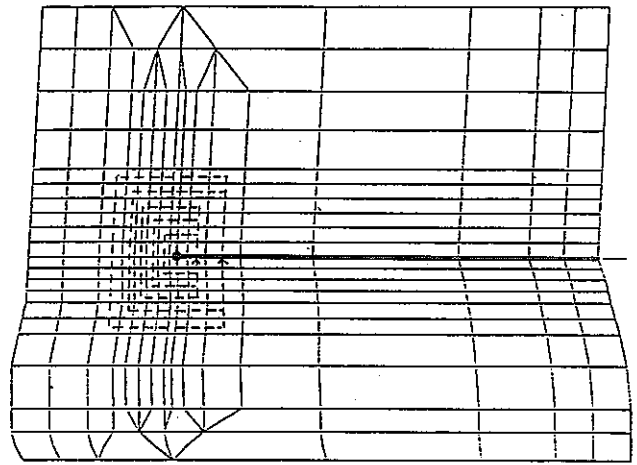
D705W CASE-1 a = 1 mm



D705W CASE-2 a = 6 mm



D705W CASE-3 a = 11mm



D705W CASE-4 a = 16mm

Fig. 2.3.4 Integration Paths for  $\hat{J}, \hat{J}'$  (TIG Weldment, D705W)

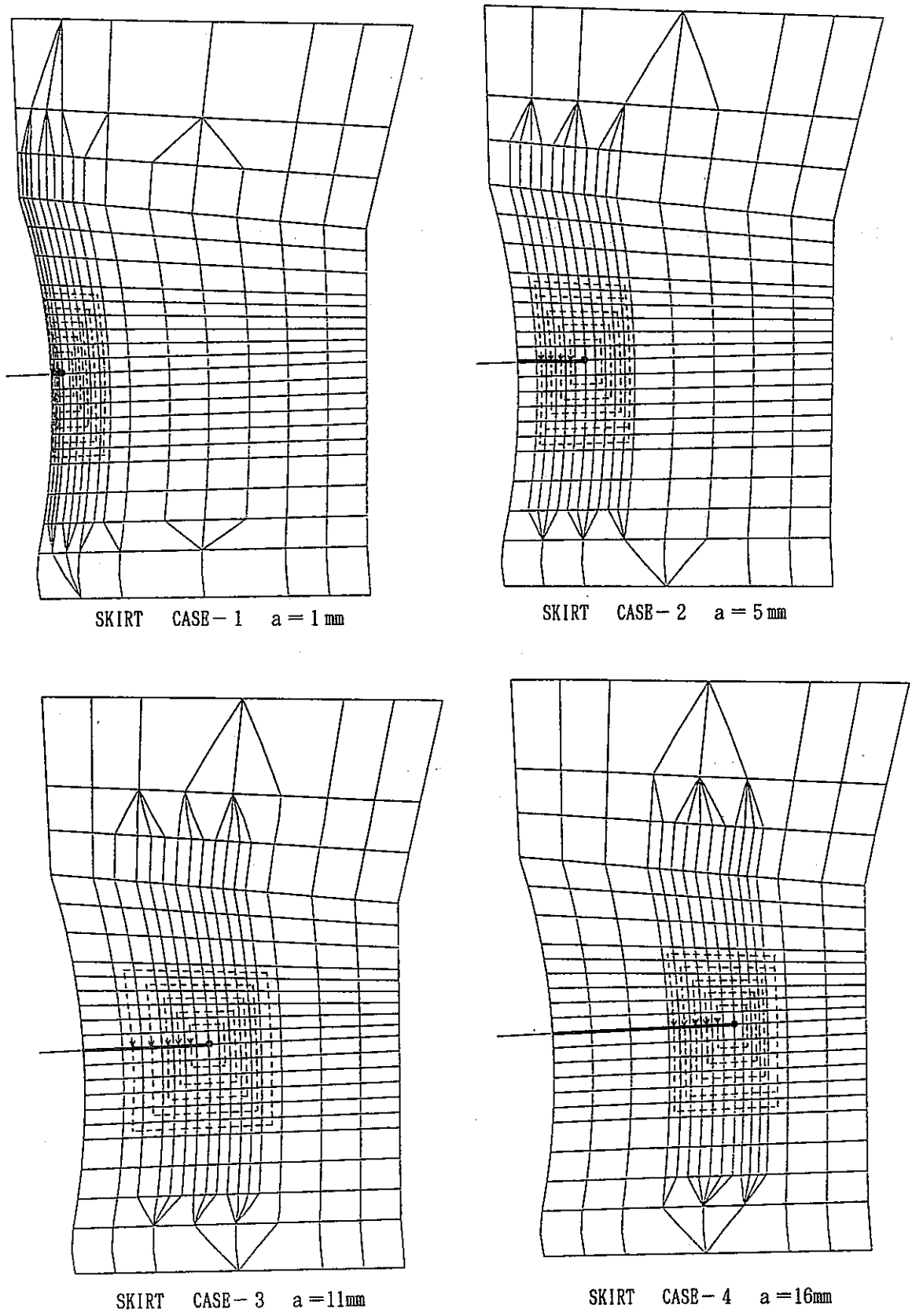
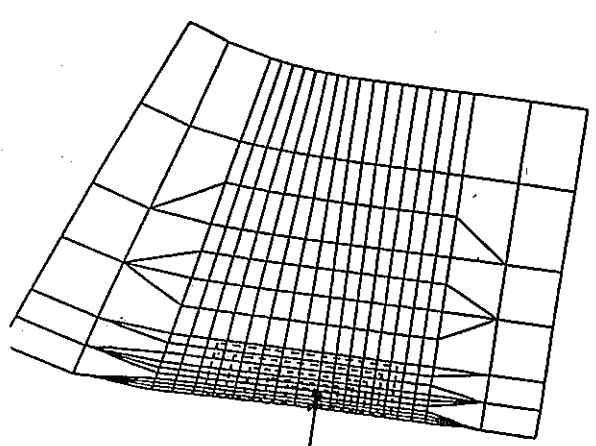
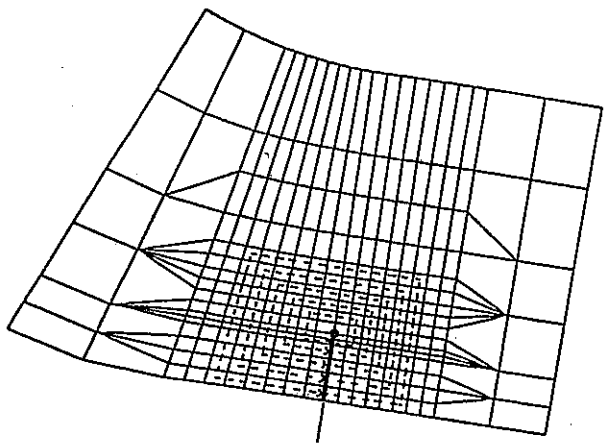


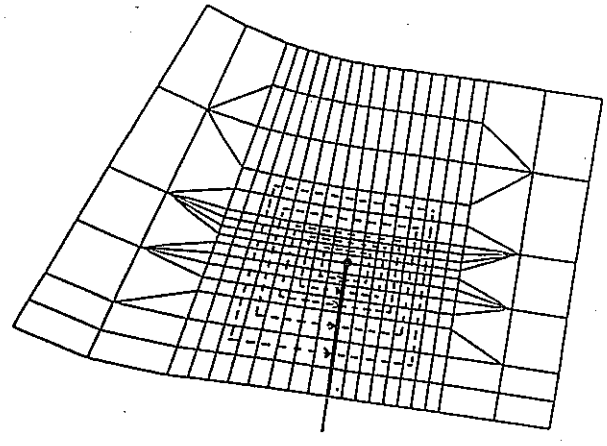
Fig. 2.3.5 Integration Paths for  $\hat{J}, \hat{J}'$  (Skirt; Thinning Portion)



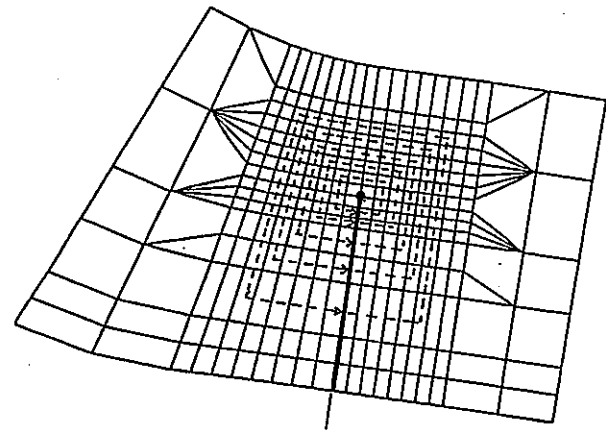
CASE - 1 a = 1 mm



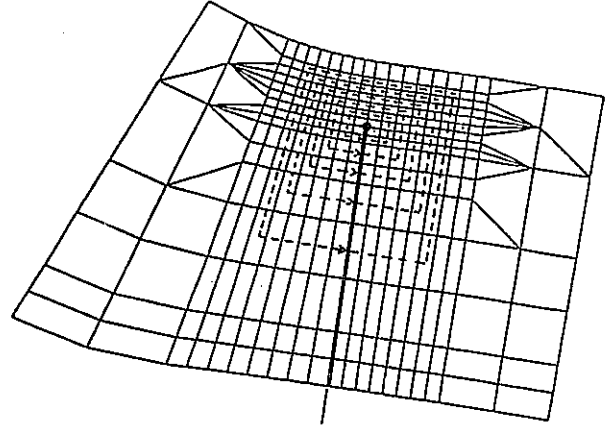
CASE - 2 a = 6 mm



CASE - 3 a = 12mm



CASE - 4 a = 18mm



CASE - 5 a = 24mm

Fig. 2.3.6 Integration Paths for  $\hat{J}, \hat{J}'$  (Inlet Nozzle-Upper head Junction)

## 2.4 き裂の進展評価法

き裂進展量の計算は以下の手法により行った。

### 2.4.1 疲労き裂進展量

熱過渡1サイクル中のコールドトランジェット側の $\hat{J}$ の最大値を $\hat{J}_{\max, \text{COLD}}$ 、ホットトランジェット側の $\hat{J}$ の最大値を $\hat{J}_{\max, \text{HOT}}$ として、疲労き裂進展算出用J積分範囲 $\Delta J_F$ を下記により求める。

$$\Delta J_F = \hat{J}_{\max, \text{COLD}} + \hat{J}_{\max, \text{HOT}}$$

次に小型試験片で得られている下記の疲労き裂進展速度式により1サイクル当りの疲労き裂進展量を算出する。

$$\left(\frac{da}{dN}\right)_F = C_f (\Delta J_F)^{m_f}$$

ここで、 $C_f$ 、 $m_f$ は材料定数であり、SUS304に対して平均値および上・下限値の形でバンドとして下表の通り与えられている。

	上 限 値	平 均 値	下 限 値
$C_f$	$4.0443 \times 10^{-3}$	$1.2022 \times 10^{-3}$	$3.5737 \times 10^{-4}$
$m_f$	1.4435	1.4435	1.4435

Fig. 2.4.1 (a) には疲労き裂進展試験における $\Delta J$ と $da/dN$ の関係を実験データと上式で表される線図を対比して示す。<sup>(8)</sup>

### 2.4.2 クリープき裂進展量

熱過渡1サイクル中のクリープ温度域における $\hat{J}'$ の経時変化によりサイクル当りの $\hat{J}'$ の時間積分値 $\Delta \hat{J}'$ を算出する。

$$\Delta \hat{J}' = \int_0^{t_c} \hat{J}' dt \quad (t_c : \text{クリープ時間})$$

クリープき裂進展算出用J積分としてクリープ時間域での平均値として $\Delta \hat{J}' / t_c$ を算出する。

次に小型試験片で得られている下記時間ベースのき裂進展速度式により、サイクル当りのクリープ時間を考慮し、1サイクル当りのクリープき裂進展量を算出する。

$$\left(\frac{da}{dN}\right)_c = C_c \left(\frac{\Delta \hat{J}'}{t_c}\right)^{m_c} \cdot t_c$$

ここで、 $C_c$ 、 $m_c$ は材料定数であり、SUS304に対して平均値および上・下限値の形でバンドとして下表の通り与えられている。

	上 限 値	平 均 値	下 限 値
$C_c$	0.2671	0.1274	$6.0720 \times 10^{-2}$
$m_c$	0.8770	0.8770	0.8770

Fig. 2.4.1 (b) にはクリープき裂進展試験における $J'$  と $da/dt$ の関係を実験データと上式で表される線図を対比して示す。<sup>(8)</sup>

### 2.4.3 クリープ疲労き裂進展量

クリープ疲労によるき裂進展量は上述疲労き裂進展とクリープき裂進展の線型加算により以下のように計算する。熱過渡1サイクル当りのクリープ疲労き裂進展量 $(da/dN)_{CF}$ は、

$$\left(\frac{da}{dN}\right)_{CF} = \left(\frac{da}{dN}\right)_F + \left(\frac{da}{dN}\right)_C$$

さらにき裂進展サイクル数の計算は、

$$N = \int_{a_s}^{a_f} 1 / \left(\frac{da}{dN}\right) da$$

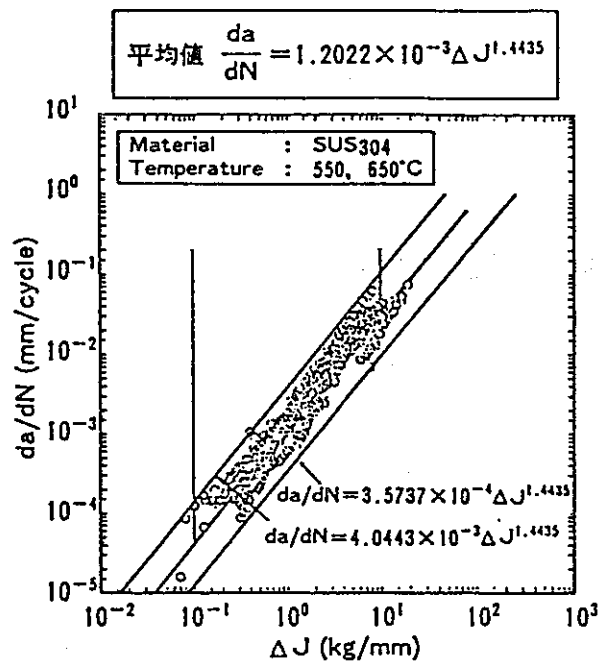
$$= \sum_{i=2}^n \frac{1}{2} \left\{ \left(\frac{dN}{da}\right)_i + \left(\frac{dN}{da}\right)_{i-1} \right\} (a_i - a_{i-1})$$

ここで、 $a_s$  : 初期き裂深さ

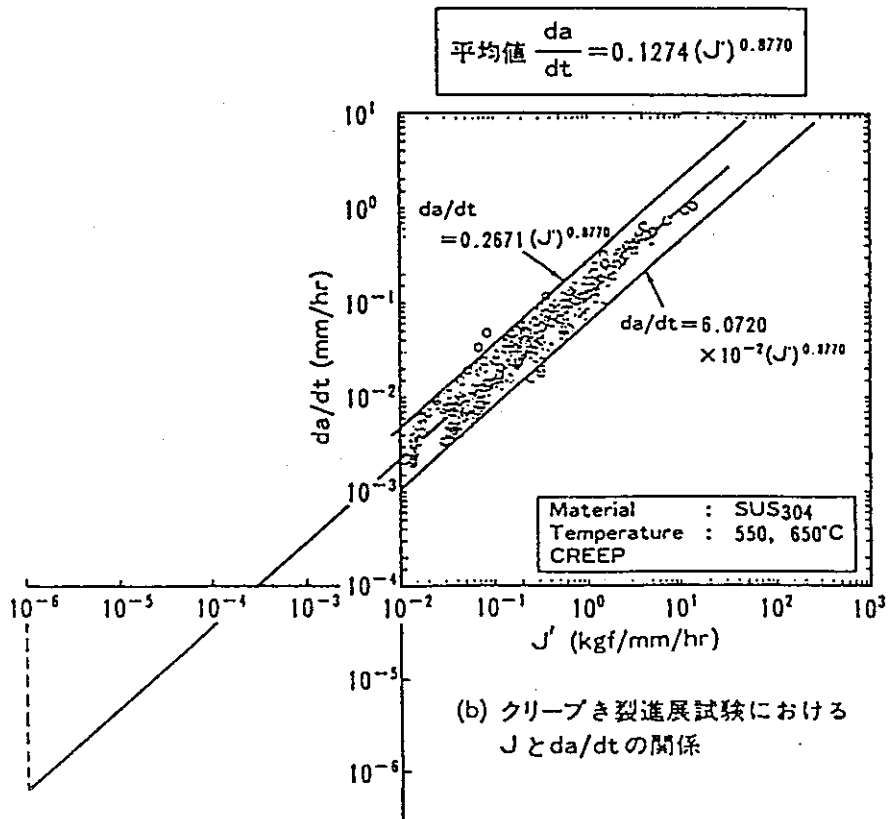
$a_f$  : 最終き裂深さ

$n$  : き裂深さに対するモデル数

また、上記積分は台形積分により行っている。



(a) 疲労き裂進展試験における  $\Delta J$  と  $da/dN$  の関係



(b) クリープき裂進展試験における  $J'$  と  $da/dt$  の関係

Fig. 2. 4. 1 Creep and Fatigue Crack Growth Rate Data of the Material



### 3. 解析結果

#### 3.1 弾塑性クリープ解析結果

各評価部位の複数のき裂深さモデルに対する弾塑性クリープ解析の結果としてFig. 3.1.1～3.1.6に熱過渡1サイクル中のき裂先端における応力，歪の時刻歴およびコールドトランジェント，ホットトランジェントにおける代表時点でのき裂面に沿った応力の分布を示す。

これらの図には1つの評価き裂について後述する破壊力学パラメータが最大となるき裂深さモデルでの解析結果を示しており，また内筒溶接部については4種の継手においてほぼ類似した挙動を示しているため代表としてMIG溶接部についてのみ示した。

これらの図において応力，歪成分の座標系は全体座標系であり，内筒溶接部，支持スカートシンニング部についてはZ成分がき裂面垂直方向となり，入口ノズル上鏡周継手部ではR成分が概略き裂面垂直方向となっている。

き裂先端における応力の履歴をみるといずれのき裂においてもコールドトランジェント，ホットトランジェントともにき裂面垂直方向応力成分が最大となっており，コールドトランジェント時に引張り，ホットトランジェント時に圧縮側となっている。またき裂深さの小さい時点（付録C参照）ではホットトランジェント初期に圧縮側の最大値を示した後引張側に反転する傾向がみられるが，き裂深さが大きくなると反転するまでには到らずほぼ0に漸近する傾向がみられる。

き裂面に沿った応力の分布図をみるとコールドトランジェントにおいては，き裂の存在する範囲でき裂面垂直方向成分は0であり，き裂先端において引張側最大値を示した後徐々に0に接近し，リガメントのある点から先方で応力が圧縮側に反転している。ホットトランジェントにおいても符号が逆転した状態で同様の分布となっている。

以上本節ではき裂入り解析モデルの非弾性解析結果の概略の記述にとどめるが，各評価部位の異なるき裂深さ状態での解析結果も含めて付録Cに非弾性解析結果の詳細を添付する。

また本研究第4報<sup>(3)</sup>で実施したき裂無し状態の解析モデルに対する非弾性解析結果も含めた比較検討は続報<sup>(10)</sup>にて実施予定である。

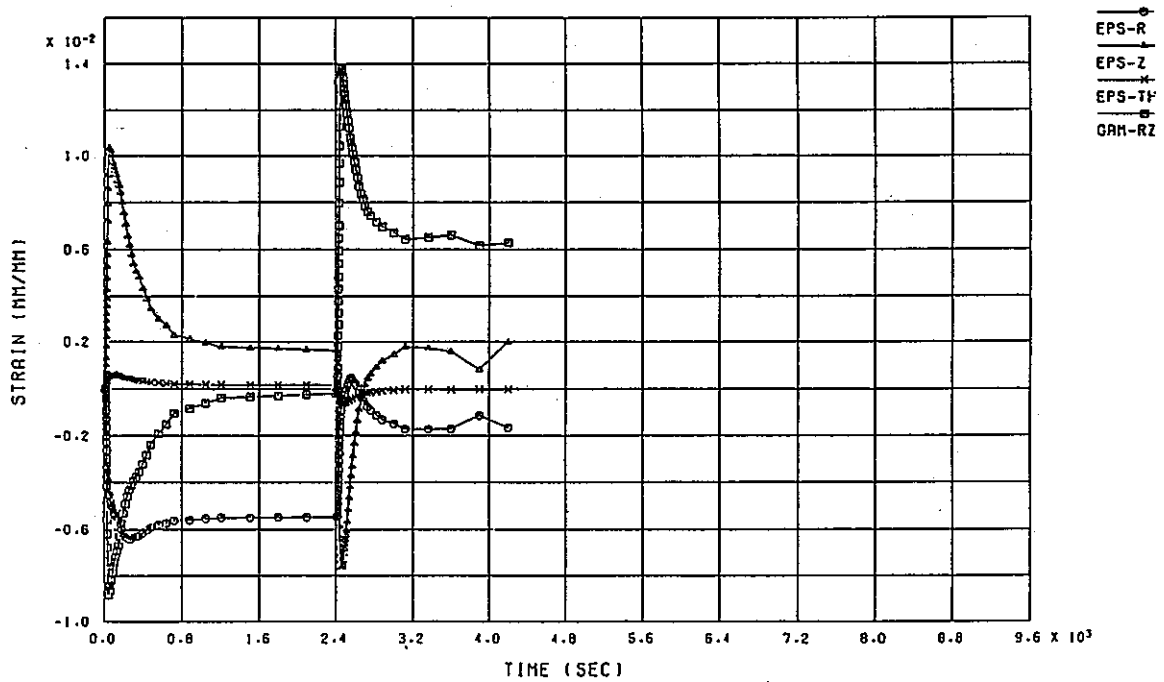
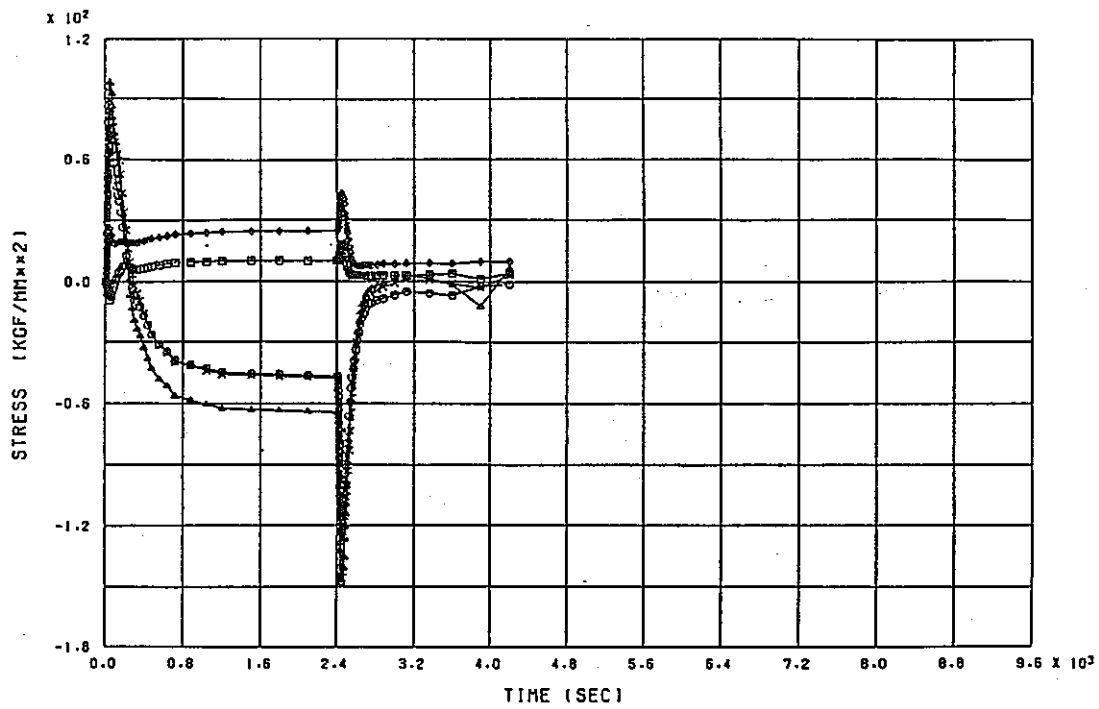
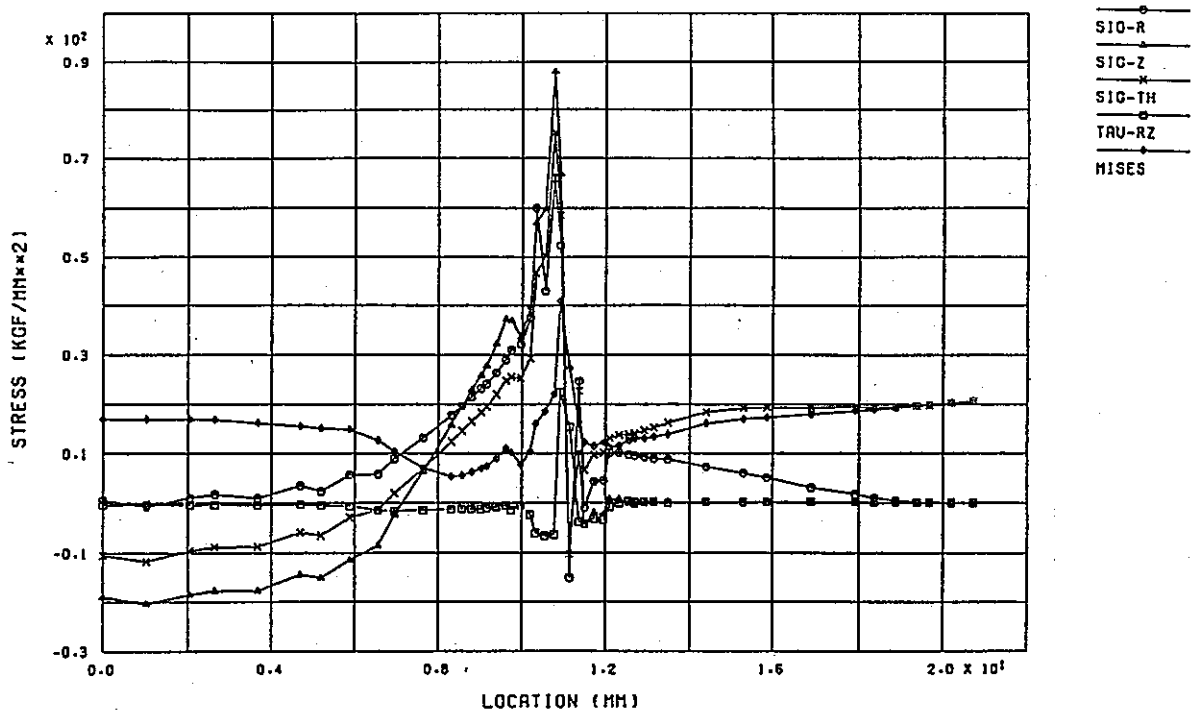
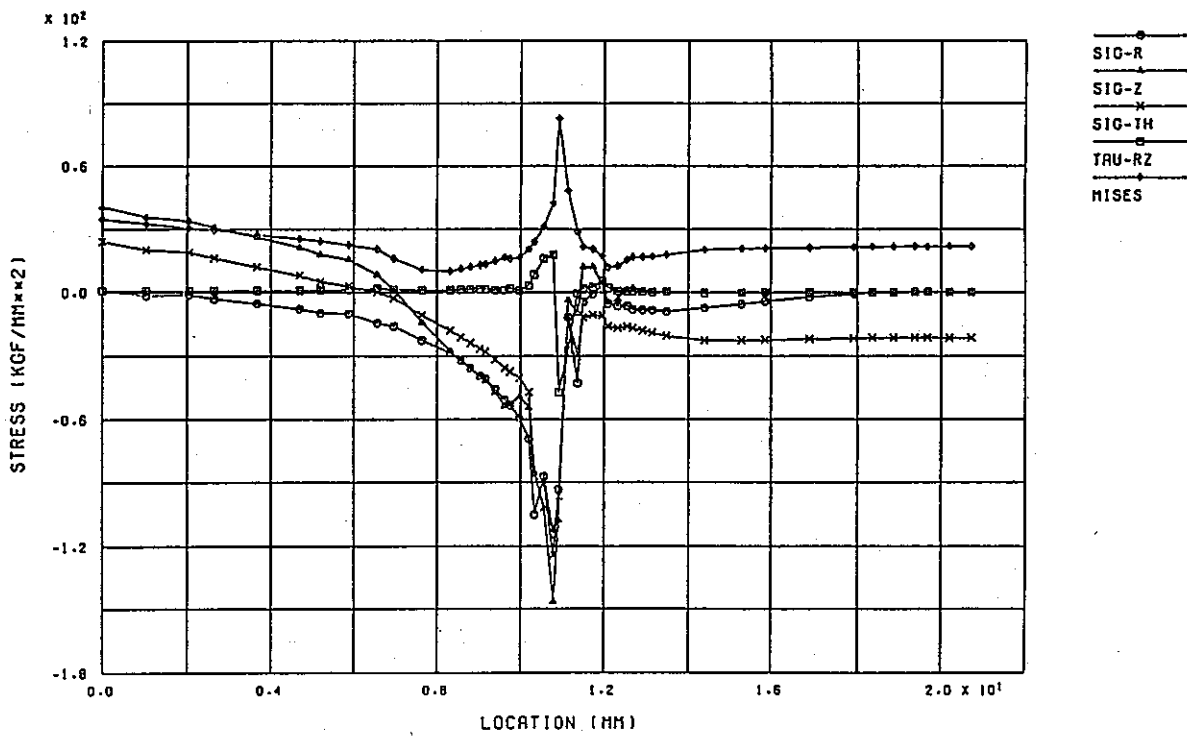


Fig. 3.1.1 Stress and Strain History at the Crack Tip (MIG Weldment, a = 10mm)



WELD D702H-4 (A=10MM) STRESS DIST. ALONG CRACK (COLD 40 SEC)



WELD D702H-4 (A=10MM) STRESS DIST. ALONG CRACK (HOT 50 SEC)

Fig. 3.1.2 Stress Distribution on the Crack Line (MIG Weldment, a=10mm)

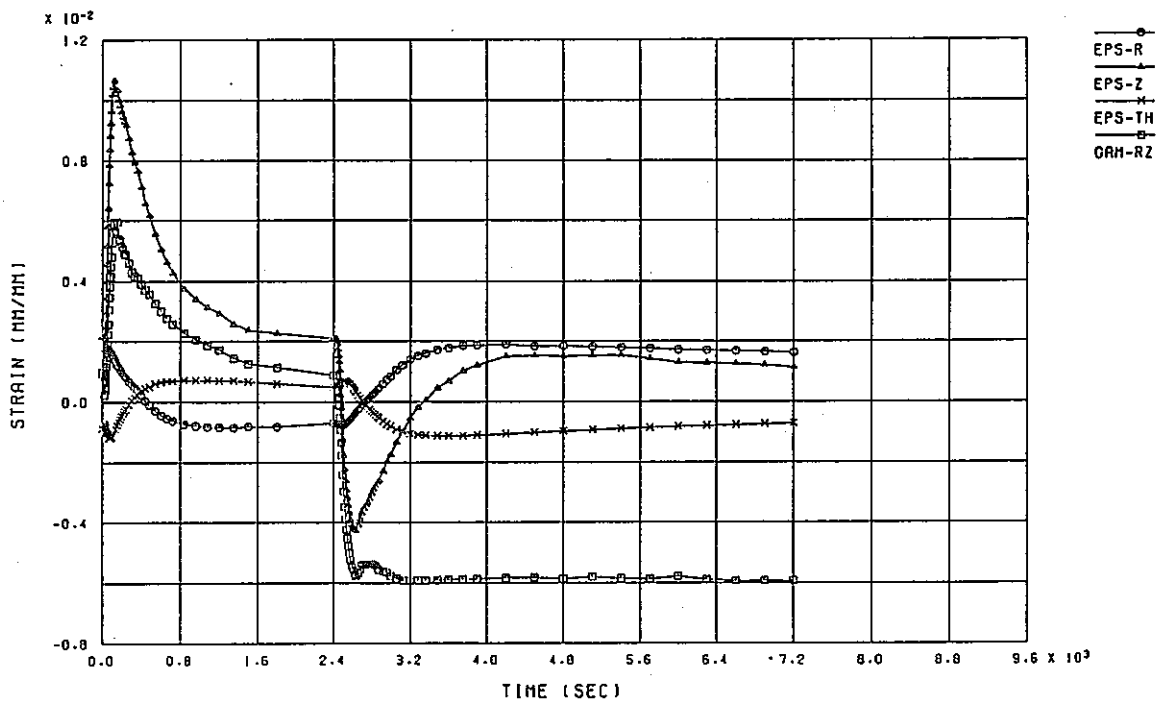
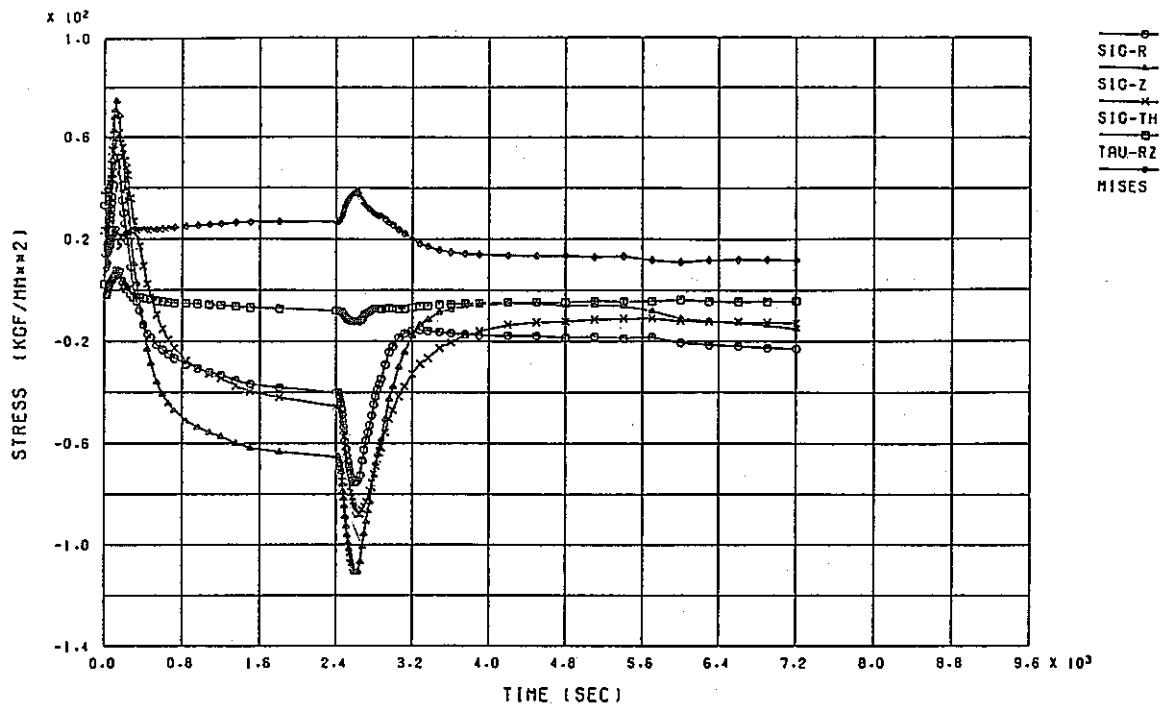


Fig. 3.1.3 Stress and Strain History at the Crack Tip (Skirt, a = 16mm)

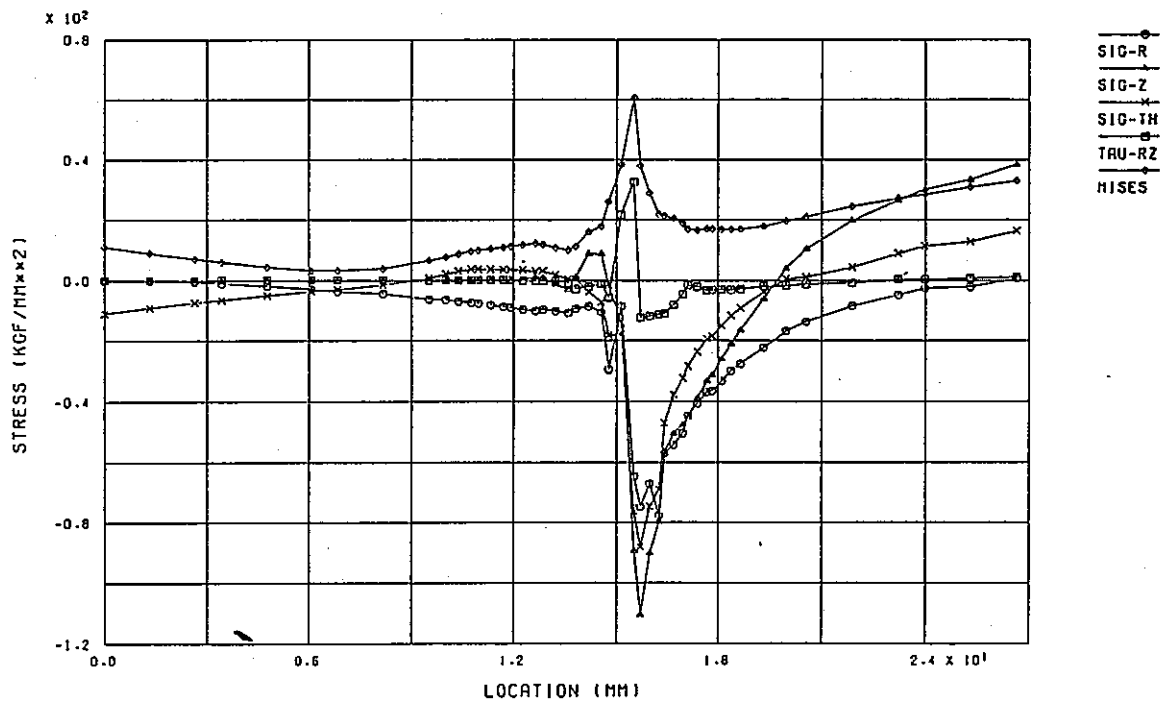
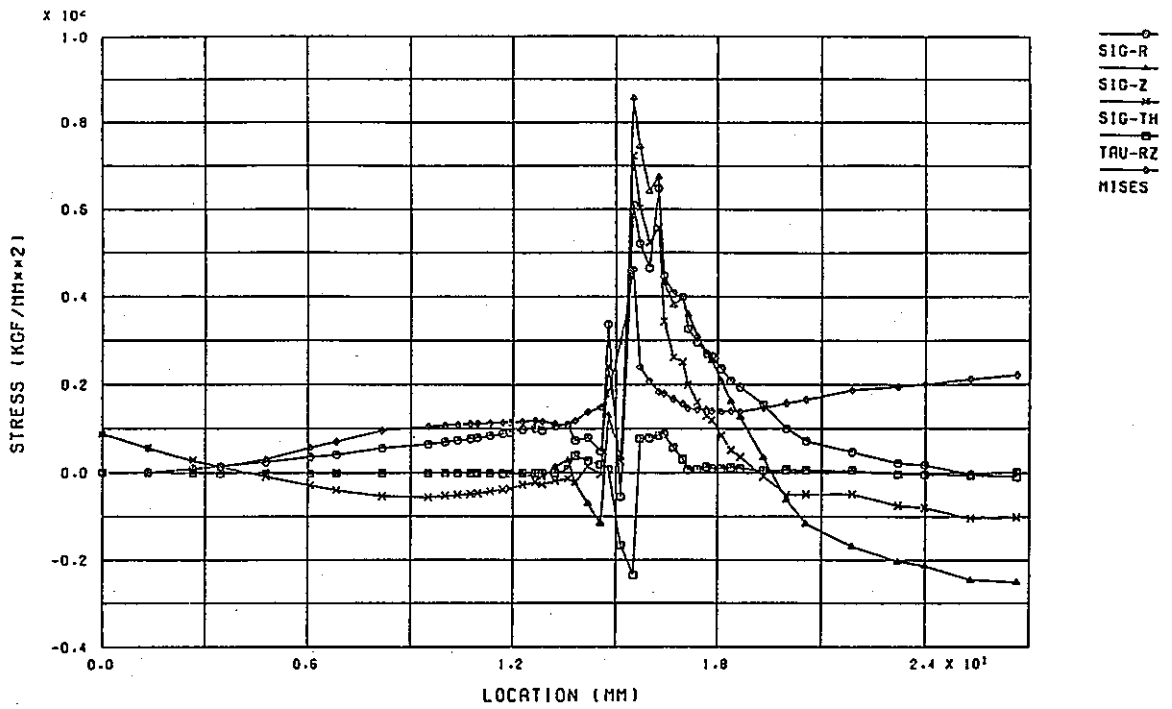
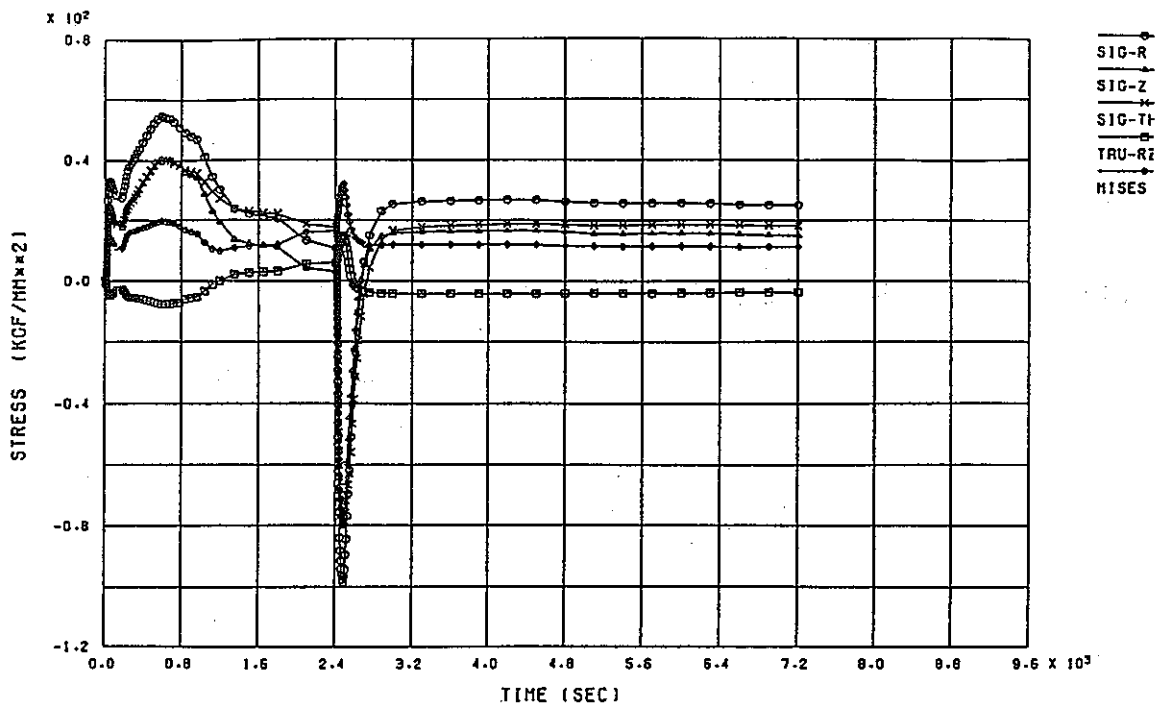
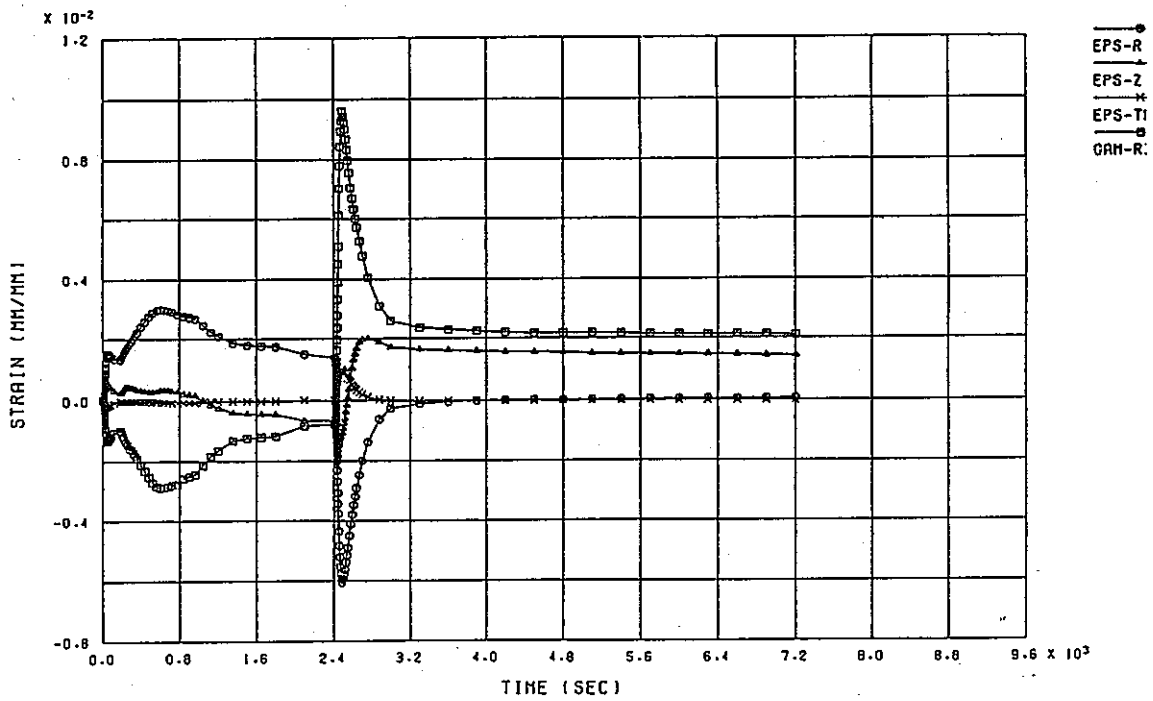


Fig. 3.1.4 Stress Distribution on the Crack Line (Skirt, a=16mm)

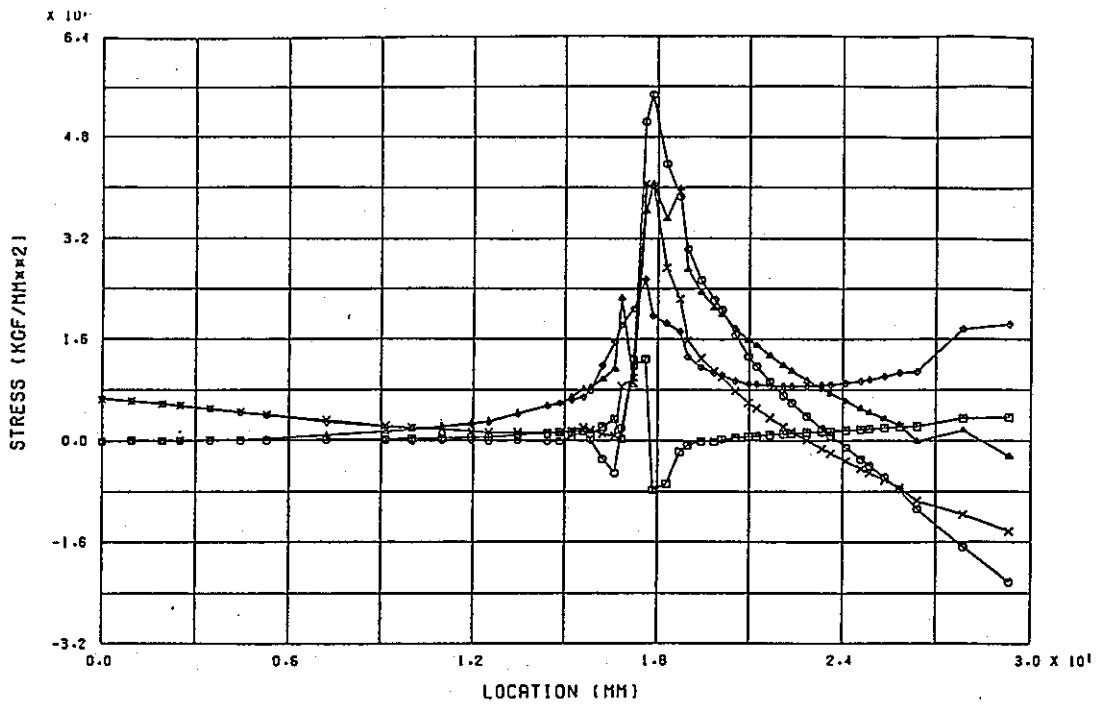


INLET NOZZLE M3-4 (A=18MM) STRESS HISTORY IN-H CRACK TIP

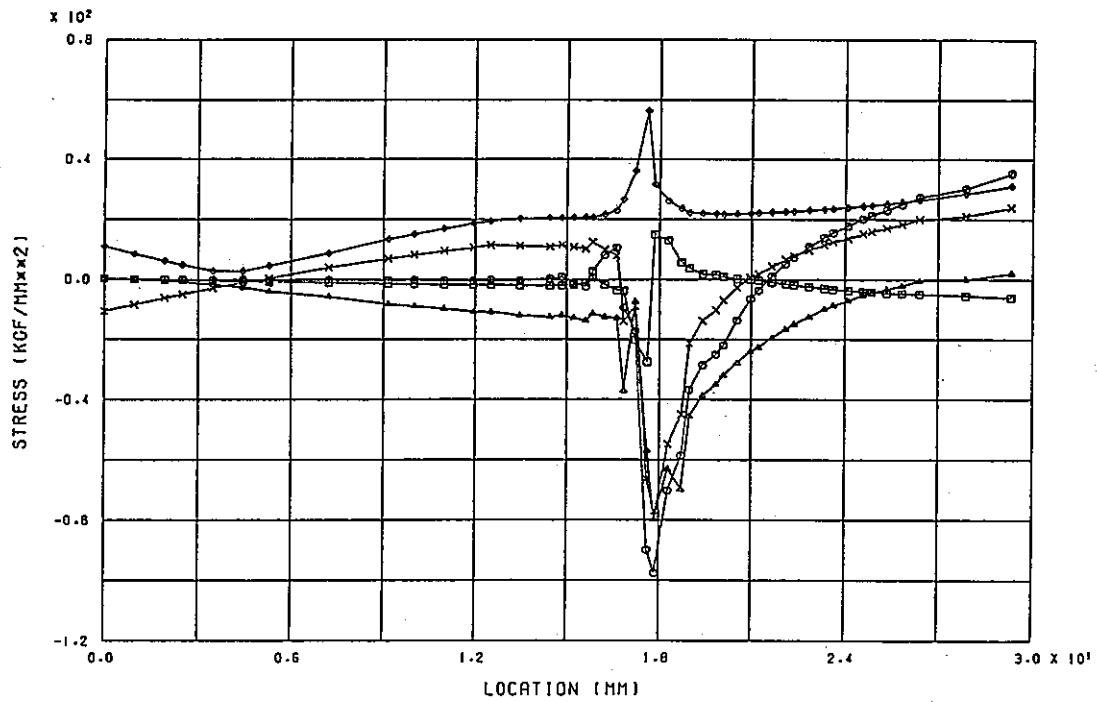


INLET NOZZLE M3-4 (A=18MM) STRAIN HISTORY IN-H CRACK TIP

Fig. 3.1.5 Stress and Strain History at the Crack Tip (Inlet Nozzle, a=18mm)



INLET NOZZLE M3-4 (A=18MM) STRESS DIST. ALONG CRACK (COLD 600 SEC)



INLET NOZZLE M3-4 (A=18MM) STRESS DIST. ALONG CRACK (HOT 80 SEC)

Fig. 3.1.6 Stress Distribution on the Crack Line (Inlet Nozzle, a=18mm)

### 3.2 破壊力学パラメータの解析結果

内筒溶接部、支持スカート、入口ノズルの各部位における評価対象き裂についてき裂深さをパラメータとした各解析モデルの非弾性解析結果に基づいて、破壊力パラメータ $\hat{J}$ 、 $\hat{J}'$ を算出した。

まず各き裂深さ状態での $\hat{J}$ の熱過渡サイクル中の経時変化の様子および $\hat{J}'$ の熱過渡サイクル中の経時変化の様子を積分経路毎に比較した。結果を付録Dに示す。 $\hat{J}$ の値はいずれのき裂のいずれの深さのモデルにおいても良好な経路独立性が認められ、熱過渡荷重下の非線形破壊力学パラメータとして有効であることが確認できた。

$\hat{J}'$ の値は全体的にやや経路依存性が現れる結果となった。またスカートモデルのき裂では、熱過渡サイクル中で他の部位に見られない時間に対する変動挙動が認められた。 $\hat{J}'$ の経時変化から $\Delta\hat{J}'$ を算出する過程で、前者の問題に対しては5種の積分経路の平均をとることにより、また後者の問題に対しては変動分も含めた形で時間積分をすることにより、これらの影響に対処している。従ってき裂進展挙動の評価結果には大きな影響は現れないと考えられる。

なお上記時間に対する変動挙動については付録Eで検討を加えた。

次にき裂深さが変化した場合の上記破壊力学パラメータの変化の様子を把握するための検討を行った。Fig. 3.2.1～3.2.6には各モデルの熱過渡サイクル中の $\hat{J}$ 、 $\hat{J}'$ の経時変化の様子をき裂深さをパラメータとして示した。

各モデルとも $\hat{J}$ についてはコールドトランジェント開始時点を0秒としてホットトランジェントの2,400秒経過後までの計4,800秒間について示したが、この間にコールドおよびホットトランジェントの $\hat{J}$ のピークが現れている。また $\hat{J}'$ についてはホットトランジェント中のクリープ時間に対して示したが $\hat{J}'$ はこの間にほぼ0にまで低下している。

これらの結果より各評価き裂の各き裂深さ状態における破壊力学パラメータを算出してTable 3.2.1および3.2.2に示した。またFig. 3.2.7～3.2.17には各評価き裂についてき裂深さに対する $\Delta\hat{J}_F$ 、 $\Delta\hat{J}'$ 、 $\Delta\hat{J}'/TH$ の変化を示した。

内筒溶接部(MIG, SMAW, BBWおよびTIG)は板厚が21mmであり、TIGを除く3種の継手部では解析したモデルの最大き裂深さは10mmとほぼ板厚の1/2までである。これらの $\Delta\hat{J}_F$ 、 $\Delta\hat{J}'$ はいずれもき裂深さが大きくなるに従って単調に増加している。これに対して、TIGでは最大16mmのき裂深さまで解析を行っている。本部位の解析結果から、板厚のほぼ1/2である $a=11\text{mm}$ の結果に対して板厚の1/2を越えた $a=16\text{mm}$ の結果では $\Delta\hat{J}_F$ 、 $\Delta\hat{J}'$ とも低下しており、ほぼ板厚中央で破壊力学パラメータが最大値を示すことがわかった。

また、入口ノズル—上鏡周継手部でも板厚30mmに対してほぼ板厚の1/2の $a=15\text{mm}$ で $\Delta\hat{J}_F$ 、 $\Delta\hat{J}'$ が最大値を示している。

一方支持スカートシンニング部では板厚30mmに対して $\Delta\hat{J}_F$ は板厚1/2のやや手前で最大



値を示しているのに対して、 $\Delta \hat{J}'$  は  $a=11\text{mm}$  と  $a=16\text{mm}$  でほぼ同程度の値を示し、また値そのものは、内筒溶接部、入口ノズル-上鏡周継手部よりもやや小さい値となっている。

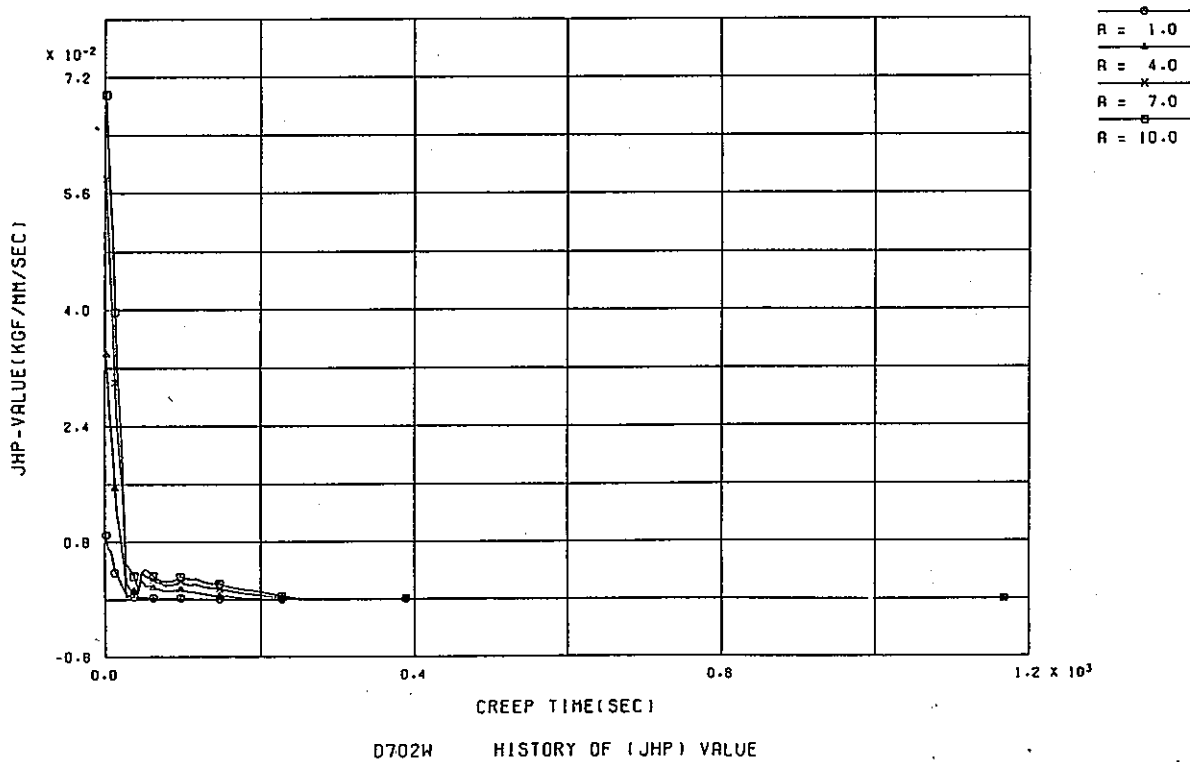
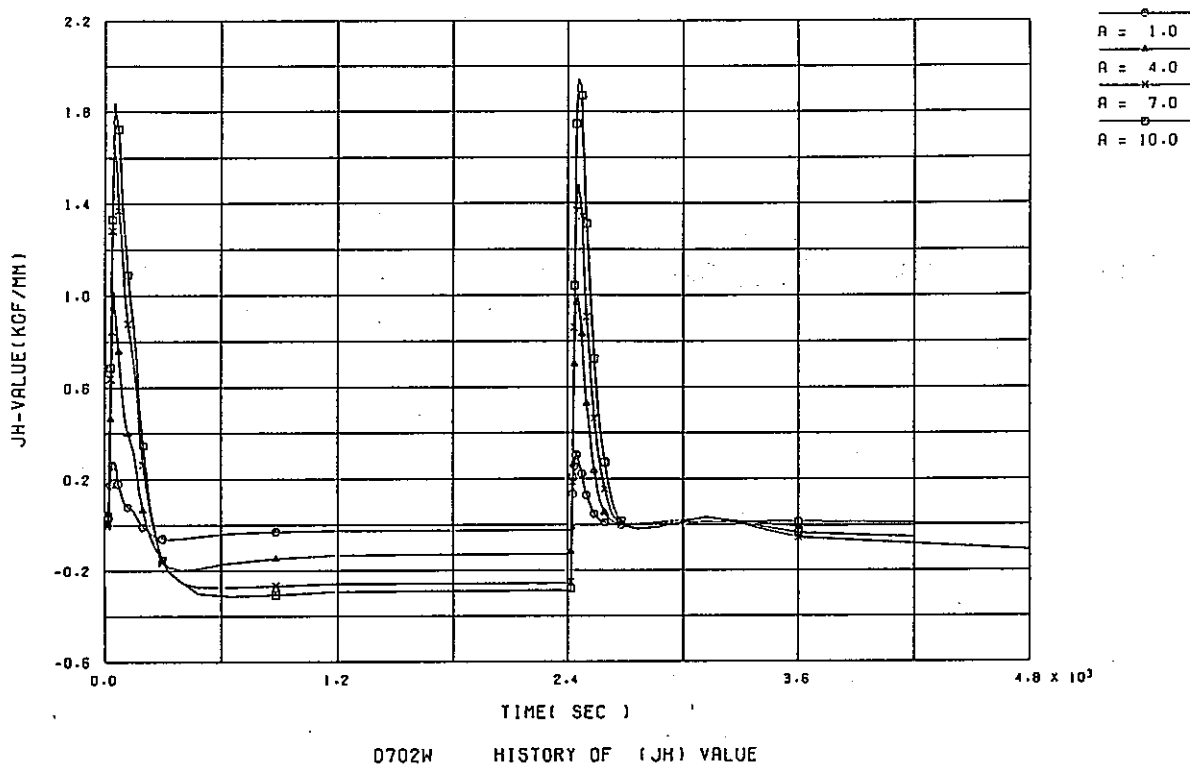


Fig. 3. 2. 1  $\hat{J}$  and  $\hat{J}'$  History in the Thermal Cycle (MIG Weldment, D702W)

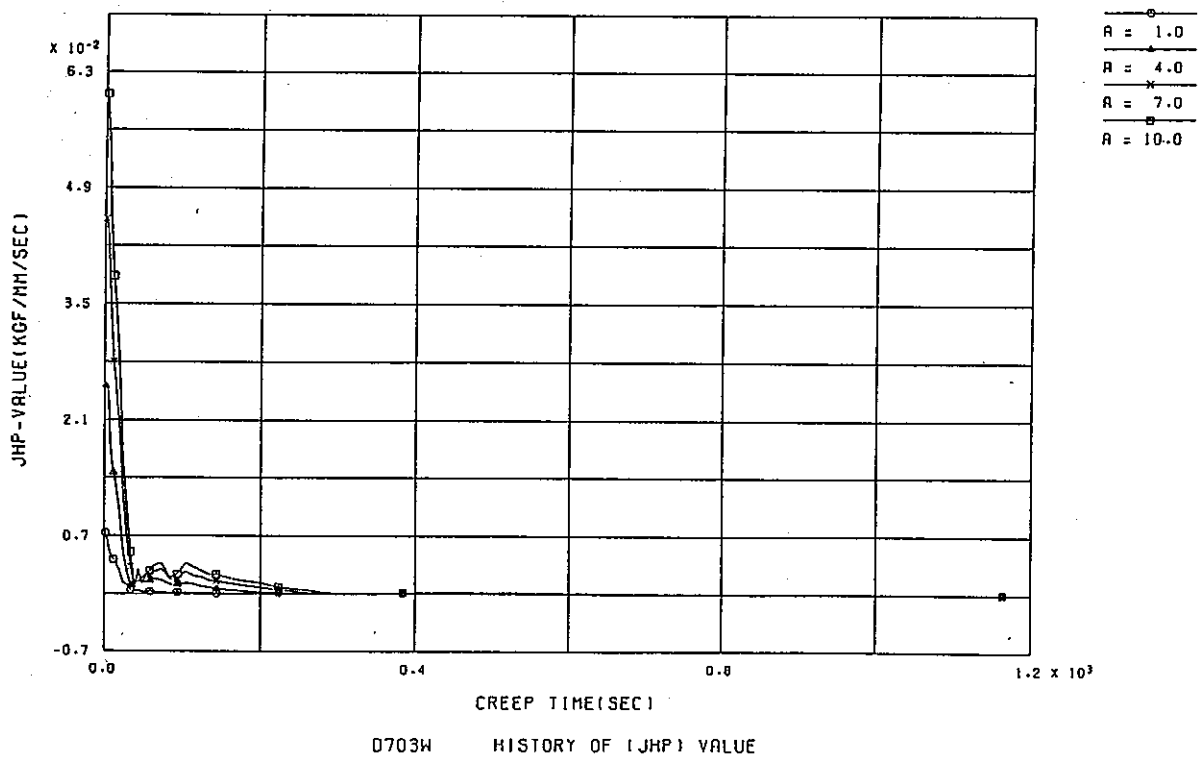
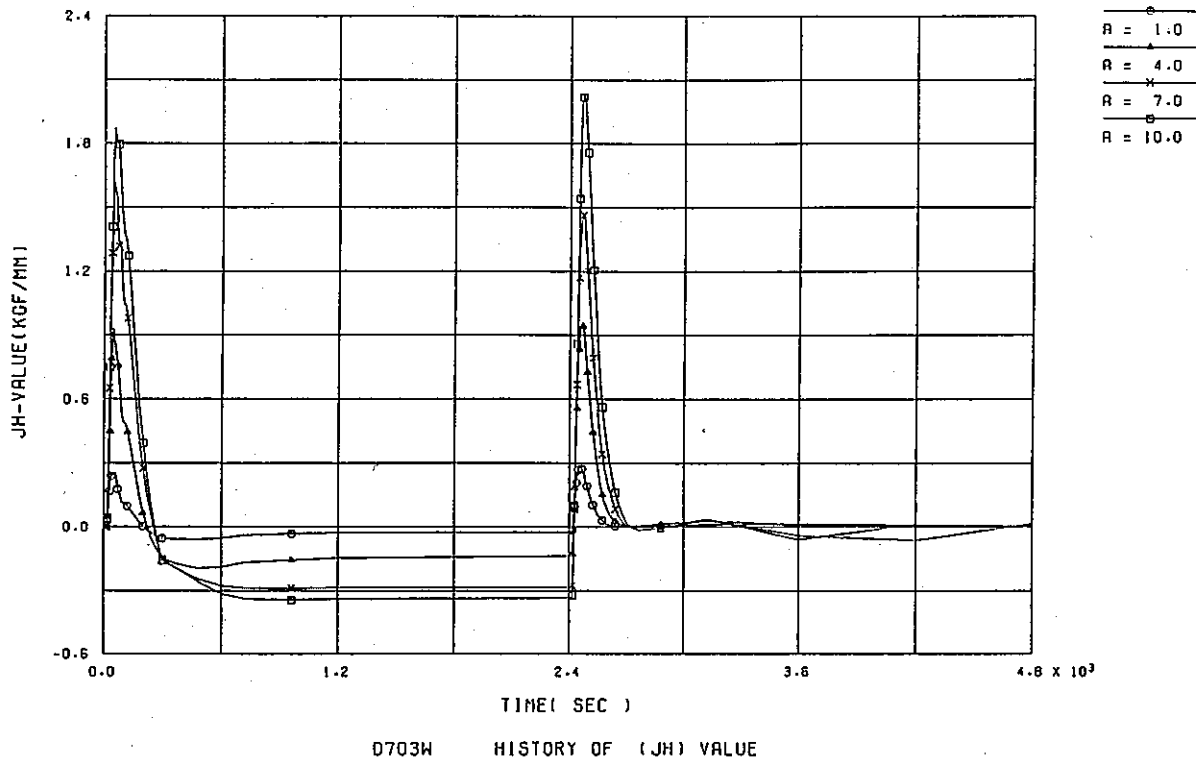


Fig. 3.2.2  $\hat{J}$  and  $\hat{J}'$  History in the Thermal Cycle (SMAW Weldment, D703W)

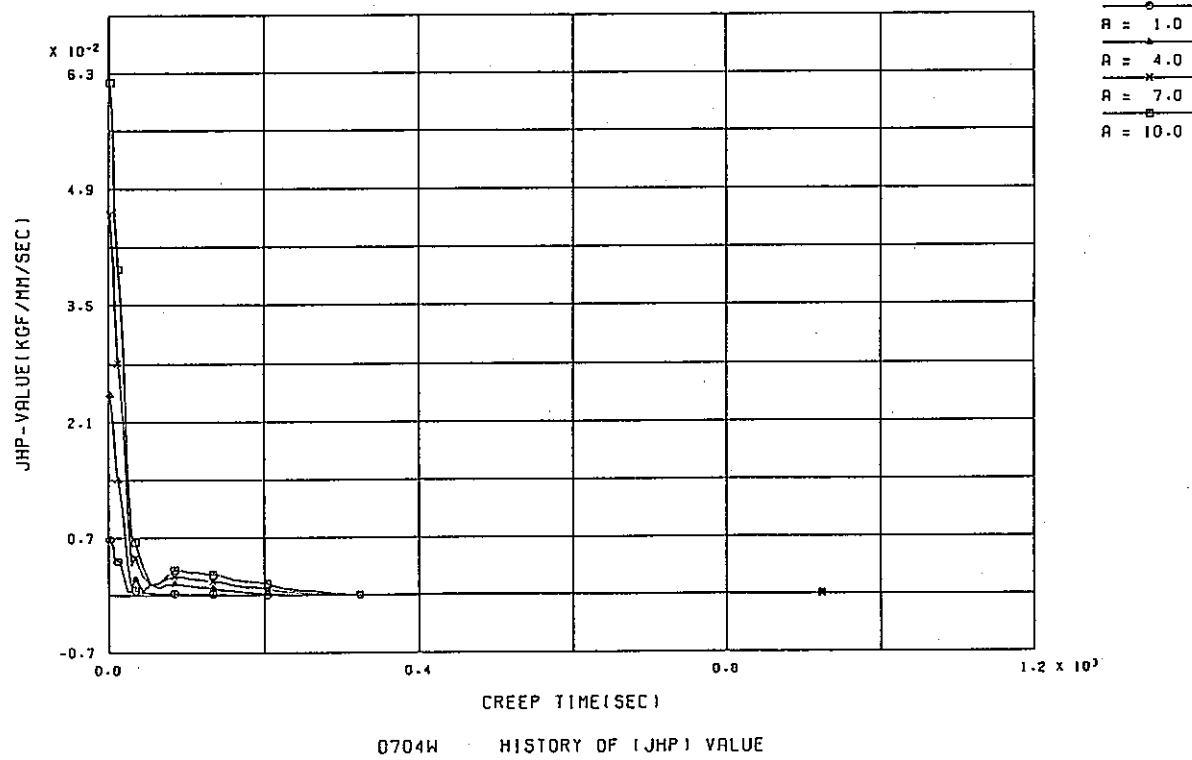
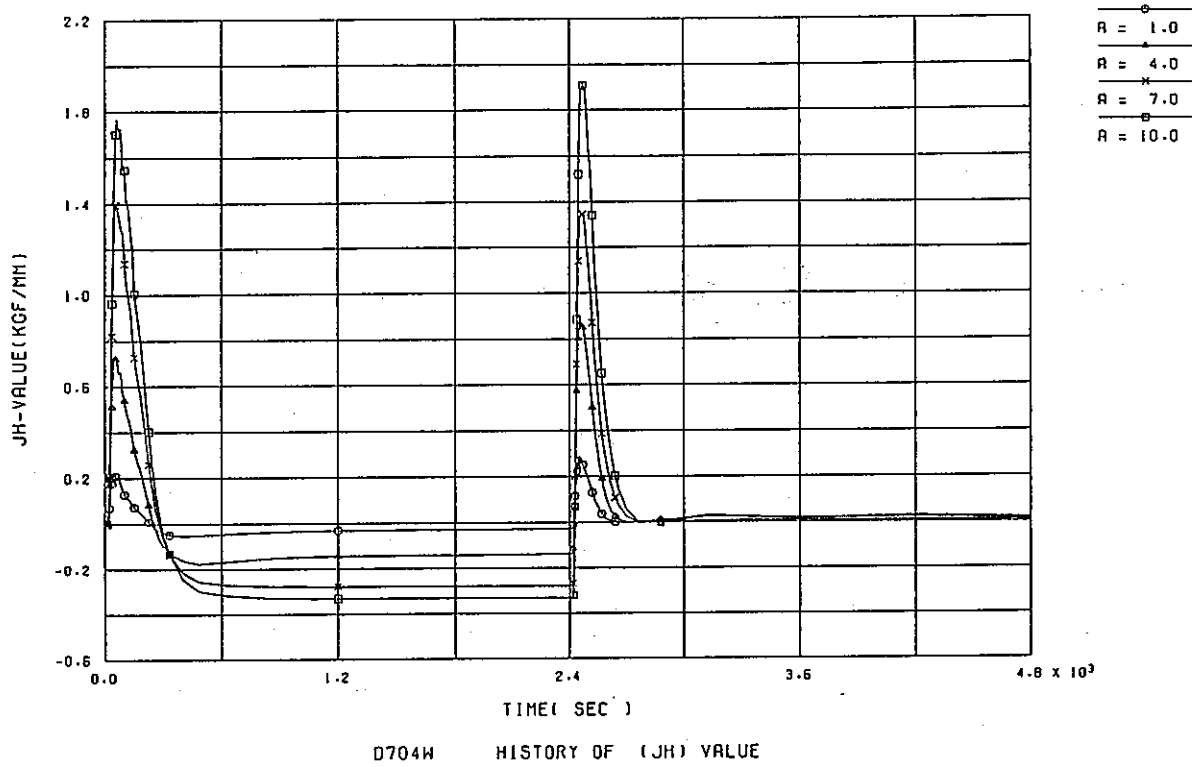


Fig. 3.2.3  $\hat{J}$  and  $\hat{J}'$  History in the Thermal Cycle (BBW Weldment, D704W)

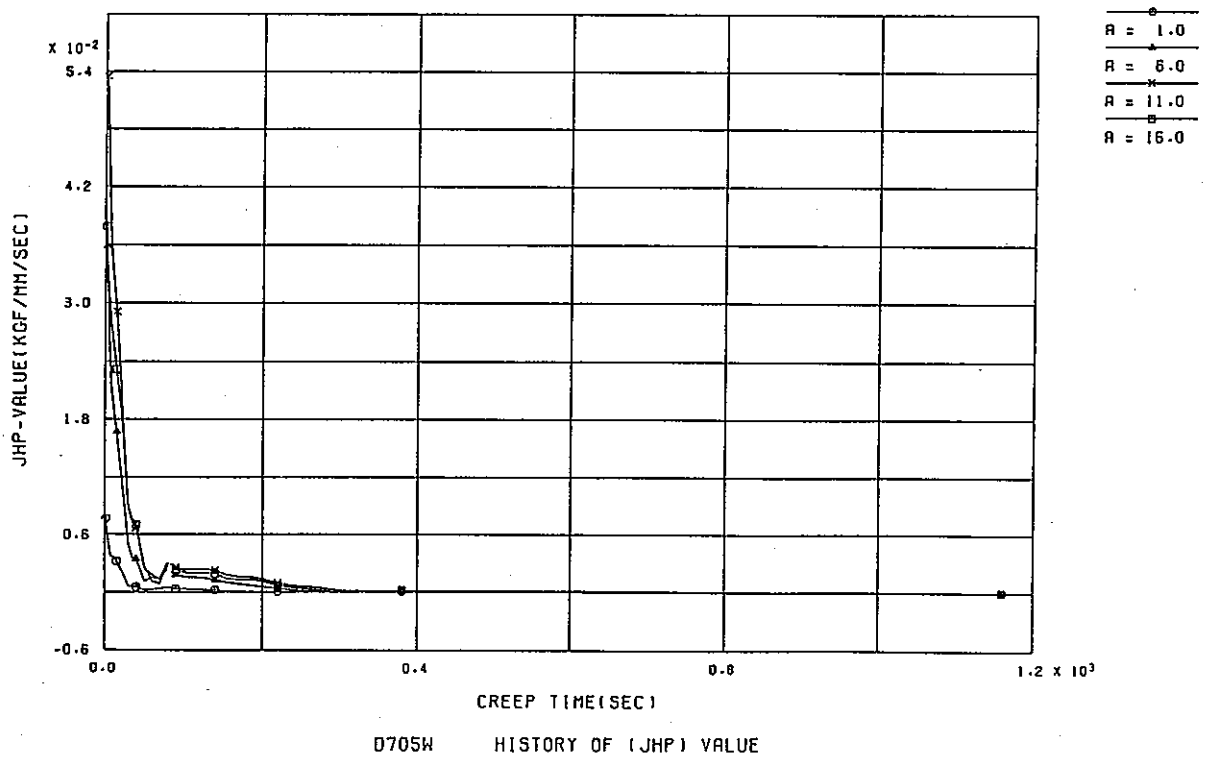
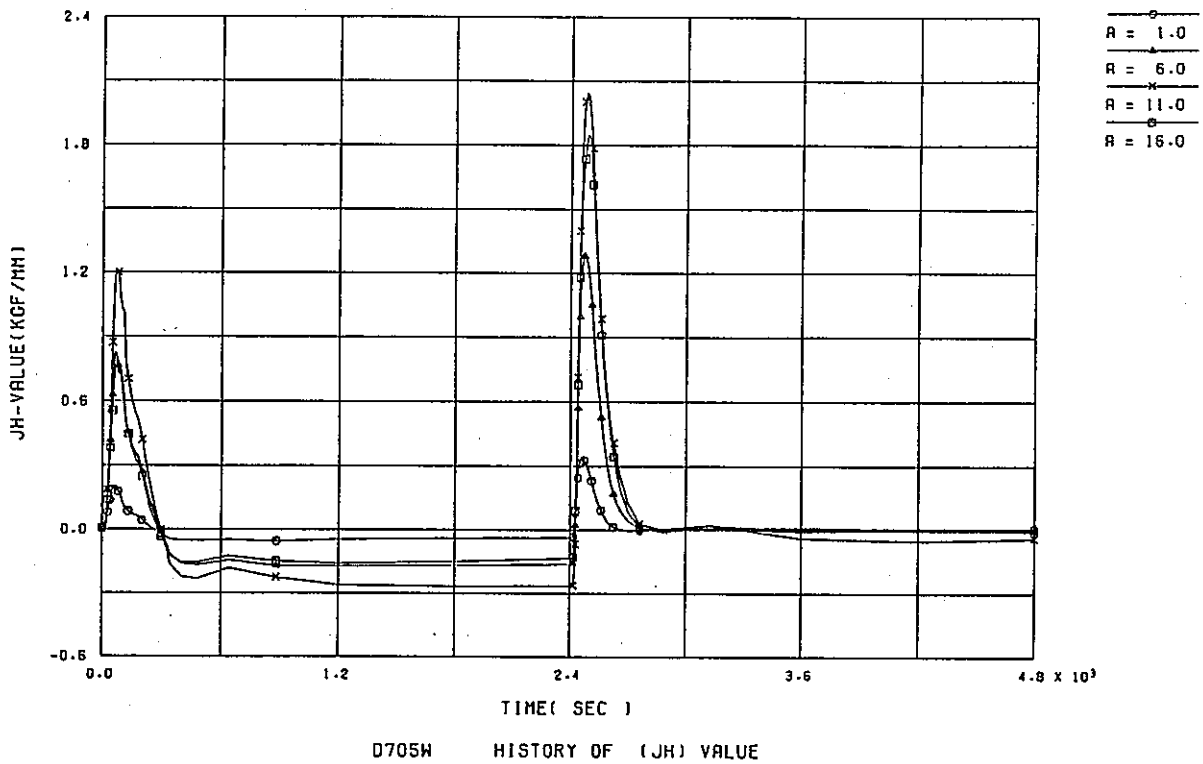


Fig. 3.2.4  $\hat{J}$  and  $\hat{J}'$  History in the Thermal Cycle (TIG Weldment, D705W)

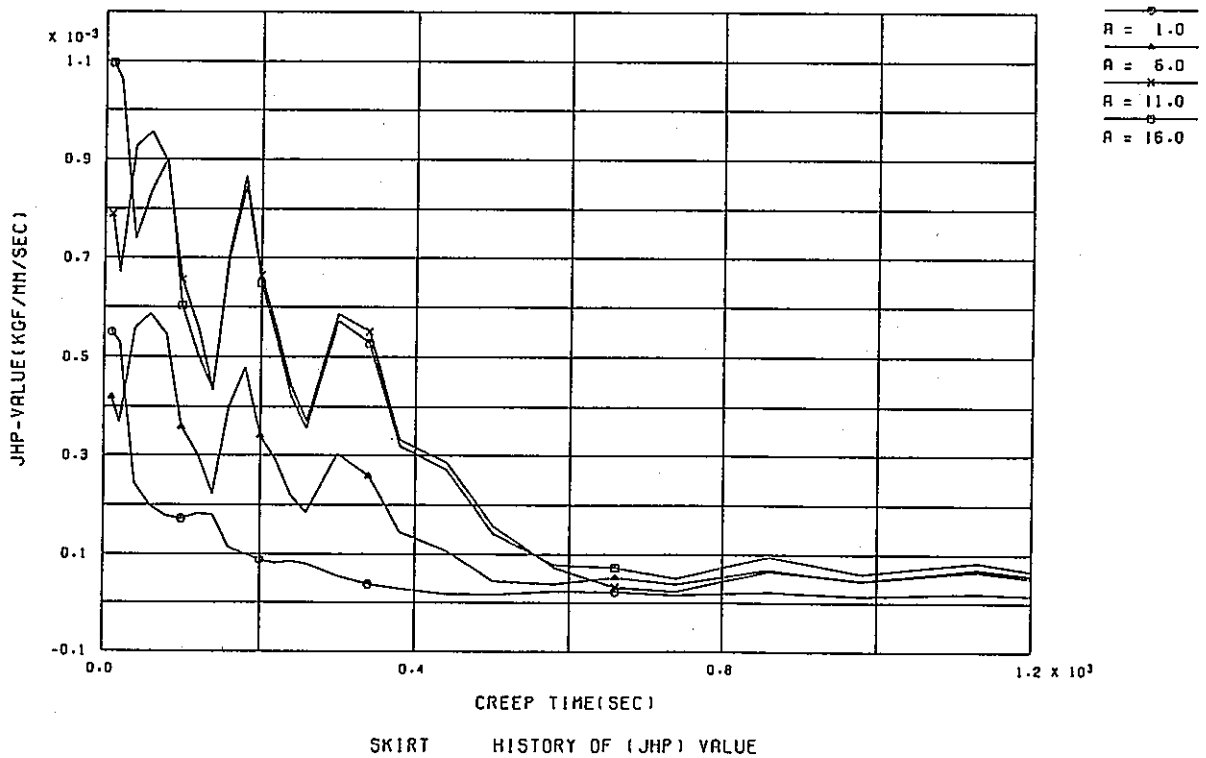
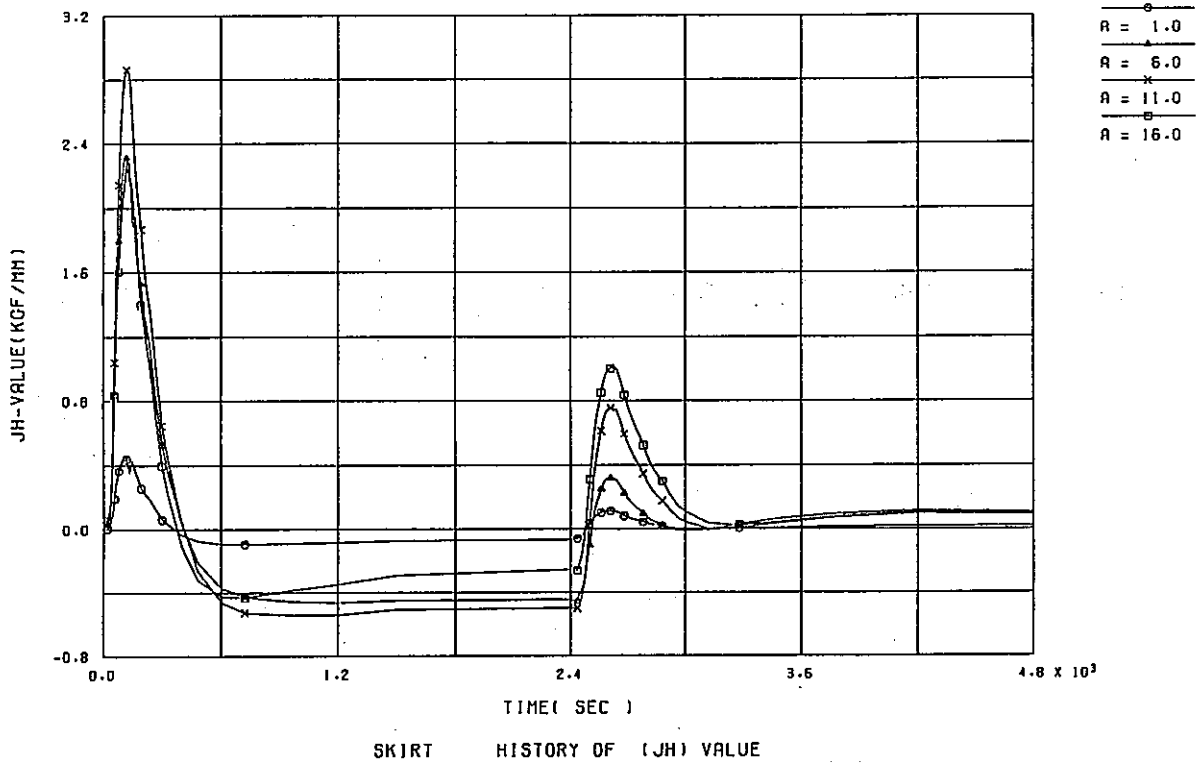


Fig. 3.2.5  $\hat{J}$  and  $\hat{J}'$  History in the Thermal Cycle (Skirt; Thinning Portion)

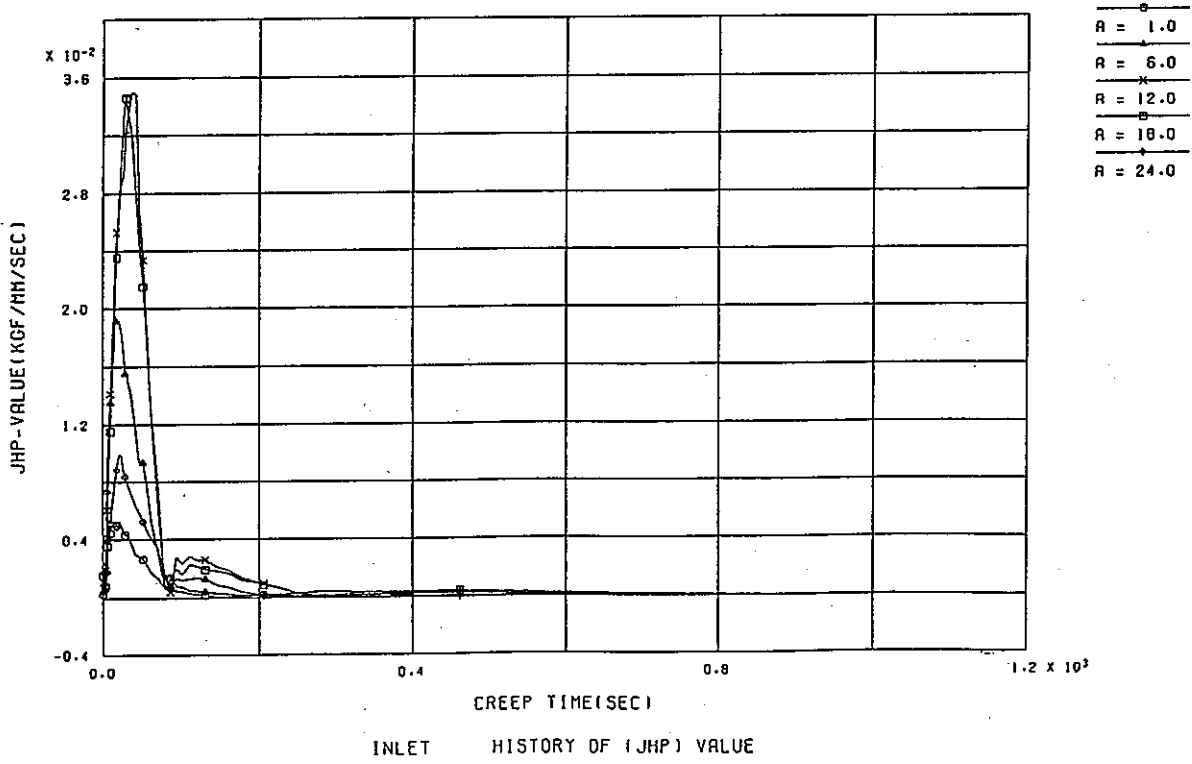
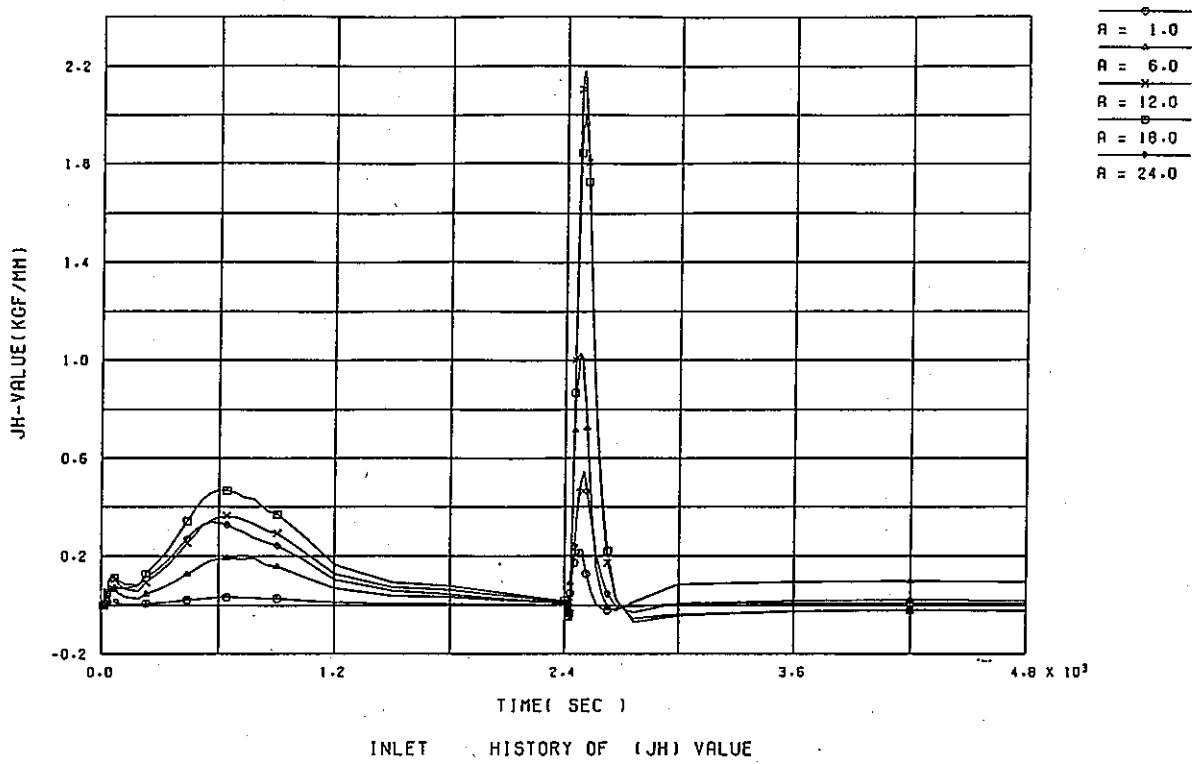


Fig. 3.2.6  $\hat{J}$  and  $\hat{J}'$  History in the Thermal Cycle (Inlet Nozzle-Upper head Junction)

Table 3.2.1 Fracture Mechanics Parameter Calculation Results (Inner Shell Weldments)

表3.2.1 破壊力学パラメータの算出結果 (内筒溶接部4種)

MIG, D702W破壊力学パラメータ ( $a_r=9.85\text{mm}$ )

き裂深さ $a(\text{mm})$	$\hat{J}_{\text{max, COLD}}$ (kgf/mm)	$\hat{J}_{\text{max, HOT}}$ (kgf/mm)	$\Delta \hat{J}'$ (kgf/mm)	クリープ時間 $t_c$ (sec)
1	0.2759	0.3046	0.1682	4768
4	1.0170	0.9962	0.6642	4768
7	1.6610	1.4830	1.2470	4768
10	1.8370	1.9430	1.6940	4768

SMAW, D703W 破壊力学パラメータ ( $a_r=8.0\text{mm}$ )

き裂深さ $a(\text{mm})$	$\hat{J}_{\text{max, COLD}}$ (kgf/mm)	$\hat{J}_{\text{max, HOT}}$ (kgf/mm)	$\Delta \hat{J}'$ (kgf/mm)	クリープ時間 $t_c$ (sec)
1	0.2496	0.2862	0.1549	4764
4	0.9286	0.9486	0.6185	4764
7	1.6140	1.4640	1.2000	4764
10	1.8720	2.0180	1.8740	4764

EBW, D704W 破壊力学パラメータ ( $a_r=9.4\text{mm}$ )

き裂深さ $a(\text{mm})$	$\hat{J}_{\text{max, COLD}}$ (kgf/mm)	$\hat{J}_{\text{max, HOT}}$ (kgf/mm)	$\Delta \hat{J}'$ (kgf/mm)	クリープ時間 $t_c$ (sec)
1	0.2185	0.2780	0.1430	4764
4	0.7335	0.8772	0.5641	4764
7	1.3940	1.3520	1.1500	4764
10	1.7290	1.9080	1.6150	4764

TIG, D705W 破壊力学パラメータ ( $a_r=14.4\text{mm}$ )

き裂深さ $a(\text{mm})$	$\hat{J}_{\text{max, COLD}}$ (kgf/mm)	$\hat{J}_{\text{max, HOT}}$ (kgf/mm)	$\Delta \hat{J}'$ (kgf/mm)	クリープ時間 $t_c$ (sec)
1	0.2039	0.3349	0.1647	4760
6	0.8247	1.2790	0.8821	4760
11	1.2090	2.0430	1.4750	4760
16	0.7705	1.8470	1.1970	4760



Table 3.2.2 Fracture Mechanics Parameter Calculation Results (Skirt, Inlet Nozzle)

表3.2.2 破壊力学パラメータの算出結果 (スカート, 入口ノズル)

スカート 破壊力学パラメータ ( $a_r=16.5\text{mm}$ )

き裂深さ $a(\text{mm})$	$\hat{J}_{\text{max, COLD}}$ (kgf/mm)	$\hat{J}_{\text{max, HOT}}$ (kgf/mm)	$\Delta \hat{J}'$ (kgf/mm)	クリープ時間 $t_c$ (sec)
1	0.4399	0.1121	0.0828	4580
6	2.3130	0.3073	0.2072	4580
11	2.8620	0.7528	0.3455	4580
16	2.2600	1.0060	0.3599	4580

入口ノズル 破壊力学パラメータ ( $a_r=24.0\text{mm}$ )

き裂深さ $a(\text{mm})$	$\hat{J}_{\text{max, COLD}}$ (kgf/mm)	$\hat{J}_{\text{max, HOT}}$ (kgf/mm)	$\Delta \hat{J}'$ (kgf/mm)	クリープ時間 $t_c$ (sec)
1	0.03349	0.2109	0.3056	4781.5
6	0.1918	1.021	1.058	4781.5
12	0.3615	2.179	1.933	4781.5
18	0.4697	1.996	1.880	4781.5
24	0.3363	0.5443	0.5521	4781.5

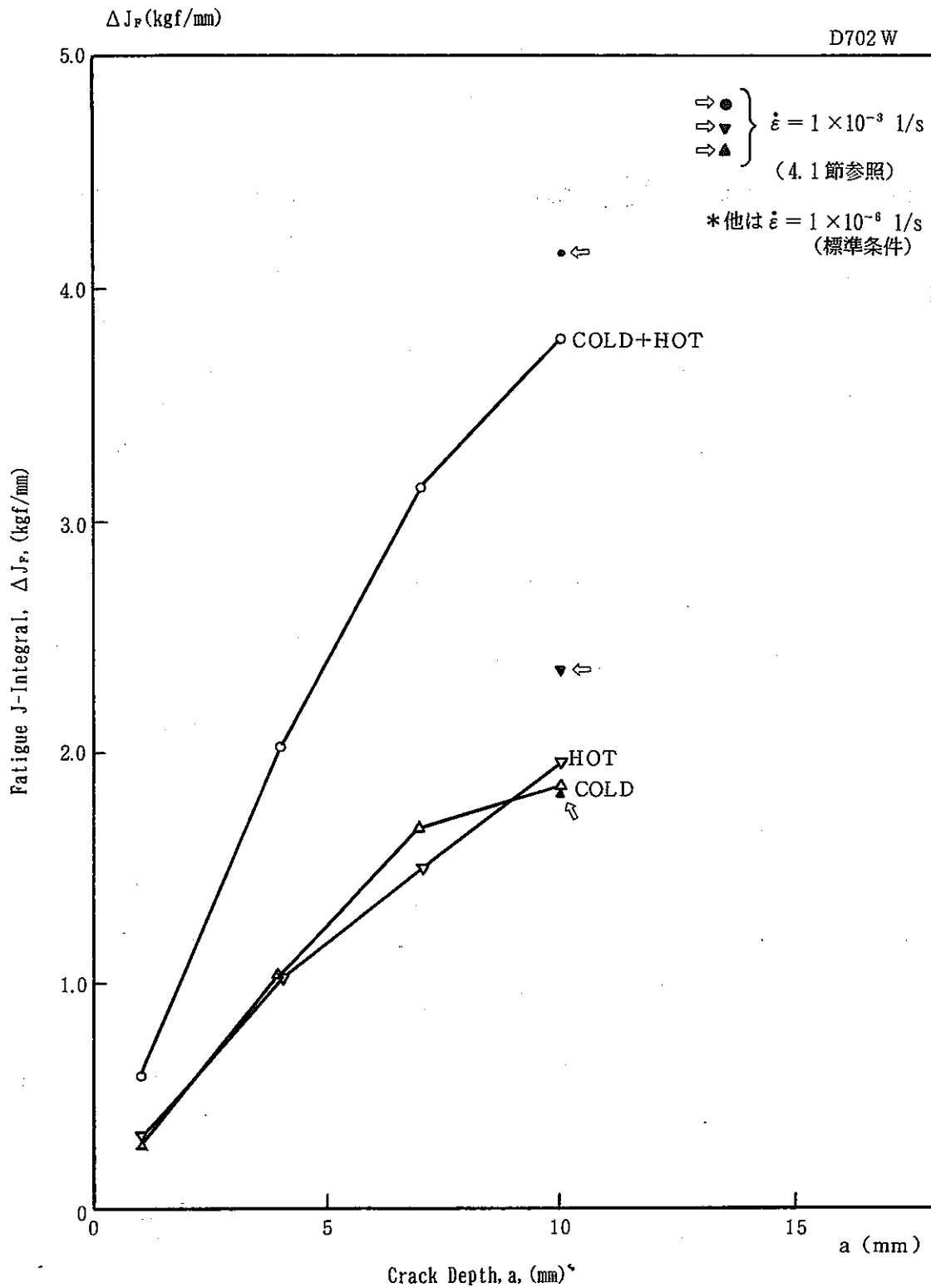


Fig. 3.2.7 Relation between  $\Delta J_f$  and Crack Depth (MIG Weldment, D702W)

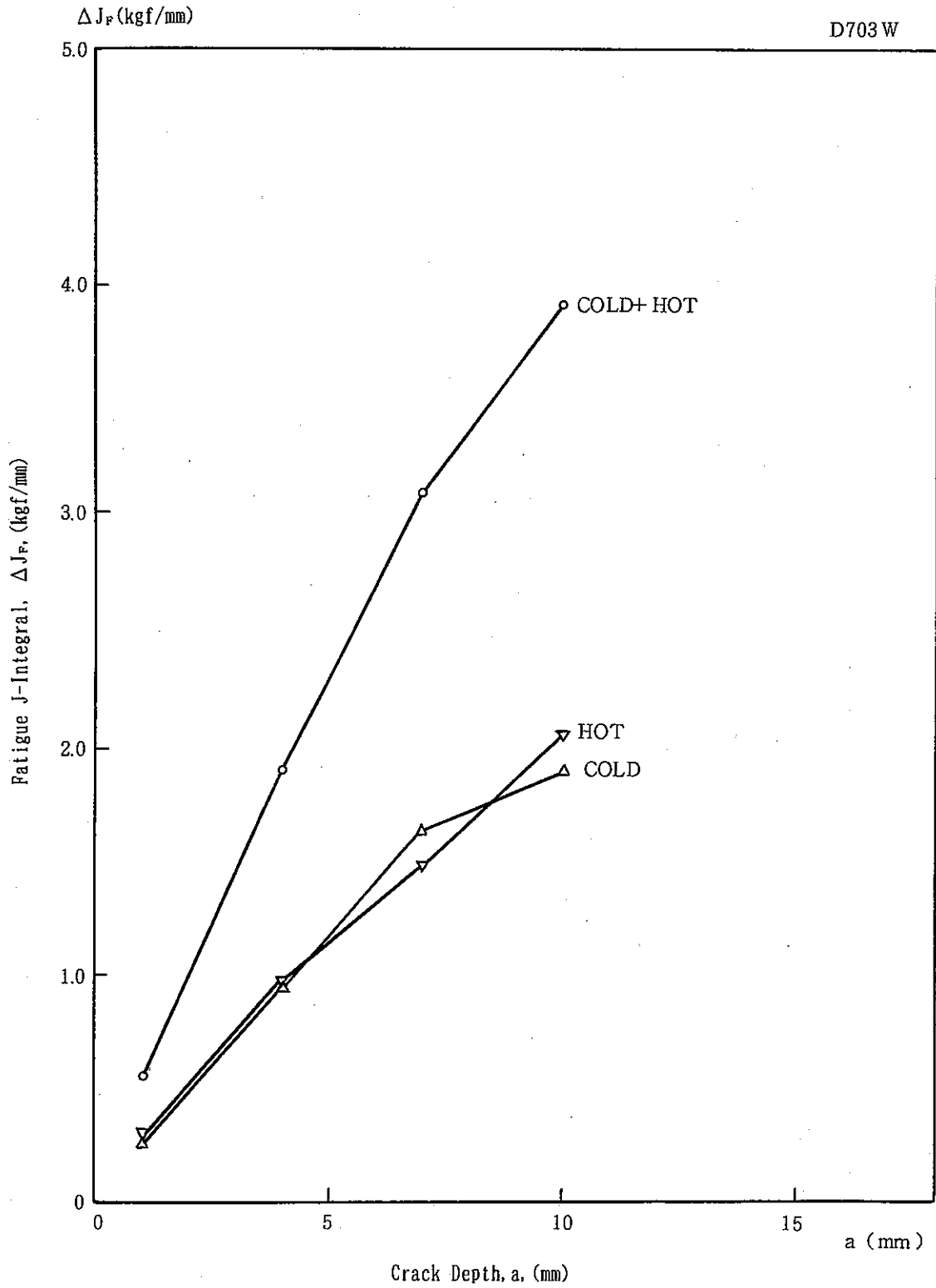


Fig. 3.2.8 Relation between  $\Delta J_f$  and Crack Depth (SMAW Weldment, D703W)

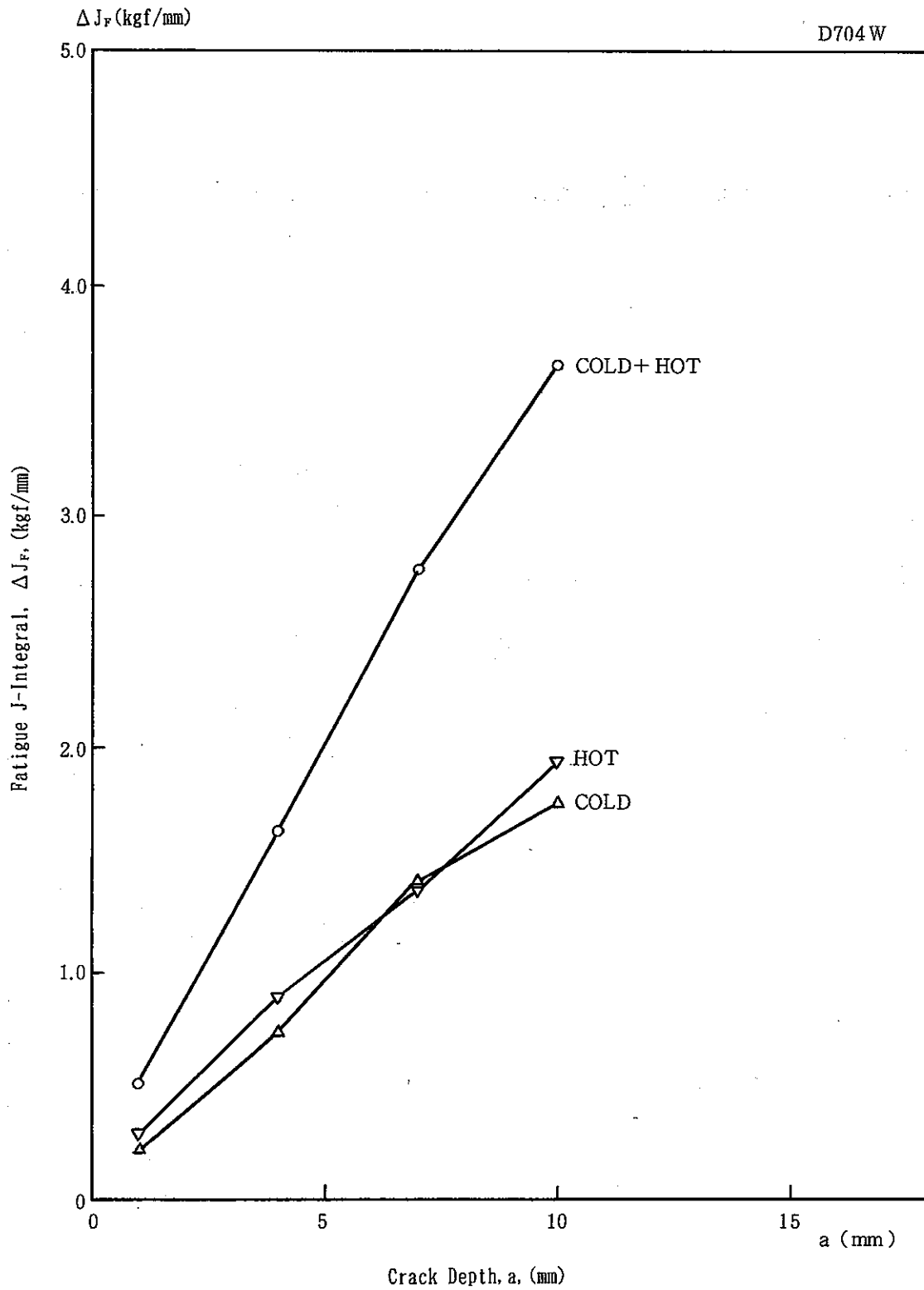


Fig. 3.2.9 Relation between  $\Delta J_f$  and Crack Depth (EBW Weldment, D704W)

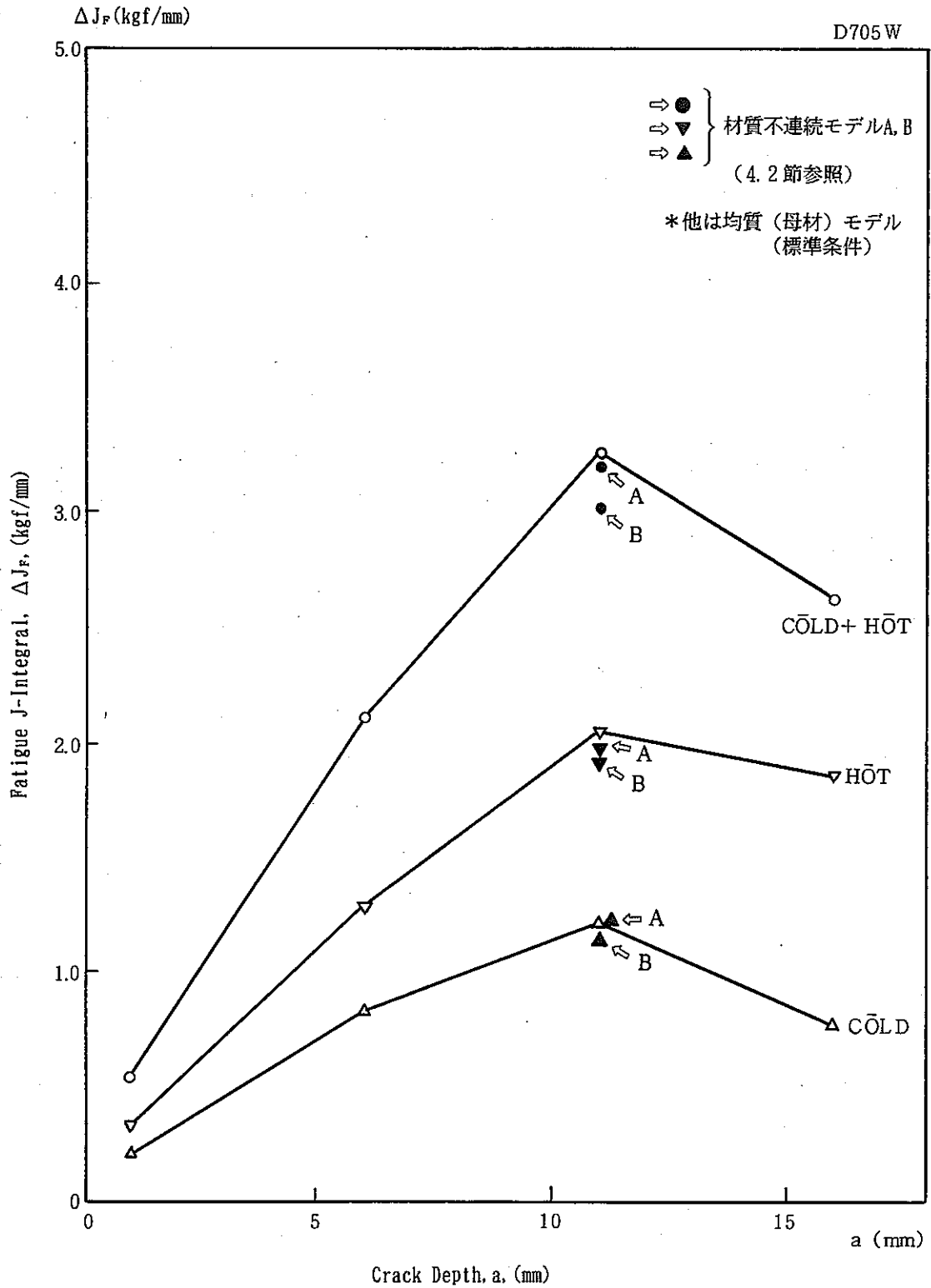


Fig. 3.2.10 Relation between  $\Delta J_f$  and Crack Depth (TIG Weldment, D705W)

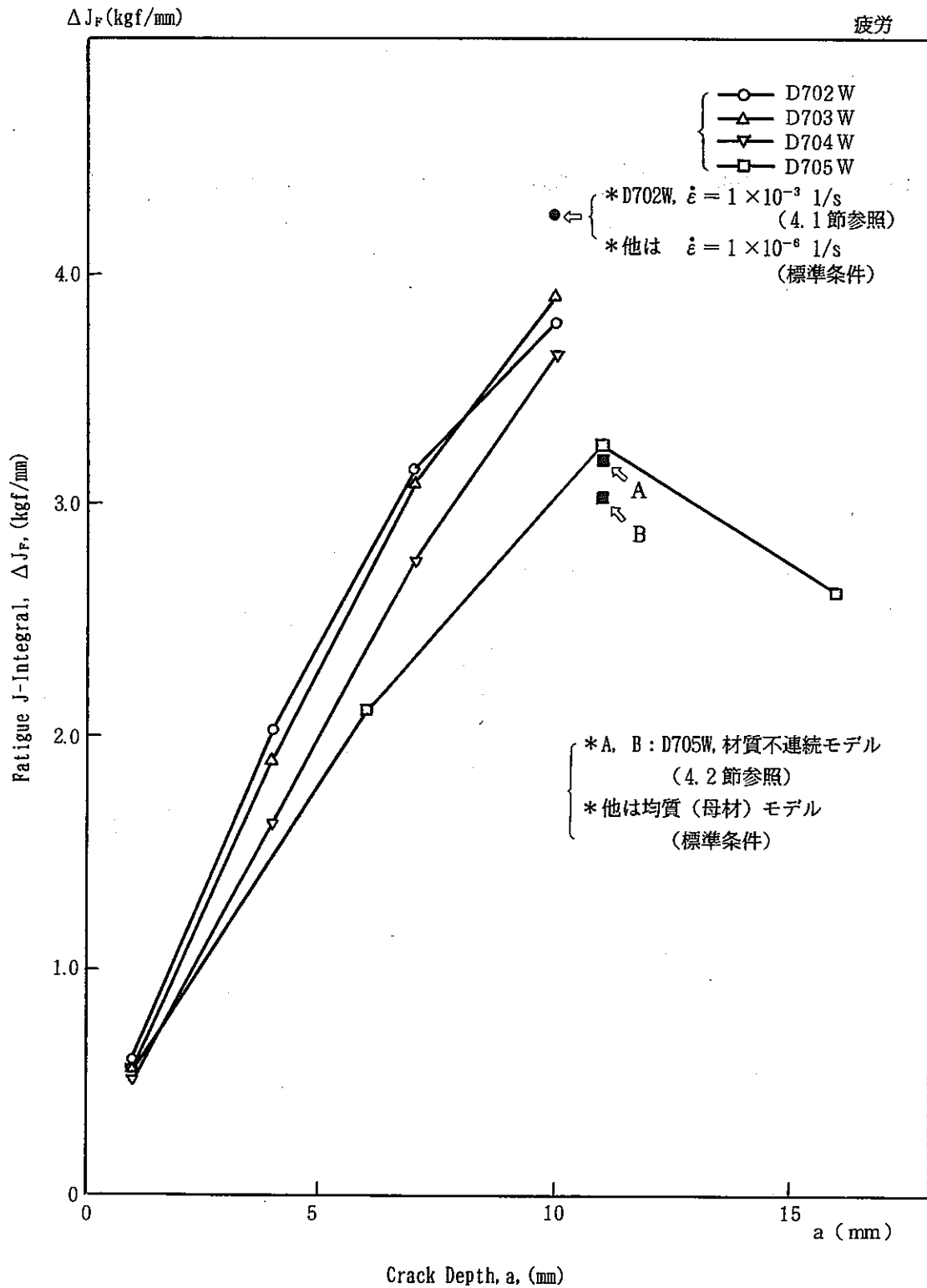


Fig. 3.2.11 Relation between  $\Delta J_f$  and Crack Depth (Inner Shell Weldments Summary)

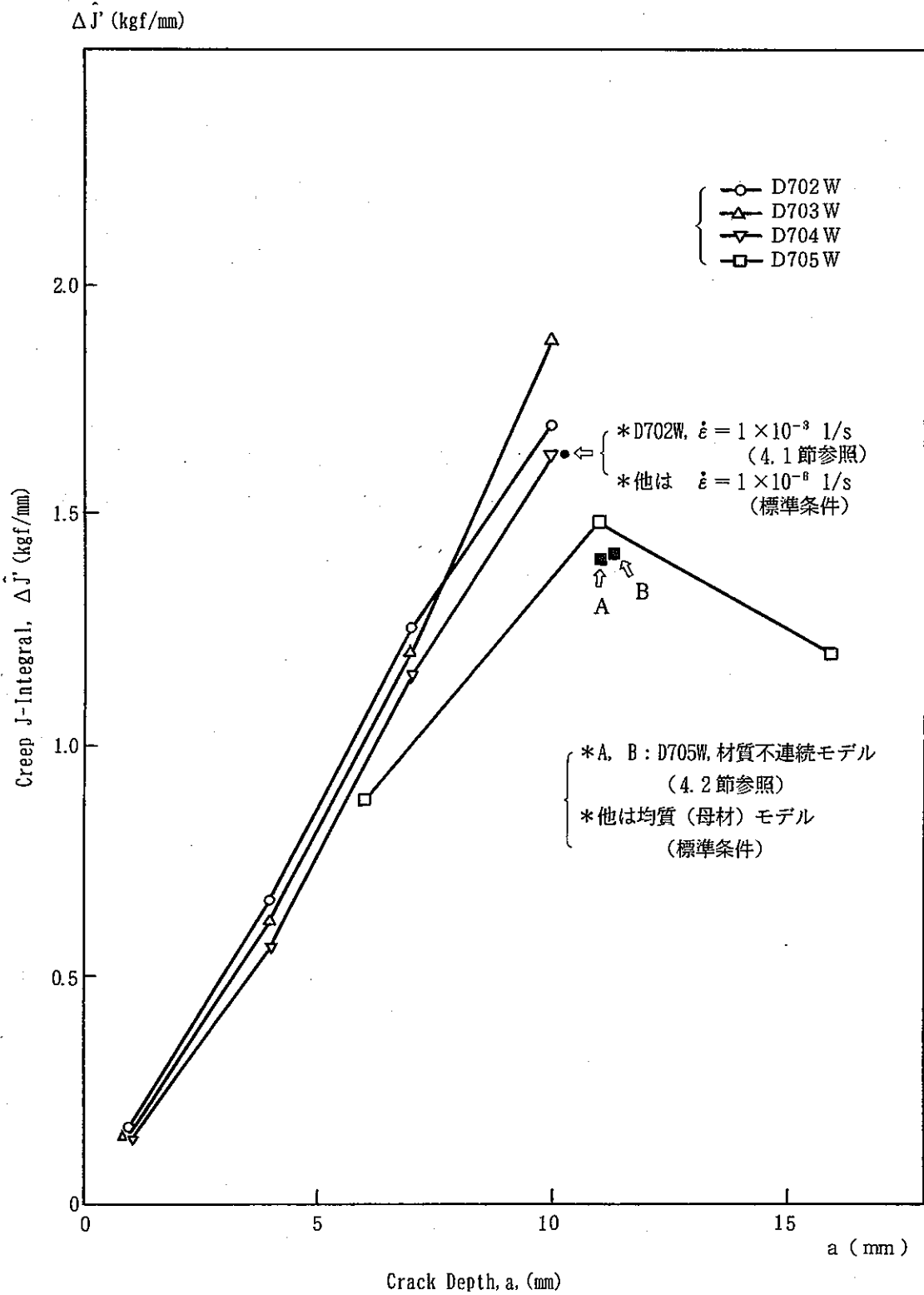


Fig. 3.2.12 Relation between  $\Delta J_c \cdot TH$  and Crack Depth (Inner Shell Weldments Summary)

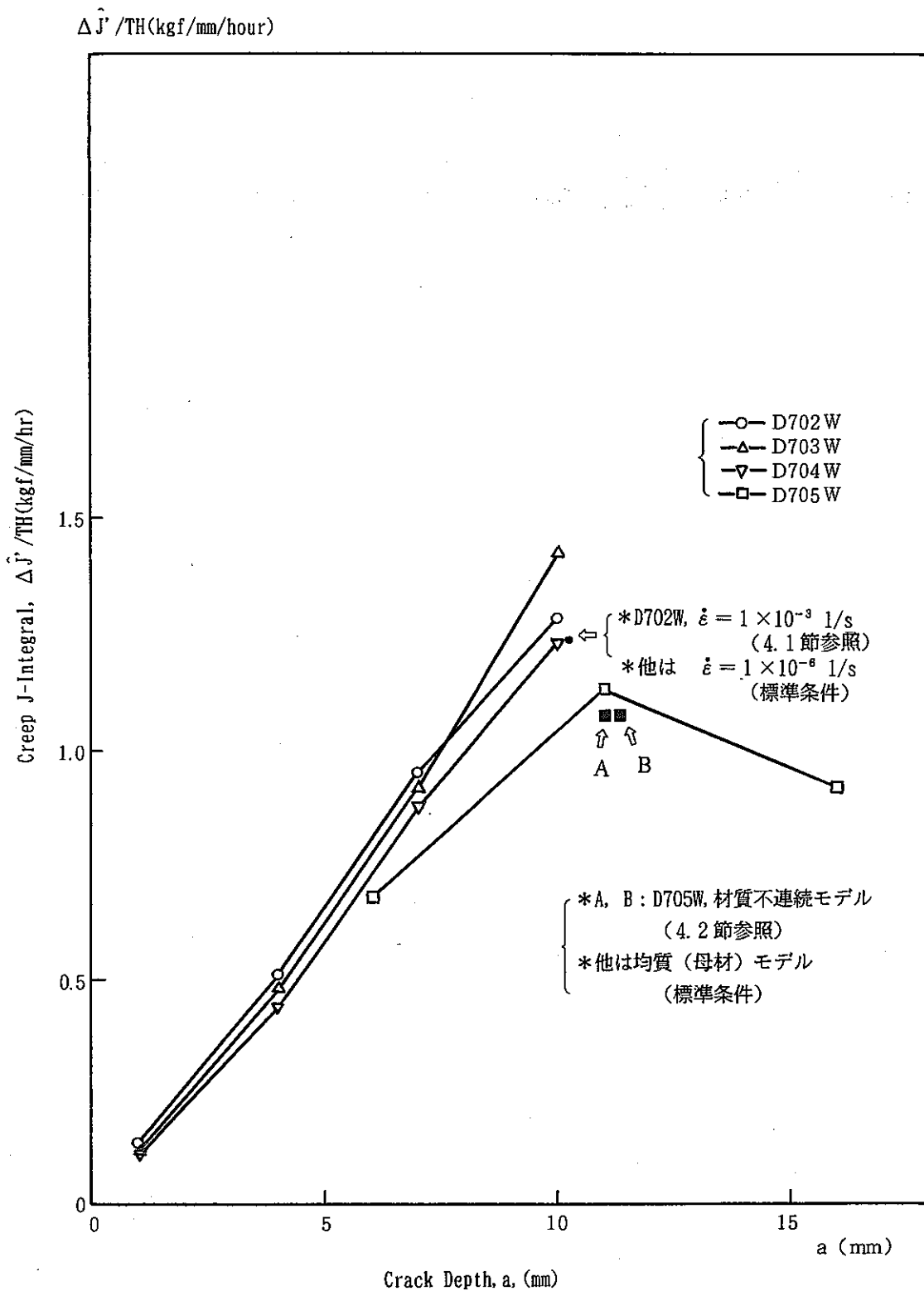


Fig. 3.2.13 Relation between  $\Delta J_c$  and Crack Depth (Inner Shell Weldments Summary)



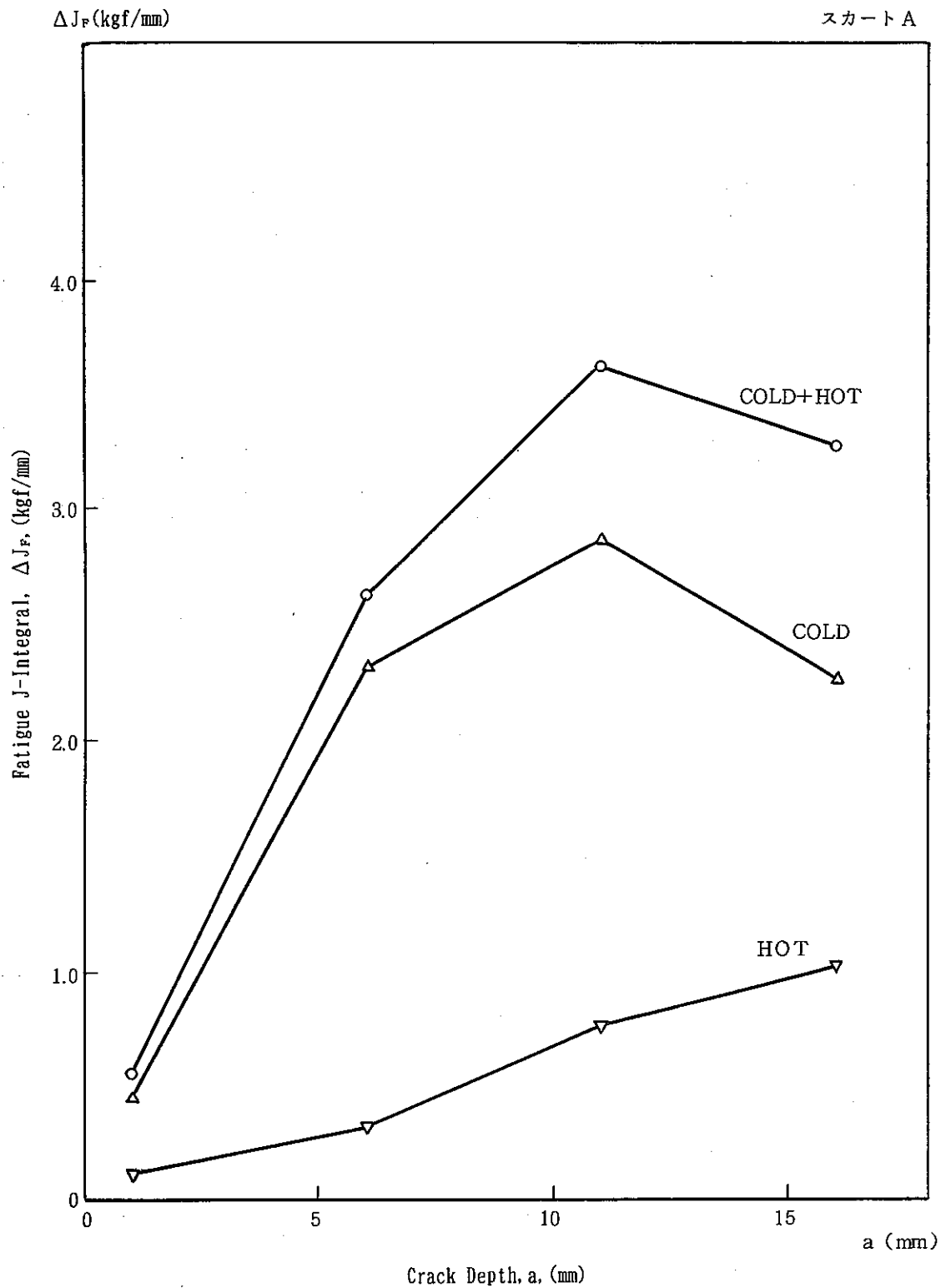


Fig. 3.2.14 Relation between  $\Delta J_f$  and Crack Depth (Skirt; Thinning Portion)

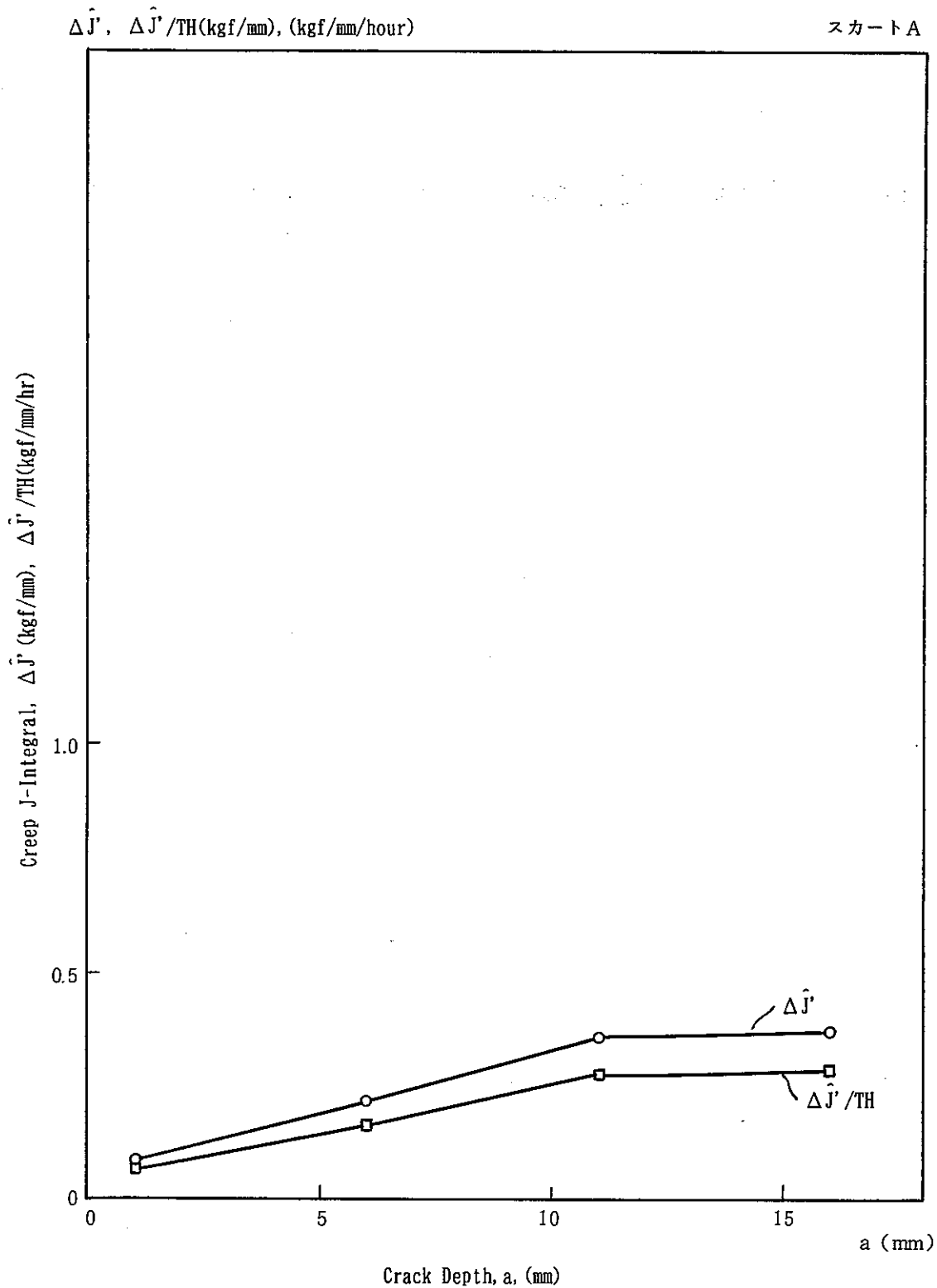


Fig. 3.2.15 Relation between  $\Delta J_c$  and Crack Depth (Skirt; Thinning Portion)

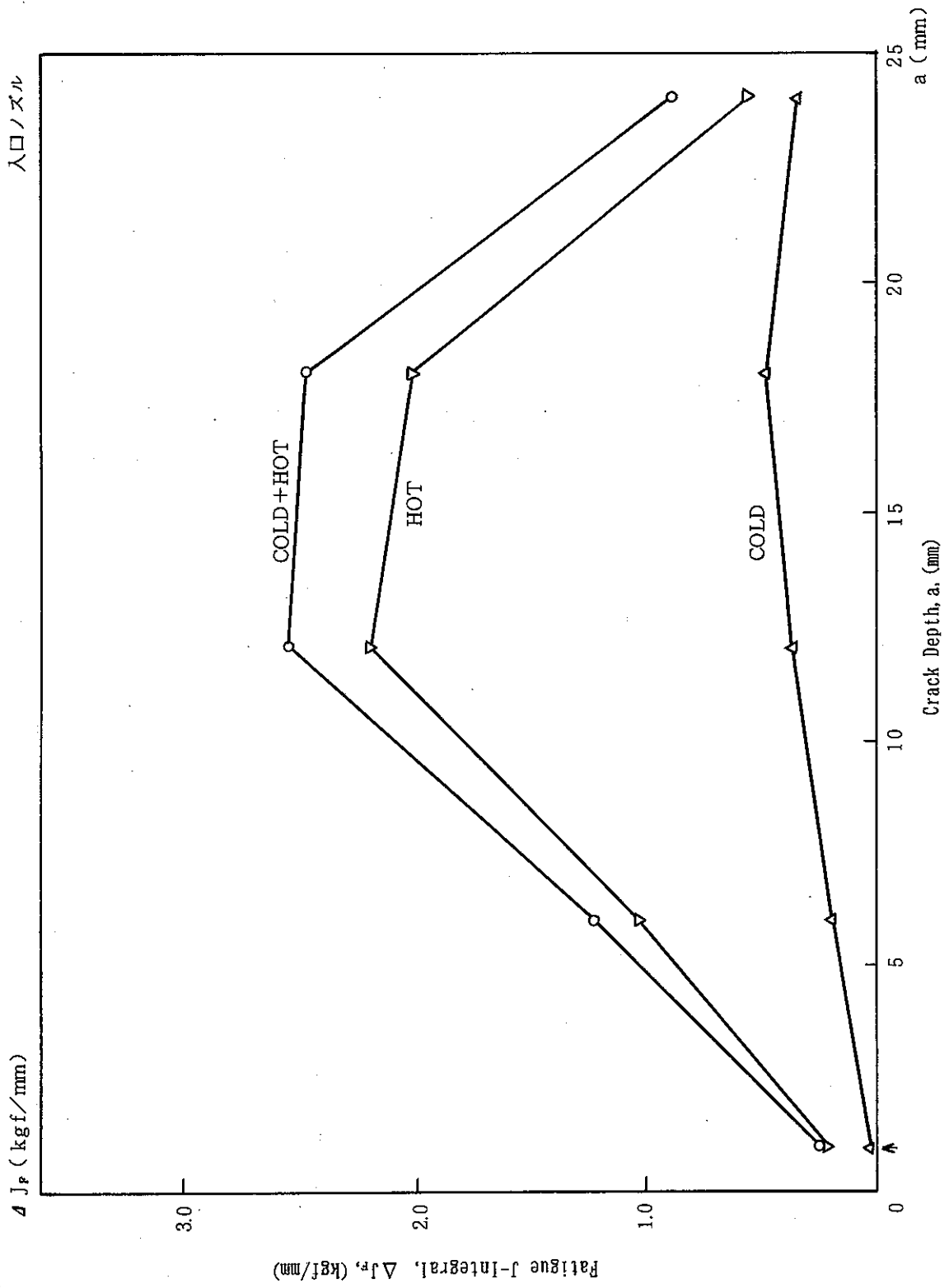


Fig. 3.2.16 Relation between  $\Delta J_f$  and Crack Depth (Inlet Nozzle-Upper head Junction)

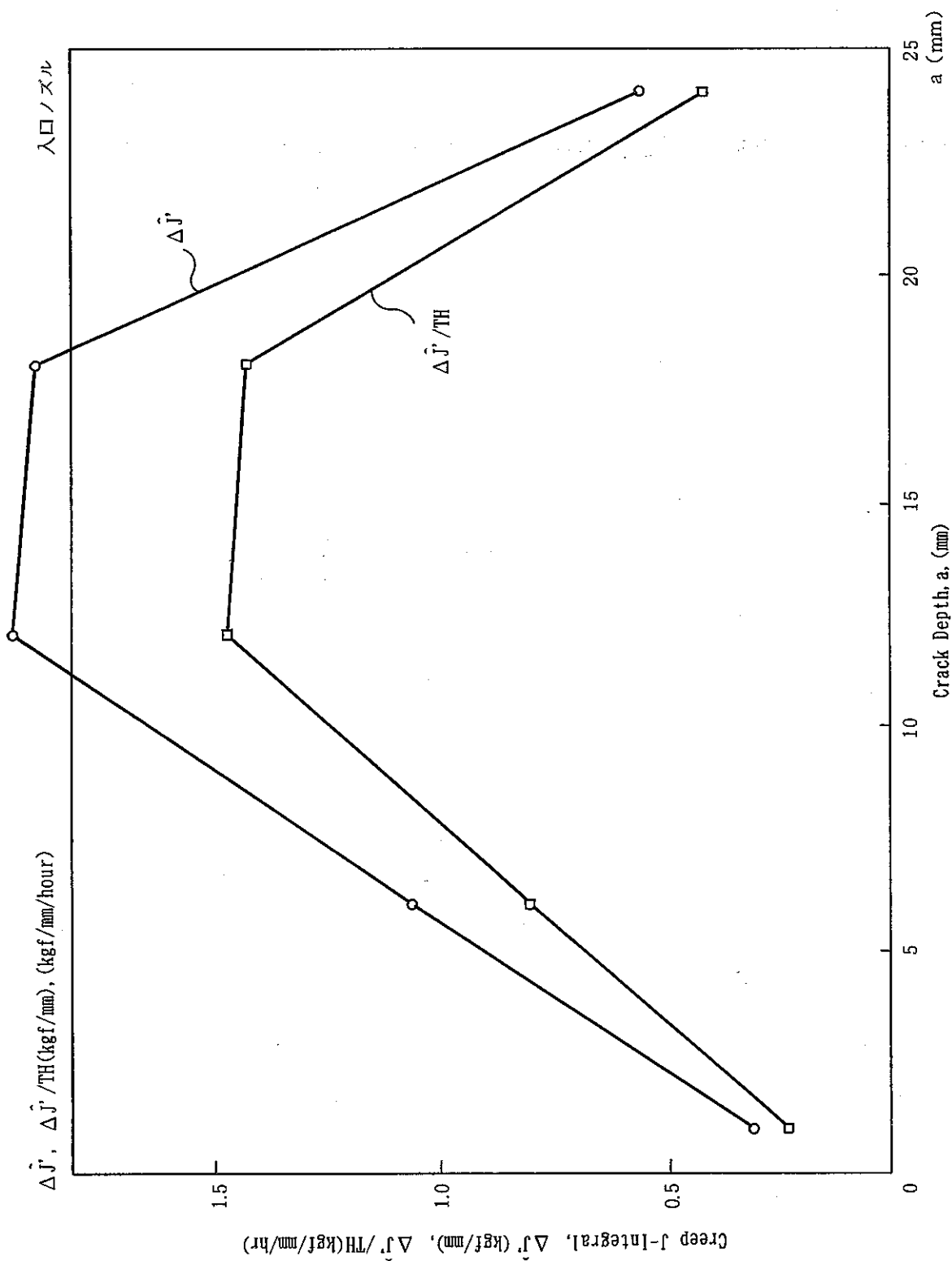


Fig. 3.2.17 Relation between  $\Delta J_c$  and Crack Depth (Inlet Nozzle-Upper head Junction)

### 3.3 き裂の進展評価結果

各評価対象き裂の複数のき裂深さ状態での破壊力学パラメータとして算出された $\Delta \hat{J}_F$ と、 $\Delta \hat{J}' / TH$  をそれぞれ小型試験片データで定式化された疲労き裂進展速度式とクリープき裂進展速度式に適用して熱過渡1サイクル当りの疲労によるき裂進展量 $(da/dN)_F$ 、クリープによるき裂進展量 $(da/dN)_c$ を算出した結果をTable 3.3.1～3.3.6に示す。ここでき裂進展速度式における材料定数としては平均値と上・下限値の3種類を用いている。

同Tableにはさらに上記1サイクル当りのき裂進展量(すなわちき裂進展速度)を用いて初期き裂深さ状態(1mm)から各き裂の最終き裂深さ状態まで進展するのに要する熱過渡サイクル数の算出結果を示している。疲労だけがき裂進展に寄与すると考えた場合の必要熱過渡サイクル数と疲労とクリープがき裂進展に寄与すると考えた場合の必要熱過渡サイクル数を算出した。

この結果から、実際の熱過渡サイクル数1,300回に対して、疲労だけを考慮した場合には最も大きなき裂進展速度を仮定したケースでもそれ以上の熱過渡サイクル数が必要とされる結果となるのに対し、クリープも合わせて考慮した場合にはき裂進展速度として最も小さな値を仮定したケースでも最終き裂深さまで進展するのに要される熱過渡サイクル数は数百回であり、後者による推定が試験結果を妥当に模擬していると考えられる。

Fig. 3.3.1～3.3.8には評価対象き裂毎に、き裂深さに対する1サイクル当りの疲労き裂進展量とクリープき裂進展量を示す。き裂進展速度式の材料定数としては平均値、上・下限値の3種類を用いている。

疲労による進展速度とクリープによる進展速度を比較すると全き裂においてクリープによる方が大きく、内筒溶接部および入口ノズルでは1オーダー以上、スカートでもほぼ1オーダーの差が認められる。内筒溶接部と入口ノズルは本供試体においてナトリウム主流路に接しており熱過渡条件は厳しいが、スカートはナトリウム主流路との間にスリット入り円筒胴が設置されており、熱過渡条件としては他よりも緩やかであった。しかしながらき裂進展挙動はほぼクリープによる効果が主たる支配要因であるといえる。従って本熱過渡試験条件下でき裂進展挙動の予測の信頼性を上げるためにはクリープによるき裂進展の予測精度を上げる必要があると言える。

次に各き裂についてき裂深さとき裂進展速度の関係をみると、先に述べた破壊力学パラメータのき裂深さ依存性を反映してほぼ板厚中央までは上に凸の曲線を描いてき裂進展速度が上昇し、極大値を示し、その後、板厚中央を越えてからは緩やかに減少に転じている。この傾向は、内筒溶接部のTIGおよび入口ノズル上鏡周継手部において顕著に現れている。

Fig. 3.3.9～3.3.11には内筒溶接部の4種の継手におけるき裂の熱過渡サイクル数に対するき裂進展挙動の解析結果を示す。き裂進展速度式における材料定数としては平均値、上・下限値の3種類を採用した。同様に、Fig. 3.3.12およびFig. 3.3.13にはそれぞれスカート、

入口ノズル部のき裂についてき裂進展挙動の解析結果を示す。

これらの曲線を見ると、採用するき裂進展速度（平均値あるいは上・下限値）により進展に要する熱過渡サイクル数に差は有るものの、解析したき裂深さ範囲で比較的急な（下に凸の）進展挙動を示している。各き裂ともさらにき裂が進展すれば入口ノズル上鏡継手部の最終ステップ（ $a = 18\text{mm}$ から $a = 24\text{mm}$ への進展）の様に進展速度が減少し上に凸の進展曲線に転じることが予想されるものの、各部位の板厚を貫通するのにそれ程多くの熱過渡サイクル数を要さないと考えられる。

従来、板厚方向の温度勾配に起因する曲げ応力下ではき裂が進展するに従い破壊力学パラメータ、さらにき裂進展速度がピーク点を過ぎた後減少に転じるため貫通には至り難いとの認識が有ったが、本解析結果をみると定性的には傾向が一致しているが、ピークを過ぎた後のき裂進展速度の減少は比較的緩やかであり、本熱過渡試験サイクル数程度のサイクル数がさらに追加された場合き裂が板厚を貫通することが十分予想される。現に内筒溶接部の一部には板厚貫通き裂が観察されている。また、構造間の相対的溫度差に起因する曲げ応力の場合には条件はさらに厳しく、より貫通に到り易い状況も考えられる。

Table 3.3.1 Crack Growth Calculation Results (MIG Weldment, D702W)

D702W WELD JOINT  
CRACK - D702

FATIGUE CRACK PROPAGATION

CRACK DEPTH	JH, MAX COLD	JH, MAX HOT	D(JF)	AVERAGE	(DA/DN)F UPPER	LOWER
1.00	0.27590	0.30460	0.58050	0.54831E-03	0.18446E-02	0.16299E-03
4.00	1.01700	0.99620	2.01320	0.33009E-02	0.11105E-01	0.98125E-03
7.00	1.66100	1.48300	3.14400	0.62819E-02	0.21133E-01	0.18674E-02
10.00	1.83700	1.94300	3.78000	0.81957E-02	0.27571E-01	0.24363E-02

CREEP CRACK PROPAGATION

CRACK DEPTH	D(JHP)	D(JHP)/TH	AVERAGE	(DA/DN)C UPPER	LOWER
1.00	0.16820	0.12700	0.27620E-01	0.57907E-01	0.13164E-01
4.00	0.66420	0.50149	0.92116E-01	0.19313	0.43903E-01
7.00	1.24700	0.94153	0.16005	0.33555	0.76281E-01
10.00	1.69400	1.2790	0.20938	0.43898	0.99793E-01

D702W WELD JOINT  
CRACK - D702  
NUMBER OF FATIGUE CRACK PROPAGATION CYCLES

AVERAGE BASE

A(MM)	(DA/DN)F	(DN/DA)F	D(N)	N(CYCLE)
1.00	0.54831E-03	1823.8	0.0	0.0
4.00	0.33009E-02	302.94	3190.1	3190.1
7.00	0.62819E-02	159.19	693.20	3883.3
10.00	0.81957E-02	122.02	421.80	4305.1
9.85			403.36	4286.7

UPPER BASE

A(MM)	(DA/DN)F	(DN/DA)F	D(N)	N(CYCLE)
1.00	0.18446E-02	542.14	0.0	0.0
4.00	0.11105E-01	90.053	948.28	948.28
7.00	0.21133E-01	47.320	206.06	1154.3
10.00	0.27571E-01	36.270	125.38	1279.7
9.85			119.90	1274.2

LOWER BASE

A(MM)	(DA/DN)F	(DN/DA)F	D(N)	N(CYCLE)
1.00	0.16299E-03	6135.3	0.0	0.0
4.00	0.98125E-03	1019.1	10732.	10732.
7.00	0.18674E-02	535.51	2331.9	13063.
10.00	0.24363E-02	410.46	1419.0	14482.
9.85			1356.9	14420.

D702W WELD JOINT  
CRACK - D702  
NUMBER OF CREEP FATIGUE CRACK PROPAGATION CYCLES

AVERAGE BASE

A(MM)	(DA/DN)F	(DA/DN)C	DA/DN	DN/DA	D(N)	N(CYCLE)
1.00	0.54831E-03	0.27620E-01	0.28169E-01	35.500	0.0	0.0
4.00	0.33009E-02	0.92116E-01	0.95417E-01	10.480	68.971	68.971
7.00	0.62819E-02	0.16005	0.16633	6.0121	24.739	93.710
10.00	0.81957E-02	0.20938	0.21758	4.5961	15.912	109.62
9.85					15.218	108.93

UPPER BASE

A(MM)	(DA/DN)F	(DA/DN)C	DA/DN	DN/DA	D(N)	N(CYCLE)
1.00	0.18446E-02	0.57907E-01	0.59752E-01	16.736	0.0	0.0
4.00	0.11105E-01	0.19313	0.20423	4.8964	32.448	32.448
7.00	0.21133E-01	0.33555	0.35668	2.8036	11.550	43.998
10.00	0.27571E-01	0.43898	0.46655	2.1434	7.4205	51.419
9.85					7.0965	51.095

LOWER BASE

A(MM)	(DA/DN)F	(DA/DN)C	DA/DN	DN/DA	D(N)	N(CYCLE)
1.00	0.16299E-03	0.13164E-01	0.13327E-01	75.035	0.0	0.0
4.00	0.98125E-03	0.43903E-01	0.44885E-01	22.279	145.97	145.97
7.00	0.18674E-02	0.76281E-01	0.78148E-01	12.796	52.613	198.58
10.00	0.24363E-02	0.99793E-01	0.10223	9.7820	33.867	232.45
9.85					32.389	230.97

Table 3.3.2 Crack Growth Calculation Results (SMAW Weldment, D703W)

D703W WELD JOINT  
CRACK - D703

FATIGUE CRACK PROPAGATION

CRACK DEPTH	JH, MAX COLD	JH, MAX HOT	D(JF)	AVERAGE	(DA/DN)F UPPER	LOWER
1.00	0.24960	0.28620	0.53580	0.48842E-03	0.16431E-02	0.14519E-03
4.00	0.92860	0.94860	1.87720	0.29839E-02	0.10038E-01	0.88701E-03
7.00	1.61400	1.46400	3.07800	0.60925E-02	0.20496E-01	0.18111E-02
10.00	1.87200	2.01800	3.89000	0.85422E-02	0.28737E-01	0.25393E-02

CREEP CRACK PROPAGATION

CRACK DEPTH	D(JHP)	D(JHP)/TH	AVERAGE	(DA/DN)C UPPER	LOWER
1.00	0.15490	0.11705	0.25693E-01	0.53866E-01	0.12245E-01
4.00	0.61850	0.46738	0.86524E-01	0.18140	0.41238E-01
7.00	1.20000	0.90680	0.15473	0.32440	0.73746E-01
10.00	1.87400	1.4161	0.22875	0.47958	0.10902

D703W WELD JOINT  
CRACK - D703  
NUMBER OF FATIGUE CRACK PROPAGATION CYCLES

AVERAGE BASE

A(MM)	(DA/DN)F	(DN/DA)F	D(N)	N(CYCLE)
1.00	0.48842E-03	2047.4	0.0	0.0
4.00	0.29839E-02	335.13	3573.8	3573.8
7.00	0.60925E-02	164.14	748.90	4322.7
10.00	0.85422E-02	117.07	421.81	4744.5
8.00			156.29	4479.0

UPPER BASE

A(MM)	(DA/DN)F	(DN/DA)F	D(N)	N(CYCLE)
1.00	0.16431E-02	608.61	0.0	0.0
4.00	0.10038E-01	99.620	1062.3	1062.3
7.00	0.20496E-01	48.791	222.62	1285.0
10.00	0.28737E-01	34.799	125.38	1410.3
8.00			46.459	1331.4

LOWER BASE

A(MM)	(DA/DN)F	(DN/DA)F	D(N)	N(CYCLE)
1.00	0.14519E-03	6887.6	0.0	0.0
4.00	0.88701E-03	1127.4	12022.	12022.
7.00	0.18111E-02	552.16	2519.3	14542.
10.00	0.25393E-02	393.01	1419.0	15961.
8.00			525.77	15068.

D703W WELD JOINT  
CRACK - D703  
NUMBER OF CREEP FATIGUE CRACK PROPAGATION CYCLES

AVERAGE BASE

A(MM)	(DA/DN)F	(DA/DN)C	DA/DN	DN/DA	D(N)	N(CYCLE)
1.00	0.48842E-03	0.25693E-01	0.26181E-01	38.195	0.0	0.0
4.00	0.29839E-02	0.86524E-01	0.89508E-01	11.172	74.051	74.051
7.00	0.60925E-02	0.15473	0.16082	6.2180	26.085	100.14
10.00	0.85422E-02	0.22875	0.23729	4.2143	15.648	115.79
8.00					5.8841	106.02

UPPER BASE

A(MM)	(DA/DN)F	(DA/DN)C	DA/DN	DN/DA	D(N)	N(CYCLE)
1.00	0.16431E-02	0.53866E-01	0.55509E-01	18.015	0.0	0.0
4.00	0.10038E-01	0.18140	0.19144	5.2235	34.858	34.858
7.00	0.20496E-01	0.32440	0.34490	2.8994	12.184	47.042
10.00	0.28737E-01	0.47958	0.50831	1.9673	7.3001	54.342
8.00					2.7441	49.786

LOWER BASE

A(MM)	(DA/DN)F	(DA/DN)C	DA/DN	DN/DA	D(N)	N(CYCLE)
1.00	0.14519E-03	0.12245E-01	0.12391E-01	80.707	0.0	0.0
4.00	0.88701E-03	0.41238E-01	0.42125E-01	23.739	156.67	156.67
7.00	0.18111E-02	0.73746E-01	0.75597E-01	13.235	55.460	212.13
10.00	0.25393E-02	0.10902	0.11156	8.9637	33.298	245.43
8.00					12.523	224.65



Table 3.3.3 Crack Growth Calculation Results (EBW Weldment, D704W)

D704W WELD JOINT  
CRACK - D704

FATIGUE CRACK PROPAGATION

CRACK DEPTH	JH,MAX COLD	JH,MAX HOT	D(JF)	AVERAGE	(DA/DN)F UPPER	LOWER
1.00	0.21850	0.27800	0.49650	0.43756E-03	0.14720E-02	0.13007E-03
4.00	0.73350	0.87720	1.61070	0.23922E-02	0.80476E-02	0.71112E-03
7.00	1.39400	1.35200	2.74600	0.51670E-02	0.17382E-01	0.15360E-02
10.00	1.72900	1.90800	3.63700	0.77519E-02	0.26078E-01	0.23044E-02

CREEP CRACK PROPAGATION

CRACK DEPTH	D(JHP)	D(JHP)/TH	AVERAGE	(DA/DN)C UPPER	LOWER
1.00	0.14300	0.10806	0.23953E-01	0.50219E-01	0.11416E-01
4.00	0.56410	0.42627	0.79813E-01	0.16733	0.38040E-01
7.00	1.15000	0.86902	0.14906	0.31252	0.71044E-01
10.00	1.61500	1.2204	0.20077	0.42093	0.95689E-01

D704W WELD JOINT  
CRACK - D704  
NUMBER OF FATIGUE CRACK PROPAGATION CYCLES

AVERAGE BASE

A(MM)	(DA/DN)F	(DN/DA)F	D(N)	N(CYCLE)
1.00	0.43756E-03	2285.4	0.0	0.0
4.00	0.23922E-02	418.02	4055.1	4055.1
7.00	0.51670E-02	193.53	917.33	4972.5
10.00	0.77519E-02	129.00	483.80	5456.3
9.40			402.53	5375.0

UPPER BASE

A(MM)	(DA/DN)F	(DN/DA)F	D(N)	N(CYCLE)
1.00	0.14720E-02	679.35	0.0	0.0
4.00	0.80476E-02	124.26	1205.4	1205.4
7.00	0.17382E-01	57.530	272.68	1478.1
10.00	0.26078E-01	38.346	143.81	1621.9
9.40			119.66	1597.8

LOWER BASE

A(MM)	(DA/DN)F	(DN/DA)F	D(N)	N(CYCLE)
1.00	0.13007E-03	7688.2	0.0	0.0
4.00	0.71112E-03	1406.2	13642.	13642.
7.00	0.15360E-02	651.06	3085.9	16728.
10.00	0.23044E-02	433.96	1627.5	18355.
9.40			1354.1	18082.

D704W WELD JOINT  
CRACK - D704  
NUMBER OF CREEP FATIGUE CRACK PROPAGATION CYCLES

AVERAGE BASE

A(MM)	(DA/DN)F	(DA/DN)C	DA/DN	DN/DA	D(N)	N(CYCLE)
1.00	0.43756E-03	0.23953E-01	0.24391E-01	40.999	0.0	0.0
4.00	0.23922E-02	0.79813E-01	0.82205E-01	12.165	79.746	79.746
7.00	0.51670E-02	0.14906	0.15423	6.4839	27.973	107.72
10.00	0.77519E-02	0.20077	0.20852	4.7956	16.919	124.64
9.40					13.941	121.66

UPPER BASE

A(MM)	(DA/DN)F	(DA/DN)C	DA/DN	DN/DA	D(N)	N(CYCLE)
1.00	0.14720E-02	0.50219E-01	0.51691E-01	19.346	0.0	0.0
4.00	0.80476E-02	0.16733	0.17538	5.7019	37.571	37.571
7.00	0.17382E-01	0.31252	0.32990	3.0312	13.100	50.671
10.00	0.26078E-01	0.42093	0.44700	2.2371	7.9025	58.574
9.40					6.5126	57.184

LOWER BASE

A(MM)	(DA/DN)F	(DA/DN)C	DA/DN	DN/DA	D(N)	N(CYCLE)
1.00	0.13007E-03	0.11416E-01	0.11546E-01	86.607	0.0	0.0
4.00	0.71112E-03	0.38040E-01	0.38751E-01	25.806	168.62	168.62
7.00	0.15360E-02	0.71044E-01	0.72580E-01	13.778	59.376	228.00
10.00	0.23044E-02	0.95689E-01	0.97994E-01	10.205	35.974	263.97
9.40					29.637	257.63

Table 3.3.4 Crack Growth Calculation Results (TIG Weldment, D705W)

D705W WELD JOINT  
CRACK - D705

FATIGUE CRACK PROPAGATION

CRACK DEPTH	JH, MAX COLD	JH, MAX HDT	D(JF)	AVERAGE	(DA/DN) <sup>F</sup> UPPER	LOWER
1.00	0.20390	0.33490	0.53880	0.49237E-03	0.16564E-02	0.14636E-03
6.00	0.82470	1.27900	2.10370	0.35173E-02	0.11832E-01	0.10455E-02
11.00	1.20900	2.04300	3.25200	0.65958E-02	0.22189E-01	0.19607E-02
16.00	0.77050	1.84700	2.61750	0.48217E-02	0.16220E-01	0.14333E-02

CREEP CRACK PROPAGATION

CRACK DEPTH	D(JHP)	D(JHP)/TH	AVERAGE	(DA/DN) <sup>C</sup> UPPER	LOWER
1.00	0.16470	0.12456	0.27110E-01	0.56837E-01	0.12921E-01
6.00	0.88210	0.66713	0.11812	0.24764	0.58295E-01
11.00	1.47500	1.1155	0.18540	0.38871	0.88365E-01
16.00	1.19700	0.90529	0.15498	0.32366	0.73577E-01

D705W WELD JOINT  
CRACK - D705  
NUMBER OF FATIGUE CRACK PROPAGATION CYCLES

AVERAGE BASE

A(MM)	(DA/DN) <sup>F</sup>	(DN/DA) <sup>F</sup>	D(N)	N(CYCLE)
1.00	0.49237E-03	2031.0	0.0	0.0
6.00	0.35173E-02	284.31	5788.2	5788.2
11.00	0.65958E-02	151.61	1089.8	6878.1
16.00	0.48217E-02	207.40	897.52	7775.8
14.40			579.97	7458.0

UPPER BASE

A(MM)	(DA/DN) <sup>F</sup>	(DN/DA) <sup>F</sup>	D(N)	N(CYCLE)
1.00	0.16564E-02	603.73	0.0	0.0
6.00	0.11832E-01	84.514	1720.6	1720.6
11.00	0.22189E-01	45.068	323.96	2044.6
16.00	0.16220E-01	61.651	266.80	2311.4
14.40			172.40	2217.0

LOWER BASE

A(MM)	(DA/DN) <sup>F</sup>	(DN/DA) <sup>F</sup>	D(N)	N(CYCLE)
1.00	0.14636E-03	6832.3	0.0	0.0
6.00	0.10455E-02	956.43	19472.	19472.
11.00	0.19607E-02	510.03	3666.2	23138.
16.00	0.14333E-02	697.69	3019.3	26157.
14.40			1951.0	25089.

D705W WELD JOINT  
CRACK - D705  
NUMBER OF CREEP FATIGUE CRACK PROPAGATION CYCLES

AVERAGE BASE

A(MM)	(DA/DN) <sup>F</sup>	(DA/DN) <sup>C</sup>	DA/DN	DN/DA	D(N)	N(CYCLE)
1.00	0.49237E-03	0.27110E-01	0.27602E-01	36.229	0.0	0.0
6.00	0.35173E-02	0.11812	0.12163	8.2214	111.13	111.13
11.00	0.65958E-02	0.18540	0.19200	5.2083	33.574	144.70
16.00	0.48217E-02	0.15498	0.15920	6.2815	28.725	173.42
14.40					18.949	163.65

UPPER BASE

A(MM)	(DA/DN) <sup>F</sup>	(DA/DN) <sup>C</sup>	DA/DN	DN/DA	D(N)	N(CYCLE)
1.00	0.16564E-02	0.56837E-01	0.58494E-01	17.056	0.0	0.0
6.00	0.11832E-01	0.24764	0.25947	3.8540	52.375	52.375
11.00	0.22189E-01	0.38871	0.41050	2.4337	15.719	68.094
16.00	0.16220E-01	0.32366	0.33988	2.9423	13.440	81.534
14.40					8.8625	76.956

LOWER BASE

A(MM)	(DA/DN) <sup>F</sup>	(DA/DN) <sup>C</sup>	DA/DN	DN/DA	D(N)	N(CYCLE)
1.00	0.14636E-03	0.12921E-01	0.13087E-01	76.527	0.0	0.0
6.00	0.10455E-02	0.56235E-01	0.57341E-01	17.440	234.92	234.92
11.00	0.19607E-02	0.88365E-01	0.90326E-01	11.071	71.277	306.19
16.00	0.14333E-02	0.73577E-01	0.75010E-01	13.332	61.006	367.20
14.40					40.255	346.45

Table 3.3.5 Crack Growth Calculation Results (Skirt;Thinning Portion)

SKIRT LINE-A  
CRACK - SK-A

FATIGUE CRACK PROPAGATION

CRACK DEPTH	JH, MAX COLD	JH, MAX HOT	D(JF)	AVERAGE	(DA/DN)F UPPER	LOWER
1.00	0.43990	0.11210	0.55200	0.50988E-03	0.17153E-02	0.15157E-03
6.00	2.31300	0.30730	2.82030	0.48291E-02	0.16245E-01	0.14355E-02
11.00	2.86200	0.75280	3.61480	0.76837E-02	0.25849E-01	0.22841E-02
16.00	2.26000	1.00600	3.26600	0.66368E-02	0.22327E-01	0.19729E-02

CREEP CRACK PROPAGATION

CRACK DEPTH	D(JHP)	D(JHP)/TH	AVERAGE	(DA/DN)C UPPER	LOWER
1.00	0.08280	0.65083E-01	0.14762E-01	0.30949E-01	0.70357E-02
6.00	0.20720	0.16286	0.32999E-01	0.69184E-01	0.15728E-01
11.00	0.34550	0.27157	0.51671E-01	0.10833	0.24627E-01
16.00	0.35990	0.28289	0.53555E-01	0.11228	0.25525E-01

SKIRT LINE-A  
CRACK - SK-A  
NUMBER OF FATIGUE CRACK PROPAGATION CYCLES

AVERAGE BASE

A(MM)	(DA/DN)F	(DN/DA)F	D(N)	N(CYCLE)
1.00	0.50988E-03	1961.3	0.0	0.0
6.00	0.48291E-02	207.08	5420.8	5420.8
11.00	0.76837E-02	130.15	843.06	6263.9
16.00	0.66368E-02	150.68	702.05	6965.9
16.50			777.90	7041.8

UPPER BASE

A(MM)	(DA/DN)F	(DN/DA)F	D(N)	N(CYCLE)
1.00	0.17153E-02	583.00	0.0	0.0
6.00	0.16245E-01	61.556	1611.4	1611.4
11.00	0.25849E-01	38.687	250.61	1862.0
16.00	0.22327E-01	44.789	208.69	2070.7
16.50			231.24	2093.2

LOWER BASE

A(MM)	(DA/DN)F	(DN/DA)F	D(N)	N(CYCLE)
1.00	0.15157E-03	6597.7	0.0	0.0
6.00	0.14355E-02	696.61	18236.	18236.
11.00	0.22841E-02	437.81	2836.1	21072.
16.00	0.19729E-02	506.87	2361.7	23434.
16.50			2616.9	23689.

SKIRT LINE-A  
CRACK - SK-A  
NUMBER OF CREEP FATIGUE CRACK PROPAGATION CYCLES

AVERAGE BASE

A(MM)	(DA/DN)F	(DA/DN)C	DA/DN	DN/DA	D(N)	N(CYCLE)
1.00	0.50988E-03	0.14762E-01	0.15272E-01	65.480	0.0	0.0
6.00	0.48291E-02	0.32999E-01	0.37828E-01	26.435	229.79	229.79
11.00	0.76837E-02	0.51671E-01	0.59355E-01	16.848	108.21	338.00
16.00	0.66368E-02	0.53555E-01	0.60192E-01	16.613	83.653	421.65
16.50					91.954	429.95

UPPER BASE

A(MM)	(DA/DN)F	(DA/DN)C	DA/DN	DN/DA	D(N)	N(CYCLE)
1.00	0.17153E-02	0.30949E-01	0.32664E-01	30.614	0.0	0.0
6.00	0.16245E-01	0.69184E-01	0.85430E-01	11.705	105.80	105.80
11.00	0.25849E-01	0.10833	0.13418	7.4527	47.895	153.70
16.00	0.22327E-01	0.11228	0.13461	7.4290	37.204	190.90
16.50					40.918	194.61

LOWER BASE

A(MM)	(DA/DN)F	(DA/DN)C	DA/DN	DN/DA	D(N)	N(CYCLE)
1.00	0.15157E-03	0.70357E-02	0.71872E-02	139.14	0.0	0.0
6.00	0.14355E-02	0.15728E-01	0.17163E-01	58.264	493.50	493.50
11.00	0.22841E-02	0.24627E-01	0.26911E-01	37.159	238.56	732.06
16.00	0.19729E-02	0.25525E-01	0.27498E-01	36.367	183.81	915.87
16.50					201.98	934.04

Table 3.3.6 Crack Growth Calculation Results (Inlet Nozzle-Upper head Junction)

CRACK - IN-H

FATIGUE CRACK PROPAGATION

CRACK DEPTH	JH, MAX COLD	JH, MAX HOT	D(JF)	AVERAGE	(DA/DN)F UPPER	LOWER
1.00	0.03350	0.21090	0.24440	0.15729E-03	0.52914E-03	0.46757E-04
6.00	0.19180	1.02100	1.21280	0.15883E-02	0.53431E-02	0.47214E-03
12.00	0.36150	2.17900	2.54050	0.46182E-02	0.15536E-01	0.13728E-02
18.00	0.46970	1.99600	2.46570	0.44233E-02	0.14880E-01	0.13149E-02
24.00	0.33630	0.54430	0.88060	0.10006E-02	0.33661E-02	0.29744E-03

CREEP CRACK PROPAGATION

CRACK DEPTH	D(JHP)	D(JHP)/TH	AVERAGE	(DA/DN)C UPPER	LOWER
1.00	0.30560	0.23009	0.46646E-01	0.97794E-01	0.22232E-01
6.00	1.05800	0.79657	0.13861	0.29061	0.66064E-01
12.00	1.93300	1.4554	0.23516	0.49301	0.11208
18.00	1.88000	1.4155	0.22949	0.48114	0.10938
24.00	0.55210	0.41568	0.78357E-01	0.16428	0.37346E-01

CRACK - IN-H  
NUMBER OF FATIGUE CRACK PROPAGATION CYCLES

AVERAGE BASE

A(MM)	(DA/DN)F	(DN/DA)F	D(N)	N(CYCLE)
1.00	0.15729E-03	6357.7	0.0	0.0
6.00	0.15883E-02	629.61	17468.	17468.
12.00	0.46182E-02	216.53	2538.4	20007.
18.00	0.44233E-02	226.08	1327.8	21335.
24.00	0.10006E-02	999.39	3676.4	25011.
24.00			3676.4	25011.

UPPER BASE

A(MM)	(DA/DN)F	(DN/DA)F	D(N)	N(CYCLE)
1.00	0.52914E-03	1889.9	0.0	0.0
6.00	0.53431E-02	187.16	5192.6	5192.6
12.00	0.15536E-01	64.366	754.57	5947.1
18.00	0.14880E-01	67.203	394.71	6341.8
24.00	0.33661E-02	297.08	1092.8	7434.7
24.00			1092.8	7434.7

LOWER BASE

A(MM)	(DA/DN)F	(DN/DA)F	D(N)	N(CYCLE)
1.00	0.46757E-04	21387.	0.0	0.0
6.00	0.47214E-03	2118.0	58764.	58764.
12.00	0.13728E-02	728.42	8539.4	87903.
18.00	0.13149E-02	760.53	4466.8	71770.
24.00	0.29744E-03	3362.0	12368.	84137.
24.00			12368.	84137.

CRACK - IN-H  
NUMBER OF CREEP FATIGUE CRACK PROPAGATION CYCLES

AVERAGE BASE

A(MM)	(DA/DN)F	(DA/DN)C	DA/DN	DN/DA	D(N)	N(CYCLE)
1.00	0.15729E-03	0.46646E-01	0.46803E-01	21.366	0.0	0.0
6.00	0.15883E-02	0.13861	0.14020	7.1326	71.247	71.247
12.00	0.46182E-02	0.23516	0.23977	4.1706	33.910	105.16
18.00	0.44233E-02	0.22949	0.23391	4.2751	25.337	130.49
24.00	0.10006E-02	0.78357E-01	0.79358E-01	12.601	50.629	181.12
24.00					50.629	181.12

UPPER BASE

A(MM)	(DA/DN)F	(DA/DN)C	DA/DN	DN/DA	D(N)	N(CYCLE)
1.00	0.52914E-03	0.97794E-01	0.98324E-01	10.171	0.0	0.0
6.00	0.53431E-02	0.29061	0.29595	3.3789	33.874	33.874
12.00	0.15536E-01	0.49301	0.50855	1.9664	16.036	49.909
18.00	0.14880E-01	0.48114	0.49602	2.0160	11.947	61.857
24.00	0.33661E-02	0.16428	0.16765	5.9649	23.943	85.800
24.00					23.943	85.800

LOWER BASE

A(MM)	(DA/DN)F	(DA/DN)C	DA/DN	DN/DA	D(N)	N(CYCLE)
1.00	0.46757E-04	0.22232E-01	0.22278E-01	44.886	0.0	0.0
6.00	0.47214E-03	0.66064E-01	0.66536E-01	15.029	149.79	149.79
12.00	0.13728E-02	0.11208	0.11345	8.8144	71.531	221.32
18.00	0.13149E-02	0.10938	0.11069	9.0340	53.545	274.87
24.00	0.29744E-03	0.37346E-01	0.37643E-01	26.565	106.80	381.66
24.00					106.80	381.66

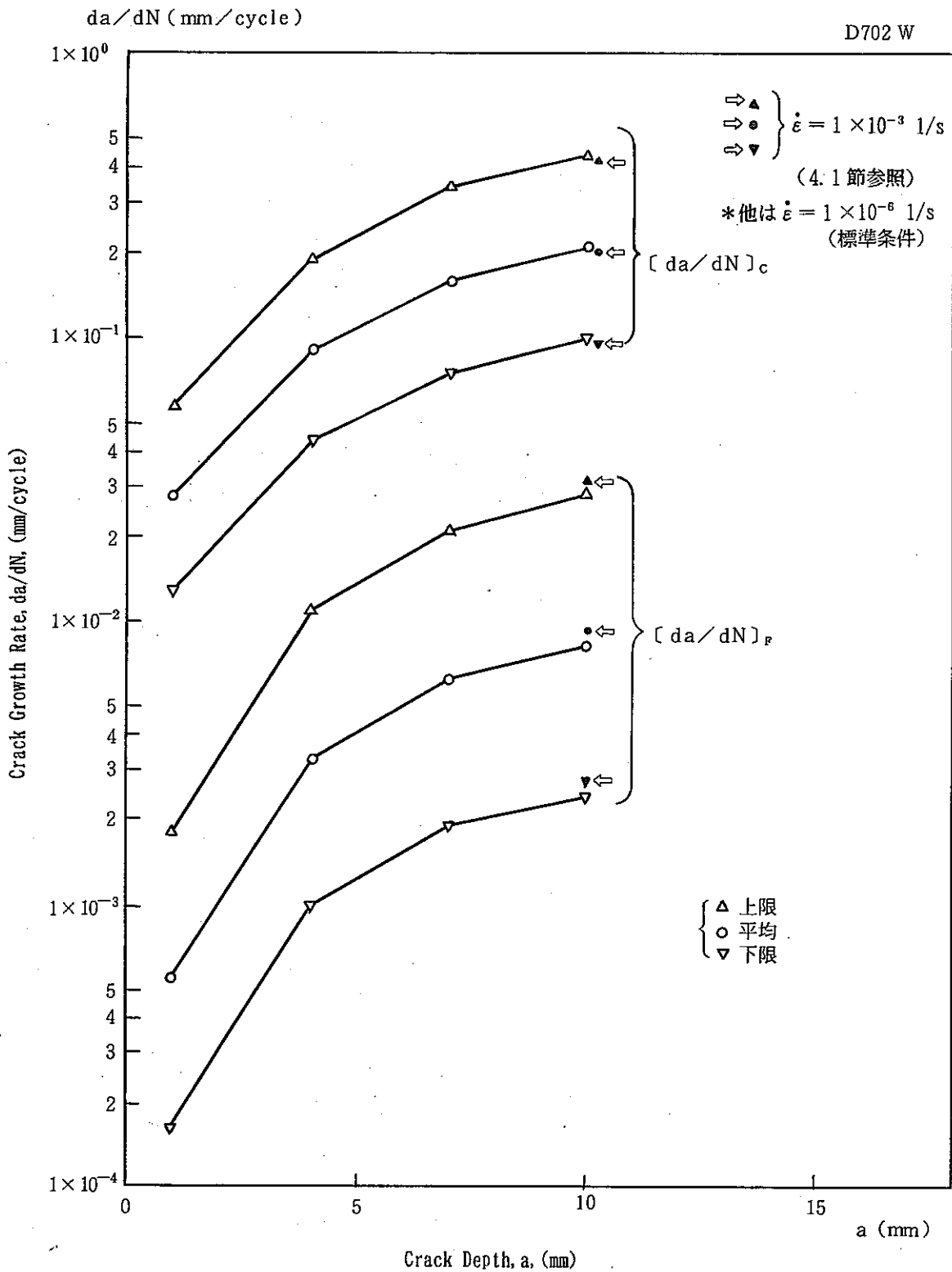


Fig. 3.3.1 Relation between  $[da/dN]_f$ ,  $[da/dN]_c$  and Crack Depth (MIG Weldment, D702W)

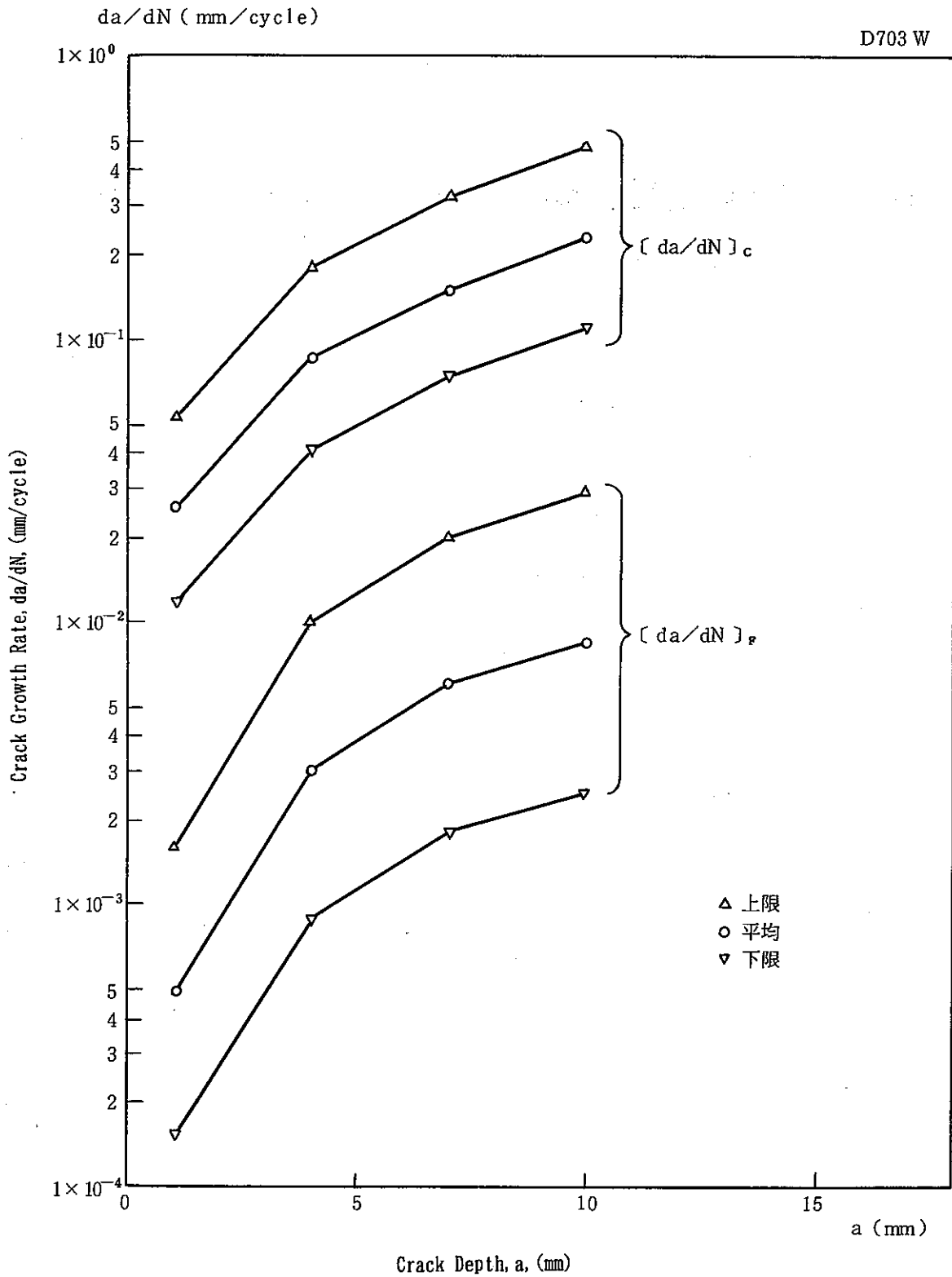


Fig. 3.3.2 Relation between  $[da/dN]_f$ ,  $[da/dN]_c$  and Crack Depth (SMAW Weldment, D703W)

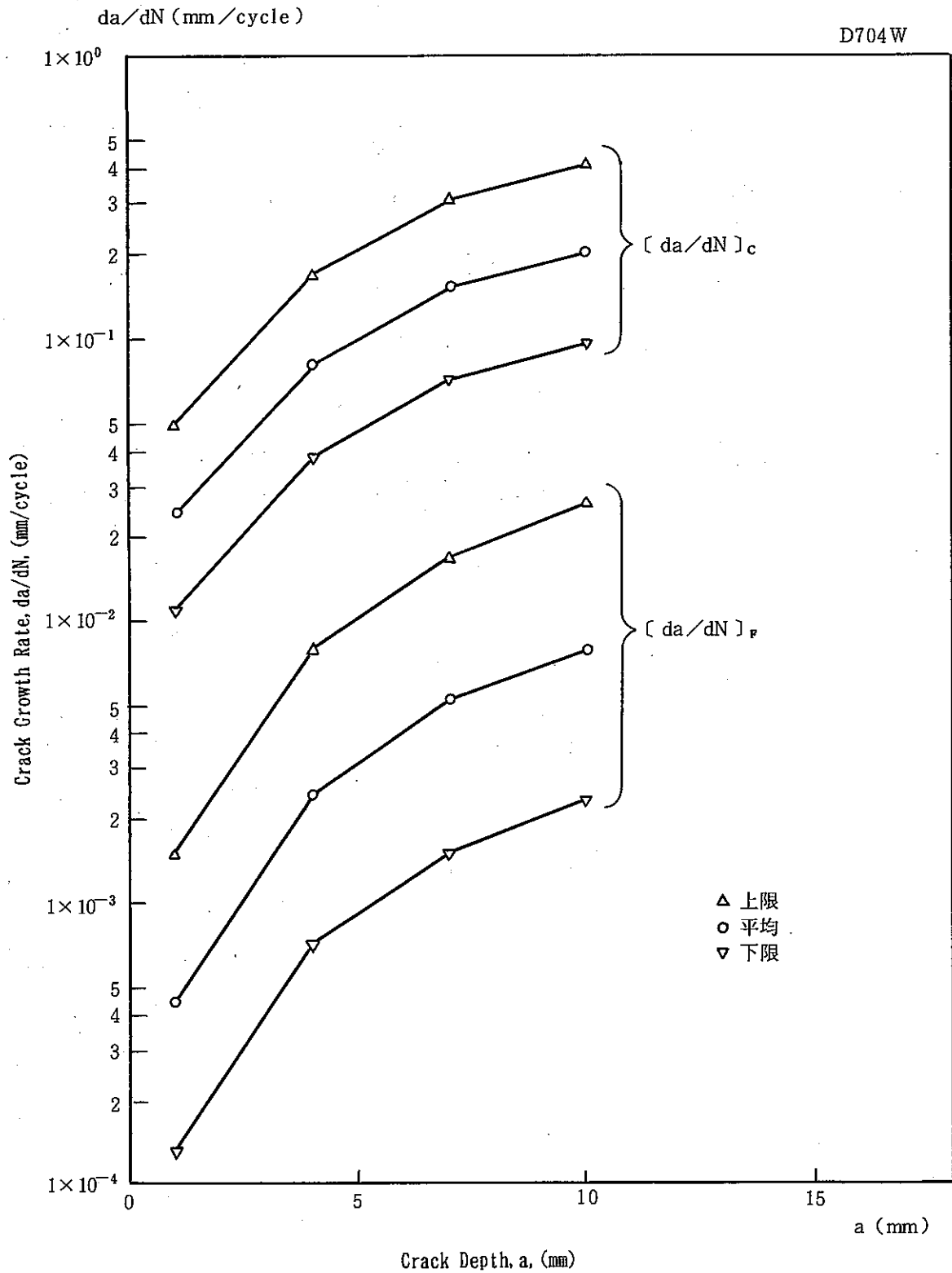


Fig. 3.3.3 Relation between [  $da/dN$  ]<sub>f</sub>, [  $da/dN$  ]<sub>c</sub> and Crack Depth (EBW Weldment, D704W)

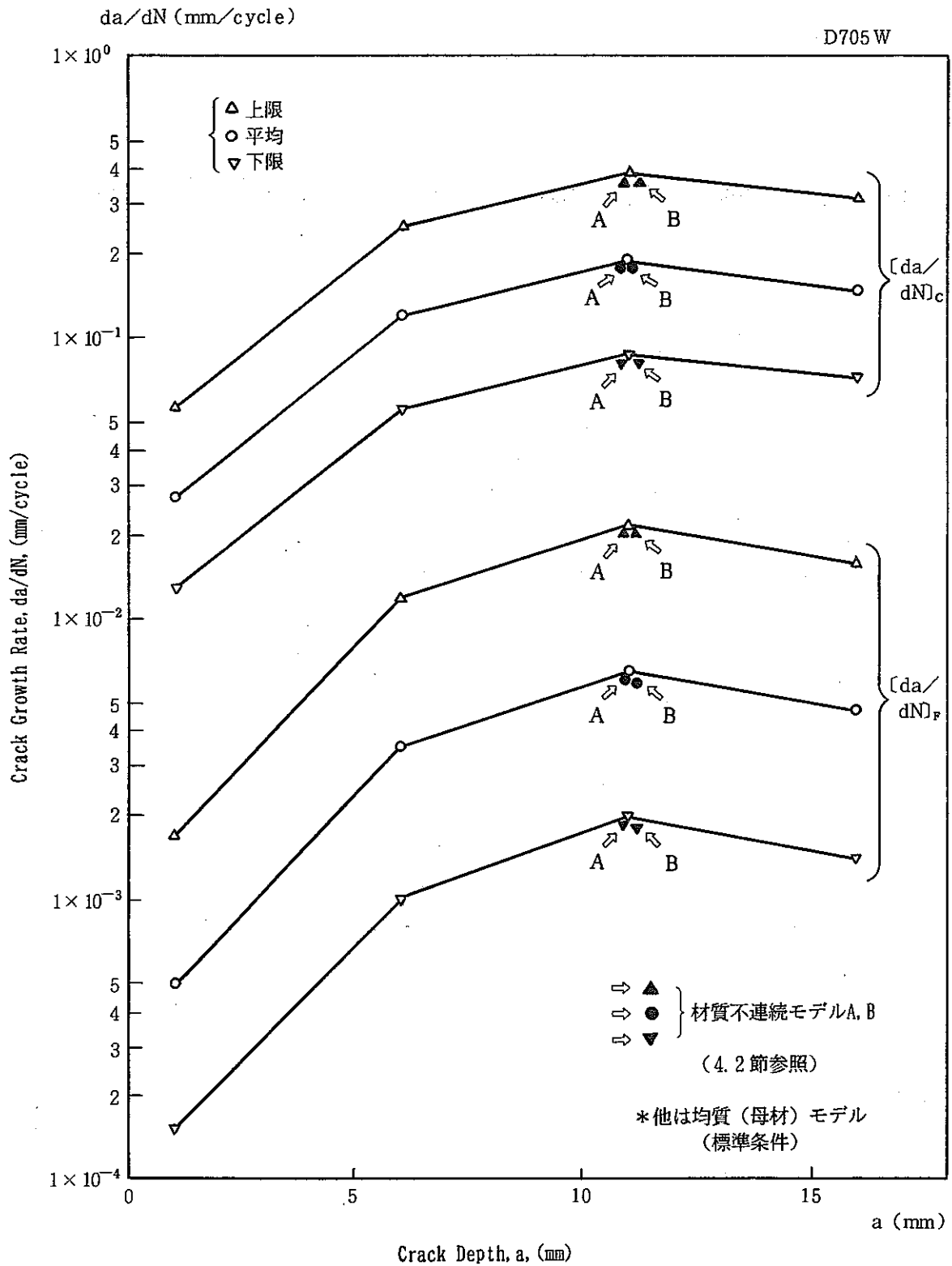


Fig. 3.3.4 Relation between [ $da/dN$ ]<sub>f</sub>, [ $da/dN$ ]<sub>c</sub> and Crack Depth (TIG Weldment, D705W)



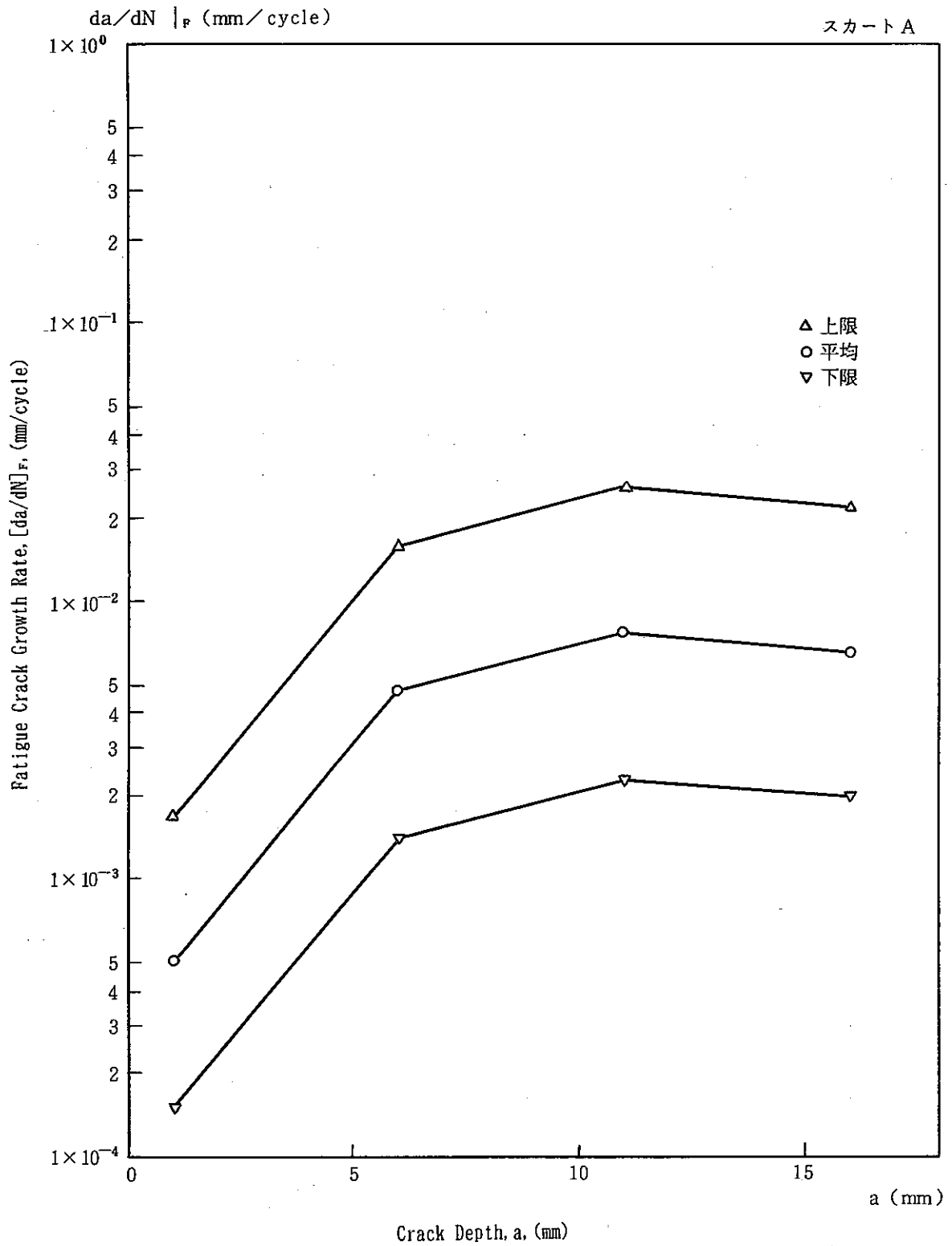


Fig. 3.3.5 Relation between  $[da/dN]_f$  and Crack Depth (Skirt;Thinning Portion)

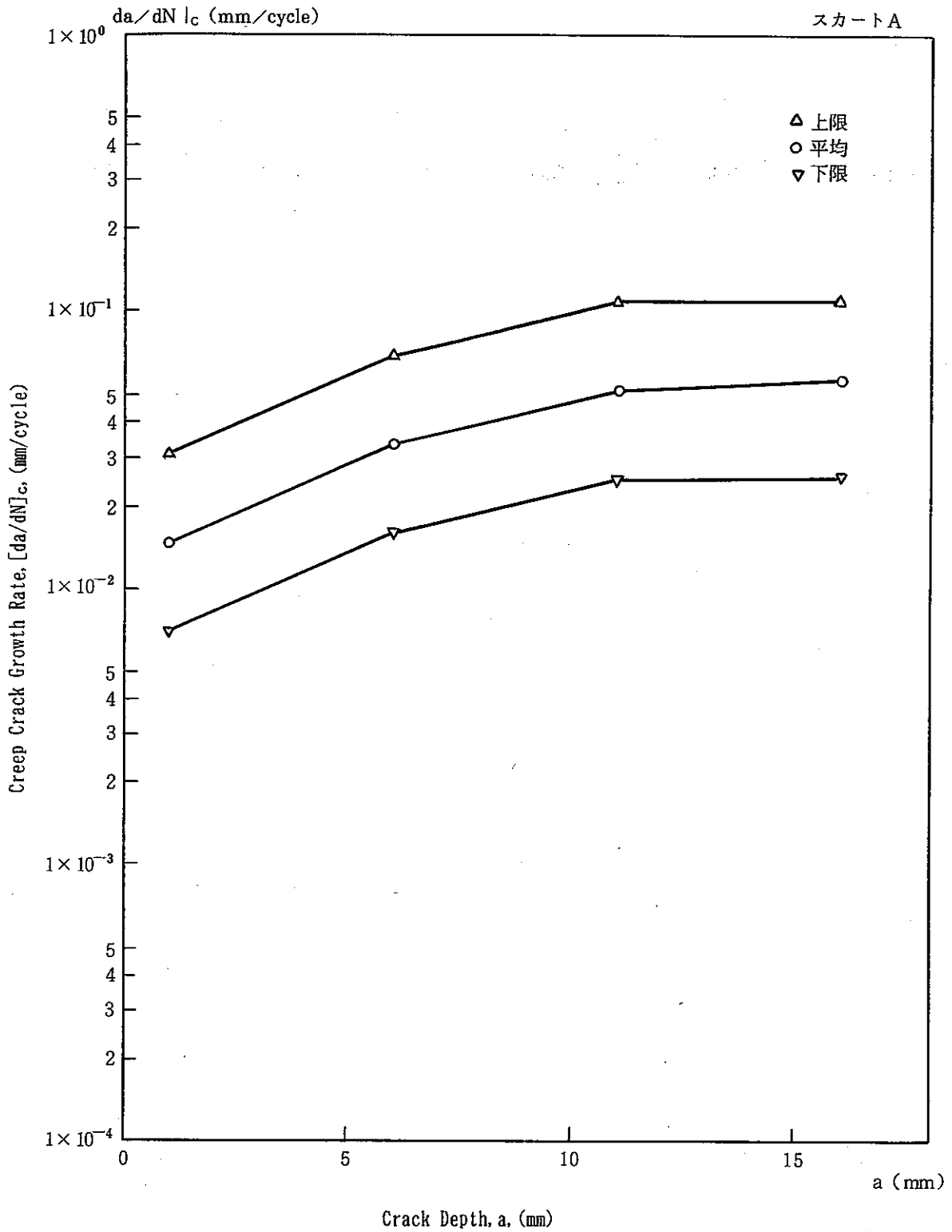


Fig. 3.3.6 Relation between [da/dN]<sub>c</sub> and Crack Depth (Skirt; Thinning Portion)

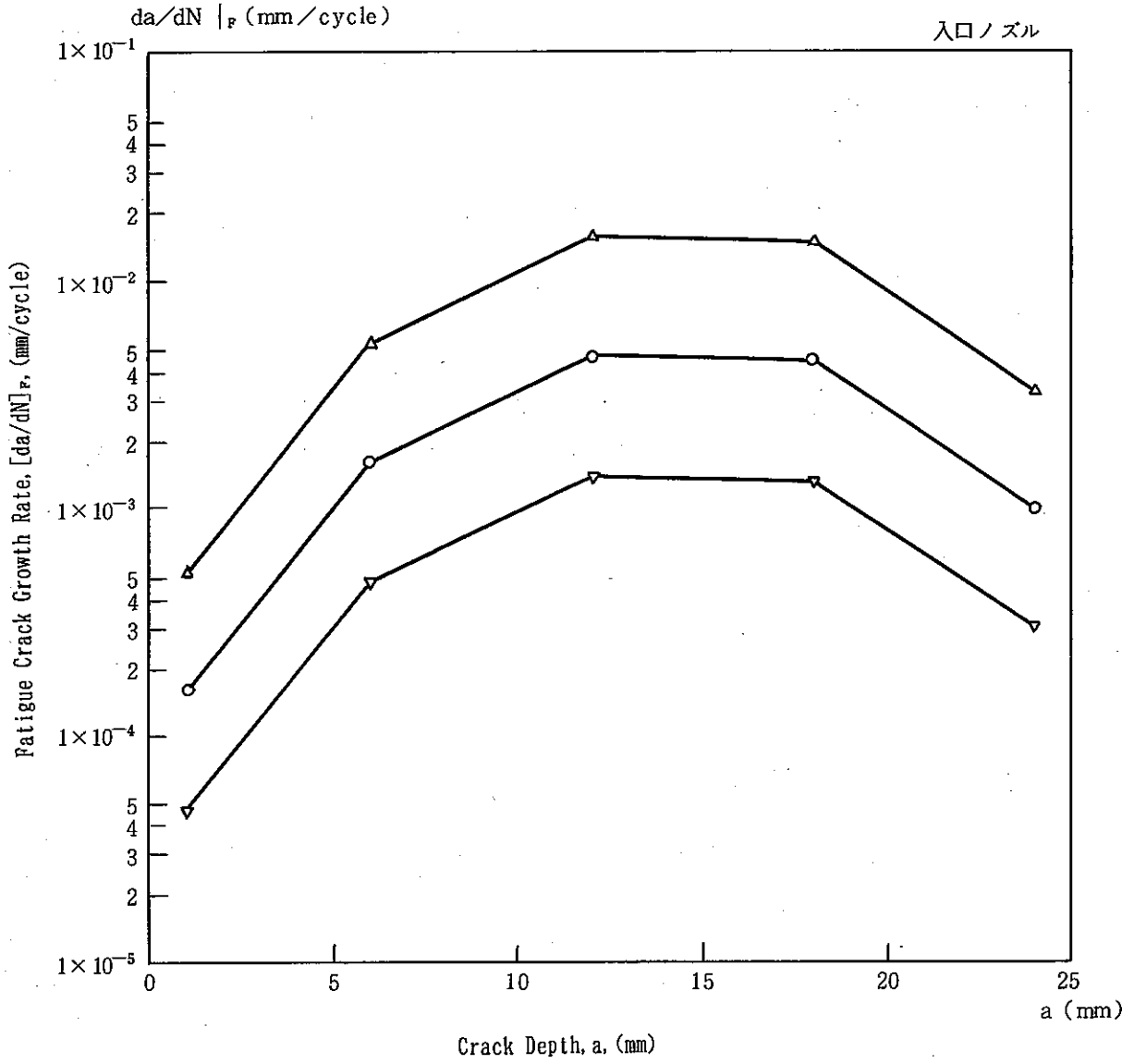


Fig. 3.3.7 Relation between  $[da/dN]_F$  and Crack Depth (Inlet Nozzle-Upper head Junction)

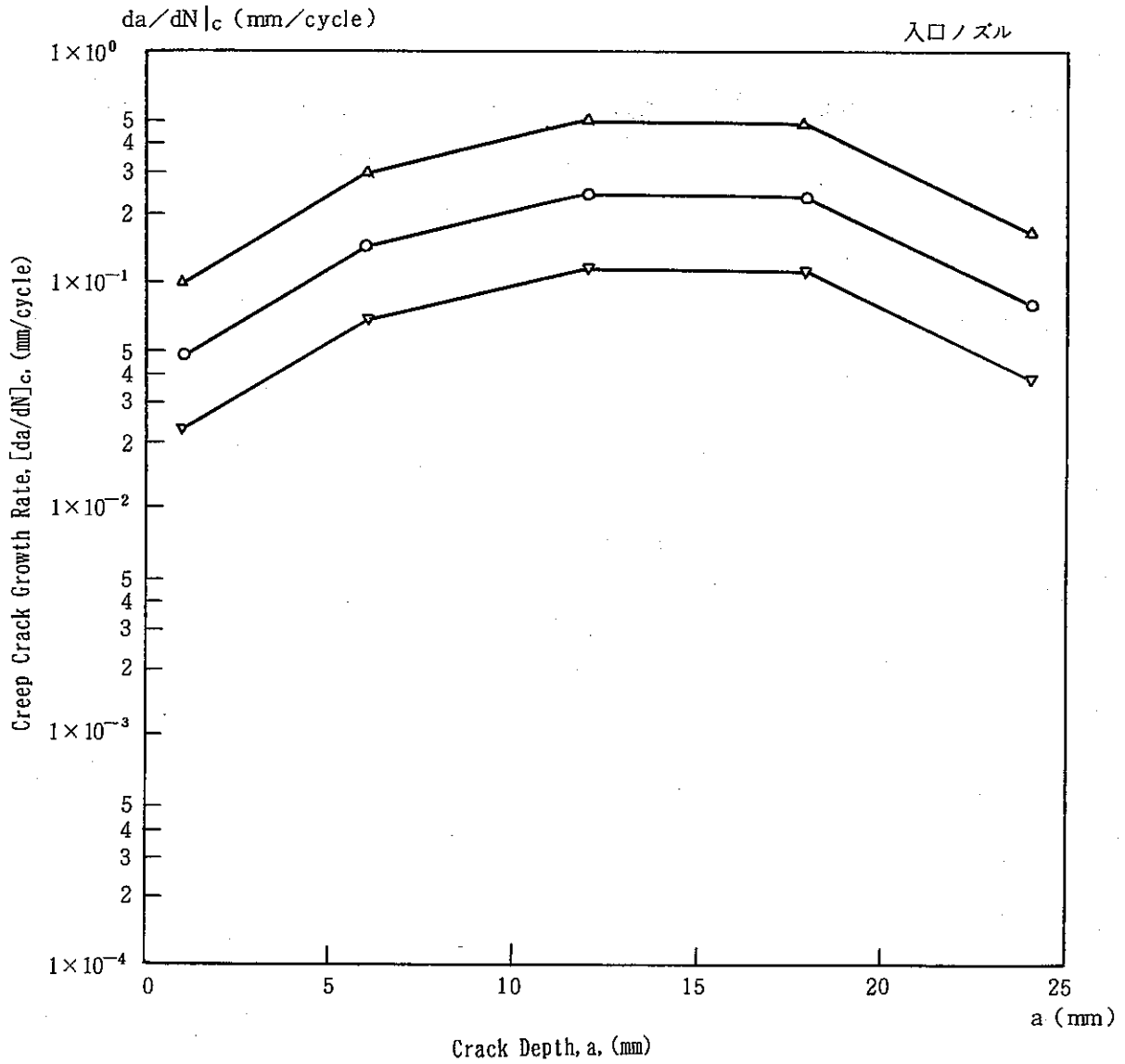


Fig. 3.3.8 Relation between  $[da/dN]_c$  and Crack Depth (Inlet Nozzle-Upper head Junction)

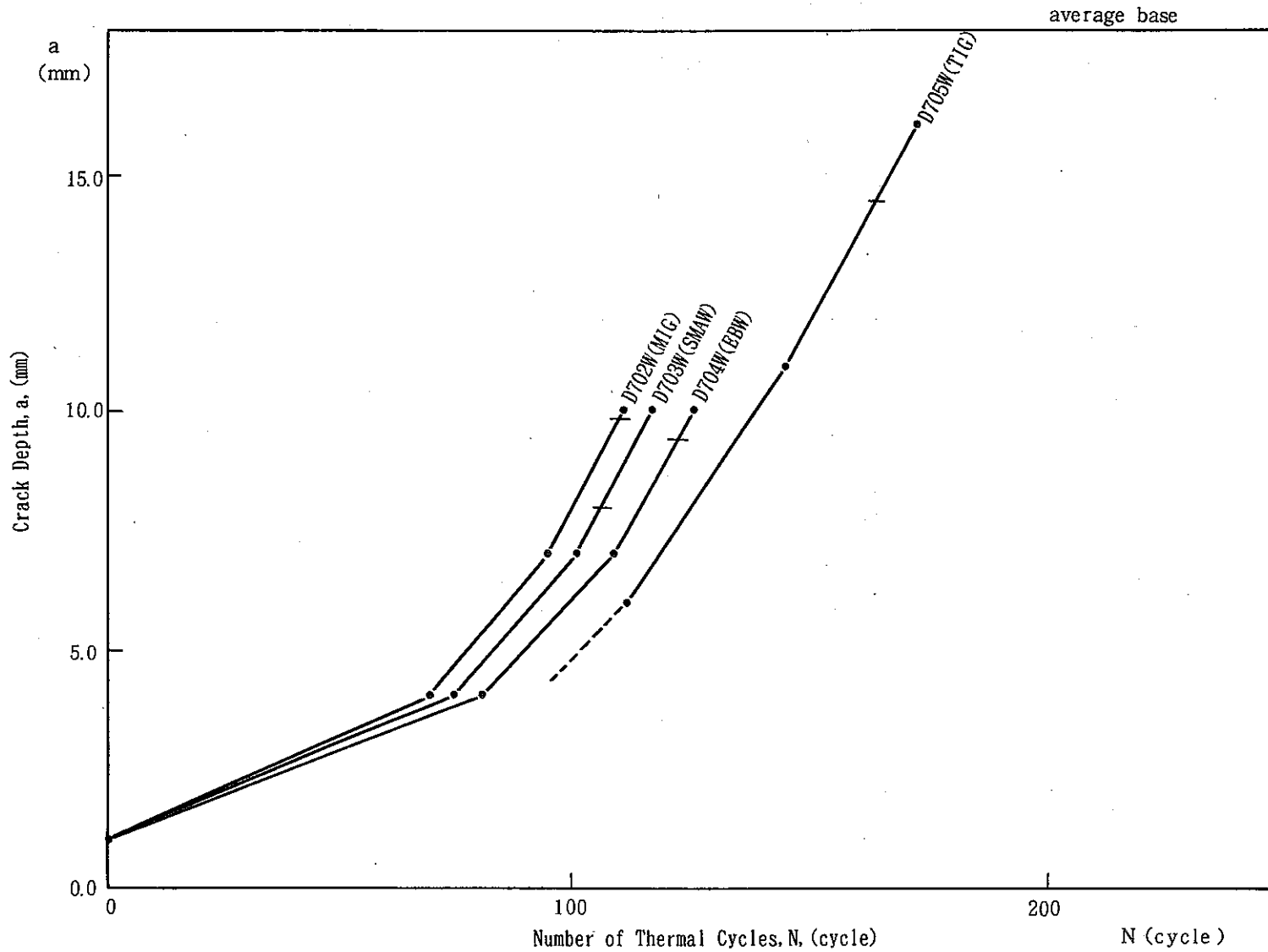


Fig. 3.3.9 Relation between Thermal Cycles and Crack Depth  
(Inner Shell Weldments, Average da/dN base)

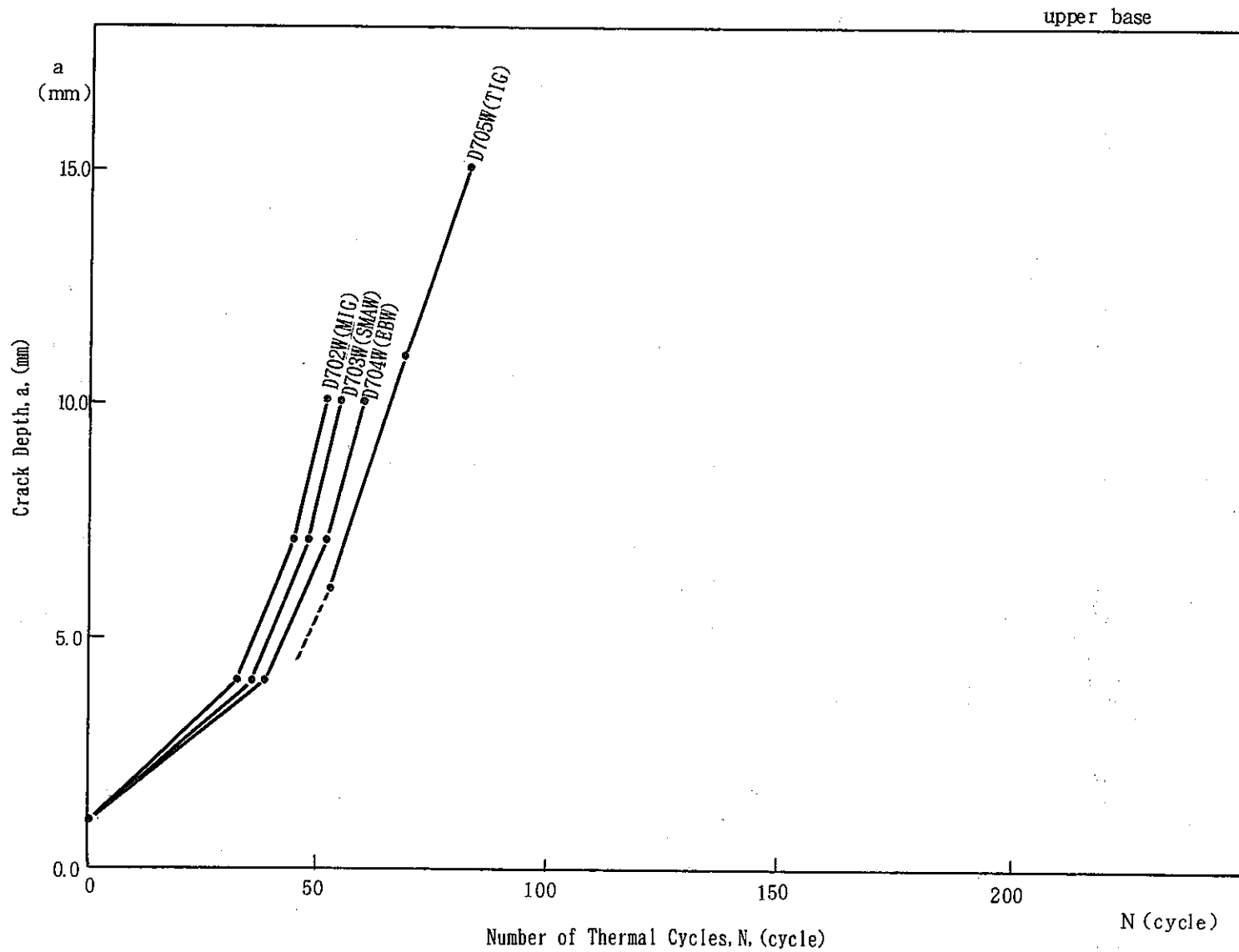


Fig. 3.3.10 Relation between Thermal Cycles and Crack Depth  
(Inner Shell Weldments, Upper  $da/dN$  base)

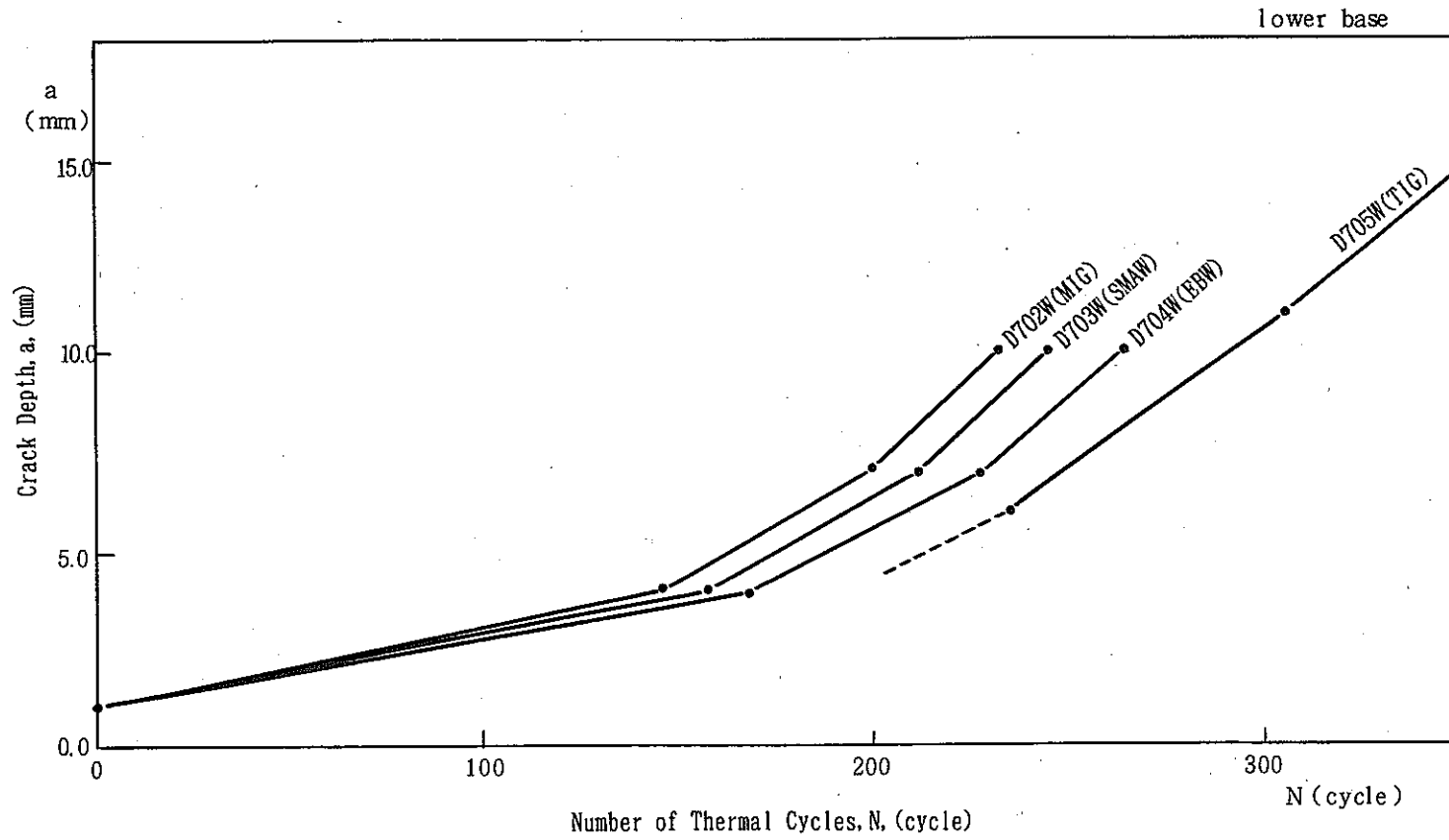


Fig. 3.3.11 Relation between Thermal Cycles and Crack Depth  
(Inner Shell Weldments, Lower  $da/dN$  base)

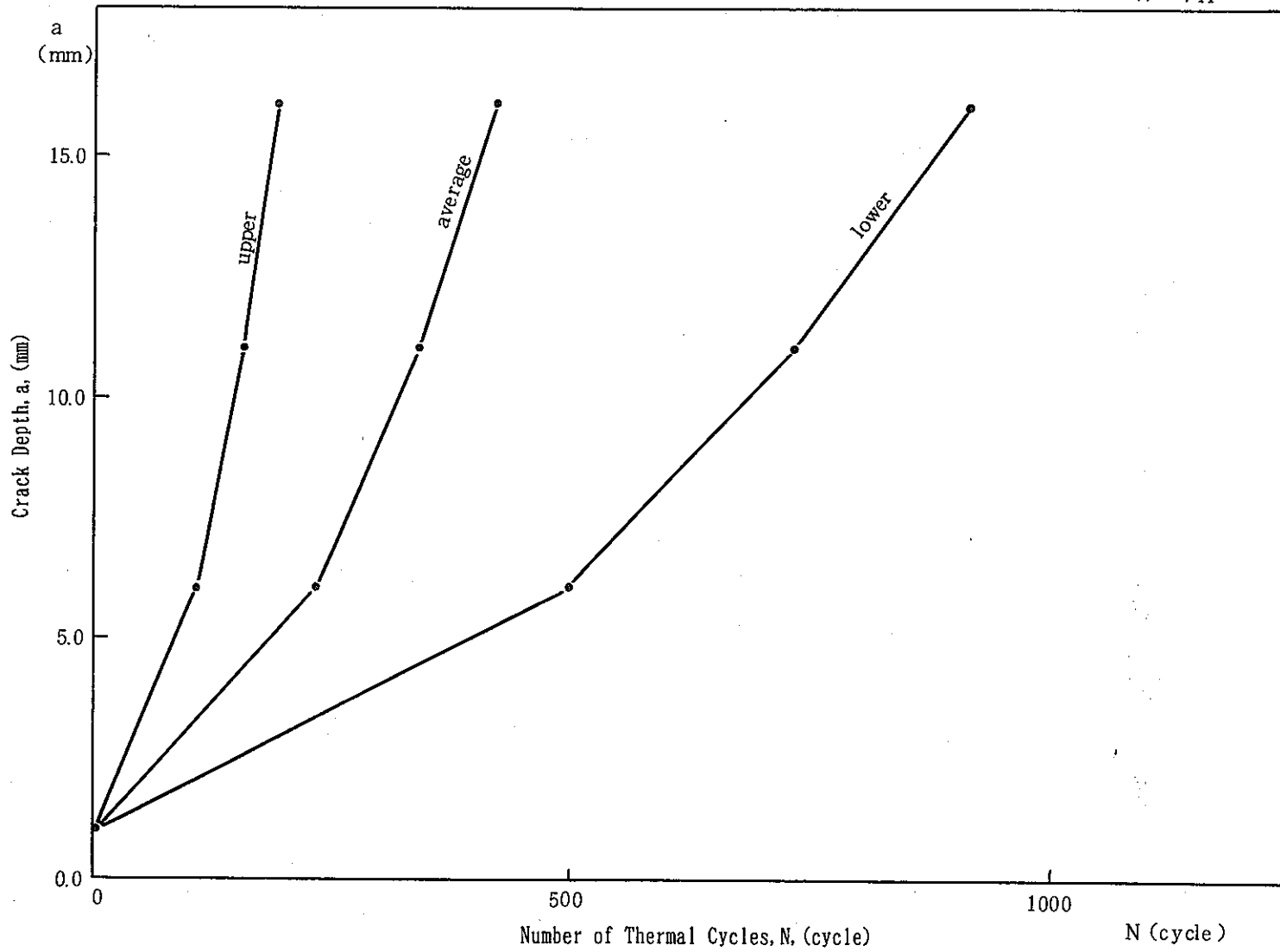


Fig. 3.3.12 Relation between Thermal Cycles and Crack Depth (Skirt;Thinning Portion)



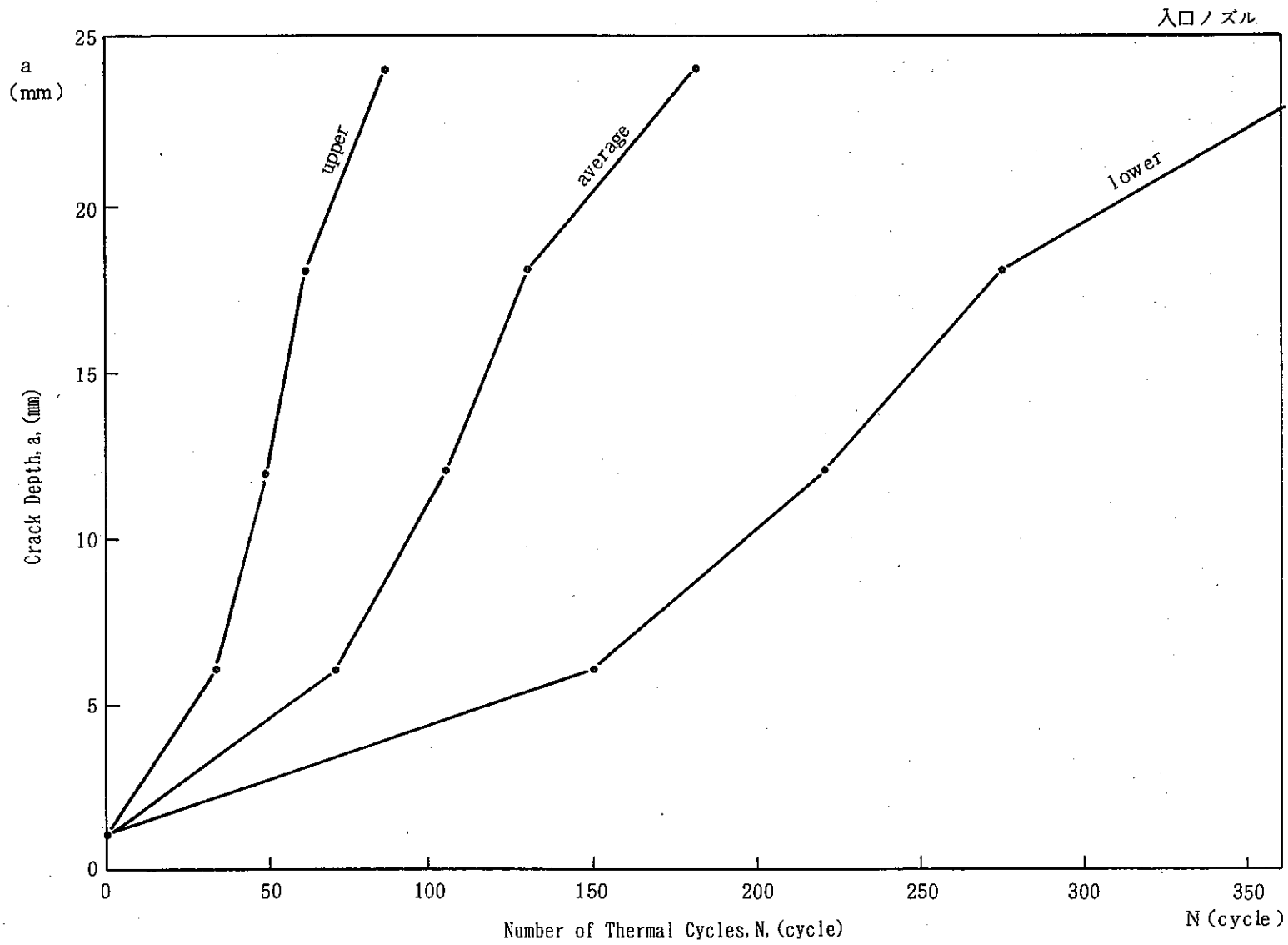


Fig. 3.3.13 Relation between Thermal Cycles and Crack Depth  
(Inlet Nozzle-Upper head Junction)

## 4. 考 察

### 4.1 き裂解析結果に及ぼす弾塑性応力-歪関係の影響

本研究第4報<sup>(3)</sup>でクリープ疲労損傷値を算出する際の実弾性解析手法のうち、弾塑性応力-歪関係式として歪速度  $1 \times 10^{-6} 1/s$  と  $1 \times 10^{-3} 1/s$  の2種の条件のデータを用いた解析結果において無視すべきでない差が生じている。今回のき裂解析においてもき裂入りモデルに対する非弾性解析においては上記知見をふまえて歪速度  $1 \times 10^{-6} 1/s$  の応力-歪関係の2直線近似値を採用したが、破壊力学パラメータの算出結果さらにき裂進展挙動評価結果に及ぼす上記歪速度の影響を検討する目的で、内筒溶接部のうちのMIG溶接部のモデルに対して、歪速度  $1 \times 10^{-3} 1/s$  条件の応力-歪関係を採用した解析を実施した。

解析に使用したモデルは先のき裂解析結果で破壊力学パラメータおよびき裂進展速度が最も大きくなったき裂深さ10mmのモデルを使用した。弾塑性応力-歪関係以外の解析条件は歪速度  $1 \times 10^{-6} 1/s$  の場合と同一である。

Table 4.1.1にこれら2種の歪速度条件を用いて算出された破壊力学パラメータ  $\hat{J}$  および  $\hat{J}'$ 、さらにき裂進展速度について示した。本解析結果によれば、 $\hat{J}$  は相対的に硬めの特性となる  $1 \times 10^{-3} 1/s$  の方が約9%大きくなり、これに基づく疲労き裂進展速度も  $1 \times 10^{-3} 1/s$  の方が約13%大きくなった。き裂進展速度については平均値及び上・下限値に基づいた3種類の結果を示したが、 $1 \times 10^{-6} 1/s$  と  $1 \times 10^{-3} 1/s$  の両条件間の比率は3者とも同一である。

これに対して  $\hat{J}'$  は相対的に軟めの特性となる  $1 \times 10^{-6} 1/s$  の方が約4%大きくなり、これに基づくクリープき裂進展速度は  $1 \times 10^{-6} 1/s$  の方が約3%大きくなった。最終的にき裂進展挙動を支配すると考えられる上記両者の和として得られるクリープ疲労き裂進展速度では  $1 \times 10^{-6} 1/s$  の方が2~3%程度大きくなっている。これは3.3節で述べた通り、本熱過渡試験条件では1サイクル当りのき裂進展に寄与するのが主としてクリープによるき裂進展(破壊力学パラメータとしては  $\hat{J}'$ ) となるためである。

先に示したFig. 3.2.7, 3.2.12, 3.2.13, およびFig. 3.3.1には歪速度  $1 \times 10^{-6} 1/s$  条件で得られたき裂深さと  $\Delta \hat{J}_F$ ,  $\Delta \hat{J}'$ ,  $da/dN$ 等の関係を示したグラフ上に歪速度  $1 \times 10^{-3} 1/s$  条件での結果を対比して示している。また、Fig. 4.1.1およびFig. 4.1.2には  $\Delta \hat{J}_F$ ,  $\Delta \hat{J}'$  について、歪速度  $1 \times 10^{-6} 1/s$  条件での他の内筒溶接部での結果あるいはD702W (MIG溶接部)での異なるき裂深さ状態での結果と対比させて歪速度  $1 \times 10^{-3} 1/s$  条件での結果を示した。さらにFig. 4.1.3には平均値、上・下限値の3種のき裂進展速度式に基づく疲労き裂進展速度およびクリープき裂進展速度について  $1 \times 10^{-6} 1/s$  と  $1 \times 10^{-3} 1/s$  条件での結果を対比して示した。これらの図よりき裂解析上、弾塑性応力-歪関係の歪速度依存性の影響はクリープ疲労損傷評価の場合ほど顕著には影響しないことが判った。

Table 4.1.1 Strain Rate Effect of Stress-Strain Relationship on Crack Growth Rate

表4.1.1 き裂進展速度に及ぼす歪速度の影響

内筒溶接部 D702W a=10mm

疲労き裂進展速度

$\dot{\epsilon}$ (1/sec)	$\hat{J}_{max, cold}$ (Kgf/mm)	$\hat{J}_{max, hot}$ (Kgf/mm)	$\Delta \hat{J}_F$ (Kgf/mm)	$(da/dN)_f$ (mm/cycle)		
				平均値	上限	下限
$1 \times 10^{-6}$	1.837	1.943	3.780	$8.1957 \times 10^{-3}$	$2.7571 \times 10^{-2}$	$2.4363 \times 10^{-3}$
$1 \times 10^{-3}$	1.809	2.337	4.146	$9.3654 \times 10^{-3}$	$3.1506 \times 10^{-2}$	$2.7840 \times 10^{-3}$

クリープき裂進展速度 (クリープ時間 : 4768秒)

$\dot{\epsilon}$ (1/sec)	$\Delta \hat{J}'$ (Kgf/mm)	$\Delta \hat{J}' / th$ (Kgf/mm · hr)	$(da/dN)_c$ (mm/cycle)		
			平均値	上限	下限
$1 \times 10^{-6}$	1.694	1.279	$2.0938 \times 10^{-1}$	$4.3898 \times 10^{-1}$	$9.9793 \times 10^{-2}$
$1 \times 10^{-3}$	1.633	1.233	$2.0276 \times 10^{-1}$	$4.2509 \times 10^{-1}$	$9.6636 \times 10^{-2}$

クリープ疲労き裂進展速度

$\dot{\epsilon}$ (1/sec)	$(da/dN) = (da/dN)_f + (da/dN)_c$ (mm/cycle)		
	平均値	上限	下限
$1 \times 10^{-6}$	$2.1758 \times 10^{-1}$	$4.6655 \times 10^{-1}$	$1.0222 \times 10^{-1}$
$1 \times 10^{-3}$	$2.1213 \times 10^{-1}$	$4.5660 \times 10^{-1}$	$9.9420 \times 10^{-2}$

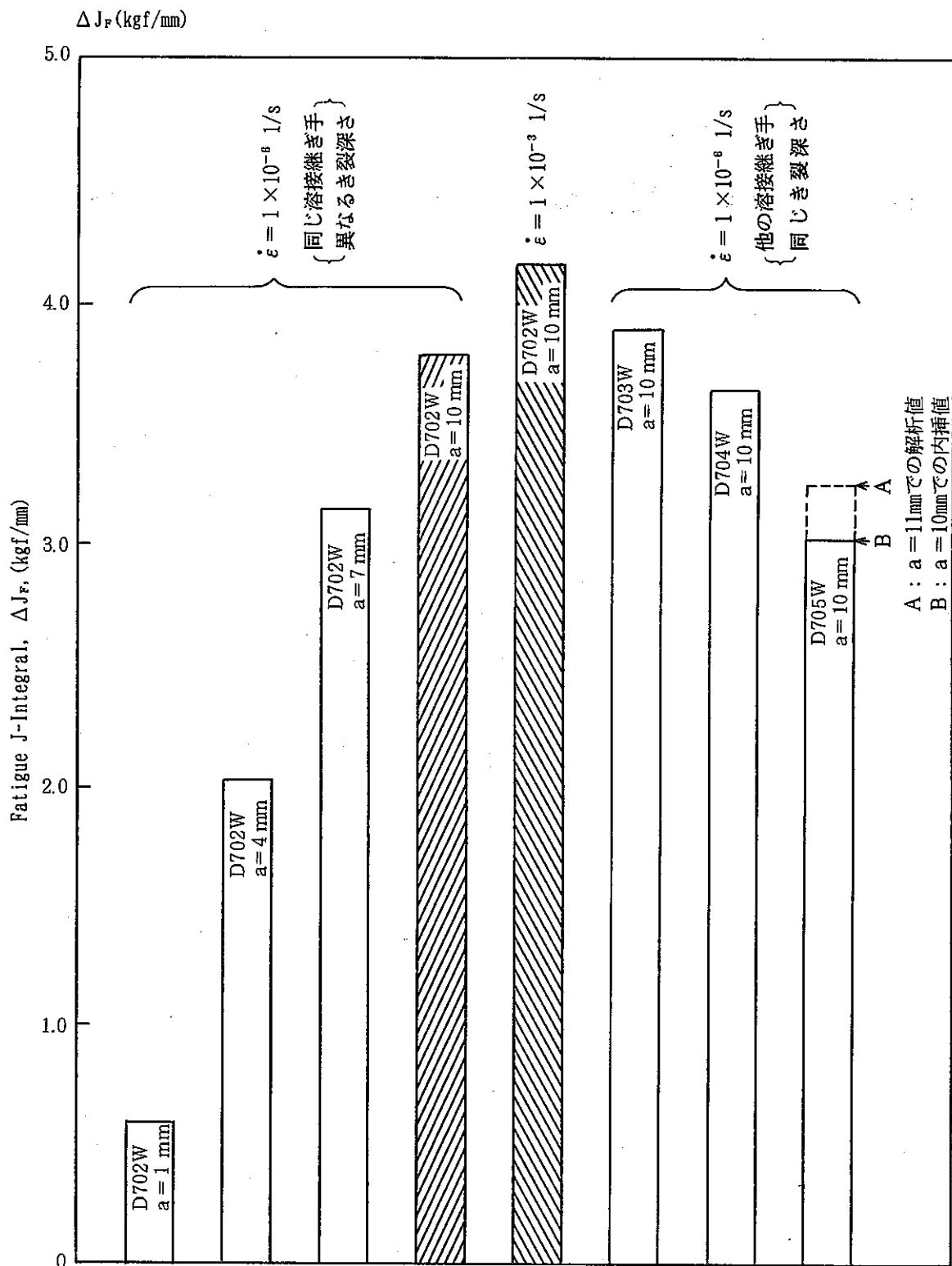


Fig. 4.1.1 Strain Rate Effects of Stress-Strain Relationship on ΔJ<sub>f</sub>

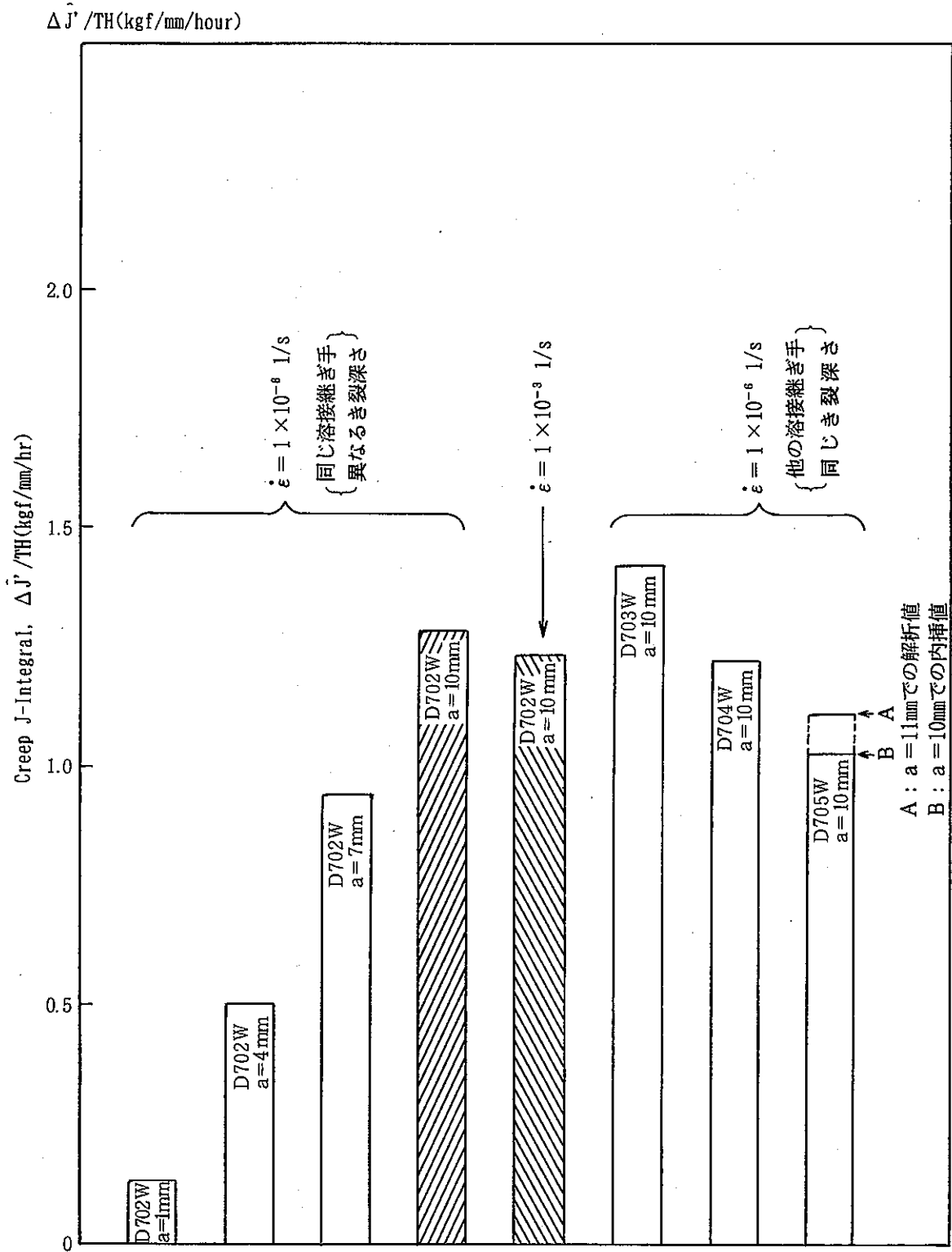


Fig. 4.1.2 Strain Rate Effects of Stress-Strain Relationship on  $\Delta J_c$

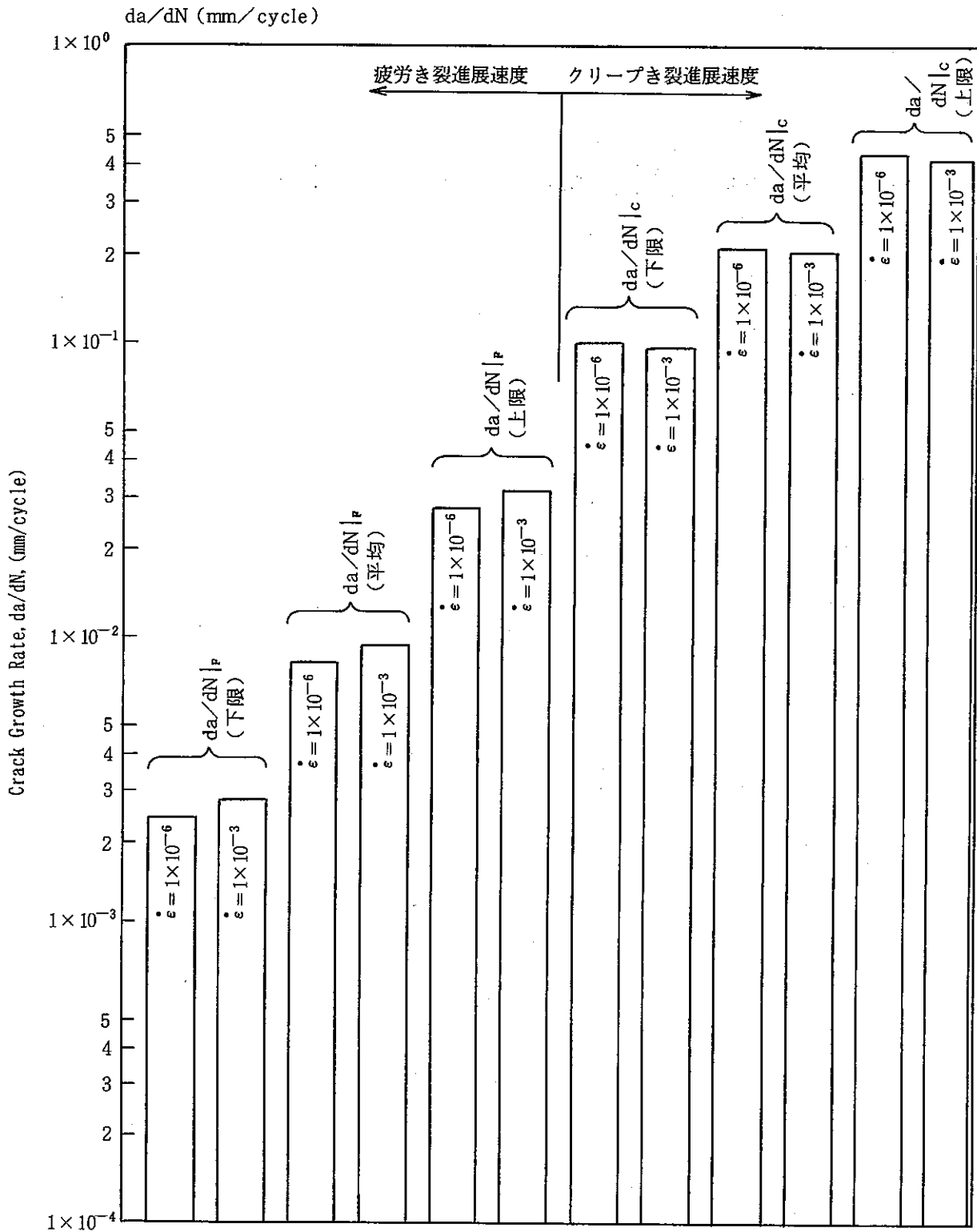


Fig. 4.1.3 Strain Rate Effects of Stress-Strain Relationship on  $\{da/dN\}_f$ ,  $\{da/dN\}_c$

#### 4.2 き裂解析結果に及ぼす溶接金属部材質不連続の影響

本報でこれまで示した非弾性解析は溶接継手部のき裂に関しても、304母材と308溶接金属の材料特性差は考慮しておらず、解析モデル全領域に対して母材 304の特性を与えて解析を行った。

本研究第4報<sup>(3)</sup>ではこのような部位に対して解析モデル中溶接金属領域に材料試験結果から導いた母材と異なる弾塑性特性を考慮した解析を行い、結果として得られる歪範囲あるいはクリープ疲労損傷値に顕著な差が生じることを示した。

本報で評価対象としたき裂についても、内筒溶接部のうちのTIG、BBWあるいは入口ノズル上鏡周継手部ではき裂が母材と溶接金属の境界の極近傍に発生、進展しており、上記同様母材と溶接金属の材料特性差が破壊力学パラメータさらにき裂進展挙動の解析結果に対してどのように影響を及ぼすのかを把握しておく意義は大きいと考えられる。

そこで、今回のき裂解析においても上記第4報<sup>(3)</sup>と同一条件の溶接金属特性を考慮した非弾性解析を行い、この結果に基づいて破壊力学パラメータを算出し第3章で示した304母材の均一材質条件で得られた結果と比較検討を行った。

解析に用いたモデルは内筒溶接部のうちのTIG溶接部であり、き裂深さとしては均一材質条件で最大の破壊力学パラメータが得られた $a=11\text{mm}$ のモデルを採用し、下記2通りの溶接金属特性を与えて非弾性解析を行った。1つは溶接金属の降伏応力を母材の80%とする条件(条件A)であり、他の1つはさらに溶接金属のヤング率も母材の75%とする条件(条件B)である。弾塑性クリープ解析条件として、溶接金属領域(詳細は第4報参照)に母材と異なる弾塑性応力-歪関係を考慮した以外は2.2節に述べた解析条件と同一である。

Table 4.2.1, 4.2.2に前述均一材質モデルでの結果と対比させて上記2種の材質不連続モデルでの結果として破壊力学パラメータおよびき裂進展速度の値を示す。

先に示したFig. 3.2.10, 3.2.11, 3.2.12, 3.2.13およびFig. 3.3.4には前述均一材質モデル条件で得られたき裂深さと $\Delta \hat{J}_F$ ,  $\Delta \hat{J}'$ ,  $da/dN$ 等の関係を示したグラフ上に、上記2種類の材質不連続モデルでの結果も対比して示している。また、Fig. 4.2.1およびFig. 4.2.2には $\Delta \hat{J}_F$ ,  $\Delta \hat{J}'/TH$ について、均質モデル条件での他の内筒溶接部での結果あるいはD705W(TIG溶接部)での異なるき裂深さ状態での結果と対比させて、材質不連続モデルでの結果を示した。さらに、Fig. 4.2.3には平均値、上・下限値の3種類のき裂進展速度式に基づく疲労き裂進展速度およびクリープき裂進展速度について、均質モデル条件と2種類の材質不連続モデル条件での結果を対比して示した。

結果は $\Delta \hat{J}$ ,  $\Delta \hat{J}'$ の両者とも材質不連続条件の方がわずかに小さくなり、均一材質条件の結果に対して $\Delta \hat{J}$ は材質不連続条件Aで2%, 条件Bで5%の減少であり、 $\Delta \hat{J}'$ は材質不連続条件A, Bともに3%の減少である。本熱過渡条件でき裂進展挙動を支配しているのがクリープによるき裂進展(破壊力学パラメータとしては $\Delta \hat{J}'$ )であることを考えると、き

裂解析においては母材と溶接金属の弾塑性特性差の影響は無視し得る程度であり、クリープ疲労損傷評価における影響ほど顕著でないことがわかった。

なお母材と溶接金属の材料特性差としてはここで検討した弾塑性応力歪関係の他、解析結果に影響を及ぼす要因としてクリープの構成式が考えられるが、クリープの構成式については現状母材と溶接金属の差は明確となっていないため、今後材料試験ベースで定式化がなされた時点でさらに検討を要すると考える。

また $\hat{j}$ 、 $\hat{j}'$ の算出において本検討ではこれらの定式化<sup>(7)</sup>が材質不連続の問題に対しても適用可能との判断により特に修正を施さないで使用したが、異材界面上のき裂の問題として別途修正項の必要性が有ることも予想されるため、合わせて検討を進めている。



Table 4.2.1 Metallurgical Discontinuity Effect on Fracture Mechanics Parameters

表4.2.1 材質不連続モデルの非弾性解析に基づく破壊力学パラメータ

D705W. き裂深さ  $a = 11\text{mm}$ 

	$\hat{J}_{\text{max, COLD}}$ (kgf/mm)	$\hat{J}_{\text{max, HOT}}$ (kgf/mm)	$\Delta \hat{J}$ (kgf/mm)	$\Delta \hat{J}'$ (kgf/mm)	クリープ時間 $t_c(\text{sec})$	$\Delta \hat{J}' / t_c$ (kgf/mm · hr)
均質(SUS304)	1.2090	2.0430	3.2520	1.4750	4760	1.1155
不連続A $\sigma_{y, w} = 0.8 \sigma_{y, B}$	1.2100	1.9910	3.2010	1.4250	4760	1.0777
不連続B $\sigma_{y, w} = 0.8 \sigma_{y, B}$ $E_w = 0.75 E_B$	1.1420	1.9420	3.0840	1.4270	4760	1.0792

Table 4.2.2 Metallurgical Discontinuity Effect on Crack Growth Rate

表 4.2.2 き裂進展速度に及ぼす材質不連続モデル化の影響

内筒溶接部 D705W(TIG), き裂深さ a = 11mm

疲労き裂進展速度

材質	$\hat{J}_{max, COLD}$	$\hat{J}_{max, HOT}$	$\Delta \hat{J}$	$(da/dN)_f$ (mm/cycle)					
				モデル	(kgf/mm)	(kgf/mm)	(kgf/mm)	平均値	上 限
均質	1.2090	2.0430	3.2520				$6.596 \times 10^{-3}$	$2.219 \times 10^{-2}$	$1.961 \times 10^{-3}$
不連続 A	1.2100	1.9910	3.2010				$6.447 \times 10^{-3}$	$2.169 \times 10^{-2}$	$1.916 \times 10^{-3}$
不連続 B	1.1420	1.9420	3.0840				$6.110 \times 10^{-3}$	$2.055 \times 10^{-2}$	$1.816 \times 10^{-3}$

クリープき裂進展速度

材質	$\Delta \hat{J}'$	クリープ時間	$\Delta \hat{J}'/t_c$	$(da/dN)_c$ (mm/cycle)					
				モデル	(kgf/mm)	$t_c$ (sec)	(kgf/mm·hr)	平均値	上 限
均質	1.4750	4760	1.1155				$1.854 \times 10^{-1}$	$3.887 \times 10^{-1}$	$8.836 \times 10^{-2}$
不連続 A	1.4250	4760	1.0777				$1.799 \times 10^{-1}$	$3.771 \times 10^{-1}$	$8.573 \times 10^{-2}$
不連続 B	1.4270	4760	1.0792				$1.801 \times 10^{-1}$	$3.776 \times 10^{-1}$	$8.584 \times 10^{-2}$

クリープ疲労き裂進展速度

材質	$(da/dN) = (da/dN)_f + (da/dN)_c$ (mm/cycle)			
	モデル	平均値	上 限	下 限
均質		$1.920 \times 10^{-1}$	$4.109 \times 10^{-1}$	$9.032 \times 10^{-2}$
不連続 A		$1.863 \times 10^{-1}$	$3.988 \times 10^{-1}$	$8.765 \times 10^{-2}$
不連続 B		$1.862 \times 10^{-1}$	$3.981 \times 10^{-1}$	$8.765 \times 10^{-2}$

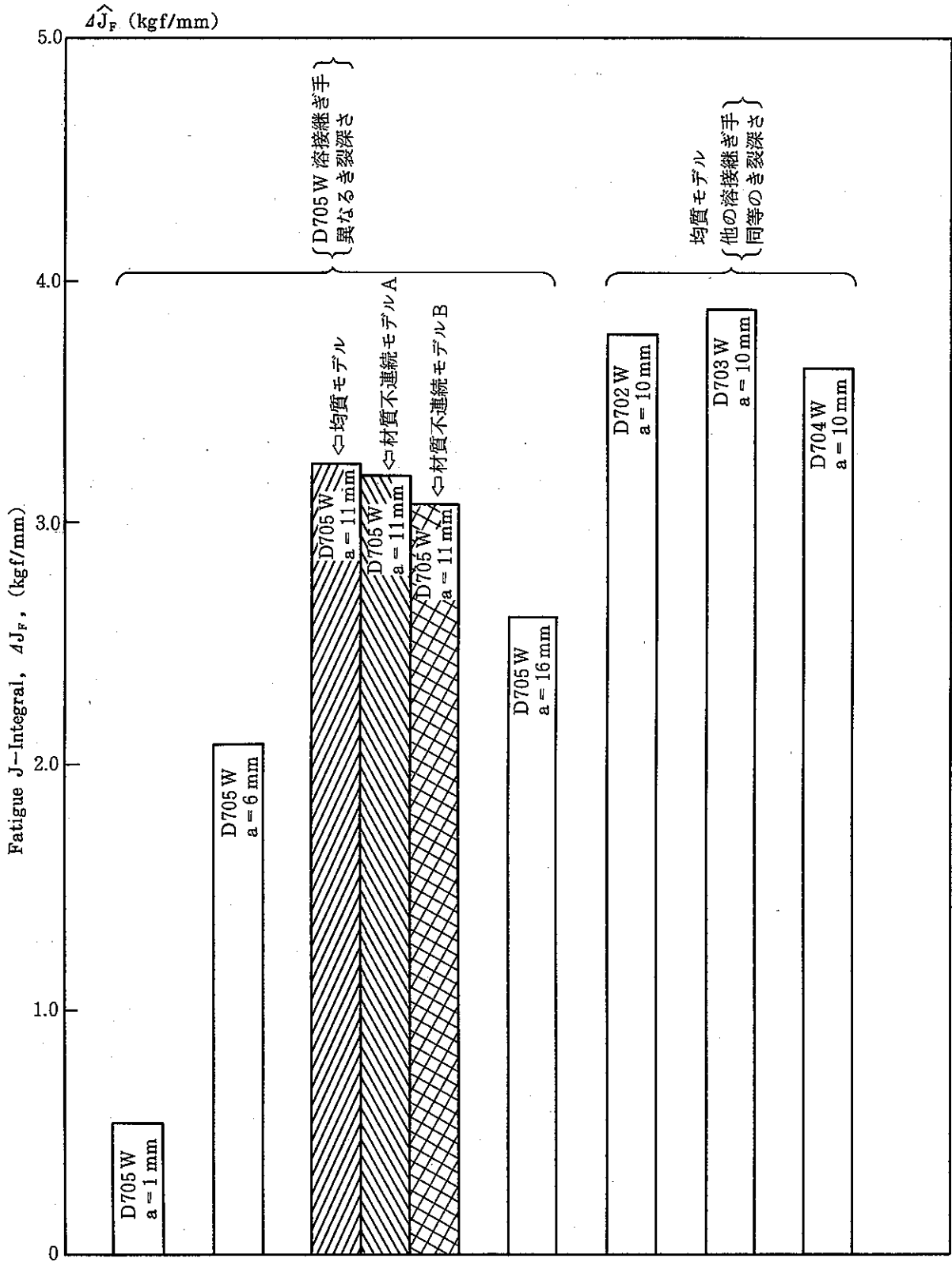


Fig. 4.2.1 Metallurgical Discontinuity Effect on  $\Delta J_F$

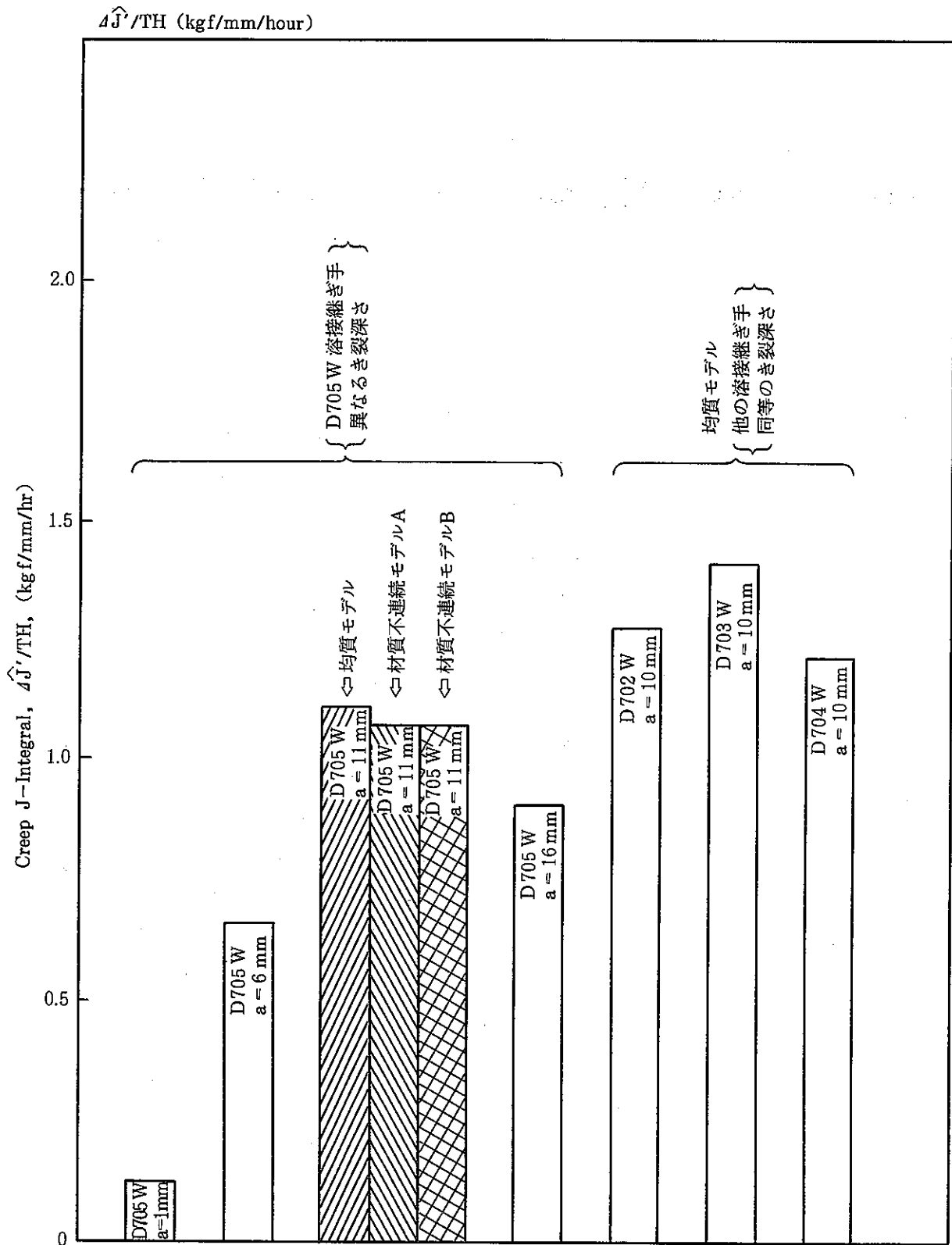


Fig. 4.2.2 Metallurgical Discontinuity Effect on  $\Delta J_c$ .

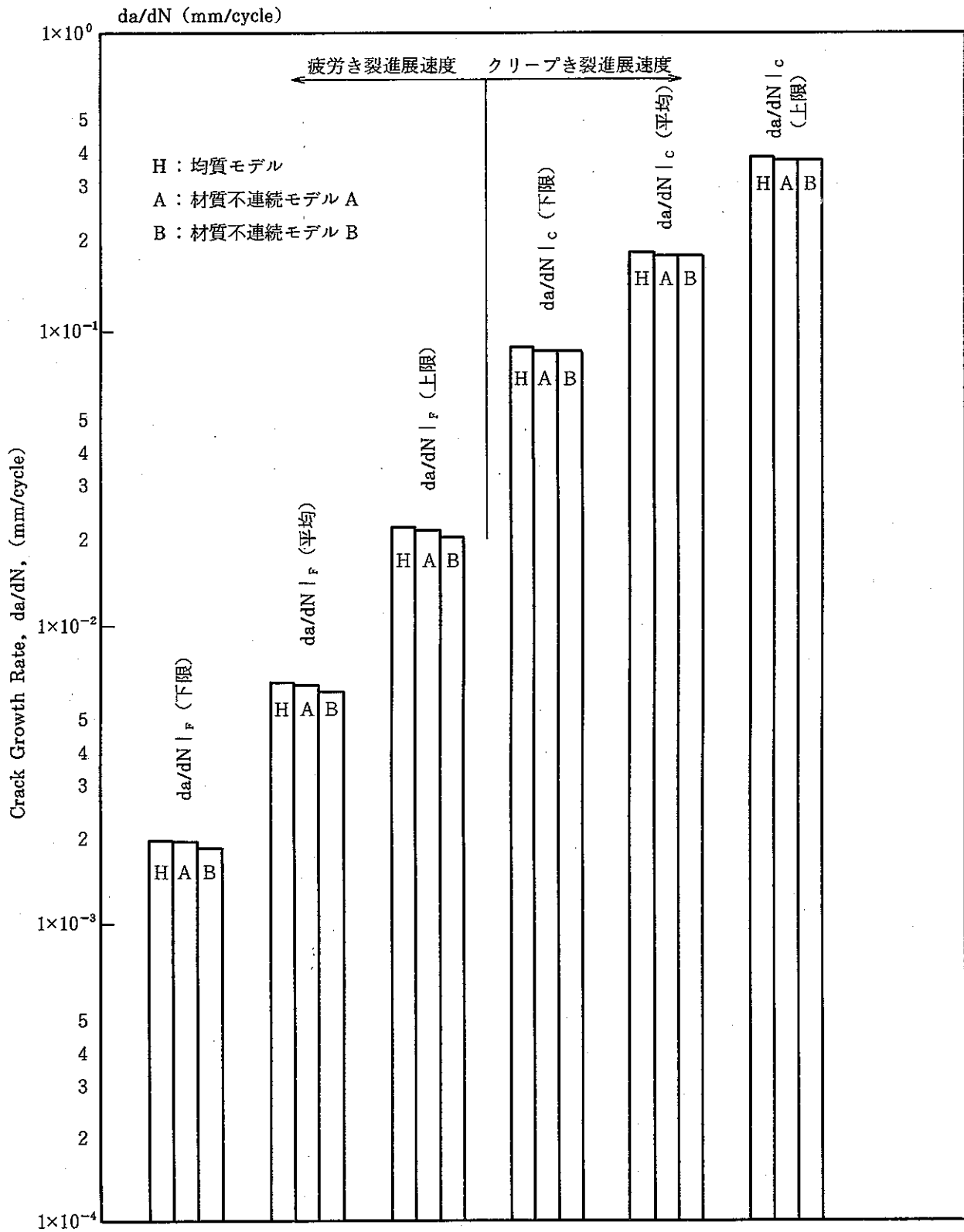


Fig. 4.2.3 Metallurgical Discontinuity Effect on  $[da/dN]_r$ ,  $[da/dN]_c$ .

### 4.3 き裂発生熱過渡サイクル数に基づくクリープ疲労損傷評価

本研究第2報<sup>(2)</sup>および第4報<sup>(3)</sup>ではそれぞれ弾性解析・非弾性解析に基づいたクリープ疲労損傷評価を実施した。この場合クリープ疲労損傷値としては、熱過渡1サイクル当りの疲労損傷値 $\phi_r$ と1サイクル当りのクリープ損傷値 $\phi_c$ をそれぞれ試験熱過渡サイクル数(1,300サイクル)倍して、全疲労損傷値 $D_r$ と全クリープ損傷値 $D_c$ を得、その和として得られる全クリープ疲労損傷値 $D(=D_r+D_c)$ と試験熱過渡サイクル1,300回後の最終き裂分布状況(き裂深さも含めた)と比較検討を行った。

試験で得られる最終き裂深さはき裂の発生過程と進展過程を含めた最終的な量であり、厳密には両者のメカニズムが異なると考えられ、より詳細な評価を行うには、き裂の発生過程と進展過程を分離して取り扱う必要があると考えられる。つまり、き裂の発生過程をクリープ疲労損傷値と対応させ、進展過程を破壊力学により評価する方法が有効と考えられる。

本報き裂解析は後者に対する検討として、初期き裂深さとて1mmを設定し、この状態から各評価対象き裂の最終き裂深さまでの進展挙動を破壊力学パラメータと小型材料試験片でのき裂進展速度データを対応させて解析・評価することにより、進展に要された熱過渡サイクル数を把握することができた。

従って試験熱過渡全サイクル数 $N=1,300\text{cycle}$ より上記進展に要した熱過渡サイクル数 $N_p$ を減じることにより、き裂解析上初期き裂として設定した1mmのき裂が生成されるまでの熱過渡サイクル数 $N_i$ が得られると考える。

$$N_i = N - N_p$$

Fig. 4.3.1～4.3.7には各き裂について全熱過渡サイクル数に占めるき裂進展に要した熱過渡サイクル数の割合を、き裂進展速度データとして平均値、上・下限値の3種の値を採用して計算した場合について示した。

内筒溶接部の4種のき裂および入口ノズル部のき裂に関して、き裂進展に要した熱過渡サイクル数は、き裂進展速度として平均値を用いた場合に対して上限の値を用いた場合には約1/2、下限の値を用いた場合は約2倍となるが、これらの差も含めて全熱過渡サイクル数に占める進展サイクル数の割合は小さく、熱過渡サイクル中のほぼ大部分がき裂発生過程に要したという結果となった。

これに対してスカート部のき裂については、き裂進展速度として平均値を用いた場合に対する上・下限の値を用いた場合の進展サイクル数の比は1/2、2倍と上記同様であるが、平均値ベースの進展サイクル数自体がやや大きくなるため、全熱過渡サイクル数に占める進展サイクル数の割合においては3者間で他よりも大きな差が現れた。本部位のき裂解析結果では、後述クリープ疲労損傷値 $D=1$ に到達するサイクル数との整合性上き裂進展速度としては平均値あるいはそれを越えて上限値までの値が妥当と考えられる。

次に、これらの図には本研究第4報<sup>(3)</sup>で得られた詳細形状・均一材質モデルに対する弾性および非弾性解析に基づいたクリープ疲労損傷評価において得られた、クリープ疲労損傷値Dが1に達するまでの熱過渡サイクル数と、疲労損傷値 $D_i$ が単独で1に達するまでの熱過渡サイクル数を合わせて示している。

これらのサイクル数と、1mm深さのき裂が進展を開始したと考えられるサイクル数（すなわち熱過渡全サイクル数から進展に要したサイクル数を減じた値）を比較することにより、クリープ疲労損傷値が1に達して初期き裂（深さ1mmと想定）が形成され、その後進展を開始して累計1,300サイクル後に試験で得られた最終き裂深さまで成長するという経過を検討することが可能である。

入口ノズル部およびスカート部のき裂（後者については前述の平均値以上のき裂進展速度を考慮した場合）については上記過程が良く当てはまり、ほぼ連続してき裂の発生、進展過程が生じた結果となっている。しかし、内筒溶接部の4種のき裂については、クリープ疲労損傷値が1に達した時点から、本き裂解析において想定された1mmの初期き裂が進展を開始するまでに数百サイクルの時間経過が認められており、特に溶接止端部の形状不整により歪範囲および1サイクル当りのクリープ疲労損傷値が大きくなったBBW、TIG溶接部においてこの傾向が強い結果となった。

Fig. 4.3.8は本研究第4報<sup>(3)</sup>で得られた全熱過渡サイクル数 $N=1,300$ 回に対して弾性解析および非弾性解析結果に基づいて算出したクリープ疲労損傷値を示した。これに対してFig. 4.3.9およびFig. 4.3.10には各評価き裂において、全熱過渡サイクル数 $N$ より進展に要したサイクル数 $N_p$ を減じて得られた熱過渡サイクル数に基づいてクリープ疲労損傷値を修正した結果を示す。それぞれ弾性解析および非弾性解析結果に基づくクリープ疲労損傷値について、き裂解析用進展速度データとして平均値および上・下限値の3種類のデータを用いた結果を示している。

全てのき裂について全熱過渡サイクル数 $N$ に換えて $N_i = N - N_p$ により評価したクリープ疲労損傷値は小さ目の結果を与えているが、このうち入口ノズルおよびスカート部のき裂については先の結果から予想されるように、弾性、非弾性の評価結果とも深さ1mmのき裂の存在に対応した値として損傷値 $D=1$ 近傍の値が得られた。これに対して内筒溶接部の4種のき裂については、弾性解析ベースで $D=1.5\sim 2.0$ 程度、非弾性解析ベースで $D=2.0\sim 4.0$ 程度となり、先に述べたようにクリープ疲労損傷値 $D=1$ が必ずしもき裂深さ1mmのき裂の存在とは対応していない結果となっている。

この原因としては、

- (i) 損傷値 $D=1$ が必ずしも深さ1mmのき裂発生に対応しておらず、 $D=1$ では1mm以下のき裂発生が生じ、その後深さ1mmに進展するまでにこの熱過渡サイクル数を要した可能性

(ii) 損傷力学的に発生した深さ 1 mm のき裂が、破壊力学的に進展を開始するまでにこの熱過渡サイクル数を誘導期間（インキュベーションタイム）として要した可能性

(iii) 評価対象とした主き裂以外にもこの近傍で複数のき裂が発生したため干渉効果により実際のき裂進展速度が本解析結果よりも小さくなり、進展サイクル数として実際に進展に要した熱過渡サイクル数よりも過少評価した可能性

等が考えられる。熱応力発生メカニズム面で内筒溶接部が板厚内温度勾配に起因する曲げが主体であるのに対して、入口ノズル部、スカート部が構造間の相対的温度差に起因する曲げが重畳しているという差も存在しており、これらも考慮してさらに検討を進める必要がある。



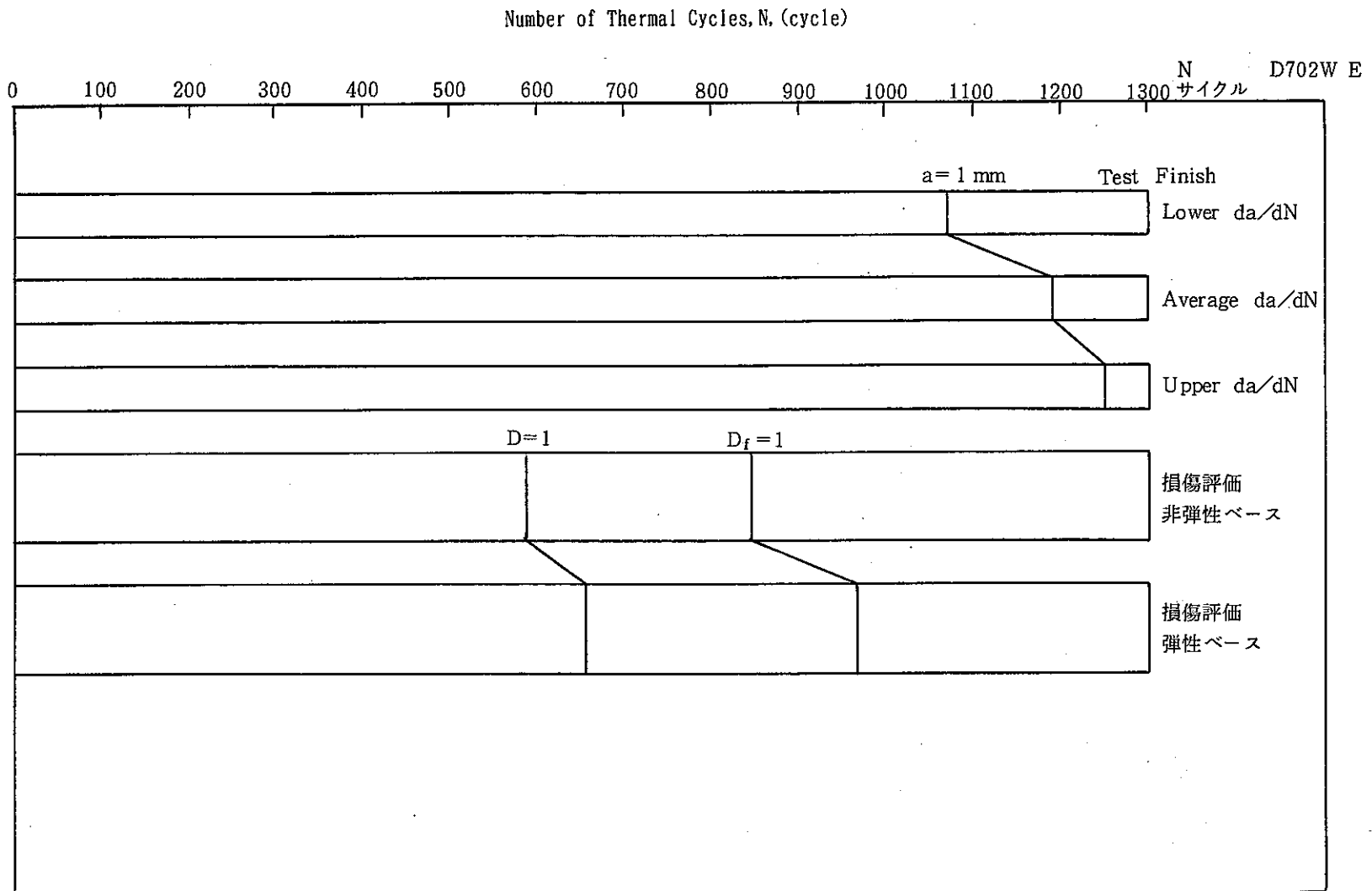


Fig. 4.3.1 Comparison between  $N_p$  and  $N_t$  (MIG Weldment, D702W)

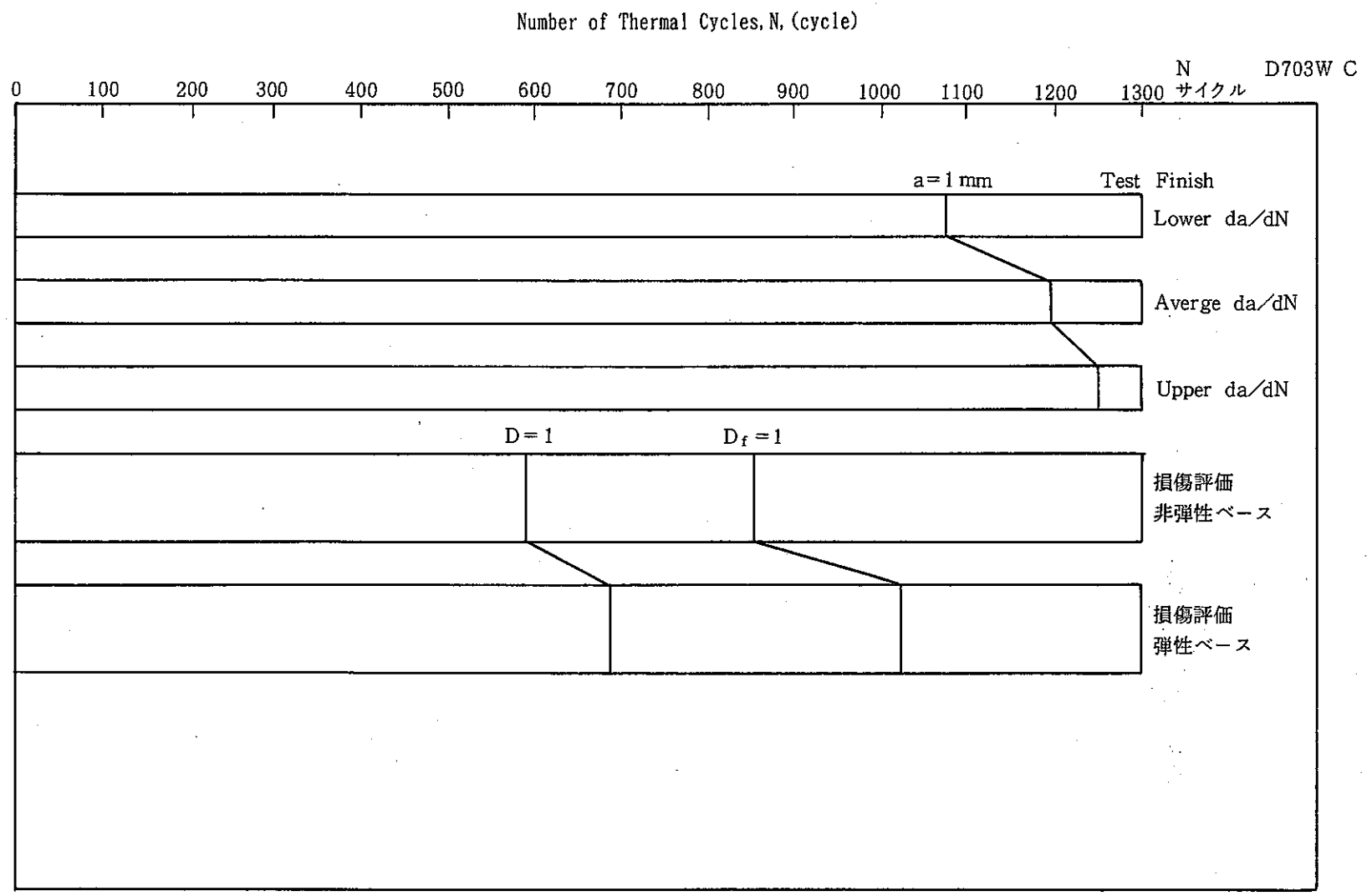


Fig. 4.3.2 Comparison between Np and Nt (SMAW Weldment, D703W)

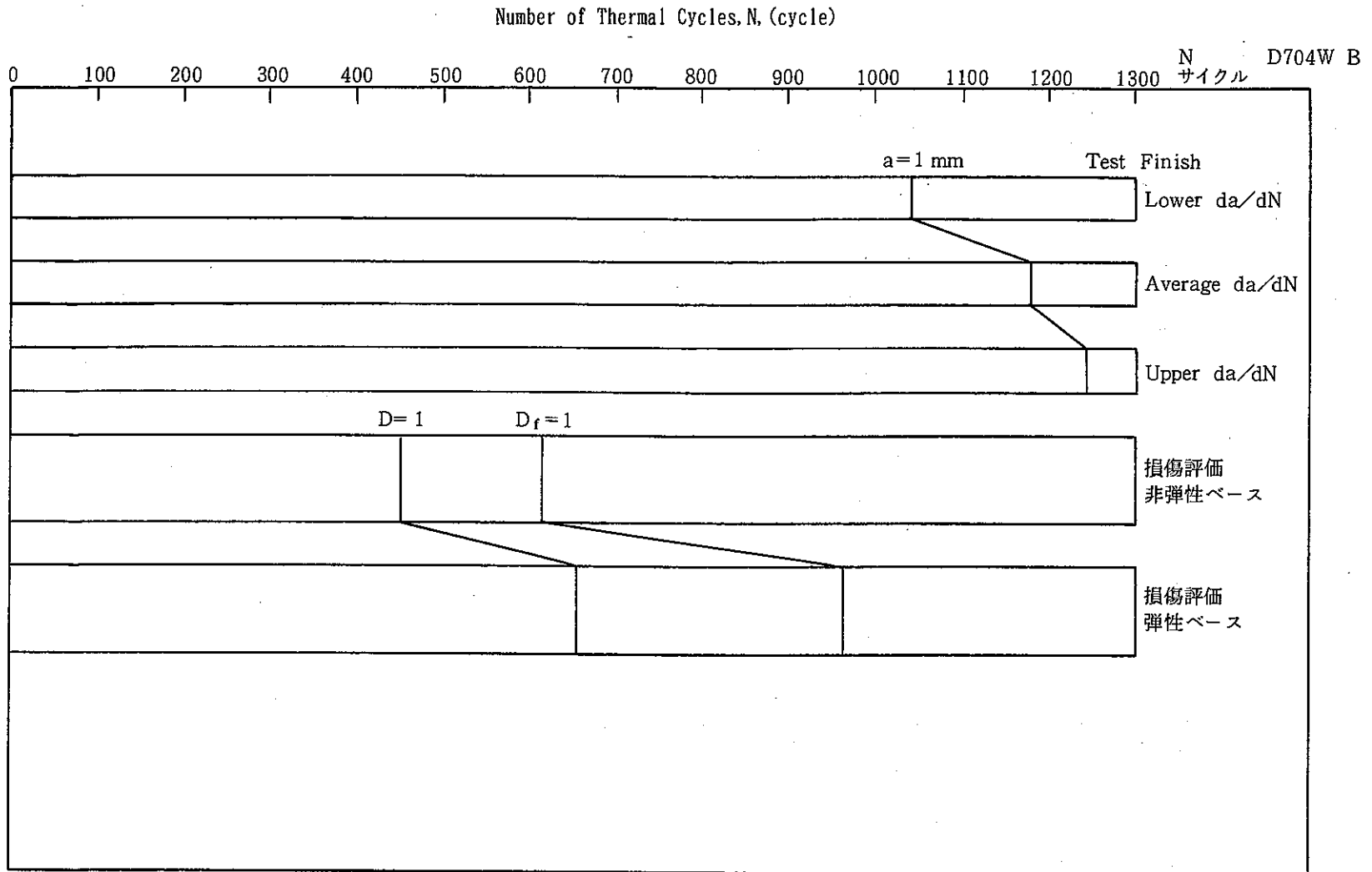


Fig. 4.3.3 Comparison between  $N_p$  and  $N_t$  (EBW Weldment, D704W)

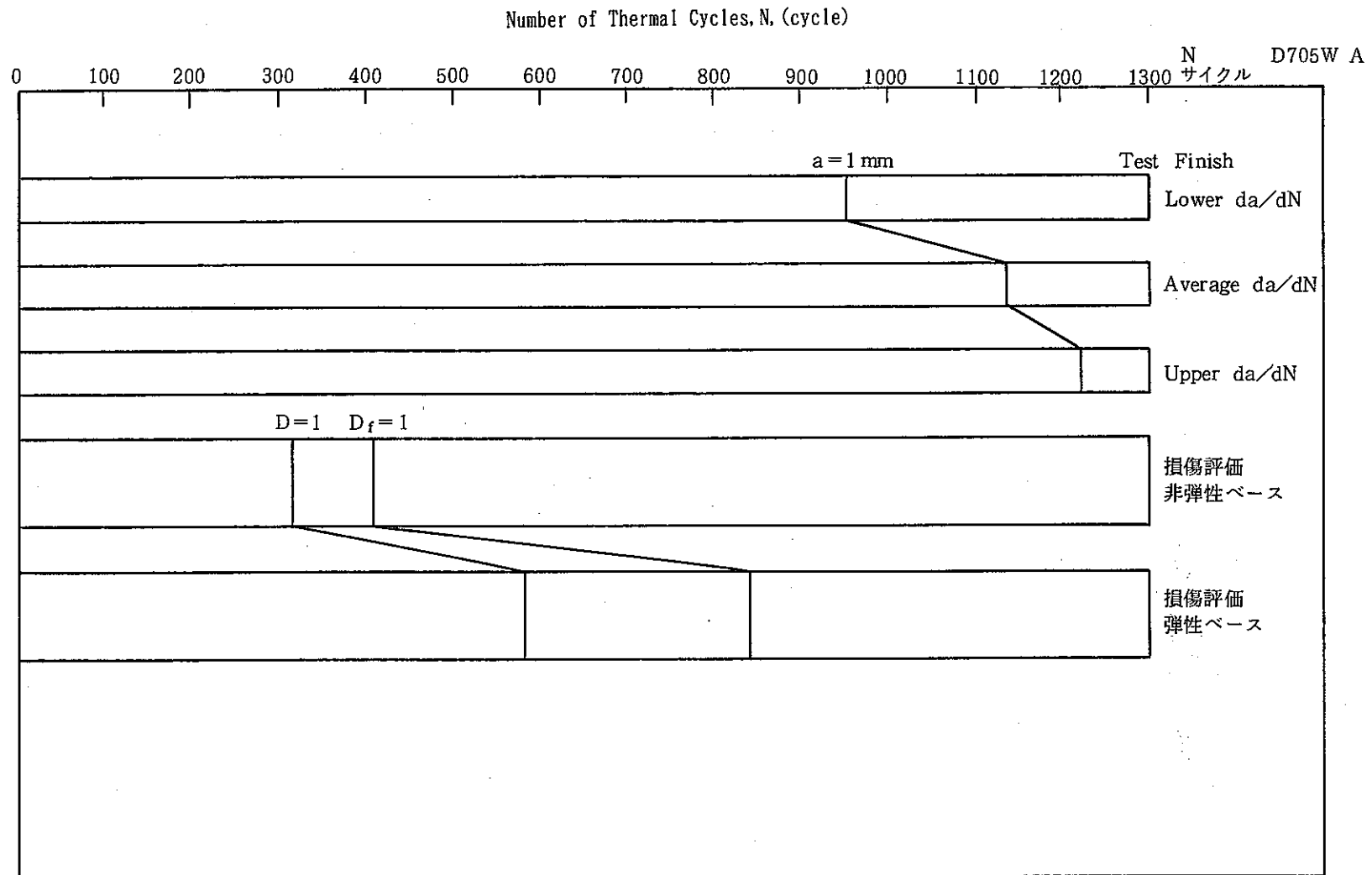


Fig. 4.3.4 Comparison between N<sub>p</sub> and N<sub>t</sub> (TIG Weldment, D705W)

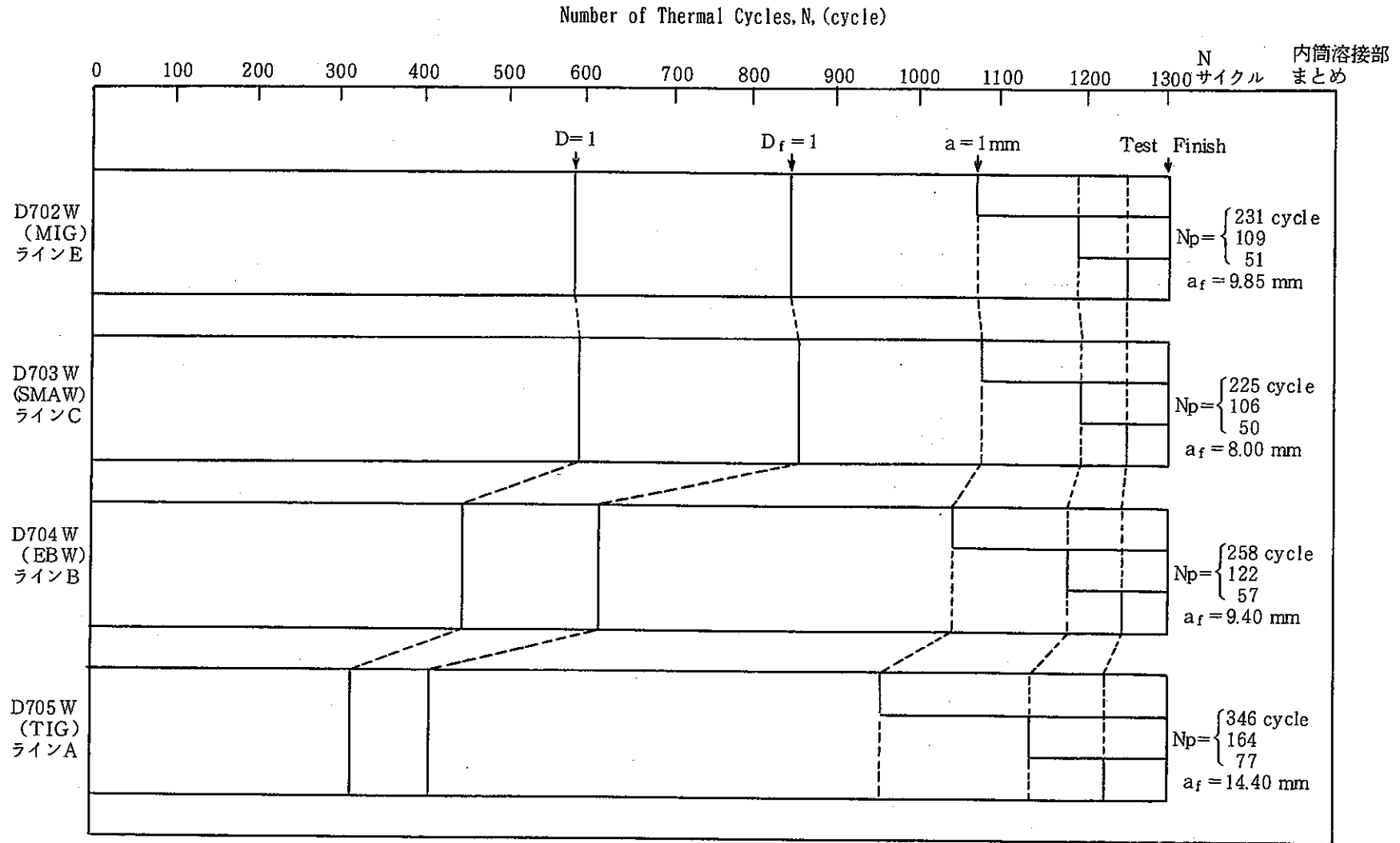


Fig. 4.3.5 Comparison between  $N_p$  and  $N_t$  (Inner Shell Weldments Summary)

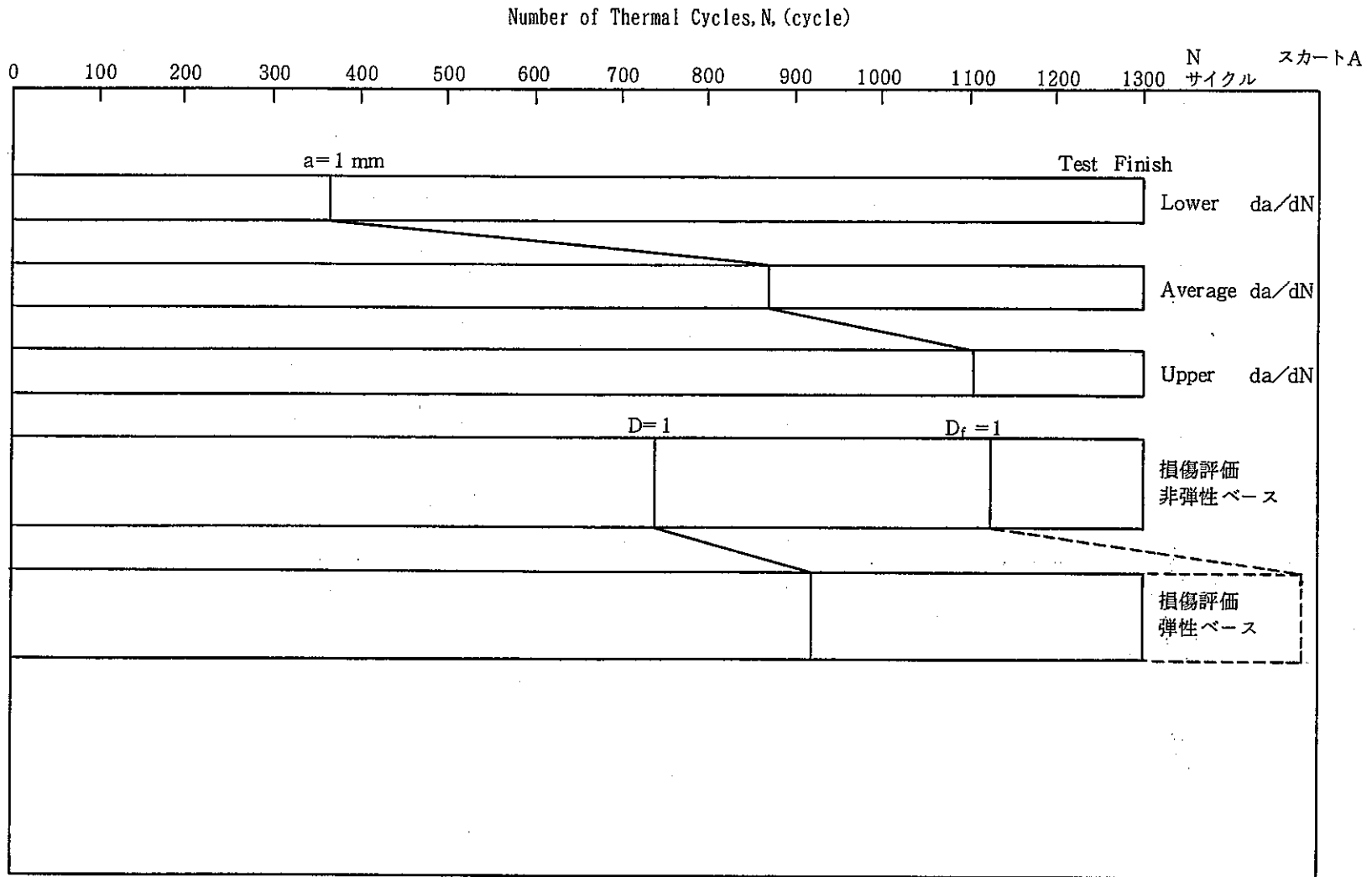


Fig. 4.3.6 Comparison between N<sub>p</sub> and N<sub>t</sub> (Skirt; Thinning Portion)

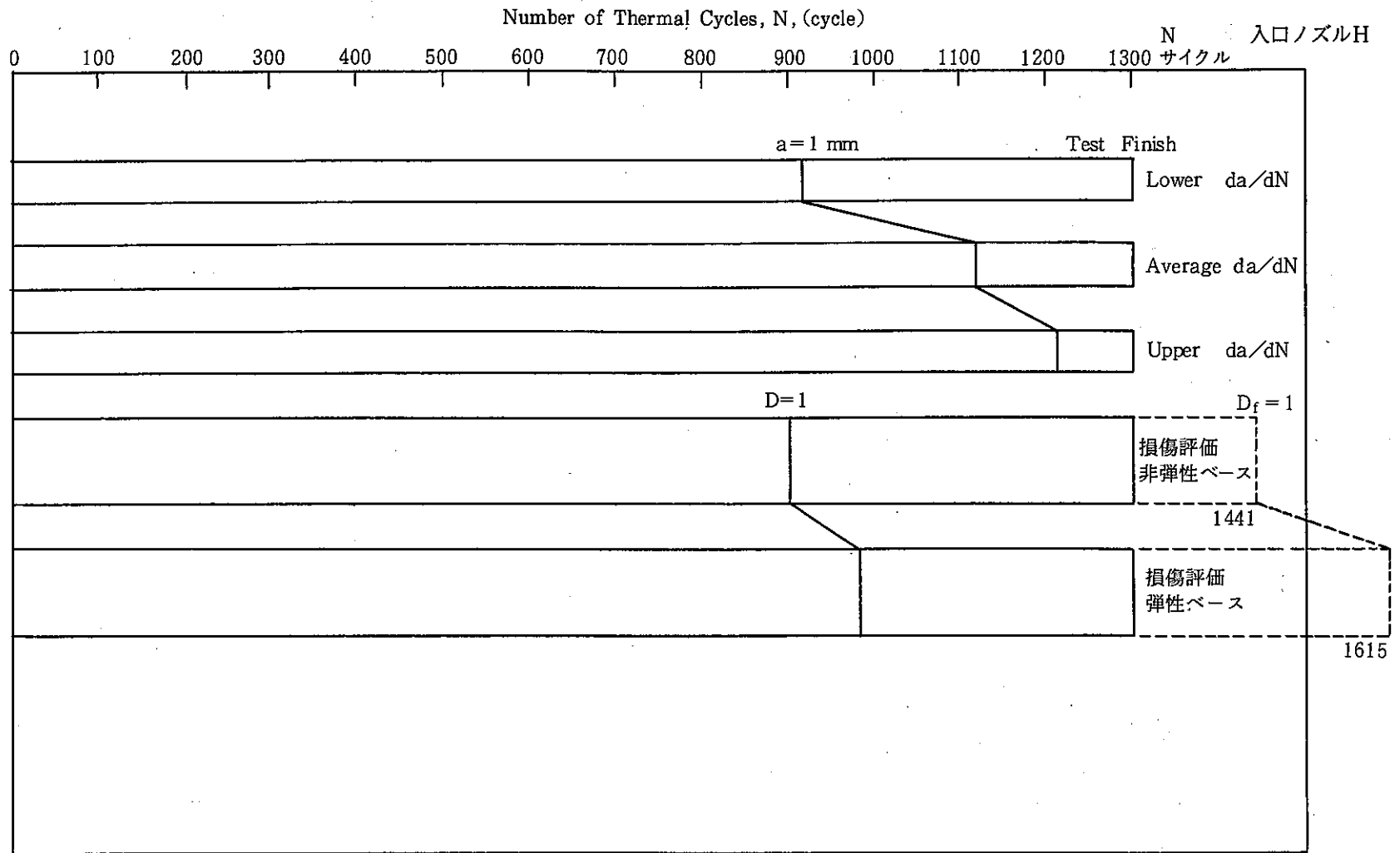


Fig. 4.3.7 Comparison between N<sub>p</sub> and N<sub>t</sub> (Inlet Nozzle-Upper head Junction)

クリープ疲労損傷値  $N = N_f (= N_i + N_p)$  による

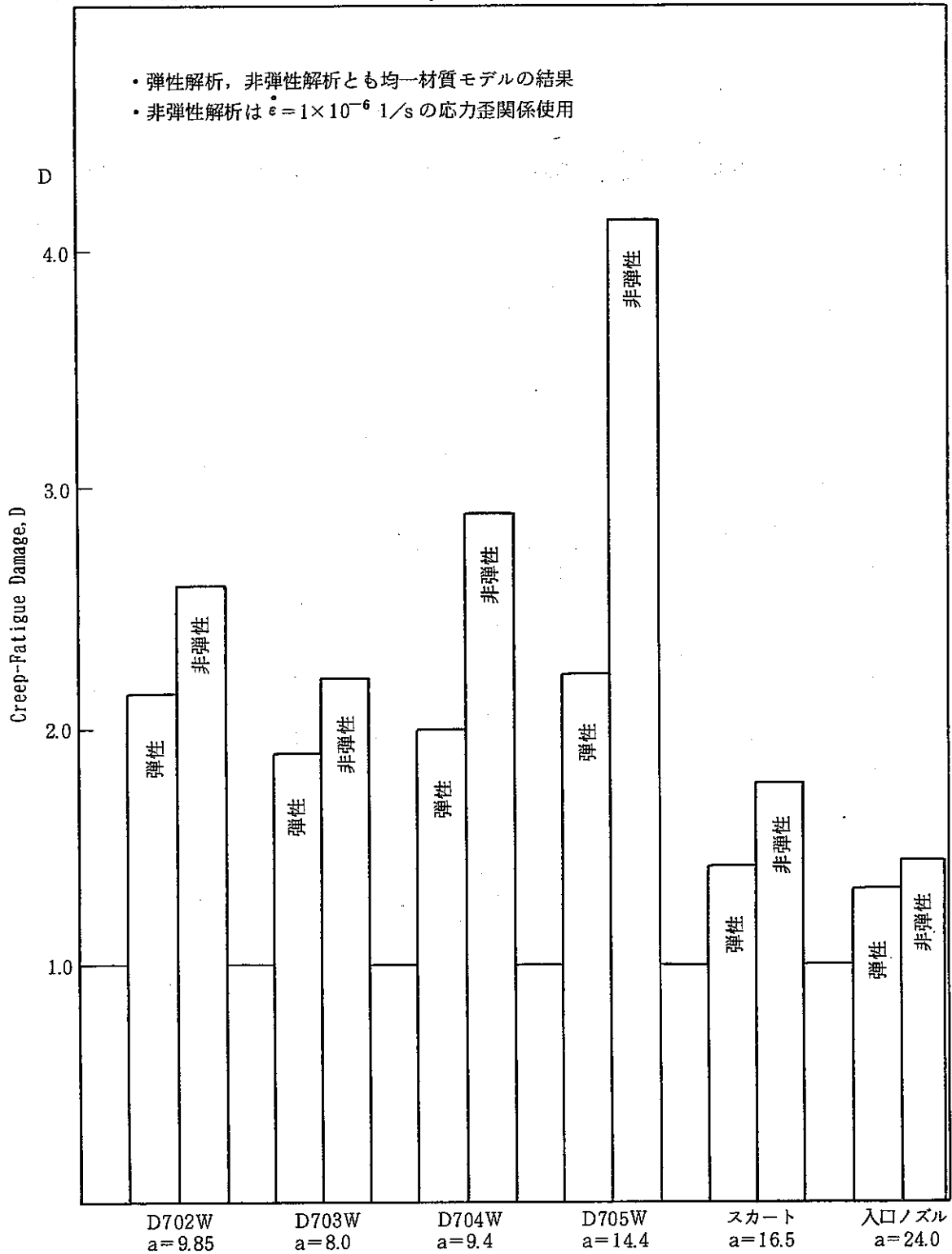


Fig. 4.3.8 Creep-Fatigue Damage based on  $N_t$



クリープ疲労損傷値 (弾性ベース)  $N_i = N_f - N_p$  による

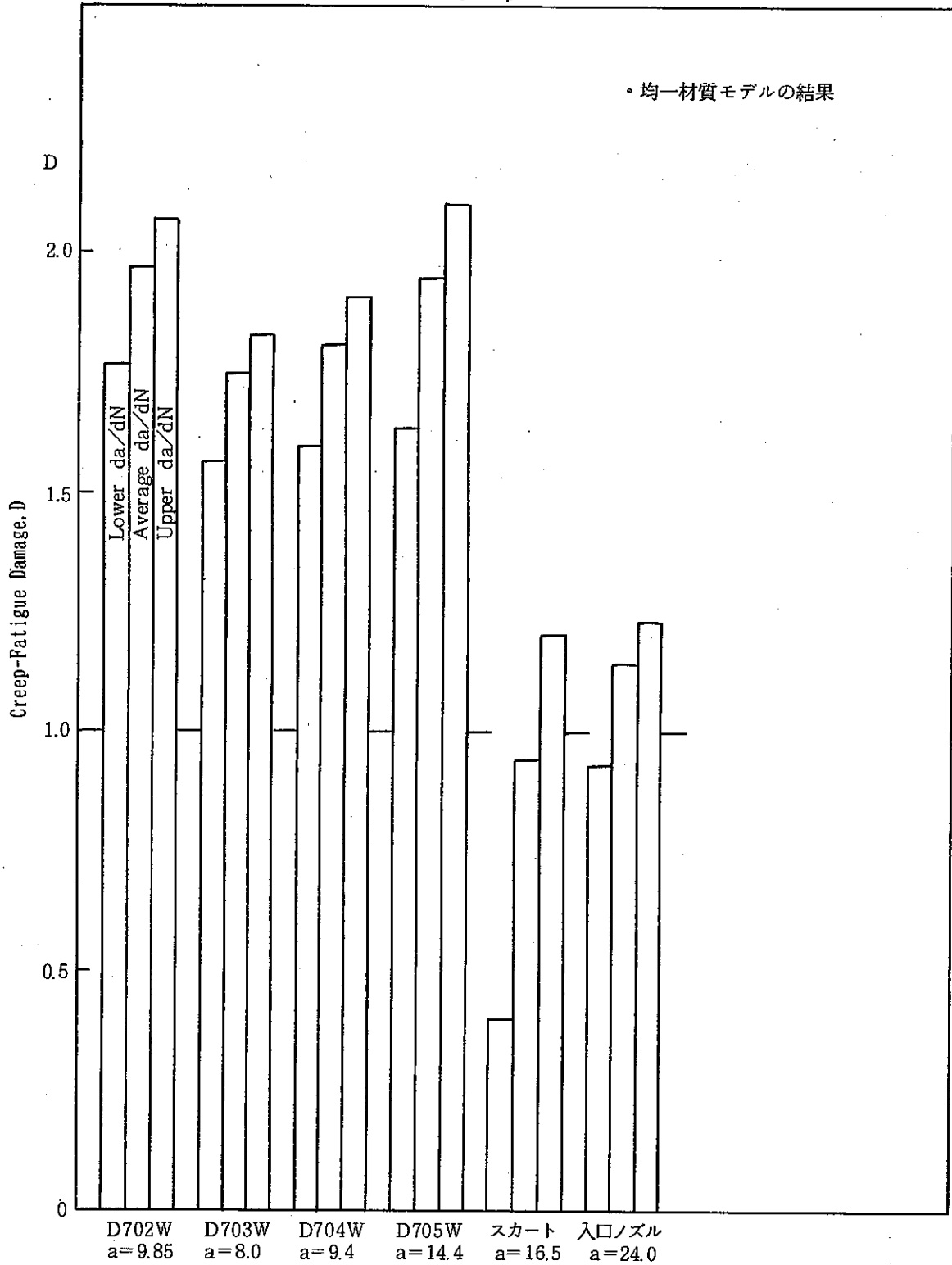


Fig. 4.3.9 Creep-Fatigue Damage based on Ni (Elastic Analysis base)

クリープ疲労損傷値 (非弾性ベース)  $N_i = N_f - N_p$  による

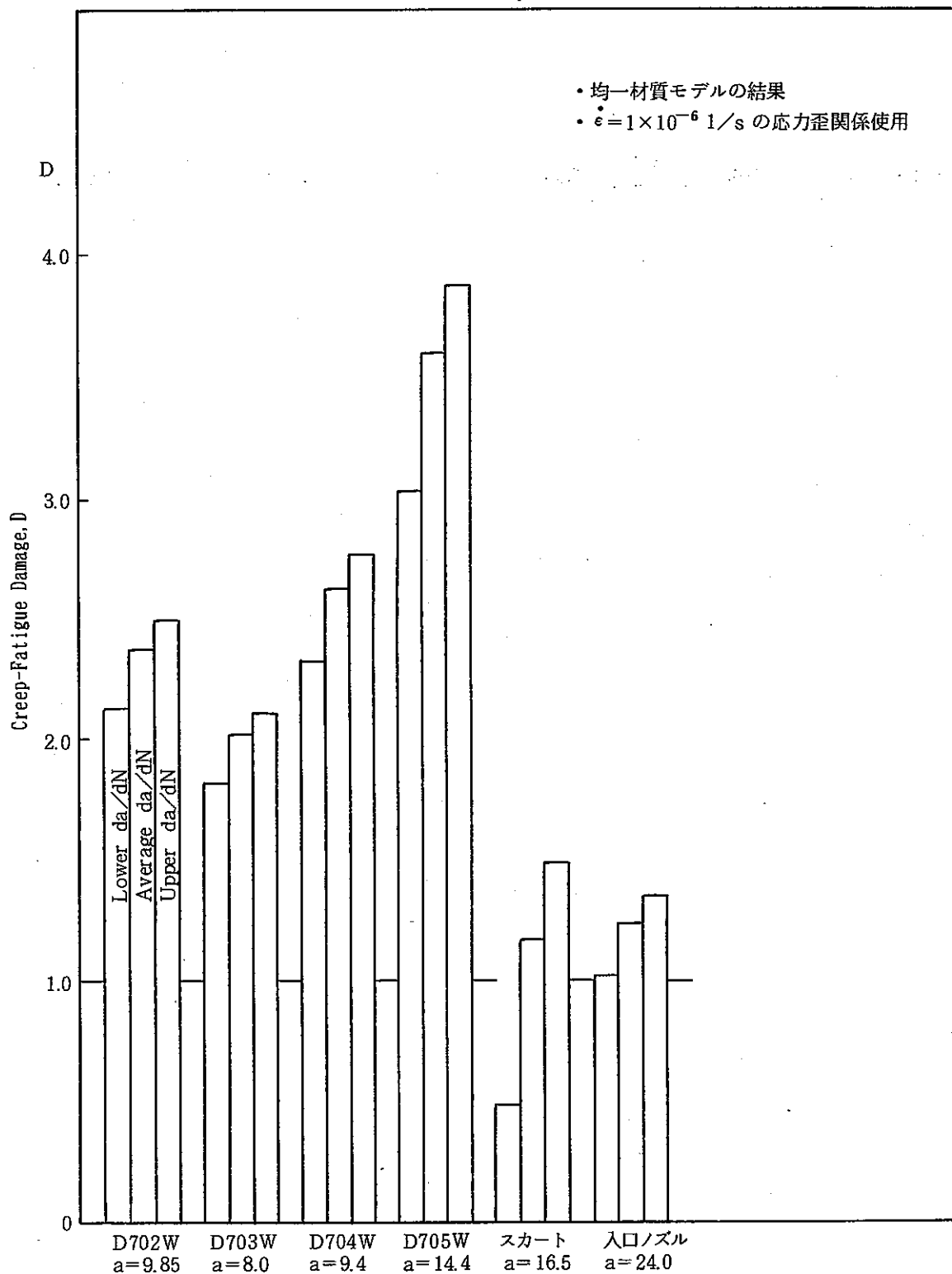


Fig. 4.3.10 Creep-Fatigue Damage based on Ni (Inelastic Analysis base)

#### 4.4 まとめと今後の課題

##### 4.4.1 クリープ疲労き裂進展評価結果について

TTSで試験された熱応力緩和構造供試体(1)に発生した主要なき裂を評価対象として、非弾性熱応力解析、破壊力学パラメータの解析を行い、この結果を用いてクリープ疲労き裂進展挙動評価を行った。

非弾性解析は1ヶの評価対象き裂に対してき裂深さをパラメータとした複数のき裂入り解析モデルに対し、先に得られている熱過渡1サイクルに対応する伝熱解析結果を入力条件とした弾塑性クリープ解析を実施した。溶接継手部も含めて材質モデル化は基本的に母材均一特性を考慮した。

破壊力学パラメータの解析は各き裂深さ状態での非弾性解析結果に基づいて疲労によるき裂進展を記述するパラメータとして $\hat{J}$ 積分を、クリープによるき裂進展を記述するパラメータとして $\hat{J}'$ 積分を経路積分法により算出した。

引き続き行ったクリープ疲労き裂進展評価は解析で得られた破壊力学パラメータを小型試験片で得られている材料のき裂進展速度式に適用して得られる疲労き裂進展速度とクリープき裂進展速度の線型加算則に基づいて実施した。ここで $\hat{J}$ についてはコールド・ホット両トランジェントで得られた $\hat{J}_{\max, \text{COLD}}$ ,  $\hat{J}_{\max, \text{HOT}}$ を加算して $\Delta J_F$ を得、 $\hat{J}'$ についてはクリープ時間域における平均値として $\Delta \hat{J}' / t$ 。(  $\Delta \hat{J}'$  はクリープ時間域の $\hat{J}'$  の時間積分値)を得ることにより、疲労およびクリープのき裂進展速度式と対応づけた。

このようにして得られた評価き裂の各き裂深さ状態におけるクリープ疲労き裂進展速度データに基づいて、初期き裂深さとして設定した1mmから試験で得られた最終き裂深さまで進展するのに要した熱過渡サイクル数を、1サイクル当りのき裂進展量(サイクルベースのき裂進展速度)の逆数をき裂長さに対して積分することにより算出した。

以上の方法により供試体に発生した主要なき裂に対するクリープ疲労き裂進展挙動評価を行った結果、各き裂の進展に要した熱過渡サイクル数として、全熱過渡サイクル数 $N$ よりき裂発生に要したと考えられるサイクル数 $N_i$  ( $N_i$ は別途実施したクリープ疲労損傷評価結果に基づく<sup>(3)</sup>)を減じたサイクル数と比較的良く整合する結果が得られており、本供試体のクリープ疲労き裂進展挙動が概略把握できたと考えられる。

き裂進展挙動に関する主な結果としては以下の知見が得られた。

- (a) 疲労き裂進展を記述するパラメータとして $J$ 積分の拡張である $\hat{J}$ 積分を、クリープき裂進展を記述するパラメータとして $J'$ 積分の拡張である $\hat{J}'$ 積分をそれぞれ算出した結果ほぼ経路独立性を有しており、熱過渡荷重下における破壊力学パラメータとして有効である。
- (b) 熱過渡荷重下における上記2種の破壊力学パラメータは今回評価した内筒溶接部、支持スカートシンニング部および入口ノズル上鏡周継手部のいずれにおいてもほぼ板厚

中央部で最大値を示した後、緩やかな減少傾向に転じる。

- (c) 本熱過渡条件下では1サイクル当たりのクリープによるき裂進展量は疲労による進展量よりも1オーダー以上大きく、き裂進展挙動はほぼクリープき裂進展に支配されている。

また今回実施したき裂の進展過程に対応するき裂解析結果に基づいて、先に実施したき裂の発生過程に対応するクリープ疲労損傷評価結果<sup>(3)</sup>を修正し、クリープ疲労強度予測法の精度向上に資するデータを取得することができた(4.3節)。

#### 4.4.2 き裂解析手法に関する検討結果について

上記解析・評価を実施する過程で次のような観点からき裂解析手法に関する検討を行った。まずき裂解析の基礎となるき裂近傍の応力-歪挙動を精度良く推定するための非弾性解析の方法に関して、弾塑性応力-歪関係の歪速度依存性に着目して異なる2種の歪速度に対応する定常繰り返し応力-歪ヒステリシス曲線(母材データ)を採用した非弾性解析を実施し、破壊力学パラメータ解析結果およびき裂進展評価結果に及ぼす影響を検討した(4.1節)。

その結果、クリープ疲労損傷評価においては無視し得ない影響を及ぼした弾塑性応力-歪関係における歪速度依存性はき裂解析結果に対してはほとんど影響を及ぼさないことが明らかとなった。

次に溶接継手部におけるき裂の挙動を精度良く推定するための非弾性解析の方法に関して、母材と溶接金属の弾塑性応力-歪関係の差に着目して母材均一材質モデル以外に溶接金属領域に母材と異なる2種の定常繰り返し応力-歪ヒステリシス曲線を採用した材質不連続モデルによる非弾性解析を実施し、破壊力学パラメータ解析結果に及ぼす影響を検討した(4.2節)。

その結果、クリープ疲労損傷評価においては顕著な影響を及ぼした母材-溶接金属の弾塑性応力-歪関係の差の影響は2種の材質不連続モデルの両者においてほとんど無視し得る程度に小さいことがわかった。

なお、内筒溶接部のき裂解析を実施した結果として付随的に得られた知見として、構造物表面上の局部的形状不整の影響はき裂解析結果に対しては大きくないことが判明した。クリープ疲労損傷評価上は構造物表面の歪範囲、応力レベルが疲労損傷、クリープ損傷を支配するため、局部的形状不整が大きく影響し、解析モデル作成上注意を要する事が知られている。しかしき裂解析上は構造物表面よりは内部のき裂先端近傍における応力、歪が重要となり同じき裂深さ状態で比較すると局部的形状不整が大きいためにクリープ疲労損傷値が大きくなったTIG、EBW溶接止端部において、破壊力学パラメータが溶接肉盛り部の除去を行ったMIG、SMAW溶接部よりも小さな値が得られた。4者の結果は熱過渡荷重の大ききの順に内筒

高さ方向上側の方が大きな破壊力学パラメータを与える結果となっていた。従ってき裂解析を行う上で、解析モデル作成においては構造物表面の局部的形状不整までは忠実に模擬する必要が無いと考えられる。

以上き裂解析を行う上で基礎となる非弾性解析段階での検討結果についてとりまとめたが、引き続き実施された破壊力学パラメータ解析、き裂進展評価の各段階においても4.4.3節で示すような検討課題が残されており、今後さらに検討を続けることを予定している。

#### 4.4.3 今後の課題

以上本研究で実施したクリープ疲労き裂進展挙動に関する検討内容を総括したが、本研究において検討を進める上で必要と考えられたが対応できなかった課題と熱過渡荷重下におけるクリープ疲労き裂進展評価法の精度を向上させるためにさらに検討する必要があると考えられる研究項目を以下にあげる。

##### (a) 圧縮応力場におけるき裂進展の取り扱い

本報では疲労によるき裂進展量を予測するのに、コールドおよびホットランジェントの各々の $\hat{J}_{max}$ を加算して熱過渡1サイクル当りの $\Delta \hat{J}$ として算出し、これを小型試験片ベースの $da/aN$  vs  $\Delta J$ 線図と対応させた。き裂面垂直方向応力成分はコールドランジェント時に引張、ホットランジェント時に圧縮であったが、単純に両者を加算して得られる $\Delta \hat{J}$ を主として引張条件で得られているき裂進展速度式に適用し得るか検討が必要と考える。この方面は構造物モデルに過渡熱応力が繰り返されるような複雑な問題で検討を開始する前に、材料の単軸状態でのき裂挙動の研究が先行すべきと考える。

またクリープによるき裂進展については、 $\hat{J}'$ の算出されるクリープ時間域におけるき裂面垂直方向応力成分は主として圧縮側であった。これも引張側で得られている小型試験片ベースのクリープき裂進展速度式にそのまま適用できるのか議論を要する。この問題は下記(b)にも関係する。

##### (b) クリープJ積分, クリープき裂進展算出法

本熱過渡試験条件では1サイクル当りのき裂進展量を支配するのはクリープによるき裂進展であった。従ってき裂進展評価法の精度を向上させるためには、クリープJ積分( $\hat{J}'$ )およびクリープき裂進展量の算出法を高精度化する必要がある。

本報では従来の考え方に従って、き裂入り解析モデルの非弾性解析としてコールドランジェント→ホットランジェントの熱過渡1サイクル分について実施し、ホットランジェントにおいて構造温度がクリープ温度域にある時間範囲(クリープ時間 $t_c$ )に対し $\hat{J}'$ を算出し、 $\hat{J}'$ の経時変化過程を $t_c$ の時間範囲で時間積分し $\Delta \hat{J}'$ を求め、さらにこれを $t_c$ で除して平均値として得られる $\Delta \hat{J}' / t_c$ を小型試験片ベースの $da/dt$  vs  $J'$ 線図と対応させている。

元々クリープき裂進展量はある時刻における $J'$ に依存した進展速度を時間積分することにより算出されるべき量と考えられるので、(a)で述べた応力の符号を考慮に入れた上で時々刻々の $\hat{J}'$ をき裂進展速度に変換して時間積分を行う手法により精度の向上が期待できると考える。

なお本報ではクリープ $J$ 積分 $\hat{J}'$ を算出する際き裂面垂直方向応力成分が引張状態のクリープ時間域のみ評価対象とした場合、き裂深さの大きいモデルでは応力成分が圧縮側となり $\hat{J}'$ が算出されない(0となる)ため、全クリープ時間 $t_c$ に対して $\hat{J}'$ を算出した。しかしながら、非弾性解析としてさらに0.5サイクルのコールドトランジェント分を実行した場合、その初期においては引き続きクリープ温度域に保持されながら引張応力状態で別の $\hat{J}'$ のピークが形成される可能性がある。従ってこの場合には引張応力の時間範囲のみに対する $\hat{J}'$ が相当量算出され適度なクリープき裂進展量が得られることが予想される。この点については引き続き検討を予定している。

#### (c) 初期き裂深さ想定の問題

本報ではき裂進展評価を行う際の初期き裂深さとしてこれまでの熱過渡試験結果等を考慮してクリープ疲労損傷値 $D=1$ に対応する深さとして1mmと設定し解析を行っているが必ずしも十分な根拠はない。

仮に $D=1$ に対応する初期き裂深さとして0.5mmを想定した場合、0.5→1mmの進展に要する熱過渡サイクル数は破壊力学パラメータが小さくなるためにかかなり大きな値になることが予想される。この場合全熱過渡サイクル数に占めるき裂進展サイクル数の割合は大きくなり、 $D=1$ となる熱過渡サイクル数とき裂発生サイクル数( $N-N_p$ )の関係は本報4.3節で述べた結果と異なってくる。

現状ではき裂の初生過程と進展過程を結びつける有力な方法が見つかっていないためこの問題は今後の課題である。

#### (d) 進展末期のき裂の挙動

本報3.3節では解析条件としたき裂深さ範囲の進展挙動評価結果から、熱過渡荷重下のき裂が板厚を貫通する可能性が有ることを示した。一方実際の供試体においても板厚方向温度勾配が主たる応力場となる内筒溶接部で板厚貫通き裂が観察されている。従って今回評価対象としたき裂の1,300サイクル以降のき裂進展挙動を明らかにしておくこと、特に板厚貫通直前の挙動の解明は熱過渡荷重下の構造物中のき裂の進展挙動さらに破損モードを予測する上で有力な情報を与えると考えられる。この点についてはさらに深いき裂を考慮した解析モデルを評価することにより検討可能であり、引き続き解析を予定している。

#### (e) 近接するき裂の相互干渉

本報で評価した解析モデルでは評価部位の中の主き裂1本に着目してモデル化してお

り、その近傍に短い副き裂がある場合であってもそのモデル化は実施していない。支持スカートシンニング部では評価き裂の近傍には他のき裂は存在せず問題とはならないが、内筒溶接部では主き裂の近傍に複数の副き裂が存在しており相互干渉する可能性が考えられる。定性的にはある距離以下の範囲に複数のき裂が存在する場合、互いのき裂先端の応力場が緩和され、破壊力学パラメータが低下することが予想される。従って複数のき裂を考慮した解析モデルでの検討が必要と考えられる。

(f) 母材-溶金境界上のき裂の取り扱い

本報4.2節では内筒溶接部のうちのTIG溶接部についてき裂の発生、進展した位置が母材と溶接金属の境界の極近傍であったため、解析モデル上き裂の進展面を両者の境界面上に設定し、母材領域と溶接金属領域にそれぞれ異なる弾塑性応力-歪関係を与えて非弾性解析を実施し、得られる破壊力学パラメータにおいて均一材質モデル、材質不連続モデル間でほとんど差を生じないことを示した。

しかしながら、この解析では溶金と母材のクリープ構成式の差までは考慮しておらず両者間でクリープ構成式に差が有ることが明らかとなった場合には非弾性解析の段階でその影響についても検討する必要が有ると考える。また、破壊力学パラメータの算出法については $\hat{J}$ 、 $\hat{J}'$ の定式化が材質不連続場にも適用可能との判断により特に修正を施さないうで使用したが、仮に異材界面上のき裂特有の問題として特殊な修正項の必要性が有ることが明らかとなった場合には別途定式化が必要となる。

(g) き裂進展評価結果の検証の問題

本熱過渡試験では評価対象き裂の発生サイクル数あるいは進展過程における熱過渡サイクル数とき裂深さの関係等については不明であり、最終的な熱過渡1,300サイクル(き裂発生サイクル数を含む)後のき裂深さデータのみが既知であった。従ってき裂進展挙動の評価結果に対する検証データとしては不十分であり、解析で得られた進展サイクル数は別途実施されたクリープ疲労損傷評価より予測されたき裂発生サイクル数( $D=1$ に対応させた)あるいは全熱過渡サイクル数との比較に止まっている。

従って別途本解析・評価手法の妥当性検証を行えるような基礎的な構造物の熱過渡荷重下のき裂進展試験を実施し、この結果に対する解析・評価が必要である。

## 5. 結 論

FINASによる非弾性熱応力解析結果を入力データとして軸対称および3次元問題において非線形破壊力学パラメータを算出するプログラムCANIS-Jを用いて、熱応力緩和構造モデル(1)に発生した代表的なき裂について一連の熱応力解析、破壊力学パラメータ解析およびき裂進展解析・評価を実施した。この結果以下のことが判った。

- (1) 疲労き裂進展挙動を記述するパラメータとしてJ積分の拡張である $\hat{J}$ 積分を、クリープき裂進展挙動を記述するパラメータとしてJ'積分の拡張である $\hat{J}'$ 積分を算出した結果ほぼ経路独立性を有することが判った。
- (2) 熱過渡荷重下における上記2種の破壊力学パラメータは今回評価した内筒溶接部、支持スカートシンニング部および入口ノズル上鏡周継手部のいずれにおいてもほぼ板厚中央で最大値を示した後緩やかな減少傾向に転じた。
- (3) 本熱過渡条件下では1サイクル当りのクリープによるき裂進展量は疲労による進展量に対して1オーダー以上大きく、き裂進展挙動はほぼクリープき裂進展に支配されることが判った。
- (4) 解析により求められた破壊力学パラメータを小型試験片を用いたき裂進展試験で定式化された材料のき裂進展速度式に適用して得られるクリープ疲労き裂進展速度を用いることにより、本供試体に発生した熱クリープ疲労き裂進展挙動を比較的精度良く表現できた。
- (5) 歪速度条件の異なる弾塑性応力-歪関係を用いた非弾性解析および母材と溶接金属に異なる弾塑性応力-歪関係を用いた非弾性解析を行った結果、破壊力学パラメータはほとんど影響を受けないことが判った。



## 6. 謝 辞

本研究を行うにあたり使用した破壊力学パラメータの計算プログラムCANIS-Jはセンチュリ・リサーチ・センタ(株)構造技術部にて作成されたものである。同部関係各位ならびに非弾性解析、破壊力学パラメータ解析に御協力いただいた同部藤田真理子嬢に感謝します。

またき裂進展評価検討において構造工学室の関係各位ならびに古橋一郎氏より有益なアドバイスをいただいた。これらの方々にお礼申し上げます。

## 参 考 文 献

- (1) 梅田, 菊地, 木村, 渡士, 岩田 熱応力緩和構造モデル(1) 熱過渡強度試験  
第1報 熱過渡強度試験と解体検査 SN9410 89-170
- (2) 木村, 渡士, 岩田, 今津 熱応力緩和構造モデル(1) 熱過渡強度試験  
第2報 伝熱応力解析と強度評価 SN9410 89-105
- (3) 田中, 渡士, 岩田, 木村, 吉田 熱応力緩和構造モデル(1) 熱過渡強度試験  
第4報 非弾性解析と強度評価 SN9410 90-106
- (4) 斎藤, 渡士, 今津 原子炉容器モデル熱過渡強度試験  
第12報 き裂の解析と評価 SN9410 87-020
- (5) K. WATASHI, et al., Creep-fatigue test of a thick-walled vessel under thermal  
transient loadings, Nuclear Engineering and Design 116 (1989)pp. 423-441
- (6) 例えば, 矢川 クリーブ疲労き裂に関する破壊力学的評価(Ⅲ) 非線形破壊力学パラメー  
タおよび画像処理ひずみ計測法の研究 PNC SJ9602 87-001
- (7) CANIS-J 使用説明書 (2次元, 3次元破壊力学パラメータ)  
センチュリリサーチセンタ株式会社, 構造技術部, 第1課
- (8) 中西他 高速増殖炉の設計主要目に関する研究, 昭和61年度成果報告会資料集,  
PNC N9440 87-006
- (9) 小井, 香川, 小峰, 和田 高速炉用構造材料の高温き裂進展特性 SN9410 90-105
- (10) 田中他 熱応力緩和構造モデル(1)熱過渡強度試験  
第6報 総合報告書 ZN9410 92-XXX とりまとめ中

## 付 録

付録A	入口ノズルモデルの縮小化に関する検討	115
付録B	入口ノズルモデルの伝熱解析条件の修正に関する検討	123
付録C	き裂入りモデルの非弾性解析結果	131
付録D	破壊力学パラメータの解析結果	213
付録E	スカートモデルのクリープJ積分の検討	243

## 付録A 入口ノズルモデルの縮小化に関する検討

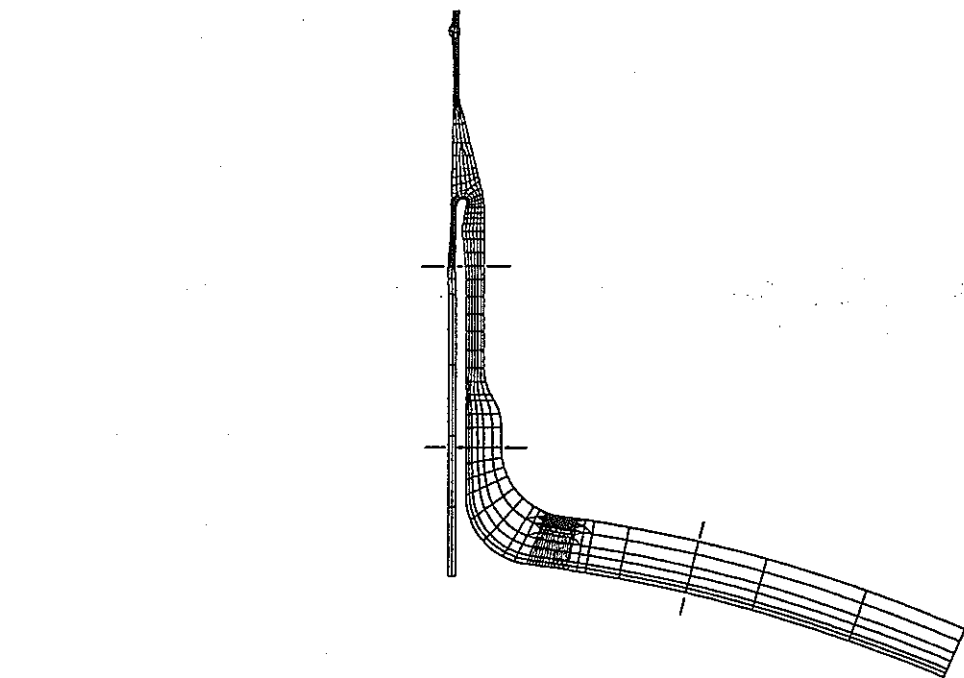
入口ノズルと上鏡との溶接継ぎ手部に発生したき裂を対象とした解析において、ノズルセーフエンド構造の下部および上鏡の部分は板厚も厚く上部に比べてかなり剛性が高いため、薄肉のセーフエンド構造上部の熱変形の影響は受けにくいと考えられる。従って、セーフエンド構造上部は、解析上このき裂に影響を及ぼさないことが予想される。そこで、入口ノズルのセーフエンド構造上部より上の部分を解析時のモデル化の対象から除外し、モデルの縮小化を図るための検討を行った。縮小化が可能であれば、セーフエンドコーナー部はかなり細かい要素分割となっていたため、要素数、節点数がかなり削減される。

縮小化の影響が小さいことを確認するため、入口ノズル全体モデルおよびセーフエンド上部より上の部分を除いた縮小モデルの両者について、弾性解析を行い、結果を変形図、応力コンター図およびき裂面の応力分布図により比較した。なお使用したモデルは、最もき裂の深い  $a = 24\text{mm}$  のモデルである。

結果を付図A-1からA-6に示す。両者の結果を比較すると、全く一致しており、縮小化が結果に及ぼす影響は全く無いと言える。従って、本報での入口ノズルと上鏡との溶接継ぎ手部のき裂の解析は縮小モデルにて行った。

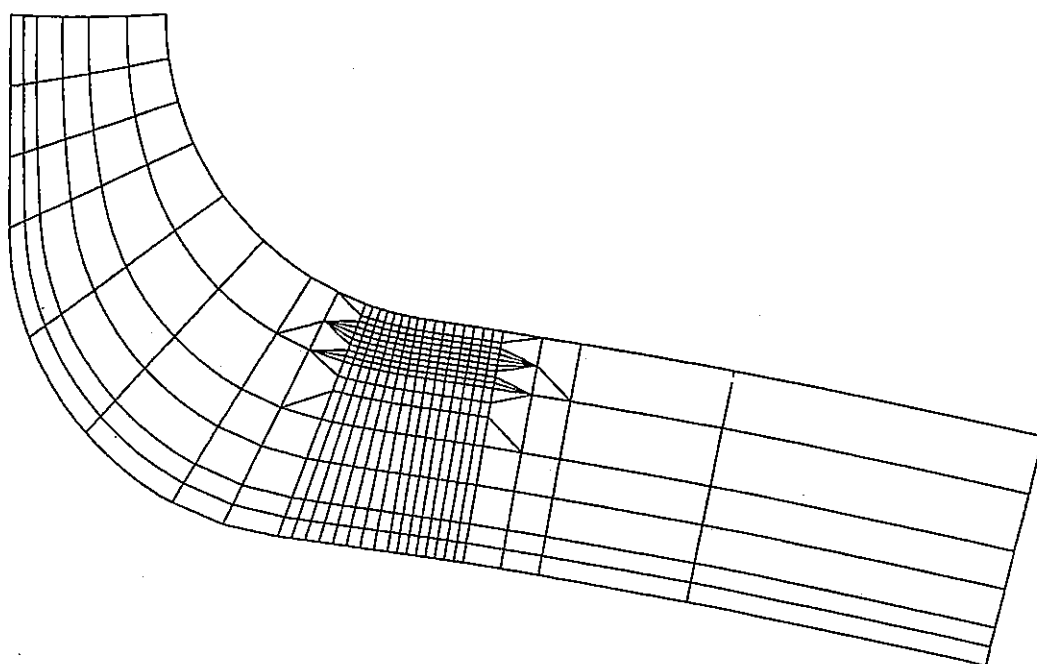
付録A 入口ノズルモデルの縮小化に関する検討

付図A-1	全体モデルのメッシュ図	
	(a) モデル全体 (b) き裂近傍拡大図	117
付図A-2	縮小モデルのメッシュ図	
	(a) モデル全体 (b) き裂近傍拡大図	118
付図A-3	応力コンター図の比較( $\sigma_R$ 成分, Cold Transient 600秒)	
	(a) 全体モデル (b) 縮小モデル	119
付図A-4	応力コンター図の比較( $\sigma_R$ 成分, Hot Transient 80秒)	
	(a) 全体モデル (b) 縮小モデル	120
付図A-5	き裂面上の応力分布図の比較(Cold Transient 600秒)	
	(a) 全体モデル (b) 縮小モデル	121
付図A-6	き裂面上の応力分布図の比較(Hot Transient 80秒)	
	(a) 全体モデル (b) 縮小モデル	122



GEOM. SCALE 1 \_\_\_\_\_ 80.0000

(a) モデル全体

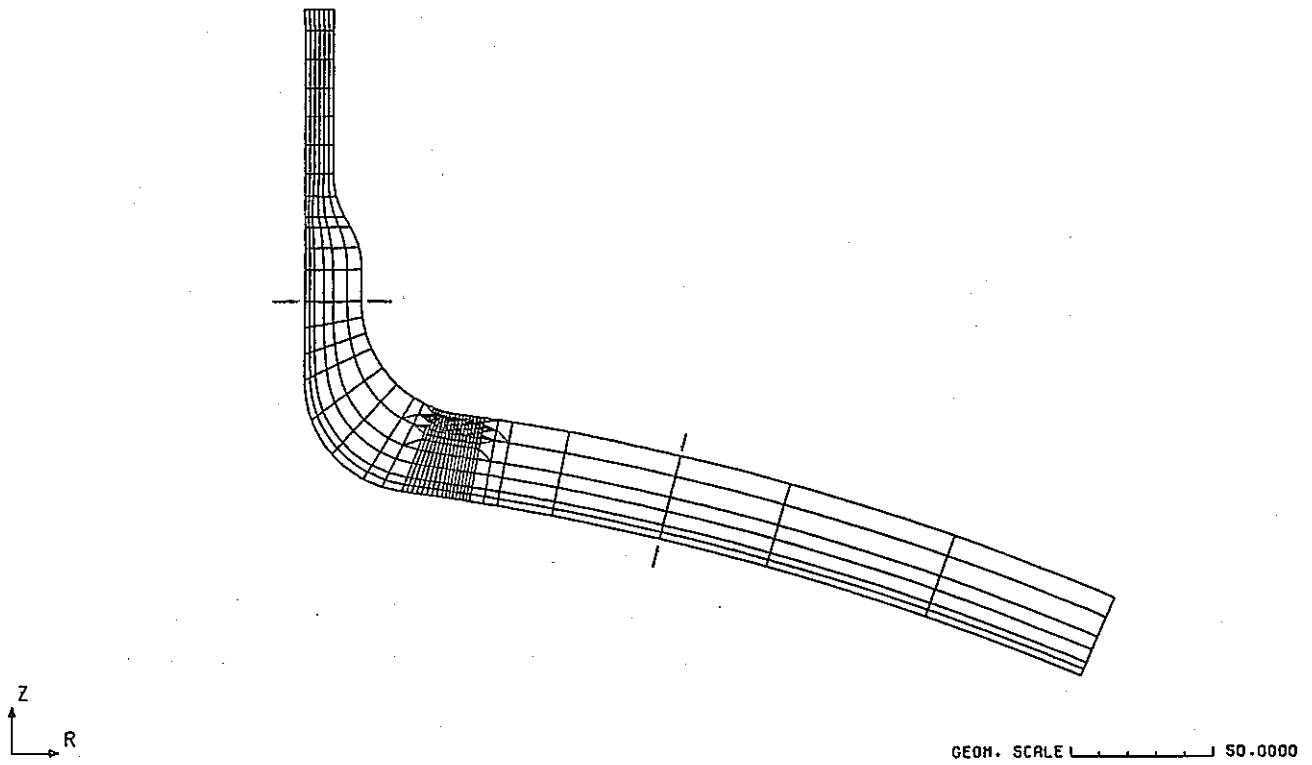


GEOM. SCALE 1 \_\_\_\_\_ 20.0000

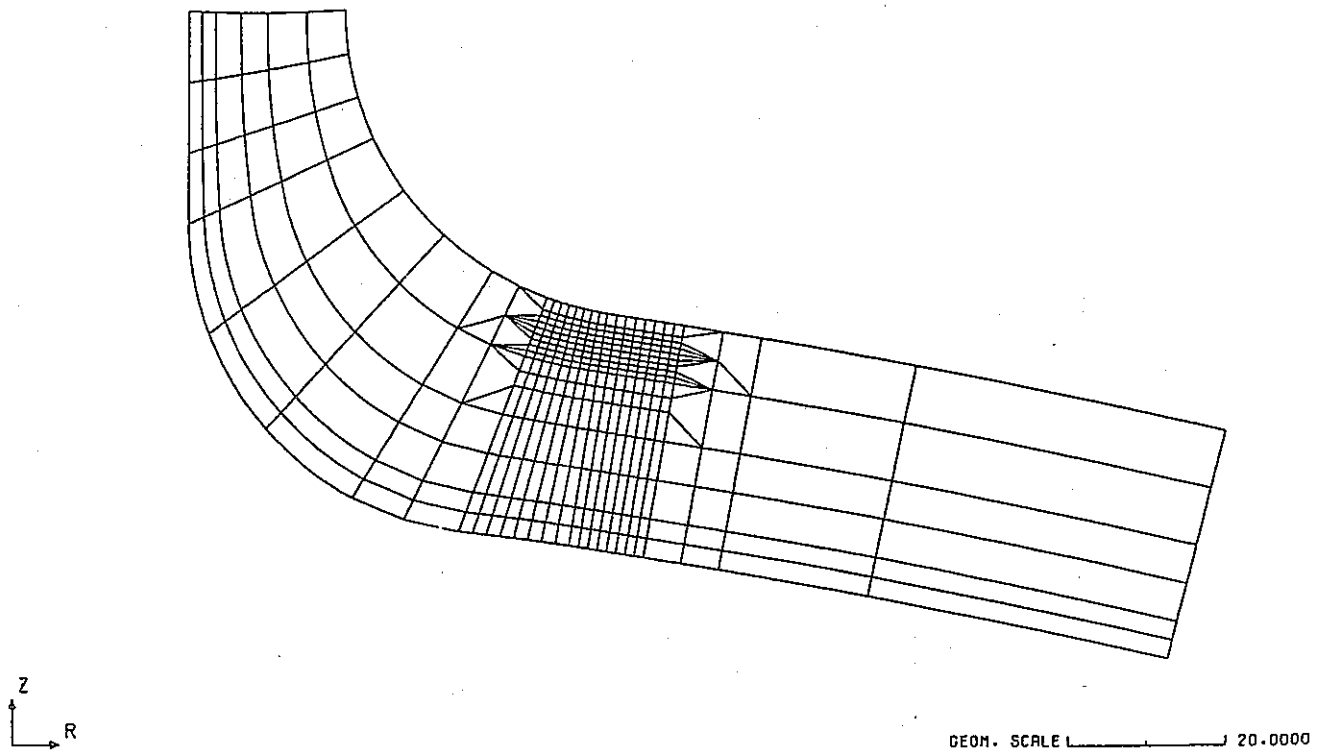
(b) き裂近傍拡大図

付図A-1 全体モデルのメッシュ図

(a) モデル全体 (b) き裂近傍拡大図



(a) モデル全体



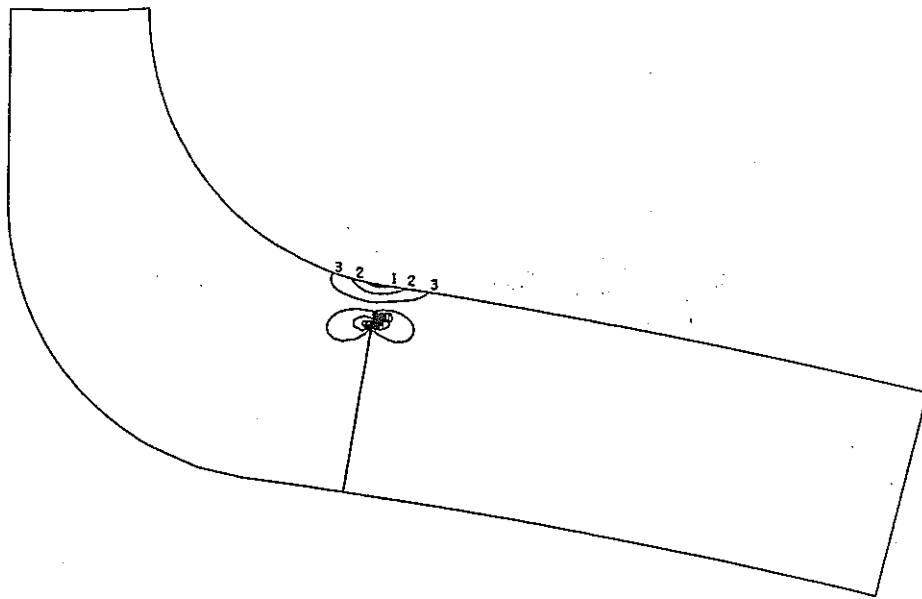
(b) き裂近傍拡大図

付図A-2 縮小モデルのメッシュ図

(a) モデル全体 (b) き裂近傍拡大図

CONTOUR VALUES

1	-27.0000
2	-16.0000
3	-5.00000
4	6.000000
5	17.00000
6	28.00000
7	39.00000
8	50.00000
9	61.00000
10	72.00000



STEP NO. 1

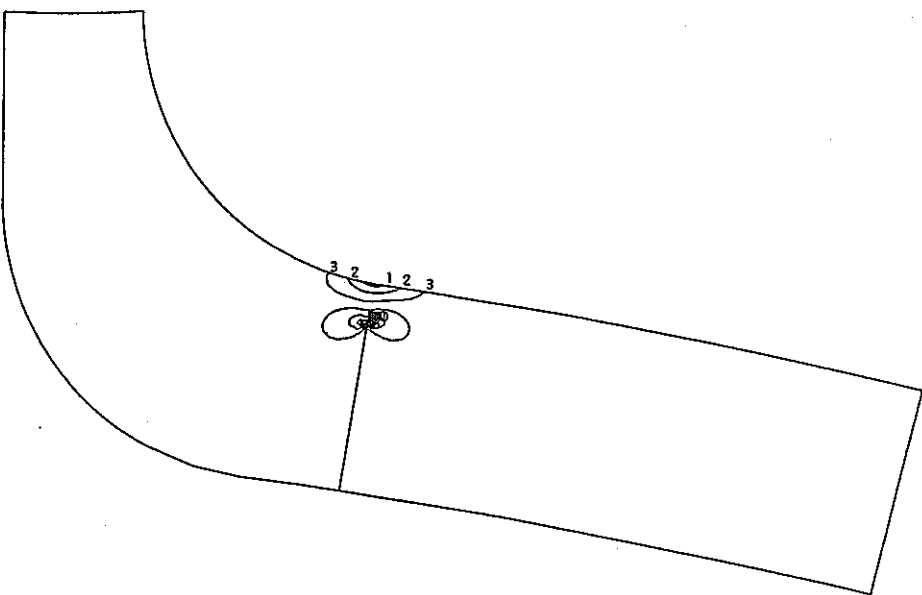
GEOM. SCALE 20.0000

INLET NOZZLE M3-5 (R=24MM) SIG-R (1-ST.COLD. 600SEC) EC)

(a) 全体モデル

CONTOUR VALUES

1	-27.0000
2	-16.0000
3	-5.00000
4	6.000000
5	17.00000
6	28.00000
7	39.00000
8	50.00000
9	61.00000
10	72.00000



STEP NO. 1

GEOM. SCALE 20.0000

INLET NOZZLE M3-5 (R=24MM) SIG-R (1-ST.COLD. 600SEC) EC)

(b) 縮小モデル

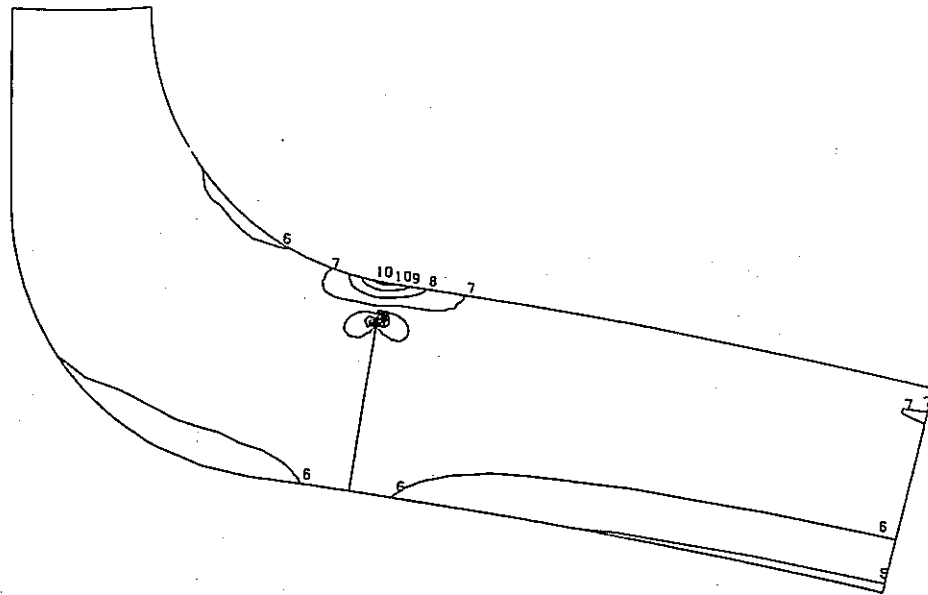
付図A-3 応力コンター図の比較( $\sigma_R$ 成分, Cold Transient 600秒)

(a) 全体モデル (b) 縮小モデル



CONTOUR VALUES

1	-112.000
2	-91.0000
3	-70.0000
4	-49.0000
5	-28.0000
6	-7.00000
7	14.00000
8	35.00000
9	56.00000
10	77.00000



STEP NO. 2

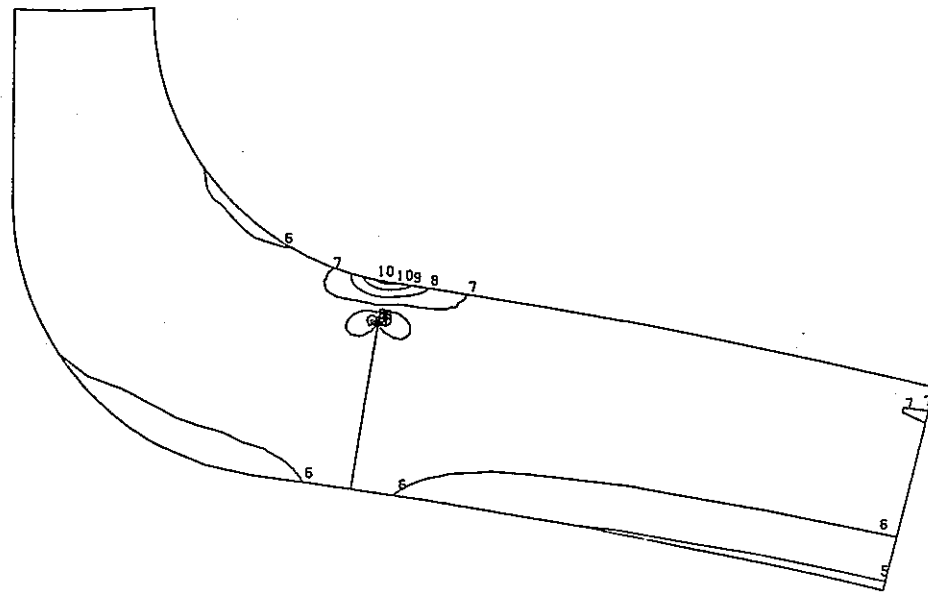
GEOM. SCALE 20.0000

INLET NOZZLE M3-5 (A=24MM) SIG-R (1-ST. HOT. 80SEC)

(a) 全体モデル

CONTOUR VALUES

1	-112.000
2	-91.0000
3	-70.0000
4	-49.0000
5	-28.0000
6	-7.00000
7	14.00000
8	35.00000
9	56.00000
10	77.00000



STEP NO. 2

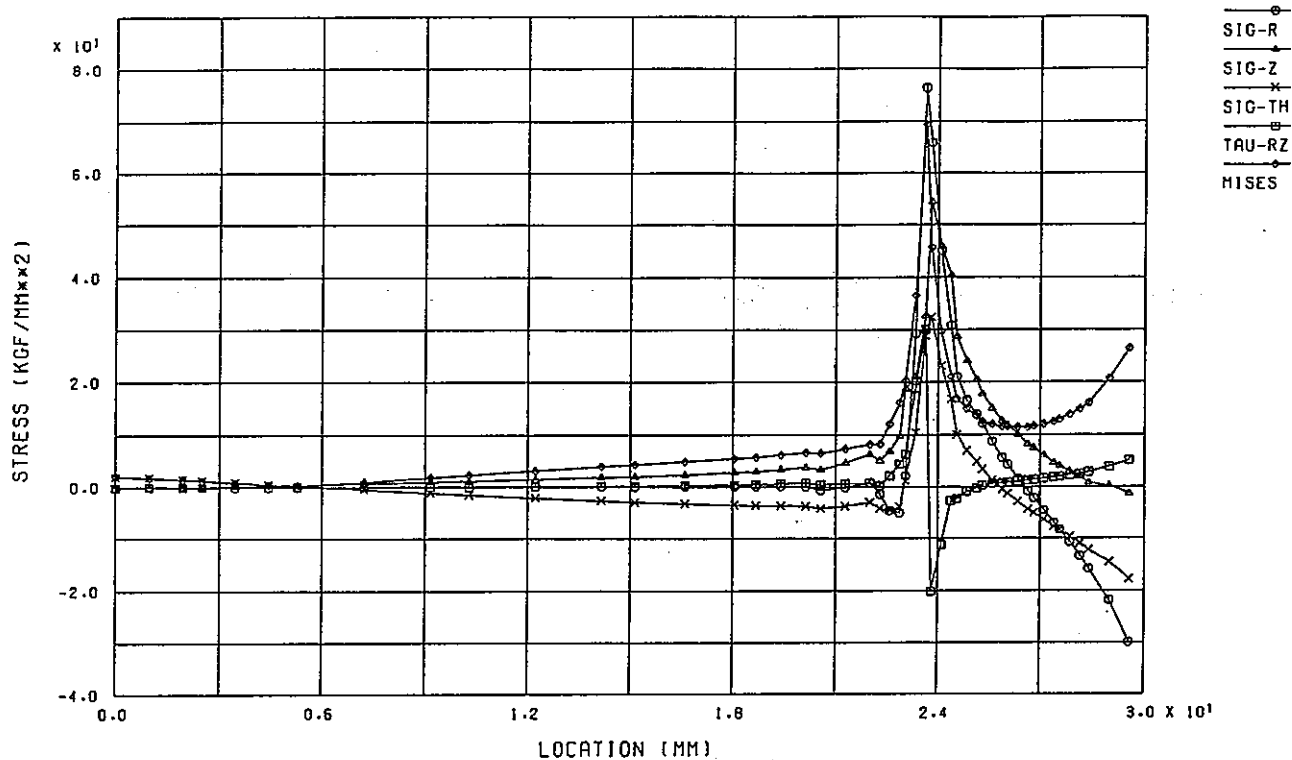
GEOM. SCALE 20.0000

INLET NOZZLE M3-5 (A=24MM) SIG-R (1-ST. HOT. 80SEC)

(b) 縮小モデル

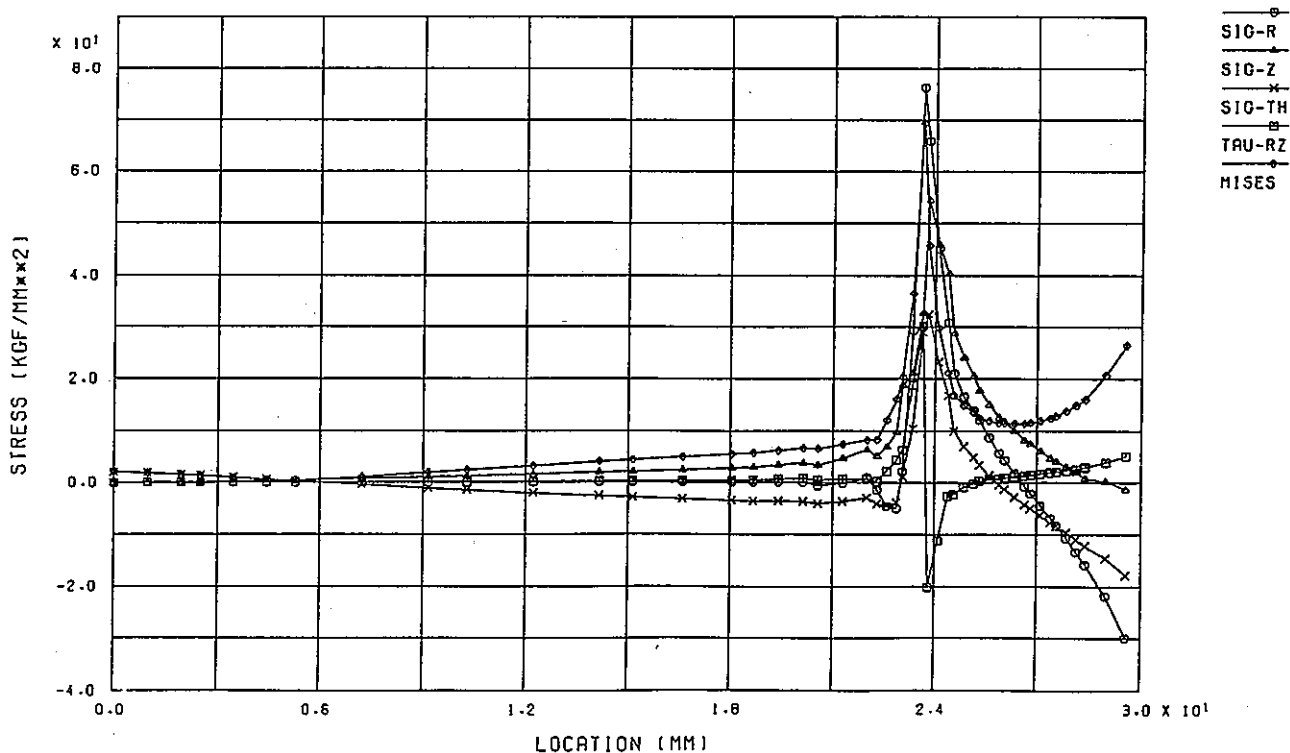
付図A-4 応力コンター図の比較( $\sigma_R$ 成分, Hot Transient 80秒)

(a) 全体モデル (b) 縮小モデル



INLET NOZZLE M3-5 (R=24MM) STRESS DIST. ALONG CRACK (COLD 600 SEC)

(a) 全体モデル

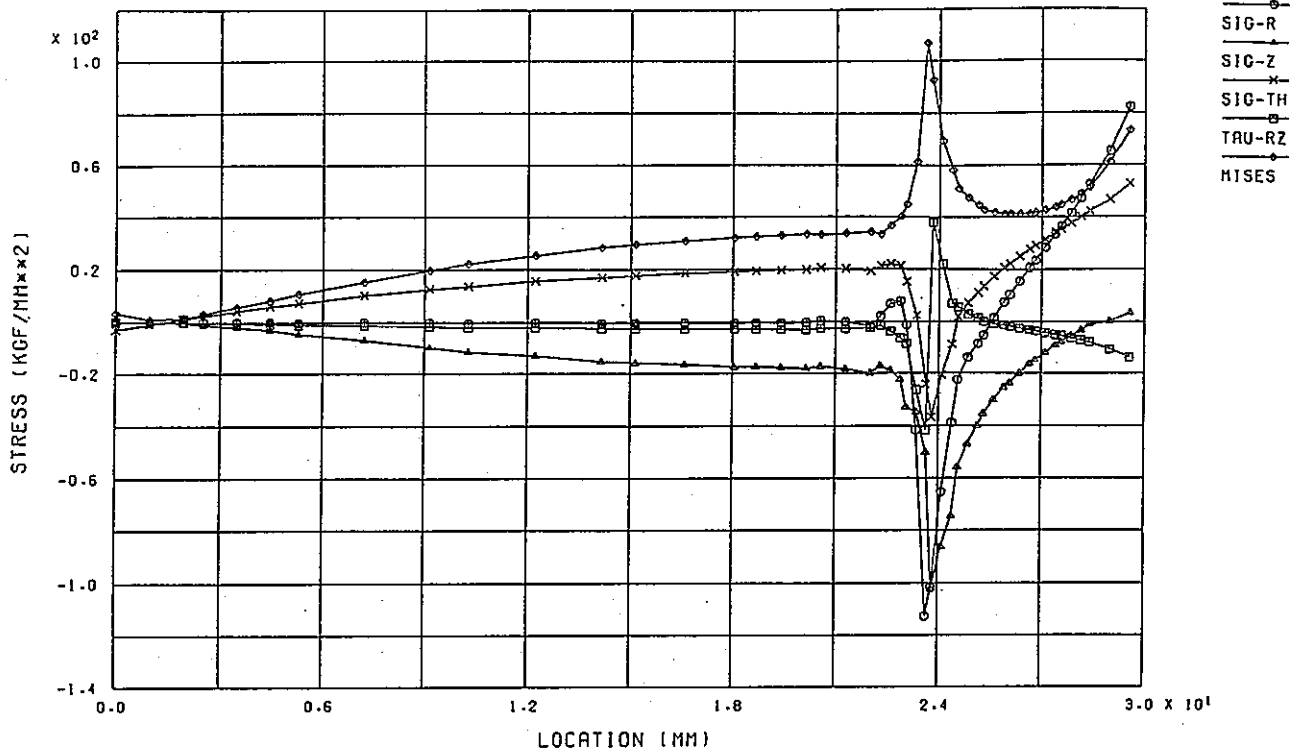


INLET NOZZLE M3-5 (R=24MM) STRESS DIST. ALONG CRACK (COLD 600 SEC)

(b) 縮小モデル

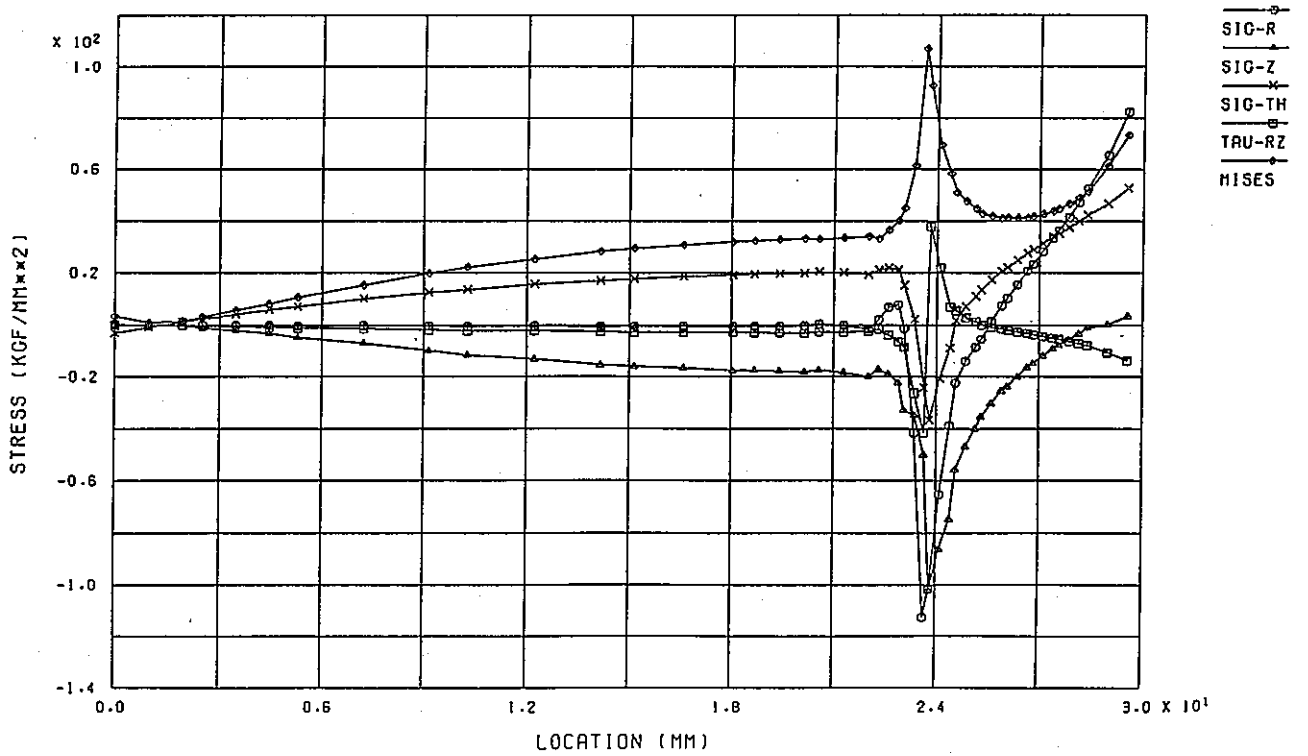
付図A-5 き裂面上の応力分布図の比較(Cold Transient. 600秒)

(a) 全体モデル (b) 縮小モデル



INLET NOZZLE M3-5 (A=24MM) STRESS DIST. ALONG CRACK (HOT 80 SEC)

(a) 全体モデル



INLET NOZZLE M3-5 (A=24MM) STRESS DIST. ALONG CRACK (HOT 80 SEC)

(b) 縮小モデル

付図A-6 き裂面上の応力分布図の比較(Hot Transient 80秒)

(a) 全体モデル (b) 縮小モデル

## 付録B 入口ノズルモデルの伝熱解析条件の修正に関する検討

これまでに、熱応力緩和構造モデル(1)の熱過渡強度試験結果に対する強度評価として、本研究第2報で非定常伝熱解析とその結果に基づく弾性熱応力解析が実施され、また第4報で非弾性熱応力解析が実施され、それぞれの熱応力解析結果に基づいたクリープ疲労損傷評価がなされている。第2報では、本研究第1報で得られた試験体各部の温度計測結果と伝熱解析結果が一致するような非定常伝熱解析条件（解析用に近似された熱過渡条件、試験体内表面の熱伝達係数等）が多数のパラメータ解析により定められた。また、第4報では、より詳細な解析モデルに対して、第2報で設定された非定常伝熱解析条件をそのまま用いて再度伝熱解析を行い、その結果として得られた温度分布を非弾性熱応力解析の入力条件として採用した。

これらの評価結果の内、第2報、第4報ともに入口ノズルモデルでは、ノズルと上鏡との溶接継ぎ手部に発生した周方向のき裂に対して、溶接金属特性を考慮しない均質モデルの検討範囲では、軸方向の歪範囲よりも周方向の歪範囲の方が大きいという、これまでの知見と矛盾する結果が得られた。解釈の一つの可能性として第4報において、溶接金属特性を考慮した材質不連続モデルの解析を試み、周方向の歪範囲よりも軸方向の歪範囲の方が大きいという結果が得られている。

ここでは、別の可能性として第2報で設定された非定常伝熱解析条件の再検討を行った。付図B-1に第2報および第4報で使用された非定常伝熱解析条件を示す。熱伝達境界33の領域に対応する位置には、熱電対が取り付けられていなかったために、先の解析では熱伝達境界32、34に与える熱過渡条件の平均値として与えている。そこで、今回の検討では、熱伝達境界32、33、34に着目して熱過渡条件の内挿法および熱伝達率を変えて、解析を行った。以下に解析条件を示す。

- |                   |   |
|-------------------|---|
| (1) 熱伝達境界33の熱過渡条件 | IN-32AとTI-31Aの平均値   |
| 熱伝達境界33の熱伝達率      | $1.0 \times 10^{-6}$  |
| (2) 熱伝達境界33の熱過渡条件 | TI-31Aの熱過度  |
| 熱伝達境界33の熱伝達率      | $1.0 \times 10^{-6}$  |
| (3) 熱伝達境界33の熱過渡条件 | IN-32Aの熱過度  |
| 熱伝達境界33の熱伝達率      | $1.0 \times 10^{-6}$  |
| (4) 熱伝達境界33の熱過渡条件 | IN-32AとTI-31Aの平均値   |
| 熱伝達境界33の熱伝達率      | $5.0 \times 10^{-7}$  |
| (5) 熱伝達境界33の熱過渡条件 | IN-32AとTI-31Aの平均値   |
| 熱伝達境界33の熱伝達率      | コールドトランジェント $5.0 \times 10^{-7}$ ,<br>ホットトランジェント $1.0 \times 10^{-6}$ |

- |                   |  |
|-------------------|--|
| (6) 熱伝達境界33の熱過渡条件 | コールドトランジェントTI-31Aの熱過渡,<br>ホットトランジェント IN-32Aの熱過渡        |
| 熱伝達境界33の熱伝達率      | $1.0 \times 10^{-6}$                                   |
| (7) 熱伝達境界33の熱過渡条件 | コールドトランジェントTI-31Aの熱過渡,<br>ホットトランジェント IN-32AとTI-31Aの平均値 |
| 熱伝達境界33の熱伝達率      | $1.0 \times 10^{-6}$                                   |

ここで、条件(1)は第2報で設定された非定常伝熱解析条件である。以上の解析の結果、供試体外表面で計測された温度変化と最も良く一致したのは条件(7)であった。付図B-2からB-5には供試体外表面で計測された温度変化と対比させて、条件(1)と条件(7)での解析結果を示す。

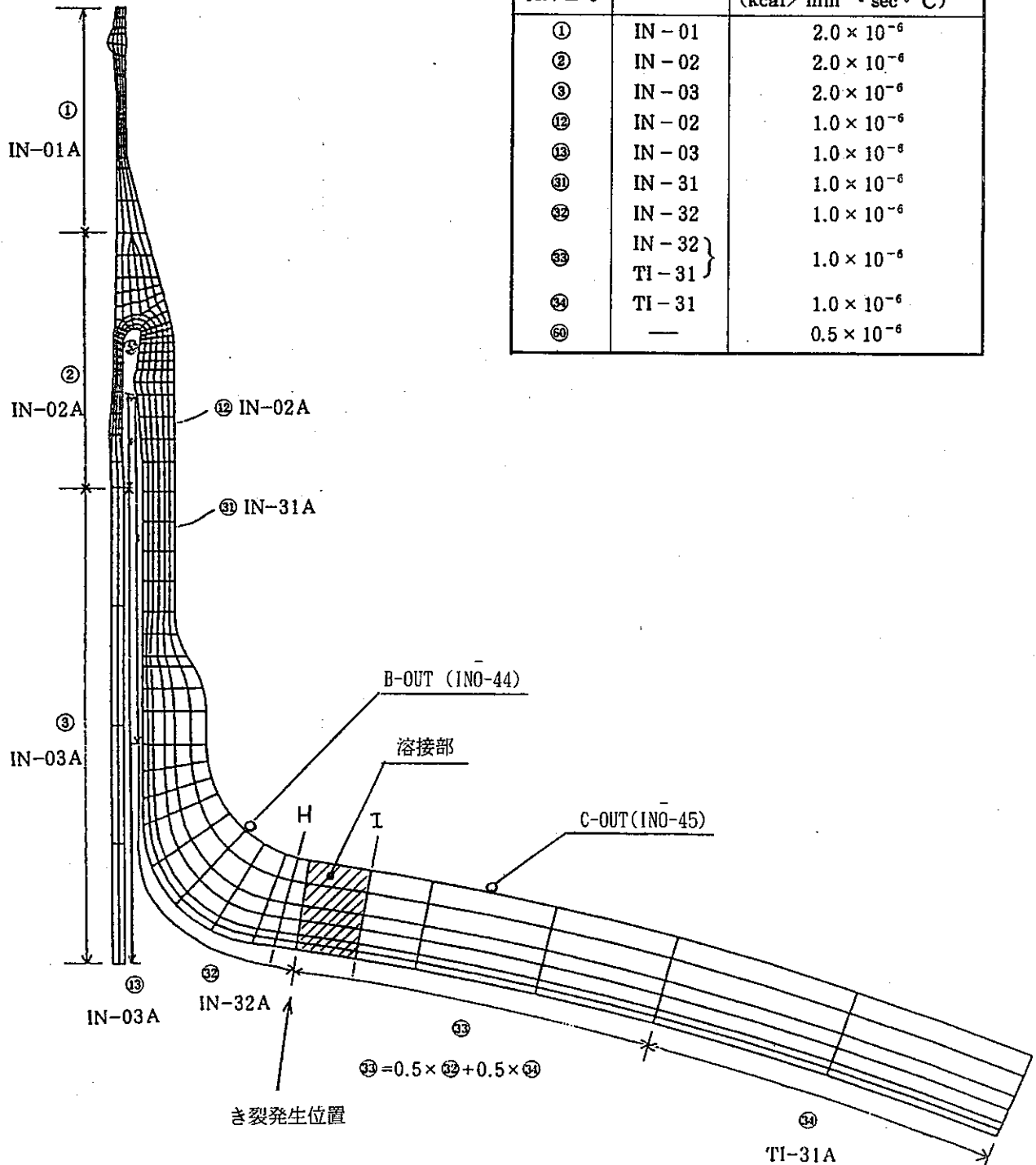
以上の検討より、本部位の伝熱解析条件を条件(1)から条件(7)に修正して、今回のき裂解析に使用した。なお、この修正によりノズルと上鏡との溶接継ぎ手部での歪範囲は、周方向歪範囲に対する軸方向歪範囲の比として0.76から0.84にまで増加したが、周方向のき裂を説明するまでには至っていない。また、今回修正した伝熱解析条件に基づく損傷評価については、上記伝熱解析条件の影響も含めて、続報にて報告予定である。

付録B 入口ノズルモデルの伝熱解析条件の修正に関する検討

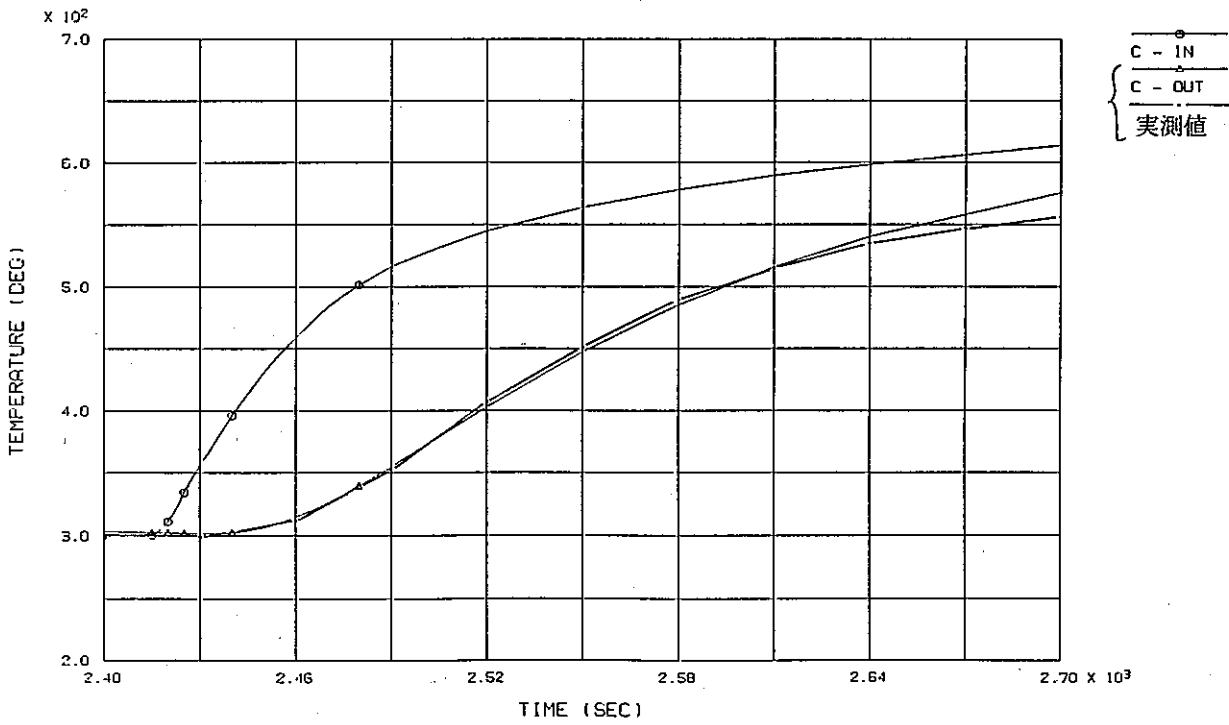
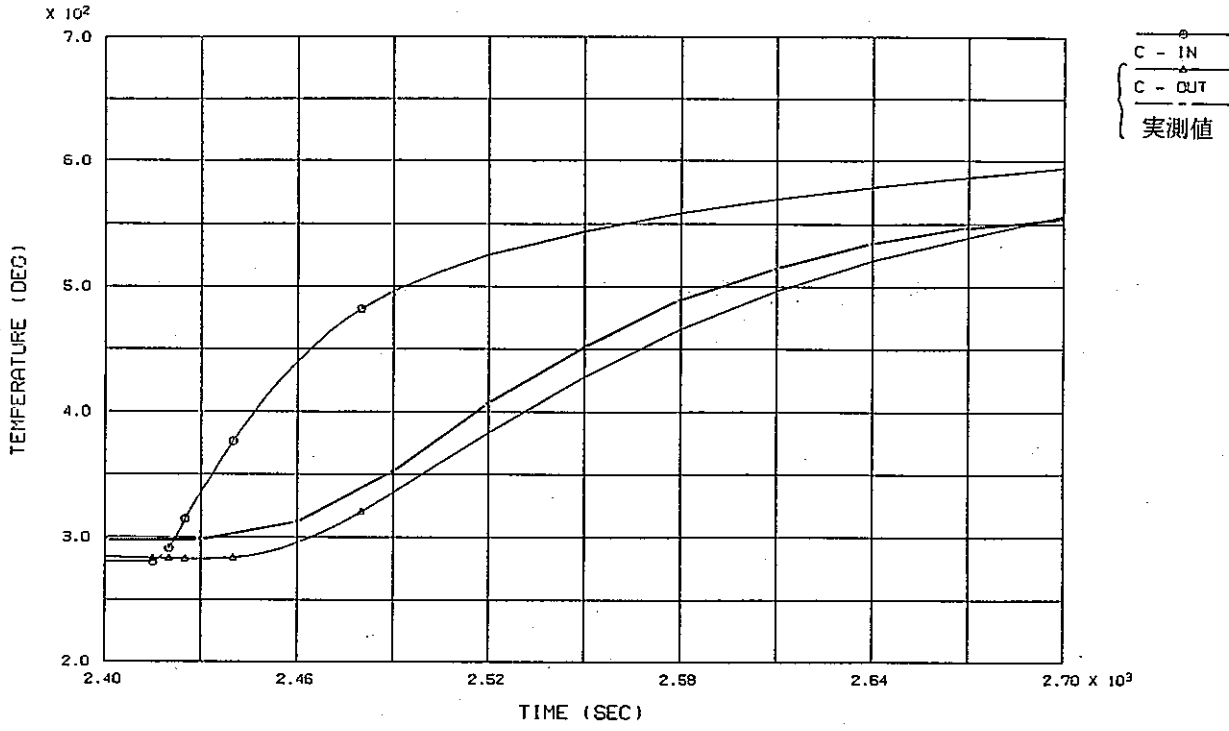
付図B-1	入口ノズルの非定常伝熱解析条件（第4報までの設定）	126
付図B-2	計測値と解析値の温度比較（C-OUT, ホットトランジェント）	
	(a) 解析条件(1) (b) 解析条件(7)	127
付図B-3	計測値と解析値の温度比較（C-OUT, コールドトランジェント）	
	(a) 解析条件(1) (b) 解析条件(7)	128
付図B-4	計測値と解析値の温度比較（B-OUT, ホットトランジェント）	
	(a) 解析条件(1) (b) 解析条件(7)	129
付図B-5	計測値と解析値の温度比較（B-OUT, コールドトランジェント）	
	(a) 解析条件(1) (b) 解析条件(7)	130

入口ノズルの熱的境界条件

熱伝達境界番号	熱過渡番号	熱伝達率 (kcal/mm <sup>2</sup> ・sec・°C)
①	IN-01	$2.0 \times 10^{-6}$
②	IN-02	$2.0 \times 10^{-6}$
③	IN-03	$2.0 \times 10^{-6}$
⑫	IN-02	$1.0 \times 10^{-6}$
⑬	IN-03	$1.0 \times 10^{-6}$
⑳	IN-31	$1.0 \times 10^{-6}$
㉑	IN-32	$1.0 \times 10^{-6}$
㉒	IN-32	$1.0 \times 10^{-6}$
㉓	IN-32 } TI-31 }	$1.0 \times 10^{-6}$
㉔	TI-31	$1.0 \times 10^{-6}$
㉕	—	$0.5 \times 10^{-6}$



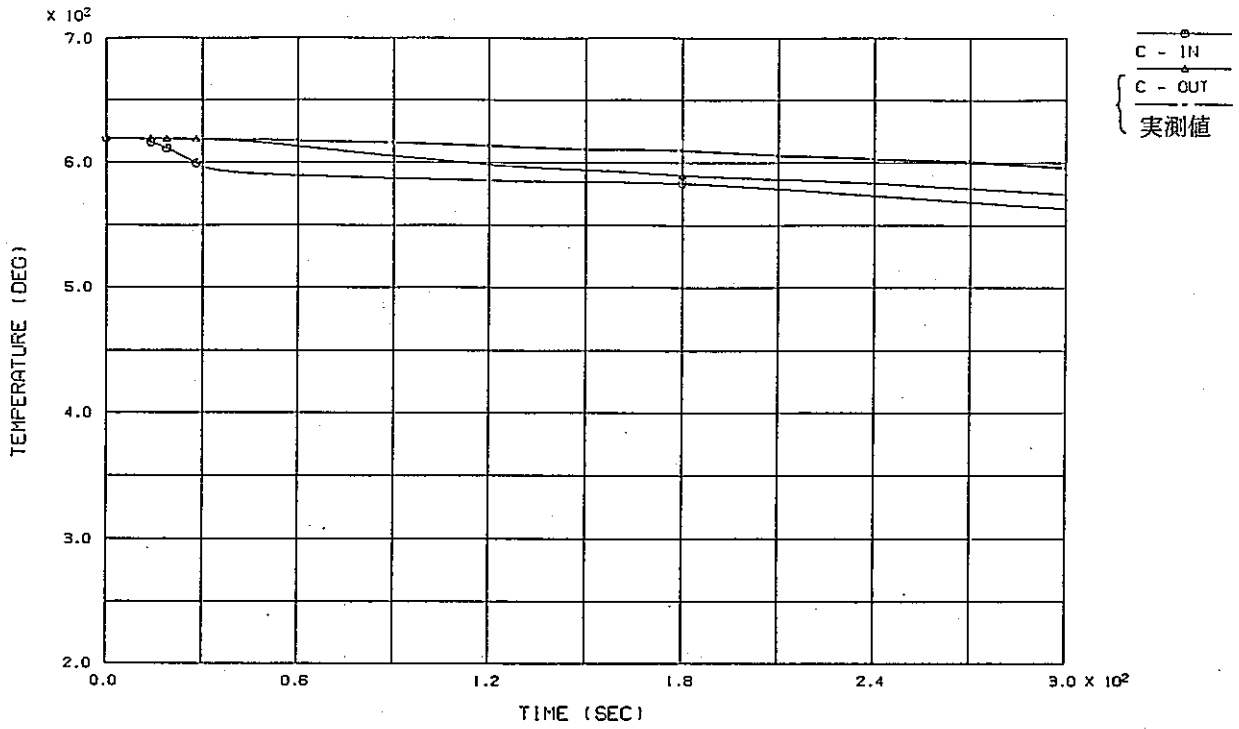
付図B-1 入口ノズルの非定常伝熱解析条件 (第4報までの設定)



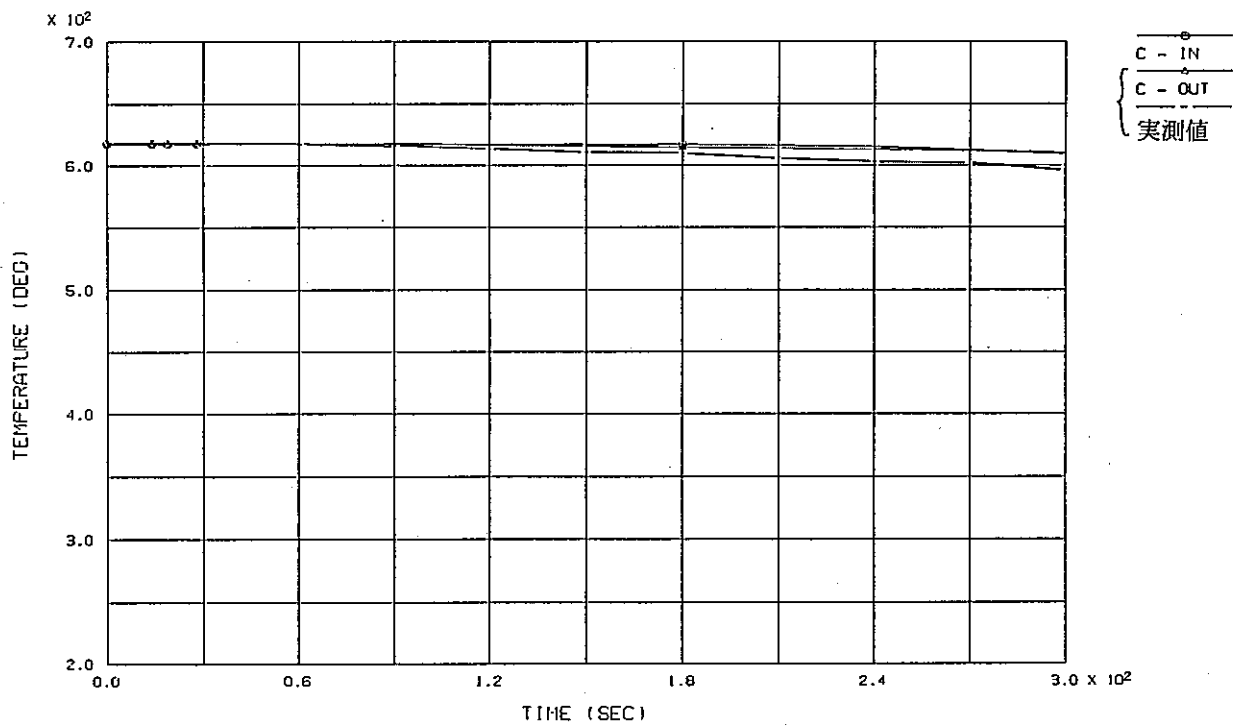
付図B-2 計測値と解析値の温度比較 (C-OUT, ホットランジェンド)

(a) 解析条件(1) (b) 解析条件(7)





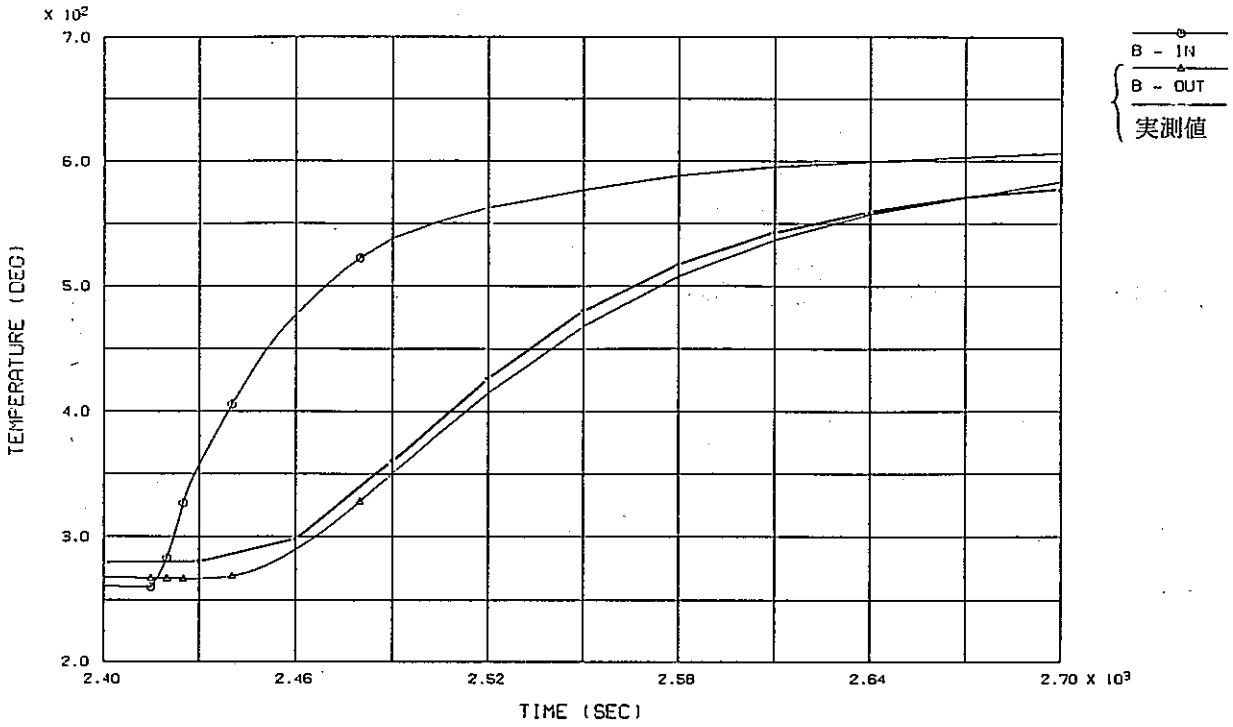
(a) 解析条件(1)



(b) 解析条件(7)

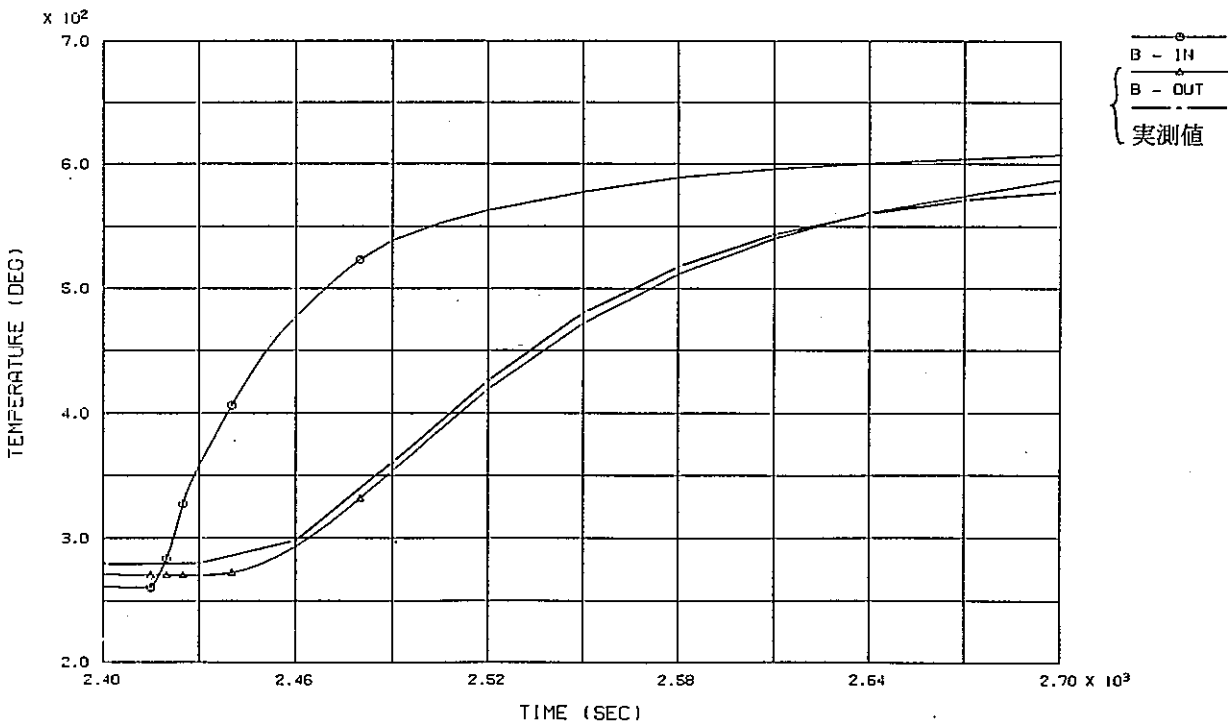
付図B-3 計測値と解析値の温度比較 (C-OUT, コールドトランジェント)

(a) 解析条件(1) (b) 解析条件(7)



SMTG-1 INLET NOZZLE TEMP. HISTORY ( IN32.44 )

(a) 解析条件(1)

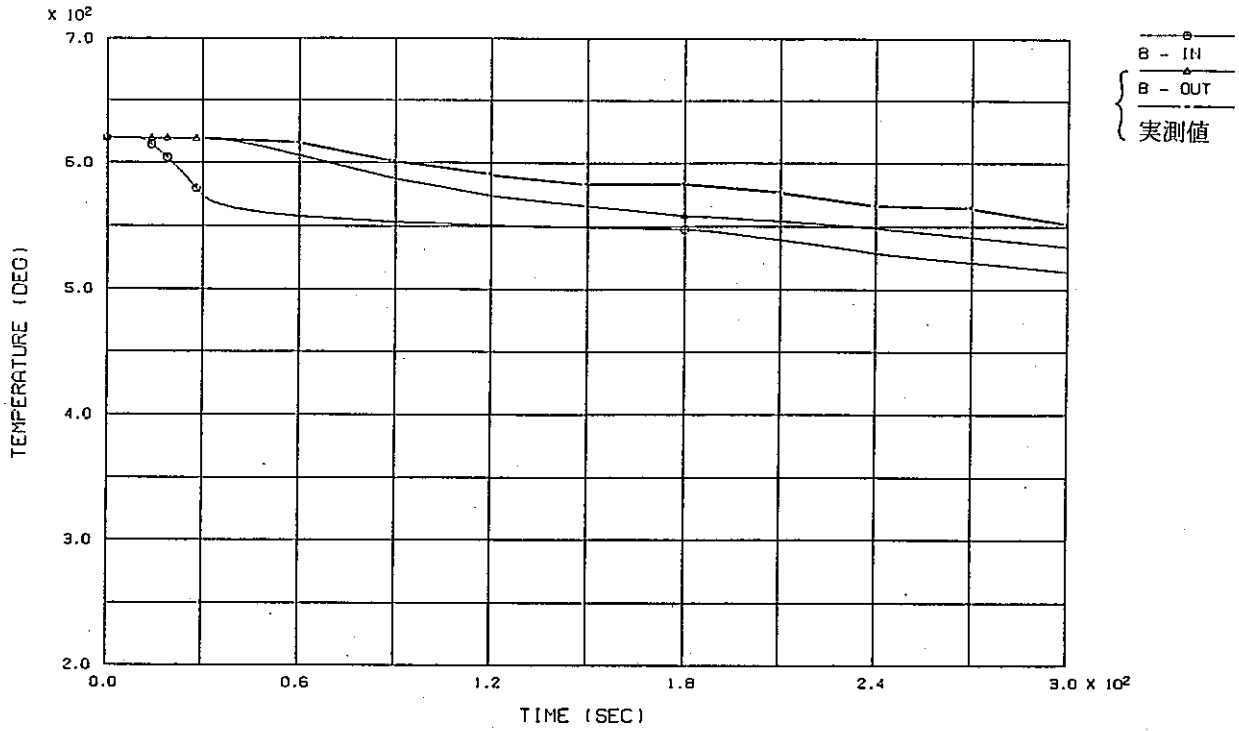


SMTG-1 INLET NOZZLE TEMP. HISTORY ( IN32.44 )

(b) 解析条件(7)

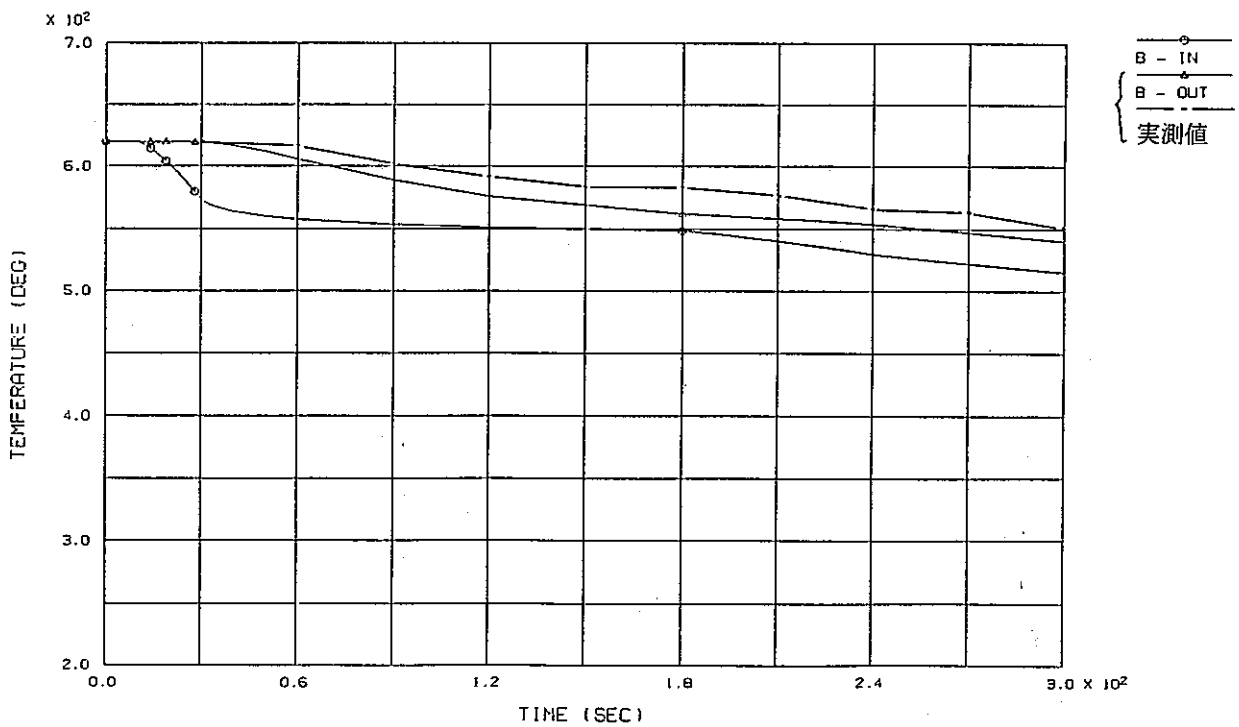
付図B-4 計測値と解析値の温度比較 (B-OUT, ホットランジェンド)

(a) 解析条件(1) (b) 解析条件(7)



SMTG-1 INLET NOZZLE TEMP. HISTORY ( IN32.44 )

(a) 解析条件(1)



SMTG-1 INLET NOZZLE TEMP. HISTORY ( IN32.44 )

(b) 解析条件(7)

付図B-5 計測値と解析値の温度比較 (B-OUT, コールドトランジェント)

(a) 解析条件(1) (b) 解析条件(7)

## 付録C き裂入りモデルの非弾性解析結果

本付録には、4種の内筒溶接部、支持スカートおよび入口ノズルの各部位における評価対象き裂について、き裂深さをパラメータとした各解析モデルの非弾性解析結果を示す。

非弾性解析（熱弾塑性クリープ解析）結果として、以下に示す図を出力した。

- (1) き裂先端における応力の履歴
- (2) き裂先端における歪の履歴
- (3) き裂先端における相当応力-相当塑性歪曲線
- (4) き裂先端における軸方向応力-歪曲線
- (5) き裂先端における周方向応力-歪曲線
- (6) き裂面に沿った応力の分布（コールドトランジェント時）
- (7) き裂面に沿った応力の分布（ホットトランジェント時）
- (8) 成分ごとの応力コンター図（コールドトランジェント時）
- (9) 成分ごとの応力コンター図（ホットトランジェント時）

このうち、本付録には(1), (2), (6), (7), (8), (9)について示した。これらの図において、応力、歪成分の座標系は全体座標系であり、内筒溶接部、支持スカートシンニング部については、Z成分がき裂面垂直方向となり、入口ノズル上鏡周継ぎ手部では、R成分が概略き裂面垂直方向となっている。上記(8), (9)についてはこれらの成分についてのみ示した。

## 付録C き裂入りモデルの非弾性解析結果

付図C-1	熱過渡1サイクル中のき裂先端での応力, 歪の経時変化 (MIG a=1mm)	
	(a) 応力 (b) 歪 .....	137
付図C-2	熱過渡1サイクル中のき裂先端での応力, 歪の経時変化 (MIG a=4mm)	
	(a) 応力 (b) 歪 .....	138
付図C-3	熱過渡1サイクル中のき裂先端での応力, 歪の経時変化 (MIG a=7mm)	
	(a) 応力 (b) 歪 .....	139
付図C-4	熱過渡1サイクル中のき裂先端での応力, 歪の経時変化 (MIG a=10mm)	
	(a) 応力 (b) 歪 .....	140
付図C-5	き裂面上の応力分布図 (MIG a=1mm)	
	(a) Cold Transient 40 sec (b) Hot Transient 50 sec .....	141
付図C-6	き裂面上の応力分布図 (MIG a=4mm)	
	(a) Cold Transient 40 sec (b) Hot Transient 50 sec .....	142
付図C-7	き裂面上の応力分布図 (MIG a=7mm)	
	(a) Cold Transient 40 sec (b) Hot Transient 50 sec .....	143
付図C-8	き裂面上の応力分布図 (MIG a=10mm)	
	(a) Cold Transient 40 sec (b) Hot Transient 50 sec .....	144
付図C-9	$\sigma_x$ 成分の応力コンター図 (MIG a=1mm)	
	(a) Cold Transient 40 sec (b) Hot Transient 50 sec .....	145
付図C-10	$\sigma_x$ 成分の応力コンター図 (MIG a=4mm)	
	(a) Cold Transient 40 sec (b) Hot Transient 50 sec .....	146
付図C-11	$\sigma_x$ 成分の応力コンター図 (MIG a=7mm)	
	(a) Cold Transient 40 sec (b) Hot Transient 50 sec .....	147
付図C-12	$\sigma_x$ 成分の応力コンター図 (MIG a=10mm)	
	(a) Cold Transient 40 sec (b) Hot Transient 50 sec .....	148
付図C-13	熱過渡1サイクル中のき裂先端での応力, 歪の経時変化 (SMAW a=1mm)	
	(a) 応力 (b) 歪 .....	149
付図C-14	熱過渡1サイクル中のき裂先端での応力, 歪の経時変化 (SMAW a=4mm)	
	(a) 応力 (b) 歪 .....	150
付図C-15	熱過渡1サイクル中のき裂先端での応力, 歪の経時変化 (SMAW a=7mm)	
	(a) 応力 (b) 歪 .....	151
付図C-16	熱過渡1サイクル中のき裂先端での応力, 歪の経時変化 (SMAW a=10mm)	
	(a) 応力 (b) 歪 .....	152

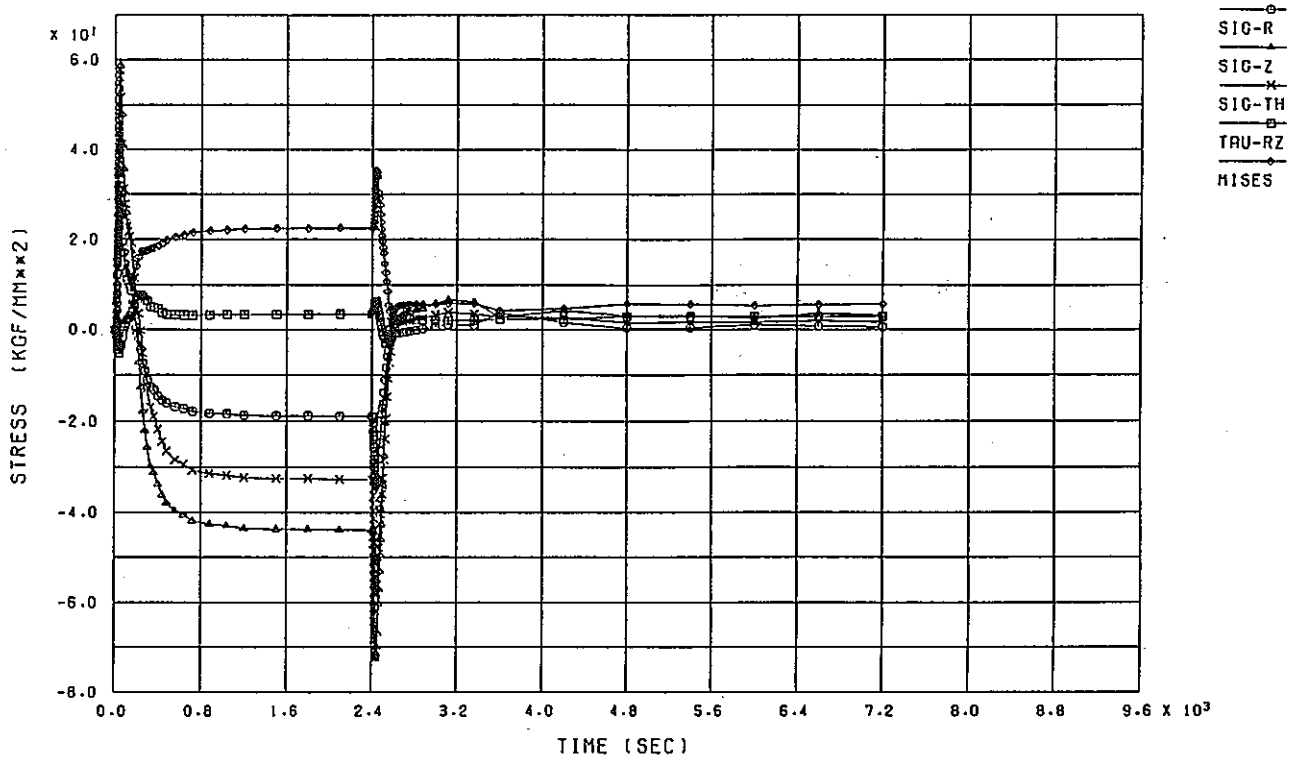
付図C-17	き裂面上の応力分布図 (SMAW a=1 mm)	
	(a) Cold Transient 40 sec (b) Hot Transient 50 sec	153
付図C-18	き裂面上の応力分布図 (SMAW a=4 mm)	
	(a) Cold Transient 40 sec (b) Hot Transient 50 sec	154
付図C-19	き裂面上の応力分布図 (SMAW a=7 mm)	
	(a) Cold Transient 40 sec (b) Hot Transient 50 sec	155
付図C-20	き裂面上の応力分布図 (SMAW a=10mm)	
	(a) Cold Transient 40 sec (b) Hot Transient 50 sec	156
付図C-21	$\sigma_z$ 成分の応力コンター図 (SMAW a=1 mm)	
	(a) Cold Transient 45 sec (b) Hot Transient 60 sec	157
付図C-22	$\sigma_z$ 成分の応力コンター図 (SMAW a=4 mm)	
	(a) Cold Transient 45 sec (b) Hot Transient 60 sec	158
付図C-23	$\sigma_z$ 成分の応力コンター図 (SMAW a=7 mm)	
	(a) Cold Transient 45 sec (b) Hot Transient 60 sec	159
付図C-24	$\sigma_z$ 成分の応力コンター図 (SMAW a=10mm)	
	(a) Cold Transient 45 sec (b) Hot Transient 60 sec	160
付図C-25	熱過渡1サイクル中のき裂先端での応力, 歪の経時変化 (EBW a=1 mm)	
	(a) 応力 (b) 歪	161
付図C-26	熱過渡1サイクル中のき裂先端での応力, 歪の経時変化 (EBW a=4 mm)	
	(a) 応力 (b) 歪	162
付図C-27	熱過渡1サイクル中のき裂先端での応力, 歪の経時変化 (EBW a=7 mm)	
	(a) 応力 (b) 歪	163
付図C-28	熱過渡1サイクル中のき裂先端での応力, 歪の経時変化 (EBW a=10mm)	
	(a) 応力 (b) 歪	164
付図C-29	き裂面上の応力分布図 (EBW a=1 mm)	
	(a) Cold Transient 50 sec (b) Hot Transient 60 sec	165
付図C-30	き裂面の応力上分布図 (EBW a=4 mm)	
	(a) Cold Transient 50 sec (b) Hot Transient 60 sec	166
付図C-31	き裂面上の応力分布図 (EBW a=7 mm)	
	(a) Cold Transient 50 sec (b) Hot Transient 60 sec	167
付図C-32	き裂面上の応力分布図 (EBW a=10mm)	
	(a) Cold Transient 50 sec (b) Hot Transient 60 sec	168
付図C-33	$\sigma_x$ 成分の応力コンター図 (EBW a=1 mm)	
	(a) Cold Transient 50 sec (b) Hot Transient 60 sec	169

付図C-34	$\sigma_z$ 成分の応力コンター図 (EBW a=4mm)	
	(a) Cold Transient 50 sec (b) Hot Transient 60 sec	170
付図C-35	$\sigma_z$ 成分の応力コンター図 (EBW a=7mm)	
	(a) Cold Transient 50 sec (b) Hot Transient 60 sec	171
付図C-36	$\sigma_z$ 成分の応力コンター図 (EBW a=10mm)	
	(a) Cold Transient 50 sec (b) Hot Transient 60 sec	172
付図C-37	熱過渡1サイクル中のき裂先端での応力, 歪の経時変化 (TIG a=1mm)	
	(a) 応力 (b) 歪	173
付図C-38	熱過渡1サイクル中のき裂先端での応力, 歪の経時変化 (TIG a=6mm)	
	(a) 応力 (b) 歪	174
付図C-39	熱過渡1サイクル中のき裂先端での応力, 歪の経時変化 (TIG a=11mm)	
	(a) 応力 (b) 歪	175
付図C-40	熱過渡1サイクル中のき裂先端での応力, 歪の経時変化 (TIG a=16mm)	
	(a) 応力 (b) 歪	176
付図C-41	き裂面上の応力分布図 (TIG a=1mm)	
	(a) Cold Transient 65 sec (b) Hot Transient 65 sec	177
付図C-42	き裂面上の応力分布図 (TIG a=6mm)	
	(a) Cold Transient 65 sec (b) Hot Transient 65 sec	178
付図C-43	き裂面上の応力分布図 (TIG a=11mm)	
	(a) Cold Transient 65 sec (b) Hot Transient 65 sec	179
付図C-44	き裂面上の応力分布図 (TIG a=16mm)	
	(a) Cold Transient 65 sec (b) Hot Transient 65 sec	180
付図C-45	$\sigma_z$ 成分の応力コンター図 (TIG a=1mm)	
	(a) Cold Transient 65 sec (b) Hot Transient 65 sec	181
付図C-46	$\sigma_z$ 成分の応力コンター図 (TIG a=6mm)	
	(a) Cold Transient 65 sec (b) Hot Transient 65 sec	182
付図C-47	$\sigma_z$ 成分の応力コンター図 (TIG a=11mm)	
	(a) Cold Transient 65 sec (b) Hot Transient 65 sec	183
付図C-48	$\sigma_z$ 成分の応力コンター図 (TIG a=16mm)	
	(a) Cold Transient 65 sec (b) Hot Transient 65 sec	184
付図C-49	熱過渡1サイクル中のき裂先端での応力, 歪の経時変化 (SKIRT a=1mm)	
	(a) 応力 (b) 歪	185
付図C-50	熱過渡1サイクル中のき裂先端での応力, 歪の経時変化 (SKIRT a=6mm)	
	(a) 応力 (b) 歪	186

付図C-51	熱過渡1サイクル中のき裂先端での応力, 歪の経時変化 (SKIRT a=11mm)	
	(a) 応力 (b) 歪 .....	187
付図C-52	熱過渡1サイクル中のき裂先端での応力, 歪の経時変化 (SKIRT a=16mm)	
	(a) 応力 (b) 歪 .....	188
付図C-53	き裂面上の応力分布図 (SKIRT a=1mm)	
	(a) Cold Transient 120 sec (b) Hot Transient 240 sec .....	189
付図C-54	き裂面上の応力分布図 (SKIRT a=6mm)	
	(a) Cold Transient 120 sec (b) Hot Transient 240 sec .....	190
付図C-55	き裂面上の応力分布図 (SKIRT a=11mm)	
	(a) Cold Transient 120 sec (b) Hot Transient 240 sec .....	191
付図C-56	き裂面上の応力分布図 (SKIRT a=16mm)	
	(a) Cold Transient 120 sec (b) Hot Transient 240 sec .....	192
付図C-57	$\sigma_x$ 成分の応力コンター図 (SKIRT a=1mm)	
	(a) Cold Transient 120 sec (b) Hot Transient 240 sec .....	193
付図C-58	$\sigma_x$ 成分の応力コンター図 (SKIRT a=6mm)	
	(a) Cold Transient 120 sec (b) Hot Transient 240 sec .....	194
付図C-59	$\sigma_x$ 成分の応力コンター図 (SKIRT a=11mm)	
	(a) Cold Transient 120 sec (b) Hot Transient 240 sec .....	195
付図C-60	$\sigma_x$ 成分の応力コンター図 (SKIRT a=16mm)	
	(a) Cold Transient 120 sec (b) Hot Transient 240 sec .....	196
付図C-61	熱過渡1サイクル中のき裂先端での応力, 歪の経時変化 (Inlet Nozzle a=1mm)	
	(a) 応力 (b) 歪 .....	197
付図C-62	熱過渡1サイクル中のき裂先端での応力, 歪の経時変化 (Inlet Nozzle a=6mm)	
	(a) 応力 (b) 歪 .....	198
付図C-63	熱過渡1サイクル中のき裂先端での応力, 歪の経時変化 (Inlet Nozzle a=12mm)	
	(a) 応力 (b) 歪 .....	199
付図C-64	熱過渡1サイクル中のき裂先端での応力, 歪の経時変化 (Inlet Nozzle a=18mm)	
	(a) 応力 (b) 歪 .....	200
付図C-65	熱過渡1サイクル中のき裂先端での応力, 歪の経時変化 (Inlet Nozzle a=24mm)	
	(a) 応力 (b) 歪 .....	201

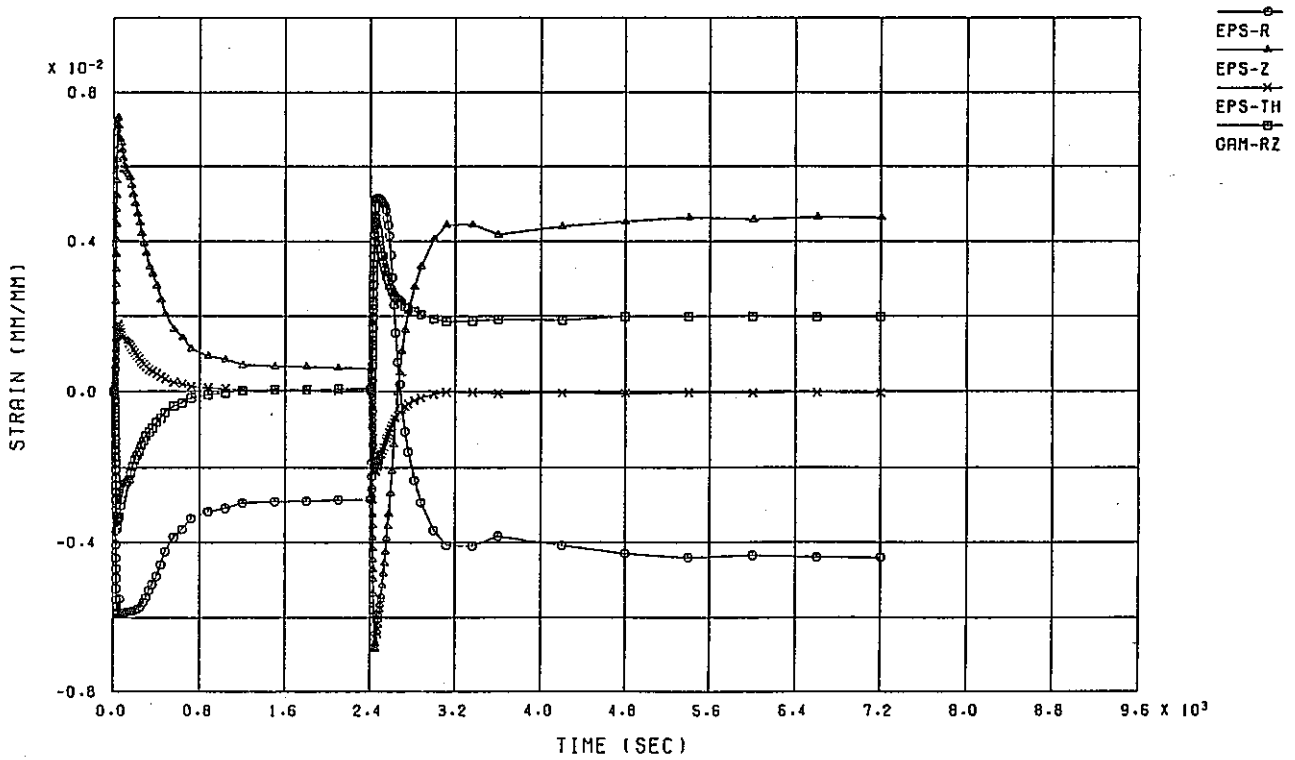


付図C-66	き裂面上の応力分布図 (Inlet Nozzle a=1mm)	
	(a) Cold Transient 600 sec (b) Hot Transient 80 sec	..... 202
付図C-67	き裂面上の応力分布図 (Inlet Nozzle a=6mm)	
	(a) Cold Transient 600 sec (b) Hot Transient 80 sec	..... 203
付図C-68	き裂面上の応力分布図 (Inlet Nozzle a=12mm)	
	(a) Cold Transient 600 sec (b) Hot Transient 80 sec	..... 204
付図C-69	き裂面上の応力分布図 (Inlet Nozzle a=18mm)	
	(a) Cold Transient 600 sec (b) Hot Transient 80 sec	..... 205
付図C-70	き裂面上の応力分布図 (Inlet Nozzle a=24mm)	
	(a) Cold Transient 600 sec (b) Hot Transient 80 sec	..... 206
付図C-71	$\sigma_R$ 成分の応力コンター図 (Inlet Nozzle a=1mm)	
	(a) Cold Transient 600 sec (b) Hot Transient 80 sec	..... 207
付図C-72	$\sigma_R$ 成分の応力コンター図 (Inlet Nozzle a=6mm)	
	(a) Cold Transient 600 sec (b) Hot Transient 80 sec	..... 208
付図C-73	$\sigma_R$ 成分の応力コンター図 (Inlet Nozzle a=12mm)	
	(a) Cold Transient 600 sec (b) Hot Transient 80 sec	..... 209
付図C-74	$\sigma_R$ 成分の応力コンター図 (Inlet Nozzle a=18mm)	
	(a) Cold Transient 600 sec (b) Hot Transient 80 sec	..... 210
付図C-75	$\sigma_R$ 成分の応力コンター図 (Inlet Nozzle a=24mm)	
	(a) Cold Transient 600 sec (b) Hot Transient 80 sec	..... 211



WELD D702W-1 (A= 1MM) STRESS HISTORY D702-A CRACK TIP

(a) 応力

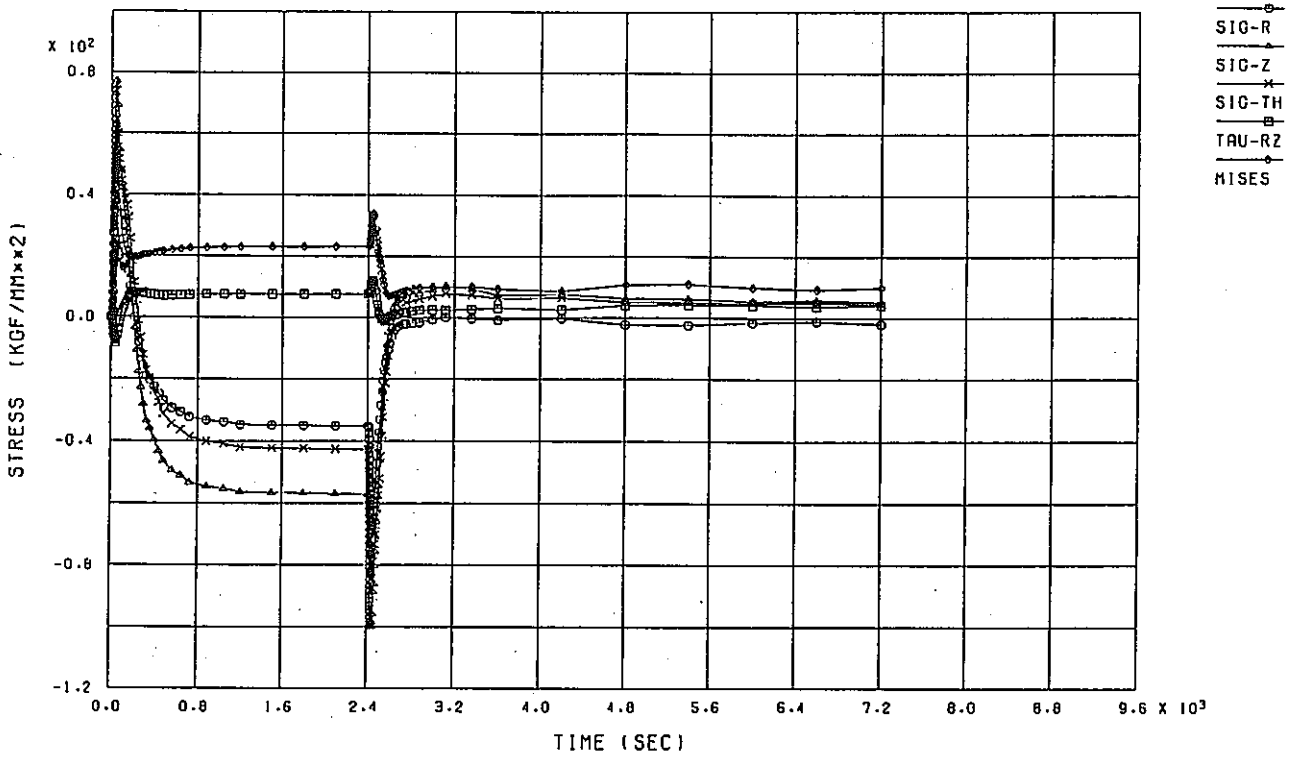


WELD D702W-1 (A= 1MM) STRAIN HISTORY D702-A CRACK TIP

(b) 歪

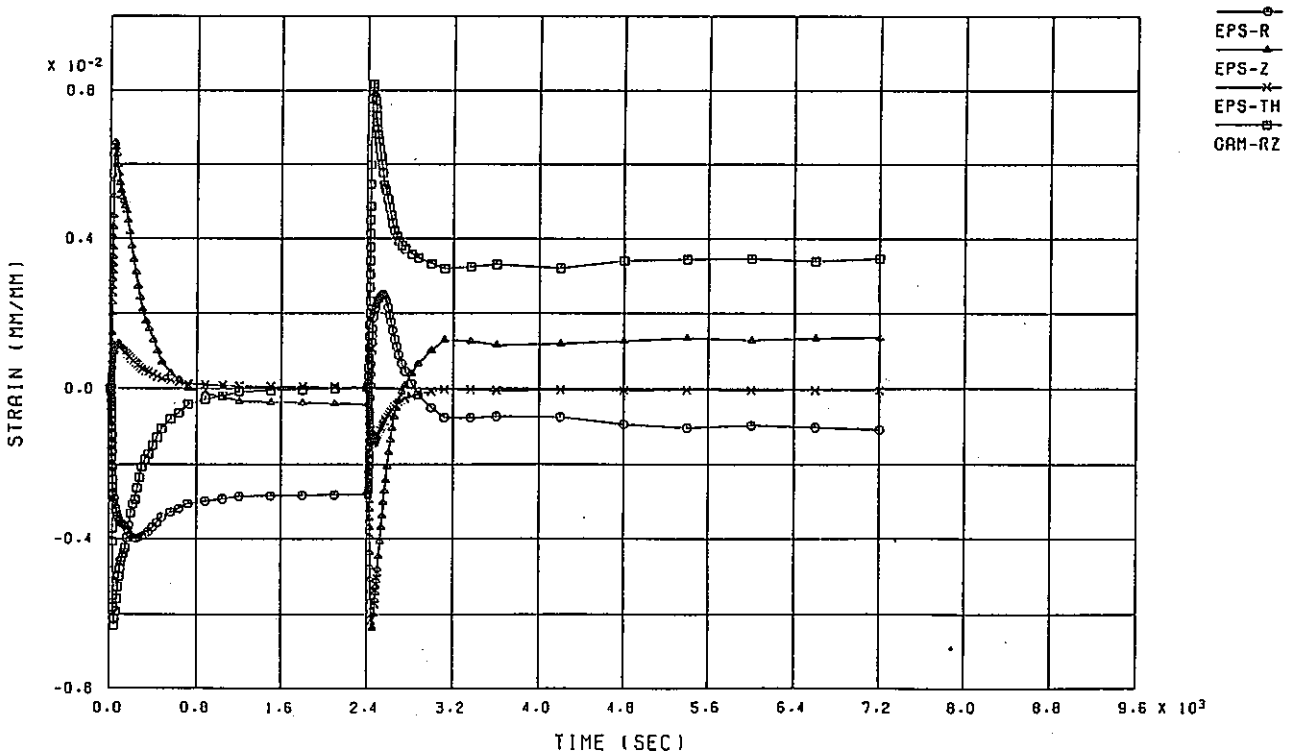
付図C-1 熱過渡1サイクル中のき裂先端での応力, 歪の経時変化 (MIG a= 1mm)

(a) 応力 (b) 歪



WELD D702W-2 (A= 4MM) STRESS HISTORY D702-A CRACK TIP

(a) 応力

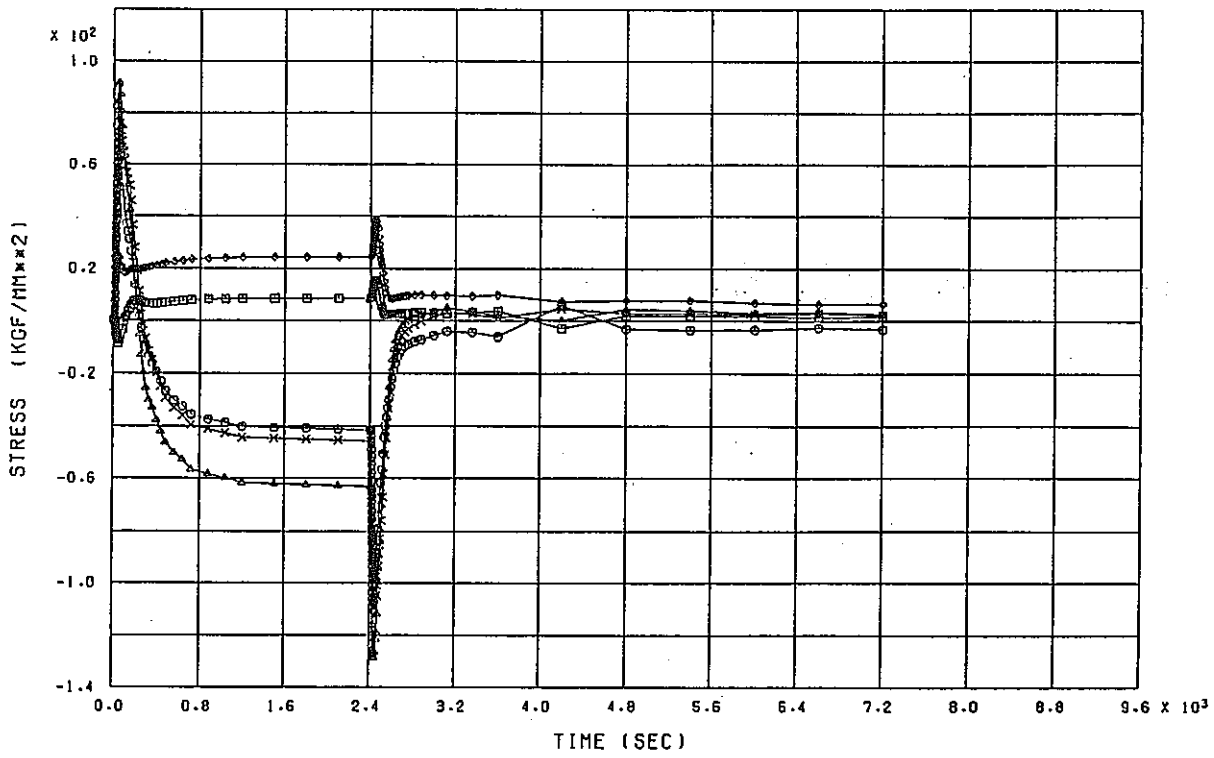


WELD D702W-2 (A= 4MM) STRAIN HISTORY D702-A CRACK TIP

(b) 歪

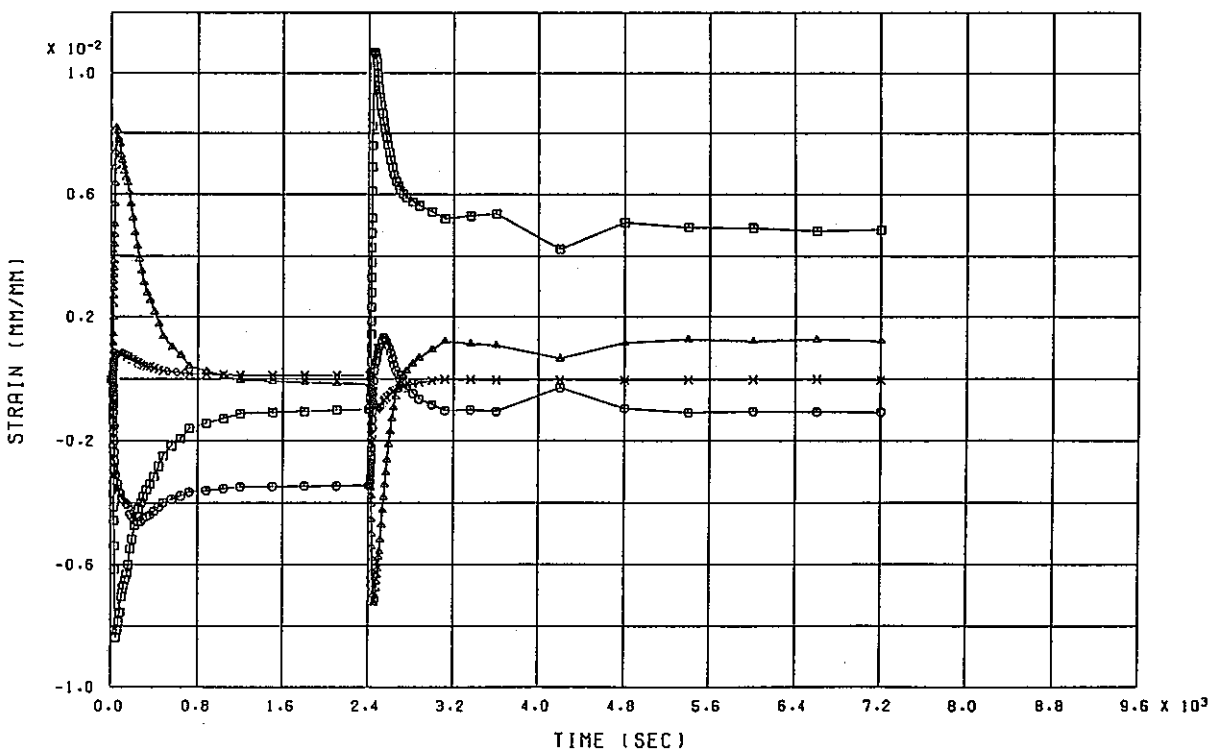
付図C-2 熱過渡1サイクル中のき裂先端での応力, 歪の経時変化 (MIG a= 4mm)

(a) 応力 (b) 歪



WELD D702W-3 (A= 7MM) STRESS HISTORY D702-A CRACK TIP

(a) 応力

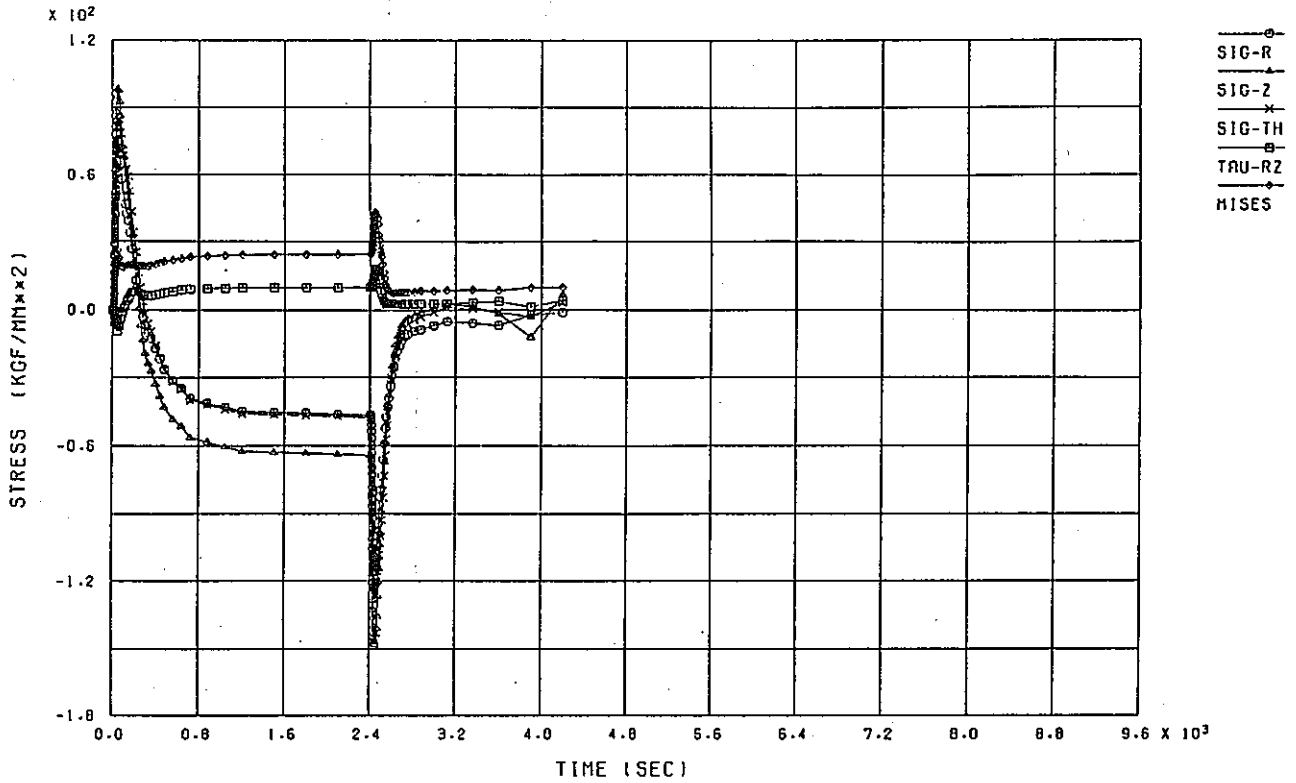


WELD D702W-3 (A= 7MM) STRAIN HISTORY D702-A CRACK TIP

(b) 歪

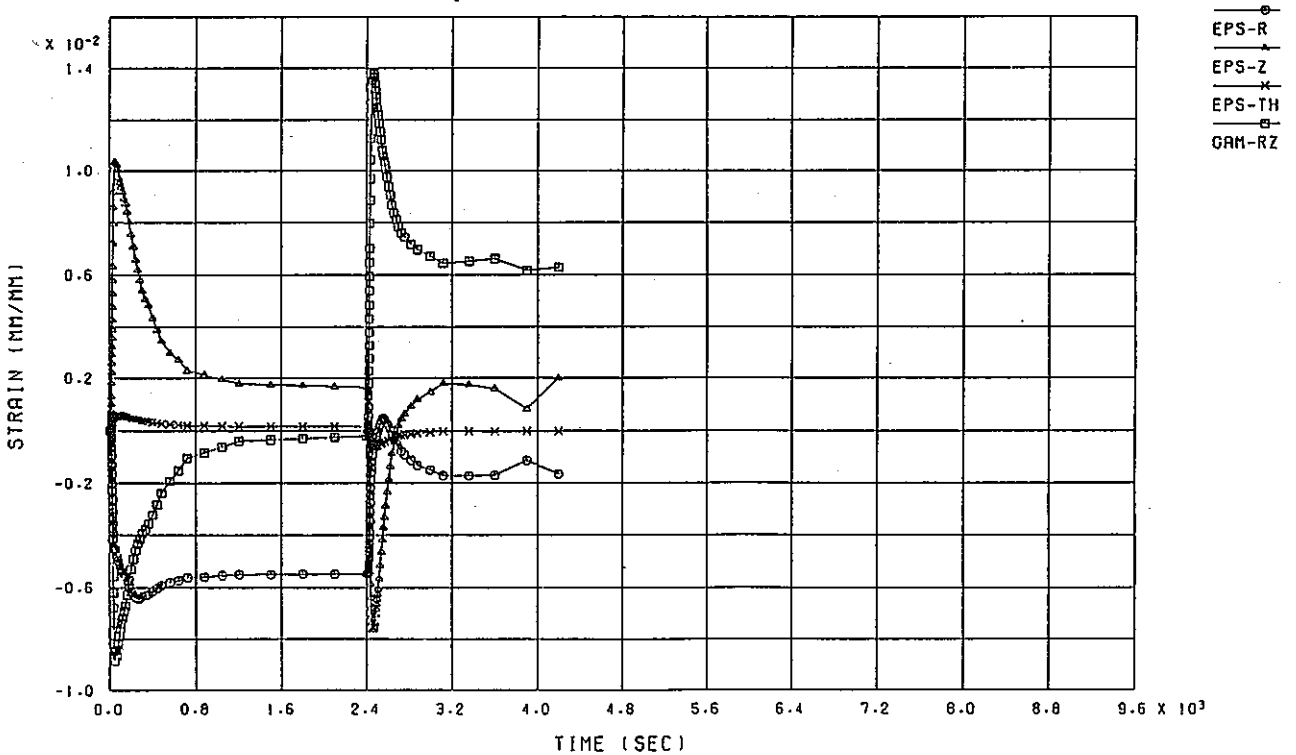
付図C-3 熱過渡1サイクル中のき裂先端での応力, 歪の経時変化 (MIG a=7mm)

(a) 応力 (b) 歪



WELD D702W-4 (A=10MM) STRESS HISTORY D702-A CRACK TIP

(a) 応力

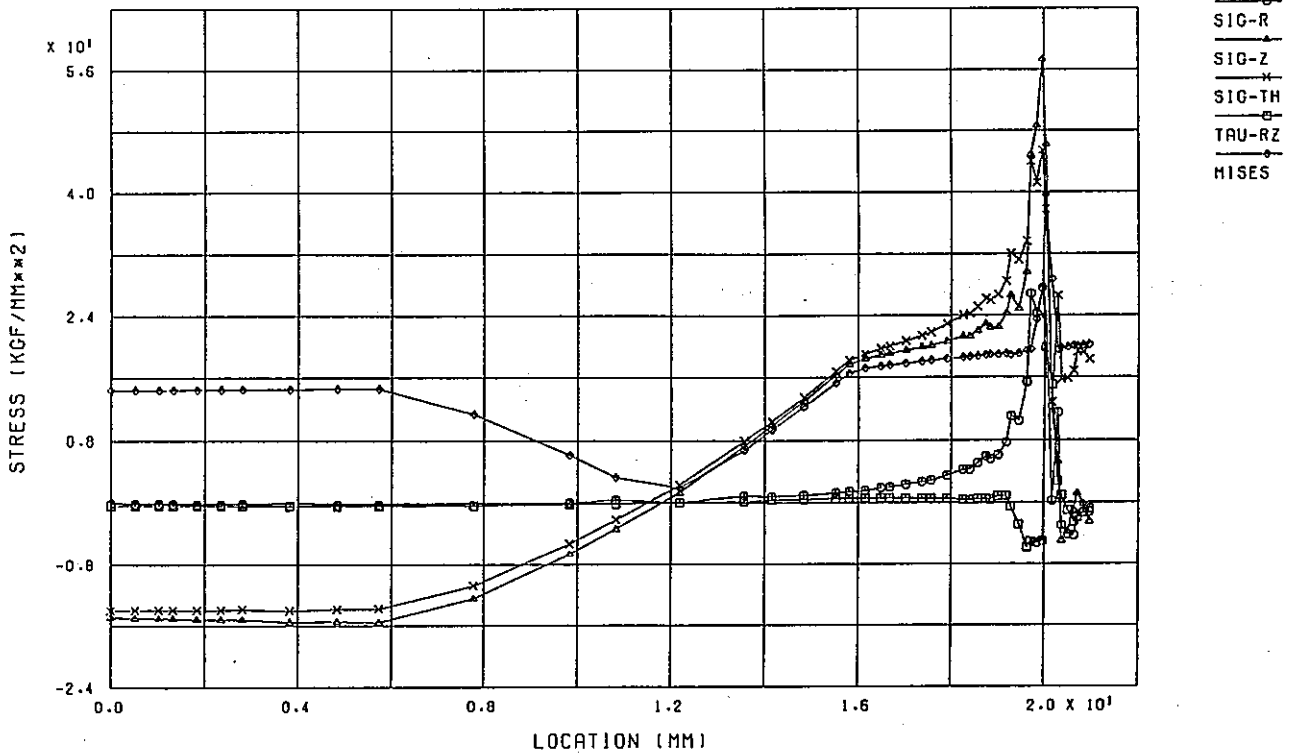


WELD D702W-4 (A=10MM) STRAIN HISTORY D702-A CRACK TIP

(b) 歪

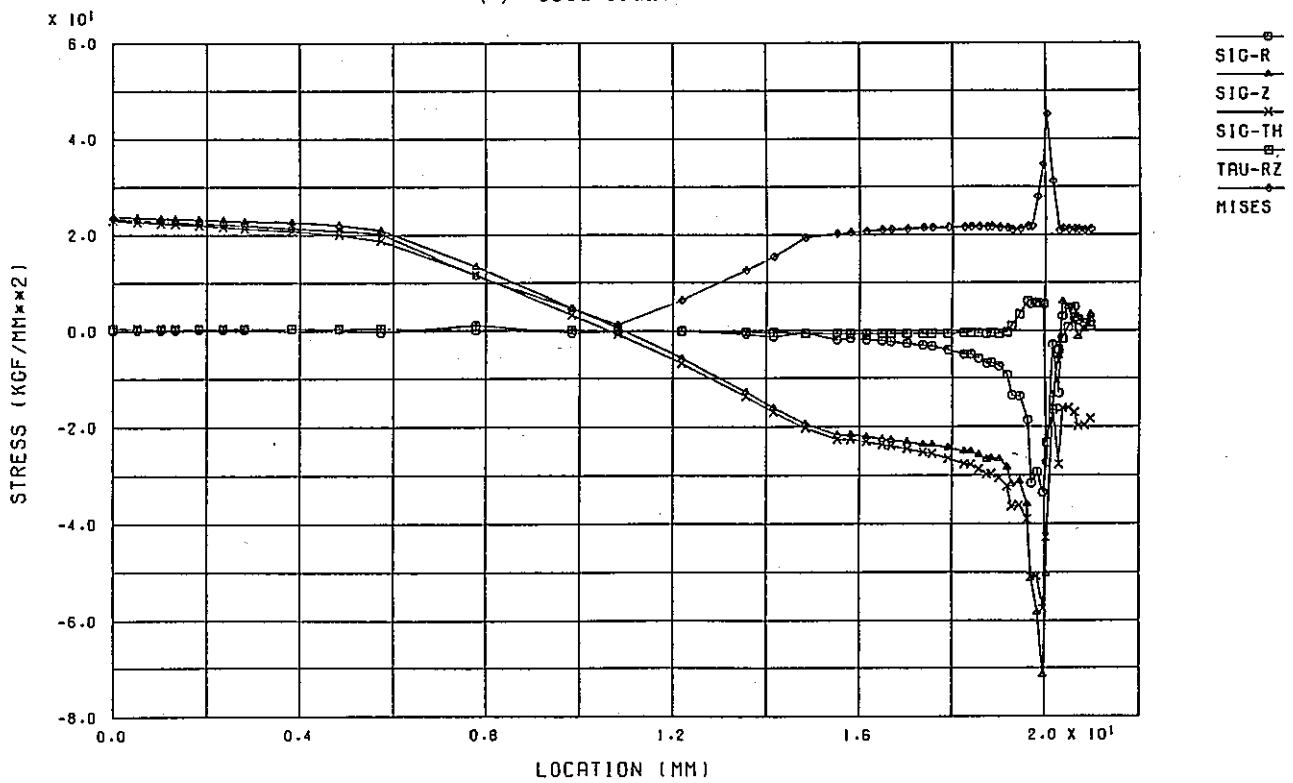
付図C-4 熱過渡1サイクル中のき裂先端での応力, 歪の経時変化 (MIG a=10mm)

(a) 応力 (b) 歪



WELD D702W-1 (A= 1MM) STRESS DIST. ALONG CRACK (COLD 40 SEC)

(a) Cold Transient 40 sec

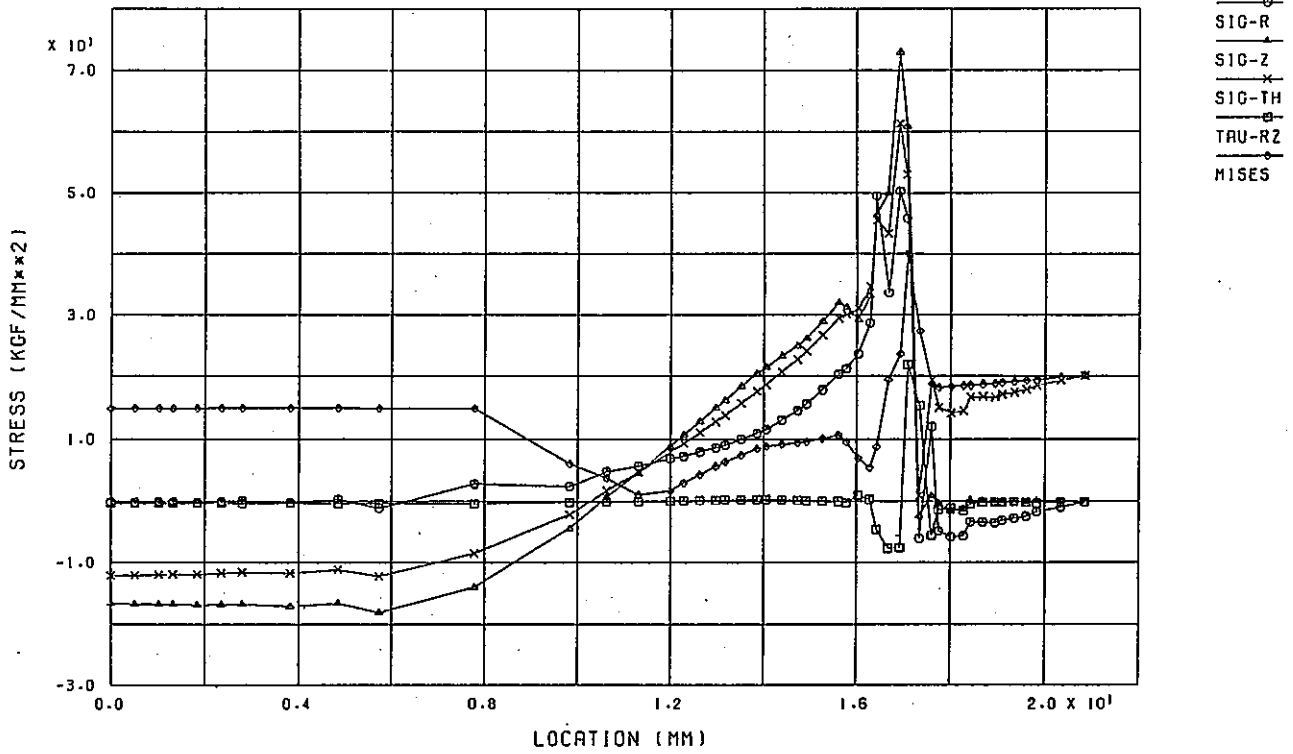


WELD D702W-1 (A= 1MM) STRESS DIST. ALONG CRACK (HOT 50 SEC)

(b) Hot Transient 50 sec

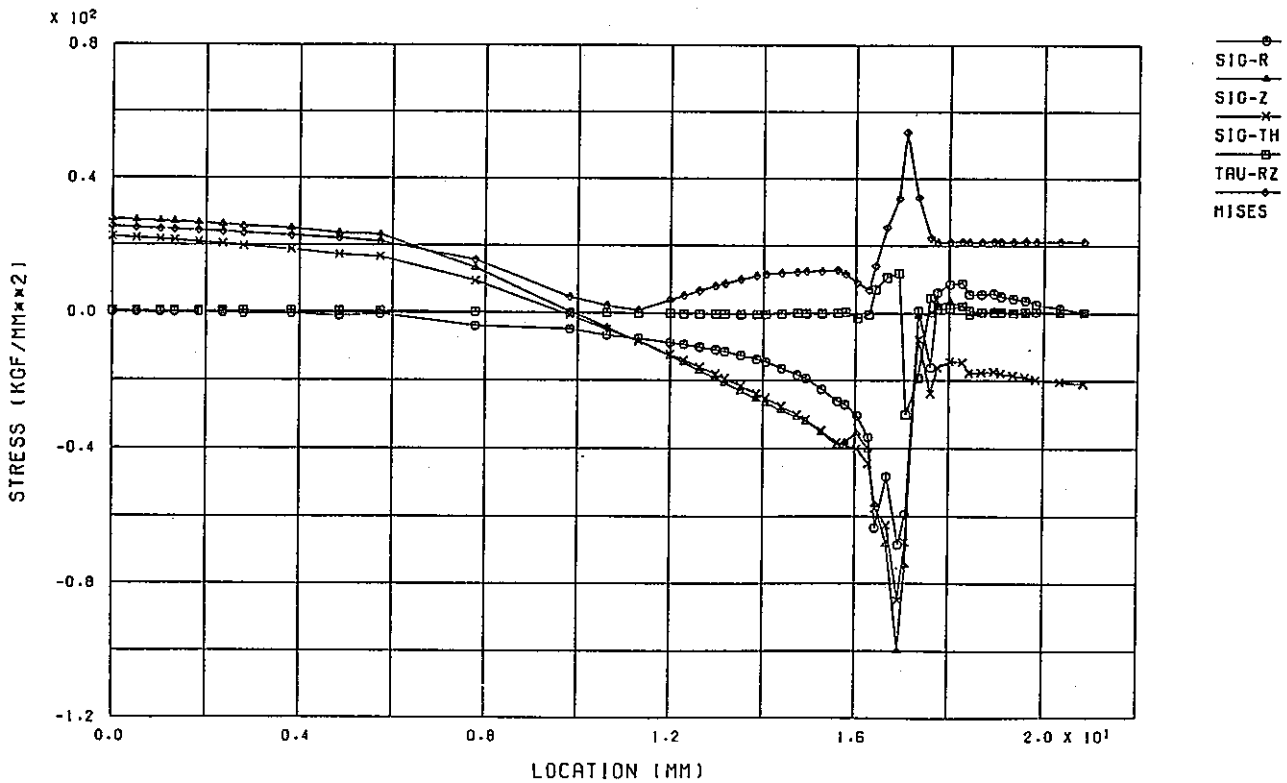
付図C-5 き裂面上の応力分布図 (MIG a= 1mm)

(a) Cold Transient 40 sec (b) Hot Transient 50 sec



WELD D702W-2 (A= 4MM) STRESS DIST. ALONG CRACK (COLD 40 SEC)

(a) Cold Transient 40 sec

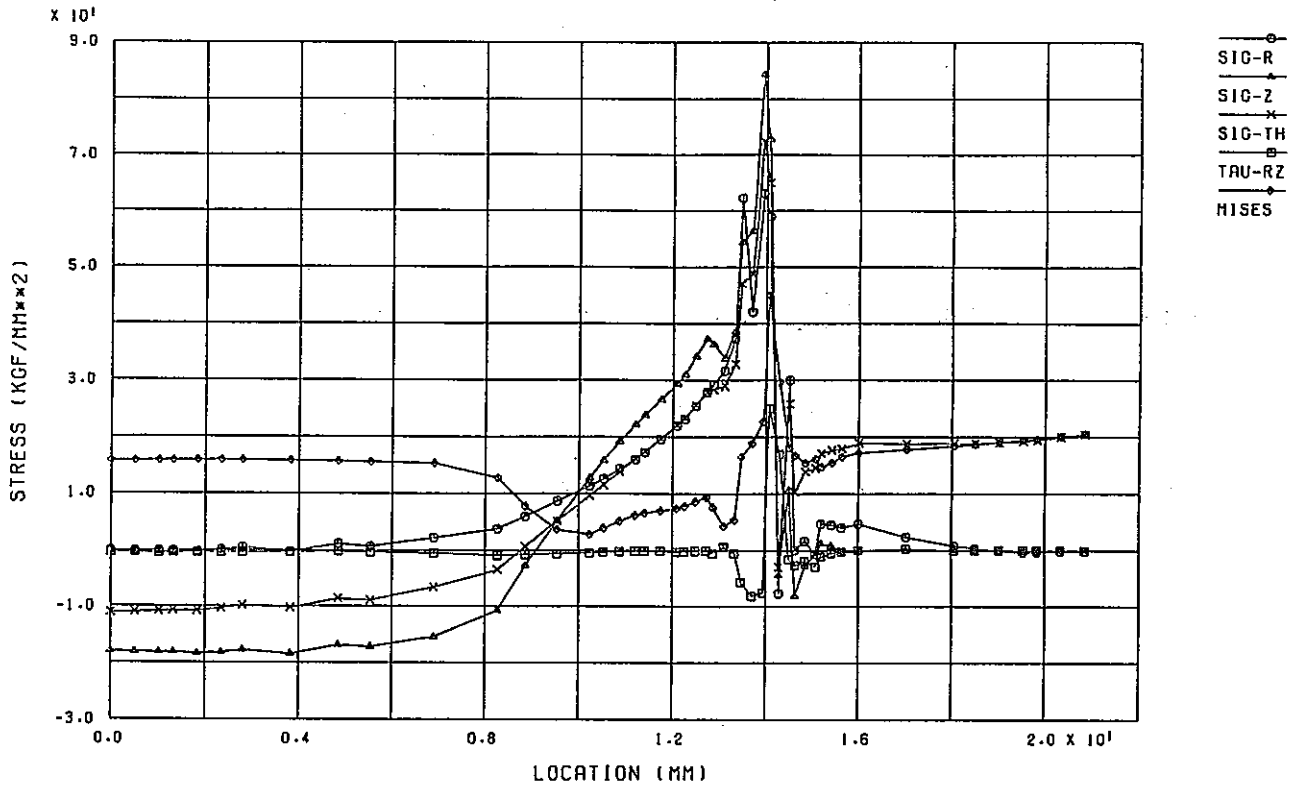


WELD D702W-2 (A= 4MM) STRESS DIST. ALONG CRACK (HOT 50 SEC)

(b) Hot Transient 50 sec

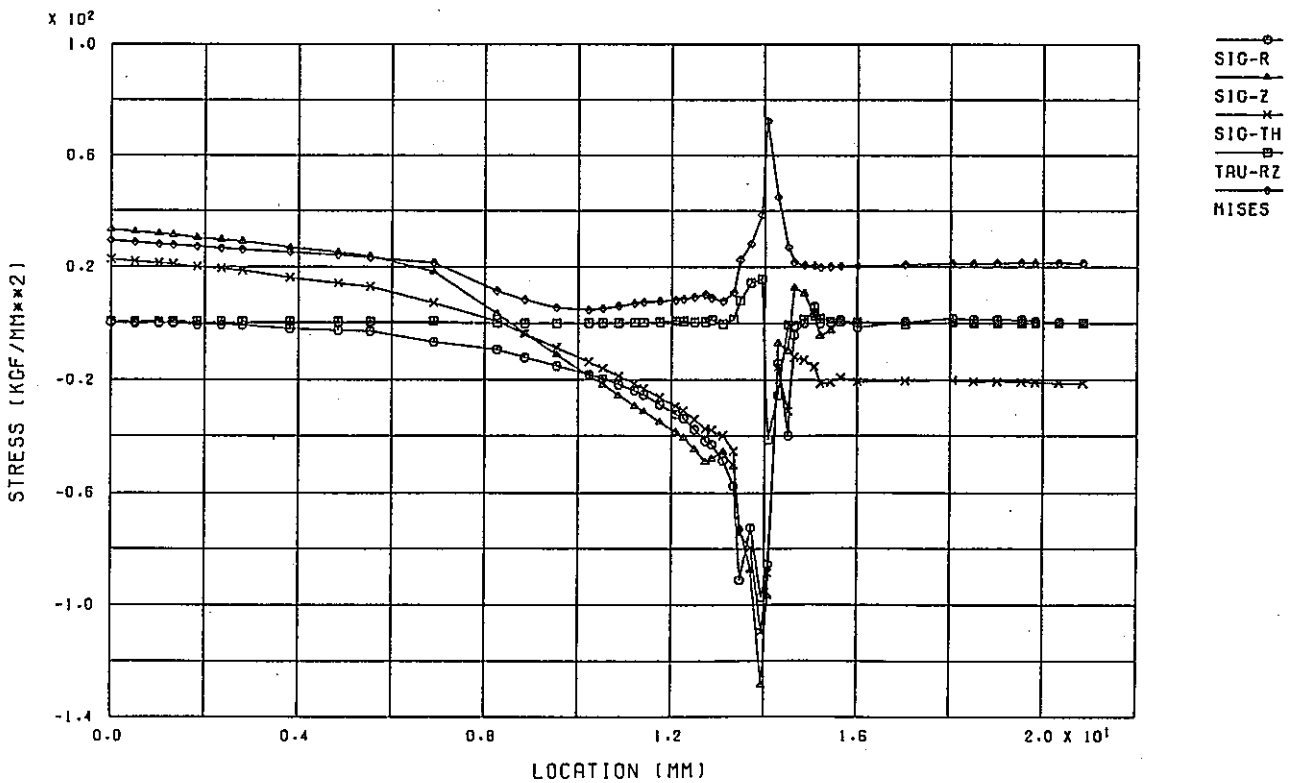
付図C-6 き裂面上の応力分布図 (MIG a= 4mm)

(a) Cold Transient 40 sec (b) Hot Transient 50 sec



WELD D702W-3 (A= 7MM) STRESS DIST. ALONG CRACK (COLD 40 SEC)

(a) Cold Transient 40 sec



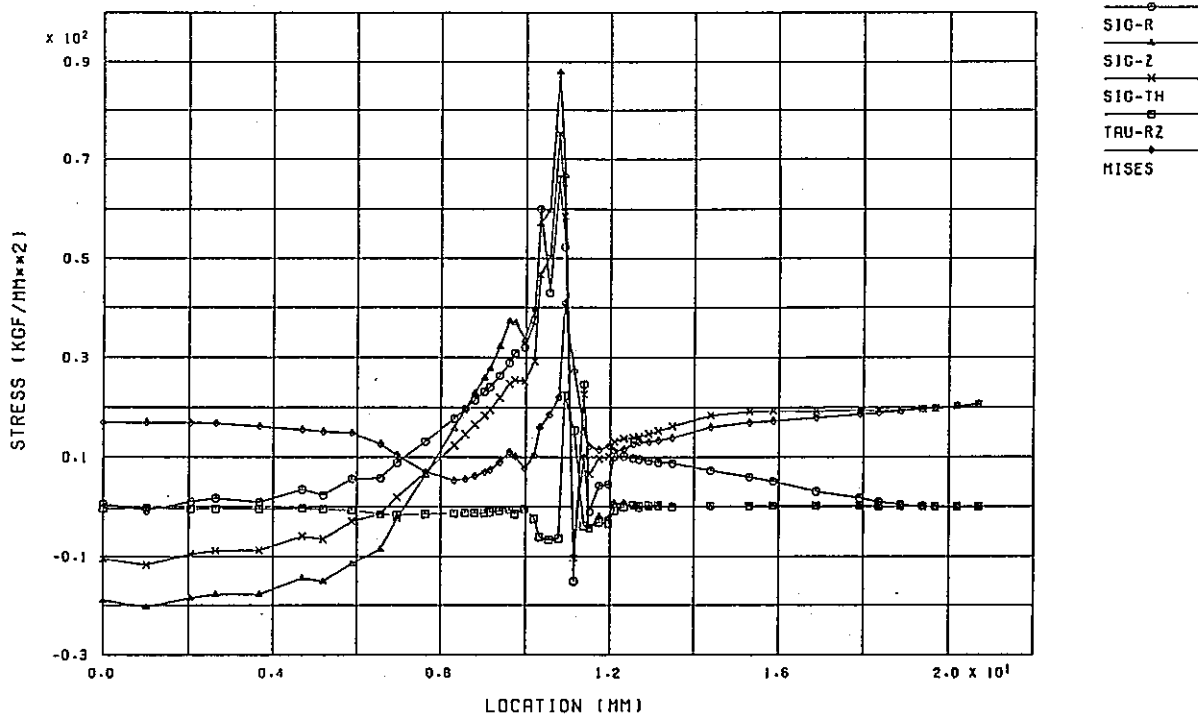
WELD D702W-3 (A= 7MM) STRESS DIST. ALONG CRACK (HOT 50 SEC)

(b) Hot Transient 50 sec

付図C-7 き裂面上の応力分布図 (MIG a= 7mm)

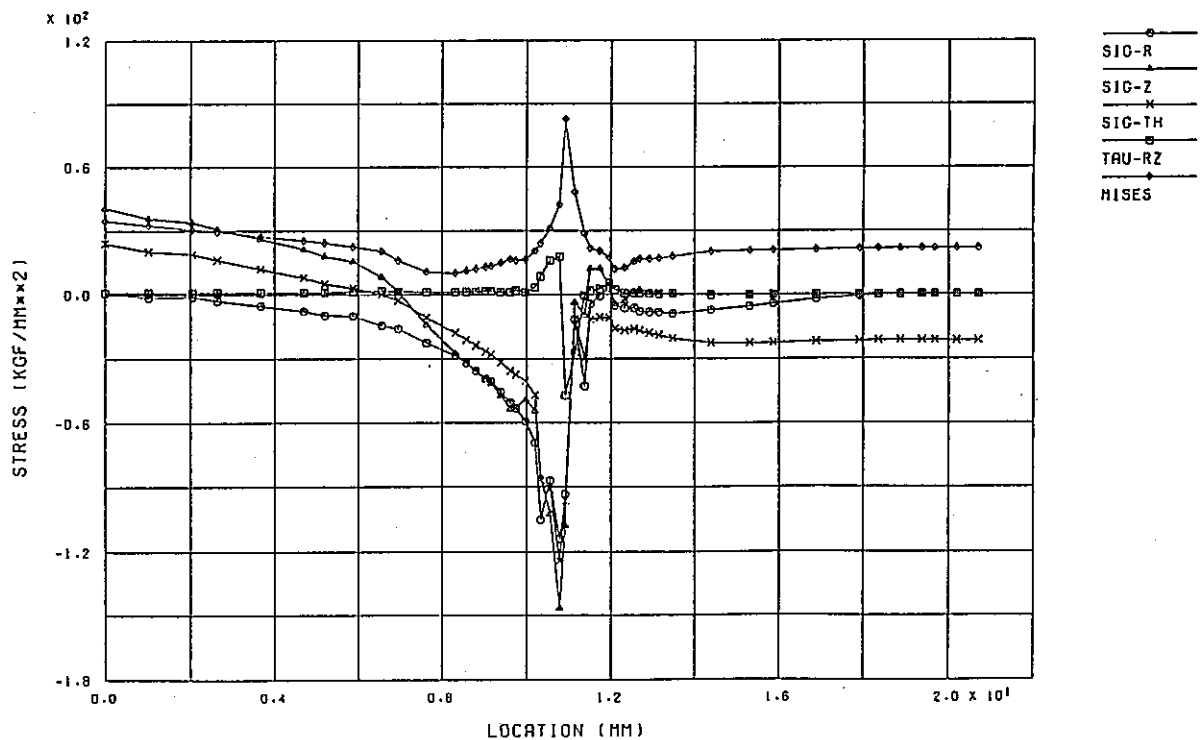
(a) Cold Transient 40 sec (b) Hot Transient 50 sec





WELD D702W-4 (R=10MM) STRESS DIST. ALONG CRACK (COLD 40 SEC)

(a) Cold Transient 40 sec



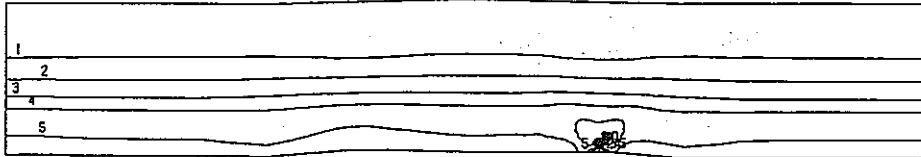
WELD D702W-4 (R=10MM) STRESS DIST. ALONG CRACK (HOT 50 SEC)

(b) Hot Transient 50 sec

付図C-8 き裂面上の応力分布図 (MIG a=10mm)

(a) Cold Transient 40 sec (b) Hot Transient 50 sec

CONTOUR VALUES  
 1 -12.1000  
 2 -4.30000  
 3 3.500000  
 4 11.30000  
 5 19.10000  
 6 26.90000  
 7 34.70000  
 8 42.50000  
 9 50.30000  
 10 58.10000



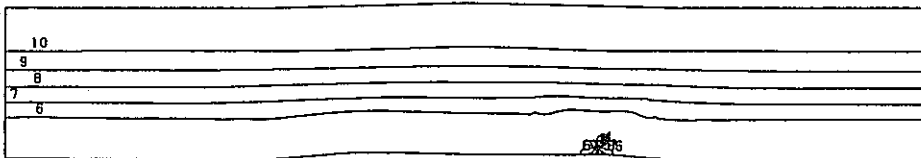
STEP NO. 28

GEOM. SCALE 1 \_\_\_\_\_ 20.0000

WELD D702W-1 (A= 1MM) SIG-Z (I-ST. COLD. 40SEC)

(a) Cold Transient 40 sec

CONTOUR VALUES  
 1 -67.6000  
 2 -58.0000  
 3 -48.4000  
 4 -38.8000  
 5 -29.2000  
 6 -19.6000  
 7 -10.0000  
 8 -0.40000  
 9 9.200000  
 10 18.80000



STEP NO. 88

GEOM. SCALE 1 \_\_\_\_\_ 20.0000

WELD D702W-1 (A= 1MM) SIG-Z (I-ST. HOT. 50SEC)

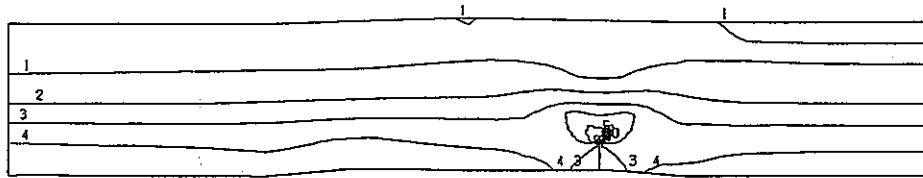
(b) Hot Transient 50 sec

付図C-9  $\sigma_z$ 成分の応力コンター図 (MIG a=1mm)

(a) Cold Transient 40 sec (b) Hot Transient 50 sec

CONTOUR VALUES

- 1 -12.9000
- 2 -2.90000
- 3 7.100000
- 4 17.10000
- 5 27.10000
- 6 37.10000
- 7 47.10000
- 8 57.10000
- 9 67.10000
- 10 77.10000



STEP NO. 28

GEOM. SCALE 20.0000

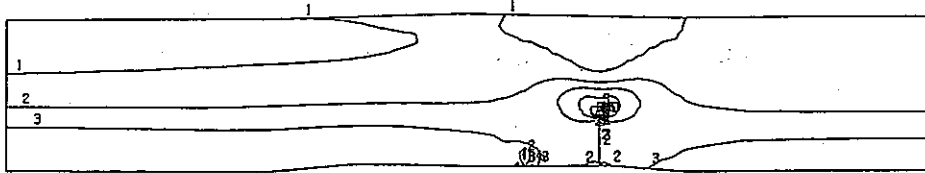
WELD D702W-2 (R= 4MM) SIG-Z (1-ST.COLD. 40SEC)

(a) Cold Transient 40 sec

付図C-10  $\sigma_z$ 成分の応力コンター図 (MIG a= 4 mm)

(a) Cold Transient 40 sec (b) Hot Transient 50 sec

CONTOUR VALUES  
 1 -12.0000  
 2 0.0  
 3 12.00000  
 4 24.00000  
 5 36.00000  
 6 48.00000  
 7 60.00000  
 8 72.00000  
 9 84.00000  
 10 96.00000



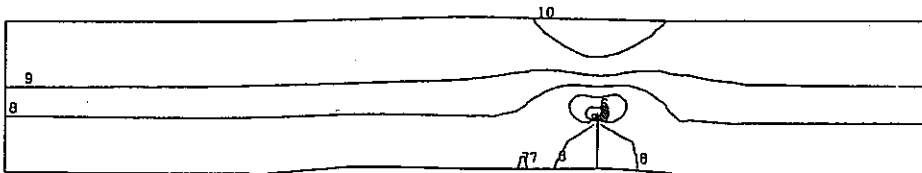
STEP NO. 28

GEOM. SCALE  20.0000

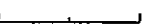
WELD D702W-3 (R= 7MM) SIG-Z (1-ST.COLD. 40SEC)

(a) Cold Transient 40 sec

CONTOUR VALUES  
 1 -128.000  
 2 -111.000  
 3 -94.0000  
 4 -77.0000  
 5 -60.0000  
 6 -43.0000  
 7 -26.0000  
 8 -9.00000  
 9 8.000000  
 10 25.00000



STEP NO. 88

GEOM. SCALE  20.0000

WELD D702W-3 (R= 7MM) SIG-Z (1-ST. HOT. 50SEC)

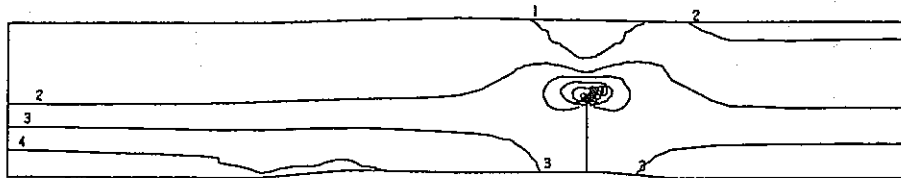
(b) Hot Transient 50 sec

付図C-11  $\sigma_z$ 成分の応力コンター図 (MIG a=7mm)

(a) Cold Transient 40 sec (b) Hot Transient 50 sec

CONTOUR VALUES

- 1 -15.0000
- 2 -4.00000
- 3 7.000000
- 4 18.00000
- 5 29.00000
- 6 40.00000
- 7 51.00000
- 8 62.00000
- 9 73.00000
- 10 84.00000



STEP NO. 28

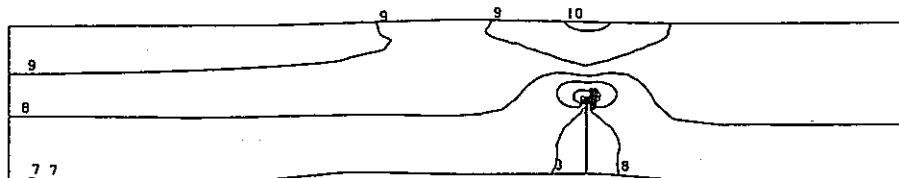
GEOH. SCALE 1 \_\_\_\_\_ 20.0000

WELD D702W-4 (R=10MM) SIG-Z (1-ST. COLD, 40SEC)

(a) Cold Transient 40 sec

CONTOUR VALUES

- 1 -144.000
- 2 -124.000
- 3 -104.000
- 4 -84.0000
- 5 -64.0000
- 6 -44.0000
- 7 -24.0000
- 8 -4.00000
- 9 16.00000
- 10 36.00000



STEP NO. 88

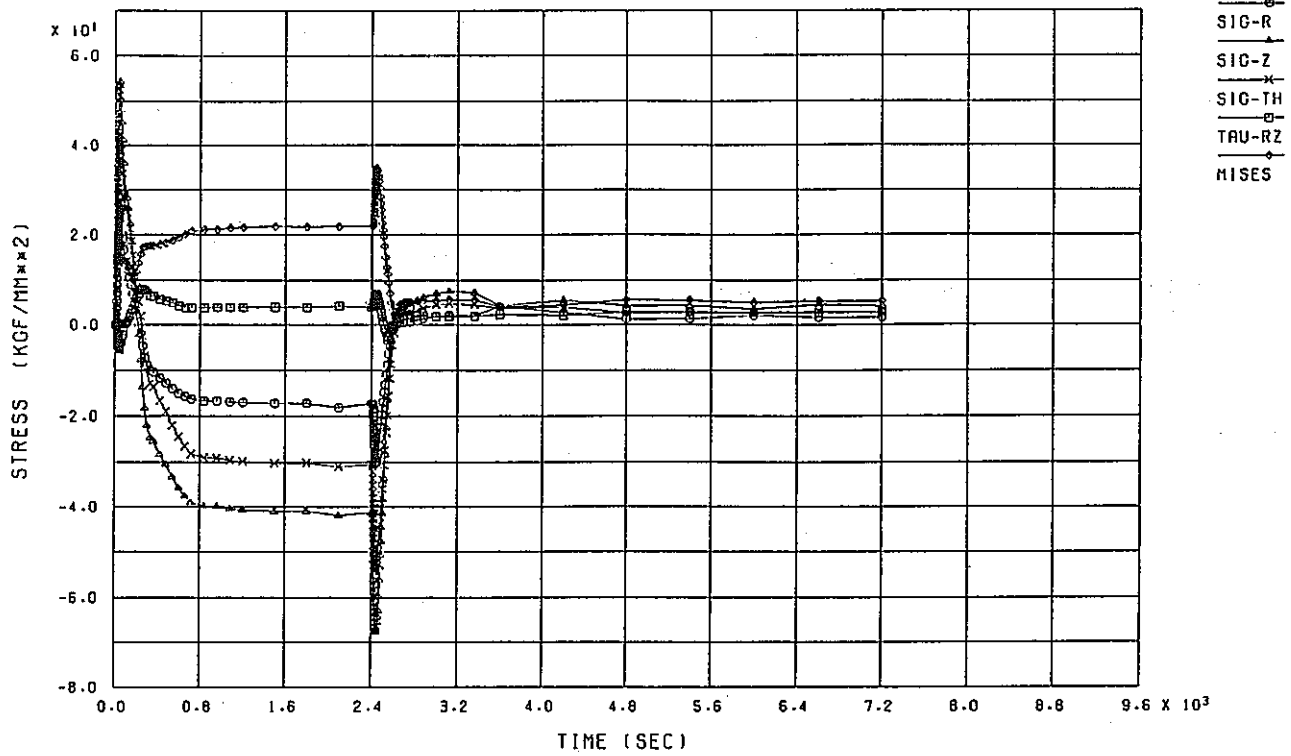
GEOH. SCALE 1 \_\_\_\_\_ 20.0000

WELD D702W-4 (R=10MM) SIG-Z (1-ST. HOT, 50SEC)

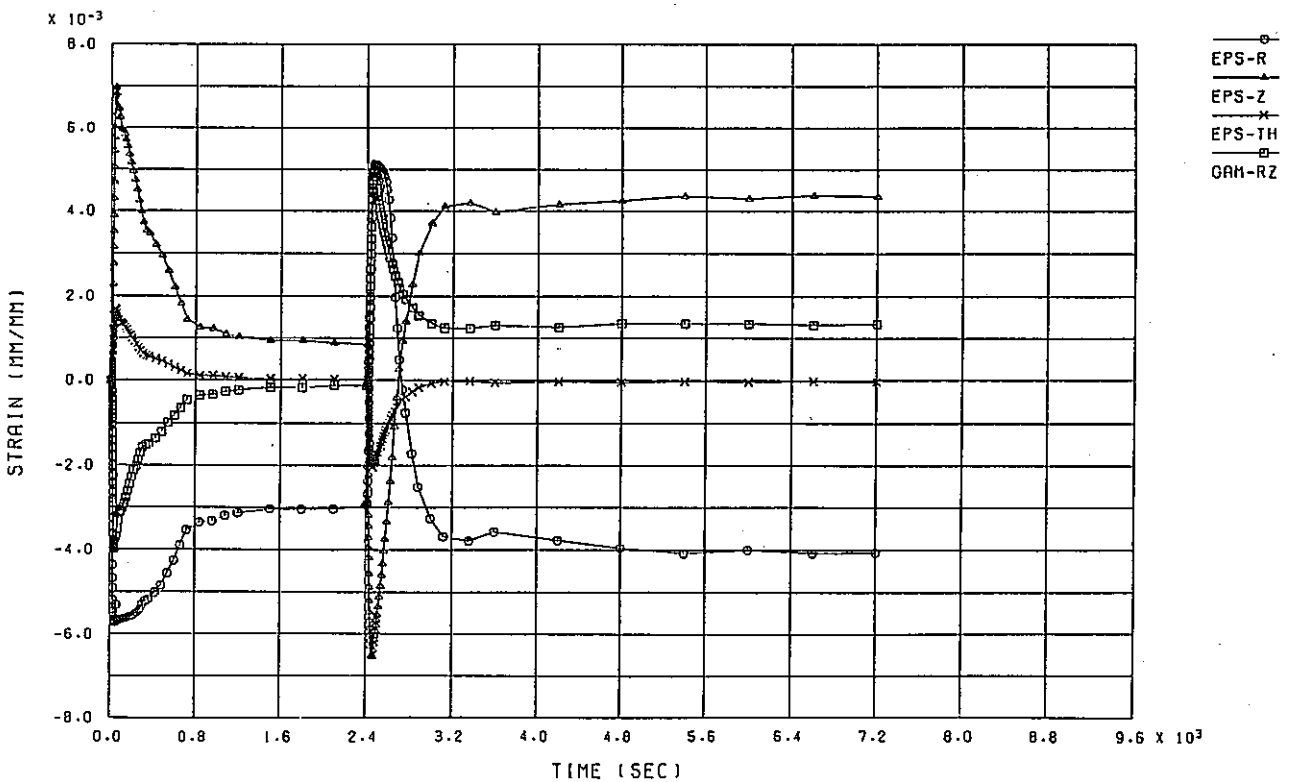
(b) Hot Transient 50 sec

付図C-12  $\sigma_z$ 成分の応力コンター図 (MIG a=10mm)

(a) Cold Transient 40 sec (b) Hot Transient 50 sec



WELD D703W-1 (A= 1MM) STRESS HISTORY D702-A CRACK TIP  
(a) 応力

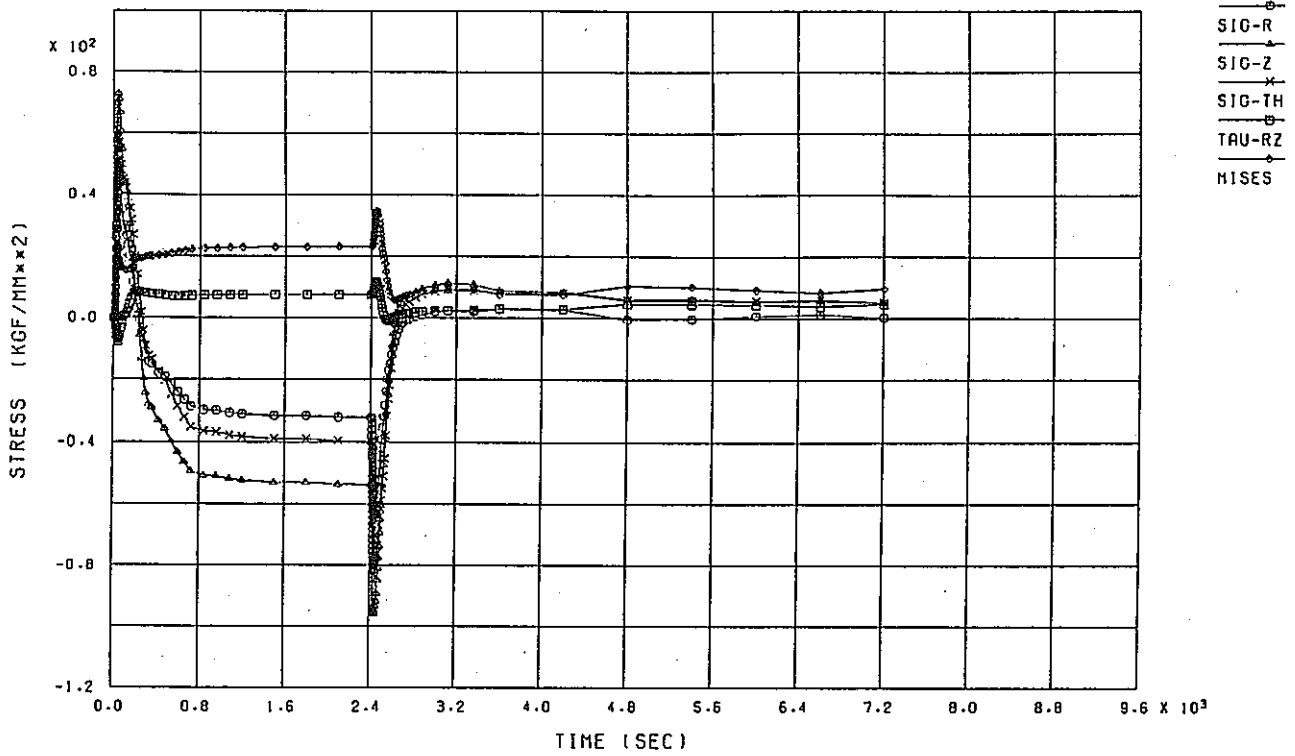


WELD D703W-1 (A= 1MM) STRAIN HISTORY D702-A CRACK TIP

(b) 歪

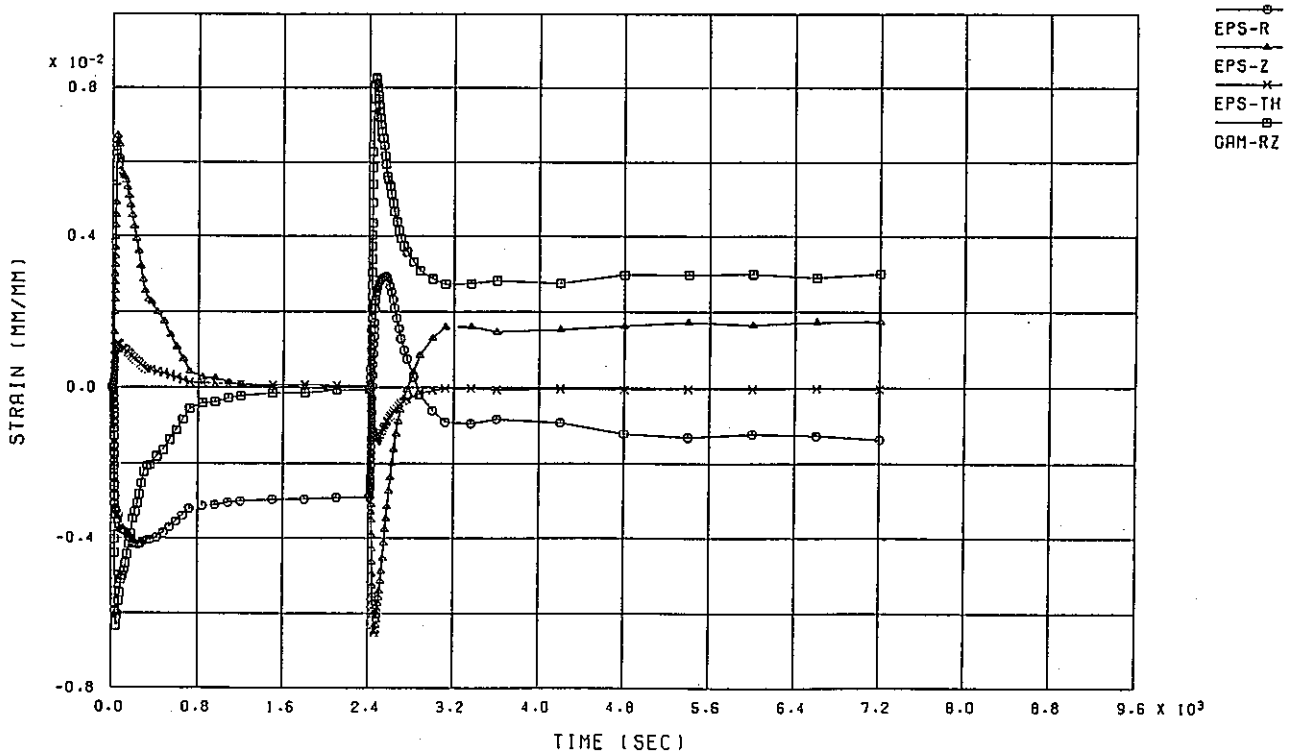
付図C-13 熱過渡1サイクル中のき裂先端での応力, 歪の経時変化 (SMAW a=1mm)

(a) 応力 (b) 歪



WELD D703W-2 (A= 4MM) STRESS HISTORY D702-A CRACK TIP

(a) 応力

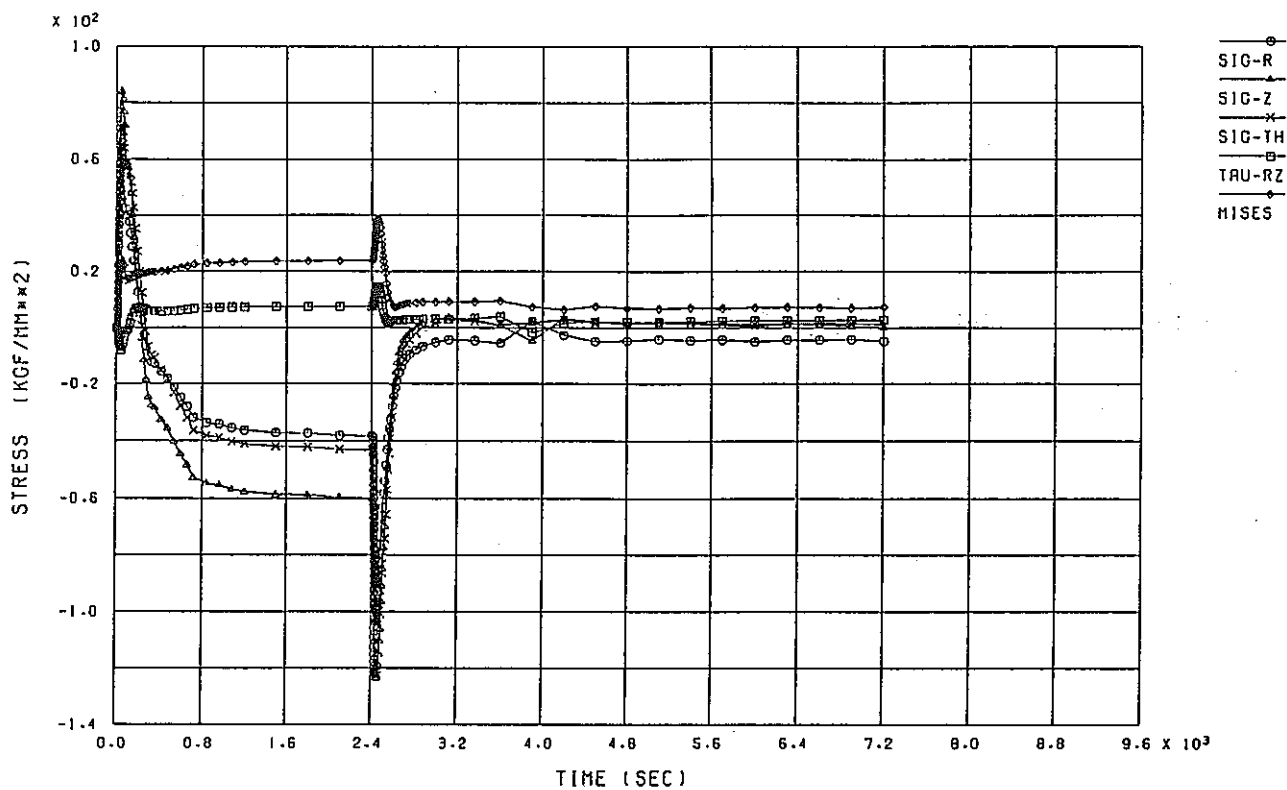


WELD D703W-2 (A= 4MM) STRAIN HISTORY D702-A CRACK TIP

(b) 歪

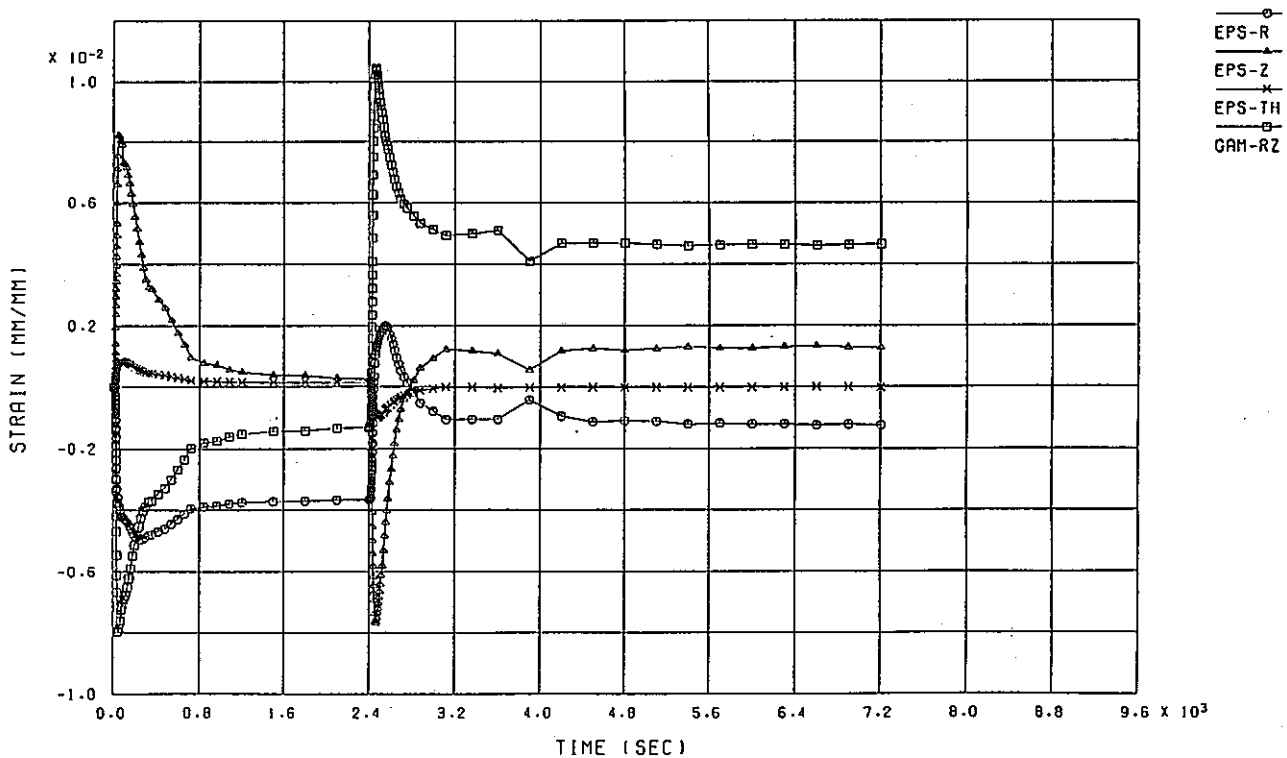
付図C-14 熱過渡1サイクル中のき裂先端での応力, 歪の経時変化 (SMAW a= 4mm)

(a) 応力 (b) 歪



WELD D703W-3 (A= 7MM) STRESS HISTORY D702-A CRACK TIP

(a) 応力



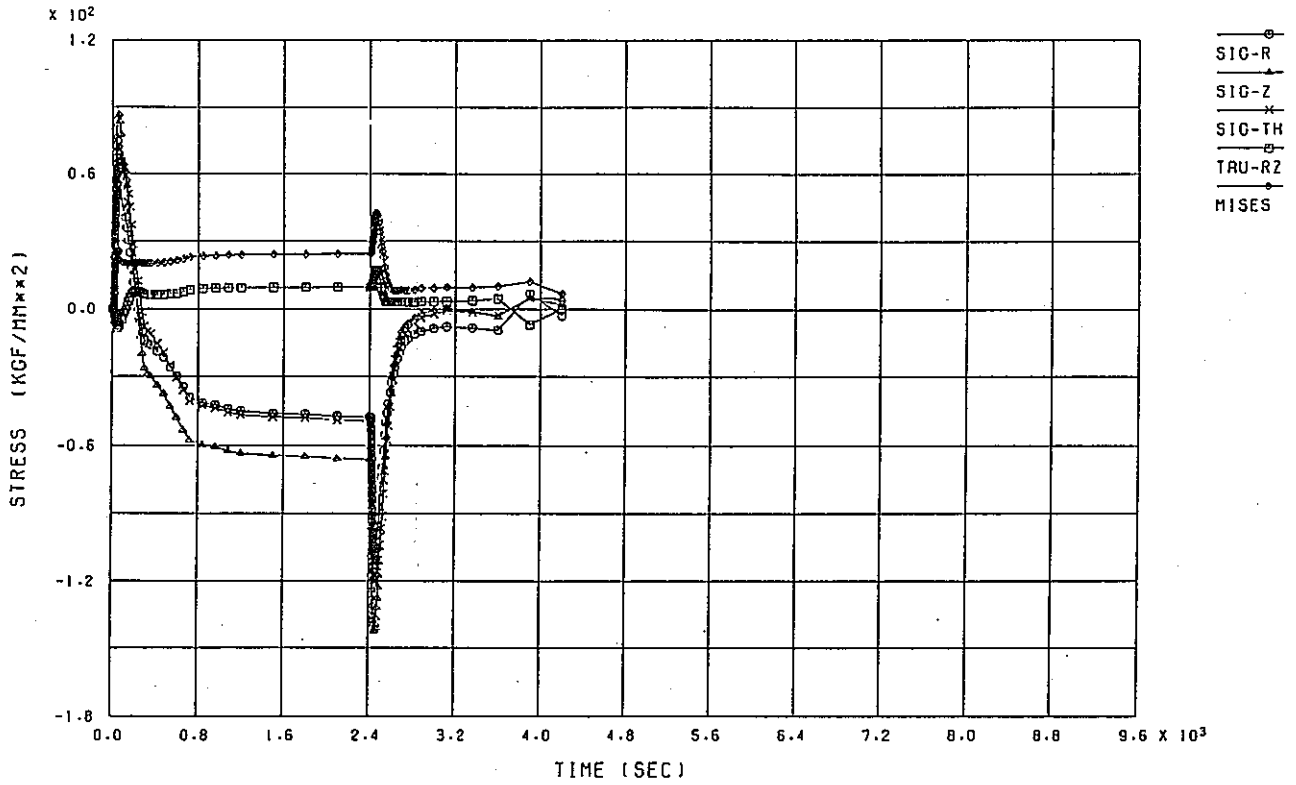
WELD D703W-3 (A= 7MM) STRAIN HISTORY D702-A CRACK TIP

(b) 歪

付図C-15 熱過渡1サイクル中のき裂先端での応力, 歪の経時変化 (SMAW a= 7mm)

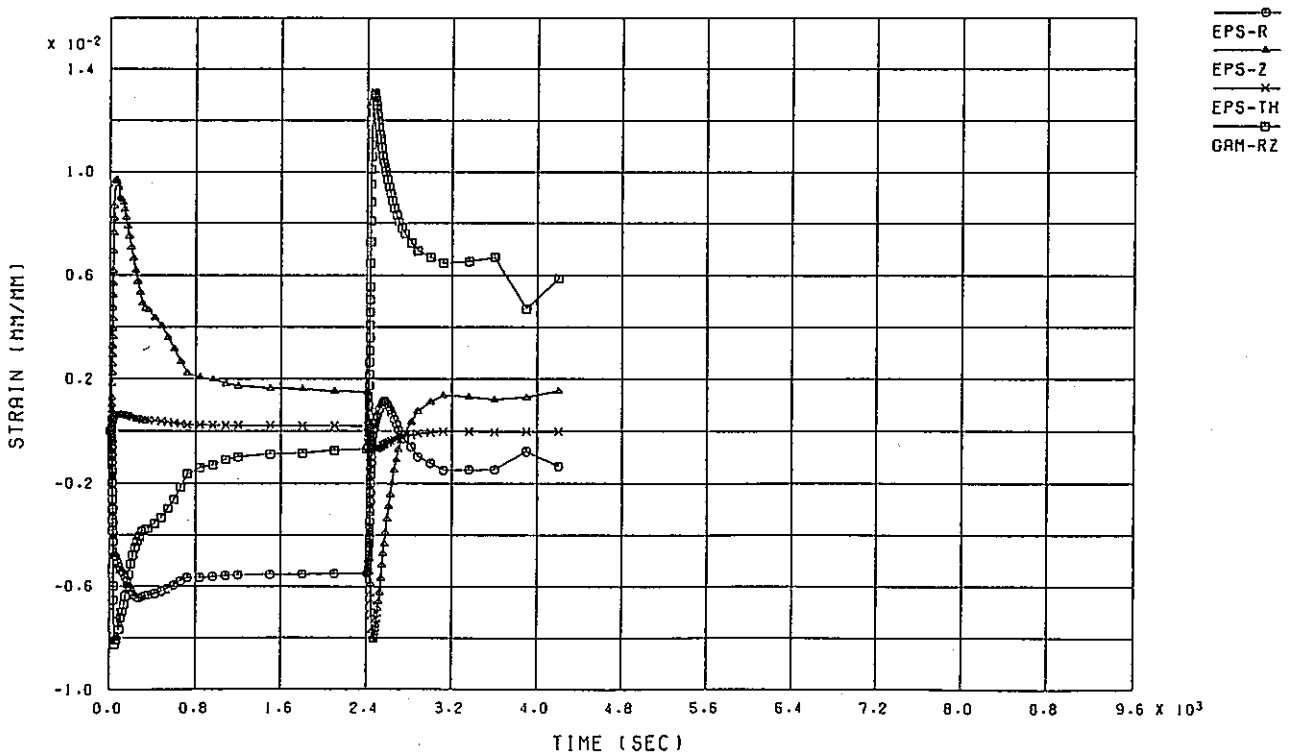
(a) 応力 (b) 歪





WELD D703W-4 (A=10MM) STRESS HISTORY D703-A CRACK TIP

(a) 応力

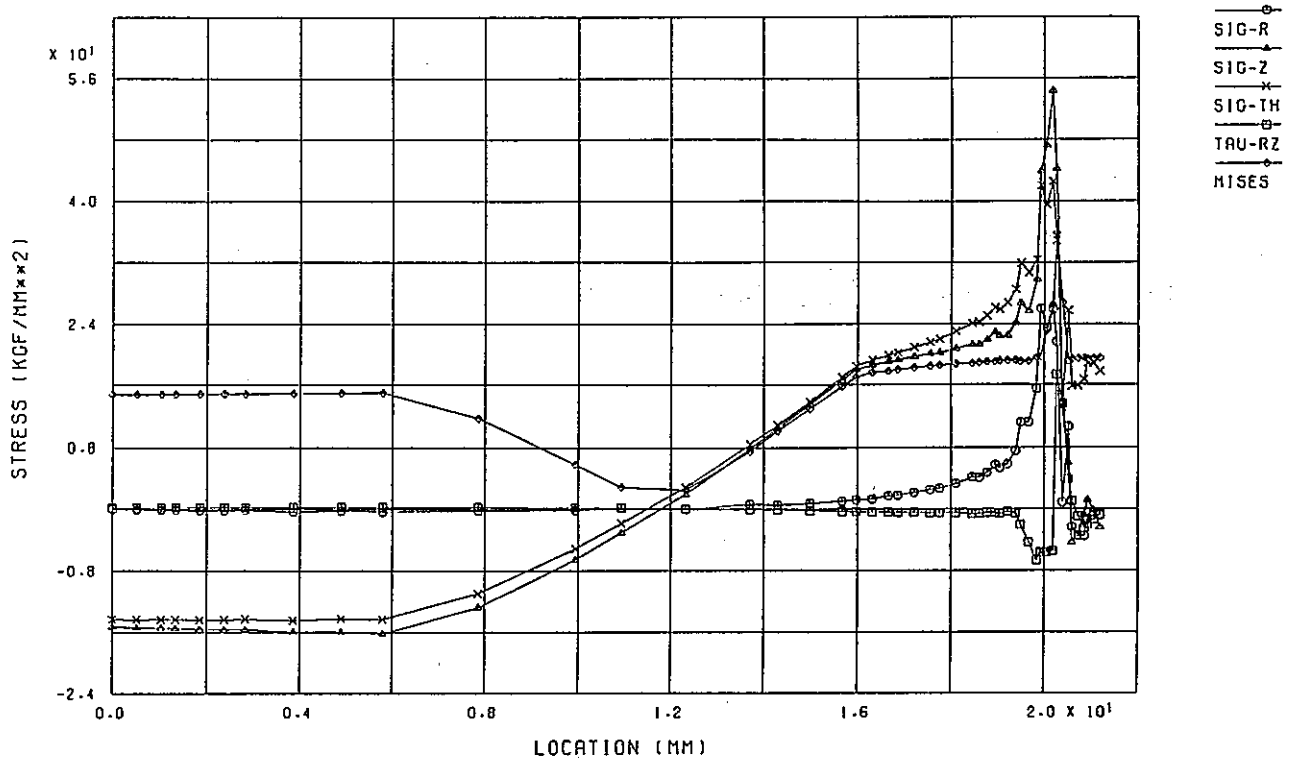


WELD D703W-4 (A=10MM) STRAIN HISTORY D703-A CRACK TIP

(b) 歪

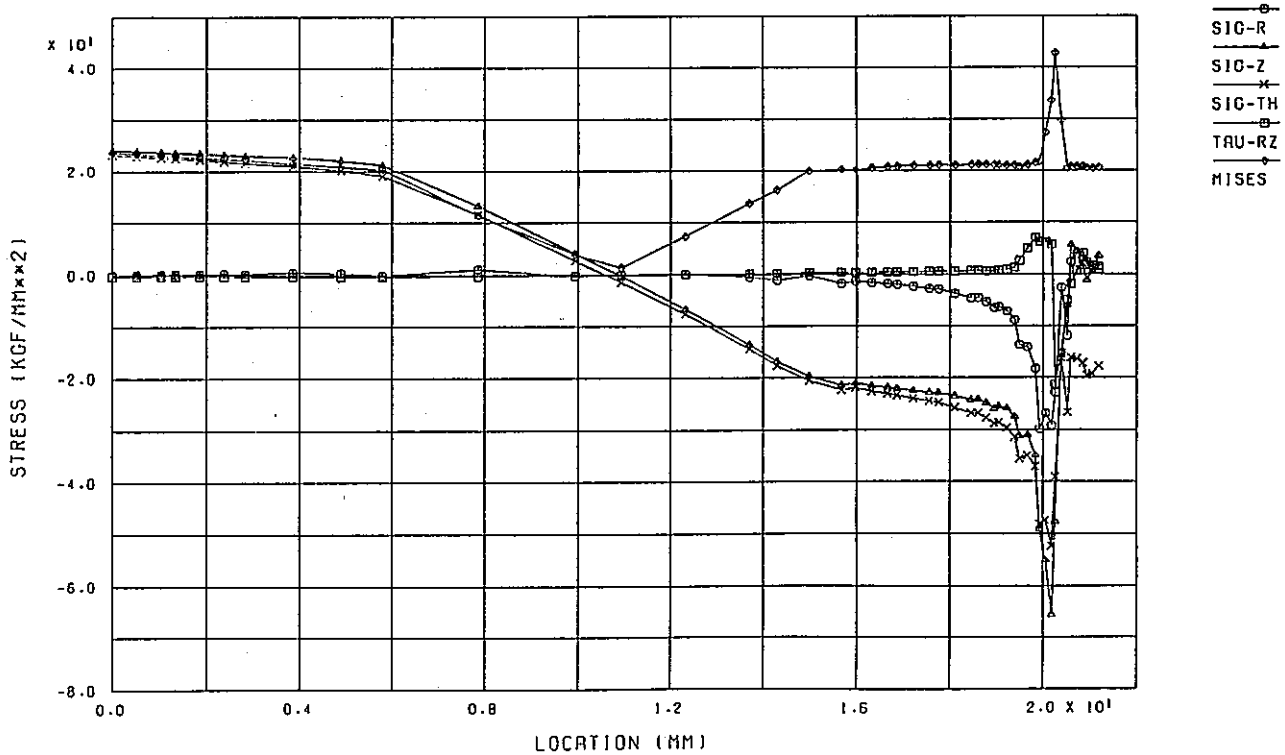
付図C-16 熱過渡1サイクル中のき裂先端での応力, 歪の経時変化 (SMAW a=10mm)

(a) 応力 (b) 歪



WELD D703W-1 (A= 1MM) STRESS DIST. ALONG CRACK (COLD 40 SEC)

(a) Cold Transient 40 sec

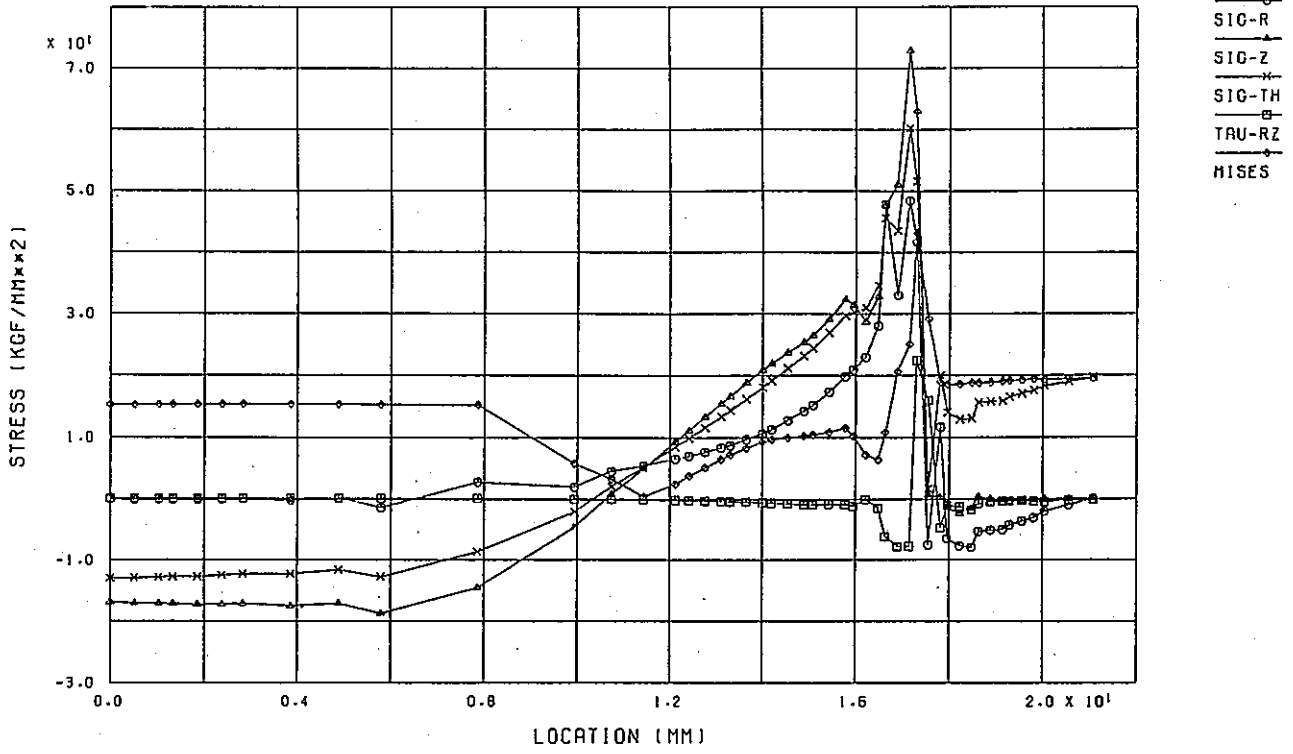


WELD D703W-1 (A= 1MM) STRESS DIST. ALONG CRACK (HOT 50 SEC)

(b) Hot Transient 50 sec

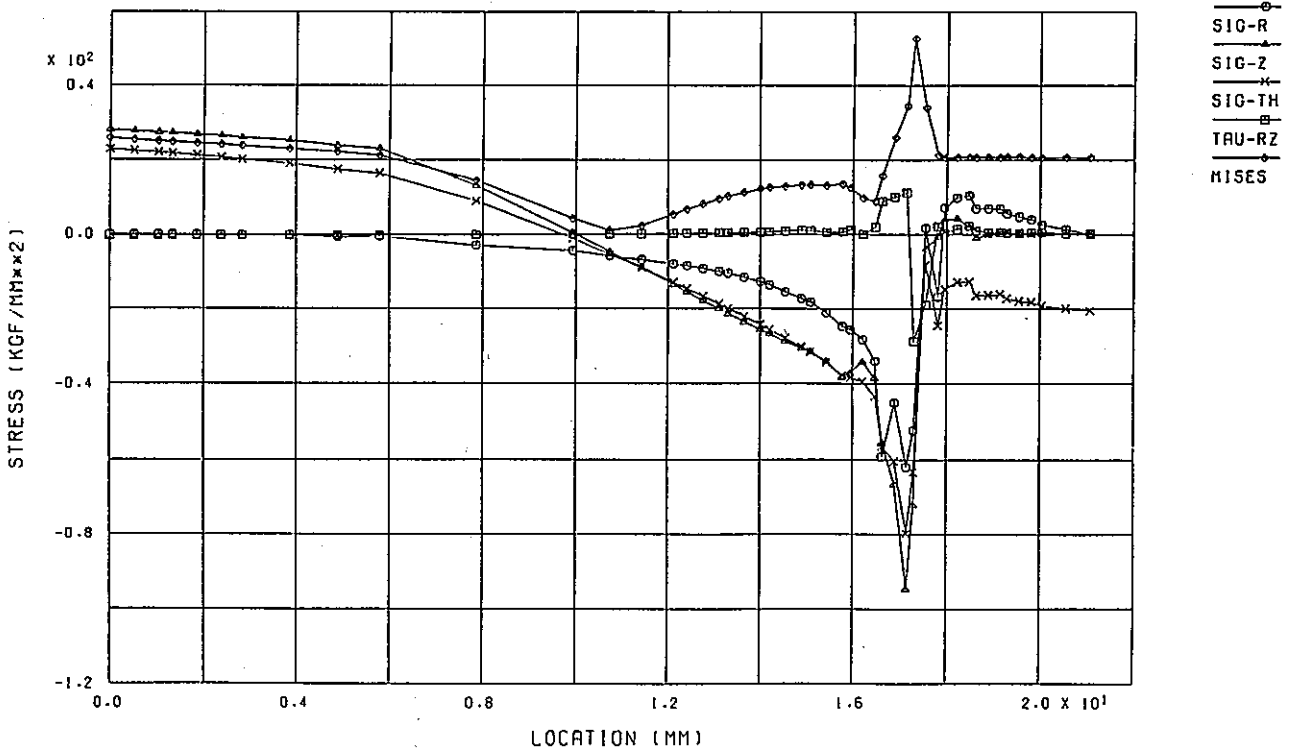
付図C-17 き裂面上の応力分布図 (SMAW a=1mm)

(a) Cold Transient 40 sec (b) Hot Transient 50 sec



WELD D703W-2 (A= 4MM) STRESS DIST. ALONG CRACK (COLD 40 SEC)

(a) Cold Transient 40 sec

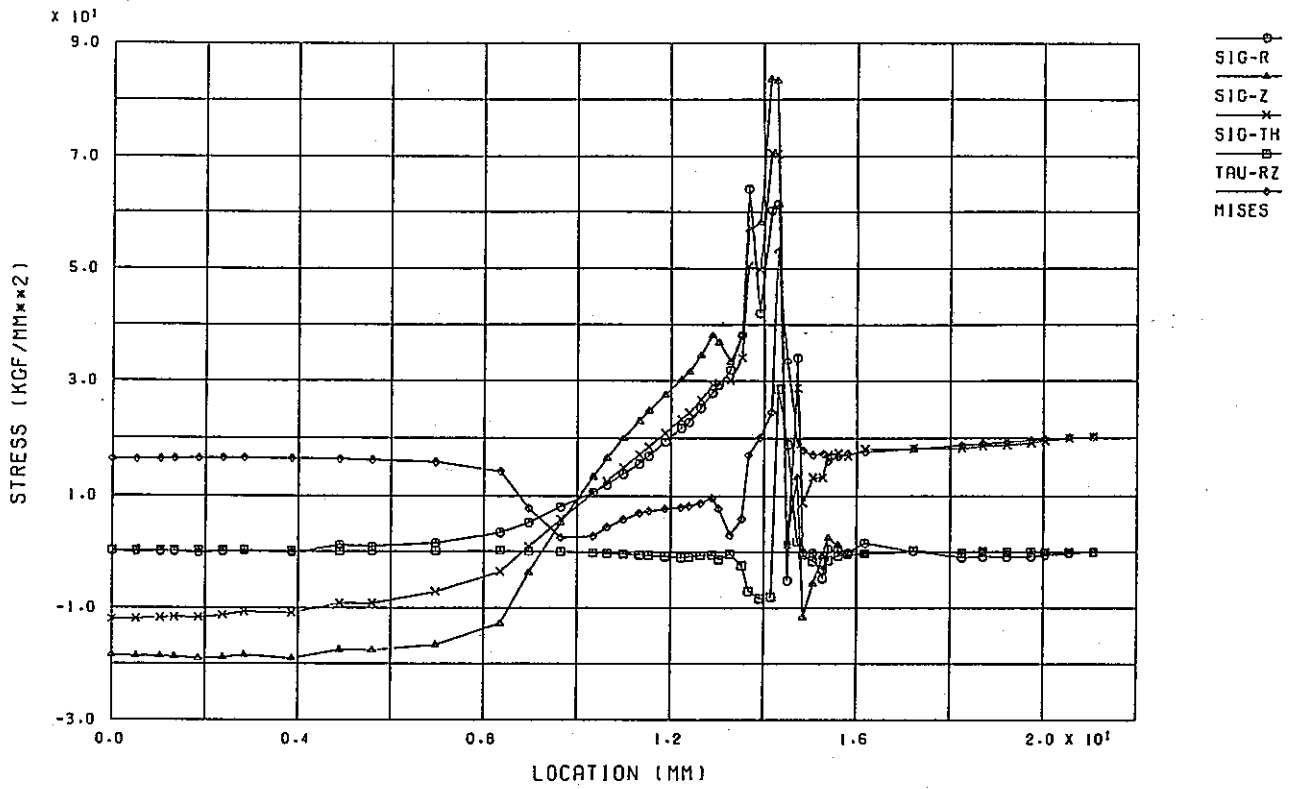


WELD D703W-2 (A= 4MM) STRESS DIST. ALONG CRACK (HOT 50 SEC)

(b) Hot Transient 50 sec

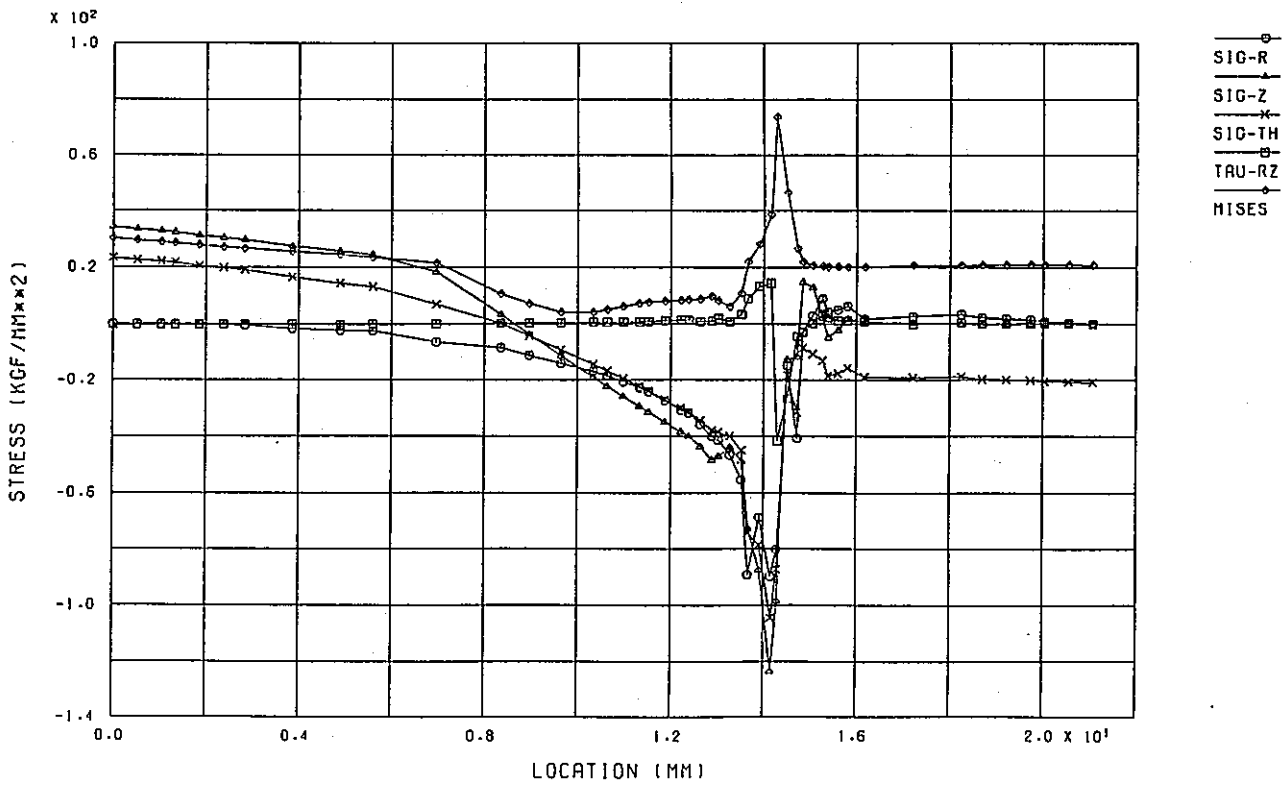
付図C-18 き裂面上の応力分布図 (SMAW a= 4mm)

(a) Cold Transient 40 sec (b) Hot Transient 50 sec



WELD 0703W-3 (A= 7MM) STRESS DIST. ALONG CRACK (COLD 40 SEC)

(a) Cold Transient 40 sec

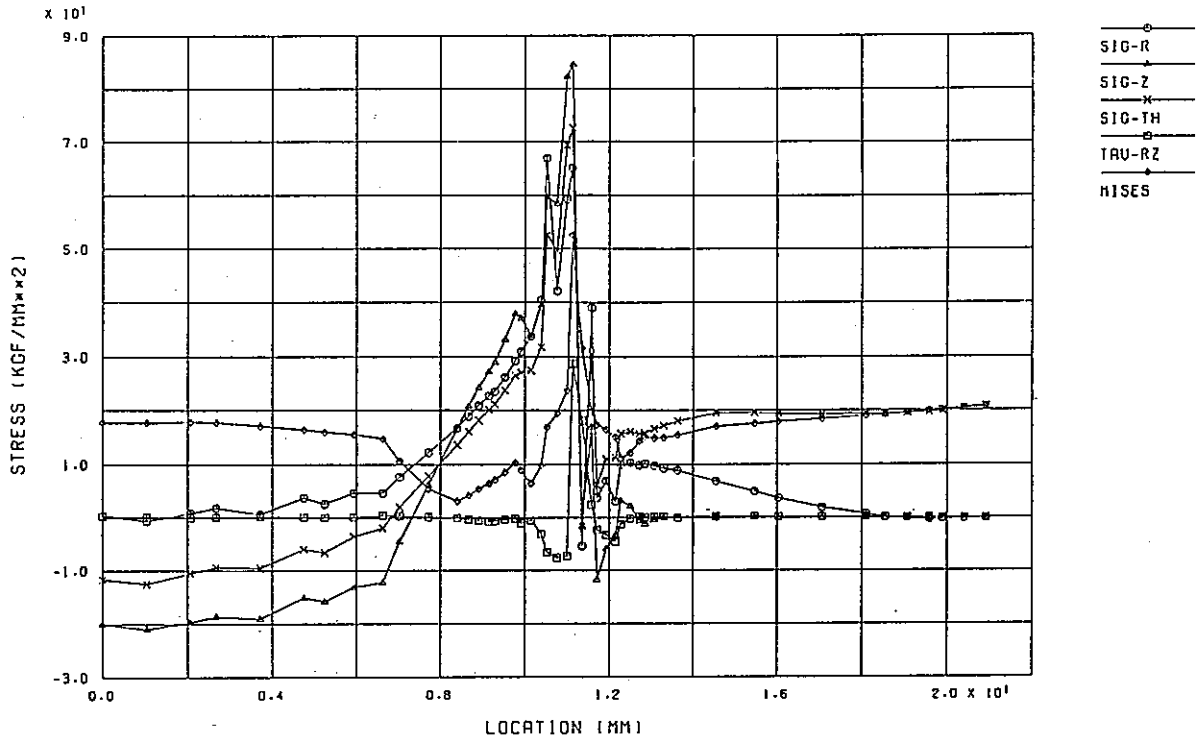


WELD 0703W-3 (A= 7MM) STRESS DIST. ALONG CRACK (HOT 50 SEC)

(b) Hot Transient 50 sec

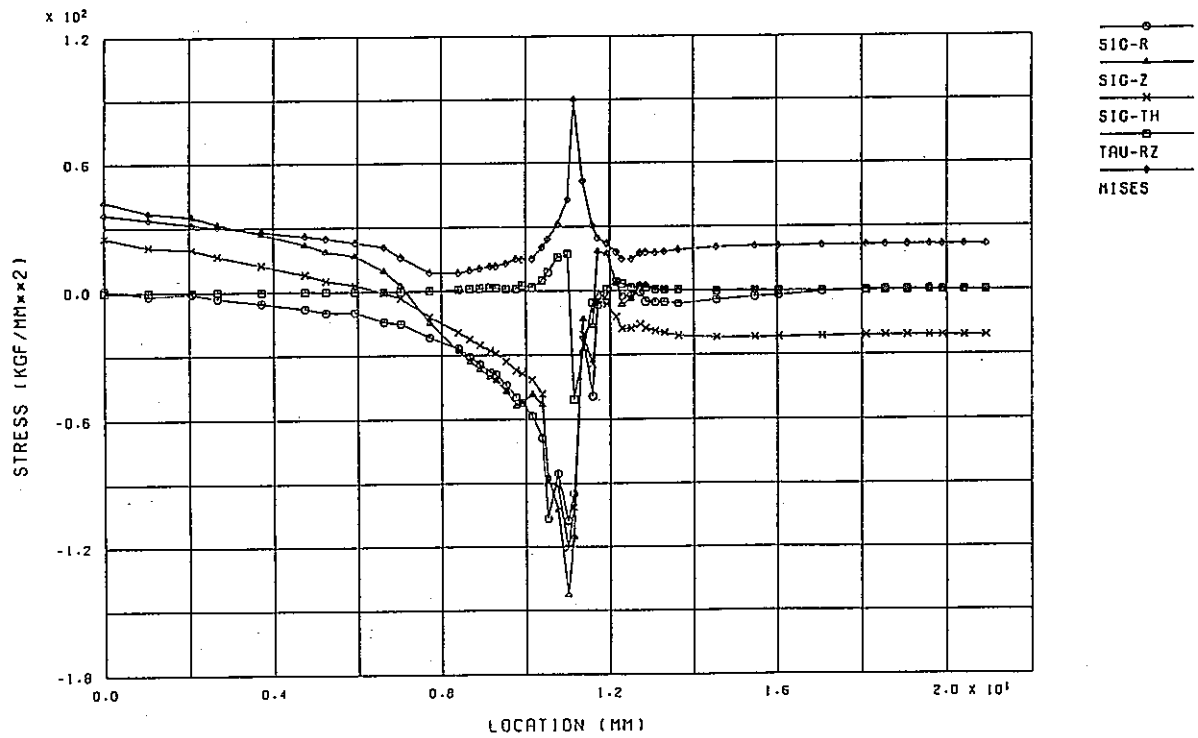
付図C-19 き裂面上の応力分布図 (SMAW a= 7mm)

(a) Cold Transient 40 sec (b) Hot Transient 50 sec



WELD D703W-4 (R=10MM) STRESS DIST. ALONG CRACK (COLD 40 SEC)

(a) Cold Transient 40 sec



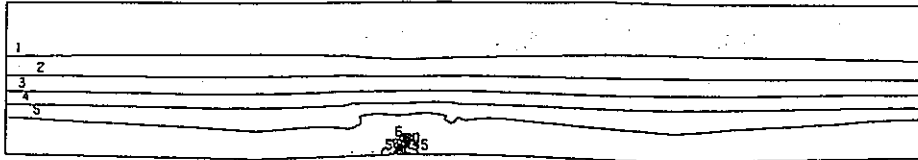
WELD D703W-4 (R=10MM) STRESS DIST. ALONG CRACK (HOT 50 SEC)

(b) Hot Transient 50 sec

付図C-20 き裂面上の応力分布図 (SMAW a=10mm)

(a) Cold Transient 40 sec (b) Hot Transient 50 sec

CONTOUR VALUES  
 1 -12.8000  
 2 -5.30000  
 3 2.200000  
 4 9.700000  
 5 17.20000  
 6 24.70000  
 7 32.20000  
 8 39.70000  
 9 47.20000  
 10 54.70000



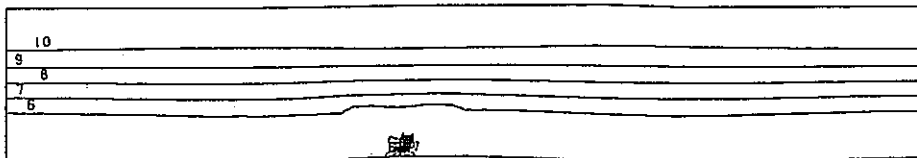
STEP NO. 29

GEOM. SCALE \_\_\_\_\_ 20.0000

WELD D703W-1 (A= 1MM) SIG-Z (1-ST, COLO. 45SEC)

(a) Cold Transient 45 sec

CONTOUR VALUES  
 1 -62.8000  
 2 -53.6000  
 3 -44.4000  
 4 -35.2000  
 5 -26.0000  
 6 -16.8000  
 7 -7.60000  
 8 1.600000  
 9 10.80000  
 10 20.00000



STEP NO. 92

GEOM. SCALE \_\_\_\_\_ 20.0000

WELD D703W-1 (A= 1MM) SIG-Z (1-ST, HOT. 60SEC)

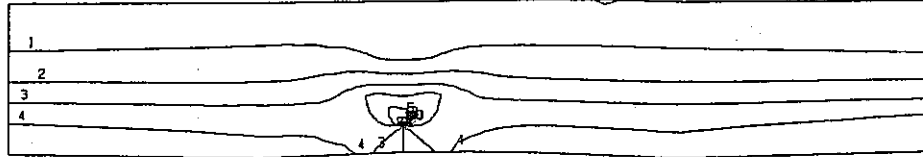
(b) Hot Transient 60 sec

付図C-21  $\sigma_z$ 成分の応力コンター図 (SMAW a=1mm)

(a) Cold Transient 45 sec (b) Hot Transient 60 sec

CONTOUR VALUES

1	-13.0000
2	-3.00000
3	7.000000
4	17.00000
5	27.00000
6	37.00000
7	47.00000
8	57.00000
9	67.00000
10	77.00000



STEP NO. 29

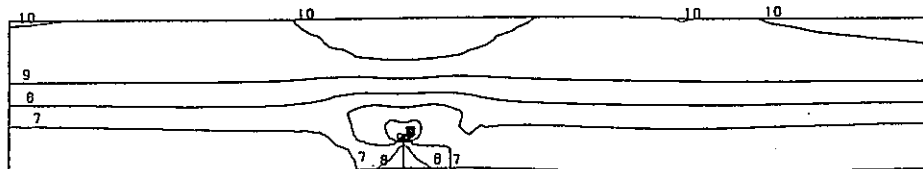
GEOM. SCALE 1 \_\_\_\_\_ 20.0000

WELD D703W-2 (R= 4MM) SIG-Z (1-ST.COLD. 45SEC)

(a) Cold Transient 45 sec

CONTOUR VALUES

1	-95.0000
2	-82.0000
3	-69.0000
4	-56.0000
5	-43.0000
6	-30.0000
7	-17.0000
8	-4.00000
9	9.000000
10	22.00000



STEP NO. 92

GEOM. SCALE 1 \_\_\_\_\_ 20.0000

WELD D703W-2 (R= 4MM) SIG-Z (1-ST. HOT. 60SEC)

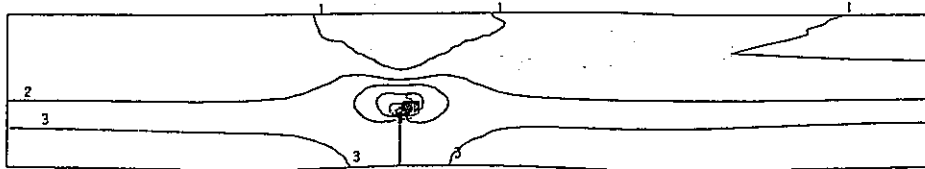
(b) Hot Transient 60 sec

付図C-22  $\sigma_z$ 成分の応力コンター図 (SMAW a= 4mm)

(a) Cold Transient 45 sec (b) Hot Transient 60 sec

CONTOUR VALUES

1	-13.0000
2	-1.00000
3	11.00000
4	23.00000
5	35.00000
6	47.00000
7	59.00000
8	71.00000
9	83.00000
10	95.00000



STEP NO. 29

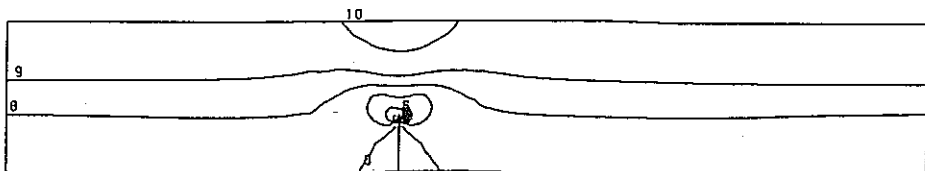
GEOH. SCALE 20.0000

WELD D703W-3 (A= 7MM) SIG-Z (1-ST.COLD. 45SEC)

(a) Cold Transient 45 sec

CONTOUR VALUES

1	-126.000
2	-109.000
3	-92.0000
4	-75.0000
5	-58.0000
6	-41.0000
7	-24.0000
8	-7.00000
9	10.00000
10	27.00000



STEP NO. 92

GEOH. SCALE 20.0000

WELD D703W-3 (A= 7MM) SIG-Z (1-ST. HOT. 60SEC)

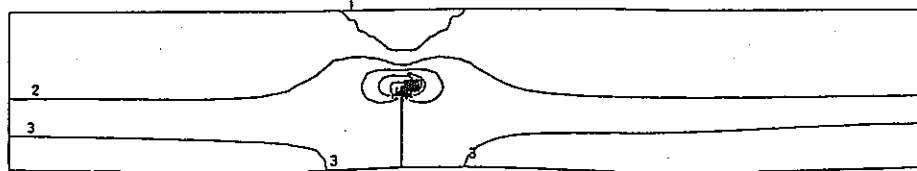
(b) Hot Transient 60 sec

付図C-23  $\sigma_z$ 成分の応力コンター図 (SMAW a=7mm)

(a) Cold Transient 45 sec (b) Hot Transient 60 sec



CONTOUR VALUES  
 1 -15.0000  
 2 -3.00000  
 3 9.000000  
 4 21.00000  
 5 33.00000  
 6 45.00000  
 7 57.00000  
 8 69.00000  
 9 81.00000  
 10 93.00000



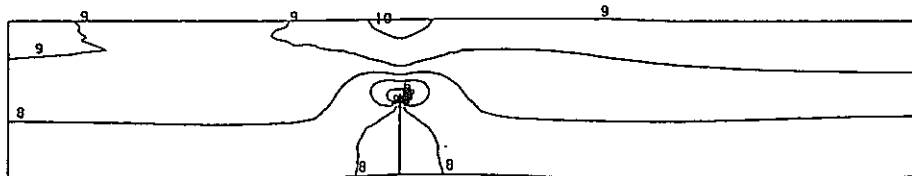
STEP NO. 29

GEOM. SCALE 1 20.0000

WELD D703W-4 (A=10MM) SIG-Z (1-ST. COLD. 45SEC)

(a) Cold Transient 45 sec

CONTOUR VALUES  
 1 -146.000  
 2 -126.000  
 3 -106.000  
 4 -86.0000  
 5 -66.0000  
 6 -46.0000  
 7 -26.0000  
 8 -6.00000  
 9 14.00000  
 10 34.00000



STEP NO. 92

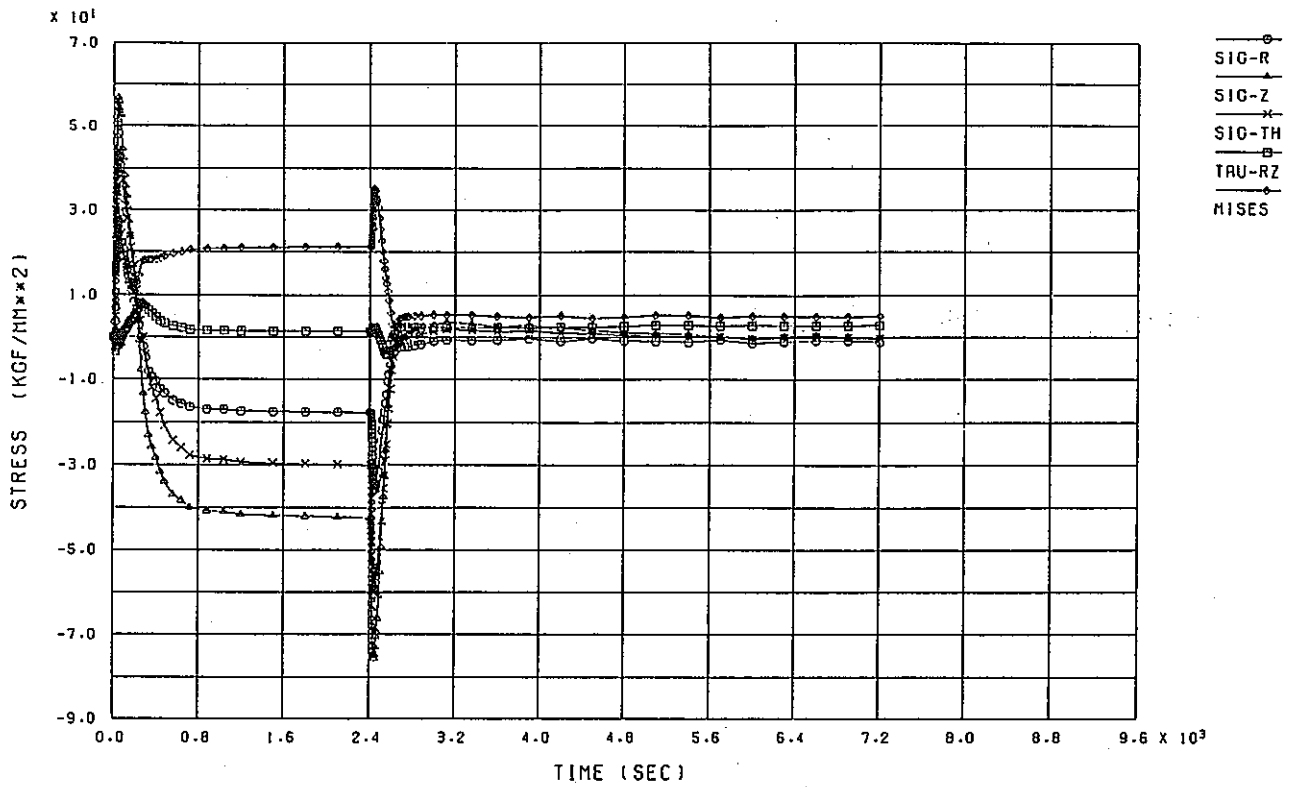
GEOM. SCALE 1 20.0000

WELD D703W-4 (A=10MM) SIG-Z (1-ST. HOT. 60SEC)

(b) Hot Transient 60 sec

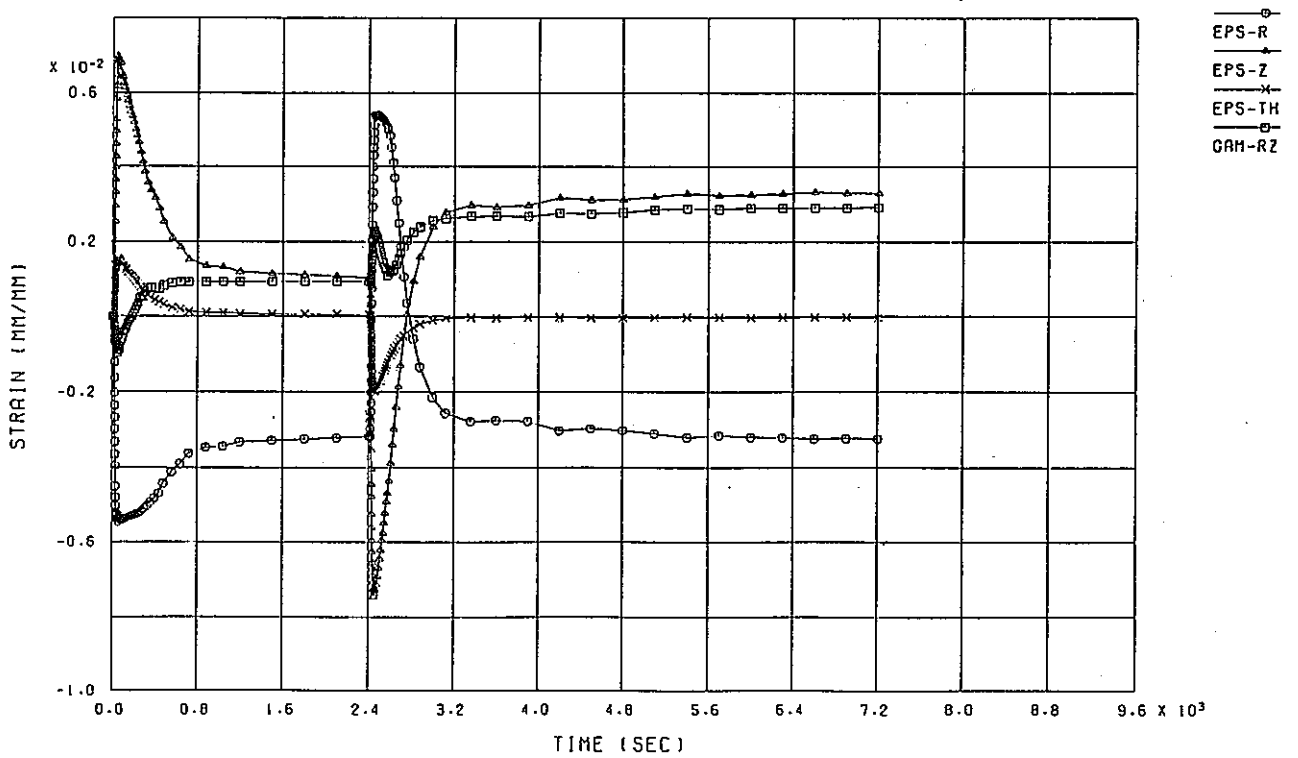
付図C-24  $\sigma_z$ 成分の応力コンター図 (SMAW a=10mm)

(a) Cold Transient 45 sec (b) Hot Transient 60 sec



WELD D704W-1 (A= 1MM) STRESS HISTORY D702-A CRACK TIP

(a) 応力

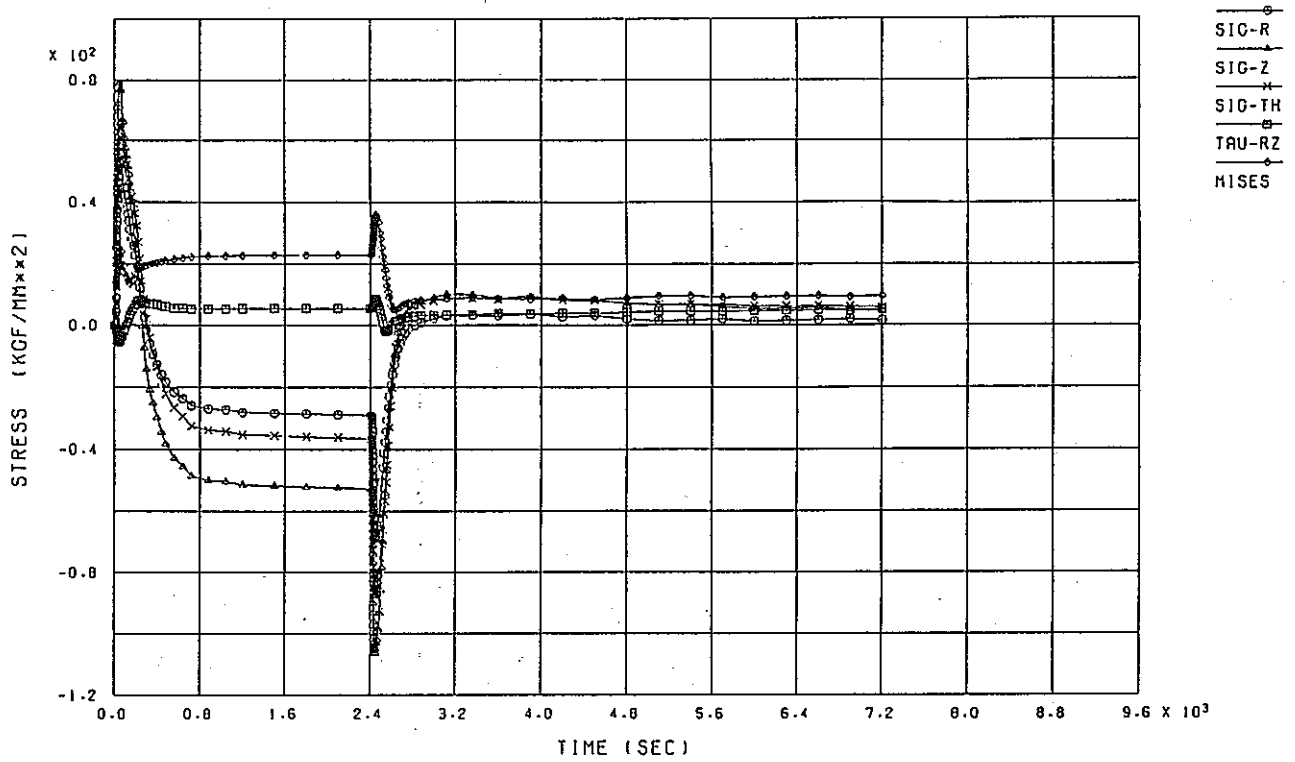


WELD D704W-1 (A= 1MM) STRAIN HISTORY D702-A CRACK TIP

(b) 歪

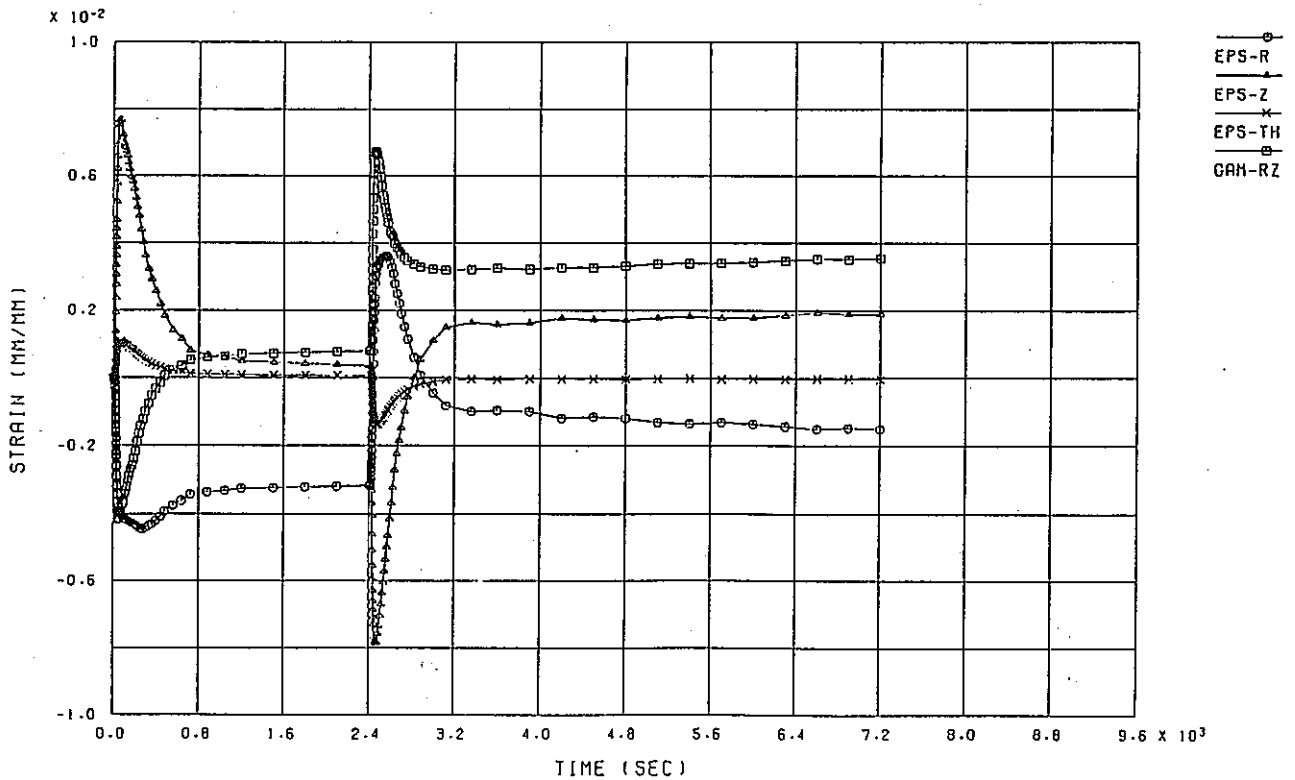
付図C-25 熱過渡1サイクル中のき裂先端での応力, 歪の経時変化 (EBW a=1mm)

(a) 応力 (b) 歪



WELD D704W-2 (A= 4MM) STRESS HISTORY D702-A CRACK TIP

(a) 応力

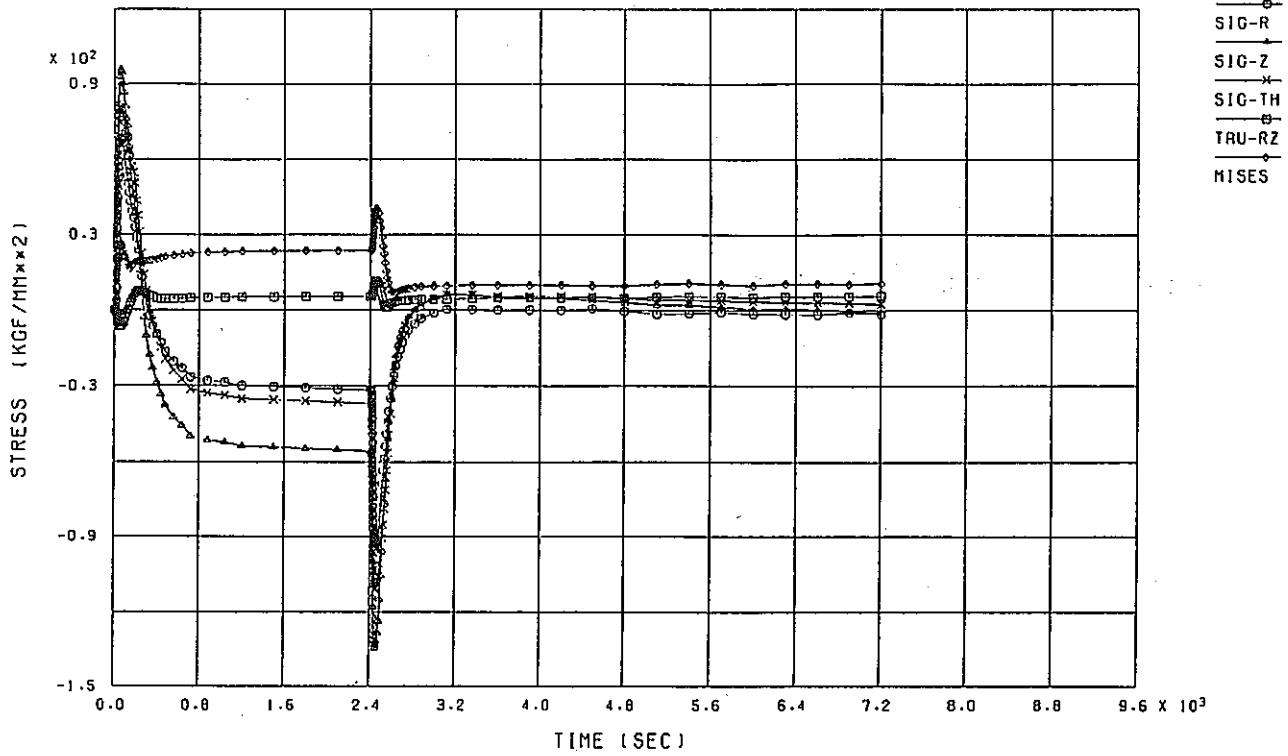


WELD D704W-2 (A= 4MM) STRAIN HISTORY D702-A CRACK TIP

(b) 歪

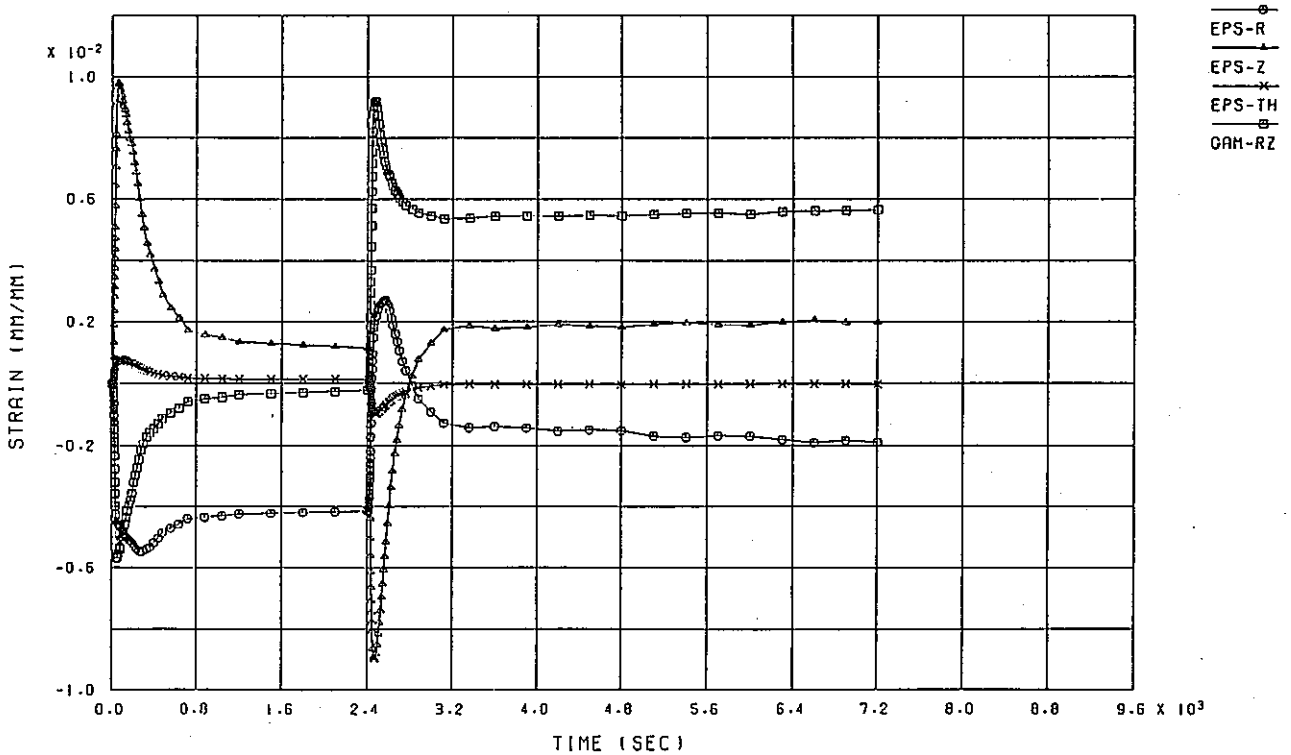
付図C-26 熱過渡1サイクル中のき裂先端での応力, 歪の経時変化 (EBW a= 4mm)

(a) 応力 (b) 歪



WELO D704W-3 (A= 7MM) STRESS HISTORY D702-A CRACK TIP

(a) 応力

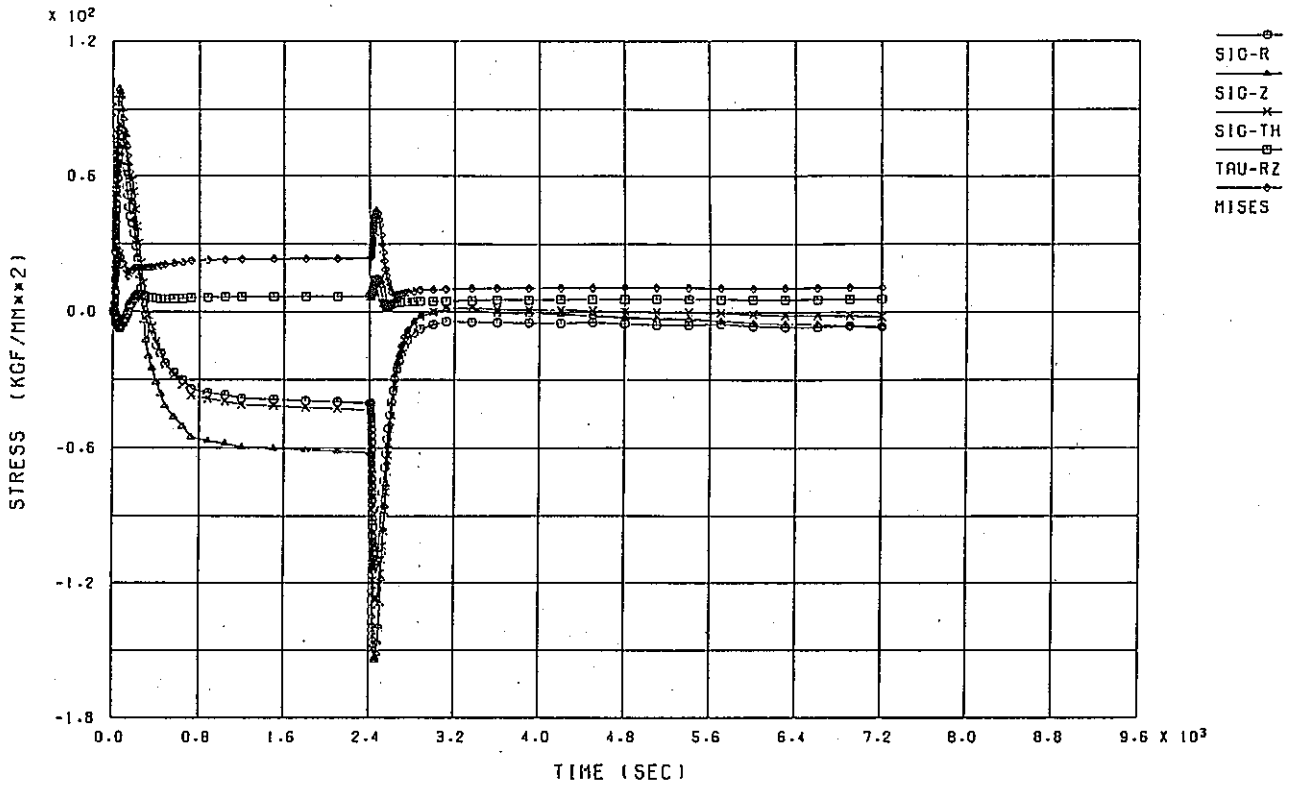


WELO D704W-3 (A= 7MM) STRAIN HISTORY D702-A CRACK TIP

(b) 歪

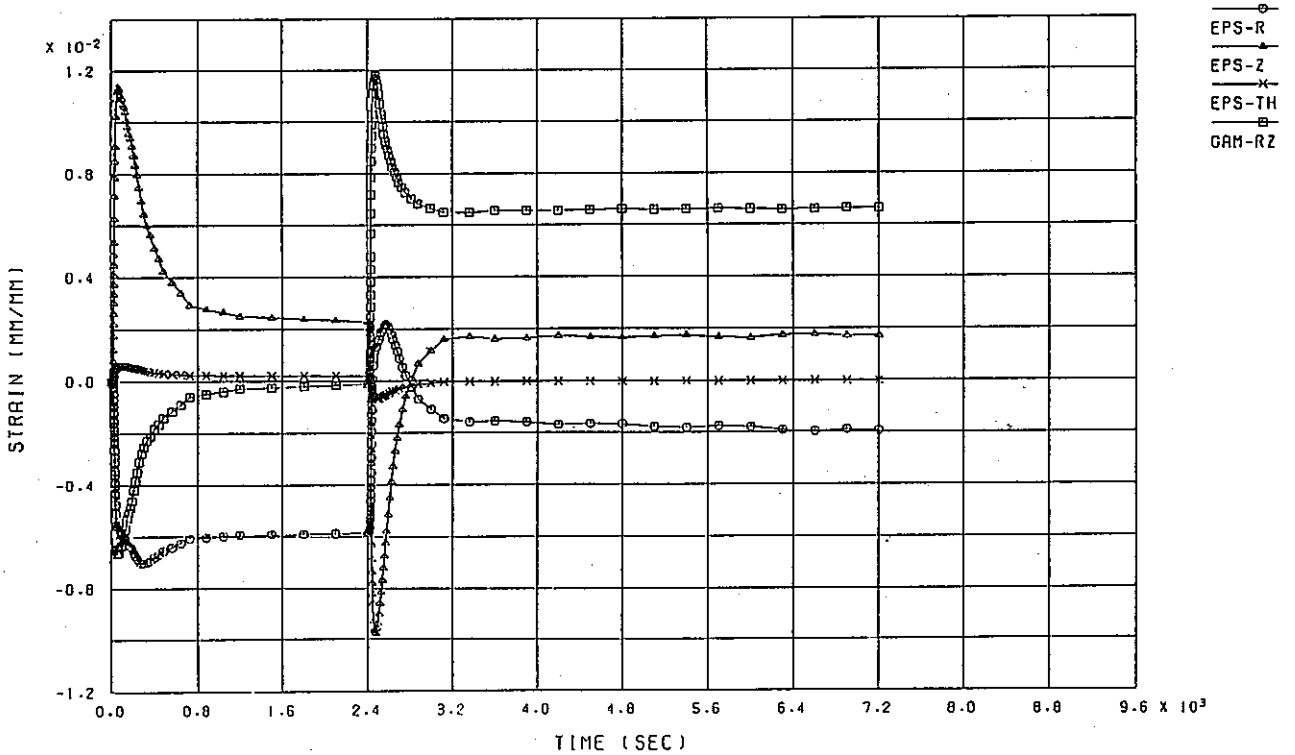
付図C-27 熱過渡1サイクル中のき裂先端での応力, 歪の経時変化 (EBW a=7mm)

(a) 応力 (b) 歪



WELD D704W-4 (A=10MM) STRESS HISTORY D704-A CRACK TIP

(a) 応力

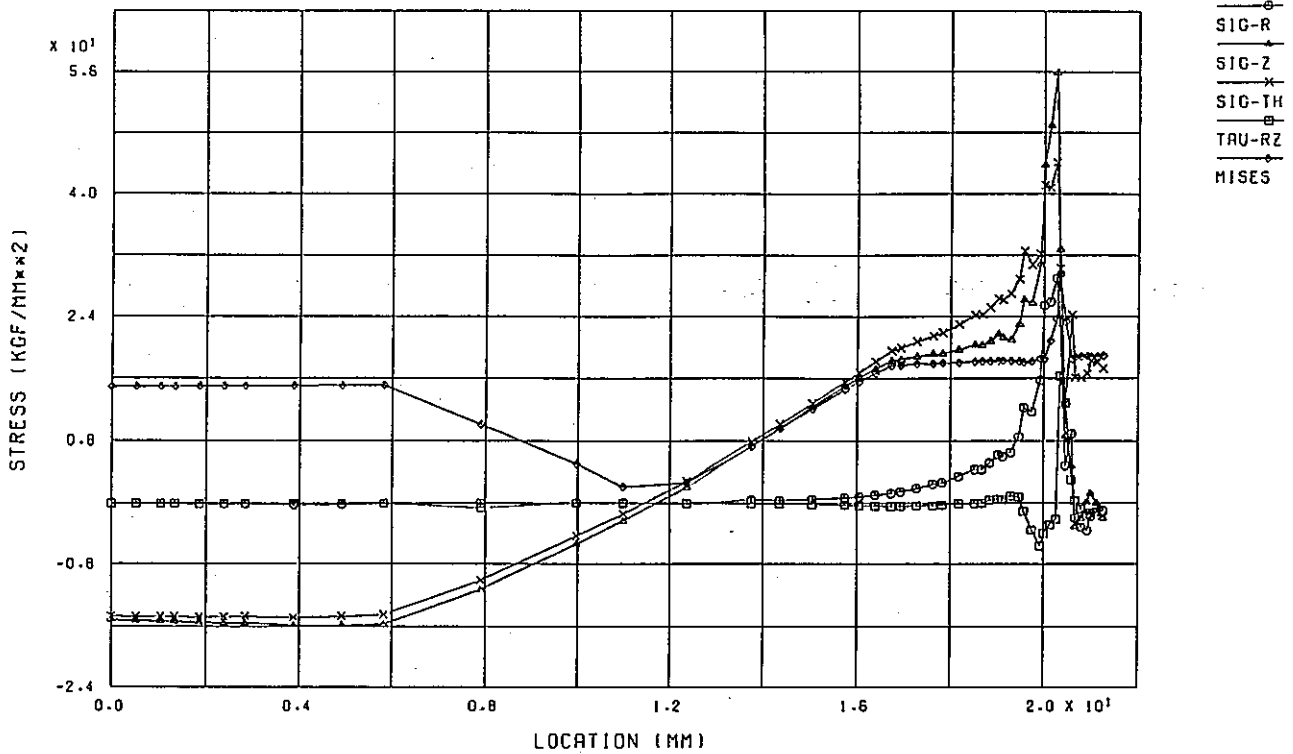


WELD D704W-4 (A=10MM) STRAIN HISTORY D704-A CRACK TIP

(b) 歪

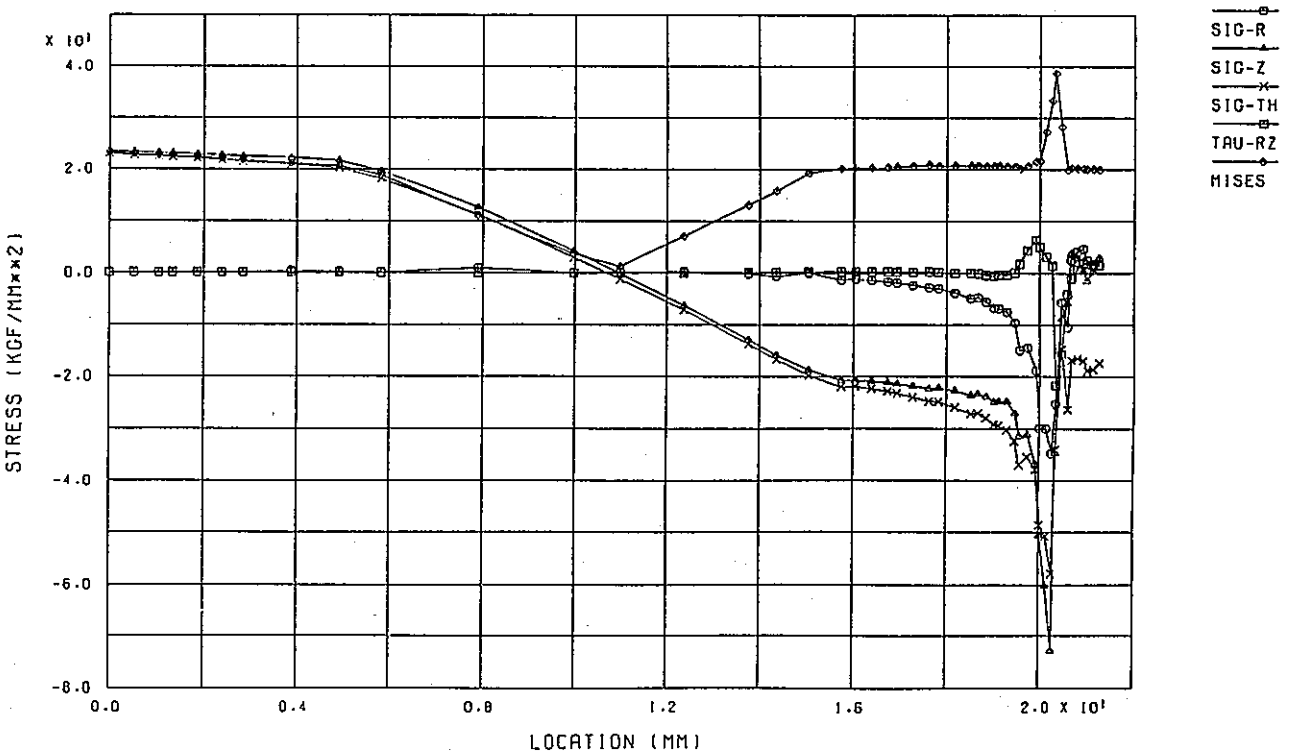
付図C-28 熱過渡1サイクル中のき裂先端での応力, 歪の経時変化 (BBW a=10mm)

(a) 応力 (b) 歪



WELD D704W-1 (A= 1MM) STRESS DIST. ALONG CRACK (COLD 50 SEC)

(a) Cold Transient 50 sec

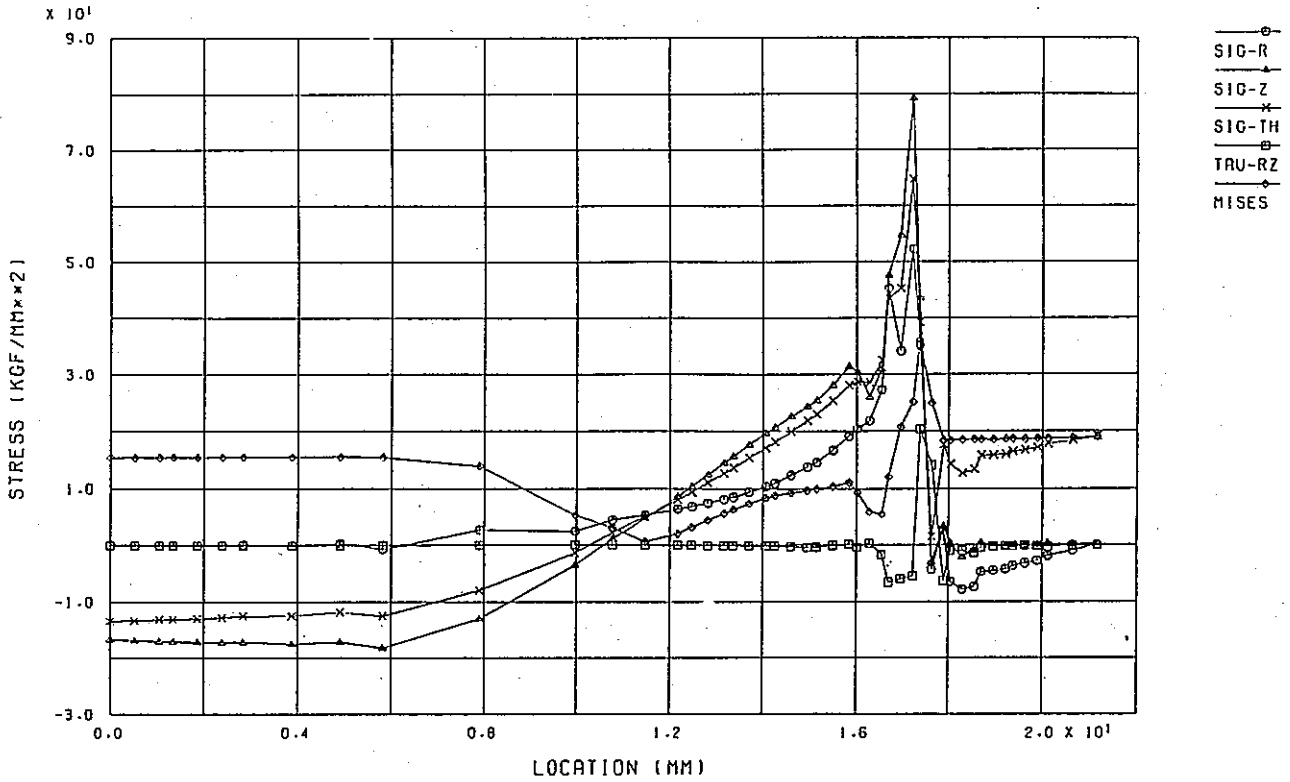


WELD D704W-1 (A= 1MM) STRESS DIST. ALONG CRACK (HOT 60 SEC)

(b) Hot Transient 60 sec

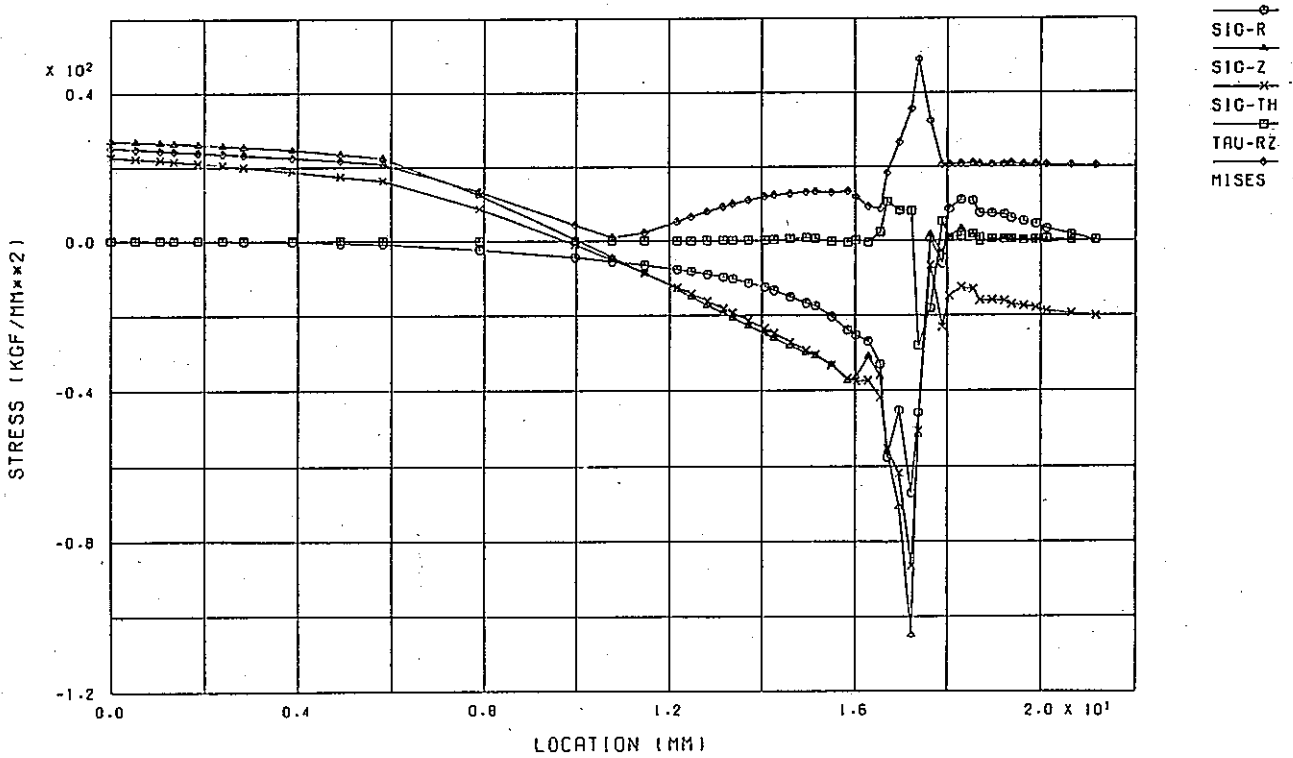
付図C-29 き裂面上の応力分布図 (BBW a= 1mm)

(a) Cold Transient 50 sec (b) Hot Transient 60 sec



WELD D704W-2 (R= 4MM) STRESS DIST. ALONG CRACK (COLD 50 SEC)

(a) Cold Transient 50 sec

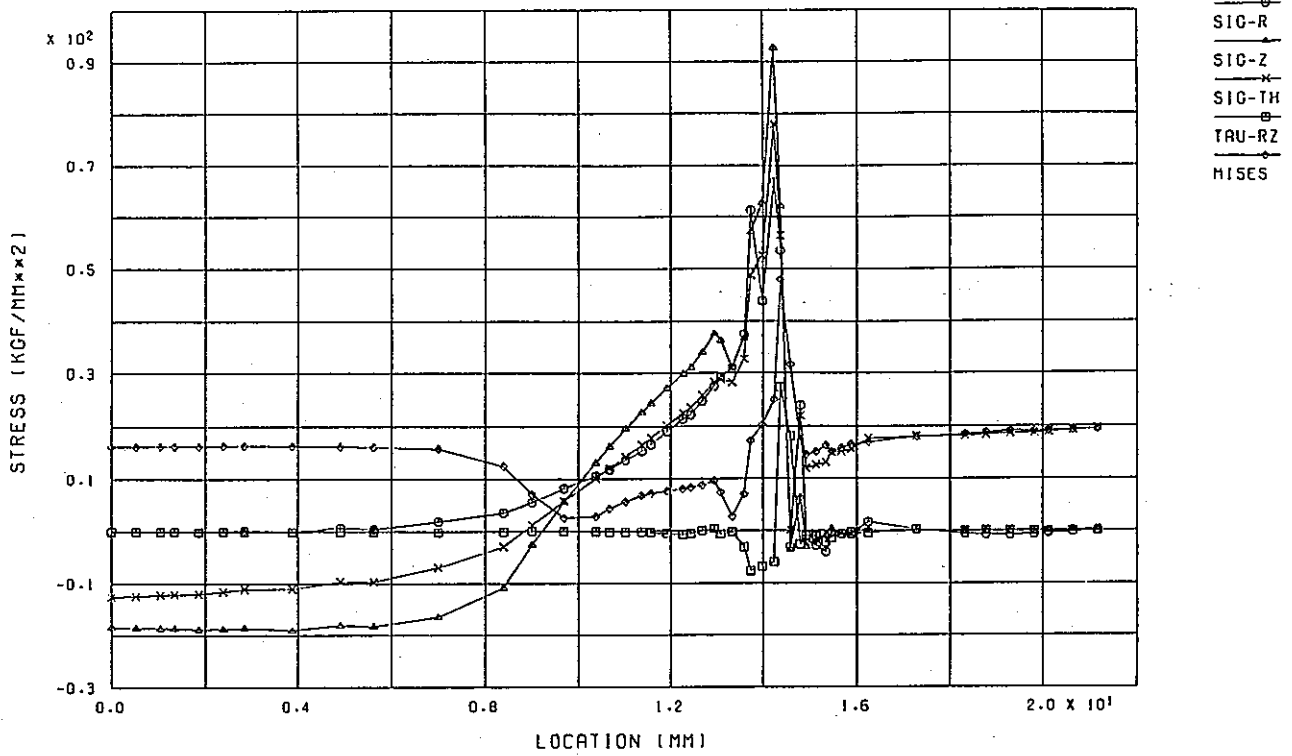


WELD D704W-2 (R= 4MM) STRESS DIST. ALONG CRACK (HOT 60 SEC)

(b) Hot Transient 60 sec

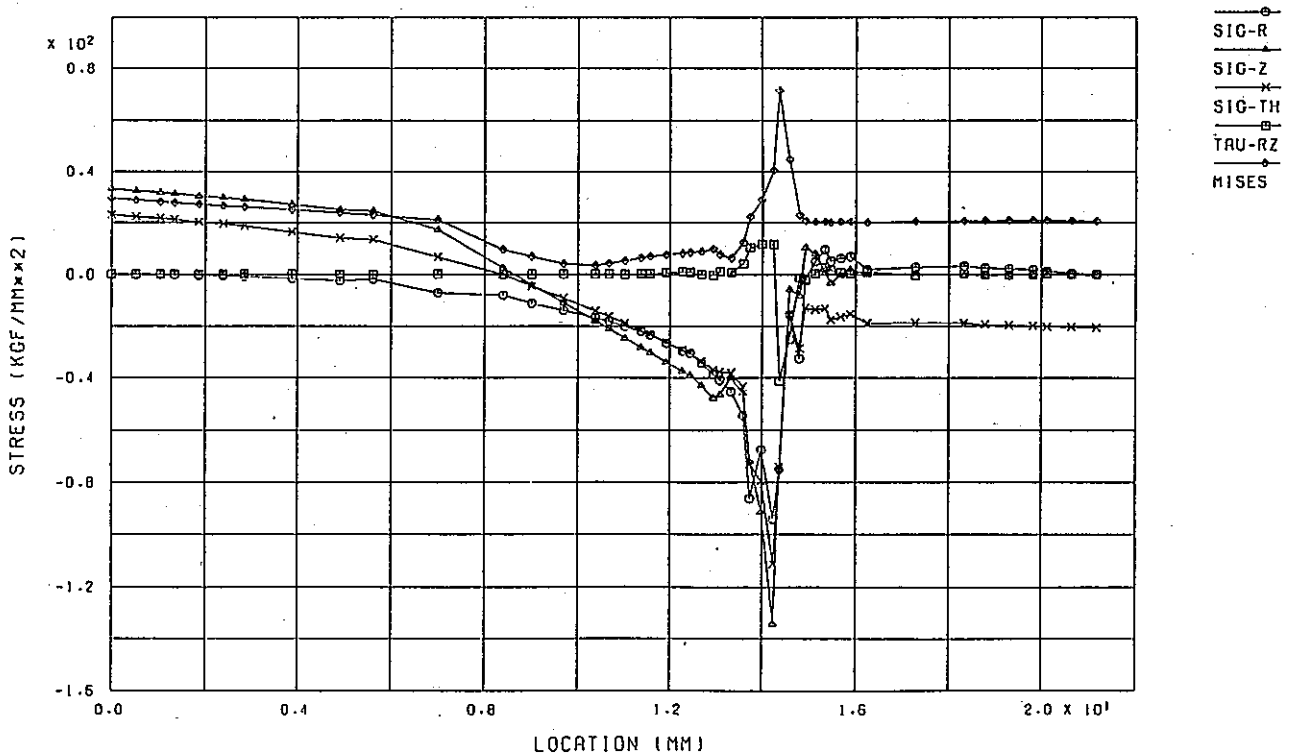
付図C-30 き裂面の応力上分布図 (EBW a= 4 mm)

(a) Cold Transient 50 sec (b) Hot Transient 60 sec



WELD D704W-3 (A= 7MM) STRESS DIST. ALONG CRACK (COLD 50 SEC)

(a) Cold Transient 50 sec



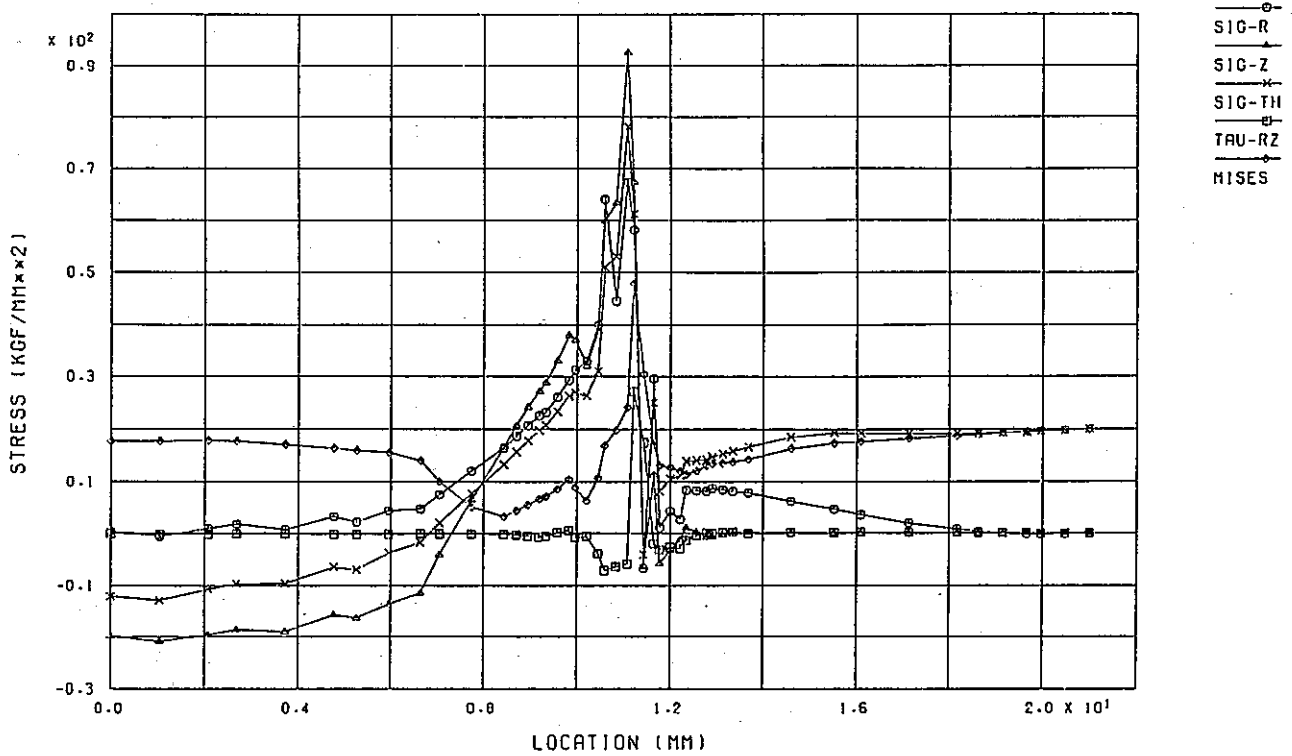
WELD D704W-3 (A= 7MM) STRESS DIST. ALONG CRACK (HOT 60 SEC)

(b) Hot Transient 60 sec

付図C-31 き裂面上の応力分布図 (BBW a= 7mm)

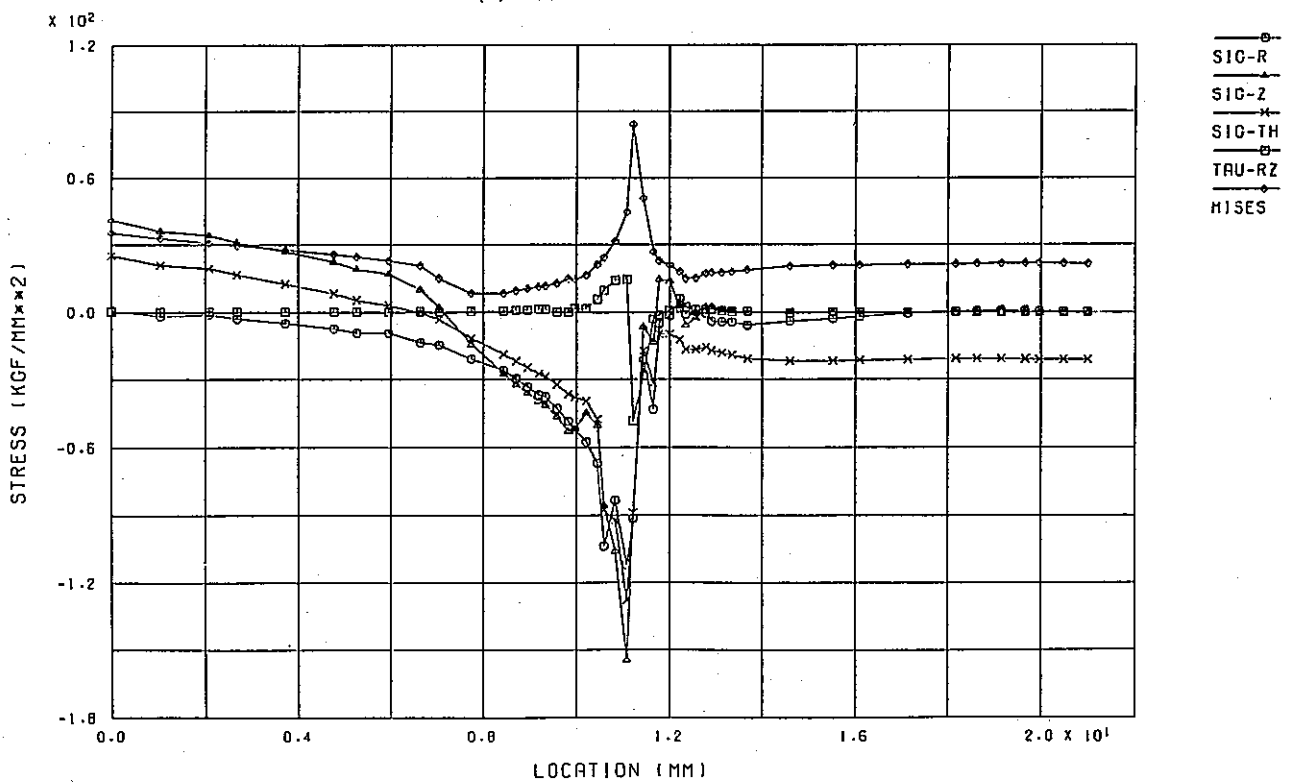
(a) Cold Transient 50 sec (b) Hot Transient 60 sec





WELD D704W-4 (A=10MM) STRESS DIST. ALONG CRACK (COLD 50 SEC)

(a) Cold Transient 50 sec



WELD D704W-4 (A=10MM) STRESS DIST. ALONG CRACK (HOT 60 SEC)

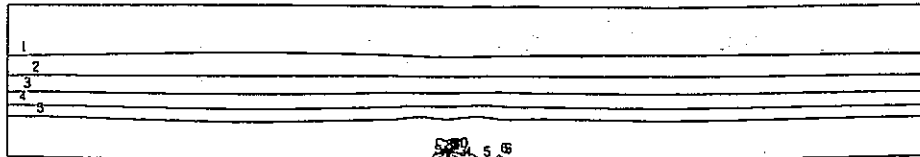
(b) Hot Transient 60 sec

付図C-32 き裂面上の応力分布図 (EBW a=10mm)

(a) Cold Transient 50 sec (b) Hot Transient 60 sec

CONTOUR VALUES

1	-13.0000
2	-6.00000
3	1.000000
4	8.000000
5	15.00000
6	22.00000
7	29.00000
8	36.00000
9	43.00000
10	50.00000



STEP NO. 24

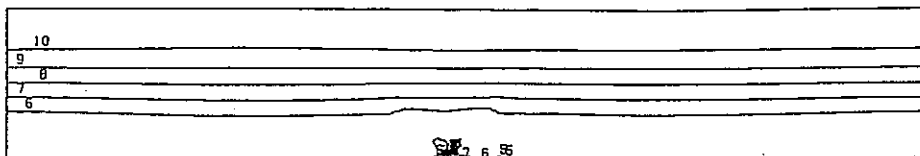
GEOH. SCALE 1 \_\_\_\_\_ 20.0000

WELD D704W-1 (R= 1MM) SIG-Z (1-ST. COLD. 50SEC)

(a) Cold Transient 50 sec

CONTOUR VALUES

1	-60.5000
2	-51.6000
3	-42.7000
4	-33.8000
5	-24.9000
6	-16.0000
7	-7.10000
8	1.800000
9	10.70000
10	19.60000



STEP NO. 88

GEOH. SCALE 1 \_\_\_\_\_ 20.0000

WELD D704W-1 (R= 1MM) SIG-Z (1-ST. HOT. 60SEC)

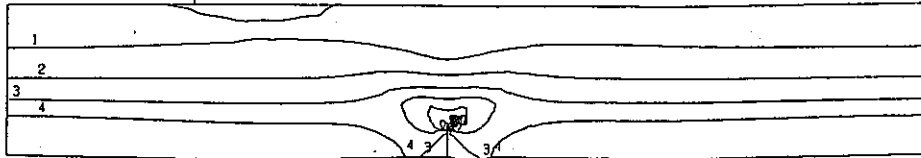
(b) Hot Transient 60 sec

付図C-33  $\sigma_z$ 成分の応力コンター図 (EBW a=1mm)

(a) Cold Transient 50 sec (b) Hot Transient 60 sec

CONTOUR VALUES

1	-13.8000
2	-4.50000
3	4.800000
4	14.10000
5	23.40000
6	32.70000
7	42.00000
8	51.30000
9	60.60000
10	69.90000



STEP NO. 24

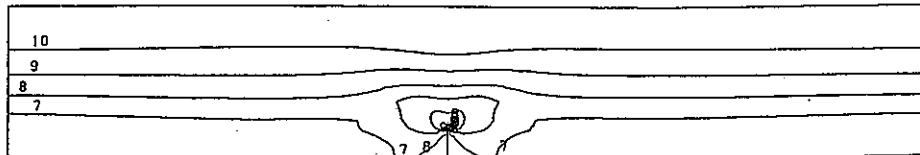
GEOM. SCALE 1 \_\_\_\_\_ 20.0000

WELD D704W-2 (R= 4MM) SIG-Z (1-ST.COLD. 50SEC)

(a) Cold Transient 50 sec

CONTOUR VALUES

1	-90.0000
2	-78.0000
3	-66.0000
4	-54.0000
5	-42.0000
6	-30.0000
7	-18.0000
8	-6.00000
9	6.000000
10	18.00000



STEP NO. 88

GEOM. SCALE 1 \_\_\_\_\_ 20.0000

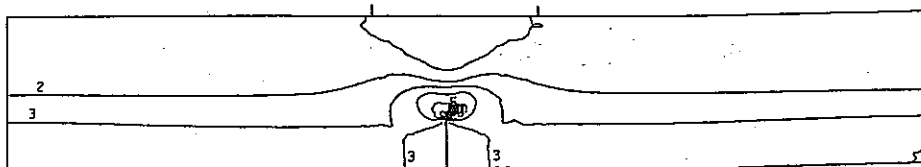
WELD D704W-2 (R= 4MM) SIG-Z (1-ST. HOT. 60SEC)

(b) Hot Transient 60 sec

付図C-34  $\sigma_z$ 成分の応力コンター図 (BBW a= 4 mm)

(a) Cold Transient 50 sec (b) Hot Transient 60 sec

CONTOUR VALUES  
 1 -14.0000  
 2 -3.00000  
 3 8.000000  
 4 19.00000  
 5 30.00000  
 6 41.00000  
 7 52.00000  
 8 63.00000  
 9 74.00000  
 10 85.00000



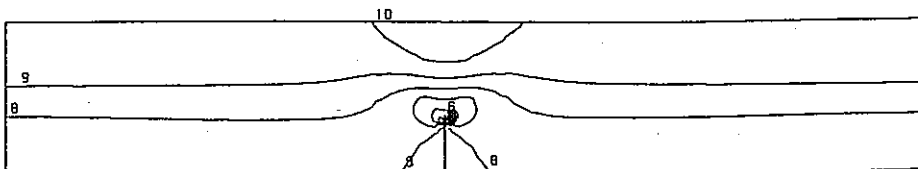
STEP NO. 24

GEOM. SCALE \_\_\_\_\_ 20.0000

WELD D704W-3 (R= 7MM) S10-Z (1-ST. COLD, 50SEC)

(a) Cold Transient 50 sec

CONTOUR VALUES  
 1 -120.000  
 2 -104.000  
 3 -88.0000  
 4 -72.0000  
 5 -56.0000  
 6 -40.0000  
 7 -24.0000  
 8 -8.00000  
 9 8.000000  
 10 24.00000



STEP NO. 88

GEOM. SCALE \_\_\_\_\_ 20.0000

WELD D704W-3 (R= 7MM) S10-Z (1-ST. HOT, 60SEC)

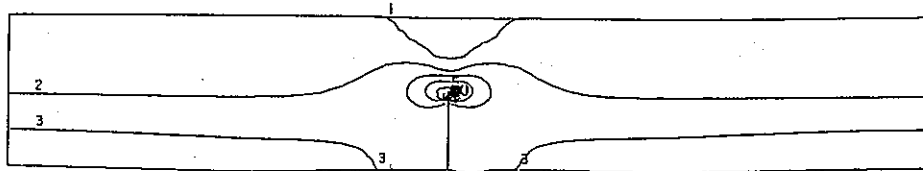
(b) Hot Transient 60 sec

付図C-35  $\sigma_z$ 成分の応力コンター図 (BBW a=7mm)

(a) Cold Transient 50 sec (b) Hot Transient 60 sec

CONTOUR VALUES

1	-15.0000
2	-3.00000
3	9.000000
4	21.00000
5	33.00000
6	45.00000
7	57.00000
8	69.00000
9	81.00000
10	93.00000



STEP NO. 24

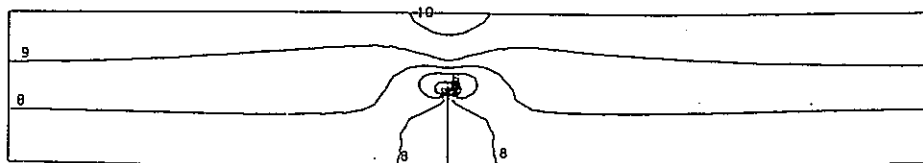
GEOM. SCALE \_\_\_\_\_ 20.0000

WELD D704W-4 (R=10MM) SIG-Z (1-ST. COLD, 50SEC)

(a) Cold Transient 50 sec

CONTOUR VALUES

1	-140.000
2	-121.000
3	-102.000
4	-83.0000
5	-64.0000
6	-45.0000
7	-26.0000
8	-7.00000
9	12.00000
10	31.00000



STEP NO. 88

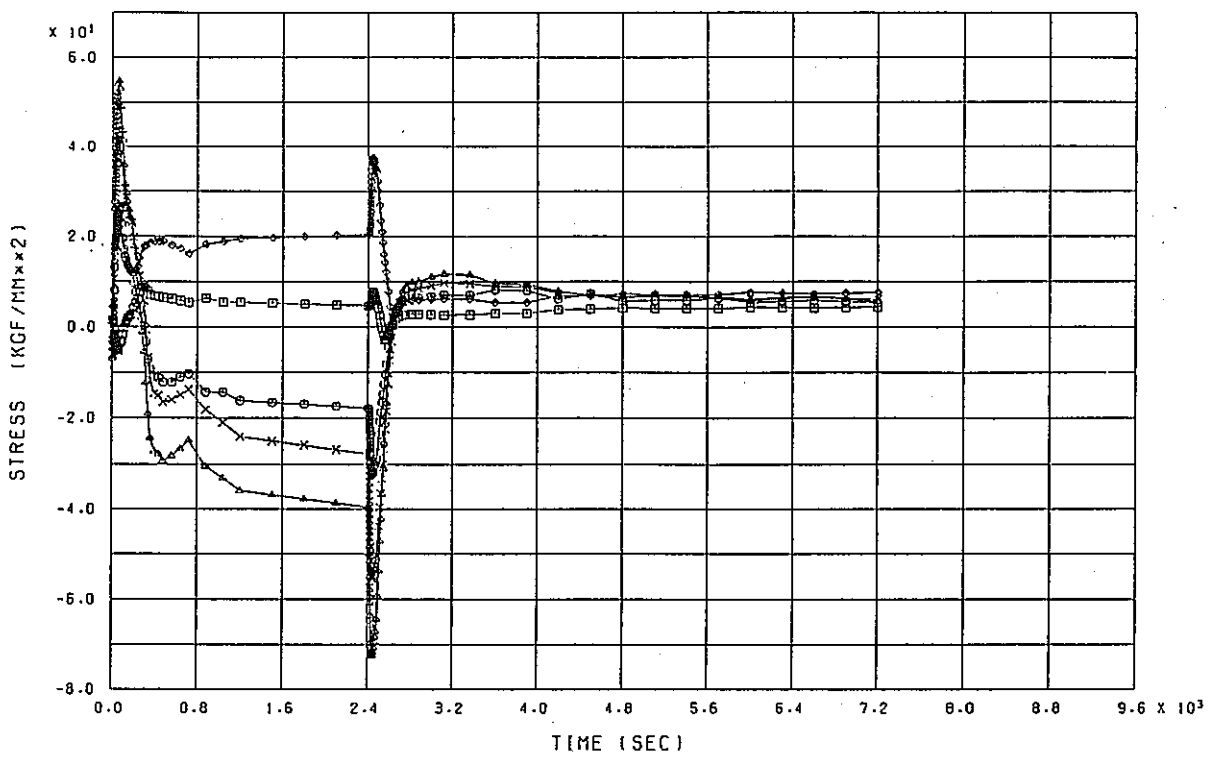
GEOM. SCALE \_\_\_\_\_ 20.0000

WELD D704W-4 (R=10MM) SIG-Z (1-ST. HOT, 60SEC)

(b) Hot Transient 60 sec

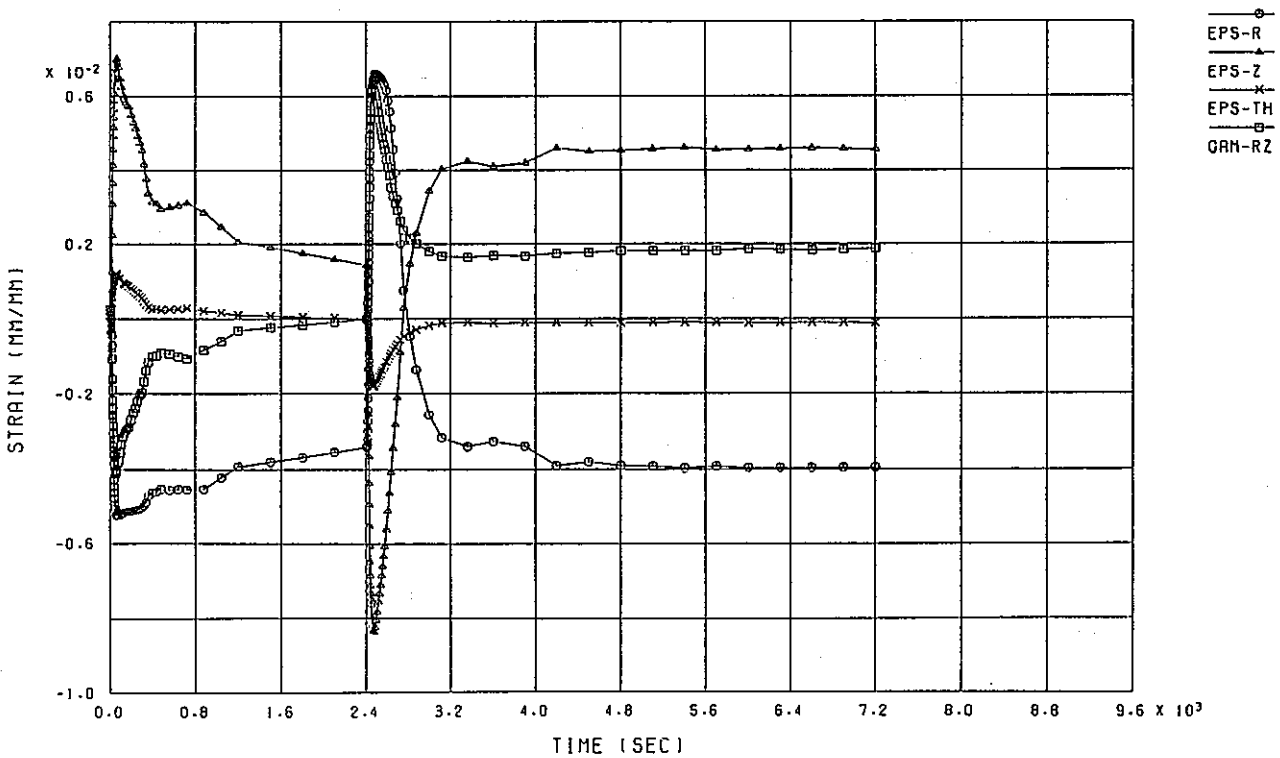
付図C-36  $\sigma_z$ 成分の応力コンター図 (EBW a=10mm)

(a) Cold Transient 50 sec (b) Hot Transient 60 sec



WELO D705W-1 (A= 1MM) STRESS HISTORY D705-B CRACK TIP

(a) 応力

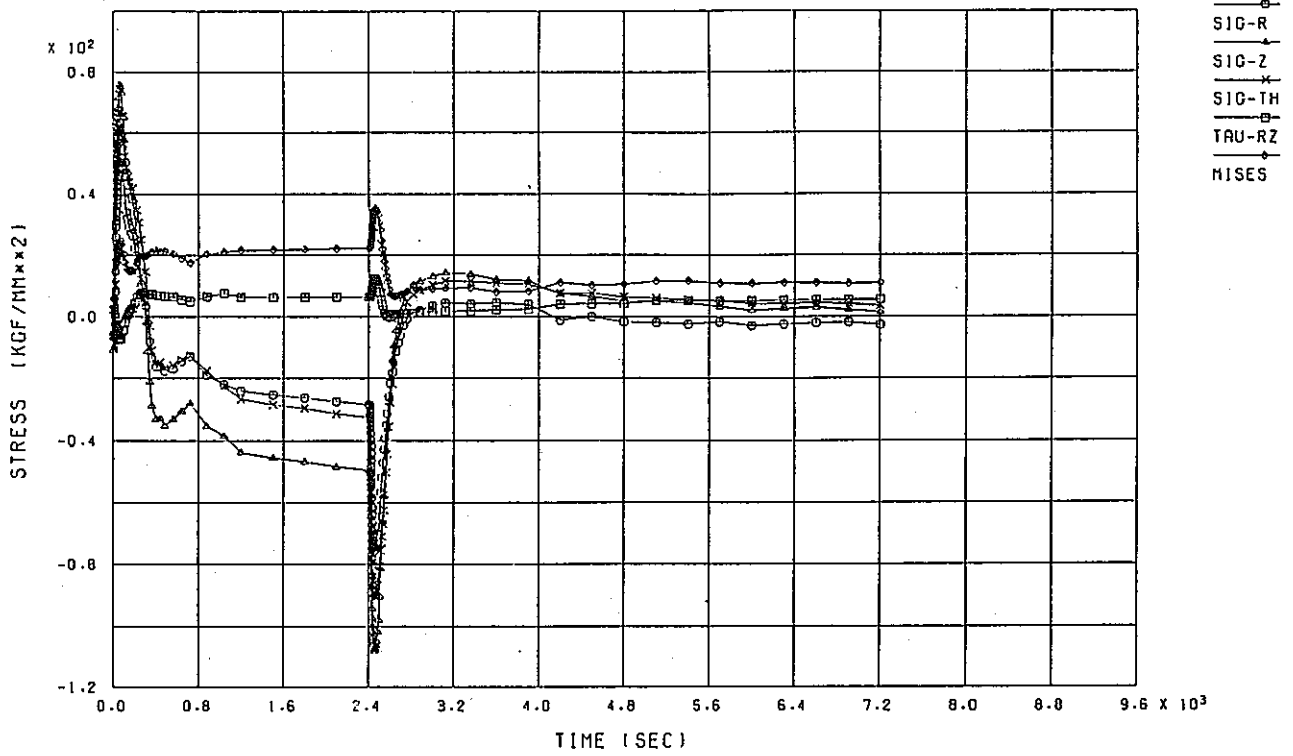


WELO D705W-1 (A= 1MM) STRAIN HISTORY D705-B CRACK TIP

(b) 歪

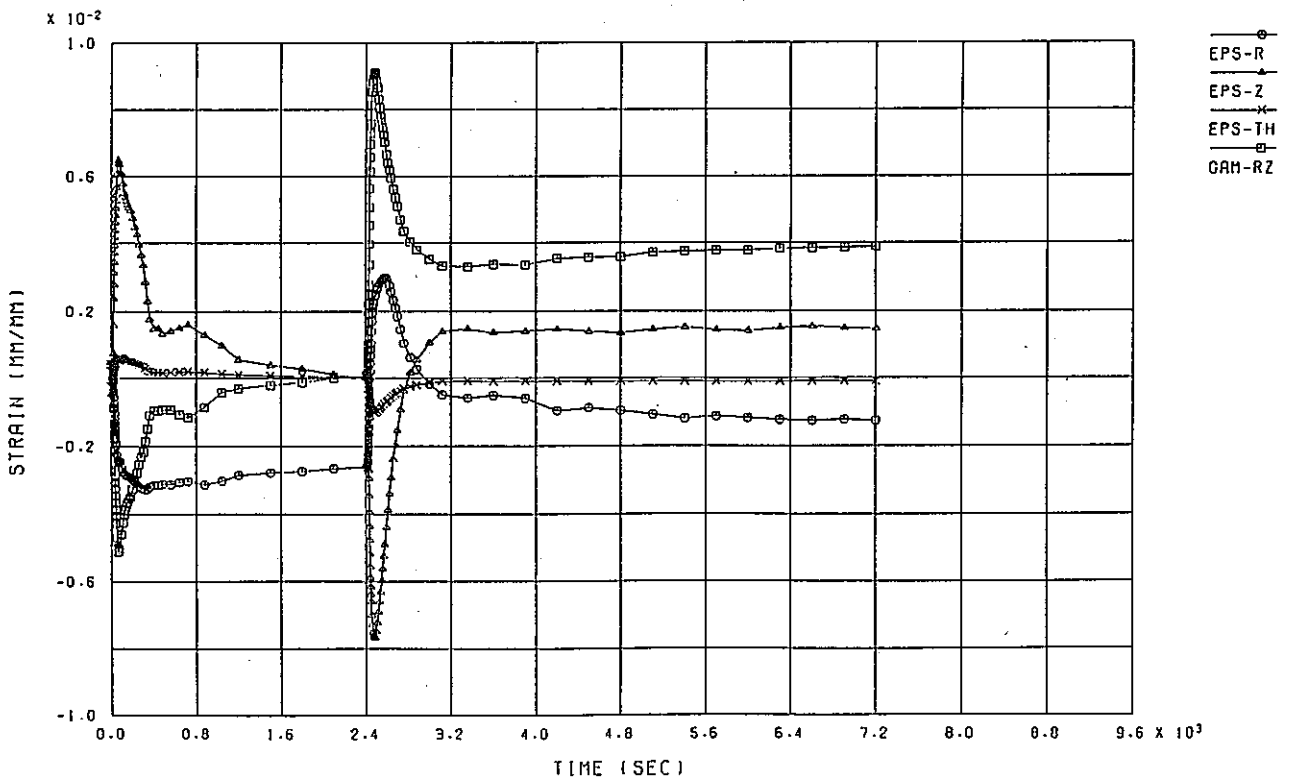
付図C-37 熱過渡1サイクル中のき裂先端での応力, 歪の経時変化 (TIG a=1mm)

(a) 応力 (b) 歪



WELO D705W-2 (A= 6MM) STRESS HISTORY D705-B CRACK TIP

(a) 応力

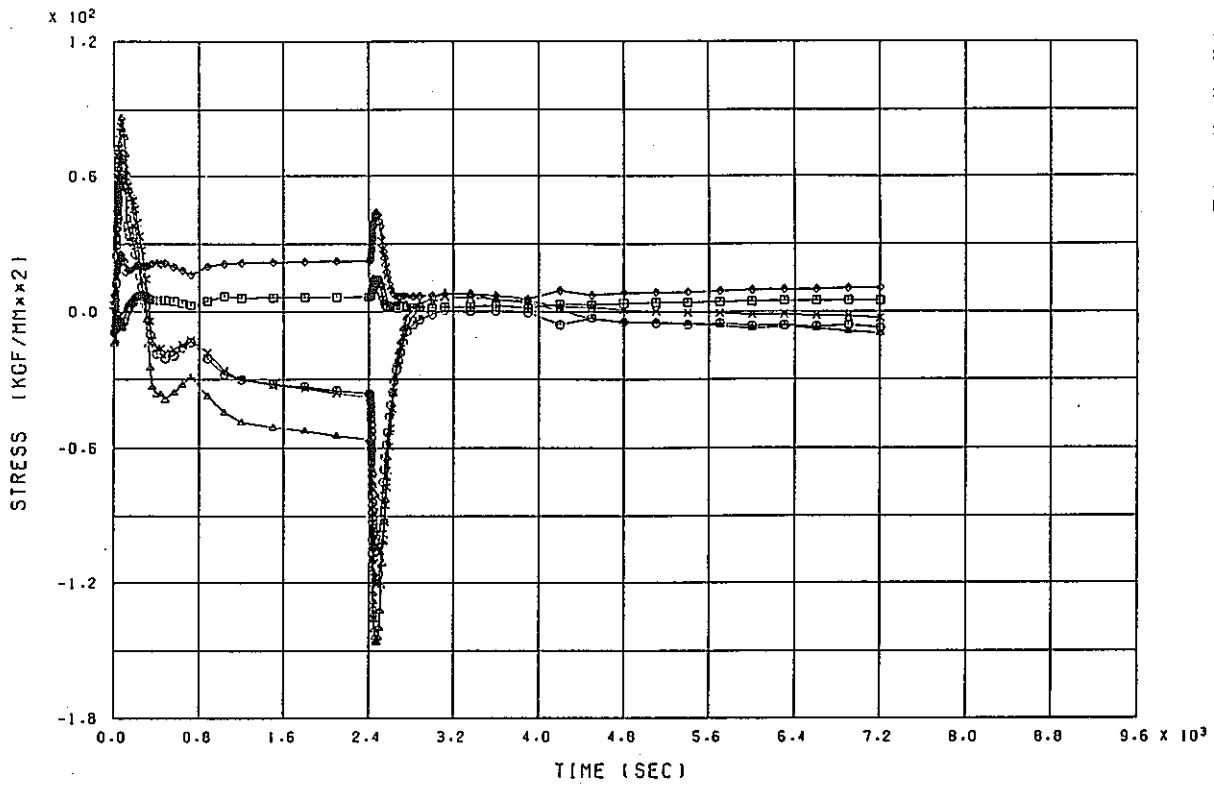


WELO D705W-2 (A= 6MM) STRAIN HISTORY D705-B CRACK TIP

(b) 歪

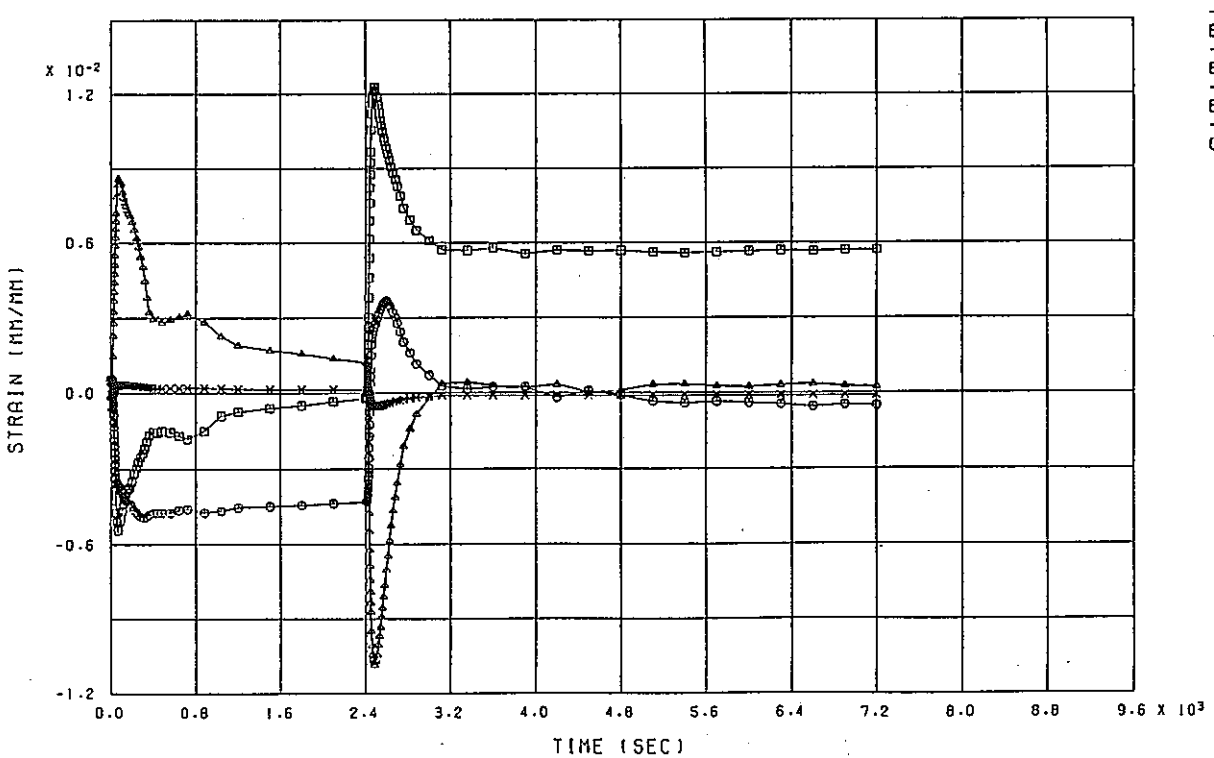
付図C-38 熱過渡1サイクル中のき裂先端での応力, 歪の経時変化 (TIG a=6mm)

(a) 応力 (b) 歪



WELD D705W-3 (A=11MM) STRESS HISTORY D705-B CRACK TIP

(a) 応力



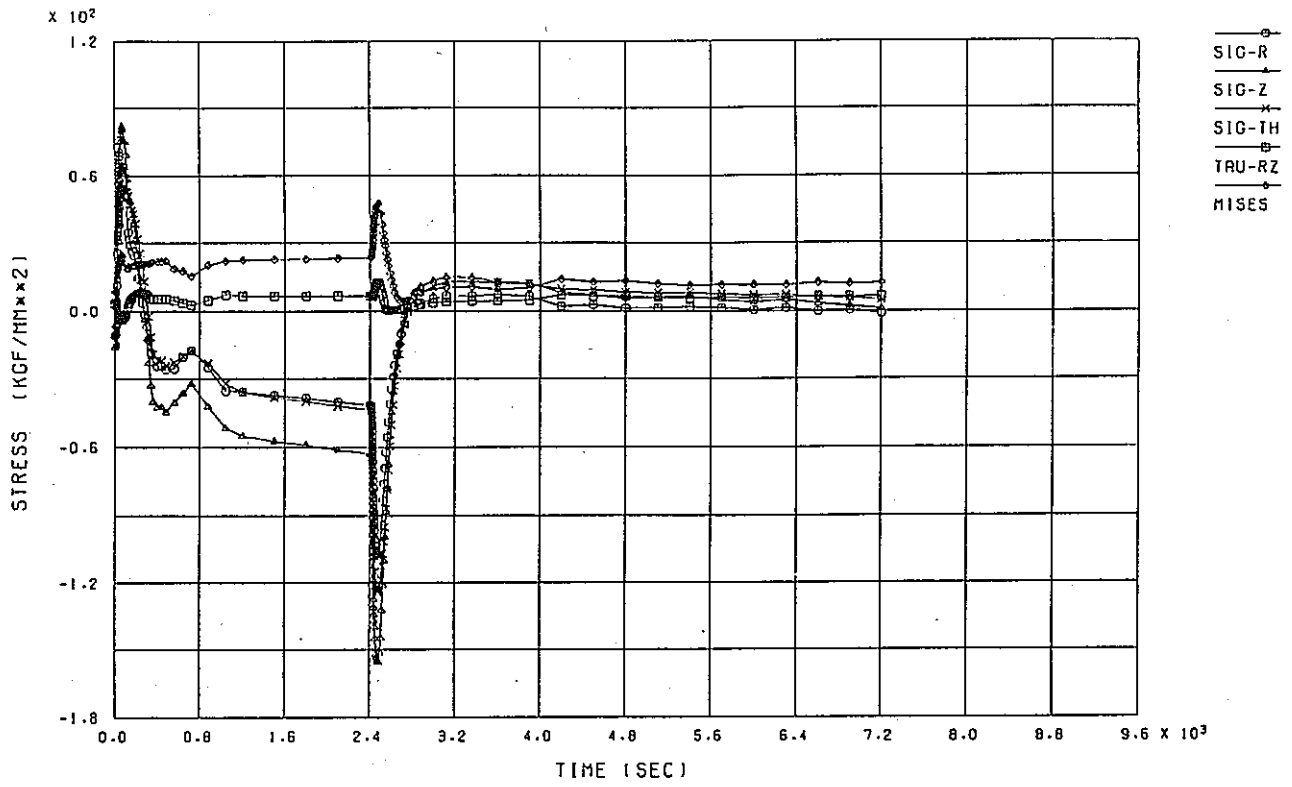
WELD D705W-3 (A=11MM) STRAIN HISTORY D705-B CRACK TIP

(b) 歪

付図C-39 熱過渡1サイクル中のき裂先端での応力, 歪の経時変化 (TIG a=11mm)

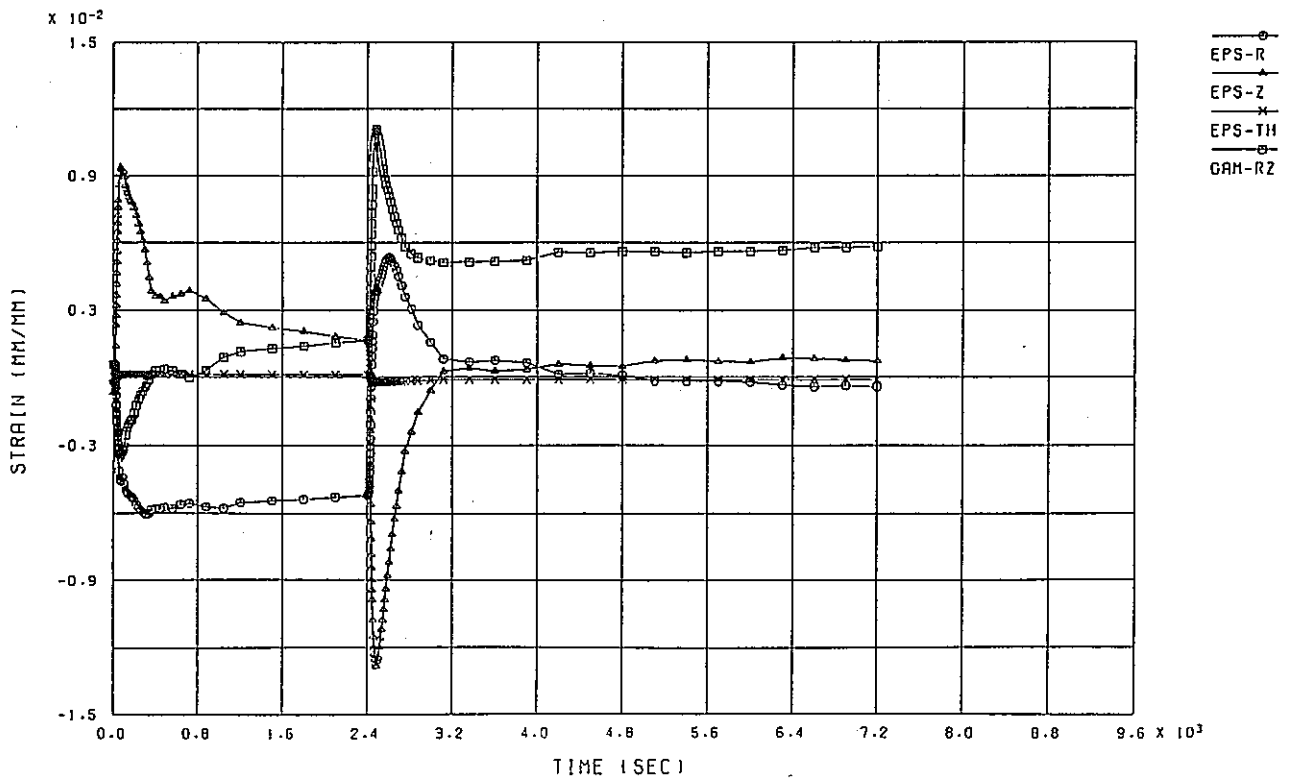
(a) 応力 (b) 歪





WELD D705W-4 (A=16MM) STRESS HISTORY D705-B CRACK TIP

(a) 応力

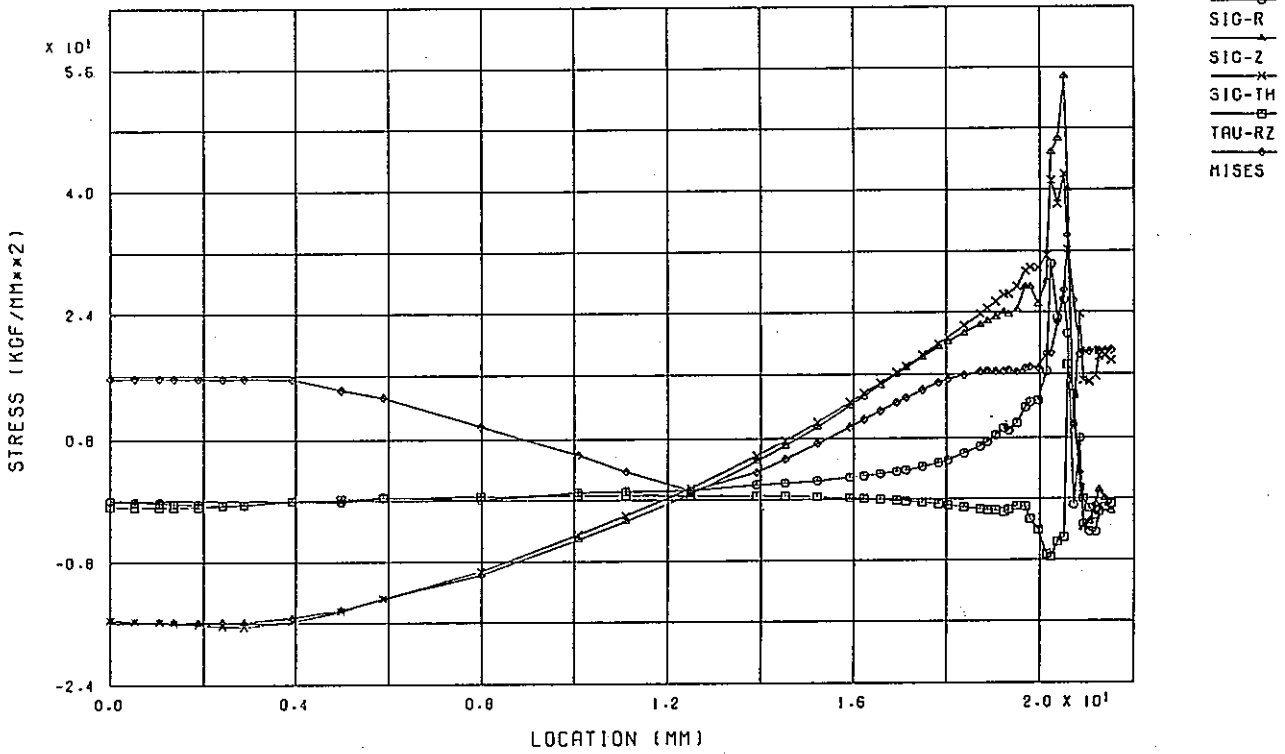


WELD D705W-4 (A=16MM) STRAIN HISTORY D705-B CRACK TIP

(b) 歪

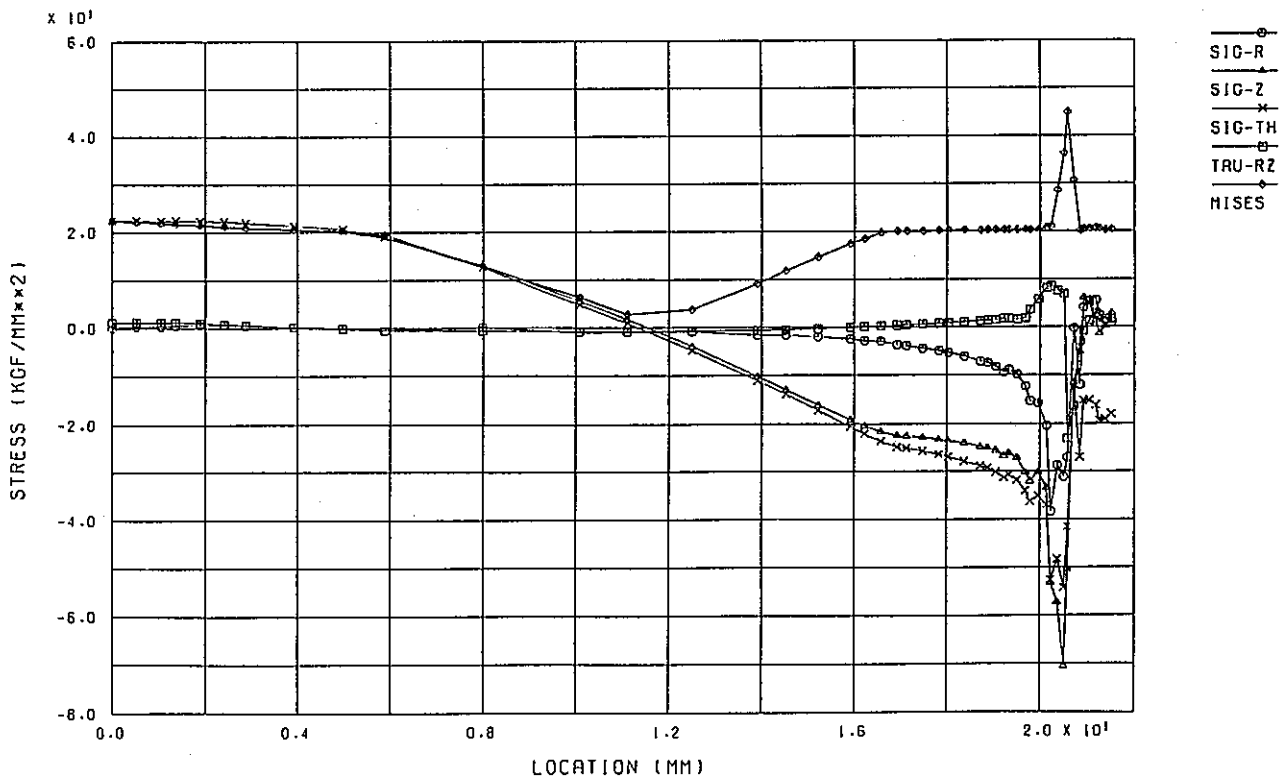
付図C-40 熱過渡1サイクル中のき裂先端での応力, 歪の経時変化 (TIG a=16mm)

(a) 応力 (b) 歪



WELD D705W-1 (A= 1MM) STRESS DIST. ALONG CRACK (COLD 65 SEC)

(a) Cold Transient 65 sec

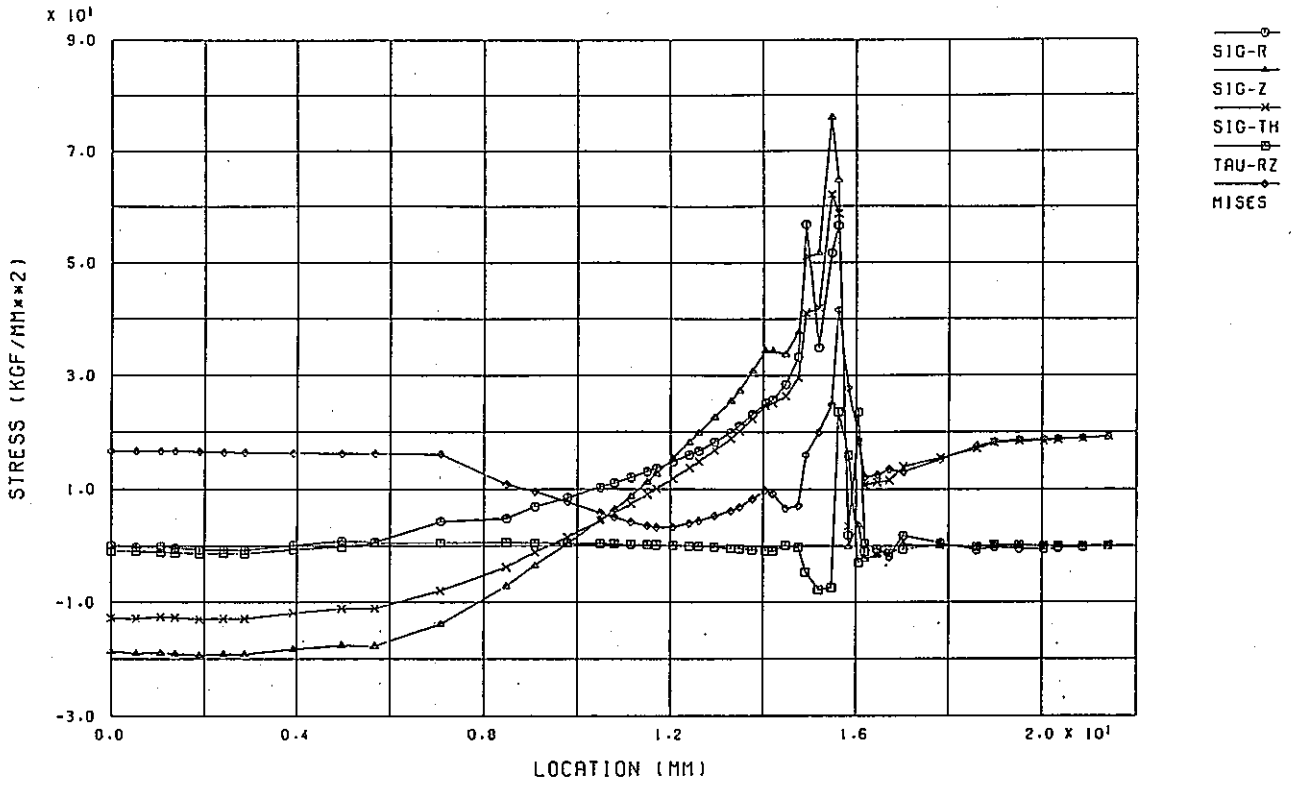


WELD D705W-1 (A= 1MM) STRESS DIST. ALONG CRACK (HOT 65 SEC)

(b) Hot Transient 65 sec

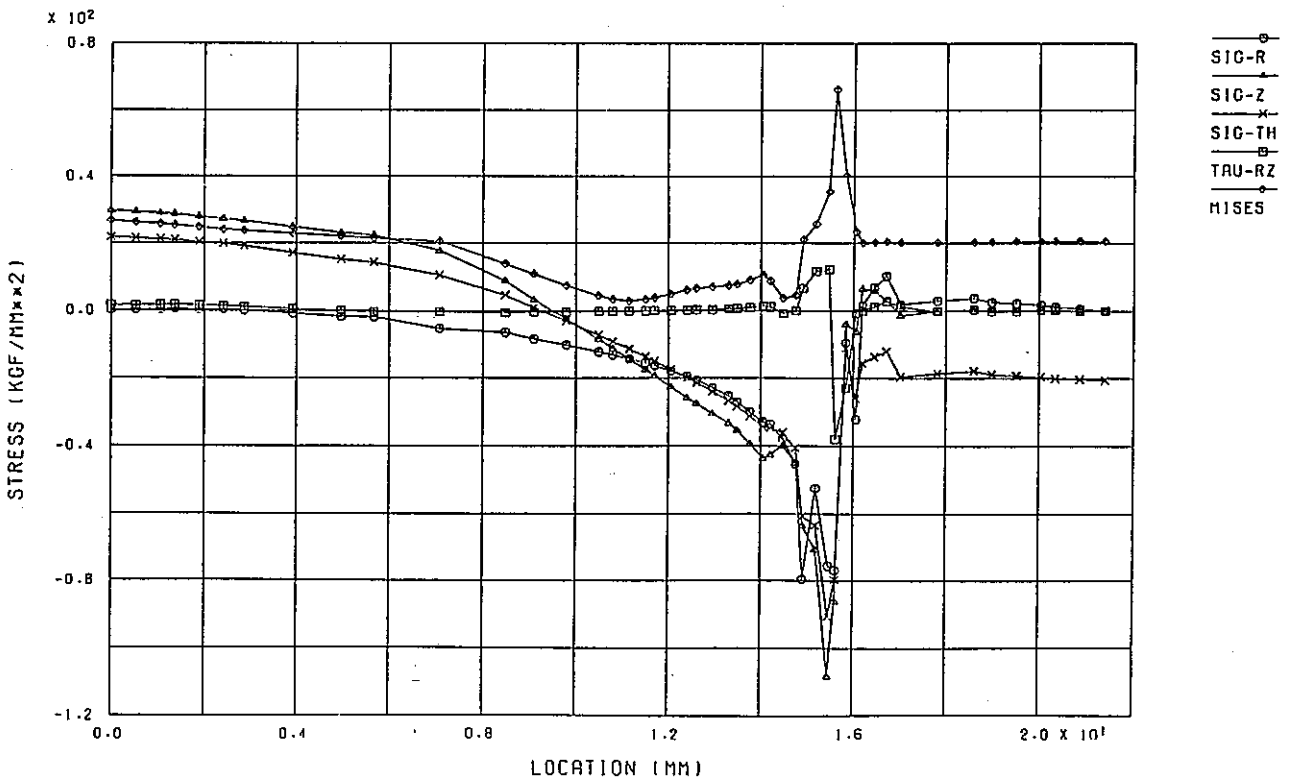
付図C-41 き裂面上の応力分布図 (TIG a= 1mm)

(a) Cold Transient 65 sec (b) Hot Transient 65 sec



WELD D705W-2 (R= 6MM) STRESS DIST. ALONG CRACK (COLD 65 SEC)

(a) Cold Transient 65 sec

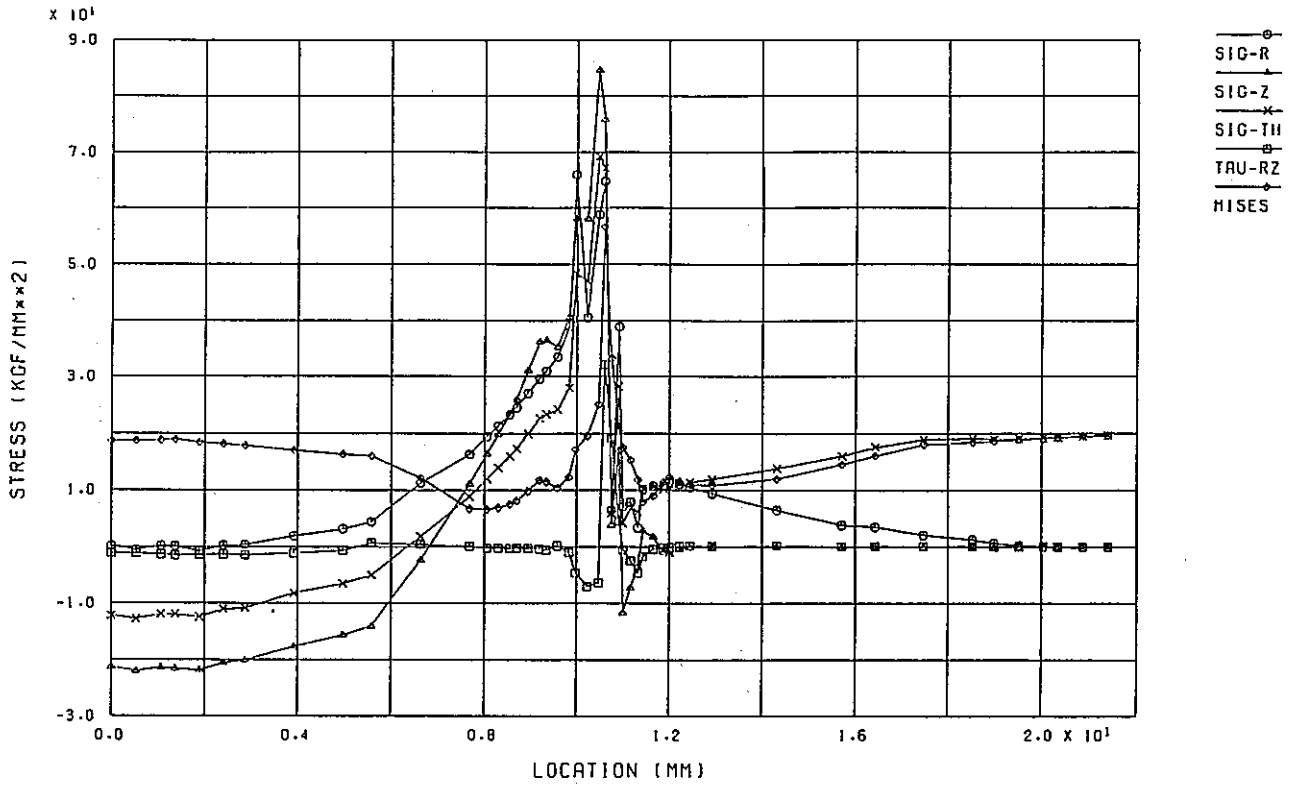


WELD D705W-2 (R= 6MM) STRESS DIST. ALONG CRACK (HOT 65 SEC)

(b) Hot Transient 65 sec

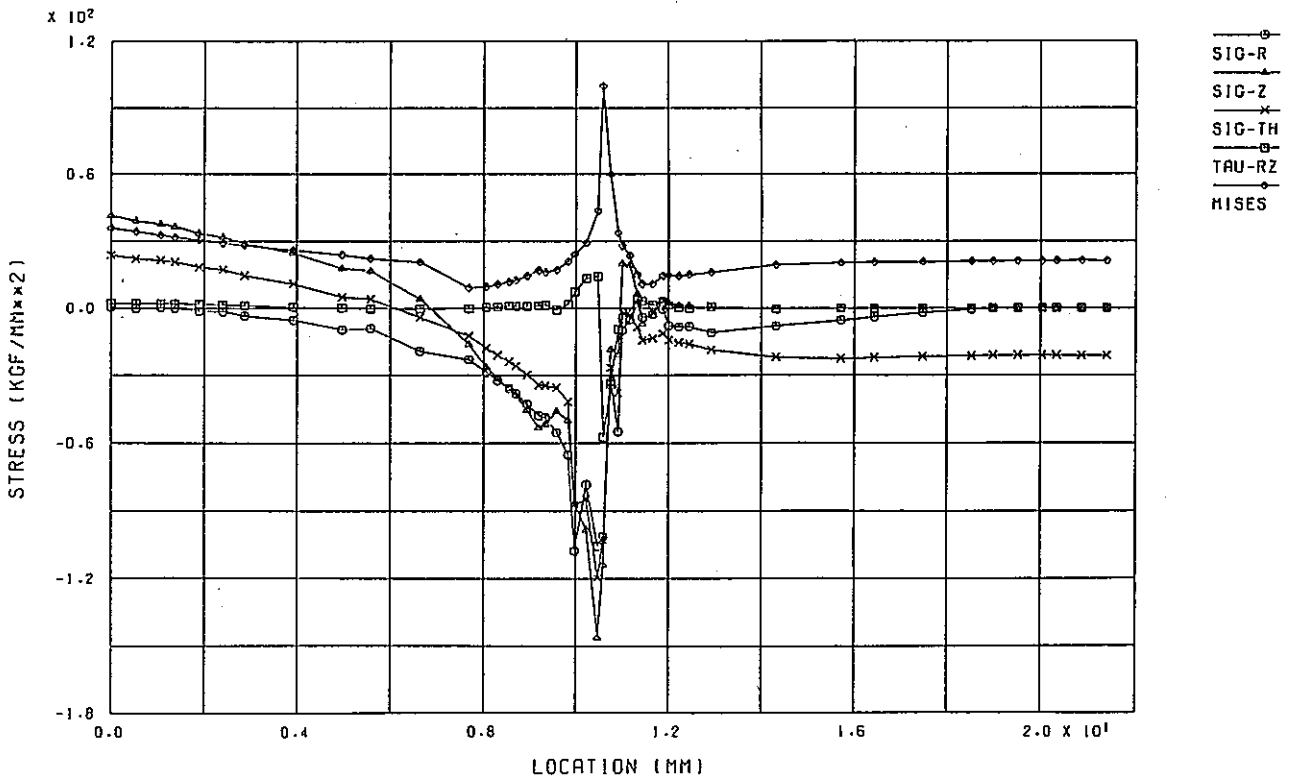
付図C-42 き裂面上の応力分布図 (TIG a= 6mm)

(a) Cold Transient 65 sec (b) Hot Transient 65 sec



WELD D705W-3 (A=11MM) STRESS DIST. ALONG CRACK (COLD 65 SEC)

(a) Cold Transient 65 sec

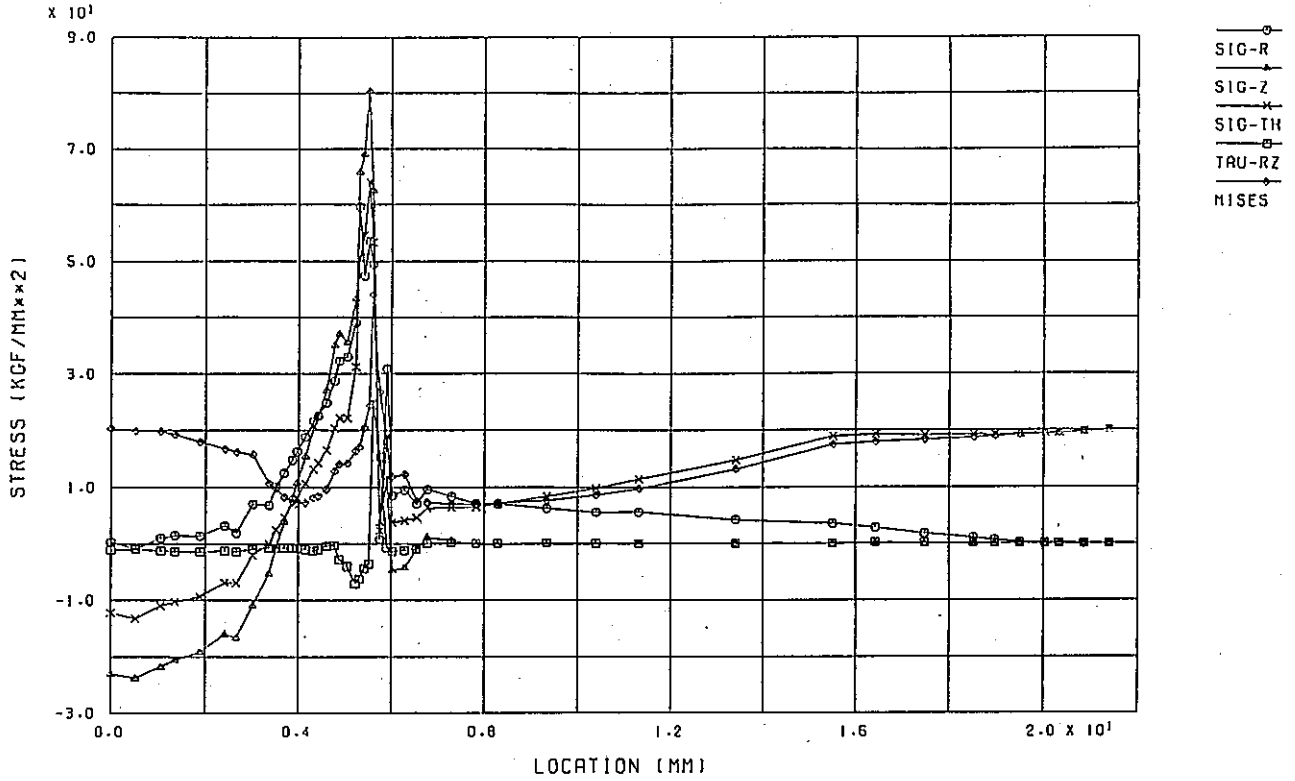


WELD D705W-3 (A=11MM) STRESS DIST. ALONG CRACK (HOT 65 SEC)

(b) Hot Transient 65 sec

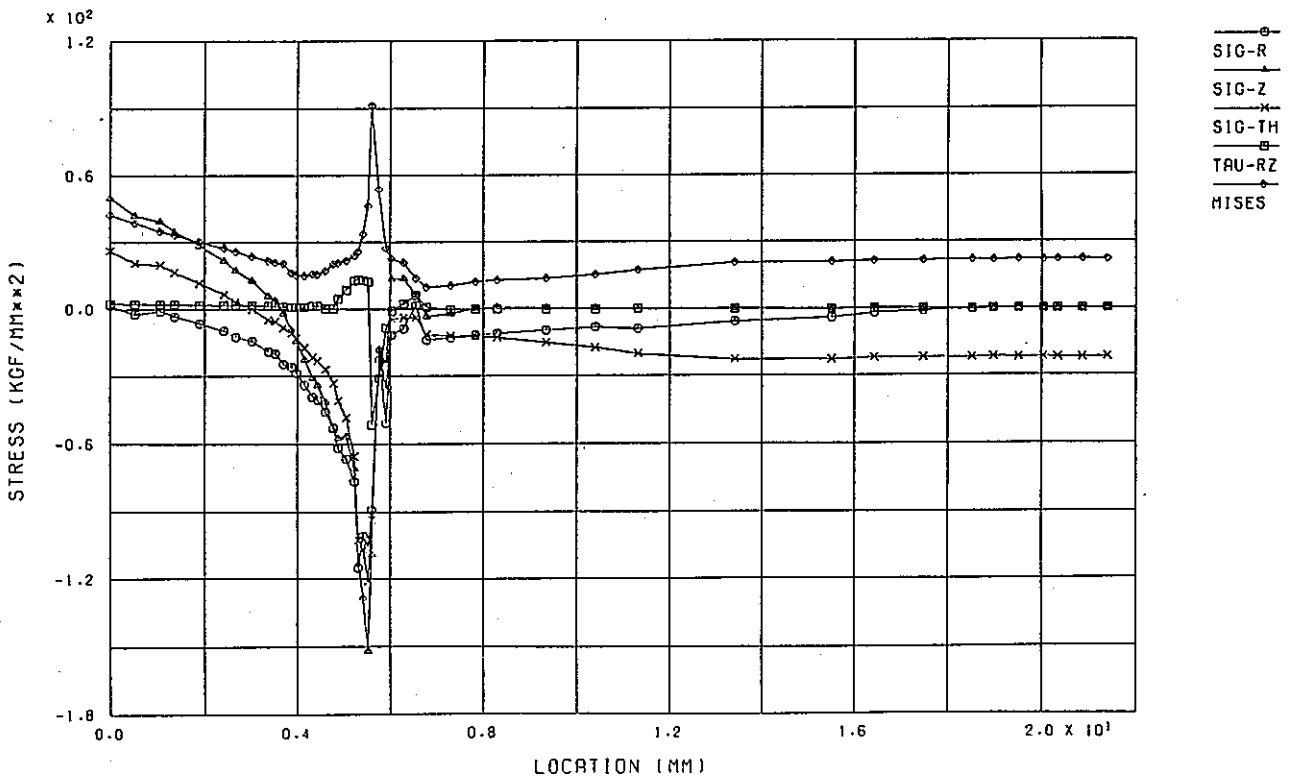
付図C-43 き裂面上の応力分布図 (TIG a=11mm)

(a) Cold Transient 65 sec (b) Hot Transient 65 sec



WELD D705W-4 (A=16MM) STRESS DIST. ALONG CRACK (COLD 65 SEC)

(a) Cold Transient 65 sec



WELD D705W-4 (A=16MM) STRESS DIST. ALONG CRACK (HOT 65 SEC)

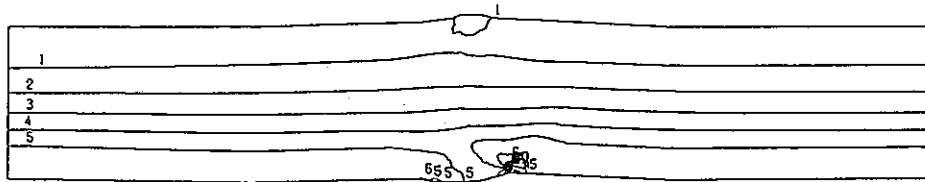
(b) Hot Transient 65 sec

付図C-44 き裂面上の応力分布図 (TIG a=16mm)

(a) Cold Transient 65 sec (b) Hot Transient 65 sec

CONTOUR VALUES

- 1 -13.8000
- 2 -6.40000
- 3 1.000000
- 4 8.400000
- 5 15.80000
- 6 23.20000
- 7 30.60000
- 8 38.00000
- 9 45.40000
- 10 52.80000



STEP NO. 26

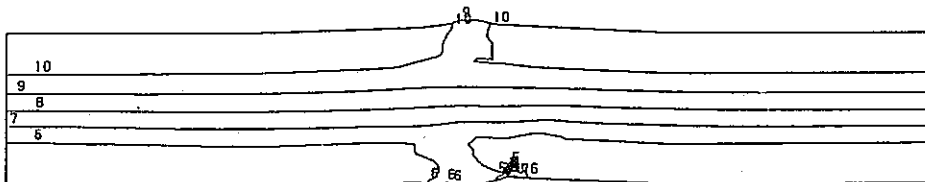
GEOM. SCALE 1 \_\_\_\_\_ 20.0000

WELD D705W-1 (A= 1MM) SIG-Z (1-ST.COLD. 65SEC)

(a) Cold Transient 65 sec

CONTOUR VALUES

- 1 -68.4000
- 2 -58.6000
- 3 -48.8000
- 4 -39.0000
- 5 -29.2000
- 6 -19.4000
- 7 -9.60000
- 8 0.200000
- 9 10.00000
- 10 19.80000



STEP NO. 88

GEOM. SCALE 1 \_\_\_\_\_ 20.0000

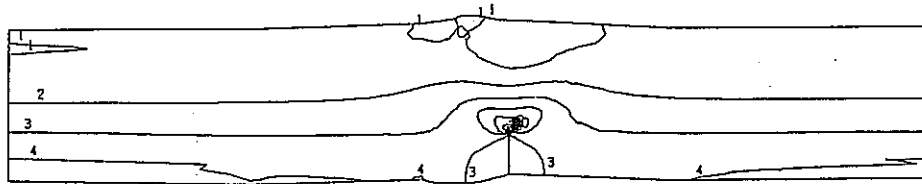
WELD D705W-1 (A= 1MM) SIG-Z (1-ST. HOT. 65SEC)

(b) Hot Transient 65 sec

付図C-45  $\sigma_z$ 成分の応力コンター図 (TIG a=1mm)

(a) Cold Transient 65 sec (b) Hot Transient 65 sec

CONTOUR VALUES  
 1 -15.0000  
 2 -4.00000  
 3 7.000000  
 4 18.00000  
 5 29.00000  
 6 40.00000  
 7 51.00000  
 8 62.00000  
 9 73.00000  
 10 84.00000



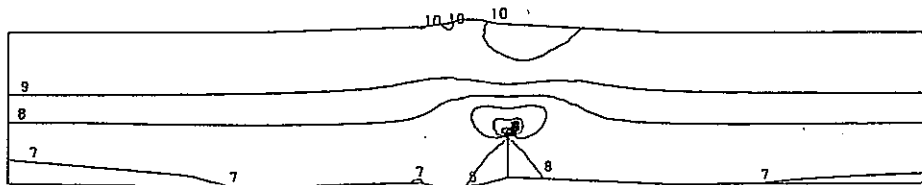
STEP NO. 26

GEOM. SCALE \_\_\_\_\_ 20.0000

WELD D705W-2 (A= 6MM) SIG-Z (1-ST.COLO. 65SEC)

(a) Cold Transient 65 sec

CONTOUR VALUES  
 1 -111.000  
 2 -96.0000  
 3 -81.0000  
 4 -66.0000  
 5 -51.0000  
 6 -36.0000  
 7 -21.0000  
 8 -6.00000  
 9 9.000000  
 10 24.00000



STEP NO. 88

GEOM. SCALE \_\_\_\_\_ 20.0000

WELD D705W-2 (A= 6MM) SIG-Z (1-ST. HOT. 65SEC)

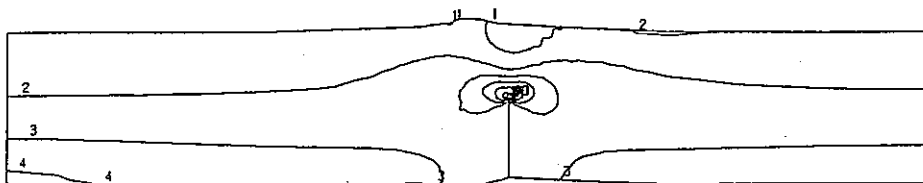
(b) Hot Transient 65 sec

付図C-46  $\sigma_z$ 成分の応力コンター図 (TIG a=6mm)

(a) Cold Transient 65 sec (b) Hot Transient 65 sec

CONTOUR VALUES

1	-18.0000
2	-6.00000
3	6.000000
4	18.00000
5	30.00000
6	42.00000
7	54.00000
8	66.00000
9	78.00000
10	90.00000



STEP NO. 26

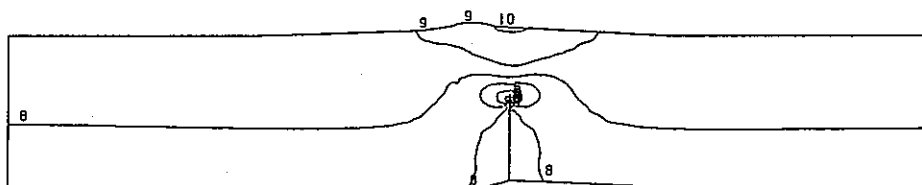
GEOM. SCALE \_\_\_\_\_ 20.0000

WELD D705W-3 (R=11MM) SIG-Z (1-ST.COLO. 65SEC)

(a) Cold Transient 65 sec

CONTOUR VALUES

1	-150.000
2	-129.000
3	-108.000
4	-87.0000
5	-66.0000
6	-45.0000
7	-24.0000
8	-3.00000
9	18.00000
10	39.00000



STEP NO. 88

GEOM. SCALE \_\_\_\_\_ 20.0000

WELD D705W-3 (R=11MM) SIG-Z (1-ST. HOT. 65SEC)

(b) Hot Transient 65 sec

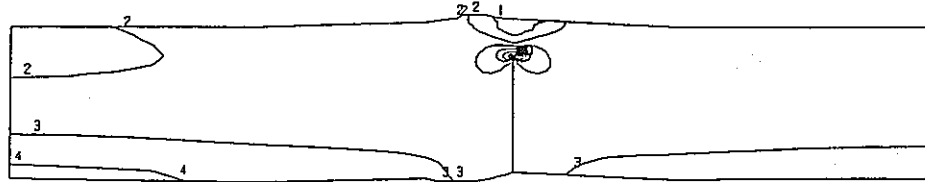
付図C-47  $\sigma_z$ 成分の応力コンター図 (TIG a=11mm)

(a) Cold Transient 65 sec (b) Hot Transient 65 sec



CONTOUR VALUES

1	-18.0000
2	-7.00000
3	4.000000
4	15.00000
5	26.00000
6	37.00000
7	48.00000
8	59.00000
9	70.00000
10	81.00000



STEP NO. 26

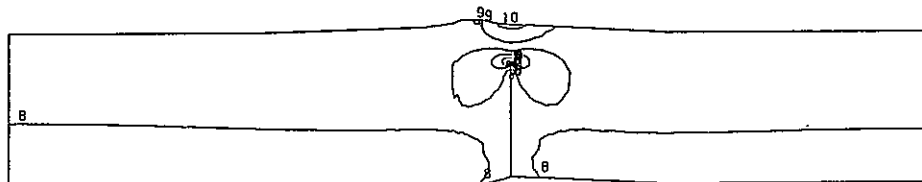
GEOM. SCALE 20.0000

WELD D705W-4 (R=16MM) SIG-Z (1-ST. COLD, 65SEC)

(a) Cold Transient 65 sec

CONTOUR VALUES

1	-155.000
2	-133.000
3	-111.000
4	-89.0000
5	-67.0000
6	-45.0000
7	-23.0000
8	-1.00000
9	21.00000
10	43.00000



STEP NO. 88

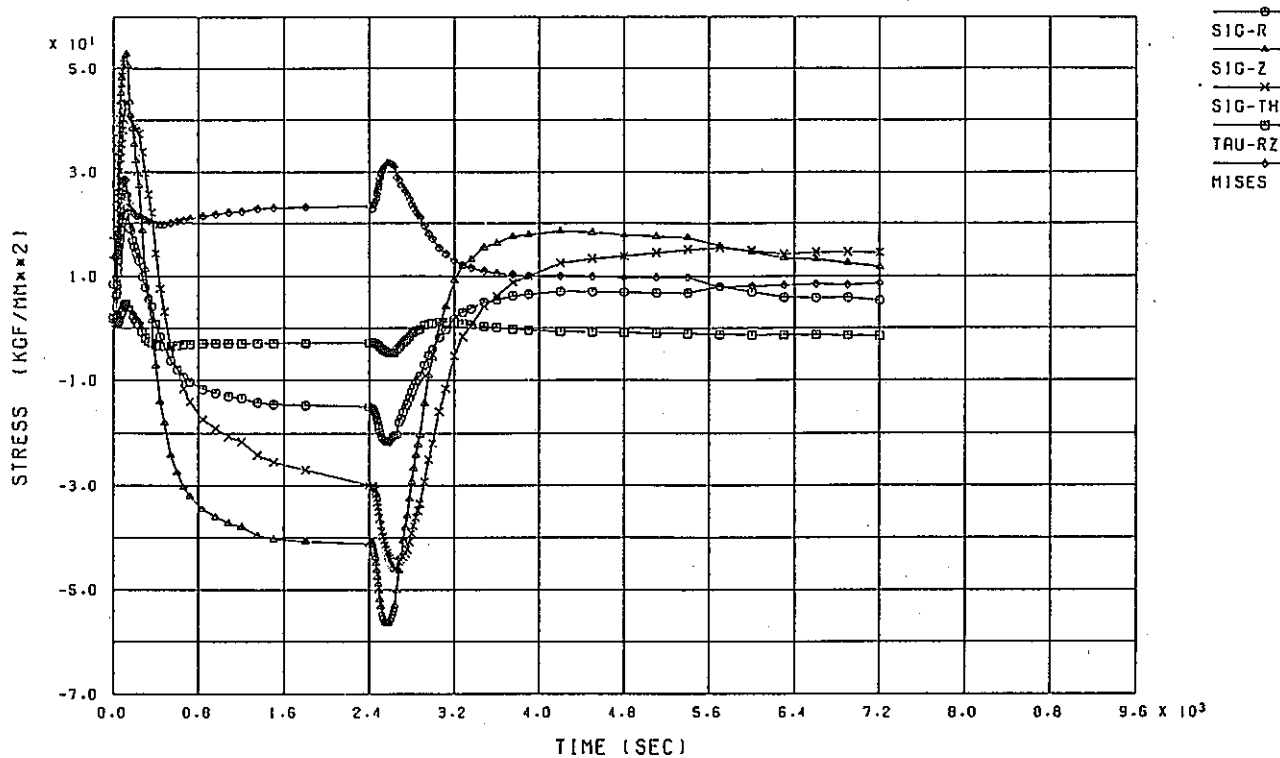
GEOM. SCALE 20.0000

WELD D705W-4 (R=16MM) SIG-Z (1-ST. HOT, 65SEC)

(b) Hot Transient 65 sec

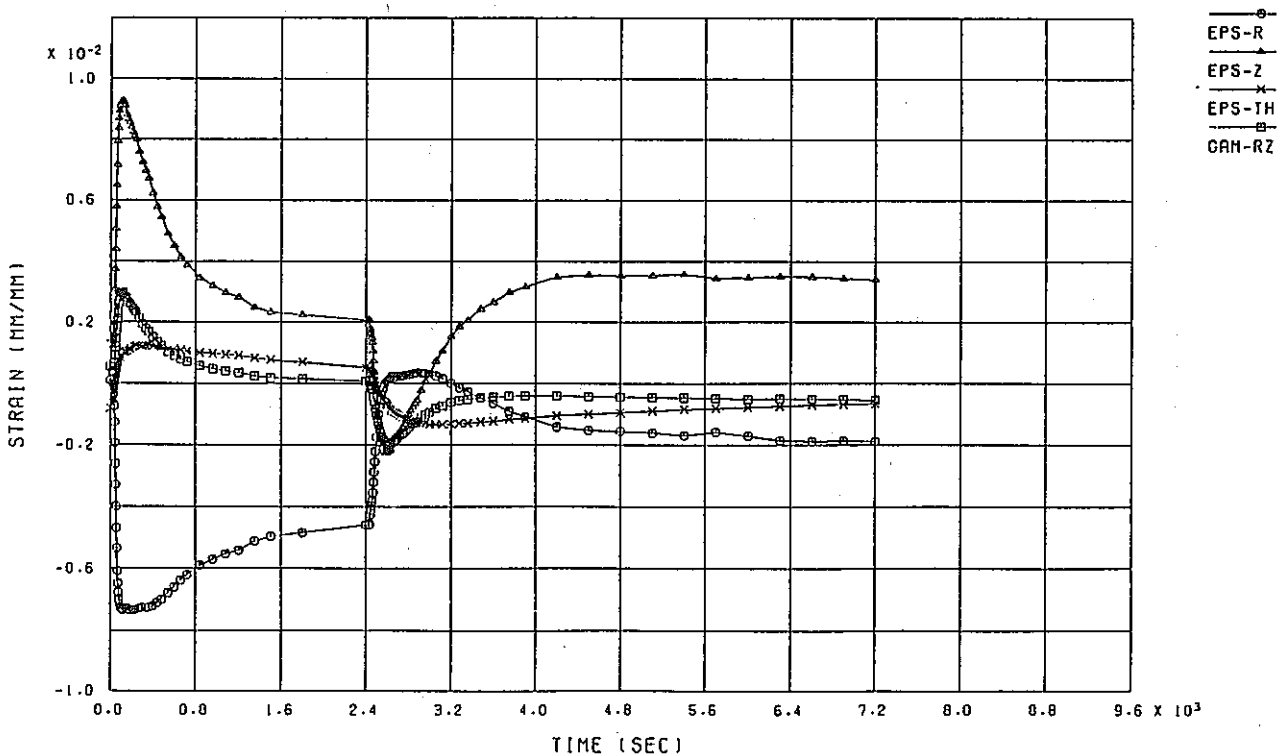
付図C-48  $\sigma_z$ 成分の応力コンター図 (TIG a=16mm)

(a) Cold Transient 65 sec (b) Hot Transient 65 sec



SKIRT MODEL M5-1 (A= 1MM) STRESS HISTORY SK-A CRACK TIP

(a) 応力

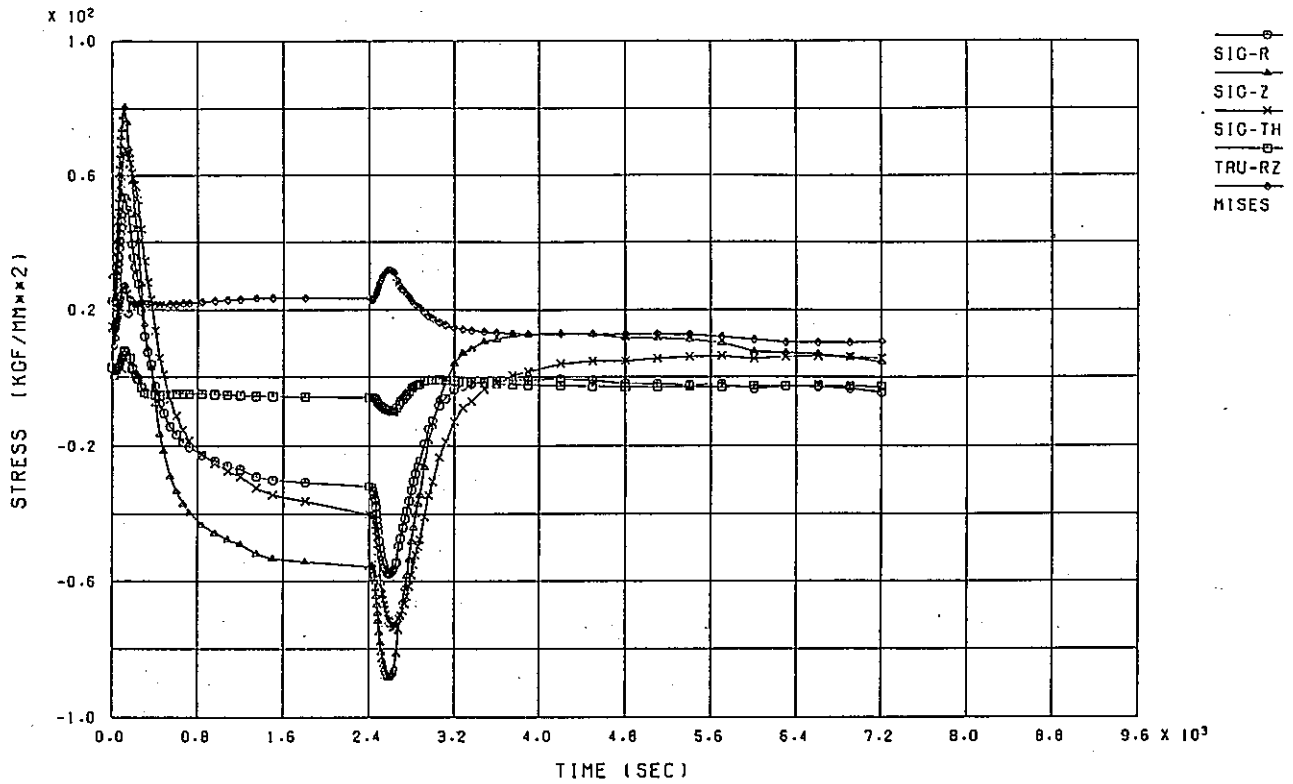


SKIRT MODEL M5-1 (A= 1MM) STRAIN HISTORY SK-A CRACK TIP

(b) 歪

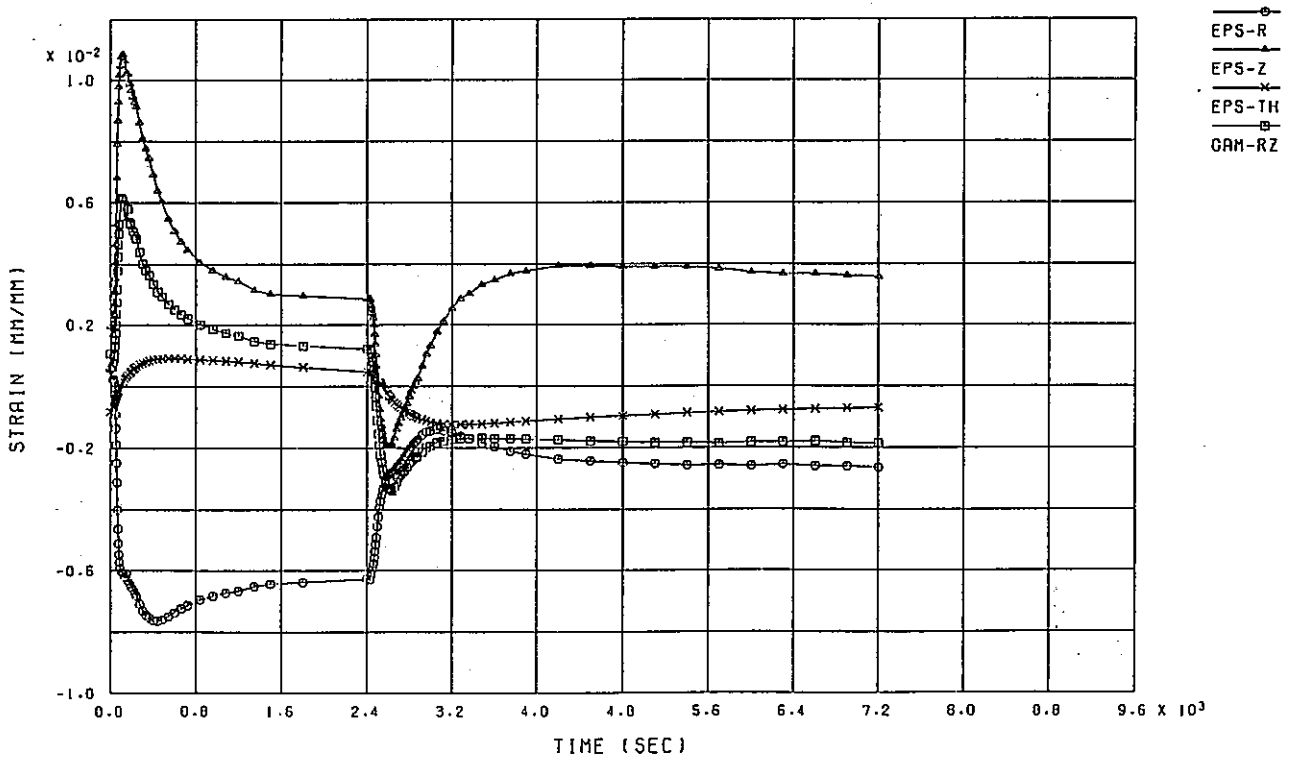
付図C-49 熱過渡1サイクル中のき裂先端での応力, 歪の経時変化 (SKIRT a=1mm)

(a) 応力 (b) 歪



SKIRT MODEL M5-2 (A= 6MM) STRESS HISTORY SK-A CRACK TIP

(a) 応力

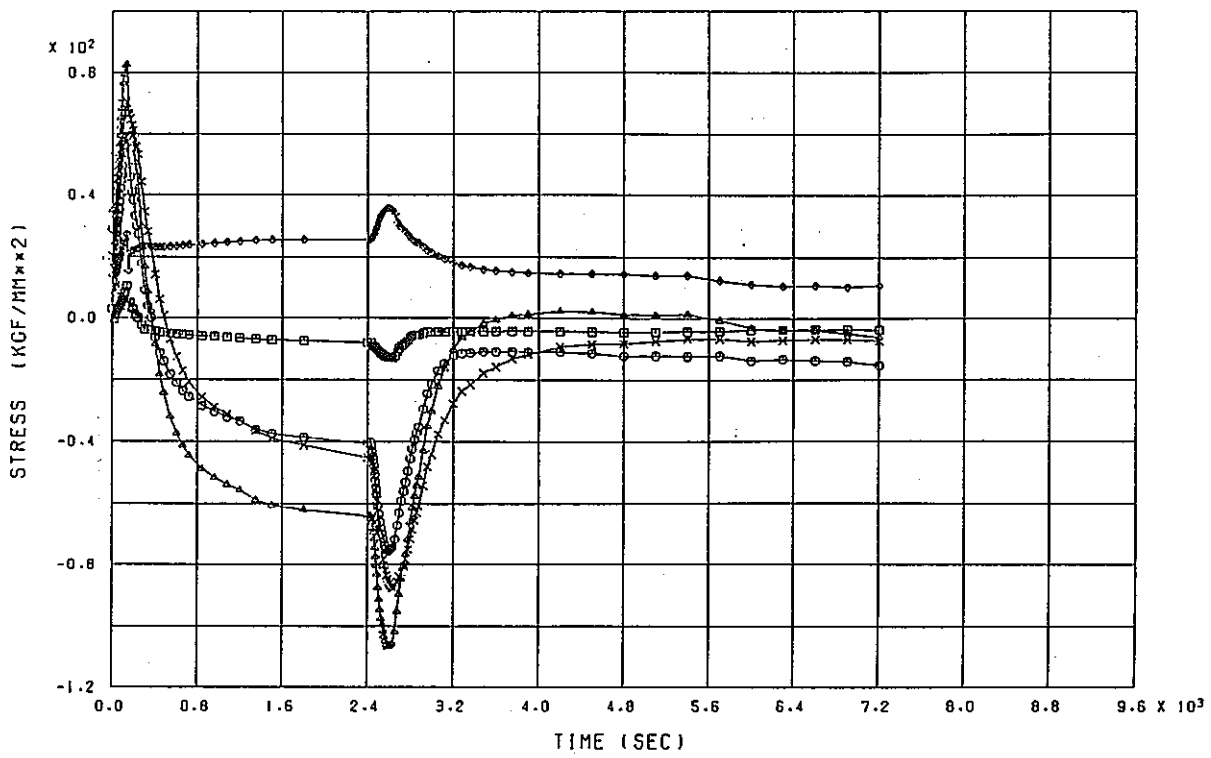


SKIRT MODEL M5-2 (A= 6MM) STRAIN HISTORY SK-A CRACK TIP

(b) 歪

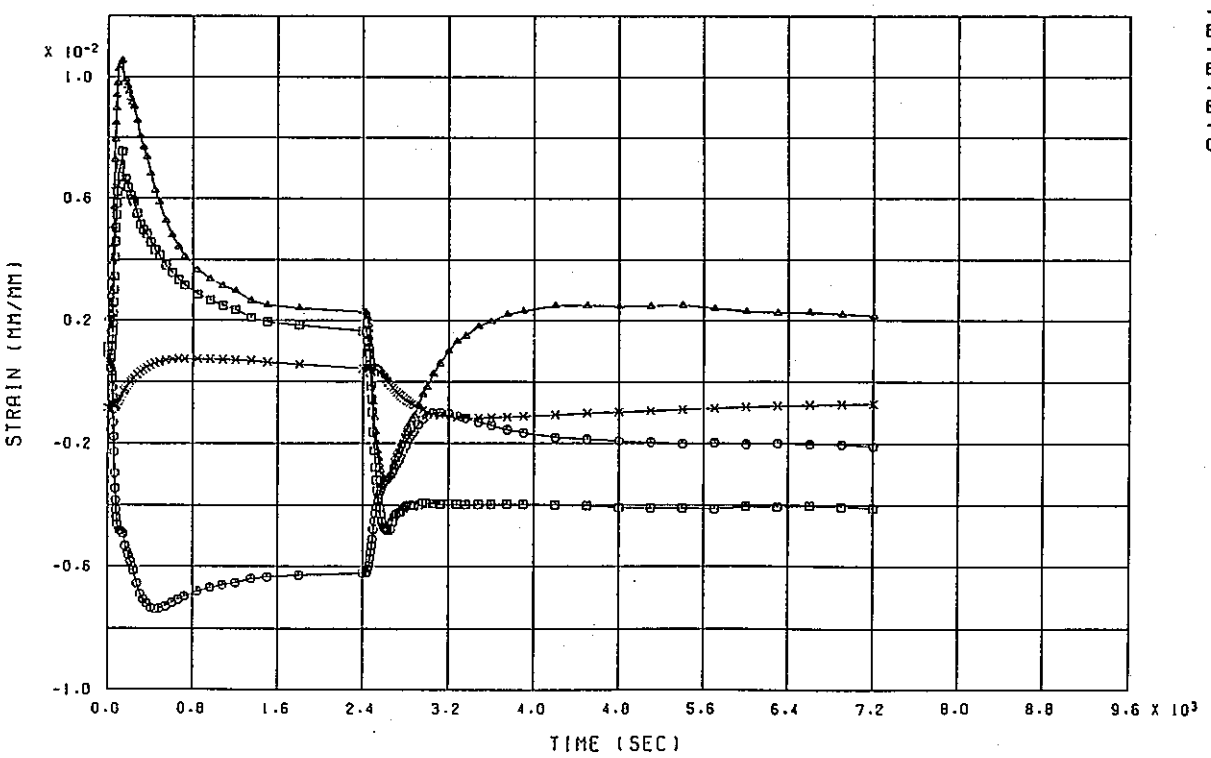
付図C-50 熱過渡1サイクル中のき裂先端での応力, 歪の経時変化 (SKIRT a= 6mm)

(a) 応力 (b) 歪



SKIRT MODEL M5-3 (A=11MM) STRESS HISTORY SK-A CRACK TIP

(a) 応力

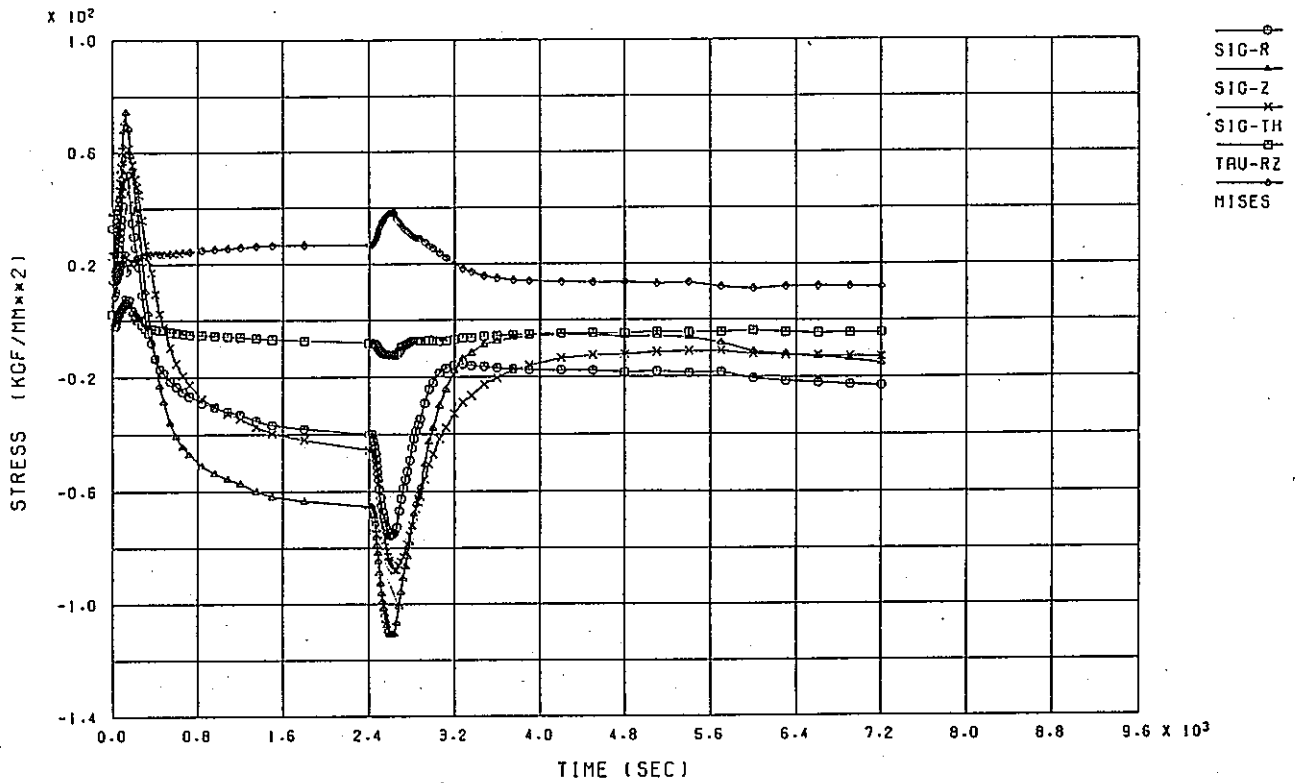


SKIRT MODEL M5-3 (A=11MM) STRAIN HISTORY SK-A CRACK TIP

(b) 歪

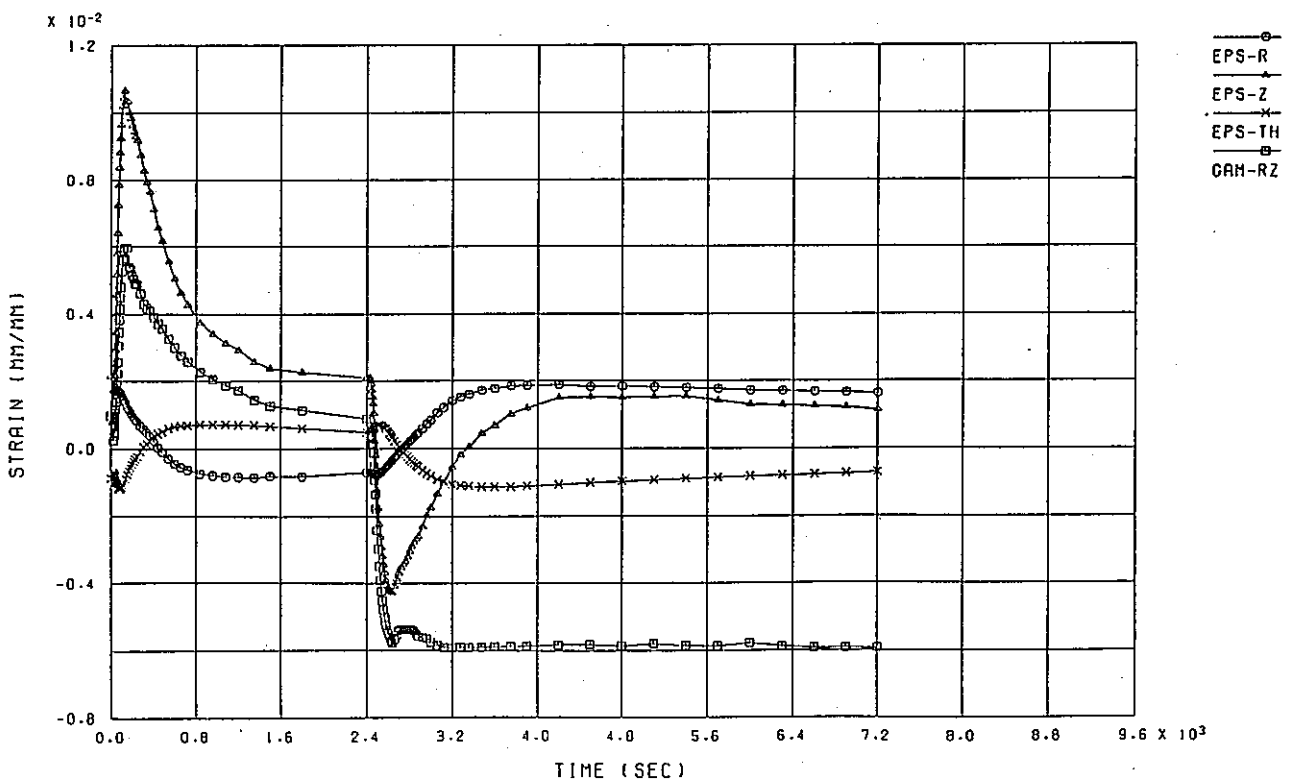
付図C-51 熱過渡1サイクル中のき裂先端での応力, 歪の経時変化 (SKIRT a=11mm)

(a) 応力 (b) 歪



SKIRT MODEL M5-4 (R=16MM) STRESS HISTORY SK-A CRACK TIP

(a) 応力

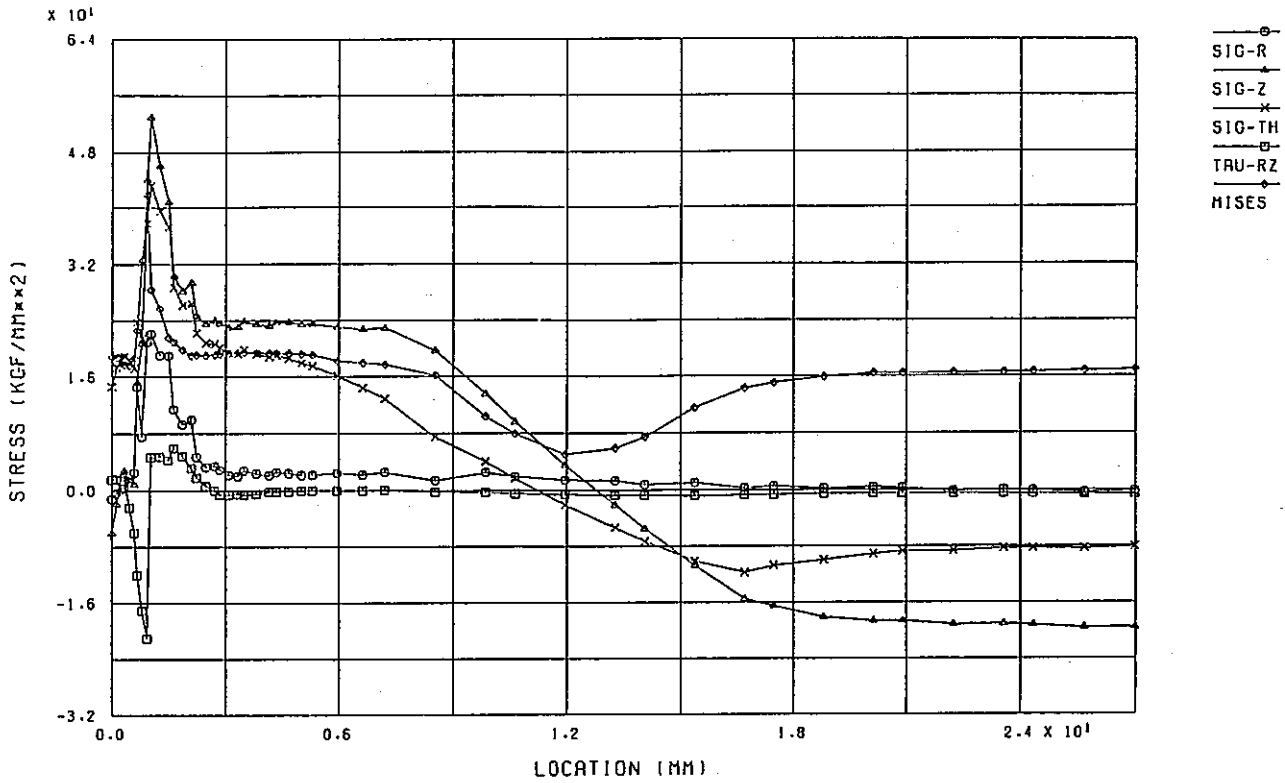


SKIRT MODEL M5-4 (R=16MM) STRAIN HISTORY SK-A CRACK TIP

(b) 歪

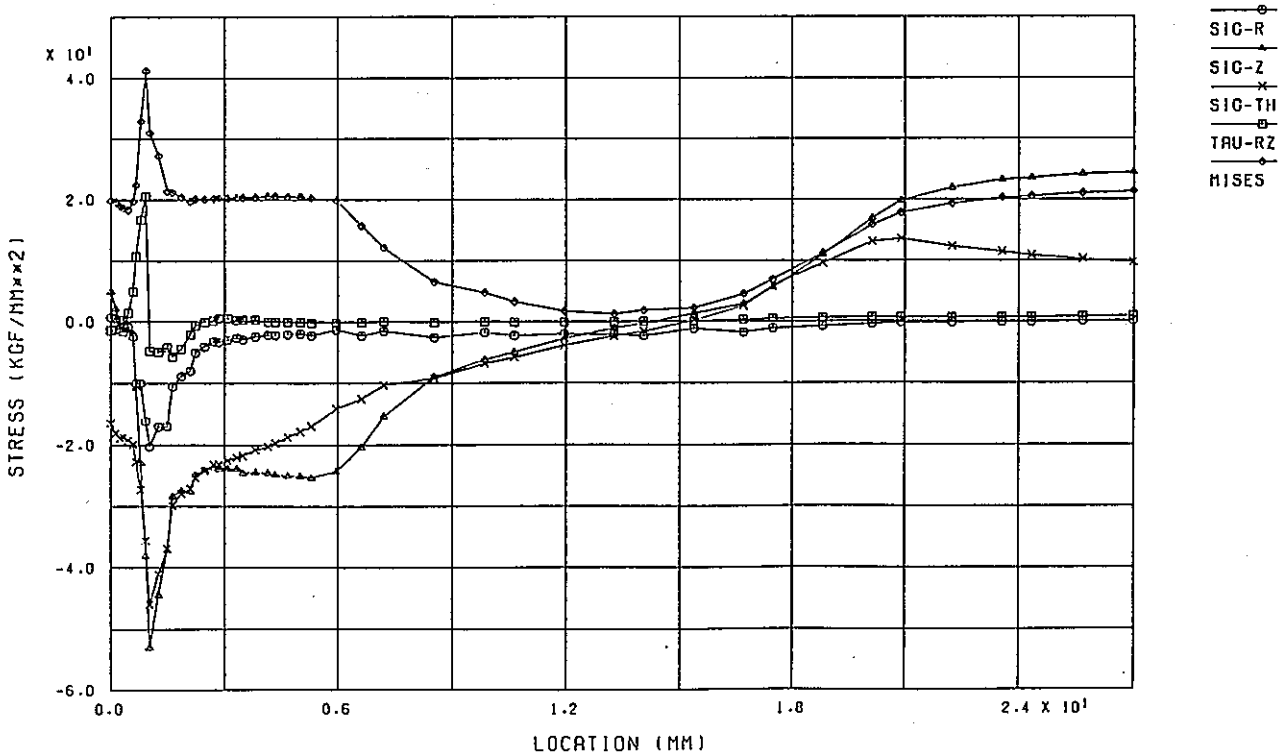
付図C-52 熱過渡1サイクル中のき裂先端での応力, 歪の経時変化 (SKIRT a=16mm)

(a) 応力 (b) 歪



SKIRT MODEL M5-1 (A= 1MM) STRESS DIST. ALONG CRACK (COLD 120 SEC)

(a) Cold Transient 120 sec

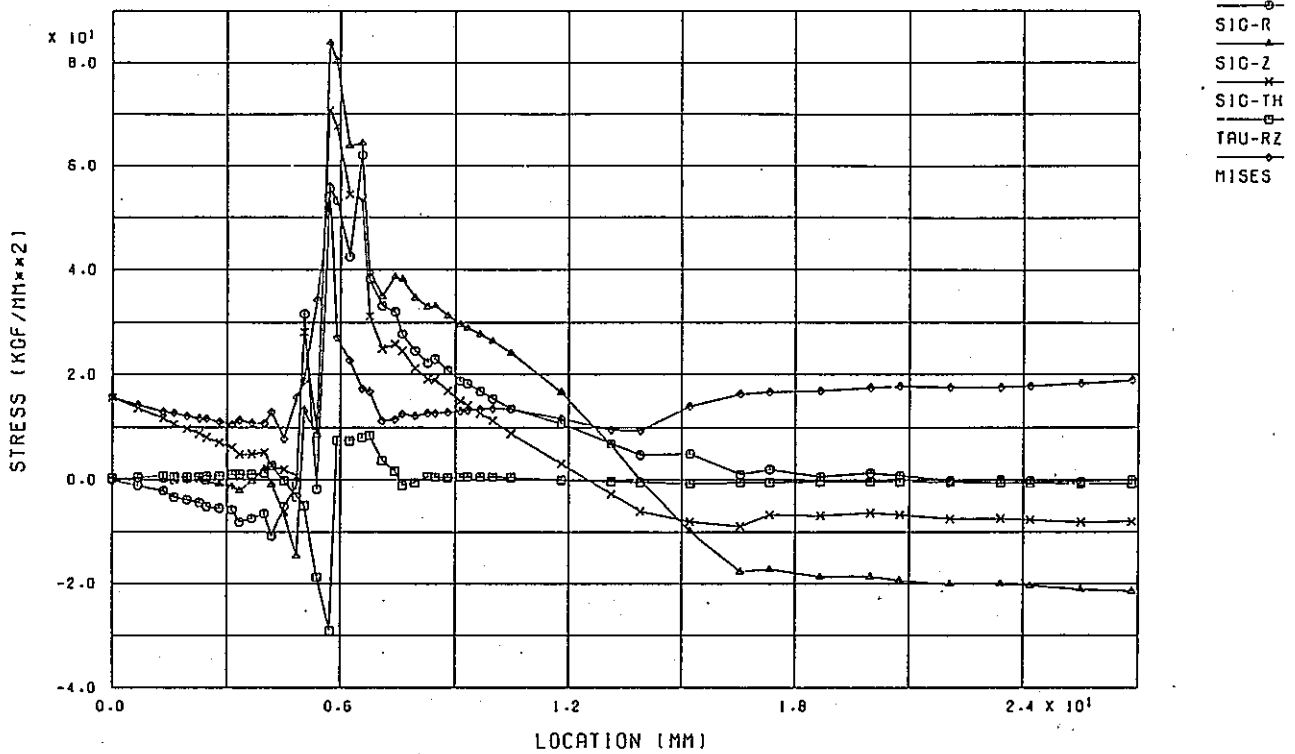


SKIRT MODEL M5-1 (A= 1MM) STRESS DIST. ALONG CRACK (HOT 240 SEC)

(b) Hot Transient 240 sec

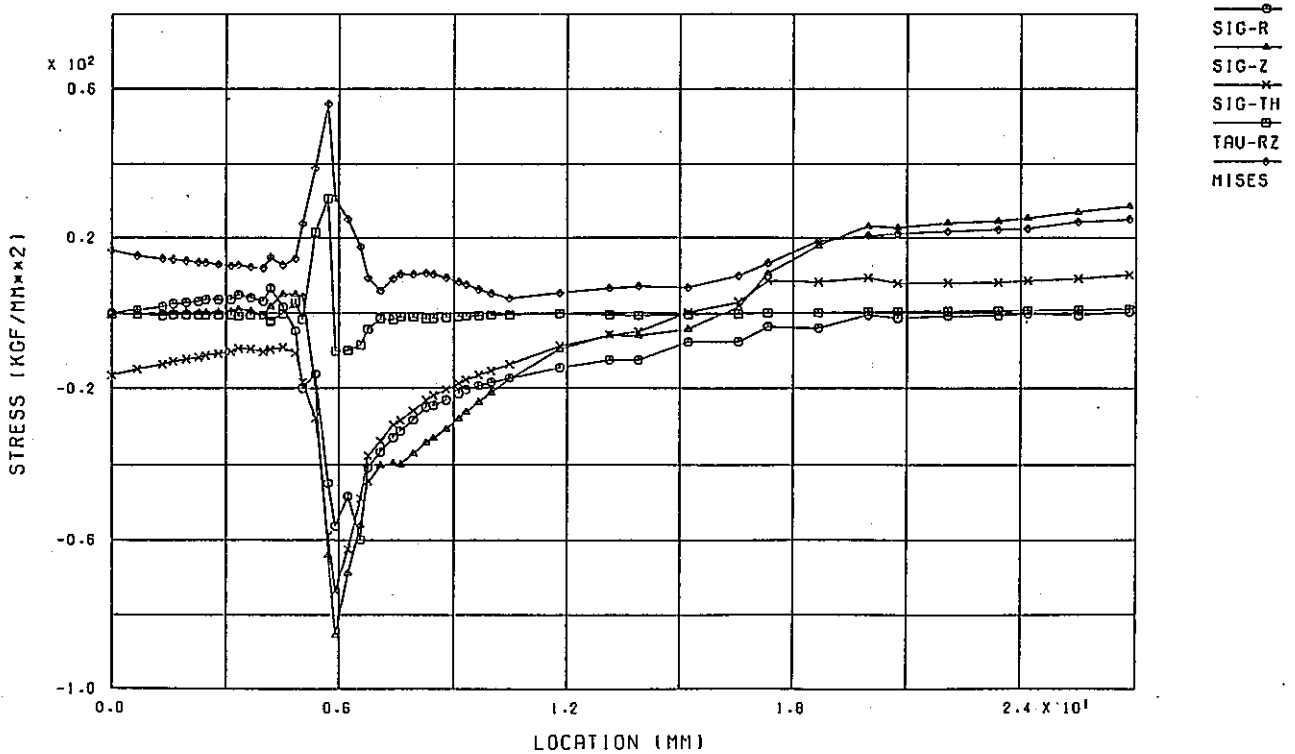
付図C-53 き裂面上の応力分布図 (SKIRT a=1mm)

(a) Cold Transient 120 sec (b) Hot Transient 240 sec



SKIRT MODEL M5-2 (A= 6MM) STRESS DIST. ALONG CRACK (COLD 120 SEC)

(a) Cold Transient 120 sec

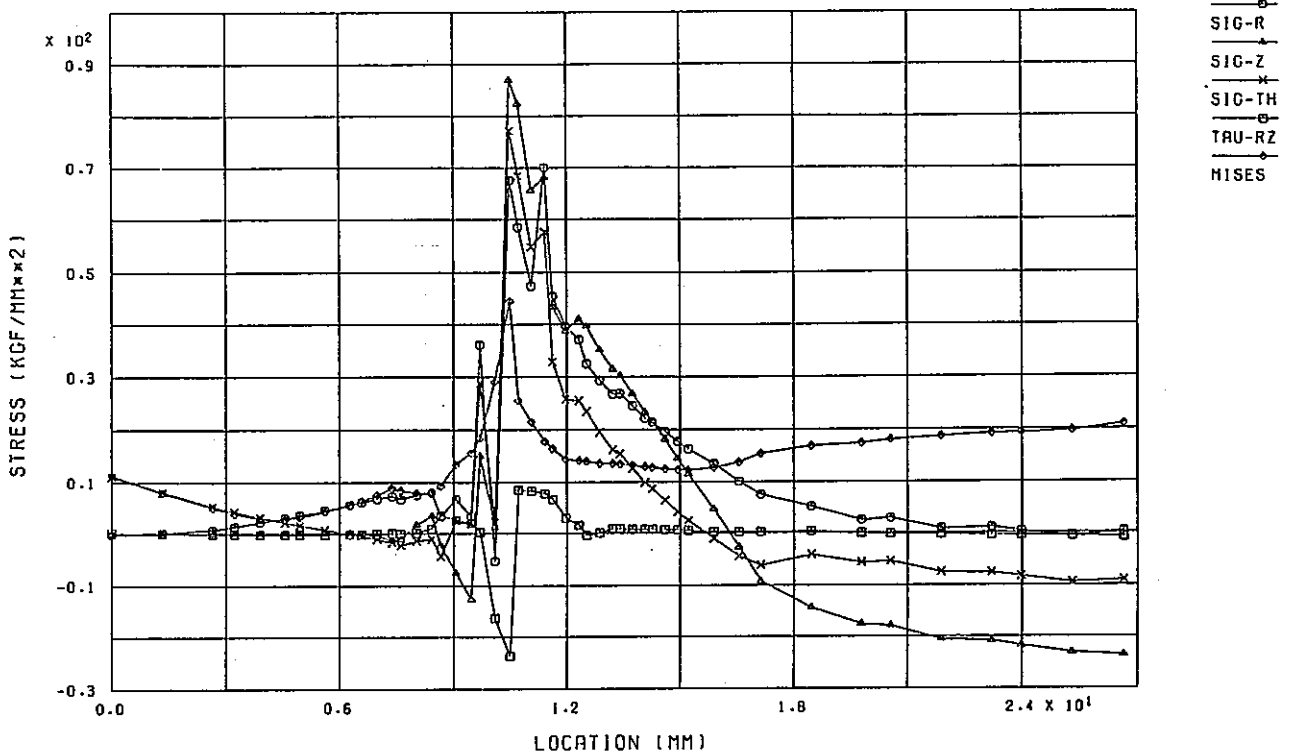


SKIRT MODEL M5-2 (A= 6MM) STRESS DIST. ALONG CRACK (HOT 240 SEC)

(b) Hot Transient 240 sec

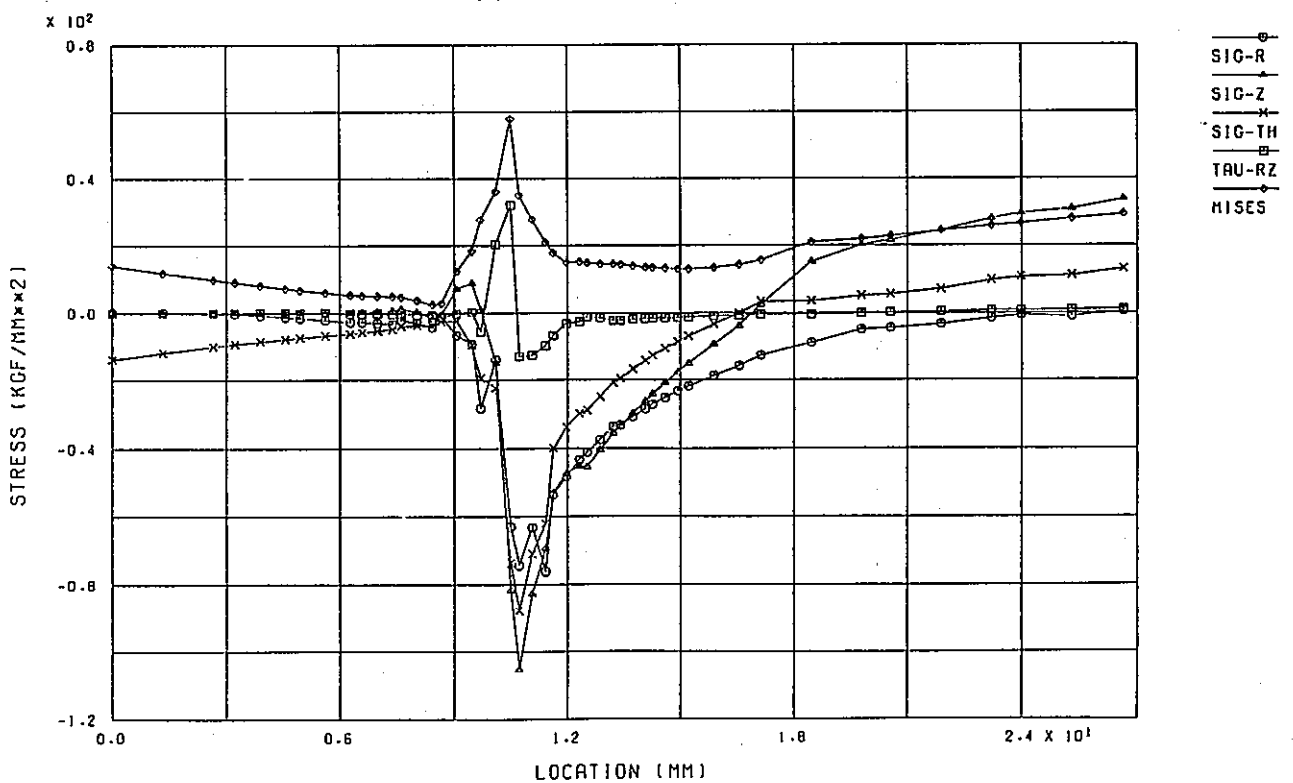
付図C-54 き裂面上の応力分布図 (SKIRT a= 6mm)

(a) Cold Transient 120 sec (b) Hot Transient 240 sec



SKIRT MODEL M5-3 (A=11MM) STRESS DIST. ALONG CRACK (COLD 120 SEC)

(a) Cold Transient 120 sec



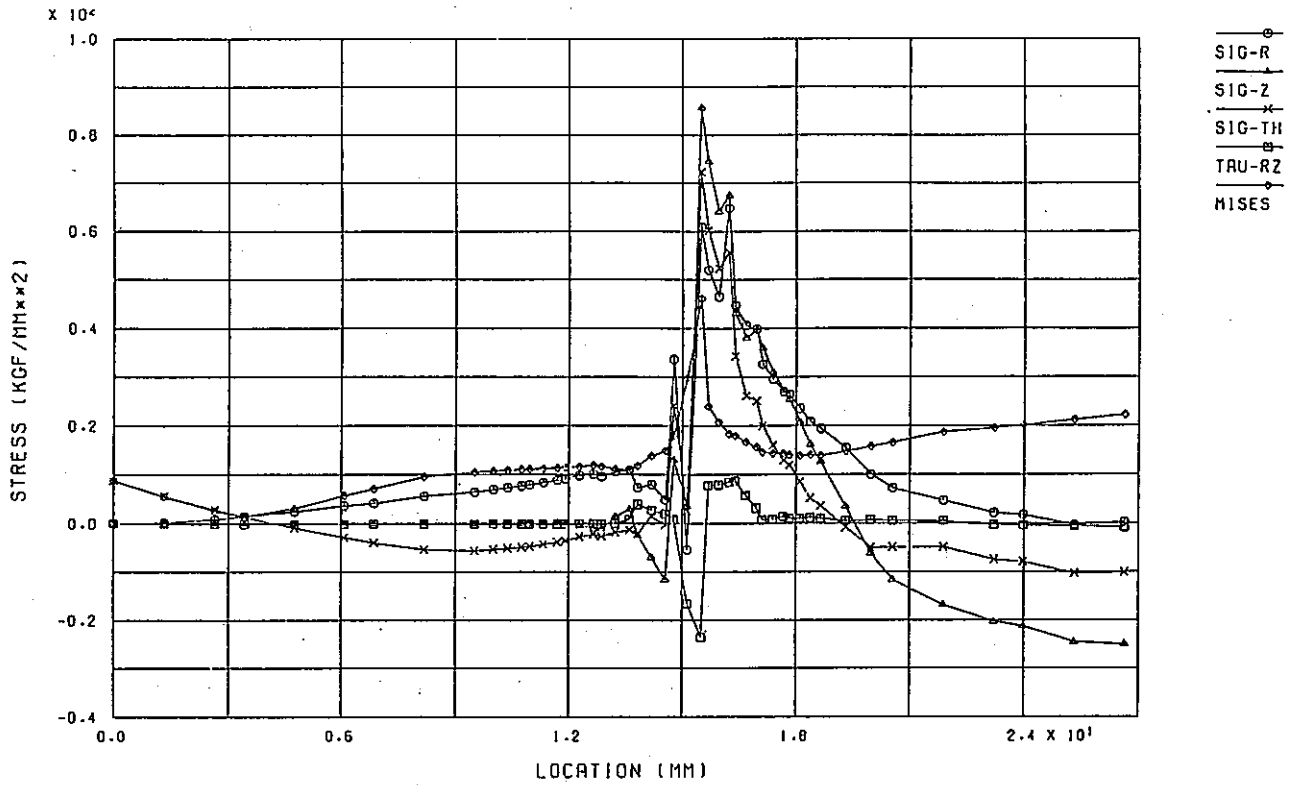
SKIRT MODEL M5-3 (A=11MM) STRESS DIST. ALONG CRACK (HOT 240 SEC)

(b) Hot Transient 240 sec

付図C-55 き裂面上の応力分布図 (SKIRT a=11mm)

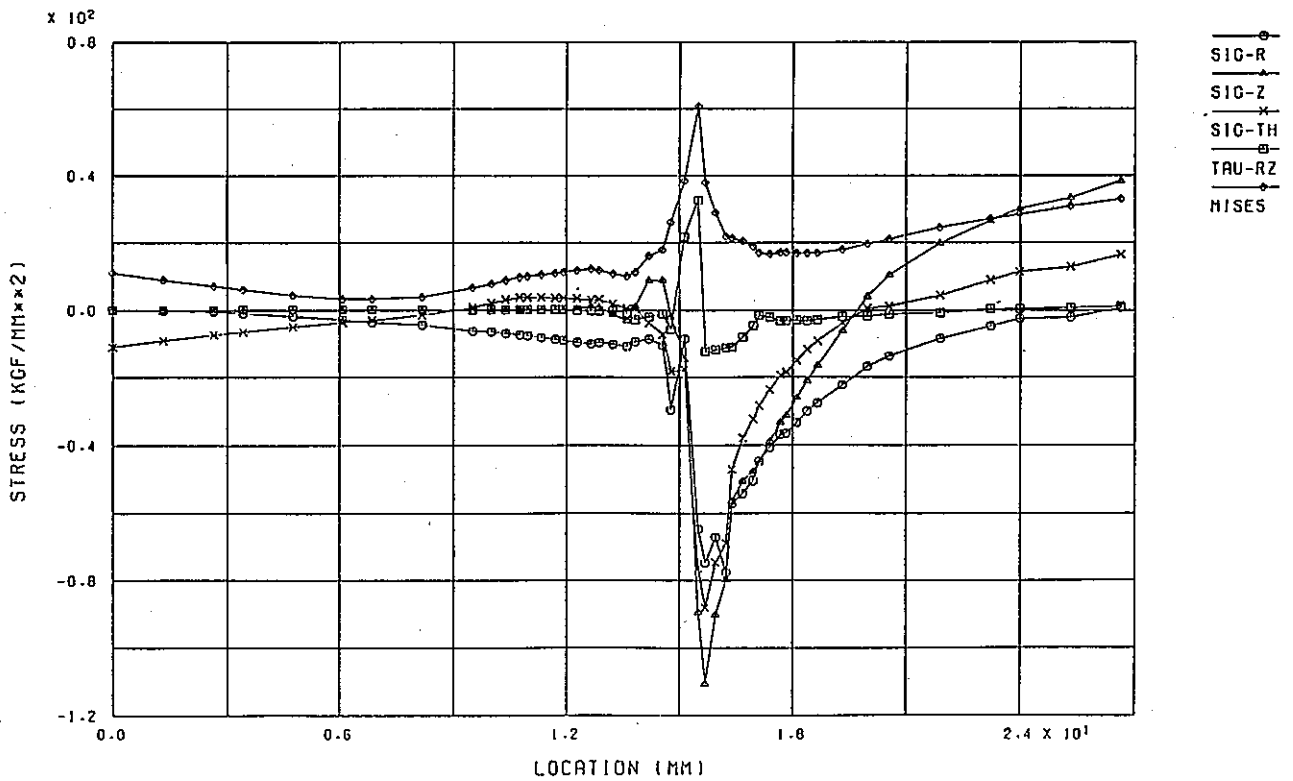
(a) Cold Transient 120 sec (b) Hot Transient 240 sec





SKIRT MODEL M5-4 (A=16MM) STRESS DIST. ALONG CRACK (COLD 120 SEC)

(a) Cold Transient 120 sec



SKIRT MODEL M5-4 (A=16MM) STRESS DIST. ALONG CRACK (HOT 240 SEC)

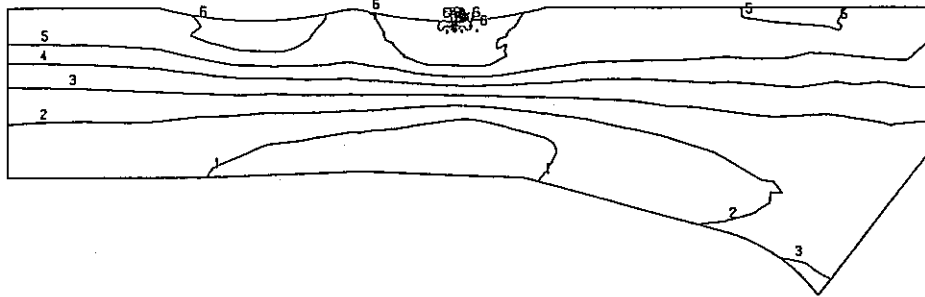
(b) Hot Transient 240 sec

付図C-56 き裂面上の応力分布図 (SKIRT a=16mm)

(a) Cold Transient 120 sec (b) Hot Transient 240 sec

CONTOUR VALUES

1	-16.9000
2	-9.30000
3	-1.70000
4	5.900000
5	13.50000
6	21.10000
7	28.70000
8	36.30000
9	43.90000
10	51.50000



STEP NO. 22

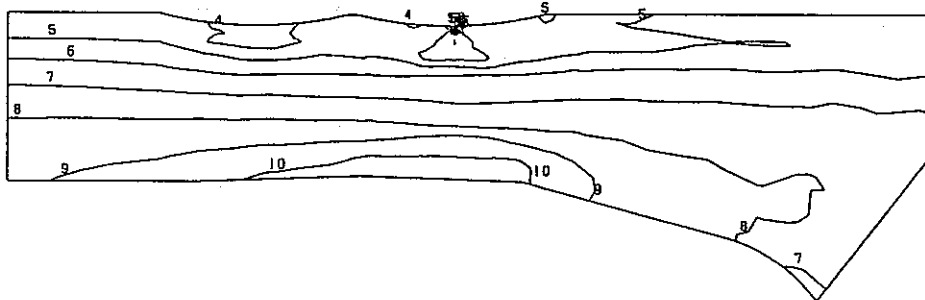
GEOM. SCALE 1:20.0000

SKIRT MODEL M5-1 (A= 1MM) SIG-Z (1-ST.COLD, 120SEC)

(a) Cold Transient 120 sec

CONTOUR VALUES

1	-47.3000
2	-39.5000
3	-31.7000
4	-23.9000
5	-16.1000
6	-8.30000
7	-0.50000
8	7.300000
9	15.10000
10	22.90000



STEP NO. 75

GEOM. SCALE 1:20.0000

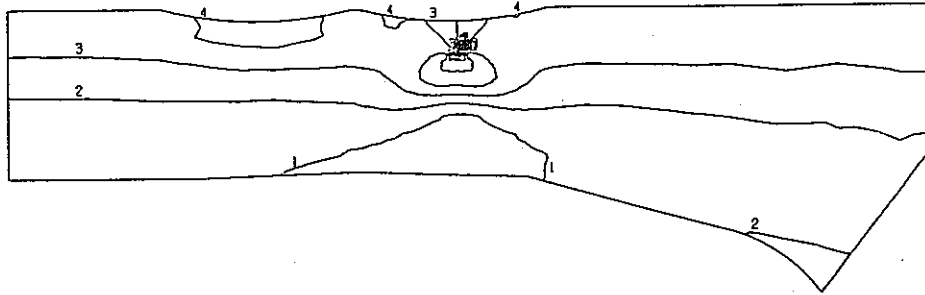
SKIRT MODEL M5-1 (A= 1MM) SIG-Z (1-ST. HOT, 240SEC)

(b) Hot Transient 240 sec

付図C-57  $\sigma_r$ 成分の応力コンター図 (SKIRT a= 1mm)

(a) Cold Transient 120 sec (b) Hot Transient 240 sec

CONTOUR VALUES  
 1 -16.0000  
 2 -4.00000  
 3 8.000000  
 4 20.00000  
 5 32.00000  
 6 44.00000  
 7 56.00000  
 8 68.00000  
 9 80.00000  
 10 92.00000



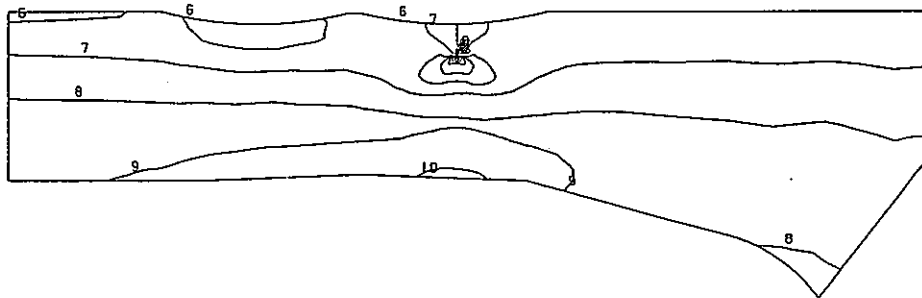
STEP NO. 22

GEOH. SCALE 1 20.0000

SKIRT MODEL M5-2 (R= 6MM) SIG-Z (I-ST.COLD. 120SEC)

(a) Cold Transient 120 sec

CONTOUR VALUES  
 1 -81.0000  
 2 -69.0000  
 3 -57.0000  
 4 -45.0000  
 5 -33.0000  
 6 -21.0000  
 7 -9.00000  
 8 3.000000  
 9 15.00000  
 10 27.00000



STEP NO. 75

GEOH. SCALE 1 20.0000

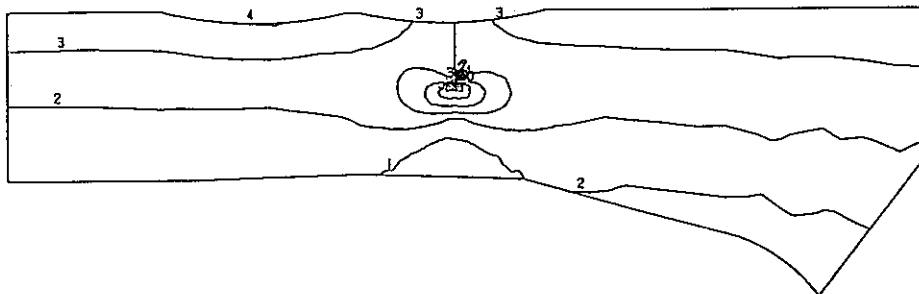
SKIRT MODEL M5-2 (R= 6MM) SIG-Z (I-ST. HOT. 240SEC)

(b) Hot Transient 240 sec

付図C-58  $\sigma_z$ 成分の応力コンター図 (SKIRT a=6mm)

(a) Cold Transient 120 sec (b) Hot Transient 240 sec

CONTOUR VALUES  
 1 -18.0000  
 2 -5.00000  
 3 8.000000  
 4 21.00000  
 5 34.00000  
 6 47.00000  
 7 60.00000  
 8 73.00000  
 9 86.00000  
 10 99.00000



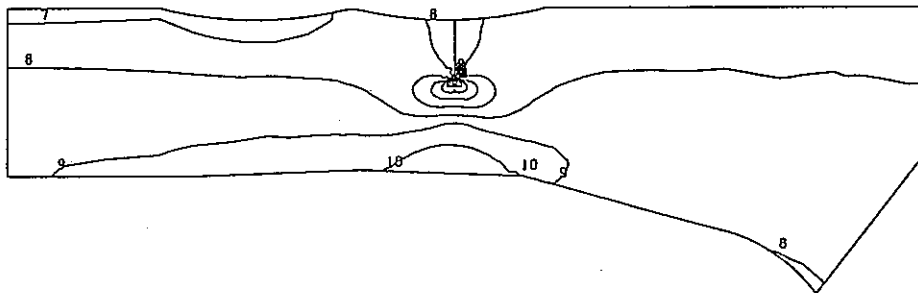
STEP NO. 22

GEOM. SCALE 1 \_\_\_\_\_ 20.0000

SKIRT MODEL MS-3 (A=11MM) SIG-Z (1-ST. COLD. 120SEC)

(a) Cold Transient 120 sec

CONTOUR VALUES  
 1 -101.000  
 2 -87.0000  
 3 -73.0000  
 4 -59.0000  
 5 -45.0000  
 6 -31.0000  
 7 -17.0000  
 8 -3.00000  
 9 11.00000  
 10 25.00000



STEP NO. 75

GEOM. SCALE 1 \_\_\_\_\_ 20.0000

SKIRT MODEL MS-3 (A=11MM) SIG-Z (1-ST. HOT. 240SEC)

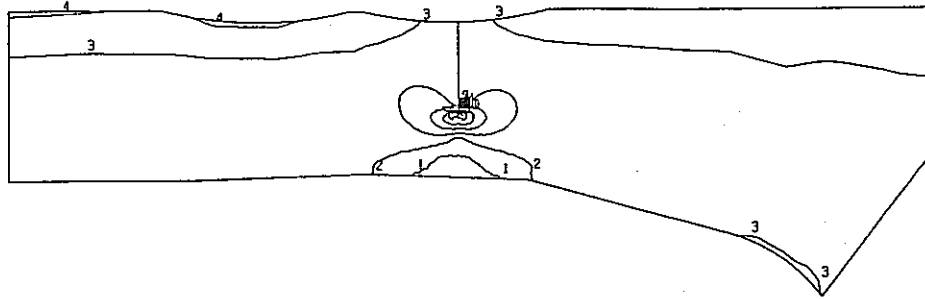
(b) Hot Transient 240 sec

付図C-59  $\sigma_r$ 成分の応力コンター図 (SKIRT a=11mm)

(a) Cold Transient 120 sec (b) Hot Transient 240 sec

CONTOUR VALUES

- 1 -20.0000
- 2 -8.00000
- 3 4.000000
- 4 16.00000
- 5 28.00000
- 6 40.00000
- 7 52.00000
- 8 64.00000
- 9 76.00000
- 10 88.00000



STEP NO. 22

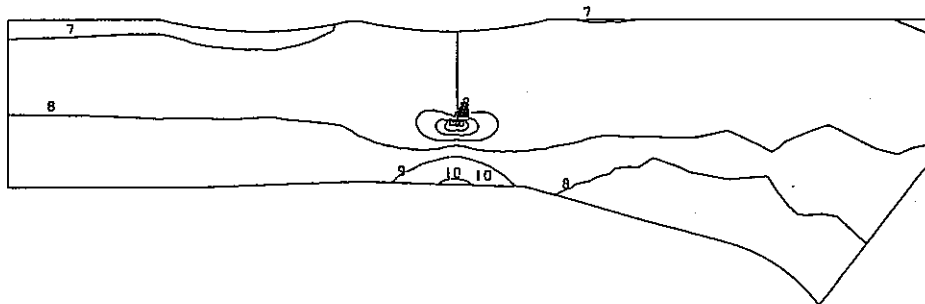
GEOM. SCALE 20.0000

SKIRT MODEL MS-4 (A=16MM) SIG-Z (1-ST.COLD. 120SEC)

(a) Cold Transient 120 sec

CONTOUR VALUES

- 1 -108.000
- 2 -92.0000
- 3 -76.0000
- 4 -60.0000
- 5 -44.0000
- 6 -28.0000
- 7 -12.0000
- 8 4.000000
- 9 20.00000
- 10 36.00000



STEP NO. 75

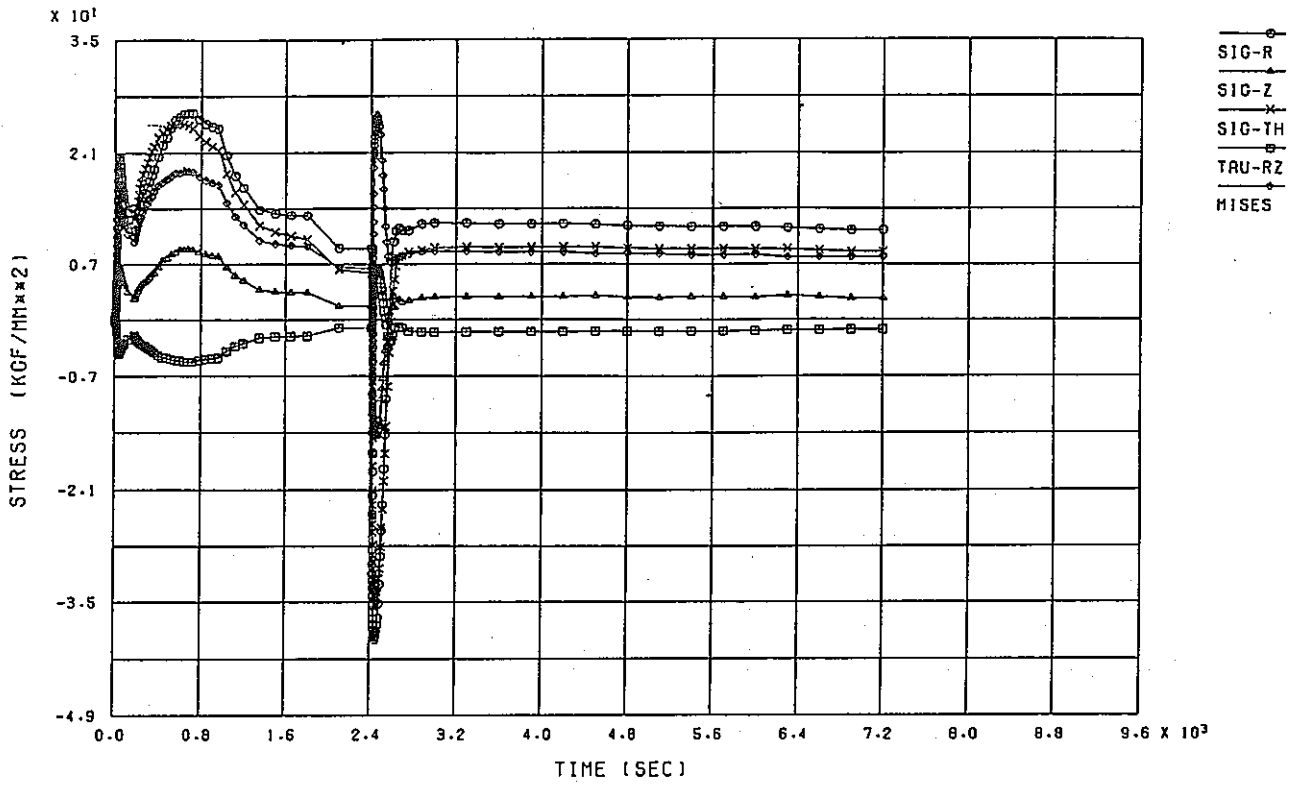
GEOM. SCALE 20.0000

SKIRT MODEL MS-4 (A=16MM) SIG-Z (1-ST. HOT. 240SEC)

(b) Hot Transient 240 sec

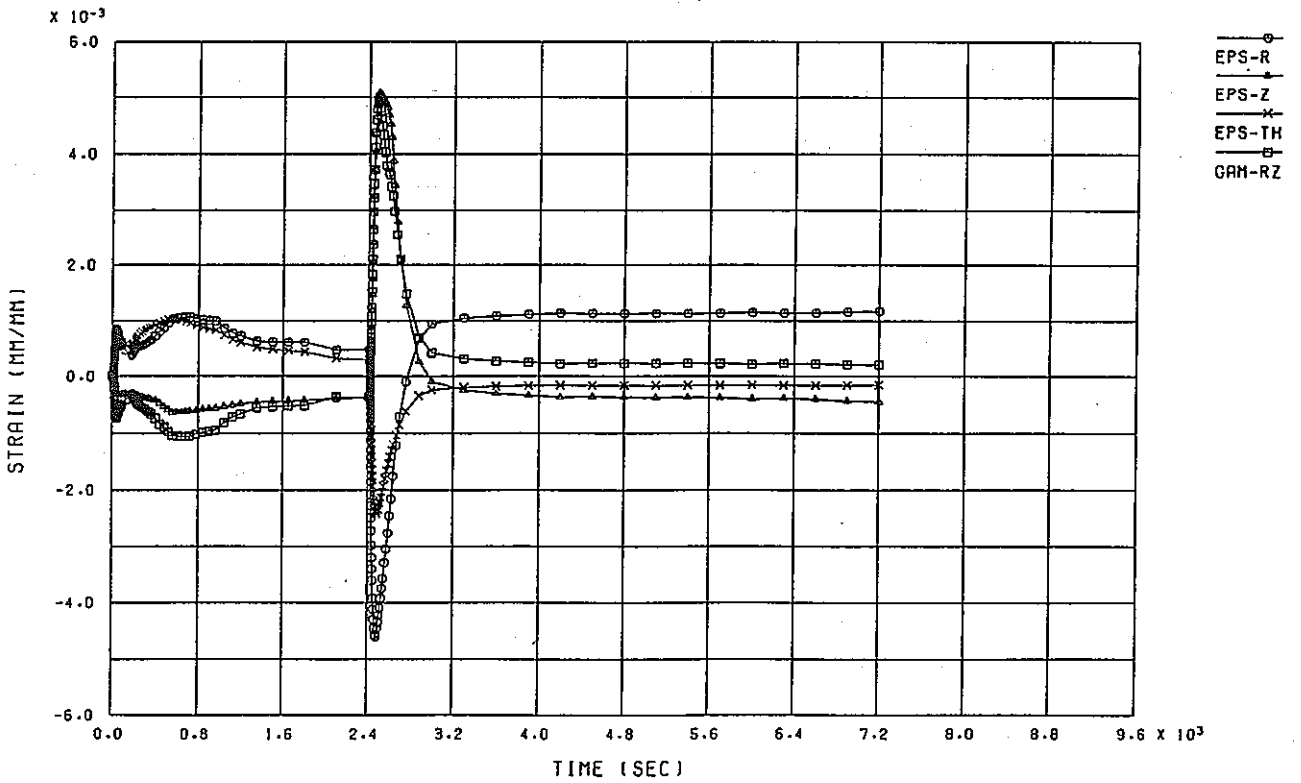
付図C-60  $\sigma_z$ 成分の応力コンター図 (SKIRT a=16mm)

(a) Cold Transient 120 sec (b) Hot Transient 240 sec



INLET NOZZLE M3-1 (A= 1MM) STRESS HISTORY IN-H CRACK TIP

(a) 応力

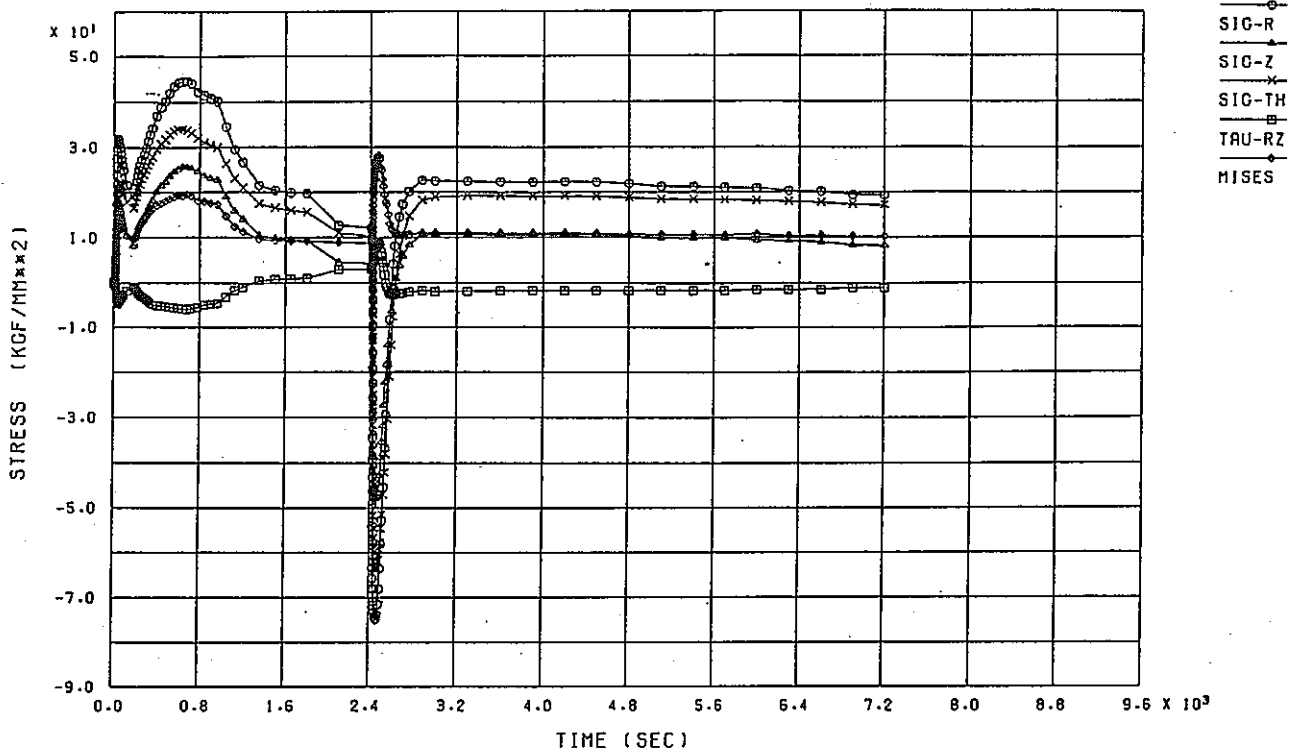


INLET NOZZLE M3-1 (A= 1MM) STRAIN HISTORY IN-H CRACK TIP

(b) 歪

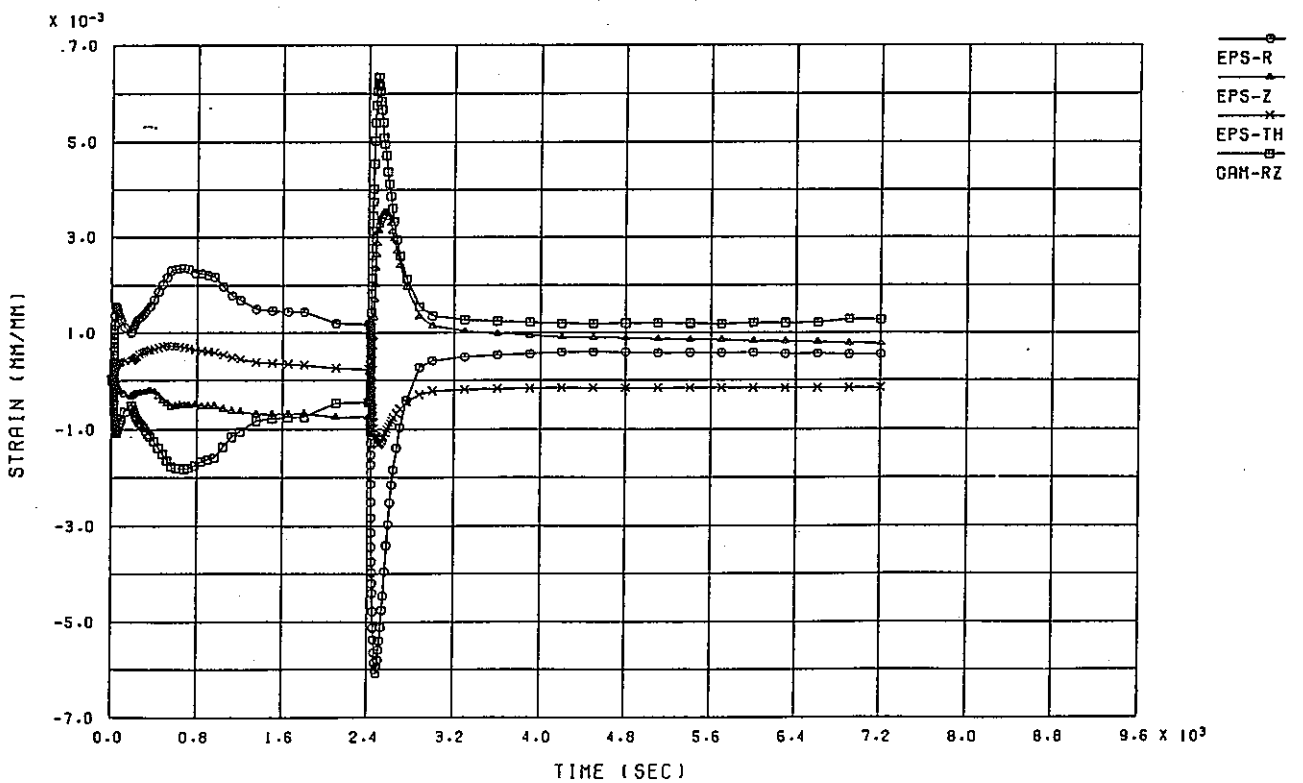
付図C-61 熱過渡1サイクル中のき裂先端での応力, 歪の経時変化 (Inlet Nozzle a=1mm)

(a) 応力 (b) 歪



INLET NOZZLE M3-2 (A= 6MM) STRESS HISTORY IN-H CRACK TIP

(a) 応力

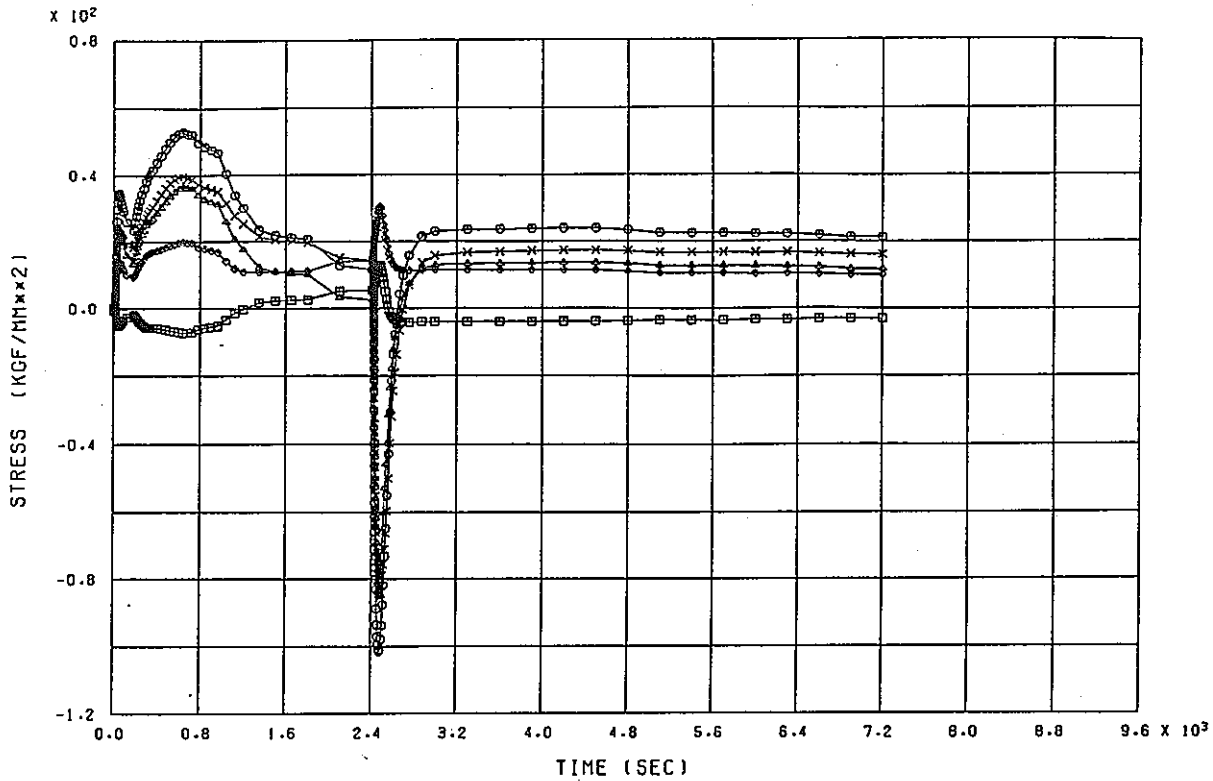


INLET NOZZLE M3-2 (A= 6MM) STRAIN HISTORY IN-H CRACK TIP

(b) 歪

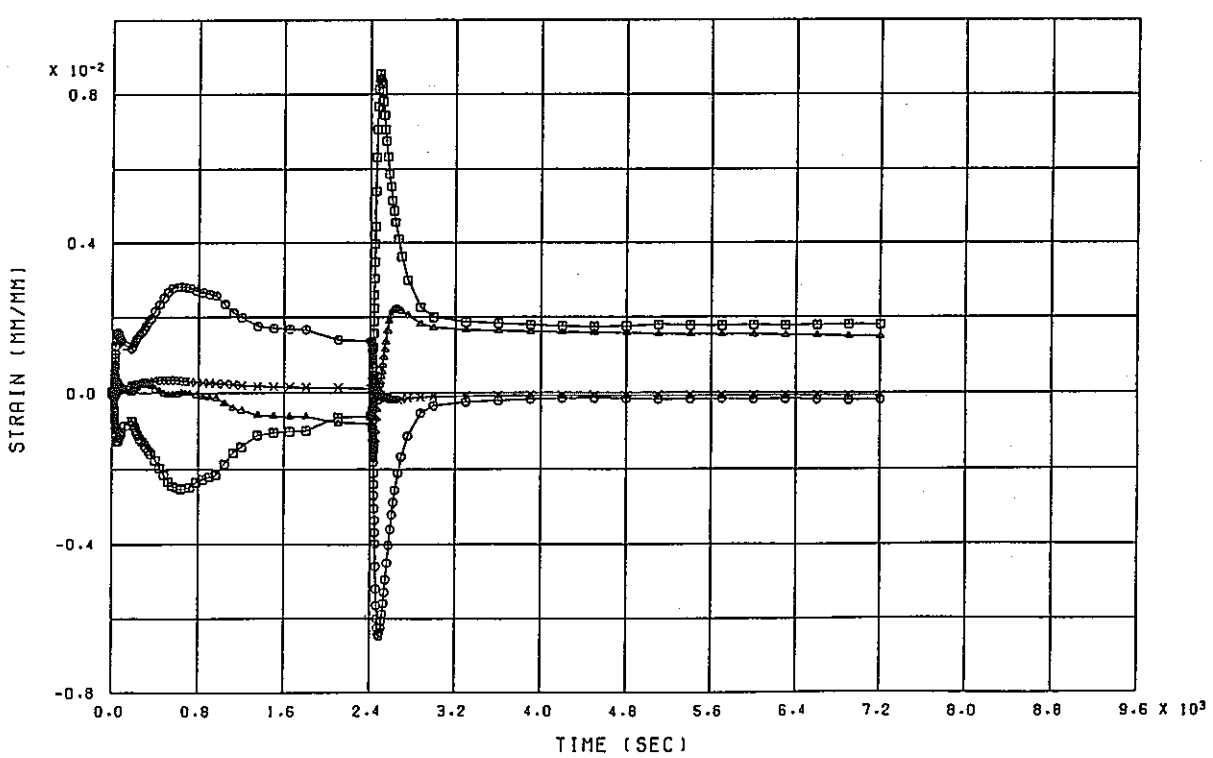
付図C-62 熱過渡1サイクル中のき裂先端での応力, 歪の経時変化 (Inlet Nozzle a= 6mm)

(a) 応力 (b) 歪



INLET NOZZLE M3-3 (A=12MM) STRESS HISTORY IN-H CRACK TIP

(a) 応力



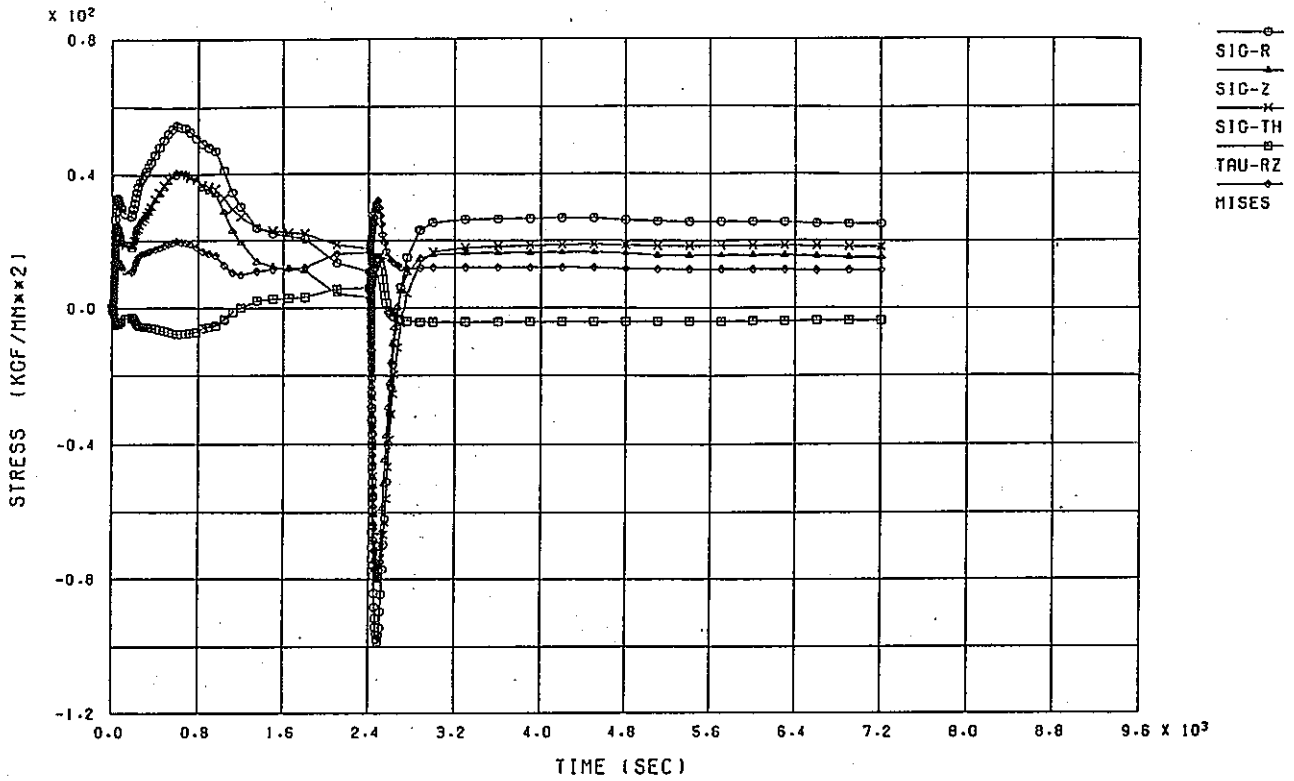
INLET NOZZLE M3-3 (A=12MM) STRAIN HISTORY IN-H CRACK TIP

(b) 歪

付図C-63 熱過渡1サイクル中のき裂先端での応力, 歪の経時変化 (Inlet Nozzle a=12mm)

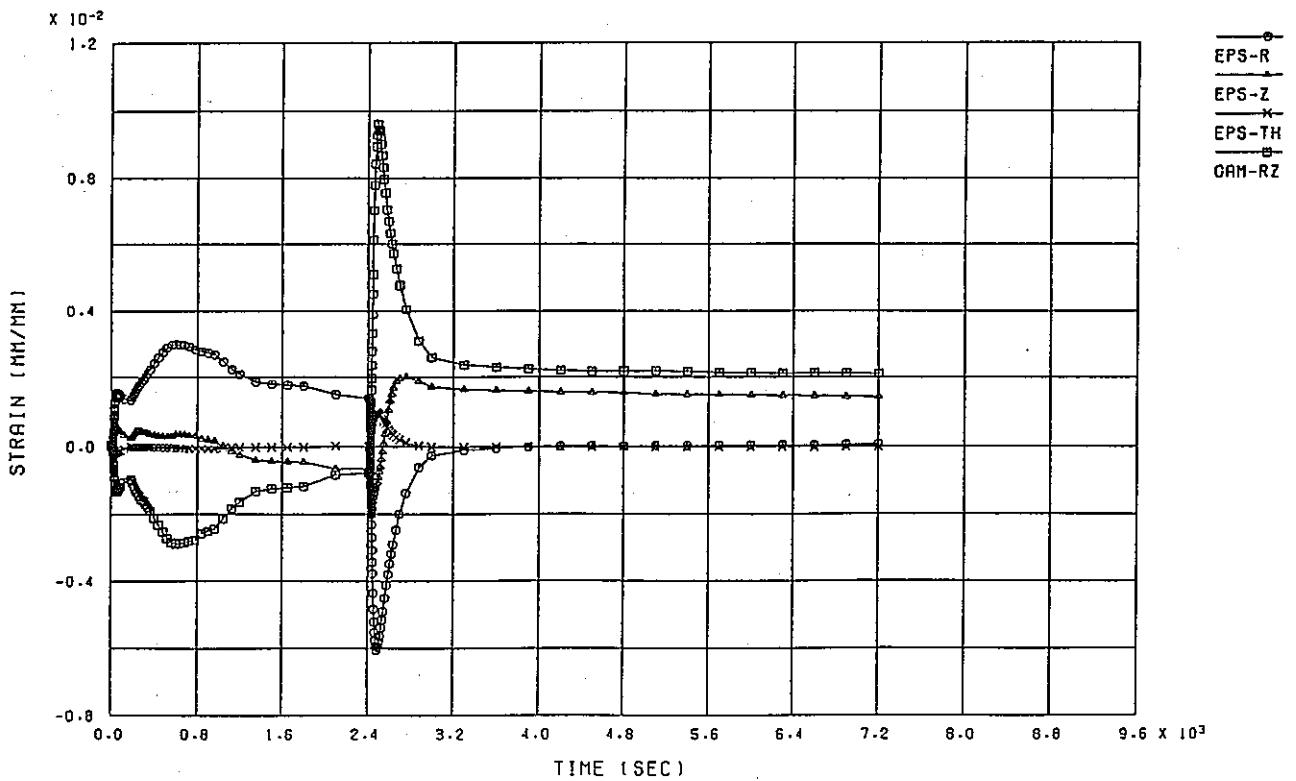
(a) 応力 (b) 歪





INLET NOZZLE M3-4 (A=18MM) STRESS HISTORY IN-H CRACK TIP

(a) 応力

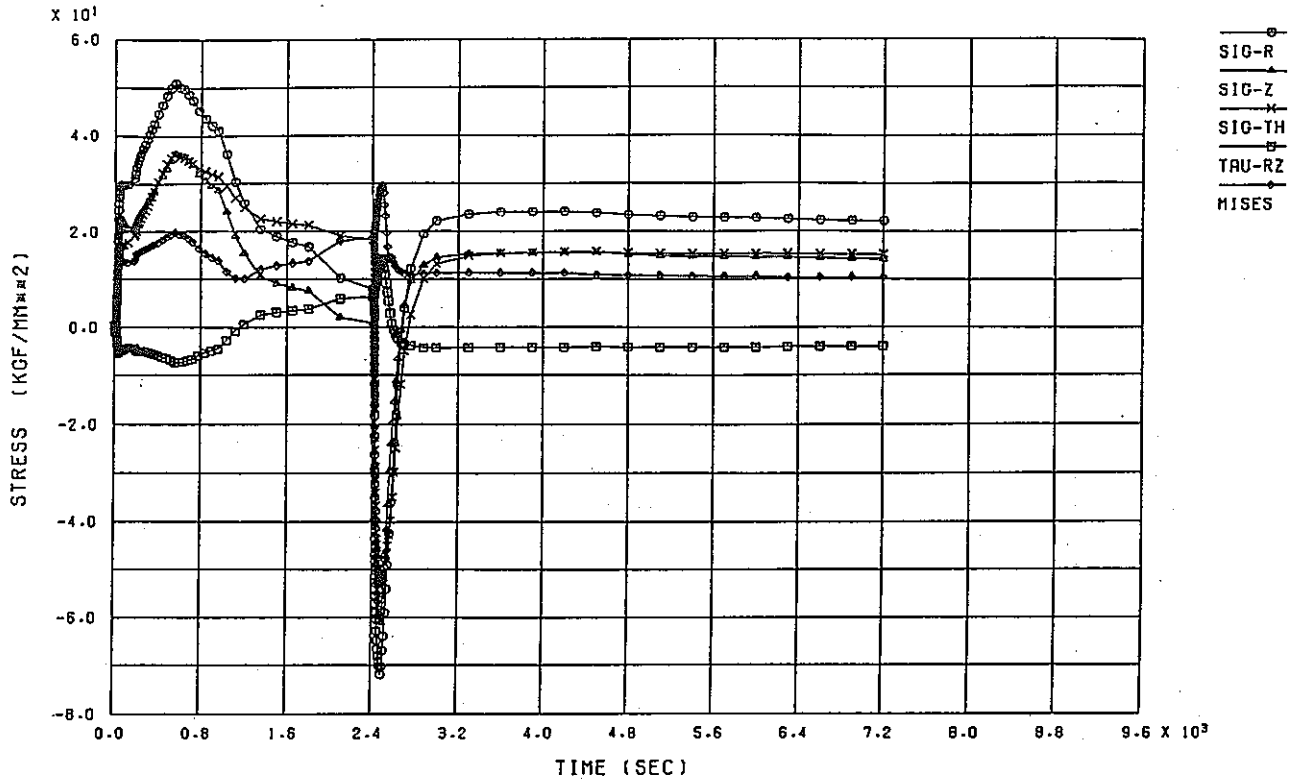


INLET NOZZLE M3-4 (A=18MM) STRAIN HISTORY IN-H CRACK TIP

(b) 歪

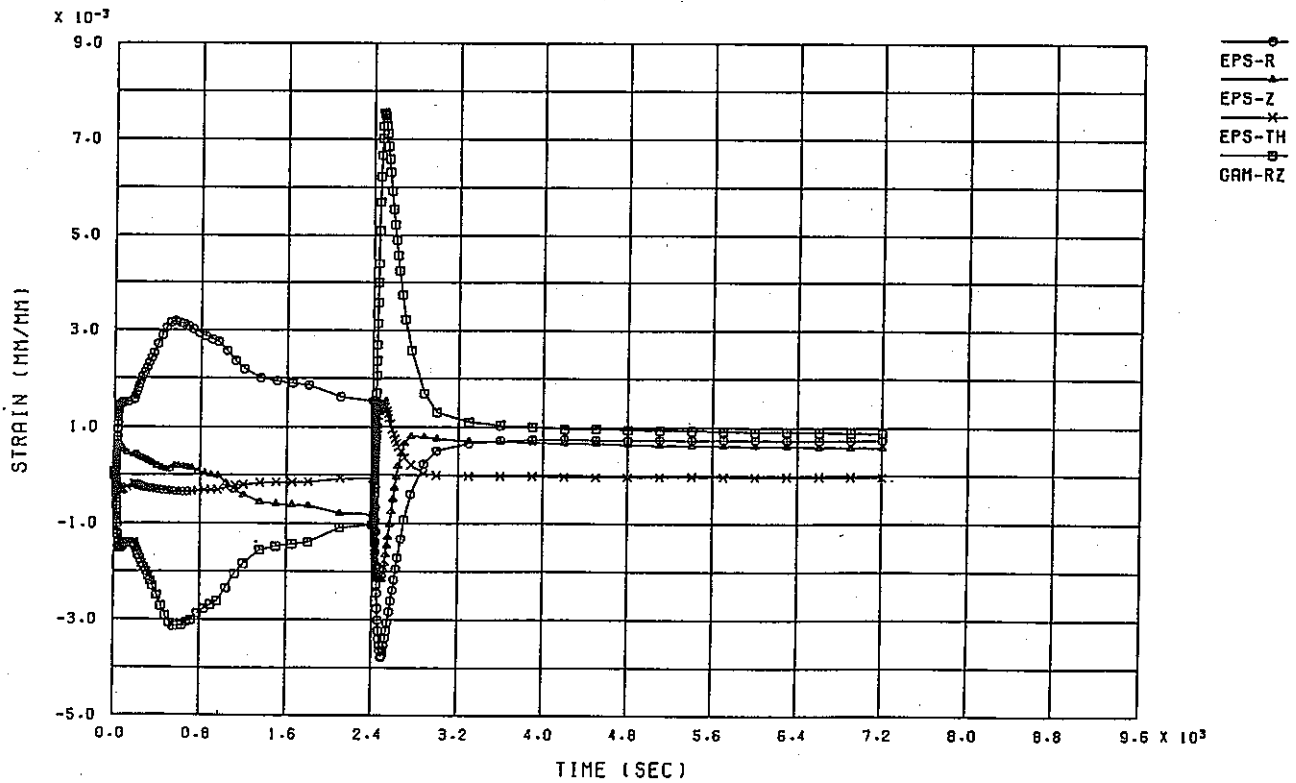
付図C-64 熱過渡1サイクル中のき裂先端での応力, 歪の経時変化 (Inlet Nozzle a=18mm)

(a) 応力 (b) 歪



INLET NOZZLE M3-5 (A=24MM) STRESS HISTORY IN-H CRACK TIP

(a) 応力

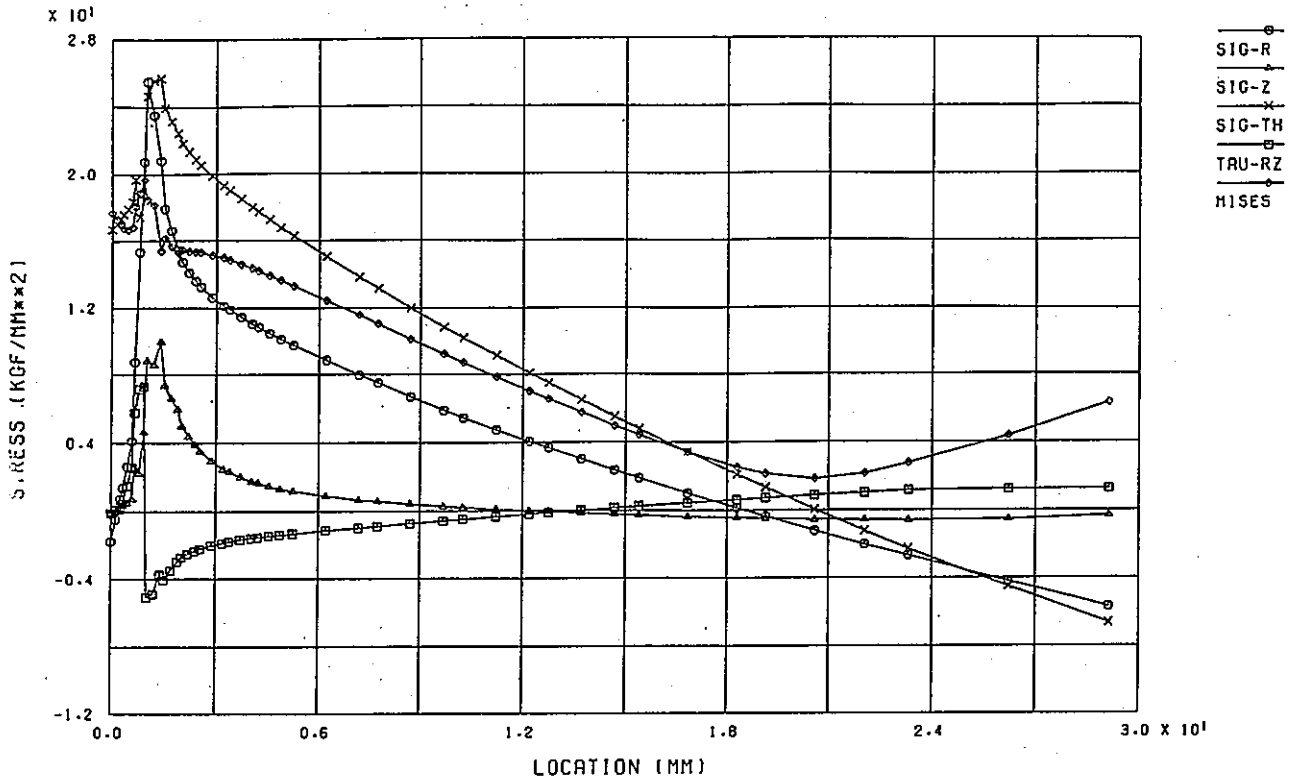


INLET NOZZLE M3-5 (A=24MM) STRAIN HISTORY IN-H CRACK TIP

(b) 歪

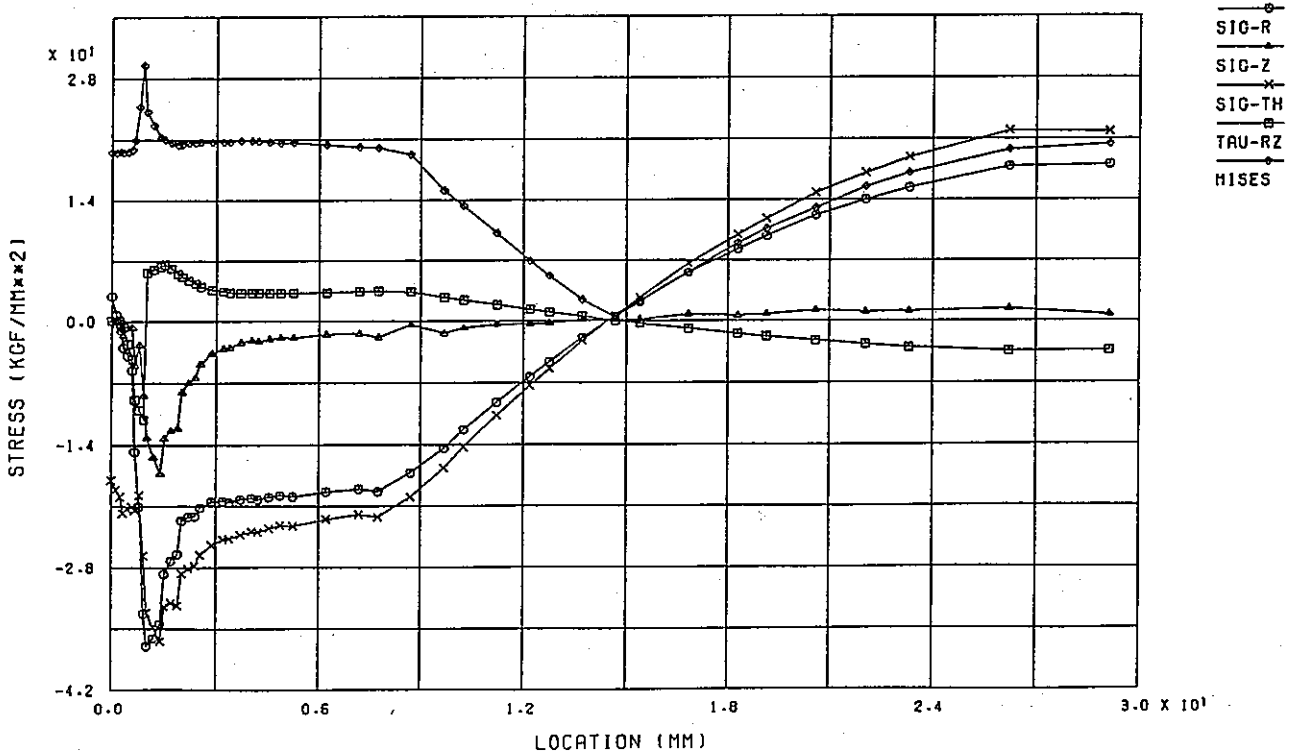
付図C-65 熱過渡1サイクル中のき裂先端での応力, 歪の経時変化 (Inlet Nozzle a=24mm)

(a) 応力 (b) 歪



INLET NOZZLE M3-1 (R= 1MM) STRESS DIST. ALONG CRACK (COLD 600 SEC)

(a) Cold Transient 600 sec

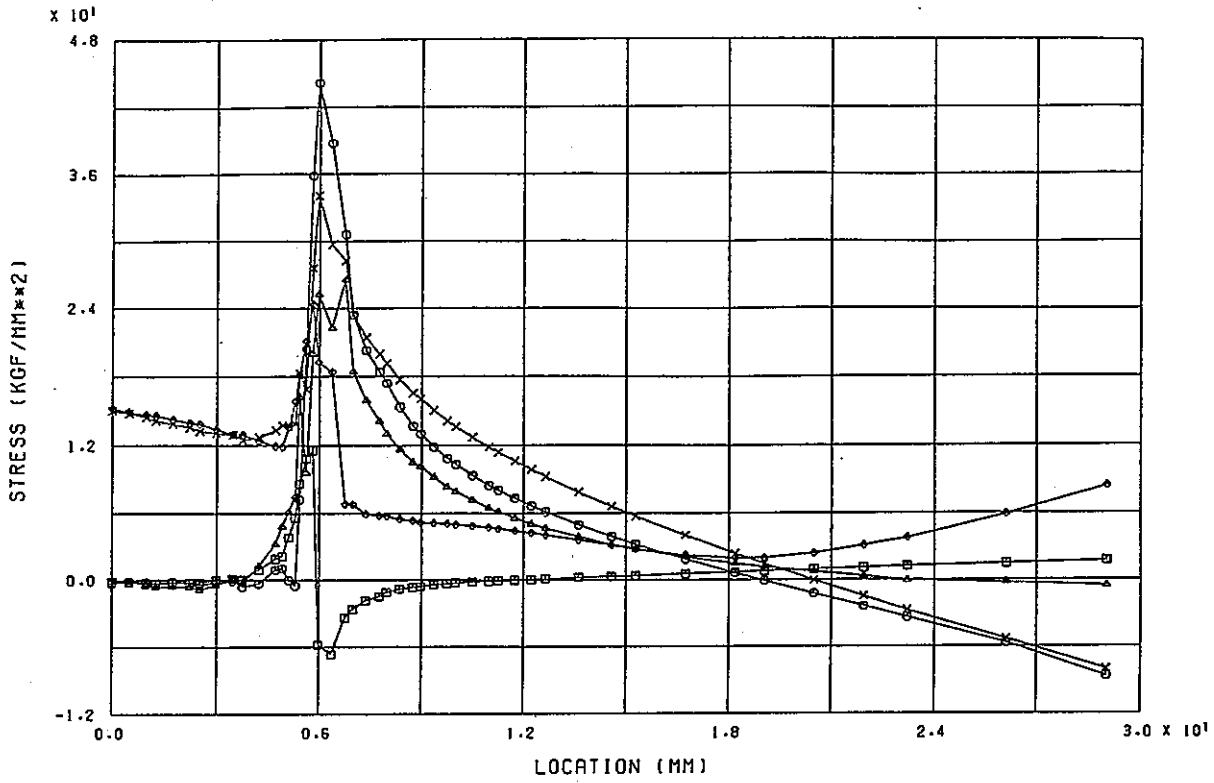


INLET NOZZLE M3-1 (R= 1MM) STRESS DIST. ALONG CRACK (HOT 80 SEC)

(b) Hot Transient 80 sec

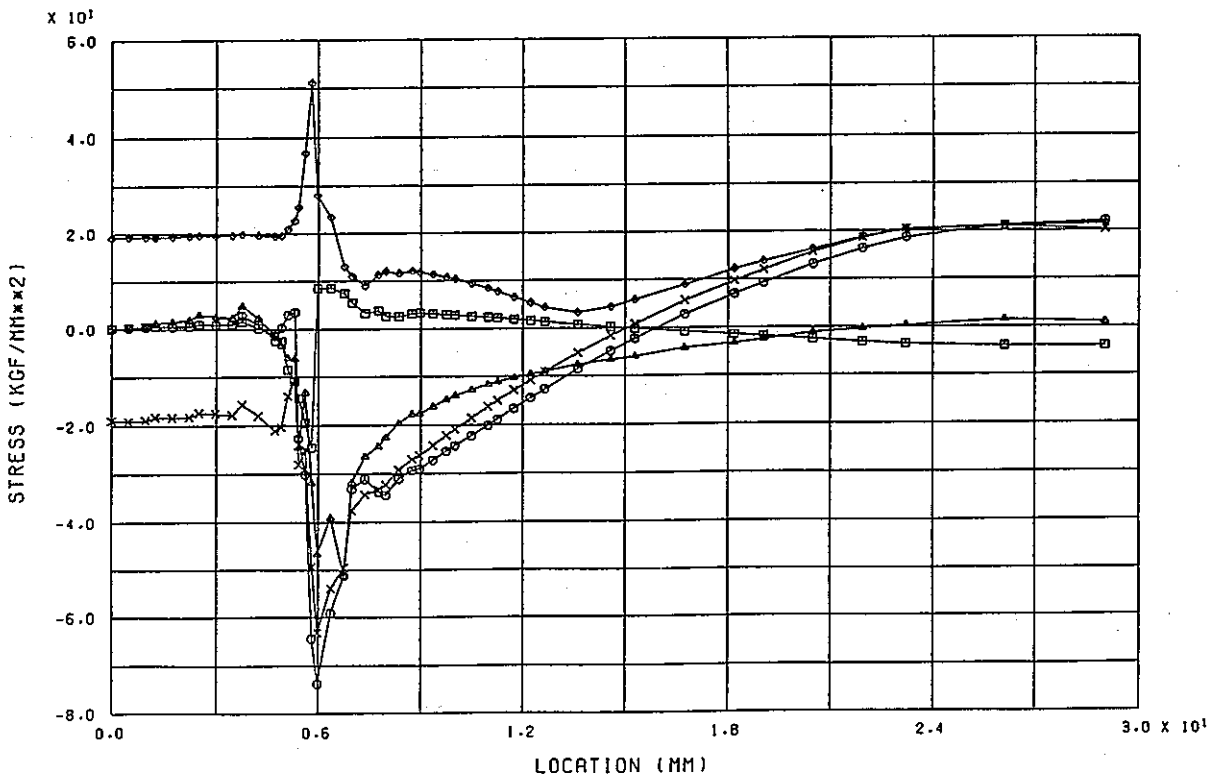
付図C-66 き裂面上の応力分布図 (Inlet Nozzle a=1mm)

(a) Cold Transient 600 sec (b) Hot Transient 80 sec



INLET NOZZLE M3-2 (A= 6MM) STRESS DIST. ALONG CRACK (COLD 600 SEC)

(a) Cold Transient 600 sec

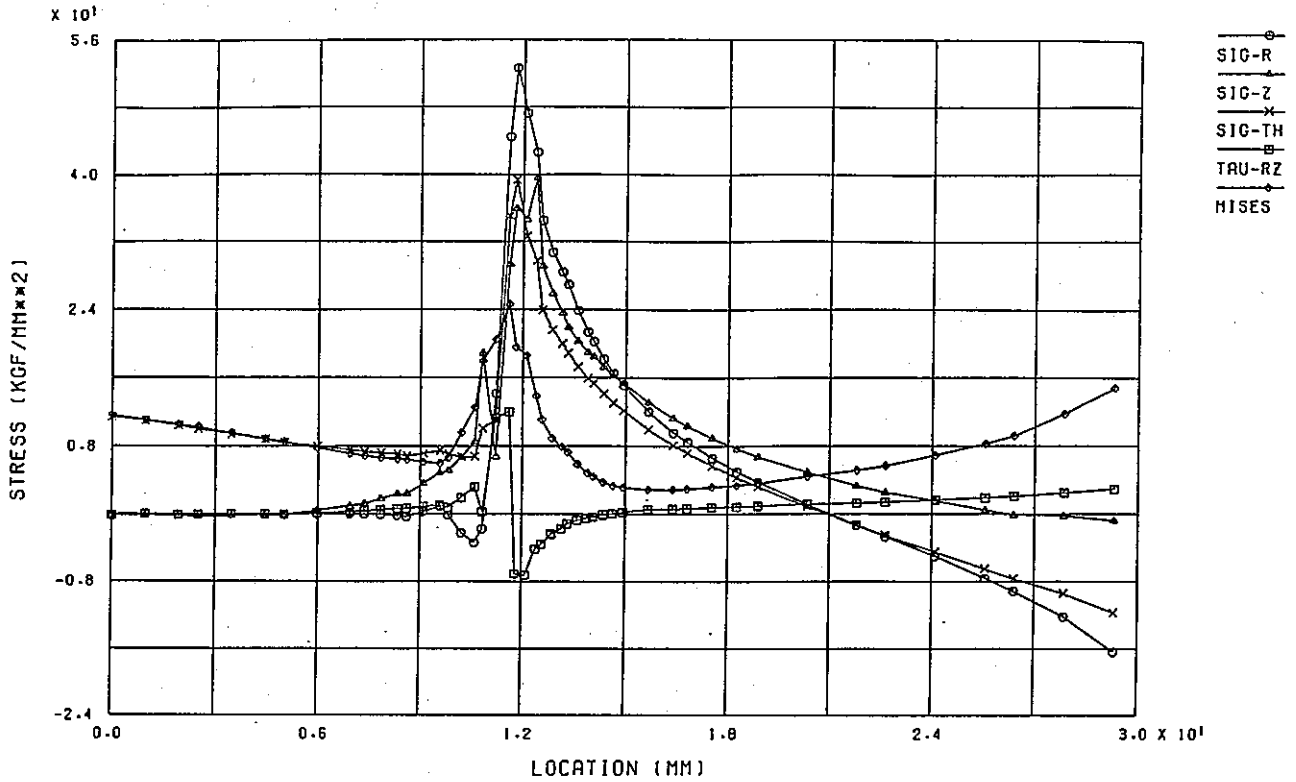


INLET NOZZLE M3-2 (A= 6MM) STRESS DIST. ALONG CRACK (HOT 80 SEC)

(b) Hot Transient 80 sec

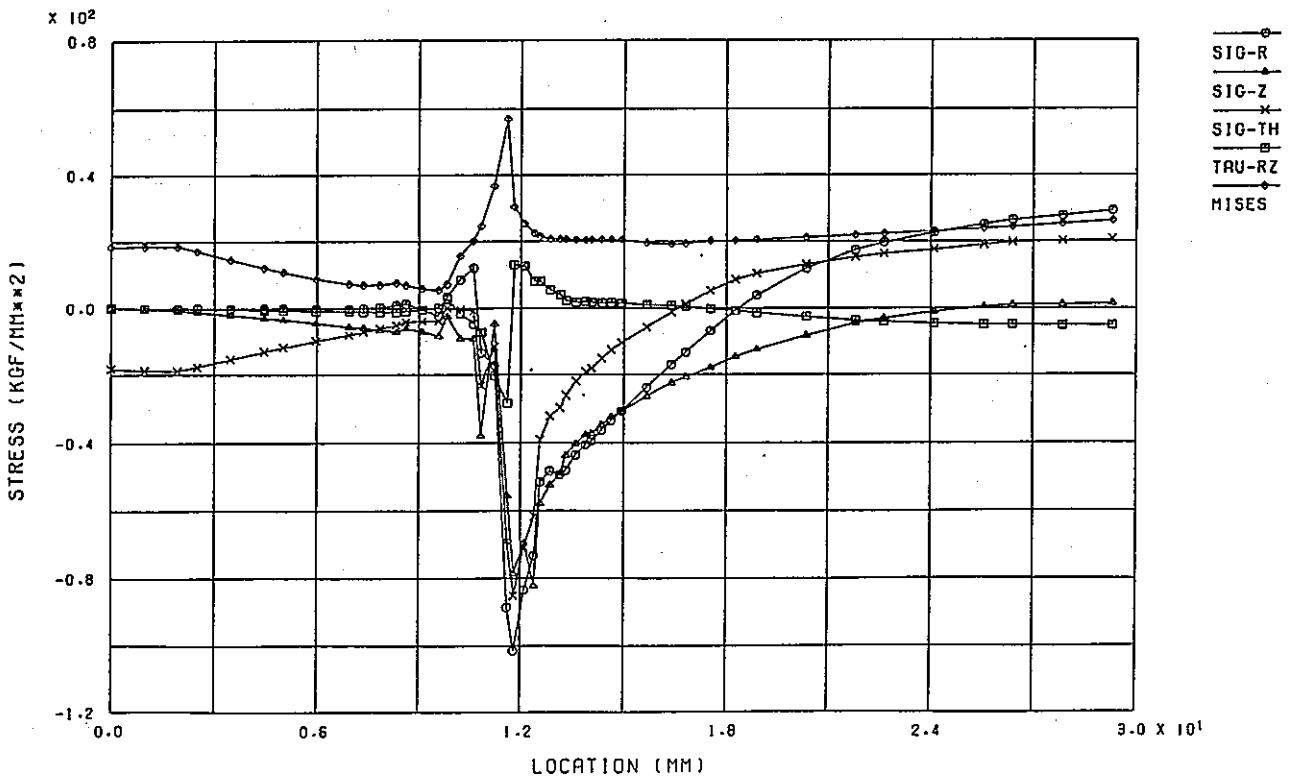
付図C-67 き裂面上の応力分布図 (Inlet Nozzle a= 6mm)

(a) Cold Transient 600 sec (b) Hot Transient 80 sec



INLET NOZZLE M3-3 (A=12MM) STRESS DIST. ALONG CRACK (COLD 600 SEC)

(a) Cold Transient 600 sec

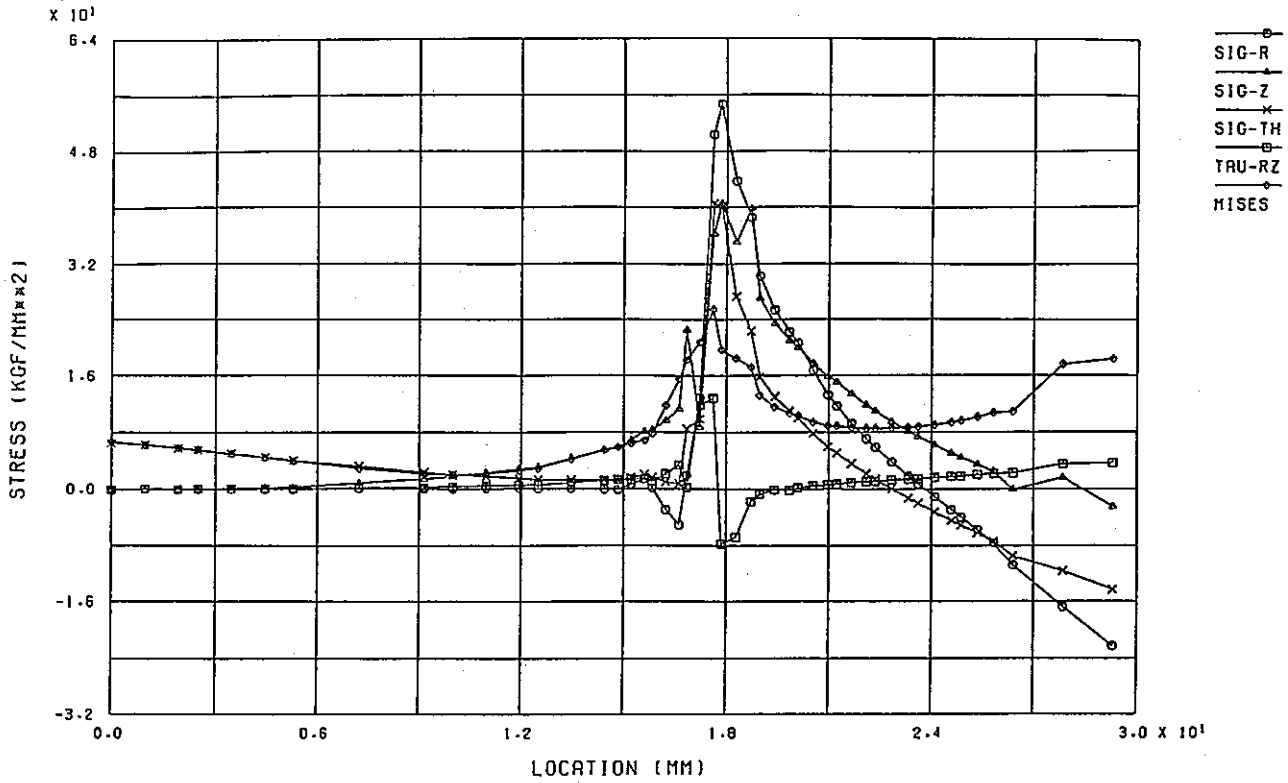


INLET NOZZLE M3-3 (A=12MM) STRESS DIST. ALONG CRACK (HOT 80 SEC)

(b) Hot Transient 80 sec

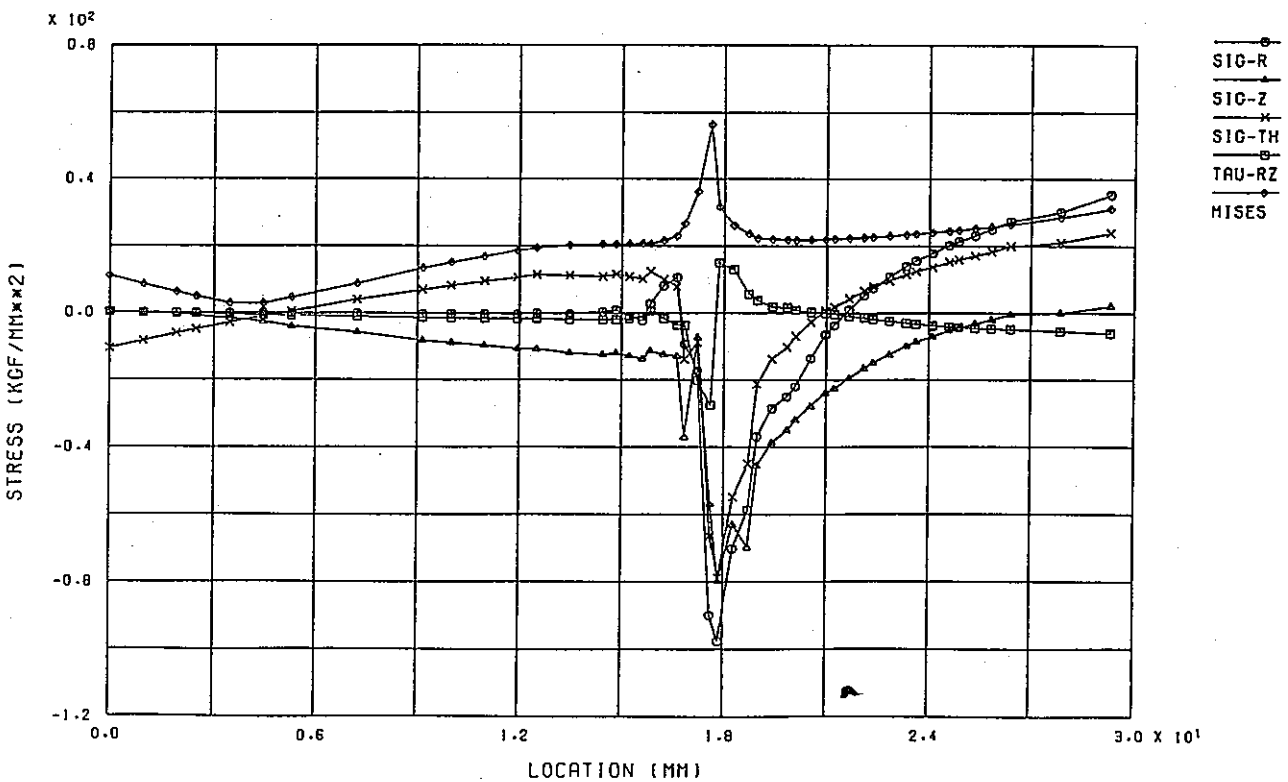
付図C-68 き裂面上の応力分布図 (Inlet Nozzle a=12mm)

(a) Cold Transient 600 sec (b) Hot Transient 80 sec



INLET NOZZLE M3-4 (R=18MM) STRESS DIST. ALONG CRACK (COLD 600 SEC)

(a) Cold Transient 600 sec

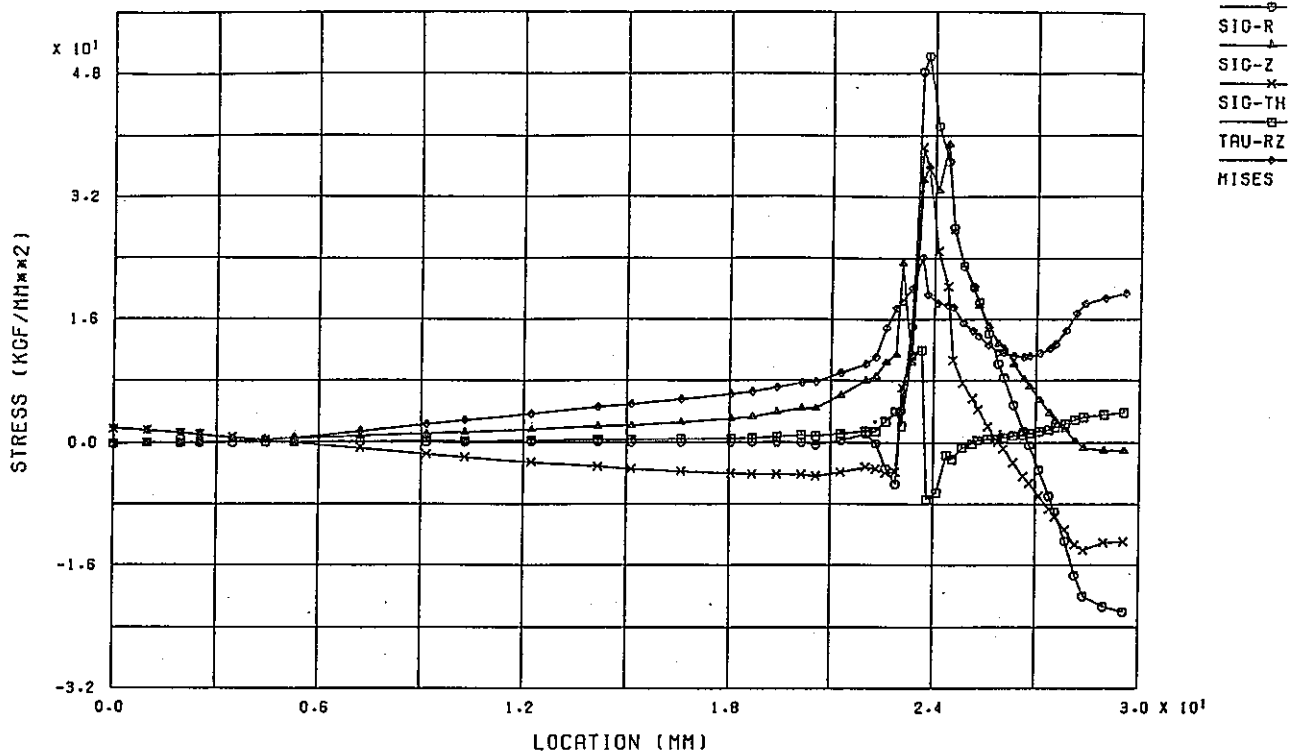


INLET NOZZLE M3-4 (R=18MM) STRESS DIST. ALONG CRACK (HOT 80 SEC)

(b) Hot Transient 80 sec

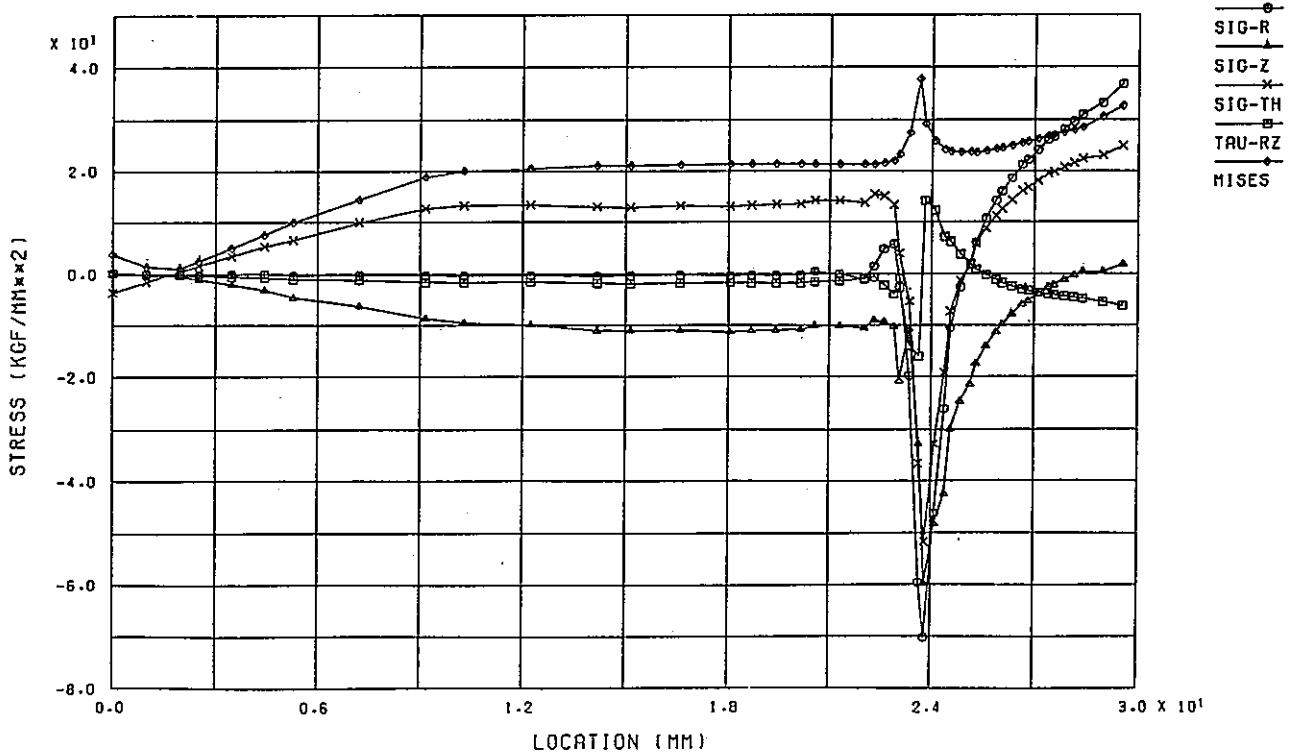
付図C-69 き裂面上の応力分布図 (Inlet Nozzle a=18mm)

(a) Cold Transient 600 sec (b) Hot Transient 80 sec



INLET NOZZLE M3-5 (A=24MM) STRESS DIST. ALONG CRACK (COLD 600 SEC)

(a) Cold Transient 600 sec



INLET NOZZLE M3-5 (A=24MM) STRESS DIST. ALONG CRACK (HOT 80 SEC)

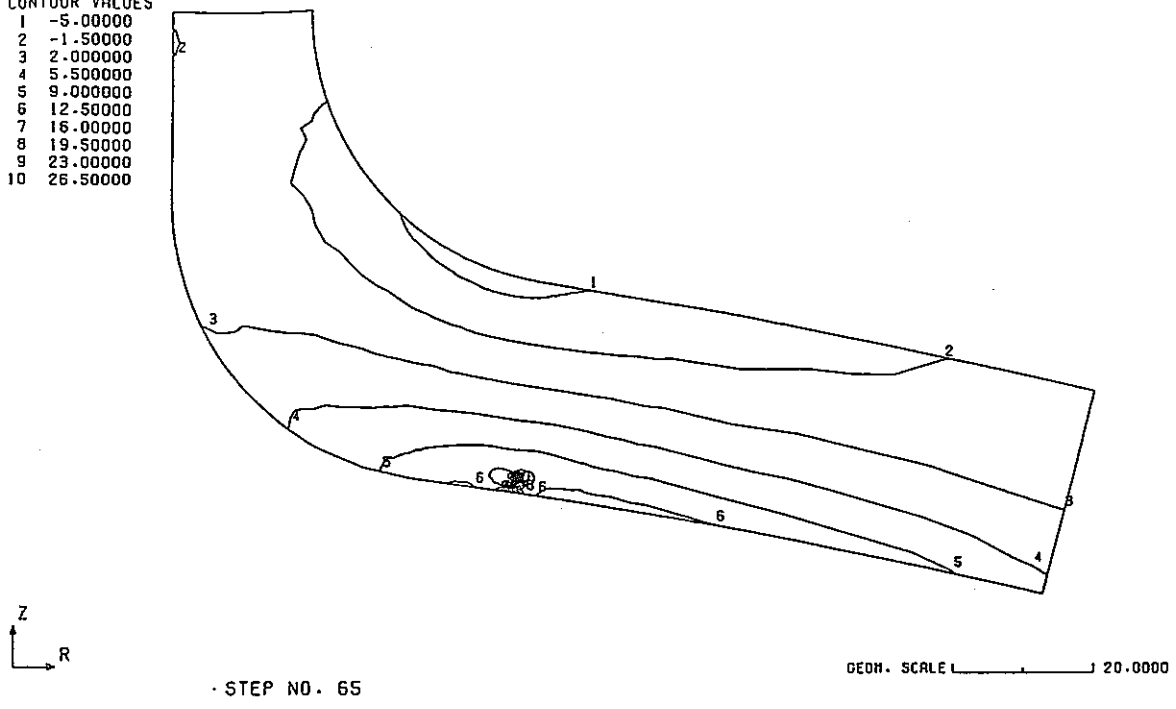
(b) Hot Transient 80 sec

付図C-70 き裂面上の応力分布図 (Inlet Nozzle a=24mm)

(a) Cold Transient 600 sec (b) Hot Transient 80 sec

CONTOUR VALUES

1	-5.00000
2	-1.50000
3	2.00000
4	5.50000
5	9.00000
6	12.50000
7	16.00000
8	19.50000
9	23.00000
10	26.50000

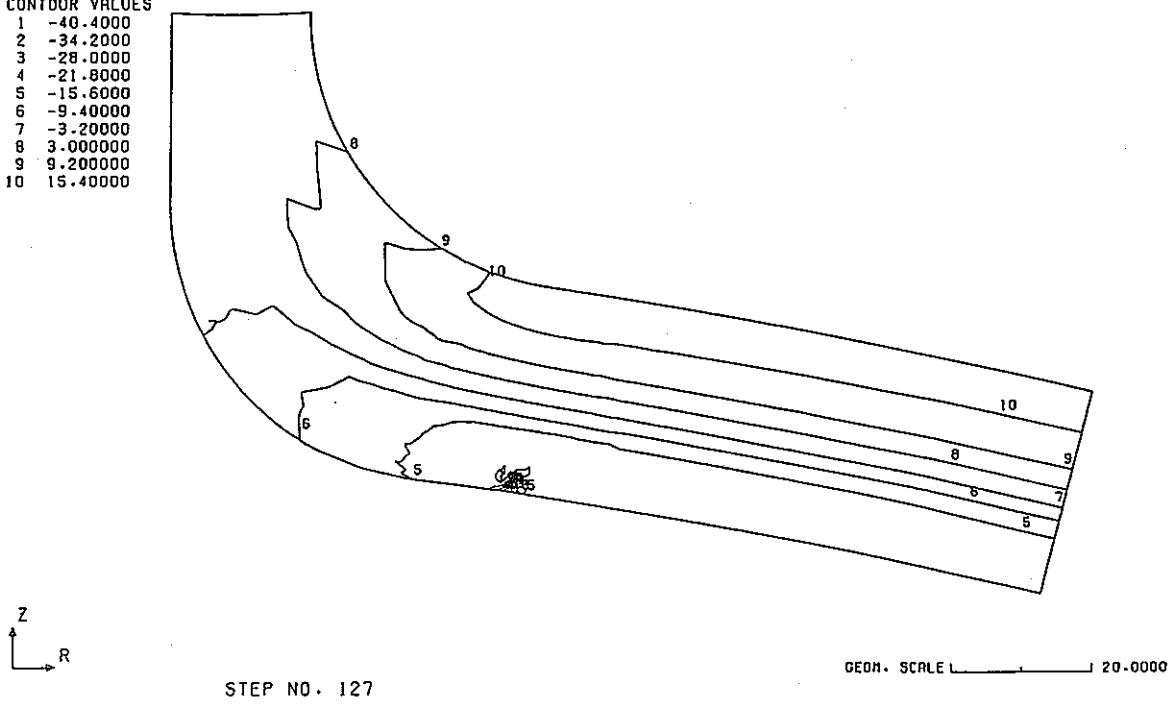


INLET NOZZLE M3-1 (A= 1MM) SIG-R (1-ST.COLD. 600SEC) EC)

(a) Cold Transient 600 sec

CONTOUR VALUES

1	-40.4000
2	-34.2000
3	-28.0000
4	-21.8000
5	-15.6000
6	-9.40000
7	-3.20000
8	3.000000
9	9.200000
10	15.40000



INLET NOZZLE M3-1 (A= 1MM) SIG-R (1-ST. HOT, 80SEC)

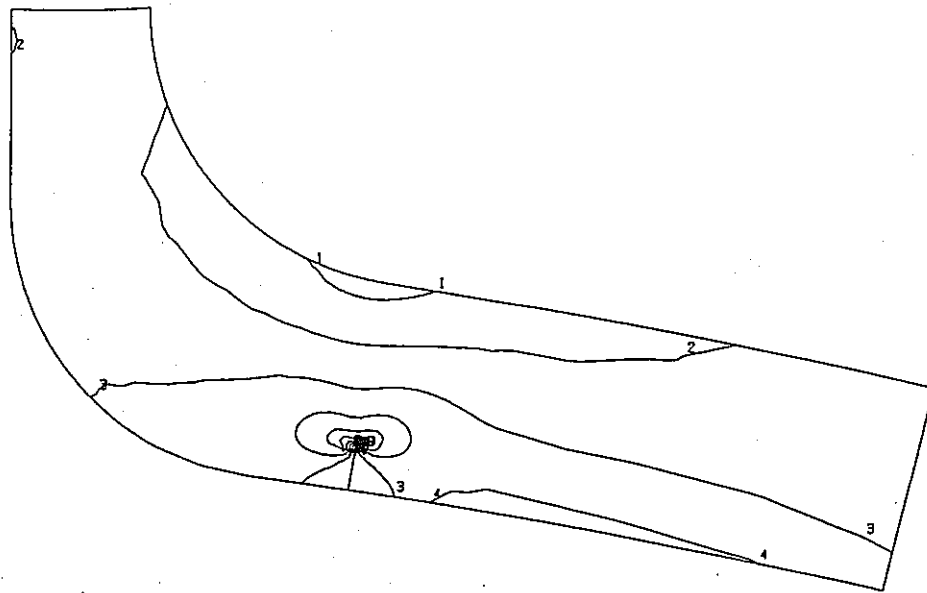
(b) Hot Transient 80 sec

付図C-71  $\sigma_R$ 成分の応力コンター図 (Inlet Nozzle a=1mm)

(a) Cold Transient 600 sec (b) Hot Transient 80 sec



CONTOUR VALUES  
 1 -7.00000  
 2 -1.50000  
 3 4.00000  
 4 9.50000  
 5 15.00000  
 6 20.50000  
 7 26.00000  
 8 31.50000  
 9 37.00000  
 10 42.50000



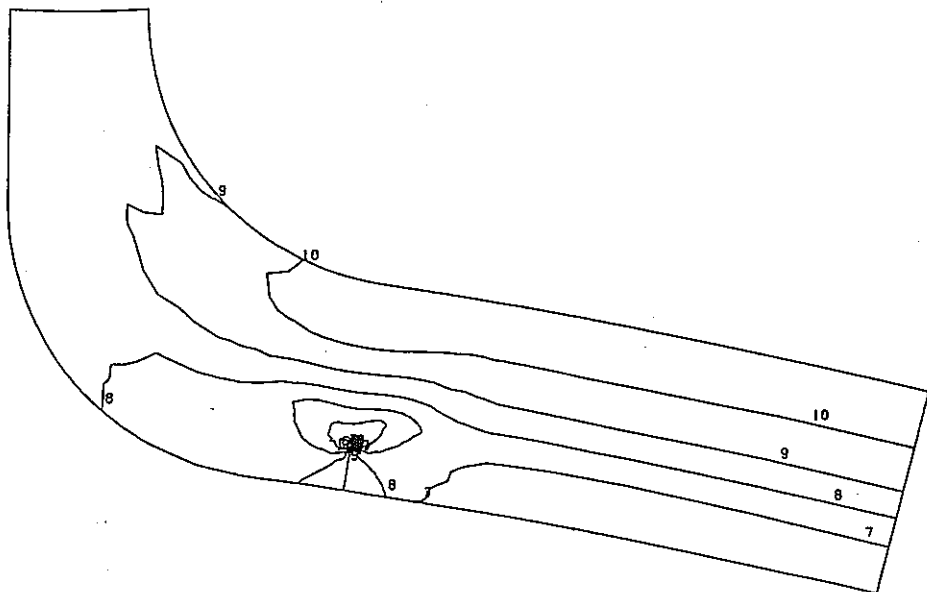
STEP NO. 65

GEOM. SCALE 20.0000

INLET NOZZLE M3-2 (A= 6MM) SIG-R (1-ST.COLD. 600SEC) EC)

(a) Cold Transient 600 sec

CONTOUR VALUES  
 1 -77.0000  
 2 -67.0000  
 3 -57.0000  
 4 -47.0000  
 5 -37.0000  
 6 -27.0000  
 7 -17.0000  
 8 -7.00000  
 9 3.00000  
 10 13.00000



STEP NO. 127

GEOM. SCALE 20.0000

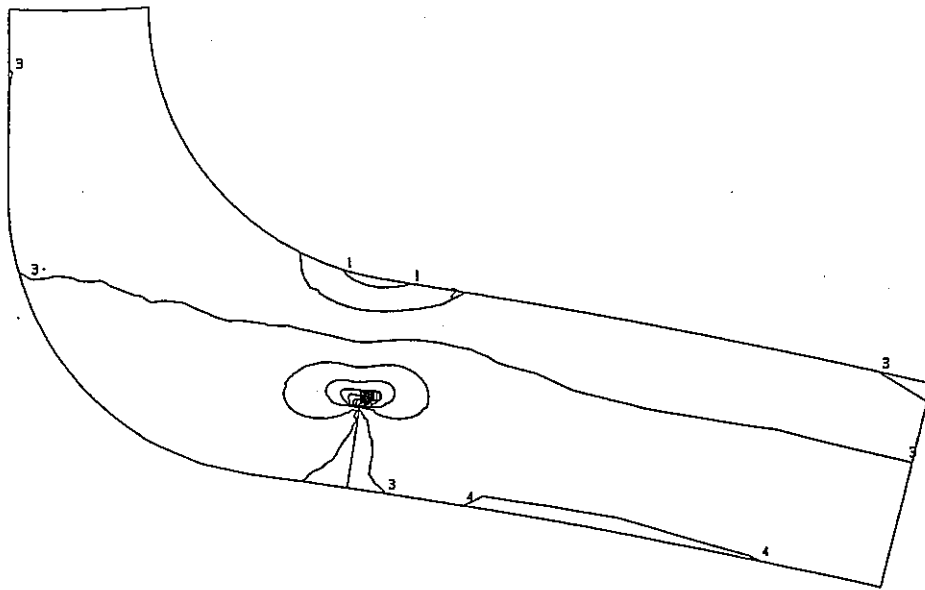
INLET NOZZLE M3-2 (A= 6MM) SIG-R (1-ST. HOT. 80SEC)

(b) Hot Transient 80 sec

付図C-72  $\sigma_R$ 成分の応力コンター図 (Inlet Nozzle a= 6mm)

(a) Cold Transient 600 sec (b) Hot Transient 80 sec

CONTOUR VALUES  
 1 -14.0000  
 2 -6.70000  
 3 0.600000  
 4 7.900000  
 5 15.20000  
 6 22.50000  
 7 29.80000  
 8 37.10000  
 9 44.40000  
 10 51.70000



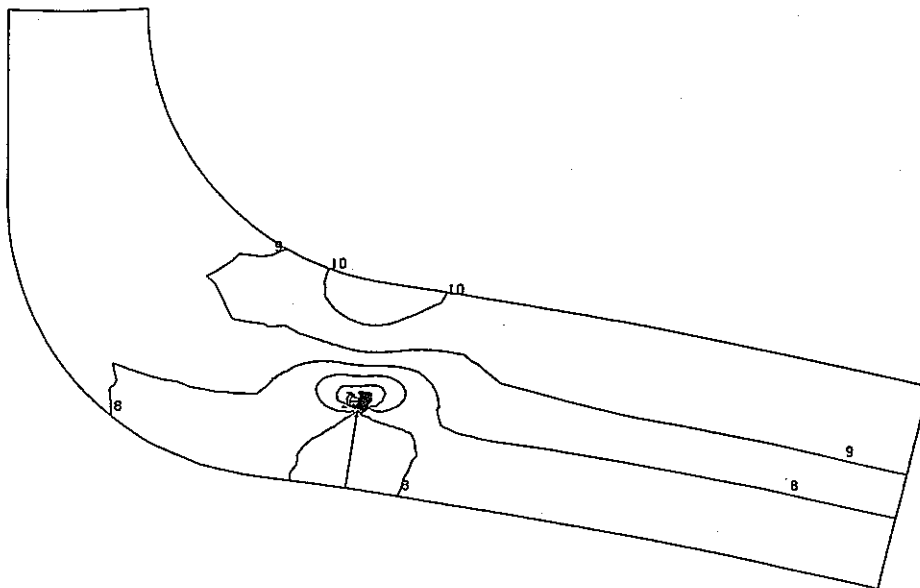
STEP NO. 65

GEOM. SCALE 20.0000

INLET NOZZLE M3-3 (A=12MM) SIG-R (1-ST. COLD. 600SEC) EC)

(a) Cold Transient 600 sec

CONTOUR VALUES  
 1 -105.000  
 2 -91.0000  
 3 -77.0000  
 4 -63.0000  
 5 -49.0000  
 6 -35.0000  
 7 -21.0000  
 8 -7.00000  
 9 7.000000  
 10 21.00000



STEP NO. 127

GEOM. SCALE 20.0000

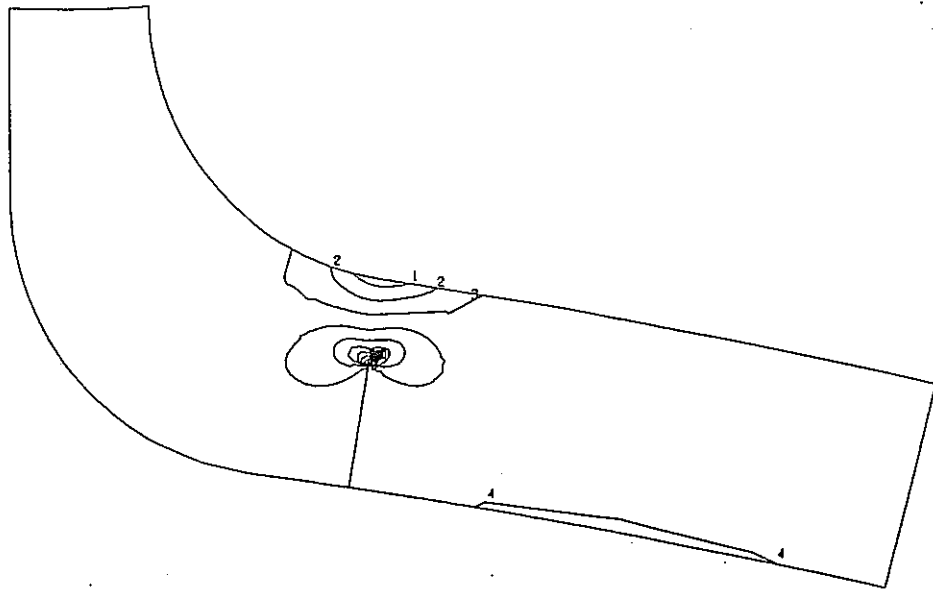
INLET NOZZLE M3-3 (A=12MM) SIG-R (1-ST. HOT. 80SEC)

(b) Hot Transient 80 sec

付図C-73  $\sigma_r$ 成分の応力コンター図 (Inlet Nozzle a=12mm)

(a) Cold Transient 600 sec (b) Hot Transient 80 sec

CONTOUR VALUES  
 1 -19.7000  
 2 -11.3000  
 3 -2.90000  
 4 5.500000  
 5 13.90000  
 6 22.30000  
 7 30.70000  
 8 39.10000  
 9 47.50000  
 10 55.90000



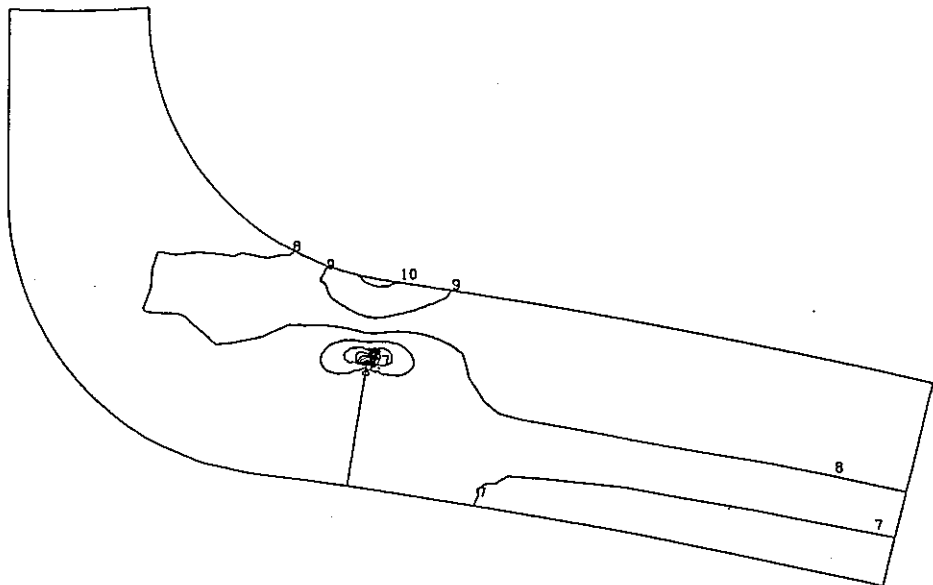
STEP NO. 65

GEOM. SCALE 20.0000

INLET NOZZLE M3-4 (R=18MM) SIG-R (1-ST.COLD. 600SEC) EC)

(a) Cold Transient 600 sec

CONTOUR VALUES  
 1 -102.000  
 2 -87.0000  
 3 -72.0000  
 4 -57.0000  
 5 -42.0000  
 6 -27.0000  
 7 -12.0000  
 8 3.000000  
 9 18.00000  
 10 33.00000



STEP NO. 127

GEOM. SCALE 20.0000

INLET NOZZLE M3-4 (R=18MM) SIG-R (1-ST. HOT. 80SEC)

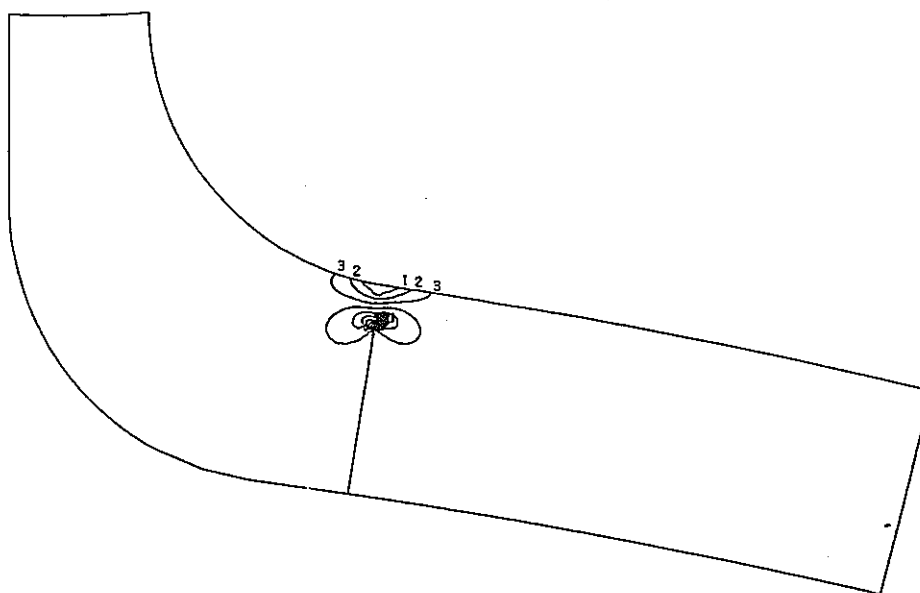
(b) Hot Transient 80 sec

付図C-74  $\sigma_R$ 成分の応力コンター図 (Inlet Nozzle a=18mm)

(a) Cold Transient 600 sec (b) Hot Transient 80 sec

CONTOUR VALUES

1	-18.7000
2	-10.9000
3	-3.10000
4	4.700000
5	12.50000
6	20.30000
7	28.10000
8	35.90000
9	43.70000
10	51.50000



STEP NO. 65

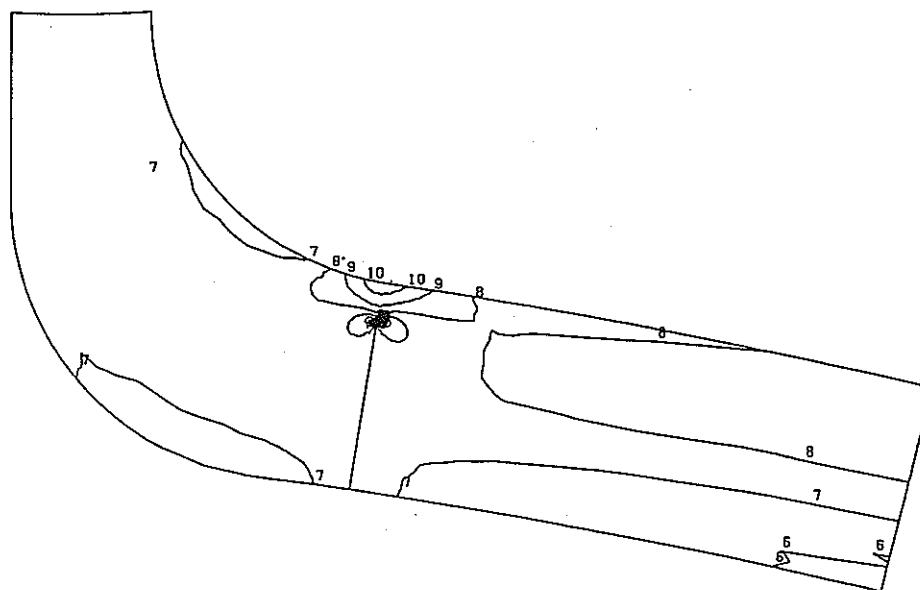
GEOM. SCALE 20.0000

INLET NOZZLE M3-5 (R=24MM) SIG-R (1-ST.COLD. 600SEC) EC1

(a) Cold Transient 600 sec

CONTOUR VALUES

1	-70.0000
2	-59.0000
3	-48.0000
4	-37.0000
5	-26.0000
6	-15.0000
7	-4.00000
8	7.000000
9	18.00000
10	29.00000



STEP NO. 127

GEOM. SCALE 20.0000

INLET NOZZLE M3-5 (R=24MM) SIG-R (1-ST. HOT. 80SEC)

(b) Hot Transient 80 sec

付図C-75  $\sigma_R$ 成分の応力コンター図 (Inlet Nozzle a=24mm)

(a) Cold Transient 600 sec (b) Hot Transient 80 sec

## 付録D 破壊力学パラメータの解析結果

4種の内筒溶接部、支持スカートおよび入口ノズルの各部位における評価対象き裂について、き裂深さをパラメータとした各解析モデルの非弾性解析結果に基づいて、破壊力学パラメータ $\hat{J}$ および $\hat{J}'$ を算出した。

本付録には、各き裂深さ状態での $\hat{J}$ および $\hat{J}'$ の熱過渡サイクル中の経時変化の様子を、積分経路ごとに比較した結果を示している。

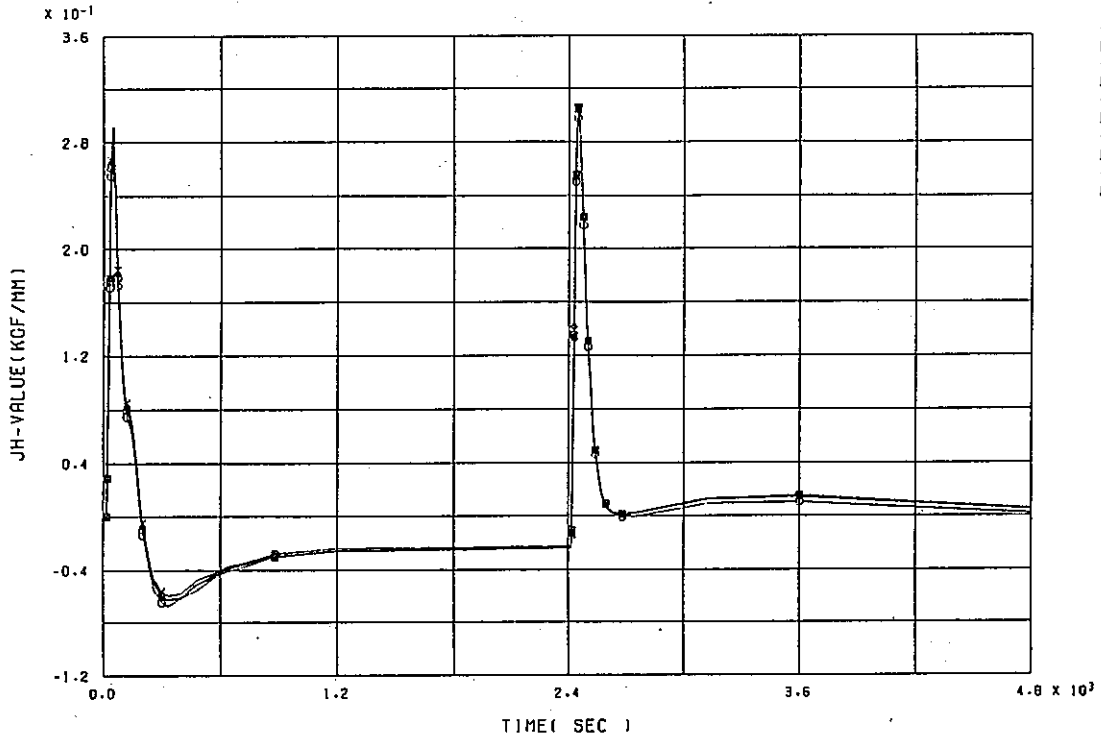
付図D-1からD-13は各モデルでの熱過渡1サイクル中の $\hat{J}$ の経時変化あり、また、付図D-14からD-26は熱過渡1サイクル中クリープ時間内の $\hat{J}'$ の経時変化を示したものである。 $\hat{J}$ は、良好な経路独立性が認められ、熱過渡荷重下の非線形破壊力学パラメータとして有効であることが確認できた。一方、 $\hat{J}'$ は、全体的にやや経路依存性が現れる結果となった。また、スカートモデルのき裂では、熱過渡サイクル中に他の部位に見られない時間に対する変動挙動が認められた。

$\hat{J}'$ の経時変化からクリープJ積分を算出する場合、複数の積分経路の平均値を取り、さらに変動分も含めて時間積分を行うことにより、上記影響は緩和され、その結果き裂進展挙動の評価には大きな影響を及ぼさないと考えられる。

## 付録D 破壊力学パラメータの解析結果

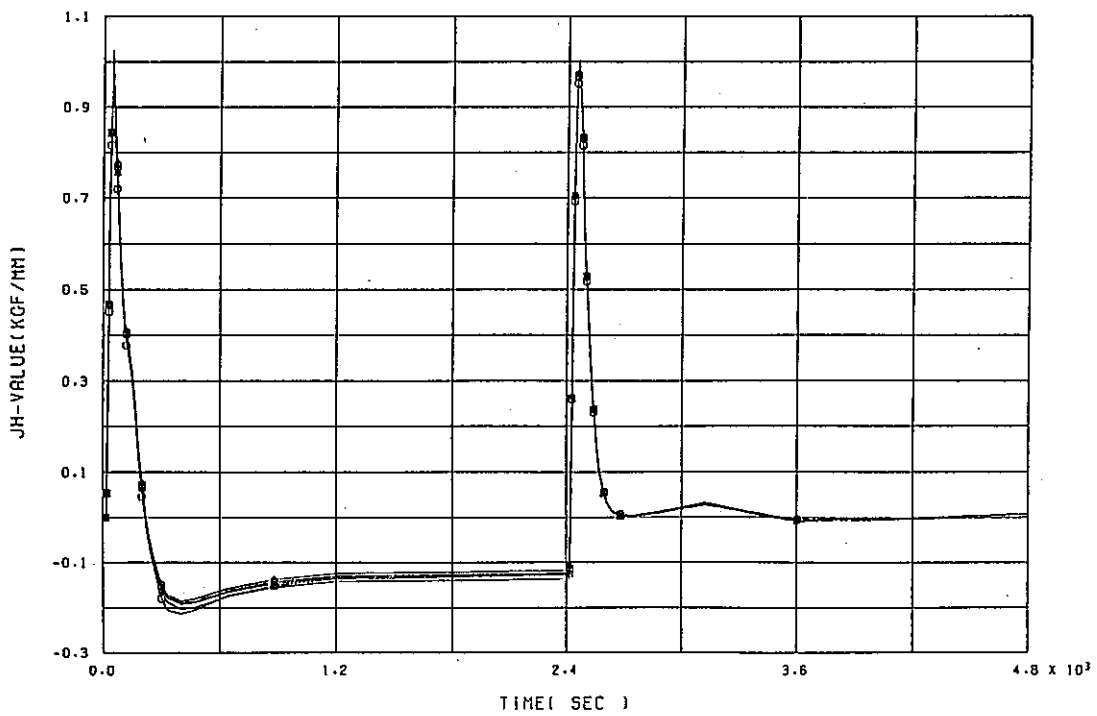
付図D-1	熱過渡1サイクル中の $\hat{J}$ の経時変化(MIG)	
	(a) $a = 1\text{ mm}$ (b) $a = 4\text{ mm}$ .....	216
付図D-2	熱過渡1サイクル中の $\hat{J}$ の経時変化(MIG)	
	(a) $a = 7\text{ mm}$ (b) $a = 10\text{ mm}$ .....	217
付図D-3	熱過渡1サイクル中の $\hat{J}$ の経時変化(SMAW)	
	(a) $a = 1\text{ mm}$ (b) $a = 4\text{ mm}$ .....	218
付図D-4	熱過渡1サイクル中の $\hat{J}$ の経時変化(SMAW)	
	(a) $a = 7\text{ mm}$ (b) $a = 10\text{ mm}$ .....	219
付図D-5	熱過渡1サイクル中の $\hat{J}$ の経時変化(BBW)	
	(a) $a = 1\text{ mm}$ (b) $a = 4\text{ mm}$ .....	220
付図D-6	熱過渡1サイクル中の $\hat{J}$ の経時変化(BBW)	
	(a) $a = 7\text{ mm}$ (b) $a = 10\text{ mm}$ .....	221
付図D-7	熱過渡1サイクル中の $\hat{J}$ の経時変化(TIG)	
	(a) $a = 1\text{ mm}$ (b) $a = 6\text{ mm}$ .....	222
付図D-8	熱過渡1サイクル中の $\hat{J}$ の経時変化(TIG)	
	(a) $a = 11\text{ mm}$ (b) $a = 16\text{ mm}$ .....	223
付図D-9	熱過渡1サイクル中の $\hat{J}$ の経時変化(SKIRT)	
	(a) $a = 1\text{ mm}$ (b) $a = 16\text{ mm}$ .....	224
付図D-10	熱過渡1サイクル中の $\hat{J}$ の経時変化(SKIRT)	
	(a) $a = 11\text{ mm}$ (b) $a = 16\text{ mm}$ .....	225
付図D-11	熱過渡1サイクル中の $\hat{J}$ の経時変化(Inlet Nozzle)	
	(a) $a = 1\text{ mm}$ (b) $a = 6\text{ mm}$ .....	226
付図D-12	熱過渡1サイクル中の $\hat{J}$ の経時変化(Inlet Nozzle)	
	(a) $a = 12\text{ mm}$ (b) $a = 18\text{ mm}$ .....	227
付図D-13	熱過渡1サイクル中の $\hat{J}$ の経時変化(Inlet Nozzle)	
	(a) $a = 24\text{ mm}$ (b) $a = 1\text{ mm}$ .....	228
付図D-14	熱過渡1サイクル中クリープ時間内の $\hat{J}'$ の経時変化(MIG)	
	(a) $a = 1\text{ mm}$ (b) $a = 4\text{ mm}$ .....	229
付図D-15	熱過渡1サイクル中クリープ時間内の $\hat{J}'$ の経時変化(MIG)	
	(a) $a = 7\text{ mm}$ (b) $a = 10\text{ mm}$ .....	230
付図D-16	熱過渡1サイクル中クリープ時間内の $\hat{J}'$ の経時変化(SMAW)	
	(a) $a = 1\text{ mm}$ (b) $a = 4\text{ mm}$ .....	231

付図D-17	熱過渡1サイクル中クリープ時間内の $\hat{J}'$ の経時変化(SMAW)	
	(a) a = 7 mm (b) a = 10 mm	232
付図D-18	熱過渡1サイクル中クリープ時間内の $\hat{J}'$ の経時変化(BBW)	
	(a) a = 1 mm (b) a = 4 mm	233
付図D-19	熱過渡1サイクル中クリープ時間内の $\hat{J}'$ の経時変化(BBW)	
	(a) a = 7 mm (b) a = 10 mm	234
付図D-20	熱過渡1サイクル中クリープ時間内の $\hat{J}'$ の経時変化(TIG)	
	(a) a = 1 mm (b) a = 6 mm	235
付図D-21	熱過渡1サイクル中クリープ時間内の $\hat{J}'$ の経時変化(TIG)	
	(a) a = 11 mm (b) a = 16 mm	236
付図D-22	熱過渡1サイクル中クリープ時間内の $\hat{J}'$ の経時変化(SKIRT)	
	(a) a = 1 mm (b) a = 6 mm	237
付図D-23	熱過渡1サイクル中クリープ時間内の $\hat{J}'$ の経時変化(SKIRT)	
	(a) a = 11 mm (b) a = 16 mm	238
付図D-24	熱過渡1サイクル中クリープ時間内の $\hat{J}'$ の経時変化(Inlet Nozzle)	
	(a) a = 1 mm (b) a = 6 mm	239
付図D-25	熱過渡1サイクル中クリープ時間内の $\hat{J}'$ の経時変化(Inlet Nozzle)	
	(a) a = 12 mm (b) a = 18 mm	240
付図D-26	熱過渡1サイクル中クリープ時間内の $\hat{J}'$ の経時変化(Inlet Nozzle)	
	(a) a = 24 mm (b) a = -- mm	241



D702H-1 HISTORY OF (JH) VALUE ( A = 1.0 )

(a) a = 1 mm



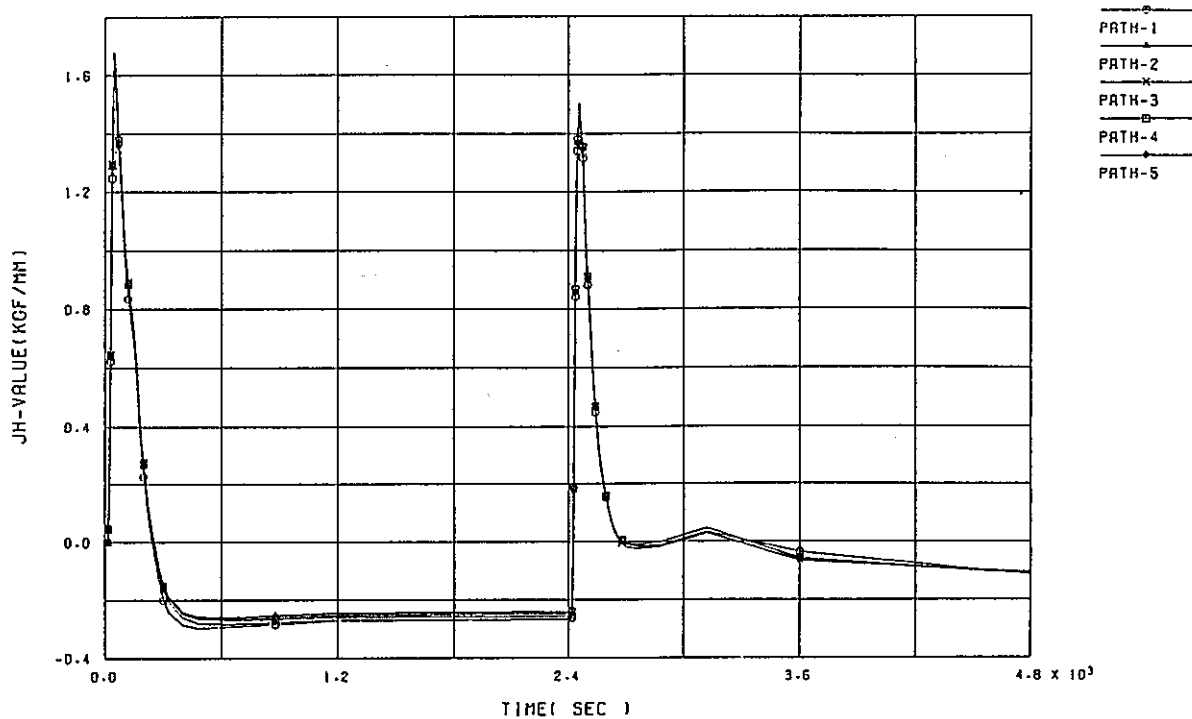
D702H-2 HISTORY OF (JH) VALUE ( A = 4.0 )

(b) a = 4 mm

付図D-1 熱過渡1サイクル中の $\hat{J}$ の経時変化(MIG)

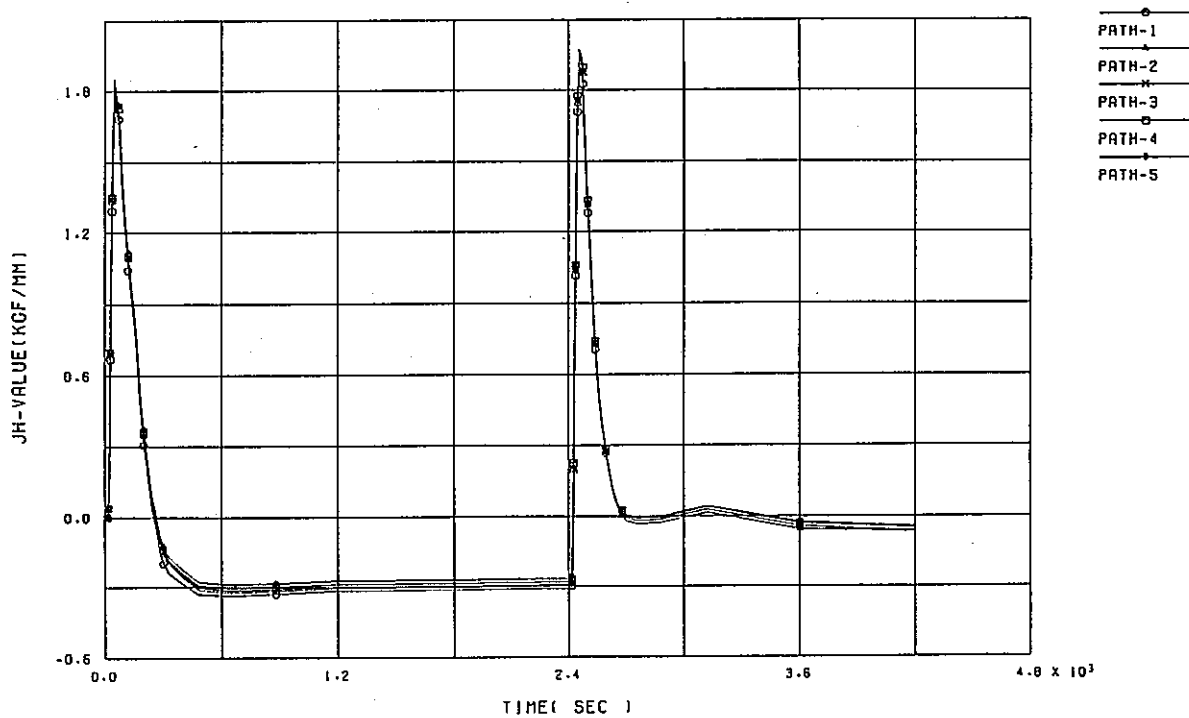
(a) a = 1 mm (b) a = 4 mm





D702H-3 HISTORY OF (JH) VALUE ( A = 7.0 )

(a) a = 7 mm

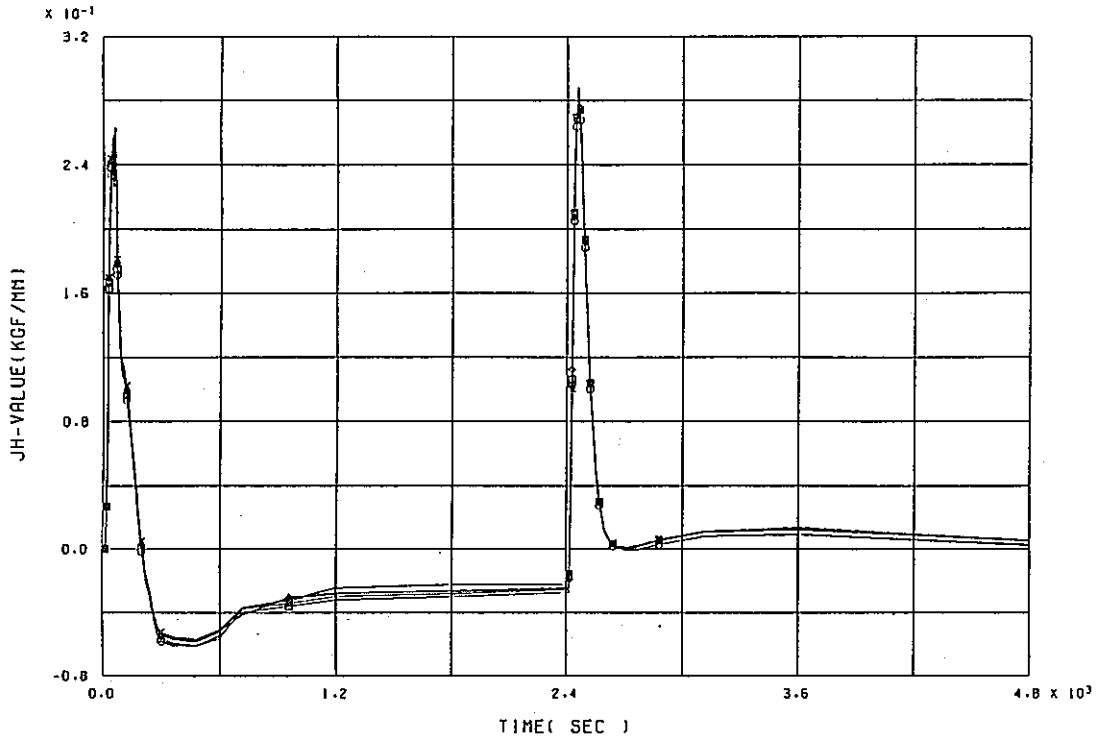


D702H-4 HISTORY OF (JH) VALUE ( A = 10.0 )

(b) a = 10mm

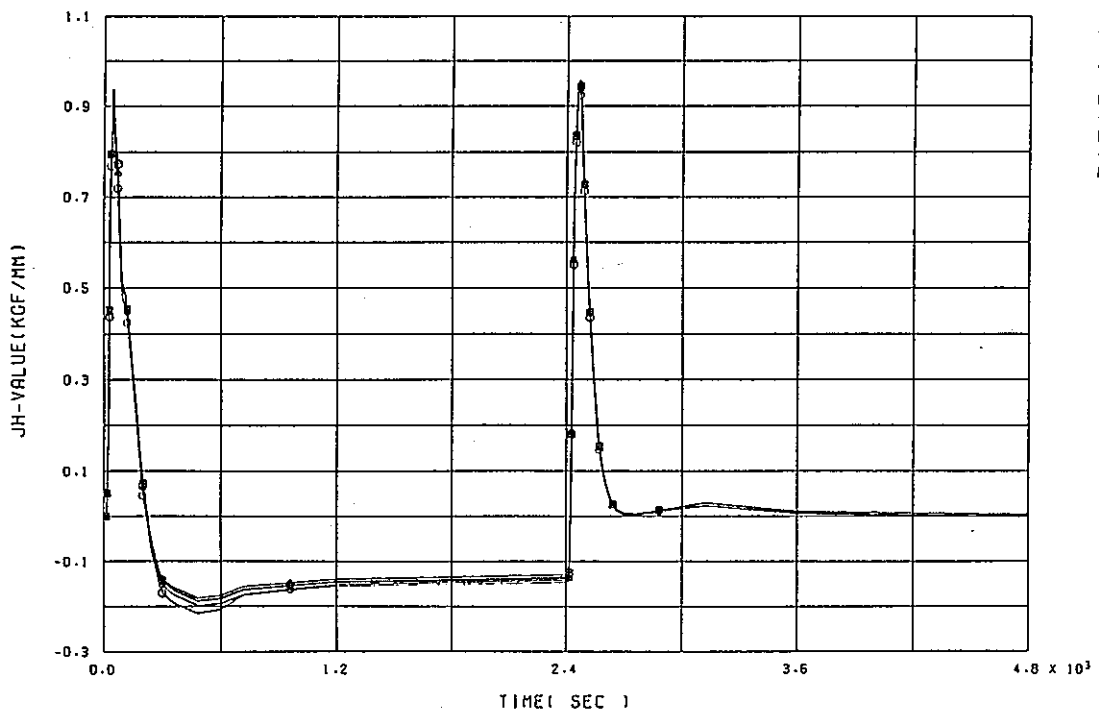
付図D-2 熱過渡1サイクル中の $\hat{J}$ の経時変化(MIG)

(a) a = 7 mm (b) a = 10mm



D703W-1 HISTORY OF (JH) VALUE ( A = 1.0 )

(a)  $a = 1$  mm

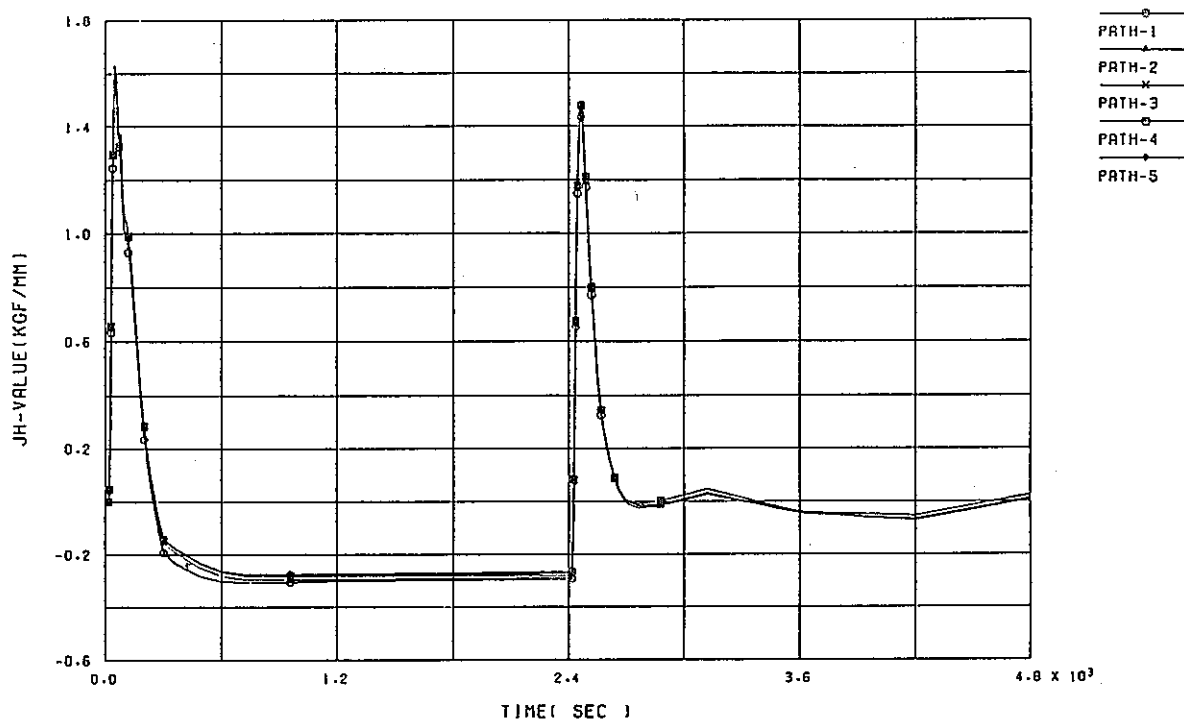


D703W-2 HISTORY OF (JH) VALUE ( A = 4.0 )

(b)  $a = 4$  mm

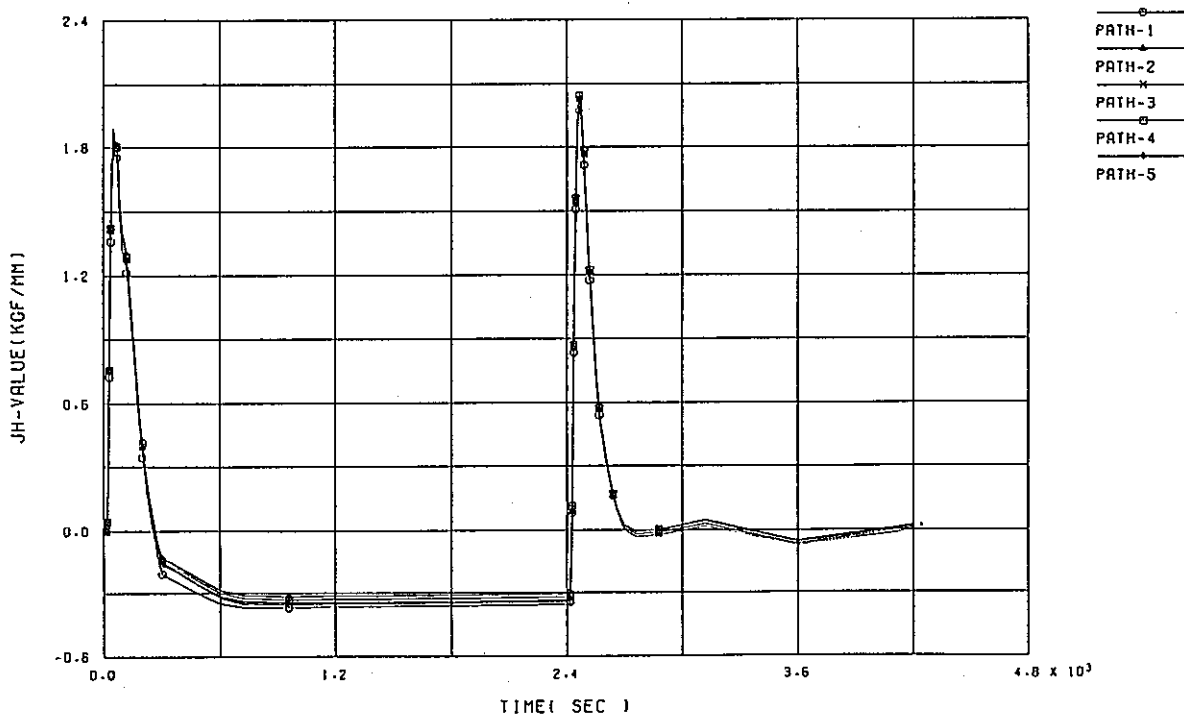
付図D-3 熱過渡1サイクル中の $\hat{J}$ の経時変化(SMAW)

(a)  $a = 1$  mm (b)  $a = 4$  mm



D703H-3 HISTORY OF (JH) VALUE ( R = 7.0 )

(a) a = 7 mm

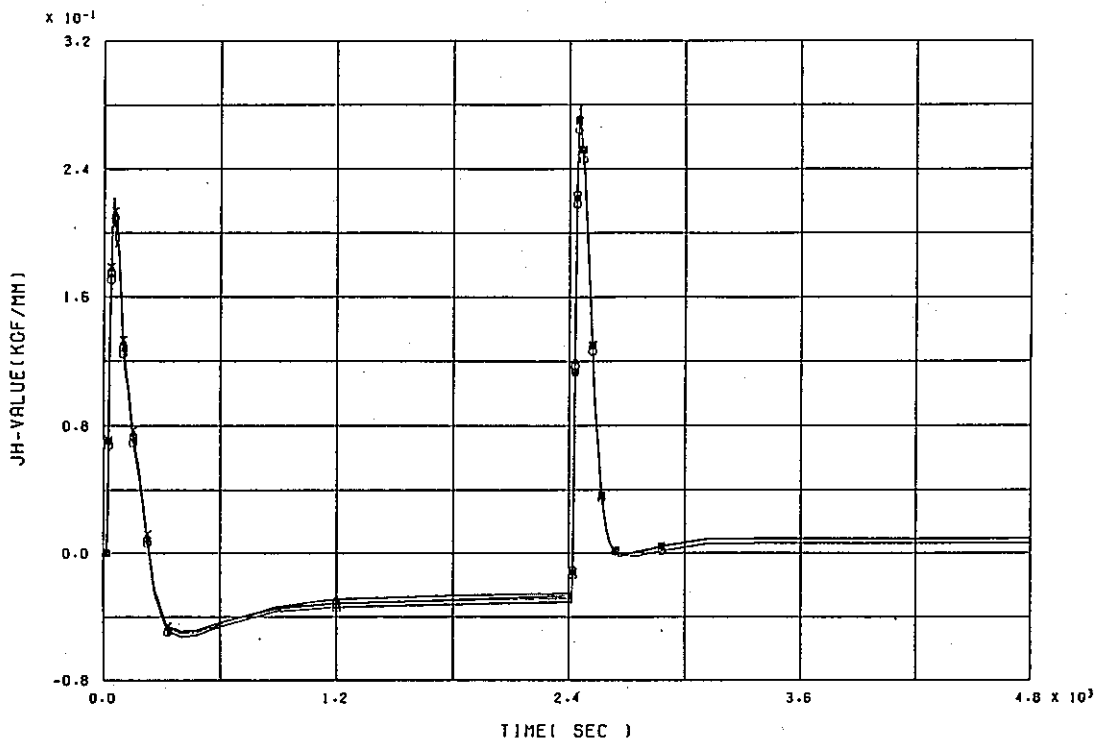


D703H-4 HISTORY OF (JH) VALUE ( R = 10.0 )

(b) a = 10mm

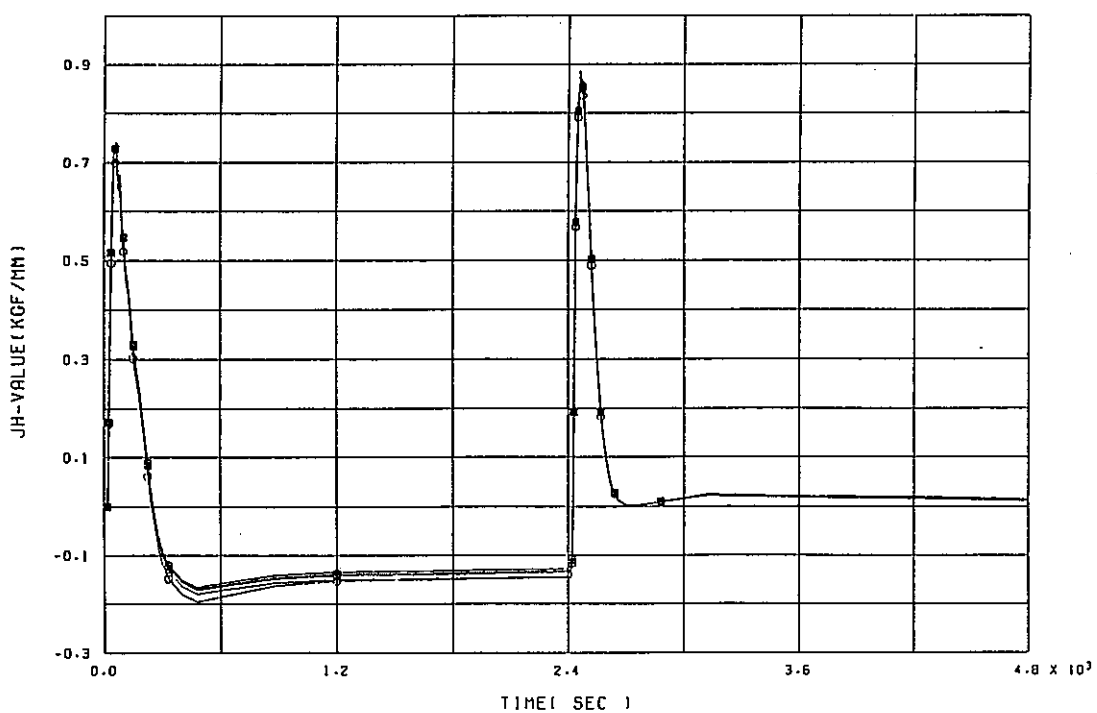
付図D-4 熱過渡1サイクル中の $\hat{J}$ の経時変化(SMAW)

(a) a = 7 mm (b) a = 10mm



D704H-1 HISTORY OF (JH) VALUE ( A = 1.0 )

(a) a = 1 mm

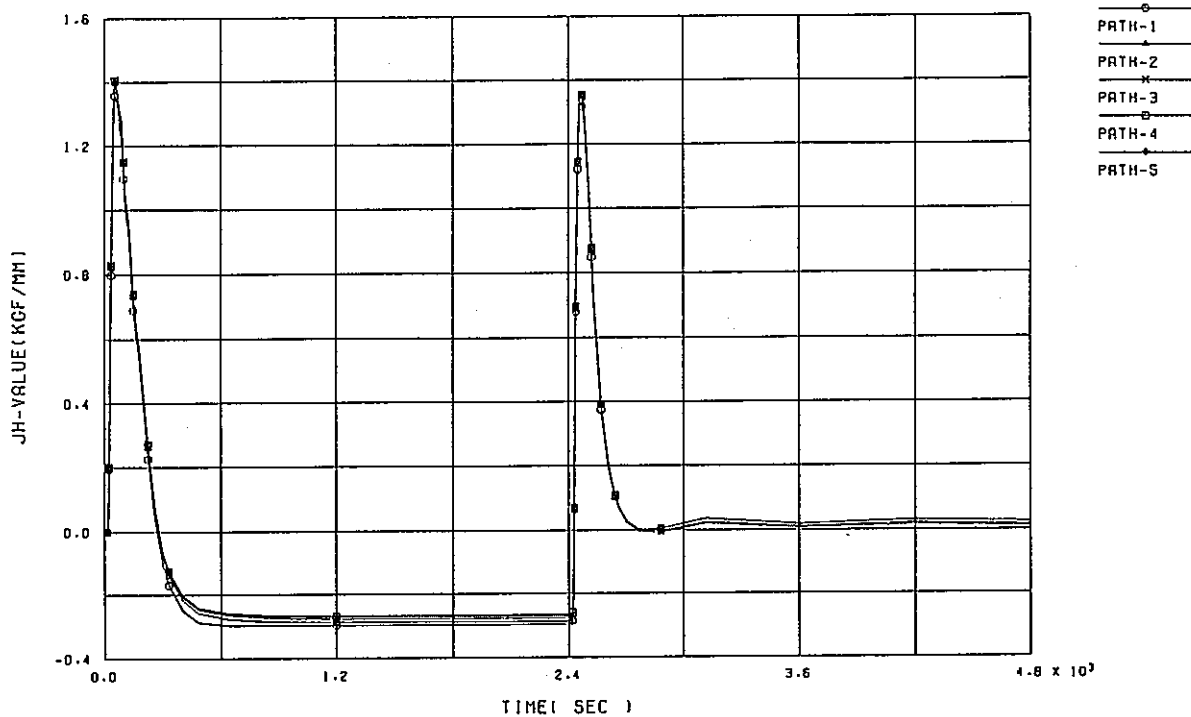


D704H-2 HISTORY OF (JH) VALUE ( A = 4.0 )

(b) a = 4 mm

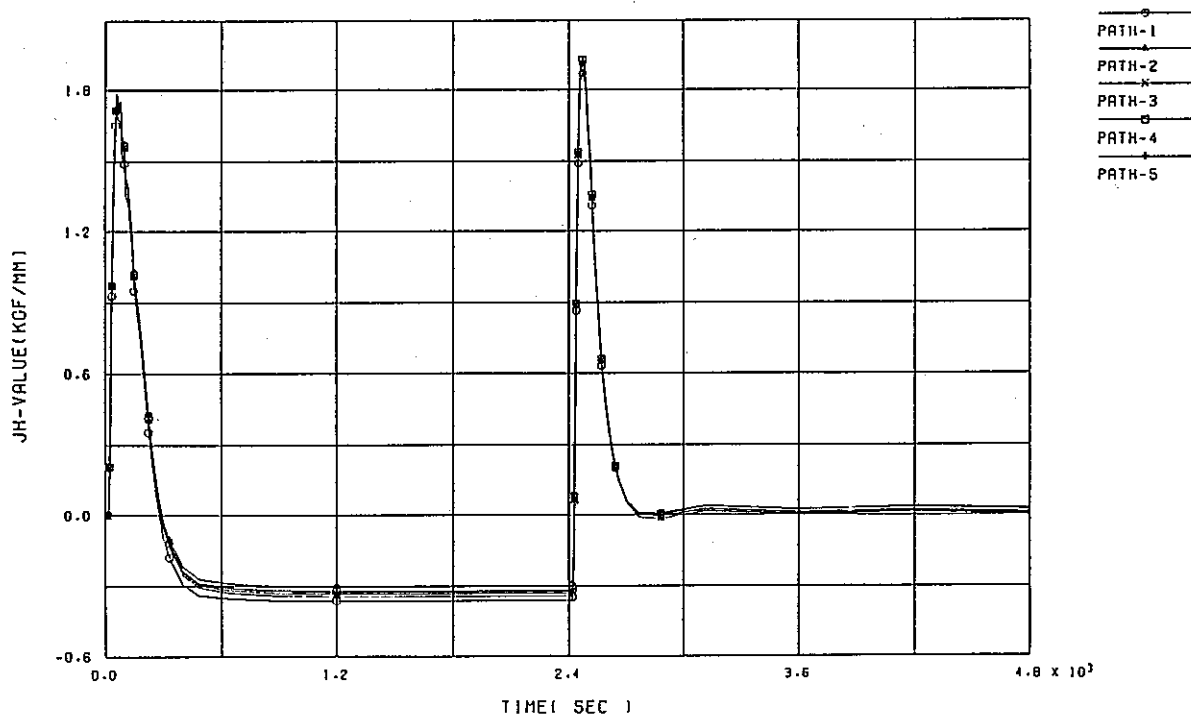
付図D-5 熱過渡1サイクル中の $\hat{J}$ の経時変化(EBW)

(a) a = 1 mm (b) a = 4 mm



0704H-3 HISTORY OF (JH) VALUE ( A = 7.0 )

(a) a = 7 mm

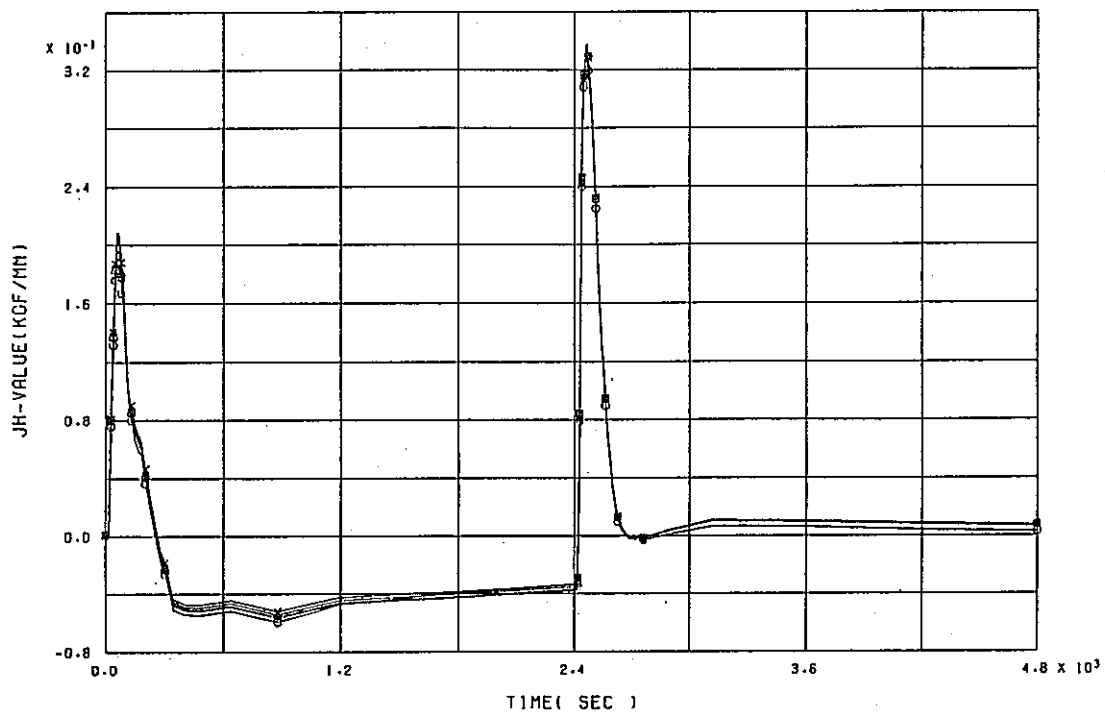


0704H-4 HISTORY OF (JH) VALUE ( A = 10.0 )

(b) a = 10mm

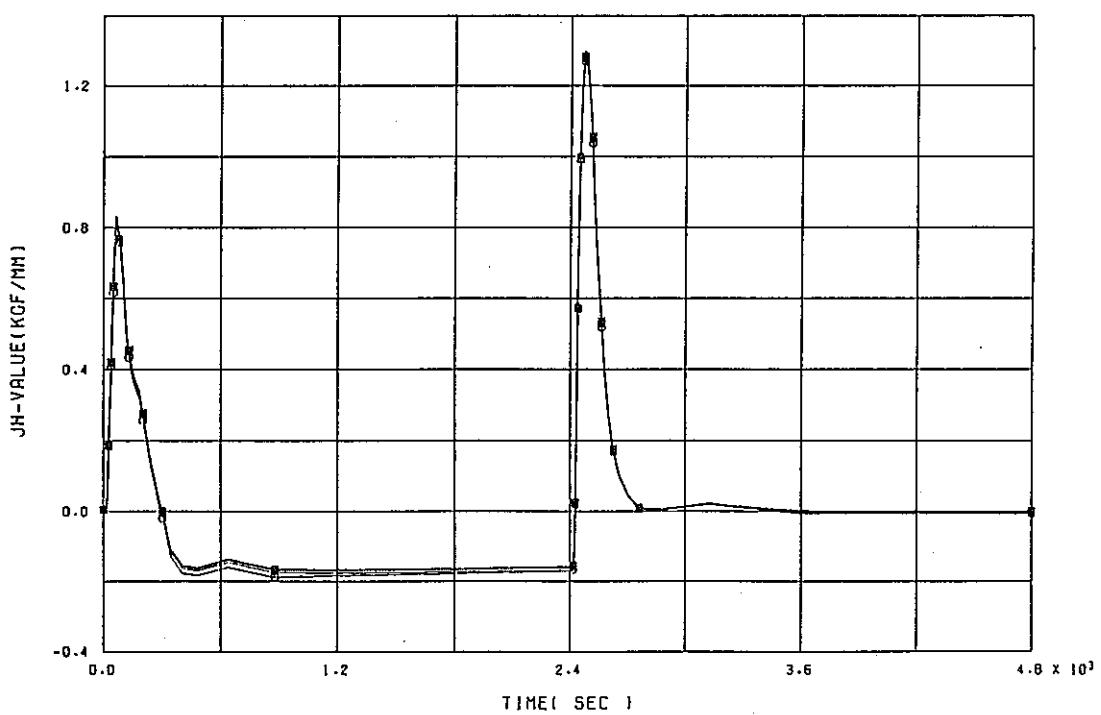
付図D-6 熱過渡1サイクル中の $\hat{J}$ の経時変化(BBW)

(a) a = 7 mm (b) a = 10mm



D705H-1 HISTORY OF (JH) VALUE ( A = 1.0 )

(a) a = 1 mm

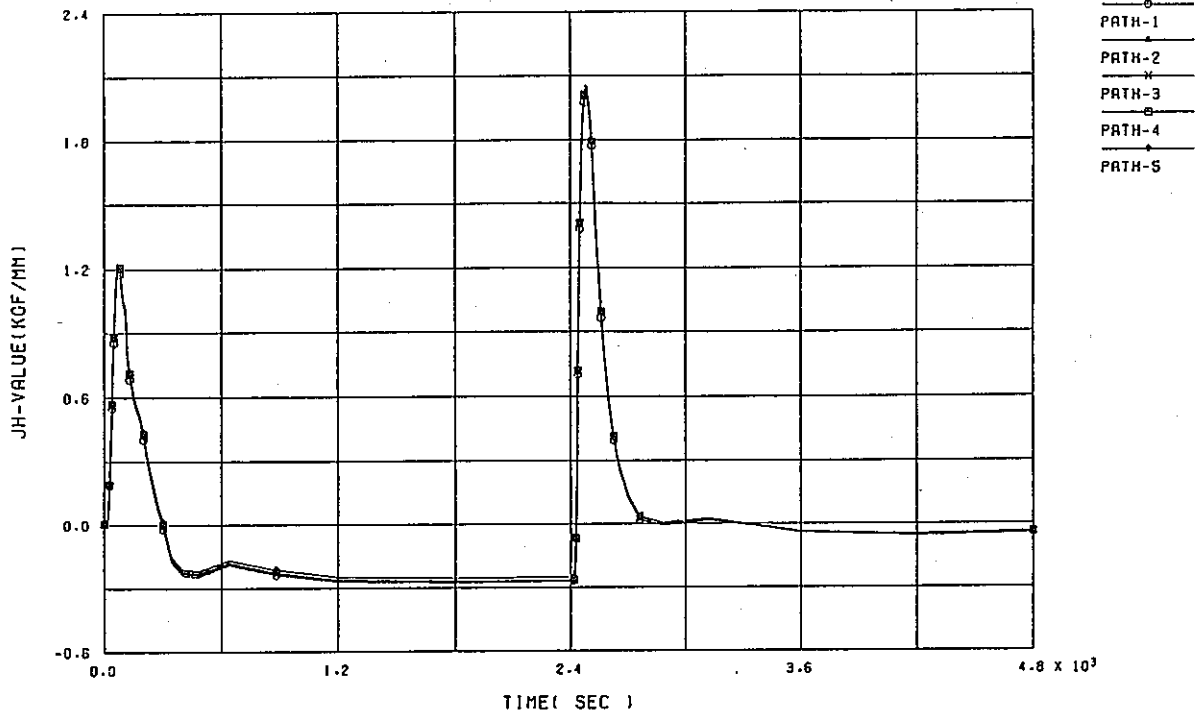


D705H-2 HISTORY OF (JH) VALUE ( A = 6.0 )

(b) a = 6 mm

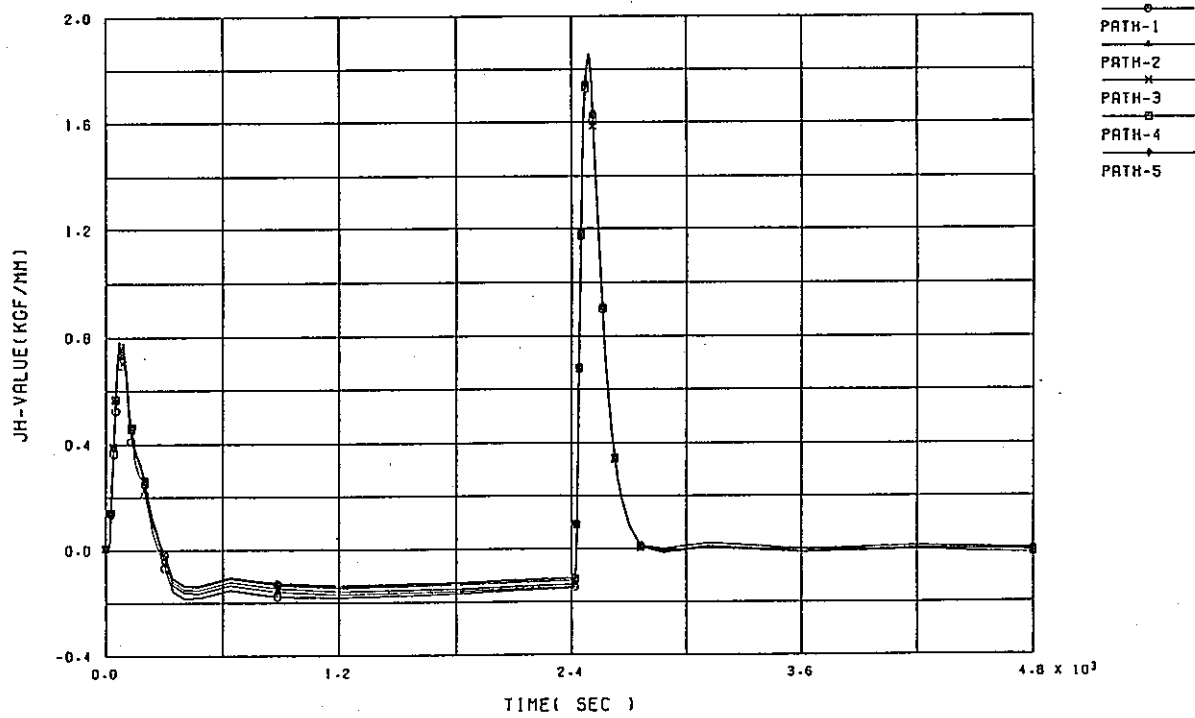
付図D-7 熱過渡1サイクル中の $\hat{J}$ の経時変化(TIG)

(a) a = 1 mm (b) a = 6 mm



D705H-3 HISTORY OF (JH) VALUE ( R = 11.0 )

(a) a = 11mm

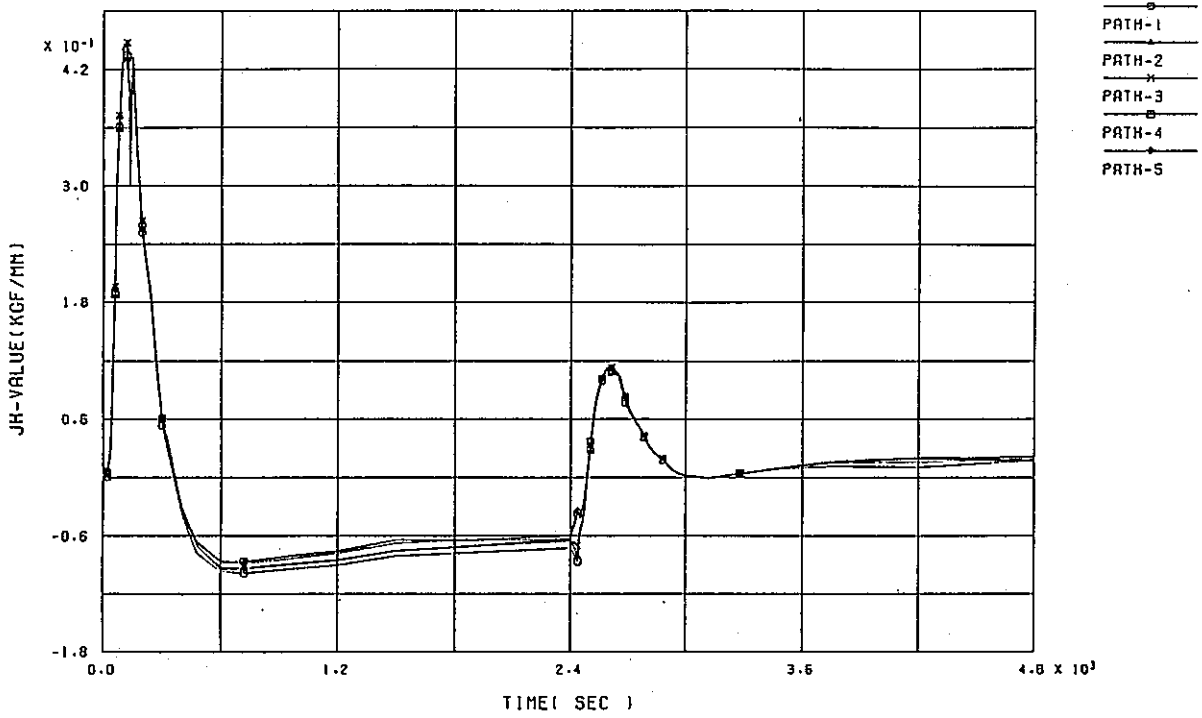


D705H-4 HISTORY OF (JH) VALUE ( R = 16.0 )

(b) a = 16mm

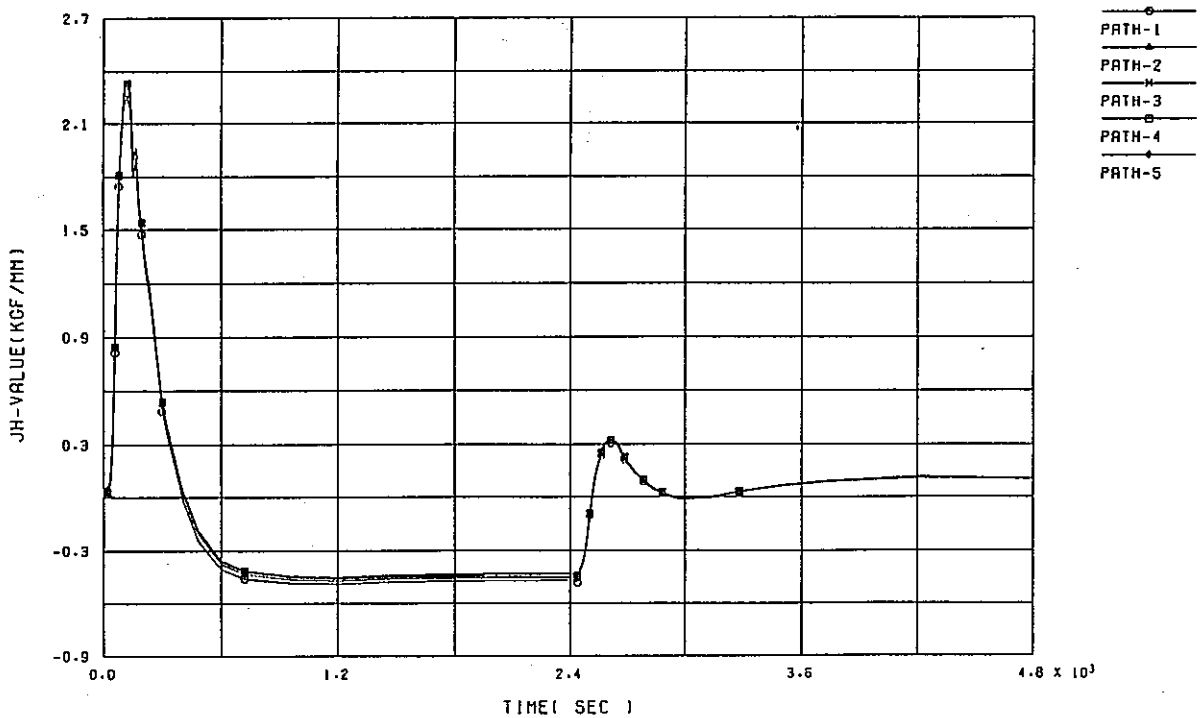
付図D-8 熱過渡1サイクル中のJの経時変化(TIG)

(a) a = 11mm (b) a = 16mm



SKIRT-1 HISTORY OF (JH) VALUE ( A = 1.0 )

(a) a = 1 mm



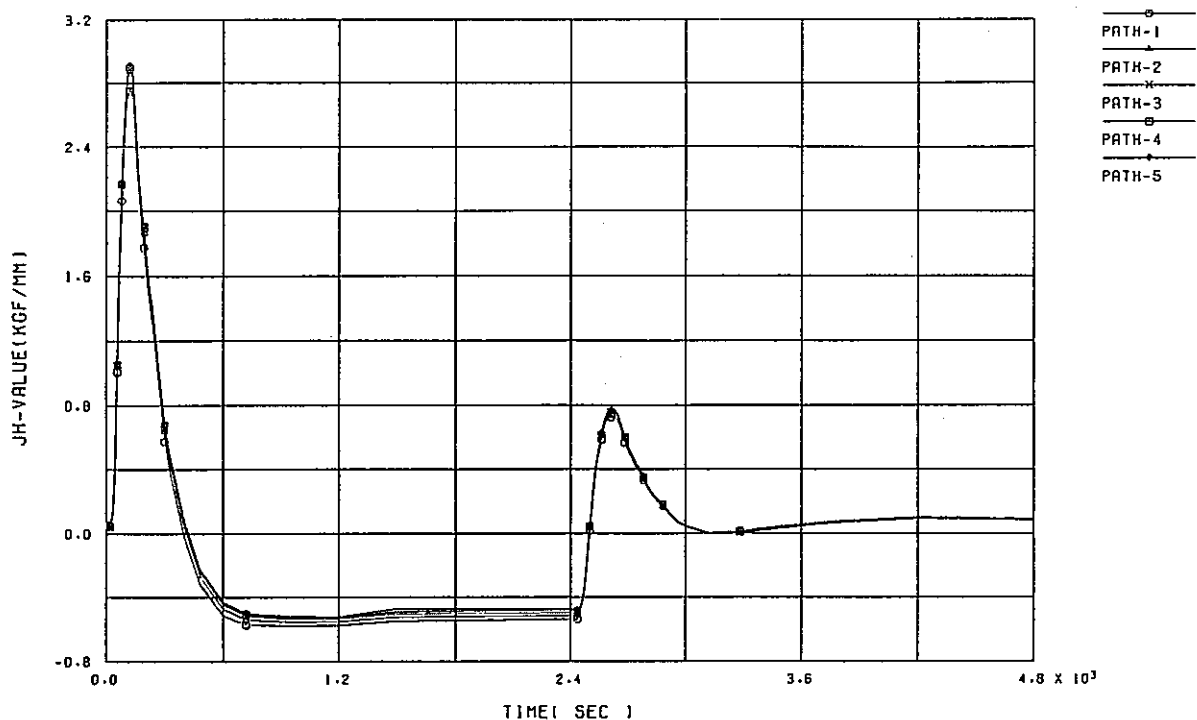
SKIRT-2 HISTORY OF (JH) VALUE ( A = 6.0 )

(b) a = 6mm

付図D-9 熱過渡1サイクル中の $\hat{J}$ の経時変化(SKIRT)

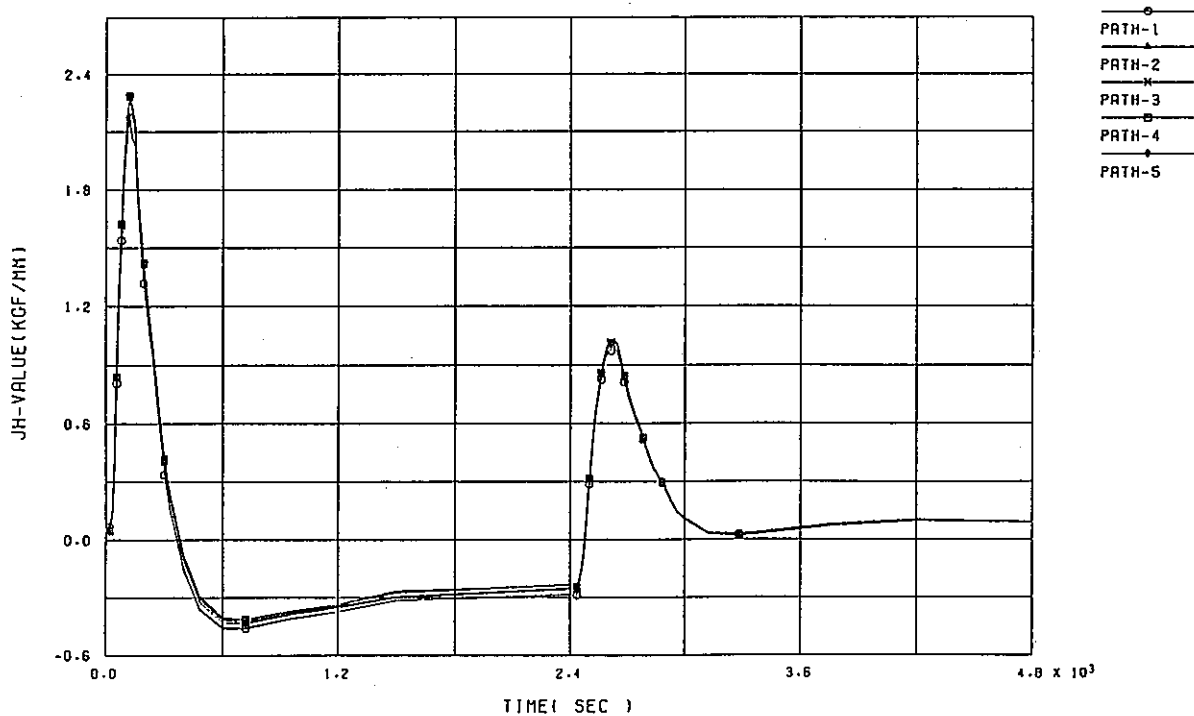
(a) a = 1 mm (b) a = 16mm





SKIRT-3 HISTORY OF (JH) VALUE ( A = 11.0 )

(a) a = 11mm

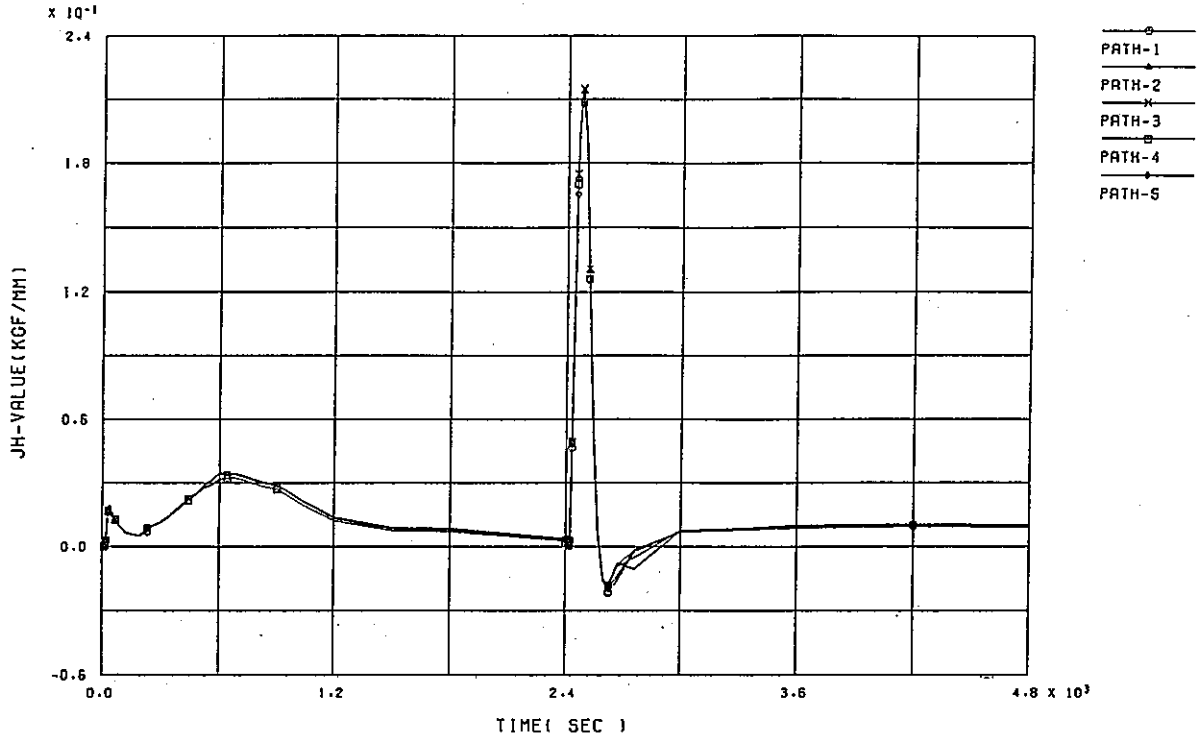


SKIRT-4 HISTORY OF (JH) VALUE ( A = 16.0 )

(b) a = 16mm

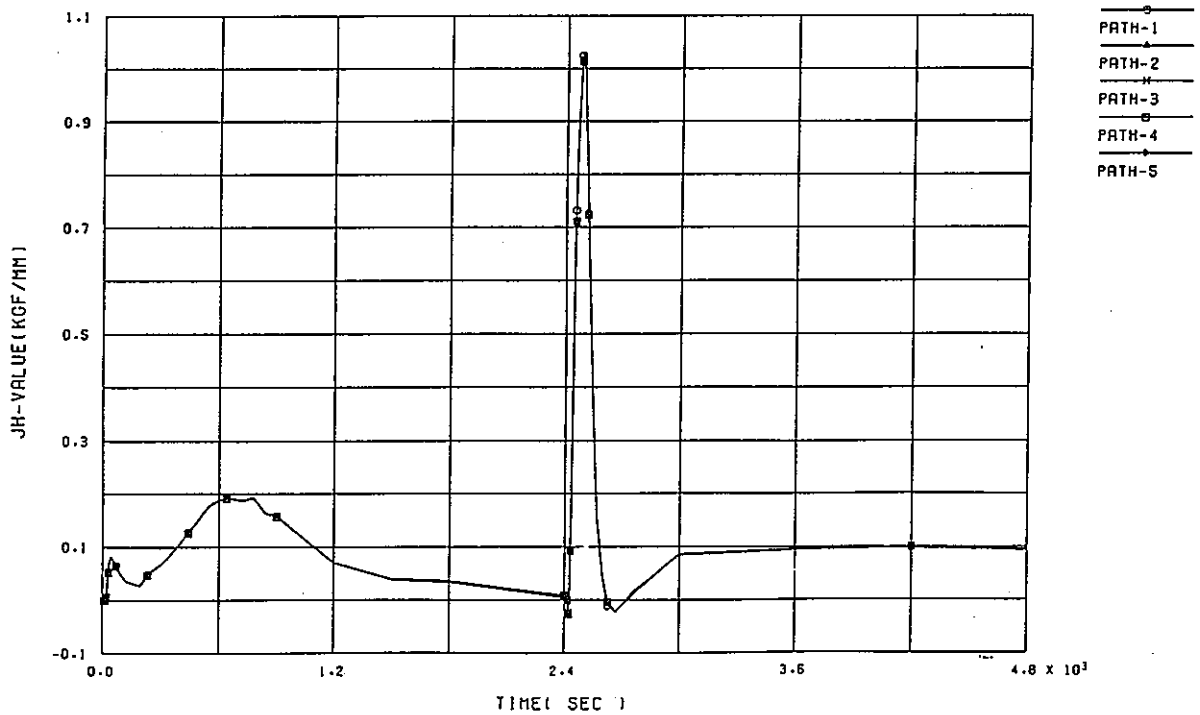
付図D-10 熱過渡1サイクル中の  $\hat{J}$  の経時変化(SKIRT)

(a) a = 11mm (b) a = 16mm



INLET-1 HISTORY OF (JH) VALUE ( A = 1.0 )

(a) a = 1 mm

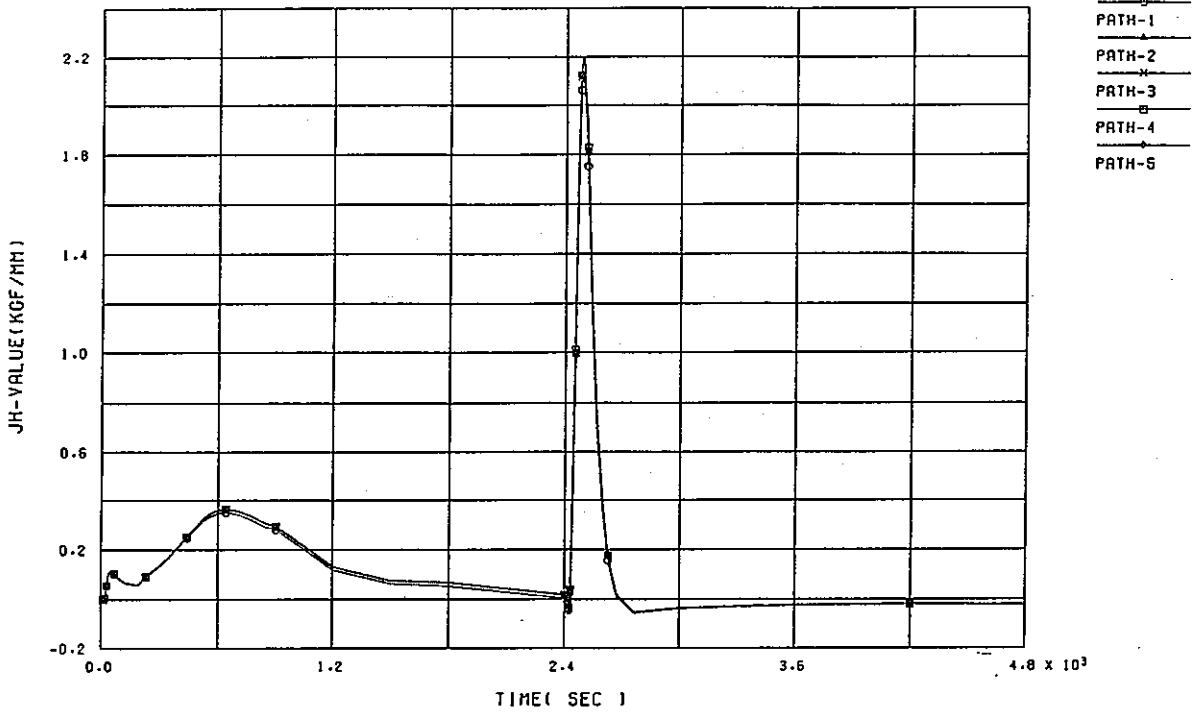


INLET-2 HISTORY OF (JH) VALUE ( A = 6.0 )

(b) a = 6 mm

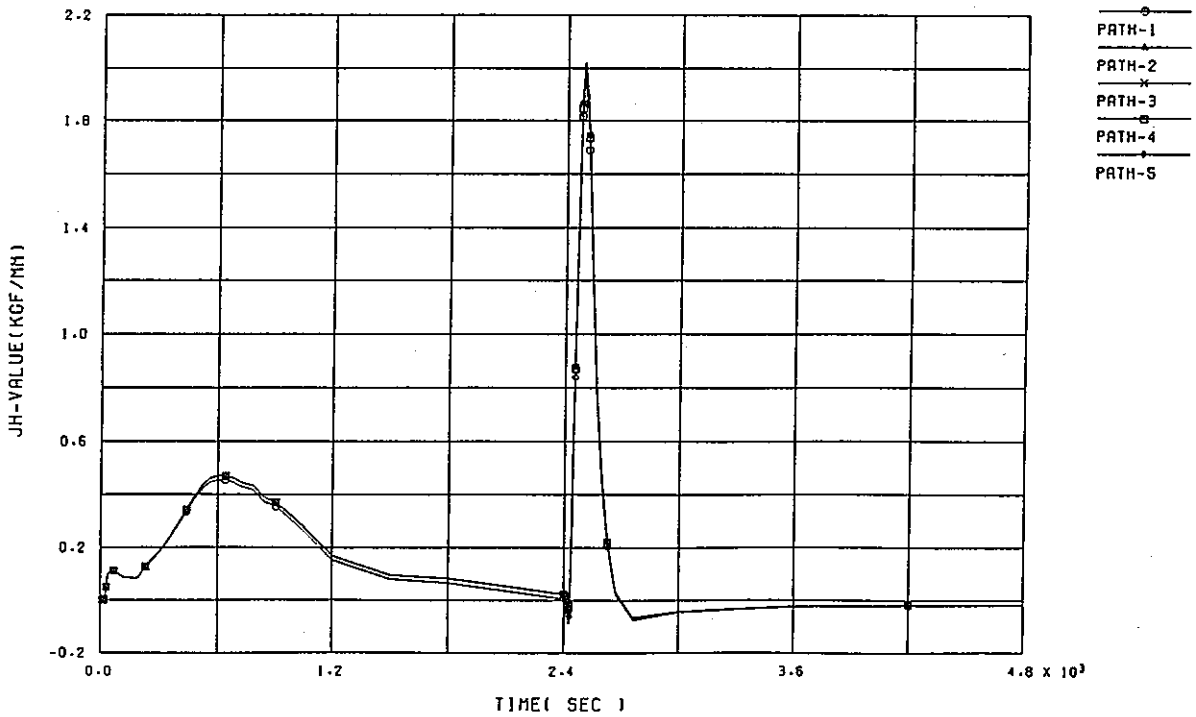
付図D-11 熱過渡1サイクル中の $\hat{J}$ の経時変化(Inlet Nozzle)

(a) a = 1 mm (b) a = 6 mm



INLET-3 HISTORY OF (JH) VALUE ( A = 12.0 )

(a) a = 12mm

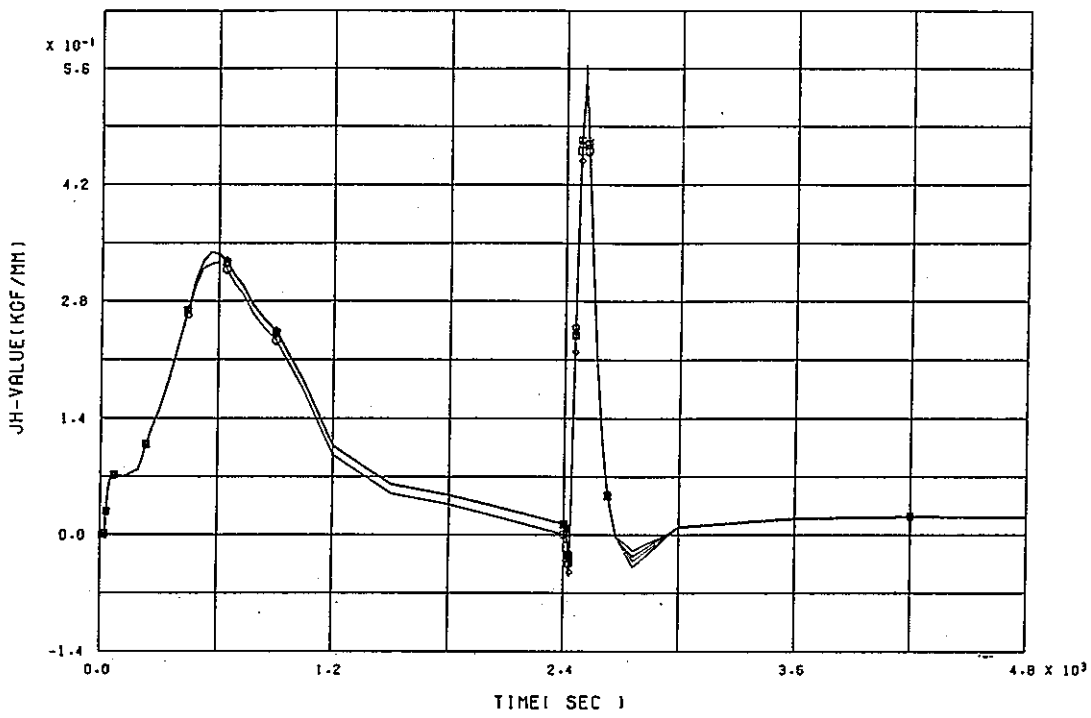


INLET-4 HISTORY OF (JH) VALUE ( R = 18.0 )

(b) a = 18mm

付図D-12 熱過渡1サイクル中の $\hat{J}$ の経時変化(Inlet Nozzle)

(a) a = 12mm (b) a = 18mm

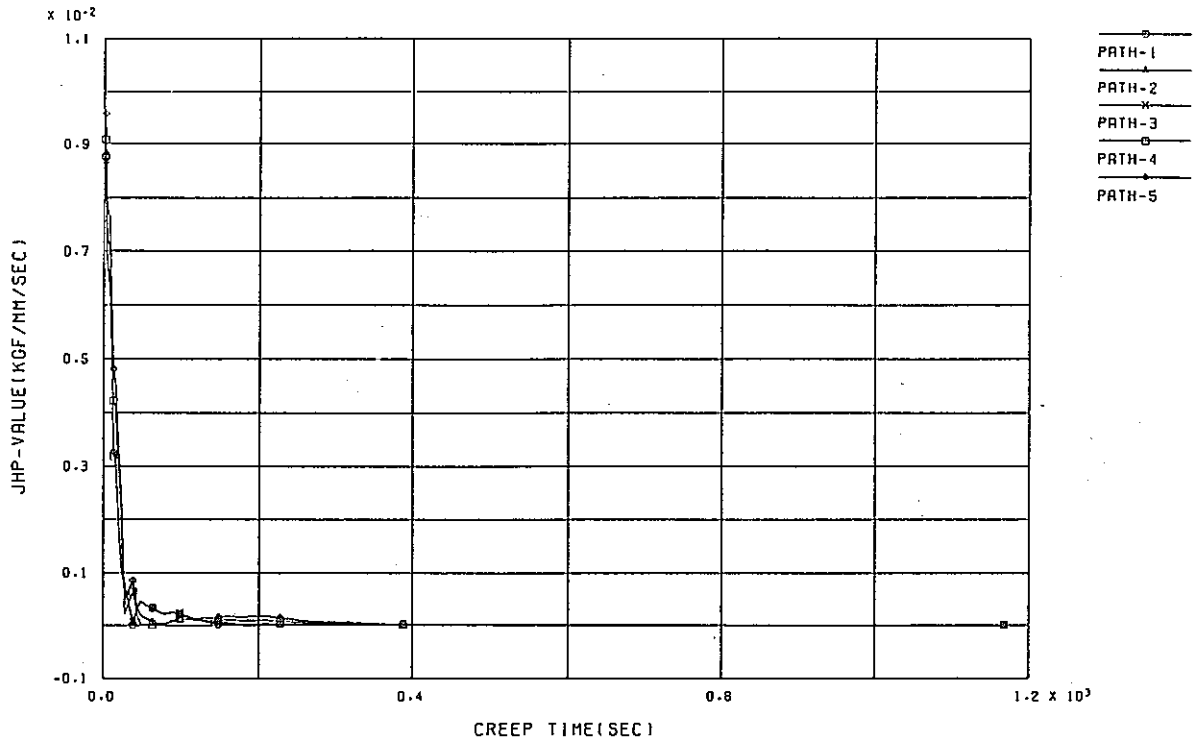


INLET-5 HISTORY OF (JH) VALUE ( A = 24.0 )

(a) a = 24mm

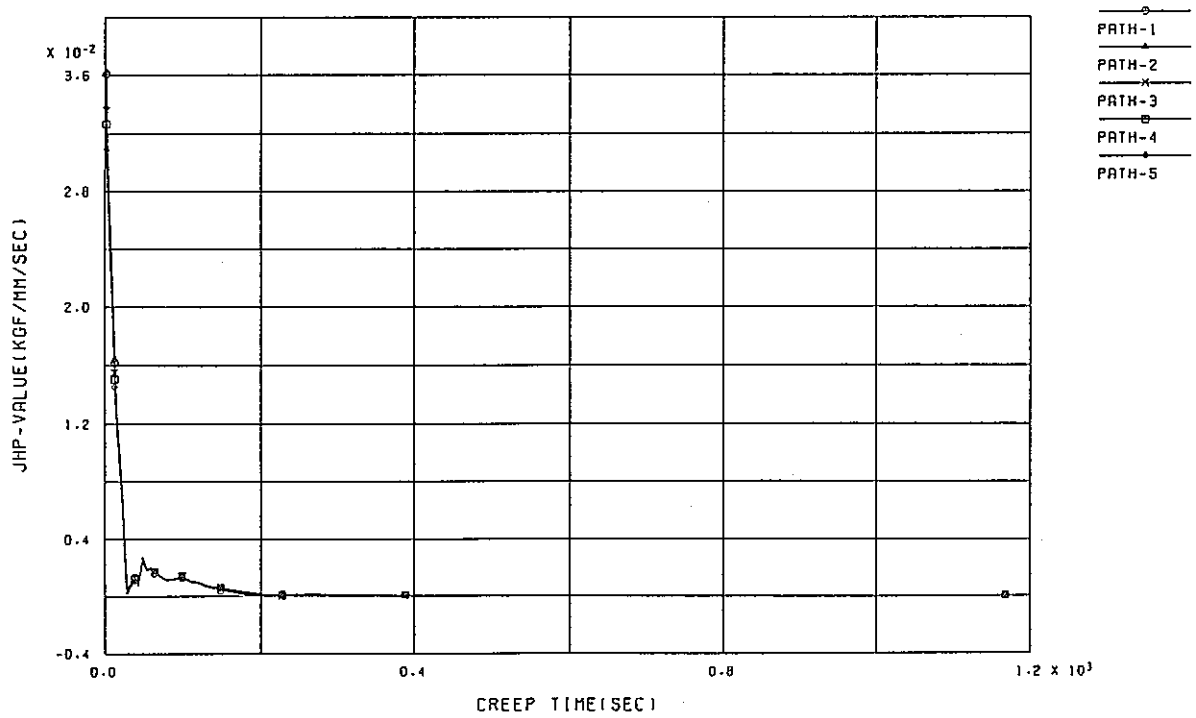
付図D-13 熱過渡1サイクル中のJの経時変化(Inlet Nozzle)

(a) a = 24mm (b) a = --mm



D702H-1 HISTORY OF (JHP) VALUE ( R = 1.0 )

(a)  $a = 1 \text{ mm}$

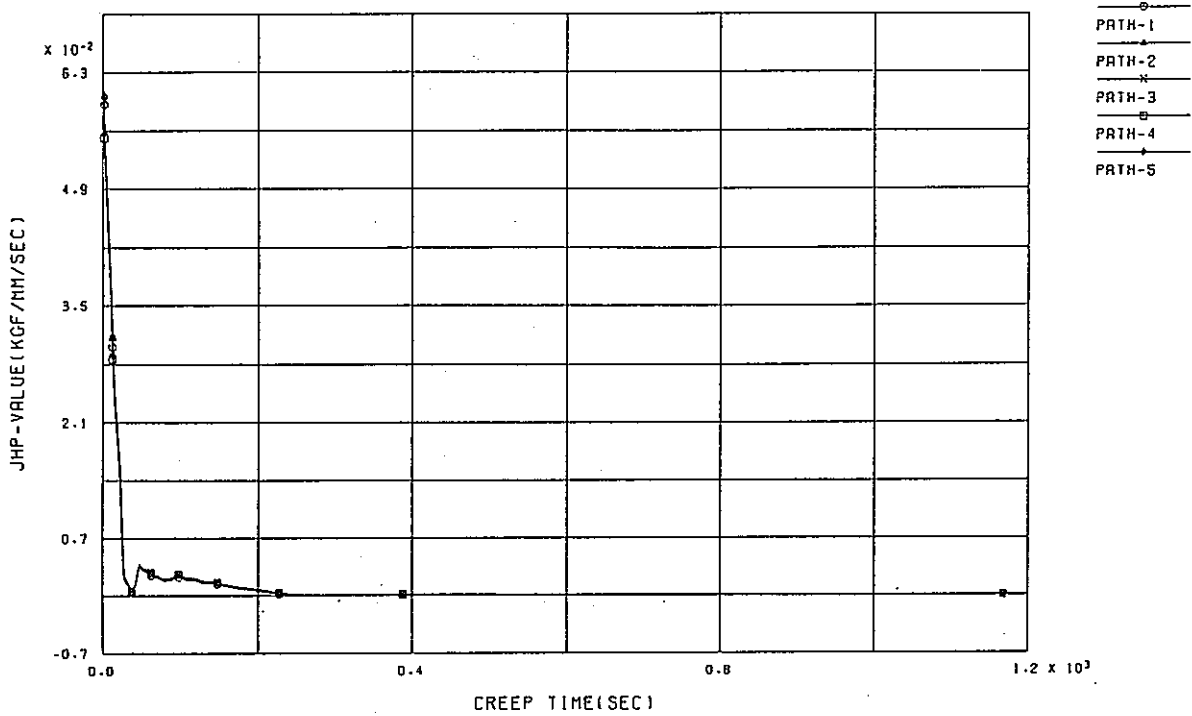


D702H-2 HISTORY OF (JHP) VALUE ( R = 4.0 )

(b)  $a = 4 \text{ mm}$

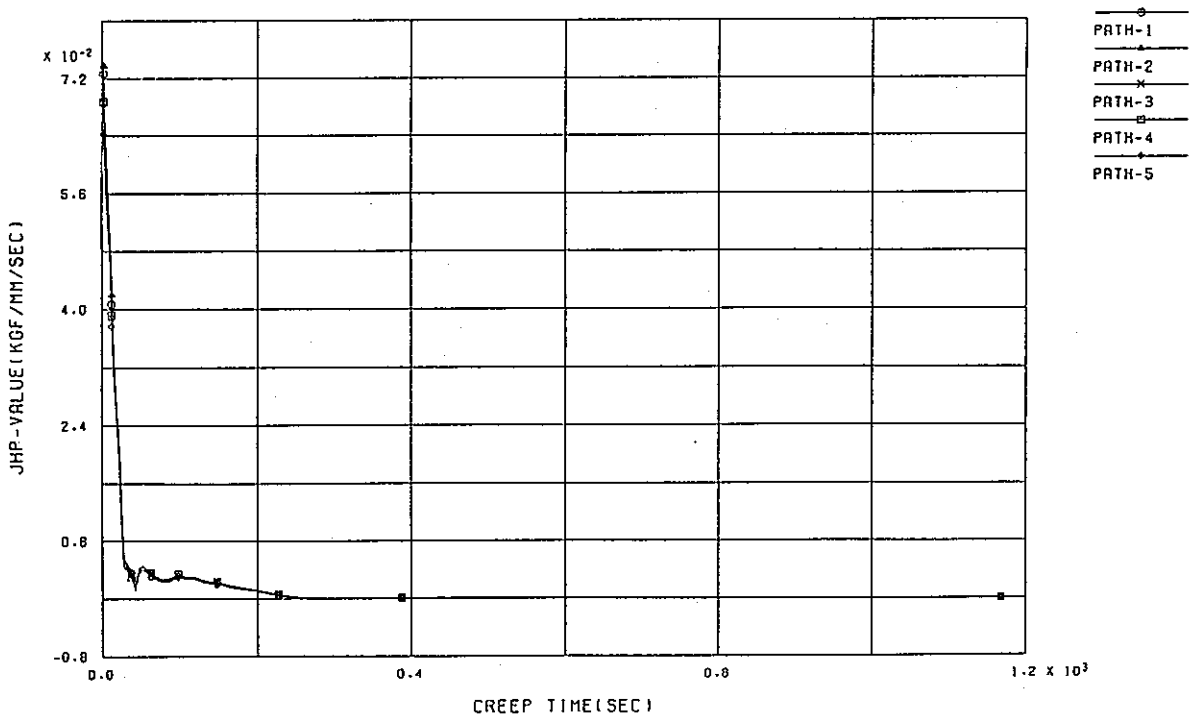
付図D-14 熱過渡1サイクル中クリープ時間内の $\dot{J}'$ の経時変化(MIG)

(a)  $a = 1 \text{ mm}$  (b)  $a = 4 \text{ mm}$



D702H-3 HISTORY OF (JHP) VALUE ( A = 7.0 )

(a)  $a = 7 \text{ mm}$

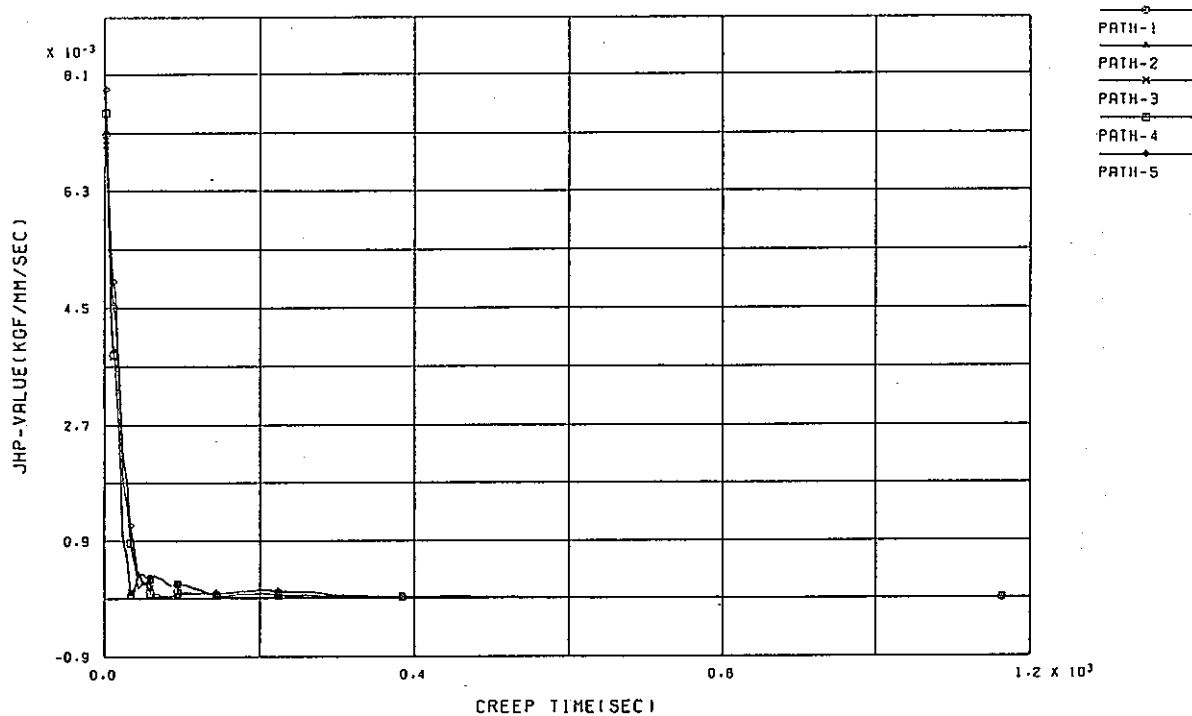


D702H-4 HISTORY OF (JHP) VALUE ( A = 10.0 )

(b)  $a = 10 \text{ mm}$

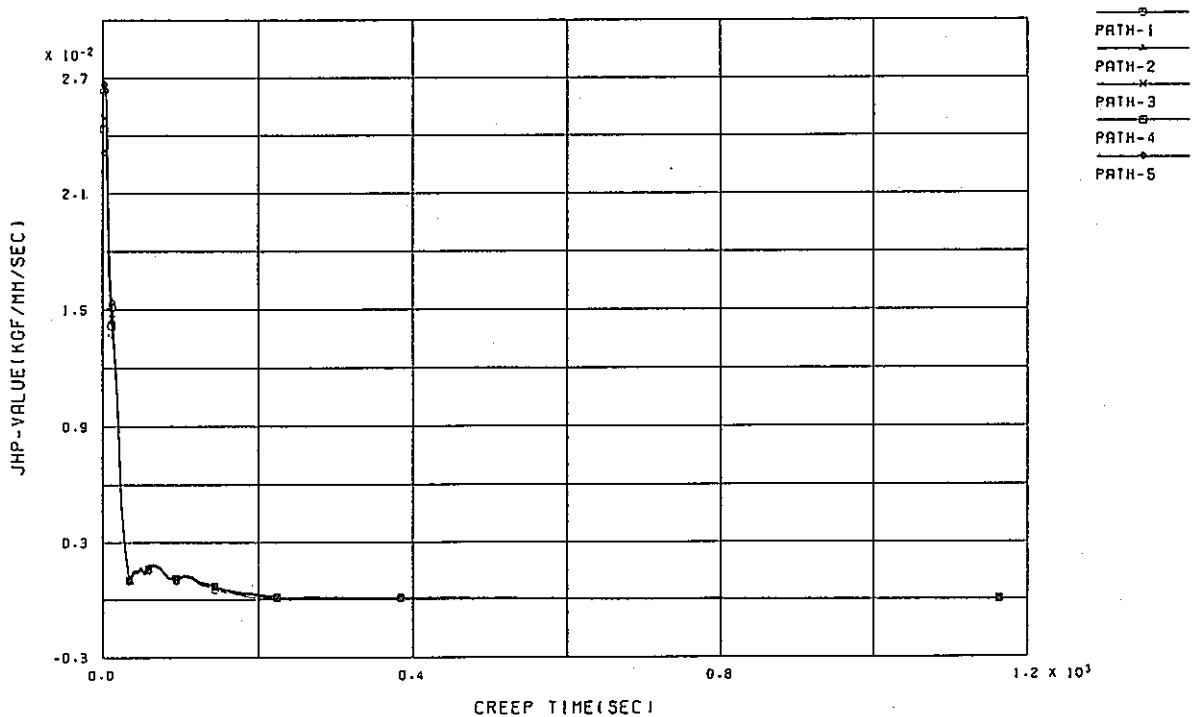
付図D-15 熱過渡1サイクル中クリープ時間内の $\hat{J}'$ の経時変化(MIG)

(a)  $a = 7 \text{ mm}$  (b)  $a = 10 \text{ mm}$



D703N-1 HISTORY OF (JHP) VALUE ( A = 1.0 )

(a) a = 1 mm

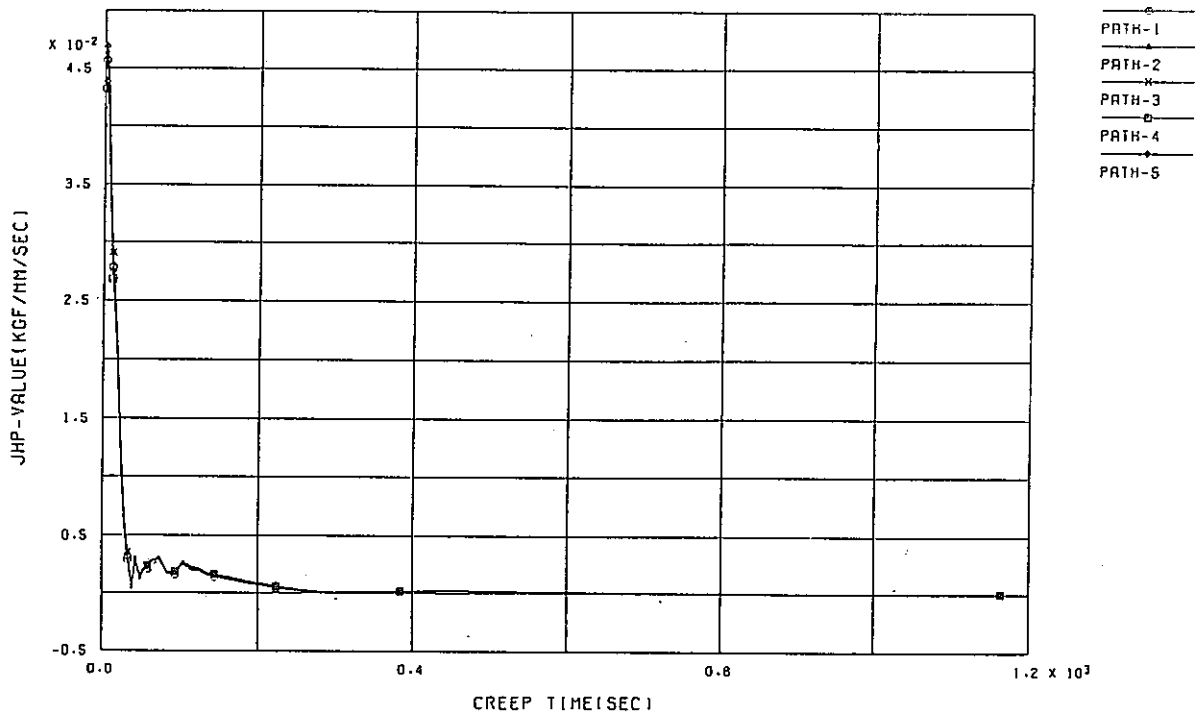


D703N-2 HISTORY OF (JHP) VALUE ( A = 4.0 )

(b) a = 4 mm

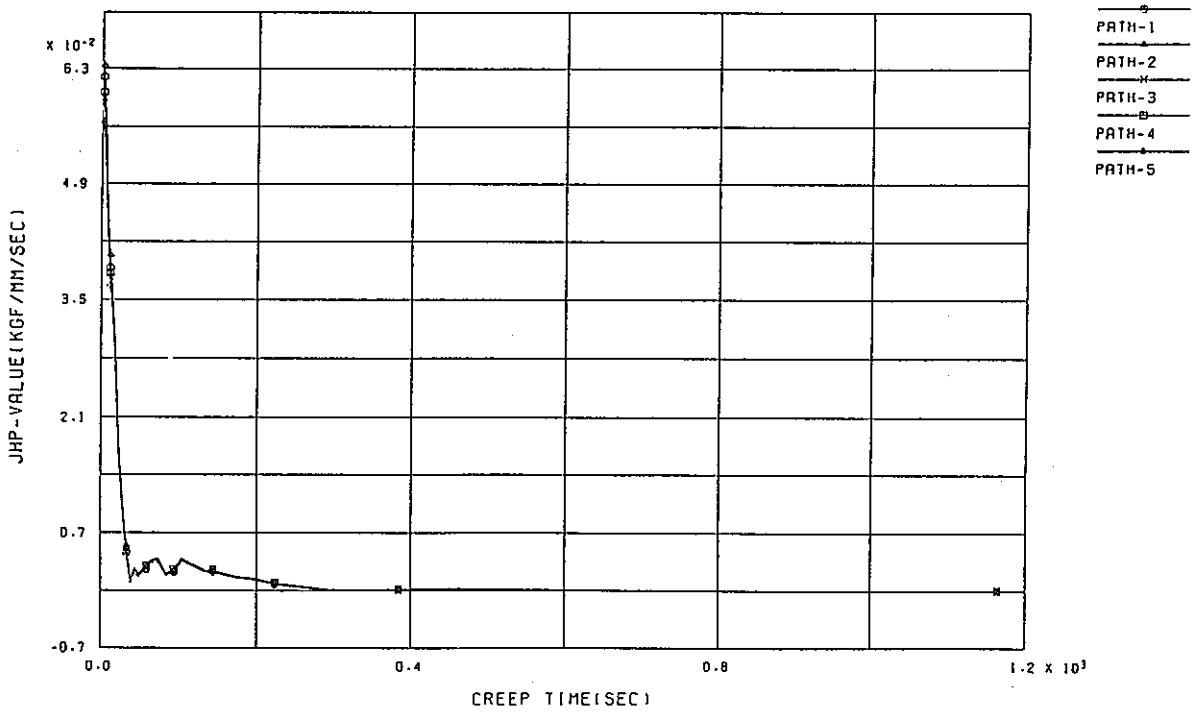
付図D-16 熱過渡1サイクル中クリープ時間内の $\hat{J}'$ の経時変化(SMAW)

(a) a = 1 mm (b) a = 4 mm



0703H-3 HISTORY OF (JHP) VALUE ( A = 7.0 )

(a) a = 7 mm



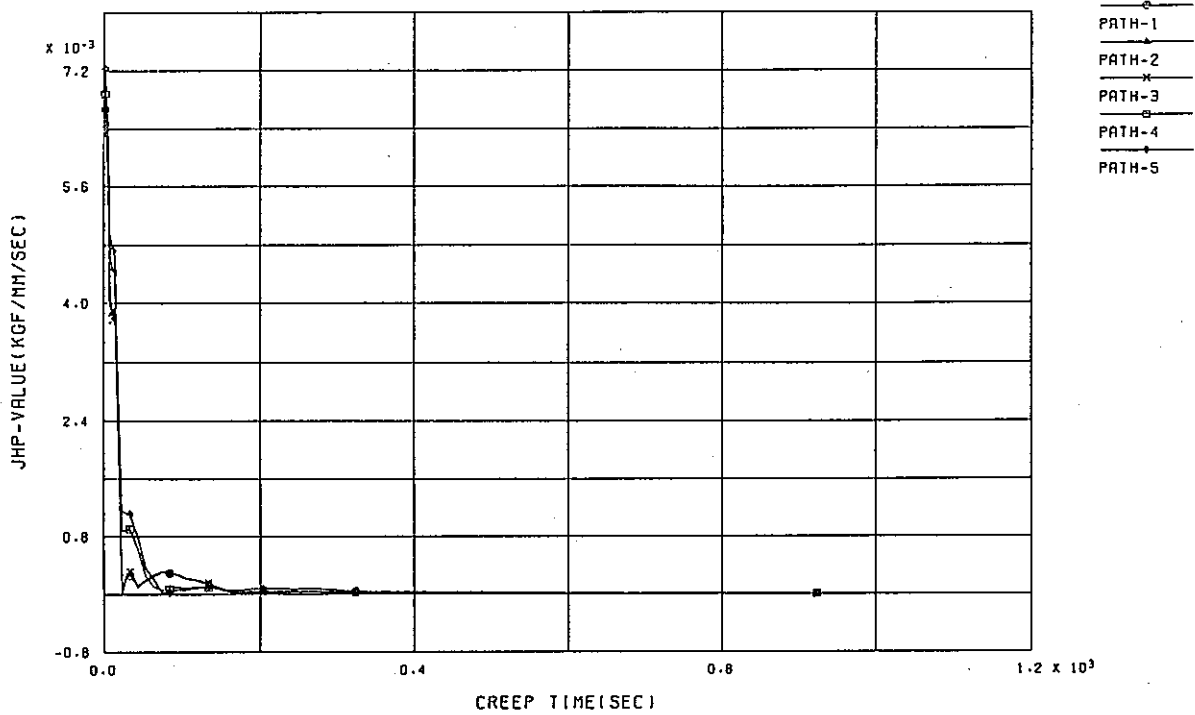
0703H-4 HISTORY OF (JHP) VALUE ( A = 10.0 )

(b) a = 10 mm

付図D-17 熱過渡1サイクル中クリープ時間内の $\hat{J}'$ の経時変化(SMAW)

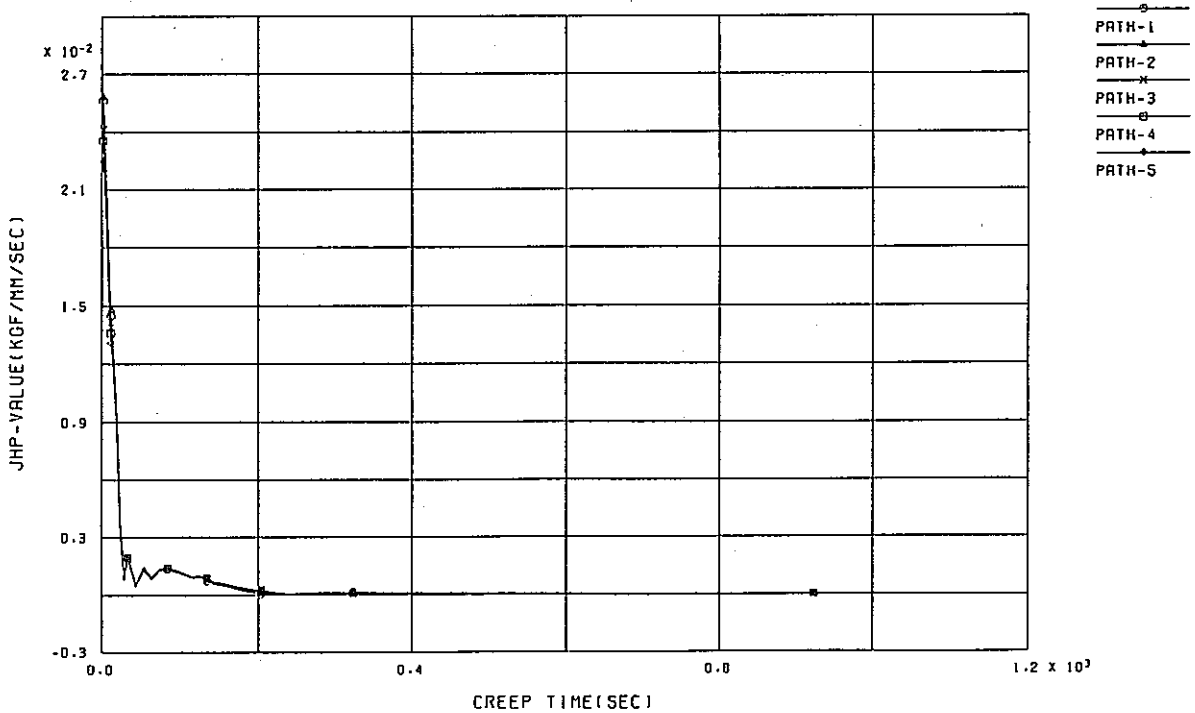
(a) a = 7 mm (b) a = 10 mm





0704W-1 HISTORY OF (JHP) VALUE ( A = 1.0 )

(a) a = 1 mm

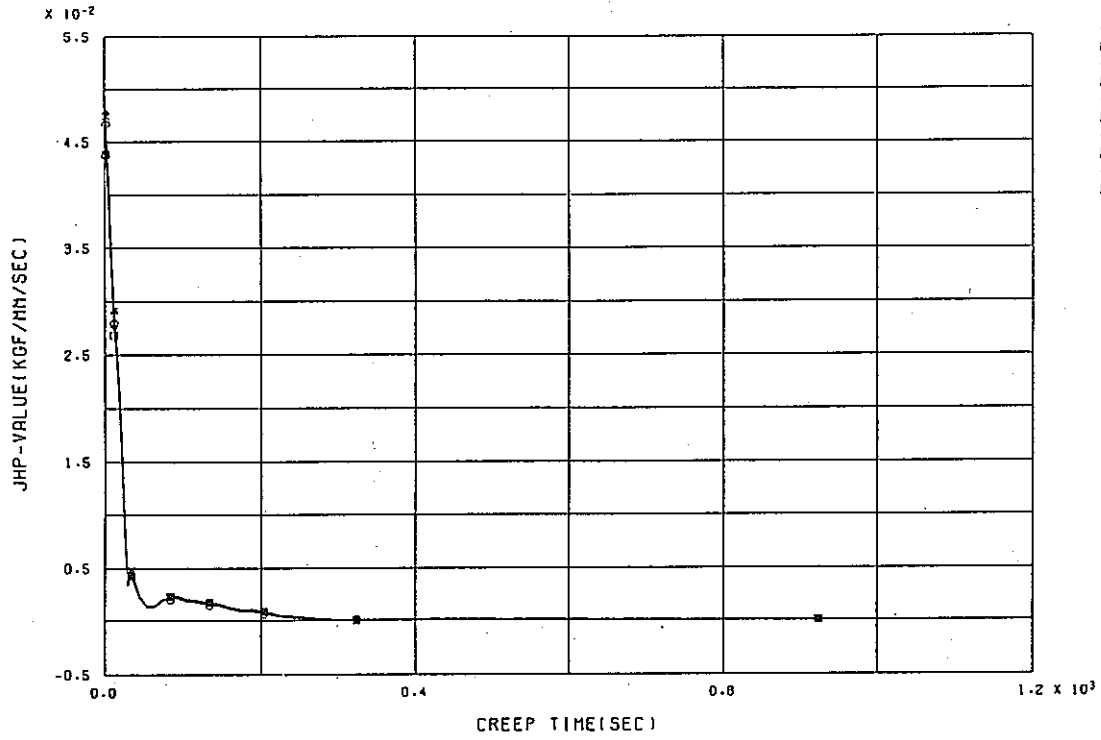


0704W-2 HISTORY OF (JHP) VALUE ( A = 4.0 )

(b) a = 4 mm

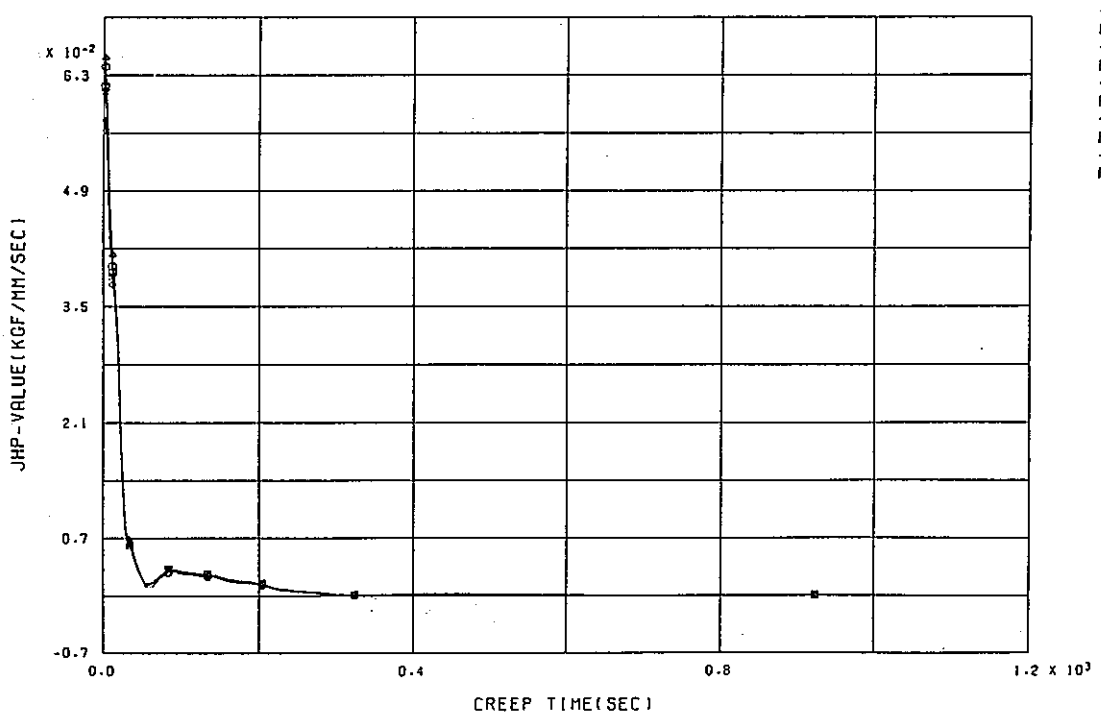
付図D-18 熱過渡1サイクル中クリープ時間内の $\hat{J}'$ の経時変化(EBW)

(a) a = 1 mm (b) a = 4 mm



D704H-3 HISTORY OF (JHP) VALUE ( R = 7.0 )

(a)  $a = 7 \text{ mm}$

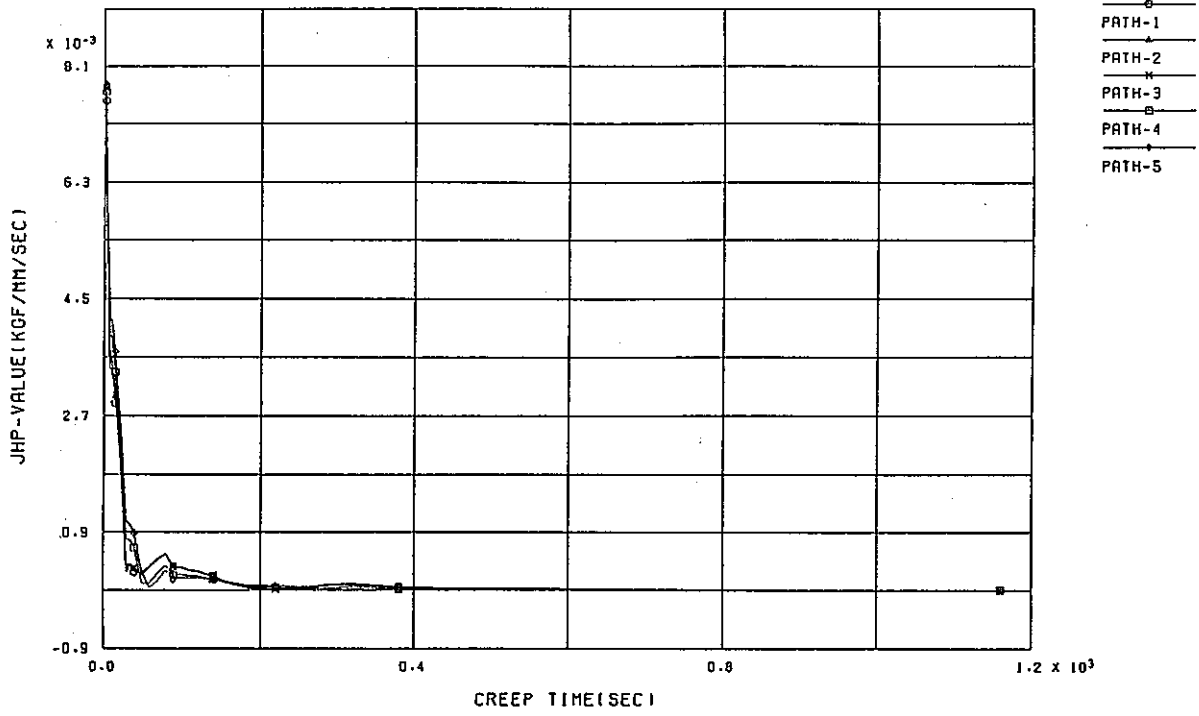


D704H-4 HISTORY OF (JHP) VALUE ( R = 10.0 )

(b)  $a = 10 \text{ mm}$

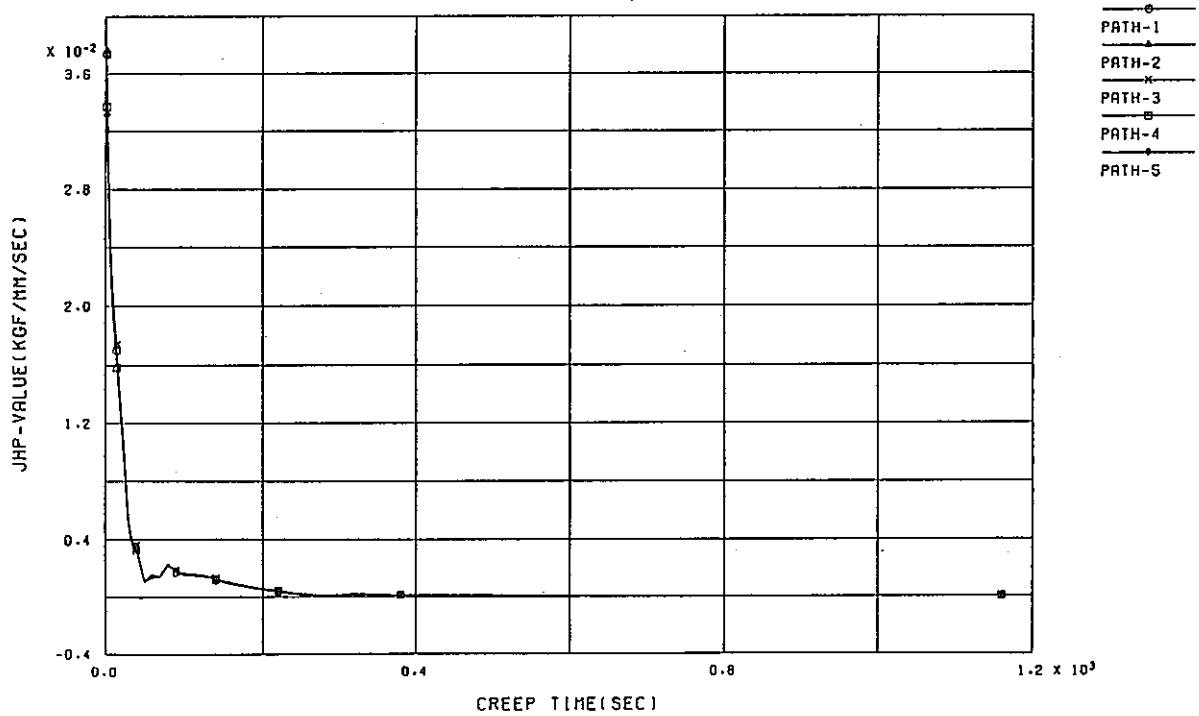
付図D-19 熱過渡1サイクル中クリープ時間内の $\hat{J}'$ の経時変化(BBW)

(a)  $a = 7 \text{ mm}$  (b)  $a = 10 \text{ mm}$



D705H-1 HISTORY OF (JHP) VALUE ( A = 1.0 )

(a) a = 1 mm

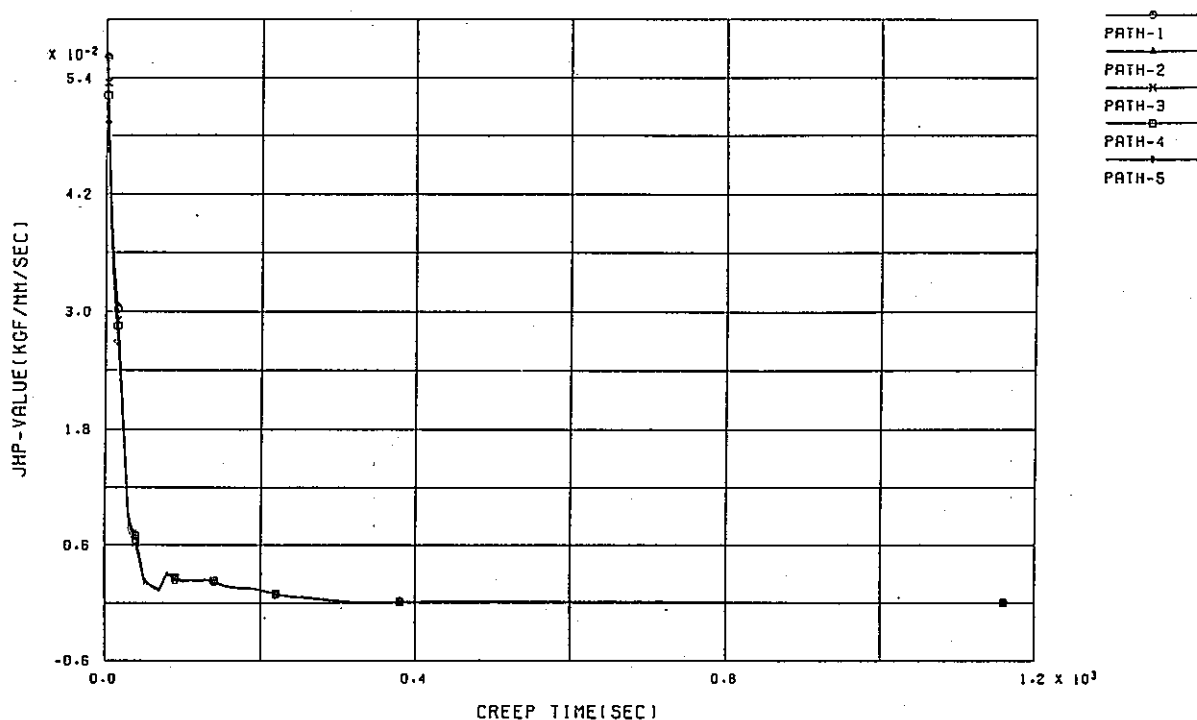


D705H-2 HISTORY OF (JHP) VALUE ( A = 6.0 )

(b) a = 6 mm

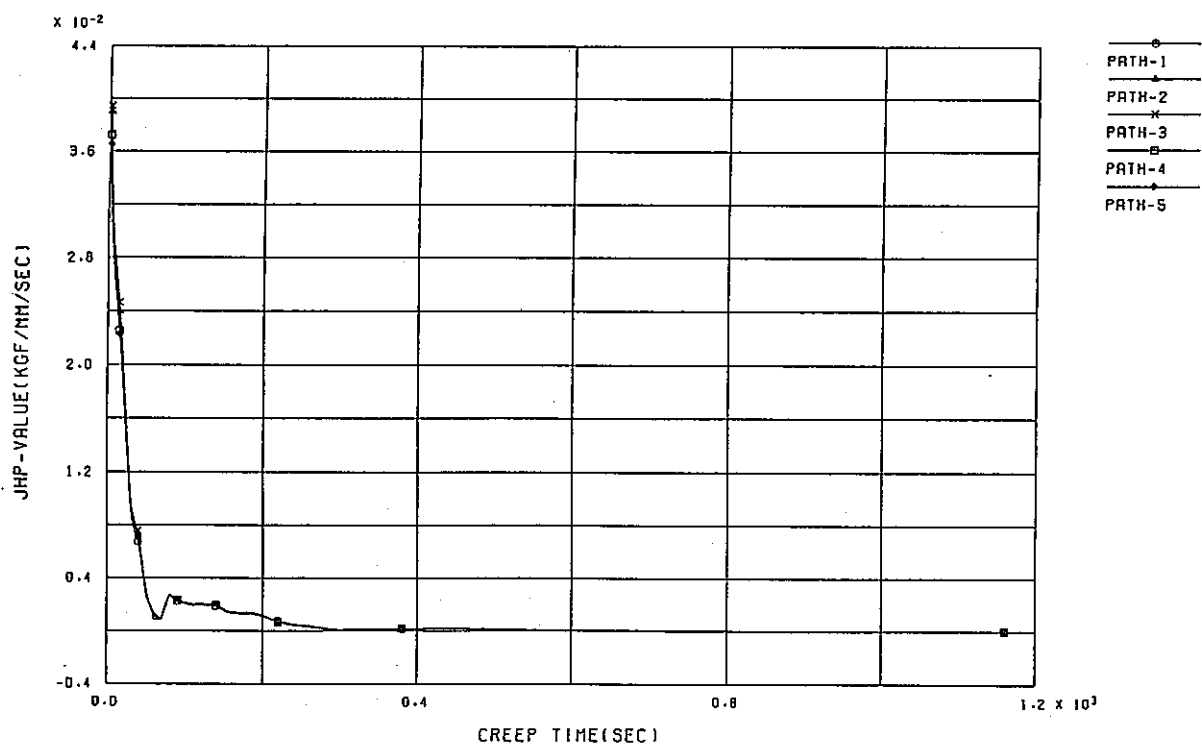
付図D-20 熱過渡1サイクル中クリープ時間内の $\hat{J}'$ の経時変化(TIG)

(a) a = 1 mm (b) a = 6 mm



0705H-3 HISTORY OF (JHP) VALUE ( A = 11.0 )

(a) a = 11mm

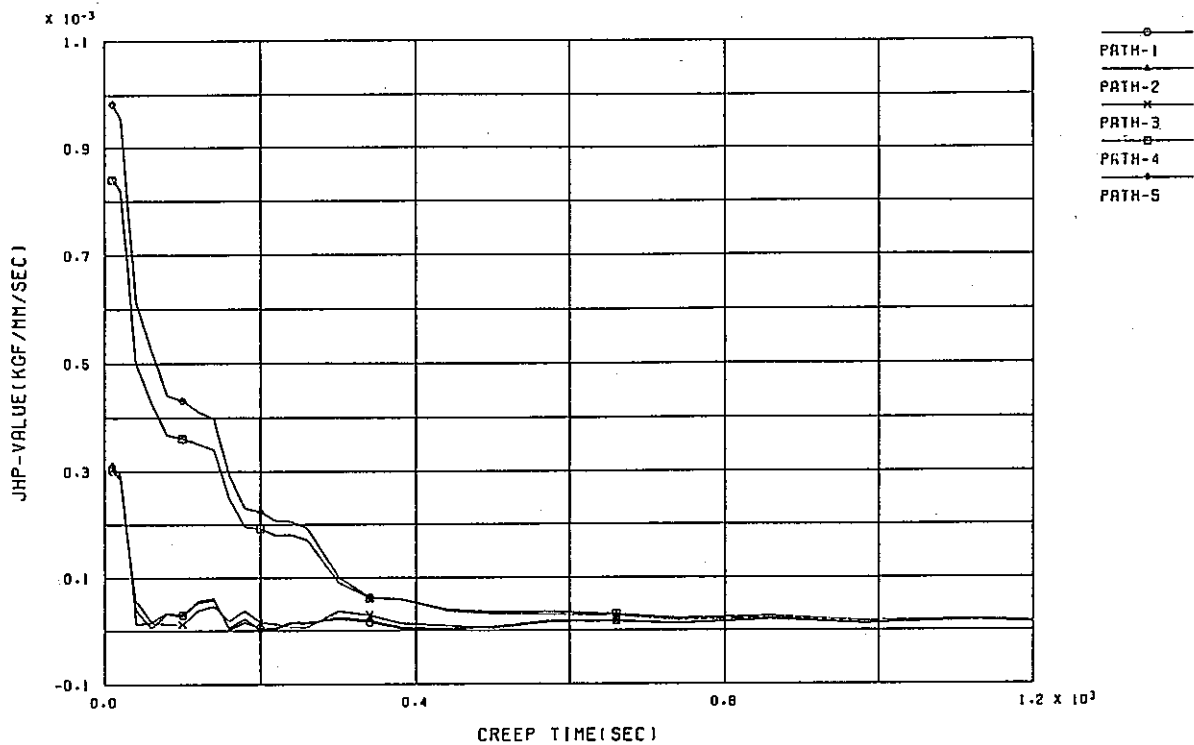


0705H-4 HISTORY OF (JHP) VALUE ( A = 16.0 )

(b) a = 16mm

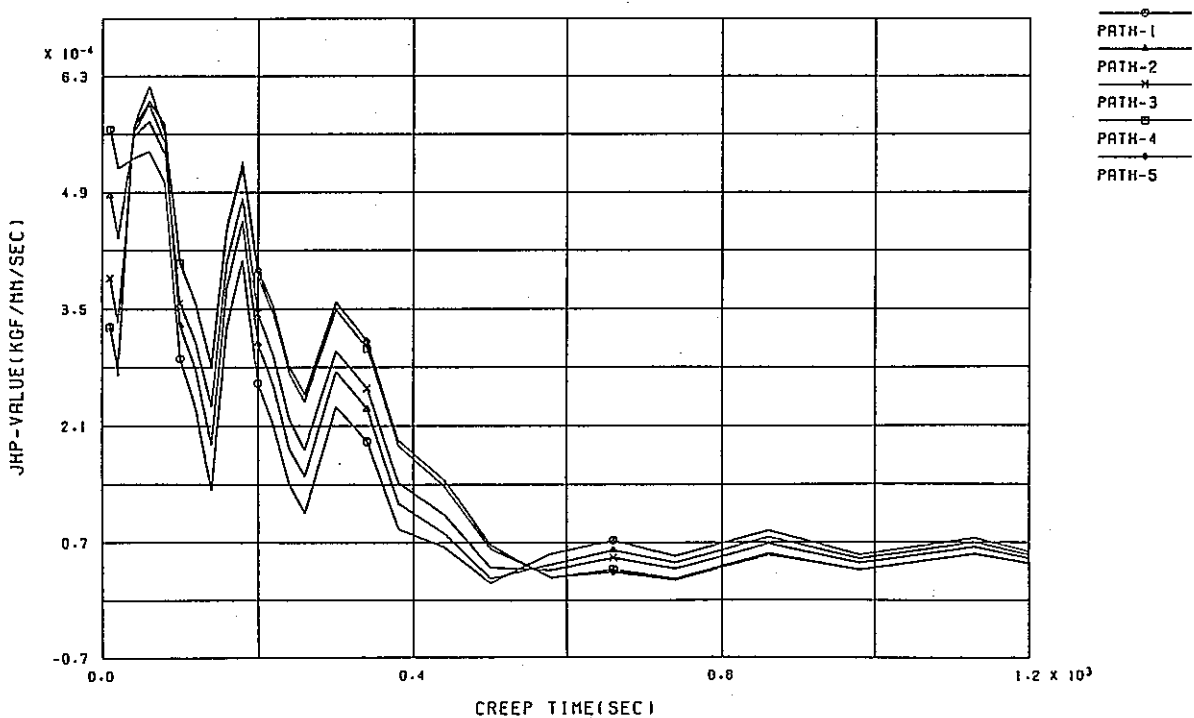
付図D-21 熱過渡1サイクル中クリープ時間内の $\dot{J}'$ の経時変化(TIG)

(a) a = 11mm (b) a = 16mm



SKIRT-1 HISTORY OF (JHP) VALUE ( A = 1.0 )

(a) a = 1 mm

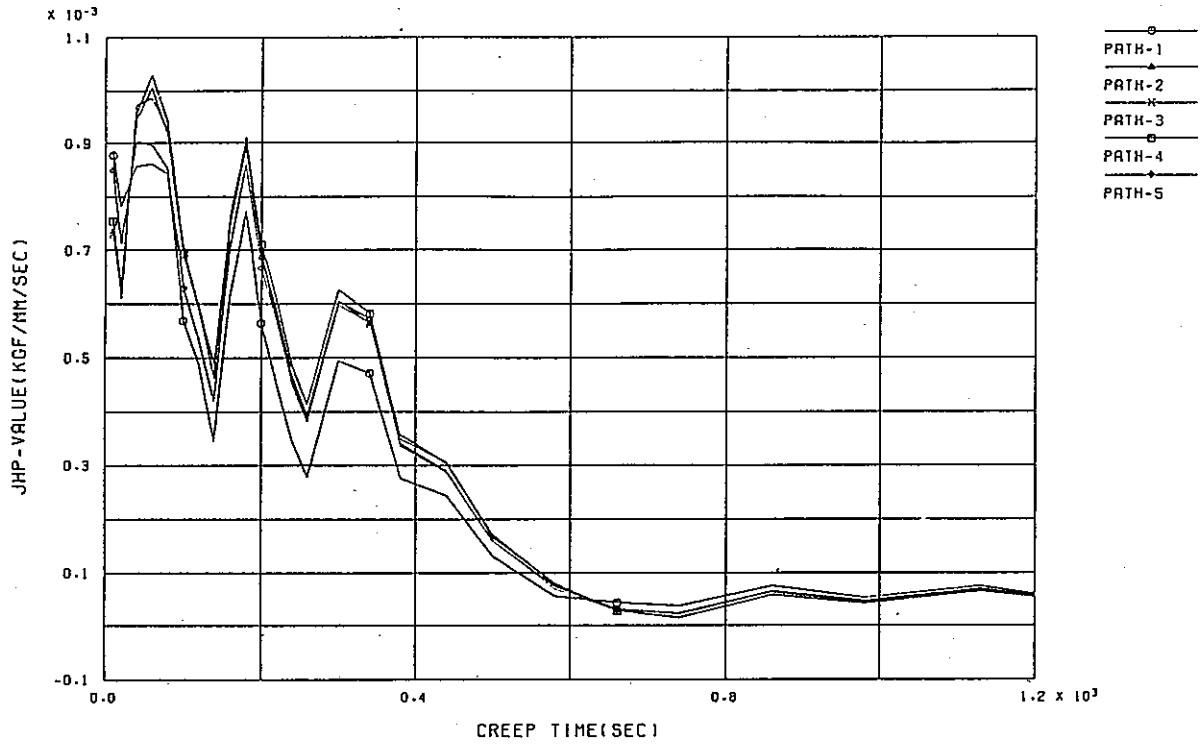


SKIRT-2 HISTORY OF (JHP) VALUE ( A = 6.0 )

(b) a = 6 mm

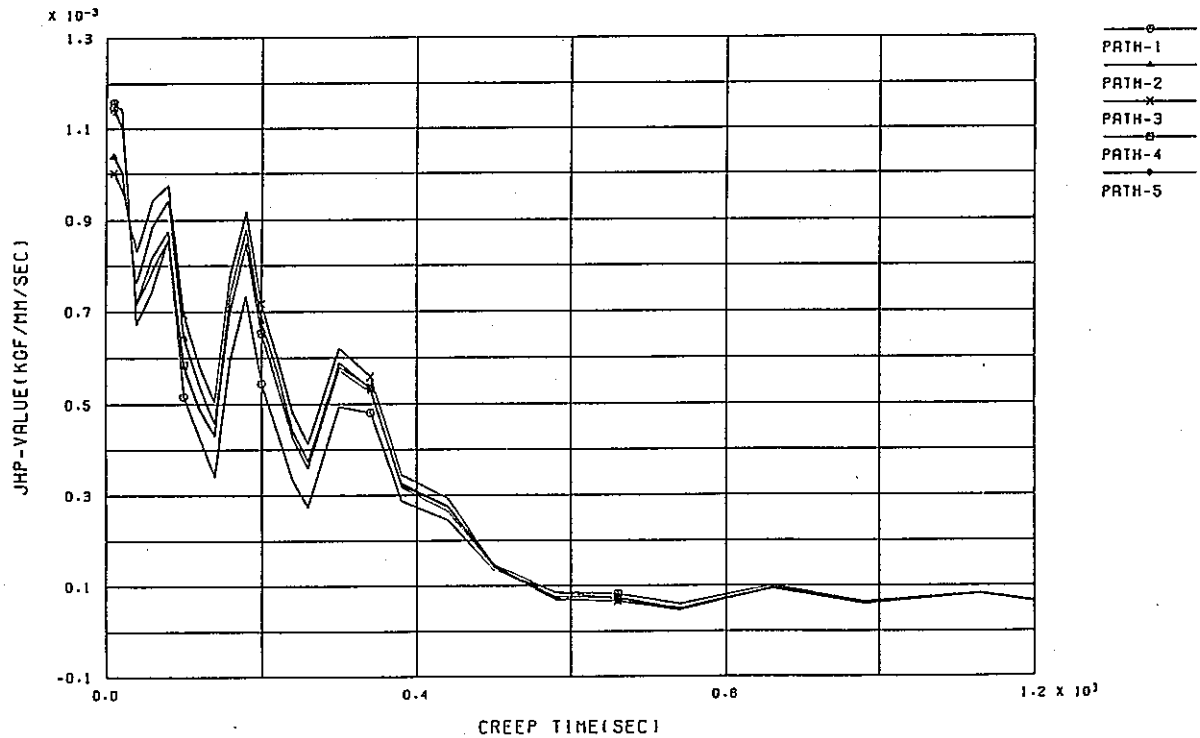
付図D-22 熱過渡1サイクル中クリープ時間内の $\hat{J}'$ の経時変化(SKIRT)

(a) a = 1 mm (b) a = 6 mm



SKIRT-3 HISTORY OF (JHP) VALUE ( A = 11.0 )

(a) a = 11mm

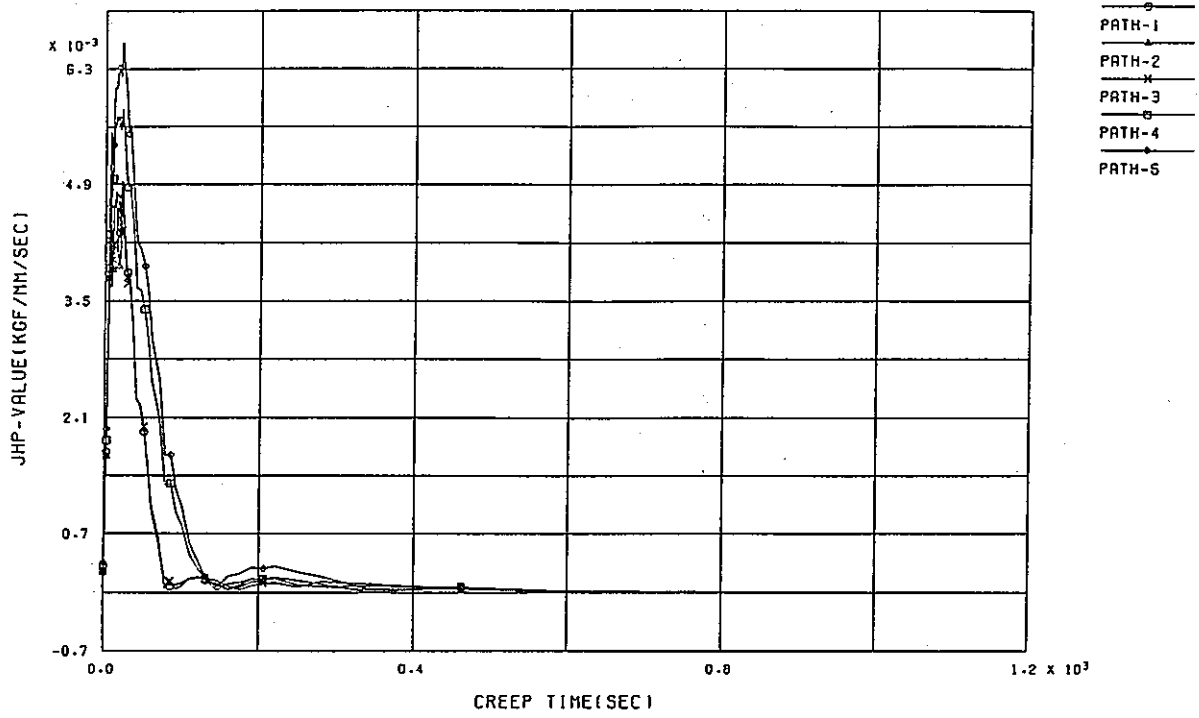


SKIRT-4 HISTORY OF (JHP) VALUE ( A = 16.0 )

(b) a = 16mm

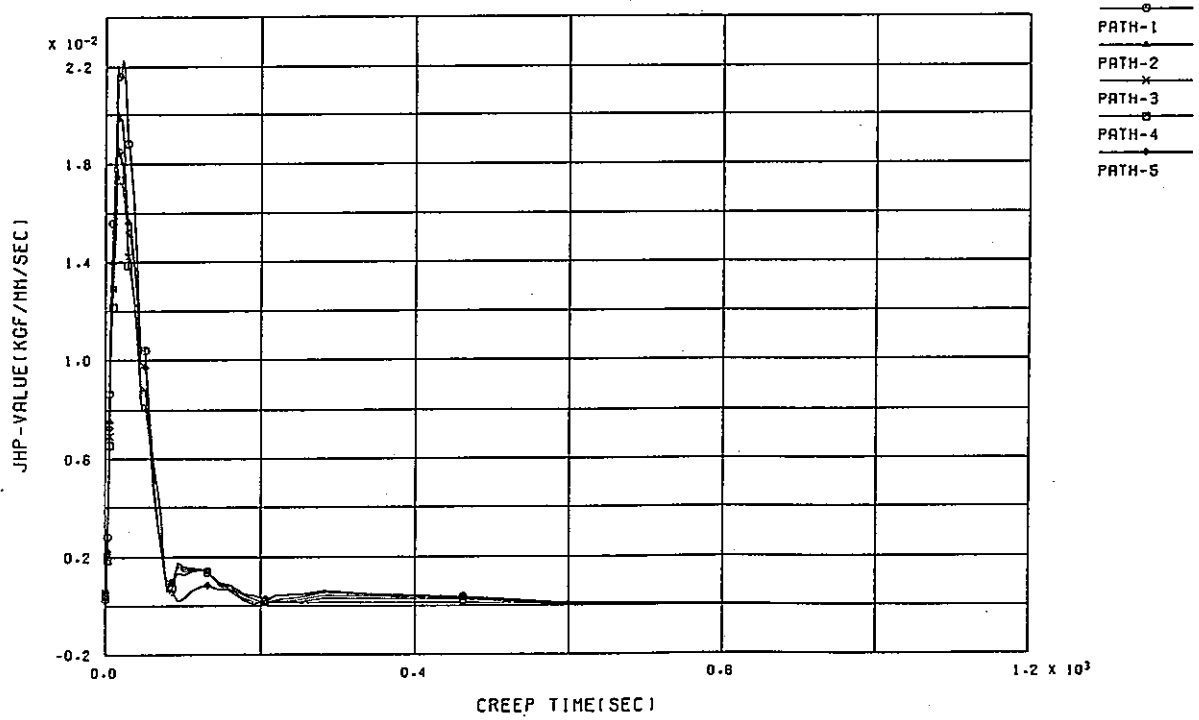
付図D-23 熱過渡1サイクル中クリープ時間内の $\hat{J}'$ の経時変化(SKIRT)

(a) a = 11mm (b) a = 16mm



INLET-1 HISTORY OF (JHP) VALUE ( A = 1.0 )

(a) a = 1 mm

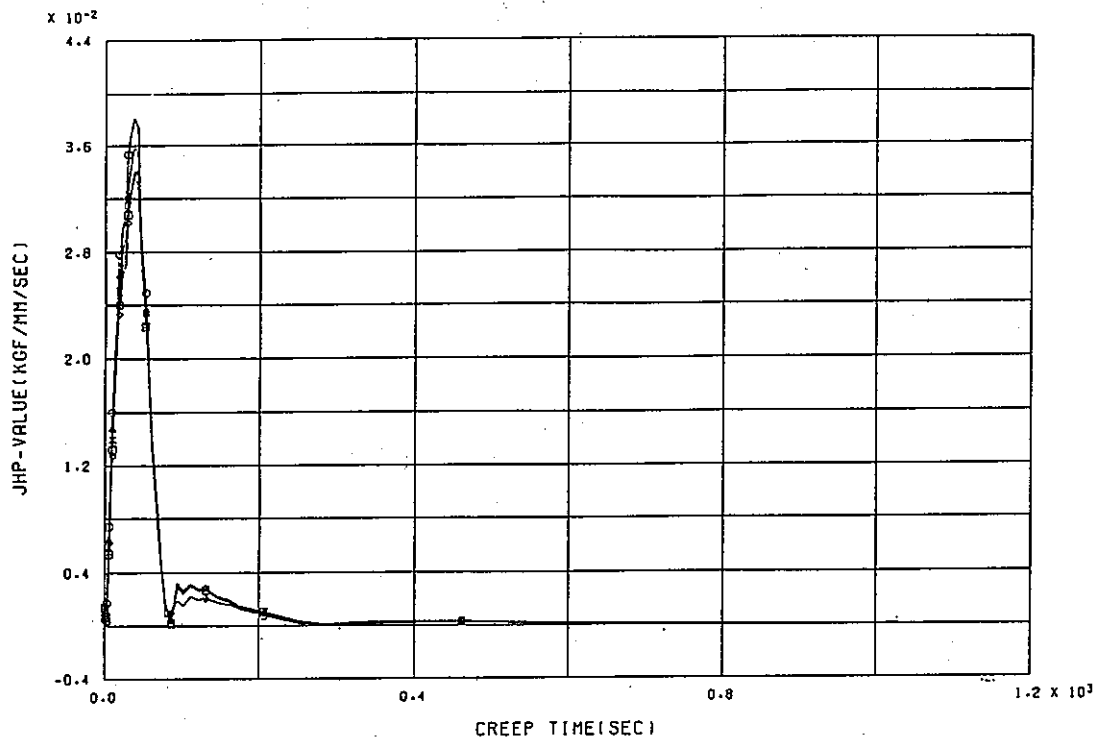


INLET-2 HISTORY OF (JHP) VALUE ( A = 6.0 )

(b) a = 6 mm

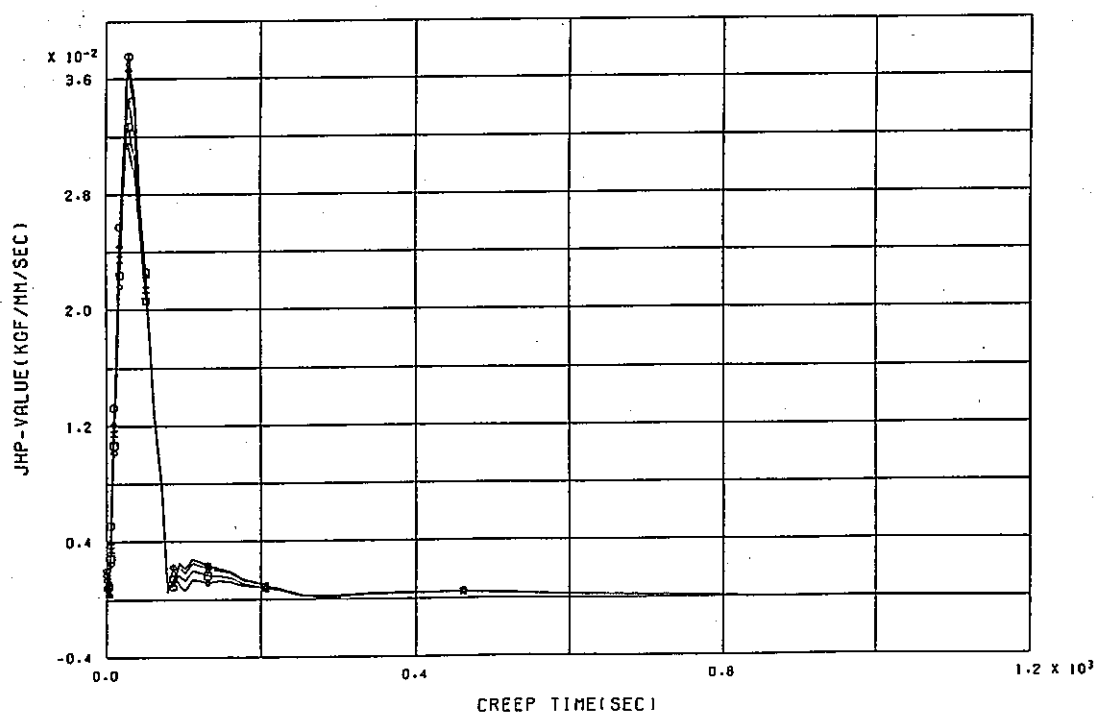
付図D-24 熱過渡1サイクル中クリープ時間内の $\hat{J}'$ の経時変化(Inlet Nozzle)

(a) a = 1 mm (b) a = 6 mm



INLET-3 HISTORY OF (JHP) VALUE ( R = 12.0 )

(a) a = 12mm



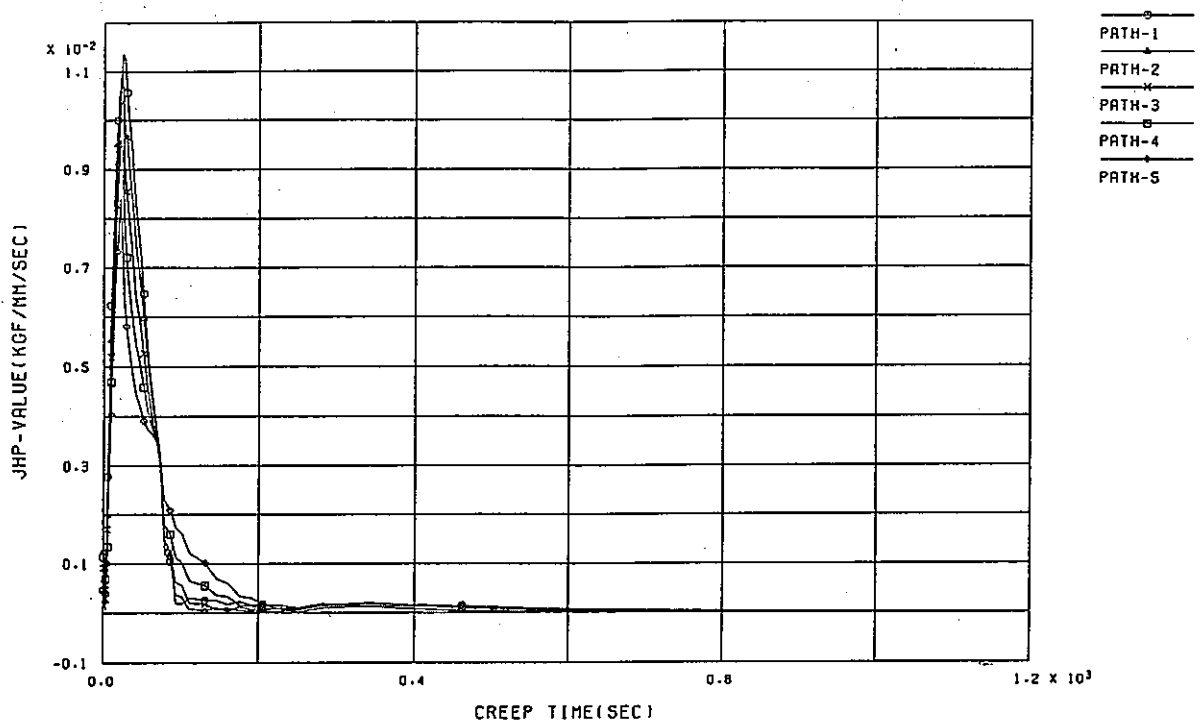
INLET-4 HISTORY OF (JHP) VALUE ( R = 18.0 )

(b) a = 18mm

付図D-25 熱過渡1サイクル中クリープ時間内の $\hat{J}'$ の経時変化(Inlet Nozzle)

(a) a = 12mm (b) a = 18mm





INLET-5 HISTORY OF (JHP) VALUE ( A = 24.0 )

(a) a = 24mm

付図D-26 熱過渡1サイクル中クリープ時間内の $\hat{J}'$ の経時変化(Inlet Nozzle)

(a) a = 24mm (b) a = ---mm

## 付録E スカートモデルのクリープJ積分の検討

## (その1) クリープ解析のステップの検討

スカートモデルのき裂解析において、クリープJ積分 $\hat{J}'$ の履歴に振動する傾向が見られた。この原因の一つとして、クリープ解析の時間ステップが多少粗かった可能性が考えられた。そこでクリープ解析の時間ステップを細かくすることにより、解の振動が改善されるかどうかを検討した。

この影響を確認するために、2ケースの追加解析を行い、 $\hat{J}'$ の履歴を比較した。この検討には、スカート部のき裂深さ $a=16\text{mm}$ のモデルを用いた。解析ケースは、以下の通りである。

- (1) M5-4-0 基本ケース
- (2) M5-4-1 基本ケースの2倍のステップ数
- (3) M5-4-2 基本ケースの5倍のステップ数

付表E-1にクリープ解析のステップの採り方を、また、付図E-1およびE-2には各解析ケースでの熱過渡1サイクル中のクリープ時間内の $\hat{J}'$ の経時変化を示した。結論として、クリープ解析の時間ステップを細かくしても、解の振動は改善されなかった。むしろ、細かいステップの場合には、解の振動が顕著となった。

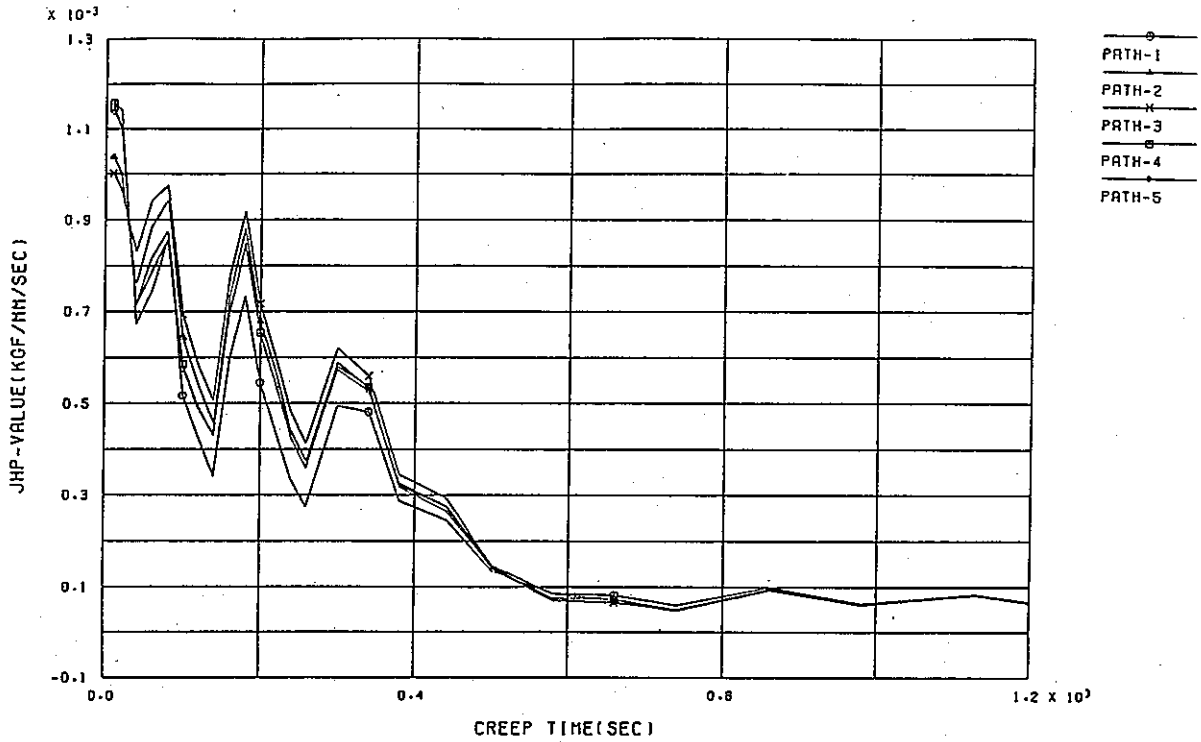
なお、参考として付図E-3からE-5に各解析ケースでのき裂先端における応力-歪関係を示すが、これらからは $\hat{J}'$ の解の振動につながる挙動は認められないようである。

付録E スカートモデルのクリープJ積分の検討

(その1) クリープ解析のステップの検討

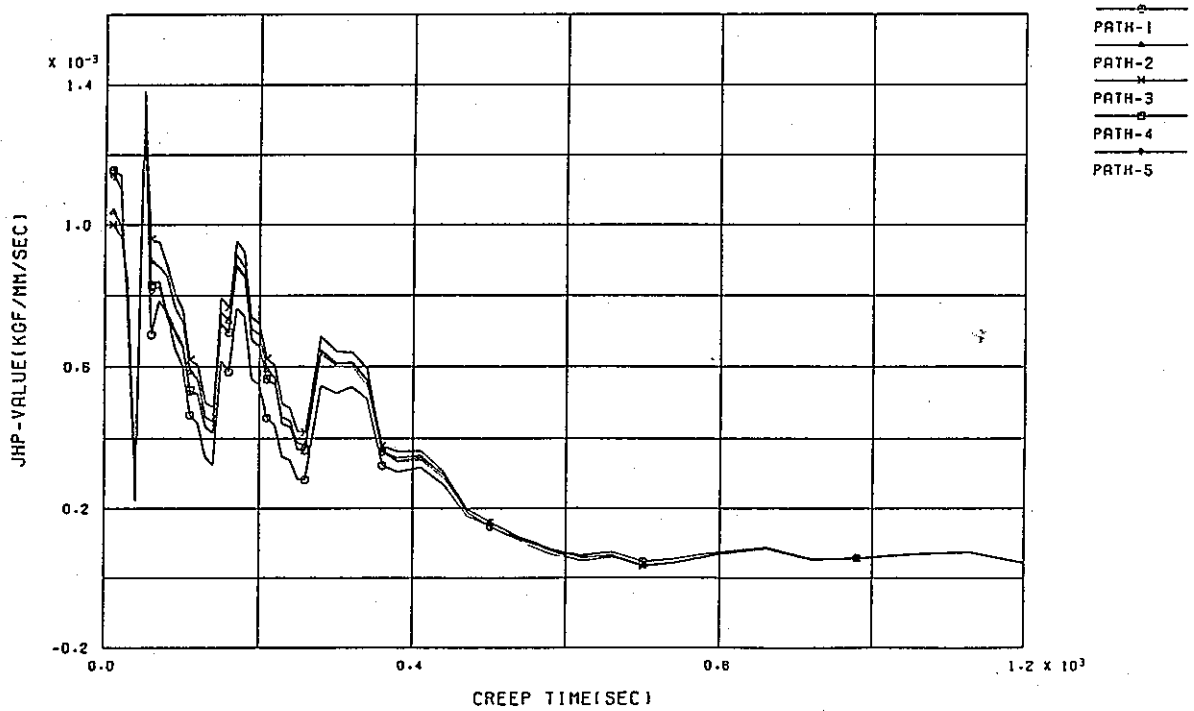
付表E-1	クリープ解析のステップの採り方	
	(a) 基本ケース (b) ステップ数2倍のケース	
	(c) ステップ数5倍のケース	245
付図E-1	熱過渡1サイクル中クリープ時間内の $\hat{J}'$ の経時変化	
	(a) 基本ケース (b) ステップ数2倍のケース	246
付図E-2	熱過渡1サイクル中クリープ時間内の $\hat{J}'$ の経時変化	
	(c) ステップ数5倍のケース	247
付図E-3	弾塑性クリープ解析による軸方向応力-歪関係	
	(a) 基本ケース (b) ステップ数2倍のケース	
	(c) ステップ数5倍のケース	248
付図E-4	弾塑性クリープ解析による周方向応力-歪関係	
	(a) 基本ケース (b) ステップ数2倍のケース	
	(c) ステップ数5倍のケース	249
付図E-5	弾塑性クリープ解析による相当応力-歪関係	
	(a) 基本ケース (b) ステップ数2倍のケース	
	(c) ステップ数5倍のケース	250





SKIRT-4 HISTORY OF (JHP) VALUE ( R = 16.0 )

(a) 基本ケース

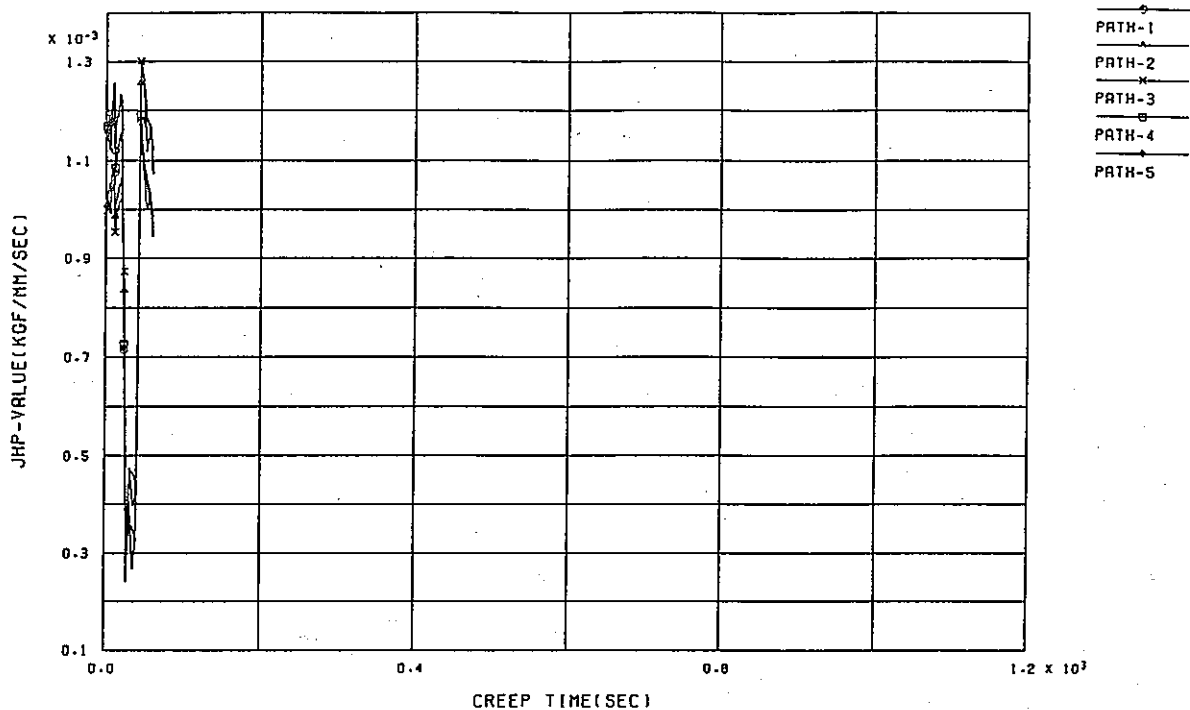


SKIRT-4-1 HISTORY OF (JHP) VALUE ( R = 16.0 )

(b) ステップ数2倍のケース

付図E-1 熱過渡1サイクル中クリープ時間内の $\hat{J}'$ の経時変化

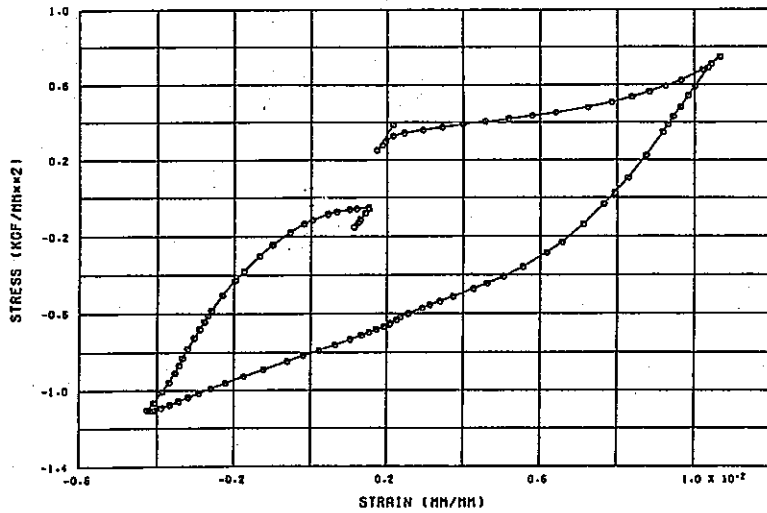
(a) 基本ケース (b) ステップ数2倍のケース



SKIRT-4-2 HISTORY OF (JHP) VALUE ( A = 16.0 )

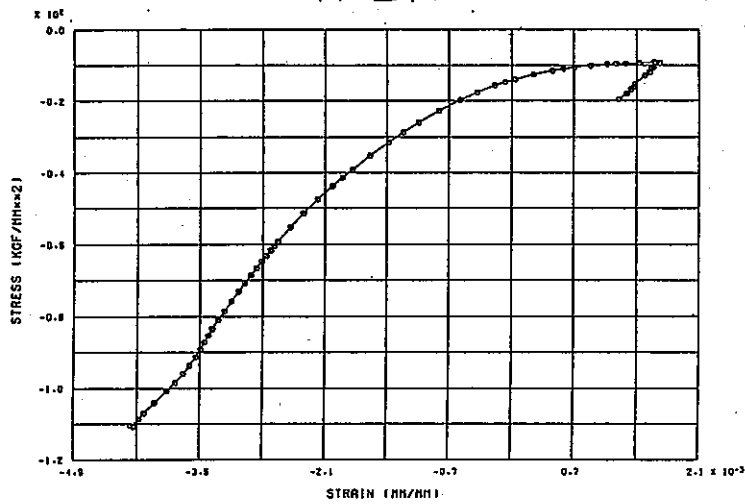
(c) ステップ数5倍のケース

付図E-2 熱過渡1サイクル中クリープ時間内の $\hat{j}'$ の経時変化  
(c) ステップ数5倍のケース



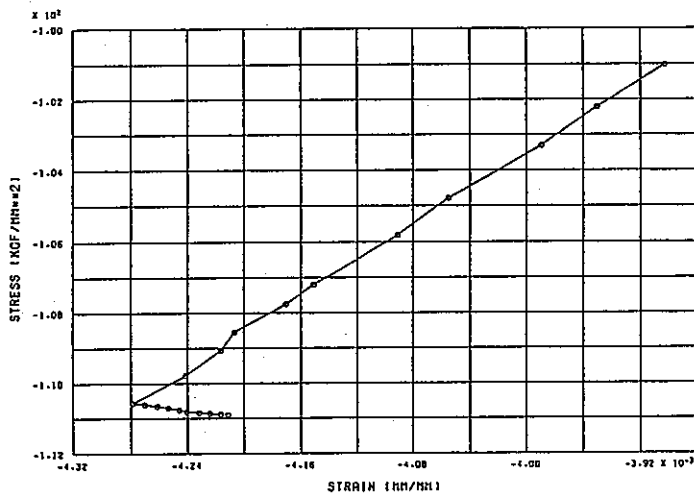
SKIRT MODEL NS-4 (R=16MM) AXIAL STRESS-STRAIN SK-A CRACK TIP

(a) 基本ケース



SKIRT MODEL NS-4 (R=16MM) AXIAL STRESS-STRAIN SK-A CRACK TIP

(b) ステップ数2倍のケース

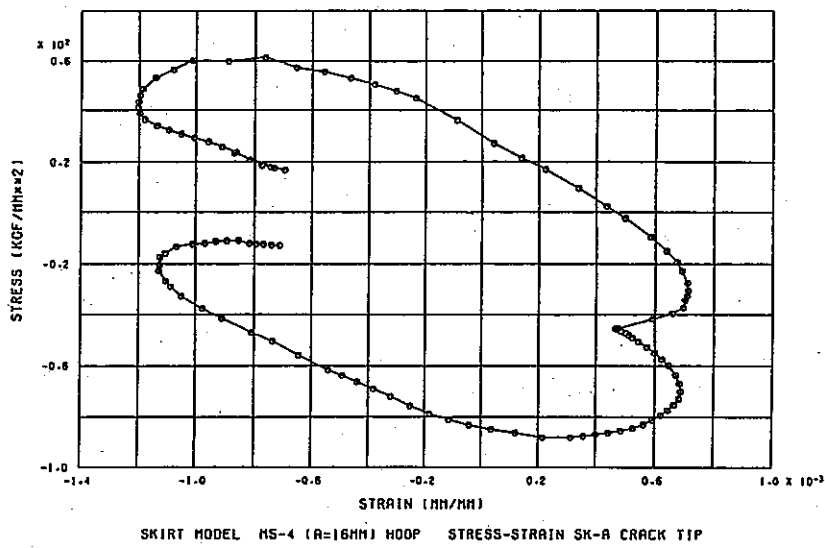


SKIRT MODEL NS-4 (R=16MM) AXIAL STRESS-STRAIN SK-A CRACK TIP

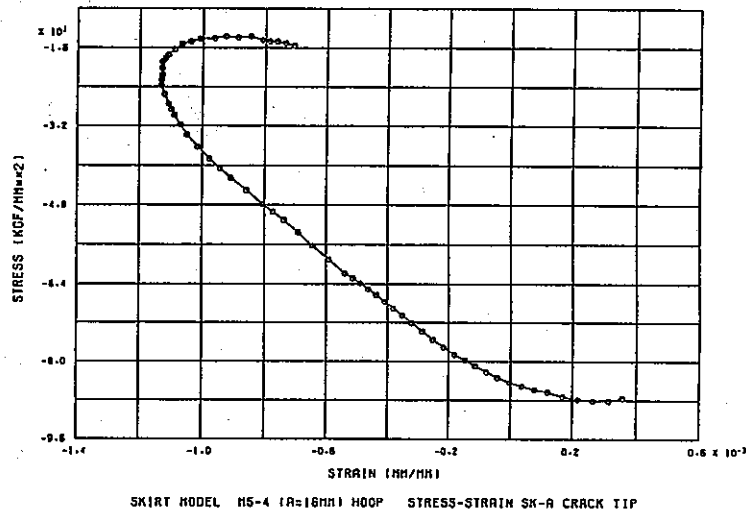
(c) ステップ数5倍のケース

付図E-3 弾塑性クリープ解析による軸方向応力-歪関係

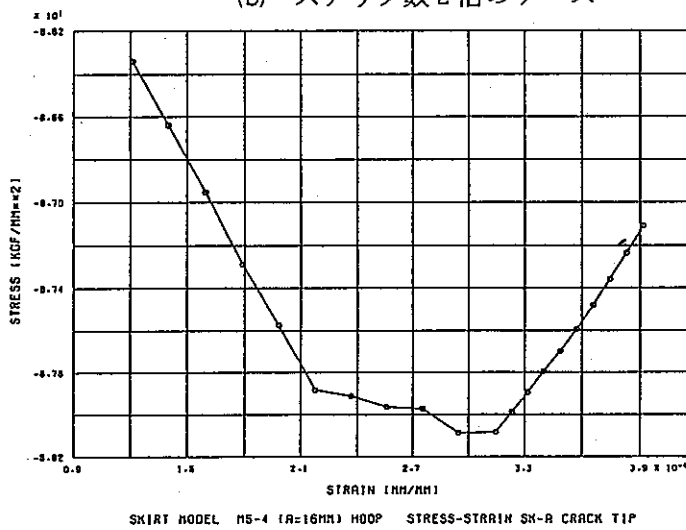
(a) 基本ケース (b) ステップ数2倍のケース (c) ステップ数5倍のケース



(a) 基本ケース



(b) ステップ数2倍のケース

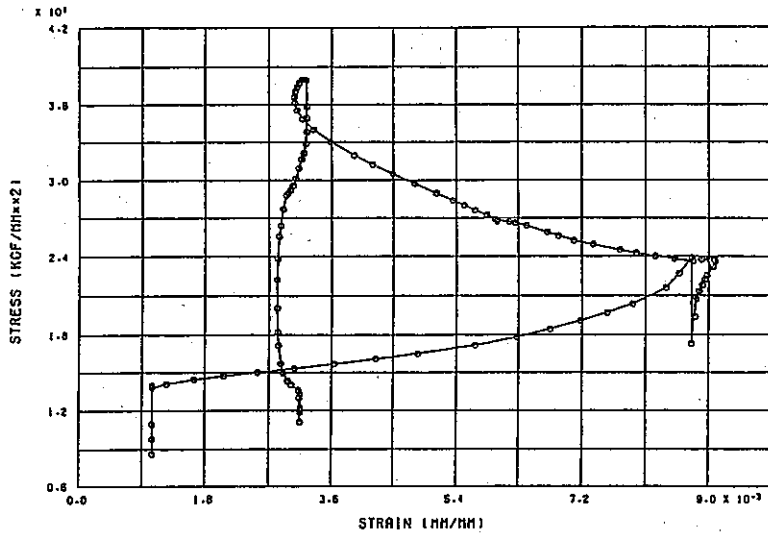


(c) ステップ数5倍のケース

付図E-4 弾塑性クリープ解析による周方向応力-歪関係

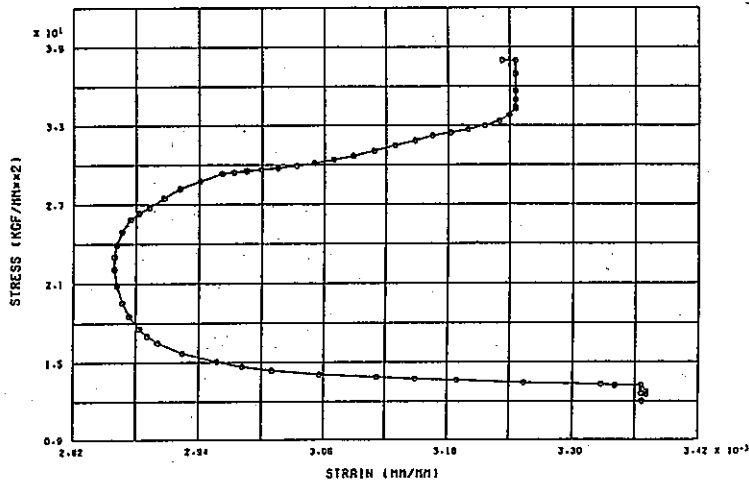
(a) 基本ケース (b) ステップ数2倍のケース (c) ステップ数5倍のケース





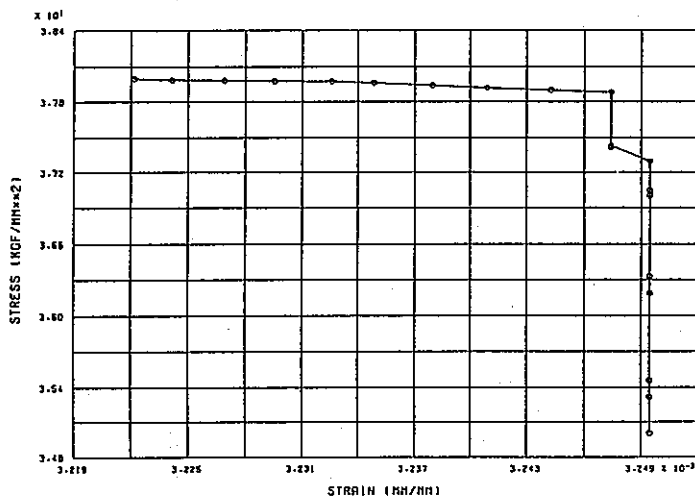
SKIRT MODEL HS-4 (A=16MM) EQUIV. STRESS-STRAIN SK-A CRACK TIP

(a) 基本ケース



SKIRT MODEL HS-4 (A=16MM) EQUIV. STRESS-STRAIN SK-A CRACK TIP

(b) ステップ数2倍のケース



SKIRT MODEL HS-4 (A=16MM) EQUIV. STRESS-STRAIN SK-A CRACK TIP

(c) ステップ数5倍のケース

付図E-5 弾塑性クリープ解析による相当応力-歪関係

(a) 基本ケース (b) ステップ数2倍のケース (c) ステップ数5倍のケース