

平成 25 年度 新潟工科大学との耐震安全に関する共同研究

(その 2)

研究題目：き裂を有する配管の地震とき裂進展評価手法の高度化に  
関する研究

共同研究成果報告書

き裂を有する配管の地震とき裂進展評価手法の  
高度化に関する研究

平成26年3月

新潟工科大学

## 目 次

1. 目的	1
2. 供試材と実験方法	1
2.1. 供試材と試験片形状	1
2.2. 機械的特性（鋭敏化処理後）	7
2.3. 試験装置	10
2.4. 実験条件	14
2.4.1. 疲労予き裂導入条件	14
2.4.2. 応力腐食割れ試験条件	15
2.4.3. 低サイクル疲労き裂進展試験条件	16
2.4.4. 材料特性評価試験条件	16
2.5. 試験項目・内容	17
2.6. 破壊力学パラメータの算出法	18
2.7. き裂長さの測定方法	22
3. 結果および考察	25
3.1. CCT 試験片を用いた実験の結果	25
3.1.1. SCC 予き裂の導入状態	25
3.1.2. LCF き裂進展挙動	29
3.1.2.1. 疲労予き裂からの LCF き裂進展挙動	29
3.1.2.2. SCC 予き裂からの LCF 進展挙動	31
3.2. CT 試験片を用いた実験の結果	33
3.3. 分岐き裂を有するき裂進展シミュレーションの結果	35
3.3.1. 解析モデルと解析方法	35
3.3.2. 解析に用いた材料特性	38
3.3.3. 解析結果	47
4. まとめ	54
参考文献	55
付録 実験データ総括	56

## 1. 目的

国内軽水炉プラントの約 1/3 の運転期間が 30 年を超えている。供用年数の増加に伴い、配管等においては、き裂の存在が報告されている。また、国内軽水炉プラントでは近年、幾つかの大きな地震を経験している。特に東北地方太平洋沖地震・福島第一原子力発電所の事故以降、高経年化プラントの耐震安全性について国民の関心が益々高まっている。加えて、「原子力安全に関する IAEA 閣僚会議に対する日本国政府の報告書」ではリスク情報活用の重要性（教訓 27）を指摘している。このような背景から、高経年化を考慮した耐震安全評価手法及び確率論的解析評価技術の整備は非常に重要な課題である。本研究の成果は既設プラントの耐震安全評価、経年化を考慮したリスク評価に資するものである。

本研究では一部沸騰水型原子力発電所で応力腐食割れ（以下、「SCC」という。）によるき裂の存在が確認された原子炉再循環系配管を念頭に、大地震による荷重条件が作用された場合のき裂進展評価手法の妥当性を確認し、その高度化を図ることを目的とする。本年度では、これまでの成果を踏まえ、試験及び解析的な検討を行い、これまでの検討内容を完結させ、き裂進展評価手法の確立を図る。

## 2. 供試材と実験方法

### 2.1. 供試材と試験片形状

供試材は、オーステナイト系ステンレス鋼 SUS304 である。ミルシート記載の化学成分、溶体化処理条件、機械的特性を Table 2.1 から Table 2.2 に示す。実験に先立ち、高温加熱炉を用いて大気中鋭敏化処理を行った。鋭敏化処理条件は、大気中 650°C×20 時間後、水焼き入れとし、加熱速度は 10°C/min とした。鋭敏化処理の温度時間曲線を Fig. 2.1 に示す。

この供試材から、後述の通り最終形状が 70mm×25mm、評点厚さ 2mm の CCT (Center Cracked Tension) 試験片をワイヤー放電加工で機械加工した。試験片中央には、予め長さ 5mm、幅 0.3mm の貫通ノッチをワイヤー放電加工により導入した。試験片の寸法を Fig. 2.2 に示す。ノッチ加工後、各試験片を #400 から #2000 の耐水ペーパーで軸方向に研磨した後、バフによる鏡面研磨を施して実験に供した。また、低サイクル疲労試験 (LCF) 試験に先立ち直流電位差測定に資するため、Fig. 2.3 に示すように、試験片側面に電流入力端子の取り付けねじを、電圧出力端子を取り付けるためき裂を挟んで間隔 4mm で φ0.7 の穴を加工した。実際の試験片の写真を Fig. 2.4 に示す。

さらに、Fig. 2.3 に示す CT 試験片も準備し、破壊靱性試験、疲労き裂進展試験を実施視した。なお、各寸法は幅 W が 67.2mm、初期切り欠き長さ 14mm とし、初期切り欠きから疲労予き裂を導入して用いた。試験片厚さは、破壊靱性試験で用いた CT 試験片では 10mm とした。また、疲労き裂進展試験では、疲労予き裂を導入する際は厚さ 14mm とした。疲労予き裂導入後、SCC 予き裂を一部の試験片に導入した後、厚さ 10mm まで加工して疲労き裂進展試験に供した。

また、熱処理後の材料特性を取得するため、Φ6mm の丸棒試験片を準備した。

Table 2.1 化学成分 (%)

C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr
0.04	0.54	0.91	0.037	0.001	8.12	18.13

Table 2.2 溶体化処理条件

1120°C×9min → 水焼き入れ
---------------------

Table 2.3 機械的特性 (ミルシート)

0.2%耐力 (MPa)	引張強さ (MPa)	伸び (%)	硬さ (HBW)
268	633	59	167

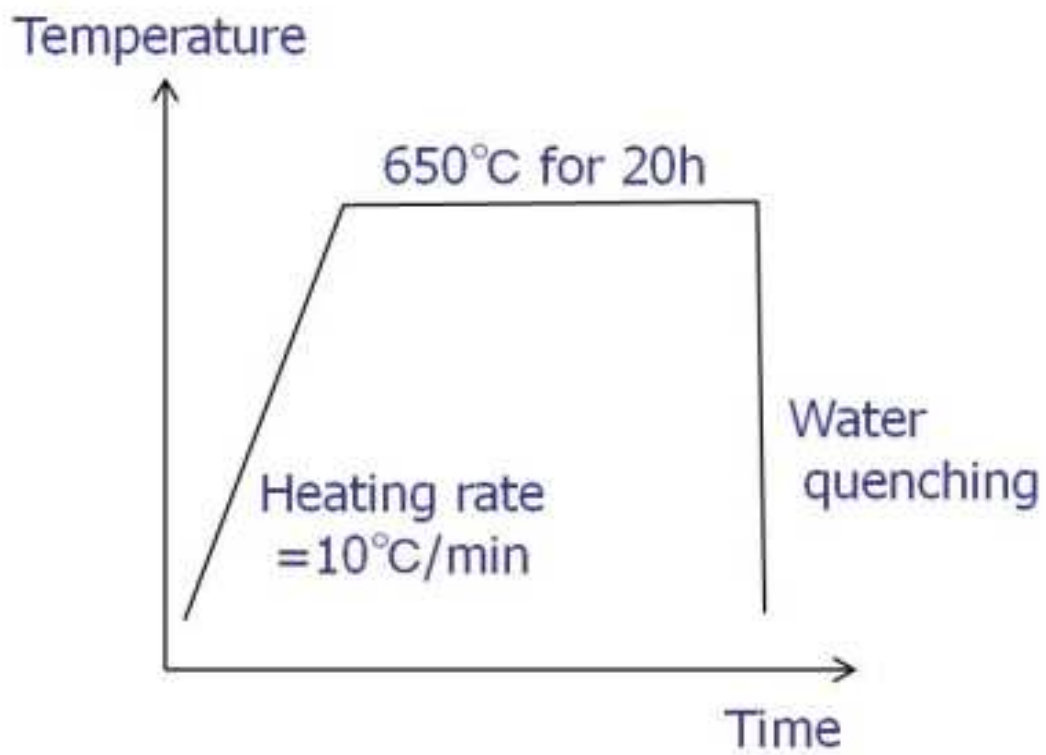


Fig. 2.1 鋭敏化处理の温度時間曲線

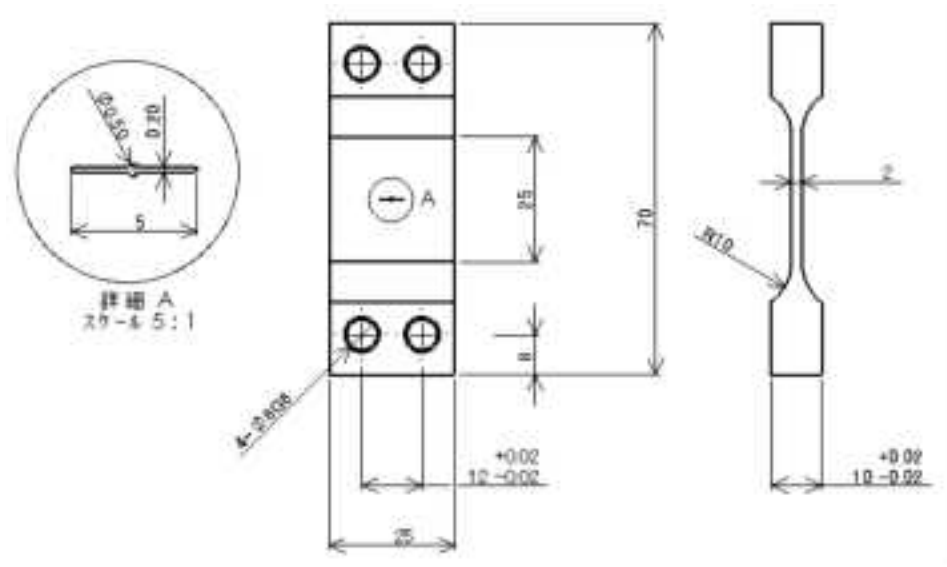


Fig. 2.2 試験片形状.

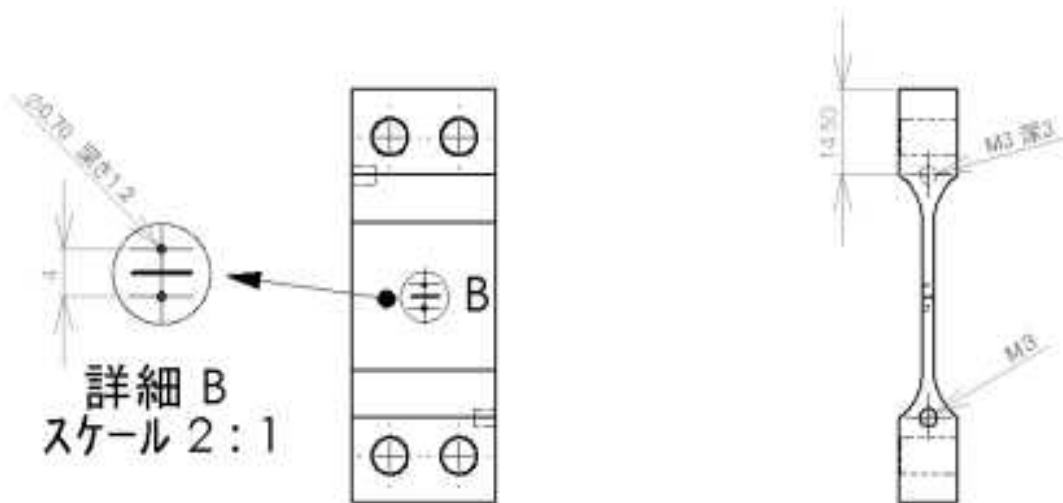


Fig. 2.3 直流電位差端子接続位置.

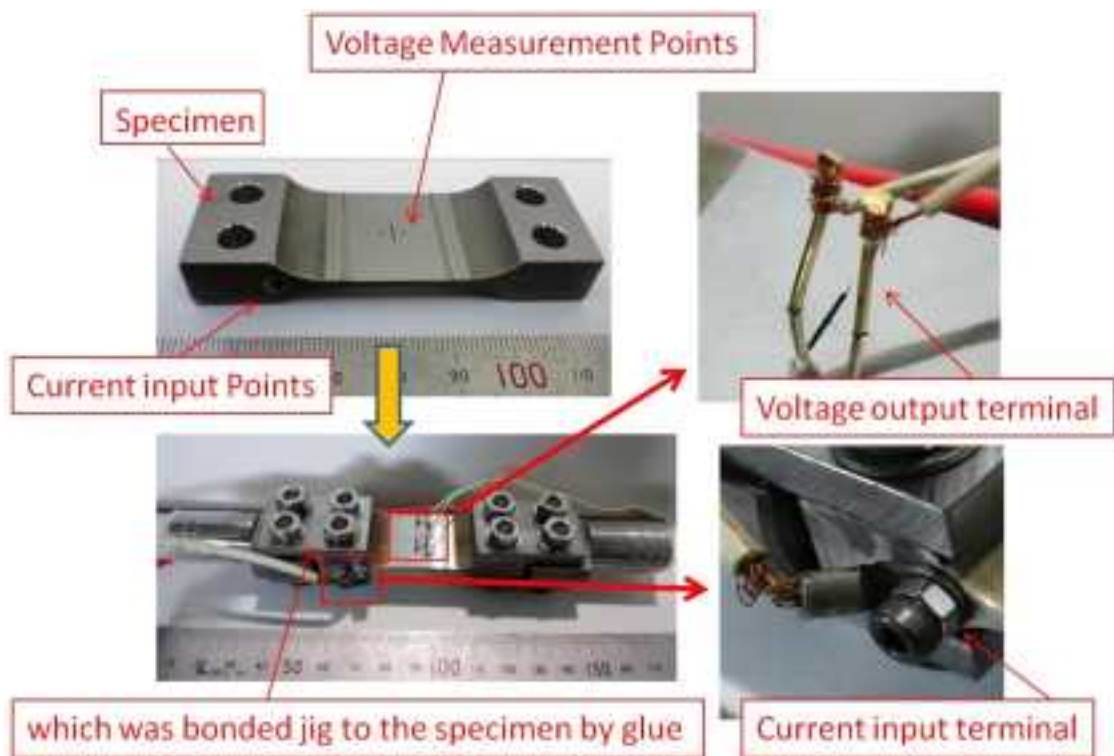


Fig. 2.4 直流電位差法における端子接続状態



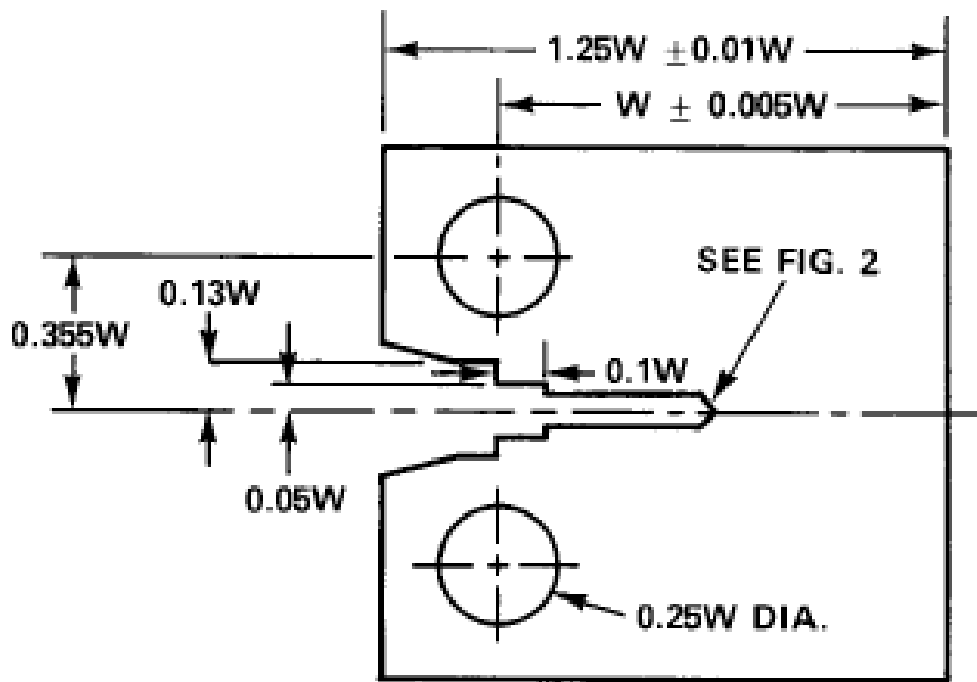


Fig. 2.5 CT 試験片形状

## 2.2. 機械的特性（鋭敏化処理後）

鋭敏化処理後の供試材の機械的特性を取得するため引張試験を実施した。引張試験は、負荷速度  $10^{-3}\%/s$  の条件で実施した。得られた応力-ひずみ関係を Fig. 2.6 に示す。この応力-ひずみ関係から得られた機械的特性を Table 2.3 に示す

さらに、破壊靱性値試験は日本機械学会基準「弾塑性破壊靱性  $J_{Ic}$  試験法」に従って実施した。得られた R 曲線を Fig. 2.7 に示す。Fig. 2.7 より得られた破壊靱性値  $J_{Ic}$  を Table 2.4 に示す。

Table 2.4 機械的特性（鋭敏化処理後）

0.2%耐力 (MPa)	引張強さ (MPa)	伸び (%)	ヤング率 (GPa)	破壊靱性 $J_{Ic}$ (kJ/m <sup>2</sup> )
223.7	797.7	> 52	197.5	408

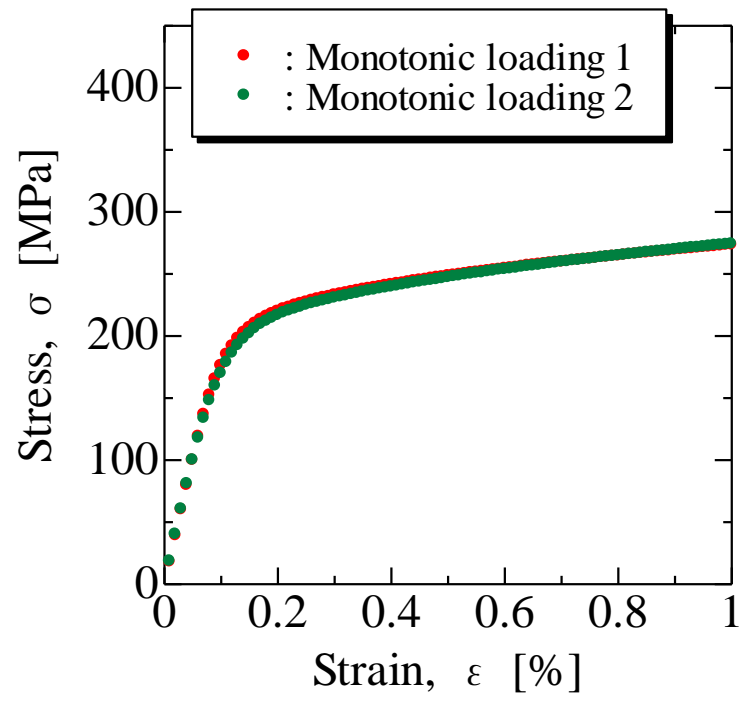


Fig. 2.6 引張試験中の応力-ひずみ曲線.

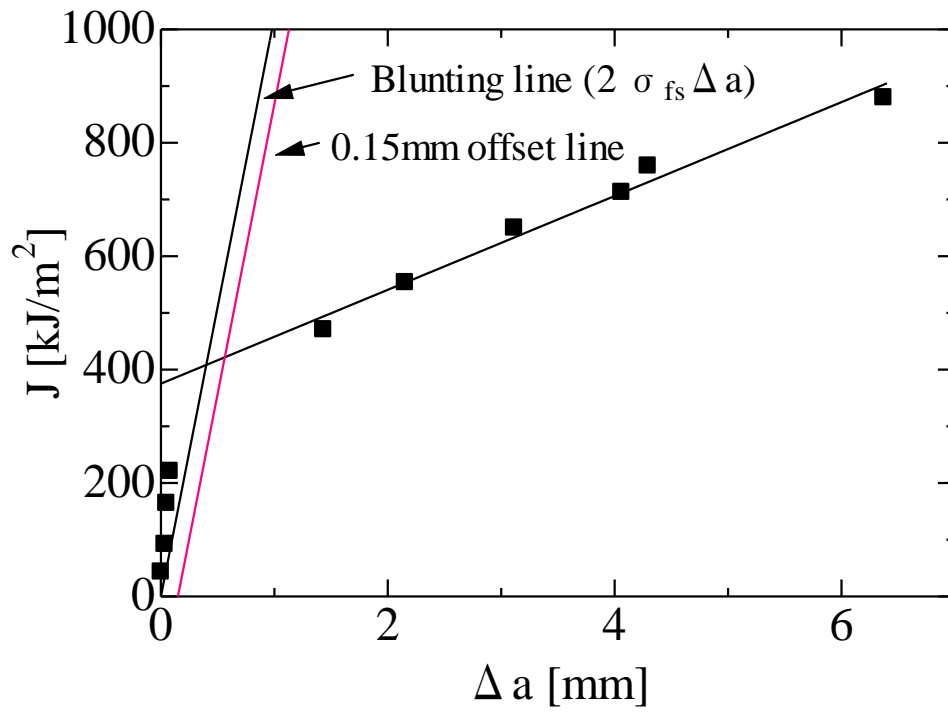


Fig. 2.7 破壊靱性試験により得られた R 曲線

### 2.3. 試験装置

疲労予き裂導入, および, LCF 試験には, 島津製作所製の電気油圧サーボ弁式疲労試験機と INSTRON 製の軸方向変位検出装置を組み合わせた疲労試験機を使用した. Fig.2.8, Fig.2.9 に LCF き裂進展データ取得システムおよび実際の試験中の写真を示す. Fig.2.8 に示すように, き裂の開閉口挙動は, 切り欠きを挟むように  $GL=3\text{mm}$  の伸び計を取り付け, 計測した. き裂長さは除荷コンプライアンス法と直流電位差法による計測を試みた. 前者は, 負荷サイクル中の最大荷重の 90% から 60% の範囲の荷重-き裂開口変位曲線に除荷コンプライアンス法を適用して計測を試みた. 一方, 直流電位差法では, 試験片の平行部両端に 10A の直流を負荷し, き裂を挟んで取り付けた端子間の電位差を測定した. なお, 電位差の測定は各サイクルの最大荷重点付近 (き裂開口時) において行った. 3.2 節で述べるように, 両測定法によるき裂長さの計測を試みた結果, 除荷コンプライアンス法によるき裂計測はノイズの影響が大きく進展速度を算出することが困難であった. そのため, き裂長さはノイズが小さい直流電位差法を用いて計測した. なお, 直流電位差法は正味最小断面積の変化に伴う電気抵抗を電位差として計測する手法である. 従って, 分岐・屈曲する IGSCC き裂に対して直流電位差法を適用した場合, 負荷軸と垂直な面に投影された最大き裂長さを計測している. さらに, 本研究では, LCF 試験時にマイクロスコープと DVD/HD レコーダーを用いてき裂開閉口挙動と進展挙動を記録した.

SCC き裂進展試験は静荷重試験機 (東伸工業) を用いた. 試験中の外観を Fig. 2.10 に示す.

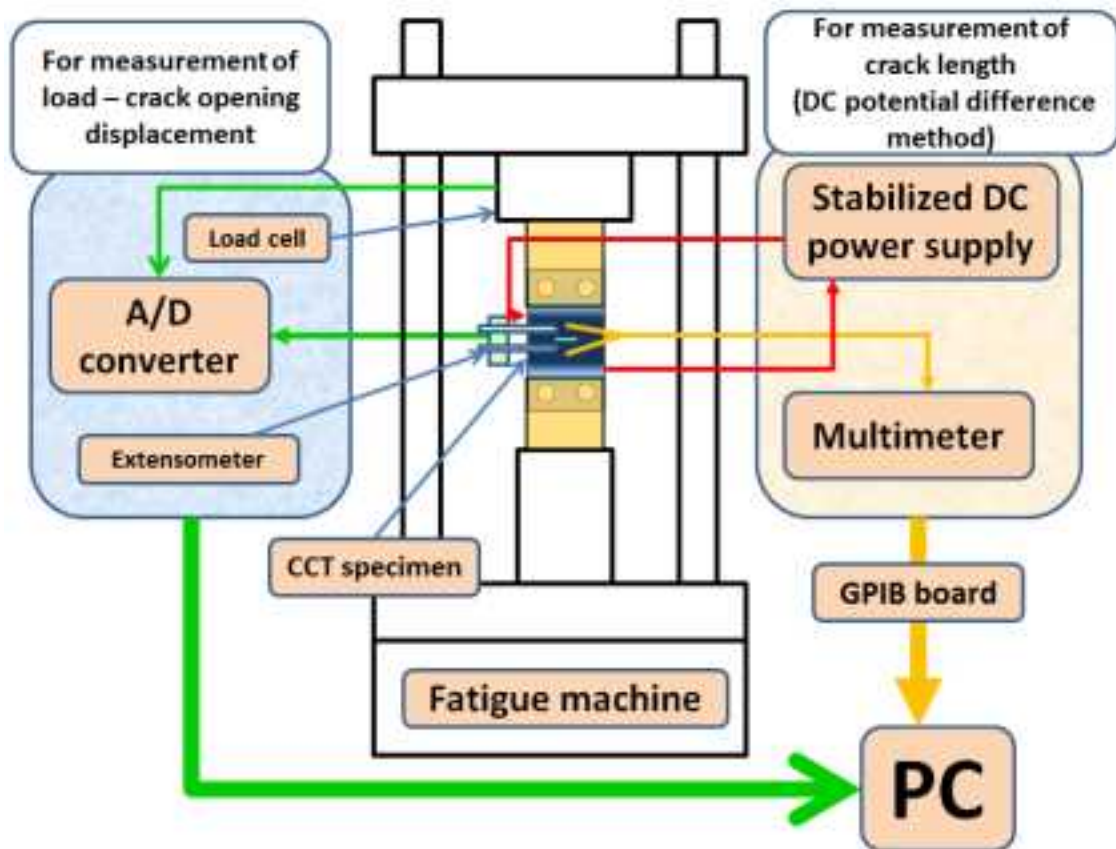


Fig. 2.8 疲労データ取得システム.

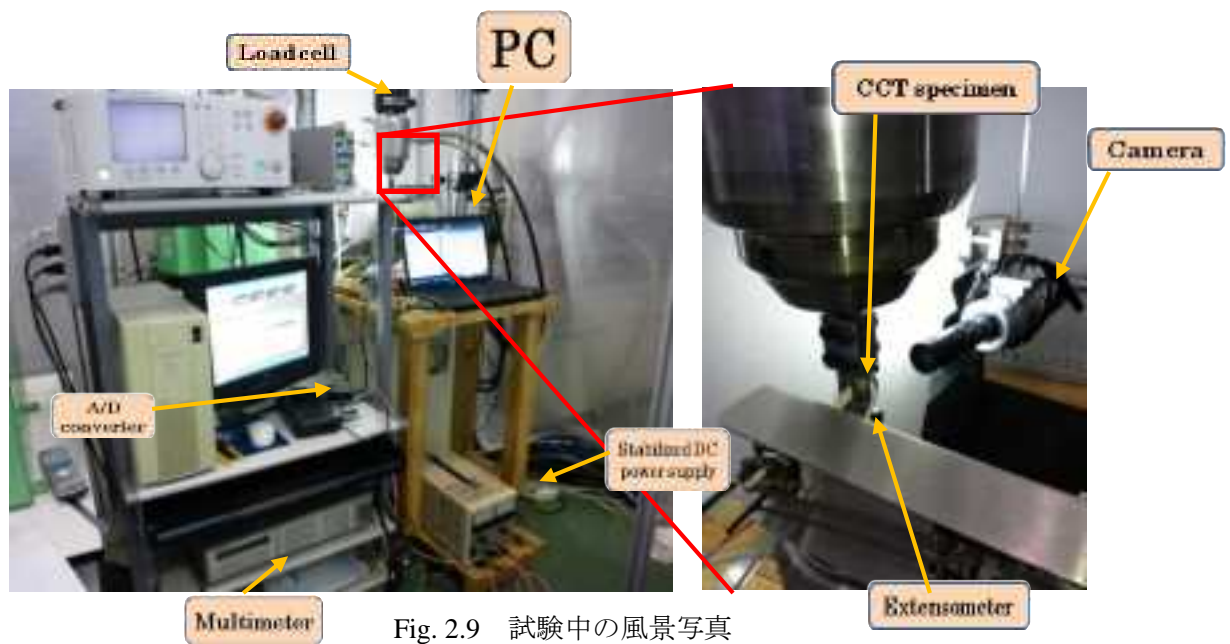
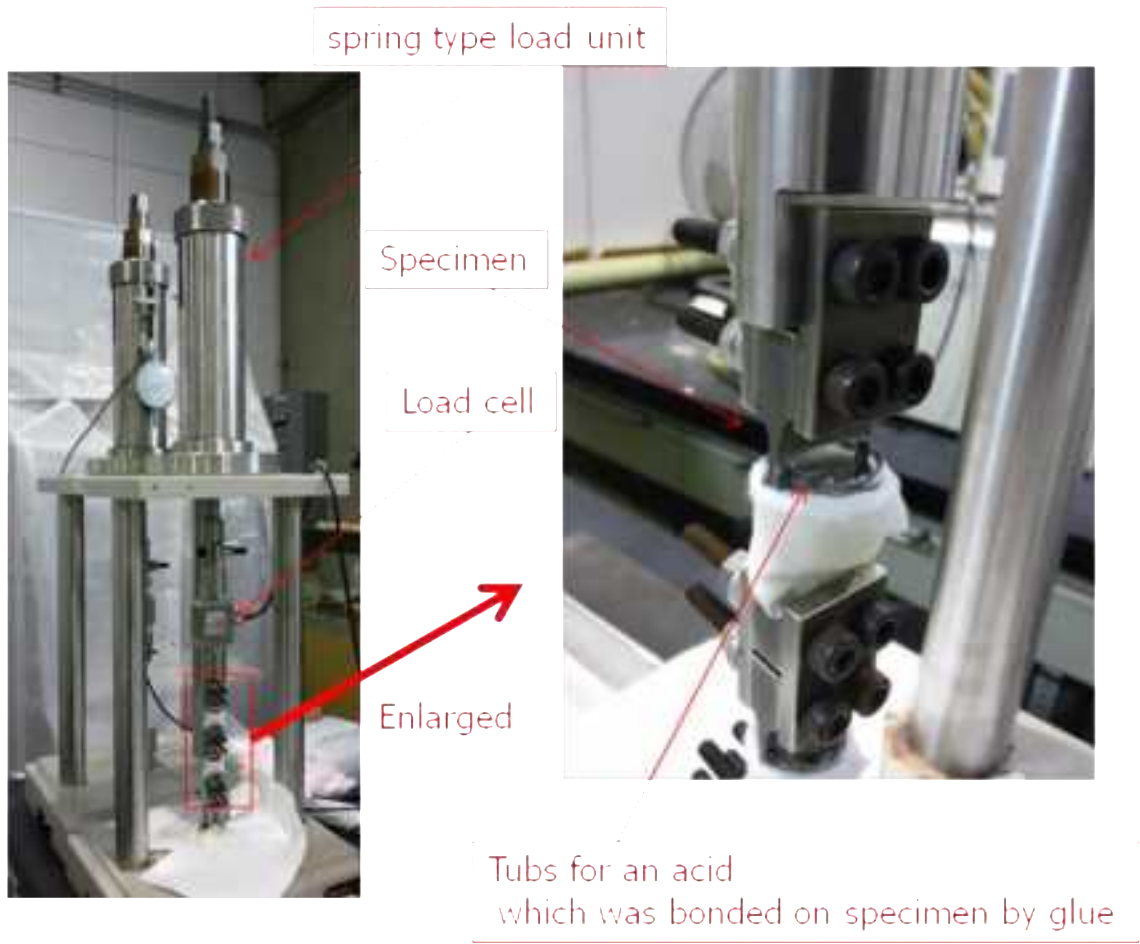


Fig. 2.9 試験中の風景写真



(a) SCC 試験外観

(b) 試験片拡大図

Fig. 2.10 SCC 試験装置.



## 2.4. 実験条件

### 2.4.1. 疲労予き裂導入条件

先ず、室温繰り返し負荷により疲労予き裂を導入した。導入した予き裂長さは  $a=7\text{mm}$  程度、すなわち切り欠き先端から各  $1\text{mm}$  程度前方まで予き裂を導入した。疲労予き裂の導入は油圧疲労試験機を用い、Table 2.5 の条件で行った。なお、SCC 予き裂導入試験に用いる試験片に対しては、表面からの腐食の影響を最小限にするため、CCT 試験片では評点分厚さ  $3\text{mm}$  の試験片を、CT 試験片では厚さ  $14\text{mm}$  の試験片を実験に供した。

Table 2.5 疲労予き裂導入条件.

(a) CCT 試験片

制御方法	軸荷重制御
荷重波形	正弦波形
荷重比	0.1
負荷周波数	10~20Hz
予き裂導入初期最大応力拡大係数	$8.6\text{MPa} \cdot \text{m}^{0.5}$
最終最大応力拡大係数	$10.3\text{MPa} \cdot \text{m}^{0.5}$

(b) CCT 試験片

制御方法	軸荷重制御
荷重波形	正弦波形
最大荷重	8.5 kN
応力比	0.1
負荷周波数	15 Hz
目標予き裂全長 $a$	17 mm

#### 2.4.2. 応力腐食割れ試験条件

評点分厚さ 3mm の CCT 試験片，厚さ 14mm の CT 試験片を用いて，疲労予き裂導入の後，SCC 条件にて SCC 予き裂の進展を試みた．その際，試験片表面からの腐食を押さえるため，試験片厚さを厚くしたことに加え，Fig. 2.11 に示すように予き裂周辺およびその前方をひずみゲージ用コーティング剤でコーティングを施した．なお，CT 試験片でも同様にコーティングを施している．

SCC 予き裂の導入は静荷重試験機（東伸工業）にて，Table 2.6 の条件で行った．試験環境は，純水，テトラチオン酸カリウムと硫酸を配合した  $\text{ph}2$  の腐食液内，室温とした．

Table 2.5 SCC 予き裂導入条件.

(a) CCT 試験片

制御方法	軸荷重制御
負荷時間	500h
応力	110MPa
初期き裂長さ	$2a=7\text{mm}$
初期応力拡大係数	$10.3\text{MPa} \cdot \text{m}^{0.5}$

(b) CT 試験片

制御方法	荷重制御
負荷時間	500h
負荷荷重	8.5 kN
初期き裂長さ	$a=14\text{ mm}$



Fig. 2.11 試験片に施したコーティングの様子.

#### 2.4.3. 低サイクル疲労き裂進展試験条件

2.3.1 から 2.3.2 で準備した予き裂を有する試験片を対象として、室温、大気中にて低サイクル疲労試験を実施した。実験は、油圧疲労試験機（島津サーボパサー）に制御装置およびき裂開閉測定システムを組み合わせた試験装置にて、Table 2.7 の条件にて行った。

Table 2.7 低サイクルき裂進展試験条件.

##### (a) CCT 試験片

制御方法	軸荷重制御
応力波形	三角波
応力比 (R 比)	- 1
負荷速度	$d\sigma/dt=20\text{MPa/sec}$
最大, 最小負荷応力	$\pm 180\text{MPa}$

##### (b) CT 試験片

制御方式	荷重制御
荷重波形	三角波
最大応力	13 kN
応力比	0.1
負荷速度	$dP/dt=1\text{kN/sec}$

#### 2.4.4. 繰り返し負荷試験条件

繰り返し負荷試験は、Table 2.8 の条件で応力範囲が安定するまで繰り返し負荷を与え、その後、段階的に負荷ひずみ範囲を増加させて材料特性値を得た。

Table 2.8 繰り返し負荷試験条件.

制御方法	軸ひずみ制御
応力波形	三角波
応力比 (R 比)	- 1
負荷速度	$10^{-2} \%/s$

## 2.5. き裂進展試験項目・内容

本研究では、疲労予き裂からの LCF き裂進展試験、 SCC 予き裂からの LCF き裂進展試験を実施した。本研究で実施した試験を総括して Table 2.9 および Table 2.10 に示す。今後、各試験で実施した試験片の呼称を Table 2.9 および Table 2.10 中の呼称で記載することとする。

Table 2.9 CCT 試験片を用いて実施したき裂進展試験の総括.

試験片の呼称	試験条件
LCF1 LCF2 LCF3	疲労予き裂からの LCF き裂進展試験
SLCF1 SLCF2	SCC 予き裂からの LCF き裂進展試験
SLCF3	SCC 予き裂からの LCF き裂進展試験 (SCC 負荷応力 121MPa)

Table 2.10 CT 試験片を用いて実施したき裂進展試験の総括.

試験片の呼称	試験条件
CT-LCF1	疲労予き裂からの LCF き裂進展試験
CT-SLCF1 CT-SLCF2	SCC 予き裂からの LCF き裂進展試験

## 2.6. 破壊力学パラメータの算出法

高サイクル疲労き裂の進展速度は小規模降伏条件を満たす限り、応力拡大係数範囲  $\Delta K$  で関連付けられる。しかし、負荷応力が大きくなると、小規模降伏条件を逸脱し、もはや線形破壊力学が適用できなくなる。このような場合  $\Delta K$  に代わって、疲労 J 積分範囲  $\Delta J_f$  が疲労き裂進展速度を取り扱う際のパラメータとして用いられる。そこで、高サイクル疲労条件下のき裂進展速度は  $\Delta K$  で、高サイクル疲労・低サイクル疲労の両条件下のき裂進展速度は  $\Delta J_f$  で整理した。以下に、本研究で用いた応力拡大係数範囲  $\Delta K$  および疲労 J 積分範囲  $\Delta J_f$  の算出法を示す。

CCT 試験片の応力拡大係数範囲  $\Delta K$  は次式で算出した。

$$\Delta K = \Delta \sigma \sqrt{\pi a} F(\xi) \quad \text{Eq. 2-1}$$

ここで、

$$F(\xi) = \sqrt{\sec(\pi\xi/2)}$$

$\xi$  :  $a/W$

$2W$  : 試験片幅

$2a$  : き裂長さ

である。一方、CCT 試験片の疲労 J 積分  $\Delta J_f$  は次式により算出した。

$$\Delta J_f = \frac{\Delta K^2}{E'} + \frac{S_p}{Bb} \quad \text{Eq. 2-2}$$

ここで、

$$E' = \begin{cases} E & \text{for Plane stress} \\ E/(1-\nu^2) & \text{for Plane strain} \end{cases}$$

$$\Delta K = \Delta \sigma \sqrt{\pi a} F(\xi)$$

$$F(\xi) = \sqrt{\sec(\pi\xi/2)}$$

$B$  : 試験片厚さ

$b$  : 試験片リガメント半幅,  $b=W-a$

$\xi$  :  $a/W$

$2W$  : 試験片幅

$2a$  : き裂長さ

$E$  : 縦弾性係数

$\nu$  : ポアソン比

$\Delta P$  : Fig.2.12 で定義される荷重範囲

$S_p$  : Fig.2.12 で定義されるエネルギー

CT 試験片の応力拡大係数範囲  $\Delta K$  は次式で算出した.

$$K = \frac{P}{B\sqrt{W}} F(\xi) \quad \text{Eq. 2-3}$$

$$F(\xi) = \frac{2 + \xi}{(1 - \xi)^{3/2}} (0.886 + 4.64\xi - 13.32\xi^2 + 14.72\xi^3 - 5.6\xi^4) \quad (\xi \geq 0.2)$$

ここで,

$P$  : 荷重

$B$  : 試験片板厚

$\xi$  :  $a/W$

$W$  : 試験片板幅

$a$  : き裂長さ

である. 一方, CT 試験片の疲労 J 積分  $\Delta J_f$  は次式により算出した.

$$\Delta J_f = \frac{S_p}{Bb} F(\xi) \quad \text{Eq. 2-4}$$

$$F(\xi) = 2(1 + \eta) / (1 + \eta^2)$$

$$\eta(\xi) = \sqrt{(2a/b)^2 + 2(2a/b) + 2} - (2a/b + 1)$$

ここで,

$B$  : 試験片板厚

$b$  : 試験片リガメント幅,  $b = W - a$

$a$  : き裂長さ

$S_p$  : Fig. 2.11 で定義されるエネルギー

である.

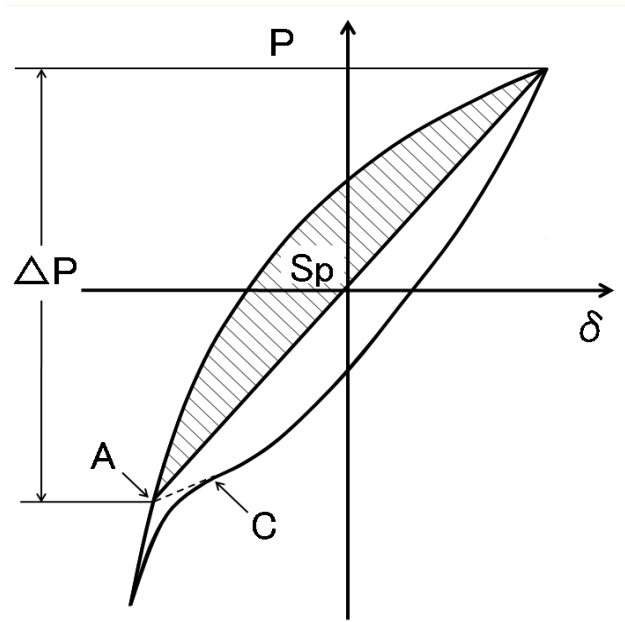
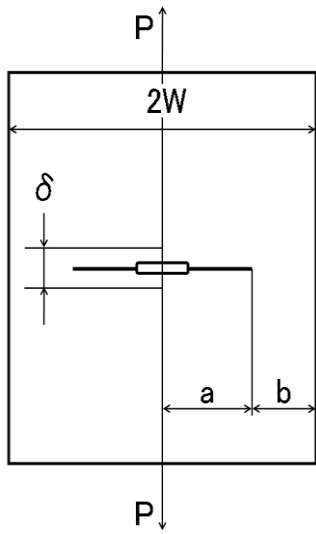


Fig. 2.12  $S_p$  評価方法の模式図.

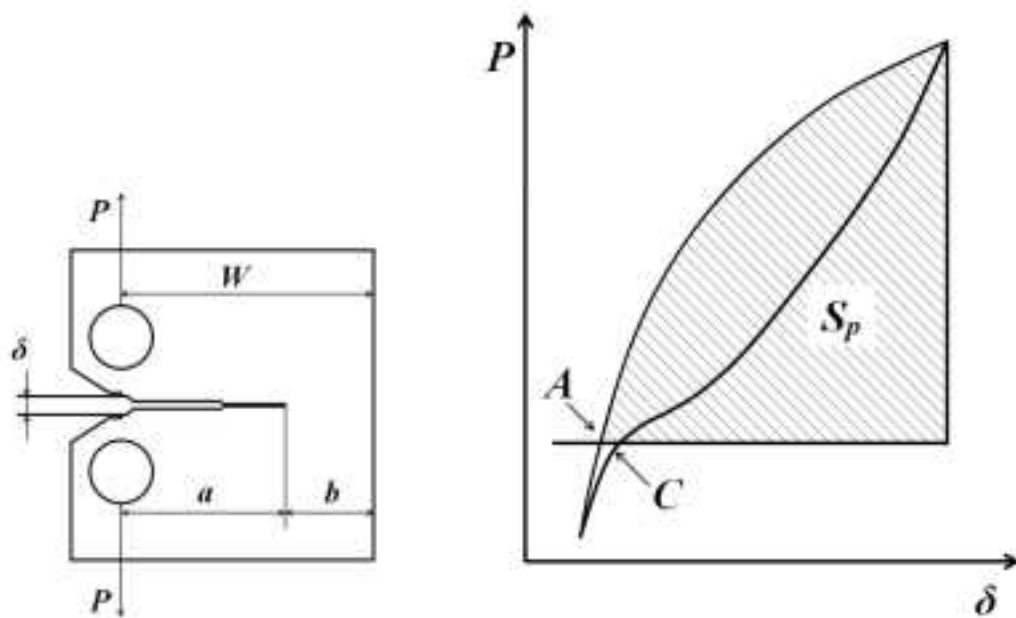


Fig. 2.13  $S_p$  評価方法の模式図.



## 2.7. き裂長さの測定方法

CCT 試験片の LCF 試験では、電圧変化によって 1cycle 毎のき裂進展量を得る事が出来る直流電位差法でのき裂長さの計測を行った。

以下に、本研究で用いた直流電位差法でのき裂長さの算出法を示す。

直流電位差法では、Fig.2.14 に示すように、試験片の平行部両端に 10A の直流を負荷し、き裂を挟んで取り付けた端子間の電位差を測定し、次式によりき裂長さを算出した。なお、き裂面の接触の影響を避けるため、電位差の測定は各サイクルの最大荷重点付近（き裂開口中）において行った。ただし、電位差はき裂の開閉口に影響を受けず、1 サイクル中でほとんど変化がなかった。

$$a = \frac{W}{\pi} \cos^{-1} \left[ \frac{\cosh\left(\frac{\pi}{W} \times Y_o\right)}{\cosh \left[ \frac{V}{V_r} \times \cosh^{-1} \cdot \left[ \frac{\cosh\left(\frac{\pi}{W} \times Y_o\right)}{\cos\left(\frac{\pi}{W} \times a_r\right)} \right] \right]} \right]$$

for  $0 \leq \frac{2a}{W} \leq 1$

Eq.2-5

ここで、

- $a$  : き裂長さ
- $a_r$  : 初期き裂長さ
- $V$  : 測定電圧
- $V_r$  : 初期電圧
- $Y_o$  : 電圧測定間隔

一方、CT 試験片ではき裂開口変位  $\delta$  を測定し、次式のコンプライアンス法によりき裂長さを計測した。

$$a = W(1.000196 - 4.06319U + 11.242U^2 - 106.043U^3 + 464.335U^4 - 650.677U^5)$$

Eq.2-6

ここで、

$$U = \frac{1}{(BE_M \lambda)^{1/2} + 1}$$

$$E_M = \frac{1}{B\lambda_0} \left( \frac{W + a_0}{W + a_0} \right)^2 \left[ 2.1630 + 12.219(a_0/W) - 20.065(a_0/W)^2 - 0.9925(a_0/W)^3 + 20.609(a_0/W)^4 - 9.9314(a_0/W)^5 \right]$$

であり,

W : 試験片幅(mm)

$\lambda$  : コンプライアンス (m/kN)

$E_M$  : 修正縦弾性係数(MPa)

$\lambda_0$  : 第 1cycle 目の除荷時のコンプライアンス (m/kN)

$a_0$  : 予き裂長さ (mm)

である.

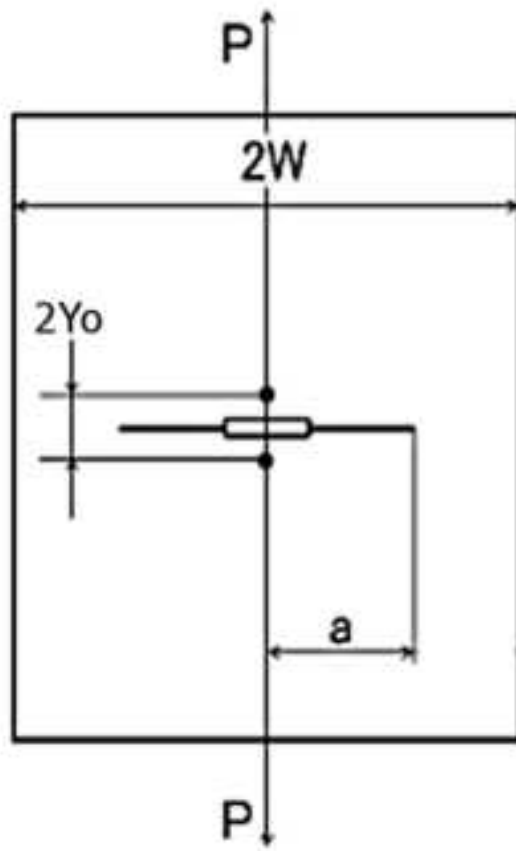


Fig. 2.14 直流電位差法における諸元.

### 3. 結果および考察

#### 3.1. CCT 試験片を用いた実験の結果

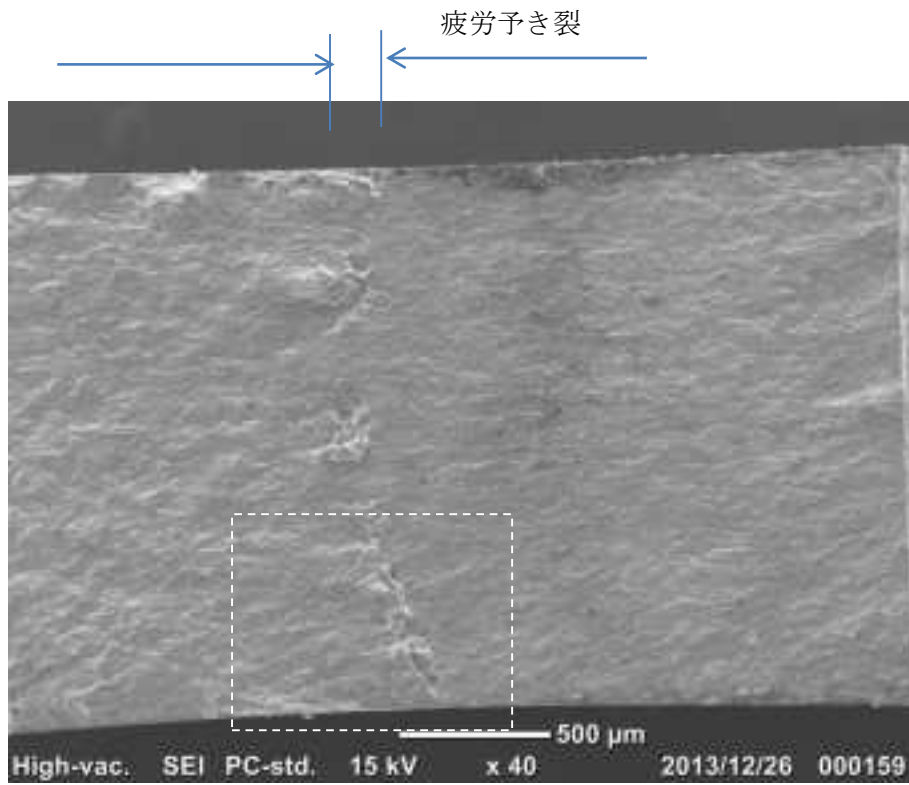
##### 3.1.1. SCC 予き裂の導入状態

本研究で導入した SCC 予き裂を導入した後、LCF 試験によりき裂を進展させた試験片の破面の代表例を Fig. 3.1 に示す。Fig.3.1 に示すように、昨年と同様に SCC 負荷により粒界を選択的に進展した粒界破面の様相が予き裂先端近傍に確認できるが、その破面の割合は昨年度より小さく、予き裂前縁の一部に限定されている。すなわち、板厚 3mm+コーティングの状態でも SCC 予き裂を導入し、板厚 2mm まで研削下後、LCF 試験に供することにより、SCC き裂先端にのみ SCC 損傷を付与することに成功したが、昨年度に比べて粒界破面は限定的となってしまった。そこで、SCC 予き裂導入時の負荷応力を 10%増加させて予き裂導入を行った。しかし、Fig.3.2 に示すように、SCC 予き裂導入時の応力を 10%増加させることにより粒界破面の領域が増加させることが可能であった。なお、全ての試験片でその後の LCF 試験では完全に粒内を進展していることが確認できた。

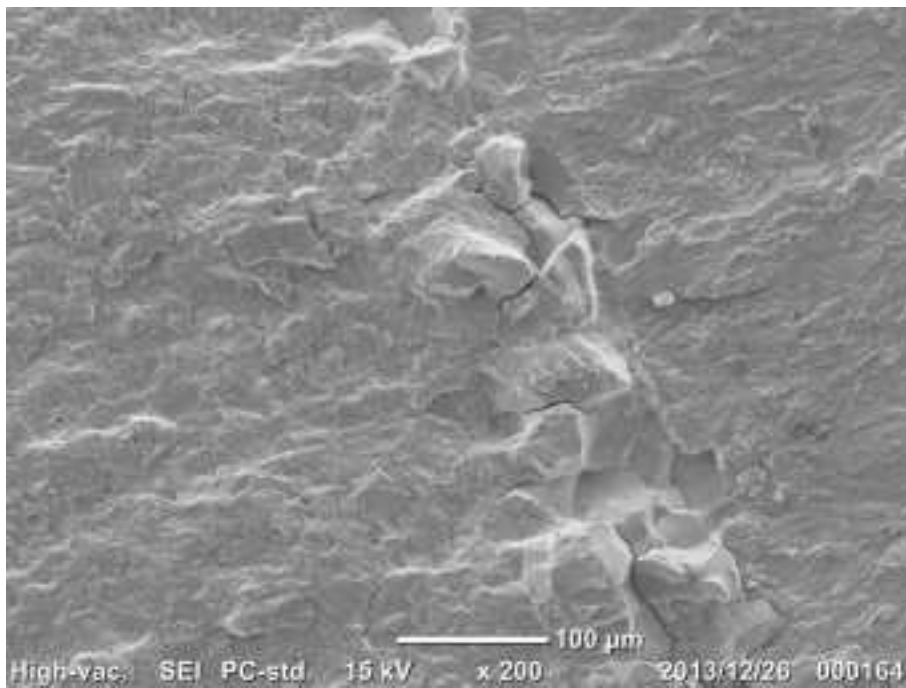
SCC 予き裂進展試験後（研削加工を施し鏡面に研磨した後）、LCF サイクルを 1 サイクルのみ負荷し、光学顕微鏡で観察した結果を Fig.3.3 に示す。図に示すように、所望の SCC 予き裂が得られていることが確認された。

SCC 予き裂

LCF き裂

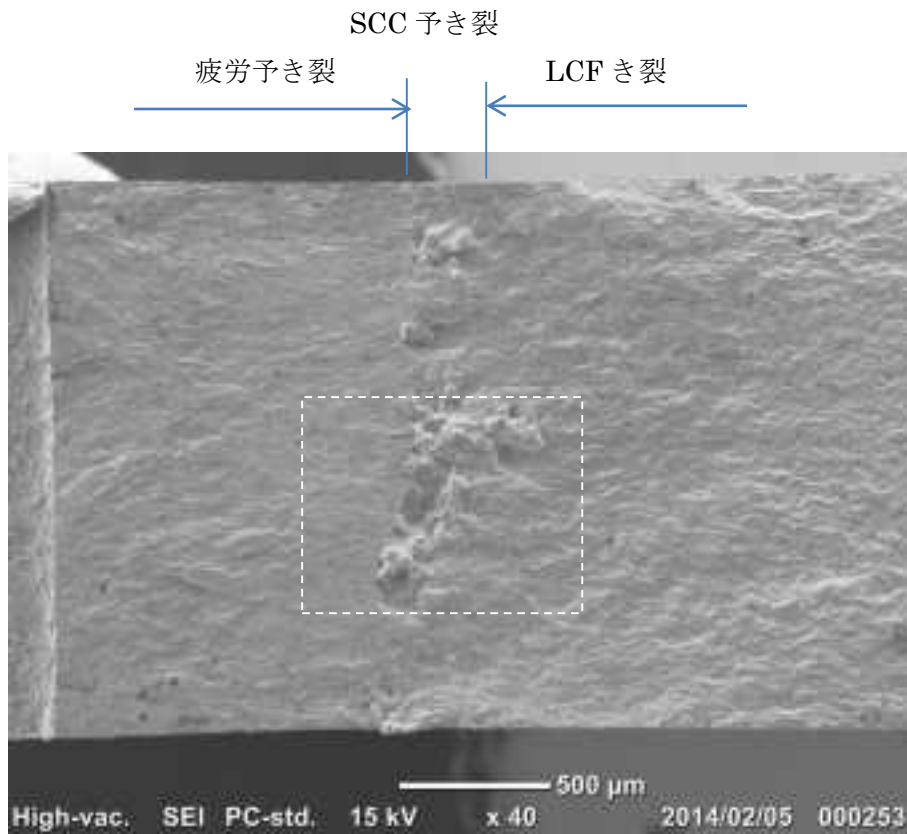


(a) マクロ破面

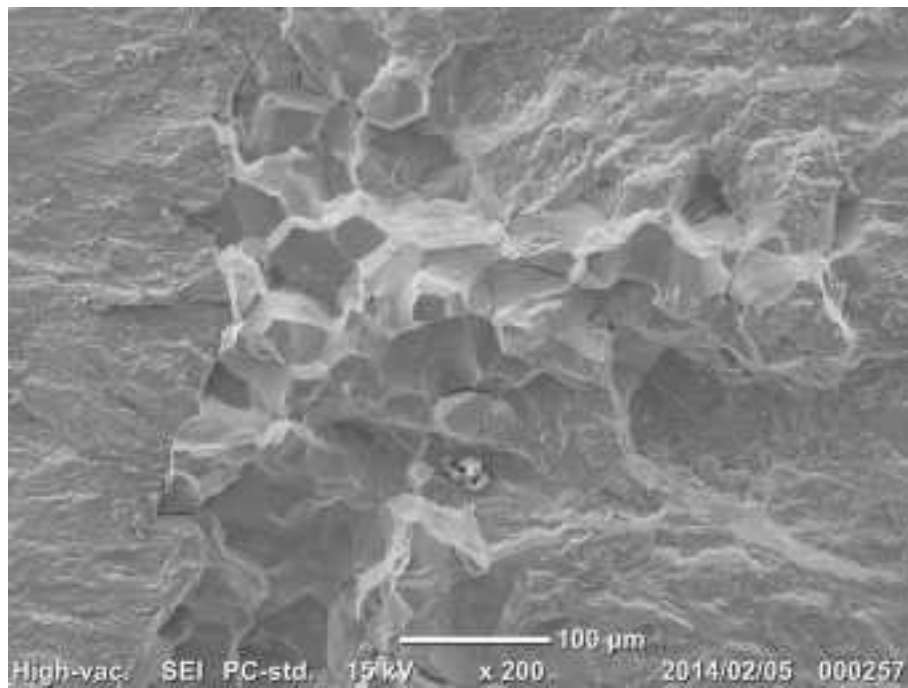


(b) 粒界破面部 (a)白枠部) の拡大

Fig.3.1 SCC 予き裂から低サイクル疲労き裂進展させた試験片 (SLCF-1) の破面.

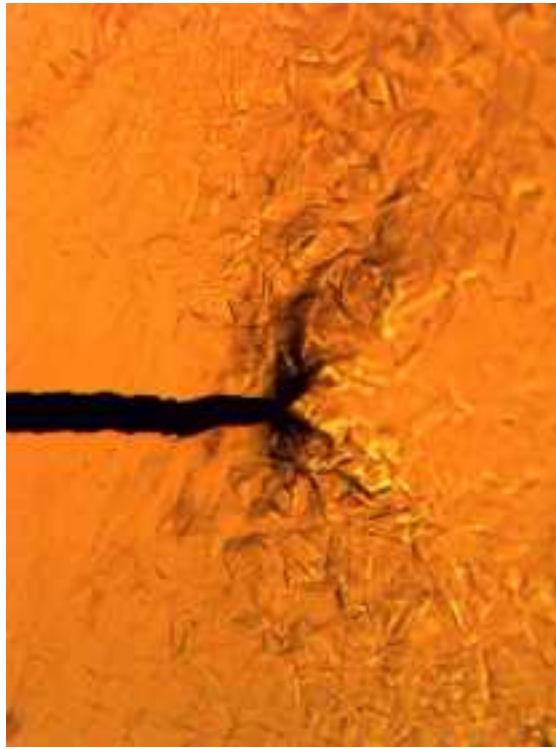


(a) マクロ破面

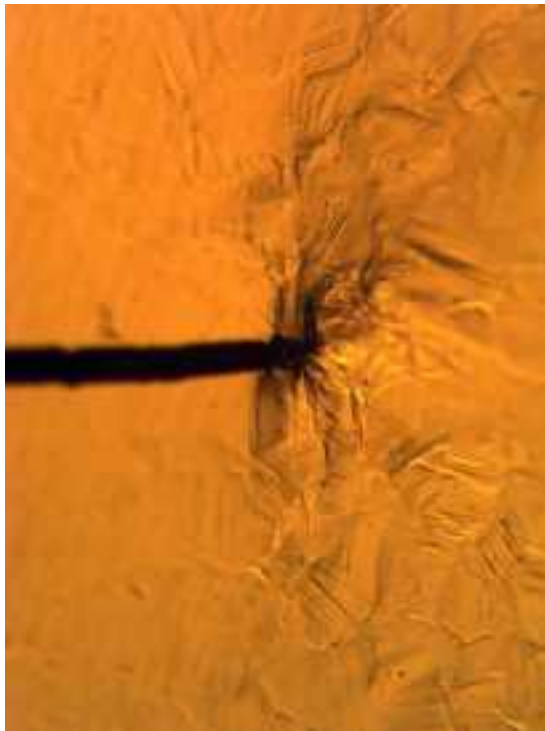


(b) 粒界破面部 (a)白枠部) の拡大

Fig.3.2 SCC 予き裂から低サイクル疲労き裂進展させた試験片 (SLCF-3



(a) SLCF-1



(b) SLCF-2

Fig.3.3 SCC 予き裂導入後，引張負荷を加えた後の代表的なき裂の様子.

### 3.1.2. LCF き裂進展挙動

昨年までと同様に、疲労予き裂、および、SCC 予き裂からの LCF き裂進展試験にすべての条件で、LCF 試験開始直後におけるき裂進展速度は、程度の差はあるものの減速して最小値をとり、その後、おおよそ 200-300cycle 程度の負荷をした後は、増加する挙動が認められた。これは、き裂計測法に電位差法を用いているためと思われる。そこで、本年度の結果についても、繰り返し負荷開始直後のき裂進展速度が減少する領域（試験開始からおおよそ 200cycle 程度まで）を除外してき裂進展速度を整理し、考察した。

#### 3.1.2.1. 疲労予き裂からの LCF き裂進展挙動

低サイクル疲労領域における疲労予き裂からのき裂進展挙動を調査した。結果を Fig. 3.4 に示す。各試験結果には最小自乗法を適用した。その結果、Fig. 3.4 に示すように、Eq.3-1 で示す Paris 則を満たす一本の直線で良好に整理できた。

$$da/dN = C'(\Delta J_f)^{m'} \quad \text{Eq.3-1}$$

best fit curve から得られた各定数は、き裂進展速度  $da/dN$  が[m/cycle]、 $\Delta J_f$ が[kN/m]である時

$$C' = 9.28 \times 10^{-9}$$

$$m' = 1.56$$

であった。



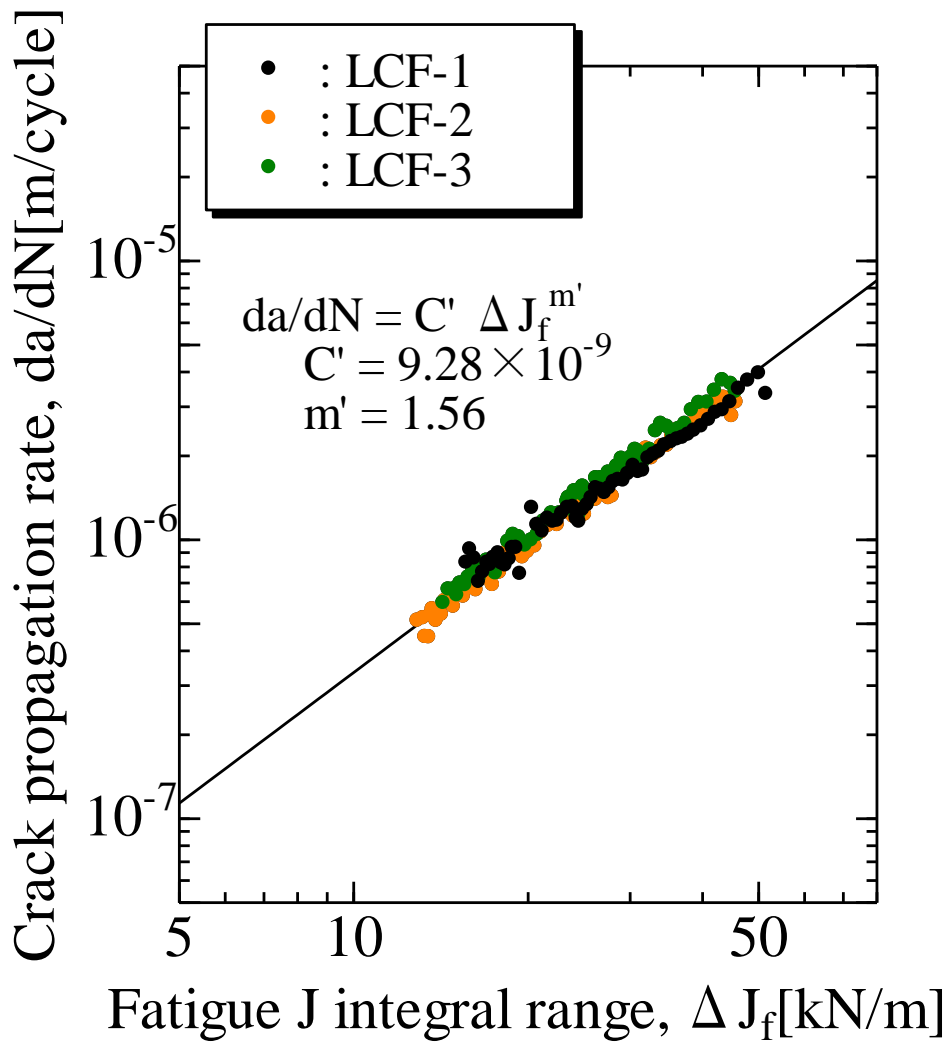


Fig. 3.4 疲労予き裂からの疲労き裂進展曲線.

### 3.1.2.2. SCC 予き裂からの LCF 進展挙動

Fig. 3.3 に示すような屈曲・分岐した SCC 予き裂が、LCF 負荷を受けた場合のき裂の進展曲線を Fig. 3.5 に示す。比較のため、図中には Fig. 3.4 に示した疲労予き裂からの LCF き裂進展曲線を併記した。Fig.3.5 より、SLCF1 から SLCF3 試験片では、疲労予き裂からのき裂進展速度と同等の進展速度を示しており、分岐き裂による主き裂の進展速度の遅延はほとんど認められない。ただし、SCC 予き裂が比較的広い領域で発生させることができた SLCF3 試験片では、LCF き裂進展開始時にわずかな遅延と思われる挙動が認められるが、データのばらつきが大きく、さらに検証が必要であろう。

3.1.1 節で示したように、遅延がほとんど認められなかった SLCF1 試験片では、粒界破面が疲労予き裂前方の限られた領域しか認められず、比較的粒界破面の割合が大きかった SLCF3 試験片でも、十分な粒界進展型の SCC 予き裂の導入はできていなかった。なお、この結果を受けて、十分な SCC 予き裂を導入すべく SCC 予き裂導入試験において試験時間の長時間化、さらなる荷重の増加を図って実験を実施したが、SCC 予き裂を制御することは極めて困難で、SCC 予き裂導入時に破断する結果となった。

一方、本研究ではき裂進展計測を直流電位差法で実施したことにより、LCF 試験開始直後のき裂進展挙動を評価できていない。上述のように、SCC 予き裂が限定的にしか導入できなかったため、LCF 試験開始直後のみにき裂進展の遅延効果が限定されている可能性が考えられる。これについては、3.3 節で、さらに検討する。

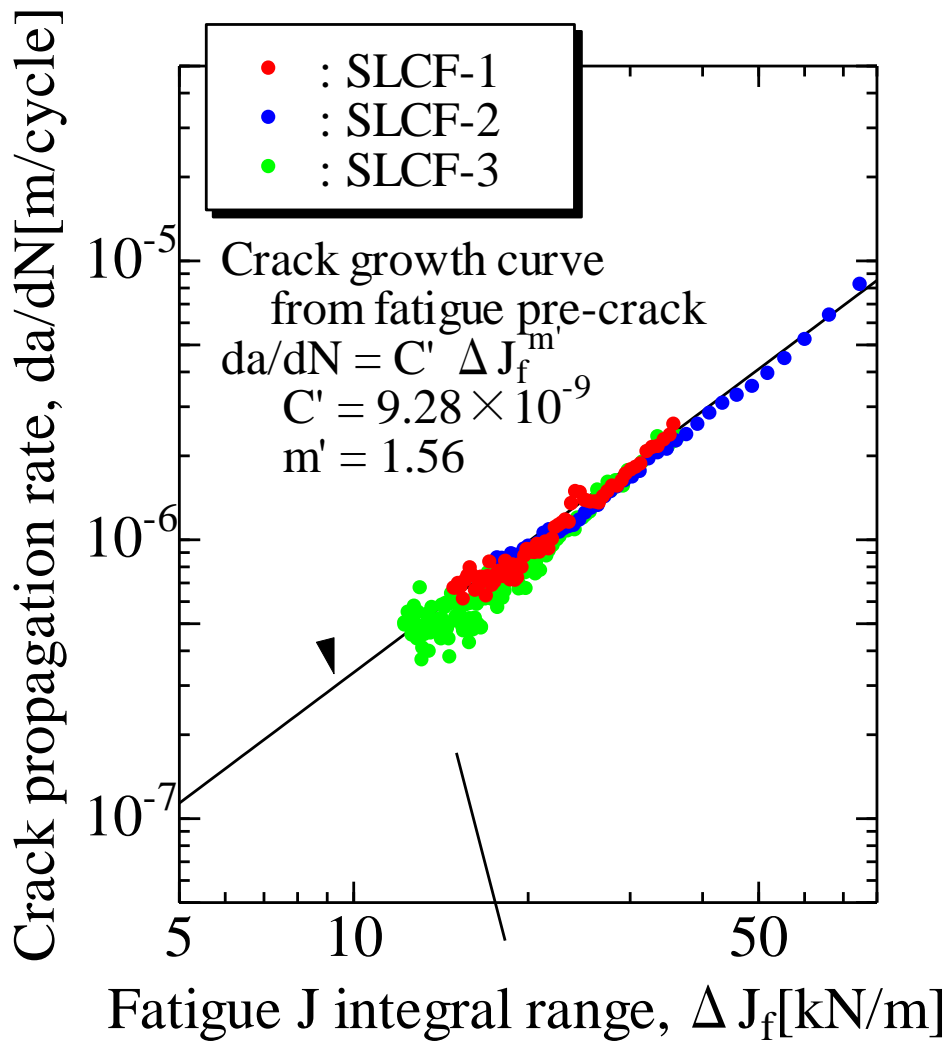
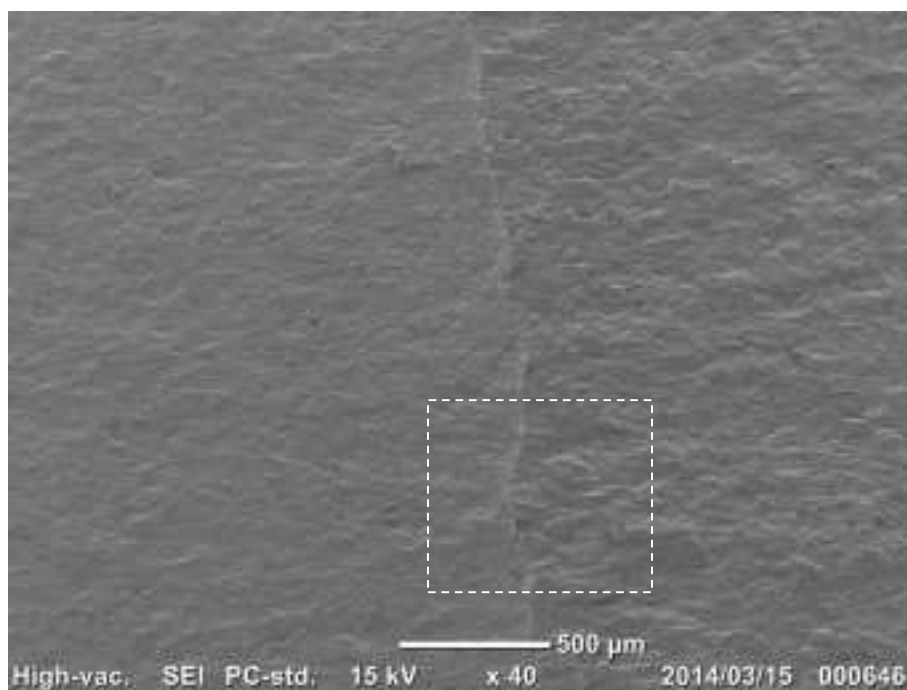


Fig. 3.5 SCC 予き裂からの LCF 進展挙動.

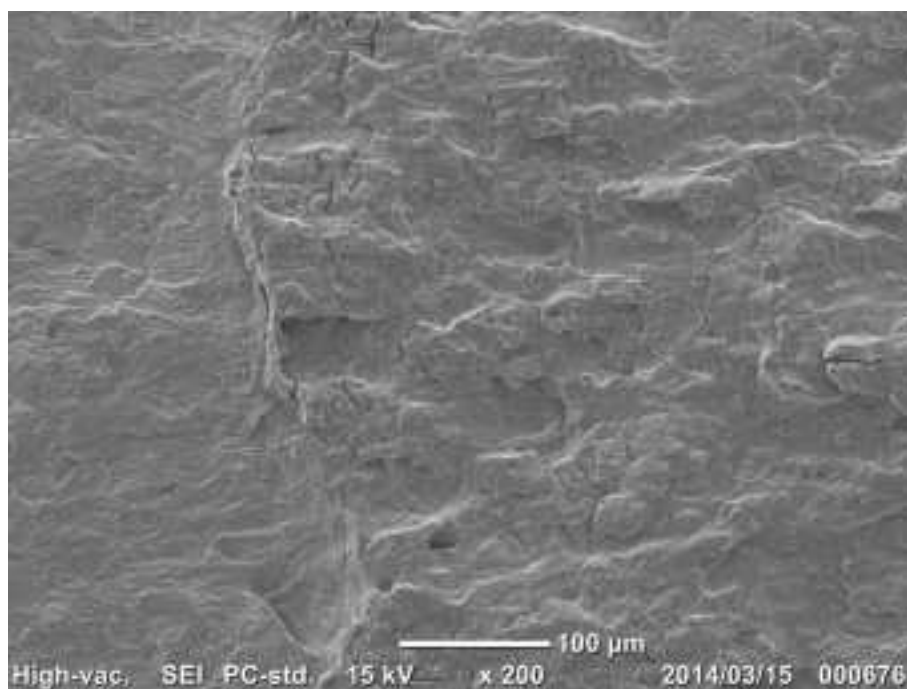
### 3.2. CT 試験片を用いた実験の結果

CT 試験片を用いて、疲労予き裂および SCC 予き裂導入試験後、LCF 試験によりき裂を進展させた破面の代表例を Fig. 3.6 に示す。なお、CT 試験片と同様に、板厚 14mm の状態で疲労予き裂を導入し、SCC 負荷前にコーティングにより試験片表面を保護した状態で SCC 予き裂を導入した後、両表面から 2mm 研削して、LCF 試験に供した。

Fig.3.6 に示すように、CCT 試験片の SCC 予き裂進展試験条件とほぼ同等の負荷条件で SCC 予き裂を導入したにもかかわらず、粒界型き裂進展の様相は全ての試験片で認められなかった。さらに、条件の検討が必要である。



(a) マクロ写真



(b) 破面 ((a)白砕部) 拡大

Fig. 3.6 CT 試験片 (CT-SLCF-1) の LCF 試験後の破面.

### 3.3. 分岐き裂を有するき裂進展シミュレーション

Fig.3.7 に示すような Sub-crack を有する IGSCC き裂をモデル化して、有限要素法により低サイクル疲労条件下でのき裂進展シミュレーションを実施し、sub-crack による主き裂の進展速度の遅延効果について検討した。実験に先立ち、供試材の引張試験および繰り返し負荷試験を実施し、材料特性を取得した。

本研究で実験に供した SUS304 は繰り返し硬化材料であることが知られている。SUS304 は繰り返し負荷により硬化し、応力-ひずみ関係が繰り返し負荷とともに変化する。き裂進展挙動はき裂先端近傍の応力場とひずみ場に影響を受けることから繰り返し硬化に伴いき裂進展挙動が変化することが考えられる。さらに、分岐き裂が負荷を受ける場合、主き裂と副き裂の先端近傍の応力場（ひずみ場）は互いに干渉し、き裂進展挙動に相互作用が生じることが予測されるが、繰り返し硬化によりき裂先端の応力場（ひずみ場）が変化することにより、相互作用も変化し、結果として主き裂の進展挙動に及ぼす分岐き裂の影響度に変化が生じることが考えられる。一方、地震動により部材に負荷される繰り返し負荷は数十サイクルから数百サイクル程度であり、繰り返し硬化により逐次材料特性が変化する状況下でき裂が進展していくこととなる。

そこで、本研究では、FEM 解析にあたり、繰り返し硬化挙動を考慮する場合と考慮しない場合のき裂進展挙動を調査した。すなわち、繰り返し硬化が生じていない場合として単調負荷（引張試験）で得られた材料特性値を用いた解析と、繰り返し硬化が生じた場合として繰り返し負荷時の材料特性値を用いた解析を行った。

#### 3.3.1. 解析モデルと解析方法

解析に用いたモデルは、Fig.3.8 に示すような、実験に用いた中央切欠試験片の評点部の 1/2 モデルとした。初期き裂は Fig.3.7 のき裂形状をモデル化し、Fig.3.8 に示すようなき裂半長  $a = 3.6729\text{mm}$  で主き裂と sub-crack の先端の間隔  $D = 0.0566\text{mm}$ 、主き裂と sub-crack のき裂先端の差（負荷軸と垂直な投影面における差） $\Delta l = 0.011\text{mm}$  として解析した。

本研究では汎用有限要素法コード Abaqus を用いて 3 次元弾塑性解析を行った。Abaqus により、単調負荷条件下で主き裂および sub-crack の先端における経路積分から J 積分値を算出し、得られた J 積分値から次式により疲労 J 積分範囲  $\Delta J_f$  を求めた。

$$\Delta J_f = 4 \times J \quad \text{Eq. 3-2}$$

そして、主き裂および sub-crack の疲労 J 積分範囲  $\Delta J_f$  からそれぞれの進展速度  $da/dN$  を前報の疲労き裂進展試験結果から次式により評価した。

$$da/dN = C (\Delta J_f)^m, \quad C = 1.68 \times 10^{-8}, \quad m = 1.6 \quad \text{Eq. 3-3}$$

得られた進展速度から、主き裂が所定の長さ  $\Delta a$  だけ進展する繰り返し数  $\Delta N$  を評価し、sub-

crack の進展速度に  $\Delta N$  を乗じて sub-crack の進展量を得た。なお、低サイクル疲労条件下のき裂は負荷軸と垂直に進展させた。一方、疲労き裂進展試験と同様に解析においてもき裂開口変位 COD（評点間距離 5mm）を算出しマクロな  $\Delta J_f$  を評価し、得られた進展速度と関連付けた。

以上の解析には繰り返し硬化による影響を検討するため、3.3.2 節で示すように、単調負荷試験から得られた材料特性値と繰り返し負荷試験から得られた材料特性値を用いた。

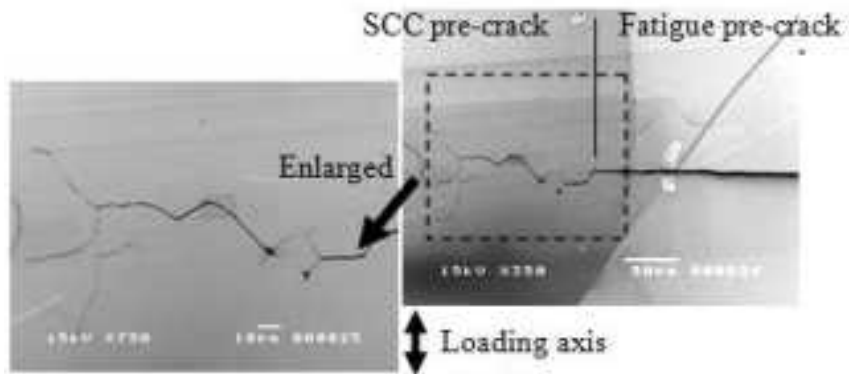


Fig.3.7 試験片に発生した代表的な IGSCC き裂の形状.

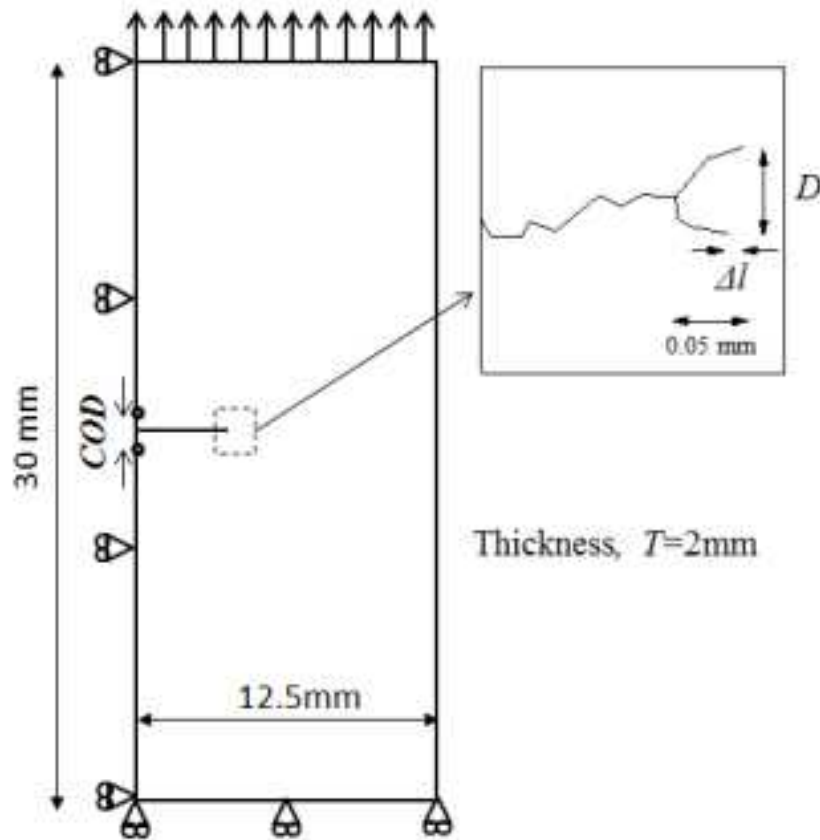


Fig.3.8 解析に用いたモデル.



### 3.3.2. 解析に用いた材料特性

そこで、本研究では、FEM 解析にあたり、繰り返し硬化挙動を考慮する場合と考慮しない場合のき裂進展挙動を調査した。すなわち、繰り返し硬化が生じていない場合として単調負荷（引張試験）で得られた材料特性値を用いた解析と、繰り返し硬化が生じた場合として繰り返し負荷時の材料特性値を用いた解析を行った。

繰り返し負荷試験は、 $\Delta \varepsilon = 0.3\%$ 、 $\Delta \varepsilon = 0.5\%$ 、 $\Delta \varepsilon = 0.5\%$ の条件で実施した。なお、各ひずみ範囲条件で所定の繰り返し負荷を加えピーク応力がほぼ飽和した時点で試験を中断し、その後、同一試験片を用いてひずみ範囲を増加させて材料特性を得た。また、 $\Delta \varepsilon = 1.03\%$ 以上の条件でも繰り返し負荷試験を実施したが、負荷中に試験片が座靴してしまったため、データの取得には至らなかった。

代表的な繰り返し負荷中のヒステリシスループを Fig. 3.9 から Fig. 3.11 に示す。弾塑性変形を伴ったヒステリシスループを描き、また、繰り返し硬化している様子がうかがえる。

Fig. 3.12 および Fig. 3.13 に繰り返し負荷中のピーク応力の変化挙動を示す。いずれの試験片、いずれの条件においても負荷開始直後 100cycle 程度までにピーク応力は飽和している。

ピーク応力が飽和した後の応力範囲  $\Delta \sigma$  とひずみ範囲  $\Delta \varepsilon$  より、 $\Delta \sigma / 2 - \Delta \varepsilon / 2$  関係を得た。引張試験の応力-ひずみ関係と比較して、Fig. 3.14 に示す。図より、降伏応力を超えた塑性域の応力-ひずみ関係を比較すると、繰り返し硬化後の応力-ひずみ関係は単調負荷下のそれに比べて著しい加工硬化が生じている。

Fig. 3.14 の応力-ひずみ関係から真応力-真ひずみ関係を得た。その結果を Fig. 3.15 に示す。図中の繰り返し負荷後の応力-ひずみ関係は、 $\Delta \sigma / 2 - \Delta \varepsilon / 2$  を真応力換算して得ている。また、引張試験および繰り返し試験後の試験片に最大応力（引張強さ）まで単調引張負荷を与え、そのときの応力とひずみの関係も図中には併記した。図より、ひずみが小さい領域では、繰り返し硬化後と単調負荷時の応力-ひずみ関係は異なっている。しかし、ひずみが大きくなるにつれその差は小さくなり、最大応力負荷時にはその際は小さくなっている。なお、繰り返し負荷後の試験片は繰り返し硬化したため、最大応力時のひずみが単調負荷に比べ小さくなっていた。

本研究では、Fig. 3.15 の真応力-真ひずみ曲線を Fig. 3.16 のように多直線近似して、FEM 解析を行った。

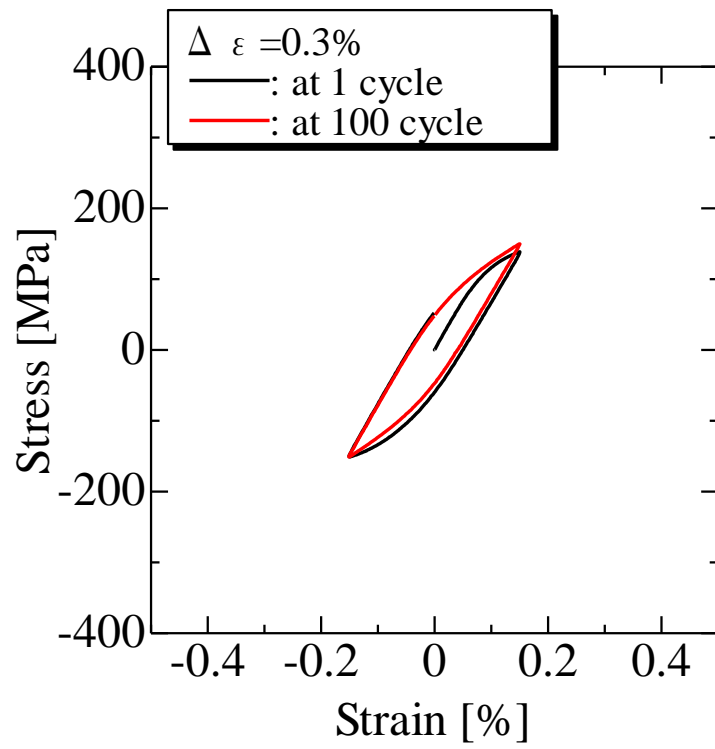


Fig. 3.9 繰り返し負荷中のヒステリシスループ ; CYC-1,  $\Delta \varepsilon = 0.3\%$

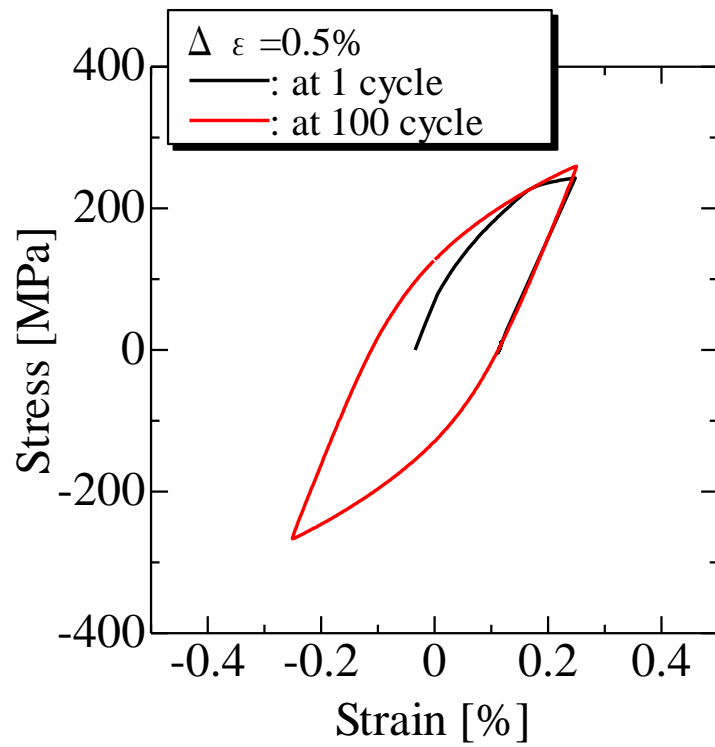


Fig. 3.10 繰り返し負荷中のヒステリシスループ ; CYC-1,  $\Delta \varepsilon = 0.5\%$

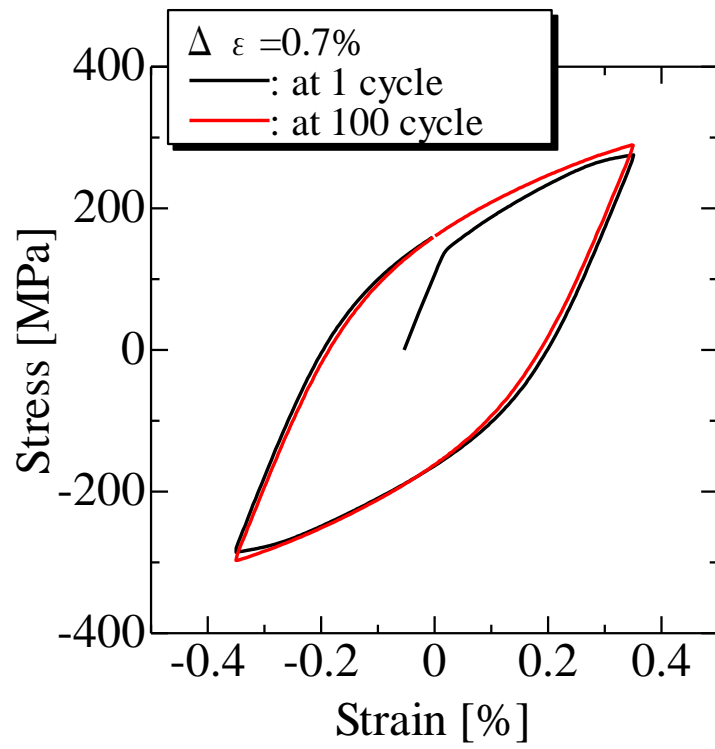


Fig. 3.11 繰り返し負荷中のヒステリシスループ ; CYC-1,  $\Delta \varepsilon = 0.7\%$

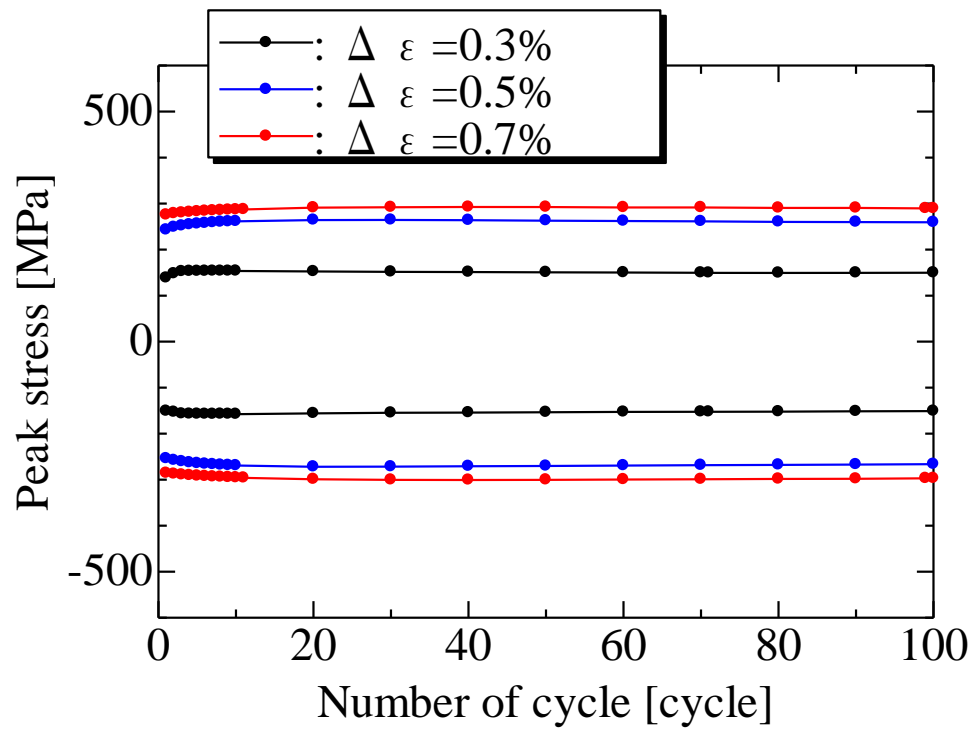


Fig. 3.12 繰り返し負荷中のピーク応力の変化 ; CYC-1

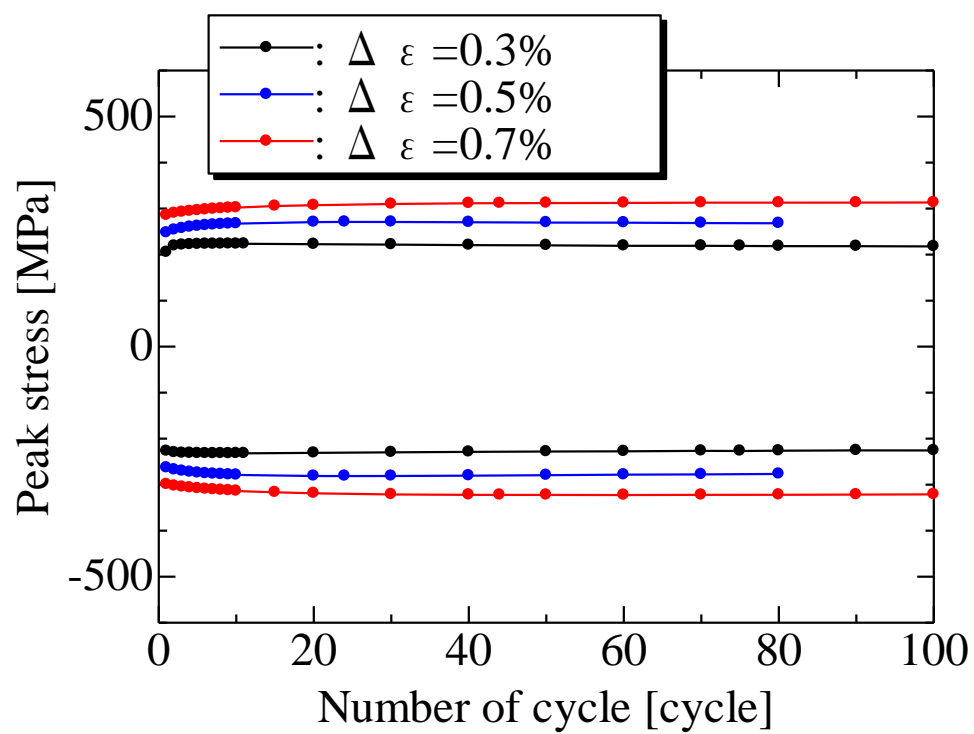


Fig. 3.13 繰り返し負荷中のピーク応力の変化 ; CYC-21

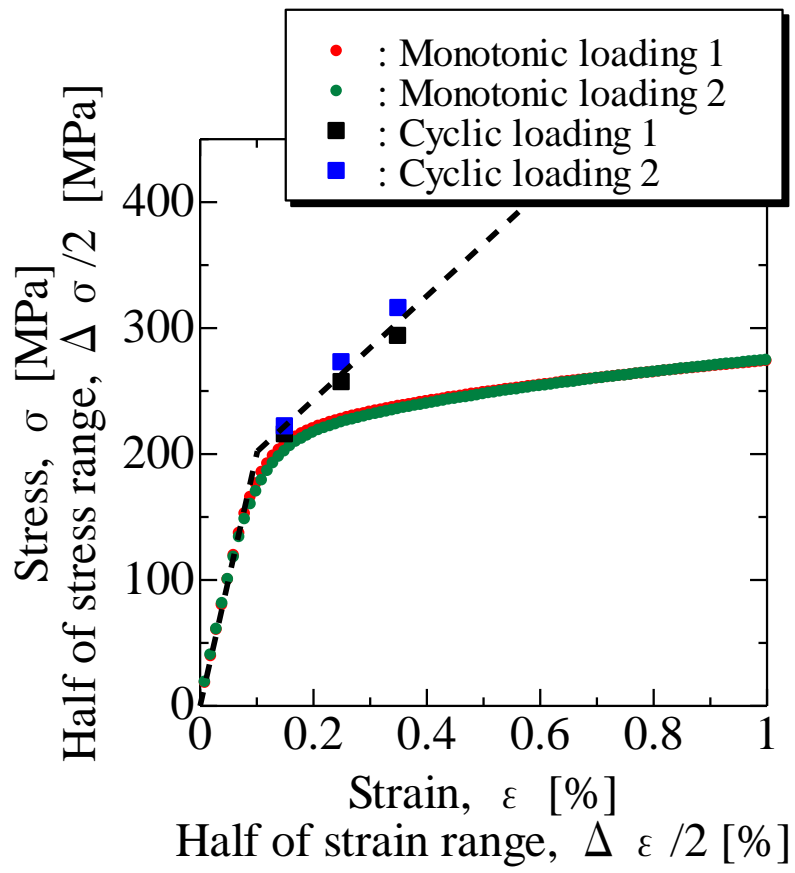


Fig. 3.13 繰り返し負荷中のピーク応力の変化 ; CYC-1

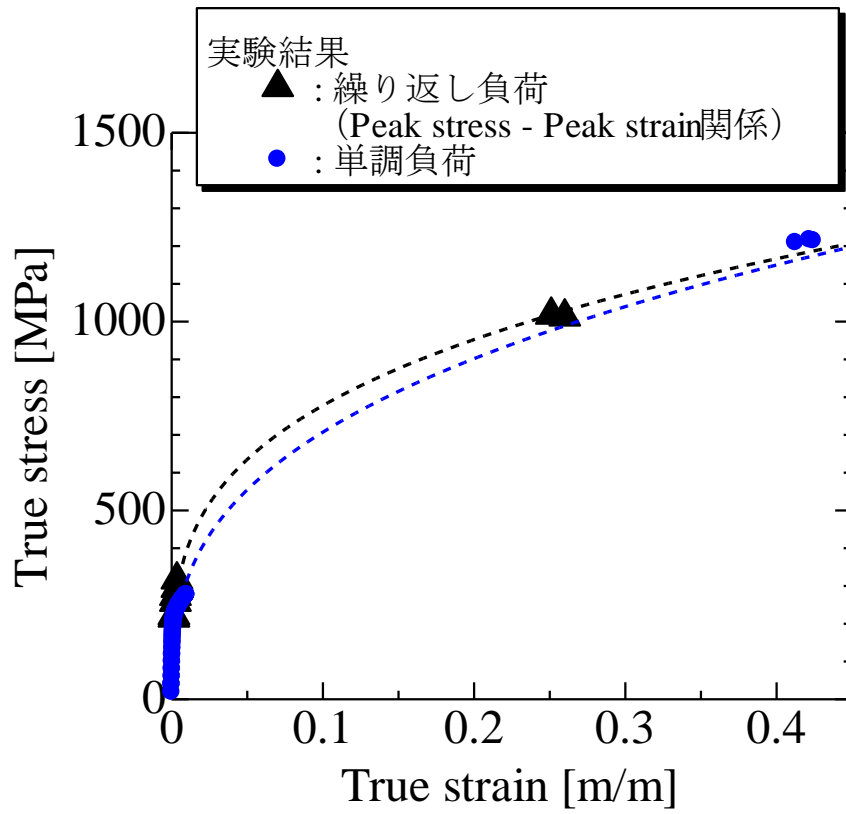


Fig. 3.14 単調負荷および栗消し負荷下の真応力-真ひずみ関係



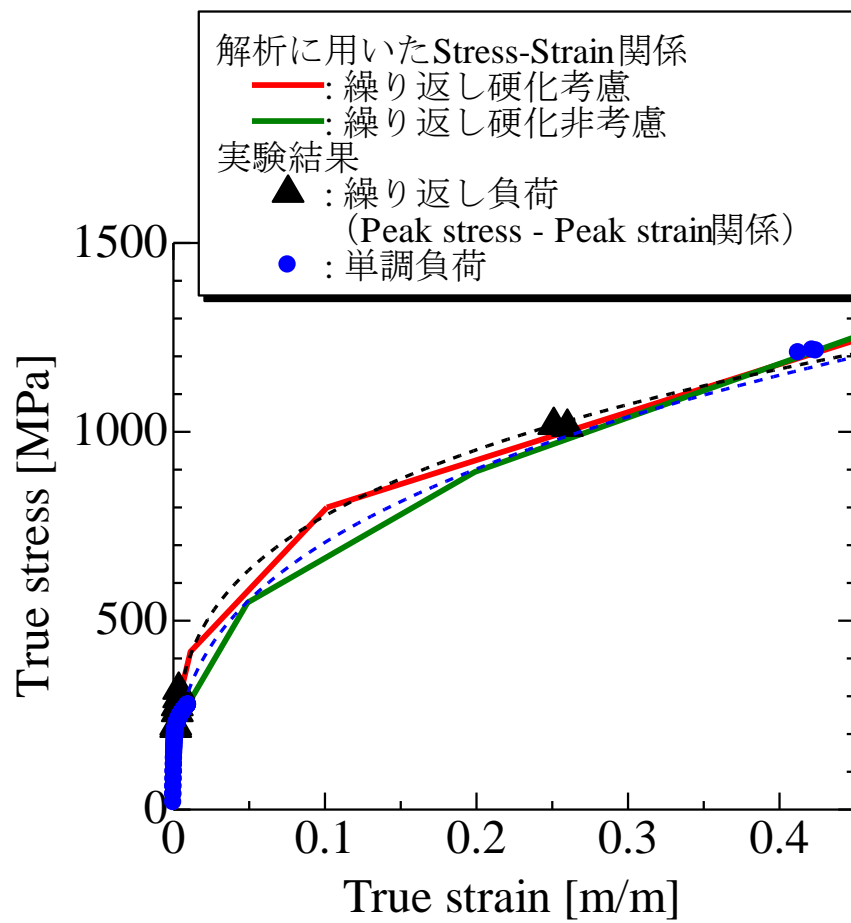


Fig. 3.15 解析に用いた真応力-真ひずみ関係

### 3.3.3. 解析結果

応力範囲  $\Delta \sigma = 270 \text{MPa}$  の条件下のき裂進展シミュレーション結果を Fig. 3.16 に示す。図中には、繰返し硬化を考慮した応力-ひずみ関係と、非考慮の単調負荷下の応力-ひずみ関係を用いた解析結果を併記した。Fig. 3.16 より、繰返し硬化の考慮・非考慮に関わらず、き裂進展開始直後の主き裂は、分岐き裂を有しないき裂進展速度に比べ優位に低下しており、き裂進展の遅延挙動が認められる。さらに、分岐き裂による主き裂の遅延効果には繰返し硬化の影響が認められ、繰返し硬化を考慮した場合は、非考慮の場合と比べて遅延効果が高くなっている。通常、地震動は数十サイクルから数百サイクルであるが、Fig. 3.13 に示したように、SUS304 鋼では、おおよそ百サイクル程度まで繰返し硬化により応力-ひずみ関係は負荷の繰返しとともに変化する。従って、実機でき裂を内在する配管等が地震動を受ける際は、繰返し硬化により逐次変化する応力-ひずみ関係を考慮した解析を行うことが、き裂進展シミュレーションの高度化に不可欠であることが示唆される。

FEM 解析により得られたき裂先端のひずみ分布の影響を Fig. 3.17 および Fig. 3.18 に示す。き裂先端のひずみ分布を詳細に比較すると、繰返し硬化を考慮しない場合に比べて、繰返し硬化を考慮した場合は、分岐き裂の先端の変形が大きい。すなわち、繰返し硬化した場合、繰返し硬化しない場合に比べ、分岐き裂の開口が大きく、分岐き裂の進展にエネルギーを消費していることが考えられる。そのため、主き裂の進展を駆動するエネルギーが減少するため、繰返し硬化を考慮した場合の主き裂の進展が非考慮に比べて遅延するものと考えられる。

分岐き裂を有するき裂の進展挙動に及ぼす負荷応力の影響を Fig. 3.19 に示す。なお、Fig. 3.19 の結果は、繰返し硬化を考慮した応力-ひずみ関係を用いて解析した結果である。Fig. 3.19 より、き裂の進展挙動および遅延挙動には負荷応力の影響は認められない。

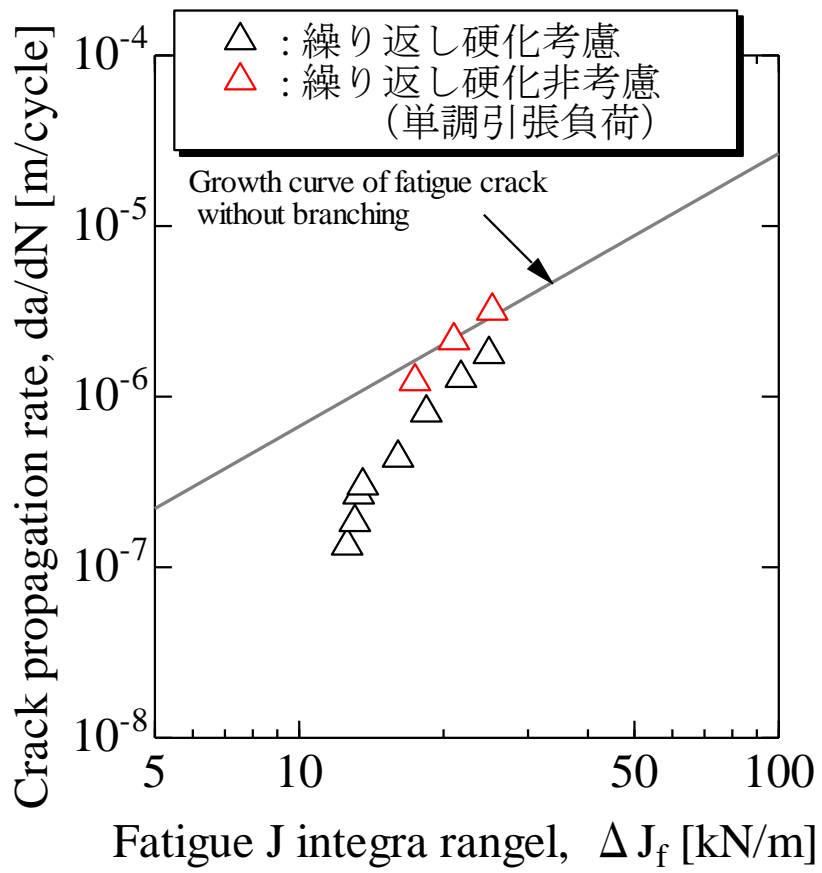
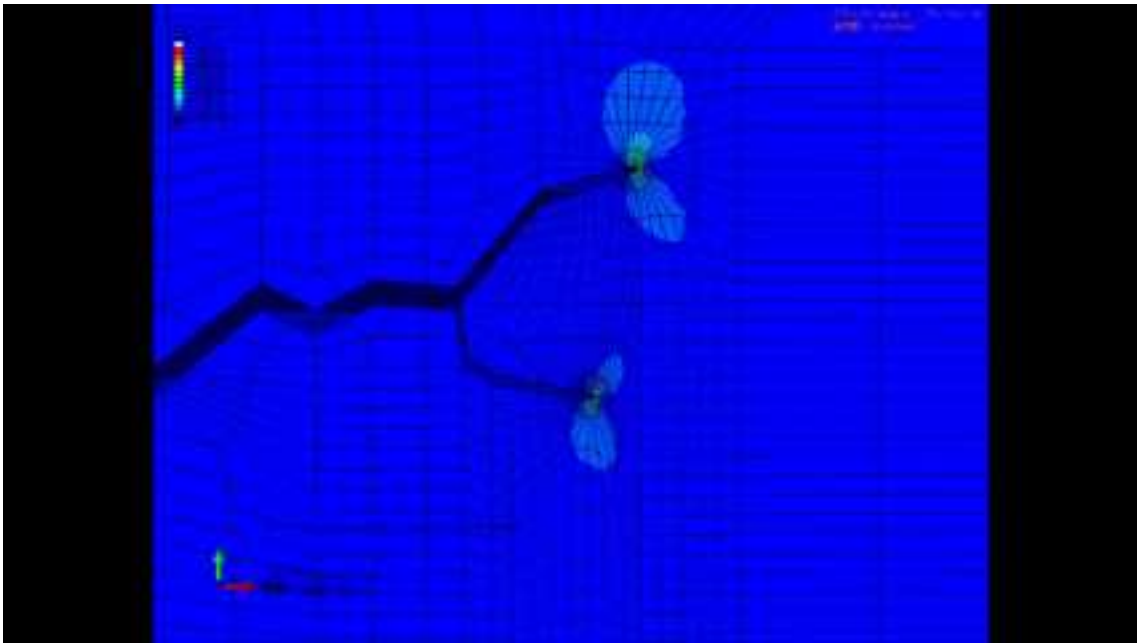
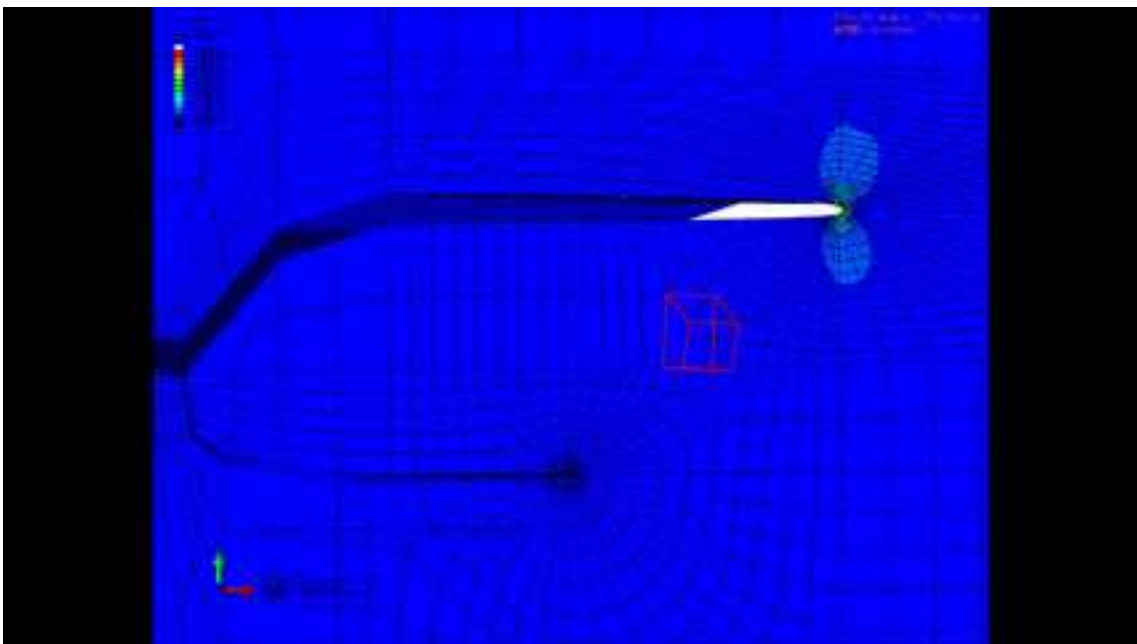


Fig. 3.16 き裂進展シミュレーション結果とそれに及ぼす繰り返し硬化の影響.

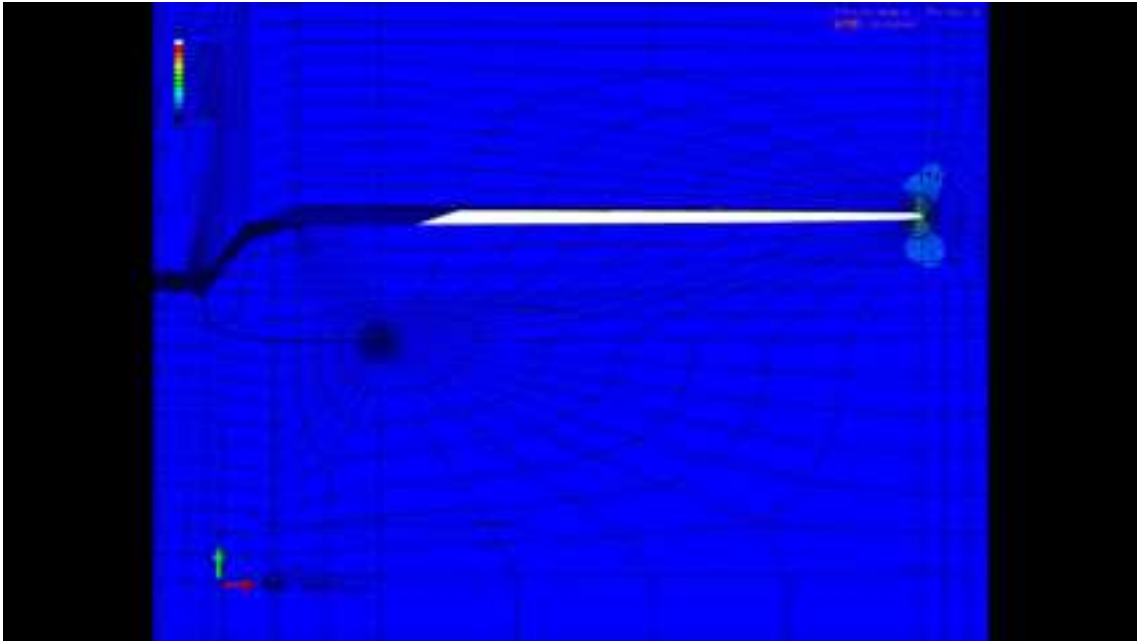


(a)  $a = 3.67$



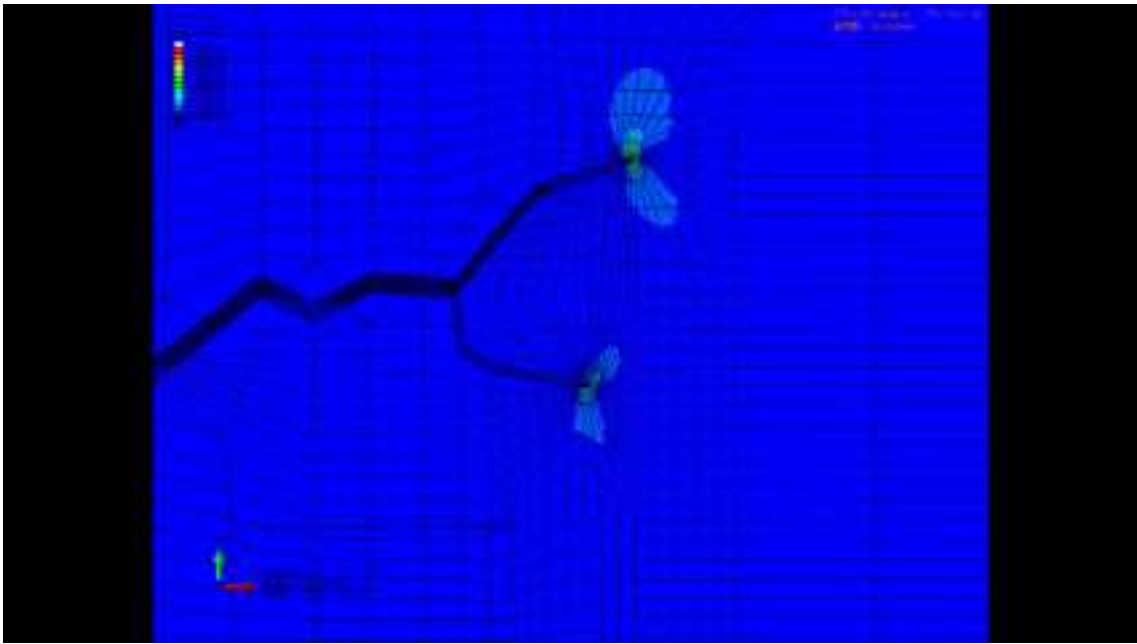
(b)  $a = 3.72 \text{ mm}$

Fig. 3.17 繰り返し硬化を考慮しない場合のき裂先端近傍のひずみ分布 (つづく).

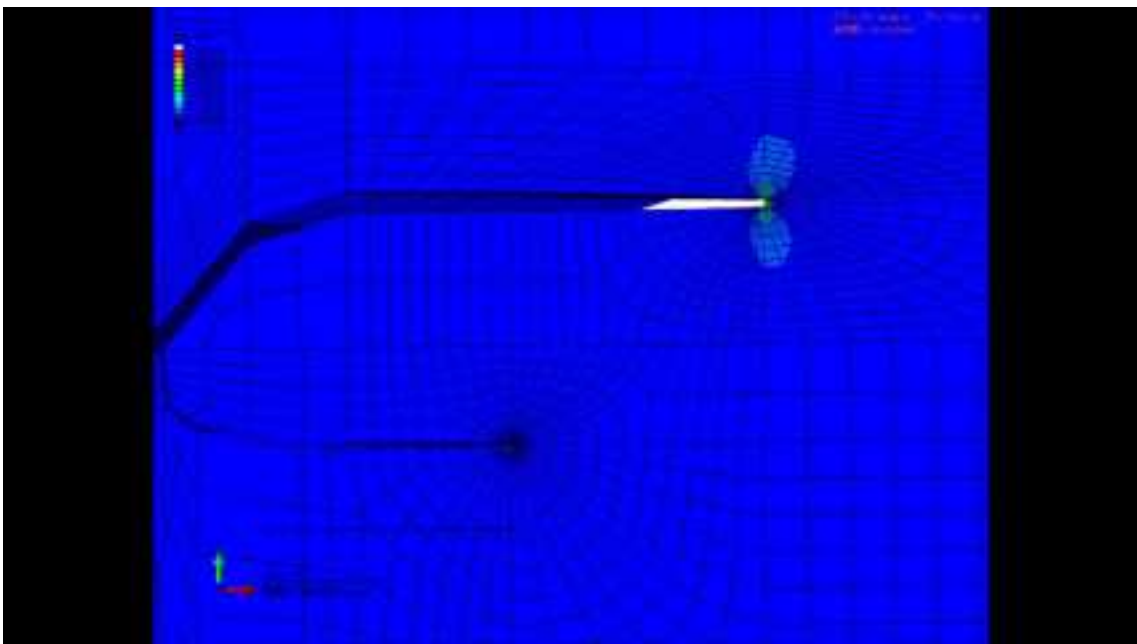


(c)  $a = 3.77 \text{ mm}$

Fig. 3.17 繰り返し硬化を考慮しない場合のき裂先端近傍のひずみ分布.

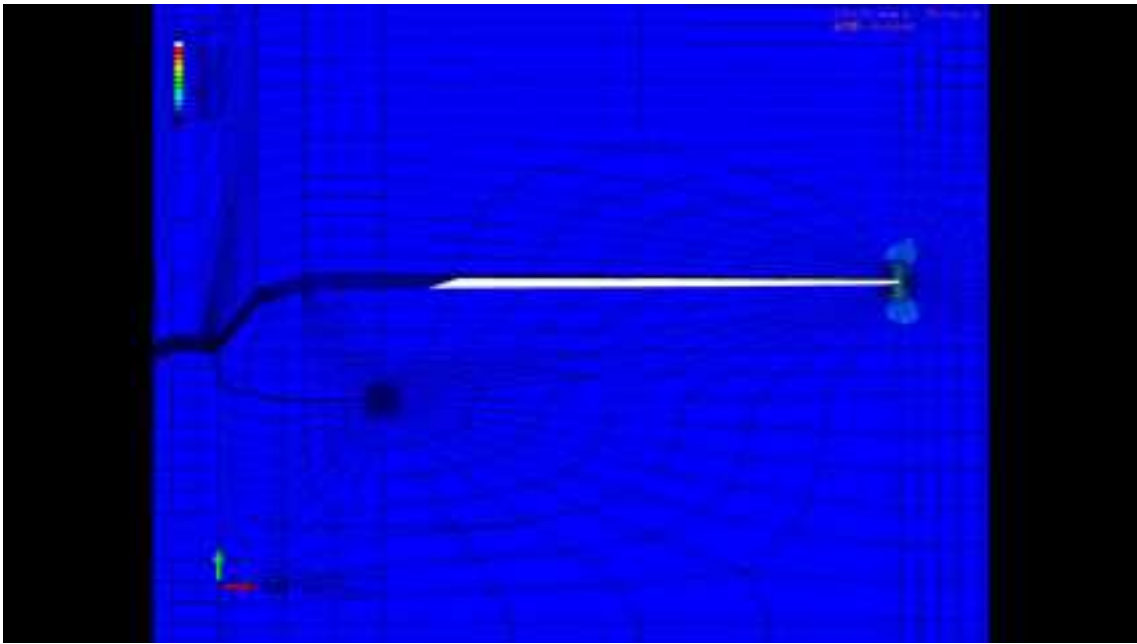


(a)  $a = 3.67$  mm



(b)  $a = 3.72$  mm

Fig. 3.18 繰返し硬化を考慮した場合のき裂先端近傍のひずみ分布 (つづき).



(c)  $a = 3.77 \text{ mm}$

Fig. 3.18 繰返し硬化を考慮した場合のき裂先端近傍のひずみ分布.

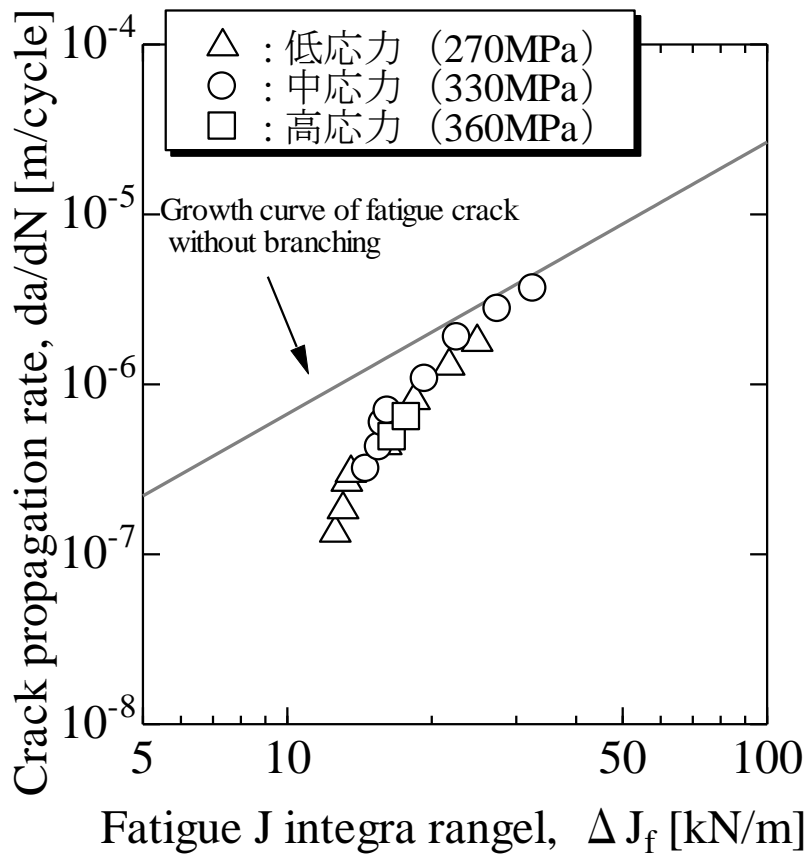


Fig. 3.19 分岐き裂を有するき裂の進展挙動に及ぼす負荷応力の影響.



#### 4. まとめ

研究では一部沸騰水型原子力発電所で応力腐食割れ（以下、「SCC」という。）によるき裂の存在が確認された原子炉再循環系配管を念頭に、大地震による荷重条件が作用された場合のき裂進展評価手法の妥当性を確認し、その高度化を図ることを目的として、オーステナイト系ステンレス鋼 SUS304 を対象にして、応力腐食割れにより発生した IGSCC き裂が低サイクル疲労負荷を受けた際のき裂進展挙動を調査した。

得られた結果を総括して以下に示す。

- 1) FEM 解析の結果より、副き裂を有する主き裂の進展速度は、副き裂のないき裂のものに比べて低下することが確認された。さらに、その後のき裂進展に伴い副き裂の影響は減少し、副き裂を有する主き裂の進展速度は副き裂の無いき裂の結果に漸近した。
- 2) SCC 予き裂からの低サイクル疲労試験を実施し、疲労予き裂からの低サイクル疲労試験の結果と比較検討した。その結果、SCC 予き裂からの低サイクル疲労き裂進展速度と、疲労予き裂からの低サイクル疲労き裂進展速度では大きな差は見られなかった。これは、き裂長さ測定制限から測定できなかった試験開始後 200 サイクル程度までに、副き裂の影響域を脱していたためであった。
- 3) 前項 2)については、中央切り欠き試験片に加えて CT 試験片においても同様の検討を行った。
- 4) き裂進展シミュレーションの結果、繰返し硬化を考慮した場合と考慮しない場合のき裂進展挙動を比較すると、繰返し硬化を考慮した場合の主き裂は、非考慮の場合に比べて副き裂の影響度が異なり、遅延が持続した。この結果は、き裂進展予測手法を高度化するためには、材料の繰返し硬化を考慮する必要があることを示唆している。

## 参考文献

- [1] 日本溶接協会 FCC 小委員会, 高速炉構造材料のクリープ疲労き裂伝播に関する試験研究 (I) ~ (IV), (1984-1987)

付録 実験データ総括

収録データリスト

No.	試験片の呼称	試験条件
1	LCF-1	疲労予き裂からの LCF き裂進展試験
2	LCF-2	
3	LCF-3	
4	SLCF-1	SCC 予き裂からの LCF き裂進展試験
5	SLCF-2	
6	SLCF-3	
7	MT-1	単調負荷による引張試験
8	MT-2	
9	CYC-1	繰り返し負荷試験
10	CYC-2	
11		単調負荷下のき裂進展シミュレーション結果
12		繰り返し負荷を考慮したき裂進展シミュレーション結果

No. 1 LCF-1

N [cycle]	da/dN [m/cycle]	$\Delta J_f$ [kN/m]
250	8.270E-07	15.66
280	9.230E-07	15.90
310	8.560E-07	16.18
340	7.060E-07	16.46
370	7.640E-07	16.74
400	8.270E-07	17.03
430	8.120E-07	17.23
460	8.610E-07	17.47
490	8.930E-07	17.79
520	8.220E-07	18.04
550	8.080E-07	18.30
580	8.510E-07	18.59
610	9.340E-07	18.83
640	9.350E-07	19.09
670	7.540E-07	19.40
700	6.230E-06	19.57
740	1.300E-06	20.34
770	1.130E-06	20.76
800	1.070E-06	21.21
830	1.190E-06	21.65
860	1.160E-06	22.11
890	1.170E-06	22.50
920	1.240E-06	22.92
950	1.300E-06	23.44
980	1.310E-06	23.94
1010	1.190E-06	24.28
1040	1.160E-06	24.53
1070	1.280E-06	24.90
1100	1.330E-06	25.35
1130	1.410E-06	25.76
1160	1.530E-06	26.21
1190	1.510E-06	26.70
1220	1.470E-06	27.16
1250	1.530E-06	27.65

1280	1.610E-06	28.12
1310	1.640E-06	28.66
1340	1.630E-06	29.24
1370	1.720E-06	29.79
1400	1.840E-06	30.44
1430	1.750E-06	31.05
1460	1.770E-06	31.62
1490	1.960E-06	32.29
1520	2.020E-06	32.99
1550	2.070E-06	33.72
1580	2.180E-06	34.50
1610	2.240E-06	35.41
1640	2.290E-06	36.23
1670	2.320E-06	36.99
1700	2.380E-06	37.83
1730	2.460E-06	38.73
1760	2.550E-06	39.89
1790	2.690E-06	41.09
1820	2.850E-06	42.20
1850	2.910E-06	43.36
1880	3.110E-06	44.72
1910	3.480E-06	46.26
1940	3.720E-06	47.99
1970	3.950E-06	50.09
2000	3.330E-06	51.56

No. 2 LCF-2

N [cycle]	da/dN [m/cycle]	$\Delta J_f$ [kN/m]
250	5.120E-07	12.90
260	5.230E-07	13.20
270	4.480E-07	13.30
280	4.470E-07	13.50
290	5.370E-07	13.60
300	5.630E-07	13.70
310	5.120E-07	13.90
320	5.390E-07	14.20
330	6.030E-07	14.40
340	6.030E-07	14.70
350	5.750E-07	14.90
360	6.330E-07	15.20
370	6.250E-07	15.50
380	6.640E-07	15.70
390	7.100E-07	16.00
400	6.590E-07	16.30
410	7.180E-07	16.60
420	7.640E-07	16.90
430	7.530E-07	17.10
440	6.880E-07	17.40
450	7.630E-07	17.90
460	8.930E-07	18.30
470	9.450E-07	18.70
480	9.250E-07	19.10
490	8.650E-07	19.60
500	9.040E-07	20.00
510	9.460E-07	20.60
520	1.060E-06	21.10
530	1.120E-06	21.70
540	1.130E-06	22.50
550	1.250E-06	23.10
560	1.360E-06	23.90
570	1.320E-06	24.70
580	1.230E-06	25.10

590	1.210E-06	24.02
600	1.270E-06	24.31
610	1.370E-06	24.61
620	1.390E-06	25.02
630	1.340E-06	25.34
640	1.410E-06	25.71
650	1.390E-06	26.20
660	1.450E-06	26.57
670	1.500E-06	26.85
680	1.480E-06	27.21
690	1.410E-06	27.58
700	1.430E-06	28.00
710	1.650E-06	28.42
720	1.730E-06	28.79
730	1.760E-06	29.24
740	1.810E-06	29.72
750	1.840E-06	30.21
760	1.820E-06	30.78
770	1.970E-06	31.40
780	2.120E-06	32.04
790	1.960E-06	32.72
800	2.040E-06	33.33
810	2.160E-06	34.03
820	2.170E-06	34.81
830	2.340E-06	35.50
840	2.460E-06	36.07
850	2.490E-06	36.84
860	2.530E-06	38.02
870	2.700E-06	39.11
880	2.900E-06	40.00
890	3.030E-06	41.10
900	3.060E-06	42.32
910	3.230E-06	43.57
920	2.780E-06	45.00
930	3.110E-06	45.79

No. 3 LCF-3

N [cycle]	da/dN [m/cycle]	$\Delta J_f$ [kN/m]
N	da/dN	$\Delta J_f$ [kN/m]
250	5.930E-07	14.30
260	6.630E-07	14.60
270	6.630E-07	14.90
280	6.320E-07	15.10
290	6.960E-07	15.30
300	6.870E-07	15.60
310	7.310E-07	15.80
320	7.810E-07	16.10
330	7.250E-07	16.50
340	7.890E-07	16.80
350	8.400E-07	17.00
360	8.280E-07	17.20
370	7.570E-07	17.60
380	8.400E-07	18.10
390	9.820E-07	18.50
400	1.040E-06	18.90
410	1.020E-06	19.30
420	9.520E-07	19.80
430	9.940E-07	20.30
440	1.040E-06	20.80
450	1.160E-06	21.30
460	1.240E-06	22.00
470	1.240E-06	22.70
480	1.370E-06	23.40
490	1.490E-06	24.10
500	1.450E-06	24.90
510	1.350E-06	25.40
520	1.410E-06	23.54
530	1.440E-06	23.93
540	1.230E-06	24.24
550	1.230E-06	24.55
560	1.480E-06	24.74
570	1.550E-06	24.91



580	1.410E-06	25.26
590	1.480E-06	25.74
600	1.660E-06	26.23
610	1.660E-06	26.74
620	1.580E-06	27.14
630	1.740E-06	27.59
640	1.720E-06	28.09
650	1.830E-06	28.50
660	1.950E-06	29.05
670	1.810E-06	29.63
680	1.970E-06	30.18
690	2.100E-06	30.69
700	2.070E-06	31.05
710	1.890E-06	31.63
720	2.100E-06	32.49
730	2.450E-06	33.28
740	2.600E-06	33.96
750	2.540E-06	34.79
760	2.380E-06	35.62
770	2.490E-06	36.45
780	2.600E-06	37.38
790	2.910E-06	38.38
800	3.090E-06	39.52
810	3.100E-06	40.84
820	3.420E-06	42.06
830	3.730E-06	43.38
840	3.620E-06	44.84
850	3.390E-06	45.69

## No. 4 SLCF-1

N [cycle]	da/dN [m/cycle]	$\Delta J_f$ [kN/m]
370	6.680E-07	14.95
400	6.670E-07	15.08
430	6.930E-07	15.20
460	6.740E-07	15.36
490	6.100E-07	15.51
520	7.120E-07	15.65
550	7.380E-07	15.79
580	7.890E-07	15.93
610	7.410E-07	16.10
640	6.560E-07	16.27
670	6.650E-07	16.43
700	6.880E-07	16.53
730	7.300E-07	16.65
760	7.140E-07	16.82
790	6.260E-07	16.99
820	7.340E-07	17.10
850	8.280E-07	17.23
880	6.830E-07	17.39
910	7.010E-07	17.57
940	7.510E-07	17.73
970	7.670E-07	17.88
1000	7.370E-07	18.03
1030	7.340E-07	18.17
1060	8.330E-07	18.35
1090	7.540E-07	18.51
1120	7.140E-07	18.70
1150	8.080E-07	18.90
1180	7.120E-07	19.07
1210	7.260E-07	19.23
1240	8.080E-07	19.38
1270	7.920E-07	19.58
1300	8.700E-07	19.80
1330	9.180E-07	19.97
1360	9.150E-07	20.18

1390	8.990E-07	20.40
1420	8.950E-07	20.60
1450	9.570E-07	20.82
1480	8.990E-07	21.02
1510	9.200E-07	21.25
1540	9.760E-07	21.51
1570	9.230E-07	21.79
1600	1.000E-06	22.10
1630	1.100E-06	22.35
1660	1.120E-06	22.64
1690	1.140E-06	22.94
1720	1.170E-06	23.28
1750	1.150E-06	23.62
1780	2.980E-06	23.87
1840	1.340E-06	23.83
1870	1.480E-06	24.22
1900	1.470E-06	24.66
1930	1.380E-06	25.11
1960	1.370E-06	25.39
1990	1.360E-06	25.74
2020	1.360E-06	26.21
2050	1.350E-06	26.62
2080	1.420E-06	27.05
2110	1.480E-06	27.53
2140	1.550E-06	28.05
2170	1.550E-06	28.63
2200	1.620E-06	29.15
2230	1.710E-06	29.60
2260	1.770E-06	30.19
2290	1.810E-06	30.79
2320	1.860E-06	31.40
2350	2.060E-06	32.17
2380	2.130E-06	32.88
2410	2.150E-06	33.63
2440	2.270E-06	34.45
2470	2.360E-06	35.28

2500	2.580E-06	35.79
------	-----------	-------

No. 5 SLCF-2

N [cycle]	da/dN [m/cycle]	$\Delta J_f$ [kN/m]
310	8.570E-07	17.75
340	8.530E-07	18.09
370	8.370E-07	18.42
400	8.860E-07	18.77
430	8.750E-07	19.14
460	8.650E-07	19.45
490	9.210E-07	19.74
520	9.430E-07	20.10
550	9.200E-07	20.50
580	9.680E-07	20.93
610	1.050E-06	21.36
640	1.080E-06	21.83
670	1.080E-06	22.33
700	1.060E-06	22.75
730	1.090E-06	23.16
760	1.110E-06	23.62
790	1.120E-06	24.08
820	1.170E-06	24.62
850	1.240E-06	25.20
880	1.290E-06	25.79
910	1.320E-06	26.49
940	1.420E-06	27.22
970	1.480E-06	27.87
1000	1.540E-06	28.61
1030	1.620E-06	29.47
1060	1.670E-06	30.35
1090	1.750E-06	31.32
1120	1.940E-06	32.42
1150	2.040E-06	33.61
1180	2.100E-06	34.86
1210	2.250E-06	36.16
1240	2.370E-06	37.68
1270	2.580E-06	39.39
1300	2.830E-06	41.28

1330	3.070E-06	43.48
1360	3.280E-06	46.04
1390	3.530E-06	48.92
1420	3.930E-06	52.02
1450	4.440E-06	55.64
1480	5.200E-06	60.30
1510	6.360E-06	66.41
1540	8.200E-06	75.03
1570	1.130E-05	89.10
1600	3.690E-06	116.49

No. 6 SLCF-3

N [cycle]	da/dN [m/cycle]	$\Delta J_f$ [kN/m]
260	4.920E-07	12.29
280	5.010E-07	12.29
300	4.890E-07	12.48
320	5.470E-07	12.45
340	4.580E-07	12.70
360	4.530E-07	12.65
380	5.220E-07	12.71
400	5.750E-07	12.77
420	5.360E-07	12.80
440	4.390E-07	12.91
460	5.470E-07	12.97
480	6.690E-07	13.07
500	4.870E-07	13.11
520	3.690E-07	13.16
540	4.070E-07	13.20
560	4.550E-07	13.29
580	4.660E-07	13.42
600	5.320E-07	13.43
620	5.390E-07	13.48
640	3.960E-07	13.53
660	4.610E-07	13.62
680	5.680E-07	13.69
700	4.970E-07	13.78
720	4.730E-07	13.79
740	4.920E-07	13.89
760	5.110E-07	13.90
780	5.020E-07	14.01
800	4.850E-07	14.08
820	5.170E-07	14.12
840	4.390E-07	14.21
860	5.190E-07	14.25
880	5.790E-07	14.25
900	5.680E-07	14.41
920	5.880E-07	14.47

940	4.770E-07	14.55
960	3.780E-07	14.69
980	4.390E-07	14.65
1000	5.860E-07	14.74
1020	6.370E-07	14.79
1040	5.920E-07	14.92
1060	5.090E-07	14.98
1080	5.180E-07	15.02
1100	5.280E-07	15.07
1120	5.330E-07	15.22
1140	5.400E-07	15.29
1160	5.180E-07	15.36
1180	4.830E-07	15.48
1200	4.690E-07	15.51
1220	5.870E-07	15.55
1240	5.820E-07	15.70
1260	4.640E-07	15.83
1280	4.250E-07	15.89
1300	5.180E-07	15.90
1320	5.890E-07	15.92
1340	5.890E-07	15.99
1360	6.050E-07	16.12
1380	4.730E-07	16.14
1400	5.210E-07	16.25
1420	5.840E-07	16.39
1440	4.960E-07	16.44
1460	6.030E-07	16.54
1480	6.180E-07	16.57
1500	4.800E-07	16.64
1520	4.830E-07	16.67
1540	6.290E-07	16.82
1560	6.100E-07	16.93
1580	6.780E-07	17.12
1600	7.590E-07	17.14
1620	6.680E-07	17.28
1640	6.290E-07	17.34



1660	6.080E-07	17.40
1680	6.410E-07	17.58
1700	6.610E-07	17.59
1720	5.690E-07	17.78
1740	6.560E-07	17.91
1760	7.110E-07	17.96
1780	6.140E-07	18.14
1800	6.820E-07	18.25
1820	6.510E-07	18.30
1840	7.220E-07	18.32
1860	7.660E-07	18.47
1880	7.730E-07	18.72
1900	8.460E-07	18.75
1920	7.560E-07	18.95
1940	7.250E-07	19.17
1960	6.890E-07	19.37
1980	6.630E-07	19.35
2000	6.660E-07	19.48
2020	7.780E-07	19.73
2040	7.790E-07	19.58
2060	6.650E-07	19.89
2080	7.580E-07	19.85
2100	8.080E-07	20.04
2120	7.890E-07	20.24
2140	7.880E-07	20.35
2160	8.250E-07	20.40
2180	7.500E-07	20.67
2200	8.240E-07	20.74
2220	9.190E-07	20.90
2240	7.720E-07	21.07
2260	8.930E-07	21.23
2280	9.650E-07	21.46
2300	8.710E-07	21.61
2320	9.070E-07	21.82
2340	9.560E-07	21.95
2360	9.490E-07	22.15

2380	1.000E-06	22.31
2400	9.940E-07	22.53
2420	1.020E-06	22.77
2440	1.130E-06	22.97
2460	1.120E-06	23.30
2480	1.070E-06	23.49
2500	1.100E-06	23.79
2520	1.090E-06	23.90
2540	1.080E-06	24.17
2560	1.190E-06	24.42
2580	1.190E-06	24.66
2600	1.190E-06	24.96
2620	1.220E-06	25.27
2640	1.250E-06	25.66
2660	1.370E-06	25.92
2680	1.390E-06	26.30
2700	1.500E-06	26.45
2720	1.480E-06	26.76
2740	1.460E-06	27.30
2760	1.600E-06	27.57
2780	1.490E-06	27.95
2800	1.620E-06	28.44
2820	1.590E-06	28.79
2840	1.550E-06	29.29
2860	1.760E-06	29.85
2880	1.740E-06	30.23
2900	1.750E-06	30.71
2920	1.780E-06	31.22
2940	1.890E-06	31.63
2960	2.060E-06	32.28
2980	2.100E-06	33.02
3000	2.330E-06	33.58
3020	2.250E-06	34.30
3040	2.140E-06	35.00
3060	2.240E-06	35.84
3080	2.330E-06	36.58

No. 7 MT-1

Total Strain (%)	Stress (MPa)	Ture Strain (%)	True stress (MPa)
0.009263	18.157466	0.009262571	18.15914793
0.019655	39.298146	0.019653069	39.30587005
0.029452	60.223144	0.029447664	60.24088092
0.039229	79.821112	0.039221307	79.85242502
0.049443	100.003016	0.049430781	100.0524605
0.05981	119.24378	0.059792121	119.3150997
0.069413	136.84196	0.06938892	136.9369461
0.079417	152.350466	0.079385481	152.4714582
0.089169	165.423357	0.089129268	165.5708634
0.099299	176.226804	0.099249731	176.4017955
0.109415	185.320305	0.109355185	185.5230732
0.119407	192.071689	0.119335767	192.301036
0.129445	198.130127	0.129361292	198.3865965
0.139697	202.885123	0.139599515	203.1685474
0.149632	206.8694	0.149520163	207.1789428
0.159409	210.350489	0.159282079	210.6858066
0.169384	213.346028	0.169240707	213.707402
0.179658	216.013688	0.179496808	216.4017739
0.189424	218.034938	0.189244819	218.4479485
0.199151	219.926991	0.198952957	220.3649778
0.209377	221.904893	0.209158112	222.3695108
0.219402	223.266559	0.219161665	223.7564103
0.229785	224.957805	0.229521398	225.4747243
0.239611	226.173063	0.239324391	226.7149985
0.249422	227.364733	0.24911146	227.9318307
0.259502	228.770599	0.259165875	229.3642633
0.269325	229.964395	0.26896297	230.5837466
0.279498	231.04663	0.279108131	231.6924007
0.289633	231.878547	0.289214372	232.5501438
0.299203	233.11208	0.298756279	233.8095583
0.309687	234.044932	0.309208458	234.7697387
0.319624	234.816713	0.319114288	235.5672436
0.329452	235.812038	0.328910496	236.5889255
0.339484	236.682417	0.338909054	237.4859159

0.349884	237.706217	0.34927333	238.537913
0.359314	238.364313	0.358670009	239.2207893
0.36936	239.129082	0.368679541	240.0123292
0.379112	239.772303	0.378395182	240.6813086
0.389035	240.787603	0.388280216	241.7243511
0.398977	241.511573	0.398183197	242.4751486
0.409622	242.362402	0.408785333	243.3551717
0.419641	242.818416	0.418762963	243.8373816
0.429249	243.619734	0.428330354	244.6654693
0.439241	244.523262	0.438279152	245.5973084
0.449438	245.117397	0.448431043	246.2190477
0.460024	245.729169	0.458969123	246.8595822
0.469976	246.579786	0.468875061	247.7386518
0.479765	247.34328	0.478617796	248.5299465
0.489163	247.713446	0.487970485	248.9251685
0.499563	248.606136	0.498319324	249.8480803
0.509334	249.127811	0.508041282	250.3967036
0.519478	249.772307	0.518133368	251.0698192
0.529544	250.279107	0.528146846	251.604445
0.539591	251.10975	0.538140424	252.4647156
0.549507	251.552801	0.548002719	252.9351013
0.559418	252.135674	0.557859069	253.5461663
0.56957	252.692836	0.567954083	254.1320986
0.579972	253.438905	0.578296637	254.9087797
0.589383	253.795896	0.587652933	255.2917259
0.599268	254.53219	0.597479531	256.05752
0.609446	255.021991	0.607596389	256.5762123
0.619509	255.435293	0.617597932	257.0177376
0.629604	256.239373	0.627630274	257.8526663
0.639567	256.949531	0.637530449	258.5928954
0.649455	257.38557	0.647355128	259.0571735
0.65949	257.896195	0.657324879	259.5969946
0.669255	258.377921	0.667025431	260.1071282
0.679288	258.953782	0.676991234	260.712824
0.689466	259.424883	0.687100052	261.2135294
0.699756	259.816935	0.697319069	261.6350196

0.709398	260.272524	0.706893609	262.1188921
0.719361	260.895984	0.716785941	262.772768
0.729575	261.391947	0.726926476	263.2989973
0.739381	261.875585	0.736660978	263.8118433
0.749214	262.306737	0.746421332	264.2719758
0.759385	262.746601	0.756516187	264.7418593
0.769637	263.467596	0.766690404	265.4953401
0.779126	263.847536	0.776106487	265.9032408
0.789735	264.366661	0.786632915	266.4544571
0.79947	264.626117	0.79629117	266.7417234
0.809712	265.252552	0.806451421	267.4003337
0.819354	265.880049	0.816015519	268.0585478
0.829599	266.279326	0.826176742	268.4883766
0.839543	266.760627	0.836038439	269.0001972
0.849333	267.121018	0.845746461	269.389765
0.859616	267.706654	0.85594234	270.0079032
0.869696	268.020296	0.865935929	270.3512578
0.879161	268.465048	0.875318882	270.825288
0.889525	268.718554	0.885592032	271.1088727
0.899324	269.403425	0.895304165	271.8262347
0.909824	269.88005	0.905710036	272.3354835
0.919249	270.270403	0.915049622	272.754861
0.929442	270.546434	0.925149266	273.0610062
0.939655	271.070234	0.935267705	273.617359
0.949481	271.514985	0.94500176	274.0929682
0.959194	271.860077	0.954622941	274.4677425
0.969138	272.263817	0.96447198	274.9024291
0.979762	272.756805	0.974993454	275.4291725
0.989423	273.265517	0.98456026	275.9692689
0.99946	273.613371	0.99449843	276.3480272
51.05765433	800.6130257	41.24913947	1209.387257

No. 8 MT-2

Total Strain (%)	Stress (MPa)	Ture Strain (%)	True stress (MPa)
0.009136	18.777313	0.009135583	18.7790285
0.019093	40.313659	0.019091178	40.32135609
0.029411	60.769681	0.029406676	60.78755397
0.03958	81.077806	0.039572169	81.1098966
0.049515	100.199998	0.049502745	100.249612
0.059817	117.910588	0.059799117	117.9811186
0.069482	133.824534	0.069457872	133.917518
0.079353	148.033847	0.079321532	148.1513163
0.089519	159.925055	0.089478956	160.0682183
0.099401	170.072742	0.09935163	170.241796
0.109439	178.885963	0.109379159	179.081734
0.119364	186.409766	0.119292818	186.6322722
0.129175	192.51984	0.129091641	192.7685275
0.139422	197.694726	0.139324898	197.9703559
0.149639	201.967783	0.149527152	202.2700056
0.159071	206.043858	0.158944616	206.371614
0.169518	209.559584	0.16937448	209.9148252
0.179639	211.996049	0.179477842	212.3768766
0.189319	214.417002	0.189140017	214.8229341
0.199161	216.669234	0.198962937	217.1007546
0.209372	218.796732	0.209153122	219.2548311
0.219462	220.430604	0.219221534	220.9143654
0.229616	221.892993	0.229352785	222.4024948
0.239465	223.329458	0.239178739	223.8642539
0.249493	224.936768	0.249182283	225.4979695
0.259438	226.240636	0.259102041	226.8275902
0.269489	227.30906	0.269126529	227.9216329
0.279386	228.471619	0.278996443	229.1099367
0.289593	229.520918	0.289174487	230.1855945
0.299187	230.697714	0.298740326	231.3879316
0.309861	231.67859	0.30938192	232.3964716
0.319247	232.498607	0.318738489	233.2408518
0.329437	233.554919	0.328895545	234.3243353
0.339601	234.531545	0.339025658	235.3280165

0.349014	235.465884	0.34840636	236.2876929
0.359476	236.477572	0.358831429	237.3276521
0.369501	237.16393	0.368820022	238.0402531
0.379472	238.127594	0.378753821	239.0312215
0.389376	238.817989	0.388619894	239.7478889
0.399463	239.657981	0.398667265	240.615326
0.409634	240.451649	0.408797284	241.4366207
0.419571	241.365377	0.418693255	242.3780761
0.429761	242.155645	0.428840165	243.1963355
0.43937	243.05641	0.438407588	244.1243269
0.449498	243.635671	0.448490775	244.7308085
0.459633	244.417227	0.458579913	245.5406492
0.469377	244.99415	0.468278861	246.1440962
0.479488	245.644809	0.478342118	246.8226464
0.489249	246.418715	0.488056066	247.6243161
0.499558	247.288031	0.498314349	248.5233781
0.509567	248.075962	0.508273101	249.3400752
0.519323	248.600611	0.517979169	249.8916512
0.529652	249.480765	0.528254277	250.8021449
0.539773	250.077662	0.538321447	251.4275137
0.549159	250.726834	0.547656662	252.103723
0.559213	251.072775	0.557655209	252.4768066
0.569453	251.936142	0.567837746	253.3707999
0.579233	252.496915	0.577561896	253.9594605
0.589297	253.32947	0.587567437	254.822333
0.599225	253.792921	0.597436787	255.3137116
0.609236	254.299934	0.607387661	255.8492207
0.619698	254.885144	0.617785768	256.4646621
0.629771	255.651825	0.627796229	257.2618461
0.639651	256.262323	0.637613915	257.9015075
0.649188	256.68795	0.64708985	258.3543374
0.659688	257.183913	0.657521581	258.8805244
0.66994	257.957394	0.667705875	259.6855538
0.679374	258.556204	0.677076654	260.3127676
0.689192	259.020505	0.686827928	260.8056536
0.699599	259.828198	0.69716316	261.6459535

0.709696	260.121865	0.70718951	261.9679395
0.719547	260.914683	0.716970612	262.7920868
0.729384	261.153315	0.726736859	263.0581255
0.739429	261.858798	0.736708626	263.7950579
0.74966	262.17414	0.746864014	264.1395547
0.759666	262.770188	0.756795068	264.7663638
0.769799	263.466533	0.766851166	265.4946957
0.77935	263.944859	0.776328755	266.0019133
0.789795	264.286338	0.786692444	266.3736583
0.799308	264.863474	0.796130455	266.9805489
0.809307	265.3248	0.806049674	267.4720922
0.819488	265.901086	0.81614843	268.0801135
0.829868	266.281664	0.826443528	268.4914503
0.839477	266.858375	0.835972988	269.0985897
0.849538	267.523908	0.845949734	269.7966253
0.859687	267.747878	0.856012734	270.0496717
0.869541	268.326714	0.865782266	270.6599248
0.879495	268.754253	0.875649971	271.1179332
0.889497	269.182218	0.885564279	271.5765858
0.899293	269.709417	0.895273441	272.1348949
0.90956	270.265303	0.905448416	272.7235281
0.91964	270.778266	0.91543706	273.2684512
0.929163	271.295266	0.924872835	273.8160412
0.939238	271.53156	0.934854586	274.0818876
0.949271	271.931687	0.944793735	274.5130556
0.959482	272.571084	0.954908205	275.1863545
0.969548	273.105721	0.964878044	275.7536121
0.979354	273.471425	0.974589412	276.1496783
0.989699	273.851365	0.984833555	276.5616692
0.999029	274.27763	0.994071695	277.0177431
52.47206256	798.0665466	42.18111969	1216.828524



No. 9 CYC-1

繰り返し応力-ひずみ関係

$\sigma$ [Mpa]	$\epsilon$ [m/m]	$\sigma_n$ [Mpa]	$\epsilon_n$ [%]	Total Strain Range (%)	Stress Range (MPa)
215.7177287	0.0015008	215.3942224	0.150192667	0.300385333	430.7884448
257.3667877	0.002499481	256.7243077	0.2502607	0.5005214	513.4486154
294.4822329	0.003492895	293.4554318	0.3499002	0.6998004	586.9108636
1017.689245	0.251010133	791.7769771	28.53231084		

ヒステリシスループ :  $\Delta\epsilon=0.3\%$ , 1cycle

Total Strain (%)	Stress (MPa)
-0.000137	0.120266
-0.000412	0.12248
0.001388	1.894302
0.002949	4.515219
0.004585	6.776813
0.006137	9.089021
0.007422	11.367437
0.008962	13.443541
0.010715	15.776261
0.012407	17.951381
0.013688	20.123845
0.01523	22.375847
0.016842	24.360165
0.018258	26.812561
0.020189	28.797616
0.021267	31.073524
0.022879	33.172943
0.024288	35.179395
0.026221	37.376503
0.027633	39.351524
0.028703	41.456845
0.030417	43.579579
0.031891	45.5031
0.033696	47.568431
0.035424	49.662537

0.036235	51.751922
0.038056	53.960687
0.039709	55.869156
0.041051	57.678165
0.042684	59.789537
0.044062	61.613302
0.045049	63.526198
0.047085	65.355572
0.048049	67.313917
0.049992	69.359918
0.05151	71.229872
0.052779	72.793922
0.054564	74.783994
0.055907	76.464031
0.057287	78.306685
0.05883	79.985984
0.060298	81.705716
0.061917	83.304002
0.063937	84.907895
0.065017	86.549269
0.066669	88.369493
0.068164	89.712637
0.06964	91.232861
0.070891	92.658937
0.07247	94.166469
0.074027	95.650391
0.07565	96.829442
0.076578	98.361765
0.078456	99.772052
0.080154	101.121836
0.081463	102.236253
0.083175	103.594892
0.084481	104.896274
0.08559	105.963323
0.087144	107.169231
0.089252	108.575238

0.090394	109.691868
0.091877	110.652079
0.093603	111.829802
0.095086	112.818936
0.096488	114.035025
0.098057	114.786873
0.09928	116.008571
0.100808	116.98885
0.102825	117.800315
0.103872	118.729537
0.105178	119.611242
0.106623	120.461517
0.108376	121.32758
0.109844	122.164721
0.111647	123.183516
0.113423	124.28111
0.114729	124.765716
0.116038	125.41176
0.117371	126.250228
0.119498	127.155102
0.120499	127.633215
0.121593	128.197655
0.123594	128.983738
0.124426	129.529436
0.126586	130.332932
0.127928	130.90652
0.129416	131.631216
0.130951	132.185178
0.132647	132.904266
0.134165	133.336191
0.135548	133.937817
0.136828	134.417849
0.138307	134.887994
0.139792	135.391931
0.14091	136.003591
0.143003	136.628237

0.144479	136.996561
0.145915	137.483676
0.147316	137.818208
0.149062	138.448609
0.150318	138.656677
0.149615	136.275407
0.147984	133.564033
0.145874	130.679269
0.144768	128.55742
0.142915	126.32711
0.141809	124.123215
0.139608	121.652963
0.138226	119.508094
0.136256	117.49751
0.135174	115.247721
0.133581	113.187555
0.131948	110.740028
0.13006	108.64179
0.128911	106.646553
0.127776	104.58432
0.125816	102.511316
0.124156	100.241458
0.12259	98.233383
0.121083	96.307354
0.119796	94.159533
0.118082	92.05008
0.116615	90.073731
0.114987	88.007957
0.113602	85.922852
0.112102	83.817236
0.110753	81.846199
0.109167	79.852142
0.107665	77.756708
0.106165	75.726202
0.104878	73.56333
0.103269	71.701787

0.101862	69.619191
0.100265	67.618346
0.098882	65.653064
0.097253	63.320787
0.096028	61.584822
0.094018	59.463269
0.092247	57.315153
0.09095	55.24628
0.089655	53.215037
0.088344	51.181137
0.086694	49.208035
0.084691	47.104927
0.083754	45.085784
0.082157	43.035799
0.080447	40.946858
0.079284	39.116009
0.077631	36.985748
0.07586	34.99302
0.074511	33.087207
0.07318	31.202497
0.071616	29.123294
0.069745	26.962783
0.068352	24.87148
0.06757	22.906494
0.065622	20.892073
0.064228	18.995852
0.062673	17.037506
0.061479	15.094655
0.059688	12.968231
0.05775	10.924002
0.056639	9.005647
0.054998	6.972632
0.05383	5.215271
0.052023	3.202031
0.050983	1.10999
0.049031	-0.866138

0.047596	-2.739854
0.046251	-4.726164
0.044539	-6.754678
0.043068	-8.648316
0.041504	-10.621492
0.039935	-12.540291
0.038593	-14.324878
0.036991	-16.180149
0.03581	-18.238766
0.034399	-19.960711
0.032892	-21.809563
0.030851	-23.756842
0.029583	-25.537002
0.028222	-27.356562
0.02666	-29.269163
0.025294	-31.085329
0.02368	-33.013055
0.022047	-34.844568
0.020471	-36.536706
0.019224	-38.388657
0.0177	-40.040435
0.016563	-41.775218
0.014892	-43.473332
0.013201	-45.251279
0.011816	-47.01351
0.01044	-48.488946
0.008585	-50.321566
0.007005	-51.798184
0.005074	-53.70134
0.004027	-55.182901
0.002475	-56.877694
0.001316	-58.437096
-0.000516	-60.03907
-0.001899	-61.786692
-0.00329	-63.139649
-0.005231	-64.64364

-0.006763	-65.985456
-0.007832	-67.550097
-0.00946	-69.058883
-0.010757	-70.528565
-0.012085	-71.980834
-0.013776	-73.428676
-0.015119	-74.804653
-0.017223	-76.216194
-0.018369	-77.695984
-0.02017	-79.163231
-0.021234	-80.385445
-0.022906	-81.679376
-0.024161	-83.125595
-0.025458	-84.475084
-0.02707	-85.750053
-0.028462	-87.072833
-0.030261	-88.375839
-0.032003	-89.563891
-0.033181	-90.750468
-0.034955	-92.04248
-0.036058	-93.241526
-0.037949	-94.498049
-0.039545	-95.915124
-0.040742	-97.019802
-0.043039	-98.270422
-0.043973	-99.292536
-0.045513	-100.400165
-0.046986	-101.500416
-0.048082	-102.616678
-0.049558	-103.690957
-0.051613	-104.731148
-0.052729	-105.899574
-0.054381	-106.840602
-0.056062	-107.985196
-0.057571	-108.973001
-0.058889	-110.153454

-0.060326	-110.9782
-0.062073	-112.114014
-0.062974	-113.03689
-0.064614	-113.954307
-0.066607	-115.125094
-0.067426	-115.877458
-0.0694	-116.861132
-0.070895	-117.825032
-0.072501	-119.106346
-0.073836	-119.808833
-0.075233	-120.659476
-0.076628	-121.537419
-0.078233	-122.479996
-0.080271	-123.10051
-0.080981	-123.981921
-0.082761	-124.942943
-0.084211	-125.841766
-0.085543	-126.636482
-0.087656	-127.336977
-0.088671	-128.220822
-0.090488	-129.033467
-0.091711	-129.635167
-0.093415	-130.495697
-0.094851	-131.295135
-0.09622	-132.076496
-0.09797	-132.840813
-0.099466	-133.336044
-0.10072	-134.077119
-0.102333	-134.865195
-0.10372	-135.608926
-0.105326	-136.111019
-0.107542	-137.002317
-0.108299	-137.419633
-0.10978	-138.097771
-0.111282	-138.792068
-0.113161	-139.275789



-0.11413	-139.878153
-0.115691	-140.467531
-0.117484	-141.058975
-0.118917	-141.590138
-0.120533	-142.705661
-0.122007	-142.704776
-0.123506	-143.490269
-0.125071	-143.85365
-0.126691	-144.393003
-0.128126	-145.005991
-0.129519	-145.328054
-0.131212	-145.833319
-0.132892	-146.430739
-0.133818	-146.780323
-0.135397	-147.196163
-0.136712	-147.801183
-0.138389	-148.231263
-0.140054	-148.401923
-0.141456	-148.89162
-0.143065	-149.46875
-0.144309	-149.797527
-0.14563	-150.146963
-0.14761	-150.593792
-0.149006	-150.931497
-0.150036	-151.033317
-0.150794	-150.306629
-0.150844	-149.357264
-0.149319	-146.907082
-0.14704	-143.829228
-0.145123	-140.306094
-0.143272	-137.679865
-0.141863	-135.155825
-0.139399	-131.933947
-0.137624	-129.689397
-0.136145	-127.272343
-0.134225	-124.576021

-0.132669	-122.585136
-0.130951	-119.966433
-0.129554	-117.823409
-0.127773	-115.306821
-0.126318	-113.367216
-0.124387	-111.067772
-0.122867	-108.643118
-0.121044	-106.352528
-0.120027	-104.228834
-0.117867	-101.779537
-0.116847	-99.990375
-0.115311	-97.630872
-0.113469	-95.430665
-0.112422	-93.287124
-0.110621	-90.78581
-0.109214	-89.209733
-0.107609	-87.012035
-0.10589	-84.680274
-0.104163	-82.733586
-0.102656	-80.492209
-0.101438	-78.450267
-0.099484	-75.94519
-0.098739	-74.149978
-0.097135	-72.105601
-0.095119	-69.884588
-0.093971	-67.634135
-0.092497	-65.592488
-0.091226	-63.842653
-0.089586	-61.462564
-0.088093	-59.341305
-0.086542	-57.541224
-0.085058	-55.092074
-0.083073	-53.248239
-0.081996	-51.168594
-0.080656	-49.118093
-0.078989	-46.858344

-0.077254	-44.843997
-0.076002	-42.89089
-0.074345	-40.508587
-0.072857	-38.66217
-0.071139	-36.464177
-0.070037	-34.420833
-0.068808	-32.532286
-0.06664	-30.465184
-0.065358	-28.328947
-0.064062	-26.228717
-0.062431	-24.157188
-0.060793	-22.124912
-0.059317	-20.176231
-0.058123	-18.003546
-0.056362	-15.996946
-0.054985	-14.029377
-0.05338	-12.031115
-0.051931	-9.994485
-0.05041	-7.931589
-0.049218	-6.040312
-0.047468	-3.910494
-0.046387	-2.075808
-0.044224	0.19036
-0.043296	1.896073
-0.041459	3.784473
-0.039892	5.801698
-0.038862	7.775095
-0.037309	9.671168
-0.035458	11.715398
-0.034295	13.491352
-0.032595	15.421513
-0.030769	17.344001
-0.029403	19.178686
-0.028256	21.045689
-0.026584	22.837728
-0.025027	24.881367

-0.02333	26.644631
-0.022439	28.454526
-0.020401	30.195803
-0.018865	32.172299
-0.017377	33.86237
-0.016149	35.557016
-0.014427	37.355106
-0.012977	39.082364
-0.011487	40.928412
-0.009997	42.610515
-0.008632	44.276975
-0.006769	45.907578
-0.005174	47.524751
-0.004084	48.959386
-0.00258	50.685021
-0.000921	52.218968

ヒステリシスループ :  $\Delta\varepsilon=0.3\%$ , 100cycle

Total Strain (%)	Stress (MPa)
0.000854	49.747683
0.002549	51.284728
0.004098	52.874307
0.005536	54.237668
0.006716	55.650315
0.008168	57.295822
0.009794	58.635277
0.011294	59.955253
0.012655	61.415564
0.014646	62.85802
0.015783	64.145679
0.01744	65.63816
0.019011	66.929509
0.020359	68.234876
0.021832	69.558984
0.02336	70.842216
0.024934	72.245272

0.026286	73.736867
0.027912	74.733527
0.029335	76.078294
0.03062	77.38189
0.032032	78.462958
0.033889	79.832368
0.035245	80.903844
0.036576	82.091158
0.038319	83.371144
0.039933	84.524371
0.041683	85.589944
0.042858	86.70923
0.04425	87.956899
0.046318	88.986319
0.047133	90.129954
0.048854	91.335861
0.050235	92.368232
0.051639	93.631838
0.053191	94.685458
0.054767	95.595201
0.056584	96.814833
0.057893	97.945039
0.059648	98.932697
0.060508	99.931865
0.062389	100.919671
0.063598	101.892572
0.065353	102.988396
0.066652	103.897697
0.068457	104.921803
0.069664	105.947091
0.071328	106.909072
0.072908	107.956642
0.074561	108.833773
0.075696	109.843861
0.0776	110.836241
0.079293	111.795567

0.080502	112.614409
0.082107	113.841714
0.083244	114.573346
0.085347	115.52485
0.086575	116.362286
0.088241	117.122988
0.089569	118.196677
0.091271	119.018766
0.092905	119.933526
0.094445	121.0233
0.095737	121.854538
0.097463	122.752476
0.099022	123.734969
0.100524	124.506148
0.102155	125.569655
0.103674	126.310435
0.10546	127.122195
0.106471	127.975125
0.108373	128.864947
0.109997	129.690135
0.111518	130.655658
0.112968	131.236773
0.114417	131.708098
0.115955	132.77308
0.117362	133.504712
0.118654	134.166987
0.120268	134.874417
0.121691	135.655631
0.122566	136.350666
0.124311	136.999365
0.125124	137.692482
0.127192	138.448314
0.128317	139.075911
0.129929	139.893278
0.131755	140.702677
0.132282	141.428258

0.134258	142.12285
0.135522	142.86127
0.137105	143.636876
0.138233	144.39743
0.139849	145.28312
0.141914	145.999995
0.143261	146.733249
0.144815	147.529514
0.146046	148.207727
0.147748	148.94349
0.14904	149.706258
0.150361	149.693714
0.148394	146.782241
0.147161	144.577165
0.145602	141.997124
0.14395	140.094115
0.142262	138.097402
0.140982	136.056272
0.13974	134.009092
0.13828	132.042334
0.137153	130.093137
0.135443	127.936758
0.13396	126.018698
0.132256	123.754153
0.13092	121.582427
0.129161	119.169283
0.127132	116.872273
0.12562	114.43124
0.124481	112.521738
0.121803	109.682719
0.120401	107.599238
0.118725	105.531398
0.117764	103.478757
0.115566	100.924836
0.114331	99.054882
0.112998	97.171499

0.11107	95.223926
0.10983	92.99701
0.108428	91.024793
0.107217	88.990008
0.105615	87.132154
0.103829	85.107994
0.102589	83.125742
0.100997	80.961985
0.099554	79.19267
0.097771	76.979774
0.096462	74.928904
0.095139	73.014237
0.09336	70.764449
0.092371	68.770097
0.090601	66.732361
0.089333	64.669833
0.087597	62.834114
0.086489	60.755798
0.084791	58.795681
0.082903	56.847664
0.081367	54.437177
0.08003	52.667568
0.078828	50.641932
0.076768	48.634446
0.075736	46.618992
0.074139	44.745497
0.072863	42.711007
0.071473	40.537658
0.070076	38.620335
0.06809	36.430016
0.06705	34.579098
0.065305	32.517308
0.063736	30.478981
0.06217	28.327029
0.060546	26.522447
0.058935	24.590663



0.057759	22.694294
0.056014	20.545884
0.054815	18.773618
0.05342	16.971987
0.051646	14.772224
0.050385	12.843243
0.048897	10.950712
0.047476	8.951342
0.04648	6.985618
0.04415	5.084675
0.042806	2.986289
0.041616	1.47492
0.039587	-0.660578
0.03839	-2.431663
0.03602	-4.330393
0.035138	-6.040385
0.033951	-8.033188
0.032339	-9.935237
0.030856	-11.730892
0.028903	-13.720005
0.027747	-15.667063
0.02619	-17.415644
0.024834	-19.265234
0.023279	-20.966963
0.021918	-22.92612
0.020063	-24.545507
0.019248	-26.151024
0.017021	-27.962246
0.016127	-29.605465
0.014415	-31.401046
0.01276	-32.992322
0.011456	-34.644395
0.009956	-36.381393
0.008278	-38.225301
0.007036	-39.786621
0.005043	-41.45869

0.003662	-42.883659
0.003009	-44.424246
0.001192	-46.080451
-0.000535	-47.583925
-0.002354	-49.190401
-0.003722	-50.596998
-0.005122	-51.997324
-0.006269	-53.479401
-0.008345	-54.946869
-0.009661	-56.563969
-0.011163	-58.115181
-0.012823	-59.540298
-0.014305	-60.892591
-0.015759	-62.108607
-0.017029	-63.59002
-0.018295	-64.802274
-0.020084	-66.369865
-0.021596	-67.831578
-0.02313	-69.043905
-0.024331	-70.401732
-0.02562	-71.527881
-0.027528	-72.863794
-0.029038	-74.151306
-0.031008	-75.736532
-0.032492	-76.881347
-0.033832	-78.166498
-0.03507	-79.200934
-0.036477	-80.402341
-0.038456	-81.624703
-0.039507	-82.851712
-0.040882	-83.996085
-0.042197	-85.143852
-0.044234	-86.336479
-0.045636	-87.431713
-0.046957	-88.537423
-0.048909	-89.633468

-0.050542	-90.725234
-0.051776	-91.88975
-0.052874	-93.112406
-0.054715	-94.132824
-0.056497	-95.238239
-0.057575	-96.248475
-0.059346	-97.276935
-0.060782	-98.534269
-0.062147	-99.338429
-0.063878	-100.53268
-0.065219	-101.417853
-0.066336	-102.460406
-0.068318	-103.608468
-0.06935	-104.409307
-0.071504	-105.544531
-0.072467	-106.542371
-0.074168	-107.545745
-0.075532	-108.531558
-0.077071	-109.470003
-0.078919	-110.567671
-0.080192	-111.345786
-0.081542	-112.23546
-0.083178	-113.176709
-0.084472	-114.077451
-0.086091	-114.986973
-0.087482	-115.950725
-0.08939	-116.869543
-0.090749	-117.821417
-0.092256	-118.855779
-0.093683	-119.828238
-0.095391	-120.595359
-0.096585	-121.287
-0.09845	-122.403852
-0.099682	-123.130171
-0.1011	-123.920902
-0.10257	-124.9107

-0.104233	-125.962623
-0.105654	-126.79364
-0.107166	-127.474066
-0.108451	-128.312166
-0.110389	-129.180738
-0.111892	-130.041563
-0.113058	-130.778433
-0.114636	-131.808811
-0.116175	-132.76371
-0.11761	-133.598563
-0.119525	-134.452896
-0.120683	-135.209023
-0.122068	-136.053911
-0.123702	-136.786502
-0.125554	-137.762059
-0.127141	-138.621556
-0.128137	-139.335258
-0.129907	-140.132335
-0.131724	-141.166993
-0.133166	-142.009815
-0.134971	-142.634313
-0.136312	-143.573201
-0.137472	-144.34165
-0.139409	-145.136366
-0.140935	-146.054225
-0.142604	-146.931061
-0.143731	-147.609052
-0.145228	-148.505588
-0.146902	-149.307166
-0.148603	-150.176845
-0.149647	-150.816395
-0.151348	-150.991039
-0.150559	-149.460265
-0.149112	-146.690898
-0.147179	-143.990591
-0.14517	-141.454599

-0.143242	-139.086241
-0.14119	-136.511291
-0.139838	-134.030931
-0.138241	-131.529617
-0.136813	-129.355677
-0.134902	-126.975736
-0.133746	-124.825554
-0.132054	-122.718241
-0.130634	-120.527995
-0.129036	-118.250169
-0.127521	-116.304071
-0.125573	-114.151676
-0.124658	-112.285264
-0.122991	-109.954167
-0.121031	-107.853051
-0.119658	-105.669814
-0.117924	-103.531364
-0.116934	-101.517165
-0.115083	-99.267229
-0.113777	-97.083402
-0.112334	-94.862316
-0.110734	-92.688966
-0.109571	-90.908363
-0.107963	-88.565239
-0.105834	-86.581217
-0.104796	-84.464828
-0.103173	-82.368065
-0.101312	-80.022064
-0.099776	-78.065932
-0.098472	-75.956774
-0.097059	-73.87307
-0.095575	-71.552819
-0.094109	-69.737317
-0.092429	-67.609566
-0.090885	-65.295291
-0.089433	-63.288101

-0.088128	-61.450316
-0.086211	-59.11125
-0.084928	-57.111881
-0.083731	-54.98258
-0.081905	-52.78562
-0.080704	-50.939424
-0.079136	-49.191581
-0.077339	-46.928364
-0.076008	-44.701375
-0.074639	-42.727756
-0.073041	-40.664048
-0.071207	-38.577836
-0.070071	-36.437394
-0.068142	-34.304182
-0.06694	-32.407224
-0.065331	-30.280284
-0.063692	-28.166625
-0.062696	-26.140842
-0.061284	-24.244695
-0.059652	-22.144243
-0.057805	-20.069025
-0.056392	-18.014761
-0.054994	-16.012071
-0.053433	-14.201882
-0.051839	-12.118179
-0.050371	-10.243355
-0.049074	-8.082032
-0.047188	-6.110184
-0.046045	-4.397756
-0.044286	-2.487738
-0.042771	-0.421817
-0.041199	1.556967
-0.039907	3.263861
-0.038447	5.069919
-0.036907	6.984142
-0.035319	9.075003

-0.034025	10.861287
-0.032108	12.816534
-0.030733	14.582897
-0.02938	16.302481
-0.02763	18.20667
-0.026283	20.085626
-0.025058	21.795176
-0.023321	23.556817
-0.021776	25.303996
-0.020049	27.125253
-0.018721	28.787877
-0.01752	30.405936
-0.015726	32.131718
-0.014465	33.923167
-0.013007	35.34762
-0.011199	37.058351
-0.010027	38.684379
-0.008349	40.286205
-0.006634	41.818234
-0.005089	43.657789
-0.003932	44.985291
-0.002328	46.482642
-0.000633	47.916539

ヒステリシスループ :  $\Delta\varepsilon=0.5\%$ , 1cycle

Total Strain (%)	Stress (MPa)
-0.034313	-0.027731
-0.01606	37.621987
-0.000978	66.961566
0.001812	72.398032
0.004311	77.142403
0.006926	81.41036
0.009933	85.392512
0.012162	88.707643
0.014963	92.490475
0.017645	95.674497

0.020123	98.845982
0.022664	102.252698
0.025046	105.254612
0.027533	108.381472
0.029924	111.499833
0.032632	114.298389
0.035045	117.475398
0.03763	120.328991
0.040162	122.957764
0.042844	125.567199
0.045185	128.341531
0.048115	131.353857
0.050495	133.852796
0.052958	136.461807
0.055707	139.160703
0.057971	141.820287
0.060627	144.296914
0.063283	146.567633
0.065296	148.743155
0.068464	151.496237
0.070956	153.629684
0.073476	156.138823
0.075586	158.438654
0.07812	160.689186
0.080645	162.923993
0.083361	165.218299
0.085588	167.313923
0.08863	169.325823
0.091288	171.452684
0.093851	173.801176
0.096366	175.961185
0.099051	177.89
0.100904	179.768242
0.103776	181.636496
0.106261	183.501562
0.108883	185.426977



0.110745	187.489664
0.113285	189.084862
0.115895	191.049589
0.118237	192.781634
0.120745	194.714486
0.123286	196.826047
0.125654	198.320735
0.128384	200.270375
0.130835	201.904247
0.133429	203.656267
0.135443	205.524521
0.137901	207.3677
0.140758	209.404463
0.142591	210.862814
0.145478	212.746368
0.147915	214.415089
0.150311	216.004125
0.152466	217.710883
0.155413	219.527289
0.157709	221.142886
0.160656	222.684536
0.162756	224.326271
0.165143	225.49223
0.167515	226.729799
0.170517	228.041742
0.173013	228.846247
0.175657	229.922533
0.178063	230.592742
0.180295	231.585517
0.18306	232.253601
0.185645	232.858573
0.188148	233.568943
0.190799	234.223215
0.193286	234.692403
0.195699	235.177104
0.19845	235.910423

0.200608	236.076594
0.202854	236.605069
0.205939	237.15713
0.208688	237.552583
0.210557	237.8879
0.213475	238.167755
0.215564	238.534309
0.21872	239.306515
0.220811	239.693468
0.222893	239.976086
0.225632	240.187518
0.228319	240.513698
0.230501	240.949737
0.233343	241.258279
0.235672	241.427638
0.238102	241.935713
0.24056	242.193256
0.243506	242.561935
0.245209	242.642895
0.248024	242.881952
0.127265	28.485137
0.115862	4.552701
0.116634	6.559926
0.116742	7.087763
0.116358	5.564176
0.115478	4.429241
0.112784	-1.843605
0.116148	5.235234
0.114222	1.990226
0.115259	4.614537
0.111284	-3.561625
0.114954	3.488102
0.111644	-3.328731
0.111058	-3.988952
0.116255	4.906717
0.111799	-3.555781

0.115759	5.005314
0.114558	2.291331
0.11337	0.658521
0.115945	5.334681
0.111833	-3.653316
0.115888	4.813857
0.111725	-3.389504
0.115917	5.281345
0.114269	2.106036
0.111713	-3.696984
0.113752	1.328517
0.116484	6.49129
0.115061	3.295581
0.113199	-0.157565
0.114436	2.492989
0.114832	3.342968
0.115294	4.480877
0.112672	-1.112091
0.111761	-3.529751
0.115521	4.830006
0.113969	1.285381
0.115578	4.875905
0.113318	-0.784318
0.114646	2.553975
0.117154	7.655762
0.118101	9.668937
0.117927	10.189337
0.11853	10.774548
0.118592	10.930306
0.118663	10.916069
0.11801	10.940931
0.118303	10.924144
0.118585	10.896095
0.118692	10.916494
0.118294	10.917344
0.118511	10.934344

0.118525	10.930519
0.118504	10.936894
0.11832	10.920106
0.118685	10.903107
0.118649	10.909482
0.11857	10.936256
0.11862	10.893332
0.118494	10.934556
0.118642	10.88377
0.118265	10.907569
0.118415	10.888232
0.118754	10.922656
0.118544	10.900344
0.118434	10.943056
0.11894	10.912244
0.118446	10.913094
0.118482	10.905019
0.118833	10.901194
0.118494	10.898432
0.118418	10.909057
0.118825	10.88037
0.118473	10.885045
0.118837	10.879307
0.118701	10.873783
0.118363	10.854658
0.118346	10.881432
0.118818	10.87952
0.118475	10.832134
0.118768	10.838721
0.11821	10.823634
0.118606	10.811097
0.118208	10.809822
0.118198	10.780922
0.117962	10.743736
0.118592	10.708462
0.118554	10.713774

0.118616	10.691037
0.118487	10.703362
0.118325	10.682537
0.118036	10.613051
0.118382	10.633876
0.118306	10.631751
0.118582	10.585002
0.118418	10.617726
0.118177	10.58224
0.118067	10.580752
0.118229	10.56779
0.118415	10.57629
0.118442	10.528691
0.118568	10.56439
0.118463	10.581815
0.118232	10.527629
0.118108	10.542291
0.118279	10.532303
0.118186	10.535491
0.118287	10.541441
0.118363	10.552915
0.118465	10.534641
0.118456	10.544628
0.118527	10.546541
0.118434	10.527416
0.118368	10.543353
0.117974	10.564178
0.118494	10.539953
0.118449	10.548453
0.118322	10.554615
0.118508	10.520616
0.118742	10.550791
0.11822	10.523804
0.118353	10.529754
0.117862	10.550791
0.118363	10.549303

0.118229	10.540166
0.118101	10.537616
0.118072	10.505317
0.118213	10.525079
0.118184	10.535916
0.118079	10.551641
0.118616	10.511691
0.118251	10.541016
0.117867	10.532941
0.118053	10.511054
0.118058	10.524866
0.118396	10.55334
0.117996	10.531878
0.118268	10.558653
0.118206	10.536553
0.118287	10.519766
0.118275	10.560353
0.118003	10.529329
0.117679	10.535278
0.118213	10.533366
0.11802	10.542928
0.118327	10.498942
0.118177	10.555465
0.118191	10.525291
0.118291	10.530391
0.118132	10.536341
0.118215	10.524866
0.118027	10.525504
0.118272	10.55759
0.118001	10.531666
0.118089	10.516154
0.118237	10.549728
0.11833	10.546116
0.118246	10.521254
0.118051	10.541441
0.118294	10.527204

0.118144	10.522954
0.118711	10.519979
0.118032	10.561203
0.117991	10.516154
0.117967	10.530604
0.118229	10.529541
0.118072	10.543778
0.118189	10.524441
0.117981	10.532091
0.11827	10.541228
0.117967	10.534003
0.118427	10.561415
0.118072	10.48683
0.118208	10.539103
0.118225	10.523591
0.118351	10.525929
0.118542	10.549516
0.118616	10.549728
0.118253	10.516366
0.118129	10.536766
0.118322	10.558228
0.11848	10.511904
0.118384	10.528691
0.118268	10.556103
0.117946	10.513391
0.118194	10.536128
0.117722	10.557803
0.118208	10.505104
0.118184	10.559503
0.118222	10.538678
0.117691	10.49023
0.118248	10.548453
0.118194	10.533153
0.118213	10.542291
0.118375	10.530391
0.118129	10.545478

0.118206	10.511479
0.118196	10.531241
0.118523	10.536978
0.118189	10.522741
0.118198	10.541016
0.118103	10.531454
0.117915	10.518279
0.117917	10.543141
0.118003	10.55674
0.118518	10.546328
0.117688	10.536341
0.118325	10.531241
0.117924	10.536553
0.117798	10.528479
0.11797	10.56609
0.118365	10.518704
0.118318	10.528691
0.118291	10.539741
0.118575	10.551216
0.118215	10.521466
0.118122	10.558015
0.118573	10.530816
0.118194	10.514666
0.118001	10.529754
0.117991	10.548028
0.117781	10.517004
0.118427	10.513179
0.118463	10.525291
0.118501	10.539528
0.118551	10.547178
0.118313	10.535278
0.118377	10.512754
0.118258	10.523379
0.118377	10.510204
0.118361	10.527841
0.118179	10.534003



0.118377	10.542716
0.118179	10.525716
0.117972	10.519129
0.118244	10.530604
0.118227	10.549091
0.118022	10.552703
0.118487	10.525291
0.117931	10.541016
0.118046	10.521679
0.118325	10.525079
0.117915	10.535278
0.118127	10.532941
0.117848	10.521466
0.117912	10.511904
0.118175	10.533791
0.118306	10.542078
0.118513	10.533153
0.118275	10.522316
0.118096	10.514666
0.118282	10.514241
0.118079	10.531666
0.118282	10.498942
0.11812	10.526141
0.11827	10.528266
0.118489	10.534003
0.118196	10.525291
0.117922	10.535066
0.118065	10.519979
0.118029	10.546328
0.118115	10.518066
0.118287	10.510842
0.118258	10.504892
0.118237	10.527629
0.11832	10.521041
0.118229	10.539741
0.118291	10.522529

0.118334	10.518066
0.118361	10.515091
0.118148	10.513391
0.117884	10.499579
0.118232	10.514879
0.118186	10.527416
0.117908	10.515516
0.118048	10.533366
0.118597	10.544203
0.118303	10.519554
0.118177	10.509142
0.117748	10.517641
0.118291	10.528691
0.118148	10.541866
0.117965	10.535491
0.118063	10.508079
0.117826	10.525079
0.117979	10.535278
0.117953	10.511266
0.117948	10.519766
0.118196	10.535916
0.118289	10.510629
0.117996	10.536341
0.118232	10.532516
0.117915	10.49023
0.118225	10.534003
0.11843	10.520616
0.118179	10.524654
0.118299	10.513816
0.117965	10.517641
0.118191	10.505954
0.118136	10.540166
0.118582	10.512541
0.118217	10.520829
0.117841	10.534003
0.118222	10.512541

0.118549	10.517216
0.118015	10.511904
0.117829	10.507442
0.118363	10.530816
0.118098	10.536553
0.118387	10.527416
0.117671	10.533578
0.118139	10.503192
0.11816	10.524441
0.118046	10.503192
0.11821	10.533153
0.118213	10.527416
0.118179	10.496179
0.118046	10.528691
0.118217	10.521254
0.118124	10.522741
0.118215	10.518704
0.117788	10.538466
0.118134	10.508717
0.118072	10.522954
0.118229	10.528054
0.117929	10.508717
0.117967	10.502767
0.118089	10.531454
0.118325	10.517854
0.117855	10.503829
0.118146	10.509567
0.118027	10.489592
0.117829	10.539528
0.118077	10.524654
0.117998	10.495967
0.11812	10.538466
0.118165	10.536341
0.118318	10.490655
0.117967	10.499792
0.117991	10.520616

0.117998	10.511266
0.118043	10.495542
0.117993	10.513816
0.118024	10.48258
0.117986	10.518066
0.118358	10.534853
0.118072	10.493417
0.118048	10.529329
0.118277	10.520616
0.118015	10.510629
0.11802	10.512966
0.118055	10.521466
0.118179	10.531029
0.118489	10.538891
0.118172	10.530816
0.118368	10.514029
0.118024	10.508929
0.118582	10.535066
0.118163	10.531241
0.118101	10.538678
0.117862	10.535066
0.118206	10.513816
0.118513	10.526779
0.118153	10.523804
0.11807	10.512329
0.118461	10.521466
0.118041	10.508292
0.117886	10.498517
0.118358	10.518704
0.118248	10.514666
0.118566	10.513816
0.117862	10.538891
0.11837	10.499579
0.118101	10.502129
0.118523	10.534003
0.118299	10.517216

0.118229	10.498304
0.118237	10.507867
0.118203	10.529116
0.118113	10.471742
0.11821	10.515304
0.118322	10.500642
0.117748	10.491079
0.118232	10.492779
0.118041	10.508504
0.118222	10.513391
0.118248	10.530179
0.118046	10.504467
0.118303	10.521679
0.118351	10.509992
0.118458	10.512754
0.118253	10.500429
0.117931	10.522954
0.118041	10.536978
0.11838	10.510204
0.118144	10.508717
0.117941	10.488955
0.118239	10.512116
0.117893	10.516579
0.118091	10.509142
0.11795	10.502129
0.117915	10.529541
0.118408	10.517004
0.118301	10.516366
0.117896	10.524866
0.118225	10.497029
0.118175	10.528266
0.11817	10.505317
0.118029	10.509779
0.117888	10.504254
0.11826	10.508929
0.118284	10.495117

0.117962	10.499792
0.117791	10.521679
0.118077	10.502129
0.118034	10.517641
0.117929	10.514241
0.118349	10.521041
0.11796	10.506379
0.118079	10.512116
0.118058	10.495754
0.117879	10.507229
0.118108	10.515941
0.118344	10.559503
0.118132	10.509354
0.118134	10.522316
0.118024	10.501492
0.1178	10.48173
0.118115	10.525079
0.118158	10.501492
0.118139	10.505317
0.118341	10.516154
0.118268	10.513604
0.118301	10.490442
0.117965	10.518491
0.117846	10.533791
0.11797	10.503617
0.118144	10.532516
0.118048	10.517641
0.118172	10.512329
0.118418	10.532091
0.117998	10.518491
0.117881	10.522104
0.118625	10.539528
0.118291	10.530179
0.117998	10.55249
0.118449	10.516579
0.118265	10.532516

0.118196	10.501492
0.117922	10.569278
0.118122	10.56864
0.118105	10.495117
0.118227	10.519129
0.118046	10.552278
0.118122	10.517641
0.118208	10.544416
0.118098	10.529329
0.118103	10.497029
0.118165	10.550366
0.11791	10.520404
0.117989	10.555253
0.118089	10.565665
0.117853	10.539316
0.118372	10.527629
0.118227	10.548878
0.118172	10.554615
0.11806	10.537403
0.117841	10.58309
0.118361	10.55929
0.118041	10.547391
0.118186	10.555678
0.118144	10.553128
0.118277	10.538253
0.118208	10.543991
0.118287	10.544416
0.118082	10.56099
0.118058	10.529966
0.118105	10.541228
0.118098	10.519341
0.11781	10.541441
0.118134	10.557803
0.117967	10.530391
0.117955	10.538041
0.117979	10.542503

0.118434	10.549941
0.118003	10.546966
0.118234	10.552915
0.118253	10.529966
0.117888	10.551641
0.118134	10.543566
0.117865	10.533791
0.118058	10.533791
0.118241	10.546966
0.117836	10.545691
0.117867	10.571615
0.118089	10.538466
0.118015	10.513391
0.118017	10.546116
0.118108	10.530391
0.118263	10.545053
0.117917	10.55334
0.118096	10.533578
0.118008	10.564815
0.118208	10.521466
0.118296	10.532091
0.118005	10.552915
0.117867	10.557165
0.118029	10.532516
0.118244	10.521466
0.118265	10.561203
0.118012	10.549091
0.118475	10.542078
0.117977	10.544416
0.117633	10.533578
0.118063	10.538466
0.118063	10.539103
0.11837	10.543566
0.118163	10.514241
0.118136	10.546966
0.11831	10.538891



0.118258	10.525079
0.118232	10.558228
0.118332	10.553978
0.117958	10.513391
0.118253	10.538466
0.11781	10.548241
0.118105	10.540803
0.117805	10.540378
0.117805	10.495754
0.118203	10.56694
0.118256	10.542928
0.117958	10.542928
0.118344	10.539528
0.118318	10.555678
0.118315	10.55419
0.118043	10.526779
0.117979	10.542928
0.118206	10.559503
0.118079	10.528904
0.117996	10.550366
0.117924	10.547603
0.118444	10.539953
0.118108	10.559078
0.118155	10.586277
0.118139	10.49023
0.118325	10.549728
0.118177	10.552278
0.117989	10.536978
0.11807	10.547603
0.118296	10.547816
0.118051	10.527204
0.118067	10.551641
0.118127	10.519341
0.118082	10.535916
0.118036	10.571615
0.118029	10.569915

0.118129	10.518279
0.118318	10.564603
0.118053	10.547603
0.118277	10.536978
0.11797	10.541228
0.11801	10.556528
0.118084	10.547178
0.11857	10.548241
0.117946	10.534428
0.117984	10.541441
0.118268	10.547178
0.118165	10.545053
0.11827	10.552065
0.118129	10.569278
0.118287	10.549728
0.118122	10.537191
0.117958	10.564178
0.118046	10.545478
0.118153	10.534641
0.118144	10.549091
0.118046	10.552915
0.11806	10.57119
0.117962	10.589252
0.118148	10.548028
0.118108	10.58394
0.117857	10.555253
0.117855	10.543991
0.117927	10.529329
0.11812	10.546541
0.117979	10.558865
0.118055	10.557803
0.118177	10.55334
0.118184	10.55249
0.118341	10.538253
0.118296	10.553553
0.118008	10.558865

0.118265	10.552065
0.118396	10.542503
0.118344	10.540803
0.11816	10.529541
0.118034	10.57969
0.118167	10.554403
0.118332	10.539316
0.117908	10.557803
0.118518	10.570978
0.117888	10.56694
0.117745	10.560565
0.118132	10.559715
0.118048	10.565665
0.118136	10.561415
0.117986	10.555678
0.118103	10.526354
0.118124	10.538678
0.118144	10.551428
0.117941	10.512966
0.117946	10.584152
0.118282	10.549516
0.118194	10.537616
0.11791	10.55419
0.118113	10.56184
0.118179	10.535703
0.118194	10.55334
0.117812	10.56014
0.11791	10.537828
0.118206	10.560353
0.118227	10.544203
0.118134	10.547391
0.117724	10.544628
0.117705	10.550791
0.118442	10.533578
0.118051	10.517854
0.118258	10.552915

0.118024	10.522316
0.117939	10.542716
0.117862	10.552703
0.118096	10.530604
0.11802	10.533791
0.118387	10.540166
0.118132	10.549303
0.118368	10.56354
0.118122	10.561415
0.118272	10.555465
0.118268	10.553978
0.118141	10.56014
0.118234	10.528054
0.117946	10.546753
0.118115	10.559715
0.118177	10.529754
0.118122	10.541228
0.118415	10.571828
0.118003	10.543991
0.117853	10.541653
0.118017	10.553553
0.11801	10.535066
0.118089	10.56609
0.117791	10.552703
0.118256	10.556953
0.117948	10.533791
0.118299	10.551003
0.118215	10.542716
0.118208	10.571403
0.118179	10.544841
0.117915	10.550578
0.11791	10.559503
0.117927	10.551641
0.117912	10.552703
0.117881	10.543778
0.117941	10.55929

0.117841	10.555465
0.118115	10.568215
0.118239	10.577565
0.118225	10.545053
0.11832	10.556528
0.117641	10.535278
0.118036	10.546328
0.117805	10.569278
0.118246	10.555465
0.11817	10.548878
0.118217	10.55929
0.118549	10.567365
0.118103	10.552065
0.118074	10.529966
0.117936	10.552065
0.117984	10.514029
0.118084	10.536553
0.118191	10.569915
0.118132	10.503617
0.118239	10.565878
0.118337	10.549941
0.117853	10.532941
0.118134	10.553128
0.118203	10.552278
0.118377	10.564603
0.118232	10.56779
0.117929	10.554828
0.118294	10.535491
0.117967	10.554828
0.117793	10.548453
0.117655	10.567153
0.118034	10.535066

ヒステリシスループ :  $\Delta\varepsilon=0.5\%$ , 100cycle

Total Strain (%)	Stress (MPa)
0.000672	127.639236

0.002961	129.535539
0.006185	131.555515
0.008438	133.731036
0.0108	135.566566
0.013349	137.463507
0.015769	139.467758
0.018389	141.023432
0.021172	143.308176
0.023379	145.208304
0.025802	146.844301
0.028429	148.788203
0.030789	150.373414
0.033209	152.201719
0.035925	153.911452
0.038333	155.762494
0.040934	157.276307
0.043125	158.834531
0.045609	160.556589
0.048225	162.108226
0.050709	163.915281
0.053391	165.425694
0.056045	166.968194
0.058129	168.793099
0.060883	169.97117
0.063176	171.589743
0.06582	173.317963
0.068347	174.797351
0.071208	176.659868
0.073011	177.846864
0.075657	179.323915
0.078413	181.000924
0.080812	182.324766
0.083487	183.705557
0.086401	185.43484
0.08857	186.664547
0.091007	188.195997

0.093038	189.537476
0.096006	191.045764
0.098643	192.407218
0.101252	193.792897
0.103629	195.052353
0.106092	196.443769
0.108435	197.745087
0.111122	199.222138
0.113666	200.456945
0.116117	201.837099
0.11869	202.848574
0.121105	204.433572
0.123706	205.720016
0.125625	206.734678
0.128541	208.211092
0.131054	209.152231
0.133624	210.615683
0.135863	211.636083
0.138617	213.07701
0.140736	214.207482
0.143197	215.466726
0.145886	216.844755
0.148482	217.931878
0.150647	219.010289
0.153379	220.051513
0.155773	221.38768
0.158031	222.540252
0.160646	223.673912
0.163286	224.932518
0.165398	225.647988
0.168579	226.885345
0.171037	228.158401
0.173378	229.236812
0.175595	230.327548
0.178056	231.58828
0.180936	232.553218

0.183337	233.712802
0.186083	235.092956
0.188296	235.871962
0.190675	236.973747
0.192864	237.943573
0.196056	239.220667
0.198491	240.207493
0.20102	241.248717
0.202963	242.242343
0.205786	243.290367
0.208344	244.189857
0.211096	245.314592
0.213187	246.174558
0.216274	247.232357
0.218394	248.518163
0.22105	249.196022
0.223088	250.190497
0.225656	251.271246
0.228484	252.055139
0.23072	252.858794
0.233305	253.925093
0.235739	254.791009
0.238011	255.697724
0.241053	256.708562
0.243487	257.69815
0.245802	258.377921
0.248239	259.132277
0.250175	259.425308
0.247459	252.585101
0.245111	247.494576
0.242476	241.991174
0.240321	236.74744
0.237362	231.612717
0.23428	226.350283
0.232277	221.518365
0.229716	216.183683



0.227368	211.120995
0.224752	206.241903
0.222225	201.193877
0.219581	196.289285
0.217533	191.474579
0.214448	186.483714
0.212314	181.894677
0.20987	177.086982
0.207233	172.160079
0.205076	167.533005
0.202327	162.617151
0.199447	157.683235
0.197129	153.019399
0.194938	147.889988
0.192163	142.893386
0.189698	137.885734
0.186889	132.893382
0.184071	127.466053
0.18163	122.835367
0.179279	118.288828
0.176644	113.386362
0.174272	108.579517
0.171876	104.01173
0.169353	99.335995
0.166957	94.472839
0.164347	90.279255
0.161674	85.539984
0.159807	80.929697
0.156612	76.25715
0.154543	71.689574
0.152023	67.187448
0.149312	62.505338
0.146661	58.168319
0.144496	53.672143
0.141385	49.449446
0.13931	45.065467

0.13689	40.900144
0.134346	36.691473
0.131369	32.182121
0.129437	28.04676
0.126972	24.131332
0.124598	19.946459
0.12188	15.86996
0.119355	11.842759
0.116899	7.50829
0.11452	3.725458
0.11225	0.005312
0.109348	-4.180516
0.106864	-7.959842
0.10433	-11.393439
0.101788	-15.469301
0.099347	-18.847012
0.096869	-22.729929
0.094082	-26.479824
0.091867	-29.862634
0.088902	-33.454009
0.086615	-36.873262
0.084672	-40.039647
0.081749	-43.614446
0.079477	-46.810261
0.076876	-50.072375
0.07427	-53.413855
0.071549	-56.420869
0.069573	-59.597453
0.066874	-62.624441
0.063961	-65.612649
0.061748	-68.699029
0.059154	-71.443506
0.056763	-74.403345
0.053928	-77.252688
0.051472	-79.89166
0.04926	-82.527127

0.046871	-85.452755
0.04415	-88.106708
0.042059	-90.537436
0.039253	-93.155372
0.036879	-95.540838
0.034192	-98.198935
0.031796	-100.852676
0.029171	-103.153994
0.026722	-105.417276
0.024321	-107.833236
0.022018	-110.387529
0.018837	-112.558269
0.016613	-114.67748
0.014369	-116.728373
0.011508	-118.969662
0.009677	-121.255468
0.006478	-123.521619
0.004463	-125.495057
0.001879	-127.860231
-0.000516	-129.489534
-0.003374	-131.549777
-0.005885	-133.359702
-0.008276	-135.595784
-0.010338	-137.422283
-0.013409	-139.411765
-0.015471	-141.148273
-0.018051	-143.264614
-0.020767	-145.16028
-0.023202	-147.010578
-0.025783	-148.747192
-0.02823	-150.655395
-0.030752	-152.490712
-0.032835	-154.09526
-0.035805	-156.018444
-0.038226	-157.820294
-0.041044	-159.498365

-0.043559	-161.064239
-0.045849	-162.641269
-0.048307	-164.162519
-0.050597	-166.050748
-0.053247	-167.710863
-0.055891	-169.280774
-0.058086	-170.993695
-0.060503	-172.736896
-0.063044	-174.094312
-0.065577	-175.943761
-0.06833	-177.249116
-0.07094	-179.032585
-0.073535	-180.406895
-0.075903	-182.071579
-0.078291	-183.562442
-0.08081	-185.055749
-0.083092	-186.552137
-0.086169	-187.983821
-0.088338	-189.42156
-0.090456	-190.804051
-0.09343	-192.347826
-0.095893	-193.815527
-0.098453	-195.352077
-0.100663	-196.731062
-0.103434	-198.080616
-0.106208	-199.517081
-0.108309	-200.934315
-0.110852	-202.219483
-0.113723	-203.670079
-0.116051	-205.199935
-0.118612	-206.410836
-0.120994	-207.923162
-0.123893	-209.275266
-0.126159	-210.536316
-0.128485	-211.777711
-0.131009	-212.929857

-0.133643	-214.069785
-0.136013	-215.545668
-0.138575	-216.976714
-0.141193	-218.024632
-0.143491	-219.302682
-0.145801	-220.572869
-0.148401	-221.810864
-0.150511	-223.011034
-0.152984	-224.224911
-0.155609	-225.499561
-0.158228	-226.77506
-0.161002	-227.869196
-0.163246	-229.236494
-0.165787	-230.307467
-0.168009	-231.575955
-0.170704	-232.645547
-0.172858	-233.969284
-0.175493	-235.16786
-0.178419	-236.238515
-0.180531	-237.493509
-0.182958	-238.549715
-0.185779	-239.855708
-0.188178	-240.9389
-0.191237	-242.298972
-0.193466	-243.357728
-0.196115	-244.432208
-0.198649	-245.394703
-0.200773	-246.608579
-0.203786	-247.826174
-0.206149	-248.720565
-0.20758	-249.891198
-0.211015	-251.017421
-0.213771	-251.950804
-0.216172	-252.95771
-0.218471	-253.937949
-0.22105	-255.163831

-0.223018	-256.059815
-0.226048	-257.157032
-0.227914	-258.188375
-0.230635	-259.392265
-0.232967	-260.186039
-0.235811	-261.351785
-0.23818	-262.144603
-0.240139	-263.118467
-0.243256	-264.308544
-0.245847	-265.277626
-0.248312	-266.154911
-0.250608	-266.30302
-0.248781	-261.281449
-0.246446	-255.225667
-0.243418	-249.437628
-0.241319	-244.492662
-0.238587	-238.884288
-0.236081	-233.707915
-0.233213	-228.354747
-0.23028	-222.655956
-0.228211	-217.42274
-0.225185	-211.961625
-0.222688	-206.765915
-0.220013	-201.706627
-0.217563	-196.232762
-0.214592	-191.208641
-0.21222	-186.506982
-0.209756	-181.597928
-0.207205	-176.507509
-0.20469	-171.611311
-0.202422	-166.552342
-0.199561	-161.409755
-0.197214	-156.049044
-0.194765	-150.839097
-0.19189	-145.832932
-0.189097	-140.296912

-0.186771	-135.25303
-0.183707	-130.252284
-0.181817	-125.678228
-0.179223	-120.692463
-0.176386	-115.245266
-0.173882	-110.97444
-0.171484	-106.300617
-0.169723	-101.427262
-0.166013	-96.498339
-0.164204	-92.345766
-0.161247	-87.108939
-0.159181	-82.451585
-0.156527	-77.835667
-0.154268	-73.132095
-0.151623	-68.997372
-0.148977	-64.140485
-0.14683	-59.695838
-0.144057	-54.908862
-0.141567	-50.74014
-0.13921	-46.010643
-0.136457	-41.540497
-0.13431	-37.456985
-0.131549	-33.244382
-0.129356	-29.10424
-0.126807	-24.750223
-0.124108	-20.373468
-0.121934	-16.589786
-0.119292	-12.460694
-0.116655	-8.011797
-0.114384	-4.262858
-0.111638	-0.350404
-0.10931	3.501701
-0.106834	7.270296
-0.104195	11.186787
-0.101901	15.045905
-0.099254	18.816625

-0.096759	22.266052
-0.094506	25.82534
-0.091591	29.563335
-0.089359	32.75182
-0.086724	35.945191
-0.08437	39.207411
-0.081986	42.668313
-0.078996	45.767762
-0.07705	48.90206
-0.074092	52.155567
-0.071478	55.417575
-0.068928	58.434575
-0.066637	61.373591
-0.064015	64.535938
-0.061374	67.388255
-0.059119	70.092251
-0.056771	72.840871
-0.054271	75.906533
-0.051694	78.624129
-0.049409	81.143254
-0.046691	84.031696
-0.043986	86.463699
-0.041976	88.922901
-0.039284	91.614997
-0.036789	94.096936
-0.03464	96.617974
-0.031339	99.133062
-0.029116	101.721248
-0.026677	104.022992
-0.024482	106.13689
-0.021299	108.657078
-0.019161	111.001958
-0.01662	112.974334
-0.014198	115.147943
-0.011798	117.447774
-0.009158	119.383814



-0.006752	121.527249
-0.004478	123.717432
-0.001363	125.794994

ヒステリシスループ :  $\Delta\varepsilon=0.7\%$ , 1cycle

Total Strain (%)	Stress (MPa)
-0.05367	0.019762
-0.027945	52.607119
-0.000831	104.578878
0.002649	111.090993
0.005846	118.047434
0.00967	124.899541
0.013289	131.538728
0.016851	136.869584
0.02084	141.046594
0.024354	144.095044
0.027552	146.152418
0.031028	148.545109
0.034847	150.897214
0.037944	152.535549
0.042064	155.211283
0.045607	157.086124
0.049136	159.289695
0.052233	161.284596
0.056024	163.417194
0.059786	165.318597
0.063229	167.397221
0.066688	169.354935
0.070355	171.641166
0.073662	173.32965
0.077043	175.341338
0.080636	177.219792
0.0839	179.190043
0.087464	180.96055
0.09105	182.800754
0.094399	184.673046

0.098279	186.631398
0.102026	188.490515
0.105093	190.09825
0.108807	191.871731
0.111971	193.920818
0.115731	195.419757
0.119262	197.260386
0.122931	198.973732
0.126719	200.720226
0.12974	202.385335
0.1334	203.71024
0.136681	205.650955
0.140257	207.394687
0.14379	209.024947
0.14729	210.688144
0.151122	212.15797
0.154662	213.954613
0.157974	215.505613
0.160725	216.905741
0.164905	218.500939
0.168533	220.128436
0.171795	221.569788
0.1752	223.189211
0.179048	224.838171
0.182428	226.462481
0.185905	227.857509
0.189631	229.289724
0.19244	230.502856
0.195911	232.278463
0.199759	233.537919
0.202942	234.962484
0.206623	236.486709
0.209854	237.801627
0.213516	239.130994
0.216942	240.567246
0.220494	241.990111

0.224051	243.4627
0.227785	244.837754
0.231226	246.298868
0.234613	247.532825
0.238266	249.108899
0.241699	250.393855
0.245028	251.439754
0.248623	252.960367
0.252554	254.02709
0.255821	255.228961
0.25924	256.428919
0.262616	257.566403
0.265722	258.878558
0.269897	260.015618
0.272865	260.815023
0.276599	261.959095
0.279958	262.769338
0.283246	263.910222
0.287032	264.860711
0.290804	265.529645
0.293698	266.342012
0.29748	267.114643
0.300801	267.924886
0.304623	268.580857
0.308433	269.593395
0.311568	270.022422
0.315051	270.492885
0.318713	271.247454
0.32223	271.532622
0.325596	272.191569
0.329101	272.66097
0.333178	273.254042
0.336108	273.77678
0.339801	274.116984
0.343726	274.504999
0.34708	274.77253

0.350776	275.509037
0.347765	266.364112
0.343843	258.409158
0.340333	250.77677
0.336921	244.004137
0.333464	237.181142
0.32984	230.382584
0.32613	223.119725
0.322628	216.12036
0.318747	208.924437
0.31522	202.052781
0.311766	195.261235
0.30822	188.326894
0.304446	181.569772
0.301077	174.491359
0.297391	167.82646
0.293889	160.981791
0.290675	154.651572
0.286784	148.009835
0.283475	141.096743
0.28003	134.532566
0.276146	127.968178
0.272789	121.729331
0.269146	114.880625
0.266204	108.579517
0.262423	101.704249
0.258629	95.502589
0.255072	89.271392
0.251582	83.229528
0.248787	77.508106
0.245123	71.518516
0.241294	65.284982
0.237851	59.280517
0.234153	53.723566
0.231078	48.212939
0.227463	42.293472

0.223765	36.915017
0.220616	31.631335
0.216846	26.00766
0.213485	21.005746
0.210152	16.250538
0.206769	11.267748
0.203228	6.144711
0.199633	1.159796
0.19568	-3.765301
0.192361	-8.492885
0.188656	-13.159164
0.18528	-17.440084
0.181892	-22.044527
0.178354	-26.33214
0.174932	-30.696358
0.171585	-34.646954
0.168066	-38.628894
0.16454	-42.478555
0.161259	-46.727601
0.157921	-50.316638
0.154469	-53.837676
0.150144	-57.794647
0.146935	-61.137403
0.143714	-64.495776
0.140021	-68.205935
0.13597	-71.569196
0.133011	-74.512886
0.129366	-77.898247
0.12558	-80.770326
0.122375	-83.904093
0.118892	-86.836733
0.115397	-89.888158
0.111983	-92.62456
0.108597	-95.44139
0.105231	-98.15208
0.101392	-100.775328

0.097542	-103.450743
0.09491	-106.158883
0.090907	-108.828561
0.087268	-111.345349
0.084336	-113.603
0.080473	-116.211692
0.076869	-118.54701
0.073371	-120.9533
0.069819	-123.251219
0.066466	-125.396141
0.063133	-127.80137
0.059485	-129.945017
0.055468	-132.393488
0.05209	-134.154538
0.048854	-136.443107
0.04544	-138.693108
0.042267	-140.410916
0.038402	-142.674091
0.034986	-144.435673
0.031302	-146.545321
0.028045	-148.709155
0.024514	-150.421226
0.021067	-152.256968
0.017622	-154.246663
0.013814	-156.248151
0.010531	-158.061688
0.00706	-159.891055
0.003381	-161.749535
-1.00E-05	-163.602595
-0.003798	-165.334109
-0.007188	-167.08836
-0.010761	-168.830073
-0.013962	-170.414965
-0.017399	-172.246989
-0.021508	-174.02472
-0.024459	-175.703216

-0.028228	-177.406681
-0.031725	-179.014523
-0.035161	-180.75953
-0.038955	-182.359509
-0.042493	-183.940789
-0.045425	-185.790981
-0.049063	-186.987751
-0.052773	-188.921348
-0.055974	-190.529402
-0.059985	-191.993916
-0.063262	-193.551928
-0.066555	-195.048953
-0.070245	-196.690263
-0.07393	-198.464594
-0.077466	-199.938777
-0.080934	-201.36366
-0.08451	-203.042369
-0.08795	-204.132999
-0.091348	-205.719378
-0.094908	-207.202061
-0.098166	-208.745835
-0.102041	-210.101446
-0.104772	-211.585722
-0.108581	-213.006887
-0.11261	-214.516981
-0.115883	-215.839123
-0.11898	-217.366642
-0.122286	-218.992227
-0.126117	-220.290039
-0.129474	-221.595925
-0.133196	-223.213967
-0.1366	-224.310121
-0.140044	-226.012948
-0.14366	-227.416795
-0.147346	-228.688576
-0.150908	-230.165308

-0.154314	-231.562674
-0.157835	-232.986601
-0.161341	-234.330206
-0.164586	-235.588069
-0.168422	-237.070964
-0.171653	-238.201436
-0.175023	-239.58807
-0.178748	-240.905963
-0.182096	-242.09434
-0.18595	-243.660001
-0.189195	-244.82766
-0.192525	-245.985226
-0.195879	-247.465677
-0.199114	-248.651291
-0.203321	-249.905648
-0.20643	-251.30567
-0.210147	-252.505628
-0.213332	-253.693155
-0.216686	-254.778047
-0.22086	-256.244686
-0.223917	-257.283891
-0.227488	-258.694007
-0.231277	-259.708244
-0.234429	-260.927221
-0.23778	-262.093711
-0.241859	-262.988632
-0.244653	-264.282938
-0.248194	-265.348493
-0.251856	-266.416598
-0.255059	-267.556951
-0.258548	-268.370488
-0.262225	-269.423399
-0.265808	-270.494054
-0.269481	-271.316409
-0.272952	-272.244267
-0.276862	-273.170851



-0.280061	-274.05026
-0.283427	-274.762755
-0.286939	-275.53103
-0.291069	-276.483219
-0.293908	-276.96792
-0.297297	-277.690508
-0.301025	-278.37846
-0.304956	-278.977058
-0.308242	-279.488214
-0.31157	-280.249052
-0.315231	-280.752771
-0.318966	-281.421598
-0.322115	-281.787726
-0.325387	-282.281564
-0.329251	-282.834688
-0.332426	-283.266477
-0.335959	-283.852751
-0.339179	-284.303239
-0.343108	-284.610507
-0.346659	-285.135157
-0.350016	-285.715905
-0.349784	-279.700178
-0.34568	-270.935724
-0.341752	-262.92754
-0.338179	-255.530066
-0.333809	-247.647147
-0.330229	-239.929549
-0.326686	-232.493082
-0.323159	-225.252323
-0.319855	-217.997645
-0.315729	-210.729261
-0.312419	-203.466084
-0.308808	-196.292154
-0.304705	-189.009958
-0.301327	-182.192063
-0.298039	-175.363119

-0.294538	-168.55128
-0.290986	-161.651256
-0.287066	-154.362791
-0.283743	-147.300421
-0.280333	-140.169203
-0.276235	-133.163463
-0.272714	-126.735283
-0.269549	-120.123083
-0.265921	-113.72136
-0.262301	-107.374459
-0.259018	-100.886675
-0.255716	-95.019269
-0.252001	-88.778617
-0.248634	-82.521602
-0.245157	-76.411421
-0.241253	-69.795077
-0.237602	-63.646329
-0.234232	-57.6833
-0.230607	-51.463366
-0.227144	-45.953482
-0.223757	-40.169056
-0.220001	-34.818756
-0.216718	-29.347335
-0.21301	-24.199011
-0.209988	-19.065031
-0.206552	-13.733537
-0.202878	-8.884513
-0.199406	-3.725033
-0.19558	0.90544
-0.192428	5.819169
-0.188816	10.502979
-0.185457	14.722275
-0.182166	19.366986
-0.178763	23.555683
-0.174791	27.848928
-0.171809	32.0066

-0.167837	35.863806
-0.164392	39.846595
-0.160729	43.785398
-0.157357	47.388247
-0.15403	51.361262
-0.150489	54.961561
-0.146811	58.322803
-0.143576	61.897815
-0.140041	65.302194
-0.136426	68.689361
-0.13308	71.75226
-0.129483	75.050392
-0.126196	77.97857
-0.122818	80.984096
-0.118868	84.228041
-0.11531	87.252479
-0.111932	90.066548
-0.108508	92.954139
-0.105045	95.687884
-0.101566	98.473478
-0.098206	101.072077
-0.093987	103.902295
-0.090933	106.361922
-0.087508	108.971783
-0.084097	111.148154
-0.080578	113.891462
-0.076809	116.249941
-0.073321	118.406763
-0.069938	120.952663
-0.06653	123.147946
-0.062929	125.34833
-0.059289	127.694485
-0.055987	129.845569
-0.052292	132.06274
-0.048817	134.244211
-0.045478	136.160276

-0.042164	138.125003
-0.038738	139.933121
-0.035069	142.248677
-0.03159	144.256327
-0.028148	146.137756
-0.024421	148.096108
-0.020964	150.018973
-0.017442	152.06636
-0.01387	153.661134
-0.010478	155.5483
-0.006977	157.534701
-0.003806	159.146899

ヒステリシスループ :  $\Delta\varepsilon=0.7\%$ , 100cycle

Total Strain (%)	Stress (MPa)
0.000997	160.977754
0.004723	162.940993
0.008154	164.672613
0.011594	166.918683
0.015473	168.652002
0.018792	170.449283
0.022109	172.373211
0.025396	173.959059
0.029166	175.949498
0.032575	177.502622
0.036411	179.323277
0.039346	181.029398
0.043292	182.9665
0.046773	184.453751
0.05028	186.116098
0.053625	187.97139
0.057085	189.268883
0.060377	191.067651
0.064156	193.015803
0.067399	194.207261
0.071275	195.89532

0.074356	197.622477
0.078044	199.243175
0.081549	200.623329
0.085313	202.180915
0.088649	203.779938
0.09238	205.145855
0.095537	206.726391
0.099056	208.30544
0.102677	209.793753
0.105767	210.948025
0.109611	212.526436
0.112884	213.861541
0.116653	215.419977
0.119786	216.771656
0.123384	218.34603
0.127325	219.616112
0.130913	221.046626
0.133936	222.441867
0.13737	223.718111
0.141301	225.096139
0.14478	226.552791
0.148029	228.044504
0.151272	229.292911
0.155182	230.282924
0.158548	231.7961
0.161741	233.049606
0.165789	234.327125
0.16886	235.608468
0.17283	236.950798
0.176189	238.333714
0.179672	239.522834
0.18292	240.808853
0.186512	242.221518
0.189836	243.26338
0.193596	244.452501
0.196919	245.669671

0.200555	247.095511
0.204022	248.132485
0.207508	249.481827
0.211272	250.299719
0.214334	251.627174
0.218174	252.846682
0.221353	253.796533
0.225506	255.071077
0.228546	256.057478
0.232224	257.371546
0.235839	258.565341
0.239136	259.64014
0.242329	260.774649
0.245912	261.812261
0.249538	262.714514
0.253105	263.940821
0.256283	265.111455
0.260224	265.948685
0.263331	267.13738
0.266652	268.319701
0.270805	269.313114
0.274189	270.306527
0.277345	271.245117
0.281265	272.54091
0.284269	273.381114
0.288303	274.892802
0.291598	275.142484
0.295193	276.307167
0.298426	277.054299
0.302143	278.034537
0.305853	278.998414
0.309229	279.886854
0.313094	280.881117
0.315709	281.711547
0.319631	282.51754
0.322764	283.412143

0.326493	284.280396
0.329385	285.343933
0.333393	286.15375
0.336463	286.976955
0.340018	287.690087
0.344503	288.631864
0.347321	289.600628
0.350111	289.011167
0.346441	279.832668
0.342863	272.502236
0.339706	265.924673
0.336385	258.91617
0.33227	251.823944
0.328565	244.565335
0.325058	237.486497
0.321326	230.252962
0.317926	223.735748
0.313771	216.765707
0.3106	210.038547
0.307124	203.265914
0.303803	196.509855
0.300584	190.166673
0.297153	183.311379
0.29362	176.915499
0.289435	170.009419
0.285423	163.207249
0.282772	156.808819
0.279193	150.268229
0.275524	143.865337
0.271859	137.588666
0.268509	130.977741
0.265315	124.981351
0.261843	118.522998
0.257993	112.622655
0.254352	106.030217
0.25135	100.044452

0.247753	94.300081
0.244088	87.794766
0.240459	81.777551
0.237	75.7274
0.233731	70.096714
0.229967	64.589062
0.226588	58.958588
0.223289	53.452423
0.2195	47.933509
0.215437	42.278385
0.212276	37.469629
0.208657	32.035287
0.205278	27.017861
0.202365	22.120069
0.198667	17.156828
0.195198	12.080965
0.191472	7.046114
0.188024	2.494476
0.184453	-2.061943
0.181098	-6.607206
0.177753	-11.225993
0.173848	-15.960907
0.170321	-20.339681
0.166838	-24.69848
0.163219	-28.880377
0.16011	-32.746188
0.157251	-36.666292
0.153115	-40.961661
0.149729	-44.799211
0.146055	-48.671291
0.14271	-52.519996
0.139406	-56.290609
0.135593	-59.784873
0.132301	-63.490039
0.12918	-67.040826
0.125427	-70.610207



0.121579	-73.705831
0.117767	-76.993019
0.114505	-80.398992
0.11162	-83.579932
0.107827	-86.759066
0.104015	-89.722943
0.100191	-92.752375
0.096838	-95.523095
0.093479	-98.6116
0.090427	-101.532872
0.086508	-104.375096
0.08316	-107.267999
0.079741	-109.745795
0.076051	-112.292226
0.072873	-115.100026
0.069644	-117.76046
0.066233	-120.124465
0.062687	-122.950114
0.058992	-125.36023
0.055149	-127.63233
0.051186	-130.103538
0.047712	-132.629357
0.044842	-134.798291
0.041499	-137.209044
0.03721	-139.418246
0.03437	-141.477427
0.031226	-143.805201
0.026519	-145.94598
0.023906	-148.23253
0.020506	-150.432594
0.016286	-152.357159
0.013652	-154.5228
0.008707	-156.499426
0.006175	-158.561794
0.002711	-160.774927
-0.001287	-162.639038

-0.00448	-164.24518
-0.007716	-166.284067
-0.010917	-168.314242
-0.014977	-170.28375
-0.019013	-172.220427
-0.021907	-174.053301
-0.025325	-175.605894
-0.02858	-177.607063
-0.032487	-179.470961
-0.035822	-181.307447
-0.039532	-183.012293
-0.042807	-184.826573
-0.046594	-186.466927
-0.050035	-188.081675
-0.053507	-189.921348
-0.057029	-191.693661
-0.060539	-193.526959
-0.064161	-195.080509
-0.067581	-196.700781
-0.070751	-198.368122
-0.074772	-199.905521
-0.078071	-201.63321
-0.081577	-203.255501
-0.085295	-204.771758
-0.088404	-206.241053
-0.091594	-207.858776
-0.095663	-209.4187
-0.099112	-210.97023
-0.102692	-212.748599
-0.106235	-214.067448
-0.109752	-215.542693
-0.113053	-217.030688
-0.116959	-218.439528
-0.120749	-220.164879
-0.123712	-221.431986
-0.127026	-222.911481

-0.13059	-224.356126
-0.134133	-225.796097
-0.137397	-227.081053
-0.140984	-228.534092
-0.14439	-230.065967
-0.147738	-231.417753
-0.151334	-232.82638
-0.155088	-234.248502
-0.158596	-235.612081
-0.162127	-236.941448
-0.165514	-238.598907
-0.168923	-239.503072
-0.172246	-240.946124
-0.175549	-242.305241
-0.179591	-243.897996
-0.183045	-245.036649
-0.18667	-246.428383
-0.189819	-247.613786
-0.193576	-248.840624
-0.19701	-250.16776
-0.201037	-251.615806
-0.203944	-252.825007
-0.207409	-254.287928
-0.210654	-255.286653
-0.214467	-256.651294
-0.217818	-257.712918
-0.221181	-259.019124
-0.224907	-260.164258
-0.228269	-261.270612
-0.232002	-262.642797
-0.235292	-263.977477
-0.238622	-265.033788
-0.242579	-266.091906
-0.245675	-267.214091
-0.249558	-268.649812
-0.253127	-269.832239

-0.256586	-270.85232
-0.259516	-271.777841
-0.263149	-273.017217
-0.266891	-274.06471
-0.270798	-275.262224
-0.274231	-276.445714
-0.277727	-277.335961
-0.280135	-278.491401
-0.28422	-279.58628
-0.287511	-280.609762
-0.291591	-281.900349
-0.294977	-282.808657
-0.298564	-283.771896
-0.302409	-284.620707
-0.305952	-285.831608
-0.309066	-286.969518
-0.312762	-287.892382
-0.315951	-288.978018
-0.319432	-289.716969
-0.322675	-290.666502
-0.325657	-291.616778
-0.330213	-292.849248
-0.333253	-293.653116
-0.336945	-294.515632
-0.34047	-295.390898
-0.343621	-296.281995
-0.347374	-296.948166
-0.350281	-297.046657
-0.348084	-289.528486
-0.344459	-281.331075
-0.340666	-273.418195
-0.336552	-266.156504
-0.332708	-258.716531
-0.329616	-251.187948
-0.325379	-244.018905
-0.321858	-236.655749

-0.318376	-229.481819
-0.314609	-222.77814
-0.310918	-215.14384
-0.307807	-208.73521
-0.304172	-201.583061
-0.300868	-195.02866
-0.296903	-187.77632
-0.293438	-180.833903
-0.289916	-173.796926
-0.286349	-166.718831
-0.282638	-160.086019
-0.278689	-153.214151
-0.275694	-146.758666
-0.272179	-140.414528
-0.268716	-133.904538
-0.2654	-127.271408
-0.262029	-121.294886
-0.258033	-114.910693
-0.254878	-108.525437
-0.251478	-102.362876
-0.247328	-95.865105
-0.244133	-89.435226
-0.240392	-83.455623
-0.236641	-77.586836
-0.233384	-71.485686
-0.229781	-65.825144
-0.226867	-59.952638
-0.223169	-54.003953
-0.219438	-48.641754
-0.215397	-43.208687
-0.212742	-37.840751
-0.209233	-32.449546
-0.205587	-27.328953
-0.202261	-22.05802
-0.198512	-17.093717
-0.195273	-12.151514

-0.191197	-6.984491
-0.187943	-2.570337
-0.18473	2.32958
-0.181388	7.068426
-0.177445	11.596265
-0.174019	16.052068
-0.170443	20.3128
-0.16677	24.459848
-0.163803	28.694869
-0.160116	32.965377
-0.156592	36.78327
-0.153447	40.553353
-0.149657	44.888459
-0.146374	48.316212
-0.142198	52.24439
-0.139518	55.938187
-0.135525	59.331516
-0.131593	62.921403
-0.128781	66.163223
-0.125127	69.658337
-0.121781	73.183838
-0.117981	76.294974
-0.115054	79.621792
-0.111475	83.059107
-0.107661	85.9178
-0.104127	88.810916
-0.100578	91.884653
-0.097152	94.793281
-0.093839	97.769696
-0.089616	100.820483
-0.086595	103.414619
-0.082905	106.327285
-0.079633	108.795624
-0.075822	111.584618
-0.072515	114.177692
-0.069206	116.671318

-0.065715	119.290954
-0.062402	121.659846
-0.058572	124.032562
-0.055124	126.816456
-0.051458	128.98964
-0.047975	131.13945
-0.044341	133.505579
-0.041077	135.723387
-0.037634	138.071667
-0.034428	140.337924
-0.030802	142.437797
-0.02735	144.544258
-0.023644	146.712342
-0.020025	148.935887
-0.016605	150.74018
-0.012921	152.911664
-0.009568	155.011963
-0.00618	156.949065
-0.002636	159.021314

ピーク応力の変化 :  $\Delta \varepsilon = 0.3\%$

Cycle Number	Max Stress (MPa)	Min Stress (MPa)	Stress Range (MPa)
1	138.656677	-151.033317	289.689994
2	147.657159	-153.062199	300.719358
3	152.524027	-156.685604	309.209631
4	152.979415	-157.316005	310.29542
5	153.09791	-157.402995	310.500906
6	153.261413	-157.592986	310.8544
7	153.335049	-157.625525	310.960573
8	153.390533	-157.444904	310.835437
9	153.374449	-157.591584	310.966033
10	153.444542	-157.699012	311.143555
20	152.51532	-155.944898	308.460218
30	151.676261	-154.703057	306.379319
40	151.202427	-154.170419	305.372846
50	150.624412	-153.47804	304.102452

60	150.065138	-152.726044	302.791182
70	149.602076	-152.540185	302.142261
71	149.394156	-152.550589	301.944745
80	149.271086	-152.163892	301.434978
90	149.501584	-151.470554	300.972138
100	149.706258	-150.991039	300.697297
150	149.893076	-149.542238	299.435314

ピーク応力の変化 :  $\Delta \varepsilon = 0.5\%$

Cycle Number	Max Stress (MPa)	Min Stress (MPa)	Stress Range (MPa)
1	242.84349	-254.104332	496.947822
2	248.65076	-257.879408	506.530168
3	251.772096	-260.685402	512.457497
4	254.164362	-262.888654	517.053016
5	255.825859	-264.588612	520.41447
6	257.261898	-265.88398	523.145878
7	258.766361	-267.022421	525.788782
8	259.751275	-268.011903	527.763177
9	260.785274	-268.76594	529.551214
10	261.318423	-269.267853	530.586276
20	264.259776	-271.944437	536.204213
30	264.453784	-271.624739	536.078523
40	263.893223	-270.81439	534.707613
50	262.965895	-270.223229	533.189125
60	262.023906	-269.427224	531.45113
70	261.323311	-268.560989	529.8843
80	260.301211	-267.826501	528.127712
90	259.753399	-267.119318	526.872718
100	259.425308	-266.30302	525.728327
200	255.113789	-261.411921	516.52571

ピーク応力の変化 :  $\Delta \varepsilon = 0.7\%$

Cycle Number	Max Stress (MPa)	Min Stress (MPa)	Stress Range (MPa)
1	275.509037	-285.715905	561.224942
2	278.340742	-287.784223	566.124965
3	280.014989	-289.31121	569.326199



4	281.442529	-290.621984	572.064513
5	282.568538	-291.802711	574.37125
6	283.627825	-292.800799	576.428624
7	284.628888	-293.695721	578.324609
8	285.323746	-294.3144	579.638145
9	286.158638	-295.048994	581.207632
10	286.760423	-295.575344	582.335766
11	287.292935	-296.052394	583.345329
20	291.067692	-299.18308	590.250772
30	292.038368	-300.441049	592.479417
40	292.584267	-300.664593	593.24886
50	292.44487	-300.388881	592.833752
60	291.64929	-299.677661	591.326951
70	291.56663	-299.158855	590.725485
80	290.540492	-298.415017	588.95551
90	290.468032	-298.120287	588.588319
99	289.500543	-297.105837	586.60638
100	289.600628	-297.046657	586.647285

No. 10 CYC-2

$\sigma_t$ [Mpa]	$\epsilon_t$ [m/m]	$\sigma_n$ [Mpa]	$\epsilon_n$ [%]	Total Strain Range (%)	Stress Range (MPa)
222.0198036	0.001501589	221.6866713	0.1502717	0.3005434	443.3733426
273.1872357	0.002497719	272.5057422	0.2500841	0.5001682	545.0114844
316.6968218	0.003497874	315.5909913	0.3503999	0.7007998	631.1819826
1012.972039	0.259964064	781.081765	29.68834815		

ピーク応力の変化 :  $\Delta \epsilon = 0.3\%$

Cycle Number	Max Stress (MPa)	Min Stress (MPa)	Stress Range (MPa)
1	205.247215	-227.160739	432.407953
2	219.003702	-230.09306	449.096762
3	221.064688	-231.328823	452.393512
4	221.918492	-231.556937	453.475429
5	222.462054	-231.953877	454.415931
6	222.785471	-232.157766	454.943237
7	222.857294	-232.320537	455.177831
8	222.943355	-232.218327	455.161681
9	223.210248	-232.270175	455.480424
10	223.1312	-232.06533	455.19653
11	223.409993	-231.901922	455.311915
20	222.602301	-230.84221	453.444511
30	221.711735	-229.706426	451.418161
40	220.532177	-228.708444	449.240621
50	220.256996	-228.040679	448.297675
60	219.112711	-227.482668	446.59538
70	219.165835	-226.607721	445.773556
75	218.925716	-226.802366	445.728082
80	218.400004	-226.165838	444.565842
90	218.325418	-225.454299	443.779718
100	217.809056	-225.576377	443.385433

ピーク応力の変化 :  $\Delta \epsilon = 0.5\%$

Cycle Number	Max Stress (MPa)	Min Stress (MPa)	Stress Range (MPa)
1	247.552162	-263.285488	510.83765
2	253.648	-267.468235	521.116234

3	257.047066	-270.454955	527.502021
4	259.927008	-272.604871	532.531879
5	261.706014	-274.311098	536.017112
6	263.402147	-275.692101	539.094248
7	264.545582	-276.869322	541.414904
8	265.655654	-277.529862	543.185517
9	266.659055	-278.288575	544.94763
10	267.416811	-278.889298	546.306109
20	270.604233	-281.14663	551.750862
24	271.022422	-281.3332	552.355622
30	270.903638	-281.173723	552.07736
40	270.279328	-280.423722	550.70305
50	269.673505	-279.493633	549.167138
60	269.436361	-278.31673	547.753092
70	268.519871	-277.646416	546.166287
80	268.023909	-276.557911	544.58182

ピーク応力の変化 :  $\Delta \varepsilon = 0.7\%$

Cycle Number	Max Stress (MPa)	Min Stress (MPa)	Stress Range (MPa)
1	285.449755	-299.453267	584.903022
2	289.863909	-302.76436	592.628269
3	292.332673	-304.894302	597.226975
4	294.152478	-306.666614	600.819093
5	295.809088	-308.421821	604.230909
6	297.504159	-309.689246	607.193405
7	298.844363	-310.655991	609.500354
8	300.057708	-311.864449	611.922157
9	301.033059	-312.811751	613.84481
10	302.089583	-313.842351	615.931934
15	305.460813	-316.536041	621.996853
20	307.320355	-318.748324	626.068678
30	309.997789	-321.222825	631.220614
40	311.482277	-322.124016	633.606293
44	311.638248	-322.365197	634.003446
50	311.952316	-322.328967	634.281283
60	312.264683	-322.511925	634.776608

70	312.830769	-322.202957	635.033727
80	312.889418	-321.945626	634.835044
90	313.00034	-321.611266	634.611606
100	313.360731	-321.175439	634.53617
200	314.346707	-317.402063	631.74877
300	313.349469	-317.371782	630.721251

No. 11 単調負荷下のき裂進展シミュレーション結果

$\Delta \sigma = 270 \text{ MPa}$

$\Delta J_f$ [kN/m]	da/dN_main [m/cycle]	da/dN_sub [m/cycle]
17.43487258	1.23E-06	2.93E-11
21.01631549	2.13E-06	3.74E-11
25.26501246	3.18E-06	9.32E-11

No. 12 繰り返し負荷を考慮したき裂進展シミュレーション結果

$\Delta \sigma = 270 \text{ MPa}$

$\Delta J_f$ [kN/m]	da/dN_main [m/cycle]	da/dN_sub [m/cycle]
12.58665656	1.34E-07	6.38E-08
13.0608797	1.84E-07	2.54E-08
13.30249031	2.66E-07	1.22E-11
13.56457212	3.01E-07	8.25E-12
16.07116571	4.38E-07	1.02E-11
18.41109172	8.05E-07	3.03E-11
21.73414896	1.28E-06	3.24E-11
24.86710542	1.77E-06	4.70E-11

$\Delta \sigma = 360 \text{ MPa}$

$\Delta J$	da/dN_main	da/dN_sub
14.58989523	3.18E-07	2.78E-08
15.52453539	4.28E-07	1.53E-08
15.80814592	5.93E-07	2.81E-11
16.18745953	7.00E-07	4.86E-11
19.35305348	1.08E-06	6.33E-11
22.58182644	1.89E-06	7.48E-11
27.42971305	2.78E-06	8.90E-11
32.53007369	3.67E-06	3.73E-10

$\Delta \sigma = 330 \text{ MPa}$

$\Delta J_f$ [kN/m]	da/dN_main [m/cycle]	da/dN_sub [m/cycle]
16.56904912	4.89E-07	1.27E-07
17.74095903	6.42E-07	2.34E-08