# **1301** ショットピーニング SUS316SENB 試験片のき裂進展と形状解析

## Crack extension and dimension analysis of Shot Peened SUS316 SENB Specimen

○ 飯島隆彰(小山高専 専攻科) 正 伊澤悟(小山高専)

## Takaaki IIJIMA, Satoru IZAWA

### Oyama National College of Technology, Nakakuki771, Oyama, Tochigi

## Key Words: Fatigue, Shotpeening, Crack extension, Crack Tip Opening Angle

### 1. 緒論

経年圧力設備の寿命延伸と安全性の確保を両立させるた め、プラント機器構造物に用いられる高延性材料であるオー ステナイト系ステンレス鋼における疲労寿命評価の確立が 重要課題となってきている.この場合、実際のプラントで発 見される応力腐食割れに代表される欠陥を有した状態での 疲労強度を精度良く求めることが要求される.

本研究では,SUS316 鋼の疲労寿命とき裂進展および形状 評価を精度良く解析することを目的として,実験力学手法を 用いている.本報告では,材料表面に圧縮残留応力を与えて 疲労強度向上を図るショットピーニング加工の疲労き裂へ の影響について考察を行う.

#### 2. 実験方法

2.1 供試材料

実験に用いた SENB(Single-Edged Notch three-point Bend)試験片の形状を Fig.1 に示す. 試験片は, 板厚 16mm の SUS316 帯板から, 切欠を圧延方向に対して垂直に L·T 方向にサンプリングして, 機械加工を施した. ASTM 規格 E813-J 積分試験準拠試験片の幅は 25.4mm, 切欠深さ  $a_0 = 10.67$ mm,  $a_0/W = 0.42$  である.

ショットピーニングを施さない試験片の表面はき裂観察 用にエメリーペーパーとアルミナ粉末を用いて鏡面に研磨 した.



Fig.1 SUS316 stainless steel SENB specimen.

2.2 試験方法

疲労試験は、10kN型油圧式疲労試験機(Shimadzu 製)を用 いて3点曲げ試験で行った.試験条件は、周波数 10Hz,応 力比 R=0.01の正弦波負荷で実験を行った.疲労き裂進展は Mitutoyo 製の顕微鏡を使用して観察した.

残留応力の存在がき裂発生とき裂成長に及ぼす影響を調 査するためショットピーニングにより残留応力を与えた SENB 試験片に対しても疲労試験を行った.ショットピーニ ングは切欠に影響を与えると予想される面,4面の全体に施 した.ショットピーニング条件はショット材の材料 Zr,シ ョット圧力 0.5MPa,試験片と噴射ノズルの距離 100mm, ノズルの直径 9mm である. き裂長さが 2, 3.5, 5, 6.5, 8mm に達した時点で試験機 を止め,顕微鏡でき裂の形状観察を行い,き裂の発生とき裂 の進展を評価した.

また,各試験片に対する疲労荷重も,き裂進展およびき裂 形状への影響についても実験した.

## 2.3 CTOA 計測

CTOA(Crack Tip Opening Angle)は以下の3種類の手法 によって評価した. Fig.2 で仮定したき裂形状に対して, CTOA φの定義は Eq.(1)で与える.



Fig.2 Definition of CTOA.

$$\phi = 2 \tan^{-1} \left( \frac{\delta/2}{d} \right) \qquad \cdots \qquad (1)$$

ここで、

- Moiré 干渉法・・・き裂先端から 2mm の位置でのき裂 開口変位 COD を算出しφを求める.
- (2) 顕微鏡観察・・・き裂先端から 2mm 位置でのき裂開口 変位 COD を観察し, Eq.(1)によりφを求める.
- (3) き裂口開口変位(CMOD)・・・クリップゲージを用い て測定したき裂口での CMOD 値よりき裂形状を線形補 間して, Eq.(1)によりφを求める.

## 3. 実験結果および考察

3.1 CTOA の計測結果

Table1 に最大荷重 4.8kN での3手法によって算出した COD の測定結果の比較を示す.また,Moiré 干渉法により 観察した無負荷および負荷時の干渉縞写真も併せて示す.

き裂先端から 2mmの位置で測定した, Moiré 法と顕微鏡 による COD の値は良く一致し,算出した CTOA は同様の値 を示す.また, CMOD から算出した CTOA は Moiré 干渉法 や顕微鏡を用いて,光学的に求めた値の約 1/2 となった. CMOD によって評価した CTOA を,更に正確な光学的手法 により測定した CTOA に変換するために Fig.3 に校正線図 を作成し両者の関係を調査した.

この結果, SENB 試験片の CMOD から算出した CTOA は, 無負荷時および負荷時の両方で光学的に算出した CTOA に 線形関係を示すことから, CMOD から CTOA を容易に置換 することが出来る.

日本機械学会関東支部 ブロック合同講演会―2008 おやま―講演論文集〔2008・9.19~20,小山〕

	Unloaded	4.8kN	
Δa=5.00mm	Zoon		
COD(Moire')	0.55mm 0.75mm		
COD(Microscope)	0.52mm		
CMOD(Clip gauge)	2.28mm	3.31mm	

Table1 CMOD, COD in two SENB specimens.



### Fig.3 CTOA calibration curve.

3.2 ショットピーニング加工と機械的特性

ショットピーニング加工の有無による機械的特性の比較 を Table2 に示す.ショットピーニング加工により発生する 残留応力の強さと密接な関係を持つアークハイト値は、ショ ット材の大きさにほぼ比例して大きくなるが、表面粗さは逆 に粗くなってしまう.また加工によりビッカース硬度はそれ ぞれ上昇する.

	Bead	Archeight	Vickers	Surface
Specimen	diameter	Astrip	hardness	roughness
	[µm]	[mmA]	[100g]	[µm]
Non-P(NP)	—	-	369.9	0.12
Shot A	180	0.113	498.2	2.45
Shot B	363	0.232	545.1	2.60
Shot C	725	0.393	514.3	3.54

Table2 Mechanical properties of specimen.

### 3.3 疲労試験

疲労試験は8種類の異なる応力振幅を持つ疲労負荷に対し て実施した.また、3種類のショットピーニング 加工を施 した SENB 試験片についても実験を実施した.その結果を Fig.4 に示す.

この結果, 圧縮残留応力の影響によるき裂先端域の鈍化が, き裂の発生を遅延させていることが分かった.



Fig.4 Crack extension versus Number of cycles.

#### 3.3 き裂進展

き裂進展速度 da/dN は疲労サイクルと疲労き裂進展量の データから算出した.また、CTOA の偏差  $\Delta$ CTOA は、負荷 時と無負荷時の CTOA の変化を、疲労負荷時の最大および 最小疲労荷重時の CTOA 変化として算出した.両者の関係 を相関するマスターカーブを Fig.5 に示す.

マスターカーブは、SUS316 鋼 SENB 試験片の疲労破壊 特性を顕著に表わし、 $\Delta$ CTOA の発生境界が 0.007rad また は 0.4°であること、また、 $\Delta$ CTOA が 0.1rad または 5.7°で 最大き裂成長速度が 10<sup>5</sup>m/cycle であることを示す.



#### 4. 結論

SUS316 鋼 SENB 試験片の疲労き裂発生および疲労き裂 進展評価を実験力学的に考察した. 結論は以下の通り. (1) SUS316 ステンレス鋼の疲労き裂成長について, da/ d N-ΔCTOA の関係から Paris 則に類似して評価できる. (2) SUS316 ステンレス鋼の残留応力は, き裂発生サイク ルの増加に効果的であるが, き裂進展速度や CTOA につい てもわずかながら影響を及ぼす.

#### 参考文献

 (1) 伊澤悟, Albert S. Kobayashi: SUS316SENB 試験片の CTOA 解析,日本実験力学会講演論文集 2005 年度年次講演 会,No.5 (2005), 27-30

(2) 野澤勇樹: SUS316SENB 試験片の疲労特性,日本機機械
学会関東支部ブロック合同講演会 2007 さいたま 講演論文
集 135-136