

繰り返し大変形曲げを受けたアルミニウム合金材の亀裂発生強度

廣田 一博*・矢島 浩**・高 允宝**
山本 元道***・飯塚 智史****

Crack Initiation Strength of Aluminum Alloy
Having Experienced Cyclic Large Strain

HIROTA Kazuhiro, YAJIMA Hiroshi, KHO Yunbo
YAMAMOTO Motomichi, IZUKA Satoshi

Summary

Effects of large compressive plastic strain on the strength, notch toughness and fracture toughness, and results of assessing and studying quantitatively on the crack initiation strength under the cyclic strain with various amplitude for steel materials have been reported.

In this paper, results of studying on the characteristic of strengths in tension of the prestrained material, and the crack initiation strength under the cyclic large strain after undergoing buckling collapse with strip specimens for aluminum alloy (JIS A5083P) are reported. Moreover, in order to obtain the true stress \sim true strain relationship under a cyclic large strain range of the aluminum alloy (JIS A5083P), an axially cyclic material test was carried out. As a result of this study, following conclusions were obtained.

- (1) The characteristic of strengths in tension (0.2% proof stress, tensile strength, elongation) of aluminum alloy (JIS A5083P) with up to 50% axial prestrain in compression were obtained.
- (2) The true stress \sim true strain relationship under a cyclic large strain range of the aluminum alloy (JIS A5083P) was obtained in detail.
- (3) Relationships between longitudinal strain range of the second cycle at the crack initiation part and number of cycles to crack initiation and to fracture can be expressed by linear functions on logarithmic scale.
- (4) It is possible to assess the crack initiation life of the aluminum alloy (JIS A5083P-H321) under the cyclic large strain with various amplitudes after undergoing buckling collapse.

* 大学院 工学研究科 (三菱重工業(株)長崎造船所)

** 工学部 機械工学科

*** 広島大学 大学院 工学研究科

**** 大学院 工学研究科

2004年6月28日受付

1. はじめに

鋼材を対象に、圧縮歪が材料の残留延性・切欠靱性^{1)~3)}、あるいは破壊靱性^{4), 5)}に及ぼす影響についての研究成果は、以前から報告されている。また著者らは、鋼材が、座屈崩壊後、種々の条件の繰返し変位を受けた場合の亀裂強度に関して定量的に把握・検討した結果について報告してきた^{6)~12)}。

さらに、低温型LNG船をはじめ、大型溶接構造物に広く使用されているアルミニウム合金JIS A5083P材を対象に、座屈崩壊後の繰返し大変形曲げによる亀裂発生強度に関して検討してきた^{13)~15)}。

本報では、JIS A5083P材を対象に、帯板試験片による座屈崩壊後の繰返し大変形曲げ亀裂発生試験および3次元弾塑性有限要素法解析を実施し、当該亀裂強度を定量的に取り扱うことのできる評価手法について検討した結果について報告する。

また、本報では、アルミニウム合金JIS A5083P-O材を用いた軸力圧縮予歪材の引張強度特性について報告すると共に、軸力繰返し材料試験の実施を試み、繰返し大歪範囲での応力～歪関係を詳細に把握・検討した結果についても報告する。

2. 軸力圧縮予歪材の引張強度特性

2.1 供試材

板厚46mmのアルミニウム合金JIS A5083P-O材を供試した。ミルシートによる化学成分および機械的性質をTable 1に示す。

Table 1 Chemical composition and mechanical properties of aluminum alloy (JIS A5083P-O)

[t: 46 mm]											
Si (%)	Fe (%)	Cu (%)	Mn (%)	Mg (%)	Cr (%)	Zn (%)	Ti (%)	Y.P. (N/mm ²)	T.S. (N/mm ²)	El. (%)	
0.15	0.21	0.02	0.64	4.83	0.07	0.00	0.02	153	307	22	

2.2 軸力圧縮予歪材の製作

試験片長さ方向が供試材の圧延方向と一致するように、直径46mm、長さ100・120mmの丸棒試験片を採取した。

2000kN圧縮試験機を用いて、圧縮予歪量-10～-50%の5種類の軸力圧縮予歪材を製作した(Fig. 1, Photo 1参照)。なお、圧縮予歪量-40%、-50%を与える場合は、Z型変形を避けるために2段階に圧縮した。すなわち、-25～-30%圧縮後、円柱形に削り直して、再度圧縮した。

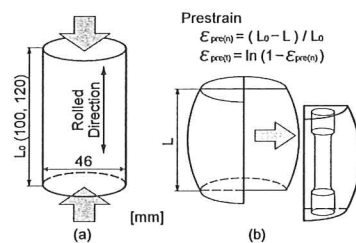


Fig.1 Axially prestrained specimen in compression

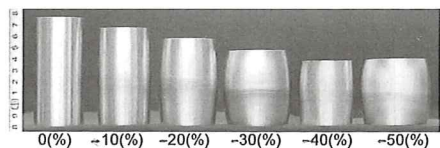


Photo 1 Shape of specimens after axial compression

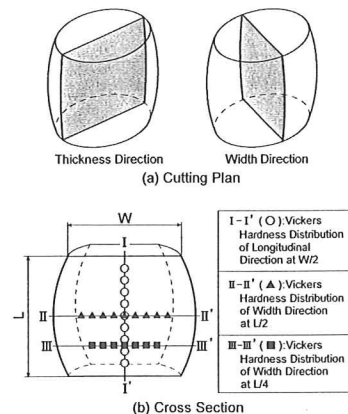


Fig.2 Location for measuring Vickers hardness

製作した軸力圧縮予歪材を、Fig. 2 (a)に示すように切断し、切断面を研磨した後、ビッカース硬さ分布を測定した。測定箇所をFig. 2 (b)に示す。

代表例として、圧縮予歪量-30%を与えた試験片のビッカース硬さ分布を、Fig. 3 およびFig. 4に示す。処女材(母材)に比べてかなり硬化していることが明らかである。

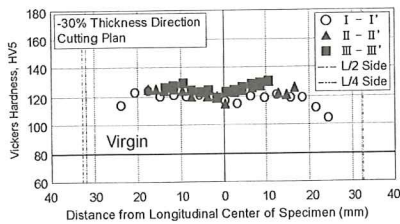


Fig.3 Distribution of Vickers hardness (-30%, Thickness direction)

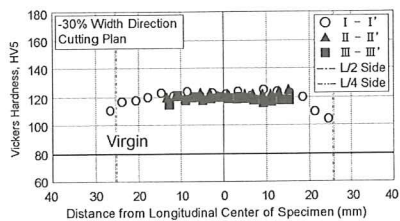


Fig.4 Distribution of Vickers hardness (-30%, Width direction)

2.3 軸力圧縮予歪材の引張試験およびその結果

上述の軸力圧縮予歪材 1 個から、4 本の丸棒引張試験片 (直径 6 mm の JIS 14A 号) を削り出し、供試した (Fig. 1 (b) 参照)。なお、引張試験時に試験片掴み部にて、すべりや変形が起らないように、Photo 2 に示すような鋼製の治具を介して試験機に取り付けた。

引張試験は、50kN オートグラフ試験機を用いて、室温において行なった。

引張試験結果の降伏応力 (0.2% 耐力) ・引張強さと予歪量 (公称歪・真歪) との関係を Fig. 5 に示す。また、伸びと予歪量との関係を Fig. 6 に示す。

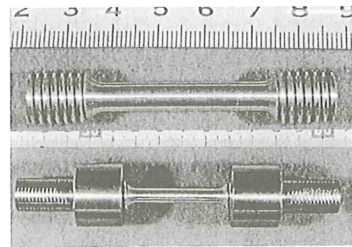


Photo 2 Specimen for tensile test

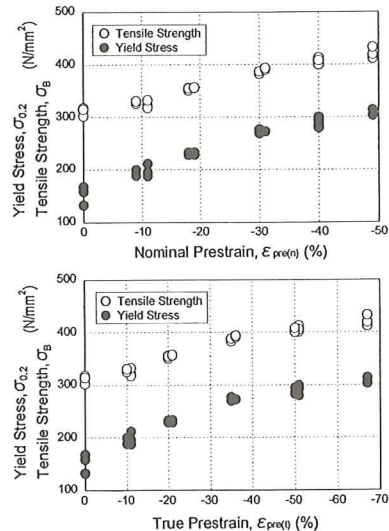


Fig.5 Influence of prestrain on yield stress and tensile strength

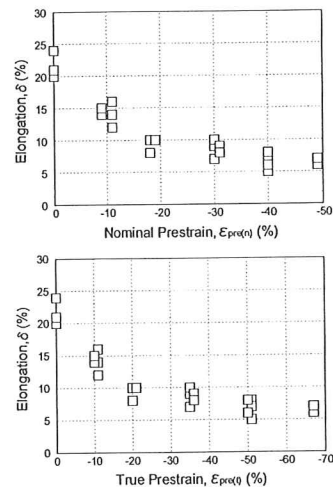


Fig.6 Influence of prestrain on elongation

Fig. 5 およびFig. 6 から明らかなように、圧縮予歪量が増加するにつれて、降伏応力 (0.2%耐力)・引張強さはほぼ線形に上昇しているが、伸びは2次曲線的に減少していた。

3. 繰り返し大歪範囲での応力～歪関係

3.1 軸力繰り返し材料試験の供試材・供試試験片および試験方法

供試材として、2章の供試材と同一の、板厚46mmのアルミニウム合金JIS A5083P-O材 (Table 1 参照) を用いた。

軸力繰り返し材料試験に用いた試験片の寸法および形状を、Fig. 7 に示す。試験片の長さ方向が供試材の圧延方向と一致するように試験片を製作した。また、試験片中央部が最小断面部となる砂時計型の試験片形状とし、試験片中央最小断面部の直径は10mmとした。

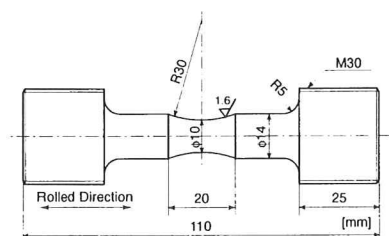


Fig.7 Shape and size of specimen for axially cyclic material test

軸力繰り返し材料試験は、50kNネジ式万能試験機を使用して、室温・大気中にて実施した。試験は試験片中央部の直径制御とし、LED寸法計測器を用いて試験片中央最小断面部近傍の直径を連続的に計測した。試験状況をPhoto 3 に示す。

試験手順は、まず、LED寸法計測器の測定位置を試験片中央最小断面部に合わせた後に、目標とする歪量に対応する直径になるまで圧縮あるいは引張荷重を負荷した。試験中、計測器の位置は固定されているため、直径計測位置が最小断面部から若干ずれてしまう。そこで、最大圧縮時および最大引張時に直径計測位置を最小断面位置に補



Photo 3 Appearance of axially cyclic material test

正した。さらに、すべての試験片において断面は楕円形に変形したため、最大圧縮時および最大引張時には、最小断面の長径および短径をそれぞれ計測した。計測位置の補正および長・短径の計測が終了した後に、荷重を反転させて試験を続けた。

試験中に、座屈・樽型変形の発生や試験機の荷重制約などがあったが、最大±10%程度の繰り返し歪を付与することができた。なお、一般に、繰り返し歪を受ける場合の応力～歪関係は、10サイクル程度ではほぼ一定になる(安定する)ことが知られているため、本試験でも、各繰り返し歪範囲を10サイクルずつ付与した。

3.2 軸力繰り返し材料試験結果および軸力圧縮予歪材引張試験結果

軸力繰り返し材料試験結果から得られた安定化後の真応力～真歪関係を、Fig. 8 に示す。Fig. 8 中の曲線は、試験中連続的に計測した直径を用い

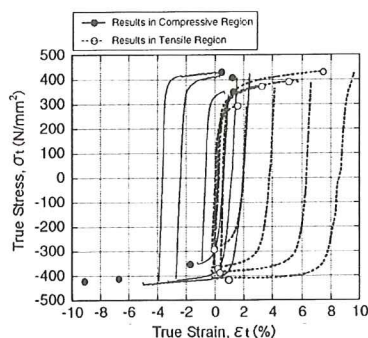


Fig.8 Result of axially cyclic material tests (True stress ~ true strain curves)

て、計測位置断面が真円に変形すると仮定して求めた真応力～真歪関係である。また図中のプロットは、最大圧縮時および最大引張時に位置補正を行なった後に計測した、最小断面の長径ならびに短径から求めた真応力～真歪関係を示している。

プロットで示した最大圧縮時および最大引張時に計測した真応力～真歪関係と、位置を固定して一方向の直径のみを連続的に計測した結果とのずれは、試験片長さ方向計測位置の補正および楕円形断面の長・短径計測による補正によるものである。なお、試験片中央部は供試材板厚方向が長径となる楕円形に変形し、付与する歪が大きくなるにつれてその変形量も大きくなった。また、直径の変形量そのものは非常に小さかったために、Fig. 8 中縦軸の応力のずれは非常に小さくなっている。

Fig. 8 から明らかなように、本計測方法を用いることにより、 $\pm 10\%$ もの非常に大きな繰り返し歪範囲の真応力～真歪関係を、非常に精度良くかつ連続的に計測できることが明らかになった。

一方、上述の軸力繰り返し材料試験では、試験片の変形や試験機の荷重制約などから、 $\pm 10\%$ 程度以上の歪範囲での真応力～真歪関係の把握は困難であった。そこで、2章で述べた軸力圧縮予歪材引張試験結果を用いて、 $\pm 10\%$ 程度以上の歪範囲での真応力～真歪関係を調査した。

Fig. 9 に軸力圧縮予歪材引張試験結果から得られた、軸力圧縮予歪材製作時の真応力～真歪関係(▲)および軸力圧縮予歪材の真破断応力～真破断歪関係(▽)を示す。Fig. 9 中には、Fig. 8 中に示した軸力繰り返し材料試験結果から得られた真応力～真歪関係の一部も示してある。

Fig. 9 から明らかなように、軸力圧縮予歪材の真破断応力(▽)は、予歪量に関係なくほぼ一定値となっている。また、上述の軸力繰り返し材料試験結果から得られた真応力～真歪関係は、当該真破断応力～真破断歪関係に漸近していくようである。

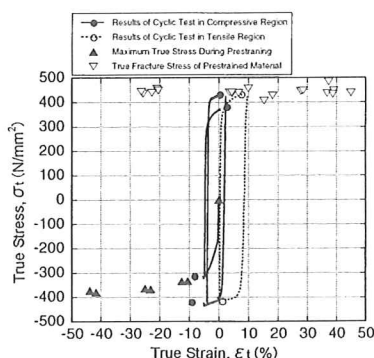


Fig.9 Result of tension tests of axially prestrained specimen in compression
(True stress ~ true strain curves)

以上により、数%～数十%の繰り返し大歪範囲でのアルミニウム合金JIS A5083P材の応力～歪関係を、精度良く把握することができた。

3.3 繰り返し大歪範囲での応力～歪関係の設定

一般に、繰り返し歪を受けた場合の応力～歪関係は、それまでに受けた歪履歴に依存することが知られている。そこで、軸力繰り返し材料試験結果から得られた真応力～真歪関係 (Fig. 8 参照) を、圧縮側と引張側それぞれの領域において歪履歴によって整理した。

Fig.10に、圧縮側および引張側それぞれの領域での整理結果を示す。Fig.10中の各曲線の原点(真応力が0の点)の横軸(真歪)の値は、それまでに受けた最大歪の絶対値を表わしている。

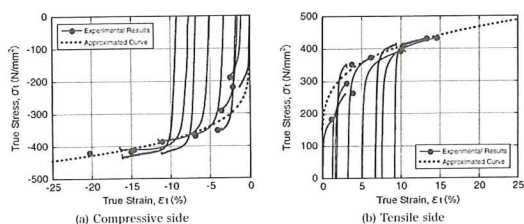


Fig.10 True stress ~ true strain curves

Fig.10から明らかなように、多少ばらつきはあるものの、歪履歴により整理された真応力～真歪関係は、ほぼ1本の曲線（Fig.10中の破線）で近似できるようである。さらに、圧縮側と引張側での真応力～真歪関係を比べると、絶対値ではほぼ等しくなっている。

上述の結果から、繰り返し大歪範囲での真応力～真歪関係は、真応力が限界応力（真破断応力）に達するまでは等方的に拡大し、その後、真応力は限界応力（真破断応力）に漸近してほぼ一定値になるものと考えられる。

以上により本報では、等方硬化則を仮定し、軸力繰り返し材料試験結果および軸力圧縮予歪材引張試験結果を基に加工硬化係数等を設定した。

4. 繰り返し大変形曲げ亀裂発生試験

4.1 供試材および供試試験片

供試材として、板厚 8 mm のアルミニウム合金 JIS A5083P-H321 材を用いた。ミルシートによる化学成分および機械的性質を Table 2 に示す。

Table 2 Chemical composition and mechanical properties of aluminum alloy (JIS A5083P-H321)

[t:8mm]										
Si (%)	Fe (%)	Cu (%)	Mn (%)	Mg (%)	Cr (%)	Zn (%)	Ti (%)	Y.P. (N/mm ²)	T.S. (N/mm ²)	El. (%)
0.17	0.18	0.01	0.67	4.71	0.12	0.01	0.01	249	348	13

試験片長さ方向が供試材の圧延方向と一致するように、Fig.11に示す帯板試験片を製作し、繰り返し大変形曲げ亀裂発生試験に供試した。Fig.11に示したように、厚さ 8 mm、幅 50 mm、長さ 390 mm の帯板の両端部に、治具に取り付けるためのフランジと補強用ブラケットを溶接した。また、軸力圧縮荷重によって座屈崩壊しやすいように、3.5 mm の偏心を与えて溶接した。

微小亀裂の確認を容易にするために、試験片長さ方向中央部は長さ方向に研磨した。また、試験片表面と側面との角部には 1 R 程度の面取りを施した。

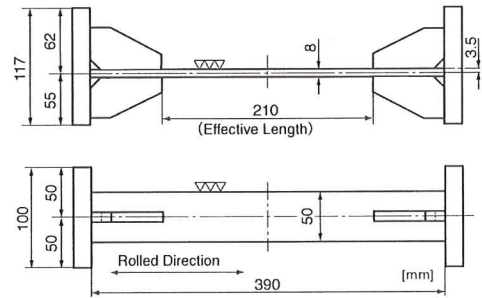


Fig.11 Specimen for crack initiation test under cyclic large strain

試験片中央部の側面(板厚面)には、歪計測のために 5 mm 間隔の格子を罫書いた。

4.2 試験方法

繰り返し大変形曲げ亀裂発生試験状況を Photo 4 に示す。両端単純支持となるような治具に試験片を取り付けて試験を行なった。有効試験片長さは、治具接続用ピン間の初期間隔（試験片両端部に溶接した補強用ブラケット先端の間隔：210 mm）である。

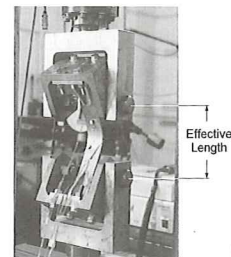


Photo 4 Appearance of crack initiation test under cyclic large strain

試験は、100 kN 電気油圧式疲労試験機を用いて変位制御で行なった。変位速度は 20 mm/min および 30 mm/min とした。また、先に述べたフランジの溶接による偏心（3.5 mm）に加えて、治具の取り付け時に 3.5 mm（合計 7 mm）の偏心を与えた。

試験手順をFig.12に示す。まず、試験片に軸力圧縮荷重を与えて座屈崩壊させ、目標とする変位量（初回圧縮変位量：Dcom）まで圧縮する。その後、引張荷重を負荷して目標とする変位量（初回引張変位量：Dten）まで引張る。以後、圧縮・引張り（繰り返し変位量：Dre）を繰り返し、座屈部圧縮側および引張側からの亀裂の発生・進展挙動を観察した。

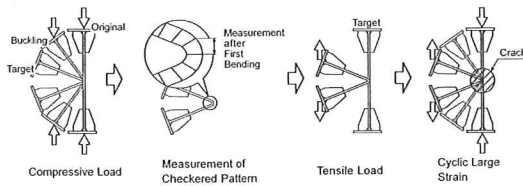


Fig.12 Procedure of crack initiation test under cyclic large strain

Table 3 Applied displacement

Test Condition	Specimen Mark	Initial Compressive Displacement Dcom (mm)	Initial Tensile Displacement Dten (mm)	Cyclic Displacement Dre (mm)
Case1	A10-10-10	10	10	10
	A20-20-20	20	20	20
	A30-30-30	30	30	30
	A40-40-40	40	40	40
	A50-50-50	50	50	50
	A60-60-60	60	60	60
	A70-70-70	70	70	70
Case2	A30-15-15	30	15	15
	A20-20-20		20	20
	A40-20-20	40	30	30
	A40-30-30		30	30
Case3	A30-30-20	30	30	20
	A50-50-20	50	50	20
	A50-50-30			30
	A70-70-20	70	70	20

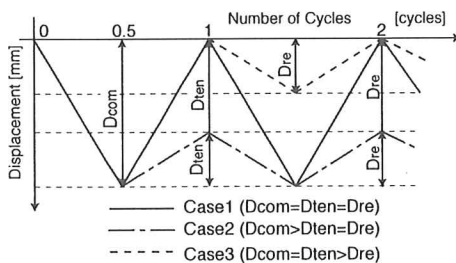


Fig.13 Test conditions

各試験片に付与した初回圧縮変位量（Dcom），初回引張変位量（Dten），繰り返し変位量（Dre）

をTable 3 に示す。試験条件としては、Fig.13に示す3ケース（Case 1，Case 2，Case 3）を設定した。

なお、微小亀裂の発生は、50倍のビデオマイクロ스코プを使用して、長さ0.5mmの亀裂が確認された時点とした。

4.3 試験結果

各試験片での微小亀裂発生繰り返し回数（Nc）および破断繰り返し回数（Nf）を、Table 4 に示す。なお、大変形曲げ圧縮後の試験片長さ方向中央部の横断面は、Fig.14に示すような形に変形していた。以下、圧縮側表面幅方向中央部をCC，圧縮側角部をCS，引張側表面幅方向中央部をTC，引張側角部をTSとする。

供試した全ての試験片において、微小亀裂は、圧縮側表面では試験片幅方向中央部（Fig.14中CC）から発生し、引張側表面では側面との角部（Fig.14中TS）から発生した。

Table 4 Results of crack initiation tests

Test Condition	Specimen Mark	Number of Cycles to Crack Initiation Nc (cycles)		Number of Cycles to Fracture Nf (cycles)
		Com. [CC]	Ten. [TS]	
Case1	A10-10-10	400	499.5	675
	A20-20-20(1)	45	—	58
	A20-20-20(2)	50	79.5	80
	A30-30-30(1)	22	25.5	32
	A30-30-30(2)	15	24.5	33
	A40-40-40	7	9.5	13
	A50-50-50	<5.5	<5.5	5.5
	A60-60-60	<3.5	<3.5	3.5
	A70-70-70	<2.5	<2.5	2.5
	A90-90-90	<1.5	<1.5	1.5
Case2	A30-15-15	595	450.5	802
	A30-20-20	140	166.5	250
	A40-20-20	240	240.5	379
	A40-30-30	31	39.5	78
Case3	A30-30-20	50	34.5	89.5
	A50-50-20	75	34.5	92.5
	A50-50-30	25	19.5	30.5
	A70-70-20	48	30.5	90

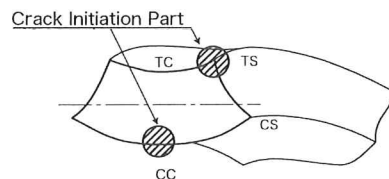


Fig.14 Crack initiation part

5. 繰り返し大変形曲げ亀裂発生試験に 対応した3次元弾塑性有限要素法解析

5.1 解析モデルおよび解析条件

本章で述べる解析では非常に大きな繰り返し塑性歪を取り扱うために、先に3章で述べた繰り返し大歪範囲での応力～歪関係を用いた。降伏は、Von Misesの降伏条件に従うものとし、等方便化則を適用した。

帯板試験片に対する解析モデルをFig.15に示す。4章で述べた亀裂発生試験に用いた治具は、接続用のピン間で両端単純支持の条件となるため（Photo 4 参照）、試験片両端に溶接した補強用ブラケット先端間のみを解析対象とした。対称性を考慮して1/4モデルとした。要素には8節点6面体ソリッド要素を用い、次数低減積分法を適用した。解析は変位制御で行ない、4章で述べた亀裂発生試験と同様に、7 mmの偏心を与えて圧屈させた。解析には、汎用コードFINASを用いた。

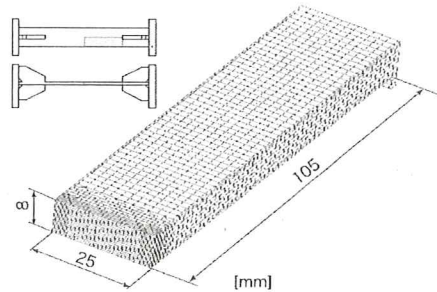


Fig.15 FE-analysis model

5.2 解析結果

Fig.16に、解析結果の一例として、初回圧縮変位量50mmを付与した場合のモデル変形状況およびX軸方向歪分布を示す。Fig.16中には、亀裂発生部となった圧縮側中央部（CC）および引張側角部（TS）での歪の値も示してある。

Table 5 Results of FE-analysis

Test Condition	Specimen Mark	Longitudinal Strain, ϵ (%)								Longitudinal Strain Range of 2nd Cycle $\Delta\epsilon_2$ (%)		Number of Cycles to Crack Initiation N_c (cycles)		Number of Cycles to Fracture N_f (cycles)
		1st Cycle				2nd Cycle								
		Compression		Tension		Compression		Tension						
		CC	TS	CC	TS	CC	TS	CC	TS					
Case1	A10-10-10	-3.1	3.1	-1.1	1.4	-3.3	3.4	-1.4	1.7	1.9	1.7	400	499.5	675
	A20-20-20	-5.4	5.9	-1.6	2.4	-5.7	6.4	-2.0	2.8	3.7	3.6	50	79.5	80
	A30-30-30	-7.4	8.2	-1.9	3.1	-7.8	8.9	-2.4	3.7	5.4	5.2	15	24.5	33
	A40-40-40	-9.2	10.2	-2.2	3.7	-9.6	11.3	-2.5	4.5	7.1	6.8	7	9.5	13
	A50-50-50	-11.0	12.1	-2.4	4.3	-11.5	13.5	-2.5	5.2	9.0	8.3	<5.5	<5.5	5.5
	A60-60-60	-12.8	13.9	-2.7	4.9	-13.6	16.0	-2.5	5.8	11.1	10.2	<3.5	<3.5	3.5
	A70-70-70	-14.6	15.7	-3.1	5.4	-16.1	18.6	-2.4	6.3	13.7	12.3	<2.5	<2.5	2.5
	A90-90-90	-18.3	19.0	-3.0	6.0	-21.8	24.5	-0.2	6.6	21.6	17.9	<1.5	<1.5	1.5
Case2	A30-15-15	-7.4	8.2	-5.8	6.6	-7.4	8.2	-5.8	6.7	1.6	1.5	595	450.5	802
	A30-20-20	-7.4	8.2	-4.9	5.7	-7.6	8.5	-5.1	6.0	2.5	2.5	140	166.5	250
	A40-20-20	-9.2	10.2	-7.2	8.3	-9.4	10.4	-7.4	8.5	2.0	1.9	240	240.5	379
	A40-30-30	-9.2	10.2	-5.3	6.4	-9.7	10.8	-5.7	6.9	4.0	3.9	31	39.5	78
Case3	A30-30-20	-7.4	8.2	-1.9	3.1	-5.8	6.8	-2.1	3.3	3.7	3.5	50	34.5	89.5
	A50-50-20	-11.0	12.1	-2.4	4.3	-6.1	7.8	-2.5	4.3	3.6	3.5	75	34.5	92.5
	A50-50-30	-11.0	12.1	-2.4	4.3	-7.9	9.7	-2.5	4.4	5.4	5.3	25	19.5	30.5
	A70-70-20	-14.6	15.7	-3.1	5.4	-6.7	8.9	-3.0	5.3	3.7	3.6	48	30.5	90

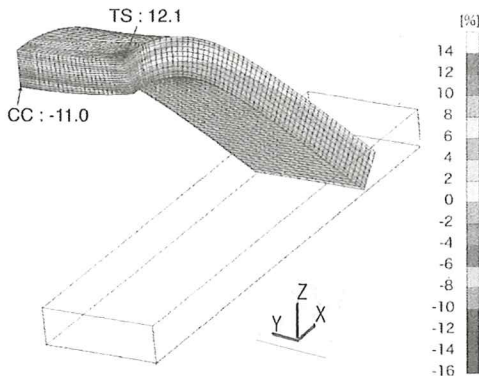


Fig.16 Deformed model and strain distribution in X-direction after applying 50mm displacement

Fig.16から明らかなように、モデル中央断面は圧縮側に凸、引張側に凹となる鞍形に変形しており、その変形量は実験結果とよく対応していた。また、圧縮側および引張側ともに、亀裂発生部となったCCならびにTSにおいてX軸方向（試験片長さ方向）の歪の絶対値が最も大きくなっていた。

各試験条件に対する解析結果から得られた亀裂発生部（CC・TS）での、2サイクル目までの最大圧縮時および最大引張時のX軸方向歪ならびに2サイクル目の歪範囲を、Table 5に示す。なお、Table 4中に示した微小亀裂発生繰り返し回数（Nc）および破断繰り返し回数（Nf）もあわせて示してある。また、CCおよびTSでのX軸方向歪の2サイクル目までの変化の状況を、Fig.17に示す。

以上述べた解析結果、および4章で述べた試験結果より、概略以下のことが明らかになった。

まず、Case 1, すなわち初回圧縮変位量（Dcom）、初回引張変位量（Dten）および繰り返し変位量（Dre）が全て等しい場合は、付与する変位量が大きくなるにつれて亀裂発生部の歪量の絶対値および歪範囲ともに大きくなっている。また、変位量が大きく（歪範囲が大きく）なるにつれてNcおよびNfともに小さくなっている。

次に、初回圧縮変位量（Dcom）のみ異なるA20-20-20（Case 1）、A30-20-20・A40-20-20（Case 2）の場合は、Dcomが大きくなるにつれ

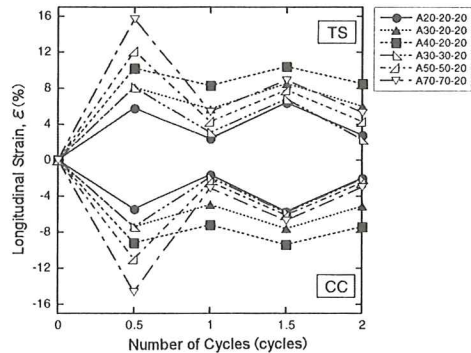


Fig.17 History of strain at crack initiation part

て発生する歪の絶対値は大きくなるが、繰り返し付与される歪範囲は小さくなりNcおよびNfともに大きくなっている。

次に、繰り返し変位量（Dre）のみが同じA20-20-20（Case 1）、A30-30-20・A50-50-20・A70-70-20（Case 3）の場合は、初回圧縮・引張変位量が異なっても、その後繰り返し付与される歪範囲がほぼ同程度になっていれば、NcおよびNfも同程度になる。

6. 亀裂発生強度に関する検討

先に4章で述べた繰り返し大変形曲げ亀裂発生試験結果、および5章で述べた亀裂発生試験に対応した3次元弾塑性有限要素法解析結果（Table 5参照）から、微小亀裂発生・破断繰り返し回数が少なくなるにつれて、亀裂発生部の2サイクル目の試験片長さ方向歪範囲（ $\Delta \epsilon_2$ ）が大きくなることが明らかになった。

すなわち座屈崩壊直後に種々の大きさの変位を付与され、その後さらに種々の大きさの繰り返し変位を受ける場合の亀裂発生現象と、亀裂発生部に破断まで繰り返される2サイクル目の試験片長さ方向歪範囲（ $\Delta \epsilon_2$ ）との間に、良い相関性があることが明らかになった。

そこで、座屈崩壊後、種々の大きさの繰り返し変位を受けるアルミ合金材の亀裂強度を、亀裂発

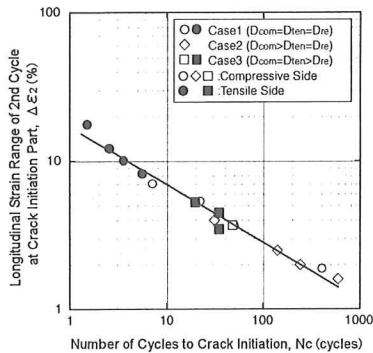


Fig.18 Relations between longitudinal strain range of 2nd cycle and number of cycles to crack initiation

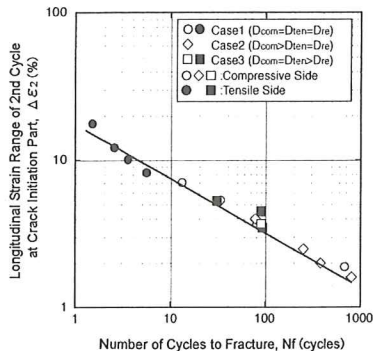


Fig.19 Relations between longitudinal strain range of 2nd cycle and number of cycles to fracture

生部の 2 サイクル目の試験片長さ方向歪範囲 ($\Delta\epsilon_2$) を用いて検討することにした。

Fig.18およびFig.19に、亀裂発生部の 2 サイクル目の試験片長さ方向歪範囲 ($\Delta\epsilon_2$) と微小亀裂発生繰返し回数 (N_c) ならびに破断繰返し回数 (N_f) との関係を、両対数目盛りで示す。

Fig.18およびFig.19中の記号○・●はCase 1 ($D_{com}=D_{ten}=D_{re}$)、記号◇はCase 2 ($D_{com}>D_{ten}=D_{re}$)、記号□・■はCase 3 ($D_{com}=D_{ten}>D_{re}$) を示している。また、記号○・◇・□は圧縮側から微小亀裂が発生・破断した場合、記号●・■は引張側から微小亀裂が発生・破断した場合を示している。

Fig.18およびFig.19から明らかなように、座屈

崩壊直後に付与される変位量およびその後繰返し付与される変位量、ならびにそれら変位量の付与パターン (Case 1 ~ Case 3)、さらに亀裂発生位置 (CCおよびTS) が異なっても、亀裂発生部の 2 サイクル目の試験片長さ方向歪範囲 ($\Delta\epsilon_2$) と微小亀裂発生繰返し回数 (N_c) ならびに破断繰返し回数 (N_f) との間に両対数目盛りで線形な関係が認められる。

すなわち、亀裂発生部の 2 サイクル目の試験片長さ方向歪範囲 ($\Delta\epsilon_2$) を用いることにより、圧縮側表面から発生・進展する亀裂、引張側表面から発生・進展する亀裂によらず、また種々の変位付与パターンを受ける場合にも、亀裂強度を統一的に取り扱うことのできる評価手法確立の目処が得られたといえよう。

7. ま と め

アルミニウム合金JIS A5083P-O材を供試して、軸力圧縮予歪材の引張強度特性を把握した。さらに、軸力繰返し材料試験を実施して、応力～歪関係を把握した。さらに、座屈崩壊後、繰返し大変形を受けるアルミニウム合金JIS A5083P-H321材の亀裂発生強度について試験・調査し、定量的な評価を行なった。得られた知見は以下のとおりである。

- (1) 公称歪で約-50%(真歪で約-65%)までの軸力圧縮歪を与えたアルミニウム合金JIS A5083P-O材の引張強度特性、すなわち降伏応力 (0.2%耐力)、引張強さおよび伸びなどを把握した。
- (2) アルミニウム合金JIS A5083P-O材を用いて軸力繰返し材料試験を実施し、 $\pm 10\%$ 程度の繰返し大歪範囲での応力～歪関係を詳細に把握した。さらに、当該試験結果および軸力圧縮予歪材引張試験結果を基に、数%～数十%の繰返し大歪範囲での応力～歪関係を把握・提案した。
- (3) アルミニウム合金JIS A5083P-H321材を対象に、帯板試験片による座屈崩壊後の繰

り返し大変形曲げ亀裂発生試験を実施し、座屈崩壊後、種々の繰り返し変位を受ける場合の微小亀裂発生繰り返し回数、および破断繰り返し回数を把握した。

- (4) 3次元弾塑性有限要素法解析により得られた、亀裂発生部の2サイクル目の試験片長さ方向歪範囲と微小亀裂発生繰り返し回数および破断繰り返し回数との間に、両対数目盛りではほぼ線形な関係が認められた。

以上により、座屈崩壊後、引き続き種々の大きさの繰り返し大変形を受けるアルミニウム合金 JIS A5083P-H321材の超低サイクル亀裂発生寿命を推定できる評価手法の基礎が確立できたといえよう。

参考文献

- 1) 寺沢一雄, 大谷碧, 吉田俊夫, 寺井清: 高温予歪が鋼の残留延性におよぼす影響, 造船協会論文集, 第108号 (1960.12), pp.419-434.
- 2) 寺沢一雄, 大谷碧, 吉田俊夫, 寺井清: 高温予歪が鋼の切欠き靱性におよぼす影響, 造船協会論文集, 第109号 (1961.6), pp.317-335.
- 3) 山本元道, 矢島浩, 栗原正好, 榎本竜司, 町田定信: 大きな圧縮予歪を受けた鋼構造部材の強度・切欠き靱性, 西部造船会会報, 第100号 (2000.8), pp.327-334.
- 4) 井上肇, 前中浩, 佐久間正明: 圧縮予歪が破壊靱性に及ぼす影響, 日本造船学会論文集, 第160号 (1986.12), pp.450-460.
- 5) 山本元道, 矢島浩, 栗原正好, 榎本竜司, 町田定信: 大きな圧縮予歪を受けた鋼材の破壊靱性に関する一考察, 西部造船会会報, 第102号 (2001.8), pp.265-272.
- 6) 山本元道, 束田幸四郎, 藤久保昌彦, 矢尾哲也, 矢島浩: 座屈により大きな圧縮歪を受けた鋼構造部材の亀裂強度に関する研究 (その1), 日本造船学会論文集, 第178号 (1995.12), pp.565-573.
- 7) 山本元道, 矢島浩, 栗原正好, 守田聡: 座屈により大きな圧縮歪を受けた鋼構造部材の亀裂強度に関する研究 (その2), 日本造船学会論文集, 第182号 (1997.12), pp.659-665.
- 8) 山本元道, 栗原正好, 束田幸四郎, 矢島浩: 座屈により大きな圧縮歪を受けた鋼構造部材の亀裂強度に関する研究 (その3), 日本造船学会論文集, 第185号 (1999.6), pp.241-248.
- 9) 山本元道, 矢島浩, 高允宝, 佐藤進, 町田定信: 座屈により大きな圧縮歪を受けた鋼構造部材の亀裂強度に関する研究 (その4), 日本造船学会論文集, 第189号 (2001.6), pp.387-394.
- 10) 山本元道, 矢島浩, 松岡和彦, 町田定信, 木坂有治: 座屈により大きな圧縮歪を受けた鋼構造部材の亀裂強度に関する研究 (その5), 日本造船学会論文集, 第192号 (2002.12), pp.611-617.
- 11) 矢島浩, 西川和人, 高允宝, 佐藤進, 山本元道: 大きな圧縮歪を受けた鋼構造部材の亀裂強度 (その1), 長崎総合科学大学紀要, 第42巻 第1・2合併号 (2001.12), pp.39-55.
- 12) 矢島浩, 高允宝, 山本元道, 廣田一博, 大谷潤, 飯塚智史: 大きな圧縮歪を受けた鋼構造部材の亀裂強度 (その2), 長崎総合科学大学紀要, 第45巻 第1号 (2004.11), 掲載予定.
- 13) 矢島浩, 山本元道, 廣田一博, 松岡和彦, 森誠一郎, 飯塚智史: アルミニウム合金材の繰り返し大変形曲げによる亀裂発生強度に関する一考察, 西部造船会会報, 第105号 (2003.3), pp.205-212.
- 14) 矢島浩, 山本元道, 廣田一博, 松岡和彦, 飯塚智史, 石田欽也: アルミニウム合金材の繰り返し大変形曲げによる亀裂発生強度に関する研究 (その1), 西部造船会会報, 第106号 (2003.8), pp.289-298.
- 15) 矢島浩, 山本元道, 廣田一博, 石田欽也, 飯塚智史: アルミニウム合金材の繰り返し大変形曲げによる亀裂発生強度に関する研究 (その2), 西部造船会会報, 第108号 (2004.8), pp.13-23.