

# 航空宇宙技術研究所資料

TECHNICAL MEMORANDUM OF NATIONAL AEROSPACE LABORATORY

TM-612

AE法によるSiC繊維強化アルミニウム  
複合材料の破壊様式の研究\*

祖父江 靖 ・ 小河 昭 紀

1989年8月

航空宇宙技術研究所  
NATIONAL AEROSPACE LABORATORY

# AE法によるSiC繊維強化アルミニウム 複合材料の破壊様式の研究

祖父江 靖\*\* 小河 昭紀\*\*

## 1. 緒 言

アルミニウムをマトリックスとする繊維強化複合材料の中で代表的な複合材として、強化繊維にCVD法(化学蒸着法)で作られたボロン繊維を用いたもの、及びSiC繊維を用いたものなどがある。前者のボロン繊維強化材は製造時にマトリックスの熔融アルミニウムとボロンが反応しやすい為、繊維とマトリックスの結合はよいが、逆に高温で長時間保持することで強度が低下するおそれがある。このようなボロン繊維の欠点を補う繊維として開発されたCVD-SiC繊維は、熔融アルミニウムとの反応に対して長時間高い抵抗性があり、このSiC繊維を用いる場合、通常の拡散接合法よりも高温にできる為、低圧ホットプレスが可能となり複合材料の製造コストが低減できる。また、SiC繊維はボロン繊維に比べ現時点では高価であるが、SiC繊維の原材料が安く、CVDの蒸着スピードが早いため繊維の生産コストが安価にできる可能性もあり、SiC繊維は将来有望な強化繊維であると期待されている<sup>1)</sup>。これら2種類の複合材のうち、前者のボロン繊維強化アルミニウム複合材については前報<sup>2)</sup>で報告したので、本報では、このCVD-SiC繊維を強化繊維としたアルミニウム合金複合材料を用いて引張破壊強度試験を行ない、破壊過程で発生するアコースティックエミッション(AE)を調べた。繊維強化複合材料の破壊には繊維破壊、マトリックス破壊、繊維とマトリックスの界面剝離、繊維の引抜けなど多様な破壊様式がある。この様な複雑な破壊様式の挙動を評価する方法として、AE法は、材料の降伏やき裂の発生など破壊現

象を検知する手段として極めて有益であることが確認されている<sup>3)</sup>。本報告は、積層方法や形状の異なる4種類の引張試験片を用いて破壊強度試験を行ない、低負荷から破壊するまでに生じるAE発生挙動(事象数、発生位置、振幅分布等)を調べて、破壊様式が異なる場合のAE特性について検討した。また、破面の破壊状況を走査電顕で観察し、破壊の特徴を明らかにして、破面とAE特性との関連についても検討した。

## 2. 試験片

試験片は一方向強化試験片、0°/90°積層試験片、±45°積層試験片、両面溝付試験片の4種類である。繊維配列の方向は引張負荷方向を0°方向とする。図1に各試験片の寸法形状を示す。図中の(a)、(b)はAEセンサーの取り付け位置を示したものであり、後述のAE発生位置を示す位置標定において(a)は0位置、(b)は100位置を示す。試験片の強化繊維は約36 $\mu\text{m}$ の炭素繊維芯にCVD法でSiCを蒸着した直径約142 $\mu\text{m}$ のSiC繊維である。試験片は、6061アルミニウム合金箔にSiC繊維を繊維配列ピッチ約188 $\mu\text{m}$ で配列した中間製品のグリーンテープと厚さ約46 $\mu\text{m}$ のアルミニウム合金箔を所定の積層方法で積層し、ホットプレスで成型した縦149mm、横149mmの供試材板から放電ワイヤー加工で切出したものである。両面溝付試験片の溝は、ダイヤモンド砥石で加工した。試験片の保持部は、チャックの食込みによる破壊が生じないようにアルミニウムのタブを接着した。試験片の繊維容積率Vfは48%である。図2に0°方向繊維層の断面の光学式顕微鏡による写真を示す。繊維が接触している部分があるが大部分はマトリックス中に埋め込まれた状態であり空隙は無い。従っ

\*平成元年8月22日 受付

\*\*原動機部

表 1 試験片の特徴と破壊状況

名称	特徴	破壊応力	破壊状況
一方向強化試験片	0°方向に 6 層積層	1544 MPa	破断
0°/90°積層試験片	0°方向 3 層 / 90°方向 6 層 / 0°方向 3 層	656 MPa	破断
±45°積層試験片	+45°方向 2 層 / -45°方向 4 層 / +45°方向 2 層	193 MPa	伸び甚大
両面溝付試験片	0°方向12層, 溝間隔 3mm	※ 47 MPa	層間剝離

注; 上表の破壊応力で「※」印の付いた値は, せん断破壊応力であり, その他は引張破壊応力である。

(単位: mm)

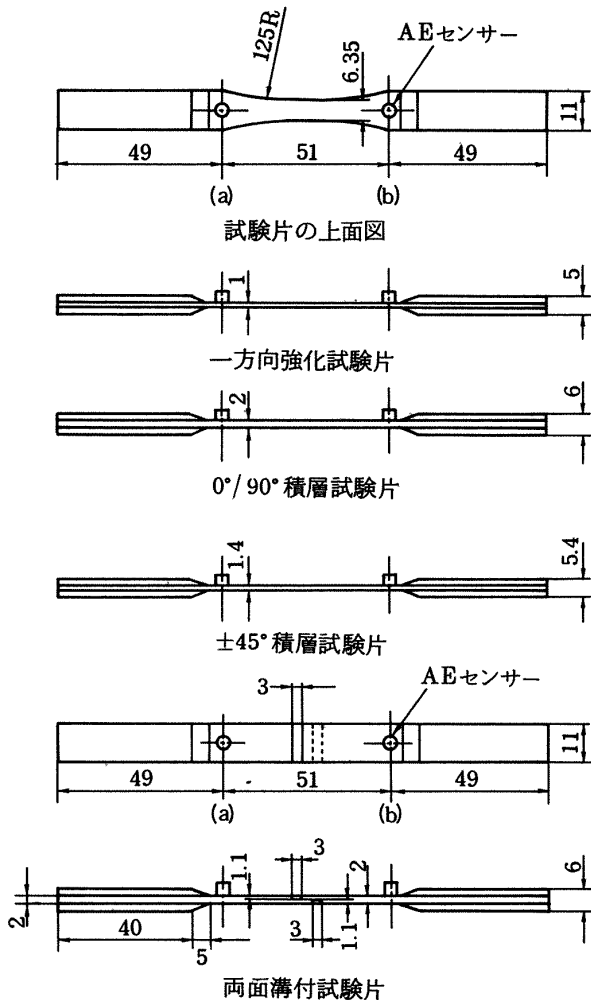


図 1 試験片の寸法形状

て, 成型状態は良好である。なお, 表 1 に各試験片の積層方法, 引張またはせん断破壊応力と破壊状況を示す。せん断破壊応力には「※」の記しを付けた。

### 3. 試験方法

インストロン 1185 型万能試験機を用いて, クロスヘッドスピード 0.05 mm/min で試験片に引張荷重を

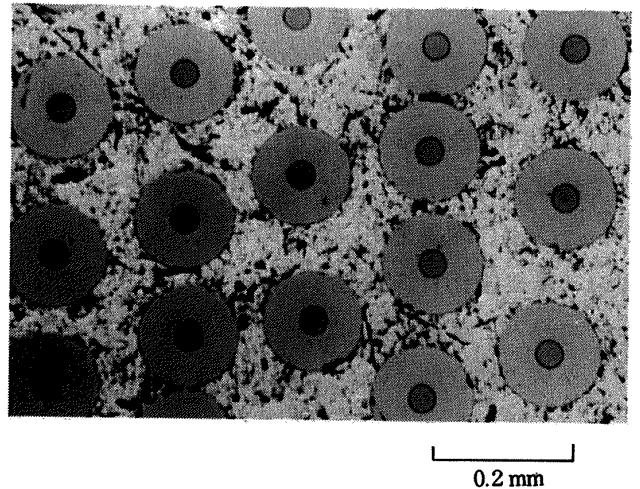


図 2 0°方向繊維層の断面

負荷し, 破壊までに生じる AE を計測し破壊様式が異なる場合の AE 特性の違いを調べた。図 3 に引張破壊強度試験における計測系の概要を示す。AE 計測器は Dunegan Endevco 3000 を用いた。AE センサーは, 直径約 3.6 mm の Dunegan Model S9225 (120 KHz ~ 970 KHz) である。図 1 のセンサー取り

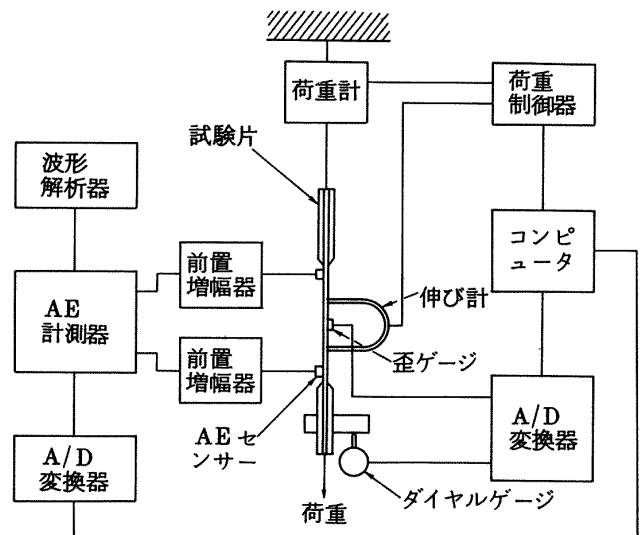


図 3 計測系の概要

付け位置にグリースを介して2個接着しビニールテープを巻付けて固定した。増幅度は前置増幅器40dBとAE計測器内の主増幅器45dBの総合利得85dBで行った。前置増幅器には雑音除去のため100kHz～1MHzのバンドパスフィルターを用いた。AE計測に際しては、負荷過程の途中で必要に応じて負荷の増加を停止し発生したAEデータをコンピュータに記録した。AEの発生位置は2個のAEセンサーのAE到達時間差から標定し、位置標定はセンサー間を100分割したAEの発生分布として示す。振幅は各事象の最大振幅値であり、前置増幅器の出力電圧が100μV<sub>p-p</sub>のとき0dB、10V<sub>p-p</sub>のとき100dBとするdB表示で示す。しきい値は前置増幅器の出力電圧5.6mVに相当する35dBに設定した。AE波形には連続型と突発型の二種類あるが複合材料の破壊過程で生じるAEは突発型のAE波形が多く現れる。AEの計測では、1つのAE事象が生じた後、次の事象が生じるまでの時間間隔が3msec以上ある場合1事象としたが最終破断付近ではAEが短時間に頻発し時間間隔が3msec以内に複数のAEが生じる場合がある。この様な場合複数の事象であっても1個の事象と誤認するから計測された事象数は実際に発生した事象数より少ない場合がある。試験片の中央部にはインストロン製の伸び計を取り付け伸びを計測した。伸び計は、標点間距離25mmであり、この区間の試験片の伸びを次式により百分比で求めた。

$$\delta = (L/L_0) \times 100$$

但し、 $\delta$ は百分比で示した伸び、 $L_0$ は標点間距離25mm、 $L$ は伸び計の変位である。また、試験片中央部の歪を計測するため、三軸ロゼット歪ゲージを接着した。歪の計測は、 $0^\circ$ 方向歪と $\pm 45^\circ$ 方向歪を計測し、この三方向歪の値から次式で主歪を求めた。

$$\epsilon_1 = \frac{(\epsilon_{45^\circ} - \epsilon_{-45^\circ})}{2} + 0.5 \times \sqrt{(2\epsilon_0 - \epsilon_{45^\circ} - \epsilon_{-45^\circ})^2 + (\epsilon_{-45^\circ} - \epsilon_{45^\circ})^2}$$

但し、 $\epsilon_1$ は主歪、 $\epsilon_0$ は $0^\circ$ 方向歪、 $\epsilon_{45^\circ}$ は $45^\circ$ 方向歪、 $\epsilon_{-45^\circ}$ は $-45^\circ$ 方向歪である。引張試験の負荷過程における伸びと歪のデータはAD変換器を介してコンピュータで図示させ試験片の試験状況を監視した。図4に引張試験状況を示す。

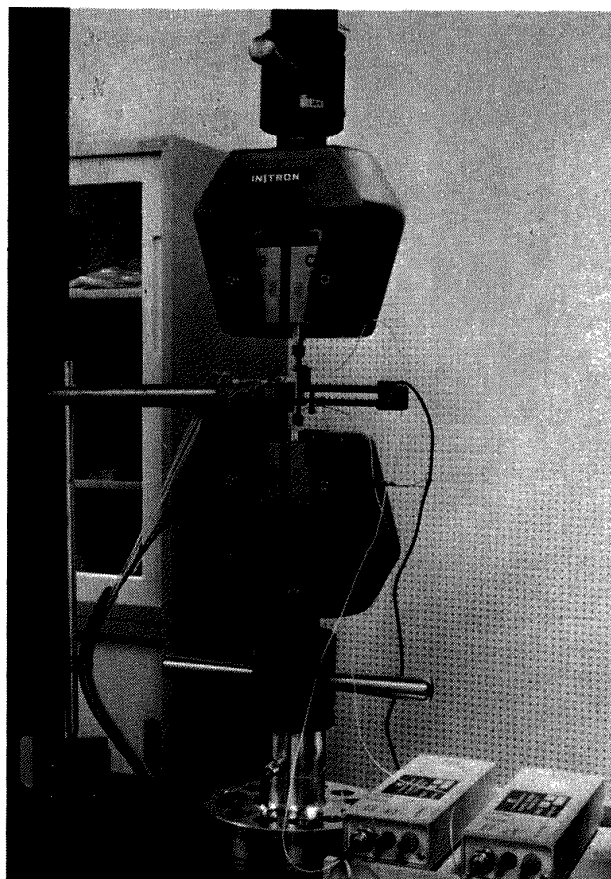


図4 引張試験状況

## 4. 試験結果と考察

### 4.1 一方向強化試験片

図5に破壊状況を示す。(a)は破断部の写真、(b)、(c)は破面の走査電顕写真である。(a)に示すように破断部には、随所に繊維の引き抜けがある。(b)は斜から見た破面である。(b)には繊維が長く突き出ている部分や繊維の引抜かれた跡の円穴がある。突き出ている繊維にはマトリックスは付着しておらず完全に剝離している。なお、前報のボロン繊維強化複合材の破面の場合、ボロンの引き抜け部の長さは短く繊維の表面はマトリックスに覆われていた。従って、SiC繊維とアルミニウムマトリックスの界面接合力はボロン繊維の場合に比べると非常に弱いと考えられる。(c)は上から見た破面である。繊維とマトリックス間に空隙があり、図2の状態とは著しく異なっている。図6に三軸ロゼット歪ゲージによる応力と歪の関係を示す。縦軸は、 $0^\circ$ 方向歪、 $45^\circ$ 方向歪、 $-45^\circ$ 方向歪の計測値と三方向の歪から計算した主歪の値であり、横軸は引張応力である。歪は何れも応力

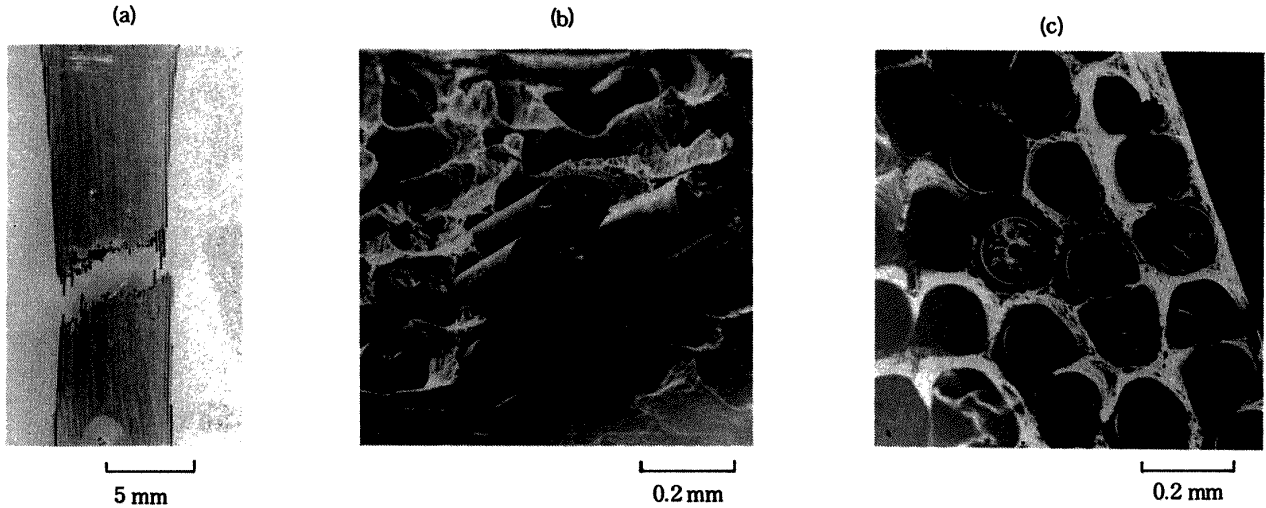


図5 一方向強化試験片の破面および破壊状況

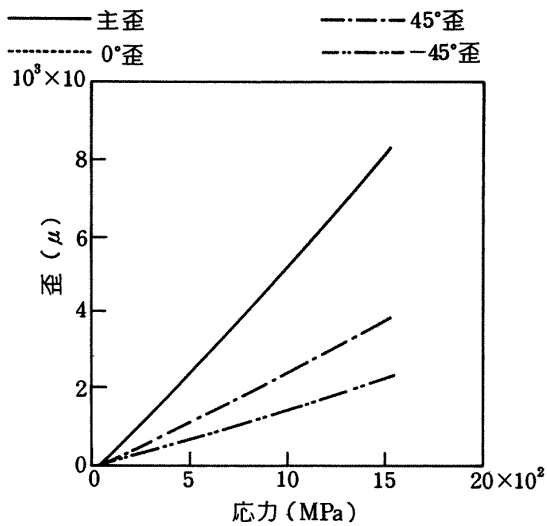


図6 一方向強化試験片の応力・歪線図

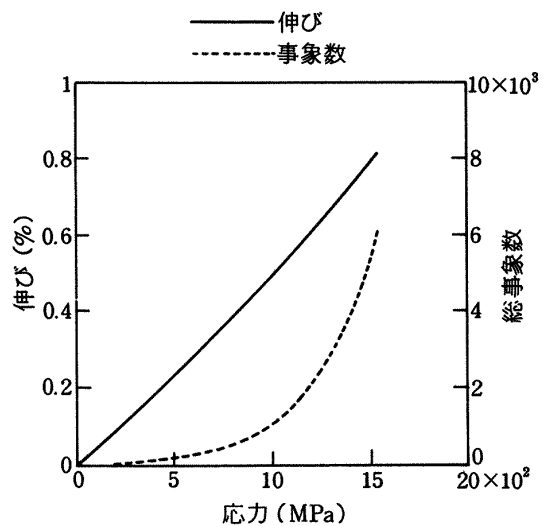


図7 一方向強化試験片の応力・伸び, AE挙動

に対して比例的に増加した。また、主歪は $0^\circ$ 方向と重なっている。なお、最大主歪は $8264\mu$ である。図7に応力と伸び計による百分比で示した伸び、AEの総事象数の関係を示す。縦軸は伸び、総事象数、横軸は引張応力である。歪は応力に比例して増加した。AE発生挙動は負荷が高くなると増加率が高くなる遁造傾向を示す。図8は破断までに発生したAEの位置と事象数を示す位置標定である。縦軸は所定の位置から生じた事象数であり、横軸はセンサー間を100分割した発生位置である。(a)は低負荷、(b)は中負荷、(c)は高負荷、(d)は破壊時の位置標定を示す。なお、各負荷領域の事象数は負荷の初期から当該負荷までに生じたAEを累計したものである。低負荷の位置標定では中央部に分布しているが、中でも38, 62附近が高い。中負荷では33~71に広がっ

ており、負荷の増加と共に分布が広がる。高負荷では中負荷の分布と同様であるが、破断までの分布では33位置の発生率が高くなっている。図9は破断までに発生したAE事象の振幅分布である。縦軸は各振幅値における発生事象数であり、横軸はdB表示の振幅値である。(a)は低負荷、(b)は中負荷、(c)は高負荷、(d)は破壊時の振幅分布である。なお、各負荷領域の事象数は負荷の初期から当該負荷までに生じたAEを累計したものである。振幅分布は低負荷でも100dBの高い振幅が生じている。中負荷では33~5dB附近の低い振幅と98~100dBの高い振幅の発生率が高くなっている。高負荷および破断までの分布は中負荷の場合と同様であるが、負荷の増加と共に33~57dBの低い振幅の増加率が高くなる。振幅分布では30~64dBの低い振幅と98~100dBの高い振

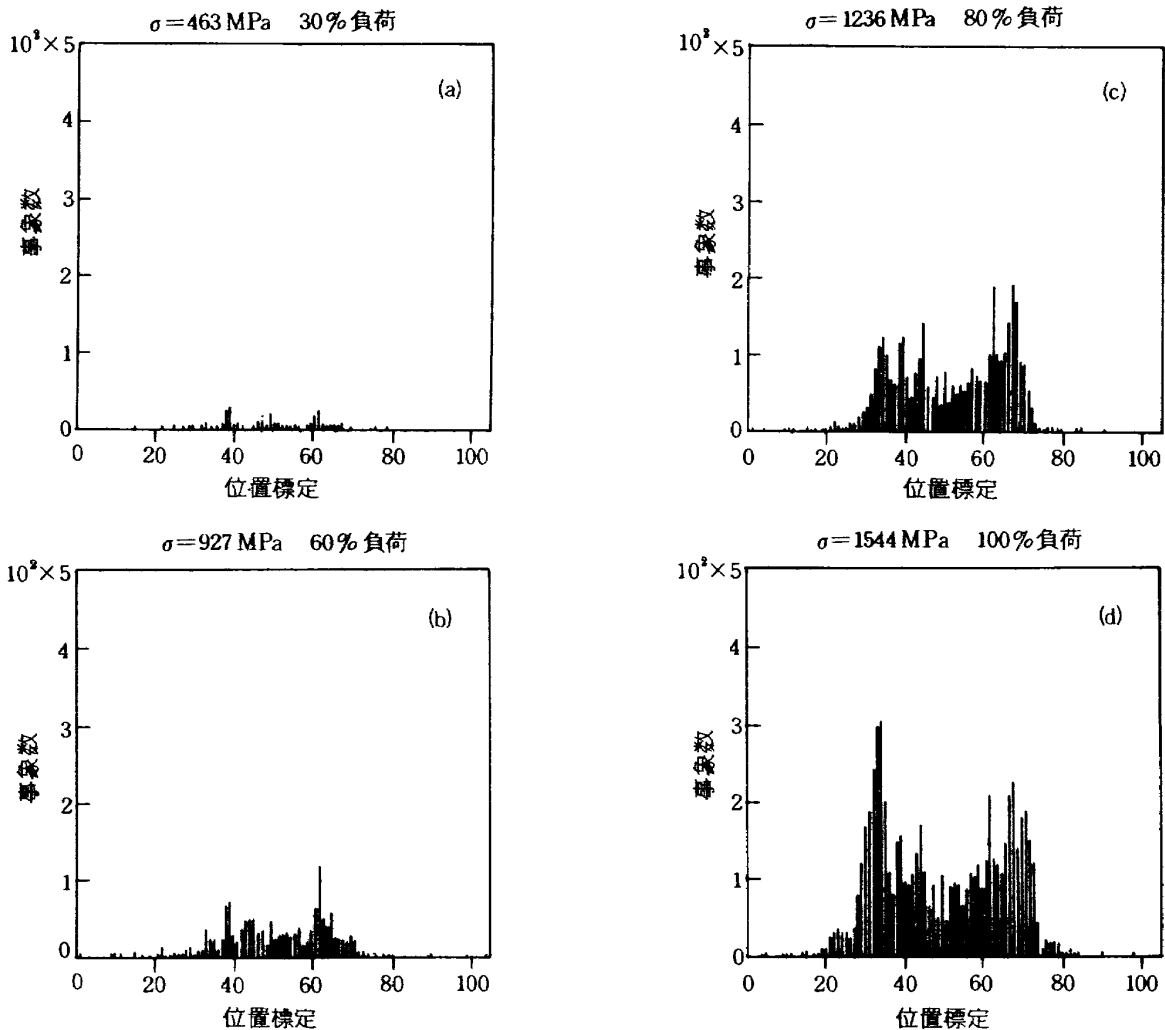


図8 一方向強化試験片のAE発生位置

幅に分れている。特に52 dB以下の事象が多い。なお、繊維破断の解放エネルギーは界面剝離より大きいと考えられ、また事象数も界面剝離の方が多く生じると考えられるため、98 dB～100 dBの事象は繊維破断、52 dB以下の事象は界面剝離とマトリックス破断により生じたと考えられる。

#### 4.2 0°/90°積層試験片

図10に破壊状況を示す。(a)は破断部の写真、(b)、(c)は破断面の走査電顕写真である。(a)、(b)に示すように90°方向繊維層の破壊は、荷重方向に直交した90°繊維に沿った破壊であり、繊維とマトリックスの界面で剝離している。0°方向繊維層の破壊は、一方向強化試験片と同様に長い繊維の引抜けがある。破面は、(c)で示すように90°繊維層の繊維の表面にはマトリックスが完全に剝離しており、界面剝離によって破壊しているのがわかる。また、0°繊維層に

は破断した繊維と繊維の引き抜かれた跡の円穴がある。前報のポロン強化繊維の場合、90°繊維層の破壊は繊維の縦割れであり、本報のSiC繊維の場合の界面剝離とは異なっていた。この様に強化繊維の違いによって、破壊状況は著しく異なる。図11に三軸ロゼット歪ゲージによる応力と歪の関係を示した。歪は応力に対してほぼ比例して増加した。主歪と0°方向歪は重なっている。なお、最大主歪は7336 $\mu$ である。図12に応力と伸び計による百分比で示した伸び、AEの総事象数の関係を示す。歪は、ほぼ応力に比例して増加した。AE事象の挙動は、一方向強化試験片と同様、応力の増加と共に増加率が高くなるが、一方向強化試験片よりも低い荷重でAEが発生し始めた。また、AEの総数も多く低荷重でも増加率は高い。この試験片と一方向強化試験片の違いは90°繊維層が中間にあることであるから、AE事象の違いは、90°繊維層の破壊である90°繊維とマ

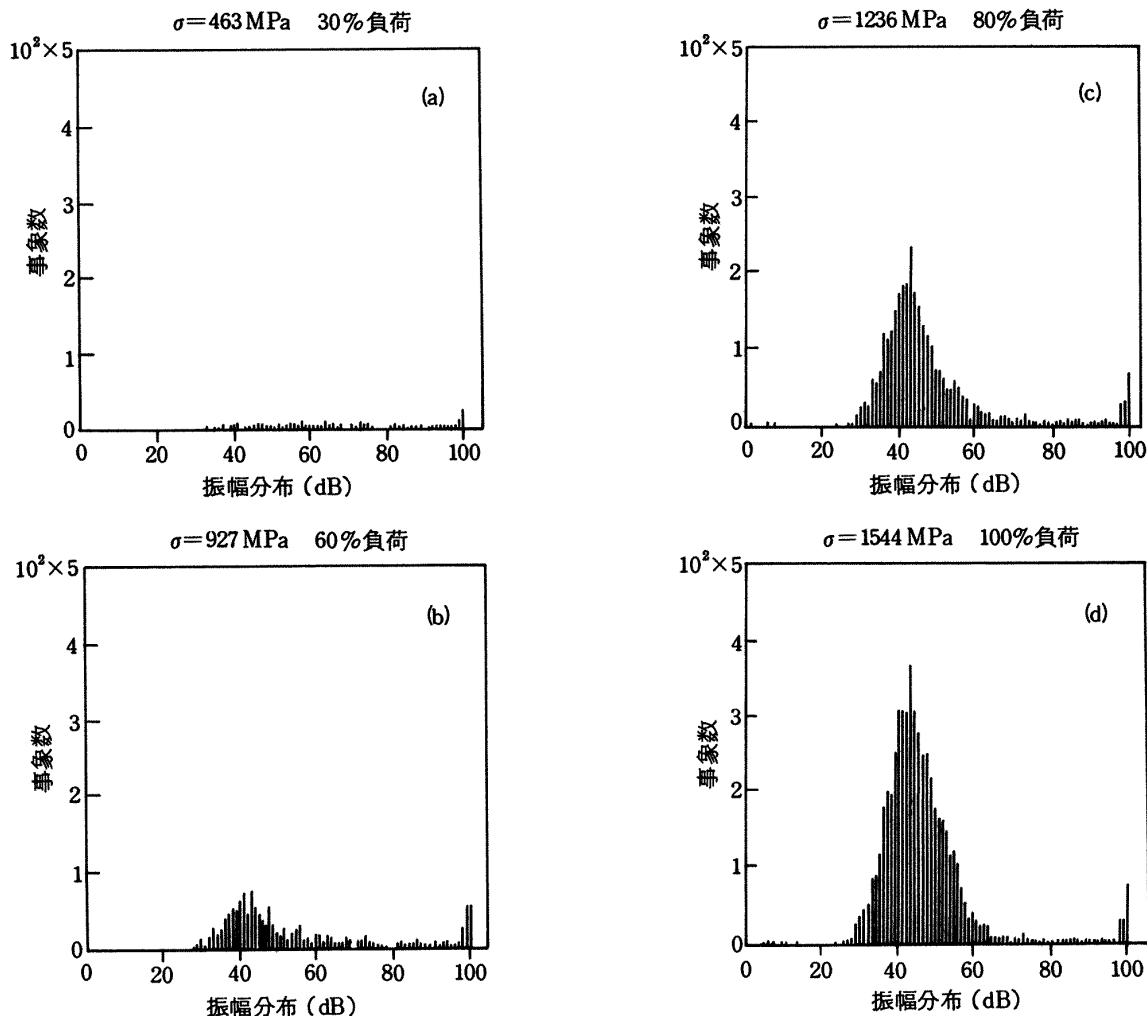


図 9 一方向強化試験片の振幅分布

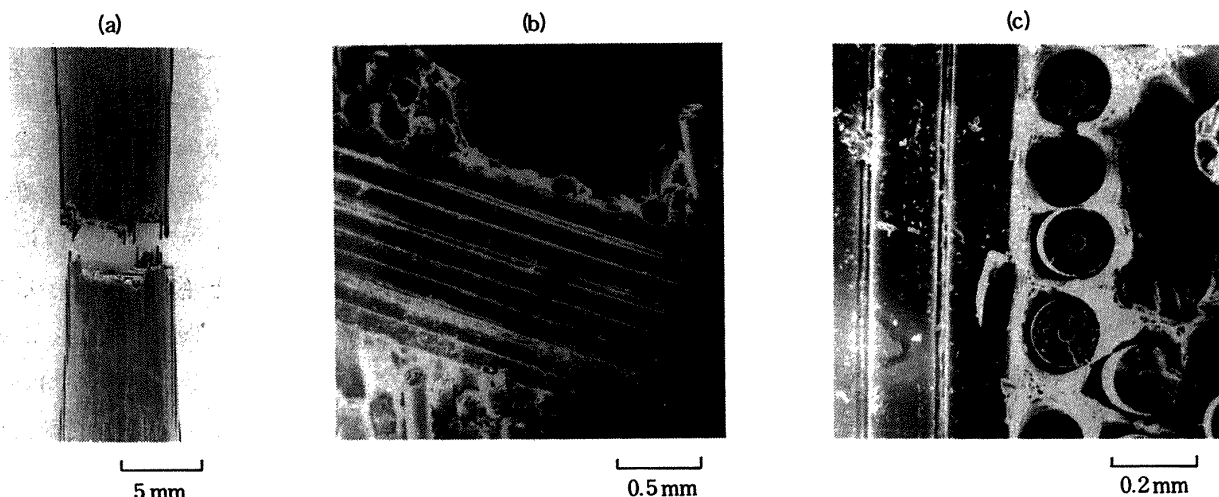


図 10 0°/90°積層試験片の破面および破壊状況

トリックスとの界面剝離による影響と考えられる。図13は破断までに発生したAEの位置と事象数を示す位置標定である。(a)は低負荷、(b)は中負荷、(c)は高負荷、(d)は破壊時の位置標定を示す。低負荷では、32~66までの山形の分布である。中負荷では22~78

の広範囲に広がるが中央部が高い山形である。高負荷では33, 68附近の中央部から離れた位置からのAE発生が多くなる。破断までの分布では、この傾向が更に顕著になり33~37, 63~67での発生率が高くなった。一方向強化試験片の分布は中央部が

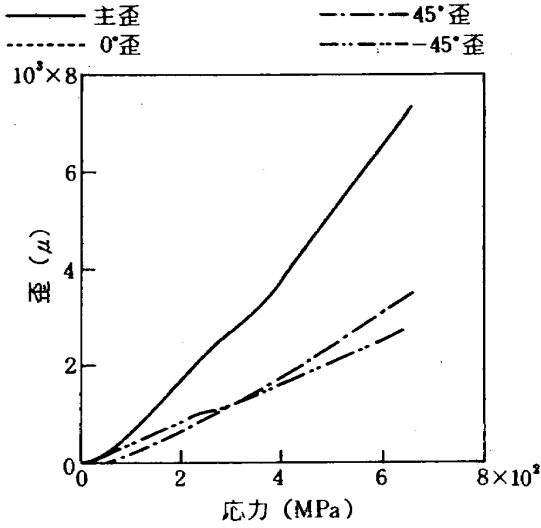


図11 0°/90°積層試験片の応力・歪線図

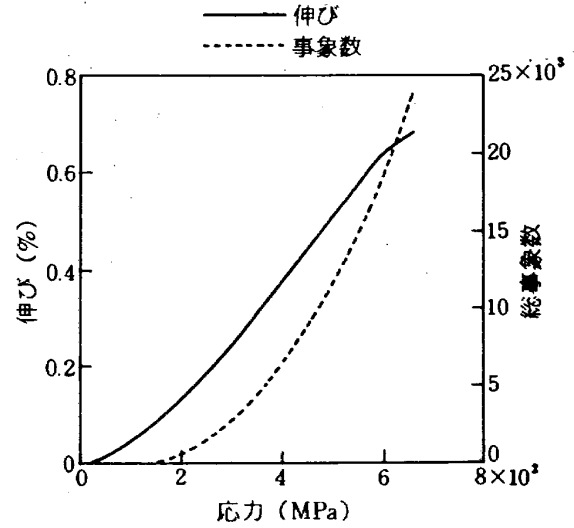


図12 0°/90°積層試験片の応力・伸び, AE挙動

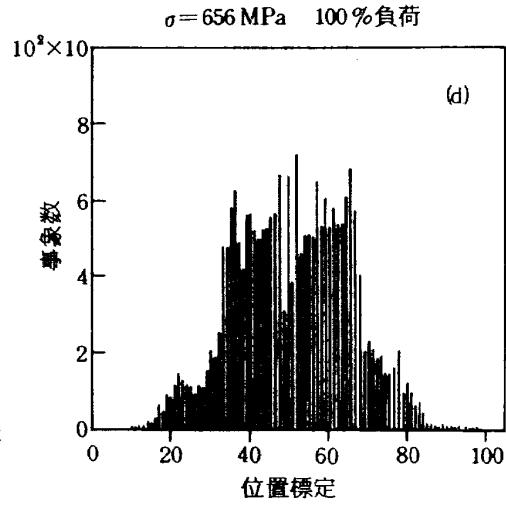
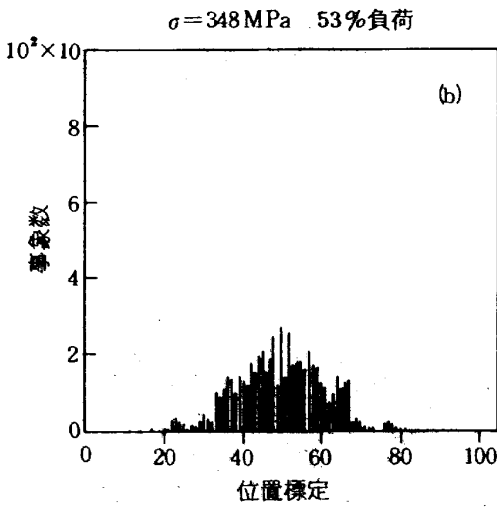
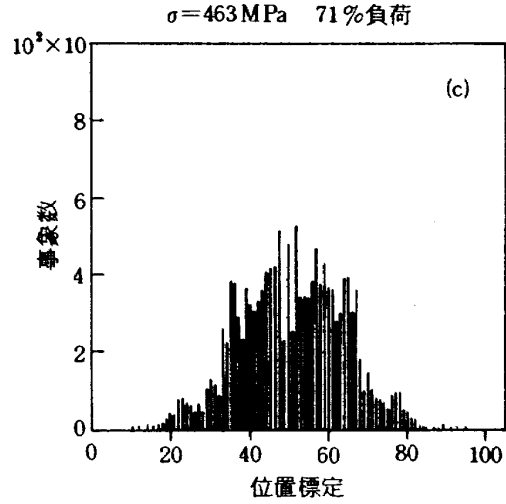
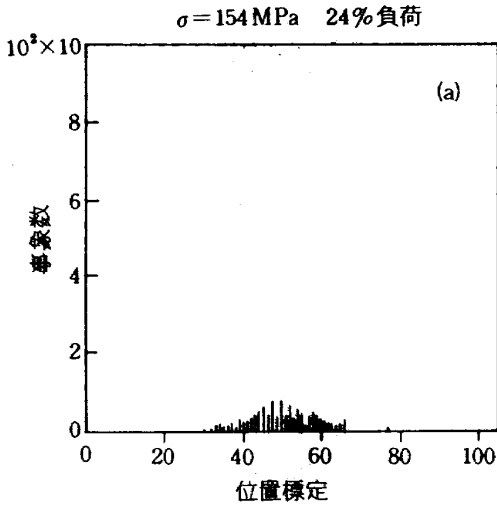


図13 0°/90°積層試験片のAE発生位置



凹んだ分布であるから、この試験片の中央部が33~37と63~67の位置と同じ位AEが生じているのは90°繊維層の界面剥離とマトリックス破壊によるものだと考えられる。図14は破断までに発生したAE事象の振幅分布である。(a)は低負荷、(b)は中負荷、(c)は高負荷、(d)は破壊時の振幅分布である。低負荷

では31~100 dBまでの広い振幅域で生じるが、36~64 dBの低い振幅で多い。この傾向は破断まで同様である。振幅分布は一方向強化試験片と同様の分布であり、低い振幅の界面剥離とマトリックス破壊によるAEと高い振幅の繊維破壊によるAEに分れている。従って、主要なAE発生要因は界面剥離、マ

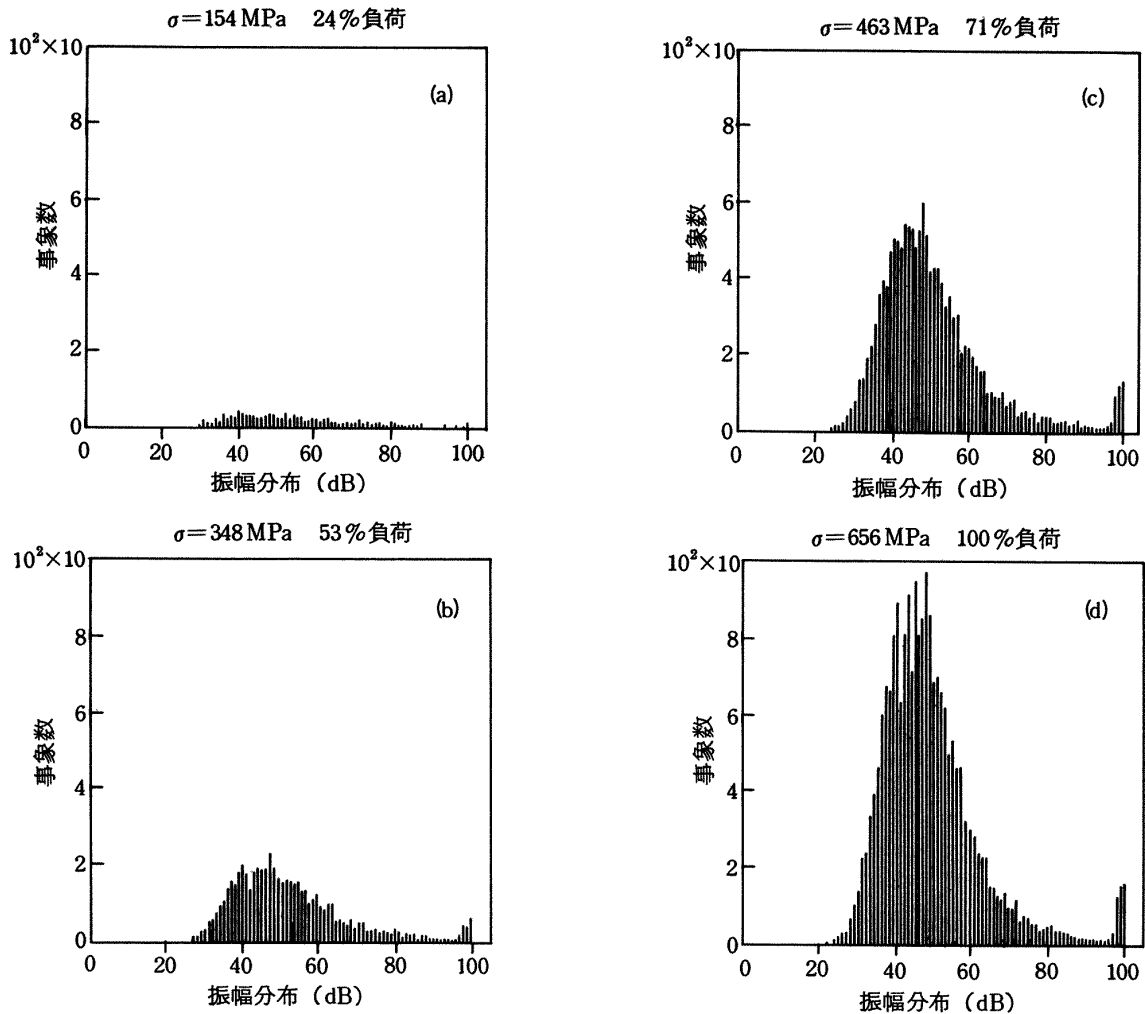


図 14 0°/90°積層試験片の振幅分布

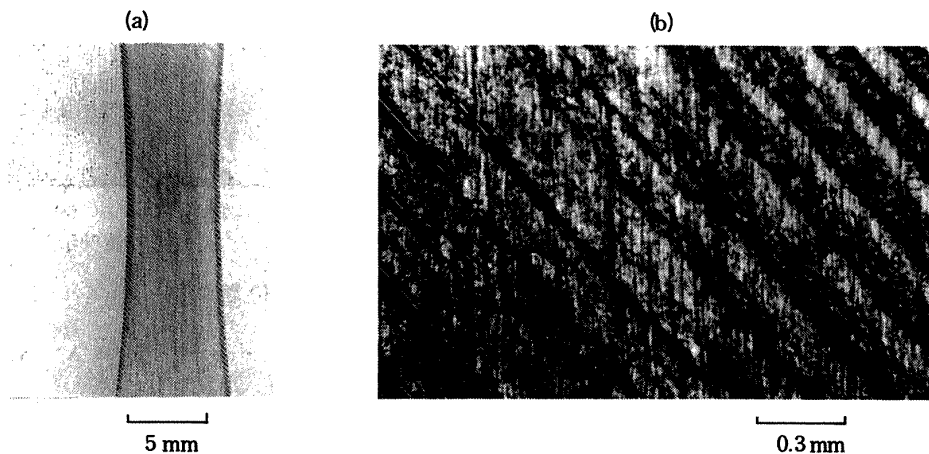


図 15 ±45°積層試験片の破壊状況

トリックス破壊および繊維破断であると考えられる。なお、本試験片の振幅分布と前報の0°/90°積層試験片を比べると前報の場合には90°繊維層の繊維の縦割れによって生じた70~90dBの山を形成したが、本試験片では界面剥離が生じたため振幅分布は低い振幅のAEが多くなり著しく異なった分布になった。

### 4.3 ±45°積層試験片

この試験片は伸びが著しく大きいので破断するまで実験は行なわなかった。図15の(a)に引張試験後の試験片中央部の写真、(b)に光学式顕微鏡による写真を示す。(a), (b), で示すように試験片表面に繊維配列方向と同じ方向に滑り線が見える。従って、伸びは繊維とマトリックス間が滑って生じたと考えられる。図16に応力と伸び計による百分比で示した伸び、AEの総事象数の関係を示す。伸びは応力125MPaまで負荷の増加に伴って増加率が高くなるが、これを越えると応力に比例して増加する。低負荷では、

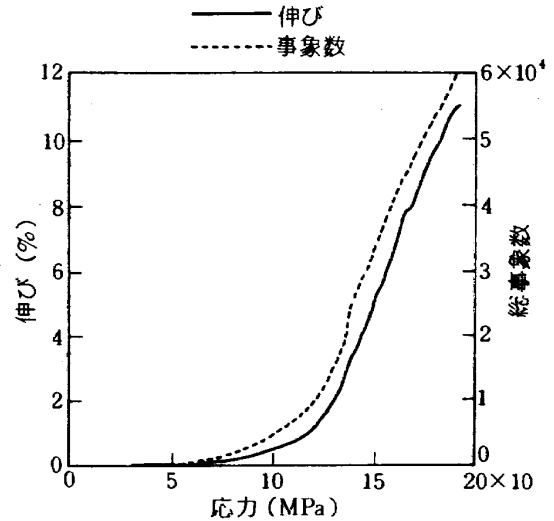


図16 ±45°積層試験片の応力・伸び、AE挙動

繊維とマトリックスの界面接合力の方が高い為、伸びは小さい。負荷の増加に伴って界面接合力は相対的に低下し、伸びが大きくなる。AE事象の挙動は伸びの場合と同様に応力125MPaまで負荷の増加に伴って増加率が高くなるが、これを越えると応力に

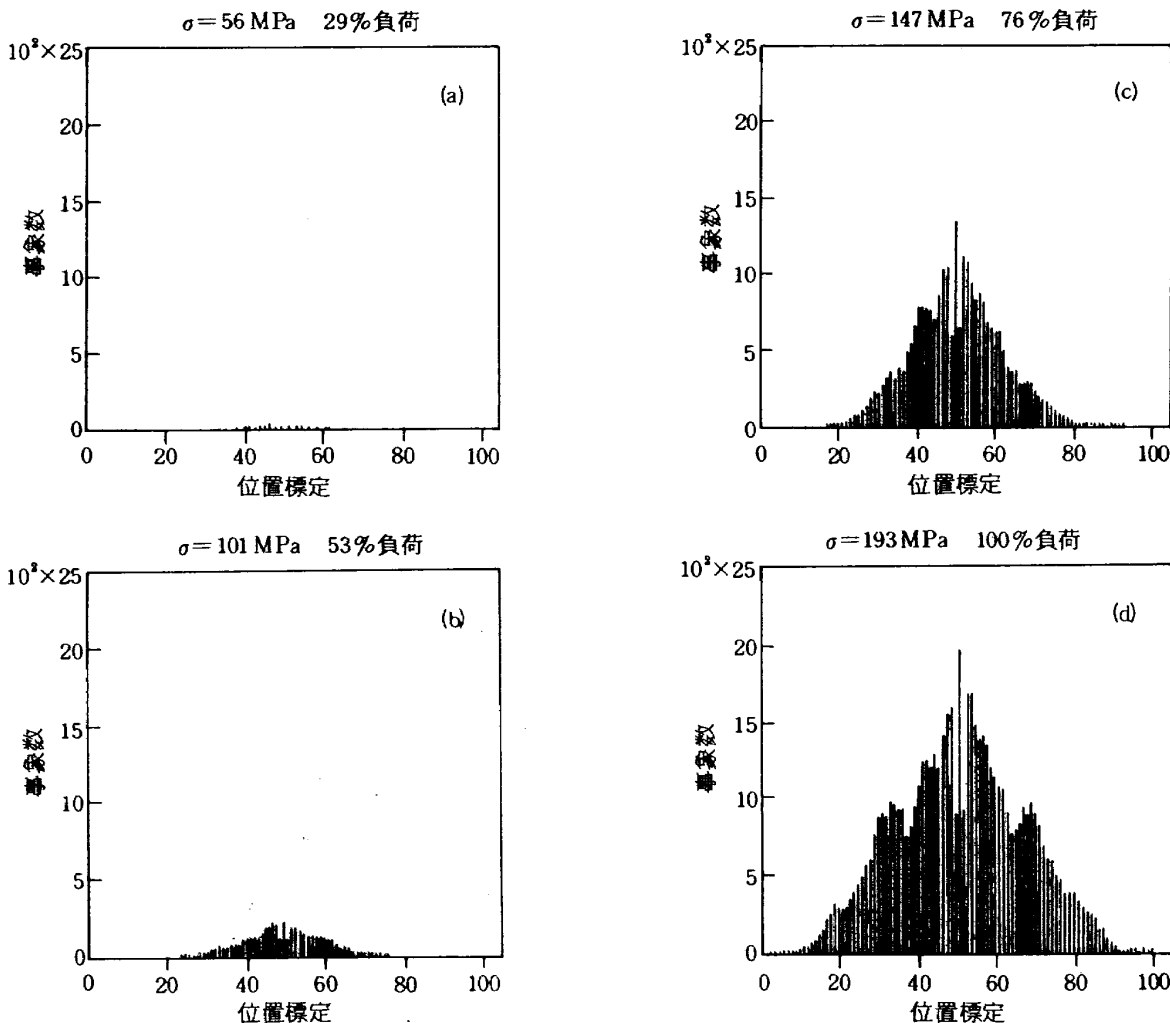


図17 ±45°積層試験片のAE発生位置

比例した挙動を示す。従って、この試験片の主要な AE 発生要因は繊維とマトリックス間の滑りであり、AE 発生挙動は滑り量に関係すると考えられる。図 17 は伸びが 10.9% になるまでに生じた AE の位置と事象数を示す位置標定である。(a) は低負荷で 0.1% の伸び、(b) は中負荷で 0.8% の伸び、(c) は高負荷で 7.7% の伸び、(d) は最大負荷で 10.9% の伸びが生じた時の位置標定を示す。低負荷では 37~63 の範囲、中負荷では 27~75 の範囲、高負荷では 22~80 の範囲、最大負荷では 13~87 の範囲で発生しており、負荷の増加と共に発生域が拡大した。また、分布は低負荷から最大負荷まで中央部の高い山形である。従って、滑りは最小断面附近の中央部から始めて負荷の増加に伴って滑りが周囲に拡大すると考えられる。最大負荷の位置標定によると中央部が鋭角の頂上の山形の分布になった。図 15 の(b) に示した滑り線は中央部から離れるに従って少なくなっており、繊維とマトリックスの滑りは中央部附近が多い。AE の発

生要因は繊維とマトリックス間の滑りであると考えられるから位置標定の分布は妥当なものである。図 18 は 10.9% の伸びまでに生じた AE 事象の振幅分布である。(a) は低負荷で 0.1% の伸び、(b) は中負荷で 0.8% の伸び、(c) は高負荷で 7.7% の伸び、(d) は最大負荷で 10.9% の伸びが生じた時の振幅分布である。低負荷では 34~45 dB、中負荷では 27~88 dB、高負荷および最大負荷では 24~100 dB の振幅域で生じた。この試験片では 32~51 dB の振幅域で非常に多くの AE が生じた。従って、滑りによって生じる AE の振幅は低い振幅が多いと考えられる。なお、負荷の増加に伴って 100 dB の AE が生じたが、最大の事象数である 40 dB の 2763 個に対して 100 dB では 175 個で約 6% である。この試験片は破壊しなかった為、破断面の観察はできなかったが、高い振幅の AE が発生していることは、繊維とマトリックスの滑りに際して繊維の破壊が生じた可能性がある。

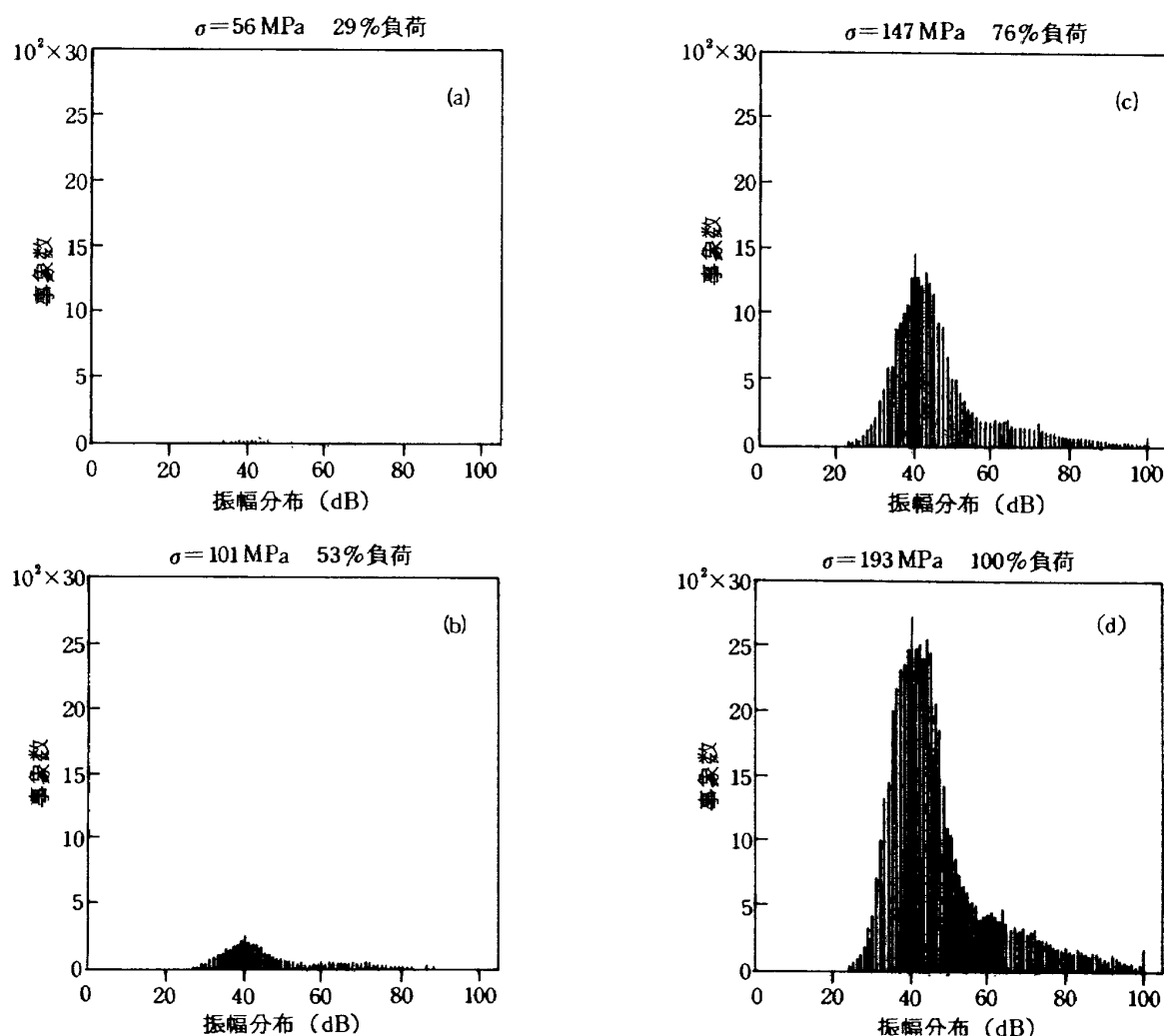


図 18 ±45° 積層試験片の振幅分布

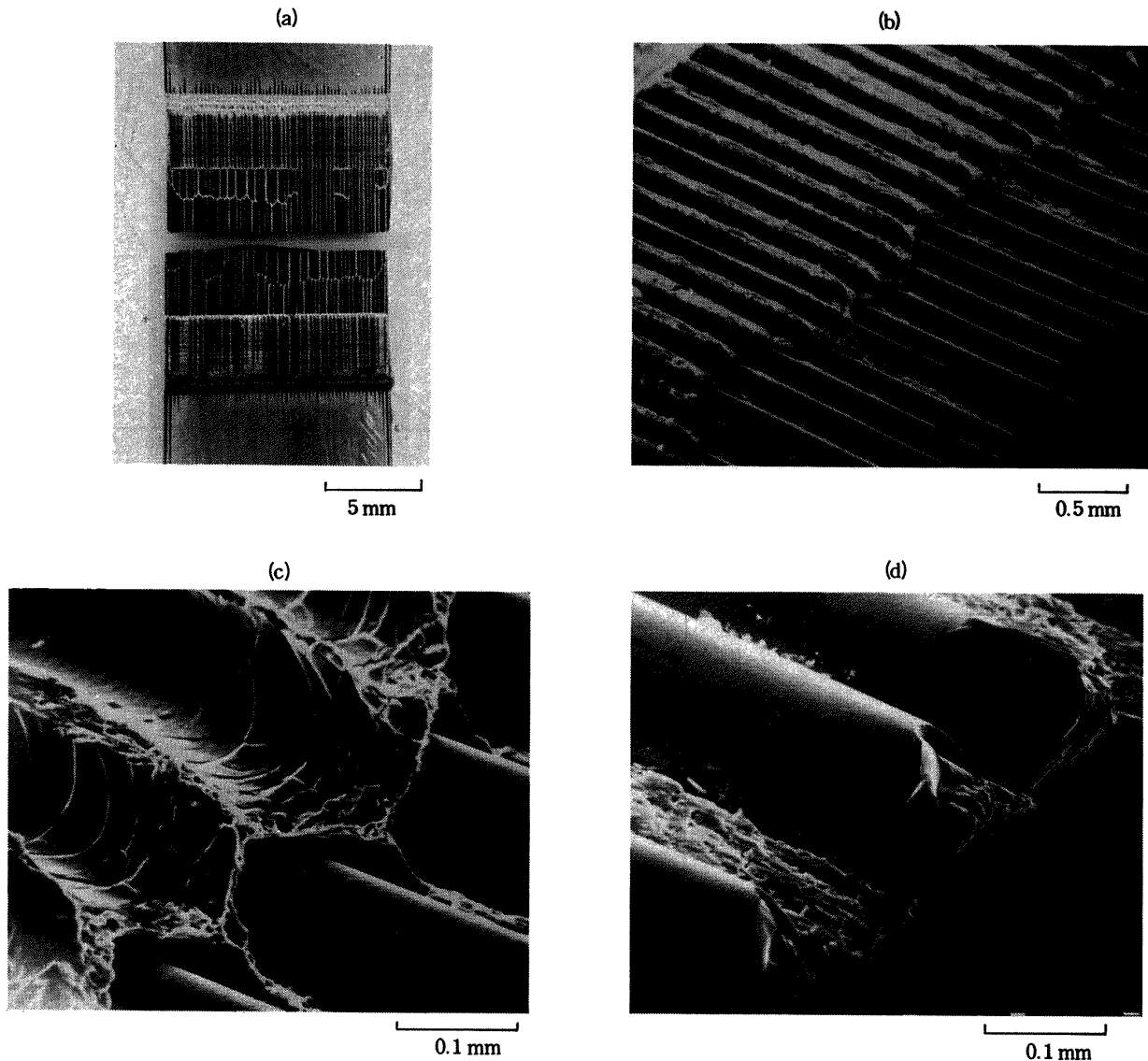


図 19 両面溝付試験片の破面および破壊状況

#### 4.4 両面溝付試験片

図19に破壊状況を示す。(a)は剝離面の写真，(b)，(c)，(d)に剝離面の走査電子顕微鏡写真を示す。図に示すように破壊は層間剝離である。(a)は剝離面が全て見えるように試験片の片方を裏返し突き合せた状態の写真である。上側の右下端と下側の左上端が対応する。剝離面に隣接する溝はダイヤモンド砥石で加工した部分である。剝離面の中央部に横にジグザグの線が見える。この部分を走査電顕で見たのが(b)，(c)である。(b)には溝側から剝離面の中央部付近まで繊維が剝離した跡と考えられる凹面状のマトリックスがあり，中央部付近から端部までSiC繊維の表面が剝き出しになっている部分がある。従って，層間剝離の破壊は繊維とマトリックスの界面剝離であることがわかる。また，SiC繊維の剝離面端部に割れ

が見られる。この部分を拡大したのが(d)である。割れの状況はSiC繊維の端が斜に割れており， $0^\circ$ 方向の引張に際して溝際の応力集中の影響で破壊したと考えられる。図20に三軸ロゼット歪ゲージによる応力と歪の関係を示した。 $0^\circ$ 方向歪は増加しないが， $\pm 45^\circ$ 方向の歪は符号が反対に増加する。このような挙動は試験片に溝があるため溝の影響でねじりが生じたと考えられる。図21に応力と伸び計による百分比で示した伸び，AEの総事象数の関係を示す。歪は43 MPaまでは，ほぼ応力に比例して増加する。43 MPa以上は，試験機のクロスヘッドが移動しても，負荷は増加せず伸びだけが增加する。AE事象の挙動は，38 MPaまでは応力に比例して増加するが38 MPaで増加率に変化が生じる。これは，破壊状況に変化が生じたと考えられる。図19の(b)で示し

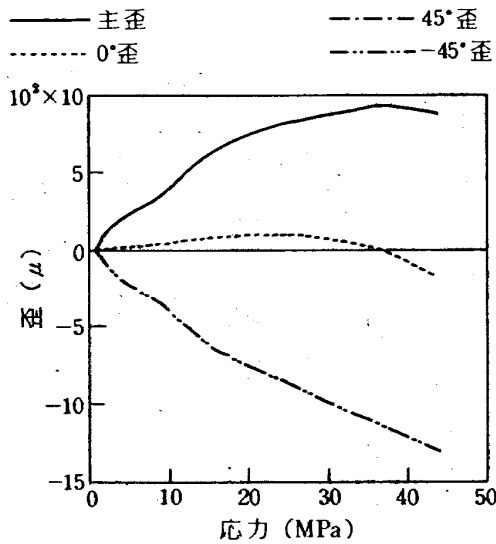


図 20 両面溝付試験片の応力・歪線図

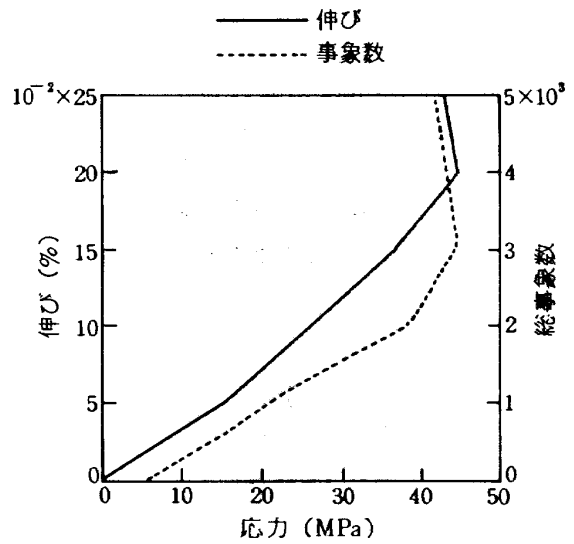


図 21 両面溝付試験片の応力・伸び, AE挙動

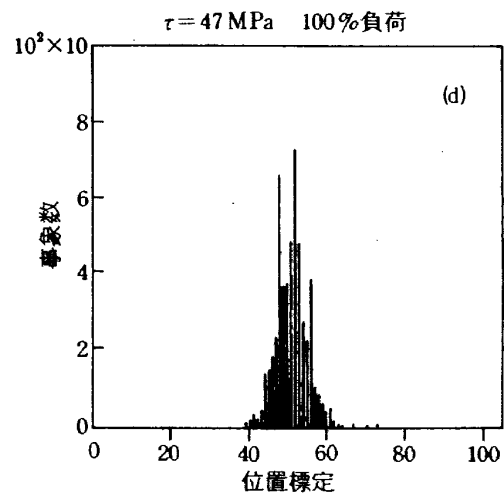
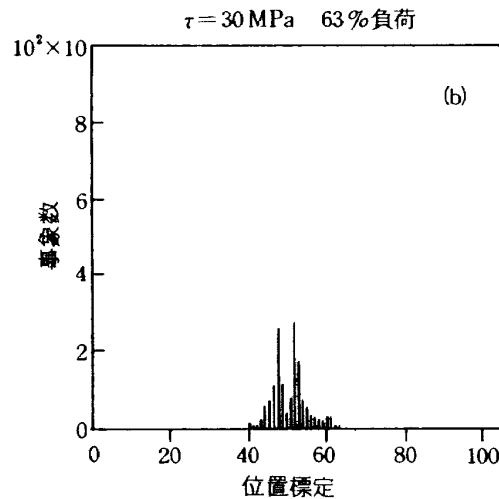
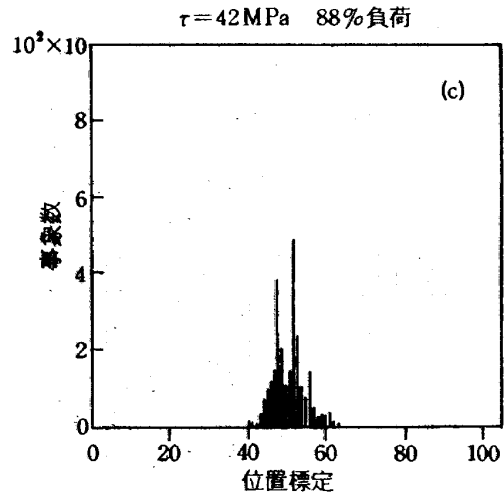
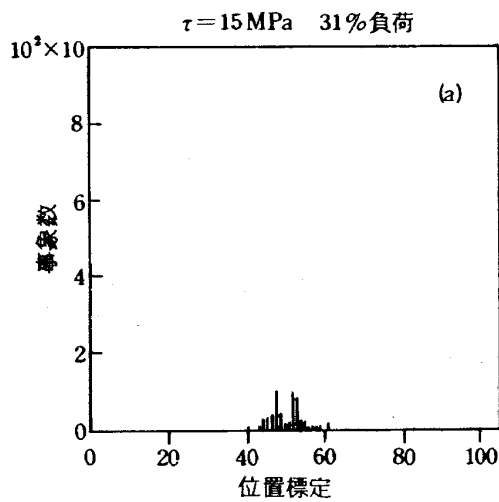


図 22 両面溝付試験片の AE 発生位置

たように層間剝離が、界面剝離によって生じたことは、マトリックスのせん断応力の方が界面剝離に要する応力より高いためである。従って、繊維間にあるマトリックスの破壊は負荷の後半に生じ、増加率の変化はマトリックスの破壊が始った為であると考

えられる。図 22 は破断までに発生した AE の位置と事象数を示す位置標定である。(a) は低負荷、(b) は中負荷、(c) は高負荷、(d) は破壊時の位置標定を示す。低負荷および中負荷では 43~61、高負荷では 41~62、破壊まででは 39~62 の範囲で AE が生じた。

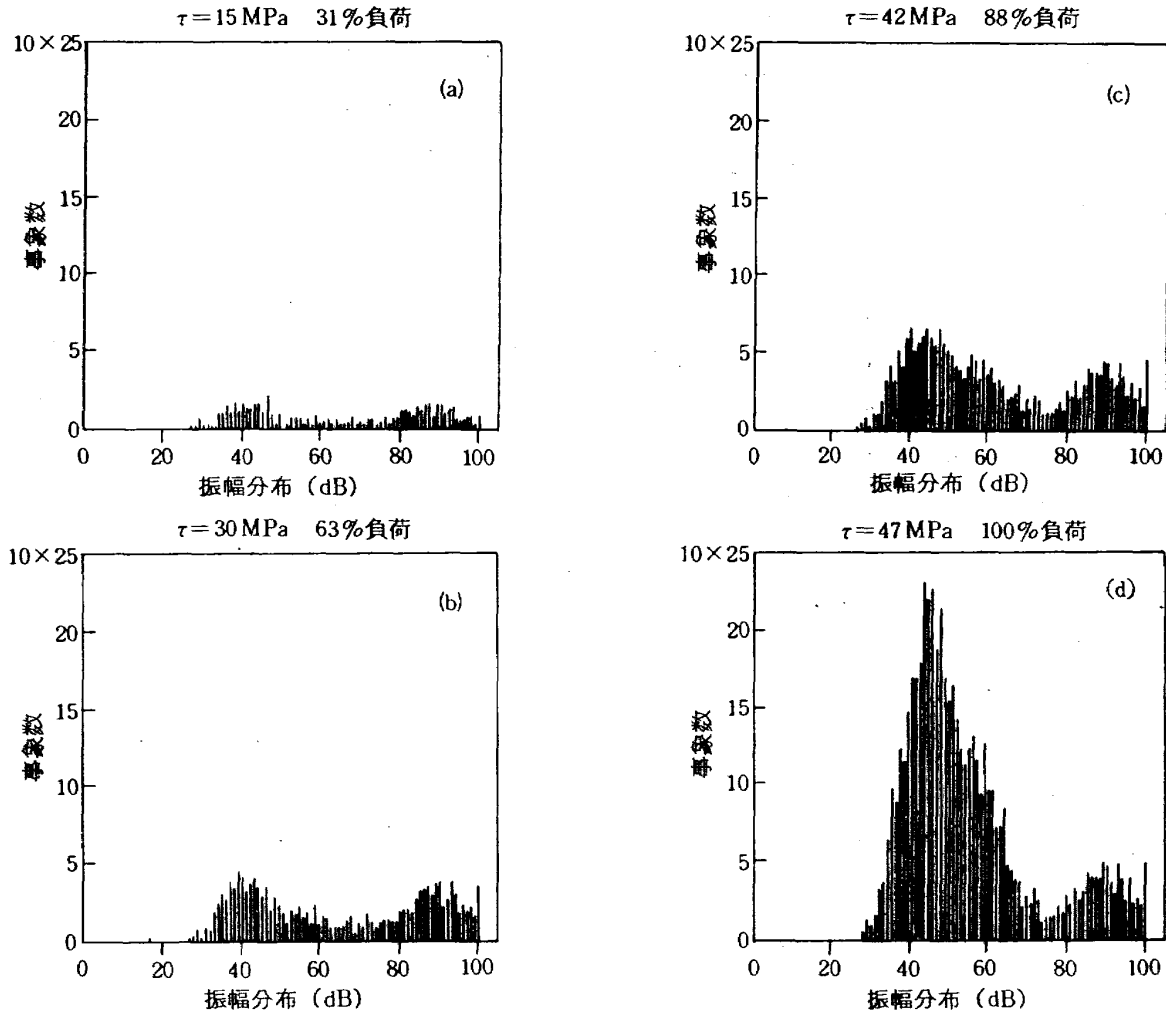


図 23 両面溝付試験片の振幅分布

位置標定の分布は48と52で特に多い。この試験片は溝間隔3mmで両面に溝がある形状であるから溝際の応力集中の影響で2箇所でも多くのAEが生じたと考えられる。また、AE発生 の要因は、試験片中央部の層間剝離であるため位置標定の分布は中央部に集中したと考えられる。図23は破断までに発生したAE事象の振幅分布である。(a)は低負荷、(b)は中負荷、(c)は高負荷、(d)は破断時の振幅分布である。低負荷から破断まで80~100 dBの高い振幅のAEが生じる。中負荷までは低い振幅と高い振幅の事象数は同程度であるが、高負荷以上になると低い振幅の発生率が高くなる傾向がある。特に破断間際の12%の負荷増加で低い振幅の事象が著しく増加した。振幅分布によると30~72 dBの低い振幅と78~100 dBの高い振幅に分れている。負荷が増加するに従って発生率が高くなる低い振幅は、界面剝離とマトリックスの破壊によって生じたと考えられる。また、低負荷から生じていた高い振幅のAEは、図19の(d)で示す

ような溝際の応力集中の影響による繊維端部の割れによって生じたと考えられる。

## 5. 結 言

SiC繊維強化アルミニウム複合材料試験片を用いて引張破壊強度試験を行なった。このときの破壊過程で生じるAEを計測した。AEパラメータは発生挙動、発生位置、振幅分布等について調べた。また、破壊後の破面を走査電顕および光学式顕微鏡で観察した。破面観察とAE特性の関連を検討した結果、次のことが明らかになった。

(1) 一方向強化試験片の破壊は、広範囲の繊維破断とそれに伴う界面剝離およびマトリックスの破壊である。AEの発生位置は中央部が少なく、中央部から離れた両側で多い分布になった。振幅分布は、解放エネルギーの違いから推定すると界面剝離によるAEは64 dB以下の低い振幅であり、繊維破断によるAEは98 dB以上の高い振幅であると考えられ

る。

(2)  $0^\circ/90^\circ$  積層試験片の破壊は、 $90^\circ$  繊維層では試験片中央部の界面剝離およびマトリックス破壊である。 $0^\circ$  繊維層では繊維破断、界面剝離およびマトリックスの破壊である。AE の発生位置は、中央部の両側で AE 発生率が高い  $0^\circ$  方向繊維層と中央部で AE 発生率が高い  $90^\circ$  繊維層の AE 発生が重なった為、突出した部分もあるが上部の平な分布になった。振幅分布は、破壊要因が一方方向強化試験片と同じであるため、一方方向強化試験片と同様な傾向を示した。

(3)  $\pm 45^\circ$  積層試験片は、繊維とマトリックス間で滑りが生じるため伸びの大きな材料である。AE 発生要因は繊維とマトリックス間の界面剝離と滑りで生じた。試験片表面に生じる滑り線は最小断面附近で多く観察されるが中央部から離れるに従って少なくなる。このため、AE の発生分布は中央部が鋭角の頂上をもつ山形の分布になった。振幅分布は、一方方向強化試験片や  $0^\circ/90^\circ$  積層試験片に比較すると 33 ~ 49 dB の低い振幅側からの発生率が高くなっている。従って、滑りによる振幅は低い振幅であると考えら

れる。

(4) 両面溝付試験片の破壊は、溝間隔 3 mm 部分の層間剝離である。破壊状況は繊維とマトリックスの界面剝離が大部分であり、溝際の応力集中による繊維端の割れが生じた。これに伴って AE 発生位置は試験片中央部から生じた。振幅分布は界面剝離およびマトリックス破壊による低い振幅の AE と繊維の割れによる 78 ~ 100 dB の高い振幅の AE が生じた。

#### 参 考 文 献

- 1) 田口裕康；AVCO 社製のボロン繊維およびシリコンカーバイト繊維複合材について、材料メーカー資料
- 2) 祖父江靖，小河昭紀；AE 法によるボロン繊維強化アルミニウム複合材料の破壊様式の研究，航技研報告 TR-927（昭和 62 年）
- 3) 砥綿真一，山田銑一；炭化ケイ素繊維強化 A1 合金の破壊挙動，日本金属学会誌 50 巻 3 号（昭和 61 年）

---

## 航空宇宙技術研究所資料612号

平成元年8月発行

発行所 航空宇宙技術研究所  
東京都調布市深大寺東町7-44-1  
電話 三鷹(0422)47-5911(大代表) 千182

印刷所 株式会社 共 進  
東京都杉並区久我山5-6-17

---



