

ISSN 0389-4010
UDC 678.067.9:620.168.3
620.178.3
539.382

航空宇宙技術研究所報告

TECHNICAL REPORT OF NATIONAL AEROSPACE LABORATORY

TR-1241

一方向強化FRPの引張疲れ試験法に関する評価

野口 義男

1994年7月

航空宇宙技術研究所
NATIONAL AEROSPACE LABORATORY

目 次

概 要	1
1. まえがき	1
2. 供試材料	2
2.1 素材構成	2
2.2 試験片の作製	3
3. 試験装置	3
4. 静的特性試験	3
4.1 試験状況	3
4.2 試験結果	4
4.3 素材の特性値との比較	4
5. 疲れ強さ試験	5
5.1 試験方法	5
5.2 試験状況	5
5.3 試験片の温度観測	5
5.4 疲れ破壊状況	6
5.5 応力と繰返し数の関係	7
5.5.1 GFRPの結果	7
5.5.2 適用接着剤の比較	8
5.5.3 タブ形状の比較	8
5.5.4 試験速度の比較	9
5.5.5 S-N 関係結果	9
6. まとめ	10
7. あとがき	11
参考文献	11

一方向強化FRPの引張疲れ試験法に関する評価*

野口 義男^{*1}

Study on tensile fatigue testing method of unidirectional fiber-resin matrix composites*

Yoshio NOGUCHI^{*1}

ABSTRACT

The aim of the Versailles Project on Advanced Materials and Standards(VAMAS) program is to evaluate the mechanical properties of advanced materials. In this study, as a part of the polymer composites, the first phase of this round robin test was carried out to examine the tension-tension fatigue properties of unidirectional GFRP and CFRP. Fatigue tests were undertaken in a sinusoidal load-controlled testing mode, with a load ratio of 0.1. In the case of CFRP tests, the comparison of cold-setting epoxy resin and curing epoxy resin film as the endtab adhesive was made. It was found that the fatigue strength differed largely between the two types of tab adhesive. In another study, the effects of the end-tab configuration of the specimen and the testing frequency of fatigue behavior of unidirectional CFRP specimen were examined. As for the tab configuration, 10° tapered and untapered end-tab specimens were provided. On the testing frequency, fatigue tests were conducted with 2, 5 and 10Hz. The difference of fatigue strength under these testing conditions was found to be small in the present study.

Key Words : Unidirectional Composite Materials, GFRP, CFRP, Tensile Fatigue Test, Tab Shape, Test Frequency, S-N Curve

概 要

国際共同研究 VAMAS (Versailles project on advanced materials and standards)における研究課題「高分子複合材料」では FRP の引張疲れ試験法評価に関する第1次共同実験が行われた。共通試料として一方向繊維強化エポキシ樹脂複合材料 (GFRP および CFRP) の短冊平板が参加機関にそれぞれ提供された。評価は同材料の繊維方向について正弦波形による繰り返し引張荷重疲れ試験を実施し、標準試験方法確立のための検討資料を得るものであった。ここでは同評価試験の結果、および同成果を踏まえて一方向強化CFRPについて独自に行った試験片形状等の比較検討結果を報告する。

1. ま え が き

第8回の先進国首脳会議ベルサイユ・サミットにおいて科学技術の重要性が上げられた。その後、他国間協力で実施が合意された研究計画として VAMAS (Versailles project on advanced materials and standards) の活動が

進められている¹⁾。本提案の目的は、国際的に調整されたものを基盤として先進複合材料、エンジニアリング・セラミックス、超電導材料等の重要な新材料に関わる使用基準および仕様の設定に必要な技術を確立するための研究開発を行い、新材料の実用化を促進することにある。この中の一研究課題に「高分子複合材料」があり、繊維強化樹脂複

* 平成6年5月12日受付 (received 12 May 1994)

*1 機体部 (Airframe Division)

合材料 (FRP) に関する疲れ (引張, 曲げ), クリープ (引張, 曲げ) および層間破壊靱性試験方法の評価研究が進められた²⁾。疲れ試験方法においては各国における実情を調査し, 試験可能な方法に絞り込みが成された。引張疲れ試験法は, 米国において ASTM D3479 規格³⁾ が制定されている。同規格によると, 一方向強化 FRP 用の試験片の形状と寸法は図 1 のとおりである。ただし静的引張特性試験方法 ASTM D3039 規格⁴⁾ の内容と同一であり疲れ試験に対する配慮がない, 等を参考に主な懸案事項として表 1 に示すものが提示された⁵⁾。その後の共同実験には同表において強調文字で示した数値等に統一された。英国, フランス, ドイツ, イタリア, カナダ, 米国および日本の 7 か国より 23 研究機関の参加を得て, ガラス繊維強化樹脂複合材料 (GFRP) および炭素繊維強化樹脂複合材料 (CFRP) を共通試料とした国際的な共同実験 (引張および曲げ) が行われた。ここでは, 一方向強化の GFRP および CFRP の引張

疲れ試験に関する共同実験 (6 か国より 16 の研究機関が参加) に参画実施した検討結果 (つかみ部の補強タブ材の接着に常温硬化型樹脂を使用した場合), および同結果を踏まえて独自に CFRP に関する評価試験 (補強タブ材の接着に加熱硬化型フィルム接着剤を使用し, 補強タブ材の端部形状の比較, さらに繰り返し速度の比較) を行った結果について報告する。

2. 供試材料

2.1 素材構成

共同実験における GFRP は, E ガラス繊維とエポキシ樹脂による一方向プリプレグを用いて, 平均厚さ 1 mm とした積層成形板である。成形はフランス Vetrotex Ltd. においてブリード成形法により行われ, 繊維体積含有率 (V_f) の目標値は 60% であった。CFRP は, 炭素繊維とエポキシ樹脂による一方向プリプレグ (P2215-15, T800H/#3631: 東

表 1 引張疲れ試験方法の検討事項

試験片寸法	
厚さ:	1, 2 (mm)。
幅:	10, 12.7, 20, 24.5 (mm)。
評定部長さ:	100, 125, 150 (mm)
補強タブ	
長さ:	40, 50, 60, 70 (mm)。
厚さ:	1, 2 (mm)。
端部形状:	傾斜 (10°, 45°), 直角。
材料:	織物 GFRP (±45°, 直交), アルミニウム合金。
適用接着剤:	常温硬化樹脂, 加熱硬化樹脂, フィルム接着剤。
試験法	
つかみ具:	手動, 油圧, 締め付け力。
制御方式:	荷重, 変位。
繰り返し波形:	正弦波, 矩形波。
繰り返し速度:	2, 5, 10 (Hz)。
繰り返し応力比:	0.1, 0.2, その他。
繰り返し数:	破断, 破損, 剛性保持率。

注) 強調文字は共同実験用の条件を示す。

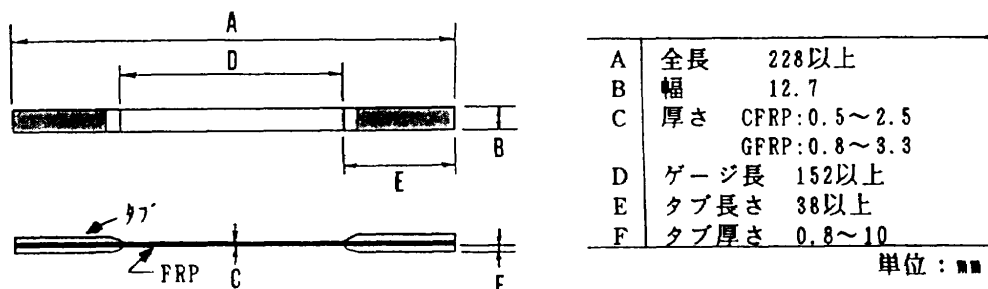


図 1 ASTM 規格における試験片形状

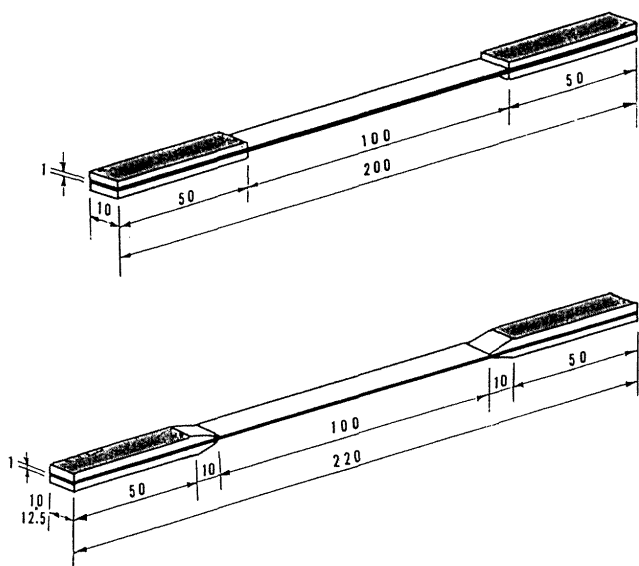


図2 試験片の形状と寸法

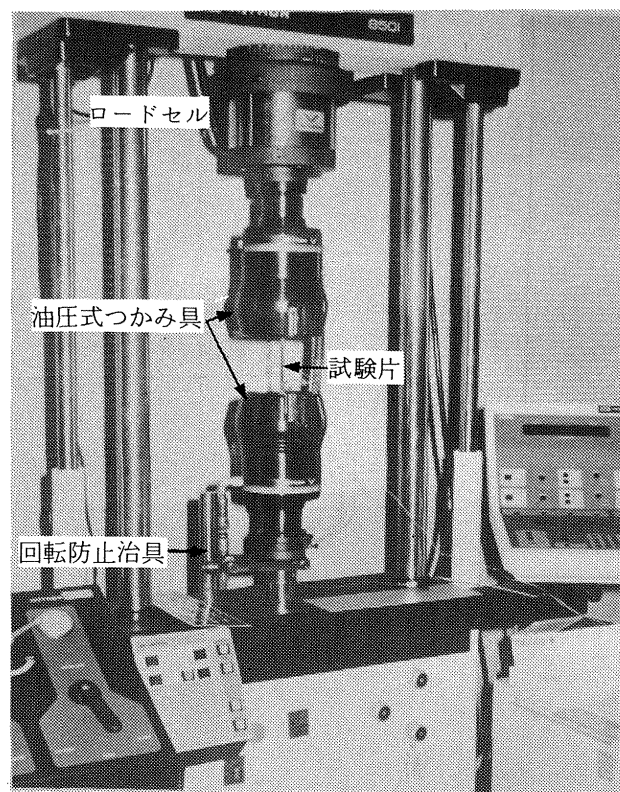


図3 試験状況

レ)を用いて、8層積層で平均厚さが1mmの成形板である。成形は東レ(株)においてオートクレーブ(180°C, 2時間)を用いたノンブリード成形法により行われ、 V_f の平均値は61%である。両供試材は幅が10mm、長さ200mmの短冊状に切出されるものが各試験担当者に配布された。

2.2 試験片の作製

共同実験における試験片としては、つかみ部用の補強タブ材もガラス繊維織物とエポキシ樹脂による厚さ2.5mmのGFRP板が共通材料として提供され、その接着は常温硬化型エポキシ樹脂を使用することに統一されていた。ここでは、2液成分型エポキシ樹脂接着剤(アラルダイト・スタンダード:長瀬チバ)を用いて室温環境下で固着した。なおタブ接着位置のずれ防止と接着剤層の厚さを均一にすることを目的に、事務用のダブルクリップ2個ずつで各接着部分を加圧固定のまま室温に15時間以上放置して硬化させた(試験片の形状と寸法は図2の上部参照)。

独自に計画した追加のCFRPについての評価試験には、全ての試験片におけるつかみ部の補強タブ材(共同実験用とはほぼ同様なGFRP)の接着に加熱硬化型フィルム接着剤を用いた。なお、タブ材の端部形状は垂直のもの、および約10°傾斜付きとしたもの⁴⁾も試みた。前記一方向強化CFRPと同様な成形板へタブ材を接着するには、加熱硬化型エポキシ樹脂系フィルム接着剤(ASTM規格⁴⁾で推奨しているAF-126-2:住友3M)を用いてオートクレーブ法(120°C, 1時間)により固着した。試験片の形状寸法は共同実験用と同様である。また傾斜付きタブ材としたものについては、幅を10mmおよび12.5mm⁴⁾で長さ220mmとした短冊状である。図2にこれらの試験片の形状と寸法を示す。

3. 試験装置

静的特性試験および疲れ強さ試験は、試験室環境が温度 $25\pm 3^\circ\text{C}$ 、相対湿度 $50\pm 5\%$ の雰囲気中に設置された荷重容量100kNの電気油圧サーボ式材料試験機(8501型:インストロン)を使用した。本試験機にはアクチュアータの回転防止治具を装着し、上下つかみ具間の軸芯は一致させた。したがって試験片の取り付けから試験終了に至るまで、試験片には振り力が加わらない。本評価用の一方向強化FRPは直交異方性材であり、かつ薄板のためこのような配慮がない場合は試験結果に大きく影響する。なお、つかみ具には油圧式グリップを使用し、試験中は試験片のつかみ部を一定圧力で締め付けるようにした。図3に試験装置の外観を示す。

4. 静的特性試験

4.1 試験状況

引張特性測定用の試験片には、図2に示した試験片の評価部の中央両面にひずみゲージ(ゲージ長5mm)を試験片長手方向に貼付し、ひずみ履歴の計測用とした。引張試験における試験速度は、試験機のつかみ具間の移動速度を毎分1mmで実施した⁶⁾。なお、ひずみゲージより動ひずみ計(DPM-611B:共和電業)を介しての出力および材料試験機より荷重の出力をX-Y記録計(WX4422-Z11:グラフィテックス)に試験片が破断に至るまで連続的に記録した。

表2 一方向強化 GFRP の静的引張試験結果

幅 (mm)	タブ端 の形状	タブの 接着剤	弾性率 (GPa)	強さ (MPa)	破断ひずみ (%)
10	垂直	樹脂	43.0	1090	2.72
"	"	"	46.8	1230	2.80
"	"	"	45.8	1230	2.68
平均値			45.2	1180	2.73
変動率(%)			4.4	6.8	2.2

表3 一方向強化 CFRP の静的引張試験結果

幅 (mm)	タブ端 の形状	タブの 接着剤	弾性率 (GPa)	強さ (MPa)	破断ひずみ (%)
10	垂直	樹脂	146	2770	1.83
"	"	"	148	2800	1.70
"	"	"	151	3060	1.72
"	"	フィルム	143	2870	1.78
"	"	"	144	2870	1.74
"	"	"	147	2960	1.77
"	傾斜	"	152	2830	1.70
"	"	"	150	2910	--
12.5	"	"	143	2870	1.78
"	"	"	152	2870	--
平均値			148	2880	1.75
変動率(%)			2.4	3.1	2.7

4.2 試験結果

静的特性試験における試験片数はGFRPで3本、CFRPでは試験片のタブ条件などで各3～4本ずつ合計10本について行った。図4には両材料の応力-ひずみ関係結果の代表例を示す。GFRPは直線的であるがCFRPは硬化型(下に凸な曲線)関係を呈している。それぞれの弾性率、破断強さ、および破断ひずみを取得した結果をまとめて表2および表3に示す。なおCFRPの弾性率の算出には、荷重-ひずみ関係における初期(ひずみ量で0.1～0.3%)の部分⁶⁾を用いた。

4.3 素材の特性値との比較

複合材料の弾性率と強さを構成素材それぞれの特性値とその体積含有率によって表現される(空洞は無いと仮定)とした複合則で求め上記結果と比較する。Eガラス繊維の特性値⁷⁾は、弾性率=75.5 GPa、強さ=2450 MPa。炭素繊維の特性はカタログ値⁸⁾より、弾性率=294 GPa、強さ=5590 MPa、エポキシ樹脂の特性値は、弾性率=3.4 GPa、

応力 (MPa)

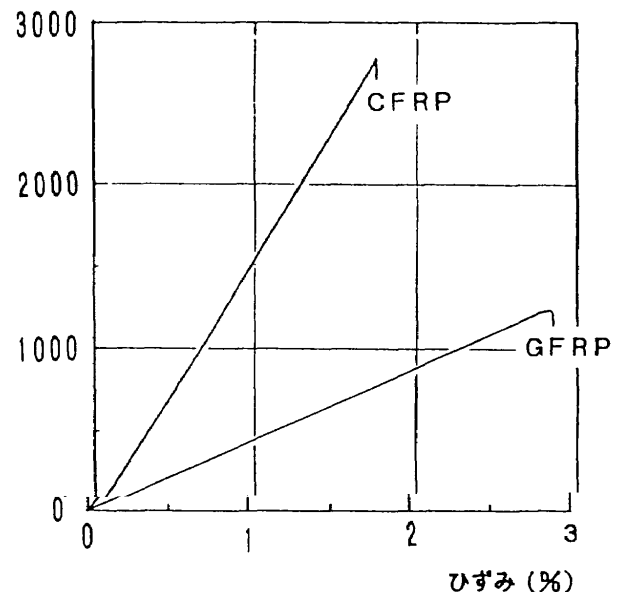


図4 引張応力-ひずみ関係例

強さ = 59 MPa とし、 V_f は 60% および 61% とする。複合則による算出結果は、GFRP の弾性率 = 46.7 GPa、強さ = 1490 MPa、および CFRP の弾性率 = 181 GPa、強さ = 3430 MPa とする。試験結果の平均値は、GFRP の弾性率に関しては関係式がほぼ成立つが、CFRP では 18% ほど低めとなった。なお CFRP における応力-ひずみ関係は非線型性があるので算出に用いるひずみ範囲を大きくすると若干の改善にはなるが差はやや大きい。強さについては個々の素材における試験条件等が異なることでもあり、試験結果は両 FRP とも複合則値より約 20% 低めであった。

破断ひずみを各基材の破断伸びと比較すると、E ガラス繊維が 3~4%、炭素繊維は 1.9% (カタログ値) およびエポキシ樹脂は約 4% 以上ある。これらより両 FRP の結果は共に強化繊維の破断伸びに近い値で引張破断している。

CFRP における静的特性値結果の変動率は 3% 程であり、本評価試験における試験片のタブ部諸条件による影響は小さいことを確認した。

GFRP 試験片の破壊状況は、最大荷重にて瞬時に多くの縦割れを生じてほうき状となった。CFRP 試験片では、最大荷重で瞬時に小片となり飛散した。図 5 に GFRP、および図 6 に CFRP 試験片の静的試験後の破壊様相例を示す。

5. 疲れ強さ試験

5.1 試験方法

GFRP および CFRP の共同評価試験は、繰り返し荷重を正弦波形とした部分片振り (応力比: 最小荷重 / 最大荷重が 0.1) の引張-引張疲れ強さ試験を 5 Hz の速度で行った。

CFRP について追加の評価試験には、同様な疲れ試験を試験片つかみ部用タブ材の端部が垂直および傾斜付きとし加熱硬化型フィルム接着剤を用いた場合を実施して共同評価試験結果との比較用にした。さらに幅を 12.5mm とした同様な試験片について、試験速度を 2Hz および 10Hz で行い繰り返し速度の影響も検討した。

5.2 試験状況

GFRP の疲れ試験では、試験荷重が低いことにも関連してタブ材接着が常温硬化型樹脂でも接着力不足的な問題は少なかった。しかし CFRP 試験片でタブ材の接着剤が常温硬化型樹脂では、疲れ試験に伴いタブ接着面でせん断破損によるはく離が生ずることが認められた。なお加熱硬化型フィルム接着剤でも同傾向にあるが、はく離領域は常温硬化型樹脂に比べると少ないようであった。タブ材端部が傾斜状の試験片では、傾斜部はつかみ具による締め付けが無いため繰り返し荷重に伴いはく離を生ずる。その後は試験中に傾斜部の浮き上がりが荷重の繰り返しと共に観察された。このような状況の一例を図 7 に示す。

5.3 試験片の温度観測

一般的に試験速度は、疲れ寿命に影響を及ぼすと言われている。また、荷重の繰り返しによって試験片が発熱し、その要因となることが考えられた。そこで共同評価試験においては、試験評定部中央の表面温度測定用にクロメル・アルメル熱電対を取り付けて観測した。繰り返し速度が 5

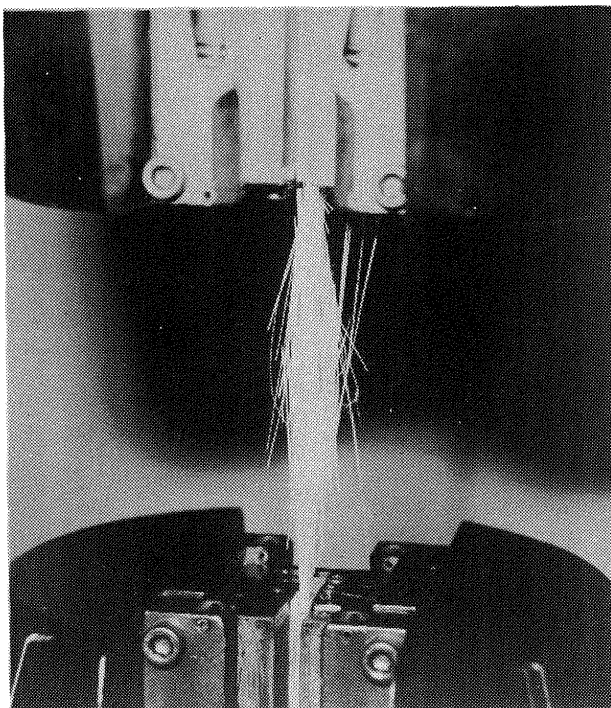


図 5 GFRP の静的引張破壊様相例

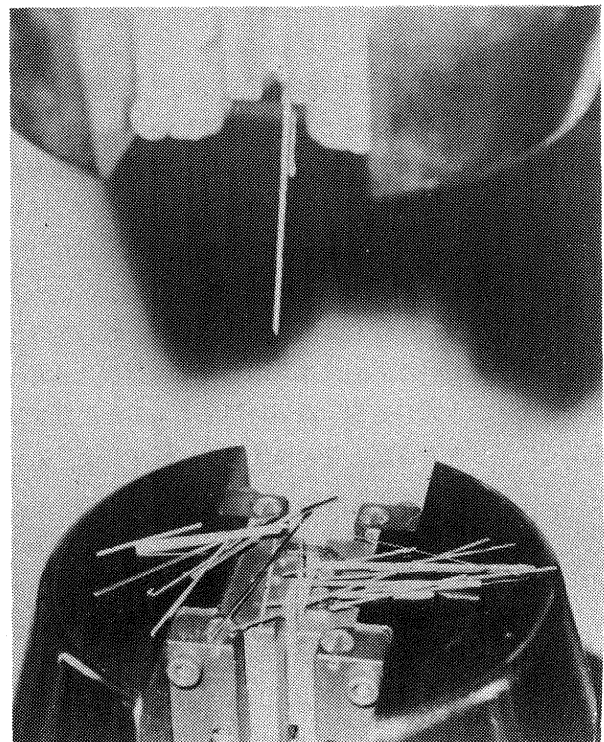


図 6 CFRP の静的引張破壊様相例

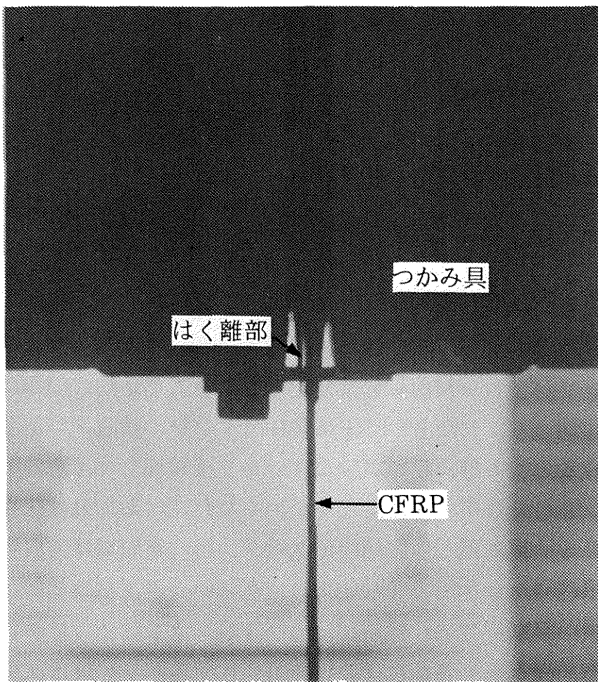


図7 タブ材傾斜部のはく離例

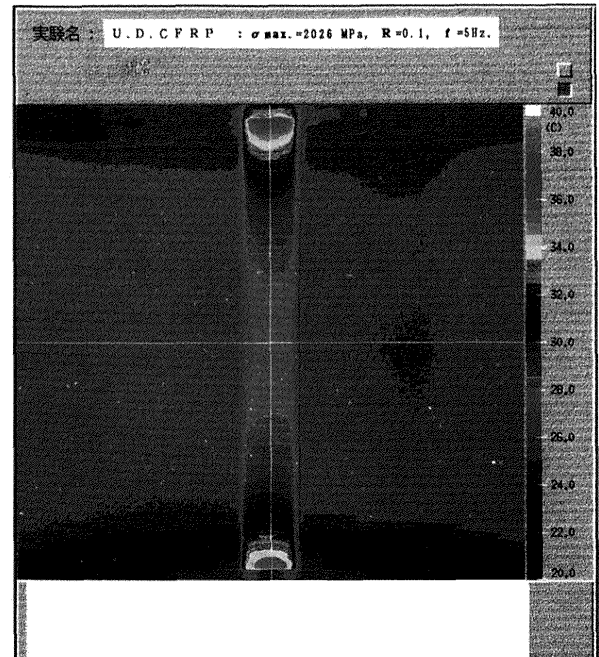


図8 CFRP 試験片の温度分布例

Hz の場合、GFRP では試験片温度は室温程度にはほぼ留まるが、CFRP は試験開始時に若干の温度上昇(3~4°C)が見られた。その後は、両試料とも試験片が破断するまではその温度をほぼ保っているが破断時近くには急激な温度上昇(約5°C以上)が認められた。

タブ接着面において、はく離を生ずると試料材と摩擦熱を発生する原因にもなっており、タブ近傍は試験片の中央部よりも温度は高めのまま推移することが明らかとなった。図8にはCFRP試験片で繰り返し速度5Hzによる試験中にて、試験片表面温度が定常状態となっているところを非接触式赤外線放射温度計(JTG-8000:日本電子)で計測し、温度分布画像とした一例を示す。同図では雰囲気温度が25°C、試験片の中央部は27°Cであるが、タブ端部近傍の最高温度が37°Cにもなっている。タブ近くの温度は、繰り返し応力が大きいほど高まる傾向にある。さらに繰り返し速度が速いほど同所の温度は高くなり2Hzで約30°C、5Hzでは35~40°C、そして10Hzでは50~55°Cにもなることが判った。これは接着面のはく離をより進行させる要因にもなっていると思われる。評価材料にもよるが高繰り返し速度での試験片の温度上昇には十分な注意が必要である。

5.4 疲れ破壊状況

高繰り返し数に至るCFRP試験片の場合は図9に示すように、つかみ部の端近傍においてタブ材先端部の剛性の変化による若干の繊維破損が生ずるものが認められた。ただし、全体的な破断には直結しないようであった。

両試料材とも疲れ試験による破断は脆性的に生じている。その破壊様相は、GFRPでは静的試験結果とはほぼ同様な織

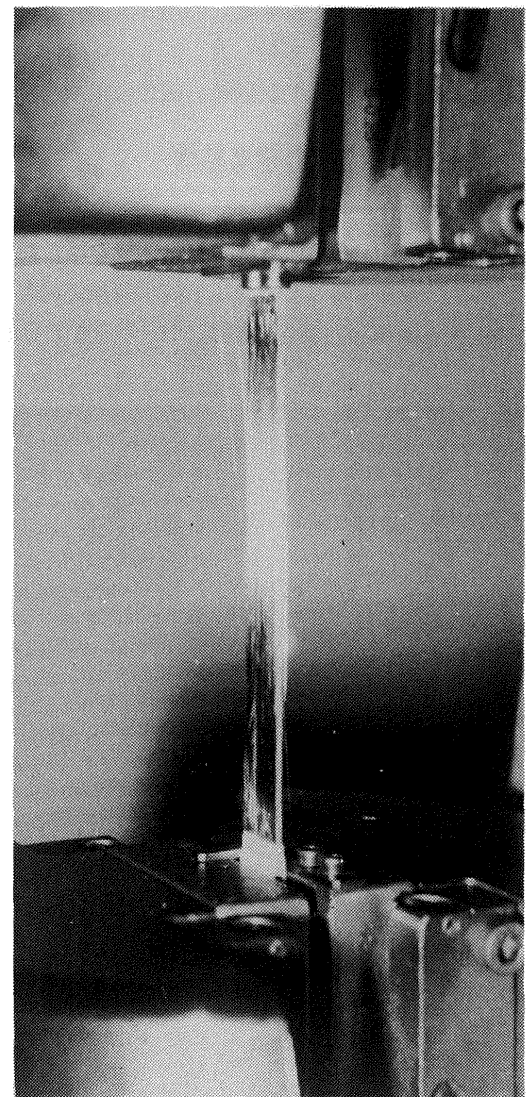


図9 つかみ部端での破損例

維方向でのほうき状に、CFRP では試験領域部およびタブ部の若干内部まで繊維方向に多くの割れを生じ、細片状となって飛散した。図10と図11にGFRPおよびCFRPの疲れ破壊様相例をそれぞれ示す。

り返し数 (S-N) 関係を求めるようにした。結果を図12～図15に示す。図中の各直線は、片対数グラフ上で寿命曲線が直線と仮定してそれぞれ最小自乗法により近似したものである。

5.5 応力と繰返し数の関係

疲れ試験では試験片の破断までの繰返し数範囲が 10^3 ～ 10^6 回程度になるような繰返し最大応力を定め破断繰

5.5.1 GFRP の結果

返りながら基材構成は織物と不飽和ポリエステル樹脂を用い

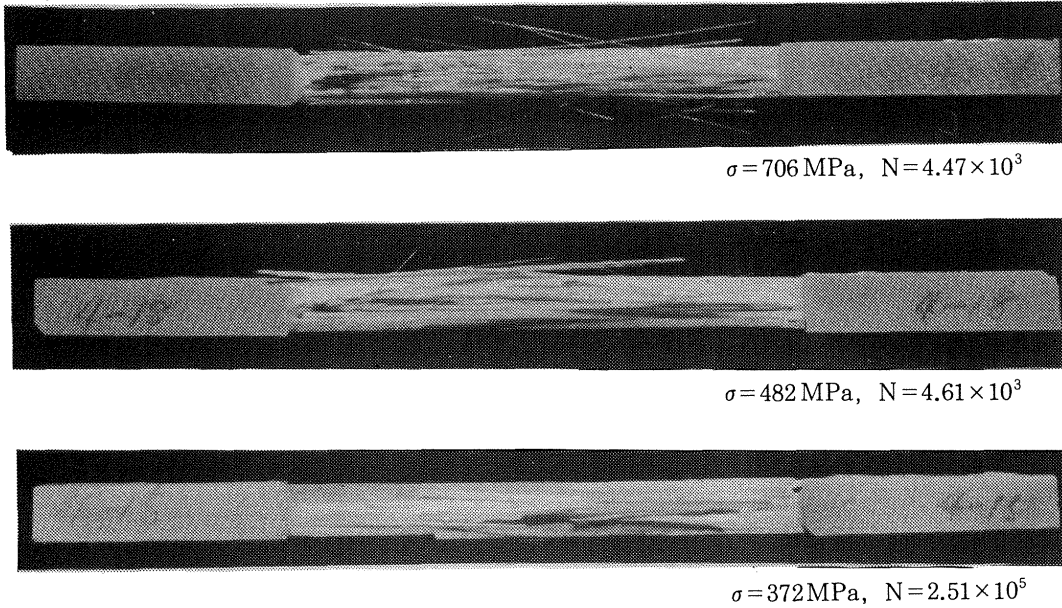


図10 GFRP 材の疲れ破壊様相例

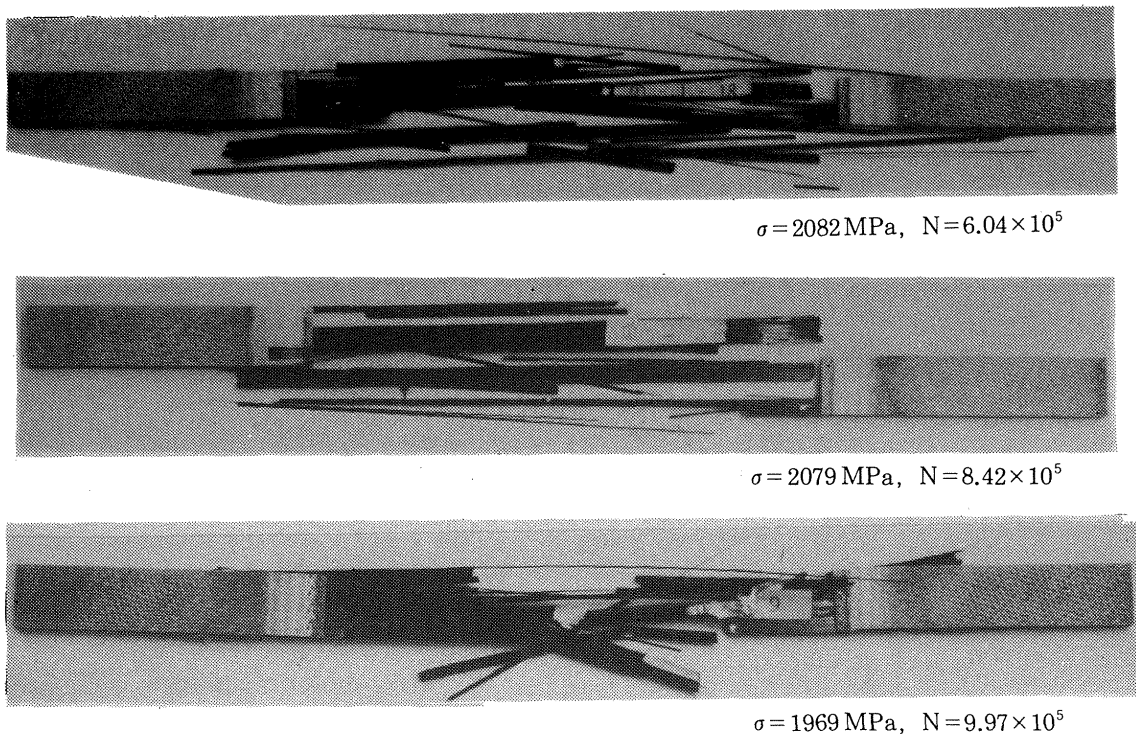


図11 CFRP 材の疲れ破壊様相例

たものが殆どであり、それらの疲れ強さとして 10^7 回での時間強さと静的強さの比は、0.2程度が参考値であった⁹⁾。ここで取上げたような一方向強化材の試験データは極めて少ない。図12におけるGFRPのS-N関係の勾配は、CFRPの結果に比べて50%以上大きい値である。疲れ強さは、CFRPよりもかなり小さい値が推定される。

5.5.2 適用接着剤の比較

図13に示した共同評価試験として行ったタブ材の接着が常温硬化型樹脂では、加熱硬化型フィルム接着剤とした場合よりもS-N関係が全体的に約10%低めとなっており、かつ試験結果が若干ばらつく傾向となった。共同評価試験としてのタブ材接着条件では、引張疲れ試験には問題があ

り推奨できる方法にはならずさらに検討が必要である。追加試験で適用した加熱硬化型フィルム接着剤でもタブ材の接着層に、はく離の進行が認められ十分なものとは言い難い。なお接着力にはつかみ部の締め付け圧力も影響する、さらに試験荷重は試験材料の特性値に依存する等多くの因子が複合しているためより複雑である。

5.5.3 タブ形状の比較

図14におけるタブ材端部の形状による比較を見ると、端部を傾斜させた効果が疲れ試験にはないようである。つかみ部においてはタブ接着面のせん断力によって試料の引張り応力に対応しているため、タブ端部を傾斜状にした方が応力集中は小さくなり破壊をつかみ部近傍で発生させない

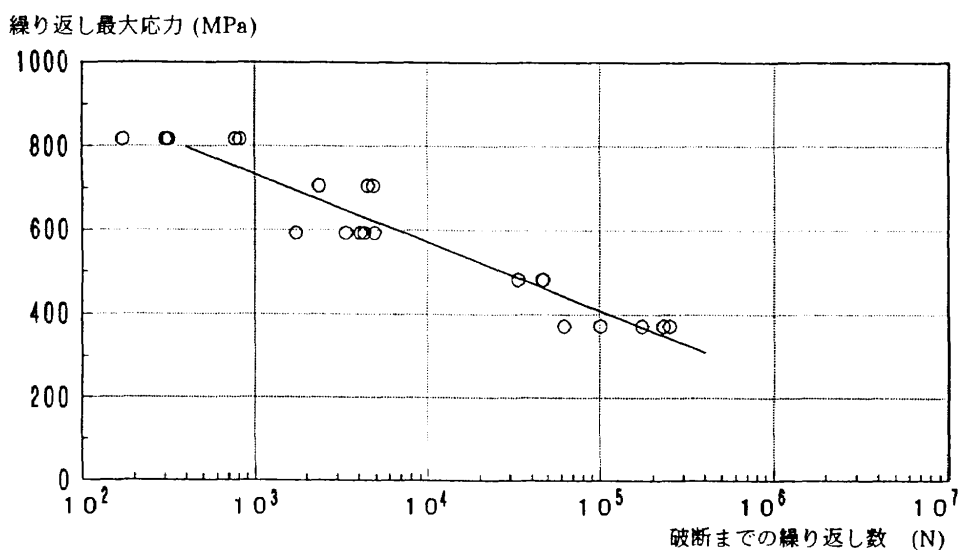


図12 GFRPのS-N関係結果(共同評価試験)

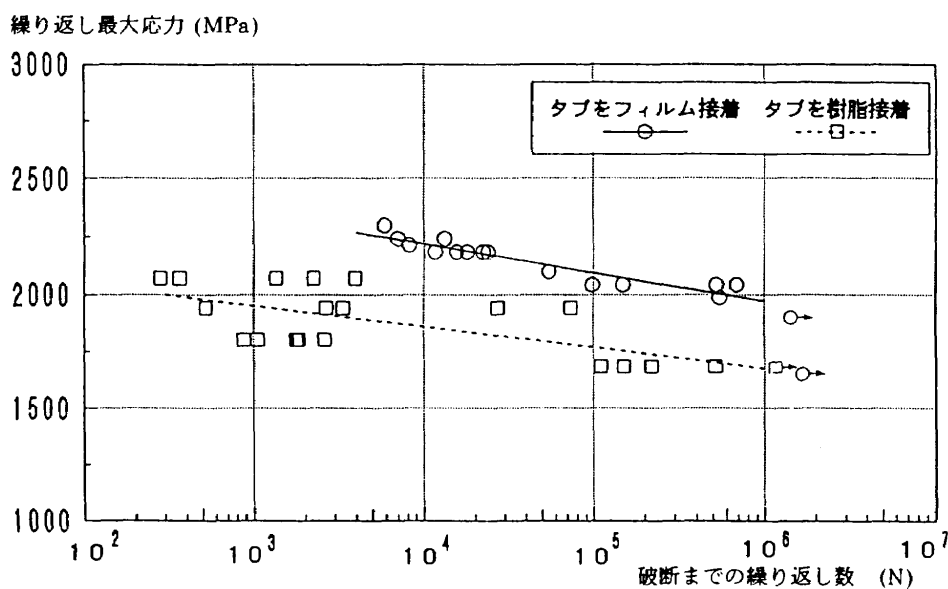


図13 CFRPのS-N関係結果
(共同評価試験およびタブ接着剤の比較)

ためにも望ましい。しかしながらタブ材端部が傾斜状の試験片では、傾斜部がつかみ具による拘束を受けていないため繰り返し負荷においては早期にはく離してしまい、タブ材端部が垂直の試験片による結果とはほぼ同程度の傾向となった。なお端部形状の如何に拘らず疲れ試験に伴い接着層において、はく離進行が認められている。

5.5.4 試験速度の比較

図15の繰り返し速度を2Hz, 5Hz および10Hz とした場合のS-N関係は、いずれの結果ともほぼ同程度の傾向となった。ただし2Hzの場合は、タブ材接着部の内部までのはく離が他に比べてやや少ないことにも関係してか5Hz および10Hz の結果より疲れ強さは若干高い値が得られた。

なお試験機の油圧源容量によって繰り返し速度と繰り返し振幅量特性には制約があった。本評価試験における試験速度10Hz は上限に近いものであった。より高速の試験を行うためには試験片の断面積か評定部長さを小さくする必要があった。

5.5.5 S-N関係結果

以上の評価試験結果として、各直線近似式とそれより得られた 10^7 回での時間強さ、および静的強さとの比較値を表4に示す。また図16には、縦軸を繰り返し最大応力/静的強さ表示としてS-N関係をまとめて示した。CFRPにおいてはタブ接着に常温硬化型樹脂(記号●)と加熱硬化型フィルム接着剤を用いた場合(記号○, □等)には明ら

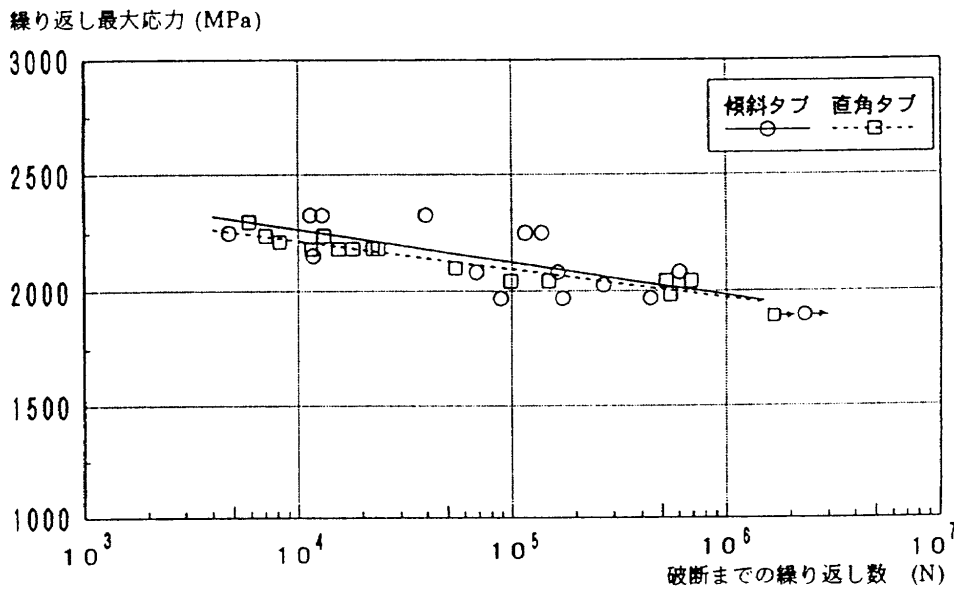


図14 CFRP のS-N関係結果(タブ形状の比較)

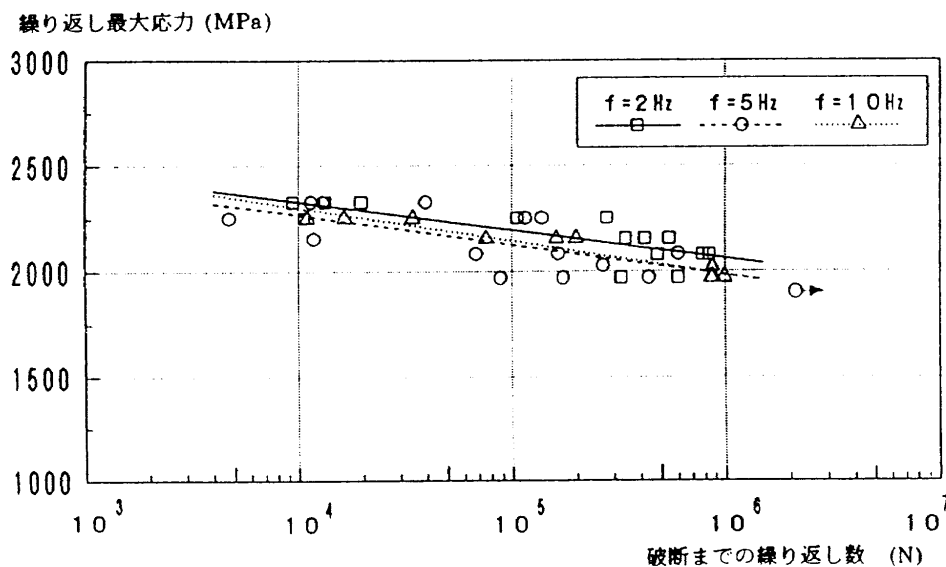


図15 CFRP のS-N関係結果(繰り返し速度の比較)

表4 一方向強化FRPの引張疲れ試験結果

試料	タブ形状	試験接着	試験速度	S-N関係 (MPa)	A/σ _b	σ _w /σ _b
GFRP	垂直	樹脂	5 Hz	$\sigma = 1222 - 162.8 \log N$	1.04	0.07
CFRP	"	"	"	$\sigma = 2228 - 91.66 \log N$	0.77	0.55
"	"	フィルム	"	$\sigma = 2709 - 122.7 \log N$	0.94	0.64
"	傾斜	"	"	$\sigma = 2835 - 141.9 \log N$	1.01	0.64
"	"	"	10Hz	$\sigma = 2933 - 157.9 \log N$	0.98	0.64
"	"	"	2 Hz	$\sigma = 2866 - 134.3 \log N$	1.00	0.67

注) $\sigma = A - B \log N$ (直線近似式)。σ_b: 静的強さ (実験結果の平均値)。
σ_w: 10⁷回時間強さ (推定値)。

繰り返し最大応力比

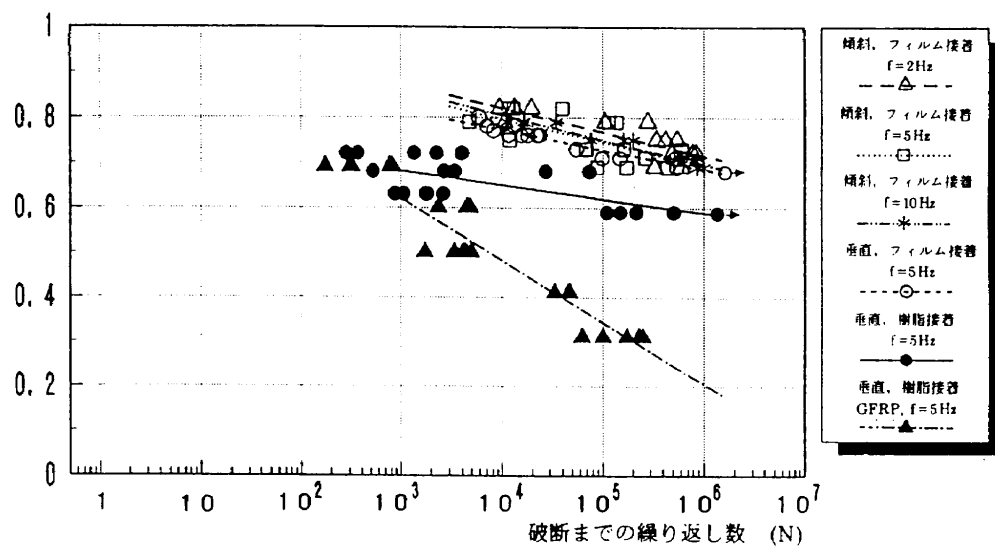


図16 FRPのS-N関係結果

かな差が見られる。しかしながら一方向強化CFRPの繊維方向の疲れ強さとしてはいづれもやや低い値と思われる¹⁰⁾。本試験においては繊維方向の引張疲れ破壊を期待しているが、ほとんどの破壊がつかみ部における応力集中部近傍からの破断様相を伴うためであると考えられた。

6. まとめ

一方向繊維強化エポキシ樹脂複合材料 (GFRP および CFRP) を試料として、引張疲れ試験法に関する技術的な評価を行った。検討事項は試験片のつかみ部補強用のタブ材接着条件、タブ材端部の形状、試験速度について比較し、以下の結果を得た。

1) GFRPの評価試験においては、タブ材端部を垂直としその接着に常温硬化型樹脂を使用したのが疲れ強さ結果はほぼ妥当な値¹¹⁾が得られた。

2) CFRPの引張疲れ試験では、タブ材の接着条件など

が影響して問題があることが判った。共同評価試験として用いた常温硬化型樹脂では、疲れ試験には接着力不足になりやすかった。追加試験で適用した加熱硬化型フィルム接着剤でもはく離の進行が認められた。なお試験荷重は試験材料の特性値に依存し、接着力にはつかみ部の締め付け圧力も関係する等が考えられる。接着剤の選定とつかみ力については、さらに検討が必要である。

3) タブ端部の形状を静的引張試験法規格において推奨の傾斜形としても傾斜部が疲れ試験の早期にはく離してしまうためその効果は少なかった。本試験結果はタブ端部を垂直とした場合の疲れ試験結果と同程度であった。

4) CFRPにおいて繰り返し試験速度を2Hz, 5Hzおよび10Hzとした場合の疲れ強さ結果は、ほぼ同程度となった。ただし5Hzおよび10Hzでは、タブ接着面のはく離等に伴う摩擦熱が生じてタブ近傍の温度が中央部よりも高まる傾向にあった。繰り返し荷重にもよるが高試験速度には

注意が必要である。

5) 本研究では、一方向強化CFRPの繊維方向の引張疲れ破壊の適正な評価を期待しているが、本評価試験における試験片の破壊は、いわゆるチャック切れる様相に近いものであった。つかみ部近傍における複雑な破損進行は疲れ強さに大きく影響する。したがって、特性値の異なる炭素繊維による各種CFRPについても試験を実施しなければならないと思われるので今後の課題としたい。

7. あとがき

FRP が対象材料での引張疲れ試験方法としては、米国において ASTM D3479 規格が制定され広く利用されている。我が国における CFRP 関連の試験方法の規格化は、通商産業省工業技術院よりの委託事業として、炭素繊維強化複合材料の試験法規格制定に関する調査研究が実施された¹²⁾。その成果の一つとして引張疲れ試験方法も近年 JIS K7083¹³⁾ として規格化された。本評価試験においても手順等は、これらの規格を参考にした。しかしながら本研究において評価材料とした高強度炭素繊維を用いた一方向強化CFRPの繊維方向引張疲れ強さ試験からは、つかみ部における複雑な破損様式が問題となることを指摘する結果を得た。

国際的な共同実験結果は、幹事（英国 NPL の G.D.Sims 博士）にて全体的な取りまとめ作業がなされているが、同結果から試験法を確立することは早計であろう。ここで実施した追加の検討結果が有益な技術情報となることを期待する。

繊維強化複合材料の疲れ試験方法の確立には、各種基材構成や積層構成についての評価も必要である。また、汎用の多層積層材では疲れ試験の進行中および疲れ破壊後の試験片の損傷状況の検出技術や剛性低下の評価法も関連して検討することが重要である。国際的な試験法の標準化を推進するためには、さらにこれらのデータの蓄積が望まれる。

本研究は、科学技術庁の科学技術振興調整費による総合研究としての「新素材の試験評価技術に関する国際共同研究」の基に行われた関連研究の一環として実施したもので

ある。

最後に、機体部複合材構造研究室杉本直枝官には、試験片表面の温度分布画像を取得して頂いた。また、構造力学部破壊力学研究室寺田博之室長には有益なる助言を戴いた。ここに付記し謝意を表する。

参 考 文 献

- 1) 新材料の試験評価技術に関する国際共同研究第 I 期成果報告書；科学技術庁研究開発局 (1990).
- 2) 同上, 第 II 期成果報告書 (1992) pp.92-136.
- 3) ASTM D3479 ; Tension-tension fatigue of oriented fiber, resin matrix composites (1982).
- 4) ASTM D3039 ; Tensile properties of fiber-resin composites (1982).
- 5) G. D. Sims ; A VAMAS round robin on fatigue test methods for polymer matrix composites Part 1-tensile and flexural tests of unidirectional material, NPL Report, No. DMA(A)180 (1989).
- 6) JIS K7073 ; 炭素繊維強化プラスチックの引張試験方法, 日本規格協会 (1988).
- 7) FRP 入門；強化プラスチック協会 (1987) pp.56-63.
- 8) 東レ技術資料；TI-YN3 (1988).
- 9) FRP 設計便覧；強化プラスチック協会 (1979) pp.63-71.
- 10) Engineered Materials Handbook Vol.1 Composites ; ASM International (1987) pp.185-205, pp.436-444.
- 11) O. Konur, F. L. Matthews ; Effect of the properties of the constituents on the fatigue performance of composites : a review, Composites, Vol. 20, No.4 (1989) pp.317-328.
- 12) 平成 3 年度通商産業省工業技術院委託, 有機・複合系新素材の標準化に関する調査研究成果報告書；炭素繊維複合材料編, JHPC 4-1, 高分子素材センター (1992).
- 13) JIS K7083 ; 炭素繊維強化プラスチックの定荷重引張一引張疲れ試験方法, 日本規格協会 (1993).

航空宇宙技術研究所報告1241号

平成6年7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丁目44番地1
電話三鷹(0422)47-5911(大代表)〒182
印刷所 株式会社三興印刷
東京都新宿区西早稲田2-1-18

Printed in Japan