

# 宇宙航空研究開発機構研究開発資料

JAXA Research and Development Memorandum

---

## CFRPの層間せん断強さ試験方法に関する評価

野口 義男, 石川 隆司

2004年10月

宇宙航空研究開発機構

Japan Aerospace Exploration Agency

# CFRPの層間せん断強さ試験方法に関する評価\*

野口 義男\*\*, 石川 隆司\*\*

## Evaluation of interlaminar shear strength testing method for CFRP\*

Yoshio NOGUCHI\*\* and Takashi ISHIKAWA\*\*

### ABSTRACT

This paper shows the results of an experimental investigation concerning with interlaminar shear tests of unidirectional tape and woven fabric base carbon fiber reinforced epoxy resin matrix composite materials. The data were collected in order to evaluate the following two testing methods: a three-point flexural test method using short beam test specimens, and a compression test method using double-notched test specimens. The compression shear test, comparison was several types of specimens were fabricated for tests.

**Keywords:** Composite materials, Carbon/epoxy, Interlaminar shear strength, Short beam shear, Double notched shear

### 概 要

炭素繊維強化樹脂複合材料 (CFRP) の層間せん断強さ試験方法の検討として、ショートビーム試験片の3点曲げ法及び目違い切欠き試験片の圧縮法の評価を一方向CFRP及び織物CFRPについて行った。3点曲げ法は、支持点間距離と試験片厚さの比を5とした。試験片は圧縮破損した後に層間せん断破壊を生じる混合様相であり、結果の層間せん断強さは参考値になった。圧縮法では、試験片の評定部寸法における切欠き間隔、切欠き幅、切欠き深さ及び試験治具の取り付け方法などの比較検討を行った。これらについての技術的な知見を得た。

#### 1. はじめに

繊維強化樹脂複合材料 (FRP) は、優れた特性を有する材料とすることができる。しかし基材料の形態 (繊維、織物)、構成 (積層、混成)、樹脂、成形法、含有率など多くの因子を含むものであり、それらの力学的特性への影響を明らかにしてその性能を最大限に利用することが大切である。積層FRPでは、外力を受けると積層界面から層間せん断力によって破壊を生じやすい。これには強化繊維の強さが直接には寄与せず、力学的特性のなかでも特に低いため注意しなければならない。このような材料の層間せん断強さを適切に評価する試験方法が確立しているとは言い難く、信頼性の高いデータの相互比較を可能とする試験方法の標準化が必要不可欠である。ここでは、炭素繊維強化樹脂複合材料 (CFRP) の層間せん断強さ試験方法の検討として、ショートビーム試験片

の3点曲げ法及び目違い切欠き試験片の圧縮法を一方向CFRP及び織物CFRPについて行った。これらCFRPの層間せん断強さ試験方法に関する技術的な知見を得たので報告する。

#### 2. 供試材料

##### 2.1 一方向CFRPの成形

基材は、炭素繊維 (T800H) と変性エポキシ樹脂 (#3631) による一方向プリプレグ (東レ; P2212-15) である。同材を繊維方向0°で32層積層し、オートクレーブ成形法 (温度180℃, 圧力600kPaの保持を2時間) によって大きさ450mm角のCFRP板を作製した (成形; 東レ)。厚さは4.5mm, 繊維体積含有率は57%が各平均値である。

\* 平成16年8月18日 受付 (Received 18 August 2004)

\*\* 総合技術研究本部先進複合材評価技術開発センター (Advanced Composite Evaluation Technology Center, Institute of Space Technology and Aeronautics)

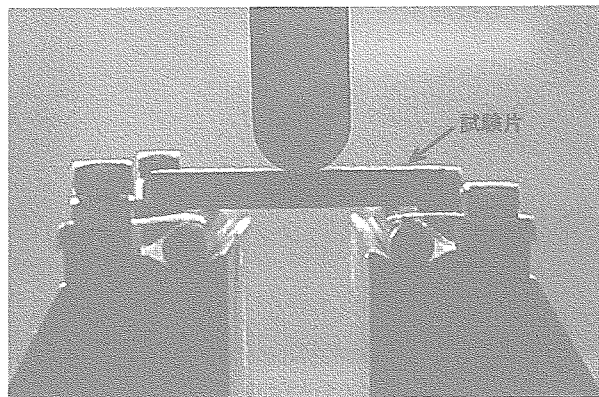


図1 3点曲げ法の試験状況

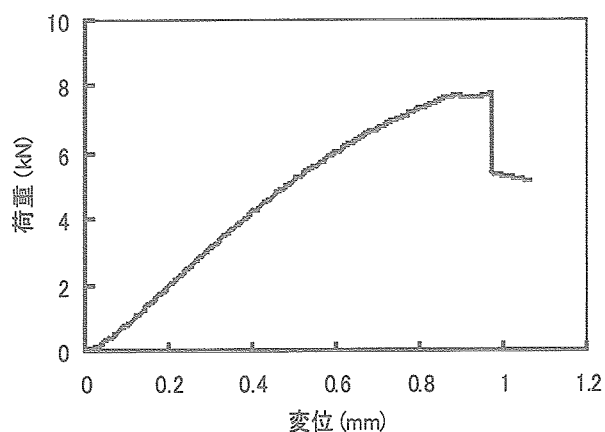


図2 一方向CFRPの3点曲げ法における荷重と変位関係例

## 2.2 織物CFRPの成形

基材は、炭素繊維 (IM600) と改質エポキシ樹脂 (#133) による平織物プリプレグ (東邦テナックス; W-6E01/Q-133) である。なお平織物は、繊維数6千本の織り糸を用いて織り密度が25.4 mm幅当たり11.8本で、公称厚さが0.25 mmである。平織物プリプレグを大きさ450 mm角で織糸方向を揃えて24層積層し、オートクレーブ成形法 (温度180℃, 圧力490 kPaの保持を2時間) によってCFRP板にした (成形; 東邦テナックス)。厚さは4.7 mm, 繊維体積含有率は54%が各平均値である。

なお、両CFRP板の周辺を各50 mm切り取り、大きさ350 mm角を各試験板とした。

## 3. ショートビーム試験片の3点曲げ法による層間せん断強さ

### 3.1 試験方法

FRP関係では品質管理や材料の相互比較において簡便なため広く用いられている。層間せん断強さ試験は、小さな短冊形状試験片を単純支持し、中央に集中荷重を

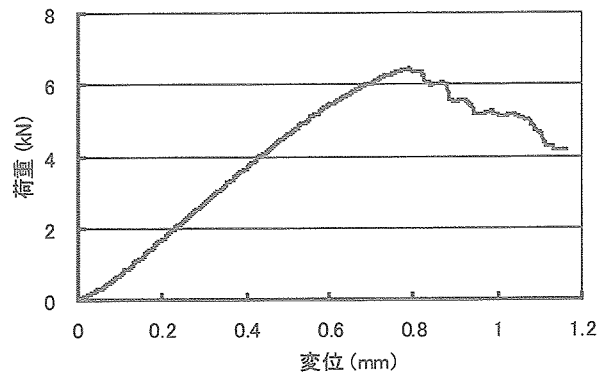


図3 織物CFRPの3点曲げ法における荷重と変位関係例

加える3点曲げ法である。曲げ応力は試験片表面で最大となり、せん断応力は試験片厚さの中央面で最大となる。この中央面でせん断破壊させるように試験片厚さと支持点間距離を設定した3点曲げでの最大荷重より層間せん断強さを算出する。同試験法規格では、支持点間距離と試験片厚さの比 ( $l/h$ ) の値を4又は5としている<sup>1)-4)</sup>。ここでの $l/h$ は、ほとんどの規格で採用する5とした。なお、3点曲げにおける圧子の半径は5mm, 支持点の半径は2 mmの試験治具<sup>1)-3)</sup>を用いた。

### 3.2 試験結果

試験片形状は、長さを一方向CFRPが32 mm, 織物CFRPが33 mmで幅13 mmの短冊状とした。3点曲げ試験における支持点間距離は一方向CFRPが22.5 mm, 織物CFRPは23.6 mmに設定した。材料試験機 (INSTRON; 4482型) のクロスヘッド移動速度を毎分1 mmとして曲げ強さ試験を行った。試験片数は各6本である。試験状況を図1に示す。

試験における試験片の側面観察によると、最大荷重の約半分程度から、圧子下 (試験片上面側) に圧縮破損によるき裂が発生、このころから荷重と変位 (クロスヘッド移動量) の関係にも対応した若干の非線形傾向が生じている。その後ほぼ厚さの中程又は1/3付近において、圧子と一方の支持点間での層間せん断破壊を生じた。最大荷重の後は、一方向CFRPでは明らかな荷重の低下を呈した。荷重と変位の関係例として一方向CFRPの結果を図2, 織物CFRPの場合を図3に示す。試験片の中央部における圧縮破損、及び一方の支持点方向に層間せん断破壊を生じた側面写真例として一方向CFRPの結果を図4に示す。織物CFRPの場合は、試験片の中央部における圧縮破損と一方の支持点方向に複数の層間でせん断破壊を生じた例を図5に示す。

見掛けの層間せん断強さ ( $\tau_a$ ) は、最大荷重を試験片の幅と厚さによる断面積で除算した値に0.75倍して

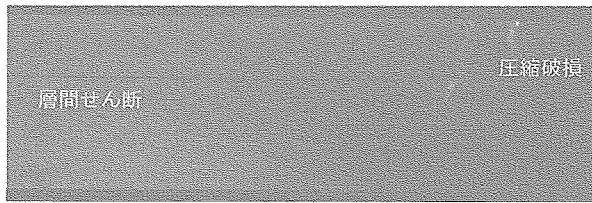


図4 一方向CFRPの3点曲げ法による破壊様相例

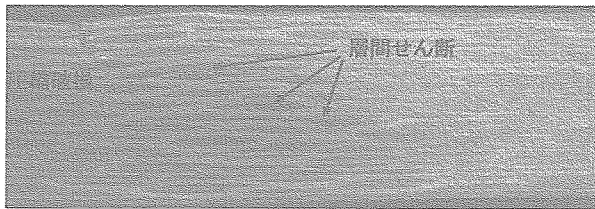


図5 織物CFRPの3点曲げ法による破壊様相例

表1 一方向CFRPの3点曲げ法による結果

試験片	長さ (mm)	幅 (mm)	厚さ (mm)	最大荷重 (N)	見掛けの層間せん断強さ (MPa)
US-1	32	13.00	4.50	7793	99.9
-2	32	13.03	4.51	7501	95.7
-3	32	13.03	4.51	7785	99.4
-4	32	13.07	4.54	7882	99.6
-5	32	13.09	4.51	7640	97.1
-6	32	13.05	4.52	7836	99.6
平均値					98.6
変動係数					1.8%

注) 強さは、参考値

表2 織物CFRPの3点曲げ法による結果

試験片	長さ (mm)	幅 (mm)	厚さ (mm)	最大荷重 (N)	見掛けの層間せん断強さ (MPa)
FS-1	33	12.36	4.76	6188	78.9
-2	33	12.17	4.73	6015	78.4
-3	33	12.52	4.75	6244	78.7
-4	33	13.17	4.74	6438	77.4
-5	33	13.05	4.76	6438	77.7
-6	33	12.97	4.74	6309	77.0
平均値					78.0
変動係数					1.0%

注) 強さは、参考値

求めた（長方形断面试験片におけるせん断応力は、厚さの中央面で最大の放物線分布し上下面にて0である。そこで見掛けの層間せん断強さとしている）。各試験片による試験結果のまとめとして一方向CFRPを表1、織物CFRPを表2に示す。見掛けの層間せん断強さの平均値として、一方向CFRPが98.6 MPa、及び織物CFRPが78.0 MPaを算出したが、圧縮破損と層間せん断の混合破壊様相である（層間せん断破壊が先行でない）ためいづれも参考値とした。

### 3.3 試験片厚さの比較

上記の供試材料である一方向CFRP（厚さ4.5 mm）及び織物CFRP（厚さ4.7 mm）について、片面側からの切削加工によって、厚さを2.0、2.5、3.0、3.5、

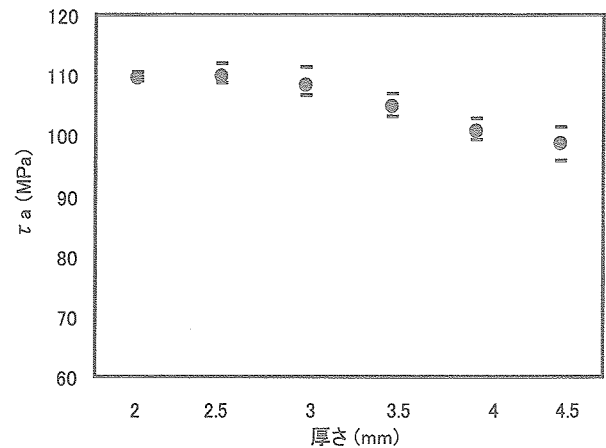


図6 一方向CFRPにおける厚さと見掛けの層間せん断強さ

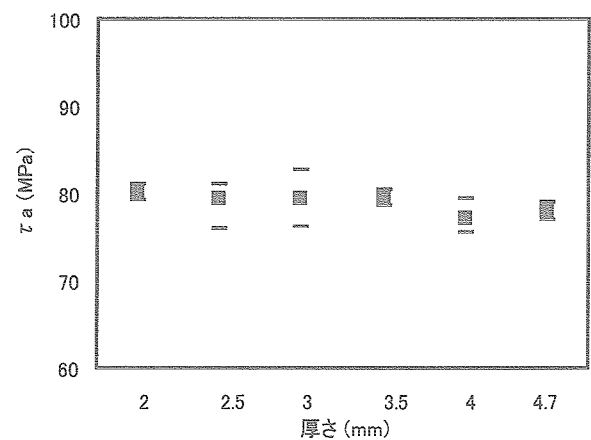
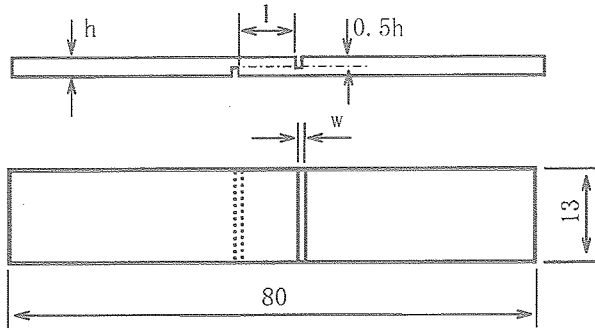


図7 織物CFRPにおける厚さと見掛けの層間せん断強さ

4.0 (mm)とした。幅を10 mmとし、長さは、それぞれ厚さの8倍にした短冊を各試験片とした。これらを上記と同様の方法によって、支持点間距離と試験片厚さの比 (l/h) の値を5とした3点曲げ法による層間せん断強さ試験を行った。ここでの試験数は、各5本である。なお、試験片の未加工面を試験における上面（圧子）側に統一した。

各試験片の試験結果は、荷重と変位の関係及び試験片の破損、破壊状況は前項で記した傾向と同様であった。各試験片による見掛けの層間せん断強さの算出値（参考）をまとめて、一方向CFRPの結果を図6に、織物CFRPの結果を図7にそれぞれ示した。両結果とも、厚さが薄くなると強さは高くなる傾向にあり、一方向CFRPにおいては、その関係はより顕著となった。同一材料においてl/hが一定値の試験をしても厚さが変わると、得られる見掛けの層間せん断強さも変わってしまう。したがって本試験方法による結果には、厚さの併記を必要とする。



l	3.2	6.4	9.6	3.2	6.4	9.6	6.4
w	1.0	1.0	1.0	1.5	1.5	1.5	1.0
0.5h	+0.2/0			+0.2/0			+0.4/0
呼称	SA	MA	LA	SB	MB	LB	MA'

図8 試験片の形状と寸法

#### 4. 目違い切欠き試験片の圧縮法による層間せん断強さ

##### 4.1 試験片の寸法

短冊状試料の両面から厚さの中央面近傍まで、それぞれ細い切欠きを目違いで平行に入れて、長さ方向に引張り又は圧縮の負荷を行う。両切欠きの底を結ぶ面には、せん断応力が生じる。両切欠き間の評定部断面において、せん断破壊をさせた最大荷重より層間せん断強さを算出する。ここでは、試験片の大きさが引張りよりも小さくて済む圧縮法<sup>5)</sup>とした。

試験片の形状と寸法は上記規格を参考にして、同試験領域の長さ、切欠き加工の幅と深さ等について比較検討を行った。評価用試験片の形状と寸法を図8に示す。一方向CFRPの試験片では、供試板より長さ80 mmで幅13 mmの短冊状を切り出す。次に同短冊試料の中央部において、切欠き幅(w)が1.0 mm又は1.5 mmで両面より厚さの半分+0.2/0 mm深さの目違い切欠きを、間隔(l) 3.2 mm, 6.4 mm及び9.6 mmとした加工を行った。なお切欠き間隔6.4 mmで切欠き幅1.0 mmの試験片については、より深い切欠きとなる厚さの半分+0.4/0 mmの場合も作製した。これらの試験片分類呼称には、まず切欠き間隔が3.2 mm, 6.4 mm及び9.6 mmをS, M, Lとし、次に切欠き幅が1.0 mm及び1.5 mmをA, Bとした。なお、切欠き間隔6.4 mmで切欠き幅1.0 mmにて切欠きが深い場合はMA'とする。

織物CFRPについては、一方向CFRPの評価試験結果を踏まえて試験片の寸法を決めた。すなわち切欠き間隔9.6 mmの試験片、及び切欠きの深さを厚さの半分+0.4/0 mmとした試験片では、切欠き間での面外変形や切欠き底部に圧縮破損が生ずることが明らかとなった(4.3項参照)。そこで織物CFRPでの試験片は、分類呼称SとMにて各A, Bとする計4種類とした。なお、切

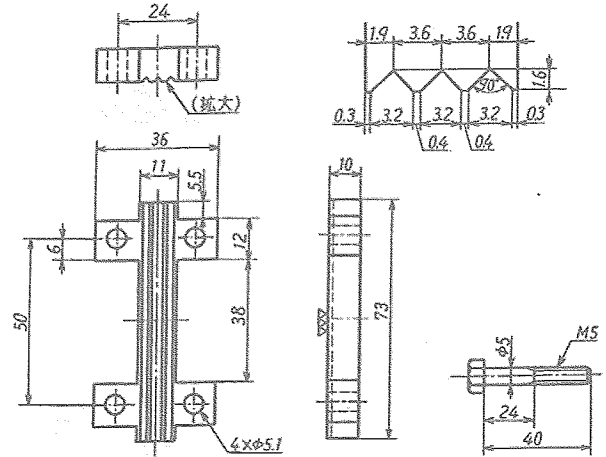


図9 試験片保持治具

欠きの深さは、厚さの半分+0.2/0 mmである。

試験片中央部における切欠き間隔は目違いであり、切欠きの幅も1.0 mm又は1.5 mmと狭い。したがって試験前の同寸法測定に汎用のノギスやマイクロメータ等では不正確さを伴う。そこで、試験片の切欠き間隔は、拡大観察機能付きのデジタル測定機(キーエンス; VH-6800)を用いて試験片側面で測定した。

##### 4.2 圧縮法による試験

目違い切り欠試験片の圧縮法は薄板の面内圧縮負荷を行う。そこで、試験片が面外に変形を生じないように両面より支える試験治具が必要である。同試験治具の形状と寸法は関連試験法規格<sup>6), 7)</sup>に準拠して長さが73 mmの治具(図9)をステンレス鋼で製作して適用した。

試験の準備にて、2つの面外変形防止用の試験治具間に試験片を挟んで4本のボルト(M5)により取り付ける。その際は、指によって軽く締める程度で同トルク値としては0.028~0.113 Nmとの記述がある<sup>5)</sup>。ここでの締め付けには、トルクレンチを用いてトルク値を0.1 Nmとした。なお、一方向CFRPの試験片MAについては、トルク値を0.2 Nmにした場合も試みた。

試験機の荷重軸と試験片の長さ方向を一致させるためのL形台座を併用することで、試験手順の効率化を図った。なお、L形台座には面外変形防止用治具取り付け孔に対応した雌ネジ切り加工(M5)をした。これらの組み上げたものを材料試験機(INSTRON 4482)の加圧面板間に置き、試験片の両端面が加圧面と平行であることを確認した後、クロスヘッド移動速度を毎分1.0mmとして圧縮強さ試験を行った。試験片の数は、各6本である。試験状況を図10に示す。

層間せん断強さ( $\tau$ )は、最大荷重を試験片の幅と切欠き間隔による面積によって除算して求めた。



図10 試験状況

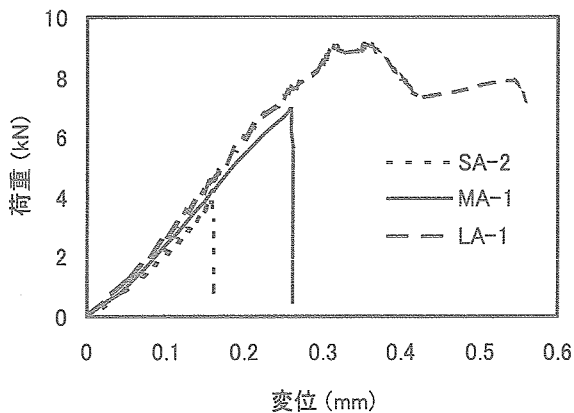
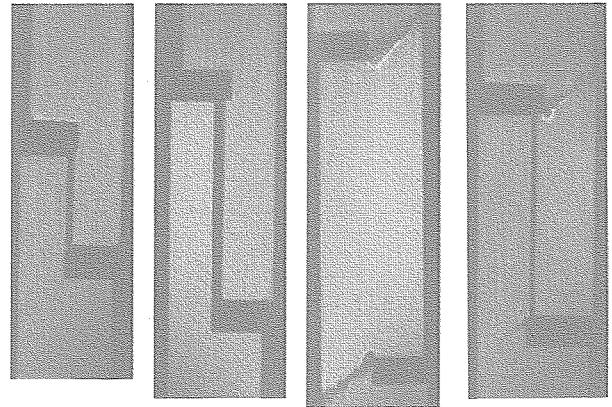


図11 一方向CFRPの圧縮法における荷重と変位関係例

#### 4.3 一方向CFRPの結果

各試験片寸法の試験における荷重と変位（クロスヘッド移動量）の関係は、切欠き間隔が3.2 mm及び6.4 mmの場合（試験片；SA, SB, MA, MB）には、ほぼ直線的に上昇し最大荷重後に急激な荷重低下を示すものであった。図11に試験片；SA, MAの例を示す。これらは試験中の試験片側面観察によって、切欠き底部に近い面に沿って層間せん断破壊を生じたことを確認した。試験片；SA, MAの側面写真例を図12に示す。層間せん断破壊面の様相は、すべて平坦であった。

なお、切欠き間隔6.4 mm、切欠き幅1.5 mmの試験片MB、及び切欠き間隔6.4 mm、切欠き幅1.0 mmで切欠きを深く加工した試験片MA'では、切欠き間にて面外変形傾向が観察された後、切欠きの底面に沿った層間せん



SA MA LA MA'

図12 一方向CFRPの圧縮法による破壊様相例

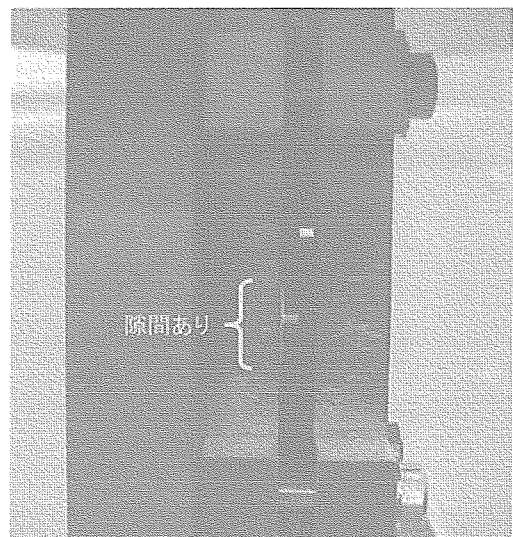


図13 圧縮法における面外変形例

断破壊となった。試験後の観察において、切欠き底部に圧縮破損によるき裂も認められた。図12に試験片MA'の例を示す。

切欠き間隔が9.6 mm（試験片；LA, LB）では、試験中に切欠き間において明らかな面外変形傾向が認められた（図13に試験片LAでの例を示す）後、同切欠き底部での圧縮破壊を生じた（図12における試験片LAを参照）。面外変形傾向を呈した場合の荷重と変位の関係として試験片LAの例を図11に示す。

各試験片寸法による層間せん断強さ結果をまとめて表3及び図14に示す。ここで（MA2）は締め付けトルク値を0.2 Nmとしたものである。なお、切欠き間隔9.6 mmの試験片LAと試験片LBは、切欠き底角部よりの圧縮破壊を生じる事を各3本の試験片で確認した（残りの試験片は保留）ので図14には除外している。

本材料の層間せん断強さの平均値として、77 MPa

表3 一方向CFRPの圧縮法による結果

試験片	切欠き間隔 (mm)	幅 (mm)	断面積 (mm <sup>2</sup> )	最大荷重 (N)	層間せん断強さ (MPa)
SA-1	3.24	12.97	42.07	3707	88.1
-2	3.23	12.96	41.80	3761	90.0
-3	3.30	12.96	42.72	3685	86.2
-4	3.35	12.98	43.48	3640	83.7
-5	3.08	12.98	39.99	3181	79.5
-6	3.28	12.95	42.47	3544	83.4
平均値					85.1
変動係数					4.4%

試験片	切欠き間隔 (mm)	幅 (mm)	断面積 (mm <sup>2</sup> )	最大荷重 (N)	層間せん断強さ (MPa)
MA'-1	6.49	12.88	83.54	6695	80.1
-2	6.43	12.89	82.91	6668	80.4
-3	6.49	13.01	84.40	6625	78.4
-4	6.58	12.82	84.30	6513	77.2
-5	6.56	12.89	84.55	6510	77.0
-6	6.56	12.87	84.41	6569	77.8
平均値					78.4 (溝底に圧縮破損)
変動係数					1.8%

試験片	切欠き間隔 (mm)	幅 (mm)	断面積 (mm <sup>2</sup> )	最大荷重 (N)	層間せん断強さ (MPa)
SB-1	3.28	12.91	42.34	3291	77.7
-2	3.21	12.94	41.50	2846	68.5
-3	3.23	12.94	41.75	2953	70.7
-4	3.21	12.95	41.54	2738	65.9
-5	3.23	12.92	41.68	3060	73.4
-6	3.19	12.94	41.27	2574	62.3
平均値					69.7
変動係数					7.8%

試験片	切欠き間隔 (mm)	幅 (mm)	断面積 (mm <sup>2</sup> )	最大荷重 (N)	層間せん断強さ (MPa)
MB-1	6.43	12.87	82.83	7007	84.5
-2	6.43	12.92	83.12	6725	80.9
-3	6.42	12.91	82.86	6671	80.5
-4	6.42	12.92	82.91	6693	80.7
-5	6.40	12.93	82.70	6880	83.1
-6	6.47	12.93	83.66	6059	72.4
平均値					80.3 (溝底に圧縮破損)
変動係数					5.2%

試験片	切欠き間隔 (mm)	幅 (mm)	断面積 (mm <sup>2</sup> )	最大荷重 (N)	層間せん断強さ (MPa)
MA-1	6.47	13.00	84.14	6937	82.4
-2	6.49	13.01	84.40	5447	64.5
-3	6.51	13.01	84.64	7162	84.6
-4	6.49	13.00	84.32	7321	86.8
-5	6.43	13.02	83.78	6650	79.3
-6	6.51	13.02	84.71	6776	80.0
平均値					79.6
変動係数					9.9%

試験片	切欠き間隔 (mm)	幅 (mm)	断面積 (mm <sup>2</sup> )	最大荷重 (N)	層間せん断強さ (MPa)
LA-1	9.68	12.97	125.54	(9084)	溝部で圧縮破壊
-2	9.59	12.92	123.90	(9016)	同上
-3	9.68	12.98	125.60	(9235)	同上
-4	9.55	12.96	123.80	(9211)	T=0.2Nm, 同上
(-5)	9.59	12.94	124.07		
(-6)	9.68	12.96	125.43		
平均値					圧縮破壊

試験片	切欠き間隔 (mm)	幅 (mm)	断面積 (mm <sup>2</sup> )	最大荷重 (N)	層間せん断強さ (MPa)
MA2-1	6.56	13.02	85.38	7216	84.5
-2	6.58	13.02	85.63	7388	86.2
-3	6.54	12.94	84.63	6757	79.8
-4	6.56	12.95	84.97	7184	84.5
-5	6.52	13.01	84.88	7033	82.8
-6	6.56	13.01	85.34	6980	81.8
平均値					83.2
変動係数					2.7%

試験片	切欠き間隔 (mm)	幅 (mm)	断面積 (mm <sup>2</sup> )	最大荷重 (N)	層間せん断強さ (MPa)
LB-1	9.89	12.96	128.22	(9122)	溝部で圧縮破壊
-2	9.91	12.91	127.92	(9267)	同上
-3	9.95	12.91	128.40	(9066)	同上
(-4)	9.91	12.95	128.30		
(-5)	9.98	12.93	129.03		
(-6)	9.96	12.92	128.70		
平均値					圧縮破壊

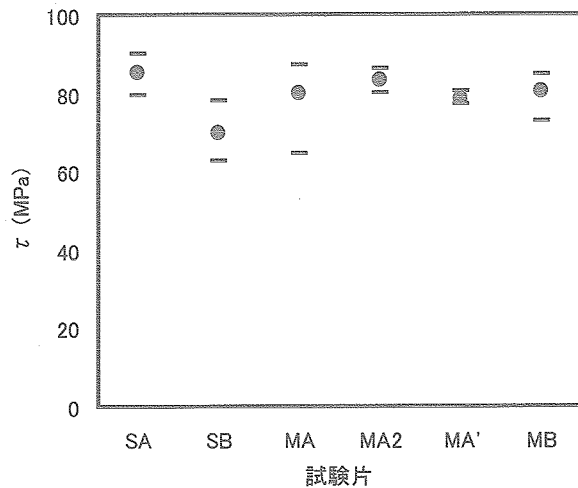


図14 一方向CFRPの圧縮法による層間せん断強さ結果

(試験片; SA, SB) ~ 80 MPa (試験片; MA, MB) を得た。

4.4 一方向CFRPによる知見

切欠きの間隔が3.2 mmで切欠き幅1.0 mm及び1.5

mm, 及び切欠き間隔6.4 mmで切欠き幅1.0 mmのものは、目的とする切欠きの底面に沿って層間せん断破壊を生じた。切欠き間隔が6.4 mmで切欠き幅1.5 mmとした場合は、切欠き底角部に若干の圧縮破損が認められた後に切欠き間での層間せん断破壊となった。したがって、切欠き幅としては1.0 mmの方が望ましい。

切欠き間隔6.4 mmで切欠き幅1.0 mmにて、切欠きが深い場合(厚さの半分+0.4/0 mm)は、圧縮破損も生じて試験片MAの結果よりも層間せん断強さが低めとなった。切欠きの深さ加工における規定が必要である。そこで、切欠きの深さは、厚さの半分+0.2/0 mmを推奨する。

切欠き間隔6.4 mmで切欠き幅1.0 mmにて、試験治具の締め付けトルクを2倍にした場合(0.2 Nm)には、試験片MAの結果よりも層間せん断強さが高め傾向となった。したがって、締め付けトルク値は規定が必要である。そこで、トルク値は0.1 Nmを推奨とする。

切欠き間隔9.6 mmにて、切欠き幅1.0 mm及び1.5 mmの試験片では明らかな面外変形傾向が認められた。これらは切欠き底部での圧縮破壊を先行し、層間せん断

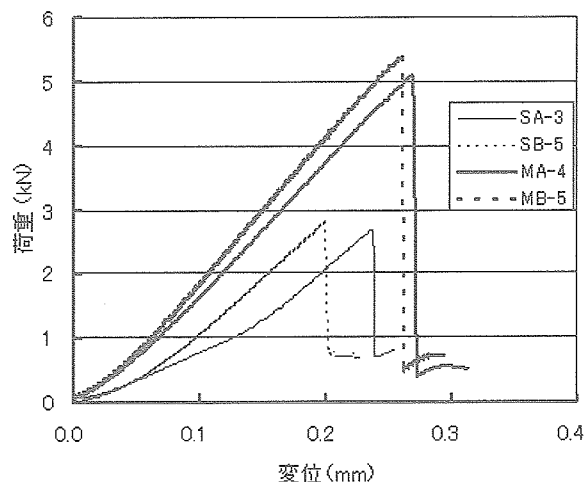


図15 織物CFRPの圧縮法における荷重と変位関係例

破壊が生じない。

#### 4.5 織物CFRPの結果

圧縮法による各試験片の荷重と変位の関係例を図15に示す。すべての場合とも、ほぼ直線的に上昇して行き最大荷重後に急激な荷重低下を示すものとなった。このときの試験片側面観察によって、一方の切欠き底面から他方の切欠きへの層間せん断破壊を確認した。層間せん断破壊面は、織物面に沿ってうねったものである。なお、本試験片においては切欠き間での面外変形傾向は認められなかった。試験後における各試験片の側面写真例を図16に示す。

各試験片寸法による層間せん断強さ試験結果をまとめて表4及び図17に示す。本材料の層間せん断強さの平均値として、62 MPa (試験片; MA, MB) ~ 65 MPa (試験片; SA, SB) を得た。切欠き間隔が3.2 mmと6.4 mmの比較においては、3.2 mmの方が強さと変動係数がやや大きい。また、切欠き幅が1.0 mmと1.5 mmの比較では、1.5 mmの方が強さは若干高め傾向となった。

#### 4.6 織物CFRPによる知見

切欠き間隔が3.2 mm及び6.4 mmで切欠き幅が1.0 mm及び1.5 mmは、切欠き間において層間せん断破壊を生じることを確認した。

試験片破断面観察によると切欠き間隔が3.2 mmでは、織物の織り目数が約1.5。切欠き間隔が6.4 mmでは、織目の数が約3であった。織り間隔の粗い織物基材などの使用を考慮すると切欠き間隔は6.4 mmの方が望ましい。なお、6.4 mm内に十分な織り目数が入らない場合(例えば2以下)には、切欠き間隔の見直しが必要と考える。

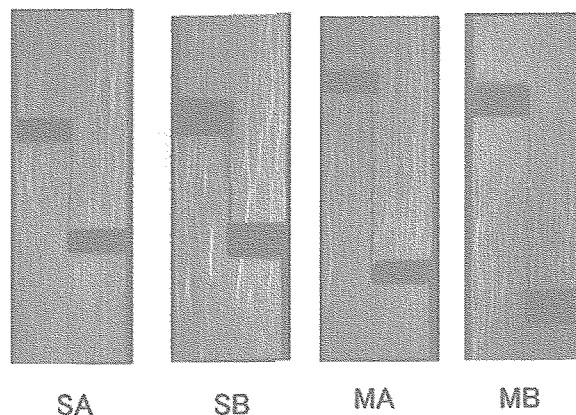


図16 織物CFRPの圧縮法による破壊様相例

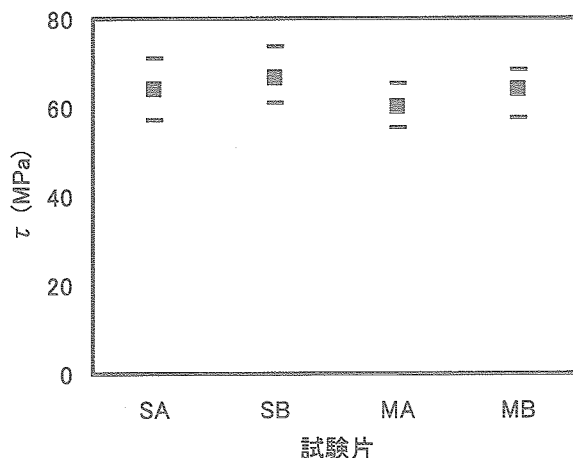


図17 織物CFRPの圧縮法による層間せん断強さ結果

### 5. まとめ

積層CFRPの層間せん断強さ試験として、ショートビーム試験片の3点曲げ法及び目違い切欠き試験片の圧縮法による評価を行った。3点曲げ法では、両供試材料とも圧子下において圧縮破損が先に生じ、層間せん断との混合破壊様相となることを確認した。したがって、目的とする見掛けの層間せん断強さは得られず参考値となった。また、同一材料で試験片の厚さを薄くして $1/h$ を一定値にした試験で得られる見掛けの層間せん断強さ(参考値)は高くなる傾向となった。などを同試験方法に対する知見として得た。

圧縮法においては、試験片の切欠き間隔(評定部長さ)が9.6 mmでは切欠き底部にて圧縮破損をする。3.2 mmでは、織りの粗い織物を用いた場合を考慮すると短い。したがって、切欠き間隔は6.4 mmが妥当な値とした。切欠き幅は、1.0 mm及び1.5 mmの比較結果より、1.0 mmの方が面外変形傾向が小さく望ましい寸法である。切欠きの深さについては、厚さの半分+0.4/0 mmでは、切欠き底部に圧縮破損を生じたものがあるので、



表4 織物CFRPの圧縮法による結果

l=3.2, w=1.0					
試験片	切欠間隔 (mm)	幅 (mm)	断面積 (mm <sup>2</sup> )	最大荷重 (N)	層間せん断強さ (MPa)
SA-1	3.22	13.04	41.99	2978	70.9
-2	3.20	13.04	41.73	2870	68.7
-3	3.24	13.04	42.25	2682	63.4
-4	3.21	13.03	41.83	2387	57.1
-5	3.25	13.03	42.35	2623	61.9
-6	3.23	13.04	42.12	2596	61.6
平均値					63.9
変動率					7.9%

l=3.2, w=1.5					
試験片	切欠間隔 (mm)	幅 (mm)	断面積 (mm <sup>2</sup> )	最大荷重 (N)	層間せん断強さ (MPa)
SB-1	3.26	13.00	42.38	3068	72.4
-2	3.22	13.03	41.96	3082	73.4
-3	3.31	13.05	43.20	2754	63.7
-4	3.31	13.06	43.23	2631	60.9
-5	3.26	13.02	42.45	2813	66.3
-6	3.29	13.02	42.84	2725	63.6
平均値					66.7
変動係数					7.6%

l=6.4, w=1.0					
試験片	切欠間隔 (mm)	幅 (mm)	断面積 (mm <sup>2</sup> )	最大荷重 (N)	層間せん断強さ (MPa)
MA-1	6.33	13.05	82.61	4662	56.4
-2	6.38	13.04	83.20	5420	65.1
-3	6.38	13.04	83.20	5109	61.4
-4	6.40	13.04	83.46	5017	60.1
-5	6.33	13.05	82.61	4556	55.1
-6	6.40	13.04	83.46	5195	62.2
平均値					60.1
変動係数					6.2%

l=6.4, w=1.5					
試験片	切欠間隔 (mm)	幅 (mm)	断面積 (mm <sup>2</sup> )	最大荷重 (N)	層間せん断強さ (MPa)
MB-1	6.38	13.07	83.39	5168	62.0
-2	6.38	13.05	83.26	5597	67.2
-3	6.40	13.04	83.46	5683	68.1
-4	6.35	13.08	83.06	5423	65.3
-5	6.38	13.04	83.20	5374	64.6
-6	6.35	13.03	82.74	4738	57.3
平均値					64.1
変動係数					6.1%

厚さの半分+0.2/0 mmを推奨する。試験治具取り付けにおける締め付け力は、強めにすると結果が高くなるので、トルクレンチなどを使用して一定値にしなければならない。ここでは、トルク値に0.1 Nmを推奨とする。なお、荷重軸と試験片の長さ方向を一致させるための面外変形防止治具にL形台座の併用は、試験手順の効率化

が図れる。などを同試験方法の標準化に際しての技術的な知見として得た。

## 6. あとがき

本試験結果は、平成13年度より航空宇宙技術研究所(現：宇宙航空研究開発機構)が炭素繊維協会に委託した「CFRP複合材の試験法規格化に関する調査」委員会活動において、当所・先進複合材評価技術開発センターが分担したものの一部である。同委員会ではこれらの結果から得られた知見を反映させて、「炭素繊維強化プラスチックの目違い切欠き圧縮による層間せん断強さ試験方法」とした日本工業規格(JIS)原案の作成を行った。

## 参考文献

- 1) ISO 14130 : Fibre-reinforced plastics composites - Determination of apparent interlaminar shear strength by short-beam method (1997)
- 2) JIS K7057 : 繊維強化プラスチック-ショートビーム法による見掛けの層間せん断強さの求め方 (2000)
- 3) JIS K7078 : 炭素繊維強化プラスチックの層間せん断試験方法 (1991)
- 4) ASTM D2344 : Test method for apparent interlaminar shear strength of parallel fiber composites by short-beam method (1995)
- 5) ASTM D3846 : Test method for in-plane shear strength of reinforced plastics (1994)
- 6) ASTM D695 : Test method for compressive properties of rigid plastics (1989)
- 7) JIS K7076 : 炭素繊維強化プラスチックの面内圧縮試験方法 (1991)

---

発行日 2004年10月25日  
編集・発行 独立行政法人 宇宙航空研究開発機構  
〒182-8522  
東京都調布市深大寺東町七丁目44番地 1  
TEL 0422-40-3000 (代表)  
印刷所 株式会社 東京プレス  
〒174-0075 東京都板橋区桜川 2 -27-12

---

©2004 JAXA

※本書(誌)の一部または全部を著作権法の定める範囲を超え、無断で複写、複製、転載、テープ化およびファイル化することを禁じます。

※本書(誌)からの複写、転載等を希望される場合は、下記にご連絡下さい。

※本書(誌)中、本文については再生紙を使用しております。

〈本資料に関するお問い合わせ先〉

独立行政法人 宇宙航空研究開発機構 情報化推進部 宇宙航空文献資料センター



宇宙航空研究開発機構  
Japan Aerospace Exploration Agency