

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2005-161852

(P2005-161852A)

(43) 公開日 平成17年6月23日(2005.6.23)

(51) Int.Cl.<sup>7</sup>

B 3 2 B 15/08

F I

B 3 2 B 15/08 1 0 5 Z

テーマコード (参考)

4 F 1 0 0

審査請求 未請求 請求項の数 16 O L (全 27 頁)

(21) 出願番号 特願2004-330275 (P2004-330275)  
 (22) 出願日 平成16年11月15日 (2004.11.15)  
 (31) 優先権主張番号 特願2003-383612 (P2003-383612)  
 (32) 優先日 平成15年11月13日 (2003.11.13)  
 (33) 優先権主張国 日本国 (JP)

(71) 出願人 000003159  
 東レ株式会社  
 東京都中央区日本橋室町2丁目2番1号  
 (72) 発明者 篠田 知行  
 愛媛県伊予郡松前町大字筒井1515番地  
 東レ株式会社愛媛工場内  
 (72) 発明者 吉岡 健一  
 愛媛県伊予郡松前町大字筒井1515番地  
 東レ株式会社愛媛工場内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 金属／繊維強化プラスチック複合材料及びその製造方法

## (57) 【要約】

【課題】 航空機、自動車、スポーツ、土木、建築などの分野において、特に軽量で高強度、耐久性が求められ、特に静的、動的もしくは繰り返しの曲げ荷重を負担する部材に好適に用いることができる軽量で高強度、耐久性に優れる金属／繊維強化プラスチック複合材料を提供すること。

【解決手段】 金属に繊維強化プラスチックが接着されてなる複合材料において、両部材の接着面を、曲げ変形により最大せん断応力が生じる中立面から、総厚みの±5%の厚みの範囲外に位置する積層構成とする。

【選択図】 なし

## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

金属に繊維強化プラスチックが積層され、これら部材が接着されて一体化されてなる複合材料において、前記接着面が、複合材料を曲げた場合に生じる中立面から、複合材料総厚みの $\pm 5\%$ の厚みの範囲外に存在することを特徴とする複合材料。

## 【請求項 2】

金属の厚みが $0.1\text{ mm}$ 以上 $2.0\text{ mm}$ 以下の範囲内であることを特徴とする請求項 1 に記載の複合材料。

## 【請求項 3】

金属がチタン又はチタン合金であることを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の複合材料。 10

## 【請求項 4】

繊維強化プラスチックの一枚あたりの厚みが $0.1\text{ mm}$ 以上 $1.0\text{ mm}$ 以下の範囲内であることを特徴とする請求項 1～3 のいずれかに記載の複合材料。

## 【請求項 5】

繊維強化プラスチックが炭素繊維強化プラスチックであることを特徴とする請求項 1～4 のいずれかに記載の複合材料。

## 【請求項 6】

炭素繊維強化プラスチックの一枚あたりの炭素繊維の目付が $100\text{ g/m}^2$ 以上 $700\text{ g/m}^2$ 以下の範囲内であることを特徴とする請求項 5 に記載の複合材料。

## 【請求項 7】

繊維強化プラスチックが、その強化繊維として連続繊維を用いるとともに繊維配列方向が一方向である一方向積層材であって、JIS K 7078「炭素繊維強化プラスチックの層間せん断試験方法」に基づく見掛けの層間せん断強さが $60\text{ MPa}$ 以上であることを特徴とする請求項 1～6 のいずれかに記載の複合材料。 20

## 【請求項 8】

繊維強化プラスチックが、その強化繊維として連続繊維を用いるとともに繊維配列方向が一方向である一方向積層材であって、JIS K 7073「炭素繊維強化プラスチックの引張試験方法」に基づく引張最大ひずみが $0.9\%$ 以上であることを特徴とする請求項 1～7 のいずれかに記載の複合材料。

## 【請求項 9】

金属と繊維強化プラスチックとの間に非繊維強化樹脂層を有することを特徴とする請求項 1～8 のいずれかに記載の複合材料。 30

## 【請求項 10】

非繊維強化樹脂層が熱硬化性樹脂からなることを特徴とする請求項 9 に記載の複合材料。

## 【請求項 11】

非繊維強化樹脂層が熱可塑性樹脂を含有することを特徴とする請求項 9 又は 10 に記載の複合材料。

## 【請求項 12】

非繊維強化樹脂層にモード径が $3\text{ }\mu\text{m}$ 以上 $20\text{ }\mu\text{m}$ 以下の熱可塑性樹脂の微粒子を含有することを特徴とする請求項 11 に記載の複合材料。 40

## 【請求項 13】

非繊維強化樹脂層を構成する樹脂が、イミダゾールシラン化合物を含むことを特徴とする請求項 9～12 のいずれかに記載の複合材料。

## 【請求項 14】

金属と繊維強化プラスチックとの積層構成が対称積層構成であることを特徴とする請求項 1～13 のいずれかに記載の複合材料。

## 【請求項 15】

金属と、未硬化状態または半硬化状態のマトリックス樹脂を含浸してある繊維強化基材の積層体とを準備し、両部材の間に非繊維強化樹脂層を形成する樹脂を配置して積層した後、マトリックス樹脂及び非繊維強化樹脂層を形成する樹脂の硬化と、金属と繊維強化プラ 50

スチックとの接着を同時に行うことを特徴とする金属と繊維強化プラスチックの積層体からなる複合材料の製造方法。

【請求項 16】

金属と、硬化後の繊維強化プラスチックの積層体とを準備し、両部材の間に室温硬化型の樹脂からなる非繊維強化樹脂層を形成する樹脂を配置して積層した後、該樹脂を硬化するとともに、金属と繊維強化プラスチックとの接着を同時に行うことを特徴とする金属と繊維強化プラスチックの積層体からなる複合材料の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

10

本発明は、例えば航空機、自動車、スポーツ、土木、建築などの分野において、特に軽量で高強度、耐久性が求められる材料として活用が期待されている、金属と繊維強化プラスチックの積層体からなる複合材料の改良に関する。詳しくは特に静的、もしくは繰り返し曲げ荷重または曲げ変形を伴う衝撃荷重を負担する部材に好適に用いることができる軽量で耐久性に優れる金属／繊維強化プラスチック複合材料に関する。

【背景技術】

【0002】

従来より、航空機、自動車などの輸送機器、各種スポーツ及び土木、建築などの分野においては、軽量で高強度、高剛性で耐久性を有する材料が求められている。

【0003】

20

その要求に応えるために金属材料としては、炭素鋼、ステンレス合金、アルミニウム合金、チタン合金などが用いられている。一方、非金属材料としては、強化繊維とマトリックス樹脂からなる繊維強化プラスチック材料が用いられており、代表的にはガラス繊維強化プラスチック（以下、GFRPという。）や炭素繊維強化プラスチック（以下、CFRPという。）が挙げられる。

【0004】

これら従来の各種金属材料及び繊維強化プラスチックの代表的物性を次の表1に示す。

【0005】

【表 1】

	比重 (g/cc)	引張強度 (MPa)	弾性率 (GPa)	比強度	比弾性率
炭素鋼 (S45C)	7.8	828	205	106	26
ステンレス合金(SUS304)	8.0	520	197	65	25
アルミ合金 (A2017P)	2.8	355	69	127	25
チタン合金 (Ti-6Al-4V)	4.4	980	106	223	24
GFRP (Vf=50%、UD積層)	1.9	750(L) 22(T)	38(L) 10(T)	395(L)	20(L)
GFRP (Vf=50%、疑似等方積層)	1.9	330	20	174	11
CFRP (Vf=60%、UD積層)	1.5	2650(L) 64(T)	127(L) 8(T)	1767(L)	85(L)
CFRP (Vf=60%、疑似等方積層)	1.5	800	49	530	33

10

20

30

40

## 【0006】

表中のGFRP及びCFRPのVfとは繊維の体積含有率、(L)、(T)はそれぞれ繊維方向、繊維と垂直方向の物性を意味する。またUD積層とは繊維を一方向(Uni-Directional)に揃えて積層したものであり、疑似等方積層とは積層角度、積層枚数を適切に設計することにより、面内の各方向において等しい物性になるように設計した積層方法のことである。

## 【0007】

近年、自動車などの輸送機器においては、環境対策として軽量化が求められており、高張力鋼板の使用による部材の薄肉化やアルミニウム合金の使用による軽量化などが実用化

50

されており、比強度（比重あたりの強度）、比弾性率（比重あたりの弾性率）が特に要求される重要な物性値となっている。そこで比強度、比弾性率に着目すると、炭素鋼、ステンレス合金などは高強度、高弾性率ではあるものの、比重がそれぞれ 7.8, 8.0 と大きいため、比強度はそれぞれ 106、65 MPa、比弾性率はそれぞれ 26、25 GPa となる。アルミニウム合金は引張強度、弾性率ともに炭素鋼やステンレス合金に及ばないが、比重が 2.8 と小さいため、比強度は 127 MPa、比弾性率は 25 GPa であり、炭素鋼、ステンレス合金と同等程度の物性値となる。よって、アルミニウム合金は低比重である一方、力学特性が低いため、アルミニウム合金を構造部材に使用する場合、構造部材に求められる耐荷重などの要求を満たすためには、使用量が増加するなどにより、大幅な軽量化は困難である場合が少なくない。

10

#### 【0008】

一方、チタン合金は比重が 4.4 と小さく、高強度であるため、比強度は 223 MPa、比弾性率は 24 GPa であり、好ましい金属材料として特に近年注目を集めている材料である。

#### 【0009】

ところで、繊維強化プラスチックの 1 つの使用形態としては、強化繊維を一方向に引き揃えた繊維状物に熱硬化性マトリックス樹脂を含浸させて得られるプリプレグと呼ばれるシート状物があり、繊維強化プラスチックはプリプレグを所定の積層構成に基づき積層して、所定の温度、圧力をかけてマトリックス樹脂を硬化することによって得られる。

#### 【0010】

そのため繊維強化プラスチックからなる積層体の物性は繊維の体積含有率や積層角度、積層枚数などの積層構成により設計することができる。このように求められる特性に対して最適に積層構成を設計できることが、繊維強化プラスチックの長所の 1 つである。積層構成の代表的な例としては、繊維を一方向に揃えて積層した UD 積層、面内の各方向において等しい物性になるように積層した疑似等方積層がある。GFRP は比重が 1.9 であり、 $V_f = 50\%$  の UD 積層では比強度が 395 MPa (L)、比弾性率が 20 GPa (L) となる。疑似等方積層では比強度が 174 MPa、比弾性率が 11 GPa となり、アルミ合金よりも比強度が高い。

20

#### 【0011】

上記表 1 に示したように CFRP は比重が 1.5 であり、 $V_f = 60\%$  の UD 積層では比強度が 1767 MPa (L)、比弾性率が 85 GPa (L) となる。疑似等方積層では比強度が 530 MPa、比弾性率が 33 GPa となり、各種金属材料よりも比強度、比弾性率ともに大幅に高い。このように繊維強化プラスチックは軽量、高強度であり、積層構成の最適化により求められる特性に対して最適な設計ができるため、先進複合材料として特に軽量化、高強度、高弾性が求められる分野において用いられている。

30

#### 【0012】

しかし、繊維強化プラスチックは耐衝撃特性が低いこと、孔空箇所などの加工端面からの層間剥離、切欠きでの応力集中による強度低下などの問題がある。そこで、金属と繊維強化プラスチックを積層して得られる複合材料（以下、金属/繊維強化プラスチック複合材料という。）が注目されている。金属と繊維強化プラスチックを積層する事により、金属、繊維強化プラスチックのそれぞれの長所を活用できるだけでなく、短所をお互いに補うことにより、金属および繊維強化プラスチック単体よりも優れた力学特性、機能特性を発揮することができるからである。

40

#### 【0013】

かかる従来技術として、特許文献 1 には、チタン合金と CFRP からなる積層体において、チタン合金と CFRP の強度/弾性率を  $\pm 40\%$  の範囲内に一致させることにより、チタン合金/CFRP 積層体に荷重が負荷した場合に、チタン合金層、CFRP 層が共に同等に応力を負担して、各層が十分に強度を利用できるようにすることが提案されている。

#### 【0014】

50

また、特許文献 2 には、ステンレス、鋼、鉄、アルミニウム、チタンなどの各種金属及びその合金の金属箔と繊維強化プラスチックの積層体からなるゴルフクラブのフェースが提案されている。ゴルフクラブのフェースは打球時にボールとの衝突により、フェースの周囲を固定端、打球箇所を荷重点として曲げ変形を受けるため、この曲げ荷重に耐えるだけの強度が求められるだけでなく、打球回数に応じた耐久性も求められる部材である。特許文献 2 には繊維強化プラスチック層に樹脂フィルム、金属箔を積層して、ローラーにて押圧して貼着して得られる複合プリプレグを準備し、該プリプレグを各層間に樹脂フィルムを介在させて、積層する事により金属 / 繊維強化プラスチック積層体からなるゴルフクラブフェース材を成形することが示されている。該フェース材は打球時の衝撃に対して、金属箔と繊維強化プラスチック層間或いは繊維強化プラスチック層間での剥離がなく、耐摩耗性に優れ、しかも衝撃強度などの機械的強度も優れており、使用時の感触及び美観にも優れることが示されている。 10

#### 【0015】

さらに、特許文献 3 には、金属薄板と高弾性ファイバ系素材とを積層一体化したフェース部を有するゴルフクラブヘッドが提案されている。打球時にフェースを十分に撓ませて、ボールの反発を上げることにより、ボールの飛距離を向上させることができる。一方、フェースを撓みやすいように薄肉にすると耐久性が低下する問題がある。特許文献 3 では金属を薄くしても高弾性ファイバで補強しているため、金属が塑性変形することなく、飛距離を向上させたヘッドを得ることが示されている。 20

#### 【0016】

しかしながら、上記特許文献に記載の技術は、以下に述べる問題点がある。

#### 【0017】

すなわち、特許文献 1 においては、チタン合金と CFRP の引張強度 / 弾性率を合わせること、チタン合金、CFRP のそれぞれの引張強度を十分に発現させることができると説明されているが、部材の曲げ変形を伴うようないわゆる曲げ荷重がかけられた場合には、部材内部にせん断応力が発生し、特に圧縮応力と引張応力の転換面である中立面には最大せん断応力が発生するため、チタン合金及び CFRP の引張強度を十分に発現する前に、特に中立面近傍におけるチタン合金と CFRP の層間もしくは CFRP 層間でせん断により破壊する問題がある。 30

#### 【0018】

本発明で意味するところの中立面を次に説明する。曲げ荷重を負担するはりが曲げ荷重を受けて変形した様子を図 1 に示す。ここで M は曲げモーメントを示す。図 1 に示す曲げモーメント M を示す矢印の向きは、はりを下側にふくらませるように変形させる向きであることを意味している。すなわち、周知のようにはりの上側は縮み、下側は伸びるので、上側には負の引張応力すなわち圧縮応力が、下側には正の引張応力が生じることになる。このとき部材の内部には伸びも縮みもしない、すなわち引張応力がゼロである面が存在するはずである。この面が中立面である。特にチタン合金は難接着金属であるため、チタン合金の接着表面に特殊な表面処理もしくは特殊な接着剤を用いる場合を除いて、チタン合金と CFRP を構成するマトリックス樹脂もしくは接着樹脂との接着力は極めて低いため、さらにチタン合金と CFRP との層間での破壊が懸念される。 40

#### 【0019】

特許文献 2 においても上記と同様に打球時の曲げ変形において、金属箔及び繊維強化プラスチックの引張もしくは圧縮強度を十分に発現する前に、金属箔と繊維強化プラスチックの層間もしくは繊維強化プラスチック層間でせん断により破壊する問題がある。

#### 【0020】

特に特許文献 2 において説明されるフェース材の積層構成は、金属箔 / 繊維強化プラスチックが交互に積層される構成であるため、打球時の曲げ変形において、最大のせん断応力がかかる中立面に極めて近い箇所に金属箔と繊維強化プラスチックの層間が位置することになる。通常、同種材である繊維強化プラスチック同士の層間強度よりも異種材料である繊維強化プラスチックと金属箔との接着強度の方が低いため、最大せん断応力がかかる 50

中立面に近い箇所に金属箔と繊維強化プラスチックの層間があると、まず金属箔と繊維強化プラスチック層間が破壊して、部材の破壊の起点となる問題がある。該層間での破壊を防ぐためには、曲げ変形量すなわち撓み量を抑える必要があり、積層枚数を増やして曲げ剛性を向上させる必要がある。しかしながら、フェース材として利用する場合には、撓み量を抑えることはボールの反発を抑えることになり、飛距離が低下する懸念があるばかりでなく、重量増加の原因ともなるため好ましくない。

#### 【0021】

特許文献3においても上記と同様に、金属薄板と高弾性ファイバで補強された合成樹脂層の層間で破壊が起こる懸念がある。特に特許文献3には、金属薄板にはチタン合金が好適であると説明されているが、チタン合金は難接着金属であるため、チタン合金の接着表面に特殊な表面処理もしくは特殊な接着剤を用いる場合を除いて、チタン合金と高弾性ファイバで補強された合成樹脂層との接着力は極めて低いため、さらに該層間での破壊が懸念される。

10

#### 【0022】

つまり、繊維強化プラスチックの層間せん断破壊荷重は同種材の引張、圧縮破壊荷重よりも一般にはるかに低いため、曲げ荷重がかかったときに、曲げ応力に対して部材の引張及び圧縮側に十分な強度を有するように積層構成を設計したとしても、せん断応力により破壊が起きて破断にいたる場合がある。よって、上記のように曲げ荷重を負担する金属/繊維強化プラスチック複合材料からなる部材については、特に曲げ変形に伴うせん断応力を考慮に入れた積層構成の最適化が求められる。

20

【特許文献1】特表2002-509491号公報

【特許文献2】特開平6-165842号公報

【特許文献3】特開2003-102878号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

#### 【0023】

本発明の課題は、例えば航空機、自動車、スポーツ、土木、建築などの分野において、軽量で高強度、耐久性が求められ、特に静的、もしくは繰り返しの曲げ荷重または曲げ変形に伴う衝撃荷重を負担する部材に好適に用いることができる、軽量で高強度、かつ耐久性に優れた金属/繊維強化プラスチック複合材料およびその製造方法を提供することにある。

30

【課題を解決するための手段】

#### 【0024】

本発明の金属/繊維強化プラスチック複合材料は、上記課題を達成するために、以下の手段を採用する。

#### 【0025】

金属に繊維強化プラスチックが積層され、これら部材が接着されて一体化されてなる複合材料において、前記接着面が、複合材料を曲げた場合に生じる中立面から、複合材料総厚みの $\pm 5\%$ の厚みの範囲外に存在することを特徴とする。

#### 【0026】

ここで、金属の厚みは0.1mm以上2.0mm以下の範囲内であることが好ましい。また、金属はチタン又はチタン合金であることが好ましい。

40

#### 【0027】

繊維強化プラスチックの一枚あたりの厚みは0.1mm以上1.0mm以下の範囲内であることが好ましい。繊維強化プラスチックは炭素繊維強化プラスチックであることが好ましい。炭素繊維強化プラスチックの一枚あたりの炭素繊維の目付は100g/m<sup>2</sup>以上700g/m<sup>2</sup>以下の範囲内であることが好ましい。繊維強化プラスチックは、その強化繊維として連続繊維を用いるとともに繊維配列方向が一方向である一方向積層材であって、JIS K 7078「炭素繊維強化プラスチックの層間せん断試験方法」に基づく見掛けの層間せん断強さが60MPa以上であるものが好ましい。繊維強化プラスチックは

50

、その強化繊維として連続繊維を用いるとともに繊維配列方向が一方向である一方向積層材であって、JIS K 7073「炭素繊維強化プラスチックの引張試験方法」に基づく引張最大ひずみが0.9%以上であるものが好ましい。

【0028】

金属と繊維強化プラスチックとの間に非繊維強化樹脂層を有することが好ましく、この非繊維強化樹脂層は熱硬化性樹脂からなるものがより好ましい。また、非繊維強化樹脂層は熱可塑性樹脂を含有することが好ましい。

【0029】

熱可塑性樹脂を含有する場合、熱可塑性樹脂はモード径が3 $\mu$ m以上20 $\mu$ m以下の微粒子であることが好ましい。ここでいうモード径とは、粒子径分布中の最頻度範囲から求める粒子径で、レーザー回折・散乱法や電子顕微鏡を用いた画像解析法等の既知の方法で測定できるものである。

【0030】

非繊維強化樹脂層を構成する樹脂は、イミダゾールシラン化合物を含むことが好ましい。

【0031】

金属と繊維強化プラスチックとの積層構成が対称積層構成であることが好ましい。

【0032】

次に、本発明の金属/繊維強化プラスチック複合材料の製造方法は、上記課題を達成するために、次の手段を採用する。

【0033】

金属と、未硬化状態または半硬化状態のマトリックス樹脂を含浸してある繊維強化基材の積層体とを準備し、両部材の間に非繊維強化樹脂層を形成する樹脂を配置して積層した後、マトリックス樹脂及び非繊維強化樹脂層を形成する樹脂の硬化と、金属と繊維強化プラスチックとの接着を同時に行うことを特徴とする製造方法である。

【0034】

また、金属と、硬化後の繊維強化プラスチックの積層体とを準備し、両部材の間に室温硬化型の樹脂からなる非繊維強化樹脂層を形成する樹脂を配置して積層した後、該樹脂を硬化するとともに、金属と繊維強化プラスチックとの接着を同時に行うことを特徴とする製造方法である。

【発明の効果】

【0035】

本発明の金属に繊維強化プラスチックが接着された複合材料によれば、特に静的、もしくは繰り返しの曲げ荷重、または曲げ変形を伴う衝撃荷重の負担時に金属と繊維強化プラスチックとの接着面における破壊を抑止することができ、軽量で高強度且つ耐久性に優れた複合材料を提供することができる。

【0036】

また、本発明の金属と繊維強化プラスチックの積層体からなる複合材料の製造方法によれば、上記のような軽量で高強度且つ耐久性に優れた金属に繊維強化プラスチックが接着された複合材料を、特別な製造機器が不要で、従来の繊維強化プラスチックの製造を装置を用いて一度の硬化工程により得ることができるとともに、表層にのみ金属が積層される構成であっても、反りのない積層体を製造することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0037】

以下、本発明を実施するための最良の形態を図面を参照しながら説明する。

【0038】

上述したように、本発明の金属/繊維強化プラスチック複合材料は、金属と繊維強化プラスチックとの積層体の接着面が、両部材からなる複合材料を曲げた場合に生じる中立面から、複合材料総厚みの $\pm 5\%$ の厚みの範囲外に存在すること、換言すれば接着面が曲げ変形による最大せん断応力が生じる中立面近傍に存在しない積層構成であることを特徴と

10

20

30

40

50



する。ここで接着面の位置が、中立面から複合材料総厚みの $\pm 5\%$ の厚み未満に存在すると、曲げ変形時に中立面に生じる最大せん断応力により、接着面もしくは接着面近傍での破壊がおこるため、好ましくない。

#### 【0039】

ただし使用形態として、本発明の複合材料の表面に外観保護や美観のために塗装をほどこしたり、緩衝のために発泡材などの緩衝材をはりつけることは常であり、何ら問題ないが、上記「複合材料総厚み」の中にはこれら塗装や発泡材の厚みは加算されない。

#### 【0040】

したがって、本発明においては前述した中立面が大きな意味を持つ。この中立面の位置は、積層板理論などにより解析的に求めることもできるが、実験的には4点曲げ試験によって求めることができ、その4点曲げ試験方法としてはJIS K 7074「炭素繊維強化プラスチックの曲げ試験方法」に規定されている。

10

#### 【0041】

これを図2を用いて説明すると、まず試験片1の両端を支点6で支え、この試験片に曲げ変形時に圧縮側となる面の中心に圧縮ひずみを測定できるようにひずみゲージ2を貼り付け、同様に引張側となる面の中心に引張ひずみを測定できるようにひずみゲージ3を貼り付ける。そして、試験片1の上部から圧子5を有する圧子ジグ4で試験片方向に押さえ、圧縮側と引っ張り側の歪みをひずみゲージ2、3で検出する。

#### 【0042】

このようにして該試験片を用いてを上記試験方法により試験を行い、圧縮、引張ひずみを測定して、チャートの縦軸に圧縮、引張ひずみ、横軸にクロスヘッド移動量を記した例を図3に示す。圧縮、引張ひずみ共に線形の領域において、ある一定のクロスヘッド移動量における圧縮ひずみa、引張ひずみbを求める。試験片の中立面の位置は圧縮ひずみa、引張ひずみbの比に対応しており、図4に試験片断面における中立面の位置を示す。このように4点曲げ試験時の上記圧縮ひずみaと、引張ひずみbを測定することにより、試験片の中立面位置が求められる。

20

#### 【0043】

前述したように本発明の特徴は、換言すれば金属と繊維強化プラスチックの積層体からなる複合材料において、該複合材料の中立面から、複合材料総厚みの $\pm 5\%$ の厚みの範囲内に金属と繊維強化プラスチックとの接着面が存在しないことを特徴とする。このような積層構成にすることにより、金属/繊維強化プラスチック複合材料に曲げ変形が生じたときに、中立面に発生する最大せん断応力による該複合材料の層間および層内でのせん断破壊を抑止することができる。通常、金属/繊維強化プラスチック複合材料は引張強度、圧縮強度は十分に高いが、層間および層内のせん断強度は引張強度、圧縮強度に比べ桁以上低いため、曲げ変形において引張側及び圧縮側で破壊するよりも先に層間又は層内もしくはその両方においてせん断破壊が起こることがあり、本発明における積層構成により層間および層内でのせん断破壊を抑止することにより、特に静的、もしくは繰り返しの曲げ荷重または曲げ変形を伴う衝撃荷重に対して、高強度且つ耐久性に優れた金属/繊維強化プラスチック複合材料を提供することができる。このような作用効果からすると接着面の位置は、より好ましくは中立面から総厚みの $\pm 7\%$ の範囲外に、最も好ましくは $\pm 10\%$ の範囲外に存在することである。

30

40

#### 【0044】

以下、本発明をその構成要素毎に詳しく説明する。

#### 【0045】

本発明において金属とは、ステンレス鋼や鉄、アルミニウム合金、チタン合金、マグネシウム合金、その他種々の金属及び合金のことである。中でも比強度の高いアルミニウム合金、チタン合金が好ましい。より好ましくはチタン合金である。その理由は既に示した表1から明らかである。代表的なアルミニウム合金(A2017P)とチタン合金(Ti-6Al-4V)は、特にチタン合金は比強度が223(MPa/比重)と非常に高いため、本発明で用いる金属に使用することにより、軽量で高強度、高弾性率な金属/繊維強

50

化プラスチック複合材料を提供することができる。

【0046】

本発明に用いる金属の厚みは0.1mm以上2.0mm以下であることが好ましい。0.1mm未満であると、金属層の負担できる荷重が小さくなりすぎる為好ましくない。また厚みが0.1mm未満の金属薄膜の製造コストも高いため、好ましくない。一方、2.0mmより厚いと本発明で用いる複合材料の重量増加が懸念され、使用数が限定されることにより積層構成の設計自由度が低くなるため好ましくない。また、2.0mmよりも厚いと本発明の複合材料に曲げ変形が生じたときに、金属の接着面にかかるせん断応力が高くなるため、金属層と繊維強化プラスチック層の接着面つまり金属/繊維強化プラスチック層間における、せん断破壊が懸念されるため好ましくない。

10

【0047】

本発明において繊維強化プラスチックとは強化繊維束にマトリックス樹脂を含浸させた複合材料をいう。

【0048】

強化繊維としては、炭素繊維、ガラス繊維、アルミナ繊維、窒化ケイ素繊維などの無機繊維とアラミド繊維、ナイロンなどのポリアミド系合成繊維、PBO繊維、ポリオレフィン系繊維、ポリエステル繊維、ポリフェニルスルホン繊維などの有機繊維を単独又は2種以上を混合して使用することができる。とりわけ炭素繊維は軽量で高強度、高弾性率を有し、耐食性に優れるという特徴を持つため好ましい。

【0049】

強化繊維束の形態としては、連続繊維を用いた糸束状はもちろんのこと織物状や組み紐状、マット状の他、短繊維などの不連続な繊維束から構成される強化繊維束の形態を単独又は2種類以上の形態を組み合わせ使用することができる。具体的な繊維強化プラスチックの基材形態としては、糸束状や織物状、組み紐状、マット状の強化繊維束にマトリックス樹脂を予め含浸してなるプリプレグ基材、チョップドファイバーなどの短繊維などの繊維束がランダムもしくは規則的に配置された強化繊維束にマトリックス樹脂が予め含浸してなるSMC基材、BMC基材がある。なかでも糸束状の連続繊維を一方向に引き揃えて樹脂を含浸させて得られるプリプレグ基材を用いた繊維強化プラスチックは強度、弾性率に優れ、繊維の配向角度や積層数などの積層構成により、積層体の力学特性を設計できるため好ましい。

20

30

【0050】

マトリックス樹脂としては、熱硬化性樹脂が好ましく、なかでもエポキシ樹脂がより好ましい。

【0051】

本発明の複合材料に用いる繊維強化プラスチックは、通常は上記強化繊維束にマトリックス樹脂がウェット法、ホットメルト法などにより、予め含浸されてなるものであるが、予め強化繊維束にマトリックス樹脂が含浸されている必要は必ずしも無く、各種形態の強化繊維束からなる基材を積層、真空バギングした後、加圧もしくは真空圧を利用してマトリックス樹脂を強化繊維束からなる基材に含浸することによって成形する、いわゆるレジントランスファー成形によって得られるものであっても差し支えない。表1に代表的なガラス繊維強化プラスチック(GFRP)と炭素繊維強化プラスチック(CFRP)のプリプレグを成形して得られた材料の物性値を示す。

40

【0052】

繊維強化プラスチックの一枚あたりの厚みは0.07mm以上1.0mm以下であることが好ましい。0.07mm未満であると、繊維強化プラスチック層の負担できる荷重が小さくなりすぎる為好ましくない。一方、1.0mmより厚いと使用数が限定されることにより積層構成の設計自由度が低くなるだけでなく、本発明の複合材料に曲げ変形が生じたときに、繊維強化プラスチック層内及び層間にかかるせん断応力が高くなるため、繊維強化プラスチックの層内又は金属層と繊維強化プラスチック層の接着面つまり金属/繊維強化プラスチック層間でのせん断破壊が懸念されるため好ましくない。

50

## 【 0 0 5 3 】

繊維強化プラスチックとしては軽量、高強度、高弾性率、耐食性を有することなどから炭素繊維強化プラスチックが好ましい。より好ましくは炭素繊維強化プラスチックの炭素繊維の目付が  $100\text{ g/m}^2$  以上  $700\text{ g/m}^2$  以下である。炭素繊維強化プラスチックの厚みは目付と樹脂含有率に大きく依存するが、概ね炭素繊維の目付が  $100\text{ g/m}^2$  以上  $700\text{ g/m}^2$  以下の範囲に相当する炭素繊維強化プラスチックの厚みは  $0.07\text{ mm}$  以上  $1.0\text{ mm}$  以下の範囲である。

## 【 0 0 5 4 】

また本発明で用いる繊維強化プラスチックが連続繊維を用いた一方向材である場合には、その繊維配列方向が一方向である一方向積層材の J I S K 7078「炭素繊維強化プラスチックの層間せん断試験方法」に基づいて測定した見掛けの層間せん断強さが  $60\text{ MPa}$  以上であることが好ましい。繊維強化プラスチックが連続繊維を用いた一方向材でない場合においても、J I S K 7078「炭素繊維強化プラスチックの層間せん断試験方法」に基づいて測定した見掛けの層間せん断強さが  $60\text{ MPa}$  以上であることが好ましい。見掛けの層間せん断強さが  $60\text{ MPa}$  未満であると、層間せん断強さが弱すぎるために、金属と繊維強化プラスチックとの接着面を中立面からずらしても、金属/繊維強化プラスチック複合材料が十分な曲げ荷重を負担する前に、繊維強化プラスチック層間において破壊するため好ましくない。

## 【 0 0 5 5 】

また本発明で用いる繊維強化プラスチックが連続繊維を用いた一方向材である場合には、その繊維配列方向が一方向である一方向積層材の J I S K 7073「炭素繊維強化プラスチックの引張試験方法」に基づいて測定した引張最大ひずみが  $0.9\%$  以上であることが好ましい。繊維強化プラスチックが連続繊維を用いた一方向材でない場合においても、J I S K 7073「炭素繊維強化プラスチックの引張試験方法」に基づいて測定した引張最大ひずみが  $0.9\%$  以上であることが好ましい。引張最大ひずみが  $0.9\%$  未満であると、ひずみ量が小さすぎるために、金属と繊維強化プラスチックとの接着面を中立面からずらしても、金属/繊維強化プラスチック複合材料が十分な曲げ荷重を負担する前に、引張側の繊維強化プラスチックが破壊するため好ましくない。

## 【 0 0 5 6 】

次に本発明の金属/繊維強化プラスチック複合材料の接着方法について説明する。接着方法は従来の繊維強化プラスチックの成形方法を利用することができる。

## 【 0 0 5 7 】

繊維強化プラスチックに未硬化状態のマトリックス樹脂が予め含浸されてなる繊維強化基材を用いる場合には、プレス成形方法やオートクレーブ成形方法が好適に用いることができる。

## 【 0 0 5 8 】

プレス成形方法およびオートクレーブ成形方法の概要は J I S K 7072「炭素繊維強化プラスチックの試料の作成方法」(2002)5.成形方法に記載されている。

## 【 0 0 5 9 】

なかでもオートクレーブ成形方法は成形温度、圧力を高精度で管理することができるため、高品質な繊維強化プラスチックを成形することができる方法として用いられており、本発明においても好適に用いることができる。

## 【 0 0 6 0 】

本発明の複合材料は、所定の形状に切り出した金属と繊維強化プラスチックを所定の積層構成に基づき積層して、繊維強化プラスチックの成形条件に基づいて、プレス成形もしくはオートクレーブ成形することにより、繊維強化プラスチックのマトリックス樹脂を硬化するとともに、マトリックス樹脂と金属を接着することが可能である。

## 【 0 0 6 1 】

当然のことであるが、金属は複数層が積層されていても、成形および接着にはなんら問題はない。

## 【0062】

一方、マトリックス樹脂が予め含浸されていない繊維強化基材を用いる場合には、上記同様に所定の形状に切り出した金属と繊維強化基材を所定の積層方法に基づき積層した後、レジントランスファー成形方法などにより、繊維強化基材にマトリックス樹脂を含浸させた後、マトリックス樹脂を硬化させるとともに、マトリックス樹脂と金属を接着することが可能である。

## 【0063】

以上が本発明の複合材料の基本的な構成であるが、本発明では金属と繊維強化プラスチックとの間に、後述する非繊維強化樹脂層を介在させることが好ましい。この非繊維強化樹脂層が金属と繊維強化プラスチックとの接着性を向上させるだけでなく、複合材料に衝撃を伴う繰り返しの曲げ荷重が負荷された場合に応力緩和層として作用するため、衝撃を伴う曲げ荷重に対しても金属と繊維強化プラスチックの接着面での剥離を抑止することができるからである。

## 【0064】

ここで非繊維強化樹脂層の厚さは、応力緩和性、対衝撃性と軽量性との兼ね合いから、0.01mm～0.2mmの範囲内であることが好ましく、より好ましくは0.02mm～0.1mmの範囲内である。これらの範囲よりも薄いと応力緩和性、対衝撃性が小さく、逆にこれらの範囲よりも厚いと重量増加の原因となる。

## 【0065】

非繊維強化樹脂層としてはエポキシ樹脂からなることが好ましい。より好ましくは繊維強化プラスチック素材と同一又は類似の樹脂からなることが好ましい。

## 【0066】

また非繊維強化樹脂層を強化もしくは韌性を向上、厚みを確保するなどの目的で、熱可塑性樹脂もしくは熱可塑性エラストマーからなる粒子もしくは不織布などを含有することが好ましい。

## 【0067】

ここで、熱可塑性樹脂としては、ポリイミド（PI）、ポリエーテルイミド（PEI）、ポリアミド（PA）、ポリアミドイミド（PAI）、ポリエーテルスルホン（PES）、ポリエーテルエーテルン（PEE）などが好ましく使用される。

## 【0068】

また、熱可塑性エラストマーとしては、アイオノマー（IO）、ポリオレフィン系（TPO）、ウレタン系（TPU）、ポリアミド系（TPAE）、ポリ塩化ビニル系（TPVC）系などが好ましく使用される。中でもポリアミドは接着性に優れるため、より好ましい。

## 【0069】

熱可塑性樹脂はモード径が3μm以上20μm以下の微粒子形状で有ることが好ましい。非繊維強化樹脂層を構成する樹脂に、3μm以上20μm以下の熱可塑性樹脂の微粒子を配合することにより、複合材料の製造条件において、該樹脂の流出を抑制し、非繊維強化樹脂層の厚みを確保することができるだけでなく、強化繊維の繊維間に熱可塑性樹脂の微粒子が入り込むことができるため、非繊維強化樹脂層と繊維強化プラスチックとの接着性が向上できるため好ましい。一方、3μm未満の場合、熱可塑性樹脂の微粒子の製造コストが高くなるため好ましくない。また、20μmより大きいと、粒径が大きすぎるため、強化繊維の繊維間に熱可塑性樹脂の微粒子が入り込むことが困難になるため、好ましくない。

## 【0070】

非繊維強化樹脂層を構成する樹脂は、イミダゾールシラン化合物を含むことが好ましい。本発明において、イミダゾールシラン化合物とは、イミダゾール環を有するシラン化合物を意味する。イミダゾール化合物の例として、一般式（I）、（II）、（III）で表されるイミダゾールシラン化合物、およびかかるイミダゾールシラン化合物と酸の塩が挙げられる。これらイミダゾールシラン化合物の製法および具体例は、特公平07-0

10

20

30

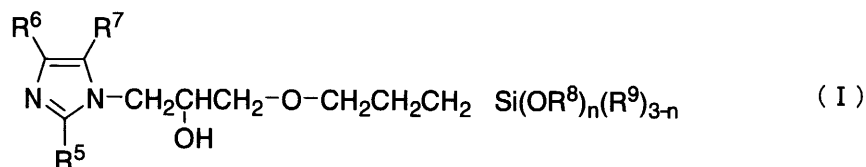
40

50

68256号公報に記載されている。

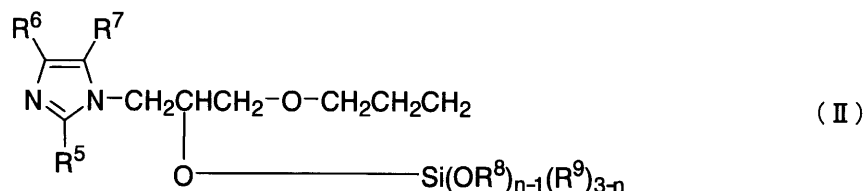
【0071】

【化1】



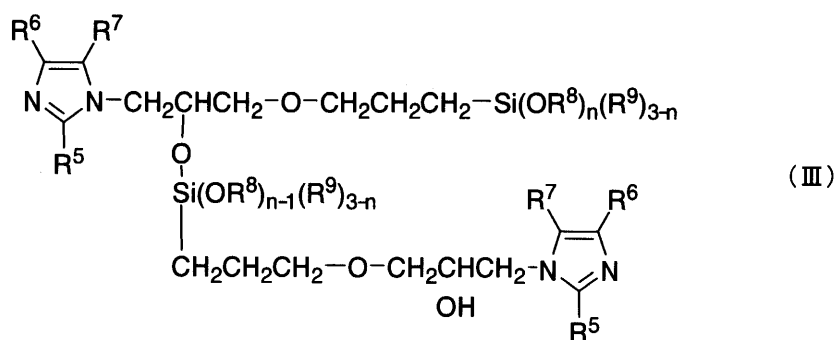
【0072】

【化2】



【0073】

【化3】



【0074】

(ここでR5～R7は、それぞれ独立に、水素原子またはアルキル基、アミノアルキル基、ヒドロキシアルキル基、シアノアルキル基、アリール基、アラルキル基より選ばれる置換基を表し、R8，R9はアルキル基を表す。nは1～3の整数である。)

イミダゾールシラン化合物を含むことによって、非繊維強化樹脂層と金属との接着性が向上するだけでなく、高温高湿度の暴露後においても、金属との接着性を保持することができるため、好ましい。

【0075】

イミダゾールシラン化合物の含有量は、0.1wt%以上2.0wt%以下であることが好ましい。

【0076】

ここでいう非繊維強化樹脂とは、前述した繊維強化プラスチックとは区別することを意味しており、非繊維強化樹脂そのものを強化する目的で、ガラス繊維や炭素繊維などの強化繊維のミルドファイバーなどを含有することはもちろん可能である。非繊維強化樹脂層の好ましい使用形態としては、非繊維強化樹脂層を形成する液状樹脂を金属の接着表面に塗布、もしくはフィルム状の樹脂を金属の接着表面または未硬化状態のマトリックス樹脂を予め含浸している繊維強化基材の金属との接着面に配置後、カレンダーロール等を用いて、フィルム状の樹脂を金属の接着表面または繊維強化基材の金属との接着面に転写したものをを用いるなどして、所定の積層構成に積層した後、マトリックス樹脂と非繊維強化樹脂の硬化条件を満足するように加熱、加圧して成形する。樹脂の金属、繊維強化基材の付与方法は塗布やカレンダーロールによる転写以外にもスプレИАップやディッピングによるいずれかの方法であってもよい。またフィルム状の樹脂は金属と繊維強化基材の両方に

転写してももちろん良い。より好ましくは非繊維強化樹脂層を形成する樹脂の硬化条件が、マトリックス樹脂の硬化条件と同じものを用いることにより、1回の加熱工程において、マトリックス樹脂と非繊維強化樹脂層を形成する樹脂の硬化を同時に行うとともに、非繊維強化樹脂層の硬化を介して繊維強化プラスチックと金属との接着を行うことが好ましい。

#### 【0077】

また層間強化型のプリプレグのように、予めプリプレグの接着面に層間を確保できるような樹脂層を有するプリプレグを用いることも好ましい。この場合、繊維強化プラスチックの硬化と繊維強化プラスチックの金属への接着を同時に行うことができるため好ましい。

10

#### 【0078】

一方、マトリックス樹脂と非繊維強化樹脂層を形成する樹脂の硬化条件が異なる場合には、どちらかの樹脂の硬化条件に基づき成形した後、他方の樹脂の硬化条件を満足するように後硬化処理を施すことによって、マトリックス樹脂と非繊維強化樹脂層を形成する樹脂を共に十分に硬化することも可能である。

#### 【0079】

また金属の接着面に予め非繊維強化樹脂層を形成する樹脂を塗布もしくはフィルム状の樹脂を配置したのち、該樹脂を適切な温度、圧力により硬化もしくは半硬化するとともに、金属へ接着もしくは転写させるなどの処理を予め行った金属を用いることも好ましい使用形態の一つである。

20

#### 【0080】

また、硬化後の繊維強化プラスチックに金属を接着する場合には、非繊維強化樹脂層は接着剤を兼ねており、非繊維強化樹脂層を形成する樹脂を金属、繊維強化プラスチックの接着表面の両方または一方に塗布、もしくはフィルム状の樹脂を金属、繊維強化プラスチックの接着表面の両方または一方に配置して、所定の積層構成に基づいて、金属と硬化後の繊維強化プラスチックを積層した後、非繊維強化樹脂層を形成する樹脂の硬化条件に基づいて加熱、加圧を行い、樹脂を硬化することにより、金属と繊維強化プラスチックの間に非繊維強化樹脂層を形成するも可能である。

#### 【0081】

本発明の金属と繊維強化プラスチックの積層体からなる複合材料の積層構成は対称積層構成であることが好ましい。ここで、対称積層構成とは、積層構成において鏡面对称性を有する積層構成を意味する。

30

#### 【0082】

特に繊維強化プラスチックに連続繊維を一方向に引き揃えて樹脂を含浸させて得られる一方向プリプレグ基材のように、物性の依存性が強い材料を用いる場合、線膨張係数も依存性があるため、繊維強化プラスチックが非対称積層構成の場合、線膨張係数と成型温度に応じた反りおよび残留応力が生じる。また剛性が十分高い材料へ非対称積層構成の繊維強化プラスチックを成形、接着した場合、反りは軽減されるが残留応力が生じる。

#### 【0083】

同様に金属と繊維強化プラスチックの線膨張係数も異なるため、特に金属と繊維強化プラスチックの接着を室温以上の温度で行う場合には、線膨張係数と成型温度に応じた反りおよび残留応力が生じる。このような反りや残留応力が問題にならないような状況で使用される場合を除いて、金属と繊維強化プラスチックの積層体からなる複合材料の積層構成は対称積層構成であることが好ましい。

40

#### 【0084】

次に、本発明の金属と繊維強化プラスチックの積層体からなる複合材料の製造方法を説明する。ここでは繊維強化プラスチックとして、未硬化状態のマトリックス樹脂を予め含浸している繊維強化基材を用いる場合を説明する。

#### 【0085】

まず、材料として繊維強化基材、金属、必要に応じて非繊維強化樹脂を形成する樹脂を

50

所定の積層構成および形状に基づき、必要な数量分を切断加工して準備する。

【0086】

非繊維強化樹脂層が必要な場合には、樹脂を金属の接着表面に塗布、もしくはフィルム状の樹脂を金属の接着表面または繊維強化基材の接着面に配置後、カレンダーロール等を用いて転写するなどして、金属の接着表面、繊維強化基材の接着面に樹脂を付与する。

【0087】

次に上記金属と繊維強化基材を所定の積層構成に基づき積層した後、成形型などに該積層体をセットして、プレス成形、オートクレーブ成形などの適切な成形方法により、マトリックス樹脂、非繊維強化樹脂層を形成する樹脂の硬化条件に基づいて加熱、加圧する。

【0088】

樹脂の硬化条件に基づいた加熱、加圧後、硬化済みの金属/繊維強化プラスチック複合材料を脱型して取り出す。

【0089】

なお、マトリックス樹脂と非繊維強化樹脂層を形成する樹脂の硬化条件が同じ場合には、1回の硬化工程により、マトリックス樹脂と非繊維強化樹脂層を形成する樹脂を硬化するとともに非繊維強化樹脂層を介して金属と繊維強化プラスチックとの接着を同時に行うことができるため好ましい。

【0090】

マトリックス樹脂と非繊維強化樹脂層を形成する樹脂の硬化条件が異なる場合は、マトリックス樹脂又は非繊維強化樹脂層を形成する樹脂のどちらか一方の樹脂の硬化条件により硬化、成形した後、他方の樹脂の硬化条件に基づき後硬化処理を施すことにより、マトリックス樹脂および非繊維強化樹脂層を形成する樹脂を共に十分に硬化することが好ましい。

【0091】

次に繊維強化プラスチックとして、未硬化状態のマトリックス樹脂を予め含浸していない繊維強化基材を用いる場合は、上記と同様に材料を準備して、所定の積層構成に基づき積層した後、成形型などに該積層体をセットする。レジントランスファー成形など適切な成形方法により、マトリックス樹脂を繊維強化基材内に注入、含浸させた後、樹脂の硬化条件に基づいて、加熱、加圧する。

【0092】

樹脂の硬化条件に基づいた加熱、加圧後、硬化済みの金属/繊維強化プラスチック複合材料を脱型して取り出す。成形型の占有時間を短くするために、短時間で脱型後、後硬化処理を行うことにより、十分に硬化することも可能である。

【0093】

また繊維強化プラスチックとして、硬化後の繊維強化プラスチックを用いる場合には、非繊維強化樹脂層を兼ねる接着用樹脂を、金属、繊維強化プラスチックの接着表面の両方または一方に付与した後、上記同様に成形する。特に室温硬化型の非繊維強化樹脂層を形成する接着用樹脂を用いた場合、積層構成が片側一面のみに金属層を貼り付けるような非対称積層構成であっても、金属と繊維強化プラスチックの線膨張係数の違いによる反りや残留応力はないため好ましい。

【実施例】

【0094】

以下、本発明を実施例に基づき具体的に説明する。

【0095】

まず実施例で使用した材料およびその特徴を次に示す。

CFRP1：東レ株式会社製炭素繊維T800Hを強化繊維に用いた一方向プリプレグ、  
180 硬化樹脂使用、繊維目付190 g/m<sup>2</sup>、

CFRP1の繊維配列方向が一方向である一方向材のJIS K 7078「炭素繊維強化プラスチックの層間せん断試験方法」に基づいて測定した見掛けの層間せん断強さは108 MPaである。同様にJIS K 7073「炭素繊維強化プラスチックの引張試

10

20

30

40

50

験方法」に基づいて測定した引張最大ひずみは 1.55% である。

CFRP2：東レ株式会社製炭素繊維 T800H を強化繊維に用いた一方向プリプレグ、  
135 硬化樹脂使用、繊維目付 175 g/m<sup>2</sup>、

CFRP2 の同上的見掛けの層間せん断強さは 98 MPa である。CFRP2 の同上の  
引張最大ひずみは 1.50% である。

CFRP3：東レ株式会社製炭素繊維 T700G を強化繊維に用いた一方向プリプレグ、  
135 硬化樹脂使用、繊維目付 150 g/m<sup>2</sup>、

CFRP3 の同上的見掛けの層間せん断強さは 90 MPa である。CFRP3 の同上の  
引張最大ひずみは 1.80% である。

CFRP4：東レ株式会社製 M60J を強化繊維に用いた一方向プリプレグ、180  
硬化樹脂使用、繊維目付 190 g/m<sup>2</sup>、

CFRP4 の同上的見掛けの層間せん断強さは 69 MPa である。CFRP4 の同上の  
引張最大ひずみは 0.50% である。

Ti(1.0)：神戸製鋼株式会社製チタン合金 KS15-3-3-3、厚み 1.0 mm

Ti(0.13)：神戸製鋼株式会社製チタン合金 KS15-3-3-3、厚み 0.13  
mm。

Ti(0.5)：神戸製鋼株式会社製チタン合金 KS15-3-3-3、厚み 0.5 mm。

#### [実施例 1]

以下に金属と繊維強化プラスチックからなる積層体 1 の成形方法を説明する。

積層構成 1：

Ti(1.0) / [ (60 / 0 / -60)<sub>2</sub> / Ti(0.13) ]<sub>s</sub>

硬化および接着条件 1：温度 180、圧力 6 kg/cm<sup>2</sup>、温度、圧力保持時間 2 時間。

#### 【0096】

ここで積層構成 1 の Ti(1.0) のうち (1.0) は、Ti の厚みが 1.0 mm であることを示している。また、[ ] 内の 60, 0, -60 は繊維強化プラスチックの積層角度である。( )<sub>2</sub> の 2 は 2 回の繰り返しの積層を意味し、[ ]<sub>s</sub> の s は鏡面对称の積層構成を意味する。Ti(0.13) の下線は対称面に 1 層のみ存在することを意味する。

#### 【0097】

まず、成形材料の準備として、Ti(1.0)、Ti(0.13) の接着面を粒度が #400 のサンドペーパーを用いて表面研磨した後、水洗して乾燥後、アセトンにより洗浄、脱脂を行った。

#### 【0098】

次に CFRP1、Ti(1.0)、Ti(0.13) を 300 × 300 mm の形状に切断して、積層体 1 の材料を準備した。300 × 300 mm に切断した CFRP1、Ti(1.0)、Ti(0.13) を積層構成 1 に基づいて積層した後、JIS K 7072「炭素繊維強化プラスチックの資料の作成方法」(2002)に記載の 5.2 オートクレーブ成形方法の (2) 非ブリード方法に基づいて成形を行った。また、CFRP1 の樹脂の硬化および Ti(1.0)、Ti(0.13) への接着条件は上記の硬化および接着条件 1 に従った。

#### 【0099】

このようにして得られた積層体 1 の厚みを JIS K 7072「炭素繊維強化プラスチックの試料の作成方法」(2002)に記載の 6. 検査 (2) 寸法に基づいて測定した測定結果の平均値を積層体 1 の総厚みとすると、積層体 1 の総厚みは 3.41 mm であった。一方、積層体 1 の中立面は四点曲げ試験法で測定すると、Ti(1.0) の外表面から 1.57 mm に位置しており、積層体 1 の総厚みは 3.41 mm であるから、中立面に最も近いチタン合金と CFRP1 の接着面位置は中立面から 0.57 mm に位置しており、中立面から総厚みの 16.7% 離れた位置となり、結局中立面から総厚みの ±5% の範

10

20

30

40

50



囲内に  $Ti(1.0)$  ,  $Ti(0.13)$  の接着面は存在していない。

#### 【0100】

静的試験として、積層体1から JIS K 7078 に基づいて試験片を切り出して、層間せん断試験を行った結果、見掛けの層間せん断強さは比較例1に記載のプランク対比12%の向上が確認できた。試験後の試験片の断面観察をした結果、破壊箇所はCFRP層間であった。

#### 【0101】

衝撃試験として、積層体1から  $100 \times 100$  mmの試験片を切り出し、ゴルフボールを用いたゴルフボールキャノン試験を行った。用いた試験器は BIRD MACHINE & FAB. CO. 社製の BMF GOLF BALL CANNON である。該試験器を用いて、試験片の中央にゴルフボールが衝突するように試験片を固定し、米国のタイトリスト社製ピナクルゴールド・ボール(ボール質量  $45.4 \text{ g} \pm 0.4 \text{ g}$ 、ボール温度  $23 \pm 1$ ) を  $48.768 \text{ m/sec}$  のスピードで試験片に衝突させた。10000回衝突させた後、試験片を衝突箇所を中心に切断し、断面観察した結果、クラックなどは確認されず、破壊が起きていないことが確認できた。

#### 【0102】

幅  $100 \text{ mm}$ 、長さ  $100 \text{ mm}$  の積層体1の重量は、厚み  $3.0 \text{ mm}$ 、幅  $100 \text{ mm}$ 、長さ  $100 \text{ mm}$  の  $Ti15-3-3-3$  (比重  $5.0 \text{ g/cm}^3$ ) 対比56%に軽量化されている。また積層体1は若干の反りが確認できた。

#### [実施例2]

積層構成を次に記載の積層構成2にする以外は、実施例1に記載と同様に成形して積層体2を得た。

積層構成2:

$$Ti(1.0) / [(45/0/-45/90)_2 / Ti(0.13)]_S$$

実施例1と同様に総厚みを測定した結果、 $4.17 \text{ mm}$ であった。積層体2の中立面は  $Ti(1.0)$  の外表面から  $1.95 \text{ mm}$  に位置しており、積層体2の総厚みは  $4.17 \text{ mm}$  であるから、中立面から総厚みの  $\pm 5\%$  の範囲内に  $Ti(1.2)$  ,  $Ti(0.13)$  の接着面は無い。実施例1と同様に静的試験を行った結果、見掛けの層間せん断強さは16%の向上が確認できた。試験後の試験片の断面観察をした結果、破壊箇所はCFRP層間であった。

#### 【0103】

また、実施例1と同様に衝撃試験を行った結果、10000回衝突させた後、試験片を衝突箇所を中心に切断し、断面観察した結果、クラックなどは確認されず、破壊が起きていないことが確認できた。

#### 【0104】

幅  $100 \text{ mm}$ 、長さ  $100 \text{ mm}$  の積層体2の重量は、厚み  $3.0 \text{ mm}$ 、幅  $100 \text{ mm}$ 、長さ  $100 \text{ mm}$  の  $Ti15-3-3-3$  (比重  $5.0 \text{ g/cm}^3$ ) 対比62%に軽量化されている。また積層体2は若干の反りが確認できた。

#### [実施例3]

積層構成を次に記載の積層構成3にする以外は、実施例1に記載と同様に成形して積層体3を得た。

#### 【0105】

積層構成3:

$$Ti(1.0) / [45/0/Ti(0.13)/-45/90/45/0/-45/90]_S$$

実施例1と同様に総厚みを測定した結果、 $4.30 \text{ mm}$ であった。積層体3の中立面は  $Ti(1.0)$  の外表面から  $2.15 \text{ mm}$  に位置しており、積層体3の総厚みは  $4.30 \text{ mm}$  であるから、中立面から総厚みの  $\pm 5\%$  の範囲内に  $Ti(1.0)$  ,  $Ti(0.13)$  の接着面は無い。

#### 【0106】

実施例 1 と同様に静的試験を行った結果、見掛けの層間せん断強さは 18 % の向上が確認できた。試験後の試験片の断面観察をした結果、破壊箇所は C F R P 層間であった。

【 0 1 0 7 】

実施例 1 と同様に衝撃試験を行った結果、10000 回衝突させた後、試験片を衝突箇所を中心に切断し、断面観察した結果、クラックなどは確認されず、破壊が起きていないことが確認できた。

【 0 1 0 8 】

幅 100 mm、長さ 100 mm の積層体 3 の重量は厚み 3.0 mm、幅 100 mm、長さ 100 mm の T i 15 - 3 - 3 - 3 ( 比重 5.0 g / c m <sup>3</sup> ) 対比 66 % に軽量化されている。また積層体 3 は若干の反りが確認できた。

10

[ 実施例 4 ]

積層構成を次に記載の積層構成 4 にする以外は、実施例 1 に記載と同様に成形して積層体 4 を得た。

【 0 1 0 9 】

積層構成 4 :

T i ( 0.5 ) / [ 60 / 0 / T i ( 0.13 ) / - 60 / 60 / T i ( 0.13 ) / 0 / - 60 / 60 / 0 / - 60 ]<sub>s</sub>

実施例 1 と同様に総厚みを測定した結果、4.44 mm であった。

【 0 1 1 0 】

積層体 4 の中立面は T i ( 0.5 ) の外表面から 2.09 mm に位置しており、積層体 4 の総厚みは 4.44 mm であるから、中立面から総厚みの ± 5 % の範囲内に T i ( 0.5 ) , T i ( 0.13 ) の接着面は無い。

20

【 0 1 1 1 】

実施例 1 と同様に静的試験を行った結果、見掛けの層間せん断強さは 21 % の向上が確認できた。試験後の試験片の断面観察をした結果、破壊箇所は C F R P 層間であった。

【 0 1 1 2 】

また、実施例 1 と同様に衝撃試験を行った結果、10000 回衝突させた後、試験片を衝突箇所を中心に切断し、断面観察した結果、クラックなどは確認されず、破壊が起きていないことが確認できた。

【 0 1 1 3 】

幅 100 mm、長さ 100 mm の積層体 4 の重量は、厚み 3.0 mm、幅 100 mm、長さ 100 mm の T i 15 - 3 - 3 - 3 ( 比重 5.0 g / c m <sup>3</sup> ) 対比 68 % に軽量化されている。

30

【 0 1 1 4 】

また積層体 4 は若干の反りが確認できた。

[ 実施例 5 ]

積層構成を次に記載の積層構成 5 にする以外は、実施例 1 に記載と同様に成形して積層体 5 を得た。

【 0 1 1 5 】

積層構成 5 :

T i ( 0.5 ) / [ 45 / 0 / T i ( 0.13 ) / - 45 / 90 / T i ( 0.13 ) / 45 / 0 / - 45 / 90 ]<sub>s</sub>

40

実施例 1 と同様に総厚みを測定した結果、4.06 mm であった。積層体 4 の中立面は T i ( 0.5 ) の外表面から 2.09 mm に位置しており、積層体 4 の総厚みは 4.06 mm であるから、中立面から総厚みの ± 5 % の範囲内に T i ( 0.5 ) , T i ( 0.13 ) の接着面は無い。

【 0 1 1 6 】

実施例 1 と同様に静的試験を行った結果、見掛けの層間せん断強さは 19 % の向上が確認できた。試験後の試験片の断面観察をした結果、破壊箇所は C F R P 層間であった。

【 0 1 1 7 】

50

また、実施例 1 と同様に衝撃試験を行った結果、10000 回衝突させた後、試験片を衝突箇所を中心に切断し、断面観察した結果、クラックなどは確認されず、破壊が起きていないことが確認できた。

【0118】

幅 100 mm、長さ 100 mm の積層体 5 の重量は厚み 3.0 mm、幅 100 mm、長さ 100 mm の Ti15-3-3-3 (比重 5.0 g/cm<sup>3</sup>) 対比 64% に軽量化されている。また積層体 5 は若干の反りが確認できた。

[実施例 6]

積層構成を積層構成 4 として、Ti(0.5)、Ti(0.13) の接着面に次に記載の非繊維強化樹脂 1 を配した他は実施例 1 に記載と同様に成形して積層体 6 を得た。

10

【0119】

非繊維強化樹脂 1：モード径 17 μm のナイロン製粒子をエポキシ樹脂重量対比 30 重量% 含む 180 硬化型で目付が 60 g/m<sup>2</sup> のエポキシ樹脂フィルム。

【0120】

実施例 1 と同様に総厚みを測定した結果、5.07 mm であった。

【0121】

積層体 6 の中立面は Ti(0.5) の外表面から 2.44 mm に位置しており、積層体 6 の総厚みは 5.07 mm であるから、中立面から総厚みの ±5% の範囲内に Ti(0.5)、Ti(0.13) の接着面は無い。

【0122】

20

実施例 1 と同様に静的試験を行った結果、見掛けの層間せん断強さは 24% の向上が確認できた。試験後の試験片の断面観察をした結果、破壊箇所は CFRP 層間であった。

【0123】

また、実施例 1 と同様に衝撃試験を行った結果、10000 回衝突させた後、試験片を衝突箇所を中心に切断し、断面観察した結果、クラックなどは確認されず、破壊が起きていないことが確認できた。

【0124】

幅 100 mm、長さ 100 mm の積層体 6 の重量は厚み 3.0 mm、幅 100 mm、長さ 100 mm の Ti15-3-3-3 (比重 5.0 g/cm<sup>3</sup>) 対比 73% に軽量化されている。また積層体 6 は若干の反りが確認できた。

30

[実施例 7]

積層構成を積層構成 5 として、Ti(0.5)、Ti(0.13) の接着面に実施例 6 に記載の非繊維強化樹脂 1 を配した他は実施例 1 に記載と同様に成形して積層体 7 を得た。

【0125】

実施例 1 と同様に総厚みを測定した結果、4.69 mm であった。

【0126】

積層体 7 の中立面は Ti(0.5) の外表面から 2.25 mm に位置しており、積層体 7 の総厚みは 4.69 mm であるから、中立面から総厚みの ±5% の範囲内に Ti(0.5)、Ti(0.13) の接着面は無い。

40

【0127】

実施例 1 と同様に静的試験を行った結果、見掛けの層間せん断強さは 26% の向上が確認できた。試験後の試験片の断面観察をした結果、破壊箇所は CFRP 層間であった。

【0128】

実施例 1 と同様に衝撃試験を行った結果、10000 回衝突させた後、試験片を衝突箇所を中心に切断し、断面観察した結果、クラックなどは確認されず、破壊が起きていないことが確認できた。

【0129】

幅 100 mm、長さ 100 mm の積層体 7 の重量は厚み 3.0 mm、幅 100 mm、長さ 100 mm の Ti15-3-3-3 (比重 5.0 g/cm<sup>3</sup>) 対比 69% に軽量化され

50

ている。また積層体 7 は若干の反りが確認できた。

#### [実施例 8]

積層構成を積層構成 5 として、繊維強化プラスチックに CFRP 2 を用い、Ti (0.5), Ti (0.13) の接着面に次に記載の非繊維強化樹脂 2 を配し、硬化および接着条件を硬化および成形条件 2 で成形した以外は実施例 1 に記載と同様に成形して積層体 8 を得た。

非繊維強化樹脂 2 : モード径 17  $\mu\text{m}$  のナイロン製粒子をエポキシ樹脂重量対比 30 重量% 含む 135 硬化型で目付が 60  $\text{g}/\text{m}^2$  のエポキシ樹脂フィルム。

硬化および接着条件 2 : 135、圧力 : 6  $\text{kg}/\text{cm}^2$ 、温度、圧力保持時間 : 2 時間。

10

#### 【0130】

実施例 1 と同様に総厚みを測定した結果、4.05 mm であった。

積層体 8 の中立面は Ti (0.5) の外表面から 2.01 mm に位置しており、積層体 8 の総厚みは 4.05 mm であるから、中立面から総厚みの  $\pm 5\%$  の範囲内に Ti (0.5), Ti (0.13) の接着面は無い。

#### 【0131】

実施例 1 と同様に静的試験を行った結果、見掛けの層間せん断強さは 24% の向上が確認できた。試験後の試験片の断面観察をした結果、破壊箇所は CFRP 層間であった。

#### 【0132】

実施例 1 と同様に衝撃試験を行った結果、10000 回衝突させた後、試験片を衝突箇所を中心に切断し、断面観察した結果、クラックなどは確認されず、破壊が起きていないことが確認できた。

20

#### 【0133】

幅 100 mm、長さ 100 mm の積層体 8 の重量は厚み 3.0 mm、幅 100 mm、長さ 100 mm の Ti 15 - 3 - 3 - 3 (比重 5.0  $\text{g}/\text{cm}^3$ ) 対比 63% に軽量化されている。また積層体 8 は若干の反りが確認できた。

#### [実施例 9]

積層構成を次に記載の積層構成 6 とした以外は、実施例 8 に記載と同様に成形して積層体 9 を得た。

#### 【0134】

積層構成 6 : Ti (0.13) / [60 / - 60 / Ti (0.13) / 0 / (60 / - 60 / 0) <sub>2</sub> ]<sub>s</sub>

実施例 1 と同様に総厚みを測定した結果、3.44 mm であった。

30

#### 【0135】

積層体 9 の中立面は Ti (0.13) の外表面から 1.82 mm に位置しており、積層体 9 の総厚みは 3.44 mm であるから、中立面から総厚みの  $\pm 5\%$  の範囲内に Ti (0.13) の接着面は無い。

#### 【0136】

実施例 1 と同様に静的試験を行った結果、見掛けの層間せん断強さは 28% の向上が確認できた。試験後の試験片の断面観察をした結果、破壊箇所は CFRP 層間であった。

40

#### 【0137】

実施例 1 と同様に衝撃試験を行った結果、10000 回衝突させた後、試験片を衝突箇所を中心に切断し、断面観察した結果、クラックなどは確認されず、破壊が起きていないことが確認できた。

#### 【0138】

幅 100 mm、長さ 100 mm の積層体 8 の重量は厚み 3.0 mm、幅 100 mm、長さ 100 mm の Ti 15 - 3 - 3 - 3 (比重 5.0  $\text{g}/\text{cm}^3$ ) 対比 43% に軽量化されている。また積層体 9 は若干の反りが確認できた。

#### [実施例 10]

積層構成を次に記載の積層構成 7 とした以外は、実施例 8 に記載と同様に成形して積層

50

体 10 を得た。

【0139】

積層構成 7 : [ 45 / 0 / Ti ( 0 . 13 ) / - 45 / 90 / ( 60 / - 60 / 0 )<sub>2</sub> ]

S

実施例 1 と同様に総厚みを測定した結果、3 . 54 mm であった。

【0140】

積層体 10 の中立面は表面から 1 . 77 mm に位置しており、積層体 10 の総厚みは 3 . 54 mm であるから、中立面から総厚みの ± 5 % の範囲内に Ti ( 0 . 13 ) の接着面は無い。

【0141】

実施例 1 と同様に静的試験を行った結果、見掛けの層間せん断強さは 28 % の向上が確認できた。試験後の試験片の断面観察をした結果、破壊箇所は CFRP 層間であった。

【0142】

実施例 1 と同様に衝撃試験を行った結果、10000 回衝突させた後、試験片を衝突箇所を中心に切断し、断面観察した結果、クラックなどは確認されず、破壊が起きていないことが確認できた。

【0143】

幅 100 mm、長さ 100 mm の積層体 8 の重量は厚み 3 . 0 mm、幅 100 mm、長さ 100 mm の Ti 15 - 3 - 3 - 3 ( 比重 5 . 0 g / cm<sup>3</sup> ) 対比 41 % に軽量化されている。また積層体 10 には反りが確認されなかった。

[ 実施例 11 ]

積層構成を次に記載の積層構成 8 とし、繊維強化プラスチックに CFRP 3 を用いた以外は、実施例 8 に記載と同様に成形して積層体 11 を得た。

【0144】

積層構成 8 :

Ti ( 0 . 5 ) / [ 45 / 0 / Ti ( 0 . 13 ) / - 45 / 90 / Ti ( 0 . 13 ) / ( 45 / 0 / - 45 / 90 )<sub>2</sub> ]<sub>S</sub>

実施例 1 と同様に総厚みを測定した結果、4 . 53 mm であった。

【0145】

積層体 11 の中立面は Ti ( 0 . 5 ) の外表面から 2 . 31 mm に位置しており、積層体 11 の総厚みは 4 . 53 mm であるから、中立面から総厚みの ± 5 % の範囲内に Ti ( 0 . 5 ) , Ti ( 0 . 13 ) の接着面は無い。

【0146】

実施例 1 と同様に静的試験を行った結果、見掛けの層間せん断強さは 28 % の向上が確認できた。試験後の試験片の断面観察をした結果、破壊箇所は CFRP 層間であった。

【0147】

実施例 1 と同様に衝撃試験を行った結果、10000 回衝突させた後、試験片を衝突箇所を中心に切断し、断面観察した結果、クラックなどは確認されず、破壊が起きていないことが確認できた。

【0148】

幅 100 mm、長さ 100 mm の積層体 7 の重量は厚み 3 . 0 mm、幅 100 mm、長さ 100 mm の Ti 15 - 3 - 3 - 3 ( 比重 5 . 0 g / cm<sup>3</sup> ) 対比 68 % に軽量化されている。

【0149】

また積層体 11 は若干の反りが確認できた。

[ 実施例 12 ]

積層構成を次に記載の積層構成 9 とした以外は、実施例 8 に記載と同様に成形して積層体 12 を得た。

【0150】

積層構成 9 :

10

20

30

40

50

[Ti(0.5)/45/0/Ti(0.13)/-45/90/45/0/-45/90]<sub>s</sub>

実施例 1 と同様に総厚みを測定した結果、4.08 mm であった。

【0151】

積層体 12 の中立面は Ti(0.5) の外表面から 2.04 mm に位置しており、積層体 12 の総厚みは 4.08 mm であるから、中立面から総厚みの ±5% の範囲内に Ti(0.5), Ti(0.13) の接着面は無い。

【0152】

実施例 1 と同様に静的試験を行った結果、見掛けの層間せん断強さは 25% の向上が確認できた。試験後の試験片の断面観察をした結果、破壊箇所は CFRP 層間であった。

10

【0153】

実施例 1 と同様に衝撃試験を行った結果、10000 回衝突させた後、試験片を衝突箇所を中心に切断し、断面観察した結果、クラックなどは確認されず、破壊が起きていないことが確認できた。

【0154】

幅 100 mm、長さ 100 mm の積層体 7 の重量は厚み 3.0 mm、幅 100 mm、長さ 100 mm の Ti15-3-3-3 (比重 5.0 g/cm<sup>3</sup>) 対比 69% に軽量化されている。

【0155】

また積層体 12 は反りのないことが確認できた。

20

[実施例 13]

CFRP 2 と以下に記載の SUS(0.7)、非繊維強化樹脂 3 からなる積層構成 10 を有する積層体 13 の成形方法を説明する。

SUS(0.7): 神戸製鋼株式会社製ステンレス合金 SUS631、厚み 0.7 mm。

非繊維強化樹脂 3: 東レファインケミカル社製 TE2220

積層構成 10: SUS(0.7)/[60/-60/0/60/-60/0/Ti(0.13)]<sub>s</sub>

まず CFRP 2 を用いて積層構成 [60/-60/0/60/-60/0/Ti(0.13)]<sub>s</sub>

30

の積層体 13-1 を実施例 8 に記載と同様に成形した。

【0156】

次に SUS(0.7) の接着面に非繊維強化樹脂 3 を 60 g/m<sup>2</sup> の目付となるように均一に塗布した後、積層体 13-1 の片面に積層した。

【0157】

次にプレス機を用いて SUS(0.7) を両面に配した積層体 13-1 の表面に 6 kg/cm<sup>2</sup> の圧力をかけた状態で、80 にて 2 時間保持することにより積層体 13 を得た。

【0158】

実施例 1 と同様に総厚みを測定した結果、2.84 mm であった。

40

【0159】

積層体 13 の中立面は SUS(0.7) の外表面から 1.07 mm に位置しており、積層体 13 の総厚みは 2.84 mm であるから、中立面から総厚みの ±5% の範囲内に SUS(0.7), Ti(0.13) の接着面は無い。

【0160】

実施例 1 と同様に静的試験を行った結果、見掛けの層間せん断強さは 23% の向上が確認できた。試験後の試験片の断面観察をした結果、破壊箇所は CFRP 層間であった。

【0161】

また、実施例 1 と同様に衝撃試験を行った結果、10000 回衝突させた後、試験片を衝突箇所を中心に切断し、断面観察した結果、クラックなどは確認されず、破壊が起きて

50

いないことが確認できた。

【0162】

幅100mm、長さ100mmの積層体11の重量は厚み3.0mm、幅100mm、長さ100mmのTi15-3-3-3(比重5.0g/cm<sup>3</sup>)対比62%に軽量化されている。また積層体13は若干の反りが確認できた。

[実施例14]

積層構成を積層構成4として、Ti(0.5)、Ti(0.13)の接着面に次に記載の非繊維強化樹脂4を配した他は実施例4に記載と同様に成形して積層体14を得た。

【0163】

非繊維強化樹脂4：モード径5μmのナイロン製粒子をエポキシ重量対比30重量%および日鉱マテリアル社製イミダゾールシラン化合物(IS1000)をエポキシ樹脂重量対比1重量%含む180 硬化型で目付が60g/m<sup>2</sup>のエポキシ樹脂フィルム。

【0164】

実施例1と同様に総厚みを測定した結果、5.07mmであった。

【0165】

積層体14の中立面はTi(0.5)の外表面から2.44mmに位置しており、積層体6の総厚みは5.07mmであるから、中立面から総厚みの±5%の範囲内にTi(0.5)、Ti(0.13)の接着面は無い。

【0166】

実施例1と同様に背的試験を行った結果、見掛けの層間せん断強さ26%の向上が確認できた。試験後の試験片の断面観察をした結果、破壊箇所はCFRP層間であった。

【0167】

また、実施例1と同様に衝撃試験を行った結果、10000回衝突させた後、試験片を衝突箇所を中心に切断し、断面観察した結果、クラックなどは確認されず、破壊が起きていないことが確認できた。

【0168】

幅100mm、長さ100mmの積層体6の重量は厚み3.0mm、幅100mm、長さ100mmのTi15-3-3-3(比重5.0g/cm<sup>3</sup>)対比73%に軽量化されている。また積層体14は若干の反りが確認できた。

【0169】

[比較例1]

積層構成を次に記載の積層構成11とした以外は、実施例1に記載と同様に成形して積層体13を得た。

【0170】

積層構成11：

Ti(1.2)/[45/0/-45/90/45/Ti(0.13)/0/-45/90]<sub>s</sub>

実施例1と同様に総厚みを測定した結果、4.50mmであった。

【0171】

積層体13の中立面はTi(1.2)の外表面から2.15mmに位置しており、積層体13の総厚みは4.50mmであるから、中立面に最も近いTi(0.13)とCFRP1との接着面は、中立面から総厚みの0および2.9%の位置に位置しており、結局総厚みの±5%の範囲内にTi(1.2)の接着面があることになる。

【0172】

実施例1と同様に静的試験を行った結果、中立面に近いTi(0.13)およびTi(1.2)とCFRPとの層間での破壊が確認された。また、実施例1と同様に衝撃試験を行った結果、100回衝突させた後、試験片を衝突箇所を中心に切断し、断面観察した結果、中立面に近いTi(0.13)およびTi(1.2)とCFRPとの層間での破壊が確認された。

[比較例2]

10

20

30

40

50

積層構成を積層構成 1 1 とし、繊維強化プラスチックに CFRP 4 を用いた以外は、実施例 1 に記載と同様に成形して積層体 1 4 を得た。

【 0 1 7 3 】

実施例 1 と同様に総厚みを測定した結果、4 . 5 0 mm であった。積層体 1 4 の中立面は金属 1 の外表面から 2 . 4 7 mm に位置しており、積層体 1 4 の総厚みは 4 . 5 0 mm であるから、中立面から総厚みの  $\pm 5 \%$  の範囲内に  $T_i (0 . 1 3)$  の接着面がある。

【 0 1 7 4 】

実施例 1 と同様に静的試験を行った結果、CFRP 層間および中立面に近い  $T_i (0 . 1 3)$  と CFRP との層間での破壊が確認され、見掛けの層間せん断強さは比較例 1 に記載のブランク対比 1 8 % の低下が確認できた。

【 0 1 7 5 】

実施例 1 と同様に衝撃試験を行った結果、1 0 0 回衝突させた後、試験片を衝突箇所を中心に切断し、断面観察した結果、CFRP 層間および中立面に近い  $T_i (0 . 1 3)$  と CFRP との層間での破壊が確認された。

【 0 1 7 6 】

用いた炭素繊維強化プラスチックの物性と以上の結果をそれぞれ次の表 2 , 3 に纏めて記載した。

【 0 1 7 7 】

【 表 2 】

	見掛けの層間せん断強さ(MPa)	引張最大ひずみ(%)
CFRP1	108	1. 55
CFRP2	98	1. 50
CFRP3	90	1. 80
CFRP4	69	0. 50

【 0 1 7 8 】

10

20

30



【表 3】

	見掛けの層間 せん断強さの 向上率(%)	耐衝撃回数	破壊箇所
実施例1	12	10000以上	CFRP層間
実施例2	16	10000以上	CFRP層間
実施例3	18	10000以上	CFRP層間
実施例4	21	10000以上	CFRP層間
実施例5	19	10000以上	CFRP層間
実施例6	24	10000以上	CFRP層間
実施例7	26	10000以上	CFRP層間
実施例8	24	10000以上	CFRP層間
実施例9	28	10000以上	CFRP層間
実施例10	28	10000以上	CFRP層間
実施例11	28	10000以上	CFRP層間
実施例12	25	10000以上	CFRP層間
実施例13	23	10000以上	CFRP層間
実施例14	26	10000以上	CFRP層間
比較例1	—	100以下	金属2とCFRPの層間
比較例2	－18	100以下	CFRP層間および 金属2とCFRPの層間

10

20

30

## 【0179】

表2, 3から分かるように、特に静的、もしくは繰り返しの曲げ荷重または曲げ変形を伴う衝撃荷重を負担する部材に用いる金属/繊維強化プラスチック複合材料において、曲げ変形により最大せん断応力が生じる中立面から、総厚みの $\pm 5\%$ の厚みの範囲内に金属と繊維強化プラスチックとの接着面が存在しないように積層構成を最適化することにより、金属単体に比べ軽量化を満足しつつ、見掛けの層間せん断強さおよび耐衝撃特性を向上できることが分かった。

## 【0180】

また特に本発明に用いる炭素繊維強化プラスチックは、繊維配列方向が一方向である一方向材の見掛けの層間せん断強さ、引張最大ひずみが大いほど、金属/繊維強化プラスチック複合材料の見掛けの層間せん断強さおよび耐衝撃特性が向上することが分かった。

40

## 【産業上の利用可能性】

## 【0181】

本発明は、たとえば航空機、自動車、スポーツ、土木、建築などの分野に置いて、軽量で高強度、耐久性が求められ、特に静的もしくは繰り返しの曲げ荷重または曲げ変形を伴う衝撃荷重を負担する部材に利用することができる。

## 【図面の簡単な説明】

## 【0182】

【図1】曲げ荷重を受けて曲げられたはりの横断面の断面図である。

50

【図 2】中立面を求めるために用いるひずみゲージを貼り付けた 4 点曲げ試験片の一例を示す断面図である。

【図 3】4 点曲げ試験を行ったときの試験片の圧縮側および引張側のひずみを縦軸に、クロスヘッド移動量を横軸にプロットしたひずみ - クロスヘッド移動量図の一例を示すグラフである。

【図 4】図 3 に示す圧縮ひずみ値  $a$ 、引張ひずみ値  $b$  から求められた試験片の中立面の位置を求める方法の一例を示す断面図である。

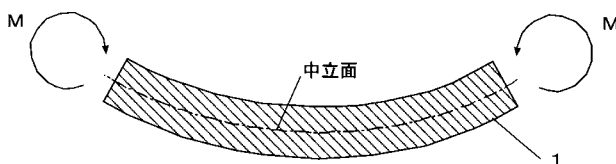
【符号の説明】

【 0 1 8 3 】

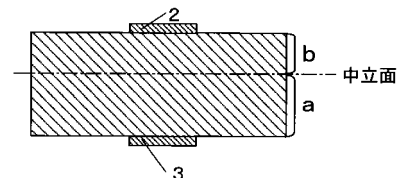
- 1 ..... はりの横断面
- 2 ..... 圧縮側のひずみゲージ
- 3 ..... 引張側のひずみゲージ
- 4 ..... 4 点曲げ試験に用いる圧子ジグ
- 5 ..... 4 点曲げ試験に用いる圧子
- 6 ..... 4 点曲げ試験に用いる支点

10

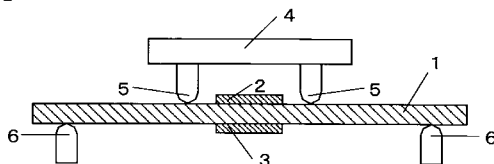
【図 1】



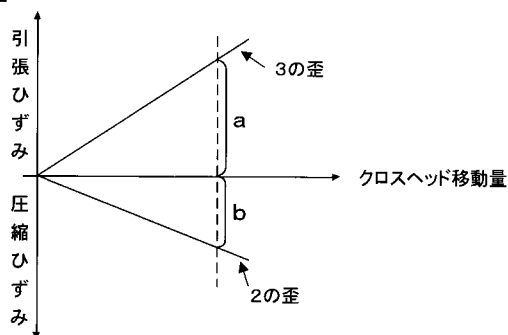
【図 4】



【図 2】



【図 3】



---

フロントページの続き

F ターム(参考) 4F100 AB01A AB12A AB31A AD11B AD11C AD11D AD11E AH03C AH03D AH03E  
AH06C AH06D AH06E AK01C AK01D AK01E AL05B AL05C AL05D AL05E  
BA02 BA03 BA04 BA05 BA06 BA07 BA08 BA10A BA10B BA10C  
BA10D BA10E BA13 BA21 DE01C DE01D DE01E DG04B DG04C DG04D  
DG04E DH02B DH02C DH02D DH02E EJ08 EJ082 EJ82 EJ822 GB07  
GB31 GB32 GB87 JA13B JA13C JA13D JA13E JA20B JA20C JA20D  
JA20E JB13C JB13D JB13E JB16C JB16D JB16E JK01 JK04 JK10  
JL03 JL11B JL11C JL11D JL11E YY00A YY00B YY00C YY00D YY00E