

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4746340号  
(P4746340)

(45) 発行日 平成23年8月10日(2011.8.10)

(24) 登録日 平成23年5月20日(2011.5.20)

(51) Int.Cl.		F I			
<b>B 3 2 B</b>	<b>5/28</b>	<b>(2006.01)</b>	B 3 2 B	5/28	1 0 1
<b>B 6 4 C</b>	<b>1/00</b>	<b>(2006.01)</b>	B 6 4 C	1/00	B

請求項の数 5 (全 20 頁)

(21) 出願番号	特願2005-106280 (P2005-106280)	(73) 特許権者	000000974
(22) 出願日	平成17年4月1日(2005.4.1)		川崎重工業株式会社
(65) 公開番号	特開2006-282046 (P2006-282046A)		兵庫県神戸市中央区東川崎町3丁目1番1号
(43) 公開日	平成18年10月19日(2006.10.19)	(73) 特許権者	504132272
審査請求日	平成19年9月14日(2007.9.14)		国立大学法人京都大学
			京都府京都市左京区吉田本町36番地1
		(74) 代理人	100075557
			弁理士 西教 圭一郎
		(74) 代理人	100072235
			弁理士 杉山 毅至
		(74) 代理人	100101638
			弁理士 廣瀬 峰太郎

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 サンドイッチパネルの剥離進展防止構造

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

発泡合成樹脂材料から成る心材の厚み方向両側に複合材料から成る面板が積層されるサンドイッチパネルにおける剥離進展防止構造であって、

面板から厚み方向内方へ突出し、面板に沿って延びる長尺形状を有する剥離進展防止片であって、面板に臨む表面部に凹溝が形成された心材の該凹溝に、剥離進展防止片を形成する材料として未硬化の繊維強化複合材料または合成樹脂を充填し、さらに面板を形成する未硬化の複合材料を積層して、パネル全体を加熱および加圧することによって一体化された剥離進展防止片が設けられることを特徴とするサンドイッチパネルの剥離進展防止構造。

【請求項2】

剥離進展防止片は、断面が略半円形状であって、断面における半円弧に相当する面が心材に臨んでいることを特徴とする請求項1記載のサンドイッチパネルの剥離進展防止構造。

【請求項3】

剥離進展防止片は、心材に臨む側の表面が全領域にわたって滑らかに連なる無屈曲面に形成されることを特徴とする請求項1または2に記載のサンドイッチパネルの剥離進展防止構造。

【請求項4】

心材の厚み方向中間位置に、各面板から間隔をあけて、各面板に沿う方向へ延びる面状

の補助剥離進展防止片が設けられることを特徴とする請求項 1 または 2 に記載のサンドイッチパネルの剥離進展防止構造。

【請求項 5】

発泡合成樹脂材料から成る心材の厚み方向両側に複合材料から成る面板が積層されるサンドイッチパネルにおける剥離進展防止構造であって、

各面板間にわたって設けられ、面板に沿って延びる長尺形状を有する剥離進展防止片であって、心材を厚み方向に対して傾斜する切断面で分断した各心材部分間に、剥離進展防止片を形成する未硬化の繊維強化複合材料を挟み込み、さらに面板を形成する未硬化の複合材料を各心材部分に積層して、パネル全体を加熱および加圧することによって一体化された剥離進展防止片が設けられることを特徴とするサンドイッチパネルの剥離進展防止構造。

10

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、心材の両側に面板を積層して構成されるサンドイッチパネルに生じる剥離が、進展して拡大することを防止する構造に関する。

【背景技術】

【0002】

たとえば航空機の機体を形成する構造材料として、フォームコアサンドイッチパネル (Foam Core sandwich Panel) が用いられている。このフォームコアサンドイッチパネルは、発泡合成樹脂から成る心材に、繊維強化複合材料から成る面板を積層し、一体成形されるパネルであり、重量軽減および部品点数低減が可能であるうえ、ハニカムコアサンドイッチパネルのような水浸入の欠点もない優れた構造材料である。

20

【0003】

このフォームコアサンドイッチパネルは、前述のように優れた構造材料ではあるが、均材と面板とを積層して一体成形する構成であるので、面板と心材との間の剥離が生じた場合、その剥離が全体に進展してしまうおそれがある。このようなフォームコアサンドイッチパネルにおける剥離の進展を防止する構造は、存在していない。

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

30

【0004】

本発明の目的は、発泡合成樹脂から成る心材の厚み方向両側に複合材料から成る面板が積層されるサンドイッチパネルの剥離の進展を防止する剥離進展防止構造を提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0005】

本発明は、発泡合成樹脂材料から成る心材の厚み方向両側に複合材料から成る面板が積層されるサンドイッチパネルにおける剥離進展防止構造であって、

面板から厚み方向内方へ突出し、面板に沿って延びる長尺形状を有する剥離進展防止片であって、面板に臨む表面部に凹溝が形成された心材の該凹溝に、剥離進展防止片を形成する材料として未硬化の繊維強化複合材料または合成樹脂を充填し、さらに面板を形成する未硬化の複合材料を積層して、パネル全体を加熱および加圧することによって一体化された剥離進展防止片が設けられることを特徴とするサンドイッチパネルの剥離進展防止構造である。

40

【0006】

本発明に従えば、面板から厚み方向内方へ突出し、面板に沿って延びる長尺形状を有する剥離進展防止片であって、面板に臨む表面部に凹溝が形成された心材の該凹溝に、剥離進展防止片を形成する材料として未硬化の繊維強化複合材料または合成樹脂を充填し、さらに面板を形成する未硬化の複合材料を積層して、パネル全体を加熱および加圧することによって一体化された剥離進展防止片が設けられる。これによって面板と心材との間に剥

50

離が生じ、その剥離が進展したとしても、剥離が剥離進展防止片が設けられる位置まで到達すると、その先への剥離の進展を防止することができる。したがって剥離が生じても、進展する領域を小さく抑え、剥離がサンドイッチパネル全体にわたって進展してしまうことを防ぐことができる。このようにサンドイッチパネルにおける剥離の進展を防止し、耐久性を高くすることができる。

【0007】

また本発明は、剥離進展防止片は、断面が略半円形状であって、断面における半円弧に相当する面が心材に臨んでいることを特徴とする。

【0008】

本発明に従えば、心材の厚み方向の中途部まで突出する剥離進展防止片は、心材と面板とを積層するとき、心材と面板との間に挟み込むことによって、面板から厚み方向内方へ突出するように設けることができる。したがって複雑な作業を必要とすることなく、剥離進展防止片を容易に設けることができ、剥離進展防止構造を容易に実現することができる。

10

【0010】

また本発明は、剥離進展防止片は、心材に臨む側の表面が全領域にわたって滑らかに連なる無屈曲面に形成されることを特徴とする。

【0011】

本発明に従えば、剥離進展防止片の表面が屈曲部の存在しない面に形成されるので、心材に応力が集中する屈曲部が形成されてしまうことがない。これによって剥離進展防止片を設けることによる心材への悪影響を防止することができる。

20

【0012】

また本発明は、心材の厚み方向中間位置に、各面板から間隔をあけて、各面板に沿う方向へ延びる面状の補助剥離進展防止片が設けられることを特徴とする。

【0013】

本発明に従えば、心材の厚み方向中間位置に、補助剥離進展防止片が設けられる。これによって心材と各面板との間の剥離が、心材中に厚み方向へ亀裂として進展したとしても、その亀裂が補助剥離進展防止片が設けられる位置まで到達すると、その先への亀裂の進展を防止することができる。したがって芯材を厚み方向へ挿通して各面板間わたって延びる亀裂が生じることを防ぐことができる。このように3次元的な剥離進展防止効果を達成することができる。

30

また本発明は、発泡合成樹脂材料から成る心材の厚み方向両側に複合材料から成る面板が積層されるサンドイッチパネルにおける剥離進展防止構造であって、

各面板間にわたって設けられ、面板に沿って延びる長尺形状を有する剥離進展防止片であって、心材を厚み方向に対して傾斜する切断面で分断した各心材部分間に、剥離進展防止片を形成する未硬化の繊維強化複合材料を挟み込み、さらに面板を形成する未硬化の複合材料を各心材部分に積層して、パネル全体を加熱および加圧することによって一体化された剥離進展防止片が設けられることを特徴とするサンドイッチパネルの剥離進展防止構造である。

本発明に従えば、各面板間にわたって設けられ、面板に沿って延びる長尺形状を有する剥離進展防止片であって、心材を厚み方向に対して傾斜する切断面で分断した各心材部分間に、剥離進展防止片を形成する未硬化の繊維強化複合材料を挟み込み、さらに面板を形成する未硬化の複合材料を各心材部分に積層して、パネル全体を加熱および加圧することによって一体化された剥離進展防止片が設けられ、剥離進展防止片によって、心材を厚み方向へ挿通して各面板を連結することができる。これによって剥離進展防止片によって、剥離の進展を防止するとともに、サンドイッチパネルを補強することができる。したがって剥離の進展防止以外の点でも、サンドイッチパネルの耐久性を高くすることができる。

40

【発明の効果】

【0014】

本発明によれば、剥離進展防止片によって、その先への剥離の進展を防止することがで

50

き、剥離がサンドイッチパネル全体にわたって進展してしまうことを防ぐことができる。したがって耐久性の高いサンドイッチパネルを実現することができる。

【0015】

また本発明によれば、心材と面板との間に挟み込むことによって、剥離進展防止片を設けることができる。したがって複雑な作業を必要とすることなく、剥離進展防止構造を容易に実現することができる。

【0016】

また本発明によれば、剥離進展防止片によって、剥離の進展を防止するとともに、サンドイッチパネルを補強することができる。したがって耐久性の極めて高いサンドイッチパネルを実現することができる。

【0017】

また本発明によれば、心材に応力が集中する屈曲部が形成されてしまうことがない。したがって剥離進展防止片を設けることによる心材への悪影響を防止し、好適なサンドイッチパネルを実現することができる。

【0018】

また本発明によれば、補助剥離進展防止片によって、剥離が亀裂として心材中に厚み方向へ進展することを防止することができる。したがって3次元的な剥離進展防止効果を達成することができる。

また本発明によれば、剥離進展防止片によって、剥離の進展を防止するとともに、サンドイッチパネルを補強することができる。したがって耐久性の極めて高いサンドイッチパネルを実現することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0019】

図1は、本発明の実施の一形態の剥離進展防止構造1を示す断面図である。図2は、剥離進展防止構造1を有するサンドイッチパネル2の一部を分解して示す斜視図である。サンドイッチパネル(以下、単に「パネル」という場合がある)2は、構造物を形成するために用いられる構造材料である。特に、軽量かつ高剛性の構造物を形成するのに適した材料である。パネル2は、心材3の厚み方向両側に面板4a, 4bが積層されて構成される。以下、各面板4a, 4bに沿う予め定める方向を第1方向Xとし、第1方向Xに対して略垂直であり、各面板4a, 4bに沿う方向を第2方向Zとし、第1および第2方向X, Zに対して略垂直な方向を第3方向Yとする。第3方向Yは、パネル2の厚み方向であり、厚み方向Yという場合がある。第1および第2方向X, Zに略平行な仮想面、したがって各面板4a, 4bに沿う仮想面を基準面とする。

【0020】

心材3は、フォームコアなどと呼ばれる、発泡合成樹脂材料から成る心材である。特に限定されるものではないが、発泡合成樹脂材料は、たとえばポリエーテルイミド(PEI)またはポリビニールクロライド(PVC)の発泡材料であってもよく、独立気泡および連続気泡のいずれであってもよい。各面板4a, 4bは、複合材料、具体的には繊維強化複合料から成り、繊維強化複合材料は、強化繊維から成る基材にマトリクス樹脂を含浸させた材料である。特に限定されるものではないが、強化繊維は、たとえば炭素繊維またはガラス繊維であってもよく、基材は、このような強化繊維が、一方向にだけ延びる一方向材であってもよいし、複数の方向に延びていてもよく、したがって2次元または3次元の織物または編物であってもよい。マトリクス樹脂は、たとえばエポキシ樹脂であってもよい。

【0021】

剥離進展防止構造1は、パネル2における剥離の進展を防止するための構造である。具体的には、パネル2に、外力が働くと、各面板4a, 4bと心材3との間の剥離が生じてしまう場合があり、このような剥離が、さらに外力が働いたとしても、進展して広範囲に広がってしまうことを防止するために、剥離進展防止構造1が設けられる。剥離進展防止構造1は、剥離進展防止片であるアレスタ5を有している。アレスタ5は、各面板4a,

10

20

30

40

50

4 b から厚み方向 Y 内方へ突出するように、したがって各面板 4 a , 4 b から反対側の面板に向けて突出するように、設けられる。

【 0 0 2 2 】

本実施の形態では、アレスタ 5 は、各面板 4 a , 4 b から、心材 3 の厚み方向 Y 中途部まで突出し、各面板 4 a , 4 b の心材 3 に対向する側の表面部に沿って延びる突条によって実現される。したがってアレスタ 5 は長尺のフィラー（詰め物）から成る。さらに具体的には、アレスタ 5 は、各面板 4 a , 4 b に関連してそれぞれ設けられ、各面板 4 a , 4 b に沿って格子状にそれぞれ形成される。パネル 2 が、平板状に形成される場合、アレスタ 5 は直線状の突条となり、パネル 2 が曲面状に形成される場合、その曲面に倣う直線または曲線状の突条となる。

10

【 0 0 2 3 】

一方の面板 4 a から突出するように設けられるアレスタ 5 は、一方の面板 4 a に沿って第 1 方向 X へ延びる互いに平行な複数の第 1 方向アレスタ部分 6 と、一方の面板 4 a に沿って第 2 方向 Z へ延びる互いに平行な複数の第 2 方向アレスタ部分 7 とを有する。第 1 および第 2 方向 X , Z は、互いに交差し、具体的には略垂直であり、各アレスタ部分 6 , 7 は、互いに交差し、その交差部で一体に連なっている。他方の面板 4 b から突出するように設けられるアレスタ 5 は、一方の面板 4 a から突出するアレスタ 5 と同様の構成であり、他方の面板 4 b に沿って第 1 方向 X へ延びる互いに略平行な複数の第 1 方向アレスタ部分 6 と、他方の面板 4 b に沿って第 2 方向 Z へ延びる互いに略平行な複数の第 2 方向アレスタ部分 7 とを有する。

20

【 0 0 2 4 】

一方の面板 4 a から突出する第 1 方向アレスタ部分 6 と、他方の面板 4 b から突出する第 1 方向アレスタ部分 6 とは、第 2 方向 Z へ互いにずれて、具体的には、互いに第 2 方向 Z の略中央位置に配置される。また一方の面板 4 a から突出する第 2 方向アレスタ部分 7 と、他方の面板 4 b から突出する第 2 方向アレスタ部分 7 とは、第 1 方向 X へ互いにずれて、具体的には、互いに第 1 方向 X の略中央位置に配置される。

【 0 0 2 5 】

アレスタ 5 の各アレスタ部分 6 , 7 は、その形状について、特に限定されるものではないが、本実施の形態では、断面形状が略半円形状であり、その断面における直線状の弦に相当する略平面となる部分が各面板 4 a , 4 b に対向するように設けられている。これら各アレスタ部分 6 , 7 の心材 3 に臨む側の表面 1 0 は、前記断面における半円弧に相当する面であり、略円筒面である。また各アレスタ部分 6 , 7 の交差部は、滑らかに連なるように形成されている。このようにアレスタ 5 の心材 3 に臨む側の表面 1 0 は、少なくとも外方に凸に屈曲する屈曲部、本実施の形態では全く屈曲部を有していない、全領域にわたって滑らかに連なる無屈曲面に形成される。

30

【 0 0 2 6 】

アレスタ 5 の材料は、特に限定されるものではなく、たとえば面板 4 a , 4 b と同様、したがって強化繊維とマトリクス樹脂の組合わせが同一の繊維強化複合材料であってもよいし、合成樹脂から成ってもよい。繊維強化複合材料から成る場合、強化繊維は、一方向へ、具体的には各アレスタ部分 6 , 7 の延在方向へ延びる一方向材が用いられる。また合成樹脂から成る場合、各面板 4 a , 4 b のマトリクス樹脂と同一の樹脂であってもよく、たとえばエポキシ樹脂が用いられる。アレスタ 5 を、各面板 4 a , 4 b と同様の繊維強化複合材料または各面板 4 a , 4 b のマトリクス樹脂と同一の樹脂を用いて形成することによって、アレスタ 5 と各面板 4 a , 4 b とを一体に形成することが可能であり、アレスタ 5 を各面板 4 a , 4 b に強固に設けることができる。

40

【 0 0 2 7 】

図 3 は、サンドイッチパネル 2 の詳細な積層構成を示す断面図である。心材 3 は、厚み方向 Y 両側の表面部に格子状に延びる凹溝 1 2 が形成されている。この凹溝 1 2 を覆うように格子状に配置されて、各面板 4 a , 4 b と同様の繊維強化複合材料から成る補強材 1 3 が設けられ、補強材の凹溝 1 2 を覆う部分にアレスタ 5 が設けられる。この状態で全体

50

が各面板 4 a , 4 b によって覆われ、各面板 4 a , 4 b が接着剤層 1 4 を介して心材 3 に接着されるとともに、アレスタ 5 および補強材 1 3 と一体化されている。接着剤層 1 4 は、別途にシート状の接着剤を積層して形成されてもよいが、本実施の形態では、各面板 4 a , 4 b および補強材 1 3 から染出した樹脂によって構成されている。

#### 【 0 0 2 8 】

各面板 4 a , 4 b は、たとえば心材 3 寄りの第 1 層 1 8 と、その外側の第 2 層 1 9 とを有する 2 層構造に形成される。各層 1 8 , 1 9 は、強化繊維が互いに直交する方向に延びる 2 次元織物を基材する層である。第 1 層 1 8 の強化繊維には、各第 1 方向アレスタ部分 6 に対して略平行に延びる繊維と、各第 2 方向アレスタ部分 7 に対して略平行に延びる繊維とが含まれている。第 2 層 1 9 の強化繊維には、厚み方向 Y 一方、たとえば一方の面板 4 a から他方の面板 4 b に向かう方向に見て、各第 1 方向アレスタ部分 6 に対して時計まわり方向へ約 4 5 度角変位した方向に延びる繊維と、各第 2 方向アレスタ部分 7 に対して時計まわり方向へ約 4 5 度角変位した方向に延びる繊維とを有する。

#### 【 0 0 2 9 】

このようなパネル 2 を製造するにあたっては、まず心材 3 の厚み方向 Y 両側の表面部に、切込みを入れて、格子状に延びる凹溝 1 2 を形成する。次に凹溝 1 2 を覆うように、凹溝 1 2 が形成される部分に、補強材 1 3 を形成する繊維強化複合材料の補強材用プリプレグ 1 5 を数プライ（複数枚）積層する。次に複数枚の補強材用プリプレグ 1 5 に覆われた凹溝 1 2 に、アレスタ 5 を形成する材料を充填する。次に各面板 4 a , 4 b を形成する繊維強化複合材料の面板用プリプレグ 1 6 を、心材 3 に数プライ（複数枚）積層する。そして全体を加熱しながら厚み方向 Y に加圧して、各プリプレグ 1 5 , 1 6 が固化されるとともに、心材 3 に接着され、心材 3、各面板 4 a , 4 b、アレスタ 5 および補強材 1 3 を一体化されて、パネル 2 が製造される。図 3 には、積層構成を理解し易くするために、各プリプレグ 1 5 , 1 6 などの厚みを省略し、接着剤層 1 4 の厚みを大きくして示している。

#### 【 0 0 3 0 】

ここでプリプレグ 1 5 は積層しないで 1 枚だけ設けられる場合もあり、またプリプレグ 1 5 を省略して設けな構成であってもよい。

#### 【 0 0 3 1 】

図 4 は、航空機 2 0 の一部を示す斜視図である。図 5 は、航空機 2 0 を構成する外板 2 1 の一部を示す斜視図である。本実施の形態のサンドイッチパネル 2 は、構造物を形成するために広く用いることが可能であり、構造物が限定されることはないが、一例として述べると、航空機 2 0 の外板 2 1 を形成するために用いることができる。サンドイッチパネル 2 は、3 次元曲面状に成形することが容易であり、空気抵抗を小さくするために 3 次元流線形状に形成する必要がある。かつ空気抵抗力などの大きな外力を受ける、航空機 2 0 の外板 2 1 を好適に形成することができる。

#### 【 0 0 3 2 】

図 6 は、アレスタ 5 の効果を確認するための解析モデル 3 0 を示す図である。図 7 は、解析モデル 3 0 へのモード I 負荷形態を示す図である。図 8 は、解析モデル 3 0 へのモード II 負荷形態を示す図である。図 6 ~ 図 8 は、図解を容易にするために、寸法的な比率を変更して示している。本件発明者らは、アレスタ 5 による剥離進展防止効果を確認するために、図 6 に示すようなパネル 2 を模擬する解析モデル 3 0 を想定し、有限要素法（FEM）解析によって、アレスタ 5 による剥離進展防止効果を評価した。解析モデル 3 0 におけるパネル 2 の構成部分と対応する部分には、同一の符号を付す。

#### 【 0 0 3 3 】

解析モデル 3 0 では、心材 3 の厚み方向 Y 両側に面板 4 a , 4 b が積層され、各面板 4 a , 4 b は、接着剤層 1 4 を介して心材 3 に接着され、一方の面板 4 a から厚み方向内方へ向けて突出するように、アレスタ 5 が設けられる。アレスタ 5 は、第 2 方向 Z（図 6 において紙面に垂直な方向）へ延びている。アレスタ 5 の断面形状は、半径 R の半円形状であり、弦に相当する部分で面板 4 a に連なっている。解析モデル 3 0 では、接着剤層 1 4 は、アレスタ 5 が設けられる部分において、心材 3 とアレスタ 5 との間に介在していない

10

20

30

40

50

。各面板 4 a , 4 b は、心材 3 寄りの厚み方向内方側の第 1 層 1 8 と、その外側の第 2 層 1 9 とを有する。第 1 層 1 8 は、基準面に沿って延び、第 1 方向 X に対して成す角度が 0 度および 90 度の繊維から成る 2 次元織物を基材として有している。第 2 層 1 9 は、基準面に沿って延び、第 1 方向 X に対して成す角度が  $\pm 45$  度の繊維から成る 2 次元織物を基材として有している。

#### 【 0 0 3 4 】

解析モデル 3 0 では、パネル 2 の第 1 方向 X の全長  $L_0$  が 3 0 0 mm であり、第 1 方向 X 一端面 3 1 から距離  $L_1$  の位置に、アレスタ 5 が設けられている。距離  $L_1$  は、アレスタ 5 と心材 3 との間に介在される接着剤層 1 4 の第 1 方向 X 一端面 3 1 寄りの端部までの距離である。解析モデル 3 0 では、このようなパネル 2 の第 1 方向 X 一端面 3 1 から第 1 方向 X 他端面 3 2 に向けて、心材 3 と一方の面板 4 a との間、具体的には心材 3 と一方の面板 4 a を接着する接着剤層 1 4 との間に、剥離長さ  $a$  の剥離 3 3 が生じていると仮定する。

#### 【 0 0 3 5 】

心材 3、各面板 4 a , 4 b、接着剤層の厚みは解析結果に大きな影響を与えない。心材 3、各面板 4 a , 4 b の厚みについては省略する。

#### 【 0 0 3 6 】

このような解析モデル 3 0 を用いて、図 7 に示すようなモード I 負荷形態で負荷、したがって外力を与えた場合の剥離の進展について評価するとともに、図 8 に示すようなモード II 負荷形態で負荷、したがって外力を与えた場合の剥離の進展について評価した。モード I 負荷形態は、第 1 方向 X 一端面 3 1 と他方の面板 4 b の心材 3 と反対側の表面とが交差する角の位置  $P_{s1}$  を、第 1 方向 X および厚み方向 Y の変位を阻止するように支持した状態で、第 1 方向 X 一端面 3 1 と一方の面板 4 a の心材 3 と反対側の表面とが交差する角の位置  $P_{f1}$  に、他方の面板 4 b から一方の面板 4 a に向かう厚み方向 Y の引剥力  $F_1$  を与える負荷形態である。モード II 負荷形態は、他方の面板 4 b の心材 3 と反対側の表面上の位置であって、第 1 方向 X 両端面 3 1 , 3 2 から、第 1 方向 X へそれぞれ  $L_2$  だけ近づいた位置  $P_{s21}$  ,  $P_{s22}$  を、第 1 方向 X および厚み方向 Y の変位を阻止するように支持した状態で、一方の面板 4 a の心材 3 と反対側の表面における第 1 方向 X の中央の位置  $P_{f2}$  に、一方の面板 4 a から他方の面板 4 b に向かう方向のせん断力  $F_2$  を与える負荷形態である。モード II 負荷形態において、パネル 2 を支持する各位置  $P_{s21}$  ,  $P_{s22}$  の第 1 方向 X の端面 3 1 , 3 2 からの距離  $L_2$  は、それぞれ 5 0 mm であり、せん断力  $F_2$  を与える位置  $P_{f2}$  の第 1 方向 X 両端面 3 1 , 3 2 からの距離  $L_3$  は、互いに等しく、1 5 0 mm である。

#### 【 0 0 3 7 】

剥離 3 3 の先端 3 3 a におけるエネルギー解放率  $G$  が、互いに剥離する層間の破壊じん性値  $G_c$  以上 ( $G \geq G_c$ ) になると、剥離 3 3 が進展する。したがって剥離 3 3 の先端 3 3 a のエネルギー解放率  $G$  を低減して、破壊じん性値  $G_c$  未満 ( $G < G_c$ ) とすれば、剥離 3 3 の進展を防止することができる。ここで進展の防止は、進展の抑制を含む。そこで、前記モード I およびモード II 負荷形態で負荷を与えた場合のエネルギー解放率  $G$  を求め、アレスタ 5 による剥離進展防止効果を評価した。

#### 【 0 0 3 8 】

図 9 は、モード I 負荷形態での負荷に対する剥離長さ  $a$  と  $G$  値比との関係を示すグラフである。図 9 には、炭素繊維を強化繊維とする一方向材を基材として有する複合材料から成るアレスタ 5 が設けられる場合の  $G$  値比を示す。横軸は、剥離長さ  $a$  を示し、縦軸は  $G$  値比を示す。付きの線 4 0 は、半径  $R$  が 1 0 mm のアレスタ 5 を設けた場合の  $G$  値比を示し、付きの線 4 1 は、半径  $R$  が 5 mm のアレスタ 5 を設けた場合の  $G$  値比を示し、付きの線 4 2 は、半径  $R$  が 2 . 5 mm のアレスタ 5 を設けた場合の  $G$  値比を示す。 $G$  値比とは、アレスタ 5 を有する場合の剥離 3 3 の先端 3 3 a のエネルギー解放率  $G$  を、同じ剥離長さでアレスタが無い場合の剥離 3 3 の先端 3 3 a のエネルギー解放率  $G$  で除した値である。

#### 【 0 0 3 9 】

10

20

30

40

50

図10は、モードII負荷形態での負荷に対する剥離長さ $a$  ( $= b + 50$ )とG値比との関係を示すグラフである。図10には、炭素繊維を強化繊維とする一方向材を基材して有する複合材料から成るアレスタ5が設けられる場合のG値比を示す。横軸は、剥離長さ $a$ を示し、縦軸はG値比を示す。付きの線43は、半径 $R$ が10mmのアレスタ5を設けた場合のG値比を示し、付きの線44は、半径 $R$ が5mmのアレスタ5を設けた場合のG値比を示し、×付きの線45は、半径 $R$ が2.5mmのアレスタ5を設けた場合のG値比を示す。ここで、 $b$ は、第1方向X一端面31寄りの支持位置 $P_s 21$ から剥離33の先端33aまでの距離である。

#### 【0040】

図9および図10に示すように、剥離長さ $a$ を変えて、剥離33の先端33aが、アレスタに遠い位置にある場合と、近い位置にある場合とにおいて、G値比をそれぞれ求めた結果、各負荷形態ともに、剥離33の先端33aがアレスタ5の位置に近づくにつれて、G値比が0に近くなることが判った。このことは、アレスタ5を設けると、剥離33の先端33aがアレスタ5に近づくにつれて、エネルギー解放率 $G$ が急激に低減することを示している。このようにアレスタ5を設けることによって、剥離33の先端33aがアレスタ5に近づくエネルギー解放率 $G$ が低下し、剥離33の進展を防止することができることを確認した。またこのような剥離33の進展の防止効果は、アレスタ5の半径 $R$ が、2.5mm、5mmおよび10mmのいずれの場合にも達成され、半径 $R$ 如何に拘わらず達成されることが確認された。

#### 【0041】

図11は、モードI負荷形態での負荷に対する剥離長さ $a$ とG値比との関係を示すグラフである。図11には、炭素繊維を強化繊維とする一方向材を基材して有する複合材料から成るアレスタ5が設けられる場合と、強化繊維を含まない合成樹脂材料から成るアレスタ5が設けられる場合とのG値比を示す。横軸は、剥離長さ $a$ を示し、縦軸はG値比を示す。付きの線50は、半径 $R$ が10mmの複合材料から成るアレスタ5を設けた場合のG値比を示し、付きの線51は、半径 $R$ が5mmの複合材料から成るアレスタ5を設けた場合のG値比を示し、付きの線52は、半径 $R$ が2.5mmの複合材料から成るアレスタ5を設けた場合のG値比を示す。また×付きの線53は、半径 $R$ が10mmの合成樹脂材料から成るアレスタ5を設けた場合のG値比を示し、\*付きの線54は、半径 $R$ が5mmの合成樹脂材料から成るアレスタ5を設けた場合のG値比を示し、付きの線55は、半径 $R$ が2.5mmの合成樹脂材料から成るアレスタ5を設けた場合のG値比を示す。

#### 【0042】

図12は、モードII負荷形態での負荷に対する剥離長さ $a$ とG値比との関係を示すグラフである。図12には、炭素繊維を強化繊維とする一方向材を基材して有する複合材料から成るアレスタ5が設けられる場合と、強化繊維を含まない合成樹脂材料から成るアレスタ5が設けられる場合とのG値比を示す。横軸は、剥離長さ $a$ を示し、縦軸はG値比を示す。付きの線60は、半径 $R$ が10mmの複合材料から成るアレスタ5を設けた場合のG値比を示し、付きの線61は、半径 $R$ が5mmの複合材料から成るアレスタ5を設けた場合のG値比を示し、付きの線62は、半径 $R$ が2.5mmの複合材料から成るアレスタ5を設けた場合のG値比を示す。また×付きの線63は、半径 $R$ が10mmの合成樹脂材料から成るアレスタ5を設けた場合のG値比を示し、\*付きの線64は、半径 $R$ が5mmの合成樹脂材料から成るアレスタ5を設けた場合のG値比を示し、付きの線65は、半径 $R$ が2.5mmの合成樹脂材料から成るアレスタ5を設けた場合のG値比を示す。

#### 【0043】

図11および図12に示すように、剥離長さ $a$ を変えて、剥離33の先端33aが、アレスタに遠い位置にある場合と、近い位置にある場合とにおいて、G値比をそれぞれ求めた結果、各負荷形態ともに、アレスタ5の材料の影響を大きく受けることなく、同程度の剥離33の先端33aのエネルギー解放率 $G$ の低減効果が得られることが確認された。したがって複合材料に比べて安価な合成樹脂材料から成るアレスタ5であっても、剥離33の

10

20

30

40

50



先端 3 3 a のエネルギー解放率  $G$  の低減効果を、十分に得られることが確認された。

【 0 0 4 4 】

図 1 3 は、モード I 負荷形態での負荷による応力分布を示すグラフである。図 1 3 には、図 1 3 ( 1 ) ~ 図 1 3 ( 6 ) に、剥離長さ  $a$  が、8 5 . 0 mm、8 9 . 8 mm、9 4 . 9 mm、9 7 . 6 mm、9 8 . 9 mm および 9 9 . 9 9 mm の場合の応力部分をそれぞれ示す。図 1 3 では、応力が大きいほど、高い明度 ( 白に近い色 ) で示され、応力の小さいほど、低い明度 ( 黒に近い色 ) で示す。

【 0 0 4 5 】

図 1 4 は、モード I I 負荷形態での負荷による応力分布を示すグラフである。図 1 4 には、図 1 4 ( 1 ) ~ 図 1 4 ( 6 ) に、支持位置  $P s 2 1$  から剥離 3 3 の先端 3 3 a までの距離  $b$  が、3 5 . 0 mm、3 9 . 8 mm、4 4 . 9 mm、4 7 . 6 mm、4 8 . 9 mm および 4 9 . 9 9 mm の場合の応力部分をそれぞれ示す。図 1 3 では、応力が大きいほど、高い明度 ( 白に近い色 ) で示され、応力の小さいほど、低い明度 ( 黒に近い色 ) で示す。

【 0 0 4 6 】

図 1 3 および図 1 4 において、半円弧と放射状の線分によって要素分割される部分がアレスタ 5 であり、アレスタ 5 の半円の弦に相当する線分を含む直線よりも上側の部分が面板 4 a であり、前記直線よりも下側が心材 3 である。図 1 3 および図 1 4 に示すように、剥離 3 3 の先端 3 3 a がアレスタ 5 から比較的遠い位置にある場合には、剥離 3 3 の先端部 3 3 a 近傍および心材 3 と面板 4 a との境界部近傍において応力が大きくなっているが、剥離 3 3 の先端 3 3 a がアレスタ 5 に近づくにつれて、剥離 3 3 の先端 3 3 a 近傍の応力が小さくなり、アレスタ 5 内の応力が大きくなっていることが判る。これは、剥離 3 3 の先端 3 3 a がアレスタ 5 に近づくと、アレスタ 5 によって外力に抗していることを示している。このような応力部分から、剥離 3 3 の先端 3 3 a がアレスタ 5 に近づくにつれて、エネルギー解放率  $G$  が低下するのは、外力をアレスタ 5 で分担して支えるようになるからであることが明らかである。

【 0 0 4 7 】

図 1 5 は、アレスタ 5 による剥離進展防止効果の確認試験に用いられる供試体 6 0 を示す断面図である。本件発明者らは、アレスタ 5 による剥離進展防止効果を確認するために、図 6 ~ 図 1 4 に示すような解析モデル 3 0 を用いた評価とは別に、図 1 5 に示すようなパネル 2 を模擬する供試体 6 0 を用いて試験を行い、アレスタ 5 による剥離進展防止効果を評価した。供試体 6 0 におけるパネル 2 の構成部分と対応する部分には、同一の符号を付す。

【 0 0 4 8 】

供試体 6 0 は、心材 3 の厚み方向両側に面板 4 a , 4 b がそれぞれ積層されている。一方の面板 4 a から厚み方向内方へ向けて突出するように、紙面に垂直方向に延びる 2 つのアレスタ 5 が紙面の左右方向に間隔をあけて平行に設けられる。この供試体 6 0 では、各アレスタ 5 は、断面形状が正三角形状であり、一辺に相当する部分で一方の面板 4 a に連なるように設けられる。各アレスタ 5 は、間隔  $L 5 = 7 0$  をあけて設けられる。基本的にこのような構成を有する 3 つの供試体 6 0 を用い、各アレスタ 5 間の中央部に衝撃を与えて剥離を生じるように損傷させた後、紙面に垂直方向の圧縮荷重および引張荷重を繰返し与えて、剥離の進展を表面観察によって、目視確認し、剥離を伴う面板 4 a の変形により、剥離の幅  $W$  を求めた。

【 0 0 4 9 】

1 つ目の供試体 6 0 ( No . X - 1 ) は、炭素繊維を強化繊維とする一方向材を基材として有するアレスタ 5 を用い、圧縮の負荷荷重 ( 圧縮力 ) が 2 5 . 5 k N であり、引張の負荷荷重 ( 引張力 ) が 2 5 . 5 k N である負荷 ( 外力 ) を、繰返し与えた。2 つ目の供試体 6 0 ( No . X - 3 ) は、炭素繊維を強化繊維とする一方向材を基材として有するアレスタ 5 を用い、圧縮の負荷荷重 ( 圧縮力 ) が 1 8 . 6 k N であり、引張の負荷荷重 ( 引張力 ) が 1 8 . 6 k N である負荷 ( 外力 ) を、繰返し与えた。3 つ目の供試体 6 0 ( No . X - 4 ) は、ガラス繊維を強化繊維とする一方向材を基材として有するアレスタ 5 を用い

10

20

30

40

50

、圧縮の負荷荷重（圧縮力）が18.6 kNであり、引張の負荷荷重（引張力）が18.6 kNである負荷（外力）を、繰返し与えた。

表1は、各供試体60における剥離の進展状況を示す。

【0050】

【表1】

供試体No.	アレスター材料	負荷荷重 (kN)	R	負荷回数 (サイクル回数)	剥離進展状況
A-1	CFRP一方向材	25.5	-1.0	$3.0 \times 10^5$	40mmで停滞
A-3	同上	18.6	同上	$1.0 \times 10^6$	25mmで停滞
A-4	GFRP一方向材	18.6	同上	$1.0 \times 10^6$	45mmで停滞

10

【0051】

表1において、Rは、引張荷重を圧縮荷重で除した値である。

図16は、1つ目の供試体60（No. X-1）のサイクル数と剥離の幅Wとの関係を示すグラフである。図17は、2つ目の供試体60（No. X-3）のサイクル数と剥離の幅Wとの関係を示すグラフである。図18は、3つ目の供試体60（No. X-4）のサイクル数と剥離の幅Wとの関係を示すグラフである。図16～図18には、横軸にサイクル数を示し、縦軸に剥離の幅Wを示す。サイクル数は、圧縮荷重を与えた後引張荷重を  
与える荷重サイクルの数である。

20

【0052】

表1および図16～図18から判るように、圧縮荷重および引張荷重を繰返し与えても、アレスタ5を設けることによって、アレスタ5を越えて、剥離が進展することが防がれることが明らかである。このような繰返し荷重を与える試験によっても、アレスタ5によって剥離の進展を防止できることが確認された。

【0053】

本実施の形態の剥離進展防止構造1によれば、各面板4a, 4bから厚み方向内方へ突出して、アレスタ5が設けられる。これによって各面板4a, 4bと心材3との間に剥離が生じ、その剥離が進展したとしても、剥離がアレスタ5が設けられる位置まで到達すると、その先への剥離の進展を防止することができる。したがって剥離が生じても、進展する領域を小さく抑え、剥離がサンドイッチパネル2全体にわたって進展してしまうことを防ぐことができる。しかも本実施の形態では、アレスタ5は、格子状に設けられており、剥離の進展範囲を可及的に小さくすることができる。このようにサンドイッチパネル2における剥離の進展を防止し、耐久性を高くすることができる。

30

【0054】

またアレスタ5は、心材3の厚み方向の中途部まで突出する構成であり、心材3を厚み方向に横切る構成ではない。このようなアレスタ5は、心材3と各面板4a, 4bとを積層するときに、心材3と各面板4a, 4bとの間に挟み込むだけで、アレスタ5を設けていない従来の技術のパネルの製造時と同様の加熱加圧、したがって加熱しながら厚み方向Yへ圧縮することによって、心材3および各面板4a, 4bだけでなく、アレスタ5を一体化させて、各面板4a, 4bから厚み方向内方へ突出するように設けることができる。したがって複雑な作業を必要とすることなく、アレスタ5を容易に設けることができ、剥離進展防止構造1を容易に実現することができる。さらに心材3の表面部にアレスタ5を設けるための凹溝13を形成することによって、心材3が不必要に圧縮されてしまうことを防ぐことができるとともに、アレスタ5の近傍における心材3と各面板4a, 4bとの接合不良を防ぐことができる。

40

【0055】

またアレスタ5は、前述のように断面形状が半円形状であり、心材3に臨む側の表面が、曲面によって実現され、屈曲部の存在しない無屈曲面に形成されるので、心材3に応力

50

が集中する屈曲部が形成されてしまうことがない。これによってアレスタ5を設けることによる心材3への悪影響を防止することができる。

【0056】

また本実施の形態のアレスタ5を用いる場合、各面板4a, 4bから厚み方向内方へ超音波を入射させる超音波探傷検査をパネル全体にわたって1回実行するだけで、心材3と各面板4a, 4bとの間に剥離が生じているか否かを調べることが可能である。この超音波探傷検査は、X線を用いる方法などと比べて、設備的および環境的に容易な検査方法であり、検査を容易に実行することができる。たとえば断面がI形のアレスタなどの場合には、心材3の厚み方向中央部付近での検査が困難であり、この部分は、別途X線探傷などの別の検査が必要となる。したがって前述のようなフィラーであって、各面板4a, 4bに沿って延びる突条によって実現されるアレスタ5を用いることによって、実際に剥離を生じているか否かを容易に非破壊検査することができる。

10

【0057】

図19は、本発明の実施の他の形態の剥離進展防止構造1Aを示す断面図である。図19に示す剥離進展防止構造1Aは、図1～図18を用いて説明した実施の形態の剥離進展防止構造1と類似しており、対応する構成には、同一の符号を付し、同様の構成は、説明を省略する。図19に示す剥離進展防止構造1Aでは、各面板4a, 4b間にわたって延びるアレスタ5が設けられる。このアレスタ5は、たとえば各面板4a, 4bと同様の複合材料から成る。

【0058】

本実施の形態では、アレスタ5は、第2方向Z(図19において紙面に垂直な方向)へ延びる板状であり、パネル2の厚み方向および各面板4a, 4bに対して傾斜する基部70と、基部70の両端部から鈍角的に屈曲し、各面板4a, 4bに沿ってそれぞれ設けられる連結部71a, 71bとを有する。基部70は、厚み方向Y一方(たとえば図19の上方)へ向かうにつれて、第1方向X一方(たとえば図19の左方)へ向かうように傾斜しており、基部70の厚み方向Y一方の端部に連なる連結部71aは、基部70から第1方向X一方へ延び、基部70の厚み方向Y他方の端部に連なる連結部71aは、基部70から第1方向X他方へ延びている。基部70の各面板4a, 4bに対して成す小さいほうの角度は、たとえば30度以上45度以下程度である。このアレスタ5は、基部70で、心材3を厚み方向に傾斜して挿通し、各連結部71a, 71bで各面板4a, 4bに固着されて連結されている。

20

30

【0059】

図20は、図19に示す剥離進展防止構造1Aの詳細な積層構成を示すために分解して示す断面図である。心材3は、厚み方向Y一方に向かうにつれて第1方向X一方へ向かうように、厚み方向Yに対して傾斜する切断面で分断される心材部分72, 73を有している。アレスタ5は、基部70が各心材部分72, 73間に挟まれるように配置され、一方の連結部71aが一方の心材部分72の厚み方向一方側の表面部に沿うように設けられ、他方の連結部71bが、他方の心材部分73の厚み方向他方側の表面部に沿うように設けられる。このようにアレスタ5を挟んだ状態の各心材部分72, 73を有する心材3の両側に各面板4a, 4bが積層される。

40

【0060】

このようなパネル2を製造するにあたっては、まず心材3を分割し、各心材部分72, 73間に、アレスタ5を形成する繊維強化複合材料のアレスタ用プリプレグ77を数プライ(複数枚)積層して介在させ、各心材部分72, 73によって第1方向X両側から挟み込む。アレスタ用プリプレグ77の各心材部分72, 73間から延出した部分は、各心材部分72, 73の厚み方向の表面部に沿うように配置する。次に、各面板4a, 4bを形成する繊維強化複合材料の面板用プリプレグ16を、心材3の両側に数プライ(複数枚)積層する。そして全体を加熱しながら厚み方向Yに加圧して、各プリプレグ16, 77が固化されるとともに、心材3に接着され、心材3、各面板4a, 4b、アレスタ5が一体化されて、パネル2が製造される。図20には、積層構成を理解し易くするために、各ブ

50

リプレグ 16, 77 などの厚みを省略して示す。

【0061】

本実施の形態の剥離進展防止構造 1A によれば、アレスタ 5 が心材 3 の厚み方向中途部まで突出する構成であることによる効果を除いて、他の効果を、図 1 ~ 図 18 を用いて説明した剥離進展防止構造と同様の効果を実現することができる。さらに加えて、アレスタ 5 を、各面板 4a, 4b 間にわたって設けることによって、そのアレスタ 5 によって、心材 3 を厚み方向へ挿通して各面板 4a, 4b を連結することができる。これによってアレスタ 5 によって、剥離の進展を防止するとともに、サンドイッチパネル 2 を補強することができる。したがって剥離の進展防止以外の点でも、サンドイッチパネル 2 の耐久性を高くすることができる。またこのような各面板 4a, 4b 間にわたってアレスタ 5 を設けるにあたっては、心材 3 を横切る部分である基部 70 を、厚み方向 Y に対して傾斜させることによって、アレスタが設けられない従来の技術のパネルの製造時と同様の加熱加圧、したがって加熱しながら厚み方向 Y へ圧縮することによって、心材 3 および各面板 4a, 4b だけでなく、アレスタ 5 を一体化させて、アレスタ 5 を設けることができる。

10

【0062】

図 21 は、本発明の実施のさらに他の形態の剥離進展防止構造 1B を示す断面図である。図 21 に示す剥離進展防止構造 1B は、図 19 および図 20 を用いて説明した実施の形態の剥離進展防止構造 1A と類似しており、対応する構成には、同一の符号を付し、同様の構成は、説明を省略する。図 21 に示す剥離進展防止構造 1B では、各面板 4a, 4b 間にわたって延びるアレスタ 5 が設けられる。このアレスタ 5 は、たとえば各面板 4a, 4b と同様の複合材料から成る。

20

【0063】

本実施の形態では、アレスタ 5 は、第 2 方向 Z (図 21 において紙面に垂直な方向) へ延びる板状であり、パネル 2 の厚み方向および各面板 4a, 4b に対して傾斜する基部 70 と、基部 70 の両端部から第 1 方向 X 両側に屈曲し、各面板 4a, 4b に沿ってそれぞれ設けられる連結部 71a, 71b とを有する。基部 70 は、厚み方向 Y 一方 (たとえば図 21 の上方) へ向かうにつれて、第 1 方向 X 一方 (たとえば図 21 の左方) へ向かうように傾斜しており、基部 70 の厚み方向 Y 一方の端部に連なる連結部 71a は、基部 70 から第 1 方向 X 両方向へ延び、基部 70 の厚み方向 Y 他方の端部に連なる連結部 71a は、基部 70 から第 1 方向 X 両方向へ延びている。基部 70 の各面板 4a, 4b に対して成す小さいほうの角度  $\theta$  は、たとえば 30 度以上 45 度以下程度である。このアレスタ 5 は、基部 70 で、心材 3 を厚み方向に傾斜して挿通し、各連結部 71a, 71b で各面板 4a, 4b に固着されて連結されている。

30

【0064】

図 22 は、図 21 に示す剥離進展防止構造 1B の詳細な積層構成を示すために分解して示す断面図である。心材 3 は、厚み方向 Y 一方に向かうにつれて第 1 方向 X 一方へ向かうように、厚み方向 Y に対して傾斜する切断面で分断される心材部分 72, 73 を有している。アレスタ 5 は、基部 70 が各心材部分 72, 73 間に挟まれるように配置され、一方の連結部 71a が各心材部分 72, 73 の厚み方向一方側の表面部に沿うように設けられ、他方の連結部 71b が、各心材部分 72, 73 の厚み方向他方側の表面部に沿うように設けられる。このようにアレスタ 5 を挟んだ状態の各心材部分 72, 73 を有する心材 3 の両側に各面板 4a, 4b が積層される。

40

【0065】

このようなパネル 2 を製造するにあたっては、まず心材 3 を分割し、各心材部分 72, 73 間に、アレスタ 5 を形成する繊維強化複合材料のアレスタ用プリプレグ 77 を数プライ (複数枚) 積層して介在させ、各心材部分 72, 73 によって第 1 方向 X 両側から挟み込む。アレスタ用プリプレグ 77 の各心材部分 72, 73 間から延出した部分は、略均等な枚数に分けて、一方の心材部分 72 寄りのプリプレグ 77 は、一方の心材部分 72 の厚み方向の表面部に沿うように配置し、他方の心材部分 73 寄りのプリプレグ 77 は、他方の心材部分 73 の厚み方向の表面部に沿うように配置する。次に、各面板 4a, 4b を形

50

成する繊維強化複合材料の面板用プリプレグ16を、心材3の両側に数プライ(複数枚)積層する。そして全体を加熱しながら厚み方向Yに加圧して、各プリプレグ16,77が固化されるとともに、心材3に接着され、心材3、各面板4a,4b、アレスタ5が一体化されて、パネル2が製造される。図20には、積層構成を理解し易くするために、各プリプレグ16,77などの厚みを省略して示す。

【0066】

本実施の形態の剥離進展防止構造1Bによれば、図19および図20に示す剥離進展防止構造1Aと同様の効果を達成することができる。

【0067】

図23は、本発明の実施のさらに他の形態の剥離進展防止構造1Cを示す断面図である。図23に示す剥離進展防止構造1Cは、図1~図18を用いて説明した実施の形態の剥離進展防止構造1と類似しており、対応する構成には、同一の符号を付し、同様の構成は、説明を省略する。図23に示す剥離進展防止構造1Cでは、各アレスタ部分6,7の断面形状が略三角形であり、その一辺に相当する部分で各面板4a,4bに連なるように設けられ、各面板4a,4bに連なる辺に対向する角の部分が、円弧状に丸みを有する形状に形成されている。このようにして略三角形形状であり、かつ心材3に臨む表面10が、平面部と曲面部とを組合わせた、屈曲部を有していない無屈曲面に形成される。

【0068】

本実施の形態の剥離進展防止構造1Cによれば、図1~図18に示す剥離進展防止構造1と同様の効果を達成することができる。

【0069】

図24は、本発明の実施のさらに他の形態の剥離進展防止構造1Dを示す断面図である。図24に示す剥離進展防止構造1Dは、図19~図22を用いて説明した実施の形態の剥離進展防止構造1A,1Bと類似しており、対応する構成には、同一の符号を付し、同様の構成は、説明を省略する。図24に示す剥離進展防止構造1Dでは、図19および図20のアレスタ5または図21および図22のアレスタ5が、第1方向Xに間隔をあけて複数設けられる。第1方向Xに隣接する2つのアレスタ5は、第1方向Xに関して対称となるように、傾斜方向が反対となるように設けられる。各アレスタ5の基部70の各面板4a,4bに対して成す小さい方向の角度は、たとえば30度以上45度以下程度である。

【0070】

このような剥離進展防止構造1Dによれば、図19~図22の剥離進展防止構造1A,1Bと同様の効果を達成することができる。さらに各面板4a,4b間にわたって延びる板状のアレスタ5を複数並べて設け、各面板4a,4bと各アレスタ5によって、ボックス構造を形成することによって、各アレスタ5の延びる方向、したがって第2方向Z(図24の紙面に垂直な方向)の荷重、特に圧縮荷重に対して耐性を高くすることができる。

【0071】

図25は、本発明の実施のさらに他の形態の剥離進展防止構造1Eを示す断面図である。図25に示す剥離進展防止構造1Eは、図1~図18を用いて説明した実施の形態の剥離進展防止構造1と類似しており、対応する構成には、同一の符号を付し、同様の構成は、説明を省略する。図25に示す剥離進展防止構造1Eでは、図1~図18に示す各アレスタ部分6,7によって格子状にされるアレスタ5に加えて、補助剥離進展防止片である補助アレスタ5Eが設けられる。補助アレスタ5Eは、心材3と各面板4a,4bとの間に生じる剥離が、心材3中へ厚み方向Yへ進展することを防止するために設けられる。

【0072】

具体的には、補助アレスタ5は、心材3の厚み方向Yの中間位置(中央位置だけでなく、厚み方向に両側の表面部を除く位置)に設けられ、各面板4a,4bから間隔をあけて、各面板4a,4bに沿う方向へ延びる面状に形成される。補助アレスタ5は、本実施の形態では、パネル2の全領域にわたって設けられる。また補助アレスタ5は、各面板4a,4bと同様の複合材料から成ってもよいし、合成樹脂材料から成ってもよい。補助アレ

10

20

30

40

50

スタ 5 の枚数、形状、厚み、材質などは、限定されるものではない。

【0073】

このような剥離進展防止構造 1 E によれば、図 1 ~ 図 1 8 に示す剥離進展防止構造 1 と同様の効果を達成することができる。さらに心材 3 の厚み方向中間部に補助アレスタ 5 E が設けられるので、たとえばパネル 2 の使用条件およびパネル 2 に働く荷重条件などによって、心材 3 と面板 4 a , 4 b との間に生じた剥離が、亀裂として心材 3 中に厚み方向 Y へ進展しようとしても、補助アレスタ 5 E まで到達すると、その先への剥離の進展を防止することができる。このように心材 3 を厚み方向 Y に挿通するように各面板 4 a , 4 b 間にわたって延びる亀裂が生じることを防ぐことができる。このように補助アレスタ 5 E を設けることによって、3 次元的な剥離進展防止効果を達成することができる。

10

【0074】

前述の実施の各形態は、本発明を具体化したものの例示に過ぎず、本発明がこれの構成に限定されるものではない。たとえばアレスタ 5 の断面形状、材料、配置形状などは、前述の構成に限定されるものではない。さらに具体的に述べると、アレスタ 5 は、図 1 ~ 図 1 8 および図 2 3 では格子状に、図 1 9 ~ 図 2 2 には、1 本の直線状に、設けられたけれども、たとえば第 1 方向 X に略平行に延びる縞状に配置されてもよいし、また各面板 4 a , 4 b に沿って異なる 3 つ以上の方向へ延びるアレスタ部分を交差連結させた形状、すなわち三角形の目を有する網状など多角形状の目を有する網状の形状であってもよいし、蜂の巣状であってもよい。

【0075】

20

またパネル 2 は、航空機 2 0 の外板 2 1 を形成するための材料に限定されることはなく、航空機以外的高速で空気中を飛行する高速飛行体を含めた飛行体の機体を形成するために用いられてもよいし、新幹線など的高速車両を含めた鉄道車両の機体（構体）を形成するために用いられてもよいし、船舶を含む船舶事業、オイルタンク、風力発電翼、電気自動車、ソーラーカー、F 1 マシンなどの自動車、軍用設備、深海探査艇などの深海開発、海洋構造物など、その他の構造物を形成するために用いられてもよい。

【0076】

また、図 1 9 ~ 図 2 2 に示すようなアレスタ 5 は、各面板 4 a , 4 b に略垂直に、したがって厚み方向 Y に略平行に設けられる構成でもよい。

【図面の簡単な説明】

30

【0077】

【図 1】本発明の実施の一形態の剥離進展防止構造 1 を示す断面図である。

【図 2】剥離進展防止構造 1 を有するサンドイッチパネル 2 の一部を分解して示す斜視図である。

【図 3】サンドイッチパネル 2 の詳細な積層構成を示す断面図である。

【図 4】航空機 2 0 の一部を示す斜視図である。

【図 5】航空機 2 0 を構成する外板 2 1 の一部を示す斜視図である。

【図 6】アレスタ 5 の効果を確認するための解析モデル 3 0 を示す図である。

【図 7】解析モデル 3 0 へのモード I 負荷形態を示す図である。

【図 8】解析モデル 3 0 へのモード II 負荷形態を示す図である。

40

【図 9】モード I 負荷形態での負荷に対する剥離長さ a と G 値比との関係を示すグラフである。

【図 1 0】モード II 負荷形態での負荷に対する剥離長さ a ( = b + 5 0 ) と G 値比との関係を示すグラフである。

【図 1 1】モード I 負荷形態での負荷に対する剥離長さ a と G 値比との関係を示すグラフである。

【図 1 2】モード II 負荷形態での負荷に対する剥離長さ a と G 値比との関係を示すグラフである。

【図 1 3】モード I 負荷形態での負荷による応力分布を示すグラフである。

【図 1 4】モード II 負荷形態での負荷による応力分布を示すグラフである。

50

【図15】アレスタ5による剥離進展防止効果の確認試験に用いられる供試体60を示す断面図である。

【図16】1つ目の供試体60(No. X-1)のサイクル数と剥離の幅Wとの関係を示すグラフである。

【図17】2つ目の供試体60(No. X-3)のサイクル数と剥離の幅Wとの関係を示すグラフである。

【図18】3つ目の供試体60(No. X-4)のサイクル数と剥離の幅Wとの関係を示すグラフである。

【図19】本発明の実施の他の形態の剥離進展防止構造1Aを示す断面図である。

【図20】図19に示す剥離進展防止構造1Aの詳細な積層構成を示すために分解して示す断面図である。

10

【0078】

【図21】本発明の実施のさらに他の形態の剥離進展防止構造1Bを示す断面図である。

【図22】図21に示す剥離進展防止構造1Bの詳細な積層構成を示すために分解して示す断面図である。

【図23】本発明の実施のさらに他の形態の剥離進展防止構造1Cを示す断面図である。

【図24】本発明の実施のさらに他の形態の剥離進展防止構造1Dを示す断面図である。

【図25】本発明の実施のさらに他の形態の剥離進展防止構造1Eを示す断面図である。

【符号の説明】

【0079】

20

1, 1A ~ 1C 剥離進展防止構造

2 サンドイッチパネル

3 心材

4a, 4b 面板

5 アレスタ(剥離進展防止片)

5E 補助アレスタ

6, 7 アレスタ部分

10 アレスタの心材に臨む表面

12 凹溝

13 補強材

30

20 航空機

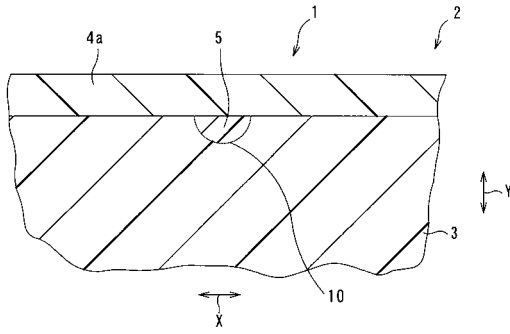
21 外板

30 解析モデル

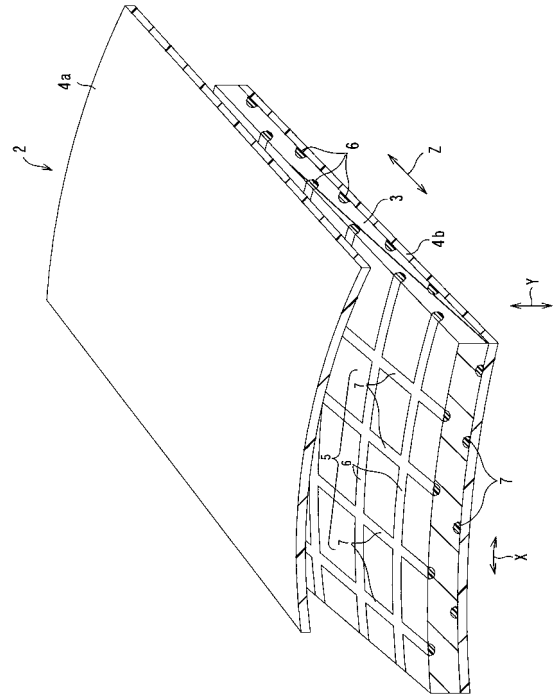
60 供試体

72, 73 心材部分

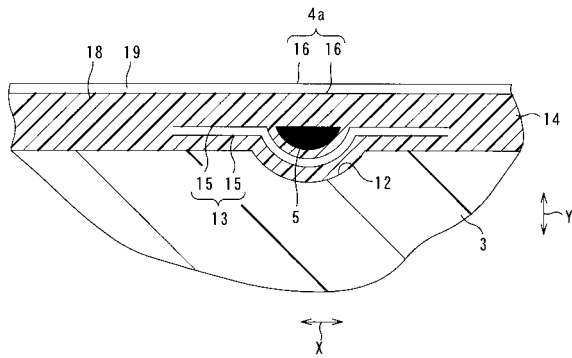
【図1】



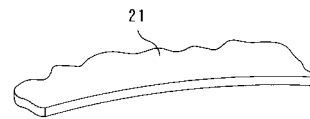
【図2】



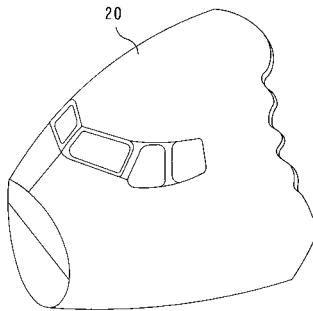
【図3】



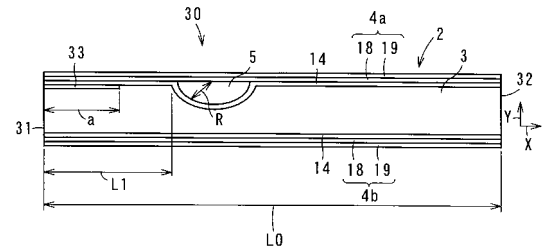
【図5】



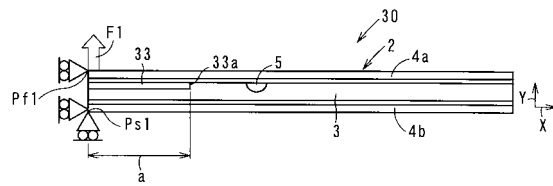
【図4】



【図6】

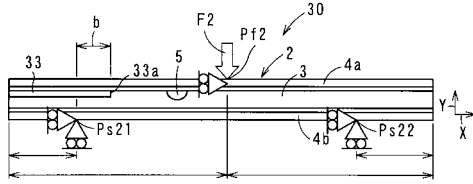


【図7】

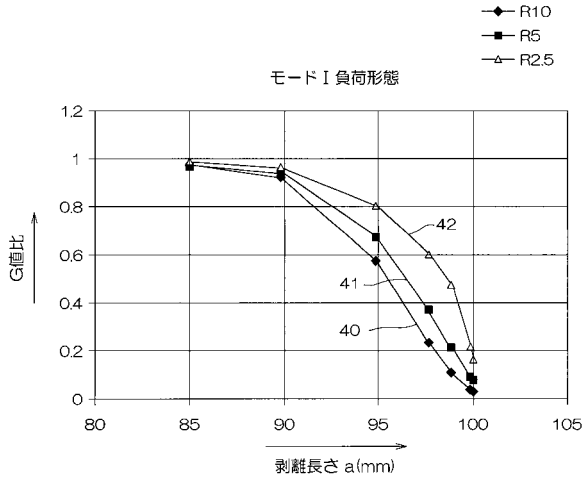




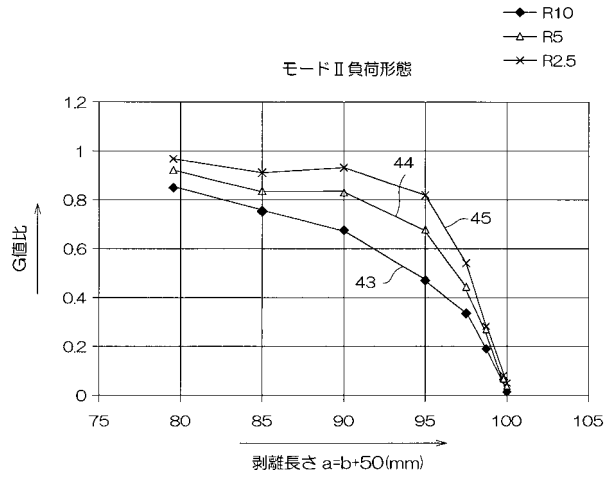
【図8】



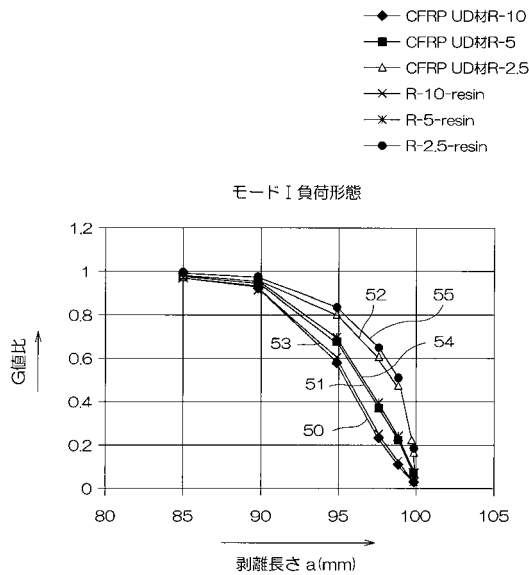
【図9】



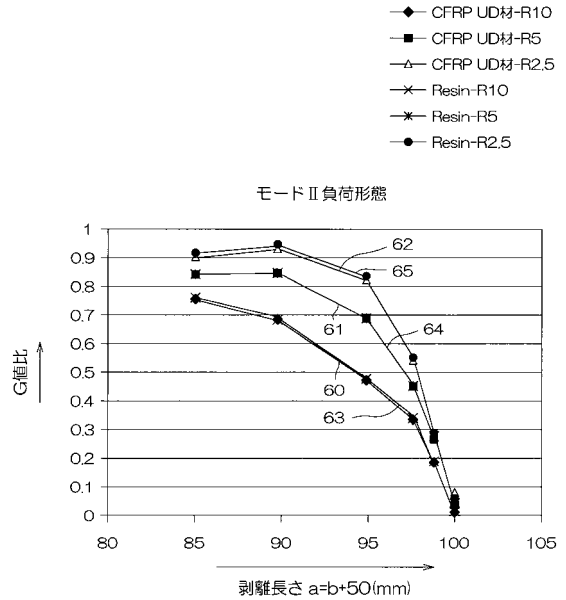
【図10】



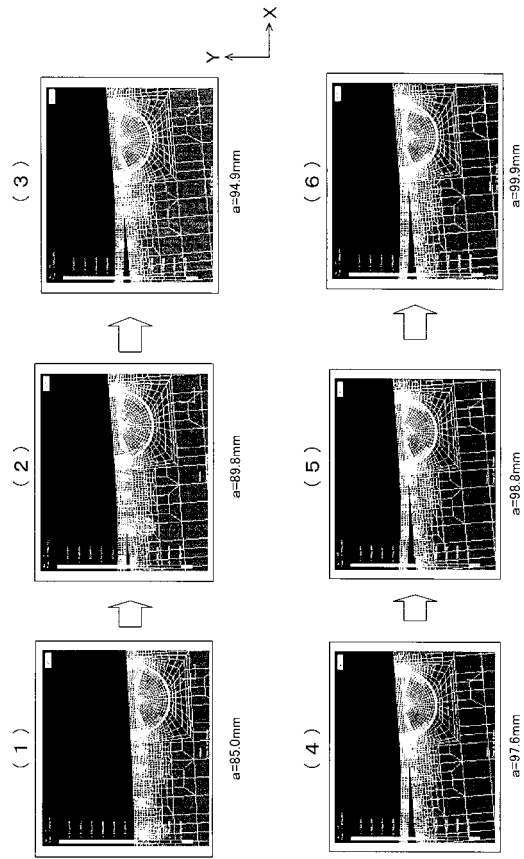
【図11】



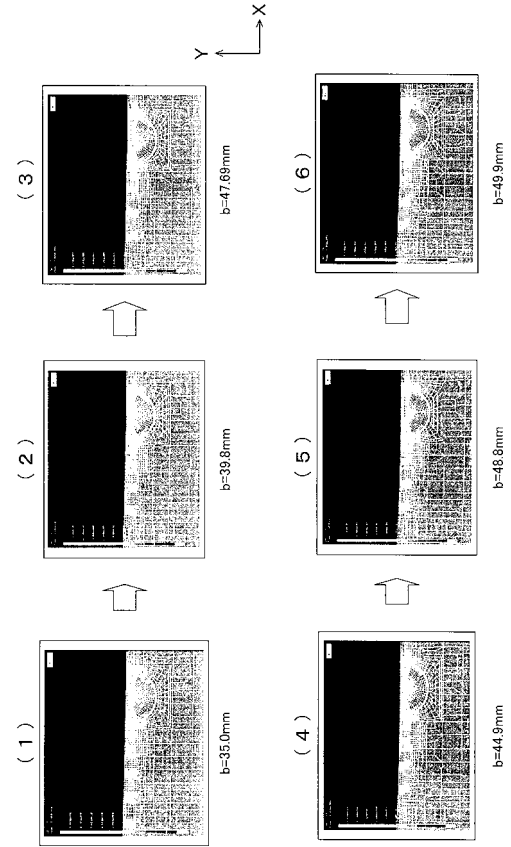
【図12】



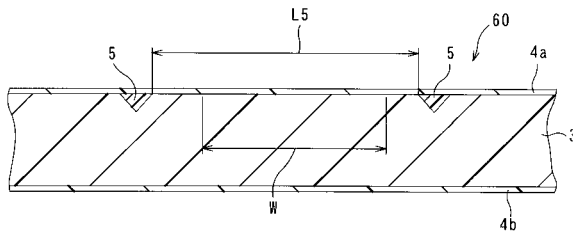
【図 13】



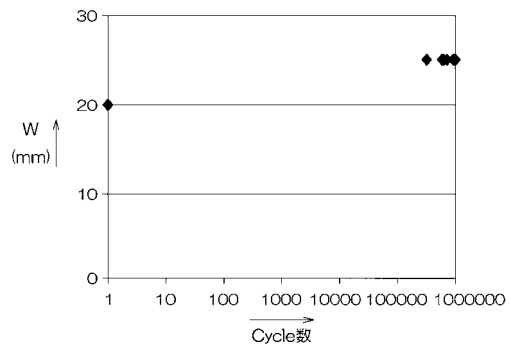
【図 14】



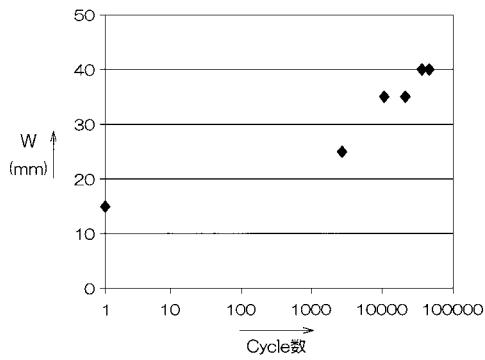
【図 15】



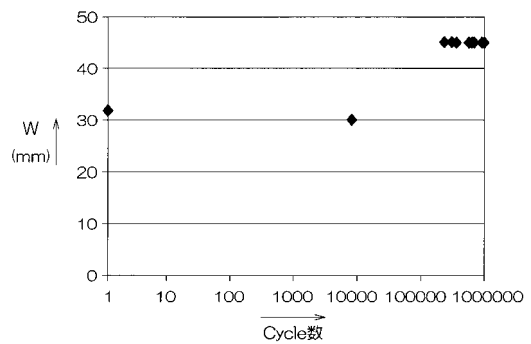
【図 17】



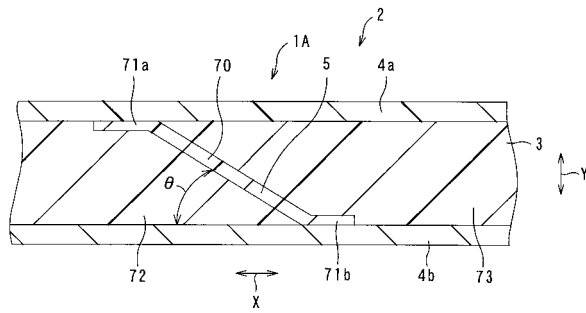
【図 16】



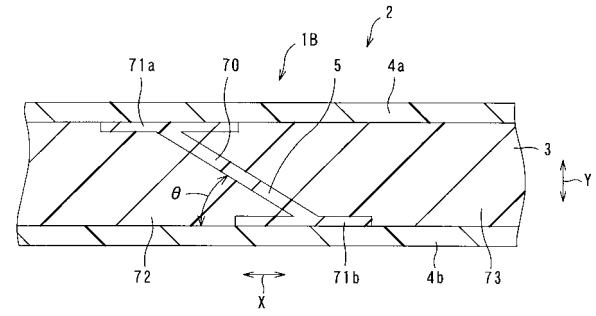
【図 18】



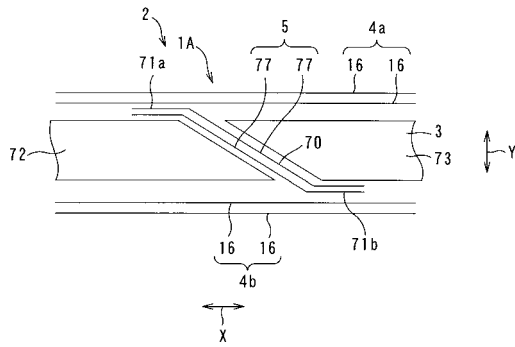
【図19】



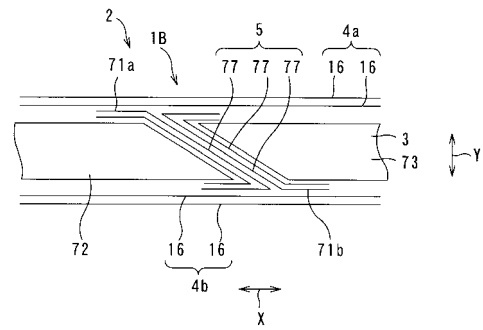
【図21】



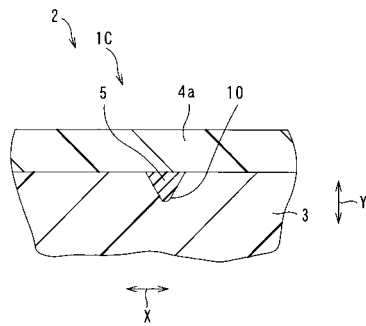
【図20】



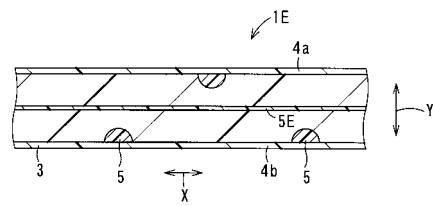
【図22】



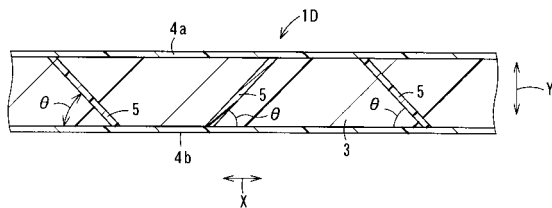
【図23】



【図25】



【図24】



---

フロントページの続き

(72)発明者 廣瀬 康夫

岐阜県各務原市川崎町1番地 川崎重工業株式会社 岐阜工場内

(72)発明者 北條 正樹

京都府京都市左京区吉田本町 国立大学法人京都大学 大学院工学研究科内

審査官 岩田 行剛

(56)参考文献 特開2003-146252(JP,A)

特開平05-309792(JP,A)

特開平03-247859(JP,A)

特開昭63-162350(JP,A)

実開昭58-073817(JP,U)

特開平08-207190(JP,A)

特開平11-254566(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

B32B 5/28

B64C 1/00