

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B1)

(11) 特許番号

特許第5777789号
(P5777789)

(45) 発行日 平成27年9月9日(2015.9.9)

(24) 登録日 平成27年7月17日(2015.7.17)

(51) Int.Cl.		F I			
B 2 9 C	70/06	(2006.01)	B 2 9 C	67/14	G
G O 1 N	29/11	(2006.01)	G O 1 N	29/11	
B 2 9 K	105/08	(2006.01)	B 2 9 C	67/14	J
			B 2 9 C	67/14	T
			B 2 9 K	105:08	

請求項の数 12 (全 29 頁)

(21) 出願番号	特願2014-221741 (P2014-221741)	(73) 特許権者	000006208
(22) 出願日	平成26年10月30日(2014.10.30)		三菱重工株式会社
審査請求日	平成27年1月14日(2015.1.14)		東京都港区港南二丁目16番5号
早期審査対象出願		(74) 代理人	100102864
			弁理士 工藤 実
		(74) 代理人	100117617
			弁理士 中尾 圭策
		(74) 代理人	100196003
			弁理士 石川 太郎
		(72) 発明者	小林 誠治
			東京都港区港南二丁目16番5号 三菱重工業株式会社内
		(72) 発明者	植松 充良
			東京都港区港南二丁目16番5号 三菱重工業株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 人工欠陥材料及びFRP構造体の製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

強化繊維基材の複数の層と、
マトリックス樹脂と、
耐熱高線膨張材と

を備え、

前記マトリックス樹脂は、前記強化繊維基材の複数の層を一体化してFRP構造体を形成し、

前記耐熱高線膨張材は、前記強化繊維基材の少なくとも一つの層間に配置され、

前記耐熱高線膨張材は、前記FRP構造体を形成する際の成形温度に耐える定形性及び耐熱性を有し、

前記耐熱高線膨張材の線膨張係数は、前記FRP構造体の線膨張係数に対して 1.50×10^{-6} (1 /) 以上の値を有し、

前記FRP構造体の成形時においては、常温よりも高温な前記成形温度に上昇した時に前記耐熱高線膨張材が熱膨張して前記強化繊維基材の層間に、前記耐熱高線膨張材の熱膨張時の形状が成形され、

前記FRP構造体の成形後の常温においては、前記耐熱高線膨張材が熱収縮して前記耐熱高線膨張材と前記強化繊維基材の層との間に収縮差に基づく空隙が形成される

人工欠陥材料。

【請求項2】

10

20

前記耐熱高線膨張材は、シリコーンゴム、シリコーン樹脂、フッ素ゴム、天然ゴム、ブタジエンゴム、スチレンゴム、ブチルゴム、ニトリルゴム、エチレンプロピレンゴム、クロロスルホン化ポリエチレンゴム、又はウレタンゴムから構成される

請求項 1 に記載の人工欠陥材料。

【請求項 3】

前記耐熱高線膨張材の表面に、シリコーン系又はフッ素系の離型剤を有する

請求項 1 又は 2 に記載の人工欠陥材料。

【請求項 4】

強化繊維基材の複数の層と、

マトリックス樹脂と、

耐熱高線膨張材と

10

を備え、

前記マトリックス樹脂は、前記強化繊維基材の複数の層を一体化して F R P 構造体を形成し、

前記耐熱高線膨張材は、前記強化繊維基材の少なくとも一つの層間に配置され、

前記耐熱高線膨張材は、前記 F R P 構造体を形成する際の成形温度に耐える定形性及び耐熱性を有し、

前記耐熱高線膨張材の線膨張係数は、前記 F R P 構造体の線膨張係数に対して 1.50×10^{-6} (1 /) 以上の値を有し、

前記 F R P 構造体の成形後の常温においては、前記耐熱高線膨張材と前記強化繊維基材の層との間に収縮差により形成された空隙が形成される

20

人工欠陥材料の製造方法であって、

前記強化繊維基材の層を配置する工程と、

前記強化繊維基材の少なくとも一つの層間に前記耐熱高線膨張材を配置する配置工程と

、前記強化繊維基材に前記マトリックス樹脂を含浸させる工程と、

前記強化繊維基材、前記耐熱高線膨張材、及び前記マトリックス樹脂を常温よりも高温な前記成形温度に上昇させて前記耐熱高線膨張材を熱膨張させ、前記強化繊維基材の層間に、前記耐熱高線膨張材の熱膨張時の形状を成形する工程と、

前記 F R P 構造体を常温に下げて前記耐熱高線膨張材を熱収縮させて、前記耐熱高線膨張材と前記強化繊維基材の層との間に収縮差に基づく空隙を形成する工程と

30

を有する人工欠陥材料の製造方法。

【請求項 5】

プリプレグ材の複数の層と、

耐熱高線膨張材と

を備え、

前記耐熱高線膨張材は、前記プリプレグ材の少なくとも一つの層間に配置され、

前記耐熱高線膨張材は、前記 F R P 構造体を形成する際の成形温度に耐える定形性及び耐熱性を有し、

前記耐熱高線膨張材の線膨張係数は、前記 F R P 構造体の線膨張係数に対して 1.50×10^{-6} (1 /) 以上の値を有し、

40

前記 F R P 構造体の成形後の常温においては、前記耐熱高線膨張材と前記プリプレグ材の層との間に収縮差により形成された空隙が形成される

人工欠陥材料の製造方法であって、

前記プリプレグ材の層を配置する工程と、

前記プリプレグ材の少なくとも一つの層間に前記耐熱高線膨張材を配置する配置工程と

、前記プリプレグ材及び前記耐熱高線膨張材を常温よりも高温な前記成形温度に上昇させて前記耐熱高線膨張材を熱膨張させ、前記プリプレグ材の層間に、前記耐熱高線膨張材の熱膨張時の形状を成形する工程と、

50

前記FRP構造体を常温に下げて前記耐熱高線膨張材を熱収縮させて、前記耐熱高線膨張材と前記プリプレグ材の層との間に収縮差に基づく空隙を形成する工程とを有する人工欠陥材料の製造方法。

【請求項6】

前記耐熱高線膨張材は、シリコーンゴム、シリコーン樹脂、フッ素ゴム、天然ゴム、ブタジエンゴム、スチレンゴム、ブチルゴム、ニトリルゴム、エチレンプロピレンゴム、クロロスルホン化ポリエチレンゴム、又はウレタンゴムから構成される

請求項4又は5に記載の人工欠陥材料の製造方法。

【請求項7】

前記配置工程の前に、前記耐熱高線膨張材の表面にシリコーン系又はフッ素系の離型剤を塗布する工程

を更に有する請求項4乃至6のいずれかに記載の人工欠陥材料の製造方法。

【請求項8】

強化繊維基材の少なくとも第1から第3の層と、マトリックス樹脂とを備え、

前記マトリックス樹脂は、前記強化繊維基材の前記少なくとも第1から第3の層を一体化してFRP構造体を形成し、

前記強化繊維基材の前記第1の層と前記第2の層の層間と前記第2の層と前記第3の層の層間には、第1と第2の耐熱高線膨張材を用いて形成された第1と第2の層間空隙が交互に配置された構造を有する前記FRP構造体の製造方法であって、

前記第1と第2の耐熱高線膨張材は、前記FRP構造体を形成する際の成形温度に耐える定形性及び耐熱性を有し、

前記第1と第2の耐熱高線膨張材の線膨張係数は、前記FRP構造体の線膨張係数に対して $100 \times 10^{-6} (1 / \quad)$ 以上の値を有し、

前記強化繊維基材の前記少なくとも第1から第3の層を配置する工程と、

前記強化繊維基材の前記第1の層と前記第2の層の層間と前記第2の層と前記第3の層の層間に前記第1と第2の耐熱高線膨張材をそれぞれ交互に配置する配置工程と、

前記強化繊維基材に前記マトリックス樹脂を含浸させる工程と、

前記強化繊維基材、前記第1と第2の耐熱高線膨張材、及び前記マトリックス樹脂を常温よりも高温な前記成形温度に上昇させて前記第1と第2の耐熱高線膨張材を膨張させ、前記強化繊維基材の前記第1の層と前記第2の層の層間と前記第2の層と前記第3の層の層間に、前記第1と第2の耐熱高線膨張材の熱膨張時の形状をそれぞれ成形する工程と、

前記FRP構造体を常温に下げて前記第1と第2の耐熱高線膨張材を熱収縮させて、前記第1と第2の耐熱高線膨張材と前記強化繊維基材の前記第1から第3の層との間の収縮差に基づく前記第1と第2の層間空隙を形成する工程と、

前記FRP構造体を常温に下げた後、前記第1と第2の耐熱高線膨張材を前記強化繊維基材の前記第1から第3の層の層間から抜き取る脱型工程とを有するFRP構造体の製造方法。

【請求項9】

プリプレグ材の少なくとも第1から第3の層が積層され、前記第1の層と前記第2の層の層間と前記第2の層と前記第3の層の層間に、第1と第2の耐熱高線膨張材を用いて形成された第1と第2の層間空隙が交互に配置された構造を有するFRP構造体の製造方法であって、

前記第1と第2の耐熱高線膨張材は、前記FRP構造体を形成する際の成形温度に耐える定形性及び耐熱性を有し、

前記第1と第2の耐熱高線膨張材の線膨張係数は、前記FRP構造体の線膨張係数に対して $100 \times 10^{-6} (1 / \quad)$ 以上の値を有し、

前記プリプレグ材の前記少なくとも第1から第3の層を配置する工程と、

前記プリプレグ材の前記第1の層と前記第2の層の層間と前記第2の層と前記第3の層

10

20

30

40

50

の層間に前記第1と第2の耐熱高線膨張材をそれぞれ交互に配置する配置工程と、

前記プリプレグ材及び前記第1と第2の耐熱高線膨張材を常温よりも高温な前記成形温度に上昇させて前記第1と第2の耐熱高線膨張材を膨張させ、前記プリプレグ材の前記第1の層と前記第2の層の層間と前記第2の層と前記第3の層の層間に、前記第1と第2の耐熱高線膨張材の熱膨張時の形状をそれぞれ成形する工程と、

前記FRP構造体を常温に下げて前記第1と第2の耐熱高線膨張材を熱収縮させて、前記第1と第2の耐熱高線膨張材と前記プリプレグ材の層との間の収縮差に基づく前記第1と第2の層間空隙を形成する工程と、

前記FRP構造体を常温に下げた後、前記第1と第2の耐熱高線膨張材を前記プリプレグ材の前記第1から第3の層の層間から抜き取る脱型工程と
を有するFRP構造体の製造方法。

10

【請求項10】

前記耐熱高線膨張材のショア硬度は、A20～A70の範囲である

請求項8又は9に記載のFRP構造体の製造方法。

【請求項11】

前記耐熱高線膨張材は、シリコーンゴム、シリコーン樹脂、フッ素ゴム、天然ゴム、ブタジエンゴム、スチレンゴム、ブチルゴム、ニトリルゴム、エチレンプロピレンゴム、クロロスルホン化ポリエチレンゴム、又はウレタンゴムから構成される

請求項8乃至10のいずれかに記載のFRP構造体の製造方法。

【請求項12】

前記配置工程の前に、前記耐熱高線膨張材の表面にシリコーン系又はフッ素系の離型剤を塗布する工程
を更に有する

請求項8乃至11のいずれかに記載のFRP構造体の製造方法。

20

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、FRP（繊維強化プラスチック）構造体の成形後に行う超音波探傷試験の校正に用いる、人工欠陥材料及びFRP構造体の製造方法に関する。

30

【背景技術】

【0002】

近年、工業製品に対しFRP構造体の適用範囲が拡大している。FRP構造体のメリットとして、一体成形することで部品点数、及び組立工数の削減を図ったり、構造体の軽量化を図ることができる点が挙げられる。

【0003】

FRP構造体においては、強度に対する信頼性の要求も高い。従って、成形後のFRP構造体に対して非破壊検査を行って、欠陥の有無を正確に測定することが重要となる。非破壊検査を行う際には、人工欠陥が形成されている標準試験片が必要であり、特に、発生し得る欠陥の形状に似た欠陥を有する標準試験片を用いることが好ましい。FRPに生じる欠陥形態の1つに層間剥離があり、標準試験片の模擬に最も優れた人工欠陥材は、空隙（気体有無は問わない）である。この人工欠陥材の空間は、透過法の超音波探傷試験では超音波伝達を遮断し、反射法では効率よく超音波を反射する特性を有する。

40

【0004】

従来、人工欠陥材料の構造及び製造方法として、特開平10-227773号公報（特許文献1）には、球径が30～150μmのガラス微小中空球を、厚さが0.1～0.3mmのシリコーンゴム製の結合基材中に均一に分散させて人工欠陥材とした発明が記載されている。

【0005】

50

特許文献1に記載されているガラス微小中空球は、その内部に気体を有している。ガラス球を被うシリコンゴムは、比較的良好な超音波特性を有しているので、透過法および反射法の両超音波探傷検査方法において、優れた超音波特性を得ることができるとしている。

【0006】

特許文献1の段落[0006]には、人工欠陥材料に、素材とは異なる音響インピーダンスを有するポリテトラフルオロエチレンフィルムを埋設することが記載されている。

【0007】

また、従来FRP構造体の一体成形化を進める際、コルゲート構造のように強化繊維基材の層間に空隙を形成したい箇所がしばしば生ずる。層間空隙を有するFRP構造体を成形する際には、成形時における圧力の印加方法や、治具と中子の組み合わせ方法が問題となる。

10

【0008】

従来、FRP構造体において層間に空隙を形成する方法として、特開平8-52812号公報(特許文献2)には、外型枠内に複合材プリプレグを装着し、複合材プリプレグの層間空隙部に、シリコンオイル(高膨張材)を外皮材で密閉したマンドレル治具を充填して組付け、加熱してシリコンオイルを膨張させる複合材成形体の製造方法が開示されている。この製造方法では、シリコンオイルの膨張によって、複合材プリプレグを内側から加圧成形している。

【先行技術文献】

20

【特許文献】

【0009】

【特許文献1】特開平10-227773号公報

【特許文献2】特開平8-52812号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0010】

特許文献1に記載されている人工欠陥材料では、ガラス微小中空球の内部の空隙を、欠陥部分の代用にしている。ガラス微小中空球の内部の空隙は、人工欠陥材料の内部に点在しているために、FRP構造体の中で生ずる層間剥離による連続した空隙とは形状が異なる。そのため、FRP構造体の超音波探傷試験用の標準試験片として用いる場合には、得られる波形が異なることや、ノイズが多くなること、別途校正が必要になるなど使い勝手が良くない。

30

【0011】

特許文献1に記載されている人工欠陥材料は、ガラス微小中空球の含有率が30~60%程度になるように加えている。これは、引用文献1の段落[0031]、[0032]等に記載されているように、ガラス微小中空球の含有率が30%を下回った場合には、人工欠陥材の透過法での減衰率および反射法での反射率が低下する可能性が高くなる。また、ガラス微小中空球の含有率が60%を超えると人工欠陥材の強度が不足するなどの問題もある。

40

【0012】

特許文献1の段落[0006]に記載されているように、ポリテトラフルオロエチレンフィルムを用いた人工欠陥材料の場合には、フィルムが複合材料から離型せずに密着したままとなり、人工欠陥材として全く機能しなかったり、あるいは部分的にしか剥離せず、欠陥サイズが不明瞭、不正確となり、標準試験片としての信頼性、安定性が低いという問題がある。標準試験片により得られる信号のS/N比が低い場合には、超音波の焦点を変更した等の二次検査が必要になるなど、超音波探傷試験に多くの工数が必要となっていた。

【0013】

また、特許文献2に記載されている複合材成形体の製造方法は、FRP構造体の層間空

50

隙にシリコンオイル等の定形性に劣るマンドレル治具を用いて層間空隙の内部から複合材プリプレグを加圧成形（中空成形）するものである。そのため、FRP構造体における層間空隙の内部形状の精度や、局所における肉厚の精度を規定することができなかった。また、層間空隙の内部形状を一度の成形で複雑な形状に形成することができなかった。

【0014】

本発明の目的は、FRP構造体の層間剥離を模した人工欠陥材料を提供することである。

【0015】

また、本発明の目的は、FRP構造体の層間空隙を高精度に成形するFRP構造体の製造方法を提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0016】

以下に、（発明を実施するための形態）で使用される番号を用いて、課題を解決するための手段を説明する。これらの番号は、（特許請求の範囲）の記載と（発明を実施するための形態）との対応関係を明らかにするために付加されたものである。ただし、それらの番号を、（特許請求の範囲）に記載されている発明の技術的範囲の解釈に用いてはならない。

【0017】

本発明による人工欠陥材料（10）は、強化繊維基材（14）の複数の層とマトリックス樹脂（16）と、耐熱高線膨張材（20）とを備える。マトリックス樹脂（16）は強化繊維基材（14）の複数の層を一体化してFRP構造体を形成する。一般的に、強化繊維基材（14）とマトリックス樹脂（16）を個別に準備し、FRP構造体を形成する場合と、強化繊維基材（14）にマトリックス樹脂（16）を事前に含浸したプリプレグ材（14P）を準備し、FRP構造体を形成する場合がある。また、必要に応じて、強化繊維基材又はプリプレグの層間に接着剤を適用する。耐熱高線膨張材（20）は、強化繊維基材（14、プリプレグ材14P）の少なくとも一つの層間に配置される。耐熱高線膨張材（20）は、FRP構造体を形成する際の成形温度に耐える定形性及び耐熱性を有し、耐熱高線膨張材（20）の線膨張係数は、FRP構造体の線膨張係数に対して 150×10^{-6} （1/）以上の値を有する。FRP構造体の成形時においては、常温よりも高温な成形温度に上昇した時に耐熱高線膨張材（20）が熱膨張して強化繊維基材（14、プリプレグ材14P）の層間に所定の形状が成形される。FRP構造体の成形後の常温においては、耐熱高線膨張材（20）が熱収縮して耐熱高線膨張材（20）と強化繊維基材（14、プリプレグ材14P）の層との間に収縮差により形成された空隙（22）が形成される。

【0018】

本発明による人工欠陥材料（10）の製造方法は、強化繊維基材（14）の層を配置する工程と、強化繊維基材（14）の少なくとも一つの層間に耐熱高線膨張材（20）を配置する配置工程と、強化繊維基材（14）にマトリックス樹脂（16）含浸させる工程と、強化繊維基材（14）、耐熱高線膨張材（20）、及びマトリックス樹脂（16）を常温よりも高温な成形温度に上昇させて耐熱高線膨張材（20）を熱膨張させ、強化繊維基材（14）の層間に所定の形状を成形する工程と、FRP構造体を常温に下げて耐熱高線膨張材（20）を熱収縮させて、耐熱高線膨張材（20）と強化繊維基材（14）の層との間に収縮差により形成された空隙（22）を形成する工程とを有する。

【0019】

本発明によるプリプレグ材（14P）を用いた人工欠陥材料（10P）の製造方法は、プリプレグ材（14P）の少なくとも一つの層間に耐熱高線膨張材（20）を配置する配置工程と、プリプレグ材（14P）及び耐熱高線膨張材（20）を常温よりも高温な成形温度に上昇させて耐熱高線膨張材（20）を熱膨張させ、プリプレグ材（14P）の層間に所定の形状を成形する工程と、FRP構造体を常温に下げて耐熱高線膨張材（20）を熱収縮させて、耐熱高線膨張材（20）とプリプレグ材（14P）の層との間に収縮差に

10

20

30

40

50

より形成された空隙(22)を形成する工程とを有する。

【0020】

本発明によるFRP構造体(12、13)の製造方法は、強化繊維基材(14、14A、14B、14C)の層を配置する工程と、強化繊維基材(14、14A、14B、14C)の少なくとも一つの層間に耐熱高線膨張材(20、20A、20B)を配置する配置工程と、強化繊維基材(14、14A、14B、14C)にマトリックス樹脂(16)を含浸させる工程と、強化繊維基材(14、14A、14B、14C)、耐熱高線膨張材(20、20A、20B)、及びマトリックス樹脂(16)を常温よりも高温な成形温度に上昇させて耐熱高線膨張材(20、20A、20B)を熱膨張させ、強化繊維基材(14、14A、14B、14C)の層間に所定形状の層間空隙を形成する工程と、FRP構造体(12、13)を常温に下げて耐熱高線膨張材(20、20A、20B)を熱収縮させて、耐熱高線膨張材(20、20A、20B)と強化繊維基材(14、14A、14B、14C)の層との間に収縮差により形成された空隙を形成する工程と、耐熱高線膨張材(20、20A、20B)を強化繊維基材(14、14A、14B、14C)の層間から抜き取る脱型工程とを有する。

10

【0021】

FRP構造体(12、13)は、強化繊維基材(14、14A、14B、14C)の複数の層と、マトリックス樹脂(16)とを備える。マトリックス樹脂(16)は、強化繊維基材(14、14A、14B、14C)の複数の層を一体化してFRP構造体(12、13)を形成する。強化繊維基材(14、14A、14B、14C)の少なくとも一つの層間には、耐熱高線膨張材(20、20A、20B)を用いて形成された層間空隙を有する。耐熱高線膨張材(20、20A、20B)は、FRP構造体(12、13)を形成する際の成形温度に耐える定形性及び耐熱性を有する。耐熱高線膨張材(20、20A、20B)の線膨張係数は、FRP構造体(12、13)の線膨張係数に対して 100×10^{-6} (1/)以上の値を有する。また、耐熱高線膨張材(20、20A、20B)のショア硬度は、A20～A70の範囲である。

20

【0022】

本発明によるプリプレグ材(14P、14Q、14R、14S)を用いたFRP構造体(12P、13P)の製造方法は、プリプレグ材(14P、14Q、14R、14S)の層を配置する工程と、プリプレグ材(14P、14Q、14R、14S)の少なくとも一つの層間に耐熱高線膨張材(20、20A、20B)を配置する配置工程と、プリプレグ材(14P、14Q、14R、14S)及び耐熱高線膨張材(20、20A、20B)を常温よりも高温な成形温度に上昇させて耐熱高線膨張材(20、20A、20B)を膨張させ、プリプレグ材(14P、14Q、14R、14S)の層間に所定形状の層間空隙(23)を形成する工程と、FRP構造体(12P、13P)を常温に下げて耐熱高線膨張材(20、20A、20B)を熱収縮させて、耐熱高線膨張材(20、20A、20B)とプリプレグ材(14P、14Q、14R、14S)の層との間に収縮差により形成された空隙(22)を形成する工程と、耐熱高線膨張材(20、20A、20B)をプリプレグ材(14P、14Q、14R、14S)の層間から抜き取る脱型工程とを有する。

30

【0023】

FRP構造体(12P、13P)は、プリプレグ材(14P、14Q、14R、14S)の複数の層を積層した層間に、耐熱高線膨張材(20、20A、20B)を用いて形成された層間空隙(23)を有する。耐熱高線膨張材(20、20A、20B)は、FRP構造体(12P、13P)を形成する際の成形温度に耐える定形性及び耐熱性を有する。耐熱高線膨張材(20、20A、20B)の線膨張係数は、FRP構造体(12P、13P)の線膨張係数に対して 100×10^{-6} (1/)以上の値を有する。また、耐熱高線膨張材(20、20A、20B)のショア硬度は、A20～A70の範囲である。

40

【0024】

配置工程は、強化繊維基材(14)又はプリプレグ材(14P、14Q、14R、14S)の複数の層間に複数の耐熱高線膨張材(20、20A、20B)を配置する工程を含

50

めることができる。

【 0 0 2 5 】

耐熱高線膨張材（ 2 0、 2 0 A、 2 0 B ）は、シリコーンゴム、シリコーン樹脂、フッ素ゴム、天然ゴム、ブタジエンゴム、スチレンゴム、ブチルゴム、ニトリルゴム、エチレンプロピレンゴム、クロロスルホン化ポリエチレンゴム、又はウレタンゴムから構成される。

【 0 0 2 6 】

耐熱高線膨張材（ 2 0、 2 0 A、 2 0 B ）の表面には、シリコーン系又はフッ素系の離型剤を有する。

【 発明の効果 】

10

【 0 0 2 7 】

本発明に係る人工欠陥材料及びFRP構造体の製造方法を用いることによって、強化繊維基材の層間に空隙を有するFRP構造体を高精度に成形することができる。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 2 8 】

【 図 1 】 図 1 は、本発明の人工欠陥材料（標準試験片）の断面図である。

【 図 2 】 図 2 は、治具の上に強化繊維基材及び耐熱高線膨張材を積層配置した状態を示す断面図である。

【 図 3 】 図 3 は、強化繊維基材及び耐熱高線膨張材をバッグで被い、バッグと治具との間で気密性を確保する状態を示す断面図である。

20

【 図 4 】 図 4 は、加温成形時における人工欠陥材料の断面図である。

【 図 5 】 図 5 は、強化繊維基材の複数の層を有する人工欠陥材料の構成例を説明する図である。

【 図 6 】 図 6 は、プリプレグ材を用いた冷却後の人工欠陥材料（標準試験片）の断面図である。

【 図 7 】 図 7 は、治具の上にプリプレグ材、及び耐熱高線膨張材を積層配置し、バッグと治具との間で気密性を確保する状態を示す断面図である。

【 図 8 】 図 8 は、加温成形時における人工欠陥材料の断面図である。

【 図 9 】 図 9 は、二つの強化繊維基材で囲まれた層間空隙を有するFRP構造体の完成後の外観斜視図である。

30

【 図 1 0 】 図 1 0 は、成形用の治具の上に強化繊維基材及び耐熱高線膨張材を配置した状態を示す図である。

【 図 1 1 】 図 1 1 は、耐熱高線膨張材を取り囲むように強化繊維基材を上方から配置した状態を示す図である。

【 図 1 2 】 図 1 2 は、強化繊維基材及び耐熱高線膨張材をバッグで被い、バッグと治具との間で気密性を確保した加温成形時を説明する図である。

【 図 1 3 】 図 1 3 は、FRP構造体の成形を行った後の常温において、バッグを取り外した状態を示す図である。

【 図 1 4 】 図 1 4 は、二つのプリプレグ材で囲まれた層間空隙を有するFRP構造体の完成後の外観斜視図である。

40

【 図 1 5 】 図 1 5 は、成形用の治具の上にプリプレグ材及び耐熱高線膨張材を配置した状態を示す図である。

【 図 1 6 】 図 1 6 は、耐熱高線膨張材を取り囲むようにプリプレグ材を上方から配置した状態を示す図である。

【 図 1 7 】 図 1 7 は、複数のプリプレグ材及び耐熱高線膨張材をバッグで被い、バッグと治具との間で気密性を確保した加温成形時を説明する図である。

【 図 1 8 】 図 1 8 は、FRP構造体の成形を行った後の常温において、バッグを取り外した状態を示す図である。

【 図 1 9 】 図 1 9 は、強化繊維基材で囲まれた層間に、複数の層間空隙が形成されているFRP構造体の完成後の側面図である。

50

【図20】図20は、下側の治具及び上側の治具の間に強化繊維基材及び耐熱高線膨張材を配置した加温成形時の説明図である。

【図21】図21は、FRP構造体の成形を行った後の常温において、上下の治具及びバッグを取り外した状態を示す図である。

【図22】図22は、プリプレグ材で囲まれた層間に複数の層間空隙を形成したFRP構造体の完成後の側面図である。

【図23】図23は、下側の治具及び上側の治具の間にプリプレグ材及び耐熱高線膨張材を配置した加温成形時の説明図である。

【図24】図24は、FRP構造体の成形を行った後の常温において、下側の治具、上側の治具、及びバッグを取り外した状態を示す図である。

【図25】図25は、複数種類のFRP中間構造体をそれぞれ組み合わせて成形した従来のFRP構造体を説明する側面図である。

【図26】図26(a)、図26(b)は、従来のFRP中間構造体を成形する際に用いる下側の治具の準備工程を説明する側面図である。

【図27】図27(a)、図27(b)は、下側の治具の上にプリプレグ材を積層配置する従来の積層工程を説明する側面図である。

【図28】図28(a)、図28(b)は、積層したプリプレグ材の上部に上側の治具を設置する従来の治具設置工程を説明する側面図である。

【図29】図29(a)、図29(b)は、マトリックス樹脂を熱硬化させる従来の硬化工程を説明する側面図である。

【図30】図30(a)、図30(b)は、従来の脱型工程を説明する側面図である。

【図31】図31は、FRP中間構造体同士を接着により接合する従来の接着工程を説明する図である。

【発明を実施するための形態】

【0029】

添付図面を参照して、本発明による人工欠陥材料及びFRP構造体の製造方法の実施の形態を以下に説明する。

【0030】

(第1の実施形態)

図1は、冷却後の完成した人工欠陥材料10(標準試験片)の断面図である。図2は、治具80の上に強化繊維基材14及び耐熱高線膨張材20を積層配置した状態を示す断面図である。図3は、強化繊維基材14及び耐熱高線膨張材20をバッグ82で被い、バッグ82と治具80との間で気密性を確保する状態を示す断面図である。図4は、加温成形時における人工欠陥材料10の断面図である。

【0031】

図1を参照して、人工欠陥材料10は、強化繊維基材14と、マトリックス樹脂16と、耐熱高線膨張材20と、収縮差により形成された空隙22とを備えている。

【0032】

人工欠陥材料10は、製品となるFRP構造体(被検体)を成形した後に、超音波探傷試験を行う際の校正に用いる標準試験片の一部として用いることができる。人工欠陥材料10は、積層した強化繊維基材14同士をマトリックス樹脂16で接着硬化させたFRP構造体であり、剥離を模擬する部分として用いることができる。

【0033】

耐熱高線膨張材20は、加温成形時におけるマトリックス樹脂16の硬化温度と、冷却後の常温との温度差に応じて、大きく熱膨張と熱収縮とを行う素材である。耐熱高線膨張材20の線膨張係数は、FRP構造体の線膨張係数よりも大きくなるように、耐熱高線膨張材20の素材を選定する。

【0034】

加温成形時には、図4に示すように耐熱高線膨張材20は熱膨張して定形性を維持しつつ体積が増し、耐熱高線膨張材20は人工欠陥材料10のFRP構造体の内部に所定の形

10

20

30

40

50

状を形成する中子として機能する。

【 0 0 3 5 】

冷却後には、図 1 に示すように耐熱高線膨張材 2 0 は熱収縮して体積が減少する。すると、人工欠陥材料 1 0 の F R P 構造体の内部に形成した所定の形状と、熱収縮した耐熱高線膨張材 2 0 との間に収縮差により形成された空隙 2 2 が生ずる。この収縮差により形成された空隙 2 2 を、超音波探傷試験用の標準試験片として使用する際の、人工欠陥として用いることができる。

【 0 0 3 6 】

耐熱高線膨張材 2 0 は、例えば厚さ 1 0 ~ 8 0 μm の無垢部材であり、幅、長さは被検体に生じ得る欠陥に応じて適宜設定することができる。耐熱高線膨張材 2 0 の線膨張係数は、F R P 構造体の線膨張係数に対して 1.50×10^{-6} (1 /) 以上 (より好ましくは 2.00×10^{-6} (1 /) 以上) となる高線膨張係数の素材を用いることが好ましい。また、耐熱高線膨張材 2 0 の素材は、図 4 に示す加温成形時におけるマトリックス樹脂 1 6 の硬化温度 (樹脂の物性に応じて 1 3 0 ~ 5 0 0 。) に耐える耐熱性を備える必要がある。

【 0 0 3 7 】

例えば、F R P 構造体の線膨張係数 $\alpha_1 = 3.0 \times 10^{-6}$ (1 /)、耐熱高線膨張材 2 0 の線膨張係数 $\alpha_2 = 2.30 \times 10^{-6}$ (1 /)、加温成形時の温度が 1 8 0 、冷却後の常温が 1 5 、温度差 $T = 165$ 、耐熱高線膨張材 2 0 の厚さ $t = 30 \mu\text{m}$ 、と仮定した場合における厚さ方向の収縮差により形成された空隙 2 2 の寸法について試算する。

【 0 0 3 8 】

この場合に収縮差により形成された空隙 2 2 の寸法 H は、 $H = (\alpha_1 - \alpha_2) \times T \times t - 1 \mu\text{m}$ となる。この $1 \mu\text{m}$ の隙間 (収縮差により形成された空隙 2 2) は、耐熱高線膨張材 2 0 と強化繊維基材 1 4 又はマトリックス樹脂 1 6 との間に生ずる空隙であり、実際の製品の F R P 構造体 (被検体) において実際に発生し得る層間剥離による空隙に近いものである。なお、収縮差により形成された空隙 2 2 の寸法 H は、 $0.1 \mu\text{m}$ 以上にすることが望ましい。より好ましくは、収縮差により形成された空隙 2 2 の寸法 H として、 $1 \mu\text{m}$ 以上確保することが好ましい。

【 0 0 3 9 】

この収縮差により形成された空隙 2 2 は、超音波探傷試験に用いられる超音波を強く反射する。また、この耐熱高線膨張材 2 0 の厚さは薄くすることが可能であることから、人工欠陥材料 1 0 を被検体と同様の形状及び製造方法で成形することができる。従って、人工欠陥材料 1 0 に関する制約が少ないので、多種の F R P 構造体 (被検体) を模した標準試験片を、容易に製造することができる。

【 0 0 4 0 】

図 1 に示す人工欠陥材料 1 0 を用いることにより、超音波探傷試験の校正時におけるノイズ成分を低減することができ、F R P 構造体 (被検体) の超音波探傷試験における二次検査を省略して検査工数を低減することも可能となる。

【 0 0 4 1 】

耐熱高線膨張材 2 0 に線膨張係数が高い素材を用いることにより、F R P 構造体の冷却時において耐熱高線膨張材 2 0 が熱収縮し、耐熱高線膨張材 2 0 は F R P 構造体との間で剥がれ易くなる。これにより、耐熱高線膨張材 2 0 と F R P 構造体との間での剥離をより確実にして、均一な収縮差により形成された空隙 2 2 を有する高品質な標準試験片を提供することができる。

【 0 0 4 2 】

また、人工欠陥材料 1 0 の製造時において、強化繊維基材 1 4 の層間に耐熱高線膨張材 2 0 を配置する前に、耐熱高線膨張材 2 0 の表面に離型剤を塗布する離型処理を行っておくことによって、冷却時における耐熱高線膨張材 2 0 の剥離を促進することができる。

【 0 0 4 3 】

耐熱高線膨張材 20 の素材として、剥離性に優れたシリコーンゴム、シリコーン樹脂を用いることが好ましい。また、高耐熱性が必要な場合にはフッ素ゴム（フッ素樹脂よりも線膨張係数が大きい素材。）を用いることができる。また、中耐熱性の素材として、天然ゴム、ブタジエンゴム、スチレンゴム、ブチルゴム、ニトリルゴム、エチレンプロピレンゴム、クロロスルホン化ポリエチレンゴム等の素材を用いることができる。また、耐熱性が不要な場合には、ウレタンゴム等の素材を用いることもできる。また、ショア硬度が A 20 ~ A 70 の素材を用いることができる。

【 0 0 4 4 】

耐熱高線膨張材 20 の素材を選定するに際しては、価格、成形温度、使用する離型剤に対する耐薬品性、必要となる収縮差により形成された空隙 22 の寸法（FRP 構造体の線膨張係数との差）等を考慮して決定することが好ましい。

10

【 0 0 4 5 】

離型剤には、フッ素系の化合物や、シリコーン系のものを用いることができる。

【 0 0 4 6 】

次に、図 1 に示す人工欠陥材料 10 の製造方法（熱硬化型）について説明する。

【 0 0 4 7 】

[強化繊維基材 14 の層を配置する工程]

図 2 を参照して、人工欠陥材料 10 を成形する場合には、先ず所定の形状を有する治具 80 の上に強化繊維基材 14 を積層配置する。治具 80 の素材として、金属、FRP 構造体、石膏、その他の材料を用いることができ、硬化温度と治具素材の耐熱性を考慮して選

20

【 0 0 4 8 】

[強化繊維基材 14 の層間に耐熱高線膨張材 20 を配置する工程]

必要に応じて耐熱高線膨張材 20 の表面に離型剤を塗布する。そして、強化繊維基材 14 の少なくとも一つの層間における所定の位置に、所定の大きさの耐熱高線膨張材 20 を配置する。

【 0 0 4 9 】

[強化繊維基材 14 をバッグ 82 で被う工程]

図 3 を参照して、強化繊維基材 14、及び耐熱高線膨張材 20 をシーラント 84、バッグ 82 等の副資材で被い、バッグ 82 と治具 80 との間で気密性を確保する。なお、図 3 に示す実施形態では、副資材としてシーラント 84、及びバッグ 82 を図示したが、必要に応じてピールプライ、ブリーザクロス、その他の副資材を配置することができる。

30

【 0 0 5 0 】

[強化繊維基材 14 が配置されたバッグ 82 の内部を真空に引く工程]

治具 80 とバッグ 82 とで囲まれた強化繊維基材 14 が配置された部位を真空に引いて、大気圧を用いて強化繊維基材 14 に押圧力を印加する。

【 0 0 5 1 】

[強化繊維基材 14 が配置されているバッグ 82 の内部にマトリックス樹脂 16 を注入する工程]

40

真空に引いた部位にマトリックス樹脂 16 を注入して、強化繊維基材 14 及び強化繊維基材 14 の層間にマトリックス樹脂 16 を含浸させる。

【 0 0 5 2 】

[強化繊維基材 14、耐熱高線膨張材 20、及びマトリックス樹脂 16 を常温よりも高温な成形温度に上昇させて FRP 構造体の成形を行う工程]

マトリックス樹脂 16 として熱硬化型のものを用いる場合には、強化繊維基材 14、耐熱高線膨張材 20、及びマトリックス樹脂 16 を成形温度まで上昇させて、所定時間かけてマトリックス樹脂 16 を硬化させ、強化繊維基材 14 の複数の層同士とマトリックス樹脂を一体化する。この加温によって強化繊維基材 14 の層間に配置した耐熱高線膨張材 20 が熱膨張して、一般の樹脂成形時における中子のように機能して人工欠陥部分の形状を

50

形成する（図4参照。）。加温による硬化時間は、例えば2～3時間である。

【0053】

[FRP構造体の成形後に常温に下げる工程]

所定の硬化時間が経過してマトリックス樹脂16が硬化したら、FRP構造体の温度を常温に下げて、FRP構造体の人工欠陥材料10を形成する。このときFRP構造体の線膨張係数と耐熱高線膨張材20の線膨張係数との差により、収縮差により形成された空隙22が形成される。その後、バッグ82を取り外すと、図1に示す人工欠陥材料10が得られる。

【0054】

なお、必要に応じて、FRP構造体（標準試験片）の一部を切除する加工を行って、FRP構造体（標準試験片）から耐熱高線膨張材20を取り出すトリミング工程を追加することもできる。FRP構造体（標準試験片）の成形後に、FRP構造体（標準試験片）から耐熱高線膨張材20を取り出すことによって、耐熱高線膨張材20を含まない標準試験片を製造することができる。

10

【0055】

耐熱高線膨張材20に、高線膨張係数を有すると共に剥離性に優れる素材を用いることによって、冷却後にFRP構造体と耐熱高線膨張材20との間に隙間を形成することができる。また、耐熱高線膨張材20に、高線膨張係数を有すると共に剥離性に優れる素材を用いることによって、冷却後にFRP構造体から耐熱高線膨張材20を抜き取ることも容易となる。

20

【0056】

強化繊維基材14の素材として、炭素繊維、ガラス繊維、アラミド繊維、ポリパラフェニレンベンゾピスオキサゾール繊維、フェノール繊維、ポリエチレン繊維、ポリビニルアルコール繊維等の有機繊維、金属繊維、セラミック繊維、又はこれらの組み合わせを使用することもできる。また、プリプレグ材を用いることもできる。

【0057】

また、マトリックス樹脂16として、熱可塑性樹脂又は熱硬化性樹脂を使用することができる。成形性や、力学特性の面からは、現状では熱硬化性樹脂を用いることが好ましい。熱硬化性樹脂として、例えば、エポキシ、フェノール、ビニルエステル、不飽和ポリエステル、シアネートエステル、ビスマレイミド、ベンゾオキサジン、その他の樹脂を用いることができ、硬化するために、硬化剤、硬化促進剤、重合開始剤、触媒等が添加されている。更に、エラストマー、ゴム等を添加したものも使用することができる。なお、治具80やバッグの強化繊維基材14の側には、離型剤や樹脂拡散メディアを配置しておくことが好ましい。

30

【0058】

上記の実施形態では、マトリックス樹脂16として熱硬化型の樹脂を用いる実施形態について説明したが、熱可塑性の樹脂を用いた人工欠陥材料10（標準試験片）を形成することもできる。熱可塑性樹脂として、例えば、PPS（ポリフェニレンサルファイド）、PEEK（ポリエーテルエーテルケトン）、PEKK（ポリエーテルケトンケトン）、PEK（ポリエーテルケトン）、PI（ポリイミド）、PEI（ポリエーテルイミド）、PA（ナイロンポリアミド）等を用いることができる。

40

【0059】

マトリックス樹脂16として熱可塑性型のものを用いる場合には、強化繊維基材14内の所定の位置に所定の大きさの耐熱高線膨張材20を配置した後に、高温下で軟化したマトリックス樹脂16を強化繊維基材14及び強化繊維基材14の層間に含浸させる。このとき、加温によって強化繊維基材14の層間に配置した耐熱高線膨張材20が熱膨張して、人工欠陥部分の形状を形成する。その後FRP構造体（標準試験片）の温度を常温に下げると、FRP構造体（標準試験片）の線膨張係数と耐熱高線膨張材20の線膨張係数との差により、FRP構造体（標準試験片）と耐熱高線膨張材20との間に収縮差により形成された空隙22が形成される。すると、図1に示す人工欠陥材料10が得られる。また

50

、強化繊維基材 1 4 及びマトリックス樹脂 1 6 に変えて、熱可塑性のプリプレグ材を用いて人工欠陥材料 1 0 を形成することもできる。

【 0 0 6 0 】

次に、図 5 を参照して、人工欠陥材料の他の構成例について説明する。図 5 は、強化繊維基材 1 4 の層が多層であり、強化繊維基材 1 4 の層間に層間空隙 2 3 が形成されている人工欠陥材料 1 0 A の構成例を説明する図である。なお、図 1 に示した部位と同一の機能を有する部位については、同一の符号を付してその説明を省略する。

【 0 0 6 1 】

人工欠陥材料の形状や構成は、図 1 に示した人工欠陥材料 1 0 に限定されず、被検体となる F R P 構造体の形状や構成に応じて、人工欠陥材料の形状や構成も適宜設定することができる。例えば図 5 に示す人工欠陥材料 1 0 A では、強化繊維基材 1 4 の層は 3 層で表してあるが、数十層以上配置することもできる。また、収縮差により形成された空隙 2 2 (人工欠陥) の位置も、必要に応じて適宜配置することができる。更には、被験体となる F R P 構造体の形状や構成に応じて、収縮差により形成された空隙 2 2 は強化繊維基材 1 4 による層間に限定されず、少なくとも 1 つが接着剤により形成される層間であっても良い。

【 0 0 6 2 】

(第 2 の実施形態)

次に、プリプレグ材 1 4 P (強化繊維基材にマトリックス樹脂 1 6 を含浸させた基材)を用いた人工欠陥材料 1 0 P について図 6 乃至図 8 を用いて説明する。図 6 は、冷却後の完成した人工欠陥材料 1 0 P (標準試験片)の断面図である。図 7 は、治具 8 0 の上にプリプレグ材 1 4 P、及び耐熱高線膨張材 2 0 を積層配置すると共にバッグ 8 2 で被い、バッグ 8 2 と治具 8 0 との間で気密性を確保する状態を示す断面図である。図 8 は、加温成形時における人工欠陥材料 1 0 P の断面図である。

【 0 0 6 3 】

図 6 を参照して、人工欠陥材料 1 0 P は、プリプレグ材 1 4 P と、耐熱高線膨張材 2 0 と、収縮差により形成された空隙 2 2 とを備えている。図には明示されていないが、被検体となる F R P 構造体の形状や構成に応じて、収縮差により形成された空隙 2 2 は強化繊維基材 1 4 による層間に限定されず、少なくとも 1 つが接着剤により形成される層間であっても良い。

【 0 0 6 4 】

人工欠陥材料 1 0 P は、製品となる F R P 構造体 (被検体) を成形した後に、超音波探傷試験を行う際の校正に用いる標準試験片である。人工欠陥材料 1 0 P は、積層したプリプレグ材 1 4 P 同士を一体化、硬化させた F R P 構造体の標準試験片である。

【 0 0 6 5 】

耐熱高線膨張材 2 0 は、加温成形時におけるプリプレグ材 1 4 P の硬化温度と、冷却後の常温との温度差に応じて、大きく熱膨張と熱収縮とを行う素材である。耐熱高線膨張材 2 0 の線膨張係数は、F R P 構造体の線膨張係数よりも大きくなるように、耐熱高線膨張材 2 0 の素材を選定する。

【 0 0 6 6 】

加温成形時には、図 8 に示すように耐熱高線膨張材 2 0 は熱膨張して定形性を維持しつつ体積が増し、耐熱高線膨張材 2 0 は人工欠陥材料 1 0 P の F R P 構造体の内部に所定の形状を形成する中子として機能する。

【 0 0 6 7 】

冷却後には、図 6 に示すように耐熱高線膨張材 2 0 は熱収縮して体積が減少する。すると、人工欠陥材料 1 0 P の F R P 構造体の内部に形成した所定の形状と、熱収縮した耐熱高線膨張材 2 0 との間に収縮差により形成された空隙 2 2 が生ずる。この収縮差により形成された空隙 2 2 を、超音波探傷試験用の標準試験片として使用する際の、人工欠陥として用いることができる。

【 0 0 6 8 】

10

20

30

40

50

耐熱高線膨張材 20、離型剤、耐熱高線膨張材 20、治具 80、バッグ 82、シーラント 84 等は、上記第 1 の実施形態で用いた材料、寸法を用いることができる。

【0069】

次に、図 6 に示す人工欠陥材料 10P の製造方法（熱硬化型）について説明する。

【0070】

[プリプレグ材 14P の層を配置する工程]

図 7 を参照して、人工欠陥材料 10P を成形する場合には、先ず所定の形状を有する治具 80 の上にプリプレグ材 14P を積層配置する。

【0071】

[プリプレグ材 14P の層間に耐熱高線膨張材 20 を配置する工程]

必要に応じて耐熱高線膨張材 20 の表面に離型剤を塗布する。そして、プリプレグ材 14P の少なくとも一つの層間における所定の位置に、所定の大きさの耐熱高線膨張材 20 を配置する。

【0072】

[プリプレグ材 14P をバッグ 82 で被う工程]

図 7 を参照して、プリプレグ材 14P、及び耐熱高線膨張材 20 をシーラント 84、バッグ 82 等の副資材で被い、バッグ 82 と治具 80 との間で気密性を確保する。なお、図 7 に示す実施形態では、副資材としてシーラント 84、及びバッグ 82 を図示したが、必要に応じてピールブライ、ブリーザクロス、その他の副資材を配置することができる。

【0073】

[プリプレグ材 14P が配置されたバッグ 82 の内部を真空に引く工程]

治具 80 とバッグ 82 とで囲まれたプリプレグ材 14P が配置された部位を真空に引いて、大気圧を用いてプリプレグ材 14P に押圧力を印加する。

【0074】

[プリプレグ材 14P、及び耐熱高線膨張材 20 を常温よりも高温な成形温度に上昇させて FRP 構造体の成形を行う工程]

マトリックス樹脂 16 が熱硬化型である場合には、プリプレグ材 14P、耐熱高線膨張材 20、及びマトリックス樹脂 16 を成形温度まで上昇させて、所定時間かけてプリプレグ材 14P、マトリックス樹脂 16 を硬化させ、プリプレグ材 14P の複数の層同士を一体化する。この加温によってプリプレグ材 14P の層間に配置した耐熱高線膨張材 20 が熱膨張して、一般の樹脂成形時における中子のように機能して人工欠陥部分の形状を形成する（図 8 参照。）。

【0075】

[FRP 構造体の成形後に常温に下げる工程]

所定の硬化時間が経過してマトリックス樹脂 16 が硬化したら、FRP 構造体の温度を常温に下げて、FRP 構造体の人工欠陥材料 10P を形成する。このとき FRP 構造体の線膨張係数と耐熱高線膨張材 20 の線膨張係数との差により、収縮差により形成された空隙 22 が形成される。その後、バッグ 82 を取り外すと、図 6 に示す人工欠陥材料 10P が得られる。

【0076】

(第 3 の実施形態)

前述の第 1 の実施形態では、耐熱高線膨張材 20 を強化繊維基材 14 の層間に配置して、高温の成形温度下において耐熱高線膨張材 20 を熱膨張させて樹脂成形時における中子のように機能させて人工欠陥部分の形状を形成した。その成形後に常温に下げることによって、FRP 構造体の線膨張係数と耐熱高線膨張材 20 の線膨張係数との差により収縮差により形成された空隙 22 を形成する実施形態を示した。

【0077】

これに対し第 3 の実施形態では、耐熱高線膨張材 20 を強化繊維基材 14 の層間に配置して、高温の成形温度下において耐熱高線膨張材 20 を熱膨張させて樹脂成形時における中子として機能させて層間空隙 23 の形状を形成する。その成形後に常温に下げることに

10

20

30

40

50

よって、FRP構造体12の線膨張係数と耐熱高線膨張材20の線膨張係数との差により収縮差により形成された空隙22を形成して、耐熱高線膨張材20を抜き易くする実施形態である。

【0078】

図9は、二つの強化繊維基材14で囲まれた層間空隙23を有するFRP構造体12の完成後の外観斜視図である。

【0079】

図9を参照して、FRP構造体12は、強化繊維基材14の複数の層と、マトリックス樹脂16と、強化繊維基材14の層で囲まれた層間空隙23（図9に示す実施形態では断面形状が台形の空間。）とを有している。

10

【0080】

FRP構造体12は、積層した強化繊維基材14同士をマトリックス樹脂16で一体化、硬化させたものであり、ストリンガー、型材等の構造材である。なお、層間空隙23の形状は、さまざまな形状に成形することができる。

【0081】

次に、図9に示すFRP構造体12の製造方法について、図10乃至図13を用いて説明する。図10は、成形用の治具80の上に強化繊維基材14及び耐熱高線膨張材20を配置した状態を示す図である。図11は、耐熱高線膨張材20を取り囲むように強化繊維基材14を上方から配置した状態を示す図である。図12は、強化繊維基材14及び耐熱高線膨張材20をバッグ82で被い、バッグ82と治具80との間で気密性を確保した加温成形時を説明する図である。図13は、FRP構造体12の成形を行った後の常温において、バッグ82を取り外した状態を示す図である。

20

【0082】

[強化繊維基材14を配置する工程]

図10を参照して、FRP構造体12を成形する場合には、先ず所定の形状を有する治具80の上に強化繊維基材14を積層配置する。

【0083】

[強化繊維基材14の層間に耐熱高線膨張材20を配置する工程]

必要に応じて耐熱高線膨張材20の表面に離型剤を塗布する。そして、強化繊維基材14の少なくとも一つの層間となる所定の位置に、所定の大きさの耐熱高線膨張材20を配置する（図10参照）。次に、耐熱高線膨張材20を取り囲むように強化繊維基材14を上方から被せる（図11参照）。

30

【0084】

[強化繊維基材14をバッグ82で被う工程]

図12を参照して、強化繊維基材14、及び耐熱高線膨張材20をシーラント84、バッグ82等の副資材で被い、バッグ82と治具80との間で気密性を確保する。なお、図7に示す実施形態では、副資材としてシーラント84、及びバッグ82を図示したが、必要に応じてピールブライ、ブリーザクロス、その他の副資材を配置することができる。

【0085】

[強化繊維基材14が配置されたバッグ82の内部を真空に引く工程]

治具80とバッグ82とで囲まれた強化繊維基材14が配置された部位を真空に引いて、大気圧を用いて強化繊維基材14に押圧力を印加する。

40

【0086】

[強化繊維基材14が配置されているバッグ82の内部にマトリックス樹脂16を注入する工程]

真空に引いた部位にマトリックス樹脂16を注入して、マトリックス樹脂16を強化繊維基材14の束内及び強化繊維基材14の層間に含浸させる。

【0087】

[強化繊維基材14、耐熱高線膨張材20、及びマトリックス樹脂16を常温よりも高温な成形温度に上昇させてFRP構造体の成形を行う工程]

50

マトリックス樹脂 16 として熱硬化型のものを用いる場合には、強化繊維基材 14、耐熱高線膨張材 20、及びマトリックス樹脂 16 を成形温度まで上昇させて、所定時間かけてマトリックス樹脂 16 を硬化させ、強化繊維基材 14 の層同士を接着する。この加温によって、強化繊維基材 14 の層間に配置した耐熱高線膨張材 20 が熱膨張して中子として機能し、層間空隙 23 の内面に所定の形状を成形する。加温成形時の硬化時間は、例えば 2 ~ 3 時間である。

【 0088 】

強化繊維基材 14 の層間に耐熱高線膨張材 20 を配置して温度を上昇させると、耐熱高線膨張材 20 が熱膨張するので強化繊維基材 14 の層を内側から圧縮する力が増す。更に、ショア硬度が A20 ~ A70 の範囲にある耐熱高線膨張材 20 を用いることにより、中子としての定形性が保たれると共に強化繊維基材 14 との間で形状が馴染み易く抗わない。強化繊維基材 14 同士を圧縮する力が付加されることにより、複雑な断面形状を有する FRP 構造体 12 の成形時に生じやすいポロシティ（気泡）を減少させて、FRP 構造体 12 の品質を向上させることができる。

10

【 0089 】

[FRP 構造体 12 の成形後に常温に下げる工程]

図 13 を参照して、所定の硬化時間が経過してマトリックス樹脂 16 が硬化したら、FRP 構造体 12 の温度を常温に下げて FRP 構造体 12 を形成する。冷却後には、FRP 構造体 12 の線膨張係数と耐熱高線膨張材 20 の線膨張係数との差により、層間空隙 23 における FRP 構造体 12 と耐熱高線膨張材 20 との間に収縮差により形成された空隙 22 が形成される。その後、バッグ 82 を取り外し、耐熱高線膨張材 20 を強化繊維基材 14 の層間空隙 23 から抜き取ると、図 9 に示す FRP 構造体 12 が得られる。なお、必要に応じて、FRP 構造体 12 の一部を切除する加工を行って、耐熱高線膨張材 20 を取り出すトリミング工程を追加することもできる。

20

【 0090 】

強化繊維基材 14 の素材として、炭素繊維、ガラス繊維、アラミド繊維、ポリパラフェニレンベンゾビスオキサゾール繊維、フェノール繊維、ポリエチレン繊維、ポリビニルアルコール繊維等の有機繊維、金属繊維、セラミック繊維、又はこれらの組み合わせを使用することもできる。また、プリプレグ材を用いることもできる。

【 0091 】

また、マトリックス樹脂 16 として、熱可塑性樹脂又は熱硬化性樹脂を使用することができる。成形性や、力学特性の面からは、現状では熱硬化性樹脂を用いることが好ましい。熱硬化性樹脂として、例えば、エポキシ、フェノール、ビニルエステル、不飽和ポリエステル、シアネートエステル、ビスマレイミド、ベンゾオキサジン、その他の樹脂を用いることができ、硬化するために、硬化剤、硬化促進剤、重合開始剤、触媒等が添加されている。更に、エラストマー、ゴム等を添加したものも使用することができる。なお、治具 80 やバッグの強化繊維基材 14 の側には、離型剤や樹脂拡散メディアを配置しておくことが好ましい。また、熱可塑性樹脂として、例えば、PPS（ポリフェニレンサルファイド）、PEEK（ポリエーテルエーテルケトン）、PEKK（ポリエーテルケトンケトン）、PEK（ポリエーテルケトン）、PI（ポリイミド）、PEI（ポリエーテルイミド）、PA（ナイロンポリアミド）等を用いることができる。

30

【 0092 】

耐熱高線膨張材 20 は、加温成形時におけるマトリックス樹脂 16 の硬化温度と、冷却後の常温との温度差に応じて熱膨張及び熱収縮する素材である。耐熱高線膨張材 20 の線膨張係数は、FRP 構造体 12 の線膨張係数よりも大きくなるように、耐熱高線膨張材 20 の素材を選定する。大きな線膨張係数を有する耐熱高線膨張材 20 を用いることにより、耐熱高線膨張材 20 に抜きテーパを形成することなく、強化繊維基材 14 の層間空隙 23 から耐熱高線膨張材 20 を抜き取ることが容易となる。なお、耐熱高線膨張材 20 において、抜きテーパを併用することもできる。

40

【 0093 】

50

F R P 構造体 1 2 から耐熱高線膨張材 2 0 を抜き取るためには、F R P 構造体 1 2 と熱収縮後の耐熱高線膨張材 2 0 との間の収縮差により形成された空隙 2 2 の寸法が、例えば J I S B 0 4 0 1 に規定されている、すきまばめの寸法公差における e 8 乃至 c 9 以上の隙間になるように耐熱高線膨張材 2 0 の素材を選択することが望ましい。

【 0 0 9 4 】

例えば、図 9 に示す強化繊維基材 1 4 で囲まれた層間空隙 2 3 の一辺の長さ（基準寸法）が 5 m m である場合について検討する。基準寸法が 5 m m の場合における e 8 のはめあいの寸法公差は - 2 5 ~ - 4 7 μ m である。

【 0 0 9 5 】

例えば、F R P 構造体 1 2 の線膨張係数 $\alpha_1 = 0.2 \times 10^{-6}$ (1 /)、耐熱高線膨張材 2 0 の線膨張係数 $\alpha_2 = 100 \times 10^{-6}$ (1 /)、加温成形時の温度が 1 8 0 、冷却後の常温が 1 5 、温度差 $T = 165$ 、耐熱高線膨張材 2 0 の長さ（基準寸法） $L = 5$ m m、と仮定した場合における収縮差により形成された空隙 2 2 の寸法について試算する。

【 0 0 9 6 】

この場合に収縮差により形成された空隙 2 2 の寸法 H は、 $H = (\alpha_1 - \alpha_2) \times T \times L = - 82 \mu m$ となる。この寸法 H は、基準寸法における e 8 のすきまばめの寸法公差（ - 2 5 ~ - 4 7 μ m ）よりも広い隙間を形成するものである。従って、成形後の F R P 構造体 1 2 から耐熱高線膨張材 2 0 を抜き取る脱型が容易となる。

【 0 0 9 7 】

耐熱高線膨張材 2 0 の線膨張係数は、F R P 構造体の線膨張係数に対して 60×10^{-6} (1 /) 以上となる高線膨張係数の素材を用いることが好ましい。より好ましくは、耐熱高線膨張材 2 0 の線膨張係数は、F R P 構造体の線膨張係数に対して 100×10^{-6} (1 /) 以上となる高線膨張係数の素材を用いることが好ましい。また、耐熱高線膨張材 2 0 の素材は、図 1 2 に示す加温成形時におけるマトリックス樹脂 1 6 の硬化温度（樹脂の物性に依りて 1 3 0 ~ 5 0 0 。）に耐える耐熱性を備える必要がある。

【 0 0 9 8 】

また、F R P 構造体 1 2 の製造時において、強化繊維基材 1 4 内に耐熱高線膨張材 2 0 を配置する際に、耐熱高線膨張材 2 0 の表面に離型剤を塗布しておくことによって、冷却時における耐熱高線膨張材 2 0 の剥離を促進することができる。

【 0 0 9 9 】

図 1 2 に示すように、耐熱高線膨張材 2 0 は加温成形時において F R P 構造体 1 2 の層間に所定の形状の層間空隙 2 3 を形成する。そのためには、耐熱高線膨張材 2 0 の硬度はある程度硬く形状精度が高いことが好ましい。なお、耐熱高線膨張材 2 0 の硬度が極めて高い場合には、成形後に抜き取る脱型が困難になることが予想される。従って、耐熱高線膨張材 2 0 のショア硬度は、A 2 0 ~ A 7 0 の範囲にあることが好ましい。なお、耐熱高線膨張材 2 0 として形状精度が高い素材を用いることによって、強化繊維基材 1 4 同士を接合する部分（図 1 1 及び図 1 2 に示す実施形態では、台形断面の下底と脚との 2 箇所との交点部分。）に所定形状のフィレットを形成するなど、層間空隙 2 3 の内面に細かな形状を成形することができる。

【 0 1 0 0 】

耐熱高線膨張材 2 0 の素材として、剥離性に優れたシリコーンゴム、シリコーン樹脂を用いることが好ましい。また、高耐熱性が必要な場合にはフッ素ゴムを用いることができる。また、中耐熱性の素材として、天然ゴム、ブタジエンゴム、スチレンゴム、ブチルゴム、ニトリルゴム、エチレンプロピレンゴム、クロロスルホン化ポリエチレンゴム等の素材を用いることができる。また、耐熱性が不要な場合には、ウレタンゴム等の素材を用いることもできる。

【 0 1 0 1 】

耐熱高線膨張材 2 0 の素材を選定するに際しては、価格、成形温度、使用する離型剤に対する耐薬品性、必要となる収縮差により形成された空隙 2 2 の寸法（F R P 構造体 1 2

10

20

30

40

50

の線膨張係数との差)等を考慮して決定することが好ましい。

【0102】

離型剤には、フッ素系の化合物や、シリコン系のものを用いることができる。

【0103】

上記の実施形態では、マトリックス樹脂16として熱硬化型の樹脂を用いる実施形態について説明したが、熱可塑性の樹脂を用いたFRP構造体12についても適用することができる。

【0104】

FRP構造体12の層間空隙23を成形する中子として耐熱高線膨張材20を用いることにより、断面積が小さい層間空隙23や、断面形状が複雑な層間空隙23を安価にて成形することができる。

10

【0105】

(第4の実施形態)

前述の第3の実施形態では、強化繊維基材14を用いたFRP構造体12について説明した。これに対し第4の実施形態では、プリプレグ材14Pを用いたFRP構造体12Pについて説明する。

【0106】

図14は、二つのプリプレグ材14Pで囲まれた層間空隙23を有するFRP構造体12Pの完成後の外観斜視図である。

【0107】

図14を参照して、FRP構造体12Pは、複数のプリプレグ材14Pと、耐熱高線膨張材20と、プリプレグ材14Pで囲まれた層間空隙23とを有している。

20

【0108】

FRP構造体12Pは、積層したプリプレグ材14Pを硬化させたものであり、ストリンガー、型材等の構造材である。

【0109】

次に、図14に示すFRP構造体12Pの製造方法について、図15乃至図18を用いて説明する。図15は、成形用の治具80の上にプリプレグ材14P及び耐熱高線膨張材20を配置した状態を示す図である。図16は、耐熱高線膨張材20を取り囲むようにプリプレグ材14Pを上方から配置した状態を示す図である。図17は、複数のプリプレグ材14P及び耐熱高線膨張材20をバッグ82で被い、バッグ82と治具80との間で気密性を確保した加温成形時を説明する図である。図18は、FRP構造体12Pの成形を行った後の常温において、バッグ82を取り外した状態を示す図である。

30

【0110】

[複数のプリプレグ材14Pを配置する工程]

図15を参照して、FRP構造体12Pを成形する場合には、先ず所定の形状を有する治具80の上にプリプレグ材14Pを積層配置する。

【0111】

[複数のプリプレグ材14Pの層間に耐熱高線膨張材20を配置する工程]

必要に応じて耐熱高線膨張材20の表面に離型剤を塗布する。そして、プリプレグ材14Pの層間となる所定の位置に、所定の大きさの耐熱高線膨張材20を配置する(図15参照)。次に、耐熱高線膨張材20を取り囲むようにプリプレグ材14Pを上方から被せる(図16参照)。

40

【0112】

[複数のプリプレグ材14Pをバッグ82で被う工程]

図17を参照して、複数のプリプレグ材14P及び耐熱高線膨張材20を、シーラント84、バッグ82等の副資材で被い、バッグ82と治具80との間で気密性を確保する。なお、図7に示す実施形態では、副資材としてシーラント84、及びバッグ82を図示したが、必要に応じてピールプライ、ブリーザクロス、その他の副資材を配置することができる。

50

【 0 1 1 3 】

[複数のプリプレグ材 1 4 P が配置されたバッグ 8 2 の内部を真空に引く工程]

治具 8 0 とバッグ 8 2 とで囲まれたプリプレグ材 1 4 P が配置された部位を真空に引いて、大気圧を用いてプリプレグ材 1 4 P に押圧力を印加する。

【 0 1 1 4 】

[複数のプリプレグ材 1 4 P、耐熱高線膨張材 2 0 を常温よりも高温な成形温度に上昇させて F R P 構造体の成形を行う工程]

複数のプリプレグ材 1 4 P、及び耐熱高線膨張材 2 0 を成形温度まで上昇させて、所定時間かけてマトリックス樹脂を硬化させる。この加温によって、プリプレグ材 1 4 P の層間に配置した耐熱高線膨張材 2 0 が膨張して中子として機能し、層間空隙 2 3 の内面に所定の形状を成形する。

10

【 0 1 1 5 】

プリプレグ材 1 4 P の層間に耐熱高線膨張材 2 0 を配置して温度を上昇させると、耐熱高線膨張材 2 0 が膨張するのでプリプレグ材 1 4 P の層を圧縮する力が増す。

【 0 1 1 6 】

[F R P 構造体の成形後に常温に下げる工程]

図 1 8 を参照して、所定の硬化時間が経過してマトリックス樹脂が硬化したら、F R P 構造体 1 2 P の温度を常温に下げる。冷却後には、F R P 構造体 1 2 P の線膨張係数と耐熱高線膨張材 2 0 の線膨張係数との差により、層間空隙 2 3 における F R P 構造体 1 2 P と耐熱高線膨張材 2 0 との間に収縮差により形成された空隙 2 2 が形成される。その後、

20

バッグ 8 2 を取り外し、耐熱高線膨張材 2 0 をプリプレグ材 1 4 P の層間空隙 2 3 から抜き取ると、図 1 4 に示す F R P 構造体 1 2 P が得られる。

【 0 1 1 7 】

耐熱高線膨張材 2 0、離型剤、耐熱高線膨張材 2 0、治具 8 0、バッグ 8 2 等は、上記第 3 の実施形態で用いた材料を用いることができる。

【 0 1 1 8 】

(第 5 の実施形態)

前述の第 3 の実施形態では、層間空隙 2 3 が一箇所存在する F R P 構造体 1 2 の成形について説明した。これに対し第 5 の実施形態では、層間空隙 2 3 が複数存在する F R P 構造体 1 3 の成形について説明する。

30

【 0 1 1 9 】

図 1 9 は、強化繊維基材 1 4 で囲まれた層間に複数の層間空隙 2 3 を形成した F R P 構造体 1 3 の完成後の側面図である。従来は、図 1 9 に示すようなコルゲートサンドイッチ構造の構造材を成形するに際して多くの工程を必要としたり、割型などの高価な治工を用いる必要があった。図 1 9 に示す F R P 構造体 1 3 の製造方法について、図 2 0 及び図 2 1 を用いて以下に説明する。

【 0 1 2 0 】

図 2 0 は、下側の治具 8 0 C 及び上側の治具 8 0 D の間に強化繊維基材 1 4、1 4 A、1 4 B、1 4 C 及び耐熱高線膨張材 2 0 A、2 0 B を配置した加温成形時の説明図である。図 2 1 は、F R P 構造体 1 3 の成形を行った後の常温において、下側の治具 8 0 C、上側の治具 8 0 D、及びバッグを取り外した状態を示す図である。

40

【 0 1 2 1 】

[強化繊維基材 1 4 A、1 4 B、1 4 C を配置する工程]

複数の層間空隙 2 3 を有する F R P 構造体 1 3 を成形する場合には、図 2 0 に示すように所定の形状を有する治具 8 0 C の上に強化繊維基材 1 4 A を積層配置する。そして、強化繊維基材 1 4 A の上の所定の間隔を開けた位置に複数の耐熱高線膨張材 2 0 A を配置する。次に、耐熱高線膨張材 2 0 A の上から強化繊維基材 1 4 B を被せて波形に配置する。次に、波形に配置した強化繊維基材 1 4 B の谷部に、耐熱高線膨張材 2 0 B を配置する。次に、耐熱高線膨張材 2 0 B 及び強化繊維基材 1 4 B の上に、強化繊維基材 1 4 C を配置する。そして、強化繊維基材 1 4 C の上部に治具 8 0 D を配置する。必要に応じて耐熱高

50

線膨張材 20A、20B の表面には離型剤を塗布しておく。

【0122】

次に、強化繊維基材 14A、14B、14C、耐熱高線膨張材 20A、20B、治具 80C、80D をバッグ（不図示）で被い、気密性を確保する。そして、バッグの内部を真空に引いて、大気圧を用いて強化繊維基材 14 に押圧力を印加する。

【0123】

[マトリックス樹脂 16 の含浸及び成形温度における FRP 構造体 13 の成形を行う工程]

次に、真空に引いた部位にマトリックス樹脂 16 を注入して、マトリックス樹脂 16 を強化繊維基材 14A、14B、14C に含浸させる。マトリックス樹脂 16 として熱硬化型のものを用いる場合には、強化繊維基材 14A、14B、14C、耐熱高線膨張材 20A、20B、及びマトリックス樹脂 16 を成形温度まで上昇させて、所定時間かけてマトリックス樹脂 16 を硬化させ、強化繊維基材 14A、14B、14C 同士を一体化する。この加温によって、強化繊維基材 14A、14B、14C の層間に配置した耐熱高線膨張材 20A、20B が熱膨張して中子として機能し、層間空隙 23（図 19、12 参照。）の内面の形状を成形する。

【0124】

[FRP 構造体 13 の成形後に常温に下げる脱型工程]

図 21 を参照して、所定の硬化時間が経過してマトリックス樹脂 16 が硬化したら、FRP 構造体 13 の温度を常温に下げる。すると FRP 構造体 13 の線膨張係数と耐熱高線膨張材 20A、20B の線膨張係数との差により、層間空隙 23 における FRP 構造体 13 と耐熱高線膨張材 20A、20B との間に収縮差により形成された空隙 22 が形成される。その後、バッグ及び治具 80C、80D を取り外し、耐熱高線膨張材 20A、20B を強化繊維基材 14A、14B、14C の層間空隙 23 から抜き取ると、図 19 に示す FRP 構造体 13 が得られる。

【0125】

図 20 に示すように加温成形時においては耐熱高線膨張材 20A、20B が熱膨張して体積が増すので、耐熱高線膨張材 20A、20B は FRP 構造体 13 の層間に所定形状の層間空隙 23 を形成する中子として機能する。

【0126】

冷却後には、図 21 に示すように耐熱高線膨張材 20A、20B は熱収縮して体積が減少する（なお、図 21 においては、説明の都合上耐熱高線膨張材 20A、20B の熱収縮を誇張して表してある。）。すると、FRP 構造体 13 の層間に形成した所定の形状と、熱収縮した耐熱高線膨張材 20A、20B との間に収縮差により形成された空隙 22 が生ずる。この収縮差により形成された空隙 22 を生じさせることによって、中子として機能した耐熱高線膨張材 20A、20B を FRP 構造体 13 の層間空隙 23 から抜き取る脱型が容易になる。

【0127】

耐熱高線膨張材 20A、20B の線膨張係数は、FRP 構造体 13 の線膨張係数に対して $60 \times 10^{-6} (1/\text{mm})$ 以上となる高線膨張係数の素材を用いることが好ましい。より好ましくは、耐熱高線膨張材 20A、20B の線膨張係数は、FRP 構造体 13 の線膨張係数に対して $100 \times 10^{-6} (1/\text{mm})$ 以上となる高線膨張係数の素材を用いることが好ましい。

【0128】

耐熱高線膨張材 20A、20B の素材として要求される物性は、第 3 の実施形態で説明した耐熱高線膨張材 20 と同様である。また、耐熱高線膨張材 20A、20B の表面に塗布する離型剤に要求される物性も、第 3 の実施形態で説明した離型剤と同様である。

【0129】

FRP 構造体 13 の層間空隙 23 を成形する中子として耐熱高線膨張材 20A、20B を用いることにより、断面積が小さい多くの層間空隙 23 や、断面形状が複雑な多くの層

10

20

30

40

50

間空隙 23 を有する F R P 構造体 13 を、安価にて成形することができる。

【 0 1 3 0 】

(第 6 の実施形態)

前述の第 5 の実施形態では、強化繊維基材 14 を用いた F R P 構造体 13 について説明した。これに対し第 6 の実施形態では、プリプレグ材 14 P を用いた F R P 構造体 13 P について説明する。

【 0 1 3 1 】

図 22 は、プリプレグ材 14 P (プリプレグ材 14 Q、14 R、14 S) で囲まれた層間に複数の層間空隙 23 を形成した F R P 構造体 13 P の完成後の側面図である。図 22 に示す F R P 構造体 13 P の製造方法について、図 23 及び図 24 を用いて以下に説明する。

10

【 0 1 3 2 】

図 23 は、下側の治具 80 C 及び上側の治具 80 D の間にプリプレグ材 14 Q、14 R、14 S 及び耐熱高線膨張材 20 を配置した加温成形時の説明図である。図 24 は、F R P 構造体 13 P の成形を行った後の常温において、下側の治具 80 C、上側の治具 80 D、及びバッグを取り外した状態を示す図である。

【 0 1 3 3 】

[プリプレグ材 14 P、14 Q、14 R、14 S を配置する工程]

複数の層間空隙 23 を有する F R P 構造体 13 P を成形する場合には、図 23 に示すように所定の形状を有する治具 80 C の上にプリプレグ材 14 Q を積層配置する。そして、プリプレグ材 14 Q の上の所定の間隔を開けた位置に複数の耐熱高線膨張材 20 A を配置する。次に、耐熱高線膨張材 20 A の上からプリプレグ材 14 R を被せて波形に配置する。次に、波形に配置したプリプレグ材 14 R の谷部に、耐熱高線膨張材 20 B を配置する。次に、耐熱高線膨張材 20 B 及びプリプレグ材 14 R の上に、プリプレグ材 14 S を配置する。そして、プリプレグ材 14 S の上部に治具 80 D を配置する。必要に応じて耐熱高線膨張材 20 A、20 B の表面には離型剤を塗布しておく。また、プリプレグ材 14 Q、14 R、14 S 同士の接合面には、必要に応じて接着剤を配置しておくことができる。

20

【 0 1 3 4 】

次に、プリプレグ材 14 Q、14 R、14 S、耐熱高線膨張材 20 A、20 B、治具 80 C、80 D をバッグ (不図示) で被い、気密性を確保する。そして、バッグの内部を真空に引いて、大気圧を用いてプリプレグ材 14 Q、14 R、14 S に押圧力を印加する。

30

【 0 1 3 5 】

[成形温度における F R P 構造体 13 P の成形を行う工程]

次に、プリプレグ材 14 Q、14 R、14 S、耐熱高線膨張材 20 A、20 B を成形温度まで上昇させて、所定時間かけて硬化剤を硬化させ、プリプレグ材 14 Q、14 R、14 S 同士を接着する。この加温によって、プリプレグ材 14 Q、14 R、14 S の層間に配置した耐熱高線膨張材 20 A、20 B が熱膨張して中子として機能し、層間空隙 23 (図 22、23 参照。) の内面の形状を成形する。

【 0 1 3 6 】

[F R P 構造体 13 P の成形後に常温に下げる脱型工程]

図 24 を参照して、所定の硬化時間が経過してプリプレグ材 14 Q、14 R、14 S が硬化したら、F R P 構造体 13 P の温度を常温に下げる。すると F R P 構造体 13 P の線膨張係数と耐熱高線膨張材 20 A、20 B の線膨張係数との差により、層間空隙 23 における F R P 構造体 13 P と耐熱高線膨張材 20 A、20 B との間に収縮差により形成された空隙 22 が形成される。その後、バッグ及び治具 80 C、80 D を取り外し、耐熱高線膨張材 20 A、20 B をプリプレグ材 14 Q、14 R、14 S の層間空隙 23 から抜き取ると、図 22 に示す F R P 構造体 13 P が得られる。

40

【 0 1 3 7 】

図 23 に示すように加温成形時においては耐熱高線膨張材 20 A、20 B が熱膨張して体積が増すので、耐熱高線膨張材 20 A、20 B は F R P 構造体 13 P の層間に所定形状

50

の層間空隙 2 3 を形成する中子として機能する。

【 0 1 3 8 】

冷却後には、図 2 4 に示すように耐熱高線膨張材 2 0 A、2 0 B は熱収縮して体積が減少する（なお、図 2 4 においては、説明の都合上耐熱高線膨張材 2 0 A、2 0 B の熱収縮を誇張して表してある。）。すると、FRP 構造体 1 3 P の層間に形成した所定の形状と、熱収縮した耐熱高線膨張材 2 0 A、2 0 B との間に収縮差により形成された空隙 2 2 が生ずる。この収縮差により形成された空隙 2 2 を生じさせることによって、中子として機能した耐熱高線膨張材 2 0 A、2 0 B を FRP 構造体 1 3 P の層間空隙 2 3 から抜き取る脱型が容易になる。

【 0 1 3 9 】

耐熱高線膨張材 2 0、離型剤、耐熱高線膨張材 2 0、治具 8 0、バッグ 8 2 等は、上記第 5 の実施形態で用いた材料を用いることができる。

【 0 1 4 0 】

（従来の FRP 構造体 1 2 C の製造方法）

ここで、従来の FRP 構造体 1 2 C の製造方法について、図 2 5 乃至図 3 1 を用いて説明する。図 2 5 は、FRP 中間構造体 1 2 A、1 2 B をそれぞれ組み合わせて成形した従来の FRP 構造体 1 2 C を説明する側面図である。図 2 6 (a)、図 2 6 (b) は、従来の FRP 中間構造体 1 2 A、1 2 B を成形する際に用いる下側の治具 8 0 C、8 0 A の治具準備工程を説明する側面図である。図 2 7 (a)、図 2 7 (b) は、下側の治具 8 0 C、8 0 A の上部にプリプレグ材 1 4 P を積層配置する従来の積層工程を説明する側面図である。

【 0 1 4 1 】

図 2 8 (a)、図 2 8 (b) は、積層したプリプレグ材 1 4 P の上部に、上側の治具 8 0 D、8 0 B を設置する従来の治具設置工程を説明する側面図である。図 2 9 (a)、図 2 9 (b) は、プリプレグ材 1 4 P を炉内で熱硬化させる従来の硬化工程を説明する側面図である。図 3 0 (a) は、FRP 中間構造体 1 2 B から、治具 8 0 C、8 0 D を取り外す従来の脱型工程を説明する側面図である。図 3 0 (b) は、FRP 中間構造体 1 2 A から、治具 8 0 A、8 0 B を取り外す従来の脱型工程を説明する側面図である。図 3 1 は、従来の FRP 中間構造体 1 2 A 及び 1 2 B を接着により接合する接着工程を説明する図である。

【 0 1 4 2 】

図 2 6 (a)、図 2 6 (b) に示す従来の治具準備工程を参照して、FRP 中間構造体 1 2 B、1 2 A 毎に、それぞれ下側の治具 8 0 C、8 0 A (金型、FRP 構造体治具等) を準備する。

【 0 1 4 3 】

次に、図 2 7 (a)、図 2 7 (b) に示す従来の積層工程を参照して、下側の治具 8 0 C、8 0 A の上にプリプレグ材 1 4 P をそれぞれ積層配置する。

【 0 1 4 4 】

次に、図 2 8 (a)、図 2 8 (b) に示す従来の治具設置工程を参照して、プリプレグ材 1 4 P の上部に、上側の治具 8 0 D、8 0 B (金型、FRP 構造体治具等) をそれぞれ設置する。そして、治具 8 0 A ~ 治具 8 0 D 及びプリプレグ材 1 4 P をそれぞれバッグ (不図示) で被う。

【 0 1 4 5 】

次に、図 2 9 (a)、図 2 9 (b) に示す従来の硬化工程を参照して、炉内においてプリプレグ材 1 4 P を常温よりも高温な成形温度に上昇させてプリプレグ材 1 4 P を硬化させる硬化処理 (オートクレーブ成形) を行う。

【 0 1 4 6 】

プリプレグ材 1 4 P が硬化したら、FRP 中間構造体 1 2 A、1 2 B の温度を常温に下げ、バッグを取り外す。次に、図 3 0 (a)、図 3 0 (b) の従来の脱型工程に示すように、治具 8 0 A ~ 治具 8 0 D を取り外して脱型を行うと、FRP 中間構造体 1 2 A、1 2

10

20

30

40

50

Bが得られる。

【0147】

次に、図31を参照して、FRP中間構造体12A、12B同士を組み合わせて接着を行う。接着剤が硬化すると、図25に示すFRP構造体12Cが完成する。

【0148】

以上のように、層間空隙23を有するFRP構造体12Cを製造する場合には、従来は一旦FRP中間構造体12A、12Bを形成する必要があった。また、FRP中間構造体12A、12Bを成形せずに、割型式の中子を用いて一度に成形を行うことも可能であるが、割型は構造が複雑となり、メンテナンスにも工数が必要なことから、層間空隙23を有するFRP構造体12Cの製造には高いコストが必要であった。

10

【0149】

第3の実施形態乃至第6の実施形態に示したように、FRP構造体12、13の層間空隙23を成形する中子として耐熱高線膨張材20を用いることにより、断面積が小さい層間空隙23や、断面形状が複雑な層間空隙23を安価にて成形することができる。

【0150】

以上、実施の形態を参照して本発明による人工欠陥材料及びFRP構造体の製造方法を説明したが、本発明による人工欠陥材料及びFRP構造体の製造方法は上記実施形態に限定されない。上記実施形態に様々の変更を行うことが可能である。上記実施形態に記載された事項と上記他の実施形態に記載された事項とを組み合わせることが可能である。

【0151】

20

また、本発明に係るFRP構造体の製造方法を用いて成形したFRP構造体は、車両、船舶、航空機、あるいは建築部材など種々の分野に用いられる。本発明に係る人工欠陥材料及びFRP構造体の製造方法は、2つ以上の強化繊維基材を組み合わせて、閉空間を有する複雑な最終形状を成形する場合に好適である。また、本発明に係る人工欠陥材料及びFRP構造体の製造方法は、RFI（レジンフィルムインフュージョン成形法）、RTM（樹脂トランスファー成形法）、VaRTM（真空含浸工法）、オートクレーブ成形その他のFRP構造体の成形に用いることができる。

【符号の説明】

【0152】

- 10、10A、10P...人工欠陥材料
- 12、12C、12P、13、13P...FRP構造体
- 12A、12B...FRP中間構造体
- 14、14A、14B、14C...強化繊維基材
- 14P、14Q、14R、14S...プリプレグ材
- 16...マトリックス樹脂
- 20、20A、20B...耐熱高線膨張材
- 22...収縮差により形成された空隙
- 23...層間空隙
- 80、80A、80B、80C、80D...治具
- 82...バッグ
- 84...シーラント

30

40

【要約】

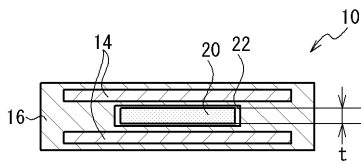
【課題】FRP構造体の層間剥離を模した人工欠陥材料を提供する。

【解決手段】強化繊維基材14の複数の層と、マトリックス樹脂16と、耐熱高線膨張材20とを備えるFRP構造体の人工欠陥材料10であって、FRP構造体の高温成形時には層間に配置された耐熱高線膨張材20が熱膨張して強化繊維基材14の層間に所定の形状が成形され、成形後の常温においては耐熱高線膨張材20が熱収縮して強化繊維基材14との間に収縮差により形成された空隙が形成される。耐熱高線膨張材20の線膨張係数は、FRP構造体の線膨張係数に対して 1.50×10^{-6} (1/)以上の値を有し、成形

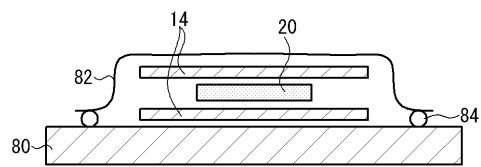
50

温度に耐える定形性及び耐熱性を有する。
【選択図】図 1

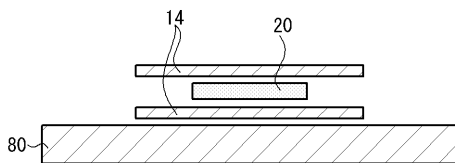
【図 1】



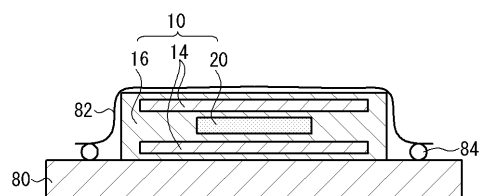
【図 3】



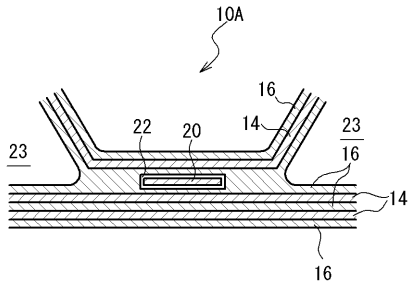
【図 2】



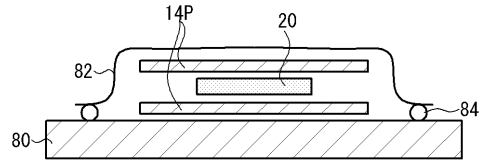
【図 4】



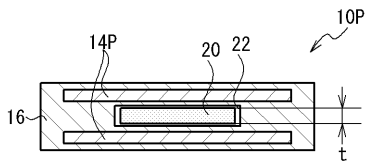
【図5】



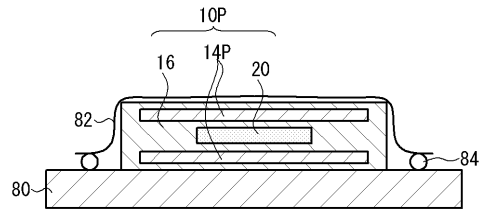
【図7】



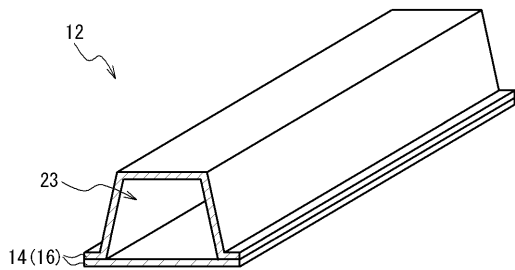
【図6】



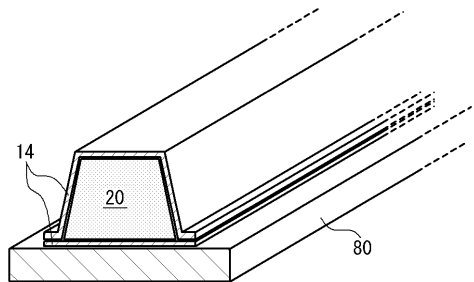
【図8】



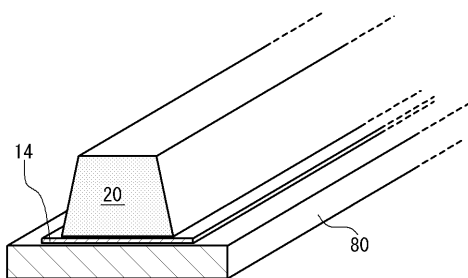
【図9】



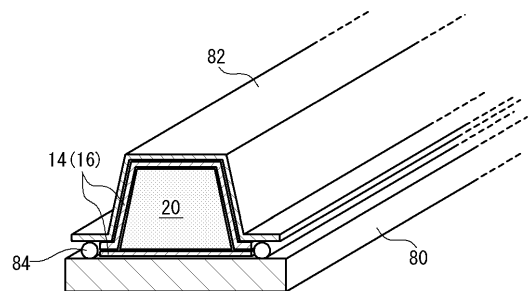
【図11】



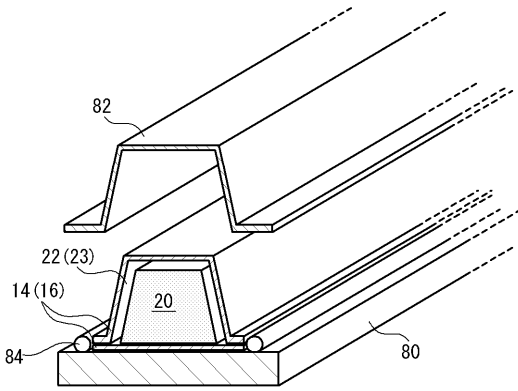
【図10】



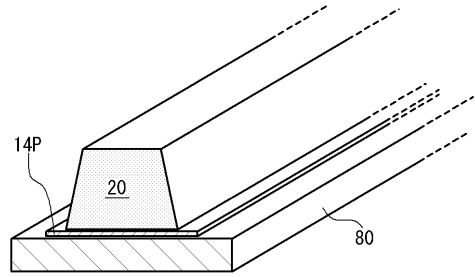
【図12】



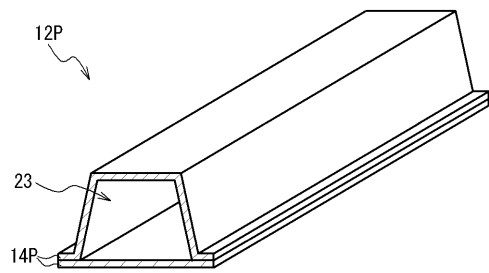
【 図 1 3 】



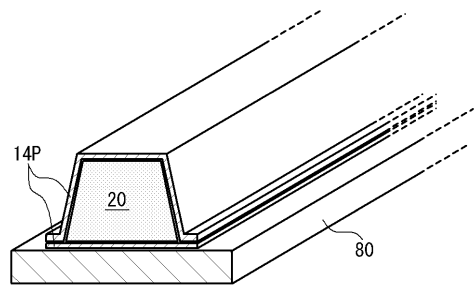
【 図 1 5 】



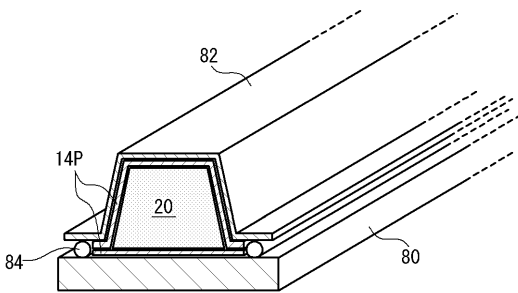
【 図 1 4 】



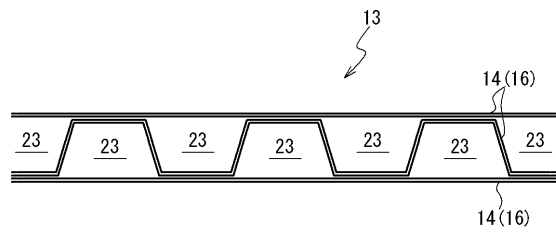
【 図 1 6 】



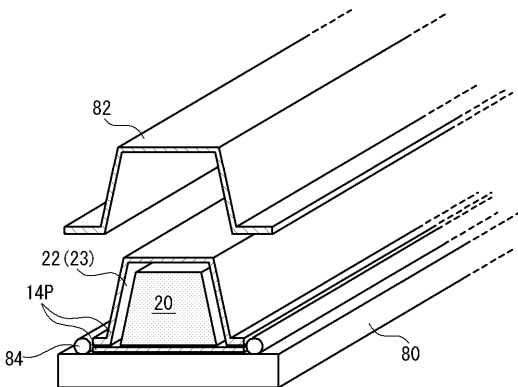
【 図 1 7 】



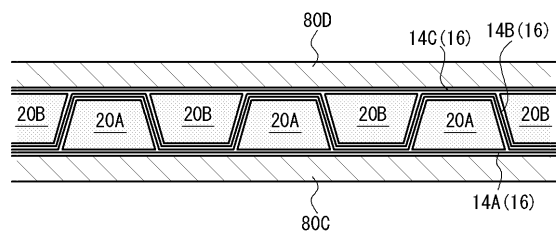
【 図 1 9 】



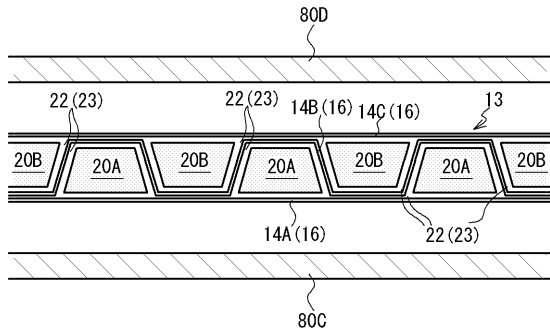
【 図 1 8 】



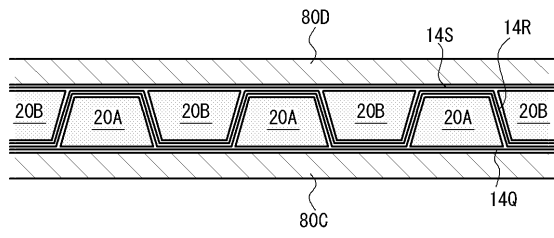
【 図 2 0 】



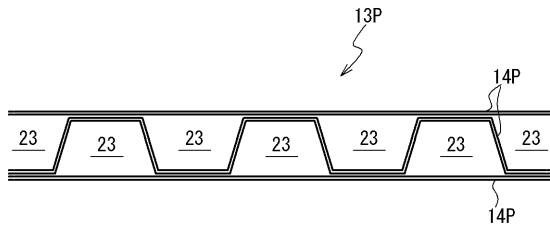
【図 2 1】



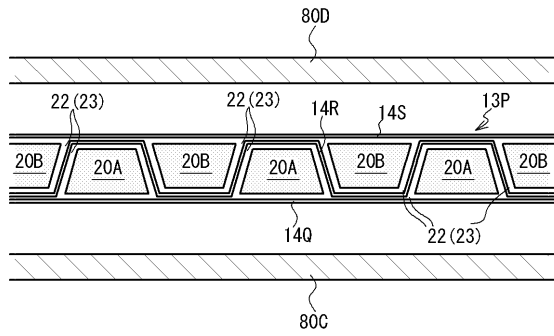
【図 2 3】



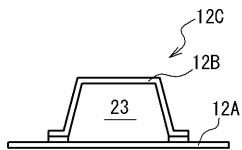
【図 2 2】



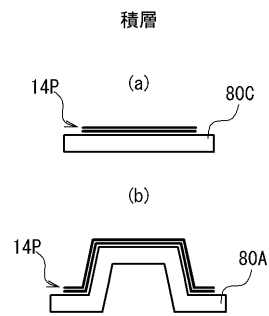
【図 2 4】



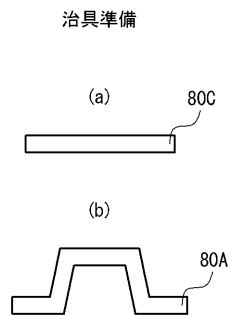
【図 2 5】



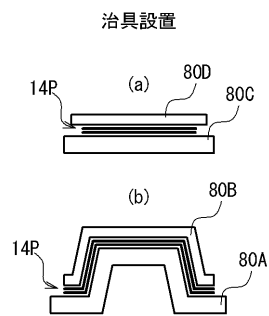
【図 2 7】



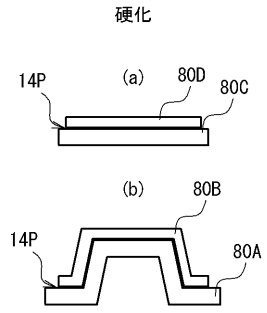
【図 2 6】



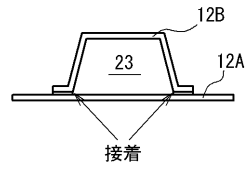
【図 2 8】



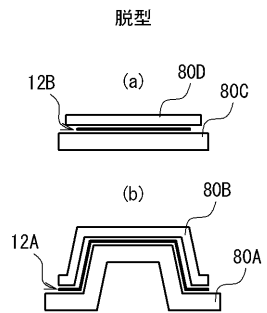
【 図 2 9 】



【 図 3 1 】



【 図 3 0 】



フロントページの続き

- (72)発明者 下向 貴仁
東京都港区港南二丁目16番5号 三菱重工業株式会社内
- (72)発明者 林 宣也
東京都港区港南二丁目16番5号 三菱重工業株式会社内
- (72)発明者 丸山 勇治
東京都港区港南二丁目16番5号 三菱重工業株式会社内
- (72)発明者 服部 英敬
東京都港区港南二丁目16番5号 三菱重工業株式会社内
- (72)発明者 渡邊 惇子
東京都港区港南二丁目16番5号 三菱重工業株式会社内

審査官 菊地 則義

- (56)参考文献 米国特許出願公開第2011/0084428 (US, A1)
特開昭62-039224 (JP, A)
特開昭61-265565 (JP, A)
米国特許出願公開第2010/0009124 (US, A1)
特開平10-227773 (JP, A)
特開平08-052812 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

B29C 70/06 - 70/08
B29C 70/44
G01N 29/30