

(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2010-143484
(P2010-143484A)

(43) 公開日 平成22年7月1日(2010.7.1)

(51) Int.Cl.
B64C 27/35 (2006.01)

F1
B64C 27/35

テーマコード (参考)

審査請求 未請求 請求項の数 3 O L (全 12 頁)

(21) 出願番号 特願2008-324539 (P2008-324539)
(22) 出願日 平成20年12月19日 (2008.12.19)

(71) 出願人 000000974
川崎重工業株式会社
兵庫県神戸市中央区東川崎町3丁目1番1号
(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
(72) 発明者 林田 篤
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

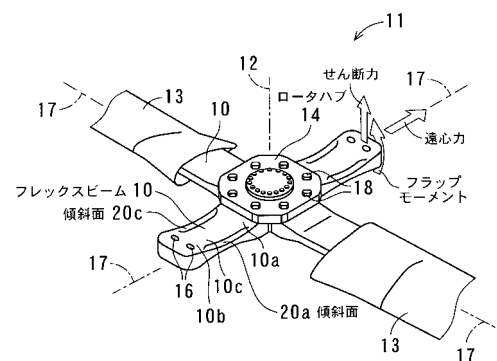
(54) 【発明の名称】 フレックスビームの断面決定方法およびフレックスビーム

(57) 【要約】

【課題】 フレックスビームの層間せん断応力が低減された断面を効率的に抽出することができるフレックスビームの断面決定方法およびフレックスビームを提供する。

【解決手段】 フレックスビーム10は、繊維強化複合材料から成り、ハブ側接続部10aと、フェザリング運動およびリード・ラグ運動を許容する部材を介してロータブレード13が固定されるブレード側接続部10bと、ハブ側接続部10a・ブレード側接続部10b間に連なる最適化された可撓部10cとを有する。最適断面部のフェザリング軸線17に垂直な断面は、予め定める設計条件を満たし、フェザリング軸線17を原点とするXY直交座標系において、X軸に平行な幅方向両端部に傾斜面を形成し、フレックスビームにフラッピング運動による曲げモーメントが作用するとき、フェザリング軸線17を含み、Y軸に垂直な面に発生する層間せん断応力 y_z が材料の許容値を満たすように決定する。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

繊維強化複合材料から成り、ロータハブに固定または一体に形成されるハブ側接続部と、ブレードが直接的または間接的に固定されるブレード側接続部と、ハブ側接続部およびブレード側接続部間に連なる最適断面部とを有し、これらのハブ側接続部、前記ブレード側接続部および前記最適断面部のフェザリング軸線に垂直な断面を、予め定める設計条件を満たすように決定するフレックスビームの断面決定方法であって、

前記最適断面部のフェザリング軸線に垂直な断面は、前記フェザリング軸線を原点とする X Y 直交座標系において、前記 X 軸に平行な幅方向両端部に、X 軸に沿って Y 軸から離反するにつれて相互に近接する傾斜面が形成され、フラップモーメントが作用したとき、フェザリング軸線を含みかつ Y 軸に垂直な面に発生する層間せん断応力 $y z$ が材料の許容値を満たすように決定することを特徴とするフレックスビームの断面決定方法。

10

【請求項 2】

前記フレックスビームは、ヘリコプタのロータハブとブレードとを連結するフレックスビームであることを特徴とする請求項 1 記載のフレックスビームの断面決定方法。

【請求項 3】

請求項 1 または 2 に記載のフレックスビームの断面決定方法によって決定された断面を有するフレックスビーム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

20

【0001】

本発明は、ヘリコプタのヒンジレスロータのハブ中央部とロータブレードとを連結するためなどに用いられ、繊維強化複合材料 (Fiber Reinforced Plastics ; 略称 FRP) から成るフレックスビームの断面を決定するための方法およびこの方法によって決定された断面を有するフレックスビームに関する。

【背景技術】

【0002】

ヘリコプタのヒンジレスロータは、フラッピング方向に柔軟な動きを提供すると同時に、遠心力およびフラッピング運動による曲げモーメントなどの荷重を担持するフレックスビームによって、ロータ回転軸線まわりに回転駆動されるハブに複数のロータブレードが連結されている。

30

【0003】

このようなフレックスビームは、剛性を下げるために、繊維強化複合材料から成る薄い板状ビームが広く用いられている。フレックスビームに曲げモーメントやせん断力が作用すると、その内部に面外せん断応力が発生するが、特に繊維強化複合材料の場合は、層間せん断応力となり、フレックスビームの強度を極端に下げってしまうため、層間せん断応力の低いフレックスビームが所望されている。

【0004】

図 8 は従来技術のフレックスビーム 1 の側面の層間せん断応力分布を示す側面図であり、図 9 は図 8 に示すフレックスビーム 1 の内部の層間せん断応力分布を示す斜視図である。ヘリコプタで使用されるフレックスビーム 1 の断面は、そのほとんどが製造の容易なシンプルな矩形断面であるが、このような矩形断面においては、原理的に層間せん断応力の分布が幅方向に均一ではなく、端部で極端に応力が高くなる領域 2 が発生するため、構造上最適な断面とはいえない。

40

【0005】

図 10 は計算によって求めた矩形断面の層間せん断応力 $y z$ の分布を示すグラフであり、図 11 は層間せん断応力 $y z$ の算出に用いたフレックスビーム 1 の矩形断面モデルを示す図であり、図 12 は層間せん断応力 $y z$ の算出に用いたフレックスビーム 1 の荷重モデルを示す図である。矩形断面のフレックスビーム 1 の層間せん断応力 $y z$ は、フェザリング軸線を Z 軸としたとき、Z 軸を原点とし、Z 軸に垂直な X Y 平面上の 4 つの点

50

P 1 (a , b) , P 2 (- a , b) , P 3 (- a , - b) , P 4 (a , - b) を結んで形成される長方形を断面とする片持ち梁の先端部に荷重 W が作用したときにフレックスビーム 1 の曲げ中立面に発生するせん断応力であって、

【 0 0 0 6 】

【 数 1 】

$$\tau_{yz} = \frac{3W}{2A} \frac{\nu}{1+\nu} \frac{W}{A} \frac{24}{\pi^3} \left(\frac{a}{b} \right)^2 \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^{m+n-1} \cos m \pi \left(\frac{x}{a} \right)}{(2n+1) \left\{ m^2 + (2n+1)^2 \frac{a^2}{4b^2} \right\}} \dots(1)$$

10

【 0 0 0 7 】

によって求められる。ここに、W はフレックスビームに作用するせん断荷重、 ν はポアソン比、A は断面積である。

【 0 0 0 8 】

X 軸上の幅 a に対する任意の点 x の比 (x / a) を横軸とし、層間せん断応力 τ_{yz} を初等材料力学で求められる梁の曲げ中立面でのせん断応力である $3W / 2A$ (ここに、A は矩形断面の面積) で除算した値 (= $\tau_{yz} / (3W / 2A)$) を縦軸として、アスペクト比 (x / a) を中央 (= 原点) の 0 から端部の 1 までを 0 . 1 刻みで、アスペクト比 b / a = 0 . 1 , 0 . 3 , 1 , 5 毎に前述の式 1 でそれぞれ算出した値を結び、図 1 0 のライン L 1 , L 2 , L 3 , L 4 が得られる。これらのライン L 1 ~ L 4 のうち縦長断面であるライン L 4 を除いては、端部の層間せん断応力が高くなっており、特に横長断面であるライン L 1 , L 2 では端部において局部的に高い層間せん断応力が発生することを示している。

20

【 0 0 0 9 】

図 1 3 は計算によって求めた楕円断面の層間せん断応力の分布を示すグラフであり、図 1 4 は層間せん断応力の算出に用いたフレックスビーム 1 の楕円断面モデルを示す図である。楕円断面のフレックスビーム 1 の層間せん断応力 τ_{yz} は、フェザリング軸線 1 7 を Z 軸としたとき、Z 軸を原点とし、Z 軸に垂直な X Y 平面上の P 1 1 (a , 0)、P 1 2 (0 , b)、P 1 3 (- a , 0)、P 1 4 (0 , - b) を通る楕円を断面として、図 1 2 と同様に片持ち梁の先端部に荷重 W が作用したときにフレックスビーム 1 の曲げ中立面に発生するせん断応力であって、

30

【 0 0 1 0 】

【 数 2 】

$$\tau_{yz} = \frac{a^2 + 2(1+\nu)b^2}{2(1+\nu)(a^2 + 3b^2)} \frac{W}{I} \left\{ b^2 - \frac{(1-2\nu)b^2}{a^2 + 2(1+\nu)b^2} x^2 \right\} \dots(2)$$

40

【 0 0 1 1 】

によって求められる。ここに、W はフレックスビームに作用するせん断荷重、 ν はポアソン比、I は断面 2 次モーメントである。

【 0 0 1 2 】

X 軸上の幅 a に対する任意の点 x の比 (x / a) を横軸とし、層間せん断応力 τ_{yz} を $3W / 2A$ (ここに、A は楕円断面の面積) で除算した値 (= $\tau_{yz} / (3W / 2A)$) を縦軸として、比 (x / a) を中央 (= 原点) の 0 から端部の 1 までを 0 . 1 刻みで、アスペクト比 b / a = 0 . 1 , 0 . 3 , 1 , 5 毎に前述の式 2 でそれぞれ算出した値を結び、図 1 3 のライン L 2 1 , L 2 2 , L 2 3 , L 2 4 が得られる。これらのライン L 2 1 ~ L 2 4 のうち縦長楕円断面であるライン L 2 4 を除いては、楕円断面では中央から端部

50

寄り層間せん断応力が低下することを示している。

【0013】

特許文献1に記載される従来技術は、ヘリコプタロータの最適化されたフレックスビームを提案する。この従来技術のフレックスビームは、ハブ側接続部、ブレード側接続部、ハブ側接続部に隣接する機体側遷移部、およびブレード側接続部に隣接する機外側遷移部を有し、さらに機体側遷移部および機外側遷移部に隣接してフラッピング方向の曲げ中立軸を決定するピッチ部を有する。

【0014】

前記ピッチ部の断面の幅および厚さのアスペクト比は、10以上であり、面取り端部を有する。前記面取り端部の面取り端面は、前記フラッピング方向の曲げ中立軸に対して臨界鋭角を成し、この臨界鋭角は、約 14° ～約 22° であり、ピッチ部の厚さ寸法の約 12.5% ～約 37.5% の長さを有する。

10

【0015】

【特許文献1】特開平10-59295号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0016】

このような従来技術は、フレックスビームの断面の端部を面取りして傾斜をつけることによって、要求される設計要件を満たしかつ層間せん断応力を減少させるものであるが、ヘリコプタのロータの捩り部であるピッチ部に限定されており、広範囲のフレックスビームの曲げ部への適用を提案するものではなく、しかもフレックスビームの断面のアスペクト比が10以上で傾斜部の角度が 14° ～ 22° に制限されている。この従来技術ではまた、層間せん断応力については、可撓部をフラッピング方向に長くして層間せん断応力を緩和する等の設計手法が採られているが、この場合、重量増加やヒンジオフセットの増大を招き、設計上、好ましくない。さらに、断面形状についてほとんど考慮されておらず、そのほとんど全てが断面性能からみて効率の悪い矩形断面である。

20

【0017】

本発明の目的は、フレックスビームの層間せん断応力が低減された断面を効率的に抽出することができるフレックスビームの断面決定方法およびフレックスビームを提供することである。

30

【課題を解決するための手段】

【0018】

本発明は、繊維強化複合材料から成り、ロータハブに固定または一体に形成されるハブ側接続部と、ブレードが直接的または間接的に固定されるブレード側接続部と、ハブ側接続部およびブレード側接続部間に連なる最適断面部とを有し、これらのハブ側接続部、前記ブレード側接続部および前記最適断面部のフェザリング軸線に垂直な断面を、予め定める設計条件を満たすように決定するフレックスビームの断面決定方法であって、

前記最適断面部のフェザリング軸線に垂直な断面は、前記フェザリング軸線を原点とするXY直交座標系において、前記X軸に平行な幅方向両端部に、X軸に沿ってY軸から離反するにつれて相互に近接する傾斜面が形成され、フラップモーメントが作用したとき、フェザリング軸線を含みかつY軸に垂直な面に発生する層間せん断応力 τ_{yz} が材料の許容値を満たすように決定することを特徴とするフレックスビームの断面決定方法である。

40

【0019】

本発明に従えば、フレックスビームは、繊維強化複合材料から成り、ロータハブに固定または一体に形成されるハブ側接続部と、ブレードが固定されるブレード側接続部と、ハブ側接続部およびブレード側接続部間に連なる最適断面部とを有する。これらのハブ側接続部、ブレード側接続部および最適断面部のフェザリング軸線に垂直な断面は、予め定める設計条件を満たすとともに、フェザリング軸線を原点とするXY直交座標系において、X軸に平行な幅方向両端部に、X軸に沿ってY軸から離反するにつれて相互に近接する傾斜面が形成され、フレックスビームにせん断力とフラップモーメントが作用するとき、フ

50

ェザリング軸を含み、Y軸に垂直な面に発生する層間せん断応力 $y z$ が材料の許容値を満たすように決定することによって、局部的に大きな層間せん断応力が発生することなく、経済的な断面を効率よく決定することができる。

【0020】

また本発明は、前記フレックスビームは、ヘリコプタのロータハブとブレードとを連結するフレックスビームであることを特徴とする。

【0021】

本発明に従えば、前述したように層間せん断応力に対して効率的な断面を有するフレックスビームをヘリコプタのロータハブとロータブレードとを連結するフレックスビームとして用いることによって、フレックスビームがロータブレードから受ける荷重に対して高い断面性能を有するフレックスビームを実現できるとともに、フレックスビームおよびこのフレックスビームを含むロータハブの軽量化を図ることができる。

10

【0022】

さらに本発明は、前記のフレックスビームの断面決定方法によって決定された断面を有するフレックスビームである。

【0023】

本発明に従えば、前述したように層間せん断応力に対して効率的な断面を有するフレックスビームを、ヘリコプタのロータハブに限らず、一般の構造体においても同様の曲げせん断荷重を受ける繊維強化複合材料製の梁に対して適用することができる。

20

【発明の効果】

【0024】

本発明によれば、フラップモーメントに対して層間せん断応力が材料の許容値を満たすようにフラッピング方向に垂直な断面を決定するので、局部的に高い応力が発生することが防がれ、最適断面を容易に抽出して、フレックスビームに効率的な断面を決定することができる。このようにフレックスビームに効率的な断面を採用することによって、このフレックスビームを含むロータハブ全体の強度レベルが上がり、またヒンジオフセット位置を従来に比べて内側にして、軽量で高強度のロータハブを実現することができる。

【0025】

また本発明によれば、層間せん断応力が材料の許容値を満たすように梁の曲げに関する一般理論に基づいて最適断面を決定することができるので、その用途はヘリコプタのロータハブに限らず、一般の構造体においても、同様の曲げせん断荷重を受ける繊維強化複合材料製の梁に対して適用することができ、高い汎用性を有し、曲げ荷重を受ける各種の部材の最適断面を決定するために、本発明を広範囲に実施することができる。

30

【発明を実施するための最良の形態】

【0026】

図1は本発明の実施の一形態のフレックスビームの断面決定方法が適用されたフレックスビーム10を備えるヘリコプタのロータアッセンブリ11の一部の斜視図である。本実施の形態では、フレックスビームの断面決定方法によって断面決定されたフレックスビーム10を備えるロータアッセンブリ11について説明する。

【0027】

本実施形態において、ロータアッセンブリ11は、ロータ回転軸線12を中心に複数(本実施形態では4)のロータブレード13を駆動するロータハブ14を有する。フレックスビーム10は、中央側でロータハブ14に連結され、先端側でフェザリング運動およびリード・ラグ運動を許容することができる部材を介して各ロータブレード13に連結され、ロータハブ14と各ロータブレード14と間接的に連結する。

40

【0028】

図2はフレックスビーム10の平面図であり、図3は図2の下方から見たフレックスビーム10の側面図であり、図4は図2の切断面線IV-IVから見た拡大断面図である。各フレックスビーム10は、弾性変形によってフラッピング運動を可能にするとともに、各ロータブレード13からの遠心力、フラッピング方向の曲げモーメントおよびリードラ

50

グ方向の曲げモーメントをロータハブに伝達する。

【0029】

前記フレックスビーム10は、ハブ側接続部10a、ブレード側接続部10b、最適化された可撓部10cによって構成される。

【0030】

フレックスビーム10の最適断面部の断面決定には、繊維強化複合材料を対象としたコンピュータによって実行可能なソフトウェアプログラムを用いて有限要素法(略称FEM)によって計算し、各要素における層間せん断応力の計算値から設計基準強度の判定を行い、強度解析を行う。

【0031】

前記最適化された可撓部10cは、フェザリング軸線17に垂直な断面において、長方形の四隅が面取りされた傾斜面20a~20d(図4参照)を有し、これによって前記従来技術のように端部に局部的に大きな層間せん断応力が発生することが防がれ、応力的に無駄のない効率的な断面を有する。

【0032】

ハブ側接続部10aは、前述のロータハブ14に各複数のボルト18およびナット等によって固定される。そのため、ハブ側接続部10aには、前記ボルトの軸部が挿通する複数のボルト挿通孔15が形成される。このハブ側接続部10aは、フレックスビーム10の主としてフラッピング方向の曲げモーメント、リード・ラグ方向の曲げモーメントおよび遠心力をロータハブ14へ伝達する。

【0033】

ブレード側接続部10bは、フェザリング運動およびリード・ラグ運動を許容することができる部材を介して、ロータブレード13に固定するための複数のボルト(図示せず)の軸部が挿通する複数のボルト挿通孔16が形成される。このブレード側接続部10bは、ロータブレード13からのフラッピング方向の曲げモーメント、リード・ラグ方向の曲げモーメントおよび遠心力をフレックスビーム10に伝達する。

【0034】

可撓部10cは、前述の機体側のハブ側接続部10aとブレード側接続部10bとの間に位置し、弾性変形によってフラッピング運動を許容することができる形状に設計されている。

【0035】

前記可撓部10cのフェザリング軸線17に垂直な断面は、前記フェザリング軸線17を原点とするXY直交座標系において、前記X軸に平行な幅方向両端部に、X軸に沿ってY軸から離反するにつれて相互に近接する傾斜面20a~20dが形成され、フレックスビーム10にフラップモーメントが作用するとき、フェザリング軸を含み、Y軸に垂直な面に発生する層間せん断応力 y_z が材料の許容値を満たすように決定される。

【0036】

図5は長方形断面のフレックスビーム10の内部の層間せん断応力分布を示す断面図であり、図6は端部を面取りして傾斜面20a~20dを形成したフレックスビーム10の内部の層間せん断応力分布を示す断面図であり、図7はフレックスビーム10のアスペクト比に対する層間せん断応力の変化を示すグラフである。前述の式2によってフレックスビーム10の可撓部10cについてFEM解析を行ったところ、長方形断面のフレックスビームの内部の層間せん断応力分布は、図5に示すように、両端部に高い応力の発生領域21が生じるのに対し、本発明の端部を面取りした傾斜面20a~20dを有する断面のフレックスビーム10には、端部に図5に示すような高い層間せん断応力 y_z は発生していないことが判る。本実施形態のフレックスビーム10は、局部的に大きな層間せん断応力 y_z が発生することなく、経済的な断面を効率よく決定することができ、端部においても図7のラインL31からラインL32へ層間せん断応力 y_z が低下していることが判る。

【0037】

このように、本発明による端部を面取りした傾斜面 20a ~ 20d を有する断面を採用することによって端部の層間せん断応力 $y z$ が低減するのは、以下の 2 つの断面形状での層間せん断応力の発生原理によるものである。

【0038】

矩形断面の曲げ中立面に発生する層間せん断応力は、弾性学理論により前述の式 1 によって求められる。これを計算し、図示したものが図 10 である。図 10 のとおり、矩形断面においては、原理的に端部の層間せん断応力 $y z$ が局部的に高くなってしまふ特性がある。

【0039】

一方、図 14 に示す楕円断面の曲げ中立面に発生する層間せん断応力 $y z$ は、同様に弾性学理論により前述の式 2 によって求められる。これを計算し、図示したものが図 13 である。図 13 のとおり、楕円断面においては、原理的に端部の層間せん断応力 $y z$ が低くなる特性がある。

10

【0040】

したがって、これら 2 つの断面を応用して組み合わせれば、従来の矩形断面では避けられない端部での高い層間せん断応力の低減が可能となる。すなわち、矩形断面における端部の高い層間せん断応力の発生原理に対して、その端部にのみ楕円断面における端部の低い層間せん断応力の発生原理を適用すれば、板幅中央部付近で矩形断面による曲げ荷重に対する有効な一定板厚部を確保しつつ、端部で層間せん断応力を低減することが可能となる。なお、端部の形状としては必ずしも楕円である必要はなく、よりフレックスビームの成形が容易な平面傾斜を適用しても同様の効果が得られることは、前記 FEM 解析結果のとおりである。

20

【0041】

このように層間せん断応力 $y z$ に対して効率的な断面を有するフレックスビーム 10 を、ヘリコプタのロータハブ 14 とロータブレード 13 とを連結するフレックスビームとして用いることによって、フレックスビーム 10 がロータブレード 13 から受ける荷重に対して高い断面性能を実現することができるとともに、ヒンジオフセット位置を従来に比べて内側にすることができ、フレックスビーム 10 の軽量化を図ることができる。

【0042】

前記フレックスビーム 10 は、真空成形、プレス成形および樹脂トランスファー成形を含む従来の製造技術で製造することができる。

30

【0043】

本発明は、前述したように層間せん断応力 $y z$ に対して効率的な断面を有するフレックスビームを、ヘリコプタのロータハブに限らず、一般の構造体においても同様の曲げせん断荷重を受ける繊維強化複合材料製の梁、タービンブレード、風力発電用の風車ブレードなどに対しても好適に実施することができる。

【0044】

また、本発明の他の実施形態では、フレックスビームは互いにボルト等の締結具によって締結された複数のビーム部分から構成されてもよく、ロータハブにフレックスビームが一体に形成される構成であってもよい。また、フェザリング運動およびリード・ラグ運動を許容する部材と一体的に形成される構成であってもよい。

40

【図面の簡単な説明】

【0045】

【図 1】本発明の実施の一形態のフレックスビームの断面決定方法が適用されたフレックスビーム 10 を備えるヘリコプタのロータアッセンブリ 11 の一部の斜視図である。

【図 2】フレックスビーム 10 の平面図である。

【図 3】図 2 の下方から見たフレックスビーム 10 の側面図である。

【図 4】図 2 の切断面線 I V - I V から見た拡大断面図である。

【図 5】長方形断面のフレックスビームの内部の層間せん断応力分布を示す断面図である。

50

【図 6】端部を面取りしたフレックスビーム 10 の内部の層間せん断応力分布を示す断面図である。

【図 7】フレックスビーム 10 のアスペクト比 x/a に対する層間せん断応力 y/z の変化を示すグラフである。

【図 8】従来技術のフレックスビーム 1 の側面の層間せん断応力分布を示す側面図である。

【図 9】図 8 に示すフレックスビーム 1 の内部の層間せん断応力分布を示す斜視図である。

【図 10】フレックスビーム 1 のアスペクト比 x/a に対する層間せん断応力 y/z の変化を示すグラフである。

【図 11】計算に用いた断面を示す図である。

【図 12】計算に用いた荷重モデルを示す図である。

【図 13】アスペクト比に対する層間せん断応力の変化を示すグラフである。

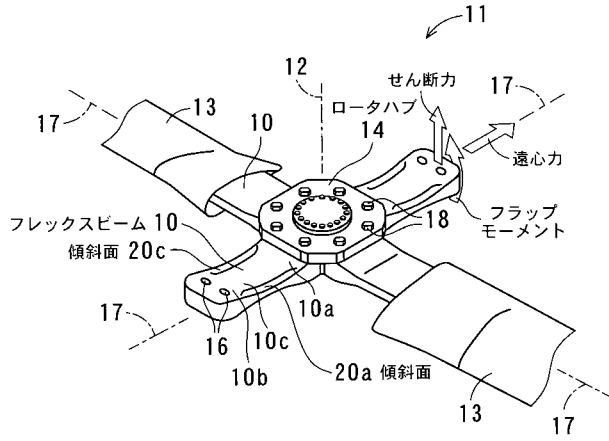
【図 14】計算に用いた楕円断面モデルを示す図である。

【符号の説明】

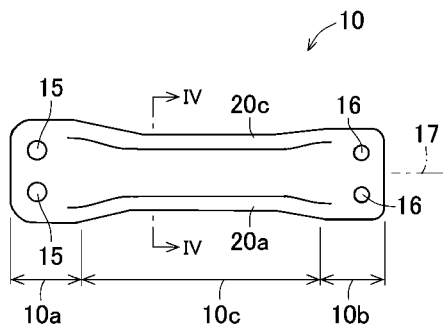
【0046】

- 10 フレックスビーム
- 10 a ハブ側接続部
- 10 b ブレード側接続部
- 10 c ピッチ部
- 11 ロータアセンブリ
- 12 ロータ回転軸線
- 13 ロータブレード
- 14 ロータハブ
- 15 , 16 ボルト挿入孔
- 17 フェザリング軸線
- 20 a ~ 20 d 傾斜面

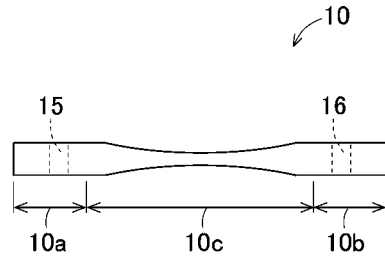
【 図 1 】



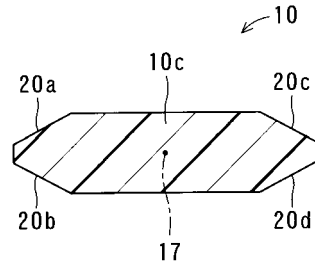
【 図 2 】



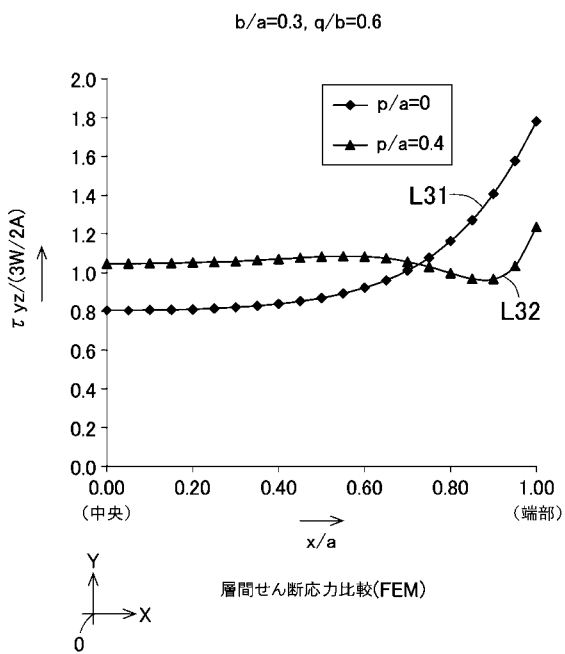
【 図 3 】



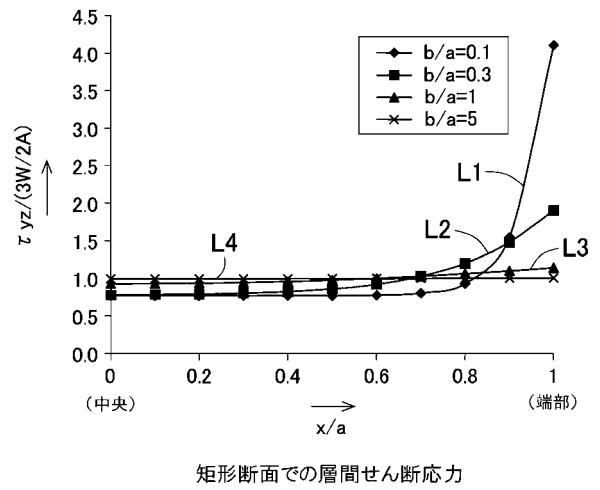
【 図 4 】



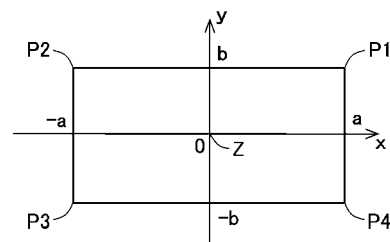
【 図 7 】



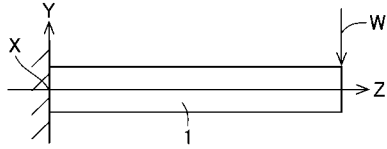
【 図 10 】



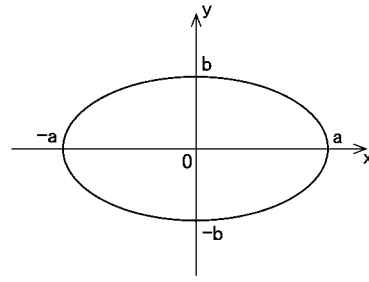
【 図 11 】



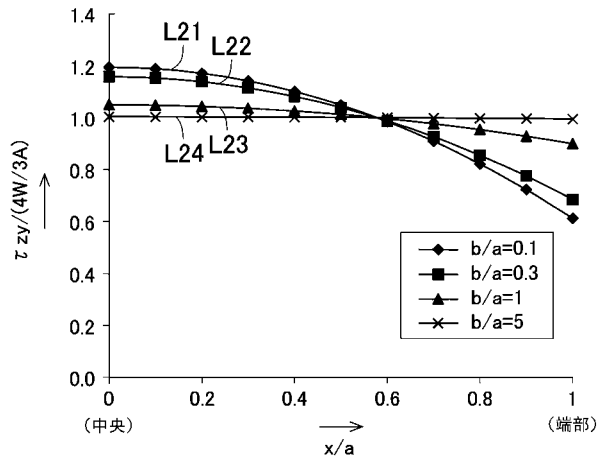
【 図 1 2 】



【 図 1 4 】

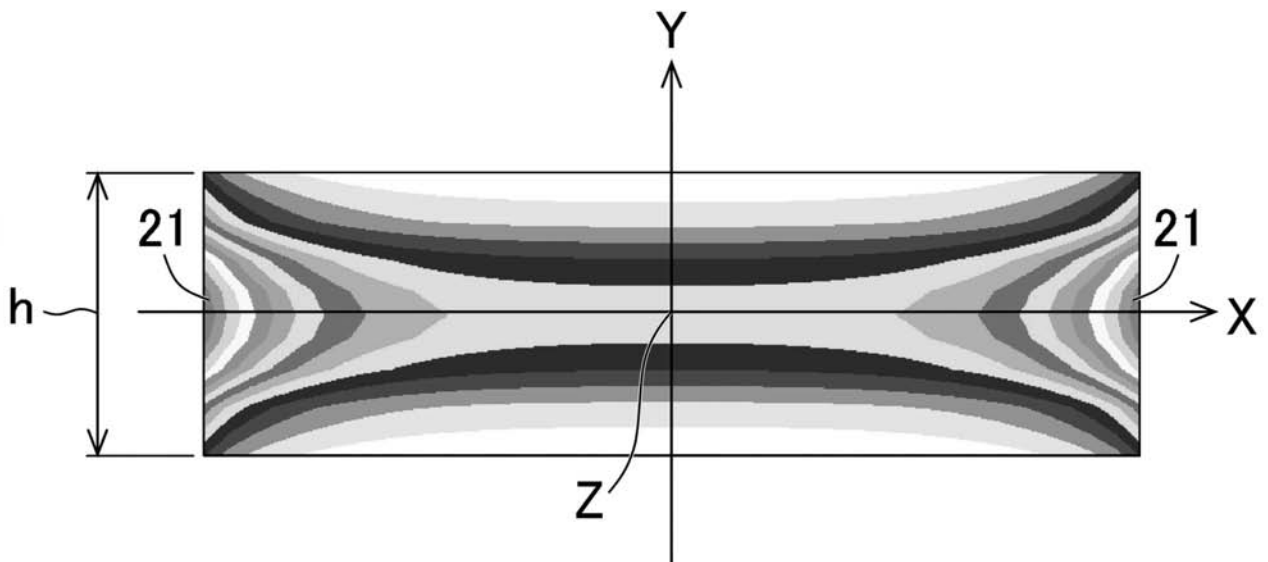


【 図 1 3 】

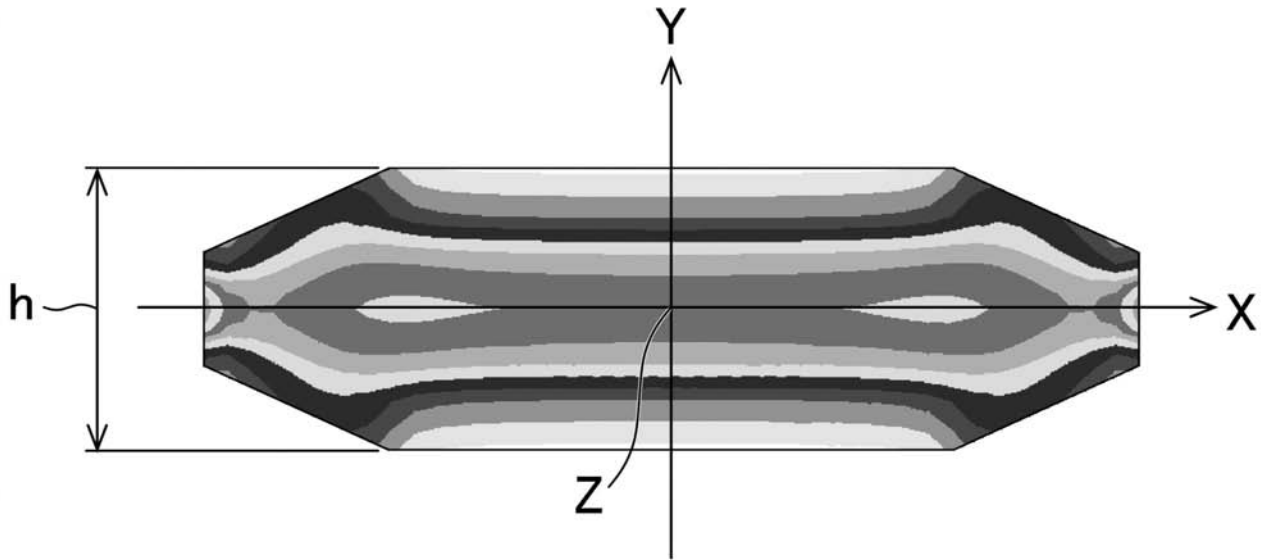


楕円断面での層間せん断応力

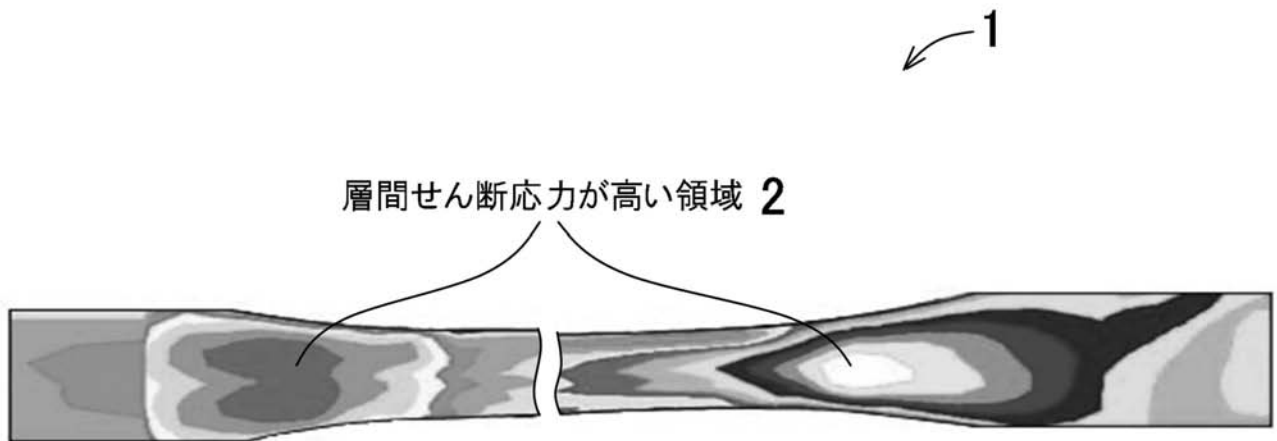
【 図 5 】



【図 6】



【図 8】



【図 9】

