

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7583301号
(P7583301)

(45)発行日 令和6年11月14日(2024.11.14)

(24)登録日 令和6年11月6日(2024.11.6)

(51)国際特許分類 F I
F 1 6 B 35/00 (2006.01) F 1 6 B 35/00 B

請求項の数 5 (全21頁)

(21)出願番号	特願2022-577970(P2022-577970)	(73)特許権者	000004226 日本電信電話株式会社 東京都千代田区大手町一丁目5番1号
(86)(22)出願日	令和3年1月29日(2021.1.29)	(74)代理人	100147485 弁理士 杉村 憲司
(86)国際出願番号	PCT/JP2021/003352	(74)代理人	100176728 弁理士 北村 慎吾
(87)国際公開番号	WO2022/162897	(74)代理人	100164471 弁理士 岡野 大和
(87)国際公開日	令和4年8月4日(2022.8.4)	(72)発明者	小林 大樹 東京都千代田区大手町一丁目5番1号 日本電信電話株式会社内
審査請求日	令和5年5月8日(2023.5.8)	(72)発明者	荒武 淳 東京都千代田区大手町一丁目5番1号 日本電信電話株式会社内
前置審査			最終頁に続く

(54)【発明の名称】 Uボルト、施工方法及び検出装置

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

第1の方向に並び、前記第1の方向と直交する第2の方向に延在する一对の軸部と、前記一对の軸部それぞれの一端を連結する橋梁部とを備えるUボルトであって、

前記一对の軸部のうちの少なくとも一方の軸部の少なくとも一部に貼り付けられ、前記軸部のひずみに応じて変色するフォトリック結晶薄膜を備え、

前記フォトリック結晶薄膜は、互いに異なる色特性を有する複数のフォトリック結晶薄膜によって構成され、

前記ひずみが第1の範囲にあるときに前記複数のフォトリック結晶薄膜それぞれの色が混色された第1の色と、前記ひずみが前記第1の範囲とは異なる第2の範囲にあるときに前記複数のフォトリック結晶薄膜それぞれの色が混色された第2の色との差は、前記ひずみが前記第1の範囲にあるときにおける、前記複数のフォトリック結晶薄膜のうちの一つのフォトリック結晶薄膜の第3の色と、前記ひずみが前記第2の範囲にあるときにおける、前記一のフォトリック結晶薄膜の第4の色との差より大きい、Uボルト。

【請求項2】

請求項1に記載のUボルトにおいて、

被締結物に設けられた一对の貫通孔に前記一对の軸部が挿入され、前記Uボルトと前記被締結物の一面とで締結物を挟んで固定した状態において、前記フォトリック結晶薄膜が、前記少なくとも一方の軸部における、前記被締結物の一面と、前記軸部と前記橋梁部との境界との間に位置する、Uボルト。

10

20

【請求項 3】

請求項 1 又は 2 に記載の U ボルトにおいて、

前記フォトニック結晶薄膜が貼り付けられている部分とは異なる部分の少なくとも一部に貼り付けられ、前記ひずみに応じて変色しない、前記軸部に目標軸力が作用するときの前記フォトニック結晶薄膜の色を有する参照薄膜をさらに備える U ボルト。

【請求項 4】

検出装置を用いて、第 1 の方向に並び、前記第 1 の方向と直交する第 2 の方向に延在する、一对のナットによって締め付けられる一对の軸部と、前記一对の軸部それぞれの一端を連結する橋梁部と、前記一对の軸部のうちの少なくとも一方の軸部の少なくとも一部に貼り付けられて、前記軸部のひずみに応じて変色するフォトニック結晶薄膜とを備える U ボルトを被締結物に締結する施工方法であって、

10

前記検出装置により、

前記フォトニック結晶薄膜が貼り付けられている、前記一对の軸部のうちの少なくとも一方の軸部の少なくとも一部を撮像した観察画像を生成するステップと、

前記観察画像における、前記フォトニック結晶薄膜の像を含む観察領域の色に基づき、前記軸部のひずみを検出するステップと、

前記ひずみに基づき、前記軸部の前記ナットによる締め付けに関する締め付け情報を出力するステップと、を含む施工方法。

【請求項 5】

第 1 の方向に並び、前記第 1 の方向と直交する第 2 の方向に延在する、一对のナットによって締め付けられる一对の軸部と、前記一对の軸部それぞれの一端を連結する橋梁部と、前記一对の軸部のうちの少なくとも一方の軸部の少なくとも一部に貼り付けられた、前記軸部のひずみに応じて変色するフォトニック結晶薄膜とを備える U ボルトの前記軸部の前記ナットによる締め付けの状態を検出する検出装置であって、

20

前記フォトニック結晶薄膜が貼り付けられている、前記一对の軸部のうちの少なくとも一方の軸部の少なくとも一部を撮像することによって観察画像を生成する撮像部と、

前記観察画像における、前記フォトニック結晶薄膜の像を含む観察領域の色に基づき、前記フォトニック結晶薄膜が貼り付けられた前記軸部のひずみを検出する検出部と、

前記ひずみに基づき、前記締め付けに関する締め付け情報を出力する出力部と、を備える検出装置。

30

【発明の詳細な説明】**【技術分野】****【0001】**

本開示は、U ボルト、施工方法及び検出装置に関する。

【背景技術】**【0002】**

従来、配管等の締結物を架台又は壁面等の被締結物に固定するために、U ボルトが用いられている。U ボルトとは、2 つの直線状の軸部が橋梁部により連結された U 形状のボルトである。U ボルトの内側に締結物を挟んだ状態で被締結物に設けられた 2 つの貫通孔それぞれに U ボルトの軸部を挿入し、2 つの軸部それぞれの端部からナットで締結することで、U ボルトと被締結物とで締結物を挟んで固定することができる。

40

【0003】

U ボルトで締結物を被締結物に固定する場合、U ボルトを被締結物に対して垂直に固定する必要がある。しかしながら、U ボルトは、構造上、傾いて取り付けられてしまうことが多い。U ボルトが傾いて取り付けられると、過大応力による破損の原因となり得る。

【0004】

非特許文献 1 には、ボルトに挿通されるワッシャーに圧電パッチを設け、圧電パッチにより計測された圧力に基づき、ボルトの締結力を計測する技術が記載されている。また、非特許文献 2 には、ボルトの軸部に圧電センサを埋め込み、圧電センサにより計測されたボルトの軸部のひずみに基づき、ボルトの締結力を計測する技術が記載されている。

50

【先行技術文献】

【非特許文献】

【0005】

【文献】H. Yin, T. Wang, D. Yang, S. Liu, J. Shao, and Y. Li, "A smart washer for bolt looseness monitoring based on piezoelectric active sensing method," Appl. Sci., vol.6, no.11, 2016

【文献】N. Shimoi, C. H. Cuadra, H. Madokoro, and M. Saijo, "Simple Smart Piezoelectric Bolt Sensor for Structural Monitoring of Bridges," Int. J. Instrum. Sci., vol.1, no.5, pp.78-83, 2013

【発明の概要】

10

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

上述した非特許文献1及び非特許文献2に記載の技術は、直線状のボルトの締結力を計測するための技術であり、作業者は、この技術によって、Uボルトの軸部のナットによる締め付けの状態を確認することはできない。

【0007】

上記のような問題点に鑑みてなされた本開示の目的は、作業者が、Uボルトの軸部のナットによる締め付けの状態を確認することができるUボルト、施工方法及び検出装置を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

20

【0008】

上記課題を解決するため、本開示に係るUボルトは、第1の方向に並び、前記第1の方向と直交する第2の方向に延在する一对の軸部と、前記一对の軸部それぞれの一端を連結する橋梁部とを備えるUボルトであって、前記一对の軸部のうちの少なくとも一方の軸部の少なくとも一部に貼り付けられ、前記軸部のひずみに応じて変色するフォトリソ結晶薄膜を備え、前記フォトリソ結晶薄膜は、互いに異なる色特性を有する複数のフォトリソ結晶薄膜によって構成され、前記ひずみが第1の範囲にあるときに前記複数のフォトリソ結晶薄膜それぞれの色が混色された第1の色と、前記ひずみが前記第1の範囲とは異なる第2の範囲にあるときに前記複数のフォトリソ結晶薄膜それぞれの色が混色された第2の色との差は、前記ひずみが前記第1の範囲にあるときにおける、前記複数のフォトリソ結晶薄膜のうちの一のフォトリソ結晶薄膜の第3の色と、前記ひずみが前記第2の範囲にあるときにおける、前記一のフォトリソ結晶薄膜の第4の色との差より大きい。

30

【0009】

また、上記課題を解決するため、本開示に係る施工方法は、検出装置を用いて、第1の方向に並び、前記第1の方向と直交する第2の方向に延在する、一对のナットによって締め付けられる一对の軸部と、前記一对の軸部それぞれの一端を連結する橋梁部と、前記一对の軸部のうちの少なくとも一方の軸部の少なくとも一部に貼り付けられて、前記軸部のひずみに応じて変色するフォトリソ結晶薄膜とを備えるUボルトを被締結物に締結する施工方法であって、前記検出装置により、前記フォトリソ結晶薄膜が貼り付けられている、前記一对の軸部のうちの少なくとも一方の軸部の少なくとも一部を撮像した観察画像を生成するステップと、前記観察画像における、前記フォトリソ結晶薄膜の像を含む観察領域の色に基づき、前記軸部のひずみを検出するステップと、前記ひずみに基づき、前記軸部の前記ナットによる締め付けに関する締め付け情報を出力するステップと、を含む。

40

【0010】

また、上記課題を解決するため、本開示に係る検出装置は、第1の方向に並び、前記第1の方向と直交する第2の方向に延在する、一对のナットによって締め付けられる一对の軸部と、前記一对の軸部それぞれの一端を連結する橋梁部と、前記一对の軸部のうちの少なくとも一方の軸部の少なくとも一部に貼り付けられた、前記軸部のひずみに応じて変色するフォトリソ結晶薄膜とを備えるUボルトの前記軸部の前記ナットによる締め付けの

50

状態を検出する検出装置であって、前記フォトニック結晶薄膜が貼り付けられている、前記一对の軸部のうちの少なくとも一方の軸部の少なくとも一部を撮像することによって観察画像を生成する撮像部と、前記観察画像における、前記フォトニック結晶薄膜の像を含む観察領域の色に基づき、前記フォトニック結晶薄膜が貼り付けられた前記軸部のひずみを検出する検出部と、前記ひずみに基づき、前記締め付けに関する締め付け情報を出力する出力部と、を備える。

【発明の効果】

【0011】

本開示に係るUボルト、施工方法及び検出装置によれば、作業者は、Uボルトの軸部のナットによる締め付けの状態を確認することができる。

【図面の簡単な説明】

【0012】

【図1】第1の実施形態に係るUボルトの構成例を示す図である。

【図2】図1に示す軸部の、該軸部の中心軸を含むXY平面による断面図である。

【図3】図1に示すUボルトにより締結物を被締結物に固定した状態を示す図である。

【図4】第1の実施形態に係るUボルトの他の構成例を示す図である。

【図5A】軸力が均一である場合に、Uボルトに作用する引張力及び圧縮力について説明するための図である。

【図5B】軸力が不均一である場合に、Uボルトに作用する引張力及び圧縮力について説明するための図である。

【図6】第1の実施形態に係る検出装置のハードウェア構成の一例を示す図である。

【図7】第1の実施形態に係る検出装置の機能構成の一例を示す図である。

【図8】第1の実施形態に係るUボルトを締結するための動作の一例を示すフローチャートである。

【図9】本開示の第2の実施形態に係るUボルトの構成の一例を示す図である。

【図10】図10に示す軸部を該軸部の中心軸を含むXY平面による断面図である。

【図11】第2の実施形態に係るUボルトを締結するための動作の一例を示すフローチャートである。

【図12A】第3の実施形態に係るUボルトの一例における一部の、該Uボルトの中心軸を含むXY平面による断面図である。

【図12B】第3の実施形態に係るUボルトの他の例における一部の、該Uボルトの中心軸を含むXY平面による断面図である。

【図13A】図12Aに示すPhC薄膜の色を説明するための図である。

【図13B】図12Aに示すPhC薄膜の色を説明するための図である。

【図13C】図12Aに示すPhC薄膜の色を説明するための図である。

【発明を実施するための形態】

【0013】

以下、本開示の実施の形態について図面を参照して説明する。

【0014】

<第1の実施形態>

(Uボルトの構成)

図1は、本開示の第1の実施形態に係るUボルト10の構成例を示す図である。

【0015】

図1及び図2に示すように、本実施形態に係るUボルト10は、一对の軸部11A及び軸部11Bと、橋梁部12と、フォトニック結晶薄膜(以下、「PhC薄膜」という)14とを備える。

【0016】

軸部11A及び軸部11Bは、所定の方に並び、該所定の方と直交する方に延在する。以下では、図1に示すように、軸部11A及び軸部11Bが並んで配置される方向をX軸方向(第1の方向)と称し、軸部11A及び軸部11Bが延在する方向をY軸方向

10

20

30

40

50

(第2の方向)と称し、X軸方向及びY軸方向と直交する方向をZ軸方向(第3の方向)と称する。また、以下では、軸部11A及び軸部11Bを区別しない場合には、軸部11と称する。また、以下では、軸部11A及び軸部11Bを合わせて一对の軸部11と称する。

【0017】

橋梁部12は、軸部11A及び軸部11Bそれぞれの一端を連結する。橋梁部12は、半円状に湾曲した形状とすることができ、橋梁部12が軸部11A及び軸部11Bそれぞれの一端を連結することで、Uボルト10はU字形状を形成する。軸部11A及び軸部11Bは、それぞれの他端側に、ねじ山構造を有するねじ部13を有している。

【0018】

図3に示すように、U字形状のUボルト10の内側(一对の軸部11及び橋梁部12により囲まれる空間)には、配管等の締結物1が配置される。締結物1が内側に配置された状態で、支持金物等の被締結物2に設けられた一对の貫通孔4A及び貫通孔4Bに、被締結物2の一面側からそれぞれ軸部11A及び軸部11Bが挿入される。貫通孔4A及び貫通孔4Bにそれぞれ軸部11A及び軸部11Bが挿入されることで、軸部11A及び軸部11Bそれぞれのねじ部13が被締結物2の他面側に突出する。被締結物2の他面側から突出した軸部11A及び軸部11Bそれぞれのねじ部13に、ねじ部13のねじ山構造と螺合するねじ山構造を有するナット3A及び3Bがそれぞれ締め付けられることで、軸部11はナット3によって締め付けられる。これにより、Uボルト10は被締結物2に締結されて、締結物1は、Uボルト10と被締結物2とに挟まれて固定される。以下では、ナット3A及びナット3Bを区別しない場合には、ナット3と称する。また、貫通孔4A及び貫通孔4Bを区別しない場合には、貫通孔4と称する。

【0019】

PhC薄膜14は、一对の軸部11のうちの少なくとも一方の軸部11の少なくとも一部に貼り付けられている。図1及び図2に示す例では、PhC薄膜14は、一方の軸部11Aの全部に貼り付けられているが、これに限られない。例えば、PhC薄膜14は、一方の軸部11Aの一部に貼り付けられてもよい。具体的には、PhC薄膜14は、軸部11の軸に直交する断面の外縁の一部に貼り付けられていてもよいし、軸部11の軸が延在する方向において一部に貼り付けられてもよい。

【0020】

図3に示すように、PhC薄膜14は、被締結物2に設けられた一对の貫通孔4A及び4Bに軸部11A及び軸部11Bが挿入され、Uボルト10と被締結物2の一面とに締結物1が挟まれて固定された状態において、被締結物2の一面の位置(位置a)と、軸部11と橋梁部12との境界の位置(位置b)との間に位置してもよい。

【0021】

PhC薄膜14は、フォトニック結晶(PhC)によって構成されている薄膜である。PhC薄膜14は、オパール薄膜のような粒子の集合体、又はポリマー若しくはガラスにより構成された単層薄膜若しくは多層薄膜としてもよい。PhC薄膜14は、半導体プロセス(エッチング)を利用した薄膜、マイクロ3Dプリンタにより作製された薄膜としてもよい。

【0022】

PhC薄膜14は、該PhC薄膜14のひずみに応じて変色する。また、PhC薄膜14には、該PhC薄膜14が貼り付けられた軸部11の少なくとも一部のひずみに応じたひずみが発生する。このため、PhC薄膜14は、該PhC薄膜14が貼り付けられた、軸部11の少なくとも一部のひずみに応じて変色する。PhC薄膜14は、微粒子径と粒子間距離を調整することによって生成され、PhC薄膜14のひずみと、該ひずみが発生しているPhC薄膜14の色との関係を示す色特性は一意に定められている。PhC薄膜14は、Uボルト10を構成する各部材の形状及び材料、並びに目標とする軸力(軸部11を締め付ける力(以下、「目標軸力」という))に応じて、微粒子径及び粒子間距離を調整することによって生成されてもよい。また、PhC薄膜14は、設計思想(弾性領域

10

20

30

40

50

内での締め付け、塑性領域での締め付け)に依りて、微粒子径及び粒子間距離を調整することによって生成されてもよい。これにより、作業者は、PhC薄膜14の色に基づいて、Uボルト10におけるPhC薄膜14が貼り付けられた部分のひずみを認識することができる。したがって、作業者は、Uボルト10に作用する目標軸力に対応するひずみが発生するように軸部11をナット3によって締め付けることができ、これにより、Uボルト10を適切に締結することができる。

【0023】

PhC薄膜14は、塗布されることによって貼り付けられてもよいし、接着されることによって貼り付けられてもよいし、他の任意の方法によって貼り付けられてもよい。なお、図1におけるPhC薄膜14の縮尺は、実際の縮尺と同じとは限らない。図2～図4につい

10

【0024】

なお、図1及び図3に示す例においては、軸部11Aにのみ、PhC薄膜14が貼り付けられる構成を説明したが、本開示はこれに限られるものではない。例えば、軸部11Bにのみ、PhC薄膜14が貼り付けられてもよい。また、例えば、図4に示すように、軸部11A及び軸部11Bの両方に、PhC薄膜14が貼り付けられてもよい。図4に示す例では、軸部11A及び軸部11Bの両方の全体にPhC薄膜14が貼り付けられている。また、軸部11A及び軸部11Bの両方のそれぞれ一部にPhC薄膜14が貼り付けられてもよく、このような構成において、軸部11Aに貼り付けられているPhC薄膜14と、軸部11Bに貼り付けられているPhC薄膜14とは同じ高さ(Y軸方向に同じ位置)に位置していることが好ましい。これにより、軸部11A及び軸部11Bそれぞれのひずみ、すなわち軸部11A及び軸部11Bそれぞれに作用する軸力の違いを正確に計測することができる。

20

【0025】

図5A及び図5Bは、図4に示すUボルト10が被締結物2に締結された状態を示す図である。図5Aは、軸部11A及び軸部11Bに作用する軸力が均一である場合に、Uボルト10に作用する引張力を示す図である。図5Bは、軸部11A及び軸部11Bに作用する軸力が不均一である場合に、Uボルト10に作用する引張力及び圧縮力を示す図である。

【0026】

図5Aに示すように、軸部11A及び軸部11Bが被締結物2に均一に締結されている場合、軸部11A及び軸部11Bのそれぞれ外側及び内側に同程度の大きさの引張力 F_{A0} 、 F_{A1} 、 F_{B0} 、及び F_{B1} が発生している。このため、軸部11A及び軸部11Bそれぞれに作用する軸力は略均一である。一方、図5Bに示すように、軸部11A及び軸部11Bが被締結物2に不均一に締結されている場合、軸部11Aの外側と軸部11Bの内側にそれぞれ圧縮力 F'_{A0} 及び F'_{B1} が発生し、軸部11Aの内側と軸部11Bの外側にそれぞれ引張力 F_{A1} 及び F_{B0} が発生している。このため、軸部11A及び軸部11Bに作用する軸力は略均一ではない。締結物1が強固に固定されるには、軸部11A及び軸部11Bに作用する軸力を略均一にする必要がある。このため、上述したように、軸部11A及び軸部11Bの両方にPhC薄膜14が貼り付けられることによって、作業者は、軸部11Aに塗布されたPhC薄膜14の色と、軸部11Bに塗布されたPhC薄膜14の色とに基づいて、被締結物2に対するUボルト10の軸部11A及び軸部11Bに作用する軸力が均一であるか否かを確認することができる。これによって、作業者は、軸部11A及び軸部11Bに作用する軸力が均一であるように軸部11をナット3によって締め付けることによって、適切にUボルト10を被締結物2に締結させることができる。

30

【0027】

(検出装置のハードウェア構成)

図6は、本開示の一実施形態に係る検出装置20のハードウェア構成の一例を示す図である。図6においては、検出装置20がプログラム命令を実行可能なコンピュータにより構成される場合の、検出装置20のハードウェア構成の一例を示している。ここで、コン

40

50

コンピュータは、汎用コンピュータ、専用コンピュータ、ワークステーション、P C (Personal Computer)、電子ノートパッド、スマートフォン等であってもよい。プログラム命令は、必要なタスクを実行するためのプログラムコード、コードセグメント等であってもよい。検出装置 20 がスマートフォンである場合、作業者は、Uボルト 10 の設置又は点検において、Uボルト 10 を被締結物 2 に締結する場所に検出装置 20 を容易に携帯することができ、利便性が向上される。

【0028】

図 6 に示すように、検出装置 20 は、プロセッサ 110、ROM (Read Only Memory) 120、RAM (Random Access Memory) 130、ストレージ 140、入力部 150、表示部 160 及び通信インタフェース (I/F) 170 を有する。各構成は、バス 190 を介して相対に通信可能に接続されている。プロセッサ 110 は、具体的には CPU (Central Processing Unit)、MPU (Micro Processing Unit)、GPU (Graphics Processing Unit)、DSP (Digital Signal Processor)、SoC (System on a Chip) 等であり、同種又は異種の複数のプロセッサにより構成されてもよい。

10

【0029】

プロセッサ 110 は、各構成の制御、及び各種の演算処理を実行する。すなわち、プロセッサ 110 は、ROM 120 又はストレージ 140 からプログラムを読み出し、RAM 130 を作業領域としてプログラムを実行する。プロセッサ 110 は、ROM 120 ストレージ 140 に記憶されているプログラムに従って、上記各構成の制御及び各種の演算処理を行う。本実施形態では、ROM 120 又はストレージ 140 には、本開示に係るプログラムが格納されている。

20

【0030】

プログラムは、CD-ROM (Compact Disk Read Only Memory)、DVD-ROM (Digital Versatile Disk Read Only Memory)、USB (Universal Serial Bus) メモリ等の非一時的 (non-transitory) 記憶媒体に記憶された形態で提供されてもよい。また、プログラムは、ネットワークを介して外部装置からダウンロードされる形態としてもよい。

【0031】

ROM 120 は、各種プログラム及び各種データを格納する。RAM 130 は、作業領域として一時的にプログラム又はデータを記憶する。ストレージ 140 は、HDD (Hard Disk Drive) 又は SSD (Solid State Drive) により構成され、オペレーティングシステムを含む各種プログラム及び各種データを格納する。

30

【0032】

入力部 150 は、マウス等のポインティングデバイス、及びキーボードを含み、各種の入力を行うために使用される。

【0033】

表示部 160 は、例えば、液晶ディスプレイであり、各種の情報を表示する。表示部 160 は、タッチパネル方式を採用して、入力部 150 として機能してもよい。

【0034】

通信インタフェース 170 は、外部装置 (図示しない) 等の他の機器と通信するためのインタフェースであり、例えば、イーサネット (登録商標)、FDDI、Wi-Fi (登録商標) 等の規格が用いられる。

40

【0035】

(検出装置の機能構成)

次に、本開示に係る検出装置 20 の機能構成について、図 7 を参照して説明する。

【0036】

図 7 は、本開示に係る検出装置 20 の機能構成の一例を示す図である。本開示に係る検出装置 20 は、Uボルト 10 の軸部 11 のナット 3 による締め付けの状態を検出し、締め付けに関する締め付け情報を出力する。

【0037】

50

図 7 に示すように、本開示に係る検出装置 20 は、撮像部 21 と、色特性記憶部 22 と、検出部 23 と、検出結果記憶部 24 と、出力部 25 とを備える。撮像部 21 は、カメラによって構成される。色特性記憶部 22 及び検出結果記憶部 24 は、例えば、RAM 130 又はストレージ 140 により構成される。検出部 23 は、制御部 (コントローラ) を構成する。制御部は、ASIC (Application Specific Integrated Circuit)、FPGA (Field-Programmable Gate Array) 等の専用のハードウェアによって構成されてもよいし、プロセッサによって構成されてもよいし、双方を含んで構成されてもよい。出力部 25 は、例えば、表示部 160 を含んでよい。

【0038】

撮像部 21 は、PhC 薄膜 14 が貼り付けられている、一对の軸部 11 のうちの少なくとも一方の軸部 11 の少なくとも一部を撮像することによって観察画像を生成する。以降において、観察画像における、PhC 薄膜 14 が貼り付けられている、一对の軸部 11 のうちの少なくとも一方の軸部 11 の少なくとも一部の像が示されている領域を観察領域という。

10

【0039】

色特性記憶部 22 は、PhC 薄膜 14 のひずみ と、該ひずみ が発生している PhC 薄膜 14 の色との関係を示す色特性を記憶している。色特性記憶部 22 に記憶されている色は、例えば、RGB 値で示されている。

【0040】

検出部 23 は、撮像部 21 によって生成された観察画像における観察領域に基づき、PhC 薄膜 14 が貼り付けられた、軸部 11 の少なくとも一部のひずみ を検出する。具体的には、検出部 23 は、観察画像における観察領域を構成する画素の代表値を検出する。代表値は、例えば、観察領域を構成する画素の RGB 値に関する値であり、例えば、R 値、G 値、及び B 値それぞれの平均値、中央値、最大値、又は最小値とすることができる。そして、検出部 23 は、RGB 値で示される代表値に対応して、色特性記憶部 22 に記憶されているひずみ を検出する。

20

【0041】

また、検出部 23 は、ひずみ と、目標ひずみ T との差である目標差 1 を検出することができる。この場合、検出部 23 は、さらに、目標差 1 の絶対値が所定の閾値未満であるか否かを検出することができる。目標ひずみ T は、上述した目標軸力が作用している軸部 11 において発生するひずみ である。

30

【0042】

両方の軸部 11A 及び 11B に PhC 薄膜 14 が貼り付けられ、撮像部 21 によって、両方の軸部 11A 及び 11B それぞれの観察画像が生成された場合、検出部 23 は、両方の軸部 11A 及び 11B の観察領域それぞれを構成する画素の色に基づく第 1 の代表値及び第 2 の代表値を検出する。そして、検出部 23 は、第 1 の代表値及び第 2 の代表値に基づいて、両方の軸部 11A 及び軸部 11B それぞれのひずみ A 及びひずみ B を検出することができる。

【0043】

この場合、検出部 23 は、ひずみ A 及びひずみ B それぞれと、目標ひずみ T との差である目標差 $1A$ 及び $1B$ を目標差 1 として検出することができる。この場合、検出部 23 は、さらに、目標差 $1A$ 及び $1B$ の絶対値が所定の閾値未満であるか否かを検出することができる。

40

【0044】

さらに、検出部 23 は、ひずみ A とひずみ B との差である相対差 2 を検出することができる。この場合、検出部 23 は、さらに、相対差 2 の絶対値が所定の閾値未満であるか否かを検出することができる。

【0045】

締め付け情報は、ひずみ、目標差 1 、目標差指標、相対差 2 、相対差指標、の少なくとも 1 つ以上を含むことができる。目標差指標は、目標差 1 の絶対値が所定

50

の閾値未満であるか否かを示す情報である。相対差指標は、相対差₂の絶対値が所定の閾値未満であるか否かを示す情報である。

【0046】

また、検出部23によって、目標差₁の絶対値が所定の閾値未満であると判定された場合、締め付け情報は、目標差指標に代えてUボルト10の締結が完了したことを示す情報を含んでもよい。また、検出部23によって、目標差₁の絶対値が所定の閾値以上であると判定された場合、締め付け情報は、目標差指標に代えてUボルト10の締結が完了していないことを示す情報を含んでもよい。

【0047】

また、検出部23によって、相対差₂の絶対値が所定の閾値未満であると判定された場合、締め付け情報は、相対差指標に代えて軸部11A及び軸部11Bが略均等に締め付けられていることを示す情報を含んでもよい。また、検出部23によって、相対差₂の絶対値が所定の閾値以上であると判定された場合、締め付け情報は、相対差指標に代えて軸部11A及び軸部11Bが略均等に締め付けられていないことを示す情報を含んでもよい。

10

【0048】

検出結果記憶部24は、検出部23によって検出された締め付け情報を記憶する。こうすることで、例えば、正常な施工（Uボルト10の締結）が完了したことの証跡を残すことができる。

【0049】

出力部25は、検出部23により検出されたひずみに基づく、Uボルト10の軸部11のナット3による締め付けに関する締め付け情報を出力する。

20

【0050】

（Uボルト取り付けの施工方法）

ここで、第1の実施形態に係るUボルト10を締結するための動作について、図8を参照して説明する。図8は、第1の実施形態に係るUボルト10を締結するための動作の一例を示すフローチャートである。図8を参照して説明するUボルト10を締結するための動作は第1の実施形態に係るUボルト10を締結するための施工方法に相当する。

【0051】

ステップS11において、作業者が、Uボルト10の軸部11A及び軸部11Bをそれぞれ貫通孔4A及び貫通孔4Bに貫通させる。

30

【0052】

ステップS12において、作業者が、軸部11A及び軸部11Bをそれぞれナット3A及びナット3Bによって締め付ける。

【0053】

ステップS13において、検出装置20の撮像部21が、PhC薄膜14が貼り付けられている、一对の軸部11のうちの少なくとも一方の軸部11の少なくとも一部を撮像した観察画像を生成する。

【0054】

ステップS14において、検出部23が、撮像部21によって生成された観察画像における観察領域に基づき、PhC薄膜14が貼り付けられた軸部11A及び軸部11Bの少なくとも一方のひずみを検出する。具体的には、検出部23は、観察画像における観察領域を構成する画素の色に基づく代表値を検出する。そして、検出部23は、代表値に対応して、色特性記憶部22に記憶されているひずみを検出する。検出部23は、ひずみに基づいて目標差₁を検出してもよい。検出部23は、目標差₁の絶対値が所定の閾値未満であるか否かを判定してもよい。

40

【0055】

また、ステップS14において、検出部23が、軸部11A及び軸部11Bの一方のひずみを検出してもよい。検出部23が、軸部11A及び軸部11Bの両方のひずみを検出してもよい。検出部23は、軸部11A及び軸部11Bの両方のひずみを検出する

50

場合、相対差 Δ_2 を検出してもよい。検出部 23 は、相対差 Δ_2 の絶対値が所定の閾値未満であるか否かを判定してもよい。

【0056】

ステップ S15 において、出力部 25 は、検出部 23 によって検出された締め付け情報を出力する。

【0057】

ステップ S16 において、作業者が、締め付け情報に基づいて締結処理が完了したか否かを判定する。

【0058】

このとき、ステップ S15 で出力された締め付け情報に含まれるひずみ ϵ が目標ひずみ ϵ_T から所定の範囲である場合、作業者が、締結処理が完了したと判定してもよい。この場合、ひずみ ϵ が目標ひずみ ϵ_T から所定の範囲でない場合、作業者が、締結処理が完了していないと判定する。

10

【0059】

ステップ S15 で出力された締め付け情報に含まれる目標差 Δ_1 の絶対値が所定の閾値未満である場合、作業者が、締結処理が完了したと判定してもよい。この場合、目標差 Δ_1 の絶対値が所定の閾値以上である場合、作業者が、締結処理が完了していないと判定してもよい。

【0060】

ステップ S15 で出力された締め付け情報に含まれる目標差指標が、目標差 Δ_1 の絶対値が所定の閾値未満であることを示している場合、作業者が、締結処理を完了すると判定してもよい。この場合、目標差指標が、目標差 Δ_1 の絶対値が所定の閾値以上であることを示している場合、作業者が、締結処理を完了しないと判定してもよい。

20

【0061】

ステップ S16 で、締結処理が完了したと判定された場合、本締結処理を終了する。ステップ S16 で、締結処理が完了していないと判定された場合、ステップ S17 において、作業者は、締め付け情報に基づいて、軸部 11 の締め付けを変更する。

【0062】

ステップ S17 で軸部 11 の締め付けが変更されると、ステップ S13 に戻って処理を繰り返す。ステップ S13 ~ ステップ S17 の処理の繰り返しにおいて、作業者は、締め付け情報に基づいて、軸部 11A 及び軸部 11B の一方の締め付けを変更してもよいし、軸部 11A 及び軸部 11B の両方の締め付けを変更してもよい。また、作業者は、締め付け情報に含まれる相対差 Δ_2 に基づいて、例えば、相対差 Δ_2 が小さくなるように軸部 11A 又は軸部 11B の締め付けを変更してから、相対差 Δ_2 が所定の閾値未満となっている状態を維持しつつ目標差 Δ_1 が小さくなるように軸部 11A 及び軸部 11 の締め付けをさらに変更してもよい。

30

【0063】

上述したように、第 1 の実施形態によれば、U ボルト 10 は、一对の軸部 11 のうちの少なくとも一方の軸部 11 の少なくとも一部に貼り付けられ、軸部 11 のひずみに応じて変色する P h C 薄膜 14 を備える。これにより、軸部 11 のひずみ ϵ が目標ひずみ ϵ_T となるように、すなわち軸部 11 に目標軸力が作用するように、軸部 11 をナット 3 によって締め付けることができる。したがって、作業者は、U ボルト 10 を被締結物 2 に高い精度で締結することで、これに伴い、強固に締結物 1 を固定することができる。

40

【0064】

また、第 1 の実施形態によれば、被締結物 2 に設けられた一对の貫通孔 4A 及び貫通孔 4B に一对の軸部 11A 及び 11B が挿入され、U ボルト 10 と被締結物 2 の一面とで締結物 1 を挟んで固定した状態において、P h C 薄膜 14 が、少なくとも一方の軸部 11 における、被締結物 2 の一面と、軸部 11 と橋梁部 12 との境界との間に位置する。これにより、作業者は、U ボルト 10 の被締結物 2 への取り付けにおいて、締結物 1 を強固に固定するために必要となる軸部 11 に作用する軸力に応じたひずみを認識することができ、

50

強固に締結物 1 を固定することができる。

【 0 0 6 5 】

さらに、軸部 1 1 A 及び軸部 1 1 B の両方に P h C 薄膜 1 4 が貼り付けられた構成においては、P h C 薄膜 1 4 が、両方の軸部 1 1 A 及び軸部 1 1 B それぞれにおける、被締結物 2 の一面と、軸部 1 1 と橋梁部 1 2 との境界との間に位置する。これにより、作業者は、U ボルト 1 0 の被締結物 2 への取り付けにおいて、軸部 1 1 A 及び軸部 1 1 B それぞれに貼り付けられた P h C 薄膜 1 4 の色の差異が大きくなるように作業を行うことができる。したがって、作業者は、軸部 1 1 をナット 3 によって締め付けることができ、これにより、U ボルト 1 0 を被締結物 2 に適切に締結することができる。

【 0 0 6 6 】

また、第 1 の実施形態によれば、検出装置 2 0 は、目標差 Δ_1 に基づく締め付け情報を出力する。このため、作業者は、U ボルト 1 0 に発生するひずみ ϵ が目標ひずみ ϵ_T となるように、すなわち U ボルト 1 0 に目標軸力が作用するように、軸部 1 1 をナット 3 によって締め付けることができる。したがって、作業者は、U ボルト 1 0 を被締結物 2 に高い精度で締結することでき、これに伴い、強固に締結物 1 を固定することができる。

【 0 0 6 7 】

また、第 1 の実施形態によれば、検出装置 2 0 は、相対差 Δ_2 に基づく締め付け情報を出力する。U ボルト 1 0 の被締結物 2 への締結においては、締結完了時だけでなく、締結完了までの作業途中においても、軸部 1 1 A のひずみ ϵ_A と軸部 1 1 B のひずみ ϵ_B とが同程度となっている状態が維持される必要がある。作業者は、ひずみ ϵ_A とひずみ ϵ_B を目標ひずみ ϵ_T とするだけではなく、作業途中において、ひずみ ϵ_A とひずみ ϵ_B との差異である相対差 Δ_2 が小さくなるようにする必要がある。したがって、上述したように、検出装置 2 0 が相対差 Δ_2 に基づく締め付け情報を出力することによって、作業者は、締結の作業途中において、相対差 Δ_2 を認識することができ、これに基づいて軸部 1 1 をナット 3 によって締め付けることができる。したがって、作業者は、U ボルト 1 0 を被締結物 2 に高い精度で締結することでき、これに伴い、強固に締結物 1 を固定することができる。

【 0 0 6 8 】

< 第 2 の実施形態 >

(U ボルトの構成)

図 9 は、本開示の第 2 の実施形態に係る U ボルト 1 0 A の構成の一例を示す図である。また、図 1 0 は、図 9 に示す U ボルト 1 0 A の中心軸を含む X Y 平面よる断面図である。図 9 及び図 1 0 において、図 4 と同様の構成には同じ符号を付し、説明を省略する。

【 0 0 6 9 】

本実施形態に係る U ボルト 1 0 A は、第 1 の実施形態に係る U ボルト 1 0 と比較して、参照薄膜 1 5 をさらに備える。なお、図 9 及び図 1 0 における P h C 薄膜 1 4 及び参照薄膜 1 5 の縮尺は、実際の縮尺と同じとは限らない。

【 0 0 7 0 】

参照薄膜 1 5 は、U ボルト 1 0 A における、P h C 薄膜 1 4 が貼り付けられている部分とは異なる部分の少なくとも一部に貼り付けられている、ひずみに応じて変色しない、軸部 1 1 に目標軸力が作用するときの P h C 薄膜 1 4 の色を有する塗膜である。

【 0 0 7 1 】

図 9 及び図 1 0 に示す例では、参照薄膜 1 5 は、P h C 薄膜 1 4 が貼り付けられている部分に隣接している、橋梁部 1 2 の部分に貼り付けられている。これにより、U ボルト 1 0 A を締結する作業者は視線を動かすことなく、P h C 薄膜 1 4 及び参照薄膜 1 5 の色を容易に視認することができる。参照薄膜 1 5 は、P h C 薄膜 1 4 と同様に、塗布されることによって貼り付けられてもよいし、接着されることによって貼り付けられてもよいし、他の任意の方法によって貼り付けられてもよい。

【 0 0 7 2 】

図 9 及び図 1 0 に示す例では、参照薄膜 1 5 は、P h C 薄膜 1 4 に隣接して貼り付けら

10

20

30

40

50

れているが、これに限られず、P h C 薄膜 1 4 に隣接せずに貼り付けられてもよい。また、図 9 及び図 1 0 に示す例では、参照薄膜 1 5 は、U ボルト 1 0 A の軸に直交する断面の外縁の全体にわたって貼り付けられているが、外縁の一部に貼り付けられてもよい。また、図 9 及び図 1 0 に示す例では、P h C 薄膜 1 4 が軸部 1 1 の全体に貼り付けられ、参照薄膜 1 5 が橋梁部 1 2 の一部に貼り付けられているが、この限りではない。P h C 薄膜 1 4 が軸部 1 1 の一部に貼り付けられ、参照薄膜 1 5 が、P h C 薄膜 1 4 が貼り付けられていない部分の軸部 1 1 に貼り付けられてもよい。

【 0 0 7 3 】

(U ボルト取り付けの施工方法)

ここで、第 2 の実施形態に係る U ボルト 1 0 A を締結するための動作について、図 1 1 を参照して説明する。図 1 1 は、第 2 の実施形態に係る U ボルト 1 0 A を締結するための動作の一例を示すフローチャートである。図 1 1 を参照して説明する U ボルト 1 0 A を締結するための動作は第 2 の実施形態に係る U ボルト 1 0 A を締結するための施工方法に相当する。

10

【 0 0 7 4 】

ステップ S 2 1 において、作業者が、U ボルト 1 0 A の軸部 1 1 A 及び軸部 1 1 をそれぞれ貫通孔 4 A 及び貫通孔 4 B に貫通させる。

【 0 0 7 5 】

ステップ S 2 2 において、作業者が、軸部 1 1 A 及び軸部 1 1 B をそれぞれナット 3 A 及びナット 3 B によって締め付ける。

20

【 0 0 7 6 】

ステップ S 2 3 において、作業者が、P h C 薄膜 1 4 の色を視認する。

【 0 0 7 7 】

ステップ S 2 4 において、作業者が、P h C 薄膜 1 4 の色に基づいて、締結処理が完了したか否かを判定する。具体的には、作業者が、P h C 薄膜 1 4 の色と参照薄膜 1 5 の色とが略同じであるか否かを判定する。そして、作業者が、P h C 薄膜 1 4 の色と参照薄膜 1 5 の色とが略同じであると判定した場合、締結処理を完了すると判定する。作業者が、P h C 薄膜 1 4 の色と参照薄膜 1 5 の色とが略同じでないと判定した場合、締結処理を完了しない。

【 0 0 7 8 】

ステップ S 2 4 で、締結処理を完了すると判定された場合、本締結処理を終了する。ステップ S 2 4 で、締結処理を完了しないと判定された場合、ステップ S 2 5 において、作業者は、締め付け情報に基づいて、軸部 1 1 の締め付けを変更する。このとき、作業者は、P h C 薄膜 1 4 の色と参照薄膜 1 5 の色とが類似している度合いに基づいて、軸部 1 1 A 及び軸部 1 1 B の一方の締め付けを変更してもよいし、軸部 1 1 A 及び軸部 1 1 B の両方の締め付けを変更してもよい。

30

【 0 0 7 9 】

ステップ S 2 5 で軸部 1 1 の締め付けが変更されると、ステップ S 2 3 に戻って処理を繰り返す。ステップ S 2 3 ~ ステップ S 2 5 の処理の繰り返しにおいて、作業者は、軸部 1 1 A 及び軸部 1 1 B それぞれに貼り付けられた P h C 薄膜 1 4 の色が類似している度合いが高くなるように軸部 1 1 A 又は軸部 1 1 B の締め付けを変更してから、P h C 薄膜 1 4 の色と参照薄膜 1 5 の色とが類似している度合いが高くなるように軸部 1 1 A 及び軸部 1 1 の締め付けをさらに変更してもよい。

40

【 0 0 8 0 】

上述したように、本実施形態によれば、U ボルト 1 0 A は、P h C 薄膜 1 4 が貼り付けられている部分とは異なる部分の少なくとも一部に貼り付けられ、ひずみに応じて変色しない参照薄膜 1 5 をさらに備える。U ボルト 1 0 A が参照薄膜 1 5 を備えない構成においては、作業者は、P h C 薄膜 1 4 の色を自身が記憶している、目標ひずみ τ に対応する色と比較することによって作業を行う。そのため、軸部 1 1 にひずみ τ を目標ひずみ τ とするように U ボルト 1 0 A を被締結物 2 に締結することが困難であることがある。これ

50

に対して、本実施形態によれば、作業者は、PhC薄膜14の色が、目標ひずみ γ に対応する色と略同じとなるようにUボルト10Aを締結するにあたって、PhC薄膜14の色と、目標ひずみ γ に対応する色である参照薄膜15の色とを比較することによって、軸部11に目標ひずみ γ が発生するように、軸部11をナット3によって締め付けることができる。したがって、作業者は、Uボルト10Aを被締結物2に高い精度で締結することでき、これに伴い、強固に締結物1を固定することができる。

【0081】

また、本実施形態によれば、作業者は、目視によりUボルト10Aのひずみを適切に認識することができるため、施工及び点検において、Uボルト10Aが適切に締結されているかを簡易に確認することができる。特に、高所のような、触診によってUボルト10Aのひずみを確認することが困難である環境において、作業者は、該環境へアプローチする手間を大きく省くことが可能となる。

10

【0082】

<第3の実施形態>

(Uボルトの構成)

図12A及び図12Bは、本開示の第3の実施形態に係るUボルト10Bの一部の例を示す、断面図である。また、図12A及び図12Bにおいて、図4と同様の構成には同じ符号を付し、説明を省略する。

【0083】

本実施形態において、Uボルト10Bが備えるPhC薄膜14は、第1の実施形態に係るUボルト10が備えるPhC薄膜14とは異なり、図12A及び図12Bに示すように、複数のPhC薄膜14A及びPhC薄膜14Bによって構成される。一例においては、図12Aに示すように、PhC薄膜14A及びPhC薄膜14Bは、Uボルト10Bの軸部11の表面に、軸部11の径方向に積層される。他の例においては、図12Bに示すように、PhC薄膜14A及びPhC薄膜14Bは、Uボルト10Bの軸部11の表面に、軸部11の軸方向に交互に配置される。なお、図12A及び図12BにおけるPhC薄膜14A及びPhC薄膜14Bの縮尺は、実際の縮尺と同じとは限らない。特に、図12BにおけるPhC薄膜14A及びPhC薄膜14Bは、PhC薄膜14A及びPhC薄膜14Bの色が混色されて人間の目に視認される程度の大きさである。

20

【0084】

PhC薄膜14は、互いに異なる色特性を有する複数のPhC薄膜14A及びPhC薄膜14Bによって構成されている。ひずみが第1の範囲にあるときに複数のPhC薄膜14A及びPhC薄膜14Bそれぞれの色が混色された第1の色と、ひずみが第2の範囲にあるときに複数のPhC薄膜14A及びPhC薄膜14Bそれぞれの色が混色された第2の色との差は、ひずみが第1の範囲にあるときの、PhC薄膜14Aの第3の色と、ひずみが第2の範囲にあるときの、PhC薄膜14Aの第4の色との差より大きい。ひずみが第2の範囲にあるときの色と、ひずみが第3の範囲にあるときの色との差(色差)についても同様とすることができる。

30

【0085】

例えば、ひずみが第1の範囲にあるとき、複数のPhC薄膜14A及びPhC薄膜14Bは、互いに異なる可視光を反射することによって発色してもよい。ひずみが第1の範囲とは異なる第2の範囲にあるとき、PhC薄膜14Aは可視光を反射することによって発色し、PhC薄膜14Bは可視光領域外の波長を有する光を反射することによって発色しなくてもよい。

40

【0086】

図13A～図13Cを参照して、PhC薄膜14A及びPhC薄膜14Bを含むPhC薄膜14の色についてさらに詳細に説明する。

【0087】

図13Aの破線に示すように、PhC薄膜14Aは、軸力が発生していないとき(ひずみが第1の範囲にあるとき)に640～770nmの波長を有する光を反射する。すな

50

わち、PhC薄膜14Aは、軸力が発生していないときに赤色となる。また、図13Bの破線に示すように、PhC薄膜14Aは、軸力が0より大きく中間軸力未満であるとき（ひずみが第2の範囲にあるとき）に590～640nmの波長を有する光を反射する。すなわち、PhC薄膜14Aは、軸力が0より大きく中間軸力未満であるときに橙色となる。なお、中間軸力とは、Uボルト10Bの締結が完了した状態において発生している目標軸力より小さい軸力であって、例えば、目標軸力の50%の大きさの軸力とすることができる。また、図13Cの破線に示すように、PhC薄膜14Aは、軸力が中間軸力以上であり目標軸力未満であるとき（ひずみが第3の範囲にあるとき）に490～550nmの波長を有する光を反射する。すなわち、PhC薄膜14Aは、軸力が中間軸力以上であり目標軸力未満であるときに緑色となる。

10

【0088】

また、図13Aの実線に示すように、PhC薄膜14Bは、軸力が発生していないときに490～550nmの波長を有する光を反射する。すなわち、PhC薄膜14Bは、軸力が発生していないときに緑色となる。また、図13Bの実線に示すように、PhC薄膜14Aは、軸力が0より大きく中間軸力未満であるときに315～400nmの波長を有する光を反射する。すなわち、PhC薄膜14Bは、軸力が0より大きく中間軸力未満であるときに人間によって認識することのできる色を発生させない。また、図13Cの実線に示すように、PhC薄膜14Bは、軸力が中間軸力以上であり目標軸力未満であるときに280～315nmの波長を有する光を反射する。すなわち、PhC薄膜14Bは、軸力が中間軸力以上であり目標軸力未満であるときに人間によって認識することのできる色を発生させない。

20

【0089】

したがって、PhC薄膜14A及びPhC薄膜14Bによって構成されるPhC薄膜14は、軸力が発生していないとき（ひずみが第1の範囲にあるとき）に、人間の目には赤色と緑色との混色である紫色に視認される。また、PhC薄膜14は、軸力が0より大きく中間軸力未満であるとき（ひずみが第2の範囲にあるとき）に、人間の目には橙色に視認される。PhC薄膜14は、軸力が中間軸力以上であり目標軸力未満であるときに、人間の目には緑色に視認される。

【0090】

例えば、PhC薄膜14が1種類のPhC薄膜14Aのみによって構成されている場合、軸力が高くなるにつれて、PhC薄膜14が反射する光の波長は短くなる。すなわち、PhC薄膜14の色は、赤色、橙色、緑色の順に変化する。この場合、人間の目には赤色と橙色とが区別しにくいことがある。これに対して、本実施形態のように、PhC薄膜14が2つのPhC薄膜14A及びPhC薄膜14Bによって構成される場合、PhC薄膜14の色は、上述したように、紫色、橙色、緑色の順に変化する。人間の目には、紫色と橙色とは、赤色と橙色とに比べて区別しやすいため、作業者は軸力の変化を認識しやすくなる。

30

【0091】

なお、上述した例では、PhC薄膜14は、2つのPhC薄膜14A及びPhC薄膜14Bによって構成されているが、これに限られず、3つ以上の互いに異なる色特性を有するPhC薄膜14によって構成されてもよい。

40

【0092】

（検出装置のハードウェア構成）

第3の実施形態に係る検出装置20のハードウェア構成は、第1の実施形態に係る検出装置20のハードウェア構成と同様である。

【0093】

（検出装置の機能構成）

第3の実施形態に係る検出装置20の機能構成は、第1の実施形態に係る検出装置20の機能構成と同様である。

【0094】

50

(Uボルト取り付けの施工方法)

第3の実施形態に係るUボルト10Bの取り付けの施工方法は、第1の実施形態に係るUボルト10の取り付けの施工方法と同様である。

【0095】

上述したように、第3の実施形態によれば、PhC薄膜14は、互いに異なる色特性を有する複数のPhC薄膜14によって構成される。そして、ひずみ が第1の範囲にあるときに複数のPhC薄膜14それぞれの色が混色された第1の色と、ひずみ が第2の範囲にあるときに複数のPhC薄膜14それぞれの色が混色された第2の色との差は、ひずみ が第1の範囲にあるときの、複数のPhC薄膜14のうちの一のPhC薄膜14の第3の色と、ひずみ が第2の範囲にあるときの、一のPhC薄膜14の第4の色との差より大きい。これにより、作業者は、ひずみ に応じたPhC薄膜14の色を明確に識別することができ、軸部11をナット3に適切に締め付けることができる。したがって、作業者は、Uボルト10Bを被締結物2に高い精度で締結することができ、これに伴い、強固に締結物1を固定することができる。

10

【0096】

また、第3の実施形態によれば、Uボルト10Bは、上述したようなPhC薄膜14を備えるため、検出装置20は、軸部11のひずみ をより高い精度で計測することができる。これにより、作業者は、検出装置20によって、高い精度で計測されたひずみ に基づいて出力された締め付け情報を用いて、軸部11をナット3によって締め付けることができる。したがって、作業者は、Uボルト10Bを被締結物2に高い精度で締結することができ、これに伴い、強固に締結物1を固定することができる。

20

【0097】

<プログラム>

上述した検出装置20の各部として機能させるためにコンピュータを好適に用いることが可能である。そのようなコンピュータは、検出装置20の各部の機能を実現する処理内容を記述したプログラムを該コンピュータの記憶部に格納しておき、該コンピュータのプロセッサによってこのプログラムを読み出して実行させることで実現することができる。すなわち、当該プログラムは、コンピュータを、上述した検出装置20として機能させることができる。また、当該プログラムを非一時的記憶媒体に記憶することも可能である。また、当該プログラムを、ネットワークを介して提供することも可能である。

30

【0098】

上述の実施形態は代表的な例として説明したが、本開示の趣旨及び範囲内で、多くの変更及び置換ができることは当業者に明らかである。したがって、本発明は、上述の実施形態によって制限するものと解するべきではなく、請求の範囲から逸脱することなく、種々の変形又は変更が可能である。例えば、実施形態の構成図に記載の複数の構成ブロックを1つに組み合わせたり、あるいは1つの構成ブロックを分割したりすることが可能である。

【符号の説明】

【0099】

- 1 締結物
- 2 被締結物
- 3, 3A, 3B ナット
- 4, 4A, 4B 貫通孔
- 10, 10A, 10B Uボルト
- 11, 11A, 11B 軸部
- 12 橋梁部
- 13 ねじ部
- 14, 14A, 14B フォトニック結晶薄膜 (PhC 薄膜)
- 20 検出装置
- 21 撮像部
- 22 色特性記憶部

40

50

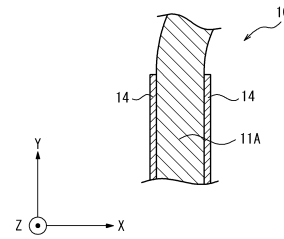
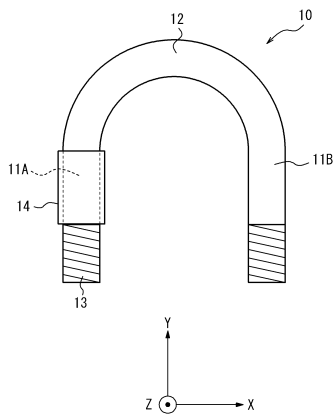
- 2 3 検出部
- 2 4 検出結果記憶部
- 2 5 出力部
- 1 1 0 プロセッサ
- 1 2 0 ROM
- 1 3 0 RAM
- 1 4 0 ストレージ
- 1 5 0 入力部
- 1 6 0 表示部
- 1 7 0 通信 I / F
- 1 9 0 バス

10

【図面】

【図 1】

【図 2】



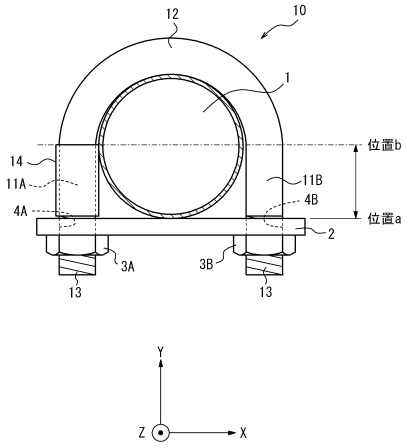
20

30

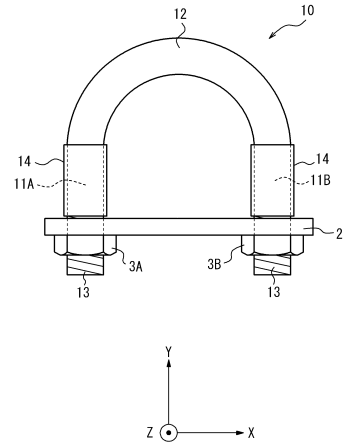
40

50

【 図 3 】



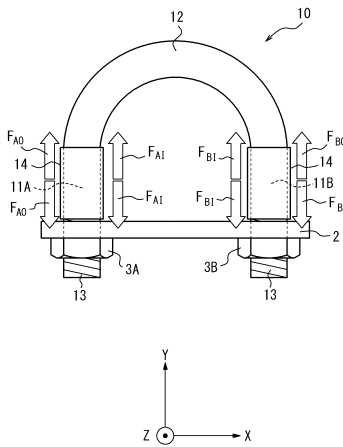
【 図 4 】



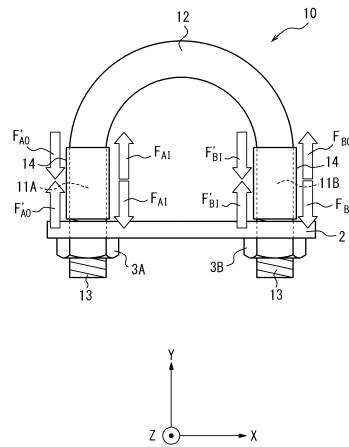
10

20

【 図 5 A 】



【 図 5 B 】

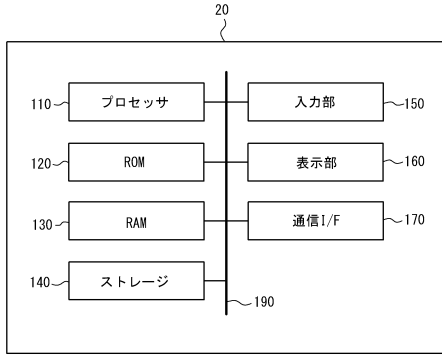


30

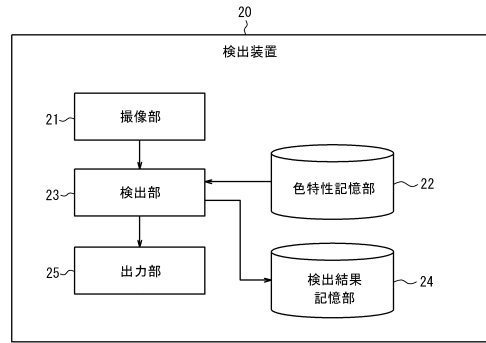
40

50

【図6】



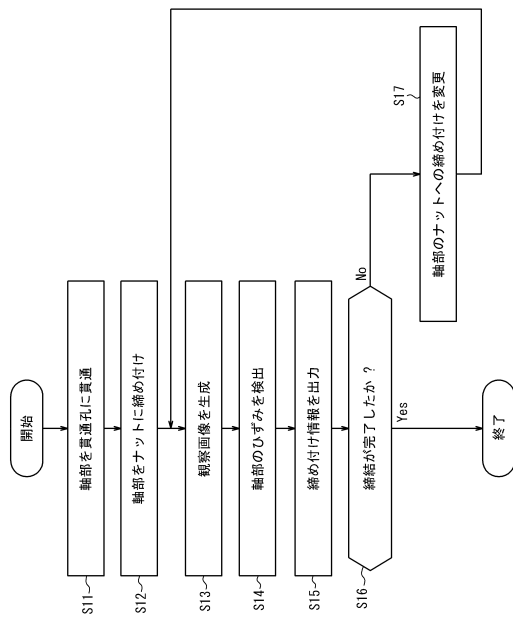
【図7】



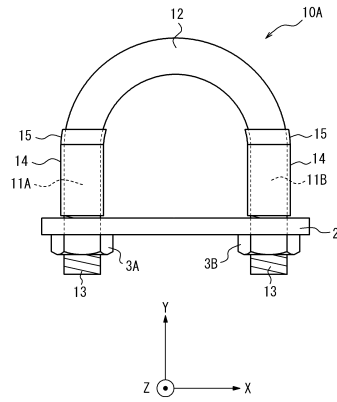
10

20

【図8】



【図9】

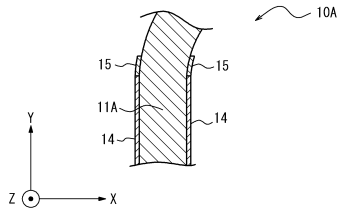


30

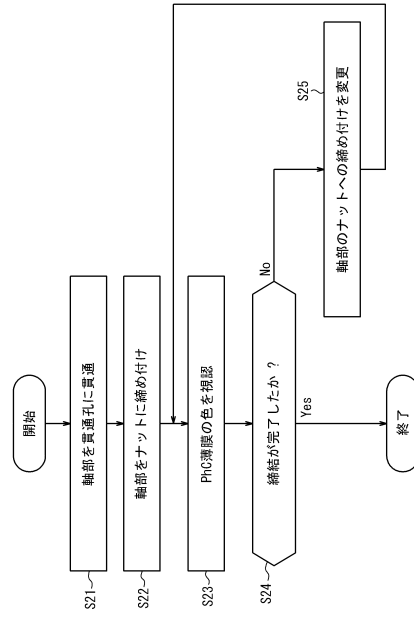
40

50

【図 10】



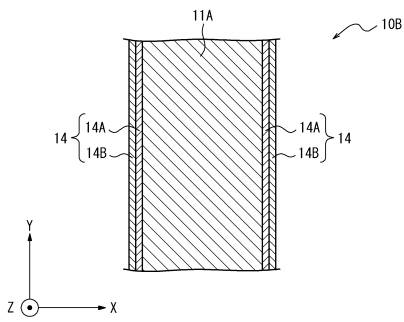
【図 11】



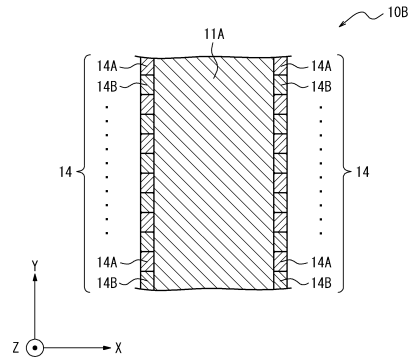
10

20

【図 12 A】




【図 12 B】

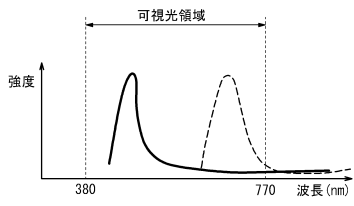



30

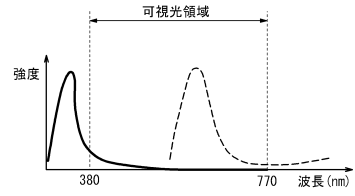
40

50


【 1 3 A】

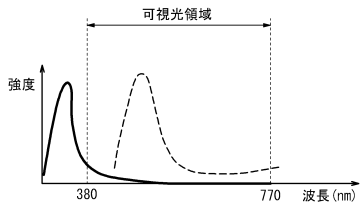


【 1 3 B】



10

【 1 3 C】



20

30

40

50

フロントページの続き

審査官 正木 裕也

- (56)参考文献 米国特許第05804737(US,A)
特開2014-112082(JP,A)
米国特許出願公開第2018/0041011(US,A1)
- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
F16B 35/00