

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号

特許第7003724号

(P7003724)

(45)発行日 令和4年1月21日(2022.1.21)

(24)登録日 令和4年1月6日(2022.1.6)

(51)国際特許分類

F I

G 0 1 L 5/00 (2006.01)

G 0 1 L 5/00 1 0 3 B

B 2 5 B 23/14 (2006.01)

B 2 5 B 23/14 6 1 0 U

B 2 5 B 23/14 6 2 0 G

請求項の数 8 (全20頁)

(21)出願番号 特願2018-29835(P2018-29835)
(22)出願日 平成30年2月22日(2018.2.22)
(65)公開番号 特開2019-141973(P2019-141973
A)
(43)公開日 令和1年8月29日(2019.8.29)
審査請求日 令和2年9月24日(2020.9.24)

(73)特許権者 000003207
トヨタ自動車株式会社
愛知県豊田市トヨタ町1番地
(74)代理人 100103894
弁理士 家入 健
(72)発明者 榊原 正人
愛知県豊田市トヨタ町1番地 トヨタ自
動車株式会社内
(72)発明者 平野 有一
愛知県豊田市トヨタ町1番地 トヨタ自
動車株式会社内
審査官 岡田 卓弥

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 ボルトの軸力測定方法、締結判定方法及び軸力測定装置、締結判定装置

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

被締結部材に締結されたボルトの軸力測定方法であって、
予め設定され、前記ボルトの頭部に凹みが生じる仮締めトルクで、前記ボルトを前記被締結部材に仮締めする工程と、
仮締めしたボルトの第1の軸力を測定する工程と、
予め設定され、前記仮締めトルクより大きい本締めトルクで、前記ボルトを前記被締結部材に本締めする工程と、
本締めしたボルトの第2の軸力を測定する工程と、
前記ボルトを仮締めした際のトルクと、前記ボルトを本締めした際のトルクと、前記第1の軸力と前記第2の軸力との差分と、を用いて、前記本締めしたボルトの推定軸力を測定する工程と、
を備える、ボルトの軸力測定方法。

【請求項2】

前記第1の軸力を測定する工程は、
前記仮締めしたボルトの頭部の高さ分布を表す第1の画像を取得する工程と、
前記第1の画像を用いて、前記仮締めしたボルトの頭部の第1の凹み量を測定する工程と、
前記第1の凹み量と、予め設定されたボルトの軸力とボルトの頭部の凹み量との相関と、
を用いて、前記第1の軸力を測定する工程と、
を備え、

前記第 2 の軸力を測定する工程は、
前記本締めしたボルトの頭部の高さ分布を表す第 2 の画像を取得する工程と、
前記第 2 の画像を用いて、前記本締めしたボルトの頭部の第 2 の凹み量を測定する工程と、
前記第 2 の凹み量と、前記予め設定されたボルトの軸力とボルトの頭部の凹み量との相関
と、を用いて、前記第 2 の軸力を測定する工程と、
を備える、請求項 1 に記載のボルトの軸力測定方法。

【請求項 3】

前記ボルトは、軸部が中実のボルトであり、
前記第 1 の凹み量及び前記第 2 の凹み量は、前記ボルトの頭部の外縁部の高さ分布の平均
値から、前記ボルトの頭部における重心を中心とする円形領域の高さ分布の平均値を差し
引いた値である、請求項 2 に記載のボルトの軸力測定方法。

10

【請求項 4】

前記ボルトは、軸部が中空のボルトであり、
前記第 1 の凹み量及び前記第 2 の凹み量は、前記ボルトの頭部における重心を中心とする
円形領域の高さ分布の平均値から、前記円形領域を囲み、且つ前記ボルトの頭部における
前記軸部の延長線上に位置する環状領域の高さ分布の平均値を差し引いた値である、請求
項 2 に記載のボルトの軸力測定方法。

【請求項 5】

被締結部材に締結されたボルトの締結判定方法であって、
予め設定され、前記ボルトの頭部に凹みが生じる仮締めトルクで、前記ボルトを前記被締
結部材に仮締めする工程と、
仮締めしたボルトの第 1 の軸力を測定する工程と、
予め設定され、前記仮締めトルクより大きい本締めトルクで、前記ボルトを前記被締結部
材に本締めする工程と、
本締めしたボルトの第 2 の軸力を測定する工程と、
前記ボルトを仮締めした際のトルクと、前記ボルトを本締めした際のトルクと、前記第 1
の軸力と前記第 2 の軸力との差分と、を用いて、前記本締めしたボルトの推定軸力を測定
する工程と、
前記本締めしたボルトの推定軸力が予め設定された目標軸力以上の場合、前記本締めした
ボルトが前記被締結部材に適正に締結されていると判定する工程と、
を備える、ボルトの締結判定方法。

20

30

【請求項 6】

前記仮締めしたボルトの第 1 の軸力を測定した後に、前記ボルトを緩め、前記ボルトを緩
めた際のトルクを測定する工程と、
前記ボルトを緩めた際のトルクが予め設定されたトルク以上の場合、前記ボルトが前記被
締結部材に適正に締め付けられていないと判定する工程と、
を備える、請求項 5 に記載のボルトの締結判定方法。

【請求項 7】

被締結部材に締結されたボルトの軸力測定装置であって、
前記被締結部材に前記ボルトを締め付ける締付部と、
前記ボルトの軸力を測定する測定部と、
を備え、
前記測定部は、
予め設定され、前記ボルトの頭部に凹みが生じる仮締めトルクで、前記被締結部材に仮締
めしたボルトの第 1 の軸力を測定し、
予め設定され、前記仮締めトルクより大きい本締めトルクで、前記被締結部材に本締めし
たボルトの第 2 の軸力を測定し、
前記ボルトを仮締めした際のトルクと、前記ボルトを本締めした際のトルクと、前記第 1
の軸力と前記第 2 の軸力との差分と、を用いて、前記本締めしたボルトの推定軸力を測定
する、ボルトの軸力測定装置。

40

50

【請求項 8】

被締結部材に締結されたボルトの締結判定装置であって、
前記被締結部材に前記ボルトを締め付ける締付部と、
前記ボルトの軸力を測定する測定部と、
前記ボルトが前記被締結部材に適正に締結されているか否かを判定する判定部と、
を備え、
前記測定部は、
予め設定され、前記ボルトの頭部に凹みが生じる仮締めトルクで、前記被締結部材に仮締めしたボルトの第 1 の軸力を測定し、
予め設定され、前記仮締めトルクより大きい本締めトルクで、前記被締結部材に本締めしたボルトの第 2 の軸力を測定し、
前記ボルトを仮締めした際のトルクと、前記ボルトを本締めした際のトルクと、前記第 1 の軸力と前記第 2 の軸力との差分と、を用いて、前記本締めしたボルトの推定軸力を測定し、
前記判定部は、前記本締めしたボルトの推定軸力が予め設定された目標軸力以上か否かを判定し、前記本締めしたボルトの推定軸力が予め設定された目標軸力以上の場合、前記ボルトが前記被締結部材に適正に締結されていると判定する、ボルトの締結判定装置。

【発明の詳細な説明】**【技術分野】****【0001】**

本発明は、ボルトの軸力測定方法、締結判定方法及び軸力測定装置、締結判定装置に関し、例えば、被締結部材に締結されたボルトの軸力測定方法、締結判定方法及び軸力測定装置、締結判定装置に関する。

【背景技術】**【0002】**

ボルトの締結状態を確認するため等の目的で、被締結部材に締結されたボルトの軸力を測定することが行われている。ボルトの軸力は、ボルトの頭部の変位量（即ち、ボルトの頭部の凹み量）との間に相関がある。このため、例えば、特許文献 1 の軸力測定方法では、被締結部材への締結前後のボルトの頭部の凹み量を測定し、測定した凹み量と、予め取得したボルトの軸力とボルトの頭部の凹み量との相関と、を用いて、ボルトの軸力を測定している。

【先行技術文献】**【特許文献】****【0003】**

【文献】特開 2015-081798 号公報

【発明の概要】**【発明が解決しようとする課題】****【0004】**

ボルトには、製造誤差があるため、例えば、締結前の状態で頭部上面の形状に個体差があり、等しい軸力が発生するようにボルトが締結されていても、ボルトに応じて、ボルトの頭部の凹み量にバラツキが生じる。そのため、特許文献 1 の軸力測定方法は、ボルトの軸力を精度良く測定できない可能性がある。

【0005】

本発明は、ボルトの軸力を精度良く測定することが可能なボルトの軸力測定方法、締結判定方法及び軸力測定装置、締結判定装置を実現する。

【課題を解決するための手段】**【0006】**

本発明の一形態に係るボルトの軸力測定方法は、被締結部材に締結されたボルトの軸力測定方法であって、
予め設定され、前記ボルトの頭部に凹みが生じる仮締めトルクで、前記ボルトを前記被締

10

20

30

40

50

結部材に仮締めする工程と、
仮締めしたボルトの第１の軸力を測定する工程と、
予め設定され、前記仮締めトルクより大きい本締めトルクで、前記ボルトを前記被締結部材に本締めする工程と、
本締めしたボルトの第２の軸力を測定する工程と、
前記ボルトを仮締めした際のトルクと、前記ボルトを本締めした際のトルクと、前記第１の軸力と前記第２の軸力との差分と、を用いて、前記本締めしたボルトの推定軸力を測定する工程と、
を備える。

第１の軸力と第２の軸力との差分は、第１の軸力を基準として算出することができ、各々のボルトの形状の個体差を排除して算出することができる。そのため、本締めしたボルトの軸力を精度良く測定することができる。

【０００７】

上述のボルトの軸力測定方法において、
前記第１の軸力を測定する工程は、
前記仮締めしたボルトの頭部の高さ分布を表す第１の画像を取得する工程と、
前記第１の画像を用いて、前記仮締めしたボルトの頭部の第１の凹み量を測定する工程と、
前記第１の凹み量と、予め設定されたボルトの軸力とボルトの頭部の凹み量との相関と、
を用いて、前記第１の軸力を測定する工程と、
を備え、

前記第２の軸力を測定する工程は、
前記本締めしたボルトの頭部の高さ分布を表す第２の画像を取得する工程と、
前記第２の画像を用いて、前記本締めしたボルトの頭部の第２の凹み量を測定する工程と、
前記第２の凹み量と、前記予め設定されたボルトの軸力とボルトの頭部の凹み量との相関と、
を用いて、前記第２の軸力を測定する工程と、
を備えることが好ましい。

【０００８】

上述のボルトの軸力測定方法において、前記ボルトは、軸部が中実のボルトであり、
前記第１の凹み量及び前記第２の凹み量は、前記ボルトの頭部の外縁部の高さ分布の平均値から、前記ボルトの頭部における重心を中心とする円形領域の高さ分布の平均値を差し引いた値であることが好ましい。

【０００９】

上述のボルトの軸力測定方法において、前記ボルトは、軸部が中空のボルトであり、
前記第１の凹み量及び前記第２の凹み量は、前記ボルトの頭部における重心を中心とする円形領域の高さ分布の平均値から、前記円形領域を囲み、且つ前記ボルトの頭部における前記軸部の延長線上に位置する環状領域の高さ分布の平均値を差し引いた値であることが好ましい。

【００１０】

本発明の一形態に係るボルトの締結判定方法は、被締結部材に締結されたボルトの締結判定方法であって、

予め設定され、前記ボルトの頭部に凹みが生じる仮締めトルクで、前記ボルトを前記被締結部材に仮締めする工程と、

仮締めしたボルトの第１の軸力を測定する工程と、

予め設定され、前記仮締めトルクより大きい本締めトルクで、前記ボルトを前記被締結部材に本締めする工程と、

本締めしたボルトの第２の軸力を測定する工程と、

前記ボルトを仮締めした際のトルクと、前記ボルトを本締めした際のトルクと、前記第１の軸力と前記第２の軸力との差分と、を用いて、前記本締めしたボルトの推定軸力を測定する工程と、

前記本締めしたボルトの推定軸力が予め設定された目標軸力以上の場合、前記本締めした

10

20

30

40

50

ボルトが前記被締結部材に適正に締結されていると判定する工程と、
を備える。

第1の軸力と第2の軸力との差分は、第1の軸力を基準として算出することができ、各々のボルトの形状の個体差を排除して算出することができる。そのため、本締めしたボルトの軸力を精度良く測定することができ、その結果、本締めしたボルトが被締結部材に適正に締結されているか否かを精度良く判定することができる。

【0011】

上述のボルトの締結判定方法において、

前記仮締めしたボルトの第1の軸力を測定した後に、前記ボルトを緩め、前記ボルトを緩めた際のトルクを測定する工程と、

前記ボルトを緩めた際のトルクが予め設定されたトルク以上の場合、前記ボルトが前記被締結部材に適正に締め付けられていないと判定する工程と、

を備えることが好ましい。

このようにボルトが被締結部材に適正に締め付けられているか否かを判定するため、ボルトが被締結部材に不適正に締結されることを未然に抑制できる。

【0012】

本発明の一形態に係るボルトの軸力測定装置は、被締結部材に締結されたボルトの軸力測定装置であって、

前記被締結部材に前記ボルトを締め付ける締付部と、

前記ボルトの軸力を測定する測定部と、

を備え、

前記測定部は、

予め設定され、前記ボルトの頭部に凹みが生じる仮締めトルクで、前記被締結部材に仮締めしたボルトの第1の軸力を測定し、

予め設定され、前記仮締めトルクより大きい本締めトルクで、前記被締結部材に本締めしたボルトの第2の軸力を測定し、

前記ボルトを仮締めした際のトルクと、前記ボルトを本締めした際のトルクと、前記第1の軸力と前記第2の軸力との差分と、を用いて、前記本締めしたボルトの推定軸力を測定する。

第1の軸力と第2の軸力との差分は、第1の軸力を基準として算出することができ、各々のボルトの形状の個体差を排除して算出することができる。そのため、本締めしたボルトの軸力を精度良く測定することができる。

【0013】

本発明の一形態に係るボルトの締結判定装置は、被締結部材に締結されたボルトの締結判定装置であって、

前記被締結部材に前記ボルトを締め付ける締付部と、

前記ボルトの軸力を測定する測定部と、

前記ボルトが前記被締結部材に適正に締結されているか否かを判定する判定部と、

を備え、

前記測定部は、

予め設定され、前記ボルトの頭部に凹みが生じる仮締めトルクで、前記被締結部材に仮締めしたボルトの第1の軸力を測定し、

予め設定され、前記仮締めトルクより大きい本締めトルクで、前記被締結部材に本締めしたボルトの第2の軸力を測定し、

前記ボルトを仮締めした際のトルクと、前記ボルトを本締めした際のトルクと、前記第1の軸力と前記第2の軸力との差分と、を用いて、前記本締めしたボルトの推定軸力を測定し、

前記判定部は、前記本締めしたボルトの推定軸力が予め設定された目標軸力以上か否かを判定し、前記本締めしたボルトの推定軸力が予め設定された目標軸力以上の場合、前記ボルトが前記被締結部材に適正に締結されていると判定する。

第１の軸力と第２の軸力との差分は、第１の軸力を基準として算出することができ、各々のボルトの形状の個体差を排除して算出することができる。そのため、本締めしたボルトの軸力を精度良く測定することができ、その結果、本締めしたボルトが被締結部材に適正に締結されているか否かを精度良く判定することができる。

【発明の効果】

【００１４】

本発明によれば、ボルトの軸力を精度良く測定することが可能なボルトの軸力測定方法、締結判定方法及び軸力測定装置、締結判定装置を実現できる。

【図面の簡単な説明】

【００１５】

【図１】実施の形態１のボルトの締結判定装置を示す図である。

【図２】実施の形態１のボルトの締結判定方法を示すフローチャートである。

【図３】軸力換算曲線を例示する図である。

【図４】実施の形態１の距離計を用いて距離画像を取得する様子を示す図である。

【図５】距離画像を用いてボルトの頭部の底部の高さを算出する手順を説明するための図である。

【図６】距離画像を用いてボルトの頭部の頂部の高さを算出する手順を説明するための図である。

【図７Ａ】実施の形態２のボルトの締結判定方法を示すフローチャートである。

【図７Ｂ】実施の形態２のボルトの締結判定方法を示すフローチャートである。

【図８】被締結部材に締結されたボルトを示す断面図である。

【図９】被締結部材に締結されたボルトを示す平面図である。

【図１０】実施の形態３のボルトの締結判定方法内でのボルトの軸力測定方法を示すフローチャート図である。

【図１１】距離画像を用いてボルトの頭部の凹み量を算出する手順を説明するための図である。

【発明を実施するための形態】

【００１６】

以下、図面を参照して本発明の実施の形態について説明する。但し、本発明が以下の実施の形態に限定されるわけではない。また、説明を明確にするため、以下の記載及び図面は、適宜、簡略化されている。

【００１７】

<実施の形態１>

まず、本実施の形態のボルトの締結判定装置の構成を説明する。図１は、本実施の形態のボルトの締結判定装置を示す図である。ボルトの締結判定装置（以下、単に締結判定装置と省略する場合がある。）１は、作業ロボット１０及び制御装置１００を備えている。作業ロボット１０は、制御装置１００の制御によって動作する。作業ロボット１０は、締付機（締付部）１２、距離計１４及びマニピュレータ１６を備えている。

【００１８】

締付機１２は、例えば、ナットランナである。締付機１２は、被締結部材８０にボルト９０を締め付ける（即ち、ねじ込む）ために、先端にソケット部１２ａを備えている。被締結部材８０は、ボルト９０が締め付けられるネジ孔を有する部材であり、ナット等を含み得る。

【００１９】

ボルト９０は、中実又は中空の六角ボルトや六角穴ボルト等の締結部材である。そのため、ソケット部１２ａの形状は、ボルト９０の頭部９０ａの形状に応じて、適宜、変更することができる。本実施の形態では、ボルト９０として軸部９０ｂが中実の六角ボルトを被締結部材８０に締結する例を説明する。

【００２０】

距離計１４は、例えば、距離センサ又は三次元カメラである。距離計１４は、被締結部材

10

20

30

40

50

８０に締め付けられたボルト９０の頭部９０ａまでの距離を測定し、測定した距離を画素値とする距離画像を示すデータ（以下、単に距離画像と省略する場合がある。）を取得する。つまり、距離計１４は、ボルト９０の頭部９０ａの高さ分布を表す画像を示すデータを取得する。

【００２１】

マニピュレータ１６は、締付機１２及び距離計１４を動作させる。例えば、マニピュレータ１６は、ボルト９０の頭部９０ａに締付機１２のソケット部１２ａが対向するように当該締付機１２を移動する。また、マニピュレータ１６は、ボルト９０の頭部９０ａに距離計１４の撮像素子１４ａが対向するように距離計１４を移動する。

【００２２】

制御装置１００は、例えば、コンピュータである。制御装置１００は、主要なハードウェア構成として、ＣＰＵ（Central Processing Unit）１０２、ＲＯＭ（Read Only Memory）１０４、ＲＡＭ（Random Access Memory）１０６及びインタフェース部１０８（ＩＦ；Interface）を備えている。ＣＰＵ１０２、ＲＯＭ１０４、ＲＡＭ１０６及びインタフェース部１０８は、データバス等を介して相互に接続されている。

【００２３】

ＣＰＵ１０２は、制御処理及び演算処理等を行う演算装置としての機能を備えている。ＲＯＭ１０４は、ＣＰＵ１０２によって実行される制御プログラム及び演算プログラム等を記憶するための機能を備えている。ＲＡＭ１０６は、処理データ等を一時的に記憶するための機能を備えている。インタフェース部１０８は、有線又は無線を介して外部と信号の入出力を行う。

【００２４】

このような制御装置１００は、締付機コントローラ１２０、距離計コントローラ１４０及びマニピュレータコントローラ１６０を備えている。締付機コントローラ１２０は、締付機１２を制御する。

【００２５】

距離計コントローラ１４０は、距離画像を用いてボルト９０の頭部９０ａの凹み量を算出し、被締結部材８０に締め付けられたボルト９０の推定軸力を測定（算出）する。そして、距離計コントローラ１４０は、測定したボルト９０の推定軸力が予め設定された目標軸力以上か否かを判定し、判定結果に基づいてボルト９０が被締結部材８０に適正に締結されているか否かを判定する。つまり、距離計コントローラ１４０は、測定部及び判定部としての機能を備えている。

【００２６】

マニピュレータコントローラ１６０は、マニピュレータ１６を制御して、締付機１２及び距離計１４の動作を制御する。

【００２７】

なお、本実施の形態の制御装置１００は、締結判定装置１に用いられているので、距離計コントローラ１４０が、測定したボルト９０の推定軸力が予め設定された目標軸力以上か否かを判定し、判定結果に基づいてボルト９０が被締結部材８０に適正に締結されているか否かを判定しているが、軸力測定装置に用いられる場合は、上述の判定機能を省略することができる。

【００２８】

これらの締付機コントローラ１２０、距離計コントローラ１４０及びマニピュレータコントローラ１６０は、例えば、ＣＰＵ１０２がＲＯＭ１０４に記憶されたプログラムを実行することによって実現可能である。また、必要なプログラムを任意の不揮発性記録媒体に記録しておき、必要に応じてインストールすることで、締付機コントローラ１２０、距離計コントローラ１４０及びマニピュレータコントローラ１６０を実現するようにしてもよい。

【００２９】

ここで、プログラムは、様々なタイプの非一時的なコンピュータ可読媒体（non-transito

10

20

30

40

50

ry computer readable medium) を用いて格納され、コンピュータに供給することができる。非一時的なコンピュータ可読媒体は、様々なタイプの実体のある記録媒体 (tangible storage medium) を含む。非一時的なコンピュータ可読媒体の例は、磁気記録媒体 (例えばフレキシブルディスク、磁気テープ、ハードディスクドライブ)、光磁気記録媒体 (例えば光磁気ディスク)、CD-ROM、CD-R、CD-R/W、半導体メモリ (例えば、マスクROM、PROM (Programmable ROM)、EPROM (Erasable PROM)、フラッシュROM、RAM) を含む。また、プログラムは、様々なタイプの一時的なコンピュータ可読媒体 (transitory computer readable medium) によってコンピュータに供給されてもよい。一時的なコンピュータ可読媒体の例は、電気信号、光信号、及び電磁波を含む。一時的なコンピュータ可読媒体は、電線及び光ファイバ等の有線通信路、又は無線通信路を介して、プログラムをコンピュータに供給できる。

10

【0030】

なお、締付機コントローラ120、距離計コントローラ140及びマニピュレータコントローラ160は、上述のようにソフトウェアによって実現されることに限定されず、何らかの回路素子等のハードウェアによって実現されてもよい。

【0031】

さらに、締付機コントローラ120、距離計コントローラ140及びマニピュレータコントローラ160は、物理的に1つの装置内に設けられている必要はなく、別個のハードウェアとして構成されていてもよい。その場合、締付機コントローラ120、距離計コントローラ140及びマニピュレータコントローラ160のそれぞれが、コンピュータとして機能してもよい。

20

【0032】

制御装置100は、作業ロボット10が一連の作業工程を行うためのティーチングデータを記憶している。ティーチングデータは、後述する図2に示すような、被締結部材80にボルト90を締め付けて当該ボルト90の頭部90aの距離画像を取得する等の一連の作業工程を行うためのデータである。締付機コントローラ120、距離計コントローラ140及びマニピュレータコントローラ160は、このティーチングデータに従って、それぞれ、締付機12、距離計14及びマニピュレータ16を制御する。

【0033】

次に、本実施の形態のボルト90の締結判定方法を説明する。図2は、本実施の形態のボルトの締結判定方法を示すフローチャートである。

30

【0034】

まず、制御装置100は、仮締め(着座)トルクを設定する(S1)。仮締めトルクは、ボルト90の頭部90aが被締結部材80に着座し、ボルト90の頭部90aに凹みが生じるトルク(例えば、30Nm)に設定される。なお、ボルト90の被締結部材80への着座は、必ずしもボルト90の頭部90aにおける被締結部材80側の面の全域が当該被締結部材80に面接触していなくてもよい。

【0035】

次に、制御装置100は、本締め(目標)トルクを設定し(S2)、さらに目標軸力を設定する(S3)。本締めトルクは、仮締めトルクより大きく、ボルト90を被締結部材80に締め付けた際に当該ボルト90が目標軸力を発生することが推定されるトルク(例えば、100Nm)に設定される。目標軸力は、ボルト90が被締結部材80に締結された状態で、ボルト80に発生させたい軸力に設定される。

40

【0036】

但し、S1~S3の工程は、入れ替えることが可能であり、仮締めトルク、本締めトルク及び目標軸力の設定は、各々の設定値を用いるまでに設定されていればよい。これらの仮締めトルク、本締めトルク及び目標トルクは、例えば、作業者が入力装置を用いて入力することができる。

【0037】

次に、締結判定装置1は、ボルト90の仮締結を開始する(S4)。具体的には、作業者

50

が制御装置１００等に設けられたボタンを押下、又は作業者が入力装置を操作することによって入力された指令信号によって、制御装置１００のマニピュレータコントローラ１６０は、ティーチングデータに従って、締付機１２をボルト９０の頭部９０ａに対向させ、ソケット部１２ａを下降させて当該ソケット部１２ａの内部に頭部９０ａを挿入させる。

【００３８】

締付機１２のソケット部１２ａの内部に頭部９０ａが挿入された状態にセットされると、マニピュレータコントローラ１６０は、セット完了信号を締付機コントローラ１２０に出力する。締付機コントローラ１２０は、セット完了信号が入力されると、締付機１２を制御して、設定された仮締めトルクでボルト９０を被締結部材８０に締め付ける。これにより、ボルト９０に軸力が発生し、ボルト９０の頭部９０ａの上面が窪むように変形する。

10

【００３９】

締付機コントローラ１２０は、締付トルクが仮締めトルクに達すると（Ｓ５のＹＥＳ）、締付機１２を停止して仮締め動作を終了する（Ｓ６）。そして、締付機コントローラ１２０は、仮締め動作が終了した旨を示す仮締め終了信号を、マニピュレータコントローラ１６０に対して出力する。一方、締付機コントローラ１２０は、締付トルクが仮締めトルク未満の場合（Ｓ５のＮＯ）、締付機１２によるボルト９０の締め付けを継続する。

【００４０】

次に、締結判定装置１は、距離計１４を用いてボルト９０の頭部９０ａの第１の凹み量ａ１を測定する（Ｓ７）。具体的には、マニピュレータコントローラ１６０は、仮締め終了信号が入力されると、締付機１２をボルト９０の頭部９０ａと対向する位置から退避させる。そして、マニピュレータコントローラ１６０は、マニピュレータ１６を制御して、距離計１４の撮像素子１４ａをボルト９０の頭部９０ａと対向させる。

20

【００４１】

距離計１４の撮像素子１４ａがボルト９０の頭部９０ａと対向するようにセットされると、マニピュレータコントローラ１６０は、セット完了信号を距離計コントローラ１４０に出力する。距離計コントローラ１４０は、セット完了信号が入力されると、仮締めしたボルト９０の頭部９０ａの距離画像（第１の画像）を生成するように、距離計１４を制御し、第１の画像を取得する。そして、距離計コントローラ１４０は、第１の画像を取得すると、仮締めしたボルト９０の頭部９０ａの第１の凹み量ａ１を測定する。なお、距離画像を取得する手順及び凹み量を測定する手順は後述する。

30

【００４２】

次に、締結判定装置１は、ボルト９０の本締めを開始する（Ｓ８）。具体的には、距離計コントローラ１４０は、第１の凹み量ａ１を測定すると、測定完了信号をマニピュレータコントローラ１６０に出力する。マニピュレータコントローラ１６０は、測定完了信号が入力されると、距離計１４をボルト９０の頭部９０ａと対向する位置から退避させる。そして、マニピュレータコントローラ１６０は、マニピュレータ１６を制御して、締付機１２のソケット部１２ａをボルト９０の頭部９０ａに対向させ、ソケット部１２ａを下降させて当該ソケット部１２ａの内部に頭部９０ａを挿入させる。

【００４３】

締付機１２のソケット部１２ａの内部にボルト９０の頭部９０ａが挿入された状態にセットされると、マニピュレータコントローラ１６０は、セット完了信号を締付機コントローラ１２０に出力する。そして、締付機コントローラ１２０は、セット完了信号が入力されると、締付機１２を制御して、設定された本締めトルクでボルト９０を締め付ける。

40

【００４４】

締付機コントローラ１２０は、締付トルクが本締めトルクに達すると（Ｓ９のＹＥＳ）、締付機１２を停止して本締め動作を終了する（Ｓ１０）。そして、締付機コントローラ１２０は、本締め動作が終了した旨を示す本締め終了信号を、マニピュレータコントローラ１６０に対して出力する。一方、締付機コントローラ１２０は、締付トルクが本締めトルク未満の場合（Ｓ９のＮＯ）、締付機１２によるボルト９０の締め付けを継続する。

【００４５】

50

次に、締結判定装置 1 は、距離計 14 を用いて本締めしたボルト 90 の頭部 90 a の第 2 の凹み量 a_2 を測定する (S11)。具体的には、マンピュレータコントローラ 160 は、本締め終了信号が入力されると、締付機 12 をボルト 90 の頭部 90 a と対向する位置から退避させる。そして、マンピュレータコントローラ 160 は、マンピュレータ 16 を制御して、距離計 14 の撮像素子 14 a をボルト 90 の頭部 90 a と対向させる。距離計 14 がボルト 90 の頭部 90 a の上にセットされると、マンピュレータコントローラ 160 は、セット完了信号を距離計コントローラ 140 に出力する。

【0046】

距離計コントローラ 140 は、セット完了信号が入力されると、第 1 の画像と同様に、本締めしたボルト 90 の頭部 90 a の距離画像 (第 2 の画像) を取得する。また、距離計コントローラ 140 は、第 1 の凹み量 a_1 と同様に、第 2 の画像を用いて、本締めしたボルト 90 の頭部 90 a の第 2 の凹み量 a_2 を測定する。

【0047】

次に、距離計コントローラ 140 は、第 1 の凹み量 a_1 を用いて仮締めしたボルト 90 の軸力 (第 1 の軸力) F_1 を測定し、さらに第 2 の凹み量 a_2 を用いて本締めしたボルト 90 の軸力 (第 2 の軸力) F_2 を測定し、第 1 の軸力 F_1 と第 2 の軸力 F_2 との差分 F_3 を算出する (S12)。具体的には、距離計コントローラ 140 は、第 1 の凹み量 a_1 と、第 2 の凹み量 a_2 と、軸力換算曲線又はこの軸力換算曲線に対応する換算式等と、を用いて、各軸力 F_1 、 F_2 及び差分 F_3 を算出する。

【0048】

図 3 は、軸力換算曲線を例示する図である。軸力換算曲線は、横軸を凹み量とし、縦軸を軸力とするグラフである。制御装置 100 は、この軸力換算曲線を記憶している。なお、軸力換算曲線は、例えば以下に示す方法で生成され得る。

【0049】

予め、様々な締付トルクで同規格のボルトを締め付けたときの軸力を、引張試験機又はロードセル等を用いて測定する。また、このときのボルトの頭部の凹み量を、距離計を用いて算出する。そして、凹み量と軸力とを示す点を複数プロットし、これらの点の近似曲線 (近似直線でもよい) を、軸力換算曲線とする。つまり、軸力換算曲線は、直線であってもよく、ここでいう「曲線」は、直線をも含む概念である。なお、制御装置 100 は、ボルト 90 の種類ごとに異なる複数の軸力換算曲線を記憶し得る。

【0050】

このような軸力換算曲線を用いることで、距離計コントローラ 140 は、第 1 の凹み量 a_1 を用いて第 1 の軸力 F_1 を導き出すことができ、また、第 2 の凹み量 a_2 を用いて第 2 の軸力 F_2 を導き出すことができる。そして、距離計コントローラ 140 は、導き出した第 2 の軸力 F_2 から第 1 の軸力 F_1 を差し引いて差分 F_3 を算出することができる。

【0051】

ここで、本実施の形態の軸力換算曲線は、図 3 に示すように、直線であるので、第 1 の軸力 F_1 及び第 2 の軸力 F_2 を導き出すことなく、第 2 の凹み量 a_2 から第 1 の凹み量 a_1 を差し引いた値と、軸力換算曲線と、を用いて、差分 F_3 を算出してもよい。

【0052】

次に、距離計コントローラ 140 は、ボルト 90 を仮締めした際の第 1 のトルク T_1 と、ボルト 90 を本締めした際の第 2 のトルク T_2 と、差分 F_3 と、を用いて、本締めしたボルト 90 の推定軸力を測定する (S13)。

【0053】

仮締めした際の第 1 のトルク T_1 は、予め設定した仮締めトルク又は締付機 12 に設けられたトルクセンサによるボルト 90 を仮締めした際の実測値の何れでもよい。また、本締めした際の第 2 のトルク T_2 は、予め設定した本締めトルク又は締付機 12 に設けられたトルクセンサによるボルト 90 を本締めした際の実測値の何れでもよい。

【0054】

ここで、仮締めした際のトルクを t_1 、本締めした際のトルクを t_2 、仮締めしたボルト

10

20

30

40

50

の軸力を f_1 、本締めしたボルトの軸力と仮締めしたボルトの軸力との差分を f_2 、ボルトの摩擦係数を μ とした場合、 t_1 は以下の＜式 1＞で導き出すことができる。

$$\text{＜式 1＞ } t_1 = \mu \times f_1$$

【 0 0 5 5 】

また、 t_2 は以下の＜式 2＞で導き出すことができる。

$$\text{＜式 2＞ } t_2 = \mu \times f_2 + t_1$$

【 0 0 5 6 】

そして、＜式 1＞及び＜式 2＞から＜式 3＞を導き出すことができる。

$$\text{＜式 3＞ } t_2 = \mu \times (f_1 + f_2)$$

【 0 0 5 7 】

＜式 3＞を変形して $\mu = t_2 / (f_1 + f_2)$ を＜式 2＞に代入して変形すると、＜式 4＞を導き出すことができる。

$$\text{＜式 4＞ } t_2 - t_1 = f_2 \times t_2 / (f_1 + f_2)$$

【 0 0 5 8 】

さらに＜式 4＞を変形すると、＜式 5＞を導き出すことができる。

$$\text{＜式 5＞ } f_1 + f_2 = f_2 \times t_2 / (t_2 - t_1)$$

【 0 0 5 9 】

＜式 5＞により算出された $f_1 + f_2$ の値は、本締めされたボルトの推定軸力である。これにより、第 1 のトルク T_1 と、第 2 のトルク T_2 と、差分 F_3 と、を用いると、被締結部材 80 に本締めされたボルト 90 の推定軸力を測定することができるのである。

【 0 0 6 0 】

このとき、第 1 のトルク T_1 及び第 2 のトルク T_2 は、予め設定された値又はトルクセンサによる実測値であるので、簡単に導き出すことができる。また、差分 F_3 も、凹み量と軸力変換曲線とを用いて、簡単に導き出すことができる。そして、差分 F_3 は、各々のボルト 90 の頭部 90 a の第 1 の凹み量 a_1 の個体差が排除された値である。そのため、本締めされたボルト 90 の軸力を精度良く測定することができる。

【 0 0 6 1 】

次に、距離計コントローラ 140 は、ボルト 90 の推定軸力が目標軸力以上か否かを判定する (S14)。距離計コントローラ 140 は、ボルト 90 の推定軸力が目標軸力以上であると (S14 の YES)、ボルト 90 が被締結部材 80 に適正に締結されていると判定する (S15)。一方、距離計コントローラ 140 は、ボルト 90 の推定軸力が目標軸力未満であると (S14 の NO)、ボルト 90 が被締結部材 80 の適正に締結されていないと判定する (S16)。これにより、本実施の形態のボルト 90 の締結判定方法は終了する。

【 0 0 6 2 】

なお、本実施の形態の締結判定方法は、S14～S16 の工程を備えているが、ボルト 90 の軸力測定方法では、S14～S16 の工程を省略することができる。つまり、本実施の形態の締結判定方法内でボルト 90 の軸力測定方法が実現されている。

【 0 0 6 3 】

次に、本実施の形態の距離計 14 を用いて距離画像を取得する手順を説明する。図 4 は、本実施の形態の距離計を用いて距離画像を取得する様子を示す図である。なお、図 4 では、一点鎖線でボルト 90 の頭部 90 a の窪みを示している。

【 0 0 6 4 】

距離計 14 は、例えば、図 4 に示すように、光源 14 b 及び干渉計 14 c を備えている。光源 14 b は、例えば、レーザ光である参照光及び信号光を干渉計 14 c に供給する。干渉計 14 c は、信号光をボルト 90 の頭部 90 a の上面に照射させる。

【 0 0 6 5 】

干渉計 14 c は、信号光における頭部 90 a の上面での反射光を受光し、ボルト 90 の頭部 90 a の上面に照射していない信号光と参照光とを干渉させた信号を、基準信号として取得する。干渉計 14 c は、反射光と参照光とを干渉させた信号を、測定信号として取得

10

20

30

40

50

する。

【0066】

そして、距離計14は、基準信号と測定信号との差分（位相差又は時間差等）を用いて、ボルト90の頭部90aの信号光を照射させた位置までの距離を測定する。さらに、干渉計14cが、ガルバノミラー等を用いてボルト90の頭部90aの上面に信号光を走査することで、距離計14は、ボルト90の頭部90aの上面の各位置における距離を測定することができる。

【0067】

距離計14は、各画素が各位置に対応し、各画素の画素値がその位置までの距離を示す距離画像を生成し、生成した距離画像を距離計コントローラ140に対して出力する。これにより、距離計コントローラ140は、ボルト90の頭部90aの距離画像を取得することができる。

10

【0068】

ここで、距離画像の画素値は、距離計14までの距離が大きい程大きくてもよいし、距離計14までの距離が大きい程小さくてもよい。距離計14までの距離が大きい程画素値が大きい場合、画素値が大きい画素は、ボルト90の頭部90aにおいて高さの低い位置を示す。一方、距離計14までの距離が大きい程画素値が小さい場合、画素値が大きい画素は、ボルト90の頭部90aにおいて高さの高い位置を示す。つまり、画素値は、その画素に対応する位置までの距離計14からの距離を示すと共に、その位置の高さを示し得る。

【0069】

なお、図4に示した距離計14は光コム方式を用いたものであるが、これに限らず、シャドウモアレ方式等を用いてもよい。また、干渉計14cは、撮像素子14aと一体であってもよい。また、距離計コントローラ140がボルト90の頭部90aの上面の各位置における距離データに基づいて距離画像を生成してもよい。

20

【0070】

次に、距離画像を用いてボルト90の頭部90aの凹み量を算出する手順を説明する。凹み量は、距離画像から、ボルト90の頭部90aの上面の底部（谷）までの距離と頂部（山）までの距離との差分を算出することで測定される。つまり、凹み量は、ボルト90の頭部90aの上面の頂部（山）の高さから底部（谷）の高さを差し引いた値である。

【0071】

ここで、本実施の形態のボルト90は、六角ボルトであるので、頭部90aの上面にほとんど窪みがなく、ボルト90の締結前の凹み量は、略0である。但し、ボルト90の頭部90aの上面の中央近傍が突出した形状のボルトである場合、凹み量は、負の値であり得る。

30

【0072】

図5は、距離画像を用いてボルトの頭部の底部の高さを算出する手順を説明するための図である。図5（a）は、ボルト90の頭部90aに対応する距離画像の原画を示す。距離計コントローラ140は、図5（a）に示す距離画像に対して二値化処理及びラベリング処理等を施して、図5（b）に示すように、ボルト90の頭部90aを抽出する。

【0073】

二値化処理は、距離画像の各画素値を、予め定められた閾値以上であるか否かに応じて二色（例えば黒又は白など）に分類することで行われる。図5（b）に示す例では、画素値が予め定められた閾値よりも高さが高いことを示す（即ち、距離計14からの距離が予め定められた閾値よりも近いことを示す）場合に、その画素が白色に分類され、そうでない場合に、その画素が黒色に分類されている。

40

【0074】

ラベリング処理は、同じ画素値が連続する画素に同じ番号を割り振って、番号ごとに画素を色分けする処理である。このラベリング処理によって、埃等によって実際の高さよりも高い（即ち、距離計14に近い）測定結果となったノイズを、ボルト90の一部と誤認識することを抑制できる。上述の処理により、距離計コントローラ140は、図5（b）に

50

示す白色の箇所を、ボルト 90 の頭部 90 a と認識できる。

【0075】

そして、距離計コントローラ 140 は、図 5 (b) に示すボルト 90 の頭部 90 a の画像において、六角形の対向する頂点を線分で結び、これらの線分の交点を、頭部 90 a の重心位置 C1 として算出する。なお、3つの線分で各頂点を結ぶ必要はなく、2つの直線の交点を重心位置 C1 としてもよい。また、3つの線分が 1 点で交わらない場合、3つの交点を頂点とする三角形の重心を重心位置 C1 としてもよい。

【0076】

次に、距離計コントローラ 140 は、重心位置 C1 を中心とする半径 r_1 の円形領域 R1 の画素の画素値の平均値を、ボルト 90 の頭部 90 a の底部（谷）までの距離、即ち、底部の高さ h_1 とする。 r_1 は、例えば 2.5 mm であるが、これに限られない。 r_1 は、ボルト 90 の頭部 90 a の大きさ及び形状（元々頭部 90 a に形成されていた六角穴等の凹部の大きさ等）に応じて、適宜、定められ得る。

【0077】

図 6 は、距離画像を用いてボルトの頭部の頂部の高さを算出する手順を説明するための図である。距離計コントローラ 140 は、重心位置 C1 から一定角度（例えば 0.5° ）ごとに放射状に伸びた複数の仮想直線 L それぞれの上に位置する画素のうち、その画素に対応する位置の高さが相対的に高い画素を、予め定められた数（例えば 10 個）抽出する。

【0078】

例えば、距離計 14 までの距離が大きい程画素値が小さい場合、距離計コントローラ 140 は、画素値が相対的に大きな 10 個の画素を抽出する。また、例えば、距離計 14 までの距離が大きい程画素値が大きい場合、距離計コントローラ 140 は、画素値が相対的に小さな 10 個の画素を抽出する。

【0079】

そして、距離計コントローラ 140 は、抽出された画素（上述の例では $720 \times 10 = 7200$ 個）の平均値を、ボルト 90 の頭部 90 a の頂部（山）までの距離、即ち、頂部の高さ h_2 とする。これにより、距離計コントローラ 140 は、頂部の高さ h_2 から底部の高さ h_1 を差し引いた値を凹み量として算出することができる。

【0080】

一般的に、軸力によって変形するのはボルト 90 の頭部 90 a の中央、即ち、重心位置 C1 の近傍であり、軸力によってボルト 90 の頭部 90 a の外縁近傍（外縁部）は変形しない。したがって、ボルト 90 の頭部 90 a の頂部は、当該頭部 90 a の外縁近傍に存在することとなる。そして、ボルト 90 の頭部 90 a の頂部の実際の高さは、変化しない。また、各仮想直線 L 上の画素のうち画素値が高さの高いことを示す画素（即ち、頂部に対応する画素）は、ボルト 90 の頭部 90 a の外縁近傍に対応する距離画像上の位置で、互いに隣接し得ることとなる。

【0081】

図 6 に示す画素群 Gpx は、各仮想直線 L 上の画素のうち画素値が高さの高いことを示す上位 10 個の画素の群を示している。そして、画素群 Gpx において、画素値が高さの高いことを示す上位 10 個の画素は互いに隣接している。また、ボルト 90 の頭部 90 a の頂部に対応する画素の集合は、ボルト 90 の頭部 90 a の形状にもよるが、概ね頭部 90 a の外縁近傍に沿った環形状を形成することとなる。

【0082】

このようなボルト 90 の軸力測定方法、締結判定方法及び軸力測定装置、締結判定装置 1 は、第 1 のトルク T1 と、第 2 のトルク T2 と、差分 F3 と、を用いて、被締結部材 80 に本締めされたボルト 90 の軸力を測定する。このとき、差分 F3 は、第 1 の凹み量 a_1 を基準として算出することができ、各々のボルト 90 の頭部 90 a の上面の形状の個体差を排除して算出することができる。そのため、本締めしたボルト 90 の軸力を精度良く測定することができる。その結果、本実施の形態のボルト 90 の軸力測定方法を用いた締結判定方法及びボルト 90 の軸力測定装置を用いた締結判定装置 1 は、本締めしたボルト 9

10

20

30

40

50

0 が被締結部材 8 0 に適正に締結されているか否か精度良く判定することができる。

【0083】

<実施の形態 2>

本実施の形態の締結判定装置は、ボルト 9 0 が被締結部材 8 0 に適正に締め付けられているか否かを判定可能な構成であり、以下に締結判定方法と共に説明する。なお、本実施の形態の締結判定装置及び締結判定方法は、実施の形態 1 の締結判定装置及び締結判定方法と略等しいため、重複する説明は省略し、等しい要素には等しい符号を用いて説明する。

【0084】

図 7 A 及び図 7 B は、本実施の形態のボルトの締結判定方法を示すフローチャートである。ここで、本実施の形態の締結判定方法の S 2 1 ~ S 2 7 の工程は、実施の形態 1 の締結判定方法の S 1 ~ S 7 の工程に対応する。また、本実施の形態の締結判定方法の S 3 2 ~ S 4 0 の工程は、実施の形態 1 の締結判定方法の S 8 ~ S 1 6 の工程に対応する。

【0085】

つまり、本実施の形態の締結判定方法において、S 2 7 の工程の後に、締結判定装置は、ボルト 9 0 を緩める (S 2 8)。具体的には、距離計コントローラ 1 4 0 は、第 1 の凹み量 a 1 を測定すると、測定完了信号をマニピュレータコントローラ 1 6 0 に出力する。マニピュレータコントローラ 1 6 0 は、測定完了信号が入力されると、距離計 1 4 をボルト 9 0 の頭部 9 0 a と対向する位置から退避させる。そして、マニピュレータコントローラ 1 6 0 は、マニピュレータ 1 6 を制御して、締付機 1 2 のソケット部 1 2 a をボルト 9 0 の頭部 9 0 a に対向させ、ソケット部 1 2 a を下降させて当該ソケット部 1 2 a の内部に頭部 9 0 a を挿入させる。

【0086】

締付機 1 2 のソケット部 1 2 a の内部にボルト 9 0 の頭部 9 0 a が挿入された状態にセットされると、マニピュレータコントローラ 1 6 0 は、セット完了信号を締付機コントローラ 1 2 0 に出力する。

【0087】

締付機コントローラ 1 2 0 は、セット完了信号が入力されると、締付機 1 2 を制御して、設定された回転角度でボルト 9 0 を緩める。締付機コントローラ 1 2 0 は、ボルト 9 0 の回転角度が設定された回転角度に達すると、締付機 1 2 を停止して緩め動作を終了する。

【0088】

次に、締結判定装置は、ボルト 9 0 を緩めた際の緩めトルクが設定された閾値トルク以上か否かを判定する (S 2 9)。具体的には、締付機 1 2 は、例えば、トルクセンサを備えており、ボルト 9 0 を緩める際の緩めトルクを示す信号を締付機コントローラ 1 2 0 に出力する。そして、締付機コントローラ 1 2 0 は、緩め動作が終了すると、入力された信号が示すボルト 9 0 を緩める際の緩めトルクが設定された閾値トルク以上か否かを判定する。

【0089】

ここで、ボルト 9 0 が被締結部材 8 0 に適正に締め付けられていない場合、ボルト 9 0 に焼き付きが生じるため、ボルト 9 0 を被締結部材 8 0 から緩める際に、ボルト 9 0 が被締結部材 8 0 に適正に締め付けられている場合に比べて、大きな緩めトルクを必要とする。

【0090】

そこで、本実施の形態では、締付機コントローラ 1 2 0 は、入力された信号が示すボルト 9 0 を緩める際の緩めトルクが設定された閾値トルク以上の場合 (S 2 9 の YES)、ボルト 9 0 が被締結部材 8 0 に適正に締め付けられていないと判定する (S 3 0)。

【0091】

一方、締付機コントローラ 1 2 0 は、入力された信号が示すボルト 9 0 を緩める際の緩めトルクが設定された閾値トルク未満の場合 (S 2 9 の NO)、ボルト 9 0 が被締結部材 8 0 に適正に締め付けられていると判定し (S 3 1)、S 3 2 の工程に移行する。

【0092】

このように本実施の形態の締結判定装置及び締結判定方法は、ボルト 9 0 が被締結部材 8 0 に適正に締め付けられているか否かを判定するため、ボルト 9 0 が被締結部材 8 0 に不

10

20

30

40

50

適正に締結されることを未然に抑制できる。

【0093】

＜実施の形態３＞

実施の形態１及び２では、ボルト９０として中実の六角ボルトを被締結部材８０に締結しているが、軸部が中空の六角ボルトを被締結部材に締結しても、略同様に実施することができる。なお、本実施の形態の締結判定装置は、実施の形態１の締結判定装置と略等しい構成とされているため、重複する説明及び図示は省略し、等しい要素には等しい符号を用いて説明する。

【0094】

ここで、図８は、被締結部材に締結されたボルトを示す断面図である。図９は、被締結部材に締結されたボルトを示す平面図である。ボルト９１が被締結部材に締結されると、ボルト９１には軸方向に収縮するように軸力が生じるため、ボルト９１の頭部９１ｂは軸部９１ａに引っ張られる方向に力を受ける。

【0095】

このとき、頭部９１ｂのうち軸部９１ａの延長線上に位置する環状部９１ｃは最も大きな軸力を受けるため、中心部９１ｄや外縁部９１ｅに比べて相対的に大きく窪む。ボルト９１の軸力が大きいほど環状部９１ｃは相対的に大きく窪むため、中心部９１ｄのうち最も窪みの小さい領域の高さから環状部９１ｃのうち最も窪みが大きい領域の高さを差し引いた値、即ち、頭部９１ｂの凹み量を測定することで、ボルト９１の軸力を測定することができる。

【0096】

そこで、本実施の形態では、中心部９１ｄのうち最も窪みの小さい領域の高さから環状部９１ｃのうち最も窪みが大きい領域の高さを差し引いた値（凹み量）を用いて、仮締めしたボルト９１の軸力及び本締めしたボルト９１の軸力を測定する。

【0097】

以下に、本実施の形態の締結判定方法内でのボルト９１の軸力測定方法を説明する。図１０は、本実施の形態のボルトの締結判定方法内でのボルトの軸力測定方法を示すフローチャート図である。図１１は、距離画像を用いてボルトの頭部の凹み量を算出する手順を説明するための図である。

【0098】

まず、距離計コントローラ１４０は、実施の形態１と同様に、距離画像を取得し（Ｓ４１）、取得した距離画像に二値化処理及びラベリング処理等を施して、ボルト９１の頭部９１ｂを抽出すると共に、埃等によるノイズＮを除去し、ボルト９１の頭部９１ｂの重心位置Ｃ２を算出する（Ｓ４２）。

【0099】

次に、距離計コントローラ１４０は、ボルト９１の頭部９１ｂの重心位置Ｃ２を中心とする半径ｒ２を有する円形領域Ｒ２の高さの平均値を算出する。このとき、円形領域Ｒ２は、中心部９１ｄの内部に配置されることになり、距離計コントローラ１４０は、算出された平均値を中心部９１ｄのうち最も窪みの小さい領域の高さとして設定する（Ｓ４３）。

【0100】

次に、距離計コントローラ１４０は、円形領域Ｒ２を囲み、且つ予め設定された内径と外径との差分である幅寸法を有する環状領域Ｒ３の高さの平均値を算出する工程を、環状領域Ｒ３の内径及び外径を予め設定された値ずつ変化させて繰り返す。

【0101】

つまり、重心位置Ｃ２を中心に環状領域Ｒ３を放射状に走査する。このとき、環状領域Ｒ３は、環状部９１ｃの内部に配置されることになり、距離計コントローラ１４０は、最も高さの平均値が低かった環状領域Ｒ３の平均値を環状部９１ｃのうち最も窪みの大きい領域の高さとして設定する（Ｓ４４）。

【0102】

次に、距離計コントローラ１４０は、中心部９１ｄのうち最も窪みの小さい領域の高さか

10

20

30

40

50

ら環状部 9 1 c のうち最も窪みの大きい領域の高さを差し引き、頭部 9 1 b の凹み量を測定する (S 4 5)。

【0 1 0 3】

次に、距離計コントローラ 1 4 0 は、頭部 9 1 b の凹み量と、軸力換算曲線と、を用いて、ボルト 9 1 の軸力を測定する (S 4 6)。このような手順により、仮締めしたボルト 9 1 の軸力及び本締めしたボルト 9 1 の軸力を測定すると、実施の形態 1 及び 2 と同様にボルト 9 1 の締結判定方法を実現することができる。

【0 1 0 4】

これにより、軸部 9 0 b が中実のボルト 9 0 に限らず、軸部 9 1 a が中空のボルト 9 1 を被締結部材 8 0 に締結する際の軸力を測定したり、軸部 9 1 a が中空のボルト 9 1 が被締結部材 8 0 に適正に締結されたか否かを判定したり、することができる。

【0 1 0 5】

本発明は上記実施の形態に限られたものではなく、趣旨を逸脱しない範囲で適宜変更することが可能である。

【0 1 0 6】

上記実施の形態 1 ～ 3 では、ボルトの頭部の凹み量と軸力換算曲線とを用いて、仮締めしたボルトの軸力や本締めしたボルトの軸力を測定しているが、この限りでない。例えば、ボルトの伸び量とボルトの軸力との間には相関があるため、被締結部材に締結した際のボルトの伸び量を超音波等によって測定し、測定したボルトの伸び量と、予め設定されたボルトの伸び量とボルトの軸力との相関と、を用いて、仮締めしたボルトの軸力や本締めしたボルトの軸力を測定してもよい。また、電磁渦流式のボルトの軸力計を用いて、仮締めしたボルトの軸力や本締めしたボルトの軸力を測定してもよい。電磁渦流式のボルトの軸力計は、被締結部材にボルトを締め付けて軸力が増加すると、ボルトの頭部に圧縮応力が加わり、それに伴い、ボルトの頭部の透磁率が減少する特性を利用するものである。要するに、仮締めしたボルトの軸力及び本締めしたボルトの軸力の測定方法は、特に限定されない。

【符号の説明】

【0 1 0 7】

1 ボルトの軸力測定装置

1 0 作業ロボット

1 2 締付機

1 4 距離計、1 4 a 撮像素子

1 6 マニピュレータ

8 0 被締結部材

9 0 ボルト、9 0 a 頭部、9 0 b 軸部

9 1 ボルト、9 1 a 軸部、9 1 b 頭部

1 0 0 制御装置

1 0 8 インタフェース部

1 2 0 締付機コントローラ

1 4 0 距離計コントローラ

1 6 0 マニピュレータコントローラ

10

20

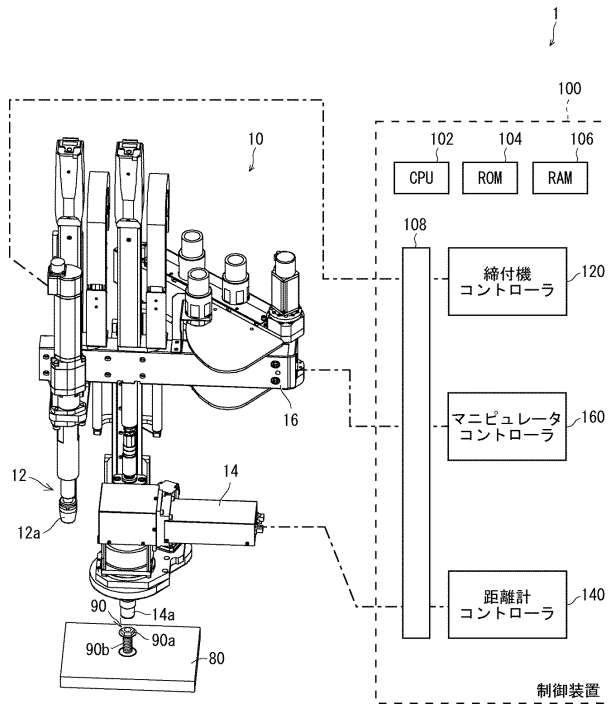
30

40

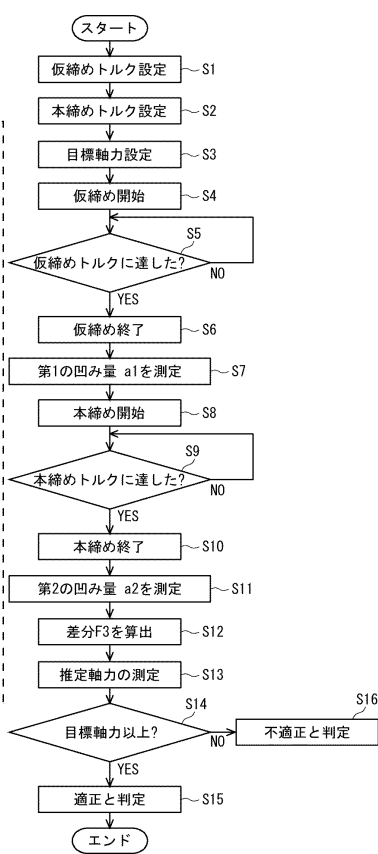
50

【図面】

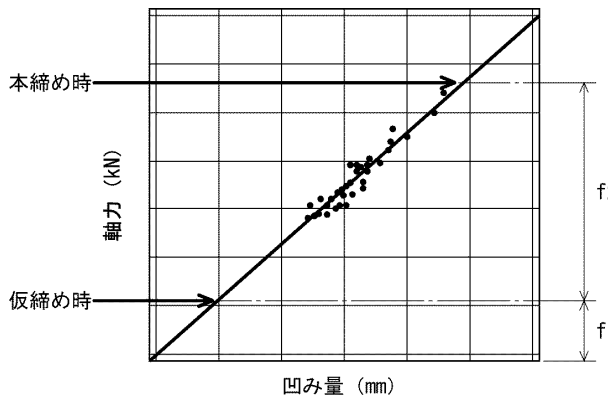
【図 1】



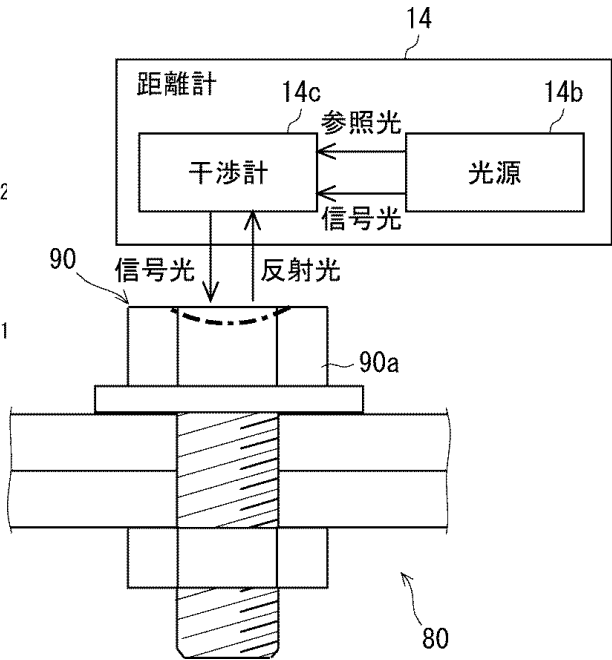
【図 2】



【図 3】



【図 4】



10

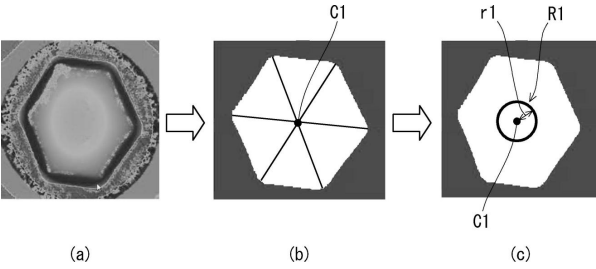
20

30

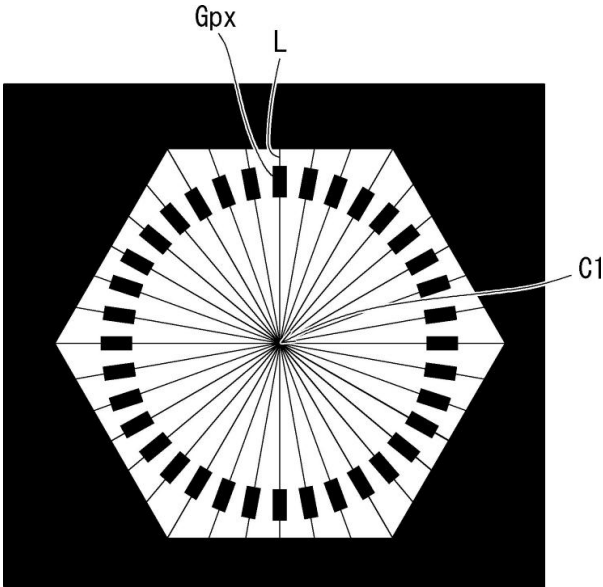
40

50

【図 5】

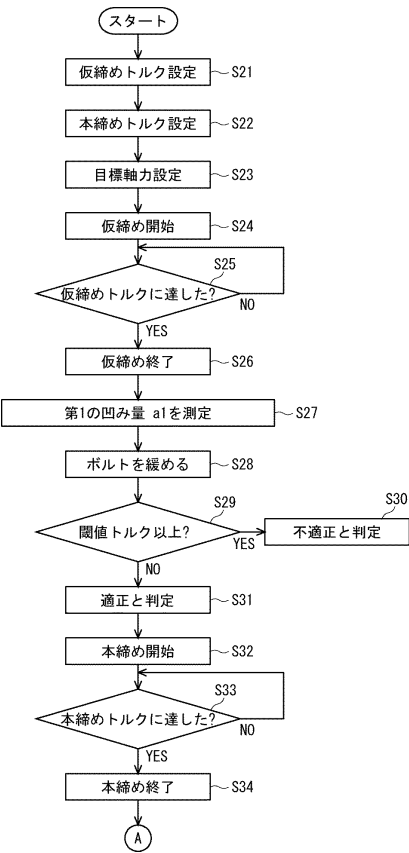


【図 6】

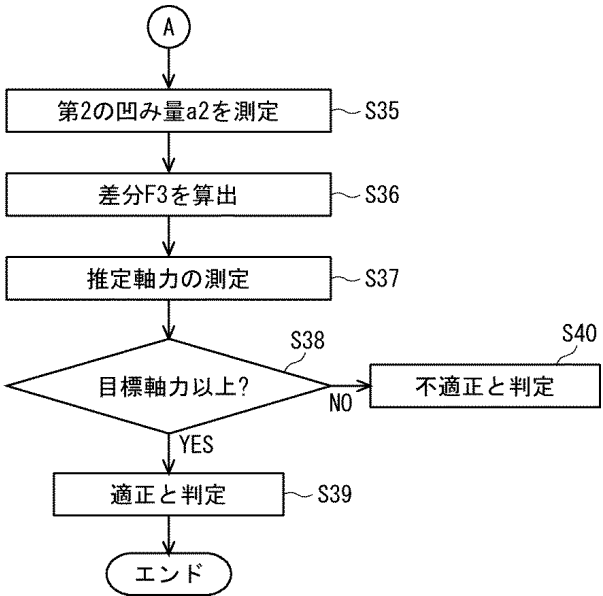


10

【図 7 A】



【図 7 B】



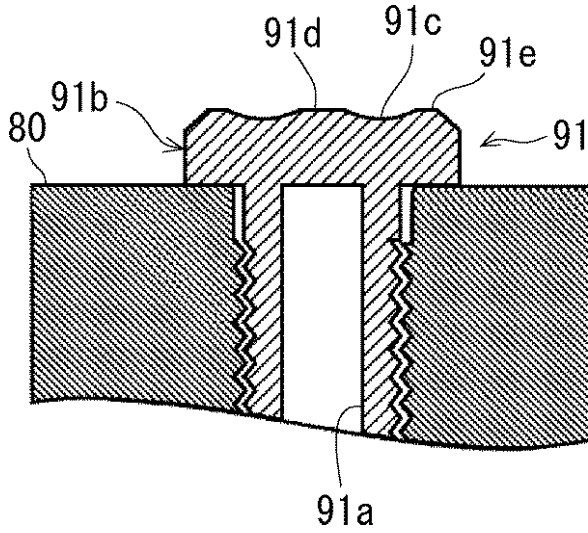
20

30

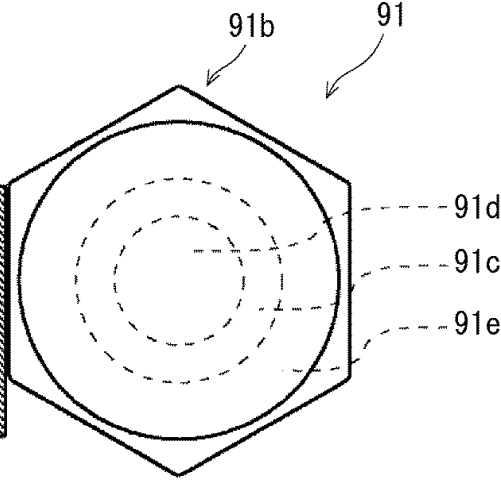
40

50

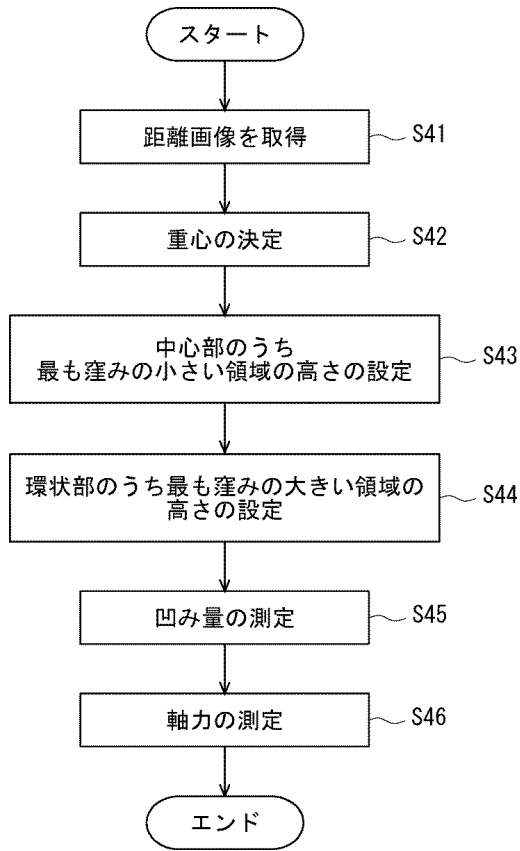
【図 8】



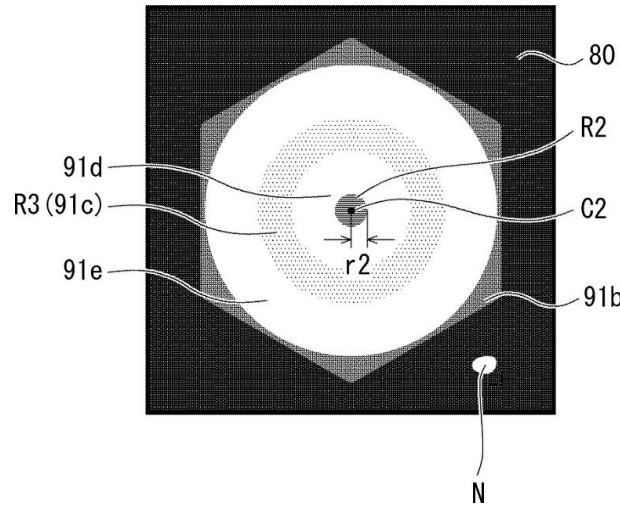
【図 9】



【図 10】



【図 11】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

- (56)参考文献 特開2015-81798 (JP, A)
特開2010-256230 (JP, A)
特開2006-194662 (JP, A)
特開2005-297133 (JP, A)
国際公開第2004/011893 (WO, A1)
米国特許出願公開第2005/0172725 (US, A1)
特開昭59-1172 (JP, A)
- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
G01L 5/00- 5/28
B25B23/14-23/157
B23P19/06