

(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2007-205802

(P2007-205802A)

(43) 公開日 平成19年8月16日(2007.8.16)

(51) Int. Cl.

G 0 1 B 15/04 (2006.01)

F I

G O 1 B 15/04

H

テーマコード (参考)

2 F O 6 7

審査請求 有 請求項の数 10 O L (全 23 頁)

(21) 出願番号 特願2006-23457 (P2006-23457)
(22) 出願日 平成18年1月31日 (2006.1.31)

(71) 出願人 000002130
住友電気工業株式会社
大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号
(74) 代理人 110000280
特許業務法人サクレスト国際特許事務所
(72) 発明者 島田 茂樹
大阪市此花区島屋一丁目1番3号 住友電
気工業株式会社内
Fターム(参考) 2F067 AA04 AA42 AA52 AA65 BB13
CC09 HH04 HH12 JJ03 KK06
NN03 RR12 RR30 RR31 RR36

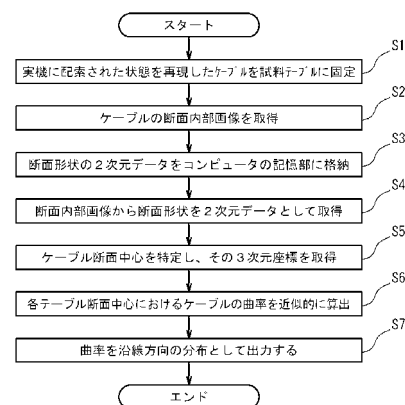
(54) 【発明の名称】 ケーブルの形状状態測定方法、及びこれに用いるケーブルの形状状態測定システム、ケーブルの形状状態測定プログラム、ケーブル状態評価方法

(57) 【要約】

【課題】 ケーブルの沿線方向の形状状態をより正確に測定するための形状状態測定方法、及びこれに用いるケーブルの形状状態測定システム、ケーブルの形状状態測定プログラム、ケーブル状態評価方法を提供する。

【解決手段】 本発明に係るケーブルの形状状態測定方法は、直交3方向をX、Y、Zとすると、沿線方向がX-Y平面と交差するように配置された芯線における、X-Y平面と平行かつZ方向に所定間隔で並ぶ複数の芯線断面の断面形状を、X-Y平面の2次元データとして取得する断面形状取得工程と、前記断面形状取得工程により取得される複数の前記断面形状の2次元データから、当該芯線の断面中心を前記複数の芯線断面それぞれについて特定し、前記ピッチ間隔に基づいて、前記複数の芯線断面における前記断面中心を3次元座標値として取得する断面中心座標値取得工程と、前記断面中心座標値取得工程により得られる断面中心の3次元座標値に基づいて、沿線方向の形状状態を数値として出力する形状状態出力工程と、を備えている。

【選択図】 図4



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

ケーブルの沿線方向の形状状態を測定するケーブルの形状状態測定方法であって、
直交 3 方向を X, Y, Z とするとき、沿線方向が X-Y 平面と交差するように配置された前記ケーブルにおける、X-Y 平面と平行かつ Z 方向に所定間隔で並ぶ複数のケーブル断面の断面形状を、X-Y 平面の 2 次元データとして取得する断面形状取得工程と、

前記断面形状取得工程により取得される複数の前記断面形状の 2 次元データから、前記ケーブル断面上に定められた所定の基準点を前記複数のケーブル断面それぞれについて特定し、前記ケーブル断面の前記所定間隔に基づいて、前記複数のケーブル断面における前記基準点を 3 次元座標値として取得する基準点座標値取得工程と、

10

前記基準点座標値取得工程により得られる複数の前記基準点の 3 次元座標値からなる基準点座標値群に基づいて、前記ケーブルの沿線方向の形状状態を数値として出力する形状状態出力工程と、を備えていることを特徴とするケーブルの形状状態測定方法。

【請求項 2】

前記基準点は前記ケーブル断面におけるケーブル断面中心であり、

前記形状状態出力工程は、前記基準点座標値群に基づいて、前記各基準点における前記ケーブルの曲率を近似的に算出する曲率算出工程と、

前記曲率算出工程により算出された前記各基準点における曲率より得られる当該ケーブルの沿線方向の曲率分布を前記ケーブルの沿線方向の形状状態として出力する曲率分布出力工程と、を備えている請求項 1 に記載のケーブルの形状状態測定方法。

20

【請求項 3】

前記曲率算出工程は、前記複数の基準点の内の Z 方向に隣接して並ぶ 3 点を特定し、少なくともこれら 3 点を通過する円弧の曲率を前記ケーブルの近似的な曲率として順次算出する請求項 2 に記載のケーブルの形状状態測定方法。

【請求項 4】

前記ケーブルが当該ケーブルを複数本沿線方向に所定の撚りピッチで螺旋状に撚り束ねられたものの内の一つであり、前記撚りピッチを P、前記断面形状取得工程における前記ケーブル断面の前記所定間隔を L とした場合、下記式を満たす請求項 3 に記載のケーブルの形状状態測定方法。

$$L < P / 4$$

30

【請求項 5】

前記基準点は前記ケーブル断面におけるケーブル断面中心であり、

前記形状状態出力工程は、前記複数のケーブル断面形状の 2 次元データから、前記基準点以外にケーブル断面上の位置を特定することのできる特定点を、前記複数のケーブル断面それぞれについて特定し、この特定点の X-Y 平面における 2 次元座標値を取得する特定点座標取得工程と、

前記複数のケーブル断面上において、前記基準点及びその基準点に対応する前記特定点を通過する通過線と、所定の基準線とが成す角度の内、当該ケーブルのねじり変形に起因する角度であるねじり角を、前記複数のケーブル断面それぞれについて算出するねじり角算出工程と、

40

前記ねじり角算出工程により算出される前記複数のケーブル断面におけるねじり角の、Z 方向の座標値に対する差分であるねじり率を算出し、このねじり率より得られる当該ケーブル沿線方向のねじり率分布を前記ケーブル沿線方向の形状状態として出力するねじり率分布出力工程と、を備えている請求項 1 に記載のケーブルの形状状態測定方法。

【請求項 6】

前記ケーブルが複数の導体素線を沿線方向に所定の撚りピッチで螺旋状に撚り束ねられたものであり、前記撚り束ねられた導体素線の内から選択された一つの導体素線の中心を前記特定点としたとき、前記導体素線の撚りピッチを P、前記特定点を定めた導体素線と同一の螺旋径で周方向に配置されている導体素線の総数を N、前記断面形状取得工程における前記複数のケーブル断面の前記所定間隔を L とした場合、下記式を満たす請求項 5 に

50

記載のケーブルの形状状態測定方法。

$$L < (180 / N) \times (P / 360)$$

【請求項 7】

前記断面形状取得工程は、前記複数のケーブル断面における前記ケーブルの断面内部画像を、前記複数のケーブル断面それぞれについて透過撮影することによって取得する断面内部画像取得工程と、

前記断面内部画像取得工程により取得される複数の前記ケーブルの断面内部画像から前記ケーブルの断面内部形状を抽出し、この断面内部形状を当該ケーブル断面の断面形状として X-Y 平面の 2 次元データとする断面形状抽出工程と、を有している請求項 1 に記載のケーブルの形状状態測定方法。

10

【請求項 8】

ケーブルの沿線方向の形状状態を測定するケーブルの形状状態測定システムであって、直交 3 方向を X, Y, Z とするとき、沿線方向が X-Y 平面と交差するように配置された前記ケーブルにおける、X-Y 平面と平行かつ Z 方向に所定間隔で並ぶ複数のケーブル断面の断面形状を、X-Y 平面の 2 次元データとして取得する断面形状取得手段と、

前記断面形状取得工程により取得される複数の前記断面形状の 2 次元データから、前記ケーブル断面上に定められた所定の基準点を前記複数のケーブル断面それぞれについて特定し、前記ケーブル断面の前記所定間隔に基づいて、前記複数のケーブル断面における前記基準点を 3 次元座標値として取得する基準点座標値取得手段と、

前記基準点座標値取得工程により得られる複数の前記基準点の 3 次元座標値からなる基準点座標値群に基づいて、前記ケーブルの沿線方向の形状状態を数値として出力する形状状態出力手段と、を備えていることを特徴とするケーブルの形状状態測定システム。

20

【請求項 9】

コンピュータにケーブルの沿線方向の形状状態を測定するケーブルの形状状態測定方法を実行させるためのケーブルの形状状態測定プログラムであって、

前記形状状態測定プログラムは、直交 3 方向を X, Y, Z とするとき、X-Y 平面と平行かつ Z 方向に所定間隔で並ぶ複数のケーブル断面の断面形状の X-Y 平面の 2 次元データを前記コンピュータの記憶手段に記憶する記憶ステップと、

前記記憶ステップにより記憶される複数の前記ケーブルの断面形状の 2 次元データから、前記ケーブル断面上に定められた所定の基準点を前記複数のケーブル断面それぞれについて特定し、前記ケーブル断面の前記所定間隔に基づいて、前記複数のケーブル断面における前記基準点を 3 次元座標値として取得する基準点座標値取得ステップと、

30

前記基準点座標値取得ステップにより得られる複数の前記基準点の 3 次元座標値からなる基準点座標値群に基づいて、前記ケーブルの沿線方向の形状状態を数値として出力する形状状態出力ステップと、を備えていることを特徴とするケーブルの形状状態測定プログラム。

【請求項 10】

外周が被覆されているケーブルのケーブル状態を評価するケーブル状態評価方法であって、

直交 3 方向を X, Y, Z とするとき、沿線方向が X-Y 平面と交差するように配置された前記ケーブルにおける、X-Y 平面と平行かつ Z 方向に所定間隔で並ぶ複数のケーブル断面の断面形状を、X-Y 平面の 2 次元データとして取得する断面形状取得工程と、

40

前記断面形状取得工程により取得される複数の前記断面形状の 2 次元データから、前記ケーブル断面上に定められた所定の基準点を前記複数のケーブル断面それぞれについて特定し、前記ケーブル断面の前記所定間隔に基づいて、前記複数のケーブル断面における前記基準点を 3 次元座標値として取得する基準点座標値取得工程と、

前記基準点座標値取得工程により得られる複数の前記基準点の 3 次元座標値からなる基準点座標値群に基づいて、前記ケーブルの沿線方向の形状状態を数値として取得する形状状態取得工程と、

前記形状状態取得工程により得られる前記ケーブルの沿線方向の形状状態の数値の変位

50

に基づいて、前記ケーブルのケーブル状態を評価する評価工程と、を備えていることを特徴とするケーブル状態評価方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、複数の芯線を撚り束ねたケーブル等の沿線方向の形状状態をより正確に測定するための形状状態測定方法、及びこれに用いるケーブルの形状状態測定システム、ケーブルの形状状態測定プログラム、ケーブル状態評価方法に関する。

【背景技術】

【0002】

自動車や産業機器等には、信号送信や電力供給のためのケーブルが用いられている。このようなケーブルには、複数の導電金属製の素線を撚り束ねたものや、素線を撚り束ねたものを芯線として複数本撚り束ね、一本のケーブルを構成したもの等がある。

このようなケーブルには、自動車のドア部等の屈曲可動部分に配索されるものもあり、そのような場合、屈曲可動部分の屈曲動作に伴って複雑に屈曲したり捻れたりし、繰り返し変形することで断線に至ることがある。このため、例えば、具体的な事例におけるケーブルの屈曲や捻れ具合等、その沿線方向における変形時の形状状態をC A E等によりシミュレーションし、繰り返し変形した場合のケーブルの寿命予測や、それに応じた最適なケーブルの設計を行うといった試みが成されていた。

【0003】

他方、上記のようなC A E等によるシミュレーションにおいては、当該シミュレーション結果の妥当性を担保すべく、シミュレーションによる結果と実機の状態との比較検証を行うことが望まれる。そして、上記ケーブルの変形のシミュレーションにおいて実機との比較検証を行う場合には、変形しているケーブルの沿線方向の形状状態を実際に測定する必要性が生じる。このようなケーブルの沿線方向の形状状態を測定する方法としては、例えば、ケーブルの外面上における沿線方向に沿った3カ所に測定子を当接させこの3点の位置関係からケーブルの曲率半径を求める方法や（例えば、特許文献1参照）、直線とされた基準棒と被測定ケーブルとをほぼ平行に並べて配置し、これら両者間の距離を長手方向に複数箇所レーザ光を利用して測定することにより、被測定ケーブルの曲率半径を測定するもの（例えば、特許文献2参照）などが提案されている。

【0004】

【特許文献1】特開2001-317907号公報（図1）

【特許文献2】特開平11-230729号公報（図1）

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

しかし、上記従来の方法では、ケーブルの沿線方向の形状状態としての曲率半径を沿線方向に比較的広い範囲を1平面上の1つの一様な曲線に近似させて測定するものであり、測定範囲の中で、ケーブルの曲がりの方向と測定装置の測定方向とがずれると、その測定精度が低下してしまう。また、例えば、自動車のドア部等に用いられる電線ケーブル等は、比較的狭い範囲で3次元的に複雑に屈曲するため、その曲率半径は沿線方向に複雑に変化する。このため、沿線方向に比較的広い範囲で一様な曲線として測定する上記従来例の方法では、C A E等によるシミュレーションの結果と比較しうる程度の測定結果を得ることが非常に困難であった。

【0006】

さらに、ケーブルは通常、外部が被覆されているとともに、複数の芯線が撚り束ねられているものもあり、上記従来の測定方法では、ケーブル内部で撚り束ねられた複数の芯線の曲率半径を個別に測定することはできなかった。

このため、沿線方向に複雑に屈曲変形しているケーブルの曲率等の形状状態をより正確に測定する方法が囑望されていた。

10

20

30

40

50

本発明はこのような事情に鑑みてなされたものであり、ケーブルの沿線方向の形状状態をより正確に測定するための形状状態測定方法、及びこれに用いるケーブルの形状状態測定システム、ケーブルの形状状態測定プログラムの提供を目的とする。

【0007】

また上記ケーブルは、上述のように、外周が被覆されており、その内部のケーブルに断線等の異常が生じた場合にも、それを把握することが困難であるという問題を有していた。

そこで本発明は、外周が被覆されているケーブルにおける断線等の異常を把握する等、ケーブル状態の評価を行うことができるケーブル状態評価方法の提供を第2の目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0008】

本発明は、ケーブルの沿線方向の形状状態を測定するケーブルの形状状態測定方法であって、直交3方向をX、Y、Zとすると、沿線方向がX-Y平面と交差するように配置された前記ケーブルにおける、X-Y平面と平行かつZ方向に所定間隔で並ぶ複数のケーブル断面の断面形状を、X-Y平面の2次元データとして取得する断面形状取得工程と、前記断面形状取得工程により取得される複数の前記断面形状の2次元データから、前記ケーブル断面上に定められた所定の基準点を前記複数のケーブル断面それぞれについて特定し、前記ケーブル断面の前記所定間隔に基づいて、前記複数のケーブル断面における前記基準点を3次元座標値として取得する基準点座標値取得工程と、前記基準点座標値取得工程により得られる複数の前記基準点の3次元座標値からなる基準点座標値群に基づいて、前記ケーブルの沿線方向の形状状態を数値として出力する形状状態出力工程と、を備えていることを特徴としている。

【0009】

上記のように構成されたケーブルの形状状態測定方法によれば、測定するケーブル断面上の基準点を3次元座標値としてZ方向に所定間隔で取得し、これに基づいて当該ケーブルのケーブル沿線方向における形状状態を3次元座標値の変化として出力することができる。従って、測定するケーブルが沿線方向に複雑に屈曲変形している場合においても、より正確に曲率等の形状状態を測定、把握することができる。

【0010】

上記ケーブルの形状状態測定方法において、前記基準点は前記ケーブル断面におけるケーブル断面中心であり、前記形状状態出力工程は、前記基準点座標値群に基づいて、前記各基準点における前記ケーブルの曲率を近似的に算出する曲率算出工程と、前記曲率算出工程により算出された前記各基準点における曲率より得られる当該ケーブルの沿線方向の曲率分布を前記ケーブルの沿線方向の形状状態として出力する曲率分布出力工程と、を備えていることが好ましい。

この場合、前記曲率算出工程及び曲率分布出力工程によって、各基準点それぞれにおけるケーブルの曲率を算出し、これをケーブルの沿線方向の形状状態として出力することができる。これにより、当該ケーブルの形状状態を曲率分布として把握することができる。

【0011】

また、前記曲率算出工程は、前記複数の基準点の内のZ方向に隣接して並ぶ3点を特定し、少なくともこれら3点を通過する円弧の曲率を前記ケーブルの近似的な曲率として順次算出することが好ましい。

この場合、ケーブル断面中心である複数の基準点の内、沿線方向に隣接して並ぶ3点を曲率を算出するための算出単位として特定することで、この3点間における曲率を近似的に算出することができる。また、基準点は3次元座標値によって定められるので、これら3点を通過する円弧が複雑に傾斜していたとしても、常に前記円弧を正確に把握することができる。すなわち、上記構成によれば、前記3点を定めると自ずと前記円弧が一義的に定まるので、曲率を算出するための算出単位である前記3点ごとに確実に曲率を算出することができる。

10

20

30

40

50

【0012】

また、複数本のケーブルを撚り束ねられたものの内の一つであるケーブルを測定する際には、撚り束ねられることで全体として屈曲していなくても曲率を有しており、より正確な曲率を求めるに際しては、少なくとも撚り束ねられることで生じる曲率を把握する必要がある。

このため、上記ケーブルの形状状態測定方法において、前記ケーブルが当該ケーブルを複数本沿線方向に所定の撚りピッチで螺旋状に撚り束ねられたものの内の一つであり、前記撚りピッチを P 、前記断面形状取得工程における前記ケーブル断面の前記所定間隔を L とした場合、下記式を満たすことが好ましい。

$$L < P / 4$$

10

【0013】

この場合、前記複数のケーブル断面の所定間隔 L が上記式を満たすことで、近似的に算出される曲率と、撚り束ねられることで生じる曲率を含む実際のケーブルの曲率との誤差を小さくすることができる。

【0014】

また、上記ケーブルの形状状態測定方法において、前記基準点は前記ケーブル断面におけるケーブル断面中心であり、前記形状状態出力工程は、前記複数のケーブル断面形状の2次元データから、前記基準点以外にケーブル断面上の位置を特定することのできる特定点を、前記複数のケーブル断面それぞれについて特定し、この特定点の $X-Y$ 平面における2次元座標値を取得する特定点座標取得工程と、前記複数のケーブル断面上において、前記基準点及びその基準点に対応する前記特定点を通過する通過線と、所定の基準線とが成す角度の内、当該ケーブルのねじり変形に起因する角度であるねじり角を、前記複数のケーブル断面それぞれについて算出するねじり角算出工程と、前記ねじり角算出工程により算出される前記複数のケーブル断面におけるねじり角の、 Z 方向の座標値に対する差分であるねじり率を算出し、このねじり率より得られる当該ケーブル沿線方向のねじり率分布を前記ケーブル沿線方向の形状状態として出力するねじり率分布出力工程と、を備えていることが好ましい。

20

【0015】

上記のように構成されたケーブルの形状状態測定方法によれば、前記ねじり角算出工程及びねじり率分布出力工程によって、各ケーブル断面それぞれにおけるケーブルのねじり率を算出し、これをケーブルの沿線方向の形状状態として出力することができる。これにより、当該ケーブルの形状状態をねじり率分布として把握することができる。

30

【0016】

また、複数本の導体素線を螺旋状に撚り束ねられたケーブルを測定する際において、その撚り束ねられた導体素線の内から選択された一つの導体素線の中心を前記特定点としたとき、当該ケーブルにねじり変形が生じていなくとも、 Z 方向の座標値の変位に伴って特定点は、前記断面中心を中心とした軸回りに変位していく。このため、 Z 方向の座標値の変位に対して、特定点の回転角度の変位が大きいと、特定点を定めた特定の導体素線を認識することができない場合がある。

このため、上記ケーブルの形状状態測定方法において、前記ケーブルが複数の導体素線を沿線方向に所定の撚りピッチで螺旋状に撚り束ねられたものであり、前記撚り束ねられた導体素線の内から選択された一つの導体素線の中心を前記特定点としたとき、前記導体素線の撚りピッチを P 、前記特定点を定めた導体素線と同一の螺旋径で周方向に配置されている導体素線の総数を N 、前記断面形状取得工程における前記複数のケーブル断面の前記所定間隔を L とした場合、下記式を満たすことが好ましい。

40

$$L < (180 / N) \times (P / 360)$$

【0017】

この場合、前記複数のケーブル断面の所定間隔 L が上記式を満たすことで、前記特定点を定めた特定の導体素線を確実に認識することができる。

【0018】

50

上記ケーブルの形状状態測定方法において、前記断面形状取得工程は、前記複数のケーブル断面における前記ケーブルの断面内部画像を、前記複数のケーブル断面それぞれについて透過撮影することによって取得する断面内部画像取得工程と、前記断面内部画像取得工程により取得される複数の前記ケーブルの断面内部画像から前記ケーブルの断面内部形状を抽出し、この断面内部形状を当該ケーブル断面の断面形状としてX-Y平面の2次元データとする断面形状抽出工程と、を有していることが好ましい。

この場合、ケーブルの断面内部画像を透過撮影することによって取得し、このケーブルの断面内部画像に基づいてケーブルの断面形状を取得するので、当該ケーブルの外周が被覆されていたり、当該ケーブルの外形を直接的に測定できない場合においても、ケーブルの断面形状を取得することができる。

10

【0019】

また、本発明は、ケーブルの沿線方向の形状状態を測定するケーブルの形状状態測定システムであって、直交3方向をX, Y, Zとすると、沿線方向がX-Y平面と交差するように配置された前記ケーブルにおける、X-Y平面と平行かつZ方向に所定間隔で並ぶ複数のケーブル断面の断面形状を、X-Y平面の2次元データとして取得する断面形状取得手段と、前記断面形状取得工程により取得される複数の前記断面形状の2次元データから、前記ケーブル断面上に定められた所定の基準点を前記複数のケーブル断面それぞれについて特定し、前記ケーブル断面の前記所定間隔に基づいて、前記複数のケーブル断面における前記基準点を3次元座標値として取得する基準点座標値取得手段と、前記基準点座標値取得工程により得られる複数の前記基準点の3次元座標値からなる基準点座標値群に基づいて、前記ケーブルの沿線方向の形状状態を数値として出力する形状状態出力手段と、を備えていることを特徴としている。

20

【0020】

上記のように構成されたケーブルの形状状態測定システムによれば、上述したように、当該ケーブルのケーブル沿線方向における形状状態を3次元座標値の変化として出力することができるので、測定するケーブルが沿線方向に複雑に屈曲変形している場合においても、より正確にその形状状態を測定、把握することができる。

【0021】

また、本発明は、コンピュータにケーブルの沿線方向の形状状態を測定するケーブルの形状状態測定方法を実行させるためのケーブルの形状状態測定プログラムであって、前記形状状態測定プログラムは、直交3方向をX, Y, Zとすると、X-Y平面と平行かつZ方向に所定間隔で並ぶ複数のケーブル断面の断面形状のX-Y平面の2次元データを前記コンピュータの記憶手段に記憶する記憶ステップと、前記記憶ステップにより記憶される複数の前記ケーブルの断面形状の2次元データから、前記ケーブル断面上に定められた所定の基準点を前記複数のケーブル断面それぞれについて特定し、前記ケーブル断面の前記所定間隔に基づいて、前記複数のケーブル断面における前記基準点を3次元座標値として取得する基準点座標値取得ステップと、前記基準点座標値取得ステップにより得られる複数の前記基準点の3次元座標値からなる基準点座標値群に基づいて、前記ケーブルの沿線方向の形状状態を数値として出力する形状状態出力ステップと、を備えていることを特徴としている。

30

40

【0022】

上記のように構成されたケーブルの形状状態測定プログラムによれば、上述したように、当該ケーブルのケーブル沿線方向における形状状態を3次元座標値の変化として出力することができるので、測定するケーブルが沿線方向に複雑に屈曲変形している場合においても、より正確にその形状状態を測定、把握することができる。

【0023】

また、本発明は、外周が被覆されているケーブルのケーブル状態を評価するケーブル状態評価方法であって、直交3方向をX, Y, Zとすると、沿線方向がX-Y平面と交差するように配置された前記ケーブルにおける、X-Y平面と平行かつZ方向に所定間隔で並ぶ複数のケーブル断面の断面形状を、X-Y平面の2次元データとして取得する断面形

50

状取得工程と、前記断面形状取得工程により取得される複数の前記断面形状の２次元データから、前記ケーブル断面上に定められた所定の基準点を前記複数のケーブル断面それぞれについて特定し、前記ケーブル断面の前記所定間隔に基づいて、前記複数のケーブル断面における前記基準点を３次元座標値として取得する基準点座標値取得工程と、前記基準点座標値取得工程により得られる複数の前記基準点の３次元座標値からなる基準点座標値群に基づいて、前記ケーブルの沿線方向の形状状態を数値として取得する形状状態取得工程と、前記形状状態取得工程により得られる前記ケーブルの沿線方向の形状状態の数値の変位に基づいて、前記ケーブルのケーブル状態を評価する評価工程と、を備えていることを特徴としている。

【００２４】

10

上記のように構成されたケーブル状態を評価する評価方法によれば、形状状態取得工程によって、当該ケーブルの形状状態をケーブル沿線方向に連続した数値として得ることができる。このため例えば、当該ケーブルが内部で断線等の異常が生じた場合、ケーブルの形状状態の数値においてケーブル沿線方向に不連続な異常点が生じる。この形状状態が数値的に不連続となる異常点を前記評価工程によって把握することで、ケーブル内部で生じた断線等の異常を把握でき、これによってケーブル状態の評価を行うことができる。

【発明の効果】

【００２５】

以上のように、本発明に係るケーブルの形状状態測定方法、及びこれに用いるケーブルの形状状態測定システム、ケーブルの形状状態測定プログラムによれば、ケーブルが沿線方向に複雑に屈曲変形している場合においても、より正確に曲率等の形状状態を測定、把握することができる。

20

また、本発明のケーブル状態評価方法によれば、外周が被覆されているケーブルにおける、断線の有無等のケーブル状態の評価を行うことができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【００２６】

次に、本発明の好ましい実施形態について添付図面を参照しながら説明する。なお、以下の説明では、本発明をケーブルの沿線方向の形状状態の一つである曲率分布の測定に適用した場合を例示して説明する。図１は本発明の第一の実施形態に係るケーブルの曲率分布測定方法を実現するための形状状態測定システムを示すブロック図である。

30

図中、形状状態測定システムは、被測定物であるケーブルの断面画像を取得するためのＸ線ＣＴスキャナ装置１と、パーソナルコンピュータ２とを備えている。

【００２７】

パーソナルコンピュータ２は、図に示すように、各部の制御を行うＣＰＵ２１、キーボードやマウス等の入力部２２、ディスプレイ等の表示部２３、外部機器とのデータの入出力を行うためのＬＡＮ等の通信部２４、及びメモリやハードディスク等から構成される記憶部２５を備えている。

記憶部２５には、オペレーティングシステムその他、後述する本実施形態に係るケーブルの形状状態測定プログラムとしての曲率分布測定プログラム２６や、ねじり率分布測定プログラム２７等が格納されている。また、通信部２４には、Ｘ線ＣＴスキャナ装置１が接続されており、Ｘ線ＣＴスキャナ装置１から出力されるデータを受信する。前記曲率分布測定プログラムは、Ｘ線ＣＴスキャナ装置１から出力されるデータに基づいてパーソナルコンピュータ２にケーブルの曲率分布測定に係る処理を実行させる。

40

【００２８】

図２（ａ）は、Ｘ線ＣＴスキャナ装置１の構成を模式的に示した上面図である。Ｘ線ＣＴスキャナ装置１は、上面１１ａに被測定物である後述するケーブル４が固定された試料テーブル１１と、この試料テーブル１１の両側に配置されたＸ線管１２及び検出器１３とを備えている。

試料テーブル１１は図中矢印の方向に数値制御されて任意の位置に移動可能とされている。ここで図２において、試料テーブル１１が移動可能な方向をＺ方向、このＺ方向に直

50

交しかつ試料テーブル 1 1 に対して平行な方向を X 方向、試料テーブル 1 1 の上面 1 1 a に直交する方向を Y 方向とする。

図 2 (b) は、試料テーブル 1 1 の上面 1 1 a に固定されたケーブル 4 を側方視したときの模式図である。ケーブル 4 は、図 2 (b) のように、上面 1 1 a に固定された治具 G によって、当該ケーブル 4 が用いられる実機に配索された状態を再現するように屈曲変形させて固定される。なお、ケーブル 4 は、図 2 (b) のように治具 G による固定の他、ケーブル 4 が配索された実機ごと固定することもできるし、実機に配索された状態に変形させたケーブル 4 を樹脂等に埋包することで固定することもできる。

【0029】

X 線管 1 2 は、試料テーブル 1 1 上に固定されたケーブル 4 に X 線を放射する。検出器 1 3 は試料テーブル 1 1 上の被測定物であるケーブル 4 を挟んで対向配置されており、X 線管 1 2 から放射され被測定物を透過した X 線を検出する。検出器 1 3 には図示しない演算部が接続されており、この演算部は検出器 1 3 によって検出された X 線の検出量から被測定物による X 線吸収率を求めるとともに種々の処理を行い、被測定物において、X-Y 面に平行な撮影面（測定面 A）が交差している部分を透過撮影し、その断面内部画像を生成する。 10

X 線管 1 2 及び検出器 1 3 は、Z 方向に対して固定されており、試料テーブル 1 1 を Z 方向に移動させることで、X 線管 1 2 から放射される X 線を被測定物に対して Z 方向に走査することができる。上記構成によって、X 線 CT スキャナ装置 1 は、Z 方向に連続する被測定物 3 の X-Y 面に平行な測定面 A の断面内部画像データを取得することができる。 20

【0030】

図 1 に戻って、X 線 CT スキャナ装置 1 は、取得した被測定物の X-Y 面の断面内部画像データをパーソナルコンピュータ 2 に対して出力する。そして、パーソナルコンピュータ 2 は、前記断面画像データを通信部 2 4 により受信し、記憶部 2 5 に保存する。記憶部 2 5 に格納された曲率分布測定プログラム 2 6 は、上述したように、X 線 CT スキャナ装置 1 から出力されるデータに基づいてパーソナルコンピュータ 2 にケーブルの曲率分布測定に係る処理を実行させる。

【0031】

次に、上記構成を有する形状状態測定システムによって実現される、ケーブルの曲率分布の測定方法について説明する。図 3 (a) は、前記曲率分布測定方法の測定対象となるケーブルの構成を示した概略図であり、図 4 は、前記曲率分布測定方法を示すフローチャートである。 30

図 3 (a) において、ケーブル 4 は、その内部に螺旋状に撚り束ねられた 7 本の芯線 4 1 と、その外周側を覆う絶縁体からなる外部被覆層 4 2 とを有している。また、各芯線 4 1 は、7 本の銅線等の導電金属線材を螺旋状に撚り束ねた素線 4 3 と、その外周側を覆う絶縁体からなる被覆層 4 4 とにより構成されている。すなわち、各芯線 4 1 は、それぞれ独立して信号伝達や電力供給を行うことができるように構成されており、一本のケーブル 4 によって、多数の信号伝達や電力供給を行えるように構成されている。

なお、ケーブル 4 を構成している芯線 4 1、芯線 4 1 を構成している素線 4 3 においても、それぞれ、信号送信や電力供給のためのケーブルとみなすことができる。 40

以下、上記構成のケーブル 4 を構成しているケーブルとしての芯線 4 1 の曲率分布の測定方法について、図 4 のフローチャートに基づいて説明する。

【0032】

まず、上記構成のケーブル 4 を、上述したように、治具等によって、実機に配索された状態を再現するように屈曲変形させて固定し、それを X 線 CT スキャナ装置 1 (図 2) の試料テーブル 1 1 に固定する (ステップ S 1)。この際、ケーブル 4 (芯線 4 1) の沿線方向をできるだけ Z 方向に一致するように固定することが好ましい。その理由は、X 線 CT スキャナ装置 1 により撮影する断面画像は X-Y 面に平行な面であるため、沿線方向に交差する断面画像を確実に撮影することができるからである。

また、上記ステップ S 1 は、ケーブル 4 を、当該ケーブル 4 が用いられる実機に配索さ 50

れた状態を再現し固定する固定工程を構成している。

【0033】

次に、X線CTスキャナ装置1を動作させることで、ケーブル4の断面内部画像を透過撮影することによって取得する（ステップS2）。図3（b）にケーブル4の断面内部画像の一例を示す。図3（b）中の断面内部画像gは、図3（a）のように、X線CTスキャナ装置1の測定面Aをケーブル4に交差させ断面内部を透過撮影したものであり、コンピュータに読み込み可能な画像データとして取得される。また、図3（b）の断面内部画像gは、周囲よりも濃く（暗く）現れる図中破線で示した濃部g1と、濃部g1よりも薄い（明るい）淡部g2とで現される濃淡画像として得られるものであり、本実施形態の場合、ケーブル4において7本の素線43が撚り束ねられた芯線41の断面像が7箇所の濃部g1として現れている。断面内部画像gは、X線の吸収率の差によって、導電金属線材からなる素線43と、被覆層42、44を含むその他の部分と、の間に大きくコントラストが生じるものであり、素線43の部分を濃部として表した場合、その他の部分は淡部として現れ、図3（b）のように芯線41の断面内部を濃部g1として認識することができる。

10

なお、一般にX線画像は、X線吸収率の高い部分が明るく現れ、吸収率の低い部分が暗く現れるため、ケーブル4の撮画像は、金属である素線43が存在する部分が明るい淡部、他の部分が暗い濃部となって得られるのであるが、本実施形態の断面内部画像gでは、淡部と濃部とを反転させることで、素線43（芯線41）の断面像が濃部、他の部分が淡部となるように示し、素線43の断面像をより明瞭に把握できるようにしている。

20

【0034】

そして、X線CTスキャナ装置1は、Z方向において所定の幅寸法に設定された測定範囲を所定間隔としての一定のピッチ間隔Lでケーブル4に対して測定面Aを走査することで、ケーブル4（芯線41）の断面内部画像をZ方向に沿って連続的に撮影する。図3（b）は、Z方向に連続して撮影された複数の断面内部画像gを模式的に示しており、図中各矢印は、X、Y、Z方向を示している。断面内部画像gは、X-Y平面に対して平行であるとともに、Z方向に沿って一定のピッチ間隔Lで連続的に複数枚撮影される。

なお、上述したように、ケーブル4（芯線41）の沿線方向とZ方向とはできるだけ一致するように固定することが好ましいが、ケーブル4（芯線41）は沿線方向に屈曲変形しているので、両者は一致していない。

30

【0035】

このように、X線CTスキャナ装置1によって、Z方向に沿ってピッチ間隔Lで並ぶ複数の断面内部画像gを取得することができる。すなわち、前記ステップS2によれば、X-Y平面に対して平行かつZ方向にピッチ間隔Lで並ぶ複数のケーブル4（芯線41）断面におけるケーブル4（芯線41）の断面内部画像gを、ケーブル4断面それぞれについて透過撮影することによって取得する断面内部画像取得工程を構成している。

【0036】

上記ステップS2にて取得された複数の断面内部画像gは、X線CTスキャナ装置1からコンピュータ2（図1）に送信される。そして、コンピュータ2は、送信された複数の断面内部画像gを通信部24により受信する。

40

以下、コンピュータ2のCPU21は、ケーブルの形状状態測定プログラムとしての曲率分布測定プログラム26に基づいて、以下の処理（ステップS3～S7）を実行する。すなわち、CPU21は、X線CTスキャナ装置1から受信した複数の断面内部画像gを、コンピュータ2の記憶部25に格納する（ステップS3）。

【0037】

次に、CPU21は、コンピュータ2の記憶部25に格納した複数の断面内部画像gそれぞれについて、画像処理等によって濃淡画像から2値化画像に変換し、断面内部画像g上に7箇所存在する、芯線41の断面内部画像としての濃部g1の輪郭形状を抽出する。そして、この抽出された濃部g1の輪郭形状をそれぞれ2次元データとして取得する（ステップS4）。図3（c）は、断面内部画像g上の濃部g1の内の一つを拡大した図であ

50

る。断面内部画像 g は濃淡画像であるため、濃部 g_1 と淡部 g_2 との境界が明瞭ではないので、上記のように 2 値化画像に変換し、図 3 (c) のように濃部 g_1 と淡部 g_2 との境界線 g_3 を明確なものにする。そしてこの境界線 g_3 を 2 次元データとして取得する。なお、断面内部画像 g は、図 2 中の $X-Y$ 平面に平行であり、上記 2 次元データは、 $X-Y$ 座標データとして取得される。また、断面内部画像 g 上に 7 箇所現れている濃部 g_1 すべてについて上記境界線 g_3 の 2 次元データを取得する。

なお、上記濃淡画像を 2 値化画像に変換する際における閾値の設定においては、撮影条件や撮影対象物等の要因によって、明瞭に境界線 g_3 が取得できる設定が事例ごとに異なる。このため、画像処理等によって最適な値を CPU 21 に求めさせて自動的に処理させても良いし、パーソナルコンピュータ 2 のオペレータが適宜最適な数値を判断し入力することができる閾値入力手段を備えたものとしてもよい。このようにすることで、様々な事例に柔軟に対応でき、明瞭な境界線 g_3 を得ることができる。

10

【0038】

上記のように、ステップ S 4 は、芯線 41 の断面内部画像からその断面形状としての境界線 g_3 を抽出しその 2 次元データを得る断面形状抽出工程を構成している。

また、上記ステップ S 2～S 4 は、 $X-Y$ 面に対して平行かつ Z 方向に所定間隔としての一定のピッチ間隔 L で並ぶ複数のケーブル 4 (芯線 41) 断面の断面形状を $X-Y$ 平面の 2 次元データとして取得する断面形状取得工程を構成している。また、上記ステップ S 2～S 4 により構成される断面形状取得工程を実現するための X 線 CT スキャナ装置 1 及びパーソナルコンピュータ 2 は、断面形状取得手段を構成している。

20

【0039】

次に、CPU 21 は、ステップ S 4 で得られた芯線 41 断面の断面形状である境界線 g_3 の 2 次元データから、芯線 41 断面上に定められた所定の基準点としての断面中心 g_4 (図 3 (c)) を 2 次元の $X-Y$ 座標値として算出することでその位置を特定する。なお、この断面中心 g_4 は、撚り束ねられた 7 本の素線 43 の束の中心であるが、これら素線 43 は図 3 のように密に束ねられているため、芯線 41 の中心とみなすことができる。

また、上述したように、ケーブル 4 (芯線 41) は沿線方向に屈曲変形しているので、その沿線方向と、Z 方向とはかならずしも一致しておらず、断面内部画像 g はケーブル 4 の沿線方向に対して必ずしも直交しているとは限らない。このため、素線 43 (芯線 41) の切片である上記境界線 g_3 は、真円ではなく楕円状となる場合があるが、このような場合にも、境界線 g_3 の 2 次元データから、当該境界線 g_3 の面積中心等を求めることで、断面中心 g_4 を特定することができる。

30

【0040】

ここで、複数の断面内部画像 g は、 $X-Y$ 平面に平行かつ Z 方向に沿ってピッチ間隔 L で連続的に撮影されているため、各断面内部画像 g に対してはそれぞれ Z 方向における座標値を割り当てることができる。従って、CPU 21 は、上記各断面内部画像 g 上の点である断面中心 g_4 の $X-Y$ 座標値に、それぞれ対応する Z 座標値を割り当て、断面中心 g_4 における $X-Y-Z$ の 3 方向の 3 次元座標値を取得できる (ステップ S 5)。すなわち、ステップ S 5 は、ステップ S 4 で得られた芯線 41 断面の断面形状である境界線 g_3 の 2 次元データから断面中心 g_4 を特定し、基準点である断面中心 g_4 の $X-Y-Z$ の 3 方向の 3 次元座標値を取得する基準点座標値取得工程を構成している。また、ステップ S 5 により構成される基準点座標値取得工程を実現するパーソナルコンピュータ 2 は、基準点座標値取得手段を構成している。

40

【0041】

また、上記ステップ S 5 において、各断面中心 g_4 の $X-Y$ 座標値に対応する Z 座標値は、複数の断面内部画像 g を $X-Y$ 平面に平行かつ Z 方向に一定のピッチ間隔 L で連続的に撮影し、このピッチ間隔 L に基づいて特定したが、複数の断面内部画像 g の Z 方向におけるそれぞれの間隔を予め把握しておけば、複数の断面内部画像 g の Z 方向の間隔を一定のピッチ間隔とせずとも、各断面中心 g_4 の $X-Y$ 座標値に対応する Z 座標値を特定することができる。

50

なお、以下の説明では、上記ステップ S 5 により得られる一の芯線 4 1 に属する複数の断面中心 g 4 の 3 次元座標値を、基準点座標値群と呼ぶ。

【0042】

図 5 は、各芯線 4 1 ごとに基準点座標値群をプロットし、それらを繋いで線図として示したグラフの一例であり、(a) は X-Z 座標の関係を示したグラフ、(b) は Y-Z 座標の関係を示したグラフである。図 5 において、横軸は Z 方向の座標値を距離 (mm) で示し、縦軸はそれぞれ X 方向、Y 方向の座標値を距離 (mm) で示しており、(a) における各線 h 1 ~ h 7 は、それぞれ 7 本の芯線 4 1 に対応している。また、(b) における各線 i 1 ~ i 7 は、それぞれ (a) における各線 h 1 ~ h 7 と同一の芯線 4 1 に対応している。また図 5 においては、ケーブル 4 を Y 方向のみに屈曲させた場合における、7 本の

10

【0043】

図 5 (a) では、Y 方向の成分を含んでいないので、ケーブル 4 を屈曲させたときに生じる変形がほとんど現れておらず、各芯線 4 1 が撚り束ねられた状態の形状のみが現れている。図 5 (b) では、ケーブル 4 が全体として屈曲しているため、撚り束ねられた状態の形状の各芯線 4 1 に屈曲による変形が加わっていることが判る。

以上のように、ケーブル 4 を構成する 7 本の芯線に係る基準点座標値群が取得され、ケーブル 4 沿線方向に対する芯線 4 1 の中心の座標値の 3 次元的な変化を把握することができる。

【0044】

なお、Z 座標値の異なる複数の断面内部画像 g 上には 7 本の芯線 4 1 それぞれに対応する断面中心 g 4 が存在しており、同一の芯線 4 1 に係る断面中心 g 4 であるかどうかを判断、把握する必要がある。このため、Z 座標値の異なる複数の断面内部画像 g の内、Z 方向に互いに隣接する 2 つの断面内部画像 g において、一方の断面内部画像 g 上の断面中心 g 4 と、他方の断面内部画像 g 上の断面中心 g 4 との X-Y 座標値に、大きな差異が生じない程度となるように、Z 方向のピッチ間隔 L が設定されている。

20

【0045】

次に、CPU 2 1 は、同一の芯線 4 1 に対応する断面中心 g 4 の 3 次元座標値に基づいて、各断面中心 g 4 における芯線 4 1 の曲率を近似的に算出する (ステップ S 6)。

ここで、以下においては、ケーブル 4 を構成する 7 本の芯線 4 1 の内の特定の 1 本に着目し、芯線 4 1 の曲率の求め方について詳述する。すなわち、CPU 2 1 は、ステップ S 6 において、ケーブル 4 の沿線方向に並ぶ 3 点の断面中心 g 4 を通過する円弧の曲率を芯線 4 1 の近似的な曲率として算出する。

30

【0046】

図 6 は、芯線 4 1 において、沿線方向に並ぶ 3 点の断面中心 g 4 を示す模式図である。なお図において、3 点の断面中心の内、中央に位置する断面中心を点 t 1、その両側に位置する断面中心をそれぞれ点 t 2、点 t 3 と表す。以下、点 t 1 における近似的な曲率の算出方法について説明する。

まず、CPU 2 1 は、点 t 1 から点 t 2 へのベクトル B 1 と、点 t 1 から点 t 3 へのベクトル B 2 とを求める。このベクトル B 1 とベクトル B 2 とは、下記式 (1) の関係を有している。

40

$$B1 \cdot B2 = (|B1| |B2|) \cos \theta \quad \cdots (1)$$

但し、「 $B1 \cdot B2$ 」は、ベクトル B 1 とベクトル B 2 との内積であり、 θ はベクトル B 1 とベクトル B 2 とが成す角度である。

【0047】

上記式 (1) より、ベクトル B 1 とベクトル B 2 とが成す角度 θ が得られる。そして、点 t 1、t 2、t 3 を通過する円弧 E の半径 R は、正弦定理により下記式 (2) で表される。

$$R = |B3| / \sin \theta \quad \cdots (2)$$

但し、 $|B3|$ は、点 t 1、t 2 間のスカラー量である。

50

【0048】

上記式(2)より、円弧Eの半径Rが得られ、そして、点t1における近似的な曲率Kは、下記式(3)より求められる。

$$K = 1 / R \quad \cdots (3)$$

【0049】

なお、上記ステップS6においては、沿線方向に並ぶ点t1, t2, t3を、曲率Kを算出するための算出単位として選択することで、この算出単位における近似的な曲率Kを算出することができる。また、断面中心g4は3次元座標値によって定められるので、上記3点を通る円弧Eが3次元的に複雑に傾斜していたとしても、円弧Eを常に正確に把握することができる。すなわち、上記3点を定めると自ずと円弧Eが一義的に定まり、曲率Kを算出するための算出単位である上記3点ごとに正確な曲率Kを算出することができる。そして、上記計算方法により、沿線方向に沿って順次算出することで、芯線41全体としての近似的な曲率分布をより正確に算出することができる。

以上のようにステップS6は、複数の断面中心g4の3次元座標値に基づいて、各断面中心g4における芯線41の曲率を近似的に算出する曲率算出工程を構成している。

【0050】

上記のように求められる各断面中心g4における曲率Kを、各芯線41ごとに繋いで線図としたグラフの一例を図7に示す。図7において、横軸はZ方向の座標値を距離(mm)で示し、縦軸は曲率を示しており、これによって、各芯線41のケーブル4沿線方向における曲率分布が示される。なお、図中、各線j1~j7は、それぞれ図5(a)における各線h1~h7と同一の芯線41に対応している。

CPU21は、各芯線41の形状状態としての曲率を数値として把握しかつ各芯線41のケーブル4沿線方向における曲率分布を把握することができ、これらを数値として出力する(ステップS7)。また、このステップS7は、前記の曲率分布をケーブル4の沿線方向の形状状態として出力する曲率分布出力工程を構成している。

【0051】

上記のように構成された本実施形態によるケーブル4を構成する芯線41の曲率分布の測定方法、及び形状状態測定システムによれば、芯線41の沿線方向に沿った複数の断面中心g4を3次元座標値として取得し、これに基づいて芯線41の沿線方向における芯線41の形状状態を3次元座標値の変化として把握、出力することができる。従って、芯線41が沿線方向に複雑に屈曲変形している場合においても、より正確に形状状態を測定、把握することができる。

また、上記のように構成された本実施形態の曲率分布測定プログラムによれば、芯線41が沿線方向に複雑に屈曲変形している場合においても、より正確に形状状態としての曲率を測定、把握することができる。

【0052】

また、上記実施形態においては、上記ステップS6により複数の断面中心g4それぞれにおける芯線41の曲率を算出し、ステップS7により前記芯線41の曲率を芯線41の沿線方向の形状状態としての曲率分布を出力することができる。すなわち、ステップS6と、ステップS7とは、芯線41の形状状態を出力する形状状態出力工程を構成している。また、ステップS6及びステップS7により構成される形状状態出力工程を実現するパーソナルコンピュータ2は、形状状態出力手段を構成している。

【0053】

また、上記実施形態において、芯線41の断面形状の2次元データを、X線CTスキャナ装置1を用いて断面内部画像gを透過撮影することで取得したので、芯線41が被覆層44や外部被覆層42等によって被覆されていても、その断面形状を取得することができる。また、このようにX線CTスキャナ装置1を用いて透過撮影すれば、芯線41の外形等を直接的に測定できない場合においても、その断面形状を取得することができる。

なお、本実施形態では、透過撮影するためにX線CTスキャナ装置1を用いたが、これに限られるものではなく、MRIスキャナ装置を用いることもできるし、それに準じた透

10

20

30

40

50

過撮影装置を用いることができる。

【0054】

また、本実施形態では、ケーブル4の曲率分布を、実機に配索された状態を再現した状態のケーブル4によって測定したので、当該ケーブル4が実際に使用されたときに生じる沿線方向の変形等にかかる曲率を詳細に測定把握することができる。このため、CAE等によるケーブル4の変形に係るシミュレーション結果との間で、数値的な比較検討をすることが可能となる。

また、本実施形態により得られた曲率の値に芯線41の半径を乗すれば、芯線41の曲げ歪みが求められる。すなわち芯線41における曲げ歪みの分布を把握することができ、これにより、本実施形態により得られる曲率分布は、芯線41が繰り返し曲げられたときの疲労寿命を取得する際のデータとして活用することもできる。 10

【0055】

また、上記実施形態において、ケーブル4は、7本の芯線41を所定の撚りピッチで撚り束ねることで構成されており、芯線41は、芯線41全体として屈曲していなくても撚り束ねられることで生じる曲率を有しているため、より正確な曲率を求めるには、少なくとも撚り束ねられることで生じる曲率が把握できる程度に測定できることが好ましい。

以下に、撚り束ねられることで生じる芯線41の曲率を把握できる程度に測定を可能とするピッチ間隔Lの決定条件について説明する。まず、一様な曲率を有している部分に対して、芯線41の断面形状を3箇所以上取得することができるピッチ間隔Lの条件について説明する。図8(a)は、芯線41において一様な曲率を有している部分と芯線41の断面形状を取得するためのピッチ間隔Lとの関係を示す模式図である。図中矢印の方向がZ方向であるときに、芯線41が角度 ε の範囲で一様な曲率半径Rで屈曲する屈曲部Kを有しているとした場合、この屈曲部KのZ方向に占める領域である間隔ZZは、下記式(4)で示される。 20

$$ZZ = R \times (1 - \cos(\varepsilon / 2)) \quad \cdots (4)$$

【0056】

本実施形態において、沿線方向に並ぶ3点の断面中心g4を算出単位としているので、一様な曲率半径を有する屈曲部K内で3点以上断面中心g4を取得することが好ましい。屈曲部K内で3点以上の断面中心g4を取得するには、ピッチ間隔Lを、図のように間隔ZZの1/2より小さい幅寸法とすることで、点g41, g42, g43, g44の4箇所の断面形状を取得することができる。すなわち、ピッチ間隔Lは、下記式(5)を満たすことで屈曲部K内において、芯線41の断面形状を3箇所以上取得することができる。 30

$$L < ZZ / 2 = (R / 2) \times (1 - \cos(\varepsilon / 2)) \quad \cdots (5)$$

【0057】

次に、本実施形態の芯線41において撚り束ねられることで生じる曲率の曲率半径及びその角度範囲について説明する。図8(b)は、屈曲変形していないケーブル4において、芯線41の撚り束ねられた状態を示す断面図及び側面図である。なお図において、ケーブル4の沿線方向に平行な方向をZ方向とする。複数の芯線41は、図のように螺旋径 ρ で、螺旋状に撚り束ねられており、撚りピッチPをもって、断面径方向ほぼ同一の位置となるように螺旋状に撚り束ねられている。このとき、芯線41の曲率半径Rsは、下記式(6)で示される。 40

$$Rs = (\rho^2 + (P / 2\pi)^2) / \rho \quad \cdots (6)$$

なお撚りピッチとは、図中ハッチングで示した芯線41に着目したとき、ケーブル4断面において、着目した芯線41が、図のように螺旋状に撚られて断面径方向ほぼ同一の位置となる沿線方向の幅寸法を示している。

【0058】

さらに、図8(b)に示す芯線41において、一様な曲率とみなせる角度の範囲 ε' は、下記式(7)で示される。

$$\varepsilon' = (P / 4Rs) \times (180 / \pi) \quad \cdots (7)$$

【0059】

図 8 (b) に示す本実施形態の芯線 4 1 は、屈曲変形していない状態で、上記式 (6) , (7) で示される撚り束ねられることで生じる一様な曲率を有している。すなわち、上記式 (5) に式 (6) , (7) で示した曲率半径 R_s 及び角度範囲 ε' を代入することで、撚り束ねられることで生じる芯線 4 1 の曲率を把握できる程度に測定を可能とするピッチ間隔 L の決定条件としての下記式 (8) が得られる。

$$L < (R_s / 2) \times (1 - \cos(\varepsilon' / 2)) \quad \cdots (8)$$

上記式 (8) を満たすようにピッチ間隔 L を定めれば、本実施形態の芯線 4 1 の曲率をより正確に測定することができる。

【0060】

また、本発明者は、本実施形態により近似的に算出される芯線 4 1 の曲率と実際の芯線 4 1 の曲率との間の誤差と、ピッチ間隔 L との関係を検証した。その結果を図 9 に示す。図において、横軸はピッチ間隔 L を上記撚りピッチ P で除した値 L/P 、縦軸は近似的に算出した曲率と実際の曲率との誤差の百分率を対数表示している。また、図中、丸印で示された複数の点 M_1 は撚りピッチ P を螺旋径 ρ で除した値 P/ρ を 1 とした場合、四角印で示された複数の点 M_2 は前記 P/ρ を 10 とした場合、白抜きの三角印で示された複数の点 M_3 は前記 P/ρ を 100 とした場合、白抜きの丸印で示された複数の点 M_4 は前記 P/ρ を 1000 とした場合の結果であり、これらを近似曲線によって繋いで示している。図において、 P/ρ が大きくなると誤差が大きくなる傾向があるが、横軸の値である L/P が 0.25 より小さい場合、すなわちピッチ間隔 L が撚りピッチ P の $1/4$ より小さい領域では、誤差が 5% 以下となることが判る。さらに、 L/P が 0.125 より小さい場合、すなわちピッチ間隔 L が撚りピッチ P の $1/8$ より小さい領域では、誤差が 1% 以下となることが判る。

【0061】

上記より、ピッチ間隔 L を撚りピッチ P の $1/4$ より小さくすることで、上記誤差を 5% 以下といったように小さくすることができ、より正確に芯線 4 1 の形状状態を測定することができる。また、ピッチ間隔 L は撚りピッチ P の $1/8$ より小さくすることが好ましく、この場合、上記誤差を 1% 以下にでき、さらに正確に測定することができる。

【0062】

図 10 は、本発明の第二の実施形態であるケーブルの形状状態測定方法としてのねじり率測定方法を示すフローチャートである。本実施形態では、芯線 4 1 の沿線方向における形状状態の一つであるねじり率の測定を行うための方法を示している。本実施形態においては、第一の実施形態にて示した形状状態測定システムを用いるとともに、図 10 中のステップ S_5 までの処理は、第一の実施形態で示した図 4 におけるステップ S_5 までと同様なので、これらの説明は省略する。また、本実施形態では、コンピュータ 2 の CPU 21 は、記憶部 25 に格納されたねじり率分布測定プログラム 27 に基づいて、図 10 中のステップ S_3 から S_5 までの処理、及び以下の処理を実行する。

【0063】

本実施形態において、CPU 21 は、ステップ S_5 にて各断面中心 g_4 の 3 次元座標値を取得した後に、ステップ S_4 にて得られた芯線 4 1 断面の断面形状である境界線 g_3 の 2 次元データから、芯線 4 1 の中心に位置する素線 4 3 以外の素線 4 3 の内の一つの中心を特定点 U として一箇所特定し、この特定点 U の $X-Y$ 座標値を取得する (図 10 のステップ S_{11})。図 11 (a) は、断面中心 g_4 と特定点 U とを示した断面内部画像 g 上の濃部 g_1 の模式図である。なお、図 11 (a) においては、断面中心 g_4 に対して紙面上右斜め上に位置する素線 4 3 (の断面内部画像) に着目し、この素線 4 3 の中心を特定点 U として示している。この特定点 U の $X-Y$ 座標値は、以下のようにして算出される。すなわち、図 11 (a) 中の破線 g_{31} で示される境界線 g_3 の一部分である円弧 g_5 は素線 4 3 の形状を表すものであり、この円弧 g_5 によって素線 4 3 の中心である特定点 U を特定することができ、その $X-Y$ 座標値を算出することができる。また特定点 U は、 Z 座標値の異なる複数の断面内部画像 g それぞれに対して、同一の素線 4 3 に基づいて特定される。

以上のように、ステップ S 1 1 は、芯線 4 1 断面の断面形状である境界線 g 3 の 2 次元データから、断面中心 g 4 以外に芯線 4 1 断面上の位置を特定することのできる特定点 U を特定し、この特定点 U の X-Y 座標値を取得する特定点座標取得工程を構成している。

【0064】

次に CPU 2 1 は、断面中心 g 4 を通過するとともに Y 方向に平行な基準線 O と、断面中心 g 4 と特定点 U とを通過する通過線 Q とが成す角度である芯線 4 1 のねじり角 α を、各断面内部画像 g、すなわち各断面中心 g 4 ごとそれぞれに算出する（ステップ S 1 2）。これにより、CPU 2 1 は、Z 方向の座標値に対応するねじり角 α の値を沿線方向の分布として取得することができる。そしてこのステップ S 1 2 は、ねじり角 α を、各断面中心 g 4 ごとそれぞれについて算出するねじり角算出工程を構成している。

10

【0065】

図 1 2 (a) は、本実施形態によって算出された芯線 4 1 のねじり角 α とこのねじり角 α に対応する断面中心 g 4 の Z 方向の座標値との関係をプロットし、線図として示したグラフの一例である。図において、横軸は Z 方向の座標値を距離 (mm) で示し、縦軸はねじり角 α を示している。図 1 2 (a) において、測定開始点における Z 方向の座標値を 0、ねじり角 α を 0 として表している。また、破線 V 1 はケーブル 4 が屈曲変形していない状態でねじり角 α を測定した結果、実線 V 2 は屈曲変形している状態でねじり角 α を測定した結果を示している。

破線 V 1 において、ねじり角 α は Z 方向の座標値に対して線形の関係にある。ケーブル 4 (芯線 4 1) が屈曲変形していない状態では、素線 4 3 は芯線 4 1 を構成すべく所定の撚りピッチ p で一定に撚り束ねられるので、芯線 4 1 のねじり角 α は Z 方向の増分に対して一定の角度変化が生じる。

20

【0066】

一方、ケーブル 4 (芯線 4 1) が屈曲変形している状態では、実線 V 2 のように、傾きを変化させながらねじり角の値が、破線 V 1 に対して乖離するように上昇していることが判る。このねじり角 α における破線 V 1 と実線 V 2 との差は、ケーブル 4 の屈曲変形によって生じる芯線 4 1 のねじり変形に起因するものである。すなわち、実線 V 2 におけるねじり角 α は、素線 4 3 が撚り束ねられていることによりねじり変形が生じていなくとも生じる角度と、ねじり変形によって実際にねじれた角度とを含んだ値として示されている。

【0067】

次に、CPU 2 1 は、Z 方向の座標値に対する上記ステップ S 1 2 で得られた芯線 4 1 のねじり角 α の差分を算出する。これにより、CPU 2 1 は、Z 方向の座標値に対応するねじり角 α の差分を沿線方向における分布として取得することができる。その結果をプロットし、線図として示した結果を図 1 2 (b) に示す。図において、横軸は Z 方向の座標値としての距離 (mm)、縦軸は、ねじり角 α の差分を示している。また、破線 W 1 はケーブル 4 が屈曲変形していない状態で芯線 4 1 のねじり角を測定したもの、実線 W 2 は屈曲変形している状態でねじり角を測定したものの算出結果を示している。

30

【0068】

図において、破線 W 1 は、Z 方向の座標値に対してほぼ平行である。これは上述したように、ケーブル 4 が屈曲変形していない状態では、芯線 4 1 のねじり角 α は Z 方向の座標値に対して線形の関係にあるためである。つまり、屈曲変形していない状態のケーブル 4 の芯線 4 1 のねじり角の差分は、ほぼ一定となる。

40

つまり、屈曲変形していないケーブル 4 における芯線 4 1 のねじり角 α の差分値は、素線 4 3 の撚りピッチ p 等のケーブル 4 の仕様等によって定数 (w) として定まるため、芯線 4 1 のねじり角の差分値が w となる場合には、ねじり変形が生じていないことを示している。

なお、屈曲変形していないケーブル 4 におけるねじり角 α 、及びその差分は、予め測定もしくは算出し、そのデータを定数として記憶部 2 5 等に格納しておき、屈曲変形した状態のケーブル 4 の測定時に参照できるようにされている。

【0069】

50

また、実線W 2は、Z方向の座標値が増加するに従ってそのねじり角 α の差分が序々に増加し、極大部W 2 1を通過した後、序々に減少している。このケーブル4の屈曲変形によって芯線4 1に生じるねじり変形によって差分値が一定の値とならず、破線W 1で表される差分値wに対して差異が生じている。

【0070】

次に、CPU 2 1は、ケーブル4が屈曲変形していない状態における芯線4 1のねじり角 α の差分値と、ケーブル4が屈曲変形している状態におけるねじり角 α の差分値との差をねじり率とし、Z方向の座標値に対して算出する。すなわち、図1 2 (b)における実線W 2は、ケーブル4の屈曲変形によって生じる芯線4 1のねじり変形に起因する値以外に、ケーブル4の仕様等によって定数として定まるねじり角 α の差分値wを含んでいるため、これを除くことでケーブル4の屈曲変形によって生じる芯線4 1のねじり変形に起因するねじり角 α の差分値のみを抽出し、これを芯線4 1の沿線方向の形状状態であるねじり率として取得することができる。

10

【0071】

図1 3は、上記ねじり率とZ方向の座標値との関係を示したグラフの一例である。このねじり率は、ケーブル4が屈曲変形することで生じる芯線4 1の屈曲変形によるねじり変形を数値として示している。

CPU 2 1は、図1 3のように、このねじり率の沿線方向における分布を芯線4 1の形状状態として示し出力する(ステップS 1 3)。すなわち、ステップS 1 3は、ねじり角 α に対応するZ方向の座標値に対するねじり率を算出し、このねじり率より得られる沿線方向のねじり率分布をケーブル沿線方向の形状状態として出力するねじり率分布出力工程を構成している。

20

【0072】

なお、上記ねじり率は、芯線4 1のねじり変形に起因するねじり角 α の差分値であるので、以下のようにして算出することもできる。すなわち、図1 2 (a)において、実線V 2で示される屈曲変形している状態で測定されたねじり角 α と、破線V 1で示される屈曲変形していない状態で測定されたねじり角 α との差 $\Delta \alpha$ を算出することで、ケーブル4の屈曲変形によって生じる芯線4 1のねじり変形に起因するねじり角のみを算出する。そして、このねじり変形に起因するねじり角である $\Delta \alpha$ について、Z方向の座標値に対する差分を算出すれば、ねじり率が得られる。

30

【0073】

以上のように、本実施形態においては、複数の断面中心g 4それぞれにおける芯線4 1のねじり率を算出し、芯線4 1のねじり率を芯線4 1の沿線方向の形状状態としてのねじり率分布を出力することができる。

また、上記のように構成された本実施形態のねじり率分布測定プログラムによれば、芯線4 1が3次元的に複雑に屈曲変形している場合においても、より正確に形状状態としてのねじり率を測定し、把握することができる。

また、上記実施形態により得られたねじり率は、芯線4 1の沿線方向に対するねじり角変化なので、このねじり率に芯線4 1の半径等を乗することで芯線4 1のねじり歪みを求めることができる。すなわち芯線4 1におけるねじり歪みの分布を把握することができ、これにより、本実施形態により得られるねじり率分布は、ケーブル4の屈曲変形に伴って芯線4 1が繰り返しねじり変形を受けたときの疲労寿命を取得する際のデータとして活用することもできる。

40

【0074】

また、本実施形態では、芯線4 1は、ケーブル4に対する芯線4 1と同様に、7本の素線4 3を所定の撚りピッチで螺旋状に撚り束ねることで構成されているので、前記撚り束ねられた素線4 3の中から選択された一つの素線4 3の中心を特定点Uとしたときに、芯線4 1がねじり変形していなくても、Z方向の座標値の変位に伴って特定点Uは、芯線4 1の中心軸回りに変位していく。このため、Z方向の座標値の変位に対して、特定点Uの回転角度の変位が大きいと、特定点Uを定めた特定の素線4 3を認識することができない

50

場合がある。このため、特定点Uを定めた特定の素線43を認識するためには、芯線41の断面形状を取得するためのピッチ間隔Lを、下記に示す条件とすることが好ましい。

【0075】

以下に、特定の素線43を認識することができるピッチ間隔Lの決定条件について説明する。図11において、例えば(a)の状態からZ方向に寸法Lだけ移動したときの濃部g1(芯線41の断面)を(b)に示している。図11(b)において、U'は(a)における特定点を示しており、特定点Uは、(a)から(b)に移動することで、(a)における特定点U'から角度 $\Delta\beta$ だけ、断面中心g4回りに回転移動している。このとき、素線43の撚りピッチをP'とすると、角度 $\Delta\beta$ は、下記式(9)のように示される。

$$\Delta\beta = (360/P') \times L \quad \dots (9)$$

10

【0076】

一方、図11の(a)から(b)のように特定点Uが、断面中心g4回りに角度 $\Delta\beta$ だけ移動したとき、特定点Uを定めた素線43であることを認識できる角度 $\Delta\beta$ は、螺旋方向が明確な場合には、下記式(10)のようになる。

$$\Delta\beta < 360/N \quad \dots (10)$$

なお、上記Nは、特定点Uを定めた素線43と同一の螺旋径で周方向に配置されている素線43の総数であり、ここでは6本である。

【0077】

また、螺旋方向が不明確な場合の上記角度 $\Delta\beta$ は、下記式(11)のようになる。

$$\Delta\beta < 180/N \quad \dots (11)$$

20

【0078】

そして、確実に特定点Uを定めた素線43であることを認識できる角度 $\Delta\beta$ は、上記式(11)を満たすときであり、上記式(11)と、上記式(9)とから、下記式(12)が得られる。

$$L < (180/N) \times (P'/360) \quad \dots (12)$$

【0079】

本実施形態では、Nは6本であるので、上記式(12)より下記式(13)の関係が得られる。

$$L < P'/12 \quad \dots (13)$$

【0080】

30

本実施形態では、上記式(13)の条件を満たすことで、特定の素線43を確実に認識することができる。

【0081】

なお、本発明のケーブルの形状状態測定方法は上記実施形態のみに限定されるものではない。例えば、上記各実施形態により得られる、図5、図7、図12、図13中、形状状態としての沿線方向の数値の分布を示すグラフから当該ケーブル4に生じた断線等の異常を把握することもできる。ケーブル4の内部に断線等がなければ、上記各図中のグラフは、連続的な曲線として表される一方、例えば、ケーブル4の内部で芯線41が断線すれば、上記各図中のグラフは、断線部分で不連続な異常点が生じる。すなわち、ケーブルの形状状態測定方法に、この数値的に不連続となる異常点を把握するといった工程(評価工程)を加えることで、ケーブル4内部で生じた断線等の異常を把握することができる。これによってケーブル4における異常の有無等といったケーブル状態を評価することができる。

40

【0082】

また、上記各実施形態においては、7本の素線43からなる芯線41を7本撚り束ねることで構成されたケーブル4を用い、その芯線41の沿線方向の形状状態としての曲率分布、及びねじり率の測定を行った場合を例示したが、測定対象となるケーブルは、前記構成に限定されるものではない。例えば、より多数の芯線もしくは素線を撚り束ねたケーブル等であっても、上記実施形態にて示した方法を適用することで、沿線方向の形状状態を測定することができる。

50

【0083】

また、上記実施形態において、芯線41の断面形状を取得するための断面形状取得工程（断面形状取得手段）では、X線CTスキャナ装置を用いた透過撮影によって断面内部画像を撮影し、これに基づいて芯線41の断面形状を取得したが、例えば、ケーブル4に対して非接触でその外観形状の3次元データを取得できる方法によって、ケーブル4の表面形状の3次元データを構築し、この3次元データに基づいて、ケーブル4の断面形状を取得することもできる。

【0084】

上記の非接触でその外観形状の3次元データを取得できる方法としては、ケーブル4の静止状態の外観画像やX線透過画像を多方向から撮影することで、ケーブル4の外観形状の3次元データを構築する手法や、ケーブル4の静止状態の表面に対してレーザや音波等をプローブとしてトレースしてケーブル4の外観形状を把握し、これに基づいてケーブル4の外観形状を表す3次元データを構築する手法等を適用することができる。

すなわち、上記断面形状取得工程は、ケーブル4の外観形状を非接触で3次元データとして取得する工程と、この工程により取得されるケーブル4の外観形状の3次元データから、X-Y平面と平行かつZ方向に所定間隔で並ぶ複数のケーブル断面の断面形状を、X-Y平面の2次元データとして取得する工程と、を備えたものであってもよい。前記工程を有するケーブルの形状状態測定方法によれば、3次元データとして構築されたケーブル4の外観形状に基づいて断面形状を取得するので、断面形状をX-Y平面の2次元データとして取得することが容易である。また、当該ケーブルの外観形状を直接的に測定できない場合においても、ケーブルの断面形状を取得することができる。

【図面の簡単な説明】

【0085】

【図1】本発明の第一の実施形態に係るケーブルの曲率分布測定方法を実現するための形状状態測定システムを示すブロック図である。

【図2】(a)はX線CTスキャナ装置の構成を模式的に示した上面図、(b)は試料ケーブルの上面に固定されたケーブルを側方視したときの模式図である。

【図3】(a)は曲率分布が測定されるケーブルの構成を示した概略図、(b)はケーブルの断面内部画像の一例を示した模式図、(c)は断面内部画像上の濃部の内の一つを拡大した図である。

【図4】曲率分布測定方法を示すフローチャートである。

【図5】各芯線ごとに基準点座標群をプロットし、それらを繋いで線図として示したグラフの一例であり、(a)はX-Z座標の関係、(b)はY-Z座標の関係を示したグラフである。

【図6】芯線において沿線方向に並ぶ3点の断面中心を示す模式図である。

【図7】各断面中心における曲率を、各芯線ごとに繋いで線図としたグラフの一例である。

【図8】(a)は、芯線において一様な曲率を有している部分と芯線の断面形状を取得するためのピッチ間隔との関係を示す模式図、(b)は、屈曲変形していないケーブルにおいて、芯線の撚り束ねられた状態を示す断面図及び側面図である。

【図9】近似的に算出される芯線の曲率と実際の芯線の曲率との間の誤差と、ピッチ間隔Lとの関係を検証した結果を示すグラフである。

【図10】本発明の第二の実施形態であるケーブルのねじり率測定方法を示すフローチャートである。

【図11】(a)は断面中心と特定点とを示した断面内部画像上の濃部の模式図、(b)は(a)の状態からZ方向に寸法Lだけ移動したときの濃部の模式図である。

【図12】(a)は、ねじり角とZ方向の座標値との関係をプロットし、線図として示したグラフの一例であり、(b)は、Z方向の座標値に対応するねじり角の差分を沿線方向における分布として示したグラフの一例である。

【図13】ねじり率とZ方向の座標値との関係を示したグラフの一例である。

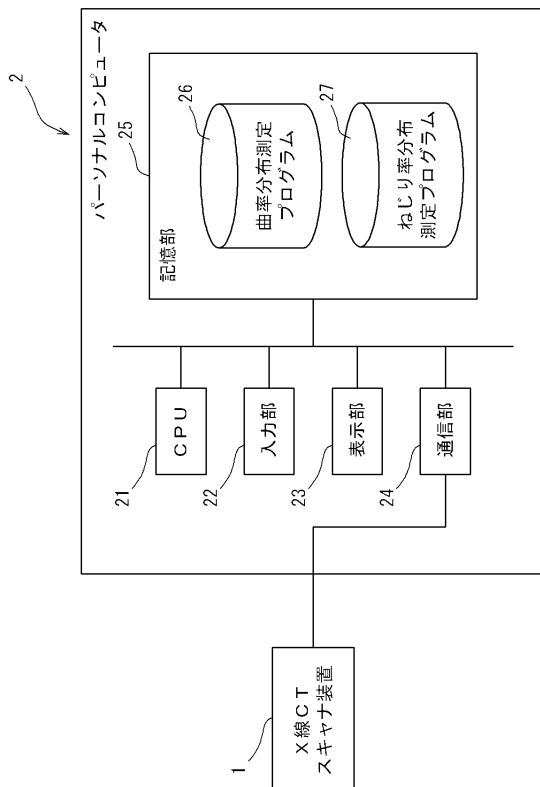
【符号の説明】

【0086】

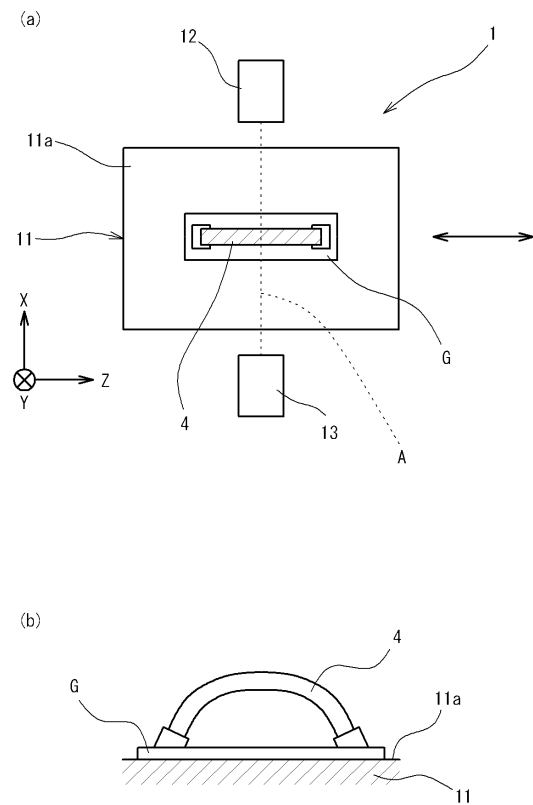
- 1 X線CTスキャナ装置
 2 パーソナルコンピュータ
 4 ケーブル
 4 1 芯線
 4 3 素線
 g 4 断面中心（基準点）
 O 基準線
 Q 通過線
 U 特定点

10

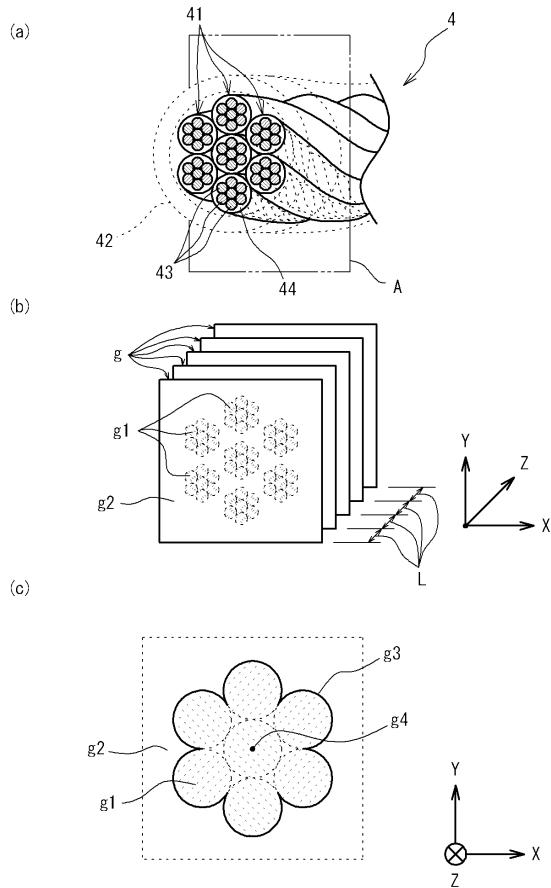
【図 1】



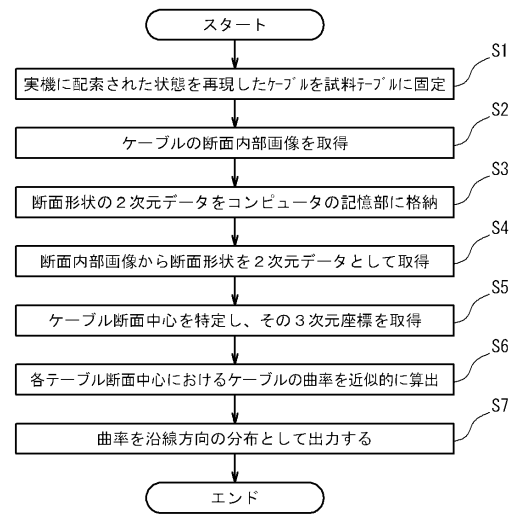
【図 2】



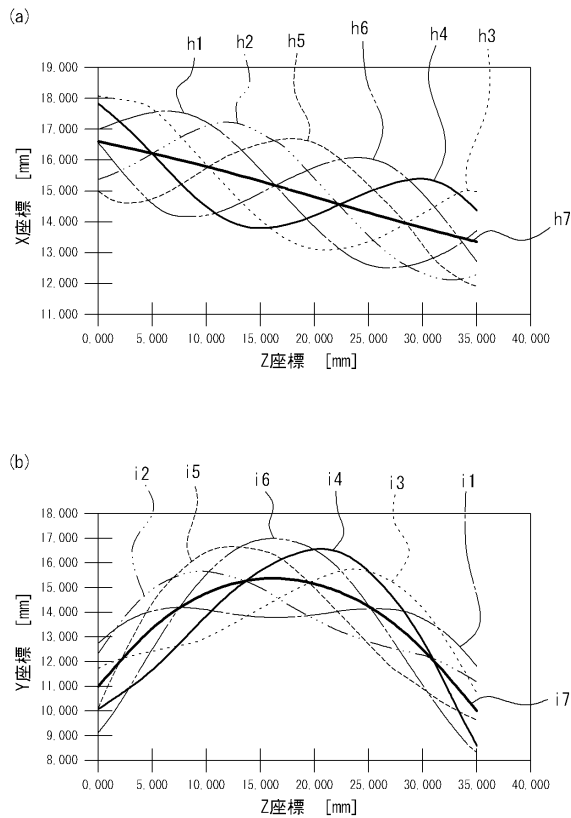
【図 3】



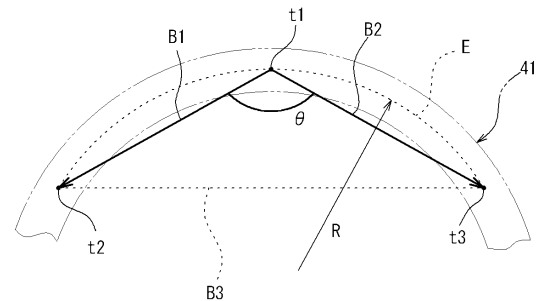
【図 4】



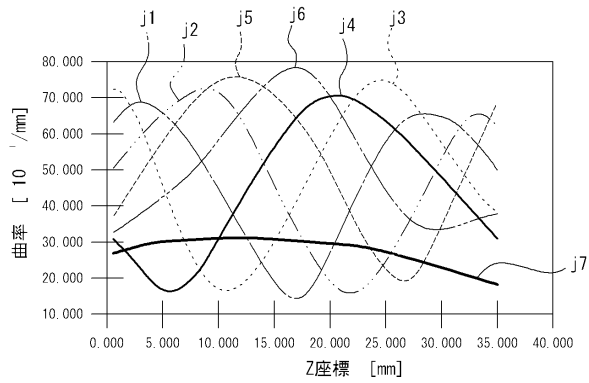
【図 5】



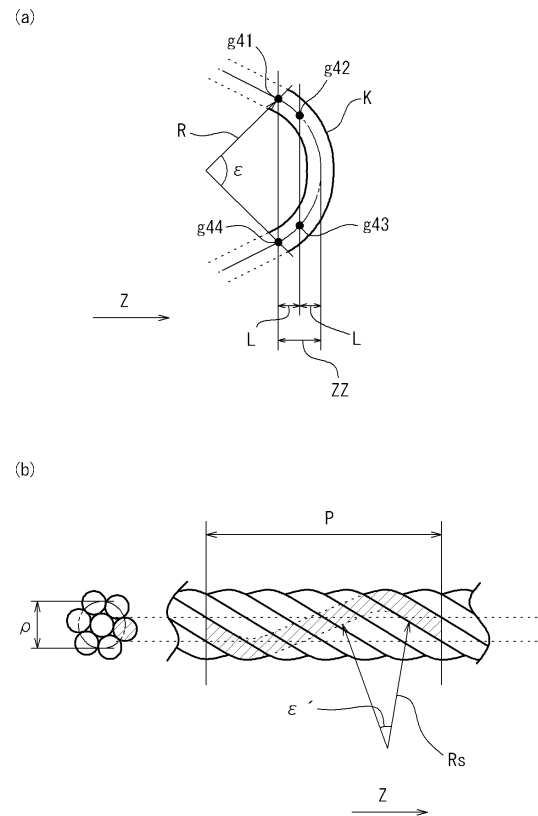
【図 6】



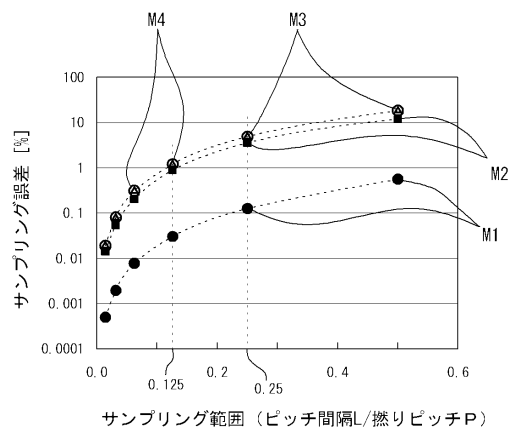
【図 7】



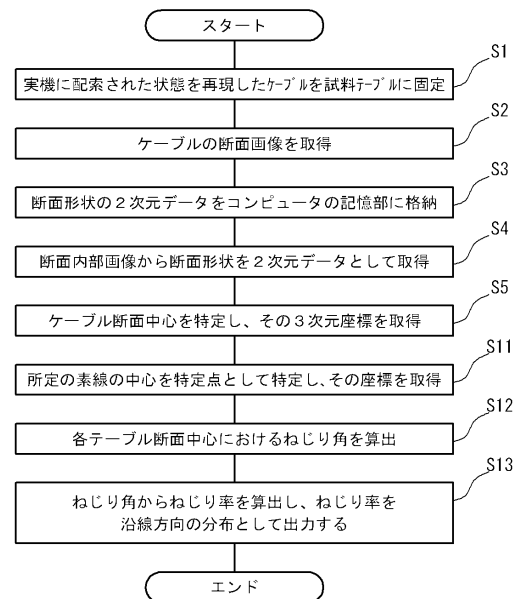
【図 8】



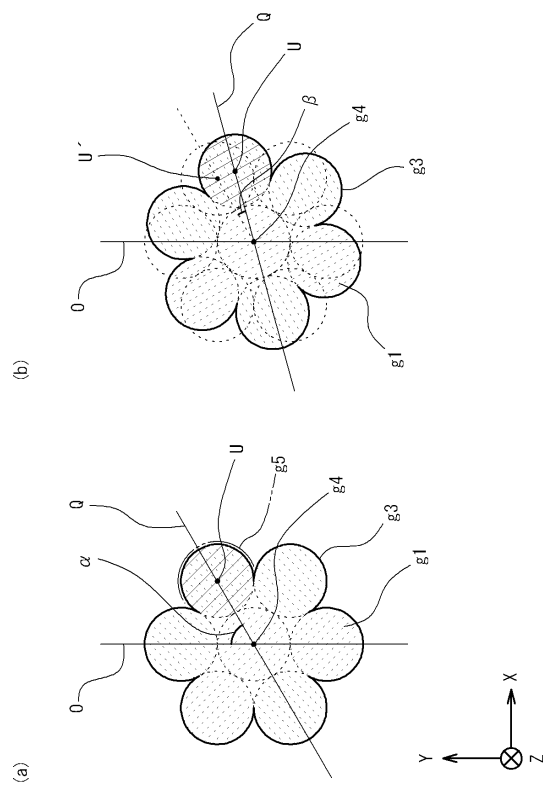
【図 9】



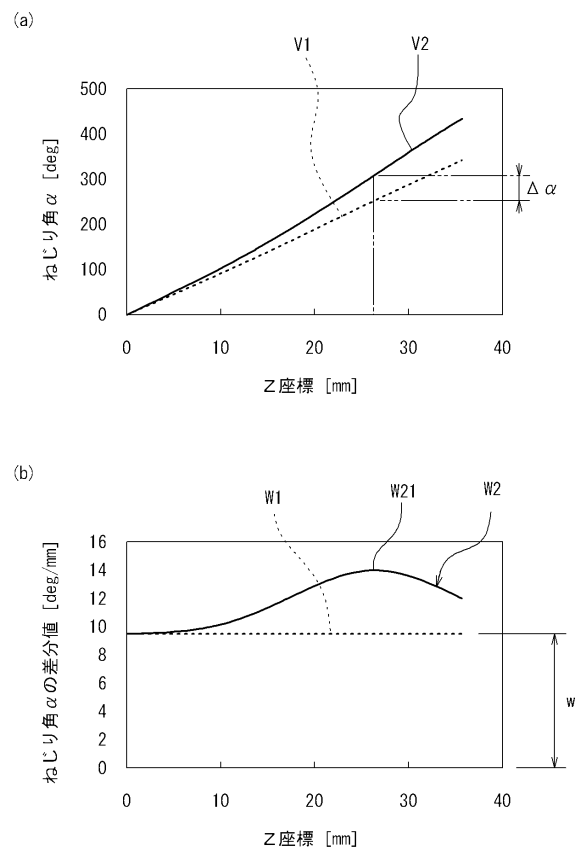
【図 10】



【図 1 1】



【図 1 2】



【図 1 3】

