

(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2018-84413

(P2018-84413A)

(43) 公開日 平成30年5月31日(2018.5.31)

(51) Int.Cl.			F I			テーマコード (参考)	
G01L	5/00	(2006.01)	G01L	5/00	101Z	2F051	
G01L	1/00	(2006.01)	G01L	1/00	F	2G053	
G21D	1/00	(2006.01)	G01L	1/00	G		
G01N	27/90	(2006.01)	G21D	1/00	S		
			G01N	27/90			

審査請求 未請求 請求項の数 8 O L (全 15 頁)

(21) 出願番号 特願2016-225635 (P2016-225635)
 (22) 出願日 平成28年11月21日 (2016.11.21)

(71) 出願人 000006208
 三菱重工株式会社
 東京都港区港南二丁目16番5号
 (74) 代理人 110000785
 誠真IP特許業務法人
 (72) 発明者 岩本 洋一
 東京都港区港南二丁目16番5号 三菱重工株式会社内
 (72) 発明者 片山 正章
 東京都港区港南二丁目16番5号 三菱重工株式会社内
 Fターム(参考) 2F051 AB04 AB05 AB06 AB09 BA07
 2G053 AA16 AB21 DA02

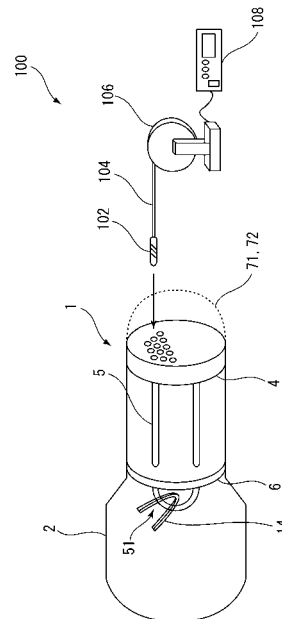
(54) 【発明の名称】 押付力測定方法

(57) 【要約】

【課題】 流体中に配置された管群を支持する振動抑制部材によって各管に付与される押付力を適切に測定可能な押付力測定方法を提供する。

【解決手段】 流体中に配置される管群を構成する各管が振動抑制部材から受ける押付力を、管内に挿入される探触子を用いて測定する。探触子の測定値と押付力との関係を規定する特性データを予め準備しておく。そして探触子を管内に挿入し、探触子の測定値から特性データに基づいて押付力を算出する。

【選択図】 図3



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

流体中に配置される管群が、前記管群に含まれる各管の間に挿入された振動抑制部材で支持されてなる制振構造において、前記管群が前記振動抑制部材から受ける押付力を、前記管の内部に挿入される探触子を用いて測定する押付力測定方法であって、

前記探触子の測定値と前記押付力との関係を規定する特性データを予め準備する特性データ準備工程と、

前記探触子を前記管の内部に挿入し、前記探触子の測定値を取得する測定値取得工程と、

前記特性データに基づいて、前記測定された測定値に対応する前記押付力を算出する押付力算出工程と、

を備えることを特徴とする押付力測定方法。

10

【請求項 2】

前記特性データ準備工程では、前記振動抑制部材に支持された前記管に対応するサンプルに対して前記押付力を模擬する所定荷重を印加しながら、前記サンプルの内部に挿入された前記探触子の測定値を取得する荷重試験を実施することにより、前記特性データが作成されることを特徴とする請求項 1 に記載の押付力測定方法。

【請求項 3】

前記測定値取得工程では、前記探触子を前記管の内部で走査しながら前記測定値とともに前記探触子の位置情報を取得し、前記測定値と前記位置情報を関連付けて記録することを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の押付力測定方法。

20

【請求項 4】

前記特性データ準備工程では、

前記サンプルの軸方向に沿った略同一位置に対して両側から前記管を挟んで対向するように前記所定荷重を印加して取得された前記測定値に基づいて第 1 の特性データを作成し、

前記サンプルの軸方向に沿った互いに異なる位置に対して前記管を挟んで対向するように前記所定荷重を印加して取得された前記測定値に基づいて第 2 の特性データを作成し、

前記押付力算出工程では、前記管と前記振動抑制部材との位置関係に基づいて、前記第 1 の特性データ又は前記第 2 の特性データのいずれか一方を前記特性データとして用いることを特徴とする請求項 3 に記載の押付力測定方法。

30

【請求項 5】

前記管は、

軸方向に沿った略同一位置に対して両側から前記管を挟んで対向するように前記振動抑制部材が配置された第 1 の地点と、

軸方向に沿った略同一位置に対して片側から前記振動抑制部材が配置された第 2 の地点と、

を含み、

前記押付力算出工程では、

前記第 1 の地点で測定された前記測定値に対応する前記押付力を前記第 1 の特性データに基づいて算出し、

前記第 2 の地点で測定された前記測定値に対応する前記押付力を前記第 2 の特性データに基づいて算出することを特徴とする請求項 4 に記載の押付力測定方法。

40

【請求項 6】

前記測定値取得工程では、前記管の軸方向に沿った基準位置に前記探触子で検出可能なマーカを設置し、前記測定値を取得する際に前記基準位置からの変位に基づいて、前記位置情報を取得することを特徴とする請求項 3 に記載の押付力測定方法。

【請求項 7】

前記探触子は、前記管の内部に挿入可能な渦電流探傷プローブを含むことを特徴とする請求項 1 から 6 のいずれか 1 項に記載の押付力測定方法。

50

【請求項 8】

前記探触子は、前記管の内部に挿入することにより前記管の内径を計測可能な変位計を含むことを特徴とする請求項 1 から 6 のいずれか 1 項に記載の押付力測定方法。

【発明の詳細な説明】**【技術分野】****【0001】**

本開示は、流体中に配置される管群において、各管の隙間に挿入される振動抑制部材によって各管が受ける押付力の測定方法に関する。

【背景技術】**【0002】**

蒸気発生器等の熱交換器に使用される管群は、流体中に配置された際に振動が発生することを抑制するために、各管の隙間に振動抑制部材として振り止め金具が挿入された制振構造が採用されるものがある。例えば特許文献 1 には、熱交換器が有する複数の伝熱管の隙間に略 字形状の振動抑制部材が挿入された伝熱管群の制振構造の一例が開示されている。

【先行技術文献】**【特許文献】****【0003】**

【特許文献 1】特開昭 62 - 93586 号公報

【発明の概要】**【発明が解決しようとする課題】****【0004】**

近年、U 字管のような U ベンド部を有する管群では、面内方向（各管の軸方向）に沿って振動する流力弾性振動等の自励振動現象が発生する可能性が指摘されている。特許文献 1 を含む従来 of 制振構造で用いられる振動抑制部材は、面外方向（各管の軸方向に略垂直な方向）に生じる振動を抑制することを想定しているため、その厚さは各管の隙間と同等若しくはわずかに小さく設計されていた。そのため、振動抑制部材によって各管に付与される押付力は略ゼロであり、面内方向の振動現象を抑制するための対策が望まれている。

【0005】

このような面内方向に沿った振動現象を抑制するためには、振動抑制部材によって各管に適切な押付力を付与する新たな制振構造を設計する必要がある。その際、振動抑制部材によって各管に付与される押付力を適切に評価するために、押付力を実測する必要がある。

【0006】

本発明の少なくとも 1 実施形態は上述の事情に鑑みなされたものであり、流体中に配置された管群を支持する振動抑制部材によって各管に付与される押付力を適切に測定可能な押付力測定方法を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】**【0007】**

(1) 本発明の少なくとも 1 実施形態に係る押付力測定方法は上記課題を解決するために、流体中に配置される管群が、前記管群に含まれる各管の間に挿入された振動抑制部材で支持されてなる制振構造において、前記管群が前記振動抑制部材から受ける押付力を、前記管の内部に挿入される探触子を用いて測定する押付力測定方法であって、前記探触子の測定値と前記押付力との関係を規定する特性データを予め準備する特性データ準備工程と、前記探触子を前記管の内部に挿入し、前記探触子の測定値を取得する測定値取得工程と、前記特性データに基づいて、前記測定された測定値に対応する前記押付力を算出する押付力算出工程と、を備える。

【0008】

上記 (1) の方法によれば、管の内部に挿入可能な探触子の測定値と押付力との関係を、予め特性データとして準備しておくことで、当該特性データに基づいて、探触子で実測

10

20

30

40

50

値として得られた測定値に対応する押付力を適切に算出できる。

【0009】

(2) 幾つかの実施形態では上記(1)の方法において、前記特性データ準備工程では、前記振動抑制部材に支持された前記管に対応するサンプルに対して前記押付力を模擬する所定荷重を印加しながら、前記サンプルの内部に挿入された前記探触子の測定値を取得する荷重試験を実施することにより、前記特性データが作成される。

【0010】

上記(2)の方法によれば、測定対象に対応するサンプルを用いた荷重試験によって特性データを作成することで、信頼性のある特性データが得られる。

【0011】

(3) 幾つかの実施形態では上記(1)又は(2)の方法において、前記測定値取得工程では、前記探触子を前記管の内部で走査しながら前記測定値とともに前記探触子の位置情報を取得し、前記測定値と前記位置情報を関連付けて記録する。

【0012】

上記(3)の方法によれば、探触子を走査しながら測定を行う際に測定値を位置情報と関連付けて記憶することで、広い範囲にわたって連続的に押付力を効率的に測定できる。

【0013】

(4) 幾つかの実施形態では上記(3)の方法において、前記特性データ準備工程では、前記サンプルの軸方向に沿った略同一位置に対して両側から前記管を挟んで対向するように前記所定荷重を印加して取得された前記測定値に基づいて第1の特性データを作成し、前記サンプルの軸方向に沿った互いに異なる位置に対して前記管を挟んで対向するように前記所定荷重を印加して取得された前記測定値に基づいて第2の特性データを作成し、前記押付力算出工程では、前記管と前記振動抑制部材との位置関係に基づいて、前記第1の特性データ又は前記第2の特性データのいずれか一方を前記特性データとして用いる。

【0014】

上記(4)の方法によれば、各管に対する振動抑制部材の設置態様(両側から支持されるか、又は、片側から支持されるか)に応じて、特性データをそれぞれ区別して準備しておく。そして、測定対象となる測定地点における管と振動抑制部材との位置関係に応じた特性データを用いて押圧力の算出を行う。これにより、例えば振動抑制部材の設置態様によって探触子の測定値に誤差が生じる場合があるが、このような場合であっても誤差の影響を受けにくく、精度よく押付力を算出できる。

【0015】

(5) 幾つかの実施形態では上記(4)の方法において、前記管は、軸方向に沿った略同一位置に対して両側から前記管を挟んで対向するように前記振動抑制部材が配置された第1の地点と、軸方向に沿った略同一位置に対して片側から前記振動抑制部材が配置された第2の地点と、を含み、前記押付力算出工程では、前記第1の地点で測定された前記測定値に対応する前記押付力を前記第1の特性データに基づいて算出し、前記第2の地点で測定された前記測定値に対応する前記押付力を前記第2の特性データに基づいて算出する。

【0016】

上記(5)の方法によれば、測定対象となる地点が第1の地点と第2の地点のいずれであるかに基づいて第1の特性データ及び第2の特性データを使い分けて、押付力の算出を行う。これにより、例えば振動抑制部材の設置態様によって探触子の測定値に誤差が生じる場合があるが、このような場合であっても誤差の影響を受けにくく、精度よく押付力を算出できる。

【0017】

(6) 幾つかの実施形態では上記(3)の方法において、前記測定値取得工程では、前記管の軸方向に沿った基準位置に前記探触子で検出可能なマーカを設置し、前記測定値を取得する際に前記基準位置からの変位に基づいて、前記位置情報を取得する。

【0018】

上記(6)の方法によれば、探触子を管の内部を走査しながら測定する場合に、基準位

10

20

30

40

50

置に設けられたマーカを基準として位置情報を精度よく管理できる。

【0019】

(7) 幾つかの実施形態では上記(1)から(6)のいずれか1方法において、前記探触子は、前記管の内部に挿入可能な渦電流探傷プローブを含む。

【0020】

上記(7)の方法によれば、探触子として渦電流探傷プローブを用いることで、微小な変形を含む押付力の影響を精度よく測定することができる。

【0021】

(8) 幾つかの実施形態では上記(1)から(6)のいずれか1方法において、前記探触子は、前記管の内部に挿入することにより前記管の内径を計測可能な変位計を含む。

10

【0022】

上記(8)の方法によれば、探触子として変位計を用いることにより、押付力によって管が変形されることにより生じる変位に基づいた押付力の測定ができる。

【発明の効果】

【0023】

本発明の少なくとも1実施形態によれば、流体中に配置された管群を支持する振動抑制部材によって各管に付与される押付力を適切に測定可能な押付力測定方法を提供できる。

【図面の簡単な説明】

【0024】

【図1】本発明の少なくとも1実施形態に係る押付力測定方法の測定対象である蒸気発生器の側断面概略図である。

20

【図2】図1の伝熱管群の斜視概略図である。

【図3】本発明の少なくとも1実施形態に係る押付力測定システムの全体構成を示す模式図である。

【図4】図3の測定器本体の内部構成を機能的に示すブロック図である。

【図5】本発明の少なくとも1実施形態に係る押付力測定方法を工程毎に示すフローチャートである。

【図6】図5のステップS10で作成される特性データの一例を示すグラフである。

【図7】図5のステップS10で実施される荷重試験の一例を示す模式図である。

【図8】図5のステップS10で実施される荷重試験の他の例を示す模式図である。

30

【図9】伝熱管の軸方向に沿った基準位置にマーカを設置した様子を示す模式図である。

【図10】管内挿入型探触子として超音波探触子を用いた例を示す図である。

【図11】管内挿入型探触子として静電容量式変位計を用いた例を示す図である。

【図12】荷重 変位量曲線(もしくは応力 歪み線図)を示すグラフである。

【発明を実施するための形態】

【0025】

以下、添付図面を参照して本発明の幾つかの実施形態について説明する。ただし、実施形態として記載されている又は図面に示されている構成部品の寸法、材質、形状、その相対的配置等は、本発明の範囲をこれに限定する趣旨ではなく、単なる説明例にすぎない。

例えば、「ある方向に」、「ある方向に沿って」、「平行」、「直交」、「中心」、「同心」或いは「同軸」等の相対的或いは絶対的な配置を表す表現は、厳密にそのような配置を表すのみならず、公差、若しくは、同じ機能が得られる程度の角度や距離をもって相対的に変位している状態も表すものとする。

40

また例えば、四角形状や円筒形状等の形状を表す表現は、幾何学的に厳密な意味での四角形状や円筒形状等の形状を表すのみならず、同じ効果が得られる範囲で、凹凸部や面取り部等を含む形状も表すものとする。

一方、一の構成要素を「備える」、「具える」、「具備する」、「含む」、又は、「有する」という表現は、他の構成要素の存在を除外する排他的な表現ではない。

【0026】

[1. 測定対象]

50

まず、本発明の少なくとも1実施形態に係る押付力測定方法の測定対象について説明する。図1は本発明の少なくとも1実施形態に係る押付力測定方法の測定対象である蒸気発生器1の側断面概略図であり、図2は図1の伝熱管群51の斜視概略図である。

【0027】

蒸気発生器1は、複数の伝熱管を含む伝熱管群を有する熱交換器であり、例えば、加圧水型原子炉(PWR: Pressurized Water Reactor)に用いられる蒸気発生器である。蒸気発生器1には、原子炉内を流通する原子炉冷却材及び中性子減速材としての一次冷却材(例えば、軽水)と、タービン内を流通する二次冷却材とが流入する。そして、蒸気発生器1では、高温高圧となった一次冷却材を、二次冷却材と熱交換させることにより、二次冷却材を蒸発させて蒸気を発生させ、且つ、高温高圧となった一次冷却材を冷却する。

10

【0028】

蒸気発生器1は、上下方向に沿って配置され、且つ、密閉された中空円筒形状を有する。蒸気発生器1は、上半部に対して下半部が若干小径とされた胴部2を有しており、その下半部内には、該胴部2の内壁面と所定間隔をもって配置された円筒形状を成す管群外筒3が設けられている。管群外筒3は、その下端部が、胴部2の下半部内の下方に配置された管板4近傍まで延設されている。管群外筒3内には、伝熱管群51が設けられている。伝熱管群51は、逆U字形状をなす複数の伝熱管5を含む。各伝熱管5は、U字形状の円弧部が上方側に凸となるように配置され、下方側の両端部が管板4に支持されるとともに、中間部が複数の管支持板6を介して管群外筒3に支持されている。管支持板6には、多数の貫通孔(図示せず)が形成されており、この貫通孔内に各伝熱管5が挿通されている。

20

【0029】

胴部2の下端部には、水室7が設けられている。水室7は、内部が隔壁8により入室71と出室72とに区画されている。入室71は、各伝熱管5の一端部が連通され、出室72は、各伝熱管5の他端部が連通されている。また、入室71は、胴部2の外部に通じる入口ノズル74が形成され、出室72は、胴部2の外部に通じる出口ノズル75が形成されている。そして、入口ノズル74には、加圧水型原子炉から一次冷却材が送られる冷却水配管(図示せず)が連結されており、出口ノズル75は、熱交換された後の一次冷却材を加圧水型原子炉に送る冷却水配管(図示せず)が連結されている。

30

【0030】

胴部2の上半部内には、熱交換後の二次冷却材を蒸気(気相)と熱水(液相)とに分離する気水分離器9、及び、分離された蒸気の湿分を除去して乾き蒸気に近い状態とする湿分分離器10が設けられている。気水分離器9と伝熱管群51の間には、外部から胴部2内に二次冷却材の給水を行う給水管11が挿入されている。更に胴部2の上端部には、蒸気排出口12が形成されている。また胴部2の下半部内には、給水管11から胴部2内に給水された二次冷却材を、胴部2と管群外筒3との間を流下させて管板4にて折り返させ、伝熱管群51に沿って上昇させるように、給水路13が形成されている。

【0031】

尚、蒸気排出口12には、タービンに蒸気を送る冷却水配管(図示せず)が連結されており、給水管11には、タービンで使用された蒸気が復水器(図示せず)で冷却された二次冷却材を供給するための冷却水配管(図示せず)が連結されている。

40

【0032】

このような蒸気発生器1において、加圧水型原子炉で加熱された一次冷却材は、入室71に送られ、多数の伝熱管5内を通過して循環して出室72に至る。一方、復水器で冷却された二次冷却材は、給水管11に送られ、胴部2内の給水路13を通過して伝熱管群51に沿って上昇する。このとき、胴部2内で、高圧高温の一次冷却材と二次冷却材との間で熱交換が行われる。そして、冷却された一次冷却材は、出室72から加圧水型原子炉に戻される。一方、高圧高温の一次冷却材と熱交換を行った二次冷却材は、胴部2内を上昇し、気水分離器9で蒸気と熱水とに分離される。分離された蒸気は、湿分分離器10で湿分が

50

除去され、タービンに送られる。

【0033】

図2に示されるように、伝熱管群51の上端部は、逆U字形状となる複数の伝熱管5の円弧部5aが配置されることで、半球形状に形成されている。複数の伝熱管5は、各面内において曲率半径の径方向外側に向かうにつれて曲率半径が大きくなるように設けられると共に、軸方向が平行となるように設けられることで伝熱管層5Aとなる。伝熱管層5Aは、その面内に直交する面外方向に所定の隙間を空けて平行に並べて設けられている。この複数の伝熱管層5Aでは、面内において曲率半径の径方向の最外側にあるそれぞれの伝熱管5が、面外方向の外側に向かうにつれて曲率半径が小さくなる。このように複数の伝熱管5が並べられることで、伝熱管群51の上端部は半球形状に形成される。

10

【0034】

このように構成された蒸気発生器1では、一次冷却材が各伝熱管5内を通過する際、逆U字形状の円弧部5aにて流体励起振動が発生する。そこで、伝熱管5の円弧部5aには、伝熱管5の振動を抑制するための複数の振動抑制部材14が設けられている。複数の振動抑制部材14は、平行に並んだ複数の伝熱管層5Aの間にそれぞれ挿入されており、例えば、ステンレス等の金属材料で構成されている。複数の振動抑制部材14の端部は、円弧部5aの外側に至るように延在しており、円弧部5aの外周、すなわち、円弧部5aの半球状の外周に沿って取り付けられた円弧状の保持部材15によって保持されている。

【0035】

本実施形態では特に、振動抑制部材14の板厚は、伝熱管5の隙間よりわずかに大きく設定されている。これにより、伝熱管5の弾性変形による反力で振動抑制部材14が押さえつけられ、面内方向における振動を効果的に抑制可能な制振構造が形成されている。このような制振構造においても、伝熱管5や振動抑制部材14の寸法には製作精度のばらつきがあるため、仮に振動抑制部材14の板厚が大きすぎると、伝熱管5を塑性変形させてしまうおそれもある。そのため伝熱管5の押圧力を適正に管理する必要があり、そのためには伝熱管5の押圧力を計測する必要がある。

20

尚、振動抑制部材14の板厚は、伝熱管5の隙間と同じになるように設定されていてもよい。この場合、運転(高温)時に各部材の熱膨張、及び、伝熱管5の圧力膨張により、振動抑制部材14の板厚が隙間の平均値より大きくなることにより、上記と同様の作用を得ることができる。

30

【0036】

[2. 押付力測定システム]

続いて上記構成を有する蒸気発生器1に対して押付力測定方法を実施する際に使用される押付力測定システム100について説明する。図3は本発明の少なくとも1実施形態に係る押付力測定システム100の全体構成を示す模式図であり、図4は図3の測定器本体108の内部構成を機能的に示すブロック図である。

【0037】

尚、図3では、押付力測定が行われる際に蒸気発生器1が、管板4を挿通した伝熱管5の端部が露出するように設置されるとともに、伝熱管5の内部から予め流体を排出して中空にした状態で、押付力測定システム100の管内挿入型探触子102が伝熱管5の内部に挿入される様子が示されている。また図3では、図示が煩雑にならないように伝熱管群51のうち一对の伝熱管5及び振動抑制部材14が代表的に示されている。

40

【0038】

押付力測定システム100は、伝熱管5の内部に挿入可能な管内挿入型探触子102を備える。管内挿入型探触子102は、テフロン(登録商標)チューブやバネコイル等からなるフレキシブル材から形成された搬送ケーブル104の先端に取り付けられたホルダ内に収容されている。搬送ケーブル104は巻取装置106に接続されており、該巻取装置106の動作に応じて巻き取り、又は、送り出されることによって、搬送ケーブル104の先端に設けられた管内挿入型探触子102が伝熱管5の内部を軸方向に沿って搬送可能に構成されている。

50

【0039】

本実施形態では特に、管内挿入型探傷子102は渦電流探傷(ECT)プローブであり、伝熱管5の減肉量、傷や割れ等に対応する測定信号を出力する。管内挿入型探傷子102からの測定信号は、搬送ケーブル104に内蔵され、又は、搬送ケーブル104に並走するようにとり回された信号線(不図示)を介して、外部に設置された測定器本体108に送られる。

【0040】

測定器本体108は、例えばコンピュータ等の電子演算器から構成されており、管内挿入型探傷子102から取得した測定信号を用いて解析を実施することにより、押付力を算出する。測定器本体108は、図4に示されるように、管内挿入型探傷子102やオペレータによって操作される各種入力デバイスからの入力データが入力される入力部112と、入力部112から入力された各種データ及び各種演算に関するアルゴリズム等を記憶する記憶部114と、記憶部114に記憶された各種データ及びアルゴリズムに基づいて演算を行うことにより押付力を算出する演算部116と、演算部116における算出結果を出力する出力部118と、を備える。

10

【0041】

特に記憶部114には、管内挿入型探傷子102の測定値と、伝熱管5に対する振動抑制部材14の押付力との関係を規定する特性データ120、並びに、伝熱管群51における伝熱管5及び振動抑制部材14のレイアウト仕様を規定する仕様データ122が予め記憶されている。特性データ120は、後述するように、サンプル122を用いた荷重試験により作成される。

20

【0042】

[3. 押付力測定方法]

続いて上記構成を有する押付力測定システム100により実施される押付力測定方法について説明する。図5は本発明の少なくとも1実施形態に係る押付力測定方法を工程毎に示すフローチャートであり、図6は図5のステップS10で作成される特性データ120の一例を示すグラフであり、図7は図5のステップS10で実施される荷重試験の一例を示す模式図であり、図8は図5のステップS10で実施される荷重試験の他の例を示す模式図である。

【0043】

まず準備段階として、押付力測定方法を実施するために必要な特性データ120を予め作成する(ステップS10)。特性データ120は、管内挿入型探傷子102の測定値と、伝熱管5に対する振動抑制部材14の押付力との関係を規定する、例えば図6に示されるような特性グラフとして作成される。このような特性データ120は、続く各工程に先立って、測定対象である伝熱管5と同等のサンプル122を使用した荷重試験を実施することにより作成される。

30

【0044】

ここで図7及び図8を参照しながら、特性データ120を作成するための荷重試験について詳しく説明する。荷重試験は、振動抑制部材14に支持された伝熱管5に対応するサンプル122に対して、押付力を模擬する所定荷重を印加しながら、サンプル122の内部に挿入された管内挿入型探傷子102の測定値を取得することにより行われる。

40

【0045】

このような荷重試験は、図7及び図8に示される荷重試験装置200を用いて実施される。荷重試験装置200は、台座たる試験機テーブル202と、試験機テーブル202上に配置されるサンプル122に対して上方から接触するように配置されたロードセル204と、ロードセル204を上方から支持するとともに所定荷重を印加可能に構成されたクロスヘッド206と、クロスヘッド206の両端にそれぞれ設けられたマグネットスタンド208と、各マグネットスタンド208に設けられ試験機テーブル202との間の変位を検出可能に構成された変位計210と、を備えて構成された、いわゆる圧縮試験機である。荷重試験装置200では、不図示の動力源によってクロスヘッド206に対して試験

50

機テーブル 202 が上下動することで、試験機テーブル 202 とロードセル 204 との間に配置されたサンプル 122 に所定荷重が印加される。サンプル 122 に対して印加された荷重はロードセル 204 によって検出され、変位計 210 の検出結果とともに、静歪計 212 に送られる。

【0046】

荷重試験では、サンプル 122 の内部に管内挿入型探触子 102 を挿入した状態で、静歪計 212 が、管内挿入型探触子 102 の出力電圧、及び、ロードセル 204 で検知された荷重を取得し、当該出力電圧と荷重の相関として特性データ 120 を作成する。

尚、このとき静歪計 212 は、変位計 210 で検知された変位を参考データとして取得し、特性データ 120 と関連付けて記録してもよい。この場合、管内挿入型探触子 102 の出力電圧と荷重の関係は、図 12 に示されるように、荷重 変位量曲線（もしくは応力歪み線図）と類似のグラフとして表される。すなわち、載荷荷重が弾性領域においては、荷重と変位が比例するのと同様に、荷重と管内挿入型探触子 102 の出力信号は比例する。一方、荷重が増加して、塑性領域に入ると、荷重の増分に対して変位量の増分が大きくなる。これと同様に荷重の増分に対して、管内挿入型探触子 102 の出力信号の増分も大きくなる。これを応用して、荷重を負荷 除荷 荷重というサイクルを、荷重を増加させながら繰り返し、変位と管内挿入型探触子 102 の出力信号を同時に計測することで、伝熱管 5 が塑性し始める点の管内挿入型探触子 102 の出力信号レベルを把握することができる。これにより、伝熱管 5 の長期健全性の一つの目安として、弾性範囲内の荷重にとどめることが可能となる。

【0047】

本実施例では特に、サンプル 122 への荷重の印加パターンに応じて 2 種類の特性データ 120（第 1 の特性データ 120 a 及び第 2 の特性データ 120 b）が作成される。

まず第 1 の特性データ 120 a は、図 7 に示す荷重試験によって作成される。この荷重試験では、サンプル 122 の軸方向に沿った略同一位置に対して両側から伝熱管 5 を挟んで一对の振動抑制部材 14 a、14 b が対向するように配置されており、下方の振動抑制部材 14 a が試験機テーブル 202 に接触するとともに上方の振動抑制部材 14 b がロードセル 204 に接触するようにセッティングされている。そして試験機テーブル 202 が上方に駆動されることにより、サンプル 122 には軸方向に沿った略同一位置に対して両側から荷重が印加される。このときサンプル 122 は、上下方向から荷重を受けることにより、断面形状が円形から楕円形になるように変形する。

【0048】

一方、第 2 の特性データ 120 b は、図 8 に示す荷重試験によって作成される。この荷重試験では、サンプル 122 の軸方向に沿った互いに異なる位置に対して管を挟んで対向するように 3 つの振動抑制部材 14 a、14 b、14 c が配置されており、下方の 2 つの振動抑制部材 14 a、14 b が試験機テーブル 202 に接触させるとともに上方の振動抑制部材 14 c がロードセル 204 に接触するようにセッティングされている。ここで上方の振動抑制部材 14 c は下方の 2 つの振動抑制部材 14 a、14 b の軸方向に沿った略中点位置に配置されている。そのため、試験機テーブル 202 が上方に駆動されると、サンプル 122 には振動抑制部材 14 a、14 b に接触している箇所を上側に向かう荷重が印加されるとともに、振動抑制部材 14 c に接触している箇所を下側に向かう荷重が印加される。このような荷重を受けたサンプル 122 は、略矩形断面を有する振動抑制部材 14 c の角部近傍に局所的な荷重が印加され、3 点曲げ変形となる。

【0049】

このように図 7 と図 8 では、サンプル 122 に対する荷重の印加形態が異なる。サンプル 122 の内部に挿入された管内挿入型探触子 102 で得られる出力電圧は、これら 2 パターンの荷重の印加態様に依存することから、ステップ S10 では予め 2 種類の特性データ 120 a、120 b が用意される。

【0050】

再び図 5 に戻って、サンプル 122 を用いた特性データ 120 の準備が完了すると、実

10

20

30

40

50

際の測定対象である伝熱管 5 の内部に管内挿入型探触子 1 0 2 を挿入し、測定を開始する（ステップ S 1 1）。測定を行っている際、測定器本体 1 0 8（入力部 1 1 2）は管内挿入型探触子 1 0 2 から測定値を取得する（ステップ S 1 2）。ここでステップ S 1 2 における測定値の取得は、巻取装置 1 0 6 によって管内挿入型探触子 1 0 2 を伝熱管 5 の内部で軸方向に沿って走査しながら連続的に行われる。このとき、測定器本体 1 0 8（入力部 1 1 2）は管内挿入型探触子 1 0 2 の測定値とともに管内挿入型探触子 1 0 2 の位置情報を取得する（ステップ S 1 3）。

【0051】

ここでステップ S 1 3 において取得される位置情報は、例えば、巻取装置 1 0 6 の搬送ケーブル 1 0 4 の巻取量又は送出量に基づいて取得される。そして、測定器本体 1 0 8 は、ステップ S 1 2 で取得した測定値と、ステップ S 1 3 で取得した位置情報を関連付けて、記憶部 1 1 4 に記憶する（ステップ S 1 4）。

10

【0052】

続いて測定器本体 1 0 8 は、記憶部 1 1 4 に予め記憶された仕様データ 1 2 4 に基づいて、ステップ S 1 4 で取得された測定値に関連付けられた位置情報に基づいて、当該測定値が第 1 の地点（軸方向に沿った略同一位置に対して両側から前記管を挟んで対向するように前記振動抑制部材が配置された地点）と、第 2 の地点（軸方向に沿った略同一位置に対して片側から前記振動抑制部材が配置された地点）のいずれで取得されたものであるかを判別する（ステップ S 1 5）。ここで仕様データ 1 2 4 は、伝熱管群 5 1 における伝熱管 5 及び振動抑制部材 1 4 のレイアウト仕様を規定するデータであり、測定が行われている伝熱管 5 と振動抑制部材 1 4 とがどのようなパターンでレイアウトされているかについて構造的な情報が規定されている。

20

【0053】

このような伝熱管 5 と振動抑制部材 1 4 とのレイアウトは、その一例が図 2 に示されている。図 2 では詳細は省略されているが、軸方向に沿って伝熱管 5 と振動抑制部材 1 4 とのレイアウトによって、各伝熱管の軸方向に沿って第 1 の地点及び第 2 の地点が所定パターンで振り分けられている。このようなレイアウトパターンは、仕様データ 1 2 4 として予め規定されており、測定器本体 1 0 8 が読みだすことによって、軸方向の各位置が第 1 の地点及び第 2 の地点のいずれかであるかが判別可能に構成されている。

【0054】

続いて、測定器本体 1 0 8（演算部 1 1 6）は記憶部 1 1 4 から取得した特性データ 1 2 0 に基づいて、ステップ S 1 2 で取得した測定値（出力電圧値）に対応する押圧力を算出する（ステップ S 1 6）。ここで用いられる特性データ 1 2 0 は、ステップ S 1 4 においてステップ S 1 3 で取得された位置情報が第 1 の地点又は第 2 の地点のいずれであったかに基づいて第 1 の特性データ 1 2 0 a 又は第 2 の特性データ 1 2 0 b のいずれかが採用される。すなわち、第 1 の地点で測定された測定値に対応する押付力を第 1 の特性データ 1 2 0 a に基づいて算出し、第 2 の地点で測定された測定値に対応する押付力を第 2 の特性データ 1 2 0 b に基づいて算出する。これらの特性データ 1 2 0 は、図 6 に示されるように出力電圧と押圧力との関係を規定しているため、測定値に対応する押圧力が算出されることとなる。

30

40

【0055】

このように算出された押圧力は、測定結果として出力部 1 1 8 から出力される（ステップ S 1 7）。この測定結果は、例えば押圧力と関連付けられる位置情報に基づいて、分布として出力されてもよい。

【0056】

尚、上記実施例ではステップ S 1 3 で取得される位置情報を巻取装置 1 0 6 の搬送ケーブル 1 0 4 の巻取量又は送出量に基づいて求める場合について述べたが、例えば、図 9 に示されるように、検査対象である伝熱管 5 の軸方向に沿った基準位置（例えば軸方向に沿った等間隔位置 $R(n)$ 、 $R(n+1)$ 、 $R(n+2)$ ）にマーカ 2 2 0 を設置し、当該マーカ 2 2 0 を基準とした変位に基づいて位置情報を取得してもよい。マーカ 2 2 0 は、

50

例えばアルミニウム等の金属材料のように管内挿入型探触子 102 によって検出可能な材料からなり、管内挿入型探触子 102 の出力電圧に基づいて検知可能となっている。またマーカ 220 は、テープ状に形成されることで測定対象である伝熱管 5 の外側表面に対して貼り付けて使用することで、測定終了後には除去可能になっていてもよい。

【0057】

管内に挿入される管内挿入型探触子 102 は、巻取装置 106 の動作状態（巻取量）に基づいて位置を調整可能であるが、現実には、伝熱管 5 内に障害物やスケール等による凹凸が存在したり、詰まりが発生する場合があります。位置計測に少なからず誤差が生じることがある。図 9 の場合では、軸方向に沿った基準位置にマーカ 220 を設置して、これらを基準とすることで、基準位置からの変位として管内挿入型探触子 102 の位置を管理することによって誤差を抑えることができる。

10

【0058】

また上記実施形態では、管内挿入型探触子 102 として ECT プロブを用いた場合について例示したが、その他の方式の探触子を採用してもよい。図 10 は管内挿入型探触子 102 として超音波探触子を用いた例を示す図である。この管内挿入型探触子 102 は搬送ケーブル 104 の先端に設けられたホルダ 130 に収容された超音波探触子を備える。超音波探触子は、音響 / 電気可逆的変換素子 132 を有し、例えば電歪素子又は磁歪素子、あるいはこれらの複合体等からなる振動子を一又は複数有する。

【0059】

音響 / 電気可逆的変換素子 132 は伝熱管 5 の内壁に向けて超音波を発信し、管壁で反射した受信エコー信号を受波すると、その超音波の強度に応じて受信エコー信号を出力する。音響 / 電気可逆的変換素子 132 から出力された受信エコー信号は、不図示の信号線を介して測定器本体 108 に送られ、押圧力の算出に用いられる。

20

【0060】

図 10 の例では、音響 / 電気可逆的変換素子 132 は、ホルダ 130 の周方向及び軸方向に沿って複数配置されている。管内挿入型探触子 102 は巻取装置 106 の動作のみで伝熱管 5 内を移動するため、管内挿入型探触子 102 の姿勢を制御することが難しいが、音響 / 電気可逆的変換素子 132 をホルダ 130 の周方向及び軸方向に沿って複数配置することで、管内挿入型探触子 102 を回転させることなく伝熱管 5 の内壁を周方向にわたって測定することが可能となる。これにより、単一の音響 / 電気可逆的変換素子 132 を周方向に回転させながら超音波探傷する場合に比べて、回転駆動装置を設置する必要がなく小型化できる。

30

【0061】

続いて図 11 は管内挿入型探触子 102 として静電容量式変位計を用いた例を示す図である。この管内挿入型探触子 102 は、搬送ケーブル 104 に接続された本体 134 と、本体 134 から搬送ケーブル 104 とは反対側に延在する一对の板バネ部材 136 と、一对の板バネ部材 136 上にそれぞれ設けられた一对の測定部 138 と、一对の測定部 138 の測定結果を電気信号として送信するための出力ケーブル 140 と、を備える。本体 134 の側面には、伝熱管 5 の内壁に面するように配置された複数の車輪 142 が設けられており、搬送ケーブル 104 を巻取装置 106 によって巻取又は送り出しすることによって、管内挿入型探触子 102 が伝熱管 5 の内部を軸方向に沿って移動可能に構成されている。

40

【0062】

一对の板バネ部材 136 の先端近傍には、伝熱管 5 の内壁に面するように設けられた他の車輪 144 がそれぞれ設けられている。管内挿入型探触子 102 が伝熱管 5 の内部を移動すると、車輪 144 が伝熱管 5 の内壁の形状（凹凸）に沿って押圧され、板バネ部材 136 が弾性的に変形する。その結果、板バネ部材 136 に設けられた測定部 138 の位置が変位するようになっている。

【0063】

一对の板バネ部材 136 上にそれぞれ設けられた測定部 138 は、金属等の導電性材料

50

からなる電極として構成されている。一对の測定部 1 3 8 は一对の板バネ部材 1 3 6 上に互いに所定距離を隔てて配置されることにより、静電容量を構成する。この静電容量は、測定部間の距離に依存して可変であるため、伝熱管 5 の内壁の形状によって測定部 1 3 8 が変位すると、静電容量もまた変化する。そのため、この態様では出力ケーブル 1 4 0 から一对の測定部 1 3 8 間に測定用電流を印加した際に、測定部 1 3 8 間の電位差を検知することにより、当該電位差に基づいて静電容量が求められる。

【 0 0 6 4 】

このように求められた静電容量は、図 6 に倣って静電容量と押圧力との関係を予め規定する特性データ 1 2 0 に基づいて押圧力に換算される。このような特性データ 1 2 0 もまた、図 7 及び図 8 に示す荷重試験と同様の思想に基づいて、予め静電容量と押圧力との関係を測定しておくことで作成することができる。

10

【 0 0 6 5 】

尚、図 1 1 では静電容量型変位計を利用した管内挿入型探触子 1 0 2 について例示しているが、これに代えて歪みゲージ式変位計を利用してもよい。この場合、一对の板バネ部材 1 3 6 上にそれぞれ設けられた測定部 1 3 8 にそれぞれ歪みゲージが用いられる。これらの歪みゲージでは、伝熱管 5 の内壁の形状によって板バネ部材 1 3 6 が変形した際に生じる歪みに対応する出力信号が出力される。そのため、出力信号と押圧力との関係を予め規定する特性データ 1 2 0 として準備しておくことで、出力信号に対応する押圧力が求められる。このような特性データもまた、図 7 及び図 8 に示す荷重試験と同様の思想に基づいて、予め出力信号と押圧力との関係を測定しておくことで作成することができる。

20

【 0 0 6 6 】

以上説明したように、上記実施形態によれば、流体中に配置された伝熱管群 5 1 を支持する振動抑制部材 1 4 によって各伝熱管 5 に付与される押付力を適切に測定可能な押付力測定方法を実現できる。

【 産業上の利用可能性 】

【 0 0 6 7 】

本開示は、流体中に配置される管群を構成する各管の隙間に挿入される振動抑制部材によって、各管が受ける押付力の測定方法に利用可能である。

【 符号の説明 】

【 0 0 6 8 】

30

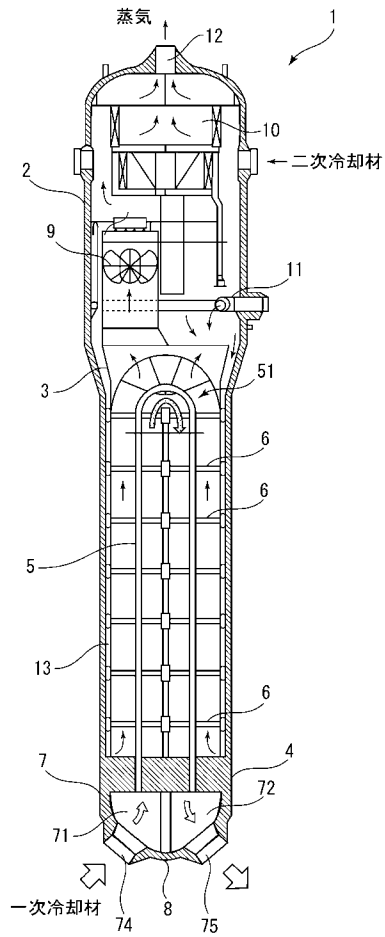
- 1 蒸気発生器
- 2 胴部
- 4 管板
- 5 伝熱管
- 5 a 円弧部
- 6 管支持板
- 1 4 振動抑制部材
- 5 1 伝熱管群
- 1 0 0 押付力測定システム
- 1 0 2 管内挿入型探触子
- 1 0 4 搬送ケーブル
- 1 0 6 巻取装置
- 1 0 8 測定器本体
- 1 1 2 入力部
- 1 1 4 記憶部
- 1 1 6 演算部
- 1 1 8 出力部
- 1 2 0 特性データ
- 1 2 2 サンプル
- 1 2 4 仕様データ

40

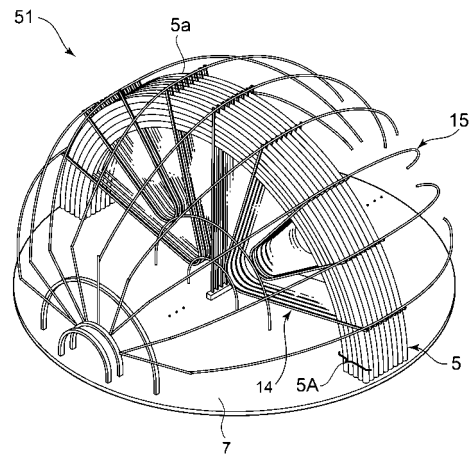
50

- 1 3 2 電気可逆の変換素子
- 1 3 4 本体
- 1 3 6 板バネ部材
- 1 3 8 測定部

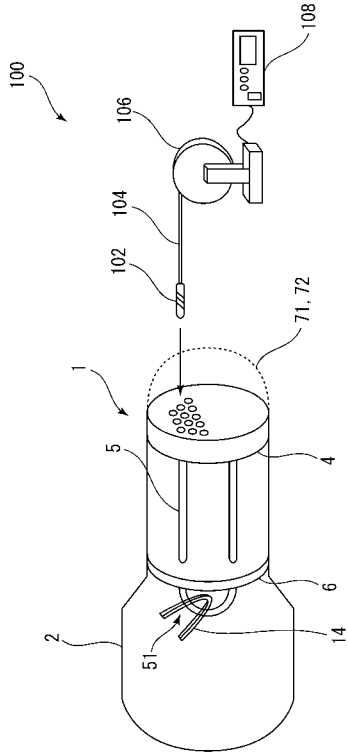
【 図 1 】



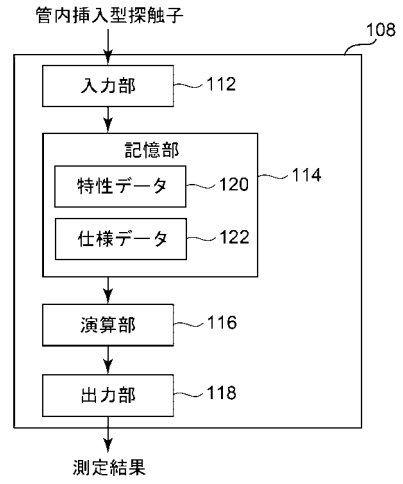
【 図 2 】



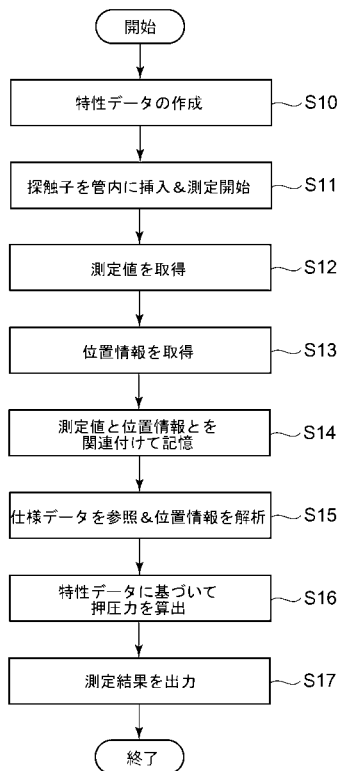
【 図 3 】



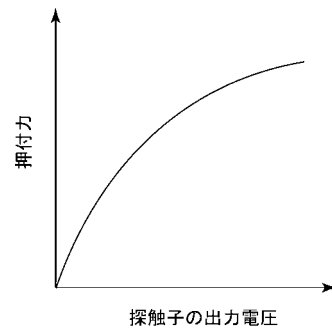
【 図 4 】



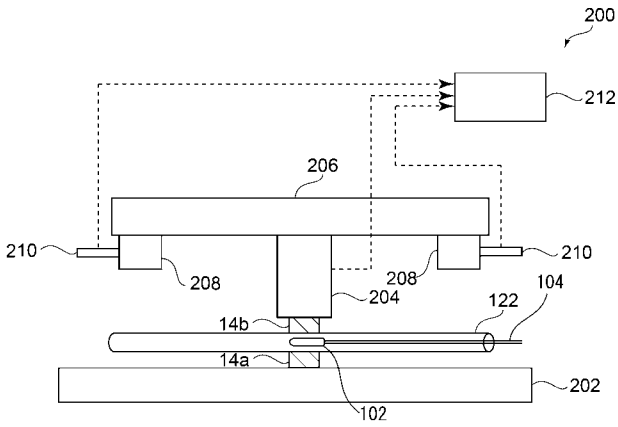
【 図 5 】



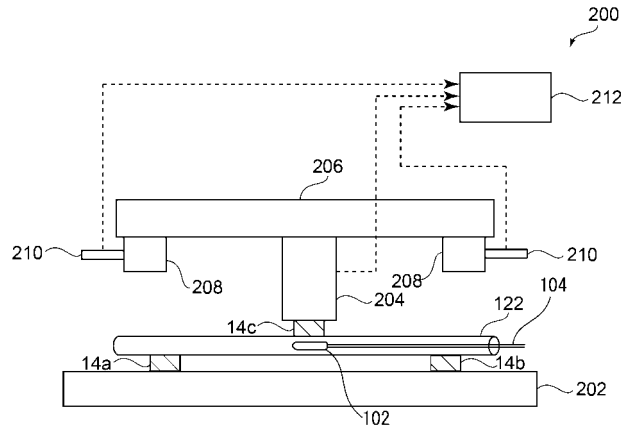
【 図 6 】



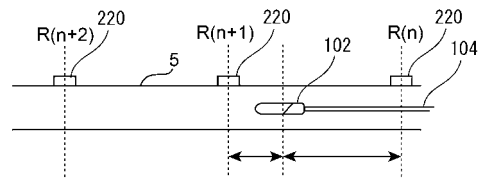
【 図 7 】



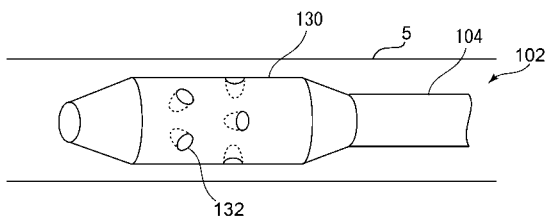
【 図 8 】



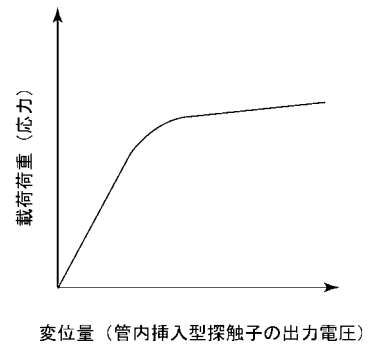
【 図 9 】



【 図 10 】



【 図 12 】



【 図 11 】

