

(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2017-190983

(P2017-190983A)

(43) 公開日 平成29年10月19日(2017. 10. 19)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
GO 1 M 99/00 (2011.01)	GO 1 M 99/00 Z	2 GO 2 4
GO 1 M 7/02 (2006.01)	GO 1 M 7/00 A	

審査請求 未請求 請求項の数 8 O L (全 16 頁)

(21) 出願番号	特願2016-79700 (P2016-79700)	(71) 出願人	504145364
(22) 出願日	平成28年4月12日 (2016. 4. 12)		国立大学法人群馬大学
		(71) 出願人	505398952
			群馬県前橋市荒牧町四丁目2番地
		(71) 出願人	000233826
			中日本高速道路株式会社
		(71) 出願人	000005234
			愛知県名古屋市中区錦二丁目18番19号
		(71) 出願人	000005234
			能美防災株式会社
		(71) 出願人	100110423
			東京都千代田区九段南4丁目7番3号
		(74) 代理人	弁理士 曾我 道治
			神奈川県川崎市川崎区田辺新田1番1号

最終頁に続く

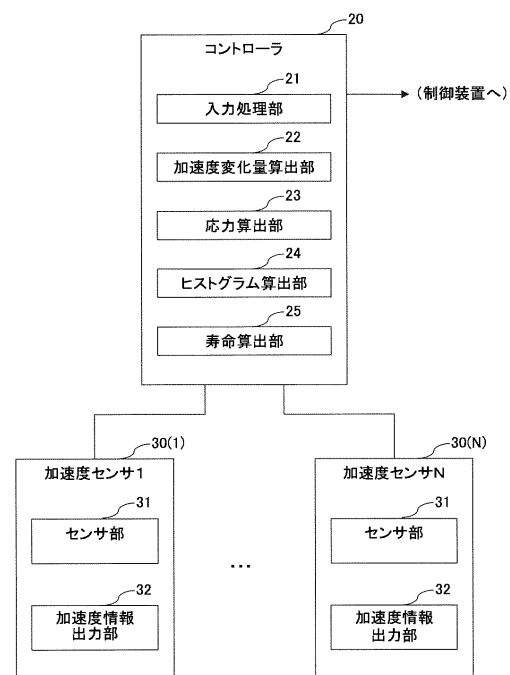
(54) 【発明の名称】 疲労損傷評価装置および疲労損傷評価方法

(57) 【要約】

【課題】加速度情報に基づく演算処理により、構造物の疲労損傷評価を定量的かつ高精度に行う。

【解決手段】コントローラ(20)は、3軸加速度センサから出力される加速度情報の取得する入力処理部(21)と、加速度情報から加速度ベクトルの時系列データを生成し、さらに、加速度ベクトルの時系列データから1次固有振動に関連する加速度変化量の時系列データを生成する加速度変化量算出部(22)と、加速度変化量の時系列データから応力変化量の時系列データを生成する応力算出部(23)と、応力変化量の時系列データから応力振幅の発生頻度ヒストグラムを生成するヒストグラム算出部(24)と、応力振幅の発生頻度ヒストグラムから蓄積疲労度を算出する疲労度算出部とを備える。

【選択図】図2



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

構造物に設置された 1 個以上の 3 軸加速度センサから出力される前記構造物の加速度情報に基づいて、前記構造物の疲労損傷状態を定量的に評価するコントローラを備えた疲労損傷評価装置であって、

前記コントローラは、

前記構造物の特定部位に設置された前記 3 軸加速度センサから出力される前記加速度情報を取得する入力処理部と、

前記加速度情報から、前記構造物に対する応力方向の加速度ベクトルの時系列データを生成し、さらに、前記加速度ベクトルの時系列データから 1 次あるいはより高次の固有振動に関連する加速度変化量の時系列データを生成する加速度変化量算出部と、

あらかじめ規定された変換ルールに基づいて、前記加速度変化量の時系列データから応力変化量の時系列データを生成する応力算出部と、

前記応力変化量の時系列データから応力振幅の発生頻度ヒストグラムを生成するヒストグラム算出部と、

応力振幅ごとに発生回数と破断繰返し数の対応関係をあらかじめ規定した応力 - 蓄積疲労テーブルを用いて、前記応力振幅の発生頻度ヒストグラムから蓄積疲労度を算出する疲労度算出部と

を備える疲労損傷評価装置。

【請求項 2】

前記コントローラは、前記蓄積疲労度の単位時間当たりの増加量から、疲労寿命に至るまでの予測時間を算出する寿命算出部をさらに備える

請求項 1 に記載の疲労損傷評価装置。

【請求項 3】

前記加速度変化量算出部は、前記構造物の面内方向および面外方向の 2 方向成分における 1 次およびより高次の固有振動数を考慮し、面外 1 次固有振動加速度変化量、面内 1 次固有振動加速度変化量、より高次の面外固有振動加速度変化量、およびより高次の面内固有振動加速度変化量に関する複数種のデータとして前記加速度変化量の時系列データを生成し、

前記応力算出部は、前記複数種のデータとして生成された前記加速度変化量の時系列データに対応して複数種の応力変化量の時系列データを生成し、前記複数種の応力変化量の時系列データの加算結果として 1 つの応力変化量の時系列データを生成して出力する

請求項 1 または 2 に記載の疲労損傷評価装置。

【請求項 4】

前記 3 軸加速度センサは、複数で構成され、

前記入力処理部は、複数の 3 軸加速度センサから取得したそれぞれの加速度情報の差分値を算出し、加速度情報として出力する

請求項 1 から 3 のいずれか 1 項に記載の疲労損傷評価装置。

【請求項 5】

前記入力処理部は、前記加速度情報を時間方向に 2 階積分することで変位情報を生成し、

前記加速度変化量算出部、前記応力算出部、前記ヒストグラム算出部、および前記疲労度算出部は、前記加速度情報の代わりに前記変位情報を用いて一連の疲労損傷評価処理を実行する

請求項 1 から 4 のいずれか 1 項に記載の疲労損傷評価装置。

【請求項 6】

前記構造物は、道路構造物あるいは道路付帯設備である

請求項 1 から 4 のいずれか 1 項に記載の疲労損傷評価装置。

【請求項 7】

構造物に設置された 1 個以上の 3 軸加速度センサから出力される前記構造物の加速度情

10

20

30

40

50

報に基づいて、前記構造物の疲労損傷状態を定量的に評価する疲労損傷評価方法であって、

前記構造物の特定部位に設置された前記 3 軸加速度センサから出力される前記加速度情報を取得する入力処理ステップと、

前記加速度情報から、前記構造物に対する応力方向の加速度ベクトルの時系列データを生成し、さらに、前記加速度ベクトルの時系列データから 1 次あるいはより高次の固有振動に関連する加速度変化量の時系列データを生成する加速度変化量算出ステップと、

あらかじめ規定された変換ルールに基づいて、前記加速度変化量の時系列データから応力変化量の時系列データを生成する応力算出ステップと、

前記応力変化量の時系列データから応力振幅の発生頻度ヒストグラムを生成するヒストグラム算出ステップと、

応力振幅ごとに発生回数と破断繰返し数の対応関係をあらかじめ規定した応力 - 蓄積疲労テーブルを用いて、前記応力振幅の発生頻度ヒストグラムから蓄積疲労度を算出する疲労度算出ステップと

を有する疲労損傷評価方法。

【請求項 8】

前記蓄積疲労度の単位時間当たりの増加量から、疲労寿命に至るまでの予測時間を算出する寿命算出ステップをさらに有する

請求項 7 に記載の疲労損傷評価方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、加速度センサを用いて、構造物の疲労度を定量的に評価する疲労損傷評価装置および疲労損傷評価方法に関する。

【背景技術】

【0002】

加速度センサを用いて構造物の疲労度を定量的に評価する従来技術が知られている（例えば、特許文献 1、2 参照）。

【0003】

特許文献 1 は、構造物の振動を検出するセンサとして、加速度センサを用いている。そして、比較回路手段は、加速度センサから得た振幅波形信号について、複数の設定レベルをそれぞれ超える毎に各設定レベルにおいて出力信号を発生する。

【0004】

さらに、カウンター手段は、比較回路手段の各設定レベルの出力端に接続され、各設定レベルにおける出力信号をカウントし、そのカウント数が所定の設定数を越えたときに、表示出力信号を発生する。そして、表示手段は、表示出力信号に基づいて、所定の表示をする。

【0005】

このような構成を備えることで、構造物の疲労を常時計測し、構造物の傾斜や倒れを未然に防止する簡便な装置を実現している。

【0006】

また、特許文献 2 は、構造物の所定の測定部位に取付けられ、疲労損傷評価を行う疲労損傷評価装置を開示している。具体的には、加速度計により、測定部位の加速度データを 1 日分計測する。そして、データ処理部により、加速度計の計測した変位データに基づいて、卓越振動数および日最大加速度範囲を検出する。

【0007】

さらに、データ処理部は、卓越振動数および日最大加速度範囲に基づいて、応力範囲の頻度分布を推定し、推定した応力範囲の頻度分布に基づいて、構造物の疲労損傷評価を行っている。この結果、支柱などの構造物の疲労損傷評価を容易に実現している。

【先行技術文献】

10

20

30

40

50

【特許文献】

【0008】

【特許文献1】特開2003-004520号公報

【特許文献2】特開2007-163384号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

しかしながら、従来技術には、以下のような課題がある。

特許文献1、2によれば、加速度センサを使用して、構造物の疲労を予測することができる。しかしながら、道路構造物あるいは道路付帯設備に関する構造物の疲労損傷評価を行うに当たっては、設置環境によらず、より高精度に疲労損傷評価を実現することが強く望まれている。

10

【0010】

本発明は、前記のような課題を解決するためになされたものであり、加速度センサから得られる加速度情報に基づいて演算処理を施すことで、構造物の疲労損傷評価を定量的かつ高精度に行うことのできる疲労損傷評価装置および疲労損傷評価方法を得ることを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0011】

本発明に係る疲労損傷評価装置は、構造物に設置された1個以上の3軸加速度センサから出力される構造物の加速度情報に基づいて、構造物の疲労損傷状態を定量的に評価するコントローラを備えた疲労損傷評価装置であって、コントローラは、構造物の特定部位に設置された3軸加速度センサから出力される加速度情報を取得する入力処理部と、加速度情報から、構造物に対する応力方向の加速度ベクトルの時系列データを生成し、さらに、加速度ベクトルの時系列データから1次あるいはより高次の固有振動に関連する加速度変化量の時系列データを生成する加速度変化量算出部と、あらかじめ規定された変換ルールに基づいて、加速度変化量の時系列データから応力変化量の時系列データを生成する応力算出部と、応力変化量の時系列データから応力振幅の発生頻度ヒストグラムを生成するヒストグラム算出部と、応力振幅ごとに発生回数と破断繰返し数の対応関係をあらかじめ規定した応力-蓄積疲労テーブルを用いて、応力振幅の発生頻度ヒストグラムから蓄積疲労度を算出する疲労度算出部とを備えるものである。

20

30

【0012】

また、本発明に係る疲労損傷評価方法は、構造物に設置された1個以上の3軸加速度センサから出力される構造物の加速度情報に基づいて、構造物の疲労損傷状態を定量的に評価する疲労損傷評価方法であって、応力が集中して蓄積疲労破壊に関連する加速度情報を適切に検出できる構造物の特定部位に設置された3軸加速度センサから出力される加速度情報を取得する入力処理ステップと、加速度情報から、構造物に対する応力方向の加速度ベクトルの時系列データを生成し、さらに、加速度ベクトルの時系列データから1次あるいはより高次の固有振動に関連する加速度変化量の時系列データを生成する加速度変化量算出ステップと、あらかじめ規定された変換ルールに基づいて、加速度変化量の時系列データから応力変化量の時系列データを生成する応力算出ステップと、応力変化量の時系列データから応力振幅の発生頻度ヒストグラムを生成するヒストグラム算出ステップと、応力振幅ごとに発生回数と破断繰返し数の対応関係をあらかじめ規定した応力-蓄積疲労テーブルを用いて、応力振幅の発生頻度ヒストグラムから蓄積疲労度を算出する疲労度算出ステップとを有するものである。

40

【発明の効果】

【0013】

本発明によれば、評価対象である構造物の1次あるいはより高次の固有振動数に着目し、加速度センサから得られた加速度情報に基づいて、応力振幅の発生頻度ヒストグラムを生成し、生成したヒストグラムから蓄積疲労度を算出できる構成を備えている。この結果

50

、加速度センサから得られる加速度情報に基づいて演算処理を施すことで、構造物の疲労損傷評価を定量的かつ高精度に行うことのできる疲労損傷評価装置および疲労損傷評価方法を得ることができる。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 1 4 】

【図 1】本発明の実施の形態 1 における疲労損傷評価装置の評価対象の構造物の一例である情報板の設置状態を示す全体構成図である。

【図 2】本発明の実施の形態 1 における疲労損傷評価装置の構成図である。

【図 3】本発明の実施の形態 1 におけるコントローラにより実行される疲労損傷評価処理の一連の流れを示すフローチャートである。

【図 4】本発明の実施の形態 1 におけるコントローラにより実行される軸変換処理の説明図である。

【図 5】本発明の実施の形態 1 における F I R フィルタの具体的な回路構成を示した図である。

【図 6】本発明の実施の形態 1 における F I R フィルタを用いて構成された B P F による周波数特性を示した図である。

【図 7】本発明の実施の形態 1 におけるコントローラにより算出される加速度ベクトルに関する説明図である。

【図 8】本発明の実施の形態 1 における加速度変化量から応力振幅への変換処理を行うための回路構成図である。

【図 9】本発明の実施の形態 1 における加速度変化量から応力振幅への変換処理を行うために、変化量と応力の対応関係を示した変換テーブルに相当する図である。

【図 10】本発明の実施の形態 1 におけるコントローラにより実行される応力振幅の算出処理に関する説明図である。

【図 11】本発明の実施の形態 1 における応力振幅 σ と繰り返し数 $N S$ の関係を示す図である。

【図 12】本発明の実施の形態 1 におけるコントローラにより実行される疲労寿命予測の算出処理に関する説明図である。

【発明を実施するための形態】

【 0 0 1 5 】

以下、本発明の疲労損傷評価装置および疲労損傷評価方法の好適な実施の形態につき、図面を用いて説明する。

なお、本発明において疲労損傷評価の対象となる構造物としては、橋などの道路構造物、あるいはジェットファン、情報板、表示板などの道路付帯設備が含まれ、以下の説明では、情報板を代表例として説明する。

【 0 0 1 6 】

実施の形態 1 .

図 1 は、本発明の実施の形態 1 における疲労損傷評価装置の評価対象の構造物の一例である情報板の設置状態を示す全体構成図である。情報板 10 は、支柱 11 に取り付けられており、支柱 11 の根元のリブに応力が集中し、支柱 11 への繰り返し応力が発生することで、リブが疲労し、やがて破壊に至る。

【 0 0 1 7 】

図 1 において、応力の集中するリブは、支柱 11 を地面へ設置する基部 12 と、情報板 10 を支柱 11 へ設置する横梁部 13 に存在する。また、支柱 11 が、地面ではなく橋梁部 14 に設置される場合は、橋梁からの張り出し部 15 の根元にも応力の集中が発生する。

【 0 0 1 8 】

情報板 10 が地面に設置される場合には、3つの加速度センサ 1 ~ 3 が、図 1 中に示したそれぞれの位置に取り付けられる。また、情報板 10 が橋梁部 14 に設置される場合には、4つの加速度センサ 1 ~ 4 が、図 1 中に示したそれぞれの位置に取り付けられる。な

10

20

30

40

50

お、図 1 中、加速度センサ 1 は、情報板 10 内の天井面に取り付けられているが、これに限らず、例えば、情報板 10 の底面に取り付けられてもよい。

【0019】

情報板 10 の応力集中部の蓄積疲労に強く関係するのは、情報板 10 の固有振動数付近の揺れである。特に、情報板 10 の疲労損傷を評価する場合には、1 次、2 次など低次の固有振動数が大きく関わっている。

【0020】

情報板 10 の固有振動数は、面内方向（情報板がお辞儀をする方向に相当）と面外方向（情報板が旗振りをする方向に相当）の 2 つの成分が個別に存在する。そこで、本実施の形態 1 では、算出された加速度情報について、1 次および 2 次の固有振動数の面内、面外の合計 4 つの周波数範囲を考慮し、情報板 10 の疲労損傷評価を行うこととする。

10

【0021】

図 2 は、本発明の実施の形態 1 における疲労損傷評価装置の構成図である。本実施の形態 1 における疲労損傷評価装置は、コントローラ 20、および N 個（N は、2 以上の整数）の加速度センサ 30（1）～30（N）を備えて構成されている。

【0022】

なお、先の図 1 に示した情報板 10 を評価対象とした本実施の形態 1 における疲労損傷評価装置では、3 個または 4 個の加速度センサ 30 を設けることとなる。また、N 個のセンサのそれぞれの機能は、全て共通である。そこで、以下の説明では、それぞれのセンサを区別する必要がない場合には、（1）～（N）の添字を用いずに、単に加速度センサ 30 と記載する。

20

【0023】

N 個の加速度センサ 30 のそれぞれは、センサ部 31 と、加速度情報出力部 32 を有しており、情報板 10 の疲労損傷評価を行う場合には、先の図 1 に示したそれぞれの位置に設置されることとなる。本発明の疲労損傷評価装置によって、長期にわたって情報板 10 の応力集中部の蓄積疲労の監視が行われることとなる。

【0024】

ここで、センサ部 31 は、例えば、MEMS 構造を持った 3 軸加速度センサである。

【0025】

また、加速度情報出力部 32 は、センサの設置箇所における 3 軸の加速度に関する信号を、所定のサンプリングレート（例えば、100 Hz のサンプリングレート）でデジタル信号に変換し、加速度情報としてコントローラ 20 へ送信する。

30

【0026】

また、コントローラ 20 は、N 個のセンサ 30 のそれぞれから取得した加速度情報に基づいて、情報板 10 の応力集中部の蓄積疲労を定量的に評価する。そして、このような定量的評価を実行するために、コントローラ 20 は、入力処理部 21、加速度変化量算出部 22、応力算出部 23、ヒストグラム算出部 24、および寿命算出部 25 を備えて構成されている。

【0027】

次に、図 3～図 11 を用いて、本実施の形態 1 における疲労損傷評価処理について、具体的に説明する。図 3 は、本発明の実施の形態 1 におけるコントローラ 20 により実行される疲労損傷評価処理の一連の流れを示すフローチャートである。

40

【0028】

まず始めに、ステップ S301 において、コントローラ 20 は、それぞれの加速度センサ 30 から加速度情報を入力する。次に、ステップ S302 において、コントローラ 20 は、それぞれの加速度センサ 30 から読み取った 3 軸の加速度情報に対して、軸変換を施す。

【0029】

加速度センサ 30 は、外力が印加されていない状態では、常に重力加速度のベクトルを示す。そこで、この性質を利用して、加速度センサ 30 の設置誤差などの姿勢に関係なく

50

、正常時の重力加速度ベクトルが、Z軸上を示すように軸補正を行うこととする。すなわち、コントローラ20は、初期正常状態における加速度ベクトルを基準として、軸補正角を算出する。

【0030】

図4は、本発明の実施の形態1におけるコントローラ20により実行される軸変換処理の説明図である。軸補正を行うに当たり、コントローラ20は、初期正常状態における加速度センサ30が示すベクトルがZ軸と重なるように、以下の2段階の手順にてアフィン変換を行う。

【0031】

(手順1) X軸の出力値が0になるように、Z軸回転による補正を行う。

10

コントローラ20は、下式に基づくアフィン変換を実施することで、図4(a)から図4(b)の状態となるように、補正角 α による軸補正を行う。

【0032】

【数1】

$$\alpha = \tan^{-1} \frac{X_{ini}}{Y_{ini}}$$

$$\begin{pmatrix} X' & Y' & Z' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \alpha & \sin \alpha & 0 \\ -\sin \alpha & \cos \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X_{ini} \\ Y_{ini} \\ Z_{ini} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & Y' & Z' \end{pmatrix}$$

20

【0033】

(手順2) Y軸の出力値が0になるように、X軸回転による補正を行う。

次に、コントローラ20は、下式に基づくアフィン変換を実施することで、図4(b)から図4(c)の状態となるように、補正角 β による軸補正を行う。

【0034】

【数2】

$$\beta = \tan^{-1} \frac{Y'}{Z'}$$

$$\begin{pmatrix} X'' & Y'' & Z'' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \beta & -\sin \beta \\ 0 & \sin \beta & \cos \beta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X' \\ Y' \\ Z' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & Z'' \end{pmatrix}$$

30

【0035】

このように、コントローラ20は、補正角 α および補正角 β を用いて、加速度センサ30の出力値に対する軸補正を行うことができる。なお、取り付けられた加速度センサ30のZ軸が傾いていない場合には、加速度センサの座標軸と、コントローラ20による補正後の座標軸は、一致する。

【0036】

40

次に、ステップS303において、コントローラ20は、加速度センサ30間の加速度を算出する。構造物の応力集中部に関連する加速度情報を得るには、加速度センサ30単体では困難な場合も多い。

【0037】

例えば、橋梁などの揺れる構造物に取り付けられた情報板10に印加される加速度情報は、橋梁部14そのものの加速度情報を含んでおり、余分な加速度をキャンセルする必要がある。

【0038】

本実施の形態1では、情報板10の応力集中部に関連する加速度情報を、下記のように、2つの加速度センサ間の加速度の差分として算出することで、余分な加速度をキャンセ

50

ルすることができる。

(1) 支柱基部 1 2 の応力に関連する加速度を算出するには、センサ 1 - センサ 2 間の加速度情報の差分を用いる。

(2) 横梁部 1 3 の根元の応力に関連する加速度を算出するには、センサ 3 - センサ 1 間の加速度情報の差分を用いる。

(3) 橋梁部張り出し部 1 5 の根元の応力に関連する加速度を算出するには、センサ 2 - センサ 4 間の加速度情報の差分を用いる。

【 0 0 3 9 】

上述したように、情報板 1 0 の応力集中部の蓄積疲労に強く関係するのは、情報板 1 0 の固有振動数付近の揺れであり、特に、情報板 1 0 では、1 次、2 次など低次の固有振動数が大きく関わっている。

【 0 0 4 0 】

さらに、情報板 1 0 の固有振動数は、面内方向と面外方向の 2 つの成分が存在する。そこで、コントローラ 2 0 は、ステップ S 3 0 3 における加速度情報については、1 次および 2 次の固有振動数の面内、面外の合計 4 つの周波数範囲を考慮する。

【 0 0 4 1 】

さらに、ステップ S 3 0 4 において、コントローラ 2 0 は、バンドパスフィルタ処理を施すことで、各振動モードの共振成分を抽出する。

【 0 0 4 2 】

なお、本実施の形態 1 においては、Z 軸方向の影響は少ないため、X Y 面についてのみ、データをフィルタリング処理することとして、以下の説明を続ける。

【 0 0 4 3 】

コントローラ 2 0 は、各軸 (X , Y) に対し、4 種類のバンドパスフィルタ (B P F) によるフィルタリングを実施する。本実施の形態 1 で使用する B P F は、F I R (f i n i t e i m p u l s e r e s p o n s e : 有限インパルス応答) フィルタで構成される。

【 0 0 4 4 】

図 5 は、本発明の実施の形態 1 における F I R フィルタの具体的な回路構成を示した図である。また、図 6 は、本発明の実施の形態 1 における F I R フィルタを用いて構成された B P F による周波数特性を示した図である。

【 0 0 4 5 】

B P F は、計測対象物の固有振動数を計測した後に、設計される。より具体的には、図 5 の回路構成に対応して、下式を用いることにより、B P F を設計することができる。

【 0 0 4 6 】

【 数 3 】

$$\text{変換式: } O_n = \sum_{m=0}^{m=2047} a_m \cdot I_{n-m}$$

係数 : $a_0 \sim a_{2047}$

【 0 0 4 7 】

次に、ステップ S 3 0 5 において、コントローラ 2 0 は、応力方向への加速度ベクトルの算出処理、および加速度変化量の算出処理を行う。図 7 は、本発明の実施の形態 1 におけるコントローラ 2 0 により算出される加速度ベクトルに関する説明図である。

【 0 0 4 8 】

ある方向に歪みが発生している場合には、その周辺にも主方向からの角度に応じた歪みが発生している。円柱構造の場合には、主方向に対し、90°方向で歪みは 0 となり、90°以上は、歪みの符号が反転する。

【 0 0 4 9 】

支柱 1 1 が F 型支柱の場合、支柱基部 1 2 のリブとの溶接部への応力集中が想定される。そこで、コントローラ 2 0 は、加速度センサ 3 0 にて計測された加速度ベクトルから、

10

20

30

40

50

固有振動ごとに任意の方向（リブ方向）への加速度データを算出する。

【 0 0 5 0 】

具体的には、コントローラ 20 は、4 つの固有振動を $m = 0 \sim 3$ とした場合に、固有振動 m ごとに、加速度ベクトルの大きさ $P_s(m)$ と向き $P_f(m)$ を、下式に従って算出する。

【 0 0 5 1 】

【数 4】

$$P_s(m) = \sqrt{X S(m)^2 + Y S(m)^2}$$

$$P_f(m) = \tan^{-1} \frac{Y S(m)}{X S(m)}$$

$$m = 0 \sim 3$$

10

【 0 0 5 2 】

さらに、コントローラ 20 は、加速度ベクトルの大きさ $P_s(m)$ と向き $P_f(m)$ の時系列データの遷移に基づいて、対象となるリブ方向への加速度変化量を算出する。具体的には、コントローラ 20 は、リブ方向 n への固有振動 m における加速度変化量 $P_s_Ang(m, n)$ を、下式により算出する。なお、下式における $Ang_D(n)$ は、リブ方向 n の角度を意味している。

【 0 0 5 3 】

【数 5】

$$P_s_Ang(m, n) = P_s(m) \times \cos(|P_f(m) - Ang_D(n)|)$$

20

【 0 0 5 4 】

次に、ステップ S 306 において、コントローラ 20 は、加速度変化量から応力振幅への変換処理を行う。図 8 は、本発明の実施の形態 1 における加速度変化量から応力振幅への変換処理を行うための回路構成図である。コントローラ 20 は、蓄積疲労評価方向別に、各固有振動における加速度変化量のデータを変換、加算し、最終的に、総合応力変化データへ変換し、時系列データとして出力する。

【 0 0 5 5 】

図 8 に示すように、コントローラ 20 は、加速度変化量から応力振幅への変換処理を行うための構成として、加速度 - 応力変換器 201 および加算器 202 を備えている。加速度 - 応力変換器 201 は、あらかじめ規定された変換ルールである、下式に示す 1 次式により、加速度 - 応力変換を実施する。

【 0 0 5 6 】

【数 6】

$$\sigma_Ang = \text{変換係数} \times \text{加速度変化量 } P_s_Ang + \text{変換定数}$$

【 0 0 5 7 】

すなわち、加速度 - 応力変換器 201 は、4 つの加速度変化量である、面外 1 次固有振動加速度変化量 211、面内 1 次固有振動加速度変化量 212、面外 2 次固有振動加速度変化量 213、および面内 2 次固有振動加速度変化量 214 のそれぞれに対して、上式を適用し、4 つの応力変化量である、面外 1 次固有振動応力変化量 221、面内 1 次固有振動応力変化量 222、面外 2 次固有振動応力変化量 223、および面内 2 次固有振動応力変化量 224 への変換処理を行う。

40

【 0 0 5 8 】

なお、加速度 - 応力変換器 201 は、上式の変換ルールを用いる代わりに、変換テーブルを用いて、加速度変化量から応力振幅への変換処理を実行することもできる。図 9 は、本発明の実施の形態 1 における加速度変化量から応力振幅への変換処理を行うために、変化量と応力の対応関係を示した変換テーブルに相当する図である。

50

【 0 0 5 9 】

加速度 - 応力変換器 2 0 1 は、図 9 に示したような、応力振幅と加速度振幅の変換テーブルを、面内面外各方向の固有振動数ごとに持つことで、図 8 に示した変換処理を実行することができる。なお、このような変換テーブルとしては、ルックアップテーブルを用いることも可能である。

【 0 0 6 0 】

次に、加算器 2 0 2 は、加速度 - 応力変換器 2 0 1 による変換後の各応力変化量を、リブ方向ごとに加算し、総合応力変化データ 2 3 1 を生成する。より具体的には、加算器 2 0 2 は、方向 n における総合応力変化量データ $S t _ A n g (n)$ を、下式により算出する。

10

【 0 0 6 1 】

【 数 7 】

$$S t _ A g l (n) = \sum_{m=0}^3 P s _ A g l (m , n)$$

【 0 0 6 2 】

次に、ステップ S 3 0 7 において、コントローラ 2 0 は、応力振幅の算出処理を行う。さらに、ステップ S 3 0 8 において、コントローラ 2 0 は、応力振幅の発生頻度ヒストグラムの算出処理を行う。具体的には、コントローラ 2 0 は、方向別に、サイクルカウント法（ここではレインフロー法）を用いて、一定期間内の応力変化データにおける振幅と、その発生回数を算出し、応力振幅の発生頻度ヒストグラムを作成する。

20

【 0 0 6 3 】

図 1 0 は、本発明の実施の形態 1 におけるコントローラ 2 0 により実行される応力振幅の算出処理に関する説明図である。コントローラ 2 0 は、図 1 0 に示すレインフロー法によって得られた応力振幅とその発生頻度を、応力振幅 - 発生頻度ヒストグラムとして蓄積する。

【 0 0 6 4 】

なお、計測方法としては、常時計測と間欠計測の何れを採用してもよい。

ただし、間欠計測を実施した場合、間欠計測により計測されていない時間の応力振幅を加味した発生頻度を応力振幅 - 発生頻度ヒストグラムへ蓄積する必要がある。

【 0 0 6 5 】

30

上述したステップ S 3 0 1 ~ ステップ S 3 0 8 の一連処理が終了すると、ステップ S 3 0 9 において、コントローラ 2 0 は、蓄積疲労評価を行うための十分なデータを取得するための時間としてあらかじめ設定された一定時間が経過したか否かを判定する。そして、コントローラ 2 0 は、一定時間が経過していない場合には、ステップ S 3 0 1 以降の処理に戻り、一定時間が経過している場合には、ステップ S 3 1 0 以降の処理に進む。

【 0 0 6 6 】

ステップ S 3 1 0 に進んだ場合には、コントローラ 2 0 は、ヒストグラムとして求めた各リブの応力振幅頻度データから、それぞれの蓄積疲労度 D を算出する。図 1 1 は、本発明の実施の形態 1 における応力振幅 σ と繰り返し数 $N S$ の関係をまとめた応力 - 蓄積疲労テーブルを示す図である。コントローラ 2 0 は、図 1 1 の関係、および下式に基づいて

40

【 0 0 6 7 】

【 数 8 】

$$D = \frac{n_1}{NS_1} + \frac{n_2}{NS_2} + \dots + \frac{n_i}{NS_i} = \sum \frac{n_i}{NS_i}$$

【 0 0 6 8 】

なお、上式における D 、 n_i 、 NS_i は、それぞれ以下の内容を意味している。

D : 蓄積疲労度

n_i : 応力振幅 σ_i の発生回数

50

NS_i : 応力振幅 σ_i における破断繰返し数 (疲労寿命)

【 0 0 6 9 】

そして、コントローラ 20 は、算出した各リブの蓄積疲労度 D のうち、1 つでも 1 を超えた場合には、疲労破壊の可能性があると判断する。

【 0 0 7 0 】

次に、ステップ S 3 1 1 において、コントローラ 20 は、疲労寿命予測の算出処理を行う。具体的には、コントローラ 20 は、1 日当たりの蓄積疲労度増加量の平均値から、リブごとに、疲労寿命に至るまでの予測日数を算出する。なお、以下では、1 日当たりの蓄積疲労度増加量の平均値に基づき疲労寿命に至るまでの予測日数を算出するが、本実施の形態は、これに限らず、単位時間当たり (例えば、三日毎、週毎、月毎等) の増加量に基づき疲労寿命に至るまでの予測時間 (時間に限らず、当然予測日数や予測月数でもよい) を算出してもよい。

【 0 0 7 1 】

図 1 2 は、本発明の実施の形態 1 におけるコントローラ 20 により実行される疲労寿命予測の算出処理に関する説明図である。まず、コントローラ 20 は、1 日当たりの蓄積疲労度増加量の平均値 dD を下式を用いて算出する。

【 0 0 7 2 】

【 数 9 】

$$dD = \frac{D}{t}$$

【 0 0 7 3 】

なお、上式における dD 、 D 、 t は、それぞれ以下の内容を意味している。

dD : 1 日当たりの蓄積疲労度増加量の平均値

D : 最終評価時の計測開始からの累積 D 値であり、図 1 2 中の D_2 に相当

t : 最終評価日 t_e - 計測開始日 t_0 であり、図 1 2 中の $t_e - t_0$ に相当

【 0 0 7 4 】

さらに、コントローラ 20 は、各リブの方向における疲労寿命 $Life$ 、および最終評価日 t_e からの予寿命 $RLife$ を、下式により算出する。

【 0 0 7 5 】

【 数 10 】

$$Life = 1/dD$$

$$RLife = Life - (t_e - t_{in})$$

【 0 0 7 6 】

なお、上式における t_{in} は、下の内容を意味している。

t_{in} : 供用開始日

【 0 0 7 7 】

そして、コントローラ 20 は、全リブの $RLife$ の最小値を、残り疲労寿命日数として算出する。

【 0 0 7 8 】

次に、ステップ S 3 1 2 において、コントローラ 20 は、現時点が点検時期であるか否かを判定する。そして、コントローラ 20 は、点検時期でない場合には、ステップ S 3 0 1 以降の処理に戻る。

【 0 0 7 9 】

一方、コントローラ 20 は、点検時期である場合には、ステップ S 3 1 3 の処理に進み、予測した疲労寿命に基づいて、点検・交換時期の通知を実施した後、ステップ S 3 0 1 以降の処理に戻る。

【 0 0 8 0 】

10

20

30

40

50

なお、図 2 におけるコントローラ 20 内の各構成要素と、図 3 における各ステップとの対応関係をまとめると、以下のようになる。

- ・ステップ S 301 の処理は、入力処理部 21 により実行される。
- ・ステップ S 302 ~ 305 の処理は、加速度変化量算出部 22 により実行される。
- ・ステップ S 306、S 307 の処理は、応力算出部 23 により実行される。
- ・ステップ S 308 の処理は、ヒストグラム算出部 24 により実行される。
- ・ステップ S 309 ~ S 313 の処理は、寿命算出部 25 により実行される。

【0081】

また、上述したような、図 3 に基づく一連処理は、代表例であり、疲労損傷評価処理を実行するに当たっては、以下のような(1)~(6)の変更、修正を考慮することができる。

(1) 図 3 の説明では、加速度—応力変換処理の後に応力振幅の計算を行ったが、加速度振幅を計算し、加速度振幅のヒストグラムを先に取得し、後に加速度—応力への変換処理を行って応力振幅を求めてもよい。

【0082】

(2) 簡易的には、加速度振幅に比例定数を掛けたものを応力相当として直接計算することで、加速度—応力変換工程を省略してもよい。

(3) バンドパスフィルタ処理は、必ずしも必要としない。また、図 3 の説明では、4 つの固有振動数に対応させてバンドパスフィルタを用意したが、必ずしも全て備える必要はない。

【0083】

(4) 応力振幅の計算には、レインフロー法を用いたが、必ずしもレインフロー法を用いる必要はなく、異なるアルゴリズムを用いたサイクルカウント法を採用しても構わない。

(5) 軸変換については、必要がなければ省略してもよい。

【0084】

(6) 図 3 の説明では、加速度センサの加速度情報を用いて、疲労損傷評価を実行したが、加速度情報を時間方向に 2 階積分して変位情報を算出し、加速度情報の代わりに変位情報を用いて疲労寿命を算出することも可能である。

【0085】

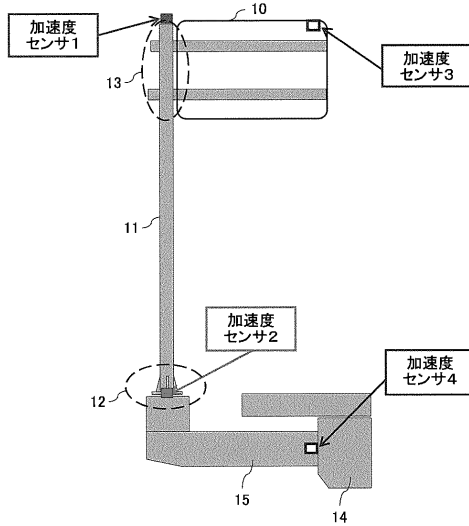
以上のように、実施の形態 1 によれば、評価対象である構造物の 1 次固有振動数に着目し、加速度センサから得られた加速度情報に基づいて、応力振幅の発生頻度ヒストグラムを生成し、生成したヒストグラムから蓄積疲労度を算出できる構成を備えている。この結果、構造物の疲労損傷評価を定量的かつ高精度に行うことができる。

【符号の説明】

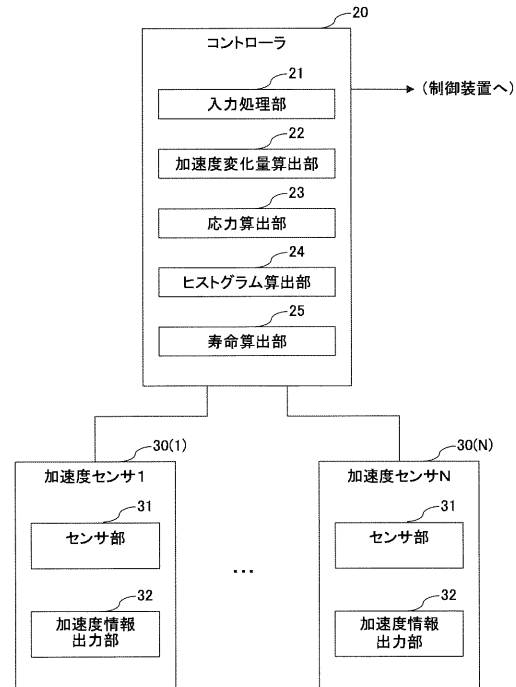
【0086】

10 情報板(構造物)、11 支柱、12 基部、13 横梁部、14 橋梁部、15 張り出し部、20 コントローラ、21 入力処理部、22 加速度変化量算出部、23 応力算出部、24 ヒストグラム算出部、25 寿命算出部、30 加速度センサ、31 センサ部、32 加速度情報出力部、201 加速度—応力変換器、202 加算器。

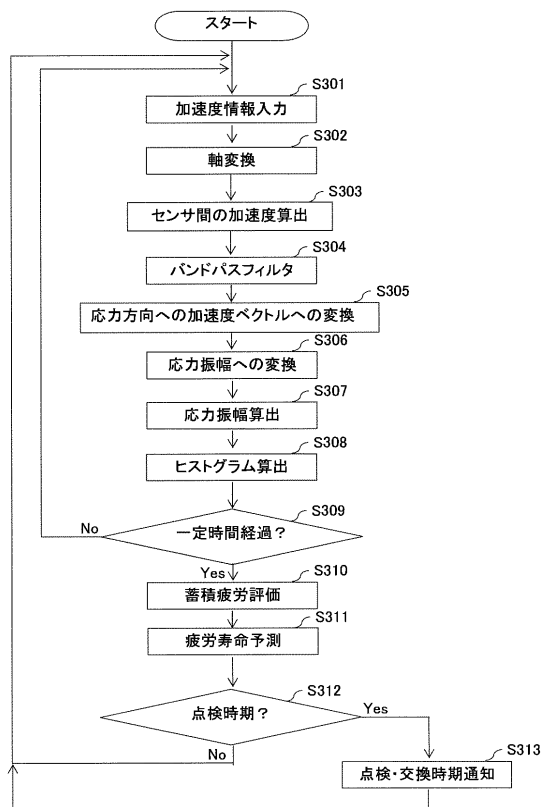
【図 1】



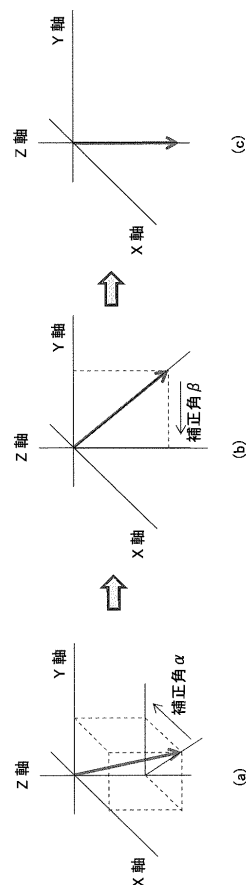
【図 2】



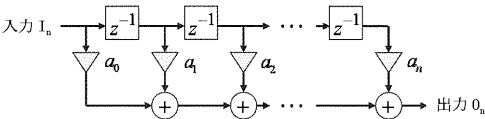
【図 3】



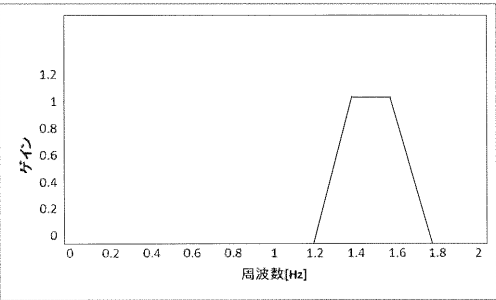
【図 4】



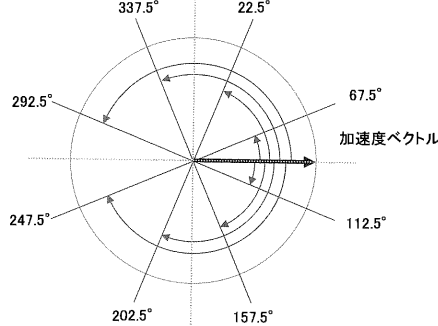
【 図 5 】



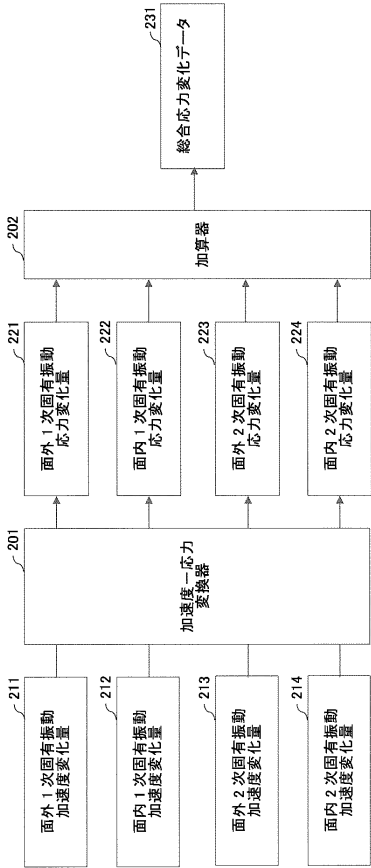
【 図 6 】



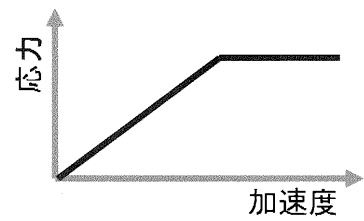
【 図 7 】



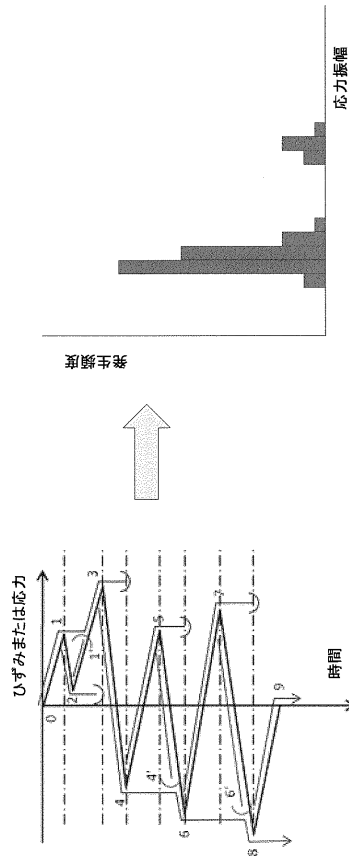
【 図 8 】



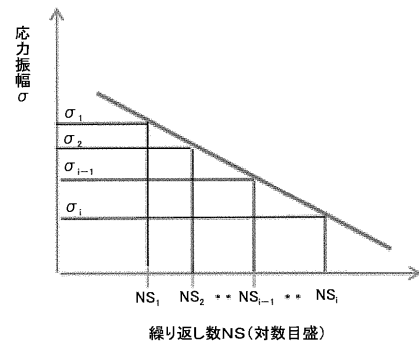
【 図 9 】



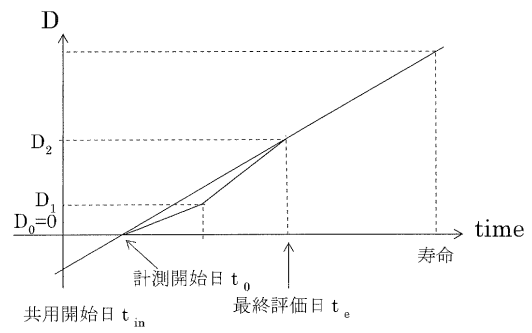
【図 10】



【図 11】



【図 12】



フロンツページの続き

- (74)代理人 100111648
弁理士 梶並 順
- (74)代理人 100147566
弁理士 上田 俊一
- (74)代理人 100161171
弁理士 吉田 潤一郎
- (74)代理人 100117776
弁理士 武井 義一
- (74)代理人 100188329
弁理士 田村 義行
- (74)代理人 100188514
弁理士 松岡 隆裕
- (74)代理人 100090011
弁理士 茂泉 修司
- (74)代理人 100194939
弁理士 別所 公博
- (72)発明者 岩崎 篤
群馬県前橋市荒牧町四丁目2番地 国立大学法人群馬大学内
- (72)発明者 山本 浩司
愛知県名古屋市中区錦二丁目18番19号 中日本高速道路株式会社内
- (72)発明者 山岸 貴俊
東京都千代田区九段南4丁目7番3号 能美防災株式会社内
- (72)発明者 中野 主久
東京都千代田区九段南4丁目7番3号 能美防災株式会社内
- (72)発明者 北川 慎治
神奈川県川崎市川崎区田辺新田1番1号 富士電機株式会社内
- (72)発明者 篠田 正紀
神奈川県川崎市川崎区田辺新田1番1号 富士電機株式会社内
- (72)発明者 中村 貴之
神奈川県川崎市川崎区田辺新田1番1号 富士電機株式会社内
- Fターム(参考) 2G024 AD34 BA12 BA21 BA22 BA27 CA13 CA26 CA27 DA12 FA04
FA06