

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6809691号
(P6809691)

(45) 発行日 令和3年1月6日(2021.1.6)

(24) 登録日 令和2年12月14日(2020.12.14)

(51) Int. Cl. F I
GO 1 B 21/32 (2006.01) GO 1 B 21/32
EO 1 D 22/00 (2006.01) EO 1 D 22/00 A

請求項の数 11 (全 21 頁)

<p>(21) 出願番号 特願2016-146016 (P2016-146016) (22) 出願日 平成28年7月26日 (2016.7.26) (65) 公開番号 特開2018-17533 (P2018-17533A) (43) 公開日 平成30年2月1日 (2018.2.1) 審査請求日 令和1年7月1日 (2019.7.1)</p> <p>特許法第30条第2項適用 平成28年2月20日に関屋英彦、横関耕一、木村健太郎、小西拓洋、三木千壽が、土木学会論文集、第72巻、第1号、61頁~74頁にて公表</p>	<p>(73) 特許権者 592254526 学校法人五島育英会 東京都渋谷区道玄坂1丁目10番7号 (74) 代理人 110000198 特許業務法人湘洋内外特許事務所 (72) 発明者 関屋 英彦 東京都世田谷区等々力八丁目15番1号 東京都市大学総合研究所内 (72) 発明者 三木 千壽 東京都世田谷区玉堤一丁目28番1号 東京都市大学内</p> <p>審査官 園田 正久</p>
--	---

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 計測装置、計測方法、および計測システム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

移動体が移動する構造物に設置されたセンサによって測定された角速度から、前記構造物の自由振動周波数成分の角速度を抽出し、抽出した角速度を積分して算出した角度から、角度の境界条件を特定する境界条件特定部と、

前記センサによって測定された角速度を積分して、角度を算出する積分部と、

前記積分部が算出した角度を、前記境界条件特定部が特定した角度の境界条件を満たすように補正する補正部と、

を有し、

前記境界条件特定部は、抽出した角速度を積分して算出した角度の、前記構造物に外力が作用したときの第1の時刻における角度と、前記構造物に作用した外力が解除されたときの第2の時刻における角度とを境界条件とする、

ことを特徴とする計測装置。

【請求項2】

請求項1に記載の計測装置であって、

前記センサによって測定された加速度から、前記構造物の自由振動周波数成分の加速度を抽出し、抽出した加速度を積分して算出した速度と、その速度を積分して算出した変位とから、速度の境界条件と変位の境界条件とを特定する速度変位境界条件特定部と、

前記センサによって測定された加速度を積分して、速度と変位とを算出する速度変位積分部と、

前記速度変位積分部が算出した速度を、前記速度変位境界条件特定部が特定した速度の境界条件を満たすように補正し、前記速度変位積分部が算出した変位を、前記速度変位境界条件特定部が特定した変位の境界条件を満たすように補正する速度変位補正部と、
をさらに有することを特徴とする計測装置。

【請求項 3】

請求項 2 に記載の計測装置であって、

前記速度変位境界条件特定部は、抽出した加速度を積分して算出した速度と、その速度を積分して算出した変位との、前記構造物に外力が作用したときの第 1 の時刻における速度および変位と、前記構造物に作用した外力が解除されたときの第 2 の時刻における速度および変位とを境界条件とする、

ことを特徴とする計測装置。

【請求項 4】

請求項 2 または 3 に記載の計測装置であって、

前記センサは、3 軸方向の角速度と 3 軸方向の加速度とを検出する 6 軸の慣性センサである、

ことを特徴とする計測装置。

【請求項 5】

請求項 2 ~ 4 のいずれか一項に記載の計測装置であって、

前記速度変位補正部によって補正された変位から、前記構造物の異常を検出する異常検出部、

をさらに有することを特徴とする計測装置。

【請求項 6】

請求項 1 ~ 5 のいずれか一項に記載の計測装置であって、

前記補正部によって補正された角度から、前記構造物の異常を検出する異常検出部、

をさらに有することを特徴とする計測装置。

【請求項 7】

請求項 2 ~ 4 のいずれか一項に記載の計測装置であって、

前記速度変位積分部は、前記構造物に作用した外力の大きさに応じて、変位の算出を止める、

ことを特徴とする計測装置。

【請求項 8】

請求項 7 に記載の計測装置であって、

前記速度変位補正部は、前記構造物に作用した外力の大きさに応じて、第 2 の時刻以降の速度をゼロに補正する、

ことを特徴とする計測装置。

【請求項 9】

請求項 1 ~ 8 のいずれか一項に記載の計測装置であって、

前記積分部は、前記構造物に作用した外力の大きさに応じて、角度の算出を止める、

ことを特徴とする計測装置。

【請求項 10】

移動体が移動する構造物に設置されたセンサによって測定された角速度から、前記構造物の自由振動周波数成分の角速度を抽出し、抽出した角速度を積分して算出した角度から、角度の境界条件を特定する境界条件特定ステップと、

前記センサによって測定された角速度を積分して、角度を算出する積分ステップと、

前記積分ステップにて算出された角度を、前記境界条件特定ステップにて特定された角度の境界条件を満たすように補正する補正ステップと、

を有し、

前記境界条件特定ステップは、抽出した角速度を積分して算出した角度の、前記構造物に外力が作用したときの第 1 の時刻における角度と、前記構造物に作用した外力が解除されたときの第 2 の時刻における角度とを境界条件とする、

10

20

30

40

50

ことを特徴とする計測方法。

【請求項 1 1】

移動体が移動する構造物に設置されるセンサと、

前記センサによって測定された角速度から、前記構造物の自由振動周波数成分の角速度を抽出し、抽出した角速度を積分して算出した角度から、角度の境界条件を特定する境界条件特定部と、前記センサによって測定された角速度を積分して、角度を算出する積分部と、前記積分部が算出した角度を、前記境界条件特定部が特定した角度の境界条件を満たすように補正する補正部と、を有する計測装置と、

を有し、

前記境界条件特定部は、抽出した角速度を積分して算出した角度の、前記構造物に外力が作用したときの第 1 の時刻における角度と、前記構造物に作用した外力が解除されたときの第 2 の時刻における角度とを境界条件とする、

ことを特徴とする計測システム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、計測装置、計測方法、および計測システムに関するものである。

【背景技術】

【0002】

非特許文献 1 には、数値積分の際の境界条件において、速度の時間平均値が 0 になるという仮定を用いて橋梁の変位応答を算出する「初期速度推定法 (Initial velocity estimation method)」が開示されている。

【先行技術文献】

【非特許文献】

【0003】

【非特許文献 1】Ki Tae Park、外 3 名、" The determination of bridge displacement using measured acceleration "、Engineering Structure、Vol.27、pp.371 378、2005年

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

しかし、非特許文献 1 には、構造物に生じる角速度から角度を算出することに関しては何ら記載されていない。

【0005】

また、非特許文献 1 には、構造物に外力が作用する時間帯（以下、「強制応答区間」と称することがある）を特定する方法が開示されていないため、数値積分の積分範囲を特定することに問題がある。

【0006】

そこで本発明は、構造物に生じる角速度から角度を精度よく算出する技術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】

本願は、上記課題の少なくとも一部を解決する手段を複数含んでいるが、その例を挙げれば、以下の通りである。上記課題を解決すべく、本発明の一態様に係る計測装置は、移動体が移動する構造物に設置されたセンサによって測定された角速度から、前記構造物の自由振動周波数成分の角速度を抽出し、抽出した角速度を積分して算出した角度から、角度の境界条件を特定する境界条件特定部と、前記センサによって測定された角速度を積分して、角度を算出する積分部と、前記積分部が算出した角度を、前記境界条件特定部が特定した角度の境界条件を満たすように補正する補正部と、を有することを特徴とする。

【0008】

10

20

30

40

50

また、上記の計測装置においては、前記境界条件特定部は、抽出した角速度を積分して算出した角度の、前記構造物に外力が作用したときの第1の時刻における角度と、前記構造物に作用した外力が解除されたときの第2の時刻における角度とを境界条件とする、ことを特徴とするものであってもよい。

【0009】

また、上記の計測装置においては、前記センサによって測定された加速度から、前記構造物の自由振動周波数成分の加速度を抽出し、抽出した加速度を積分して算出した速度と、その速度を積分して算出した変位とから、速度の境界条件と変位の境界条件とを特定する速度変位境界条件特定部と、前記センサによって測定された加速度を積分して、速度と変位とを算出する速度変位積分部と、前記速度変位積分部が算出した速度を、前記速度変位境界条件特定部が特定した速度の境界条件を満たすように補正し、前記速度変位積分部が算出した変位を、前記速度変位境界条件特定部が特定した変位の境界条件を満たすように補正する速度変位補正部と、をさらに有することを特徴とするものであってもよい。

【0010】

また、上記の計測装置においては、前記速度変位境界条件特定部は、抽出した加速度を積分して算出した速度と、その速度を積分して算出した変位との、前記構造物に外力が作用したときの第1の時刻における速度および変位と、前記構造物に作用した外力が解除されたときの第2の時刻における速度および変位とを境界条件とする、ことを特徴とするものであってもよい。

【0011】

また、上記の計測装置においては、前記センサは、3軸方向の角速度と3軸方向の加速度とを検出する6軸の慣性センサである、ことを特徴とするものであってもよい。

【0012】

また、上記の計測装置においては、前記速度変位補正部によって補正された変位から、前記構造物の異常を検出する異常検出部、をさらに有することを特徴とするものであってもよい。

【0013】

また、上記の計測装置においては、前記補正部によって補正された角度から、前記構造物の異常を検出する異常検出部、をさらに有することを特徴とするものであってもよい。

【0014】

また、上記の計測装置においては、前記速度変位積分部は、前記構造物に作用した外力の大きさに応じて、変位の算出を止める、ことを特徴とするものであってもよい。

【0015】

また、上記の計測装置においては、前記速度変位補正部は、前記構造物に作用した外力の大きさに応じて、第2の時刻以降の速度をゼロに補正する、ことを特徴とするものであってもよい。

【0016】

また、上記の計測装置においては、前記積分部は、前記構造物に作用した外力の大きさに応じて、角度の算出を止める、ことを特徴とするものであってもよい。

【0017】

また、本発明の一態様に係る計測方法は、移動体が移動する構造物に設置されたセンサによって測定された角速度から、前記構造物の自由振動周波数成分の角速度を抽出し、抽出した角速度を積分して算出した角度から、角度の境界条件を特定する境界条件特定ステップと、前記センサによって測定された角速度を積分して、角度を算出する積分ステップと、前記積分ステップにて算出された角度を、前記境界条件特定ステップにて特定された角度の境界条件を満たすように補正する補正ステップと、を有することを特徴とする。

【0018】

また、本発明の一態様に係る計測システムは、移動体が移動する構造物に設置されるセンサと、前記センサによって測定された角速度から、前記構造物の自由振動周波数成分の角速度を抽出し、抽出した角速度を積分して算出した角度から、角度の境界条件を特定す

10

20

30

40

50

る境界条件特定部と、前記センサによって測定された角速度を積分して、角度を算出する積分部と、前記積分部が算出した角度を、前記境界条件特定部が特定した角度の境界条件を満たすように補正する補正部と、を有する計測装置と、を有することを特徴とする。

【発明の効果】

【0019】

本発明によれば、構造物に生じる角速度から、角度を精度よく算出することができる。上記した以外の課題、構成、および効果は、以下の実施形態の説明により明らかにされる。

【図面の簡単な説明】

【0020】

【図1】第1の実施の形態に係る計測システムを説明する図である。

【図2】床版を省略した橋梁の斜視図である。

【図3】計測装置の機能ブロック構成例を示した図である。

【図4】センサが検出する角速度の一例を示した図である。

【図5】センサが検出する角速度の周波数成分の一例を示した図である。

【図6】境界条件特定部の動作例を説明する図である。

【図7】積分部および補正部の動作例を説明する図である。

【図8】積分部が算出した角度のドリフト除去の例を説明する図である。

【図9】境界条件特定部、積分部、および補正部の処理例を説明する図である。

【図10】計測装置の動作例を示したフローチャートである。

【図11】第2の実施の形態に係る計測装置の機能ブロック構成例を示した図である。

【図12】速度変位境界条件特定部、速度変位積分部、および速度変位補正部の処理例を説明する図である。

【図13】第3の実施の形態に係る計測装置の機能ブロック構成例を示した図である。

【図14】積分部の動作例を説明する図である。

【図15】速度変位積分部および速度変位補正部の動作例を説明する図である。

【発明を実施するための形態】

【0021】

以下、本発明の実施の形態を、図面を参照して説明する。

【0022】

[第1の実施の形態]

図1は、第1の実施の形態に係る計測システムを説明する図である。計測システムは、計測装置1と、センサ2a, 2bとを有している。計測装置1とセンサ2a, 2bは、例えば、携帯電話の無線ネットワークおよびインターネット等の通信ネットワーク3を介して、通信を行うことができる。

【0023】

図1には、橋梁4と、通過検出装置5と、地震計6とが示してある。橋梁4は、橋梁4に作用する外力によって変形する。例えば、橋梁4は、車両等の移動体による通過や、地震などによって撓んだりねじれたりする。

【0024】

センサ2a, 2bは、角速度を検出するセンサである。センサ2a, 2bは、以下で詳述するが、橋梁4の支承部に設置され、橋梁4に生じる角速度を検出する。センサ2a, 2bは、検出した角速度の信号(以下では、単に角速度と称することがある)を、通信ネットワーク3を介して、計測装置1に送信する。

【0025】

計測装置1は、以下で詳述するが、センサ2a, 2bから送信される角速度に基づいて、外力によって生じる橋梁4のねじれ(橋梁4の変位した角度、以下では、変位角度または単に角度と呼ぶことがある)を算出する。そして、計測装置1は、算出した変位角度から、橋梁4の異常を判定する。例えば、計測装置1は、算出した変位角度が所定の閾値を超えている場合、橋梁4は異常であると判定する。すなわち、計測装置1は、車両通過や

10

20

30

40

50

地震によって変形した橋梁 4 が異常であるか否か判定する。

【 0 0 2 6 】

通過検出装置 5 は、橋梁 4 を通過する車両を撮像装置で撮影し、撮影した車両の映像から、車両の橋梁 4 への進入時刻および橋梁 4 からの退出時刻を検出する。すなわち、通過検出装置 5 は、車両通過による、橋梁 4 に外力が作用した時間帯（強制応答区間）を検出する。通過検出装置 5 は、検出した車両の進入時刻および退出時刻を、通信ネットワーク 3 を介して計測装置 1 に送信する。

【 0 0 2 7 】

地震計 6 は、橋梁 4 の周辺で発生する地震を検出し、地震が発生した地震発生時刻と、地震がおさまった地震終了時刻とを検出する。すなわち、地震計 6 は、地震による、橋梁 4 に外力が作用した時間帯を検出する。地震計 6 は、検出した地震発生時刻および地震終了時刻を、通信ネットワーク 3 を介して計測装置 1 に送信する。

【 0 0 2 8 】

上記の車両進入時刻および地震発生時刻は、橋梁 4 に外力が作用したとき（作用し始めたとき）の時刻である。以下では、橋梁 4 に外力が作用したときの時刻を「第 1 の時刻」と呼ぶことがある。また、上記の車両退出時刻および地震終了時刻は、橋梁 4 に作用した外力が解除されたときの時刻である。以下では、橋梁 4 に作用した外力が解除されたときの時刻を「第 2 の時刻」と呼ぶことがある。なお、橋梁 4 に外力が作用する時間帯は、第 1 の時刻と第 2 の時刻との間となる。言い換えれば、強制応答区間は、第 1 の時刻と第 2 の時刻との間となる。

【 0 0 2 9 】

図 1 の例では、通過検出装置 5 および地震計 6 によって、橋梁 4 に外力が作用する時間帯を計測したが、橋梁 4 に外力が作用する時間帯を計測する方法は、これに限られない。

【 0 0 3 0 】

例えば、計測装置 1 は、センサ 2 a , 2 b から送信される角速度から、車両進入時刻および車両退出時刻を計測してもよい。具体的には、図 1 において、車両が左方向から右方向に通過したとする。この場合、センサ 2 a からは、車両の進入によって生じた角速度が検出され、センサ 2 b からは、車両の退出によって生じた角速度が検出される。計測装置 1 は、この検出された角速度から、車両進入時刻および車両退出時刻を計測する。

【 0 0 3 1 】

また、計測装置 1 は、センサ 2 a , 2 b から送信される角速度から、地震発生時刻および地震終了時刻を計測してもよい。具体的には、地震が発生したとき、センサ 2 a , 2 b からは、地震によって生じた角速度が検出される。計測装置 1 は、この検出された角速度から、地震発生時刻および地震終了時刻を計測する。

【 0 0 3 2 】

また、橋梁 4 に外力が作用する時間帯を計測するため、加速度センサを、橋梁 4 の車両移動方向の両端（例えば、図 1 に示すセンサ 2 a , 2 b の位置）に設置してもよい。計測装置 1 は、角速度の場合と同様に、橋梁 4 に設置された加速度センサの加速度から、第 1 の時刻および第 2 の時刻を計測する。

【 0 0 3 3 】

さらに、撮像装置で撮影した橋梁 4 を通過する車両の映像を、計測装置 1 または通信ネットワーク 3 上のコンピュータ（図示せず）に送信してもよい。そして、計測装置 1 または通信ネットワーク 3 上のコンピュータが、撮像装置から送信された映像から、第 1 の時刻および第 2 の時刻を計測してもよい。

【 0 0 3 4 】

図 2 は、床版を省略した橋梁 4 の斜視図である。図 2 において、図 1 と同じものには同じ符号が付してある。

【 0 0 3 5 】

図 2 に示すように、センサ 2 a ~ 2 d は、橋梁 4 の 4 隅の支承部に設置される。なお、センサの設置数は、図 2 の例に限られない。センサは、少なくとも 1 つ設置すればよい。

これによっても、計測装置 1 は、外力の作用によって生じる橋梁 4 の変位角度を算出できる。

【 0 0 3 6 】

以下では、説明を簡単にするため、計測装置 1 は、センサ 2 a の角速度を用いて橋梁 4 の異常を判定するとする。

【 0 0 3 7 】

図 3 は、計測装置 1 の機能ブロック構成例を示した図である。図 3 に示すように、計測装置 1 は、制御部 1 1 と、通信部 1 2 と、記憶部 1 3 と、出力部 1 4 と、操作部 1 5 と、を有している。

【 0 0 3 8 】

制御部 1 1 は、以下で詳述するが、橋梁 4 に設置されたセンサ 2 a から出力される角速度に基づいて、橋梁 4 の異常を判定する。

【 0 0 3 9 】

通信部 1 2 は、通信ネットワーク 3 を介して、センサ 2 a から、角速度を受信する。センサ 2 a から出力される角速度は、例えば、デジタル信号である。通信部 1 2 は、センサ 2 a から受信した角速度を制御部 1 1 に出力する。

【 0 0 4 0 】

図 4 は、センサ 2 a が検出する角速度の一例を示した図である。図 4 に示すグラフ G 1 の横軸は、時間を示している。グラフ G 1 の縦軸は、角速度を示している。

【 0 0 4 1 】

グラフ G 1 に示す波形 W 1 は、橋梁 4 に設置されたセンサ 2 a が検出した角速度の波形を示している。通信部 1 2 は、グラフ G 1 に示す波形 W 1 の角速度を受信（実際は、デジタル信号の角速度を受信）し、制御部 1 1 へ出力する。

【 0 0 4 2 】

図 5 は、センサ 2 a が検出する角速度の周波数成分の一例を示した図である。図 4 に示すグラフ G 1 の横軸は、周波数を示している。グラフ G 1 の縦軸は、パワースペクトル密度を示している。グラフ G 1 の波形 W 1 は、センサ 2 a が検出した角速度の周波数特性を示し、例えば、図 4 に示した波形 W 1 の周波数特性を示している。

【 0 0 4 3 】

橋梁 4 の振動には、車両の通過や地震等による、外力による応答（強制応答）の他に、橋梁 4 の振動（自由振動）がある。自由振動によるセンサ 2 a の角速度の周波数（自由振動周波数成分）は、橋梁 4 の長さや材質、構造等によって変わるが、例えば、グラフ G 1 の点線枠 A 1 に示すように、2 . 0 ~ 5 . 0 H z である。

【 0 0 4 4 】

一方、車両通過や地震等による、外力による周波数（強制応答周波数成分）は、例えば、点線枠 A 2 に示すように、1 . 0 H z 以下である。つまり、橋梁 4 の自由振動周波数成分と強制応答周波数成分は、点線枠 A 1 , A 2 に示すように異なる。以下で詳述するが、計測装置 1 は、点線枠 A 1 に示す橋梁 4 の自由振動周波数成分の角速度から、角度の境界条件を特定する。

【 0 0 4 5 】

図 3 の説明に戻る。通信部 1 2 は、通信ネットワーク 3 を介して、通過検出装置 5 から出力される第 1 の時刻および第 2 の時刻を受信する。また、通信部 1 2 は、通信ネットワーク 3 を介して、地震計 6 から出力される第 1 の時刻および第 2 の時刻を受信する。通信部 1 2 は、受信した第 1 の時刻および第 2 の時刻を制御部 1 1 に出力する。

【 0 0 4 6 】

記憶部 1 3 は、制御部 1 1 が計算処理や制御処理を行うためのプログラムやデータ等を記憶している。また、記憶部 1 3 は、制御部 1 1 が所定のアプリケーション機能を実現するためのプログラムやデータ等を記憶している。各種のプログラムやデータ等は、あらかじめ不揮発性の記録媒体に記憶されていてもよいし、制御部 1 1 が通信ネットワーク 3 を介してサーバーから受信して記憶部 1 3 に記憶させてもよい。記憶部 1 3 は、例えば、R

10

20

30

40

50

OM (Read Only Memory) やフラッシュROM、RAM (Random Access Memory) 等の各種IC (Integrated Circuit) メモリーやハードディスク、メモリーカードなどの記録媒体等により構成される。また、記憶部13には、通信部12によって受信された角速度が記憶される。

【0047】

出力部14は、制御部11の異常判定結果等を、例えば、表示装置に出力する。

【0048】

操作部15は、ユーザからの操作データを取得し、制御部11に送信する。

【0049】

制御部11について詳述する。制御部11は、外力情報取得部21と、境界条件特定部22と、積分部23と、補正部24と、異常検出部25とを有している。制御部11の各部分は、例えば、記憶部13に記憶されたプログラムを実行するCPU (Central Processing Unit) によって、その機能が実現される。なお、制御部11の各部分は、ASIC (Application Specific Integrated Circuit) などのカスタムIC (Integrated Circuit) でその機能を実現してもよいし、CPUとASICとによって、その機能を実現してもよい。

【0050】

外力情報取得部21は、通信部12によって受信された第1の時刻と第2の時刻とを取得する。

【0051】

図4に示した時刻 t_1 は、外力情報取得部21が取得した第1の時刻の例を示している。時刻 t_2 は、外力情報取得部21が取得した第2の時刻の例を示している。従って、図4の時刻 t_1 と時刻 t_2 との間の区間は、橋梁4に外力が作用した強制応答区間である。なお、強制応答区間以外の区間、すなわち、橋梁4に外力が作用していないときの区間は、自由振動区間である。

【0052】

境界条件特定部22には、通信部12によって受信された、センサ2aの角速度が入力される。また、境界条件特定部22には、通信部12によって受信された、第1の時刻および第2の時刻が入力される。

【0053】

境界条件特定部22は、センサ2aによって検出された角速度から、橋梁4の自由振動周波数成分の角速度を抽出する。境界条件特定部22は、抽出した角速度を数値積分(以下、単に積分と称することがある)して角度を算出し、算出した角度から、角度の境界条件を特定する。具体的には、境界条件特定部22は、抽出した自由振動周波数成分の角速度を積分して角度を算出し、算出した角度の第1の時刻における角度と、第2の時刻における角度とを、後述する積分部23の積分の、角度の境界条件とする。

【0054】

図6は、境界条件特定部22の動作例を説明する図である。図6に示すグラフG21~G23の横軸は、時間を示している。グラフG21, G22の縦軸は、角速度を示し、グラフG23の縦軸は、角度を示している。図6に示す時刻 t_1 および時刻 t_2 は、外力情報取得部21が取得した第1の時刻および第2の時刻を示している。

【0055】

グラフG21の波形W21は、センサ2aによって検出された角速度を示している。すなわち、波形W21は、境界条件特定部22に入力される角速度の波形を示している。なお、波形W21は、図4に示した波形W1(通信部12が受信した角速度の波形)である。

【0056】

境界条件特定部22は、例えば、FIR (Finite Impulse Response) やFFT (Fast Fourier Transform) によるBPF (Band Pass Filter) によって、入力した角速度から、自由振動周波数成分を抽出する。例えば、図5の点線棒A1に示したように、橋梁4の

自由振動周波数成分は、 $2.0 \sim 5.0 \text{ Hz}$ であるので、境界条件特定部 2 2 は、入力した角速度から、 $2.0 \sim 5.0 \text{ Hz}$ の角速度を抽出する。グラフ G 2 2 の波形 W 2 2 は、グラフ G 2 1 の波形 W 2 1 の自由振動周波数成分を示し、境界条件特定部 2 2 が抽出した、自由振動周波数成分の角速度を示している。

【 0 0 5 7 】

境界条件特定部 2 2 は、センサ 2 a から出力された角速度の、自由振動周波数成分（波形 W 2 2）を抽出すると、抽出した自由振動周波数成分の角速度を積分する。すなわち、境界条件特定部 2 2 は、橋梁 4 の自由振動による変位角度を算出する。グラフ G 2 3 の波形 W 2 3 は、グラフ G 2 2 の波形 W 2 2 を積分した波形を示し、境界条件特定部 2 2 によって算出された、橋梁 4 の自由振動による変位角度を示している。

10

【 0 0 5 8 】

境界条件特定部 2 2 は、橋梁 4 の自由振動による変位角度を算出すると、外力情報取得部 2 1 によって取得された第 1 の時刻および第 2 の時刻での変位角度を特定し、特定した変位角度を境界条件とする。

【 0 0 5 9 】

例えば、グラフ G 2 3 に示す時刻 t_1 および時刻 t_2 は、外力情報取得部 2 1 によって取得された第 1 の時刻および第 2 の時刻を示している。グラフ G 2 3 に示すように、第 1 の時刻である時刻 t_1 での角度を「 θ_1 」、第 2 の時刻である時刻 t_2 での角度を「 θ_2 」とすると、境界条件特定部 2 2 は、次の境界条件を特定する。

【 0 0 6 0 】

時刻 t_1 における角度 θ_1 の境界条件： $\theta = \theta_1$
 時刻 t_2 における角度 θ_2 の境界条件： $\theta = \theta_2$

20

【 0 0 6 1 】

図 3 の説明に戻る。積分部 2 3 には、通信部 1 2 によって受信された、センサ 2 a の角速度が入力される。積分部 2 3 は、入力されたセンサ 2 a の角速度を積分して、外力による橋梁 4 の変位角度を算出する。

【 0 0 6 2 】

補正部 2 4 は、境界条件特定部 2 2 によって特定された角度の境界条件を満たすように、積分部 2 3 によって算出された変位角度を補正する。

【 0 0 6 3 】

図 7 は、積分部 2 3 および補正部 2 4 の動作例を説明する図である。図 7 に示すグラフ G 3 1 , G 3 2 の横軸は、時間を示している。グラフ G 3 1 の縦軸は、角速度を示し、グラフ G 3 2 の縦軸は、角度を示している。図 6 に示す時刻 t_1 および時刻 t_2 は、外力情報取得部 2 1 が取得した第 1 の時刻および第 2 の時刻を示している。

30

【 0 0 6 4 】

グラフ G 3 1 の波形 W 3 1 は、センサ 2 a によって検出された角速度を示している。すなわち、波形 W 3 1 は、積分部 2 3 に入力される角速度の波形を示している。なお、波形 W 3 1 は、図 4 に示した波形 W 1（通信部 1 2 が受信した角速度の波形）である。

【 0 0 6 5 】

積分部 2 3 は、入力された角速度（波形 W 3 1）を積分し、角度を算出する。補正部 2 4 は、積分部 2 3 によって算出された角度が、境界条件特定部 2 2 によって特定された角度の境界条件を満たすように補正する。

40

【 0 0 6 6 】

例えば、グラフ G 3 2 の波形 W 3 2 は、積分部 2 3 によって算出された橋梁 4 の角度の波形（波形 W 3 1 を積分した波形）であって、補正部 2 4 によって角度の境界条件を満たすように補正された波形を示している。グラフ G 3 2 に示す時刻 t_1 における角度は、補正部 2 4 によって「 $\theta = \theta_1$ 」となっている（補正されている）。また、グラフ G 3 2 に示す時刻 t_2 における角度は、補正部 2 4 によって「 $\theta = \theta_2$ 」となっている。

【 0 0 6 7 】

図 8 は、積分部 2 3 が算出した角度のドリフト除去の例を説明する図である。図 8 に示

50

すグラフ G 4 1 の横軸は、時間を示している。グラフ G 4 1 の縦軸は、角度を示している。

【 0 0 6 8 】

グラフ G 4 1 の波形 W 4 1 は、積分部 2 3 が算出した角度の波形であって、補正部 2 4 によって角度の境界条件を補正しなかった場合の波形を示している。波形 W 4 1 に示すように、積分部 2 3 が算出した角度には、例えば、センサ 2 a のドリフト成分が含まれる。

【 0 0 6 9 】

図 7 のグラフ G 3 2 で説明したように、補正部 2 4 は、角度の境界条件を満たすように、積分部 2 3 が算出した角度を補正する。例えば、補正部 2 4 は、角度の境界条件を満たすように、積分部 2 3 が算出した角度の線形成分（斜線部分）を加算（または減算）することによって、センサ 2 a のドリフト成分の除去を行う。 10

【 0 0 7 0 】

これにより、計測装置 1 は、外力が作用する強制応答区間の変位角度を適切に計測できる。すなわち、計測装置 1 は、車両通過や地震による橋梁 4 の変位角度を適切に計測できる。

【 0 0 7 1 】

図 9 は、境界条件特定部 2 2、積分部 2 3、および補正部 2 4 の処理例を説明する図である。図 9 の最上部に示す「角速度」は、通信部 1 2 によって受信された、センサ 2 a が検出した橋梁 4 の角速度を示している。通信部 1 2 によって受信された角速度は、図 9 に示すように、2 つの処理ルート R 1、R 2 で処理される。左側の枝の処理ルート R 1 は、境界条件特定部 2 2 の処理の流れを示す。右側の枝の処理ルート R 2 は、積分部 2 3 および補正部 2 4 の処理の流れを示す。 20

【 0 0 7 2 】

図 9 の矢印 A 1 1 に示すように、境界条件特定部 2 2 は、フィルタ処理によって、自由振動周波数成分の角速度を抽出する。そして、境界条件特定部 2 2 は、矢印 A 1 2 に示すように、抽出した角速度を積分して、自由振動周波数成分の角度を算出する。

【 0 0 7 3 】

境界条件特定部 2 2 は、矢印 A 1 3 に示すように、算出した角度から、境界条件を特定する。具体的には、境界条件特定部 2 2 は、外力情報取得部 2 1 によって取得された第 1 の時刻（時刻 t_1 ）における角度 θ_1 と、第 2 の時刻（時刻 t_2 ）における角度 θ_2 とを、角度の境界条件とする。 30

【 0 0 7 4 】

一方、積分部 2 3 は、図 9 の矢印 A 2 1 に示すように、通信部 1 2 によって受信された角速度を積分して、角度を算出する。補正部 2 4 は、矢印 A 2 2 に示すように、積分部 2 3 が算出した角度を、境界条件特定部 2 2 が特定した境界条件を満たすように補正する。具体的には、補正部 2 4 は、積分部 2 3 が算出した時刻 t_1 の角度を、角度 θ_1 となるように補正し、積分部 2 3 が算出した時刻 t_2 の角度を、角度 θ_2 となるように補正する。

【 0 0 7 5 】

図 3 の説明に戻る。異常検出部 2 5 は、補正部 2 4 によって補正された角度から、橋梁 4 の異常を検出する。例えば、異常検出部 2 5 は、補正部 2 4 によって補正された角度の絶対値が、所定の閾値を超えている場合、橋梁 4 に異常が発生していると検出する。所定の閾値は、例えば、橋梁 4 の線形変位する範囲の最も大きい値、またはそれより少し小さい値とする。 40

【 0 0 7 6 】

図 10 は、計測装置 1 の動作例を示したフローチャートである。橋梁 4 に設置されたセンサ 2 a は、例えば、所定の周期で橋梁 4 に生じる角速度を計測し、計測した角速度を、通信ネットワーク 3 を介して、計測装置 1 に送信するとする。そして、計測装置 1 の通信部 1 2 は、センサ 2 a から送信された角速度を受信するとする。

【 0 0 7 7 】

外力情報取得部 2 1 は、通過検出装置 5 または地震計 6 から、第 1 の時刻および第 2 の 50

時刻（強制応答区間情報）を取得する（ステップ S 1）。

【0078】

境界条件特定部 2 2 は、通信部 1 2 によって受信されたセンサ 2 a の角速度から、自由振動周波数成分の角速度を抽出する（ステップ S 2）。

【0079】

境界条件特定部 2 2 は、ステップ S 2 にて抽出した角速度を積分して、角度を算出する（ステップ S 3）。

【0080】

境界条件特定部 2 2 は、ステップ S 3 にて算出した角度の、ステップ S 1 にて取得された第 1 の時刻における角度と、第 2 の時刻における角度とを、境界条件として特定する（ステップ S 4）。

【0081】

積分部 2 3 は、通信部 1 2 によって受信された角速度を積分して、角度を算出する（ステップ S 5）。

【0082】

補正部 2 4 は、ステップ S 5 にて算出された角度を、ステップ S 4 にて特定された境界条件を満たすように補正する（ステップ S 6）。

【0083】

異常検出部 2 5 は、ステップ S 6 にて補正された角度から、橋梁 4 の異常を検出する（ステップ S 7）。

【0084】

このようにして、計測装置 1 は、橋梁 4 の異常を検出する。なお、計測装置 1 の動作は、図 10 の例に限定されない。例えば、ステップ S 1 ~ S 4 の処理と、ステップ S 5 , S 6 の処理は、同時に実行されてもよい。

【0085】

以上説明したように、境界条件特定部 2 2 は、車両が移動する橋梁 4 に設置されたセンサ 2 a によって測定された角速度から、橋梁 4 の自由振動周波数成分の角速度を抽出し、抽出した角速度を積分して算出した角度から、角度の境界条件を特定する。積分部 2 3 は、センサ 2 a によって測定された角速度を積分して、角度を算出する。補正部 2 4 は、積分部 2 3 が算出した角度を、境界条件特定部 2 2 が特定した角度の境界条件を満たすように補正する。これにより、計測装置 1 は、橋梁 4 に生じる角速度から、角度を精度よく算出することができる。

【0086】

また、計測装置 1 は、精度よく橋梁 4 の角度を算出できるので、橋梁 4 の異常を精度よく検出することができる。

【0087】

また、境界条件特定部 2 2 は、抽出した角速度を積分して算出した角度の、橋梁 4 に外力が作用したときの第 1 の時刻における角度と、橋梁に作用した外力が解除されたときの第 2 の時刻における角度とを境界条件とする。これにより、計測装置 1 は、橋梁 4 の角度を精度よく算出することができる。

【0088】

また、センサ 2 a として、3 軸の慣性センサを用いた場合、計測装置 1 は、容易に橋梁 4 の角度を算出できる。例えば、1 軸の傾斜計を用いた場合、3 軸方向の傾斜を検出するため、3 つ必要となる。しかし、3 軸の慣性センサを用いると、1 つのセンサで 3 軸の角速度を測定でき、計測装置 1 は、容易に 3 軸の角度を算出することができる。

【0089】

なお、上記では、説明を簡単にするため、計測装置 1 は、センサ 2 a の角速度から角度を算出したが、もちろん、センサ 2 b ~ 2 d の角速度から角度を算出してもよい。そして、異常検出部 2 5 は、センサ 2 a ~ 2 d の角速度から算出された角度から、橋梁 4 の異常を検出してもよい。例えば、異常検出部 2 5 は、センサ 2 a ~ 2 d の角速度から算出され

た角度から、1つでも所定の閾値を超える角度を検出した場合、橋梁4は異常であると検出する。

【0090】

また、境界条件特定部22の自由振動周波数成分の角速度を抽出する周波数は、上記した2.0~5.0Hzに限られない。境界条件特定部22は、自由振動周波数成分の角速度を抽出できればよく、例えば、通過帯域が2.0Hz以上のHPF(High Pass Filter)によって、自由振動周波数成分の角速度を抽出してもよい。

【0091】

また、上記では、計測装置1を、橋梁4に適用した例について説明したが、例えば、立体駐車場等の構造物にも適用することができる。

【0092】

また、構造物に移動体が近づいているとき、構造物に移動体の影響が生じることがある。例えば、橋梁4に車両が近づいているとき、車両の移動による影響(例えば、振動)が橋梁4に生じることがある。そこで、第1の時刻には、このような、移動体が構造物に進入する前の時刻が含まれていてもよい。例えば、車両が橋梁4に進入した時刻より少し前を、第1の時刻としてもよい。具体的には、車両が橋梁4に進入した時刻より0.1秒前を、第1の時刻としてもよい。

【0093】

また、構造物から移動体が退出した後、少しの間、構造物に外力の影響が生じることがある(移動体が退出した直後に、すぐに自由振動とはならないことがある)。例えば、車両が橋梁4を退出した後、少しの間、橋梁4は、外力の影響を受けていることがある。そこで、第2の時刻には、このような、構造物から移動体が退出した後の時刻が含まれていてもよい。例えば、車両が橋梁4を退出した時刻より少し後を、第2の時刻としてもよい。具体的には、車両が橋梁4から退出した時刻より0.1秒後を、第2の時刻としてもよい。

【0094】

[第2の実施の形態]

第2の実施の形態では、計測装置は、第1の実施の形態と同様に橋梁に生じる角度を算出するが、さらに、外力の作用によって生じる橋梁の加速度から、橋梁に生じる速度と変位とを算出する。そして、計測装置は、外力によって生じる橋梁の角度、速度、および変位から、橋梁の異常を検出する。

【0095】

なお、加速度から算出される変位とは、例えば、橋梁の撓みの垂直方向の大きさを示す。例えば、車両が橋梁を通過すると、橋梁は、下方に撓む。変位は、その下方の撓みの、垂直方向の大きさを示す。

【0096】

図11は、第2の実施の形態に係る計測装置30の機能ブロック構成例を示した図である。図11において、図3と同じものには同じ符号が付してある。

【0097】

図11に示す計測装置30は、図3に示した計測装置1に対し、通信部31と、速度変位境界条件32と、速度変位積分部34と、速度変位補正部34と、異常検出部35とが異なる。以下では、図3と異なる部分について説明する。

【0098】

なお、橋梁4には、角速度および加速度を検出するセンサが設置されている。このセンサは、例えば、1つで、3軸方向の角速度と3軸方向の加速度とを検出する、6軸の慣性センサである。角速度および加速度を検出するセンサは、例えば、図2に示した橋梁4の4隅の支承部に設置される。以下で述べるセンサは、特に断らない限り、角速度および加速度を検出するセンサとする。

【0099】

通信部31は、通信ネットワーク3を介して、センサから、角速度および加速度を受信

10

20

30

40

50

する。センサから出力される角速度および加速度は、例えば、デジタル信号である。通信部 3 1 は、センサから受信した角速度を、境界条件特定部 2 2 と積分部 2 3 とに出力し、センサから受信した加速度を、速度変位境界条件特定部 3 2 と速度変位積分部 3 3 とに出力する。

【 0 1 0 0 】

速度変位境界条件特定部 3 2 は、境界条件特定部 2 2 と同様の処理を行うが、通信部 3 1 によって受信された加速度から、速度と変位との境界条件を特定とするところが異なる。

【 0 1 0 1 】

速度変位境界条件特定部 3 2 は、センサによって検出された加速度から、橋梁 4 の自由振動周波数成分の加速度を抽出する。速度変位境界条件特定部 3 2 は、抽出した加速度を積分して算出した速度と、その速度を積分して算出した変位とから、速度の境界条件と変位の境界条件とを特定する。具体的には、速度変位境界条件特定部 3 2 は、抽出した自由振動周波数成分の加速度を積分して速度を算出し、算出した速度の第 1 の時刻における速度と、第 2 の時刻における速度とを、後述する速度変位積分部 3 3 の積分の、速度の境界条件とする。また、速度変位境界条件特定部 3 2 は、算出した速度を積分して変位を算出し、算出した変位の第 1 の時刻における変位と、第 2 の時刻における変位とを、後述する速度変位積分部 3 3 の積分の、変位の境界条件とする。

【 0 1 0 2 】

速度変位積分部 3 3 は、積分部 2 3 と同様の処理を行うが、通信部 3 1 によって受信された加速度から、速度と変位とを算出するところが異なる。

【 0 1 0 3 】

速度変位積分部 3 3 には、通信部 3 1 によって受信された、センサの加速度が入力される。速度変位積分部 3 3 は、入力されたセンサの加速度を積分して、外力によって生じる橋梁 4 の速度を算出し、算出した速度をさらに積分して、外力によって生じる変位を算出する。

【 0 1 0 4 】

速度変位補正部 3 4 は、速度変位境界条件特定部 3 2 によって特定された速度の境界条件を満たすように、速度変位積分部 3 3 によって算出された速度を補正する。また、速度変位補正部 3 4 は、速度変位境界条件特定部 3 2 によって特定された変位の境界条件を満たすように、速度変位積分部 3 3 によって算出された変位を補正する。

【 0 1 0 5 】

異常検出部 3 5 は、補正部 2 4 によって補正された角度と、速度変位補正部 3 4 によって補正された変位とから、橋梁 4 の異常を検出する。例えば、異常検出部 3 5 は、補正部 2 4 によって補正された角度の絶対値が、所定の閾値を超えている場合、または、速度変位補正部 3 4 によって補正された変位の絶対値が、所定の閾値を超えている場合、橋梁 4 に異常が発生していると検出する。

【 0 1 0 6 】

図 1 2 は、速度変位境界条件特定部 3 2、速度変位積分部 3 3、および速度変位補正部 3 4 の処理例を説明する図である。図 1 2 の最上部に示す「加速度」は、通信部 3 1 によって受信された、センサが検出した橋梁 4 の加速度を示している。通信部 3 1 によって受信された加速度は、図 1 2 に示すように、2 つの処理ルート R 1 1、R 1 2 で処理される。左側の枝の処理ルート R 1 1 は、速度変位境界条件特定部 3 2 の処理の流れを示す。右側の枝の処理ルート R 1 2 は、速度変位積分部 3 3 および速度変位補正部 3 4 の処理の流れを示す。

【 0 1 0 7 】

図 1 2 の矢印 A 3 1 に示すように、速度変位境界条件特定部 3 2 は、フィルタ処理によって、自由振動周波数成分の加速度を抽出する。そして、速度変位境界条件特定部 3 2 は、矢印 A 3 2 に示すように、抽出した加速度を積分して、自由振動周波数成分の速度を算出する。

【 0 1 0 8 】

速度変位境界条件特定部 3 2 は、矢印 A 3 3 に示すように、算出した速度から、速度の境界条件を特定する。具体的には、速度変位境界条件特定部 3 2 は、外力情報取得部 2 1 によって取得された第 1 の時刻（時刻 t_1 ）における速度 V_1 と、第 2 の時刻（時刻 t_2 ）における速度 V_2 とを境界条件とする。

【 0 1 0 9 】

また、速度変位境界条件特定部 3 2 は、矢印 A 3 4 に示すように、算出した速度をさらに積分して、自由振動周波数成分の変位を算出する。

【 0 1 1 0 】

速度変位境界条件特定部 3 2 は、矢印 A 3 5 に示すように、算出した変位から、変位の境界条件を特定する。具体的には、速度変位境界条件特定部 3 2 は、外力情報取得部 2 1 によって取得された第 1 の時刻（時刻 t_1 ）における変位 U_1 と、第 2 の時刻（時刻 t_2 ）における変位 U_2 とを境界条件とする。

【 0 1 1 1 】

一方、速度変位積分部 3 3 は、図 1 2 の矢印 A 4 1 に示すように、通信部 1 2 によって受信された加速度を積分して、速度を算出する。速度変位補正部 3 4 は、矢印 A 4 2 に示すように、速度変位積分部 3 3 が算出した速度を、速度変位境界条件特定部 3 2 が特定した、速度の境界条件を満たすように補正する。具体的には、速度変位補正部 3 4 は、速度変位積分部 3 3 が算出した時刻 t_1 の速度を、速度 V_1 となるように補正し、速度変位積分部 3 3 が算出した時刻 t_2 の速度を、速度 V_2 となるように補正する。

【 0 1 1 2 】

速度変位積分部 3 3 は、図 1 2 の矢印 A 4 3 に示すように、加速度を積分して算出した速度をさらに積分して変位を算出する。速度変位補正部 3 4 は、矢印 A 4 4 に示すように、速度変位積分部 3 3 が算出した変位を、速度変位境界条件特定部 3 2 が特定した、変位の境界条件を満たすように補正する。具体的には、速度変位補正部 3 4 は、速度変位積分部 3 3 が算出した時刻 t_1 の変位を、変位 U_1 となるように補正し、速度変位積分部 3 3 が算出した時刻 t_2 の変位を、変位 U_2 となるように補正する。

【 0 1 1 3 】

以上説明したように、速度変位境界条件特定部 3 2 は、センサによって測定された加速度から、橋梁 4 の自由振動周波数成分の加速度を抽出し、抽出した加速度を積分して算出した速度と、その速度を積分して算出した変位とから、速度の境界条件と変位の境界条件とを特定する。速度変位積分部 3 3 は、センサによって測定された加速度を積分して、速度と変位とを算出する。速度変位補正部 3 4 は、速度変位積分部 3 3 が算出した速度を、速度変位境界条件特定部 3 2 が特定した速度の境界条件を満たすように補正し、速度変位積分部 3 3 が算出した変位を、速度変位境界条件特定部 3 2 が特定した変位の境界条件を満たすように補正する。これにより、計測装置 3 0 は、橋梁 4 に生じる加速度から、速度および変位を精度よく算出することができる。

【 0 1 1 4 】

また、計測装置 3 0 は、精度よく橋梁 4 の速度および変位を算出できるので、橋梁 4 の異常を精度よく検出することができる。

【 0 1 1 5 】

また、計測装置 3 0 は、角度および変位を精度よく算出するので、橋梁 4 のねじれや撓みの変形を精度よく取得することができる。

【 0 1 1 6 】

また、速度変位境界条件特定部 3 2 は、抽出した加速度を積分して算出した速度と、その速度を積分して算出した変位との、橋梁 4 に外力が作用したときの第 1 の時刻における速度および変位と、橋梁 4 に作用した外力が解除されたときの第 2 の時刻における速度および変位とを境界条件とする。これにより、計測装置 3 0 は、橋梁 4 の変位を精度よく算出することができる。

【 0 1 1 7 】

また、センサとして、3軸方向の角速度と3軸方向の加速度とを検出する6軸の慣性センサを用いた場合、計測装置30は、容易に橋梁4の角度、速度、および変位を算出できる。例えば、6軸の慣性センサからは、3軸方向の角速度と3軸方向の加速度とが出力されるので、計測装置30は、少ない数のセンサで、橋梁4の3軸方向の角度、速度、および変位を容易に算出できる。

【0118】

[第3の実施の形態]

地震の規模によっては、橋梁が崩落する場合がある。第3の実施の形態では、橋梁が崩落したとき、積分部および速度変位積分部は、積分処理を止める。また、速度変位補正部は、橋梁が崩落したとき、第2の時刻以降の速度をゼロに補正する。

10

【0119】

図13は、第3の実施の形態に係る計測装置40の機能ブロック構成例を示した図である。図13において、図11と同じものには同じ符号が付してある。

【0120】

図13に示す計測装置40は、図11に示した計測装置30に対し、積分部41と、速度変位積分部42と、速度変位補正部43とが異なる。以下では、図11と異なる部分について説明する。なお、第2の実施の形態と同様に、橋梁4には、角速度および加速度を検出するセンサが設置されている。

【0121】

積分部41は、橋梁4に作用した外力の大きさに応じて、角度の算出を止める。例えば、積分部41は、橋梁4に所定以上の外力が作用した場合、角度の算出を止める。

20

【0122】

橋梁4に作用する所定以上の外力とは、例えば、橋梁4の崩落によって生じる外力である。例えば、橋梁4が地震によって崩落し、地面に衝突すると、橋梁4には、非常に大きな外力が作用する。つまり、言い換えれば、積分部41は、橋梁4が崩落したとき、角度の算出を止める。積分部41は、例えば、通信部31によって受信された加速度が、所定の閾値(橋梁4の崩落によって、橋梁4に生じるような加速度の値)より大きい場合、角度の算出を止める。

【0123】

図14は、積分部41の動作例を説明する図である。図14に示すグラフG51の横軸は、時間を示している。グラフG51の縦軸は、角度を示している。

30

【0124】

グラフG51に示す波形W51は、積分部41が算出する角度を示している。グラフG51に示す時刻t1は、第1の時間を示し、時刻t11は、橋梁4が崩落した時刻を示す。なお、橋梁4が崩落した時刻t11は、橋梁4に設置されたセンサによって検出される加速度の大きさから分かる。例えば、橋梁4に設置されたセンサから、所定値以上の加速度が検出されたときの時刻を、橋梁4が崩落した時刻t11とすることができる。

【0125】

積分部41は、グラフG51に示すように、橋梁4が崩落した時刻t11で、角度の算出を止める。これにより、計測装置40は、例えば、地震等によって橋梁4が崩落したときの、橋梁4の変位角度を測定できる。

40

【0126】

図13の説明に戻る。速度変位積分部42は、橋梁4に作用した外力の大きさに応じて、変位の算出を止める。例えば、速度変位積分部42は、橋梁4に所定以上の外力が作用した場合、角度の算出を止める。

【0127】

橋梁4に作用する所定以上の外力とは、上記と同様に、例えば、橋梁4の崩落によって生じる外力である。つまり、言い換えれば、速度変位積分部42は、橋梁4が崩落したとき、変位の算出を止める。速度変位積分部42は、例えば、通信部31によって受信された加速度が、所定の閾値(橋梁4の崩落によって、橋梁4に生じるような加速度の値)よ

50

り大きい場合、変位の算出を止める。

【0128】

速度変位補正部43は、橋梁4に作用した外力の大きさに応じて、第2の時刻以降の速度をゼロに補正する。例えば、速度変位補正部43は、橋梁4に所定以上の外力が作用した場合、第2の時刻以降の速度をゼロに補正する。

【0129】

橋梁4に作用する所定以上の外力とは、上記と同様に、例えば、橋梁4の崩落によって生じる外力である。つまり、言い換えれば、速度変位補正部43は、橋梁4が崩落した場合、第2の時刻以降の速度をゼロにする。その理由は、橋梁4が地震によって地面に落下し、その後地震がおさまると（第2の時刻以降になると）、橋梁4に生じる速度はゼロになるからである。 10

【0130】

図15は、速度変位積分部42および速度変位補正部43の動作例を説明する図である。図15に示すグラフG61, G62の横軸は、時間を示している。グラフG61の縦軸は、速度を示し、グラフ62の縦軸は、変位を示している。

【0131】

グラフG61, G62に示す時刻t1は、第1の時刻を示す。グラフG61の時刻t2は、第2の時刻を示す。グラフG62の時刻t11は、橋梁4が崩落した時刻を示す。なお、橋梁4が崩落した時刻t11は、例えば、橋梁4に設置されたセンサによって検出される加速度の大きさから分かる。 20

【0132】

グラフG61に示す波形W61は、速度変位積分部42が算出する速度を示している。速度変位積分部42は、グラフG61に示すように、橋梁4が崩落した時刻t11以降であっても、速度を算出し続ける。そして、速度変位補正部43は、時刻t2以降の速度を、ゼロに補正する。これは、橋梁4が地面に崩落し、その後地震がおさまると、橋梁4は地面の上にあるため、橋梁4の速度はゼロになるからである。なお、時刻t11と時刻t2の間は、まだ地震が発生していることを示している。

【0133】

グラフG62に示す波形W62は、速度変位積分部42が算出する変位を示している。速度変位積分部42は、グラフG62に示すように、橋梁4が崩落した時刻t11で、変位の算出を止める。これにより、計測装置40は、例えば、地震等によって橋梁4が崩落したときの、橋梁4の変位を測定できる。 30

【0134】

以上説明したように、積分部41は、橋梁4に作用した外力の大きさに応じて、角度の算出を止める。これにより、計測装置40は、例えば、地震等によって橋梁4が崩落したときの、橋梁4の変位角度を測定できる。

【0135】

また、速度変位積分部42は、橋梁4に作用した外力の大きさに応じて、変位の算出を止める。これにより、計測装置40は、例えば、地震等によって橋梁4が崩落したときの、橋梁4の変位を測定できる。 40

【0136】

また、速度変位補正部43は、橋梁4に作用した外力の大きさに応じて、第2の時刻以降の速度をゼロに補正する。これにより、計測装置40は、地震等によって橋梁4が崩落したときの、橋梁4の適切な速度を出力することができる。

【0137】

以上、本発明について実施形態を用いて説明したが、計測装置の機能構成は、計測装置の構成を理解容易にするために、主な処理内容に応じて分類したものである。構成要素の分類の仕方や名称によって、本願発明が制限されることはない。計測装置の構成は、処理内容に応じて、さらに多くの構成要素に分類することもできる。また、1つの構成要素がさらに多くの処理を実行するように分類することもできる。また、各構成要素の処理は、 50

1つのハードウェアで実行されてもよいし、複数のハードウェアで実行されてもよい。

【0138】

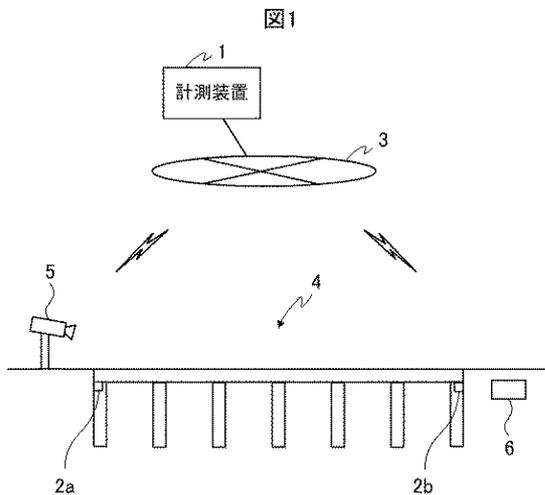
また、本発明の技術的範囲は、上記実施形態に記載の範囲には限定されない。上記実施形態に多様な変更又は改良を加えることが可能であることが当業者には明らかである。例えば、各実施の形態を組み合わせてもよい。また、そのような変更又は改良を加えた形態も本発明の技術的範囲に含まれ得ることが、特許請求の範囲の記載から明らかである。また、本発明は、計測装置、計測方法、プログラム、当該プログラムを記憶した記憶媒体、および計測システムとして提供することもできる。

【符号の説明】

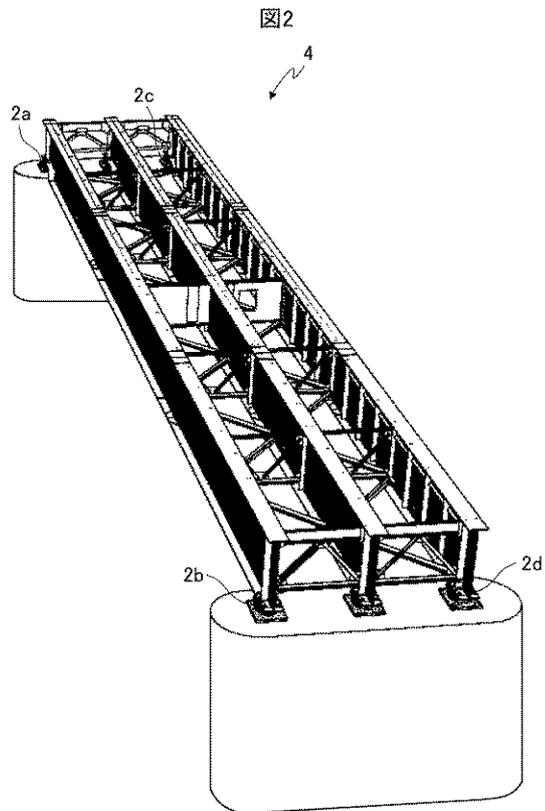
【0139】

1 計測装置、2 a ~ 2 d センサ、3 通信ネットワーク、4 橋梁、5 通過検出装置、6 地震計、11 制御部、12 通信部、13 記憶部、14 出力部、15 操作部、21 外力情報取得部、22 境界条件特定部、23 積分部、24 補正部、25 異常検出部、30 計測装置、31 通信部、32 速度変位境界条件特定部、33 速度変位積分部、34 速度変位補正部、35 異常検出部、40 計測装置、41 積分部、42 速度変位積分部、43 速度変位補正部。

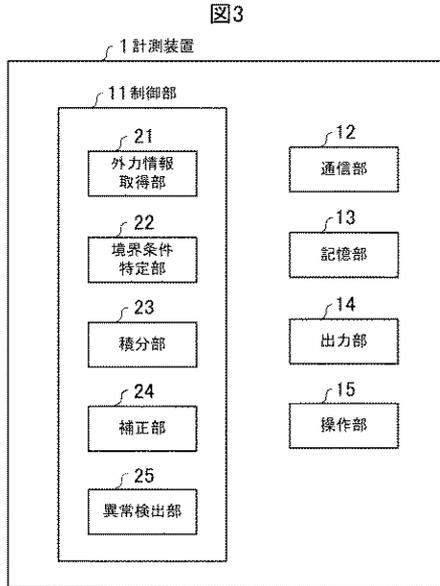
【図1】



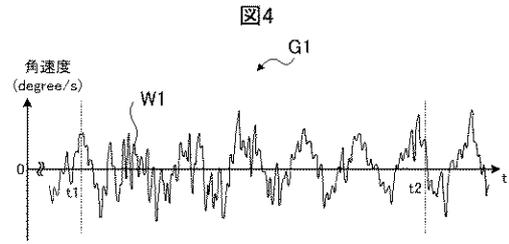
【図2】



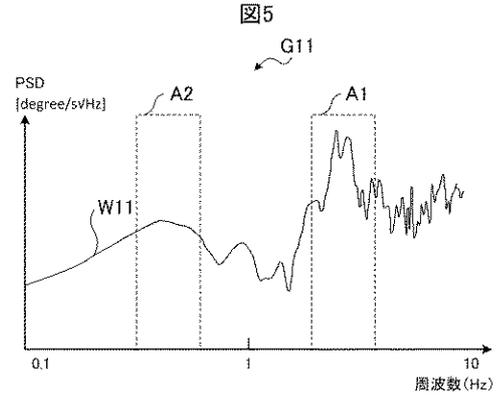
【 図 3 】



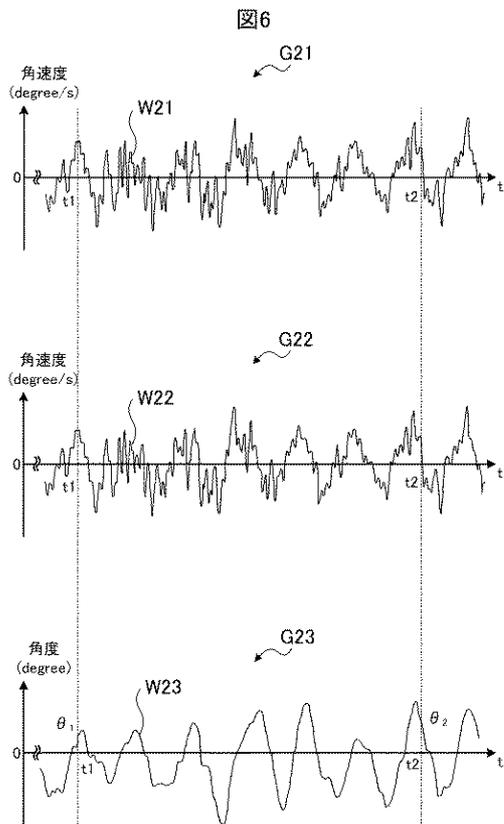
【 図 4 】



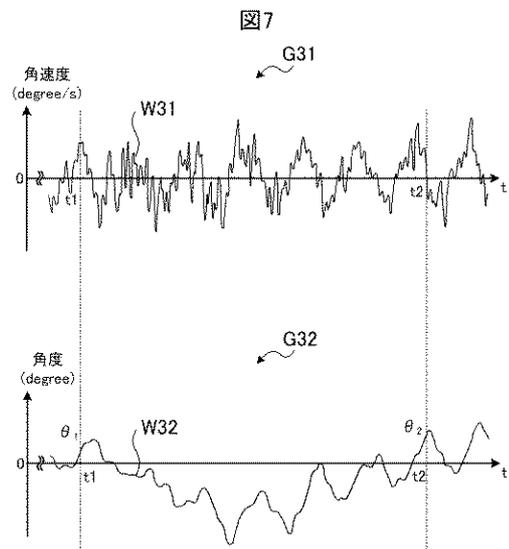
【 図 5 】



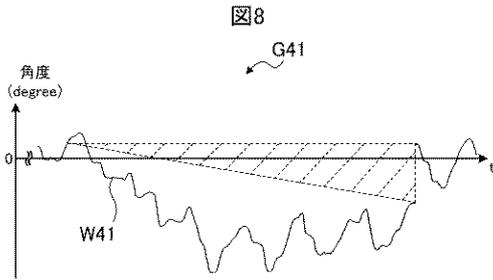
【 図 6 】



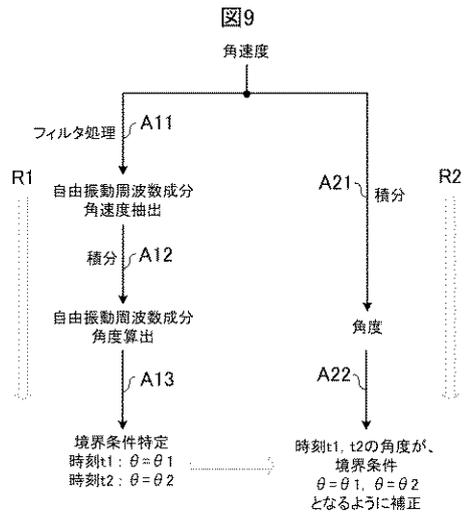
【 図 7 】



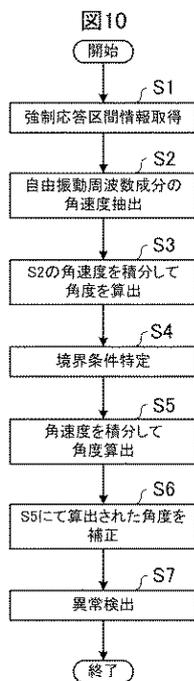
【 図 8 】



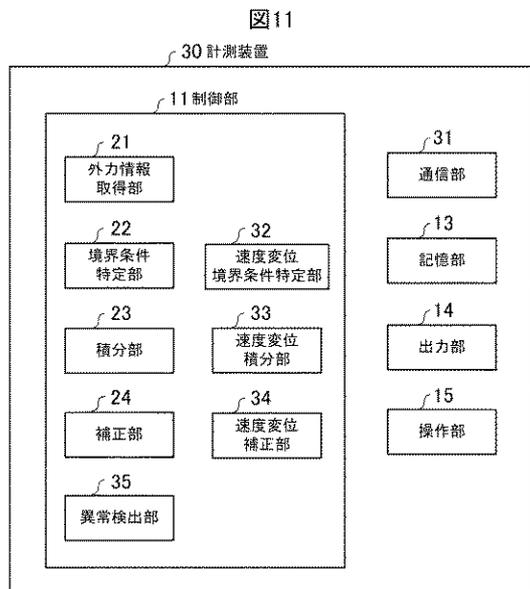
【 図 9 】



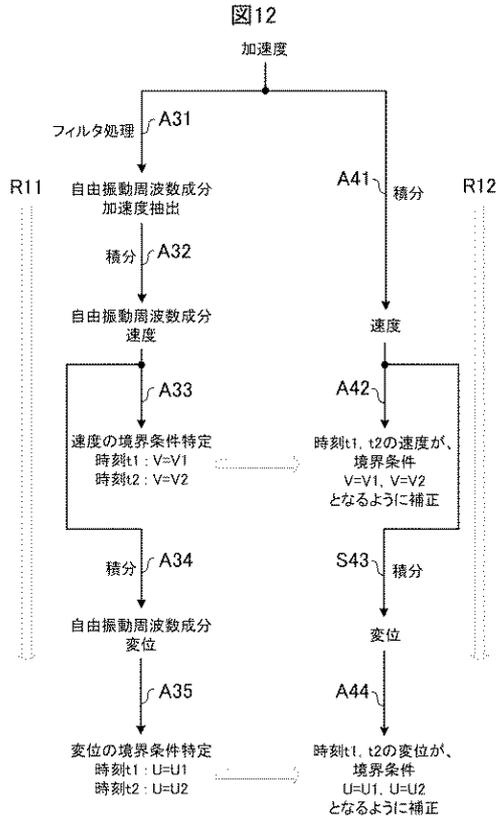
【 図 1 0 】



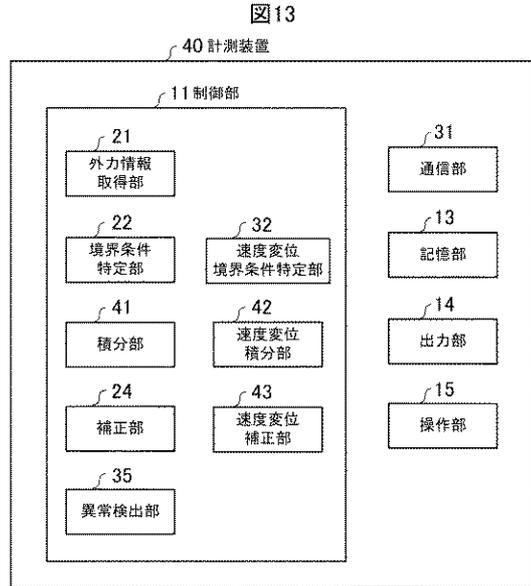
【 図 1 1 】



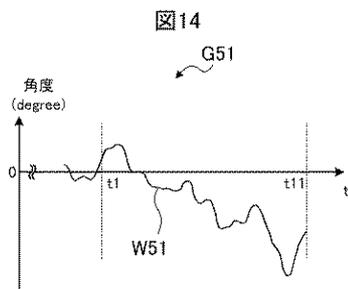
【図12】



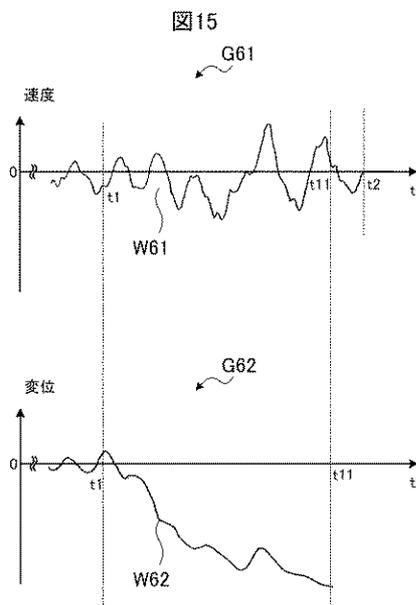
【図13】



【図14】



【図15】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開2017-058177(JP,A)
特開平02-268212(JP,A)
特開平10-141936(JP,A)
特開2008-134182(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01B 21/32
E01D 22/00