

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7683239号
(P7683239)

(45)発行日 令和7年5月27日(2025.5.27)

(24)登録日 令和7年5月19日(2025.5.19)

(51)国際特許分類 F I
G 0 1 B 21/00 (2006.01) G 0 1 B 21/00 C

請求項の数 18 (全47頁)

(21)出願番号	特願2021-29743(P2021-29743)	(73)特許権者	000002369 セイコーエプソン株式会社 東京都新宿区新宿四丁目1番6号
(22)出願日	令和3年2月26日(2021.2.26)	(74)代理人	100179475 弁理士 仲井 智至
(65)公開番号	特開2022-131020(P2022-131020 A)	(74)代理人	100216253 弁理士 松岡 宏紀
(43)公開日	令和4年9月7日(2022.9.7)	(74)代理人	100225901 弁理士 今村 真之
審査請求日	令和6年1月17日(2024.1.17)	(72)発明者	小林 祥宏 長野県諏訪市大和3丁目3番5号 セイ コーエプソン株式会社内
		審査官	櫻井 健太

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 計測方法、計測装置、計測システム及び計測プログラム

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

ドリフトノイズ及び振動成分を含む対象データをローパスフィルター処理して前記振動成分を低減させた振動成分低減データを生成するローパスフィルター処理工程と、

前記振動成分低減データをハイパスフィルター処理することにより前記ドリフトノイズを低減させたドリフトノイズ低減データを生成するハイパスフィルター処理工程と、

前記ドリフトノイズ低減データに基づいて、前記振動成分低減データから前記ドリフトノイズを差し引いたデータと前記ドリフトノイズ低減データとの差に相当する補正データを推定する補正データ推定工程と、

前記対象データから前記振動成分低減データを減算して前記振動成分を含む振動成分データを生成する振動成分データ生成工程と、

前記ドリフトノイズ低減データと前記補正データと前記振動成分データとを加算して計測データを生成する計測データ生成工程と、を含み、

前記補正データ推定工程は、

前記ドリフトノイズ低減データの第1ピーク及び第2ピークを算出し、前記第1ピーク以前の第1区間と、前記第1ピークと前記第2ピークとの間の第2区間と、前記第2ピーク以降の第3区間と、を特定する区間特定工程と、

前記第1区間において、前記ドリフトノイズ低減データの符号を反転して第1区間補正データを生成する第1区間補正データ生成工程と、

前記第2区間の所定の時刻以前において、前記第1ピーク以前の前記ドリフトノイズ低

10

20

減データを前記第 1 ピーク以降に逆順に並べ替えたデータと、前記第 1 ピークと前記第 2 ピークとを通る直線に - 2 を乗算した直線データとを加算し、前記第 2 区間の前記所定の時刻以降において、前記第 2 ピーク以降の前記ドリフトノイズ低減データを前記第 2 ピーク以前に逆順に並べ替えたデータと、前記直線データとを加算して、第 2 区間補正データを生成する第 2 区間補正データ生成工程と、

前記第 3 区間において、前記ドリフトノイズ低減データの符号を反転して第 3 区間補正データを生成する第 3 区間補正データ生成工程と、

前記第 1 区間補正データと前記第 2 区間補正データと前記第 3 区間補正データとを加算して前記補正データを生成する補正データ生成工程と、を含む、計測方法。

【請求項 2】

ドリフトノイズ及び振動成分を含む対象データをローパスフィルター処理して前記振動成分を低減させた振動成分低減データを生成するローパスフィルター処理工程と、

前記振動成分低減データをハイパスフィルター処理することにより前記ドリフトノイズを低減させたドリフトノイズ低減データを生成するハイパスフィルター処理工程と、

前記ドリフトノイズ低減データの第 1 ピーク及び第 2 ピークを算出し、前記第 1 ピーク以前の第 1 区間と、前記第 1 ピークと前記第 2 ピークとの間の第 2 区間と、前記第 2 ピーク以降の第 3 区間と、を特定する区間特定工程と、

前記ドリフトノイズ低減データに基づいて、前記第 2 区間において、前記振動成分低減データから前記ドリフトノイズを差し引いたデータと前記ドリフトノイズ低減データとの差に相当する補正データを推定する補正データ推定工程と、

前記対象データから前記振動成分低減データを減算して前記振動成分を含む振動成分データを生成する振動成分データ生成工程と、

前記第 1 区間を前記振動成分データとし、前記第 2 区間において、前記ドリフトノイズ低減データと前記補正データと前記振動成分データとを加算し、前記第 3 区間を前記振動成分データとして、計測データを生成する計測データ生成工程と、を含み、

前記補正データ推定工程では、

前記第 2 区間の所定の時刻以前において、前記第 1 ピーク以前の前記ドリフトノイズ低減データを前記第 1 ピーク以降に逆順に並べ替えたデータと、前記第 1 ピークと前記第 2 ピークとを通る直線に - 2 を乗算した直線データとを加算し、前記第 2 区間の前記所定の時刻以降において、前記第 2 ピーク以降の前記ドリフトノイズ低減データを前記第 2 ピーク以前に逆順に並べ替えたデータと、前記直線データとを加算して、前記補正データを生成する、計測方法。

【請求項 3】

請求項 1 又は 2 において、

前記ローパスフィルター処理工程では、

前記対象データを高速フーリエ変換処理して基本周波数を算出し、前記ローパスフィルター処理として、前記基本周波数に対応する周期で前記対象データを移動平均処理して前記振動成分低減データを生成する、計測方法。

【請求項 4】

請求項 1 又は 2 において、

前記ローパスフィルター処理工程では、

前記対象データを高速フーリエ変換処理して基本周波数を算出し、前記ローパスフィルター処理として、前記対象データに対して前記基本周波数以上の周波数の信号成分を減衰させる FIR フィルター処理を行って前記振動成分低減データを生成する、計測方法。

【請求項 5】

請求項 1 乃至 4 のいずれか一項において、

前記ハイパスフィルター処理は、前記振動成分低減データから、前記振動成分低減データを移動平均処理又は FIR フィルター処理したデータを減算する処理である、計測方法。

【請求項 6】

10

20

30

40

50

請求項 1 乃至 5 のいずれか一項において、
前記対象データは、構造物を移動する移動体による前記構造物の変位のデータである、計測方法。

【請求項 7】

請求項 6 において、
前記対象データは、前記移動体が移動する前記構造物の面と交差する方向の加速度を 2 回積分したデータである、計測方法。

【請求項 8】

請求項 6 において、
前記対象データは、接触式変位計、リング式変位計、レーザー変位計、感圧センサー、
画像処理による変位計測機器若しくは光ファイバーによる変位計測機器の観測データ、又は速度センサーが検出した速度を積分したデータである、計測方法。

10

【請求項 9】

請求項 6 乃至 8 のいずれか一項において、
前記構造物は、橋梁の上部構造である、計測方法。

【請求項 10】

請求項 9 において、
前記ドリフトノイズの周波数は、前記上部構造の固有振動周波数の最小値よりも低い、計測方法。

【請求項 11】

請求項 6 乃至 10 のいずれか一項において、
前記移動体は、車両又は鉄道車両である、計測方法。

20

【請求項 12】

請求項 1 乃至 11 のいずれか一項において、
前記対象データは、正方向又は負方向に凸の波形のデータを含む、計測方法。

【請求項 13】

請求項 12 において、
前記波形は、矩形波形、台形波形又は正弦半波波形である、計測方法。

【請求項 14】

ドリフトノイズ及び振動成分を含む対象データをローパスフィルター処理して前記振動成分を低減させた振動成分低減データを生成するローパスフィルター処理部と、

30

前記振動成分低減データをハイパスフィルター処理することにより前記ドリフトノイズを低減させたドリフトノイズ低減データを生成するハイパスフィルター処理部と、

前記ドリフトノイズ低減データに基づいて、前記振動成分低減データから前記ドリフトノイズを差し引いたデータと前記ドリフトノイズ低減データとの差に相当する補正データを推定する補正データ推定部と、

前記対象データから前記振動成分低減データを減算して前記振動成分を含む振動成分データを生成する振動成分データ生成部と、

前記ドリフトノイズ低減データと前記補正データと前記振動成分データとを加算して計測データを生成する計測データ生成部と、を含み

40

前記補正データ推定部は、

前記ドリフトノイズ低減データの第 1 ピーク及び第 2 ピークを算出し、前記第 1 ピーク以前の第 1 区間と、前記第 1 ピークと前記第 2 ピークとの間の第 2 区間と、前記第 2 ピーク以降の第 3 区間と、を特定し、

前記第 1 区間において、前記ドリフトノイズ低減データの符号を反転して第 1 区間補正データを生成し、

前記第 2 区間の所定の時刻以前において、前記第 1 ピーク以前の前記ドリフトノイズ低減データを前記第 1 ピーク以降に逆順に並べ替えたデータと、前記第 1 ピークと前記第 2 ピークとを通る直線に - 2 を乗算した直線データとを加算し、前記第 2 区間の前記所定の時刻以降において、前記第 2 ピーク以降の前記ドリフトノイズ低減データを前記第 2 ピー

50

ク以前に逆順に並べ替えたデータと、前記直線データとを加算して、第 2 区間補正データを生成し、

前記第 3 区間において、前記ドリフトノイズ低減データの符号を反転して第 3 区間補正データを生成し、

前記第 1 区間補正データと前記第 2 区間補正データと前記第 3 区間補正データとを加算して前記補正データを生成する、計測装置。

【請求項 15】

ドリフトノイズ及び振動成分を含む対象データをローパスフィルター処理して前記振動成分を低減させた振動成分低減データを生成するローパスフィルター処理部と、

前記振動成分低減データをハイパスフィルター処理することにより前記ドリフトノイズを低減させたドリフトノイズ低減データを生成するハイパスフィルター処理部と、

前記ドリフトノイズ低減データの第 1 ピーク及び第 2 ピークを算出し、前記第 1 ピーク以前の第 1 区間と、前記第 1 ピークと前記第 2 ピークとの間の第 2 区間と、前記第 2 ピーク以降の第 3 区間と、を特定する区間特定部と、

前記ドリフトノイズ低減データに基づいて、前記第 2 区間において、前記振動成分低減データから前記ドリフトノイズを差し引いたデータと前記ドリフトノイズ低減データとの差に相当する補正データを推定する補正データ推定部と、

前記対象データから前記振動成分低減データを減算して前記振動成分を含む振動成分データを生成する振動成分データ生成部と、

前記第 1 区間を前記振動成分データとし、前記第 2 区間において、前記ドリフトノイズ低減データと前記補正データと前記振動成分データとを加算し、前記第 3 区間を前記振動成分データとして、計測データを生成する計測データ生成部と、を含み、

前記補正データ推定部は、

前記第 2 区間の所定の時刻以前において、前記第 1 ピーク以前の前記ドリフトノイズ低減データを前記第 1 ピーク以降に逆順に並べ替えたデータと、前記第 1 ピークと前記第 2 ピークとを通る直線に - 2 を乗算した直線データとを加算し、前記第 2 区間の前記所定の時刻以降において、前記第 2 ピーク以降の前記ドリフトノイズ低減データを前記第 2 ピーク以前に逆順に並べ替えたデータと、前記直線データとを加算して、前記補正データを生成する、計測装置。

【請求項 16】

請求項 14 又は 15 に記載の計測装置と、

観測点を観測する観測装置と、を備え、

前記対象データは、前記観測装置による観測データに基づくデータである、計測システム。

【請求項 17】

ドリフトノイズ及び振動成分を含む対象データをローパスフィルター処理して前記振動成分を低減させた振動成分低減データを生成するローパスフィルター処理工程と、

前記振動成分低減データをハイパスフィルター処理することにより前記ドリフトノイズを低減させたドリフトノイズ低減データを生成するハイパスフィルター処理工程と、

前記ドリフトノイズ低減データに基づいて、前記振動成分低減データから前記ドリフトノイズを差し引いたデータと前記ドリフトノイズ低減データとの差に相当する補正データを推定する補正データ推定工程と、

前記対象データから前記振動成分低減データを減算して前記振動成分を含む振動成分データを生成する振動成分データ生成工程と、

前記ドリフトノイズ低減データと前記補正データと前記振動成分データとを加算して計測データを生成する計測データ生成工程と、をコンピューターに実行させ、

前記補正データ推定工程は、

前記ドリフトノイズ低減データの第 1 ピーク及び第 2 ピークを算出し、前記第 1 ピーク以前の第 1 区間と、前記第 1 ピークと前記第 2 ピークとの間の第 2 区間と、前記第 2 ピーク以降の第 3 区間と、を特定する区間特定工程と、

10

20

30

40

50

前記第 1 区間において、前記ドリフトノイズ低減データの符号を反転して第 1 区間補正データを生成する第 1 区間補正データ生成工程と、

前記第 2 区間の所定の時刻以前において、前記第 1 ピーク以前の前記ドリフトノイズ低減データを前記第 1 ピーク以降に逆順に並べ替えたデータと、前記第 1 ピークと前記第 2 ピークとを通る直線に -2 を乗算した直線データとを加算し、前記第 2 区間の前記所定の時刻以降において、前記第 2 ピーク以降の前記ドリフトノイズ低減データを前記第 2 ピーク以前に逆順に並べ替えたデータと、前記直線データとを加算して、第 2 区間補正データを生成する第 2 区間補正データ生成工程と、

前記第 3 区間において、前記ドリフトノイズ低減データの符号を反転して第 3 区間補正データを生成する第 3 区間補正データ生成工程と、

前記第 1 区間補正データと前記第 2 区間補正データと前記第 3 区間補正データとを加算して前記補正データを生成する補正データ生成工程と、を含む、計測プログラム。

【請求項 18】

ドリフトノイズ及び振動成分を含む対象データをローパスフィルター処理して前記振動成分を低減させた振動成分低減データを生成するローパスフィルター処理工程と、

前記振動成分低減データをハイパスフィルター処理することにより前記ドリフトノイズを低減させたドリフトノイズ低減データを生成するハイパスフィルター処理工程と、

前記ドリフトノイズ低減データの第 1 ピーク及び第 2 ピークを算出し、前記第 1 ピーク以前の第 1 区間と、前記第 1 ピークと前記第 2 ピークとの間の第 2 区間と、前記第 2 ピーク以降の第 3 区間と、を特定する区間特定工程と、

前記ドリフトノイズ低減データに基づいて、前記第 2 区間において、前記振動成分低減データから前記ドリフトノイズを差し引いたデータと前記ドリフトノイズ低減データとの差に相当する補正データを推定する補正データ推定工程と、

前記対象データから前記振動成分低減データを減算して前記振動成分を含む振動成分データを生成する振動成分データ生成工程と、

前記第 1 区間を前記振動成分データとし、前記第 2 区間において、前記ドリフトノイズ低減データと前記補正データと前記振動成分データとを加算し、前記第 3 区間を前記振動成分データとして、計測データを生成する計測データ生成工程と、をコンピューターに実行させ、

前記補正データ推定工程では、

前記第 2 区間の所定の時刻以前において、前記第 1 ピーク以前の前記ドリフトノイズ低減データを前記第 1 ピーク以降に逆順に並べ替えたデータと、前記第 1 ピークと前記第 2 ピークとを通る直線に -2 を乗算した直線データとを加算し、前記第 2 区間の前記所定の時刻以降において、前記第 2 ピーク以降の前記ドリフトノイズ低減データを前記第 2 ピーク以前に逆順に並べ替えたデータと、前記直線データとを加算して、前記補正データを生成する、計測プログラム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、計測方法、計測装置、計測システム及び計測プログラムに関する。

【背景技術】

【0002】

特許文献 1 には、鉄道車両の通過に伴う橋梁の桁の変位の時系列のうち鉄道車両の運動に依存しない成分である静的成分の時系列を記憶する静的成分記憶部と、測定対象の鉄道車両の通過に伴う測定対象の橋梁の桁の加速度測定値または速度測定値の少なくともいずれかに基づいて当該桁の変位の時系列を検出する変位検出部と、変位検出部が検出した変位の時系列から、誤差を含み得る静的成分を除いた残りの成分である動的成分の時系列を抽出する動的成分抽出部と、静的成分記憶部から静的成分の時系列を取得する静的成分取得部と、動的成分抽出部が抽出した動的成分の時系列と、静的成分取得部が取得した静的成分の時系列とを合成する合成部と、を具備する変位取得装置が記載されている。

【 0 0 0 3 】

特許文献 1 に記載の変位取得装置によれば、検出した桁の変位の時系列から誤差を含み得る静的成分を除いて、記憶されている静的成分に置き換えることにより、誤差を除いた変位の時系列を得ることができる。

【 先行技術文献 】

【 特許文献 】

【 0 0 0 4 】

【 文献 】 特開 2 0 0 9 - 2 3 7 8 0 5 号公報

【 発明の概要 】

【 発明が解決しようとする課題 】

10

【 0 0 0 5 】

しかしながら、特許文献 1 に記載の変位取得装置では、検出した桁の変位の時系列に含まれる静的成分と記憶されている静的成分との近似性が、得られた変位の時系列の精度に大きく影響するため、当該近似性の精度が十分でない場合、変位の時系列の精度が低下するおそれがある。また、特許文献 1 に記載の変位取得装置では、環境の変化等により、測定時点において変位の時系列に含まれる静的成分が変化している場合、当該静的成分と記憶されている静的成分との乖離を認識する手段がなく、変位の精度に問題があることを知ることができない。また、特許文献 1 に記載の変位取得装置では、鉄道車両の分類毎および橋梁の分類毎の静的成分のデータを記憶しなければならず、当該データの取得や更新が必要となるため、構成が複雑化し、低コスト化が難しい。したがって、静的成分データのような誤差を低減させるための情報をあらかじめ用意することなく誤差を低減させる手法が望まれる。

20

【 課題を解決するための手段 】

【 0 0 0 6 】

本発明に係る計測方法の一態様は、

ドリフトノイズ及び振動成分を含む対象データをローパスフィルター処理して前記振動成分を低減させた振動成分低減データを生成するローパスフィルター処理工程と、

前記振動成分低減データをハイパスフィルター処理して前記ドリフトノイズを低減させたドリフトノイズ低減データを生成するハイパスフィルター処理工程と、

前記ドリフトノイズ低減データに基づいて、前記振動成分低減データから前記ドリフトノイズを除いたデータと前記ドリフトノイズ低減データとの差に相当する補正データを推定する補正データ推定工程と、

30

前記対象データから前記振動成分低減データを減算して前記振動成分を含む振動成分データを生成する振動成分データ生成工程と、

前記ドリフトノイズ低減データと前記補正データと前記振動成分データとを加算して計測データを生成する計測データ生成工程と、を含む。

【 0 0 0 7 】

本発明に係る計測方法の他の一態様は、

ドリフトノイズ及び振動成分を含む対象データをローパスフィルター処理して前記振動成分を低減させた振動成分低減データを生成するローパスフィルター処理工程と、

40

前記振動成分低減データをハイパスフィルター処理して前記ドリフトノイズを低減させたドリフトノイズ低減データを生成するハイパスフィルター処理工程と、

前記ドリフトノイズ低減データの第 1 ピーク及び第 2 ピークを算出し、前記第 1 ピーク以前の第 1 区間と、前記第 1 ピークと前記第 2 ピークとの間の第 2 区間と、前記第 2 ピーク以降の第 3 区間と、を特定する区間特定工程と、

前記ドリフトノイズ低減データに基づいて、前記第 2 区間において、前記振動成分低減データから前記ドリフトノイズを除いたデータと前記ドリフトノイズ低減データとの差に相当する補正データを推定する補正データ推定工程と、

前記対象データから前記振動成分低減データを減算して前記振動成分を含む振動成分データを生成する振動成分データ生成工程と、

50

前記第 1 区間を前記振動成分低減データとし、前記第 2 区間において、前記ドリフトノイズ低減データと前記補正データと前記振動成分データとを加算し、前記第 3 区間を前記振動成分低減データとして、計測データを生成する計測データ生成工程と、を含む。

【0008】

本発明に係る計測装置の一態様は、

ドリフトノイズ及び振動成分を含む対象データをローパスフィルター処理して前記振動成分を低減させた振動成分低減データを生成するローパスフィルター処理部と、

前記振動成分低減データをハイパスフィルター処理して前記ドリフトノイズを低減させたドリフトノイズ低減データを生成するハイパスフィルター処理部と、

前記ドリフトノイズ低減データに基づいて、前記振動成分低減データから前記ドリフトノイズを除いたデータと前記ドリフトノイズ低減データとの差に相当する補正データを推定する補正データ推定部と、

前記対象データから前記振動成分低減データを減算して前記振動成分を含む振動成分データを生成する振動成分データ生成部と、

前記ドリフトノイズ低減データと前記補正データと前記振動成分データとを加算して計測データを生成する計測データ生成部と、を含む。

【0009】

本発明に係る計測システムの一態様は、

前記計測装置の一態様と、

観測点を観測する観測装置と、を備え、

前記対象データは、前記観測装置による観測データに基づくデータである。

【0010】

本発明に係る計測プログラムの一態様は、

ドリフトノイズ及び振動成分を含む対象データをローパスフィルター処理して前記振動成分を低減させた振動成分低減データを生成するローパスフィルター処理工程と、

前記振動成分低減データをハイパスフィルター処理して前記ドリフトノイズを低減させたドリフトノイズ低減データを生成するハイパスフィルター処理工程と、

前記ドリフトノイズ低減データに基づいて、前記振動成分低減データから前記ドリフトノイズを除いたデータと前記ドリフトノイズ低減データとの差に相当する補正データを推定する補正データ推定工程と、

前記対象データから前記振動成分低減データを減算して前記振動成分を含む振動成分データを生成する振動成分データ生成工程と、

前記ドリフトノイズ低減データと前記補正データと前記振動成分データとを加算して計測データを生成する計測データ生成工程と、をコンピューターに実行させる。

【図面の簡単な説明】

【0011】

【図 1】計測システムの構成例を示す図。

【図 2】図 1 の上部構造を A - A 線で切断した断面図。

【図 3】加速度センサーが検出する加速度の説明図。

【図 4】周波数特性 $F\{M_d(k)\}$ 、 $F\{M(k)\}$ 、 $F\{e(k)\}$ の関係を示す図。

【図 5】周波数特性 $F\{M_s(k)\}$ 、 $F\{M(k)\}$ 、 $F\{e(k)\}$ の関係を示す図。

【図 6】周波数特性 $F\{M_V(k)\}$ を示す図。

【図 7】周波数特性 $F\{M_s(k)\}$ 、 $F\{f_{HP}(M_s(k))\}$ 、 $F\{f_{LP}(M_s(k))\}$ の関係を示す図。

【図 8】周波数特性 $F\{M_s'(k)\}$ 、 $F\{f_{HP}(M_s(k))\}$ 、 $F\{A_{LP}(f_{HP}(M_s(k)))\}$ の関係を示す図。

【図 9】周波数特性 $F\{M_d'(k)\}$ 、 $F\{M_s'(k)\}$ 、 $F\{M_V(k)\}$ の関係を示す図。

【図 10】単位パルス波形であるデータ $M_s(k)$ を示す図。

【図 11】データ $M_s(k)$ をローパスフィルター処理したデータ $f_{LP}(M_s(k))$ を

10

20

30

40

50

示す図。

【図12】データ $M_s(k)$ をハイパスフィルター処理したデータ $f_{HP}(M_s(k))$ を示す図。

【図13】対象データ $U(k)$ の一例を示す図。

【図14】対象データ $U(k)$ のパワースペクトラム密度を示す図。

【図15】変位データ $M_s(k)$ の一例を示す図。

【図16】変位データ $M_s(k)$ のパワースペクトラム密度を示す図。

【図17】振動成分データ $U_{OSC}(k)$ の一例を示す図。

【図18】変位データ $M_U(k)$ の一例を示す図。

【図19】第1区間補正データ $M_{CC1}(k)$ 及び第3区間補正データ $M_{CC3}(k)$ の一例を示す図。

10

【図20】第2区間第1補正データ $M_{1CC2}(k)$ の一例を示す図。

【図21】直線 $L_C(k)$ の一例を示す図。

【図22】第2区間第2補正データ $M_{2CC2}(k)$ の一例を示す図。

【図23】第2区間補正データ $M_{CC2}(k)$ の一例を示す図。

【図24】補正データ $M_{CC}(k)$ の一例を示す図。

【図25】変位データ $R_U(k)$ の一例を示す図。

【図26】計測データ $U'(k)$ の一例を示す図。

【図27】変位波形 $U_O(k)$ 及びドリフトノイズ $D(k)$ の一例を示す図。

【図28】対象データ $U(k)$ の一例を示す図。

20

【図29】計測データ $U'(k)$ を示す図。

【図30】計測データ $U'(k)$ と変位波形 $U_O(k)$ とを重ねて示す図。

【図31】第1実施形態の計測方法の手順の一例を示すフローチャート図。

【図32】第1実施形態における補正データ推定工程の手順の一例を示すフローチャート図。

【図33】センサー、計測装置及び監視装置の構成例を示す図。

【図34】第2実施形態の計測方法の手順の一例を示すフローチャート図。

【図35】第2実施形態における補正データ推定工程の手順の一例を示すフローチャート図。

【図36】第2実施形態における計測装置の構成例を示す図。

30

【図37】計測システムの他の構成例を示す図。

【図38】計測システムの他の構成例を示す図。

【図39】計測システムの他の構成例を示す図。

【図40】図39の上部構造をA-A線で切断した断面図。

【発明を実施するための形態】

【0012】

以下、本発明の好適な実施形態について図面を用いて詳細に説明する。なお、以下に説明する実施の形態は、特許請求の範囲に記載された本発明の内容を不当に限定するものではない。また以下で説明される構成の全てが本発明の必須構成要件であるとは限らない。

【0013】

40

1. 第1実施形態

1-1. 計測システムの構成

以下では、構造物が橋梁の上部構造であり、移動体が鉄道車両である場合を例に挙げ、本実施形態の計測方法を実現するための計測システムについて説明する。

【0014】

図1は、本実施形態に係る計測システムの一例を示す図である。図1に示すように、本実施形態に係る計測システム10は、計測装置1と、橋梁5の上部構造7に設けられる少なくとも1つのセンサー2と、を備えている。また、計測システム10は、監視装置3を備えていてもよい。

【0015】

50

橋梁 5 は上部構造 7 と下部構造 8 からなる。図 2 は、上部構造 7 を図 1 の A - A 線で切断した断面図である。図 1 及び図 2 に示すように、上部構造 7 は、床板 F、主桁 G、不図示の横桁等からなる橋床 7 a と、支承 7 b と、レール 7 c と、枕木 7 d と、バラスト 7 e と、を含む。また、図 1 に示すように、下部構造 8 は、橋脚 8 a と、橋台 8 b と、を含む。上部構造 7 は、隣り合う橋台 8 b と橋脚 8 a、隣り合う 2 つの橋台 8 b、又は、隣り合う 2 つの橋脚 8 a のいずれか 1 つに渡された構造である。上部構造 7 の両端部は、隣り合う橋台 8 b と橋脚 8 a の位置、隣り合う 2 つの橋台 8 b の位置、又は、隣り合う 2 つの橋脚 8 a の位置にある。

【 0 0 1 6 】

計測装置 1 と各センサー 2 とは、例えば、不図示のケーブルで接続され、CAN 等の通信ネットワークを介して通信を行う。CAN は、Controller Area Network の略である。あるいは、計測装置 1 と各センサー 2 とは、無線ネットワークを介して通信を行ってもよい。

10

【 0 0 1 7 】

例えば、各センサー 2 は、移動体である鉄道車両 6 の移動による上部構造 7 の変位を算出するためのデータを出力する。本実施形態では、各センサー 2 は加速度センサーであり、例えば、水晶加速度センサーであってもよいし、MEMS 加速度センサーであってもよい。MEMS は、Micro Electro Mechanical Systems の略である。

【 0 0 1 8 】

本実施形態では、各センサー 2 は上部構造 7 の長手方向の中央部、具体的には、主桁 G の長手方向の中央部に設置されている。ただし、各センサー 2 は、上部構造 7 の変位を算出するための加速度を検出することができればよく、その設置位置は上部構造 7 の中央部に限定されない。なお、各センサー 2 を上部構造 7 の床板 F に設けると、鉄道車両 6 の走行によって破壊するおそれがあり、また橋床 7 a の局所的な変形により測定精度が影響を受けるおそれがあるため、図 1 及び図 2 の例では、各センサー 2 は上部構造 7 の主桁 G に設けられている。

20

【 0 0 1 9 】

上部構造 7 の床板 F や主桁 G 等は、上部構造 7 を走行する鉄道車両 6 による荷重によって、垂直方向に撓む。各センサー 2 は、上部構造 7 を走行する鉄道車両 6 の荷重による床板 F や主桁 G の撓みの加速度を検出する。

30

【 0 0 2 0 】

計測装置 1 は、各センサー 2 から出力される加速度データに基づいて、鉄道車両 6 の走行による上部構造 7 の撓みの変位を算出する。計測装置 1 は、例えば、橋台 8 b に設置される。

【 0 0 2 1 】

計測装置 1 と監視装置 3 とは、例えば、携帯電話の無線ネットワーク及びインターネット等の通信ネットワーク 4 を介して、通信を行うことができる。計測装置 1 は、鉄道車両 6 の走行による上部構造 7 の変位の情報を監視装置 3 に送信する。監視装置 3 は、当該情報を不図示の記憶装置に記憶し、例えば、当該情報に基づいて鉄道車両 6 の監視や上部構造 7 の異常判定等の処理を行ってもよい。

40

【 0 0 2 2 】

なお、本実施形態では、橋梁 5 は、鉄道橋であり、例えば、鋼橋や桁橋、RC 橋等である。RC は、Reinforced-Concrete の略である。

【 0 0 2 3 】

図 2 に示すように、本実施形態では、センサー 2 に対応付けて観測点 R が設定されている。図 2 の例では、観測点 R は、主桁 G に設けられたセンサー 2 の鉛直上方向にある上部構造 7 の表面の位置に設定されている。すなわち、センサー 2 は、観測点 R を観測する観測装置である。観測点 R を観測するセンサー 2 は、鉄道車両 6 の走行により観測点 R に生じる加速度を検出可能な位置に設けられていればよいが、観測点 R に近い位置に設けられることが望ましい。

50

【 0 0 2 4 】

なお、センサー 2 の数及び設置位置は、図 1 及び図 2 に示した例には限定されず種々の変形実施が可能である。

【 0 0 2 5 】

計測装置 1 は、センサー 2 から出力される加速度データに基づいて、鉄道車両 6 が移動する上部構造 7 の面と交差する方向の加速度を取得する。鉄道車両 6 が移動する上部構造 7 の面は、鉄道車両 6 が移動する方向、すなわち上部構造 7 の長手方向である X 方向と、鉄道車両 6 が移動する方向と直交する方向、すなわち上部構造 7 の幅方向である Y 方向とによって規定される。鉄道車両 6 の走行によって、観測点 R は、X 方向及び Y 方向と直交する方向に撓むので、計測装置 1 は、撓みの加速度の大きさを正確に算出するために、X 方向及び Y 方向と直交する方向、すなわち、床板 F の法線方向である Z 方向の加速度を取得するのが望ましい。

10

【 0 0 2 6 】

図 3 は、センサー 2 が検出する加速度を説明する図である。センサー 2 は、互いに直交する 3 軸の各軸方向に生じる加速度を検出する加速度センサーである。

【 0 0 2 7 】

鉄道車両 6 の走行による観測点 R の撓みの加速度を検出するために、センサー 2 は、3 つの検出軸である x 軸、y 軸、z 軸のうち、1 軸が X 方向及び Y 方向と交差する方向となるように設置される。図 1 及び図 2 では、センサー 2 は、1 軸が X 方向及び Y 方向と交差する方向となるように設置される。観測点 R は、X 方向及び Y 方向と直交する方向に撓むので、撓みの加速度を正確に検出するために、理想的には、センサー 2 は、1 軸を X 方向及び Y 方向と直交する Z 方向、すなわち、床板 F の法線方向に合わせて設置される。

20

【 0 0 2 8 】

ただし、センサー 2 を上部構造 7 に設置する場合、設置場所が傾いている場合もある。計測装置 1 は、センサー 2 の 3 つの検出軸の 1 軸が、床板 F の法線方向に合わせて設置されなくても、概ね法線方向に向いていることで誤差は小さく無視できる。また、計測装置 1 は、センサー 2 の 3 つの検出軸の 1 軸が、床板 F の法線方向に合わせて設置されなくても、x 軸、y 軸、z 軸の加速度を合成した 3 軸合成加速度によって、センサー 2 の傾斜による検出誤差の補正を行うことができる。また、センサー 2 は、少なくとも鉛直方向にほぼ平行な方向に生ずる加速度、あるいは、床板 F の法線方向の加速度を検出する 1 軸加速度センサーであってもよい。

30

【 0 0 2 9 】

以下では、まず、計測装置 1 が実行する本実施形態の計測方法の基本的な考え方について説明した後、その詳細について説明する。

【 0 0 3 0 】

1 - 2 . 計測方法の基本的な考え方

まず、センサー 2 から出力される加速度データに基づいて得られる、処理対象である対象データを $M_d(k)$ とし、式 (1) のように、対象データ $M_d(k)$ は、振動成分を含む有意な信号 $M(k)$ とドリフトノイズ $e(k)$ を含んでいるものとする。対象データ $M_d(k)$ に含まれるサンプル数を N とすると、 k は 0 から $N - 1$ までの整数である。

40

【 0 0 3 1 】

【数 1】

$$M_d(k) = M(k) + e(k) \cdots (1)$$

【 0 0 3 2 】

ドリフトノイズ $e(k)$ は、主に、センサー 2 に入力された信号ではなく、0 点誤差や、温度変化によるドリフト、感度の非線形によるドリフト等のセンサー 2 の内部で生成された誤差信号である。ドリフトノイズ $e(k)$ は、センサー 2 に入力される信号に比べて長周期の変動であり、低周波数域にエネルギー分布する。図 4 に、対象データ $M_d(k)$ の周波数特性 $F\{M_d(k)\}$ 、信号 $M(k)$ の周波数特性 $F\{M(k)\}$ 及びドリフト

50

ノイズ $e(k)$ の周波数特性 $F\{e(k)\}$ の関係を示す。

【0033】

信号 $M(k)$ に含まれる振動成分は、例えば、橋梁 5 の固有振動によって生じる基本周波数の信号成分及びその高調波成分であり、一般にドリフトノイズ $e(k)$ よりも高い周波数域にエネルギー分布する。したがって、式 (2) のように、対象データ $M_d(k)$ をローパスフィルター処理することにより、振動成分が低減されたデータ $M_s(k)$ が得られる。

【0034】

【数 2】

$$M_s(k) = f_{LP}\{M_d(k)\} \cdots (2)$$

10

【0035】

振動成分を低減させるためのローパスフィルター処理は、周波数特性 $F\{M_d(k)\}$ に基づいて算出される基本周波数に対応する周期で対象データ $M_d(k)$ を移動平均する処理であってもよいし、基本周波数以上の周波数の信号成分を減衰させる FIR フィルター処理であってもよい。FIR は、Finite Impulse Response の略である。図 5 に、対象データ $M_d(k)$ を移動平均処理して得られたデータ $M_s(k)$ の周波数特性 $F\{M_s(k)\}$ 、信号 $M(k)$ の周波数特性 $F\{M(k)\}$ 及びドリフトノイズ $e(k)$ の周波数特性 $F\{e(k)\}$ の関係を示す。

【0036】

20

また、式 (3) のように、対象データ $M_d(k)$ からデータ $M_s(k)$ を減算することにより、振動成分を含むデータ $M_v(k)$ が得られる。図 6 に、振動成分を含むデータ $M_v(k)$ の周波数特性 $F\{M_v(k)\}$ を示す。

【0037】

【数 3】

$$M_v(k) = M_d(k) - M_s(k) \cdots (3)$$

【0038】

データ $M_s(k)$ をハイパスフィルター処理したデータを $f_{HP}(M_s(k))$ とし、データ $M_s(k)$ をローパスフィルター処理したデータを $f_{LP}(M_s(k))$ とすると、データ $M_s(k)$ 、データ $f_{HP}(M_s(k))$ 及びデータ $f_{LP}(M_s(k))$ の関係は、式 (4) のようになる。

30

【0039】

【数 4】

$$M_s(k) = f_{HP}(M_s(k)) + f_{LP}(M_s(k)) \cdots (4)$$

【0040】

また、データ $M_s(k)$ の周波数特性 $F\{M_s(k)\}$ 、データ $f_{HP}(M_s(k))$ の周波数特性 $F\{f_{HP}(M_s(k))\}$ 及びデータ $f_{LP}(M_s(k))$ の周波数特性 $F\{f_{LP}(M_s(k))\}$ の関係は、式 (5) のようになる。図 7 に、周波数特性 $F\{M_s(k)\}$ 、 $F\{f_{HP}(M_s(k))\}$ 、 $F\{f_{LP}(M_s(k))\}$ の関係を示す。

40

【0041】

【数 5】

$$F\{M_s(k)\} = F\{f_{HP}(M_s(k))\} + F\{f_{LP}(M_s(k))\} \cdots (5)$$

【0042】

ドリフトノイズ $e(k)$ は、オフセット誤差のように観測されるので、ドリフトノイズ $e(k)$ を除くためには低周波数域の信号を減衰させるハイパスフィルター処理が有効で

50

ある。データ $M_S(k)$ をハイパスフィルタ処理した時、低周波数域にエネルギー分布するドリフトノイズ $e(k)$ は十分に抑圧され、式(6)のように、ハイパスフィルタ処理後のデータ $f_{HP}(M_S(k))$ は、信号 $M(k)$ をハイパスフィルタ処理したデータ $f_{HP}(M(k))$ とほぼ等しくなると仮定する。

【0043】

【数6】

$$f_{HP}(M_S(k)) \approx f_{HP}(M(k)) \cdots (6)$$

【0044】

10

ハイパスフィルタ処理によって信号 $M(k)$ の低周波数域の信号成分も失われるので、この信号成分を補うために、データ $M_S(k)$ をハイパスフィルタ処理したデータ $f_{HP}(M_S(k))$ から、信号 $M(k)$ をローパスフィルタ処理したデータ $f_{LP}(M(k))$ を推定する。式(7)のように、信号 $M(k)$ をローパスフィルタ処理したデータ $f_{LP}(M(k))$ は、データ $M_S(k)$ をハイパスフィルタ処理したデータ $f_{HP}(M_S(k))$ から、信号 $M(k)$ をローパスフィルタ処理したデータ $f_{LP}(M(k))$ を推定したデータ $A_{LP}(f_{HP}(M_S(k)))$ とほぼ等しいと仮定する。

【0045】

【数7】

$$f_{LP}(M(k)) \approx A_{LP}(f_{HP}(M_S(k))) \cdots (7)$$

20

【0046】

式(8)のように、データ $M_S(k)$ からドリフトノイズ $e(k)$ を除いたデータは、データ $M_S(k)$ をハイパスフィルタ処理したデータ $f_{HP}(M_S(k))$ と信号 $M(k)$ をローパスフィルタ処理したデータ $f_{LP}(M(k))$ の和と等しいと仮定すると、式(6)、式(7)及び式(8)より、式(9)が得られる。

【0047】

【数8】

$$M_S(k) - e(k) = f_{HP}(M_S(k)) + f_{LP}(M(k)) \cdots (8)$$

30

【0048】

【数9】

$$M_S(k) - e(k) \approx M_S'(k) = f_{HP}(M_S(k)) + A_{LP}(f_{HP}(M_S(k))) \cdots (9)$$

【0049】

式(9)より、データ $M_S'(k)$ の周波数特性 $F\{M_S'(k)\}$ 、データ $f_{HP}(M_S(k))$ の周波数特性 $F\{f_{HP}(M_S(k))\}$ 及びデータ $A_{LP}(f_{HP}(M_S(k)))$ の周波数特性 $F\{A_{LP}(f_{HP}(M_S(k)))\}$ の関係は、式(10)のようになる。図8に、周波数特性 $F\{M_S'(k)\}$ 、 $F\{f_{HP}(M_S(k))\}$ 、 $F\{A_{LP}(f_{HP}(M_S(k)))\}$ の関係を示す。

40

【0050】

【数10】

$$F\{M_S'(k)\} = F\{f_{HP}(M_S(k))\} + F\{A_{LP}(f_{HP}(M_S(k)))\} \cdots (10)$$

【0051】

式(11)のように、式(9)によって得られるデータ $M_S'(k)$ と振動成分を含むデ

50

ータ $M_V(k)$ とを加算することにより、信号 $M(s)$ に近似するデータ $M_d'(k)$ が得られる。図 9 に、周波数特性 $F\{M_d'(k)\}$ 、 $F\{M_s'(k)\}$ 、 $F\{M_V(k)\}$ の関係を示す。

【 0 0 5 2 】

【 数 1 1 】

$$M(k) \approx M_d'(k) = M_s'(k) + M_V(k) \dots (11)$$

【 0 0 5 3 】

データ $M_S(k)$ をハイパスフィルター処理することによって、ドリフトノイズ $e(k)$ が低減されたデータ $f_{HP}(M_S(k))$ が得られるので、このデータ $f_{HP}(M_S(k))$ から、信号 $M(k)$ をローパスフィルター処理したデータ $f_{LP}(M(k))$ を推定し、データ $f_{HP}(M_S(k))$ と当該推定したデータと振動成分を含むデータ $M_V(k)$ とを加算することで、ドリフトノイズ $e(k)$ が低減された信号 $M(k)$ を求めることができる。

10

【 0 0 5 4 】

以下では、データ $M_S(k)$ が変位データである場合を例に挙げて、データ $M_S(k)$ をハイパスフィルター処理したデータ $f_{HP}(M_S(k))$ から、信号 $M(k)$ をローパスフィルター処理したデータ $f_{LP}(M(k))$ を推定する手順について説明する。

【 0 0 5 5 】

まず、式 (12) のように、データ $M_S(k)$ として、橋梁 5 の上部構造 7 における鉄道車両 6 の通過時のたわみ変位を単純化した単位パルス波形を想定する。式 (12) において、 k は 0 以上の各整数である。図 10 に、式 (12) で表される単位パルス波形であるデータ $M_S(k)$ を示す。

20

【 0 0 5 6 】

【 数 1 2 】

$$M_S(k) = \begin{cases} 0 & k < k_a, k_b < k \\ -1 & k_a \leq k \leq k_b \end{cases} \dots (12)$$

【 0 0 5 7 】

データ $M_S(k)$ 、データ $M_S(k)$ をハイパスフィルター処理したデータ $f_{HP}(M_S(k))$ 及びローパスフィルター処理したデータ $f_{LP}(M_S(k))$ の関係は、式 (13) のようになると仮定する。

30

【 0 0 5 8 】

【 数 1 3 】

$$M_S(k) = f_{HP}(M_S(k)) + f_{LP}(M_S(k)) \dots (13)$$

【 0 0 5 9 】

例えば、ローパスフィルター処理が移動平均処理であるとする、式 (13) より、式 (14) が得られる。この時、データ k は移動平均の区間 $2p + 1$ の中央に位置する。

40

【 0 0 6 0 】

【 数 1 4 】

$$f_{HP}(M_S(k)) = M_S(k) - f_{LP}(M_S(k)) = M_S(k) - \frac{1}{2p+1} \sum_{n=k-p}^{n=k+p} M_S(n) \dots (14)$$

【 0 0 6 1 】

式 (14) において、 p は 1 以上の整数であり、データ $M_S(k)$ をローパスフィルター処理したデータ $f_{LP}(M_S(k))$ に平坦部分を設けたいので、 $p < (k_a - k_b) /$

50

2とする。図11に、式(12)で表される単位パルス波形であるデータ $M_s(k)$ を移動平均によるローパスフィルター処理したデータ $f_{LP}(M_s(k))$ を示す。また、図12に、式(12)で表される単位パルス波形であるデータ $M_s(k)$ をハイパスフィルター処理したデータ $f_{HP}(M_s(k))$ を示す。

【0062】

図11と図12を用いて、単位パルス波形であるデータ $M_s(k)$ をハイパスフィルター処理したデータ $f_{HP}(M_s(k))$ とローパスフィルター処理したデータ $f_{LP}(M_s(k))$ とを比較する。

【0063】

図11に示すように、データ $M_s(k)$ をローパスフィルター処理したデータ $f_{LP}(M_s(k))$ の $k_a - p$ から $k_a + p$ までの区間の傾き b は、式(15)によって計算される。

【0064】

【数15】

$$b = f_{LP}(M_s(k_a + 1)) - f_{LP}(M_s(k_a)) = \frac{1}{2p+1} \sum_{n=k_a+1-p}^{n=k_a+1+p} M_s(n) - \frac{1}{2p+1} \sum_{n=k_a-p}^{n=k_a+p} M_s(n) = \frac{-1}{2p+1} \dots (15)$$

【0065】

また、データ $f_{LP}(M_s(k))$ の $k_b - p$ から $k_b + p$ までの区間の傾きは $-b$ となり、 $k_a + p$ から $k_b - p$ までの区間の振幅 B は -1 となる。

【0066】

一方、図12に示すように、データ $M_s(k)$ をハイパスフィルター処理したデータ $f_{HP}(M_s(k))$ の $k_a - p$ から k_a までの区間の傾き a は、式(16)によって計算される。

【0067】

【数16】

$$a = f_{HP}(M_s(k)) = M_s(k) - f_{LP}(M_s(k)) = \frac{1}{2p+1} \dots (16)$$

【0068】

また、データ $f_{HP}(M_s(k))$ の k_b から $k_b + p$ までの区間の傾きは $-a$ となり、 $k = k_a - 1$ の振幅 A は、式(17)によって計算される。

【0069】

【数17】

$$A = f_{HP}(M_s(k_a - 1)) = M_s(k_a - 1) - f_{LP}(M_s(k_a - 1)) = M_s(k_a - 1) - \frac{1}{2p+1} \sum_{n=k_a-1-p}^{n=k_a-1+p} M_s(n) \dots (17)$$

【0070】

前出の式(12)を式(17)に代入し、振幅 A は、式(18)のように計算される。

【0071】

【数18】

$$A = 0 - \frac{1}{2p+1} \left(\sum_{n=k_a-1-p}^{n=k_a-1} M_s(n) + \sum_{n=k_a}^{n=k_a-1+p} M_s(n) \right) = -\frac{1}{2p+1} (0 + (p)(-1)) = \frac{p}{2p+1} \dots (18)$$

【0072】

式(18)より、 p が十分大きいとすると、振幅 A は $1/2$ となる。

【0073】

ここで、データ $M_S(k)$ として想定した式(12)で示される単位パルス波形は、ドリフトノイズ $e(k)$ を含まない。そのため、データ $M_S(k)$ をローパスフィルター処理したデータ $f_{LP}(M_S(k))$ は、信号 $M(k)$ をローパスフィルター処理したデータ $f_{LP}(M(k))$ と等しい。したがって、データ $f_{HP}(M_S(k))$ とデータ $f_{LP}(M_S(k))$ との比較は、データ $f_{HP}(M_S(k))$ とデータ $f_{LP}(M(k))$ との比較であり、データ $f_{HP}(M_S(k))$ の傾き a と振幅 A を測定することで、信号 $M(k)$ をローパスフィルター処理したデータ $f_{LP}(M(k))$ を推定することができる。

【0074】

1-3. 計測方法の詳細

実際には、橋梁5の上部構造7における鉄道車両6の通過時のたわみの変位データである対象データ $U(k)$ は、単位パルス波形とは異なる正方向又は負方向に凸の波形のデータを含むが、上記の対象データ $M_d(k)$ を対象データ $U(k)$ に置き換え、上記の推定方法に基づいて、信号 $M(k)$ をローパスフィルター処理したデータ $f_{LP}(M(k))$ を推定することができる。例えば、正方向又は負方向に凸の波形は、矩形波形、台形波形又は正弦半波波形である。

【0075】

まず、計測装置1は、式(19)のように、加速度センサーから出力される加速度データ $A_S(k)$ を積分して速度データ $V_S(k)$ を生成し、さらに、式(20)のように、速度データ $V_S(k)$ を積分して対象データ $U(k)$ を生成する。式(19)及び式(20)において、 T はデータの時間間隔である。図13に対象データ $U(k)$ の一例を示す。

【0076】

【数19】

$$V_S(k) = A_S(k)\Delta T + V_S(k-1) \dots (19)$$

【0077】

【数20】

$$U(k) = V_S(k)\Delta T + U(k-1) \dots (20)$$

【0078】

次に、計測装置1は、対象データ $U(k)$ に含まれる基本周波数 F_f の振動成分及びその高調波を低減させるために、対象データ $U(k)$ をローパスフィルター処理した変位データ $M_S(k)$ を生成する。

【0079】

具体的には、まず、計測装置1は、対象データ $U(k)$ を高速フーリエ変換処理してパワースペクトラム密度を算出し、パワースペクトラム密度のピークを基本周波数 F_f として算出する。図14に、図13の対象データ $U(k)$ を高速フーリエ変換処理して得られたパワースペクトラム密度を示す。図14の例では、基本周波数 F_f は約3Hzとして算出される。そして、計測装置1は、式(21)により、基本周波数 F_f から基本周期 T_f を算出し、式(22)のように、基本周期 T_f を T で除してデータの時間分解能に調整した移動平均区間 k_{mf} を算出する。基本周期 T_f は、基本周波数 F_f に対応する周期であり、 $T_f > 2T$ である。

【0080】

【数21】

$$T_f = \frac{1}{F_f} \dots (21)$$

10

20

30

40

50

【 0 0 8 1 】

【 数 2 2 】

$$k_{mf} = 2 \left\lfloor \frac{T_f}{2\Delta T} \right\rfloor + 1 \dots (22)$$

【 0 0 8 2 】

そして、計測装置 1 は、ローパスフィルター処理として、式 (2 3) により、基本周期 T_f で対象データ $U(k)$ を移動平均処理して、信号 $M(k)$ に含まれる振動成分を低減させた振動成分低減データとして変位データ $M_s(k)$ を生成する。この移動平均処理は、必要な計算量が小さいだけでなく、基本周波数 F_f の信号成分及びその高調波成分の減衰量が非常に大きいので振動成分が効果的に低減された変位データ $M_s(k)$ が得られる。図 1 5 に、変位データ $M_s(k)$ の一例を示す。また、図 1 6 に、変位データ $M_s(k)$ のパワースペクトラム密度を示す。図 1 5 及び図 1 6 に示すように、対象データ $U(k)$ に含まれる振動成分がほとんど除かれた変位データ $M_s(k)$ が得られる。

10

【 0 0 8 3 】

【 数 2 3 】

$$M_s(k) = \frac{1}{k_{mf}} \sum_{n=k-\frac{k_{mf}-1}{2}}^{k+\frac{k_{mf}-1}{2}} U(n) \dots (23)$$

20

【 0 0 8 4 】

なお、計測装置 1 は、ローパスフィルター処理として、対象データ $U(k)$ に対して基本周期 T_f 以上の周波数の信号成分を減衰させる FIR フィルター処理を行って変位データ $M_s(k)$ を生成してもよい。FIR は、Finite Impulse Response の略である。この FIR フィルター処理は、移動平均処理よりも計算量が大きい、基本周波数 F_f 以上の周波数の信号成分をすべて減衰させることができる。

【 0 0 8 5 】

次に、計測装置 1 は、式 (2 4) により、対象データ $U(k)$ から振動成分が低減された変位データ $M_s(k)$ を減算して、振動成分を含む振動成分データ $U_{osc}(k)$ を生成する。図 1 7 に、振動成分データ $U_{osc}(k)$ の一例を示す。

30

【 0 0 8 6 】

【 数 2 4 】

$$U_{osc}(k) = U(k) - M_s(k) \dots (24)$$

【 0 0 8 7 】

また、計測装置 1 は、式 (2 5) のように、ドリフトノイズを低減させるために変位データ $M_s(k)$ をハイパスフィルター処理した変位データ $M_U(k)$ を生成する。図 1 8 に、変位データ $M_U(k)$ の一例を示す。

【 0 0 8 8 】

【 数 2 5 】

$$M_U(k) = f_{HP}(M_s(k)) \dots (25)$$

40

【 0 0 8 9 】

次に、計測装置 1 は、変位データ $M_U(k)$ に基づいて、信号 $M(k)$ をローパスフィルター処理したデータ $f_{LP}(M(k))$ 、すなわち、変位データ $M_s(k)$ からドリフトノイズを除いたデータと変位データ $M_U(k)$ との差に相当する補正データ $M_{cc}(k)$ を推定する。

【 0 0 9 0 】

50

図18に示すように、本実施形態では、計測装置1は、変位データ $MU(k)$ に基づいて、第1区間 T_1 、第2区間 T_2 及び第3区間 T_3 を特定し、補正データ $M_{CC}(k)$ をこれら3つの区間に分けて生成する。計測装置1は、第1区間 T_1 、第2区間 T_2 及び第3区間 T_3 を特定するために、変位データ $MU(k)$ の第1ピーク $p_1 = (k_1, mu_1)$ 及び第2ピーク $p_2 = (k_2, mu_2)$ を算出する。図18に示すように、第1ピーク p_1 は、鉄道車両6が上部構造7に進入した時刻付近の先頭のピークであり、第2ピーク p_2 は、鉄道車両6が上部構造7から進出した時刻付近の最後尾のピークである。第1区間 T_1 は、第1ピーク p_1 以前の区間、すなわち $k < k_1$ の区間である。第2区間 T_2 は、第1ピーク p_1 と第2ピーク p_2 との間の区間、すなわち $k_1 < k < k_2$ の区間である。第3区間 T_3 は、第2ピーク p_2 以降の区間、すなわち $k > k_2$ の区間である。

10

【0091】

式(26)のように、補正データ $M_{CC}(k)$ は、第1区間 T_1 の補正データである第1区間補正データ $M_{CC1}(k)$ と、第2区間 T_2 の補正データである第2区間補正データ $M_{CC2}(k)$ と、第3区間 T_3 の補正データである第3区間補正データ $M_{CC3}(k)$ との和として求められる。

【0092】

【数26】

$$M_{CC}(k) = M_{CC1}(k) + M_{CC2}(k) + M_{CC3}(k) \dots (26)$$

【0093】

第1区間補正データ $M_{CC1}(k)$ は、変位データ $MU(k)$ の符号を反転したデータ $MU'(k)$ を用いて、式(27)によって求められる。同様に、第3区間補正データ $M_{CC3}(k)$ は、変位データ $MU(k)$ の符号を反転したデータ $MU'(k)$ を用いて、式(28)によって求められる。図19に、第1区間補正データ $M_{CC1}(k)$ 及び第3区間補正データ $M_{CC3}(k)$ の一例を示す。

20

【0094】

【数27】

$$M_{CC1}(k) = \begin{cases} k \leq k_1 & MU'(k) \\ k_1 < k & 0 \end{cases} = \begin{cases} k \leq k_1 & -MU(k) \\ k_1 < k & 0 \end{cases} \dots (27)$$

30

【0095】

【数28】

$$M_{CC3}(k) = \begin{cases} k < k_2 & 0 \\ k_2 \leq k & MU'(k) \end{cases} = \begin{cases} k < k_2 & 0 \\ k_2 \leq k & -MU(k) \end{cases} \dots (28)$$

【0096】

第2区間補正データ $M_{CC2}(k)$ は以下のようにして求められる。まず、第2区間 T_2 の所定の時刻以前である $k < (k_1 + k_2) / 2$ の区間において、第1ピーク p_1 以前の变位データ $MU(k)$ を第1ピーク p_1 以降に逆順に並べ替えたデータは、 $MU(2k_1 - k)$ である。また、第2区間 T_2 の所定の時刻以降である $(k_1 + k_2) / 2 < k < k_2$ の区間において、第2ピーク p_2 以降の変位データ $MU(k)$ を第2ピーク p_2 以前に逆順に並べ替えたデータは $MU(2k_2 - k)$ を生成する。ここでは、所定の時刻は、 $k = (k_1 + k_2) / 2$ に対応する時刻であるが、これ以外の時刻であってもよい。

40

【0097】

そして、式(29)により、データ $MU(2k_1 - k)$ とデータ $MU(2k_2 - k)$ とを用いて、第2区間第1補正データ $M_{1CC2}(k)$ が求められる。図20に、第2区間第1補正データ $M_{1CC2}(k)$ の一例を示す。

【0098】

【数29】

50

$$M1_{CC2}(k) = \begin{cases} k \leq k_1 & 0 \\ k_1 < k \leq \frac{k_1 + k_2}{2} & MU(2k_1 - k) \\ \frac{k_1 + k_2}{2} \leq k < k_2 & MU(2k_2 - k) \\ k_2 \leq k & 0 \end{cases} \dots (29)$$

【0099】

第1ピーク $p_1 = (k_1, \mu_1)$ と第2ピーク $p_2 = (k_2, \mu_2)$ とを通る直線 $L_C(k)$ は、式(30)によって求められる。図21に、直線 $L_C(k)$ の一例を示す。

10

【0100】

【数30】

$$L_C(k) = \frac{\mu_1 - \mu_2}{k_1 - k_2} k + \mu_1 - \frac{\mu_1 - \mu_2}{k_1 - k_2} k_1 \dots (30)$$

【0101】

式(31)により、直線 $L_C(k)$ に -2 を乗算した直線データ $-2L_C(k)$ を用いて、第2区間第2補正データ $M2_{CC2}(k)$ が求められる。図22に、第2区間第2補正データ $M2_{CC2}(k)$ の一例を示す。

20

【0102】

【数31】

$$M2_{CC2}(k) = \begin{cases} k \leq k_1 & 0 \\ k_1 < k < k_2 & -2L_C(k) \\ k_2 \leq k & 0 \end{cases} \dots (31)$$

【0103】

式(32)のように、第2区間補正データ $M_{CC2}(k)$ は、第2区間第1補正データ $M1_{CC2}(k)$ と第2区間第2補正データ $M2_{CC2}(k)$ との和として求められる。図23に、第2区間補正データ $M_{CC2}(k)$ の一例を示す。

30

【0104】

【数32】

$$M_{CC2}(k) = M1_{CC2}(k) + M2_{CC2}(k) = \begin{cases} k \leq k_1 & 0 \\ k_1 < k \leq \frac{k_1 + k_2}{2} & MU(2k_1 - k) - 2L_C(k) \\ \frac{k_1 + k_2}{2} \leq k < k_2 & MU(2k_2 - k) - 2L_C(k) \\ k_2 \leq k & 0 \end{cases} \dots (32)$$

【0105】

補正データ $M_{CC}(k)$ は、式(26)に、式(27)、式(28)及び式(32)を代入し、式(33)のように求められる。図24に、補正データ $M_{CC}(k)$ の一例を示す。

40

【0106】

【数33】

50

$$M_{CC}(k) = M_{CC1}(k) + M_{CC2}(k) + M_{CC3}(k) = \begin{cases} k \leq k_1 & -MU(k) \\ k_1 < k \leq \frac{k_1 + k_2}{2} & MU(2k_1 - k) - 2L_C(k) \\ \frac{k_1 + k_2}{2} \leq k < k_2 & MU(2k_2 - k) - 2L_C(k) \\ k_2 \leq k & -MU(k) \end{cases} \dots (33)$$

【 0 1 0 7 】

そして、式(34)のように、変位データ $MU(k)$ と補正データ $M_{CC}(k)$ とを加算して、振動成分及びドリフトノイズが低減された変位データ $RU(k)$ が得られる。

10

【 0 1 0 8 】

【数 3 4】

$$RU(k) = MU(k) + M_{CC}(k) \dots (34)$$

【 0 1 0 9 】

式(34)に、式(33)を代入し、式(35)が得られる。

【 0 1 1 0 】

【数 3 5】

$$RU(k) = \begin{cases} k \leq k_1 & 0 \\ k_1 < k \leq \frac{k_1 + k_2}{2} & MU(k) + MU(2k_1 - k) - 2L_C(k) \\ \frac{k_1 + k_2}{2} \leq k < k_2 & MU(k) + MU(2k_2 - k) - 2L_C(k) \\ k_2 \leq k & 0 \end{cases} \dots (35)$$

20

【 0 1 1 1 】

式(35)は式(36)のように変形される。

【 0 1 1 2 】

【数 3 6】

$$RU(k) = \begin{cases} k \leq k_1 & 0 \\ k_1 < k < k_2 & MU(k) + M_{CC}(k) \dots (36) \\ k_2 \leq k & 0 \end{cases}$$

30

【 0 1 1 3 】

式(36)より、変位データ $RU(k)$ は、第1区間 T_1 である $k < k_1$ の区間及び第2区間 T_2 である $k_2 < k$ の区間において0であり、振動成分及びドリフトノイズが除かれた変位データ $RU(k)$ が得られる。図25に、変位データ $RU(k)$ の一例を示す。

【 0 1 1 4 】

そして、式(37)のように、変位データ $RU(k)$ と振動成分データ $U_{osc}(k)$ とを加算して、ドリフトノイズが低減された変位データである計測データ $U'(k)$ が得られる。図26に、計測データ $U'(k)$ の一例を示す。

40

【 0 1 1 5 】

【数 3 7】

$$U'(k) = MU(k) + M_{CC}(k) + U_{osc}(k) = RU(k) + U_{osc}(k) \dots (37)$$

【 0 1 1 6 】

式(37)に式(36)を代入し、式(38)が得られる。

【 0 1 1 7 】

【数 3 8】

50

$$U'(k) = \begin{cases} k \leq k_1 & U_{osc}(k) \\ k_1 < k < k_2 & MU(k) + M_{CC}(k) + U_{osc}(k) \cdots (38) \\ k_2 \leq k & U_{osc}(k) \end{cases}$$

【 0 1 1 8 】

本実施形態の計測方法によるドリフトノイズの除去効果を確認するために、対象データ $U(k)$ として、式 (39) のように、変位波形 $UO(k)$ にドリフトノイズ $D(k)$ を加算した波形を用いる。図 27 に、変位波形 $UO(k)$ 及びドリフトノイズ $D(k)$ の一例を示す。また、図 28 に、対象データ $U(k)$ の一例を示す。

10

【 0 1 1 9 】

【 数 3 9 】

$$U(k) = UO(k) + D(k) \cdots (39)$$

【 0 1 2 0 】

対象データ $U(k)$ に対して、式 (21) ~ 式 (38) によって得られる計測データ $U'(k)$ と変位波形 $UO(k)$ とを比較する。図 29 に、計測データ $U'(k)$ を示す。また、図 30 に、計測データ $U'(k)$ と変位波形 $UO(k)$ とを重ねて示す。図 29 及び図 30 に示すように、本実施形態の計測方法によって、ドリフトノイズが除去されて変位波形が復元された計測データ $U'(k)$ が得られることが確認できる。

20

【 0 1 2 1 】

1 - 4 . 計測方法の手順

図 31 は、橋梁 5 の上部構造 7 の変位を計測する第 1 実施形態の計測方法の手順の一例を示すフローチャート図である。本実施形態では、計測装置 1 が図 31 に示す手順を実行する。

【 0 1 2 2 】

図 31 に示すように、まず、対象データ生成工程 S1 において、計測装置 1 は、観測データである加速度データ $A_s(k)$ を取得し、対象データ $U(k)$ を生成する。したがって、対象データ $U(k)$ は、観測装置であるセンサー 2 による観測データである加速度データ $A_s(k)$ に基づくデータである。具体的には、計測装置 1 は、前出の式 (19) 及び式 (20) の計算を行って対象データ $U(k)$ を生成する。本実施形態では、処理対象である対象データ $U(k)$ は、構造物である上部構造 7 を移動する移動体である鉄道車両 6 による上部構造 7 の変位のデータであり、鉄道車両 6 が移動する上部構造 7 の面と交差する方向の加速度を 2 回積分したデータである。したがって、対象データ $U(k)$ は、正方向又は負方向に凸の波形、具体的には、矩形波形、台形波形又は正弦半波波形のデータを含む。なお、矩形波形には、正確な矩形波形のみならず矩形波形に近似する波形も含まれる。同様に、台形波形には、正確な台形波形のみならず台形波形に近似する波形も含まれる。同様に、正弦半波波形には、正確な正弦半波波形のみならず正弦半波波形に近似する波形も含まれる。

30

【 0 1 2 3 】

次に、ローパスフィルター処理工程 S2 において、計測装置 1 は、工程 S1 で生成したドリフトノイズ及び振動成分を含む対象データ $U(k)$ をローパスフィルター処理して振動成分を低減させた振動成分低減データとしての変位データ $M_s(k)$ を生成する。例えば、計測装置 1 は、対象データ $U(k)$ を高速フーリエ変換処理して基本周波数 F_f を算出し、ローパスフィルター処理として、前出の式 (23) のように、基本周波数 F_f に対応する基本周期 T_f で対象データ $U(k)$ を移動平均処理して変位データ $M_s(k)$ を生成してもよい。また、例えば、計測装置 1 は、対象データ $U(k)$ を高速フーリエ変換処理して基本周波数 F_f を算出し、ローパスフィルター処理として、対象データ $U(k)$ に対して基本周波数 F_f 以上の周波数の信号成分を減衰させる FIR フィルター処理を行って変位データ $M_s(k)$ を生成してもよい。

40

50

【0124】

次に、ハイパスフィルター処理工程 S 3 において、計測装置 1 は、前出の式 (2 5) のように、工程 S 2 で生成したドリフトノイズを含む変位データ $M_S(k)$ をハイパスフィルター処理してドリフトノイズを低減させたドリフトノイズ低減データとしての変位データ $M_U(k)$ を生成する。変位データ $M_S(k)$ のハイパスフィルター処理は、前出の式 (1 4) のように、変位データ $M_S(k)$ から、変位データ $M_S(k)$ をローパスフィルター処理したデータを減算する処理であってもよい。ローパスフィルター処理は、移動平均処理又は F I R フィルター処理であってもよい。すなわち、変位データ $M_S(k)$ のハイパスフィルター処理は、変位データ $M_S(k)$ から、変位データ $M_S(k)$ を移動平均処理又は F I R フィルター処理したデータを減算する処理であってもよい。

10

【0125】

次に、補正データ推定工程 S 4 において、計測装置 1 は、工程 S 3 で生成した変位データ $M_U(k)$ に基づいて、変位データ $M_S(k)$ からドリフトノイズを除いたデータと変位データ $M_U(k)$ との差に相当する補正データ $M_{CC}(k)$ を推定する。具体的には、計測装置 1 は、前出の式 (2 6) ~ 式 (3 3) の計算を行って補正データ $M_{CC}(k)$ を生成する。

【0126】

また、振動成分データ生成工程 S 5 において、計測装置 1 は、前出の式 (2 4) のように、工程 S 1 で生成した対象データ $U(k)$ から工程 S 2 で生成した変位データ $M_S(k)$ を減算して振動成分を含む振動成分データ $U_{OSC}(k)$ を生成する。本実施形態では、対象データ $U(k)$ に含まれるドリフトノイズの周波数は、上部構造 7 の固有振動周波数の最小値よりも低い。上部構造 7 の固有振動周波数の最小値は、例えば、上部構造 7 の長手方向の 1 次の振動モードの周波数である。工程 S 2 におけるローパスフィルター処理のカットオフ周波数及び工程 S 3 におけるハイパスフィルター処理のカットオフ周波数を、上部構造 7 のドリフトノイズの周波数よりも高く、かつ、固有振動周波数の最小値よりも低く設定することにより、工程 S 5 で生成される振動成分データ $U_{OSC}(k)$ において、上部構造 7 の固有振動周波数の信号成分及びその高調波成分は低減されることなく、ドリフトノイズは低減される。例えば、ドリフトノイズの周波数は 1 H z 未満であり、ローパスフィルター処理のカットオフ周波数及びハイパスフィルター処理のカットオフ周波数が 1 H z 以上であってもよい。

20

30

【0127】

次に、計測データ生成工程 S 6 において、計測装置 1 は、前出の式 (3 4) 及び式 (3 7) のように、工程 S 3 で生成した変位データ $M_U(k)$ と工程 S 4 で生成した補正データ $M_{CC}(k)$ と工程 S 5 で生成した振動成分データ $U_{OSC}(k)$ とを加算して計測データ $U'(k)$ を生成する。

【0128】

次に、計測データ出力工程 S 7 において、計測装置 1 は、工程 S 6 で生成した計測データ $U'(k)$ を監視装置 3 に出力する。具体的には、計測装置 1 は、計測データ $U'(k)$ を、通信ネットワーク 4 を介して監視装置 3 に送信する。

【0129】

40

そして、工程 S 8 において、橋梁 5 の上部構造 7 の変位の計測を終了するまで、計測装置 1 は、工程 S 1 ~ S 7 の処理を繰り返し行う。

【0130】

図 3 2 は、図 3 1 の補正データ推定工程 S 4 の手順の一例を示すフローチャート図である。

【0131】

図 3 2 に示すように、まず、区間特定工程 S 4 1 において、計測装置 1 は、変位データ $M_U(k)$ の第 1 ピーク $p_1 = (k_1, mu_1)$ 及び第 2 ピーク $p_2 = (k_2, mu_2)$ を算出し、第 1 ピーク p_1 以前の第 1 区間 T_1 と、第 1 ピーク p_1 と第 2 ピーク p_2 との間の第 2 区間 T_2 と、第 2 ピーク p_2 以降の第 3 区間 T_3 と、を特定する。すなわち、第 1 区

50

間 T_1 は k_1 の区間であり、第 2 区間 T_2 は $k_1 < k < k_2$ の区間であり、第 3 区間 T_3 は $k_2 < k$ の区間である。本実施形態では、第 1 ピーク p_1 は、鉄道車両 6 が上部構造 7 に進入した時刻付近の先頭のピークであり、第 2 ピーク p_2 は、鉄道車両 6 が上部構造 7 から進出した時刻付近の最後尾のピークである。

【0132】

次に、第 1 区間補正データ生成工程 S 4 2 において、計測装置 1 は、前出の式 (27) のように、第 1 区間 T_1 において、変位データ $M_U(k)$ の符号を反転して第 1 区間補正データ $M_{CC1}(k)$ を生成する。

【0133】

次に、第 2 区間補正データ生成工程 S 4 3 において、計測装置 1 は、前出の式 (32) のように、第 2 区間 T_2 の所定の時刻以前において、第 1 ピーク p_1 以前の変位データ $M_U(k)$ を第 1 ピーク p_1 以降に逆順に並べ替えたデータ $M_U(2k_1 - k)$ と、第 1 ピーク p_1 と第 2 ピーク p_2 とを通る直線 $L_C(k)$ に -2 を乗算した直線データ $-2L_C(k)$ を加算し、第 2 区間 T_2 の所定の時刻以降において、第 2 ピーク p_2 以降の変位データ $M_U(k)$ を第 2 ピーク p_2 以前に逆順に並べ替えたデータ $M_U(2k_2 - k)$ と、直線データ $-2L_C(k)$ とを加算して、第 2 区間補正データ $M_{CC2}(k)$ を生成する。

【0134】

次に、第 3 区間補正データ生成工程 S 4 4 において、計測装置 1 は、前出の式 (28) のように、第 3 区間 T_3 において、変位データ $M_U(k)$ の符号を反転して第 3 区間補正データ $M_{CC3}(k)$ を生成する。

【0135】

最後に、補正データ生成工程 S 4 5 において、計測装置 1 は、前出の式 (26) のように、工程 S 4 2 で生成した第 1 区間補正データ $M_{CC1}(k)$ と工程 S 4 3 で生成した第 2 区間補正データ $M_{CC2}(k)$ と工程 S 4 4 で生成した第 3 区間補正データ $M_{CC3}(k)$ とを加算して補正データ $M_{CC}(k)$ を生成する。

【0136】

1-5. 観測装置、計測装置及び監視装置の構成

図 33 は、観測装置であるセンサー 2、計測装置 1 及び監視装置 3 の構成例を示す図である。

【0137】

図 33 に示すように、センサー 2 は、通信部 21 と、加速度センサー 22 と、プロセッサ 23 と、記憶部 24 と、を備えている。

【0138】

記憶部 24 は、プロセッサ 23 が計算処理や制御処理を行うための各種のプログラムやデータ等を記憶するメモリーである。また、記憶部 24 は、プロセッサ 23 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。

【0139】

加速度センサー 22 は、3 軸の各軸方向に生じる加速度を検出する。

【0140】

プロセッサ 23 は、記憶部 24 に記憶された観測プログラム 241 を実行することにより、加速度センサー 22 を制御し、加速度センサー 22 が検出した加速度に基づいて観測データ 242 を生成し、生成した観測データ 242 を記憶部 24 に記憶させる。本実施形態では、観測データ 242 は、加速度データ $A_S(k)$ である。

【0141】

通信部 21 は、プロセッサ 23 の制御により、記憶部 24 に記憶されている観測データ 242 を計測装置 1 に送信する。

【0142】

図 33 に示すように、計測装置 1 は、第 1 通信部 11 と、第 2 通信部 12 と、プロセッサ 13 と、記憶部 14 と、を備えている。

【0143】

10

20

30

40

50

第1通信部11は、センサー2から観測データ242を受信し、受信した観測データ242をプロセッサ13に出力する。前述の通り、観測データ242は、加速度データ $A_s(k)$ である。

【0144】

記憶部14は、プロセッサ13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するメモリーである。また、記憶部14は、プロセッサ13が所定のアプリケーション機能を実現するための各種のプログラムやデータ等を記憶している。また、プロセッサ13が通信ネットワーク4を介して各種のプログラムやデータ等を受信して記憶部14に記憶させてもよい。

【0145】

プロセッサ13は、第1通信部11が受信した観測データ242を取得し、観測データ142として記憶部14に記憶させる。そして、プロセッサ13は、記憶部14に記憶された観測データ142に基づいて計測データ143を生成し、生成した計測データ143を記憶部14に記憶させる。本実施形態では、計測データ143は、計測データ $U'(k)$ である。

【0146】

本実施形態では、プロセッサ13は、記憶部14に記憶された計測プログラム141を実行することにより、対象データ生成部131、ローパスフィルター処理部132、ハイパスフィルター処理部133、補正データ推定部134、振動成分データ生成部135、計測データ生成部136及び計測データ出力部137として機能する。すなわち、プロセッサ13は、対象データ生成部131、ローパスフィルター処理部132、ハイパスフィルター処理部133、補正データ推定部134、振動成分データ生成部135、計測データ生成部136及び計測データ出力部137を含む。

【0147】

対象データ生成部131は、記憶部14に記憶されている観測データ142を読み出し、観測データ142である加速度データ $A_s(k)$ に基づいて、対象データ $U(k)$ を生成する。具体的には、対象データ生成部131は、前出の式(19)及び式(20)の計算を行って対象データ $U(k)$ を生成する。すなわち、対象データ生成部131は、図31における対象データ生成工程S1の処理を行う。

【0148】

ローパスフィルター処理部132は、対象データ生成部131が生成したドリフトノイズ及び振動成分を含む対象データ $U(k)$ をローパスフィルター処理して振動成分を低減させた振動成分低減データとしての変位データ $M_s(k)$ を生成する。すなわち、ローパスフィルター処理部132は、図31におけるローパスフィルター処理工程S2の処理を行う。

【0149】

ハイパスフィルター処理部133は、前出の式(25)のように、ローパスフィルター処理部132が生成した変位データ $M_s(k)$ をハイパスフィルター処理してドリフトノイズを低減させたドリフトノイズ低減データとしての変位データ $M_U(k)$ を生成する。すなわち、ハイパスフィルター処理部133は、図31におけるハイパスフィルター処理工程S3の処理を行う。

【0150】

補正データ推定部134は、ハイパスフィルター処理部133が生成した変位データ $M_U(k)$ に基づいて、変位データ $M_s(k)$ からドリフトノイズを除いたデータと変位データ $M_U(k)$ との差に相当する補正データ $M_{CC}(k)$ を生成する。補正データ推定部134は、前出の式(26)～式(33)の計算を行って補正データ $M_{CC}(k)$ を生成する。

【0151】

具体的には、まず、補正データ推定部134は、変位データ $M_U(k)$ の第1ピーク $p_1 = (k_1, m_{u_1})$ 及び第2ピーク $p_2 = (k_2, m_{u_2})$ を算出し、第1ピーク p_1 以

10

20

30

40

50

前の第1区間 T_1 と、第1ピーク p_1 と第2ピーク p_2 との間の第2区間 T_2 と、第2ピーク p_2 以降の第3区間 T_3 と、を特定する。すなわち、補正データ推定部134は、図32における区間特定工程S41の処理を行う。

【0152】

次に、補正データ推定部134は、前出の式(27)のように、第1区間 T_1 において、変位データ $M_U(k)$ の符号を反転して第1区間補正データ $M_{CC1}(k)$ を生成する。すなわち、補正データ推定部134は、図32における第1区間補正データ生成工程S42の処理を行う。

【0153】

次に、補正データ推定部134は、前出の式(32)のように、第2区間 T_2 の所定の時刻以前において、第1ピーク p_1 以前の変位データ $M_U(k)$ を第1ピーク p_1 以降に逆順に並べ替えたデータ $M_U(2k_1 - k)$ と、第1ピーク p_1 と第2ピーク p_2 とを通る直線 $L_C(k)$ に -2 を乗算した直線データ $-2L_C(k)$ を加算し、第2区間 T_2 の所定の時刻以降において、第2ピーク p_2 以降の変位データ $M_U(k)$ を第2ピーク p_2 以前に逆順に並べ替えたデータ $M_U(2k_2 - k)$ と、直線データ $-2L_C(k)$ とを加算して、第2区間補正データ $M_{CC2}(k)$ を生成する。すなわち、補正データ推定部134は、図32における第2区間補正データ生成工程S43の処理を行う。

【0154】

次に、補正データ推定部134は、前出の式(28)のように、第3区間 T_3 において、変位データ $M_U(k)$ の符号を反転して第3区間補正データ $M_{CC3}(k)$ を生成する。すなわち、補正データ推定部134は、図32における第3区間補正データ生成工程S44の処理を行う。

【0155】

最後に、補正データ推定部134は、前出の式(26)のように、第1区間補正データ $M_{CC1}(k)$ と第2区間補正データ $M_{CC2}(k)$ と第3区間補正データ $M_{CC3}(k)$ とを加算して補正データ $M_{CC}(k)$ を生成する。すなわち、補正データ推定部134は、図32における補正データ生成工程S45の処理を行う。

【0156】

このように、補正データ推定部134は、図31における補正データ推定工程S4の処理、具体的には、図32における工程S41～S45の処理を行う。

【0157】

振動成分データ生成部135は、前出の式(24)のように、対象データ生成部131が生成した対象データ $U(k)$ からローパスフィルター処理部132が生成した変位データ $M_S(k)$ を減算して振動成分を含む振動成分データ $U_{OSC}(k)$ を生成する。すなわち、振動成分データ生成部135は、図31における振動成分データ生成工程S5の処理を行う。

【0158】

計測データ生成部136は、前出の式(34)及び式(37)のように、ハイパスフィルター処理部133が生成した変位データ $M_U(k)$ と補正データ推定部134が生成した補正データ $M_{CC}(k)$ と振動成分データ生成部135が生成した振動成分データ $U_{OSC}(k)$ とを加算して計測データ $U'(k)$ を生成する。すなわち、計測データ生成部136は、図31における計測データ生成工程S6の処理を行う。計測データ生成部136が生成した計測データ U' は、計測データ143として記憶部14に記憶される。

【0159】

計測データ出力部137は、記憶部14に記憶されている計測データ143を読み出し、計測データ143を監視装置3に出力する。そして、第2通信部12は、計測データ出力部137の制御により、記憶部14に記憶されている計測データ143を、通信ネットワーク4を介して、監視装置3に送信する。すなわち、計測データ出力部137は、図31における計測データ出力工程S7の処理を行う。

【0160】

10

20

30

40

50

このように、計測プログラム 1 4 1 は、図 3 1 に示したフローチャートの各手順を、コンピュータである計測装置 1 に実行させるプログラムである。

【 0 1 6 1 】

図 3 3 に示すように、監視装置 3 は、通信部 3 1 と、プロセッサ 3 2 と、表示部 3 3 と、操作部 3 4 と、記憶部 3 5 と、を備えている。

【 0 1 6 2 】

通信部 3 1 は、計測装置 1 から計測データ 1 4 3 を受信し、受信した計測データ 1 4 3 をプロセッサ 3 2 に出力する。前述の通り、計測データ 1 4 3 は、計測データ U' (k) である。

【 0 1 6 3 】

表示部 3 3 は、プロセッサ 3 2 の制御により、各種の情報を表示させる。表示部 3 3 は、例えば、液晶ディスプレイや有機 E L ディスプレイであってもよい。E L は、Electro Luminescence の略である。

【 0 1 6 4 】

操作部 3 4 は、ユーザーによる操作に対応する操作データをプロセッサ 3 2 に出力する。操作部 3 4 は、例えば、マウス、キーボード、マイクロフォン等の入力装置であってもよい。

【 0 1 6 5 】

記憶部 3 5 は、プロセッサ 3 2 が計算処理や制御処理を行うための各種のプログラムやデータ等を記憶するメモリーである。また、記憶部 3 5 は、プロセッサ 3 2 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。

【 0 1 6 6 】

プロセッサ 3 2 は、通信部 3 1 が受信した計測データ 1 4 3 を取得し、取得した計測データ 1 4 3 に基づいて上部構造 7 の変位の経時的な変化を評価して評価情報を生成し、生成した評価情報を表示部 3 3 に表示させる。

【 0 1 6 7 】

本実施形態では、プロセッサ 3 2 は、記憶部 3 5 に記憶された監視プログラム 3 5 1 を実行することにより、計測データ取得部 3 2 1 及び監視部 3 2 2 として機能する。すなわち、プロセッサ 3 2 は、計測データ取得部 3 2 1 及び監視部 3 2 2 を含む。

【 0 1 6 8 】

計測データ取得部 3 2 1 は、通信部 3 1 が受信した計測データ 1 4 3 を取得し、取得した計測データ 1 4 3 を記憶部 3 5 に記憶される計測データ列 3 5 2 に追加する。

【 0 1 6 9 】

監視部 3 2 2 は、記憶部 3 5 に記憶される計測データ列 3 5 2 に基づいて、統計的に上部構造 7 の変位の経時的な変化を評価する。そして、監視部 3 2 2 は、評価結果を示す評価情報を生成し、生成した評価情報を表示部 3 3 に表示させる。ユーザーは、表示部 3 3 に表示される評価情報に基づいて、上部構造 7 の状態を監視することができる。

【 0 1 7 0 】

監視部 3 2 2 は、記憶部 3 5 に記憶される計測データ列 3 5 2 に基づいて、鉄道車両 6 の監視や上部構造 7 の異常判定等の処理を行ってもよい。

【 0 1 7 1 】

また、プロセッサ 3 2 は、操作部 3 4 から出力される操作データに基づいて、計測装置 1 やセンサー 2 の動作状況を調整するための情報を、通信部 3 1 を介して計測装置 1 に送信する。計測装置 1 は、第 2 通信部 1 2 を介して受信した情報によって動作状況が調整される。また、計測装置 1 は、第 2 通信部 1 2 を介して受信したセンサー 2 の動作状況を調整するための情報を、第 1 通信部 1 1 を介してセンサー 2 に送信する。センサー 2 は、通信部 2 1 を介して受信した情報によって動作状況が調整される。

【 0 1 7 2 】

なお、プロセッサ 1 3 , 2 3 , 3 2 は、例えば各部の機能が個別のハードウェアで実現されてもよいし、或いは各部の機能が一体のハードウェアで実現されてもよい。例えば

10

20

30

40

50

、プロセッサ 13, 23, 32 はハードウェアを含み、そのハードウェアは、デジタル信号を処理する回路及びアナログ信号を処理する回路の少なくとも一方を含むことができる。プロセッサ 13, 23, 32 は、CPU、GPU、或いはDSP等であってもよい。CPUはCentral Processing Unitの略であり、GPUはGraphics Processing Unitの略であり、DSPはDigital Signal Processorの略である。また、プロセッサ 13, 23, 32 は、ASICなどのカスタムICとして構成され、各部の機能を実現してもよいし、CPUとASICとによって各部の機能を実現してもよい。ASICはApplication Specific Integrated Circuitの略であり、ICはIntegrated Circuitの略である。

【0173】

また、記憶部 14, 24, 35 は、例えば、ROMやフラッシュROM、RAM等の各種IC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。ROMはRead Only Memoryの略であり、RAMはRandom Access Memoryの略であり、ICはIntegrated Circuitの略である。記憶部 14, 24, 35 は、コンピュータにより読み取り可能な装置や媒体である不揮発性の情報記憶装置を含み、各種のプログラムやデータ等は当該情報記憶装置に記憶されていてもよい。情報記憶装置は、光ディスクDVD、CD等の光ディスク、ハードディスクドライブ、或いはカード型メモリーやROM等の各種のメモリー等であってもよい。

【0174】

なお、図33ではセンサー2は1つのみ図示されているが、複数のセンサー2がそれぞれ観測データ242を生成し、計測装置1に送信してもよい。この場合、計測装置1は、複数のセンサー2から送信された複数の観測データ242を受信して複数の計測データ143を生成し、監視装置3に送信する。また、監視装置3は、計測装置1から送信された複数の計測データ143を受信し、受信した複数の計測データ143に基づいて、複数の上部構造7の状態を監視する。

【0175】

1-6. 作用効果

以上に説明した第1実施形態の計測方法では、計測装置1は、処理対象である対象データ $U(k)$ を用いて、振動成分を低減させた変位データ $M_s(k)$ 及び振動成分を含む振動成分データ $U_{osc}(k)$ を生成し、変位データ $M_s(k)$ からドリフトノイズを低減させた変位データ $M_U(k)$ を生成し、変位データ $M_U(k)$ に基づいて補正データ $M_{cc}(k)$ を推定する。変位データ $M_U(k)$ は振動成分が低減されているので、高い精度で推定された補正データ $M_{cc}(k)$ が得られる。そして、補正データ $M_{cc}(k)$ は、変位データ $M_s(k)$ からドリフトノイズを除いたデータと変位データ $M_U(k)$ との差に相当するので、ハイパスフィルター処理によって除去された有意な信号成分を含んでいる。したがって、第1実施形態の計測方法によれば、計測装置1は、変位データ $M_U(k)$ と補正データ $M_{cc}(k)$ と振動成分データ $U_{osc}(k)$ とを加算することにより、対象データ $U(k)$ に対してドリフトノイズが低減された計測データ $U'(k)$ を生成することができる。また、第1実施形態の計測方法によれば、計測装置1は、処理対象である対象データ $U(k)$ を用いて、変位データ $M_U(k)$ と補正データ $M_{cc}(k)$ と振動成分データ $U_{osc}(k)$ とを生成し、変位データ $M_U(k)$ と補正データ $M_{cc}(k)$ と振動成分データ $U_{osc}(k)$ とを加算することにより、ドリフトノイズを低減させるための情報をあらかじめ用意しなくともドリフトノイズを低減させた計測データ $U'(k)$ を生成することができる。そのため、第1実施形態の計測方法を用いることによって、環境の変化によらず精度の良い計測データ $U'(k)$ が得られるとともに、低コスト化が可能である。

【0176】

特に、第1実施形態の計測方法によれば、計測装置1は、対象データ $U(k)$ に対してドリフトノイズ及び振動成分を低減させた変位データ $M_U(k)$ の特徴に基づいて第1区間 T_1 、第2区間 T_2 及び第3区間 T_3 を特定し、適切な第1区間補正データ $M_{cc1}(k)$ 、第2区間補正データ $M_{cc2}(k)$ 及び第3区間補正データ $M_{cc3}(k)$ を生成することができるので、これらを加算して生成される補正データ $M_{cc}(k)$ の推定精度を高

10

20

30

40

50

めることができる。

【0177】

また、第1実施形態の計測方法によれば、計測装置1は、基本周波数 F_f に対応する周期 T_f で対象データ $U(k)$ を移動平均処理することにより、必要な計算量が小さいだけでなく、基本周波数 F_f の信号成分及びその高調波成分の減衰量が非常に大きいので、振動成分が効果的に低減された変位データ $M_s(k)$ が得られるため、振動成分の影響を排除して補正データ $M_{cc}(k)$ の推定精度を高めることができる。あるいは、計測装置1は、対象データ $U(k)$ に対して基本周波数 F_f 以上の周波数の信号成分を減衰させるFIRフィルター処理を行って変位データ $M_s(k)$ を生成することにより、移動平均処理よりも計算量が大きくなるが、基本周波数 F_f 以上の周波数の信号成分をすべて減衰させることができるため、基本周波数 F_f 以上の振動成分の影響を排除して補正データ $M_{cc}(k)$ の推定精度を高めることができる。

10

【0178】

また、第1実施形態の計測方法によれば、計測装置1は、変位データ $M_s(k)$ に対するハイパスフィルター処理として、変位データ $M_s(k)$ から、変位データ $M_s(k)$ を移動平均処理又はFIRフィルター処理したデータを減算する処理を行うことにより、ハイパスフィルター処理を簡易に行うことができる。さらに、移動平均処理又はFIRフィルター処理では変位データ $M_s(k)$ に含まれる各信号成分の群遅延が一定であるので、補正データ $M_{cc}(k)$ を精度良く推定することができる。

20

【0179】

また、第1実施形態の計測方法では、処理対象である対象データ $U(k)$ は、橋梁5の上部構造7を移動する鉄道車両6による上部構造7の変位のデータである。したがって、第1実施形態の計測方法によれば、計測装置1は、ドリフトノイズが低減された、鉄道車両6の移動による上部構造7の変位データである計測データ $U'(k)$ を生成するので、橋梁5の上部構造7の変位を精度良く計測することができる。

【0180】

また、第1実施形態の計測方法によれば、計測装置1は、上部構造7に設置されたセンサー2が検出する上部構造7の面と交差する方向の加速度を2回積分して処理対象である対象データ $U(k)$ を生成するので、上部構造7の変位を精度良く計測することができる。

【0181】

また、第1実施形態の計測方法では、対象データ $U(k)$ に含まれるドリフトノイズの周波数が、上部構造7の固有振動周波数の最小値よりも低いことにより、対象データ $U(k)$ に対するローパスフィルター処理及びハイパスフィルター処理のカットオフ周波数を、上部構造7のドリフトノイズの周波数よりも高く、かつ、固有振動周波数の最小値よりも低く設定することができる。したがって、第1実施形態の計測方法によれば、生成される計測データ $U'(k)$ において、上部構造7の固有振動周波数の信号成分及びその高調波成分を低減させずに、ドリフトノイズを低減させることができる。

30

【0182】

また、第1実施形態の計測方法では、処理対象である対象データ $U(k)$ が正方向又は負方向に凸の波形、例えば、矩形波形、台形波形又は正弦半波波形のデータを含むことにより、計測装置1は、これらの波形の特徴に基づいてより適切な補正データ $M_{cc}(k)$ を生成することができるので、生成される補正データ $M_{cc}(k)$ の推定精度を高めることができる。

40

【0183】

2. 第2実施形態

以下、第2実施形態について、第1実施形態と同様の構成要素には同じ符号を付して第1実施形態と重複する説明を省略又は簡略し、主に第1実施形態と異なる内容について説明する。

【0184】

第1実施形態の計測方法では、計測装置1は、第1区間補正データ $M_{cc1}(k)$ と第2

50

区間補正データ $M_{CC2}(k)$ と第 3 区間補正データ $M_{CC3}(k)$ とを加算して補正データ $M_{CC}(k)$ を生成し、変位データ $MU(k)$ と補正データ $M_{CC}(k)$ と振動成分データ $U_{OSC}(k)$ とを加算して計測データ $U'(k)$ を生成する。これに対して、前出の式 (38) のように、変位データ $MU(k)$ と補正データ $M_{CC}(k)$ と振動成分データ $U_{OSC}(k)$ との加算により得られる計測データ $U'(k)$ は、第 1 区間 $T1$ 及び第 3 区間 $T3$ において必ず振動成分データ $U_{OSC}(k)$ になる。そのため、第 2 実施形態の計測方法では、計測装置 1 は、第 1 区間補正データ $M_{CC1}(k)$ 及び第 3 区間補正データ $M_{CC3}(k)$ を生成せずに、第 2 区間 $T2$ において補正データ $M_{CC2}(k)$ を生成する。そして、計測装置 1 は、式 (40) に示すように、第 1 区間 $T1$ である $k = k_1$ の区間及び第 3 区間 $T3$ である $k = k_2$ の区間において振動成分データ $U_{OSC}(k)$ とし、第 2 区間 $T2$ である $k_1 < k < k_2$ の区間において変位データ $MU(k)$ と補正データ $M_{CC2}(k)$ と振動成分データ $U_{OSC}(k)$ とを加算して、計測データ $U'(k)$ を生成する。

10

【0185】

【数40】

$$U'(k) = \begin{cases} k \leq k_1 & U_{osc}(k) \\ k_1 < k < k_2 & MU(k) + M_{CC2}(k) + U_{osc}(k) \cdots (40) \\ k_2 \leq k & U_{osc}(k) \end{cases}$$

【0186】

20

前出の式 (38) において、 $k_1 < k < k_2$ の区間では補正データ $M_{CC}(k)$ は第 2 区間補正データ $M_{CC2}(k)$ と一致するので、式 (40) による計算結果は、式 (38) による計算結果と一致する。

【0187】

図 3 4 は、橋梁 5 の上部構造 7 の変位を計測する第 2 実施形態の計測方法の手順の一例を示すフローチャート図である。本実施形態では、計測装置 1 が図 3 4 に示す手順を実行する。

【0188】

図 3 4 に示すように、まず、対象データ生成工程 $S110$ において、計測装置 1 は、観測データである加速度データ $A_s(k)$ を取得し、対象データ $U(k)$ を生成する。具体的には、計測装置 1 は、前出の式 (19) 及び式 (20) の計算を行って対象データ $U(k)$ を生成する。対象データ生成工程 $S110$ の処理は、図 3 1 の対象データ生成工程 $S1$ の処理と同じである。

30

【0189】

次に、ローパスフィルター処理工程 $S120$ において、計測装置 1 は、工程 $S110$ で生成したドリフトノイズ及び振動成分を含む対象データ $U(k)$ をローパスフィルター処理して振動成分を低減させた振動成分低減データとしての変位データ $M_s(k)$ を生成する。ローパスフィルター処理工程 $S120$ の処理は、図 3 1 のローパスフィルター処理工程 $S2$ の処理と同じである。

【0190】

40

次に、ハイパスフィルター処理工程 $S130$ において、計測装置 1 は、前出の式 (25) のように、工程 $S120$ で生成したドリフトノイズを含む変位データ $M_s(k)$ をハイパスフィルター処理してドリフトノイズを低減させたドリフトノイズ低減データとしての変位データ $MU(k)$ を生成する。ハイパスフィルター処理工程 $S130$ の処理は、図 3 1 のハイパスフィルター処理工程 $S3$ の処理と同じである。

【0191】

次に、区間特定工程 $S140$ において、計測装置 1 は、工程 $S130$ で生成した変位データ $MU(k)$ の第 1 ピーク $p_1 = (k_1, mu_1)$ 及び第 2 ピーク $p_2 = (k_2, mu_2)$ を算出し、第 1 ピーク p_1 以前の第 1 区間 $T1$ と、第 1 ピーク p_1 と第 2 ピーク p_2 との間の第 2 区間 $T2$ と、第 2 ピーク p_2 以降の第 3 区間 $T3$ と、を特定する。すなわち、第

50

1 区間 T 1 は $k - k_1$ の区間であり、第 2 区間 T 2 は $k_1 < k < k_2$ の区間であり、第 3 区間 T 3 は $k_2 - k$ の区間である。区間特定工程 S 1 4 0 の処理は、図 3 2 の区間特定工程 S 4 1 の処理と同じである。

【 0 1 9 2 】

次に、補正データ推定工程 S 1 5 0 において、計測装置 1 は、工程 S 1 3 0 で生成した変位データ $M_U(k)$ に基づいて、第 2 区間 T 2 において、変位データ $M_S(k)$ からドリフトノイズを除いたデータと変位データ $M_U(k)$ との差に相当する補正データ $M_{CC2}(k)$ を生成する。具体的には、計測装置 1 は、前出の式 (2 9) ~ 式 (3 2) の計算を行って補正データ $M_{CC2}(k)$ を生成する。

【 0 1 9 3 】

また、振動成分データ生成工程 S 1 6 0 において、計測装置 1 は、前出の式 (2 4) のように、工程 S 1 1 0 で生成した対象データ $U(k)$ から工程 S 1 2 0 で生成した変位データ $M_S(k)$ を減算して振動成分を含む振動成分データ $U_{OSC}(k)$ を生成する。振動成分データ生成工程 S 1 6 0 の処理は、図 3 1 の振動成分データ生成工程 S 5 の処理と同じである。

【 0 1 9 4 】

次に、計測データ生成工程 S 1 7 0 において、計測装置 1 は、前出の式 (4 0) のように、第 1 区間 T 1 を工程 S 1 6 0 で生成した振動成分データ $U_{OSC}(k)$ とし、第 2 区間 T 2 において、工程 S 1 3 0 で生成した変位データ $M_U(k)$ と工程 S 1 5 0 で生成した補正データ $M_{CC2}(k)$ と振動成分データ $U_{OSC}(k)$ とを加算し、第 3 区間 T 3 を振動成分データ $U_{OSC}(k)$ として、計測データ $U'(k)$ を生成する。

【 0 1 9 5 】

次に、計測データ出力工程 S 1 8 0 において、計測装置 1 は、工程 S 1 7 0 で生成した計測データ $U'(k)$ を監視装置 3 へ出力する。具体的には、計測装置 1 は、計測データ $U'(k)$ を、通信ネットワーク 4 を介して監視装置 3 へ送信する。計測データ出力工程 S 1 8 0 の処理は、図 3 1 の計測データ出力工程 S 7 の処理と同じである。

【 0 1 9 6 】

そして、工程 S 1 9 0 において、橋梁 5 の上部構造 7 の変位の計測を終了するまで、計測装置 1 は、工程 S 1 1 0 ~ S 1 8 0 の処理を繰り返し行う。

【 0 1 9 7 】

図 3 5 は、図 3 4 の補正データ推定工程 S 1 5 0 の手順の一例を示すフローチャート図である。

【 0 1 9 8 】

図 3 5 に示すように、工程 S 1 5 1 において、計測装置 1 は、前出の式 (3 2) のように、第 2 区間 T 2 の所定の時刻以前において、第 1 ピーク p_1 以前の変位データ $M_U(k)$ を第 1 ピーク p_1 以降に逆順に並べ替えたデータ $M_U(2k_1 - k)$ と、第 1 ピーク p_1 と第 2 ピーク p_2 とを通る直線 $L_C(k)$ に -2 を乗算した直線データ $-2L_C(k)$ を加算し、第 2 区間 T 2 の所定の時刻以降において、第 2 ピーク p_2 以降の変位データ $M_U(k)$ を第 2 ピーク p_2 以前に逆順に並べ替えたデータ $M_U(2k_2 - k)$ と、直線データ $-2L_C(k)$ とを加算して、補正データ $M_{CC2}(k)$ を生成する。

【 0 1 9 9 】

図 3 6 は、第 2 実施形態における計測装置 1 の構成例を示す図である。図 3 6 に示すように、第 2 実施形態における計測装置 1 は、第 1 実施形態と同様、第 1 通信部 1 1 と、第 2 通信部 1 2 と、プロセッサ 1 3 と、記憶部 1 4 と、を備えている。第 1 通信部 1 1、第 2 通信部 1 2 及び記憶部 1 4 の機能は、第 1 実施形態と同様であるため、その説明を省略する。

【 0 2 0 0 】

本実施形態では、プロセッサ 1 3 は、記憶部 1 4 に記憶された計測プログラム 1 4 1 を実行することにより、対象データ生成部 1 3 1、ローパスフィルター処理部 1 3 2、ハイパスフィルター処理部 1 3 3、補正データ推定部 1 3 4、振動成分データ生成部 1 3 5

10

20

30

40

50

、計測データ生成部 136、計測データ出力部 137 及び区間特定部 138 として機能する。すなわち、プロセッサ 13 は、対象データ生成部 131、ローパスフィルター処理部 132、ハイパスフィルター処理部 133、補正データ推定部 134、振動成分データ生成部 135、計測データ生成部 136、計測データ出力部 137 及び区間特定部 138 を含む。

【0201】

対象データ生成部 131、ローパスフィルター処理部 132、ハイパスフィルター処理部 133、振動成分データ生成部 135 及び計測データ出力部 137 の機能は、第 1 実施形態と同様であるため、その説明を省略する。なお、対象データ生成部 131 は、図 34 における対象データ生成工程 S110 の処理を行う。また、ローパスフィルター処理部 132 は、図 34 におけるローパスフィルター処理工程 S120 の処理を行う。また、ハイパスフィルター処理部 133 は、図 34 におけるハイパスフィルター処理工程 S130 の処理を行う。また、振動成分データ生成部 135 は、図 34 における振動成分データ生成工程 S160 の処理を行う。また、計測データ出力部 137 は、図 34 における計測データ出力工程 S180 の処理を行う。

10

【0202】

区間特定部 138 は、ハイパスフィルター処理部 133 が生成した変位データ $M_U(k)$ の第 1 ピーク $p_1 = (k_1, m_{u_1})$ 及び第 2 ピーク $p_2 = (k_2, m_{u_2})$ を算出し、第 1 ピーク p_1 以前の第 1 区間 T_1 と、第 1 ピーク p_1 と第 2 ピーク p_2 との間の第 2 区間 T_2 と、第 2 ピーク p_2 以降の第 3 区間 T_3 と、を特定する。すなわち、区間特定部 138 は、図 34 における区間特定工程 S140 の処理を行う。

20

【0203】

補正データ推定部 134 は、ハイパスフィルター処理部 133 が生成した変位データ $M_U(k)$ に基づいて、第 2 区間 T_2 において、変位データ $M_S(k)$ からドリフトノイズを除いたデータと変位データ $M_U(k)$ との差に相当する補正データ $M_{CC2}(k)$ を生成する。補正データ推定部 134 は、前出の式 (29) ~ 式 (32) の計算を行って補正データ $M_{CC2}(k)$ を生成する。具体的には、補正データ推定部 134 は、前出の式 (32) のように、第 2 区間 T_2 の所定の時刻以前において、第 1 ピーク p_1 以前の変位データ $M_U(k)$ を第 1 ピーク p_1 以降に逆順に並べ替えたデータ $M_U(2k_1 - k)$ と、第 1 ピーク p_1 と第 2 ピーク p_2 とを通る直線 $L_C(k)$ に -2 を乗算した直線データ $-2L_C(k)$ を加算し、第 2 区間 T_2 の所定の時刻以降において、第 2 ピーク p_2 以降の変位データ $M_U(k)$ を第 2 ピーク p_2 以前に逆順に並べ替えたデータ $M_U(2k_2 - k)$ と、直線データ $-2L_C(k)$ とを加算して、補正データ $M_{CC2}(k)$ を生成する。

30

【0204】

このように、補正データ推定部 134 は、図 34 における補正データ推定工程 S150 の処理、具体的には、図 35 における工程 S151 の処理を行う。

【0205】

計測データ生成部 136 は、前出の式 (40) のように、第 1 区間 T_1 を振動成分データ生成部 135 が生成した振動成分データ $U_{OSC}(k)$ とし、第 2 区間 T_2 において、ハイパスフィルター処理部 133 が生成した変位データ $M_U(k)$ と補正データ推定部 134 が生成した補正データ $M_{CC2}(k)$ と振動成分データ $U_{OSC}(k)$ とを加算し、第 3 区間 T_3 を振動成分データ $U_{OSC}(k)$ として、計測データ $U'(k)$ を生成する。すなわち、計測データ生成部 136 は、図 34 における計測データ生成工程 S170 の処理を行う。計測データ生成部 136 が生成した計測データ $U'(k)$ は、計測データ 143 として記憶部 14 に記憶される。

40

【0206】

このように、計測プログラム 141 は、図 34 に示したフローチャートの各手順を、コンピュータである計測装置 1 に実行させるプログラムである。

【0207】

以上に説明した第 2 実施形態の計測方法では、計測装置 1 は、処理対象である対象デー

50

$U(k)$ を用いて、振動成分を低減させた変位データ $M_S(k)$ 及び振動成分を含む振動成分データ $U_{OSC}(k)$ を生成する。そして、計測装置 1 は、変位データ $M_S(k)$ からドリフトノイズを低減させた変位データ $M_U(k)$ を生成し、変位データ $M_U(k)$ の特徴に基づいて第 1 区間 T_1 、第 2 区間 T_2 及び第 3 区間 T_3 を特定し、第 2 区間 T_2 において補正データ $M_{CC}(k)$ を推定する。補正データ $M_{CC}(k)$ は、第 2 区間 T_2 において、変位データ $M_S(k)$ からドリフトノイズを除いたデータと変位データ $M_U(k)$ との差に相当するので、ハイパスフィルター処理によって除去された有意な信号成分を含んでいる。したがって、第 2 実施形態の計測方法によれば、計測装置 1 は、第 1 区間 T_1 及び第 3 区間 T_3 を振動成分データ $U_{OSC}(k)$ とし、第 2 区間 T_2 において、変位データ $M_U(k)$ と補正データ $M_{CC}(k)$ と振動成分データ $U_{OSC}(k)$ とを加算することにより、対象データ $U(k)$ に対してドリフトノイズが低減された計測データ $U'(k)$ を生成することができる。また、第 2 実施形態の計測方法によれば、計測装置 1 は、処理対象である対象データ $U(k)$ を用いて、変位データ $M_U(k)$ と補正データ $M_{CC2}(k)$ と振動成分データ $U_{OSC}(k)$ とを生成し、第 2 区間 T_2 において変位データ $M_U(k)$ と補正データ $M_{CC2}(k)$ と振動成分データ $U_{OSC}(k)$ とを加算することにより、ドリフトノイズを低減させるための情報をあらかじめ用意しなくともドリフトノイズを低減させた計測データ $U'(k)$ を生成することができる。そのため、第 2 実施形態の計測方法を用いることによって、環境の変化によらず精度の良い計測データ $U'(k)$ が得られるとともに、低コスト化が可能である。

10

【0208】

20

また、第 2 実施形態の計測方法によれば、計測装置 1 は、計測データ $U'(k)$ を生成するために、第 1 区間 T_1 及び第 3 区間 T_3 において、補正データ $M_{CC1}(k)$ 、 $M_{CC3}(k)$ の生成や、変位データ $M_U(k)$ と補正データ $M_{CC1}(k)$ 、 $M_{CC3}(k)$ と振動成分データ $U_{OSC}(k)$ との加算が不要であるので、計算量が低減される。

【0209】

特に、第 2 実施形態の計測方法によれば、計測装置 1 は、対象データ $U(k)$ に対してドリフトノイズ及び振動成分を低減させた変位データ $M_U(k)$ の特徴に基づいて、第 2 区間 T_2 において、より適切な補正データ $M_{CC2}(k)$ を生成することができるので、生成される補正データ $M_{CC2}(k)$ の推定精度を高めることができる。

【0210】

30

その他、第 2 実施形態の計測方法によれば、第 1 実施形態の計測方法と同様の効果を奏することができる。

【0211】

3. 変形例

本発明は本実施形態に限定されず、本発明の要旨の範囲内で種々の変形実施が可能である。

【0212】

上記の各実施形態では、観測装置は加速度データ $A_S(k)$ を出力するセンサー 2 であり、対象データは加速度データ $A_S(k)$ を 2 回積分して得られる対象データ $U(k)$ であるが、観測装置や対象データはこれに限られない。例えば、観測装置は、接触式変位計、リング式変位計、レーザー変位計、感圧センサー、画像処理による変位計測機器又は光ファイバーによる変位計測機器であり、対象データは、これらのいずれかの観測装置の観測データであってもよい。接触式変位計、リング式変位計、レーザー変位計、画像処理による変位計測機器、光ファイバーによる変位計測機器は、鉄道車両 6 の走行による観測点 R の変位を計測する。感圧センサーは、鉄道車両 6 の走行による観測点 R の応力変化を検出する。また、例えば、観測装置は、速度センサーであり、対象データは、速度センサーが検出した速度を積分したデータであってもよい。これらの計測方法によれば、計測装置 1 は、変位、応力変化又は速度のデータを用いて上部構造 7 の変位を精度良く計測することができる。

40

【0213】

50

一例として、図37に、観測装置としてリング式変位計を用いた計測システム10の構成例を示す。また、図38に、観測装置として画像処理による変位計測機器を用いた計測システム10の構成例を示す。図37及び図38において、図1と同じ構成要素には同じ符号が付されており、その説明を省略する。図37に示す計測システム10では、リング式変位計40の上面とその直上にある主桁Gの下面との間にピアノ線41が固定されており、リング式変位計40が上部構造7の撓みによるピアノ線41の変位を計測し、計測した対象データ $U(k)$ を計測装置1に送信する。計測装置1は、リング式変位計40から送信された対象データ $U(k)$ からドリフトノイズを除いた計測データ $U'(k)$ を生成する。また、図38に示す計測システム10では、カメラ50が、主桁Gの側面に設けられたターゲット51を撮影した画像を計測装置1に送信する。計測装置1は、カメラ50から送信された画像を処理し、上部構造7の撓みによるターゲット51の変位を算出して対象データ $U(k)$ を生成し、生成した対象データ $U(k)$ からドリフトノイズを除いた計測データ $U'(k)$ を生成する。図38の例では、計測装置1が、画像処理による変位計測機器として対象データ $U(k)$ を生成しているが、計測装置1とは異なる不図示の変位計測機器が画像処理によって対象データ $U(k)$ を生成してもよい。

10

【0214】

また、上記の各実施形態では、橋梁5は鉄道橋であり、橋梁5を移動する移動体は鉄道車両6であるが、橋梁5が道路橋であり、橋梁5を移動する移動体が自動車、路面電車、建設車両等の車両であってもよい。図39に、橋梁5が道路橋であり、橋梁5を車両6aが移動する場合の計測システム10の構成例を示す。図39において、図1と同じ構成要素には同じ符号が付されている。図39に示すように、道路橋である橋梁5は、鉄道橋と同様、上部構造7と下部構造8からなる。図40は、上部構造7を図39のA-A線で切断した断面図である。図39及び図40に示すように、上部構造7は、床板F、主桁G、不図示の横桁等からなる橋床7aと、支承7bと、を含む。また、図39に示すように、下部構造8は、橋脚8aと、橋台8bと、を含む。上部構造7は、隣り合う橋台8bと橋脚8a、隣り合う2つの橋台8b、又は、隣り合う2つの橋脚8aのいずれか1つに渡された構造である。上部構造7の両端部は、隣り合う橋台8bと橋脚8aの位置、隣り合う2つの橋台8bの位置、又は、隣り合う2つの橋脚8aの位置にある。橋梁5は、例えば、鋼橋や桁橋、RC橋等である。

20

【0215】

各センサー2は上部構造7の長手方向の中央部、具体的には、主桁Gの長手方向の中央部に設置されている。ただし、各センサー2は、上部構造7の変位を算出するための加速度を検出することができればよく、その設置位置は上部構造7の中央部に限定されない。なお、各センサー2を上部構造7の床板Fに設けると、車両6aの走行によって破壊するおそれがあり、また橋床7aの局所的な変形により測定精度が影響を受けるおそれがあるため、図39及び図40の例では、各センサー2は上部構造7の主桁Gに設けられている。

30

【0216】

図40に示すように、上部構造7は、移動体である車両6aが移動し得る2つのレーン L_1 、 L_2 及び3個の主桁Gを有している。図39及び図40の例では、上部構造7の長手方向の中央部において、両端の2つの主桁のそれぞれにセンサー2が設けられており、一方のセンサー2の鉛直上方向にあるレーン L_1 の表面の位置に観測点 R_1 が設けられ、他方のセンサー2の鉛直上方向にあるレーン L_2 の表面の位置に観測点 R_2 が設けられている。すなわち、2つのセンサー2は、それぞれ観測点 R_1 、 R_2 を観測する観測装置である。観測点 R_1 、 R_2 をそれぞれ観測する2つのセンサー2は、車両6aの走行により観測点 R_1 、 R_2 に生じる加速度を検出可能な位置に設けられていればよいが、観測点 R_1 、 R_2 に近い位置に設けられることが望ましい。なお、センサー2の数及び設置位置やレーンの数は、図39及び図40に示した例には限定されず種々の変形実施が可能である。

40

【0217】

計測装置1は、各センサー2から出力される加速度データに基づいて、車両6aの走行によるレーン L_1 、 L_2 の撓みの変位を算出し、レーン L_1 、 L_2 の変位の情報を、通信ネ

50

ットワーク 4 を介して、監視装置 3 に送信する。監視装置 3 は、当該情報を不図示の記憶装置に記憶し、例えば、当該情報に基づいて車両 6 a の監視や上部構造 7 の異常判定等の処理を行ってもよい。

【 0 2 1 8 】

また、上記の各実施形態では、各センサー 2 は、それぞれ上部構造 7 の主桁 G に設けられているが、上部構造 7 の表面や内部、床板 F の下面、橋脚 8 a 等に設けられていてもよい。また、上記の各実施形態では、構造物として橋梁の上部構造を例に挙げたが、これに限られず、構造物は移動体の移動によって変形するものであればよい。

【 0 2 1 9 】

橋梁を通過する鉄道車両又は車両は、重量が大きく、B W I M で計測可能な車両である。B W I M は、Bridge Weigh in Motion の略であり、橋梁を「はかり」に見立て、橋梁の変形を計測することにより、橋梁を通行する鉄道車両又は車両の重量、軸数などを測定する技術である。変形やひずみなどの応答から走行する鉄道車両又は車両の重量を解析可能な橋梁の上部構造は、B W I M が機能する構造物であり、橋梁の上部構造への作用と応答の間の物理的なプロセスを応用する B W I M システムが走行する車両の重量の計測を可能にする。

10

【 0 2 2 0 】

上述した実施形態および変形例は一例であって、これらに限定されるわけではない。例えば、各実施形態および各変形例を適宜組み合わせることも可能である。

【 0 2 2 1 】

本発明は、実施の形態で説明した構成と実質的に同一の構成、例えば、機能、方法及び結果が同一の構成、あるいは目的及び効果が同一の構成を含む。また、本発明は、実施の形態で説明した構成の本質的でない部分を置き換えた構成を含む。また、本発明は、実施の形態で説明した構成と同一の作用効果を奏する構成又は同一の目的を達成することができる構成を含む。また、本発明は、実施の形態で説明した構成に公知技術を付加した構成を含む。

20

【 0 2 2 2 】

上述した実施形態および変形例から以下の内容が導き出される。

【 0 2 2 3 】

計測方法の一態様は、

ドリフトノイズ及び振動成分を含む対象データをローパスフィルター処理して前記振動成分を低減させた振動成分低減データを生成するローパスフィルター処理工程と、

30

前記振動成分低減データをハイパスフィルター処理して前記ドリフトノイズを低減させたドリフトノイズ低減データを生成するハイパスフィルター処理工程と、

前記ドリフトノイズ低減データに基づいて、前記振動成分低減データから前記ドリフトノイズを除いたデータと前記ドリフトノイズ低減データとの差に相当する補正データを推定する補正データ推定工程と、

前記対象データから前記振動成分低減データを減算して前記振動成分を含む振動成分データを生成する振動成分データ生成工程と、

前記ドリフトノイズ低減データと前記補正データと前記振動成分データとを加算して計測データを生成する計測データ生成工程と、を含む。

40

【 0 2 2 4 】

この計測方法では、処理対象である対象データを用いて振動成分を低減させた振動成分低減データ及び振動成分を含む振動成分データを生成し、振動成分低減データからドリフトノイズを低減させたドリフトノイズ低減データを生成し、ドリフトノイズ低減データに基づいて補正データを推定する。ドリフトノイズ低減データは振動成分が低減されているので、高い精度で推定された補正データが得られる。そして、補正データは、振動成分低減データからドリフトノイズを除いたデータとドリフトノイズ低減データとの差に相当するので、ハイパスフィルター処理によって除去された有意な信号成分を含んでいる。したがって、この計測方法によれば、ドリフトノイズ低減データと補正データと振動成分デー

50

たとを加算することにより、対象データに対してドリフトノイズが低減された計測データを生成することができる。また、この計測方法によれば、処理対象である対象データを用いて、ドリフトノイズ低減データと補正データと振動成分データとを生成し、ドリフトノイズ低減データと補正データと振動成分データとを加算することにより、ドリフトノイズを低減させるための情報をあらかじめ用意しなくともドリフトノイズを低減させた計測データを生成することができる。そのため、この計測方法を用いることによって、環境の変化によらず精度の良い計測データが得られるとともに、低コスト化が可能である。

【0225】

前記計測方法の一態様において、

前記補正データ推定工程は、

前記ドリフトノイズ低減データの第1ピーク及び第2ピークを算出し、前記第1ピーク以前の第1区間と、前記第1ピークと前記第2ピークとの間の第2区間と、前記第2ピーク以降の第3区間と、を特定する区間特定工程と、

前記第1区間において、前記ドリフトノイズ低減データの符号を反転して第1区間補正データを生成する第1区間補正データ生成工程と、

前記第2区間の所定の時刻以前において、前記第1ピーク以前の前記ドリフトノイズ低減データを前記第1ピーク以降に逆順に並べ替えたデータと、前記第1ピークと前記第2ピークとを通る直線に -2 を乗算した直線データとを加算し、前記第2区間の前記所定の時刻以降において、前記第2ピーク以降の前記ドリフトノイズ低減データを前記第2ピーク以前に逆順に並べ替えたデータと、前記直線データとを加算して、第2区間補正データを生成する第2区間補正データ生成工程と、

前記第3区間において、前記ドリフトノイズ低減データの符号を反転して第3区間補正データを生成する第3区間補正データ生成工程と、

前記第1区間補正データと前記第2区間補正データと前記第3区間補正データとを加算して前記補正データを生成する補正データ生成工程と、を含んでもよい。

【0226】

この計測方法によれば、対象データに対してドリフトノイズ及び振動成分を低減させたドリフトノイズ低減データの特徴に基づいて3つの区間を特定し、各区間において、より適切な補正データを生成することができるので、生成される補正データの推定精度を高めることができる。

【0227】

計測方法の他の一態様は、

ドリフトノイズ及び振動成分を含む対象データをローパスフィルター処理して前記振動成分を低減させた振動成分低減データを生成するローパスフィルター処理工程と、

前記振動成分低減データをハイパスフィルター処理して前記ドリフトノイズを低減させたドリフトノイズ低減データを生成するハイパスフィルター処理工程と、

前記ドリフトノイズ低減データの第1ピーク及び第2ピークを算出し、前記第1ピーク以前の第1区間と、前記第1ピークと前記第2ピークとの間の第2区間と、前記第2ピーク以降の第3区間と、を特定する区間特定工程と、

前記ドリフトノイズ低減データに基づいて、前記第2区間において、前記振動成分低減データから前記ドリフトノイズを除いたデータと前記ドリフトノイズ低減データとの差に相当する補正データを推定する補正データ推定工程と、

前記対象データから前記振動成分低減データを減算して前記振動成分を含む振動成分データを生成する振動成分データ生成工程と、

前記第1区間を前記振動成分低減データとし、前記第2区間において、前記ドリフトノイズ低減データと前記補正データと前記振動成分データとを加算し、前記第3区間を前記振動成分低減データとして、計測データを生成する計測データ生成工程と、を含む。

【0228】

この計測方法では、処理対象である対象データを用いて振動成分を低減させた振動成分低減データ及び振動成分を含む振動成分データを生成し、振動成分低減データからドリフ

10

20

30

40

50

トノイズを低減させたドリフトノイズ低減データを生成し、ドリフトノイズ低減データの特徴に基づいて3つの区間を特定し、第2区間において補正データを推定する。ドリフトノイズ低減データは振動成分が低減されているので、第2区間において高い精度で推定された補正データが得られる。そして、補正データは、第2区間において、振動成分低減データからドリフトノイズを除いたデータとドリフトノイズ低減データとの差に相当するので、ハイパスフィルター処理によって除去された有意な信号成分を含んでいる。したがって、この計測方法によれば、第1区間及び第3区間を振動成分データとし、第2区間において、ドリフトノイズ低減データと補正データと振動成分データとを加算することにより、対象データに対してドリフトノイズが低減された計測データを生成することができる。また、この計測方法によれば、処理対象である対象データを用いて、ドリフトノイズ低減データと補正データと振動成分データとを生成し、第2区間においてドリフトノイズ低減データと補正データと振動成分データとを加算することにより、ドリフトノイズを低減させるための情報をあらかじめ用意しなくともドリフトノイズを低減させた計測データを生成することができる。そのため、この計測方法を用いることによって、環境の変化によらず精度の良い計測データが得られるとともに、低コスト化が可能である。

10

【0229】

また、この計測方法によれば、計測データを生成するために、第1区間及び第3区間において、補正データの生成やドリフトノイズ低減データと補正データと振動成分データとの加算が不要であるので、計算量が低減される。

【0230】

20

前記計測方法の一態様において、
前記補正データ推定工程では、

前記第2区間の所定の時刻以前において、前記第1ピーク以前の前記ドリフトノイズ低減データを前記第1ピーク以降に逆順に並べ替えたデータと、前記第1ピークと前記第2ピークとを通る直線に-2を乗算した直線データとを加算し、前記第2区間の前記所定の時刻以降において、前記第2ピーク以降の前記ドリフトノイズ低減データを前記第2ピーク以前に逆順に並べ替えたデータと、前記直線データとを加算して、前記補正データを生成してもよい。

【0231】

この計測方法によれば、対象データに対してドリフトノイズ及び振動成分を低減させたドリフトノイズ低減データの特徴に基づいて、第2区間において、より適切な補正データを生成することができるので、生成される補正データの推定精度を高めることができる。

30

【0232】

前記計測方法の一態様において、
前記ローパスフィルター処理工程では、

前記対象データを高速フーリエ変換処理して基本周波数を算出し、前記ローパスフィルター処理として、前記基本周波数に対応する周期で前記対象データを移動平均処理して前記振動成分低減データを生成してもよい。

【0233】

この計測方法では、移動平均処理は、必要な計算量が小さいだけでなく、基本周波数の信号成分及びその高調波成分の減衰量が非常に大きいので、振動成分が効果的に低減された振動成分低減データが得られる。したがって、この計測方法によれば、振動成分の影響を排除して補正データの推定精度を高めることができる。

40

【0234】

前記計測方法の一態様において、
前記ローパスフィルター処理工程では、

前記対象データを高速フーリエ変換処理して基本周波数を算出し、前記ローパスフィルター処理として、前記対象データに対して前記基本周波数以上の周波数の信号成分を減衰させるFIRフィルター処理を行って前記振動成分低減データを生成してもよい。

【0235】

50

この計測方法では、FIRフィルター処理は、移動平均処理よりも計算量が大きいが、基本周波数以上の周波数の信号成分をすべて減衰させることができる。したがって、この計測方法によれば、基本周波数以上の振動成分の影響を排除して補正データの推定精度を高めることができる。

【0236】

前記計測方法の一態様において、

前記ハイパスフィルター処理は、前記振動成分低減データから、前記振動成分低減データを移動平均処理又はFIRフィルター処理したデータを減算する処理であってもよい。

【0237】

この計測方法によれば、ハイパスフィルター処理を簡易に行うことができるとともに、移動平均処理又はFIRフィルター処理では振動成分低減データに含まれる各信号成分の群遅延が一定であるので、補正データを精度良く推定することができる。

10

【0238】

前記計測方法の一態様において、

前記対象データは、構造物を移動する移動体による前記構造物の変位のデータであってもよい。

【0239】

この計測方法によれば、ドリフトノイズが低減された計測データとして、移動体の移動による構造物の変位データが得られるので、構造物の変位を精度良く計測することができる。

20

【0240】

前記計測方法の一態様において、

前記対象データは、前記移動体が移動する前記構造物の面と交差する方向の加速度を2回積分したデータであってもよい。

【0241】

この計測方法によれば、構造物に設置された加速度センサーの出力データを用いて構造物の変位を精度良く計測することができる。

【0242】

前記計測方法の一態様において、

前記対象データは、接触式変位計、リング式変位計、レーザー変位計、感圧センサー、画像処理による変位計測機器若しくは光ファイバーによる変位計測機器の観測データ、又は速度センサーが検出した速度を積分したデータであってもよい。

30

【0243】

この計測方法によれば、変位、応力変化又は速度のデータを用いて構造物の変位を精度良く計測することができる。

【0244】

前記計測方法の一態様において、

前記構造物は、橋梁の上部構造であってもよい。

【0245】

この計測方法によれば、橋梁の上部構造の変位を精度良く計測することができる。

40

【0246】

前記計測方法の一態様において、

前記ドリフトノイズの周波数は、前記上部構造の固有振動周波数の最小値よりも低くてもよい。

【0247】

この計測方法によれば、ローパスフィルター処理及びハイパスフィルター処理のカットオフ周波数を、上部構造のドリフトノイズの周波数よりも高く、かつ、固有振動周波数の最小値よりも低く設定することにより、生成される変位データにおいて、上部構造の固有振動周波数の信号成分及びその高調波成分を低減させずに、ドリフトノイズを低減させることができる。

50

【0248】

前記計測方法の一態様において、
前記移動体は、車両又は鉄道車両であってもよい。

【0249】

この計測方法によれば、車両又は鉄道車両の移動による構造物の変位を精度良く計測することができる。

【0250】

前記計測方法の一態様において、
前記対象データは、正方向又は負方向に凸の波形のデータを含んでもよい。

【0251】

この計測方法によれば、正方向又は負方向に凸の波形の特徴に基づいてより適切な補正データを生成することができるので、生成される補正データの推定精度を高めることができる。

【0252】

前記計測方法の一態様において、
前記波形は、矩形波形、台形波形又は正弦半波波形であってもよい。

【0253】

この計測方法によれば、矩形波形、台形波形又は正弦半波波形の特徴に基づいてより適切な補正データを生成することができるので、生成される補正データの推定精度を高めることができる。

【0254】

計測装置の一態様は、
ドリフトノイズ及び振動成分を含む対象データをローパスフィルター処理して前記振動成分を低減させた振動成分低減データを生成するローパスフィルター処理部と、
前記振動成分低減データをハイパスフィルター処理して前記ドリフトノイズを低減させたドリフトノイズ低減データを生成するハイパスフィルター処理部と、
前記ドリフトノイズ低減データに基づいて、前記振動成分低減データから前記ドリフトノイズを除いたデータと前記ドリフトノイズ低減データとの差に相当する補正データを推定する補正データ推定部と、
前記対象データから前記振動成分低減データを減算して前記振動成分を含む振動成分データを生成する振動成分データ生成部と、
前記ドリフトノイズ低減データと前記補正データと前記振動成分データとを加算して計測データを生成する計測データ生成部と、を含む。

【0255】

この計測装置は、処理対象である対象データを用いて振動成分を低減させた振動成分低減データ及び振動成分を含む振動成分データを生成し、振動成分低減データからドリフトノイズを低減させたドリフトノイズ低減データを生成し、ドリフトノイズ低減データに基づいて補正データを推定する。ドリフトノイズ低減データは振動成分が低減されているので、高い精度で推定された補正データが得られる。そして、補正データは、振動成分低減データからドリフトノイズを除いたデータとドリフトノイズ低減データとの差に相当するので、ハイパスフィルター処理によって除去された有意な信号成分を含んでいる。したがって、この計測装置によれば、ドリフトノイズ低減データと補正データと振動成分データとを加算することにより、対象データに対してドリフトノイズが低減された計測データを生成することができる。また、この計測装置によれば、処理対象である対象データを用いて、ドリフトノイズ低減データと補正データと振動成分データとを生成し、ドリフトノイズ低減データと補正データと振動成分データとを加算することにより、ドリフトノイズを低減させるための情報をあらかじめ用意しなくともドリフトノイズを低減させた計測データを生成することができる。そのため、この計測装置を用いることによって、環境の変化によらず精度の良い計測データが得られるとともに、低コスト化が可能である。

【0256】

計測システムの一態様は、
 前記計測装置の一態様と、
 観測点を観測する観測装置と、を備え、
 前記対象データは、前記観測装置による観測データに基づくデータである。

【0257】

計測プログラムの一態様は、

ドリフトノイズ及び振動成分を含む対象データをローパスフィルター処理して前記振動成分を低減させた振動成分低減データを生成するローパスフィルター処理工程と、

前記振動成分低減データをハイパスフィルター処理して前記ドリフトノイズを低減させたドリフトノイズ低減データを生成するハイパスフィルター処理工程と、

前記ドリフトノイズ低減データに基づいて、前記振動成分低減データから前記ドリフトノイズを除いたデータと前記ドリフトノイズ低減データとの差に相当する補正データを推定する補正データ推定工程と、

前記対象データから前記振動成分低減データを減算して前記振動成分を含む振動成分データを生成する振動成分データ生成工程と、

前記ドリフトノイズ低減データと前記補正データと前記振動成分データとを加算して計測データを生成する計測データ生成工程と、をコンピューターに実行させる。

【0258】

この計測プログラムでは、処理対象である対象データを用いて振動成分を低減させた振動成分低減データ及び振動成分を含む振動成分データを生成し、振動成分低減データからドリフトノイズを低減させたドリフトノイズ低減データを生成し、ドリフトノイズ低減データに基づいて補正データを推定する。ドリフトノイズ低減データは振動成分が低減されているので、高い精度で推定された補正データが得られる。そして、補正データは、振動成分低減データからドリフトノイズを除いたデータとドリフトノイズ低減データとの差に相当するので、ハイパスフィルター処理によって除去された有意な信号成分を含んでいる。したがって、この計測プログラムによれば、ドリフトノイズ低減データと補正データと振動成分データとを加算することにより、対象データに対してドリフトノイズが低減された計測データを生成することができる。また、この計測プログラムによれば、処理対象である対象データを用いて、ドリフトノイズ低減データと補正データと振動成分データとを生成し、ドリフトノイズ低減データと補正データと振動成分データとを加算することにより、ドリフトノイズを低減させるための情報をあらかじめ用意しなくともドリフトノイズを低減させた計測データを生成することができる。そのため、この計測プログラムを用いることによって、環境の変化によらず精度の良い計測データが得られるとともに、低コスト化が可能である。

【符号の説明】

【0259】

1 ... 計測装置、 2 ... センサー、 3 ... 監視装置、 4 ... 通信ネットワーク、 5 ... 橋梁、 6 ... 鉄道車両、 6 a ... 車両、 7 ... 上部構造、 7 a ... 橋床、 7 b ... 支承、 7 c ... レール、 7 d ... 枕木、 7 e ... パラスト、 F ... 床板、 G ... 主桁、 8 ... 下部構造、 8 a ... 橋脚、 8 b ... 橋台、 10 ... 計測システム、 11 ... 第1通信部、 12 ... 第2通信部、 13 ... プロセッサー、 14 ... 記憶部、 21 ... 通信部、 22 ... 加速度センサー、 23 ... プロセッサー、 24 ... 記憶部、 31 ... 通信部、 32 ... プロセッサー、 33 ... 表示部、 34 ... 操作部、 35 ... 記憶部、 40 ... リング式変位計、 41 ... ピアノ線、 50 ... カメラ、 51 ... ターゲット、 131 ... 対象データ生成部、 132 ... ローパスフィルター処理部、 133 ... ハイパスフィルター処理部、 134 ... 補正データ推定部、 135 ... 振動成分データ生成部、 136 ... 計測データ生成部、 137 ... 計測データ出力部、 138 ... 区間特定部、 141 ... 計測プログラム、 142 ... 観測データ、 143 ... 計測データ、 241 ... 観測プログラム、 242 ... 観測データ、 321 ... 計測データ取得部、 322 ... 監視部、 351 ... 監視プログラム、 352 ... 計測データ列

10

20

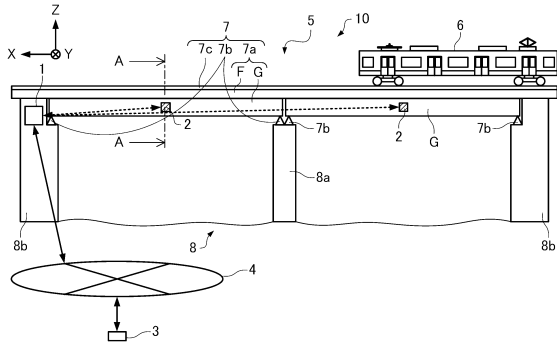
30

40

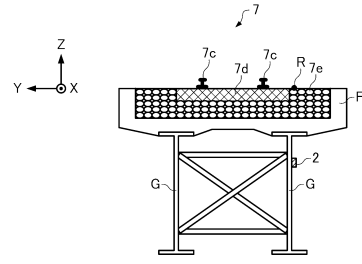
50

【図面】

【図 1】

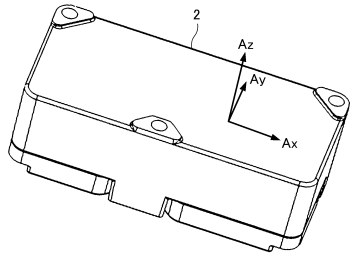


【図 2】

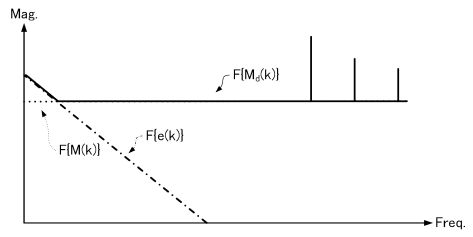


10

【図 3】

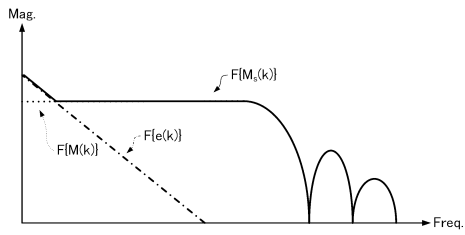


【図 4】

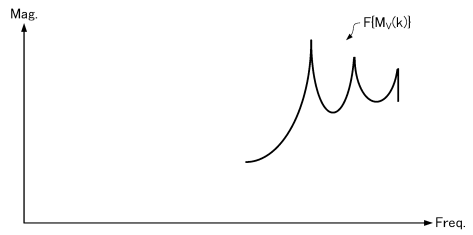


20

【図 5】



【図 6】

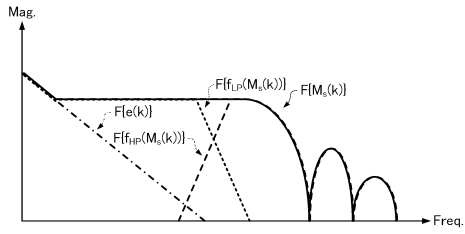


30

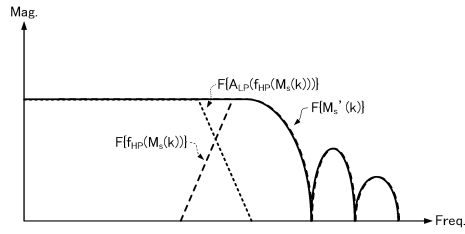
40

50

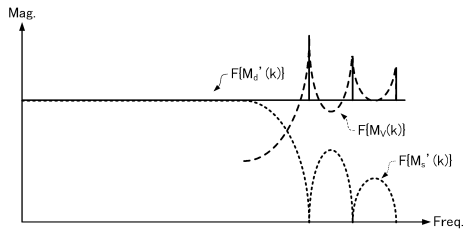
【 図 7 】



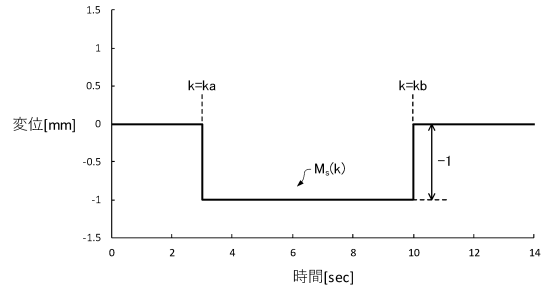
【 図 8 】



【 図 9 】



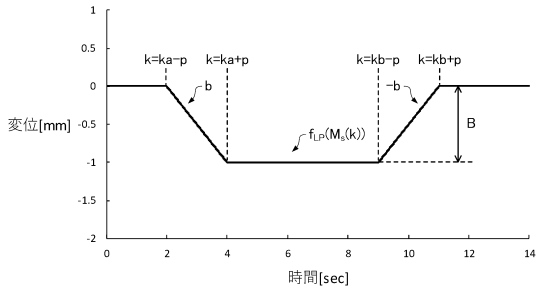
【 図 10 】



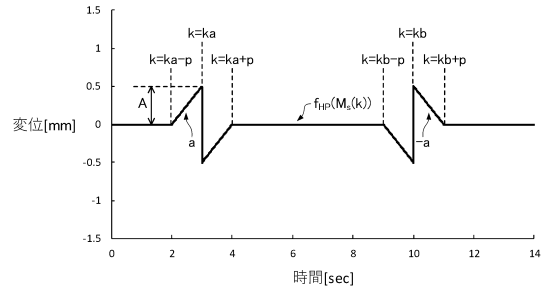
10

20

【 図 11 】



【 図 12 】

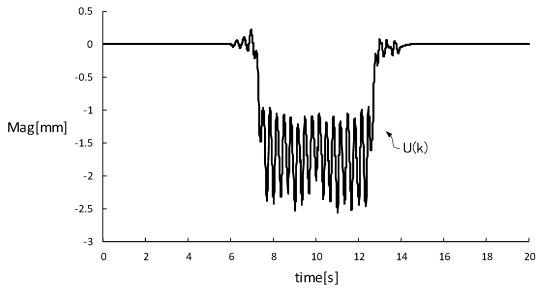


30

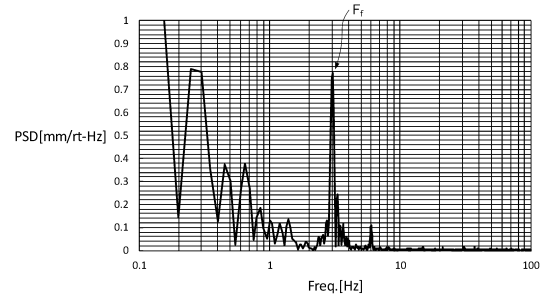
40

50

【 13 】

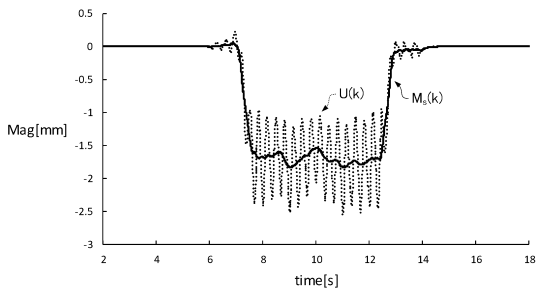


【 14 】

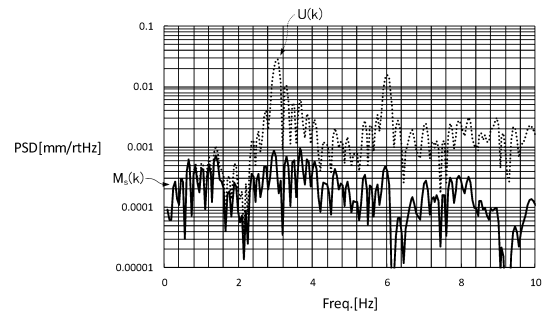


10

【 15 】

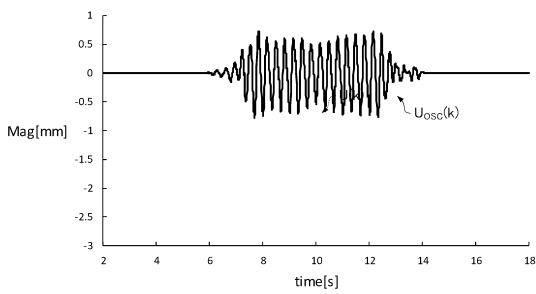


【 16 】

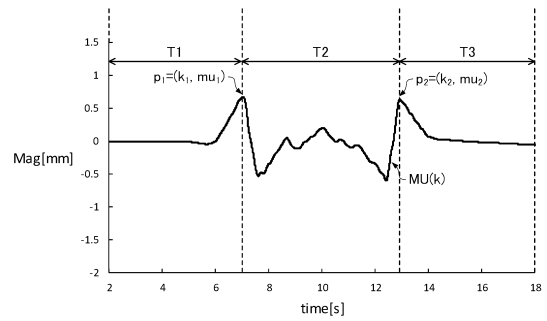


20

【 17 】



【 18 】

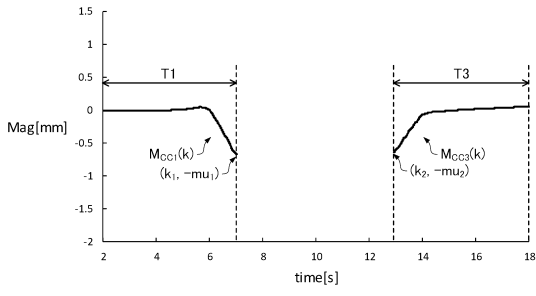


30

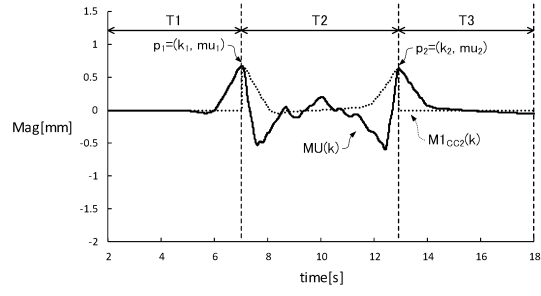
40

50

【 図 19 】

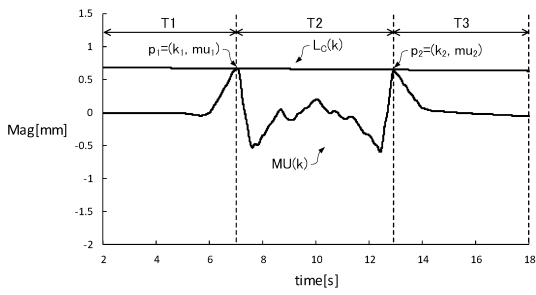


【 図 20 】

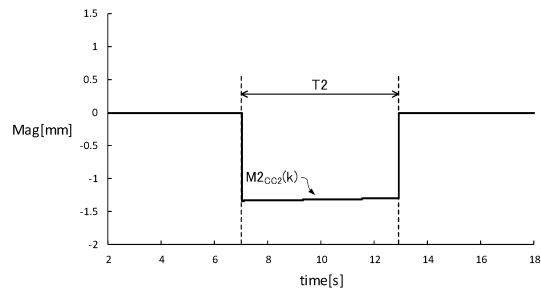


10

【 図 21 】

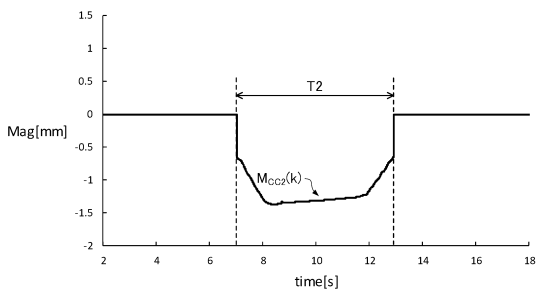


【 図 22 】

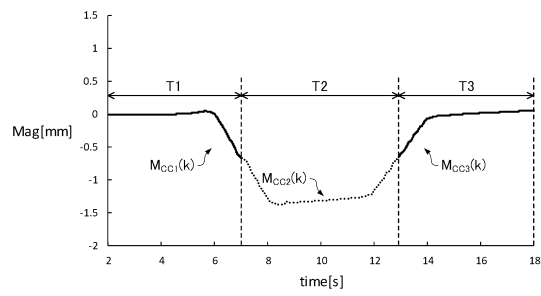


20

【 図 23 】



【 図 24 】

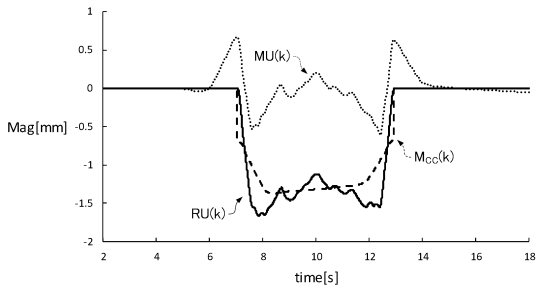


30

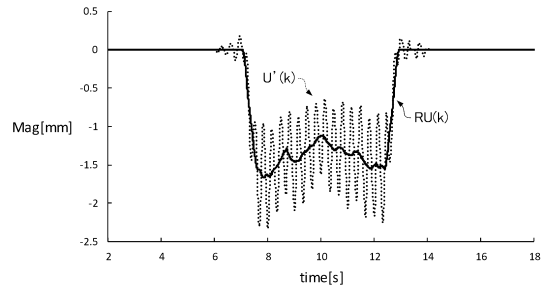
40

50

【 25 】

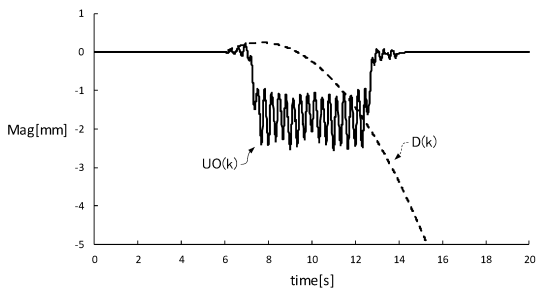


【 26 】

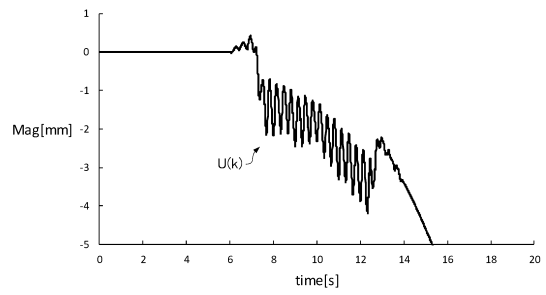


10

【 27 】

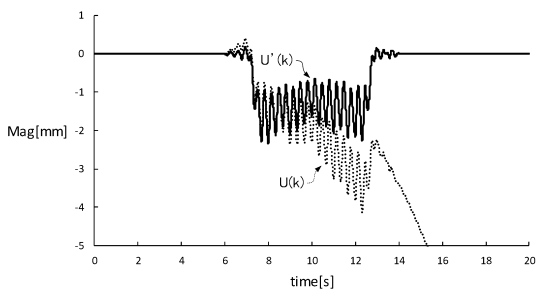


【 28 】

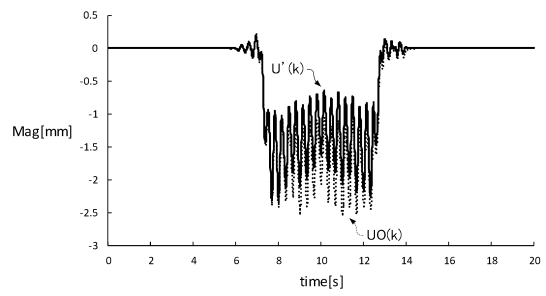


20

【 29 】



【 30 】

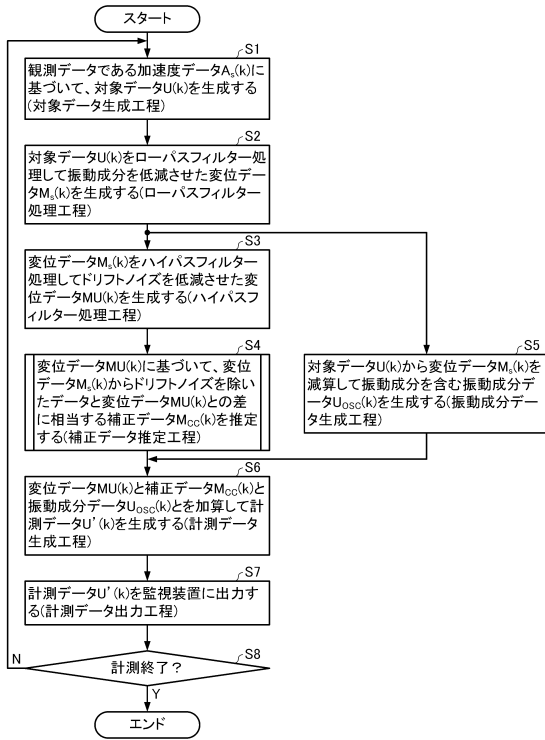


30

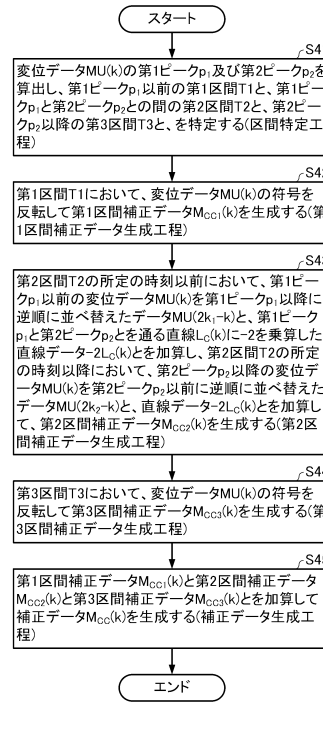
40

50

【図31】



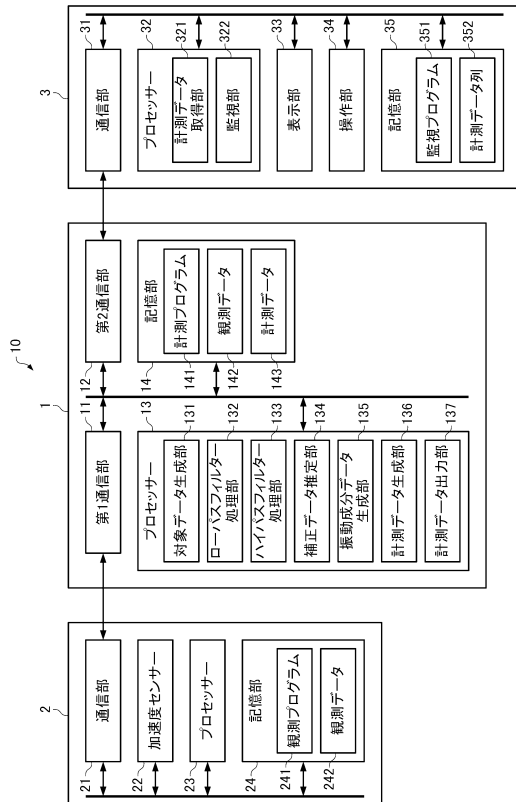
【図32】



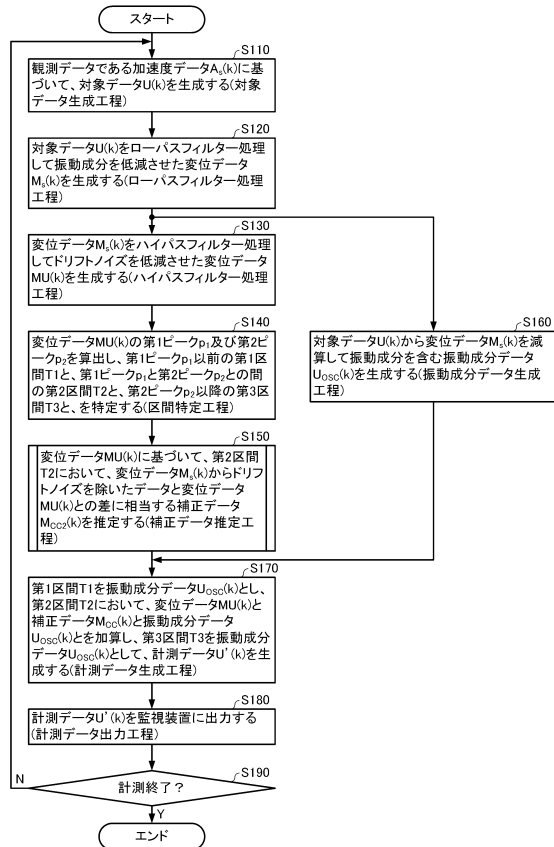
10

20

【図33】



【図34】

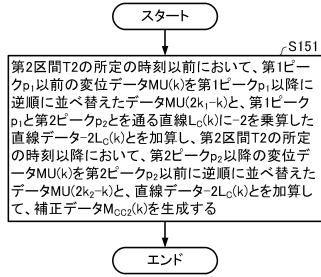


30

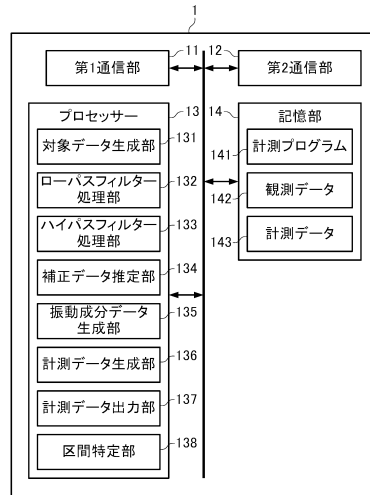
40

50

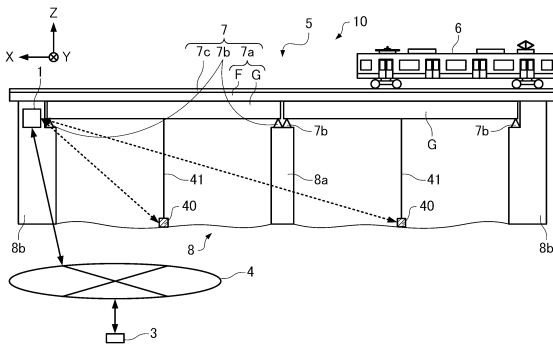
【図35】



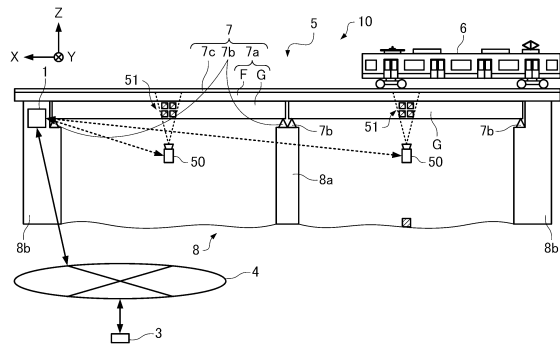
【図36】



【図37】



【図38】



10

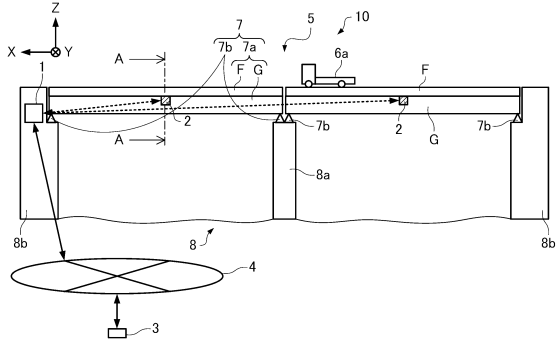
20

30

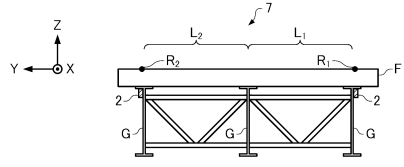
40

50

【図 39】



【図 40】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

(56)参考文献 特開2017-067723(JP,A)
特開2017-058177(JP,A)
特開2016-061643(JP,A)
特開2015-140537(JP,A)
特開2009-023475(JP,A)
特開2004-037253(JP,A)
特開2003-130629(JP,A)

(58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)

E01D 1/00 - 24/00
G01B 21/00 - 21/32
G01G 19/00 - 19/64
G01L 1/00 - 1/26
G01M 5/00 - 7/08