

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6555662号
(P6555662)

(45) 発行日 令和1年8月7日(2019.8.7)

(24) 登録日 令和1年7月19日(2019.7.19)

(51) Int. Cl. F I
GO 1 G 19/03 (2006.01) GO 1 G 19/03
GO 1 B 21/00 (2006.01) GO 1 B 21/00 C

請求項の数 17 (全 28 頁)

(21) 出願番号	特願2015-181618 (P2015-181618)	(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
(22) 出願日	平成27年9月15日(2015.9.15)	(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
(65) 公開番号	特開2017-58177 (P2017-58177A)	(74) 代理人	110000198 特許業務法人湘洋内外特許事務所
(43) 公開日	平成29年3月23日(2017.3.23)	(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
審査請求日	平成30年8月6日(2018.8.6)	(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

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 計測装置、計測方法、プログラム、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ーの出力に基づいて、前記構造物が前記移動体の移動に起因して強制振動する強制振動区間の前の時刻であって、前記移動体が前記構造物上を移動していないときの第1の時刻と、前記強制振動区間の後の時刻であって、前記移動体が前記構造物上を移動していないときの第2の時刻とを判定する移動体判定部と、

前記構造物に設置された加速度センサーの前記第1の時刻および前記第2の時刻に関連する自由振動周波数成分に基づいて、速度の境界条件および変位の境界条件を特定する境界条件特定部と、

前記加速度センサーの出力を積分して、前記構造物が撓む速度および変位を算出する積分部と、

前記速度の境界条件および前記変位の境界条件を満たすように前記速度および前記変位を補正する補正部と、

補正された前記変位と、基準移動体が前記構造物上を移動したときの前記構造物の各地点の変位を示す影響線データとに基づいて、前記移動体の重量を算出する重量算出部と、を有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、

前記移動体判定部は、前記移動体の車軸ごとにおける前記構造物への進入時刻および前

記構造物からの退出時刻を判定する、
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、
前記重量算出部は、前記影響線データと、前記移動体の車軸のそれぞれにおける前記進入時刻および前記退出時刻とを用いて、前記車軸ごとの軸重を算出し、算出した軸重を合計して前記移動体の車重を算出する、
ことを特徴とする計測装置。

【請求項 4】

請求項 3 に記載の計測装置であって、
前記重量算出部は、前記構造物上を移動している複数の前記移動体の重量を算出する、
ことを特徴とする計測装置。

10

【請求項 5】

請求項 4 に記載の計測装置であって、
前記重量算出部は、前記車軸のそれぞれの前記進入時刻および前記退出時刻の間隔に基づいて、前記進入時刻および前記退出時刻が複数の前記移動体のどの移動体の進入時刻および退出時刻であるか判定し、複数の前記移動体のそれぞれの車重を算出する、
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、
前記境界条件特定部は、前記構造物上を第 1 の移動体が移動しているときに、第 2 の移動体が前記構造物上に進入した場合、前記第 2 の移動体が前記構造物に進入した時刻における前記構造物の速度および変位を境界条件として追加する、
ことを特徴とする計測装置。

20

【請求項 7】

請求項 1 に記載の計測装置であって、
前記境界条件特定部は、前記加速度センサーの加速度から前記自由振動周波数成分を抽出し、抽出した前記自由振動周波数成分の加速度を積分して、前記速度の境界条件および前記変位の境界条件を特定する、
ことを特徴とする計測装置。

30

【請求項 8】

請求項 1 に記載の計測装置であって、
前記積分部は、前記加速度センサーの加速度から直流成分を除去し、直流成分を除去した加速度を積分して、前記速度および前記変位を算出する、
ことを特徴とする計測装置。

【請求項 9】

請求項 1 に記載の計測装置であって、
前記センサーおよび前記加速度センサーは、同一である、
ことを特徴とする計測装置。

【請求項 10】

請求項 1 に記載の計測装置であって、
前記センサーは加速度センサーであり、前記加速度センサーとは別体に設けられる、
ことを特徴とする計測装置。

40

【請求項 11】

請求項 1 に記載の計測装置であって、
前記加速度センサーは、複数軸の加速度を検出し、前記境界条件特定部および前記積分部は、前記複数軸の加速度を合成した合成加速度を用いて処理を行う、
ことを特徴とする計測装置。

【請求項 12】

請求項 1 に記載の計測装置であって、

50

前記境界条件特定部は、前記強制振動区間と前記強制振動区間以外の自由振動区間との境界の時刻における速度および変位を前記速度の境界条件および前記変位の境界条件とする、

ことを特徴とする計測装置。

【請求項 13】

請求項 1 に記載の計測装置であって、

前記センサーは撮影カメラであって、

前記重量算出部は、前記撮影カメラが所定の周期で撮影する画像データから、前記移動体の車軸間隔と、前記構造物上を移動する前記移動体の所定の車軸の位置とを特定し、特定した前記車軸間隔と、前記所定の車軸の位置とから、前記構造物の長さに対する変位を時間に対する変位に変換した前記影響線データを算出する、

ことを特徴とする計測装置。

【請求項 14】

移動体が移動する構造物に設置されたセンサーの出力に基づいて、前記構造物が前記移動体の移動に起因して強制振動する強制振動区間の前の時刻であって、前記移動体が前記構造物上を移動していないときの第 1 の時刻と、前記強制振動区間の後の時刻であって、前記移動体が前記構造物上を移動していないときの第 2 の時刻とを判定するステップと、

前記構造物に設置された加速度センサーの前記第 1 の時刻および前記第 2 の時刻に関連する自由振動周波数成分に基づいて、速度の境界条件および変位の境界条件を特定するステップと、

前記加速度センサーの出力を積分して、前記構造物が撓む速度および変位を算出するステップと、

前記速度の境界条件および前記変位の境界条件を満たすように前記速度および前記変位を補正するステップと、

補正された前記変位と、基準移動体が前記構造物上を移動したときの前記構造物の各地点の変位を示す影響線データとに基づいて、前記移動体の重量を算出するステップと、

を含むことを特徴とする計測方法。

【請求項 15】

移動体が移動する構造物に設置されたセンサーの出力に基づいて、前記構造物が前記移動体の移動に起因して強制振動する強制振動区間の前の時刻であって、前記移動体が前記構造物上を移動していないときの第 1 の時刻と、前記強制振動区間の後の時刻であって、前記移動体が前記構造物上を移動していないときの第 2 の時刻とを判定するステップと、

前記構造物に設置された加速度センサーの前記第 1 の時刻および前記第 2 の時刻に関連する自由振動周波数成分に基づいて、速度の境界条件および変位の境界条件を特定するステップと、

前記加速度センサーの出力を積分して、前記構造物が撓む速度および変位を算出するステップと、

前記速度の境界条件および前記変位の境界条件を満たすように前記速度および前記変位を補正するステップと、

補正された前記変位と、基準移動体が前記構造物上を移動したときの前記構造物の各地点の変位を示す影響線データとに基づいて、前記移動体の重量を算出するステップと、

をコンピュータに実行させることを特徴とするプログラム。

【請求項 16】

移動体が移動する構造物に設置される加速度センサーと、

前記構造物に設置されたセンサーの出力に基づいて、前記構造物が前記移動体の移動に起因して強制振動する強制振動区間の前の時刻であって、前記移動体が前記構造物上を移動していないときの第 1 の時刻と、前記強制振動区間の後の時刻であって、前記移動体が前記構造物上を移動していないときの第 2 の時刻とを判定する移動体判定部と、前記加速度センサーの前記第 1 の時刻および前記第 2 の時刻に関連する自由振動周波数成分に基づいて、速度の境界条件および変位の境界条件を特定する境界条件特定部と、前記加速度セ

ンサーの出力を積分して、前記構造物が撓む速度および変位を算出する積分部と、前記速度の境界条件および前記変位の境界条件を満たすように前記速度および前記変位を補正する補正部と、補正された前記変位と、基準移動体が前記構造物上を移動したときの前記構造物の各地点の変位を示す影響線データとに基づいて、前記移動体の重量を算出する重量算出部と、を有する計測装置と、

を有することを特徴とする計測システム。

【請求項 17】

移動体が移動する構造物に設置されたセンサーの出力に基づいて、前記構造物が前記移動体の移動に起因して強制振動する強制振動区間の前の時刻であって、前記移動体が前記構造物上を移動していないときの第1の時刻と、前記強制振動区間の後の時刻であって、前記移動体が前記構造物上を移動していないときの第2の時刻とを判定する移動体判定部と、

前記構造物に設置された加速度センサーの前記第1の時刻および前記第2の時刻に関連する自由振動周波数成分に基づいて、速度の境界条件および変位の境界条件を特定する境界条件特定部と、

前記加速度センサーの出力を積分して、前記構造物が撓む速度および変位を算出する積分部と、

前記速度の境界条件および前記変位の境界条件を満たすように前記速度および前記変位を補正する補正部と、

を有し、

境界条件特定部は、前記構造物上を第1の移動体が移動しているときに、第2の移動体が前記構造物上に進入した場合、前記第2の移動体が前記構造物に進入した時刻における前記構造物の速度および変位を境界条件として追加する、

ことを特徴とする計測装置。

【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、プログラム、および計測システムに関する。

【背景技術】

【0002】

従来、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】

非特許文献1に開示された橋梁における「初期速度推定法」は、初期変位が0(ゼロ)であるという仮定、および車両が橋梁に進入する瞬間や退出する瞬間を検知可能であるという仮定が成り立つ場合に限って、比較的精度のよい変位応答を算出可能である。

【0005】

しかしながら、供用中の橋梁等の構造物は常に振動しているため、初期変位は必ずしも0にならないことから、数値積分の境界条件が妥当でない。

【0006】

また、構造物に外力が作用する時間帯(以下、「強制振動区間」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

。【0007】

そのため、非特許文献1で求められる変位からは、外力である車両の重量を精度よく算出することができない。

【0008】

そこで本発明は、構造物上を移動する移動体の重量を精度よく算出することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0009】

上記の課題を解決するための本発明の第一の態様は、移動体が移動する構造物に設置されたセンサーの出力に基づいて、前記構造物が前記移動体の移動に起因して強制振動する強制振動区間の前の時刻であって、前記移動体が前記構造物上を移動していないときの第1の時刻と、前記強制振動区間の後の時刻であって、前記移動体が前記構造物上を移動していないときの第2の時刻とを判定する移動体判定部と、前記構造物に設置された加速度センサーの前記第1の時刻および前記第2の時刻に関連する自由振動周波数成分に基づいて、速度の境界条件および変位の境界条件を特定する境界条件特定部と、前記加速度センサーの出力を積分して、前記構造物が撓む速度および変位を算出する積分部と、前記速度の境界条件および前記変位の境界条件を満たすように前記速度および前記変位を補正する補正部と、補正された前記変位と、基準移動体が前記構造物上を移動したときの前記構造物の各地点の変位を示す影響線データとに基づいて、前記移動体の重量を算出する重量算出部と、を有することを特徴とする計測装置である。第一の態様によれば、計測装置は、構造物の変位を適切に算出でき、適切な構造物の変位から、移動体の適切な重量を算出することができる。

【0010】

前記移動体判定部は、前記移動体の車軸ごとにおける前記構造物への進入時刻および前記構造物からの退出時刻を判定する、ことを特徴としてもよい。これにより、計測装置は、移動体の適切な重量を算出することができる。

【0011】

前記重量算出部は、前記影響線データと、前記移動体の車軸のそれぞれにおける前記進入時刻および前記退出時刻とを用いて、前記車軸ごとの軸重を算出し、算出した軸重を合計して前記移動体の車重を算出する、ことを特徴としてもよい。これにより、計測装置は、移動体の軸重を算出して、移動体の適切な重量を算出することができる。

【0012】

前記重量算出部は、前記構造物上を移動している複数の前記移動体の重量を算出する、ことを特徴としてもよい。これにより、計測装置は、構造物上を移動している複数の移動体の重量を算出することができる。

【0013】

前記重量算出部は、前記車軸のそれぞれの前記進入時刻および前記退出時刻の間隔に基づいて、前記進入時刻および前記退出時刻が複数の前記移動体のどの移動体の進入時刻および退出時刻であるか判定し、複数の前記移動体のそれぞれの車重を算出する、ことを特徴としてもよい。これにより、計測装置は、複数の前記移動体のそれぞれの車重を適切に算出することができる。

【0014】

前記境界条件特定部は、前記構造物上を第1の移動体が移動しているときに、第2の移動体が前記構造物上に進入した場合、前記第2の移動体が前記構造物に進入した時刻における前記構造物の速度および変位を境界条件として追加する、ことを特徴としてもよい。これにより、計測装置は、複数の移動体が構造物上を移動する場合、より適切な変位を算出することができる。

【0015】

前記境界条件特定部は、前記加速度センサーの加速度から前記自由振動周波数成分を抽

出し、抽出した前記自由振動周波数成分の加速度を積分して、前記速度の境界条件および前記変位の境界条件を特定する、ことを特徴としてもよい。これにより、計測装置は、積分部の積分結果を補正するための適切な境界条件を算出することができる。

【0016】

前記積分部は、前記加速度センサーの加速度から直流成分を除去し、直流成分を除去した加速度を積分して、前記速度および前記変位を算出する、ことを特徴としてもよい。これにより、計測装置は、移動体の移動による構造物の撓みの速度および変位を適切に算出することができる。

【0017】

前記センサーおよび前記加速度センサーは、同一である、ことを特徴としてもよい。これにより、計測装置は、1つのセンサーから移動体の重量を算出でき、コスト低減を図ることができる。

10

【0018】

前記センサーは加速度センサーであり、前記加速度センサーとは別体に設けられる、ことを特徴としてもよい。これにより、計測装置は、加速度を高精度に検出する加速度センサーを用いなくても、適切な加速度を取得でき、移動体の重量を適切に算出することができる。

【0019】

前記加速度センサーは、複数軸の加速度を検出し、前記境界条件特定部および前記積分部は、前記複数軸の加速度を合成した合成加速度を用いて処理を行う、ことを特徴としてもよい。これにより、計測装置は、加速度センサーの軸方向が垂直方向に対してずれて設置されても、移動体の重量を適切に算出することができる。

20

【0020】

前記境界条件特定部は、前記強制振動区間と前記強制振動区間以外の自由振動区間との境界の時刻における速度および変位を前記速度の境界条件および前記変位の境界条件とする、ことを特徴としてもよい。これにより、計測装置は、積分部の積分時間を短くすることができ、積分精度の低下を抑制することができる。

【0021】

前記センサーは撮影カメラであって、前記重量算出部は、前記撮影カメラが所定の周期で撮影する画像データから、前記移動体の車軸間隔と、前記構造物上を移動する前記移動体の所定の車軸の位置とを特定し、特定した前記車軸間隔と、前記所定の車軸の位置とから、前記構造物の長さに対する変位を時間に対する変位に変換した前記影響線データを算出する、ことを特徴としてもよい。これにより、計測装置は、移動体の構造物上での移動速度が変化しても、移動体の重量を適切に算出することができる。

30

【0022】

上記の課題を解決するための本発明の第二の態様は、移動体が移動する構造物に設置されたセンサーの出力に基づいて、前記構造物が前記移動体の移動に起因して強制振動する強制振動区間の前の時刻であって、前記移動体が前記構造物上を移動していないときの第1の時刻と、前記強制振動区間の後の時刻であって、前記移動体が前記構造物上を移動していないときの第2の時刻とを判定するステップと、前記構造物に設置された加速度センサーの前記第1の時刻および前記第2の時刻に関連する自由振動周波数成分に基づいて、速度の境界条件および変位の境界条件を特定するステップと、前記加速度センサーの出力を積分して、前記構造物が撓む速度および変位を算出するステップと、前記速度の境界条件および前記変位の境界条件を満たすように前記速度および前記変位を補正するステップと、補正された前記変位と、基準移動体が前記構造物上を移動したときの前記構造物の各地点の変位を示す影響線データとに基づいて、前記移動体の重量を算出するステップと、を含むことを特徴とする計測方法である。第二の態様によれば、計測装置は、構造物の変位を適切に算出でき、適切な構造物の変位から、移動体の適切な重量を算出することができる。

40

【0023】

50

上記の課題を解決するための本発明の第三の態様は、移動体が移動する構造物に設置されたセンサーの出力に基づいて、前記構造物が前記移動体の移動に起因して強制振動する強制振動区間の前の時刻であって、前記移動体が前記構造物上を移動していないときの第1の時刻と、前記強制振動区間の後の時刻であって、前記移動体が前記構造物上を移動していないときの第2の時刻とを判定するステップと、前記構造物に設置された加速度センサーの前記第1の時刻および前記第2の時刻に関連する自由振動周波数成分に基づいて、速度の境界条件および変位の境界条件を特定するステップと、前記加速度センサーの出力を積分して、前記構造物が撓む速度および変位を算出するステップと、前記速度の境界条件および前記変位の境界条件を満たすように前記速度および前記変位を補正するステップと、補正された前記変位と、基準移動体が前記構造物上を移動したときの前記構造物の各地点の変位を示す影響線データとに基づいて、前記移動体の重量を算出するステップと、をコンピュータに実行させることを特徴とするプログラムである。第三の態様によれば、コンピュータは、構造物の変位を適切に算出でき、適切な構造物の変位から、移動体の適切な重量を算出することができる。

【0024】

上記の課題を解決するための本発明の第四の態様は、移動体が移動する構造物に設置される加速度センサーと、前記構造物に設置されたセンサーの出力に基づいて、前記構造物が前記移動体の移動に起因して強制振動する強制振動区間の前の時刻であって、前記移動体が前記構造物上を移動していないときの第1の時刻と、前記強制振動区間の後の時刻であって、前記移動体が前記構造物上を移動していないときの第2の時刻とを判定する移動体判定部と、前記加速度センサーの前記第1の時刻および前記第2の時刻に関連する自由振動周波数成分に基づいて、速度の境界条件および変位の境界条件を特定する境界条件特定部と、前記加速度センサーの出力を積分して、前記構造物が撓む速度および変位を算出する積分部と、前記速度の境界条件および前記変位の境界条件を満たすように前記速度および前記変位を補正する補正部と、補正された前記変位と、基準移動体が前記構造物上を移動したときの前記構造物の各地点の変位を示す影響線データとに基づいて、前記移動体の重量を算出する重量算出部と、を有する計測装置と、を有することを特徴とする計測システムである。第四の態様によれば、計測システムは、構造物の変位を適切に算出でき、適切な構造物の変位から、移動体の適切な重量を算出することができる。

【0025】

上記の課題を解決するための本発明の第五の態様は、移動体が移動する構造物に設置されたセンサーの出力に基づいて、前記構造物が前記移動体の移動に起因して強制振動する強制振動区間の前の時刻であって、前記移動体が前記構造物上を移動していないときの第1の時刻と、前記強制振動区間の後の時刻であって、前記移動体が前記構造物上を移動していないときの第2の時刻とを判定する移動体判定部と、前記構造物に設置された加速度センサーの前記第1の時刻および前記第2の時刻に関連する自由振動周波数成分に基づいて、速度の境界条件および変位の境界条件を特定する境界条件特定部と、前記加速度センサーの出力を積分して、前記構造物が撓む速度および変位を算出する積分部と、前記速度の境界条件および前記変位の境界条件を満たすように前記速度および前記変位を補正する補正部と、を有し、境界条件特定部は、前記構造物上を第1の移動体が移動しているときに、第2の移動体が前記構造物上に進入した場合、前記第2の移動体が前記構造物に進入した時刻における前記構造物の速度および変位を境界条件として追加する、ことを特徴とする計測装置である。第五の態様によれば、計測装置は、複数の移動体が構造物上を移動する場合でも、適切な変位を算出することができる。

【図面の簡単な説明】

【0026】

【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】加速度センサーの橋梁への設置例を説明する図のその1である。

【図3】加速度センサーの橋梁への設置例を説明する図のその2である。

【図4】加速度センサーの3軸合成加速度を説明する図である。

【図 5】計測装置の機能ブロック構成例を示した図である。

【図 6】移動体判定部の動作例を説明する図である。

【図 7】境界条件特定部の動作例を説明する図である。

【図 8】積分部および補正部の動作例を説明する図である。

【図 9】積分部が算出した変位のドリフト除去の例を説明する図である。

【図 10】影響線データの例を説明する図である。

【図 11】重量算出部の動作例を説明する図である。

【図 12】計測装置の動作例を示すフローチャートである。

【図 13】第 2 の実施の形態に係る橋梁上を複数の車両が通過する場合の境界条件を説明する図である。

10

【図 14】第 3 の実施の形態に係る橋梁上を複数の車両が通過する場合の重量算出例を説明する図である。

【図 15】第 4 の実施の形態に係る記憶部のデータ構成例を示した図である。

【図 16】影響線データの時間軸変換を説明する図である。

【発明を実施するための形態】

【0027】

[第 1 の実施の形態]

以下、本発明の実施の形態を、図面を参照して説明する。

【0028】

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、加速度センサー 2、3 a、3 b と、を有している。計測装置 1 と加速度センサー 2、3 a、3 b 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 4 を介して、通信を行うことができる。

20

【0029】

図 1 には、橋梁 5 と、車両（本発明の移動体に相当する）6 と、が示してある。橋梁 5 の床版や主桁等は、橋梁 5 を移動（通過）する車両 6 の荷重によって、垂直方向下方に撓む。加速度センサー 2 は、橋梁 5 の中央部に設置され、橋梁 5 上を通過する車両 6 の荷重による、橋梁 5 の撓み（例えば、床版や主桁の撓み）の加速度を検出する。

【0030】

加速度センサー 3 a、3 b は、橋梁 5 の端部に設置され、車両 6 の橋梁 5 への進入の際に生じる橋梁 5 の加速度および車両 6 の橋梁 5 からの退出の際に生じる橋梁 5 の加速度を検出する。

30

【0031】

以下では、説明を簡単にするため、車両 6 は、図 1 の橋梁 5 の加速度センサー 3 a が設置された側から進入し、加速度センサー 3 b が設置された側から退出するとする。すなわち、加速度センサー 3 a は、車両 6 の橋梁 5 への進入を検知する加速度センサーとし、加速度センサー 3 b は、車両 6 の橋梁 5 からの退出を検知する加速度センサーとして説明する。なお、加速度センサー 3 a、3 b は、撮影カメラ、衝撃センサー、圧力センサー、光センサー、歪センサーであってもよい。これらカメラやセンサーによっても、車両 6 の橋梁 5 への進入および退出を検知することができる。

40

【0032】

計測装置 1 は、以下で詳述するが、加速度センサー 2、3 a、3 b から出力される加速度データ（以下では、単に加速度と称することがある）に基づいて、車両 6 の通過による橋梁 5 の撓みの速度および変位を算出する。計測装置 1 は、算出した変位から、橋梁 5 上を通過する車両 6 の重量を算出する。

【0033】

図 2 は、加速度センサー 2、3 a、3 b の橋梁 5 への設置例を説明する図のその 1 である。図 3 は、加速度センサー 2、3 a、3 b の橋梁 5 への設置例を説明する図のその 2 である。図 2 および図 3 において、図 1 と同じものには同じ符号を付し、その説明を省略する。

50

【 0 0 3 4 】

なお、図 2 は、橋梁 5 をその上方から見た図である。図 2 に示す G 1 ~ G 6 は、主桁の位置を示し、S 1 ~ S 7 は、橋軸直角方向部材の位置を示している。図 3 には、図 2 の S 4 における橋梁 5 の断面が示してある。

【 0 0 3 5 】

加速度センサー 2 は、橋梁 5 の車両 6 の荷重による撓みの加速度を明瞭に検知できるように、車両 6 の移動方向規制手段（例えば、車線や縁石、欄干等）の規制方向の中央部であって、かつ移動方向規制手段の幅方向の中央部に設置される。例えば、加速度センサー 2 は、図 2 および図 3 に示すように、G 3 , S 4 の位置の主桁に設置される。

【 0 0 3 6 】

加速度センサー 3 a , 3 b は、車両 6 の橋梁 5 への進入および退出によって生じる、橋梁 5 の加速度を検知できるように、橋梁 5 の移動方向規制手段の規制方向の両端部に設置するのが望ましい。その位置としては、例えば、橋床下部、主桁に設置することができるが、以下の説明では、床版下部に設置された場合を説明する。

【 0 0 3 7 】

図 4 は、加速度センサー 2 の 3 軸合成加速度を説明する図である。図 4 には、加速度センサー 2 が示してある。加速度センサー 2 は、互いに直交する 3 軸の各軸方向に生じる加速度を計測できる加速度センサーである。

【 0 0 3 8 】

加速度センサー 2 は、3 つの検出軸（x 軸、y 軸、z 軸）のうち、1 軸（例えば x 軸）を垂直方向に合わせて設置される。これにより、加速度センサー 2 は、橋梁 5 の垂直方向の撓みの加速度を検出できる。

【 0 0 3 9 】

加速度センサー 2 を橋梁 5 に設置する場合、設置個所が傾いている場合もある。計測装置 1 は、加速度センサー 2 の 3 つの検出軸の 1 軸が、垂直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、加速度センサー 2 の傾斜による測定誤差の補正を行うことができる。

【 0 0 4 0 】

なお、計測装置 1 は、加速度センサー 3 a , 3 b から出力される加速度においても、3 軸合成加速度を用いて、加速度センサー 3 a , 3 b の傾斜設置による測定誤差の補正を行うことができる。また、加速度センサー 2 , 3 a , 3 b は、1 軸または 2 軸の加速度センサーであってもよい。

【 0 0 4 1 】

図 5 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 5 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 4 2 】

制御部 1 1 は、以下で詳述するが、橋梁 5 に設置された加速度センサー 2 , 3 a , 3 b から出力される加速度に基づいて、橋梁 5 を通過する車両 6 の重量を算出する。

【 0 0 4 3 】

通信部 1 2 は、通信ネットワーク 4 を介して、加速度センサー 2 , 3 a , 3 b から、加速度を受信する。加速度センサー 2 , 3 a , 3 b から出力される加速度は、例えば、デジタル信号である。通信部 1 2 は、加速度センサー 2 , 3 a , 3 b から受信した加速度を制御部 1 1 に出力する。

【 0 0 4 4 】

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 4 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。

【0045】

出力部14は、制御部11の制御結果等を表示装置に出力する。

【0046】

操作部15は、ユーザーからの操作データを取得し、制御部11に送信する処理を行う。

【0047】

制御部11は、移動体判定部21と、境界条件特定部22と、積分部23と、補正部24と、重量算出部25と、を有している。制御部11の各部は、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。

【0048】

移動体判定部21には、通信部12によって受信された、加速度センサー3a, 3bの加速度が入力される。移動体判定部21は、入力される加速度センサー3a, 3bの加速度に基づいて、橋梁5が車両6の移動に起因して強制振動する強制振動区間前の時刻であって、車両6が橋梁5上を移動していないときの第1の時刻と、強制振動区間後の時刻であって、車両6が橋梁5上を移動していないときの第2の時刻とを判定する。

【0049】

図6は、移動体判定部21の動作例を説明する図である。図6に示すグラフG1~G3の横軸は、時間を示している。縦軸は、加速度を示している。

【0050】

グラフG1の波形W1は、加速度センサー3aから出力される加速度の波形を示している。

【0051】

移動体判定部21は、加速度センサー3aから出力される加速度(波形W1)から、車両6の車軸通過による加速度成分が明瞭に出現するようフィルター処理を行う。例えば、移動体判定部21は、25Hz以上の周波数成分の加速度を通過させるHPF (High Pass Filter) の機能を有している。HPFは、例えば、FIR (Finite Impulse Response) フィルターやFFT (Fast Fourier Transform) によって構成される。グラフG2の波形W2は、波形W1を移動体判定部21によってフィルター処理(HPF)した波形を示している。

【0052】

波形W2に示すピークP1, P2は、ある車両(ここでは車両M1と称す)の車軸の通過を示している。車両M1は、2つのピークP1, P2を有しているので2軸車である。ピークP1は、車両M1の前輪の車軸の通過を示し、ピークP2は、車両M1の後輪の車軸の通過を示している。

【0053】

ピークP3, P4は、別の車両(ここでは車両M2と称す)の車軸の通過を示している。車両M2は、2つのピークP3, P4を有しているので2軸車である。ピークP3は、車両M2の前輪の車軸の通過を示し、ピークP4は、車両M2の後輪の車軸の通過を示している。

【0054】

ピークP5, P6は、さらに別の車両(ここでは車両M3と称す)の車軸の通過を示している。車両M3は、2つのピークP5, P6を有しているので2軸車である。ピークP5は、車両M3の前輪の車軸の通過を示し、ピークP6は、車両M3の後輪の車軸の通過を示している。

10

20

30

40

50

【 0 0 5 5 】

移動体判定部 2 1 は、車両 6 の車軸通過による加速度成分が明瞭に出現するようフィルター処理した加速度（波形 W 2）に対し絶対値処理を行い、絶対値処理した波形 W 2 に対して移動平均処理を行う。グラフ G 3 の波形 W 3 は、波形 W 2 を移動体判定部 2 1 によってフィルター処理（移動平均処理）した波形を示している。

【 0 0 5 6 】

移動体判定部 2 1 は、移動平均処理した加速度（波形 W 3）に基づいて、橋梁 5 が車両 6 の移動に起因して強制振動する強制振動区間の前の時刻であって、車両 6 が橋梁 5 上を移動していないときの第 1 の時刻と、強制振動区間の後の時刻であって、車両 6 が橋梁 5 上を移動していないときの第 2 の時刻とを判定する。

10

【 0 0 5 7 】

例えば、移動体判定部 2 1 は、波形 W 3 の値が、点線に示す所定の閾値 $T_h 1$ を超える値から、閾値 $T_h 1$ 以下となったときの時刻「 t_1 」（第 1 の時刻）と、次に波形 W 3 の値が、所定の閾値 $T_h 1$ を超える値から、閾値 $T_h 1$ 以下となった時刻「 t_2 」（第 2 の時刻）とを判定する。

【 0 0 5 8 】

移動体判定部 2 1 が、波形 W 2 に対して移動平均処理するのは、例えば、グラフ G 2 の矢印 A 1 に示す車両 M 2 の車軸間を、橋梁 5 上に車両がない時刻と誤判定しないようにするためである。また、移動体判定部 2 1 が、矢印 A 2 に示す橋梁 5 上を通過中の 2 台の車両 M 2 , M 3 間を、橋梁 5 上に車両がない時刻と誤判断しないようにするためである。

20

【 0 0 5 9 】

移動体判定部 2 1 が判定した、車両 6 が橋梁 5 上にいない第 1 の時刻と第 2 の時刻との間には、強制振動区間が含まれる。例えば、グラフ G 2 の両矢印 A 3 に示す時間帯では、橋梁 5 上に 2 台の車両 M 2 , M 3 が通過しており、両矢印 A 3 に示す時間帯は、橋梁 5 に外力が作用している時間帯である。移動体判定部 2 1 が判定した、車両 6 が橋梁 5 上を移動していないときの時刻「 t_1 」と、時刻「 t_2 」との間には、強制振動区間である両矢印 A 3 の時間帯が含まれている。

【 0 0 6 0 】

なお、移動体判定部 2 1 は、加速度のピーク波形を明瞭にするために、加速度センサー 3 a の加速度（波形 W 1）に対して強調フィルターを使用し、車両検知をより精度良く行うことができる。強調フィルターとしては、微分フィルター、ソーベルフィルター等が適用できる。また、ウェーブレット変換を行ったのちに強調フィルター処理を行ってもよい。また、エネルギー値に変換し、強調フィルター処理を行ってもよい。

30

【 0 0 6 1 】

また、上記例では、移動体判定部 2 1 は、車両 6 の進入を検知する加速度センサー 3 a の加速度から、第 1 の時刻および第 2 の時刻を判定したが、加速度センサー 3 b の加速度から、第 1 の時刻および第 2 の時刻を判定してもよい。

【 0 0 6 2 】

また、移動体判定部 2 1 は、加速度センサー 3 a の加速度から判定した判定結果と、加速度センサー 3 b の加速度から判定した判定結果との「AND」をとる。例えば、移動体判定部 2 1 は、加速度センサー 3 a の加速度から判定した判定結果が、橋梁 5 上に車両 6 がないという判定結果であり、かつ、加速度センサー 3 b の加速度から判定した判定結果が、橋梁 5 上に車両 6 がないという判定結果の場合に、橋梁 5 上に車両 6 が存在しないと判定する。

40

【 0 0 6 3 】

また、移動体判定部 2 1 は、波形 W 2 に対し、移動平均処理を行うのではなく、 x 秒平均処理（ x は任意の整数）を行ってもよい。

【 0 0 6 4 】

また、移動体判定部 2 1 は、図 4 で説明した 3 軸合成加速度によって、加速度センサー

50

3 a , 3 b から出力される加速度の補正を行ってもよい。

【 0 0 6 5 】

図 5 の説明に戻る。境界条件特定部 2 2 には、通信部 1 2 によって受信された、加速度センサー 2 の加速度が入力される。境界条件特定部 2 2 は、入力される加速度センサー 2 の、第 1 の時刻および第 2 の時刻に関連する橋梁 5 の自由振動周波数成分における出力に基づいて、速度の境界条件および変位の境界条件を特定する。

【 0 0 6 6 】

ここで、橋梁 5 の振動には、車両 6 の通過等による、外力による振動（強制振動）の他に、橋梁 5 の基本の振動（自由振動）がある。自由振動による加速度センサー 2 の加速度の周波数（自由振動周波数成分）は、橋梁 5 の長さや材質、構造等によって変わるが、例えば、2 ~ 1 0 H z である。 10

【 0 0 6 7 】

図 7 は、境界条件特定部 2 2 の動作例を説明する図である。図 7 に示すグラフ G 1 1 ~ G 1 3 の横軸は、時間を示している。グラフ G 1 1 の縦軸は加速度を示し、グラフ G 1 2 の縦軸は速度を示し、グラフ G 1 3 の縦軸は変位を示している。

【 0 0 6 8 】

境界条件特定部 2 2 は、入力された加速度センサー 2 の加速度から、自由振動周波数成分を抽出する。例えば、境界条件特定部 2 2 は、入力された加速度センサー 2 の加速度から、2 ~ 1 0 H z の周波数成分の加速度を抽出する。

【 0 0 6 9 】

境界条件特定部 2 2 は、例えば、F I R や F F T による B P F (Band Pass Filter) によって、入力された加速度センサー 2 の加速度から、自由振動周波数成分を抽出する。グラフ G 1 1 の波形 W 1 1 は、境界条件特定部 2 2 が抽出した、加速度センサー 2 から出力された加速度の自由振動周波数成分を示している。 20

【 0 0 7 0 】

境界条件特定部 2 2 は、加速度センサー 2 から出力された加速度の自由振動周波数成分（波形 W 1 1 ）を抽出すると、抽出した自由振動周波数成分の加速度を数値積分（以下単に積分と称する）する。すなわち、境界条件特定部 2 2 は、橋梁 5 の自由振動による変形（以下では、自由振動による変形を撓みと称することがある）の速度を算出する。グラフ G 1 2 の波形 W 1 2 は、境界条件特定部 2 2 によって算出された、橋梁 5 の自由振動による速度を示している。 30

【 0 0 7 1 】

境界条件特定部 2 2 は、橋梁 5 の自由振動による速度を算出すると、算出した速度に対し、積分を行う。すなわち、境界条件特定部 2 2 は、橋梁 5 の自由振動による撓みの変位を算出する。グラフ G 1 3 の波形 W 1 3 は、境界条件特定部 2 2 によって算出された、橋梁 5 の自由振動による変位を示している。

【 0 0 7 2 】

境界条件特定部 2 2 は、橋梁 5 の自由振動による変位を算出すると、移動体判定部 2 1 によって判定された第 1 の時刻および第 2 の時刻の近傍の、変位が「 0 」となっている時刻を特定する。例えば、境界条件特定部 2 2 は、第 1 の時刻から、変位が「 0 」となっている最も近い時刻を特定する。また、境界条件特定部 2 2 は、第 2 の時刻から、変位が「 0 」となっている最も近い時刻を特定する。 40

【 0 0 7 3 】

例えば、波形 W 1 3 の時刻「 t 1 」および「 t 2 」は、移動体判定部 2 1 によって判定された第 1 の時刻および第 2 の時刻を示している。波形 W 1 3 の「 t 1 ' 」および「 t 2 ' 」は、境界条件特定部 2 2 によって特定された、第 1 の時刻「 t 1 」および第 2 の時刻「 t 2 」の近傍の、変位が「 0 」となっている時刻を示している。

【 0 0 7 4 】

境界条件特定部 2 2 は、移動体判定部 2 1 によって判定された第 1 の時刻および第 2 の時刻の近傍の、変位が「 0 」となっている時刻を特定すると、その特定した時刻における 50

速度を取得する。

【 0 0 7 5 】

例えば、境界条件特定部 2 2 は、グラフ G 1 2 に示す時刻「 t_1 」および時刻「 t_2 」における、波形 W 1 2 の速度を取得する。

【 0 0 7 6 】

境界条件特定部 2 2 は、特定した時刻「 t_1 」および「 t_2 」における速度を、速度の境界条件とする。時刻「 t_1 」における速度を「 V_1 」、時刻「 t_2 」における速度を「 V_2 」とすると、速度の境界条件は、下記のようになる。

【 0 0 7 7 】

時刻「 t_1 」における速度 V の境界条件： $V = V_1$

10

時刻「 t_2 」における速度 V の境界条件： $V = V_2$

【 0 0 7 8 】

また、境界条件特定部 2 2 は、特定した時刻「 t_1 」および「 t_2 」における変位を、変位の境界条件とする。時刻「 t_1 」および「 t_2 」における変位は、「0」であるので、変位の境界条件は、下記のようになる。

【 0 0 7 9 】

時刻「 t_1 」における変位 U の境界条件： $U = 0$

時刻「 t_2 」における変位 U の境界条件： $U = 0$

【 0 0 8 0 】

なお、境界条件特定部 2 2 は、自由振動による変位（波形 W 1 3）の平均値が「0」となるように、自由振動による変位をバイアス補正してもよい。そして、境界条件特定部 2 2 は、バイアス補正した自由振動による変位から、移動体判定部 2 1 によって判定された第 1 の時刻および第 2 の時刻の近傍の、変位が「0」となっている時刻を特定してもよい。

20

【 0 0 8 1 】

また、境界条件特定部 2 2 は、図 4 で説明した 3 軸合成加速度によって、加速度センサー 2 から出力される加速度の補正を行ってもよい。

【 0 0 8 2 】

また、境界条件特定部 2 2 は、強制振動区間と、強制振動区間以外の自由振動区間との境界の時刻における速度および変位を、速度の境界条件および変位の境界条件としてもよい。例えば、境界条件特定部 2 2 は、車両 6 の橋梁 5 への進入の時刻における変位および速度と、車両 6 の橋梁 5 からの退出の時刻における変位および速度とを、速度の境界条件および変位の境界条件としてもよい。これにより、以下で説明する積分部 2 3 は、積分時間を短くする（極力短くする）ことができ、積分精度の低下を抑制することができる。

30

【 0 0 8 3 】

図 5 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、加速度センサー 2 の加速度が入力される。積分部 2 3 は、入力された加速度センサー 2 の加速度を数値積分（以下単に積分と称する）して、車両 6 の通過による橋梁 5 の撓みの速度および変位を算出する。

【 0 0 8 4 】

補正部 2 4 は、境界条件特定部 2 2 によって特定された速度の境界条件および変位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速度および変位を補正する。

40

【 0 0 8 5 】

図 8 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 8 に示すグラフ G 2 1 ~ G 2 3 の横軸は、時間を示している。グラフ G 2 1 の縦軸は加速度を示し、グラフ G 2 2 の縦軸は速度を示し、グラフ G 2 3 の縦軸は変位を示している。

【 0 0 8 6 】

積分部 2 3 は、入力された加速度センサー 2 の加速度から、DC (Direct Current) 成分を除去する。加速度センサー 2 のオフセット分によって、積分結果が発散しないようにするためである。

50

【 0 0 8 7 】

積分部 2 3 は、例えば、F I R や F F T による B P F によって、入力された加速度センサー 2 の加速度から、D C 成分を除去する。B P F の通過帯域は、例えば、加速度センサー 2 の加速度のサンプリング周波数を f_s とすると、 $0.1 \sim f_s / 2 \text{ Hz}$ である。グラフ G 2 1 に示す波形 W 2 1 は、積分部 2 3 によってフィルター (B P F) 処理された、加速度センサー 2 の加速度を示している。

【 0 0 8 8 】

積分部 2 3 は、加速度センサー 2 の加速度をフィルター処理すると、その加速度 (波形 W 2 1) を積分して、車両 6 の通過による橋梁 5 の撓みの速度を算出する。補正部 2 4 は、積分部 2 3 によって算出された速度が、境界条件特定部 2 2 によって特定された速度の境界条件を満たすように補正する。 10

【 0 0 8 9 】

グラフ G 2 2 の波形 W 2 2 は、積分部 2 3 によって算出された橋梁 5 の速度の波形であって、補正部 2 4 によって速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 2 2 に示す時刻「 t_1 」における速度は、補正部 2 4 によって「 $V = V_1$ 」となっている (補正されている)。また、グラフ G 2 2 に示す時刻「 t_2 」における速度は、補正部 2 4 によって「 $V = V_2$ 」となっている。

【 0 0 9 0 】

積分部 2 3 は、補正部 2 4 によって速度の境界条件が補正された速度 (波形 W 2 2) を積分し、車両 6 の通過による橋梁 5 の撓みの変位を算出する。補正部 2 4 は、積分部 2 3 によって算出された変位が、境界条件特定部 2 2 によって特定された変位の境界条件を満たすように補正する。 20

【 0 0 9 1 】

グラフ G 2 3 の波形 W 2 3 は、積分部 2 3 によって算出された橋梁 5 の変位の波形であって、補正部 2 4 によって変位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。波形 W 2 3 に示すように、積分部 2 3 によって算出された時刻「 t_1 」における変位は、補正部 2 4 によって「 $U = 0$ 」となっている (補正されている)。また、積分部 2 3 によって算出された時刻「 t_2 」における変位は、補正部 2 4 によって「 $U = 0$ 」となっている。

【 0 0 9 2 】

なお、積分部 2 3 は、図 4 で説明した 3 軸合成加速度によって、加速度センサー 2 から出力される加速度の補正を行ってもよい。 30

【 0 0 9 3 】

図 9 は、積分部 2 3 が算出した変位のドリフト除去の例を説明する図である。図 9 に示すグラフ G 3 1 の横軸は、時間を示している。グラフ G 3 1 の縦軸は、変位を示している。

【 0 0 9 4 】

波形 W 3 1 は、積分部 2 3 が算出した変位の波形であって、補正部 2 4 によって変位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 3 1 に示すように、積分部 2 3 が算出した変位には、例えば、加速度センサー 2 のドリフト成分が含まれる。 40

【 0 0 9 5 】

図 8 のグラフ G 2 3 で説明したように、補正部 2 4 は、変位の境界条件を満たすように、積分部 2 3 が算出した変位を補正する。例えば、補正部 2 4 は、変位の境界条件を満たすように、積分部 2 3 が算出した変位の線形成分 (斜線部分) を減算することで、加速度センサー 2 のドリフト成分の除去を行う。速度の場合も同様に、補正部 2 4 は、速度の境界条件を満たすように、積分部 2 3 が算出した速度の線形成分を減算することで、加速度センサー 2 のドリフト成分の除去を行う。

【 0 0 9 6 】

これにより、計測装置 1 は、外力が作用する強制振動区間の速度および変位を適切に計測できる。すなわち、計測装置 1 は、車両 6 の通過による橋梁 5 の撓みの速度および変位 50

を適切に計測できる。

【 0 0 9 7 】

図 5 の説明に戻る。重量算出部 2 5 は、Weigh In Motionによって、車両 6 の重量を算出する。例えば、重量算出部 2 5 は、補正部 2 4 によって境界条件が補正された、積分部 2 3 が算出した変位と、基準車両が橋梁 5 上を移動したときの、橋梁 5 の各地点の変位を示す影響線データとに基づいて、車両 6 の重量を算出する。まず、影響線データについて説明する。

【 0 0 9 8 】

図 1 0 は、影響線データの例を説明する図である。図 1 0 に示すグラフ G 4 1 の横軸は、橋梁 5 の長さを示している。グラフ G 4 1 の縦軸は、橋梁 5 の垂直方向の変位を示している。 10

【 0 0 9 9 】

グラフ G 4 1 に示す波形 W 4 1 は、橋梁 5 の影響線データを示している。波形 W 4 1 は、例えば、1 t 車等、予め重量が分かっている基準車両が橋梁 5 上を通過したときの、橋梁 5 の各地点における撓みの変位を示している。影響線データは、例えば、計測システムを動作させる前に、予め作成され、記憶部 1 3 に記憶される。

【 0 1 0 0 】

なお、グラフ G 4 1 では、加速度センサー 3 a が設置された側の橋梁 5 の端部を原点としている。従って、グラフ G 4 1 の矢印 A 1 1 は、加速度センサー 3 b が設置された側の橋梁 5 の端部を示している。 20

【 0 1 0 1 】

次に、重量算出部 2 5 について説明する。

【 0 1 0 2 】

図 1 1 は、重量算出部 2 5 の動作例を説明する図である。図 1 1 に示すグラフ G 5 1 の横軸は、時間を示している。グラフ G 5 1 の縦軸は、橋梁 5 の垂直方向の変位を示している。

【 0 1 0 3 】

グラフ G 5 1 に示す波形 W 5 1 は、補正部 2 4 によって境界条件が補正された、積分部 2 3 が算出した変位を示している。すなわち、波形 W 5 1 は、車両 6 の通過による、橋梁 5 の撓みの変位を示している。 30

【 0 1 0 4 】

グラフ G 5 1 の時刻「 t_{i1} 」は、車両 6 (ここでは、3 軸車とする) の 1 軸目の車軸が橋梁 5 に進入した時刻を示している。なお、グラフ G 5 1 では、1 軸目の進入時刻を原点(時刻 $t_{i1} = 0$)としている。時刻「 t_{i2} 」は、車両 6 の 2 軸目の車軸が橋梁 5 に進入した時刻を示している。時刻「 t_{i3} 」は、車両 6 の 3 軸目の車軸が橋梁 5 に進入した時刻を示している。

【 0 1 0 5 】

時刻「 t_{o1} 」は、車両 6 の 1 軸目の車軸が橋梁 5 から退出した時刻を示している。時刻「 t_{o2} 」は、車両 6 の 2 軸目の車軸が橋梁 5 から退出した時刻を示している。時刻「 t_{o3} 」は、車両 6 の 3 軸目の車軸が橋梁 5 から退出した時刻を示している。 40

【 0 1 0 6 】

重量算出部 2 5 は、車両 6 の車軸の進入時刻および退出時刻を用いて、図 1 0 に示した影響線データの横軸の長さを、時間軸に変換する。グラフ G 5 1 に示す点線の波形 e 1 は、車両 6 の 1 軸目に対応する、重量算出部 2 5 によって時間軸変換された影響線データを示している。グラフ G 5 1 に示す一点鎖線の波形 e 2 は、車両 6 の 2 軸目に対応する、重量算出部 2 5 によって時間軸変換された影響線データを示している。グラフ G 5 1 に示す二点鎖線の波形 e 3 は、車両 6 の 3 軸目に対応する、重量算出部 2 5 によって時間軸変換された影響線データを示している。

【 0 1 0 7 】

車両 6 の 1 軸目の軸重を W_1 、車両 6 の 2 軸目の軸重を W_2 、車両 6 の 3 軸目の軸重を 50

W3とすると、橋梁5の車両6による変位U(波形W51)は、次の式(1)により表すことができる。

【0108】

$$U = W1 * e1 + W2 * e2 + W3 * e3 \quad (1)$$

【0109】

重量算出部25は、Weigh In Motionにより、W1, W2, W3を求めることができる。車両6の重量Wは、各軸重の和となる。従って、重量算出部25は、Weigh In Motionより求めたW1, W2, W3より、重量 $W = W1 + W2 + W3$ を算出できる。

【0110】

なお、車両6の各車軸の橋梁5への進入時刻および退出時刻は、移動体判定部21によって取得される。例えば、移動体判定部21は、図6のグラフG2で説明したように、加速度センサー3aから出力される加速度をフィルター処理し、そのピークを検出することにより、車両6の各車軸の橋梁5への進入時刻を取得できる。同様に、移動体判定部21は、加速度センサー3bの加速度から、車両6の各車軸の橋梁5からの退出時刻を取得できる。

【0111】

図12は、計測装置1の動作例を示すフローチャートである。橋梁5に設置された加速度センサー2, 3a, 3bは、例えば、所定の周期で橋梁5に生じる加速度を計測し、計測した加速度を、通信ネットワーク4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12は、加速度センサー2, 3a, 3bから送信された加速度を受信するとする。

【0112】

まず、移動体判定部21は、車軸通過による加速度のピークが明瞭となるように、通信部12によって受信された加速度センサー3a, 3bの加速度に対し、フィルター処理を行う(ステップS1)。例えば、移動体判定部21は、加速度センサー3aの加速度に対し、25Hz以上の周波数成分の加速度を通過させる。

【0113】

次に、移動体判定部21は、ステップS1のフィルター処理を行った加速度センサー3aの加速度に対し、移動平均処理を行う(ステップS2)。

【0114】

次に、移動体判定部21は、ステップS2にて移動平均処理した加速度センサー3aの加速度と、所定の閾値Thとを比較し、強制振動区間の前の時刻であって、車両6が橋梁5上を移動していないときの第1の時刻(t1)と、強制振動区間の後の時刻であって、車両6が橋梁5上を移動していない第2の時刻(t2)とを判定する(ステップS3)。

【0115】

次に、境界条件特定部22は、通信部12によって受信された加速度センサー2の加速度の自由振動周波数成分を抽出する(ステップS4)。例えば、境界条件特定部22は、2~10Hzの通過帯域を有するBPFによって、加速度センサー2の加速度の自由振動周波数成分を抽出する。

【0116】

次に、境界条件特定部22は、ステップS4にて抽出した自由振動周波数成分の加速度を積分し、橋梁5の自由振動による速度を算出する(ステップS5)。

【0117】

次に、境界条件特定部22は、ステップS5にて算出した速度を積分し、橋梁5の自由振動による変位を算出する(ステップS6)。

【0118】

次に、境界条件特定部22は、ステップS6にて算出した変位において、ステップS3で判定した第1の時刻(t1)と第2の時刻(t2)の近傍の、変位が「0」となっている時刻(t1', t2')を特定する(ステップS7)。

【0119】

10

20

30

40

50

次に、境界条件特定部 2 2 は、ステップ S 5 にて算出した自由振動による速度から、ステップ S 7 にて特定した時刻 (t_1' , t_2') における速度を特定する (ステップ S 8)。これにより、境界条件特定部 2 2 は、時刻「 t_1' 」における速度の境界条件と、変位の境界条件 (変位 = 0) とを特定する。また、境界条件特定部は、時刻「 t_2' 」における速度の境界条件と、変位の境界条件 (変位 = 0) とを特定する。

【0120】

次に、積分部 2 3 は、通信部 1 2 によって受信された加速度センサー 2 の加速度の DC 成分を除去する (ステップ S 9)。例えば、積分部 2 3 は、加速度センサー 2 の加速度のサンプリング周波数を f_s とすると、 $0.1 \sim f_s / 2$ Hz の通過帯域を有する BPF によって、加速度センサー 2 の加速度の DC 成分を除去する。

10

【0121】

次に、積分部 2 3 は、ステップ S 9 にてフィルター (BPF) 処理した加速度を積分し、橋梁 5 の撓みの速度を算出する (ステップ S 10)。

【0122】

次に、補正部 2 4 は、ステップ S 10 にて算出された速度に対し、ステップ S 8 にて特定された速度の境界条件を満たすように補正する (ステップ S 11)。

【0123】

次に、積分部 2 3 は、ステップ S 11 にて補正された速度を積分し、橋梁 5 の撓みの変位を算出する (ステップ S 12)。

【0124】

次に、補正部 2 4 は、ステップ S 12 にて算出された変位に対し、ステップ S 8 にて特定された変位の境界条件を満たすように補正する (ステップ S 13)。

20

【0125】

次に、重量算出部 2 5 は、ステップ S 13 にて補正された橋梁 5 の変位と、影響線データとを用いて、Weigh In Motionにより、橋梁 5 上を通過する車両 6 の重量を算出する (ステップ S 14)。

【0126】

以上の処理によって、計測装置 1 は、橋梁 5 上を通過する車両 6 の重量を算出する。

【0127】

なお、計測装置 1 の動作は、図 12 のフローチャートの動作に限られない。例えば、移動体判定部 2 1、境界条件特定部 2 2、および積分部 2 3 のフィルター処理は、通信部 1 2 が加速度センサー 2, 3 a, 3 b から加速度を受信するたびに行ってもよい。また、境界条件特定部 2 2 および積分部 2 3 の積分処理は、通信部 1 2 が加速度センサー 2, 3 a, 3 b から加速度を受信するたびに行ってもよい。

30

【0128】

このように、計測装置 1 の移動体判定部 2 1 は、車両 6 が移動する橋梁 5 に設置された加速度センサー 3 a, 3 b の出力に基づいて、強制振動区間の前の時刻であって、車両 6 が橋梁 5 上を移動していないときの第 1 の時刻と、強制振動区間の後の時刻であって、車両 6 が橋梁 5 上を移動していない第 2 の時刻とを判定する。境界条件特定部 2 2 は、橋梁 5 に設置された加速度センサー 2 の第 1 の時刻および第 2 の時刻に関連する (近傍の) 橋梁 5 の自由振動周波数成分に基づいて、速度の境界条件および変位の境界条件を特定する。積分部 2 3 は、加速度センサー 2 の DC 成分を除去した加速度を積分して、橋梁 5 の速度および変位を算出し、補正部 2 4 は、積分部 2 3 が算出する速度および変位を、境界条件特定部 2 2 が特定した速度の境界条件および変位の境界条件を満たすように補正する。そして、重量算出部 2 5 は、補正部 2 4 によって補正された、積分部 2 3 の変位から、車両 6 の重量を算出する。

40

【0129】

これにより、積分部 2 3 が算出した橋梁 5 の変位は、加速度センサー 2 のドリフト成分が除去されるため、重量算出部 2 5 は、適切な橋梁 5 の変位から、車両 6 の重量を精度よく算出できる。

50

【 0 1 3 0 】

なお、境界条件は、車両 6 が橋梁 5 上にいないときの第 1 の時刻 (t_1) における速度および変位と、第 2 の時刻 (t_2) における速度および変位としてもよい。

【 0 1 3 1 】

例えば、第 1 の時刻における自由振動による速度および変位は、それぞれ V_1 , U_1 であったとする。また、第 2 の時刻における自由振動による速度および変位は、それぞれ V_2 , U_2 であったとする。この場合、境界条件は下記のようになる。

【 0 1 3 2 】

時刻「 t_1 」における速度 V の境界条件 : $V = V_1$

時刻「 t_2 」における速度 V の境界条件 : $V = V_2$

時刻「 t_1 」における変位 U の境界条件 : $U = U_1$

時刻「 t_2 」における変位 U の境界条件 : $U = U_2$

【 0 1 3 3 】

すなわち、境界条件特定部 2 2 は、車両 6 が橋梁 5 上にいないときの第 1 の時刻および第 2 の時刻における、自由振動による速度および変位を抽出し、境界条件としてもよい。

【 0 1 3 4 】

また、第 1 の時刻 (t_1) および第 2 の時刻 (t_2) は、車両 6 が橋梁 5 に進入する直前の時刻および橋梁 5 から車両 6 が退出した直後の時刻であってもよい。すなわち、第 1 の時刻および第 2 の時刻は、強制振動区間と、強制振動区間以外の自由振動区間との境界の時刻であってもよい。

【 0 1 3 5 】

また、計測装置 1 は、加速度センサー 2 , 3 a , 3 b のいずれかと一体化され、橋梁 5 に設置されてもよい。例えば、計測装置 1 は、加速度センサー 2 を備え、橋梁 5 の中央部に設置されてもよい。

【 0 1 3 6 】

また、加速度センサー 3 a , 3 b は、加速度センサー 2 によって代用されてもよい。すなわち、計測装置 1 は、1 つの加速度センサー 2 によって、橋梁 5 の加速度の検出を行ってもよい

【 0 1 3 7 】

[第 2 の実施の形態]

橋梁 5 上を複数の車両が通過する場合 (例えば、ある車両が橋梁 5 に進入し、その車両が退出する前に、別の車両が橋梁 5 に進入する場合)、第 1 の実施の形態でも、橋梁 5 の撓みの速度および変位を適切に算出できるが、第 2 の実施の形態では、別の車両が橋梁に進入したときの時刻における境界条件を追加し、橋梁 5 の撓みの速度および変位をより適切に算出するようにする。

【 0 1 3 8 】

第 2 の実施の形態では、計測装置 1 の機能ブロックは、図 5 と同様であるが、境界条件特定部 2 2 の機能が異なる。以下では、境界条件特定部 2 2 の機能について説明する。

【 0 1 3 9 】

境界条件特定部 2 2 は、ある車両が橋梁 5 上を通過しているときに、別の車両が橋梁 5 に進入した場合、ある車両によって撓んでいる橋梁 5 の速度および変位を、別の車両が橋梁 5 に進入してきた時刻の境界条件とする。

【 0 1 4 0 】

図 1 3 は、第 2 の実施の形態に係る橋梁 5 上を複数の車両が通過する場合の境界条件を説明する図である。グラフ G 6 1 に示す波形 W 6 1 ~ W 6 4 の横軸は時間を示している。波形 W 6 1 の縦軸は速度を示し、波形 W 6 2 の縦軸は変位を示し、波形 W 6 3 , W 6 4 の縦軸は加速度を示している。

【 0 1 4 1 】

境界条件特定部 2 2 は、第 1 の実施の形態と同様に、橋梁 5 の自由振動による速度および変位を算出する。グラフ G 6 1 の波形 W 6 1 は、境界条件特定部 2 2 が算出した橋梁 5

10

20

30

40

50

の自由振動による速度を示し、波形W 6 2 は、境界条件特定部 2 2 が算出した橋梁 5 の自由振動による変位を示している。

【 0 1 4 2 】

境界条件特定部 2 2 は、第 1 の実施の形態と同様に、第 1 の時刻と第 2 の時刻の近傍の、自由振動による変位が「 0 」となっている時刻を特定し、速度の境界条件および変位の境界条件を特定する。グラフ G 6 1 に示す時刻「 t 1 ' 」および時刻「 t 2 ' 」は、境界条件特定部 2 2 によって特定された、第 1 の時刻と第 2 の時刻の近傍の、自由振動による変位が「 0 」となっている時刻を示している。「 $V = V 1$, $U = 0$ 」は、境界条件特定部 2 2 によって特定された、時刻「 t 1 ' 」における速度の境界条件および変位の境界条件を示している。「 $V = V 2$, $U = 0$ 」は、境界条件特定部 2 2 によって特定された、時刻「 t 2 ' 」における速度の境界条件および変位の境界条件を示している。

【 0 1 4 3 】

境界条件特定部 2 2 は、加速度センサー 3 a , 3 b の加速度に基づいて、橋梁 5 上をある車両が通過しているときに、別の車両が橋梁 5 に進入したか否か判定する。

【 0 1 4 4 】

例えば、波形 W 6 3 は、加速度センサー 3 a から得られた車軸進入による加速度の波形を示している。波形 W 6 4 は、加速度センサー 3 b から得られた車軸退出による加速度の波形を示している。波形 W 6 3 , W 6 4 に示す加速度は、図 6 で説明した方法によって、移動体判定部 2 1 によって算出される。

【 0 1 4 5 】

境界条件特定部 2 2 は、移動体判定部 2 1 によって算出された加速度（波形 W 6 3 , 6 4 ）から、車両の橋梁 5 への進入および退出を検出する。例えば、図 1 3 に示すピーク P 1 1 a は、ある車両（ここでは、車両 M 1 1 と称する）の橋梁 5 への進入時刻を示し、ピーク P 1 1 b は、車両 M 1 1 の橋梁 5 からの退出時刻を示している。また、図 1 3 に示すピーク P 1 2 a は、別の車両（ここでは、車両 M 1 2 と称する）の橋梁 5 への進入時刻を示し、ピーク P 1 2 b は、車両 M 1 2 の橋梁 5 からの退出時刻を示している。

【 0 1 4 6 】

境界条件特定部 2 2 は、車両 M 1 1 , M 1 2 の橋梁 5 への進入時刻および退出時刻の検出により、車両 M 1 1 , M 1 2 の橋梁 5 を通過している時間帯を検出できる。そして、境界条件特定部 2 2 は、車両 M 1 1 , M 1 2 の橋梁 5 上を通過している時間帯から、車両 M 1 1 が橋梁 5 を通過しているときに、車両 M 1 2 が橋梁 5 に進入したか否か判定できる。

【 0 1 4 7 】

例えば、図 1 3 において、区間 S 1 は、車両 M 1 1 が橋梁 5 に進入して退出した時間帯を示し、区間 S 2 は、車両 M 1 2 が橋梁 5 に進入して退出した時間帯を示している。区間 S 1 , S 2 は重なっており、車両 M 1 1 が橋梁 5 上を通過しているときに、別の車両 M 1 2 が橋梁 5 に進入している。このように、境界条件特定部 2 2 は、車両 M 1 1 , M 1 2 の橋梁 5 上を通過している時間帯（区間 S 1 , S 2 ）から、橋梁 5 上を車両 M 1 1 が通過しているときに、別の車両 M 1 2 が橋梁 5 に進入したか否か判定できる。

【 0 1 4 8 】

境界条件特定部 2 2 は、橋梁 5 上をある車両が通過しているときに、別の車両が橋梁 5 に進入したと判定した場合、別の車両が橋梁 5 に進入してきた時刻の橋梁 5 の撓みの速度および変位を、速度の境界条件および変位の境界条件として追加する。

【 0 1 4 9 】

例えば、図 1 3 のグラフ G 6 1 に示す時刻「 t 3 」は、車両 M 1 1 に続いて橋梁 5 へ進入した車両 M 1 2 の進入時刻を示している。境界条件特定部 2 2 は、時刻「 t 3 」における自由振動による橋梁 5 の撓みの速度「 $V 3$ 」を、速度の境界条件とし、時刻「 t 3 」における自由振動による橋梁 5 の撓みの変位「 $U 3$ 」を、変位の境界条件とする。時刻「 t 3 」における速度の境界条件および変位の境界条件は、下記のようなになる。

【 0 1 5 0 】

時刻「 t 3 」における速度 V の境界条件： $V = V 3$

10

20

30

40

50

時刻「 t_3 」における変位 U の境界条件： $U = U_3$

【0151】

すなわち、境界条件特定部22は、先行車両に続いて後続車両が橋梁5に進入した場合、後続車両の進入時刻における、橋梁5の自由振動による速度および変位を、速度の境界条件および変位の境界条件として追加する。

【0152】

積分部23は、第1の実施の形態と同様に、DC成分を除去した加速度センサー2の加速度を積分し、車両の通過による橋梁5の撓みの速度および変位を算出する。補正部24は、第1の実施の形態と同様に、積分部23によって算出される速度および変位を、境界条件特定部22によって特定された速度の境界条件および変位の境界条件を満たすように補正する。 10

【0153】

例えば、補正部24は、積分部23が算出する速度を、時刻「 t_1 」において速度「 $V = V_1$ 」となるように補正し、時刻「 t_3 」において速度「 $V = V_3$ 」となるように補正し、時刻「 t_2 」において速度「 $V = V_2$ 」となるように補正する。また、補正部24は、積分部23が算出する変位を、時刻「 t_1 」において変位「 $U = 0$ 」となるように補正し、時刻「 t_3 」において変位「 $U = U_3$ 」となるように補正し、時刻「 t_2 」において変位「 $U = 0$ 」となるように補正する。

【0154】

このように、境界条件特定部22は、第1の車両が橋梁5上を通過しているときに、第2の車両が橋梁5に進入した場合、第2の車両が橋梁5に進入した時刻における橋梁5の撓みの速度および変位を、速度の境界条件および変位の境界条件として追加する。 20

【0155】

これにより、計測装置1は、複数の車両が橋梁5上を通過する場合、より適切な橋梁5の撓みの速度と変位を算出できる。

【0156】

なお、上記では、橋梁5上に2台の車両が通過する場合について説明したが、3台以上であっても同様である。例えば、境界条件特定部22は、後続の車両が橋梁5に進入するたびに、その進入時刻における橋梁5の撓みの速度および変位を、速度の境界条件および変位の境界条件として追加する。 30

【0157】

[第3の実施の形態]

第3の実施の形態では、橋梁5上を複数の車両が通過している場合の、車両の重量算出について説明する。

【0158】

第3の実施の形態では、計測装置1の機能ブロックは、図5と同様であるが、重量算出部25の機能が異なる。以下では、重量算出部25の機能について説明する。

【0159】

重量算出部25は、橋梁5上を通過している複数の車両の車軸の進入時刻および退出時刻が、どの車両の進入時刻および退出時刻が判定する。そして、重量算出部25は、判定した進入時刻および退出時刻に基づいて、橋梁5上を通過している複数の車両のそれぞれの重量を、Weigh In Motionにより算出する。 40

【0160】

図14は、第3の実施の形態に係る橋梁5上を複数の車両が通過する場合の重量算出例を説明する図である。図14に示すグラフG71の横軸は、時間を示している。グラフG71の縦軸は、加速度を示している。

【0161】

移動体判定部21は、図6で説明したように、加速度センサー3aから出力される加速度に対し、車軸の橋梁5への進入による加速度成分が明瞭に出現するようフィルター処理を行う。グラフG71の波形W71は、移動体判定部21によってフィルター処理された 50

、加速度センサー 3 a の加速度の波形を示している。

【 0 1 6 2 】

波形 W 7 1 のピーク P 2 1 ~ P 2 3 は、ある車両（ここでは車両 M 2 1 と称する）の車軸の、橋梁 5 への進入を示している。波形 W 7 1 のピーク P 2 4 , P 2 5 は、別の車両（ここでは車両 M 2 2 と称する）の車軸の、橋梁 5 への進入を示している。

【 0 1 6 3 】

重量算出部 2 5 は、複数の車両の車軸の橋梁 5 への進入時刻の間隔に基づいて、車軸の進入時刻が、複数の車両のどの車両の車軸の進入時刻であるか判定する。例えば、重量算出部 2 5 は、移動体判定部 2 1 によって算出された加速度のピーク間隔（車軸の進入時刻の間隔）が、所定の閾値（所定の時間）以上である場合、所定の閾値以上離れているそれぞれの進入時刻のグループを、異なる車両の車軸の進入時刻と判定する。 10

【 0 1 6 4 】

例えば、グラフ G 6 1 に示すピーク P 2 3 と、ピーク P 2 4 との間の時間「 t_d 」は、所定の閾値「 t_{th} 」以上であるとする。この場合、重量算出部 2 5 は、ピーク P 2 1 ~ P 2 3 に対応する車軸の進入時刻は、車両 M 2 1 の車軸の進入時刻と判定し、ピーク P 2 1 , P 2 4 に対応する車軸の進入時刻は、別の車両 M 2 2 の車軸と判定する。

【 0 1 6 5 】

重量算出部 2 5 は、車軸の退出時刻においても、上記と同様にして、どの車両の車軸の退出時刻であるか判定する。

【 0 1 6 6 】

重量算出部 2 5 は、車軸の進入時刻および退出時刻が、どの車両 M 2 1 , M 2 2 の車軸の進入時刻および退出時刻であるかを判定すると、Weigh In Motionによって、車両 M 2 1 , M 2 2 のそれぞれの重量を算出する。 20

【 0 1 6 7 】

例えば、重量算出部 2 5 は、判定した車両 M 2 1 の車軸の進入時刻および退出時刻から、時間軸変換した車両 M 2 1 の影響線データ e_{11} , e_{12} , e_{13} を算出する。また、重量算出部 2 5 は、判定した車両 M 2 2 の車軸の進入時刻および退出時刻から、時間軸変換した車両 M 2 2 の影響線データ e_{21} , e_{22} を算出する。

【 0 1 6 8 】

車両 M 2 1 の 3 軸に対応するウェイトを W_{11} , W_{12} , W_{13} とし、車両 M 2 2 の 2 軸に対応するウェイトを W_{21} , W_{22} とすると、複数の車両 M 2 1 , M 2 2 による橋梁 5 の撓みの変位 U は、次の式 (2) で示される。 30

【 0 1 6 9 】

$$U = W_{11} * e_{11} + W_{12} * e_{12} + W_{13} * e_{13} + W_{21} * e_{21} + W_{22} * e_{22} \quad (2)$$

【 0 1 7 0 】

重量算出部 2 5 は、それぞれのウェイトを、Weigh In Motionにより算出する。車両 M 2 1 の重量 W_1 は、次の式 (3) より求まる。

【 0 1 7 1 】

$$W_1 = W_{11} + W_{12} + W_{13} \quad (3)$$

【 0 1 7 2 】

車両 M 2 1 の重量 W_2 は、次の式 (4) より求まる。

【 0 1 7 3 】

$$W_2 = W_{21} + W_{22} \quad (4)$$

【 0 1 7 4 】

このようにして、重量算出部 2 5 は、橋梁 5 上を通過している複数の車両 M 2 1 , M 2 2 のそれぞれの重量を算出できる。

【 0 1 7 5 】

このように、重量算出部 2 5 は、橋梁 5 上を通過している複数の車両の車軸の進入時刻および退出時刻の間隔に基づいて、複数の車両の車軸の進入時刻および退出時刻が、どの 40

車両の進入時刻および退出時刻が判定し、判定した進入時刻および退出時刻に基づいて、橋梁 5 上を通過している複数の車両のそれぞれの重量を、Weigh In Motionにより算出する。

【 0 1 7 6 】

これにより、計測装置 1 は、橋梁 5 上を通過している複数の車両のそれぞれの重量を算出することができる。

【 0 1 7 7 】

なお、重量算出部 2 5 は、加速度センサー 3 a , 3 b の加速度から、橋梁 5 上に複数の車両が通過しているか判定できる。例えば、重量算出部 2 5 は、図 1 3 で説明したように、車両の橋梁 5 上を通過している時間帯（区間 S 1 , S 2 ）によって、橋梁 5 上に複数の車両が通過しているか判定する。重量算出部 2 5 は、橋梁 5 上に複数の車両が通過していると判定した場合に、上記で説明した方法により、複数の車両のそれぞれの重量を算出する。

【 0 1 7 8 】

[第 4 の実施の形態]

第 4 の実施の形態では、撮影カメラによって橋梁 5 上を通過する車両の車軸を撮影する。重量算出部 2 5 は、撮影カメラによって撮影された車軸の画像を用いて、橋梁 5 上を通過する車両の重量を算出する。

【 0 1 7 9 】

第 4 の実施の形態では、計測装置 1 の機能ブロックは、図 5 と同様であるが、通信部 1 2 と、記憶部 1 3 と、重量算出部 2 5 との機能が異なる。以下では、通信部 1 2 と、記憶部 1 3 と、重量算出部 2 5 との機能について説明する。

【 0 1 8 0 】

第 4 の実施の形態では、車両の橋梁 5 への進入から退出までを撮影できる位置に、撮影カメラが設置されている。撮影カメラは、通信ネットワーク 4 を介して、計測装置 1 と通信を行うことができる。

【 0 1 8 1 】

撮影カメラは、所定の周期で橋梁 5 を通過する車両を撮影する。撮影カメラは、車両が橋梁 5 に進入して退出するまでに、複数回その車両を撮影する。すなわち、撮影カメラは、橋梁 5 を通過している車両を、時々刻々と撮影する。

【 0 1 8 2 】

通信部 1 2 は、撮影カメラによって撮影された車両の画像データを受信する。

【 0 1 8 3 】

記憶部 1 3 には、車両の車種と、車軸間隔とが対応付けて記憶されている。

【 0 1 8 4 】

図 1 5 は、第 4 の実施の形態に係る記憶部 1 3 のデータ構成例を示した図である。図 1 5 に示すように、記憶部 1 3 には、車種 1 3 a と、車軸間隔 1 3 b とが対応付けて記憶されている。

【 0 1 8 5 】

例えば、図 1 5 の例の場合、トレーラーの 1 軸と 2 軸との車軸間隔は x_1 であり、2 軸と 3 軸との車軸間隔は y_1 であり、3 軸と 4 軸との車軸間隔は z_1 である。

【 0 1 8 6 】

重量算出部 2 5 は、通信部 1 2 によって受信された、撮影カメラが撮影した車両の画像データに基づいて、車両の車種を特定する。例えば、重量算出部 2 5 は、様々な車両の画像データを記憶した車両画像データベース（車両画像データベースは、記憶部 1 3 に構成されてもよいし、外部の記憶部に構成されていてもよい）を参照し、一般的なマッチング処理等を用いて、通信部 1 2 が受信した画像データに含まれている車両の車種を特定する。

【 0 1 8 7 】

重量算出部 2 5 は、橋梁 5 を通過する車両の車種を特定すると、記憶部 1 3 を参照して

、その車種の車軸間隔を取得する。

【0188】

撮影カメラは、上記したように、時々刻々と橋梁5上を通過する車両を撮影する。従って、重量算出部25は、撮影カメラが撮影した画像データから、時々刻々における、橋梁5を通過する車両の先頭車軸の位置を特定できる。

【0189】

重量算出部25は、撮影カメラの画像データから特定した、時々刻々における先頭車軸の位置に基づいて、影響線データの横軸の長さを時間軸に変換する。

【0190】

図16は、影響線データの時間軸変換を説明する図である。図16に示すグラフG81の横軸は、橋梁5の長さを示している。グラフG82の横軸は、時間を示している。グラフG81, G82の縦軸は、橋梁5の垂直方向の変位を示している。

【0191】

グラフG81に示す波形W81は、橋梁5の影響線データを示している。波形W81は、図10で説明した波形W41と同様であり、その説明を省略する。

【0192】

撮影カメラは、時刻T1～T6（時刻T1～T6の間隔は、撮影カメラの撮影周期となる）において、橋梁5上を通過する車両を撮影したとする。時刻T1～T6で撮影したときの車両の先頭車軸の橋梁5上の位置は、x1～x6であったとする。重量算出部25は、時刻T1～T6（橋梁5の位置x1～x6）のそれぞれにおける、基準車両が橋梁5を通過した場合の変位を、影響線データ（波形W81）から取得する。そして、重量算出部25は、グラフG82の波形W82に示すように、横軸を時間軸として、取得した時刻T1～T6のそれぞれにおける変位に並べ替え、車両の先頭車軸の時間軸変換した影響線データを得る。

【0193】

重量算出部25は、上記したように記憶部13を参照して、橋梁5上を通過する車両の車軸間隔を取得している。従って、重量算出部25は、先頭軸以外の車軸においても、時間軸変換した影響線データを算出できる。

【0194】

重量算出部25は、時間軸変換した影響線データを算出すると、Weigh In Motionにより、各車軸の軸重を算出する。これにより、重量算出部25は、橋梁5を通過する車両の速度が、橋梁5上で変化しても、その速度変化に応じた時間軸の影響線データに変換できる。そして、重量算出部25は、橋梁5上を通過する車両の重量を適切に算出できる。

【0195】

このように、重量算出部25は、所定の周期で車両を撮影する撮影カメラの画像データから、車両の車軸間隔と、橋梁5上を移動する車両の所定の車軸（例えば、先頭車軸）の位置とを特定する。そして、重量算出部25は、特定した車軸間隔と、所定の車軸の橋梁5上の位置とから、橋梁5の長さに対する変位を時間に対する変位に変換した影響線データを算出する。

【0196】

これにより、重量算出部25は、橋梁5を通過する車両の速度が、橋梁5上で変化しても、その速度変化に応じた時間軸の影響線データに変換でき、車両の重量を適切に算出することができる。

【0197】

なお、図11で説明した時間軸変換も、図16と同様の原理で行うことができる。図11では、車両が等速運動をすると仮定して、時間軸変換を行っている。

【0198】

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1の機能構成は、計測装置1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1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、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。

【0199】

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。

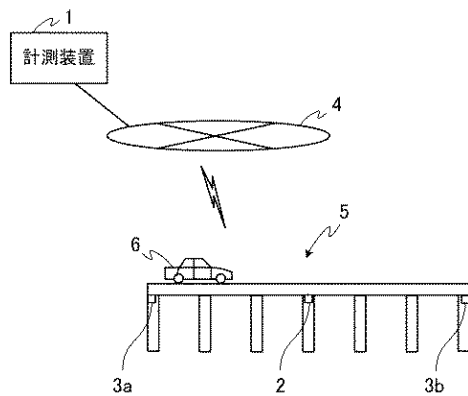
10

【符号の説明】

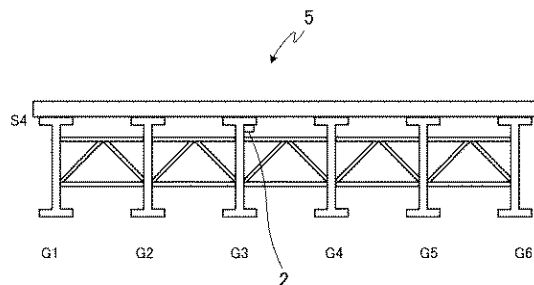
【0200】

1 計測装置、2, 3a, 3b 加速度センサー、4 通信ネットワーク、5 橋梁、6 車両、11 制御部、12 通信部、13 記憶部、14 出力部、15 操作部、21 移動体判定部、22 境界条件特定部、23 積分部、24 補正部、25 重量算出部。

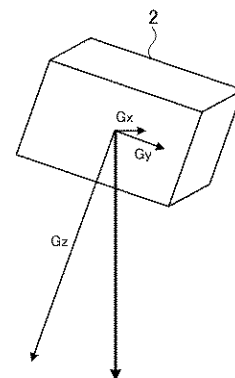
【図1】



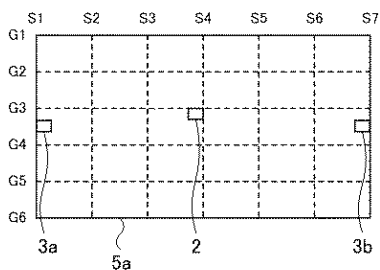
【図3】



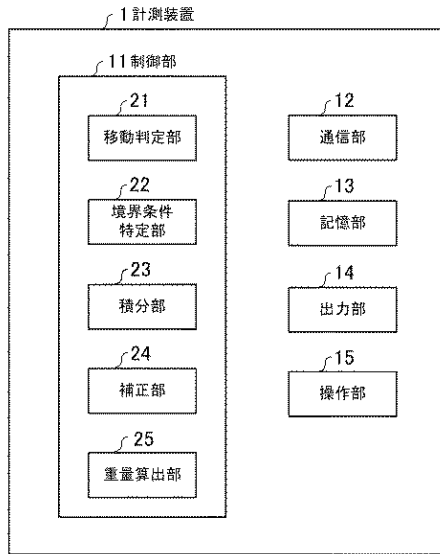
【図4】



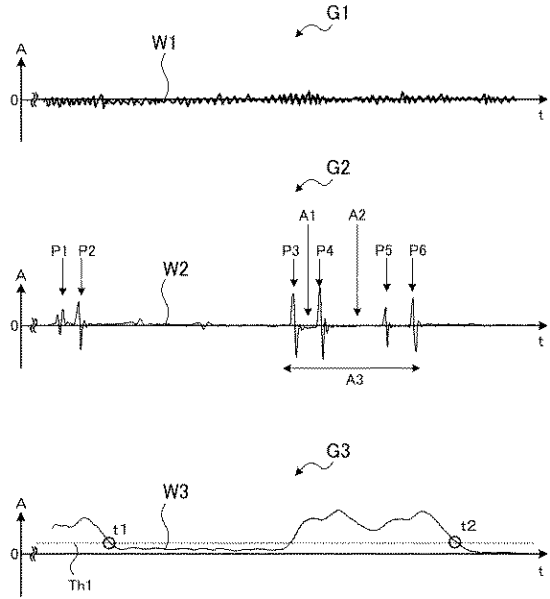
【図2】



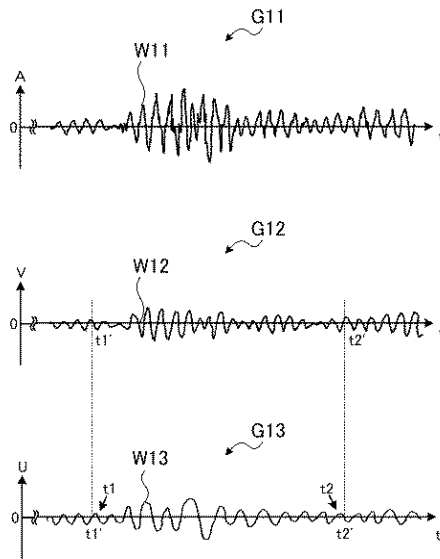
【図5】



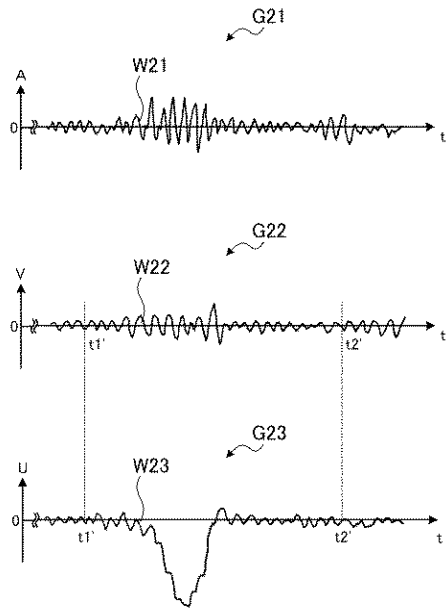
【図6】



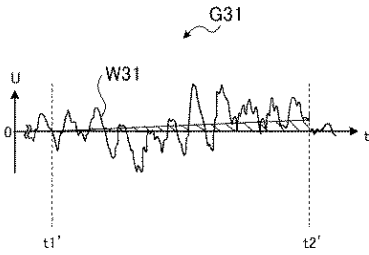
【図7】



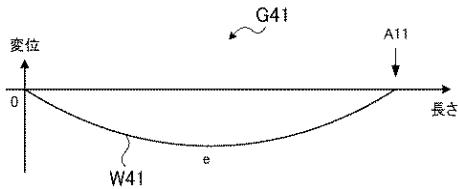
【図8】



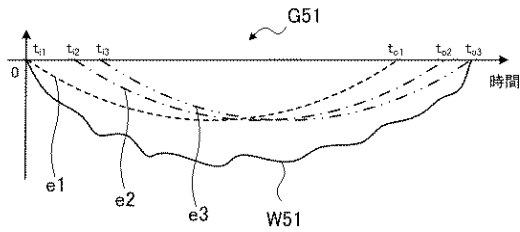
【図9】



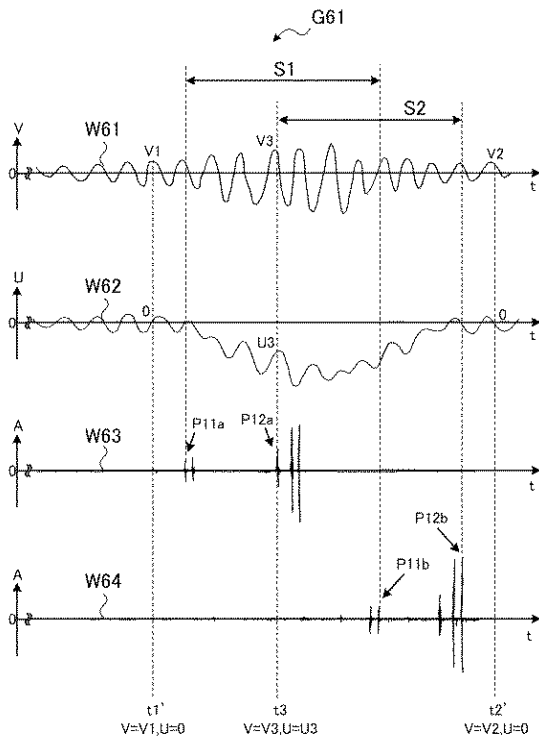
【図10】



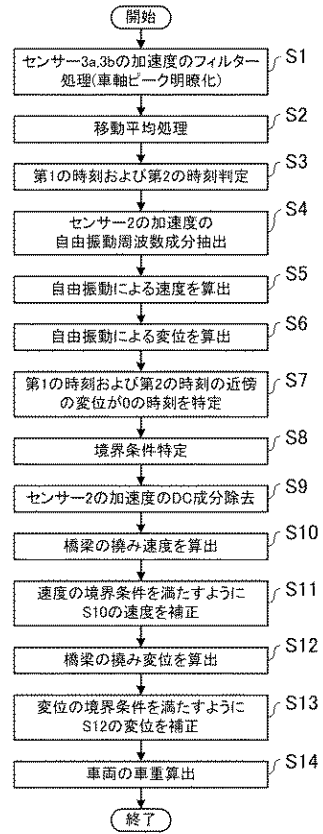
【図11】



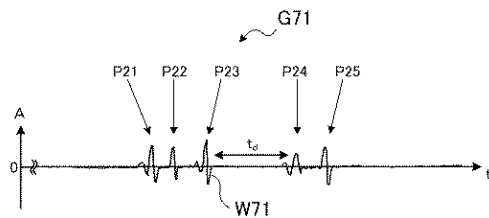
【図13】



【図12】



【図14】

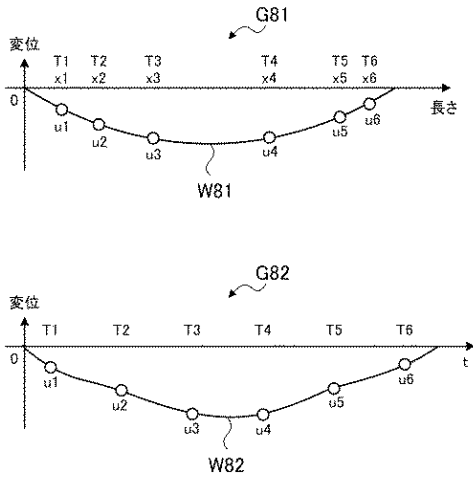


【図15】

13記憶部

13a 車種	13b 車軸間隔
トレーラー	x1,y1,z1
大型トラック	x2,y2,z2
タンクローリー	x3,y3
大型ダンプ	x4
ミキサー車	x5

【図 16】



フロントページの続き

(72)発明者 片山 貴夫

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

(72)発明者 岡本 弘志

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 大森 努

(56)参考文献 特開2010-197249(JP,A)

特開2015-140537(JP,A)

特表2002-523767(JP,A)

中国特許出願公開第104792937(CN,A)

国際公開第2015/121639(WO,A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01G 19/03,

G01B 7/00-7/34, 21/00-21/32,

G01P 7/00,

G01H 1/00-17/00