

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6775213号  
(P6775213)

(45) 発行日 令和2年10月28日(2020.10.28)

(24) 登録日 令和2年10月8日(2020.10.8)

(51) Int. Cl. F I  
**GO 1 G** 19/03 (2006.01) GO 1 G 19/03  
**GO 8 G** 1/02 (2006.01) GO 8 G 1/02 A

請求項の数 14 (全 32 頁)

(21) 出願番号	特願2016-205059 (P2016-205059)	(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28年10月19日(2016.10.19)	(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2018-66637 (P2018-66637A)	(74) 代理人	100104710 弁理士 竹腰 昇
(43) 公開日	平成30年4月26日(2018.4.26)	(74) 代理人	100090479 弁理士 井上 一
審査請求日	令和1年9月11日(2019.9.11)	(74) 代理人	100124682 弁理士 黒田 泰
		(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、計測システム、プログラム及び計測方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

構造物が第1～第N（Nは2以上の整数）の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、前記第1～第Nの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、前記第1～第Nの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、を前記構造物に設置されたセンサー部からの検出情報に基づいて判定する移動体判定部と、

前記センサー部からの前記検出情報に基づいて、前記構造物が撓む変位を算出する変位算出部と、

算出された前記変位と、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又は影響面データと、に基づいて、前記第1～第Nの移動体の総重量情報を求め、求めた前記総重量情報を前記第1～第Nの移動体の各車軸に対応する前記センサー部からの前記検出情報に基づいて分配処理することで、前記第1～第Nの移動体のうちの少なくとも1つの移動体の重量を算出する重量算出部と、

を含むことを特徴とする計測装置。

【請求項2】

請求項1において、

前記センサー部は、加速度センサーを含み、

前記変位算出部は、

前記構造物に設置された前記加速度センサーの前記第1の時刻及び前記第2の時刻に関

連する自由振動周波数成分に基づいて、速度の境界条件及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及び変位を算出する積分部と、

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

を含むことを特徴とする計測装置。

【請求項 3】

請求項 1 又は 2 において、

前記センサー部は、

前記構造物の一端側及び他端側の少なくとも一方側に設けられる第 1 のセンサーと、前記構造物の中央部に設けられる第 2 のセンサーと、を含むことを特徴とする計測装置。

【請求項 4】

請求項 3 において、

前記移動体判定部は、

前記センサー部のうちの前記第 1 のセンサーに基づいて、前記第 1 の時刻及び前記第 2 の時刻の判定を行い、

前記変位算出部は、

前記センサー部のうちの前記第 2 のセンサーに基づいて、前記変位を算出することを特徴とする計測装置。

【請求項 5】

請求項 3 又は 4 において、

前記重量算出部は、

前記センサー部のうちの前記第 1 のセンサーに基づいて、前記総重量情報の前記分配処理を行うことを特徴とする計測装置。

【請求項 6】

請求項 3 乃至 5 のいずれかにおいて、

前記構造物は、第 1 ～ 第 M ( M は 2 以上の整数 ) のレーンを有し、

前記第 1 のセンサーは、前記第 1 ～ 第 M のレーンの各レーンに対応して複数設けられ、

前記重量算出部は、

前記基準移動体を移動させた際の前記第 1 のセンサーの出力に基づき求められた重み付け情報に基づいて、前記総重量情報の前記分配処理を行うことを特徴とする計測装置。

【請求項 7】

請求項 6 において、

第  $i$  (  $i$  は 1 以上  $N$  以下の整数 ) の移動体が、第  $k$  (  $k$  は 1 以上  $M$  以下の整数 ) のレーンを移動した場合に、

前記重量算出部は、

前記第  $i$  の移動体が前記構造物を移動した際の、前記第  $k$  のレーンに対応して設けられた前記第 1 のセンサーの出力に対して、前記重み付け情報に基づく重み付けをして、前記分配処理に用いる分配比率情報を求めることを特徴とする計測装置。

【請求項 8】

請求項 1 乃至 7 のいずれかにおいて、

前記第 1 ～ 第  $N$  の移動体が移動するレーンを判定するレーン判定部をさらに備えることを特徴とする計測装置。

【請求項 9】

請求項 8 において、

前記重量算出部は、

前記レーン判定部での判定結果に基づいて、前記総重量情報の前記分配処理を行うことを特徴とする計測装置。

【請求項 10】

10

20

30

40

50

請求項 1 乃至 9 のいずれかにおいて、

前記移動体判定部は、

前記第 1 ~ 第 N の移動体の車軸ごとにおける前記構造物への進入時刻及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 1 1】

請求項 1 0 において、

前記重量算出部は、

前記影響線データ又は前記影響面データと、前記第 1 ~ 第 N の移動体の前記車軸ごとの前記進入時刻及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総重量情報を算出することを特徴とする計測装置。

10

【請求項 1 2】

第 1 ~ 第 N ( N は 2 以上の整数 ) の移動体が移動する構造物に設置されるセンサー部と、

前記構造物が前記第 1 ~ 第 N の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、前記第 1 ~ 第 N の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、前記第 1 ~ 第 N の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、を前記構造物に設置された前記センサー部からの検出情報に基づいて判定する移動体判定部と、

前記センサー部からの前記検出情報に基づいて、前記構造物が撓む変位を算出する変位算出部と、

20

算出された前記変位と、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又は影響面データと、に基づいて、前記第 1 ~ 第 N の移動体の総重量情報を求め、求めた前記総重量情報を前記第 1 ~ 第 N の移動体の各車軸に対応する前記センサー部からの前記検出情報に基づいて分配処理することで、前記第 1 ~ 第 N の移動体のうちの少なくとも 1 つの移動体の重量を算出する重量算出部と、

を含むことを特徴とする計測システム。

【請求項 1 3】

構造物が第 1 ~ 第 N ( N は 2 以上の整数 ) の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、前記第 1 ~ 第 N の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、前記第 1 ~ 第 N の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、を前記構造物に設置されたセンサー部からの検出情報に基づいて判定するステップと、

30

前記センサー部からの前記検出情報に基づいて、前記構造物が撓む変位を算出するステップと、

算出された前記変位と、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又は影響面データと、に基づいて、前記第 1 ~ 第 N の移動体の総重量情報を求め、求めた前記総重量情報を前記第 1 ~ 第 N の移動体の各車軸に対応する前記センサー部からの前記検出情報に基づいて分配処理することで、前記第 1 ~ 第 N の移動体のうちの少なくとも 1 つの移動体の重量を算出するステップと、

をコンピューターに実行させることを特徴とするプログラム。

40

【請求項 1 4】

構造物が第 1 ~ 第 N ( N は 2 以上の整数 ) の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、前記第 1 ~ 第 N の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、前記第 1 ~ 第 N の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、を前記構造物に設置されたセンサー部からの検出情報に基づいて判定するステップと、

前記センサー部からの前記検出情報に基づいて、前記構造物が撓む変位を算出するステップと、

算出された前記変位と、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又は影響面データと、に基づいて、前記第 1 ~ 第 N の移動体

50

の総重量情報を求め、求めた前記総重量情報を前記第 1 ~ 第 N の移動体の各車軸に対応する前記センサー部からの前記検出情報に基づいて分配処理することで、前記第 1 ~ 第 N の移動体のうちの少なくとも 1 つの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。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、計測装置、計測システム、プログラム及び計測方法等に関する。

【背景技術】

【0002】

従来、構造物（狭義には橋梁）を移動する移動体（狭義には車両）の重量を推定する手法として、Weigh In Motion（以下、WIMと記載）が広く知られている。WIMにより橋梁を移動する車両重量の情報を蓄積することで、例えば橋梁の損傷度合を推定し、当該橋梁の維持管理を適切に実行することが可能になる。

【0003】

特許文献 1 は、WIMにおいて、構造物に設置するセンサー（ひずみ計）を削減する手法を開示している。

【0004】

またWIMでは橋梁の変位を検出できればよく、用いるセンサーは歪みセンサーには限定されない。例えば、加速度センサーの検出信号である加速度を二階積分することで変位を求め、当該変位に基づいてWIMを実行することも可能である。ただし、数値積分を精度よく行うためには、適切な境界条件の設定が必要となる。例えば非特許文献 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】

【特許文献】

【0005】

【特許文献 1】特開 2009 - 237805 号公報

【非特許文献】

【0006】

【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】

【0007】

WIMでは、各車軸の軸重を最小二乗法等の数学的手法を用いて求める。そのため、所与の車軸の軸重が現実に即さない値（例えばマイナスの値）となるケースも見られる。つまり、WIMでは全軸重の合計値は信頼性の高い値が求められるものの、各車軸の軸重については信頼性が低い場合も多い。

【0008】

構造物を移動する移動体が 1 台であれば、全軸重の合計値が、そのまま当該 1 台の移動体の重量となるため、移動体の重量を高精度で推定できる。しかし構造物上に同時に複数の移動体が存在するケースでは、当該複数の移動体の総重量は高精度で推定できるものの、各移動体の重量を高精度で推定することは難しかった。

【0009】

特許文献 1 は、センサー数の削減に関する手法を開示するものであり、複数の移動体を想定していない。

【0010】

非特許文献 1 は、数値積分の境界条件に関する手法を開示するものであり、やはり複数

10

20

30

40

50

の移動体を想定していない。さらに言えば、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、及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。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。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。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。

#### 【0011】

本発明の幾つかの態様によれば、複数の移動体が構造物上に同時に存在する場合であっても、各移動体の重量を精度よく求める計測装置、計測システム、プログラム及び計測方法等を提供できる。

#### 【課題を解決するための手段】

#### 【0012】

本発明の一態様は、構造物が第1～第N（Nは2以上の整数）の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、前記第1～第Nの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、前記第1～第Nの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、を前記構造物に設置されたセンサー部からの検出情報に基づいて判定する移動体判定部と、前記センサー部からの前記検出情報に基づいて、前記構造物が撓む変位を算出する変位算出部と、算出された前記変位と、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又は影響面データと、に基づいて、前記第1～第Nの移動体の総重量情報を求め、求めた前記総重量情報を前記第1～第Nの移動体の各車軸に対応する前記センサー部からの前記検出情報に基づいて分配処理することで、前記第1～第Nの移動体のうちの少なくとも1つの移動体の重量を算出する重量算出部と、を含む計測装置に係する。

#### 【0013】

本発明の一態様では、計測装置は、第1～第Nの移動体の総重量情報を求め、求めた総重量情報を分配処理することで、第1～第Nの移動体のうちの少なくとも1つの移動体の重量を算出する。このようにすれば、高い精度で求められる総重量情報を分配するため、複数の移動体を対象とした場合に、各移動体の重量を精度よく求めることが可能になる。

#### 【0014】

また本発明の一態様では、前記センサー部は、加速度センサーを含み、前記変位算出部は、前記構造物に設置された前記加速度センサーの前記第1の時刻及び前記第2の時刻に関連する自由振動周波数成分に基づいて、速度の境界条件及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及び変位を算出する積分部と、前記速度の境界条件及び前記変位の境界条件を満たすように前記速度及び前記変位を補正する補正部と、を含んでもよい。

#### 【0015】

このようにすれば、境界条件を適切に設定できるため、加速度センサーを用いて構造物の撓む変位を精度よく求めることが可能になる。

#### 【0016】

また本発明の一態様では、前記センサー部は、前記構造物の一端側及び他端側の少なくとも一方側に設けられる第1のセンサーと、前記構造物の中央部に設けられる第2のセンサーと、を含んでもよい。

#### 【0017】

このようにすれば、構造体に対して適切にセンサーを配置することが可能になる。

#### 【0018】

また本発明の一態様では、前記移動体判定部は、前記センサー部のうちの前記第1のセ

10

20

30

40

50

ンサーに基づいて、前記第 1 の時刻及び前記第 2 の時刻の判定を行い、前記変位算出部は、前記センサー部のうちの前記第 2 のセンサーに基づいて、前記変位を算出してもよい。

【 0 0 1 9 】

このようにすれば、重量算出のための各処理を各センサーの出力に基づいて実行できる。

【 0 0 2 0 】

また本発明の一態様では、前記重量算出部は、前記センサー部のうちの前記第 1 のセンサーに基づいて、前記総重量情報の前記分配処理を行ってもよい。

【 0 0 2 1 】

このようにすれば、第 1 のセンサーに基づいて、分配処理を行うことが可能になる。

【 0 0 2 2 】

また本発明の一態様では、前記構造物は、第 1 ~ 第 M ( M は 2 以上の整数 ) のレーンを有し、前記第 1 のセンサーは、前記第 1 ~ 第 M のレーンの各レーンに対応して複数設けられ、前記重量算出部は、前記基準移動体を移動させた際の前記第 1 のセンサーの出力に基づき求められた重み付け情報に基づいて、前記総重量情報の前記分配処理を行ってもよい。

【 0 0 2 3 】

このようにすれば、構造物が複数のレーンを有する場合に、適切な重み付けを行うことで、分配処理を精度よく行うこと等が可能になる。

【 0 0 2 4 】

また本発明の一態様では、第 i ( i は 1 以上 N 以下の整数 ) の移動体が、第 k ( k は 1 以上 M 以下の整数 ) のレーンを移動した場合に、前記重量算出部は、前記第 i の移動体が前記構造物を移動した際の、前記第 k のレーンに対応して設けられた前記第 1 のセンサーの出力に対して、前記重み付け情報に基づく重み付けをして、前記分配処理に用いる分配比率情報を求めてもよい。

【 0 0 2 5 】

このようにすれば、移動体が移動したレーンに応じた適切な重み付けを行い、分配処理を精度よく行うこと等が可能になる。

【 0 0 2 6 】

また本発明の一態様では、前記第 1 ~ 第 N の移動体が移動するレーンを判定するレーン判定部をさらに備えてもよい。

【 0 0 2 7 】

このようにすれば、各移動体の移動するレーンを判定することが可能になる。

【 0 0 2 8 】

また本発明の一態様では、前記重量算出部は、前記レーン判定部での判定結果に基づいて、前記総重量情報の前記分配処理を行ってもよい。

【 0 0 2 9 】

このようにすれば、レーン判定結果を用いることで分配処理を適切に実行することが可能になる。

【 0 0 3 0 】

また本発明の一態様では、前記移動体判定部は、前記第 1 ~ 第 N の移動体の車軸ごとにおける前記構造物への進入時刻及び前記構造物からの退出時刻を判定してもよい。

【 0 0 3 1 】

このようにすれば、移動体の進入時刻及び退出時刻に基づく種々の処理 ( 例えば総重量情報の算出処理 ) を適切に実行することが可能になる。

【 0 0 3 2 】

また本発明の一態様では、前記重量算出部は、前記影響線データ又は前記影響面データと、前記第 1 ~ 第 N の移動体の前記車軸ごとの前記進入時刻及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総重量情報を算出してもよい。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 3 3 】

このようにすれば、影響線データ又は影響面データと、進入時刻及び退出時刻を合わせて用いることで、総重量情報を適切に算出することが可能になる。

## 【 0 0 3 4 】

また本発明の他の態様は、第1～第N（Nは2以上の整数）の移動体が移動する構造物に設置されるセンサー部と、前記構造物が前記第1～第Nの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、前記第1～第Nの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、前記第1～第Nの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、を前記構造物に設置された前記センサー部からの検出情報に基づいて判定する移動体判定部と、前記センサー部からの前記検出情報に基づいて、前記構造物が撓む変位を算出する変位算出部と、算出された前記変位と、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又は影響面データと、に基づいて、前記第1～第Nの移動体の総重量情報を求め、求めた前記総重量情報を前記第1～第Nの移動体の各車軸に対応する前記センサー部からの前記検出情報に基づいて分配処理することで、前記第1～第Nの移動体のうちの少なくとも1つの移動体の重量を算出する重量算出部と、を含む計測システムに係る。

## 【 0 0 3 5 】

また本発明の他の態様は、構造物が第1～第N（Nは2以上の整数）の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、前記第1～第Nの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、前記第1～第Nの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、を前記構造物に設置されたセンサー部からの検出情報に基づいて判定するステップと、前記センサー部からの前記検出情報に基づいて、前記構造物が撓む変位を算出するステップと、算出された前記変位と、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又は影響面データと、に基づいて、前記第1～第Nの移動体の総重量情報を求め、求めた前記総重量情報を前記第1～第Nの移動体の各車軸に対応する前記センサー部からの前記検出情報に基づいて分配処理することで、前記第1～第Nの移動体のうちの少なくとも1つの移動体の重量を算出するステップと、をコンピューターに実行させるプログラムに係る。

## 【 0 0 3 6 】

また本発明の他の態様は、構造物が第1～第N（Nは2以上の整数）の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、前記第1～第Nの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、前記第1～第Nの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、を前記構造物に設置されたセンサー部からの検出情報に基づいて判定するステップと、前記センサー部からの前記検出情報に基づいて、前記構造物が撓む変位を算出するステップと、算出された前記変位と、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又は影響面データと、に基づいて、前記第1～第Nの移動体の総重量情報を求め、求めた前記総重量情報を前記第1～第Nの移動体の各車軸に対応する前記センサー部からの前記検出情報に基づいて分配処理することで、前記第1～第Nの移動体のうちの少なくとも1つの移動体の重量を算出するステップと、を含む計測方法に係る。

## 【 図面の簡単な説明 】

## 【 0 0 3 7 】

【 図 1 】 影響線データの例。

【 図 2 】 W I Mの説明図、及び軸重の推定結果の例。

【 図 3 】 4軸の車両の例。

【 図 4 】 W I Mでの軸重の推定結果の他の例。

【 図 5 】 計測装置の構成例。

【図 6】計測システムの構成例

【図 7】センサーの橋梁への設置例。

【図 8】センサーの橋梁への設置例。

【図 9】加速度センサーの 3 軸合成加速度の説明図。

【図 10】本実施形態の処理を説明するフローチャート。

【図 11】複数の車両が橋梁上を同時に移動する場合の具体例。

【図 12】複数の車両が橋梁上を同時に移動する場合の具体例。

【図 13】複数の車両が橋梁上を同時に移動する場合の具体例。

【図 14】複数の車両が橋梁上を同時に移動する場合の具体例。

【図 15】第 1 のセンサーの信号波形例。

10

【図 16】第 1 のセンサーの出力に対する重み付けの例。

【図 17】軸通過強度の算出処理を説明する図。

【図 18】境界条件特定部の動作を説明する図。

【図 19】境界条件特定部の動作を説明する図。

【図 20】境界条件特定部の動作を説明する図。

【図 21】重量算出部の動作を説明する図。

【図 22】重量算出部の動作を説明する他の図

【図 23】影響面データの算出手法の説明図。

【図 24】影響面データの例。

【図 25】軸通過強度の算出処理を説明する他の図。

20

【発明を実施するための形態】

【0038】

以下、本実施形態について説明する。なお、以下に説明する本実施形態は、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。また本実施形態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。

【0039】

#### 1. 本実施形態の手法

まず本実施形態の手法について説明する。従来、WIM (Weigh In Motion) によって、構造物を移動する移動体の重量を推定する手法が広く知られている。以下、本明細書では、構造物が橋梁であり、移動体が車両である例について説明する。ただし、構造物は移動体の重量によって変位（狭義には撓みの変位）を生じるものであれば橋梁には限定されない。また、移動体についても構造物に対して荷重をかけながら、当該構造物上を移動するものであれば車両には限定されない。

30

【0040】

WIMでは、車両の移動による橋梁の変位と、基準車両（広義には基準移動体）が橋梁上を移動したときの、橋梁の各地点の変位を示す影響線データとに基づいて、車両の重量を算出する。

【0041】

図 1 は、影響線データの例を説明する図である。図 1 の横軸は、橋梁の長さを示している。図 1 の縦軸は、橋梁の垂直方向の変位を示している。図 1 に示す波形が、橋梁の影響線データを示している。図 1 の波形は、例えば、1 t 車等、あらかじめ重量が分かっている基準車両が橋梁上を通過したときの、橋梁の任意の点（例えば、橋梁の支間中央部）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、あらかじめ作成、記憶されている。

40

【0042】

図 2 は、影響線データに基づく WIM の手法、及び演算結果を説明する図である。図 2 の横軸は時間を表し、縦軸は橋梁の垂直方向の変位を表す。重量の推定対象となる車両が橋梁を移動した場合、橋梁に設置されたセンサー出力に基づいて、橋梁の所与の点での変位の時系列的な変化が求められる。図 2 の波形 A 1 が、車両の通過による橋梁の撓みの変位を表す。

50



## 【 0 0 4 3 】

W I Mでは、あらかじめ求めておいた影響線データを、走行車両の軸数に応じて配置する。ここでは図3に示したように4軸の車両を想定しているため、影響線データはA 2 1 ~ A 2 4に示した4つが配置される。なお、影響線データの配置の際には、車両の各車軸の、橋梁への進入時刻、及び退出時刻を用いて、図1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。

## 【 0 0 4 4 】

図2の例では、車両の1軸目の車軸が、時刻「 $t_{i1}$ 」で橋梁の進入し、時刻「 $t_{o1}$ 」で橋梁から退出した。よって、1軸目に対応する影響線データA 2 1は、「 $t_{i1}$ 」及び「 $t_{o1}$ 」が端点となるように配置される。2 ~ 4軸目の車軸についても同様であり、各車軸の進入時刻「 $t_{i2}$ 」 ~ 「 $t_{i4}$ 」、及び退出時刻「 $t_{o2}$ 」 ~ 「 $t_{o4}$ 」に基づいて、影響線データA 2 2 ~ A 2 4を配置する。

## 【 0 0 4 5 】

影響線データは、所定重量（例えば上述したように1 t）の車両が移動した際の変位を表す。そのため、車両の各車軸の重量を $W_j$ （ここでは $j$ は1 ~ 4の整数）とした場合、各車軸による橋梁の変位は、影響線データの $W_j$ 倍となる。即ち、1軸目の車軸による変位は、A 2 1を $W_1$ 倍したA 3 1により表される。同様に、2軸目の車軸による変位はA 2 2を $W_2$ 倍したA 3 2であり、3軸目の車軸による変位は、A 2 3を $W_3$ 倍したA 3 3であり、4軸目の車軸による変位は、A 2 4を $W_4$ 倍したA 3 4である。

## 【 0 0 4 6 】

図3に示した4軸車全体による変位 $U$ は、A 3 1 ~ A 3 4の合計であり、下式(1)により表される。

$$U = W_1 * A_{21} + W_2 * A_{22} + W_3 * A_{23} + W_4 * A_{24} \quad (1)$$

## 【 0 0 4 7 】

図2の例では、波形A 4が、上式(1)により求められる変位 $U$ を表す。W I Mでは、影響線データを用いて求められた変位 $U$  (A 4)と、センサーを用いて測定された変位(A 1)との誤差が小さくなるように、各車軸の軸重 $W_1$  ~  $W_4$ が推定される。具体的には、最小二乗法等の数学的手法を用いて、 $W_1$  ~  $W_4$ を決定すればよい。

## 【 0 0 4 8 】

そして、各軸重の総和である $W_1 + W_2 + W_3 + W_4$ が、図3に示した4軸車の車両重量として求められる。

## 【 0 0 4 9 】

上述したように、W I Mでは最小二乗法等の数学的手法により各車軸の軸重を推定する。そのため、車軸の軸重として現実に即さない値が求められてしまう場合がある。

## 【 0 0 5 0 】

図4は、影響線データに基づくW I Mの手法、及び演算結果を説明する他の図である。B 1は図2のA 1と同様に、計測された橋梁の変位を表す波形である。B 2 1 ~ B 2 4は各車軸に対応する影響線であり、B 3 1 ~ B 3 4は車軸の軸重 $W_1$  ~  $W_4$ を考慮した車軸ごとの変位であり、B 4がB 3 1 ~ B 3 4を合計した波形(変位 $U$ )である。

## 【 0 0 5 1 】

図4に示したように、B 1とB 4の誤差が小さく、この場合の $W_1$  ~  $W_4$ が最小二乗法により求められた各車軸の軸重となる。ただし、図4の例では $W_2$ 及び $W_3$ がマイナスの値になっている。当然、軸重がマイナスとなることは現実的にはあり得ないが、W I Mでは軸重を数学的手法により推定するため、このような結果が頻繁に発生する。

## 【 0 0 5 2 】

図4のようなケースでも、 $W_1$ 及び $W_4$ として、実際の軸重よりも大きな値が推定されており、各軸重の総和( $W_1 + W_2 + W_3 + W_4$ )の精度は充分高いことがわかっている。つまりW I Mでは、車両総重量の推定精度はよいが、各軸重の推定精度が悪い、と言うことができる。

## 【 0 0 5 3 】

10

20

30

40

50

ここで、WIMにより軸重 $W_j$ が求められた車軸が、全て1台の車両のものであれば、車両重量の推定において大きな問題は生じない。例えば図3に示したように4軸の車両を対象として $W_1 \sim W_4$ を推定した場合、車両重量は $W_1 \sim W_4$ の総和であるため、上述したように高精度での推定が可能である。

【0054】

しかしWIMの対象の橋梁上に、複数の車両が同時に存在する場合がある。具体的には、1台目の車両が橋梁へ進入した後、当該1台目の車両が橋梁から退出する前に、2台目の車両が橋梁に進入することがある。これは、同一のレーンを短い車間距離で走行している（連行）場合もあれば、異なるレーンを走行している（併走）場合もある。

【0055】

この場合、橋梁の変位は、当該橋梁上に存在する全ての車両の重量、位置に応じて決定される。そのため、いずれか1台に着目し、他の車両を無視してしまえば、車両重量の推定精度が低下してしまう。

【0056】

これに対して、複数台の車両をまとめてWIMの対象とすることが考えられる。例えば、2軸の車両が2台同時に橋梁を移動した場合に、それらを4軸の車両として考えてWIMを行う。このようにすれば、図3の4軸車の場合と同様の処理により、4つの車軸のそれぞれの軸重を推定できる。

【0057】

ただし、2台の2軸車を4軸車として見立てて、4つの軸重 $W_1 \sim W_4$ を求めた場合、各軸重の総和（ $W_1 + W_2 + W_3 + W_4$ ）は高い精度で求めることができるが、当該総和は2台の車両重量の合計である。そのため、このままでは、1台当たりの車両重量を特定できない。

【0058】

1軸目及び2軸目の車軸が1台目の2軸車に対応し、3軸目及び4軸目の車軸が2台目の2軸車に対応する場合、1台目の車両重量を $W_1 + W_2$ により求め、2台目の車両重量を $W_3 + W_4$ により求める、といった手法も考えられる。しかし図4を用いて上述したように、 $W_1 \sim W_4$ のそれぞれの値の推定精度は低く、 $W_1 + W_2$ 、及び $W_3 + W_4$ はそれぞれの2軸車の実際の車両重量との誤差が大きいおそれがある。

【0059】

即ち、従来のWIMでは、複数車両の同時走行（連行、併走）が行われた場合、各車両の車両重量を高い精度で推定することができないという課題があった。

【0060】

以上の課題に対して、本実施形態に係る計測装置1は図5に示したように、構造物（橋梁5）が第1～第N（Nは2以上の整数）の移動体（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、第1～第Nの移動体が構造物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、第1～第Nの移動体が構造物上を移動していないときの第2の時刻と、を構造物に設置されたセンサー部2からの検出情報に基づいて判定する移動体判定部210と、センサー部2からの検出情報に基づいて、構造物が撓む変位を算出する変位算出部220と、算出された変位と、基準移動体（基準車両）が構造物上を移動したときの構造物の各地点の変位を示す影響線データ又は影響面データと、に基づいて、第1～第Nの移動体の総重量情報を求め、求めた総重量情報を第1～第Nの移動体の各車軸に対応するセンサー部からの検出情報に基づいて分配処理することで、第1～第Nの移動体のうちの少なくとも1つの移動体の重量を算出する重量算出部250と、を含む。

【0061】

ここで強制振動区間とは、移動体の移動により構造物の変位が生じる時間（期間）である。影響線データについては上述したように、基準移動体が移動したときの構造物の変位を表すデータである。本実施形態では、図23、図24を用いて後述するように、複数の影響線データをまとめて影響面データを求めてもよい。以下では、まず影響線データを用

10

20

30

40

50

いる実施形態を説明し、変形例として影響面データを用いる手法を説明する。

【0062】

第1の時刻では第1～第Nの移動体のいずれの移動体も橋梁に進入していないと判定される。また第2の時刻では、第1～第Nの移動体の全移動体が橋梁からの退出を完了していると判定される。つまり、第1の時刻から第2の時刻までの期間、或いはそれに相当する期間を対象とすることで、第1～第Nの移動体を対象としたWIMが可能になる。なお後述するように、センサー部2として加速度センサーを用いて橋梁の変位を求める場合、第1の時刻及び第2の時刻を用いることで、境界条件を適切に求めることも可能になる。

【0063】

WIMを行うことで、第1～第Nの移動体の総重量情報を求めることができる。ここで10の総重量情報とは、第1～第Nの移動体の移動体重量の総和（総重量）そのものであってもよいし、総重量に対応する他の情報（例えば所定の演算をすることで総重量を特定可能な情報）であってもよい。上述したように、総重量情報は、対象の移動体が複数であったとしても高い精度で推定できる。

【0064】

さらに本実施形態では、総重量情報を第1～第Nの移動体の各車軸に対応するセンサー部2からの検出情報に基づいて分配処理する。このようにすれば、最小二乗法等の数学的手法により求められる各軸重（図2等の例であればW1～W4）とは異なる観点の情報に基づいて、総重量情報を車両（車軸）ごとに分配できる。そのため、複数の移動体を対象とした場合に、各移動体の重量を精度よく求めることが可能になる。20

【0065】

以下、本実施形態に係る計測装置1、及び計測装置1を含む計測システム10の構成例を説明し、その後、計測装置1の各部で実行される処理の詳細について説明する。

【0066】

2. システム構成例

図6は、本実施形態に係る計測システム10を説明する図である。計測システム10は、計測装置1と、センサー部2と、を有している。計測装置1とセンサー部2に含まれる各センサーは、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。30

【0067】

センサー部2は、構造物の一端側及び他端側の少なくとも一方側に設けられる第1のセンサー21と、構造物の中央部に設けられる第2のセンサー22と、を含んでもよい。以下では、センサー部2に含まれる各センサーが加速度センサーである例について説明するが、変形例として後述するように、各センサーを歪みセンサー等の他のセンサーに置き換えることが可能である。また、センサー部2は、第1のセンサー21及び第2のセンサー22以外のセンサーを含んでもよい。

【0068】

図6には、橋梁5と、車両6とが示してある。図6の例では、第1のセンサー21は、橋梁5の一端側に設けられるセンサー21aと、橋梁5の他端側に設けられるセンサー21bを含む。40

【0069】

第1のセンサー21（21a、21b）は、車両6の橋梁5への進入の際に生じる橋梁5の加速度及び車両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。

【0070】

以下では、説明を簡単にするため、車両6は、図6の橋梁5のセンサー21aが設置された側から進入し、センサー21bが設置された側から退出するとする。即ち、第1のセンサー21a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、第1のセンサー21b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。

【0071】

また、第1のセンサー21は、構造物への移動体の進入、及び退出を判定できればよく50

、設置位置は構造物の端部に限定されない。例えば、第1のセンサー21に含まれる各センサーは、構造物の端部から数メートル離れた位置に設置されてもよい。

【0072】

また、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。センサー部2のうちの第2のセンサー22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。

【0073】

計測装置1は、以下で詳述するが、センサー部2(21a, 21b, 22)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の撓みの速度及び変位を算出する。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。

【0074】

図7、図8は、第1のセンサー21a, 21b、及び第2のセンサー22の橋梁5への設置例を説明する図である。なお、図7は、橋梁5をその上方から見た図である。図7に示すG1~G4は、主桁の位置を示し、S1~S7は、橋軸直角方向部材の位置を示している。図8には、図7のS4における橋梁5の断面が示してある。

【0075】

第1のセンサー21a, 21bは、車両6の橋梁5への進入及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(例えば、車線や縁石、欄干等)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、主桁に設置された場合を説明する。

【0076】

また本実施形態の手法では、橋梁5が複数のレーンを有する場合を想定し、車両6が移動したレーンを判定するために、第1のセンサー21a, 21bを利用する。そのため、第1のセンサー21a, 21bは、移動レーンに応じて検出信号に差が出るように設置することが望ましい。

【0077】

以上を考慮し、図7では、第1のセンサー21が、センサー21a-1~21a-4、及び21b-1~21b-4を含み、センサー21a-1~21a-4は、それぞれ主桁G1~G4の一端側に設置され、センサー21b-1~21b-4は、それぞれ主桁G1~G4の他端側に設置される例を示している。

【0078】

また第2のセンサー22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出できるように、車両6の移動方向規制手段の規制方向の中央部であって、且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、第2のセンサー22は、図7、図8に示すように、G3, S4の位置の主桁に設置される。

【0079】

なお、センサー部2に含まれる各センサーの数、及び設置位置は、図6~図8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。例えば、いずれかのセンサーを省略してもよいし、他のセンサーを追加してもよい。具体的には、第1のセンサー21のうち、21aと21bの一方を省略してもよいし、第2のセンサー22を主桁ごとに複数設置してもよい。

【0080】

図9は、加速度センサーの3軸合成加速度を説明する図である。加速度センサーは、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。

【0081】

加速度センサーは、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、加速度センサーは、橋梁5の垂直方向の撓

10

20

30

40

50

みの加速度を検出できる。

【 0 0 8 2 】

加速度センサーを橋梁 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、加速度センサーの傾斜による測定誤差の補正を行うことができる。

【 0 0 8 3 】

計測装置 1 の機能ブロック構成例は、図 5 に示した通りである。図 5 に示すように、計測装置 1 は、制御部 1 1 0 と、通信部 1 2 0 と、記憶部 1 3 0 と、出力部 1 4 0 と、操作部 1 5 0 と、を有している。

【 0 0 8 4 】

制御部 1 1 0 は、以下で詳述するが、橋梁 5 に設置されたセンサー部 2 ( 2 1 a , 2 1 b , 2 2 ) から出力される検出信号 ( 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 8 5 】

通信部 1 2 0 は、通信ネットワーク 4 を介して、センサー部 2 から、検出信号 ( 加速度 ) を受信する。センサー部 2 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 0 は、センサー部 2 から受信した加速度を制御部 1 1 0 に出力する。

【 0 0 8 6 】

記憶部 1 3 0 は、制御部 1 1 0 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 0 は、制御部 1 1 0 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 0 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 0 に記憶させてもよい。記憶部 1 3 0 は、例えば、ROM ( 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。

【 0 0 8 7 】

出力部 1 4 0 は、制御部 1 1 0 の制御結果等を表示装置に出力する。

【 0 0 8 8 】

操作部 1 5 0 は、ユーザーからの操作データを取得し、制御部 1 1 0 に送信する処理を行う。

【 0 0 8 9 】

制御部 1 1 0 は、移動体判定部 2 1 0 と、変位算出部 2 2 0 と、レーン判定部 2 3 0 と、重量算出部 2 5 0 と、を有している。変位算出部 2 2 0 は、境界条件特定部 2 2 1 と、積分部 2 2 2 と、補正部 2 2 3 と、を有している。制御部 1 1 0 の各部は、例えば、記憶部 1 3 0 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 1 1 0 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。

【 0 0 9 0 】

移動体判定部 2 1 0 には、通信部 1 2 0 によって受信された、第 1 のセンサー 2 1 a , 2 1 b の加速度が入力される。移動体判定部 2 1 0 は、入力される第 1 のセンサー 2 1 a , 2 1 b 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。

【 0 0 9 1 】

変位算出部 2 2 0 には、通信部 1 2 0 によって受信された、第 2 のセンサー 2 2 の加速度が入力される。変位算出部 2 2 0 は、第 2 のセンサー 2 2 に基づいて、構造体 ( 橋梁 5

10

20

30

40

50

)の変位を算出する。

#### 【0092】

レーン判定部230には、第1のセンサー21(21a, 21bの少なくとも一方)の加速度が入力される。移動体判定部210は、入力される加速度に基づいて、第1~第Nの移動体の各移動体が移動するレーンを判定する。なお、図15を用いて後述するように、レーン判定部230での判定では、センサー21aとセンサー21bのいずれか一方からの加速度のみを用いればよいが、両方を用いることも妨げられない。

#### 【0093】

重量算出部250には、第1のセンサー21(21a, 21bの少なくとも一方)の加速度が入力される。重量算出部250は、入力される加速度に基づいて、総重量情報の分配処理を行う。具体的には、重量算出部250は、第1のセンサー21の加速度に基づいて、分配処理のための分配比率情報を求める。そして重量算出部250は、WIMにより求めた第1~第Nの移動体の総重量情報を、分配比率情報を用いて各移動体(各車軸)に分配することで、各移動体の重量を求める。

#### 【0094】

また、本実施形態の手法は、計測装置1に適用するものには限定されない。本実施形態の手法は、例えばセンサー部2と、上記計測装置1を含む計測システム10に適用することも可能である。

#### 【0095】

##### 3. 処理の詳細

次に、制御部110の各部の処理について詳細に説明する。まず図10のフローチャートを用いて処理全体の流れを説明し、その後、各ステップについて詳細に説明する。

#### 【0096】

##### 3.1 処理フロー

図10は、本実施形態における移動体(車両)の重量を推定する処理を説明するフローチャートである。この処理が開始されると、まず移動体判定部210は、第1のセンサー21a(21b)から出力される加速度から、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(ステップS101)。例えば、移動体判定部210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。その他に、明瞭度を向上させる目的で、微分フィルター、例えば二近傍ラプラシアンフィルタ等の強調フィルター処理を行っても良い。

#### 【0097】

移動体判定部210は、フィルター処理後の加速度に基づいて、第1の時刻及び第2の時刻を判定する(ステップS102)。

#### 【0098】

またレーン判定部230は、フィルター処理後の加速度に基づいて、第1~第Nの車両の各車両が移動したレーンを判定する(ステップS103)。図11等を用いて後述するように、橋梁5が第1~第2のレーンL1~L2を有する場合、レーン判定部230は、各車両がL1~L2のいずれのレーンを移動したかを判定し、判定結果を出力する。

#### 【0099】

さらにステップS103でのレーン判定結果に基づいて、第1~第Nの車両の各車軸の軸通過強度を算出する(ステップS104)。軸通過強度とは、各車両の車軸が橋梁5に進入した(或いは橋梁5から退出した)際の衝撃の強さを表す情報であり、狭義には加速度の大きさである。ステップS104の処理は、制御部110のうち、移動体判定部210で行われてもよいし、重量算出部250で行われてもよいし、不図示の軸通過強度算出部で行われてもよい。

#### 【0100】

また移動体判定部210は、フィルター処理後の加速度に基づいて、各車両の橋梁5へ

の進入時刻及び退出時刻を求める（ステップS 1 0 5）。

【0 1 0 1】

以上のステップS 1 0 1～S 1 0 5の処理は、第1のセンサー2 1 a, 2 1 bに基づいて行われる処理である。

【0 1 0 2】

また、変位算出部2 2 0は、第2のセンサー2 2からの加速度に基づいて、橋梁5の変位を算出する（ステップS 1 0 6）。具体的な算出手法は後述するが、数値積分の境界条件を設定するために、ステップS 1 0 2で求めた第1の時刻及び第2の時刻を用いるとよい。

【0 1 0 3】

重量算出部2 5 0は、あらかじめ求められている影響線データと、ステップS 1 0 6で求められた変位量と、に基づいてW I Mを行って、総重量情報を求める（ステップS 1 0 7）。なおステップS 1 0 7の処理では、影響線データを配置するために、ステップS 1 0 5で求められた進入時刻、退出時刻の情報を用いるとよい。また、ステップS 1 0 3で求められたレーン判定結果に基づいて、複数の影響線データのうちのいずれを用いるかを決定してもよい。

【0 1 0 4】

さらに重量算出部2 5 0は、ステップS 1 0 7で求められた総重量情報の分配処理を行う（ステップS 1 0 8）。分配処理には、ステップS 1 0 4で求めた軸通過強度を用いる。分配処理により、各車軸の軸重が精度よく求められる。

【0 1 0 5】

更に重量算出部2 5 0は、車軸と車両との対応関係に基づいて、各車両の車両重量を算出する（ステップS 1 0 9）。

【0 1 0 6】

### 3. 2 移動体判定

図1 1～図1 4は、第1～第M（Mは2以上の整数）のレーンを有する橋梁5を、第1～第Nの車両が同時に移動する場合の例である。ここでは、M = 2, N = 2の例を考えている。ただし、M及びNの値や、各車両が移動するレーンについては、種々の変形実施が可能である。例えば、レーン数の3以上への拡張や、車両の3台以上への拡張が容易なことは、当業者であれば容易に理解できるであろう。図1 1に示すように、まず第1のレーンL 1に、第1の車両M 1が進入する。M 1は2軸の車両である。図1 2に示すように、第1の車両M 1が橋梁5を退出する前に、第2のレーンL 2に第2の車両M 2が進入する。M 2は3軸の車両である。

【0 1 0 7】

従来手法のように、1台の車両を対象としてW I Mを行うのであれば、図1 1のタイミングを始点とし、図1 3に示した第1の車両M 1が退出したタイミングを終点としてW I Mを行えばよい。ただし、この期間ではM 2も橋梁5に進入済みであるため、第2のセンサー2 2はこれらの車両による変位も検出してしまい、M 1の車両重量の推定精度は低い。

【0 1 0 8】

その点、本実施形態では、図1 4に示したように橋梁5を移動する車両がなくなるタイミングを処理に用いる。図1 4では、第2の車両M 2が橋梁5から退出し、且つ新たな車両（例えば第3の車両M 3）の進入もない。つまり、図1 1よりも前を第1の時刻、図1 4よりも後を第2の時刻とすればよい。このようにすれば、同時に通過する複数台の車両をまとめて処理対象とすることが可能になる。

【0 1 0 9】

図1 5は、図1 1～図1 4に示したように、第1～第2の車両M 1～M 2が橋梁5に進入した際の、第1のセンサー2 1 a - 1～2 1 a - 4の検出信号（加速度信号）の例である。F 1～F 4のそれぞれが、第1のセンサー2 1 a - 1～2 1 a - 4の検出信号の波形である。なお図1 5の波形は、図1 0のステップS 1 0 1を用いて上述したように、ピー

10

20

30

40

50

クを明瞭化するフィルター処理後の波形を示している。

【 0 1 1 0 】

波形におけるピーク P 1 1 , P 1 2 は、車両 M 1 の車軸の通過を示している。車両 M 1 は、2つのピーク P 1 1 , P 1 2 を有しているので2軸車である。ピーク P 1 1 は、車両 M 1 の前輪の車軸の通過を示し、ピーク P 1 2 は、車両 M 1 の後輪の車軸の通過を示している。同様に、ピーク P 2 1 , P 2 2 , P 2 3 は車両 M 2 の車軸の通過を示している。

【 0 1 1 1 】

移動体判定部 2 1 0 は、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に対し絶対値処理を行い、絶対値処理した波形に対して移動平均処理を行う。移動体判定部 2 1 0 は、移動平均処理した加速度に基づいて、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。

【 0 1 1 2 】

例えば、移動体判定部 2 1 0 は、移動平均後の波形の値が、所定の閾値 T h 1 を超える値から、閾値 T h 1 以下となったときの時刻を第 1 の時刻と判定し、次に波形の値が、所定の閾値 T h 1 を超える値から、閾値 T h 1 以下となった時刻を第 2 の時刻とを判定する。移動平均が閾値以下になった場合とは、所与の車両の進入後、ある程度の期間継続して次の車両の進入がないことを表すため、移動平均に基づいて、橋梁 5 上の車両の有無を判定可能である。

【 0 1 1 3 】

図 1 5 のように、進入を検知する第 1 のセンサー 2 1 a として、4つのセンサー 2 1 a - 1 ~ 2 1 a - 4 がある場合、上記判定はいずれか 1 つの加速度信号を用いてもよいし、2 以上の加速度信号を組み合わせて判定してもよい。

【 0 1 1 4 】

また、上記の例では、移動体判定部 2 1 0 は、車両 6 の進入を検知する第 1 のセンサー 2 1 a の加速度から、第 1 の時刻及び第 2 の時刻を判定したが、車両 6 の退出を検知する第 1 のセンサー 2 1 b の加速度から、第 1 の時刻及び第 2 の時刻を判定してもよい。

【 0 1 1 5 】

また、移動体判定部 2 1 0 は、第 1 のセンサー 2 1 a の加速度から判定した判定結果と、第 1 のセンサー 2 1 b の加速度から判定した判定結果との「AND」をとってもよい。例えば、移動体判定部 2 1 0 は、第 1 のセンサー 2 1 a の加速度から判定した判定結果が、橋梁 5 上に車両 6 がいないという判定結果であり、かつ、第 1 のセンサー 2 1 b の加速度から判定した判定結果が、橋梁 5 上に車両 6 がい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。

【 0 1 1 6 】

或いは、移動体判定部 2 1 0 は、カウンターにより第 1 の時刻及び第 2 の時刻を判定してもよい。例えばカウンターは、進入側の第 1 のセンサー 2 1 a によりピークが検出された場合にカウントアップし、退出側の第 1 のセンサー 2 1 b によりピークが検出された場合にカウントダウンする。この場合、橋梁上に車両がない状態では、カウンター値は初期値(例えば 0)となる。よって移動体判定部 2 1 0 は、カウンター値が非 0 から 0 になったタイミングを第 1 の時刻とし、第 1 の時刻の後にカウンター値が非 0 から 0 になったタイミングを第 2 の時刻としてもよい。この他、第 1 のセンサー 2 1 a、2 1 b により第 1 の時刻及び第 2 時刻を求める手法は種々の変形実施が可能である。

【 0 1 1 7 】

以上により、図 1 0 のステップ S 1 0 2 の処理が実行される。

【 0 1 1 8 】

また、移動体判定部 2 1 0 では、車両 M 1 ~ M 2 の車軸(5つの車軸)のそれぞれについて、橋梁 5 への進入時刻及び退出時刻を求める。具体的には、ピーク P 1 1 , P 1 2 , P 2 1 , P 2 2 , P 2 3、のタイミングを求めればよい。なお、第 1 のセンサー 2 1 a、



2 1 b の設置位置が橋梁 5 の端点でない場合、車両の実際の進入、退出のタイミングと、加速度信号にピークが現れるタイミングとにずれが生じる場合がある。よって移動体判定部 2 1 0 は、加速度信号のピークタイミングに対して、第 1 のセンサー 2 1 a , 2 1 b の設置位置に応じた補正を行って、進入時刻及び退出時刻を求めてもよい。

【 0 1 1 9 】

以上により、移動体判定部 2 1 0 は、第 1 ~ 第 N の移動体の車軸ごとにおける構造物への進入時刻及び構造物からの退出時刻を判定する。これにより、図 1 0 のステップ S 1 0 5 の処理が実行され、ステップ S 1 0 7 の総重量情報の算出（影響線データの配置）等が可能になる。また、進入時刻や退出時刻の時間差に基づいて、車軸の間隔を推定することや、車軸の間隔に基づいて車種を特定すること等も可能になる。

10

【 0 1 2 0 】

### 3 . 3 レーン判定

橋梁 5 のレーン L 1 ~ L 2 と、主桁 G 1 ~ G 4 （第 1 のセンサー 2 1 a , 2 1 b ）の相対的な位置関係は、例えば図 1 1 に示した通りである。この場合、第 1 のレーン L 1 を走行する車両 6 （ M 1 ）は、主桁 G 1 との距離が小さく、G 2 ~ G 4 との距離は相対的に大きい。同様に、第 2 のレーン L 2 を走行する車両 6 （ M 2 ）は、主桁 G 3 との距離が小さく、G 1 , G 2 , G 4 との距離は相対的に大きい。

【 0 1 2 1 】

このような相対的な位置関係に起因して、所与の車両が橋梁 5 の第 1 のレーン L 1 に進入（橋梁 5 の L 1 から退出）した場合、G 1 に設けられるセンサー 2 1 a - 1 の加速度の大きさは、G 2 ~ G 4 に設けられるセンサー 2 1 a - 2 ~ 2 1 a - 4 の加速度の大きさに比べて大きくなる。同様に、第 2 のレーンの進入退出の場合、G 3 に設けられる 2 1 a - 3 の加速度が相対的に大きくなる。

20

【 0 1 2 2 】

即ち、レーン判定部 2 3 0 は、進入検知（或いは退出検知）用の複数のセンサーの検出信号の大きさを比較することで、車両の移動したレーンを判定できる。図 1 5 の例であれば、車両 M 1 に対応するピーク P 1 1 及び P 1 2 は、G 1 に設けられるセンサー 2 1 a - 1 での値が相対的に大きいため、車両 M 1 はレーン L 1 を移動したと判定できる。同様に、車両 M 2 に対応するピーク P 2 1 , P 2 2 及び P 2 3 は、G 3 に設けられるセンサー 2 1 a - 3 での値が相対的に大きいため、車両 M 2 はレーン L 2 を移動したと判定できる。

30

【 0 1 2 3 】

以上により、図 1 0 のステップ S 1 0 3 の処理が実行される。

【 0 1 2 4 】

なお、各レーンと第 1 のセンサー 2 1 a （ 2 1 b ）の相対的な関係は図 1 1 に限定されない。具体的には、移動するレーンに応じてセンサーからの検出信号の大きさに差が生じるような相対位置となっていれば、第 1 のセンサー 2 1 a （ 2 1 b ）の設置位置は種々の変形実施が可能である。

【 0 1 2 5 】

### 3 . 4 軸通過強度の算出

上述してきたように、本実施形態では最小二乗法で求められる軸重を用いるのではなく、別の情報により総重量情報を分配処理することで軸重及び車両重量を推定する。ここで、分配処理に用いる情報としては、第 1 のセンサー 2 1 a （ 2 1 b ）の検出信号の大きさが考えられる。

40

【 0 1 2 6 】

第 1 のセンサー 2 1 a （ 2 1 b ）の検出信号の大きさは、進入（退出）時に橋梁 5 に加えられた衝撃の大きさを表す。当該衝撃の大きさは車軸の重量に比例すると考えられることから、第 1 のセンサー 2 1 a （ 2 1 b ）の検出信号の大きさは、車軸の重量に応じた値になることが期待される。

【 0 1 2 7 】

ただし上述してきたように、第 1 のセンサー 2 1 a に含まれる各センサー 2 1 a - 1 ~

50

2 1 a - 4 の設置位置には種々の変形実施が可能である。そのため、各レーンと、各レーンに対応する第 1 のセンサーの相対位置（相対距離）が一致するとは限らない。例えば、L 1、L 2 がそれぞれ G 1、G 3（2 1 a - 1、2 1 a - 3）に対応する場合において、L 1 と G 1 の相対距離、L 2 と G 3 の相対距離がそれぞれ異なる場合がある。より具体的には、G 1 が L 1 の中央、G 3 が L 2 の中央よりやや外れた場合などが想定される。

【0 1 2 8】

この場合、所与の重量の車軸が L 1 を通過したときの 2 1 a - 1 の加速度の大きさと、同じ重量の車軸が L 2 を通過したときの 2 1 a - 2 の加速度の大きさとが一致しない。衝撃の大きさ（加速度の大きさ）が重量に比例するとの仮定を満たすためには、同じ重量の車軸が通過した場合、各センサーからの加速度の大きさは一致しなければならない。

10

【0 1 2 9】

よって本実施形態では、第 1 のセンサー 2 1 a（2 1 b）の各センサーからの加速度に対して、重み付けを行い、重み付け後の加速度から軸通過強度を求める。

【0 1 3 0】

例えば W I M では影響線データを求めるために、重量が既知である基準車（荷重車、広義には基準移動体）を走行させる。本実施形態では、基準車走行時のデータに基づいて、あらかじめ重み付け情報を求めておく。

【0 1 3 1】

図 1 6 は、基準車を移動させたときの第 1 のセンサー 2 1 a - 1 ~ 2 1 a - 3 の加速度の波形である。D 1 は、第 1 のレーン L 1 で基準車を移動させたときのセンサー 2 1 a - 1 の波形を表す。D 2 は、第 2 のレーン L 2 で基準車を移動させたときのセンサー 2 1 a - 3 の波形を表す。

20

【0 1 3 2】

同じ基準車を走行させているため、D 1 ~ D 2 のピーク値は等しくなる必要があるが、図 1 6 の例では、D 1 は D 2 に対して値が大きい。よって本実施形態では、センサー 2 1 a - 1 の加速度に対して、重み A（ $< 1$ ）による重み付けをして、重み付け後の波形 D 3 から、第 1 のレーン L 1 を通過する車軸の軸通過強度を求める。センサー 2 1 a - 3 の加速度に対しては、重み付けを行わずに（重み 1 による重み付けをして）、第 2 のレーン L 2 を通過する車軸の軸通過強度を求める。即ち、図 1 6 の例であれば、基準車を走行させた段階で、（A, 1）という重み付け情報を求めておき、当該重み付け情報を用いて軸通過強度を演算する。なお、図 1 6 ではセンサー 2 1 a - 3（D 2）のピークを基準強度としたが、他のセンサー出力を基準強度としてもよい。

30

【0 1 3 3】

図 1 7 は、軸通過強度の算出処理を説明する図である。図 1 7 の F 1 ~ F 4 は、図 1 5 と同様のデータである。レーン判定部 2 3 0 の判定により、車両 M 1 は第 1 のレーン L 1 を移動したことがわかっている。よって、M 1 の 2 つの車軸の軸通過強度の算出には、センサー 2 1 a - 1 の加速度を用いればよい。具体的には、センサー 2 1 a - 1 の出力（F 1）に対して、重み A により重み付けをした結果（F 5）のピークの大きさ S A 1 1, S A 1 2 を、M 1 の 2 つの車軸の軸通過強度とする。

【0 1 3 4】

同様に、第 2 のレーン L 2 を通過した車両 M 2 については、センサー 2 1 a - 3 の出力（F 3）に対して、重み 1 により重み付けをした結果（F 3 そのまま）のピーク S A 2 1, S A 2 2, S A 2 3 を、M 2 の 3 つの車軸の軸通過強度とする。

40

【0 1 3 5】

以上により、図 1 0 のステップ S 1 0 4 の処理が実行される。なお、本実施形態では軸通過強度の算出にセンサーの加速度出力を用いたが、加速度に変換する前の原波形を用いても良い。また、車両通過時の鉛直方向の変位計測が可能であれば、変位を用いても良い。例えば、加速度を二階積分することで、変位を算出し、この変位から重み付けすることで車軸の軸通過強度を算出する事もできる。また、加速度に限らず、歪センサー等を用いて、歪量を算出して良い。

50

## 【 0 1 3 6 】

## 3.5 変位量の算出

図2を用いて上述したように、WIMではセンサー部2（第2のセンサー22）からの検出信号に基づいて検出される、橋梁5の変位を用いる。

## 【 0 1 3 7 】

この際、上述してきたように、センサー部2は、加速度センサーを含んでもよく、具体的には第2のセンサー22を加速度センサーにより実現してもよい。ただし、加速度センサーの検出信号である加速度から変位を求めるには二階積分を行う必要がある。そのため、数値積分の境界条件を適切に設定しなければ、求められる変位の精度が著しく低下してしまう。

10

## 【 0 1 3 8 】

よって本実施形態の変位算出部220は、図5に示したように、構造物に設置された加速度センサーの第1の時刻及び第2の時刻に関連する自由振動周波数成分に基づいて、速度の境界条件及び変位の境界条件を特定する境界条件特定部221と、加速度センサーの出力を積分して、構造物が撓む速度及び変位を算出する積分部222と、速度の境界条件及び変位の境界条件を満たすように速度及び変位を補正する補正部223を含んでもよい。

## 【 0 1 3 9 】

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、2～10Hzである。

20

## 【 0 1 4 0 】

図18～図20は、境界条件特定部221の動作例を説明する図である。図18～図20の横軸は時間を表す。図18の縦軸は加速度を表し、図19の縦軸は速度を表し、図20の縦軸は変位を表す。

## 【 0 1 4 1 】

境界条件特定部221は、入力された加速度センサー（第2のセンサー22）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221は、入力された加速度センサーの加速度から、2～10Hzの周波数成分の加速度を抽出する。

30

## 【 0 1 4 2 】

境界条件特定部221は、例えば、FIRやFFTによるBPF（Band Pass Filter）によって、入力された加速度センサーの加速度から、自由振動周波数成分を抽出する。図18の波形は、境界条件特定部221が抽出した、加速度センサー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。

## 【 0 1 4 3 】

境界条件特定部221は、加速度センサーから出力された加速度の自由振動周波数成分を抽出すると、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221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。図19の波形は、境界条件特定部221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。

40

## 【 0 1 4 4 】

境界条件特定部221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221は、橋梁5の自由振動による撓みの変位を算出する。図20の波形は、境界条件特定部221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 1 4 5 】

境界条件特定部221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210によって判定された第1の時刻及び第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221は、第1の時刻から、変位が「0」とな

50

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 1 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。

【0146】

例えば、図 20 の時刻「 $t_1$ 」及び「 $t_2$ 」は、移動体判定部 2 1 0 によって判定された第 1 の時刻及び第 2 の時刻を示している。図 20 の「 $t_1$ 」及び「 $t_2$ 」は、境界条件特定部 2 2 1 によって特定された、第 1 の時刻「 $t_1$ 」及び第 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。

【0147】

境界条件特定部 2 2 1 は、移動体判定部 2 1 0 によって判定された第 1 の時刻及び第 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速度を取得する。 10

【0148】

例えば、境界条件特定部 2 2 1 は、図 20 に示す時刻「 $t_1$ 」及び時刻「 $t_2$ 」における、速度を取得する。境界条件特定部 2 2 1 は、特定した時刻「 $t_1$ 」及び「 $t_2$ 」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。

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： $V = V_2$

【0149】

また、境界条件特定部 2 2 1 は、特定した時刻「 $t_1$ 」及び「 $t_2$ 」における変位を、変位の境界条件とする。時刻「 $t_1$ 」及び「 $t_2$ 」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。 20

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： $U = 0$

【0150】

なお、境界条件特定部 2 2 1 は、自由振動による変位の平均値が「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 1 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 0 によって判定された第 1 の時刻及び第 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。 30

【0151】

また、境界条件特定部 2 2 1 は、図 9 で説明した 3 軸合成加速度によって、加速度センサーから出力される加速度の補正を行ってもよい。

【0152】

また、境界条件特定部 2 2 1 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及び変位を、速度の境界条件及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 1 は、車両 6 の橋梁 5 への進入の時刻における変位及び速度と、車両 6 の橋梁 5 からの退出の時刻における変位及び速度とを、速度の境界条件及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 2 2 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。 40

【0153】

積分部 2 2 2 には、通信部 1 2 0 によって受信された、加速度センサー（第 2 のセンサー 2 2）の加速度が入力される。積分部 2 2 2 は、入力された加速度センサー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 の撓みの速度及び変位を算出する。

【0154】

補正部 2 2 3 は、境界条件特定部 2 2 1 によって特定された速度の境界条件及び変位の境界条件を満たすように、積分部 2 2 2 によって算出された速度及び変位を補正する。

【0155】

なお、積分部 2 2 2 は、入力された加速度センサーの加速度から、DC (Direct Curre 50

nt) 成分を除去してもよい。加速度センサー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。

【0156】

積分部222は、例えば、FIRやFFTによるBPFによって、入力された加速度センサーの加速度から、DC成分を除去する。BPFの通過帯域は、例えば、加速度センサー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である。

【0157】

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及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の撓みの速度及び変位を適切に計測できる。

【0158】

以上により、図10のステップS106の処理が実行される。

【0159】

### 3.6 総重量情報の算出(WIM)

重量算出部250は、WIMによって、第1～第Nの車両の総重量情報を算出する。例えば、重量算出部250は、補正部223によって境界条件が補正された、積分部222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、総重量情報を算出する。

【0160】

WIMの基本的な手法については、図2を用いて上述したとおりである。即ち、重量算出部250は、影響線データ又は影響面データと、第1～第Nの移動体の車軸ごとの進入時刻および退出時刻とを用いて、車軸ごとの軸重を算出し、算出した軸重を合計して総重量情報を算出する。このようにすれば、WIMを用いて総重量情報を算出することが可能になる。

【0161】

ただし、本実施形態では橋梁5が複数のレーン(L1～L2)を有することを想定している。橋梁5の変位を検出する第2のセンサー22が、図7に示すようにG3, S4の位置に設けられているのであれば、車両6がL1～L2のいずれを移動したかに応じて、G3, S4の位置への影響は異なると考えられる。

【0162】

例えば同じ重量の車軸であっても、G3, S4の位置から遠いL1を通過した場合には、変位は相対的に小さくなり、G3, S4の位置に近いL2を通過した場合には、変位は相対的に大きくなる。つまり、第1～第Nの車両の各車軸に対応させて影響線データを配置する際に、車軸の通過したレーンに応じて、用いる影響線データを決定するとよい。

【0163】

具体的には、基準車を移動させて影響線データを記憶しておく際に、第1のレーンL1を移動させた場合の影響線データE1, 第2のレーンL2を移動させた場合の影響線データE2を記憶しておく。そして、重量算出部250は、レーン判定部230でのレーン判定結果に基づいて、各車軸の移動したレーンに対応する影響線データを選択、配置する。

【0164】

図21は、本実施形態の総重量情報の算出処理を説明する図である。ここでは、車両M1～M2が、それぞれレーンL1～L2を通過している。よって、重量算出部250は、M1の2つの車軸に対しては影響線データE1を用い、M2の2つの車軸に対しては影響線データE2を用いてWIMを行う。

【0165】

このようにすれば、橋梁5が複数のレーンを有する場合にも、総重量情報を精度よく求めることが可能になる。なお、影響線データの選択後の手法については、図2等と同様である。上述したように、影響線データの配置には、車軸ごとの進入時刻、退出時刻を用いればよい。また各軸重の推定には、最小二乗法等の数学的手法を用いればよい。重量算出部250は、最小二乗法等で推定された軸重の総和を、総重量情報として求める。

10

20

30

40

50

## 【 0 1 6 6 】

以上により、図 1 0 のステップ S 1 0 7 の処理が実行される。

## 【 0 1 6 7 】

## 3 . 7 分配処理

また重量算出部 2 5 0 は、総重量情報と、軸通過強度に基づいて、分配処理を行う。図 1 6 を用いて上述したように、基準移動体を移動させた際の第 1 のセンサー 2 1 a ( 2 1 b ) の出力に基づき求められた重み付け情報を用いることで、第 1 ~ 第 N の車両の各車軸に対応する軸通過強度が求められている。図 1 1 ~ 図 1 4 に例示した 2 車両、5 車軸の例であれば、図 1 7 を用いて上述したように軸通過強度として ( S A 1 1 , S A 1 2 , S A 2 1 , S A 2 2 , S A 2 3 ) という情報が求められる。

10

## 【 0 1 6 8 】

重み付けを行うことで、軸通過強度は対応する車軸の軸重に比例した大きさになると考えられる。よって、5 つの車軸の各軸重が、総重量に対してしめる割合 ( 分配比率情報 ) は、下式 ( 2 ) ~ ( 7 ) により求めることができる。

$$S_{all} = SA11 + SA12 + SA21 + SA22 + SA23 \quad ( 2 )$$

$$R11 = SA11/S_{all} \quad ( 3 )$$

$$R12 = SA12/S_{all} \quad ( 4 )$$

$$R21 = SA21/S_{all} \quad ( 5 )$$

$$R22 = SA22/S_{all} \quad ( 6 )$$

$$R23 = SA23/S_{all} \quad ( 7 )$$

20

## 【 0 1 6 9 】

総重量情報により表される総重量を  $W_{all}$  とした場合、重量算出部 2 5 0 は、各車軸の軸重を下式 ( 8 ) ~ ( 1 2 ) により求める。

$$W11 = W_{all} * R11 \quad ( 8 )$$

$$W12 = W_{all} * R12 \quad ( 9 )$$

$$W21 = W_{all} * R21 \quad ( 1 0 )$$

$$W22 = W_{all} * R22 \quad ( 1 1 )$$

$$W23 = W_{all} * R23 \quad ( 1 2 )$$

## 【 0 1 7 0 】

さらに、重量算出部 2 5 0 では、最初の 2 軸が車両 M 1 の車軸であることがわかっている。よって車両 M 1 の車両重量を  $W 1 1 + W 1 2$  により求める。同様に、車両 M 2 の車両重量を  $W 2 1 + W 2 2 + W 2 3$  により求める。

30

## 【 0 1 7 1 】

以上のように、構造物は、第 1 ~ 第 M ( M は 2 以上の整数 ) のレーンを有し、第 1 のセンサー 2 1 a ( 2 1 b ) は、第 1 ~ 第 M のレーンの各レーンに対応して複数設けられる。そして重量算出部 2 5 0 は、基準移動体を移動させた際の第 1 のセンサー 2 1 a ( 2 1 b ) の出力に基づき求められた重み付け情報に基づいて、総重量情報の分配処理を行う。

## 【 0 1 7 2 】

より具体的には、第 i ( i は 1 以上 N 以下の整数 ) の移動体が、第 k ( k は 1 以上 M 以下の整数 ) のレーンを移動した場合に、重量算出部 2 5 0 は、第 i の移動体が構造物を移動した際の、第 k のレーンに対応して設けられた第 1 のセンサーの出力に対して、重み付け情報に基づく重み付けをして、分配処理に用いる分配比率情報 ( 上記 R 1 1 等 ) を求める。

40

## 【 0 1 7 3 】

このようにすれば、総重量情報を適切に各車軸に対して分配できるため、第 1 ~ 第 N の移動体の各移動体の重量を精度よく求めることが可能になる。

## 【 0 1 7 4 】

また、重量算出部 2 5 0 は、レーン判定部 2 3 0 での判定結果に基づいて、総重量情報の分配処理を行う。具体的には、図 1 7 を用いて上述したように、レーン判定の結果に応じて、軸通過強度を求める際に用いる第 1 のセンサー 2 1 a を決定する。このようにすれ

50

ば、レーン判定の結果に基づいて適切に軸通過強度（及び分配比率情報）を決定できるため、第1～第Nの移動体の各移動体の重量を精度よく求めることが可能になる。

【0175】

以上により、図10のステップS108、S109の処理が実行される。

【0176】

### 3.8 変形例

以下、幾つかの変形例について説明する。

【0177】

以上ではセンサー部2（第1のセンサー21a、21b、第2のセンサー22）として、加速度センサーを用いる例を説明した。加速度センサーとは、MEMS（Micro Electro Mechanical Systems）センサーであってもよいし、水晶加速度センサーであってもよい。

【0178】

ただし、センサー部2に含まれるセンサーは、加速度センサーに限定されない。センサー部2は、加速度、速度、変位、ひずみといった外力を測定することが可能なセンサーであれば、レーザードップラー振動計やサンプリングモアレ法等による変位・速度計測技術等種々の測定技術を適用する事が可能である。

【0179】

歪みセンサーや変位計のように、直接的に橋梁5の変位を測定できるセンサーを用いる場合、変位算出部220における境界条件特定処理や、積分処理は不要である。ただし、歪みセンサー等は、橋梁5の部材（金属）に直接設置する必要がある。例えば、センサー設置の際に、塗装を除去する等の工程が必要となる。加速度センサーは磁石等により橋梁5の表面に設置すれば充分であるため、設置の負担という観点からは加速度センサーが有利である。

【0180】

また、軸通過強度の算出では、ピークの大きさを精度よく検出することが重要となる。よって、第1のセンサー21a、21bとしては、ピークが明確且つ反応が早い（ピークの影響が後に残りにくい）センサーを用いることが望ましく、歪みセンサー等に比べて加速度センサーを用いることが望ましい。ただし、歪みセンサー等により軸通過強度を算出することも可能であり、第1のセンサー21a、21bについても種々のセンサーでの実現が可能である。

【0181】

また、センサー部2に含まれるセンサーの組み合わせは任意である。よって、第1のセンサー21a、21bを加速度センサーとし、第2のセンサー22を歪みセンサーとするといった種々の実施形態が可能である。

【0182】

また、図21を用いて上述したように、本実施形態では車両が移動するレーンごとに影響線データを求めておくことが可能である。その場合、WIMで影響線データを配置する際に、各車両がどのレーンを通じたかの判定結果に基づいて、適切な影響線データを選択、配置していた。

【0183】

ただし影響線データを用いた処理はこれに限定されない。例えば、複数のレーンに対する複数の影響線データに基づいて、平均影響線データを求め、当該平均影響線データに基づいてWIMを実行してもよい。

【0184】

図22は、本変形例でのWIM（総重量情報を算出処理）を説明する図である。図22に示したように、基準車の走行により、各レーンに対応して2つの影響線データE1～E2が取得されている。本変形例では、これらの影響線データの平均化処理を行い、平均影響線データE<sub>ave</sub>を求める。そして、第1～第Nの車両の各車軸に対応する影響線データを配置する際には、全車軸に対して平均影響線データE<sub>ave</sub>を適用する。

## 【 0 1 8 5 】

なお、平均化処理の具体例も種々考えられる。例えば、各レーンに対応する影響線データ  $E_1 \sim E_2$  を単純平均したものを平均影響線データ  $E_{ave}$  としてもよい。この場合、第 1 ~ 第 N の車両が具体的にどのレーンを移動したかを考慮する必要がなく、処理負荷を低くできる。また、平均影響線データ  $E_{ave}$  の算出後は、各レーンに対応する影響線データ  $E_1 \sim E_2$  を保持しておく必要がないため、メモリー容量の削減も可能である。

## 【 0 1 8 6 】

或いは、第 1 ~ 第 N の車両のレーン判定結果に基づいて、 $E_1 \sim E_2$  の加重平均をとって平均影響線データ  $E_{ave}$  を求めてもよい。例えば、第 1 のレーン  $L_1$  を通過する車両が相対的に多ければ、 $E_1$  の重みを相対的に大きくする。このようにすれば、実際の車両走行状況に応じた平均影響線データ  $E_{ave}$  を求めることが可能になる。

## 【 0 1 8 7 】

また、以上ではレーン単位で複数の影響線データを保持する手法、或いは平均影響線データを求める手法を説明した。しかしより細かい単位で影響線データを求め、それらを統合することで、影響面データを求めてもよい。

## 【 0 1 8 8 】

図 2 3 は影響面データを求める手法の説明図であり、図 2 4 は影響面データの具体例である。図 2 3 に示すように、基準車に対して P 通りの位置を走行させる。ここでの P はレーン数 M に比べて大きい整数である。これにより、影響線データが P 個 ( $e_1 \sim e_P$ ) だけ取得される。

## 【 0 1 8 9 】

そして、図 2 4 に示すように、P 個の影響線データを用いて、影響面データを作成する。図 2 4 の x 軸は基準車の走行位置（進行方向）を表し、y 軸は基準車の走行位置（桁方向）を表し、z 軸は橋梁 5 の変位を表す。所与の x z 平面でのデータが、影響線データとなる。言い換えれば、P 個の影響線データ  $e_1 \sim e_P$  を y 軸方向に並べることで図 2 4 に示した影響面データを取得できる。

## 【 0 1 9 0 】

影響面データを用いることで、1 又は少数（例えばレーン数相当）の影響線データを用いる場合に比べて、車両の移動による橋梁 5 への影響を精度よく推定できる。即ち、変位算出部 2 2 0 での変位の算出精度を向上させることができ、車両重量の推定精度も向上する。

## 【 0 1 9 1 】

また、以上では軸通過強度を算出する際に、加速度の値が最大値を用いていた。図 1 7 の例であれば、第 1 のレーン  $L_1$  を移動する車両  $M_1$  の 2 つの車軸の軸通過強度を算出する際には、第 1 のレーン  $L_1$  に最も近いセンサー 2 1 a - 1 の出力を用いていた。

## 【 0 1 9 2 】

ただし、車両が通過する真下に設置されたセンサーに対しては、非常に大きな衝撃が加わるため、強度に誤差が生じるおそれもある。よって図 2 5 に示したように、軸通過強度の算出に、車両が通過するレーンに対応するセンサーに隣り合う位置に設置されたセンサーを用いてもよい。図 2 5 の  $F_1 \sim F_6$  は、図 1 7 の  $F_1 \sim F_6$  と同様の信号であるため、同一の符号を付してある。

## 【 0 1 9 3 】

例えば、第 1 のレーン  $L_1$  に対応するセンサーは、主桁  $G_1$  に設置されるセンサー 2 1 a - 1 であり、隣り合う位置に設置されるセンサーとは、 $G_2$  に設置されるセンサー 2 1 a - 2 である。よって  $L_1$  を移動する車両  $M_1$  の 2 つの車軸の軸通過強度の算出は、センサー 2 1 a - 2 におけるピーク  $P_{11}$  ,  $P_{12}$  を用いる。具体的には、センサー 2 1 a - 2 の出力 ( $F_2$ ) に対して、重み B により重み付けをした結果 ( $F_6$ ) のピーク  $S_{A11}$  ,  $S_{A12}$  を、 $M_1$  の 2 つの車軸の軸通過強度とする。

## 【 0 1 9 4 】

他のレーンの場合も同様であり、図 2 5 の例であれば第 2 のレーン  $L_2$  を通過する車両



は、G 4 に設置されるセンサー 2 1 a - 4 を用いる。このようにすれば、誤差による影響を抑止し、精度よく軸通過強度を求めることができる。なお、ここで用いた重み付け情報 ( B , 1 ) についても、図 1 6 を用いて上述した例と同様に、基準車走行時に求めておくことが可能である。

【 0 1 9 5 】

また、本実施形態の計測装置 1 等は、その処理の一部又は大部分をプログラムにより実現してもよい。この場合には、CPU 等のプロセッサがプログラムを実行することで、本実施形態の計測装置 1 等が実現される。具体的には、非一時的な情報記憶装置に記憶されたプログラムが読み出され、読み出されたプログラムを CPU 等のプロセッサが実行する。ここで、情報記憶装置 ( コンピュータにより読み取り可能な装置、媒体 ) は、プログラムやデータなどを格納するものであり、その機能は、光ディスク ( DVD、CD 等 )、HDD ( ハードディスクドライブ )、或いはメモリー ( カード型メモリー、ROM 等 ) などにより実現できる。そして、CPU 等のプロセッサは、情報記憶装置に格納されるプログラム ( データ ) に基づいて本実施形態の種々の処理を行う。即ち、情報記憶装置には、本実施形態の各部としてコンピュータ ( 操作部、処理部、記憶部、出力部を備える装置 ) を機能させるためのプログラム ( 各部の処理をコンピュータに実行させるためのプログラム ) が記憶される。

【 0 1 9 6 】

また、本実施形態の計測装置 1 は、プロセッサとメモリーを含んでもよい。ここでのプロセッサは、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、プロセッサ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。例えば、プロセッサは、回路基板に実装された 1 又は複数の回路装置 ( 例えば IC 等 ) や、1 又は複数の回路素子 ( 例えば抵抗、キャパシタ等 ) で構成することができる。プロセッサは、例えば CPU ( Central Processing Unit ) であってもよい。ただし、プロセッサは CPU に限定されるものではなく、GPU ( Graphics Processing Unit )、或いは DSP ( Digital Signal Processor ) 等、各種のプロセッサを用いることが可能である。またプロセッサは ASIC によるハードウェア回路でもよい。またプロセッサは、アナログ信号を処理するアンプ回路やフィルター回路等を含んでもよい。メモリーは、SRAM、DRAM などの半導体メモリーであってもよいし、レジスタであってもよいし、ハードディスク装置等の磁気記憶装置であってもよいし、光学ディスク装置等の光学式記憶装置であってもよい。例えば、メモリーはコンピュータにより読み取り可能な命令を格納しており、当該命令がプロセッサにより実行されることで、計測装置 1 の各部の機能が実現されることになる。ここでの命令は、プログラムを構成する命令セットの命令でもよいし、プロセッサのハードウェア回路に対して動作を指示する命令であってもよい。

【 0 1 9 7 】

以上、本発明を適用した実施形態及びその変形例について説明したが、本発明は、各実施形態やその変形例そのままに限定されるものではなく、実施段階では、発明の要旨を逸脱しない範囲内で構成要素を変形して具体化することができる。また、上記した各実施形態や変形例に開示されている複数の構成要素を適宜組み合わせることによって、種々の発明を形成することができる。例えば、各実施形態や変形例に記載した全構成要素からいくつかの構成要素を削除してもよい。さらに、異なる実施の形態や変形例で説明した構成要素を適宜組み合わせてもよい。また、明細書又は図面において、少なくとも一度、より広義又は同義な異なる用語と共に記載された用語は、明細書又は図面のいかなる箇所においても、その異なる用語に置き換えることができる。このように、発明の主旨を逸脱しない範囲内において種々の変形や応用が可能である。

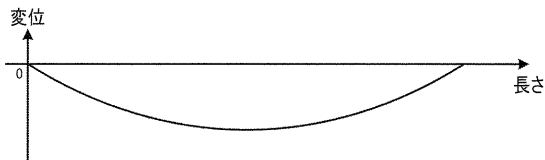
【 符号の説明 】

【 0 1 9 8 】

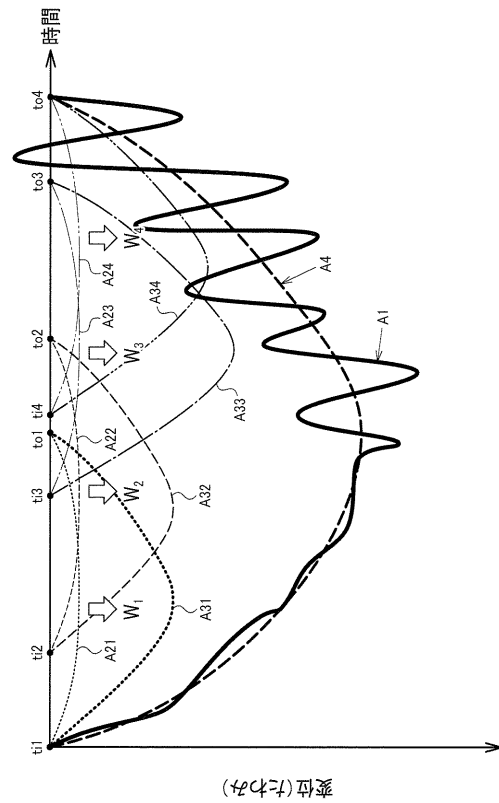
G 1 G 4 主桁、L 1 L 2 レーン、M 1 M 2 車両、1 計測装置、

2 センサー部、4 通信ネットワーク、5 橋梁、6 車両、10 計測システム、  
21 (21a, 21b) 第1のセンサー、22 第2のセンサー、110 制御部、  
120 通信部、130 記憶部、140 出力部、150 操作部、  
210 移動体判定部、220 変位算出部、221 境界条件特定部、  
222 積分部、223 補正部、230 レーン判定部、250 重量算出部

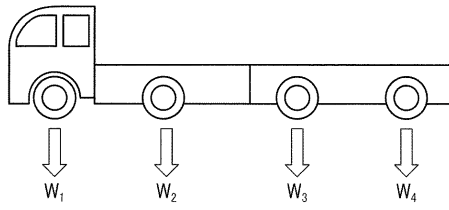
【図1】



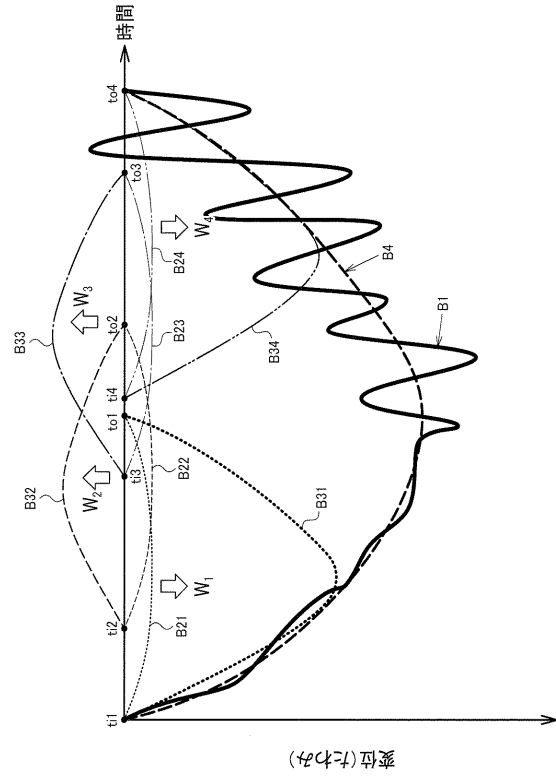
【図2】



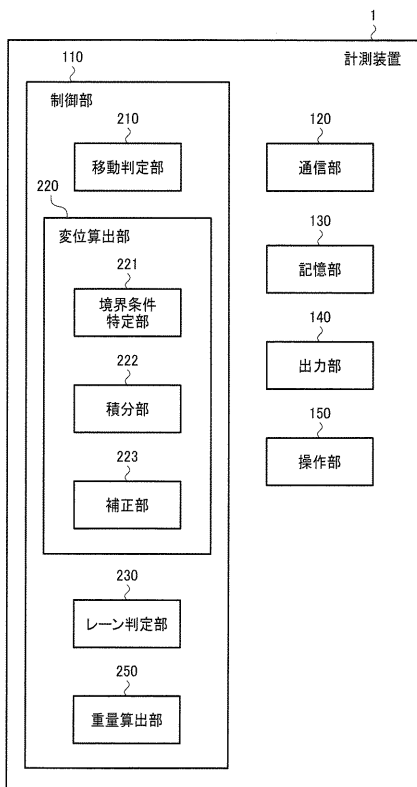
【図3】



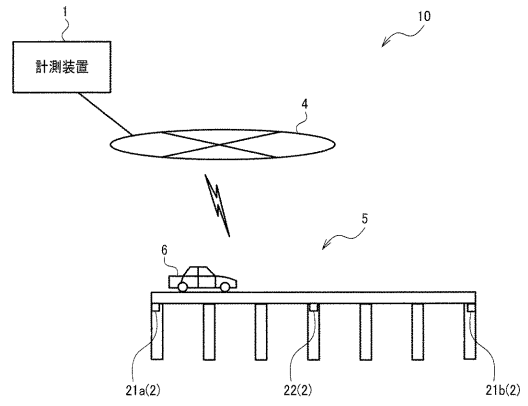
【図4】



【図5】



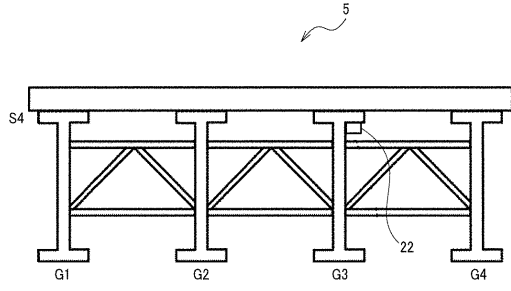
【図6】



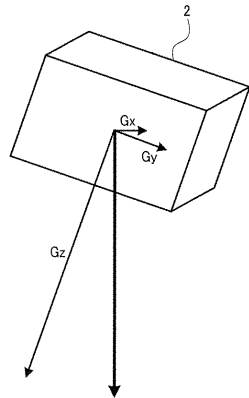
【図7】

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
G1	21a-1						21b-1
G2	21a-2						21b-2
G3	21a-3			22			21b-3
G4	21a-4						21b-4

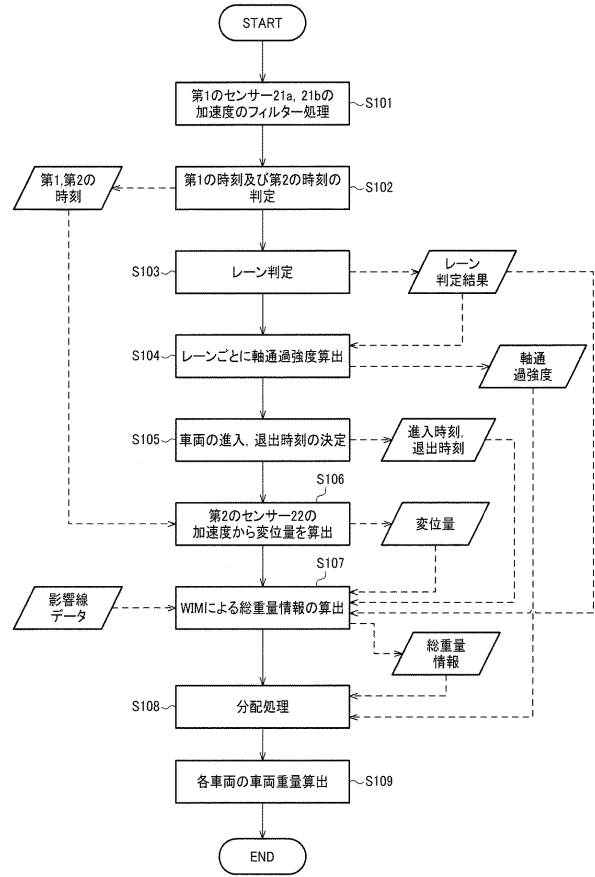
【図8】



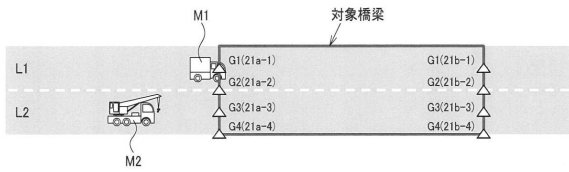
【図9】



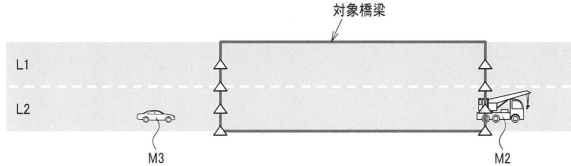
【図10】



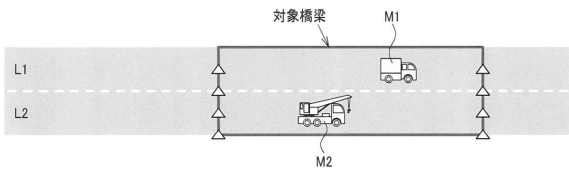
【図11】



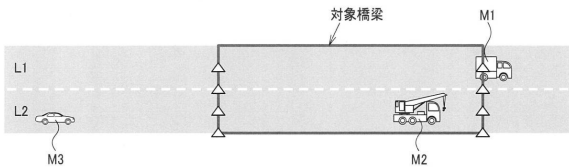
【図14】



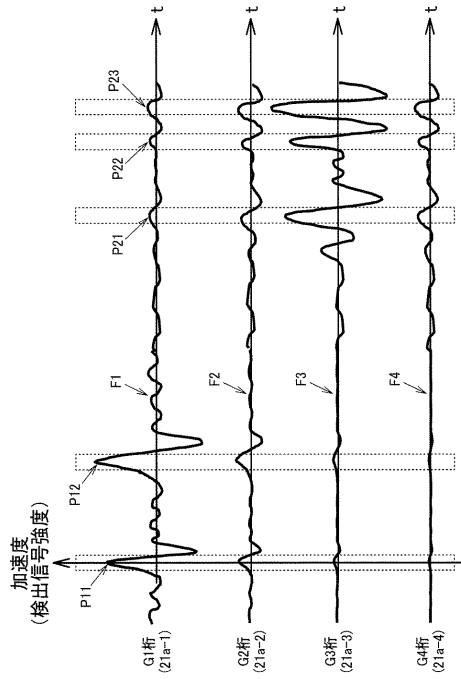
【図12】



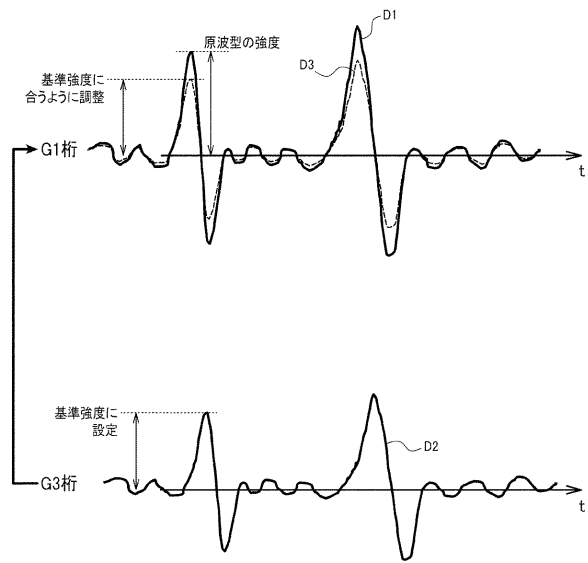
【図13】



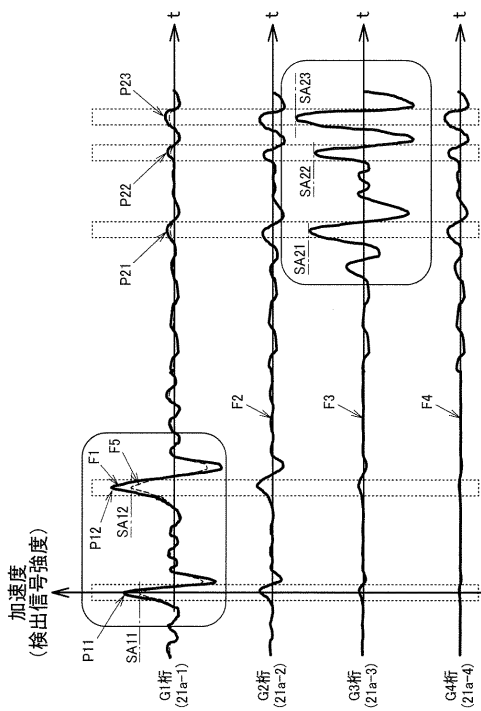
【図15】



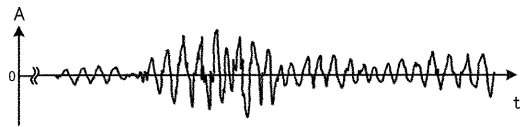
【図16】



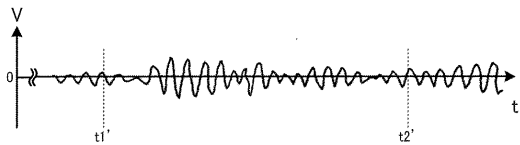
【図17】



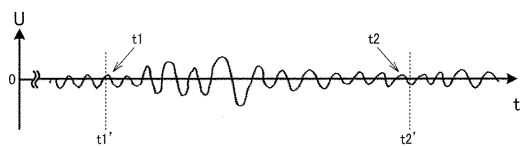
【図18】



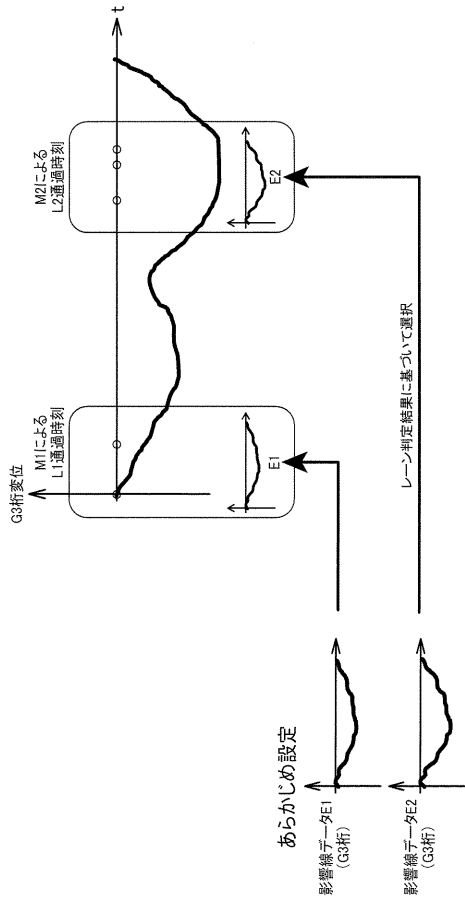
【図19】



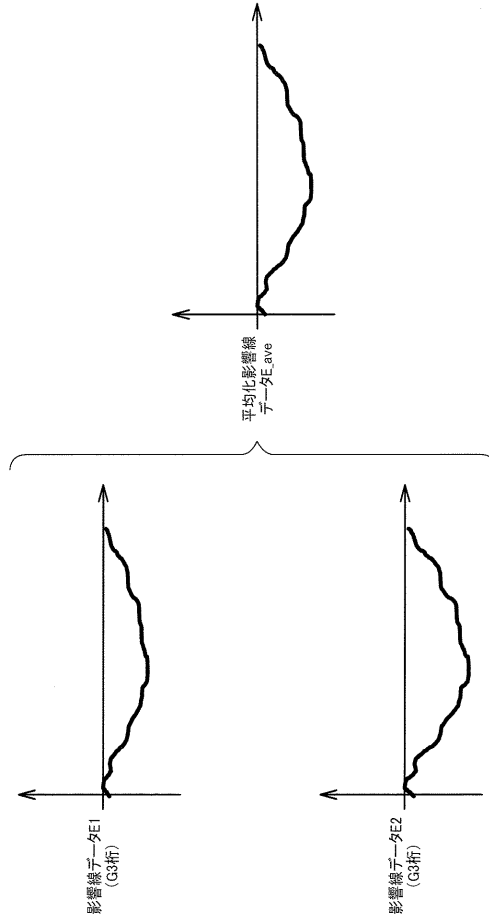
【図20】



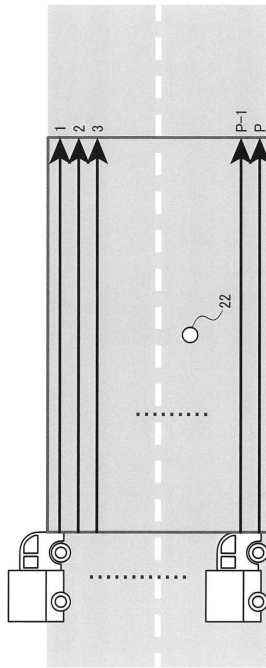
【図 2 1】



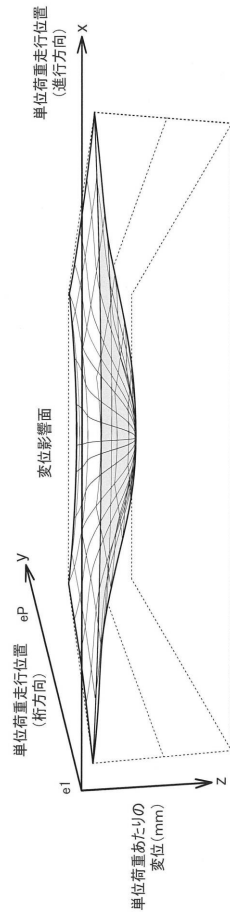
【図 2 2】



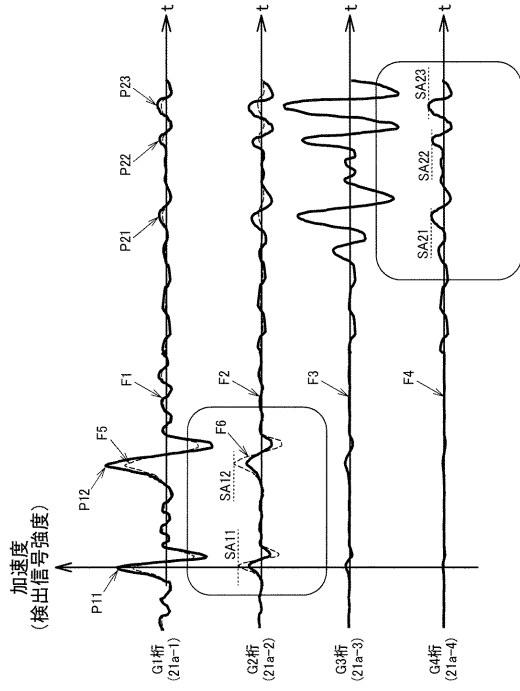
【図 2 3】



【図 2 4】



【図 25】



## フロントページの続き

(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

(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 谷垣 圭二

(56)参考文献 特開2017-58177(JP, A)

特開2010-197249(JP, A)

特開2015-140537(JP, A)

特表2002-523767(JP, A)

特開2017-3556(JP, A)

国際公開第2015/121639(WO, A1)

関屋英彦、横関耕一、木村健太郎、小西拓洋、三木千尋、橋梁の加速度記録を用いた変位応答算出法の提案, 土木学会論文集A1(構造・地震工学), 日本, 公益社団法人 土木学会, 2016年 2月20日, Vol.72, No.1, p.61-74, URL, <https://doi.org/10.2208/jscejsee.72.61>

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01G 19/03

G08G 1/02