

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6086486号  
(P6086486)

(45) 発行日 平成29年3月1日(2017.3.1)

(24) 登録日 平成29年2月10日(2017.2.10)

(51) Int. Cl.		F I	
<b>GO 1 G</b>	<b>19/03</b>	<b>(2006.01)</b>	GO 1 G 19/03
<b>GO 1 G</b>	<b>19/02</b>	<b>(2006.01)</b>	GO 1 G 19/02 E
<b>GO 8 G</b>	<b>1/02</b>	<b>(2006.01)</b>	GO 8 G 1/02 A
<b>GO 8 G</b>	<b>1/015</b>	<b>(2006.01)</b>	GO 8 G 1/015 A

請求項の数 8 (全 15 頁)

(21) 出願番号	特願2013-110067 (P2013-110067)	(73) 特許権者	504145320 国立大学法人福井大学
(22) 出願日	平成25年5月24日 (2013.5.24)		福井県福井市文京3丁目9番1号
(65) 公開番号	特開2014-228480 (P2014-228480A)	(74) 代理人	100111855 弁理士 川崎 好昭
(43) 公開日	平成26年12月8日 (2014.12.8)	(72) 発明者	鈴木 啓悟 福井県福井市文京3丁目9番1号 国立大 学法人福井大学内
審査請求日	平成28年4月13日 (2016.4.13)	(72) 発明者	吉川 将大 福井県福井市文京3丁目9番1号 国立大 学法人福井大学内
		審査官	森 雅之

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 通過車両重量解析処理装置及び方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

縦リブ及び横リブを備えた鋼床版を当該縦リブが橋軸方向に沿うように設けた橋梁を通過する車両の軸重を解析処理する通過車両重量解析処理装置であって、車両通過時の前記縦リブ及び前記横リブのひずみを測定する測定部と、測定された前記縦リブのひずみに基づいて通過車両の仮軸重値を算出するとともに測定された前記横リブのひずみに基づいて算出された通過車両の車両重量値により当該仮軸重値を補正して軸重値を算出する処理部とを備えている通過車両重量解析処理装置。

【請求項2】

前記測定部は、前記縦リブの所定間隔を空けた2箇所の測定位置でひずみを測定するとともに当該測定位置の間において前記縦リブと交差する1箇所の測定位置で前記横リブのひずみを測定する請求項1に記載の通過車両重量解析処理装置。

【請求項3】

前記処理部は、測定された前記縦リブのひずみに基づいて車両の軸数、車両速度及び軸間隔を算出する測定処理部を備えている請求項1又は2に記載の通過車両重量解析処理装置。

【請求項4】

前記処理部は、所定の重量を有する試験車両の通過時に測定された前記縦リブ及び前記横リブのひずみに基づいて影響線を作成する影響線処理部を備えている請求項1から3のいずれかに記載の通過車両重量解析処理装置。

10

20

## 【請求項 5】

前記処理部は、車両通過時に測定された前記縦リブ及び前記横リブのひずみに合わせて前記影響線を配置してカーブフィッティング処理を行うカーブフィッティング処理部を備えている請求項 4 に記載の通過車両重量解析処理装置。

## 【請求項 6】

前記処理部は、前記縦リブのひずみに対するカーブフィッティング処理により仮軸重値を算出して当該仮軸重値を合計した仮車両重量値を求めるとともに前記横リブのひずみに対するカーブフィッティング処理により車両重量値を算出し、当該車両重量値を当該仮車両重量値で割った補正係数を算出して当該仮軸重値に当該補正係数を掛け合わせて前記軸重値を算出する重量算出部を備えている請求項 5 に記載の通過車両重量解析処理装置。

10

## 【請求項 7】

請求項 1 から 6 のいずれかに記載の通過車両重量解析処理装置を備える通過車両監視装置。

## 【請求項 8】

縦リブ及び横リブを備えた鋼床版を当該縦リブが橋軸方向に沿うように設けた橋梁を通過する車両の軸重を解析処理する通過車両重量解析処理方法であって、車両通過時の前記縦リブ及び前記横リブのひずみを測定し、測定された前記縦リブのひずみに基づいて通過車両の仮軸重値を算出し、測定された前記横リブのひずみに基づいて通過車両の車両重量値を算出し、前記車両重量値により前記仮軸重値を補正して軸重値を算出する通過車両重量解析処理方法。

20

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は、鋼床版を有する橋梁を通過する車両の重量を解析処理する装置及び方法に関する。

## 【背景技術】

## 【0002】

鋼床版は、RC床版と比較して軽量であるため、主にスパンの長い橋梁で用いられている。また、鋼床版は、工場で作成して現場で据え付けることができるので、打設が困難な現場においても容易に施工できる。そのため、現場施工に制約がある都市部における高速道路等の橋梁建設にも多く適用されている。

30

## 【0003】

しかしながら、近年、こうした鋼床版の疲労損傷が顕在化し、例えば、首都高速道路や阪神高速道路といった主要な都市高速道路の橋梁において、約 7,000 箇所の疲労亀裂が発見されている。高速道路における鋼床版の疲労損傷の主な原因としては、重量車両（車両総重量の重い車両）の輪荷重（1つの車輪にかかる重量）による局部変形が挙げられる。

## 【0004】

図 19 は、道路の橋梁に使用されている鋼床版の一例に関する概略構成図である。鋼床版 100 は、薄板状の鋼板からなるデッキプレート 101、デッキプレート 101 の下面に並行配置されて固定された複数の縦リブ 102 及び縦リブ 102 に対して直交するように配置されて固定された複数の横リブ 103 を備えている。デッキプレート 101 の上面には、車両が通過する舗装面 104 が施工されている。縦リブ 102 は、薄板状の鋼板を断面 U 字状の樋状に形成して構成されており、長手方向が車両の通過方向（以下「通過方向」と略称する）に沿うように設定されている。そして、縦リブ 102 の長手方向の両端部がデッキプレート 101 の下面に溶接固定されている。横リブ 103 は、所定幅の薄板状の鋼板を用いて縦リブ 102 に対向する位置にそれぞれ切欠きが形成されており、並行配置された複数の縦リブ 102 にそれぞれ切欠きを嵌合して接地される。そして、横リブ 103 は、デッキプレート 101 の下面に対して通過方向と直交する方向に垂設されて上端部をデッキプレート 101 に溶接固定されている。

40

50

## 【 0 0 0 5 】

こうした鋼床版 1 0 0 では、重量車両の輪荷重が舗装面 1 0 4 に加わることで、デッキプレート 1 0 1 と縦リブ 1 0 2 との接合部分、縦リブ 1 0 2 と横リブ 1 0 3 との交差部分等に局部的に高い応力が生じるようになる。また、車両の車軸の通過のたびに応力変動が生じるため、応力頻度が必然的に高くなる。図 2 0 は、鋼床版 1 0 0 を下方から見た斜視図である。この例では、鋼床版 1 0 0 に疲労損傷が生じており、デッキプレート 1 0 1 において縦リブ 1 0 2 との接合部分に沿うように亀裂 1 0 1 a が生じたり、横リブ 1 0 3 において縦リブ 1 0 2 との交差部分に亀裂 1 0 3 b が生じるようになる。

## 【 0 0 0 6 】

鋼床版に関する疲労設計及び維持管理を検討する場合、通過車両の軸重（1つの車軸にかかる重量）とその作用頻度を定量的に把握し、疲労環境を把握することが重要となる。疲労環境の評価方法としては、軸重計を舗装内部あるいは舗装下に敷設して通過車両の重量を算出する方法が提案されているが、この方法では、軸重計自体に高い感度が要求されるため高価になり、設置工事が必要となることや軸重計のメンテナンスといった課題がある。

10

## 【 0 0 0 7 】

また、橋梁の主桁に設置したひずみ計から車両通過時のひずみ値を連続測定して軸重を算出手法として、通過車両重量算出手法（Weight - In - Motion；本明細書では、橋梁（Bridge）に用いるため、BWIM法と略称する）が提案されている。BWIM法では、橋梁を構成する部材に設置したひずみ計から取得したひずみ値を用いるため、舗装等の設置工事が不要で、交通を妨げることなく設置、測定及びメンテナンスを行える利点がある。また、測定結果の処理では、行列計算等の比較的簡便な算出処理を行えばよく、システムの構築が容易に行えるメリットがある。

20

## 【 0 0 0 8 】

非特許文献 1 では、BWIM法を用いて鋼床版における輪荷重の算出手法が提案されており、非特許文献 2 では、BWIM法を用いて鋼床版における軸重の算出手法が提案されているが、これらの算出手法では、縦リブに複数のひずみ計を設置して縦リブのひずみ値を測定し、測定結果に基づいて算出している。

## 【 0 0 0 9 】

また、非特許文献 3 では、全自動BWIMシステムを構築し、単純桁の桁橋、多径間連続橋梁の桁橋、鋼床版において長期間連続測定に実施し、車両重量とその頻度の特性を明らかにした。鋼床版を用いた橋として、図 1 9 に示すような 2 径間連続鋼床版箱桁橋の下り線（2 車線）に対して車両の走行方向に沿って 2 つの縦リブに 2 箇所ずつひずみ計を取り付け、車両の走行方向と直交する 1 つの横リブに 3 箇所ひずみ計を取り付けて合計 5 つのひずみ計の測定結果を用いて解析している。解析処理では、縦リブのひずみ計の測定結果に基づいて車両の走行位置を決定する。また、予め車両の走行位置に対応する車軸位置における影響線（所定の軸重の試験車両の走行による横リブの縦距の推移を示すグラフ）を設定しておき、横リブのひずみ計の測定結果に基づいて算出されたひずみ変動と車軸位置及び影響線により車両重量を算出するようにしている。特許文献 3 は、非特許文献 3 に関連する文献であるが、同様の手法を用いて車両重量を算出する点が記載されている。

30

40

## 【 0 0 1 0 】

また、特許文献 1 では、橋梁の床版の裏面に棒状の補助桁を取り付けるとともに補助桁の下面に歪みゲージを取り付け、歪みゲージによって床版の変形を歪みとして検出することで、床版上を走行する車両の軸重を計測し、計測値に基づいて車両の重量を測定する方法が記載されている。特許文献 2 では、1 測定位置に 1 つのひずみ計を設置し、3 軸以上の大型車両の軸間距離のデータを車種と共に軸間距離データベースに登録し、所定の基準軸重が通過したときの基準軸重ひずみ波形を記憶しておき、計測したひずみ波形から車軸が通過したタイミングを検出し、この通過タイミングから算出した軸間比率と、軸間距離データベースに登録された軸間距離から算出される軸間比率とを比較して、大型車両の軸間距離、車速および車種を特定し、車軸の通過タイミングに合わせて、基準軸重ひずみ波

50

形を時間軸上に配置したひずみ波形を生成し、基準軸重ひずみ波形と実際に計測された車両一台分のひずみ波形のデータとを比較して、各軸の軸重を算出する方法が記載されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0011】

【特許文献1】特許第3702238号公報

【特許文献2】特許第5164100号公報

【特許文献3】特許第3896465号公報

【非特許文献】

10

【0012】

【非特許文献1】小塩達也 外4名、鋼床版部材を用いた走行車両の輪重推定、構造工学論文集、1998年3月、Vol.44A、pp.1141-1151

【非特許文献2】Zhi-Gang X.外3名、Measurement of Truck Axle Weights by Instrumenting Longitudinal Ribs of Orthotropic Bridge, Journal of Bridge Engineering, ASCE, Vol.11, No.5, September/October, pp.526-532, 2006

【非特許文献3】小林裕介 外2名、リアルタイムWeigh-In-Motionによる長期交通荷重モニタリング、土木学会論文集、2004年11月、No.773/I-69、pp.99-111

【発明の概要】

20

【発明が解決しようとする課題】

【0013】

非特許文献1及び2では、鋼床版の縦リブに多数のひずみ計を設置して測定データを取得しているが、多くの測定データを取得するためのコストがかかり、測定データを記憶するためのシステム費用負担が大きくなるため、実際の交通状況に対応した車両重量測定方法として実用化を図る上で課題がある。非特許文献3では、ひずみ計の数を減らしてリアルタイムでの解析処理を可能としており、実用的であるものの車両重量に着目しているため軸重の精度に対して十分保証されているとはいえない。

【0014】

また、特許文献1では、補助桁の設置等を行う必要があり、鋼床版へ応用することは難しい。また、特許文献2では、1つのひずみ計により軸重を算出するようにしているが、十分な精度が得られにくく、3軸以上の大型車両の軸間距離のデータを車種と共に軸間距離データベースに登録し、所定の基準軸重が通過したときの基準軸重ひずみ波形を記憶することは、データの蓄積のための作業負担が大きくなる。

30

【0015】

そこで、本発明は、上述した従来技術の課題に鑑み、少ない数のひずみ計により鋼床版上を通過する車両の軸重を精度よく解析処理することができる通過車両重量解析処理装置及び方法を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0016】

40

本発明に係る通過車両重量解析処理装置は、縦リブ及び横リブを備えた鋼床版を当該縦リブが橋軸方向に沿うように設けた橋梁を通過する車両の軸重を解析処理する通過車両重量解析処理装置であって、車両通過時の前記縦リブ及び前記横リブのひずみを測定する測定部と、測定された前記縦リブのひずみに基づいて通過車両の仮軸重値を算出するとともに測定された前記横リブのひずみに基づいて算出された通過車両の車両重量値により当該仮軸重値を補正して軸重値を算出する処理部とを備えている。さらに、前記測定部は、前記縦リブの所定間隔を空けた2箇所の測定位置でひずみを測定するとともに当該測定位置の間において前記縦リブと交差する1箇所の測定位置で前記横リブのひずみを測定する。さらに、前記処理部は、測定された前記縦リブのひずみに基づいて車両の軸数、車両速度及び軸間隔を算出する測定処理部を備えている。さらに、前記処理部は、所定の重量を有

50

する試験車両の通過時に測定された前記縦リブ及び前記横リブのひずみに基づいて影響線を作成する影響線処理部を備えている。さらに、前記処理部は、車両通過時に測定された前記縦リブ及び前記横リブのひずみに合わせて前記影響線を配置してカーブフィッティング処理を行うカーブフィッティング処理部を備えている。さらに、前記処理部は、前記縦リブのひずみに対するカーブフィッティング処理により仮軸重値を算出して当該仮軸重値を合計した仮車両重量値を求めるとともに前記横リブのひずみに対するカーブフィッティング処理により車両重量値を算出し、当該車両重量値を当該仮車両重量値で割った補正係数を算出して当該仮軸重値に当該補正係数を掛け合わせて前記軸重値を算出す重量算出部を備えている。

【0017】

10

本発明に係る通過車両重量解析処理方法は、縦リブ及び横リブを備えた鋼床版を当該縦リブが橋軸方向に沿うように設けた橋梁を通過する車両の軸重を解析処理する通過車両重量解析処理方法であって、車両通過時の前記縦リブ及び前記横リブのひずみを測定し、測定された前記縦リブのひずみに基づいて通過車両の仮軸重値を算出し、測定された前記横リブのひずみに基づいて通過車両の車両重量値を算出し、前記車両重量値により前記仮軸重値を補正して軸重値を算出する。

【発明の効果】

【0018】

本発明によれば、少ない数のひずみ計により鋼床版上を通過する車両の軸重を精度よく解析処理することができる。

20

【図面の簡単な説明】

【0019】

【図1】3軸車両が通過した場合の縦リブに取り付けたひずみ計のひずみ応答を示すグラフである。

【図2】3軸車両が通過した場合の横リブに取り付けたひずみ計のひずみ応答を示すグラフである。

【図3】3軸車両によって生じるひずみ履歴に対する影響線と実ひずみのカーブフィッティングを示す説明図である。

【図4】車両の走行位置をずらした場合の縦リブのひずみ変動を示すグラフである。

【図5】通過車両重量解析処理装置に関する概略構成図である。

30

【図6】軸重の算出処理に関するフローである。

【図7】縦リブ及び横リブにひずみ計を取り付けた状態を示す模式図である。

【図8】縦リブのひずみに関する影響線を示すグラフである。

【図9】横リブのひずみに関する影響線を示すグラフである。

【図10】解析対象とした橋梁の鋼床版に関する平面図である。

【図11】走行試験に用いる試験車両の軸重を示す表である。

【図12】走行試験の内容を示す表である。

【図13】算出された軸重値と図11に示す軸重値とを比較して求めた誤差分布を示すグラフである。

【図14】横リブ軸重値と図11に示す軸重値とを比較して求めた誤差分布を示すグラフである。

40

【図15】7日間連続して測定したひずみから算出した軸重値の頻度分布である。

【図16】算出した最大の軸重値のひずみ履歴を示すグラフである。

【図17】測定されたひずみ履歴の中で特徴的な例を示すグラフである。

【図18】5軸車両として軸間距離及び軸重を算出した結果を示すグラフである。

【図19】道路の橋梁に使用されている鋼床版の一例に関する概略構成図である。

【図20】鋼床版を下方から見た斜視図である。

【発明を実施するための形態】

【0020】

以下、本発明について具体的に説明する。鋼床版は、図19に示すように、デッキプレ

50

ートの下面に複数の縦リブが配列されて溶接固定されており、これらの縦リブに直交するように横リブが所定間隔で配置されて溶接固定されている。縦リブの長手方向が車両の走行方向となるように鋼床版を設置して橋梁を施工した場合、車両が通過した際の縦リブ及び横リブの活荷重ひずみ応答は大きく異なっている。図1は、停止時の計測重量が207.6kNの3軸車両が通過した場合の縦リブに取り付けたひずみ計のひずみ応答を示すグラフであり、図2は、横リブに取り付けたひずみ計のひずみ応答を示すグラフである。図1及び図2では、縦軸に測定されたひずみを取り、横軸に時間をとっている。図1に示す縦リブのひずみでは、3つのピークが測定されており、3つの車軸が通過したことが捉えられている。これに対して、図2に示す横リブのひずみでは、2つのピークが測定されており、最初の車軸の通過は捉えられているものの2番目及び3番目の車軸の通過は重なり合っ

10

#### 【0021】

図3は、3軸車両によって生じるひずみ履歴に対する影響線と実ひずみのカーブフィッティングを示す説明図である。影響線は、単位荷重を車両の通過方向に移動させた場合のひずみの時間的な推移を示すもので、車両のひずみ履歴に基づいて求められる。影響線を各軸の通過タイミングが一致するように(ピークの時点が一致するように)各軸に対応させて重ね合わせる。そして、最小二乗法を用いて実ひずみとの誤差が最も小さくなるように各影響線の値を線形倍することで、カーブフィッティング処理を行う。この例では、縦リブの実ひずみと比較し、1軸目の影響線をP1倍、2軸目の影響線をP2倍及び3軸目の影響線をP3倍することで、実ひずみとの誤差を最も小さくすることができる。そして、求められた線形倍の数値P1、P2及びP3が各軸の軸重となる。

20

#### 【0022】

横リブの実ひずみの場合には、図2に示すように、ひずみの立ち上がりが縦リブのひずみと比較してなだらかであるため、縦リブの実ひずみで算出された線形倍P1、P2及びP3を用いて再構成された仮想ひずみでは、近接した軸の影響線が重なり合い、2つの軸の誤差の差異が大きい場合でも両者の合計値の誤差二重和が変化しにくいと考えられる。これに対して、縦リブの実ひずみの場合には、図3に示すように、軸の通過が明瞭に捉えられているため、近接軸の影響が小さくなると考えられる。

30

#### 【0023】

また、横リブのひずみ応答は、縦リブのひずみ応答と比較すると、車両の走行位置が橋軸の直交方向(横リブの長手方向)に変動した場合の変動幅が小さくなる。これは、横リブは、橋軸の直交方向に荷重が伝達されることや縦リブよりも高剛性であるためと考えられる。これに対して、縦リブのひずみ応答は、橋軸の直交方向への車両の走行位置の変動に対して変動しやすく、軸重の算出に影響が生じるようになる。図4は、車両の走行位置をずらした場合の縦リブのひずみ変動を示すグラフである。この例では、ひずみ計が取り付けられた縦リブから走行位置がずれたことで、測定されるひずみが小さくなっている。このように、ひずみ計を取り付けた縦リブに対して車両の走行位置がずれると、測定されるひずみ値が変動し、上述したカーブフィッティング処理でひずみ値により算出された軸重も変動することになる。しかしながら、同じ車両において算出された各軸重の比率は、車両の走行位置により精度が変動することなく維持される。

40

#### 【0024】

非特許文献3において指摘されているように、鋼床版の横リブのひずみ応答に基づいてB W I M法により高い精度の車両重量が算出することが可能で、橋軸の直交方向の車両の走行位置に対する影響を受けにくいことが確認されている。そのため、車両の通行位置に対して変動しやすい縦リブのひずみ応答に基づいて算出された軸重を横リブのひずみ応答に基づく車両重量により補正することで、精度の高い軸重が得ることができる。補正方法としては、縦リブのひずみ応答に基づいて算出された軸重を仮軸重値とし、横リブのひずみ応答に基づいて算出された車両重量値に対して仮軸重値を合計した仮車両重量値により割った値を補正係数とし、求められた補正係数を仮軸重値に掛け合わせて補正された軸重

50

値が得られる。

【 0 0 2 5 】

図 5 は、通過車両重量解析処理装置に関する概略構成図である。通過車両重量解析処理装置は、縦リブ及び横リブに取り付けられたひずみ計によりひずみを測定する測定部 1、測定されたひずみに基づいて通過車両の軸重及び車両重量といった重量を算出する処理部 2、重量の算出処理に必要なプログラム及び影響線等のデータ、測定結果並びに処理結果を記憶する記憶部 3、及び測定結果や処理結果を表示する出力部 4 を備えている。処理部 2、記憶部 3 及び出力部 4 については、パーソナルコンピュータ等の情報処理装置を用い、必要なプログラムを入力することで各部の機能を実現することができる。

【 0 0 2 6 】

測定部 1 は、通過車両の車線毎に縦リブに取り付けられた 2 つのひずみ計 S 1 及び S 2 及び横リブに取り付けられた 1 つのひずみ計 S 3 を備えており、車両通過時の縦リブ及び横リブのひずみを連続測定して処理部 2 に出力する。ひずみ計 S 1 及び S 2 は、縦リブの所定間隔を空けた 2 箇所での測定位置で縦リブのひずみを測定するとともに、ひずみ計 S 3 は、2 箇所の測定位置の間において縦リブと交差する 1 箇所の測定位置で横リブのひずみを測定する。

【 0 0 2 7 】

処理部 2 は、測定処理部 2 0、影響線処理部 2 1、カーブフィッティング処理部 2 2 及び重量算出部 2 3 を備えている。測定処理部 2 0 は、測定されたひずみに基づいて車両の軸数、車両速度及び軸間隔を算出する。影響線処理部 2 1 は、試験車両の通過時に測定されたひずみに基づいて影響線を作成し、実際の車両の通過時に測定されたひずみに対応して変換処理を行う。カーブフィッティング処理部 2 2 は、実際の車両の通過時に測定されたひずみに合わせて影響線を配置するとともに影響線を線形倍して測定されたひずみに一致するようにカーブフィッティング処理を行う。重量算出部 2 3 は、縦リブのひずみに対するカーブフィッティング処理により仮軸重値を算出するとともに横リブのひずみに対するカーブフィッティング処理により車両重量値を算出し、車両重量値に基づいて仮軸重値を補正することで軸重値を得る。仮軸重値の補正処理は、車両重量値を仮車両重量値で割った補正係数を算出し、仮軸重値に補正係数を掛け合わせて軸重値を算出すればよい。

【 0 0 2 8 】

なお、通過車両重量解析処理装置を用いて通過車両を監視する装置を構成することができる。例えば、処理部 2 に、算出された軸重値と所定の閾値（例；100 kN）とを比較して違反車両であるか判定する判定処理部を設け、通過車両を撮影するカメラから取得する車両画像とリンクさせることで、違反車両を特定する通過車両監視装置としても使用することができる。高速道路などの有料道路では料金所に軸重計が敷設されているケースがあるが、一般道では軸重の監視が難しい。本手法では、鋼床版の裏側に設置するため、敷設工事等が不要で、運転者にも気づかれることなく軸重の監視を行うことができる。

【 0 0 2 9 】

図 6 は、軸重の算出処理に関するフローである。この場合、後述する車両の軸数、車両速度及び軸間隔を得るために、縦リブには、同じ縦リブに所定間隔を空けて 2 つのひずみ計を取り付ける。また、横リブには、2 つのひずみ計の間で縦リブと交差する箇所に 1 つのひずみ計を取り付ける。図 7 は、縦リブ及び横リブにひずみ計を取り付けた状態を示す模式図であり、縦リブの 2 つのひずみ計のひずみの時間的推移を示すグラフを併せて記載している。縦リブには、ひずみ計 S 1 及び S 2 を間隔  $d$  を空けて取り付けており、ひずみ計 S 1 及び S 2 の間には、横リブにひずみ計 S 3 が取り付けられている。

【 0 0 3 0 】

車両の軸数  $m$  は、ひずみ計 S 1 及び S 2 のいずれか一方のひずみ履歴に現れるピーク数に基づいて決定することができる。この例では、 $m = 3$  であることがわかる。縦リブは、車両の通過方向（橋軸の方向）に沿って配列されているので、2 つのひずみ計 S 1 及び S 2 のひずみ履歴に基づいて、車両速度及び軸間隔を算出することができる。車両速度  $v$  は、ひずみ計 S 1 及び S 2 の同じ軸に対応するピーク間の時間差  $t$  を求め、 $v = d /$

10

20

30

40

50

tで算出することができる。軸間隔は、ひずみ計S1及びS2のいずれか一方のひずみ履歴の2つの軸に対応するピークの間隔の時間差で設定する。軸間隔を長さで表わす場合には、軸間隔に車両速度vを掛け合わせることで求めることができる。この例では、ひずみ計S2のひずみ履歴を用いて、1番目の軸と2番目の軸との間の軸間隔が $\Delta_2$ 、1番目の軸と3番目の軸との間の軸間隔が $\Delta_3$ にそれぞれ設定される。

#### 【0031】

まず、予め軸重がわかっている車両を走行させて、縦リブ及び横リブのひずみを測定する(S100)。そして、フーリエ変換を用いた公知の手法により縦リブ及び横リブの影響線を求める(影響線を求める手法については、例えば、館石和雄 外2名、鋼橋部材に生じる局部応力の発生メカニズムと要因分析、土木学会論文集、No.507/I-30、pp.109-119、1995年1月 参照)(S101)。図8は、縦リブのひずみに関する影響線を示すグラフであり、図9は、横リブのひずみに関する影響線を示すグラフである。図8及び図9に示すグラフでは、ひずみ計を設置した直上の車線において基準位置からの車両の通過方向に沿うように移動する距離を横軸にとり、縦軸にひずみの大きさをとっている。縦リブ及び横リブの影響線を比較すると、縦リブは、ひずみの立ち上がりが横リブよりもシャープであることがわかる。横リブは、上り車線及び下り車線が複数設定されている場合に、対向車線の車両の通過による影響が入りやすいため、対向車線に車両が通過した場合の影響線も求めておく。こうして求められた影響線に基づいて車両の通過に合わせて測定されたひずみを用いて実際に通過する車両の軸重の算出処理を行う。

#### 【0032】

縦リブ及び横リブに取り付けられた3つのひずみ計で測定を行い(S102)、得られたひずみ値からモード値を求める。モード値としては、例えば、連続的に測定したひずみ値のうち、5分間分のひずみ値における最頻値とすればよい。ひずみ値からモード値を差し引くことにより、活荷重ひずみ(活荷重によって生じるひずみ)を求める。求められた活荷重ひずみは、ローパスフィルタに通すフィルタ処理を行うことで、走行に伴う動的な効果を消去しておく(S103)。

#### 【0033】

次に、同じ縦リブに橋軸方向に間隔を空けて2箇所に設置されたひずみ計から得られたひずみ履歴に基づいて、上述したように、軸数、車両速度及び軸間隔を算出する(S104)。算出された車両速度から、図8及び図9に示す距離に対応した影響線を、図3に示す影響線のように時間に対応したものに変換する(S105)。そして、算出された軸数及び軸間隔に基づいて、図3に示すように、変換された影響線を軸数分配置し、横リブ及び縦リブのそれぞれのひずみ履歴上に各軸の通過タイミングが一致するように各軸に対応させて重ね合わせる(S106)。

#### 【0034】

縦リブについて最小二乗法を用いて影響線をひずみ履歴にカーブフィッティングさせて(S107)仮軸重値及び仮軸重値を合計した仮車両重量値を得る(S108)。また、横リブについても最小二乗法を用いて影響線をひずみ履歴にカーブフィッティングさせて(S109)各軸重値を合計した車両重量値を得る(S110)。そして、横リブのひずみ履歴から得られた車両重量値を縦リブのひずみ履歴から得られた仮車両重量値で割ることで補正係数を算出し、仮軸重値に補正係数を掛け合わせて軸重値を算出する(S111)。

#### 【実施例】

#### 【0035】

以下、実施例に基づいて本発明をさらに詳細に説明するが、本発明は、本実施例により何ら限定されるものではない。

#### 【0036】

<軸重の算出について>

図10は、解析対象とした橋梁の鋼床版に関する平面図である。鋼床版は、図19に示すように、複数の縦リブ(図10に左右方向の黒い線で示す)及び複数の横リブ(図10

10

20

30

40

50



に上下方向の黒い線で示す)を交差させており、左右方向の上下2車線の道路として使用される。上り車線に対応させて同じ縦リブの2箇所にひずみ計S1及びS2をそれぞれ取り付け、取り付けた2つのひずみ計S1及びS2の間において、横リブにはそれぞれの縦リブと交差する箇所に1つのひずみ計をそれぞれ配置した。下り車線においても上り車線と同様にひずみ計S1'、S2'及びS3'をそれぞれ配置した。そのため、各車線には、縦リブ用の2つのひずみ計と横リブ用の1つのひずみ計が橋軸方向(車両の通過方向)に沿うように設置されている。ひずみ計としてひずみセンサ(神興電線株式会社製)を用い、ひずみセンサに接続したアナライザ(MicronOptics社製)により250Hzで測定値を動的に取得した。

【0037】

10

図10に示す左から右に向かう上り車線に設置したひずみ計S2の測定値に基づいて、軸数、車両速度及び軸間隔を算出した。また、仮軸重値については、縦リブにおいて車両の通過方向下流側のひずみ計S1の測定値に基づいて算出した。なお、図10に示す右から左に向かう下り車線については、対向車線の車両の通過に伴う影響を定量的に算出するために用いた。

【0038】

比較のため、非特許文献3に記載された公知の手法により横リブのひずみ履歴から軸重を算出した(算出された軸重値は、以下「横リブ軸重値」と称する)。

【0039】

<算出された軸重の精度について>

20

停止状態で軸重を予め測定した車両を用いて、図10に示す上り車線上を走行する試験を行った。算出された軸重値の精度については、横リブ軸重値と比較して検証した。

【0040】

試験車両は、図10に示す3軸車両、5軸車両及び6軸車両の3台を用いた。図11に示すように、各車両の軸重が予め測定されている。走行試験の内容は、図12に示す。解析の対象となる上り車線を走行する回数は、3軸車両が10回、5軸車両が5回、6軸車両が5回であり、車両の軸通過回数は合計85回である。図中の各欄の括弧内の数字は、車両の走行速度を示している。

【0041】

本手法により求められた軸重値と図11に示す軸重値とを比較して誤差を求めた。求められた誤差分布を図13に示す。同様に横リブ軸重値と図11に示す軸重値とを比較して求めた誤差分布を図14に示す。両者の誤差分布を比較すると、標本数85の標本平均については、-2.1%と同じ値となったが、標準偏差については、本手法では6.7%と、横リブ軸重値の場合よりも小さくなり、誤差のばらつきが抑えられていることがわかる。特に、1回のみ20%を超えたものの残りの84回については誤差が20%未満となっている。誤差が20%を超えたケースについても、3軸車両の単独走行の際に、走行時の動的な効果が比較的大きく作用した結果、特異な結果を招いたと推測される。以上の解析結果からみれば、従来の手法に比べて精度が向上したことがわかる。

30

【0042】

次に、求められた誤差分布が正規分布に従うと仮定し、母集団の誤差平均 $\mu$ を推定する。誤差は、算出軸重値/停止時測定軸重値により求められるが、標本数である軸通過回数が85回と比較的大きいので、t分布ではなく、正規分布とした。 $\mu$ の信頼限界は、標本数 $n$ 、標本平均 $\bar{x}$ 、標本標準偏差 $s$ 、信頼係数 $z$ を用いて次の式で表される。

40

【0043】

【数1】

$$\mu\text{の信頼限界} = \bar{x} \pm z \cdot \frac{s}{\sqrt{n}}$$

【0044】

50

95%信頼係数のもとで、 $z = 1.96$ であるから、これを代入すると、本手法で求めた軸重値と横リブ軸重値の母集団の平均誤差は、以下の通りとなる。

本手法の軸重値；  $-3.53 \quad \mu \quad -0.66$

横リブ軸重値；  $-5.91 \quad \mu \quad 1.69$

また、各軸重値の誤差についての標準偏差を推定する。の信頼限界は、カイ二乗分布を用いると、次の式で表される。

【0045】

【数2】

$$\sigma \text{の信頼限界} = \sqrt{\frac{(n-1)s^2}{\chi^2(m)}}$$

10

ここで、自由度  $m$  は、 $m = n - 1$  である。

【0046】

【数3】

$$\chi_{0.975}^2(84) = 60.72$$

$$\chi_{0.025}^2(84) = 111.08$$

20

であるから、95%信頼係数のもとで、本手法で求めた軸重値と横リブ軸重値の母集団の誤差標準偏差は、以下の通りとなる。

本手法の軸重値；  $5.82 \quad \mu \quad 7.87$

横リブ軸重値；  $15.54 \quad \mu \quad 21.02$

本手法で求めた軸重値では、誤差の標準偏差が横リブ軸重値の場合と比較して狭い範囲となっていることがわかる。

【0047】

<実際の通過車両の測定について>

30

図15は、7日間連続して測定したひずみから算出した軸重値の頻度分布である。横軸に算出軸重 ( $\times 10 \text{ kN}$ ) をとり、縦軸に底を10とする対数表記で頻度 (回) をとっている。この頻度分布をみると、ピークとなった頻度から軸重が増えるにしたがって、10の指数に反比例する傾向を示している。道路運送車両法において  $100 \text{ kN}$  を超える軸重は違反行為とされているが、1793回の違反軸重の通過が認められた。さらに、床版設計用のT荷重  $200 \text{ kN}$  を超える軸重も31回の通過が認められた。

【0048】

算出した最大の軸重値は、 $293.1 \text{ kN}$  であった。このときのひずみ履歴を図16に示す。図16に示す縦リブのひずみ履歴をみると、4軸車両であると推定することができる。また、ひずみの最大値については、縦リブで  $180 \mu$ 、横リブで  $250 \mu$  を超えており、図4に示す20トンの車両のひずみと比較して、かなり重い車両であることがわかる。本手法により算出された車両重量は  $827.0 \text{ kN}$  であり、明らかに過積載車両である。軸重については、1軸目 ( $112.9 \text{ kN}$ )、2軸目 ( $131.9 \text{ kN}$ )、3軸目 ( $293.1 \text{ kN}$ )、4軸目 ( $289.0 \text{ kN}$ ) であった。前2軸については  $100 \text{ kN}$  を超えており、後2軸については約  $290 \text{ kN}$  に達しており、T荷重を大幅に超える軸重の通過が判明した。

40

【0049】

図17は、測定されたひずみ履歴の中で特徴的な例を示している。この例では、縦リブのひずみ履歴からみて5軸車両と推定され、図18には、5軸車両として軸間距離及び軸重を算出した結果を示す。算出された軸間距離からみると、2軸目から5軸目までほぼ等

50

間隔となる軸配置となっている。国内車両メーカーが製造販売している5軸車に絞って調査したところ、軸間距離からオールテレーンクレーン車両と推定された(図18の模式図参照)。軸間距離からみた類似度は、以下に示す内積により判定することができる。

【0050】

【数4】

$$\cos \theta = \frac{A \cdot B}{|A||B|}$$

10

ここで、ベクトルAはひずみのピーク値の間隔から求めた軸間距離であり、ベクトルBは車両メーカーのカタログに記載された軸間距離である。この場合、cosの値が1に近いほど類似度が高いと判定される。この車両に関する類似度は0.9988となり、ほぼ5軸のオールテレーンクレーン車両であると特定することができる。

【0051】

カタログでは、前3軸及び後2軸のキャリア部軸量が記載されているため、これを用いて、前3軸及び後2軸の軸量の算出結果と比較した。図18に示すように、算出軸重を合計した車両重量は694.9kNであり、この値からキャリア部のカタログ値である196.2kN(前3軸)及び172.8kN(後2軸)を差し引いた値(キャリア部以外の重量に相当)に、カタログ値の前3軸及び後2軸の比率で、前3軸及び後2軸に配分して前3軸及び後2軸にかかる補正軸量を算出した。前3軸については、算出軸重と補正軸重で誤差が5.8%となり、後2軸については、誤差が-6.5%となった。ブーム部の重量が前3軸と後2軸に対してキャリア部軸重と同じ比率で作用していると仮定しているため、参考値としての評価となるが、このような特徴的な軸配置を有する車両においても本手法を用いることで軸重の推定が可能である。なお、この例では、キャリア部にブーム部を積載した状態で走行していることが推定されるが、オールテレーンクレーン車については、道路運送車両法においてブーム部とキャリア部を分解したうえで搬送することとなり、違反行為であることがわかる。

20

【0052】

また、縦リブに取り付けられた2つのひずみ計のひずみ履歴を用いることで、通過車両の速度を推定することが可能で、法定速度を超えた速度で走行している車両を特定することも可能である。

30

【0053】

以上説明したように、車両通過時の縦リブのひずみに基づいて算出された仮軸重値を横リブのひずみに基づいて算出された車両重量値により補正して軸重値を算出することで、高精度の軸重を得ることができる。また、縦リブのひずみに基づいて求められた通過車両の軸数、軸間隔及び車両速度から過積載車両等の違反車両を監視することもできる。

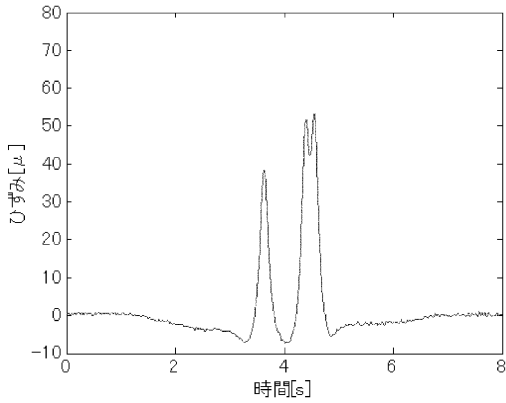
【符号の説明】

【0054】

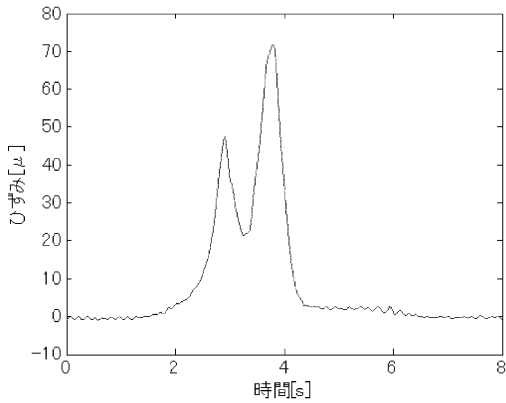
1・・・測定部、2・・・処理部、3・・・記憶部、4・・・出力部、20・・・測定処理部、21・・・影響線処理部、22・・・カーブフィッティング処理部、23・・・重量算出部

40

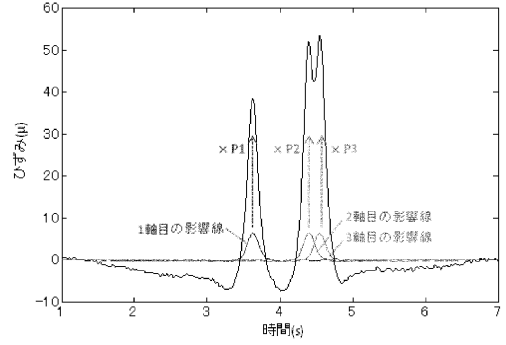
【図1】



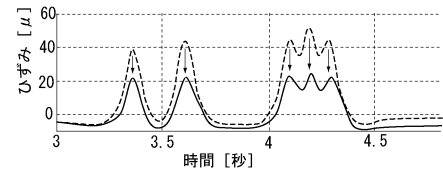
【図2】



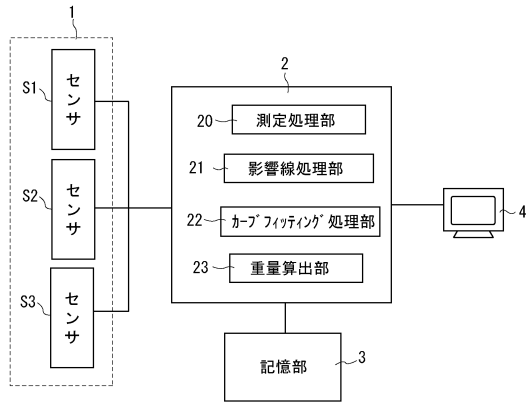
【図3】



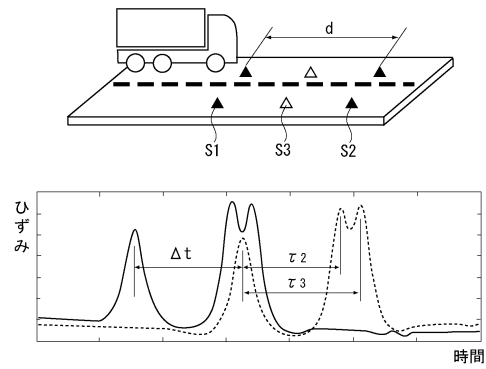
【図4】



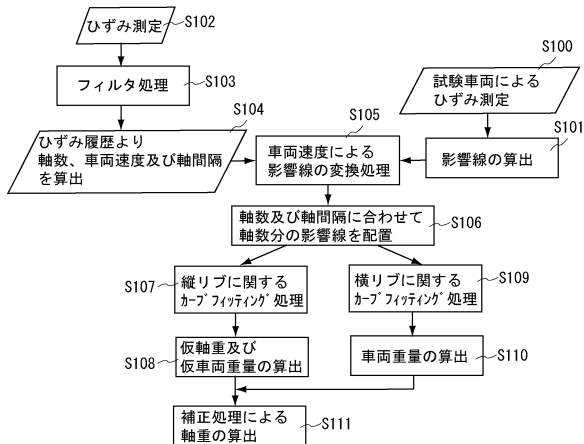
【図5】



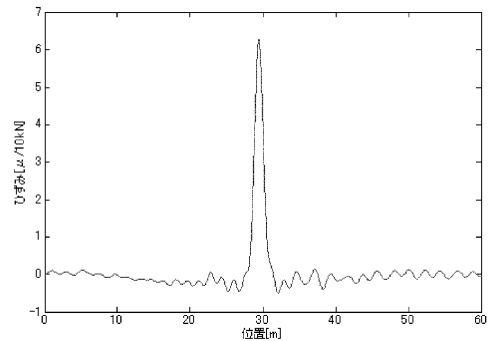
【図7】



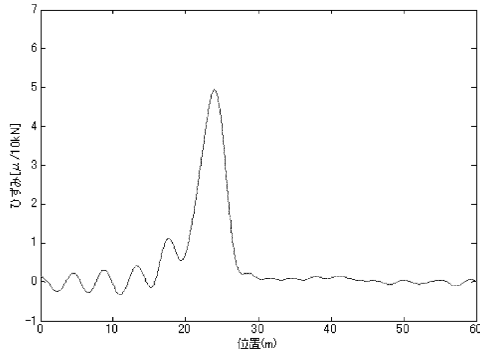
【図6】



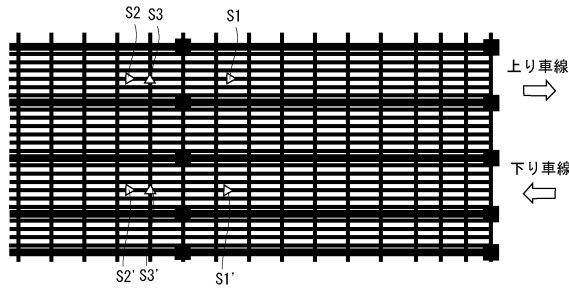
【図8】



【図 9】



【図 10】



【図 11】

試験車両の停止時記録軸重と総重量 (kN)

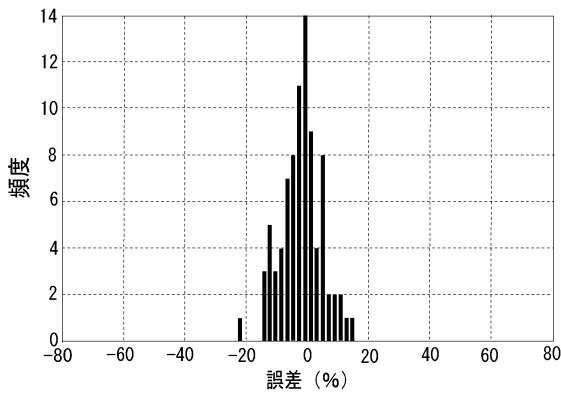
	3軸車	5軸車	6軸車
1軸目	63.5	58.4	53.0
2軸目	72.0	67.4	62.5
3軸目	72.1	61.0	55.3
4軸目		55.6	78.5
5軸目		67.7	67.6
6軸目			94.4
総重量	207.6	310.1	411.3

【図 12】

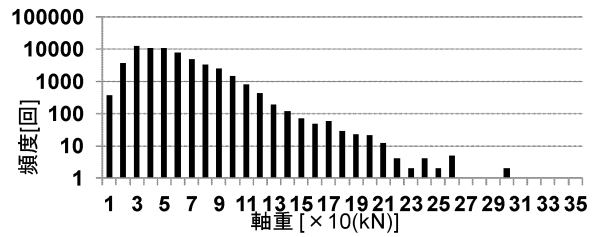
走行試験概要

回	概要 (速度 km/h)
1	上り車線 3軸車単独走行(30)
2	上り車線 3軸車単独走行(40)
3	上り車線 3軸車単独走行(50)
4	上り車線 3軸車単独走行(60)
5	上り車線 3軸車単独走行(70)
6	上り車線 3軸車単独走行(50)
7	上り車線 3軸車単独走行(40)
8	上り車線 3軸車単独走行(50)
9	上り車線 3軸車単独走行(60)
10	上り車線 3軸車単独走行(50)
11	上り車線 6軸車単独走行(30)
12	上り車線 5軸車単独走行(50)
13	上り車線 6軸車単独走行(30)
14	上り車線 5軸車単独走行(50)
15	上り車線 6軸車(先行), 5軸車連行走行(40)
16	上り車線 5軸車(先行), 6軸車連行走行(40)
17	上り車線 6軸車(30), 下り車線 5軸車(30)すれ違い
18	上り車線 5軸車(30), 下り車線 6軸車(30)すれ違い

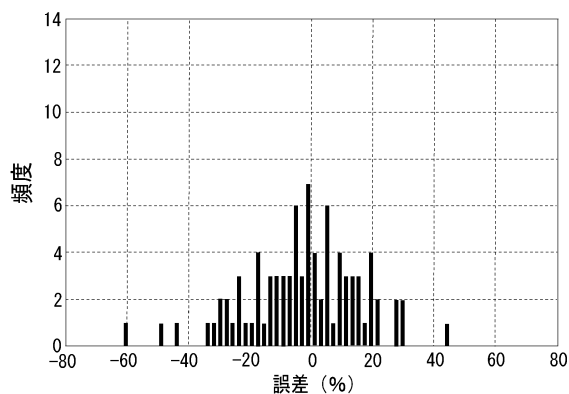
【図 13】



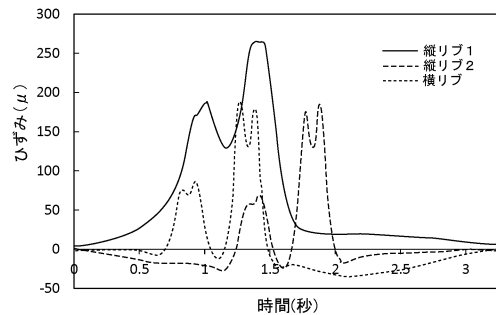
【図 15】



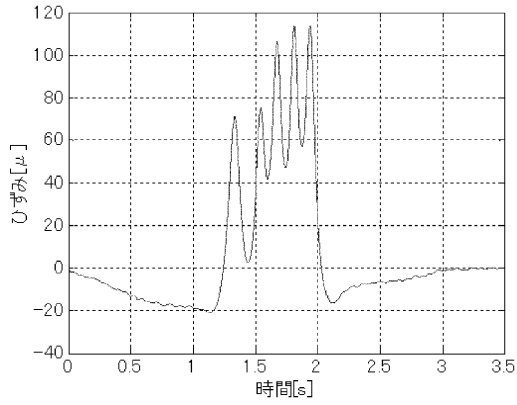
【図 14】



【図 16】

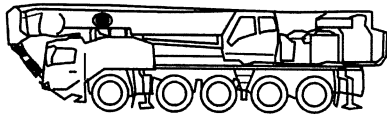


【図17】

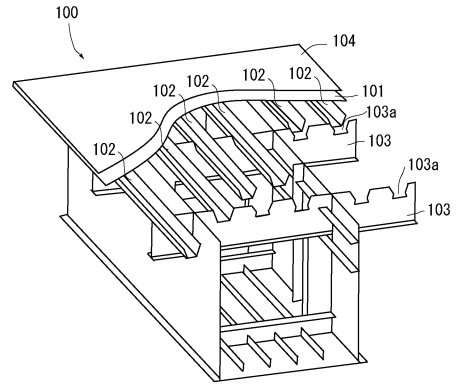


【図18】

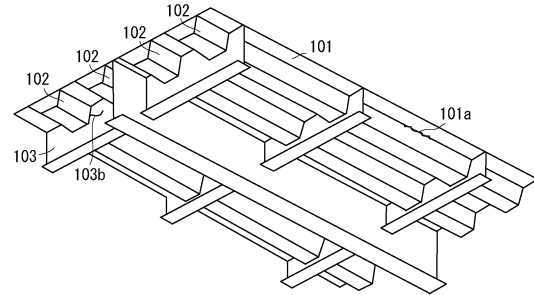
軸間距離 (前軸との距離), 軸重						
	1軸目	2軸目	3軸目	4軸目	5軸目	計
軸距(m)	0	2.65	1.65	1.70	1.60	7.60
カタログ軸距(m)	0	2.54	1.65	1.85	1.65	7.69
算出軸重(kN)	120.0	120.6	149.4	151.1	153.8	694.9
	390.0		304.9			
キャリア部 カタログ 軸重(kN)	196.2		173.6			369.8
推定ブーム 部重量(kN)	172.5		152.6			325.1
推定重量 (kN)	368.7		326.2			694.9



【図19】



【図20】



---

フロントページの続き

- (56)参考文献 特許第3702238(JP, B2)  
特許第5164100(JP, B2)  
特許第3896465(JP, B2)  
特許第5506599(JP, B2)  
特許第5153572(JP, B2)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01G19

G08G1