

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4523718号  
(P4523718)

(45) 発行日 平成22年8月11日(2010.8.11)

(24) 登録日 平成22年6月4日(2010.6.4)

(51) Int. Cl.		F I	
<b>B60M</b>	<b>1/28</b>	<b>(2006.01)</b>	B60M 1/28 R
<b>G01H</b>	<b>5/00</b>	<b>(2006.01)</b>	G01H 5/00
<b>G01L</b>	<b>5/10</b>	<b>(2006.01)</b>	G01L 5/10 Z

請求項の数 4 (全 10 頁)

(21) 出願番号	特願2000-375656 (P2000-375656)	(73) 特許権者	000173784
(22) 出願日	平成12年12月11日(2000.12.11)		財団法人鉄道総合技術研究所
(65) 公開番号	特開2002-178797 (P2002-178797A)		東京都国分寺市光町2丁目8番地38
(43) 公開日	平成14年6月26日(2002.6.26)	(74) 代理人	100100413
審査請求日	平成19年4月11日(2007.4.11)		弁理士 渡部 温
		(72) 発明者	池田 充
			東京都国分寺市光町二丁目8番地38 財
			団法人 鉄道総合技術研究所内
		(72) 発明者	網干 光雄
			東京都国分寺市光町二丁目8番地38 財
			団法人 鉄道総合技術研究所内
		(72) 発明者	白田 隆之
			東京都国分寺市光町二丁目8番地38 財
			団法人 鉄道総合技術研究所内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 トロリ線の波動伝播速度測定方法及びトロリ線の張力測定方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

トロリ線からパンタグラフを介して電車に給電する電気鉄道におけるトロリ線の波動伝播速度測定方法であって；

前記電車を走らせながら、前記トロリ線と前記パンタグラフの間に作用する接触力変動を、前記電車の車体上で測定し、

この接触力変動を周波数成分に分解して卓越成分を抽出し、

この卓越成分から前記トロリ線の動的波動に関連する成分（トロリ線波動成分）を抽出し、

該トロリ線波動成分に基づき前記トロリ線の波動伝播速度を求めることを特徴とするトロリ線の波動伝播速度測定方法。 10

【請求項2】

前記トロリ線の波動伝播速度を次式により算出することを特徴とする請求項1記載のトロリ線の波動伝播速度測定方法；

トロリ線の空間周期構造を表す波数を  $k_L$ 、この空間周期構造により生じる前記波動成分の周波数を電車速度  $v$  で無次元化したときの波数を  $k_v$ 、前記電車速度をトロリ線の波動伝播速度で正規化した無次元化速度を  $v$  とするとき、

$$k_v = \{ (1 + v) / (1 - v) \} \times k_L .$$

【請求項3】

前記卓越成分を前記トロリ線のハンガ間隔に基づき抽出することを特徴とする請求項1 20

又は2記載のトロリ線の波動伝播速度測定方法。

【請求項4】

トロリ線からパンタグラフを介して電車に給電する電気鉄道におけるトロリ線の張力測定方法であって；

前記電車を走らせながら、前記トロリ線と前記パンタグラフの間に作用する接触力変動を、前記電車の車体上で測定し、

この接触力変動を周波数成分に分解して卓越成分を抽出し、

この卓越成分から前記トロリ線の動的波動に関連する成分（トロリ線波動成分）を抽出し、

該トロリ線波動成分に基づき前記トロリ線の波動伝播速度を求め、

さらにレーザセンサ等により前記トロリ線の厚みを測定し、

このトロリ線の厚みと前記波動伝播速度から前記トロリ線の張力を測定することを特徴とするトロリ線の張力測定方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、トロリ線とパンタグラフとの間に作用する接触力を走行中の車両上で測定し、その測定値に基づいてトロリ線の波動伝播速度を測定する方法に関する。

【0002】

【背景技術及び発明が解決しようとする課題】

現状の営業用の電気鉄道においては、トロリ線からパンタグラフを介して車体に電力を送る方式が一般的である。トロリ線とパンタグラフの舟体との接触力は、トロリ線の高さ変動や車両・パンタグラフの振動等に応じて変動する。この接触力の変動が大きすぎると、パンタグラフの舟体がトロリ線から離れる離線が生じるおそれがある。離線が頻発すると、トロリ線とパンタグラフの舟体の間にスパークが生じて、摺り板の損耗が進み、問題となる。離線に至らない場合でも、パンタグラフの接触力の変動は極力小さい方がよい。

【0003】

そこで、電車の走行中におけるトロリ線とパンタグラフとの接触力を測定し、得られた測定結果を離線の抑制対策の参考としたいとの要請がある。あるいは、このような接触力の測定技術は、離線の抑制対策だけではなく、架線-パンタグラフ系の集電性能の評価や、電車線の設備診断方法の1つとして活用することも考えられている。

【0004】

このようなパンタグラフの接触力測定技術としては、例えば特願平11-191611号や特願2000-122299号を挙げることができる。

特願平11-191611号のパンタグラフの接触力測定方法は、パンタグラフの舟体の慣性力を舟体の摺り板を含む2ヶ所の縦断面間の弾性変形を考慮した上で求め、この慣性力を別途求めた舟体にかかっている力から差し引きすることにより、舟体の上下方向の接触力を求めるものである。

【0005】

特願2000-122299号のパンタグラフの接触力測定方法は、パンタグラフの舟体の慣性力を舟体の摺り板を含む2ヶ所の縦断面におけるねじりモーメントと、これらの縦断面間に作用する回転慣性とに基づいて舟体のねじりモーメントを求め、このねじりモーメントに基づきトロリ線と舟体との間に働く前後方向の接触力をも求めるものである。

なお、本明細書においては、通常、「舟体」は摺り板を含む広い意味で用いる。

【0006】

これらの接触力測定技術により、トロリ線とパンタグラフの舟体との接触力（上下方向及び前後方向）をより正確に求めることが可能となった。

ところで、最近では、架線-パンタグラフ系の動的挙動を決定付ける重要なパラメータである、トロリ線の波動伝播速度を測定する技術が求められている。

【0007】

10

20

30

40

50

この波動伝播速度を測定する方法としては、架線側に直接センサ等を取り付けて波動伝播速度を測定する方法が、これまで多数提案されている（例えば特開平10-176968号公報等）。しかしながら、パンタグラフ側の情報に基づきトロリ線の波動伝播速度を測定する方法は、現在提供されていない。

本発明は、このような事情に鑑みてなされたものであって、走行中の車両上で測定したパンタグラフの接触力変動に基づき、トロリ線の波動伝播速度又は張力を測定できる方法を提供することを目的とする。

【0008】

【課題を解決するための手段及び発明の実施の形態】

上記の課題を解決するため、本発明のトロリ線の波動伝播速度測定方法は、トロリ線からパンタグラフを介して電車に給電する電気鉄道におけるトロリ線の波動伝播速度測定方法であって；前記電車を走らせながら、前記トロリ線と前記パンタグラフの間に作用する接触力変動を、前記電車の車体上で測定し、この接触力変動を周波数成分に分解して卓越成分を抽出し、この卓越成分から前記トロリ線の動的波動に関連する成分（トロリ線波動成分）を抽出し、該トロリ線波動成分に基づき前記トロリ線の波動伝播速度を求めることを特徴とする。

【0009】

トロリ線の波動伝播速度は、架線 - パンタグラフ系の動的挙動を決定付ける重要なパラメータである。本発明によれば、トロリ線とパンタグラフ間に作用する接触力変動に基づき、走行中の電車上でパンタグラフ側からの情報によりトロリ線の波動伝播速度を測定することができる。これにより、従来、地上において行われていたトロリ線の設備診断作業が不要になり、さらに、走行中の電車により1度に多数のドラム区間（1ドラム = トロリ線の1単位（約1.5km））を測定できるので、トロリ線の設備診断・保守作業等の効率を著しく向上できる。なお、本発明における接触力変動の測定技術としては、特願平11-191611号や特願2000-122299号に開示されたものを用いることができる。

【0010】

本発明のトロリ線の波動伝播速度測定方法においては、前記トロリ線の波動伝播速度を次式により算出することができる；

トロリ線の空間周期構造を表す波数を $k_L$ 、この空間周期構造により生じる前記波動成分の周波数を電車速度 $v$ で無次元化したときの波数を $k_v$ 、前記電車速度をトロリ線の波動伝播速度で正規化した無次元化速度を $\beta$ とすると、

$$k_v = \left\{ \frac{1 + \beta}{1 - \beta} \right\} \times k_L$$

【0011】

架線 - パンタグラフ系の接触力変動には、次の(1)及び(2)に述べる2つの要因がある；

(1) 架線の周期性（トロリ線のハンガ間ディップ等）に起因するもの。

(2) (1)の結果として励起された波動がトロリ線を伝播し、ハンガ等の架線の不連続点で反射して再度パンタグラフに入射することにより発生するもの。

ここで、(1)の接触力変動の周波数 $f_L$ は電車速度に比例し、トロリ線の波動伝播速度を $c$ とすると、

$$(1) f_L = v / L$$

と表される。一方、(2)の接触力変動の周波数 $f_v$ は、ドップラー効果による周波数変調を考慮すると、

$$(2) f_v = \left\{ \frac{1 + \beta}{1 - \beta} \right\} \times f_L$$

と表される。ここで、 $L$ は架線の周期性を表す代表長さである。

【0012】

そこで、これらの式(1)、(2)で表される周波数を電車速度で正規化すると、(1)式で表される成分（すなわち空間の代表長さ $L$ に比例する成分）の波数 $k_L$ は、

$$(1) k_L = 1 / L$$

10

20

30

40

50

で一定値となる。一方、(2)式で表される波動成分の波数 $k_v$ については、

$$(2) k_v = \{ (1 + \quad) / (1 - \quad) \} \times k_L$$

となり、波数 $k_v$ は電車速度 $v$ によって変化することがわかる。したがって、接触力変動に含まれる波動成分の波数 $k_v$ が正確に捉えられ、同時に電車速度 $v$ も得られるならば、(2)式によってトロリ線の波動伝播速度を得ることができる。

【0013】

また、本発明のトロリ線の波動伝播速度測定方法においては、前記卓越成分を前記トロリ線のハンガ間隔に基づき抽出することが好ましい。

上記(2)で述べた成分中、トロリ線のハンガ間ディップに起因して生じる動的波動が電車前方に伝播し、これがハンガ等で反射して前方から再度パンタグラフに入射することにより生じる接触力変動の寄与が大きい。したがって、卓越成分をハンガ間隔に基づき抽出することで、波数 $k_v$ をより正確に捉えることができ、これによって、より正確な波動伝播速度を得ることができる。なお、このハンガ間隔は一例として5mであって、この場合の波数 $k_L$ は(1)式から $1/5 = 0.2$ となる。

10

【0014】

本発明のトロリ線の張力測定方法は、トロリ線からパンタグラフを介して電車に給電する電気鉄道におけるトロリ線の張力測定方法であって；前記電車を走らせながら、前記トロリ線と前記パンタグラフの間に作用する接触力変動を、前記電車の車体上で測定し、この接触力変動を周波数成分に分解して卓越成分を抽出し、この卓越成分から前記トロリ線の動的波動に関連する成分(トロリ線波動成分)を抽出し、該トロリ線波動成分に基づき前記トロリ線の波動伝播速度を求め、さらにレーザ式摩耗測定器等により前記トロリ線の厚みを測定し、このトロリ線の厚みと前記波動伝播速度から前記トロリ線の張力を測定することを特徴とする。

20

【0015】

トロリ線の厚さを走行する車両から測定する方法については、レーザ式摩耗測定器をはじめ多くの方式が既に実用化されている。一方、トロリ線の波動伝播速度は(トロリ線の張力(N)÷トロリ線の線密度(kg/m))<sup>1/2</sup>で求めることができる。したがって、トロリ線の厚みと波動伝播速度を求めることにより、トロリ線の張力も求めることができる。

30

【0016】

以下、図面を参照しつつ説明する。

なお、以下の説明では、通常の鉄道車両の技術におけるのと同様に、レールの長手方向(車両の進行方向)を前後方向、軌道面におけるレール長手方向と直角の方向を左右方向、軌道面に垂直な方向を上下方向と呼ぶ。また、具体的な数値例は、現状のJRの新幹線の一般的な数値である。

【0017】

まず、図4及び図5を参照して、電気鉄道の架線-パンタグラフ系について説明する。

図4は、本実施例におけるパンタグラフの舟体の詳細を示す斜視図である。

なお、図4には図示されないが、舟体は、ロッドや舟支え、復元ばね、リンク状の枠組等により、電車の天井に取り付けられている。

40

図5は、本実施の形態における架線構造を示す模式図である。

【0018】

トロリ線1は、直径約15mmの銅線である。トロリ線1には、交流25kVの電圧が印加される。図5に示すように、トロリ線1は、約5mおきにハンガ3を介して吊架線5によって吊られている。吊架線5は、約50mおきに架線柱7によって支えられている。トロリ線1単位(1ドラム区間)当たりの長さは約1.5kmである。

【0019】

図4に示すように、この例の舟体12は、左右方向に沿って延びている。舟体12は、前後方向に離れて1本ずつ計2本(12A、12B)設けられているものが多いが、1本の舟体のみで構成されるものもある。この例の舟体12は、幅40mm、長さ1.2m、重

50

さ 3 . 5 k g の中空の箱状部材である。舟体 1 2 はアルミニウム合金製である。停車時に舟体 1 2 がトロリ線 1 に押し当てられる力（静押し力）は 5 0 ~ 7 0 N である。

【 0 0 2 0 】

舟体 1 2 の上表面には、摺り板 1 4 が取り付けられている。摺り板 1 4 は、鉄系や銅系の焼結合金製、あるいはカーボン系材料からなる。この摺り板 1 4 は、図 4 に示すように 4 分割されているものが多い。このうち、中央の 2 つが主摺り板で、左右両端の 2 つが補助摺り板である。主として主摺り板がトロリ線 1 に直接接触する。摺り板 1 4 は、トロリ線 1 との接触により経時摩耗するので、定期的に交換する。

【 0 0 2 1 】

舟体 1 2 には、2 軸用歪みゲージ 3 1 が貼られている。2 軸用歪みゲージ 3 1 は、集電電流によるノイズの誘導を防ぐため、無誘導型ゲージを用いる。この 2 軸用歪みゲージ 3 1 により測定された舟体 1 2 の断面のせん断歪みにより、舟体 1 2 に働くせん断力を求めることができる。この例では、2 軸用歪みゲージ 3 1 は、舟体 1 2 の前面側と後面側とに 2 個ずつ貼られている。したがって、1 本の舟体 1 2 に対して計 4 個の 2 軸用歪みゲージ 3 1 が設けられている。左右の歪みゲージ 3 1 は、摺り板 1 4 の主摺り板を含む位置（具体的には、摺り板 1 4 の補助板を舟体 1 2 に固定するためのボルトがねじ込まれる位置）に貼り付けられている。

【 0 0 2 2 】

また、舟体 1 2 の中央下面には、1 つの舟体当り 1 個の加速度計 3 5 が取り付けられている。この加速度計 3 5 により測定可能な周波数は約 4 0 H z 以下であるが、必要に応じて複数個の加速度計を取り付けることにより、さらに高周波数領域での測定も可能である。加速度計 3 5 により測定された舟体 1 2 中央の加速度により、舟体 1 2 の慣性力を求めることができる。

【 0 0 2 3 】

舟体 1 2 の各 2 軸用歪みゲージ 3 1 及び加速度計 3 5 は、演算装置（図示されず）に接続されている。この演算装置は、2 軸用歪みゲージ 3 1 及び加速度計 3 5 の信号を受けて、舟体 1 2 とトロリ線 1 との接触力を算出する。この接触力の測定原理は、特願平 1 1 - 1 9 1 6 1 1 号や特願 2 0 0 0 - 1 2 2 2 9 9 号に開示されたものと同様である。

【 0 0 2 4 】

次に、接触力測定に基づきトロリ線の波動伝播速度を測定した結果の具体的な事例について、図 1 ~ 図 3 を参照しつつ述べる。

図 1 は、本発明に係るトロリ線の波動伝播速度測定方法の一例を示すフローチャートである。

図 1 に示すように、トロリ線の波動伝播速度の測定は、まずステップ S 1 において、走行中の車両上で舟体 1 2 とトロリ線 1 との接触力変動を測定する。ここで、架線 - パンタグラフ系の接触力変動には、次の ( 1 ) 及び ( 2 ) に述べる 2 つの要因がある；

( 1 ) 架線の周期性（トロリ線のハンガ間ディップ等）に起因するもの。

( 2 ) ( 1 ) の結果として励起された波動がトロリ線を伝播し、ハンガ等の架線の不連続点で反射して再度パンタグラフに入射することにより発生するもの。

【 0 0 2 5 】

上記 ( 1 ) の接触力変動の周波数  $f_L$  は電車速度に比例し、トロリ線の波動伝播速度を  $c$  とすると、

$$( 1 ) f_L = v / c$$

と表され、この接触力変動により生じた波動がパンタグラフ前方から再度入射することにより生じる周波数  $f_v$  は、

$$( 2 ) f_v = \{ ( 1 + v/c ) / ( 1 - v/c ) \} \times f_L$$

と表される。

【 0 0 2 6 】

ステップ S 1 の後、ステップ S 2 において上記接触力変動を短時間フーリエ分析する。次いで、ステップ S 3 において、短時間フーリエ分析した結果から卓越成分を抽出する。さ

10

20

30

40

50

らに、ステップ S 4 において、卓越成分からトロリ線波動成分に相当する周波数  $f_v$  を抽出する。

【 0 0 2 7 】

そして、ステップ S 5 において、上式 ( 1 )、( 2 ) で表される周波数  $f$  を電車速度  $v$  で正規化する。これは、周波数  $f$  ( 単位 H z ) を電車速度  $v$  で割ることにより波数  $k$  ( 単位 1 / m ) を得ること、すなわち、 $k = f / v$  と変換することに相当する。すると、( 1 ) 式で表される成分の波数  $k_L$  は、

$$( 1 ) \quad k_L = 1 / L$$

と一定値になる。本実施例では、空間の代表長さ  $L$  をトロリ線のハンガ間隔 5 m とした。この場合は、( 1 ) 式から波数  $k_L = 1 / 5 = 0.2$  となる。一方、( 2 ) 式で表される波動成分の波数  $k_v$  については、

$$( 2 ) \quad k_v = \{ ( 1 + ) / ( 1 - ) \} \times k_L$$

となる。ステップ S 5 の後、ステップ S 6 において、上式 ( 2 ) に基づきトロリ線の波動伝播速度を算出する。

【 0 0 2 8 】

図 2 は、空間の代表長さ  $L = 5$  m とした場合の、( 2 ) 式、( 2 ) 式における  $f_v$ 、 $k_v$  の値を、ヘビーコンパウンド架線及び C S シンプル架線のそれぞれについて計算した結果を示すグラフである。

図 2 において、横軸は電車速度 ( 単位 k m / h ) を表し、左縦軸は接触力変動周波数 ( 単位 H z ) を表し、右縦軸は接触力変動波数 ( 単位 1 / m ) を表す。図中のグラフは、細い実線及び点線がそれぞれヘビーコンパウンド架線の接触力変動周波数及び接触力変動波数を表し、太い実線及び点線がそれぞれ C S シンプル架線の接触力変動周波数及び接触力変動波数を表す。

【 0 0 2 9 】

ヘビーコンパウンド架線は、 $170$  mm<sup>2</sup> の硬銅トロリ線 ( 張力  $14.7$  k N、線密度  $1.51$  k g / m ) が用いられている。

C S シンプル架線は、 $110$  mm<sup>2</sup> の銅覆鋼トロリ線 ( 張力  $19.6$  k N、線密度  $0.94$  k g / m ) が用いられている。

図 2 からわかるように、いずれのグラフも右肩上がりとなっている。これから、接触力変動周波数及び接触力変動波数は、電車速度が上がるに連れて高い値をとることがわかり、電車速度の影響を強く受けることがわかる。

そこで、接触力変動に含まれる波動成分の波数  $k_v$  が正確に捉えられ、同時に電車速度  $v$  も得られるならば、( 2 ) 式によってトロリ線の波動伝播速度を得ることができるといえる。

【 0 0 3 0 】

図 3 ( A ) は、C S シンプル架線区間において測定した接触力変動の波形を短時間フーリエ分析した結果を示すグラフであり、図 3 ( B ) は、電車速度  $v$  を表すグラフである。

図 3 ( A ) は、横軸が時間 ( 単位 s ) を表し、縦軸が波数 ( 単位 1 / m ) を表す。この図 3 ( A ) では、接触力変動の卓越成分を網掛けで表している。この図 3 ( A ) から、大きな接触力変動が、ハンガ間隔 5 m に相当する波数  $0.2$  の箇所に生じているのがわかる。また、この波数  $0.2$  よりも上部において、波数が速度によって変化している成分も認められる。これが、ハンガ間隔周期の接触力変動により励起されたトロリ線波動により生じた接触力変動成分を示していると考えられる。

【 0 0 3 1 】

そこで、この C S シンプル架線区間のトロリ線波動伝播速度  $c$  が一定であると仮定し、( 2 ) 式により計算される波数  $k_v$  の値と、実測された波動成分とが一致するようにトロリ線波動伝播速度  $c$  を求めてみると、 $c = 480$  k m / h という値が得られた。図 3 ( A ) に実線で示すグラフが、 $c = 480$  k m / h としたときの波数の計算値である。この実線と実測結果 ( 図 3 ( A ) の実線付近の網掛け ) の示す特徴は良く一致しており、ここで示したトロリ線波動伝播速度の推定方法は妥当であるといえる。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 3 2 】

また、トロリ線の厚みはレーザ式摩耗測定器等により容易に計測可能である。トロリ線の波動伝播速度は

$$(\text{トロリ線の張力} (N) \div \text{トロリ線の線密度} (kg/m))^{1/2}$$

で求めることができる。したがって、トロリ線の厚みと波動伝播速度を求めることにより、トロリ線の張力も求めることができる。

## 【 0 0 3 3 】

このように、本発明によれば、トロリ線とパンタグラフ間に作用する接触力変動に基づき、走行中の電車上でパンタグラフ側からの情報によりトロリ線の波動伝播速度、さらにはトロリ線の張力を測定することができる。これにより、従来、地上において行われていたトロリ線の設備診断作業が不要になり、さらに、走行中の電車により1度に多数のドラム区間(1ドラム=トロリ線の1単位(約1.5km))を測定できるので、トロリ線の設備診断・保守作業等の効率を著しく向上できる。

10

## 【 0 0 3 4 】

## 【発明の効果】

以上の説明から明らかなように、本発明によれば、走行中の車両上で測定したパンタグラフの接触力変動に基づき、トロリ線の波動伝播速度あるいは張力を測定できる。

## 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明に係るトロリ線の波動伝播速度測定方法の一例を示すフローチャートである。

20

【図2】空間の代表長さ $L = 5\text{ m}$ とした場合の、 $f_v$ 、 $k_v$ の値を、ヘビーコンパウンド架線及びCSシンプル架線のそれぞれについて計算した結果を示すグラフである。

【図3】図3(A)は、CSシンプル架線区間において測定した接触力変動の波形を短時間フーリエ分析した結果を示すグラフであり、図3(B)は、電車速度 $v$ を表すグラフである。

【図4】本実施の形態において説明したパンタグラフの舟体の詳細を示す斜視図である。

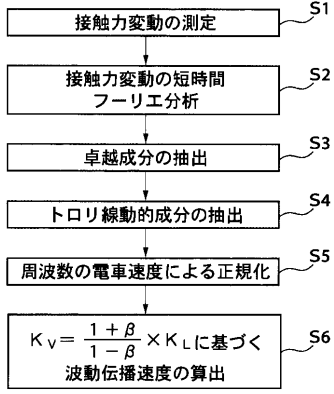
【図5】本実施の形態における架線構造を示す模式図である。

## 【符号の説明】

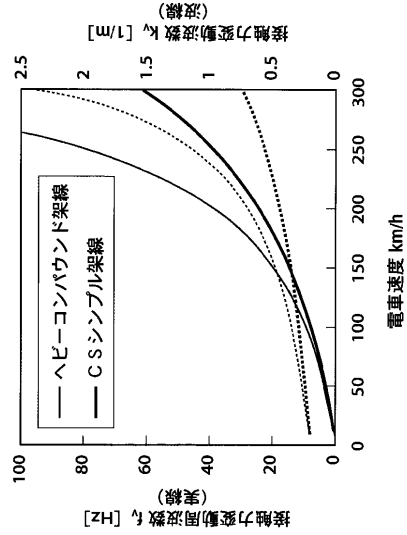
1	トロリ線	3	ハンガ
5	吊架線	7	架線柱
1 2 ( 1 2 A、1 2 B )	舟体	1 4	摺り板
3 1	2 軸用歪みゲージ	3 5	加速度計

30

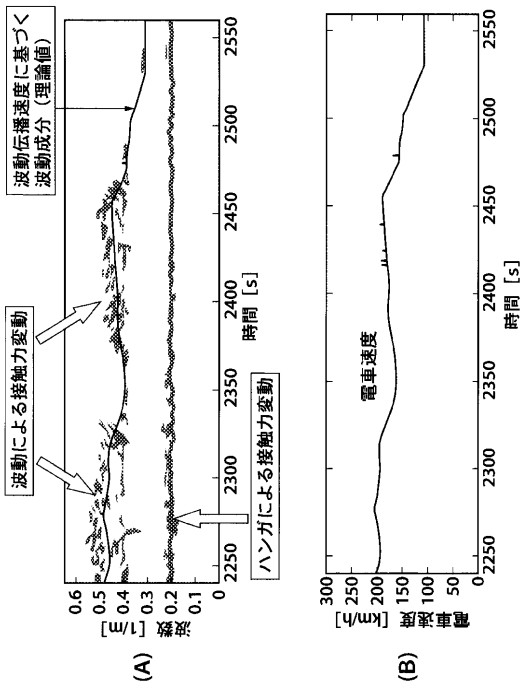
【図1】



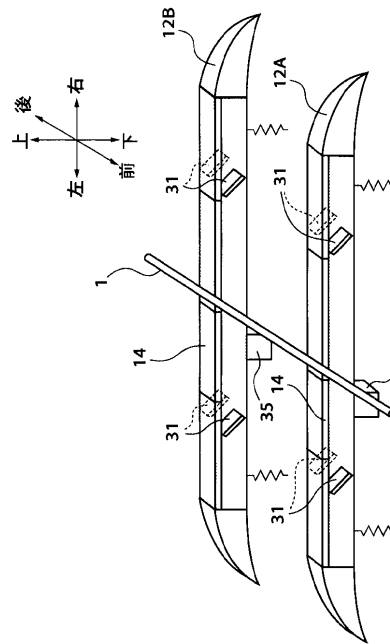
【図2】



【図3】

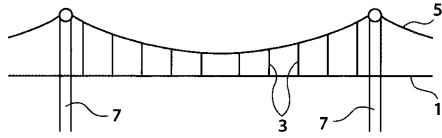


【図4】





【 図 5 】



---

フロントページの続き

審査官 根本 徳子

(56)参考文献 特開平 1 0 - 1 7 1 7 7 9 ( J P , A )  
特開平 1 0 - 1 7 6 9 6 8 ( J P , A )

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)

B60M 1/28

G01H 5/00

G01L 5/04、 5/10

H02G 1/02