

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第3545369号

(P3545369)

(45) 発行日 平成16年7月21日(2004.7.21)

(24) 登録日 平成16年4月16日(2004.4.16)

(51) Int. Cl.<sup>7</sup>

G01N 27/82

F I

G01N 27/82

請求項の数 10 (全 17 頁)

(21) 出願番号	特願2001-241199 (P2001-241199)	(73) 特許権者	391040906 本州四国連絡橋公団 神戸市中央区小野柄通4-1-22
(22) 出願日	平成13年8月8日(2001.8.8)	(73) 特許権者	592185585 株式会社ブリッジ・エンジニアリング 兵庫県神戸市中央区浜辺通5丁目1番14号
(65) 公開番号	特開2003-57209 (P2003-57209A)	(73) 特許権者	000003528 東京製綱株式会社 東京都中央区日本橋室町2丁目3番14号
(43) 公開日	平成15年2月26日(2003.2.26)	(74) 代理人	100080322 弁理士 牛久 健司
審査請求日	平成13年8月8日(2001.8.8)	(74) 代理人	100104651 弁理士 井上 正

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 線状体の腐食箇所検出方法および装置

## (57) 【特許請求の範囲】

## 【請求項1】

腐食箇所を検出すべき対象線状体の一部を取り囲むように磁化コイルを含む磁化器を設け、磁化器を対象線状体に沿って一定速度で移動させるとともに、磁化コイルに磁化電流を流すことにより、対象線状体を磁化し、対象線状体を磁化する磁界の強さを連続的に計測し、磁化された対象線状体内を通る磁束量を連続的に計測し、磁化器の移動量を計測し、基準線状体における磁界の強さと磁束量との関係を計測しておき、対象線状体について計測された磁界の強さと計測された磁束量と上記の関係に基づいて、対象線状体についての所定の磁界の強さにおける補正された磁束量を算出し、計測された移動量に対する補正された磁束量の変化に基づいて、対象線状体の腐食箇所を検出する、腐食箇所検出方法。

10

## 【請求項2】

上記対象線状体は鉛直にのび、固定的に設けられたものである、請求項1に記載の腐食箇所検出方法。

## 【請求項3】

上記連続的計測の始点位置の計測磁束量と終点位置の計測磁束量との差および計測位置に基づいて、計測位置における磁束量のドリフト補正を行う、請求項1または2に記載の腐食箇所検出方法。

## 【請求項4】

腐食箇所を検出すべき対象線状体を通る中心孔が形成された円筒状の形状を有し、磁界セ

20

ンサおよび検出コイル装置が上記中心孔の内部に設けられた磁化器用リールに磁化コイルが巻回された磁化器と、  
 上記磁化器を上記対象線状体に沿って一定速度で移動させるとともに移動量センサを備えた移動装置と、  
 上記磁界センサに接続され、上記磁化コイルが対象線状体を磁化する磁界の強さを連続的に計測する磁界測定装置と、  
 上記検出コイル装置に接続され、上記磁化コイルにより磁化された対象線状体内を通る磁束量を連続的に計測する磁束測定装置と、  
 対象線状体について計測された磁界の強さ、計測された磁束量および基準線状体における磁界の強さと磁束量とのあらかじめ計測された関係に基づいて、対象線状体についての所定の磁界の強さにおける補正された磁束量を算出する第1の補正手段と、  
 上記移動量センサの出力信号により表わされる移動量および上記第1の補正手段により補正された磁束量の変化に基づいて対象線状体の腐食箇所を表わす信号を出力する手段と、  
 を備えた腐食箇所検出装置。

10

【請求項5】

上記移動量センサがロータリーエンコーダである、請求項4に記載の腐食箇所検出装置。

【請求項6】

上記移動装置は、上記磁界測定装置および上記磁束測定装置を搭載している、請求項4または5に記載の腐食箇所検出装置。

【請求項7】

磁化器用リールは、対象線状体を通る中心孔が形成された円筒状のコイル巻回部とこのコイル巻回部の一端に設けられたプリートを含み、  
 上記プリートは上記コイル巻回部とその軸心を共通にして一体的に形成され、  
 上記プリートおよび上記コイル巻回部の両端にはそれぞれフランジが設けられている、  
 請求項4から6のいずれか一項に記載の腐食箇所検出装置。

20

【請求項8】

上記磁化器用リールおよび上記検出コイル装置は中心を通る面により複数の部分に分割自在であり、少なくとも上記磁化器用リールの複数の部分を結合する結合具が設けられている、請求項4から7のいずれか一項に記載の腐食箇所検出装置。

【請求項9】

上記磁化器用リールの両端のフランジには、それぞれ少なくとも2つ以上のガイドローラが上記対象線状体を囲む位置に着脱自在に固定されている請求項4から8のいずれか一項に記載の腐食箇所検出装置。

30

【請求項10】

上記連続的計測の始点位置の計測磁束量と終点位置の計測磁束量との差および計測位置に基づいて、計測位置における磁束量のドリフト補正を行う第2の補正手段を備えた、請求項4から9のいずれか一項に記載の腐食箇所検出装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【技術分野】

この発明は、磁性線状体、とくに強磁性線状体、たとえば吊橋、斜張橋などに用いられる鋼製メインロープ（メインケーブル）またはハンガーロープ（ハンガーケーブル）の腐食箇所を検出する方法および装置に関する。この明細書において線状体とは、ケーブル、ロープ、ストランド、コード、ワイヤ等の線状体およびロッド、ポール、シャフト、その他の線状体を含み、燃ってあるもののみならず、単に束ねただけのものや単体のものも含む。また、径の大きさ、断面形状は問わない。

40

【0002】

【発明の背景】

吊橋、斜張橋などに用いられる金属製（特に鋼製）メインロープ（メインケーブル）およびハンガーロープ（ハンガーケーブル）は、屋外にあるので風雨にさらされる。また海岸

50

付近では塩水の影響を受け、工業地帯では亜硫酸の影響を受ける。このため、メインロープ（メインケーブル）およびハンガーロープ（ハンガーケーブル）の腐食は免れない。

【0003】

【発明の開示】

この発明は、線状体の腐食の有無および腐食箇所を検出する方法および装置を提供することを目的とする。

【0004】

この発明はまた、周囲の磁性体の存在にかかわらず、線状体の腐食箇所を正確に検出することを目的とする。

【0005】

さらにこの発明は計測装置において生じるドリフトの影響を受けることなく、線状体の腐食箇所を正確に検出することを目的とする。

【0006】

この発明による線状体の腐食箇所検出方法は、腐食箇所を検出すべき対象線状体の一部を取り囲むように磁化コイルを含む磁化器を設け、磁化器を対象線状体に沿って一定速度で移動させるとともに、磁化コイルに磁化電流を流すことにより、対象線状体を磁化し、対象線状体を磁化する磁界の強さを連続的に計測し、磁化された対象線状体内を通る磁束量を連続的に計測し、磁化器の移動量を計測し、基準線状体における磁界の強さと磁束量との関係を計測しておき、対象線状体について計測された磁界の強さと計測された磁束量と上記の関係に基づいて、対象線状体についての所定の磁界の強さにおける補正された磁束量を算出し、計測された移動量に対する補正された磁束量の変化に基づいて、対象線状体の腐食箇所を検出するものである。

【0007】

この発明による線状体の腐食箇所検出装置は、腐食箇所を検出すべき対象線状体を通る中心孔が形成された円筒状の形状を有し、磁界センサおよび検出コイル装置が上記中心孔の内部に設けられた磁化器用リールに磁化コイルが巻回された磁化器と、上記磁化器を上記対象線状体に沿って一定速度で移動させるとともに移動量センサを備えた移動装置と、上記磁界センサに接続され、上記磁化コイルが対象線状体を磁化する磁界の強さを連続的に計測する磁界測定装置と、上記検出コイル装置に接続され、上記磁化コイルにより磁化された対象線状体内を通る磁束量を連続的に計測する磁束測定装置と、対象線状体について計測された磁界の強さ、計測された磁束量および基準線状体における磁界の強さと磁束量とのあらかじめ計測された関係に基づいて、対象線状体についての所定の磁界の強さにおける補正された磁束量を算出する第1の補正手段と、上記移動量センサの出力信号により表わされる移動量および上記第1の補正手段により補正された磁束量の変化に基づいて対象線状体の腐食箇所を表わす信号（磁界の強さおよび磁束量の変化を示す信号を含む）を出力する手段とを備えている。

【0008】

この発明によると、磁化器を対象線状体に沿って一定速度で移動させるとともに対象線状体を磁化し、磁界の強さおよび磁束量を計測することにより、計測した磁界の強さを参照して求められた（補正された）磁束量の変化に基づいて対象線状体における腐食の有無および腐食箇所を短時間で正確に検出することができる。好ましくは、磁界の強さは磁束量が飽和するように設定される。磁界の強さを計測し、これを参照して求められた磁束量の変化に基づいて腐食の有無および腐食箇所を判定しているので、対象線状体の周囲の強磁性体の影響を排除した判定が可能となる。

【0009】

一実施態様では、上記磁化器用リールおよび上記検出コイル装置は中心を通る面により複数の部分に分割自在であり、少なくとも上記磁化器用リールの複数の部分を結合する結合具が設けられている。対象線状体の一端から磁化器用リールを挿入できないような場合であっても、磁化器用リールおよび検出コイル装置、したがって磁化器を対象線状体に取付けることが可能となる。

10

20

30

40

50

## 【0010】

他の実施態様では、上記磁化器用リールの両端のフランジには、それぞれ少なくとも2つ以上のガイドローラが上記対象線状体に接して囲む位置に着脱自在に固定されている。これにより、磁化器用リールを、その中心を対象線状体の中心とほぼ一致させた状態で、すなわち、殆ど傾くことなく移動させることができる。また、磁化器を対象線状体に沿って移動させたとき、磁化器と対象線状体とが接触することを防止できる。

## 【0011】

好ましい実施態様では、基準線状体における磁界の強さと磁束量との関係を計測しておき、対象線状体について計測された磁界の強さと上記の関係に基づいて、対象線状体についての補正された磁束量を算出する。

10

## 【0012】

基準線状体としては、測定対象線状体そのもの、測定対象線状体と同じ材質、構造の線状体等を用いることができる。新品の線状体（たとえばケーブル、ロープ）を張設するとき、その線状体に印加する磁界の強さを变化させて対象線状体内を通る磁束量を計測して、磁界の強さと磁束量との関係を導出しておく。線状体の張設後、ある期間が経過したとき（たとえば1年後、5年後、10年後など）張設されている対象線状体を磁化し、磁界の強さおよび磁束量を計測し、導出しておいた磁界の強さと磁束量との関係に基づいて計測した磁界の強さより磁束量を補正する。これにより、撚り線である線状体における磁束量の変動、周囲の強磁性体の存在による影響等を排除することができる。

## 【0013】

さらに好ましい実施態様においては、上記連続的計測の始点位置の計測磁束量と終点位置の計測磁束量との差および計測位置に基づいて、計測位置における磁束量のドリフト補正を行う。

20

## 【0014】

各種計測装置に含まれる積分回路等の作用により計測磁束量にドリフトが生じ零点が変化する場合がある。このドリフトは直線的に変化するものと考えられるので、始点位置の計測磁束量と終点位置の計測磁束量とにより、ドリフトに依存する磁束量の変化率が得られ、この変化率を用いて、対象線状体の計測位置ごとに計測磁束量を補正することができる。このようにして、ドリフトに起因する磁束量の変動を除き、正確な腐食検出が可能となる。

30

## 【0015】

一実施態様として、磁化器用リールの中央部にはコイル巻回部があり、その一端部にはプーリが、他端部にはコイル端末巻付け部がコイル巻回部と一体的に形成される。コイル巻回部、プーリおよびコイル端末巻付け部の両端には、それぞれフランジが設けられる。プーリとコイル巻回部のフランジ、コイル巻回部とコイル端末巻付け部のフランジをそれぞれ兼用することで磁化器用リールの軽量化を図ることができる。

## 【0016】

プーリを一体的に形成することにより、プーリに回転動力を与え、磁化器用リールに磁化コイルを容易に巻回することができる。

## 【0017】

## 【実施例】

この実施例は吊橋におけるハンガーケーブルの腐食の有無、および腐食箇所を検出するものである。

40

## 【0018】

図1は、吊橋のハンガーケーブルの腐食の有無および腐食箇所の検出を行う様子を示す全体図である。図2は、図1の一部、特にゴンドラと磁化器を拡大して示す斜視図である。

## 【0019】

吊橋は橋脚3間にメインケーブル1を張設し、メインケーブル1から垂下された多数本のハンガーケーブル2によって橋桁4を吊るものである。

## 【0020】

50

図1において、多数のハンガーケーブル2は一本ずつその腐食の有無および腐食箇所が検査される。腐食を調べるべきハンガーケーブル2の近くにおいて、ゴンドラ20を吊上げる吊りロープ21の上端がメインケーブル1に固定具または固定装置(図示略)によって固定される。ゴンドラ20内には、後述するように磁化電源40、磁界測定装置50、磁束測定装置45、パルスカウンタ55、およびデータ記録装置60が搭載される(図2参照)。ゴンドラ20はウィンチ26によって上下駆動(昇降)される(図2参照)。ゴンドラ20は、クレーンまたはワインダーによって昇降してもよい。

【0021】

ゴンドラ20の移動速度は、ウィンチ26の巻取り速度に依存する。ゴンドラ20の移動速度は5m/min~60m/min程度が好ましい。

10

【0022】

また、腐食を調べるべきハンガーケーブル2に、磁化器10および検出コイル装置200が上下動自在に取付けられる(図2~図4参照)。

【0023】

橋桁4上には、主電源66およびコンピュータ65が置かれる。主電源66から延びる電源線67はゴンドラ20に導かれ、ウィンチ26の駆動モータ、磁化電源40および他の装置45、50、60に接続されている。データ記録装置60、その他の装置45、50、55からの信号は信号線68を通してコンピュータ65に送られる。必要に応じてコンピュータ65からの制御信号が信号線68を通して装置45、50、55、60に与えられる。

20

【0024】

図2を参照して、腐食を検出すべきハンガーケーブル2が磁化器10に形成された中心孔13に挿通され、磁化器10は、ハンガーケーブル2に沿って移動自在に設置されている(図3、図4も参照、以下の説明において同じ)。磁化器10は、全体的にみて円筒状の磁化器用リール30に磁化コイルCが巻回されたものである。

【0025】

磁化器用リール30の中心孔13の内部中央には、内周面に沿って検出コイル装置200が固定されている。検出コイル装置200には、検出コイル212と複数のホール素子210とが設けられている(図5および図6参照)。磁化コイルCに磁化電源40から磁化電流を流し、ハンガーケーブル2を磁化する。ホール素子210からの信号に基づいて磁界測定装置50によりハンガーケーブル2を磁化する磁界の強さを検出し、検出コイル212からの信号に基づいて磁束測定装置45によりハンガーケーブル2内を通る磁束量を検出する。

30

【0026】

磁化器用リール30の上下両端に設けられたフランジ34、37には、それぞれハンガーケーブル2の周面を、周面に接触した状態で挟込む位置にガイドローラ14が着脱自在に取付けられている。これにより、磁化器10はハンガーケーブル2に沿って円滑に移動し、移動中に磁化器用リール30の内周面がハンガーケーブル2に接触するのを防ぐことができる。

【0027】

ゴンドラ20は、非磁性の絶縁体であるアルミニウムでつくられている。ゴンドラ20は作業員が搭乗できる大きさである。

40

【0028】

ゴンドラ20の天板(上面板)には支持腕22が取付けられている。この支持腕22の先端はゴンドラ20の外方にのび、ここに連結ロープ23の上端が固定されている。連結ロープ23の下端は磁化器用リール30の上部のフランジ34の上面に着脱自在に固定されたアイボルト15に連結されている。ゴンドラ20が上下動することにより、磁化器用リール30は検出コイル装置200とともに、ゴンドラ20と一緒に上下移動する。

【0029】

ゴンドラ20の下部にはまた保持腕24が固定され、この保持腕24は測定対象ハンガー

50

ケーブル 2 の方向に延びている。保持腕 24 の先端には補助ローラ 25 が設けられている。 Gondra 22 が上下動するとき補助ローラ 25 は、磁化器用リール 30 の下方においてハンガーケーブル 2 に沿って回転する。補助ローラ 25 は上下動する Gondra 20 の姿勢を安定化するものである。補助ローラ 25 の軸にはロータリーエンコーダ 56 (図 7 参照) が取付けられる。ロータリーエンコーダ 56 の出力信号はパルスカウンタ 55 に送られ、Gondra 20 (したがって磁化器 10) の移動方向と移動量が測定される。

#### 【0030】

図 3 は、磁化器用リール 30 の斜視図であり、図 4 は磁化器用リール 30 の縦断面図である。全体的にみて円筒状の磁化器用リール 30 にはハンガーケーブル 2 が通る中心孔 13 が形成されている。磁化器用リール 30 は非磁性体の絶縁体、たとえば MC ナイロンにより形成されている。この磁化器用リール 30 の中央部にはコイル巻回部 31 があり、その一端部 (上端部) にはプリー 32 が、他端部 (下端部) にはコイル端末巻付け部 33 がコイル巻回部 31 と一体的にかつ軸心 (軸方向の中心線) を共通にして形成されている。すなわち、磁化器用リール 30 はプリー 32、コイル端末巻付け部 33 およびこれらに挟まれたコイル巻回部 31 から構成されている。

#### 【0031】

コイル巻回部 31、プリー 32 およびコイル端末巻付け部 33 の両端には、それぞれフランジが設けられている。すなわちコイル巻回部 31 の両端にはフランジ 35 と 36 が、プリー 32 の両端部にはフランジ 34 と 35 が、コイル端末巻付け部 33 の両端にはフランジ 36、37 がそれぞれ一体的に設けられている。フランジ 35 はプリー 32 とコイル巻回部 31 に兼用され、フランジ 36 はコイル巻回部 31 とコイル端末巻付け部 33 に兼用されている。コイル巻回部 31 に巻回する磁化コイル C の巻始め端部をコイル端末巻付け部 33 へ通すための方形の複数 (4 つ) の開口 38 がフランジ 36 の内周側に形成されている。さらに開口 38 よりも外周側において、フランジ 36 には、コイル巻回部 31 に巻回し終えた磁化コイル C の巻終り端部を引き出すための方形の複数 (4 つ) の開口 39 が形成されている。磁化器用リール 30 の両端部のフランジ 34、37 の外側面には、上述したように、それぞれガイドローラ 14 が、ハンガーケーブル 2 を挟むように向き合っており、かつハンガーケーブル 2 にローラ部が当接する位置に着脱自在に固定されている。またフランジ 34 には、アイボルト 15 が着脱自在に固定されている。

#### 【0032】

磁化器用リール 30 の中心孔 13 の内部中央には、円環状の検出コイル装置 200 が磁化器用リール 30 の内周面に沿って固定されている。検出コイル装置 200 の構成の詳細は後述する。円環状の検出コイル装置 200 の内径は、ハンガーケーブル 2 の外径よりも大きく形成されている。

#### 【0033】

磁化器用リール 30 は、プリー 32、コイル巻回部 31、コイル端末巻付け部 33 (それらのフランジ 34、35、36、37 を含む) および検出コイル装置 200 を含めて全体をその中心を通る面で丁度半分に割った 2 つのリール半体 30a、30b から構成されている。リール半体 30a、30b を構成する要素にそれぞれ添え字 a、b を付す。すなわちコイル巻回部 31a、31b、プリー 32a、32b、コイル端末巻付け部 33a、33b、フランジ 34a、34b、フランジ 35a、35b、フランジ 36a、36b、フランジ 37a、37b、検出コイル装置 200a、200b 等である。

#### 【0034】

リール半体 30a、30b の上端部のフランジ 34a、34b の接合部付近の外周面には、ねじ穴 332 が形成されている。フランジ 37a、37b にも同じように、その接合部付近の外周面にねじ穴 332 が形成されている。また接合用の当板 330 が用意される。この当板 330 はフランジの外周面に沿うように湾曲しているとともに、ねじ 331 が通る 2 つの孔が形成されている。リール半体 30a とリール半体 30b とが、磁化器用リール 30 すなわちプリー 32、コイル巻回部 31、コイル端末巻付け部 33 および検出コイル装置 200 が形成されるように、ハンガーケーブル 2 をその中心孔 13 内

10

20

30

40

50

に入れた状態で接合される。接合されたリール半体 30 a のフランジ 34 a とリール半体 30 b のフランジ 34 b の接合部の外周面、およびフランジ 37 a とフランジ 37 b の接合部の外周面に当板 330 を当て、この当板 330 の孔を通してねじ 331 をねじ穴 332 にねじ止めすることによりリール半体 30 a とリール半体 30 b とが結合され、磁化器用リール 30 および検出コイル装置 200 が形成される。

**【0035】**

図 5 (A) ~ (C) は、検出コイル装置 200 を拡大して示すもので、(A) は正面図、(B) は側面図、(C) は (A) の VC - VC 線の断面図である。図 6 (A) ~ (C) は検出コイル装置 200 を構成するボビン半体をさらに拡大して示すものであり、(A) は正面図、(B) は側面図、(C) は底面図をそれぞれ示している。

10

**【0036】**

検出コイル装置 200 は全体的に円環状の形状を有し、合成樹脂のような非磁性の絶縁体から形成されている。検出コイル装置 200 の内径はハンガーケーブル 2 の外径よりも大きく形成されている。検出コイル装置 200 にはボビン 202 が含まれている。ボビン 202 の両側にはフランジ 203 が形成され、このフランジ 203 間においてボビン 202 の外周面に数本のコイル部分 212 a 等が相互に絶縁した状態で取付けられている。ボビン 202 よりも一回り大きな半円形の外カバー 206 が設けられ、ボビン 202 と外カバー 206 とがその側面において横板 211 によって相互に結合している。外カバー 206 は、磁化器用リール 30 の中心孔 13 の内周面に沿って固着され、または固定されている。検出コイル装置 200 の内部にはほぼ 90 度の間隔

20

**【0037】**

検出コイル装置 200 の一方の側面の横板 211 に複数のコネクタ 209 が設けられている。これらのコネクタ 209 にホール素子 210 が接続されている。コネクタ 209 にシールド線 216 が接続されている。検出コイル装置 200 の側面にはまたコネクタ 208 が設けられている。このコネクタ 208 にコイル部分 212 が接続されている。コネクタ 208 にシールド線 215 が接続されている。

**【0038】**

検出コイル装置 200 は、上述したように磁化器用リール 30 の内部に固定され、2 つの半体 200 a と 200 b とから構成されている。いうまでもなく、検出コイル装置 200 の半体 200 a、200 b と磁化器用リール 30 の半体 30 a、30 b は、同一箇所

30

で分割されている。これらの半体 200 a、200 b のボビン半体 202 a の両端にはコネクタ 213 が設けられ、コイル部分 212 a の両端がそれぞれ接続されている。半体 200 b も半体 200 a とほぼ同じ構成であり、ボビン半体 202 b の外周面にも複数のコイル部分が設けられ、両端がコネクタに接続されている。

40

**【0039】**

磁化器用リール 30 は 2 つのリール半体 30 a、30 b から構成されているため、ハンガーケーブル 2 の一部を取り囲むように取付けることができる。このとき、検出コイル装置 200 は、半体 200 a に設けられたコネクタ 213 と半体 200 b に設けられたコネクタ (図示略) とが電氣的に接続されることにより、半体 200 a に設けられた

コイル部分 212 a と半体 200 b に設けられたコイル部分とが、ハンガーケーブル 2 のまわりを巻回するように (数ターン程度) 電氣的につながり、これにより検出コイル 212 が形成される。

**【0040】**

腐食を測定すべき対象であるハンガーケーブル 2 の下部において、上述したように、2 つに分割されたリール半体 30 a、30 b (検出コイル装置の半体 200 a、200 b を含む) を接合して磁化器用リール 30 をつくる。このとき、好ましくはガイドローラ 14 は磁化器用リール 30 に取付けておかない (取外しておく)。また、磁化器用リール 30 を連結ロープ 23 から外しておく。

**【0041】**

50

このようにして形成した磁化器用リール 30 に磁化コイル C を次のようにして巻回する。ハンガーケーブル 2 の下部において、磁化器用リール 30 の上下の位置にリール 30 を回転自在に受けるリール支持部材（図示略）をハンガーケーブル 2 に取付ける。これにより、磁化器用リール 30 は上下動することなく回転自在に受けられる。ゴンドラ 20 は上方の位置に引上げ、固定しておく。

**【 0 0 4 2 】**

磁化器用リール 30 に磁化コイル C を巻回する作業を行う。すなわち、駆動用ロープを巻回した回転自在なドラムと、駆動用ロープを巻取るためのウィンチと、磁化コイル C が巻回された回転自在なドラム（いずれも図示略）とを用意し、これらをハンガーケーブル 2 の下部の周囲の適切な場所（橋桁 4 上）に移動しないように固定しておく。ドラムに巻回された駆動用ロープを引き出し、磁化器用リール 30 の上端部に設けられたプリー 32 に掛け、ウィンチに取付ける。ドラムに巻回された磁化コイル C の一端部を引出し、コイル巻回部 31 に沿わせ、フランジ 36 に形成された複数の開口 38 のうちのいずれか一つに通してリール 30 の下端部に一体的に設けられたコイル端末巻付け部 33 に巻付け、固定しておく（磁化コイル C の一端を後に外に取出せるようにしておく）。ウィンチを駆動し、駆動用ロープを巻取ると、磁化器用リール 30 がハンガーケーブル 2 を中心として回転する。これにより、ドラムからコイル巻回部 31 に磁化コイル C が巻付けられる。ハンガーケーブル 2 を均一に磁化するために、磁化コイル C を整列巻にする。整列巻にするためには、作業員が手で磁化コイル C をトラバースする。磁化コイル C を巻回し終わったら、磁化コイル C の他端部をフランジ 36 に形成された複数の開口 39 のうちのいずれか一つに通して固定するか、コイル端末巻付け部 33 に固定し、外方へ出しておく。磁化コイル C を磁化器用リール 30 に巻回することにより磁化器 10 がつくられる。

**【 0 0 4 3 】**

足場が狭く、他の構造物があるために駆動用ロープおよび磁化コイル C がそれぞれ一直線状に張れない場合には、シーブを使用し方向変換をすることにより駆動用ロープおよび磁化コイル C を円滑に巻取るようにしてもよい。

**【 0 0 4 4 】**

この後、リール支持部材を取外すことにより、磁化器 10 は上下動自在となる。磁化器 10 の上下端部にガイドローラ 14 を取付ける。また、ゴンドラ 20 の支持腕 22 からのびた連結ロープ 23 の下端を磁化器 10 に取付ける（たとえば、連結ロープ 23 の下端に取付けられたアイボルト 15 を磁化器 10 の上部フランジ 34 に固定する）。

**【 0 0 4 5 】**

磁化器 10 に巻回された磁化コイル C の両端を磁化電源 40 に接続する。検出コイル装置 200 から磁化器 10 の中央孔 13 を通して引出され、検出コイル 212 に接続されたシールド線 215 およびホール素子 210 に接続されたシールド線 216 をそれぞれ磁束測定装置 45 および磁界測定装置 50 にそれぞれ接続する。

**【 0 0 4 6 】**

なお、磁化器用リール 30 および検出コイル装置 200 は 2 分割されているが、3 分割以上に分割してもよい。

**【 0 0 4 7 】**

以上の準備作業を終えたのち、ハンガーケーブル 2 の腐食の測定は、ゴンドラ 20 とともに磁化器 30 および検出コイル装置 200 を一定速度で測定対象のハンガーケーブル 2 に沿って下部から上方へ移動させながら（逆に上部から下方に移動させながら）行なわれる。

**【 0 0 4 8 】**

このとき、磁化器 10 の磁化コイル C には、ゴンドラ 20 に組込まれた磁化電源 40 から磁化電流が流される。磁化コイル C に磁化電流が流れることにより磁界が発生し、ハンガーケーブル 2 の磁化器 10 によって囲まれた部分が磁化される。磁化電源 40 から磁化コイル C に流れる電流の大きさは、磁束量が飽和するように磁界の強さを定め、この磁界の強さを一定に保持するように磁界測定装置 50 からの検出磁界に基づいてゴンドラ 20 の

10

20

30

40

50

外部のコンピュータ 65 によって制御される。たとえば、50 kA/m 程度の磁界の強さとする。

【0049】

図7は、腐食箇所検出装置の電的構成を示すブロック図である。

【0050】

検出コイル装置 200 内の検出コイル 212 はシールド線 215 によりゴンドラ 20 内に置かれた磁束測定装置（フラックスメータ）45 に接続されている。磁化コイル C により磁化されたハンガーケーブル 2 内を通る磁束量が磁束測定装置 45 によって計測され、この計測信号がデータ記録装置 60 に与えられる。

【0051】

検出コイル装置 200 内のホール素子 210 は、磁界測定装置（ガウスメータ）50 に接続されている。磁界測定装置 50 によりハンガーケーブル 2 の近傍の磁界の強さ、すなわち磁化器 10 によって発生する磁界の強さが計測され、データ記録装置 60 に与えられる。

【0052】

ゴンドラ 20 の補助ローラ 25 に備えられたロータリーエンコーダ 56 は、パルスカウンタ 55 に接続されている。補助ローラ 25 が回転するとロータリーエンコーダ 56 からパルス信号が発生する。このパルス信号は、パルスカウンタ 55 により計測され、ゴンドラ 20 すなわち磁化器 10 の移動量データとして、データ記録装置 60 に与えられる。1パルス当りの移動量とパルス数とから移動量が算出される。

【0053】

データ記録装置 60 で記録された磁界の強さ、磁束量および移動距離データはゴンドラ 20 の外部にあるコンピュータ 65 に送られる。

【0054】

コンピュータ 65 では、計測されたデータを処理する、例えば、計測されたデータの出力、後述する磁束量の補正、ドリフト補正、補正後のデータの出力を行う。コンピュータ 65 にはまた、測定装置 45、50、60、パルスカウンタ 55 等の操作、磁化電源 40 の制御、ウィンチ 26 のモータの制御等を行わせることもできる。

【0055】

腐食箇所の検出方法について説明する。

【0056】

先ず、腐食箇所の検出を行うハンガーケーブル 2 の計測始点（たとえばハンガーケーブル 2 の下部の位置または上部の位置）において、磁化コイル C に磁化電流を流し、磁界の強さおよび磁束量を計測する。

【0057】

次に、ゴンドラ 20 に設けられたウィンチ 26 を駆動させることにより吊りロープ 21 を巻取り（または巻戻し）、ゴンドラ 20 をハンガーケーブル 2 に沿って移動（上昇または下降）させる。ゴンドラ 20 に連結された磁化器 10 もゴンドラ 20 と一緒に移動する。磁化器 10 をハンガーケーブル 2 に沿って一定速度で移動させながら、磁化器 10 の磁化コイル C に磁化電流を流してハンガーケーブル 2 を磁化し、連続的に磁界の強さ、磁束量および移動量を計測する。計測終点においても磁界の強さおよび磁束量を計測する。

【0058】

ハンガーケーブル 2 を磁化したときの磁界の強さを H とする。磁化されたハンガーケーブル内を通る磁束量を  $\Phi$ 、その磁束密度を B とする。ハンガーケーブルの透磁率を  $\mu$ 、その断面積を A とすると次式が成り立つ。

【0059】

$$B = \mu H = \Phi / A \quad \text{式(1)}$$

【0060】

この式(1)を変形すると次式が得られる。

【0061】

10

20

30

40

50

$A = \quad / \mu H$  式(2)

【0062】

透磁率  $\mu$  および磁界の強さ  $H$  を一定とすると、ハンガーケーブル2の断面積  $A$  は、磁束量に比例する。

【0063】

ハンガーケーブル2の断面積はその腐食の度合いに応じて小さくなる。ハンガーケーブル2を磁化器10によって磁化するとき、磁束量が飽和するように磁界の強さを一定に設定することで腐食のある箇所では磁束量は減少し、磁界の強さは増大する。したがって、磁界の強さ  $H$  を一定と考えれば(透磁率も一定)、測定した磁束量の変化に基づいてハンガーケーブルの腐食箇所を知ることができる。

10

【0064】

しかしながら、ハンガーケーブル2の周囲に、橋とハンガーケーブル2の結合に用いられるリブや、ハンガーケーブル2とメインケーブル1をつなぐソケット、橋を構成する鋼材等の強磁性体が存在することにより、計測される磁界の強さおよび磁束量に変化が現われてしまう場合がある。加えて、磁化器10を移動させたときに磁化器10がハンガーケーブル2の中心に対して若干傾くことがある。また、ハンガーケーブル2は撚り線であるために位置により磁界分布が変化する。

【0065】

周囲の強磁性体による影響、磁化器10の姿勢の影響、撚り線の影響等があったとしても、式(2)が成り立つ。磁界の強さ  $H$  および磁束量を同時に計測し、磁界の強さ  $H$  を参照して磁束量を得ることにより周囲の強磁性体の影響を受けることなく腐食箇所を検出することが可能である。これを磁界の強さに基づく磁束量の補正という。

20

【0066】

また、長時間の計測や長尺のものの計測を行うと、磁束量を計測する磁束測定装置(フラックスメータ)45が積分回路を含むためにノイズ等の電圧を積分し、ドリフトが発生する。ドリフトの影響を排除する補正をドリフト補正という。

【0067】

磁化器10を実際にハンガーケーブル2に沿って移動させ、磁界の強さ、磁束量および移動量を計測した結果および上述した磁界の強さに基づく磁束量の補正とドリフトの補正を同時に行った結果を図8に示す。この図において、横軸は移動量である。破線Mで示すグラフは測定された磁束量を示している。実線Lのグラフは測定された磁界の強さである。この磁界の強さに基づいて補正され、さらにドリフト補正された磁束量が実線のNで示されている。この測定において、試料としてのハンガーケーブルの一部に磁性体を貼り付けた。したがって、腐食の発生とは反対にハンガーケーブルの断面積が増大している。腐食が生じている箇所では磁界の強さ  $L$  は増大し、磁束量  $M$  は減少するが、図8のグラフでは逆に、磁性体を設けた箇所では磁界の強さ  $L$  が減少し、磁束量  $M$  が増大していることに注意していただきたい。

30

【0068】

磁束器10は、ケーブルに沿って、 $60\text{ m/min}$  の一定速度で移動させ、磁束量を飽和させるのに必要な磁界の強さが  $50\text{ kA/m}$  となるように磁化コイルCに磁化電流を流した。磁化コイルCは、電気抵抗が  $0.67$  のものを使用した。

40

【0069】

ケーブルは、 $6 \times WS(36)$  (JIS規格)を使用した。計測は便宜上  $1000\text{ mm}$  の長さで行った。計測を行う始点を  $0\text{ mm}$ 、終点を  $1000\text{ mm}$  とし、 $500\text{ mm}$  の位置を中心に径  $3.2\text{ mm}$  で長さ  $35.5\text{ mm}$  のワイヤ(磁性体)を沿わせ、固定しておいた。すなわち、ケーブルの断面積は  $500\text{ mm}$  を中心にその両側に約  $18\text{ mm}$  までの位置で  $6\%$  増加している。

【0070】

グラフLおよびMにおいて、移動量  $X = 500\text{ mm}$ 、すなわちケーブルの断面積が増加した箇所では、グラフLは減少し、グラフMは増加している。これは上述した腐食の場合

50

とは反対の強磁性体である部分の断面積が多くなるためである。

【0071】

グラフMは、移動量 500 mmを中心として緩やかな放物線を描き、かつ移動量が大きくなるにつれてドリフト（零点の移動）が発生していることがわかる。

【0072】

測定した磁界の強さに基づく磁束量の補正について説明する。

【0073】

ハンガーケーブルと同じ規格の新品のケーブル（6×WS（36））（基準ケーブルという）に磁化器10を取付け、流す磁化電流を変化させて、磁界の強さと磁束量との関係を計測した結果を図9に示す。

10

【0074】

図9のグラフから磁界の強さHと磁束量との関係を求め、これを式で表現すると次のようになる。

【0075】

$$(H) = 9.8637 \times \log_e (H) + 66.128 \quad \text{式(3)}$$

【0076】

実際の測定は磁界の強さHを50 kA/mになるように磁化電流を制御しながら行うので、より正確な補正を行うためにこの磁界の強さ50 kA/mおよびそのときの磁束量（50）を基準にして式（3）を変形すると次式が得られる。

【0077】

$$(H) - (50) = 9.8637 \times (\log_e H - \log_e 50) \quad \text{式(4)}$$

20

【0078】

計測された磁界の強さHおよびそのときの磁束量 (H)を式(4)に代入すれば、磁界の強さ50KA/mのときに得られるであろう磁束量 (50)が算出される。この算出された磁束量 (50) が補正後の値である。

【0079】

次にドリフト補正について説明する。図8のグラフMにおいて、測定始点（X = 0 mm）における磁束量  $\phi_0$  と、磁化器10を移動させながら終点（X = 1000 mm）まで計測を行ったときの終点における磁束量  $\phi_{1000}$  との差がドリフト補正量であり、グラフから0.75 kM×増加していることがわかる。任意の位置の磁束量  $\phi_d$  は次式で与えられる。

30

【0080】

$$\phi_d = (X) - 0.00075 \cdot X \quad \text{式(5)}$$

【0081】

位置Xと、そのXの位置における計測された (X) とからドリフト補正後の磁束量  $\phi_d$  が得られる。

【0082】

上述した磁界の強さに基づく磁束量の補正とドリフト補正を行った後の磁束量の変化を表わす図8のグラフNにおいて、グラフMと比較すると、ケーブルの断面積が増加した箇所において、グラフNは立上りおよび立下りが急峻になり、その箇所が明確になる。また、グラフNでは、ドリフトも補正されている。これらの補正により、腐食箇所の検出と腐食箇所の範囲が明確になる。

40

【0083】

磁界の強さを示すグラフLでは、小さな正弦波状の変動が現われている。これは、ケーブルの表面による影響であり、ホール素子を複数個設け、それらの平均値を採用することにより正弦波状変動の振幅は小さくなる。この振幅が小さくなれば上述した磁束量の補正によりグラフNの正弦波状の振幅も小さくすることができる。

【0084】

図10、図11は、ケーブルに沿って磁化器10の移動速度がそれぞれ異なる場合の磁界

50

の強さおよび磁束量の変化を示すものである。いうまでもなく速度以外は同じ条件下で計測を行っている。図10は、磁化器10を30m/min、図11は5m/minの一定速度で移動させ、磁界の強さおよび磁束量の計測を行ったものである。両者を比較して、磁化器10の移動速度により腐食箇所の検出に影響がないことが確認できる。

【0085】

上述したように磁束量およびドリフトを補正することにより、ハンガーロープ2の実際の腐食箇所を明確に把握することができる。

【0086】

磁界の強さH、磁束量を計測するだけでなく、あらかじめ同じ素材、構造、寸法をもつ新品のケーブル（基準ケーブル）の断面積A<sub>a</sub>および透磁率μ<sub>a</sub>を計測しておく。基準ケーブルについて計測した磁界の強さH<sub>a</sub>、磁束量<sub>a</sub>および透磁率μ<sub>a</sub>を用いて式(2)から断面積A<sub>a</sub>をコンピュータ65で算出する。コンピュータ65に基準断面積A<sub>a</sub>が設定され、次式にしたがってケーブルの腐食度を算出することができる。

【0087】

腐食度 = A / A<sub>a</sub> (%) 式(6)

【0088】

さらに好ましくは、図7のブロック図において磁化器10と磁化電源40の間に通電方向切替装置を設置する。磁化コイルCに流れる電流を磁束量が飽和するまで上げ、磁界の強さH、磁束量の計測を行った後に通電方向切替装置によって電流の流れる方向を切替え、磁束量が飽和するまで電流を上げ再び磁界の強さH、磁束量の計測を行う。これを繰り返して、上述のように断面積を算出する。以上のように得られた断面積の平均断面積A<sub>AV</sub>を算出し、式(6)を用いて腐食度を求めることもできる。

【0089】

コンピュータ65の出力は図8に示すようなグラフであってもよいし、式(6)で示すような位置の関数としての腐食度であってもよいし、腐食箇所を位置で表わすデータでもよい。

【図面の簡単な説明】

【図1】線状体の腐食箇所の検出を行う様子を示す全体図である。

【図2】図1の一部、とくにゴンドラおよび磁化器の拡大斜視図である。

【図3】磁化器用リールの斜視図である。

【図4】図3のIV-IV線に沿う断面図である。

【図5】(A)は検出コイル装置の拡大正面図、(B)はこの側面図、(C)は(A)のVC-VC線に沿う断面図である。

【図6】(A)~(C)は検出コイル装置のボビン半体を拡大して示すものであり、(A)は正面図、(B)はこの側面図、(C)は(A)の底面図である。

【図7】腐食箇所検出装置の電氣的構成を示すブロック図である。

【図8】実際に磁化器と線状体に沿って移動させ測定を行った結果および補正を行った結果を示すグラフである。

【図9】基準線状体の磁界の強さと磁束量との関係を示すものである。

【図10】磁化器を高速で移動させたときの測定結果を示すグラフである。

【図11】磁化器を低速で移動させたときの測定結果を示すグラフである。

【符号の説明】

2 ハンガーケーブル

10 磁化器

14 ガイドローラ

20 ゴンドラ

21 吊りロープ

25 補助ローラ

26 ウィンチ

40 磁化電源

10

20

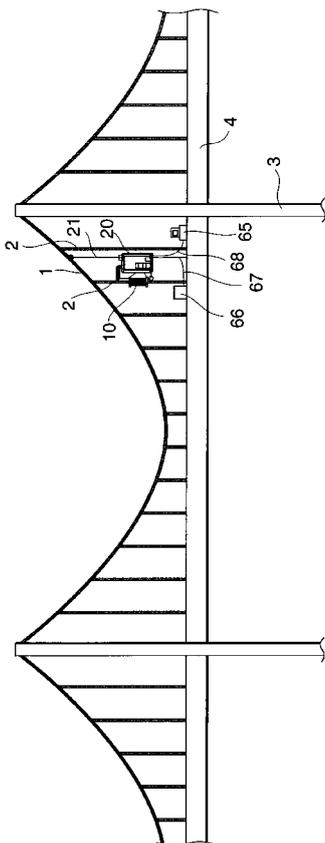
30

40

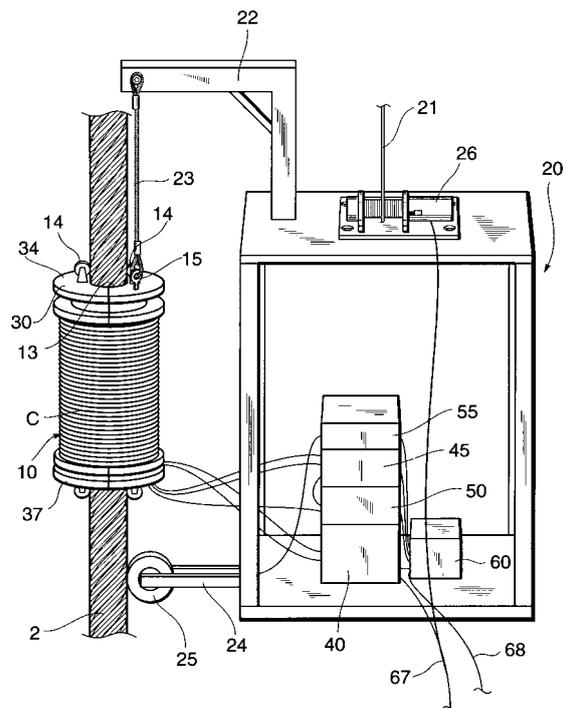
50

- 45 磁束測定装置
- 50 磁界測定装置
- 55 パルスカウンター
- 56 ロータリーエンコーダ
- 60 データ記録装置
- 65 コンピュータ
- 200 検出コイル装置
- C 磁化コイル

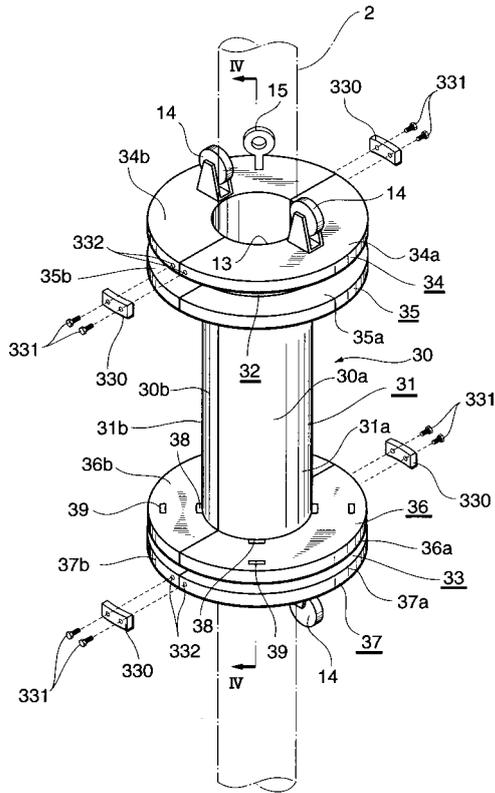
【図1】



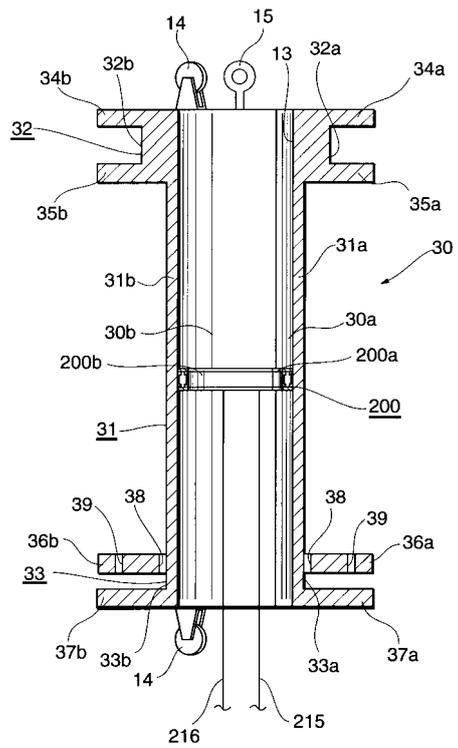
【図2】



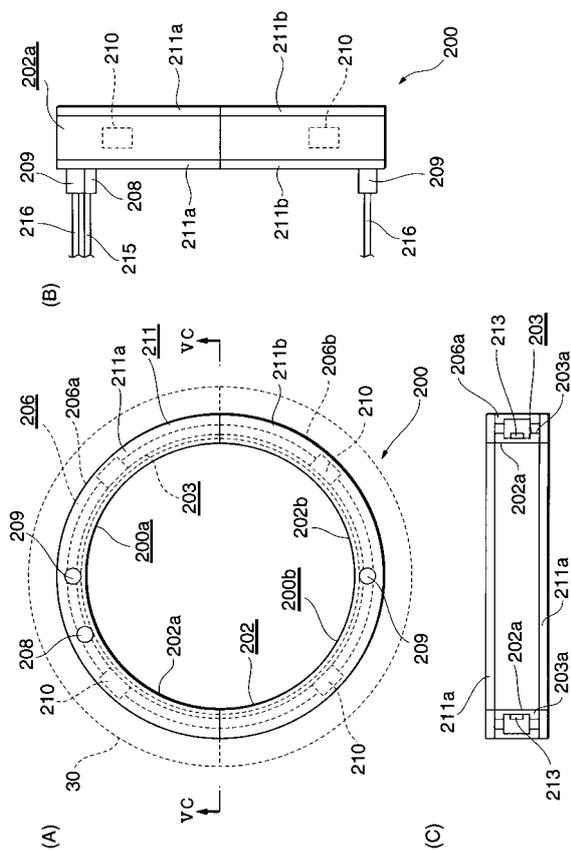
【 図 3 】



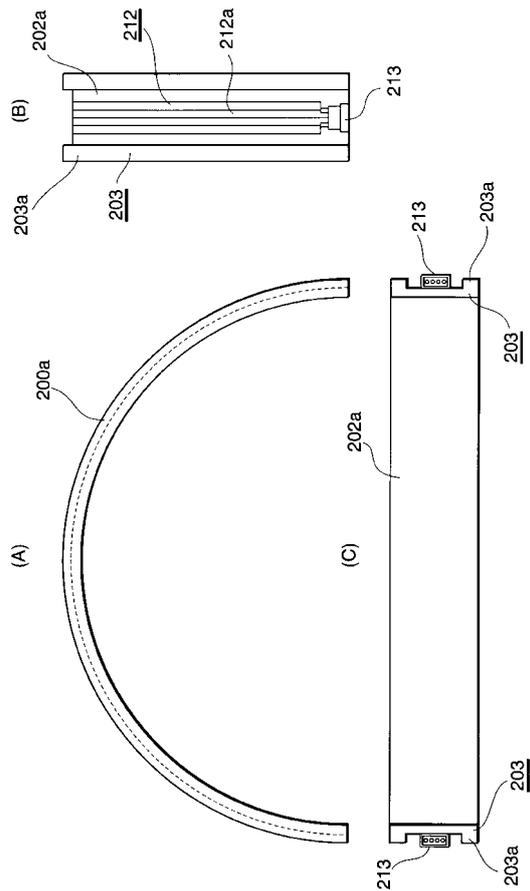
【 図 4 】



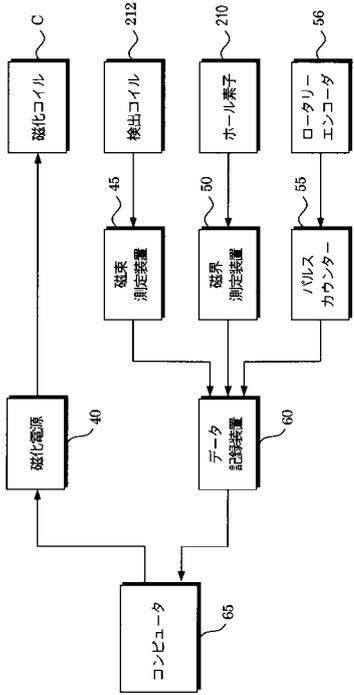
【 図 5 】



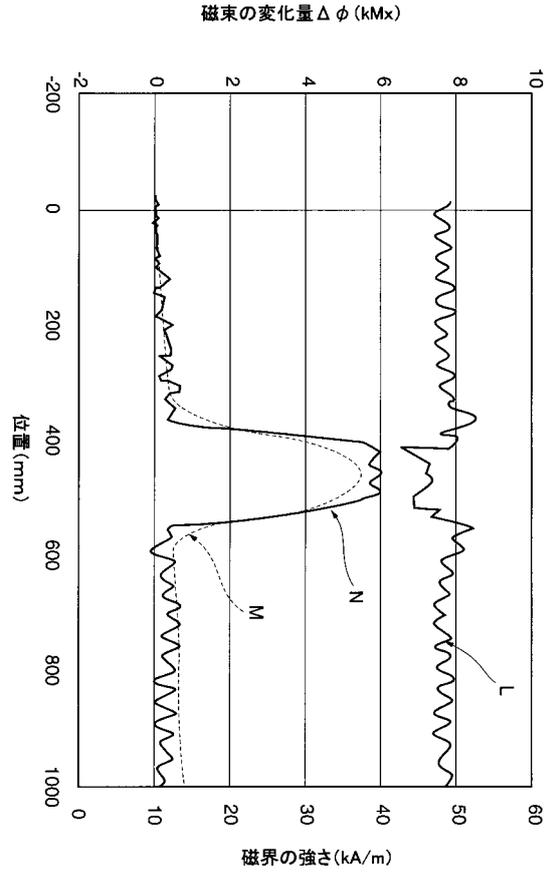
【 図 6 】



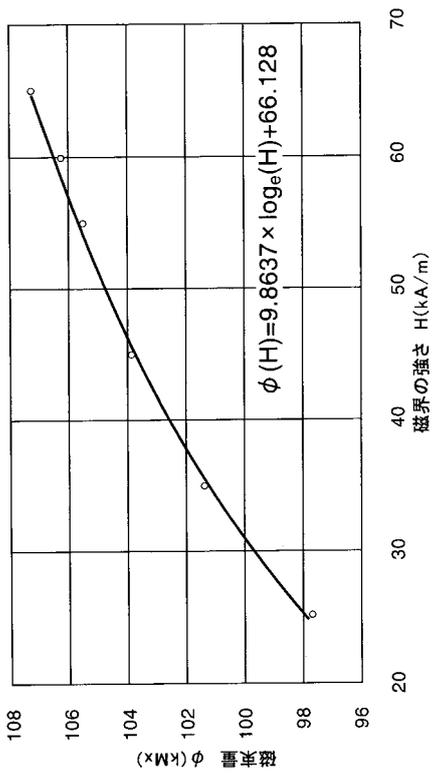
【 図 7 】



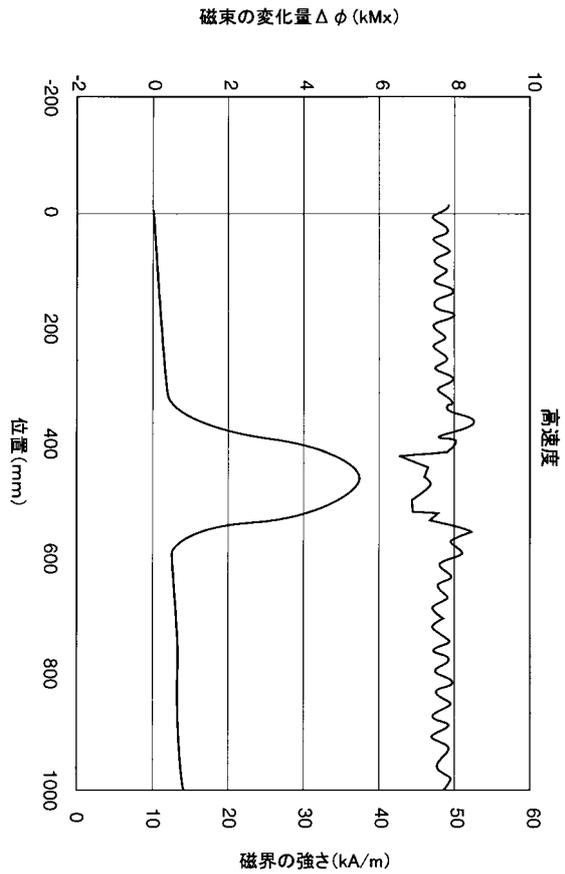
【 図 8 】



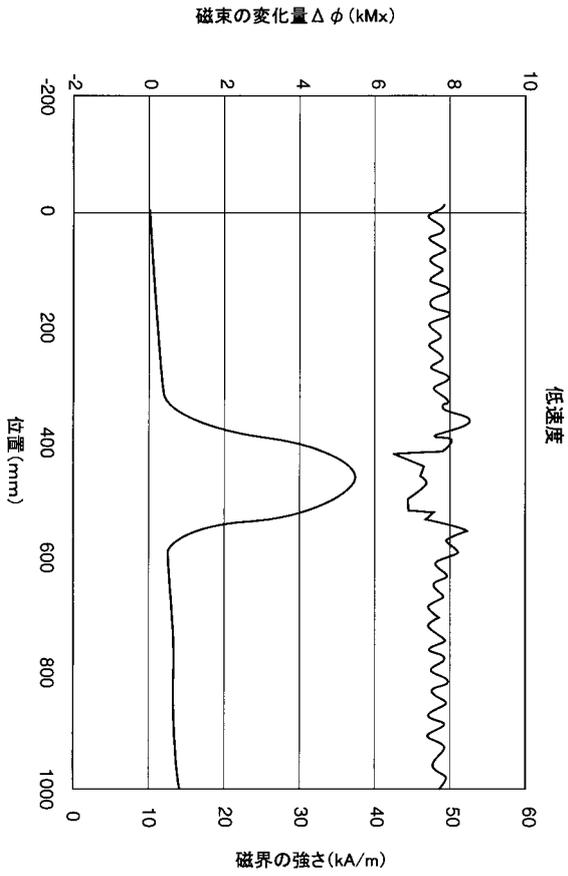
【 図 9 】



【 図 10 】



【図 11】



---

フロントページの続き

- (74)代理人 100114786  
弁理士 高城 貞晶
- (72)発明者 塚田 和彦  
京都市左京区吉田河原町14 マンハイム鴨川417
- (72)発明者 小川 和也  
広島県御調郡向島町6904 本州四国連絡橋公団内
- (72)発明者 前田 泰男  
広島県御調郡向島町6904 本州四国連絡橋公団内
- (72)発明者 明石 良男  
広島県御調郡向島町5552-25 株式会社ブリッジ・エンジニアリング内
- (72)発明者 守谷 敏之  
東京都中央区日本橋室町2丁目3番14号 東京製綱株式会社内

審査官 平田 佳規

- (56)参考文献 特開平10-082764(JP,A)  
特開平07-181167(JP,A)  
特開昭61-226659(JP,A)  
特公昭63-001534(JP,B1)  
特開平03-262958(JP,A)  
特開平11-304766(JP,A)  
特開平04-151551(JP,A)

- (58)調査した分野(Int.Cl.<sup>7</sup>, DB名)  
G01N 27/72-27/90