

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第5709794号  
(P5709794)

(45) 発行日 平成27年4月30日 (2015. 4. 30)

(24) 登録日 平成27年3月13日 (2015. 3. 13)

(51) Int. Cl.		F I	
GO 1 M 99/00	(2011. 01)	GO 1 M 99/00	Z
GO 1 M 7/00	(2006. 01)	GO 1 M 7/00	Z
GO 1 H 17/00	(2006. 01)	GO 1 H 17/00	Z

請求項の数 9 (全 25 頁)

(21) 出願番号	特願2012-108426 (P2012-108426)	(73) 特許権者	000164438
(22) 出願日	平成24年5月10日 (2012. 5. 10)		九州電力株式会社
(65) 公開番号	特開2013-234945 (P2013-234945A)		福岡県福岡市中央区渡辺通2丁目1番82号
(43) 公開日	平成25年11月21日 (2013. 11. 21)	(73) 特許権者	501410779
審査請求日	平成26年1月28日 (2014. 1. 28)		九州電技開発株式会社
			福岡県福岡市中央区清川2丁目13番6号
		(73) 特許権者	510132576
			株式会社地域地盤環境研究所
			大阪府大阪市西区立売堀4-3-2
		(74) 代理人	100099634
			弁理士 平井 安雄
		(72) 発明者	小淵 政英
			福岡県福岡市中央区渡辺通二丁目1番82号 九州電力株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 鉄塔健全性評価装置及び鉄塔健全性評価方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

鉄塔の脚部に配設され、当該鉄塔に生じる常時微動の加速度を互いに直交する3軸方向でそれぞれ測定する第1の加速度センサと、

前記第1の加速度センサから出力される各軸方向の加速度データと当該加速度データの時間間隔をおいた各軸方向の加速度データとの差分をそれぞれ演算する第1の加速度差分演算部と、

前記第1の加速度差分演算部により算出された各軸方向の差分値の標準偏差をそれぞれ演算し、算出した各軸方向の標準偏差値における全軸方向の平均を演算する第1の標準偏差演算部と、

前記第1の標準偏差演算部により算出された標準偏差値の平均値を前記鉄塔の健全性の評価として出力する出力部と、

を備えることを特徴とする鉄塔健全性評価装置。

【請求項 2】

前記請求項1に記載の鉄塔健全性評価装置において、

前記第1の加速度センサが、前記鉄塔の各脚部にそれぞれ配設され、前記鉄塔の各脚部における前記各軸方向の加速度をそれぞれ測定し、

前記第1の加速度差分演算部が、前記各脚部における前記各軸方向の差分値をそれぞれ算出し、

前記第1の標準偏差演算部が、前記各脚部における前記各軸方向の標準偏差値をそれぞ

れ算出し、当該各脚部の各軸方向の標準偏差値における全脚部の全軸方向の平均値を算出することを特徴とする鉄塔健全性評価装置。

【請求項 3】

前記請求項 1 又は 2 に記載の鉄塔健全性評価装置において、

前記第 1 の標準偏差演算部により算出された標準偏差値の平均値に基づいて、前記鉄塔の健全・不健全を評価する第 1 の健全性評価部を備え、

前記出力部が、前記第 1 の健全性評価部の評価結果を、前記第 1 の標準偏差演算部により算出された標準偏差値の平均値に代え又は当該標準偏差値の平均値と共に出力することを特徴とする鉄塔健全性評価装置。

【請求項 4】

前記請求項 1 又は 2 に記載の鉄塔健全性評価装置において、

前記鉄塔近傍の地盤に配設され、当該地盤に生じる常時微動の加速度を互いに直交する 3 軸方向でそれぞれ測定する第 2 の加速度センサと、

前記第 2 の加速度センサから出力される各軸方向の加速度データと当該加速度データの時間間隔をおいた各軸方向の加速度データとの差分をそれぞれ演算する第 2 の加速度差分演算部と、

前記第 2 の加速度差分演算部により算出された各軸方向の差分値の標準偏差をそれぞれ演算し、算出した各軸方向の標準偏差値における全軸方向の平均を演算する第 2 の標準偏差演算部と、

前記第 1 の標準偏差演算部により算出された標準偏差値の平均値と、前記第 2 の標準偏差演算部により算出された標準偏差値の平均値との差分を演算する標準偏差差分演算部と、

を備え、

前記出力部が、前記標準偏差差分演算部により算出された標準偏差値の平均値の差分値を、前記第 1 の標準偏差演算部により算出された標準偏差値の平均値に代えて出力することを特徴とする鉄塔健全性評価装置。

【請求項 5】

前記請求項 1 乃至 4 のいずれかに記載の鉄塔健全性評価装置において、

前記第 1 の加速度センサから出力される各軸方向の加速度データをそれぞれ分割し、当該各軸方向の各加速度データをフーリエ変換してフーリエスペクトル密度をそれぞれ演算する第 1 のフーリエスペクトル密度演算部と、

前記第 1 のフーリエスペクトル密度演算部により算出された各軸方向の各フーリエスペクトル密度に基づき、周波数毎に各軸方向の各フーリエスペクトル密度のベクトル合成を演算し、200 Hz 以上の周波数におけるフーリエスペクトル密度の合成値の平均を演算する第 1 の平均フーリエスペクトル密度演算部と、

を備え、

前記出力部が、前記第 1 の平均フーリエスペクトル密度演算部により算出された平均フーリエスペクトル密度の合成値を前記鉄塔の健全性の評価として出力することを特徴とする鉄塔健全性評価装置。

【請求項 6】

前記請求項 5 に記載の鉄塔健全性評価装置において、

前記第 1 の平均フーリエスペクトル密度演算部が、500 Hz 以下の周波数におけるフーリエスペクトル密度の合成値の平均を演算することを特徴とする鉄塔健全性評価装置。

【請求項 7】

前記請求項 5 又は 6 に記載の鉄塔健全性評価装置において、

前記第 1 の健全性評価部が、前記第 1 の平均フーリエスペクトル密度演算部により算出された平均フーリエスペクトル密度の合成値に基づいて、前記鉄塔の健全・不健全を評価し、

前記出力部が、前記第 1 の健全性評価部の評価結果を、前記第 1 の平均フーリエスペクトル密度演算部により算出された平均フーリエスペクトル密度の合成値に代え又は当該平

10

20

30

40

50

均フーリエスペクトル密度の合成値と共に出力することを特徴とする鉄塔健全性評価装置。

【請求項 8】

前記請求項 5 又は 6 に記載の鉄塔健全性評価装置において、

前記第 2 の加速度センサから出力される各軸方向の加速度データをそれぞれ分割し、当該各軸方向の各加速度データをフーリエ変換してフーリエスペクトル密度をそれぞれ演算する第 2 のフーリエスペクトル密度演算部と、

前記第 2 のフーリエスペクトル密度演算部により算出された各軸方向の各フーリエスペクトル密度に基づき、周波数毎に各軸方向の各フーリエスペクトル密度のベクトル合成を演算し、200 Hz 以上の周波数におけるフーリエスペクトル密度の合成値の平均を演算する第 2 の平均フーリエスペクトル密度演算部と、

10

前記第 1 の平均フーリエスペクトル密度演算部により算出された平均フーリエスペクトル密度の合成値と、前記第 2 の平均フーリエスペクトル密度演算部により算出された平均フーリエスペクトル密度の合成値との差分を演算する平均フーリエスペクトル密度差分演算部と、

を備え、

前記出力部が、前記平均フーリエスペクトル密度差分演算部により算出された平均フーリエスペクトル密度の合成値の差分値を、前記第 1 の平均フーリエスペクトル密度演算部により算出された平均フーリエスペクトル密度の合成値に代えて出力することを特徴とする鉄塔健全性評価装置。

20

【請求項 9】

鉄塔に生じる常時微動の加速度を第 1 の加速度センサで互いに直交する 3 軸方向でそれぞれ測定する加速度測定ステップと、

前記加速度測定ステップにより測定された各軸方向の加速度データと当該加速度データの時間間隔をおいた各軸方向の加速度データとの差分をそれぞれ演算する差分演算ステップと、

前記差分演算ステップにより算出された各軸方向の差分値の標準偏差をそれぞれ演算し、算出した各軸方向の標準偏差値における全軸方向の平均を演算する標準偏差演算ステップと、

前記標準偏差演算ステップにより算出された標準偏差値の平均値を前記鉄塔の健全性の評価として出力する出力ステップと、

30

を含むことを特徴とする鉄塔健全性評価方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

この発明は、常時微動測定により得られた振動特性を用いて、鉄塔の健全性を診断する鉄塔健全性評価装置及び鉄塔健全性評価方法に関する。

【背景技術】

【0002】

常時微動は、地盤又は構造物中を伝搬する人工的若しくは自然現象による種々の振動のうち、特定の振動源から直接的に影響を受けない状態で、様々な振動によって誘起される微小な振動である。

40

また、常時微動測定は、この微小な振動を測定して、地盤の振動特性の推定、構造物の固有周期や減衰特性などの振動特性の推定、又は、地盤種別の評価などに利用するために行われる。

この常時微動測定を用いたものとしては、測定周波数範囲を直流(DC)から100 Hz(最大値:300 Hz)までとし、平均フーリエスペクトル密度の値によるトンネル覆工の健全度評価手法が提案されている(例えば、非特許文献1)。

【0003】

また、従来の構造物の健全度評価装置は、複数の振動受振器とその増幅器から構成され

50

る振動測定部と、その振動波形データを周波数分析してフーリエスペクトルを演算する回路とフーリエスペクトル比を演算する回路からなるデータ処理部と、時間領域の振動波形データ、周波数領域の振動波形データ、フーリエスペクトル比の曲線をグラフ化する表示部からなり、自然に存在する常時微動をある距離をおいた複数の点で測定して、測定した常時微動の時間領域の振動波形データをフーリエ変換して、周波数領域の振動波形データであるフーリエスペクトルを求め、さらに各測定箇所のフーリエスペクトル比の曲線をグラフ表示することによって評価する（例えば、特許文献１）。

【先行技術文献】

【特許文献】

【０００４】

10

【特許文献１】特開平０５－２８１０８２号公報

【非特許文献】

【０００５】

【非特許文献１】蔣 宇静、外４名、「常時微動測定に基づくトンネル覆工の健全度評価手法の提案」、トンネル工学報告集／土木学会トンネル工学委員会編、公益社団法人土木学会、２０１０年１１月２５日、第２０巻、pp 205 - 209

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【０００６】

しかしながら、トンネル覆工の健全度評価手法や従来の構造物の健全度評価装置は、鉄塔の健全性の評価に応用する場合に、鉄塔が上空からの風荷重の影響を多大に受けるため、風荷重の影響を排除する必要がある、鉄塔自身に起因する常時微動特性のみを把握することが困難であるという課題がある。

20

【０００７】

また、トンネル覆工の健全度評価手法や従来の構造物の健全度評価装置は、高速フーリエ変換（Fast Fourier Transform：FFT）による各周波数のスペクトル密度を求める必要がある。すなわち、スペクトル密度が  $gal \cdot sec$  の単位を有する値であるため、地盤の種別により値が異なる場合があると共に、FFT解析の計算手法が多種多様で複雑であり、更に一般的及び簡易的な手法の開発が望まれている。

【０００８】

30

この発明は、上述のような課題を解決するためになされたものであり、風荷重の影響を排除し、鉄塔の健全性を簡易に診断することができる鉄塔健全性評価装置及び鉄塔健全性評価方法を提供するものである。

【課題を解決するための手段】

【０００９】

この発明に係る鉄塔健全性評価装置においては、鉄塔に生じる常時微動の加速度を互いに直交する３軸方向でそれぞれ測定する第１の加速度センサと、第１の加速度センサから出力される各軸方向の加速度データと当該加速度データの時間間隔をおいた各軸方向の加速度データとの差分をそれぞれ演算する第１の加速度差分演算部と、第１の加速度差分演算部により算出された各軸方向の差分値の標準偏差をそれぞれ演算し、算出した各軸方向の標準偏差値における全軸方向の平均を演算する第１の標準偏差演算部と、第１の標準偏差演算部により算出された標準偏差値の平均値を鉄塔の健全性の評価として出力する出力部と、を備えるものである。

40

【発明の効果】

【００１０】

開示の鉄塔健全性評価装置は、風荷重の影響を排除し、地盤種別や鉄塔の種類などの各鉄塔の特徴に影響を受けることなく、鉄塔の健全性を簡易に評価することができるという効果を奏する。

【図面の簡単な説明】

【００１１】

50

【図 1】(a) は第 1 の実施形態に係る鉄塔健全性評価装置の概略構成を示すブロック図であり、(b) は鉄塔健全性評価装置を鉄塔に設置した状態を説明するための説明図である。

【図 2】評価対象の鉄塔の A 脚の x 軸方向における 10 分割した加速度データの波形図である。

【図 3】評価対象の鉄塔の A 脚の y 軸方向における 10 分割した加速度データの波形図である。

【図 4】評価対象の鉄塔の A 脚の z 軸方向における 10 分割した加速度データの波形図である。

【図 5】(a) は評価対象の鉄塔の A 脚の x 軸方向における加速度データの差分値のヒストグラムであり、(b) は評価対象の鉄塔の A 脚の y 軸方向における加速度データの差分値のヒストグラムであり、(c) は評価対象の鉄塔の A 脚の z 軸方向における加速度データの差分値のヒストグラムである。

10

【図 6】(a) は評価対象の鉄塔の A 脚の x 軸方向における 10 分割した加速度データの差分値の標準偏差値を示すグラフであり、(b) は評価対象の鉄塔の B 脚の x 軸方向における 10 分割した加速度データの差分値の標準偏差値を示すグラフであり、(c) は評価対象の鉄塔の C 脚の x 軸方向における 10 分割した加速度データの差分値の標準偏差値を示すグラフであり、(d) は評価対象の鉄塔の D 脚の x 軸方向における 10 分割した加速度データの差分値の標準偏差値を示すグラフである。

【図 7】(a) は評価対象の鉄塔の A 脚の y 軸方向における 10 分割した加速度データの差分値の標準偏差値を示すグラフであり、(b) は評価対象の鉄塔の B 脚の y 軸方向における 10 分割した加速度データの差分値の標準偏差値を示すグラフであり、(c) は評価対象の鉄塔の C 脚の y 軸方向における 10 分割した加速度データの差分値の標準偏差値を示すグラフであり、(d) は評価対象の鉄塔の D 脚の y 軸方向における 10 分割した加速度データの差分値の標準偏差値を示すグラフである。

20

【図 8】(a) は評価対象の鉄塔の A 脚の z 軸方向における 10 分割した加速度データの差分値の標準偏差値を示すグラフであり、(b) は評価対象の鉄塔の B 脚の z 軸方向における 10 分割した加速度データの差分値の標準偏差値を示すグラフであり、(c) は評価対象の鉄塔の C 脚の z 軸方向における 10 分割した加速度データの差分値の標準偏差値を示すグラフであり、(d) は評価対象の鉄塔の D 脚の z 軸方向における 10 分割した加速度データの差分値の標準偏差値を示すグラフである。

30

【図 9】(a) は評価対象の鉄塔の各脚の各軸方向における加速度データの差分値の標準偏差値を示す表であり、(b) は図 9 (a) に示す各鉄塔の標準偏差値の平均値を示すグラフである。

【図 10】第 2 の実施形態に係る鉄塔健全性評価装置の概略構成を示すブロック図である。

【図 11】評価対象の鉄塔の A 脚の x 軸方向におけるフーリエスペクトル密度のスペクトル図である。

【図 12】評価対象の鉄塔の A 脚の y 軸方向におけるフーリエスペクトル密度のスペクトル図である。

40

【図 13】評価対象の鉄塔の A 脚の z 軸方向におけるフーリエスペクトル密度のスペクトル図である。

【図 14】(a) は評価対象の鉄塔の A 脚の x 軸方向における平均フーリエスペクトル密度のスペクトル図であり、(b) は評価対象の鉄塔の A 脚の y 軸方向における平均フーリエスペクトル密度のスペクトル図であり、(c) は評価対象の鉄塔の A 脚の z 軸方向における平均フーリエスペクトル密度のスペクトル図である。

【図 15】第 3 の実施形態に係る鉄塔健全性評価装置の概略構成を示すブロック図である。

【図 16】第 4 の実施形態に係る鉄塔健全性評価装置の概略構成を示すブロック図である。

50

## 【発明を実施するための形態】

## 【0012】

(本発明の第1の実施形態)

鉄塔健全性評価装置10は、図1に示すように、鉄塔100に生じる常時微動の加速度を互いに直交する3軸方向でそれぞれ測定する第1の加速度センサ1と、鉄塔100の健全性を評価しようとする者(以下、評価者と称す)が鉄塔健全性評価装置10を起動して評価の開始を指示するための入力部2と、第1の加速度センサ1から出力される各軸方向の加速度データと当該加速度データの時間間隔をおいた各軸方向の加速度データとの差分をそれぞれ演算する第1の加速度差分演算部3と、第1の加速度差分演算部3により算出された各軸方向の差分値の標準偏差をそれぞれ演算し、算出した各軸方向の標準偏差値における全軸方向の平均を演算する第1の標準偏差演算部4と、第1の標準偏差演算部4により算出された標準偏差値の平均値に基づいて鉄塔100の健全・不健全を評価する第1の健全性評価部5と、第1の健全性評価部5により評価された評価結果を外部に出力する出力部6と、を備える。

10

## 【0013】

なお、本実施形態に係る第1の健全性評価部5は、第1の標準偏差演算部4により算出された標準偏差値の平均値が予め設定された閾値(以下、第1の閾値と称す)を越える場合に、鉄塔100が不健全であると評価する。

## 【0014】

また、第1の閾値は、評価対象の鉄塔100(の脚部101)に対して上部構造物(鉄塔部材)及び基礎構造物(鉄塔100の支柱材を地中に定着させている構造)が同一の構造であると共に上部構造物及び基礎構造物の腐食やボルトの緩み等の不具合がない又は少ない健全な鉄塔(例えば、設置当初の鉄塔100の対応する脚部)における常時微動の加速度データを予め測定し、加速度データの差分値、差分値の標準偏差値及び標準偏差値の平均値を予め算出することにより得られる標準偏差値の平均値である。

20

## 【0015】

また、鉄塔健全性評価装置10は、第1の加速度センサ1で測定された加速度データを格納する第1の加速度データ格納部1aと、第1の加速度差分演算部3により算出された加速度データの差分値を格納する第1の加速度差分値格納部3aと、第1の標準偏差演算部4により算出された標準偏差値及び標準偏差値の平均値を格納する第1の標準偏差値格納部4aと、第1の閾値を格納する閾値格納部5aと、を備える。

30

## 【0016】

なお、本実施形態に係る第1の加速度センサ1は、データ処理手段であるパソコン10a(personal computer:PC)に接続される。また、入力部2は、キーボード又はポインティングデバイス等であり、出力部6は、液晶ディスプレイ又はCRT(Cathode-Ray Tube)等の表示装置やプリンターやスピーカ等である。また、第1の加速度データ格納部1a、入力部2、第1の加速度差分演算部3、第1の加速度差分値格納部3a、第1の標準偏差演算部4、第1の標準偏差値格納部4a、第1の健全性評価部5、閾値格納部5a及び出力部6は、パソコン10aに具備される。

## 【0017】

また、本実施形態に係る第1の加速度センサ1は、鉄塔100の一又は複数の脚部(アングル材)101のうち少なくとも一の脚部101に万力を用いて密着して固定され、鉄塔100に架設された送電線102の線路方向に略平行な方向(以下、x軸方向と称す)と、当該x軸方向に垂直かつ地面に対して略水平な方向(以下、y軸方向と称す)と、当該x軸方向及びy軸方向に垂直な方向(以下、z軸方向と称す)とにおける、鉄塔100に生じる常時微動の加速度をそれぞれ測定する。

40

## 【0018】

つぎに、本実施形態に係る鉄塔健全性評価装置10の処理動作について説明する。

まず、鉄塔100の脚部101(例えば、A脚101a)に固定された第1の加速度センサ1は、x軸方向、y軸方向及びz軸方向の各軸方向における鉄塔100(A脚101

50

a) に生じる常時微動の加速度を測定し、パソコン 10 a に出力する。

パソコン 10 a の第 1 の加速度データ格納部 1 a は、第 1 の加速度センサ 1 から入力された加速度の時間的変化を加速度データとして格納する。

なお、本実施形態においては、常時微動の加速度の測定時間が 200 秒間で、サンプリング間隔を 1000 Hz とし、各軸に対して 20 万個のデータをそれぞれ取得しており、図 2 乃至図 4 に示すような加速度データ（加速度波形）が得られる。なお、図 2 乃至図 4 においては、200 秒間の加速度データを 20 秒毎に 10 分割して表示している。

【0019】

そして、第 1 の加速度差分演算部 3 は、入力部 2 からの起動信号に基づき、第 1 の加速度データ格納部 1 a に格納された加速度データを抽出する。また、第 1 の加速度差分演算部 3 は、抽出した加速度データと当該加速度データの時間間隔をおいた加速度データとの差分を演算し、x 軸方向、y 軸方向及び z 軸方向の各軸方向における加速度データの差分値を第 1 の加速度差分値格納部 3 a に格納する。

なお、本実施形態においては、差分値を算出するための時間間隔を 1 / 1000 秒として、各軸に対して差分値を取得しており、加速度データの差分値の分布は、図 5 に示すように、中央値 0 で標準偏差 の正規分布になった。

【0020】

そして、第 1 の標準偏差演算部 4 は、第 1 の加速度差分演算部 3 からの入力信号に基づき、第 1 の加速度差分値格納部 3 a に格納された加速度データの差分値を抽出する。また、第 1 の標準偏差演算部 4 は、抽出した加速度データの差分値の標準偏差を演算し、x 軸方向、y 軸方向及び z 軸方向の各軸方向における加速度データの差分値の標準偏差値を第 1 の標準偏差値格納部 4 a に格納する。また、第 1 の標準偏差演算部 4 は、算出した各軸方向の標準偏差値における全軸方向の平均を演算し、全軸方向の標準偏差値の平均値を第 1 の標準偏差値格納部 4 a に格納する。

なお、本実施形態においては、200 秒間の加速度データを 20 秒毎に 10 分割した加速度データに対する各差分値の標準偏差値を演算しており、次表 1 に示すように、加速度データの差分値の基本統計量のうちの標準偏差値及び標準偏差値の平均値を取得した。

【0021】

【表 1】

10 分割データ 分割 No.	標準偏差値		
	x 軸方向	y 軸方向	z 軸方向
1	119.2927942	1508.706237	97.79998628
2	121.3947639	1848.805597	97.77117487
3	119.3381719	2178.953386	99.01914556
4	132.6285658	2012.762558	98.35798784
5	124.067681	1992.835351	98.07286584
6	118.331506	2150.031979	96.60265638
7	119.7688433	2160.89457	97.0518416
8	122.2976164	2309.436443	97.46201098
9	124.8423053	2274.538686	97.79037224
10	121.8112015	2355.512453	97.51824647
平均値	122.3773449	2079.247726	97.74462881
全軸方向の 平均値	766.4566		

【0022】

そして、第 1 の健全性評価部 5 は、第 1 の標準偏差演算部 4 からの入力信号に基づき、第 1 の標準偏差値格納部 4 a に格納された全軸方向の標準偏差値の平均値（ここでは、766.4566）を抽出し、閾値格納部 5 a に格納された第 1 の閾値を抽出する。また、第 1 の標準偏差演算部 4 は、抽出した全軸方向の標準偏差値の平均値と第 1 の閾値とを比

較し、全軸方向の標準偏差値の平均値が第1の閾値を越える場合に、鉄塔100が不健全であると評価すると共に、全軸方向の標準偏差値の平均値が第1の閾値を越えない場合に、鉄塔100が健全であると評価する。

#### 【0023】

なお、本実施形態に係る第1の閾値は、評価対象の鉄塔100の脚部101（ここでは、A脚101a）に対応する健全な鉄塔の脚部における全軸方向の標準偏差値の平均値（例えば、164.12）である。このため、第1の健全性評価部5は、抽出した全軸方向の標準偏差値の平均値766.4566が第1の閾値164.12を越えるために、鉄塔100が不健全であると評価する。

#### 【0024】

そして、出力部6は、第1の健全性評価部5からの評価結果に基づき、鉄塔100の健全性評価の評価結果を外部に出力して、評価者に報知する。なお、本実施形態においては、出力部6がパソコン10aのディスプレイであり、評価結果を表示画面に表示することになる。

#### 【0025】

ここで、本実施形態に係る鉄塔健全性評価装置10による鉄塔100の健全性評価の正否を以下のように検証した。

まず、評価対象の鉄塔100の上部構造物を目視により観察したところ、顕著な腐食などは見られなかった。

つぎに、鉄塔100の基礎構造物を地中から掘り出して、A脚101aの基礎構造物を目視により観察したところ、腐食度合いが高く、鋼材が減肉している箇所も見られた。

すなわち、鉄塔健全性評価装置10による鉄塔100（A脚101aの基礎構造物）の健全性の評価結果と目視観察による鉄塔100（A脚101aの基礎構造物）の健全性の評価結果とが一致しており、鉄塔健全性評価装置10は、鉄塔100の健全性の評価を行なううえで有効であることを確認することができた。

#### 【0026】

以上のように、本実施形態に係る鉄塔健全性評価装置10は、鉄塔100の上部構造物に腐食やボルトの緩み等の不具合がない（目視観察により上部構造物に不具合が見つからない）場合に、地中に埋設された基礎構造物を地中から掘り出すことなく、非破壊測定により、基礎構造物の腐食の有無を評価することができるという作用効果を奏する。

また、本実施形態に係る鉄塔健全性評価装置10は、上部構造物及び基礎構造物に腐食がない場合に、目視観察によることなく上部構造物のボルトの緩みの有無を評価することができるという作用効果を奏する。

また、本実施形態に係る鉄塔健全性評価装置10は、基礎構造物に中空鋼管が使用されており、上部構造物に腐食やボルトの緩み等の不具合がなく（目視観察により上部構造物に不具合が見つからず）、基礎構造物の外部に腐食が見られない場合に、基礎構造物の中空鋼管内の腐食の有無を評価することができるという作用効果を奏する。

#### 【0027】

特に、本実施形態に係る鉄塔健全性評価装置10は、加速度データの差分値を演算することにより、各鉄塔100の特徴（地盤種別、鉄塔100の種類など）に影響を受け難く、風荷重の影響による各データの影響を除去すると共に、加速度の時刻暦応答の差分値のばらつきである標準正規分布（白色雑音：white noise）により、鉄塔100の健全性を評価することができる。

#### 【0028】

なお、本実施形態に係る鉄塔健全性評価装置10においては、評価対象の鉄塔100の一又は複数の脚部101のうち少なくとも一の脚部101における健全性評価を行なう場合について説明したが、評価対象の鉄塔100の全脚部101に対して常時微動の加速度を測定し、鉄塔100全体として健全性評価を行なってもよい。

#### 【0029】

この場合に、第1の加速度センサ1は、鉄塔100の各脚部101に万力を用いて密着

10

20

30

40

50



してそれぞれ固定され、鉄塔 100 の各脚部 101 における x 軸方向と y 軸方向と z 軸方向との各軸方向の常時微動の加速度をそれぞれ検出することになる。

また、第 1 の加速度差分演算部 3 は、第 1 の加速度センサ 1 から出力される各脚部 101 の各軸方向の加速度データと当該加速度データの時間間隔をおいた加速度データとの差分値をそれぞれ算出することになる。

また、第 1 の標準偏差演算部 4 は、第 1 の加速度差分演算部 3 により算出された各脚部 101 の各軸方向の差分値の標準偏差値をそれぞれ算出し、当該各脚部 101 の各軸方向の標準偏差値における全脚部 101 の全軸方向の平均値を算出することになる。

また、第 1 の健全性評価部 5 は、第 1 の標準偏差演算部 4 により算出された全脚部 101 の全軸方向の標準偏差値の平均値が閾値格納部 5a に予め設定された閾値（以下、第 2 の閾値と称す）を越える場合に、鉄塔 100 が不健全であると評価することになる。

#### 【0030】

なお、第 2 の閾値は、評価対象の鉄塔 100 に対して上部構造物及び基礎構造物が同一の構造であると共に上部構造物及び基礎構造物の腐食やボルトの緩み等の不具合がない又は少ない健全な鉄塔（例えば、設置当初の鉄塔 100 の対応する各脚部 101）における常時微動の加速度データを予めそれぞれ測定し、各加速度データの差分値、各差分値の標準偏差値、各標準偏差値の平均値及び全脚部 101 の全軸方向の標準偏差値の平均値を予めそれぞれ算出することにより得られる全脚部 101 の全軸方向の標準偏差値の平均値である。

#### 【0031】

ここで、図 6 乃至図 9 に示すように、実際に運用されていた 4 基の鉄塔 100（No. 30、No. 31、No. 33、No. 34）の全脚部 101（A 脚 101a、B 脚 101b、C 脚 101c、D 脚 101d）に対して、各軸方向の常時微動の加速度を測定し、各軸方向の加速度データの差分値、各軸方向の標準偏差値及び全脚部 101 の全軸方向の標準偏差値の平均値を算出した結果について説明する。

#### 【0032】

なお、No. 30、No. 31 及び No. 33 の鉄塔 100 は、全ての基礎構造物が同一の寸法及び規格であり、全ての上部構造物に腐食やボルトの緩み等の不具合はない。

また、No. 34 の鉄塔 100 は、No. 30、No. 31 及び No. 33 の鉄塔 100 と異なり、逆 T 型コンクリート基礎であり、基礎構造物の鋼材がコンクリートで被覆されているため、基礎構造物の腐食がなく、基礎が安定し、鉄塔 100 の全脚部 101 における全軸方向の標準偏差値の平均値が小さいと考えられる。

#### 【0033】

鉄塔 100 の全脚部 101 における全軸方向の標準偏差値の平均値は、図 9 に示すように、No. 34、No. 30、No. 31、No. 33 の順に大きくなっており、鉄塔健全性評価装置 10 により、No. 34 及び No. 30 の鉄塔 100 が健全であり、No. 31 及び No. 33 の鉄塔 100 が不健全であるという評価結果が得られた。

#### 【0034】

実際には、No. 30、No. 31、No. 33 及び No. 34 の鉄塔 100 の基礎構造物を地中から掘り出して、基礎構造物を目視により観察したところ、No. 30 の鉄塔 100 は腐食度合いが比較的小さく、No. 31 の鉄塔 100 は腐食度合いが中程度であり、No. 33 の鉄塔 100 は腐食度合いが大きく、No. 34 の鉄塔 100 はほぼ設計書通りの寸法であり腐食がなかった。

#### 【0035】

すなわち、鉄塔 100 の全脚部 101 における全軸方向の標準偏差値の平均値の大小関係は、基礎構造物の撤去後の目視観察による基礎構造物の腐食度合いに一致している。

このことは、鉄塔 100 の全脚部 101 における全軸方向の標準偏差値の平均値が大きいほど、鉄塔 100 の健全性が低い傾向にあると評価することができることを意味している。

このため、本実施形態に係る鉄塔健全性評価装置 10 は、鉄塔 100 の健全又は不健全

10

20

30

40

50

を評価する指標として１つの閾値（第１の閾値、第２の閾値）を設定しているが、段階的な複数の閾値を閾値格納部５aに予め設定し、第１の健全性評価部５が各閾値との比較に基づいて鉄塔１００の不健全（健全）の度合いを評価してもよい。

【００３６】

なお、本実施形態に係る鉄塔健全性評価装置１０は、第１の健全性評価部５により標準偏差値の平均値と閾値とを比較して鉄塔１００の健全性を評価しているが、第１の標準偏差演算部４により算出した標準偏差値の平均値を出力部６に出力し、第１の健全性評価部５の評価結果に代え又は第１の健全性評価部５の評価結果と共に出力部６により標準偏差値の平均値を鉄塔１００の健全性の評価として外部に出力して、評価者に報知（評価者が標準偏差値の平均値に基づいて鉄塔１００の健全性を評価）する構成であってもよい。

10

【００３７】

（本発明の第２の実施形態）

図１０は第２の実施形態に係る鉄塔健全性評価装置の概略構成を示すブロック図である。図１１は評価対象の鉄塔のＡ脚のｘ軸方向におけるフーリエスペクトル密度のスペクトル図である。図１２は評価対象の鉄塔のＡ脚のｙ軸方向におけるフーリエスペクトル密度のスペクトル図である。図１３は評価対象の鉄塔のＡ脚のｚ軸方向におけるフーリエスペクトル密度のスペクトル図である。図１４（a）は評価対象の鉄塔のＡ脚のｘ軸方向における平均フーリエスペクトル密度のスペクトル図であり、図１４（b）は評価対象の鉄塔のＡ脚のｙ軸方向における平均フーリエスペクトル密度のスペクトル図であり、図１４（c）は評価対象の鉄塔のＡ脚のｚ軸方向における平均フーリエスペクトル密度のスペクトル図である。図１０～図１４において、図１～図９と同じ符号は、同一又は相当部分を示し、その説明を省略する。

20

【００３８】

本実施形態に係る鉄塔健全性評価装置１０は、第１の実施形態で前述した、第１の加速度センサ１、第１の加速度データ格納部１a、入力部２、第１の加速度差分演算部３、第１の加速度差分値格納部３a、第１の標準偏差演算部４、第１の標準偏差値格納部４a、第１の健全性評価部５、閾値格納部５a及び出力部６に加えて、第１のフーリエスペクトル密度演算部７と、第１のフーリエスペクトル密度格納部７aと、第１の平均フーリエスペクトル密度演算部８と、第１の平均フーリエスペクトル密度格納部８aと、をパソコン１０aに具備する。

30

【００３９】

第１のフーリエスペクトル密度演算部７は、第１の加速度センサ１から出力される各軸方向の加速度データを所定時間毎にそれぞれ分割し、当該各軸方向の各加速度データをフーリエ変換してフーリエスペクトル密度をそれぞれ演算する。

なお、第１のフーリエスペクトル密度演算部７は、加速度データを所定時間毎に分割することにより、加速度データに含む不要なノイズを各フーリエスペクトル密度に分散させ、さらに、第１のフーリエスペクトル密度演算部８がフーリエスペクトル密度の合成値の平均を演算することで、後述する平均フーリエスペクトル密度の合成値に含むノイズの割合を削減することができる。

また、第１のフーリエスペクトル密度格納部７aは、第１のフーリエスペクトル密度演算部７により算出されたフーリエスペクトル密度を格納する。

40

【００４０】

第１の平均フーリエスペクトル密度演算部８は、第１のフーリエスペクトル密度演算部７により算出された各軸方向の各フーリエスペクトル密度に基づき、周波数毎に各軸方向の各フーリエスペクトル密度のベクトル合成を演算し、フーリエスペクトル密度の合成値の平均を演算する。

また、第１の平均フーリエスペクトル密度格納部８aは、第１の平均フーリエスペクトル密度演算部８により算出された平均フーリエスペクトル密度の合成値を格納する。

【００４１】

第１の健全性評価部５は、第１の標準偏差演算部４により算出された標準偏差値と、第

50

1 の平均フーリエスペクトル密度演算部 8 により算出された平均フーリエスペクトル密度の合成値と、に基づいて、鉄塔 100 の健全・不健全を評価する。

【0042】

なお、本実施形態に係る第 1 の健全性評価部 5 は、第 1 の標準偏差演算部 4 により算出された標準偏差値が閾値格納部 5 a に予め設定された閾値（第 1 の閾値、第 2 の閾値）を越え、第 1 の平均フーリエスペクトル密度演算部 8 により算出された平均フーリエスペクトル密度の合成値が閾値格納部 5 a に予め設定された閾値（以下、第 3 の閾値と称す）を越える場合に、鉄塔 100 が不健全であると評価する。

【0043】

また、第 3 の閾値は、評価対象の鉄塔 100（の脚部 101）に対して上部構造物及び基礎構造物が同一の構造であると共に上部構造物及び基礎構造物の腐食やボルトの緩み等の不具合がない又は少ない健全な鉄塔（例えば、設置当初の鉄塔 100 の対応する脚部）における常時微動の加速度データを予め測定し、加速度データのフーリエスペクトル密度、フーリエスペクトル密度の合成値及び平均フーリエスペクトル密度の合成値を予め算出することにより得られる平均フーリエスペクトル密度の合成値である。

【0044】

つぎに、本実施形態に係る鉄塔健全性評価装置 10 の処理動作について説明する。

なお、以下の説明においては、第 1 の実施形態において評価対象とした鉄塔 100 の脚部 101（A 脚 101 a）を、第 2 の実施形態に係る鉄塔健全性評価装置 10 の評価対象にする場合について説明する。

また、本実施形態に係る第 1 の加速度センサ 1、第 1 の加速度差分演算部 3 及び第 1 の標準偏差演算部 4 の処理動作については、第 1 の実施形態と同様であるので、説明を省略する。

【0045】

第 1 のフーリエスペクトル密度演算部 7 は、入力部 2 からの起動信号に基づき、第 1 の加速度データ格納部 1 a に格納された加速度データを抽出する。また、第 1 のフーリエスペクトル密度演算部 7 は、抽出した x 軸方向、y 軸方向及び z 軸方向の各軸方向の加速度データを所定時間毎にそれぞれ分割し、当該各軸方向の各加速度データをフーリエ変換してフーリエスペクトル密度をそれぞれ演算し、各軸方向における所定時間毎のフーリエスペクトル密度を第 1 のフーリエスペクトル密度格納部 7 a に格納する。

なお、本実施形態においては、200 秒間の加速度データに対して所定時間を 20 秒として 10 ブロックに分割し、図 11 乃至図 13 に示すように、各ブロックのフーリエスペクトル密度を算出している。

【0046】

そして、第 1 の平均フーリエスペクトル密度演算部 8 は、第 1 のフーリエスペクトル密度演算部 7 からの入力信号に基づき、第 1 のフーリエスペクトル密度格納部 7 a に格納された各軸方向の各フーリエスペクトル密度を抽出する。また、第 1 の平均フーリエスペクトル密度演算部 8 は、抽出した各軸方向の各フーリエスペクトル密度に基づき、周波数毎に各軸方向の各フーリエスペクトル密度のベクトル合成を演算し、フーリエスペクトル密度の合成値の平均を演算して、平均フーリエスペクトル密度の合成値を第 1 の平均フーリエスペクトル密度格納部 8 a に格納する。

【0047】

なお、平均フーリエスペクトル密度は、例えば、図 14 に示すように、スペクトルの鋭いピークが 200 Hz より低い周波数で表れており、この鋭いピークは、鉄塔 100 の上部構造物が風を受けたことによる雑音である。また、鉄塔 100 の固有の常時微動特性が 200 Hz 以上で顕著になる。このため、平均フーリエスペクトル密度は、風荷重の影響を排除するうえで、200 Hz 以上の周波数における各軸方向の全フーリエスペクトル密度の平均値であることが好ましい。

【0048】

また、平均フーリエスペクトル密度は、例えば、図 14 に示すように、200 Hz をピ

10

20

30

40

50

ークにして周波数が高くなるにつれて値が減少し、500 Hz でほぼ 0 [mgal\*sec] になる。このため、平均フーリエスペクトル密度は、第 1 の平均フーリエスペクトル密度演算部 8 による処理を削減して鉄塔健全性評価装置 10 の負荷を軽減させるうえで、500 Hz 以下の周波数における各軸方向の全フーリエスペクトル密度の平均値であることが好ましい。

#### 【0049】

なお、本実施形態においては、200 Hz 以上かつ 500 Hz の周波数におけるフーリエスペクトル密度の合成値の平均を演算し、平均フーリエスペクトル密度の合成値（ここでは、20.6 [mgal\*sec]）を取得した。

#### 【0050】

そして、第 1 の健全性評価部 5 は、第 1 の標準偏差演算部 4 からの入力信号に基づき、第 1 の標準偏差値格納部 4 a に格納された全軸方向の標準偏差値の平均値を抽出し、閾値格納部 5 a に格納された第 1 の閾値を抽出して、抽出した全軸方向の標準偏差値の平均値と第 1 の閾値とを比較する。

また、第 1 の健全性評価部 5 は、第 1 の平均フーリエスペクトル密度演算部 8 からの入力信号に基づき、第 1 の平均フーリエスペクトル密度格納部 8 a に格納された平均フーリエスペクトル密度の合成値を抽出し、閾値格納部 5 a に格納された第 3 の閾値を抽出して、抽出した平均フーリエスペクトル密度の合成値と第 3 の閾値とを比較する。

そして、第 1 の健全性評価部 5 は、全軸方向の標準偏差値の平均値が第 1 の閾値を越え、平均フーリエスペクトル密度の合成値が第 3 の閾値を越える場合に、鉄塔 100 が不健全であると評価すると共に、全軸方向の標準偏差値の平均値が第 1 の閾値を越えず、平均フーリエスペクトル密度の合成値が第 3 の閾値を越えない場合に、鉄塔 100 が健全であると評価する。

#### 【0051】

そして、出力部 6 は、第 1 の健全性評価部 5 からの評価結果に基づき、鉄塔 100 の健全性評価の評価結果を外部に出力して、評価者に報知する。

#### 【0052】

なお、この第 2 の実施形態に係る鉄塔健全性評価装置 10 においては、第 1 のフーリエスペクトル密度演算部 7（第 1 のフーリエスペクトル密度格納部 7 a）及び第 1 の平均フーリエスペクトル密度演算部 8（第 1 の平均フーリエスペクトル密度格納部 8 a）を更に備えているところのみが第 1 の実施形態と異なる点であり、第 1 のフーリエスペクトル密度演算部 7（第 1 のフーリエスペクトル密度格納部 7 a）及び第 1 の平均フーリエスペクトル密度演算部 8（第 1 の平均フーリエスペクトル密度格納部 8 a）による作用効果以外は、第 1 の実施形態と同様の作用効果を奏する。

#### 【0053】

本実施形態に係る鉄塔健全性評価装置 10 は、全軸方向の標準偏差値の平均値による鉄塔 100 の健全性評価に加えて、平均フーリエスペクトル密度の合成値による鉄塔 100 の健全性評価を行なうことにより、鉄塔健全性評価装置 10 による評価精度を向上し、鉄塔健全性評価装置 10 の信頼性の向上を図ることができるという作用効果を奏する。

#### 【0054】

なお、本実施形態に係る鉄塔健全性評価装置 10 においては、評価対象の鉄塔 100 の一又は複数の脚部 101 のうち少なくとも一の脚部 101 における健全性評価を行なう場合について説明したが、評価対象の鉄塔 100 の全脚部 101 に対して常時微動の加速度を測定し、鉄塔 100 全体として健全性評価を行なってもよい。

#### 【0055】

この場合に、第 1 の加速度センサ 1 は、鉄塔 100 の各脚部 101 に万力を用いて密着してそれぞれ固定され、鉄塔 100 の各脚部 101 における x 軸方向と y 軸方向と z 軸方向との各軸方向の常時微動の加速度をそれぞれ検出することになる。

また、第 1 のフーリエスペクトル密度演算部 7 は、第 1 の加速度センサ 1 から出力される各脚部 101 の各軸方向の加速度データを所定時間毎にそれぞれ分割し、当該各脚部 1

10

20

30

40

50

01の各軸方向の各加速度データをフーリエ変換してフーリエスペクトル密度をそれぞれ演算することになる。

また、第1の平均フーリエスペクトル密度演算部8は、第1のフーリエスペクトル密度演算部7により算出された各脚部101の各軸方向の各フーリエスペクトル密度に基づき、周波数毎に各脚部101の各軸方向の各フーリエスペクトル密度のベクトル合成を演算する。そして、第1の平均フーリエスペクトル密度演算部8は、200Hz以上かつ500Hz以下の周波数における各脚部101のフーリエスペクトル密度の合成値の平均を演算し、当該各脚部101の平均フーリエスペクトル密度の合成値における全脚部101の平均値を算出することになる。

また、第1の健全性評価部5は、第1の平均フーリエスペクトル密度演算部8により算出された全脚部101の平均フーリエスペクトル密度の合成値の平均値が予め設定された閾値（以下、第4の閾値と称す）を越える場合に、鉄塔100が不健全であると評価することになる。

#### 【0056】

なお、第4の閾値は、評価対象の鉄塔100に対して上部構造物及び基礎構造物が同一の構造であると共に上部構造物及び基礎構造物の腐食やボルトの緩み等の不具合がない又は少ない健全な鉄塔（例えば、設置当初の鉄塔100の対応する各脚部101）における常時微動の加速度データを予めそれぞれ測定し、加速度データのフーリエスペクトル密度、フーリエスペクトル密度の合成値、平均フーリエスペクトル密度の合成値及び全脚部101の平均フーリエスペクトル密度の合成値の平均値を予め算出することにより得られる全脚部101の平均フーリエスペクトル密度の合成値の平均値である。

#### 【0057】

ここで、実際に運用されていた4基の鉄塔100（No.30、No.31、No.33、No.34）の全脚部101（A脚101a、B脚101b、C脚101c、D脚101d）に対して、各軸方向の常時微動の加速度を測定し、各軸方向の加速度データのフーリエスペクトル密度、フーリエスペクトル密度の合成値、平均フーリエスペクトル密度の合成値及び全脚部101の平均フーリエスペクトル密度の合成値の平均値を算出した結果について説明する。

#### 【0058】

鉄塔100の全脚部101における平均フーリエスペクトル密度の合成値の平均値は、次表2に示すように、No.34、No.30、No.31、No.33の順に大きくなっており、鉄塔健全性評価装置10により、No.34及びNo.30の鉄塔100が健全であり、No.31及びNo.33の鉄塔100が不健全であるという評価結果が得られた。

#### 【0059】

【表 2】

10 分割データ 分割 No.	標準偏差値		
	x 軸方向	y 軸方向	z 軸方向
1	119.2927942	1508.706237	97.79998628
2	121.3947639	1848.805597	97.77117487
3	119.3381719	2178.953386	99.01914556
4	132.6285658	2012.762558	98.35798784
5	124.067681	1992.835351	98.07286584
6	118.331506	2150.031979	96.60265638
7	119.7688433	2160.89457	97.0518416
8	122.2976164	2309.436443	97.46201098
9	124.8423053	2274.538686	97.79037224
10	121.8112015	2355.512453	97.51824647
平均値	122.3773449	2079.247726	97.74462881
全軸方向の 平均値	766.4566		

10

## 【0060】

このため、鉄塔 100 の全脚部 101 における平均フーリエスペクトル密度の合成値の平均値の大小関係は、基礎構造物の撤去後の目視観察による基礎構造物の腐食度合いに一

20

致している。  
このことは、鉄塔 100 の全脚部 101 における平均フーリエスペクトル密度の合成値の平均値が大きいくほど、鉄塔 100 の健全性が低い傾向にあると評価することができることを意味している。

このため、本実施形態に係る鉄塔健全性評価装置 10 は、鉄塔 100 の健全又は不健全を評価する指標として 1 つの閾値（第 1 の閾値、第 2 の閾値、第 3 の閾値、第 4 の閾値）を設定しているが、段階的な複数の閾値を閾値格納部 5 a に予め設定し、第 1 の健全性評価部 5 が各閾値との比較に基づいて鉄塔 100 の不健全（健全）の度合いを評価してもよい。

## 【0061】

30

なお、本実施形態に係る鉄塔健全性評価装置 10 は、第 1 の健全性評価部 5 により標準偏差値の平均値及び平均フーリエスペクトル密度の合成値と閾値とを比較して鉄塔 100 の健全性を評価しているが、第 1 の標準偏差演算部 4 により算出した標準偏差値の平均値及び第 1 の平均フーリエスペクトル密度演算部 8 により算出した平均フーリエスペクトル密度の合成値を出力部 6 に出力し、第 1 の健全性評価部 5 の評価結果に代え又は第 1 の健全性評価部 5 の評価結果と共に出力部 6 により標準偏差値の平均値及び平均フーリエスペクトル密度の合成値を鉄塔 100 の健全性の評価として外部に出力して、評価者に報知（評価者が標準偏差値の平均値及び平均フーリエスペクトル密度の合成値に基づいて鉄塔 100 の健全性を評価）する構成であってもよい。

## 【0062】

40

（本発明の第 3 の実施形態）

図 15 は第 3 の実施形態に係る鉄塔健全性評価装置の概略構成を示すブロック図である。図 15 において、図 1 ～ 図 14 と同じ符号は、同一又は相当部分を示し、その説明を省略する。

## 【0063】

本実施形態に係る鉄塔健全性評価装置 10 は、第 1 の実施形態で前述した第 1 の加速度センサ 1 に加えて、第 2 の加速度センサ 11 を備え、第 1 の実施形態で前述した、第 1 の加速度データ格納部 1 a、入力部 2、第 1 の加速度差分演算部 3、第 1 の加速度差分値格納部 3 a、第 1 の標準偏差演算部 4、第 1 の標準偏差値格納部 4 a、閾値格納部 5 a 及び出力部 6 に加えて、第 2 の加速度データ格納部 11 a と、第 2 の加速度差分演算部 13 と

50

、第2の加速度差分値格納部13aと、第2の標準偏差演算部14と、第2の標準偏差値格納部14aと、をパソコン10aに具備する。

また、本実施形態に係る鉄塔健全性評価装置10は、第1の実施形態で前述した第1の健全性評価部5に代えて、第2の健全性評価部15を備える。

【0064】

第2の加速度センサ11は、パソコン10aに接続され、評価対象の鉄塔100近傍（例えば、評価対象の鉄塔100の全脚部101から等距離にある地点）の地盤に配設され、当該地盤に生じる常時微動の加速度を互いに直交する3軸方向でそれぞれ測定する。なお、本実施形態に係る第2の加速度センサ11は、不陸（地面の凹凸）の影響を排除するために、一部を地盤に埋設して固定され、第1の加速度センサ1で測定する3軸方向と同一の3軸方向（x軸方向、y軸方向、z軸方向）における、地盤に生じる常時微動の加速度をそれぞれ測定する。

10

また、第2の加速度データ格納部11aは、第2の加速度センサ11で測定された加速度データを格納する。

【0065】

第2の加速度差分演算部13は、第2の加速度センサ11から出力される各軸方向の加速度データと当該加速度データの時間間隔をおいた各軸方向の加速度データとの差分をそれぞれ演算する。

また、第2の加速度差分値格納部13aは、第2の加速度差分演算部13により算出された加速度データの差分値を格納する。

20

【0066】

第2の標準偏差演算部14は、第2の加速度差分演算部13により算出された各軸方向の差分値の標準偏差をそれぞれ演算し、算出した各軸方向の標準偏差値における全軸方向の平均を演算する。

また、第2の標準偏差値格納部14aは、第2の標準偏差演算部14により算出された標準偏差値及び標準偏差値の平均値を格納する。

【0067】

標準偏差差分演算部9は、第1の標準偏差演算部4により算出された標準偏差値の平均値と、第2の標準偏差演算部14により算出された標準偏差値の平均値との差分を演算する。

30

また、標準偏差差分値格納部9aは、標準偏差差分演算部9により算出された標準偏差値の平均値の差分値を格納する。

【0068】

第2の健全性評価部15は、標準偏差差分演算部9により算出された標準偏差値の平均値の差分値に基づいて、鉄塔100の健全・不健全を評価する。

出力部6は、第2の健全性評価部15により評価された評価結果を外部に出力する。

【0069】

なお、本実施形態に係る第2の健全性評価部15は、標準偏差差分演算部9により算出された標準偏差値の平均値の差分値が予め設定された閾値（以下、第5の閾値と称す）を越える場合に、鉄塔100が不健全であると評価する。

40

【0070】

また、第5の閾値は、評価対象の鉄塔100近傍の地盤における常時微動の加速度データを予め測定し、加速度データの差分値、差分値の標準偏差値及び標準偏差値の平均値を予め算出することにより得られる標準偏差値の平均値を、第1の閾値（一の脚部101に基づく鉄塔100の健全性評価の場合）又は第2の閾値（全脚部101に基づく鉄塔100の健全性評価の場合）から減算して得られる標準偏差値の平均値の差分値である。

【0071】

つぎに、本実施形態に係る鉄塔健全性評価装置10の処理動作について説明する。

なお、本実施形態に係る第1の加速度センサ1、第1の加速度差分演算部3及び第1の標準偏差演算部4の処理動作については、第1の実施形態と同様であるので、説明を省略

50

する。

また、本実施形態に係る第2の加速度センサ11、第2の加速度差分演算部13及び第2の標準偏差演算部14の処理動作については、測定対象が地盤である点を除き、第1の加速度センサ1、第1の加速度差分演算部3及び第1の標準偏差演算部4の処理動作と同様であるので、説明を省略する。

#### 【0072】

標準偏差差分演算部9は、第1の標準偏差演算部4からの入力信号に基づき、第1の標準偏差値格納部4aに格納された全軸方向の標準偏差値の平均値を抽出し、第2の標準偏差演算部14からの入力信号に基づき、第2の標準偏差値格納部14aに格納された全軸方向の標準偏差値の平均値を抽出する。

10

また、標準偏差差分演算部9は、第1の標準偏差値格納部4aから抽出した全軸方向の標準偏差値の平均値から、第2の標準偏差値格納部14aから抽出した全軸方向の標準偏差値の平均値を減算して、標準偏差値の平均値の差分値を算出し、標準偏差差分値格納部9aに標準偏差値の平均値の差分値を格納する。

#### 【0073】

そして、第2の健全性評価部15は、標準偏差差分演算部9からの入力信号に基づき、標準偏差差分値格納部9aに格納された標準偏差値の平均値の差分値を抽出し、閾値格納部5aに格納された第5の閾値を抽出して、抽出した標準偏差値の平均値の差分値と第5の閾値とを比較する。

また、第2の健全性評価部15は、標準偏差値の平均値の差分値が第5の閾値を越える場合に、鉄塔100が不健全であると評価すると共に、標準偏差値の平均値の差分値が第5の閾値を越えない場合に、鉄塔100が健全であると評価する。

20

#### 【0074】

そして、出力部6は、第2の健全性評価部15からの評価結果に基づき、鉄塔100の健全性評価の評価結果を外部に出力して、評価者に報知する。

#### 【0075】

なお、本実施形態に係る鉄塔健全性評価装置10は、第2の健全性評価部15により標準偏差値の平均値の差分値と閾値とを比較して鉄塔100の健全性を評価しているが、標準偏差差分演算部9により算出した標準偏差値の平均値の差分値を出力部6に出力し、第2の健全性評価部15の評価結果に代え又は第2の健全性評価部15の評価結果と共に出力部6により標準偏差値の平均値の差分値を鉄塔100の健全性の評価として外部に出力して、評価者に報知（評価者が標準偏差値の平均値の差分値に基づいて鉄塔100の健全性を評価）する構成であってもよい。

30

#### 【0076】

また、この第3の実施形態に係る鉄塔健全性評価装置10においては、標準偏差差分演算部9（標準偏差差分値格納部9a）、第2の加速度センサ11（第2の加速度データ格納部11a）、第2の加速度差分演算部13（第2の加速度差分値格納部13a）、第2の標準偏差演算部14（第2の標準偏差値格納部14a）及び第2の健全性評価部15を備えているところのみが第1の実施形態と異なる点であり、標準偏差差分演算部9（標準偏差差分値格納部9a）、第2の加速度センサ11（第2の加速度データ格納部11a）、第2の加速度差分演算部13（第2の加速度差分値格納部13a）、第2の標準偏差演算部14（第2の標準偏差値格納部14a）及び第2の健全性評価部15による作用効果以外は、第1の実施形態と同様の作用効果を奏する。

40

#### 【0077】

本実施形態に係る鉄塔健全性評価装置10は、鉄塔特有の振動と地盤特有の振動とに基づく標準偏差値の平均値から、地盤特有の振動に基づく標準偏差値の平均値を減算して、鉄塔特有の振動のみに基づく標準偏差値の平均値の差分値を算出し、この標準偏差値の平均値の差分値による鉄塔100の健全性評価を行なうことにより、評価対象の鉄塔100近傍の地盤種別に依存せず、鉄塔健全性評価装置10による評価精度を向上し、鉄塔健全性評価装置10の信頼性の向上を図ることができるという作用効果を奏する。

50



**【 0 0 7 8 】**

( 本発明の第 4 の実施形態 )

図 1 6 は第 4 の実施形態に係る鉄塔健全性評価装置の概略構成を示すブロック図である。図 1 6 において、図 1 ~ 図 1 5 と同じ符号は、同一又は相当部分を示し、その説明を省略する。

**【 0 0 7 9 】**

本実施形態に係る鉄塔健全性評価装置 1 0 は、第 1 の実施形態乃至第 3 の実施形態で前述した、第 1 の加速度センサ 1、第 1 の加速度データ格納部 1 a、入力部 2、第 1 の加速度差分演算部 3、第 1 の加速度差分値格納部 3 a、第 1 の標準偏差演算部 4、第 1 の標準偏差値格納部 4 a、閾値格納部 5 a、出力部 6、第 1 のフーリエスペクトル密度演算部 7、第 1 のフーリエスペクトル密度格納部 7 a、第 1 の平均フーリエスペクトル密度演算部 8、第 1 の平均フーリエスペクトル密度格納部 8 a、標準偏差差分演算部 9、標準偏差差分値格納部 9 a、第 2 の加速度センサ 1 1、第 2 の加速度データ格納部 1 1 a、第 2 の加速度差分演算部 1 3、第 2 の加速度差分値格納部 1 3 a、第 2 の標準偏差演算部 1 4、第 2 の標準偏差値格納部 1 4 a 及び第 2 の健全性評価部 1 5 に加えて、第 2 のフーリエスペクトル密度演算部 1 7 と、第 2 のフーリエスペクトル密度格納部 1 7 a と、第 2 の平均フーリエスペクトル密度演算部 1 8 と、第 2 の平均フーリエスペクトル密度格納部 1 8 a と、平均フーリエスペクトル密度差分演算部 1 9 と、平均フーリエスペクトル密度差分値格納部 1 9 a と、を備える。

**【 0 0 8 0 】**

第 2 のフーリエスペクトル密度演算部 1 7 は、第 2 の加速度センサ 1 1 から出力される各軸方向の加速度データをそれぞれ分割し、当該各軸方向の各加速度データをフーリエ変換してフーリエスペクトル密度をそれぞれ演算する。

また、第 2 のフーリエスペクトル密度格納部 1 7 a は、第 2 のフーリエスペクトル密度演算部 1 7 により算出されたフーリエスペクトル密度を格納する。

**【 0 0 8 1 】**

第 2 の平均フーリエスペクトル密度演算部 1 8 は、第 2 のフーリエスペクトル密度演算部 1 7 により算出された各軸方向の各フーリエスペクトル密度に基づき、周波数毎に各軸方向の各フーリエスペクトル密度のベクトル合成を演算し、フーリエスペクトル密度の合成値の平均を演算する。なお、平均フーリエスペクトル密度の合成値は、2 0 0 H z 以上の周波数におけるフーリエスペクトル密度の合成値の平均であることが好ましく、2 0 0 H z 以上かつ 5 0 0 H z 以下の周波数におけるフーリエスペクトル密度の合成値の平均であることがより好ましい。

また、第 2 の平均フーリエスペクトル密度格納部 1 8 a は、第 2 の平均フーリエスペクトル密度演算部 1 8 により算出された平均フーリエスペクトル密度の合成値を格納する。

**【 0 0 8 2 】**

平均フーリエスペクトル密度差分演算部 1 9 は、第 1 の平均フーリエスペクトル密度演算部 8 により算出された平均フーリエスペクトル密度の合成値と、第 2 の平均フーリエスペクトル密度演算部 1 8 により算出された平均フーリエスペクトル密度の合成値との差分を演算する。

また、平均フーリエスペクトル密度差分値格納部 1 9 a は、平均フーリエスペクトル密度差分演算部 1 9 により算出された平均フーリエスペクトル密度の合成値の差分値を格納する。

**【 0 0 8 3 】**

第 2 の健全性評価部 1 5 が、平均フーリエスペクトル密度差分演算部 1 9 により算出された平均フーリエスペクトル密度の合成値の差分値に基づいて、鉄塔 1 0 0 の健全・不健全を評価する。

**【 0 0 8 4 】**

なお、本実施形態に係る第 2 の健全性評価部 1 5 は、平均フーリエスペクトル密度差分演算部 1 9 により算出された平均フーリエスペクトル密度の合成値の差分値が予め設定さ

れた閾値（以下、第6の閾値と称す）を越える場合に、鉄塔100が不健全であると評価する。

【0085】

また、第6の閾値は、評価対象の鉄塔100近傍の地盤における常時微動の加速度データを予め測定し、加速度データのフーリエスペクトル密度、フーリエスペクトル密度の合成値及び平均フーリエスペクトル密度の合成値を予め算出することにより得られる平均フーリエスペクトル密度の合成値を、第3の閾値（一の脚部101に基づく鉄塔100の健全性評価の場合）又は第4の閾値（全脚部101に基づく鉄塔100の健全性評価の場合）から減算して得られる平均フーリエスペクトル密度の合成値の差分値である。

【0086】

つぎに、本実施形態に係る鉄塔健全性評価装置10の処理動作について説明する。

なお、本実施形態に係る第1の加速度センサ1、第1の加速度差分演算部3、第1の標準偏差演算部4、第1のフーリエスペクトル密度演算部7、第1の平均フーリエスペクトル密度演算部8、標準偏差差分演算部9、第2の加速度センサ11、第2の加速度差分演算部13及び第2の標準偏差演算部14の処理動作については、第2の実施形態又は第3の実施形態と同様であるので、説明を省略する。

また、本実施形態に係る第2のフーリエスペクトル密度演算部17、第2の平均フーリエスペクトル密度演算部18の処理動作については、第2の加速度センサ11の測定対象が地盤である点を除き、第1のフーリエスペクトル密度演算部7及び第1の平均フーリエスペクトル密度演算部8の処理動作と同様であるので、説明を省略する。

【0087】

平均フーリエスペクトル密度差分演算部19は、第1の平均フーリエスペクトル密度演算部8からの入力信号に基づき、第1の平均フーリエスペクトル密度格納部8aに格納された平均フーリエスペクトル密度の合成値を抽出し、第2の平均フーリエスペクトル密度演算部18からの入力信号に基づき、第2の平均フーリエスペクトル密度格納部18aに格納された平均フーリエスペクトル密度の合成値を抽出する。

また、平均フーリエスペクトル密度差分演算部19は、第1の平均フーリエスペクトル密度格納部8aから抽出した平均フーリエスペクトル密度の合成値から、第2の平均フーリエスペクトル密度格納部18aから抽出した平均フーリエスペクトル密度の合成値を減算して、平均フーリエスペクトル密度の合成値の差分値を算出し、平均フーリエスペクトル密度差分値格納部19aに平均フーリエスペクトル密度の合成値の差分値を格納する。

【0088】

そして、第2の健全性評価部15は、標準偏差差分演算部9からの入力信号に基づき、標準偏差差分値格納部9aに格納された標準偏差値の平均値の差分値を抽出し、閾値格納部5aに格納された第5の閾値を抽出して、抽出した標準偏差値の平均値の差分値と第5の閾値とを比較する。

また、第2の健全性評価部15は、平均フーリエスペクトル密度差分演算部19からの入力信号に基づき、平均フーリエスペクトル密度差分値格納部19aに格納された平均フーリエスペクトル密度の合成値の差分値を抽出し、閾値格納部5aに格納された第6の閾値を抽出して、抽出した平均フーリエスペクトル密度の合成値の差分値と第6の閾値とを比較する。

【0089】

そして、第2の健全性評価部15は、標準偏差値の平均値の差分値が第5の閾値を越え、平均フーリエスペクトル密度の合成値の差分値が第6の閾値を越える場合に、鉄塔100が不健全であると評価すると共に、標準偏差値の平均値の差分値が第5の閾値を越えず、平均フーリエスペクトル密度の合成値の差分値が第6の閾値を越えない場合に、鉄塔100が健全であると評価する。

【0090】

そして、出力部6は、第2の健全性評価部15からの評価結果に基づき、鉄塔100の健全性評価の評価結果を外部に出力して、評価者に報知する。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 9 1 】

なお、本実施形態に係る鉄塔健全性評価装置 1 0 は、第 2 の健全性評価部 1 5 により標準偏差値の平均値の差分値及び平均フーリエスペクトル密度の合成値の差分値と閾値とを比較して鉄塔 1 0 0 の健全性を評価しているが、標準偏差差分演算部 9 により算出した標準偏差値の平均値の差分値及び平均フーリエスペクトル密度差分演算部 1 9 により算出した平均フーリエスペクトル密度の合成値の差分値を出力部 6 に出力し、第 2 の健全性評価部 1 5 の評価結果に代え又は第 2 の健全性評価部 1 5 の評価結果の評価結果と共に出力部 6 により標準偏差値の平均値の差分値及び平均フーリエスペクトル密度の合成値の差分値を鉄塔 1 0 0 の健全性の評価として外部に出力して、評価者に報知（評価者が標準偏差値の平均値の差分値及び平均フーリエスペクトル密度の合成値の差分値に基づいて鉄塔 1 0 0 の健全性を評価）する構成であってもよい。

10

## 【 0 0 9 2 】

また、この第 3 の実施形態に係る鉄塔健全性評価装置 1 0 においては、第 2 のフーリエスペクトル密度演算部 1 7（第 2 のフーリエスペクトル密度格納部 1 7 a）、第 2 の平均フーリエスペクトル密度演算部 1 8（第 2 の平均フーリエスペクトル密度格納部 1 8 a）、平均フーリエスペクトル密度差分演算部 1 9（平均フーリエスペクトル密度差分値格納部 1 9 a）を備えているところのみが第 1 の実施形態乃至第 3 の実施形態と異なるところであり、第 2 のフーリエスペクトル密度演算部 1 7（第 2 のフーリエスペクトル密度格納部 1 7 a）、第 2 の平均フーリエスペクトル密度演算部 1 8（第 2 の平均フーリエスペクトル密度格納部 1 8 a）、平均フーリエスペクトル密度差分演算部 1 9（平均フーリエスペクトル密度差分値格納部 1 9 a）による作用効果以外は、第 1 の実施形態乃至第 3 の実施形態と同様の作用効果を奏する。

20

## 【 0 0 9 3 】

本実施形態に係る鉄塔健全性評価装置 1 0 は、標準偏差値の平均値の差分値による鉄塔 1 0 0 の健全性評価に加えて、鉄塔特有の振動と地盤特有の振動とに基づく平均フーリエスペクトル密度の合成値から、地盤特有の振動に基づく平均フーリエスペクトル密度の合成値を減算して、鉄塔特有の振動のみに基づく平均フーリエスペクトル密度の合成値の差分値を算出し、この平均フーリエスペクトル密度の合成値の差分値による鉄塔 1 0 0 の健全性評価を行なうことにより、評価対象の鉄塔 1 0 0 近傍の地盤種別に依存せず、鉄塔健全性評価装置 1 0 による評価精度を向上し、鉄塔健全性評価装置 1 0 の信頼性の向上を図ることができるという作用効果を奏する。

30

## 【 符号の説明 】

## 【 0 0 9 4 】

- 1 第 1 の加速度センサ
- 1 a 第 1 の加速度データ格納部
- 2 入力部
- 3 第 1 の加速度差分演算部
- 3 a 第 1 の加速度差分値格納部
- 4 第 1 の標準偏差演算部
- 4 a 第 1 の標準偏差値格納部
- 5 第 1 の健全性評価部
- 5 a 閾値格納部
- 6 出力部
- 7 第 1 のフーリエスペクトル密度演算部
- 7 a 第 1 のフーリエスペクトル密度格納部
- 8 第 1 の平均フーリエスペクトル密度演算部
- 8 a 第 1 の平均フーリエスペクトル密度格納部
- 9 標準偏差差分演算部
- 9 a 標準偏差差分値格納部
- 1 0 鉄塔健全性評価装置

40

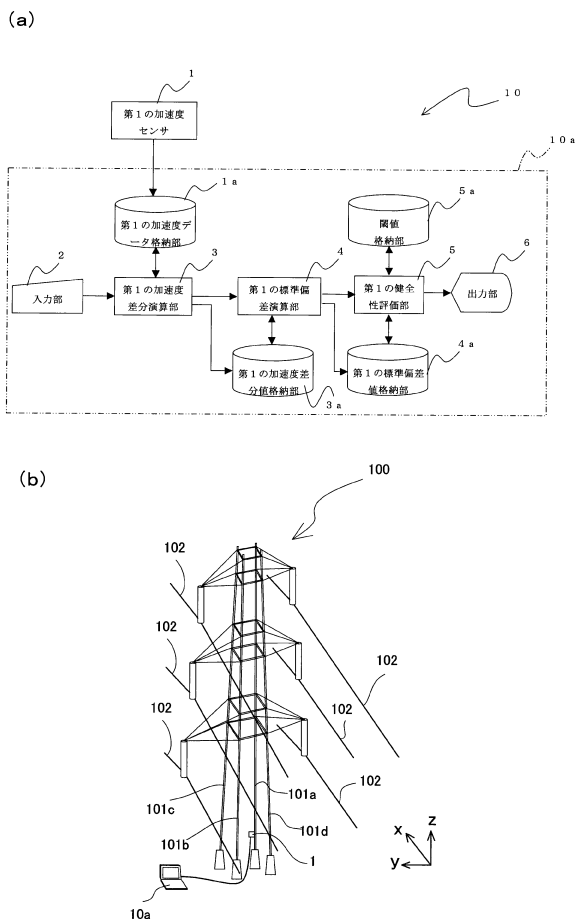
50

- 1 1 第2の加速度センサ
- 1 a 第2の加速度データ格納部
- 1 3 第2の加速度差分演算部
- 1 3 a 第2の加速度差分値格納部
- 1 4 第2の標準偏差演算部
- 1 4 a 第2の標準偏差値格納部
- 1 5 第2の健全性評価部
- 1 7 第2のフーリエスペクトル密度演算部
- 1 7 a 第2のフーリエスペクトル密度格納部
- 1 8 第2の平均フーリエスペクトル密度演算部
- 1 8 a 第2の平均フーリエスペクトル密度格納部
- 1 9 平均フーリエスペクトル密度差分演算部
- 1 9 a 平均フーリエスペクトル密度差分値格納部
- 1 0 a パソコン
- 1 0 0 鉄塔
- 1 0 1 脚部
- 1 0 1 a A脚
- 1 0 1 b B脚
- 1 0 1 c C脚
- 1 0 1 d D脚
- 1 0 2 送電線

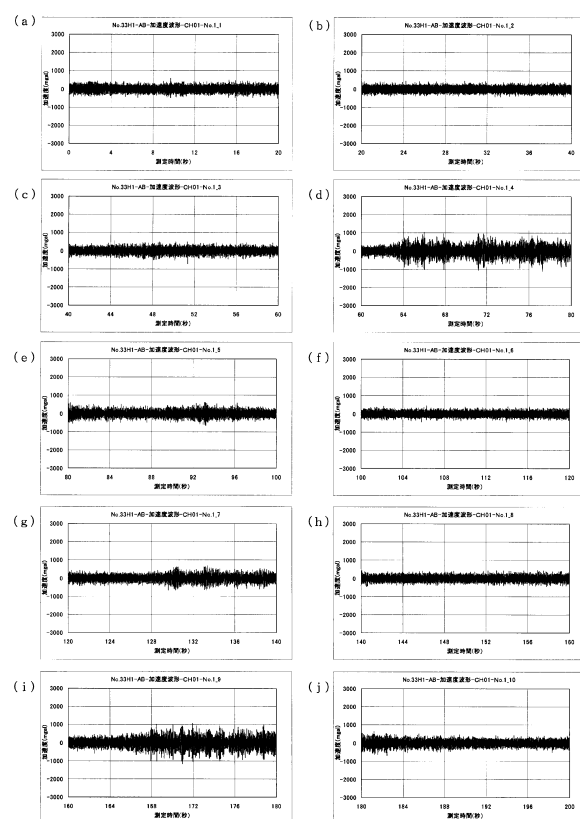
10

20

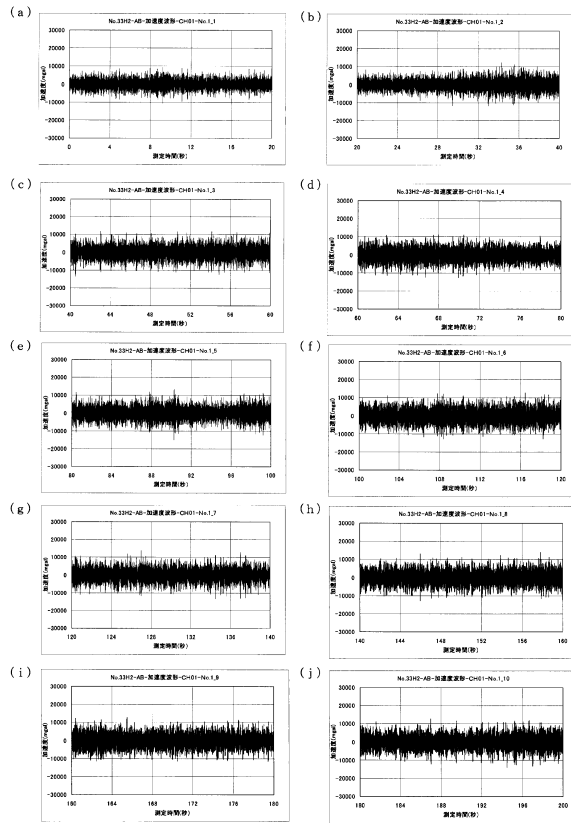
【図1】



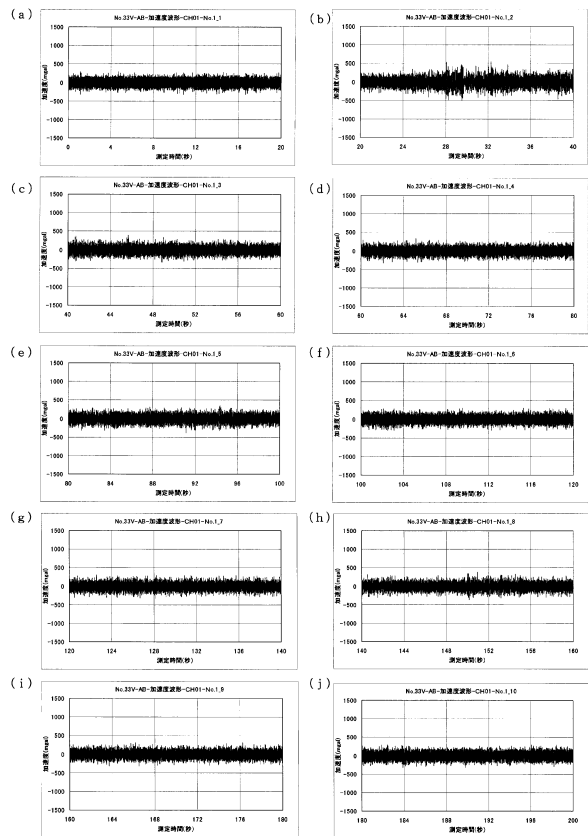
【図2】



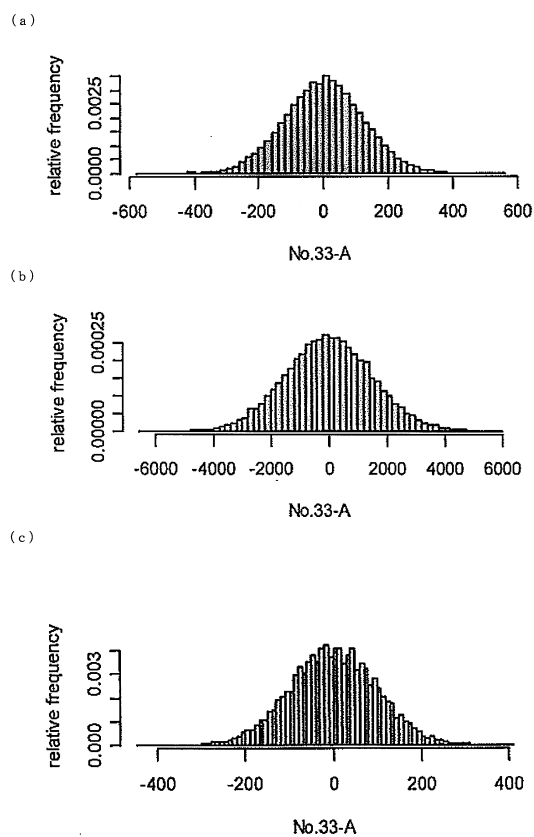
【図 3】



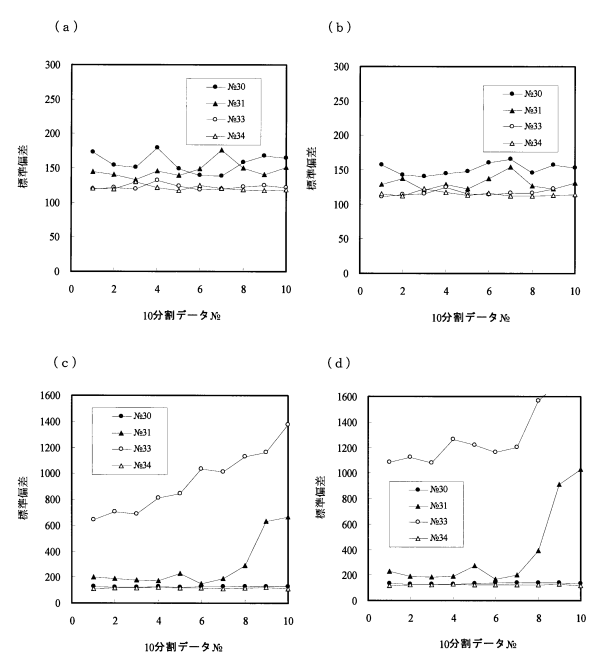
【図 4】



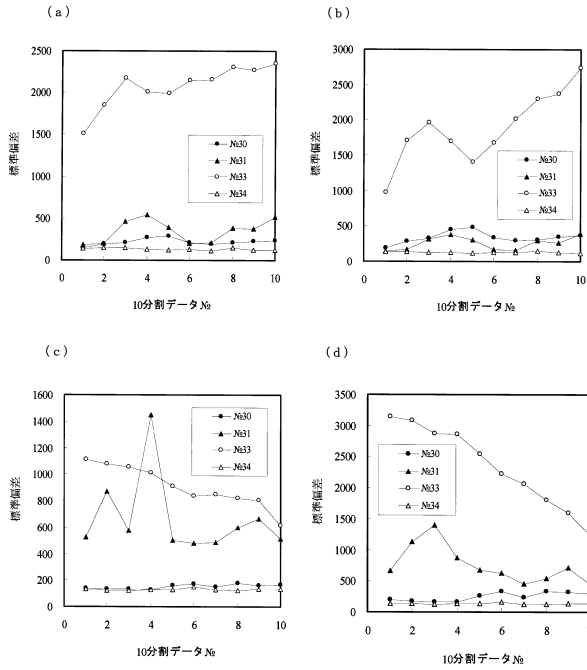
【図 5】



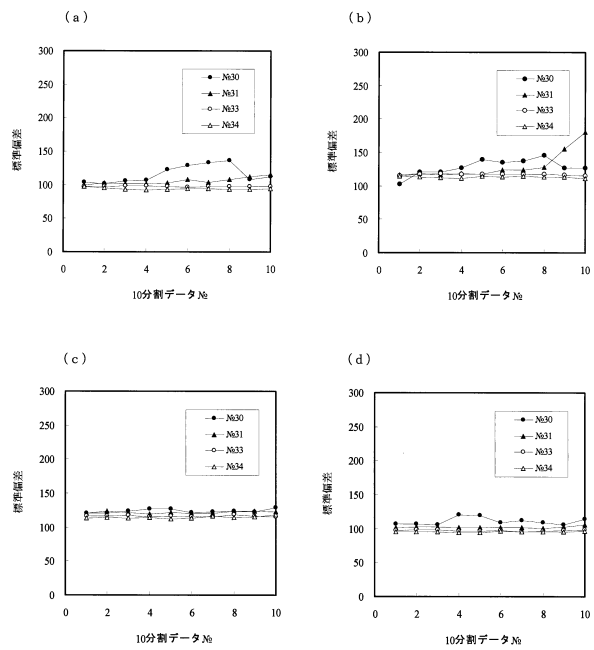
【図 6】



【図 7】



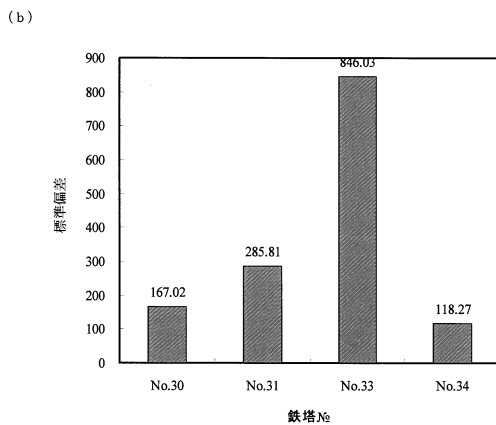
【図 8】



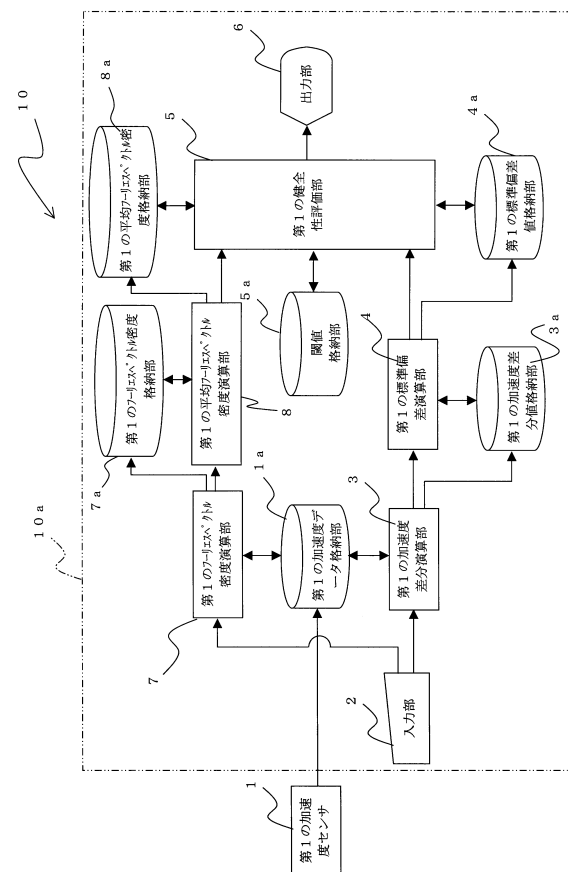
【図 9】

(a)

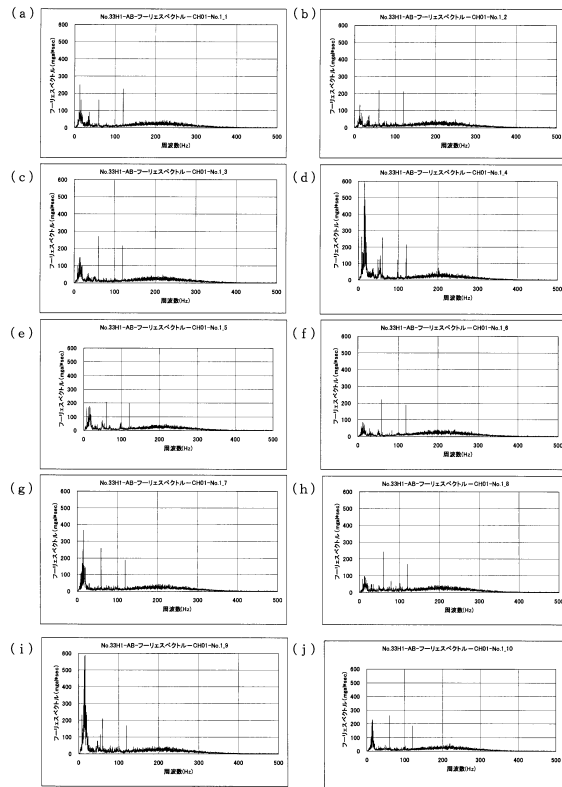
鉄塔No.		No. 30	No. 31	No. 33	No. 34
A脚	x軸方向	157.48	146.88	122.38	120.90
	y軸方向	218.89	346.86	2079.25	134.38
	z軸方向	115.98	105.65	97.74	94.12
B脚	x軸方向	151.54	131.15	116.68	114.87
	y軸方向	337.01	257.82	1894.75	126.82
	z軸方向	128.28	129.99	117.06	113.07
C脚	x軸方向	127.17	291.17	940.45	117.03
	y軸方向	152.81	667.11	910.50	130.13
	z軸方向	123.94	121.90	116.51	114.68
D脚	x軸方向	134.97	377.45	1327.52	123.00
	y軸方向	244.97	751.23	2342.26	134.76
	z軸方向	111.16	102.46	97.20	95.53
全脚部の全軸方向の標準偏差の平均値		167.02	285.81	846.03	118.27



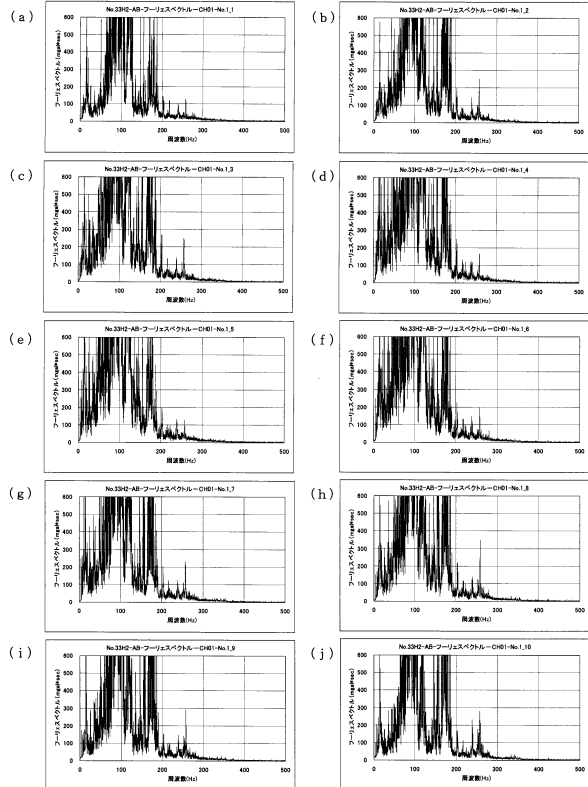
【図 10】



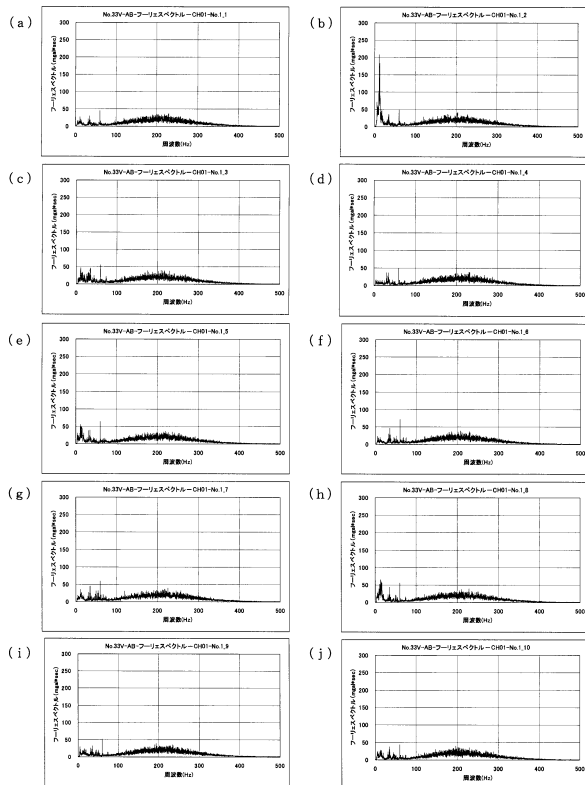
【図 1 1】



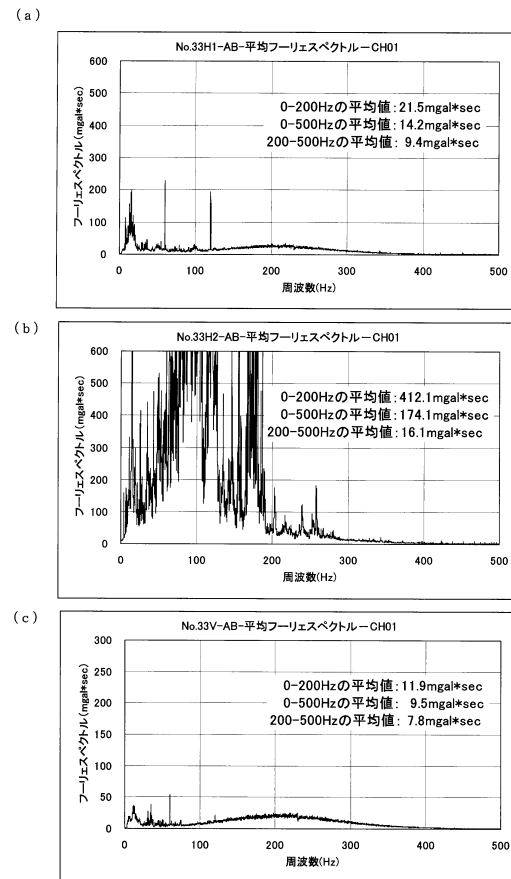
【図 1 2】



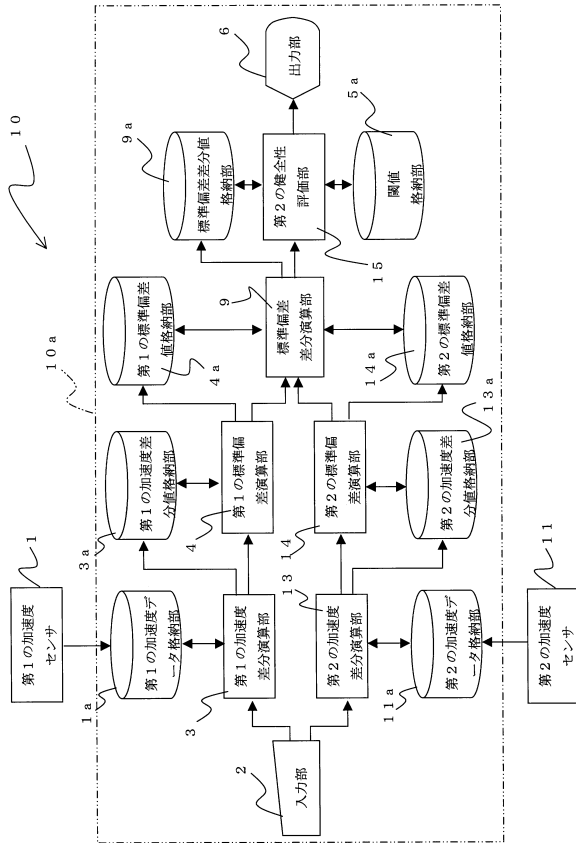
【図 1 3】



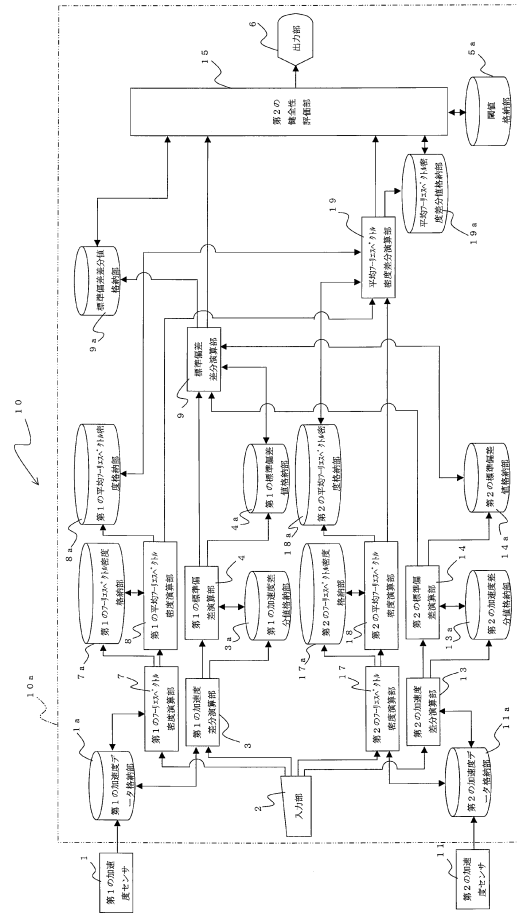
【図 1 4】



【図 15】



【図 16】





## フロントページの続き

(72)発明者 尾崎 利行

福岡県福岡市中央区清川二丁目13番6号 九州電技開発株式会社内

(72)発明者 山内 淑人

大阪府大阪市西区立売堀4丁目3番2号 株式会社地域地盤環境研究所内

審査官 高 見 重雄

(56)参考文献 特開2004-301571(JP,A)

特開2003-322644(JP,A)

特開2004-125776(JP,A)

特開2007-040713(JP,A)

特開2011-059064(JP,A)

特開平10-082821(JP,A)

特開平02-066468(JP,A)

特開平05-281082(JP,A)

特開2007-333635(JP,A)

山内淑人, JIANG Yujing, LI Bo, 小川能克, 大嶽剛志, 常時微動測定によるトンネル覆工コンクリート健全性評価の可能性, 構造物の安全性および信頼性, 日本, 2011年10月10日, Vol.7 (CD-ROM), Page.ROMBUNNO.FM4-3B

JIANG Yujing, 谷川征嗣, 山内淑人, 安田亨, 田近宏則, 常時微動測定に基づくトンネル覆工の健全度評価手法の提案, トンネル工学報告集, 日本, 2010年11月25日, Vol.20, Page.205-209

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01M 99/00

G01H 1/00-17/00

G01M 7/00-7/08

JSTPlus/JMEDPlus/JST7580(JDreamIII)

Science Direct

Thomson Innovation