

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6368039号
(P6368039)

(45) 発行日 平成30年8月1日(2018.8.1)

(24) 登録日 平成30年7月13日(2018.7.13)

(51) Int.Cl. F I
GO 1 N 29/14 (2006.01) GO 1 N 29/14

請求項の数 12 (全 12 頁)

(21) 出願番号	特願2017-514720 (P2017-514720)	(73) 特許権者	000003078 株式会社東芝 東京都港区芝浦一丁目1番1号
(86) (22) 出願日	平成29年3月6日(2017.3.6)	(73) 特許権者	504132272 国立大学法人京都大学 京都府京都市左京区吉田本町36番地1
(86) 国際出願番号	PCT/JP2017/008824	(74) 代理人	110001634 特許業務法人 志賀国際特許事務所
(87) 国際公開番号	W02017/217033	(72) 発明者	高峯 英文 東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社東芝 知的財産室内
(87) 国際公開日	平成29年12月21日(2017.12.21)	(72) 発明者	渡部 一雄 東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社東芝 知的財産室内
審査請求日	平成29年3月15日(2017.3.15)		
(31) 優先権主張番号	特願2016-119306 (P2016-119306)		
(32) 優先日	平成28年6月15日(2016.6.15)		
(33) 優先権主張国	日本国(JP)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 構造物評価システム、構造物評価装置及び構造物評価方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

構造物より発生した弾性波を検出する複数のセンサと、
前記構造物への衝撃により発生した前記弾性波の発信源分布を導出する位置標定部と、
前記発信源分布における前記弾性波の特徴量から前記構造物の劣化状態を評価する評価部と、

を備える構造物評価システム。

【請求項2】

前記評価部は、前記弾性波の特徴量が第一の閾値未満の領域を前記構造物の劣化が生じている領域と評価する、請求項1に記載の構造物評価システム。

【請求項3】

前記位置標定部は、第二の閾値以上の数の弾性波が検出された時刻における弾性波から得られた信号又は前記時刻を含む所定の期間内における弾性波から得られた信号を、前記構造物への衝撃により発生した前記弾性波の信号として用いることによって前記発信源分布を導出する、請求項1又は2に記載の構造物評価システム。

【請求項4】

前記構造物への衝撃は、無数の微小物体の衝突により生じる衝撃である、請求項1から3のいずれか一項に記載の構造物評価システム。

【請求項5】

前記微小物体は、構造物の外部から構造物に影響を与える物体である、請求項4に記載

の構造物評価システム。

【請求項 6】

前記微小物体は、気象現象により発生する物体である、請求項 4 又は 5 に記載の構造物評価システム。

【請求項 7】

前記微小物体の衝突により生じる衝撃は、人工的な行為により発生する衝撃である、請求項 4 から 6 のいずれか一項に記載の構造物評価システム。

【請求項 8】

前記微小物体の衝突により生じる衝撃は、前記センサを設置した面に相対する面へ加わる衝撃である、請求項 4 から 7 のいずれか一項に記載の構造物評価システム。

10

【請求項 9】

前記センサの一部が休止状態であり、

第三の閾値以上の弾性波が検出された場合に前記休止状態のセンサを起動させる信号処理部をさらに備える、請求項 1 から 8 のいずれか一項に記載の構造物評価システム。

【請求項 10】

前記センサの一部又は全てが休止状態であり、

前記構造物への衝撃に起因する事象の発生が予想される時刻に前記休止状態のセンサを起動させる信号処理部をさらに備える、請求項 1 から 8 のいずれか一項に記載の構造物評価システム。

【請求項 11】

20

構造物への衝撃により発生した弾性波の発信源分布を導出する位置標定部と、前記発信源分布における前記弾性波の特徴量から前記構造物の劣化状態を評価する評価部と、

を備える構造物評価装置。

【請求項 12】

構造物への衝撃により発生した弾性波の発信源分布を導出する位置標定ステップと、前記発信源分布における前記弾性波の特徴量から前記構造物の劣化状態を評価する評価ステップと、

を有する構造物評価方法。

【発明の詳細な説明】

30

【技術分野】

【0001】

本発明の実施形態は、構造物評価システム、構造物評価装置及び構造物評価方法に関する。

【背景技術】

【0002】

橋梁のコンクリート床版に交通などによる荷重がかかった際、床版内の亀裂の進展や摩擦などにより A E (Acoustic Emission) が発生する。床版表面に A E センサを設置することで、A E を検出することができる。A E は、材料の疲労亀裂の進展に伴い発生する弾性波である。また、複数の A E センサを設置することでセンサ間の A E 到達時刻の差から、弾性波の発信源(以下、「A E 発信源」という。)の位置を標定することができる。

40

一般的に、橋梁のコンクリート床版において、水平ひび割れといった床版内部の損傷は、従来の非破壊検査で検出することが非常に困難であるが、A E センサによって取得されたデータの分析により内部の損傷を推定することができる。しかし、橋梁等に A E センサを設置し、損傷の推定に十分なデータを得るには長い時間を要してしまう。そのため、コンクリート内部の評価を効率的に行えない場合があった。なお、このような問題は、橋梁のコンクリート床版に限らず亀裂の発生または進展に伴い弾性波が発生する構造物すべてに共通する問題である。

【先行技術文献】

【特許文献】

50

【 0 0 0 3 】

【特許文献 1】特開 2 0 0 4 - 1 2 5 7 2 1 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【 0 0 0 4 】

本発明が解決しようとする課題は、効率的に構造物の評価を行うことができる構造物評価システム、構造物評価装置及び構造物評価方法を提供することである。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 0 5 】

実施形態の構造物評価システムは、複数のセンサと、位置標定部と、評価部とを持つ。センサは、構造物より発生した弾性波を検出する。位置標定部は、前記構造物への衝撃により発生した前記弾性波の発信源分布を導出する。評価部は、前記発信源分布における前記弾性波の特徴量から前記構造物の劣化状態を評価する。

10

【図面の簡単な説明】

【 0 0 0 6 】

【図 1】実施形態の構造物評価システム 1 0 0 のシステム構成を示す図。

【図 2】降雨による弾性波の伝播の様子を示した図。

【図 3】ある測定期間中の弾性波発生数の推移を表す図。

【図 4】所定の期間内の A E 信号を用いて導出された発信源分布の一例を示す図。

【図 5】構造物評価装置 2 0 の評価処理の流れを表すフローチャート。

20

【図 6】構造物評価システム 1 0 0 の処理の流れを示すシーケンス図。

【図 7】構造物評価システム 1 0 0 の処理の流れを示すシーケンス図。

【発明を実施するための形態】

【 0 0 0 7 】

以下、実施形態の構造物評価システム、構造物評価装置及び構造物評価方法を、図面を参照して説明する。

図 1 は、実施形態の構造物評価システム 1 0 0 のシステム構成を示す図である。構造物評価システム 1 0 0 は、構造物の健全性の評価に用いられる。本実施形態において、評価とはある基準に基づいて、構造物の健全性の度合い、すなわち構造物の劣化状態を決定することを意味する。なお、本実施形態では、構造物の一例として橋梁を例に説明するが、構造物は橋梁に限定される必要はない。例えば、構造物は、亀裂の発生または進展、あるいは外的衝撃（例えば雨、人工雨など）に伴い弾性波が発生する構造物であればどのようなものであってもよい。なお、橋梁は、河川や渓谷などの上に架設される構造物に限らず、地面よりも上方に設けられる種々の構造物（例えば高速道路の高架橋）なども含む。

30

【 0 0 0 8 】

構造物評価システム 1 0 0 は、複数の A E センサ 1 0 - 1 ~ 1 0 - n（n は 2 以上の整数）、信号処理部 1 1 および構造物評価装置 2 0 を備える。信号処理部 1 1 および構造物評価装置 2 0 は、有線又は無線により通信可能に接続される。なお、以下の説明では、A E センサ 1 0 - 1 ~ 1 0 - n について区別しない場合には A E センサ 1 0 と記載する。

【 0 0 0 9 】

40

A E センサ 1 0 は、構造物に設置される。例えば、A E センサ 1 0 は、橋梁のコンクリート床版 3 0 に設置される。A E センサ 1 0 は、圧電素子を有し、構造物が発生する弾性波（A E 波）を検出し、検出した弾性波を電圧信号（A E 源信号）に変換する。A E センサ 1 0 は、A E 源信号に対して増幅、周波数制限などの処理を施して信号処理部 1 1 に出力する。なお、A E センサ 1 0 に代えて加速度センサが用いられてもよい。この場合、加速度センサは、A E センサ 1 0 と同様の処理を行うことによって、信号処理後の信号を信号処理部 1 1 に出力する。コンクリート床版の厚さは、例えば 1 5 c m 以上である。

【 0 0 1 0 】

信号処理部 1 1 は、A E センサ 1 0 による処理が施された A E 源信号を入力とする。信号処理部 1 1 は、入力した A E 源信号に対して、必要とされるノイズ除去、パラメータ抽

50

出などの信号処理を行うことによって弾性波に関する情報を含むA E特徴量を抽出する。弾性波に関する情報とは、例えば、A E源信号の振幅、エネルギー、立ち上がり時間、持続時間、周波数、ゼロクロスカウント数などの情報である。信号処理部11は、抽出したA E特徴量に基づく情報をA E信号として構造物評価装置20に出力する。信号処理部11が出力するA E信号には、センサID、A E検知時刻、A E源信号振幅、エネルギー、立ち上がり時間および周波数などの情報が含まれる。

【0011】

ここで、A E源信号の振幅は、例えば弾性波の中で最大振幅の値である。エネルギーは、例えば各時点において振幅を二乗したものを時間積分した値である。なお、エネルギーの定義は、上記例に限定されず、例えば波形の包絡線を用いて近似されたものでもよい。立ち上がり時間は、例えば弾性波がゼロ値から予め設定される所定値を超えて立ち上がるまでの時間T1である。持続時間は、例えば弾性波の立ち上がり開始から振幅が予め設定される値よりも小さくなるまでの時間である。周波数は、弾性波の周波数である。ゼロクロスカウント数は、例えばゼロ値を通る基準線を弾性波が横切る回数である。

【0012】

構造物評価装置20は、バスで接続されたCPU (Central Processing Unit) やメモリや補助記憶装置などを備え、評価プログラムを実行する。評価プログラムの実行によって、構造物評価装置20は、位置標定部201、評価部202、表示部203を備える装置として機能する。なお、構造物評価装置20の各機能の全て又は一部は、ASIC (Application Specific Integrated Circuit) やPLD (Programmable Logic Device) やFPGA (Field Programmable Gate Array) 等のハードウェアを用いて実現されてもよい。また、評価プログラムは、コンピュータ読み取り可能な記録媒体に記録されてもよい。コンピュータ読み取り可能な記録媒体とは、例えばフレキシブルディスク、光磁気ディスク、ROM、CD-ROM等の可搬媒体、コンピュータシステムに内蔵されるハードディスク等の記憶装置である。また、評価プログラムは、電気通信回線を介して送受信されてもよい。

【0013】

位置標定部201は、信号処理部11から出力されたA E信号を入力とする。また、位置標定部201は、構造物におけるA Eセンサ10の設置位置に関する情報(以下、「センサ位置情報」という。)をセンサIDに対応付けて予め保持する。設置位置に関する情報は、例えば緯度および経度、あるいは構造物の特定位置からの水平方向および垂直方向の距離などである。位置標定部201は、入力されたA E信号に含まれるセンサID、A E検知時刻等の情報と、予め保持しているセンサ位置情報とに基づいてA E発信源の位置標定を行う。例えば、位置標定部201は、構造物への衝撃による複数のA E信号を用いて、それぞれA E発信源の位置標定を行う。ここで、構造物への衝撃とは、無数の微小物体の衝突により生じる衝撃である。また、構造物への衝撃による複数のA E信号とは、無数の微小物体の衝突により生じる衝撃によって構造物で発生した弾性波より得られる信号である。無数の微小物体は、構造物の外部から構造物に影響を与える物体である。例えば、無数の微小物体は、雨滴、ひょう、あられなどの気象現象により発生する物体である。また、位置標定部201は、位置標定結果を用いて、発信源分布を導出する。発信源分布は、構造物で発生したA E発信源が示された分布を表す。位置標定部201は、導出した発信源分布を評価部202に出力する。

【0014】

評価部202は、位置標定部201から出力された発信源分布を入力とする。評価部202は、入力された発信源分布に基づいて構造物の健全性を評価する。例えば、評価部202は、発信源分布における弾性波の特徴量から構造物の劣化状態を評価する。発信源分布における弾性波の特徴量とは、A E発信源の密度に相当する。具体的な処理としては、評価部202は、発信源分布に基づいて、A E発信源の密度が第一の閾値未満の領域を構造物の劣化が生じている領域と評価する。評価部202は、評価結果を表示部203に表示させる。第一の閾値は、予め設定されていてもよいし、適宜設定されてもよい。

10

20

30

40

50

【 0 0 1 5 】

表示部 2 0 3 は、液晶ディスプレイ、有機 E L (Electro Luminescence) ディスプレイ等の画像表示装置である。表示部 2 0 3 は、評価部 2 0 2 の制御に従って評価結果を表示する。表示部 2 0 3 は、画像表示装置を構造物評価装置 2 0 に接続するためのインタフェースであってもよい。この場合、表示部 2 0 3 は、評価結果を表示するための映像信号を生成し、自身に接続されている画像表示装置に映像信号を出力する。

【 0 0 1 6 】

図 2 は、降雨による弾性波の伝播の様子を示した図である。図 2 に示すように、雨滴 3 1 が路面 3 2 に衝突すると、衝突した位置から弾性波 3 3 が生じる。弾性波 3 3 は、床版内部を伝わって下面にも伝播する。下面に設置された A E センサ 1 0 に到達するまで十分な振幅を保った弾性波 3 3 は、A E センサ 1 0 により検出される。位置標定部 2 0 1 は、損傷による弾性波 3 3 の場合と同様に、雨によって発生した弾性波 3 3 に対して位置標定を行うことにより雨滴 3 1 のおおよその衝突位置を特定することができる。このように、微小物体の衝突により生じる衝撃は、A E センサ 1 0 を設置した面に相対する面 (図 2 では、路面 3 2) へ加わる衝撃である。

【 0 0 1 7 】

しかしながら、床版内部に大きな水平亀裂 3 4 が入っていた場合、路面 3 2 に衝突した雨滴 3 1 によって発生した弾性波 3 3 は亀裂によって遮られたり、亀裂を迂回したり、減衰したりする。そのため、亀裂直下に位置する A E センサ 1 0 には十分な振幅を保った弾性波 3 3 が到達しにくくなる。したがって、大きな水平亀裂 3 4 を有する床版下面において、位置標定部 2 0 1 が A E 発信源の位置標定を行った場合、標定される A E 発信源が少なくなる。降雨による雨滴 3 1 の路面 3 2 への衝突は、領域全体に対して、ランダムで均等な頻度で生じる。そのため、大きな損傷を有しない床版の下面では弾性波 3 3 が検出され、A E 発信源の位置標定が行われると領域全域にまんべんなく A E 発信源が標定される。一方、床版内部に大きな損傷を有する場合は、損傷部直下での A E 発信源の密度が少なくなることが想定される。本実施形態における構造物評価装置 2 0 は、このような想定に基づいて構造物の健全性を評価する。

【 0 0 1 8 】

図 3 は、ある測定期間中の弾性波発生数の推移を表す図である。図 3 において、横軸は測定期間中の時刻 (hour) を表し、縦軸はヒット数を表す。ヒット数は、弾性波の検出数である。ヒット数は、例えば 3 0 分毎の弾性波の検出数を表す。図 3 において、測定期間 0 時間 ~ 1 2 0 時間までのヒット数は、平常時の弾性波の検出数である。測定期間 1 2 0 時間 ~ 1 4 0 時間までの間におけるヒット数においては、平常時 (測定期間 0 時間 ~ 1 2 0 時間) の弾性波の発生数に比べて非常に多くの弾性波 3 5 が観測されている期間がある (図 3 の符号 3 5) 。この時間には、強めの風をともなう降雨が観測されている。ゲリラ豪雨等の激しい降雨の際は、このように短時間に大量の弾性波が発生する。A E センサ 1 0 は、非常に高感度な圧電センサであるため、降雨による構造物への衝撃など、床版の損傷に起因しない要因で発生する弾性波も検出する。このため、降雨などは A E センサ 1 0 を用いた損傷の検出にとってノイズ源となってしまうことがある。

【 0 0 1 9 】

これに対して、構造物評価装置 2 0 における位置標定部 2 0 1 は、図 3 に示すような大量の弾性波が検出された時刻 (以下、「対象時刻」という。) を含む所定の期間内の A E 信号を、構造物への衝撃による複数の A E 信号として用いて発信源分布を導出する。大量の弾性波が検出されたか否かの判定は、ある時刻において検出された弾性波が第二の閾値以上であるか否かで行われる。ある時刻において検出された弾性波の数が第二の閾値以上である場合には、大量の弾性波が検出されたと判定される。一方、ある時刻において検出された弾性波の数が第二の閾値未満である場合には、大量の弾性波が検出されていないと判定される。なお、第二の閾値は、予め設定されていてもよいし、適宜設定されてもよい。また、所定の期間は、対象時刻を基準として前後所定の時間 (例えば、前後 5 分) であってもよいし、対象時刻が含まれていれば対象時刻の前の期間であってもよいし、対象時

10

20

30

40

50

刻の後の期間であってもよい。

【 0 0 2 0 】

図 4 は、所定の期間内の A E 信号を用いて導出された発信源分布の一例を示す図である。図 4 において、横軸と縦軸は評価対象となる構造物の特定位置からの水平方向の長さ (mm) と垂直方向の長さ (mm) を表す。図 4 では、図 3 における降雨中の約 10 分間 (例えば、測定期間 120 時間 ~ 130 時間の間において非常に多くの弾性波 35 が観測された時刻 (符号 35) を含む約 10 分間) の A E 信号を用いて A E 発信源を標定した結果が示されている。図中の + 印は、A E センサ 10 の設置位置を表す。評価対象の構造物の領域全体に A E 発信源が分布している中で、中央の領域 36 にほとんど A E 発信源が標定されていない。評価部 202 は、このように A E 発信源の密度が第一の閾値未満の領域 (図 4 における領域 36) を構造物の劣化が生じている領域と評価する。なお、評価部 202 が、評価対象とする領域はどのような領域であってもよい。例えば、評価部 202 は、4 つの A E センサ 10 で囲まれる領域毎に評価を行ってもよいし、4 つ以上の A E センサ 10 で囲まれる領域毎に評価を行ってもよいし、3 つの A E センサ 10 で囲まれる領域毎に評価を行ってもよいし、範囲が指定された領域毎に評価を行ってもよい。

10

【 0 0 2 1 】

図 5 は、構造物評価装置 20 の評価処理の流れを表すフローチャートである。なお、図 5 では、弾性波の検出数が第二の閾値以上となった場合に実行される。また、不図示のバッファには、信号処理部 11 から出力された A E 信号が蓄積されているものとする。

位置標定部 201 は、所定の期間内の A E 信号を不図示のバッファから取得する (ステップ S101)。すなわち、位置標定部 201 は、対象時刻を含む所定の期間内の A E 信号を不図示のバッファから取得する。位置標定部 201 は、取得した複数の A E 信号を用いて、それぞれ A E 発信源の位置標定を行う (ステップ S102)。その後、位置標定部 201 は、位置標定の結果に基づいて発信源分布を導出する (ステップ S103)。

20

【 0 0 2 2 】

位置標定部 201 は、生成した発信源分布を評価部 202 に出力する。評価部 202 は、位置標定部 201 から出力された発信源分布を用いて、A E 発信源の密度が第一の閾値未満の領域があるか否か判定する (ステップ S104)。A E 発信源の密度が第一の閾値未満の領域がある場合 (ステップ S104 - YES)、評価部 202 は第一の閾値未満の領域を構造物の劣化が生じている領域と評価する (ステップ S105)。

30

一方、A E 発信源の密度が第一の閾値未満の領域がない場合 (ステップ S104 - NO)、評価部 202 は構造物の劣化が生じている領域がないと評価する (ステップ S106)。評価部 202 は、評価結果を表示部 203 に表示させる。例えば、評価部 202 は、発信源分布において劣化が生じている領域を他の領域と異なる態様で評価結果を表示させる。他の領域と異なる態様としては、劣化が生じている領域を色付けすること、円などで囲むこと、劣化が生じている領域を文字で表示させるなどが挙げられる。表示部 203 は、評価部 202 の制御に従って、評価結果を表示する。

【 0 0 2 3 】

以上のように構成された構造物評価システム 100 によれば、効率的に構造物の評価を行うことが可能になる。以下、この効果について詳細に説明する。

40

構造物評価装置 20 は、構造物への衝撃による A E 信号を用いることで、大量の A E 発信源を含む発信源分布を導出する。そして、構造物評価装置 20 は、発信源分布に基づいて、A E 発信源の密度が第一の閾値未満の領域を構造物の劣化が生じている領域と評価する。このように、従来ではノイズ源になってしまうデータを利用することによって効率的に構造物の評価を行うことが可能になる。

【 0 0 2 4 】

また、構造物評価装置 20 は、対象時刻を含む所定の期間内の A E 信号を、構造物への衝撃による A E 信号として用いることによって発信源分布を導出する。従来では、評価を行うために数十時間の計測が必要となっていた。これと比較して、構造物評価装置 20 による手法では、対象時刻を含む所定の期間内の A E 信号のみを用いることによって大幅に

50

所要時間を短縮し、効率よく評価を行うことができる。

【 0 0 2 5 】

以下、構造物評価装置 2 0 の変形例について説明する。

構造物評価装置 2 0 が備える各機能部は、一部又は全てが別の筐体に備えられていてもよい。例えば、構造物評価装置 2 0 が評価部 2 0 2 のみを備えて、位置標定部 2 0 1 および表示部 2 0 3 が別の筐体に備えられてもよい。このように構成される場合、評価部 2 0 2 は、発信源分布を別の筐体から取得し、取得した発信源分布を用いて構造物の健全性を評価する。そして、評価部 2 0 2 は、評価結果を別の筐体が備える表示部 2 0 3 に出力する。

このように構成されることによって、発信源分布の導出に既存の装置を用いることによって、構造物評価装置 2 0 の製造コストを抑えることができる。

10

【 0 0 2 6 】

信号処理部 1 1 は、構造物評価装置 2 0 に備えられてもよい。このように構成される場合、信号処理部 1 1 は、A E センサ 1 0 による処理が施された A E 源信号を、A E センサ 1 0 から直接、又は、不図示の中継装置を介して取得する。

図 1 では、複数の A E センサ 1 0 - 1 ~ 1 0 - n に 1 台の信号処理部 1 1 が接続されているが、構造物評価システム 1 0 0 は複数台の信号処理部 1 1 を備え、各 A E センサ 1 0 にそれぞれ信号処理部 1 1 が接続されて複数台のセンサユニットを備えるように構成されてもよい。

評価部 2 0 2 は、対象時刻の A E 信号を、構造物への衝撃による A E 信号として用いて発信源分布を導出するように構成されてもよい。

20

【 0 0 2 7 】

また、評価部 2 0 2 は、出力制御部として動作してもよい。出力制御部は、出力部を制御して、評価結果を出力する。ここで、出力部には、表示部 2 0 3、通信部および印刷部が含まれる。出力部が通信部である場合、出力制御部は通信部を制御して、評価結果を他の装置に送信する。また、出力部が印刷部である場合、出力制御部は印刷部を制御して、評価結果を印刷する。なお、構造物評価装置 2 0 は、出力部として、表示部 2 0 3、通信部および印刷部の一部又は全てを備えて上記の動作を実行してもよい。

評価部 2 0 2 は、発信源分布をコンター図で表示部 2 0 3 に表示させてもよい。

【 0 0 2 8 】

また、弾性波の発生数増加を引き起こす要因は、上記の例（気象現象）に限定される必要はない。より具体的には、弾性波の発生数増加を引き起こす要因である無数の微小物体は、気象現象により発生する物体に限定される必要はない。例えば、無数の微小物体は、散水車による散水、薬剤の散布や散水により発生する物体であってもよいし、打撃を与えることが可能な装置（例えば、金槌）であってもよい。また、打撃としては、上記の他にチェーンドロイングによる打撃でもよいし、タッピングによる打撃でもよい。構造物評価装置 2 0 は、散水車による散水、薬剤の散布や散水により発生する物体や、装置等を用いた多数の打撃といった人工的な行為により発生する衝撃で発生した弾性波の発信源を用いることによって計測のタイミングをコントロールすることができる。そのため、より効率よく診断が可能になる。例えば、散水車による散水の場合、事前に散水車による散水が行われる時刻が分かっている場合、構造物評価システム 1 0 0 のユーザは、散水車による散水が行われる時刻に構造物評価システム 1 0 0 を起動させることによって構造物の評価を行う。このように計測のタイミングをコントロールすることができる。また、このような場合には、弾性波の発生するタイミングが予め分かるため、構造物評価システム 1 0 0 を普段は休止させておき弾性波を発生させるタイミングに合わせて、外部から起動のタイミングを知らせるトリガーを入力することによって消費電力を抑えた運用が可能である。

30

40

【 0 0 2 9 】

計測にかかる電力低減のために、例えば通常は一部の A E センサ 1 0 のみ起動させておき、急激な弾性波の発生数の増加が検出された場合に、他の A E センサ 1 0 を起動させるように構成されてもよい。このように構成された場合の処理について図 6 及び図 7 を用い

50

て説明する。

図6及び図7は、構造物評価システム100の処理の流れを示すシーケンス図である。なお、図6及び図7において、処理開始時にはAEセンサ10-1が稼働中で、AEセンサ10-2が休止中であるとする。休止中とは、装置の全ての機能が休止しているわけではなく、起動に関わる機能のみ動作している状態を表す。

AEセンサ10-1は、構造物が発生する弾性波(AE波)を検出する(ステップS201)。AEセンサ10-1は、検出した弾性波を電圧信号(AE源信号)に変換し、AE源信号に対して増幅、周波数制限などの処理を施して信号処理部11に出力する(ステップS202)。信号処理部11は、入力したAE源信号に対して、必要とされるノイズ除去、パラメータ抽出などの信号処理を行う(ステップS203)。信号処理部11は、信号処理を行うことによって抽出されるAE特徴量に基づく情報をAE信号として構造物評価装置20に出力する(ステップS204)。ステップS201~ステップS204の処理が繰り返し実行される。信号処理部11から出力されたAE信号は、不図示のバッファに蓄積される。

10

【0030】

位置標定部201が、弾性波の発生数の急激な増加を検出したとする(ステップS206)。例えば、現時刻における弾性波の発生数と、直前の時刻における弾性波の発生数との差が、第三の閾値を超えた場合に、位置標定部201は弾性波の発生数の急激な増加が発生したと検出する。第三の閾値は、予め設定されていてもよいし、適宜設定されてもよい。その後、位置標定部201は、弾性波の発生数の急激な増加を検出したことを信号処理部11に通知する(ステップS206)。信号処理部11は、位置標定部201から通知を受信すると、休止中のAEセンサ10-2に対して起動信号を送信する(ステップS207)。起動信号とは、起動処理の実行を指示するための信号である。

20

【0031】

AEセンサ10-2は、信号処理部11から起動信号を受信すると起動処理を実行する(ステップS208)。これにより、AEセンサ10-2は、休止中から稼働中となる。AEセンサ10-1は、構造物が発生する弾性波(AE波)を検出する(ステップS209)。AEセンサ10-1は、検出した弾性波を電圧信号(AE源信号)に変換し、AE源信号に対して増幅、周波数制限などの処理を施して信号処理部11に出力する(ステップS210)。信号処理部11は、入力したAE源信号に対して、必要とされるノイズ除去、パラメータ抽出などの信号処理を行う(ステップS211)。信号処理部11は、信号処理を行うことによって抽出されるAE特徴量に基づく情報をAE信号として構造物評価装置20に出力する(ステップS212)。ステップS209~ステップS212の処理が繰り返し実行される。信号処理部11から出力されたAE信号は、不図示のバッファに蓄積される。

30

【0032】

AEセンサ10-2は、構造物が発生する弾性波(AE波)を検出する(ステップS213)。AEセンサ10-2は、検出した弾性波を電圧信号(AE源信号)に変換し、AE源信号に対して増幅、周波数制限などの処理を施して信号処理部11に出力する(ステップS214)。信号処理部11は、入力したAE源信号に対して、必要とされるノイズ除去、パラメータ抽出などの信号処理を行う(ステップS215)。信号処理部11は、信号処理を行うことによって抽出されるAE特徴量に基づく情報をAE信号として構造物評価装置20に出力する(ステップS216)。ステップS213~ステップS216の処理が繰り返し実行される。信号処理部11から出力されたAE信号は、不図示のバッファに蓄積される。

40

【0033】

位置標定部201は、対象時刻を含む所定の期間内のAE信号を不図示のバッファから取得する。位置標定部201は、取得したAE信号を用いて、それぞれAE発信源の位置標定を行う(ステップS217)。その後、位置標定部201は、位置標定の結果に基づいて発信源分布を導出する(ステップS218)。位置標定部201は、導出した発信源

50

分布を評価部 202 に出力する。評価部 202 は、位置標定部 201 から出力された発信源分布を用いて評価を行う（ステップ S219）。評価の方法は、上記の方法と同様であるため省略する。評価部 202 は、評価結果を表示部 203 に表示させる。表示部 203 は、評価部 202 の制御に従って評価結果を表示する（ステップ S220）。

以上のように構成されることによって、常時、全ての AE センサ 10 が稼働している必要がない。そのため、消費電力を低減することができる。

【0034】

また、AE センサ 10 の一部又は全てが休止中で、雨量計、カメラ、マイクなどの機器により微小物体を検知した場合に、AE センサ 10 を起動させるように構成されてもよい。また、例えば、計測地域の近傍の雨量、気温、湿度などの気象情報を元に、構造物への衝撃に起因する事象の発生が予想される時刻に AE センサ 10 を起動させるといった運用も可能である。

10

【0035】

以上説明した少なくともひとつの実施形態によれば、構造物より発生した弾性波を検出する複数の AE センサ 10 と、構造物への衝撃により発生した弾性波から発信源分布を導出する位置標定部 201 と、発信源分布に基づいて得られる AE 発信源の密度から構造物の劣化状態を評価する評価部 202 とを持つことにより、効率的に構造物の評価を行うことができる。

【0036】

本発明のいくつかの実施形態を説明したが、これらの実施形態は、例として提示したものであり、発明の範囲を限定することは意図していない。これら実施形態は、その他の様々な形態で実施されることが可能であり、発明の要旨を逸脱しない範囲で、種々の省略、置き換え、変更を行うことができる。これら実施形態やその変形は、発明の範囲や要旨に含まれると同様に、特許請求の範囲に記載された発明とその均等の範囲に含まれるものである。

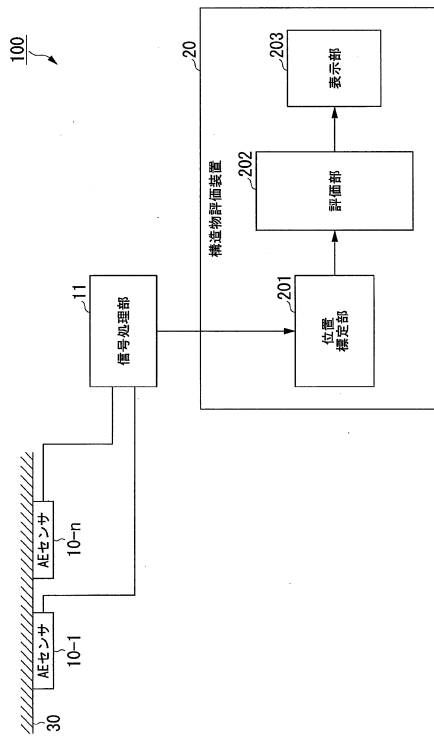
20

【符号の説明】

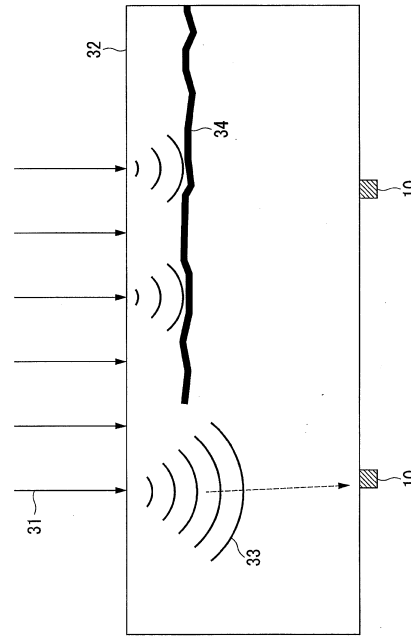
【0037】

10 (10 - 1 ~ 10 - n) ... AE センサ, 11 ... 信号処理部, 20 ... 構造物評価装置, 201 ... 位置標定部, 202 ... 評価部, 203 ... 表示部

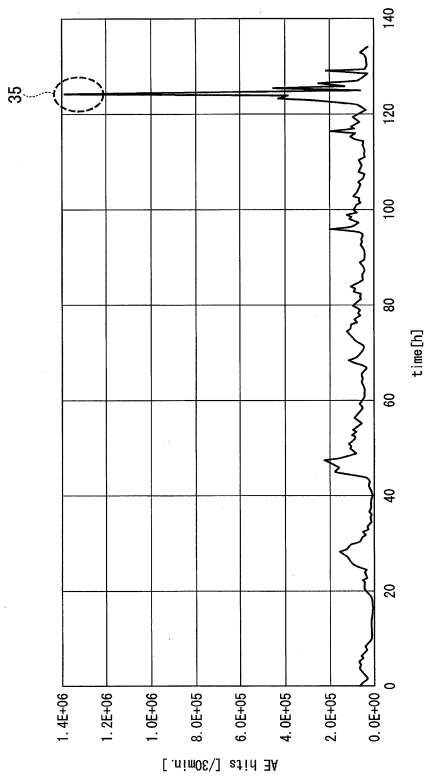
【図1】



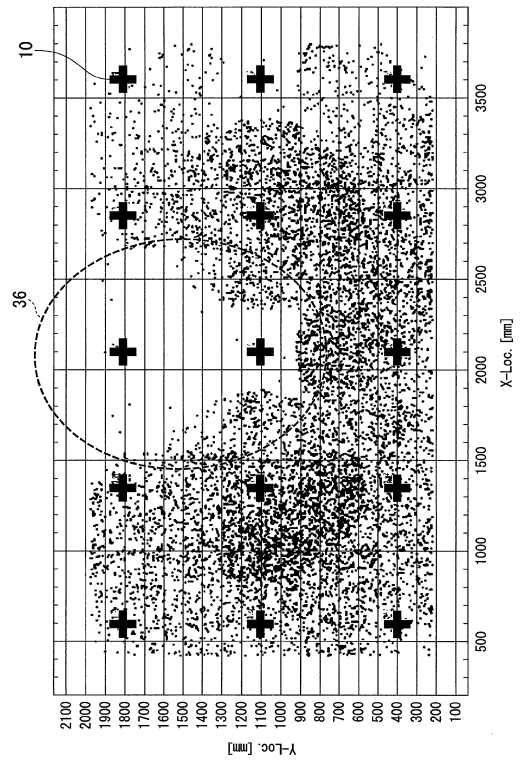
【図2】



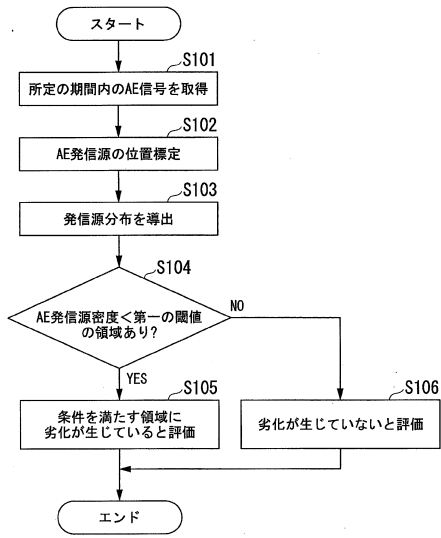
【図3】



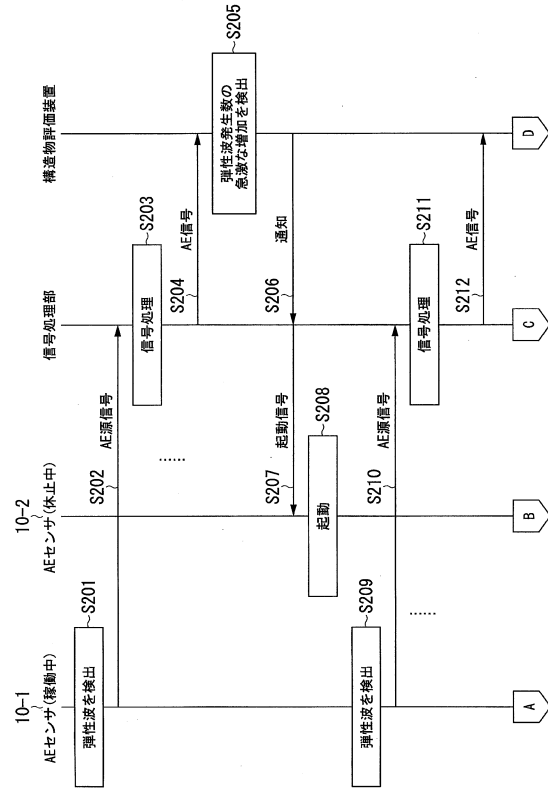
【図4】



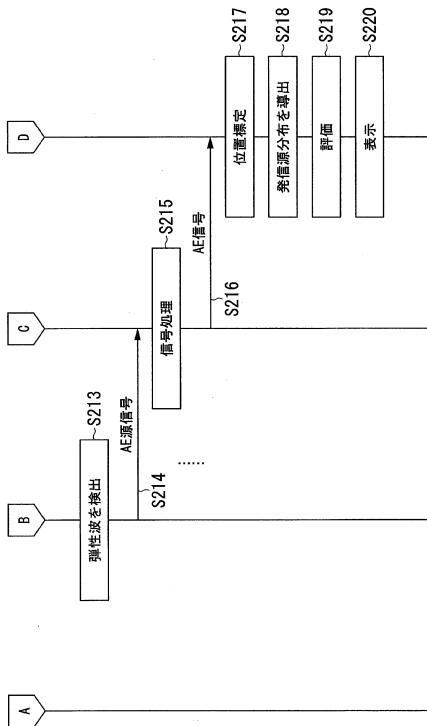
【図5】



【図6】



【図7】



フロントページの続き

(出願人による申告)平成27年度、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構「インフラ維持管理・更新等の社会課題対応システム開発プロジェクト/インフラ状態モニタリング用センサシステム開発/道路インフラ状態モニタリング用センサシステムの研究開発」委託研究、産業技術力強化法第19条の適用を受ける特許出願

(72)発明者 塩谷 智基
京都府京都市左京区吉田本町36番地1 国立大学法人京都大学内

審査官 田中 秀直

(56)参考文献 特開2011-242269(JP,A)
特開2016-099119(JP,A)
国際公開第2015/182079(WO,A1)
米国特許出願公開第2014/0067284(US,A1)

(58)調査した分野(Int.Cl.,DB名)
G01N 29/00-29/52
JSTPlus(JDreamIII)