

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4698466号  
(P4698466)

(45) 発行日 平成23年6月8日(2011.6.8)

(24) 登録日 平成23年3月11日(2011.3.11)

(51) Int. Cl. F I  
 GO 1 M 99/00 (2011.01) GO 1 M 19/00 Z  
 GO 1 H 13/00 (2006.01) GO 1 H 13/00

請求項の数 6 (全 16 頁)

(21) 出願番号	特願2006-96300 (P2006-96300)	(73) 特許権者	000173784
(22) 出願日	平成18年3月31日 (2006. 3. 31)		財団法人鉄道総合技術研究所
(65) 公開番号	特開2007-271402 (P2007-271402A)		東京都国分寺市光町2丁目8番地38
(43) 公開日	平成19年10月18日 (2007.10.18)	(74) 代理人	100104064
審査請求日	平成20年9月17日 (2008. 9. 17)		弁理士 大熊 岳人
		(72) 発明者	佐溝 昌彦
			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	渡邊 諭
			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	淵脇 晃
			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】 橋脚の健全性評価システムとその健全性評価プログラム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

橋脚の健全性を評価する橋脚の健全性評価システムであって、  
 河川の水位が所定高さを超えたときに前記橋脚の振動を検出する振動検出部の出力信号を高速フーリエ変換処理して、この橋脚の卓越振動数を演算する演算部と、

前記演算部が演算した前記橋脚の卓越振動数に基づいてこの橋脚の固有振動数を特定する特定部と、

前記特定部が特定した前記橋脚の固有振動数に基づいてこの橋脚の安定性を評価する評価部とを備え、

前記特定部は、前記演算部が演算した前記橋脚の卓越周波数のうち、前記橋脚が健全な状態であるときにこの橋脚に衝撃荷重試験を実施して予め測定したこの橋脚の固有振動数に対応する卓越周波数をこの橋脚の固有振動数として特定すること、

を特徴とする橋脚の健全性評価システム。

【請求項2】

請求項1に記載の橋脚の健全性評価システムにおいて、  
 前記特定部は、前記橋脚の卓越振動数の移動平均に基づいてこの橋脚の固有振動数を特定すること、

を特徴とする橋脚の健全性評価システム。

【請求項3】

請求項1又は請求項2に記載の橋脚の健全性評価システムにおいて、

10

20

前記評価部は、前記橋脚の固有振動数の変化に基づいてこの橋脚の安定性を評価すること、

を特徴とする橋脚の健全性評価システム。

【請求項 4】

橋脚の健全性を評価するための橋脚の健全性評価プログラムであって、

河川の水位が所定高さを超えたときに前記橋脚の振動を検出する振動検出部の出力信号を高速フーリエ変換処理して、この橋脚の卓越振動数を演算する演算手順と、

前記演算手順において演算した前記橋脚の卓越振動数に基づいてこの橋脚の固有振動数を特定する特定手順と、

前記特定手順において特定した前記橋脚の固有振動数に基づいてこの橋脚の安定性を評価する評価手順とをコンピュータに実行させ、

前記特定手順は、前記演算手順において演算した前記橋脚の卓越周波数のうち、前記橋脚が健全な状態であるときにこの橋脚に衝撃荷重試験を実施して予め測定したこの橋脚の固有振動数に対応する卓越周波数をこの橋脚の固有振動数として特定する手順を含むこと

10

を特徴とする橋脚の健全性評価プログラム。

【請求項 5】

請求項 4 に記載の橋脚の健全性評価プログラムにおいて、

前記特定手順は、前記橋脚の卓越振動数の移動平均に基づいてこの橋脚の固有振動数を特定する手順を含むこと、

20

を特徴とする橋脚の健全性評価プログラム。

【請求項 6】

請求項 4 又は請求項 5 に記載の橋脚の健全性評価プログラムにおいて、

前記評価手順は、前記橋脚の固有振動数の変化に基づいてこの橋脚の安定性を評価する手順を含むこと、

を特徴とする橋脚の健全性評価プログラム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

この発明は、橋脚の健全性を評価する橋脚の健全性評価システムとその健全性評価プログラムに関する。

30

【背景技術】

【0002】

従来、変位計、加速度計又は速度計などのセンサを利用して橋脚の振動量を計測し、この橋脚の異常を検知するシステムが提案されている。従来の橋脚の異常検知システムは、橋脚の天端部に取り付けられてこの橋脚の振動を検出する加速度計と、この加速度計の出力信号を高速フーリエ変換処理してフーリエスペクトルを生成する高速フーリエ変換処理部と、このフーリエスペクトル波形を平滑化する平均化処理部と、平滑化後のフーリエスペクトルを重み付け関数によって重み付けする重み付け処理部と、重み付け後のフーリエスペクトルの曲線とベースラインとによって囲まれる領域の面積を正規化する面積算定正規化処理部と、正規化後の面積の減少をしきい値と比較する正規化面積減少評価部などを備えている（例えば、特許文献 1 参照）。このような従来の橋脚の異常検知システムでは、橋脚の微動信号に基づいて橋脚の固有振動数を高速フーリエ変換処理によって演算し、衝撃荷重試験による固有振動数と比較して、洗掘などに起因する橋脚の支持力の変化を適切に定常的に監視している。

40

【0003】

【特許文献 1】特開 2000-186984 号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

50

従来の橋脚の異常状態検知システムでは、加速度計によって橋脚の微動振動を常時測定し、測定データを記録装置に常時記録するとともに測定データを常時処理している。このため、従来の橋脚の異常状態検知システムでは、無駄なデータ処理が多くなって電源の消費が激しくなりコストが高くなってしまいう問題点がある。また、従来の橋脚の異常状態検知システムでは、低水時には橋脚の微動レベルが低下するため橋脚の振動を測定することが困難であり、橋脚の異常状態を精度よく検知することができない問題点がある。

【0005】

この発明の課題は、河川の増水時に効率的に橋脚の振動を検出して、橋脚の安定性を精度よく評価することができる橋脚の健全性評価システムとその健全性評価プログラムを提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0006】

この発明は、以下に記載するような解決手段により、前記課題を解決する。

なお、この発明の実施形態に対応する符号を付して説明するが、この実施形態に限定するものではない。

請求項1の発明は、橋脚(B<sub>2</sub>)の健全性を評価する橋脚の健全性評価システムであって、河川(R)の水位(H)が所定高さを超えたときに前記橋脚の振動を検出する振動検出部(2a)の出力信号を高速フーリエ変換処理して、この橋脚の卓越振動数を演算する演算部(2g)と、前記演算部が演算した前記橋脚の卓越振動数に基づいてこの橋脚の固有振動数を特定する特定部(2k)と、前記特定部が特定した前記橋脚の固有振動数に基づいてこの橋脚の安定性を評価する評価部(2n)とを備え、前記特定部は、前記演算部が演算した前記橋脚の卓越周波数のうち、前記橋脚が健全な状態であるときにこの橋脚に衝撃荷重試験を実施して予め測定したこの橋脚の固有振動数に対応する卓越周波数をこの橋脚の固有振動数として特定することを特徴とする橋脚の健全性評価システム(1)である。

【0007】

請求項2の発明は、請求項1に記載の橋脚の健全性評価システムにおいて、前記特定部は、前記橋脚の卓越振動数の移動平均に基づいてこの橋脚の固有振動数を特定することを特徴とする橋脚の健全性評価システムである。

【0008】

請求項3の発明は、請求項1又は請求項2に記載の橋脚の健全性評価システムにおいて、前記評価部は、前記橋脚の固有振動数の変化に基づいてこの橋脚の安定性を評価することを特徴とする橋脚の健全性評価システムである。

【0009】

請求項4の発明は、橋脚(B<sub>2</sub>)の健全性を評価するための橋脚の健全性評価プログラムであって、河川(B)の水位(H)が所定高さを超えたときに前記橋脚の振動を検出する振動検出部(2a)の出力信号を高速フーリエ変換処理して、この橋脚の卓越振動数を演算する演算手順(S130)と、前記演算手順において演算した前記橋脚の卓越振動数に基づいてこの橋脚の固有振動数を特定する特定手順(S140)と、前記特定手順において特定した前記橋脚の固有振動数に基づいてこの橋脚の安定性を評価する評価手順(S150)とをコンピュータ(2t)に実行させ、前記特定手順は、前記演算手順において演算した前記橋脚の卓越周波数のうち、前記橋脚が健全な状態であるときにこの橋脚に衝撃荷重試験を実施して予め測定したこの橋脚の固有振動数に対応する卓越周波数をこの橋脚の固有振動数として特定する手順を含むことを特徴とする橋脚の健全性評価プログラムである。

【0010】

請求項5の発明は、請求項4に記載の橋脚の健全性評価プログラムにおいて、前記特定手順は、前記橋脚の卓越振動数の移動平均に基づいてこの橋脚の固有振動数を特定する手順を含むことを特徴とする橋脚の健全性評価プログラムである。

【0011】

10

20

30

40

50

請求項 6 の発明は、請求項 4 又は請求項 5 に記載の橋脚の健全性評価プログラムにおいて、前記評価手順は、前記橋脚の固有振動数の変化に基づいてこの橋脚の安定性を評価する手順を含むことを特徴とする橋脚の健全性評価プログラムである。

【発明の効果】

【 0 0 1 8 】

この発明によると、河川の増水時に効率的に橋脚の振動を検出して、橋脚の安定性を精度よく評価することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【 0 0 1 9 】

以下、図面を参照して、この発明の実施形態について詳しく説明する。

10

図 1 は、この発明の実施形態に係る橋梁の健全性評価システムの使用状態を示す側面図である。図 2 は、この発明の実施形態に係る橋梁の健全性評価システムの使用状態を示す正面図であり、図 2 ( A ) は橋脚が安定状態であるときの正面図であり、図 2 ( B ) は橋脚が不安定状態であるときの正面図である。図 3 は、この発明の実施形態に係る橋梁の健全性評価システムの構成図である。

【 0 0 2 0 】

図 1 及び図 2 に示す橋梁 B は、健全性評価システム 1 によって健全性が評価される評価対象物であり、車両 V が走行する軌道 W の下部に空間を確保して、列車の荷重を支持する固定構造物である。橋梁 B は、水平方向に配置されて軌道 W を支持する橋桁 B<sub>1</sub> と、この橋桁 B<sub>1</sub> を支持する橋脚 (ピア) B<sub>2</sub> と、橋梁 B 全体に作用する荷重を地盤に伝達してこの橋梁 B を支持する橋脚基礎 B<sub>3</sub> と、橋脚 B<sub>2</sub> の上端面を構成する天端部 B<sub>4</sub> と、この天端部 B<sub>4</sub> 上に橋桁 B<sub>1</sub> を支持する支承部 B<sub>5</sub> などを備えている。橋梁 B は、橋桁 B<sub>1</sub> が上部構造を構成し、橋脚 B<sub>2</sub> 及び橋脚基礎 B<sub>3</sub> が下部構造を構成している。図 1 及び図 2 に示す橋梁 B は、例えば、梁構造によって荷重を受ける桁橋であり、橋桁 B<sub>1</sub> が鋼材を主要材料とする鋼桁で構成されており、橋脚 B<sub>2</sub> が石材、レンガ又はコンクリートなどの剛体で構成されている。

20

【 0 0 2 1 】

河川 R は、橋梁 B の下方を流れる川であり、図 2 ( B ) に示す洗掘 S は河川 R の川底を流れる水によって橋脚基礎 B<sub>3</sub> 周辺の川底が深くえぐられた状態である。軌道 W は、車両 V が走行する通路 (線路) であり、車両 V は橋梁 B 上を走行する電車又は気動車などの鉄道車両である。利用者 M は、健全性評価システム 1 を使用して橋梁 B を監視、保守又は検査する作業員である。

30

【 0 0 2 2 】

図 3 に示す健全性評価システム 1 は、橋脚 B<sub>2</sub> の健全性を評価するシステムである。健全性評価システム 1 は、図 1 に示す健全性評価装置 2 A ~ 2 C と、図 3 に示す表示装置 3 などを備えている。健全性評価システム 1 は、図 1 に示す 3 組の健全性評価装置 2 A ~ 2 C によって橋脚 B<sub>2</sub> の振動を検出してこの橋脚 B<sub>2</sub> の卓越振動数を演算し、橋脚 B<sub>2</sub> の固有振動数を特定して橋脚 B<sub>2</sub> の健全性を評価するとともに、図 3 に示す表示装置 3 によってこの評価結果を表示する。

【 0 0 2 3 】

40

図 1 に示す健全性評価装置 2 A ~ 2 C は、橋脚 B<sub>2</sub> の健全性を評価する装置である。健全性評価装置 2 A ~ 2 C は、橋脚 B<sub>2</sub> の振動及び河川 R の水位 H を自動的に計測してデータ処理する計測データ処理部を構成しており、この計測データ処理部は振動及び水位を計測するセンサ部と、このセンサ部によって計測された計測データを制御する計測データ制御部とから構成されている。健全性評価装置 2 A ~ 2 C は、設置位置の変更が容易で持ち運びに便利のように可搬型に構成されており、3 本の橋脚 B<sub>2</sub> にそれぞれ配置されて、3 本の橋脚 B<sub>2</sub> の固有振動数を特定しそれぞれの橋脚 B<sub>2</sub> の健全性を評価する。健全性評価装置 2 A ~ 2 C は、いずれも同一構造であり、以下では健全性評価装置 2 A について説明する。健全性評価装置 2 A は、図 3 に示すように、振動検出部 2 a と、信号処理部 2 b と、水位検出部 2 c と、信号処理部 2 d と、振動情報記憶部 2 e と、水位情報記憶部 2 f と、

50

演算部 2 g と、卓越振動数情報記憶部 2 h と、計時部 2 i と、固有振動数情報記憶部 2 j と、特定部 2 k と、しきい値情報記憶部 2 m と、評価部 2 n と、評価情報記憶部 2 p と、電源部 2 q と、プログラム記憶部 2 r と、通信部 2 s と、制御部 2 t などを用意している。

【 0 0 2 4 】

図 2 及び図 3 に示す振動検出部 2 a は、橋脚 B<sub>2</sub> の振動を検出する手段である。振動検出部 2 a は、例えば、河川 R の水位が所定高さを超えたときに橋脚 B<sub>2</sub> の振動の検出を開始し、河川 R の水位が所定高さ以下になるまで橋脚 B<sub>2</sub> の振動の検出を継続する。振動検出部 2 a は、図 2 に示すように、車両 V の振動の影響を強く受け易い支承部 B<sub>5</sub> よりも上方の橋桁 B<sub>1</sub> には設置せずに、支承部 B<sub>5</sub> よりも下方の天端部 B<sub>4</sub> に設置されている。振動検出部 2 a は、例えば、橋梁 B の長さ方向（図 1 及び図 2 に示す X 軸方向）と直交する橋梁 B の幅方向（Y 軸方向）の橋脚 B<sub>2</sub> の振動を検出する加速度センサ、速度センサ又は変位センサなどの振動センサである。振動検出部 2 a は、図 2 に示すように、天端部 B<sub>4</sub> の Y 軸方向に所定の間隔をあけて 2 台設置されている。振動検出部 2 a は、橋脚 B<sub>2</sub> の振動に応じた振動検出信号（振動情報）を、内蔵する A/D 変換器によってデジタル信号に変換して信号処理部 2 b に出力する。

10

【 0 0 2 5 】

図 3 に示す信号処理部 2 b は、振動検出部 2 a が出力する出力信号を処理する手段である。信号処理部 2 b は、例えば、振動検出部 2 a が出力する振動検出信号を増幅する増幅回路と、この振動検出信号から所定の周波数成分を抽出するフィルタ回路などを備えている。信号処理部 2 b は、処理後の振動検出信号を制御部 2 t に出力する。

20

【 0 0 2 6 】

図 2 及び図 3 に示す水位検出部 2 c は、河川 R の水位 H を検出する手段である。水位検出部 2 c は、図 2 に示すように、天端部 B<sub>4</sub> に設置されており、河川 R の水面に向かって信号を送信し、この水面から反射する反射信号を受信して河川 R の水位 H を検出する超音波レベル計、赤外線レベル計又はレーザーレベル計などの水位計である。水位検出部 2 c は、河川 R の水位 H に応じた水位検出信号（水位情報）を信号処理部 2 d に出力する。

【 0 0 2 7 】

図 3 に示す信号処理部 2 d は、水位検出部 2 c が出力する出力信号を処理する手段である。信号処理部 2 d は、例えば、水位検出部 2 c が出力する水位検出信号を増幅する増幅回路と、この水位検出信号から所定の周波数成分を抽出するフィルタ回路と、この水位検出信号（アナログ信号）をデジタル信号に変換する A/D 変換回路などを備えている。信号処理部 2 d は、処理後の水位検出信号を制御部 2 t に出力する。

30

【 0 0 2 8 】

振動情報記憶部 2 e は、振動検出部 2 a の検出結果を記憶する手段であり、信号処理部 2 b が出力する振動検出信号（振動情報）を記憶するメモリである。水位情報記憶部 2 f は、水位検出部 2 c の検出結果を記憶する手段であり、信号処理部 2 d が出力する水位検出信号（水位情報）を記憶するメモリである。

【 0 0 2 9 】

演算部 2 g は、振動検出部 2 a の検出結果に基づいて橋脚 B<sub>2</sub> の卓越振動数を演算する手段である。演算部 2 g は、河川 R の水位 H が所定高さを超えたときの振動検出部 2 a の出力信号に基づいてこの卓越振動数を演算する。ここで、卓越振動数とは、橋脚 B<sub>2</sub> の振動波形を周波数分析したときに振幅スペクトルが極大となる周波数である。演算部 2 g は、振動検出部 2 a の出力信号を高速フーリエ変換 (Fast Fourier Transformation (以下、FFT という)) 処理して橋脚 B<sub>2</sub> の卓越振動数を演算する。演算部 2 g は、例えば、河川 R の水位 H が所定高さを超えてから所定高さ以下になるまでの間に振動検出部 2 a が出力する振動データを、設定された任意のデータ長で抽出して FFT 処理したり、設定された任意の周期で FFT 処理したりする。演算部 2 g は、振動検出部 2 a が出力する振動情報及び水位検出部 2 c が出力する水位情報を処理するデータ処理装置を構成する。演算部 2 g は、演算後の卓越振動数を卓越振動数情報として制御部 2 t に出力する。

40

【 0 0 3 0 】

50

卓越振動数情報記憶部 2 h は、演算部 2 g の演算結果を記憶する手段である。卓越振動数情報記憶部 2 h は、演算部 2 g が出力する卓越振動数情報を記憶するメモリである。

【 0 0 3 1 】

計時部 2 i は、時刻を計測する手段である。計時部 2 i は、例えば、所定時間毎に動作開始信号を制御部 2 t に出力し、この動作開始信号を出力してから所定時間経過後に動作終了信号を制御部 2 t に出力する。また、計時部 2 i は、例えば、河川 R の水位 H が所定の高さを超えたときには、FFT処理を開始させる動作開始信号を制御部 2 t に出力し、この動作開始信号を出力してから所定時間経過後に動作終了信号を制御部 2 t に出力する。

【 0 0 3 2 】

固有振動数情報記憶部 2 j は、橋脚 B<sub>2</sub> の固有振動数を記憶する手段である。固有振動数情報記憶部 2 j は、例えば、図 2 ( A ) に示すような健全な状態である橋脚 B<sub>2</sub> に重錘を衝突させて橋脚 B<sub>2</sub> を強制的に加振する衝撃荷重試験を実施したときに測定された橋脚 B<sub>2</sub> の固有振動数 ( 共振振動数 ) を固有振動数情報として記憶している。また、固有振動数情報記憶部 2 j は、特定部 2 k が特定した卓越振動数情報を固有振動数情報として記憶している。固有振動数情報記憶部 2 j は、各橋梁 B の橋脚 B<sub>2</sub> 毎に固有振動数情報を更新可能に記憶している。

【 0 0 3 3 】

特定部 2 k は、橋脚 B<sub>2</sub> の卓越振動数に基づいてこの橋脚 B<sub>2</sub> の固有振動数を特定する手段であり、河川 R の水位 H が所定高さを超えたときの橋脚 B<sub>2</sub> の卓越振動数に基づいてこの橋脚 B<sub>2</sub> の固有振動数を特定する。特定部 2 k は、振動検出部 2 a の出力信号に基づいて卓越振動数の移動平均を演算し、この卓越振動数の移動平均に基づいて固有振動数を特定する。特定部 2 k は、卓越振動数情報記憶部 2 h が記憶する卓越振動数情報を移動平均処理し、固有振動数情報記憶部 2 j が記憶する衝撃荷重試験によって測定した橋脚 B<sub>2</sub> の固有振動数と対応する卓越振動数を固有振動数と特定する。特定部 2 k は、特定後の固有振動数情報を制御部 2 t に出力する。

【 0 0 3 4 】

図 4 は、この発明の実施形態に係る橋脚の健全性評価システムの健全性評価装置の特定部による固有振動数の特定手法を説明するためのグラフである。

図 4 に示す縦軸は、加速度スペクトル ( 10<sup>-6</sup>gal \* sec ) であり、横軸は振動数 ( Hz ) である。太線は、低水時 ( 水深 0m ) の橋脚微動のフーリエスペクトルを示す波形であり、細線は増水時 ( 水深 2.7m ) の橋脚微動のフーリエスペクトルを示す波形であり、いずれも実際の鉄道橋梁の橋脚微動を測定して周波数解析した波形である。図 4 に示すように、低水時には橋脚の固有振動数の応答が明瞭ではないが、増水時には橋脚が揺すられるために橋桁の固有振動数の応答よりも橋脚の固有振動数の応答のほうが明瞭になる。増水時の波形には、加速度スペクトルが極大となる 4 つの卓越振動数 f<sub>1</sub> ~ f<sub>4</sub> が存在するが、フーリエスペクトルからだけではこれらの卓越振動数 f<sub>1</sub> ~ f<sub>4</sub> のいずれが橋脚の固有振動数に対応するのか不明である。このため、橋脚に重錘を衝突させて橋脚の固有振動数を測定する衝撃荷重試験を実施して橋脚の固有振動数を予め特定しておき、増水時の橋脚の卓越振動数 f<sub>1</sub> ~ f<sub>4</sub> を演算したときに、演算後の卓越振動数 f<sub>1</sub> ~ f<sub>4</sub> のいずれが橋脚の固有振動数に対応するかを判断することができる。図 4 に示す波形では、橋桁の固有振動数は 3.5Hz であり、橋脚の固有振動数は 11.3Hz であるが、増水時の卓越振動数 f<sub>1</sub> ~ f<sub>4</sub> を演算することによって、4 つの卓越振動数 f<sub>1</sub> ~ f<sub>4</sub> のうちの一つの卓越振動数 f<sub>3</sub> が橋脚の固有振動数に対応することが分かる。このように、特定部 2 k は、河川 R の水位 H が所定高さを超える増水時の橋脚 B<sub>2</sub> の卓越振動数 f<sub>1</sub> ~ f<sub>4</sub> を、衝撃試験などによって予め特定されている橋脚 B<sub>2</sub> の固有振動数と照合して、複数の卓越振動数 f<sub>1</sub> ~ f<sub>4</sub> のうち卓越振動数 f<sub>3</sub> が橋脚 B<sub>2</sub> の固有振動数であると特定する。

【 0 0 3 5 】

図 3 に示すしきい値情報記憶部 2 m は、橋脚 B<sub>2</sub> の安定性を評価するときに基準となるしきい値を記憶する手段である。しきい値情報記憶部 2 m は、一般に、図 2 ( B ) に示す洗掘 S が発生すると橋脚 B<sub>2</sub> の固有振動数が低下するため、橋脚 B<sub>2</sub> が安定であるか否かを

10

20

30

40

50

判定する際に基準となる基準振動数をしきい値情報として記憶するメモリである。しきい値情報記憶部 2 m は、各橋梁 B の橋脚 B<sub>2</sub> 毎にしきい値情報を更新可能に記憶している。

【 0 0 3 6 】

図 5 は、この発明の実施形態に係る橋脚の健全性評価システムの健全性評価装置の評価部の評価手法を説明するための模式図であり、図 5 ( A ) は橋脚が安定であるときの橋脚の固有振動数を示す模式図であり、図 5 ( B ) は橋脚が不安定であるときの橋脚の固有振動数を示す模式図である。

【 0 0 3 7 】

図 3 に示す評価部 2 n は、橋脚 B<sub>2</sub> の固有振動数に基づいてこの橋脚 B<sub>2</sub> の安定性を評価する手段である。評価部 2 n は、特定部 2 k が卓越振動数から特定した橋脚 B<sub>2</sub> の固有振動数の変化に基づいて、この橋脚 B<sub>2</sub> の安定性を評価する。評価部 2 n は、特定部 2 k が特定した橋脚 B<sub>2</sub> の固有振動数が低下して、しきい値情報記憶部 2 m が記憶するしきい値を下回ったときには橋脚 B<sub>2</sub> が不安定であると評価する。例えば、評価部 2 n は、図 5 ( A ) に示すように、特定部 2 k が卓越振動数から特定した橋脚 B<sub>2</sub> の固有振動数 f がしきい値 f<sub>th</sub> を超えているときには、橋脚 B<sub>2</sub> が安定であると評価する。一方、評価部 2 n は、図 2 ( B ) に示すような洗掘 S が発生して、図 5 ( B ) に示すように特定部 2 k が卓越振動数から特定した橋脚 B<sub>2</sub> の固有振動数 f が低下ししきい値 f<sub>th</sub> を下回るときには、橋脚 B<sub>2</sub> が安定であると評価する。評価部 2 n は、これらの評価結果を評価情報として制御部 2 t に出力する。

【 0 0 3 8 】

評価情報記憶部 2 p は、評価部 2 n の評価結果を記憶する手段である。評価情報記憶部 2 p は、評価部 2 n が出力する評価情報を記憶するメモリであり、各橋梁 B の橋脚 B<sub>2</sub> 毎に評価情報を更新可能に記憶している。

【 0 0 3 9 】

電源部 2 q は、健全性評価装置 2 A に電力を供給する手段である。電源部 2 q は、計時部 2 i に微小な電力を常時供給しており、計時部 2 i が動作開始信号を制御部 2 t に出力すると振動検出部 2 a 及び水位検出部 2 c などに電力を供給し、計時部 2 i が動作終了信号を制御部 2 t に出力すると振動検出部 2 a 及び水位検出部 2 c などへの電力の供給を停止する。電源部 2 q は、例えば、河川 R の水位が所定高さを超えると振動検出部 2 a などに電力を供給し、河川 R の水位が所定高さ以下になると振動検出部 2 a などへの電力の供給を停止する。電源部 2 q は、健全性評価装置 2 A に着脱自在に装着され交換可能な電池である。

【 0 0 4 0 】

プログラム記憶部 2 r は、橋脚 B<sub>2</sub> の健全性を評価するための健全性評価プログラムを記憶する手段である。プログラム記憶部 2 r は、例えば、通信部 2 s から入力する健全性評価プログラムを記憶するメモリである。通信部 2 s は、表示装置 3 側の通信部 3 a との間で通信する手段であり、通信部 3 a との間で種々の情報を送受信する無線装置である。

【 0 0 4 1 】

制御部 2 t は、健全性評価装置 2 A の種々の動作を制御する手段 ( 中央処理部 ( CPU ) ) である。制御部 2 t は、プログラム記憶部 2 r から健全性評価プログラムを読み出して一連の評価処理を実行する。制御部 2 t は、例えば、振動情報の記憶を振動情報記憶部 2 e に指令したり、水位情報の記憶を水位情報記憶部 2 f に指令したり、卓越振動数の演算を演算部 2 g に指令したり、卓越振動数情報の記憶を卓越振動数情報記憶部 2 h に指令したり、計時部 2 i に計測動作の開始及び終了を指令したり、固有振動数情報記憶部 2 j に固有振動数情報の記憶を指令したり、特定部 2 k に固有振動数の特定を指令したり、しきい値情報の記憶をしきい値情報記憶部 2 m に指令したり、橋脚 B<sub>2</sub> の健全性の評価を評価部 2 n に指令したり、評価情報記憶部 2 p に評価情報の記憶を指令したり、電源部 2 q に電力の供給及び停止を指令したり、通信部 2 s に通信動作を指令したりする。制御部 2 t には、振動検出部 2 a、信号処理部 2 b、水位検出部 2 c、信号処理部 2 d、振動情報記憶部 2 e、水位情報記憶部 2 f、演算部 2 g、卓越振動数情報記憶部 2 h、計時部 2 i、固

10

20

30

40

50

有振動数情報記憶部 2 j、特定部 2 k、しきい値情報記憶部 2 m、評価部 2 n、評価情報記憶部 2 p、電源部 2 q、プログラム記憶部 2 r 及び通信部 2 s が相互に通信可能に接続されている。

【 0 0 4 2 】

図 1 ~ 図 3 に示す表示装置 3 は、種々の情報を表示する装置である。表示装置 3 は、例えば、図 1 及び図 2 に示すように、利用者 M が携帯可能であって現場に持ち運びが容易な可搬型のパーソナルコンピュータなどの携帯端末機である。表示装置 3 は、健全性評価装置 2 A ~ 2 C の計測データ及び評価データを処理するデータ処理部を構成するとともに、これらの計測データを表示する計測データ表示部を構成する。表示装置 3 は、図 3 に示すように、通信部 3 a と、表示部 3 b と、評価情報記憶部 3 c と、インタフェース部 3 d と、制御部 3 e などを用意している。

10

【 0 0 4 3 】

通信部 3 a は、健全性評価装置 2 A ~ 2 C 側の通信部 2 s との間で通信する手段であり、通信部 2 s との間で種々の情報を送受信する無線装置である。表示部 3 b は、種々の情報を表示する手段である。

【 0 0 4 4 】

表示部 3 b は、健全性評価装置 2 A ~ 2 C の評価結果を表示したり、健全性評価装置 2 A ~ 2 C の測定結果を表示したりする。表示部 3 b は、例えば、橋脚 B<sub>2</sub> が不安定であると評価部 2 n が評価したときには所定の警告を画面上に表示する表示装置である。

【 0 0 4 5 】

評価情報記憶部 3 c は、健全性評価装置 2 A ~ 2 C の評価部 2 n の評価結果を記憶する手段である。評価情報記憶部 3 c は、評価部 2 n が出力する評価情報を記憶するメモリであり、各橋梁 B の橋脚 B<sub>2</sub> 毎に評価情報を更新可能に記憶している。

20

【 0 0 4 6 】

インタフェース部 3 d は、外部装置との間で種々の情報を送受信する手段である。インタフェース部 3 d は、例えば、衝撃荷重試験により測定された固有振動数情報及びしきい値情報などが外部装置から入力するとともに、卓越振動数情報及び評価情報などを外部装置に出力するインタフェース (I/O) 回路である。また、インタフェース部 3 d には、情報記録媒体から読み取られた健全性評価プログラムや、電気通信回線を通じて健全性評価プログラムなどが入力する。

30

【 0 0 4 7 】

制御部 3 e は、表示装置 3 の種々の動作を制御する手段 (中央処理部 (CPU)) である。制御部 3 e は、例えば、通信部 3 a に通信動作を指令したり、表示部 3 b に表示動作を指令したり、評価情報記憶部 3 c に評価情報の記憶を指令したり、インタフェース部 3 d に情報の入出力動作を指令したりする。制御部 3 e には、通信部 3 a、表示部 3 b、評価情報記憶部 3 c 及びインタフェース部 3 d が相互に通信可能に接続されている。

【 0 0 4 8 】

次に、この発明の実施形態に係る橋脚の健全性評価システムの健全性評価装置の動作を説明する。

図 6 は、この発明の実施形態に係る橋脚の健全性評価システムの健全性評価装置の動作を説明するためのフローチャートである。以下では、図 3 に示す制御部 2 t の動作を中心として説明する。

40

図 6 に示すステップ (以下、S という) 100 において、河川 R の水位 H の検出開始を水位検出部 2 c に制御部 2 t が指令する。計時部 2 i が所定時間毎に動作開始信号を制御部 2 t に出力すると、健全性評価装置 2 A 全体への電力の供給開始を制御部 2 t が電源部 2 q に指令し、水位検出部 2 c が河川 R の水位 H の検出を開始して水位検出信号を信号処理部 2 d に出力する。

【 0 0 4 9 】

S 110 において、河川 R の水位 H が所定高さを超えたか否かを制御部 2 t が判断する。信号処理部 2 d が水位検出信号を制御部 2 t に出力すると、この水位検出信号に基づい

50



て河川 R の水位 H が所定高さを越えたか否かを制御部 2 t が判断する。河川 R の増水時には橋脚 B<sub>2</sub> が流れによって揺すられるため、低水時に比べて微動レベルが増大して橋脚 B<sub>2</sub> の振動を容易に検出可能になる。このため、所定高さは、例えば、橋脚 B<sub>2</sub> が容易に振動して微動レベルの増大が期待されるときに河川水位に設定されており、各橋梁 B の橋脚 B<sub>2</sub> 毎に設定されている。河川 R の水位 H が所定高さを越えたと制御部 2 t が判断したときには S 1 2 0 に進み、河川 R の水位 H が所定高さ以下であると制御部 2 t が判断したときには一連の処理を終了する。

【 0 0 5 0 】

S 1 2 0 において、橋脚 B<sub>2</sub> の振動の検出開始を振動検出部 2 a に制御部 2 t が指令する。その結果、振動検出部 2 a が橋脚 B<sub>2</sub> の振動の検出を開始し、振動検出信号を信号処理部 2 b に出力する。信号処理部 2 b が振動検出信号を制御部 2 t に出力すると、制御部 2 t が振動情報記憶部 2 e に振動情報を出力し、振動情報記憶部 2 e に振動情報の記憶を指令する。

10

【 0 0 5 1 】

S 1 3 0 において、卓越振動数の演算を演算部 2 g に制御部 2 t が指令する。橋脚 B<sub>2</sub> の振動の検出開始を振動検出部 2 a に制御部 2 t が指令すると同時に、卓越振動数の演算開始を演算部 2 g に制御部 2 t が指令すると、制御部 2 t が出力する振動情報に基づいて演算部 2 g が FFT 処理して卓越振動数を演算し、卓越振動数情報を制御部 2 t に出力する。その結果、この卓越振動数情報を制御部 2 t が卓越振動数情報記憶部 2 h に出力し、卓越振動数情報記憶部 2 h に卓越振動数情報の記憶を指令する。

20

【 0 0 5 2 】

S 1 4 0 において、固有振動数の特定を特定部 2 k に制御部 2 t が指令する。卓越振動数情報記憶部 2 h から卓越振動数情報を制御部 2 t が読み出してこの卓越振動数情報を特定部 2 k に出力するとともに、衝撃荷重試験によって測定された固有振動数情報を固有振動数情報記憶部 2 j から制御部 2 t が読み出してこの固有振動数情報を特定部 2 k に出力する。その結果、卓越振動数情報の移動平均を特定部 2 k が演算し、衝撃荷重試験によって測定された橋脚 B<sub>2</sub> の固有振動数に対応する卓越振動数を固有振動数と特定する。特定後の固有振動数情報を特定部 2 k が制御部 2 t に出力すると、この特定後の固有振動数情報を制御部 2 t が固有振動数情報記憶部 2 j に出力し、特定後の固有振動数情報の記憶を固有振動数情報記憶部 2 j に指令する。

30

【 0 0 5 3 】

S 1 5 0 において、橋脚 B<sub>2</sub> の安定性の評価を評価部 2 n に制御部 2 t が指令する。しきい値情報記憶部 2 m からしきい値情報を制御部 2 t が読み出して、このしきい値情報を制御部 2 t が評価部 2 n に出力するとともに、特定部 2 k が特定した固有振動数情報を制御部 2 t が評価部 2 n に出力する。橋脚 B<sub>2</sub> の安定性の評価を制御部 2 t が評価部 2 n に指令すると、特定部 2 k が特定した固有振動数としきい値情報記憶部 2 m が記憶するしきい値情報とを評価部 2 n が比較して、固有振動数がしきい値を下回るか否かを判定する。その結果、固有振動数がしきい値を下回ったときには橋脚 B<sub>2</sub> が不安定であると評価部 2 n が評価し、固有振動数がしきい値を超えるときには橋脚 B<sub>2</sub> が安定であると評価部 2 n が評価する。これらの評価情報を制御部 2 t に評価部 2 n が出力すると、これらの評価情報を評価情報記憶部 2 p に制御部 2 t が出力して、これらの評価情報の記憶を評価情報記憶部 2 p に指令する。

40

【 0 0 5 4 】

S 1 6 0 において、通信部 3 a が送信するデータ送信指令を通信部 2 s が受信したか否かを制御部 2 t が判断する。図 1 及び図 2 に示すように、表示装置 3 によって橋脚 B<sub>2</sub> の健全性を確認するときには、図 3 に示す表示装置 3 の通信部 3 a から健全性評価装置 2 A ~ 2 C の通信部 2 s にデータ送信が指令される。通信部 3 a から制御部 2 t にデータ送信が指令されたときには S 1 7 0 に進み、通信部 3 a から制御部 2 t にデータ送信指令がされなかったときには S 1 8 0 に進む。

【 0 0 5 5 】

50

S 1 7 0において、評価情報の送信を制御部 2 t が通信部 2 s に指令する。データ送信指令を通信部 2 s が受信すると制御部 2 t が評価情報記憶部 2 p から評価情報を読み出して通信部 2 s に出力し、この評価情報の送信を通信部 2 s に指令する。

【 0 0 5 6 】

S 1 8 0において、河川 R の水位 H が所定高さ以下か否かを制御部 2 t が判断する。信号処理部 2 d が水位検出信号を制御部 2 t に出力すると、この水位検出信号に基づいて河川 R の水位 H が所定高さ以下か否かを制御部 2 t が判断する。河川 R の水位 H が所定高さ以下であると制御部 2 t が判断したときには S 1 9 0 に進む。一方、河川 R の水位 H が所定高さを超えていると制御部 2 t が判断したときには S 1 3 0 に戻り、河川 R の水位 H が所定高さ以下になるまで S 1 3 0 の卓越振動数の演算処理、S 1 4 0 の固有振動数の特定処理及び S 1 5 0 の評価処理などが継続される。

10

【 0 0 5 7 】

S 1 9 0において、橋脚 B<sub>2</sub>の振動の検出終了を振動検出部 2 a に制御部 2 t が指令する。河川 R の水位 H が所定高さ以下に戻ると、水位検出部 2 c が出力する水位検出信号に基づいて、振動検出部 2 a に検出動作の終了を制御部 2 t が指令する。

【 0 0 5 8 】

次に、この発明の実施形態に係る橋脚の健全性評価システムの表示装置の動作を説明する。

図 7 は、この発明の実施形態に係る橋脚の健全性評価システムの表示装置の動作を説明するためのフローチャートである。以下では、図 3 に示す制御部 3 e の動作を中心として説明する。

20

図 7 に示す S 2 0 0 において、データ送信を制御部 3 e が通信部 3 a に指令する。図 1 及び図 2 に示すように、橋脚 B<sub>2</sub>の健全性を確認するときには、利用者 M が表示装置 3 を現場に持ち運び、この表示装置 3 の図示しない操作部を操作してデータ送信動作が選択される。その結果、制御部 3 e が通信部 3 a にデータ送信を指令し、通信部 3 a から通信部 2 s にデータ送信が指令される。

【 0 0 5 9 】

S 2 1 0 において、評価情報を通信部 3 a が受信したか否かを制御部 3 e が判断する。通信部 3 a が評価情報を受信すると、この評価情報が制御部 3 e に出力され、制御部 3 e が評価情報を表示部 3 b に出力するとともに、評価情報の記憶を評価情報記憶部 3 c に指令する。評価情報を通信部 3 a が受信したときには S 2 2 0 に進み、評価情報を通信部 3 a が受信しなかったときには表示部 3 b にエラー表示を制御部 3 e が指令して一連の処理を終了する。

30

【 0 0 6 0 】

S 2 2 0 において、判定結果の表示を表示部 3 b に制御部 3 e が指令する。評価情報を通信部 3 a が受信すると、表示部 3 b の画面上に評価結果が表示される。例えば、橋脚 B<sub>2</sub>が不安定であるときには利用者 M に注意を喚起するための警告が画面上に表示される。

【 0 0 6 1 】

この発明の実施形態に係る橋脚の健全性評価システムには、以下に記載するような効果がある。

40

(1) この実施形態では、河川 R の水位 H が所定高さを超えたときの振動検出部 2 a の出力信号に基づいて、橋脚 B<sub>2</sub>の卓越振動数を演算部 2 g が演算する。このため、河川 R の増水によって橋脚 B<sub>2</sub>の微動レベルが増大することを利用して、橋脚 B<sub>2</sub>の卓越振動数を容易に特定することができる。また、橋脚 B<sub>2</sub>の振動を低水時には検出しないため効率的にデータを処理することができ、電源の消費を抑え橋脚 B<sub>2</sub>の健全性を安価に評価することができる。

【 0 0 6 2 】

(2) この実施形態では、振動検出部 2 a の出力信号をFFT処理して卓越振動数を演算部 2 g が演算する。このため、増水時の橋脚 B<sub>2</sub>の微動振動に基づいて橋脚 B<sub>2</sub>の卓越振動数を簡単に演算することができる。

50

## 【 0 0 6 3 】

(3) この実施形態では、演算部 2 g が演算した卓越振動数に基づいて橋脚 B<sub>2</sub> の固有振動数を特定部 2 k が特定する。このため、橋脚 B<sub>2</sub> の固有振動数を精度よく簡単に特定することができる。

## 【 0 0 6 4 】

(4) この実施形態では、橋脚 B<sub>2</sub> の卓越振動数の移動平均に基づいて橋脚 B<sub>2</sub> の固有振動数を特定部 2 k が特定する。このため、短時間の振動情報を FFT 処理してこの処理結果にばらつきが発生したときに、卓越振動数情報の移動平均を演算することによってこのばらつきを抑えることができる。

## 【 0 0 6 5 】

(5) この実施形態では、特定部 2 k が特定した固有振動数に基づいて橋脚 B<sub>2</sub> の安定性を評価部 2 n が評価する。このため、増水時の橋脚 B<sub>2</sub> の洗掘 S を事前に予測して列車の安全運行を図ることができる。

## 【 0 0 6 6 】

(6) この実施形態では、橋脚 B<sub>2</sub> の固有振動数の変化に基づいてこの橋脚 B<sub>2</sub> の安定性を評価部 2 n が評価する。このため、例えば、特定部 2 k が特定した橋脚 B<sub>2</sub> の固有振動数の低下度に応じて、橋脚基礎 B<sub>3</sub> の周辺の地盤の深さやしまり具合などの地盤の支持条件を推定することができ、橋脚基礎 B<sub>3</sub> の安定性を評価することができる。

## 【 0 0 6 7 】

この発明は、以上説明した実施形態に限定するものではなく、以下に記載するように種々の変形又は変更が可能であり、これらもこの発明の範囲内である。

(1) この実施形態では、鉄道車両が走行する橋梁 B を例に挙げて説明したが、自動車が行く橋や歩行者のみが通行する橋などについてもこの発明を適用することができる。また、この実施形態では、振動検出部 2 a によって橋梁 B の幅方向 ( Y 軸方向 ) の振動を検出する場合を例に挙げて説明したが検出方向を限定するものではなく、幅方向 ( Y 軸方向 ) 、長さ方向 ( X 軸方向 ) 又は高さ方向 ( Z 軸方向 ) の少なくとも一方の振動を状況に応じて検出可能なように振動検出部 2 a を配置することもできる。

## 【 0 0 6 8 】

(2) この実施形態では、3組の健全性評価装置 2 A ~ 2 C を橋脚 B<sub>2</sub> にそれぞれ設置した場合を例に挙げて説明したが設置台数を3組に制限するものではなく、橋梁 B 毎の橋脚 B<sub>2</sub> の本数に応じて任意の台数を設置することができる。また、この実施形態では、健全性評価装置 2 A ~ 2 C と表示装置 3 とを相互に無線通信可能に構成した場合を例に挙げて説明したが、これらを有線通信可能に構成することもできる。さらに、この実施形態では、健全性評価装置 2 A ~ 2 C と表示装置 3 とを別々に構成する場合を例に挙げて説明したがこれらを一体に構成することもできる。この場合には、一つの健全性評価プログラムによって健全性評価システム 1 を動作させることができる。

## 【 0 0 6 9 】

(3) この実施形態では、河川 R の増水が予測される時期や水位 H が所定高さを越えたときに橋脚 B<sub>2</sub> の振動の検出を開始しているが、河川 R の水位 H に関わらず橋脚 B<sub>2</sub> の振動の検出を開始することもできる。例えば、河川 R の水位 H が所定高さを越えたときに橋脚 B<sub>2</sub> の振動を検出する増水時振動検出モードと、河川 R の水位 H に関わらず橋脚 B<sub>2</sub> の振動を検出する常時振動検出モードとに検出モードを切替可能にすることもできる。この場合に、橋梁 B 上を車両 V が走行するときには橋脚 B<sub>2</sub> の振動の検出を中止することもできる。また、この実施形態では、固有振動数の低下度から橋脚 B<sub>2</sub> の安定性を評価しているが、基礎地盤の状態を推定しこの基礎地盤の状態に基づいて橋脚 B<sub>2</sub> の安定性を演算し評価することもできる。

## 【 0 0 7 0 】

(4) この実施形態では、電源部 2 q が電池である場合例に挙げて説明したが、橋梁 B 上を走行する車両 V の振動によって電力を発生する圧電素子などを電源部 2 q として使用することもできる。また、この実施形態では、電源部 2 q が常時又は定時に電力を供給する給

10

20

30

40

50

電方式を例に挙げて説明したが、状況に応じていずれか一方の給電方式に変更することもできる。例えば、電源部 2 q が常時給電する場合には、太陽光発電装置や燃料電池などを使用することができ、電源部 2 q が定時給電する場合にはコンデンサなどの充電装置を使用することができる。さらに、この実施形態では、橋脚 B<sub>2</sub> が不安定であるときには表示部 3 b に警告を表示しているが、橋梁 B の手前の信号機の信号現示を停止信号（赤信号）に切り替えて、橋梁 B に進入する前に車両 V を停止させることもできる。

【図面の簡単な説明】

【0071】

【図1】この発明の実施形態に係る橋梁の健全性評価システムの使用状態を示す側面図である。

10

【図2】この発明の実施形態に係る橋梁の健全性評価システムの使用状態を示す正面図であり、(A)は橋脚が安定状態であるときの正面図であり、(B)は橋脚が不安定状態であるときの正面図である。

【図3】この発明の実施形態に係る橋梁の健全性評価システムの構成図である。

【図4】この発明の実施形態に係る橋脚の健全性評価システムの表示装置の特定部による固有振動数の特定手法を説明するためのグラフである。

【図5】この発明の実施形態に係る橋脚の健全性評価システムの表示装置の評価部の評価手法を説明するための模式図であり、(A)は橋脚が安定であるときの橋脚の固有振動数を示す模式図であり、(B)は橋脚が不安定であるときの橋脚の固有振動数を示す模式図である。

20

【図6】この発明の実施形態に係る橋脚の健全性評価システムの健全性評価装置の動作を説明するためのフローチャートである。

【図7】この発明の実施形態に係る橋脚の健全性評価システムの表示装置の動作を説明するためのフローチャートである。

【符号の説明】

【0072】

- 1 健全性評価システム
- 2 A ~ 2 C 健全性評価装置
- 2 a 振動検出部
- 2 c 水位検出部
- 2 e 振動情報記憶部
- 2 f 水位情報記憶部
- 2 g 演算部
- 2 h 卓越振動数情報記憶部
- 2 j 固有振動数情報記憶部
- 2 k 特定部
- 2 m しきい値情報記憶部
- 2 n 評価部
- 2 p 評価情報記憶部
- 2 s 通信部
- 2 t 制御部
- 3 表示装置
- 3 a 通信部
- 3 b 表示部
- 3 c 評価情報記憶部
- 3 e 制御部
- B 橋梁
- B<sub>2</sub> 橋脚
- B<sub>3</sub> 橋脚基礎
- R 河川

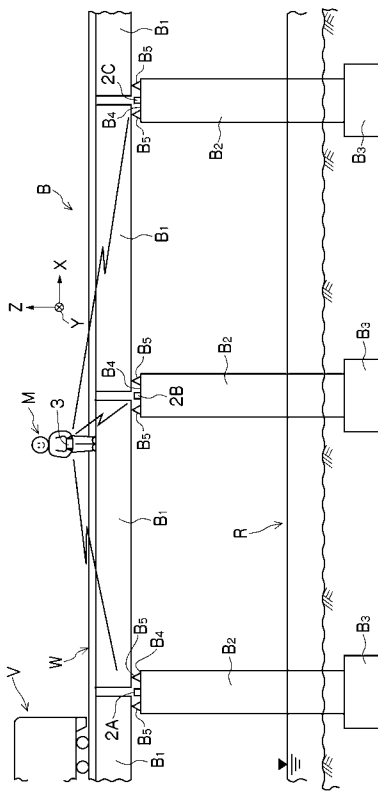
30

40

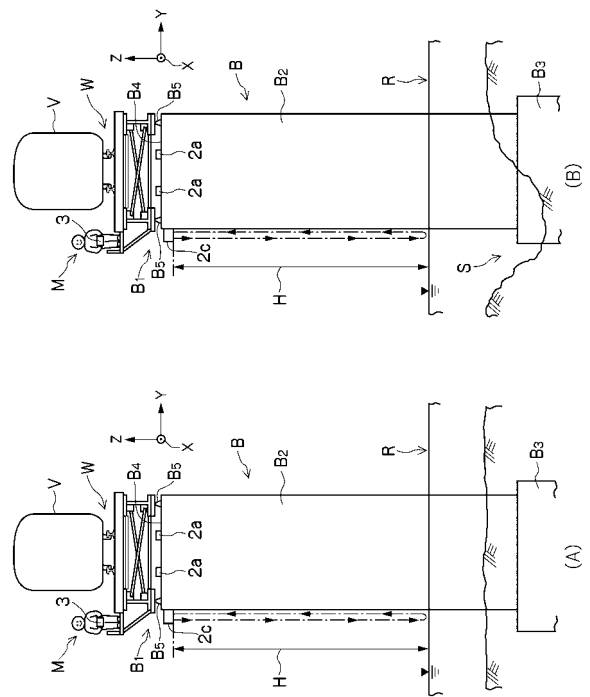
50

S 洗掘  
H 水位

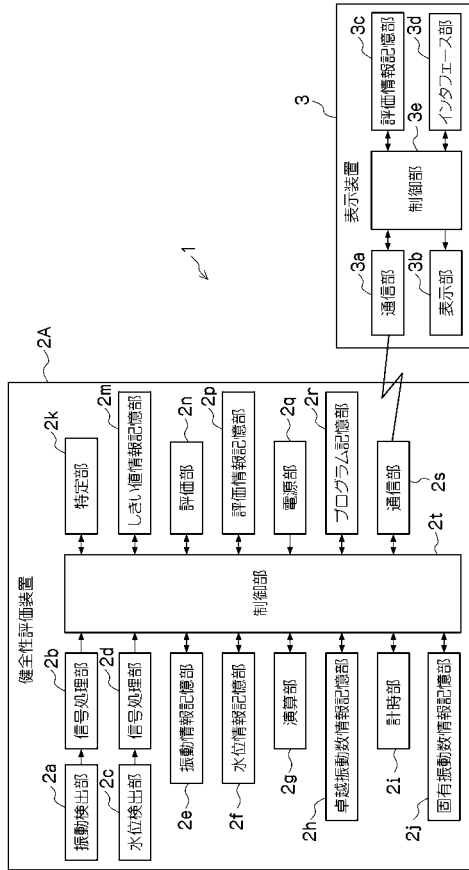
【図 1】



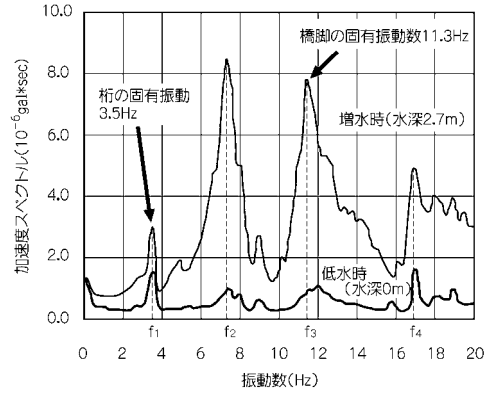
【図 2】



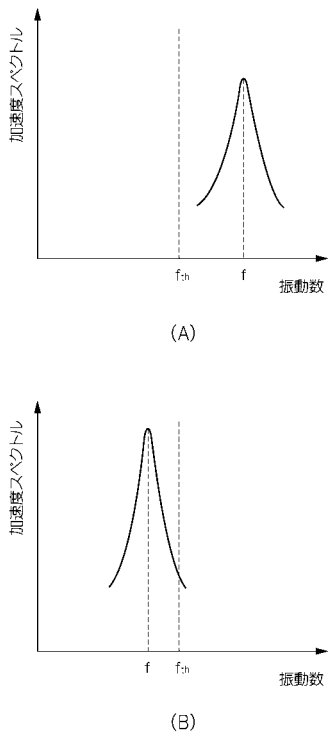
【図3】



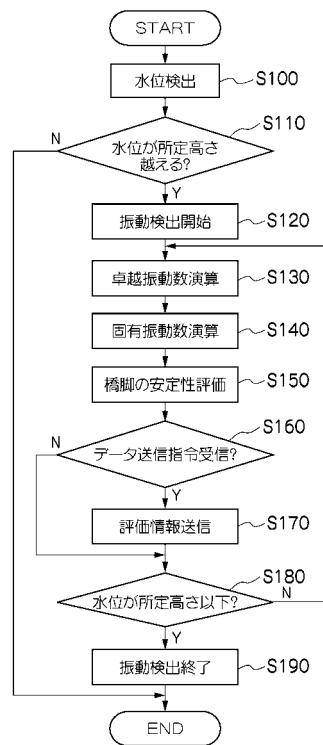
【図4】



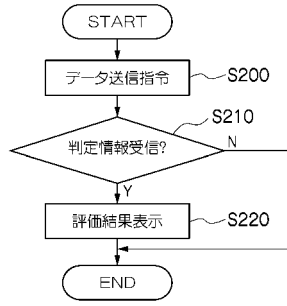
【図5】



【図6】



【図7】



---

フロントページの続き

- (72)発明者 杉山 友康  
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 小林 徹  
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 中村 貴史  
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

審査官 福田 裕司

- (56)参考文献 特開2005-283361(JP,A)  
特開2003-156415(JP,A)  
特開2000-186984(JP,A)  
特公平07-001223(JP,B2)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
- |      |       |
|------|-------|
| G01M | 99/00 |
| G01H | 13/00 |