

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2005-83752
(P2005-83752A)

(43) 公開日 平成17年3月31日(2005.3.31)

(51) Int. Cl.⁷
G01N 29/14

F I
G O I N 29/14

テーマコード(参考)
2 G O 4 7

審査請求 未請求 請求項の数 3 O L (全 10 頁)

(21) 出願番号	特願2003-312664 (P2003-312664)	(71) 出願人	000000240 太平洋セメント株式会社 東京都中央区明石町8番1号
(22) 出願日	平成15年9月4日(2003.9.4)	(71) 出願人	391005824 株式会社日本セラテック 宮城県仙台市泉区明通3丁目5番
		(74) 代理人	100094547 弁理士 岩根 正敏
		(72) 発明者	内田 昌勝 千葉県佐倉市大作2-4-2 太平洋セメント株式会社中央研究所内
		(72) 発明者	森 寛晃 千葉県佐倉市大作2-4-2 太平洋セメント株式会社中央研究所内

最終頁に続く

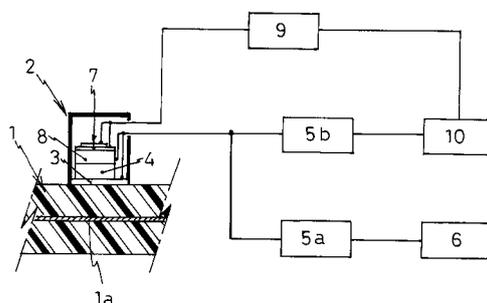
(54) 【発明の名称】 破断音センサ

(57) 【要約】

【課題】破断音を検出するセンサが被測定物から剥がれたり、或いは剥がれかけていることを検知するセルフ・モニタリング機能を有する破断音センサを提案すること。

【解決手段】破断音センサ2が、被測定物1に密着しなくなると、音響インピーダンスが変化することに着目し、この変化に起因する特性の変化を検出する。具体的には、第2の電気音響変換子7が検査音響信号を被測定物1に送り、第3の電気音響変換子4で上記検査音響信号に起因する信号を受信し、被測定物1に密着している場合の第3の電気音響変換子4の出力と被測定物1に密着していない場合の第3の電気音響変換子4の出力の差異を検査音響信号処理部10で検出する。

【選択図】 図2



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

被測定物に密着した状態で取付けられる受信板と、該受信板を介して被測定物で発生した破断音を受信してその破断音を電気信号に変換する第 1 の電気音響変換子を備える破断音センサであって、駆動信号に基づいて検査音響信号を発生して上記受信板を介して被測定物に検査音響信号を送る第 2 の電気音響変換子と、上記検査音響信号に起因する信号を受信してその信号を電気信号に変換する第 3 の電気音響変換子と、上記受信板が被測定物に密着している場合の上記第 3 の電気音響変換子の出力と上記受信板が被測定物に密着していない場合の上記第 3 の電気音響変換子の出力の差異を検出する比較器を更に備えることを特徴とする、破断音センサ。

10

【請求項 2】

上記第 3 の電気音響変換子が上記第 1 の電気音響変換子と共用されていることを特徴とする、請求項 1 に記載の破断音センサ。

【請求項 3】

被測定物に密着した状態で取付けられる受信板を有し、該受信板を介して被測定物で発生した破断音を受信する破断音センサであって、上記受信板の被測定物への密着状態及び破断音の受信感度についてセルフ・モニタリング機能を有することを特徴とする、破断音センサ。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

20

【0001】

本発明は、プレストレス・コンクリート構造物に埋設されている緊張材の破断を非破壊的に検知する際に使用される破断音センサに関するもので、更に詳しくは、該センサがプレストレス・コンクリート構造物に密着して取付けられているか否か、緊張材の破断音の受信感度は良好であるか否かをも検知するセルフ・モニタリング機能を有する破断音センサに関するものである。

【背景技術】

【0002】

例えば、道路橋や鉄道橋等のコンクリート構造物は、経時的な繰り返し荷重を受ける。このため、緊張材を埋設したプレストレス・コンクリート構造物が使用されている。

30

これらのプレストレス・コンクリート構造物においては、緊張材の破断を検知することが構造物全体の崩壊を事前に予測するために非常に重要である。

【0003】

ここで、プレストレス・コンクリート構造物の内部に埋設されている緊張材の破断を検知する手法としては、アコースティック・エミッション法がある。

このアコースティック・エミッション法は、固体が変形若しくは破壊する際に開放されるエネルギーによって生じる弾性波（アコースティック・エミッション）を検出し、該弾性波を解析することにより、コンクリート構造物等の異常を診断する手法である。

【0004】

しかし、上記アコースティック・エミッション法は、そもそも構造物内部で発生した急速なひび割れの進展を評価するために開発されたものであるため、測定する音の収録間隔が数 μ 秒～数 100 μ 秒と非常に短いことが特徴である。従って、このようなアコースティック・エミッションを検知するセンサ、即ち、一般的なアコースティック・エミッションセンサは、このような短い時間応答に対応できるセンサである必要があった。

40

一方、プレストレス・コンクリート構造物に埋設されている緊張材の破断は、数時間～数年間隔であり、多数の緊張材が埋設された場合でも、その破断音の発生間隔は短くとも数分以上である。また、測定対象は、道路橋や鉄道橋等の大型コンクリート構造物であるため、できる限り広い範囲の破断音を検知し得るセンサである必要があった。

そのため、プレストレス・コンクリート構造物の内部に埋設されている緊張材の破断を検知する破断音センサは、上記アコースティック・エミッションセンサとは異なる特性が

50

要求されるものであり、本発明は、この破断音センサを対象とする。

【0005】

上記破断音センサは、被測定物に密着した状態で取付けられる受信板と、該受信板に接着されている電気音響変換子と、上記受信板と前記電気音響変換子を収容するケースと、前記電気音響変換子で作られた電気信号を外部に伝達するためのケーブルとを備えている。

【0006】

そして、上記センサは、その受信板を被測定物の表面に密着させ、該受信板を介して被測定物からの音響信号を上記電気音響変換子に伝達し、電気音響変換子からの信号を解析することによって、破断音が発生したか否かを判別すると共に、破断音の発生場所等を特定する。

10

【0007】

上記のような破断音センサを用いた診断を、道路橋や鉄道橋等のプレストレス・コンクリート構造物（以下、単に「コンクリート構造物」とも言う。）の保守・維持のための監視において行う場合には、コンクリート構造物にセンサを取り付け、数年ないしは数十年の長期にわたって継続的に破断音の計測を行わなければならない。

このような長期にわたる計測においては、コンクリート構造物に取り付けたセンサ自体が不良になる場合もあり、センサを保守・管理することも、信頼性の高いコンクリート構造物等の監視システムを構築する上において非常に重要となる。

【0008】

20

ここで、技術分野は異なるが、工具の異常をアコースティック・エミッションで検出するセンサにおいて、該センサ自体の異常を判定することができるものが、特許文献1に開示されている。

この特許文献1に開示された技術は、目的のアコースティック・エミッションとは区別される周波数領域で振動するもうひとつの圧電素子を設け、この圧電素子からの振動をセンサが受信できるときは該センサが正常であり、受信しないときはセンサ自体が異常であると判定するものである。

【特許文献1】特開昭61-79159号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

30

【0009】

道路橋や鉄道橋等のコンクリート構造物からの破断音の計測をセンサを用いて長期にわたって継続的に行う場合、センサの不良原因は、センサ自体の性能が劣化して破断音を検出できなくなるものの他、自動車や列車等の走行に起因する振動等によって被測定物に取り付けられたセンサが被測定物から剥がれ、或いは剥がれかけて破断音がセンサに確実に伝達されなくなることによる。

【0010】

そこで、本発明が解決しようとする課題は、破断音を検出するセンサが被測定物であるコンクリート構造物から剥がれたり、或いは剥がれかけていること、即ち、センサの受信板が被測定物に密着しているか否かをも検出することのできるセルフ・モニタリング機能を有する破断音センサを提案することにある。

40

【課題を解決するための手段】

【0011】

上記課題は、請求項1の発明によって解決された。

即ち、被測定物に密着した状態で取付けられる受信板と、該受信板を介して被測定物で発生した破断音を受信してその破断音を電気信号に変換する第1の電気音響変換子を備える破断音センサであって、駆動信号に基づいて検査音響信号を発生して上記受信板を介して被測定物に検査音響信号を送る第2の電気音響変換子と、上記検査音響信号に起因する信号を受信してその信号を電気信号に変換する第3の電気音響変換子と、上記受信板が被測定物に密着している場合の上記第3の電気音響変換子の出力と上記受信板が被測定物に

50

密着していない場合の上記第3の電気音響変換子の出力の差異を検出する比較器を更に備える破断音センサにより解決された。

【0012】

一般に、破断音センサは、破断音を確実に捕らえるため、被測定物から受信板を通過して第1の電気音響変換子に至る音響信号の経路の音響インピーダンスができるだけ一定レベルになるように設計されている。このことを、インピーダンスが整合していると言う。これに反して、これらの部材の音響インピーダンスのレベルが一致していない場合、即ち、境界にインピーダンスの不整合がある場合には、波動方程式の解の境界条件により、波動の反射が起こり、信号の伝達効率が低下する。

【0013】

代表的な数値を挙げると、被測定物であるコンクリート構造物は、音速が 4000 m/s 、密度が 2400 kg/m^3 、音響インピーダンスが $9.6 \times 10^6\text{ kg/m}^2\text{ s}$ 程度である。一方、代表的なセンサの受信板及び電気音響変換子の材料として使用されているPZT(チタン酸ジルコン酸鉛)は、音速が 2600 m/s 、密度が 7800 kg/m^3 、音響インピーダンスが $20.3 \times 10^6\text{ kg/m}^2\text{ s}$ 程度である。

従って、上記材質からなる破断音センサが被測定物であるコンクリート構造物に密着している、即ち、被測定物と受信板との間に空気層等が存在しない場合には、インピーダンスがほぼ整合していると言える。

【0014】

しかし、破断音センサが被測定物に密着しなくなると、両者の間に空気又は水が入り込む。空気の音響インピーダンスは $4.0 \times 10^{-4}\text{ kg/m}^2\text{ s}$ 程度、水の音響インピーダンスは $1.5\text{ kg/m}^2\text{ s}$ 程度である。

この結果、破断音センサと被測定物の間に甚だしいインピーダンスの不整合が生じることとなる。

【0015】

また、破断音センサが被測定物に密着しなくなると、破断音センサが中途半端に被測定物に固定されることとなり、音響信号の減衰も顕著になる。即ち、音響インピーダンスの虚数部分が大きくなり、このことによっても音響インピーダンスが変化し、インピーダンスの不整合が大きくなる。

【0016】

インピーダンスがほぼ整合していると、第2の電気音響変換子で作られた検査音響信号は効率よく被測定物に送られる。この場合、破断音センサ内の音響信号は比較的単純な進行波になる。しかし、インピーダンスの不整合があると、境界において減衰や反射が起こるため、破断音センサ内の音響信号は単純な進行波ではなく、種々の波の重ね合わせになり、音響信号の減衰特性、周波数特性、波動モードが変化し、第3の電気音響変換子の出力のインパルス応答特性、及び振幅特性や位相特性等が変化する。

本発明では、このような変化を比較器において検出し、破断音センサの受信板が被測定物に密着しているか否かを判定する。

【発明の効果】

【0017】

上記した本発明に係る破断音センサによれば、破断音を捉える受信板が被測定物から剥がれたり、或いは剥がれかけていることをも検出するセルフ・モニタリング機能を有する破断音センサを実現でき、該本発明に係る破断音センサを使用すれば、道路橋や鉄道橋等のコンクリート構造物からの破断音の計測を長期にわたって継続的に行い得る信頼性の高い監視システムを構築することが可能となる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0018】

以下、上記した本発明に係る破断音センサの実施の形態を、図面等を示して詳細に説明する。

図1は、本発明の好ましい実施の形態に係る破断音センサの検出部を示した概念的な断

10

20

30

40

50

面図、図 2 は、同じく本発明の好ましい実施の形態に係る破断音センサのブロック・ダイアグラムである。

【0019】

この実施の形態においては、上記した本発明における第 1 の電気音響変換子と第 3 の電気音響変換子は共用されている。この共用は、検出する破断音の周波数帯域と、第 2 の電気音響変換子によって発生させる検査音響信号の周波数帯域を分けることによって可能である。

但し、共用することは必ずしも必須ではなく、別々に設けることも本発明においては可能である。

【0020】

図 1 に示したように、緊張材 1 a を埋設したプレストレス・コンクリート構造物である被測定物 1 に、本発明に係る破断音センサ 2 が取付けられている。

この状態で、緊張材 1 a が破断したりして破断音が発生すると、その音響信号は、破断音センサ 2 の底部の受信板 3 を介して第 1 の電気音響変換子としての第 1 の圧電セラミックス素子 4 に伝達され、そこで音響信号は電気信号に変換される。

【0021】

この第 1 の圧電セラミックス素子 4 において変換された電気信号の出力は、図 2 に示したように、第 1 のフィルタ 5 a に送られ、破断音の周波数帯域の信号が取り出され、破断音信号処理部 6 において信号処理がなされ、破断音の発生が記録されたり、破断音の発生箇所が特定されたりする。

【0022】

本発明に係る破断音センサは、図 1 に示したように、第 2 の電気音響変換子としての第 2 の圧電セラミックス素子 7 が、上記第 1 の圧電セラミックス素子 4 の背後に中間部材 8 を介して固定されている。この中間部材 8 は、音響減衰率の小さい材料から成り、上記した両圧電セラミックス素子 4、7 の共振周波数を調整するために設けられている。

上記第 2 の圧電セラミックス素子 7 は、駆動回路 9 からの信号により検査音響信号を発生する、即ち、駆動回路 9 からの電気信号を検査音響信号に変換する。

【0023】

上記第 2 の圧電セラミックス素子 7、中間部材 8、第 1 の圧電セラミックス素子 4、そして受信板 3 の間は各々密着されて固定されている。また正常な状態では、上記受信板 3 と被測定物 1 の間も密着した状態で取付けられている。そして、これらの部材 7、8、4、3、1 の音響インピーダンスは、空気や水の音響インピーダンスと比較するとほぼ同じレベルとされ、音響信号の減衰率を小さく設計されている。

従って、上記受信板 3 と被測定物 1 の間が密着した状態で取付けられている正常な状態では、これらの部材の間でほぼインピーダンスが整合している。そのため、第 2 の圧電セラミックス素子 7 で発生した検査音響信号は、中間部材 8、第 1 の圧電セラミックス素子 4、そして受信板 3 を経て被測定物 1 に効率よく伝達される。

【0024】

上記第 1 の圧電セラミックス素子 4 は、破断音ばかりでなく、上記第 2 の圧電セラミックス素子 7 からの検査音響信号に起因する信号を受信してその信号を電気信号に変換する第 3 の電気音響変換子としても機能する。この第 1 の圧電セラミックス素子 4 が検知した第 2 の圧電セラミックス素子 7 からの検査音響信号に起因する信号は、図 2 に示したように、バンドパス・フィルタである第 2 のフィルタ 5 b によって取り出され、検査音響信号処理部 10 に送られ、そこで信号解析が行なわれる。

【0025】

上記検査音響信号処理部 10 の機能は、上記駆動回路 9 への検査音響信号発生への指示、判定のための基準値の設定及びその記憶、記憶した基準値と上記第 1 の圧電セラミックス素子 4 が検出した検査音響信号に起因する信号との比較及びその比較に基づく判定、前記判定結果の出力等である。

【0026】

10

20

30

40

50

図3は、受信板3と被測定物1の間が密着した状態で取付けられている正常な状態で、駆動回路9がインパルス信号で第2の圧電セラミックス素子7を駆動した場合の第1の圧電セラミックス素子4の出力波形の一例を示した図である。

一方、図4は、受信板3と被測定物1の間が密接せず、僅かに浮いた状態で、同様にインパルス信号で第2の圧電セラミックス素子7を駆動した場合の第1の圧電セラミックス素子4の出力波形の一例を示した図である。

【0027】

上記の両図から、僅かに浮いた状態では、インピーダンスの不整合が起こるため、第2の圧電セラミックス素子7で発生した音響信号が被測定物1に効率的に送られず、また境界における減衰も大きいため、図3の波形と図4の波形は大きく相違したものとなっている。

10

従って、上記した検査音響信号処理部10において、受信板3と被測定物1の間が密着した状態における第1の圧電セラミックス素子4が検出した検査音響信号に起因する信号の出力を基準値とし、この基準値と今回第1の圧電セラミックス素子4が検出した検査音響信号に起因する信号の出力とを比較することにより、現在、受信板3と被測定物1の間が密着した状態で取付けられているか否かを判定することができる。

【0028】

具体的には、例えば、上記第2の圧電セラミックス素子7の駆動信号をインパルス信号とし、上記検査音響信号処理部10が、上記受信板3が被測定物1に密着している場合の上記第1の圧電セラミックス素子4の出力振幅値の絶対値の総和であるエネルギー量と上記受信板3が被測定物1に密着していない場合の上記第1の圧電セラミックス素子4の出力振幅値の絶対値の総和であるエネルギー量との差異に基づき、上記受信板3が被測定物1に密着しているか否かを判定する構成とすることができる。

20

【0029】

または、上記第2の圧電セラミックス素子7の駆動信号をインパルス信号とし、上記検査音響信号処理部10が、上記受信板3が被測定物1に密着している場合の上記第1の圧電セラミックス素子4の出力の最大振幅値と上記受信板3が被測定物1に密着していない場合の上記第1の圧電セラミックス素子4の出力の最大振幅値の差異に基づき、上記受信板3が被測定物1に密着しているか否かを判定する構成とすることができる。

【0030】

このように、受信板3が被測定物1に密着しているか否かによって、音響インピーダンスが変化し、これにより、第2の圧電セラミックス素子7へのインパルス入力に対する第1の圧電セラミックス素子4の出力であるインパルス応答が変化している。インパルス応答特性が変化するのであるから、当然、第2の圧電セラミックス素子7への連続したパルス波入力に対する第1の圧電セラミックス素子4の出力の振幅特性、位相特性、周波数特性も変わると考えられる。

30

従って、これらの振幅特性や位相特性や周波数特性を解析することによっても、音響振動モードの差異を検出ことができ、受信板3と被測定物1の間が密着されて固定されているか否かを判定することができる。

【0031】

具体的には、上記第2の圧電セラミックス素子7の駆動信号をパルス波とし、上記検査音響信号処理部10が、上記受信板3が被測定物1に密着している場合の上記第1の圧電セラミックス素子4の出力振幅と上記受信板3が被測定物1に密着していない場合の上記第1の圧電セラミックス素子4の出力振幅の差異に基づき、上記受信板3が被測定物1に密着しているか否かを判定する構成とすることができる。

40

【0032】

または、上記第2の圧電セラミックス素子7の駆動信号をパルス波とし、上記検査音響信号処理部10が、上記第2の圧電セラミックス素子7の駆動信号の位相に対する、上記受信板3が被測定物1に密着している場合の上記第1の圧電セラミックス素子4の出力の位相差と上記受信板3が被測定物1に密着していない場合の上記第1の圧電セラミックス

50

素子 4 の出力の位相差の差異に基づき、上記受信板 3 が被測定物 1 に密着しているか否かを判定する構成とすることができる。

【0033】

更には、上記第 2 の圧電セラミックス素子 7 の駆動信号をパルス波とし、上記検査音響信号処理部 10 が、上記受信板 3 が被測定物 1 に密着している場合の上記第 1 の圧電セラミックス素子 4 の出力振幅値の絶対値の総和であるエネルギー量と上記受信板 3 が被測定物 1 に密着していない場合の上記第 1 の圧電セラミックス素子 4 の出力振幅値の絶対値の総和であるエネルギー量との差異に基づき、上記受信板 3 が被測定物 1 に密着しているか否かを判定する構成とすることができる。

【0034】

そして、上記の判定方法としては、例えば、検査音響信号処理部 10 が、受信板 3 が被測定物 1 に密着しているときの上記した特性を各々基準値としてメモリに記憶しておき、実際に測定されたこれらの特性をメモリに記憶された基準値と比較することにより、受信板 3 と被測定物 1 の間が密着されて固定されているか否かを判定する構成とすることができる。

【0035】

また、上記の実施の形態においては、第 1 の電気音響変換子と第 3 の電気音響変換子は第 1 の圧電セラミックス素子 4 で共用されているが、この場合には、破断音を検出するセンサとしての第 1 の電気音響変換子である第 1 の圧電セラミックス素子 4 の動作自体が正常であるか否かを検査する構成とすることもできる。

即ち、第 2 の電気音響変換子である第 2 の圧電セラミックス素子 7 からの検査音響信号に起因する信号を、第 1 の電気音響変換子である第 1 の圧電セラミックス素子 4 が所定以上の精度、具体的には、例えば検査音響信号振幅の 70% 以上の振幅で受信できる時は、第 1 の電気音響変換子の受信感度は良好であると判定し、前記精度で受信できないときは、第 1 の電気音響変換子の受信感度は不良であると判定し、センサの保守・維持管理に必要な措置、例えば、センサの交換等を講じるように警告信号を発生させる構成とすることもできる。

【0036】

以上、本発明に係るセルフ・モニタリング機能を有する破断音センサの実施の形態を説明したが、本発明は、何ら既述の実施の形態に限定されず、特許請求の範囲に記載した本発明の技術的思想の範囲内において、種々の変形及び変更が可能である。

【図面の簡単な説明】

【0037】

【図 1】本発明の好ましい実施の形態に係る破断音センサの検出部の概念的な断面図である。

【図 2】本発明の好ましい実施の形態に係る破断音センサのブロック・ダイアグラムである。

【図 3】センサの受信板と被測定物の間が密着されて固定されている正常な状態で、駆動回路がインパルス信号で第 2 の電気音響変換子を駆動した場合の第 1 の電気音響変換子の出力波形の一例を示した図である。

【図 4】センサの受信板と被測定物の間が密接せず、僅かに浮いた状態で、同様に駆動回路がインパルス信号で第 2 の電気音響変換子を駆動した場合の第 1 の電気音響変換子の出力波形の一例を示した図である。

【符号の説明】

【0038】

- 1 被測定物（プレストレス・コンクリート構造物）
- 1 a 緊張材
- 2 破断音センサ
- 3 受信板
- 4 第 1 の圧電セラミックス素子（第 1 の電気音響変換子，第 3 の電気音響変換子）

10

20

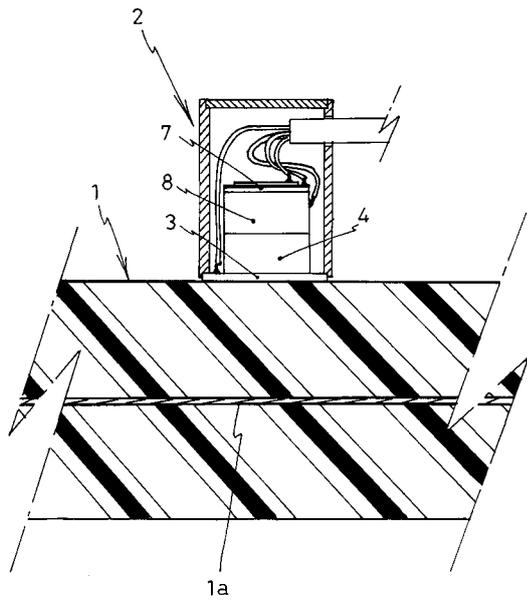
30

40

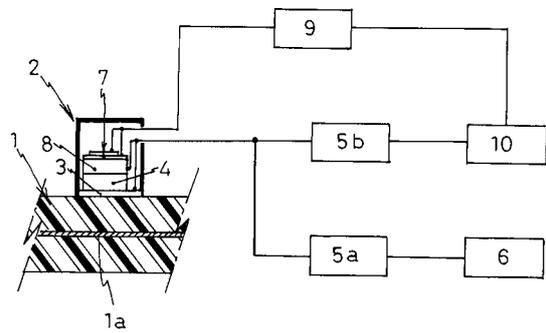
50

- 5 a , 5 b 第 1 と 第 2 の フィルタ
- 6 破断音信号処理部
- 7 第 2 の 圧電 セラミックス 素子 (第 2 の 電 気 音 響 変 換 子)
- 8 中 間 部 材
- 9 駆 動 回 路
- 1 0 検 査 音 響 信 号 処 理 部

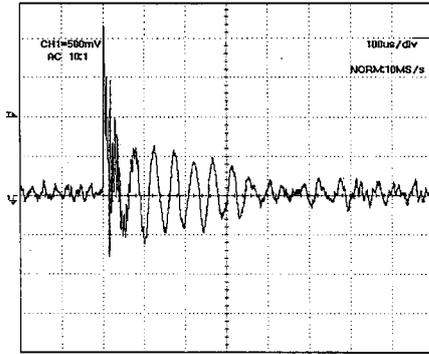
【 図 1 】



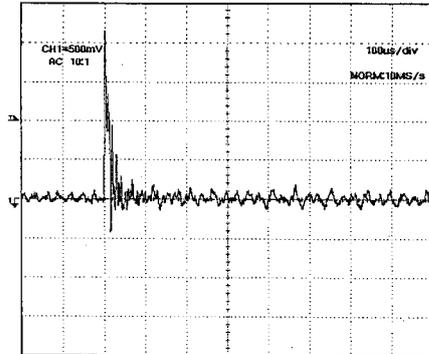
【 図 2 】



【 図 3 】



【 図 4 】



フロントページの続き

(72)発明者 外山 正明

千葉県佐倉市大作 2 - 4 - 2 太平洋セメント株式会社中央研究所内

(72)発明者 柴田 清人

埼玉県日高市大字原宿 7 番地 5 株式会社日本セラテックメガセラ事業部内

Fターム(参考) 2G047 AA07 AA10 BA05 BC00 BC03 BC07 CA01 GA19 GJ01