

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

**特許第4895383号**  
(P4895383)

(45) 発行日 平成24年3月14日(2012.3.14)

(24) 登録日 平成24年1月6日(2012.1.6)

(51) Int. Cl.

**G01N 29/12 (2006.01)**

F I

G01N 29/12

請求項の数 9 (全 16 頁)

<p>(21) 出願番号 特願2007-94844 (P2007-94844)</p> <p>(22) 出願日 平成19年3月30日(2007.3.30)</p> <p>(65) 公開番号 特開2008-249665 (P2008-249665A)</p> <p>(43) 公開日 平成20年10月16日(2008.10.16)</p> <p>審査請求日 平成22年3月8日(2010.3.8)</p> <p>特許法第30条第1項適用 平成19年2月6日 社団法人土木学会発行の「弾性波法の非破壊検査研究小委員会報告書および第2回弾性波法によるコンクリートの非破壊検査に関するシンポジウム講演概要集」に発表</p>	<p>(73) 特許権者 505389695 首都高速道路株式会社 東京都千代田区霞が関1-4-1</p> <p>(73) 特許権者 591216473 財団法人首都高速道路技術センター 東京都港区虎ノ門三丁目10番11号</p> <p>(73) 特許権者 000100942 アイレック技建株式会社 東京都台東区元浅草3丁目18番10号</p> <p>(74) 代理人 100091351 弁理士 河野 哲</p> <p>(74) 代理人 100088683 弁理士 中村 誠</p> <p>(74) 代理人 100108855 弁理士 蔵田 昌俊</p> <p style="text-align: right;">最終頁に続く</p>
---	--

(54) 【発明の名称】 充填度検査装置及び充填度検査方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

コンクリート構造体内部に設置され、鋼材を有するシース管のグラウトの充填度を検査する充填度検査装置において、

上記シース管の一方の端部に対向する上記コンクリート表面に衝撃を与える衝撃印加手段と、

上記シース管の他方の端部に対向する上記コンクリート表面に設けられ、上記衝撃によって上記シース管内に発生した振動を伝播波形として検出する伝播波形受信用センサと、

上記伝播波形に基づいてゼロクロス時間を算出するゼロクロス時間算出手段と、

算出されたゼロクロス時間に基づいてゼロクロス周波数を算出するゼロクロス周波数算出手段と、

算出されたゼロクロス周波数を規格化してゼロクロス周波数規格化値を算出するゼロクロス周波数規格化値算出手段と、

算出されたゼロクロス周波数規格化値に基づいて上記グラウトの充填度を判別する判別手段とを備えていることを特徴とする充填度検査装置。

【請求項2】

上記判別手段は、上記ゼロクロス周波数規格化値を表示する表示装置であることを特徴とする請求項1に記載の充填度検査装置。

【請求項3】

上記判別手段は、相隣接する上記ゼロクロス周波数規格化値の差分の絶対値と、正常・

10

20

異常とを区別する閾値とを比較する比較手段を備えていることを特徴とする請求項 1 に記載の充填度検査装置。

【請求項 4】

上記衝撃印加手段は、上記コンクリート表面に設けられた粘着性媒体と、この粘着性媒体上に設けられた打撃用治具と、この打撃用治具に衝撃印加可能に設けられた衝撃印加器とを備えていることを特徴とする請求項 1 に記載の充填度検査装置。

【請求項 5】

上記打撃用治具は、衝撃が印加される打撃用金属板と、この打撃用金属板に設けられ、この打撃用金属板を上記コンクリート上に支持する支持アームと、この支持アームのコンクリートに接する箇所<sup>10</sup>に設けられた吸盤とを備えることを特徴とする請求項 4 に記載の充填度検査装置。

【請求項 6】

上記打撃用金属板は、定在波の発生を抑制する抑制手段が形成されていることを特徴とする請求項 5 に記載の充填度検査装置。

【請求項 7】

コンクリート構造体内部に設置され、鋼材を有するシース管のグラウトの充填度を検査する充填度検査方法において、上記シース管の一方の端部<sup>20</sup>に対向する上記コンクリート表面に衝撃を与える衝撃印加工工程と、上記シース管の他方の端部<sup>20</sup>に対向する上記コンクリート表面に設けられ、上記衝撃によって上記シース管内に発生した振動を伝播波形として検出する伝播波形受信工程と、上記伝播波形に基づいてゼロクロス時間を算出するゼロクロス時間算出工程と、算出されたゼロクロス時間に基づいてゼロクロス周波数を算出するゼロクロス周波数算出工程と、算出されたゼロクロス周波数を規格化してゼロクロス周波数規格化値を算出するゼロクロス周波数規格化値算出工程と、算出されたゼロクロス周波数規格化値に基づいて上記グラウトの充填度を判別する判別工程とを備えていることを特徴とする充填度検査方法。<sup>30</sup>

【請求項 8】

上記判別工程は、上記ゼロクロス周波数規格化値を表示することを特徴とする請求項 7 に記載の充填度検査方法。

【請求項 9】

上記判別工程は、相隣接する上記ゼロクロス周波数規格化値の差分の絶対値と、正常・異常とを区別する閾値とを比較する比較手段を備えていることを特徴とする請求項 7 に記載の充填度検査方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】<sup>40</sup>

本発明は、高速道路等の橋梁等のコンクリート構造体の内部に設置されている鋼材を用いたシース管のグラウトの充填度を検査するための充填度検査装置及び充填度検査方法に関し、特にコンクリートをはつることなくシース管内のグラウトの充填度を正確に検査することができる技術に関する。

【背景技術】

【0002】

高速道路等の橋梁内部には、橋梁にプレストレスを加えるためのシース管が設けられている。このシース管内には緊張材である PC 鋼線や PC 鋼棒等（プレストレスを与えるために使用する PC 鋼材）が設けられている。このようなシース管の PC 鋼線や PC 鋼棒等は、シース管内に空洞があると腐食してしまうため、シース管内に腐食を防ぐためのグラ<sup>50</sup>

ウトが充填されている。

【 0 0 0 3 】

しかし、施工不良等のため、シース管内部に空洞や気泡が残って（以下、「グラウト未充填」と称する）、PC鋼線やPC鋼棒等が腐食すると、PC鋼線やPC鋼棒により与えられていたプレストレス力が設計通りに機能しなくなり、橋梁の耐久性が低下する虞がある。シース管内部のグラウト未充填の状態は、既に建設された橋梁等でも見受けられるため、橋梁を破壊することなく、グラウト未充填箇所の検査が可能な非破壊検査技術（シース管内グラウト充填度検査装置及び方法）が求められている。

【 0 0 0 4 】

図 1 8 は従来のシース管内グラウトの充填度検査装置 2 0 0 の原理を示す模式図、図 1 9 は同充填度検査装置 2 0 0 で検出した結果を示すグラフ、図 2 0 は同充填度検査装置 2 0 0 での橋梁検査の一例を示す説明図である。図中 E は弾性波の伝播を示している。なお、図 1 8 において、説明の便宜上シース管 2 2 0 及び 2 2 0 A は並べて示している。

【 0 0 0 5 】

図 1 8 に示すように、シース管内グラウトの充填度検査を行う場合の試験体は、コンクリート 2 1 0 に埋め込まれたシース管 2 2 0 と、シース管 2 2 0 に設けられ端部がコンクリート 2 1 0 から露出している鋼棒 2 2 1 と、シース管 2 2 0 と鋼棒 2 2 1 の間に充填されたグラウト 2 2 2 とを有する。

【 0 0 0 6 】

なお、同充填度検査の説明の便宜上、正常に充填されたシース管 2 2 0 の他に、グラウト 2 2 2 が充填されていないシース管 2 2 0 A も図 1 8 に示す。

【 0 0 0 7 】

図 1 8 に示すように、充填度検査装置 2 0 0 は、鋼棒 2 2 1 の端部に衝撃を印加するための例えばハンマや鋼球等の衝撃印加器 2 3 0 と、この衝撃印加器 2 3 0 による衝撃印加点の近傍であり、かつ、シース管 2 2 0、2 2 0 A 端部の近傍に設けられたトリガ波形受信センサ 2 4 0 と、トリガ波形受信センサ 2 4 0 を設置した側のシース管 2 2 0、2 2 0 A 端部とは他方のシース管 2 2 0、2 2 0 A 端部の中央部に設けられた伝播波形受信センサ 2 5 0 と、伝播波形受信センサ 2 5 0 に接続されたフィルタ 2 6 0 と、フィルタ 2 6 0 に接続された増幅器 2 7 0 と、増幅器 2 7 0 に接続された例えばオシロスコープ等であり第 1 CH 2 8 1 及び第 2 CH 2 8 2 を有する検出器 2 8 0 とを備えている。

【 0 0 0 8 】

トリガ波形受信センサ 2 4 0 は第 1 CH 2 8 1 に接続されており、また、伝播波形受信センサ 2 5 0 は第 2 CH 2 8 2 に接続されている。

【 0 0 0 9 】

このように構成されたシース管内グラウト充填度検査装置 2 0 0 では、まず、衝撃印加器 2 3 0 により鋼棒 2 2 1 に衝撃が印加される。このとき、トリガ波形を受信センサ 2 4 0 により受信する。鋼棒 2 2 1 に衝撃が印加されることにより、鋼棒 2 2 1 中を弾性波の伝播 E が発生する。このように伝播された弾性波（伝播波形）を伝播波形受信センサ 2 5 0 により受信する。

【 0 0 1 0 】

トリガ波形は検出器 2 8 0 の第 1 CH 2 8 1 で検出される。一方、伝播波形はフィルタ 2 6 0 と増幅器 2 7 0 を介することによりノイズが除去され、波形が増幅されるため、S/N 比が向上される。そして、S/N 比が良好な状態の伝播波形が検出器 2 8 0 の第 2 CH 2 8 2 で検出される。このようにトリガ波形と伝播波形とを検出する。

【 0 0 1 1 】

図 1 9 では、検出器 2 8 0 で検出されたトリガ波形は上側に示し、伝播波形は下側に示している。伝播波形は時間 T o から検出されるため、トリガ波形が検出されてから伝播波形が時間 T o で検出されるまでの時間を伝播時間 T とする。さらに、鋼棒の長さを L とすると、伝播する波形の伝播速度 V は、

$$V = L / T$$

10

20

30

40

50

で求められる。

【 0 0 1 2 】

ここで、グラウトの充填率と伝播速度との関係は、グラウトの充填率が大きくなるほど伝播速度は遅くなる。すなわち、グラウトが充填されている場合の伝播速度  $V_j$  は、グラウトが未充填の場合の伝播速度  $V_m$  より遅い。例えば、グラウトが全く充填されていない場合の伝播速度  $V_m$  を  $5500 \text{ m/s}$  とすると、グラウトが完全に充填されている場合の伝播速度  $V_j$  は  $5225 \text{ m/s}$  となる。したがって、グラウトが充填されたシース管 220 とグラウトが未充填のシース管 220 A との伝播速度の差は大体 5 ~ 8 % 程度となる。

【 0 0 1 3 】

グラウト充填・未充填による伝播速度の差 5 ~ 8 % 程度を基準として、実際の橋梁に用いられているシース管の検査を行い、橋梁に用いられているシース管の検査結果と、伝播速度の差 5 ~ 8 % とを比較することにより、シース管にグラウトが充填されているか未充填かを判断することが出来る。

【 0 0 1 4 】

また、受信した波形の減衰定数を求めるシース管内グラウト充填度検査方法も知られている（例えば特許文献 1 参照）。この検査方法は、グラウトが充填されている場合は、減衰定数は大きい、グラウトが未充填の場合は減衰定数が小さいという特性から、この減衰定数の大小をグラウトの充填・未充填の判別に用いる。ここで、減衰定数は図 19 に示す伝播波形の振動継続時間に対応しており、減衰定数が小さい場合は、伝播波形の振動減衰時間は長くなり、減衰定数が大きい場合は、伝播波形の振動減衰時間は短くなる。このように、振動減衰時間（減衰定数）により、グラウトの充填・未充填を判断する検査を行う方法である。

【 0 0 1 5 】

上述したような、伝播速度を比較する方法と、伝播波形の減衰定数を求める方法とが、シース管内グラウト充填度検査方法の主流となっている。実際の橋梁でこれらの検査方法を行う場合は、図 20 に示すように、コンクリート 210 の一部 210 A をはつり、鋼棒 221 をコンクリート 210 表面に露出させる。露出した鋼棒 221 に衝撃印加器 230 で直接衝撃を印加し、衝撃印加により発生した伝播波形を伝播波形用受信センサ 250 で受信することにより検査する。

【特許文献 1】特開 2000 - 105227 号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【 0 0 1 6 】

上述したシース管内グラウト充填度検査方法では、次のような問題があった。すなわち、伝播速度を比較する方法では、実際の橋梁での検査で鋼棒の長さ  $L$  が正確に分からない場合があり、また、衝撃印加器による衝撃エネルギーが比較的小さいため、伝播波形とノイズの識別が難しい。さらに、伝播速度  $V_m$  と伝播速度  $V_j$  との差はわずか 5 ~ 8 % であり、計測精度が要求される。これらのことにより、誤差が発生し、正確な検査ができない虞がある。

【 0 0 1 7 】

また、減衰定数を求める方法では、伝播する種類の波形には様々なモード波等があり、現在どのモード波であるのかを測定者が把握していないと誤った判定をしてしまう可能性がある。しかも、どのモード波を使用しているのかは現場で判断するのが困難である。また、これらの検査方法では絶対的な評価ができないということもある。

【 0 0 1 8 】

さらに、上記いずれの検査方法でも、コンクリートをはつり、シース管端部を露出させる必要があるため、検査に必要なコストと時間とが必要となり、検査後の補修も必要である。補修状態によっては、経年劣化等により、雨水等がシース管まで浸透する可能性もある。

【 0 0 1 9 】

10

20

30

40

50

図 2 1 はシース管 2 2 0 に鋼線 ( P C 鋼線 ) 2 2 3 を用いた従来の充填度検査装置 2 0 0 による検査方法の一例を示す説明図である。図 2 1 に示すように、シース管 2 2 0 に用いられている P C 鋼材が鋼線 2 2 3 であると、形状、使用本数の関係から、他の鋼線 2 2 3 に干渉しないように、衝撃印加器 2 3 0 の大きさを小さくしなければならない。しかし、衝撃印加器 2 3 0 を小さくすると、衝撃も小さくなってしまうため、S N 比が悪くなり、検査精度が低下してしまう。さらに、鋼材径が 7 m m 程度の細い鋼材を用いた場合には、上記検査方法を適用するのが原理的に難しいという問題があった。

#### 【 0 0 2 0 】

そこで本発明は、コンクリートをはつらなくてもシース管内のグラウトの充填度を正確に検査することができるシース管内グラウト充填度検査装置及びシース管内グラウト充填度検査方法を提供することを目的としている。 10

#### 【課題を解決するための手段】

#### 【 0 0 2 1 】

前記課題を解決し目的を達成するために、本発明の充填度検査装置及び充填度検査方法は次のように構成されている。

#### 【 0 0 2 2 】

コンクリート構造体内部に設置され、鋼材を有するシース管のグラウトの充填度を検査する充填度検査装置において、上記シース管の一方の端部に対向する上記コンクリート表面に衝撃を与える衝撃印加手段と、上記シース管の他方の端部に対向する上記コンクリート表面に設けられ、上記衝撃によって上記シース管内に発生した振動を伝播波形として検出する伝播波形受信センサと、上記伝播波形に基づいてゼロクロス時間を算出するゼロクロス時間算出手段と、算出されたゼロクロス時間に基づいてゼロクロス周波数を算出するゼロクロス周波数算出手段と、算出されたゼロクロス周波数を規格化してゼロクロス周波数規格化値を算出するゼロクロス周波数規格化値算出手段と、算出されたゼロクロス周波数規格化値に基づいて上記グラウトの充填度を判別する判別手段とを備えていることを特徴とする。 20

#### 【 0 0 2 3 】

コンクリート構造体内部に設置され、鋼材を有するシース管のグラウトの充填度を検査する充填度検査方法において、上記シース管の一方の端部に対向する上記コンクリート表面に衝撃を与える衝撃印加工程と、上記シース管の他方の端部に対向する上記コンクリート表面に設けられ、上記衝撃によって上記シース管内に発生した振動を伝播波形として検出する伝播波形受信工程と、上記伝播波形に基づいてゼロクロス時間を算出するゼロクロス時間算出工程と、算出されたゼロクロス時間に基づいてゼロクロス周波数を算出するゼロクロス周波数算出工程と、算出されたゼロクロス周波数を規格化してゼロクロス周波数規格化値を算出するゼロクロス周波数規格化値算出工程と、算出されたゼロクロス周波数規格化値に基づいて上記グラウトの充填度を判別する判別工程とを備えていることを特徴とする。 30

#### 【発明の効果】

#### 【 0 0 2 4 】

本発明によれば、コンクリートをはつらなくてもシース管内のグラウトの充填度を正確に検査することが可能となり、はつり及びはつり後の補修等の行程が減少し、これにより測定にかかる費用が大幅に低減され、測定効率が向上する。また、はつり後の補修等による雨水等の侵入を防止できる。 40

#### 【 0 0 2 5 】

さらに、P C 鋼材の長さ、材質及び鋼線・鋼棒等による影響を受けずに検査することができる。

#### 【 0 0 2 6 】

また、充填未充填の判断は受信した波形を目視するのみの判断、又は、自動判定が可能であり、測定者によるばらつきの発生を抑制し、さらに、測定用治具により測定が効率的となる。 50

**【発明を実施するための最良の形態】****【0027】**

図1は本発明の一実施の形態に係るシース管内グラウトの充填度検査装置1を示す模式図、図2は同充填度検査装置1の打撃用治具10を示す模式図、図3は同打撃用治具10の正面図、図4は本充填度検査装置1におけるグラウト充填の検査データの一例を示すグラフ、図5はグラウト未充填の検査データの一例を示すグラフ、図6は充填度検査装置1の検査工程を示すフローチャート、図7は本発明の衝撃の伝播状態を示す説明図である。なお、図7中Dは打撃により発生する弾性波を模式的に示している。

**【0028】**

充填度検査装置1による検査対象は、例えば高速道路(コンクリート構造体)100の橋梁の内部に設けられたシース管90である。シース管90は、内部に例えば鋼線91が複数設けられており、鋼線91が腐食しないようにグラウト92が充填されている。このようなシース管90において、グラウト92の未充填を判別するものである。シース管内部には上記した鋼線91より径が大きい鋼棒が用いられる場合もあるが本実施例では鋼線の場合で説明を実施する。

**【0029】**

図1に示すように、シース管内グラウト充填度検査装置1は、シース管90の端部中央部に対向する位置のコンクリート101の表面に接合された打撃用治具10と、打撃用治具10に衝撃を印加可能に設けられた衝撃印加器20と、打撃用治具10の近傍に設けられたトリガ波形受信用センサ30と、打撃用治具10を設置したシース管90端部側とは他方のシース管90端部に対向するコンクリート101の表面に設けられた伝播波形受信用センサ40と、トリガ波形受信用センサ30及び伝播波形受信用センサ40に接続された例えばオシロスコープ等の検出器(判別手段)50とを備えている。

**【0030】**

図2及び図3に示すように、打撃用治具10は、衝撃印加器20により衝撃が印加される正方形の打撃用金属板11と、打撃用金属板11をコンクリート101表面に支持できるように端部3箇所に設けられた支持アーム12と、支持アーム12の先端であり、コンクリート101表面に吸着可能に設けられた吸盤13とを有している。また、コンクリート101表面と打撃用治具10の間には、粘着性を有し、かつ、係合している面へ弾性波を効率よく入射できる性質を有する粘着性媒体60が設けられている。この粘着性媒体60の、一方の面はコンクリート101表面へ接着又は接合され、他方の面は打撃用治具10の打撃用金属板11に接合されている。

**【0031】**

伝播波形受信用センサ40と検出器50の間には、伝播波形受信用センサ40で受信した伝播波形のノイズを除去させるためのフィルタ70と、伝播波形を増幅させる増幅器80とが接続されている。これによりSN比が向上する。

**【0032】**

検出器50は、トリガ波形を検出する第1CH51と、伝播波形を検出する第2CH52とを有しており、トリガ波形と伝播波形を比較することが可能となっている。さらに、検出器50は検出した波形に基づいて後述するような処理を行って充填・未充填を判別する。また、検出器50は判別結果を表示するだけでなく、検出した波形を処理した結果をグラフとして表示することで、作業者が充填度を判断することが可能に構成されている。

**【0033】**

このように構成されたシース管内グラウト充填度検査装置1では次のような原理に基づいて充填度検査を行う。すなわち、打撃用治具10の打撃用金属板11に衝撃印加器20で衝撃を印加することで、衝撃印加により発生した弾性波は、コンクリート101内面を伝播し、シース管90の鋼線91へ伝播される。このとき、トリガ波形受信用センサ30で衝撃印加時のトリガ波形を受信し、受信したトリガ波形を検出器50の第1CH51で検出する。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 3 4 】

伝播波形受信センサ 4 0 では、鋼線 9 1 を伝播してきた伝播波形を受信し、受信した伝播波形を、フィルタ 7 0 を通しノイズを除去し、増幅器 8 0 で伝播波形を増幅させ、伝播波形を検出器 5 0 の第 2 C H 5 2 で検出する。

## 【 0 0 3 5 】

シース管 9 0 のグラウト 9 2 が充填されている場合は、図 4 に示すように、伝播波形が到達した時間  $T_0$  を計測できる。これに対し、シース管 9 0 のグラウト 9 2 が未充填の場合には、図 5 に示すように、伝播波形が到着した時間  $T_0$  近傍の伝播波形が高い周波数を示している。すなわち、グラウト 9 2 が充填されている場合と未充填の場合では、伝播波形に明らかな相違が発生することから、この相違を解析することで、シース管 9 0 のグラウト 9 2 の充填・未充填が判断できる。

## 【 0 0 3 6 】

次に、図 6 のフローチャートを用いて、シース管内グラウト充填度検査手法の説明を行う。なお、説明の便宜上、グラウト充填・未充填の一例として用いるグラフは、必ずしも同一のデータを用いているものではない。

## 【 0 0 3 7 】

高速道路 1 0 0 の橋梁内部に設けられたシース管 9 0 の端部の中央に相当するコンクリート 1 0 1 表面に粘着性媒体 6 0 を塗布する。次に、打撃用治具 1 0 をコンクリート 1 0 1 表面に、コンクリート 1 0 1 表面に塗布された粘着性媒体 6 0 と、打撃用治具 1 0 に設けられた吸盤 1 3 とにより設置する。さらに、打撃用治具 1 0 の近傍のコンクリート 1 0 1 表面にトリガ波形受信センサ 3 0 を設置する（第 1 工程 P 1 ）。

## 【 0 0 3 8 】

図 1 に示すように、打撃用治具 1 0 を設置したシース管 9 0 端部とは他方の、シース管 9 0 端部の中央部に相当するコンクリート 1 0 1 表面に伝播波形受信センサ 4 0 を取り付ける（第 2 工程 P 2 ）。

## 【 0 0 3 9 】

衝撃印加器 2 0 で打撃用治具 1 0 の打撃用金属板 1 1 に衝撃を印加する（第 3 工程 P 3 ）。例えば、衝撃印加器 2 0 は人力でハンマを使用するものでもよい。打撃用治具 1 0 に加わった衝撃は、粘着性媒体 6 0 を介してコンクリート 1 0 1 へと入射される。図 7 に示すように、衝撃印加によりコンクリート 1 0 1 へと入射された弾性波 D は放射状に広がりシース管 9 0 へと伝わる。弾性波 D により、後述するあらたな振動波がシース管 9 0 内部で発生し、衝撃印加側と対向したコンクリート 1 0 1 表面側、すなわち、伝播波形受信センサ 4 0 へと伝播される。

## 【 0 0 4 0 】

第 3 工程 P 3 で伝播波形受信センサ 4 0 へ鋼線 9 1 内を伝播した弾性波（伝播波形）を伝播波形受信センサ 4 0 で受信し、フィルタ 7 0、増幅器 8 0 を介して伝播波形を検出器 5 0 の第 2 C H 5 2 で検出させる。また、衝撃印加時のトリガ波形をトリガ波形受信センサ 3 0 で受信し、検出器 5 0 の第 1 C H 5 1 で検出させる（第 4 工程 P 4 ）。

## 【 0 0 4 1 】

検出した伝播波形のゼロクロス時間  $Z_n$  ( $n = 1, 2, 3, \dots$ ) を求める（第 5 工程 P 5 ）。図 8 はゼロクロス時間の説明を示すグラフである。伝播波形のゼロクロス時間  $Z_n$  とは、図 8 に示すように、時間軸上で、伝播波形の振幅がマイナスからプラスに移行する間の、伝播波形の振幅値が 0 の位置での時間のことであり、伝播波形が到達した時間  $T_0$  をゼロクロス時間  $Z_0$  とする。伝播波形が到達した時間  $T_0$  から最も時間が近いゼロクロス時間  $Z_n$  を  $Z_1$  とし、それ以降のゼロクロス時間を  $Z_2$ 、 $Z_3$ 、 $Z_4$ 、 $\dots$  と定義する。

## 【 0 0 4 2 】

図 9 はゼロクロス時間  $Z_n$  を説明する一例を示している。図 9 に示すように、ゼロクロス時間  $Z_n$  が 9 個検出され、伝播波形が到達した時間  $T_0$  を  $Z_0$  とし、順次  $Z_1$ 、 $Z_2$ 、 $Z_3$ 、 $\dots$ 、 $Z_9$  とした。図 9 に示す伝播波形は、図 5 に示すシース管 9 0 のグラウト 9 2 が未充填の伝播波形であり、ゼロクロス時間  $Z_0$  近傍のゼロクロス時間  $Z_1 \sim Z_6$  まだが

高い周波数となっている。

【 0 0 4 3 】

第 5 工程 P 5 にて算出されたゼロクロス時間  $Z_n$  を基に、ゼロクロス周波数  $f_{zn}$  ( $n = 1, 2, 3, \dots$ ) を算出する (第 6 工程 P 6)。

【 0 0 4 4 】

まずゼロクロス周期  $T_{zn}$  ( $n = 1, 2, 3, \dots$ ) を、

$$T_{zn} = Z_n - Z_{(n-1)}$$

から求める。ゼロクロス周期  $T_{zn}$  は隣り合うゼロクロス時間の差を示している。

【 0 0 4 5 】

次にゼロクロス周期  $T_{zn}$  からゼロクロス周波数  $f_{zn}$  を求めると、

$$f_{zn} = 1 / T_{zn}$$

となる。

【 0 0 4 6 】

図 10 はゼロクロス周波数  $f_{zn}$  の一例を示すグラフである。ここで、グラウト 92 が未充填の伝播波形のゼロクロス周波数を  $f_{azn}$  ( $n = 1, 2, 3, \dots$ )、グラウト 92 が充填された伝播波形のゼロクロス周波数を  $f_{bzn}$  ( $n = 1, 2, 3, \dots$ ) とする。また、図 10 のグラフの縦軸は最大値を 1 と規格化したゼロクロス周波数  $f_{zn}$  を、横軸はゼロクロス時間  $Z_n$  の変数  $n$  を示している。

【 0 0 4 7 】

図 10 に示すように、変数  $n$  が 1 ~ 7 の間で、ゼロクロス周波数  $f_{azn}$  はゼロクロス周波数  $f_{bzn}$  より約 9 ~ 10 倍高い周波数を示している。このように、シース管 90 にグラウト 92 が未充填の場合のゼロクロス周波数  $f_{azn}$  はグラウト 92 が充填されたゼロクロス周波数  $f_{bzn}$  よりも高い周波数を示すため、ゼロクロス周波数  $f_{zn}$  を検出・解析することにより、容易にシース管 90 のグラウト 92 の充填・未充填を判定することが可能となる。

【 0 0 4 8 】

第 6 工程までは、測定者等により人為的に検査結果を判定する場合であり、これ以降は例えばパーソナルコンピュータ等により、検査結果を自動判定させるために必要なデータを算出する算出方法を述べる。図 10 のグラフに示す検査結果では、変数  $n$  が 7 から 8 へ移行するとき、ゼロクロス周波数  $f_{zn}$  は大きく変化している。この図 10 のグラフを検出器 50 に表示させることで、作業者が充填・未充填を判断してもよい。

【 0 0 4 9 】

さらに、自動的に解析する場合には、このような変化について規格化を行い、グラウト 92 の充填・未充填を判断する。

【 0 0 5 0 】

図 10 に示しているゼロクロス周波数  $f_{azn}$  の隣り合う  $f_{azn}$  ( $n = 1, 2$ )、( $n = 2, 3$ )、の差分の絶対値  $FF_{azn}$  ( $n = 1, 2, 3, \dots$ ) を、

$$FF_{azn} = |f_{az}(n) - f_{az}(n-1)|$$

と算出し、同様にゼロクロス周波数  $f_{bzn}$  の隣り合う  $f_{bzn}$  ( $n = 1, 2$ )、( $n = 2, 3$ )、の差分の絶対値  $FF_{bzn}$  ( $n = 1, 2, 3, \dots$ ) を、

$$FF_{bzn} = |f_{bz}(n) - f_{bz}(n-1)|$$

と算出する。

【 0 0 5 1 】

図 11 は規格化された  $FF_{zn}$  ( $n = 1, 2, 3, \dots$ ) を示すグラフである。ここで、 $FF_{zn}$  は最大値を 1 として規格化されており、グラフの縦軸にこの差分の絶対値  $FF_{zn}$  を、横軸にはゼロクロス時間  $Z_n$  等の変数  $n$  を示している。グラウト 92 が未充填時の伝播波形の、ゼロクロス周波数の隣り合う差分  $f_{azn}$  の絶対値  $FF_{azn}$ 、及び、グラウト 92 が充填された伝播波形のゼロクロス周波数の隣り合う差分  $f_{bzn}$  の絶対値  $FF_{bzn}$  をグラフに入力する (第 7 工程 P 7)。

【 0 0 5 2 】

10

20

30

40

50

図 1 1 では充填時と未充填時の比較をしているが、実際にシース管 9 0 を検査した場合には、検査グラウト 9 2 の充填度検査時に検出した伝播波形のゼロクロス周波数  $f_{zn}$  の差分の絶対値  $FF_{zn}$  を算出して、図 1 1 に示すグラフへと検査情報を入力する。

【 0 0 5 3 】

図 1 1 に示す例では、変数  $n$  が 7 の場合で、グラウト 9 2 が未充填時のときの  $FF_{azn}$  ( $n = 7$ ) の値が、他の値より 9 ~ 1 0 倍程度大きいことが判断できる。また、グラウト 9 2 が充填されているときの  $FF_{bzn}$  の値はほとんど変化がないことが判断できる。

【 0 0 5 4 】

第 7 工程 P 7 においてグラフ化された図 1 1 に、例えば実験等で充填及び未充填の境目の値  $FF_o$  を設定する。第 7 工程 P 7 にて算出された  $FF_{zn}$  の値が設定値  $FF_o$  を超えている場合には、計測したシース管 9 0 内のグラウト 9 2 は未充填であると判断する。また、設定値  $FF_o$  を超えていない場合は計測したシース管 9 0 内のグラウト 9 2 は充填していると判断する。(第 8 工程 P 8) このように、図 1 0 から図 1 1 に座標変換することにより、容易に判定が可能となる。

【 0 0 5 5 】

なお、座標変換ではなく、図 1 0 の  $f_{azn}$  及び  $f_{bzn}$  それぞれの面積を求め、面積が大きい場合はグラウト 9 2 が未充填であると判断する手法でもよい。

【 0 0 5 6 】

次に、シース管 9 0 に設けられたグラウト 9 2 が未充填の場合に、伝播受信センサ 4 0 で受信する波形が、衝撃印加により発生する弾性波の周波数より高い周波数の波形となる理由を説明する。図 1 2 は衝撃を印加したときのコンクリート 1 0 1 及びシース管 9 0 (未充填時) の弾性波の伝播を示す説明図である。図 1 2 中 D は弾性波を、K は鋼線 9 1 の振動 (鋼線振動) を、S はシース管 9 0 の振動 (シース管振動) を、T はコンクリート 1 0 1 内を伝播する弾性波を、U は後述する現象により発生した弾性波を示す。また、図 1 2 に示すシース管 9 0 は説明の便宜上、グラウト充填部 9 4 とグラウト未充填部 9 5 とを明白に表し、さらに、鋼線 9 1 の本数は実際のシース管とは異なる可能性のある 4 本とした。

【 0 0 5 7 】

図 1 2 に示すように、打撃用治具 1 0 に衝撃印加器 2 0 により衝撃が与えられる。この衝撃は弾性波 D となり、コンクリート内部に入射される。入射された弾性波 D はコンクリート 1 0 1 内を伝播する弾性波 T と、コンクリート 1 0 1 内からシース管 9 0 を振動させる弾性波とに分れる。

【 0 0 5 8 】

シース管 9 0 の長さはシース管 9 0 の直径に比べて約 2 2 0 倍 (例えばシース管 9 0 直径 = 4 5 mm、長さ = 1 0 m の場合) と大きいため、シース管振動 S のようにシース管 9 0 が振動することで、シース管 9 0 内部に気柱共鳴が発生する。この気柱共鳴は、シース管 9 0 のグラウト未充填部 9 5 で発生し鋼線 9 1 を振動させる。鋼線 9 1 は、音叉の共鳴現象のように、それぞれの鋼線 9 1 で、順次鋼線振動 K が発生する。このとき、鋼線 9 1 はお互いに振動を増幅させるため、振動周波数が高くなっていく。この高くなった振動周波数の弾性波 U が鋼線 9 1 内を伝播し、さらにコンクリート 1 0 1 を伝播して伝播波形受信センサ 4 0 にて受信される。

【 0 0 5 9 】

このように、シース管 9 0 がグラウト未充填部 9 5 を有すると、衝撃印加により発生する弾性波領域の周波数より高い周波数の波形が発生する。この高い周波数の弾性波 U が伝播波形受信センサ 4 0 に受信された後、コンクリート 1 0 1 内を伝播した弾性波 T が伝播波形受信センサ 4 0 に受信される。このため、図 5 や図 9 に示されるように、グラウト 9 2 が未充填の (シース管 9 0 がグラウト未充填部 9 5 を有する) 場合に、伝播波形が到達した時間  $T_o$  近傍で高い周波数の伝播波形が検出され、グラウト 9 2 が充填されている (シース管 9 0 がグラウト未充填部 9 5 を有さない) 場合には高い周波数の伝播波形は観測されない。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 6 0 】

なお、説明の便宜上鋼線 9 1 を有するシース管 9 0 で説明をしたが、鋼線 9 1 だけではなく鋼棒でも同様の作用が発生するため、本発明によるシース管内グラウト充填度検査装置 1 を用いることで、鋼棒又は鋼線 9 1 を有するシース管 9 0 に対応できる。

## 【 0 0 6 1 】

上述したように、本実施の形態に係るシース管内グラウト充填度検査装置 1 によれば、コンクリート 1 0 1 をはつり、P C 鋼材を露出させる必要がないため、検査費用が大幅に削減でき、検査効率も向上する。さらに、はつり後の補修も必要ないため、補修費が必要なく、補修箇所の経年劣化や補修のミスにより雨水等がシース管まで浸透する虞がない。また、P C 鋼材の寸法や材質等に影響を受けず、さらに、鋼線及び鋼棒等の P C 鋼材を有するシース管に対応している検査方法であるため、現在橋梁等に用いられているシース管に使用できる。また、検査時の充填・未充填の判断は受信した伝播波形を目視するか、例えばパーソナルコンピュータ等により自動判断が可能であるので、測定者の能力如何にかかわらず精度よく検査することが可能である。

## 【 0 0 6 2 】

さらに、検出した波形形状からグラウト 9 2 の充填・未充填を識別できるため絶対的評価が可能である。これは、例えば 1 0 0 本のシース管を検査して、この中で異常な検査結果が計測されたシース管を未充填と判断するような相対的評価ではなく、伝播波形の形状でグラウト 9 2 の充填・未充填が判断できる絶対評価であるため、充填度検査装置 1 を用いることで、検査精度や判定誤差等を極力減らすことができる。さらに、各種測定用治具を開発したため、測定の効率化の向上が可能となる。

## 【 0 0 6 3 】

図 1 3 は充填度検査装置 1 の第 1 の変形例に係る打撃用金属板 1 4 を示す正面図である。なお、図 1 3 中において、図 2 と同一機能部分には同一符号を付し、その詳細な説明は省略する。

## 【 0 0 6 4 】

打撃用金属板 1 4 は、粘着性媒体 6 0 に接する面の角部に丸み 1 4 a を有している。このような打撃用金属板 1 4 を用いることにより、衝撃印加器 2 0 により衝撃を印加されても、角部によるノイズ発生を抑制することが可能となる。

## 【 0 0 6 5 】

図 1 4 は充填度検査装置 1 の第 2 の変形例に係る打撃用金属板 1 5 を示す正面図である。なお、図 1 4 中において、図 3 と同一機能部分には同一符号を付し、その詳細な説明は省略する。

## 【 0 0 6 6 】

打撃用金属板 1 5 は、打撃用金属板 1 5 の対角線上や側面辺上に例えば、斜形の貫通孔 1 5 a 及び貫通孔 1 5 b を備えている。このように、貫通孔 1 5 a 及び貫通孔 1 5 b を設けることにより、衝撃印加時に正方形の 4 辺及び対角線上に生じるノイズの原因となる定在波の発生を抑制することが可能となる。

## 【 0 0 6 7 】

図 1 5 は充填度検査装置 1 の第 3 の変形例に係る打撃用金属板 1 6 を示す正面図である。なお、図 1 5 中において、図 3 と同一機能部分には同一符号を付し、その詳細な説明は省略する。

## 【 0 0 6 8 】

打撃用金属板 1 6 は、長方形に形成されている。このように打撃用金属板 1 6 を形成することにより、打撃用金属板 1 6 は、正方形の打撃用金属板 1 5 に比べ、4 辺の長さを半長波とする定在波を抑制させることが可能となる。

## 【 0 0 6 9 】

図 1 6 は充填度検査装置 1 の第 4 の変形例に係る打撃用金属板 1 7 を示す正面図である。なお、図 1 6 中において、図 3 と同一機能部分には同一符号を付し、その詳細な説明は省略する。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 7 0 】

打撃用金属板 1 7 は、円形状に形成されている。このように打撃用金属板 1 7 を形成することにより、方形の 4 辺及び対角線が存在しないため定在波の発生を抑制することが可能となる。

## 【 0 0 7 1 】

図 1 7 は充填度検査装置 1 の第 5 の変形例に係る打撃用金属板 1 8 を示す正面図である。なお、図 1 7 中において、図 3 と同一機能部分には同一符号を付し、その詳細な説明は省略する。

## 【 0 0 7 2 】

打撃用金属板 1 8 は、楕円形状に形成されている。このように打撃用金属板 1 8 を形成することにより、方形の 4 辺及び対角線が存在せず、また、円形より定在波が発生しにくい形状であるため、定在波の発生を抑制することが可能となる。

## 【 0 0 7 3 】

なお、本発明は前記実施の形態に限定されるものではない。例えば、上述した支持アーム 1 2 は、打撃用金属板 1 1 の端部 3 箇所には設けられていると説明したが、3 箇所でも適用できる。また、打撃用治具 1 0 と衝撃印加器 2 0 とを別にして説明したが、打撃用治具と衝撃印加器を一体に形成しても適用できる。この他、本発明の要旨を逸脱しない範囲で種々変形実施可能である。

## 【 図面の簡単な説明 】

## 【 0 0 7 4 】

【 図 1 】 本発明の一実施の形態に係るシース管内グラウトの充填度検査装置を示す模式図

【 図 2 】 同充填度検査装置の打撃用治具を示す模式図。

【 図 3 】 同打撃用治具の正面図。

【 図 4 】 本充填度検査装置におけるグラウト充填の検査データの一例を示すグラフ。

【 図 5 】 本充填度検査装置におけるグラウト未充填の検査データの一例を示すグラフ。

【 図 6 】 充填度検査装置の検査工程を示すフローチャート。

【 図 7 】 本発明の衝撃の伝播状態を示す説明図。

【 図 8 】 ゼロクロス時間の説明を示すグラフ。

【 図 9 】 ゼロクロス時間  $Z_n$  の説明を示すグラフ。

【 図 1 0 】 ゼロクロス周波数  $f_{zn}$  の一例を示すグラフ。

【 図 1 1 】 規格化された  $F_{fn}$  を示すグラフ。

【 図 1 2 】 同発明に衝撃を印加したときのコンクリート及びシース管（未充填時）の弾性波の伝播を示す説明図。

【 図 1 3 】 本発明の第 1 の変形例に係る打撃用金属板を示す正面図。

【 図 1 4 】 同発明の第 2 の変形例に係る打撃用金属板を示す正面図。

【 図 1 5 】 同発明の第 3 の変形例に係る打撃用金属板を示す正面図。

【 図 1 6 】 同発明の第 4 の変形例に係る打撃用金属板を示す正面図。

【 図 1 7 】 同発明の第 5 の変形例に係る打撃用金属板を示す正面図。

【 図 1 8 】 従来のシース管内グラウト充填度検査装置の原理を示す説明図。

【 図 1 9 】 同充填度検査装置で検出した結果の一例を示すグラフ。

【 図 2 0 】 同充填度検査装置での橋梁検査の一例を示す説明図。

【 図 2 1 】 同充填度検査装置での橋梁検査の一例を示す説明図。

## 【 符号の説明 】

## 【 0 0 7 5 】

1 充填度検査装置、1 0 打撃用治具、2 0 衝撃印加器、3 0 トリガ波形受信用センサ、4 0 伝播波形受信用センサ、5 0 検出器、5 1 チャンネル 1（第 1 CH）、5 2 チャンネル 2（第 2 CH）、7 0 フィルタ、8 0 増幅器、9 0 シース管、9 1 鋼線、9 2 グラウト、1 0 0 高速道路、1 0 1 コンクリート。

10

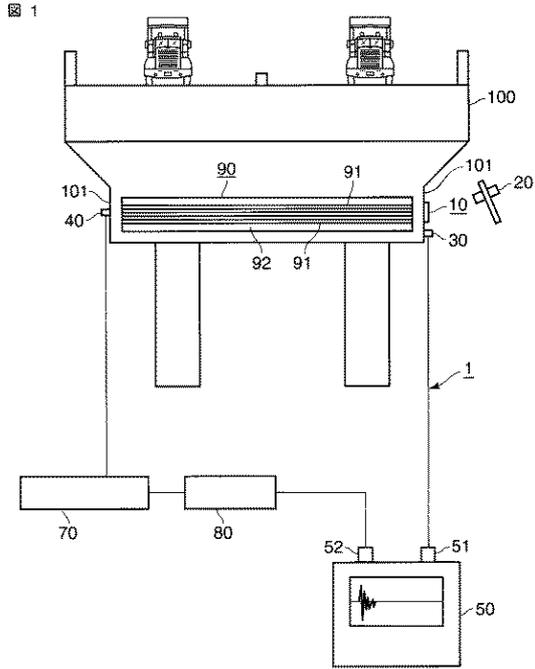
20

30

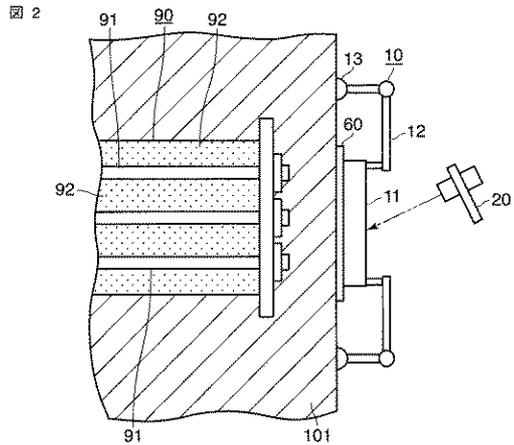
40

50

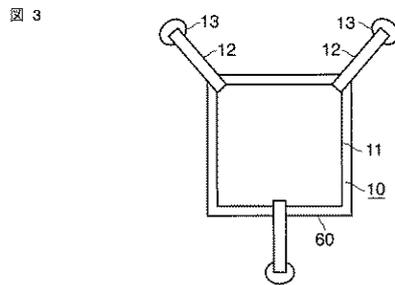
【図1】



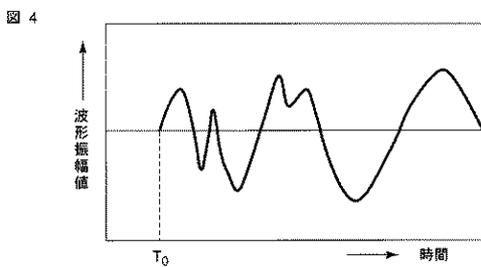
【図2】



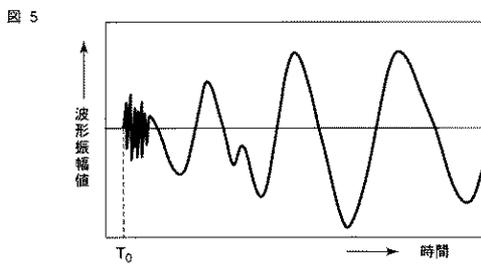
【図3】



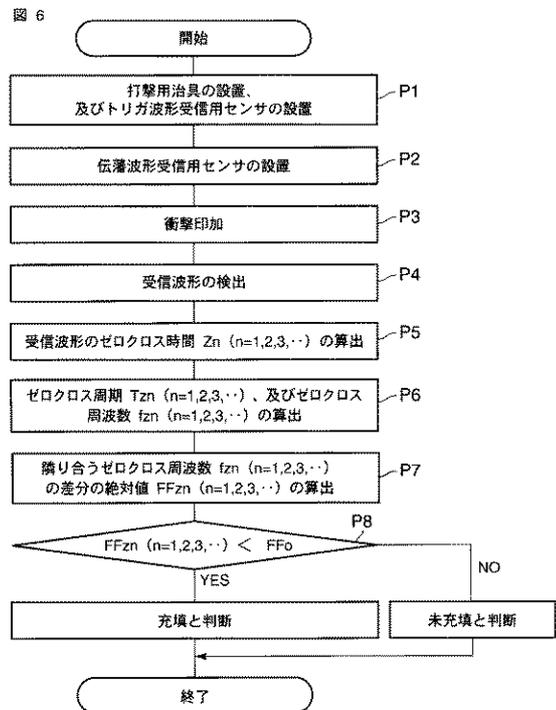
【図4】



【図5】

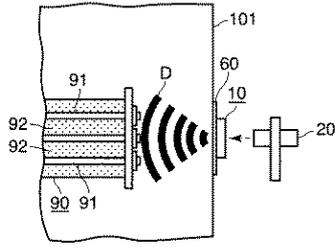


【図6】



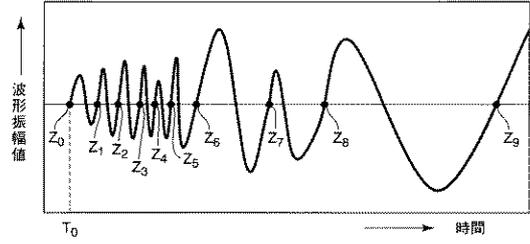
【図 7】

図 7



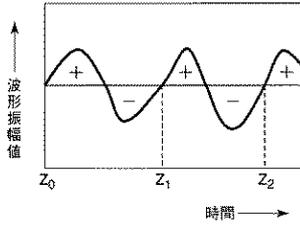
【図 9】

図 9



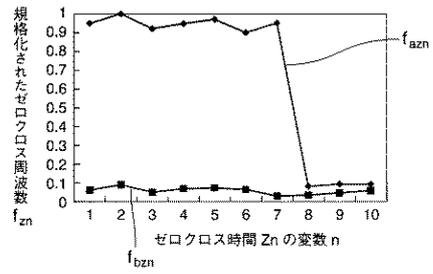
【図 8】

図 8



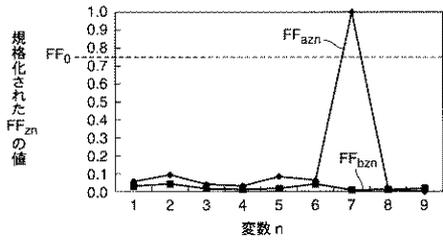
【図 10】

図 10



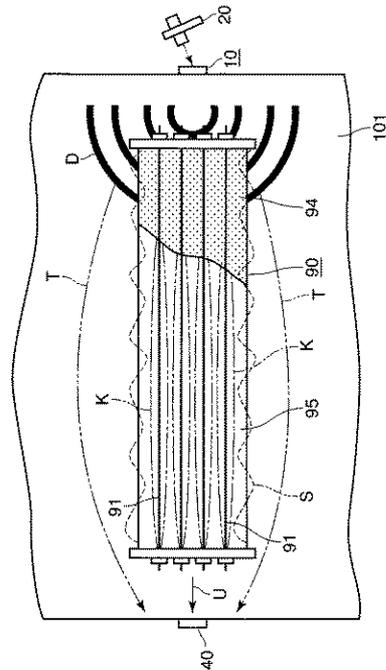
【図 11】

図 11

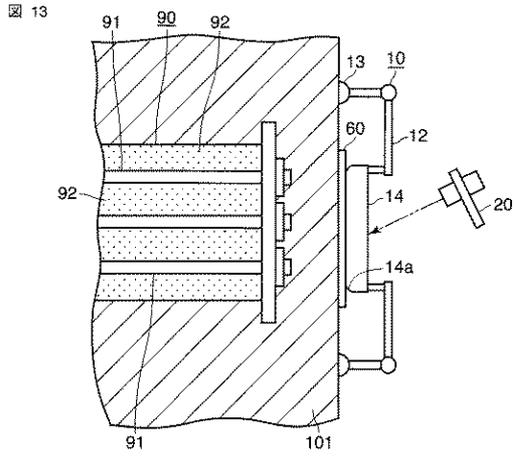


【図 12】

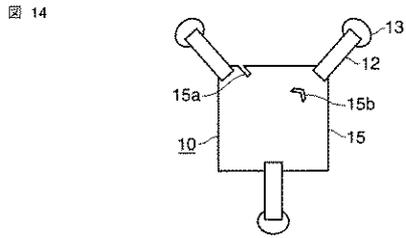
図 12



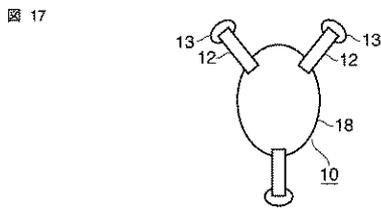
【図 13】



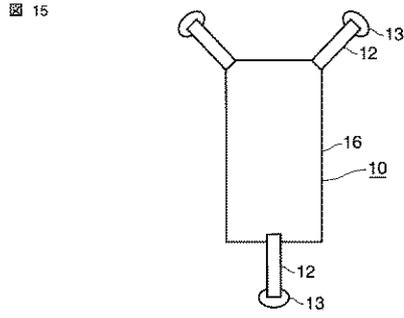
【図 14】



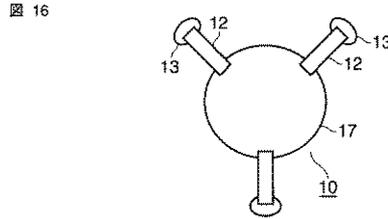
【図 17】



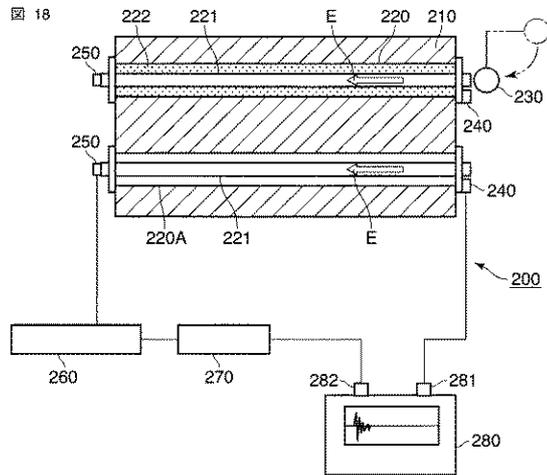
【図 15】



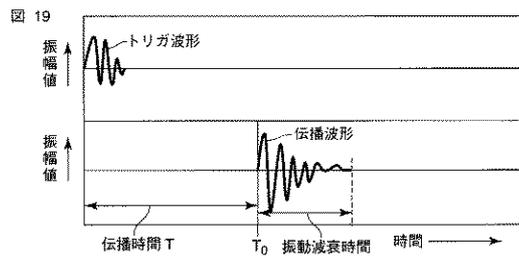
【図 16】



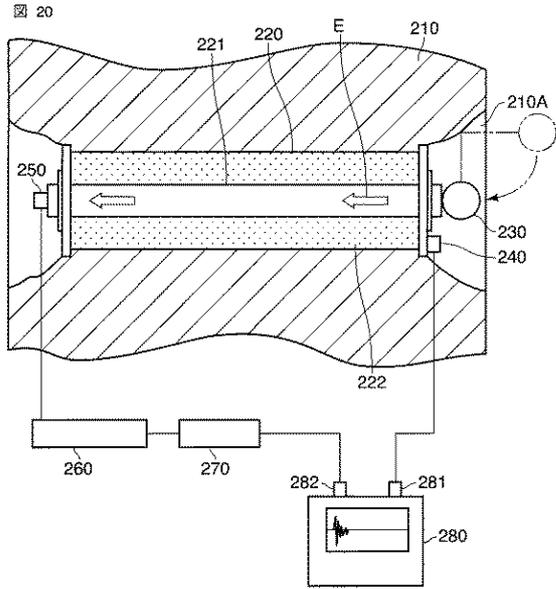
【図 18】



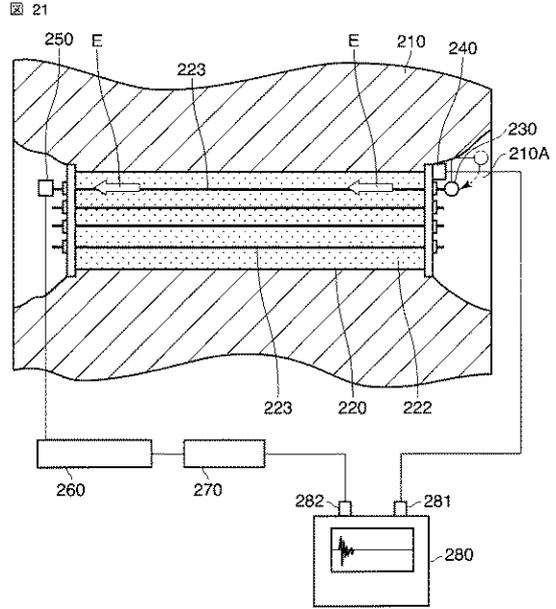
【図 19】



【図 20】



【図 21】



## フロントページの続き

- (74)代理人 100075672  
弁理士 峰 隆司
- (74)代理人 100109830  
弁理士 福原 淑弘
- (74)代理人 100084618  
弁理士 村松 貞男
- (74)代理人 100092196  
弁理士 橋本 良郎
- (72)発明者 佐々木 一哉  
東京都千代田区霞が関1丁目4番1号 首都高速道路株式会社内
- (72)発明者 植木 博  
東京都町田市金井町1886-12
- (72)発明者 平林 望  
東京都港区虎ノ門三丁目10番11号 財団法人首都高速道路技術センター内
- (72)発明者 永島 裕二  
東京都台東区元浅草三丁目18番10号 アイレック技建株式会社内
- (72)発明者 堤 志信  
東京都台東区元浅草三丁目18番10号 アイレック技建株式会社内
- (72)発明者 毛利 勝紀  
東京都台東区元浅草三丁目18番10号 アイレック技建株式会社内

審査官 遠藤 孝徳

- (56)参考文献 特開平10-54140(JP,A)  
特開平4-95872(JP,A)  
特開昭52-123280(JP,A)  
特開昭61-56966(JP,A)  
特開2001-41940(JP,A)  
特開2003-57217(JP,A)  
特開2002-82101(JP,A)  
特開2005-207870(JP,A)  
特許第3438769(JP,B2)  
特許第3048224(JP,B2)  
特許第3523806(JP,B2)  
特許第3514690(JP,B2)  
特許第3895573(JP,B2)  
特許第3024001(JP,B2)  
白木孝雄, 植木博, 菊地真人, " 衝撃弾性波を用いたPCグラウト充填度の診断 ", 土木学会年次学術講演会講演概要集(CD-ROM), 日本, 社団法人土木学会, 2005年 8月20日, 第60回, Disk 2, 5-583, p. 1165-1166

## (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01N 29/00 - 29/52  
E04G 21/12  
JSTPlus(JDreamII)  
JST7580(JDreamII)