

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6978223号
(P6978223)

(45) 発行日 令和3年12月8日(2021.12.8)

(24) 登録日 令和3年11月15日(2021.11.15)

(51) Int. Cl. F I
GO 1 N 23/04 (2018.01) GO 1 N 23/04

請求項の数 7 (全 16 頁)

(21) 出願番号	特願2017-105508 (P2017-105508)	(73) 特許権者	507194017 株式会社高速道路総合技術研究所 東京都町田市忠生一丁目4番地1
(22) 出願日	平成29年5月29日(2017.5.29)	(73) 特許権者	505398941 東日本高速道路株式会社 東京都千代田区霞が関三丁目3番2号
(65) 公開番号	特開2018-200256 (P2018-200256A)	(73) 特許権者	505398952 中日本高速道路株式会社 愛知県名古屋市中区錦二丁目18番19号
(43) 公開日	平成30年12月20日(2018.12.20)	(73) 特許権者	505398963 西日本高速道路株式会社 大阪府大阪市北区堂島一丁目6番20号
審査請求日	令和2年4月7日(2020.4.7)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 金属プラグ入り積層ゴム支承の検査方法及び性能判定方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

複数の板状ゴムと鋼板が交互に積層されてなる積層体と、この積層体の一方の面と他方の面に配置されて構造物に接続される接続体と、上記積層体及び接続体を貫通して上記板状ゴム及び鋼板の積層方法に延在してダンパー機能を有する金属プラグとを備える金属プラグ入り積層ゴム支承の検査方法であって、

上記金属プラグ入り積層ゴム支承が設置された原位置で、上記積層体にX線を照射してイメージングプレートによりX線撮影画像を取得し、このX線撮影画像中の金属プラグの像の輪郭形状に基づいて、当該支承の使用に伴う金属プラグの変状に関する検査を行うことを特徴とする金属プラグ入り積層ゴム支承の検査方法。

【請求項2】

請求項1に記載の金属プラグ入り積層ゴム支承の検査方法において、

上記X線撮影画像を、上記積層体に対するX線の入射位置及び/又は入射角度に応じて補正することを特徴とする金属プラグ入り積層ゴム支承の検査方法。

【請求項3】

請求項1に記載の金属プラグ入り積層ゴム支承の検査方法において、

上記積層体に予め設置されたマークの位置と、上記X線撮影画像中の上記マークの像の位置とに基づいて、上記金属プラグ入り積層ゴム支承における上記X線撮影画像の撮影位置を特定することを特徴とする金属プラグ入り積層ゴム支承の検査方法。

【請求項4】

10

20

請求項 1 に記載の金属プラグ入り積層ゴム支承の検査方法において、

上記 X 線撮影画像を、上記積層体に対して異なる X 線の入射位置及び / 又は入射角度を設定して複数個作成し、これらの複数個の X 線撮影画像を合成して検査用の X 線撮影画像を作成することを特徴とする金属プラグ入り積層ゴム支承の検査方法。

【請求項 5】

請求項 1 に記載の金属プラグ入り積層ゴム支承の検査方法において、

上記 X 線撮影画像を 2 値化処理することを特徴とする金属プラグ入り積層ゴム支承の検査方法。

【請求項 6】

請求項 1 に記載の金属プラグ入り積層ゴム支承の検査方法で取得された上記 X 線撮影画像中の金属プラグの像から金属プラグの体積を推定するステップと、 10

上記推定された金属プラグの体積を、予め求められた金属プラグの体積と減衰性能との相関関係を示す相関モデルに照らして、上記積層体の減衰性能を評価するステップとを有することを特徴とする金属プラグ入り積層ゴム支承の性能判定方法。

【請求項 7】

請求項 1 に記載の金属プラグ入り積層ゴム支承の検査方法で取得された上記 X 線撮影画像中の金属プラグの像から金属プラグのひび割れ量を推定するステップと、

上記推定された金属プラグのひび割れ量を、予め求められた金属プラグのひび割れ量と減衰性能の低下量との相関関係を示す相関モデルに照らして、上記積層体の減衰性能を評価するステップと 20

を有することを特徴とする金属プラグ入り積層ゴム支承の性能判定方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、橋梁やビル等に用いられた金属プラグ入り積層ゴム支承を原位置で検査する検査方法と、金属プラグ入り積層ゴム支承の性能判定方法に関する。

【背景技術】

【0002】

橋梁やビルの下部構造と上部構造の間に設置され、上部構造を支持する支承は、兵庫県南部地震が発生して以降、地震時の揺れを緩和する機能を有するものが急速に普及している。この種の支承としては、板状のゴムと鋼板を交互に複数層積み重ねた積層体と、この積層体の内部に配置された柱状の鉛プラグとを備えた鉛プラグ入り積層ゴム支承が知られている。 30

【0003】

鉛プラグ入り積層ゴム支承は、積層体によって橋梁やビルの上部構造を支持すると共に、地震時に水平方向に変形して上部構造を移動させると共に、移動した上部構造を移動前の位置に復元し、更に、固有周期を長くして上部構造に作用する地震力を低減させる機能を有する。また、鉛プラグにより、振動エネルギーを吸収して上部構造の揺れを減衰するダンパー機能を有する。

【0004】

この鉛プラグ入り積層ゴム支承は、橋梁やビルに設置された後、経年に伴って種々の劣化や損傷が生じる。鉛プラグ入り積層ゴム支承の経年劣化としては、積層体のゴムと鋼板の剥離や、積層体の側面を被覆する被覆ゴムの剥がれ又はオゾン劣化や、鉛プラグの損傷等がある。これらの経年劣化のうち、鉛プラグの損傷はダンパー機能の低下を招くので、鉛プラグ入り積層ゴム支承の性能に大きく影響する。

【0005】

経年により鉛プラグに生じる損傷としては、損傷の程度が小さいものから順に、ひび割れ、破断及び流動突出が知られている。流動突出は、鉛プラグを形成する鉛が、積層体のゴムと鋼板の間を流れて側面から押し出されて生じる現象であり、鉛プラグ入り積層ゴム支承に作用する荷重や、積層体の変形等に起因すると考えられている。鉛プラグにひび割 50

れや破断や流動突出が生じた鉛プラグ入り積層ゴム支承は、鉛プラグのダンパー機能が大幅に低下しているため、速やかに交換する必要がある。

【 0 0 0 6 】

鉛プラグ入り積層ゴム支承に流動突出が生じるまでの間に、積層体の内部では、鉛の流動やひび割れや破断等の鉛プラグの変状が生じており、鉛プラグのダンパー機能の低下が既に進行し、鉛プラグ入り積層ゴム支承の性能の低下が生じている。しかしながら、積層体の内部で生じる鉛プラグの変状は、外観から察知できないので、流動突出が生じるまでは鉛プラグ入り積層ゴム支承の性能の低下を検知することができない。そこで、鉛プラグ入り積層ゴム支承の性能の低下を早期に検知するために、積層体内の鉛プラグの変状を非破壊で検査する方法が求められる。

10

【 0 0 0 7 】

従来、積層体の内部に設置された鉛プラグを非破壊で検査する方法として、X線CT装置を用いて鉛プラグの健全性を確認する検査方法が提案されている（特許文献1参照）。この検査方法は、鉛プラグ入り積層ゴム支承の製造過程において、積層体に鉛直方向の荷重をかけながら水平方向に変位させた状態で、X線CT装置を用いて非破壊状態で断層撮影を行う。これにより得られた積層体の断層画像により、鉛プラグと積層ゴムとの界面の状態を確認し、鉛プラグの健全性を確認している。

【先行技術文献】

【特許文献】

【 0 0 0 8 】

【特許文献1】特開2001-033402号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【 0 0 0 9 】

しかしながら、上記従来の鉛プラグの検査方法は、鉛プラグ入り積層ゴム支承の製造過程で行われるものであり、装置構成の大規模なX線CT装置を用いるので、橋梁やビルに設置された鉛プラグ入り積層ゴム支承に適用することができない。また、上記従来の鉛プラグの検査方法は、積層体を水平方向に変位させた状態で撮影を行う必要があるが、橋梁やビルに設置された鉛プラグ入り積層ゴム支承を水平方向に変位させることは困難であるため、上記従来の方法を適用することは困難である。

30

【 0 0 1 0 】

また、上記従来の鉛プラグの検査方法は、鉛プラグと積層ゴムとの界面の状態に基づいて鉛プラグの健全性を確認しているが、鉛プラグが不健全である場合に、鉛プラグ入り積層ゴム支承の性能がどの程度残存しているのかは全く検討されていない。

【 0 0 1 1 】

そこで、本発明の課題は、橋梁やビル等に設置されている金属プラグ入り積層ゴム支承の金属プラグを、原位置で検査することができる金属プラグ入り積層ゴム支承の検査方法を提供することにある。また、金属プラグ入り積層ゴム支承の検査結果に基づいて、この金属プラグ入り積層ゴム支承に残存する性能を判定する性能判定方法を提供することにある。

40

【課題を解決するための手段】

【 0 0 1 2 】

上記課題を解決するため、本発明の金属プラグ入り積層ゴム支承の検査方法は、複数の板状ゴムと鋼板が交互に積層されてなる積層体と、この積層体の一方の面と他方の面に配置されて構造物に接続される接続体と、上記積層体及び接続体を貫通して上記板状ゴム及び鋼板の積層方法に延在してダンパー機能を有する金属プラグとを備える金属プラグ入り積層ゴム支承の検査方法であって、

上記金属プラグ入り積層ゴム支承が設置された原位置で、上記積層体にX線を照射してX線撮影画像を取得し、このX線撮影画像中の金属プラグの像の輪郭形状に基づいて検査を行うことを特徴としている。

50

【 0 0 1 3 】

上記構成によれば、金属プラグ入り積層ゴム支承が、例えば橋梁の下部構造と上部構造の間に設置された場合、積層体の一方の面の接続体と他方の面の接続体が、下部構造と上部構造に夫々接続される。したがって、積層体の内部の金属プラグは、金属プラグ入り積層ゴム支承が設置された原位置では、外観により検査を行うことができない。ここで、本発明の金属プラグ入り積層ゴム支承の検査方法は、金属プラグ入り積層ゴム支承が設置された原位置で、積層体にX線を照射してX線撮影画像を取得するので、従来のX線CT装置を用いた検査方法のように、装置構成が大規模なことに起因して断層画像を取得できない不都合が無い。また、従来のX線CT装置を用いた検査方法のように、金属プラグ入り積層ゴム支承を変形させる必要が無く、金属プラグ入り積層ゴム支承の積層体にX線を照射すればよいので、原位置の金属プラグ入り積層ゴム支承について適用できる。こうして原位置で取得したX線撮影画像を用いることにより、積層体の外観によっては不可能であった金属プラグの検査を行うことができる。

【 0 0 1 4 】

ここで、ダンパー機能を有する金属プラグとしては、例えば、鉛やすず等で形成したものを挙げるができるが、ダンパー機能を奏するのであれば、他の金属で形成されたものでもよい。

【 0 0 1 5 】

また、金属プラグ入り積層ゴム支承としては、橋梁等の土木構造物に設置されたものや、ビル等の建築物に設置されたものや、各種の工場のプラント設備に設置されたものが該当する。

【 0 0 1 6 】

一実施形態の金属プラグ入り積層ゴム支承の検査方法は、上記X線撮影画像を、上記積層体に対するX線の入射位置及びノ又は入射角度に応じて補正するものである。

【 0 0 1 7 】

上記実施形態によれば、X線撮影画像を、積層体に対するX線の入射位置及びノ又は入射角度に応じて補正するので、原位置に存在する他の構造物や部材が障害となって、X線を積層体の正面から照射できない場合でも、積層体の内部を正確に把握して、金属プラグの検査を正確に行うことができる。また、積層体内に複数の金属プラグが存在する場合、X線の入射位置及びノ又は入射角度を調整することにより、各金属プラグの像を重複することなく撮影することができる。この場合、X線の入射位置及びノ又は入射角度に応じてX線撮影画像を補正することにより、各金属プラグの検査を正確に行うことができる。

【 0 0 1 8 】

一実施形態の金属プラグ入り積層ゴム支承の検査方法は、上記積層体に予め設置されたマークの位置と、上記X線撮影画像中の上記マークの像の位置とに基づいて、上記金属プラグ入り積層ゴム支承における上記X線撮影画像の撮影位置を特定するものである。

【 0 0 1 9 】

上記実施形態によれば、積層体に予め設置されたマークの実際の位置と、X線撮影画像中の上記マークの像の位置とに基づいて、このX線撮影画像の金属プラグ入り積層ゴム支承における撮影位置を特定することができる。したがって、金属プラグの検査を正確に行うことができる。ここで、上記マークは、上記積層体よりもX線の透過率が低い物質で形成されるのが好ましい。また、複数のX線撮影画像に同一のマークの像が含まれる場合、このマークの像に基づいて、上記複数のX線撮影画像の位置合わせを行って、上記複数のX線撮影画像の合成を行うことができる。

【 0 0 2 0 】

一実施形態の金属プラグ入り積層ゴム支承の検査方法は、上記X線撮影画像を、上記積層体に対して異なるX線の入射位置及びノ又は入射角度を設定して複数個作成し、これらの複数個のX線撮影画像を合成して検査用のX線撮影画像を作成するものである。

【 0 0 2 1 】

上記実施形態によれば、X線撮影画像を、積層体に対して異なるX線の入射位置及びノ

又は入射角度を設定して複数個作成する。X線の入射位置や入射角度は、各X線撮影画像において、積層体中の金属プラグを鮮明に撮影できる位置や角度が設定される。これらの複数個のX線撮影画像を合成して検査用のX線撮影画像を作成することにより、積層体中の金属プラグを正確に撮像することができ、金属プラグの正確な検査を行うことができる。

【0022】

一実施形態の金属プラグ入り積層ゴム支承の検査方法は、上記X線撮影画像を2値化処理する。

【0023】

上記実施形態によれば、X線撮影画像を2値化処理することにより、X線撮影画像中の金属プラグの像を鮮明にすることができる。したがって、金属プラグの正確な検査を行うことができる。ここで、金属プラグ入り積層ゴム支承を構成する部材に対するX線透過量は、例えば積層体の板状ゴムが比較的多い一方、鋼板と金属プラグが比較的少ない。したがって、X線撮影画像の2値化処理により、例えば板状ゴムと鋼板及び金属プラグとを、画像の色の違いによって鮮明に区別することが可能となるように、各構成部材の形状を鮮明に表すことができる。

【0024】

本発明の金属プラグ入り積層ゴム支承の性能判定方法は、上記金属プラグ入り積層ゴム支承の検査方法で取得された上記X線撮影画像中の金属プラグの像から金属プラグの体積を推定するステップと、

上記推定された金属プラグの体積を、予め求められた金属プラグの体積と減衰性能との相関関係を示す相関モデルに照らして、上記積層体の減衰性能を評価するステップとを有することを特徴としている。

【0025】

上記構成によれば、金属プラグ入り積層ゴム支承の原位置で取得されたX線撮影画像中の金属プラグの像から、金属プラグの体積を推定する。金属プラグの体積は、X線撮影画像中に現れた金属プラグの流動突出の大きさから流動突出の体積を推定し、この流動突出の体積を元の金属プラグの体積から差し引いて算出することができる。このようにして推定された金属プラグの体積を、予め求められた金属プラグの体積と減衰性能との相関関係を示す相関モデルに照らすことにより、X線撮影画像中に表された金属プラグの現在の減衰性能を求めることができる。こうして求めた金属プラグの減衰性能により、積層体の減衰性能を評価することができる。したがって、上記金属プラグ入り積層ゴム支承に残存する性能を、効果的に判定することができる。

【0026】

本発明の金属プラグ入り積層ゴム支承の性能判定方法は、上記金属プラグ入り積層ゴム支承の検査方法で取得された上記X線撮影画像中の金属プラグの像から金属プラグのひび割れ量を推定するステップと、

上記推定された金属プラグのひび割れ量を、予め求められた金属プラグのひび割れ量と減衰性能の低下量との相関関係を示す相関モデルに照らして、上記積層体の減衰性能を評価するステップとを有することを特徴としている。

【0027】

上記構成によれば、金属プラグ入り積層ゴム支承の原位置で取得されたX線撮影画像中の金属プラグの像から、金属プラグに生じたひび割れ量を推定する。金属プラグのひび割れ量は、X線撮影画像中に現れた金属プラグのひび割れの太さ及び長さから推定することができる。このようにして推定された金属プラグのひび割れ量を、予め求められた金属プラグのひび割れ量と減衰性能の低下量との相関関係を示す相関モデルに照らすことにより、X線撮影画像中に表された金属プラグの現在の減衰性能を求めることができる。こうして求めた金属プラグの減衰性能により、積層体の減衰性能を評価することができる。したがって、上記金属プラグ入り積層ゴム支承に残存する性能を、効果的に判定することがで

きる。

【図面の簡単な説明】

【0028】

【図1】本発明の実施形態の検査方法が適用される鉛プラグ入り積層ゴム支承を示す平面図である。

【図2】鉛プラグ入り積層ゴム支承の断面図である。

【図3】鉛プラグ入り積層ゴム支承にX線を照射する様子を示す図である。

【図4】X線撮影画像中の鉛プラグの像と、鉛プラグ入り積層ゴム支承の鉛プラグとの関係を示す模式図である。

【図5A】補正前のX線撮影画像を示す図である。

10

【図5B】補正後のX線撮影画像を示す図である。

【図6A】鉛プラグ入り積層ゴム支承の上部にX線の中心軸が位置するX線撮影画像である。

【図6B】図6Aの下方を中心軸が位置するX線によるX線撮影画像である。

【図6C】図6Bの下方を中心軸が位置するX線によるX線撮影画像である。

【図6D】図6Cの下方を中心軸が位置するX線によるX線撮影画像である。

【図6E】図6Dの下方を中心軸が位置するX線によるX線撮影画像である。

【図6F】図6A乃至6EのX線撮影画像の各々の部分を合成して得たX線撮影画像である。

【図6G】図6A乃至6EのX線撮影画像が得られた鉛プラグ入り積層ゴム支承の断面図である。

20

【図7】鉛プラグの体積の減少に対する減衰性能の低下を示すグラフである。

【発明を実施するための形態】

【0029】

以下、本発明の実施形態を、添付の図面を参照しながら詳細に説明する。

【0030】

図1は、実施形態の検査方法を適用する金属プラグ入り積層ゴム支承としての鉛プラグ入り積層ゴム支承を示す平面図であり、図2は、鉛プラグ入り積層ゴム支承の断面図である。この鉛プラグ入り積層ゴム支承1は、構造物としての道路橋に設置されているものである。

30

【0031】

この鉛プラグ入り積層ゴム支承1は、複数の板状ゴム7と鋼板8が交互に積層されて形成された積層体2を備える。この積層体2は、平面が正方形の直方体形状を有する。積層体2の板状ゴム7は天然ゴムで形成されており、接着剤や加硫接着により鋼板8に接着されている。なお、板ゴム7は、天然ゴム及び/又は合成ゴムに各種の樹脂や充填材が添加された高減衰ゴムで構成されてもよい。

【0032】

積層体2の一方の面であって、図2において上側に位置する面には、積層体2よりも厚みの大きい鋼板で形成され、構造物の上部構造に接続される上側の接続体3が配置されている。また、積層体2の他方の面であって、図2において下側に位置する面には、構造物の下部構造に接続される下側の接続体3が配置されている。上側と下側の接続体3の縁部には、構造物に接続されるためのボルトやダウエルピン等が螺合する複数の固定孔10が設けられている。

40

【0033】

上記積層体2の側面と、上側及び下側の接続体3の側面は、内部の劣化を防止するための被覆ゴム5が被覆されている。被覆ゴム5の上端は、上側の接続体3の縁を取り囲むように、接続体3の平面側に屈曲している。被覆ゴム5は、高減衰ゴムや、天然ゴムで形成することができる。高減衰ゴムとしては、エチレンプロピレンゴム、ニトリルゴム、ブチルゴム、ハロゲン化ブチルゴム、クロロプレンゴム、イソプレンゴム、スチレンブタジエン共重合ゴム、アクリロニトリルブタジエンゴム、ブタジエンゴム若しくはシリコーンゴ

50

ム又はこれらの混合物及びこれらと天然ゴムからなる混合物を用いることができる。

【0034】

上記鉛プラグ入り積層ゴム支承1には、上側及び下側の接続体3と積層体2を厚み方向に貫通する4つの貫通孔が形成されており、これらの貫通孔内に、金属プラグのとしての鉛プラグ4が夫々収容されている。鉛プラグ4は、純度が99.9%以上の鉛で形成されており、積層体2の板状ゴム7と鋼板8の積層方向に中心軸が延在する円筒形状を有する。鉛プラグ4は、鉛プラグ入り積層ゴム支承1の平面視において、対角線上で正方形の頂点を形成する位置に配置されている。この鉛プラグ4は、積層体2に上側及び下側の接続体3が固定された後、これらの積層体2及び接続体3の積層方向に形成された4つの貫通孔に、圧入されて収容されている。

10

【0035】

この鉛プラグ入り積層ゴム支承1は、道路橋に設置されており、下部構造である橋脚と、上部構造である橋桁との間に配置されている。鉛プラグ入り積層ゴム支承1の下側の接続体3は、鋼製又はコンクリート製の橋脚の上端面に設置されたアンカーボルトに連結されている。また、上側の接続体3は、鋼製又はコンクリート製の橋桁の下フランジに螺着されたボルトに連結されている。

【0036】

このように橋脚上に設置されて橋桁を支持する鉛プラグ入り積層ゴム支承1には、上部構造の死荷重や、車両の通過等によって変動する活荷重や、風荷重や、地震荷重等が作用する。また、車両の通過や風や地震による振動が、鉛プラグ入り積層ゴム支承1に伝達する。さらに、温度変化に伴う橋梁の部材の膨張又は収縮に起因して、鉛プラグ入り積層ゴム支承1の上側の接続体3と下側の接続体3との間に変位が生じる。これらの荷重や振動や変位により、鉛プラグ入り積層ゴム支承1内の鉛プラグ4に変状が生じる場合がある。鉛プラグ4の変状としては、軸方向のいずれかの位置で横断方向に切断面が形成される破断や、鉛プラグ4の側面から積層体2の板状ゴム7と鋼板8の間に鉛が流出する流動がある。これらの鉛プラグ4の変状は、積層体2の外観からは察知できないが、鉛プラグ入り積層ゴム支承1の性能の劣化を招く。そこで、本実施形態の金属プラグ入り積層ゴム支承の検査方法により、鉛プラグ入り積層ゴム支承1を破壊することなく非破壊で検査し、鉛プラグ4の変状を検出する。

20

【0037】

図3は、本実施形態の金属プラグ入り積層ゴム支承の検査方法により、鉛プラグ入り積層ゴム支承1を検査する様子を示す模式図である。本実施形態の検査方法は、X線を生成して放射するX線源12と、このX線源12から放射されて検査対象を透過したX線を検出するX線検出器としてのイメージングプレート13を用いる。

30

【0038】

X線源12は、電子源と、この電子源から生成された電子ビームが照射されるX線ターゲットとを有し、X線を発生させるX線管を有する。イメージングプレート13は、放射線エネルギーを蓄積し、後に熱や光等により励起されて蛍光を発する現象である輝尽性蛍光発光現象を利用したものであり、輝尽性蛍光体(BaFBr:Eu²⁺)の微結晶を塗布したフィルムを有する。検査対象を透過したX線を検出したイメージングプレート13を、図示しないリーダーで読み取ることにより、検査対象のX線撮影画像を得ることができる。リーダーは、イメージングプレート13のフィルムの表面にレーザー光を照射することにより、X線の露光量に応じてフィルムから生じる発光量を光学スキャナで読み取ることにより、検査対象のX線撮影画像を生成する。上記X線源12とイメージングプレート13は、鉛プラグ入り積層ゴム支承1に対して停止した状態で作動する。リーダーで生成されたX線撮影画像はコンピュータに入力され、このコンピュータで画像処理ソフトウェアが実行されて得られる機能により、次のように、補正としての歪修正処理と、合成処理が行われる。なお、歪修正処理で修正される歪みとは、X線撮影画像に、部材が本来有する形状とは異なるように表れた形状をいう。

40

【0039】

50

検査対象に対して停止したX線源から照射されたX線による検査は、従来は、板状体や管体等のような厚みの小さいものが対象であり、鉛プラグ入り積層ゴム支承のように透過方向の寸法の大きなものは、従来、対象とされていなかった。その理由としては、透過方向の寸法が大きいと、X線の減衰が大きいので鮮明な透過画像を得にくいことや、X線の拡散が大きいので、X線の中心軸から離れるにつれて像の歪みが大きくなることにある。

【0040】

また、図1に示す鉛プラグ入り積層ゴム支承1は、鉛プラグ4が、鉛プラグ入り積層ゴム支承1の平面視において、対角線上で正方形の頂点を形成する位置に配置されている。したがって、鉛プラグ入り積層ゴム支承1の側面に対して直角方向にX線を照射すると、2つの鉛プラグ4を透過したX線が検出されるので、いずれの鉛プラグ4に損傷が生じているのかを特定できない問題がある。また、鉛プラグ入り積層ゴム支承1は、橋脚の上端面と橋桁の下フランジとの間に配置されているので、検査のための作業領域が狭く、また、他の構造物が接近して配置されていることが多い。したがって、鉛プラグ入り積層ゴム支承1の周囲には、X線源12やイメージングプレート13を配置するスペースが少なく、X線源12やイメージングプレート13の配置形態の自由度が低い。

【0041】

そこで、本実施形態の金属プラグ入り積層ゴム支承の検査方法では、図3に示すように、X線源12から照射されるX線を、X線の中心軸Xaが鉛プラグ入り積層ゴム支承1の側面に対して傾斜した方向に照射し、X線が入射した側面に対して直角に隣接する側面に配置されたイメージングプレート13で検出する。すなわち、X線源12から照射されるX線の中心軸Xaに対して傾斜して配置されたイメージングプレート13により、X線を検出する。こうして得られたX線撮影画像は、上記X線の特性に起因する歪みが含まれるので、コンピュータの画像処理により、歪修正処理を行って補正する。

【0042】

図4は、鉛プラグ入り積層ゴム支承1の側面の法線に対して、中心軸Xaが角度(/ 2 - 4)だけ傾斜したX線により検出された鉛プラグ4のX線撮影画像と、実際の鉛プラグ4に生じている損傷との関係を示す図である。図4において、18はイメージングプレート13で取得されたX線撮影画像を、鉛プラグ入り積層ゴム支承1の平面図におけるイメージングプレート13の幅方向の設置位置と一致させて示したものである。鉛プラグ入り積層ゴム支承1の平面図には、イメージングプレート13で取得されたX線撮影画像18に対応し、この鉛プラグ4に生じた損傷を示している。X線撮影画像18中、44は鉛プラグ4の像であり、45は鉛プラグ4の一方の側に生じた流動損傷15の像であり、46は鉛プラグ4の他方の側に生じた流動損傷16の像である。鉛プラグ4に生じた流動損傷15, 16は、積層体2の側面から鉛が突出する流動突出までには至らないが、鉛プラグ4に変状が生じているので、鉛プラグ4の性能が低下している。この鉛プラグ4の変状の形態を正確に特定するために、次のようにして、X線撮影画像18の歪修正処理を行う。

【0043】

まず、図4の平面図に示した各点の符号間の距離を、次のように設定する。

【数1】

$$L_1 = \overline{AC}$$

【数2】

$$L_2 = \overline{AB}$$

【数3】

$$L_3 = \overline{AD} = \overline{CE} = \overline{BK}$$

10

20

30

40

【数 4】

$$L_4 = \overline{KO}$$

【数 5】

$$L_5 = \overline{EF}$$

【数 6】

$$L_6 = \overline{OP} = \overline{OQ} = r$$

ここで、A は、X 線源 1 2 の焦点である。B は、X 線源 1 2 の焦点から、鉛プラグ入り積層ゴム支承 1 の X 線が入射する側面と平行に延ばした線と、検査対象の鉛プラグ 4 の中心 O から上記 X 線が入射する側面の法線方向に延ばした線との交点である。また、C は、X 線源 1 2 の焦点から、鉛プラグ入り積層ゴム支承 1 の X 線が入射する側面と平行に延ばした線と、イメージングプレート 1 3 が設置された鉛プラグ入り積層ゴム支承 1 の側面であって X 線が出射する側面を平行に延ばした線との交点である。また、D は、X 線源 1 2 の焦点 A から、鉛プラグ入り積層ゴム支承 1 の X 線が入射する側面へ法線方向に延ばした線の交点である。また、E は、鉛プラグ入り積層ゴム支承 1 の X 線が入射する側面と、イメージングプレート 1 3 が設置された鉛プラグ入り積層ゴム支承 1 の側面との交点である。また、F は、イメージングプレート 1 3 が設置された鉛プラグ入り積層ゴム支承 1 の側面において、イメージングプレート 1 3 の一端に相当する点である。また、G は、イメージングプレート 1 3 の検出面の幅方向において、イメージングプレート 1 3 に投射される鉛プラグ 4 の一方の流動損傷 1 5 の端を示す点である。また、H は、イメージングプレート 1 3 の検出面の幅方向において、鉛プラグ 4 の一方の側の境界を示す点である。また、I は、イメージングプレート 1 3 の検出面の幅方向において、鉛プラグ 4 の他方の側の境界を示す点である。また、J は、イメージングプレート 1 3 の検出面の幅方向において、イメージングプレート 1 3 に照射される鉛プラグ 4 の他方の流動損傷 1 6 の端を示す点である。また、K は、鉛プラグ入り積層ゴム支承 1 の X 線が入射する側面が平面視において現れる線と、検査対象の鉛プラグ 4 の中心 O から上記 X 線が入射する側面の法線方向に延ばした線との交点である。また、R は、イメージングプレート 1 3 に投射される鉛プラグ 4 の一方の流動損傷 1 5 の端を通る X 線と、鉛プラグ 4 の中心 O を通ってイメージングプレート 1 3 の検出面と平行な線との交点である。また、S は、イメージングプレート 1 3 に投射される鉛プラグ 4 の一方の側の境界を通る X 線と、鉛プラグ 4 の中心 O を通ってイメージングプレート 1 3 の検出面と平行な線との交点である。また、T は、一方の流動損傷 1 5 が生じた鉛プラグ 4 の側面と、鉛プラグ 4 の中心 O を通ってイメージングプレート 1 3 の検出面と平行な線との交点である。また、U は、他方の流動損傷 1 6 が生じた鉛プラグ 4 の側面と、鉛プラグ 4 の中心 O を通ってイメージングプレート 1 3 の検出面と平行な線との交点である。また、V は、イメージングプレート 1 3 に投射される鉛プラグ 4 の他方の側の境界を通る X 線と、鉛プラグ 4 の中心 O を通ってイメージングプレート 1 3 の検出面と平行な線との交点である。また、W は、イメージングプレート 1 3 に投射される鉛プラグ 4 の他方の流動損傷 1 6 の端を通る X 線と、鉛プラグ 4 の中心 O を通ってイメージングプレート 1 3 の検出面と平行な線との交点である。また、O は、鉛プラグ 4 の中心である。また、P は、イメージングプレート 1 3 に投射される鉛プラグ 4 の他方の側の境界を通る X 線と、鉛プラグ 4 の側面との接点である。また、Q は、イメージングプレート 1 3 に投射される鉛プラグ 4 の一方の側の境界を通る X 線と、鉛プラグ 4 の側面との接点である。また、r は鉛プラグ 4 の半径である。

【0 0 4 4】

上記イメージングプレート 1 3 で検出される X 線撮影画像 1 8 における一方の流動損傷 1 5 の像 4 5 の長さ L_{11} と、他方の流動損傷 1 6 の像 4 6 の長さ L_{12} は、図 4 に示された幾何学的関係に基づいて、次のように表される。

【数 7】

$$L_{11} = \overline{GH} = L_1 \times (\tan\theta_5 - \tan\theta_6)$$

【数 8】

$$L_{12} = \overline{IJ} = L_1 \times (\tan\theta_2 - \tan\theta_3)$$

ここで、

【数 9】

$$\theta_5 = \theta_4 - \theta_1$$

【数 10】

$$\theta_6 = \arctan((L_3 + L_5 + L_8)/L_1)$$

【数 11】

$$\theta_4 = \arccos(L_2/L_7)$$

である。また、

【数 12】

$$\theta_2 = \arctan(L_{10}/L_1)$$

【数 13】

$$\theta_3 = \theta_1 + \theta_4$$

【数 14】

$$\theta_1 = \arcsin(L_6/L_7)$$

である。また、

【数 15】

$$L_7 = \overline{AO} = \sqrt{L_2^2 + (L_3 + L_4)^2}$$

である。また、

【数 16】

$$L_{10} = \overline{CJ} = \overline{CE} + \overline{EF} + \overline{FG} + \overline{GJ}$$

【数 17】

$$L_9 = \overline{GJ}$$

【数 18】

$$L_8 = \overline{FG}$$

である。

【0045】

これらから、一方の流動損傷 15 が鉛プラグ 4 の側面から流動した流動長について、X線撮影画像 18 に投影された流動長から算出した第 1 流動長 L_{13} を、次の式により算出する。

【数 19】

$$L_{13} = \overline{RS} = \overline{GH} \times \overline{AB} / \overline{AC} = L_{11} \times L_2 / L_1$$

また、他方の流動損傷 16 が鉛プラグ 4 の側面から流動した流動長について、X線撮影画像 18 に投影された流動長から算出した第 2 流動長 L_{14} を、次の式により算出する。

【数 2 0】

$$L_{14} = \overline{VW} = \overline{IJ} \times \overline{AB} / \overline{AC} = L_{12} \times L_2 / L_1$$

さらに、これらの第 1 流動長 L_{13} 及び第 2 流動長 L_{14} は、傾斜方向からの投影により、流動長が過少に評価される傾向にある。そこで、下記のように、流動損傷 15, 16 を含めた全幅から鉛プラグ 4 の幅を差し引くことにより、上記第 1 及び第 2 流動長 L_{13} , L_{14} よりも高い精度の合計流動長 L_{15} を求めることができる。

【数 2 1】

$$L_{15} = \overline{RT} + \overline{UW} = (\overline{GJ} \times \overline{AB} / \overline{AC}) - (\overline{OP} \times 2) = (L_9 \times L_2 / L_1) - (L_6 \times 2)$$

【0 0 4 6】

このような歪修正処理により、鉛プラグ入り積層ゴム支承 1 に対する傾斜角度 θ_4 や、X 線源 12 及びイメージングプレート 13 の互いの間の距離や、鉛プラグ入り積層ゴム支承 1 と X 線源 12 との間の距離等に基づいて、X 線撮影画像における鉛プラグ 4 の寸法の歪みを修正し、実質的に実寸の鉛プラグ 4 の流動長である合計流動長 L_{15} を求めることができる。なお、第 1 及び第 2 流動長 L_{13} , L_{14} を流動長として採用してもよい。

【0 0 4 7】

上記歪修正処理を、鉛プラグ入り積層ゴム支承 1 の高さ方向の複数の断面に関して実行することにより、イメージングプレート 13 で取得された X 線撮影画像 18 の補正を行うことができる。

20

【0 0 4 8】

また、歪修正処理では、上述のように、X 線源 12 の X 線の照射角度と、X 線の照射経路と鉛プラグ入り積層ゴム支承 1 の構成部分との幾何学的関係に基づいて補正を行うほか、鉛プラグ入り積層ゴム支承 1 の構成部分が本来有する形状に基づいて、X 線撮影画像の補正を行う。図 5 A は、補正としての歪修正処理を行う前の鉛プラグ 4 の側部を示す X 線撮影画像であり、図 5 B は、補正としての歪修正処理を行った後の鉛プラグ 4 の側部を示す X 線撮影画像である。図 5 A に示すように、修正前の X 線撮影画像では、X 線源からの距離に伴って拡散することにより、積層体 2 の鋼板 41 の像の端部が、先端程狭まるテーパ状に映る。積層体 2 の鋼板 41 は、本来、厚みが均一に形成されているので、この鋼板 41 の本来の形状となるように、X 線撮影画像の歪みを修正する。具体的には、図 5 A の鋼板 41 の像のテーパ状の部分が、平行となるように、このテーパ状の部分を含む所定領域を变形させる。このように、X 線撮影画像を、X 線撮影画像中の部材の像の形状が、本来の形状となるように修正することにより、X 線撮影画像の歪みを効果的に修正することができる。こうして歪修正を行って補正した X 線撮影画像により、鉛プラグ 4 の検査が可能となる。例えば、図 5 B によれば、鉛プラグ 4 4 の側面に凹凸部 19 が形成されており、鉛の流動による損傷が生じていることが分かる。

30

【0 0 4 9】

上記 X 線撮影画像は、歪修正処理を行った後、合成処理を行うのが好ましい。鉛プラグ入り積層ゴム支承 1 は、積層体 2 内に複数の鋼板 8 が互いに平行に平面方向に延在しているので、積層体 2 の側面へ X 線が入射すると、X 線の中心軸 X a に対して積層体 2 の高さ方向へ離れた位置の鋼板 8 は、イメージングプレート 13 で取得された X 線撮影画像において、高さ方向に傾斜して投影された像が映る。そこで、本実施形態の金属プラグ入り積層ゴム支承の検査方法では、X 線源 12 による X 線の照射位置を、高さ方向に互いに異なる 5 つの位置に設定して X 線撮影画像を取得する。取得した 5 つの X 線撮影画像の夫々から、X 線の中心軸 X a に対応する高さの近傍の部分を取り出して、取り出した部分を組み合わせることで 1 つの X 線撮影画像を作成する。

40

【0 0 5 0】

図 6 A 乃至 6 E は、合成処理を行うために使用する X 線撮影画像である。図 6 A は、X 線の中心軸 X a が積層体 2 の上部に位置する X 線撮影画像であり、図 6 B は、X 線の中心軸 X a が積層体 2 の図 6 A よりも下方に位置する X 線撮影画像であり、図 6 C は、X 線の

50

中心軸 X a が積層体 2 の図 6 B よりも下方に位置する X 線撮影画像であり、図 6 D は、X 線の中心軸 X a が積層体 2 の図 6 C よりも下方に位置する X 線撮影画像であり、図 6 E は、X 線の中心軸 X a が積層体 2 の図 6 D よりも下方に位置する X 線撮影画像である。これらの X 線撮影画像の各々から、X 線の中心軸 X a に対応する高さの部分を、所定の高さに亘って抽出し、抽出した部分を順次高さ方向に配列すると、図 6 F のような X 線撮影画像が得られる。すなわち、図 6 A 乃至 6 E の X 線撮影画像から、高さ方向において歪みの少ない部分を抽出し、高さ方向に合成して、図 6 F の X 線撮影画像を作成する。図 6 G は、X 線を照射して X 線撮影画像を取得した鉛プラグ入り積層ゴム支承 1 を切断した様子を示す断面図である。図 6 F と図 6 G を比較すれば明らかなように、合成処理を行うことにより、鉛プラグ入り積層ゴム支承 1 の積層体 2 の内部を示す正確な X 線撮影画像が得られる。例えば、図 6 G 中の鉛プラグ 4 の流動部 20 は、図 6 F 中の鉛プラグ 44 の流動部 46 として鮮明に現れている。このように、合成処理は、異なる高さから X 線を照射して取得した X 線撮影画像を合成することにより、歪みの少ない鮮明な積層体 2 の X 線撮影画像を得ることができる。したがって、鉛プラグ 4 の形状を正確に把握して、正確な検査を行うことができる。なお、合成する X 線撮影画像は、高さ方向に異なる位置から積層体 2 に X 線を照射して得たもののほか、入射角度の異なる X 線を照射して得たものでもよい。

【 0 0 5 1 】

次に、以上のような歪修正処理や合成処理を行って得た X 線撮影画像に基づいて、鉛プラグ 4 に残存する減衰性能の評価を行う。図 7 は、鉛プラグ 4 の体積の減少に対する減衰性能の低下を示すグラフである。図 7 において、横軸は、変状前の鉛プラグの体積に対する変状後の鉛プラグの体積の比であり、縦軸は、変状前の鉛プラグの減衰性能に対する変状後の鉛プラグの減衰性能の比である。図 7 に示すように、鉛プラグの減衰性能と、体積との間には、相関関係がある。そこで、鉛プラグ 4 の変状に伴う体積の変化に基づいて、鉛プラグ 4 の減衰性能を特定することができる。具体的には、図 6 F に示すような X 線撮影画像から変状後の鉛プラグ 4 の体積を求め、この鉛プラグ 4 の製造当初の体積から変状後の体積の比の値を算出する。なお、図 6 F には、一つの方向から撮影した鉛プラグ 4 が現れているが、この鉛プラグ 4 を異なる方向から撮影した複数の X 線撮影画像を用いることにより、鉛プラグ 4 の流動突出量を正確に把握して、鉛プラグ 4 の変状後の体積を正確に求めることができる。特に、鉛プラグ 4 の全周方向の X 線撮影画像を用いることができれば、鉛プラグ 4 の変状後の体積を、更に正確に求めることができる。この鉛プラグ 4 の製造当初に対する体積の比の値を、図 7 のグラフに照らして、鉛プラグ 4 の製造当初の減衰性能に対する比を特定する。こうして特定された比に基づいて鉛プラグ 4 の減衰性能を特定し、鉛プラグ入り積層ゴム支承 1 に残存する性能を評価することができる。

【 0 0 5 2 】

このように、本実施形態の金属プラグ入り積層ゴム支承の検査方法によれば、鉛プラグ入り積層ゴム支承 1 が設置された原位置において、鉛プラグ入り積層ゴム支承 1 を破壊することなく非破壊で検査し、鉛プラグ 4 の変状を検出することができる。また、橋脚と橋桁の間に設置された鉛プラグ入り積層ゴム支承 1 は、検査のためのスペースが少ないこと等に起因して、イメージングプレート 13 に対して X 線源 12 の X 線の照射方向が傾斜しても、X 線撮影画像に歪修正処理や合成処理を行うことにより、鉛プラグ 4 の正確な検査を行うことができる。また、鉛プラグ 4 の体積に対する減衰性能の相関性を利用して、X 線撮影画像から求めた鉛プラグ 4 の体積の減少量から、鉛プラグ 4 の減衰性能の低下量を求めることができ、その結果、鉛プラグ入り積層ゴム支承 1 に残存する性能を、非破壊により評価することができる。

【 0 0 5 3 】

上記実施形態において、複数の X 線撮影画像を合成することにより、歪みの少ない X 線撮影画像を形成したが、これらの X 線撮影画像を撮影する場合、鉛プラグ入り積層ゴム支承 1 に、X 線撮影画像中に現れるマークを付しておくのが好ましい。こうして撮影された複数の X 線撮影画像を、X 線撮影画像中のマークの像を基準とすることにより、容易に合成することができる。

10

20

30

40

50

【 0 0 5 4 】

また、上記実施形態において、歪修正処理や合成処理に先立って、X線撮影画像の2値化を行ってもよい。鉛プラグ入り積層ゴム支承1は、X線が透過する距離が長いため、減衰が生じやすい。特に、積層体2を構成する板状ゴム7と鋼板8を透過する距離が、鉛プラグ4を透過する距離よりも長いため、板状ゴム7又は鋼板8に隣接する鉛プラグ4の像が不鮮明になりやすい。ここで、X線撮影画像の2値化を行うことにより、鉛プラグ4の像を鮮明にすることができ、その結果、鉛プラグ4の正確な検査を行うことができる。また、金属プラグ入り積層ゴム支承1を構成する部材に対するX線透過量は、積層体2の板状ゴム7が比較的多い一方、鋼板8及び鉛プラグ4が比較的少ない。したがって、X線撮影画像の2値化処理を行うことにより、積層体2の板状ゴム7と、鋼板8及び鉛プラグ4とを、鮮明に区別することができる。このように、金属プラグ入り積層ゴム支承1のX線撮影画像の鮮明化を行うためには、構成部材のX線透過性の違いにより、2値化処理が有効である。

10

【 0 0 5 5 】

また、上記実施形態では、金属プラグ入り積層ゴム支承として、鉛プラグ4を有する鉛プラグ入り積層ゴム支承1を検査する例を記載したが、例えば等々の他の材料で形成された金属プラグを有する金属プラグ入り積層ゴム支承であってもよい。本発明の検査方法及び性能判定方法は、ダンパー機能を有する種々の金属プラグを有する金属プラグ入り積層ゴム支承について、適用可能である。

【 0 0 5 6 】

また、本発明の検査方法は、地震や経年劣化により損傷が生じていることが想定される金属プラグ入り積層ゴム支承に限らず、あらゆる金属プラグ入り積層ゴム支承の現在の性能を判定するために適用可能である。例えば、設置後の経過時間が比較的短いにもかかわらず、金属プラグ入り積層ゴム支承の性能に疑義が生じた場合に、本発明の検査方法を適用することにより、金属プラグ入り積層ゴム支承が現在有する性能を判定することができる。

20

【 0 0 5 7 】

上記実施形態では、本発明を、道路橋に設置された鉛プラグ入り積層ゴム支承1に適用する場合について説明したが、道路橋に限らず、鉄道橋、人道橋又はパイプライン橋等の種々の橋梁の支承について本発明を適用することができる。また、本発明は、橋梁の支承に限らず、ビル等の建築物の基礎に設置される免振装置としての支承にも適用できる。また、プラントの構造物に設置される免振装置としての支承にも適用できる。

30

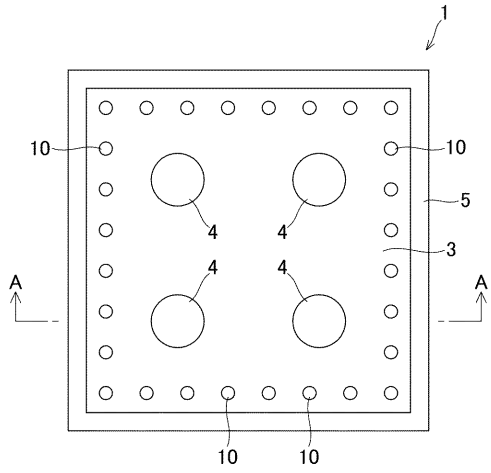
【 符号の説明 】

【 0 0 5 8 】

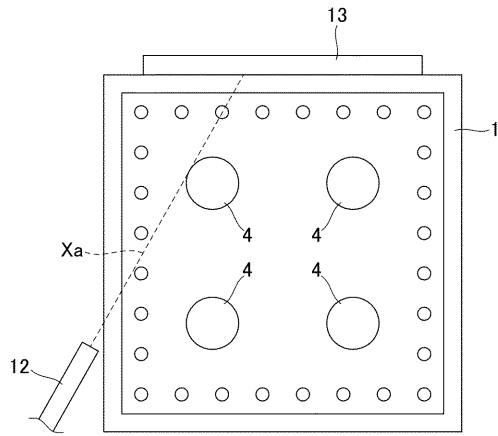
- 1 鉛プラグ入り積層ゴム支承
- 2 積層体
- 3 接続体
- 4 鉛プラグ
- 5 被覆ゴム
- 6
- 7 板状ゴム
- 8 鋼板
- 1 2 X線源
- 1 3 イメージングプレート
- 1 5 , 1 6 流動損傷
- 1 8 X線撮影画像

40

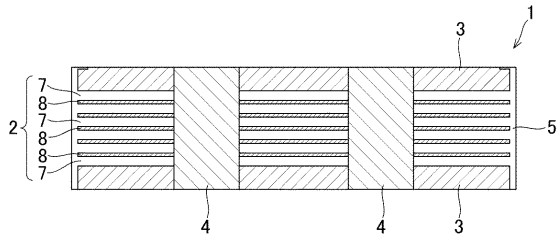
【図 1】



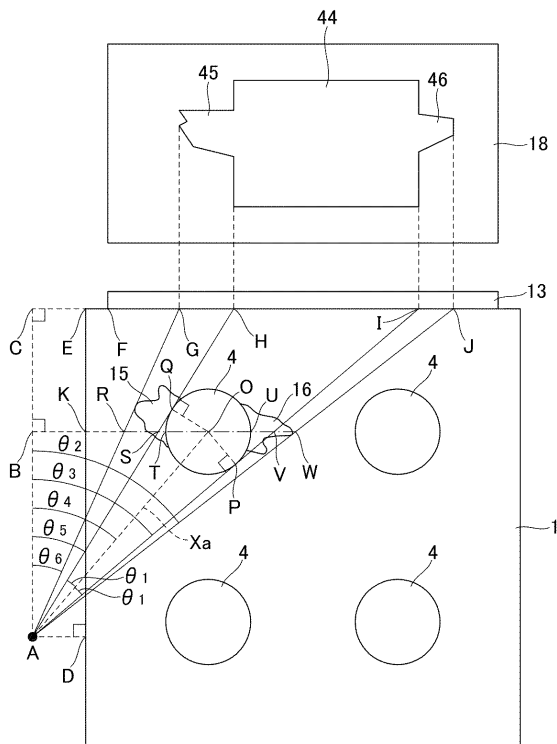
【図 3】



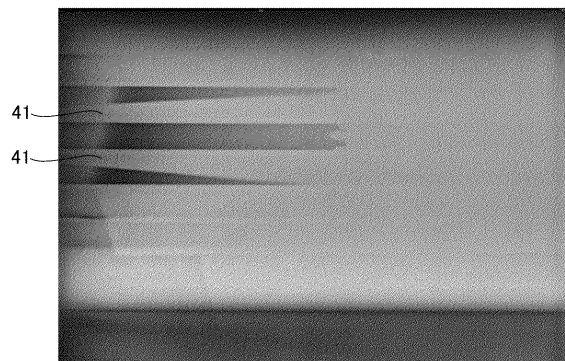
【図 2】



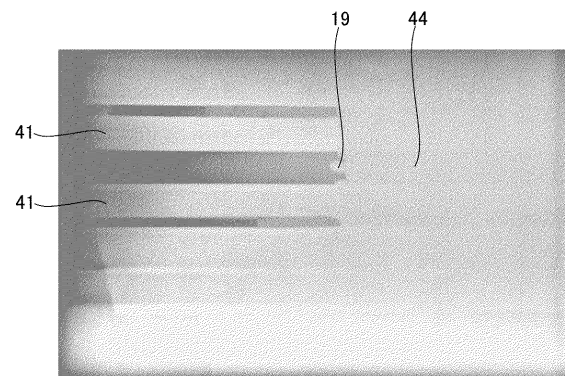
【図 4】



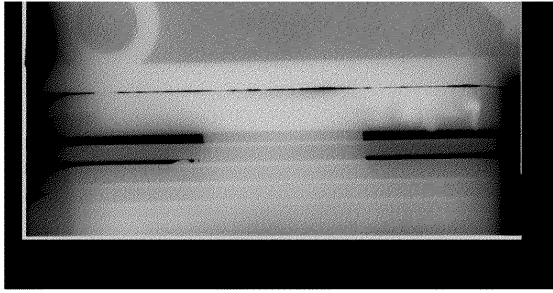
【図 5 A】



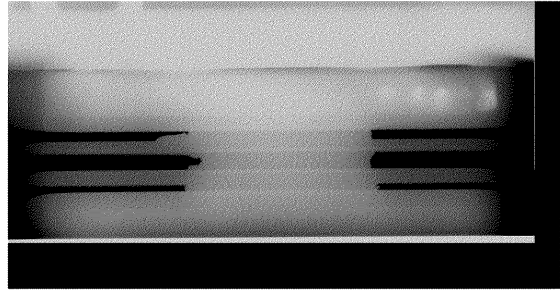
【図 5 B】



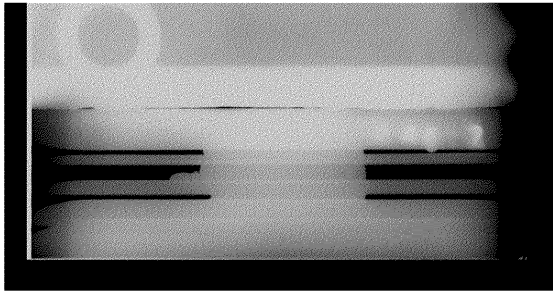
【図 6 A】



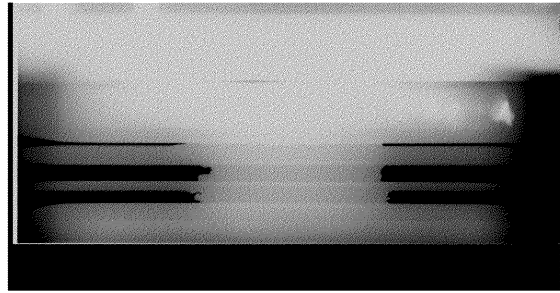
【図 6 C】



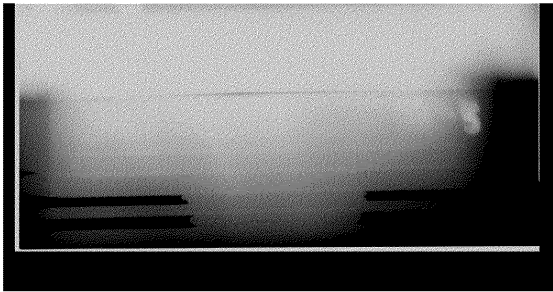
【図 6 B】



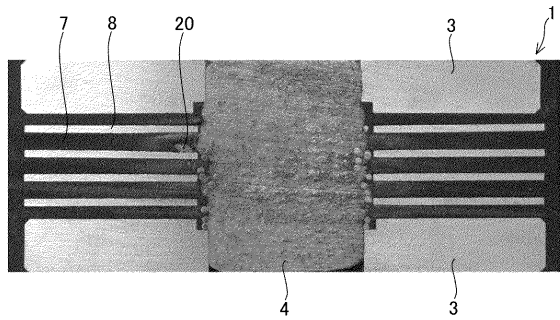
【図 6 D】



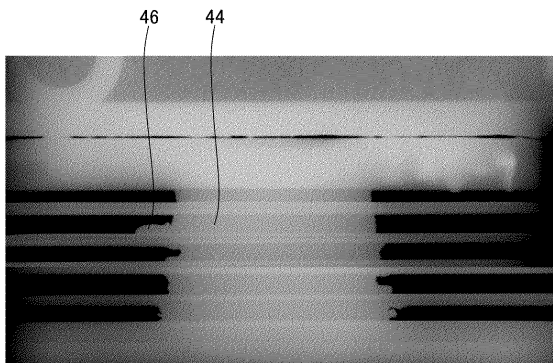
【図 6 E】



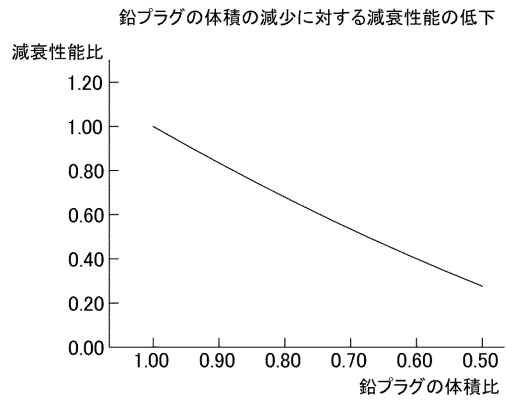
【図 6 G】



【図 6 F】



【図 7】



フロントページの続き

(73)特許権者 500271030

株式会社日本工業試験所
大阪府大阪市福島区鷺洲2丁目12番17号

(73)特許権者 509199007

株式会社川金コアテック
埼玉県川口市川口二丁目2番7号

(74)代理人 100138896

弁理士 森川 淳

(72)発明者 広瀬 剛

東京都町田市忠生1丁目4番1号 株式会社高速道路総合技術研究所内

(72)発明者 正木 英行

大阪府大阪市福島区鷺洲2丁目12番17号 株式会社日本工業試験所内

(72)発明者 山上 哲示

大阪府大阪市福島区鷺洲2丁目12番17号 株式会社日本工業試験所内

(72)発明者 河野 譲

大阪府大阪市福島区鷺洲2丁目12番17号 株式会社日本工業試験所内

(72)発明者 新名 裕

埼玉県川口市川口2丁目2番7号 株式会社川金コアテック内

審査官 佐藤 仁美

(56)参考文献 特開平10-197456(JP,A)

特開2001-033402(JP,A)

特開2009-109447(JP,A)

特開昭61-288187(JP,A)

特開2001-215201(JP,A)

国際公開第2016/006085(WO,A1)

特開2014-106113(JP,A)

国際公開第99/018428(WO,A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

IPC

G01N 23/00 - G01N 23/2276