

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7171389号
(P7171389)

(45)発行日 令和4年11月15日(2022. 11. 15)

(24)登録日 令和4年11月7日(2022. 11. 7)

(51)Int. Cl.

G 0 1 N 23/04 (2018. 01)

G 0 1 N 23/083 (2018. 01)

F I

G 0 1 N 23/04

G 0 1 N 23/083

請求項の数 7 (全 23 頁)

(21)出願番号	特願2018-221727(P2018-221727)	(73)特許権者	507194017
(22)出願日	平成30年11月27日(2018. 11. 27)		株式会社高速道路総合技術研究所
(65)公開番号	特開2020-85699(P2020-85699A)		東京都町田市忠生一丁目4番地1
(43)公開日	令和2年6月4日(2020. 6. 4)	(73)特許権者	505398941
審査請求日	令和3年9月2日(2021. 9. 2)		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
		(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
		(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
		最終頁に続く	

(54)【発明の名称】 積層ゴム支承の検査方法

(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向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積層ゴム支承の検査方法であって、

上記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線撮影画像中の上記金属プラグに関する変形部分の変形量と、この金属プラグに関する変形部分の先端と積層体の側面との間の距離とに基づいて、この支承の損傷度を判定することを特徴とする積層ゴム支承の検査方法。

【請求項2】

請求項1に記載の積層ゴム支承の検査方法において、

上記X線撮影画像中の上記金属プラグの当初の直径を D_p として、上記金属プラグに関する変形部分の変形量が $0.25D_p$ 以上であり、かつ、上記金属プラグに関する変形部分の先端と積層体の側面との間の距離が $0.25D_p$ 未満である場合と、上記金属プラグに関する変形部分の変形量が $0.50D_p$ 以上であり、かつ、上記金属プラグに関する変形部分の先端と積層体の側面との間の距離が $0.25D_p$ 以上 $0.50D_p$ 未満である場合と、上記金属プラグに関する変形部分の変形量が $0.75D_p$ 以上であり、かつ、上記金属プラグに関する変形部分の先端と積層体の側面との間の距離が $0.50D_p$ 以上 $0.75D_p$ 未満である場合に、上記積層ゴム支承の損傷度を大と判定することを特徴とする

積層ゴム支承の検査方法。

【請求項 3】

請求項 1 に記載の積層ゴム支承の検査方法において、

上記金属プラグに関する変形部分は、金属プラグの変形部分と、この金属プラグの変形部分に連なる積層体の変形部分とを含むことを特徴とする積層ゴム支承の検査方法。

【請求項 4】

請求項 1 に記載の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積層ゴム支承の検査方法。

【請求項 5】

請求項 1 に記載の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積層ゴム支承の検査方法。

【請求項 6】

請求項 1 に記載の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積層ゴム支承の検査方法。

【請求項 7】

請求項 1 に記載の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積層ゴム支承の検査方法。

【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積層ゴム支承を原位置で検査する検査方法に関する。

【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を有する積層ゴム支承や、積層体の内部に柱状の鉛プラグを貫通して配置された鉛プラグ入り積層ゴム支承が知られている。

【0003】

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、鉛プラグ入り積層ゴム支承は、上記積層ゴム支承の機能に加えて、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】

上記積層ゴム支承や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。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等がある。このような経年劣化は、地震時の復元力の減少や、地震力の低減効果の減少を招く。また、鉛プラグ入り積層ゴム支承の経年劣化としては、上記積層ゴム支承で生じる劣化に加えて、鉛プラグの損傷がある。この鉛プラグの損傷は、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の形態には、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

10

20

30

40

50

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。

【0006】

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

【0007】

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】

20

【0008】

【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】

【0009】

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

【0010】

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を確認するものであり、ゴムと鋼板の積層体内に鉛プラグを有しない積層ゴム支承については適用できない。

【0011】

そこで、本発明の課題は、橋梁やビル等に設置されている積層ゴム支承を、金属プラグの有無にかかわらず、原位置で検査することができる積層ゴム支承の検査方法を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

40

【0012】

上記課題を解決するため、本発明の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を備える積層ゴム支承の検査方法であって、

上記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線撮影画像中の上記積層体に現れた空隙に基づいて、この積層ゴム支承の損傷度を判定することを特徴としている。

【0013】

上記構成によれば、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

50

続される。したがって、積層体の内部は、この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、本発明の積層ゴム支承の検査方法は、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、積層ゴム支承を取り外してX線CT装置まで運搬する必要が無い。また、従来のX線CT装置を用いた検査方法のように、積層ゴム支承を変形させる必要が無く、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積層体の内部の検査を行うことができる。

【0014】

10

また、上記構成によれば、X線撮影画像中の積層体に現れた空隙に基づいて、上記支承の損傷度を判定する。積層ゴム支承の積層体に現れる空隙は、積層体に生じた変位により生じた板状ゴムと鋼板との間の接着の破壊や、板状ゴムの破壊等に起因して生じる。また、積層体内に金属プラグが設けられている場合、板状ゴムと鋼板との間の接着の破壊や板状ゴムの破壊のほか、金属プラグの変形に起因して積層体に空隙が生じる。そこで、X線撮影画像中の上記積層体に現れた空隙に基づくことにより、積層ゴム支承の損傷度を容易かつ効果的に判定することができる。ここで、本発明は、上記積層体の内部に金属プラグが設けられた積層ゴム支承についても、適用することができる。

【0015】

また、上記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。

20

【0016】

一実施形態の積層ゴム支承の検査方法は、上記X線撮影画像中の上記積層体に現れた空隙は、上記板状ゴムと鋼板との間に存在する空隙を映したものである。

【0017】

上記実施形態によれば、積層ゴム支承の変形に起因して、積層体の板状ゴムと鋼板との間の接着が破壊され、この板状ゴムと鋼板との間に空隙が形成される場合がある。そこで、X線撮影画像中の積層体の空隙を探索することにより、積層体の板状ゴムと鋼板との接着の破壊を発見し、積層ゴム支承の損傷度を容易に判定することができる。

【0018】

30

一実施形態の積層ゴム支承の検査方法は、上記X線撮影画像中の上記積層体に現れた空隙は、上記板状ゴムに存在する空隙を映したものである。

【0019】

上記実施形態によれば、積層ゴム支承の変形に起因して、積層体の板状ゴムが破損し、この板状ゴム内に空隙が形成される場合がある。そこで、X線撮影画像中の積層体の空隙を探索することにより、積層体の板状ゴムの破損を発見し、積層ゴム支承の損傷度を容易に判定することができる。

【0020】

一実施形態の積層ゴム支承の検査方法は、上記X線撮影画像中の上記積層体に空隙が存在しない場合に、上記積層ゴム支承の損傷度を零と判定し、上記X線撮影画像中の上記積層体に空隙が存在する場合に、上記積層ゴム支承の損傷度を大と判定する。

40

【0021】

上記実施形態によれば、積層体に現れる空隙は、板状ゴムと鋼板との間の接着の破壊や、板状ゴムの破壊等に起因して生じ、これらの破壊に至った事象は積層体の性能に大きな悪影響を与える。したがって、X線撮影画像中の積層体に空隙が存在しない場合に積層ゴム支承の損傷度を零と判定し、X線撮影画像中の積層体に空隙が存在する場合に積層ゴム支承の損傷度を大と判定することにより、積層ゴム支承の健全性を適切に評価することができる。

【0022】

本発明の他の側面による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

50

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向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積層ゴム支承の検査方法であって、

上記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線撮影画像中の上記金属プラグに関する変形部分の変形量と、この金属プラグに関する変形部分の先端と積層体の側面との間の距離とに基づいて、この支承の損傷度を判定することを特徴としている。

【0023】

上記構成によれば、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、積層体の内部は、この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、本発明の積層ゴム支承の検査方法は、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、積層ゴム支承を取り外してX線CT装置まで運搬する必要が無い。また、従来のX線CT装置を用いた検査方法のように、積層ゴム支承を変形させる必要が無く、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積層体の内部の検査を行うことができる。

【0024】

また、積層ゴム支承において、内部に金属プラグが設けられた積層体は、積層体の変形に伴って金属プラグが変形する。したがって、積層体の損傷は、多くの場合、金属プラグから発生して進行するので、金属プラグに関する変形部分の先端と、積層体との側面との間の距離は、積層体の破損度に関連性がある。そこで、X線撮影画像中の金属プラグに関連する変形部分の変形量と、この金属プラグに関する変形部分の先端と積層体の側面との間の距離とに基づくことにより、積層ゴム支承の損傷度を、容易かつ適切に判定することができる。ここで、金属プラグに関する変形部分とは、金属プラグのみが変形する場合は、金属プラグの変形部分をいう。一方、金属プラグと共に、この金属プラグに接する積層体の部分の変形する場合は、金属プラグの変形部分と、この金属プラグに接する積層体の部分の変形部分とを合わせた部分をいう。

【0025】

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ことができるが、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。

【0026】

一実施形態の積層ゴム支承の検査方法は、上記X線撮影画像中の上記金属プラグの当初の直径を D_p として、上記金属プラグに関する変形部分の変形量が $0.25D_p$ 以上であり、かつ、上記金属プラグに関する変形部分の先端と積層体の側面との間の距離が $0.25D_p$ 未満である場合と、上記金属プラグに関する変形部分の変形量が $0.50D_p$ 以上であり、かつ、上記金属プラグに関する変形部分の先端と積層体の側面との間の距離が $0.25D_p$ 以上 $0.50D_p$ 未満である場合と、上記金属プラグに関する変形部分の変形量が $0.75D_p$ 以上であり、かつ、上記金属プラグに関する変形部分の先端と積層体の側面との間の距離が $0.50D_p$ 以上 $0.75D_p$ 未満である場合に、上記積層ゴム支承の損傷度を大と判定する。

【0027】

積層体中に金属プラグが設けられた積層ゴム支承では、積層体の損傷が進行すると、金属プラグが側方に向かって変形し、この金属プラグの変形に伴って積層体の板状ゴムを破壊する。積層体の損傷がさらに進行すると、板状ゴムを破壊して側方に変位した金属プラグの部分が、積層体の側面から突出し、これにより金属プラグ本体の体積が減少してダンパー機能が低下して、積層体の性能が大幅に損なわれる。そこで、上記実施形態によれば

、金属プラグに関する変形部分の変形量と、金属プラグに関する変形部分の先端と積層体の側面との間の距離との関係を、金属プラグの当初の直径 D_p を用いて表し、これらが所定の関係を満たす場合に積層ゴム支承の損傷度を大と判定することにより、積層ゴム支承の損傷度を簡易かつ適切に評価することができる。

【0028】

一実施形態の積層ゴム支承の検査方法は、上記金属プラグに関する変形部分は、金属プラグの変形部分と、この金属プラグの変形部分に連なる積層体の変形部分とを含む。

【0029】

上記実施形態によれば、積層体の損傷が進むに伴い、金属プラグが変形すると共に、この金属プラグの変形部分に連なる積層体の変形する。したがって、金属プラグの変形部分と、この金属プラグの変形部分に連なる積層体の変形部分とを含めて金属プラグに関する変形部分とすることにより、積層ゴム支承の損傷度を正確に評価することができる。

10

【0030】

一実施形態の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／又は入射角度に応じて補正するものである。

【0031】

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／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、積層体の検査を正確に行うことができる。また、積層ゴム支承が、積層体内に金属プラグを有する場合に、積層体内の金属プラグの様子を正確に把握することができる。ここで、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／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／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。

20

【0032】

一実施形態の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。

【0033】

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、積層体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。

30

【0034】

一実施形態の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／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。

40

【0035】

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／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、積層体の内部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、積層体の内部の様子を正確に撮像することができ、積層ゴム支承の正確な検査を行うことができる。

【0036】

一実施形態の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。

【0037】

50

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線撮影画像中の積層体の像を鮮明にすることができる。したがって、積層体中の空隙や、積層体中の金属プラグについて、様子を正確に把握することができる。ここで、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小さい。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。

【図面の簡単な説明】

【0038】

【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。

10

【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。

【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。

20

【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。

【図7A】積層ゴム支承の積層体を撮影したX線撮影画像である。

【図7B】図7AのX線撮影画像に含まれる積層ゴム支承の構成部分の輪郭を重ねて示した画像である。

30

【図8A】積層ゴム支承の積層体を撮影したX線撮影画像である。

【図8B】図8AのX線撮影画像に含まれる積層ゴム支承の構成部分の輪郭を重ねて示した画像である。

【図9A】他の積層ゴム支承の積層体を撮影したX線撮影画像である。

【図9B】図9AのX線撮影画像に含まれる積層ゴム支承の構成部分の輪郭を重ねて示した画像である。

【図10】積層ゴム支承の平面方向の断面を模式的に示した図である。

【図11】積層ゴム支承の損傷度の判定に用いるグラフである。

【発明を実施するための形態】

【0039】

40

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。

【0040】

図1は、実施形態の検査方法を適用する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。

【0041】

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、板状ゴム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

50

加された高減衰ゴムで構成されてもよい。

【0042】

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の鋼板8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。

【0043】

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。

【0044】

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。

【0045】

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。

【0046】

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。

【0047】

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。

【0048】

10

20

30

40

50

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。

10

【0049】

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。

20

【0050】

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。

30

【0051】

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。

【0052】

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($\pi/2 - \theta_4$)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。以下、鉛プラグ4の流動損傷15、16の像45、46を、単に変形部分という。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

40

50

に変形が生じているので、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。

【0053】

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】

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

【数4】

$$L_4 = \overline{KO}$$

【数5】

$$L_5 = \overline{EF}$$

【数6】

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

20

ここで、Aは、X線源12の焦点である。Bは、X線源12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12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13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12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13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13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13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13の検出面の幅方向において、イメージングプレート13に投射される鉛プラグ4の一方の流動損傷15の端を示す点である。また、Hは、イメージングプレート13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13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13の検出面の幅方向において、イメージングプレート13に照射される鉛プラグ4の他方の流動損傷16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13に投射される鉛プラグ4の一方の流動損傷15の端を通るX線と、鉛プラグ4の中心Oを通過してイメージングプレート13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13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を通過してイメージングプレート13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15が生じた鉛プラグ4の側面と、鉛プラグ4の中心Oを通過してイメージングプレート13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16が生じた鉛プラグ4の側面と、鉛プラグ4の中心Oを通過してイメージングプレート13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13に投射される鉛プラグ4の

30

40

50

他方の側の境界を通るX線と、鉛プラグ4の中心Oを通過してイメージングプレート13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13に投射される鉛プラグ4の他方の流動損傷16の端を通るX線と、鉛プラグ4の中心Oを通過してイメージングプレート13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13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13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。

【0054】

上記イメージングプレート13で検出されるX線撮影画像18における一方の流動損傷15に対応する変形部分45の長さ L_{11} と、他方の流動損傷16に対応する変形部分46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。

10

【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】

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

20

【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】

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

30

【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】

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

40

【数17】

$$L_9 = \overline{GJ}$$

【数 1 8】

$$L_8 = \overline{FG}$$

である。

【0 0 5 5】

これらから、一方の流動損傷 1 5 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 1 8 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 1 9】

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

また、他方の流動損傷 1 6 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 1 8 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 1 5、1 6 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 5 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 1 2 及びイメージングプレート 1 3 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 1 2 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 5 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 1 3 で取得された X 線撮影画像 1 8 の補正を行うことができる。

【0 0 5 8】

また、歪修正処理では、上述のように、X 線源 1 2 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 4 1 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 4 1 は、本来、厚みが均一に形成されているので、この鋼板 4 1 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 4 1 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変形させる。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 1 9 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。

【0 0 5 9】

30

40

50

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Xa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Xa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1つのX線撮影画像を作成する。

【0060】

図6A乃至6E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6Aは、X線の中心軸Xaが積層体2の上部に位置するX線撮影画像であり、図6Bは、X線の中心軸Xaが積層体2の図6Aよりも下方に位置するX線撮影画像であり、図6Cは、X線の中心軸Xaが積層体2の図6Bよりも下方に位置するX線撮影画像であり、図6Dは、X線の中心軸Xaが積層体2の図6Cよりも下方に位置するX線撮影画像であり、図6Eは、X線の中心軸Xaが積層体2の図6D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Xaに対応する高さの部分、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6FのようなX線撮影画像が得られる。すなわち、図6A乃至6E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6FのX線撮影画像を作成する。図6G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6Fと図6G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6G中の鉛プラグ4の流動部20は、図6F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。

【0061】

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、積層ゴム支承の損傷度の判定を行う。図7Aは、判定対象の積層ゴム支承の積層体を撮影して得られたX線撮影画像の一部であり、図7Bは、図7AのX線撮影画像中に含まれる積層ゴム支承の構成部分の輪郭を重ねて示した画像である。

【0062】

図7AのX線撮影画像の積層体は、一方の接統体53と、図示しない他方の接統体との間に、板状ゴム57と鋼板58を交互に積層して形成されたものであり、金属プラグが設けられていない積層ゴム支承に用いられている。図7Bに示すように、この積層体のX線撮影画像には、板状ゴム57と鋼板58との間の空隙60と、板状ゴム57の空隙61が現れている。板状ゴム57と鋼板58との間の空隙60は、積層体が受けたせん断力により、板状ゴム57と鋼板58の間の接着が破壊され、剥離して発生したものと想定される。また、板状ゴム57の空隙61は、積層体が受けたせん断力が、板状ゴム57に、この板状ゴム57の一方の面に接着された鋼板58と、上記板状ゴム57の他方の面に接着された接統体53から作用することにより、この板状ゴム57が破壊され、空隙が形成されて発生したものと想定される。このように、板状ゴム57と鋼板58又は接統体53の間の接着が破壊され、また、板状ゴム57が破壊されると、積層体のせん断方向の変形のしやすさが増大するため、積層ゴム支承のせん断変形に関する性能が低下する。したがって、図7AのようにX線撮影画像の積層体に空隙60、61が存在する場合、積層ゴム支承の損傷度を大と判定する。損傷度が大と判定された積層ゴム支承については、例えば積層ゴム支承に作用する水平力を分担する部材を追加する等の力学的対策の実行や、積層ゴム支

承の交換等の措置を行う。一方、X線撮影画像の積層体に空隙が存在しない場合は、積層体のせん断方向の変形のし易さに変化が無いとして、損傷度を零と判定する。

【0063】

このように、積層ゴム支承を撮影したX線撮影画像を用いて、この積層ゴム支承の積層体に空隙60、61が現れたときに積層ゴム支承の損傷度が大きいと判定することにより、外観では健全性が不明の積層ゴム支承についても、損傷度を適切に判定することができる。したがって、積層ゴム支承が地震時に減衰機能を発揮しない等の不都合を、未然に防止することができる。

【0064】

なお、上記実施形態では、積層ゴム支承のX線撮影画像中の積層体に、空隙60、61が現れたときに積層ゴム支承の損傷度が大きいと判定したが、空隙60、61の位置と大きさに基づいて、損傷度を判定してもよい。

【0065】

また、上記実施形態では、板状ゴム57と鋼板58を交互に積層して形成された積層体内に金属プラグの無い積層ゴム支承の積層体について損傷度を判定したが、金属プラグを有する積層ゴム支承の積層体についても、空隙に基づいて損傷度を判定することができる。

【0066】

次に、積層体中に金属プラグを有する積層ゴム支承について、X線撮影画像に基づいて損傷度の判定を行う場合について説明する。図8Aは、判定対象の積層ゴム支承の積層体を撮影して得られたX線撮影画像の一部であり、図8Bは、図8AのX線撮影画像中に含まれる積層ゴム支承の構成部分の輪郭を重ねて示した画像である。

【0067】

判定対象の積層ゴム支承は、積層体内に金属プラグとしての鉛プラグが配置されている。図8Aは、この積層ゴム支承を撮影したX線撮影画像のうち、鉛プラグの損傷部分とその周辺部分を取り出したものである。図8Bに示すように、X線撮影画像には、積層体の主鋼板78と、主鋼板78の間に配置された副鋼板79と、鉛プラグ74と、板状ゴム77が現れている。主鋼板78は、積層体の横断面の略全部を占めるように配置されている一方、副鋼板79は、積層体の横断面の一部であって鉛プラグ74を取り囲む領域に配置されている。鉛プラグ74は、製造時には、主鋼板78と副鋼板79と板状ゴム77を貫通する貫通孔に挿入された柱状の形状を有していた。この積層体は、図8Aに示すように、鉛プラグ74が、副鋼板79の下側面に沿って側方に変形し、この鉛プラグ74の変形部分80の先端の板状ゴム77中に、空隙81が現れている。この積層ゴム支承の積層体は、次のような過程を経て損傷に至ったと想定される。すなわち、地震や温度に起因して積層ゴム支承の積層体がせん断変形し、これにより鉛プラグ74と板状ゴム77の間に空隙が発生する。この鉛プラグ74と板状ゴム77の間の空隙に、鉛プラグ74の鉛が流動して入り込み、もとの柱状の形状から突出したような変形部分80が形成される。

【0068】

図9Aは、判定対象としての他の積層ゴム支承の積層体を撮影して得られたX線撮影画像の一部であり、図9Bは、図9AのX線撮影画像中に含まれる積層ゴム支承の構成部分の輪郭を重ねて示した画像である。

【0069】

この積層ゴム支承は、積層体内に金属プラグとしての鉛プラグが配置されており、図9Aは、この積層ゴム支承を撮影したX線撮影画像のうち、鉛プラグの損傷部分とその周辺部分を取り出したものである。図9Bに示すように、X線撮影画像には、積層体の主鋼板88と、主鋼板88の間に配置された副鋼板89と、鉛プラグ84と、板状ゴム87が現れている。鉛プラグ84は、製造時には、主鋼板88と副鋼板89と板状ゴム87を貫通する貫通孔に挿入された柱状の形状を有していた。この積層体は、図9Aに示すように、製造時には主鋼板88と平行であった副鋼板89が傾斜し、この副鋼板89の下側面に沿って鉛プラグ84が側方に変形している。この鉛プラグ84の変形部分90の下側から先

端にわたって、板状ゴム 87 中に空隙 91 が現れている。この積層ゴム支承の積層体は、次のような過程を経て損傷に至ったと想定される。すなわち、地震や温度に起因して積層ゴム支承の積層体がせん断変形し、これにより鉛プラグ 84 と板状ゴム 87 の間と、副鋼板 89 と板状ゴム 87 の間に空隙が発生する。これらの空隙に、鉛プラグ 84 の鉛が流動して入り込み、もとの柱状の形状から突出したような変形部分 90 が形成される。

【0070】

このような鉛プラグ 74, 84 の変形と板状ゴム 77, 87 の空隙 81, 91 が現れた X 線撮影画像に基づいて、次のようにして積層ゴム支承の損傷度を判定する。

【0071】

図 10 は、積層ゴム支承の平面方向の断面を模式的に示した図であり、積層ゴム支承の損傷度の判定のために用いるパラメータに相当する箇所を、模式的に示した図である。図 10 に示すように、積層ゴム支承の損傷度を判定するために、鉛プラグ 102 の製造時の直径 D_p と、鉛プラグ 102 に関する変形部分 103 の長さ B_p を特定する。また、鉛プラグ 102 に関する変形部分 103 の先端と、この変形部分 103 の先端側の積層体 100 の側面との間の距離 C_r を特定する。上記鉛プラグ 102 に関する変形部分 103 とは、鉛プラグ 102 の変形部分と、ゴム 101 の変形部分とを合わせた部分である。また、上記鉛プラグ 102 に関する変形部分 103 の先端とは、変形部分 103 の、積層体 100 の側面に最も近い部分をいう。また、ゴム 101 は、積層体の厚み方向に積層された板状ゴムと、積層体の側面に設けられた被覆ゴムとを含む。

【0072】

図 10 のように特定されたパラメータの値を、次の表 1 に示す損傷度判定表に照らして、積層ゴム支承の損傷度を判定する。表 1 中、鉛プラグの損傷寸法 B_p は、上記鉛プラグ 102 に関する変形部分の長さ B_p である。また、鉛プラグのかぶり C_r は、鉛プラグ 102 に関する変形部分の先端と、この変形部分の先端側の積層体 100 の側面との間の距離 C_r である。これらの鉛プラグの損傷寸法 B_p と、鉛プラグのかぶり C_r は、鉛プラグ 102 の製造時の直径 D_p で規定した値を用いる。

【表 1】

鉛プラグの 損傷寸法 B_p 鉛プラグの かぶり C_r	0.25 D_p 未満	0.25 D_p 以上 0.50 D_p 未満	0.50 D_p 以上 0.75 D_p 未満	0.75 D_p 以上 1.00 D_p 未満	1.00 D_p 以上
1.00 D_p 以上	無し	小	中	中	中
0.75 D_p 以上 1.00 D_p 未満	無し	小	中	中	中
0.50 D_p 以上 0.75 D_p 未満	小	中	中	大	大
0.25 D_p 以上 0.50 D_p 未満	小	中	大	大	大
0.25 D_p 未満	対象外	大	大	大	大

【0073】

図 11 は、表 1 の損傷度判定表を、鉛プラグの損傷寸法 B_p を横軸に、鉛プラグのかぶり C_r を縦軸として示したグラフである。表 1 の損傷度判定表及び図 11 の損傷度判定グラフに示すように、鉛プラグ 102 の損傷寸法 B_p が 0.25 D_p 未満であり、かつ、鉛プラグ 102 のかぶり C_r が 0.75 D_p 以上である場合、積層ゴム支承の損傷は無いと判定する。一方、鉛プラグ 102 の損傷寸法 B_p が 0.25 D_p 未満であり、かつ、鉛プラグ 102 のかぶり C_r が 0.25 D_p 以上 0.75 D_p 未満である場合と、鉛プラグ 1

10

20

50

02の損傷寸法 B_p が $0.25D_p$ 以上 $0.50D_p$ 未満であり、かつ、鉛プラグ102のかぶり C_r が $0.75D_p$ 以上である場合、積層ゴム支承の損傷は小と判定する。一方、鉛プラグ102の損傷寸法 B_p が $0.25D_p$ 以上 $0.50D_p$ 未満であり、かつ、鉛プラグ102のかぶり C_r が $0.25D_p$ 以上 $0.75D_p$ 未満である場合と、鉛プラグ102の損傷寸法 B_p が $0.50D_p$ 以上 $0.75D_p$ 未満であり、かつ、鉛プラグ102のかぶり C_r が $0.50D_p$ 以上である場合と、鉛プラグ102の損傷寸法 B_p が $0.75D_p$ 以上 $1.00D_p$ 未満であり、かつ、鉛プラグ102のかぶり C_r が $0.75D_p$ 以上である場合と、鉛プラグ102の損傷寸法 B_p が $1.00D_p$ 以上であり、かつ、鉛プラグ102のかぶり C_r が $0.75D_p$ 以上である場合に、積層ゴム支承の損傷は中と判定する。一方、鉛プラグ102の損傷寸法 B_p が $0.25D_p$ 以上 $0.50D_p$ 未満であり、かつ、鉛プラグ102のかぶり C_r が $0.25D_p$ 未満である場合と、鉛プラグ102の損傷寸法 B_p が $0.50D_p$ 以上 $0.75D_p$ 未満であり、かつ、鉛プラグ102のかぶり C_r が $0.50D_p$ 未満である場合と、鉛プラグ102の損傷寸法 B_p が $0.75D_p$ 以上 $1.00D_p$ 未満であり、かつ、鉛プラグ102のかぶり C_r が $0.75D_p$ 未満である場合と、鉛プラグ102の損傷寸法 B_p が $1.00D_p$ 以上であり、かつ、鉛プラグ102のかぶり C_r が $0.75D_p$ 未満である場合に、積層ゴム支承の損傷は大と判定する。

【0074】

上記鉛プラグの損傷度判定表及び損傷度判定グラフは、鉛プラグ入り積層ゴム支承が次のような過程を経て損傷することに基づいている。すなわち、地震や温度に起因して積層ゴム支承の積層体100が変形すると、板状ゴムと鉛プラグ102との間の接着や、板状ゴムと鋼板との間の接着が破壊される。これにより、板状ゴムと鉛プラグ102の間や、板状ゴムと鋼板との間や、板状ゴムの内部に空隙が生じる。積層体100の変形が進むと、上記空隙に鉛プラグ102の鉛が流動して入り込み、鉛プラグ102のものと柱状の表面から突出した変形部分が形成される。積層体100の変形が更に進むと、板状ゴムの損傷が更に進み、これにより鉛プラグ102の鉛の流動が更に増加する。鉛の流動が増加すると、積層体100の側面の被覆ゴムを破壊し、積層体100の側面から外部へ鉛が流出する。これにより、鉛プラグ102本体の鉛の量が減少し、積層ゴム支承の減衰性能が著しく減少する。このような積層体100からの鉛の流出の過程に至ると、積層ゴム支承が破壊状態に達する。このような積層ゴム支承の破壊の過程において、鉛プラグ102の突出が $0.25D_p$ 未満であれば、鉛プラグ入り積層ゴム支承の減衰機能に大きな低下が生じない。一方、鉛プラグ102のかぶり C_r が $0.50D_p$ 未満であると、鉛プラグ102の変形による鉛の流出の可能性が高まり、鉛プラグ入り積層ゴム支承の減衰機能が減少する危険性が高まる。このような鉛プラグ102の損傷寸法 B_p と鉛プラグ102のかぶり C_r について、表1の損傷度判定表を作成することができる。

【0075】

図8B及び図9BのX線撮影画像に基づき、鉛プラグ74、84の損傷寸法と、鉛プラグ74、84のかぶりを特定し、これらを表1の損傷度判定表に照らすことにより、鉛プラグ入り積層ゴム支承の損傷度を判定する。鉛プラグ74、84の損傷寸法とかぶりは、鉛プラグ入り積層ゴム支承の製造時の図面や、X線撮影画像を撮影した際の光源の位置や、イメージングプレート13の位置や、X線の入射角度に基づいて特定する。また、図9Bに示すように、X線撮影画像中に現れたマーカーの像93の画像中の位置と、鉛プラグ入り積層ゴム支承におけるマーカーの配置位置とに基づいて、X線撮影画像中の各部の寸法を算出し、鉛プラグ74、84の損傷寸法とかぶりを特定する。ここで、図8Bの画像においては、鉛プラグ74の損傷寸法は、変形前の鉛プラグ74の表面と、変形部分80及び空隙81のうちの最も先端の位置との間の距離である。また、図9Bの画像においては、鉛プラグ84の損傷寸法は、変形前の鉛プラグ84の表面と、変形部分90及び空隙91のうちの最も先端の位置との間の距離である。このようにして特定した鉛プラグ74、84の損傷寸法と、鉛プラグ74、84のかぶりを、表1の損傷度判定表に照らすことにより、鉛プラグ入り積層ゴム支承の損傷度を判定することができる。

【0076】

鉛プラグ入り積層ゴム支承の損傷度が無いと判定された場合は、措置は不要である。一方、損傷度が小と判定された場合は、鉛プラグ102の鉛の積層体100からの流出が懸念されるため、経過観察を行う。一方、損傷度が中と判定された場合は、鉛プラグ102の鉛の積層体100からの流出が強く懸念されるため、対策を検討する。一方、損傷度が大と判定された場合は、鉛プラグ102の鉛が積層体100から流出する恐れがあるため、鉛プラグ入り積層ゴム支承に作用するせん断力を低減するための力学的対策を実行することや、鉛プラグ入り積層ゴム支承を交換すること等の措置を行う。

【0077】

このように、本実施形態の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のX線撮影画像に基づいて、鉛プラグ74、84の損傷寸法とかぶりを特定し、損傷度判定表に照らすことにより、外観からは不明の鉛プラグ入り積層ゴム支承についても、損傷度を適切に判定することができる。したがって、鉛プラグ入り積層ゴム支承が地震時に減衰機能を発揮しない等の不都合を、未然に防止することができる。

10

【0078】

以上のように、上記各実施形態の積層ゴム支承の検査方法によれば、積層ゴム支承1が設置された原位置において、積層ゴム支承1を破壊することなく非破壊で検査し、積層体2、100や鉛プラグ4、44、74、84、102の変形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、積層体2、100や鉛プラグ4、44、74、84、102の正確な検査を行うことができる。また、X線撮影画像に現れた積層体2、100中の空隙60、61に基づくことにより、積層体2、100の外観からは不明の損傷度を非破壊で判定することができる。また、X線撮影画像に現れた積層体2、100中の鉛プラグ74、84の損傷寸法 B_p と、鉛プラグ74、84のかぶり C_r に基づくことにより、積層体2、100の外観からは不明の損傷度を非破壊で判定することができる。その結果、積層ゴム支承1に対して適切な措置を行うことができる。

20

【0079】

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。

30

【0080】

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。積層ゴム支承は、X線が透過する距離が長いため、減衰が生じやすい。特に、鉛プラグ入り積層ゴム支承1は、積層体2、100を構成する板状ゴム7、57、77、87と鋼板8、41、58、78、79、88、89を透過する距離が、鉛プラグ4、44、74、84、102を透過する距離よりも長いため、板状ゴム7、57、77、87又は鋼板8、41、58、78、79、88、89に隣接する鉛プラグ4、44、74、84、102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、44、74、84、102の像を鮮明にすることができ、その結果、鉛プラグ4、44、74、84、102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、100の板状ゴム7、57、77、87が比較的多い一方、鋼板8、41、58、78、79、88、89及び鉛プラグ4、44、74、84、102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、100の板状ゴム7、57、77、87と、鋼板8、41、58、78、79、88、89及び鉛プラグ4、44、74、84、102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

40

50

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。

【００８１】

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、４４、７４、８４、１０２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、例えばばすず等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。

【００８２】

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。

10

【００８３】

以上、実施形態を通じて本発明を説明したが、本発明の要旨を逸脱しない範囲で種々の変更が可能であり、本発明の技術的範囲は上記実施形態に限定されない。

【符号の説明】

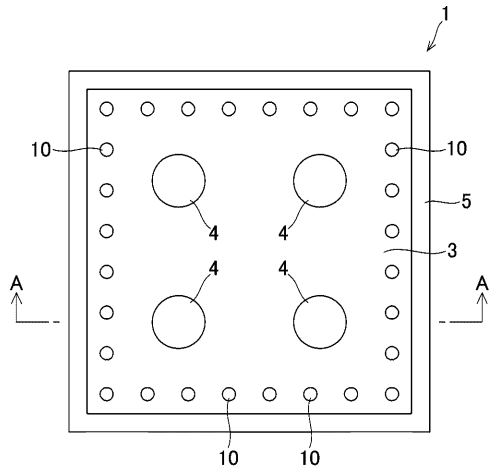
【００８４】

- １ 鉛プラグ入り積層ゴム支承
- ２、１００ 積層体
- ３ 接続体
- ４、４４、７４、８４、１０２ 鉛プラグ
- ５ 被覆ゴム
- ７、５７、７７、８７ 板状ゴム
- ８、４１、５８、７８、７９、８８、８９ 鋼板
- １２ X線源
- １３ イメージングプレート
- １５、１６ 流動損傷
- １８ X線撮影画像
- １９、４５、４６、８０、９０ 鉛プラグの変形部分
- ６０、６１、８１、９１ 空隙

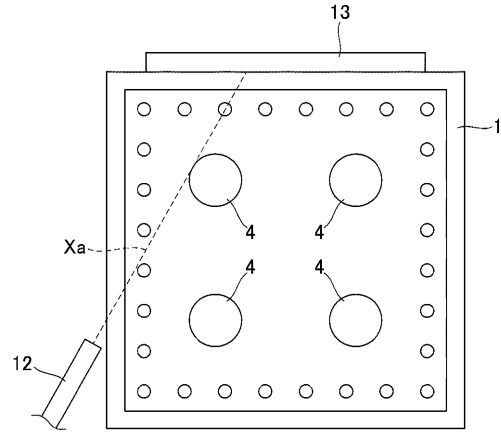
20

30

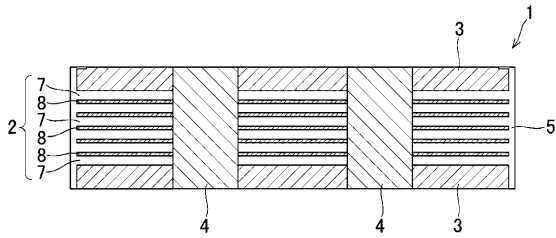
【図 1】



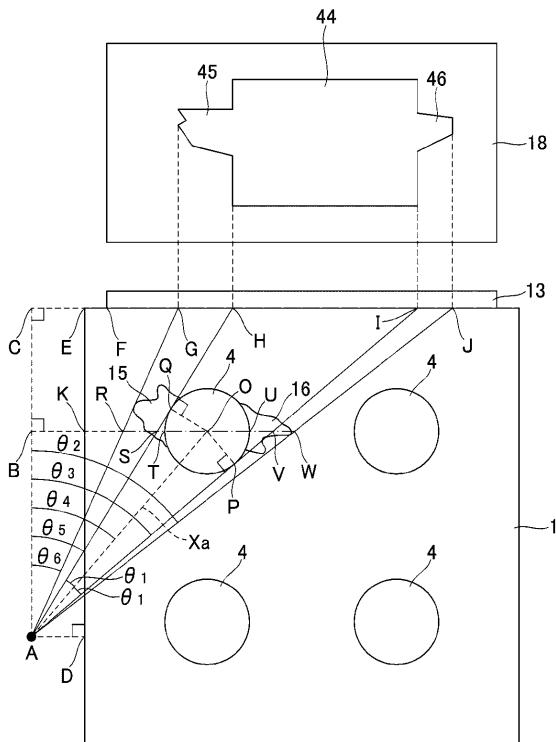
【図 3】



【図 2】



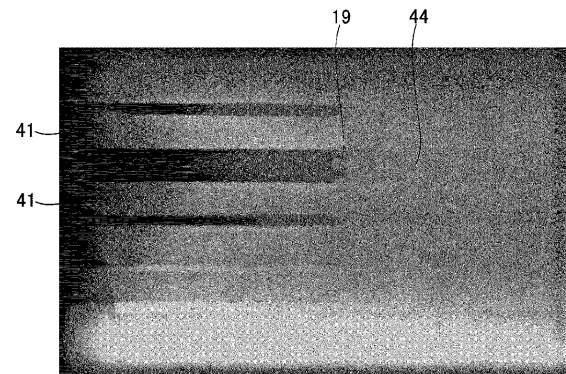
【図 4】



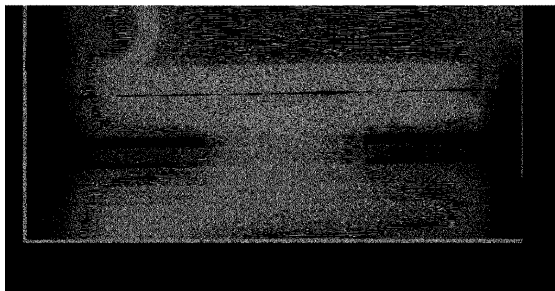
【図 5 A】



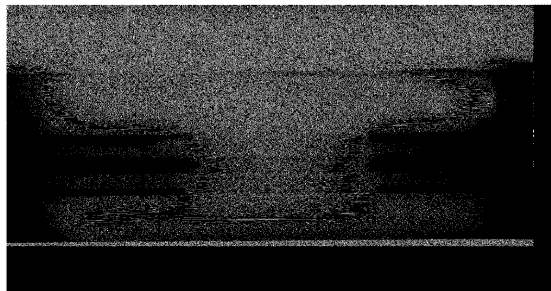
【図 5 B】



【図 6 A】



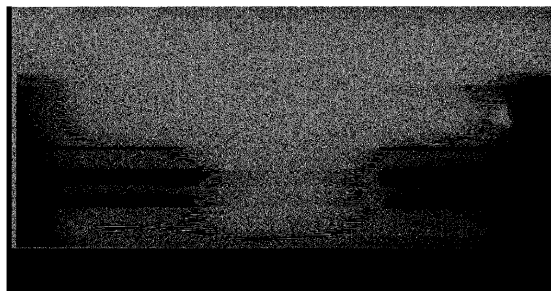
【図 6 C】



【図 6 B】

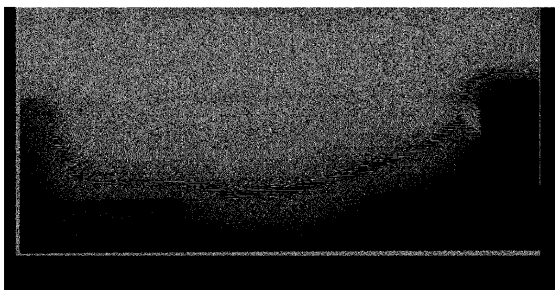


【図 6 D】

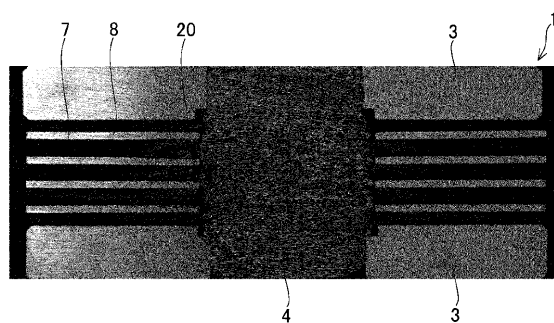


10

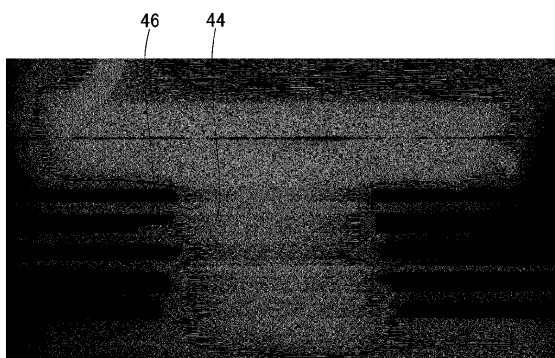
【図 6 E】



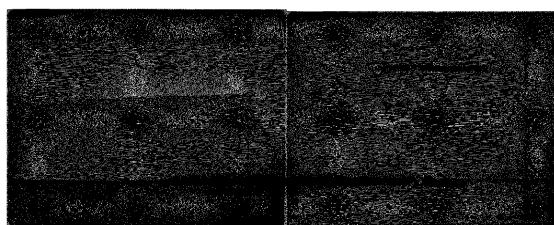
【図 6 G】



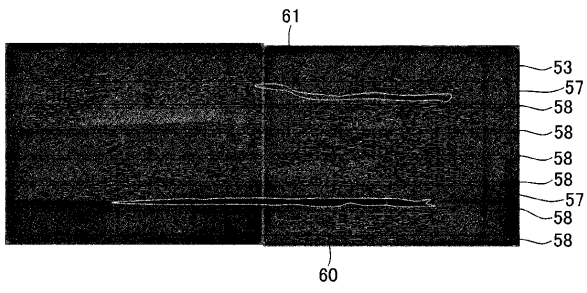
【図 6 F】



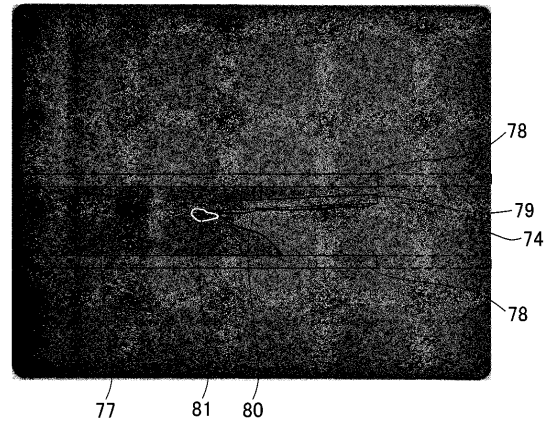
【図 7 A】



【図 7 B】



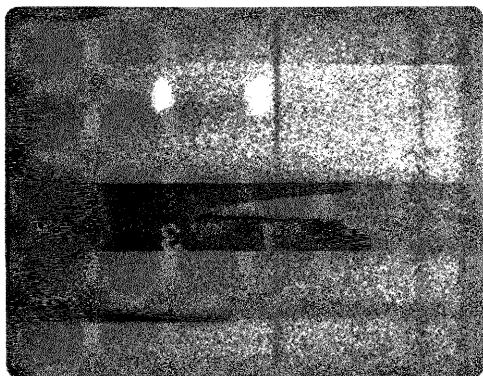
【図 8 B】



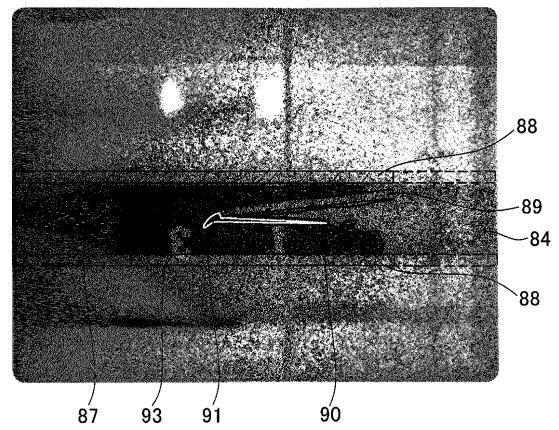
【図 8 A】



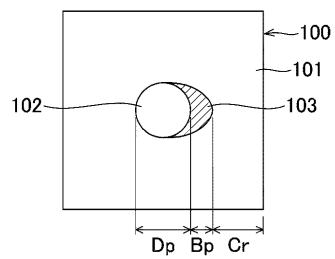
【図 9 A】



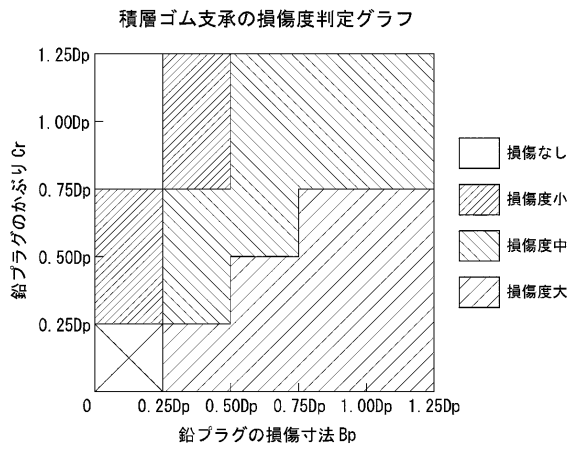
【図 9 B】



【図 1 0】



【図 1 1】



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 稲荷 優太郎
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 越柴 洋哉

- (56)参考文献 特開2001-033402 (JP, A)
特開2003-035683 (JP, A)
特開昭54-066191 (JP, A)
特開平10-141433 (JP, A)
特開2018-200256 (JP, A)
中国実用新案第2687655 (CN, Y)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
G01N 23/00 - G01N 23/2276
G01B 15/00 - G01B 15/08
JSTPlus/JMEDPlus/JST7580 (JDreamII)