

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4102296号
(P4102296)

(45) 発行日 平成20年6月18日(2008.6.18)

(24) 登録日 平成20年3月28日(2008.3.28)

(51) Int. Cl. F I
GO 1 N 27/20 (2006.01) GO 1 N 27/20 A
GO 1 N 27/00 (2006.01) GO 1 N 27/00 L

請求項の数 9 (全 21 頁)

(21) 出願番号	特願2003-422392 (P2003-422392)	(73) 特許権者	000173784
(22) 出願日	平成15年12月19日(2003.12.19)		財団法人鉄道総合技術研究所
(65) 公開番号	特開2005-181108 (P2005-181108A)		東京都国分寺市光町2丁目8番地38
(43) 公開日	平成17年7月7日(2005.7.7)	(74) 代理人	100104064
審査請求日	平成18年3月9日(2006.3.9)		弁理士 大熊 岳人
		(72) 発明者	田中 誠
			東京都国分寺市光町二丁目8番地38 財
			団法人鉄道総合技術研究所内
		(72) 発明者	江成 孝文
			東京都国分寺市光町二丁目8番地38 財
			団法人鉄道総合技術研究所内
		審査官	田中 洋介

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 亀裂監視材及び亀裂監視システム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

亀裂を検出する亀裂発生検出部とこの亀裂発生検出部が検出した亀裂の進展を検出する亀裂進展検出部とを、この亀裂の発生が予測される監視対象物の表面に重ねて形成し、この監視対象物の亀裂の発生及びこの亀裂の進展を監視する亀裂監視材であって、

前記亀裂発生検出部は、

前記亀裂の発生に応じて電気抵抗が変化する亀裂発生検出用導電層と、

前記亀裂発生検出用導電層に電流を流す亀裂発生検出用電極層とを備え、

前記亀裂進展検出部は、

前記亀裂の進展に応じて電気抵抗が変化する亀裂進展検出用導電層と、

前記亀裂進展検出用導電層に電流を流す亀裂進展検出用電極層とを備え、

前記亀裂発生検出用導電層及び前記亀裂進展検出用導電層は、前記監視対象物に発生が予測される亀裂の起点側に長辺側が位置するように、導電性塗料を塗布して帯状に形成されており、

前記亀裂発生検出用導電層は、前記亀裂進展検出用導電層よりも幅が狭く形成されていること、

を特徴とする亀裂監視材。

【請求項2】

請求項1に記載の亀裂監視材において、

前記亀裂進展検出部は、前記亀裂の発生した位置を検出すること、

を特徴とする亀裂監視材。

【請求項 3】

請求項 1 又は請求項 2 に記載の亀裂監視材において、

前記亀裂進展検出用導電層は、前記監視対象物に許容される亀裂長さに応じた幅に形成されていること、

を特徴とする亀裂監視材。

【請求項 4】

請求項 1 から請求項 3 までのいずれか 1 項に記載の亀裂監視材において、

前記亀裂進展検出用導電層は、前記亀裂進展検出用電極層によって複数の監視領域に区画されており、この亀裂進展検出用導電層の長さ方向の隣接する一対の前記亀裂進展検出用電極層によって一つの監視領域が形成されていること、

を特徴とする亀裂監視材。

10

【請求項 5】

亀裂の発生及びこの亀裂の進展を監視する亀裂監視システムであって、

請求項 1 から請求項 4 までのいずれか 1 項に記載の亀裂監視材と、

前記亀裂発生検出用導電層及び前記亀裂進展検出用導電層の通電状態を測定する通電状態測定部と、

前記通電状態測定部の測定結果に基づいて前記監視対象物に発生する亀裂を評価する評価部と、

を備える亀裂監視システム。

20

【請求項 6】

請求項 5 に記載の亀裂監視システムにおいて、

前記通電状態測定部は、前記亀裂進展検出用電極層によって前記亀裂進展検出用導電層が複数の監視領域に区画されているときに、前記監視領域毎に通電状態を測定し、

前記評価部は、前記監視領域毎に通電状態の測定結果に基づいて亀裂の発生した監視領域を特定すること、

を特徴とする亀裂監視システム。

【請求項 7】

請求項 5 又は請求項 6 に記載の亀裂監視システムにおいて、

前記通電状態測定部の測定結果を補正する補正部を備え、

前記評価部は、補正後の測定結果に基づいて前記亀裂を評価すること、

を特徴とする亀裂監視システム。

30

【請求項 8】

請求項 7 に記載の亀裂監視システムにおいて、

前記通電状態測定部は、前記亀裂進展検出用電極層によって前記亀裂進展検出用導電層が複数の監視領域に区画されているときに、前記監視領域毎に通電状態を測定し、

前記補正部は、前記亀裂進展検出用導電層に亀裂が発生したときに、亀裂の発生していない監視領域の通電状態の測定結果に基づいて、亀裂の発生した監視領域の通電状態の測定結果を補正すること、

を特徴とする亀裂監視システム。

40

【請求項 9】

請求項 7 又は請求項 8 に記載の亀裂監視システムにおいて、

前記通電状態測定部は、前記亀裂進展検出用電極層によって前記亀裂進展検出用導電層が複数の監視領域に区画されているときに、隣接する 2 つの前記監視領域毎に通電状態を測定し、

前記補正部は、前記亀裂進展検出用電極層に亀裂が発生したときに、亀裂の発生していない前記亀裂進展検出用電極層を含む隣接する 2 つの監視領域の通電状態の測定結果に基づいて、亀裂の発生した前記亀裂進展検出用電極層を含む隣接する 2 つの監視領域の通電状態の測定結果を補正すること、

を特徴とする亀裂監視システム。

50

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

この発明は、亀裂の発生が予測される監視対象物の表面に形成され、この監視対象物の亀裂の発生及びこの亀裂の進展を監視する亀裂監視材、並びに亀裂の発生及びこの亀裂の進展を監視する亀裂監視システムに関する。

【背景技術】

【0002】

鋼構造物には、繰り返し荷重を受けることで引張荷重のかかる部位に疲労亀裂が発生したり、接合部のリベットやボルトの緩みや脱落などの重大変状が発生したりする。このような重大変状が構造物の耐力に影響するほどの大きさに成長すると構造物の破壊に至るため、変状部位別に許容される変状程度を超えるおそれがある場合には補修や補強のための工事が行われている。鋼構造物の重大変状は、通常の状態では複数年かけて進展するため変状発生時に直ちに補修や補強を行う必要はない。また、変状の中には進展が途中で止まる場合もあるため、補修や補強の必要性を判定するためには変状発生後の進展を監視する必要がある。

【0003】

【表1】

種別	事象	程度
接合力低下	主桁添接リベット・ボルトの緩み若しくは破断	一群の30%
	縦桁と横桁の連結リベット・ボルトの弛み若しくは破断	一群の30%
疲労亀裂	シユー本体の割れ	全断面破断
	主桁フランジ、縦桁・横桁引張り側フランジの亀裂	20mm
	主桁フランジビード部、縦桁・横桁引張り側フランジビード部の亀裂	40mm
	主桁、縦桁、横桁の腹板補剛材下端の亀裂	40mm
	主桁、縦桁、横桁の腹板ランジの亀裂	100mm
	縦桁、横桁切欠部からの亀裂	鉛直方向で10mm
	トラフガーダーの軌条フランジの亀裂	破断
	主桁、縦桁、横桁のカバープレートのビードの亀裂	150mm 又はフランジへ貫通
沈下	支点不等沈下 (トラフガーダー、上路プレートガーダー、合成桁)	15mm
	支点不等沈下 (下路プレートガーダー、トラス)	25mm

【0004】

表1は、鋼構造物に発生する重大変状として直ちに補修や補強が必要になる場合の例である。例えば、表1に示すように、主桁フランジ、縦桁、横桁引張り側フランジの亀裂は20mmに達した場合には、直ちに補修や補強が必要な状態であると判定される。ここで、表1に示す一群とは、継手を構成する一枚の母材に用いられるリベット又はボルトの全体を意味する。重大変状は、リベットやボルトの緩みや破断による接合力の低下、部材の疲労亀裂による破断強度の低下、地盤沈下による構造物全体の変位による走行安定性の低下に大きく分けられる。疲労亀裂は、繰り返し荷重の載荷時に引っ張り力が作用する部位に発生するため、発生箇所は構造形式によってある程度想定できる。また、発生した亀裂の構造物に与える影響が部位で異なることが知られている。

【0005】

鋼構造物の検査には、2年を超えない範囲で行われる定期検査と、地震などの異常時に大きな荷重を受けた場合に行われる不定期検査と、定期検査などで異常が想定された場合に実施される詳細検査とがある。定期検査と不定期検査は、巡回による検査通路からの目視検査が主体であり、この目視検査では亀裂の発生が想定される箇所に近接して防食塗膜の破断箇所を目視で観察する。鋼材の亀裂発生に伴う塗膜破断は、応力集中箇所と想定される部位から直線的に成長しているため、他の塗膜破断原因と容易に区別することができる。また、過去の経験から鋼材の疲労亀裂時に防食塗膜が破断に至ることが知られている。リベットやボルトの破断は、接合部が観察できれば双眼鏡などを用いて容易に見る

ことができる。リベットやボルトの緩みは、これらの周りの塗膜の破断状況を近接して観察し、ハンマーなどで叩き音の変化を確認する打音検査によって発見することができる。一方、詳細検査は、検査目的によって異なるが検査のために足場の架設を伴うことがある。巡回による目視によって変状が発見されるのは検査通路に近い部位のみであり、多くの場合には足場を架設して接近観察が必要になるが、足場の架設には多くの費用が必要になる。このため、緊急性の高い詳細検査以外では、10～15年毎に実施されている塗替え塗装工事の塗装足場を活用して検査されている。

【0006】

従来の亀裂検知方法には、超音波式や磁粉探傷式による亀裂検知と長さの計測方法がある。この方法では、極めて小さい亀裂の発見と長さの高精度な評価は可能であるが、従来の目視による検査で亀裂が発見された後に近接して測定することになるため、亀裂の発見の目的に適さないとともに、目視による観察以上の高精度な計測の必要性も少ない。また、従来の亀裂検知方法には、鋼構造物に加わる繰返し応力を素子によってモニタして疲労寿命を予測する方法がある。この方法では、構造物の適当な箇所に設置した素子に加わる繰返し応力をモニタし、使用鋼材の経験的に知られる破壊までの繰返し数によってマイナー則を用いて期間を予測することができる。しかし、この方法では、亀裂の発生時期の確定や亀裂の成長に関する情報が得られず、構造物に補修や補強が必要であるか否かを判定することができず、補修や補強の時期も知ることができない。さらに、従来の亀裂検知方法には、鋼構造物の電気抵抗などの特性変化から亀裂の発生と進展を検知する方法がある。この方法では、鋼構造物自体の電気特性の変化をモニタして、鋼材の抵抗値の変化から亀裂の発生を求めることができる。しかし、この方法では、鋼材自体の抵抗が極めて低い

10

20

【0007】

近年、導電性薄膜を構造物に配置しこの構造物に亀裂が発生したときにこの導電性薄膜が破断することで亀裂を検知する方法が提案されている。例えば、従来の亀裂検知材（従来技術1）は、防水性を有する絶縁塗料をトンネルの壁面に塗布して形成された下地層と、線状模様の電気回路を形成するように下地層の表面に導電性塗料を塗布して形成された導電層と、下地層と同様の絶縁塗料を導電層及び下地層に塗布して形成されこれらを被覆する保護層とを備えている（特許文献1参照）。このような従来の亀裂検知材では、壁面にひび割れが発生して異常が発生するとこの異常箇所の周辺が剥離して導電層が断線し導電層が非通電状態になるため、センサが導電層の非通電状態を検出して壁面の異常を検出することができる。

30

【0008】

【特許文献1】特開2001-201477号公報（段落番号0010～0015及び図2）

【0009】

また、従来の亀裂検知材（従来技術2）は、加工対象物や試験片に取り付けられる誘電体層と、この誘電体層に亀裂が発生し進展したときに破壊される抵抗層と、この抵抗層の表面に形成されこの抵抗層に電流を流す2つの湾曲状の電極とを備える（特許文献2参照）。このような従来の亀裂検知材では、亀裂の進展方向に対して略均一な感度を有するように電極層が湾曲状に形成されているため、2つの電極間の抵抗値の変化から亀裂の成長を評価することができる。

40

【0010】

【特許文献2】特開平11-094787号公報（段落番号0021～0048及び図1）

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0011】

近年、塗装周期（塗替え塗装周期）の延伸と無塗装構造物の登場という2つの環境の変化が鋼構造物におきている。高耐久型塗装系の導入により塗替え塗装周期が30年ほどに延

50

伸しているため、塗装足場を活用した近接による検査では検査期間が長期化している。また、耐候性鋼の採用による無塗装化により塗装足場の活用が期待できなくなっている。このため、このような環境の変化により検査のためだけの足場の架設が将来必要になり、足場の架設によって検査費用が増大してしまう問題がある。

【0012】

また、従来技術1では、マスキングテープなどを使用して下地層、導電層及び保護層を塗装する必要があるため、作業が困難で手間がかかるとともに、亀裂の発生を検知することはできるが亀裂の成長を評価することができないという問題がある。さらに、従来技術2では、2つの湾曲状の電極の中心に亀裂が発生するようにこれらの電極を配置する必要があり、亀裂の発生箇所を正確に予測できない場合には、亀裂の発生前に電極を配置することができないという問題がある。

10

【0013】

この発明の課題は、検査費用を節減し検査の確実性を向上させ現場施工が容易であり検知機能を長時間維持することができる亀裂監視材及び亀裂監視システムを提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0014】

この発明は、以下に記載するような解決手段により、前記課題を解決する。

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

20

請求項1の発明は、亀裂(C₁)を検出する亀裂発生検出部(5)とこの亀裂発生検出部が検出した亀裂の進展を検出する亀裂進展検出部(4)とを、この亀裂の発生が予測される監視対象物(1)の表面(1b)に重ねて形成し、この監視対象物の亀裂の発生及びこの亀裂の進展を監視する亀裂監視材であって、前記亀裂発生検出部は、前記亀裂の発生に応じて電気抵抗が変化する亀裂発生検出用導電層(5a)と、前記亀裂発生検出用導電層に電流を流す亀裂発生検出用電極層(5b, 5c)とを備え、前記亀裂進展検出部は、前記亀裂の進展に応じて電気抵抗が変化する亀裂進展検出用導電層(4a)と、前記亀裂進展検出用導電層に電流を流す亀裂進展検出用電極層(4c~4f)とを備え、前記亀裂発生検出用導電層及び前記亀裂進展検出用導電層は、前記監視対象物に発生が予測される亀裂の起点側に長辺側が位置するように、導電性塗料を塗布して帯状に形成されており、前記亀裂発生検出用導電層は、前記亀裂進展検出用導電層よりも幅が狭く形成されていることを特徴とする亀裂監視材(3)である。

30

【0015】

請求項2の発明は、請求項1に記載の亀裂監視材において、前記亀裂進展検出部は、前記亀裂の発生した位置を検出することを特徴とする亀裂監視材である。

【0016】

請求項3の発明は、請求項1又は請求項2に記載の亀裂監視材において、前記亀裂進展検出用導電層は、前記監視対象物に許容される亀裂長さに応じた幅に形成されていることを特徴とする亀裂監視材である。

【0017】

請求項4の発明は、請求項1から請求項3までのいずれか1項に記載の亀裂監視材において、前記亀裂進展検出用導電層は、前記亀裂進展検出用電極層によって複数の監視領域(A₁~A₃)に区画されており、この亀裂進展検出用導電層の長さ方向の隣接する一対の前記亀裂進展検出用電極層によって一つの監視領域が形成されていることを特徴とする亀裂監視材である。

40

【0018】

請求項5の発明は、亀裂(C₁)の発生及びこの亀裂の進展を監視する亀裂監視システムであって、請求項1から請求項4までのいずれか1項に記載の亀裂監視材(3)と、前記亀裂発生検出用導電層(5a)及び前記亀裂進展検出用導電層(4a)の通電状態を測定(S110, S150, S180~S200, S250, S280~S300)する通

50

電状態測定部(9)と、前記通電状態測定部の測定結果に基づいて前記監視対象物(1)に発生する亀裂を評価(S170, S210, S230, S270)する評価部(11)とを備える亀裂監視システム(2)である。

【0019】

請求項6の発明は、請求項5に記載の亀裂監視システムにおいて、前記通電状態測定部は、前記亀裂進展検出用電極層によって前記亀裂進展検出用導電層が複数の監視領域(A₁~A₃)に区画されているときに、前記監視領域毎に通電状態を測定(S150)し、前記評価部は、前記監視領域毎に通電状態の測定結果に基づいて亀裂の発生した監視領域を特定(S170)することを特徴とする亀裂監視システムである。

【0020】

請求項7の発明は、請求項5又は請求項6に記載の亀裂監視システムにおいて、前記通電状態測定部の測定結果を補正(S200, S300)する補正部(12)を備え、前記評価部は、補正後の測定結果に基づいて前記亀裂を評価(S210, S230)することを特徴とする亀裂監視システムである。

【0021】

請求項8の発明は、請求項7に記載の亀裂監視システムにおいて、前記通電状態測定部は、前記亀裂進展検出用電極層によって前記亀裂進展検出用導電層が複数の監視領域に区画されているときに、前記監視領域毎に通電状態を測定(S150)し、前記補正部は、前記亀裂進展検出用導電層(4a)に亀裂が発生したときに、亀裂の発生していない監視領域(A₂, A₃)の通電状態の測定結果に基づいて、亀裂の発生した監視領域(A₁)の通電状態の測定結果を補正(S200)することを特徴とする亀裂監視システムである。

【0022】

請求項9の発明は、請求項7又は請求項8に記載の亀裂監視システムにおいて、前記通電状態測定部は、前記亀裂進展検出用電極層によって前記亀裂進展検出用導電層が複数の監視領域に区画されているときに、隣接する2つの前記監視領域(A₁, A₂; A₂, A₃)毎に通電状態を測定(S250)し、前記補正部は、前記亀裂進展検出用電極層(4d)に亀裂が発生したときに、亀裂の発生していない前記亀裂進展検出用電極層(4e)を含む隣接する2つの監視領域(A₂, A₃)の通電状態の測定結果に基づいて、亀裂の発生した前記亀裂進展検出用電極層(4d)を含む隣接する2つの監視領域(A₁, A₂)の通電状態の測定結果を補正(S300)することを特徴とする亀裂監視システムである。

【発明の効果】

【0027】

この発明によると、検査費用を節減し検査の確実性を向上させ現場施工が容易であり検知機能を長時間維持することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0028】

以下、図面を参照して、この発明の実施形態について詳しく説明する。

図1は、この発明の実施形態に係る亀裂監視システムによって監視される鋼構造物に亀裂が発生した状態を示す斜視図であり、図1(A)は主桁下フランジに亀裂が発生した状態を示し、図1(B)は腹板に亀裂が発生した状態を示し、図1(C)は主桁切欠部から亀裂が発生した状態を示す。

【0029】

図1に示す鋼構造物1は、鋼材によって構成された固定構造物である。鋼構造物1は、例えば、鉄道車両が走行する線路の下部に空間を確保し列車の荷重を支持する橋梁である。鋼構造物1は、図1に示すように、鋼板と山形鋼とを溶接などによって接合してI形の桁に組み立てた主桁1aを備えており、この主桁1aは主桁1aの下部板を形成する下フランジ1bと、主桁1aの上部板を構成する上フランジ1cと、下フランジ1bと上フランジ1cとを結合する腹板1dと、主桁1aのせん断力による座屈を防止する中間補剛材1eと、主桁1aの一部を切り欠いて形成した切欠部1fなどから構成されている。例えば、図1(A)に示す鋼構造物1には、主桁1aの長さ方向の略中間における下フランジ

10

20

30

40

50

1 bの縁部から亀裂 C_1 が発生しており、下フランジ1 bと腹板1 dとが接合する接合部から亀裂 C_2 、 C_3 が発生している。図1(B)に示す鋼構造物1には、腹板1 dと中間補剛材1 eとが接合する接合部から腹板1 dに亀裂 C_4 、 C_5 が発生している。図1(C)に示す鋼構造物1には、下フランジ1 bと腹板1 dとが接合する接合部から亀裂 C_6 が発生している。

【0030】

図2は、この発明の実施形態に係る亀裂監視システムの構成図である。

亀裂監視システム2は、鋼構造物1の亀裂の発生及びこの亀裂の進展を監視するシステムである。亀裂監視システム2は、図2に示すように、亀裂監視材3と、リード線6、7と、電源部8と、通電状態測定部9と、制御部10と、評価部11と、補正部12と、通信部13と、収容部14とを備えている。亀裂監視システム2は、図1に示す亀裂 C_1 ～ C_6 の発生が予測される鋼構造物1の部位にそれぞれ設置されている。以下では、図1(A)に示すように、下フランジ1 bの縁部(長辺部)に亀裂監視材3を形成した場合を例に挙げて説明する。

10

【0031】

図3は、この発明の実施形態に係る亀裂監視システムの亀裂監視材の一部を破断して示す斜視図である。図4は、この発明の実施形態に係る亀裂監視システムの亀裂監視材の平面図である。図5は、図4のV-V線で切断した状態を示す断面図である。

亀裂監視材3は、亀裂 C_1 の発生が予測される鋼構造物1の表面に形成され、この鋼構造物1の亀裂 C_1 の発生及びこの亀裂 C_1 の進展を監視する部材である。亀裂監視材3は、図3～図5に示すように、亀裂進展検出部4と、亀裂発生検出部5とを備えている。亀裂監視材3は、図1に示すように、亀裂 C_1 の発生が予測される鋼構造物1の縁部に、刷毛、ローラ又はスプレーなどによって塗布され形成されている。

20

【0032】

亀裂進展検出部4は、亀裂発生検出部5が検出した亀裂 C_1 の進展を検出する部分であり、亀裂進展検出用導電層4 aと、防錆絶縁層4 bと、亀裂進展検出用電極層4 c～4 fと、環境遮断層4 gとを備えている。亀裂進展検出部4は、亀裂発生検出部5が検出した亀裂 C_1 の進展を検出可能なようにこの亀裂発生検出部5の下側に形成されている。亀裂進展検出部4は、長期間にわたり耐久性が期待できる塗装系材料によって構成されており鋼構造物1の表面に形成されている。

30

【0033】

亀裂進展検出用導電層4 aは、亀裂 C_1 の発生に応じて電気抵抗が変化する塗膜である。亀裂進展検出用導電層4 aは、図3及び図4に示すように、鋼構造物1に発生が予測される亀裂 C_1 の起点側に長辺側が位置するように、防錆絶縁層4 bの表面に帯状に形成されている。亀裂進展検出用導電層4 aは、鋼構造物1に許容される亀裂長さに応じた幅に形成されており、鋼構造物1に許容される亀裂長さが長いときには幅が広く形成され、鋼構造物1に許容される亀裂長さが短いときには幅が狭く形成される。亀裂進展検出用導電層4 aは、亀裂進展検出用電極層4 c～4 fによって複数の監視領域 A_1 、 A_2 、 A_3 に区画されている。亀裂進展検出用導電層4 aは、亀裂進展検出用導電層4 aの長さ方向の隣接する一对の亀裂進展検出用電極層4 c、4 dによって監視領域 A_1 が形成され、一对の亀裂進展検出用電極層4 d、4 eによって監視領域 A_2 が形成され、一对の亀裂進展検出用電極層4 e、4 fによって監視領域 A_3 が形成されている。亀裂進展検出用導電層4 aは、例えば、導電顔料と有機樹脂とを含む導電性塗料を塗布して形成されており、導電顔料としてはカーボンブラック、グラファイト、ニッケル、銅、銀などが好ましく、有機樹脂としてはエポキシ樹脂、ポリウレタン樹脂、アクリル樹脂、フェノール樹脂、アルキルシリケート樹脂などが好ましい。

40

【0034】

亀裂進展検出用導電層4 aの塗膜厚さは、10 μ m以下では現場施工によって連続した塗膜が得られないおそれがあり、100 μ m以上では塗装したときに垂れなどの塗膜欠陥が多く発生し、この塗膜欠陥を防止するために粘度を高くすると施工性が犠牲になるおそれがあ

50

る。このため、亀裂進展検出用導電層 4 a の塗膜厚さは、10 ~ 100 μm が好ましく、特に 30 ~ 60 μm が望ましい。亀裂進展検出用導電層 4 a の塗膜の物性は、引張試験による破断時の伸びが 10% 以下では鋼構造物 1 の温度差による伸縮などの他の要因によって割れるおそれがあり、30% 以上では鋼構造物 1 の亀裂発生時やボルトの緩み時に亀裂進展検出用導電層 4 a が同時に破壊しないおそれがある。このため、亀裂進展検出用導電層 4 a の塗膜の物性は、引張試験による破断時の伸びが 10 ~ 30% であることが好ましい。亀裂進展検出用導電層 4 a は、体積抵抗率が 1 ~ 10 $\cdot\text{cm}$ となり、塗布後の電極間の抵抗が 200 ~ 10000、好ましくは 200 ~ 2000 となるように、導電顔料と有機樹脂との配合量を調整して形成されている。亀裂進展検出用導電層 4 a の塗料粘度は、現場で刷毛、ローラ又はスプレーなどによって塗布できる程度に調整することが好ましい。

10

【0035】

防錆絶縁層 4 b は、鋼構造物 1 と亀裂進展検出用導電層 4 a とを電氣的に絶縁するとともに鋼構造物 1 の腐食を防止する塗膜である。防錆絶縁層 4 b は、図 3 及び図 5 に示すように、鋼構造物 1 の表面（鋼素地）に亀裂 C_1 の検知範囲を含むように広く塗布され形成されている。防錆絶縁層 4 b は、例えば、防錆顔料入りエポキシ樹脂や有機ジンクリッチペイントなどのような鋼構造物用防食塗装系に適用されている下塗り塗料である。防錆絶縁層 4 b の塗膜厚さは、30 ~ 100 μm が好ましい。

【0036】

亀裂進展検出用電極層 4 c ~ 4 f は、亀裂進展検出用導電層 4 a に電流を流す塗膜である。亀裂進展検出用電極層 4 c ~ 4 f は、図 4 及び図 5 に示すように、亀裂進展検出用導電層 4 a の長さ方向に、この亀裂進展検出用導電層 4 a の表面に等間隔で 4 箇所配置されている。亀裂進展検出用電極層 4 c ~ 4 f は、亀裂進展検出用導電層 4 a の短辺と平行になるように、この亀裂進展検出用導電層 4 a の幅と同じ長さで帯状に塗布されている。亀裂進展検出用電極層 4 c ~ 4 f は、図 3 及び図 4 に示すように、亀裂進展検出用導電層 4 a を複数の監視領域 $A_1 \sim A_3$ に区画している。亀裂進展検出用電極層 4 c ~ 4 f は、亀裂進展検出用導電層 4 a と同一の導電性塗料を塗布して形成されており、塗膜厚さ、塗膜の物性及び塗料粘度も亀裂進展検出用導電層 4 a と同一である。亀裂進展検出用電極層 4 c ~ 4 f は、体積抵抗率が 1 ~ 10 $\cdot\text{cm}$ となるように、導電顔料と有機樹脂との配合量を調整して形成することが好ましい。

20

【0037】

環境遮断層 4 g は、亀裂進展検出用導電層 4 a 及び亀裂進展検出用電極層 4 c ~ 4 f を保護するとともに鋼構造物 1 の防食性を向上させる塗膜である。また、環境遮断層 4 g は、亀裂進展検出部 4 と亀裂発生検出部 5 とを電氣的に絶縁する塗膜である。環境遮断層 4 g は、図 3 及び図 5 に示すように、亀裂進展検出用導電層 4 a 及び亀裂進展検出用電極層 4 c ~ 4 f を被覆するように、これらの表面に塗布され形成されている。環境遮断層 4 g は、例えば、環境遮断性に優れたエポキシ樹脂系塗料などのような鋼構造物用防食塗装系に適用される中塗り塗料である。環境遮断層 4 g の塗膜厚さは、60 ~ 120 μm が好ましい。

30

【0038】

亀裂発生検出部 5 は、鋼構造物 1 に発生する亀裂 C_1 を検出する部分であり、図 3 ~ 図 5 に示すように亀裂発生検出用導電層 5 a と、亀裂発生検出用電極層 5 b, 5 c と、環境遮断層 5 d と、耐候層 5 e とを備えている。亀裂発生検出部 5 は、亀裂進展検出部 4 と同様の塗装系材料によって構成されており、亀裂進展検出部 4 に重ねて塗布されている。

40

【0039】

亀裂発生検出用導電層 5 a は、亀裂 C_1 の発生に応じて電気抵抗が変化する塗膜である。亀裂発生検出用導電層 5 a は、図 3 に示すように、鋼構造物 1 に発生が予測される亀裂 C_1 の起点側に長辺側が位置するように、環境遮断層 4 g の表面に帯状に形成されている。亀裂発生検出用導電層 5 a は、亀裂発生時の極僅かな亀裂長さを検出可能なように、亀裂進展検出用導電層 4 a よりも幅が狭く形成されており、亀裂進展検出用導電層 4 a の長辺を含むように線状に塗布されている。亀裂発生検出用導電層 5 a は、亀裂進展検出用導電層 4 a と同一の導電性塗料を塗布して形成されており、塗膜厚さ、塗膜の物性及び塗料

50

粘度も亀裂進展検出用導電層 4 a と同一である。亀裂発生検出用導電層 5 a の塗膜幅は、5mm以下が望ましい。亀裂発生検出用導電層 5 a は、亀裂進展検出用導電層 4 a よりも体積抵抗率が $0.01 \sim 1 \text{ } \cdot \text{cm}$ と低く、塗布後の電極間の抵抗が $200 \sim 10000$ 、好ましくは $200 \sim 2000$ となるように、導電顔料と有機樹脂との配合量を調整して形成されている。

【 0 0 4 0 】

亀裂発生検出用電極層 5 b , 5 c は、亀裂発生検出用導電層 5 a に電流を流す塗膜である。亀裂発生検出用電極層 5 b , 5 c は、図 3 ~ 図 5 に示すように、亀裂発生検出用導電層 5 a の長さ方向の両端部に配置されており、亀裂発生検出用導電層 5 a の短辺と平行になるように、亀裂発生検出用導電層 5 a の幅と同じ幅で帯状に塗布されている。亀裂発生検出用電極層 5 b , 5 c は、亀裂進展検出用導電層 4 a と同一の導電性塗料を塗布して形成されており、塗膜厚さ、塗膜の物性及び塗料粘度も亀裂進展検出用導電層 4 a と同一である。亀裂発生検出用電極層 5 b , 5 c は、亀裂進展検出用電極層 4 c ~ 4 f と体積抵抗率が同一になるように、導電顔料と有機樹脂との配合量を調整して形成することが好ましい。

10

【 0 0 4 1 】

環境遮断層 5 d は、亀裂発生検出用導電層 5 a 及び亀裂発生検出用電極層 5 b , 5 c を保護するとともに鋼構造物 1 の防食性を向上させる塗膜である。環境遮断層 5 d は、図 3 及び図 5 に示すように、亀裂発生検出用導電層 5 a 及び亀裂発生検出用電極層 5 b , 5 c を被覆するように、これらの表面に塗布されている。環境遮断層 5 d は、環境遮断層 4 g と同様の中塗り塗料であり、環境遮断層 5 d の塗膜厚さは環境遮断層 4 g と同一であることが好ましい。

20

【 0 0 4 2 】

耐候層 5 e は、環境遮断層 5 d を自然因子の作用から保護する塗膜である。耐候層 5 e は、環境遮断層 5 d を被覆するようにこの表面に耐候性塗料を塗布して形成されている。耐候層 5 e は、例えば、耐紫外線性及び耐薬品性に優れたポリウレタン樹脂やふっ素樹脂などのような鋼構造物用防食塗装系に適用される上塗り塗料である。

【 0 0 4 3 】

リード線 6 は、亀裂進展検出用導電層 4 a に電流を流す電線である。リード線 6 は、図 2 に示すように、一方の端部が亀裂進展検出用電極層 4 c ~ 4 f にそれぞれ取り付けられ接続されており、他方の端部が通電状態測定部 9 に接続されている。リード線 7 は、亀裂発生検出用導電層 5 a に電流を流す電線である。リード線 7 は、一方の端部が亀裂発生検出用電極層 5 b , 5 c に取り付けられ接続されており、他方の端部が通電状態測定部 9 に接続されている。

30

【 0 0 4 4 】

図 2 に示す電源部 8 は、亀裂進展検出用電極層 4 c ~ 4 f 及び亀裂発生検出用電極層 5 b , 5 c に電力を供給する直流電源又は交流電源である。電源部 8 は、制御部 10 からの指令に基づいて、亀裂進展検出用電極層 4 c , 4 d 間、亀裂進展検出用電極層 4 d , 4 e 間、亀裂進展検出用電極層 4 e , 4 f 間、及び亀裂発生検出用電極層 5 b , 5 c 間に電力を供給する。

【 0 0 4 5 】

通電状態測定部 9 は、亀裂進展検出用導電層 4 a 及び亀裂発生検出用導電層 5 a の通電状態を測定する抵抗測定器などである。通電状態測定部 9 は、制御部 10 からの指令に基づいて、監視領域 $A_1 \sim A_3$ 毎に通電状態を測定するとともに、隣接する 2 つの監視領域 $A_1 , A_2 ; A_2 , A_3$ 毎に通電状態を測定する。通電状態測定部 9 は、電源部 8 に接続されており、電源部 8 からの電力を亀裂進展検出用電極層 4 c ~ 4 f 及び亀裂発生検出用電極層 5 b , 5 c に供給する。

40

【 0 0 4 6 】

図 6 は、この発明の実施形態に係る亀裂監視システムの通電状態測定部の測定動作を説明するための平面図であり、図 6 (A) は亀裂進展検出用導電層に亀裂が発生した状態を示し、図 6 (B) は亀裂進展検出用電極層に亀裂が発生した状態を示す。

50

通電状態測定部 9 は、図 6 (A) に示すように、監視領域 A_1 に亀裂 C_1 が発生したときには、亀裂進展検出用電極層 4 c , 4 d 間 (監視領域 A_1) の亀裂進展検出用導電層 4 a の電気抵抗を測定するとともに、亀裂進展検出用電極層 4 d , 4 e 間 (監視領域 A_2) の電気抵抗又は亀裂進展検出用電極層 4 e , 4 f 間 (監視領域 A_3) の電気抵抗を測定する。一方、通電状態測定部 9 は、図 6 (B) に示すように、亀裂進展検出用電極層 4 d に亀裂 C_1 が発生したときには、亀裂進展検出用電極層 4 c , 4 e 間 (監視領域 A_1 , A_2) の亀裂進展検出用導電層 4 a の電気抵抗を測定するとともに、亀裂進展検出用電極層 4 d , 4 f 間 (監視領域 A_2 , A_3) の電気抵抗を測定する。

【 0 0 4 7 】

図 2 に示す制御部 1 0 は、亀裂監視システム 2 の種々の動作を制御する中央処理部 (CPU) である。制御部 1 0 は、電源部 8 に電力の供給を指令したり、通電状態測定部 9 に通電状態の測定を指令したり、通電状態測定部 9 の測定結果を補正部 1 2 に送信してこの補正部 1 2 にこの測定結果を補正させたり、補正部 1 2 の補正結果を評価部 1 1 に送信してこの評価部 1 1 に亀裂 C_1 を評価させたり、評価部 1 1 の評価結果を通信部 1 3 から送信させたりする。制御部 1 0 には、電源部 8 と、通電状態測定部 9 と、評価部 1 1 と、補正部 1 2 と、通信部 1 3 とが接続されている。

【 0 0 4 8 】

評価部 1 1 は、通電状態測定部 9 の測定結果に基づいて鋼構造物 1 に発生する亀裂 C_1 を評価する部分である。評価部 1 1 は、監視領域 $A_1 \sim A_3$ 毎の通電状態の測定結果に基づいて、亀裂 C_1 の発生した監視領域 A_1 を特定したり亀裂 C_1 の規模を評価したりする。評価部 1 1 は、通電状態測定部 9 の測定結果を補正部 1 2 が補正したときには、補正後の測定結果に基づいて亀裂 C_1 を評価する。

【 0 0 4 9 】

補正部 1 2 は、通電状態測定部 9 の測定結果を補正する部分である。補正部 1 2 は、外気温による変化や経年による特性変化などの影響を受けたときに、通電状態測定部 9 の測定結果を補償する。補正部 1 2 は、図 6 (A) に示すように、亀裂進展検出用導電層 4 a に亀裂 C_1 が発生したときに、亀裂 C_1 の発生していない監視領域 A_2 , A_3 の通電状態の測定結果に基づいて、亀裂 C_1 の発生した監視領域 A_1 の通電状態の測定結果を補正する。また、補正部 1 2 は、図 6 (B) に示すように、亀裂進展検出用電極層 4 d に亀裂 C_1 が発生したときに、亀裂 C_1 の発生していない亀裂進展検出用電極層 4 e を含む隣接する 2 つの監視領域 A_2 , A_3 の通電状態の測定結果に基づいて、亀裂 C_1 の発生した亀裂進展検出用電極層 4 d を含む隣接する 2 つの監視領域 A_1 , A_2 の通電状態の測定結果を補正する。

【 0 0 5 0 】

図 2 に示す通信部 1 3 は、評価部 1 1 の評価結果を送信する部分である。通信部 1 3 は、制御部 1 0 が出力する評価情報を図示しない中央監視室内の送受信機に有線又は無線により送信したり、この中央監視室内の送受信機からの評価情報の送信指令を受信したりする送受信機などである。

【 0 0 5 1 】

収容部 1 4 は、電源部 8 、通電状態測定部 9 、制御部 1 0 、評価部 1 1 及び補正部 1 2 を収容する部分である。収容部 1 4 には、リード線 6 , 7 が引き込まれており図示しない接続端子にこれらが接続されている。収容部 1 4 は、図 2 に示すように、電源部 8 及び通電状態測定部 9 などをユニット化した状態で収容しており、図 3 に示すように鋼構造物 1 の表面に取り付けられ固定されている。

【 0 0 5 2 】

次に、この発明の実施形態に係る亀裂監視システムにおける亀裂監視材の製造方法を説明する。

図 1 に示すように、鋼構造物 1 では構成部材のエッジ部などの限られた範囲を起点として亀裂 $C_1 \sim C_6$ が発生するおそれがある。例えば、図 1 (A) に示すように、下フランジ 1 b のエッジ部を起点として亀裂 C_1 の発生が予測される場合には、図 3 に示すように鋼構造物 1 の塗替え塗装時にこのエッジ部に沿って、鋼構造物 1 の表面に防錆絶縁塗料を塗

10

20

30

40

50

布し防錆絶縁層 4 b を形成する。次に、防錆絶縁層 4 b の表面に導電性塗料を帯状に塗布して、亀裂進展検出用導電層 4 a を形成する。その後、亀裂進展検出用導電層 4 a の表面に導電性塗料を等間隔に 4 本線状に塗布して亀裂進展検出用電極層 4 c ~ 4 f を形成し、亀裂進展検出用電極層 4 c ~ 4 f にそれぞれリード線 6 を接続する。次に、亀裂進展検出用導電層 4 a 及び亀裂進展検出用電極層 4 c ~ 4 f の表面に環境遮断性を有する塗料を帯状に塗布して環境遮断層 4 g を形成し、鋼構造物 1 の表面に亀裂進展検出部 4 が形成される。

【 0 0 5 3 】

次に、下フランジ 1 b のエッジ部に沿って環境遮断層 4 g の表面にこの環境遮断層 4 g よりも狭い幅で導電性塗料を帯状に塗布して、亀裂発生検出用導電層 5 a を形成する。その後、亀裂発生検出用導電層 5 a の表面の両端部に導電性塗料をそれぞれ線状に塗布して亀裂発生検出用電極層 5 b , 5 c を形成し、亀裂発生検出用電極層 5 b , 5 c にそれぞれリード線 7 を接続する。次に、亀裂発生検出用導電層 5 a 及び亀裂発生検出用電極層 5 b , 5 c の表面に環境遮断性を有する塗料を帯状に塗布して環境遮断層 5 d を形成する。その後、環境遮断層 5 d の表面に耐候性塗料を帯状に塗布して耐候層 5 e を形成し、亀裂進展検出部 4 の表面に亀裂発生検出部 5 が形成され、鋼構造物 1 の表面に亀裂監視材 3 が形成される。最後に、鋼構造物 1 の表面に収容部 1 4 を固定して、リード線 6 , 7 が収容部 1 4 の接続端子に接続される。

10

【 0 0 5 4 】

次に、この発明の実施形態に係る亀裂監視システムの動作を説明する。

20

図 7 は、この発明の実施形態に係る亀裂監視システムの動作を説明するためのフローチャートである。

ステップ（以下 S という）1 0 0 において、電源が ON する。図 2 に示す制御部 1 0 が電源部 8 に電力の供給を指令すると、図 3 に示す亀裂進展検出用電極層 4 c ~ 4 f 及び亀裂発生検出用電極層 5 b , 5 c に電源部 8 が電力を供給し、亀裂進展検出用導電層 4 a 及び亀裂発生検出用導電層 5 a に電流が流れる。

【 0 0 5 5 】

S 1 1 0 において、亀裂発生検出用導電層 5 a の通電状態が測定される。図 2 に示す制御部 1 0 が通電状態測定部 9 に通電状態の測定開始を指令すると、図 3 に示す亀裂発生検出用導電層 5 a の通電状態の変化を通電状態測定部 9 が測定して測定結果を制御部 1 0 に送信する。

30

【 0 0 5 6 】

S 1 2 0 において、通電状態が変化したか否かが評価される。通電状態測定部 9 の測定結果を制御部 1 0 が評価部 1 1 に送信すると、亀裂発生検出用導電層 5 a の電気抵抗の変化を評価部 1 1 が評価する。図 1 (A) に示すように、下フランジ 1 b のエッジ部を起点として亀裂 C_1 が発生すると、図 2 ~ 図 5 に示すようにこのエッジ部側の亀裂監視材 3 の縁部が部分的に破断して亀裂監視材 3 に亀裂 C_1 が発生する。亀裂発生時の極僅かな亀裂長さでは、亀裂進展検出用導電層 4 a の電気抵抗の変化量は小さいが、亀裂進展検出用導電層 4 a の幅に比べて亀裂発生検出用導電層 5 a の幅が狭く形成されているため、亀裂発生検出用導電層 5 a の電気抵抗の変化量は大きい。通電状態が変化したときには S 1 3 0

40

【 0 0 5 7 】

S 1 3 0 において、亀裂 C_1 の発生が評価される。亀裂発生検出用導電層 5 a の電気抵抗が変化したときには、鋼構造物 1 に亀裂 C_1 が発生したと評価部 1 1 が評価する。

【 0 0 5 8 】

S 1 4 0 において、評価結果が送信される。亀裂 C_1 の発生を評価部 1 1 が評価情報として制御部 1 0 に送信するとこの評価情報を制御部 1 0 が通信部 1 3 に送信し、図示しない中央監視室にこの評価情報を通信部 1 3 が送信する。

【 0 0 5 9 】

S 1 5 0 において、監視領域 $A_1 \sim A_3$ 毎に通電状態が測定される。制御部 1 0 が通電状

50

態測定部 9 に通電状態の測定開始を指令すると、監視領域 $A_1 \sim A_3$ 毎に亀裂進展検出用導電層 4 a の通電状態の変化を通電状態測定部 9 が測定して、測定結果を制御部 10 に送信する。

【 0 0 6 0 】

S 1 6 0 において、通電状態が変化したか否かが評価される。通電状態測定部 9 の測定結果を制御部 10 が評価部 11 に送信すると、監視領域 $A_1 \sim A_3$ 毎に電気抵抗の変化を評価部 11 が評価する。通電状態が変化したときには S 1 7 0 に進み、通電状態が変化していないときには S 2 5 0 に進む。

【 0 0 6 1 】

S 1 7 0 において、亀裂発生領域が評価される。図 6 (A) に示すように、亀裂進展検出用導電層 4 a の監視領域 A_1 内に亀裂 C_1 が発生してこの亀裂 C_1 がさらに成長し進展すると、監視領域 A_2, A_3 内の電気抵抗の変化量に比べて監視領域 A_1 内の電気抵抗の変化量が大きくなる。このため、各監視領域 $A_1 \sim A_3$ 内の亀裂進展検出用導電層 4 a の電気抵抗を通電状態測定部 9 がそれぞれ測定して、各監視領域 $A_1 \sim A_3$ 内の電気抵抗の変化を評価部 11 が評価する。その結果、電気抵抗の変化が最も大きい監視領域 A_1 内に亀裂 C_1 が発生したことが評価部 11 によって評価されて亀裂 C_1 の発生位置が特定される。

【 0 0 6 2 】

S 1 8 0 において、亀裂 C_1 の発生していない監視領域 A_2 又は監視領域 A_3 の抵抗値が測定される。亀裂進展検出用導電層 4 a や亀裂進展検出用電極層 4 c ~ 4 f が外気温の変化や経年による特性の変化などの影響を受ける場合には、通電状態測定部 9 の測定結果を補償する必要がある。このため、図 6 (A) に示すように、監視領域 A_1 内の亀裂進展検出用導電層 4 a に亀裂 C_1 が発生したときには、監視領域 A_2 内又は監視領域 A_3 内の電気抵抗の測定値を通電状態測定部 9 が測定してこの測定結果を制御部 10 に送信し、制御部 10 がこの測定結果を補正部 12 に送信する。

【 0 0 6 3 】

S 1 9 0 において、亀裂 C_1 の発生した監視領域 A_1 の抵抗値が測定される。通電状態測定部 9 が監視領域 A_1 内の抵抗値を測定してこの測定結果を制御部 10 に送信し、制御部 10 がこの測定結果を補正部 12 に送信する。

【 0 0 6 4 】

S 2 0 0 において、亀裂 C_1 の発生した監視領域 A_1 の抵抗値が補正される。監視領域 A_2 内又は監視領域 A_3 内の電気抵抗の測定値の初期値からの変化量（外気温の変化や経年による影響値）を補正部 12 が演算する。その結果、監視領域 A_1 内の電気抵抗の測定値からこの変化量を補正部 12 が減算することで温度や材質の変化が補償される。補正後の測定結果を補正部 12 が制御部 10 に送信すると、この補正後の測定結果を制御部 10 が評価部 11 に送信する。

【 0 0 6 5 】

S 2 1 0 において、亀裂長さが評価される。補正部 12 が補正した補正後の抵抗値の変化量に基づいて、外気温の変化や経年による影響されない実際の亀裂 C_1 の長さが評価部 11 によって評価される。

【 0 0 6 6 】

S 2 2 0 において、評価結果が送信される。亀裂 C_1 の発生及び長さを評価部 11 が評価情報として制御部 10 に送信するとこの評価情報を制御部 10 が通信部 13 に送信し、図示しない中央監視室にこの評価情報を通信部 13 が送信する。

【 0 0 6 7 】

S 2 3 0 において、許容亀裂長さに亀裂 C_1 が到達したか否かが評価される。例えば、表 1 に示すように、下フランジ 1 b に亀裂 C_1 が発生した場合には、許容亀裂長さ 20mm にこの亀裂 C_1 が達したときに鋼構造物 1 が直ちに補強が必要な状態になる。このため、通電状態測定部 9 の測定結果に基づいて許容亀裂長さに亀裂 C_1 が到達したか否かを評価部 11 が評価する。許容亀裂長さに亀裂 C_1 が到達したときには S 2 4 0 に進み、許容亀裂長さに亀裂 C_1 が到達していないときには S 1 8 0 に戻り亀裂長さの評価を繰り返す。

10

20

30

40

50

【 0 0 6 8 】

S 2 4 0 において、評価結果が送信される。鋼構造物 1 に直ちに補強が必要であるという評価結果を評価部 1 1 が評価情報として制御部 1 0 に送信すると、この評価情報を制御部 1 0 が通信部 1 3 に送信して、図示しない中央監視室にこの評価情報を通信部 1 3 が送信する。

【 0 0 6 9 】

S 2 5 0 において、隣接する監視領域 $A_1, A_2; A_2, A_3$ 毎に亀裂進展検出用導電層 4 a の通電状態が測定される。図 6 (B) に示すように、亀裂進展検出用電極層 4 d に亀裂 C_1 が発生したときには、各監視領域 A_1, A_2, A_3 毎に亀裂進展検出用導電層 4 a を通電状態測定部 9 が測定しても抵抗値に変化が見られないおそれがある。このため、制御部 1 0 が通電状態測定部 9 に通電状態の測定開始を指令すると、隣接する監視領域 A_1, A_2 及び隣接する監視領域 A_2, A_3 の通電状態の変化を通電状態測定部 9 が測定して測定結果を制御部 1 0 に送信する。

10

【 0 0 7 0 】

S 2 6 0 において、通電状態が変化したか否かが評価される。通電状態が変化していないときには、鋼構造物 1 に亀裂 C_1 が発生していないと考えられるため S 1 1 0 に戻り亀裂発生検出用導電層 5 a の通電状態が繰返し測定され、通電状態が変化したときには S 2 7 0 に進む。

【 0 0 7 1 】

S 2 7 0 において、亀裂発生領域が評価される。図 6 (B) に示すように、亀裂進展検出用電極層 4 d 内に亀裂 C_1 が発生してこの亀裂 C_1 がさらに成長し進展すると、亀裂進展検出用電極層 4 d , 4 f 間の電気抵抗の減少量に比べて亀裂進展検出用電極層 4 c , 4 e 間の電気抵抗の減少量が大きくなる。その結果、電気抵抗の変化が最も大きい監視領域 A_1, A_2 内の亀裂進展検出用電極層 4 d に亀裂 C_1 が発生したことが評価部 1 1 によって評価されて亀裂 C_1 の発生位置が特定される。

20

【 0 0 7 2 】

S 2 8 0 において、亀裂 C_1 の発生していない亀裂進展検出用導電層 4 d を含む監視領域 A_2, A_3 の抵抗値が測定される。亀裂進展検出用導電層 4 a や亀裂進展検出用電極層 4 c ~ 4 f が外気温の変化や経年による特性の変化などの影響を受ける場合には、通電状態測定部 9 の測定結果を補償する必要がある。このため、図 6 (B) に示すように、亀裂進展検出用電極層 4 d 内に亀裂 C_1 が発生したときには、亀裂進展検出用電極層 4 d , 4 f 間 (監視領域 A_2, A_3 内) の抵抗値を通電状態測定部 9 が測定してこの測定結果を制御部 1 0 に送信し、制御部 1 0 がこの測定結果を補正部 1 2 に送信する。

30

【 0 0 7 3 】

S 2 9 0 において、亀裂 C_1 の発生した亀裂進展検出用導電層 4 c を含む監視領域 A_1, A_2 の抵抗値が測定される。亀裂進展検出用電極層 4 c , 4 e 間 (監視領域 A_1, A_2 内) の抵抗値を通電状態測定部 9 が測定してこの測定結果を制御部 1 0 に送信し、制御部 1 0 がこの測定結果を補正部 1 2 に送信する。

【 0 0 7 4 】

S 3 0 0 において、亀裂 C_1 の発生した亀裂進展検出用導電層 4 c を含む監視領域 A_1, A_2 の抵抗値が補正される。亀裂進展検出用電極層 4 d , 4 f 間 (監視領域 A_2, A_3 内) の電気抵抗の測定値の初期値からの変化量 (外気温の変化や経年による影響値) を補正部 1 2 が演算する。その結果、亀裂進展検出用電極層 4 c , 4 e 間 (監視領域 A_1, A_2 内) の電気抵抗の測定値からこの変化量を補正部 1 2 が減算することで温度や材質の変化が補償される。S 3 0 0 以降は S 2 1 0 に進み同様の処理がされる。

40

【 0 0 7 5 】

この発明の実施形態に係る亀裂監視システム及び亀裂監視材には、以下に記載するような効果がある。

(1) この実施形態では、鋼構造物 1 に発生する亀裂 C_1 を亀裂発生検出部 5 が検出し、この亀裂発生検出部 5 が検出した亀裂 C_1 の進展を亀裂進展検出部 4 が検出する。その結果

50

、鋼構造物 1 の疲労亀裂のような鋼構造物 1 の健全性に影響する重大な変状の発生を検出することができるとともに、この変状の進展も検出することができるため、目視検査による不確実性を解消することができる。

【 0 0 7 6 】

(2) この実施形態では、亀裂 C_1 の発生した位置を亀裂進展検出部 4 が検出する。このため、鋼構造物 1 の健全性に影響する重大な変状の発生位置を特定することができるため、この亀裂 C_1 の発生した位置を重点的に監視することができる。

【 0 0 7 7 】

(3) この実施形態では、亀裂進展検出部 4 及び亀裂発生検出部 5 が塗料を塗布して形成されている。このため、例えば、鋼構造物 1 の塗替え塗装工事に合わせて塗料を塗布して亀裂進展検出部 4 及び亀裂発生検出部 5 を形成することができる。その結果、屋外や現場で容易に施工することができるとともに、検査のためだけに足場を架設する必要がなくなり経費を節減することができる。

10

【 0 0 7 8 】

(4) この実施形態では、亀裂 C_1 の進展に応じて電気抵抗が変化する亀裂進展検出用導電層 4 a と、この亀裂進展検出用導電層 4 a に電流を流す亀裂進展検出用電極層 4 c ~ 4 f とを亀裂進展検出部 4 が備える。また、この実施形態では、亀裂 C_1 の発生に応じて電気抵抗が変化する亀裂発生検出用導電層 5 a と、この亀裂発生検出用導電層 5 a に電流を流す亀裂発生検出用電極層 5 b , 5 c とを亀裂発生検出部 5 が備える。このため、亀裂 C_1 の発生や進展などの鋼構造物 1 の変状を検査通路などの遠隔地から電気抵抗の変化として確認することができる。

20

【 0 0 7 9 】

(5) この実施形態では、鋼構造物 1 に発生が予測される亀裂 C_1 の起点側に長辺側が位置するように、亀裂発生検出用導電層 5 a が帯状に形成されている。その結果、亀裂発生時の極僅かな亀裂長さであっても電気抵抗の変化が大きくなり、亀裂 C_1 の発生を容易に検出することができる。

【 0 0 8 0 】

(6) この実施形態では、亀裂発生検出用導電層 5 a は亀裂進展検出用導電層 4 a よりも幅が狭く形成されている。このため、亀裂 C_1 が発生したときの電気抵抗の変化が亀裂進展検出用導電層 4 a に比べて亀裂発生検出用導電層 5 a のほうが大きくなり、亀裂発生検出用導電層 5 a によって極僅かな亀裂 C_1 の発生も検出することができる。

30

【 0 0 8 1 】

(7) この実施形態では、亀裂進展検出用導電層 4 a は鋼構造物 1 に許容される亀裂長さに応じた幅に形成されている。このため、鋼構造物 1 に許容される亀裂長さに達するまで亀裂 C_1 の成長を監視し評価することができる。

【 0 0 8 2 】

(8) この実施形態では、亀裂進展検出用導電層 4 a が亀裂進展検出用電極層 4 c ~ 4 f によって複数の監視領域 $A_1 \sim A_3$ に区画されており、この亀裂進展検出用導電層 4 a の長さ方向の隣接する一対の亀裂進展検出用電極層 4 c ~ 4 f によって一つの監視領域 $A_1 \sim A_3$ が形成されている。その結果、いずれの監視領域 $A_1 \sim A_3$ 内に亀裂 C_1 が発生したかを容易に検出することができる。

40

【 0 0 8 3 】

(9) この実施形態では、通電状態測定部 9 の測定結果に基づいて鋼構造物 1 に発生する亀裂 C_1 を評価部 1 1 が評価するため、通電状態の変化に基づいて鋼構造物 1 に発生する亀裂 C_1 及びこの亀裂 C_1 の進展を簡単に検出することができる。

【 0 0 8 4 】

(10) この実施形態では、監視領域 $A_1 \sim A_3$ 毎の通電状態測定部 9 の測定結果に基づいて亀裂 C_1 の発生した監視領域 A_1 を評価部 1 1 が特定するため、亀裂 C_1 の発生位置を検出することができる。

【 0 0 8 5 】

50

(11) この実施形態では、通電状態測定部 9 の測定結果を補正部 12 が補正し、補正後の測定結果に基づいて亀裂 C_1 を評価部 11 が評価するため、外気温の変化や経年による特性の変化などの影響を補償することができる。

【0086】

(12) この実施形態では、亀裂進展検出用導電層 4a に亀裂 C_1 が発生したときに、亀裂 C_1 の発生していない監視領域 A_2 又は監視領域 A_3 の通電状態の測定結果に基づいて、亀裂 C_1 の発生した監視領域 A_1 の通電状態の測定結果を補正部 12 が補正する。その結果、亀裂 C_1 の発生した監視領域 A_1 内の電気特性に含まれる外気温や材料特性の変化分を考慮して、監視領域 A_1 内の測定値を補正することができる。

【0087】

(13) この実施形態では、亀裂進展検出用電極層 4d に亀裂 C_1 が発生したときに、亀裂 C_1 の発生していない亀裂進展検出用電極層 4e を含む隣接する 2 つの監視領域 A_2 , A_3 の通電状態の測定結果に基づいて、亀裂 C_1 の発生した亀裂進展検出用電極層 4d を含む隣接する 2 つの監視領域 A_1 , A_2 の通電状態の測定結果を補正部 12 が補正する。その結果、亀裂 C_1 の発生した亀裂進展検出用電極層 4d を含む隣接する監視領域 A_1 , A_2 内の電気特性に含まれる外気温や材料特性の変化分を評価して、監視領域 A_1 , A_2 内の測定値を補正することができる。

【実施例】

【0088】

次に、この発明の実施例を説明する。

(抵抗測定実験)

図 8 は、この発明の実施例に係る亀裂検出用塗膜の抵抗測定実験の構成図であり、図 8 (A) は平面図であり、図 8 (B) は正面図である。

図 8 に示す亀裂検出用塗膜 15 は、亀裂の発生が予測される検出対象物に塗布されこの検出対象物の亀裂を検出する塗膜である。亀裂検出用塗膜 15 は、亀裂検出用塗料を帯状に塗布して形成されており、亀裂の発生に応じて電気抵抗が変化する。亀裂検出用塗膜 15 は、導電顔料としてカーボンブラックを含み、有機材料として液状エポキシを含む樹脂 / 顔料割合が 500% の亀裂検出用塗料を塗布して形成されている。電極 16a , 16b は、亀裂検出用塗膜 15 に電流を流す部分であり、距離 $L_1 = 700\text{mm}$ 間隔をあけて亀裂検出用塗膜 15 の表面に形成されている。図 8 に示す亀裂検出用塗膜 15 を長さ $L = 720\text{mm}$ 、厚さ $t = 0.06\text{mm}$ で形成し、亀裂検出用塗膜 15 を幅 $W = 1 \sim 300\text{mm}$ まで変化させ、亀裂検出用塗膜 15 の一方の長辺から亀裂 C を導入して電極 16a , 16b 間の電気抵抗を測定した。

【0089】

図 9 は、この発明の実施例に係る亀裂検出用塗膜の亀裂長さと抵抗値の増加量との関係を示すグラフである。図 10 は、この発明の実施例に係る亀裂検出用塗膜を幅 = 50mm で塗布したときの亀裂長さと抵抗値の増加量との関係を示すグラフである。

図 9 及び図 10 に示す横軸は、亀裂 C の長さ (mm) であり、縦軸は電極間の抵抗値増加量 () である。図 9 及び図 10 に示すように、亀裂 C の長さが長くなるほど電極 16a , 16b 間の抵抗値の増加量が大きくなり、図 9 に示すように亀裂検出用塗膜 15 の幅 W が狭いほど微小長さの亀裂 C を検出可能であると考えられる。例えば、図 9 に示すように、亀裂検出用塗膜 15 を幅 $W = 5\text{mm}$ 以下で塗布した場合には、1mm 以下の亀裂 C を検出することができ、亀裂検出用塗膜 15 を幅 $W = 1\text{mm}$ 程度で塗布した場合には、長さ 0.5mm 程度の亀裂 C を検出することができる。また、亀裂検出用塗膜 15 を幅 $W = 10\text{mm}$ 程度で塗布した場合には、長さ 5mm 程度の精度で 10mm 近くの亀裂長さを検出することができる。

【0090】

(実施例 1)

図 11 は、この発明の実施例 1 に係る亀裂検出用塗料の樹脂 / 顔料割合と体積抵抗率との関係を示すグラフである。

図 11 に示す横軸は、樹脂 / 顔料割合 (wt%) であり、縦軸は体積抵抗率 (固有抵抗率) ($\cdot \text{cm}$) である。ここで、樹脂 / 顔料割合は、顔料の質量に対する樹脂の質量の割合を示

10

20

30

40

50

し、数値が小さいほど樹脂量の少ない塗膜であることを示す。実施例 1 は、導電顔料としてカーボンブラック（電気化学工業（株）製、商品名：デンカブラック）を含み、有機材料として液状エポキシ樹脂（大日本インキ化学工業（株）製、商品名：エピクロン）を含む亀裂検出用塗料である。

【 0 0 9 1 】

【表 2】

樹脂／顔料（質量％）	体積抵抗率（ $\Omega \cdot \text{cm}$ ）
363	2.33
511	7.45
624	14.0
890	18.9
1033	27.7
1179	85.3

10

【 0 0 9 2 】

表 2 は、カーボンブラック／液状エポキシ樹脂の体積抵抗率の測定結果を示す。実施例 1 は、図 1 1 及び表 2 に示すように、樹脂含有量が低下すると体積抵抗率が小さくなり導電性が向上している。図 3 ~ 図 5 に示す亀裂進展検出用導電層 4 a として実施例 1 の亀裂検出用塗料を使用する場合には、体積抵抗率が $1 \sim 10 \cdot \text{cm}$ 程度になるように、導電顔料の質量に対する有機樹脂の質量を $300 \sim 700\text{wt} \%$ 程度に調整することが望ましい。

20

【 0 0 9 3 】

（実施例 2）

図 1 2 は、この発明の実施例 2 に係る亀裂検出用塗料の樹脂／顔料割合と体積抵抗率との関係を示すグラフである。

図 1 2 に示す横軸は、樹脂／顔料割合（wt%）であり、縦軸は体積抵抗率（ $\text{m} \cdot \text{cm}$ ）である。実施例 2 は、導電顔料としてニッケル粉（関東化学（株）製の試薬）を含み、有機材料として液状エポキシ樹脂（大日本インキ化学工業（株）製、商品名：エピクロン）を含む亀裂検出用塗料である。

【 0 0 9 4 】

【表 3】

樹脂／顔料（質量％）	体積抵抗率（ $\Omega \cdot \text{cm}$ ）
22	0.004
40	0.014
60	0.037
82	0.038

30

【 0 0 9 5 】

表 3 は、ニッケル粉／液状エポキシ樹脂の体積抵抗率の測定結果を示す。実施例 2 は、図 1 2 及び表 3 に示すように、実施例 1 と同様に樹脂含有量が低下すると体積抵抗率が小さくなり導電性が向上している。図 3 ~ 図 5 に示す亀裂進展検出用電極層 4 c ~ 4 f、亀裂発生検出用導電層 5 a 及び亀裂発生検出用電極層 5 b , 5 c として実施例 2 の亀裂検出用塗料を使用する場合には、体積抵抗率が $0.01 \sim 0.04 \cdot \text{cm}$ 程度になるように、導電顔料の質量に対する有機樹脂の質量を $20 \sim 80\text{wt} \%$ 程度に調整することが望ましい。

40

【 0 0 9 6 】

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

(1) この実施形態では、監視対象物として鋼構造物 1 を例に挙げて説明したが、コンクリート構造物などの他の構造物についてもこの発明を適用することができる。また、この実施形態では、疲労亀裂などによって鋼構造物 1 に亀裂 C_1 が発生する場合を例に挙げて説明したが、リベットやボルトなどの緩みによって塗膜に亀裂が発生する場合についてもこ

50

の発明を適用することができる。さらに、この実施形態では、亀裂進展検出部 4 上に亀裂発生検出部 5 を形成した場合を例に挙げて説明したが、亀裂発生検出部 5 上に亀裂進展検出部 4 を形成することもできる。

【 0 0 9 7 】

(2) この実施形態では、4本の亀裂進展検出用電極層 4 c ~ 4 f によって亀裂進展検出用導電層 4 a を3つの監視領域 $A_1 \sim A_3$ に区画する場合を例に挙げて説明したがこれに限定するものではなく、4つ以上の監視領域に区画することもできる。また、この実施形態では、樹脂自体が液状である液状エポキシ樹脂によって亀裂検出用塗料を製造する場合を例に挙げて説明したが、液状エポキシ樹脂に比べて分子量が高く常温で固体である固形エポキシ樹脂によって亀裂検出用塗料を製造することもできる。さらに、この実施形態では、

10

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 9 8 】

【 図 1 】 この発明の実施形態に係る亀裂監視システムによって監視される鋼構造物に亀裂が発生した状態を示す斜視図であり、(A) は主桁下フランジに亀裂が発生した状態を示し、(B) は腹板に亀裂が発生した状態を示し、(C) は主桁切欠部から亀裂が発生した状態を示す。

20

【 図 2 】 この発明の実施形態に係る亀裂監視システムの構成図である。

【 図 3 】 この発明の実施形態に係る亀裂監視システムの亀裂監視材の一部を破断して示す斜視図である。

【 図 4 】 この発明の実施形態に係る亀裂監視システムの亀裂監視材の平面図である。

【 図 5 】 図 4 の V-V 線で切断した状態を示す断面図である。

【 図 6 】 この発明の実施形態に係る亀裂監視システムの通電状態測定部の測定動作を説明するための平面図であり、(A) は亀裂進展検出用導電層に亀裂が発生した状態を示し、(B) は亀裂進展検出用電極層に亀裂が発生した状態を示す。

【 図 7 】 この発明の実施形態に係る亀裂監視システムの動作を説明するためのフローチャートである。

30

【 図 8 】 この発明の実施例に係る亀裂検出用塗膜の抵抗測定実験の構成図であり、(A) は平面図であり、(B) は正面図である。

【 図 9 】 この発明の実施例に係る亀裂検出用塗膜の亀裂長さと抵抗値の増加量との関係を示すグラフである。

【 図 1 0 】 この発明の実施例に係る亀裂検出用塗膜を幅 = 50mm で塗布したときの亀裂長さと抵抗値の増加量との関係を示すグラフである。

【 図 1 1 】 この発明の実施例 1 に係る亀裂検出用塗料の樹脂 / 顔料割合と体積抵抗率との関係を示すグラフである。

【 図 1 2 】 この発明の実施例 2 に係る亀裂検出用塗料の樹脂 / 顔料割合と体積抵抗率との関係を示すグラフである。

40

【 符号の説明 】

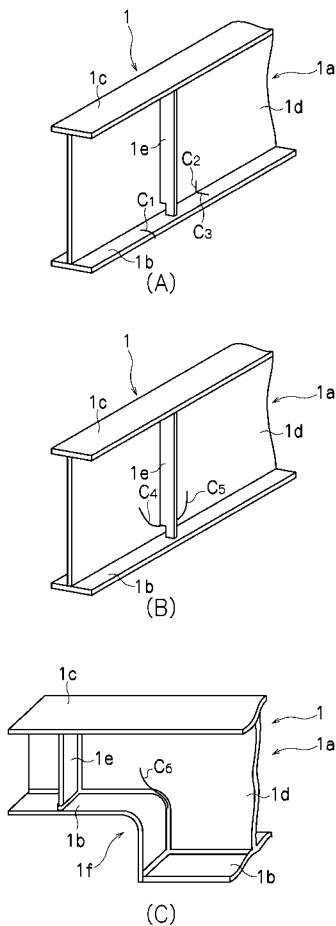
【 0 0 9 9 】

- 1 鋼構造物 (監視対象物)
- 2 亀裂監視システム
- 3 亀裂監視材
- 4 亀裂進展検出部
- 4 a 亀裂進展検出用導電層
- 4 b 防錆絶縁層
- 4 c ~ 4 f 亀裂進展検出用電極層
- 4 g 環境遮断層

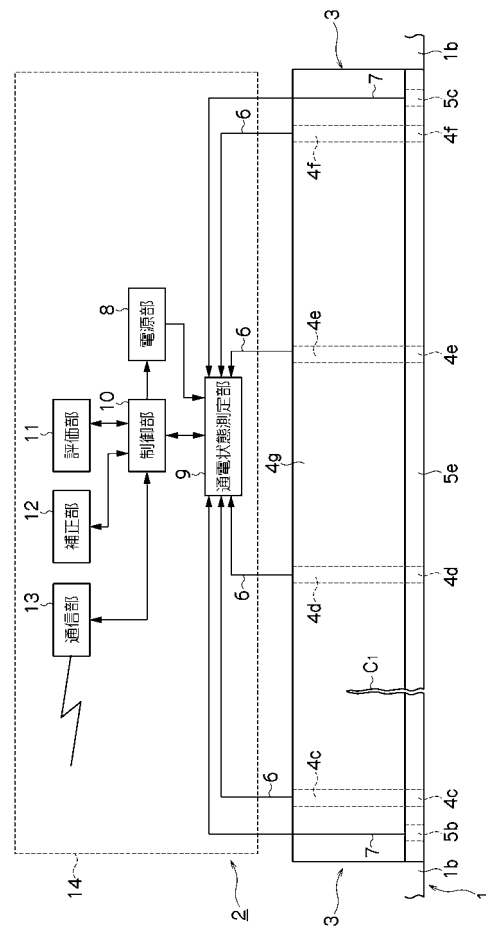
50

- 5 亀裂発生検出部
- 5 a 亀裂発生検出用導電層
- 5 b, 5 c 亀裂発生検出用電極層
- 5 d 環境遮断層
- 5 e 耐候層
- 6, 7 リード線
- 8 電源部
- 9 通電状態測定部
- 10 制御部
- 11 評価部
- 12 補正部
- 13 通信部
- 14 収容部
- 15 亀裂検出用塗膜
- 16 a, 16 b 電極
- A₁ ~ A₃ 監視領域
- C₁ ~ C₆ 亀裂

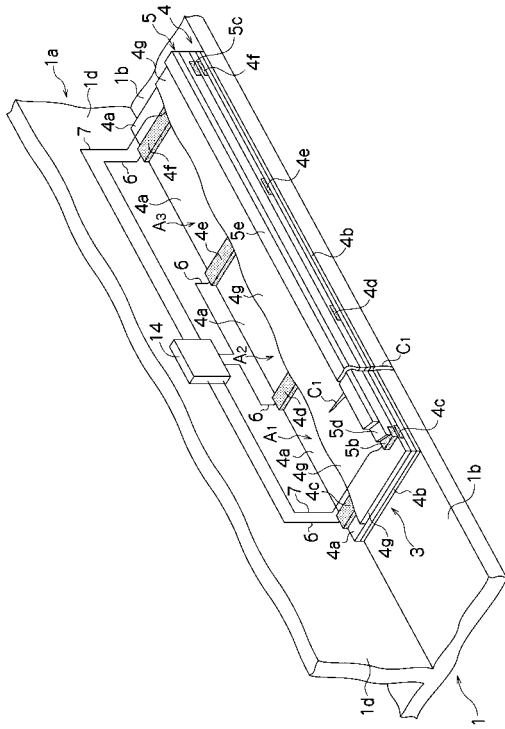
【図 1】



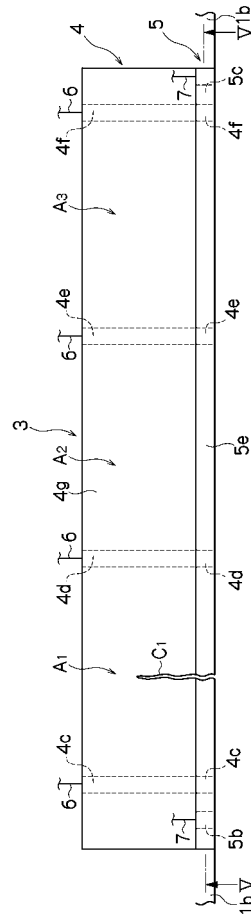
【図 2】



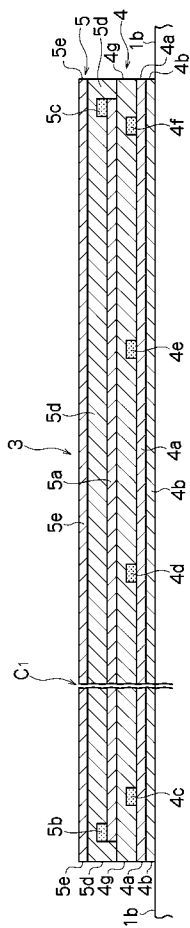
【 図 3 】



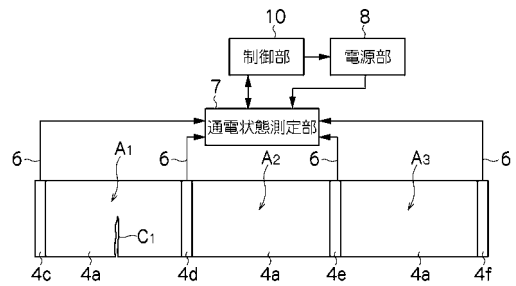
【 図 4 】



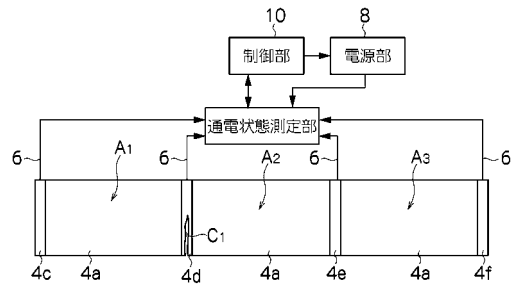
【 図 5 】



【 図 6 】

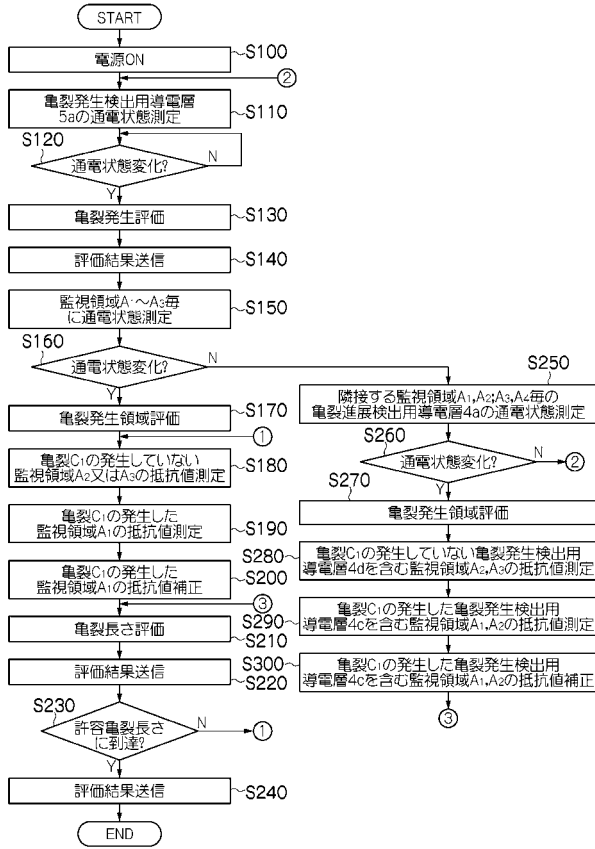


(A)

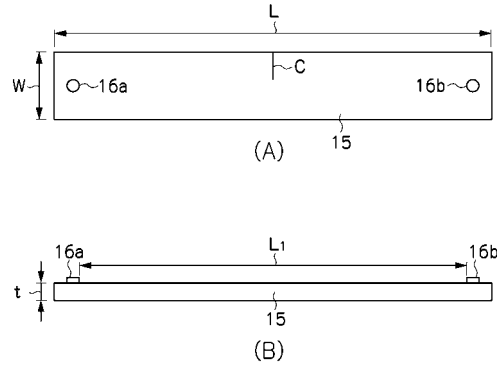


(B)

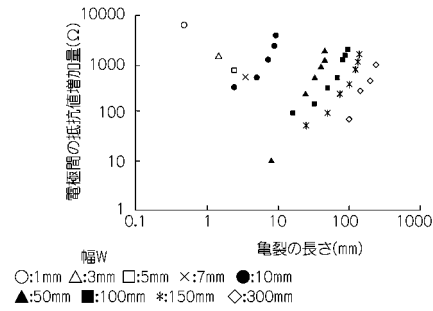
【図7】



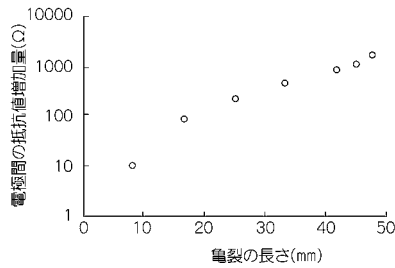
【図8】



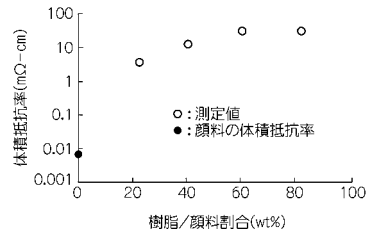
【図9】



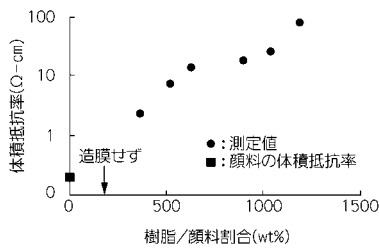
【図10】



【図12】



【図11】



フロントページの続き

- (56)参考文献 特開昭61-241644(JP,A)
特開昭63-132151(JP,A)
特開2001-174429(JP,A)
特開平05-157721(JP,A)
特開平06-109684(JP,A)
国際公開第2005/033475(WO,A1)
特開2002-257668(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01N 27/00 - 27/24