

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2005-181109

(P2005-181109A)

(43) 公開日 平成17年7月7日(2005.7.7)

(51) Int. Cl.<sup>7</sup>

GO 1 N 27/20

GO 1 B 7/00

GO 1 N 27/00

F I

GO 1 N 27/20

GO 1 B 7/00

GO 1 N 27/00

テーマコード (参考)

2 F 0 6 3

2 G 0 6 0

A

Q

L

審査請求 未請求 請求項の数 12 O L (全 22 頁)

(21) 出願番号 特願2003-422393 (P2003-422393)

(22) 出願日 平成15年12月19日 (2003.12.19)

(71) 出願人 000173784

財団法人鉄道総合技術研究所  
東京都国分寺市光町2丁目8番地38

(74) 代理人 100104064

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

Fターム(参考) 2F063 AA03 AA11 BA14 CA29 DA02  
DA05 DD07 FA10 FA11 NA01  
NA02

最終頁に続く

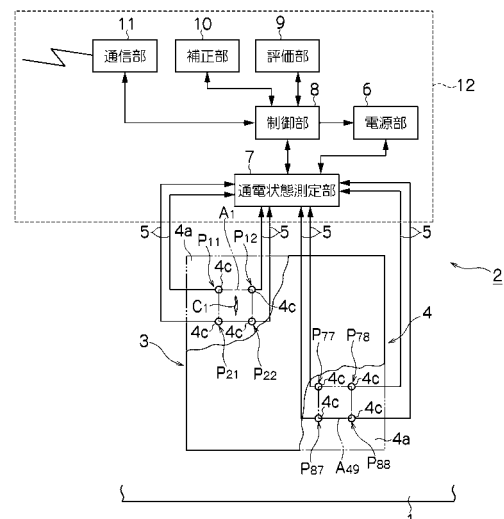
(54) 【発明の名称】 亀裂監視材及び亀裂監視システム

(57) 【要約】

【課題】 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。

【解決手段】 鋼構造物1に亀裂C<sub>1</sub>が発生すると、この鋼構造物1の表面に塗布され形成された亀裂監視材3が部分的に破断して亀裂C<sub>1</sub>が発生する。各監視領域A<sub>1</sub>~A<sub>49</sub>内の導電層4aの電気抵抗を通電状態測定部7が測定して、この電気抵抗の変化を評価部9が評価すると亀裂C<sub>1</sub>の発生した監視領域A<sub>1</sub>が特定される。監視領域A<sub>1</sub>内に亀裂C<sub>1</sub>が発生すると、亀裂C<sub>1</sub>の進展方向と同一方向の電極間の抵抗値の変化に比べて、亀裂C<sub>1</sub>の進展方向と交差する方向の電極間の抵抗値の変化が大きくなる。このため、縦方向、横方向及び斜め方向で対向する監視領域A<sub>1</sub>内の電極間の電気抵抗を通電状態測定部7が測定して、この電気抵抗の変化を評価部9が評価すると亀裂C<sub>1</sub>の進展方向が特定される。

【選択図】 図1



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

亀裂の発生が予測される監視対象物の表面に形成され、この監視対象物に発生する亀裂を監視する亀裂監視材であって、

前記監視対象物に発生した亀裂の位置を検出する亀裂検出部を備えること、  
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、

前記亀裂検出部は、塗料を塗布して形成されていること、  
を特徴とする亀裂監視材。

10

## 【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、

前記亀裂検出部は、

前記亀裂の進展に応じて電気抵抗が変化する導電層と、

前記導電層に電流を流す電極層とを備え、

前記電極層は、前記導電層の表面に複数行及び複数列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 3 に記載の亀裂監視材において、

前記電極層は、各行及び / 又は各列に複数形成されていること、

を特徴とする亀裂監視材。

20

## 【請求項 5】

請求項 3 又は請求項 4 に記載の亀裂監視材において、

前記導電層は、前記電極層によって複数の監視領域に区画されており、隣接する前記電極層によって囲まれる領域が一つの監視領域を形成すること、

を特徴とする亀裂監視材。

## 【請求項 6】

亀裂を監視する亀裂監視システムであって、

請求項 3 から請求項 5 までのいずれか 1 項に記載の亀裂監視材と、

前記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。

30

## 【請求項 7】

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は、前記電極層によって前記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。

40

## 【請求項 8】

請求項 7 に記載の亀裂監視システムにおいて、

前記評価部は、前記亀裂の発生した監視領域内の通電状態の測定結果に基づいてこの亀裂の進展方向を特定すること、

を特徴とする亀裂監視システム。

## 【請求項 9】

請求項 6 から請求項 8 までのいずれか 1 項に記載の亀裂監視システムにおいて、

前記導電層は、被固定部材とこの被固定部材を固定する固定部材とが接合する接合部を被覆し、

前記評価部は、前記導電層に亀裂が発生したときに、この導電層の通電状態の測定結果

50

に基づいて前記固定部材の緩みを検出すること、  
を特徴とする亀裂監視システム。

【請求項 10】

請求項 9 に記載の亀裂監視システムにおいて、  
前記評価部は、複数の前記固定部材によって前記被固定部材が固定されているときに、  
前記導電層の通電状態の測定結果に基づいてこれらの固定部材の緩んだ数を検出すること

を特徴とする亀裂検出システム。

【請求項 11】

請求項 6 から請求項 10 までのいずれか 1 項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。

10

【請求項 12】

請求項 11 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、前記電極層によって前記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、前記導電部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。

20

【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、この監視対象物に  
発生する亀裂を監視する亀裂監視材、並びに亀裂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。

30

【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	シュー本体の割れ	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、横桁の腹板フランジの亀裂	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

10

## 【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。

20

## 【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出来る。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見ることが出来る。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。

30

40

## 【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

50

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ため、印加した電流の流れる経路が短い小型試験片や小型構造物では検知が可能であるが、大型構造物では電流の経路が大きいいため、亀裂による抵抗の減少量が極僅かになり、抵抗の変化を効果的に検知することが困難になる。

#### 【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。

10

#### 【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。

20

#### 【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】

30

#### 【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。

40

#### 【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】

50

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。

請求項 1 の発明は、亀裂 ( $C_1$ ) の発生が予測される監視対象物 (1 ; 15) の表面に形成され、この監視対象物に発生する亀裂を監視する亀裂監視材であって、前記監視対象物に発生した亀裂の位置を検出する亀裂検出部 (4 ; 17) を備えることを特徴とする亀裂監視材 (3 ; 16) である。

【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、前記亀裂検出部は、塗料を塗布して形成されていることを特徴とする亀裂監視材である。

10

【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、前記亀裂検出部は、前記亀裂の進展に応じて電気抵抗が変化する導電層 (4a ; 17a) と、前記導電層に電流を流す電極層 (4c ; 17b) とを備え、前記電極層は、前記導電層の表面に複数行及び複数列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 3 に記載の亀裂監視材において、前記電極層は、各行及び / 又は各列に複数形成されていることを特徴とする亀裂監視材である。

【0018】

請求項 5 の発明は、請求項 3 又は請求項 4 に記載の亀裂監視材において、前記導電層は、前記電極層によって複数の監視領域 ( $A_1 \sim A_{49}$ ;  $A_1, A_2$ ) に区画されており、隣接する前記電極層によって囲まれる領域が一つの監視領域を形成することを特徴とする亀裂監視材である。

20

【0019】

請求項 6 の発明は、亀裂 ( $C_1$ ) を監視する亀裂監視システムであって、請求項 3 から請求項 5 までのいずれか 1 項に記載の亀裂監視材 (3 ; 16) と、前記導電層の通電状態を測定 ( $S_{110}, S_{140}, S_{150}, S_{180}, S_{190}; S_{210}, S_{240}, S_{250}$ ) する通電状態測定部 (7) 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 ( $S_{130}, S_{170}, S_{200}; S_{230}$ ) する評価部 (9) とを備える亀裂監視システム (2) である。

30

【0020】

請求項 7 の発明は、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は、前記電極層 (4c ; 17b) によって前記導電層 (4a ; 17a) が複数の監視領域 ( $A_1 \sim A_{49}$ ;  $A_1, A_2$ ) 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 ( $S_{110}; S_{210}$ ) 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 ( $A_1$ ) を特定 ( $S_{130}; S_{230}$ ) 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、前記評価部は、前記亀裂の発生した監視領域内の通電状態の測定結果に基づいてこの亀裂の進展方向を特定 ( $S_{200}$ ) することを特徴とする亀裂監視システムである。

40

【0022】

請求項 9 の発明は、請求項 6 から請求項 8 までのいずれか 1 項に記載の亀裂監視システムにおいて、前記導電層は、被固定部材 (13) とこの被固定部材を固定する固定部材 (14) とが接合する接合部 (14a) を被覆し、前記評価部は、前記導電層に亀裂が発生したときに、この導電層の通電状態の測定結果に基づいて前記固定部材の緩みを検出 ( $S_{230}$ ) することを特徴とする亀裂検出システムである。

【0023】

請求項 10 の発明は、請求項 9 に記載の亀裂監視システムにおいて、前記評価部は、複数の前記固定部材によって前記被固定部材が固定されているときに、前記導電層の通電状

50

態の測定結果に基づいてこれらの固定部材の緩んだ数を検出 (S 2 7 0) することを特徴とする亀裂監視システムであるである。

【0024】

請求項11の発明は、請求項6から請求項10までのいずれか1項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 (S 1 6 0, S 1 9 0; S 2 6 0) する補正部 (10) 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 (S 1 7 0, S 2 0 0; S 2 7 0) することを特徴とする亀裂監視システムである。

【0025】

請求項12の発明は、請求項11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、前記電極層によって前記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 (S 1 1 0; S 2 1 0) し、前記補正部は、前記導電部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 ( $A_2 \sim A_{49}$ ;  $A_2$ ) 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 ( $A_1$ ) の通電状態の測定結果を補正 (S 1 6 0; S 2 6 0) することを特徴とする亀裂監視システムである。

10

【発明の効果】

【0026】

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】

【0027】

20

(第1実施形態)

以下、図面を参照して、この発明の第1実施形態について詳しく説明する。

図1は、この発明の第1実施形態に係る亀裂監視システムの構成図である。

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。亀裂監視システム2は、鋼構造物1に発生する亀裂 $C_1$ を監視するシステムである。亀裂監視システム2は、図1に示すように、亀裂監視材3と、リード線5と、電源部6と、通電状態測定部7と、制御部8と、評価部9と、補正部10と、通信部11と、収容部12とを備えている。亀裂監視システム2は、亀裂 $C$ の発生が予測される鋼構造物1の部位に設置されている。

30

【0028】

図2は、この発明の第1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3は、この発明の第1実施形態に係る亀裂監視システムの亀裂監視材の導電層及び電極層の平面図である。図4は、この発明の第1実施形態に係る亀裂監視システムの亀裂監視材の縦断面図である。

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に発生する亀裂 $C_1$ を監視する部材である。亀裂監視材3は、図2～図4に示すように、亀裂検出部4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の表面に刷毛、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。

40

【0029】

亀裂検出部4は、鋼構造物1に発生した亀裂 $C_1$ の位置を検出する部分であり、図2及び図4示すように導電層4aと、防錆絶縁層4bと、電極層4cと、環境遮断層4dと、耐候層4eとを備えている。亀裂検出部4は、長期間にわたり耐久性が期待できる塗装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。

【0030】

導電層4aは、亀裂 $C$ の進展に応じて電気抵抗が変化する塗膜である。導電層4aは、亀裂 $C_1$ の発生が予測される鋼構造物1の防錆絶縁層4bの表面に面状に形成されている。導電層4aは、図3に示すように、電極層4cによって複数の監視領域 $A_1, \dots, A_{49}$ に区画されており、隣接する電極層4cによって囲まれる領域が一つの監視領域 $A_1, A_2$

50

、...を形成している。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。

#### 【0031】

導電層4 aの塗膜厚さは、10 $\mu$ 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 $\mu$ 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る。このため、導電層4 aの塗膜厚さは、10~100 $\mu$ mが好ましく、特に30~60 $\mu$ mが望ましい。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導電層4 aが同時に破壊しないおそれがある。このため、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。導電層4 aは、体積抵抗率が1~10 $\cdot$ cmとなり、塗布後の電極間の抵抗が200~10000、好ましく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。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

#### 【0032】

防錆絶縁層4 bは、鋼構造物1と導電層4 aとを電気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2及び図4に示すように、鋼構造物1の表面(鋼素地)に亀裂C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 $\mu$ mが好ましい。

20

#### 【0033】

電極層4 cは、導電層4 aに電流を流す塗膜である。電極層4 cは、導電層4 aの表面に複数行及び複数列形成されており、各行及び/又は各列に複数形成されている。電極層4 cは、導電層4 aの表面に多数点状に形成されている。電極層4 cは、例えば、図3に示すように、1行目の電極位置 $P_{11}, \dots, P_{18}$ に等間隔で8個形成され、1列目の電極位置 $P_{11}, \dots, P_{81}$ に電極位置 $P_{11}, \dots, P_{18}$ と等間隔で8個形成されており、8行8列の電極位置 $P_{11}, \dots, P_{88}$ に合計64個形成されている。電極層4 cは、例えば、電極位置 $P_{11}, P_{12}, P_{21}, P_{22}$ に配置された隣接する4つの電極層4 cによって導電層4 aを一つの監視領域 $A_1$ に区画しており、導電層4 aを合計49個の監視領域 $A_1 \sim A_{49}$ に区画している。電極層4 cは、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導電層4 aと同一である。電極層4 cは、体積抵抗率が0.01~1 $\cdot$ 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。

30

#### 【0034】

環境遮断層4 dは、導電層4 a及び電極層4 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4 dは、図2及び図4に示すように、導電層4 a及び電極層4 c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 d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 dの塗膜厚さは、60~120 $\mu$ mが好ましい。

40

#### 【0035】

耐候層4 eは、環境遮断層4 dを自然因子の作用から保護する塗膜である。耐候層4 eは、環境遮断層4 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4 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。

#### 【0036】

リード線5は、導電層4 aに電流を流す電線である。リード線5は、図1に示すように

50



、一方の端部が各電極位置  $P_{11}, \dots, P_{81}$  に配置された電極層 4 c 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 7 に接続されている。

【0037】

図 1 に示す電源部 6 は、電極層 4 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 6 は、制御部 8 からの指令に基づいて、図 3 に示す各電極位置  $P_{11}, \dots, P_{88}$  に配置された電極層 4 c に電力を供給する。電源部 6 は、例えば、監視領域  $A_1$  内において行方向（横方向）で互いに対向する電極位置  $P_{11}, P_{12}$  間及び電極位置  $P_{21}, P_{22}$  に配置された電極層 4 c に電力を供給するとともに、この監視領域  $A_1$  内において列方向（縦方向）で互いに対向する電極位置  $P_{11}, P_{21}$  及び電極位置  $P_{12}, P_{22}$  に配置された電極層 4 c に電力を供給する。また、電源部 6 は、例えば、監視領域  $A_1$  内において斜め方向で互い

10

【0038】

図 5 は、この発明の第 1 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る。

通電状態測定部 7 は、導電層 4 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 7 は、制御部 8 からの指令に基づいて、監視領域  $A_1 \sim A_{49}$  毎に通電状態を測定する。通電状態測定部 7 は、電源部 6 に接続されており、電源部 6 からの電力を各電極位置  $P_{11}, \dots, P_{81}$  に配置された電極層 4 c に供給する。通電状態測定部 7 は、例えば、図 5 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  $C_1$  の発生した監視領域  $A_1$  の導電層 4 a の電気抵抗を測定するとともに、亀裂  $C_1$  の発生していない監視領域  $A_2, \dots, A_{49}$  のうち少なくとも一つの電気抵抗を測定する。

20

【0039】

図 1 に示す制御部 8 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 8 は、電源部 6 に電力の供給を指令したり、通電状態測定部 7 に通電状態の測定を指令したり、通電状態測定部 7 の測定結果を補正部 10 に送信してこの補正部 10 にこの測定結果を補正させたり、補正部 10 の補正結果を評価部 9 に送信してこの評価部 9 に亀裂  $C_1$  を評価させたり、評価部 9 の評価結果を通信部 11 から送信させたりする。制御部 8 には、電源部 6 と、通電状態測定部 7 と、評価部 9 と、補正部 10 と、通信部 11 とが接続されている。

30

【0040】

評価部 9 は、通電状態測定部 7 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 9 は、図 3 に示すように、監視領域  $A_1 \sim A_{49}$  毎に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。また、評価部 9 は、例えば、亀裂  $C_1$  の発生した監視領域  $A_1$  内の通電状態の測定結果に基づいてこの亀裂  $C_1$  の進展方向を特定する。評価部 9 は、通電状態測定部 7 の測定結果を補正部 10 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。

【0041】

補正部 10 は、通電状態測定部 7 の測定結果を補正する部分である。補正部 10 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 7 の測定結果を補償する。補正部 10 は、図 5 に示すように、監視領域  $A_1$  内の導電層 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  $A_2, \dots, A_{49}$  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。

40

【0042】

図 1 に示す通信部 11 は、評価部 9 の評価結果を送信する部分である。通信部 11 は、制御部 8 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。

【0043】

50

収容部 12 は、電源部 6、通電状態測定部 7、制御部 8、評価部 9 及び補正部 10 を収容する部分である。収容部 12 には、リード線 5 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 12 は、図 1 に示すように、電源部 6 及び通電状態測定部 7 などをユニット化した状態で収容しており、鋼構造物 1 の表面に取り付けられ固定されている。

#### 【0044】

次に、この発明の第 1 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。

鋼構造物 1 では限定された範囲内で亀裂  $C_1$  の発生が予測されるがこの亀裂  $C_1$  の起点を特定できない場合がある。例えば、図 1 ~ 図 5 に示すように、鋼構造物 1 の限定された範囲内で亀裂  $C_1$  の発生が予測される場合には、鋼構造物 1 の塗替え塗装時にこの範囲を含む鋼構造物 1 の表面に防錆絶縁塗料を塗布し、防錆絶縁層 4b を形成する。次に、防錆絶縁層 4b の表面に導電性塗料を面状に塗布して導電層 4a を形成する。その後、例えば、電極位置  $P_{11} \sim P_{88}$  に対応する部分に貫通孔が形成されたフィルムを導電層 4a の表面に貼り付けて、このフィルムの表面から導電性塗料を塗布する。そして、このフィルムを導電層 4a から剥離して導電層 4a の表面に導電性塗料を塗布し、電極位置  $P_{11} \sim P_{49}$  に電極層 4c を多数点状に形成する。次に、各電極位置  $P_{11} \sim P_{49}$  に配置された電極層 4c にそれぞれリード線 5 を接続して、導電層 4a 及び電極層 4c の表面に環境遮断性を有する塗料を带状に塗布し環境遮断層 4d を形成する。その後、環境遮断層 4d の表面に耐候性塗料を面状に塗布して耐候層 4e を形成し、鋼構造物 1 の表面に亀裂監視材 3 を形成する。最後に、鋼構造物 1 の表面に収容部 12 を固定して、リード線 5 が収容部 12 の接続端子に接続される。

#### 【0045】

次に、この発明の第 1 実施形態に係る亀裂監視システムの動作を説明する。

図 6 は、この発明の第 1 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）100 において、電源が ON する。図 1 に示す制御部 8 が電源部 6 に電力の供給を指令すると、図 3 に示す各電極位置  $P_{11} \sim P_{88}$  に配置された電極層 4c に電源部 6 が電力を供給し、導電層 4a に電流が流れる。

#### 【0046】

S110 において、監視領域  $A_1 \sim A_{49}$  毎に通電状態が測定される。図 1 に示す制御部 8 が通電状態測定部 7 に通電状態の測定開始を指令すると、図 2 に示す監視領域  $A_1 \sim A_{49}$  毎に導電層 4a の通電状態の変化を通電状態測定部 7 が測定して測定結果を制御部 8 に送信する。

#### 【0047】

S120 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 7 の測定結果を制御部 8 が評価部 9 に送信すると、監視領域  $A_1 \sim A_{49}$  毎に電気抵抗の変化を評価部 9 が評価する。図 5 に示すように、監視領域  $A_1$  に亀裂  $C_1$  が発生すると、亀裂監視材 3 が部分的に破断して亀裂監視材 3 に亀裂  $C_1$  が発生し、監視領域  $A_1$  の電気抵抗の変化量が大きくなる。通電状態が変化したときには S130 に進み、通電状態が変化していないときには通電状態が変化するまで判断を繰り返す。

#### 【0048】

S130 において、亀裂発生領域が評価される。図 5 に示すように、導電層 4a 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  $A_1$  内の電気抵抗の変化量が監視領域  $A_2, \dots, A_{49}$  内の電気抵抗の変化量に比べて大きくなる。このため、各監視領域  $A_1 \sim A_3$  内の導電層 4a の電気抵抗を通電状態測定部 7 がそれぞれ測定して、各監視領域  $A_1 \sim A_{49}$  内の電気抵抗の変化を評価部 9 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 9 によって評価されて亀裂  $C_1$  の発生位置が特定される。

#### 【0049】

10

20

30

40

50

S 1 4 0 において、亀裂  $C_1$  の発生していない監視領域  $A_2, \dots$  の抵抗値が測定される。導電層 4 a や電極層 4 c 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 7 の測定結果を補償する必要がある。このため、図 5 に示すように、監視領域  $A_1$  内の導電層 4 a に亀裂  $C_1$  が発生したときには、この監視領域  $A_1$  以外の監視領域  $A_2, \dots, A_{49}$  のうち少なくとも一つの電気抵抗の測定値を通電状態測定部 7 が測定してこの測定結果を制御部 8 に送信し、制御部 8 がこの測定結果を補正部 1 0 に送信する。

【 0 0 5 0 】

S 1 5 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 7 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 8 に送信し、制御部 8 がこの測定結果を補正部 1 0 に送信する。

10

【 0 0 5 1 】

S 1 6 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  $A_2, \dots, A_{49}$  のうち少なくとも一つ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 0 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 1 0 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 1 0 が制御部 8 に送信すると、この補正後の測定結果を制御部 8 が評価部 9 に送信する。

【 0 0 5 2 】

S 1 7 0 において、亀裂長さが評価される。補正部 1 0 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変化に影響されない実際の亀裂  $C_1$  の長さが評価部 9 によって評価される。

20

【 0 0 5 3 】

S 1 8 0 において、亀裂  $C_1$  の発生した監視領域  $A_1$  の縦横斜め方向の電極間抵抗が測定される。監視領域  $A_1$  内の横方向（行方向）において互いに対向する電極位置  $P_{11}, P_{12}$  間及び電極位置  $P_{21}, P_{22}$  間の電気抵抗を通電状態測定部 7 が測定する。また、監視領域  $A_1$  内の縦方向（列方向）において互いに対向する電極位置  $P_{11}, P_{21}$  間及び電極位置  $P_{12}, P_{22}$  間の電気抵抗を通電状態測定部 7 が測定する。さらに、監視領域  $A_1$  内の斜め方向において互いに対向する電極位置  $P_{11}, P_{22}$  間及び電極位置  $P_{12}, P_{21}$  間の電気抵抗を通電状態測定部 7 が測定する。通電状態測定部 7 がこれらの電気抵抗を測定してこの測定結果を制御部 8 に送信すると、制御部 8 がこの測定結果を補正部 1 0 に送信する。

30

【 0 0 5 4 】

S 1 9 0 において、亀裂  $C_1$  の発生した監視領域  $A_1$  の縦横斜め方向の電極間抵抗が補正される。監視領域  $A_2, \dots, A_{49}$  のうち少なくとも一つの電気抵抗の測定値の初期値からの変化量を、監視領域  $A_1$  内の縦横斜め方向の電極間抵抗の測定値から補正部 1 0 が減算して補正する。補正後の測定結果を補正部 1 0 が制御部 8 に送信すると、この補正後の測定結果を制御部 8 が評価部 9 に送信する。

【 0 0 5 5 】

S 2 0 0 において、亀裂進展方向が評価される。一般に、電極間に亀裂  $C_1$  が発生したときに、亀裂  $C_1$  の進展方向と同一方向では電気特性の変化が小さく、亀裂  $C_1$  の進展方向と直交する方向では電気特性の変化が大きくなる。例えば、図 5 に示すような方向に亀裂  $C_1$  が発生した場合には、亀裂  $C_1$  の進展方向と同一方向の電極位置  $P_{11}, P_{21}$  間及び電極位置  $P_{12}, P_{22}$  間の電気抵抗の変化は小さく、亀裂  $C_1$  の進展方向と交差する方向の電極位置  $P_{11}, P_{12}$  間及び電極位置  $P_{21}, P_{22}$  間の電気抵抗の変化は大きくなる。このため、亀裂  $C_1$  の発生した監視領域  $A_1$  の縦横斜め方向の電極間抵抗の測定結果に基づいて、亀裂  $C_1$  の進展方向を評価部 9 が評価する。

40

【 0 0 5 6 】

S 2 1 0 において、評価結果が送信される。亀裂  $C_1$  の発生位置、亀裂長さ及び亀裂進展方向を評価部 9 が評価情報として制御部 8 に送信すると、この評価情報を制御部 8 が通信部 1 1 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 1 が送信する。

50

## 【 0 0 5 7 】

S 2 2 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 7 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 9 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 3 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 1 0 に戻り監視領域  $A_1 \sim A_{49}$  毎に通電状態の測定を繰り返す。

## 【 0 0 5 8 】

S 2 3 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 9 が評価情報として制御部 8 に送信するとこの評価情報を制御部 8 が通信部 1 1 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 1 が送信する。

## 【 0 0 5 9 】

この発明の第 1 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) この第 1 実施形態では、鋼構造物 1 に発生する亀裂 $C_1$ の位置を亀裂検出部 4 が検出する。その結果、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が発生したときに、この変状の発生領域を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 6 0 】

(2) この第 1 実施形態では、亀裂検出部 4 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導電性塗料を塗布して導電層 4 a 及び電極層 4 c を簡単に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。

## 【 0 0 6 1 】

(3) この第 1 実施形態では、亀裂の進展に応じて電気抵抗が変化する導電層 4 a の表面に、この導電層 4 a に電流を流す電極層 4 c が複数行及び複数列形成されている。その結果、亀裂 $C_1$ の長さや進展方向などの鋼構造物 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検出することができる。

## 【 0 0 6 2 】

(4) この第 1 実施形態では、電極層 4 c が各行及び / 又は各列に複数形成されている、その結果、亀裂 $C_1$ の発生が予測される導電層 4 a が多数の細かな監視領域  $A_1 \sim A_{49}$  に区画されるため、亀裂 $C_1$ の発生領域を高精度に検出できるとともに、この亀裂 $C_1$ の長さや進展方向を高精度に検出することができる。

## 【 0 0 6 3 】

(5) この第 1 実施形態では、電極層 4 c によって導電層 4 a が複数の監視領域  $A_1 \sim A_{49}$  に区画されており、隣接する電極層 4 c によって囲まれる領域が一つの監視領域  $A_1$  を形成する。その結果、いずれの監視領域  $A_1 \sim A_{49}$  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。

## 【 0 0 6 4 】

(6) この第 1 実施形態では、通電状態測定部 7 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 9 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 $C_1$ の長さや進展方向を簡単に検出することができる。

## 【 0 0 6 5 】

(7) この第 1 実施形態では、監視領域  $A_1 \sim A_{49}$  毎に通電状態測定部 7 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 9 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 6 6 】

(8) この第 1 実施形態では、亀裂 $C_1$ の発生した監視領域  $A_1$  内の通電状態の測定結果に基

づいてこの亀裂 $C_1$ の進展方向を評価部9が特定するため、亀裂 $C_1$ の成長を監視することができる。

【0067】

(9) この第1実施形態では、通電状態測定部7の測定結果を補正部10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9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。

【0068】

(10) この第1実施形態では、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 $A_2, \dots, A_{49}$ 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10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。

10

【0069】

(第2実施形態)

図7は、この発明の第2実施形態に係る亀裂監視システムの構成図である。図8は、この発明の第2実施形態に係る亀裂監視システムの亀裂監視材の縦断面図である。以下では、図1に示す部分と同一の部分については同一の番号を付して詳細な説明を省略する。

図7及び図8に示す添接板13は、鋼構造物1を構成する鋼部材同士を突き合わせて接合するときに、この突き合わせ部の側面に接合する継手用の鋼板である。ボルト14は、鋼構造物1に添接板13を固定する固定部材である。ボルト14は、例えば、図7に示すように、等間隔に1列当たり7本で3列(7行3列)にわたり合計21本配置されている。図8に示す周縁部14aは、ボルト14と添接板13とが接合する接合部であり、ボルト14の座面の縁部と添接板13とが接触する部分である。

20

【0070】

防錆絶縁層15は、鋼構造物1及び添接板13と亀裂監視材16とを電氣的に絶縁するとともに、鋼構造物1及び添接板13の腐食を防止する層である。防錆絶縁層15は、図2及び図4に示す防錆絶縁層4bと同一の下塗り塗料であり、防錆絶縁層4bの塗膜厚さと同一である。防錆絶縁層15は、添接板13及びボルト14の表面に塗布され形成されており周縁部14aを被覆している。

【0071】

亀裂監視材16は、亀裂 $C_1$ の発生が予測される防錆絶縁層15の表面に形成され、この防錆絶縁層15に発生する亀裂 $C_1$ を監視する部材である。亀裂監視材16は、図8に示すように、亀裂検出部17を備えており、この亀裂検出部17は図2～図5に示す導電層4aなどとそれぞれ同一の塗料であり塗膜厚さも同一である導電層17aと、電極層17bと、環境遮断層17cと、耐候層17dとを備えている。導電層17aは、防錆絶縁層15の表面に塗布され形成されており周縁部14aを被覆している。電極層17bは、図7に示すように、隣接する6つの電極層17bによって導電層17aを一つの監視領域 $A_1$ に区画している。電極層17bは、1行目の電極位置 $P_{H1}$ 及び2行目の電極位置 $P_{H1}$ にそれぞれ1個形成され、1列目の電極位置 $P_{V11}, P_{V21}$ 及び2列目の電極位置 $P_{V12}, P_{V22}$ に等間隔でそれぞれ2個形成されており、2行2列にわたり合計6個形成されている。

30

40

【0072】

次に、この発明の第2実施形態に係る亀裂監視システムの動作を説明する。

図9は、この発明の第2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。以下では、図6に示す処理と同一の処理を実行するステップについては詳細な説明を省略する。

S200において、電源部6がONする。図7に示すように、行方向(横方向)で互いに対向する電極位置 $P_{V11}, P_{V12}$ 間及び電極位置 $P_{V21}, P_{V22}$ に配置された電極層4cに電源部6が電力を供給するとともに、列方向(縦方向)で互いに対向する電極位置 $P_{H1}, P_{H2}$ に配置された電極層4cに電源部6が電力を供給する。また、斜め方向で互いに対向す

50

る電極位置  $P_{H1}$ 、 $P_{V11}$ 、電極位置  $P_{H1}$ 、 $P_{V21}$ 、電極位置  $P_{H1}$ 、 $P_{V12}$  及び電極位置  $P_{H1}$ 、 $P_{V22}$  などに配置された電極層 4 c に電源部 6 が電力を供給する。

【0073】

S 2 2 0 において、監視領域  $A_1$ 、 $A_2$  毎に通電状態が測定される。例えば、監視領域  $A_1$  内の行方向の電極位置  $P_{V11}$ 、 $P_{V12}$  間及び電極位置  $P_{V21}$ 、 $P_{V22}$  間の電気抵抗を通電状態測定部 7 が測定するとともに、監視領域  $A_1$  内の列方向の電極位置  $P_{H1}$ 、 $P_{H2}$  間の電気抵抗を通電状態測定部 7 が測定する。また、例えば、監視領域  $A_1$  内の斜め方向の電極位置  $P_{H1}$ 、 $P_{V11}$  間、電極位置  $P_{H1}$ 、 $P_{V21}$  間、電極位置  $P_{H1}$ 、 $P_{V12}$  間及び電極位置  $P_{H1}$ 、 $P_{V22}$  間などの電気抵抗を通電状態測定部 7 が測定する。

【0074】

S 2 3 0 においてボルト 1 4 の緩み箇所が評価される。図 7 及び図 8 に示すように、ボルト 1 4 が緩むとこれらのボルト 1 4 の周縁部 1 4 a の塗膜が破壊される。その結果、監視領域  $A_2$  の電気抵抗の変化量に比べて監視領域  $A_1$  の電気抵抗の変化量が大きくなるため、監視領域  $A_1$ 、 $A_2$  毎に通電状態の測定結果に基づいて、ボルト 1 4 が緩み亀裂  $C_1$  の発生した監視領域  $A_1$  を評価部 9 が特定する。

【0075】

S 2 4 0 において、亀裂  $C_1$  の発生していない監視領域  $A_1$  の電気抵抗が測定され、S 2 5 0 において亀裂  $C_1$  の発生した監視領域  $A_2$  の電気抵抗を通電状態測定部 7 が測定する。そして、S 2 6 0 において、亀裂  $C_1$  の発生していない監視領域  $A_2$  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 1 0 が補正して、外気温による変化や経年による特性変化などの影響が補償される。

【0076】

S 2 7 0 において、緩んだボルト 1 4 の本数が評価される。監視領域  $A_1$  内で 1 本のボルト 1 4 が緩んだときの通電状態の測定結果から、監視領域  $A_1$  内で全てのボルト 1 4 が緩んだときの通電状態の測定結果までを、基準データとして評価部 9 が記憶している。このため、監視領域  $A_1$  内に亀裂  $C_1$  が発生したときの通電状態の測定結果とこの基準データとに基づいて、監視領域  $A_1$  内で緩んだボルト 1 4 の本数を評価部 9 が特定する。

【0077】

S 2 9 0 において、許容本数に到達したか否かが評価される。表 1 に示すように、主桁添接ボルトの緩みが一群の 30% に達したときには、鋼構造物 1 が直ちに補強が必要な状態になる。例えば、20~100本を超える数で構成された添接部の一群のボルトの場合には、30% に相当する 6~30本が許容されるボルトの緩みとなる。このため、図 7 に示す全部で 21本のボルト 1 4 の 30% に相当する許容本数 6 本に、緩んだボルト 1 4 の本数が到達したか否かを、通電状態測定部 7 の測定結果に基づいて評価部 9 が評価する。

【0078】

この発明の第 2 実施形態には、第 1 実施形態の効果に加えて、以下に記載するような効果がある。

(1) この第 2 実施形態では、添接板 1 3 とボルト 1 4 とが接合する周縁部 1 4 a を導電層 4 a が被覆し、この導電層 4 a に亀裂  $C_1$  が発生したときにこの導電層 4 a の通電状態の測定結果に基づいて評価部 9 がボルト 1 4 の緩みを検出する。このため、ボルト 1 4 の緩みのような鋼構造物 1 の健全性に影響する重大な変状を検出することができる。

【0079】

(2) この第 2 実施形態では、複数のボルト 1 4 によって添接板 1 3 が固定されているときに、導電層 1 7 a の通電状態の測定結果に基づいてこれらのボルト 1 4 の緩んだ数を評価部 9 が検出する。その結果、鋼構造物 1 の変状を常時監視して鋼構造物 1 に重大な変状が発生するのを未然に防止することができる。

【実施例】

【0080】

次に、この発明の実施例を説明する。

(抵抗測定実験)

10

20

30

40

50

図10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10(A)は平面図であり、図10(B)は正面図である。

図10に示す亀裂検出用塗膜18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18は、厚さ3mmの基板の表面に長さ $L = 1800\text{mm}$ 、幅 $W = 900\text{mm}$ にわたり亀裂検出用塗料を面状に厚さ $t = 0.06\text{mm}$ で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18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19は、亀裂検出用塗膜18に電流を流す部分であり、亀裂検出用塗膜18の短辺から距離 $L_1 = 400\text{mm}$ 、長辺から距離 $L_2 = 225\text{mm}$ の位置に、縦方向の間隔 $D_1 = 225\text{mm}$ 及び横方向の間隔 $D_2 = 500\text{mm}$ で形成されている。図10に示す亀裂検出用塗膜18の中央に亀裂Cを導入して各電極19間の電気抵抗を測定した。

10

#### 【0081】

図11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11に示す横軸は、亀裂検出用塗膜18の短辺の長さ(mm)に対する亀裂長さ(mm)の比であり、縦軸は電極間の抵抗増加量( )である。ここで、図11に示す は、図10に示す電極位置 $P_{11}$ 、 $P_{1i}$ 間及び電極位置 $P_{111}$ 、 $P_{11i}$ 間の抵抗増加量の平均値である。 は、電極位置 $P_{11}$ 、 $P_{1i}$ 間、電極位置 $P_{111}$ 、 $P_{11i}$ 間、電極位置 $P_{11}$ 、 $P_{11i}$ 間及び電極位置 $P_{111}$ 、 $P_{11i}$ 間の抵抗増加量の平均値である。 は、電極位置 $P_{11}$ 、 $P_{11i}$ 間及び電極位置 $P_{111}$ 、 $P_{11i}$ 間の抵抗増加量の平均値である。図11に示すように、亀裂Cの進展方向と同一方向で互いに対向する電極位置 $P_A$ 、 $P_B$ 間では亀裂Cの大きさに関わらず抵抗値増加量に変化がない。一方、亀裂Cの進展方向と交差する方向で互いに対向する電極位置 $P_{11}$ 、 $P_{1i}$ 間などでは亀裂Cが大きくなるほど抵抗変化量も大きくなる。その結果、亀裂Cの進展方向と交差する方向に配置された電極位置 $P_{11}$ 、 $P_{1i}$ 間などの抵抗値の変化を検出することで亀裂Cの発生とこの亀裂Cの長さを検出することができるとともに、亀裂Cの進展方向を検出することができる。

20

#### 【0082】

(実施例1)

図12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。

30

図12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)( $\Omega \cdot \text{cm}$ )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。

#### 【0083】

#### 【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

40

#### 【0084】

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

50

1は、図12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1～図5に示す導電層4aや図7及び図8に示す導電層17a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1～10 $\cdot$ 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300～700wt%程度に調整することが望ましい。

【0085】

(実施例2)

図13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13に示す横軸は、樹脂/顔料割合(wt%)であり、縦軸は体積抵抗率( $m \cdot cm$ )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。

10

【0086】

【表3】

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

20

【0087】

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13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1～図5に示す電極層4cや図7及び図8に示す電極層17b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0.01～0.04 $\cdot$ 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20～80wt%程度に調整することが望ましい。

【0088】

(他の実施形態)

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、8行8列の電極層4cによって49個の監視領域 $A_1 \sim A_{49}$ に導電層4aを区画した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、任意の数の電極層によって任意の数の監視領域に導電層を区画することもできる。さらに、この実施形態では、固定部材としてボルト14を例に挙げて説明したがこれに限定するものではなく、リベットなどの他の固定部材の破断によって防錆絶縁層15に亀裂 $C_1$ が発生する場合についてもこの発明を適用することができる。

30

40

【0089】

(2) この実施形態では、各電極層4c, 17bにリード線5を接続しているが、リード線や電極層が予めパターン化されて形成されたフィルムを導電層4a, 17aの表面に貼り付けて電極層を形成することもできる。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、ニッケル粉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これに限定するものではない。例えば、酸化物によって表面が覆われたニッケル粉以外の他の金属顔料であっても、樹脂中で粉碎

50



することで導電性塗膜を形成できる場合には、このような他の金属顔料によって亀裂検出用塗料を製造することもできる。

【図面の簡単な説明】

【0090】

【図1】この発明の第1実施形態に係る亀裂監視システムの構成図である。

【図2】この発明の第1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3】この発明の第1実施形態に係る亀裂監視システムの亀裂監視材の導電層及び電極層の平面図である。

【図4】この発明の第1実施形態に係る亀裂監視システムの亀裂監視材の縦断面図である 10

【図5】この発明の第1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る。

【図6】この発明の第1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。

【図7】この発明の第2実施形態に係る亀裂監視システムの構成図である。

【図8】この発明の第2実施形態に係る亀裂監視システムの亀裂監視材の縦断面図である

【図9】この発明の第2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。 20

【図10】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11】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12】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13】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。

【符号の説明】

【0091】

30

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 亀裂検出部

4 a 導電層

4 b 防錆絶縁層

4 c 電極層

4 d 環境遮断層

4 e 耐候層

5 リード線

40

6 電源部

7 通電状態測定部

8 制御部

9 評価部

10 補正部

11 通信部

12 収容部

13 添接板(被固定部材)

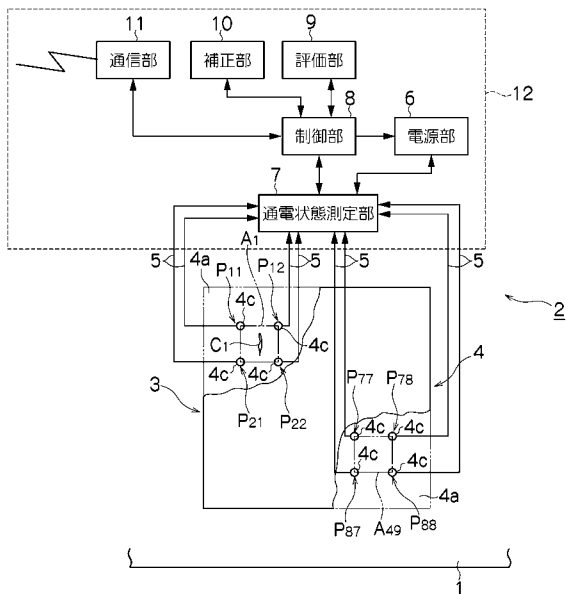
14 ボルト(固定部材)

14 a 周縁部(接合部)

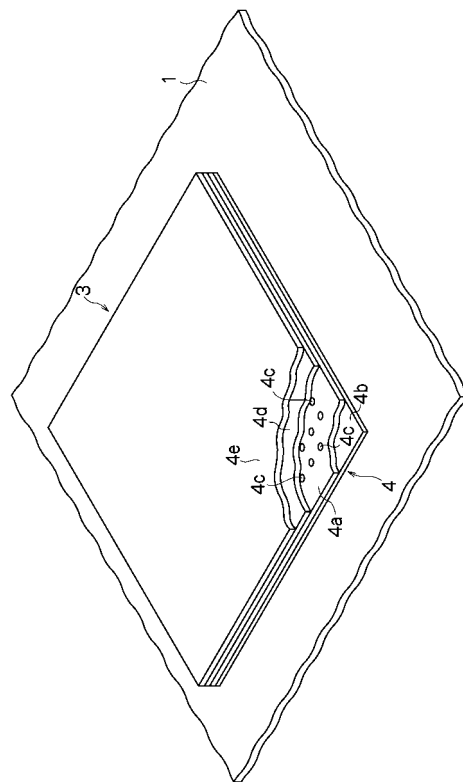
50

- 1 5 防錆絶縁層 (監視対象物)
- 1 6 亀裂監視材
- 1 7 亀裂検出部
- 1 7 a 導電層
- 1 7 b 電極層
- 1 7 c 環境遮断層
- 1 7 d 耐候層
- 1 8 亀裂検出塗膜
- 1 9 電極
- A<sub>1</sub> ~ A<sub>49</sub> 監視領域
- C<sub>1</sub> 亀裂
- P<sub>11</sub> ~ P<sub>88</sub> 電極位置
- P<sub>H1</sub>, P<sub>H2</sub> 電極位置
- P<sub>V11</sub>, P<sub>V12</sub>, P<sub>V21</sub>, P<sub>H22</sub> 電極位置

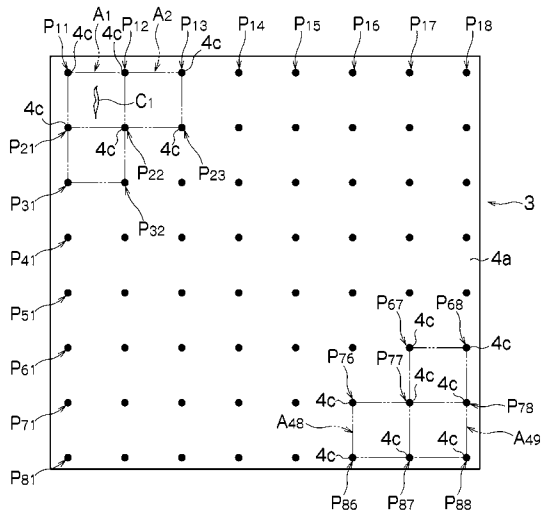
【図1】



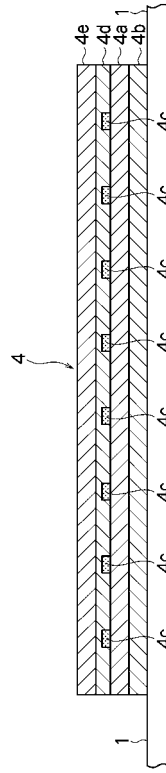
【図2】



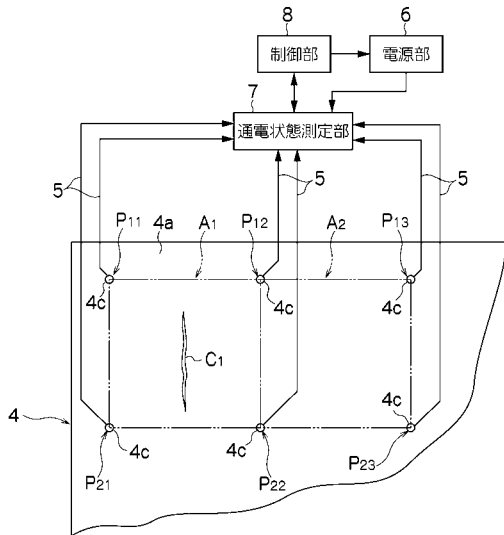
【 図 3 】



【 図 4 】



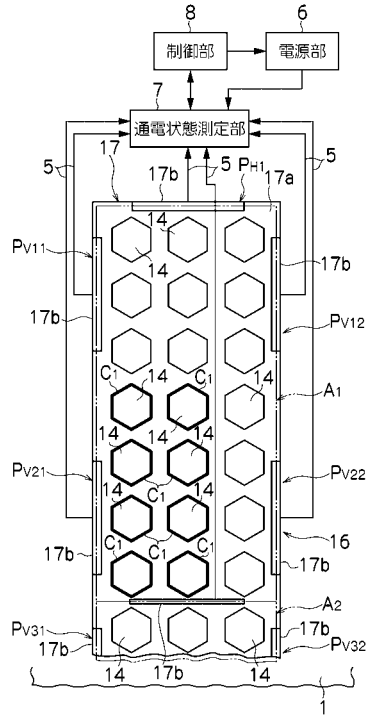
【 図 5 】



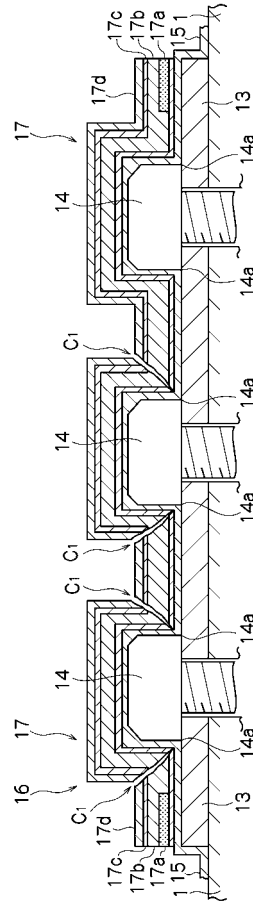
【 図 6 】



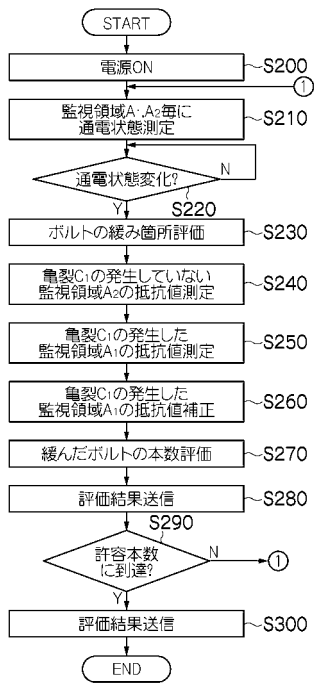
【 図 7 】



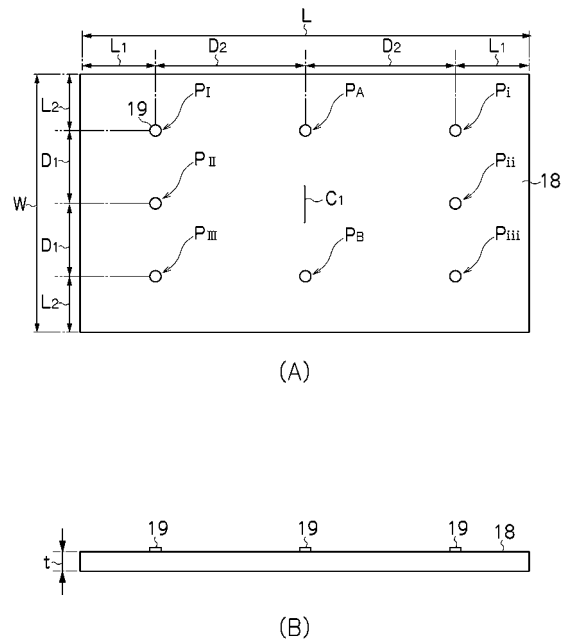
【 図 8 】



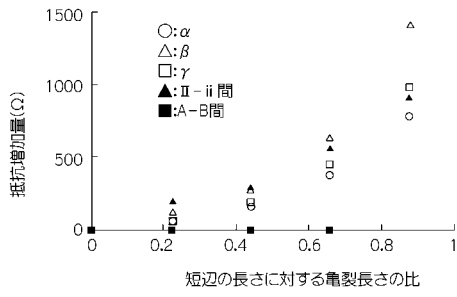
【 図 9 】



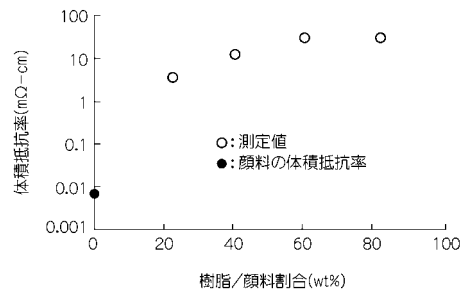
【 図 10 】



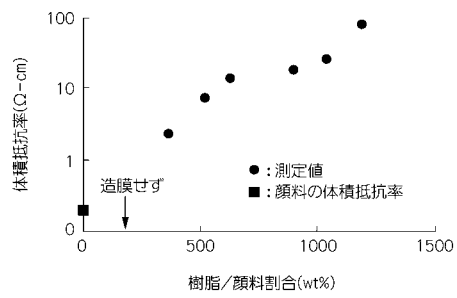
【 図 1 1 】



【 図 1 3 】



【 図 1 2 】



フロントページの続き

Fターム(参考) 2G060 AA08 AA10 AD04 AE04 AF09 EA03 EA04 EA08 GA02 JA05  
KA13