

(19) 日本国特許庁(JP)

## (12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6784624号  
(P6784624)

(45) 発行日 令和2年11月11日(2020.11.11)

(24) 登録日 令和2年10月27日(2020.10.27)

(51) Int.Cl.

G O 1 N 17/04 (2006.01)

F 1

G O 1 N 17/04

請求項の数 2 (全 8 頁)

(21) 出願番号 特願2017-59185 (P2017-59185)  
 (22) 出願日 平成29年3月24日 (2017.3.24)  
 (65) 公開番号 特開2018-162988 (P2018-162988A)  
 (43) 公開日 平成30年10月18日 (2018.10.18)  
 審査請求日 令和1年9月24日 (2019.9.24)

(73) 特許権者 000000240  
 太平洋セメント株式会社  
 東京都文京区小石川一丁目1番1号  
 (74) 代理人 100114258  
 弁理士 福地 武雄  
 (74) 代理人 100125391  
 弁理士 白川 洋一  
 (72) 発明者 中西 博  
 千葉県佐倉市大作二丁目4番2号 太平洋  
 セメント株式会社中央研究所内  
 (72) 発明者 江里口 玲  
 千葉県佐倉市大作二丁目4番2号 太平洋  
 セメント株式会社中央研究所内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】腐食センサ

## (57) 【特許請求の範囲】

## 【請求項1】

鋼材の腐食環境を検出する腐食センサであって、  
 腐食性を有する金属で形成された検知部と、  
 耐腐食性および導電性を有する材料で形成され、前記検知部を被覆する導電部と、  
 前記導電部に設けられた複数の貫通孔と、  
 耐腐食性を有する金属で形成され、前記検知部と対向する位置に設けられた対向電極と、  
 前記検知部および前記対向電極との間に設けられた誘電体と、を備えることを特徴とする腐食センサ。

## 【請求項2】

前記導電部は、カーボンで形成されていることを特徴とする請求項1記載の腐食センサ。

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は鋼材の腐食環境を検出する腐食センサに関する。

## 【背景技術】

## 【0002】

10

20

コンクリート構造物中の鋼材は、コンクリートがアルカリ性環境を保持していることで鋼材表面に不動態被膜を形成し、腐食から保護されている。しかしながら、例えば、空気中の二酸化炭素、下水道施設における硫酸、あるいは塩化物イオンなどの腐食因子がコンクリート中に侵入すると、この不動態被膜が破壊され、コンクリート中にある水と酸素によって鋼材の腐食が開始する。また、鉄橋やプラントなどの鋼材を用いた構造物では、鋼材に錆が生じないように保護塗料が用いられている。

#### 【0003】

コンクリート構造物の鋼材が腐食すると、鋼材の体積膨張が生じ、その膨張圧でコンクリートにひび割れが生じ、ひび割れを通じてさらに腐食因子の侵入と外部からの水と酸素の供給によって、鋼材の腐食は加速的に進展し、ついにはコンクリート構造物としての機能が保持できなくなる。また、鋼橋において鋼材が腐食すると、鋼材の体積膨張により保護塗膜に浮きや剥離が生じ、防錆効果が失われる。

10

#### 【0004】

従って、鋼材の腐食が開始する前に腐食因子の侵入や鋼材の腐食開始を検知し、例えば、表面被覆などの対策で腐食因子や水と酸素のさらなる侵入を阻止して鋼材を腐食から守り、構造物の予防的な保全を図ることが重要となる。この問題に対し、従来から種々の腐食診断方法が提案されている。例えば、コア抜きを行なって腐食因子を分析する方法や、非破壊的に鋼材の自然電位や分極抵抗を測定する手法、化学センサやガスセンサにより腐食因子を検出する方法、鉄製の細線を模擬腐食部材としてコンクリートに埋設し、細線が断線した時に腐食を検出する手法などが知られている。

20

#### 【0005】

これらの腐食診断手法のうち、細線の断線によって腐食を検知する方法は、(a) 予めセンサを埋設することでコア抜きなどコンクリートを傷めることがない、(b) コンクリート表面と鋼材との間に細線を深さに応じて数本設置することで表面からの腐食因子の侵入の時間依存性をモニタリングでき維持管理計画の立案を容易とする、(c) 直接的に鉄の腐食を捉えるので、腐食因子だけでなく水や酸素の供給状態をも含めた腐食の可能性を検知できる、(d) 電気抵抗の変化を捉えるので、きわめて低消費電力での検出が可能で長期モニタリングに適する、というメリットがあり、細線切断を検出することによる腐食診断方法が、種々提案されている(例えば、特許文献1~3)。また、感度が高く、設計自由度を大きくするために、鉄箔材を用いた腐食センサも提案されている(特許文献4)。

30

#### 【0006】

また、従来の腐食センサは、検知部の電気抵抗を捉えるものが多い。導電率の高い鉄は、破断しなければ、抵抗値に変化が現れにくく、センサの感度が線径や線幅等に依存しやすいことに加え、破断後はセンサとしての機能を失うことから、静電容量を捉えることにより腐食環境を検知する提案がある(特許文献5)。この腐食センサでは、検知部の面積の変化で腐食を捉えることができるため、腐食がコンクリート構造物内でどのくらい進展しているのかを把握することができる。

#### 【先行技術文献】

#### 【特許文献】

40

#### 【0007】

【特許文献1】特開平8-094557号公報

【特許文献2】特開平8-233896号公報

【特許文献3】特許第3205291号

【特許文献4】特開2012-145330号公報

【特許文献5】特開2017-032516号公報

#### 【発明の概要】

#### 【発明が解決しようとする課題】

#### 【0008】

しかしながら、腐食の進展の仕方によっては、正確な腐食状態を把握することができな

50

い場合がある。例えば、図5の円Xに示すように、腐食センサ100の検知面である鉄箔部103がリング状に腐食してしまう場合がある。このように腐食すると、リングの内側の鉄箔部103との導通がなくなる。その結果、円Xの内部に鉄箔が残っているにもかかわらず、電極として機能しなくなるため、電極の面積が見かけ上減少したことになる。すなわち、リングの内側の鉄箔部103が腐食していない状態であっても、リングの内側全体が腐食したと誤判定される懸念があった。このような状況では、正確な腐食状態を把握することができなくなる。

#### 【0009】

本発明は、このような事情に鑑みてなされたものであり、腐食の形状に左右されることなく、正確な腐食状態を把握することができる腐食センサを提供することを目的とする。

10

#### 【課題を解決するための手段】

#### 【0010】

(1) 上記の目的を達成するために、本発明は、以下のような手段を講じた。すなわち、本発明の腐食センサは、鋼材の腐食環境を検出する腐食センサであって、腐食性を有する金属で形成された検知部と、耐腐食性および導電性を有する材料で形成され、前記検知部を被覆する導電部と、前記導電部に設けられた複数の貫通孔と、耐腐食性を有する金属で形成され、前記検知部と対向する位置に設けられた対向電極と、前記検知部および前記対向電極との間に設けられた誘電体と、を備えることを特徴とする。

#### 【0011】

このように、腐食センサは、腐食性を有する金属で形成された検知部と、耐腐食性および導電性を有する材料で形成され、検知部を被覆する導電部と、導電部に設けられた複数の貫通孔と、耐腐食性を有する金属で形成され、検知部と対向する位置に設けられた対向電極と、検知部および対向電極との間に設けられた誘電体と、を備えるので、検知部がリング状に腐食した場合であっても、リングの内側の検知部は、導電部によってリングの外側の検知部と導通しているため、正確な腐食状態を把握することが可能となる。また、検知部は凹部となっているので、より腐食が生じやすくなり、塩化物イオン濃度が低い状態であっても、高感度に検知することができる。

20

#### 【0012】

(2) また、本発明の腐食センサにおいて、前記導電部は、カーボンで形成されていることを特徴とする。

30

#### 【0013】

このように、導電部は、耐腐食性を有するカーボンで形成されているので、腐食することなく、導通を確保することができる。

#### 【発明の効果】

#### 【0014】

本発明によれば、腐食の形状に左右されることなく、正確な腐食状態を把握することができる腐食センサを提供することができる。

#### 【図面の簡単な説明】

#### 【0015】

【図1】本実施形態に係る腐食センサの概略構成を示す平面図である。

40

【図2】図1に示した腐食センサをA-Aで切断した場合の断面図である。

【図3】モルタルまたはコンクリートに埋設する本実施形態に係る腐食センサの概略を示す図である。

【図4】本実施形態に係る腐食センサの製造方法を示すフローチャートである。

【図5】腐食の形状の一例を示す図である。

#### 【発明を実施するための形態】

#### 【0016】

##### 【腐食センサの測定原理】

誘電正接は、抵抗値の増加によって増加する。また、静電容量は、電極（検知部）の欠損によって変化する。従って、誘電正接を検知することによって、腐食センサの表面に発

50

生した初期の腐食を検知することができる。また、リアクタンス、等価並列抵抗等の電気特性も腐食によって変化する。ここで、誘電正接の変化は、10 kHz 以上の高周波数領域で測定することが望ましい。さらに加えて、腐食の進展を静電容量の減少度合いと総合して判断することによって、より高い精度で腐食状態を把握することが可能となる。

#### 【0017】

平行平板導体（検知部）の誘電正接  $\tan \delta$  は、 $\omega$  : 角周波数、C : 静電容量、R : 直列等価抵抗との間に、以下の関係がある。

$$\tan \delta = C R \quad \dots \quad (1)$$

#### 【0018】

平行平板導体（検知部）の静電容量 C は、平行平板導体の面積 S、平行平板導体間の間隔 d との間に、以下の関係がある。

$$C = Q / V = S / d [F] \quad \dots \quad (2)$$

ここで、 $\epsilon$  は、誘電率である。

#### 【0019】

本実施形態に係る腐食センサは、この原理を用いる。すなわち、センサの検知部が腐食因子によって検知部表面が腐食していくと、電気抵抗が上昇する。従って、誘電正接は比例して上昇する。その後、検知部の腐食が進展し、検知部の欠損減少に至ることで、静電容量は低下をはじめる。静電容量の減少度合いを捉えることによって、検知部の面積の減り具合、ひいては腐食環境の進展具合を把握することが可能となる。静電正接は、静電容量の低下が抵抗の上昇より卓越した場合、低下していくこととなる。

#### 【0020】

従って、誘電正接の上昇は、初期の軽微な腐食開始を捉え、その後、誘電正接の低下や静電容量の低下がみられた場合、検知部の欠損が生じていると予想されるため、腐食の進展が進んできていることを検知できる。

#### 【0021】

##### [腐食センサの構成]

図1は、本実施形態に係る腐食センサの概略構成を示す平面図である。図2は、図1に示す腐食センサをA-Aで切断した場合の断面図である。腐食センサ1は、4重構造を有しており、検知部となる腐食性を有する金属で形成された鉄箔部5と、耐腐食性を有する材料で導電性を有する形成された導電部7と、誘電体11と、リード線13と、対向電極15を備える。鉄箔部5は、腐食性を有する金属からなり、鉄を用いる場合は圧延することにより作製され、3 μm以上0.1 mm以下の厚さを有する。鉄箔部5は、蒸着やメッキによって、形成される薄膜であっても良いし、板状に形成されていても良い。鉄箔部5の厚さを3 μm以下としたのは、薄すぎるとセンサの取り扱い時に、ひび割れが生じやすく、厚すぎるとセンサの感度が低下する恐れがあるためである。また、鉄箔部5の面積は、誘電正接によって初期の軽微な腐食開始を捉えることができるので、面積が小さくても良いが、静電容量で腐食進展状況を捉えるのは、大きい方が望ましい。なお、図2に示す断面図において、鉄箔部5は、図面作成の都合上、白抜きで表現されている。

#### 【0022】

導電部7は、鉄箔部5を被覆するように設けられており、導電体で形成されている。導電部7は、耐腐食性および導電性を有していれば、どのような材料でも良い。本実施例では、カーボンを一例として説明するが、カーボンに限定されるわけではなく、鉄より貴な金属を用いて、カソード効果により腐食環境を高感度に検知させることもできる。カーボンを用いる場合は、撥水性あるいは防水性を付与しても良い。

#### 【0023】

導電部7は、蒸着やメッキにより形成される薄膜であっても良いし、板状に形成されていても良い。導電部7の形状は、矩形であっても良いが、付着切れの発生を抑制するためには、円形がより好ましい。

#### 【0024】

さらに、導電部7には、複数の貫通孔9が設けられている。導電部7に設けられた複数

10

20

30

40

50

の貫通孔 9 は、メッシュ状であっても良いし、スリット状であっても良い。導電部 7 に貫通孔 9 を設けることによって、鉄箔部 5 を腐食させることができる。また、検知部は凹部となっているので、より腐食が生じやすくなり、塩化物イオン濃度低い状態であっても高感度に検知することができる。

#### 【 0 0 2 5 】

貫通孔 9 の平面形状は、形成精度や歩留まりの観点から円形としているが、これに限定されるわけではない。例えば、矩形（正方形）や他の形状であっても良い。貫通孔 9 が円形である場合は、応力が分散されやすく、また、隅角部での滞留も生じないため、貫通孔 9 の作製における形成精度や歩留まりが向上する。その結果、品質の安定やコスト削減に資することができる。

10

#### 【 0 0 2 6 】

鉄箔部 5 をこのように導電部 7 で被覆することにより、鉄箔部 5 の貫通孔 9 に対応する箇所が腐食するため、例えば、鉄箔部が図 5 に示すようにリング状に腐食する可能性が低くなり、仮にリング状に腐食した場合であっても、リングの内側の腐食していない鉄箔部が、導電部を介してリングの外側の鉄箔部と導通する。これにより、静電容量の変化を正確に検知することができ、腐食の進展を正確に把握することができる。

#### 【 0 0 2 7 】

式（1）および式（2）から明らかなように、誘電率の大きさが、誘電正接や静電容量の変化に大きく関与するため、誘電体 11 は、誘電率が 3 以上の誘電体であることが望ましく、その厚さは 0.05 mm ~ 2 mm が望ましく、温度による変化が少ない誘電体が望ましい。これにより、センサの測定感度を向上させることができるとなる。誘電体 11 としては、誘電率が 3.3 であるポリイミドフィルムが好ましい。

20

#### 【 0 0 2 8 】

対向電極 15 は、耐腐食性が高い性能を有した金属が好ましい。鉄箔の腐食による減少を電気特性で捉えるためには、対向電極 15 の面積が変化しないことが前提である。対向電極 15 には、金または白金、パラジウム等に代表される貴金属をはじめ、対象である金属よりイオン化傾向の小さく導電性を有した金属であり、鉄が対象の場合はパラジウム、銅、ニッケル等を用いることができる。また、圧延以外にもスパッタリングや蒸着、メッキ等で成膜して形成する方法もある。対向電極 15 の厚さは問わない。

#### 【 0 0 2 9 】

30

リード線 13 は、導電部 7、または導電部 7 に被覆され腐食しない位置にある鉄箔部 5 に接続される。そして、リード線 13 の接続部や腐食センサ 1 の側面は、水の浸入による導通を避けるために、樹脂などで防水を行なう。

#### 【 0 0 3 0 】

鉄箔部 5 や導電部 7 は、設置までの腐食やコンクリート打設時の衝撃から保護するためには腐食因子が浸透するモルタルで被覆しても良い。

#### 【 0 0 3 1 】

図 3 は、モルタルまたはコンクリートに埋設する本実施形態に係る腐食センサの概略を示す図である。図 3 に示すように、腐食センサ 1 は、ゴム板 21 でケース 41 との間隔が設けられ、樹脂 23（例えば、エポキシ樹脂等）でケース 41 に接着されている。腐食センサ 1 は、静電正接および静電容量の計測を行なうため、リード線 13 を半田付けし、リード線 13 の接続部が腐食しないよう、鉄箔部 5 および導電部 7 のみが表面に露出するように、ケース 41 で外装され、ケース 41 内部は樹脂 45 で充填されている。このように構成したのは、リード線 13 の腐食を防止するためであり、また、周りに充填されるコンクリートの含水状態により誘電率が変動することから、その影響を回避するためである。さらに、腐食センサ 1 をコンクリート充填時の衝撃から保護する意味もある。なお、図 3 に示す鉄箔部 5 は、図面作成の都合上、白抜きで表現されている。

40

#### 【 0 0 3 2 】

##### [ 腐食センサの製造方法 ]

図 4 は、本実施形態に係る腐食センサの製造方法を示すフローチャートである。まず、

50

金属箔部としての鉄を圧延して鉄箔を製造する（ステップS101）。鉄箔は、3μm以上0.1mm以下の厚さを有するものとする。ここで、鉄箔は、蒸着やメッキにより形成される薄膜であっても良いし、板状に形成されていても良い。

#### 【0033】

次に、鉄箔材とポリイミド材との貼り合わせを行なう（ステップS102）。次に、鉄箔材を被覆するように所望のパターンでカーボンを蒸着させ、導電部を形成する（ステップS103）。ここでは、貫通孔も形成される。次に、対向電極としての対極板を形成する（ステップS104）。ここでは、例えば、スパッタリング、金属蒸着、プレーティング、金属塗料、金属板・金属箔の貼付などを用いることができる。次に、リード線の接続と防水加工を施し（ステップS105）、ケースの接着などセンサの外装を行なう（ステップS106）。

#### 【0034】

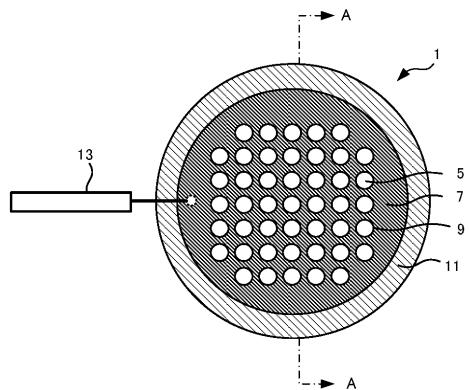
以上説明したように、本実施形態によれば、腐食の形状に左右されることなく、正確な腐食状態を把握することができる腐食センサを提供することができる。

#### 【符号の説明】

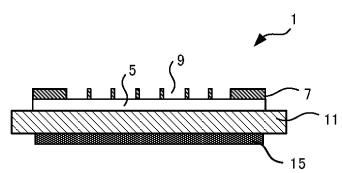
##### 【0035】

1	腐食センサ	20
5	鉄箔部	
7	導電部	
9	貫通孔	
11	誘電体	
13	リード線	
15	対向電極	
21	ゴム板	
23	樹脂	
41	ケース	
45	樹脂	
100	腐食センサ	
103	鉄箔部	
105	貫通孔	30
107	誘電体	
109	リード線	
X	円（腐食箇所）	

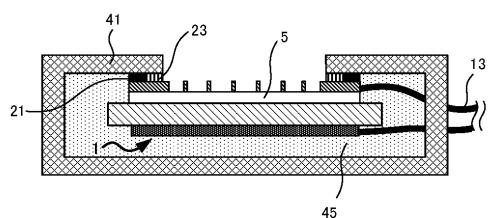
【図1】



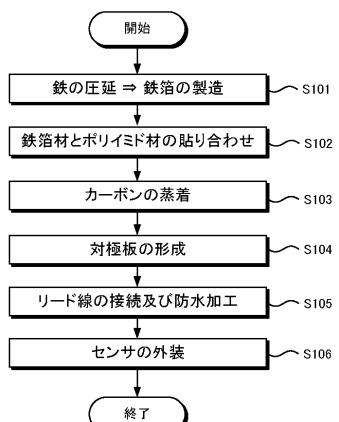
【図2】



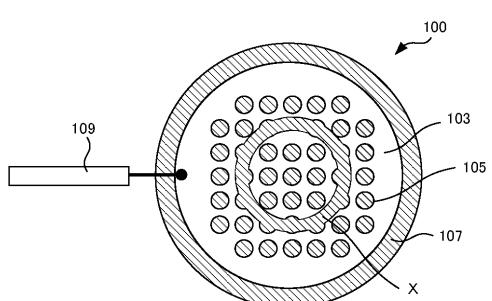
【図3】



【図4】



【図5】



---

フロントページの続き

(72)発明者 井坂 幸俊

千葉県佐倉市大作二丁目4番2号 太平洋セメント株式会社中央研究所内

(72)発明者 佐藤 達三

千葉県佐倉市大作二丁目4番2号 太平洋セメント株式会社中央研究所内

審査官 山口 剛

(56)参考文献 特開2017-032516 (JP, A)

特開2017-032514 (JP, A)

特表2017-530362 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01N 17/04

G01N 27/22