

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6574331号
(P6574331)

(45) 発行日 令和1年9月11日 (2019.9.11)

(24) 登録日 令和1年8月23日 (2019.8.23)

(51) Int. Cl.		F I	
GO 1 B 11/16	(2006.01)	GO 1 B 11/16	Z
GO 1 N 17/00	(2006.01)	GO 1 N 17/00	
GO 1 M 11/00	(2006.01)	GO 1 M 11/00	U

請求項の数 6 (全 11 頁)

(21) 出願番号	特願2015-62615 (P2015-62615)	(73) 特許権者	000000240
(22) 出願日	平成27年3月25日 (2015.3.25)		太平洋セメント株式会社
(65) 公開番号	特開2016-180740 (P2016-180740A)		東京都港区台場二丁目3番5号
(43) 公開日	平成28年10月13日 (2016.10.13)	(74) 代理人	100114258
審査請求日	平成29年8月29日 (2017.8.29)		弁理士 福地 武雄
		(74) 代理人	100125391
			弁理士 白川 洋一
		(72) 発明者	早野 博幸
			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	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

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 腐食センサおよび腐食検出方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

鉄筋コンクリート構造物を構成する鉄筋とは別体の鉄製の棒材と、前記棒材の表面に設けられ、前記棒材の腐食による体積膨張に伴うひずみを検出する光ファイバセンサと、を備える腐食センサを、鉄筋コンクリート構造物内に設置すると共に、

前記腐食センサの全表面に防錆処理を施したダミーセンサ、または、前記鉄製の棒材と線膨張係数が実質的に同等でかつ鉄筋より腐食しにくい第2の棒材と、前記第2の棒材の表面に設けられ、ひずみを検出する光ファイバセンサと、を備えるダミーセンサを、鉄筋コンクリート構造物内に設置し、

前記ダミーセンサによって腐食以外の要因で生じたひずみを検出し、前記ダミーセンサで検出したひずみを用いて、前記腐食センサによって検出した前記棒材の腐食による体積膨張に伴うひずみを補正することを特徴とする腐食検出方法。

【請求項 2】

前記棒材は、円柱状であることを特徴とする請求項 1 記載の腐食検出方法。

【請求項 3】

前記棒材は、前記鉄筋コンクリート構造物に用いられる鉄筋と同じ材質かより腐食しやすい材質からなるみがき棒鋼であることを特徴とする請求項 1 または請求項 2 記載の腐食検出方法。

【請求項 4】

前記棒材および前記光ファイバセンサを被覆する被覆部を更に備えることを特徴とする

10

20

請求項 1 から請求項 3 のいずれかに記載の腐食検出方法。

【請求項 5】

前記光ファイバセンサは、前記棒材の表面に巻回されることを特徴とする請求項 1 から請求項 4 のいずれかに記載の腐食検出方法。

【請求項 6】

前記腐食センサを、鉄筋コンクリート構造物内の鉄筋の表層面側に設置し、前記光ファイバセンサ中を伝搬する光波の特性変化を検出することを特徴とする請求項 1 から請求項 5 のいずれかに記載の腐食検出方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

10

【0001】

本発明は、鉄筋コンクリート構造物の腐食環境を検出する技術に関する。

【背景技術】

【0002】

従来から、腐食環境を検出する技術として、鉄等の細線が腐食することで変化する電気特性を検出する電氣的腐食センサが知られている（例えば、特許文献 1 および特許文献 2）。また、鉄筋の腐食を検知する方法としては、コンクリート構造物中の鉄筋にひずみゲージを貼り付け、鉄筋が損傷した場合のひずみを検知している（特許文献 3）。一方、光ファイバは、従来から構造物に生ずるひずみを検出するセンサとして用いられている。特許文献 4 では、計測対象となる構造物に、螺旋状に整形した光ファイバセンサを取り付け、この光ファイバセンサの光伝搬特性の変化を電気光学的測定装置により測定する。これにより、構造物に大きな変位を生じて、破断せずに変位を計測することを可能としている。

20

【0003】

また、特許文献 5 では、コンクリート構造物の内部において、スペーサ部材に掛け渡されて螺旋状に巻回されるテープ部材と、このテープ部材に沿って巻回される光ファイバとを用いる。これにより、コンクリート部材のせん断ひび割れを検出することを可能としている。

【先行技術文献】

【特許文献】

30

【0004】

【特許文献 1】 特開平 08-094557 号公報

【特許文献 2】 特開 2012-145330 号公報

【特許文献 3】 特許第 4975420 号明細書

【特許文献 4】 特開 2000-097647 号公報

【特許文献 5】 特許第 4008623 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

鉄筋コンクリート構造物内の腐食を検知する方法として、従来から、自然電位法が知られているが、この方法は、コンクリート表面をはつってケーブルと内部の鉄筋と導通させて計測しなければならない、また、コンクリート表面を十分湿潤状態にしないと計測ができないといった課題が存在する。さらに、構造物の表面が樹脂系塗料やタイル仕上げなどの場合は、計測することができない。

40

【0006】

従来から知られている電氣的腐食センサでは、伝送損失、電磁干渉の影響などがあり、さらに常時モニタリングとした場合は、計測時に電流が流れるのでセンサ自体の腐食を促進してしまうなどの欠点がある。また、これら鉄線や鉄箔の腐食断線等による検出では、電氣的特性を経時的に捕らえることはできず、腐食環境になったことを検知するのみで、その後の進行度を評価するのは困難である。

50

【0007】

また、腐食に伴う鋼材のひずみを計測するために、直接鋼材にひずみゲージを貼付したり、近傍に設置する場合、鉄筋の腐食環境を事前に検知することができない。あるいはその計測器や接着剤などが鋼材を覆ってしまうため、腐食の発生に影響を及ぼし、正確な腐食の検出ができない恐れがある。さらに、その部分に腐食が発生すると、ひずみゲージが剥がれてしまって、計測ができなくなったり、あるいは計測はできても正しい結果が得られなくなったりする場合もある。

【0008】

一方、直接、構造物内の鉄筋に光ファイバを巻きつける手法は、構造物全体に光ファイバを配置し、構造物の損傷や変形を検知するものであり、腐食環境を検知するものでない。たとえば、腐食によるひずみを検知したとしても、鉄筋が腐食損傷してから検知することとなる。

【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、光ファイバセンサを用いて鋼材の腐食環境を早期かつ正確に検出することができる腐食センサおよび腐食検出方法を提供することを目的とする。

【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、鉄筋コンクリート構造物の腐食環境を検出する腐食センサであって、鉄製の棒材と、前記棒材の表面に設けられ、ひずみを検出する光ファイバセンサと、を備えることを特徴とする。

【0011】

このように、鉄製の棒材と、棒材の表面に設けられ、ひずみを検出する光ファイバセンサと、を備えるので、長距離伝送が可能な光信号を用いることができ、多点計測を行なうことが可能となる。また、棒材の腐食に伴って生ずるひずみによって、光ファイバセンサ中を伝搬する光波の特性変化を検出するので、電気的な腐食センサを用いた場合のような伝送損失や電磁干渉などの影響を受けることがなく、計測時に電流が流れることによる腐食の進行も生じないため、正確で利便性の高い腐食センサを実現することが可能となる。また、腐食環境を検知後も、ひずみを継続して測定することで、腐食環境の進行度も知る

【0012】

(2) また、本発明の腐食センサにおいて、前記棒材は、円柱状であることを特徴とする。

【0013】

このように、棒材を円柱状としたので、リブや節を有する異形鉄筋とは異なり、光ファイバを巻き付けた場合に隙間がなく密着して巻き付け可能で腐食によるひずみ変化を検知しやすく、巻き付け時に光ファイバが損傷しにくい。

【0014】

(3) また、本発明の腐食センサにおいて、前記棒材は、前記鉄筋コンクリート構造物に用いられる鉄筋と同じ材質かより腐食し易い材質からなるみがき棒鋼であることを特徴とする。

【0015】

このように、対象とするコンクリートの鉄筋と材質を同じかそれより腐食しやすい材質にすることでより早期に腐食環境を検知することができる。さらに、鉄筋の棒材は防錆処理が施されているが、防錆処理が施されていないみがき棒鋼とすることで腐食しやすくなり、より早期に腐食環境を検知できる。

【0016】

(4) また、本発明の腐食センサは、前記棒材および前記光ファイバセンサを被覆する被覆部を更に備えることを特徴とする。

【0017】

このように、棒材および光ファイバセンサを被覆する被覆部を更に備えるので、腐食生成物による膨張を抑えることができる。また、鉄筋コンクリート構造物内に設置する前に鉄製の棒材が錆びてしまうことを回避することが可能となる。さらに、センサ設置時やコンクリートの打設時などの施工中に棒鋼や光ファイバセンサが損傷することがない。

【0018】

(5) また、本発明の腐食センサにおいて、前記光ファイバセンサは、前記棒材の表面に巻回されることを特徴とする。

【0019】

この構成により、棒材に生じた体積変化によるひずみを光ファイバセンサによって検出することが可能となる。

10

【0020】

(6) また、本発明の腐食検出方法は、上記(1)から(5)のいずれかに記載の腐食センサを、鉄筋コンクリート構造物内の鉄筋の表層面側に設置し、前記光ファイバセンサ中を伝搬する光波の特性変化を検出することを特徴とする。

【0021】

このように、腐食センサを、鉄筋コンクリート構造物内の鉄筋の表層面側に設置するので、鉄筋コンクリート構造物内の鉄筋よりも先に腐食センサの棒材が腐食するため、腐食因子侵入の早期検出が可能となる。

【0022】

20

(7) また、本発明の腐食検出方法は、上記(1)から(5)のいずれかに記載の腐食センサを、鉄筋コンクリート構造物内に設置すると共に、上記(1)から(5)のいずれかに記載の腐食センサの全表面に防錆処理を施したダミーセンサ、または、前記鉄製の棒材と線膨張係数が実質的に同等でかつ鉄筋より腐食しにくい第2の棒材と、前記第2の棒材の表面に設けられ、ひずみを検出する光ファイバセンサとを備えるダミーセンサを、鉄筋コンクリート構造物内に設置し、前記ダミーセンサによって腐食以外の要因で生じたひずみを検出し、前記ダミーセンサで検出したひずみを用いて、上記(1)から(5)のいずれかに記載の腐食センサによって検出したひずみを補正することを特徴とする。

【0023】

このように、ダミーセンサを用いて腐食以外の要因で生じたひずみを検出し、ダミーセンサで検出したひずみを用いて、上記(1)から(5)のいずれかに記載の腐食センサによって検出したひずみを補正するので、例えば、温度ひずみなどの腐食以外の要因で生じたひずみの影響を除去することが可能となる。

30

【発明の効果】

【0024】

本発明によれば、長距離伝送が可能な光信号を用いることができ、多点計測を行なうことが可能となる。また、電氣的な腐食センサを用いた場合のような伝送損失や電磁干渉などの影響を受けることがなく、計測時に電流が流れることによる腐食の進行も生じないため、正確で利便性の高い腐食センサを実現することが可能となる。

【図面の簡単な説明】

40

【0025】

【図1】本実施形態に係る腐食センサの概略構成を示す図である。

【図2】本実施形態に係る腐食センサとダミーセンサを鉄筋コンクリート構造物内に設置した様子を模式的示す図である。

【図3】みがき棒に対する光ファイバセンサの巻き方を示す図である。

【図4】本実施例に係る試験体の概略構成を示す図である。

【図5】本実施形態に係る腐食センサの検出例を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0026】

図1は、本実施形態に係る腐食センサの概略構成を示す図である。この腐食センサ11

50

は、鉄製の棒材としてのみがき棒鋼12と、みがき棒鋼12の表面に巻回され、ひずみを検出する検知部13を有する光ファイバセンサ14と、を備えている。これにより、長距離伝送が可能な光信号を用いることができ、多点計測を行なうことが可能となる。また、腐食センサ11は、みがき棒鋼12と光ファイバセンサ14を被覆する被覆部15を備えている。被覆部15は、例えば、かぶりが10mmのモルタルで構成することができる。被覆部15を備えるので、鉄筋コンクリート構造物内に設置する前にみがき棒鋼12が錆びてしまうことを回避することが可能となる。

【0027】

鋼材が腐食すると腐食生成物が生じ、体積膨張が生じる。鋼材に腐食が生じた場合には、温度や外力などの影響以外に、何らかのひずみ挙動が生じることから、鋼材のひずみを計測すれば腐食が検知可能となる。その挙動は、環境条件やコンクリートによって異なるため、光ファイバセンサ14をみがき棒鋼12に巻き付ける際には、密着するように、好ましくは引張力が加わるように巻き付ける。これにより、膨張側・収縮側両方のひずみが計測できるようになる。また、みがき棒鋼12に光ファイバセンサ14を巻き付ける際には、光ファイバセンサ14を、直線状に貼付したり、波状に曲折して貼付したりしても良いが、好ましくは周回するようにらせん状、またはループ状に巻き付ける。周回数は多いほど腐食部分と光ファイバが重なるので早期に検知するが、周回数が多すぎるとみがき棒鋼12への腐食因子の到達を妨げることになる。周回数は、目安としてファイバ長(mm)／棒鋼表面積(mm²)が0.01～2である。とにかく、みがき棒鋼12に生ずる腐食の変化をひずみとして検出できればよい。なお、みがき棒鋼12に光ファイバセンサ14を巻き付ける場合には、みがき棒鋼12は、円柱状で表面が平滑なほど均一に巻き付けられ、光ファイバセンサが破損しにくいと好ましい。また、検知部13はFBGセンサ等を用いることができ、検知部13が長いほど、あるいは多いほど好ましい。

【0028】

被覆部15を構成するモルタルは、腐食因子の侵入を妨げないように、また、早期に腐食因子がみがき棒鋼12に到達するように、水セメント比を構造体コンクリートより高めにする。被覆部15は、ひび割れることなくみがき棒鋼12を保護できるよう、3～15mmの厚さが好ましい。また、分離やブリーディングが生じないように混和材を使用するのが好ましい。

【0029】

ここで、すでに腐食劣化した鉄筋コンクリート構造物を補修する際には、鉄筋裏側(内部)に内在塩分が含まれているが、腐食センサ11を鉄筋コンクリート構造物内にそのまま設置することにより、かぶり(表面)側からの劣化因子侵入と内在塩分の影響が含まれるように全周囲方向からの劣化因子による腐食を検知する。一方、かぶり(表面)側だけからの劣化因子を検知する場合は、腐食センサ11の背面側をエポキシ樹脂などで被覆し、背面からの劣化因子の影響を遮断する。また、補修部をモルタルで修復する場合、腐食センサを設置まで錆びないように保管しておけば、モルタルの修復で腐食センサが損傷することはないので、被覆部はなくてもよい。

【0030】

埋設した腐食センサ11のコンクリート表面からの深さと、鉄筋の深さから、鋼材に腐食因子が到達するまでの期間を拡散の理論に基づいて精度よく予測することができ、コンクリート構造物の維持管理では有用な情報となる。例えば、腐食因子が拡散によってコンクリート表面から内部へ浸透するとすれば、コンクリート表面から腐食センサ11までの距離をA、コンクリート表面から鉄筋までの距離をB、コンクリート構造物建設から腐食センサ11が腐食因子を検知した時間をTAとすると、コンクリート構造物建設から鋼材の腐食が生じるまでの時間TBは、 $TB = TA \cdot (B^2 / A^2)$ として予測することができ、腐食センサ11で検知した情報に基づいて、コンクリート構造物を劣化から守る対策を劣化が生じる前に施すことが可能となる。また、複数の腐食センサを、さらにはコンクリート表面から異なる深さに設置することでより正確に鉄筋が腐食を生じるまでの時間を求めることができる。

【0031】

図2は、本実施形態に係る腐食センサとダミーセンサを鉄筋コンクリート構造物内に設置した様子を模式的示す図である。図2に示すように、この鉄筋コンクリート構造物21は、横方向や縦方向に鉄筋23を備えている。そして、鉄筋23よりも表面に近い位置にダミーセンサ25、腐食センサ26、27が設けられている。また、データロガー33が設けられている。劣化因子は、鉄筋23よりも先に腐食センサ26、27に影響を与える。このように、腐食センサ11を鉄筋コンクリート構造物内に設置する際には、鉄筋コンクリート構造物内の鉄筋の表層面側に設置することが望ましい。表層面側に設置することによって、鉄筋コンクリート構造物内の鉄筋よりも先に腐食センサの棒材が腐食するため、腐食の早期検出が可能となる。

10

【0032】

腐食センサ11を鉄筋コンクリート構造物内に設置して、腐食を検出する場合、ダミーセンサを併せて用いることが望ましい。ダミーセンサは、腐食センサ11の全表面に防錆処理を施したダミーセンサを用いても良いし、または、みがき棒鋼12と線膨張係数が実質的に同等でかつ鉄筋より腐食しにくい第2の棒材と、第2の棒材の表面に設けられ、ひずみを検出する光ファイバセンサとを備えるダミーセンサを用いても良い。

【0033】

そして、腐食センサ11およびダミーセンサを鉄筋コンクリート構造物内に設置し、ダミーセンサによって腐食以外の要因で生じたひずみを検出し、ダミーセンサで検出したひずみを用いて、腐食センサ11によって検出したひずみを補正しても良い。これにより、例えば、温度ひずみなどの腐食以外の要因で生じたひずみの影響を除去することが可能となる。

20

【0034】

すなわち、鉄筋コンクリート構造物には、温度・湿度やコンクリートの収縮、外力によって様々なひずみが生じる。従って、少なくとも腐食センサ11よりも腐食しにくいダミーセンサを使用し、そのひずみ挙動と比較して腐食を判定する。ダミーセンサは、被覆モルタルにエポキシ樹脂などで被覆し、中性化や劣化因子の侵入を防いで内部の炭素鋼の腐食を防ぐ方法がある。または、炭素鋼と線膨張係数が同等のステンレス（例えば、SUS410など）を使用する。

【実施例1】

30

【0035】

次に、腐食センサの実施例について説明する。ここでは、試験的に塩水中で腐食を検知した場合を例にとりて説明する。本実施例では、腐食センサの概要を以下のようにした。

【0036】

【表1】

項目	条件
棒鋼の直径(mm)	20
棒鋼の長さ(mm)	10
ファイバ巻き数(巻)	1

40

【0037】

なお、みがき棒鋼の形状やファイバの巻き数は一例であり、本発明はこれらに限定されるわけではない。みがき棒鋼は、JISG 3108 SGD3Mを使用した。

【0038】

また、ダミーセンサによるひずみ挙動の差異で腐食検知を行うのが好ましく、被覆モルタルの体積変化や含水率の影響がひずみに表れることが予想されるため、腐食センサの試験体の仕様に応じて、ダミーセンサの試験体を作製した。

50

【0039】

図3は、みがき棒鋼に対する光ファイバセンサの巻き方を示す図である。みがき棒鋼に対する光ファイバの巻き方は、一定の張力下、例えば、巻き付け時に多少の引張ひずみが出ていることを確認した上で、巻き付け作業を行い、端部をC N（東京測器製）で固定する。図3（b）は、本実施例を示す。

【0040】

光ファイバセンサ（FBGセンサ）は、例えば、以下の仕様のものを用いる。

【0041】

【表2】

項目	値
中心波長	1548.5±0.5nm
反射率	80±5%
帯域幅	0.35±0.05nm

10

20

【0042】

次に、被覆部としてのモルタルについて説明する。モルタルの使用材料は、次の表に示す通りである。

【0043】

【表3】

種類	記号	産地・銘柄等	密度 (g/cm ³)
水	W	水	-
セメント	C	普通ポルトランドセメント	3.16
混和材	L	炭酸カルシウム	2.71
細骨材	S	豊浦珪砂	2.64

30

【0044】

次に、モルタルの配合は、次の表に示す通りである。

【0045】

【表4】

W/C (%)	W/B (%)	空気量 (%)	単位量(kg/m ³)			
			W	C	L	S
60	36	12.0	250	417	277	1045

40

【0046】

なお、上記の表中、「B」とは、「C」と「L」とを混合したものである。

【0047】

[モルタルの練混ぜ方法]

腐食センサに用いるモルタルは、“株式会社丸東製作所社製のモルタルミキサ（2L練）”を用いて練混ぜを行なった。練混ぜ手順は、以下の通りである。なお、モルタルの練混

50

ぜは、 $20 \pm 2^\circ\text{C}$ 、湿度 50% 以上の恒温恒湿室にて行なった。

【0048】

塩ビ製型枠（内径 $\phi 40\text{ mm}$ ×高さ 50 mm ）にモルタルを打込み、その中に光ファイバを巻いた棒鋼を中央部に入れ、その後、同じ恒温恒湿室で3時間養生後、 20°C 湿度 95% 以上で7日間養生し、脱型した。

【0049】

図4は、本実施例に係る試験体の概略構成を示す図である。図4に示すように、試験体40は、腐食センサ11に対して、上下方向のかぶりが 20 mm であり、左右方向のかぶりが 10 mm である。次の表は、試験体の概要を示す。

【0050】

試験体を腐食環境下（温度 40°C 下で、 NaCl 10% 水溶液に浸漬1日、湿度 60% 乾燥3日、再度 NaCl 10% 水溶液に浸漬1日、以降は湿度 60% 乾燥）におき、計測機器（株式会社渡辺製作所製）により波長の変化を計測した。 NaCl 10% 水溶液の浸漬は、光ファイバ引き出し部から NaCl 水溶液の侵入がないように、試験体の下端から 30 mm の部分までを浸漬させた。また、ダミー試験体は、ここでは実験上腐食しない棒鋼を用いずに腐食センサと同じ試験体を用いており、 NaCl 水溶液を用いる代わりに腐食することのない純水に浸漬した。

【0051】

以下の式により、波長からひずみに変換し、腐食によるひずみの変化を確認した。

【0052】

【数1】

$$\varepsilon = \left(\lambda - \lambda^* \right) \times 1000 / 1.2$$

ここで、 ε ：ひずみ（ μ ）、 λ ：測定時の波長（ nm ）、 λ^* ：初期波長（ nm ）である。

【0053】

図5は、腐食環境下における経過時間とひずみとの関係を示すグラフである。本実施例では、1日と4日に塩水や水に浸漬したため、温度変化やモルタルの吸水などで一時的にひずみは変化した。また、ダミーセンサも同じ様にひずみは変化したため、腐食によるものではない。16日に腐食センサとダミーセンサのひずみ量が乖離した。そこで、腐食センサの被覆モルタルを除去したところ、棒鋼が腐食していることが確認された。

【0054】

以上説明したように、本実施形態によれば、みがき棒鋼12の表面に設けられ、ひずみを検出する光ファイバセンサ13、14と、を備えるので、長距離伝送が可能な光信号を用いることができ、多点計測を行なうことが可能となる。また、電氣的な腐食センサを用いた場合のような伝送損失や電磁干渉などの影響を受けることがなく、計測時に電流が流れることによる腐食の進行も生じないため、正確で利便性の高い腐食センサを実現することが可能となる。

【符号の説明】

【0055】

- 11 腐食センサ
- 12 みがき棒鋼
- 13 検知部
- 14 光ファイバセンサ
- 15 被覆部
- 21 鉄筋コンクリート構造物
- 23 鉄筋
- 25 ダミーセンサ

10

20

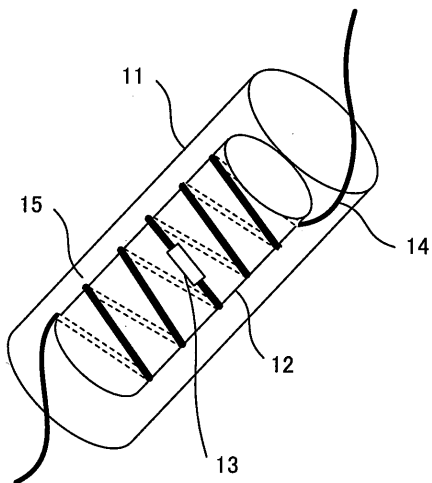
30

40

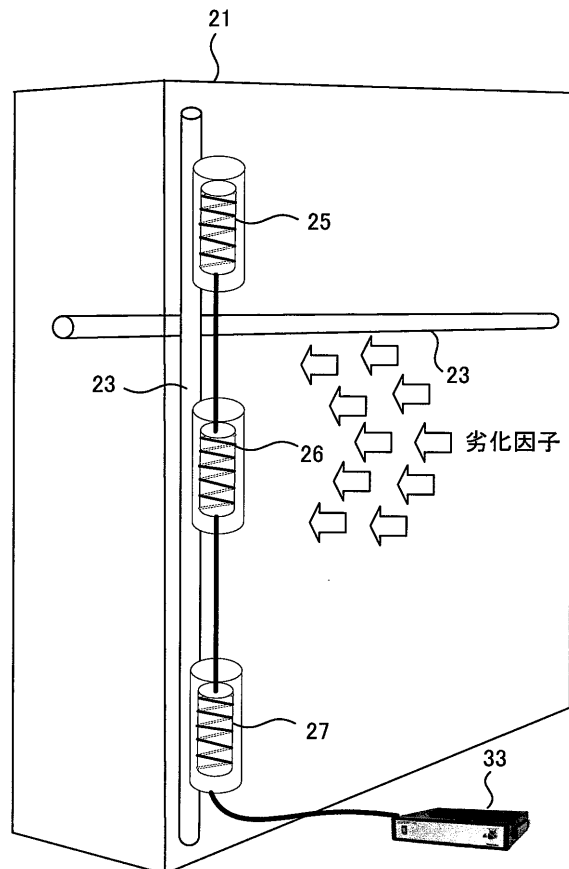
50

- 2 6 腐食センサ
- 4 0 試験体
- 4 1 みがき棒鋼
- 4 2 光ファイバセンサ

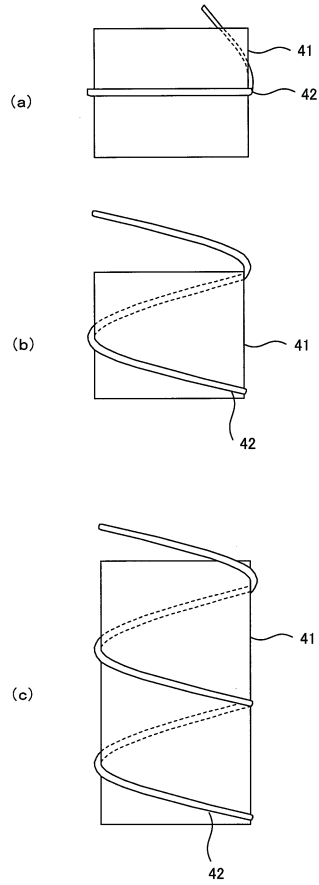
【図 1】



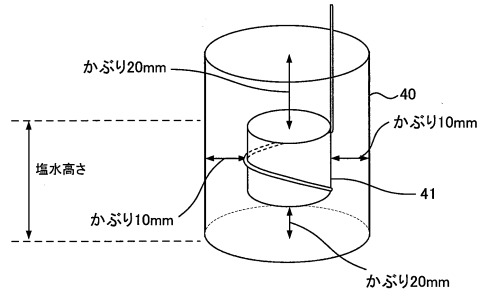
【図 2】



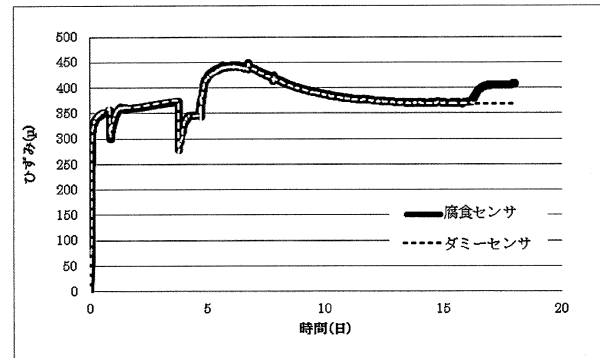
【図 3】



【図 4】



【図 5】



フロントページの続き

(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

審査官 眞岩 久恵

(56)参考文献 特開2008-191076 (JP, A)

特開2002-267575 (JP, A)

特開2002-218615 (JP, A)

特開2002-107269 (JP, A)

特開2013-072674 (JP, A)

特開2009-150800 (JP, A)

Zhao 他, Brillouin Corrosion Expansion Sensors for Steel Reinforced Concrete Structures Using a Fiber Optic Coil Winding Method, Sensors, 2011年11月16日, 第11巻, 第11号, 第10798-10819頁

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01B 11/00-11/30

G01M 11/00

G01N 17/00