

(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2007-292572

(P2007-292572A)

(43) 公開日 平成19年11月8日(2007.11.8)

(51) Int. Cl.

GO 1 N 27/72 (2006.01)

F I

GO 1 N 27/72 Z A A

テーマコード(参考)

2 G O 5 3

審査請求 未請求 請求項の数 15 O L (全 13 頁)

(21) 出願番号

特願2006-120130 (P2006-120130)

(22) 出願日

平成18年4月25日(2006.4.25)

(71) 出願人

504174135

国立大学法人九州工業大学

福岡県北九州市戸畑区仙水町1番1号

(74) 代理人

100108660

弁理士 大川 譲

(72) 発明者

小森 望充

福岡県北九州市戸畑区仙水町1番1号 国

立大学法人九州工業大学内

Fターム(参考) 2G053 AA12 AB01 BA02 BA12 BA14

BA21 BA26 BB11 BB13 BC02

BC03 BC04 BC05 BC14 CA05

CB29 DB20 DB23

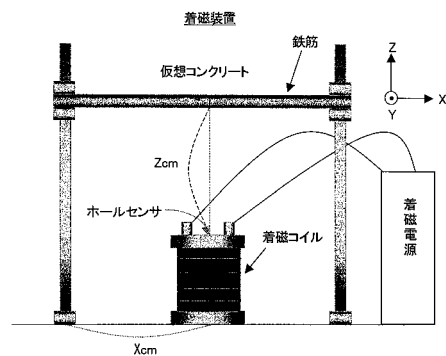
(54) 【発明の名称】 非破壊検査方法及び装置

(57) 【要約】

【課題】複数の鉄筋または配管が平行に配置された場合や格子状に配置された場合にも、それらの深さ、腐食状況、破断状況を評価する。

【解決手段】本発明は、非磁性材構造物の内部に複数本配置された棒状或いは管状の磁性材の位置或いは腐食状態を非破壊的に解析する。目標磁性材に対向する位置で構造物外部から着磁して、複数本の磁性材の総合した磁束密度を構造物外部で計測する。計測した総合磁束密度から、目標磁性材以外に少なくとも1つ存在する他の磁性材に相当する磁性材について予め求めておいた磁束密度を差し引いて、目標磁性材のみによる磁束密度を求めることにより、目標磁性材の位置を特定し、或いは該磁性材の腐食状態を解析する。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

非磁性材構造物の内部に複数本配置された棒状或いは管状の磁性材の位置或いは腐食状態を非破壊的に解析する非破壊検査方法において、

目標とする磁性材に対向する位置で、前記複数本の磁性材に対して構造物外部から着磁し、かつ、この着磁された前記複数本の磁性材の総合した磁束密度を、構造物外部で計測し、

前記計測した総合磁束密度から、前記目標とする磁性材以外に少なくとも1つ存在する他の磁性材に相当する磁性材について予め求めておいた磁束密度を差し引いて、前記目標とする磁性材のみによる磁束密度を求めることにより、前記目標とする磁性材の位置を特定し、或いは該磁性材の腐食状態を解析する、
ことから成る非破壊検査方法。

10

【請求項 2】

前記磁性材の着磁を二段階で行い、

第一段階の着磁による磁束密度の計測により、磁性材位置を特定した後、交番磁場を印加することにより前記磁性材を脱磁し、

第二段階の着磁として、特定された前記目標とする磁性材に対向する位置での着磁を行う請求項 1 に記載の非破壊検査方法。

【請求項 3】

前記非磁性材構造物がコンクリート、断熱材、又は保護材料であり、かつ、前記磁性材が鉄筋又は配管である請求項 1 に記載の非破壊検査方法。

20

【請求項 4】

前記着磁は、コイルにパルス電流を流すことにより発生させたパルス磁場、或いは超電導線材を用いる超電導マグネットにより発生させた磁場、或いは着磁した超電導体により定期的に発生させた磁場により行う請求項 1 に記載の非破壊検査方法。

【請求項 5】

前記磁性材位置の特定は、座標軸 X 方向に伸びる磁性材に直交する一つの方向を Z 方向、さらに、これらに直交する方向を Y 方向として、前記求められた目標とする磁性材のみによる磁束密度の Y 方向成分及び Z 方向成分から演算して、前記目標とする磁性材の構造物内の深さを求めることにより行う請求項 1 に記載の非破壊検査方法。

30

【請求項 6】

前記磁性材の腐食状態は、磁性材の直径に依存して変化する最大磁束密度を、着磁点の近くで計測することにより解析する請求項 1 に記載の非破壊検査方法。

【請求項 7】

磁束密度の計測結果を画像処理して、可視化した磁場分布を用いることによって、磁性材の位置を特定し、或いは該磁性材の腐食状態を解析する請求項 1 に記載の非破壊検査方法。

【請求項 8】

非磁性材構造物の内部に複数本配置された棒状或いは管状の磁性材の位置或いは腐食状態を非破壊的に解析する非破壊検査装置において、

40

前記磁性材を、構造物外部から着磁する磁場を発生する機能を有する着磁装置と、前記着磁装置により着磁された前記磁性材の磁束密度を、構造物外部で計測する磁気センサとを備え、

目標とする磁性材に対向する位置で、前記複数本の磁性材に対して構造物外部から着磁し、かつ、この着磁された前記複数本の磁性材の総合した磁束密度を、構造物外部で計測し、

前記計測した総合磁束密度から、前記目標とする磁性材以外に少なくとも1つ存在する他の磁性材に相当する磁性材について予め求めておいた磁束密度を差し引いて、前記目標とする磁性材のみによる磁束密度を求めることにより、前記目標とする磁性材の位置を特定し、或いは該磁性材の腐食状態を解析する、

50

ことから成る非破壊検査装置。

【請求項 9】

前記着磁装置は、さらに交番磁場を発生する機能を有して、着磁を行った前記磁性材の磁束密度の計測により磁性材位置を特定した後に、交番磁場を印加することにより前記磁性材を脱磁し、

前記着磁装置は、特定された前記目標とする磁性材に対向する位置での着磁を行う請求項 8 に記載の非破壊検査装置。

【請求項 10】

前記非磁性材構造物がコンクリート、断熱材、又は保護材料であり、かつ、前記磁性材が鉄筋又は配管である請求項 8 に記載の非破壊検査装置。

10

【請求項 11】

前記着磁装置は、コイルにパルス電流を流すことにより発生させたパルス磁場、或いは超電導線材を用いる超電導マグネットにより発生させた磁場、或いは着磁した超電導体により定常的に発生させた磁場により着磁を行う請求項 8 に記載の非破壊検査装置。

【請求項 12】

前記磁性材位置の特定は、座標軸 X 方向に伸びる磁性材に直交する一つの方向を Z 方向、さらに、これらに直交する方向を Y 方向として、前記求められた目標とする磁性材のみによる磁束密度の Y 方向成分及び Z 方向成分から演算して、前記目標とする磁性材の構造物内の深さを求めることにより行う請求項 8 に記載の非破壊検査装置。

【請求項 13】

前記磁性材の腐食状態は、磁性材の直径に依存して変化する最大磁束密度を、着磁点の近くで計測することにより解析する請求項 8 に記載の非破壊検査装置。

20

【請求項 14】

前記着磁装置は、前記磁性材の長手方向に沿って複数個備えられる請求項 8 に記載の非破壊検査装置。

【請求項 15】

磁束密度の計測結果を画像処理して、可視化した磁場分布を用いることによって、磁性材の位置を特定し、或いは該磁性材の腐食状態を解析する請求項 8 に記載の非破壊検査装置。

30

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、コンクリート、断熱材、又は保護材料などの非磁性材構造物の内部に存在する複数本の鉄筋、配管などの磁性材の位置或いは腐食状態を非破壊的に解析する非破壊検査方法及び装置に関する。

【背景技術】

【0002】

土木・建築分野（建設業界）において、トンネル、橋梁、ビルなどのコンクリート構造物内の腐食した鉄筋の位置やその程度を知ることは、メンテナンスの関係上非常に重要である。橋梁や高架橋等の鉄筋コンクリート構造物は、鉄筋の腐食が進行すると鉄筋の体積が膨張し、ひび割れやコンクリートの剥落が発生して、構造物の耐久性を低下させることが知られている。これを未然に診断する様々な方法として電磁波レーダー法、電磁誘導法、自然電位法、表面電位差法、などの技術が用いられているが、現在、非破壊でコンクリート内部の鉄筋の腐食状況を測定・評価できる簡便な手法はなく、手間とコストが掛かっている実情がある。

40

【0003】

何らかの原因で着磁したコンクリート内部の鉄筋または鉄骨などの状況を調べる装置（特許文献 1、特許文献 2 参照）、金属の存在量を計測する装置（特許文献 3 参照）などが知られている。しかし、これらは着磁を積極的に利用しているわけではない。

50

【0004】

このように様々な方法で鉄筋コンクリートの非破壊検査が行われているが、その多くは、コンクリートの劣化や空洞、亀裂などを探査するものである。より簡単に、コンクリート中という特殊な環境を生かした鉄筋の腐食探査法が求められている。

【特許文献1】特開2002-77953号公報

【特許文献2】特開2003-185636号公報

【特許文献3】特開平7-151731号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

本出願人は、係る問題点を解決するために、先の出願（特願2005-87757号）の中で、コンクリート、断熱材、又は保護材料などの非磁性材構造物内部の鉄筋、配管などの磁性材を着磁させ、その磁束分布を解析することで、磁性材の腐食状態を非破壊的に評価する非破壊検査方法及び装置を提案した。しかし、先の出願によれば、主に1本の鉄筋または配管に適用することはできるが、複数の鉄筋または配管が平行に配置された場合や格子状に配置された場合には、対処できない。

10

【0006】

そこで、本発明は、複数の鉄筋または配管が平行に配置された場合や格子状に配置された場合にも、それらの深さ、腐食状況、破断状況を評価することを目的としている。

【課題を解決するための手段】

20

【0007】

本発明の非破壊検査方法は、非磁性材構造物の内部に複数本配置された棒状或いは管状の磁性材の位置或いは腐食状態を非破壊的に解析する。目標とする磁性材に対向する位置で、複数本の磁性材に対して構造物外部から着磁し、かつ、この着磁された複数本の磁性材の総合した磁束密度を、構造物外部で計測する。計測した総合磁束密度から、目標とする磁性材以外に少なくとも1つ存在する他の磁性材に相当する磁性材について予め求めておいた磁束密度を差し引いて、目標とする磁性材のみによる磁束密度を求めることにより、目標とする磁性材の位置を特定し、或いは該磁性材の腐食状態を解析する。

【0008】

また、本発明の非破壊検査装置は、非磁性材構造物の内部に複数本配置された棒状或いは管状の磁性材の位置或いは腐食状態を非破壊的に解析する。磁性材を、構造物外部から着磁する磁場を発生する機能を有する着磁装置と、着磁装置により着磁された磁性材の磁束密度を、構造物外部で計測する磁気センサとを備え、目標とする磁性材に対向する位置で、複数本の磁性材に対して構造物外部から着磁し、かつ、この着磁された複数本の磁性材の総合した磁束密度を、構造物外部で計測する。計測した総合磁束密度から、目標とする磁性材以外に少なくとも1つ存在する他の磁性材に相当する磁性材について予め求めておいた磁束密度を差し引いて、目標とする磁性材のみによる磁束密度を求めることにより、目標とする磁性材の位置を特定し、或いは該磁性材の腐食状態を解析する。

30

【発明の効果】

【0009】

本発明によれば、一般に用いられている複数本の鉄筋や複数本の配管の深さ、腐食状況、破断状況などが非破壊で評価できるので、経費節減など経済効果は非常に大きい。これによって、本発明は土木・建築分野（建設業界）において、構造物内の鉄筋などの検査が簡単に出来ることから、トンネル、橋梁、ビルなどのメンテナンス時期を評価可能となる。また、配管（パイプ）が断熱材や保護材料で厚く覆われている場合も、断熱材や保護材料を剥離しないで配管の腐食を検査したり、地中の配管などを掘り起こさずに検査することが可能となる。

40

【発明を実施するための最良の形態】

【0010】

本発明は、コンクリート等の構造物内部の磁性材（鉄筋）を着磁させ、その磁束密度を

50

計測し、その磁束分布から、鉄筋の腐食状態を解析する。以下、鉄筋を例として説明するが、本発明は、鉄筋のような中実のものに限らず、配管などの中空鉄筋（パイプ）等の棒状或いは管状の「磁化する材料」であれば「強磁性材料」や「反磁性材料」も含む材料を解析することができ、建築や土木分野だけでなく、プラントや設備における配管、地中の配管なども対象に出来る。さらに、構造物としてコンクリートを例として説明するが、本発明は、配管（パイプ）を厚く覆う断熱材や保護材料などの非磁性材に対して適用できる。

【0011】

鉄筋の解析のためには、構造物内部の鉄筋位置を特定する必要がある。そのためには、まず、第一工程として、鉄筋が配置されていると推測される位置の近辺から、着磁磁場を印加して鉄筋の着磁を行う。そして、その時の磁束分布を計測する。この計測された磁束分布から鉄筋の配置を確認する。但し、鉄筋位置が、例えば設計図面とか前回の計測などにより確認できているときは、この第一工程を省略することができる。

10

【0012】

次に、第二工程として、上記の結果から確認された鉄筋に対して直交方向から、即ち、上、下、横方向等の径方向から着磁を行い、磁束分布を計測する。この磁束分布に基づいて、鉄筋の腐食状態を解析する。以下、さらに具体的に説明する。

【0013】

（着磁及び計測）

図1は、着磁装置を例示する図である。この着磁装置の着磁コイルの真上には、構造物（図示の仮想コンクリート）内の鉄筋を模擬する実験用の鉄筋が、その両側で非磁性材の支柱によって支持されている。図中、X方向に伸びるよう配置した1本の鉄筋のみが見えているが、複数本の鉄筋を平行配置する場合も同様にX方向に伸びるように配置し、また、複数本の鉄筋を交差配置する場合は、X方向だけでなくY方向にも配置するものとして、以下説明する。図中の着磁電源は、構造物内の鉄筋を磁化させるのに十分な直流電流（パルス電流）を流すことができるものである。さらに、この電源は、必要があれば一度着磁した鉄筋を脱磁させる交番磁界を発生させるのに十分な交番電流を流すことができるものである。ホールセンサは、着磁時の印加磁場を測るためのもので、着磁コイルから発生した磁場を計測することができる。

20

【0014】

本発明の着磁電源としては、強磁場を発生できるものであればどのような構成のコイル（銅線）も用いることができる。さらに、このコイルは、液体窒素などによる冷却を行うとコイルの電気抵抗が数分の1程度に小さくなり、発熱を小さくして電流を流れ易くすることができる。例示の装置においては、コイルに流す直流電流として、パルス電流（例えば、150ms程度の時間幅を有する三角形状波形のパルス）を流す。これによって、瞬間的に強力な磁場（例えば、約5テスラ（ Wb/m^2 ））を発生させ、その磁場を対象物に印加することで物体を磁化することが可能となる。パルス着磁法は、電流を瞬間的に流して磁場を発生させるので、大電流を流すことができ、高磁場を発生することができる。また、パルス磁界による着磁は、超電導コイルなどの大型装置を必要としないので、装置のコンパクト化、低コスト化を図ることができ、機器に組み込んだ状態でも着磁が可能であるなどの利点もある。

30

40

【0015】

静磁場着磁法は、電磁石や超電導磁石による静磁場により着磁する方法で、装置自体が大型となるが、効率よく着磁することができる。超電導線材を用いることにより、強力な磁場を発生させることができる。液体窒素などの冷媒あるいは冷凍機によって冷却された超電導線材を用いれば、コイルの発熱を抑えて大電流を流せるので、コイルを小型化できる。この超電導マグネットに、直流電流を流して時間的に一定の高磁場を発生させることができる。或いは超電導マグネットにパルス電流を用いることもできる。

【0016】

さらには、着磁した高温超電導体（円盤）を用いれば、既存の磁石より10倍以上大き

50

な10テラス以上の大きな磁場を定常的に発生させることも可能となる。

【0017】

(鉄筋深さ解析)

図2は、鉄筋深さの解析を説明する図である。図示の鉄筋は、着磁磁場を印加することにより予め着磁したものとする。構造物内にある鉄筋の正確な位置を特定することができない場合であっても、少なくとも、それが配置されていると推測される位置の近辺から着磁を行えば、鉄筋位置の解析には十分である。

【0018】

図示したように、鉄筋が紙面と垂直方向(X方向とする)に伸びていると仮定する。その真上方向をZ軸とし、Z軸と直交する方向にY軸を取る。Y方向の磁束密度は、Z軸を境として反転する。これは、鉄筋から放射状に出ている磁束密度の磁気センサに入り込む方向が逆になったことを意味しており、その反転するところが鉄筋の直上であるとして検出できる。この真上の位置を基準として、そこから横にY方向にyだけ離れた測定点PのY方向距離yは、単に距離計測により求めることができる。

10

【0019】

次に、この測定点Pで、磁束のY成分 B_y (Y方向の磁束密度)及び磁束のZ成分 B_z (Z方向の磁束密度)を測定する。それらの合成方向の逆方向に鉄筋が存在する。それ故、磁束のY成分とZ成分の \tan ($=B_z/B_y$)を計算し、それに鉄筋直上からの距離yを掛けることで鉄筋の深さdを、以下の式により求めることができる。

【0020】

$$d = (B_z / B_y) \cdot y$$

この際に、 \tan の値は鉄筋直上に近づくとつれて無限大に発散するので、yを変えた数点の測定による平均値を取ることにより、鉄筋深さとすることができる。例えば、鉄筋直上から2cm間隔で±14cmの点の磁束密度を計測し、鉄筋直上±4cmの5点(鉄筋直上も含む)を除いた値の平均値を、鉄筋の深さとする。

20

【0021】

(磁束密度計測)

図3は、磁束密度計測を説明する図である。図3は、X軸方向及びY軸方向のそれぞれに複数本(3本として図示)の鉄筋が、間隔を空けて配置されている場合を示している。X軸方向及びY軸方向は、それぞれ中央を原点としている。このように縦横に交差した鉄筋を、非磁性体の土台を使って配置する。なお、後述する平行鉄筋の場合は、図中のX軸方向のみに伸びるよう配置されているとする。

30

【0022】

このように配置された鉄筋に対して、図1に示すように、下方の(例えば、図中のZcmとして10cm程度或いはそれ以上離れた)位置から、着磁装置の着磁コイルにより着磁する。この時10cm離すのは、実際の鉄筋コンクリートの場合、鉄筋がコンクリートの中に埋まっているので、それを考慮したためである。

【0023】

着磁した鉄筋の磁束密度を、その上から(Z軸方向から)磁気センサで計測する。後述する計測結果は、Z軸方向の上方において、X方向に5cm間隔、Y方向に5cm間隔の13×13点において、X方向成分磁束 B_x 、Y方向成分磁束 B_y 、Z方向成分磁束 B_z を計測し、その分布をとったものである。

40

【0024】

(1本の鉄筋の解析)

上述したように、複数本の鉄筋が配置されていると想定しているが、今、この中の1本の目標とする鉄筋(Y=0の位置で、X方向に伸びる1本の鉄筋)に着目し、この鉄筋が、鉄筋の中央から着磁されていると仮定する。X方向の磁束分布は、鉄筋の中央(着磁点)を境目にして磁束の向きが変わる。即ち、磁束が鉄筋中央に入って、鉄筋の中央付近が、例えばS極、両端がN極になる。この極の分布は着磁コイルの発生する磁場に影響を受ける。Y方向の磁束分布は、鉄筋を境に磁束の方向が変化する。これによって、鉄筋がY

50

方向のどこに配置されているかが推測できる。Z方向の磁束分布は、着磁点の磁束密度が最も強く両側に反対向きの磁束分布が形成される。他方向の磁束分布に比べ、Z方向が、最も計測される磁束が強く分布がはっきりとしており、後述の鉄筋の腐食解析に適している。

【0025】

次に、上記のようにして位置の特定された鉄筋に対して、着磁して、磁束分布を計測し、この磁束分布から鉄筋の腐食状態を解析する。磁束計測を正確なものとするために、先ず、測定対象とする鉄筋の脱磁を行う。これは、着磁装置に交番電流を流して、交番磁界を発生させることにより行う。

【0026】

その後、鉄筋腐食解析のための着磁を行う。この着磁は、図1に示すように、通常コンクリート等の非磁性構造物内にある磁性材である鉄筋に対して、真下或いは直上等の直交する方向から、着磁電源を用いて、構造物内の鉄筋を磁化させるのに十分な直流電流（パルス電流）を流すことにより行う。図示したように、1個の着磁装置を用いる場合、発生した磁束は、着磁装置に対向する中央部（着磁点）から鉄筋に入り、鉄筋内を通った後、両側から鉄筋を出て、着磁装置の反対側に戻る。それ故、鉄筋の中央部が、N（或いはS）極に磁化され、その左右両側で反対磁極に着磁されることになる。或いは、2個或いはそれ以上の着磁装置を鉄筋の長手方向の左右両側に配置して、一つの着磁装置から鉄筋に入り、鉄筋内を通った後にそこを出て、他の着磁装置に戻るような磁束により、鉄筋を磁化させることもできる。

【0027】

図4は、直径8, 10, 12mmの3種類の鉄筋について、鉄筋深さを変化させたときの最高磁束密度の測定結果を示すグラフである。最高磁束密度は、着磁点に直交する方向（Z軸方向）の位置で（図2参照）、Z軸方向成分の磁束（ B_z ）として得られる。この最高磁束密度は、言い換えると、鉄筋から放射状に発生する磁束を、鉄筋の着磁点に最も近いコンクリート外部の位置で、放射方向成分の磁束として検出したものに相当する。図から分かるように、磁束密度は、鉄筋の直径により異なるものとなる。これによって、磁束密度を計測することにより、鉄筋の直径、それ故に、鉄筋の腐食状態を推測することが可能となる。即ち、鉄筋の一部が腐食して径が小さくなっている場合などは、磁束密度分布の歪みを見て判断できる。つまり、分布が歪んでいる場合は腐食部分があると判断できる。さらに、鉄筋の直径そのものを計測可能にするだけでなく、定期的に同一条件、同一場所で測定することにより、鉄筋の経時変化を解析することも可能になる。なお、本明細書において、鉄筋等の「腐食状態」は「破断状態」を含む用語として用いている。鉄筋や配管などの破断状態は、腐食が過度に進んだ状態とも考えることができるので、同様に、着磁した鉄筋や配管などの磁場（磁束密度）測定を行うことによって、判別可能となる。破断した部分で磁極が生じるか、または着磁が途切れるので、その分布は破断のない場合と違ってくることになる。

【0028】

図4において、鉄筋深さが浅いうちは鉄筋の直径によって差異が見られるが、鉄筋深さが深くなってくると差が減少していることが分かる。これは、鉄筋の着磁距離と計測距離が増加しているため、着磁磁場と測定磁場が両方とも弱くなっていることが原因として考えられる。しかしこれは、着磁磁場をより強くすることで解決することができる。

【0029】

（複数本の鉄筋の解析）

目標とする1本の鉄筋と他の鉄筋を併せて複数本の鉄筋が配置されている場合について検討する。最初に、複数本のすべての鉄筋の位置を推測する。次に、目標とする鉄筋に対向する位置で、複数本の鉄筋に対して構造物外部から着磁して、この着磁された複数本の鉄筋の総合した磁束密度を、構造物外部で計測する。次に、この計測磁束密度を補正して、目標とする鉄筋以外に少なくとも1つ存在する他の鉄筋による影響を排除する。このために、着磁点からの距離を離れた磁束分布のデータを予め多数とっておき、データベース

10

20

30

40

50

として保存しておく。例えば、このデータは、鉄筋か配管か等の別、材質、及び径とかの種別、及び、着磁点からの距離、着磁コイル方向に対する配置角度毎に蓄積しておく。目標とする鉄筋以外の他の鉄筋については、それに相当する（同一種別、距離、方向等の）鉄筋データを、蓄積データベースから求めて、これを、上記の計測磁束密度データから差し引くことで1本のデータと同じものを作る。これによって、目標鉄筋の深さ及び腐食解析が可能となる。以下、さらに詳細に説明する。

【0030】

まず、任意の点で、着磁磁場を印加し、鉄筋の着磁を行い、その時の磁束分布を計測する。この磁束分布から鉄筋の位置と配置が確認される。これによって、平行鉄筋配置が確認されたとする。平行鉄筋の場合には、Z方向の磁束分布が鉄筋方向に長い楕円形となることから、Z方向の楕円形の磁束分布が平行に並ぶことになる。

10

【0031】

次に、目標とする鉄筋の直上から着磁を行い、他の鉄筋の影響も加えた総合した磁束分布を計測する。この総合磁束分布(主にZ方向の磁束分布)からすべての鉄筋の位置を推測し、目標とする鉄筋以外のデータをデータベースから求めて、これを総合磁束分布から差し引き、1本の磁束分布に似たデータになるようにする。この差し引いた磁束分布から、鉄筋の深さ及び腐食を解析する。

【0032】

目標とする1本の鉄筋に加えて少なくとも1本の交差鉄筋がある格子鉄筋の場合、Z方向の磁束分布が鉄筋方向に長い楕円形となることから、Z方向の楕円形の磁束分布が縦方向と横方向のどちらにも存在することにより推測できる。これによって、格子鉄筋と推測された場合、目標とする鉄筋と交差している鉄筋の交差点から着磁を行い、他の鉄筋の影響も加えた総合した磁束分布を計測する。この総合磁束分布(主にZ方向の磁束分布)からすべての鉄筋の位置を推測し、目標とする鉄筋以外のデータをデータベースから求めて、これを総合磁束分布から差し引き、1本の磁束分布に似たデータになるようにする。この差し引いた磁束分布から、鉄筋の深さ及び腐食を解析する。図4を参照して上述したように、鉄筋の径が異なると、鉄筋を着磁した時の磁束分布も異なるものとなる。鉄筋の腐食を鉄筋の直径の変化と置き換え、直径が小さくなっている部分を腐食していると判断し、腐食診断を行う。

20

【0033】

また、コンクリートなどの内部の鉄筋(磁性材料)を着磁して、磁化分布から生じる磁場を成分別に(画像)処理でき、各画像のマッチングが可能となる。可視化した磁場分布を用いることによって、鉄筋などの深さ及び鉄筋などの腐食状況が推定・評価できる。着磁した鉄筋などは交番磁界を加えることで脱磁でき、何度でも上記評価が出来る。

30

【実施例1】

【0034】

本発明に用いることのできる一例としての着磁電源は、着磁の際は最大20,000Aの直流パルス電流を流すことができる。さらに、一度着磁した鉄筋を脱磁させるために、最大7,000Aの交番電流を、次第に小さくなるように流すことができる。

【0035】

着磁コイルは、その大きさやコイルの巻き数によって、発生できる磁場も変わってくる。本発明において一例として用いることのできる着磁コイル(空芯)の仕様は、以下の通りである。

40

【0036】

内径：30mm、外径：118mm、高さ：86mm、線径：1.5mm、巻数：690 Turn、コイル抵抗：1.20 (常温)、0.5 (液体窒素中)、ポピン材質：ステンレス

【実施例2】

【0037】

(鉄筋1本の場合)

図5A～図5Cは、鉄筋1本のX, Y, Z方向の磁束分布を示す図である。この1本の

50

鉄筋は、 $Y = 0$ の位置で、 X 方向に配置されている。図5 A、図5 B、図5 Cは、それぞれ、 X 、 Y 、 Z 方向の磁束成分 B_x 、 B_y 、 B_z の分布を示している。

【0038】

図5 Aに示す X 方向磁束成分 B_x の分布を見てみると、鉄筋の中央(着磁点)を境目にして磁束の向きが変わっていることが分かる。これは、磁束が鉄筋中央に入っていく様子を示しており、鉄筋の中央付近がS極、両端がN極になっている。この X 方向磁束成分 B_x の分布は着磁コイルの発生する磁場に影響を受ける。

【0039】

次に、図5 Bに示す Y 方向磁束成分 B_y の分布を見てみると、ここでも鉄筋を境に磁束の方向が変化しているのが分かる。これによって、鉄筋がどこに配置されているかが推測できる。図で見ると磁束密度の正負の境目が $Y = 0$ 付近にあることが確認できる。

10

【0040】

最後に、図5 Cに示す Z 方向磁束成分 B_z の分布を見てみると、着磁点の磁束密度が最も強く両側に反対向きの磁束分布が形成されている。 Z 方向の磁束分布は鉄筋方向に長い楕円形となるので、 Z 方向の磁束分布から鉄筋の方向を割り出すことができる。これら3つの分布のそれぞれを考慮して鉄筋の配置と直径と深さを評価することができる。

【0041】

鉄筋深さの解析は、図2を参照して前述した方法で求めることができる。図6は、10 cmの深さに配置した鉄筋に対して、 Y 軸方向の距離を変化させて計測した Y 方向及び Z 方向の磁束成分 B_y 及び B_z の測定結果から求めた鉄筋深さ d を示すグラフである。着磁点直上で X 及び Z 座標値を一定にして、 Y 方向に ± 14 cmを2 cm間隔で B_y 、 B_z を計測し、その計測結果から、前述したように、 $d = (B_z / B_y) \cdot y$ により鉄筋深さを算出した。 Y 座標値0近くを除けば、10 cmの鉄筋深さが、磁束計測によりほぼ正確に求められていることが分かる。相対誤差は、算出した鉄筋の深さと実際の鉄筋深さから、以下の式により求めることができる。

20

【0042】

$$\text{相対誤差} = (| \text{実験値} - \text{理論値} | / \text{理論値}) \times 100$$

【実施例3】

【0043】

(平行鉄筋の場合)

図7 A～図7 Cは、平行に配列された3本の鉄筋の X 、 Y 、 Z 方向での磁束分布を示す図である。図7 A、図7 B、図7 Cは、それぞれ、 X 、 Y 、 Z 方向の磁束成分 B_x 、 B_y 、 B_z の分布を示している。3本の鉄筋は、 $Y = -15, 0, 15$ の位置で、 X 方向に配置されている。

30

【0044】

図8 A～図8 Cは、目標とする鉄筋以外の磁束分布を差し引いた磁束分布を示す図である。図8 A、図8 B、図8 Cは、それぞれ、差し引いた X 、 Y 、 Z 方向の磁束成分 B_x 、 B_y 、 B_z の分布を示している。この図8 A～図8 Cを見てみると、図5 A～図5 Cに示す鉄筋1本の磁束分布に近くなっていることが分かる。この磁束分布は、鉄筋か配管か等の別、材質、及び径とかの種別、及び、着磁点からの距離、着磁コイル方向に対する配置角度毎に磁束分布を予めデータベースに蓄積しておき、目標とする鉄筋以外のデータを、蓄積したデータベースから求めて、これを、計測磁束密度データから差し引くことで1本のデータと同じものを作ったものである。このデータに基づき、目標とする鉄筋の深さを計算によって算出する。

40

【0045】

図9は、図8 Bの Y 方向の磁束分布と図8 Cの Z 方向の磁束分布から、 $X = 0$ (着磁点直上)で $Y = -14, -12, -10, -8, -6, 6, 8, 10, 12, 14$ の10点の B_y 、 B_z から計算により深さを算出したグラフである。実際の深さ10 cmに対して、平均は9.59 cmで相対誤差は4.1%となった。

【実施例4】

50

【 0 0 4 6 】

(格子鉄筋の場合)

図 1 0 A ~ 図 1 0 C は、垂直に交差配列された 2 本の鉄筋の X、Y、Z 方向の磁束分布を示す図である。図 1 0 A、図 1 0 B、図 1 0 C は、それぞれ、X、Y、Z 方向の磁束成分 B_x 、 B_y 、 B_z の分布を示している。原点 ($X = 0$ 及び $Y = 0$) を通る 2 本の鉄筋が、垂直に交差するよう配置されている。図 1 0 C に示す Z 方向の磁束分布の形状から、目標とする鉄筋の方向とそれ以外の鉄筋のおおまかな位置が推測できる。

【 0 0 4 7 】

実施例 3 に示す平行鉄筋の場合と同じようにして、鉄筋 1 本に換算した値から深さを求めることができる。図 1 1 のグラフに示すように、図 1 0 B に示す Y 方向の磁束分布及び図 1 0 C に示す Z 方向の磁束分布から、 $X = 0$ (着磁点直上) で $Y = -14, -12, -10, -8, -6, 6, 8, 10, 12, 14$ の 10 点の B_y 、 B_z から計算により深さを算出した。実際の深さ 10.3 cm に対して、平均は 10.98 cm で相対誤差は 6.6% となった。着磁点や計測点を正確に計測することでこの誤差は少なくできる。

10

【 0 0 4 8 】

以上、図示例に基づき説明したが、この発明は上述の例に限定されるものでなく、特許請求の範囲の記載の範囲内で当業者が容易に改変し得る他の構成をも含むものである。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 4 9 】

【 図 1 】 着磁装置を例示する図である。

20

【 図 2 】 鉄筋深さの解析を説明する図である。

【 図 3 】 磁束密度計測を説明する図である。

【 図 4 】 直径 8, 10, 12 mm の 3 種類の鉄筋について、鉄筋深さを変化させたときの最高磁束密度の測定結果を示すグラフである。

【 図 5 A 】 鉄筋 1 本の X 方向の磁束成分 B_x の分布を示す図である。

【 図 5 B 】 鉄筋 1 本の Y 方向の磁束成分 B_y の分布を示す図である。

【 図 5 C 】 鉄筋 1 本の Z 方向の磁束成分 B_z の分布を示す図である。

【 図 6 】 10 cm の深さに配置した鉄筋に対して、Y 軸方向の距離を変化させて計測した測定結果から求めた鉄筋深さ d を示すグラフである。

【 図 7 A 】 平行に配列された 3 本の鉄筋の X 方向の磁束成分 B_x の分布を示す図である。

30

【 図 7 B 】 平行に配列された 3 本の鉄筋の Y 方向の磁束成分 B_x の分布を示す図である。

【 図 7 C 】 平行に配列された 3 本の鉄筋の X 方向の磁束成分 B_y の分布を示す図である。

【 図 8 A 】 目標とする鉄筋以外の磁束分布を差し引いた X 方向の磁束成分 B_x の分布を示す図である。

【 図 8 B 】 目標とする鉄筋以外の磁束分布を差し引いた Y 方向の磁束成分 B_y の分布を示す図である。

【 図 8 C 】 目標とする鉄筋以外の磁束分布を差し引いた Z 方向の磁束成分 B_z の分布を示す図である。

【 図 9 】 図 8 B の Y 方向の磁束分布と図 8 C の Z 方向の磁束分布から、計算により算出した深さを示すグラフである。

40

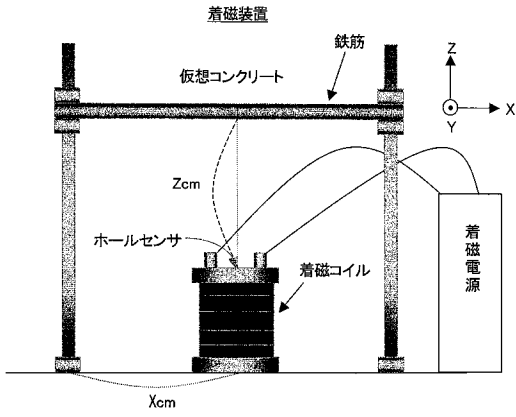
【 図 1 0 A 】 垂直に交差配列された 2 本の鉄筋の X 方向の磁束成分 B_x の分布を示す図である。

【 図 1 0 B 】 垂直に交差配列された 2 本の鉄筋の Y 方向の磁束成分 B_y の分布を示す図である。

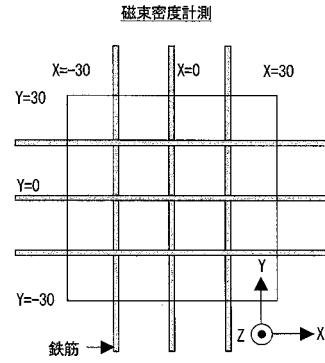
【 図 1 0 C 】 垂直に交差配列された 2 本の鉄筋の Z 方向の磁束成分 B_z の分布を示す図である。

【 図 1 1 】 図 1 0 B に示す Y 方向の磁束分布及び図 1 0 C に示す Z 方向の磁束分布から、計算により算出した深さを示すグラフである。

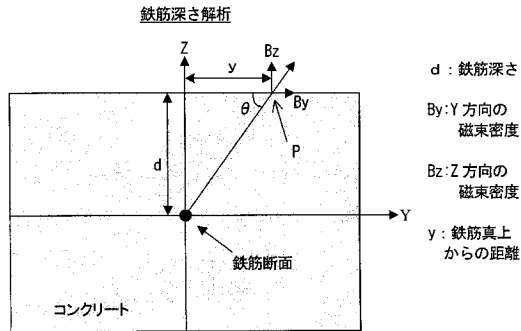
【 図 1 】



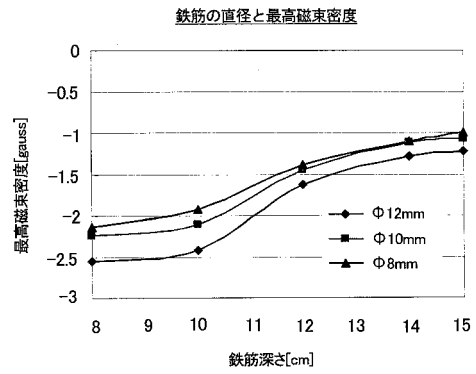
【 図 3 】



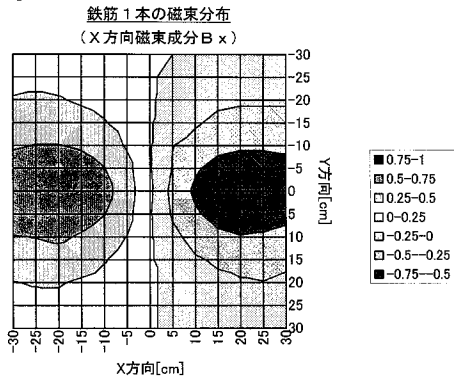
【 図 2 】



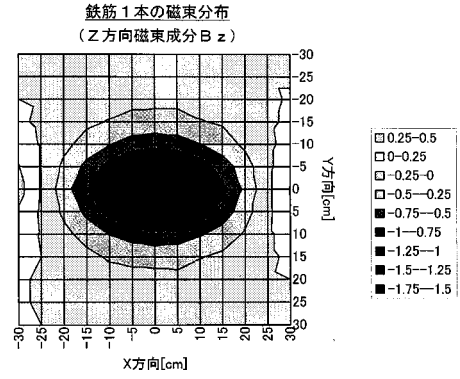
【 図 4 】



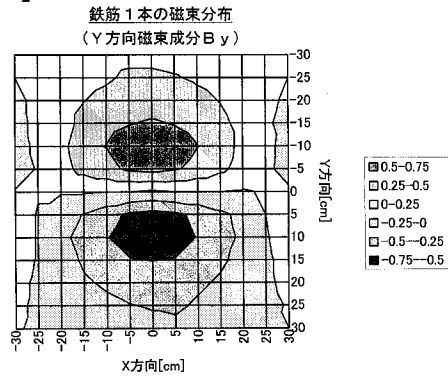
【 図 5 A 】



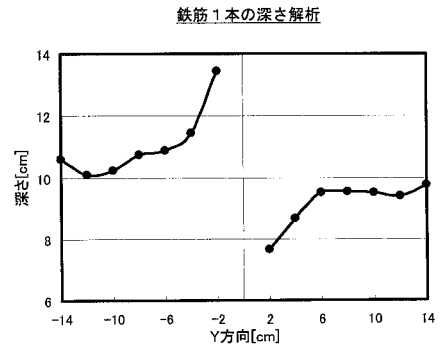
【 図 5 C 】



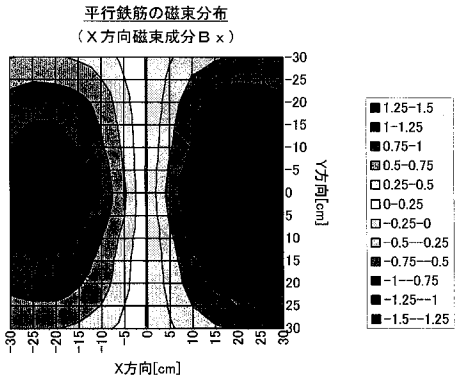
【 図 5 B 】



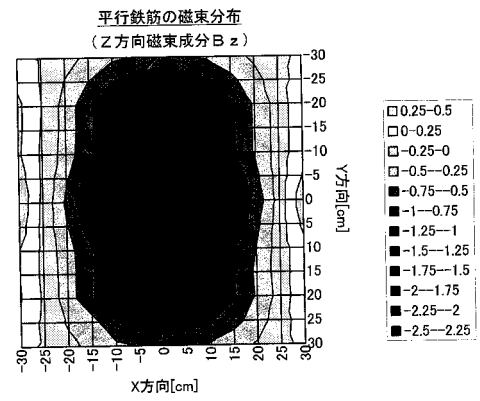
【 図 6 】



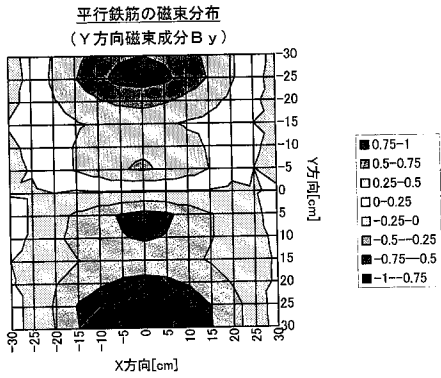
【 図 7 A 】



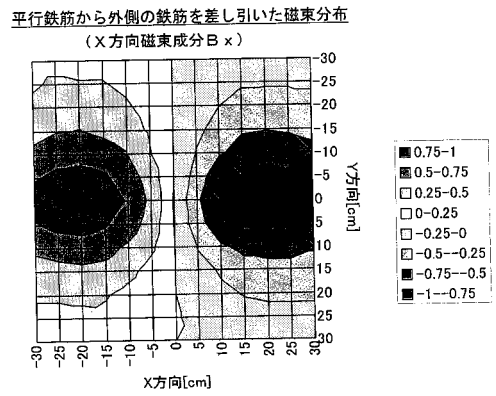
【 図 7 C 】



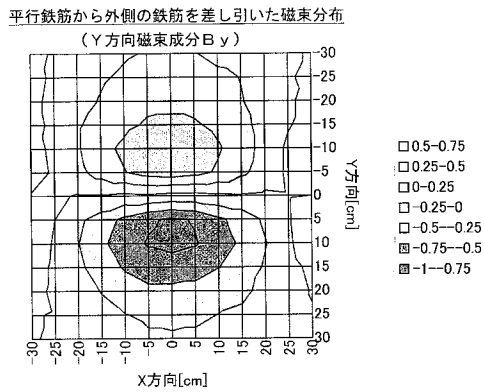
【 図 7 B 】



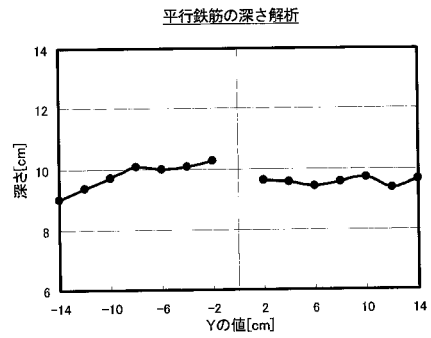
【 図 8 A 】



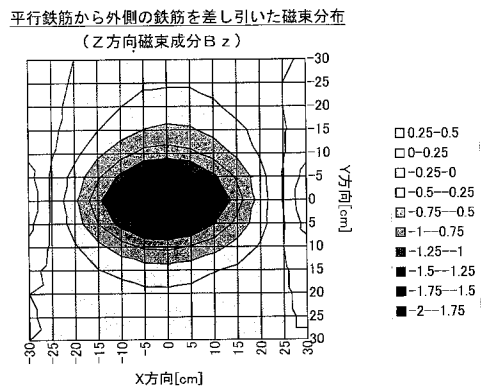
【 図 8 B 】



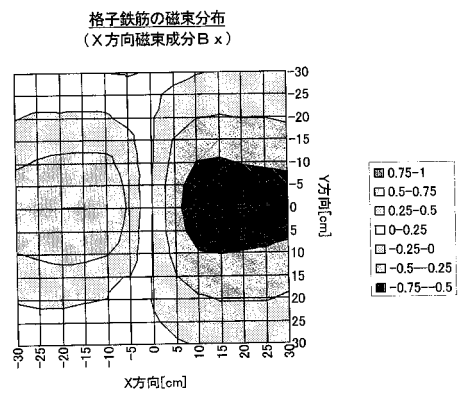
【 図 9 】



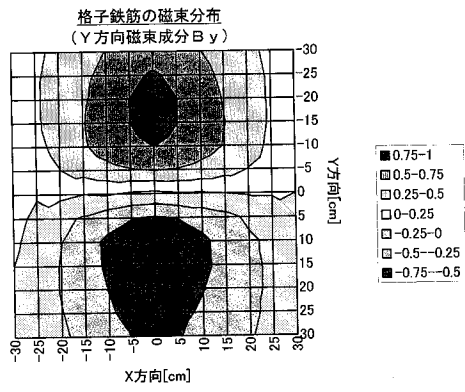
【 図 8 C 】



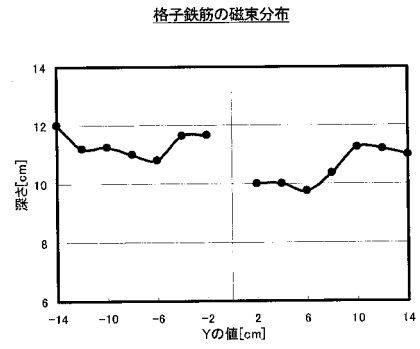
【 図 10 A 】



【 図 1 0 B 】



【 図 1 1 】



【 図 1 0 C 】

