

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特 許 公 報(B2)

(11)特許番号

特許第7252093号
(P7252093)

(45)発行日 令和5年4月4日(2023.4.4)

(24)登録日 令和5年3月27日(2023.3.27)

(51)Int. Cl.

G 0 1 N 29/11 (2006.01)

F I

G 0 1 N 29/11

請求項の数 10 (全 13 頁)

(21)出願番号	特願2019-150390(P2019-150390)	(73)特許権者	505389695
(22)出願日	令和1年8月20日(2019.8.20)		首都高速道路株式会社
(65)公開番号	特開2021-32610(P2021-32610A)		東京都千代田区霞が関1-4-1
(43)公開日	令和3年3月1日(2021.3.1)	(73)特許権者	515282669
審査請求日	令和4年6月10日(2022.6.10)		日本エンジニアリング株式会社
			神奈川県横浜市西区みなとみらい三丁目6番3号 MMパークビル14階
		(73)特許権者	000235532
			非破壊検査株式会社
			大阪府大阪市北区天満4丁目16番9号
		(74)代理人	100102048
			弁理士 北村 光司
		(74)代理人	100146503
			弁理士 高尾 俊雄

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 検査対象物の遠隔非露出部の腐食検査方法及び腐食検査装置

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

検査対象物の露出部の外面に探触子を設置し、前記探触子から遠隔の前記検査対象物の非露出部に向けて超音波を入射させると共に前記非露出部からの反射波を受信し、受信した反射波を評価することにより前記非露出部の腐食の有無を検査する検査対象物の遠隔非露出部の腐食検査方法であって、

前記探触子は、前記超音波としてSH表面波をバースト波として送信する送信振動子と、前記非露出部において反射した反射SH表面波を受信する受信振動子とを含み、前記送信振動子及び前記受信振動子は、各振動子の超音波ビームの中心軸が前記非露出部の端部近傍で交差するように配向され、

自然腐食を模した模擬腐食部を有する試験体において予め基準波を生成しておき、前記反射SH表面波と前記基準波とを比較することにより前記腐食の程度を評価する検査対象物の遠隔非露出部の腐食検査方法。

【請求項2】

前記模擬腐食部の最大深さと、前記基準波における前記模擬腐食部に起因する信号のエコー高さと、前記基準波を測定した際の基準感度とを予め測定しておき、前記反射SH表面波を受信した際の測定感度と、前記反射SH表面波における前記腐食に起因するエコー高さとを測定し、これら測定した値に基づいて前記腐食の深さを算出する請求項1又は2記載の検査対象物の遠隔非露出部の腐食検査方法。

【請求項3】

前記反射 S H 表面波の内、所定のエコー高さを超える正常な反射信号により前記非露出部の検査範囲を特定する請求項 1 又は 2 記載の検査対象物の遠隔非露出部の腐食検査方法。

【請求項 4】

前記 S H 表面波は、前記探触子の公称周波数が 1 0 0 k H z 以上 5 0 0 k H z 以下である請求項 1 ~ 3 のいずれかに記載の検査対象物の遠隔非露出部の腐食検査方法。

【請求項 5】

前記送信振動子及び前記受信振動子は、その大きさが高さ 2 0 m m × 幅 2 0 m m 以上高さ 5 0 m m × 幅 5 0 m m 以下である請求項 1 ~ 4 のいずれかに記載の検査対象物の遠隔非露出部の腐食検査方法。

【請求項 6】

前記検査対象物は河川等に立設した水中鋼製橋脚であり、前記検査対象物の露出部は前記河川等の水面よりも上方で前記水中鋼製橋脚の外周面を覆う外周鋼板が露出した部分であり、前記非露出部は前記外周鋼板をアスファルト及び防食板よりなる外装材で覆われた部分であり、前記探触子を前記防食板の上端より上方の前記外周鋼板の表面に配置し、前記水中鋼製橋脚の周方向へ走査させる請求項 1 ~ 6 のいずれかに記載の検査対象物の遠隔非露出部の腐食検査方法。

【請求項 7】

前記探触子は、二探触子法によるものである請求項 1 ~ 7 のいずれかに記載の検査対象物の遠隔非露出部の腐食検査方法。

【請求項 8】

前記探触子は、一探触子法によるものである請求項 1 ~ 7 のいずれかに記載の検査対象物の遠隔非露出部の腐食検査方法。

【請求項 9】

検査対象物の露出部の外面に設置され、探触子の設置位置から遠隔の前記検査対象物の非露出部に向けて超音波を入射させると共に前記非露出部からの反射波を受信する探触子と、前記探触子で受信した反射波を評価する信号処理装置を備え、受信した反射波を評価することにより前記非露出部の腐食の有無を検査する検査対象物の遠隔非露出部の腐食検査装置であって、

前記探触子は、前記超音波として S H 表面波をバースト波として送信する送信振動子と、前記非露出部において反射した反射 S H 表面波を受信する受信振動子とを含み、

前記送信振動子及び前記受信振動子は、各振動子の超音波ビームの中心軸が前記非露出部の端部近傍で交差するように配向され、

前記信号処理装置は、自然腐食を模した模擬腐食部を有する試験体において予め基準波を記憶する記憶部と、前記反射 S H 表面波と前記基準波とを比較することにより前記腐食の程度を評価する評価部とを有する検査対象物の遠隔非露出部の腐食検査装置。

【請求項 10】

前記記憶部は、前記模擬腐食部の最大深さと、前記基準波における前記模擬腐食部に起因する信号のエコー高さと、前記基準波を測定した際の基準感度とが予め記憶されていると共に、前記反射 S H 表面波を受信した際の測定感度と、前記反射 S H 表面波における前記腐食に起因するエコー高さとを記憶し、前記評価部は、前記記憶部に記憶されたこれらの測定した値に基づいて前記腐食の深さを算出する請求項 9 記載の検査対象物の遠隔非露出部の腐食検査装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、検査対象物の遠隔非露出部の腐食検査方法及び腐食検査装置に関する。さらに詳しくは、検査対象物の露出部の外面に探触子を設置し、前記探触子から遠隔の前記検査対象物の非露出部に向けて超音波を入射させると共に前記非露出部からの反射波を受信し、受信した反射波を評価することにより前記非露出部の腐食の有無を検査する検査対象物の遠隔非露出部の腐食検査方法及び腐食検査装置に関する。

10

20

30

40

50

【背景技術】

【0002】

従来、上述の如き腐食検査方法として、例えば特許文献1に記載の如きものが知られている。この方法では、超音波として横波を用い、腐食からの反射信号の信号幅と検査対象部の端面からの反射信号の信号幅との差分により腐食の有無を評価している。端面からの反射信号を評価に用いるため、反射信号が明瞭に得られない場合、本手法の適用が困難となっていた。また、本手法では、探触子に比較的近い部位が検査対象であるため、より遠方の腐食検査も望まれている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献1】特許6430443号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

かかる従来の実情に鑑みて、本発明は、探触子から離隔した遠隔（遠方）の検査対象部の腐食の有無を精度良く評価し得る検査対象物の遠隔非露出部の腐食検査方法及び腐食検査装置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】

【0005】

上記目的を達成するため、本発明に係る検査対象物の遠隔非露出部の腐食検査方法の特徴は、検査対象物の露出部の外面に探触子を設置し、前記探触子から遠隔の前記検査対象物の非露出部に向けて超音波を入射させると共に前記非露出部からの反射波を受信し、受信した反射波を評価することにより前記非露出部の腐食の有無を検査する方法において、前記探触子は、前記超音波としてSH表面波をバースト波として送信する送信振動子と、前記非露出部において反射した反射SH表面波を受信する受信振動子とを含み、前記送信振動子及び前記受信振動子は、各振動子の超音波ビームの中心軸が前記非露出部の端部近傍で交差するように配向され、自然腐食を模した模擬腐食部を有する試験体において予め基準波を生成しておき、前記反射SH表面波と前記基準波とを比較することにより前記腐食の程度を評価することにある。

【0006】

上記構成によれば、探触子は超音波としてSH表面波を送受信するものである。SH表面波は、超音波モードの変換がなく且つ超音波の減衰も少なく、直進性に優れている。そして、そのSH表面波をバースト波として送信するので、振動子を複数個設置することなく超音波のエネルギーを増強することができる。さらに、送信振動子及び受信振動子は、各振動子の超音波ビームの中心軸が非露出部の端部近傍で交差するように配向されている。従って、探触子の設置位置よりも遠方の部位を検査することができる。しかも、自然腐食を模した模擬腐食部からの反射信号を予め基準波を生成しておき、反射SH表面波と基準波とを比較する。ここで、SH表面波は、対象物の表面近傍を伝搬するので、反射SH表面波の大きさは腐食の断面形状に依存しやすい。よって、反射SH表面波と基準波とを比較することで、現実の腐食に起因する反射信号を基準に判定でき、検査精度も向上する。このように、探触子から離隔した遠方（遠隔）の検査対象部の腐食を精度良く評価することが可能となる。

【0007】

上記構成において、前記模擬腐食部の最大深さと、前記基準波における前記模擬腐食部に起因する信号のエコー高さと、前記基準波を測定した際の基準感度とを予め測定しておき、前記反射SH表面波を受信した際の測定感度と、前記反射SH表面波における前記腐食に起因するエコー高さとを測定し、これら測定した値に基づいて前記腐食の深さを算出するとよい。これにより、模擬腐食部のデータを用いて現実の腐食の深さを推定することができる。

10

20

30

40

50

【 0 0 0 8 】

前記反射 S H 表面波の内、所定のエコー高さを超える正常な反射信号により前記非露出部の検査範囲（探触子からの距離）を特定するようにしてもよい。上述したように、S H 表面波は、超音波モードの変換がなく且つ超音波の減衰も少なく、直進性に優れ、より遠方まで伝搬する。よって、例えば外周鋼板の溶接線や補強材等の位置（探触子からの距離）が既知の部材に起因する正常な反射信号によって検査範囲を特定できる。

【 0 0 0 9 】

前記 S H 表面波は、前記探触子の公称周波数が 1 0 0 k H z 以上 5 0 0 k H z 以下であるとよい。この範囲内の低周波帯域であれば、超音波の減衰がより抑制されるので、検査精度をより向上させることができる。

10

【 0 0 1 0 】

また、前記送信振動子及び前記受信振動子は、その大きさが高さ 2 0 m m × 幅 2 0 m m 以上高さ 5 0 m m × 幅 5 0 m m 以下であるとよい。一般の超音波振動子の大きさは、高さ 1 0 m m × 幅 1 0 m m 程度であるが、このように振動子を比較的大きくすることで、超音波のエネルギーをより増強することができ、検査精度をより向上させることができる。

【 0 0 1 1 】

上記いずれかの構成において、前記検査対象物は河川等に立設した水中鋼製橋脚であり、前記検査対象物の露出部は前記河川等の水面よりも上方で前記水中鋼製橋脚の外周鋼板が露出した部分であり、前記非露出部は前記外周鋼板をアスファルト及び防食板よりなる外装材で覆われた部分であり、前記探触子を前記防食板の上端より上方の前記外周鋼板の表面に配置し、前記水中鋼製橋脚の周方向へ走査させるとよい。このような検査対象物において、外装材で覆われた水中鋼製橋脚の水中部分を水上から検査できる。

20

【 0 0 1 2 】

前記探触子は二探触子法によるものであってもよく、前記探触子は一探触子法によるものであってもよい。

【 0 0 1 3 】

上記目的を達成するため、本発明に係る検査対象物の遠隔非露出部の腐食検査装置の特徴は、検査対象物の露出部の外面に設置され、探触子の設置位置から遠隔の前記検査対象物の非露出部に向けて超音波を入射させると共に前記非露出部からの反射波を受信する探触子と、前記探触子で受信した反射波を評価する信号処理装置を備え、受信した反射波を評価することにより前記非露出部の腐食の有無を検査する構成において、前記探触子は、前記超音波として S H 表面波をバースト波として送信する送信振動子と、前記非露出部において反射した反射 S H 表面波を受信する受信振動子とを含み、前記送信振動子及び前記受信振動子は、各振動子の超音波ビームの中心軸が前記非露出部の端部近傍で交差するように配向され、前記信号処理装置は、自然腐食を模した模擬腐食部を有する試験体において予め基準波を記憶する記憶部と、前記反射 S H 表面波と前記基準波とを比較することにより前記腐食の程度を評価する評価部とを有することにある。

30

【 0 0 1 4 】

また、前記記憶部は、前記模擬腐食部の最大深さと、前記基準波における前記模擬腐食部に起因する信号のエコー高さと、前記基準波を測定した際の基準感度とが予め記憶されていると共に、前記反射 S H 表面波を受信した際の測定感度と、前記反射 S H 表面波における前記腐食に起因するエコー高さとを記憶し、前記評価部は、前記記憶部に記憶されたこれらの測定した値に基づいて前記腐食の深さを算出するとよい。

40

【 発明の効果 】**【 0 0 1 5 】**

上記本発明に係る検査対象物の遠隔非露出部の腐食検査方法及び腐食検査装置の特徴によれば、探触子から離隔した遠隔の検査対象部の腐食の有無を精度良く評価することが可能となった。

【 0 0 1 6 】

本発明の他の目的、構成及び効果については、以下の発明の実施の形態の項から明らか

50

になるであろう。

【図面の簡単な説明】

【0017】

【図1】本発明に係る腐食検査方法の検査対象物の一例を示す概略図である。

【図2】図1の部分拡大概略図である。

【図3】本発明に係る腐食検査装置の概略図である。

【図4】SH表面波を説明する図であり、(a)は概略斜視図、(b)は概略断面図である。

【図5】(a)はバースト波を示す図、(b)はスパイク波を示す図である。

【図6】補強材に起因する健全反射信号の検出例を示す図である。

10

【図7】人工傷d1を設けたテストピースでの測定状態及び測定波形の一例を示す図である。

【図8】人工傷d2を設けたテストピースにおける図7相当図である。

【図9】模擬腐食部を有する試験体の一例を示す写真である。

【図10】現実の腐食部分を3Dスキャンしたスキャンデータの一例を示す図である。

【図11】基準波の信号波形の一例を示す図である。

【図12】受信した反射SH表面波の信号波形の一例を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0018】

次に、適宜添付図面を参照しながら、本発明をさらに詳しく説明する。なお、以下の実施形態において、検査対象物100として、高速道路H等において河川等Wに設置された水中鋼製橋脚（以下、「橋脚」と称する）を例に説明する。

20

【0019】

図1, 2に示すように、橋脚100は、河川等の底部に設置した基礎部101に立設された中詰コンクリートの橋脚本体102の周面に外周鋼板103が巻設された円柱である。橋脚本体102の基端部は、アンカーボルト101bを介して基礎部101に支持され、根巻きコンクリート101aにより固定されている。

【0020】

外周鋼板103の下端部103a近傍から河川等の水面F近傍までの外周鋼板103の外周部は、アスファルト104a及び防食板104bよりなる2層構造の外装材104により覆われている。外装材104の上下端部には、上鰐部105a及び下鰐部105bが設けられている。

30

【0021】

この橋脚100における露出部100Aは、水面Fより上方で外周鋼板103が露出した水上部である。一方、非露出部100Bは、水面Fより下方（水中）で外装材104により覆われた外周鋼板103が露出していない水中部である。本実施形態では、非露出部100Bにおける外周鋼板103の損傷（主に腐食損傷）を露出部100Aである水上部（地上）から検査する。検査対象部分となる非露出部100Bは、水面F近傍から7m程度の下方向の範囲であるので、検査の際に超音波を遠方まで伝搬させなければならない。なお、外周鋼板103には、軸方向に適宜間隔をおいて隣接する鋼板を溶接した溶接線106や、外周鋼板103の外面又は内面に溶接されたL型アングル等の補強材107が形成されている。

40

【0022】

図3に示すように、本発明に係る腐食検査装置1は、大略、橋脚100の露出部100Aの外面に設置され、橋脚100の非露出部100Bに向けて超音波を入射させると共に非露出部100Bからの反射波を受信する探触子2と、探触子2で受信した反射波を評価する信号処理装置3を備え、受信した反射波を評価することにより非露出部100Bの腐食Dの有無を検査する。

【0023】

本実施形態において、探触子2は、図3に示すように、超音波としてSH表面波Pをバ

50

ーラスト波として送信する送信振動子 2 a を有する送信探触子 2 1 と、非露出部 1 0 0 B において反射した反射 S H 表面波 Q を受信する受信振動子 2 b を有する受信探触子 2 2 とを備え、二探触子法を採用している。

【 0 0 2 4 】

送信振動子 2 a (送信探触子 2 1) 及び受信振動子 2 b (受信探触子 2 2) は、各振動子 2 a , 2 b の超音波ビームの中心軸 A 1 , A 2 が非露出部 1 0 0 B の端部近傍で交差するように配向されている。これにより、超音波ビームの中心軸 A 1 , A 2 が交差する交点 C (外周鋼板 1 0 3 の端部 1 0 3 a に近い遠方のところ) の周辺の反射信号を他の反射信号に比べ大きく検出することができ、水面 F より遠方 (より深い) 箇所の検査精度が向上する。

10

【 0 0 2 5 】

また、本実施形態において、送信振動子 2 a 及び受信振動子 2 b には、その大きさが高さ 4 0 mm × 幅 4 0 mm のものを用いている。超音波振動子の大きさは、一般的には高さ 1 0 mm × 幅 1 0 mm 程度である。このように振動子を比較的大きくすることで、送信する S H 表面波のエネルギーを増加させて、反射信号を明瞭に検出できるようにする。

【 0 0 2 6 】

信号処理装置 3 は、例えばパーソナルコンピュータにより構成され、図 3 に示すように、パルサー 4 を制御して送信探触子 2 1 から S H 表面波 P をバースト波として発生させる。外周鋼板 1 0 3 に入射された S H 表面波 P は、外周鋼板 1 0 3 の表面に沿って伝搬し、非露出部 1 0 0 B における腐食 D や溶接線 1 0 6 、補強材 1 0 7 で反射し、これら反射した反射 S H 表面波 Q が受信探触子 2 2 で受信される。受信した反射信号 (反射 S H 表面波 Q) は、プリアンプ 5 により増幅されてレシーバー 6 で受信され、フィルタ 7 によりノイズが除去された状態で A / D 変換部 8 によりデジタル信号に変換される。そして、信号処理装置 3 にて信号処理がなされ、表示部 3 a に表示される。

20

【 0 0 2 7 】

信号処理装置 3 は、さらに、自然腐食を模した模擬腐食部 F D を有する試験体 N において予め基準波 Q n を記憶する記憶部 3 1 と、反射 S H 表面波 Q と基準波 Q n とを比較することにより腐食 D の程度を評価する評価部 3 2 と、S H 表面波 P の送信や腐食評価を指示・制御する制御部 3 3 とを備える。なお、信号処理装置 3 としてパーソナルコンピュータを用いたが、パルサー 4 、プリアンプ 5 、レシーバー 6 、フィルタ 7 、A / D 変換器 8 と、信号処理装置 3 と同等に機能する信号処理部とを有する探傷装置 1 0 を用いてもよい。

30

【 0 0 2 8 】

ここで、本発明に用いる S H 表面波 P は、図 4 に示すように、入射した超音波が検査対象 (外周鋼板 1 0 3) の表面に沿うように伝搬し且つその波の振動方向が検査対象の表面に対して水平方向 (平行) となる横波である。斜角探傷で用いられる横波 (S V 波) は振動方向が検査対象の表面に対し垂直であり、振動モードの変換や表面の付着物や構造体等による減衰を受けやすい。一方、S H 表面波 P では、これらの影響を受けにくいので、上述の外装材 1 0 4 等による減衰を抑制でき遠方の腐食を検出することができる。

【 0 0 2 9 】

さらに、本実施形態では、S H 表面波 P をバースト波として送信する。バースト波とは、図 5 (a) に示す如き複数の波 (波形) が所定時間内において連続して出力されたものである。これにより、同図 (b) に示す如きスパイク波と比較し、超音波の送信エネルギーを大きくでき、より遠方まで超音波を伝搬させ且つ反射信号も明瞭となる。なお、バースト波の波数は特に制限されないが、例えば 2 波 ~ 2 0 波であるとよい。

40

【 0 0 3 0 】

また、S H 表面波 P は、探触子 2 の公称周波数が 1 0 0 k H z 以上 5 0 0 k H z 以下であるとよい。この範囲内の低周波帯域であれば、超音波の減衰がより抑制されるので、検査精度をより向上させることができる。さらに、各振動子 2 a , 2 b は比較的大型で且つ送信周波数は低周波帯域であるので、遠方に伝搬するに従い外周鋼板 1 0 3 に板厚全体に

50

(厚み方向にも) 拡がって伝搬する。そのため、外周鋼板 103 の溶接線 106 や外周鋼板 103 の内面又は外面に取り付けられた補強材 107 に起因する正常な反射信号 S_n も得られる。図 6 に探触子 2 から 7 m 離れた位置に存在する補強材 107 に起因する正常な反射信号 S_n の検出例を示す。このように、これらの周方向の位置や水面からの深さが既知であれば、これらの正常な反射信号に基づいて検査対象範囲(探触子からの離隔距離(深さ))を特定することができる。

【0031】

さらに、発明者らは、図 7, 8 に示すテストピース T, T' において、高さ 40 mm × 幅 40 mm の振動子を有する探触子 2 を用い、送信周波数 500 kHz、8 波のバースト波にて、反射 SH 表面波を測定した。その結果、図 7 に示すように、探触子 2 からの距離 1350 mm の位置に形成した $\phi 20$ mm × 深さ 6 mm の人工傷 d_1 を明瞭に検出できた。さらに、図 8 に示すように、上記と同じ人工傷 d_1 よりも手前に(探触子 2 側に) $\phi 50$ mm × 深さ 9 mm の人工傷 d_2 が存在していても、人工傷 d_2 と共に人工傷 d_1 を明瞭に検出できた。このように、探触子 2 側の状況によらず、それより遠方の腐食も検出することができる。

【0032】

ところで、図 7, 8 の人工傷 d_1, d_2 は、実際に生じる腐食 D の形状とは大きく異なる。SH 表面波は、上述したように、検査対象の表面を沿うように伝搬するため、腐食 D の断面形状によって反射信号の大きさが異なる。同図の人工傷 d_1, d_2 では、傷の周面が表面に対し直交するので、表面 SH 波 P は反射しやすい。一方、現実の腐食部では、図 9 に示すように、腐食の周面(底面)は表面方向になだらか(周面の勾配が緩やか)で且つ不規則に形成されるため、反射波は小さくなる。反射波の大きさは、主に、腐食の大きさ(深さ)とともに周面の勾配と関係している。なお、図 9, 10 の紙面の上下方向は現実の鉛直方向であり、同図面の上側が探触子 2 が配置される露出部 100 A 側となる。

【0033】

そこで、本発明では、自然腐食を模した模擬腐食部 FD を有する試験体 N を作製し、作製した試験体 N において、図 11 に示す如き基準波 Q_n を予め測定(生成)しておく。模擬腐食部 FD に起因する反射信号を含む基準波 Q_n を基準パルスとすることで、比較対象が現実 に即したものとなり、検査精度を向上させることができる。

【0034】

次に、検査手順について説明する。

まずは、上述したように、検査対象となる外周鋼板 103 と同じ材質の鋼板を用いて、自然腐食を模した模擬腐食部 FD を有する試験体 N を製作する。模擬腐食部 FD の形成は、現実の橋脚等において発生した腐食部分をシリコンゴム等で型どりして、それを元にレプリカを作成し鋼板を彫刻する。なお、形状のチェック及び深さの測定は、例えばくし形の型取り計を用いて行う。また、現実の腐食部分を 3D スキャンし、図 10 に示す如き周方向位置(距離)を横軸(水平方向)とした 3D スキャンデータに基づいて鋼板を加工してもよい。このように、作製した試験体 N の模擬腐食部 FD の腐食量(深さ)は、既知となる。現実の腐食部分の断面形状(特に周面の勾配)は、図 10 に示す如く、腐食量(深さ)の大きさとは関係がなく同様であるため、同種の腐食検査に対して共通して使用できる。

【0035】

次に、試験体 N において、実際の検査に用いる探触子 2 を実際の検査と同一条件で探傷し、例えば図 11 に示す如き基準波 Q_n を受信する。これにより、例えば、既知の深さとして模擬腐食部 FD の最大腐食(最大深さ)に起因する反射信号 S_n に対する信号強度(エコー高さ) SP_n が得られる。なお、最大腐食深さ等の模擬腐食部 FD のデータ、使用した SH 表面波の周波数、発信波数、感度($Gain$)等の探傷条件、反射信号 S_n の信号強度 SP_n 等の測定データや基準波 Q_n の波形データ等は、信号処理装置 3 の記憶部 31 に記憶される。なお、この例では、模擬腐食部 FD の最大腐食は 4.6 mm、信号強度(エコー高さ) SP_n は 0.8 として記憶される。

【 0 0 3 6 】

そして、実際の検査において、防食板 1 0 4 b の上端に位置する上鍰部 1 0 5 a の上方の外周鋼板 1 0 3 の表面に送信探触子 2 1 及び受信探触子 2 2 を配置し、外周鋼板 1 0 3 の下端部 1 0 3 a に向けて S H 表面波 P を送信し、上鍰部 1 0 5 a より下方の非露出部 1 0 0 B からの反射 S H 表面波 Q を受信し、例えば図 1 2 に示す如き信号波形を得る。

【 0 0 3 7 】

ここで、信号波形と基準波形とを比較する。

本実施形態においては、信号波形において、腐食 D からの反射信号 S の信号強度（エコー高さ）S P を求め、模擬腐食部 F D からの反射信号 S n の信号強度（エコー高さ）S P n に基づいて腐食量（深さ）を下記式（1）～（4）より求める。

10

なお、下記式（1）～（4）において、現地検査における信号強度（S P）を A、探傷感度を α （dB）、腐食深さを X（mm）とし、試験体 N における信号強度 S P n を B、探傷感度を β （dB）、模擬腐食部 F D の腐食深さを d（mm）とする。

【 0 0 3 8 】

探傷信号 V は、係数 G で除した（V / G）を常用対数（log）で表し、単位を dB とする。ここで、係数 G を機械内固定信号値とすると、下記（1）式にて表すことができる。

$$V / G = (\text{仮に、} V \text{ dB とする}) = 20 \log_{10} V / G \cdots (1)$$

【 0 0 3 9 】

そして、V 1 と V 2 との物理値の比（V 1 / V 2）を dB で表現すると、下記式（2）（3）に示す如く、差として表すことができる。

20

$$20 \log_{10} V 1 / V 2 \text{ (dB)} = V 1 \text{ (dB)} - V 2 \text{ (dB)} \cdots (2)$$

$$V 1 / V 2 = 10^{((V 1 - V 2) / 20)} \cdots (3)$$

【 0 0 4 0 】

よって、現地での反射 S H 表面波の信号から推定される腐食深さ X（mm）は、下記式（4）により算出される。

$$\begin{aligned} & \text{腐食深さ } X = \text{基準信号の深さ } d \times (\text{信号強度 } A / \text{信号強度 } B) \times (\text{感度 } \beta \text{ と } \alpha \text{ との比}) \\ & = \text{基準信号の深さ } d \times (\text{信号強度 } A / \text{信号強度 } B) \times 10^{((\beta \text{ (dB)} - \alpha \text{ (dB)}) / 20)} \cdots (4) \end{aligned}$$

【 0 0 4 1 】

30

図 1 1 に示す基準波 Q n では、同図に示すように、模擬腐食部 F D からの反射信号 S P n の信号強度（波高値 B）を 0.8 とした。一方、図 1 2 に示す実際の反射 S H 表面波 Q では、同図に示すように、腐食 D からの反射信号 S の信号強度（波高値 A）0.46 とした。他の条件は、下記表 1 の通りである。よって、上述の式（4）に代入すると、以下のよう算出される。

$$X = 4.6 \times 0.46 / 0.8 \times 10^{((40.2 - 60.2) / 20)} = 0.26 \text{ (mm)}$$

【 0 0 4 2 】

【表 1】

	腐食D	模擬腐食部FD
腐食量 mm	X	d=4.6mm
使用周波数 KHz	250KHz	250KHz
発信波数	6波バースト	6波バースト
Gain dB	$\alpha = 60.2 \text{ dB}$	$\beta = 40.2 \text{ dB}$
接触媒質	ソニコートSH-W45	ソニコートSH-W45
波高値(max 2.0) (エコー高さ)	A=0.46	B=0.8

【 0 0 4 3 】

50

さらに、上述のSH表面波の送受信を、橋脚100の周方向に適宜間隔（例えば、100mmピッチ）をおいて繰り返し行う。これにより、外周鋼板103の全周を検査することができ、腐食Dの分布を推定することが可能となる。

【0044】

最後に、本発明の他の実施形態の可能性について言及する。なお、上述の実施形態と同様の部材には同一の符号を附してある。

上記実施形態において、検査対象物として円柱状の水中鋼製橋脚100を例に説明したが、角柱の橋脚でも適用可能である。また、露出部100Aとして、水面Fより上方で外周鋼板103が露出した水上部を例に説明したが、探触子を直接設置できる箇所（部位）であれば構わない。さらに、非露出部100Bとして、水面Fより下方（水中）で外装材104により覆われた外周鋼板103が露出していない水中部を例に説明したが、コンクリート中、土中等、検査対象箇所（部位）が他の部材（物質）で覆われている箇所であればよい。

【0045】

上記実施形態において、探触子2として、送信振動子2aを有する送信探触子21と、受信振動子2bを有する受信探触子22とを用い、二探触子法とした。しかし、二探触子法に限らず、送信及び受信を1つの探触子で行う一探触子法を採用することも可能である。但し、一探触子法では、送信振動子2aと受信振動子2bとが近接しているため、探触子2近傍の信号も受信されるため、検査精度の点で上記実施形態が優れている。

【産業上の利用可能性】

【0046】

本発明は、高速道路や陸橋等の橋脚等の水中又は地中における探触子から離隔した遠隔の非露出部の腐食検査方法及び腐食検査装置として利用することができる。また、照明柱、信号柱、標識柱等の柱状体の地中埋設部の腐食検査方法及び腐食検査装置としても利用することができる。

【符号の説明】

【0047】

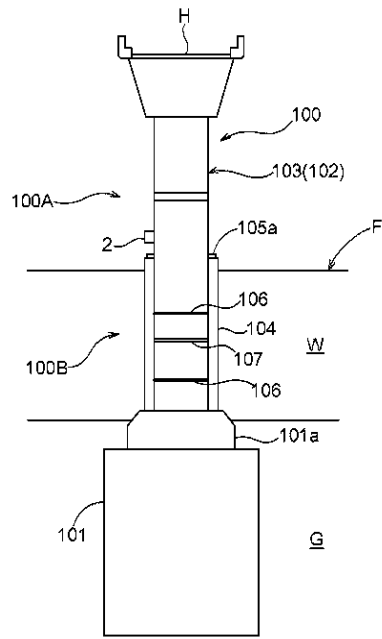
1：腐食検査装置、2：探触子、2a：送信振動子、2b：受信振動子、2z：楔、3：信号処理装置、3a：表示部、4：パルサー、5：プリアンプ、6：レシーバー、7：フィルタ、8：A/D変換部、10：探傷装置、21：送信探触子、22：受信探触子、31：記憶部、32：評価部、33：制御部、100：水中鋼製橋脚（検査対象物）、100A：露出部、100B：非露出部、101：基礎部、101a：根巻きコンクリート、101b：アンカーボルト、102：橋脚本体（中詰コンクリート）、103：外周鋼板、103a：下端部、104：外装材、104a：アスファルト、104b：防食板、105a：上錨部、105b：下錨部、106：溶接線（溶接部）、107：補強材（補強部）、A1、A2：中心軸、C：交点、D：腐食、d1、d2：人工傷、FD：模擬腐食部、F：水面、G：地中、H：高速道路、N：試験体、P：SH表面波、Q：反射SH表面波、Qn：基準波、S、S'、S1、S2：反射信号、Sn：正常な反射信号、Sp、Sp'：信号強度、T、T'：テストピース、W：水中（河川）

10

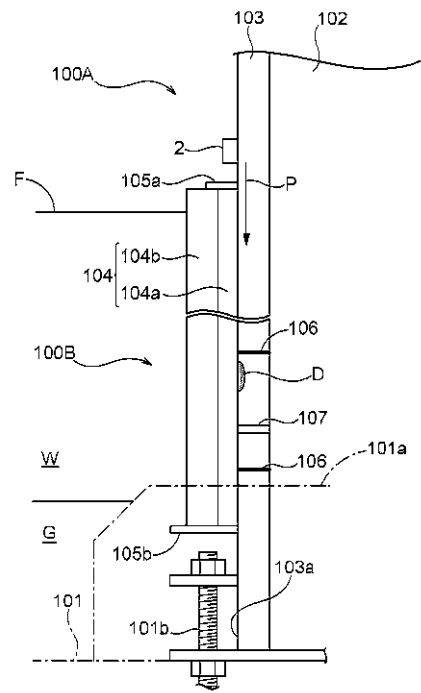
20

30

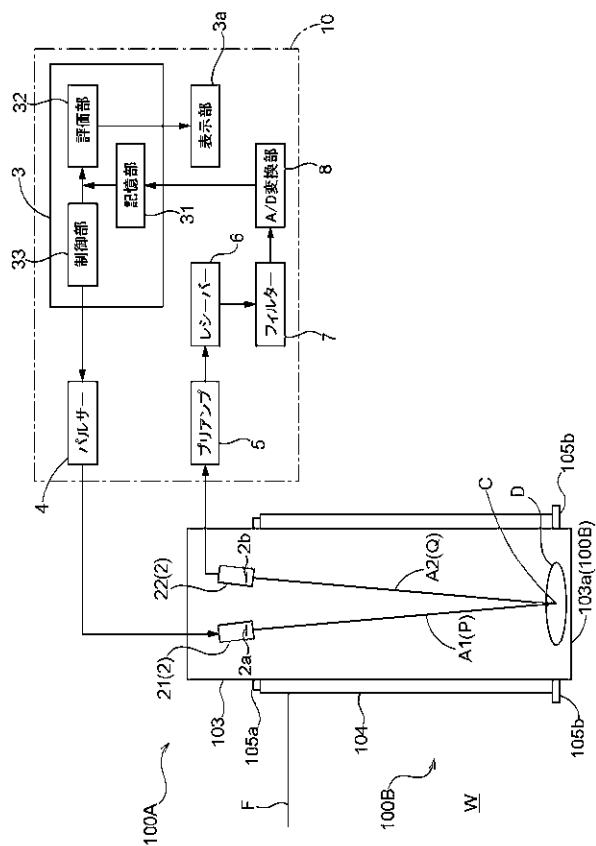
【図 1】



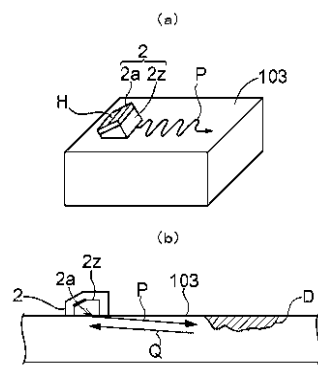
【図 2】



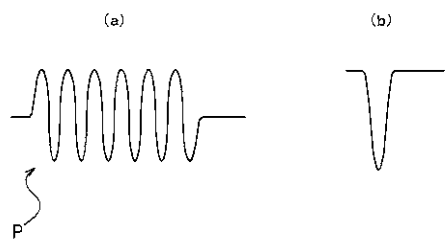
【図 3】



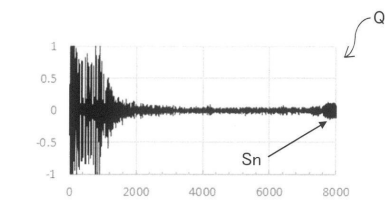
【図 4】



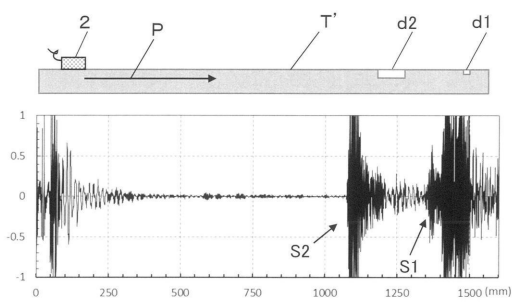
【図 5】



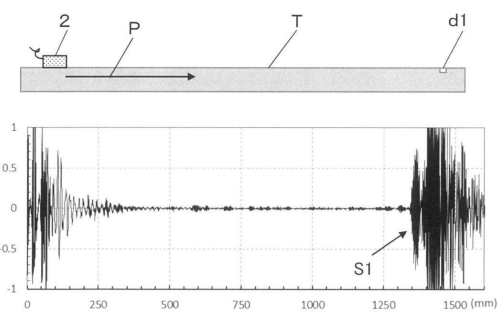
【図 6】



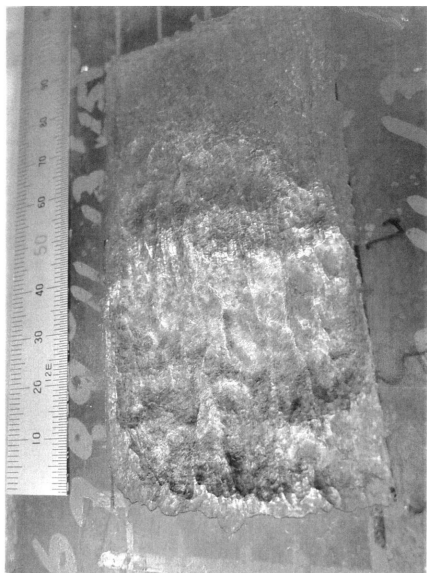
【図 8】



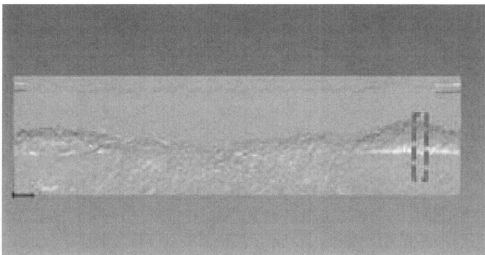
【図 7】



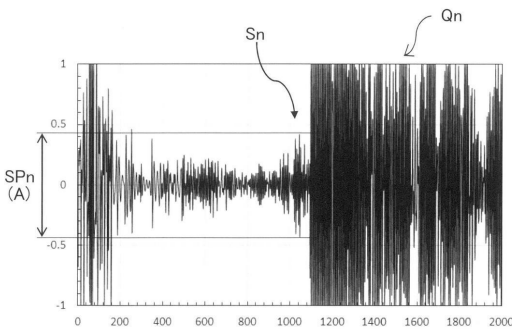
【図 9】



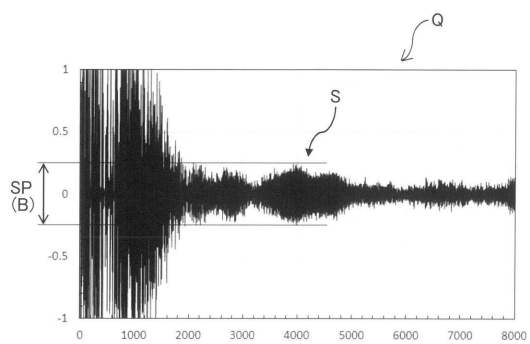
【図 10】



【図 11】



【図 12】



フロントページの続き

- (72)発明者 磯部 龍太郎
東京都千代田区霞ヶ関 1 - 4 - 1 首都高速道路株式会社内
- (72)発明者 斎藤 遼
東京都千代田区霞ヶ関 1 - 4 - 1 首都高速道路株式会社内
- (72)発明者 青木 貴之
東京都千代田区霞ヶ関 1 - 4 - 1 首都高速道路株式会社内
- (72)発明者 星名 浩人
東京都千代田区霞ヶ関 1 - 4 - 1 首都高速道路株式会社内
- (72)発明者 政門 哲夫
神奈川県横浜市中区山下町 2 0 9 番地 日本エンジニアリング株式会社内
- (72)発明者 加納 勇
神奈川県横浜市中区山下町 2 0 9 番地 日本エンジニアリング株式会社内
- (72)発明者 青木 智弘
神奈川県横浜市中区山下町 2 0 9 番地 日本エンジニアリング株式会社内
- (72)発明者 永井 辰之
大阪市西区北堀江 1 丁目 1 8 番 1 4 号 非破壊検査株式会社内
- (72)発明者 松田 智宏
大阪市西区北堀江 1 丁目 1 8 番 1 4 号 非破壊検査株式会社内

審査官 横尾 雅一

- (56)参考文献 特開 2 0 1 9 - 0 1 5 5 3 0 (J P , A)
特開 2 0 1 0 - 0 7 1 9 2 0 (J P , A)
特開 2 0 1 7 - 1 8 1 1 2 2 (J P , A)
特開 2 0 0 1 - 1 5 3 8 4 8 (J P , A)
特開平 1 0 - 3 1 8 9 9 8 (J P , A)
特開 2 0 1 6 - 0 2 7 3 2 1 (J P , A)
特開 2 0 1 5 - 1 6 1 5 3 3 (J P , A)
特開 2 0 0 5 - 0 6 1 9 8 7 (J P , A)
特開 2 0 1 8 - 0 0 4 4 5 7 (J P , A)
特開 2 0 0 5 - 0 8 3 9 0 7 (J P , A)

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)

G 0 1 N 2 9 / 0 0 - G 0 1 N 2 9 / 5 2