

(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2014-206383

(P2014-206383A)

(43) 公開日 平成26年10月30日(2014.10.30)

(51) Int.Cl.
G01N 29/12 (2006.01)

F I
G O I N 29/12

テーマコード (参考)
2 G O 4 7

審査請求 未請求 請求項の数 4 O L (全 14 頁)

(21) 出願番号 特願2013-82303 (P2013-82303)
(22) 出願日 平成25年4月10日 (2013.4.10)

(71) 出願人 591065549
福岡県
福岡県福岡市博多区東公園7番7号
(71) 出願人 591053856
新日本非破壊検査株式会社
福岡県北九州市小倉北区井堀4丁目10番
13号
(71) 出願人 304028586
株式会社昭和テックス
福岡県古賀市薬王寺1743番4
(74) 代理人 100090697
弁理士 中前 富士男
(74) 代理人 100176142
弁理士 清井 洋平

最終頁に続く

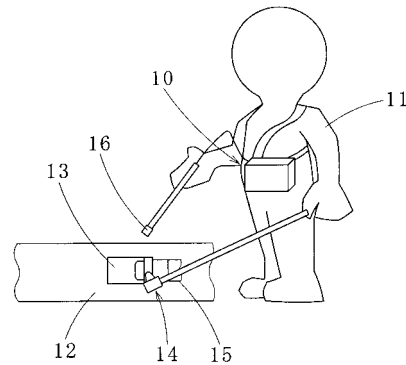
(54) 【発明の名称】 ろう付け物品の打音検査方法及びその装置

(57) 【要約】

【課題】物品の剥離の有無を、短時間かつ高精度で検査可能なるろう付け物品の打音検査方法及びその装置を提供する。

【解決手段】基体12にろう材を介して接合された物品13を打撃した際の打音の周波数解析を行って、物品13の剥離を判定するろう付け物品の打音検査方法であって、打音を、マイクロフォン16を用いて設定した期間に亘って集音して打音波形データを作成する工程と、打音波形データの周波数解析を行って周波数解析データを求める工程と、非剥離の物品を打撃した際の打音の周波数解析を行って最大振幅に対応する最大振幅周波数より高周波数側に閾周波数を設定し、周波数解析データの最大振幅Aa及び閾周波数以上の可聴周波数領域に存在する最大振幅Abを求め、最大振幅比Ab/Aaを算出して判別値とする工程と、判別値と設定した判別閾値とを比較し、判別値が判別閾値未満では非剥離、判別値が判別閾値以上では剥離と判定する工程とを有する。

【選択図】図1



<1>

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

基体にろう材を介して接合された物品を打撃することにより発生する打音の周波数解析を行って、前記物品と前記基体との間の剥離の有無を判定するろう付け物品の打音検査方法であって、

前記物品を打撃した際の打音を、マイクロフォンを用いて打撃の直後に設定される集音期間に亘って集音して、打音波形データを作成する工程と、

前記打音波形データの可聴周波数帯域における周波数解析を行って、周波数と振幅の関係を示す周波数解析データを求める工程と、

前記物品と同一形状で、前記基体との間に剥離が存在しないことが確認されている標準物品を打撃した際の打音の可聴周波数帯域における周波数解析を行って得られる最大振幅に対応する最大振幅周波数より高周波数側の可聴周波数領域に閾周波数を設定し、前記周波数解析データの最大振幅 A_a 及び前記閾周波数以上の可聴周波数領域に存在する最大振幅 A_b をそれぞれ求め最大振幅比 A_b / A_a を算出して判別値とする工程と、

前記判別値と予め設定した判別閾値との大小を比較し、該判別値が該判別閾値未満では非剥離、該判別値が該判別閾値以上では剥離と判定する工程とを有することを特徴とするろう付け物品の打音検査方法。

10

【請求項 2】

請求項 1 記載のろう付け物品の打音検査方法において、前記集音期間の起点は、前記打音の音信号が予め設定した閾値に到達した時刻であって、前記集音期間の終点は、前記起点から 2 ミリ秒以下の範囲に設定されることを特徴とするろう付け物品の打音検査方法。

20

【請求項 3】

請求項 1 又は 2 記載のろう付け物品の打音検査方法において、前記閾周波数を 5 k H z 以上 15 k H z 以下の周波数範囲に設定することを特徴とするろう付け物品の打音検査方法。

【請求項 4】

基体にろう材を介して接合された物品を打撃することにより発生した打音の周波数解析を行って、前記基体と前記物品との間の剥離の有無を判定するろう付け物品の打音検査装置であって、

前記物品を打撃した際の打音を打撃の直後に設定される集音期間に亘って集音して、打音波形データを作成するマイクロフォンを備えた集音手段と、

前記打音波形データの可聴周波数帯域における周波数解析を行って、周波数と振幅の関係を示す周波数解析データを求める周波数解析手段と、

前記物品と同一形状で、前記基体との間に剥離が存在しないことが確認されている標準物品を打撃した際の打音の可聴周波数帯域における周波数解析を行って得られる最大振幅に対応する最大振幅周波数より高周波数側の可聴周波数領域に閾周波数を設定し、前記周波数解析データの最大振幅 A_a 及び前記閾周波数以上の可聴周波数領域に存在する最大振幅 A_b をそれぞれ求め最大振幅比 A_b / A_a を算出して判別値を求める演算手段と、

前記判別値と予め設定した判別閾値との大小を比較し、該判別値が該判別閾値未満では非剥離、該判別値が該判別閾値以上では剥離と判定する判定手段とを有することを特徴とするろう付け物品の打音検査装置。

30

40

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、ろう付けされた物品を打撃した際に発生する打音を検知して、物品が剥離状態にあるか否かを検査するろう付け物品の打音検査方法及びその装置に関する。

【背景技術】

【0002】

鉄道レール（以下、単にレールという）では、レール上を走行している列車の位置を検知して信号の切替えを行うため、列車の進行に合わせて踏切に設置された遮断機を動作させ

50

るため、及び電車線から取り入れた列車走行のための駆動用電流をレールを經由して帰電線に戻すために隣り合うレールの継目を電氣的に接続する必要がある。このため、継目を挟んだ両レールの端部同士を、導電線で接続している。なお、導電線の両端にはそれぞれレールボンド（端子）が取り付けられており、レールボンドをレールにろう付けすることにより導電線をレールに接続している。

【0003】

レールでは、列車がレールの継目を通過する度にレールが振動するので、ろう材で接合されたレールボンドの接合部には、剥離が発生し易い。そして、発生した剥離は徐々に進行するため、剥離が進行してレールボンドがレールから脱落すると、重大な事故につながるという問題がある。そこで、レールボンドの脱落対策として、隣り合うレールの端部同士を2組の導電線で接続し（レールボンドを二重化し）定期的にレールボンドの取替えを実施したり、レールボンドとレールとの接続状況（剥離状況）を定期的に検査して、剥離が発生しているレールボンドを交換することにより、レールボンドの脱落の発生を防止している。

10

【0004】

ここで、レールボンドとレールとの接続状況の検査方法として、例えば、レールに取り付けられているレールボンドをハンマーで打撃し、そのとき発生する打音の音色の違いからレールボンドとレールとの接続状況を判定する打音検査が採用されている。しかしながら、打音検査では、検査員がハンマーでレールボンドを打撃した際の打音を耳で聞き分けて、剥離有無を判定するので、検査員の経験と技術に応じて、判定結果がばらついて判定の信頼性が劣るという問題がある。

20

そこで、検査員の経験と技術に関わらずに打音検査によって、検査対象物の状態（積層材の剥離や金属部品のひび割れの有無等）を正確に判定することが可能な打音検査システムとして、ショックレスハンマーと、ショックレスハンマーに取り付けられ、ショックレスハンマーによって検査対象物を打撃し、検査対象物内に伝播され反射してくる応答音を測定するマイクを備えるものが開示されている（例えば、特許文献1参照）。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【特許文献1】特開2011-257307号公報

30

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

特許文献1の打音検査システムでは、検査対象物内に剥離が存在すると、剥離箇所が新たな音の反射面となるため、マイクによって受音される応答音の信号が異なり、この信号の違いによって検査対象物の状態を判定している。しかしながら、この打音検査システムを、例えば、レールにろう付けされたレールボンドの剥離の有無判定に適用した場合、レールボンドの接合面は当初から音の反射面として作用するため、接合面に部分的に剥離が発生しても、剥離部分による音の反射を明確に分離して認識することは困難であり、ろう付けされたレールボンドに剥離が発生しているか否かを精度よく判定することはできないという問題がある。更に、特許文献1の図4に示すように、この打音検査システムでは、マイクによって応答音の信号の時間経過を連続して検出するので、この打音検査システムをレールボンドの剥離の判定に適用した場合、レールボンドにはレールからの振動が伝播してくるため、打撃による応答音（打音）にレールからの振動が重なり合って、ノイズが増加するという問題も生じる。

40

【0007】

本発明はかかる事情に鑑みてなされたもので、検査員の経験と技術に依存せずに、ろう付けされた物品を打撃した際の打音から、物品の剥離の有無を、短時間かつ高精度で検査することが可能なるろう付け物品の打音検査方法及びその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】

50

【0008】

前記目的に沿う第1の発明に係るろう付け物品の打音検査方法は、基体にろう材を介して接合された物品を打撃することにより発生する打音の周波数解析を行って、前記物品と前記基体との間の剥離の有無を判定するろう付け物品の打音検査方法であって、前記物品を打撃した際の打音を、マイクロフォンを用いて打撃の直後に設定される集音期間に亘って集音して、打音波形データを作成する工程と、前記打音波形データの可聴周波数帯域における周波数解析を行って、周波数と振幅の関係を示す周波数解析データを求める工程と、前記物品と同一形状で、前記基体との間に剥離が存在しないことが確認されている標準物品を打撃した際の打音の可聴周波数帯域における周波数解析を行って得られる最大振幅に対応する最大振幅周波数より高周波数側の可聴周波数領域に閾周波数を設定し、前記周波数解析データの最大振幅 A_a 及び前記閾周波数以上の可聴周波数領域に存在する最大振幅 A_b をそれぞれ求め最大振幅比 A_b / A_a を算出して判別値とする工程と、前記判別値と予め設定した判別閾値との大小を比較し、該判別値が該判別閾値未満では非剥離、該判別値が該判別閾値以上では剥離と判定する工程とを有する。

10

【0009】

第1の発明に係るろう付け物品の打音検査方法において、前記集音期間の起点は、前記打音の音信号が予め設定した閾値に到達した時刻であって、前記集音期間の終点は、前記起点から2ミリ秒以下の範囲に設定されることが好ましい。

【0010】

第1の発明に係るろう付け物品の打音検査方法において、前記閾周波数を5kHz以上15kHz以下の周波数範囲に設定することができる。

20

【0011】

前記目的に沿う第2の発明に係るろう付け物品の打音検査装置は、基体にろう材を介して接合された物品を打撃することにより発生した打音の周波数解析を行って、前記基体と前記物品との間の剥離の有無を判定するろう付け物品の打音検査装置であって、前記物品を打撃した際の打音を打撃の直後に設定される集音期間に亘って集音して、打音波形データを作成するマイクロフォンを備えた集音手段と、前記打音波形データの可聴周波数帯域における周波数解析を行って、周波数と振幅の関係を示す周波数解析データを求める周波数解析手段と、前記物品と同一形状で、前記基体との間に剥離が存在しないことが確認されている標準物品を打撃した際の打音の可聴周波数帯域における周波数解析を行って得られる最大振幅に対応する最大振幅周波数より高周波数側の可聴周波数領域に閾周波数を設定し、前記周波数解析データの最大振幅 A_a 及び前記閾周波数以上の可聴周波数領域に存在する最大振幅 A_b をそれぞれ求め最大振幅比 A_b / A_a を算出して判別値を求める演算手段と、前記判別値と予め設定した判別閾値との大小を比較し、該判別値が該判別閾値未満では非剥離、該判別値が該判別閾値以上では剥離と判定する判定手段とを有している。

30

【発明の効果】

【0012】

第1の発明に係るろう付け物品の打音検査方法及び第2の発明に係るろう付け物品の打音検査装置においては、物品を打撃して発生する打音をマイクロフォンを用いて集音期間に亘って集音して得られる打音波形データの可聴周波数帯域における周波数解析を行い、周波数解析データの最大振幅 A_a と設定した閾周波数以上の可聴周波数領域に存在する最大振幅 A_b をそれぞれ求めて最大振幅比 A_b / A_a からなる判別値を算出し、予め設定した判別閾値と比較して、判別値が判別閾値未満では非剥離、判別値が判別閾値以上では剥離と判定するので、検査員の経験と技術に依存せずに、物品の剥離の有無を、短時間かつ高精度で検査することが可能になる。

40

【0013】

第1の発明に係るろう付け物品の打音検査方法において、集音期間の起点が、打音の音信号が予め設定した閾値に到達した時刻であって、集音期間の終点が、起点から2ミリ秒以

50

下の範囲に設定される場合、基体に存在し打音とは異なる要因による振動が基体から物品に伝播し、物品を経由して検知されることを防止でき、物品と基体との間の剥離の有無に影響を受けた打音の打音波形データを収集することができる。このため、物品と基体との間の剥離の有無にそれぞれ対応する特徴的な周波数解析データを得ることができ、物品と基体との間の剥離の有無を正確に判定することができる。

【0014】

第1の発明に係るろう付け物品の打音検査方法において、閾周波数を5kHz以上15kHz以下の周波数範囲に設定する場合、物品と基体との接合部の一部に発生した剥離程度に応じて、閾周波数と判別閾値の組み合わせを設定することができ、物品の状態が、想定した剥離程度であるか否かを正確に判定することができる。

10

【図面の簡単な説明】

【0015】

【図1】本発明の一実施の形態に係るろう付け物品の打音検査装置の説明図である。

【図2】同ろう付け物品の打音検査装置のブロック図である。

【図3】(A)は集音期間に亘って収集した音信号から構成した打音波形データの説明図、(B)は減衰期間に亘って収集した音信号から構成した打音波形データの説明図である。

【図4】(A)、(B)はそれぞれ図3(A)、(B)の打音波形データから求めた正規化振幅のグラフである。

【図5】閾周波数を8kHz、最適正規化振幅を0.16に設定した場合のレールボンドの剥離判定結果を示す説明図である。

20

【図6】閾周波数を10kHz、最適正規化振幅を0.15に設定した場合のレールボンドの剥離判定結果を示す説明図である。

【図7】閾周波数を12kHz、最適正規化振幅を0.08に設定した場合のレールボンドの剥離判定結果を示す説明図である。

【図8】閾周波数を14kHz、最適正規化振幅を0.07に設定した場合のレールボンドの剥離判定結果を示す説明図である。

【図9】実施例1の判定結果を示す説明図である。

【図10】実施例2の判定結果を示す説明図である。

【発明を実施するための形態】

30

【0016】

続いて、添付した図面を参照しつつ、本発明を具体化した実施の形態につき説明し、本発明の理解に供する。

図1に示すように、本発明の一実施の形態に係るろう付け物品の打音検査装置10(以下、単に打音検査装置10という)は、検査員11に携帯され、レール12(基体の一例)にろう材を介して接合されたレールボンド13(物品の一例)を、検査員11がハンマー14を用いて打撃することにより発生した打音の周波数解析を行って、レール12とレールボンド13との間の剥離の有無を判定するものである。なお、符号15は、レール継目(図示せず)を挟んで両側に配置されたレール11の端部にそれぞれ取り付けられているレールボンド13を接続する導電線である。

40

【0017】

図2に示すように、打音検査装置10は、レールボンド13を打撃した際に発生した打音を打撃の直後に設定される集音期間に亘って集音して、打音波形データを作成するマイクロフォン16を備えた集音手段17と、打音波形データの可聴周波数帯域における周波数解析を行う周波数解析手段18と、レールボンド13と同一形状で、レール12との間に剥離が存在しないことが確認されている図示しない基準レールボンド(標準物品の一例)を打撃した際の打音の可聴周波数帯域における周波数解析を行って得られる最大振幅に対応する最大振幅周波数より高周波数側の可聴周波数領域に閾周波数 f_i を設定し、周波数解析データの最大振幅 A_a 及び閾周波数 f_i 以上の可聴周波数領域に存在する最大振幅 A_b をそれぞれ求め、最大振幅比 A_b/A_a を算出して判別値を求める演算手段19と、

50

判別値と予め設定した判別閾値 K_i との大小を比較し、判別値が判別閾値 K_i 未満では非剥離、判別値が判別閾 K_i 値以上では剥離と判定する判定手段 20 とを有している。以下、詳細に説明する。

【0018】

図 2 に示すように、集音手段 17 は、マイクロフォン 16 で集音したアナログの打音信号を、デジタルの打音信号に変換して出力する A/D 変換器 21 と、A/D 変換器 21 の出力端子部に接続され、A/D 変換器 21 の出力信号を集音期間に亘って通過させるゲート部 22 と、ゲート部 22 を通過した A/D 変換器 21 の出力信号を保存（記憶）するメモリ部 23 とを有している。

【0019】

ここで、ゲート部 22 には、集音期間の起点を、打音の音信号に対する A/D 変換器 21 からの出力値が、予め設定した閾値（例えば、レール 12 に存在する可聴周波数帯域の振動振幅の最大値の 0.001 から 0.1 倍の範囲に設定される値）に到達したことを検知した時刻に設定し、集音期間の終点を、起点から 2 ミリ秒以下の範囲、好ましくは、起点から 0.5 ミリ秒以上 2 ミリ秒以下の範囲、例えば、起点から 1 ミリ秒経過した時刻に設定するゲート設定機能が設けられている。従って、メモリ部 23 には、図 3 (A) に示すように、ハンマー 14 でレールボンド 13 を打撃した時刻から集音期間の起点の時刻までの範囲と集音期間の終点の時刻より以降の範囲における振幅を 0 に加工して作成された打音波形データが保存される。ここで、ゲート部 22 は、マイクロコンピュータにゲート設定機能発現するプログラムを搭載することにより構成することができ、メモリ部 23 は、

【0020】

周波数解析手段 18 は、集音手段 17 のメモリ部 23 に保存された打音波形データを、例えば、高速フーリエ変換することにより、周波数と振幅の関係を示す周波数解析データを作成する機能を備えている。また、演算手段 19 は、作成された周波数解析データに対して、可聴周波数帯域における最大振幅 A_a を検出する機能を備えた第 1 の算出部 24 と、5 kHz 以上 15 kHz 以下の周波数範囲に設定される閾周波数 f_i 以上の可聴周波数領域に存在する最大振幅 A_b を検出する機能を備えた第 2 の算出部 25 と、最大振幅 A_a 、 A_b から最大振幅比 A_b / A_a を算出して判別値を求める機能を備えた第 3 の算出部 26 とを有している。ここで、周波数解析手段 18 は高速フーリエ変換用のプログラムを、演算手段 19 は第 1 ~ 第 3 の算出部 24、25、26 の機能を発現するプログラムを、それぞれマイクロコンピュータに搭載することにより構成することができ、

【0021】

判定手段 20 は、演算手段 19 で得られた判別値と予め設定した判別閾値 K_i との大小を比較し、比較結果を出力する機能を備えた比較部 27 と、判別値が判別閾値 K_i 未満である比較結果の場合はレールボンド 13 が非剥離の状態であることを表示し、判別値が判別閾値 K_i 以上である比較結果の場合はレールボンド 13 が剥離の状態であることを表示する表示部 28 とを有している。ここで、判定手段 20 の比較部 27 は、比較部 27 の機能を発現するプログラムをマイクロコンピュータに搭載することにより構成することができ、判定手段 20 の表示部 28 は、例えば、非剥離及び剥離の各状態に対応して点灯する表示灯と非剥離及び剥離の各状態に対応して異なる音を出力するスピーカシステムで構成することができる。更に、表示部 28 には、打音検査の開始が可能であることを表示する表示灯が設けられている。

【0022】

また、打音検査装置 10 は、集音手段 17、周波数解析手段 18、演算手段 19、及び判定手段 20 を連携動作させる制御機能を備えた検査管理手段 29 を有している。更に、検査管理手段 29 には、閾周波数 f_i を設定する機能、判別閾値 K_i を設定する機能、及び検査回数を設定する機能が設けられている。なお、検査管理手段 29 において、検査回数が複数回に設定された場合、各打音検査で得られた判別値は第 3 の算出部 26 に順次保存され、設定された検査回数の打音検査が終了した時点で、保存された各判別値の平均値が

算出され、得られた平均値を複数回検査の場合の判別値に設定して、この判別値と判別閾値 K_i との大小関係から剥離の有無が判定されるように、集音手段 17、周波数解析手段 18、演算手段 19、及び判定手段 20 がそれぞれ連携動作する。ここで、検査管理手段 29 は、集音手段 17、周波数解析手段 18、演算手段 19、及び判定手段 20 を連携動作させる制御機能を発現するプログラムをマイクロコンピュータに搭載することにより構成することができる。

なお、最大振幅周波数は、従来の打音検査で使用される打音検査システムを用いて集音した打音信号を周波数解析することにより求めることができるが、本発明の集音手段 17 及び周波数解析手段 18 を使用して、最大振幅周波数を求めてもよい。

【0023】

続いて、本発明の一実施の形態に係る打音検査装置 10 を用いたろう付け物品の打音検査方法（以下、単に打音検査方法という）について説明する。

打音検査方法は、レール 12 にろう材を介して接合されたレールボンド 13 を打撃することにより発生する打音の周波数解析を行って、レールボンド 13 とレール 12 との間の剥離の有無を判定する方法であって、レールボンド 13 を打撃した際の打音を、マイクロフォン 16 を用いて打撃の直後に設定される集音期間に亘って集音して、打音波形データを作成する工程と、打音波形データの可聴周波数帯域における周波数解析を行って、周波数と振幅の関係を示す周波数解析データを求める工程と、レールボンド 13 と同一形状で、レール 12 との間に剥離が存在しないことが確認されている基準レールボンドを打撃した際の打音の可聴周波数帯域における周波数解析を行って得られる最大振幅に対応する最大振幅周波数より高周波数側の可聴周波数領域に閾周波数 f_i を設定し、周波数解析データの最大振幅 A_a 及び閾周波数 f_i 以上の可聴周波数領域に存在する最大振幅 A_b をそれぞれ求め、最大振幅比 A_b / A_a を算出して判別値とする工程と、判別値と予め設定した判別閾値 K_i との大小を比較し、判別値が判別閾値 K_i 未満では非剥離、判別値が判別閾値 K_i 以上では剥離と判定する工程とを有している。以下、詳細に説明する。

【0024】

打音波形データを作成する工程では、マイクロフォン 16 で打音の集音を開始する時刻を、打音の音信号の振幅が予め設定した閾値に到達した時刻としている。これにより、ハンマー 14 でレールボンド 13 を打撃したことにより発生する打音を、発生直後から確実に集音することができる。一方、外部から多様な振動がレール 12 に伝播してくるため、レール 12 には、打音とは異なる原因による可聴周波数帯域の振動（非打撃音）が存在している。

【0025】

このため、図 3（B）に示すように、打音の減衰が顕著となるまでの期間（例えば、打撃直後から 0.3 ~ 0.4 秒間）に亘って打音の音信号を収集すると、打音に、レール 12 の端面で反射して戻ってきた反射音等が重なり合った状態の音信号が得られる。そこで、図 3（A）に示すように、打音の減衰が顕著とならない、例えば、打音の音信号が、閾値に達した時刻（起点）から 0.5 ミリ秒以上 2 ミリ秒以下の時間（例えば、1 ミリ秒）経過した時刻までの集音期間においてのみ音信号を収集すると、打音の音信号の強度（振幅）に反射音の強度が入りこまない（重なり合わない）ため、レールボンド 13 とレール 12 との間の剥離の有無にそれぞれ影響を受けた打音の音信号を効率的に収集することができる。

【0026】

一般に、レールボンド 13 とレール 12 との間に剥離が存在しないと、レールボンド 13 をハンマー 14 で打撃した際に発生する打音の音色は低く（振幅値の周波数分布において、高周波側成分が少なく）、レールボンド 13 とレール 12 との間に剥離が存在すると、打音の音色は高く（振幅値の周波数分布において、高周波側成分が多く）なることが経験的に判明している。このため、図 3（A）、（B）の各打音波形データから、可聴周波数帯域における周波数解析を行い、スペクトルと周波数の関係を求めた。その結果を図 4（A）、（B）にそれぞれ示す。なお、図 4 では、スペクトルは正規化して（スペクトルの

10

20

30

40

50

最大強度が 1 になるように変換して) 示している。

【0027】

図 4 (A) に示すように、打音の音信号が閾値に達した時刻から一定時間経過するまでの集音期間に収集した音信号で構成された打音波形データ (図 3 (A)) からスペクトルと周波数の関係を求めると、レールボンド 13 とレール 12 との間に剥離が存在しない場合 (正常品) とレールボンド 13 とレール 12 との間に剥離が存在する場合 (剥離品) とでは、周波数が 5 kHz 以上 15 kHz 以下の範囲でスペクトル強度の差が顕著となることが判る。一方、図 4 (B) に示すように、打音の減衰が顕著となるまでの長期間に亘って収集した音信号で構成された打音波形データ (図 3 (B)) からスペクトルと周波数の関係を求めた場合、正常品と剥離品とでは、周波数が 5 kHz 以上の高周波数側でスペクトル

10

【0028】

従って、集音期間に収集した打音の音信号で構成された打音波形データの周波数解析から得られるスペクトルと周波数の関係は、レールボンド 13 とレール 12 との間に剥離が存在するか否かに対応して経験上得られる音色の変化に対応している。このため、レールボンド 13 とレール 12 との間の剥離有無の判定を、集音期間に収集した打音の音信号で構成された打音波形データを用いて行うことの有効性が確認できる。

【0029】

レールボンド 13 とレール 12 との間の剥離率 (剥離程度を定量的に示す尺度の一例であって、レールボンド 13 の全接合面積に対する剥離領域面積の割合) が増加すると、打音の音色はより高くなるという経験則から、剥離率が増加すると、周波数が 5 kHz 以上 15 kHz 以下の範囲のスペクトル強度も増加することが予測される。そこで、周波数が 5 kHz 以上 15 kHz 以下の範囲のスペクトル強度の増加程度を定量的に示す尺度として、周波数が 5 ~ 15 kHz の高周波数側の可聴周波数領域に閾周波数 f_i を設定し、0 ~ 20 kHz の周波数範囲における周波数解析データの最大振幅 (スペクトルの最大値) A_a と、閾周波数 f_i 以上 20 kHz までの高周波数領域 (可聴周波数領域) に存在する最大振幅 (スペクトルの最大値) A_b をそれぞれ求め、最大振幅比 A_b / A_a を算出して、剥離率を示す判別値とした。以下、具体的に説明する。

20

【0030】

複数のレールボンド 13 を打撃して周波数解析データを求める。次いで、複数のレールボンド 13 に衝撃を加えてレール 12 から取り外して接合面の状態から剥離領域面積を求め、得られた剥離領域面積を全接合面積で除して剥離率を算出する。そして、レールボンド 13 毎に、従って剥離率毎に、周波数解析データ D を求め、閾周波数 f_1 として 8 kHz を設定し、8 ~ 20 kHz の高周波数領域に存在する最大振幅 A_b を最大振幅 A_a で正規化した正規化振幅を算出する。そして、図 5 に示すように、横軸を剥離率、縦軸を正規化振幅とした散布図を作成する。

30

【0031】

ここで、レールボンドの剥離は、列車通過時の振動により発生して徐々に進行する。このため、剥離が存在しない良品のレールボンドの打音の音色 (周波数解析データ) と比較して、レールボンド 13 に剥離が発生した初期段階における打音の音色は、ほとんど変化はないが、剥離がある程度進行すると、打音の音色に変化が生じると共に、剥離の進行速度は加速度的に速くなっていく。従って、剥離発生後のできるだけ初期の段階で剥離を検出することが望ましく、レールボンドに剥離が存在するか否かの検出限界として、例えば、剥離率 40% を目安とした。

40

【0032】

続いて、散布図に記載されたレールボンドデータ群を、二つの群、即ち剥離が存在しない正常品 (剥離率 40% 未満) のレールボンドデータ群と剥離が存在する剥離品 (剥離率 40% 以上) のレールボンドデータ群に弁別する、即ち、散布図に記載されたボンドデータ群を、散布図の上側に分散する剥離品のレールボンドデータ群と散布図の下側に分散する正常品のレールボンドデータ群に、弁別誤り率が最も小さくなるように二分するときの正

50

規化振幅を求めて弁別正規化振幅とする。ここで、弁別誤り率が最も小さくなるように二分する正規化振幅とは、任意に設定した正規化振幅の中で、設定した正規化振幅以上の領域に存在する正常品の個数と、設定した正規化振幅未満の領域に存在する剥離品の個数との総和が最小となるときの正規化振幅をさす。図5では、弁別正規化振幅(K_1)は0.16となる。弁別正規化振幅を0.16に設定すると、正常品と剥離品に判別ミスなく弁別でき、判別確率は100%となる。

【0033】

閾周波数 f_2 として10kHzを設定し、10~20kHzの高周波数領域に存在する最大振幅 A_b を最大振幅 A_a で正規化した正規化振幅を算出する。そして、図6に示すように、横軸を剥離率、縦軸を正規化振幅とした散布図を作成する。次いで、散布図に記載されたレールボンドデータ群を、散布図の上側に分散する剥離品のレールボンドデータ群と散布図の下側に分散する正常品のレールボンドデータ群に、弁別誤り率が最も小さくなるように二分するときの正規化振幅を求めて弁別正規化振幅とする。図6では、弁別正規化振幅(K_2)は0.15となる。なお、弁別正規化振幅を0.15に設定した場合、正常品と剥離品に弁別できない判別不可のデータが存在し、判別確率は97%となる。

10

【0034】

閾周波数 f_3 として12kHzを設定し、12~20kHzの高周波数領域に存在する最大振幅 A_b を最大振幅 A_a で正規化した正規化振幅を算出する。そして、図7に示すように、横軸を剥離率、縦軸を正規化振幅とした散布図を作成する。次いで、散布図に記載されたレールボンドデータ群を、散布図の上側に分散する剥離品のレールボンドデータ群と散布図の下側に分散する正常品のレールボンドデータ群に、弁別誤り率が最も小さくなるように二分するときの正規化振幅を求めて弁別正規化振幅とする。図7では、弁別正規化振幅(K_3)は0.08となる。なお、弁別正規化振幅を0.08に設定すると、正常品と剥離品に弁別できない判別不可のデータが存在し、判別確率は95%となる。

20

【0035】

閾周波数 f_4 として14kHzを設定し、14~20kHzの高周波数領域に存在する最大振幅 A_b を最大振幅 A_a で正規化した正規化振幅を算出する。そして、図8に示すように、横軸を剥離率、縦軸を正規化振幅とした散布図を作成する。次いで、散布図に記載されたレールボンドデータ群を、散布図の上側に分散する剥離品のレールボンドデータ群と散布図の下側に分散する正常品のレールボンドデータ群に、弁別誤り率が最も小さくなるように二分するときの正規化振幅を求めて弁別正規化振幅とする。図8では、弁別正規化振幅(K_4)は0.07となる。なお、弁別正規化振幅を0.07に設定すると、正常品と剥離品に弁別できない判別不可のデータが存在し、判別確率は90%となる。

30

【0036】

以上のように、周波数解析データDに対して閾周波数 f_i を段階的に変えて、散布図をそれぞれ作成し、得られた散布図毎に、正常品と剥離品に弁別誤り率が最も小さくなるように二分する弁別正規化振幅を求める。次いで、得られた弁別正規化振幅の中から、弁別誤り率を最も小さくする弁別正規化振幅を判別閾値に、その判別閾値を設置できる閾周波数 f_i を閾周波数にそれぞれ選定する。そして、レールボンド13と同一型式のレールボンドの打音検査を行う場合は、選定した判別閾値及び閾周波数を使用する。

40

【実施例】

【0037】

実施例1

レールボンドの剥離率が40%未満では非剥離、剥離率が40%以上では剥離とする判定基準を設け、閾周波数を8kHz、判別閾値(K)を0.16、1つのレールボンドの剥離有無を判定する打音検査の回数を3回にそれぞれ設定して、レールに取り付けた48箇所のレールボンドの打音検査を行い、得られた判別値から剥離有無の判定を行った。また、打音検査による判定を行った後、レールボンドをレールから取り外して剥離率を実測し、実測した剥離率に基づいて剥離有無の判定を行った。そして、レールボンド毎に求めた判定値及び剥離率の関係から、横軸を剥離率、縦軸を判別値とした散布図を作成した。作

50

成した散布図を図9に示す。なお、図9には、剥離率40%を示す縦線、判別閾値0.16を示す横線をそれぞれ記載している。

【0038】

図9から、判別閾値を0.16に設定することにより、散布図に示されたレールボンドデータ群を、剥離が存在しない良品のレールボンドデータ群と剥離が存在する不良品のレールボンドデータ群に弁別できることが確認できた。なお、剥離率の実測から判定した剥離状態のレールボンドの個数は17個、打音検査から判定した剥離状態のレールボンドの個数は16個であり、判別確率は98%であった。

【0039】

実施例2

レールボンドの剥離率が40%未満では非剥離、剥離率が40%以上では剥離とする判定基準を設け、閾周波数を8kHz、判別閾値(K)を0.16、1つのレールボンドの剥離有無を判定する打音検査の回数を1回にそれぞれ設定して、レールに取り付けた28箇所のレールボンドの打音検査を行い、得られた判別値から剥離有無の判定を行った。また、打音検査による判定を行った後、レールボンドをレールから取り外して剥離率を実測し、実測した剥離率に基づいて剥離有無の判定を行った。そして、レールボンド毎に求めた判定値及び剥離率の関係から、横軸を剥離率、縦軸を判別値とした散布図を作成した。作成した散布図を図10に示す。なお、図10には、剥離率40%を示す縦線、判別閾値0.16を示す横線をそれぞれ記載している。

【0040】

図10から、判別閾値を0.16に設定することにより、散布図に示されたレールボンドデータ群を、剥離が存在しない良品のレールボンドデータ群と剥離が存在する不良品のレールボンドデータ群に弁別できることが確認できた。なお、剥離率の実測から判定した剥離状態のレールボンドの個数は7個、打音検査から判定した剥離状態のレールボンドの個数は6個であり、判別確率は96%であった。

【0041】

以上のことから、レールボンドの型式に応じて、レールボンドが剥離していると判定するレールボンドの最小剥離率を設定すると共に、実験から閾周波数及び判別閾値をそれぞれ設定することにより、打音検査により、レールボンドの剥離有無を95%以上の判別確率で判定できることが確認できた。また、1つのレールボンドに対して複数回の打音検査を実施して得られる判別値の平均値を、そのレールボンドを代表する判別値とすると、レールボンドの剥離有無の判別確率を更に向上できることがわかった。

【0042】

以上、本発明を、実施の形態を参照して説明してきたが、本発明は何ら上記した実施の形態に記載した構成に限定されるものではなく、特許請求の範囲に記載されている事項の範囲内で考えられるその他の実施の形態や変形例も含むものである。

更に、本実施の形態とその他の実施の形態や変形例にそれぞれ含まれる構成要素を組合わせたものも、本発明に含まれる。

【符号の説明】

【0043】

10：ろう付け物品の打音検査装置、11：検査員、12：レール、13：レールボンド、14：ハンマー、15：導電線、16：マイクロフォン、17：集音手段、18：周波数解析手段、19：演算手段、20：判定手段、21：A/D変換器、22：ゲート部、23：メモリ部、24：第1の算出部、25：第2の算出部、26：第3の算出部、27：比較部、28：表示部、29：検査管理手段

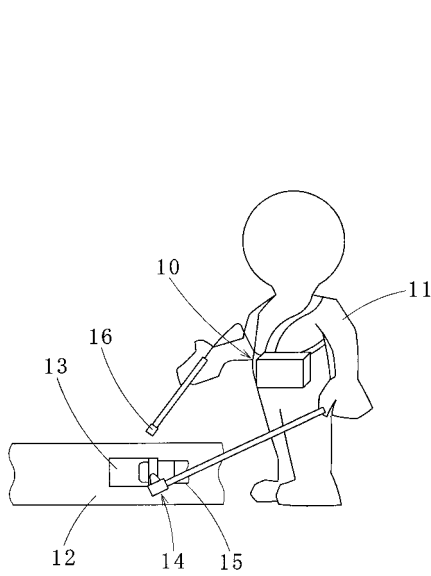
10

20

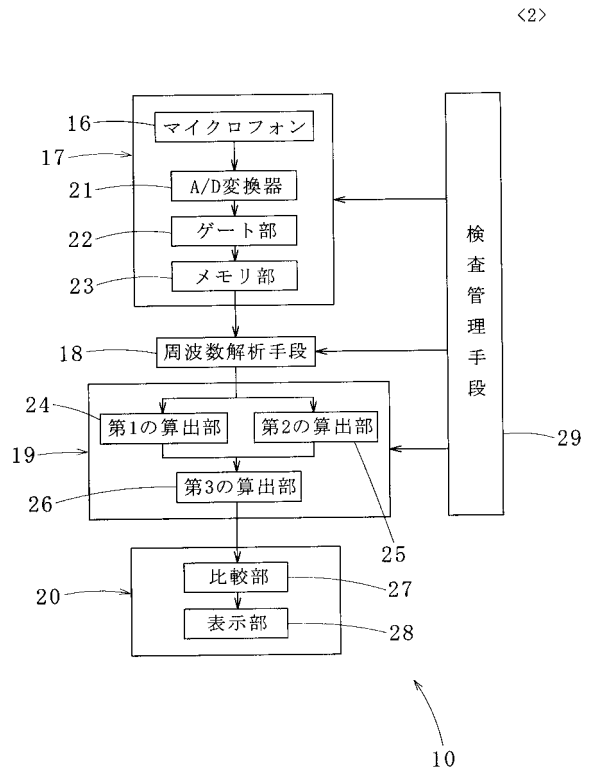
30

40

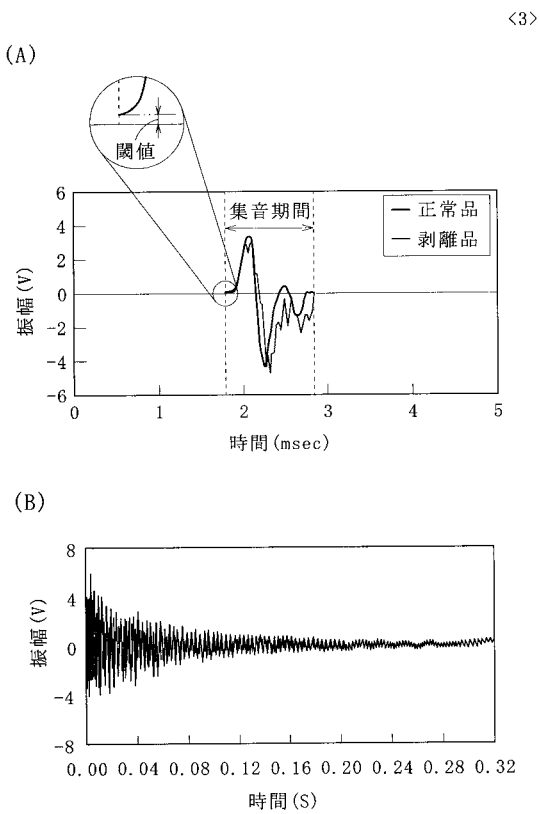
【図1】



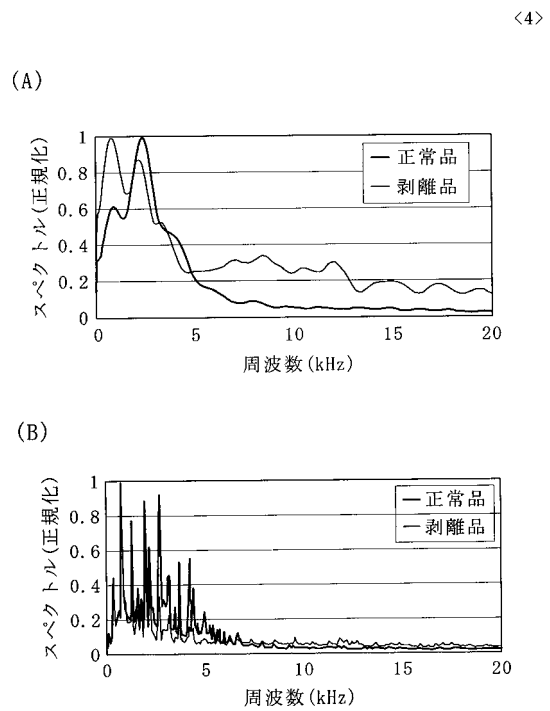
【図2】



【図3】

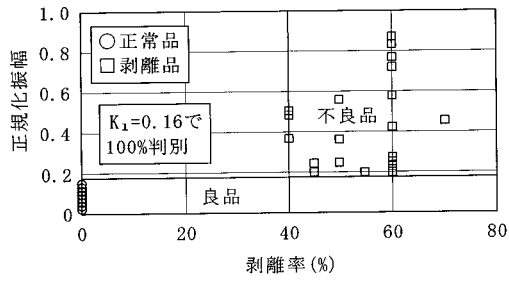


【図4】



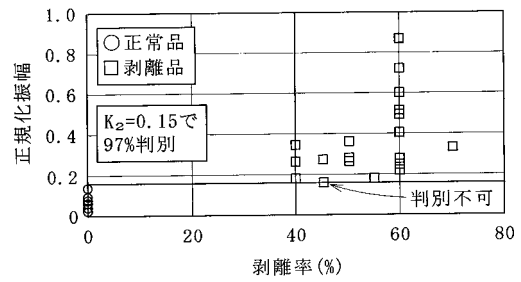
【 図 5 】

<5>



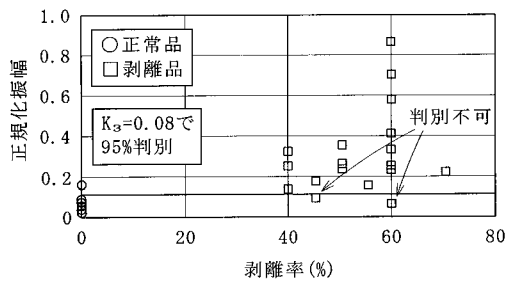
【 図 6 】

<6>



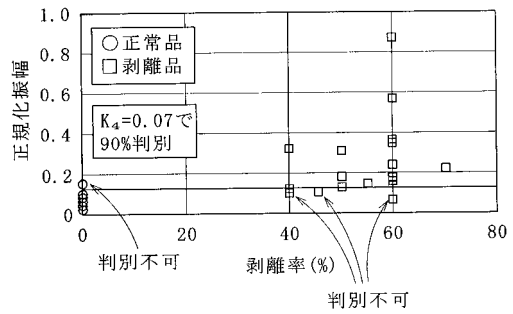
【 図 7 】

<7>



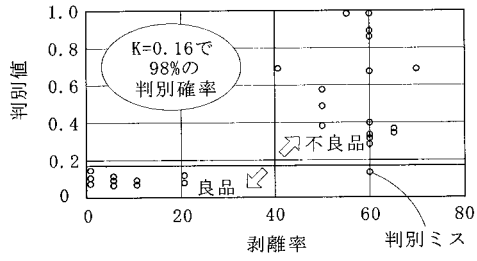
【 図 8 】

<8>



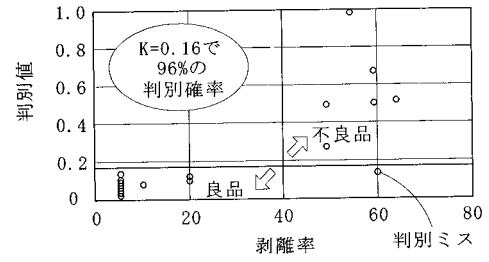
【 図 9 】

<9>



【 図 10 】

<10>



フロントページの続き

(74)代理人 100127155

弁理士 来田 義弘

(74)代理人 100159581

弁理士 藤本 勝誠

(72)発明者 糸平 圭一

福岡県北九州市八幡西区則松3丁目6番1号 福岡県工業技術センター 機械電子研究所内

(72)発明者 山本 圭一郎

福岡県北九州市八幡西区則松3丁目6番1号 福岡県工業技術センター 機械電子研究所内

(72)発明者 脇部 康彦

福岡県北九州市小倉北区井堀4丁目10番13号 新日本非破壊検査株式会社内

(72)発明者 岩本 幹夫

福岡県北九州市小倉北区井堀4丁目10番13号 新日本非破壊検査株式会社内

(72)発明者 吉永 憲市

福岡県古賀市薬王寺1743番4 株式会社昭和テックス内

Fターム(参考) 2G047 AB07 AC09 BA04 BC03 BC04 BC07 CA03 EA09 EA10 GD02

GG02 GG12 GG20 GG24 GG28 GG33