

(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2019-105496

(P2019-105496A)

(43) 公開日 令和1年6月27日(2019.6.27)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
GO 1 N 29/04 (2006.01)	GO 1 N 29/04	2 GO 4 7
GO 1 N 29/30 (2006.01)	GO 1 N 29/30	
GO 1 N 29/46 (2006.01)	GO 1 N 29/46	
GO 1 N 29/44 (2006.01)	GO 1 N 29/44	

審査請求 有 請求項の数 3 O L (全 19 頁)

(21) 出願番号 特願2017-237453 (P2017-237453)
 (22) 出願日 平成29年12月12日 (2017.12.12)
 (11) 特許番号 特許第6429215号 (P6429215)
 (45) 特許公報発行日 平成30年11月28日 (2018.11.28)

特許法第30条第2項適用申請有り 公益社団法人日本
 コンクリート工学会 コンクリート工学年次論文集, V
 o l . 3 9 , N o . 1 , p p . 1 8 7 3 - 1 8 7 8 , 2
 0 1 7 . 2 0 1 7 年 6 月 1 5 日 発 行 [刊 行 物 等] 仙 台
 国際センター コンクリート工学年次大会2017 (仙
 台) 平成29年7月12日開催

(71) 出願人 502390555
 株式会社構研エンジニアリング
 北海道札幌市東区北18条東17丁目1番
 1号
 (71) 出願人 504132272
 国立大学法人京都大学
 京都府京都市左京区吉田本町36番地1
 (74) 代理人 100082658
 弁理士 伊藤 儀一郎
 (72) 発明者 佐光 正和
 北海道札幌市東区北18条東17丁目1番
 1号 株式会社構研エンジニアリング内
 (72) 発明者 牛渡 裕二
 北海道札幌市東区北18条東17丁目1番
 1号 株式会社構研エンジニアリング内
 最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 構造物の検査方法

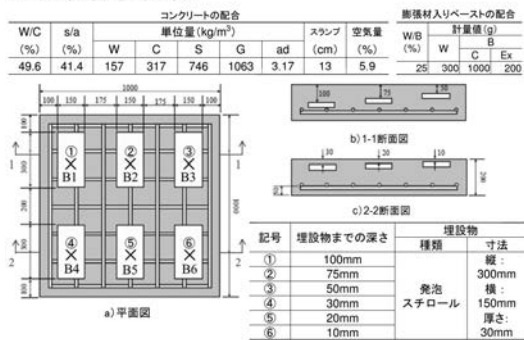
(57) 【要約】

【課題】本発明は、検査結果にばらつきが生じない打音
 法による構造物の検査方法を提供する。

【解決手段】コンクリート内部の欠陥を模擬した供試体
 を形成し、該供試体に対して欠陥箇所や欠陥状態を検出
 する打音法の操作を行い、打音により得られる音の音響
 データを取得し、取得した音響データにつきウェーブレ
 ット変換による周波数解析を行い、解析したデータから
 二値化画像を認識し、認識した画像の輪郭をそれぞれ複
 素数で表現し、表現した複素数から得られる複素PARCOR
 係数による数値をあらかじめデータとして蓄積し、次に
 、データ化した前記複素PARCOR係数の数値と任意の画像
 の輪郭を表す複素数から得られた複素PARCOR係数の数値
 を比較し、比較した際に、両者の数値の差が少ない任意
 の画像が、データ化された画像の輪郭であると認識して
 、構造物の欠陥箇所や欠陥状態を検出することを特徴と
 する。

【選択図】 図1

欠陥模擬供試体



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

コンクリート内部の欠陥を模擬した供試体を形成し、該供試体に対して欠陥箇所や欠陥状態を検出する打音法の操作を行い、打音により得られる音の音響データを取得し、取得した音響データにつきウェーブレット変換による周波数解析を行い、解析したデータから二値化画像を認識し、認識した画像の輪郭をそれぞれ複素数で表現し、表現した複素数から得られる複素PARCOR係数による数値をあらかじめデータとして蓄積し、

次に、データ化した前記複素PARCOR係数の数値と任意の画像の輪郭を表す複素数から得られた複素PARCOR係数の数値を比較し、比較した際に、両者の数値の差が少ない任意の画像が、データ化された画像の輪郭であると認識して、構造物の欠陥箇所や欠陥状態を検出する、

ことを特徴とする構造物の検査方法。

10

【請求項 2】

前記打音により得られた音響データの打音波形認識においては、多様な損傷から得られる複数種類の打音波形が、前記ウェーブレット変換による周波数解析で認識できる、

ことを特徴とする請求項 1 記載の構造物の検査方法。

【請求項 3】

前記音響データの周波数解析をウェーブレット変換によって行うことにより、横軸に時間経過を、縦軸に周波数解析の結果とした図が作成でき、この図の結果から、欠陥深さの違いを示す定量的な情報が得られる、

ことを特徴とする請求項 1 または請求項 2 記載の構造物の検査方法。

20

【発明の詳細な説明】**【技術分野】****【0001】**

本発明は、構造物の検査方法に関するものである。

【背景技術】

30

【0002】

近年、トンネル構造物をはじめとした、例えばコンクリート材料で構成される構造物の維持管理においては、非破壊や微破壊試験によるコンクリート構造物の評価手法、すなわち、非破壊や微破壊試験によるコンクリート構造物の検査方法が注目されている。

【0003】

この非破壊や微破壊試験による評価手法、すなわち検査方法については、該検査方法に関する機械的技術の発展や研究開発は著しい分野であるとはいえる。しかしながら、前記検査方法に関する機械的技術の発展や研究開発の先端技術全てが大小様々な構造物の評価手法、検査方法に汎用的に適用でき、かつ安価に適用できるなどの発明の創案はなされてはいないのが現状である。

40

【0004】

コンクリート構造物などの検査方法としては、従来よりいわゆる打音法による検査手法が一般的に知られている。打音法とは、例えばコンクリート構造物をハンマーなどで叩いた際に発生する音から欠陥の有無を判断する手法であり、熟練した技術者による打音法の実施であれば、彼らの能力および経験値は非常に高く、信頼性も高いとされている。

【0005】

ここで、前記打音法による、コンクリートなどの構造物の劣化診断法、すなわち検査方法は、近接目視と合わせて、近年よく実施されている検査方法である。

【0006】

しかし、近年、熟練した技術者は年々高齢化しており、しかも後継者不足も相まって点

50

検技術者の経験や知識に差が大きくなってしまっている。

そして、差の大きな点検技術者の経験や知識に基づいての診断、検査によると検査結果が大きく違ってしまうこととなる。

【0007】

そのため、点検技術者の経験や知識に基づかなければならない打音法ではなく、点検技術者の経験や知識がなくとも、検査結果にばらつきが生じない打音法による構造物の検査方法が要望されるに至っている。

【先行技術文献】

【特許文献】

10

【0008】

【特許文献1】特開2003-4711号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

かくして、本発明は、前記の課題に対処すべく創案されたものであって、たとえ点検技術者の経験や知識がなかったとしても、検査結果にばらつきが生じない打音法による構造物の検査方法を提供することを目的とするものである。

【0010】

すなわち、客観的・定量的に評価することができるデータを蓄積し、汎用的に社会的に実装できる技術とすることで、コスト、信頼性、技術者不足に対応できるものとしたものである。

20

【課題を解決するための手段】

【0011】

本発明による構造物の検査方法は、

コンクリート内部の欠陥を模擬した供試体を形成し、該供試体に対して欠陥箇所や欠陥状態を検出する打音法の操作を行い、打音により得られる音の音響データを取得し、取得した音響データにつきウェーブレット変換による周波数解析を行い、解析したデータから二値化画像を認識し、認識した画像の輪郭をそれぞれ複素数で表現し、表現した複素数から得られる複素PARCOR係数による数値をあらかじめデータとして蓄積し、

30

次に、データ化した前記複素PARCOR係数の数値と任意の画像の輪郭を表す複素数から得られた複素PARCOR係数の数値を比較し、比較した際に、両者の数値の差が少ない任意の画像が、データ化された画像の輪郭であると認識して、構造物の欠陥箇所や欠陥状態を検出する、

ことを特徴とし、

または、

前記打音により得られた音響データの打音波形認識においては、多様な損傷から得られる複数種類の打音波形が、前記ウェーブレット変換による周波数解析で認識できる、

ことを特徴とし、

40

または、

前記音響データの周波数解析をウェーブレット変換によって行うことにより、横軸に時間経過を、縦軸に周波数解析の結果とした図が作成でき、この図の結果から、欠陥深さの違いを示す定量的な情報が得られる、

ことを特徴とするものである。

【発明の効果】

【0012】

本発明によれば、たとえ点検技術者の経験や知識がなかったとしても、検査結果にばらつきが生じない打音法による構造物の検査方法が提供出来るものとなる。すなわち、客観

50

的・定量的に評価することができるデータを蓄積して、汎用的に社会的に実装できる技術とすることで、コスト、信頼性、技術者不足に対応できるとの優れた効果を奏する。

【発明を実施するための形態】

【0013】

以下、本発明を実施するための形態を図に基づいて説明する。

図1乃至図3に示すように、例えば発泡スチロールなどをコンクリート内に埋設して、いわゆる欠陥模擬供試体を形成する。コンクリート内部のひび割れや空隙で構成される欠陥について、該欠陥を発泡スチロールの埋設で模擬したものである。

【0014】

そして、前記欠陥模擬供試体に埋設した埋設物は、図2及び図3に示すように埋設した深さを各々異ならせて埋設してある。

第1の埋設物の埋設深さは100mm、第2の埋設物の埋設深さは75mm、第3の埋設物の埋設深さは50mm、第4の埋設物の埋設深さは30mm、第5の埋設物の埋設深さは20mm、第6の埋設物の埋設深さは10mmの深さとした。

【0015】

そして、この欠陥模擬供試体に対して所定の打音器具を使用し、そのコンクリート表面を叩くなどしていわゆる打音法の操作を行う。

すなわち、コンクリート構造物に対して欠陥箇所や欠陥状態を特定、検出する打音法である。ここで、通常打音法では、叩いて得られる音を点検技術者が聞き分けてコンクリート構造物の欠陥箇所を特定する。

【0016】

しかるに本発明では、打音法において、叩いて得られる音を点検技術者が聞き分けてコンクリート構造物の欠陥箇所や欠陥状態を特定、検出するのではなく、この打音により得られる音を録音し音響データを取得、生成して、熟練した前記点検技術者の聞き分け作業によらず、コンクリート構造物の欠陥箇所や欠陥状態を特定、検出できるものとしたのである。

【0017】

まず、打音により得られる音を録音し音響データとして収録、録音する。

そして、この収録、録音した音響データにつき周波数スペクトル解析を行うものである。

すなわち、前記のように本発明では、打音により得られた音を前記点検技術者が聞き分けるのではなく、音響データとして収録し、該音響データの周波数スペクトル解析を行うことにより、点検技術者の能力と経験則を汎用的かつ定量的な情報に変換しようとしたものなのである。

【0018】

本発明の手法を用いれば、従来の打音法であっても、検査結果に対する高信頼度が確保でき、かつ検査方法の低コスト化が実現できるものとなる。

さらに、最終的には管理者レベルの大小やコンクリート構造物の大小に応じた長寿命化修繕計画およびマネジメントサイクルに適用できるような技術を構築することができる。

【0019】

本発明の構成につき説明する。

まず、前記複数作成した欠陥模擬供試体に対し、打音により得られる音響データを取得する。ここで、打音に使用する打音器具については何ら制限されない。通常打音法を実施する点検技術者が使用しているハンマーなどの打音器具で構わない。次に、音響データの生成についても何ら制限されない。一般的な録音機器で音響データを収録、生成して構わない。

【0020】

しかしながら、収録された音響データの周波数解析は、いわゆるフーリエ変換によるスペクトル解析ではなく、ウェーブレット変換によって周波数の解析をするものとする。こ

10

20

30

40

50

れは、本発明の第一の特徴となるものである。音響データの周波数解析をウェーブレット変換によって行えば、時間 - 周波数解析の有用性が示せるからである。

【0021】

すなわち、音響データのフーリエ変換による周波数解析に着目した欠陥深さの評価には、限界があり、いわゆる50mm以上の深さの変状については、大きな違いが認められないのである。これに対し、音響データの周波数解析をウェーブレット変換によって行えば、横軸に時間経過を、縦軸に周波数解析の結果とした図が作成でき、この図の結果から、欠陥深さの違いを示す定量的な情報が得られるからである（図2、図3参照）。

【0022】

そこで、本発明では、前記音響データの周波数解析をウェーブレット変換によるものとした。このウェーブレット変換によれば、フーリエ変換によって周波数特性を求める際に失われる時間領域の情報を残すことが可能となる。

10

【0023】

そして、ウェーブレット変換によって得られたスペクトル画像から、Wavelet係数の上位20%を抽出し、これを二値化画像とすることで、さらに音響データ周波数の特徴を抽出できる。

【0024】

すなわち、打音波形の分類においては、多様な損傷から得られる波形があり、複数種類の打音波形の認識には、前記ウェーブレット変換による周波数解析が有用だからである。

【0025】

次に、得られた二値化画像のパターンを認識していく。すなわち、二値化された画像のパターン認識、換言すれば前記画像の輪郭認識を行うのである。しかして、この認識手法においては、複素PARCOR係数が用いられる。

20

【0026】

複素PARCOR係数を用いた認識手法につき、以下に説明する。

図5に示すように、まず、二値化された画像データの白黒(0・1)テキスト画像の黒(=1)の部分について、任意(すべて)のマス(ピクセル)に着目し、それぞれのマスを囲む(隣接する8マス)マスに1(黒)のマスが幾つあるかを数え、それぞれのマスにその個数を書き込む。

【0027】

このうち、輪郭点として十分と考えられる前記隣接する8個のマスのうち4~6個のマスが隣接しているとするマス、すなわち「4~6」の数字が書かれたマスを残すことで輪郭が充分抽出出来るものとなる。

30

【0028】

そして前記の手法により輪郭を抽出した後、任意のマスを始点として座標を(図6の左下の図の場合、点0~点15まで)取り出す。これにより画像の輪郭抽出処理が施されるのである(図6の左下の図参照)。

【0029】

次に、抽出処理を施した輪郭を構成する座標をそれぞれ、複素数表現する。

すなわち、以上の作業で得た輪郭線を形成する点x y座標を図6や図7左上図に示すように複素数表現で記述する。

40

【0030】

第m次の複素PARCOR係数 p_m とは、第m次の複素自己回帰係数の a_m と等価であるため、 $m=5$ とした場合を例として説明すると、図7に示すように、 $a[1,1]$ 、 $a[2,2]$ 、 $a[3,3]$ 、 $a[4,4]$ および $a[5,5]$ をすべて埋めれば、複素PARCOR係数 p_1 、 p_2 、 p_3 、 p_4 および p_5 を求めたことになる。

【0031】

なお、m次の複素自己回帰係数について、一般的にはmが多いほど正確な判定ができること、m次の複素自己相関関数はm個あること、次数が異なれば、係数の値はすべて異なることに留意する必要がある。

50

【 0 0 3 2 】

以上で得られた、ある所定の画像の複素PARCOR係数 p_m を、他の画像の複素PARCOR係数と比較し、比較の結果、一番近い（誤差に常和の最も少ない）ものを前記ある所定の画像として認識するのである。

【 0 0 3 3 】

要約すれば、輪郭点 z_j が直前の m 個の点 z_{j-1} , z_{j-2} ... の線形結合で示されると仮定したとき、誤差を最小にするような係数 a_1 , a_2 ... a_m から得られる複素PARCOR係数 p_m を他の画像の複素PARCOR係数と比較し、一番近い（誤差に常和の最も少ない）画像として認識させるのである。

【 0 0 3 4 】

図 8 を参照して説明すると、例えば、マルとバツを同じように画像化し、輪郭を抽出することで得られる複素PARCOR係数により数値化したものをあらかじめデータとして蓄積しておく（図 8（a）参照）。

10

【 0 0 3 5 】

図 8（a）では、マルのタイプを 10 個画像化し、バツのタイプを 10 個画像化した。ついで、任意の画像、すなわち図 8（b）の画像の輪郭を表す複素PARCOR係数との誤差を比較し（図 8（b）参照）、この場合、誤差の小さい方、すなわち画像の輪郭を数値化したものについての差が小さい方の情報を出力させるのである。

【 0 0 3 6 】

図 8 の例は、前述した欠陥模擬供試体から得られる発砲スチロールの埋設深さ、すなわち欠陥深さごとの打撃音を二値化画像に変換したものである。図 8 の例において、蓄積データは例えば各々 10 個ずつ作成し、このデータをマザーデータとした（図 9 参照）。

20

【 0 0 3 7 】

なお、実際の点検技術者の聴覚による判断も図 9 で示す表には同時に示しており、この表から理解されるように、実際の点検技術者の聴覚による判断では、欠陥深さが 50 mm 以上の深さとなる場合には、非常に難しい判断となっていることが理解できる。

【 0 0 3 8 】

図 10 には、欠陥を擬似的に起こす埋設物を埋設していない健全部分を打撃した際の三回のテスト結果を示した。

図 10 から理解されるように、いずれも健全部としてすでに得られていた情報、すなわち健全部での打撃音をウェーブレット変換により変換した二値化画像を複素PARCOR係数として数値化したもの（図 9 の一番上に記載されている箇所参照）と、三回のテストで得られた波形の同じ複素PARCOR係数との誤差が最も小さくなっている箇所が図 10 に示す「健全部」の箇所である。

30

【 0 0 3 9 】

よって、このことから、前記の解析手法で、打撃音から欠陥深さを的確に出力できたことが判断できるのである。

【 0 0 4 0 】

そして、図 11 に示すように、欠陥深さごとに同様のテストを三回ずつ行った結果においても、前述した既知のマザーデータとの誤差が実際の打撃音から得られるデータとの間で最も小さくなっている箇所がそれぞれの欠陥箇所と合致しており、これによっても本発明の解析手法で、打撃音から欠陥深さを的確に出力できたことが判断できるのである。

40

【 0 0 4 1 】

なお、本発明の解析手法を用い、実際のトンネル覆工コンクリートに対しても、該トンネル覆工コンクリートの損傷の有無を簡易な手法で可視化することができる。すなわち、複素PARCOR係数の誤差二乗和を用い、前記損傷の有無を定量化することができるのである。

【 0 0 4 2 】

その手法を説明すると、まず本発明の解析手法を用い、前記実際のトンネル覆工コンクリートの対象領域での打撃波形を取得しておく。

50

そして、この打撃波形は「未学習データ」とする。これに対して、「損傷なし」および「損傷あり」の学習データを前述した本発明の方法によって形成しておく。

次いで、前記形成した学習データに基づいて出力される複素PARCOR係数の誤差二乗和比から1を減じた結果を算出する。

【0043】

この結果は、数値が0に近いほど不確定、正の値が大きくなるほど「損傷なし」、負の値が大きくなるほど「損傷あり」を示すものとなる。

【0044】

これより、実際のトンネル覆工コンクリートの対象領域での打撃波形から本発明の検査方法に基づいて、前記損傷を可視化することが出来るのである。すなわち、従来の熟練点検技術者の目視および打音検査で得られる結果と等しい結果が得られ、またひび割れの存在を示すことが可能となるのである。

10

【図面の簡単な説明】

【0045】

【図1】本発明による欠陥疑似供試体の形成を説明する説明図である。

【図2】時間 - 周波数スペクトルの関係を説明する説明図(1)である。

【図3】時間 - 周波数スペクトルの関係を説明する説明図(2)である。

【図4】スペクトル画像の二値化を説明する説明図(1)である。

【図5】本発明に夜複素PARCOR係数による画像パターン認識を説明する説明図(1)である。

20

【図6】本発明による複素PARCOR係数による画像パターン認識を説明する説明図(2)である。

【図7】本発明による複素PARCOR係数による画像パターン認識を説明する説明図(3)である。

【図8】本発明による複素PARCOR係数による画像パターン認識を説明する説明図(4)である。

【図9】スペクトル画像の二値化を説明する説明図(2)である。

【図10】健全部の判定結果を説明する説明図である。

【図11】欠陥深さ毎の判定結果を説明する説明図である。

30

【図12】実際の構造物であるトンネル覆工に本発明を適用した例を示す説明図(1)である。

【図13】実際の構造物であるトンネル覆工に本発明を適用した例を示す説明図(2)である。

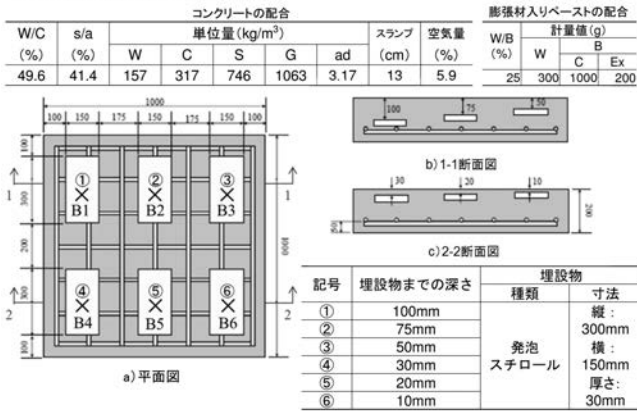
【図14】実際の構造物であるトンネル覆工に本発明を適用した例を示す説明図(3)である。

【図15】実際の構造物であるトンネル覆工に本発明を適用した例を示す説明図(4)である。

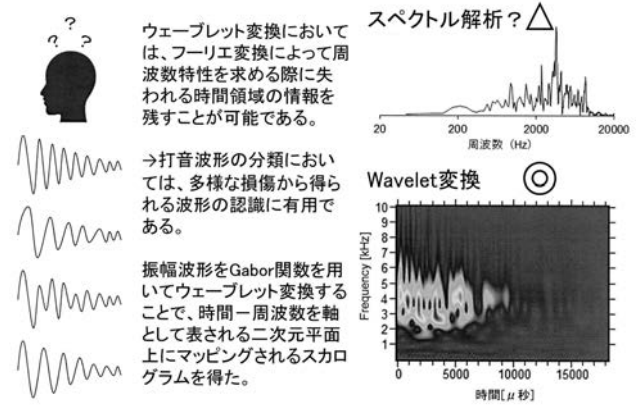
【図16】実際の構造物であるトンネル覆工に本発明を適用した例を示す説明図(5)である。

40

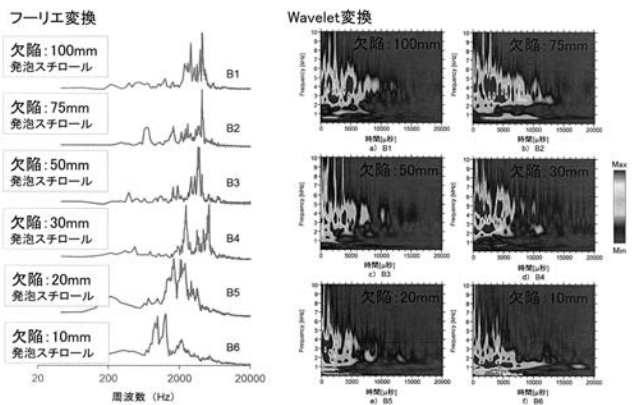
【図1】
欠陥模擬供試体



【図2】
時間-周波数スペクトル



【図3】
時間-周波数スペクトル



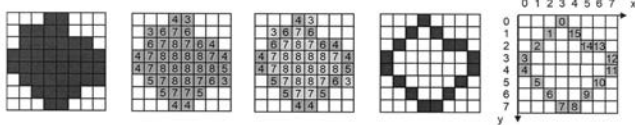
【図4】
スペクトル画像の二値化



【図5】

複素PARCOR係数による画像パターン認識

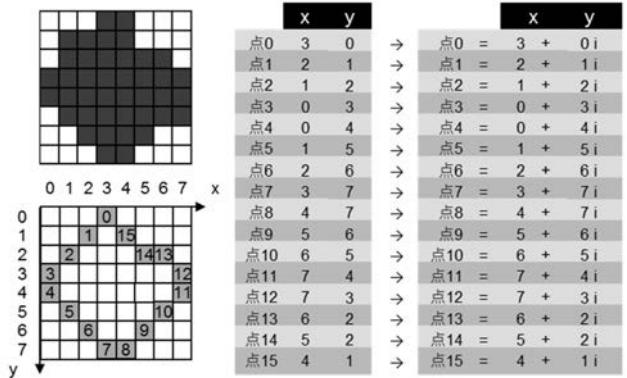
打音波形に対してウェーブレット変換を行い、時間-周波数スペクトルの二値化処理画像に以下の処理を施す。



- ①画像データの黒(0・1)テキスト画像の黒(=1)の部分について
- ②任意(すべて)のマスを(ピクセル)に着目し、
- ③それぞれのマスを囲む(隣接する8マス)マスに1(黒)のマスが幾つあるかを数え、
- ④それぞれのマスにその個数を書き込む。
- ⑤このうち、輪郭点として十分と考えられる「4~6」の数字が書かれたマスを残すことで輪郭を抽出した後に、
- ⑥任意のマスを始点として座標を(上図の場合、点0~点15まで)取り出す。

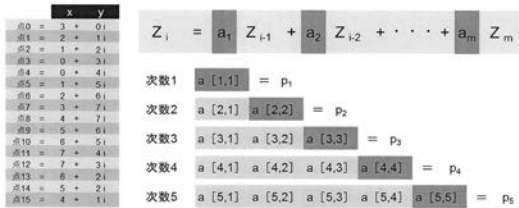
【図6】

複素PARCOR係数による画像パターン認識



【図7】

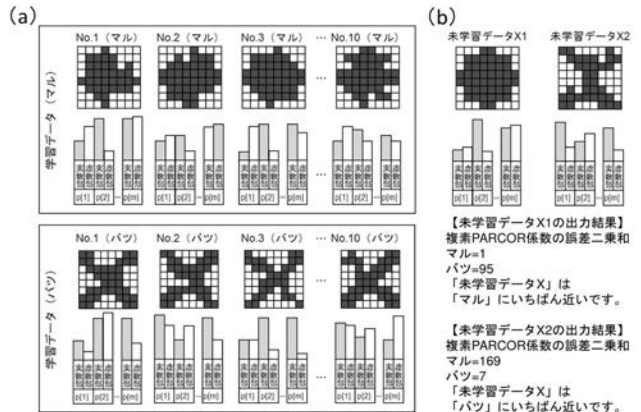
複素PARCOR係数による画像パターン認識



以上の作業で得た輪郭線を形成する点xy座標を上左図に示すように複素表現で記述する。第m次の複素PARCOR係数 p_m とは、第m次の複素自己回帰係数の a_m と等価であるため、 $m=5$ とした場合を例として上右図に示すように、 $a[1,1]$, $a[2,2]$, $a[3,3]$, $a[4,4]$ および $a[5,5]$ をすべて埋めれば、複素PARCOR係数 p_1, p_2, p_3, p_4 および p_5 を求めたことになる。なお、m次の複素自己回帰係数について、一般的にはmが多いほど正確な判定ができること、m次の複素自己相関関数はm個あること、次数が異なれば、係数の値はすべて異なることに留意する必要がある。以上で得られた複素PARCOR係数 p_m を他の画像の複素PARCOR係数と比較し、一番近い(誤差に常和の最も少ない)画像として認識する。

【図8】

複素PARCOR係数による画像パターン認識



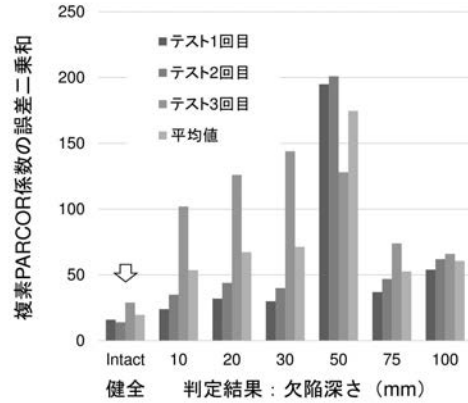
【図9】

スペクトル画像の二値化



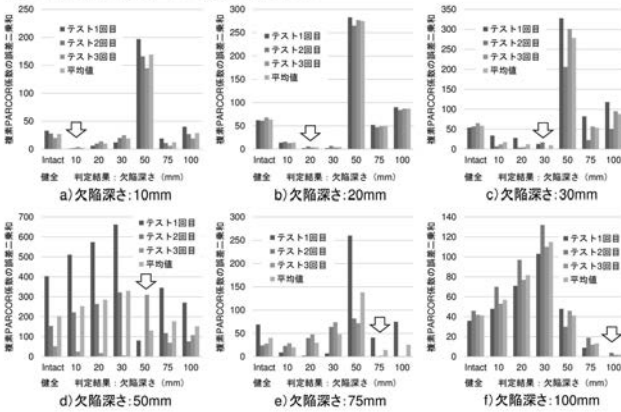
【図10】

健全部の判定結果



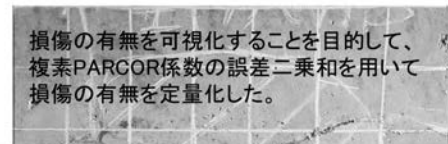
【図11】

欠陥深さ毎の判定結果



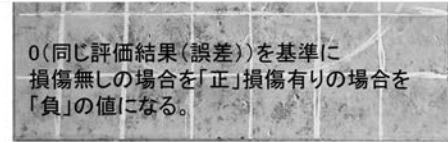
【図12】

実構造物:トンネル覆工



損傷の有無を可視化することを目的として、複素PARCOR係数の誤差二乗和を用いて損傷の有無を定量化した。

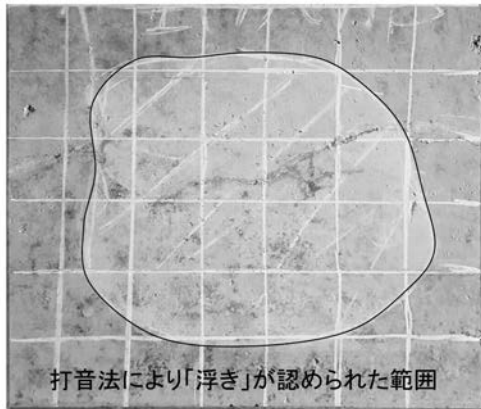
$C_d / C_i < 1$ → 判定: 損傷有り
 $C_d / C_i > 1$ → 判定: 損傷無し



0(同じ評価結果(誤差))を基準に
 損傷無しの場合を「正」損傷有りの場合を「負」の値になる。

【図 1 3】

実構造物:トンネル覆工



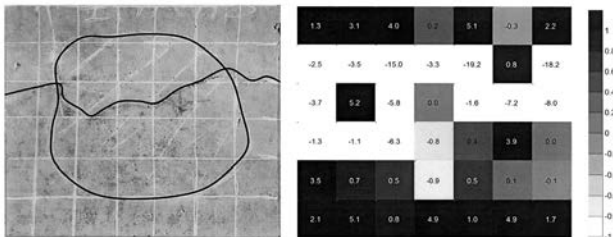
【図 1 4】

実構造物:トンネル覆工



【図 1 5】

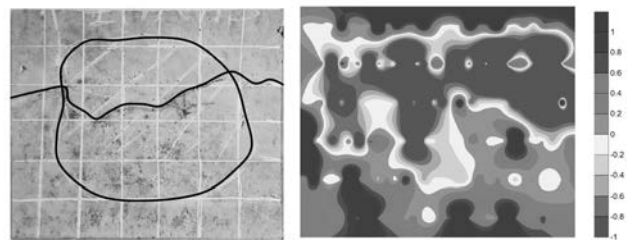
実構造物:トンネル覆工



ウェーブレット変換による詳細な情報に基づく時間-周波数スペクトルの二値化処理で、明確に変状を判別できる可能性がある。打音波形のウェーブレット変換による時間-周波数スペクトルの二値化処理画像のパターン認識アルゴリズムにより、欠陥深さに対する確的な判定結果を出力できた。

【図 1 6】

実構造物:トンネル覆工



打音波形から欠陥深さの評価結果を自動的に出力する手法の構築と妥当性の検証を行った。その結果、欠陥深さに対する確的な判定結果を出力できた。さらに、本手法を用いることで、実トンネルの覆工コンクリートにおける目視および打音検査において得られた結果と同様の結果を得ることができ、損傷の評価結果を定量的に可視化することに成功した。

【手続補正書】

【提出日】平成30年8月6日(2018.8.6)

【手続補正1】

【補正対象書類名】特許請求の範囲

【補正対象項目名】全文

【補正方法】変更

【補正の内容】

【特許請求の範囲】

【請求項1】

コンクリート内部の欠陥を模擬した供試体を形成し、該供試体に対して欠陥箇所や欠陥状態を検出する打音法の操作を行い、打音により得られる音の音響データを取得し、取得した音響データにつきウェーブレット変換による周波数解析を行い、解析したデータから二値化画像を認識し、

前記二値化画像で認識した画像の輪郭を示す各画素につき、その座標をそれぞれ複素数で表現し、表現した複素数から得られる複素PARCOR係数による数値をあらかじめデータとして蓄積し、

次に、実際のコンクリート構造物の対象領域での打撃波形を取得して音響データを取得し、取得した音響データにつきウェーブレット変換による周波数解析を行い、解析したデータから二値化画像を認識し、前記二値化画像で認識した画像の輪郭を示す各画素につき、その座標をそれぞれ複素数で表現し、表現した複素数から得られる複素PARCOR係数による数値を取得し、

前記供試体から取得した前記複素PARCOR係数の数値と前記実際のコンクリート構造物からの打撃波形から得られた複素PARCOR係数の数値を比較し、比較した際に、両者の数値の差が少ないとき、実際のコンクリート構造物からの打撃波形から得られた画像が、両者の数値の差が少ないデータ化された画像であると認識して、構造物の欠陥箇所や欠陥状態を検出する、

ことを特徴とする構造物の検査方法。

【請求項2】

前記打音により得られた音響データの打音波形認識においては、多様な損傷から得られる複数種類の打音波形が、前記ウェーブレット変換による周波数解析で認識できる、

ことを特徴とする請求項1記載の構造物の検査方法。

【請求項3】

前記音響データの周波数解析をウェーブレット変換によって行うことにより、横軸に時間経過を、縦軸に周波数解析の結果とした図が作成でき、この図の結果から、欠陥深さの違いを示す定量的な情報が得られる、

ことを特徴とする請求項1または請求項2記載の構造物の検査方法。

【手続補正2】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】全文

【補正方法】変更

【補正の内容】

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、構造物の検査方法に関するものである。

【背景技術】

【 0 0 0 2 】

近年、トンネル構造物をはじめとした、例えばコンクリート材料で構成される構造物の維持管理においては、非破壊や微破壊試験によるコンクリート構造物の評価手法、すなわち、非破壊や微破壊試験によるコンクリート構造物の検査方法が注目されている。

【 0 0 0 3 】

この非破壊や微破壊試験による評価手法、すなわち検査方法については、該検査方法に関する機械的技術の発展や研究開発は著しい分野であるとはいえる。しかしながら、前記検査方法に関する機械的技術の発展や研究開発の先端技術全てが大小様々な構造物の評価手法、検査方法に汎用的に適用でき、かつ安価に適用できるなどの発明の創案はなされてはいないのが現状である。

【 0 0 0 4 】

コンクリート構造物などの検査方法としては、従来よりいわゆる打音法による検査手法が一般的に知られている。打音法とは、例えばコンクリート構造物をハンマーなどで叩いた際に発生する音から欠陥の有無を判断する手法であり、熟練した技術者による打音法の実施であれば、彼らの能力および経験値は非常に高く、信頼性も高いとされている。

【 0 0 0 5 】

ここで、前記打音法による、コンクリートなどの構造物の劣化診断法、すなわち検査方法は、近接目視と合わせて、近年よく実施されている検査方法である。

【 0 0 0 6 】

しかし、近年、熟練した技術者は年々高齢化しており、しかも後継者不足も相まって点検技術者の経験や知識に差が大きくなってしまっている。

そして、差の大きな点検技術者の経験や知識に基づいての診断、検査によると検査結果が大きく違ってしまうこととなる。

【 0 0 0 7 】

そのため、点検技術者の経験や知識に基づかなければならない打音法ではなく、点検技術者の経験や知識がなくとも、検査結果にばらつきが生じない打音法による構造物の検査方法が要望されるに至っている。

【 先行技術文献 】

【 特許文献 】

【 0 0 0 8 】

【 特許文献 1 】 特開 2 0 0 3 - 4 7 1 1 号 公 報

【 発明の概要 】

【 発明が解決しようとする課題 】

【 0 0 0 9 】

かくして、本発明は、前記の課題に対処すべく創案されたものであって、たとえ点検技術者の経験や知識がなかったとしても、検査結果にばらつきが生じない打音法による構造物の検査方法を提供することを目的とするものである。

【 0 0 1 0 】

すなわち、客観的・定量的に評価することができるデータを蓄積し、汎用的に社会的に実装できる技術とすることで、コスト、信頼性、技術者不足に対応できるものとしたものである。

【 課題を解決するための手段 】

【 0 0 1 1 】

本発明による構造物の検査方法は、

コンクリート内部の欠陥を模擬した供試体を形成し、該供試体に対して欠陥箇所や欠陥状態を検出する打音法の操作を行い、打音により得られる音の音響データを取得し、取得した音響データにつきウェーブレット変換による周波数解析を行い、解析したデータから二値化画像を認識し、

前記二値化画像で認識した画像の輪郭を示す各画素につき、その座標をそれぞれ複素数で表現し、表現した複素数から得られる複素PARCOR係数による数値をあらかじめデータとして蓄積し、

次に、実際のコンクリート構造物の対象領域での打撃波形を取得して音響データを取得し、取得した音響データにつきウェーブレット変換による周波数解析を行い、解析したデータから二値化画像を認識し、前記二値化画像で認識した画像の輪郭を示す各画素につき、その座標をそれぞれ複素数で表現し、表現した複素数から得られる複素PARCOR係数による数値を取得し、

前記供試体から取得した前記複素PARCOR係数の数値と前記実際のコンクリート構造物からの打撃波形から得られた複素PARCOR係数の数値を比較し、比較した際に、両者の数値の差が少ないとき、実際のコンクリート構造物からの打撃波形から得られた画像が、両者の数値の差が少ないデータ化された画像であると認識して、構造物の欠陥箇所や欠陥状態を検出する、

ことを特徴とし、

または、

前記打音により得られた音響データの打音波形認識においては、多様な損傷から得られる複数種類の打音波形が、前記ウェーブレット変換による周波数解析で認識できる、

ことを特徴とし、

または、

前記音響データの周波数解析をウェーブレット変換によって行うことにより、横軸に時間経過を、縦軸に周波数解析の結果とした図が作成でき、この図の結果から、欠陥深さの違いを示す定量的な情報が得られる、

ことを特徴とするものである。

【発明の効果】

【0012】

本発明によれば、たとえ点検技術者の経験や知識がなかったとしても、検査結果にばらつきが生じない打音法による構造物の検査方法が提供出来るものとなる。すなわち、客観的・定量的に評価することができるデータを蓄積して、汎用的に社会的に実装できる技術とすることで、コスト、信頼性、技術者不足に対応できるとの優れた効果を奏する。

【発明を実施するための形態】

【0013】

以下、本発明を実施するための形態を図に基づいて説明する。

図1乃至図3に示すように、例えば発泡スチロールなどをコンクリート内に埋設して、いわゆる欠陥模擬供試体を形成する。コンクリート内部のひび割れや空隙で構成される欠陥について、該欠陥を発砲スチロールの埋設で模擬したものである。

【0014】

そして、前記欠陥模擬供試体に埋設した埋設物は、図1のa)、b)ないしc)に示すように埋設した深さを各々異ならせて埋設してある。

第1の埋設物の埋設深さは100mm、第2の埋設物の埋設深さは75mm、第3の埋設物の埋設深さは50mm、第4の埋設物の埋設深さは30mm、第5の埋設物の埋設深さは20mm、第6の埋設物の埋設深さは10mmの深さとした。

【0015】

そして、この欠陥模擬供試体に対して所定の打音器具を使用し、そのコンクリート表面を叩くなどしていわゆる打音法の操作を行う。

すなわち、コンクリート構造物に対して欠陥箇所や欠陥状態を特定、検出する打音法である。ここで、通常打音法では、叩いて得られる音を点検技術者が聞き分けてコンクリート構造物の欠陥箇所を特定する。

【0016】

しかるに本発明では、打音法において、叩いて得られる音を点検技術者が聞き分けてコンクリート構造物の欠陥箇所や欠陥状態を特定、検出するのではなく、この打音により得られる音を録音し音響データを取得、生成して、熟練した前記点検技術者の聞き分け作業によらず、コンクリート構造物の欠陥箇所や欠陥状態を特定、検出できるものとしたのである。

【0017】

まず、打音により得られる音を録音し音響データとして収録、録音する。

そして、この収録、録音した音響データにつき周波数スペクトル解析を行うものである。

すなわち、前記のように本発明では、打音により得られた音を前記点検技術者が聞き分けるのではなく、音響データとして収録し、該音響データの周波数スペクトル解析を行うことにより、点検技術者の能力と経験則を汎用的かつ定量的な情報に変換しようとしたものなのである。

【0018】

本発明の手法を用いれば、従来の打音法であっても、検査結果に対する高信頼度が確保でき、かつ検査方法の低コスト化が実現できるものとなる。

さらに、最終的には管理者レベルの大小やコンクリート構造物の大小に応じた長寿命化修繕計画およびマネジメントサイクルに適用できるような技術を構築することができる。

【0019】

本発明の構成につき説明する。

まず、前記複数作成した欠陥模擬供試体に対し、打音により得られる音響データを取得する。ここで、打音に使用する打音器具については何ら制限されない。通常打音法を実施する点検技術者が使用しているハンマーなどの打音器具で構わない。次に、音響データの生成についても何ら制限されない。一般的な録音機器で音響データを収録、生成して構わない。

【0020】

しかしながら、収録された音響データの周波数解析は、いわゆるフーリエ変換によるスペクトル解析ではなく、ウェーブレット変換によって周波数の解析をするものとする。これは、本発明の第一の特徴となるものである。音響データの周波数解析をウェーブレット変換によって行えば、時間・周波数解析の有用性が示せるからである。

【0021】

すなわち、音響データのフーリエ変換による周波数解析に着目した欠陥深さの評価には、限界があり、いわゆる50mm以上の深さの変状については、大きな違いが認められないのである。これに対し、音響データの周波数解析をウェーブレット変換によって行えば、横軸に時間経過を、縦軸に周波数解析の結果とした図が作成でき、この図の結果から、欠陥深さの違いを示す定量的な情報が得られるからである（図2、図3参照）。

【0022】

そこで、本発明では、前記音響データの周波数解析をウェーブレット変換によるものとした。このウェーブレット変換によれば、フーリエ変換によって周波数特性を求める際に失われる時間領域の情報を残すことが可能となる。

【0023】

そして、ウェーブレット変換によって得られたスペクトル画像から、Wavelet係数の上位20%を抽出し、これを二値化画像とすることで、さらに音響データ周波数の特徴を抽出できる。

【0024】

すなわち、打音波形の分類においては、多様な損傷から得られる波形があり、複数種類の打音波形の認識には、前記ウェーブレット変換による周波数解析が有用だからである。

【0025】

次に、得られた二値化画像のパターンを認識していく。すなわち、二値化された画像のパターン認識、換言すれば前記画像の輪郭認識を行うのである。しかして、この認識手法

においては、複素PARCOR係数が用いられる。

【 0 0 2 6 】

複素PARCOR係数を用いた認識手法につき、以下に説明する。

図 5 に示すように、まず、二値化された画像データの白黒 (0 ・ 1) テキスト画像の黒 (= 1) の部分について、任意 (すべて) のマス (ピクセル) に着目し、それぞれのマスを囲む (隣接する 8 マス) マスに 1 (黒) のマスが幾つあるかを数え、それぞれのマスにその個数を書き込む。

【 0 0 2 7 】

このうち、輪郭点として十分と考えられる前記隣接する 8 個のマスのうち 4 ~ 6 個のマスが隣接しているとするマス、すなわち「 4 ~ 6 」の数字が書かれたマスを残すことで輪郭が充分抽出出来るものとなる。

【 0 0 2 8 】

そして前記の手法により輪郭を抽出した後、任意のマスを始点として座標を (図 6 の左下の図の場合、点 0 ~ 点 1 5 まで) 取り出す。これにより画像の輪郭抽出処理が施されるのである (図 6 の左下の図参照) 。

【 0 0 2 9 】

次に、抽出処理を施した輪郭を構成する座標をそれぞれ、複素数表現する。

すなわち、以上の作業で得た輪郭線を形成する点 x y 座標を図 6 や図 7 左上図に示すように複素数表現で記述する。

【 0 0 3 0 】

第 m 次の複素PARCOR係数 p_m とは、第 m 次の複素自己回帰係数の a_m と等価であるため、 $m = 5$ とした場合を例として説明すると、図 7 に示すように、 $a[1,1]$ 、 $a[2,2]$ 、 $a[3,3]$ 、 $a[4,4]$ および $a[5,5]$ をすべて埋めれば、複素PARCOR係数 p_1 、 p_2 、 p_3 、 p_4 および p_5 を求めたことになる。

【 0 0 3 1 】

なお、 m 次の複素自己回帰係数について、一般的には m が多いほど正確な判定ができること、 m 次の複素自己相関関数は m 個あること、次数が異なれば、係数の値はすべて異なることに留意する必要がある。

【 0 0 3 2 】

以上で得られた、ある所定の画像の複素PARCOR係数 p_m を、他の画像の複素PARCOR係数と比較し、比較の結果、一番近い (誤差に常和の最も少ない) ものを前記ある所定の画像として認識するのである。

【 0 0 3 3 】

要約すれば、輪郭点 z_j が直前の m 個の点 z_{j-1} 、 z_{j-2} ... の線形結合で示されると仮定したとき、誤差を最小にするような係数 a_1 、 a_2 ... a_m から得られる複素PARCOR係数 p_m を他の画像の複素PARCOR係数と比較し、一番近い (誤差に常和の最も少ない) 画像として認識させるのである。

【 0 0 3 4 】

図 8 を参照して説明すると、例えば、マルとバツを同じように画像化し、輪郭を抽出することで得られる複素PARCOR係数により数値化したものをあらかじめデータとして蓄積しておく (図 8 (a) 参照) 。

【 0 0 3 5 】

図 8 (a) では、マルのタイプを 10 個画像化し、バツのタイプを 10 個画像化した。ついで、任意の画像、すなわち図 8 (b) の画像の輪郭を表す複素PARCOR係数との誤差を比較し (図 8 (b) 参照)、この場合、誤差の小さい方、すなわち画像の輪郭を数値化したものについての差が小さい方の情報を出力させるのである。

【 0 0 3 6 】

図 8 の例は、前述した欠陥模擬供試体から得られる発砲スチロールの埋設深さ、すなわち欠陥深さごとの打撃音を二値化画像に変換したものである。図 8 の例において、蓄積データは例えば各々 10 個ずつ作成し、このデータをマザーデータとした (図 9 参照) 。

【 0 0 3 7 】

なお、実際の点検技術者の聴覚による判断も図9で示す表には同時に示しており、この表から理解されるように、実際の点検技術者の聴覚による判断では、欠陥深さが50mm以上の深さとなる場合には、非常に難しい判断となっていることが理解できる。

【 0 0 3 8 】

図10には、欠陥を擬似的に起こす埋設物を埋設していない健全部分を打撃した際の三回のテスト結果を示した。

図10から理解されるように、いずれも健全部としてすでに得られていた情報、すなわち健全部での打撃音をウェーブレット変換により変換した二値化画像を複素PARCOR係数として数値化したもの(図9の一番上に記載されている箇所参照)と、三回のテストで得られた波形の同じ複素PARCOR係数との誤差が最も小さくなっている箇所が図10に示す「健全部」の箇所である。

【 0 0 3 9 】

よって、このことから、前記の解析手法で、打撃音から欠陥深さを的確に出力できたことが判断できるのである。

【 0 0 4 0 】

そして、図11に示すように、欠陥深さごとに同様のテストを三回ずつ行った結果においても、前述した既知のマザーデータとの誤差が実際の打撃音から得られるデータとの間で最も小さくなっている箇所がそれぞれの欠陥箇所と合致しており、これによっても本発明の解析手法で、打撃音から欠陥深さを的確に出力できたことが判断できるのである。

【 0 0 4 1 】

なお、本発明の解析手法を用い、実際のトンネル覆工コンクリートに対しても、該トンネル覆工コンクリートの損傷の有無を簡易な手法で可視化することができる。すなわち、複素PARCOR係数の誤差二乗和を用い、前記損傷の有無を定量化することができるのである。

【 0 0 4 2 】

その手法を説明すると、まず本発明の解析手法を用い、前記実際のトンネル覆工コンクリートの対象領域での打撃波形を取得しておく。

そして、この打撃波形は「未学習データ」とする。これに対して、「損傷なし」および「損傷あり」の学習データを前述した本発明の方法によって形成しておく。

次いで、前記形成した学習データに基づいて出力される複素PARCOR係数の誤差二乗和比から1を減じた結果を算出する。

【 0 0 4 3 】

この結果は、数値が0に近いほど不確定、正の値が大きくなるほど「損傷なし」、負の値が大きくなるほど「損傷あり」を示すものとなる。

【 0 0 4 4 】

これより、実際のトンネル覆工コンクリートの対象領域での打撃波形から本発明の検査方法に基づいて、前記損傷を可視化することが出来るのである。すなわち、従来の熟練点検技術者の目視および打音検査で得られる結果と等しい結果が得られ、またひび割れの存在を示すことが可能となるのである。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 4 5 】

【 図 1 】 本発明による欠陥疑似供試体の形成を説明する説明図である。

【 図 2 】 時間 - 周波数スペクトルの関係を説明する説明図(1)である。

【 図 3 】 時間 - 周波数スペクトルの関係を説明する説明図(2)である。

【 図 4 】 スペクトル画像の二値化を説明する説明図(1)である。

【 図 5 】 本発明に複素PARCOR係数による画像パターン認識を説明する説明図(1)である。

【 図 6 】 本発明による複素PARCOR係数による画像パターン認識を説明する説明図(

2) である。

【図7】本発明による複素PARCOR係数による画像パターン認識を説明する説明図(3)である。

【図8】本発明による複素PARCOR係数による画像パターン認識を説明する説明図(4)である。

【図9】スペクトル画像の二値化を説明する説明図(2)である。

【図10】健全部の判定結果を説明する説明図である。

【図11】欠陥深さ毎の判定結果を説明する説明図である。

【図12】実際の構造物であるトンネル覆工に本発明を適用した例を示す説明図(1)である。

【図13】実際の構造物であるトンネル覆工に本発明を適用した例を示す説明図(2)である。

【図14】実際の構造物であるトンネル覆工に本発明を適用した例を示す説明図(3)である。

【図15】実際の構造物であるトンネル覆工に本発明を適用した例を示す説明図(4)である。

【図16】実際の構造物であるトンネル覆工に本発明を適用した例を示す説明図(5)である。

フロントページの続き

(72)発明者 塩谷 智基

京都府京都市左京区吉田本町3番地1 国立大学法人京都大学内

(72)発明者 橋本 勝文

京都府京都市左京区吉田本町3番地1 国立大学法人京都大学内

Fターム(参考) 2G047 AA10 AC00 BA04 BC10 BC11 CA03 EA10 GG12 GG20 GG21
GG33 GH06 GH14 GJ22