

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4640771号
(P4640771)

(45) 発行日 平成23年3月2日(2011.3.2)

(24) 登録日 平成22年12月10日(2010.12.10)

(51) Int. Cl. F I
GO 1 N 29/00 (2006.01) GO 1 N 29/00
GO 1 N 29/44 (2006.01) GO 1 N 29/22 5 O 1

請求項の数 12 (全 68 頁)

(21) 出願番号	特願2004-306269 (P2004-306269)	(73) 特許権者	506258305 有限会社エッチアンドピーソリューション 東京都新宿区西新宿3丁目17番7号 T OKビル9F
(22) 出願日	平成16年10月20日(2004.10.20)	(73) 特許権者	595059377 株式会社日本ピーエス 福井県敦賀市若泉町3番地
(65) 公開番号	特開2005-148061 (P2005-148061A)	(73) 特許権者	505398952 中日本高速道路株式会社 愛知県名古屋市中区錦二丁目18番19号
(43) 公開日	平成17年6月9日(2005.6.9)	(73) 特許権者	505398941 東日本高速道路株式会社 東京都千代田区霞が関三丁目3番2号
審査請求日	平成19年10月20日(2007.10.20)		
(31) 優先権主張番号	特願2003-359774 (P2003-359774)		
(32) 優先日	平成15年10月20日(2003.10.20)		
(33) 優先権主張国	日本国(JP)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 共振分析を使用した超音波探知装置及び超音波探知方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

コンクリート内に埋め込まれ管内に鋼棒が配置されると共にセメントミルクなどの充填物が注入されたシース管を共振分析により検査する超音波探知装置において、前記シース管の上方のコンクリート面に所定の間隔で配置される超音波発信探触子及び超音波受信探触子と、

前記発信探触子及び受信探触子の超音波発信及び受信を制御する制御装置と、

前記受信探触子で得る受信信号を解析する解析装置とを有し、

前記制御装置は、前記発信探触子内の振動子にステップ関数型電圧を印加し、前記発信探触子から広帯域超音波を連続して複数回発信させ、その都度、コンクリート中からの広帯域受信信号を前記受信探触子にて受信するように制御し、

前記解析装置は、その複数個の受信信号を加算して加算平均波 $G(t)$ を求め、

基準時刻 t_T 以降の時刻で 1.0 、 t_T 以前の時刻で増加関数とする時系列関数 $TGC(t)$ を n_5 乗倍 (n_5 は 1 以上の整数) したものを前記加算平均波 $G(t)$ に乗じて $GA(t) = \{TGC(t)\}^{n_5} \cdot G(t)$ 波を求め、このとき、 t_T の始点 t_1 及び終点 t_2 ($t_1 < t_2$) の間を n_c (n_c は 1 以上の整数) 個に分割し、 j を 1 以上の整数として表される $(n_c + 1)$ 個の t_T (但し、 $t_T = t_1 + \{(t_2 - t_1) / n_c\} \times (j - 1)$ 、 $j = 1 \sim (n_c + 1)$) の各々について前記 $GA(t)$ を算出し、これを $GA_j(t)$ とし、

この $GA_j(t)$ をフーリエ変換してスペクトル $FA_j(f)$ を求め、

この $FA_j(f)$ の各最大スペクトル値が 1.0 になるように基準化した後、この $FA_j(f)$ のスペクトルにおいて、大きなスペクトル値をもつスペクトルの振動数を f_D と特定し、

1 以上の整数 n_1 、 n_2 及びフィルタ関数 $A_1(f)$ 、 $A_2(f)$ を使用して、 $FB_j(f) = A_1^{n_1}(f) \cdot A_2^{n_2}(f) \cdot FA_j(f)$ を計算し、狭帯域スペクトル $FB_j(f)$ の振動数が前記 f_D 近傍となるようにし、

対応する $GB_j(t)$ をフーリエの逆変換で求め、

この $FB_j(f)$ の j 毎の最大スペクトル値が 1.0 になるように基準化した後、 n_p を 1 以上の整数として、 $\{FB_j(f)\}^{n_p}$ を求めて、これを重ねて表示し、 $j = 1 \sim (n_c + 1)$ 毎の $\{FB_j(f)\}^{n_p}$ のスペクトル群の内、 $j = 1 \sim (n_c + 1)$ の全てが重ね描きされるスペクトル以外のスペクトルで、 j の値が増す毎にスペクトル値が増幅してくるスペクトルがあるとき、

シース管内が空又は充填物が不足していると判断し、

j の値が増加しても、スペクトル値が増幅してくるスペクトルがないとき、

シース管内が完全充填されていると判断するものであり、

前記 t_1 は、前記シース管の埋め込み深さを d_s (mm)、前記コンクリートの縦波音速を c_{vp} (mm/μ秒) として、 $t_1 = (2 \times d_s) / c_{vp}$ として求め、

前記フィルタ関数 $A_1(f)$ 、 $A_2(f)$ は、分析周波数の上限を f_{max} として、 $A_1(f)$ は、 $0.0 \leq f \leq f_{max}$ が、 $f = 0.0$ で 0.0、 $f = f_{max}$ で 1.0 の正弦関数、 $f > f_{max}$ が $f = 0.0$ の定数として求め、 $A_2(f)$ は、 $0.0 \leq f \leq f_{max}$ が、 $f = 0.0$ で 1.0、 $f = f_{max}$ で 0.0 の余弦関数、 $f > f_{max}$ が $f = 0.0$ の定数として求めることを特徴とする超音波探知装置。

【請求項 2】

前記 $G(t)$ 波を得るとき、発信探触子と受信探触子との中心間隔 a を一定値に固定するか、前記発信探触子と受信探触子とを結ぶ線分上で、前記 a を a_1 と a_2 ($a_2 > a_1$) との間で変動させるか、又は、前記発信探触子と受信探触子とを結ぶ線分上で、前記 a を a_1 と a_2 ($a_2 > a_1$) との間で変動させながら、前記線分上で前記発信探触子と前記受信探触子を移動させることを特徴とする請求項 1 に記載の超音波探知装置。

【請求項 3】

コンクリート内に埋め込まれ管内に鋼棒が配置されると共にセメントミルクなどの充填物が注入されたシース管を共振分析により検査する超音波探知装置において、前記シース管の上方のコンクリート面に所定の間隔で配置される超音波発信探触子及び超音波受信探触子と、前記発信探触子及び受信探触子の超音波発信及び受信を制御する制御装置と、前記受信探触子で得る受信信号を解析する解析装置とを有し、前記制御装置は、前記発信探触子内の振動子にステップ関数型電圧を印加し、前記発信探触子から広帯域超音波を連続して複数回発信させ、その都度、コンクリート中からの広帯域受信信号を前記受信探触子にて受信するように制御し、前記解析装置は、その複数個の受信信号を加算して加算平均波 $G(t)$ を求め、

1 以上の整数 n_1 、 n_2 、 n_3 及びフィルタ関数 $A_1(f)$ 、 $A_2(f)$ 、 $A_3(f)$ を使用して、 $FA(f) = A_1^{n_1}(f) \cdot A_2^{n_2}(f) \cdot A_3^{n_3}(f) \cdot G(f)$ を計算し、この計算の際、 n_1 、 n_2 、 n_3 の値を調整して狭帯域スペクトル $FA(f)$ の中心振動数が所定値 f_D となるようにし、

$FA(f)$ に対応する $GA(t)$ をフーリエの逆変換で求め、

このとき、 t_T の始点 t_1 及び終点 t_2 ($t_1 < t_2$) の間を n_c (n_c は 1 以上の整数) 個に分割し、 j を 1 以上の整数として表される ($n_c + 1$) 個の t_T (但し、 $t_T = t_1 + \{(t_2 - t_1) / n_c\} \times (j - 1)$ 、 $j = 1 \sim (n_c + 1)$) を求め、各 t_T について、 $t = 0.0$ で 0.0、基準時刻 t_T 以降の時刻で 1.0、 $t = 0$ から $t = t_T$ までの間を増加関数とする時系列関数 $TGC1_j(t)$ を n_5 乗倍 (n_5 は 1 以上の整数) したものを前記 $GA(t)$ に乗じて j 毎の前記 t_T に対応する $GB_j(t)$ 波を、 $GB_j(t) = \{TGC1_j(t)\}^{n_5} \cdot GA(t)$ の式から求め、

この $G B_j(t)$ に対応するスペクトル $F B_j(f)$ をフーリエ変換で求め、この $F B_j(f)$ の j 毎の最大スペクトル値が 1.0 になるように基準化した後、 n_p を 1 以上の整数として、 $\{F B_j(f)\}^{n_p}$ を求めて、これを重ねて表示し、 $j = 1 \sim (n_c + 1)$ 毎の $\{F B_j(f)\}^{n_p}$ のスペクトル群の内、 $j = 1 \sim (n_c + 1)$ の全てが重ね描きされるスペクトル以外のスペクトルで、 j の値が増す毎にスペクトル値が増幅してくるスペクトルがあるとき、

このスペクトルをシース管反射波スペクトルと判断し、

j の値が増す毎に、スペクトル値が増幅してくるスペクトルが得られた場合、シース管内が空又は充填物が不足していると判断し、

j の値が増加しても、スペクトル値が増幅してくるスペクトルがないとき、シース管内が完全充填されていると判断するものであり、

前記 t_1 は、前記シース管の埋め込み深さを d_s (mm)、前記コンクリートの縦波音速を c_{vp} (mm/μ秒) として、 $t_1 = (2 \times d_s) / c_{vp}$ として求め、

前記フィルタ関数 $A_1(f)$ 、 $A_2(f)$ 、 $A_3(f)$ は、分析周波数の上限を f_{max} として、 $A_1(f)$ は、 $0.0 \leq f \leq f_{max}$ が、 $f = 0.0$ で 0.0、 $f = f_{max}$ で 1.0 の正弦関数、 $f > f_{max}$ が $f = 0.0$ の定数として求め、 $A_2(f)$ は、 $0.0 \leq f \leq f_{max}$ が、 $f = 0.0$ で 1.0、 $f = f_{max}$ で 0.0 の余弦関数、 $f > f_{max}$ が $f = 0.0$ の定数として求め、 $A_3(f)$ は、 $0.0 \leq f \leq 2f_A$ が、 $f = 0.0$ で 0.0、 $f = f_A$ で 1.0、 $f = 2f_A$ で 0.0 の正弦関数、 $f > 2f_A$ で 0.0 の定数として求めることを特徴とする超音波探知装置。

【請求項 4】

前記 $G(t)$ 波を得るとき、発信探触子と受信探触子との中心間隔 a を一定値に固定するか、前記発信探触子と受信探触子とを結ぶ線分上で、前記 a を a_1 と a_2 ($a_2 > a_1$) との間で変動させるか、又は、前記発信探触子と受信探触子とを結ぶ線分上で、前記 a を a_1 と a_2 ($a_2 > a_1$) との間で変動させながら、前記線分上で前記発信探触子と前記受信探触子を移動させることを特徴とする請求項 3 に記載の超音波探知装置。

【請求項 5】

前記加算平均波 $G(t)$ に対応するスペクトル $F(f)$ と、前記振動数フィルタ $A_1^{n_1}(f)$ 、 $A_2^{n_2}(f)$ 及び所定の $TGCX(t)$ 時系列フィルタを使用し、 $n_1 = 4$ とし、 n_2 を 1 以上の整数として、下記数式 (1) 乃至 (4) を計算し、

$$FA(f) = A_1^{n_1}(f) \cdot A_2^{n_2}(f) \cdot F(f) \cdot \dots \quad (1)$$

$$GA(t) = \int (FA(f) \cdot e^{i2\pi ft}) df \cdot \dots \quad (2)$$

$$GAX(t) = TGCX^{n_5}(t) \cdot GA(t) \cdot \dots \quad (3)$$

$$FAX(f) = \int (GAX(t) \cdot e^{-i2\pi ft}) dt \cdot \dots \quad (4)$$

n_2 を増加させていったとき、

$FA(f)$ スペクトルと、 $FAX(f)$ スペクトルとを比較して、 $FAX(f)$ スペクトルの最大スペクトル位置を示す振動数が、 $FA(f)$ スペクトルの中の 1 つのスペクトルピーク値と合致するとき、これを前記 f_D と定義し、

更に、 t_T を t_1 として定義し、 n_5 、 t_a 、 t を定数としたとき、前記 $TGCX(t)$ 時系列フィルタは、 $t = 0.0$ で 0.0、 $t = t_T$ で 1.0、 $t = 2 \times t_T$ 以降の時刻で 0.0 となり、 $t = 0 \sim t_T$ を増加関数、 $t = t_T \sim 2t_T$ を減少関数とする $TGC4(t)$ 関数、 $t = t_T$ 以前の時刻で 0.0、 $t = t_T$ で 1.0、 $t = t_T + t$ 以降の時刻で 0 となり、 $t = t_T$ 以前の時刻で 0.0、 $t = t_T \sim t_T + t$ を増加関数、 $t = t_T \sim t_T + t$ を減少関数とする $TGC5(t)$ 関数、又は、 $t = t_T - t_a$ 以前の時刻で 0.0、 $t = t_T - t_a \sim t_T$ の間を最大値 1.0 とする増加関数、 $t = t_T \sim t_T + t$ の間を 1.0、 $t = t_T + t \sim t_T + t + t_a$ の間を最大値 1.0 とする減少関数、 $t = t_T + t + t_a$ 以降の時刻を 0.0 とする $TGC6(t)$ 関数であることを特徴とする請求項 3 に記載の超音波探知装置。

【請求項 6】

コンクリート内に埋め込まれ管内に鋼棒が配置されると共にセメントミルクなどの充填物

10

20

30

40

50

が注入されたシース管を共振分析により検査する超音波探知装置において、前記シース管の上方のコンクリート面に所定の間隔で配置される超音波発信探触子及び超音波受信探触子と、前記発信探触子及び受信探触子の超音波発信及び受信を制御する制御装置と、前記受信探触子で得る受信信号を解析する解析装置とを有し、前記制御装置は、前記発信探触子内の振動子にステップ関数型電圧を印加し、前記発信探触子から広帯域超音波を連続して複数回発信させ、その都度、コンクリート中からの広帯域受信信号を前記受信探触子にて受信するように制御し、前記解析装置は、その複数個の受信信号を加算して加算平均波 $G(t)$ を求め、

基準時刻 t_T (μ 秒) で 1.0 、 t_T から離れた時刻で 1.0 未満 (減衰) となる時系列関数 $TGCX(t)$ を前記加算平均波 $G(t)$ に乗じて $GA(t) = TGCX(t) \times G(t)$ を求め、

10

前記シース管の埋め込み深さを d_s (mm)、前記コンクリートの縦波音速を c_{vp} (mm/ μ 秒) として、 t_T の始点 t_1 を、 $t_1 = (2 \times d_s) / c_{vp}$ から求め、

t_T の始点 t_1 及び終点 t_2 ($t_1 < t_2$) の間を n_c 個に分割し、 j を 1 以上の整数として表される $(n_c + 1)$ 個の t_T (但し、 $t_T = t_1 + \{(t_2 - t_1) / n_c\} \times (j - 1)$ 、 $j = 1 \sim (n_c + 1)$) の各々について前記 $GA(t)$ を算出し、これを $GA_j(t)$ とし、

この $GA_j(t)$ をフーリエ変換してスペクトル $FA_j(f)$ を求め、

この $FA_j(f)$ の各最大スペクトル値を比較し、このうち最も大きいスペクトル値が 1.0 になるように基準化した後、

20

$j = 1 \sim (n_c + 1)$ 毎の $FA_j(f)^{np}$ を重ねて表示し、重ね描きされた $FA_j(f)$ スペクトルにおいて、

$j = 1$ のときのスペクトルのピークを示す振動数を f_D としたとき、

j の値が大きくなるにつれて、 f_D 位置でのスペクトル値が順次減少するとき、計測シース管の内部が空であると判断し、

j の値が大きくなるにつれて、 f_D 位置でのスペクトル値が順次減少していく過程で、 f_D 振動数の近傍に、 j の値の増大につれてスペクトル値が順次増加するスペクトルが生じてくるとき、計測シース管の内部を充填不足と判断し、

j の値が大きくなるにつれて、 f_D 位置でのスペクトル値が順次増大し、スペクトルの振動数が f_D 振動数近傍に変化してくるとき、計測シース管の内部が完全充填されていると判断することを特徴とする超音波探知装置。

30

【請求項 7】

前記 $G(t)$ 波を得るとき、発信探触子と受信探触子との中心間隔 a を一定値に固定するか、前記発信探触子と受信探触子とを結ぶ線分上で、前記 a を a_1 と a_2 ($a_2 > a_1$) との間で変動させるか、又は、前記発信探触子と受信探触子とを結ぶ線分上で、前記 a を a_1 と a_2 ($a_2 > a_1$) との間で変動させながら、前記線分上で前記発信探触子と前記受信探触子を移動させることを特徴とする請求項 6 に記載の超音波探知装置。

【請求項 8】

コンクリート内に埋め込まれた管内に鋼棒が配置されたシース管 (外径 s) にグラウト材等の充填物を圧入する際、シース管の長手方向の任意位置での充填状況をリアルタイムに計測する超音波探知装置において、

40

前記シース管の長手方向任意位置の直上のコンクリート面に所定の間隔 a (mm) で配置される超音波発信探触子及び超音波受信探触子と、

前記発信探触子及び受信探触子の超音波発信及び受信を制御する制御装置と、

前記受信探触子で得る受信信号を解析する解析装置とを有し、

前記制御装置は、前記発信探触子内の振動子にステップ関数型電圧を印加し、前記発信探触子から広帯域超音波を連続して複数回発信させ、その都度、コンクリート中からの広帯域受信信号を前記受信探触子にて受信するように制御し、

前記解析装置は、その複数個の受信信号を加算して加算平均波 $G(t)$ を求め、グラウト材の注入開始時点で得られる加算平均波を $G_1(t)$ とし、所定の時間間隔毎に、以降連

50

続いて得られる加算平均波を $G_j(t)$ ($j = 2 \sim nA$) とし、
第1の分析過程で、

前記 $G_j(t)$ 波に対応するスペクトル $F_j(f)$ をフーリエ変換で求め、所定の振動数
フィルタ $A_1(f)$ 、 $A_2(f)$ と外部から与える所定値 f_A で定義される $A_3(f)$ と
外部から与える1以上の整数 n_1 、 n_2 、 n_3 を使用して、

$$FA_j(f) = A_1^{n_1}(f) \cdot A_2^{n_2}(f) \cdot A_3^{n_3}(f) \cdot F_j(f)$$

を計算し、フーリエの逆変換で $FA_j(f)$ に対応する $GA_j(t)$ を

$$GA_j(f) = \int (FA_j(f) \cdot e^{i2\pi ft}) df$$

に基づいて求め、

第2の分析過程で、シール管の埋め込み深さを d_s (mm)、コンクリートの縦波音速を
 c_{vp} (mm/ μ 秒) として、 $t_h = 2d_s / (c_{vp})$ に基づいて、シース管縦波反射
波の起生時刻 t_h (μ 秒) を計算し、

$t_T = t_h$ として、この t_T 値と0.0を超える所定値 t_a と、1以上の整数で
ある所定値 n_5 とで定義される所定の時系列フィルタ $TGCX(t)$ を用いて、 $GB_j(t)$
 $= TGCX^{n_5}(t) \cdot GA_j(t)$ を計算し、フーリエ変換で $GB_j(t)$ に対応
するスペクトル $FB_j(f)$ をフーリエ変換で求め、

表示工程は、 n_p を1以上の整数として、 $FB_j(f)^{n_p}$ を比較表示し、林立するスペ
クトルの各々において、 $j=1$ の時のスペクトル値が最も大きく、 j の値が増す毎にその
スペクトル値が減少し、 j の値が増してもスペクトル値が概略同一となってくるスペクト
ルがあるとき、又は、 $j=1$ のときのスペクトル値が最も小さく、 j の値が増す毎にその
スペクトル値が増大しながら、同一スペクトル値に収斂してくるスペクトルがあるとき、
計測するシース管の該当測点位置まで、前記グラウト材が管内部に満に充填されてきてい
ると判断するものであり、

前記 $TGCX(t)$ 時系列フィルタは、 $t = 0.0$ で0.0、 $t = t_T$ で1.0、 $t = 2$
 $\times t_T$ 以降の時刻で0.0となり、 $t = 0 \sim t_T$ を増加関数、 $t = t_T \sim 2t_T$ を減少関
数とする $TGC4(t)$ 関数、 $t = t_T$ 以前の時刻で0.0、 $t = t_T$ で1.0、
 $t = t_T + t$ 以降の時刻で0となり、 $t = t_T$ 以前の時刻で0.0、 $t = t_T \sim t$
 $t + t$ を減少関数とする $TGC5(t)$ 関数、又は、 $t = t_T - t_a$ 以前の時刻で0
.0、 $t = t_T - t_a \sim t_T$ の間を最大値1.0とする増加関数、 $t = t_T \sim t_T +$
 t の間を1.0、 $t = t_T + t \sim t_T + t + t_a$ の間を最大値1.0とする減少関
数、 $t = t_T + t + t_a$ 以降の時刻を0.0とする $TGC6(t)$ 関数であることを
特徴とする超音波探知装置。

【請求項9】

コンクリート内に埋め込まれた管内に鋼棒が配置されたシース管にグラウト材などの充填
物を圧入する作業時、シース管の長手方向任意位置での充填状況をリアルタイムに計測す
る超音波探知装置において、

前記シース管の長手方向任意位置の直上のコンクリート面に所定の間隔 a (mm) で配置
される超音波発信探触子及び受信探触子と、

前記発信探触子及び受信探触子の超音波発信及び受信を制御する制御装置と、

前記受信探触子で得る受信信号を解析する解析装置とを有し、

前記制御装置は、

前記発信探触子内の振動子にステップ型電圧を印加し、前記発信探触子から広帯域超音波
を連続して複数回発信させ、その都度、コンクリート中からの広帯域受信信号を前記受信
探触子で受信するように制御し、

前記解析装置は、

その複数個の受信信号を加算して加算平均波 $G(t)$ を求め、グラウト材の注入開始時点
で得られる加算平均波を $G_1(t)$ とし、所定の時刻間隔毎に、以降連続して得られる加
算平均波を $G_j(t)$ ($j = 2 \sim nA$) としたとき、

前記 $G_j(t)$ より、 $GA_j(t) = G_j(t)$ ($j = 1 \sim nA$) を作成し、フーリエの
変換で $GA_j(t)$ に対応するスペクトル $FA_j(f)$ を $FA_j(f) = \int (GA_j(t) \cdot e^{i2\pi ft}) dt$

10

20

30

40

50

$j(t) \cdot e^{-i \omega t} dt$ で求め、シース管理め込み深さを d_s (mm)、コンクリートたて波音速を $c V p$ (mm/μ秒)として、シースたて波反射波起生時刻 t_h (μ秒)を、 $t_h = 2 d_s / (c V p)$ として求め、 t_T の初期値を $t_T = t_h$ として、この t_T 値と0.0を超える実数である所定値 t_a と、1以上の整数である所定値 n_5 とで定義される $TGCX(t)$ を用いて、 $GB_j(t) = TGCX^{n_5}(t) \cdot GA_j(t)$ を計算し、フーリエ変換で $GB_j(t)$ に対応するスペクトル $FB_j(f)$ を求める分析処理と、

n_p を1以上の整数として、 $FB_j^{n_p}(f)$ を表示する表示処理と、
を連続して実施し、

前記 t_T 値を順次大きくして、その都度前記分析処理と前記表示処理とを実施して $GB_j(t)$ 、 $FB_j(f)$ を再演算し、

$FB_j^{n_p}(f)$ の比較表示の結果、林立する各スペクトルの最大スペクトル値の変化の度合が、 j の増大の経緯の中でより明解になったときに、前記分析処理及び表示処理を中断し、

その時点で得る $FB_j^{n_p}(f)$ の比較表示において、

林立するスペクトルの各々において、 $j = 1$ のときのスペクトル値が最も大きく、 j の値が増す毎にそのスペクトル値が減少し、その値が j の値が増してもスペクトル値が概略同一となってくる境界スペクトルがあるとき、又は、 $j = 1$ のときのスペクトル値が最も小さく、 j の値が増す毎にそのスペクトル値が増大し、 j の値が増してもスペクトル値が概略同一となってくる境界スペクトルがあるとき、計測するシース管の前記境界スペクトルに該当する測点位置まで、前記グラウト材が管内部に満に充填されてきていると判断するものであり、

前記 $TGCX(t)$ 時系列フィルタは、 $t = 0.0$ で0.0、 $t = t_T$ で1.0、 $t = 2 \times t_T$ 以降の時刻で0.0となり、 $t = 0 \sim t_T$ を増加関数、 $t = t_T \sim 2 t_T$ を減少関数とする $TGC4(t)$ 関数、 $t = t_T$ 以前の時刻で0.0、 $t = t_T$ で1.0、 $t = t_T + t$ 以降の時刻で0となり、 $t = t_T$ から $t \sim t_T + t$ を増加関数、 $t = t_T + t \sim t_T + t + t_a$ を減少関数とする $TGC5(t)$ 関数、又は、 $t = t_T - t_a$ 以前の時刻で0.0、 $t = t_T - t_a \sim t_T$ の間を最大値1.0とする増加関数、 $t = t_T \sim t_T + t$ の間を1.0、 $t = t_T + t \sim t_T + t + t_a$ の間を最大値1.0とする減少関数、 $t = t_T + t + t_a$ 以降の時刻を0.0とする $TGC6(t)$ 関数であることを特徴とする超音波探知装置。

【請求項10】

コンクリート内に埋め込まれた管内に鋼棒が配置されると共にセメントミルク等の充填物が注入されたシース管を共振分析により検査する超音波探知装置において、

前記シース管の上方のコンクリート面に所定の間隔で配置される超音波発信探触子及び超音波受信探触子と、

前記発信探触子及び受信探触子の超音波発信及び受信を制御する制御装置と、

前記受信探触子で得る受信信号を解析する解析装置とを有し、

前記制御装置は、

前記発信探触子内の振動子にステップ関数型電圧を印加し、前記発信探触子から広帯域超音波を連続して複数回発信させ、その都度、コンクリート中からの広帯域受信信号を前記受信探触子にて受信するように制御し、

前記解析装置は、

その複数個の受信信号を加算して、加算平均波 $G(t)$ を求める処理を探知対象とする埋め込み深さが等しい複数 (n_A 個)のシース毎にこのシースのコンクリート面への垂直投影線分上に、前記発信探触子と受信探触子とその中心間距離を a (mm)として配置し、加算平均波 $G_j(t)$ ($j = 1 \sim n_A$)を取得し、

所定の時刻フィルタ関数 $TGCX(t)$ を定義する所定値の1つ t_T (μ秒)の初期値を、シース埋め込み深さを d_s (mm)、コンクリートたて波音速を $c V p$ (mm/μ秒)、探触子振動子径を s とし、更に前記 a 値を用いて、 $t_T = 2 \times \{ (d_s)^2 + (a$

10

20

30

40

50

$\cdot s) / 2)^2) \} / (c V p)$ により計算し、時刻関数 $T G C X (t)$ を定義する t_T 以外の他の所定値を t 、 t_a 、 n_5 として、前記 t_T 値を時間軸後方へ移動させる都度、 $G A_j (t)$ を、 $G A_j (t) = T G C X^{n_5} (t) \times G_j (t)$ により計算し、 $G A_j (t)$ に対応するスペクトル $F A_j (f)$ を、 $F A_j (f) = \int \{ G A_j (t) \cdot e^{-i \omega t} \} d t$ で計算し、

n_p を 1 以上の整数として、 $F A_j^{n_p} (f)$ の中で最も大きいスペクトル値が 1.0 となるように、 $F A_j^{n_p} (f)$ のスペクトル値を基準化して比較表示し、特定の振動数 f_{D1} 位置に大きなスペクトル値のスペクトルが立ち上がる 1 つ又は複数の $F A_j^{n_p} (f) (j = k)$ が生じてきた場合、 $j = k$ の測定点でのシース管の内部が空であると判断し、

前記 t_T の値を時刻軸の後方へ移動させる都度、前記 $F A_j (f)$ を算出し、 $F A_j^{n_p} (f)$ のスペクトルを基に、シース管の内部が空か否かの判定するものであり、

前記特定の振動数 f_{D1} 値は前記探知対象とする複数のシースの中に、空シース ($j = k$) と解っているシースを含めて、前記 $F A_j^{n_p} (f)$ の比較表示がなされるとき、前記空シース ($j = k$) の $F A_j^{n_p} (f)$ においてのみ生じる大きなスペクトル値のスペクトルの振動数であり、

前記特定の振動数 f_{D1} は、シース埋め込み深さ d_s (mm)、コンクリートたて波音速 $c V p$ (mm / μ 秒) を用いて、 $f_{D1} = 10^3 / (2 d_s / c V p)$ kHz で算出するものであり、

前記所定の時刻関数 $T G C X (t)$ は、 $t = t_T - t$ 以前の時刻で 0.0、 $t = t_T$ で 1.0、 $t = t_T + t$ 以降の時刻で 0.0 となり、 $t = t_T - t \sim t_T$ 間を増加関数、 $t = t_T \sim t_T + t$ 間を減少関数とする $T G C 5 (t)$ 関数であるか、又は $t = t_T - t_a$ の以前の時刻で 0.0、 $t = t_T - t_a \sim t_T$ の間を最大値 1.0 とする増加関数、 $t = t_T \sim t_T + t$ の間を 1.0、 $t = t_T + t \sim t_T + t + t_a$ の間を最大値 1.0 とする減少関数、 $t = t_T + t + t_a$ 以降の時刻を 0.0 とする $T G C 6 (t)$ 関数であり、

前記所定値 t 、 t_a は、0.0 を超える実数であり、 n_5 及び n_p は 1 以上の整数であることを特徴とする超音波探知装置。

【請求項 11】

前記 f_{D1} (kHz) 位置に大きなスペクトル値のスペクトルが生じたとき、 f_A を 0.0 を超える実数として、 $f = 0.0$ で 0.0、 $f = f_A$ で 1.0 となる増加関数と、 $f = f_A$ で 1.0、 $f = 2 f_A$ で 0.0 となる減少関数と、 $f > 2 f_A$ で 0.0 となる関数との組合せで得る $A_3 (f)$ フィルタと、前記 $F A_j (f)$ とを用いて、 n_3 を 1 以上の整数として、 $f_A = f_{D1}$ とする $F B_j (f) = A_3^{n_3} (f) \cdot F A_j (f)$ の演算により、前記 f_{D1} 位置のスペクトル $F B_j (f)$ を抽出し、

次に、 $G B_j (t) = \int \{ F B_j (f) \cdot e^{i \omega t} \} d f$ を計算し、 n_p を 1 以上の整数として、 $G B_j^{n_p} (t)$ の中で最も大きい振幅を 1.0 として、 $G B_j^{n_p} (t)$ の振幅を基準化し、比較するか、又はこの比較表示により起生を確認できる $G B_j^{n_p} (t)$ 波各々の最大振幅を 1.0 に再基準化して表示することを特徴とする請求項 10 に記載の超音波探知装置。

【請求項 12】

コンクリート内に埋め込まれた管内に鋼棒が配置されると共にセメントミルクなどの充填物が注入されたシース管を共振分析により検査する超音波探知装置において、

前記シース管の上方のコンクリート面に所定の間隔で配置される超音波発信探触子及び超音波受信探触子と、

前記発信探触子及び受信探触子の超音波発信及び受信を制御する制御装置と、

前記受信探触子で得る受信信号を解析する解析装置とを有し、

前記制御装置は、

前記発信探触子内の振動子にステップ関数型電圧を印加し、前記発信探触子から広帯域超音波を連続して複数回発信させ、その都度、コンクリート中からの広帯域受信信号を前記

10

20

30

40

50

受信探触子にて受信するように制御し、
前記解析装置は、

その複数個の受信信号を加算して、加算平均波 $G(t)$ を求める処理を探知対象とする埋め込み深さが等しい複数 (n_A 個) のシース毎にこのシースのコンクリート面への垂直投影線分上に、前記発信探触子と受信探触子とその中心間距離を a (mm) として配置し、加算平均波 $G_j(t)$ ($j = 1 \sim n_A$) を取得し、

所定の時刻フィルタ関数 $TGCX(t)$ を定義する所定値の1つ t_T をシース埋め込み深さ d_s (mm)、コンクリートたて波音速 c_{vp} (mm/ μ 秒)、探触子振動子径 s 及び前記 a 値を用いて、 $t_T = 2 \times \{ (d_s^2 + ((a - s)/2)^2) \} / (c_{vp})$ (μ 秒) で計算し、

10

前記 t_T 以降の時刻で生ずる微弱な振幅の波が生ずる時間領域の波を $GA_j(t)$ と定義し、この $GA_j(t)$ 波を所定の時刻関数 $TGCX(t)$ を定義する t_T 以外の他の所定値を t_a 、 n_5 として、 $GA_j(t) = TGCX^{n_5}(t) \times G_j(t)$ を $G_j(t)$ 波より抽出し、 $GA_j(t)$ に対応するスペクトル $FA_j(f)$ を $FA_j(f) = \int \{ GA_j(t) \cdot e^{-i2\pi ft} \} dt$ で計算し、

n_p を1以上の整数として、 $FA_j^{n_p}(f)$ と $GA_j^{n_p}(t)$ とを夫々 $j = 1 \sim n_A$ で比較表示するとき、 $FA_j^{n_p}(f)$ 毎に、その最大スペクトル値を1.0とする基準化を行い、及び $GA_j^{n_p}(t)$ 毎に、その最大振幅値を1.0とする基準化を行い、比較表示し、

外部から与えられるか又は解析装置にあらかじめ記憶された実数 t_T を用いて、前記 t_T を $t_T - t \sim t_T + t$ の間で自動的に又は外部からの指示で変化させる都度、前記スペクトル $FA_j(f)$ の計算及び前記 $FA_j^{n_p}(f)$ と $GA_j^{n_p}(t)$ との比較表示を繰り返す経緯の中で前記 $FA_j^{n_p}(f)$ スペクトルの比較表示でスペクトルが2つの群に収斂したとき、一方の群に収斂したスペクトル群に対応する計測対象シースの内部が空とすれば、他方の群に収斂したスペクトル群に対応する計測対象シースの内部がグラウト材充填と判断し、 $j = 1 \sim n_A$ シースのいずれかが充填又は空と解っている場合、その充填又は空と判明しているシースと同一のスペクトルに収斂したシース群を夫々充填又は空と判断するものであり、

20

前記所定の時刻関数 $TGCX(t)$ は、 $t = t_T - t$ 以前の時刻で0.0、 $t = t_T$ で1.0、 $t = t_T + t$ 以降の時刻で0.0となり、 $t = t_T - t \sim t_T$ 間を増加関数、 $t = t_T \sim t_T + t$ 間を減少関数とする $TGC5(t)$ 関数であるか、又は $t = t_T - t_a$ の以前の時刻で0.0、 $t = t_T - t_a \sim t_T$ の間を最大値1.0とする増加関数、 $t = t_T \sim t_T + t$ の間を1.0、 $t = t_T + t \sim t_T + t + t_a$ の間を最大値1.0とする減少関数、 $t = t_T + t + t_a$ 以降の時刻を0.0とする $TGC6(t)$ 関数であり、

30

前記所定値 t_a は、0.0を超える実数であり、 n_5 及び n_p は1以上の整数であることを特徴とする超音波探知装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

40

本発明は、コンクリート内に埋め込まれたシース管の内部グラウトの充填度をコンクリート表面からの測定で検知するための共振分析を使用した超音波探知装置及び超音波探知方法に関する。

【背景技術】

【0002】

プレストレストコンクリート構造物の建設においては、配筋されたコンクリート内部に鋼製又はポリエチレン製シース管を配置し、管内部に配されたPC鋼棒を緊張した後、その内部にグラウト材(通常はセメントペースト)を注入する。このグラウト材は緊張されたPC鋼棒の防錆及びコンクリート付着による応力伝達を目的とするために、シース管内に完全に充填されることが必要である。そのため、当該構造物の安全性確保のために、シ

50

ース管内部にグラウト材が完全に充填されたか否かを探知する方法の確立が強く要望されている。

【0003】

【特許文献1】特開2000-088819

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

しかしながら、従来、コンクリート内部に埋設されたシース管内にグラウト材が完全に充填されているか否かを、コンクリート表面で非破壊検査する方法は存在しなかった。

【0005】

本発明はかかる問題点に鑑みてなされたものであって、コンクリート内に埋め込まれたシース管内のグラウト材の充填度をコンクリート表面からの測定で検知することができる共振分析を使用した超音波探知装置及び超音波探知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】

【0006】

本願第1発明(請求項1)に係る共振分析を使用した超音波探知装置は、コンクリート内に埋め込まれ管内に鋼棒が配置されると共にセメントミルクなどの充填物が注入されたシース管を共振分析により検査する超音波探知装置において、前記シース管の上方のコンクリート面に所定の間隔で配置される超音波発信探触子及び超音波受信探触子と、

前記発信探触子及び受信探触子の超音波発信及び受信を制御する制御装置と、

前記受信探触子で得る受信信号を解析する解析装置とを有し、

前記制御装置は、前記発信探触子内の振動子にステップ関数型電圧を印加し、前記発信探触子から広帯域超音波を連続して複数回発信させ、その都度、コンクリート中からの広帯域受信信号を前記受信探触子にて受信するように制御し、

前記解析装置は、その複数個の受信信号を加算して加算平均波 $G(t)$ を求め、

基準時刻 t_T 以降の時刻で 1.0 、 t_T 以前の時刻で増加関数とする時系列関数 $TGC(t)$ を n_5 乗倍 (n_5 は 1 以上の整数) したものを前記加算平均波 $G(t)$ に乗じて $GA(t) = \{TGC(t)\}^{n_5} \cdot G(t)$ 波を求め、このとき、 t_T の始点 t_1 及び終点 t_2 ($t_1 < t_2$) の間を n_c (n_c は 1 以上の整数) 個に分割し、 j を 1 以上の整数として表される $(n_c + 1)$ 個の t_T (但し、 $t_T = t_1 + \{(t_2 - t_1) / n_c\} \times (j - 1)$ 、 $j = 1 \sim (n_c + 1)$) の各々について前記 $GA(t)$ を算出し、これを $GA_j(t)$ とし、

この $GA_j(t)$ をフーリエ変換してスペクトル $FA_j(f)$ を求め、

この $FA_j(f)$ の各最大スペクトル値が 1.0 になるように基準化した後、この $FA_j(f)$ のスペクトルにおいて、大きなスペクトル値をもつスペクトルの振動数を f_D と特定し、

1 以上の整数 n_1 、 n_2 及びフィルタ関数 $A_1(f)$ 、 $A_2(f)$ を使用して、 $FB_j(f) = A_1^{n_1}(f) \cdot A_2^{n_2}(f) \cdot FA_j(f)$ を計算し、狭帯域スペクトル $FB_j(f)$ の振動数が前記 f_D 近傍となるようにし、

対応する $GB_j(t)$ をフーリエの逆変換で求め、

この $FB_j(f)$ の j 毎の最大スペクトル値が 1.0 になるように基準化した後、 n_p を 1 以上の整数として、 $\{FB_j(f)\}^{n_p}$ を求めて、これを重ねて表示し、 $j = 1 \sim (n_c + 1)$ 毎の $\{FB_j(f)\}^{n_p}$ のスペクトル群の内、 $j = 1 \sim (n_c + 1)$ の全てが重ね描きされるスペクトル以外のスペクトルで、 j の値が増す毎にスペクトル値が増幅してくるスペクトルがあるとき、

シース管内が空又は充填物が不足していると判断し、

j の値が増加しても、スペクトル値が増幅してくるスペクトルがないとき、

シース管内が完全充填されていると判断するものであり、

前記 t_1 は、前記シース管の埋め込み深さを d_s (mm)、前記コンクリートの縦波音速

10

20

30

40

50

を $c V p$ (mm / μ 秒) として、 $t 1 = (2 \times d s) / c V p$ として求め、
 前記フィルタ関数 $A 1 (f)$ 、 $A 2 (f)$ は、分析周波数の上限を $f m a x$ として、 $A 1 (f)$ は、 $0 . 0 \leq f \leq f m a x$ が、 $f = 0 . 0$ で $0 . 0$ 、 $f = f m a x$ で $1 . 0$ の正弦関数、 $f > f m a x$ が $f = 0 . 0$ の定数として求め、 $A 2 (f)$ は、 $0 . 0 \leq f \leq f m a x$ が、 $f = 0 . 0$ で $1 . 0$ 、 $f = f m a x$ で $0 . 0$ の余弦関数、 $f > f m a x$ が $f = 0 . 0$ の定数として求めることを特徴とする。

【 0 0 0 7 】

本願第 2 発明 (請求項 3) に係る共振分析を使用した超音波探知装置は、コンクリート内に埋め込まれ管内に鋼棒が配置されると共にセメントミルクなどの充填物が注入されたシース管を共振分析により検査する超音波探知装置において、前記シース管の上方のコンクリート面に所定の間隔で配置される超音波発信探触子及び超音波受信探触子と、前記発信探触子及び受信探触子の超音波発信及び受信を制御する制御装置と、前記受信探触子で得る受信信号を解析する解析装置とを有し、前記制御装置は、前記発信探触子内の振動子にステップ関数型電圧を印加し、前記発信探触子から広帯域超音波を連続して複数回発信させ、その都度、コンクリート中からの広帯域受信信号を前記受信探触子にて受信するように制御し、前記解析装置は、その複数個の受信信号を加算して加算平均波 $G (t)$ を求め、

10

1 以上の整数 $n 1$ 、 $n 2$ 、 $n 3$ 及びフィルタ関数 $A 1 (f)$ 、 $A 2 (f)$ 、 $A 3 (f)$ を使用して、 $F A (f) = A 1 ^ { n 1 } (f) \cdot A 2 ^ { n 2 } (f) \cdot A 3 ^ { n 3 } (f) \cdot F A (f)$ を計算し、この計算の際、 $n 1$ 、 $n 2$ 、 $n 3$ の値を調整して狭帯域スペクトル $F A (f)$ の中心振動数が所定値 $f 0$ となるようにし、

20

$F A (f)$ に対応する $G A (t)$ をフーリエの逆変換で求め、
 このとき、 $t T$ の始点 $t 1$ 及び終点 $t 2$ ($t 1 < t 2$) の間を $n c$ ($n c$ は 1 以上の整数) 個に分割し、 j を 1 以上の整数として表される ($n c + 1$) 個の $t T$ (但し、 $t T = t 1 + \{ (t 2 - t 1) / n c \} \times (j - 1)$ 、 $j = 1 \sim (n c + 1)$) を求め、各 $t T$ について、 $t = 0 . 0$ で $0 . 0$ 、基準時刻 $t T$ 以降の時刻で $1 . 0$ 、 $t = 0$ から $t = t T$ までの間を増加関数とする時系列関数 $T G C 1 j (t)$ を $n 5$ 乗倍 ($n 5$ は 1 以上の整数) したものを前記 $G A (t)$ に乗じて j 毎の $t T$ に対応する $G B j (t)$ 波を、 $G B j (t) = \{ T G C 1 j (t) \} ^ { n 5 } \cdot G A (t)$ の式から求め、

30

この $G B j (t)$ に対応するスペクトル $F B j (f)$ をフーリエ変換で求め、
 この $F B j (f)$ の j 毎の最大スペクトル値が $1 . 0$ になるように基準化した後、 $n p$ を 1 以上の整数として、 $\{ F B j (f) \} ^ { n p}$ を求めて、これを重ねて表示し、 $j = 1 \sim (n c + 1)$ 毎の $\{ F B j (f) \} ^ { n p}$ のスペクトル群の内、 $j = 1 \sim (n c + 1)$ の全てが重ね描きされるスペクトル以外のスペクトルで、 j の値が増す毎にスペクトル値が増幅してくるスペクトルがあるとき、

30

このスペクトルをシース管反射波スペクトルと判断し、
 j の値が増す毎に、スペクトル値が増幅してくるスペクトルが得られた場合、シース管内が空又は充填物が不足していると判断し、

j の値が増加しても、スペクトル値が増幅してくるスペクトルがないとき、シース管内が完全充填されていると判断するものであり、

40

前記 $t 1$ は、前記シース管の埋め込み深さを $d s$ (mm)、前記コンクリートの縦波音速を $c V p$ (mm / μ 秒) として、 $t 1 = (2 \times d s) / c V p$ として求め、
 前記フィルタ関数 $A 1 (f)$ 、 $A 2 (f)$ 、 $A 3 (f)$ は、分析周波数の上限を $f m a x$ として、 $A 1 (f)$ は、 $0 . 0 \leq f \leq f m a x$ が、 $f = 0 . 0$ で $0 . 0$ 、 $f = f m a x$ で $1 . 0$ の正弦関数、 $f > f m a x$ が $f = 0 . 0$ の定数として求め、 $A 2 (f)$ は、 $0 . 0 \leq f \leq f m a x$ が、 $f = 0 . 0$ で $1 . 0$ 、 $f = f m a x$ で $0 . 0$ の余弦関数、 $f > f m a x$ が $f = 0 . 0$ の定数として求め、 $A 3 (f)$ は、 $0 . 0 \leq f \leq 2 f A$ が、 $f = 0 . 0$ で $0 . 0$ 、 $f = f A$ で $1 . 0$ 、 $f = 2 f A$ で $0 . 0$ の正弦関数、 $f > 2 f A$ で $0 . 0$ の定数として求めることを特徴とする。

【 0 0 0 8 】

50

本願第3発明(請求項6)に係る共振分析を使用した超音波探知装置は、コンクリート内に埋め込まれ管内に鋼棒が配置されると共にセメントミルクなどの充填物が注入されたシース管を共振分析により検査する超音波探知装置において、前記シース管の上方のコンクリート面に所定の間隔で配置される超音波発信探触子及び超音波受信探触子と、前記発信探触子及び受信探触子の超音波発信及び受信を制御する制御装置と、前記受信探触子で得る受信信号を解析する解析装置とを有し、前記制御装置は、前記発信探触子内の振動子にステップ関数型電圧を印加し、前記発信探触子から広帯域超音波を連続して複数回発信させ、その都度、コンクリート中からの広帯域受信信号を前記受信探触子にて受信するように制御し、前記解析装置は、その複数個の受信信号を加算して加算平均波 $G(t)$ を求め、

基準時刻 t_T (μ 秒) で1.0、 t_T から離れた時刻で1.0未満(減衰)となる時系列関数 $TGCX(t)$ を前記加算平均波 $G(t)$ に乗じて $GA(t) = TGCX(t) \times G(t)$ を求め、

前記シース管の埋め込み深さを d_s (mm)、前記コンクリートの縦波音速を cV_p (m/m/ μ 秒) として、 t_T の始点 t_1 を、 $t_1 = (2 \times d_s) / cV_p$ から求め、

t_T の始点 t_1 及び終点 t_2 ($t_1 < t_2$) の間を n_c 個に分割し、 j を1以上の整数として表される $(n_c + 1)$ 個の t_T (但し、 $t_T = t_1 + \{(t_2 - t_1) / n_c\} \times (j - 1)$ 、 $j = 1 \sim (n_c + 1)$) の各々について前記 $GA(t)$ を算出し、これを $GA_j(t)$ とし、

この $GA_j(t)$ をフーリエ変換してスペクトル $FA_j(f)$ を求め、

この $FA_j(f)$ の各最大スペクトル値を比較し、このうち最も大きいスペクトル値が1.0になるように基準化した後、

$j = 1 \sim (n_c + 1)$ 毎の $FA_j(f)^{np}$ を重ねて表示し、重ね描きされた $FA_j(f)$ スペクトルにおいて、

$j = 1$ のときのスペクトルのピークを示す振動数を f_D としたとき、

j の値が大きくなるにつれて、 f_D 位置でのスペクトル値が順次減少するとき、計測シース管の内部が空であると判断し、

j の値が大きくなるにつれて、 f_D 位置でのスペクトル値が順次減少していく過程で、 f_D 振動数の近傍に、 j の値の増大につれてスペクトル値が順次増加するスペクトルが生じてくるとき、計測シース管の内部を充填不足と判断し、

j の値が大きくなるにつれて、 f_D 位置でのスペクトル値が順次増大し、スペクトルの振動数が f_D 振動数近傍に変化してくるとき、計測シース管の内部が完全充填されていると判断することを特徴とする。

【0009】

本願第4発明(請求項8)に係る共振分析を使用した超音波探知装置は、コンクリート内に埋め込まれた管内に鋼棒が配置されたシース管(外径 s) にグラウト材等の充填物を圧入する際、シース管の長手方向の任意位置での充填状況をリアルタイムに計測する超音波探知装置において、

前記シース管の長手方向任意位置の直上のコンクリート面に所定の間隔 a (mm) で配置される超音波発信探触子及び超音波受信探触子と、

前記発信探触子及び受信探触子の超音波発信及び受信を制御する制御装置と、

前記受信探触子で得る受信信号を解析する解析装置とを有し、

前記制御装置は、前記発信探触子内の振動子にステップ関数型電圧を印加し、前記発信探触子から広帯域超音波を連続して複数回発信させ、その都度、コンクリート中からの広帯域受信信号を前記受信探触子にて受信するように制御し、

前記解析装置は、その複数個の受信信号を加算して加算平均波 $G(t)$ を求め、グラウト材の注入開始時点で得られる加算平均波を $G_1(t)$ とし、所定の時間間隔毎に、以降連続して得られる加算平均波を $G_j(t)$ ($j = 2 \sim n_A$) とし、

第1の分析過程で、

前記 $G_j(t)$ 波に対応するスペクトル $F_j(f)$ をフーリエ変換で求め、所定の振動数

10

20

30

40

50

フィルタ $A_1(f)$ 、 $A_2(f)$ と外部から与える所定値 f_A で定義される $A_3(f)$ と外部から与える 1 以上の整数 n_1 、 n_2 、 n_3 を使用して、

$$FA_j(f) = A_1^{n_1}(f) \cdot A_2^{n_2}(f) \cdot A_3^{n_3}(f) \cdot F_j(f)$$

を計算し、フーリエの逆変換で $FA_j(f)$ に対応する $GA_j(t)$ を

$$GA_j(f) = \int (FA_j(f) \cdot e^{i \cdot t}) df$$

に基づいて求め、

第 2 の分析過程で、シール管の埋め込み深さを d_s (mm)、コンクリートの縦波音速を c_{vp} (mm / μ 秒) として、 $t_h = 2d_s / (c_{vp})$ に基づいて、シース管縦波反射波の起生時刻 t_h (μ 秒) を計算し、

$t_T = t_h$ として、この t_T 値と 0.0 を超える所定値 t 、 t_a と、1 以上の整数である所定値 n_5 とで定義される所定の時系列フィルタ $TGCX(t)$ を用いて、 $GB_j(t) = TGCX^{n_5}(t) \cdot GA_j(t)$ を計算し、フーリエ変換で $GB_j(t)$ に対応するスペクトル $FB_j(f)$ をフーリエ変換で求め、

表示工程は、 n_p を 1 以上の整数として、 $FB_j(f)^{n_p}$ を比較表示し、林立するスペクトルの各々において、 $j=1$ の時のスペクトル値が最も大きく、 j の値が増す毎にそのスペクトル値が減少し、 j の値が増してもスペクトル値が概略同一となってくるスペクトルがあるとき、又は、 $j=1$ のときのスペクトル値が最も小さく、 j の値が増す毎にそのスペクトル値が増大しながら、同一スペクトル値に収斂してくるスペクトルがあるとき、計測するシース管の該当測点位置まで、前記グラウト材が管内部に満に充填されてきていると判断するものであり、

前記 $TGCX(t)$ 時系列フィルタは、 $t=0.0$ で 0.0、 $t=t_T$ で 1.0、 $t=2 \times t_T$ 以降の時刻で 0.0 となり、 $t=0 \sim t_T$ を増加関数、 $t=t_T \sim 2t_T$ を減少関数とする $TGC4(t)$ 関数、 $t=t_T$ 、 t 以前の時刻で 0.0、 $t=t_T$ で 1.0、 $t=t_T + t$ 以降の時刻で 0 となり、 $t=t_T$ 、 $t \sim t_T + t$ を増加関数、 $t=t_T \sim t_T + t$ を減少関数とする $TGC5(t)$ 関数、又は、 $t=t_T - t_a$ 以前の時刻で 0.0、 $t=t_T - t_a \sim t_T$ の間を最大値 1.0 とする増加関数、 $t=t_T \sim t_T + t$ の間を 1.0、 $t=t_T + t \sim t_T + t + t_a$ の間を最大値 1.0 とする減少関数、 $t=t_T + t + t_a$ 以降の時刻を 0.0 とする $TGC6(t)$ 関数であることを特徴とする。

【0010】

本願第 5 発明 (請求項 9) に係る共振分析を使用した超音波探知装置は、コンクリート内に埋め込まれた管内に鋼棒が配置されたシース管にグラウト材などの充填物を圧入する作業時、シース管の長手方向任意位置での充填状況をリアルタイムに計測する超音波探知装置において、

前記シース管の長手方向任意位置の直上のコンクリート面に所定の間隔 a (mm) で配置される超音波発信探触子及び受信探触子と、

前記発信探触子及び受信探触子の超音波発信及び受信を制御する制御装置と、

前記受信探触子で得る受信信号を解析する解析装置とを有し、

前記制御装置は、

前記発信探触子内の振動子にステップ型電圧を印加し、前記発信探触子から広帯域超音波を連続して複数回発信させ、その都度、コンクリート中からの広帯域受信信号を前記受信探触子で受信するように制御し、

前記解析装置は、

その複数個の受信信号を加算して加算平均波 $G(t)$ を求め、グラウト材の注入開始時点で得られる加算平均波を $G_1(t)$ とし、所定の時刻間隔毎に、以降連続して得られる加算平均波を $G_j(t)$ ($j=2 \sim n_A$) としたとき、

前記 $G_j(t)$ より、 $GA_j(t) = G_j(t)$ ($j=1 \sim n_A$) を作成し、フーリエの変換で $GA_j(t)$ に対応するスペクトル $FA_j(f)$ を $FA_j(f) = \int (GA_j(t) \cdot e^{-i \cdot t}) dt$ で求め、シース管埋め込み深さを d_s (mm)、コンクリートたて波音速を c_{vp} (mm / μ 秒) として、シースたて波反射波起生時刻 t_h (μ 秒)

10

20

30

40

50

を、 $t_h = 2 d_s / (c V p)$ として求め、 t_T の初期値を $t_T = t_h$ として、この t_T 値と0.0を超える実数である所定値 t_a と、1以上の整数である所定値 n_5 とで定義される $TGCX(t)$ を用いて、 $GB_j(t) = TGCX^{n_5}(t) \cdot GA_j(t)$ を計算し、フーリエ変換で $GB_j(t)$ に対応するスペクトル $FB_j(f)$ を求める分析処理と、

n_p を1以上の整数として、 $FB_j^{n_p}(f)$ を表示する表示処理と、
を連続して実施し、

前記 t_T 値を順次大きくして、その都度前記分析処理と前記表示処理とを実施して $GB_j(t)$ 、 $FB_j(f)$ を再演算し、

$FB_j^{n_p}(f)$ の比較表示の結果、林立する各スペクトルの最大スペクトル値の変化の度合が、 j の増大の経緯の中でより明解になったときに、前記分析処理及び表示処理を中断し、

その時点で得る $FB_j^{n_p}(f)$ の比較表示において、

林立するスペクトルの各々において、 $j = 1$ のときのスペクトル値が最も大きく、 j の値が増す毎にそのスペクトル値が減少し、その値が j の値が増してもスペクトル値が概略同一となってくる境界スペクトルがあるとき、又は、 $j = 1$ のときのスペクトル値が最も小さく、 j の値が増す毎にそのスペクトル値が増大し、 j の値が増してもスペクトル値が概略同一となってくる境界スペクトルがあるとき、計測するシース管の前記境界スペクトルに該当する測点位置まで、前記グラウト材が管内部に満に充填されてきていると判断するものであり、

前記 $TGCX(t)$ 時系列フィルタは、 $t = 0.0$ で0.0、 $t = t_T$ で1.0、 $t = 2 \times t_T$ 以降の時刻で0.0となり、 $t = 0 \sim t_T$ を増加関数、 $t = t_T \sim 2 t_T$ を減少関数とする $TGC4(t)$ 関数、 $t = t_T$ 以前の時刻で0.0、 $t = t_T$ で1.0、 $t = t_T + t$ 以降の時刻で0となり、 $t = t_T$ 以前の時刻で0.0、 $t = t_T$ で1.0、 $t = t_T + t$ を減少関数とする $TGC5(t)$ 関数、又は、 $t = t_T - t_a$ 以前の時刻で0.0、 $t = t_T - t_a \sim t_T$ の間を最大値1.0とする増加関数、 $t = t_T \sim t_T + t$ の間を1.0、 $t = t_T + t \sim t_T + t + t_a$ の間を最大値1.0とする減少関数、 $t = t_T + t + t_a$ 以降の時刻を0.0とする $TGC6(t)$ 関数であることを特徴とする。

【0011】

本願第6発明(請求項10)に係る共振分析を使用した超音波探知装置は、コンクリート内に埋め込まれた管内に鋼棒が配置されると共にセメントミルク等の充填物が注入されたシース管を共振分析により検査する超音波探知装置において、

前記シース管の上方のコンクリート面に所定の間隔で配置される超音波発信探触子及び超音波受信探触子と、

前記発信探触子及び受信探触子の超音波発信及び受信を制御する制御装置と、

前記受信探触子で得る受信信号を解析する解析装置とを有し、

前記制御装置は、

前記発信探触子内の振動子にステップ関数型電圧を印加し、前記発信探触子から広帯域超音波を連続して複数回発信させ、その都度、コンクリート中からの広帯域受信信号を前記受信探触子にて受信するように制御し、

前記解析装置は、

その複数個の受信信号を加算して、加算平均波 $G(t)$ を求める処理を探知対象とする埋め込み深さが等しい複数(n_A 個)のシース毎にこのシースのコンクリート面への垂直投影線分上に、前記発信探触子と受信探触子とその中心間距離を a (mm)として配置し、加算平均波 $G_j(t)$ ($j = 1 \sim n_A$)を取得し、

所定の時刻フィルタ関数 $TGCX(t)$ を定義する所定値の1つ t_T (μ 秒)の初期値を、シース埋め込み深さを d_s (mm)、コンクリートたて波音速を $c V p$ (mm/ μ 秒)、探触子振動子径を s とし、更に前記 a 値を用いて、 $t_T = 2 \times \{ (d_s^2 + ((a - s) / 2)^2) \} / (c V p)$ により計算し、時刻関数 $TGCX(t)$ を定義する t

10

20

30

40

50

t_T 以外の他の所定値を t 、 t_a 、 n_5 として、前記 t_T 値を時間軸後方へ移動させる都度、 $G A_j(t)$ を、 $G A_j(t) = T G C X^{n_5}(t) \times G_j(t)$ により計算し、 $G A_j(t)$ に対応するスペクトル $F A_j(f)$ を、 $F A_j(f) = \int \{ G A_j(t) \cdot e^{-i 2 \pi f t} \} dt$ で計算し、

n_p を1以上の整数として、 $F A_j^{n_p}(f)$ の中で最も大きいスペクトル値が1.0となるように、 $F A_j^{n_p}(f)$ のスペクトル値を基準化して比較表示し、特定の振動数 f_{D1} 位置に大きなスペクトル値のスペクトルが立ち上がる1つ又は複数の $F A_j^{n_p}(f)$ ($j = k$)が生じてきた場合、 $j = k$ の測定点でのシース管の内部が空であると判断し、

前記 t_T の値を時刻軸の後方へ移動させる都度、前記 $F A_j(f)$ を算出し、 $F A_j^{n_p}(f)$ のスペクトルを基に、シース管の内部が空か否かの判定するものであり、

前記特定の振動数 f_{D1} 値は前記探知対象とする複数のシースの中に、空シース ($j = k$)と解っているシースを含めて、前記 $F A_j^{n_p}(f)$ の比較表示がなされるとき、前記空シース ($j = k$)の $F A_j^{n_p}(f)$ においてのみ生じる大きなスペクトル値のスペクトルの振動数であり、

前記特定の振動数 f_{D1} は、シース埋め込み深さ d_s (mm)、コンクリートたて波音速 c_{Vp} (mm / μ 秒)を用いて、 $f_{D1} = 10^3 / (2 d_s / c_{Vp})$ kHzで算出するものであり、

前記所定の時刻関数 $T G C X(t)$ は、 $t = t_T - t$ 以前の時刻で0.0、 $t = t_T$ で1.0、 $t = t_T + t$ 以降の時刻で0.0となり、 $t = t_T - t \sim t_T$ 間を増加関数、 $t = t_T \sim t_T + t$ 間を減少関数とする $T G C 5(t)$ 関数であるか、又は $t = t_T - t_a$ の以前の時刻で0.0、 $t = t_T - t_a \sim t_T$ の間を最大値1.0とする増加関数、 $t = t_T \sim t_T + t$ の間を1.0、 $t = t_T + t \sim t_T + t + t_a$ の間を最大値1.0とする減少関数、 $t = t_T + t + t_a$ 以降の時刻を0.0とする $T G C 6(t)$ 関数であり、

前記所定値 t 、 t_a は、0.0を超える実数であり、 n_5 及び n_p は1以上の整数であることを特徴とする。

【0012】

本願第7発明(請求項12)に係る共振分析を使用した超音波探知装置は、
コンクリート内に埋め込まれた管内に鋼棒が配置されると共にセメントミルクなどの充填物が注入されたシース管を共振分析により検査する超音波探知装置において、

前記シース管の上方のコンクリート面に所定の間隔で配置される超音波発信探触子及び超音波受信探触子と、

前記発信探触子及び受信探触子の超音波発信及び受信を制御する制御装置と、

前記受信探触子で得る受信信号を解析する解析装置とを有し、

前記制御装置は、

前記発信探触子内の振動子にステップ関数型電圧を印加し、前記発信探触子から広帯域超音波を連続して複数回発信させ、その都度、コンクリート中からの広帯域受信信号を前記受信探触子にて受信するように制御し、

前記解析装置は、

その複数個の受信信号を加算して、加算平均波 $G_j(t)$ を求める処理を探知対象とする埋め込み深さが等しい複数 (n_A 個)のシース毎にこのシースのコンクリート面への垂直投影線分上に、前記発信探触子と受信探触子とその中心間距離を a (mm)として配置し、加算平均波 $G_j(t)$ ($j = 1 \sim n_A$)を取得し、

所定の時刻フィルタ関数 $T G C X(t)$ を定義する所定値の1つ t_T をシース埋め込み深さ d_s (mm)、コンクリートたて波音速 c_{Vp} (mm / μ 秒)、探触子振動子径 s 及び前記 a 値を用いて、 $t_T = 2 \times \{ (d_s^2 + ((a - s) / 2)^2) \} / (c_{Vp})$ (μ 秒)で計算し、

前記 t_T 以降の時刻で生ずる微弱な振幅の波が生ずる時間領域の波を $G A_j(t)$ と定義し、この $G A_j(t)$ 波を所定の時刻関数 $T G C X(t)$ を定義する t_T 以外の他の所

定値を t_0 、 t_a 、 n_5 として、 $G A_j(t) = T G C X^{n_5}(t) \times G_j(t)$ を $G_j(t)$ 波より抽出し、 $G A_j(t)$ に対応するスペクトル $F A_j(f)$ を $F A_j(f) = \int \{ G A_j(t) \cdot e^{-i 2\pi f t} \} dt$ で計算し、
 n_p を1以上の整数として、 $F A_j^{n_p}(f)$ と $G A_j^{n_p}(t)$ とを夫々 $j = 1 \sim n_A$ で比較表示するとき、 $F A_j^{n_p}(f)$ 毎に、その最大スペクトル値を1.0とする基準化を行い、及び $G A_j^{n_p}(t)$ 毎に、その最大振幅値を1.0とする基準化を行い、比較表示し、

外部から与えられるか又は解析装置にあらかじめ記憶された実数 t_T を用いて、前記 t_T を $t_T - t_T \sim t_T + t_T$ の間で自動的に又は外部からの指示で変化させる都度、前記スペクトル $F A_j(f)$ の計算及び前記 $F A_j^{n_p}(f)$ と $G A_j^{n_p}(t)$ との比較表示を繰り返す経緯の中で前記 $F A_j^{n_p}(f)$ スペクトルの比較表示でスペクトルが2つの群に収斂したとき、一方の群に収斂したスペクトル群に対応する計測対象シースの内部が空とすれば、他方の群に収斂したスペクトル群に対応する計測対象シースの内部がグラウト材充填と判断し、 $j = 1 \sim n_A$ シースのいずれかが充填又は空と解っている場合、その充填又は空と判明しているシースと同一のスペクトルに収斂したシース群を夫々充填又は空と判断するものであり、

前記所定の時刻関数 $T G C X(t)$ は、 $t = t_T - t$ 以前の時刻で0.0、 $t = t_T$ で1.0、 $t = t_T + t$ 以降の時刻で0.0となり、 $t = t_T - t \sim t_T$ 間を増加関数、 $t = t_T \sim t_T + t$ 間を減少関数とする $T G C 5(t)$ 関数であるか、又は $t = t_T - t_a$ の以前の時刻で0.0、 $t = t_T - t_a \sim t_T$ の間を最大値1.0とする増加関数、 $t = t_T \sim t_T + t$ の間を1.0、 $t = t_T + t \sim t_T + t + t_a$ の間を最大値1.0とする減少関数、 $t = t_T + t + t_a$ 以降の時刻を0.0とする $T G C 6(t)$ 関数であり、

前記所定値 t_0 、 t_a は、0.0を超える実数であり、 n_5 及び n_p は1以上の整数であることを特徴とする。

【発明の効果】

【0014】

本発明によれば、コンクリート内に埋め込まれたシース管内に充填物が充填されているか、又は充填不足が存在するかを、コンクリート表面からの測定で検知することができ、また、この充填度も検知することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0015】

以下、本発明の実施の形態について添付の図面を参照して具体的に説明する。図1は本発明の実施形態に係る超音波探知装置を示すブロック図である。この超音波探知装置の回路構成は全ての実施形態に該当し、各実施形態における相違点は、固定ディスク25内に格納されたソフトウェアと、コントロール回路20における超音波の発信態様である。

【0016】

被探知体30の表面に発信探触子4と受信探触子5が接触するように配置される。そして、発信探触子4には超音波探知装置の電流供給回路23から電流が供給され、発信探触子4から超音波が発信し、被探知体30内に入射する。また、受信探触子5が受信した超音波信号は、解析装置11に入力されて、後述のようにして解析される。この解析装置11においては、受信探触子5の受信信号がアンプ回路15により増幅されてフィルタ回路16に入力され、このフィルタ回路16により後述のごとくしてフィルタリングを受けた信号がADC(アナログデジタル変換回路)17によりデジタル信号に変換され、ゲートアレイ18を介してCPU(中央演算装置)19に入力される。HD(ハードディスク)25には解析処理アプリケーションソフトウェアと、CPU19により演算処理された時系列データが保存される。また、この解析結果は表示装置12にも入力されて表示される。更に、必要な情報がキーボード27からCPU19に入力されるようになっている。メモリ26はCPU19が演算する際にデータを一時的に格納するために使用される。また、CPU19からコントロール回路20に制御信号が出力され、コントロール回路20

10

20

30

40

50

はアンプ回路 15、フィルタ回路 16、ADC 17、ゲートアレイ 18 及び電流供給回路 23 に作動指令信号を出力する。

【0017】

電流供給回路 23 は同軸ケーブル 31 を介して発信探触子 4 に接続されている。発信探触子 4 には、図 3 に示すように、基盤化したステップ型電圧発生器 13 と振動子 28 とが内蔵されている。ステップ型電圧発生器 13 には、図 2 に示すように、ステップ電圧駆動回路 21 及びステップ電圧発生回路 22 が設けられており、ステップ電圧駆動回路 21 で発生するステップ関数型電圧を振動子 28 に印加する。

【0018】

超音波を被探知体 30 に入力する都度、受信探触子 5 で受信波を得る。この受信波は同軸ケーブル 32 を介して、解析装置 11 のアンプ回路 15 へ電圧の時間変動データとして送られる。アンプ回路 15 へ送られた前記時間変動データは、フィルタ回路 16 を経由して ADC 17 に達する電圧のアナログ量が ADC 17 によりデジタル量に変換され、ゲートアレイ 18 を介して CPU 19 に転送され、前記電圧デジタル値の時刻歴が表示装置 12 に表示される。

10

【0019】

自動的に又はキーボード 27 を用いた外部からの指示で、電圧の増幅又は減幅及びローパス/ハイパスフィルタ処理の指令が CPU 19 に伝達され、CPU 19 はコントロール回路 20 を介してアンプ回路 15 及びフィルタ回路 16 を制御する。

【0020】

図 4 に示すように、受信探触子 5 には 100 kHz 乃至 300 kHz の範囲の特性の振動数における漸減型ハイパスフィルタ 24、アンプ回路 14 及び振動子 29 が内蔵されている。

20

【0021】

電流供給回路 23 はコントロール回路 20 により制御されて、所定の時間間隔で動作する。これにより、発信探触子 4 に内蔵された振動子から、前記所定の時間間隔で超音波が被探知体 30 に入射される。受信探触子 5 に内蔵された振動子 29 は超音波が入力する都度、被探知体 30 の音圧変化にともない振動が励起する。この振動励起で振動子 29 に生じる電圧の時間的変化が、受信探触子 5 内のフィルタ回路 24 及びアンプ回路 14 で 1 次処理される。

30

【0022】

アンプ回路 15 及びフィルタ回路 16 の制御が終了した段階で、CPU 19 の指示でコントロール回路 20 がゲートアレイ 18 に ADC 17 で得られる電圧に関する時刻歴デジタル量を、前記時刻歴を得る都度、指定回数加算し、加算平均時刻歴を作成し、表示装置 12 にその時刻歴をリアルタイム表示する。

【0023】

ハイパスフィルタ及びアンプ回路は夫々受信探触子 5 と解析装置 11 の双方に内蔵されている。受信探触子 5 に内蔵されているハイパスフィルタ 24 及びアンプ回路 14 は受信波に対し、前述の如く、1 次処理を行うものである。解析装置 11 に内蔵されるアンプ回路 15 とフィルタ回路 16 は、1 次処理された受信波に対し、CPU 19 のコントロール下で微調整するものである。この微調整は装置機能の高度化のために必要とするものであることより、解析装置 11 内のアンプ回路 15 といフィルタ回路 16 は必ずしも必要としない。

40

【0024】

次に、各実施形態で使用する周波数フィルタについて説明する。図 5 は第 1 の振動数フィルタ $A_1(f)$ 及び第 2 の振動数フィルタ $A_2(f)$ の特性を示す図である。第 1 の振動数フィルタ $A_1(f)$ は、下記数式 1 で表わされる任意の関数 $P(t)$ に対して、下記数式 2 で表わされる関数 $PA(t)$ を作成するためのフィルタであり、図 5 に示すように、分析振動数の上限を f_{MAX} とし、振動数と共に上昇する正弦関数である。

【0025】

50

【数 1】

$$P(t) = \int_{-\infty}^{\infty} (F(f) \cdot e^{i\omega t}) df$$

【0026】

【数 2】

$$PA(t) = \int_{-\infty}^{\infty} (A_1^{n_1}(f) \cdot F(f) \cdot e^{i\omega t}) df$$

但し、 n_1 は自然数である。

10

【0027】

第2の振動数フィルタ $A_2(f)$ は、下記数式3で表わされる任意の関数 $PA(t)$ を作成するためのフィルタであり、図5に示すように、分析振動数の上限を f_{MAX} とし、振動数と共に減少する余弦関数である。

【0028】

【数 3】

$$PA(t) = \int_{-\infty}^{\infty} (A_2^{n_2}(f) \cdot F(f) \cdot e^{i\omega t}) df$$

但し、 n_2 は自然数である。

20

【0029】

第3の振動数フィルタ $A_3(f)$ は、数式1で表わされる任意の関数 $P(t)$ に対して、下記数式4で表わされる関数 $PA(t)$ を作成するためのフィルタであり、図6に示すように、振動数 f_A 、 $3f_A$ 、 $5f_A$ 、 \dots で最大値となり、 0 、 $2f_A$ 、 $4f_A$ 、 \dots で0となる正弦関数の絶対値で表わされる。

【0030】

【数 4】

$$PA(t) = \int_{-\infty}^{\infty} (A_3^{n_3}(f) \cdot F(f) \cdot e^{i\omega t}) df$$

但し、 n_3 は自然数である。

30

【0031】

なお、 $A_1(f)$ 、 $A_2(f)$ 、 $A_3(f)$ の各フィルタは、プログラム上でデジタル処理されている。上述の数式2乃至4の3個の関数 $PA(t)$ は、次のような演算処理により短時間で求めることができる。

【0032】

数式2の $PA(t)$ については、 $t = 1 / (2 \times f_{MAX})$ として、下記数式5乃至数式7から関数 $P_{n_1}(t)$ を求め、これを関数 $PA(t)$ とすることができる。

【0033】

【数 5】

40

$$P_1 = \frac{1}{2} (P(t) - P(t - \Delta t))$$

【0034】

【数 6】

$$P_{n_1}(t) = \frac{1}{2} (P_{n_1-1}(t) - P_{n_1-1}(t - \Delta t))$$

(n_1 が奇数)

【0035】

50

【数 7】

$$P_{n1}(t) = \frac{1}{2}(P_{n1-1}(t) - P_{n1-1}(t + \Delta t))$$

(n 1 が偶数)

【0036】

数式 3 の PA (t) については、 $t = 1 / (2 \times f_{MAX})$ として、下記数式 8 乃至数式 10 から関数 $P_{n2}(t)$ を求め、これを関数 PA (t) とすることができる。

【0037】

【数 8】

10

$$P_1(t) = \frac{1}{2}(P(t) + P(t - \Delta t))$$

【0038】

【数 9】

$$P_{n2}(t) = \frac{1}{2}(P_{n2-1}(t) + P_{n2-1}(t - \Delta t))$$

(n 2 が奇数)

【0039】

20

【数 10】

$$P_{n2}(t) = \frac{1}{2}(P_{n2-1}(t) + P_{n2-1}(t + \Delta t))$$

(n 2 が偶数)

【0040】

数式 4 の PA (t) については、 $t = 1 / (2 \times f_A)$ として、下記数式 11 乃至数式 13 から関数 $P_{n3}(t)$ を求め、これを関数 PA (t) とすることができる。

【0041】

【数 11】

30

$$P_1(t) = \frac{1}{2}(P(t) - P(t - \Delta t))$$

【0042】

【数 12】

$$P_{n3}(t) = \frac{1}{2}(P_{n3-1}(t) - P_{n3-1}(t - \Delta t))$$

(n 3 が奇数)

【0043】

40

【数 13】

$$P_{n3}(t) = \frac{1}{2}(P_{n3-1}(t) - P_{n3-1}(t + \Delta t))$$

(n 3 が偶数)

【0044】

次に、各実施形態で使用する時系列フィルタについて説明する。図 7 は TGC1 (t) のフィルタ特性を示す波形図である。TGC1 (t) は $t = 0$ で 0 であり、この $t = 0$ から $t = t_T$ まで順次増加し、 $t = t_T$ 以降の時刻で 1.0 の値となる時系列フィルタである。従って、 $TGC1^{n5}(t)$ は図 7 に示すようになる。但し、 $n5$ は 1 以上の整数で

50

ある。

【0045】

TGC1(t)を用いてG(t)から切り出す波をGA(t)と表現すると、GA(t)は下記数式14にて示される。

【0046】

【数14】

$$GA(t) = TGC1^{n5}(t) \cdot G(t)$$

【0047】

10

図8はTGC4のフィルタ特性を示す波形図である。TGC4(t)はt=0で0、t=t_Tで1.0、t=2×t_T以降の時刻で0となる時刻0～t_Tを増加関数、時刻t_T～2×t_Tを減少関数とするフィルタである。このTGC4(t)を用いて、G(t)から切り出す波をGA(t)と表現すると、このGA(t)は下記数式15にて表される。但し、n5は1以上の整数である。

【0048】

【数15】

$$GA(t) = TGC4^{n5}(t) \cdot G(t)$$

20

【0049】

図9はTGC5のフィルタ特性を示す波形図である。TGC5(t)はt=t_T-t以前の時刻で0、t=t_Tで1.0、t=t_T+t以降の時刻で0となる時刻t_T-t～t_Tを増加関数、時刻t_T～t_T+tを減少関数とするフィルタである。但し、n5は1以上の整数である。このTGC5(t)を用いて、G(t)から切り出す波をGA(t)と表現すると、下記数式16が成立する。

【0050】

【数16】

$$GA(t) = TGC5^{n5}(t) \cdot G(t)$$

30

【0051】

図10はTGC6の波形図である。TGC6(t)はt=t_T-t_a以前の時刻で0、t=t_T-t_aからt_Tの間を最大値1.0とする増加関数、t=t_Tからt_T+tの間を1.0、t=t_T+tからt_T+t+t_aの間を最大値1.0とする減少関数、t=t_T+t+t_a以降の時刻を0とする時系列フィルタである。TGC6(t)を用いて、G(t)から切り出す波をGA(t)と表現すると、GA(t)は下記数式17で表される。但し、n5は1以上の整数である。

【0052】

【数17】

40

$$GA(t) = TGC6^{n5}(t) \cdot G(t)$$

【0053】

次に、本発明の共振分析による探知法の第1の基本原則について説明する。この共振分析法は、被探知体内の共振現象を起す探知対象物に対する新規な探知法であり、この共振分析法をコンクリートに埋め込まれたシース管の充填の有無の探知に使用する方法について、詳述する。

【0054】

図11はシース管内のセメントミルク充填度の探知方法を示す模式図である。発信探触

50

子 2 1 1 と受信探触子 2 1 2 をコンクリート 2 1 8 内のシース管 2 1 5 の直上のコンクリート表面に、その中心間距離を a として配置する。シース管 2 1 5 内には、セメントミルク 2 1 7 が充填されているが、このシース管 2 1 5 内には、セメントミルク 2 1 7 が存在しない空隙 2 1 6 が存在する。

【 0 0 5 5 】

発信探触子 2 1 1 からコンクリート 2 1 8 内に発信される超音波はシース管 2 1 5 の表面で反射し、経路 2 1 3 で示すように、伝搬して受信探触子 2 1 2 で受信される。この受信された反射波を模式的に示せば、図 1 2 (a) のようになる。図 1 2 (a) に示すように、受信波 (反射波) の起生状況は、最初に探触子間をコンクリート面で伝達する表面波 2 1 3 0 が生じ、次に、経路 2 1 3 で伝搬するシース管 2 1 5 からの反射波が生じることになる。経路 2 1 3 の反射波としては、反射波 (縦波) 2 1 3 1、反射波 2 1 3 2、及び反射波 2 1 3 3 の 3 種類がある。即ち、反射波 2 1 3 1 は、往路、復路を縦波とするもの、反射波 2 1 3 2 (以下、モード変換波 1 という) は、往路を縦波、復路を横波とするもの、又は往路を横波、復路を縦波とするもの、反射波 2 1 3 3 (以下、モード変換波 2 という) は往路及び復路を横波とするものである。

10

【 0 0 5 6 】

一方、シース管内部が空若しくは充填不足の場合、シース管に共振現象が生じ、シース管共振波 2 1 4 が発生する。このシース管共振波 2 1 4 には、図 1 2 (b) に示すように、反射波 2 1 3 1 の縦波に対応する共振波 2 1 4 1 と、反射波 2 1 3 2 のモード変換波 1 に対応する共振波 2 1 4 2 と、反射波 2 1 3 3 のモード変換波 2 に対応する共振波 2 1 4 3 とがある。

20

【 0 0 5 7 】

この場合に、図 1 2 (a) と図 1 2 (b) との対比から、反射波 2 1 3 1 ~ 2 1 3 3 と共振波 2 1 4 1 ~ 2 1 4 3 との基本的な違いは、(ア) 反射波 2 1 3 1 ~ 2 1 3 3 は強度が大きい、直ちに減衰し、(イ) 共振波 2 1 4 1 ~ 2 1 4 3 は、反射波と比べて、その強度は極端に小さいが、減衰の程度が小さく、長時間継続することである。

【 0 0 5 8 】

前記 (ア)、(イ) の物理現象を利用すれば、図 1 1 の態様で超音波を計測することにより、シース管内にセメントミルクが完全に充填されているか、いないかの探知が可能となる。この方法を、前記 T G C 1 (t) フィルタを用いた場合で説明する。

30

【 0 0 5 9 】

図 1 3 (a) は、図 1 2 (a) の反射波 $G_1(t)$ に、 n_5 を 1 以上の整数として t の値を反射波 2 1 3 1 の起生時刻 t_1 としたフィルタ関数 $T G C 1^{n_5}(t)$ を乗じたときの波形図である。図 1 3 (b) は図 1 2 (b) の 3 つの共振波を加算し、 $B(t) = B_1(t) + B_2(t) + B_3(t)$ としたものに、前記 $T G C 1^{n_5}(t)$ を乗じたときの波形図である。

【 0 0 6 0 】

一方、図 1 4 (a)、(b) は図 1 3 (a)、(b) の波形図と異なり、T G C 1 フィルタの t の値を、線分 2 1 3 6 で示す t_2 ($t_2 > t_1$) に変更したフィルタ関数 $T G C 1^{n_5}(t)$ を乗じたときの波形図である。

40

【 0 0 6 1 】

本願出願人は、反射波が大きく励起する振動数が f_D 値として存在することをすでに開示した (P C T / J P 0 1 / 1 0 5 0 4)。図 1 3 (a) の $T G C 1^{n_5}(t) \cdot G_1(t)$ 波を、前記 f_D 値を中心振動数とする狭帯域成分波とすれば、図 1 3 (b) の $T G C 1^{n_5}(t) \cdot B_1(t)$ の共振波の振動数は f_D 値近傍の値となる。この現象はシース管の 1 次共振振動数を f_{s_1} とすれば n を 1 以上の整数として、 n のいずれかの値で得られる $n \times f_{s_1}$ の振動数が前記 f_D 値を中心振動数とする狭帯域スペクトルの帯域の中に存在することより生じる。この現象をスペクトル上で模式的に示せば、図 1 5 のようになる。反射波等のスペクトル値と共振波のスペクトル値とを比較すると、格段に前者のほうが大きくなるのがわかる。

50

【 0 0 6 2 】

実際問題としては、図 1 3 (a)、(b)の波は重畳して($G_1(t) + B(t)$)受信されるので、図 1 5 の反射波スペクトルとシース管共振波スペクトルとを分離して把握することはできない。

【 0 0 6 3 】

一方、図 1 4 (a)の $t_T = t_2$ とした $TGC1(t)$ を用いた $TGC1^{n_5}(t) \cdot (G_1(t) + B(t))$ の波は、 $t = t_2$ 以前の時刻の大きな強度の反射波が除去/低減されている。これにより、図 1 5 に対応するこの場合のスペクトル比較図は、図 1 6 (a)のようになる。

【 0 0 6 4 】

コンクリート内を伝達する超音波は路程が長く(受信時刻が遅く)なるほど加速度的に減衰すること、及び反射波などは一般的に 1 ~ 2 波の波であること、共振波も路程が長くなると加速度的に減衰するとはいいながら、長時間継続することにより、反射波のスペクトル値と共振波のスペクトル値の相対強度が、図 1 4 の $TGC1(t)$ 算定用 t 値を時刻歴後方へ移動していく経緯の中で逆転してくる。これより、図 1 6 (a)のスペクトル群の最大スペクトルを 1 . 0 に基準化して示せば、図 1 6 (b)の如きスペクトル比較図を得ることができる。

【 0 0 6 5 】

シース管内部が空、又は共振現象が生じる程度のセメントミルク充填不足の場合、前記スペクトル値の逆転現象が確実に生じる。しかしながら、シース管内部が充填されている場合は、シース管に共振波が生じないので、前述のスペクトル値の逆転現象は生じない。

【 0 0 6 6 】

従って、(シース管内部充填)か、又は(シース管内部空又は充填不足)かの判断を、共振現象の有無により容易に行うことができる。

【 0 0 6 7 】

「第 1 の実施形態(請求項 1 ~ 5)」

次に、この本発明の第 1 の基本原理に基づく第 1 実施形態について説明する。即ち、コンクリート内に埋め込まれ管内に鋼棒が配置されると共に充填物が注入されたシース管を共振分析により検査する超音波探知装置において、前記コンクリートの表面に所定間隔で超音波発信探触子及び超音波受信探触子を配置し、制御装置が前記発信探触子から超音波を連続して複数回発信させ、その都度シース管からの反射波を前記受信探触子にて受信するように制御する。解析装置が前記受信探触子の受信信号を解析する。この解析装置は、その複数個の受信信号を加算して加算平均波 $G(t)$ を得、基準時刻 t_T 以降が 1 . 0 (減衰せず)、 t_T より前が 1 . 0 未満(時刻が大きくなると漸増)の時系列関数 $TGC(t)$ を n_p 乗値(n_p は自然数)したものを前記加算平均波 $G(t)$ に乗じて $GA(t) = \{TGC(t)\}^{n_p} \cdot G(t)$ 波を求める。この時系列関数 $TGC(t)$ は図 7 に示すフィルタ($TGC1(t)$)である。この $GA(t) = \{TGC(t)\}^{n_p} \cdot G(t)$ 波を求める際に、前記基準時刻 t_T として、始点 t_1 及び終点 t_2 ($t_1 < t_2$) の間を等間隔で n_c (n_c : 1 以上の整数)個で分割し、 j を 1 以上の整数として表される ($n_c + 1$) 個の t_T (但し、 $t_T = t_1 + \{(t_2 - t_1) / n_c\} \times (j - 1)$ 、 $j = 1 \sim (n_c + 1)$) の夫々について前記 $GA(t)$ を算出してこれを $GA_j(t)$ とする。この $GA_j(t)$ をフーリエ変換してスペクトル $FA_j(f)$ を求め、この $FA_j(f)$ の各最大スペクトル値が 1 . 0 になるように基準化した後、 n_p を自然数として $\{FA_j(f)\}^{n_p}$ を求めて、これを重ねて表示する。そして、 $j = 1 \sim (n_c + 1)$ 毎の $\{FA_j(f)\}^{n_p}$ のスペクトル群のうち、 $j = 1 \sim (n_c + 1)$ の全てが重ね描きされるスペクトルを反射波スペクトルと判断し、 j の値が増す毎に、スペクトル値が増幅してくるスペクトルが得られた場合、シース管内で共振波が生じていると判断し、この共振波が生じた場合にシース管内の充填物が不足していることを把握する。

【 0 0 6 8 】

図 1 7 はシース管充填度測定方法を示すコンクリートモデルの一例であり、(a)は上

10

20

30

40

50

面図、(b)は断面図である。例えば、400×600×350mmの直方体状コンクリートブロック43(縦波音速4500m/秒)内に、埋め込み深さ176mmで径52mmの鉄製シース管44がピッチ90mmで水平に埋め込まれている。シース管44と平行にピッチ90mm、埋め込み深さ35mmで、シース管44のコンクリート上面及び背面側に夫々4本(計8本)の異形直径16mmの鉄筋42が配筋されている。

【0069】

各シース管内のセメントミルク充填度は、下記表1に示すとおりとする。

【0070】

【表1】

	PS鋼棒	セメントミルク 充填度	備考
No. 1	径15mmの撚線×5本	100%充填	15mm撚線
No. 2	径15mmの撚線×5本	50%充填	
No. 3	径15mmの撚線×5本	空	

10

20

【0071】

そして、一例として、図17のコンクリートモデルの測点1、2、3のシース管直上のコンクリート表面に発信探触子40と受信探触子41とをその中心間距離aを60mmとして配置して計測する。探触子内の振動子は径40mm、共振振動数500kHzである。前記振動子にステップ関数型電圧150Vを所定の時刻間隔(例えば、5ms)で印加する都度、受信探触子で受信波を取得し、これらの受信波の加算平均波G(t)を求める。例えば、5ms間隔で300~1000回の計測を行ってそれらの計測値を加算し、加算平均波G(t)を求める。このような多数の計測数でそれを加算するのは、それにより、再現性が良くなり、電氣的ノイズの影響が低減されるからである。

30

【0072】

加算平均波G(t)は下記数式により求まる。つまり、1対の発信探触子及び受信探触子を結ぶ線分を充填度を探知すべきシース管44の直上に合わせ、前記1対の発信探触子及び受信探触子の間の距離をaとして固定した配置計測で、又は前記1対の発信探触子及び受信探触子の間隔aをa₁乃至a₂(a₂>a₁)の間で変動させた計測で、又は前記aをa₁至a₂(a₂>a₁)の間で変動させながら前記線分上で1対の探触子を移動させる計測で、外部から入力されるnA(nAは自然数)値に基づき、nA個の受信波G_i(t)を求め、加算平均波G(t)を下記数式により算定する。

40

$$G(t) = \frac{1}{nA} \sum_{i=1}^{nA} G_i(t)$$

【0073】

測点1のセメントミルクが完全に充填されたシース管直上での前記G(t)波及び対応するスペクトルF(f)を図18に示す。前記G(t)とF(f)の関係は下記数式18に示すフーリエ変換式により与えられる。

【0074】

【数 1 8】

$$G(t) = \int_{-\infty}^{\infty} (F(f) \cdot e^{i\omega t}) \cdot df$$

【0075】

図 1 8 の $G(t)$ 波表示部に示すカーソル 1 0 1 は、図 1 7 に示す測点位置近傍の 2 つの 16 mm 異形鉄筋からの反射波と探触子間でのコンクリート表面を伝達する表面波との重畳波の起生位置を示すものである。

【0076】

この $G(t)$ 波と前記 TGC1 フィルタを適用して、 $G(t)$ 波にシース管の共振波が含まれているかいないかの分析を行った。 10

【0077】

図 1 9 に示す $GA(t)$ 波は下記数式 1 9 で $n5 = 16$ とし求め、 $np = 3$ とし $\{GA(t)\}^{np}$ 表示したものである。

【0078】

【数 1 9】

$$GA(t) = TGC1^{n5}(t) \cdot G(t)$$

【0079】

数式 1 9 の $GA(t)$ に対応するスペクトル $FA(f)$ も $FA^{np}(f)$ 表示で同図 1 9 に示す。前記 $GA(t)$ と $FA(f)$ の関係は下記数式 2 0 で示される。 20

【0080】

【数 2 0】

$$GA(t) = \int_{-\infty}^{\infty} (FA(f) \cdot e^{i\omega t}) df$$

【0081】

図 1 9 の $GA(t)$ 波表示部に示すカーソル 1 0 2 は図 1 7 のコンクリートモデルの底部からの反射波の起生時刻 150 μ 秒を示すものである。これより数式 1 9 で用いた TGC1(t) は $t = 150 \mu$ 秒の時のフィルタ関数である。 30

【0082】

前記 t を徐々に時刻後方へ移動（値を大きくしていく）させながら、数式 1 9 の $GA(t)$ 波を求めていくと、図 2 0 に示す如き $GA^{np}(t)$ 、 $FA^{np}(f)$ を得ることができる。カーソル 1 0 3 位置の時刻 300 μ 秒が、シース管内セメントミルクを透過してコンクリート表面から裏面の間を重複反射する波の起生位置を示す。カーソル位置 1 0 2（前記重複反射の 1 回目の起生時刻 150 μ 秒）とカーソル位置 1 0 3 との間の時間が、 $300 - 150 = 150 \mu$ 秒となっているのが確認できる。

【0083】

シース管にセメントミルクが完全充填されており、かつコンクリートが何ら問題なく緻密な場合、前記の如く、カーソル位置 1 0 2 及び 1 0 3 に示すコンクリート厚に関する反射波を取り出すことができる。 40

【0084】

シース管充填度の探知では、コンクリート厚は既知なのが一般的である。これより、予めカーソル位置 1 0 2 及び 1 0 3 の時刻を予測可能である。その結果、図 1 9、図 2 0 を求めた波形分析で前記予測したカーソル位置 1 0 2、1 0 3 に大きな振幅の波の起生がある時、この測点位置のシース管にはセメントミルクが完全充填されていると判断することもできる。

【0085】

しかしながら、前記完全充填の判断は、とんでもない誤計測を行う場合もある。（イ） 50

セメントミルク注入直後、硬化前のセメントミルクは超音波を殆ど透過しない。これより、完全充填であっても、前記カーソル位置 1 0 2 , 1 0 3 に相対的に大きな振幅の波が出現しない。これより、空又は充填不足と誤計測する。(口) 発信探触子及び受信探触子のコンクリート面配置位置が、測定シース管直上からずれることもある。この場合、当該シース管内が空又は充填不足であっても、カーソル位置 1 0 2 , 1 0 3 に相対的に大きな振幅のコンクリート厚に関する反射波が出現する。これにより、完全充填と誤計測する。

【 0 0 8 6 】

前記(イ)、(口)のような場合でも、前述共振分析法を用いた波形分析を前記 G (t) 波に対して行えば、容易に、シース管内が空及び不完全充填の場合と完全充填の場合との識別を行うことができる。

10

【 0 0 8 7 】

図 2 1 は、図 1 8 のシース管内にセメントミルクが完全充填されている G (t) 波に $t = t_T$ での T G C 1 フィルタを乗じて得た T G C 1 (t) ・ G (t) 波を比較表示したものである。シース管からの反射波の起生時刻 t_h を、シースかぶり厚 1 8 0 mm、コンクリート音速 4 . 5 mm / μ 秒を用いて、 $t_h = 2 \times 1 8 0 / 4 . 5 = 8 0 \mu$ 秒と計算し、 t_T を 8 0 から 2 0 0 μ 秒まで $t_1 = 6 \mu$ 秒として、換言すると $t_1 (= t_h) = 8 0$ 、 $t_2 = 2 0 0 \mu$ 秒として、 $t_T = t_h + (j - 1) \times t_1 = 8 0 + (j - 1) \times 6$ を $j = 1 \sim 2 1$ ごとに計算する都度、下記数式 2 1 を用いて $G A_j (t)$ を計算した後、下記数式 2 2 に示す $F A_j (f)$ をフーリエの変換で求め、 $j = 1 \sim 2 1$ 毎に $F A_j (f)$ の最大スペクトル値を 1 . 0 に基準化して表示している。最大スペクトル値を持つスペクトルは、この基準化表示で、同一形状スペクトルになっている。他のスペクトルは、前記 j の 1 ~ 2 1 の変化の間で、徐々にスペクトル値が小さくなるか、又はスペクトル値がほとんど変化しないという現象が生じている。

20

【 0 0 8 8 】

【 数 2 1 】

$$G A_j (t) = T G C 1_j^{n 5} (t) \cdot G (t)$$

【 0 0 8 9 】

【 数 2 2 】

$$F A_j (f) = \int_{-\infty}^{\infty} (G A_j (t) \cdot e^{-i \omega t}) dt$$

30

【 0 0 9 0 】

図 2 2 は図 2 1 の $F A_j (f)$ 、 $G A_1 (t)$ 、及び $G A_{2 1} (t)$ を 4 乗表示したものである。符号 2 1 2 0 で示すスペクトル $\{ F A_j (f) \}^4$ のみが $j = 1 \sim 2 1$ の全てで生じ、かつそのスペクトルの形状が $j = 1 \sim 2 1$ で全く同一となっている。これより前記基準化表示では 2 1 本のスペクトルが重ね描きされ、1 本のスペクトルとして視認できる。

【 0 0 9 1 】

40

一方、図 2 3 は測点 3 のシース管内が空の場合の図 2 1 の完全充填の場合に対応する前記基準化スペクトルの比較図である。図 2 3 は図 2 1 の場合と同様な処理で求めたものである。 $t_h = 8 0 \mu$ 秒として、 $j = 1 \sim 2 1$ の j 値毎に、下記数式 2 3 で t_T を求め、その都度 T G C 1_j (t) を計算し、 $n 5 = 8$ として数式 2 1 で $G A_j (t) = T G C 1_j^{n 5} (t) \cdot G (t)$ を求め、数式 2 2 で $F A_j (f)$ を求め、 $j = 1 \sim 2 1$ 毎に $F A_j (f)$ の最大スペクトル値を 1 . 0 に基準化して示している。

【 0 0 9 2 】

【数 2 3】

$$t_T = t_h + (j-1) \times \Delta t_1 = 80 + (j-1) \times 6$$

【0093】

F (f) スペクトル (図示していない) 及び F A ₁ (f) スペクトル (図 2 3) において、位置 2 1 4 0 のスペクトル値が最も大きいことより、このスペクトルは G (t) 波及び G A _j (t) 波に含まれる反射波成分スペクトルの 1 つである。G (t) 又は G A ₁ (t) 波における共振波スペクトルは反射波スペクトルと比較して、極端にそのスペクトル値が小さいことより、位置 2 1 4 0 のスペクトルが反射波スペクトルの 1 つであるといえる。

10

【0094】

図 2 3 のスペクトルは広い帯域となっており、2 1 4 0 スペクトル以外の反射波スペクトルが数多く含まれている。これより、位置 2 1 4 0 の近傍の狭帯域成分波で検討したほうが煩雑とならない。f_{M A X} = 2 5 0 0 k H z とする第 1 の振動数フィルタ A₁ (f) 及び第 2 の振動数フィルタ A₂ (f) を用い、n₁ = 2、n₂ = 2 8 0 0 として下記数式 2 4 を計算し、フーリエの逆変換で G B_j (t) を下記数式 2 5 で求めた結果を比較表示したものが図 2 4 である。

【0095】

【数 2 4】

$$FB_j(f) = A_1^{n_1}(f) \cdot A_2^{n_2}(f) \cdot FA_j(f)$$

20

【0096】

【数 2 5】

$$GB_j(t) = \int_{-\infty}^{\infty} (FB_j(f) \cdot e^{i\omega t}) df$$

【0097】

図 2 4 の比較表示でも、図 2 3 の場合と同様に、j 毎に F B_j (f) の最大スペクトル値を 1 . 0 に基準化し、G B₁ (t)、G B_{2 1} (t) の各々の最大振幅値を 1 . 0 に基準化して示している。図 2 5 は j 毎に { F B_j (f) }⁴ の最大スペクトル値を 1 . 0 に基準化し、G B_{4 1} (t)、{ G B_{2 1} (t) }⁴ の各々の最大振幅値を 1 . 0 に基準化して示したものである。

30

【0098】

図 2 5 で、反射波 2 1 4 0 のスペクトルは j = 1 至 2 1 の全てのスペクトルが 1 つのスペクトル形状で重ね描きされている。加えて、位置 2 1 4 1 に j = 1 3 ~ 2 1 で j の値が増すに従い、徐々にそのスペクトル値が増大するスペクトルを確認できる。この位置 2 1 4 1 のスペクトルがシース管に生じる多数の共振スペクトルの中の 1 つである。

【0099】

しかしながら、図 1 6 に示した反射波スペクトルと共振波スペクトルのスペクトル値の大小の逆転現象にまでは至っていない。

40

【0100】

図 2 5 は、T G C 1_j (t) を定義する t₁ を数式 2 3 に適用し、j 毎に T G C 1_j (t) を求めた。t₁ = 1 1 μ 秒とし、t_T を j = 1 のとき t_T = 8 0 μ 秒、j = 2 のとき t_T = 8 0 + 1 1 = 9 1 μ 秒、j = 3 のとき t_T = 8 0 + 1 1 × 2 = 1 0 2 μ 秒、・ ・ ・ j = 2 1 のとき t_T = 8 0 + 1 1 × (2 1 - 1) = 3 0 0 μ 秒とし、数式 2 1 で G A_j (t) を、数式 2 2 で F A_j (f) を求め、数式 2 4 で F B_j (f) を、数式 2 5 で G B_j (t) を求めた後 F B_j (f)、G B_j (t) を前述した基準化表示と累乗表示の組み合わせで比較したものであった。

50

【 0 1 0 1 】

この t_1 を $t_1 = 13 \mu$ 秒に変更し、 $j = 21$ における t を前記 300μ 秒から $t = t_2 = 80 + 13 \times (21 - 1) = 340 \mu$ 秒に変更し、数式 21 で $GA_j(t)$ を数式 22 で $FA_j(f)$ を求め、数式 26 で分析振動数の上限を f_{MAX} とする第 1 の振動数フィルタ $A_1(f)$ と第 2 の振動数フィルタ $A_2(f)$ を用いて $FB_j(f)$ の代わりに $FC_j(f)$ を求め、数式 27 で $GC_j(t)$ を演算し、 $\{FC_j(f)\}^{NP}$ 及び $\{GC_1(t)\}^{NP}$ 、 $\{GC_{21}(t)\}^{NP}$ を前記の基準化表示と累乗表示の組み合わせで比較表示したものを図 26 に示す。

【 0 1 0 2 】

【 数 2 6 】

$$FC_j(f) = \{A_1(f)\}^{n11} \cdot \{A_2(f)\}^{n21} \cdot FA_j(f)$$

10

【 0 1 0 3 】

【 数 2 7 】

$$GC_j(t) = \int_{-\infty}^{\infty} (FC_j(f) \cdot e^{i\omega t}) df$$

【 0 1 0 4 】

図 26 の $FC_j(f)$ の基準化スペクトルは数式 26 で $f_{MAX} = 2500 \text{ kHz}$ 、 $n11 = 4$ 、 $n21 = 10000$ として演算し、 $np = 4$ として表示したものである。反射波 2140 のスペクトルは前記基準化表示で $j = 1 \sim 21$ の 21 個のスペクトルが重ね描きされ、位置 2141 にシース管共振波スペクトルが j の値が増す都度スペクトル値が大きくなっていく様子を確認できる。分析例として示さないが、前記 t_1 の値を $t_1 \pm t_s$ に変化させていくと、反射波スペクトル 2140 とシース管共振波スペクトル 2141 のスペクトル値の大小関係が逆転する現象（空シースの場合生ずる）が $FC_j(f)$ の基準化表示の場合で生じてくる。

20

【 0 1 0 5 】

次に、前記 $FC_j(f)$ の $j = 1 \sim (nc + 1)$ の各々で、その最大スペクトル値を 1.0 とする基準化表示の効用について説明する。図 27 は、図 26 の基準化表示スペクトルの代わりに $j = 1 \sim (nc + 1)$ の $FC_j(f)$ の中で最も大きいスペクトル値を 1.0 とする絶対表示スペクトルを比較表示したものである。反射波 2140 のスペクトルのスペクトル値は $j = 1$ の時、最大値をとり、 j の値が増えるに従い順次減少している。しかしながら、もともと強度の小さいシース管共振波 2141 のスペクトルの存在は明確に確認できない。

30

【 0 1 0 6 】

以上より、前記基準化表示の効用は、前記絶対表示で反射波スペクトルの中に埋もれているシース管共振波を、図 26 のシース管共振波スペクトル 2141 に示す如く明敏に確認することである。

【 0 1 0 7 】

図 21 の位置 2120 の振動数及び図 23 の位置 2140 の振動数は、それぞれ充填シース管及び空のシース管からのスペクトル値が大きい反射波スペクトルの 1 つで、前述のごとく、 f_D 値と定義している。

40

【 0 1 0 8 】

図 24 及び図 25 は数式 18 に示す加算平均波 $G(t) = \int (F(f) e^{i\omega t}) df$ に数式 21、22 を、数式 23 の条件下で適用し、次に数式 24、25 を適用して得た $FB_j(f)$ 、 $GB_j(t)$ を用いて作成したものであった。前記 $G(t)$ 、 $F(f)$ に最初、数式 28、29 を適用し、その後で数式 30、31 を、数式 23 の条件下で適用しても、図 24 及び図 25 を求めることもできる。但し、数式 28 において、 $f > 2f_A$ のとき $A_3(f) = 0.0$ である。

50

【 0 1 0 9 】

【 数 2 8 】

$$FA(f) = A_1^{n_1}(f) \cdot A_2^{n_2}(f) \cdot A_3^{n_3}(f) \cdot F(f)$$

【 0 1 1 0 】

【 数 2 9 】

$$GA(t) = \int_{-\infty}^{\infty} (FA(f) \cdot e^{i\omega t}) df$$

10

【 0 1 1 1 】

ここで、 $A_1(f)$ 、 $A_2(f)$ は分析の振動数上限を f_{MAX} とする第1及び第2の振動数フィルタであり、 $A_3(f)$ は $f_A = f_D$ とする第3の振動数フィルタである。 $n_1 \sim n_3$ の値を自動又は外部からのコントロールで、 $FA(f)$ が f_D 値を中心振動数とする狭帯域スペクトルになるようにする。

【 0 1 1 2 】

【 数 3 0 】

$$GB_j(t) = TGCl_j(t) \cdot GA(f)$$

20

【 0 1 1 3 】

【 数 3 1 】

$$FB_j(f) = \int_{-\infty}^{\infty} (GB_j(t) \cdot e^{-i\omega t}) dt$$

【 0 1 1 4 】

ところで、前記 f_D 値は1つではなく、複数存在する。他の f_D 値を中心振動数とする狭帯域成分波を数式28、29で算定し、数式23の条件下で数式30、31の演算で $GB_j(t)$ 及び $FB_j(f)$ を求めても、図22のシース管内充填に相当するスペクトル比較図(図示せず)、又は図25、図26のシース管内空に相当するスペクトル比較図(図示せず)を得ることができる。

30

【 0 1 1 5 】

なお、この複数の f_D 値が自動的に又は容易なオペレーションで特定できる。

【 0 1 1 6 】

次に、請求項5の実施形態について説明する。図28は加算平均波 $G(t)$ に $TGC6(t)$ を乗じてシース管表面からの縦波反射波を切り出したものである。即ち、 $TGC6$ フィルタ係数 t_1 をシース管縦波反射波の起生時刻とし、下記数式32により t_1 を計算し、 $t = 5 \mu$ 秒、 $t_a = 100 \mu$ 秒、 $n_5 = 200$ として、下記数式33により、 $G_6(t)$ を計算し、数式34で $F_6(f)$ を計算し、 $G_6(t)$ の最大振幅及び $F_6(f)$ の最大スペクトル値を1.0に基準化して、図28に太線で示している。加算平均波 $G(t)$ とそのフーリエスペクトル $F(f)$ を破線で重ね描きしている。

40

【 0 1 1 7 】

【 数 3 2 】

$$t_1 = 2 \times d_s / c V_p = 2 \times 180 / 4.5 = 80 \mu \text{秒}$$

但し、 d_s はシース管埋め込み深さ、 $c V_p$ はコンクリート音速 4500 m/秒 である。

【 0 1 1 8 】

【数 3 3】

$$G_6(t) = TGC6^{n_5}(t) \cdot G(t)$$

【0 1 1 9】

【数 3 4】

$$F_6(f) = \int_{-\infty}^{\infty} (G_6(t) \cdot e^{-i\omega t}) dt$$

【0 1 2 0】

10

図 2 8 によれば、カーソル 3 1 0 位置が $F_6(f)$ の最大スペクトル値の振動数を特定している。加えて $F(f)$ スペクトルの中の 1 つのスペクトルの振動数位置と合致している。この振動数 1 1 4 k H z が、前記数式 3 2、数式 3 3 の処理で加算平均波 $G(t)$ より切り出したシース管からの反射波の振動数であり、 f_D 値 (f_{D1}) と定義する。シース管からの反射波が卓越する振動数は複数ある。図 2 9 の破線で示す $FA(f)$ 及び $GA(t)$ は数式 3 5 で分析の上限振動数 f_{MAX} を 2 5 0 0 k H z とする第 1 の振動数フィルタを $A_1(f)$ 、第 2 の振動数フィルタを $A_2(f)$ とし、 $n_1 = 4$ 、 n_2 を 1 以上の整数として徐々に大きな値としながら $FA(f)$ を算定し、数式 3 6 で $GA(t)$ を算定して夫々の最大スペクトル値を 1 . 0、最大振幅値を 1 . 0 に基準化して示したものである。

20

【0 1 2 1】

【数 3 5】

$$FA(f) = A_1^{n_1}(f) \cdot A_2^{n_2}(f) \cdot F(f)$$

【0 1 2 2】

【数 3 6】

$$GA(t) = \int_{-\infty}^{\infty} (FA(f) \cdot e^{i\omega t}) df$$

30

【0 1 2 3】

図 2 9 の実線で示す $GA_6(t)$ は、図 2 8 の $G_6(t)$ を求めた時と同様に、シース管からの反射波の起生時刻 t_1 を 8 0 μ 秒とし、 $t_T = t_1$ 、 $t = 5 \mu$ 秒、 $t_a = 1 0 0 \mu$ 秒、 $n_5 = 2 0 0$ として、数式 3 7 を用いて求めたものである。

【0 1 2 4】

【数 3 7】

$$GA_6(t) = TGC6^{n_5}(t) \cdot GA(t)$$

40

【0 1 2 5】

また実線で示す $FA_6(f)$ スペクトルは、前記 $GA_6(t)$ をフーリエ変換する数式 3 8 を用いて算定した。

【0 1 2 6】

【数 3 8】

$$FA_6(f) = \int_{-\infty}^{\infty} (GA_6(t) \cdot e^{-i\omega t}) dt$$

【0 1 2 7】

第 2 の f_D 値 (f_{D2}) らしきものがカーソル位置 3 2 0 (7 7 k H z) で示され、こ

50

のカーソルが実線で示す $FA6(f)$ スペクトルの最大値位置及び点線で示す $FA(f)$ スペクトルの1つのスペクトル起生位置と合致している。

【0128】

次に、このカーソル位置320の振動数が第2の f_D 値であるか否かについて検証する。

【0129】

$n2$ の値をさらに大きくして、前記数式37、数式38で求められる $FA6(f)$ と数式35で求められる $FA(f)$ スペクトルの変化を比較していくと、前記カーソル320位置が、シース管反射波の f_D 値と確認できる。

【0130】

図30は、 $n2$ の値をさらに増し、 $n1 = 4$ 、 $n2 = 2800$ として比較表示した $FA6(f)$ 、 $FA(f)$ スペクトル及び $GA6(t)$ 、 $GA(t)$ 波である。

【0131】

図29と図30のスペクトルの比較において、 $FA(f)$ は $n2$ の値が大きくなると(図29 図30)、スペクトルが低周波側へ移動しているが、 $FA6(f)$ のスペクトルはその帯域が徐々に狭くなるがほとんど移動せず、 f_{D2} の振動数を示すカーソル320の位置は変化しない。 $FA6(f)$ スペクトルは $GA(t)$ 波よりシース管反射波を切り出した $GA6(t)$ 波に対応することより、このカーソル320位置を第2の f_D 値 (f_{D2}) と特定できる。

【0132】

$n2$ の値をさらに大きくし、 $n2 = 4000$ とした時の分析結果を図31に示す。 $FA(f)$ の大きなスペクトル値と $FA6(f)$ のスペクトルピーク位置が合致し、 $f_{D3} = 41.4 \text{ kHz}$ と読み取れる。

【0133】

図25、図26のカーソル位置2140が 41.5 kHz であった。これより、図25、図26の充填度分析は、第3の f_D 値 ($f_{D3} = 41.4 \text{ kHz}$) を用いた分析結果であったことがわかる。

【0134】

以上、請求項5の実施形態を、 $TGCX(t)$ を $TGC6(t)$ として説明した。分析例として示さないが、前記 $TGCX(t)$ を $TGC4(t)$ としても、又は $TGC5(t)$ としても、図25、図26と同様な充填度分析結果を得ることができる。なお、これ等時系列関数を定義する所定値 t_T は図1の装置の例えば27キーボードから入力するか又は数式32で t_1 を求め $t_T = t_1$ としてもよい。他の所定値 $n5$ 、 t_a 及び t はあらかじめ設定された値でもよいし、外部から27キーボードにより入力してもよい。

【0135】

第1実施形態の最後に、請求項3、4に対応する実施例を示す。図25、図26 ($f_D = 41.5 \text{ kHz}$) のシース管が空の場合の分析を、さらに低周波で行った分析例である。

【0136】

図28乃至図31を得た経緯の中で $n1 = 4$ 、 $n2 = 9000$ とした時、図示しないが、 $f_D = 20.8 \text{ kHz}$ が得られた。数式28で $FA(f)$ の最大スペクトル値の振動数が $f_D = 20.8 \text{ kHz}$ になるように、 $n1 = 4$ 、 $n2 = 9000$ 、 $n3 = 0$ として $FA(f)$ を求め、数式29で $GA(t)$ を求め、 $FA(f)$ を $FA^4(f)$ 表示したのが図32である。

【0137】

一方、図33は、前記 $GA(t)$ 波に数式30、31に示す共振分析を $t_T = t_1 = 80 \mu\text{秒}$ (シース管反射波起生時刻)、 $t_1 = 1.8 \mu\text{秒}$ 、 $nc = 20$ ($t_2 = t_1 + nc \times t_1$) として行って得た $\{FB_j(f)\}^4$ の比較表示を $j = 1 \sim (nc + 1)$ の $\{FB_j(f)\}^4$ の各々の最大スペクトル値を1.0に基準化して示したものである。反射波スペクトル372の左側に共振波スペクトルらしいスペクトル371が生じてくる。

10

20

30

40

50

もし、スペクトル371が共振波スペクトルであるなら、前記 t_1 の値を大きくしていけば、スペクトル371の値は徐々に大きくなっていく。

【0138】

図34は、前記 t_1 を1.8 μ 秒から3.9 μ 秒に変更した時の $\{FB_j(f)\}^4$ の前記基準化表示の比較図である。スペクトル371がスペクトル381に示す如く、そのスペクトル値が大きくなっていく現象を確認できる。スペクトル381の値は、 $j=1$ で最小、 j の値が増す毎に増大し $j=21$ で最大となる。

【0139】

t_1 の値を3.9 μ 秒からさらに増大していくと、分析例として示さないが、381と382のスペクトル値の大小関係が逆転してくる。

10

【0140】

以上低周波20.8 kHzでの共振分析結果を示した。なお、前記 t_2 、 nc 、 $n5$ 、 np は外部から指示された値であり、 t_1 の値は数式32で計算された値である。 t_1 の値も外部から指示することで設定してもよい。

【0141】

次に、第2実施形態について説明する。第1実施形態はシース管理め込み深さが180 mmと比較的深い場合のものであった。本第2実施形態はシース管理め込み深さが浅い場合の分析例である。

【0142】

図35は、内部にセメントミルクが充填されていない埋め込み深さ120 mm鋼製シース管(径52 mm)の直上コンクリート面に、発信探触子と受信探触子を中心間距離 a を60 mmとして配した時、1000個の受信波を加算平均した $G(t)$ 波と対応するスペクトル $F(f)$ を表示したものである。用いた探触子及び探触子内振動子に印加する電圧は、第1実施形態の場合と同じである。

20

【0143】

2192及び2193はシース管及び他の反射源からの反射波が、より多く含まれているスペクトルである。2191は電氣的雑音などにより生じたスペクトルである。以降の分析処理で2191のスペクトルは邪魔なことより5 kHzのハイパスフィルタをデジタル処理で行った波を $G(t)$ 、対応するスペクトルを $F(f)$ として説明を続ける。

【0144】

$np=4$ として $G^{np}(t)$ 及び $F^{np}(f)$ 表示したものを図36に示す。2201、2202に大きなスペクトル値を持つスペクトルを確認できる。これら2201、2202スペクトルは、前述した如くシース管及び他の反射源からの反射波などの成分をより多く含んだものとなる。

30

【0145】

前述数式21を用い、コンクリート音速4 mm/ μ 秒として、 t の始点($j=1$)をシース管反射波起生時刻 $t_h = 120(\text{mm}) \times 2 / 4(\text{mm}/\mu\text{秒}) = 60 \mu\text{秒}$ とし、 t の終点($j=21$)を136 μ 秒とした時、数式21で求められる $GA_j(t)$ を、数式22に適用し $FA_j(f)$ を求め、 $np=4$ として $GA^{np}_j(t)$ 及び $FA^{np}_j(f)$ を前記の基準化表示と比較して図37に示す。

40

【0146】

図36では横軸(振動数軸)を0~78.125 kHzとしているが、図37ではこれを0~156.250 kHzと2倍の帯域で表示している。

【0147】

図37では58 kHzの反射波スペクトル2202が前記基準化表示で枝分かれした2つのスペクトルとして、 $j=1\sim 21$ の全てで同一形状のまま重ね描きされている。一方、位置2203及び2204に $j=21$ で最も大きく、 j の値が小さくなる毎にスペクトル値が漸減するスペクトルの起生を確認できる。前記第1実施形態で示した図16に示す現象に照らせば、この場合のシース管内は空又は不完全充填と判断することができる。

【0148】

50

ところで、2204位置のスペクトルは、実施例1の図26に示す2141のシース管共振波(35kHz)に比し、その振動数が80kHzと高振動数である。これより、 t の終点が図26の分析の場合330 μ 秒であったが、図37の分析の場合、136 μ 秒としている。振動数が大きくなると、超音波の減衰率が大きくなることより生じる現象を考慮したためである。図37の分析で前記 t をさらに時刻後方に移動していくと、高周波成分波は低周波成分波に比し、その減衰が加速度的に大きくなることより、2204のスペクトルは徐々に消滅していく。分析例として示さないが t の終点時刻が比較的早く、かつ位置2204が比較的高振動数にある時、例えばシース管位置後方に何らかの反射源があれば、この反射源の存在により、スペクトル2204が出現することがある。この場合、シース管内が完全充填であっても、空又は充填不足と誤計測することになる。

10

【0149】

前記誤計測は以下の処理を継続することで回避できる。

【0150】

図37は、 t_T の始点を60 μ 秒、終点を136 μ 秒とする共振分析を図36の $F(f)$ 及び $G(t)$ に対して行ったものであった。前記 t の範囲では位置2202の振動数のスペクトルが支配的となったわけである。図36の $F(f)$ スペクトルによれば、2201位置に低振動数の反射波スペクトルの存在を確認できる。このような低振動数の帯域波で、前記共振分析を行うと、前記何らかの反射源の存在による誤計測を回避できる。

【0151】

図36の $F^{np}(f)$ ($np=4$)に位置2205の振動数36.7kHzを f_A とする第3の振動数フィルタ $A_3(f)$ を n_3 回乗じた数式39で $FD(f)$ を算定し、対応する $GD(t)$ を数式40を用いて演算し、 $GD(t)$ に対する共振分析を数式41、42を用いて行い、得られた $GE_j(t)$ 、 $FE_j(t)$ の比較図を示したものが図38である。

20

【0152】

【数39】

$$FD(f) = A_3^{n_3}(f) \cdot F(f)$$

【0153】

【数40】

$$GD(t) = \int_{-\infty}^{\infty} (FD(f) \cdot e^{i\omega t}) df$$

【0154】

【数41】

$$GE_j(t) = TGCl_j^{n_5}(t) \cdot GD(t)$$

40

【0155】

【数42】

$$FE_j(f) = \int_{-\infty}^{\infty} (GE_j(t) \cdot e^{-i\omega t}) dt$$

【0156】

図38の比較表示では $FE^{np}_j(f)$ 、 $GE^{np}(t)$ で表示している。なお、 $np=4$ とし、 $FE^{np}_j(f)$ は $j=1\sim 21$ の各々で最大スペクトル値を1.0に基準化して比較している。

50

【 0 1 5 7 】

ここで t の始点は 60μ 秒、終点は 250μ 秒であった。 t の終点が図 3 9 の高振動数での分析の時 136μ 秒だったものが、図 3 8 の低振動数での分析は 250μ 秒と後方の時刻になっている。

【 0 1 5 8 】

図 3 8 の 2 2 3 3 の $TGC_{j=2,1}(t)$ により $GE_j(t)$ のシース管及びその近傍の反射波強度が、図 3 7 の場合に比し大きく減ぜられる。また、低振動数故に図 3 7 の高振動数分析の場合に比し、シース管共振波が長く継続することより t_T の終点を時間軸後方へ移動していけば誤ることなく 2 2 3 1 に示す如く $j=1$ で最小値を持ち、 j の値が増える毎に順次スペクトル値が大きくなるシース管共振スペクトルの起生を確認できる。なお、分析例として示さないが、前記第 1 及び第 2 実施形態において、数式 1 8, 2 8, 3 5, 3 9 に示される $F(f)$ を振動数 f の値にかかわらず、1.0 と基準化して、前記分析処理を行っても、図 2 6、2 7 及び図 3 8 と同様の分析結果を得ることができる。なお、請求項 2 に記載されているように、前記 t_2 、 n_c 、 n_5 、 n_p は外部から指示された値とし、 t_1 の値は数式 3 2 で計算された値とすることができる。 t_1 の値も外部から指示することとすることもできる。

10

【 0 1 5 9 】

次に、本発明の第 2 の基本原理について説明する。第 1 基本原理では、シース管内セメントミルクが完全充填か不完全充填かの探知法を示すものであった。しかしながら、不完全充填の場合、全くシース管内が空なのか、充填度が 3 0 % なのか、5 0 % なのか、7 0 % なのかの識別を可能とするものではなかった。第 2 基本原理は、完全充填の場合も含めてこの充填度を検知できる分析方法である。

20

【 0 1 6 0 】

図 4 0 は (a) が完全充填、(b) が充填不足、(c) が空の場合の強度の大きいシース管反射波及びシース管径路波の起生状況を模式的に示すものである。なお、符号 2 2 0 はシース管内の P C 鋼棒である。図 4 0 (a) のシース管内にセメントミルクが完全充填された場合の受信波の一般的な形状を模式的に示せば図 4 1 の如くなる。一方、図 4 0 (b) のセメントミルクが充填不足の場合の受信波の一般的な形状を模式的に示せば図 4 2 の如くなる。先ず、図 4 1 に示す各波の意味するところを説明する。

【 0 1 6 1 】

図 4 0 (a) のシース管表面からの反射波 2 2 4 1 が図 4 1 に示す波 2 2 5 1 乃至 2 2 5 3 である。波 2 2 5 1 は探触子 - シース管表面の間を往路復路共、縦波で伝達する波である。波 2 2 5 2 は探触子 - シース管表面の間を往路を縦波、復路を横波、又は往路を横波、復路を縦波で伝達する波である (以下、モード変換波 1 という)。波 2 2 5 3 は探触子 - シース管表面の間を往路復路共、横波で伝達する波である (以下、モード変換波 2 という)。波 2 2 5 4 は、図 4 0 のシース管内鋼棒 2 2 0 からの反射波 2 2 4 2 であり、縦波と横波が混在したものとなる。波 2 2 5 5 は、セメントミルク等を透過して、シース管底部で反射する波 2 2 4 3 (図 4 0 参照) である。これより、波 2 2 5 1 至 2 2 5 5 が重畳して、重畳波 2 2 5 7 を受信探触子で受信することになる。波 2 2 5 0 のように強度の大きい波は探触子間でコンクリート面を伝達する表面波が支配的成分であり、反射波検出に当たり、妨害波となる。

30

40

【 0 1 6 2 】

一方、図 4 2 の波 2 2 5 0 乃至 2 2 5 3 の意味は、図 4 1 の場合と同じである。波 2 2 5 1 の強度が、図 4 0 (a) の完全充填の場合 (図 4 1) に比して、図 4 0 (b) の充填不足の場合 (図 4 2) のほうが、格段に大きくなる。これは、シース管内部に図 4 0 (b) のような空隙があると、シース管表面反射波 2 2 4 1 が管表面で全反射することに起因する現象である。波 2 2 5 6 は、シース管内部のセメントミルクが充填不足を起こしていることにより生じる極めて特種な波である。図 4 0 (b) に示す管表面を回折する波がセメントミルク内に伝達し、経路 2 2 4 4 で受信される波が波 2 2 5 6 となる。受信探触子には、図 4 2 の波 2 2 5 1 ~ 2 2 5 6 が重畳した重畳波 2 2 5 8 が受信される。なお、図

50

40(c)のシース管内部が空の場合、その受信波の模式図は説明するまでもなく、図42の受信波模式図において波2256の振幅を0とおいたものとなる。図40(c)の空シースの場合、生ずる回折波2245の経路の波は前記2256よりずっと後方に生ずる。

【0163】

次に、本第2基本原理の重要な現象を、前述と重複する項目もあるが、更に説明する。

図41、図42の模式図はシース管からの反射波が大きく励起する振動数(f_D)の帯域で示したものである。この帯域以外では前記模式図の如くはならない場合がある。

前記 f_D 値を中心振動数とする狭帯域成分波においては、反射波2251至2253の振動数は概略等しい。反射境界でモード変換した波は、波長は変化するが振動数に変化は生じないという物理現象によるものである。

(ア)前記 f_D 値付近の帯域の波では、シース管内部が空の場合、シース管の存在で起生する波で、反射波2251至2253の振動数は概略等しい。しかしながら、シース管埋め込み深さを d 、計測点における探触子間距離を a としたとき、

$a = 0.6 \times d$ であれば、
波2251の振幅 > 波2252の振幅
波2251の振幅 > 波2253の振幅
となる。

(イ)シース管内部が完全充填の場合

波2251の振幅はシース管内部が空の場合に比して小さくなる。加えて、波2251乃至2253と波2254乃至2255の振動数は異なってくる。

(ウ)シース管内部が不完全充填の場合

波2251乃至2253の起生状況は(ア)のシース管内部が空の場合と同じである。しかしながら、波2256が波2251至2253に重畳する。重要な現象として、波2251至2253と波2256の振動数が異なっている。

シース管の存在により起生する波は、前述の波2251至2256以外に、シース管外周を回折する波があるが、起生位置が時間軸後方になる。本分析法の適用を、前記回折波起生時刻より早い時刻とすることで、分析から除外することができる。

【0164】

本分析法は、シース管の存在で生じる前記第1～第4の物理現象を利用するものである。前記TGC4、TGC5、TGC6のいずれかを用いて、下記数式43の演算で分析波 $GA_j(t)$ を求めることにより、この分析が成される。

【0165】

【数43】

$$GA_j(t) = TGC * j(t) \cdot G(t)$$

【0166】

この数式43の意味するところをTGC6の場合で、図43を用いて説明する。図43の $TGC6_1(t)$ の初期形状を決めるのに、 t 、 t_a 、及び自然数である n_5 を多数の計測実験で決まる最適値に設定し、 t_T を、シース管表面からの反射波の起生時刻付近 t_1 に設定し(付近とする理由と、その特定法は後記第3実施形態及び第8実施形態で詳述する。)、矢印2260で示す如く、この $\{TGC6_1(t)\}^{n_5}$ を時間軸後方へ移動していくことを考える。破線で示す $\{TGC6_j(t)\}^{n_5}$ が、この移動の終点とすれば、 j の最大値は $n_c + 1$ と表現できる。ここで n_c は $t_1 \sim t_2$ 間を n_c 個で等分するための数値である。

【0167】

下記数式44の $FA_j(f)$ を $GA_j(t)$ のフーリエ変換で求め、 $FA_j(f)$ の j の値の増分毎のスペクトル形状の変化を比較することで、シース管の内部充填度を特定できる。

10

20

30

40

50

【 0 1 6 8 】

【 数 4 4 】

$$FA_j(f) = \int_{-\infty}^{\infty} (GA_j(t) \cdot e^{-i\omega t}) dt$$

【 0 1 6 9 】

次に、本発明のこの第2基本原理に基づく本発明（請求項6）の第3実施形態について説明する。この第3実施形態は、第1実施形態の図17に示すシース管充填度測定コンクリートモデルで、第2基本原理を用いたシース管内部の充填度探知方法である。

【 0 1 7 0 】

本実施形態においては、解析装置は、複数個の受信信号を加算して加算平均波 $G(t)$ を得、基準時刻 t_T で1.0、 t_T から離れた時刻で1.0未満（減衰）で定義される時系列関数 $TGCX(t)$ を前記加算平均波 $G(t)$ に乗じて $GA(t) = TGCX(t) \cdot G(t)$ 波を求める。この場合に、前記基準時刻 t_T として、始点 t_1 及び終点 t_2 ($t_1 < t_2$) の間を $(t_2 - t_1) / nc$ ($nc: 1$ 以上の整数) 間隔で分割し、 j を自然数として表される $(nc + 1)$ 個の t_T (但し、 $t_T = t_1 + \{(t_2 - t_1) / nc\} \times (j - 1)$ 、 $j = 1 \sim (nc + 1)$) の夫々について前記 $GA(t)$ を算出してこれを $GA_j(t)$ とする。そして、この $GA_j(t)$ をフーリエ変換してスペクトル $FA_j(f)$ を求め、この $FA_j(f)$ の最大スペクトル値が1.0になるように基準化した後、 np を自然数として、 $\{FA_j(f)\}^{np}$ を求めて、これを重ねて表示する。オペレータは、 $j = 1 \sim (nc + 1)$ 毎の $\{FA_j(f)\}^{np}$ のスペクトルの変化の推移で、シース管内の充填度を探知する。

【 0 1 7 1 】

第1実施形態との測定条件の違いは、用いた探触子振動子を径40mmから75mmに変更したことである。図44は図17の内部が空のシース管のコンクリート面直上での加算平均波 $G(t)$ を数式43及び数式44に適用して得た $FA_j(f)$ 、 $GA_j(t)$ を、 $np = 4$ として $\{GA_j(t)\}^{np}$ 、 $\{FA_j(f)\}^{np}$ 表示で比較したものである。具体的には、図43の $TGC6(t)$ フィルタの作成において、シース管表面からの反射波の起生時刻 t_h を、シース埋め込み深さ180mm、コンクリートの音速を4.5mm/ μ 秒を用いて、 $t_h = 2 \times 180 / 4.5 = 80 \mu$ 秒とし、 $t_1 = 80 + t_r = 90$ ($t_r = 10 \mu$ 秒)、 $t = 25 \mu$ 秒、 $t_a = 100 \mu$ 秒、 $n5 = 50$ として、 $\{TGC6_{j=1}(t)\}^{n5}$ を作成し、 $t_2 = 112 \mu$ 秒（路程換算 $112 \times 4.5 / 2 = 252$ mm）、 $nc = 20$ として、数式43により $GA_j(t)$ を $j = 1 \sim 21$ で作成し、数式44で $FA_j(f)$ を求めた。実際の分析処理では前記 t 、 t_a 、 $n5$ 、 $(t_2 - t_1)$ の値をあらかじめ定められている値又は外部から入力される値のいずれかにすればよい。

【 0 1 7 2 】

位置2271及び2272が重要な現象1で示した f_D 値である。前述した如く f_D 値は1つとは限らず複数存在する。また、 $j = 1$ の $\{FA_1(f)\}^4$ のスペクトル値が最も大きく、 j の値が増えるに従い $\{FA_j(f)\}^4$ のスペクトル値が小さくなっていくのは、重要な現象3の(ア)に示すとおりである。また2271、2272の $FA_j(f)$ スペクトルの振動数がほとんど変化していないのは、重要な現象2に示す通りである。

【 0 1 7 3 】

このような $\{FA_j(f)\}^{np}$ が得られた時、シース管内部が空と判断する。図45は図17のシース管内部に50%だけセメントミルクが充填された場合の分析結果である。図44の分析比較図と全く同一の処理 ($t_1 = 90 \mu$ 秒、 $t = 25 \mu$ 秒、 $t_a = 100 \mu$ 秒、 $n5 = 50$ 、 $t_2 = 112 \mu$ 秒) で得た $\{FA_j(f)\}^{np}$ 、 $\{GA_j(t)\}^{np}$ ($np = 4$) の比較図である。2271位置の振動数 f_D は図44の空シースの f_D 値と全く合致し ($f_D = 73$ kHz) となっている。この2271位置のスペクトルは、図44のシース管内空の場合と同様 $j = 1$ で最大スペクトル値となり j の値が大き

10

20

30

40

50

くなるに従い、スペクトル値が漸減している。

【0174】

さらに注目すべき現象として $j = 7$ より順次漸増し、 $j = 21$ で最大スペクトル値を持つスペクトル 2273 が起生してくる。この起生は重要な現象 3 の (ウ) に示すとおりである。

【0175】

このような $\{FA_j(f)\}^{n,p}$ が得られた時、シース管内部が充填不足と判断する。ところで、図 45 の $\{FA_j(f)\}^{n,p}$ 比較図には、前記以外に他の重要な現象が生じている。図 40 (b) の 2243 径路の波の伝達状況を拡大して図 46 に示す。

【0176】

経路 2244 の波の受信時刻 t_ϕ は、2241 の反射波の受信時刻 t_h より遅れた時刻となる。 t_ϕ 算定式を例えば、数式 45 の如く仮定し、シース管径 ϕ と充填度 g をパラメータとして、多くの計測実験で $B_3(\phi, g)$ を求めておく。

【0177】

【数 45】

$$t_\phi = t_h + B_3(\phi, g)$$

但し、 g は充填度 (%)

【0178】

図 17 の計測では、50% 充填というより

$$t_\phi = t_1 + \left(2 \times \frac{\phi}{2} + \frac{1}{2} \pi \phi\right) / cV_p$$

$$= 80 + 10 + (52 + 82) / 4.5 = 120 \mu\text{秒}$$

と略算できる。

【0179】

一方、図 45 のスペクトル 2273 が図 40 に示す起生時刻 t_ϕ の 2244 径路の波であることより、図 43 の $TGC6^{n,5}_j(t)$ の j 値が下記数式 46 で算定される j より大きくなる時、 $TGC6^{n,5}_j(t)$ のフィルタの帯域の中に前記 2244 径路の波が含まれてくることになる。

【0180】

【数 46】

$$t_T + \Delta t = t_1 + (j - 1) \times (t_2 - t_1) / (nc) + \Delta t = t_\phi = 120$$

【0181】

図 45 の分析例によれば、2273 のスペクトルの起生が生じ始める j 値を読み取れば、 $j = 7$ となる。この場合の $t_T + \Delta t$ 値を逆算すれば、下記数式 47 となる。

【0182】

【数 47】

$$t_T + \Delta t = 80 + 10 + (7 - 1) \times \{112 - (80 + 10)\} / 20 + 25$$

$$= 124 \div 120 \quad (\mu\text{秒})$$

【0183】

これより $t = 25 \mu\text{秒}$ 、 $t_a = 100 \mu\text{秒}$ 、 $n_5 = 50$ とした $\{TGC6_j(t)\}^{n,5}$ を用いて得る図 45 の $\{FA_j(f)\}^{n,p}$ では $t_1 = t_h + 10$ (後述数式 48 の導入を参照) とした時、 $j = 6$ 、又は j が 7 以上になると、図 40 (b)、図 46 に示す充填度が不足する場合に生ずる経路 2244 の波が順次増大し、図 45 に示すように、

10

20

30

40

50

その波のスペクトル 2 2 7 3 が起生してくる。

【 0 1 8 4 】

以上の現象によりシース管内のセメントミルクが充填不足の場合、その充填が 3 0 % なのか 5 0 % なのか 7 0 % なのかというような探知も可能となる。

【 0 1 8 5 】

図 4 7 は図 1 7 の測点 1 おける 1 0 0 % 充填のシース管の場合の分析結果である。図 4 4、図 4 5 の分析手順と一部を除いて同一である。

【 0 1 8 6 】

図 4 4、図 4 5 では $t_1 = 80 + 10 = 90 \mu\text{秒}$ 、 $t_2 = 112 \mu\text{秒}$ としたが図 4 7 の分析では $t_1 = t_h = 80 \mu\text{秒}$ 、 $t_2 = 99 \mu\text{秒}$ としたところが異なっている。

10

【 0 1 8 7 】

$j = 1$ の時、2 2 7 1 位置にシース管内が空、5 0 % 充填の場合と同様 7 3 k H z のスペクトルが生じている。シース管反射波の f_D 値は、空、充填不足、完全充填で変化しないことを示している。

【 0 1 8 8 】

j の値が大きくなると、順次スペクトル値が大きくなり、 $j = 21$ の $FA_{j=21}(f)$ スペクトルの最大スペクトル値を示す位置が符号 2 2 7 4 で示す位置になっている。 $\{GA_{j=21}(t)\}^4$ 波の波 2 3 0 1 (図 4 7 参照) が図 4 0 における経路 2 2 4 3 のシース管セメントミルクを透過し、その底部より反射する波の起生である。この波は f_D 値とは違った振動数となる。

20

【 0 1 8 9 】

これは、重要な現象 3 , (ウ) の現象を忠実に示している。このような $\{FA(f)\}^n$ が得られた時、シース管内部が完全充填と判断する。

【 0 1 9 0 】

ところで、図 4 4 の空のシース管の分析結果、図 4 5 の 5 0 % グラウト充填シース管の分析結果は $\{TGC6(t)\}^n$ の時系列フィルタで用いる t_T の初期値 t_1 をシース管たて波反射波の起生時刻 t_h を用いて、下記数式 4 8 としたものであった。

【 0 1 9 1 】

【数 4 8】

$$t_1 = t_h + \Delta t_r$$

30

【 0 1 9 2 】

次に、なぜ t_1 を数式 4 8 により算定するのかという点、及び t_r をどのように特定するのかという点について説明する。

【 0 1 9 3 】

図 4 8 は、測点 2 の 5 0 % セメントミルク充填のシース管直上での $G(t)$ 波 (点線) より、 $t_T = t_h = 80 \mu\text{秒}$ 、 $t = 25 \mu\text{秒}$ 、 $t_a = 200 \mu\text{秒}$ 、 $n_5 = 200$ とし、 $GA(t) = \{TGC6(t)\}^n \cdot G(t)$ (実線) を $G(t)$ 波より切り出し、対応するスペクトルを $FA(f)$ として $G(t)^2$ 、 $GA(t)^2$ 、 $FA(f)^2$ 表示したものである。カーソル 3 9 1 にシース管反射の f_D 値を確認できる。

40

【 0 1 9 4 】

一方、図 4 9 は、測点 2 の 5 0 % セメントミルク充填の $G(t)$ 波において、 $t_1 = 80 \mu\text{秒}$ 、 $t_2 = 80 + 10 = 90 \mu\text{秒}$ 、 $t = 25 \mu\text{秒}$ 、 $n_c = 20$ 、数式 4 3 で $TGC^*(t)$ を $TGC6(t)$ 、 $n_c = 20$ とし、 $GA_j(t)$ ($j = 1 \sim (n_c + 1)$) を作成し、数式 4 4 で $FA_j(f)$ を求め、 $\{GA_1(t)\}^2$ 、 $\{GA_{21}(t)\}^2$ を各々の最大振幅を 1.0 に基準化して表示し、かつ $j = 1 \sim 21$ の $\{FA_j(f)\}^2$ の中で最も大きいスペクトル値を 1.0 とする基準化を行い、比較表示したものである。

【 0 1 9 5 】

50

図49の分析結果では、 $t_T = t_h = 80 \mu$ 秒の場合の $\{GA_{j=1}(t)\}^2$ 波(破線 図48の実線表示 $\{GA(t)\}^2$ 波と同じ)に対応するスペクトル($j=1$)のスペクトル値が最も小さく、 j の値が増すごとにスペクトル値が大きくなり、 $j=21$ で最大値をとることを確認できる。

【0196】

ここで注目すべき現象を示す。図48の $G(t)$ 波からの $TGC6(t) = TGC6_{j=1}(t)$ による切り出し波 $\{GA(t)\}^2 (= \{GA_{j=1}(t)\}^2)$ と、図49の $TGC6_{j=21}(t)$ による切り出し波 $\{GA_{j=21}(t)\}^2$ とを比較すると、図48の $\{GA(t)\}^2 (= \{GA_{j=1}(t)\}^2)$ 波では390の大きな振幅のシース管からのたて波反射の起生が確認できる。一方、図49の $TGC6_{j=21}(t)$ で切り出した $\{GA_{j=21}(t)\}^2$ の波では、前記390のたて波反射以外に402に示す波の起生を確認できる。この402の波は、図41及び図42に示す2252のモード変換波1である。

10

【0197】

f_D 値(図48では391カーソルの振動数)近傍では前記シース管からのたて波反射波とモード変換波では、振動数に変化が無いことを前述した。これより、このモード変換波1の成分が前記 j の値が増すに従い、 $GA_j(t)$ 波の中により多く含まれることになる。この現象が原因で図49の $FA^2_j(f)$ の $j=1 \sim 21$ で最も大きいスペクトル値を1.0に基準化する比較表示で、391の f_D 値でのスペクトル値が $j=1$ で最小、 $j=21$ で最大となり、かつ j の値が大きくなるに従い、スペクトル値が大きくなっていく。

20

【0198】

更に、前記 $TGC6_j(t)$ ($j=1 \sim 21$)の係数 t_2 の値を変化させることで、 $j=1 \sim (nc+1)$ での $FA_j(f)$ のスペクトル値の変化を図49の場合に対応して確認できる(図示せず)。

【0199】

ここで、図45で示す分析例の如く、 f_D 値(2271)のスペクトル比較で、スペクトル値が $j=1$ で最大値をとり、 j の値が増すに従い小さくなるようにすれば、分析結果での判断(空、半充填)が容易となる。

【0200】

図45のような比較図を得るには、前記 t_2 値を変化させて得る $FA_j(f)$ のスペクトル値の変化において、 $\{FA_{j=nc+1}(t)\}^{np}$ のスペクトル値が最大となり、 $FA_1(t)^{np}$ のスペクトル値が最小となる t_2 値を $TGC6_j(t)$ の t_T を時間軸後方へ移動することでサーチし、この時の t_2 を t_r とし、 $t_1 = t_h + t_r$ とした分析を行えばよい。

30

【0201】

更に、前記 t_2 の前後で t_T を微小に変化させた $FA_1(f)$ では、そのスペクトル値は変化しないという知見が、多くの分析例で得られている。この知見を利用すれば、前記 t_r の特定がより容易になる。

【0202】

図44、図45は前記分析処理により $t_r = 10 \mu$ 秒と特定し、 $t_1 = t_h + 10 = 90 \mu$ 秒として得られたものである。なお、この t_r をシース埋め込み深さ d_s (mm)及びシース外径(mm)をパラメータとして、あらかじめ求めておいて分析における所定値としておけば、実際の充填度探査に有効である。第3実施形態(請求項6に対応)では $TGCX(t)$ を $TGC6(t)$ として説明したが、 $TGC4(t)$ 、 $TGC5(t)$ を用いてもよい。又は、この t_r 値をシール間の埋め込み深さ d_s (mm)、シース外径(mm)、コンクリートの音速 cV_p をパラメータとして求めておき、実際の充填度探査では相当する t_r 値を外部から指示するか、又は図1の解析装置のハードディスク25に保存された値を参照して決めればよい。

40

以上請求項3の実施形態について説明した。

50

【0203】

次に、第4実施形態について説明する。この第4実施形態は第3実施形態で用いた分析法を発展させた充填度の探知法である。

【0204】

本実施形態の解析装置は、先ず、シース管の外径を ϕ_s 、シース管内充填物の音速を V_G として、 $f_{DS} = V_G / (2 \cdot \phi_s)$ を計算する。そして、加算平均波 $G(t)$ のフーリエ変換を $F(f)$ とし、分析振動数の上限を f_{MAX} として振動数と共に強度が連続的に上昇する振動数フィルタ $A_1(f)$ と、分析振動数の上限を f_{MAX} として振動数と共に強度が連続的に減少する振動数フィルタ $A_2(f)$ とを使用し、 n_1 及び n_2 を自然数として、 $FA(f) = \{A_1(f)\}^{n_1} \cdot \{A_2(f)\}^{n_2} \cdot F(f)$ を計算する。そして、 $FA(f)$ スペクトルの中心振動数が前記 f_{DS} となるように、 n_1 、 n_2 の値を調整し、得られたスペクトル $FX(f)$ を逆フーリエ変換して $G_X(t) = \int FX(f) \cdot e^{i2\pi ft} df$ を求める。この $G_X(t)$ を第3実施形態（請求項6）の $G(t)$ に置き換えて、その後、第3実施形態と同様の演算を行う。

10

【0205】

図50はシース管表面から入力された超音波が、管内部のグラウト材内を重複反射する様子を示したものである。多くの実験計測によれば、グラウト材内を走る波422には、振動数 $V_G / (2 \cdot \phi_s)$ 、(V_G はグラウト材縦波音速)の成分が確かに存在する。かつ、前記加算平均波より、 $f_{DS} = V_G / (2 \cdot \phi_s)$ の狭帯域成分波を抽出すると、図51の如き模式図を得る。図51(a)が、シース管内空又は充填不足の場合であり、図51(b)が、シース管内100%充填の場合である。図51の430の起生波は、コンクリート面に配した発信及び受信探触子間でコンクリート表面を伝達する表面波である。点線で示す431位置がシース管表面からのたて波反射波の理論的起生時刻 t_h を示し、432位置が、グラウトを透過した超音波が管底部で反射する422の波の理論的受信時刻 $t_h + 2 \cdot \phi_s / V_G$ である。

20

【0206】

シース管径は一般に50～100mmである。仮に、径80mmのシース管を想定すれば、セメントミルク音速を $V_G = 4.5 \text{ mm} / \mu\text{秒}$ として、前記 f_{DS} (Hz) は下記数式49より $f_{DS} = \{4.5 \text{ mm} / \mu\text{秒}\} / (2 \times 80 \text{ (mm)}) \times 10^8 = 30 \text{ kHz}$ となる。

30

【0207】

【数49】

$$f_{DS} = \{V_G / (2 \times \phi_s)\} \times 10^6$$

【0208】

このような振動数帯域では、前記430の表面波強度に比しシース管表面からの反射波強度は格段に小さくなり、かつ低周波故にその起生時刻 t_h を特定するのが困難になる。

【0209】

一方、時間軸後方432位置より生ずるシース管底部からの反射波は、数波の波となりその振幅が、前記のシース管表面からの反射波の振幅に比し格段に大きくなる。

40

【0210】

これより図51の波形比較でも計測点直下のシース管の充填度を、(空及び充填不足)か(完全充填)かという分類で探知できる。

【0211】

ところで、図51の f_{DS} 値を中心振動数とする狭帯域成分波に、第3実施形態で用いた分析法を適用すれば、より確実に、充填、充填不足又は空のいずれであるかを探知できる。

【0212】

図52は実際のPC橋梁の配筋及びシース管配置状況を模擬して作成したコンクリート

50

モデルである。

【0213】

外形400×570×400mmのコンクリート塊に外径80mmのポリエチレン製シース管をピッチ120mm、埋め込み深さ150mmで3本配し、径25mm×2本と径16mm×1本の異形鉄筋を束ねたものをピッチ125mmでシース管の直交方向に埋め込み深さ150mmで3本配し、かつ径16mmの異形鉄筋をシース管と平行に埋め込み深さ90mmで図示する如く配している。鉄筋からの反射波が、探知妨害波として大きく影響する探知モデルといえる。

【0214】

図52の計測で、No1の内部空シース管、No2の内部70%グラウト充填シース管、No3の内部100%グラウト充填シース管の充填度探知を考える。シース管直上コンクリート面に振動子径40mmの1対の発信及び受信探触子を中心間隔60mmで、かつ前記発信及び受信探触子の中心を結ぶ線分が、シース管配置方向と直交するように配した計測である。

【0215】

発信探触子より300回超音波をコンクリート面より入力し受信した300個の受信波を加算平均し加算平均波G(t)を得た。

【0216】

まず、図52のNo1の内部が空のシース管の充填度探査を説明する。No1における加算平均波(300回)をG(t)とし対応するフーリエスペクトルをF(f)とした時、径80mmのシース管(充填時)の前記 f_{DS} 値は数式49で $f_{DS} = 30\text{kHz}$ となることを前述した。下記数式50を用い、 $n_1 = 4$ 、 n_2 を1以上の整数として、数式50に示すFA(f)の中心振動数が $f_{DS} = 30\text{kHz}$ になるよう自動コントロール又はオペレータ処理で設定し、フーリエの逆変換でGA(t)を下記数式51で求めた。

【0217】

【数50】

$$FA(f) = A_1^{n_1}(f) \cdot A_2^{n_2}(f) \cdot F(f)$$

【0218】

【数51】

$$GA(t) = \int_{-\infty}^{\infty} (FA(f) \cdot e^{i\omega t}) df$$

【0219】

$A_1(f)$ 、 $A_2(f)$ は分析の上限振動数 $f_{MAX} = 2500\text{kHz}$ とする振動数フィルタであり、 n_2 の具体的な数値は300であった。そして、数式43に対応する下記数式52で $GF_j(t)$ ($j = 1 \sim 21$)を $ta = 100\mu\text{秒}$ 、 $t = 30\mu\text{秒}$ 、 $n_5 = 200$ として求め、次に下記数式53で $FF_j(j)$ ($j = 1 \sim 21$)を求めた。

【0220】

【数52】

$$GF_j(t) = TGC6_j^{n_5}(t) \cdot GA(t)$$

【0221】

【数53】

$$FF_j(f) = \int_{-\infty}^{\infty} (GF_j(t) \cdot e^{-i\omega t}) dt$$

【0222】

10

20

30

40

50

ここで $TGC6_j(t)$ の設定用係数は、下記数式 5 4 及び数式 5 5 で与えられる。

【0 2 2 3】

【数 5 4】

$$t_1 = 2 \cdot d_s / V_c$$

【0 2 2 4】

【数 5 5】

$$t_2 = t_1 + 2 \times \phi_s / V_c$$

10

【0 2 2 5】

そして、 $d_s = 150 \text{ mm}$ (シース管理め込み深さ)、 $V_G = 4500 \text{ m/秒}$ (セメントミルク音速)、 $\phi_s = 80 \text{ mm}$ (シース管径)、 $V_c = 4500 \text{ m/秒}$ (コンクリート音速) より、 $t_1 = 66.7 \mu\text{秒}$ 、 $t_2 = 102.2 \mu\text{秒}$ とした。また $t = 30 \mu\text{秒}$ であった。

【0 2 2 6】

この場合の分析結果 (数式 5 2) を示したものが図 5 3 の比較図である。

【0 2 2 7】

$GF^2_{j1}(t)$ 、 $GF^2_{j2}(t)$ をそれぞれその最大振幅を 1.0 に基準化して表示し、 $j = 1 \sim 21$ の $FF_j(f)$ の夫々の最大スペクトル値を $j = 1 \sim 21$ で比較し、この内の、最も大きいスペクトル値を 1.0 に基準化した絶対表示で $FF^2_j(f)$ を比較している。スペクトル値は $FF_1(f)$ が最大値を取り、 j の値が増す毎に $FF_j(f)$ のスペクトル値が小さくなっていく様子を確認できる。

20

【0 2 2 8】

一方、No 2 シース管 (内部 70% 充填) の同一処理による分析結果を図 5 4、図 5 5 に示す。

【0 2 2 9】

図 5 4 は $t_1 = 66.7 \mu\text{秒}$ 、 $t_2 = 86 \mu\text{秒}$ とした時のものである。図 5 3 の空の場合と良く似た比較図となっている。 $FF_1(f)$ のスペクトル値が最大値となり、 j の値が増すと、 $FF_j(f)$ のスペクトル値が順次小さくなっている。 t_2 の値を図 5 3 の空のシース管の場合と等しく $t_2 = 102.2 \mu\text{秒}$ (数式 5 5 で算定) とした分析が図 5 5 である。図 5 4 で j の値が増す毎に小さくなったスペクトル値は、 t_2 の値が大きくなることで増幅に転じ、かつ振動数が変化していく様子を確認できる。この現象は、前記実施例 3 で詳述した図 4 6 の 符号 2 2 4 4 の波の起生により生じたものである。

30

【0 2 3 0】

図 5 6 は No 3 の内部が 100% 充填の場合の図 5 3 と全く同一の処理で得た比較図である。図 5 3 の空のシース管の場合と比較すると、 $FF_j(f)$ のスペクトル値の変化の様子が逆転している。すなわち、 $j = 1$ の時のスペクトル値が最も小さく、 j の値が増す毎に $FF_j(f)$ のスペクトル値が増大する様子を確認できる。

40

【0 2 3 1】

以上シース管径 ϕ_s 、グラウト材の音速で決まる数式 4 9 の f_{D_s} 値を中心振動数とする狭帯域成分波に数式 5 0 乃至 5 5 の分析処理を行えば、計測対象シース管の内部が完全充填か、充填不足か、又は空かの探知が可能となる。本第 4 実施形態においては、 $TGCX(t)$ 関数は、 $TGC6(t)$ であるが、 $TGC4(t)$ 又は $TGC5(t)$ を使用しても良い。

【0 2 3 2】

次に、本発明の第 5 実施形態について説明する。前記第 4 実施形態で用いたシース管内充填度探知モデル (図 5 2) のシース管はポリエチレン製であった。多くの実験計測によれば、鋼製シースとポリエチレン製シースでは、共振現象を起す振動数帯域が大きく異なる

50

る。

【0233】

本実施形態は、所定の振動数 f_{p1} 、 f_{p2} を用い、前記 $F(f)$ を f が $f_{p1} \sim f_{p2}$ の場合に $F(f) = 1.0$ 、 f が f_{p1} 未満、及び f_{p2} を超える場合に、 $F(f) = 0.0$ となる関数として定義し直し、この $F(f)$ を逆フーリエ変換して加算平均波 $G_1(t)$ を演算し、この $G_1(t)$ を第3実施形態（請求項6）に記載の $G(t)$ に置き換えて第3実施形態（請求項6）の演算を行う。

【0234】

第1実施形態（請求項1乃至5）及び第2実施形態の共振分析方法（図21乃至図38）は、35kHz～60kHzの中心振動数帯でのものであった。これは、鋼製シースを使用したために、このような振動数帯にシース共振波が存在することより、充填有無の探知が可能であったことによる。

10

【0235】

図52のポリエチレン製シースの場合、分析例として示さないが、前記35～60kHzの中心振動数帯の狭帯域成分波を用いた鋼製シースの第1実施形態及び第2実施形態の共振分析では、前記充填度の探知を行うことはできない。ポリエチレン製シースの共振波は、シースの物理的特性より、鋼製シースの場合に比してその減衰率が格段に大きい。このようなポリエチレン製シースの場合でも、第3実施形態で示した分析法に改良を加えることで、シース管内充填度の探知が可能となる。

【0236】

20

図57乃至59は、それぞれ図52のNo1：空シース管、No2：70%充填シース、No3：完全充填シースの分析例である。分析手順はNo.1～No.3の全てで同一である。

【0237】

加算平均波 $G(t)$ は、対応するスペクトルを $F(f)$ として下記数式56の如くなる。

【0238】

【数56】

$$G(t) = \int_{-\infty}^{\infty} (F(f) \cdot e^{i\omega t}) df$$

30

【0239】

$G(t)$ のフーリエ変換で $F(f)$ 等を求め、 $F(f)$ を全ての振動数で1.0に置き換えた後、 $f_{p1} = 1$ kHzのハイパスフィルタ、 $f_{p2} = 40$ kHzのローパスフィルタ処理を行ったものを $F_{H,L}(f)$ と定義し、下記数式57を演算し、数式43における $TGC^*(t)$ を $TGC_4(t)$ として、 $j = 1 \sim (nc + 1)$ 毎に $GA_j(t)$ を下記数式58を用いて算定した。ここで f_{p1} 及び f_{p2} は外部から与えられる値又はあらかじめ解析装置に記憶された値である。

【0240】

【数57】

$$G_{H,L}(t) = \int_{-\infty}^{\infty} (F_{H,L}(f) \cdot e^{i\omega t}) df$$

40

【0241】

【数58】

$$GA_j(t) = TGC_4_j(t) \cdot G_{H,L}(t)$$

【0242】

$FA_j(f)$ は下記数式59を用いて算定した。

50

【 0 2 4 3 】

【 数 5 9 】

$$FA_j(f) = \int_{-\infty}^{\infty} (GA_j(t) \cdot e^{-i\omega t}) dt$$

【 0 2 4 4 】

なお、TGC4_j(t)のt_Tは、t_T = t₁ ~ t₂まで変化させ、

j = 1でt = t₁

j = 2乃至ncでt = t₁ + (j - 1) × (t₂ - t₁) / (nc)

j = nc + 1でt = t₂ = t₁ + (nc + 1 - 1) × (t₂ - t₁) / (nc)

とした。

10

【 0 2 4 5 】

なお、図57乃至図59の分析では、t₁ = 300 μ秒、t₂ = 600 μ秒、nc = 20とし、かつ前記F(f)を1.0に置き換えている(位相情報のみを解析で用いた。)。
FA_j(f)の比較表示はnpを2として、j = 1 ~ (nc + 1)毎にFA_j(f)のスペクトルの最大値を1.0に基準化して、{FA_j(f)}^{np}表示している。

【 0 2 4 6 】

図57の空のシースの分析結果によれば、最初493位置(17.5 kHz)に大きく生じていたFA_{j=1}(f)のスペクトル値がjの値が増す毎に小さくなり、491、492の位置に、jの値が大きくなる毎にスペクトル値が大きくなっていくスペクトルの起

20

【 0 2 4 7 】

図58の70%充填シースの分析結果は、図57の空のシースの分析結果と類似している。最初503位置(18.2 kHz)に大きく生じていたFA_{j=1}(f)のスペクトル値がjの値が増す毎に小さくなり、位置501、502に、jの値が大きくなる毎にスペクトル値が大きくなっていくスペクトルの起生を確認できる。この501、502のスペクトルがポリエチレン製シースの共振スペクトルである。503のスペクトルがシース管からの反射波の成分(18.2 kHz)である。

30

【 0 2 4 8 】

図59の100%充填シースの分析結果は、図57の空シース、図58の70%充填シースの分析結果と全く異なったものとなる。前記基準化比較によれば、最初513位置(20.4 kHz)に大きく生じていたFA_{j=1}(f)のスペクトル値は、jの値の変化があっても変化せず、かつ20.4 kHz付近のスペクトル値はjの値が増しても変化しないか、又は徐々に漸減している。前記20.4 kHzは、前記までの実施例で説明した低周波における反射波のスペクトルである。なお、図57、図58において、前記f_D値位置(493及び503)でj = 1 ~ (nc + 1)のFA_j(f)のスペクトル値を等しくして基準化したFA_j(f)を求めた後、FA_j(f)のスペクトル群の中で、最も大きいスペクトル値1.0とする再基準化を行えば、共振スペクトル491、492及び501、502の値が極端に大きくなる比較図を得ることができる(図示せず)。

40

【 0 2 4 9 】

このようなf_D値位置での前記基準化及び再基準化を図59の100%充填の比較図で行っても、スペクトル比較図に変化が生じないのは明白である。本第5実施形態においては、TGCX(t)関数は、TGC4(t)であるが、TGC5(t)又はTGC6(t)を使用しても良い。

【 0 2 5 0 】

数式57のG_{H, L}(t)を第1実施形態、第2実施形態で示した如く、数式28に準拠して、数式60で求めてもよい。

【 0 2 5 1 】

50

【数 6 0】

$$G_{H,L}(t) = \int_{-\infty}^{\infty} (A_1^{n_1}(f) \cdot A_2^{n_2}(f) \cdot F(f) \cdot e^{i\omega t}) df$$

【0 2 5 2】

n_1 、 n_2 は 1 以上の整数であり、 $A_1(f)$ 、 $A_2(f)$ は分析の上限振動数を $f_{M_{Ax}}$ とする前述した振動数フィルタである。なお、数式 60 における n_1 、 n_2 の値の特定は、以下のようにすればよい。即ち、 $F_{HL}(f) = \{A_1(f)\}^{n_1} \cdot \{A_2(f)\}^{n_2} \cdot F(f)$ の中心振動数が $F_{HL}(f)$ スペクトルの視認の中で前記 f_{p_1} 、 f_{p_2} の平均値 $\{(f_{p_1} + f_{p_2}) / 2\}$ (Hz) となるように、 n_1 、 n_2 の値を外部から指示するか又は自動手処理で特定する。 10

【0 2 5 3】

以上、共振励起が低周波で生じ、かつ比較的減衰率の大きいポリエチレン製シース管の充填度探知の場合の共振分析法を示した。

【0 2 5 4】

次に、本発明の第 6 実施形態（請求項 8，9）について説明する。前記第 1 乃至第 5 実施形態は、コンクリートに埋め込まれたシース管内部にグラウト材を充填し、このグラウト材が硬化した後、そのグラウト材の充填度又は充填状況が完全か不完全かを探知するものである。ところで、PC 構造物新設時のシース管内部へのグラウト注入時、測定点直下のシース管の充填度の推移を、リアルタイムにモニタリングできれば、その効果は絶大である。本第 6 実施形態は、前記リアルタイムモニタリングを用いた探知法である。 20

【0 2 5 5】

即ち、本実施形態においては、コンクリート内に埋め込まれ管内に鋼棒が配置されたシース管内にグラウト材を連続的に注入する際に、その注入の程度をリアルタイムに検査する。前記シース管の直上コンクリート面に所定間隔で超音波発信探触子及び超音波受信探触子を配置し、制御装置は、前記発信探触子内の振動子にステップ関数型電圧を印加し、前記発信探触子から広帯域超音波を連続して発信させ、その都度コンクリート中から広帯域受信信号を前記受信探触子にて受信するように制御する。解析装置は前記複数個の広帯域受信信号を加算して加算平均波 $G(t)$ を作成する。この加算平均波の計測を、前記グラウト材の注入開始時点をも 1 回目の計測時点として、所定間隔で n_A 回行う。これにより、 n_A 個の加算平均波 $G_j(t)$ ($j = 1 \sim n_A$) を収録し、この $G_j(t)$ に、基準時刻 t_T で所定の時系列関数 $TGCX(t)$ を乗じて、 $GA_j(t) = TGCX(t) \cdot G_j(t)$ 波を求め、この $GA_j(t)$ をフーリエ変換により $GA_j(t)$ 波に対応するスペクトル $FA_j(f)$ を演算し、 n_p を自然数として、 $FA_j(f)$ の n_p 乗値 $\{FA_j(f)\}^{n_p}$ を求めてこれを表示させる。オペレータは、 $j = 1 \sim n_A$ における $\{FA_j(f)\}^{n_p}$ の変化でシース管内グラウト材の充填度を探知する。つまり、任意の振動数 f で $\{FA_j(t)\}^{n_p}$ のスペクトル値が小さくなったり又は大きくなったりする変化の中で、このスペクトル値が一定の値に収斂し、 j の値が増しても変化しなくなったとき、シース管内にグラウト材が詰まってきたと判断する方法である。なお、前記 $TGCX(t)$ は、数式 14 を用いる場合が $TGC1(t)$ であり、数式 15 を用いる場合は $TGC4(t)$ であり、数式 16 を用いる場合は $TGC5(t)$ であり、数式 17 を用いる場合は $TGC6(t)$ である。 30 40

【0 2 5 6】

図 5 2 のシース埋め込みコンクリートモデルで、No. 1 の空シースの直上コンクリート面に共振振動数 500 kHz の振動子を内蔵した 1 対の発信探触子及び受信探触子を配置し、発信探触子内の振動子に 30 V のステップ関数型電圧を印加する。No. 1 のシース管内には径 15 mm の PS 撚線鋼棒を 12 本内蔵させ、管内部に充填物（グラウト材）を徐々に満たしながら、下記表 2 に示すように、総計 15 回の計測で、300 回加算平均波 $G_j(t)$ を計測した。なお、表 2 は計測毎のシース管内充填物（グラウト材）の充填度を示す。また、前記 $j = 1$ 乃至 15 の $G_j(t)$ 波の計算時に、前記発信探触子及び受 50

信探触子の位置は固定した。なお、 $j = 6, 7, 8, 9, 10$ は、鋼棒の周面の螺旋状突起の部分で、充填物が存在しない空隙が存在した。しかし、 $j = 11$ 乃至 15 の場合は、このような突起部の空隙は存在しなかった。なお、以上の実測値は、計測実験の容易性を考慮して、グラウト材の代わりに水を使用して計測したものである。

【0257】

【表2】

j	1	2	3	4	5	6	7	...	15
充填度 (%)	空	30	50	85	95	100	100	...	100

10

【0258】

図60は前記 $G_j(t)$ 波と、下記数式61で示される $F_j(f)$ スペクトルとを、 $j = 1$ 乃至 15 で比較表示したものである。 $G_j(t)$ は同図右に、上段より順に $j = 1, 2, \dots, 15$ で表示し、 $j = 1$ 乃至 15 の $F_j(f)$ を重ね描きしている。

【0259】

【数61】

$$F_j(f) = \int_{-\infty}^{\infty} (G_j(t) \cdot e^{-i\omega t}) dt$$

【0260】

同図による $G_j(t)$ 及び $F_j(f)$ の $j = 1$ 乃至 15 の比較では、前記表2のシース管内水の充填度による相違を確認することができない。

20

【0261】

一方、前記 $F_j(f)$ より高振動数帯域のスペクトル $FA_j(f)$ を、下記数式62において $n_1 = 0$ 、 $n_2 = 0$ 、 $n_3 = 14$ とし、 $A_3(f)$ を $f_A = 438 \text{ kHz}$ とする振動数フィルタとして求める。但し、数式62において、 $f > 2f_A$ のとき、 $A_3(f) = 0.0$ である。

【0262】

【数62】

$$FA_j(f) = A^{n_1}_1(f) \cdot A^{n_2}_2(f) \cdot A^{n_3}_3(f) \cdot F_j(f)$$

30

【0263】

そして、 $f < 2 \times f_A$ 以降の $FA_j(f)$ を 0.0 とした後、下記数式63で $GA_j(t)$ を求める。

【0264】

【数63】

$$GA_j(t) = \int_{-\infty}^{\infty} (FA_j(f) \cdot e^{i\omega t}) df$$

40

【0265】

シース管理め込み深さ $d_s = 150 \text{ mm}$ 及びコンクリートの音速 $c_{Vp} = 4.5 \text{ mm}/\mu\text{秒}$ よりシース表面からの反射波の受信時刻 t_h を、 $t_h = 2 \times 150 / 4.5 = 67 \mu\text{秒}$ とし、前記 $TGCX(t)$ に $TGC6(t)$ ($TGC4(t)$ 又は $TGC5(t)$ でもよい)を用いた分析例を以下に示す。 $t_T = t_h = 67 \mu\text{秒}$ 、 $t_a = 100 \mu\text{秒}$ 、 $t = 55 \mu\text{秒}$ とする $TGC6(t)$ を用い、かつ $n_5 = 200$ として、下記数式64で $GB_j(t)$ を演算し、次に、 $FB_j(f)$ を下記数式65で演算した。数式64を用いて $GB_j(t)$ を求めるとき、 $TGC6(t)$ の時刻関数を用いて説明したが、分析例としては示さないものの、 $TGC6(t)$ の代わりに $TGC4(t)$ 又は $TGC5(t)$ を用いてもよい。

50

【0266】

【数64】

$$GB_j(t) = TGC6^{n_5}(t) \cdot GA_j(t)$$

【0267】

【数65】

$$FB_j(f) = \int_{-\infty}^{\infty} (GB_j(t) \cdot e^{-i\omega t}) dt$$

10

【0268】

前記数式64、65で演算した $GB_j(t)$ 及び $FB_j(f)$ を用い、 $np = 1$ として $GB_j^{np}(t)$ 及び $FB_j^{np}(f)$ 比較表示したものが図61である。300kHz乃至510kHzの振動数帯で $FB_j(f)$ を表示している。

【0269】

さて、図60の $F_j(f)$ の比較図では、 $j = 1$ 乃至15で $F_j(f)$ が全く1つのスペクトルに重ね描きされていたが、図61の $FB_j(f)$ の重ね描きでは、明らかに、表2の充填度毎に林立するスペクトルの強度が変化している。例えば、スペクトル531では $j = 1$ （シース内水なし）の時、スペクトル値が最大値をとり、 j の値が増す（水の充填度が増す）毎にスペクトル値が減少していく。水の充填度が $j = 11$ 乃至15の完全100%で、スペクトル値がほぼ同一となっている様子を見ることができる。一方、スペクトル532では、スペクトル値の大小関係が逆転し、スペクトル値は $j = 1$ の時、最も小さく、 j の値が増す毎に大きくなっている。

20

【0270】

$GB_j(t)$ 波はシース管表面からの反射波及びその反射波の後方に生ずる管内の水へ透過し、内部の鋼棒撚線で乱反射する波、そして管内側を水を通して重複反射する波等々の重畳波を $GA_j(t)$ 波より数式64を用いて切り出したものと考えることができる。ところで、本分析では前記 n_1 、 n_2 、 n_3 及び f_A の値の各々を適宜変化させながら外部から与えることで対処した。これ等与えられた値毎に、図61に相当する $\{FB_j(f)\}^{np}$ の j に対する比較図が得られる。 n_1 、 n_2 、 n_3 及び f_A の値を適宜変化させる経緯の中で、図61の531に示すようにスペクトルの極大値が j の値が大きくなるに従って大きく変動してくる状況を確認できたわけです。図61のスペクトル比較図を得た時のこれ等の値が $n_1 = 0$ 、 $n_2 = 0$ 、 $n_3 = 14$ 、 $f_A = 438$ kHzだったわけです。なお、シース径、シース埋め込み深さ d_s 、コンクリート音速 c_{VP} をパラメータとした本装置による分析で、あらかじめ、 n_1 、 n_2 、 n_3 及び f_A の最適値を求めておき、これを装置のハードディスク(HD)などに記憶しておき、実際の探査では前記パラメータの組み合わせ毎に記憶された n_1 、 n_2 、 n_3 及び f_A 係数表より、該当係数表を選定し、この選定された係数 n_1 、 n_2 、 n_3 及び f_A を用いて前記数式62の演算を行うことも可能である。

30

【0271】

スペクトル531がシース表面からの反射波の1つのスペクトル成分であると考えれば、管表面に入力する超音波はシース内に水がない場合、全反射することから、 $j = 1$ の場合でスペクトル値が最も大きくなり、水の充填度が増すに従い、超音波の一部がシース管内部に透過していくことにより、前記反射において、徐々にスペクトル値が小さくなっていくと考えられる。一方、スペクトル532を前記シース内部の鋼棒撚線で乱反射する波、そしてシース内部を水を通して重複反射する波の重畳波のスペクトルの1つと解せば、 $j = 1$ でスペクトル値が最小値をとり、 j の値が増す毎にスペクトル値が大きくなり、表2の $j = 6$ 乃至15のシース内が水で満杯の場合でスペクトル値が一定値に収斂してくれる現象と理解できる。

40

【0272】

50

以上の説明はTGC6(t)のt_Tをシーズ縦波反射波の起生時刻に設定して行ったものであった。しかし、本実施形態のように、t_Tを発信探触子からコンクリートへ縦波を入力した直後、自然発生する横波のシーズ表面からの反射波の起生時刻に設定して、前記数式62乃至数式65の演算を行っても、前記物理現象に伴う充填度の探知を行うことができる。

【0273】

数式62でA₁(f)・A₂(f)をf_{MAX} = 2500kHzとする振動数フィルタ、n₁ = 4、n₂ = 60、n₃ = 0として、FA_j(f)を求め、数式63でGA_j(t)を求め、シーズ表面からの前記横波反射の起生時刻t_{hs}を前記t_h = 67μ秒と横波と縦波の音速比0.59を用いてt_{hs} = t_h / 0.59 = 114μ秒として、t_a = 100μ秒、t = 10μ秒とするTGC6(t)を用い、かつn₅ = 200として数式64でGB_j(t)を演算し、次にFB_j(f)を数式65で演算した結果をnp = 4として、GB^{np}_j(t)、FB^{np}_j(f)で比較表示したものを図62に示す。

10

【0274】

図62のスペクトル541が図61のシーズ表面縦波反射スペクトル531に対応するシーズ表面横波反射に起因するものである。この測定例の場合、より明解に前記物理特性により生ずる現象を示している。即ち、j = 1でスペクトル値最大になり、jの値が増す毎に、スペクトル値が小さくなり、j = 6乃至15でスペクトル値が概略一致する様子を確認できる。また、スペクトル542は図61のスペクトル532に対応するもので、そのスペクトル値の大小関係がスペクトル541の場合と逆転している。

20

【0275】

上記図61、図62の分析は比較的高振動数で行ったものであった。しかし、図62において、541のカーソルが示す振動数をf_Aとし、グラウト開始時点の1回目の計測からn_A回目の計測のいずれかの時点で、又はn_A回目の計測の終了以降の時刻で、前記F_j(f)(j = n_A)を用い、分析振動数の上限をf_{max}とする第1及び第2の振動数フィルタA₁(f)、A₂(f)と中心振動数をf_Aとする第3の振動数フィルタA₃(f)を用い、n₁、n₂、n₃を1以上の整数として

$$FX_j(f) = A_1^{n_1}(f) \cdot A_2^{n_2}(f) \cdot A_3^{n_3}(f) \cdot F_j(f)$$

を計算し、FX_j(f)の中心振動数が前記f_Aとなるように、n₁、n₂、n₃の値をコントロールし、このFX_j(f)を数式62のFA_j(f)とし、数式63でGA_j(t)を数式64でGB_j(t)を、数式65でFB_j(t)を再計算すれば、図62の符号541で示すカーソルのスペクトル比較図のみを取り出すことができる。図61では300kHz ~ 510kHz、図62では300kHz前後のスペクトルを用いている。コンクリートの内部探知では、このような高振動数帯域の波を用いた分析は、外的環境(外乱)の影響を受け易く、誤計測を行う可能性が高い。次に、この場合に対処した分析例について説明する。

30

【0276】

図63の分析方法が図61、図62の分析方法と相違する点は以下のとおりである。即ち、数式62の演算において、n₁ = n₂ = n₃ = 0として、数式62のFA_j(f)をF_j(f)に置き換え、数式63のGA_j(t)をG_j(f)に置き換え、TGC6(t)の係数のうち、t_a = 100μ秒、t = 50μ秒、n₅ = 200として、数式64、65で夫々GB_j(t)及びFB_j(f)を求める時、数式64の右辺のTGC6_j(t)において、前記シーズ管縦波反射波起生時刻t_h = 67μ秒を最初のt_T値とし、このt_Tを徐々に時間軸後方へ自動移動する都度、数式64、65でGB_j(t)及びFB_j(f)を演算し、GB⁴_j(t)、FB⁴_j(f)表示で、j = 1乃至15のスペクトル形状を比較している。

40

【0277】

前記t_Tを67μ秒(t_h)から徐々に大きくしていく経緯の中で、図63に対応するスペクトルの起生の状況は徐々に高周波成分が減衰消滅していくことにより、低周波スペクトルのみが卓越してくる。そして、各スペクトルの最大スペクトル値がj = 1乃至15

50

の $FB_j(f)$ で変化してくる。この変動が明解になった $t_T = 382 \mu$ 秒で、数式 6 4、6 5 の演算を終了し、その時点での $GB^4_j(t)$ 、 $FB^4_j(t)$ を $j = 1$ 乃至 1 5 で比較表示したものが図 6 3 である。

【0278】

スペクトル 5 5 1 では、 $j = 1$ の時スペクトル値が最小となり、 j の値が増す毎にスペクトル値が大きくなり、シースに水が満たされた $j = 6$ 乃至 1 5 でスペクトル値が概略一致している。

【0279】

また、スペクトル 5 5 2 では、 j の値の変化に伴うスペクトル値の大小関係が逆転しているが、 $j = 6$ 乃至 1 5 でのスペクトル値はスペクトル 5 5 1 の場合と同様、概略一致している。

10

【0280】

これにより、 $j = 6$ 以降の計測時でシース管内部に水が満たされていると判断する。前記 $j = 1$ 乃至 1 5 での $FB_j(f)$ スペクトルにおいて、スペクトル値が j の値の変化毎に変化し、シース内に水が満杯になった時、一定値に概略収斂する現象がシース管内にグラウトする経緯の中で生ずることを証明する。

【0281】

シース管内部に水を注入しない時の図 6 3 に対応する分析結果を図 6 4 に示す。分析法及び用いた分析用係数は図 6 3 を得た場合とまったく同一である。水の注入がないことより、 $FB^4_j(f)$ スペクトルは t_T が 67μ 秒から 382μ 秒まで変化する間、全く一致するはずである。図示しないが、前記 t_T の変化の都度得られる $FB^4_j(f)$ は $j = 1$ 乃至 1 5 でスペクトル形状もスペクトル値もまったく同一であった。

20

【0282】

図 6 4 は $t_T = 327.7 \mu$ 秒の時の $FB^4_j(f)$ スペクトルを $j = 1$ 乃至 1 5 で比較表示したものである。完全に 1 つの同一形状のスペクトルとして重ね描きされている。以上より図 6 3 及び前記図 6 1、図 6 2 の $j = 1$ 乃至 1 5 でのスペクトル値の変化がシース内部への水の注入によるものと判定できる。以上の分析を、数式 6 1 で $F(f)$ を全振動数帯に亘って 1.0 とした分析でも、同様の結果を得ることができる。

【0283】

なお、各実施形態のシース管内部グラウト材はセメントミルクとは限らない。樹脂系材料等シース及びシース内 PC 鋼材に腐食等の悪影響を及ぼさない他の材料であっても構わない。

30

【0284】

また、本分析法は共振現象が発生する他の探知対象（コンクリート内の鉄皮厚、鉄筋径、鉄筋と中空配管の区別等）にも、そのまま適用できる。

【0285】

次に、本発明の第 7 実施形態（請求項 10、11）について説明する。本実施形態は、前記第 1 乃至第 6 の実施形態の場合と異なり、複数のかぶりを概略同一とするシースで得る受信波 $G_j(t)$ （ j はシース番号）の周波数分析結果を比較表示し、空シース及び充填シースの夫々で得る受信波で、受信波に含まれる振動数成分が異なるという物理現象を利用するものである。

40

【0286】

図 6 5 の計測図を用いて本実施形態を具体的に説明する。図 6 5 は建設途上、径間 1 5 0 m の PC 橋スラブ（道路面）の一部を示す。厚さが 3 5 0 mm のコンクリートスラブ 5 3 の内部に、橋軸方向に伸びる外径 9 0 mm のポリエチレン製シース管 5 4 が間隔 1 2 5 mm で埋め込み深さ 1 2 5 mm で多数埋め込まれて配置されている。また、直径 1 9 mm の異形鉄筋 5 2 は、スラブ表裏から、埋め込み深さ 5 0 mm 位置に、井桁状に、ピッチ 1 2 5 mm で配置されている。1 つの方向の鉄筋は橋軸方向（シース管長手方向）に平行であり、隣接するシース管 5 4 の間に埋められている。また、横締めシース管 5 5 が図示するように配置されている。外径 1 0 0 mm の中に、径 7 5 mm で共振振動数 5 0 0 k H z

50

の振動子を内蔵した発信探触子 5 0 と受信探触子 5 1 とを図 6 5 の平面図に示すように、中心間距離 a を 5 0 0 mm としてシース直上に配置する。そして、No. 1 ~ No. 9 のシース毎に 5 0 0 回の加算平均波 $G_j(t)$ ($j = 1 \sim 9$) を得る。この計測は、発信探触子 5 0 内の振動子に 3 5 0 ボルトのステップ関数型電圧を印加することで、発信探触子 5 0 より広帯域超音波を発信しているの、前記 $G_j(t)$ 波は、広帯域受信波となる。

【0287】

図 6 6 に図 6 5 の計測で得る受信波 $G_j(t)$ に含まれる波のうち、コンクリート面とシースの間で重複反射を繰り返す伝達波を示す。図 6 6 の重複反射波 6 6 1 は、発信探触子及び受信探触子直下の探知対象シース管 5 4 とコンクリート面とで伝達する波である。隣接シース管 5 4 とコンクリート面との間で伝達する波 6 6 2 もあるが、この波 6 6 2 は

10

【0288】

この重複反射現象を利用した超音波探知装置である。図 6 5 の $j = 1 \sim 9$ とした計測での広帯域受信波 $G_j(t)$ を図 6 7 に示す。図 6 7 の $G_j(t)$ 波に分析を加えることで、各シース ($j = 1 \sim 9$) 内のグラウトの充填の有無を探查する。本分析法の正当性を確認するために、径間 1 5 0 m の実橋建設時に、あらかじめ、 $j = 3, 4, 5, 7, 9$ を空シース管、 $j = 1, 2, 6, 8$ を充填済みシース管として前記 $G_j(t)$ 波を取得しておく。 $G_j(t)$ の波から、図 6 6 に示す重複反射波 6 6 1 がより多く含まれる時刻帯で、時系列波 $GA_j(t)$ 波を $TGCX(t)$ を用いて切り出す。 $TGCX(t)$ は図 9 の $TGC5(t)$ 又は図 1 0 の $TGC6(t)$ のいずれとしてもよい。

20

【0289】

$TGC6(t)$ を用いて説明する。 $TGC6(t)$ の係数を $t_a = 200 \mu$ 秒、 $t = 350 \mu$ 秒とし、シース埋め込み深さ d_s (125 mm)、コンクリートの縦波音速 c ($4.5 \text{ mm} / \mu$ 秒)、探触子間距離 a (500 mm)、振動子径 ϕ_s (75 mm) として、他の係数 t_T を下記数式 6 6 により求める。

【0290】

【数 6 6】

$$t_T = 2 \sqrt{\{d_s^2 + ((a - \phi_s) / 2)^2\}} / c \cdot V_p = 2 \times \sqrt{(125^2 + 212.5^2)} / 4.5 \doteq 109.6 \quad (\mu \text{ 秒})$$

30

【0291】

n_5 及び n_p を外部から与えられる又は解析装置にあらかじめ記憶された 1 以上の整数として、下記数式 6 7 により、 $GA_j(t)$ を計算する。

【0292】

【数 6 7】

$$GA_j(t) = \{TGC6(t)\}^{n_5} \cdot G_j(t)$$

【0293】

そして、下記数式 6 8 により対応するスペクトル $FA_j(f)$ を計算する。

40

【0294】

【数 6 8】

$$FA_j(f) = \int_{-\infty}^{\infty} (GA_j(t) \cdot e^{-i\omega t}) dt$$

【0295】

そして、 $FA_j(f)$ を n_p 乗倍して得た $\{FA_j(f)\}^{n_p}$ の中で、最も大きいスペクトル値を 1.0 とする基準化表示と、 $\{GA_j(t)\}^{n_p}$ の中で最も大きい振幅値を 1.0 とする基準化表示とを同時に示したものが図 6 8 である。但し、 $n_5 = 100$ 、 $n_p = 1$ として表示している。

【0296】

50

図 6 8 の比較図によれば、内部に充填物のない空シース $j = 3, 4, 5, 7, 9$ のスペクトルが $f_{D_1} = 17.9 \text{ kHz}$ 付近を起点として大きく立ち上がっている。充填されている他のシースでは、この位置にスペクトルが生じていないと明確に判断できる。

【0297】

前述の図 6 8 は空シースと判っているシースを含めての分析であった。実際の探査でも空シースを含めて比較分析すれば容易に空/充填の判断を行えることになる。

【0298】

図 6 8 の $f_{D_1} = 17.9 \text{ kHz}$ は、図 6 6 に示す重複反射 6 6 1 の 1 次共振振動数である。この共振振動数 f_{D_1} (Hz) はシース埋め込み深さ d_s (mm) とコンクリート縦波音速 c_{Vp} (mm/μ秒) を使用して、下記数式 6 9 により算出することができる。

【0299】

【数 6 9】

$$f_{D_1} = \{ 10^6 / (2 d_s / c_{Vp}) \} \text{ Hz}$$

【0300】

$d_s = 125 \text{ mm}$ 、 $c_{Vp} = 4.5$ (mm/μ秒) を数式 6 9 に代入すると、 $f_D = 18 \text{ kHz}$ となり、図 6 8 の $f_{D_1} = 17.9 \text{ kHz}$ と合致していることを確認できる。これより、 $G_j(t)$ を得るシースの計測で空シースとあらかじめ判明しているシースがない場合でも、数式 6 9 の f_D 振動数位置に大きなスペクトルの起生があるかないかを視認

することで、充填の有無を判断できる。

【0301】

前述の如く、 $TGCX(t)$ を定義する t_T 値は前記数式 6 6 で算出されるが、この t_T 値は図 6 6 の符号 6 6 3 で示すコンクリート面とシース表面間の 1 回目の反射波の起生時刻である。反射波起生位置 6 6 3 近傍には隣接シースからの符号 6 6 2 の反射波も含まれることになる。受信波に含まれる隣接シースからの反射波は前記重複反射の回数が増すに従い大きく低減していく。これにより、前記 t_T を大きくしながら数式 6 7 で $GA_j(t)$ 波を切り出していくと、 t_T が大きくなる経緯の中で、 $GA_j(t)$ 波に含まれる隣接シースからの重複反射波が除去されていく。分析例として示さないが、 t_T を時刻軸後方へ移動し、変動させる経緯の中で、図 6 8 の f_{D_1} 付近に生ずる空シースからの反射波

スペクトルを、より明確に特定可能となる。

【0302】

次に、請求項 1 2 の実施形態について説明する。図 6 8 の比較表示において、 f_{D_1} 振動数位置に空シースの大きなスペクトル値のスペクトルが起生した時、このスペクトルを切り出し対応する時系列波を求めれば、この時系列波の比較表示でシース内の充填の有無を容易に確認できる。前記スペクトルの切り出しは図 6 8 に示す $FA_j(f)$ (数式 6 8 で求めた) を用いて行われる。図 6 に示す $A_3(f)$ フィルタ(但し、 $2f_A$ 以上で 0 とする)を用いて、 n_3 を外部から与える 1 以上の整数として、下記数式 7 0 で $FB_j(f)$ を求める。また、下記数式 7 1 により、 $GB_j(t)$ を求める。

【0303】

【数 7 0】

$$FB_j(f) = A_3^{n_3}(f) \cdot FA_j(f)$$

【0304】

【数 7 1】

$$GB_j(t) = \int_{-\infty}^{\infty} (FB_j(f) \cdot e^{i\omega t}) df$$

【0305】

n_p を外部から与える 1 以上の整数として、 $\{GB_j(t)\}^{n_p}$ の中で最も大きい振幅が 1.0 となるように基準化して比較表示したのが図 6 9 (但し、 $n_5 = 50$ 、 $n_p =$

10

20

30

40

50

3) である。空シース $j = 3, 4, 5, 7, 9$ の時系列波が図 6 6 の前記重複反射波 (6 6 1) の存在で生じたものである。振幅に差異があることを確認できる。この振幅の差異は、シース内充填度との相関で生じたものとは無関係である。コンクリートの内部探査では計測位置のコンクリートの性状のばらつきで超音波透過度が大きく変動する。これが原因となって生じたものである。これより、これらの起生波を夫々その最大振幅を 1.0 に基準化して比較表示すると、図 7 0 のようになる。位相差が全くなく同一の形状の波の出現を空シースの全て $j = 3, 4, 5, 7, 9$ で確認できる。

【0306】

次に、本発明の第 8 実施形態 (請求項 1 2) について説明する。本実施形態は、第 7 実施形態の分析法を発展させたものである。分析は第 7 実施形態で得る広帯域受信波 $G_j(t)$ ($j = 1 \sim n_A$ 、 n_A は計測対象シースの数) を用いて行う。

10

【0307】

探触子の中心間距離 a を 500 mm とした $G_j(t)$ 波を図 6 7 に示した。この $G_j(t)$ を用いた分析である。図 6 7 のカーソル 6 7 1 より $G_j(t)$ 波が微弱な振幅で出現し始めている。同図 [時刻領域 A] の間で、この微細な波が継続している。この時間領域 A の中にシース内が空か充填かを判断する情報が埋もれている。即ち、図 6 6 の経路 6 6 3 の縦波以外に、図 7 1 に示す特殊な経路の波 7 1 2, 7 1 3 が含まれる。

【0308】

図 7 1 において、振幅の大きい波 7 1 0 がコンクリート面とシース表面との間で重複反射する都度、シース表面より受信探触子へ指向する波が符号 7 1 2 である。縦波と横波の双方が存在するが、図 6 7 の [時刻領域 A] に含まれるのは、縦波成分である。

20

【0309】

次に、経路 7 1 2 の波が生ずる理由について説明する。図 7 2 はシース管 5 4 の形状を示したものである。コンクリートとシースとを確実に緊結するために、図示するような突起 7 1 がシース表面 7 0 に螺旋状に存在する。経路 7 1 2 の波は、これが原因で生じたものである。なお、シース内が空及び充填の場合の双方でこの経路 7 1 2 の波が生ずるが、シースが空の場合全反射し、シースが充填の場合、経路 7 1 0 の波は一部シース内に透過することより、空シースと充填シースとでは経路 7 1 2 の波の振幅比較において、前者が後者のそれに比し、相対的に格段に大きくなる。

【0310】

一方、充填シースの場合、経路 7 1 0 の波は符号 7 1 1 のようになり、シース内の鋼棒を介する伝達波 (縦波と横波の混合波) 7 1 3 が生じ、受信探触子に指向する符号 7 1 4 の波を受信することになる。これより、図 6 7 の $G_j(t)$ 波の [時刻領域 A] の中に、図 7 1 の波 7 1 2, 7 1 4 が [時刻領域 A] 以外の時刻領域に比し、より多く含まれることになる。多くの同様の計測例で確認された知見の中に、波 7 1 2 と波 7 1 4 ではその卓越する振動数が異なること及び振幅比較において、波 7 1 2 の方が波 7 1 4 より大きくなる現象がある。このような現象を利用すると計測対象シースのいずれが充填か、空かを分析可能となる。

30

【0311】

以下、実際の分析例を示す。図 7 3 は前記 $G_j(t)$ より、前記 [時刻領域 A] の波を図示する $TGC5(t)$ を用いて切り出し、 $GA_j(t)$ 波及び対応するスペクトル $FA_j(f)$ を求め、夫々の $\{GA_j(t)\}^{n_P}$ 波の最大振幅を 1.0 に基準化し、また夫々の $\{FA_j(f)\}^{n_P}$ の最大スペクトル値を 1.0 に基準化して示したものである。この切り出しで使用した $TGC5(t)$ を定義する各係数 \underline{t} 、 t_T などは、以下のようにした。

40

【0312】

具体的には $\underline{t} = 400 \mu\text{秒}$ 、 $n_5 = 500$ とし、シースの埋め込み深さ d_s (125 mm)、コンクリートの縦波音速 c_{V_P} (4.5 mm / $\mu\text{秒}$)、探触子の振動子径 s (7.5 mm)、発信探触子と受信探触子の中心間距離 a (500 mm) を下記数式 7 2 に代入し、 t_T ($\mu\text{秒}$) を求める。

50

【0313】

【数72】

$$t_T = 2\sqrt{\{d_s^2 + (a - \phi_s/2)^2\}} / c V_P$$

$$t_T = 2\sqrt{\{125^2 + ((500 - 75)/2)^2\}} / 4.5$$

$$\approx 109.6 \quad (\mu\text{秒})$$

【0314】

そして、下記数式73を使用して、 $GA_j(t)$ を求める。次いで、下記数式74を使用して、 $FA_j(f)$ を求める。 10

【0315】

【数73】

$$GA_j(t) = (TGC5(t))^{n_5} \cdot G_j(t)$$

【0316】

【数74】

$$FA_j(f) = \int_{-\infty}^{\infty} (GA_j(t) \cdot e^{-i\omega t}) dt \quad 20$$

【0317】

この $FA_j(f)$ から図73の比較図を求めた。前記 n_5 は1以上の整数とするものであるが、本分析では、 $n_5 = 500$ を採用した。図73の前記基準化表示された $\{FA_j(f)\}^{n_p}$ によれば、空シースの $j = 3, 4, 5, 7, 9$ の中心振動数(平均36kHz)が概略一致している。また、充填シースの $j = 1, 6, 8$ の形状及びその中心振動数も概略一致している。但し、充填シース($j = 2$)のみのスペクトル形状及びその中心振動数が、他のそれ等と遊離している。 $j = 2$ の充填シースの隣の $j = 3$ のシースは空シースである。この $j = 3$ の空シースの波712(図71)が、 $j = 2$ の受信波に若干混在したことより生じたものである。なお、 n_p は1以上の整数であり、図73では $n_p = 2$ とした。 $j = 2$ のような $FA_j(f)$ スペクトル(最大値を1.0に基準化している)が得られたときには、以下の処理がなされる。 30

【0318】

図74は前記 $TGC5(t)$ を定義する所定値 t_T を前記数式72で算定された109.6 μ 秒から時間軸前方又は後方へ微小量変動させる経緯の中で $t_T = 120\mu$ 秒となったときの図73($t_T = 109.6\mu$ 秒)に対応する $\{FA_j(f)\}^{n_p}$ 、 $\{GA_j(t)\}^{n_p}$ を夫々の最大スペクトル値及び最大振幅が1.0となるように基準化して比較表示したものが図74である。

【0319】

図73では他のスペクトルと振動数及び形状が遊離していた $j = 2$ の充填シースのスペクトル $\{FA_{j=2}(f)\}^{n_p}$ が $j = 1, 6, 8$ の充填シースのスペクトルと合致している様子を確認できる。 40

【0320】

図示しないが前記 t_T の値を変動させる経緯の中で、 $j = 2$ の充填シースのスペクトル $\{FA_{j=2}(f)\}^{n_p}$ の形状及び中心振動数は変化するが、他のシースのスペクトル形状及び中心振動数はほとんど変化しない。

【0321】

ところで、前記 t_T の変動を外部から与えられる又は解析装置にあらかじめ記憶された t_T (μ 秒)を使用し、前記 t_T の変動を $(t_T - t_T) \sim (t_T + t_T)$ の間で自動的に又は外部からの指示で変化させ、図74に示すように $\{FA_j(f)\}^{n_p}$ スペ 50

クトルが2つの群に収斂したとき、 t_T の変動を自動で又は外部からの指示で停止する。なお、 n_p は1以上の整数であり、図74では $n_p = 2$ とした。

【0322】

図75は、 $\{FA_j(f)\}^{n_p}$ 、 $\{GA_j(t)\}^{n_p}$ の比較表示を $\{FA_j(f)\}^{n_p}$ の $j = 1 \sim n_A$ （計測シーすの個数）の中で最も大きいスペクトル値を1.0に基準化して及び $\{GA_j(t)\}^{n_p}$ の $j = 1 \sim n_A$ の中で最も大きい振幅を1.0に基準化して、 $n_p = 2$ として、比較表示したものである。 $\{FA_j(f)\}^{n_p}$ の比較表示において、スペクトル値に差異はあるが、空シーすの $j = 3, 4, 5, 7, 9$ のスペクトルの最大値位置を示す振動数が、概略等しく（平均振動数36kHz）なっている。

【0323】

この平均振動数36kHzの振動数スペクトルは図71の伝達波712のスペクトルである。他の特記しないスペクトル値の比較的小さいスペクトルが伝達波714のスペクトルである。多くの同種の計測分析例によれば、波712と714の振幅及びスペクトル値は、波712の方が波714に比し大きくなる。この特性を利用して $\{FA_j(f)\}^{n_p}$ スペクトルのいずれが充填のシーすのものが空シーすのものを容易に判断できる。

【0324】

$\{FA_j(f)\}^{n_p}$ の j 毎の最大スペクトル値を S_j とし、 $j = 1 \sim n_A$ の S_j 値の中で最も大きい値を S_{MAX} として、 n_s なる係数（1.0以上の実数）の値を徐々に大きくする経緯の中で、下記数式75を満足する $\{FA_j(f)\}^{n_p}$ を $(S_{MAX}/S_j)\{FA_j(f)\}^{n_p}$ と置き換えて、図75の比較表示を繰り返し行う経緯の中で得た比較図の1つを図76に示す。

【0325】

【数75】

$$S_j \geq (1/n_s) S_{MAX}$$

【0326】

図76は数式75の n_s が1.6となったときのものである。空シーす $j = 3, 4, 5, 7, 9$ が平均振動数36kHzの1つの群スペクトルとして浮かび上がっている。 n_s をさらに大きくしていくと、 $n_s = 4.0$ のとき、充填シーす $j = 1, 2, 6, 8$ が他の1つの群スペクトルとして、図74に示すように浮かび上がる。これより、 n_s の増分の経緯の中で最初に浮かび上がる中心振動数とスペクトル形状を同一とする1つの群スペクトル $\{FA_j(f)\}^{n_p}$ を得たシーす(j)の内部が空と判断し、更なる n_s の増分で浮き上がってくる他の1つの群スペクトル $\{FA_j(f)\}^{n_p}$ を得たシーす(j)の内部が充填であると判断すればよい。

【0327】

第7実施形態（請求項10、11）及び第8実施形態（請求項12）で使用した各シーすの直上のコンクリート面計測で得た受信波 $G_j(t)$ は、前述しなかったが、図77に示すように受信探触子とコンクリート面の間に厚さ20mmで、150mm×150mmのアルミニウム製板を介在させて得たものである。図66のコンクリート面とシーす表面間の重複反射波661及び図71の伝達波712又は714の図示は、シーす軸に沿って描かれているが、低振動数超音波の場合、シーす軸を中心として、図78に示すように広い範囲に拡散する。

【0328】

図77、図78に示す超音波集積治具を使用すれば、探知対象シーすからの前述の伝達波661、712、714が集積され、受信波に含まれる妨害波（探知対象以外の鉄筋、シーす固定治具etc.からの反射波）が相対的に小さくなり、図68～70、図73～76のような比較図を得る分析を高精度に行うことができる。

【0329】

なお、以上の説明は、第7、第8実施形態で必ず前記集積治具を用いねばならぬという

10

20

30

40

50

ことではない。前記治具を用いなくとも、充分シースの充填の有無の探知は可能であるが、その場合は、鉄筋又はシーソ固定治具による妨害波が受信波に混在したとき、シーソ充填の有無の判断に計測者の技術的判断を要することになる。

【0330】

第1実施形態（請求項1～5）、第2実施形態、第3実施形態（請求項6）、第4実施形態、第5実施形態、第6実施形態（請求項8、9）の説明では、前記集積治具を用いた具体例を示していないが、これらの実施形態においても、受信波に含まれる探知妨害波の悪影響を除去する上で、前述の治具の使用がシーソ内充填の有無を高精度に探知する上で大きな効果がある。

【図面の簡単な説明】

10

【0331】

【図1】本発明の実施形態に係る超音波探知装置を示すブロック図である。

【図2】ステップ型電圧発生器の構成を示すブロック図である。

【図3】発信探触子の構成を示すブロック図である。

【図4】受信探触子の構成を示すブロック図である。

【図5】第1の振動数フィルタ $A_1(f)$ 及び第2の振動数フィルタ $A_2(f)$ の特性を示す図である。

【図6】第3の振動数フィルタ $A_3(f)$ の特性を示す図である。

【図7】 $TGC1(t)$ のフィルタ特性を示す波形図である。

【図8】 $TGC4$ のフィルタ特性を示す波形図である。

20

【図9】 $TGC5$ のフィルタ特性を示す波形図である。

【図10】 $TGC6$ のフィルタ特性を示す波形図である。

【図11】シーソ管内のセメントミルク充填度の探知方法を示す模式図である。

【図12】(a)は反射波を示し、(b)はシーソ管共振波を示す波形図である。

【図13】(a)、(b)は夫々図12(a)、(b)のフィルタリング後の波形図である。

【図14】(a)、(b)は夫々図12(a)、(b)のフィルタリング後の波形図である。

【図15】反射波スペクトルと、シーソ管共振波スペクトルを示す図である。

【図16】(a)、(b)は最大スペクトルを1.0に基準化したときのスペクトル比較図である。

30

【図17】シーソ管充填度測定方法を示すコンクリートモデルの一例を示す。

【図18】セメントミルクが完全に充填されたシーソ管直上での $G(t)$ 波及び対応するスペクトル $F(f)$ を示す。

【図19】 $GA(t)$ 波を示す図である。

【図20】 $GA(t)$ と $FA(f)$ との関係を示す図である。

【図21】 $TGC1(t) \cdot G(t)$ 波を比較表示したものである。

【図22】図21の $FA_j(f)$ 、 $GA_1(t)$ 及び $GA_{2_1}(t)$ を4乗表示したものである。

【図23】基準化スペクトルの比較図である。

40

【図24】スペクトルの比較図である。

【図25】スペクトルの比較図である。

【図26】 $FCnp_j(f)$ の基準化スペクトルを示す図である。

【図27】 $FC^{np}_j(f)$ の中で最も大きいスペクトル値を1.0とする絶対表示スペクトルを比較表示した図である。

【図28】加算平均波 $G(t)$ に $TGC6(t)$ を乗じてシーソ管表面からの縦波反射波を切り出したものである。

【図29】 $FA(f)$ 及び $GA(t)$ を示す波形図である。

【図30】 $FA6(f)$ 、 $FA(f)$ スペクトル及び $GA6(t)$ 、 $GA(t)$ 波を示す波形図である。

50

- 【図31】 $n_2 = 4000$ とした時の分析結果を図31に示す
- 【図32】 $FA(f)$ を $FA^4(f)$ 表示した図である。
- 【図33】 共振スペクトル及び反射波スペクトルを示す図である。
- 【図34】 $\{FB_j(f)\}^4$ の基準化表示の比較図である。
- 【図35】 $G(t)$ 波とスペクトル $F(f)$ を示す図である。
- 【図36】 $G^{np}(t)$ 及び $F^{np}(f)$ を示す図である。
- 【図37】 $GA^{np}_j(t)$ 及び $FA^{np}_j(f)$ を示す図である。
- 【図38】 $GE_j(t)$ 、 $FE_j(t)$ の比較図である。
- 【図39】 $GE_j(t)$ 、 $FE_j(t)$ の比較図である。
- 【図40】 (a)は完全充填、(b)は充填不足、(c)は空の場合のシール管反射波及びシール管径路波の起生状況を示す図である。 10
- 【図41】 図40(a)のシール管内にセメントミルクが完全充填された場合の受信波の一般的な形状を示す図である。
- 【図42】 図40(b)のセメントミルクが充填不足の場合の受信波の一般的な形状を示す図である。
- 【図43】 数式43の説明図である。
- 【図44】 $\{FA_j(f)\}^{np}$ 、 $\{GA_j(t)\}^{np}$ を示す図である。
- 【図45】 $\{FA_j(f)\}^{np}$ の比較図である。
- 【図46】 図40(b)の2243径路の波の伝達状況を示す図である。
- 【図47】 図17の側点3における分析結果を示す。 20
- 【図48】 $G(t)^2$ 、 $GA(t)^2$ 、 $FA(f)^2$ 表示を示す。
- 【図49】 $TGC6_1(t)$ 、 $TGC6_2_1(t)$ 、 $FA_j(f)$ 、 $GA^2(t)$ を示す図である。
- 【図50】 シース管表面から入力された超音波が管内部のグラウト材内を重複反射する様子を示す図である。
- 【図51】 (a)、(b)は加算平均波から狭帯域成分波を抽出した波形図である。
- 【図52】 実際のPC橋梁の配筋及びシース管配置状況を模擬するコンクリートモデルである。
- 【図53】 分析結果を示す波形図である。
- 【図54】 同じく、分析結果を示す波形図である。 30
- 【図55】 同じく、分析結果を示す波形図である。
- 【図56】 分析結果を示す波形図である。
- 【図57】 分析結果を示す波形図である。
- 【図58】 分析結果を示す波形図である。
- 【図59】 分析結果を示す波形図である。
- 【図60】 $G_j(t)$ 波と、 $F_j(f)$ スペクトルとを比較表示する図である。
- 【図61】 $GB_j(t)$ 波と、 $FB_j(f)$ スペクトルとを比較表示する図である。
- 【図62】 $GB^{np}_j(t)$ 波と、 $FB^{np}_j(f)$ スペクトルとを比較表示する図である。
- 【図63】 分析結果を示す図である。 40
- 【図64】 $FB^4_j(f)$ スペクトルを示す図である。
- 【図65】 (a)、(b)は建設途上のPCスラブの一部を示す夫々断面図及び平面図である。
- 【図66】 図65の計測で得る受信波 $G_j(t)$ に含まれる波のうち、コンクリート面とシースの間で重複反射を繰り返す伝達波を示す。
- 【図67】 図65の $j = 1 \sim 9$ とした計測での広帯域受信波 $G_j(t)$ を示す。
- 【図68】 $FA_j(f)$ を np 乗倍して得た $\{FA_j(f)\}^{np}$ の中で、最も大きいスペクトル値を1.0とする基準化表示と、 $\{GA_j(t)\}^{np}$ の中で最も大きい振幅値を1.0とする基準化表示とを同時に示した図である。
- 【図69】 np を外部から与える1以上の整数として、 $\{GB_j(t)\}^{np}$ の中で最も 50

大きい振幅が 1.0 となるように基準化して比較表示した図である。

【図 7 0】各起生波を夫々その最大振幅を 1.0 に基準化して比較表示した図である。

【図 7 1】(a)、(b) は振動波が伝達される様子を示す図である。

【図 7 2】シースの形状を示す図である。

【図 7 3】 $G_j(t)$ より、[時刻領域 A] の波を図示する $TGC5(t)$ を用いて切り出し、 $GA_j(t)$ 波及び対応するスペクトル $FA_j(f)$ を求め、夫々の $\{GA_j(t)\}^{np}$ 波の最大振幅を 1.0 に基準化し、また夫々の $\{FA_j(f)\}^{np}$ の最大スペクトル値を 1.0 に基準化して示す図である。

【図 7 4】 $TGC5(t)$ を定義する所定値 t_T を数式 7 2 で算定された $109.6 \mu\text{秒}$ から時間軸前方又は後方へ微小量変動させ $t_T = 120 \mu\text{秒}$ となったときの図 7 3 ($t_T = 109.6 \mu\text{秒}$) に対応する $\{FA_j(f)\}^{np}$ 、 $\{GA_j(t)\}^{np}$ を夫々の最大スペクトル値及び最大振幅が 1.0 となるように基準化して比較表示した図である。

【図 7 5】 $\{FA_j(f)\}^{np}$ 、 $\{GA_j(t)\}^{np}$ の比較表示を $\{FA_j(f)\}^{np}$ の $j = 1 \sim n_A$ (計測シースの個数) の中で最も大きいスペクトル値を 1.0 に基準化し、 $\{GA_j(t)\}^{np}$ の $j = 1 \sim n_A$ の中で最も大きい振幅を 1.0 に基準化して、 $np = 2$ として、比較表示した図である。

【図 7 6】図 7 5 の比較表示を繰り返し行う経緯の中で得た比較図の 1 つである。

【図 7 7】超音波集積治具を示す図である。

【図 7 8】超音波集積治具を示す図である。

【符号の説明】

【0 3 3 2】

4 : 発信探触子

5 : 受信探触子

1 1 : 解析装置

1 3 : ステップ型電圧発生器

1 4 , 1 5 : アンプ回路

1 6 : フィルタ回路

1 7 : アナログデジタル変換回路 (ADC)

1 8 : ゲートアレイ

1 9 : CPU (中央演算装置)

2 2 : ステップ電圧発生回路

2 3 : 電流供給回路

2 4 : 漸減型ハイパスフィルタ

2 5 : ハードディスク (HD)

2 6 : メモリ

2 8、2 9 : 振動子

3 0 : 被探知体

4 0、5 1 : 発信探触子

4 1、5 1 : 受信探触子

4 2、5 2 : 鉄筋

4 3 : コンクリートブロック

4 4、5 4 : シース管

5 3 : コンクリートスラブ

5 5 : 横締めシース管

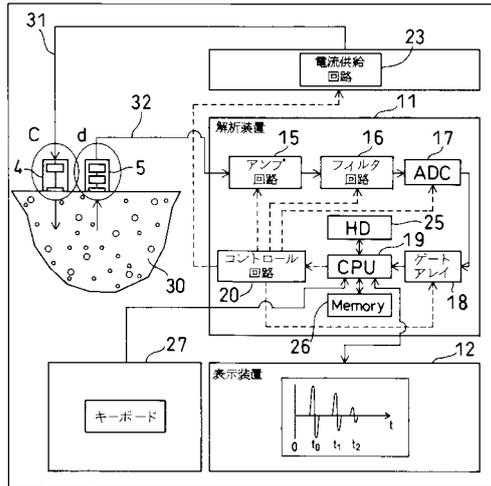
10

20

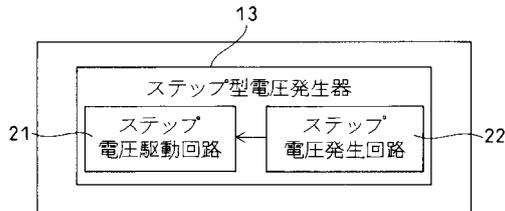
30

40

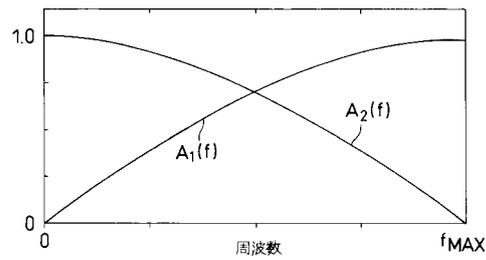
【図1】



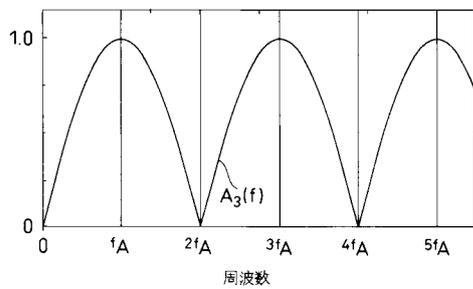
【図2】



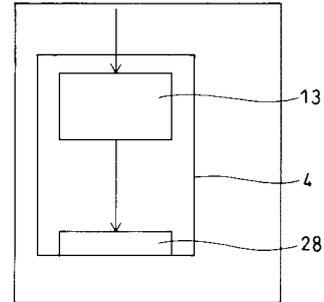
【図5】



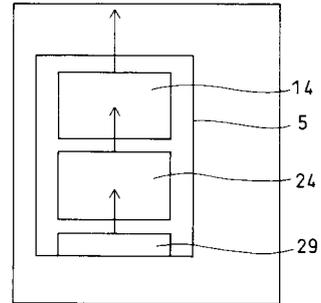
【図6】



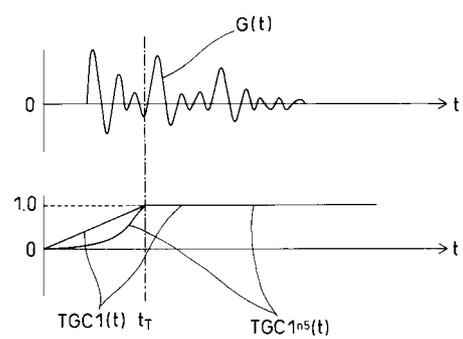
【図3】



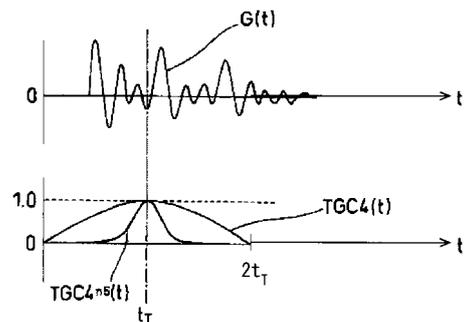
【図4】



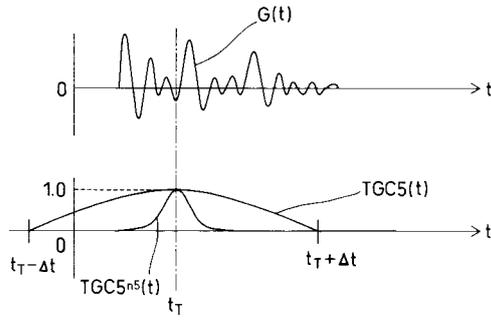
【図7】



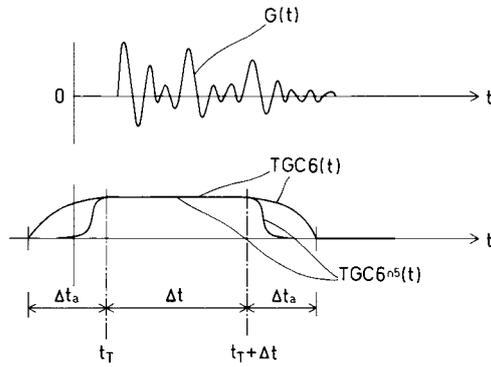
【図8】



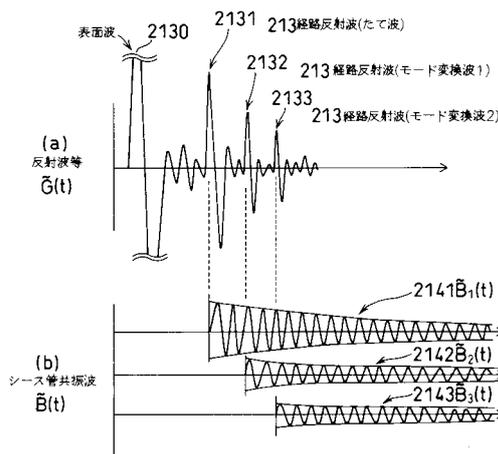
【図9】



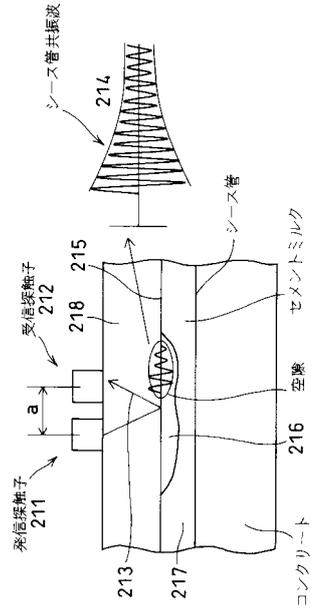
【図10】



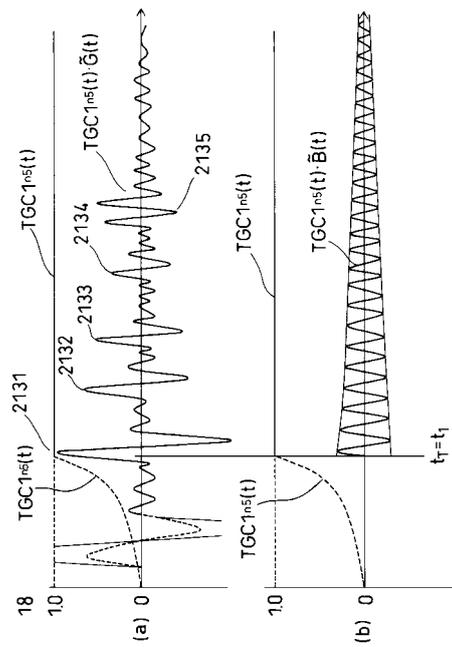
【図12】



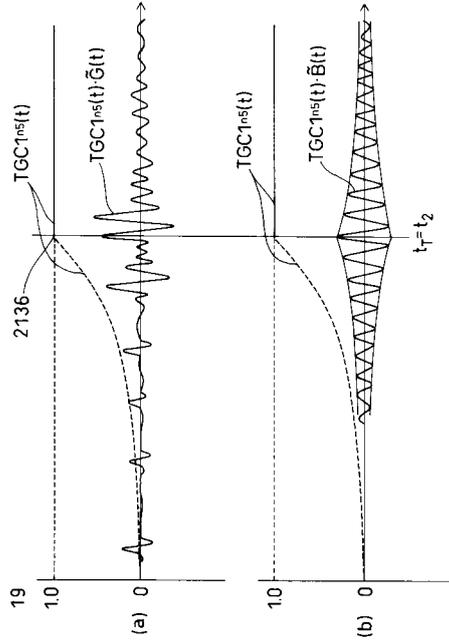
【図11】



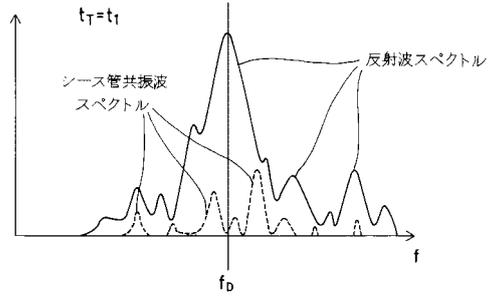
【図13】



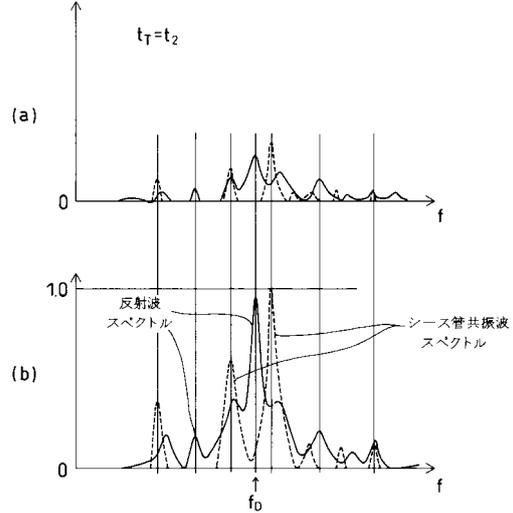
【図14】



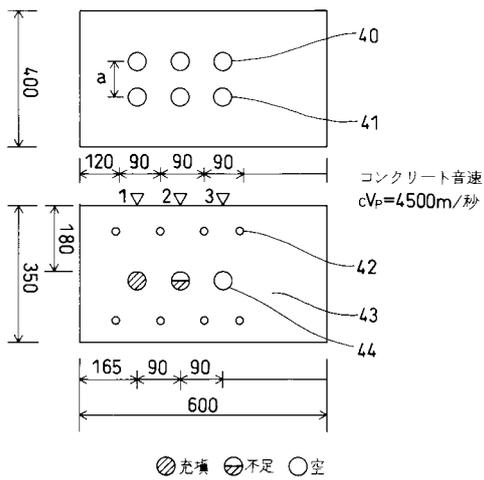
【図15】



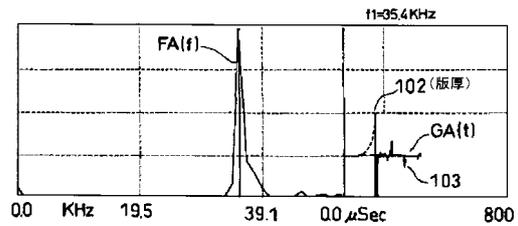
【図16】



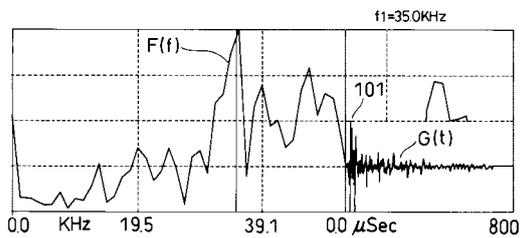
【図17】



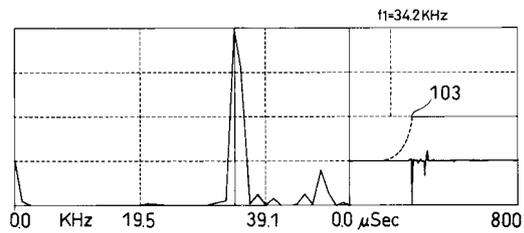
【図19】



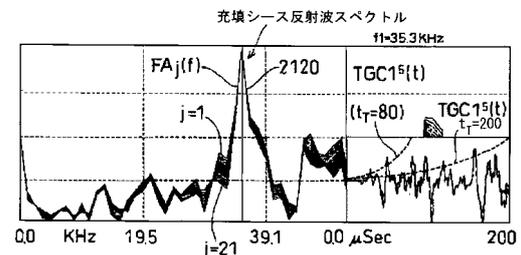
【図18】



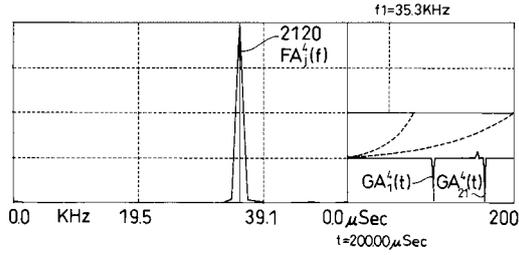
【図20】



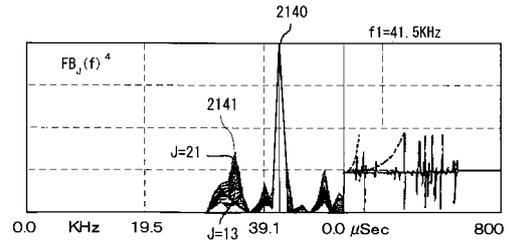
【図21】



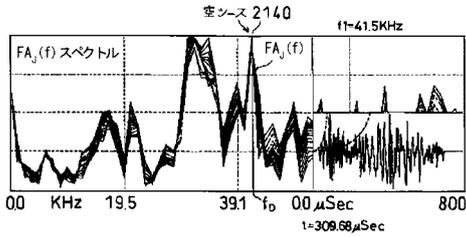
【図 2 2】



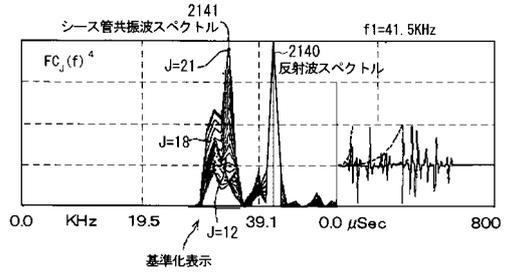
【図 2 5】



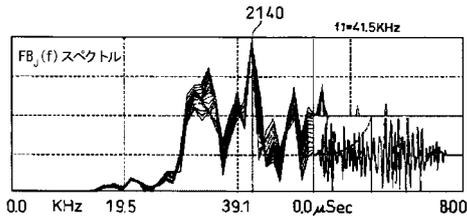
【図 2 3】



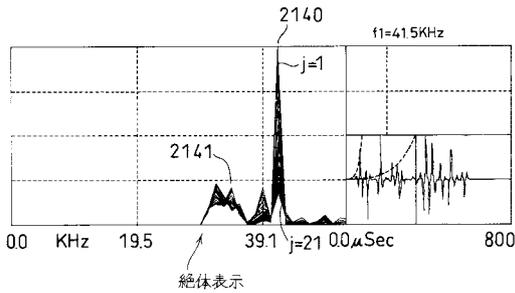
【図 2 6】



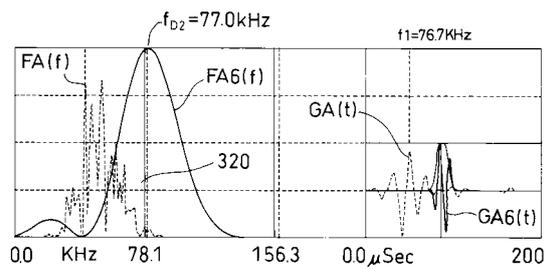
【図 2 4】



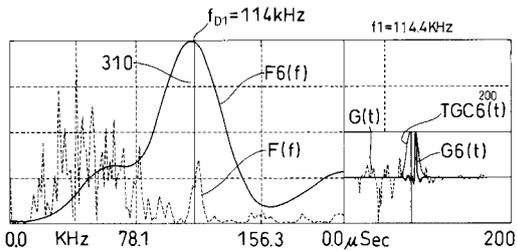
【図 2 7】



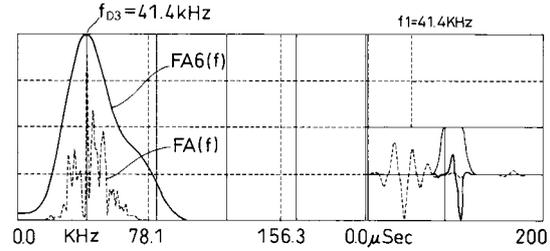
【図 3 0】



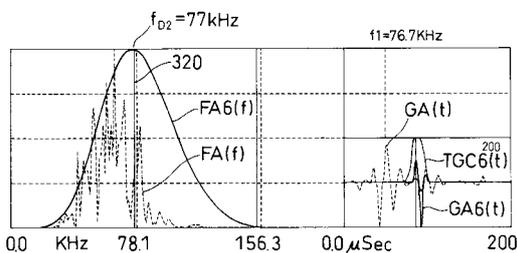
【図 2 8】



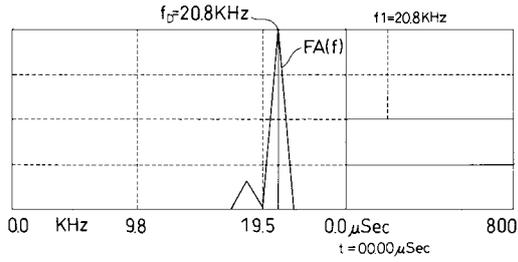
【図 3 1】



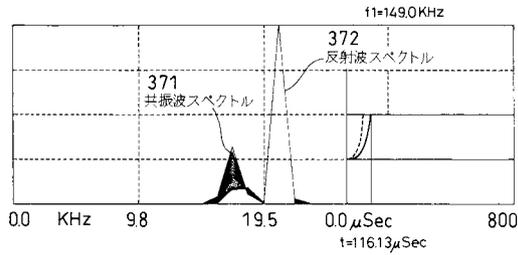
【図 2 9】



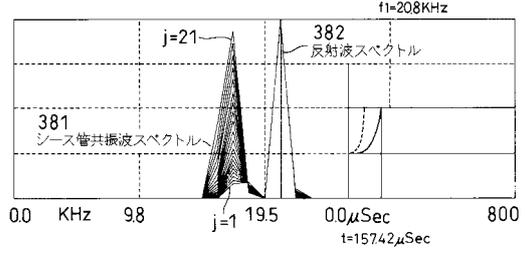
【図32】



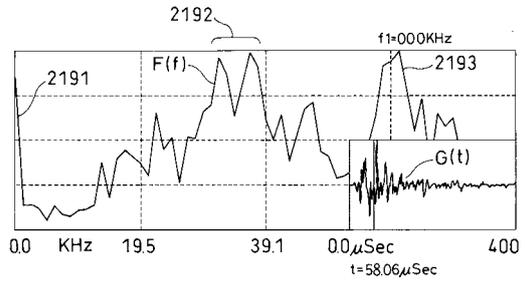
【図33】



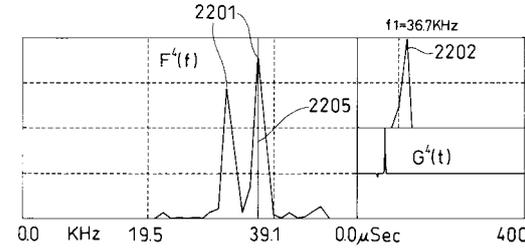
【図34】



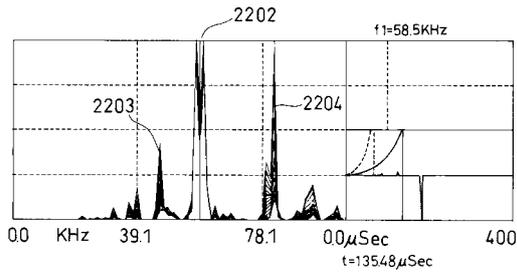
【図35】



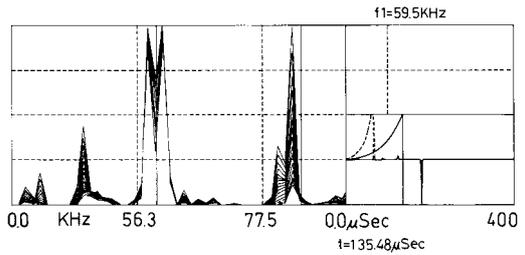
【図36】



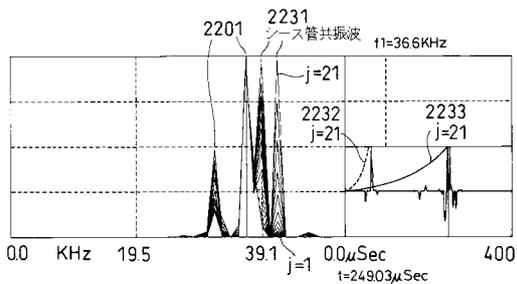
【図37】



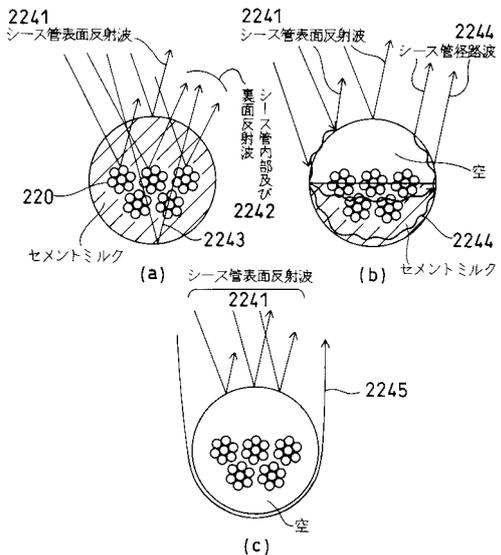
【図39】



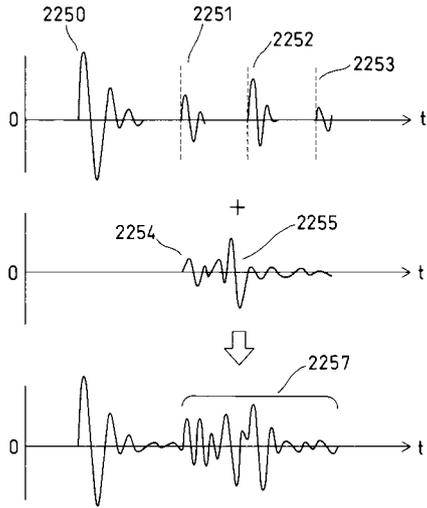
【図38】



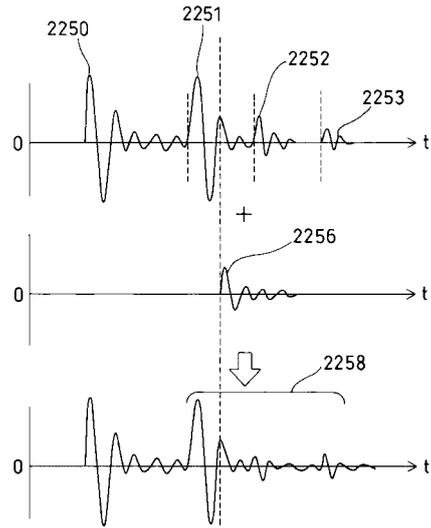
【図40】



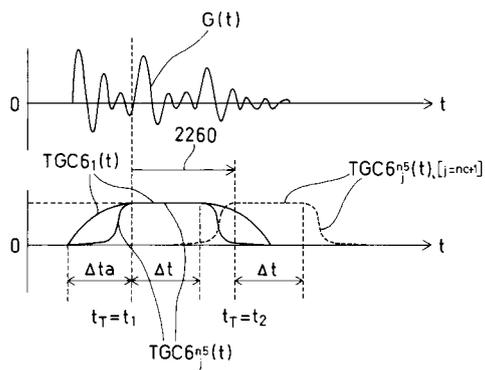
【 図 4 1 】



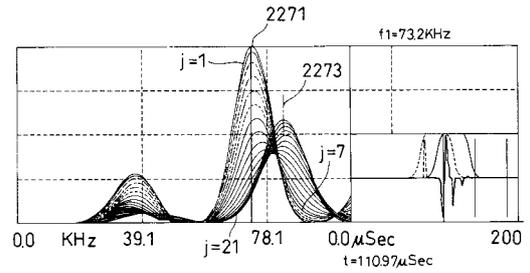
【 図 4 2 】



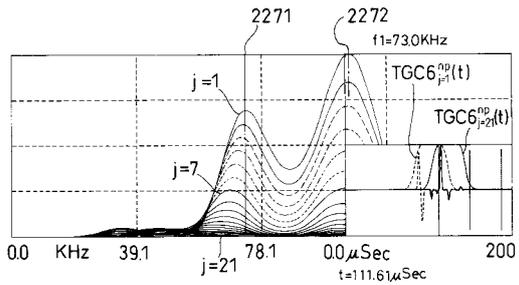
【 図 4 3 】



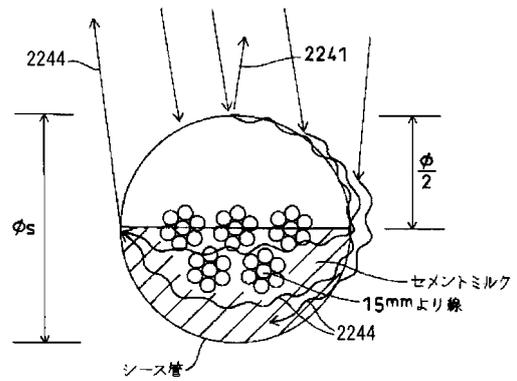
【 図 4 5 】



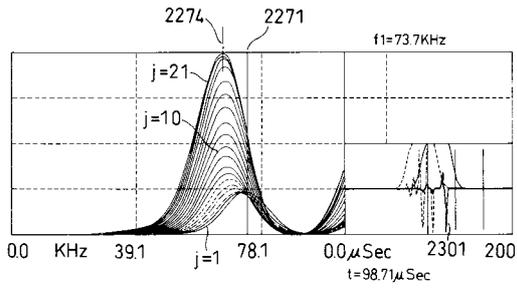
【 図 4 4 】



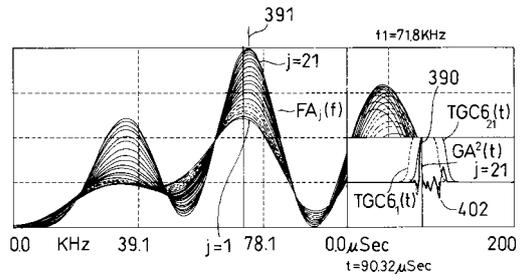
【 図 4 6 】



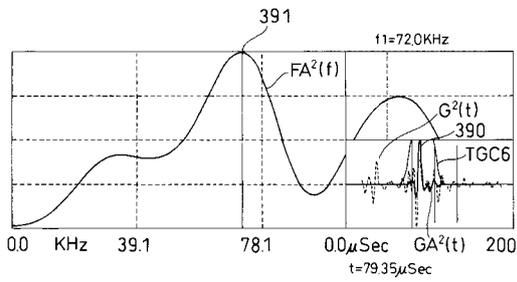
【図47】



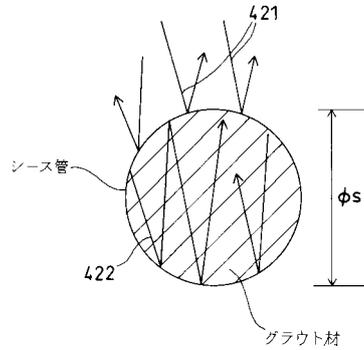
【図49】



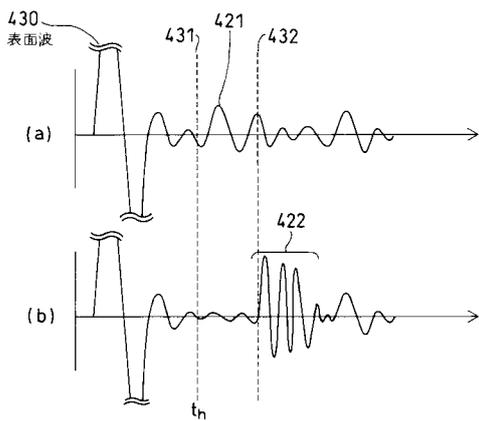
【図48】



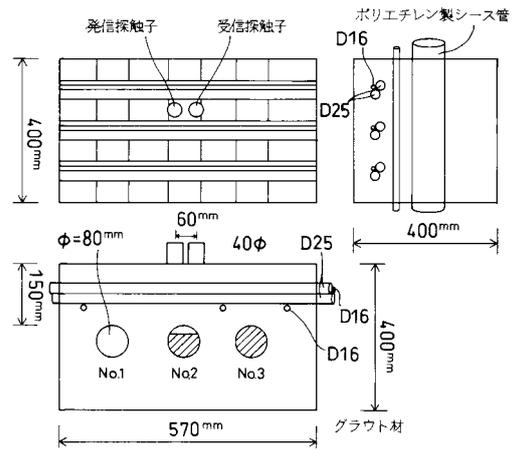
【図50】



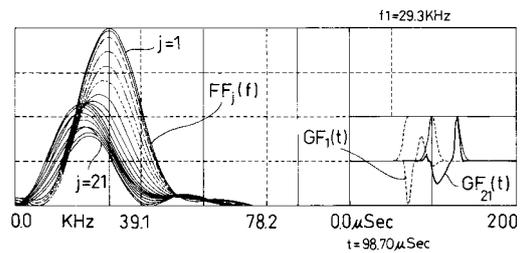
【図51】



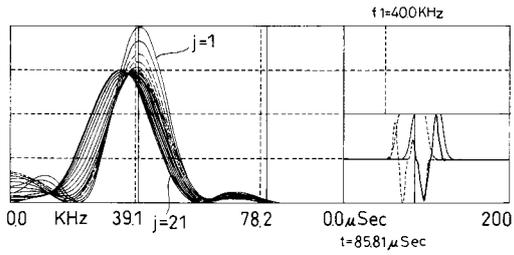
【図52】



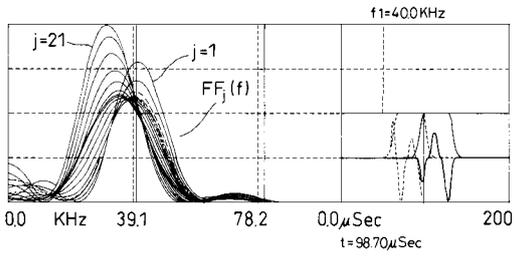
【図53】



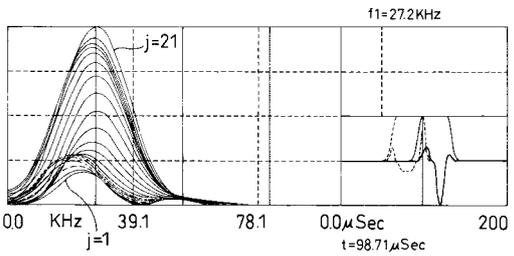
【 5 4 】



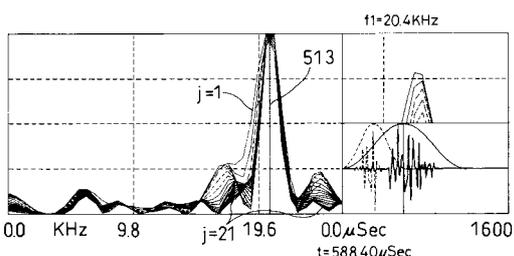
【 5 5 】



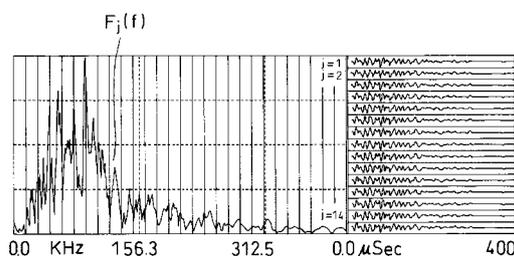
【 5 6 】



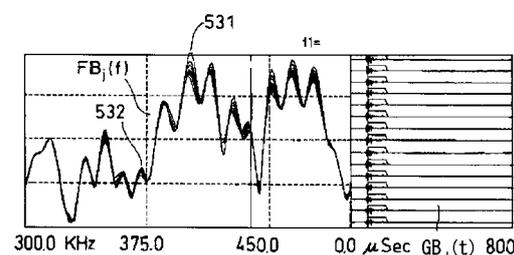
【 5 9 】



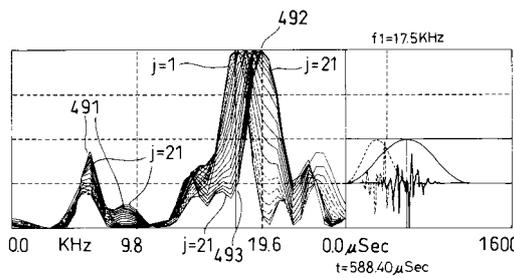
【 6 0 】



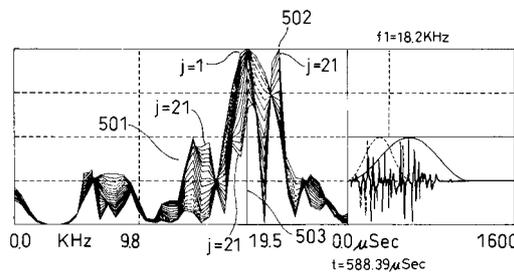
【 6 1 】



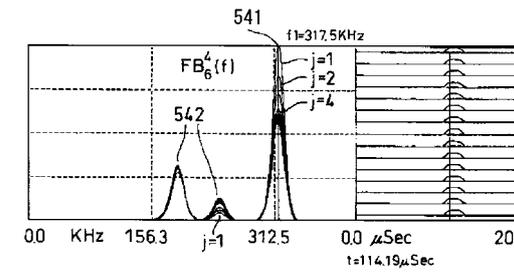
【 5 7 】



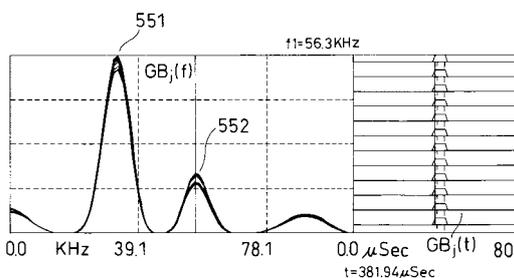
【 5 8 】



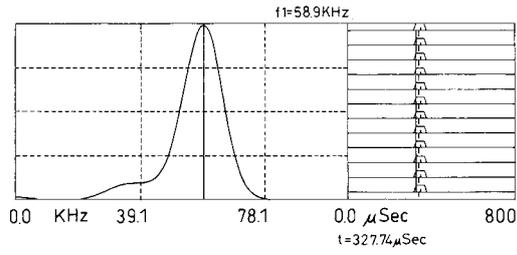
【 6 2 】



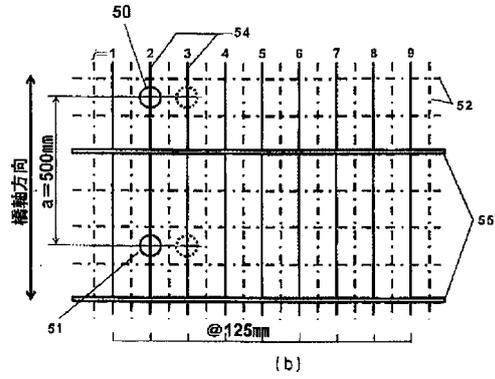
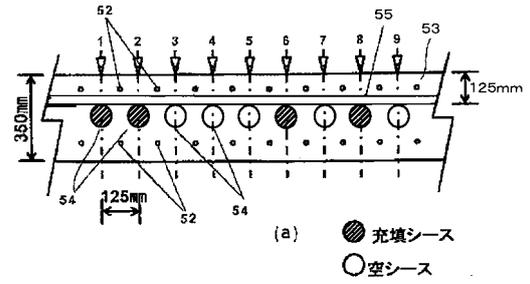
【 6 3 】



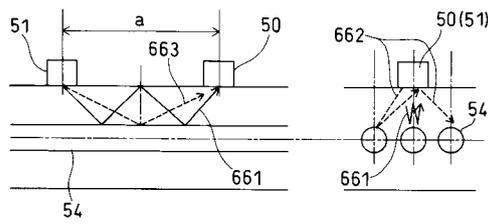
【図 6 4】



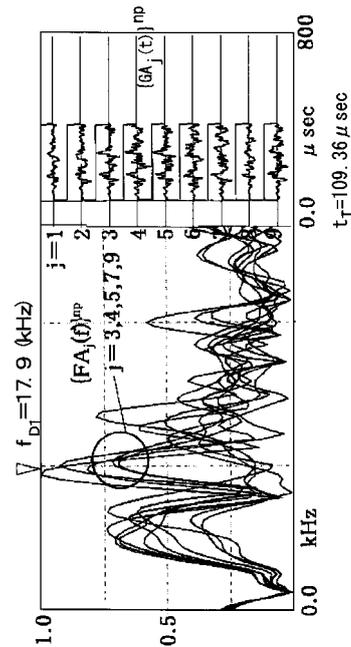
【図 6 5】



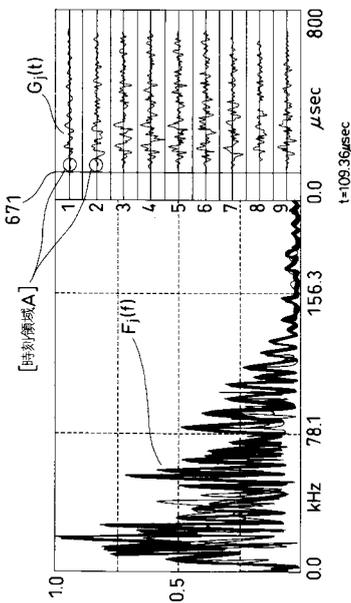
【図 6 6】



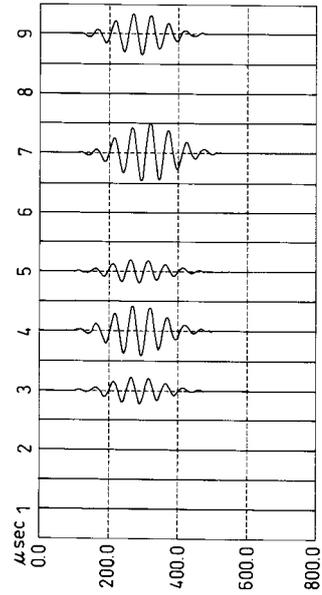
【図 6 8】



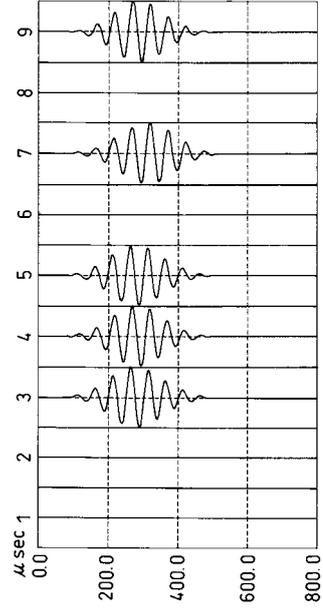
【図 6 7】



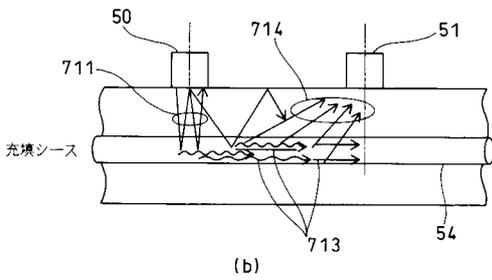
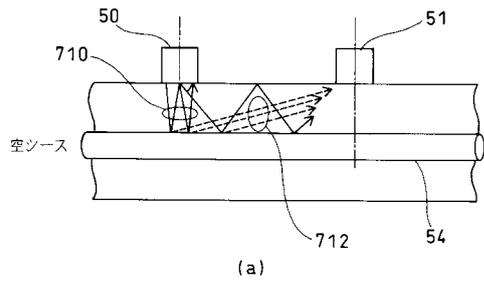
【図 69】



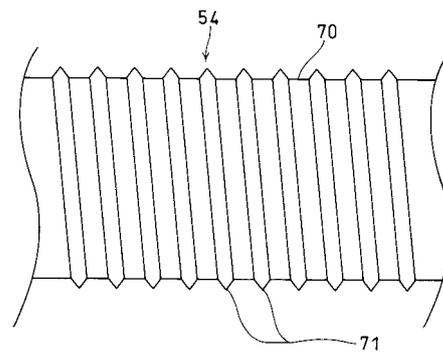
【図 70】



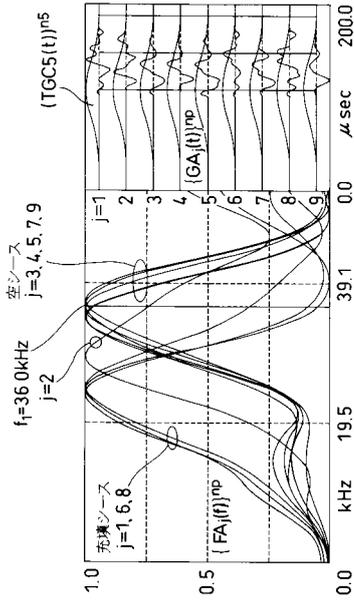
【図 71】



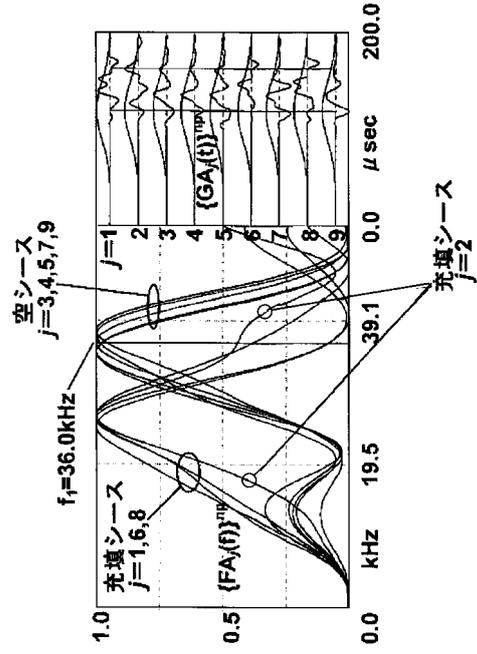
【図 72】



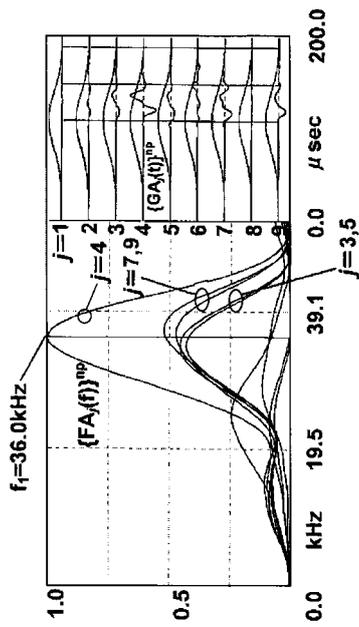
【 図 7 3 】



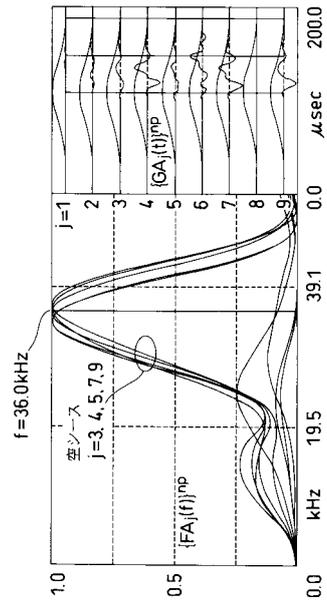
【 図 7 4 】



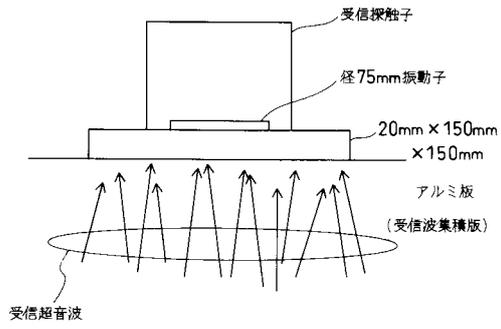
【 図 7 5 】



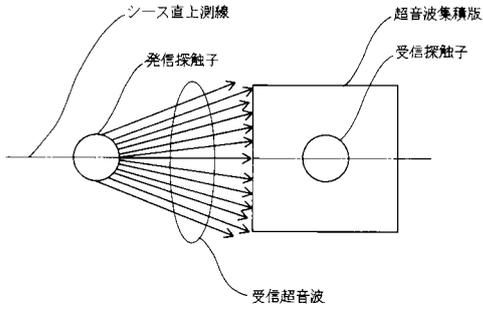
【 図 7 6 】



【図77】



【図78】



フロントページの続き

(73)特許権者 505398963

西日本高速道路株式会社
大阪府大阪市北区堂島一丁目6番20号

(74)代理人 100090158

弁理士 藤巻 正憲

(72)発明者 廣瀬 正行

東京都葛飾区亀戸1丁目10番13-308

(72)発明者 原 幹夫

東京都新宿区神楽坂1丁目15番地 株式会社日本ピーエス東京支店内

(72)発明者 青木 圭一

静岡県静岡市御幸町11-30エクセワード静岡ビル14F 日本道路公団静岡建設局

(72)発明者 寺田 典生

静岡県静岡市御幸町11-30エクセワード静岡ビル14F 日本道路公団静岡建設局

審査官 田中 洋介

(56)参考文献 国際公開第03/048758(WO, A1)

国際公開第02/093158(WO, A1)

原幹夫 他, 広帯域超音波探査法を用いたPCグラウトの充填度測定, 第12回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集, 2003年 9月25日, pp.61-64

植松恵一 他, 超音波リアルタイム計測手法を用いたコンクリートの内部探知に関する研究, コンクリート工学年次論文集, 2002年, Vol.24 No.2, pp.1575-1580

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01N 29/00 - 29/52

JSTPlus(JDreamII)