

(51)Int.Cl.⁷
G01N 29/12

識別記号

F I
G01N 29/12

テ-マコード (参考)
2G047

審査請求 未請求 請求項の数 7 O L (全 7 頁)

(21)出願番号 特願2001 - 100027(P 2001 - 100027)

(22)出願日 平成13年 3 月30日(2001.3.30)

(71)出願人 000173784
財団法人鉄道総合技術研究所
東京都国分寺市光町 2 丁目 8 番地38

(71)出願人 591088537
日本物理探鑛株式会社
東京都大田区中馬込 2 丁目 2 番12号

(72)発明者 榎本 秀明
東京都国分寺市光町二丁目 8 番地38 財団
法人鉄道総合技術研究所内

(74)代理人 100097113
弁理士 堀 城之

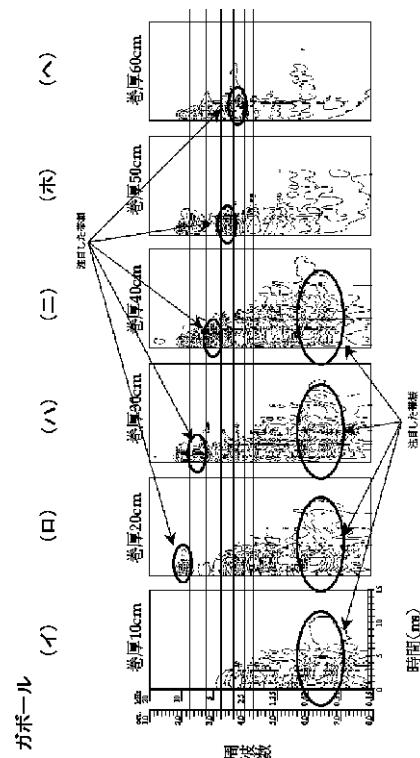
最終頁に続く

(54)【発明の名称】打撃音によるコンクリートの評価手法

(57)【要約】

【課題】 コンクリートの表面を打撃した際に発する打撃音を解析することにより、覆工コンクリートの覆工厚さを評価可能な、打撃音によるコンクリートの評価手法を提供することを目的とする。

【解決手段】 コンクリートの表面を打撃した際に発する打撃音を採取し、該採取した音をウェーブレット変換してスカログラムを作成することにより、コンクリートの厚さを評価するに際し、ウェーブレット変換式におけるマザー関数にガボール関数を用い、さらに、得られたスカログラムにおける概ね 0 . 2 k H z から 1 . 0 k H z に発現する卓越部、あるいは、概ね 2 . 0 k H z から 2 0 . 0 k H z に発現する卓越部に着目する。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 コンクリートの表面を打撃した際に発する打撃音を採取し、該採取した音をウェーブレット変換してスカログラムを作成することにより、前記コンクリートの厚さおよび空洞の有無をも評価可能な、打撃音によるコンクリートの評価手法であって、
ウェーブレット変換式

【数 1】

$$(W_{\psi}f)(b,a) = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{|a|}} \psi\left(\frac{x-b}{a}\right) f(x) dx$$

におけるマザー関数が

【数 2】

$$\psi(x) = \frac{1}{2\sqrt{\pi}\sigma} e^{-\frac{x^2}{\sigma^2}} e^{-ix}$$

であることを特徴とする、打撃音によるコンクリートの評価手法。

【請求項 2】 前記コンクリートの表面に鋼球を衝突させることにより、前記コンクリート内部に発生した弾性波を採取することを特徴とする請求項 1 記載の、打撃音によるコンクリートの評価手法。

【請求項 3】 前記弾性波の採取に際し、円筒状フード付きマイクロフォンの該円筒状フードの前端部を、前記コンクリートの打撃位置の近傍に押し付けることを特徴とする請求項 1 または 2 記載の、打撃音によるコンクリートの評価手法。

【請求項 4】 前記円筒状フードが、塩化ビニール管と、該塩化ビニール管の内部に装入された、中間にゴム管が挟まれた硬質スポンジ管と、該硬質スポンジ管の内部に装入されたコルク管よりなることを特徴とする請求項 1、2 または 3 記載の、打撃音によるコンクリートの評価手法。

【請求項 5】 前記マイクロフォンが、緩衝材を介して支持されることを特徴とする請求項 1 乃至 4 のいずれかに記載の、打撃音によるコンクリートの評価手法。

【請求項 6】 前記スカログラムにおける概ね 0.2 kHz から 1.0 kHz に発現するピークに着目することを特徴とする請求項 1 乃至 5 のいずれかに記載の、打撃音によるコンクリートの評価手法。

【請求項 7】 前記スカログラムにおける概ね 2.0 kHz から 20.0 kHz に発現するピークに着目することを特徴とする請求項 1 乃至 6 のいずれかに記載の、打撃音によるコンクリートの評価手法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、コンクリートの表面を打撃した際に発する打撃音を解析することにより、前記コンクリートの評価、特に、前記コンクリートの厚さ、前記コンクリートに内在する空洞等の有無およびそ

の位置を評価する手法に関する。

【0002】

【従来の技術】従来、コンクリート構造物における内部亀裂や空隙等の内部欠陥の状況を、非破壊で評価する技術として、コンクリート表面を打撃し、その際の打撃音を採取して解析する手法が提案されている。すなわち、1.採取した打撃音をフーリエ変換し、フーリエ振幅スペクトラムにより視覚を通じて客観的に判断する手法（例えば、特許第 1 7 2 9 4 6 6 号公報）、2.採取した打撃音をウェーブレット変換し、スカログラム（コンター図）におけるパターンの相違から、視覚により客観的に判断する手法（例えば、特許第 2 6 1 0 3 7 8 号公報）がある。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、前記①は、定常波解析には有効であるが、打撃音のような非定常波の波形の特徴を表現することは困難で、必ずしも満足な解析結果が得られず、さらに、従来の聴覚による判定とフーリエ振幅スペクトラムとは一般に一致しないという欠点がある。

【0004】これに対し、前記②は、非定常な信号に対してその信号の特徴を明瞭にズームアップすることが可能なウェーブレット変換を用い、視覚による客観的な判定を可能とし、かつ、従来の聴覚による判定を反映するようなデータ処理方法によって、信頼性を高めている。前記②では、マザー関数（前記公報におけるアナライジング・ウェーブレットと同じ）が、メキシカンハットと呼ばれる

【数 3】

$$\psi(x) = -\frac{1}{2} \frac{d^2}{dx^2} e^{-x^2} = (1 - 2x^2) e^{-x^2}$$

である。得られたスカログラム（前記公報における、コンターで表示したスケーログラムと同じ）による判定は、（イ）コンクリートに内在する空洞部では、打撃にともなう振動の内、長周期成分（低周波数、スケールングファクター a の数字が大きいに同じ）の継続時間が長いほど、また、（ロ）長周期成分の継続時間が長く、長周期成分と短周期成分の継続時間が異なるほど、空洞の可能性が高いとするに止まり、

1.コンクリートの厚さ（覆工厚さ、巻厚）を評価することが困難なため、この評価手法が要請されていた。斯かる要請に鑑みて、長年の研究から、マザー関数を特殊な関数に変えれば上記要請を満足することを見いだした。本発明は、コンクリートの厚さを評価可能な、打撃音によるコンクリートの評価手法を提供することを目的とするものである。

【0005】

【課題を解決するための手段】本発明は上記課題を解決すべく以下に掲げる構成とした。請求項 1 記載の発明の要旨は、コンクリートの表面を打撃した際に発する打撃

10

20

30

40

50

音を採取し、該採取した音をウェーブレット変換してスカログラムを作成することにより、前記コンクリートの厚さおよび空洞の有無をも評価可能な、打撃音によるコンクリートの評価手法であって、ウェーブレット変換式【数 4】

$$(W_{\psi}f)(b,a) = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{|a|}} \psi\left(\frac{x-b}{a}\right) f(x) dx$$

におけるマザー関数が

【数 5】

$$\psi(x) = \frac{1}{2\sqrt{\pi}\sigma} e^{-\frac{x^2}{\sigma^2}} e^{-ix}$$

であることを特徴とする、打撃音によるコンクリートの評価手法に存する。請求項 2 記載の発明の要旨は、前記コンクリートの表面に鋼球を衝突させることにより、前記コンクリート内部に発生した弾性波を採取することを特徴とする請求項 1 記載の、打撃音によるコンクリートの評価手法に存する。請求項 3 記載の発明の要旨は、前記弾性波の採取に際し、円筒状フード付きマイクロフォンの該円筒状フードの前端部を、前記コンクリートの打撃位置の近傍に押し付けることを特徴とする請求項 1 または 2 記載の、打撃音によるコンクリートの評価手法に存する。請求項 4 記載の発明の要旨は、前記円筒状フードが、塩化ビニール管と、該塩化ビニール管の内部に装入された、中間にゴム管が挟まれた硬質スポンジ管と、該硬質スポンジ管の内部に装入されたコルク管よりなることを特徴とする請求項 1、2 または 3 記載の、打撃音によるコンクリートの評価手法に存する。請求項 5 記載の発明の要旨は、前記マイクロフォンが、緩衝材を介して支持されることを特徴とする請求項 1 乃至 4 のいずれかに記載の、打撃音によるコンクリートの評価手法に存する。請求項 6 記載の発明の要旨は、前記スカログラムにおける概ね 0.2 kHz から 1.0 kHz に発現するピークに着目することを特徴とする請求項 1 乃至 5 のいずれかに記載の、打撃音によるコンクリートの評価手法に存する。請求項 7 記載の発明の要旨は、前記スカログラムにおける概ね 2.0 kHz から 20.0 kHz に発現するピークに着目することを特徴とする請求項 1 乃至 6 のいずれかに記載の、打撃音によるコンクリートの評価手法に存する。

【0006】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態に係わる打撃音によるコンクリートの評価手法を図面に基づいて詳細に説明する。

【0007】まず、実験装置について説明する。

(実験装置) 本実験装置として、一定の力で打撃すべく図 3 に示す打撃装置 1 を用いた。打撃装置 1 は、支持板 10 に支柱 11 が立設され、支柱 11 により円環状の前面板 12 が支持板 10 と平行に設置されている。前面板

12 の貫通穴 13 の周囲に、ゴム支持部 14 が円周上で等間隔 (45° ピッチで円周上 8 箇所) に設置され、後記ゴム体 30 の一端が設置されている。また、打撃ヘッド 20 は、鋼球 21 (直径 25 mm) と、鋼球 21 に固定された強磁性材料により形成された円盤状の吸着板 22 により形成され、吸着板 22 の外周に沿ってゴム取付部 23 が等間隔 (45° ピッチで円周上 8 箇所) に設置され、後記ゴム体 30 の一端が設置されている。

【0008】ゴム体 30 の両端は、ゴム支持部 14 とゴム取付部 23 に設置され、それぞれのゴム体 30 は、緊張状態 (伸びた状態) で放射状に配置され、打撃ヘッド 20 の中心が貫通穴 13 の中心と略一致するように、打撃ヘッド 20 を弾性的に支持している。そして、打撃ヘッド 20 の鋼球 21 の先端は、貫通穴 13 を貫通して、前面板 12 の支持板 10 の反対面に突出自在である。さらに、支持板 10 には、電磁石 40 を前後進自在に支持する電磁石移動手段 41 が設置され、電磁石移動手段 41 に、その中心が貫通穴 13 の中心と略一致するように、電磁石 40 が支持されている。

【0009】したがって、電磁石 40 を前進して、打撃ヘッド 20 を吸引した後、所定の距離だけ後退し (図 3 に示す状態)、打撃装置 1 をコンクリートの表面の所定の被打撃位置に配置し、かつ、後記フード 51 の端部をコンクリートの表面に軽く押し当てた後、電磁石 40 の励磁を停止することにより、電磁石の吸引力から開放された打撃ヘッド 20 が、引張り力によって、コンクリートの表面を打撃するものである。

【0010】さらに、支柱 11 のひとつに一对の固定腕 52 が設置され、固定腕 52 に打撃音を採取するためのマイクロフォン 50 (可聴域 20 kHz まで) が、緩衝材 58 を介して設置されている。また、該マイクロフォン 50 には、円筒状のフード 51 が設置されている。フード 51 は、外径 70 mm の塩化ビニール管 53 と、塩化ビニール管 53 の内部に装入された、中間に厚さ 2 mm のゴム管 54 を挟んだ外側の硬質スポンジ管 55 および内側の硬質スポンジ管 56 と、内側の硬質スポンジ管 56 (内径 32 mm) の内部に装入されたコルク管 57 (内径 21 mm、肉厚 13 mm) より形成されている。

【0011】したがって、打撃装置 1 本体の振動は、緩衝材 58 により遮断ないし減衰されるから、マイクロフォン 50 に伝わることなく、コンクリートの内部を伝播した音は、フード 51 により効率的に集音され、マイクロフォン 50 に採取される。よって、略一定の強さで打撃を繰り返すことができ、また、打撃にともなう雑音の発生が少なく、さらに、前記ウェーブレット変換の精度を阻害する雑音を遮蔽した、効率的な音の採取が可能になる。

【0012】次に、上記打撃装置 1 を用いた実験方法について説明する。

(実験方法)

1. 打撃装置 1 を評価対象であるコンクリートの表面の所定の被打撃位置に配置し、かつ、フード 5 1 の端部をコンクリートの表面に軽く押し当てる。(鋼球 2 1 はコンクリートの表面から 5 c m 離れている)

2. 打撃装置 1 のリモートスイッチを押す。

3. 打撃装置 1 の電磁石 4 0 が前進し、鋼球 2 1 を吸引した後、所定の距離だけ後退し、電磁石 4 0 の励磁が停止する。このとき、電磁石 4 0 の吸引力から開放された鋼球 2 1 が、ゴム体 3 0 の引張り力によって、コンクリートの表面を打撃する。

4. そして、鋼球 2 1 の衝突で発生する音 (コンクリート、鋼球、打撃装置の各部材、等) のうち、コンクリート内部に発生した弾性波を、マイクロフォン 5 0 で音として補足する。

【 0 0 1 3 】 5. 該補足した音 (音圧波形) を時系列データとして前記ウェーブレット変換 (マザー関数としてガボール関数を用いる) する (後述) 。

6. 変換結果は、周波数 0 . 1 2 5 o c t . 毎、 2 0 μ s 毎の振幅値を出力する。

7. 変換後の振幅値を用いて、スカログラム (コンター図) を描画する。このとき、該スカログラムは、それぞれの音の変換された振幅値の最大値を 1 0 0 とした相対表示で、打撃方法はほぼ均一であるが、コンクリートの状態により音の大きさ (音圧) は異なる。

8. 該描画されたスカログラムについて、特定の帯域に分割し、その帯域ごとの振幅 (相対値) の絶対量や、複数の帯域間で振幅の絶対量の比率をもとに、厚さを評価する。

9. さらに、特定の帯域における振幅の減衰が小さい (振動が継続する) との現象を捉えて、空洞の有無を評価することもできる。 10. そして、この評価結果をパソコンのディスプレイに表示する。

【 0 0 1 4 】 次に、上述のウェーブレット変換について説明する。

(ウェーブレット変換) 本発明の一実施の形態に係る打撃音によるコンクリートの評価手法における、ウェーブレット変換式を数 1 に示す。

【 数 6 】

$$(W_{\psi}f)(b,a) = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{|a|}} \psi\left(\frac{x-b}{a}\right) f(x) dx$$

式中、 a はスケーリングファクター、 b は経過時間、 ((x - b) / a) はマザー関数、 f (x) は時系列データ、 x は測定時間を示す。

【 0 0 1 5 】 (マザー関数) 本発明の一実施の形態に係る打撃音によるコンクリートの評価手法における、ウェーブレット変換に用いたマザー関数はガボール関数であり数 2 に示す。

【 数 7 】

$$\psi(x) = \frac{1}{2\sqrt{\pi}\sigma} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}} e^{-ix}$$

式中、 σ は窓の幅を示す。

【 0 0 1 6 】 (スカログラム) 図 1 は、本発明の一実施の形態に係る打撃音によるコンクリートの評価手法における、コンクリートの厚さをそれぞれ変更して打撃した際の打撃音を時系列データとして採取し、これを前記ウェーブレット変換した後のスカログラム (振動の振幅値のレベルごとにコンター表示したもの) である。

【 0 0 1 7 】 図 1 において、縦軸はスケーリングファクター (目盛は音階 (オクターブ) および振動周波数 (キロヘルツ) である)、横軸は測定時間 (目盛はミリ秒である) であって、変換結果は、周波数 0 . 1 2 5 o c t . 毎、時間 2 0 μ s 毎の振幅値を出力したものである。また、図 1 の (イ) 乃至 (ヘ) は、それぞれ 1 0 c m、 2 0 c m、 3 0 c m、 4 0 c m、 5 0 c m、 6 0 c m のコンクリート厚さ (巻厚) におけるものである。

【 0 0 1 8 】 図 1 の (イ) はコンクリートの厚さが 1 0 c m におけるスカログラムである。振幅の山が低周波数領域 (0 . 2 ~ 1 . 0 k H z) に発現し、そのピークは、略 0 . 4 k H z にある。一方、高周波数領域 (2 . 0 ~ 2 0 . 0 k H z) の振動は無い。これは、コンクリートの厚さが 1 0 c m 程度の薄いコンクリート板においては、板振動が卓越し、板内の縦波が捉えられないからである。

【 0 0 1 9 】 図 1 の (ロ) はコンクリートの厚さが 2 0 c m におけるスカログラムであって、低周波数領域 (0 . 2 ~ 1 . 0 k H z) に振幅の第一の山が発現し、そのピークは、略 0 . 5 k H z にある。一方、高周波数領域 (2 . 0 ~ 2 0 . 0 k H z) に振幅の第二の山 (第一の山より小さい振幅) が発現し、そのピークは略 1 0 k H z にある。すなわち、コンクリート板内を往復する縦波が、該高周波数領域における振幅の第二の山として発現している。

【 0 0 2 0 】 図 1 の (ハ) はコンクリートの厚さが 3 0 c m におけるスカログラムであって、低周波数領域 (0 . 2 ~ 1 . 0 k H z) に振幅の第一の山が発現し、そのピークは、略 0 . 5 k H z にある。一方、高周波数領域 (2 . 0 ~ 2 0 . 0 k H z) に振幅の第二の山が発現し、そのピークは略 6 . 0 k H z にある。すなわち、前記 (ロ) に比較してコンクリートの板厚が増した分、コンクリートを往復する縦波の周波数が低周波数側に移行している。

【 0 0 2 1 】 図 1 の (ニ) はコンクリートの厚さが 4 0 c m におけるスカログラムであって、低周波数領域 (0 . 2 ~ 1 . 0 k H z) の振幅が全体に小さくなって、第二の山が発現し、そのピークは、略 0 . 6 k H z にある。一方、高周波数領域 (2 . 0 ~ 2 0 . 0 k H z) に振幅の第一の山が発現し、そのピークは略 5 . 0

k H zにある。すなわち、コンクリート板の剛性が高まったため、板振動に基づく低周波数領域の振動の振幅が小さくなり、一方、コンクリート板内を往復する縦波に基づく高周波数領域の振幅が顕著になっている。

【0022】図1の(ホ)はコンクリートの厚さが50cmにおけるスカログラムであって、低周波数領域(0.2~1.0kHz)の振幅の山が消え、一方、高周波数領域(2.0~20.0kHz)に振幅の第一の山が発現し、そのピークは略4.0kHzにある。すなわち、コンクリート板の剛性が高まったため、板振動に基づく低周波数領域の振動は最早発現せず、一方、コンクリート板内を往復する縦波に基づく高周波数領域の振幅のみが現れている。

【0023】図1の(ヘ)はコンクリートの厚さが60cmにおけるスカログラムであって、低周波数領域(0.2~1.0kHz)の振幅の山が消え、一方、高周波数領域(2.0~20.0kHz)に振幅の第一の山が発現し、前記(ホ)と同様のパターンを示している。そして、そのピークは略3.0kHzにあって、コンクリートの厚さが厚くなった分、低周波数側に移行している。

【0024】以上のごとく、コンクリートが薄いものから厚いものになるにしたがい、低周波数領域におけるピークが小さくなり、高周波数領域におけるピークが発現しピークが強くなると同時に発現する周波数が漸減する。

【0025】以上の、説明から明らかなように、板振動に基づく低周波数領域(概ね0.2~1.0kHz)の振幅のパターンないしそのピーク、あるいは、コンクリート内を伝播する縦波に基づく高周波数領域(概ね2.0~20.0kHz)の振幅のパターンないしそのピークを把握することにより、コンクリートの厚さを評価することができる。さらに、特定の帯域において振幅の減衰が小さい(振動が継続する)との現象を捉えることにより、空洞の有無、ないしその位置を推定できる。

【0026】(メキシカンハット変換)図2には、本発明との比較をするため、従来技術におけるスカログラムを示す。すなわち、前記と同様にコンクリートの厚さ(巻厚)をそれぞれ変更して打撃した際の打撃音を時系列データとして採取し、これをメキシカンハット変換した後のスカログラムであって、(イ)、(ロ)、(ハ)、(ニ)、(ホ)および(ヘ)は、それぞれ、コンクリートの厚さが、10cm、20cm、30cm、40cm、50cmおよび60cmの場合である。図2より明らかなように、低周波数領域(0.2~1.0kHz)および高周波数領域(2.0~20.0kHz)の、着目した何れの帯域においても、明瞭な振幅の山が発現していない。すなわち、板振動に基づく低周波数領域の振動、あるいは、コンクリート板内を往復する縦波に基づく高周波数領域の振動など、本発明のようなコン

クリートの厚さと関連づけられる情報を得ることができない。

【0027】

【発明の効果】以上のごとく、本発明によれば、コンクリート内部を伝播した音をウェーブレット変換するに際し、そのマザー関数にガボール関数を用いるため、コンクリートの厚さを評価することが可能になるとの顕著な効果が得られる。

【図面の簡単な説明】

10 【図1】本発明の一実施の形態に係る打撃音によるコンクリートの評価手法における、コンクリートの厚さをそれぞれ変更して打撃した際の打撃音を時系列データとして採取し、これをウェーブレット変換した後のスカログラムであって、(イ)、(ロ)、(ハ)、(ニ)、(ホ)および(ヘ)は、それぞれ、コンクリートの厚さが、10cm、20cm、30cm、40cm、50cmおよび60cmの場合である。

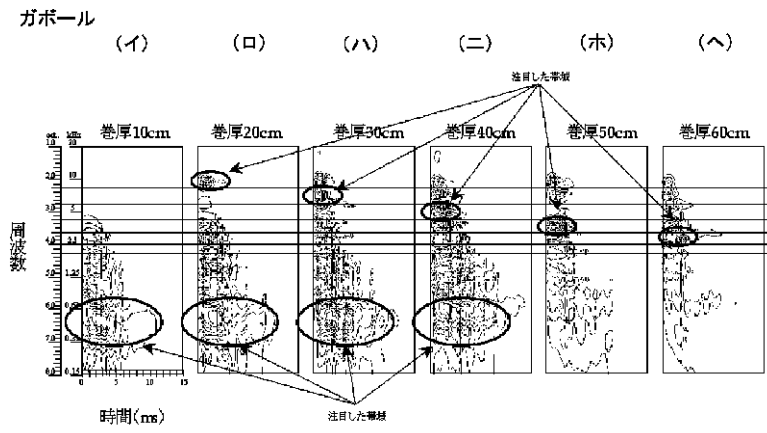
20 【図2】従来の打撃音によるコンクリートの評価手法における、コンクリートの厚さをそれぞれ変更して打撃した際の打撃音を時系列データとして採取し、これをメキシカンハット変換した後のスカログラムであって、(イ)、(ロ)、(ハ)、(ニ)、(ホ)および(ヘ)は、それぞれ、コンクリートの厚さが、10cm、20cm、30cm、40cm、50cmおよび60cmの場合である。

【図3】本発明の一実施の形態に係る打撃音によるコンクリートの評価手法における、コンクリート表面を打撃する打撃装置を示す断面図である。

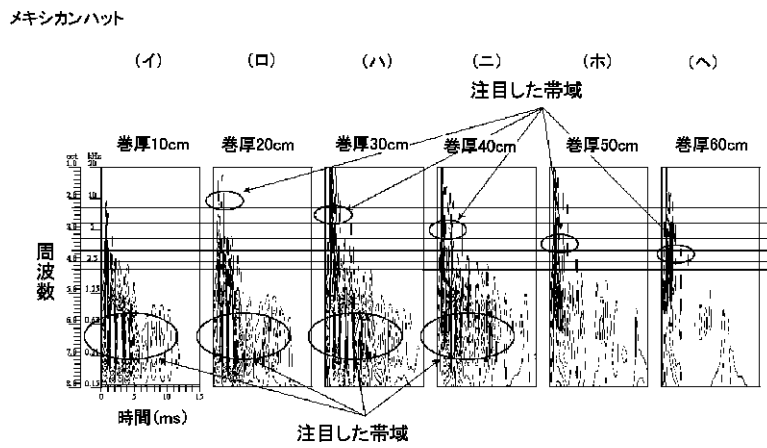
【符号の説明】

- | | | |
|----|----|------------|
| 30 | 1 | 打撃装置 |
| | 10 | 支持板 |
| | 11 | 支柱 |
| | 12 | 前面板 |
| | 13 | 貫通穴 |
| | 14 | ゴム支持部 |
| | 20 | 打撃ヘッド |
| | 21 | 鋼球 |
| | 22 | 吸着板 |
| | 23 | ゴム取付部 |
| 40 | 30 | ゴム体 |
| | 40 | 電磁石 |
| | 41 | 電磁石移動手段 |
| | 50 | マイクロフォン |
| | 51 | フード |
| | 52 | 固定腕 |
| | 53 | 塩化ビニール管 |
| | 54 | ゴム管 |
| | 55 | 外側の硬質スポンジ管 |
| | 56 | 内側の硬質スポンジ管 |
| 50 | 57 | コルク管 |

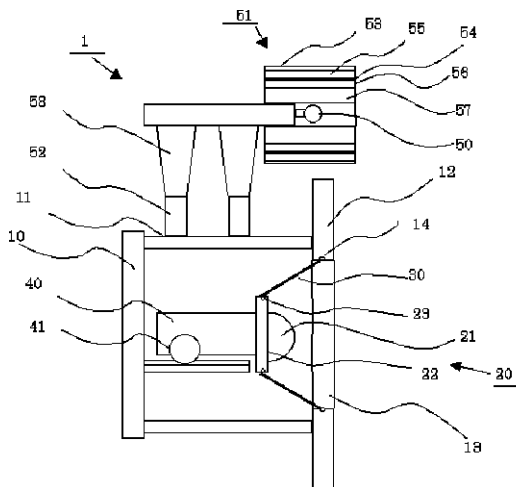
【図1】



【図2】



【図3】



フロントページの続き

(72)発明者 稲川 敏春
東京都国分寺市光町二丁目 8 番地38 財団
法人鉄道総合技術研究所内

(72)発明者 鈴木 文大
東京都大田区中馬込二丁目 2 番12号 日本
物理探鑛株式会社内

(72)発明者 松林 弘智
東京都大田区中馬込二丁目 2 番12号 日本
物理探鑛株式会社内

(72)発明者 千鳥 雅由
東京都大田区中馬込二丁目 2 番12号 日本
物理探鑛株式会社内

Fターム(参考) 2G047 AA10 BA04 BC04 BC10 BC18
CA03 EA10 EA11 GD02 GG08
GG10 GG33 GH06