

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2015-81902

(P2015-81902A)

(43) 公開日 平成27年4月27日 (2015.4.27)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
GO 1 N 29/04 (2006.01)	GO 1 N 29/10 5 O 3	2 G O 4 7
GO 1 N 29/24 (2006.01)	GO 1 N 29/24 5 O 4	
GO 1 N 29/00 (2006.01)	GO 1 N 29/18	

審査請求 未請求 請求項の数 16 O L (全 33 頁)

(21) 出願番号	特願2013-221463 (P2013-221463)	(71) 出願人	000002174
(22) 出願日	平成25年10月24日 (2013.10.24)		積水化学工業株式会社
			大阪府大阪市北区西天満2丁目4番4号
		(71) 出願人	591053856
			新日本非破壊検査株式会社
			福岡県北九州市小倉北区井堀4丁目10番
			13号
		(74) 代理人	110000844
			特許業務法人 クレイア特許事務所
		(72) 発明者	畑中 健一
			京都府京都市南区上鳥羽上調子町2-2
			積水化学工業株式会社内
		(72) 発明者	安部 裕幸
			京都府京都市南区上鳥羽上調子町2-2
			積水化学工業株式会社内

最終頁に続く

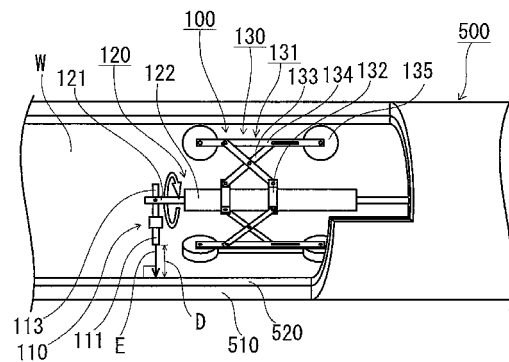
(54) 【発明の名称】 金属複層体の層厚試験法および金属複層体の層厚試験装置

(57) 【要約】

【課題】コンクリート層を金属層の表面上に有する複合層について、非破壊方式で、金属層の厚みに関する情報を取得することができる方法を提供する

【解決手段】本発明の金属複層体の層厚試験法は、金属層と、金属層の表面上に設けられたセメント含有層とを含む複層体の層厚を試験する方法である。層厚試験法は、水媒体を介して、複層体のセメント含有層の側から金属層の側へ向かう方向に発信される超音波に供する発信工程と、超音波伝播時間に対する反射波を受信し、反射波の強度の波形を取得する波形取得工程と、取得された波形から、少なくとも、金属層とセメント含有層との境界面で最初に反射した界面反射波のピークと、金属層のセメント含有層とは反対側の表面で最初に反射した外面反射波のピークとを判定する判定工程と、界面反射波のピークと外面反射波のピークとの検出時間差に基づいて金属層の肉厚を算出する肉厚算出工程とを含む。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

金属層と、前記金属層の表面上に設けられた多孔質層とを含む複層体を、水媒体が介在する条件下、前記多孔質層の側から前記金属層の側へ向かう方向に発信される超音波に供する発信工程と、

前記超音波の伝播時間に対する前記超音波の反射波を受信し、前記反射波の強度の波形を取得する、波形取得工程と、

前記波形から、少なくとも、前記金属層と前記多孔質層との境界面で最初に反射した第 1 界面反射波のピークと、前記金属層の前記多孔質層とは反対側の面で最初に反射した第 1 外面反射波のピークとを判定する判定工程と、

前記第 1 界面反射波のピークと前記第 1 外面反射波のピークとの検出時間差に基づいて、前記金属層の肉厚を算出する肉厚算出工程とを含む、金属複層体の層厚試験法。

10

【請求項 2】

金属層と、前記金属層の表面上に設けられた多孔質層とを含む複層体を、水媒体が介在する条件下、前記多孔質層の側から前記金属層の側へ向かう方向に発信される超音波に供する発信工程と、

前記超音波の伝播時間に対する前記超音波の反射波を受信し、前記反射波の強度の波形を取得する、波形取得工程と、

前記波形が、前記金属層中での n 重反射 (n は、2 以上の整数である) による多重ピークとして検出される場合に、前記波形から、前記金属層の前記多孔質層とは反対側の面で反射した外面反射波のピークを少なくとも 2 本判定する判定工程と、

判定された前記外面反射波のピークから任意に選択される少なくとも 2 本のピークの検出時間に基づいて、前記金属層の肉厚を算出する肉厚算出工程とを含む、金属複層体の層厚試験法。

20

【請求項 3】

前記多孔質がセメント含有物質である、請求項 1 または 2 に記載の層厚試験法。

【請求項 4】

前記発信工程において発信される前記超音波の周波数が、1 MHz 以上 9 MHz 以下である、請求項 1 から 3 のいずれか 1 項に記載の金属複層体の層厚試験方法。

30

【請求項 5】

前記複層体が、金属管の内周面に前記多孔質層がライニング層としてライニングされた複合管であり、前記超音波は、前記複合管の内部に設けられたプローブ部から発信される、請求項 1 から 4 のいずれか 1 項に記載の金属複層体の層厚試験方法。

【請求項 6】

前記発信工程において、前記超音波が、前記ライニング層の内表面に対して垂直に発信される角度を保ちながら、前記複合管の全内周を走査するように発信される、請求項 5 に記載の金属複層体の層厚試験方法。

【請求項 7】

前記セメント含有物質がモルタルである、請求項 3 から 6 のいずれか 1 項に記載の金属複層体の層厚試験方法。

40

【請求項 8】

前記金属層が鋳鉄および鋼の少なくともいずれかである、請求項 1 から 7 のいずれか 1 項に記載の金属複層体の層厚試験方法。

【請求項 9】

請求項 1 から 8 のいずれか 1 項に記載の方法に用いられる金属複層体の層厚試験装置であって、

超音波を発信するためのプローブ部と、

前記プローブ部のヘッド部と前記多孔質層の表面とを離間させる離間部と、

前記超音波の伝播時間に対する前記超音波の反射波の強度の波形を取得する、波形取得

50

部と、

前記波形から、少なくとも、前記金属層と前記多孔質層との境界面で最初に反射した第1界面反射波のピークと、前記金属層の前記多孔質層と反対側の面で最初に反射した第1外面反射波のピークとを判定する判定部と、

前記第1界面反射波のピークと前記第1外面反射波のピークとの検出時間差に基づいて前記金属層の肉厚を算出するための肉厚算出部と、

を含む、金属複層体の層厚試験装置。

【請求項10】

請求項1から8のいずれか1項に記載の方法に用いられる金属複層体の層厚試験装置であって、

超音波を発信するためのプローブ部と、

前記プローブ部のヘッド部と前記多孔質層の表面とを離間させる離間部と、

前記超音波の伝播時間に対する前記超音波の反射波の強度の波形を取得する、波形取得部と、

前記波形が、前記金属層中での n 重反射(n は、2以上の整数である)による多重ピークとして検出される場合に、前記波形から、前記金属層の前記多孔質層と反対側の面で反射した外面反射波のピークを少なくとも2本判定する判定部と、

判定された前記外面反射波のピークから任意に選択される少なくとも2本のピークの検出時間に基づいて前記金属層の肉厚を算出するための肉厚算出部と、

を含む、金属複層体の層厚試験装置。

【請求項11】

前記超音波が、前記多孔質層の内表面に対して垂直に発信される角度を保持する角度保持部を含む、請求項9または10に記載の金属複層体の層厚試験装置。

【請求項12】

前記金属複層体が、金属管の内周面に前記多孔質層がセメント含有ライニング層としてライニングされた金属複合管であり、前記離間部が、前記金属複合管の軸心方向に走行可能な移動機構を含む、請求項9から11のいずれか1項に記載の金属複層体の層厚試験装置。

【請求項13】

前記金属複層体が、金属管の内周面に前記多孔質層がセメント含有ライニング層としてライニングされた金属複層管であり、前記超音波が、前記複合管の全内周を走査するように発信される、請求項9から12のいずれか1項に記載の金属複層体の層厚試験装置。

【請求項14】

前記プローブ部が、前記金属複合管の軸心を回転軸として前記金属複合管内部で回転可能に設けられる、請求項13に記載の金属複層体の層厚試験装置。

【請求項15】

前記超音波の周波数が1MHz以上9MHz以下となるように設定されている、請求項9から14のいずれか1項に記載の層厚試験装置。

【請求項16】

前記プローブ部が、超音波探触子を含む、請求項9から15のいずれか1項に記載の金属複層体の層厚試験装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、金属複層体の層厚試験法および金属複層体の層厚試験装置に関する。特に、本発明は、埋設配管の劣化程度の試験法およびそのための装置に関する。

【背景技術】

【0002】

従来から、複層体の構成層の厚みを非破壊方式で測定する方法が採用されている。

10

20

30

40

50

たとえば、特開昭 60 - 123712 号公報（特許文献 1）には、管の表面に超音波探触子を設置して半径方向に超音波を発し、対向側のライニング内面からの反射波を検出し、この反射波のエネルギー損失によりライニング厚を測定することを特徴とする管内面ライニング厚の測定方法が開示されている。

【0003】

また、特開昭 63 - 3211 号公報（特許文献 2）には、金属製本体の表面に一体に形成された、強化繊維と金属マトリックスとよりなる繊維強化複合層の厚さを測定するに当り、繊維強化樹脂複合層の表面に向けて超音波を発信して反射波を逐次受信し、超音波の発信から強化繊維による最終反射波受信までの時間を繊維強化複合層の厚さに換算することを特徴とする、超音波による繊維強化複合層の厚さ測定方法が開示されている。

10

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献 1】特開昭 60 - 123712 号公報

【特許文献 2】特開昭 63 - 3211 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

特許文献 1 の方法は、金属およびコンクリートから構成される複合管の、コンクリートライニング層の厚みを測定するものである。この方法では、複合管の外側に接触型超音波探触子を設置する必要がある。従って、埋設管路について適用する場合、開削作業が必要となる。さらに、特許文献 1 の方法は、ライニング厚を測定する方法であり、金属層の厚みを測定することは記載されていない。

20

特許文献 2 の方法は、水浸式超音波法で、超音波入射側である繊維強化層の厚みを測定するものである。しかしながら、裏層である金属層の厚みを測定できることは記載されていない。

【0006】

本発明の目的は、一般的技術常識において超音波の減衰が特に大きいと考えられている多孔質層を金属層の表面上に有する複合層について、非破壊方式で、金属層の厚みに関する情報を取得することができる方法を提供することにある。

30

【課題を解決するための手段】

【0007】

(1)

一局面に従う金属複層体の層厚試験法は、金属層と、金属層の表面上に設けられた多孔質層とを含む複層体の層厚を試験する方法である。層厚試験法は、水媒体を介して、複層体の多孔質層の側から金属層の側へ向かう方向に発信される超音波に供する発信工程と；超音波伝播時間に対する反射波を受信し、反射波の強度の波形を取得する波形取得工程と；取得された波形から、少なくとも、金属層と多孔質層との境界面で最初に反射した第 1 界面反射波のピークと、金属層の多孔質層とは反対側の面で最初に反射した第 1 外面反射波のピークとを判定する判定工程と；第 1 界面反射波のピークと第 1 外面反射波のピークとの検出時間差に基づいて金属層の肉厚を算出する肉厚算出工程とを含む。

40

【0008】

これによって、非破壊方式で金属層の肉厚を測定することができる。

【0009】

(2)

一局面に従う金属複層体の層厚試験法は、金属層と、金属層の表面上に設けられた多孔質層とを含む複層体の層厚を試験する方法である。層厚試験法は、水媒体を介して、複層体の多孔質層の側から金属層の側へ向かう方向に発信される超音波に供する発信工程と；超音波伝播時間に対する反射波を受信し、反射波の強度の波形を取得する波形取得工程と；取得された波形が、金属層中での n 重反射（ n は、2 以上の整数である）による多重ビ

50

ークとして検出される場合に、当該波形から、金属層の多孔質層とは反対側の面で反射した外面反射波のピークを少なくとも2本判定する判定工程と；判定された外面反射波のピークから任意に選択される少なくとも2本のピークの検出時間に基づいて金属層の肉厚を算出する肉厚算出工程とを含む。

【0010】

これによって、非破壊方式で金属層の肉厚を測定することができる。

【0011】

第1界面反射波のピーク、外面反射波（第1外面反射波を含む）のピークは、反射波として判別可能な態様で検出されるピークであり、例えば、シグナルノイズ比（ S/N ）が2.5以上、好ましくは3以上であるものをいう。

10

【0012】

多孔質とは、3次元に連なった連続気孔を持つ固体物質である。

多孔質は、音響インピーダンスが特に小さい（つまり固体および液体と比べて極めて小さい）空気連続気孔内が満たされていることに起因し、超音波を照射しても物質内部で散乱して透過しにくい。このため、多孔質は本来的に超音波測定に適さない。本発明の層厚試験法においては、水媒体を介在させるとともに、多孔質層に水媒体が含浸され、連続気孔内が、音響インピーダンスがより大きい（つまり固体に近い音響インピーダンスを有する）水で満たされる。つまり、連続気孔内が空気から水に置換される。このため、多孔質を構成する固体との音響インピーダンスの差が小さくなることで、超音波が透過しやすくなり、超音波測定を可能にしていることが考えられる。

20

【0013】

（3）

本発明の層厚試験方法において、多孔質はセメント含有物質であってよい。

セメント含有物質は水と音響インピーダンスが特に近いため、水媒体の介在によって音響インピーダンスの差が小さくなり、超音波測定がより容易となる。

【0014】

（4）

本発明の層厚試験法においては、発信工程において発信される超音波の周波数が、1 MHz以上9 MHz以下である事が好ましい。

【0015】

30

これによって、超音波伝播時間に対する反射波強度の波形においてピークを分離して検出する分解能が得られやすい。したがって、金属層の肉厚をより正確に取得しやすい。超音波が金属層内部を透過しやすくなるため、上記の外面反射波が感度の高い状態で得られやすくなる。

【0016】

（5）

本発明の層厚試験法の試験対象は、金属管の内周面に多孔質層がライニング層としてライニングされた複合管であってもよい。この場合、超音波は、複合管の内部に設けられたプローブ部から発信される。

【0017】

40

ライニング層は、基材（本発明においては金属）の表面に比較的厚く被覆された、基剤の腐食、摩耗、汚染を防ぐ層である。プローブ部は、少なくとも超音波探触子を含む部材である。

この場合、水が満たされた複合管の内部にプローブ部を挿入して層厚試験を行うことができるため、特に複合管が埋設されている場合に、開削作業が不要となる。

【0018】

（6）

発信工程においては、超音波が、ライニング層の内表面に対して垂直に発信される角度を保ちながら、複合管の全内周を走査するように発信されることができる。

なお、プローブ部のヘッド部とライニング層の内表面との間の距離は、介在する水媒体

50

の厚みに相当する。ヘッド部は、プローブ部を構成する超音波探触子の筐体における超音波発信側の外表面をいう。

【0019】

また、ライニング層の内表面に対して垂直とは、ライニング層の内表面の接線に対して厳密に90度を成す角に限定される意ではなく、当該接線に対して85度以上95度以下を成す角も許容する意である。さらに、許容範囲をさらに88度以上92度以下とすれば、エコー高さが90度の場合の半分（具体例として6dB分減少）程度に留まらせることができる点で好ましい。

【0020】

さらに、超音波が発信される位置の、中心軸から上記接線（超音波が入射するライニング層の内表面の接線）に平行な径方向へのずれも許容する。このずれの許容範囲は、水距離にも依存するが、中心軸から上記径方向へ $\pm 5\text{ mm}$ 以内であり、好ましくは $\pm 3\text{ mm}$ 以内である。これにより、ずれがない場合に比べ、エコー高さを半分（具体例として6dB分減少）程度に留まらせることができる。

【0021】

これによって、金属管の全周の肉厚を試験することができる。

【0022】

(7)

本発明の層厚試験法においては、試験対象のセメント含有物質がモルタルであってよい。

【0023】

これによって、本発明は、特に試験対象がモルタルライニング管である場合において、高い汎用性を実現することができる。

【0024】

(8)

本発明の層厚試験法においては、試験対象の金属層が鋳鉄および鋼の少なくともいずれかであってよい。

【0025】

これによって、本発明は、特に試験対象が埋設ライニング配管である場合において、高い汎用性を実現することができる。また、試験対象が地下タンクなどの埋設ライニング鋼構造物である場合にも有用である。

【0026】

(9)

他の局面に従う金属複層体の層厚試験装置は、(1)から(8)のいずれかに記載の方法に用いられ、超音波を発信するためのプローブ部と；プローブ部のヘッド部と多孔質層の表面とを離間させる離間部と；超音波伝播時間に対する反射波強度の波形を取得する波形取得部と；取得された波形から、少なくとも、金属層と多孔質層との境界面で最初に反射した第1界面反射波のピークと、金属層の多孔質層とは反対側の面で最初に反射した第1外面反射波のピークとを判定する判定部と；第1界面反射波のピークと第1外面反射波のピークとの検出時間差に基づいて金属層の肉厚を算出する肉厚算出部とを含む。

【0027】

これによって、非破壊方式で金属層の肉厚を正確に取得することができる。

【0028】

(10)

さらに他の局面に従う金属複層体の層厚試験装置は、(1)から(8)のいずれかに記載の方法に用いられ、超音波を発信するためのプローブ部と；プローブ部のヘッド部と多孔質層の表面とを離間させる離間部と；超音波伝播時間に対する反射波強度の波形を取得する波形取得部と；取得された波形が、金属層中での n 重反射（ n は、2以上の整数である）による多重ピークとして検出される場合に、当該波形から、金属層の多孔質層とは反対側の面反射した外面反射波のピークを少なくとも2本判定する判定部と；判定された外

10

20

30

40

50

面反射波のピークから任意に選択される２本の少なくともピークの検出時間に基づいて金属層の肉厚を算出する肉厚算出部とを含む。

【００２９】

これによって、非破壊方式で金属層の肉厚を正確に取得することができる。

【００３０】

(１１)

本発明の金属複層体の層厚試験装置は、超音波が多孔質層の内表面に対して垂直に発信される角度を保持する角度保持部を含んでよい。

【００３１】

これによって、エコーピークを十分な強度で検出することができる。

10

なお、角度保持部は、離間部とは別に設けられてもよいし、離間部の一構成としてもつけられてもよい。

【００３２】

(１２)

本発明の金属複層体の層厚試験装置は、金属管の内周面に多孔質層がセメント含有ライニング層としてライニングされた金属複合管を試験対象とし、離間部が、金属複合管の軸心方向に走行可能な移動機構を含んでよい。

【００３３】

これによって、金属管の軸方向について肉厚を試験することができる。

【００３４】

20

(１３)

本発明の金属複層体の層厚試験装置は、金属管の内周面に多孔質層がセメント含有ライニング層としてライニングされた金属複合管を試験対象とし、超音波が複合管の全内周を走査するように発信されるように構成されてよい。

【００３５】

これによって、金属管の全周の肉厚を試験することができる。

【００３６】

(１４)

本発明の金属複層体の層厚試験装置は、金属管の内周面に多孔質層がセメント含有ライニング層としてライニングされた金属複合管を試験対象とし、プローブ部が、金属複合管の軸心を回転軸として金属複合管内部で回転可能に設けられてよい。

30

【００３７】

これによって、金属管の全周の肉厚を試験することができる。なお、本発明の層厚試験装置は、当該回転軸を機械的構成の一部として有するか否かを問わない。本発明の層厚試験装置が、当該回転軸を機械的構成の一部として有さない場合の例として、離間部が、金属複合管の内周に（すなわちライニング層の表面を周方向に）沿って走行可能な移動機構を含んでいる場合が挙げられる。

【００３８】

本発明の金属複層体の層厚試験装置は、金属管の内周面に多孔質層がセメント含有ライニング層としてライニングされた金属複合管を試験対象とし、プローブ部が、金属複合管の軸心位置から当該軸心方向に超音波を発信するように設けられ、発信された超音波を、ライニング層の内表面に入射するように屈折させる屈折部が、複合管の軸心を回転軸として回転可能に設けられてもよい。

40

【００３９】

これによって、複合管の全内周を走査するように発信されることができる。したがって、金属管の全周の肉厚を試験することができる。

【００４０】

(１５)

本発明の金属複層体の層厚試験装置は、超音波の周波数が１ＭＨｚ以上９ＭＨｚ以下となるように設定されてよい。

50

これによって、超音波伝播時間に対する反射波強度の波形においてピークを分離して検出する分解能が得られやすい。したがって、金属層の肉厚をより正確に取得しやすい。超音波が金属層内部を透過しやすくなるため、上記の外部面反射波が感度の高い状態で得られやすくなる。

【 0 0 4 1 】

(1 6)

本発明の金属複層体の層厚試験装置は、プローブ部が、超音波探触子を含むものであってよい。

これによって、一般的に水浸法に用いられる超音波探触子を用いることができる。なお、超音波探触子は、圧電特性を有する振動子に吸音材と保護板とを張り合わせて筐体内に収容された超音波センサが一般的である。

10

【発明の効果】

【 0 0 4 2 】

本発明によると、多孔質層を金属層の表面上に有する複合層について、非破壊方式で、金属層の厚みに関する情報を取得することができる方法を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 4 3 】

【図 1】本実施の形態の層厚試験法の一例を示す模式図である。

【図 2】本実施の形態の層厚試験法の一例を示す模式図である。

【図 3】本実施の形態の層厚試験法の一例を示す模式的な一部拡大図である。

20

【図 4】本実施の形態の層厚試験法の一例を示す模式的な一部拡大図である。

【図 5】本実施の形態の層厚試験装置の要部の一例を示すブロック図である。

【図 6】本実施の形態の層厚試験法における検出ピークパターンの一例を示す模式図である。

【図 7】本実施の形態の層厚試験法における検出ピークパターンの他の例を示す模式図である。

【図 8】本実施の形態の層厚試験法における検出ピークパターンのさらに他の例を示す模式図である。

【図 9】本実施の形態の層厚試験法のための他の一例を示す模式図である。

【図 10】実施例 1 で得られた層厚試験結果である。

30

【図 11】実施例 2 で得られた層厚試験結果である。

【図 12】実施例 3 で得られた層厚試験結果である。

【図 13】実施例 4 で得られた層厚試験結果である。

【図 14】実施例 5 で得られた層厚試験結果である。

【図 15】実施例 6 で得られた層厚試験結果である。

【図 16】実施例 7 で得られた層厚試験結果である。

【図 17】参考例 1 で得られた結果である。

【図 18】実施例 8 で得られた層厚試験結果である。

【図 19】実施例 9 で得られた層厚試験結果である。

【図 20】実施例 10 で得られた層厚試験結果である。

40

【図 21】実施例 11 で得られた層厚試験結果である。

【図 22】実施例 12 で得られた層厚試験結果である。

【図 23】参考例 2 で得られた層厚試験結果である。

【発明を実施するための形態】

【 0 0 4 4 】

以下、図面を参照しつつ、本発明の実施の形態について説明する。以下の説明では、同一の要素には同一の符号を付しており、それらの名称および機能も同じである。したがって、それらについての詳細な説明は繰り返さない。

【 0 0 4 5 】

図 1 は、本実施の形態にかかる層厚試験法の一例を模式的に示す一部切欠図である。図

50

2 は、図 1 の層測定試験法において、試験対象のライニング管の軸方向から見た模式図である。図 3 は、本実施の形態に層厚試験法の一例を示す模式的な一部拡大図である。図 5 は、層厚試験装置の一部を示すブロック図である。

【0046】

図 1 および図 2 に示すように、層厚試験法における層厚試験装置 100 の試験対象は、ライニング管 500 である。ライニング管 500 は、金属管 510 の内面に、セメント含有層 520 がライニングされ、且つ地中に埋設されているものである。たとえば、上水道、下水道、工業用水道および農業用水道の配管が挙げられる。

【0047】

金属管 510 の材質としては、鉄（特に鋳鉄）および鋼が挙げられる。

10

鋳鉄は、炭素を約 2.0% 以上含む鉄 - 炭素系合金である。一般的に、炭素を 2.0% 以上 4.5% 以下およびケイ素を 0.5% 以上 3.0% 以下含み、その他、マンガン を 1.0% 以下、リンおよび / または硫黄を 0.1% 程度をさらに含むことが多い（% は、重量を基準とする）。

【0048】

鋳鉄の種類としては、通常の鋳鉄として、白鋳鉄、まだら鋳鉄およびねずみ鋳鉄が挙げられ、強化された鋳鉄として、強靱鋳鉄、球状黒鉛鋳鉄（たとえば、ノジュラー鋳鉄、ダクタイル鋳鉄）、可鍛鋳鉄および合金鋳鉄が挙げられる。水道管の場合、具体的には、日本工業規格（JIS G 5521, 5522, 5523, 5524, 5526, 5527）、日本水道協会規格（JWSA G 102, 103, 105, 106, 108, 109, 110, 111, 113, 114, 114-2）、日本下水道協会規格（JSWAS G-1, G-2）、日本ダクタイル鉄管協会規格（JDKA G 1001, 1002, 1003, 1004, 1007, 1008, 1009, 1010, 1011, 1012, 1013, 1014, 1015, 1016, 1017, 1018, 1019, 1020, 1021, 1022, 1024, 1025, 1026, 1027, 1028, 1029, 1030, 1031, 1032, 1033, 1034, 1035, 1036, 1037, 1038, 1039, 1040, 1041, 1042, 1043, 1044, 1045, 1046, 1047, 1048）などに規定されている。

20

【0049】

鋼は、炭素を約 2.0% 以下含む鉄 - 炭素系合金である（% は、重量を基準とする）。たとえば、炭素鋼およびステンレス鋼が挙げられる。

【0050】

また、金属管 510 の呼び径は、たとえば 100 以上、より具体的には 100 以上 300 以下である。

30

【0051】

セメント含有層 520 の材質としては、セメントが含有されたライニング用材料であればよい。セメントとしては、ポルライトセメント、混合セメント（たとえば、高炉セメント、フライアッシュセメント、シリカセメント）、エコセメント、水和セメント、および未水和セメントなどが挙げられる。代表的なポルライトセメントは、石灰石と、粘土、ケイ石、および酸化鉄などとの混合物を焼成し、ケイ酸三カルシウム、ケイ酸二カルシウム、アルミン酸三カルシウム、鉄アルミン酸四カルシウムなどのクリンカーとした後、クリンカーに対し石膏を少量添加し、微粉碎処理したものである。セメントには、上述の成分の他に、空気および / または水が存在しても良い。

40

【0052】

セメント含有層 520 は、上述のセメントを含む材料が層状をなすものである。セメントを含む材料において、セメントに混合される材料としては、砂などの細骨材、砂利や碎石などの粗骨材、および混和材が挙げられる。より具体的には、セメントを含む材料としては、モルタルおよびコンクリート（たとえば、フレッシュコンクリート、硬化コンクリート）が挙げられる。

【0053】

なお、モルタルは、一般的に、セメントに細骨材が単独で、またはセメントに細骨材と混和材料との両方が加えられたものである。水道管の場合、具体的には、日本工業規格（JIS A5314）、日本水道協会規格（JWWA A 107, JWWA A 113）、日本ダクタイル鉄管協会

50

規格（JCPA Z 2013, JCPA Z 2015）などに規定されている。健全状態（すなわち劣化されていない状態）における組成として、セメントと細骨材との質量配合比率が1：1.5以上1：3.5以下であること、および、混和材を配合する場合は、セメント質量に対して15%以下であることが定義されている（%は、重量を基準とする）。

【0054】

さらに、セメント含有層520は、セメント含有材料の層の内表面に、さらなる別の被覆層すなわちシールコートを有するものであってもよい。さらなる別の被覆層の材質は、たとえば樹脂、より具体的にはアクリル系樹脂および塩化ビニル系樹脂が挙げられる。

【0055】

図1および図2に示すように、ライニング管500の内部には水Wが満たされている。層厚試験装置100は、ライニング管500の内部に配置される。層厚試験装置100は、プローブ部110と、保持部120と、離間部130とを含む。さらに、図5に示すように、層厚試験装置100は、波形取得部150と、判定部160と、肉厚算出部170と、表示部180とを含む。

10

【0056】

図2に示すように、プローブ部110は、超音波探触子111と、一端部において超音波探触子111をセメント含有層520へ向けて保持するセンサホルダ112と、センサホルダ112の他端部を保持部120に連結するアーム部材113とを含む。超音波探触子111と、センサホルダ112と、アーム部材113とは、ライニング管500の径方向に同軸となるように配置される。

20

【0057】

図2に示す超音波探触子111は、超音波を発生するとともに、超音波ビームを送受信する。超音波探触子111は、主として、音響レンズ、音響整合層（マッチング層）、振動子（素子）およびバックリング（ダンパー）を筐体内に含む。

【0058】

音響レンズは、屈折を利用して超音波ビームを集束し分解能を向上させるために設けられる。音響レンズとしては凹型が一般的である。音響レンズの音速としては、2000m/sec以上3000m/sec以下程度であり、材料としては、アクリル樹脂又はポリスチレン樹脂が使用される。

音響整合層（マッチング層）は、 $\lambda/4$ 層とも呼称される。振動子と検体との間の音響インピーダンス差を少なくし、超音波を効率よく送受信するために多層配置される。

30

振動子（素子）は、超音波を送受信する。電圧を加えると振動して超音波を発生し、逆に振動すると電圧を発生するいわゆるトランスデューサーである。圧電素子とも呼称され、 piezo 効果（圧電効果）を具備する素材によって構成される。そのような素材として代表的なものとして水晶が挙げられるが、より一般的には、PZT（ジルコン酸チタン酸鉛）が挙げられる。その他、PVDF（ポリフッ化ビニリデン）も挙げられる。

バックリング（ダンパー）は、振動子の背面に配置され、後方への超音波の伝搬を抑制する。パルス幅を短くすることに寄与する。

【0059】

超音波探触子としては、焦点型探触子および直進型探触子が挙げられる。焦点型探触子は、発信される超音波が、ヘッド部からある一定距離（図1中符号D参照）をおいた地点で一時的に集束されるように設計されている。焦点型探触子では、ヘッド部の各点から発信される超音波が平行ではなく、当該地点に向けて集まるように発信される。直進型探触子は、ヘッド部の各点から発信される超音波が平行となるように設計されている。シャープなピークを得るためには、焦点型探触子であることが好ましい。

40

【0060】

また、本実施の形態では、一探触子法つまり1個の送受信一体型超音波探触子111を用いる方法を例示しているが、これに限定されるものではない。

たとえば、二探触子法つまり発信用探触子と、受信用探触子とを用いる方法が用いられてもよい。発信用探触子と受信用探触子とは、それぞれ機能的および物理的に分離された

50

ものであってよく、この場合、ライニング層の内表面の接線に対して斜め（つまり0度超90度未満の入射角となるよう）に発信用探触子から超音波発信し、斜めに（つまり0度超90度未満の反射角で）反射した反射波を受信用探触子で受信することができる。

他にも、送受信一体型センサを複数利用する方法が用いられてもよい。また、二探触子法を複数利用する方法が用いられてもよい。

【0061】

図1および図2に示すように、保持部120は、プローブ部110と離間部130とを保持するために、両部の間に介在するよう設けられる。さらに図1および図2の場合、セメント含有層520の内周表面の接線TL（図2参照）に対するプローブ部110の角度（垂直）が一定に保持されるように、プローブ部110と離間部130との間を連結することもできる。図2に示すように、保持部120は、ライニング管500の軸心と同軸となるように配置された回転軸121と筒状ケーシング122を含む。

10

【0062】

図1および図2に示すように、回転軸121は、一端部がプローブ部110のアーム部材113を固定するとともに、他端部が筒状ケーシング122の軸心位置で支承され、筒状ケーシング122内に収容されたモータ（図示せず）によって回転駆動される。これによって、回転軸121の回転と共に、アーム部材113を介して、超音波探触子111が、セメント含有層520表面とに対する角度（垂直）を保った状態で、セメント含有層520内周表面に沿って回転する（図1および図2中矢印）。

【0063】

図1および図2に示すように、離間部130は、プローブ部110の超音波探触子111のヘッド部（超音波が発信される部位）とセメント含有層520表面との間を離間させるように設けられる。プローブ部110の超音波探触子111のヘッド部とセメント含有層520との間の距離D（図1参照）は、発信される超音波の波長、および超音波探触子111の特性（直線型および焦点型）などによって異なり得るため特に限定されるものではない。例えば、検出感度を良好に保ち易くする観点からは、距離Dは5mm以上とすることができる。

20

【0064】

図2に示すように、離間部130は、セメント含有層520の内周の半径方向外側に放射状に拡出および半径方向内側に放射状に縮退可能な3つの平行リンク機構131と、それぞれの平行リンク機構131の半径方向外側に設けられた、ライニング管500の軸方向に対をなし（図1参照）、当該軸方向に走行可能な車輪135とを含む。

30

【0065】

図1に示すように、平行リンク機構131は、連結用リング132と、クロスアーム133と、リンクプレート134とを含む。

連結用リング132は、筒状ケーシング122の軸方向に2個設けられ、一方は筒状ケーシング122の外周面に外嵌され、他方は筒状ケーシング122の外周面を軸方向に摺動可能となるように遊嵌される。連結用リング132はいずれも、図2に示すように、表面に、クロスアーム133を連結するための連結用突部が3個、放射状に突設されている。

40

【0066】

クロスアーム133は、一对のアームの交差角が変化可能であり、図1に示すように、それぞれのアームの一端部は、2個の連結用リング132それぞれに連結される。リンクプレート134は、クロスアーム133の他端部を連結するとともに、車輪135の対同士を連結する。リンクプレート134においては、クロスアーム133の他端部の一方の連結位置が固定され、他方の連結位置がライニング管500の軸方向に摺動可能である。

【0067】

図1および図2に示すように、離間部130は、3対の車輪135がセメント含有層520に当接しかつ筒状ケーシング122の軸心がライニング管500の軸心と一致するように、クロスアーム133の交差角度が調整されることによって、プローブ部110の超

50

音波探触子 1 1 1 とセメント含有層 5 2 0 とが離間した状態が保たれる。

【 0 0 6 8 】

図 3 は、層厚試験を行う場合の、超音波探触子 1 1 1 とライニング管 5 0 0 の一部とを拡大した模式図である。図 3 に示すように、超音波探触子 1 1 1 のヘッド部から超音波（発信波 E）が発信される。発信波 E は、セメント含有層 5 2 0 の内周表面 s の接線 T L に対して垂直となるように発信される。

【 0 0 6 9 】

発信される超音波の波長は、超音波探触子 1 1 1 の特性（直線型および焦点型）、超音波探触子 1 1 1 のヘッド部とセメント含有層 5 2 0 表面との距離などによって異なり得るため特に限定されるものではない。例えば、超音波の波長の下限値は 1 M H z 以上であり、さらに、1 . 5 M H z、さらには 2 M H z が好ましい。超音波の波長の上限値は、たとえば、1 0 M H z であり、より好ましくは、9 M H z、さらには、7 . 5 M H z、さらには、5 M H z、さらには、3 . 5 M H z である。上記範囲を上回ると、シグナルノイズ比（S / N 比）に対して感度が低くなる傾向がある。上記範囲を下回ると、不感帯（すなわち各ピークの裾幅）が広くなり、層厚測定精度が低下する傾向、および、層厚測定可能範囲が狭くなる傾向がある。

【 0 0 7 0 】

層厚試験によってもたらされるモデルケースの一例においては、図 3 に示すように、発信波 E は、金属管 5 1 0 の外表面 b まで到達するとともに、セメント含有層 5 2 0 の内周表面 s、セメント含有層 5 2 0 と金属管 5 1 0 との境界面 i、および金属管 5 1 0 の外表面 b それぞれで反射し、内周表面 s で反射した反射波 R S、境界面 i で最初に反射した第 1 反射波 R I 1、および外表面 b で最初に反射した第 1 反射波 R B 1 が、超音波探触子 1 1 1 に受信される。

【 0 0 7 1 】

さらに、図 4 に、金属層 5 1 0 中で多重反射することによって多重エコーピークが取得される場合における、超音波の反射経路を模式的に示す。

発信波 E が、金属層 5 1 0 中で n 重反射（ n は、2 以上の整数である。以下において同じ。）するとして一般化すると、外表面 b で（ $n - 1$ ）回目に反射した反射波は、第（ $n - 1$ ）反射波 R B（ $n - 1$ ）であり、第（ $n - 1$ ）反射波 R B（ $n - 1$ ）が境界面 i で反射することにより外表面 b で n 回目に再び反射した反射波は、第 n 反射波 R B n である。

したがって、発信波 E が、金属層 5 1 0 の外表面 b で最初に反射した反射波は第 1 反射波 R B 1 と記載し、反射波 R B 1 が境界面 i で反射することにより外表面 b で 2 回目に再び反射した反射波は第 2 反射波 R B 2 と記載する。また、何番目に反射したものを特に限定せずに差す場合は、単に反射波 R B と記載する。

【 0 0 7 2 】

受信された信号は、波形取得部 1 5 0（図 5 参照）において、伝播時間に対する反射波強度の波形へ処理される。より具体的には、受信波（図 3 の場合、反射波 R S、R I 1、R B 1）を信号増幅器で増幅し、バンドパスフィルタなどでノイズを除去し、A / D 変換器でデジタル化され、その後、デジタル化された波形を同一時間軸上で加算平均する平均化処理が行われることで波形が取得される。取得された波形は、測定位置情報とともに記憶される。取得された波形は、表示部 1 8 0 に表示されることができる。

【 0 0 7 3 】

このモデルケースにおけるピークパターン（伝播時間に対する反射波強度）を図 6 に模式的に示す。図 6 は、横軸に伝播時間、縦軸に信号強度を示す。図 6 に示すように、分離可能な分解能で 3 本のエコーピークが検出される。より具体的には、最も伝播時間が短い反射波として、セメント含有層 5 2 0 の内周表面 s で反射した反射波 R S が検出される。2 番目に伝播時間が長い反射波として、境界面 i で最初に反射した第 1 反射波 R I 1 が検出される。3 番目に伝播時間が長い反射波として、外表面 b で最初に反射した第 1 反射波 R B 1 が検出される。

【 0 0 7 4 】

10

20

30

40

50

さらに、場合によっては、金属層 510 中で多重反射することによって 2 以上の反射波 RB を含む多重エコーピークが取得されることもある。つまり、第 $(n - k)$ 反射波 RB $(n - k)$ とともに、第 $(n - k + 1)$ 反射波 RB $(n - k + 1)$ 、第 $(n - k + 2)$ 反射波 RB $(n - k + 2)$ 、第 $(n - k + 3)$ 反射波 RB $(n - k + 3)$ 、第 $(n - k + 4)$ 反射波 RB $(n - k + 4)$ ・・・が取得される場合もある (k は 1 以上の整数である。以下において同じ。)。この場合、第 1 反射波 RB 1 と、外表面 b で再反射により二番目に反射した第 2 反射波 RB 2 (図 3 参照) が検出されることによる第 2 反射波とから主に構成された多重エコーピークが取得されることが多い傾向にある。

【0075】

図 6 のモデルケースでは、それぞれの反射波 RS, RI 1, RB 1 のエコーピークを正規分布のシングルピークとして表示しているが、このような形状に限られるものではない。エコーピークは、少なくとも、金属管 510 の肉厚測定に必要な第 1 反射波 RI 1, RB 1 のそれぞれのエコーピークが互いに判別可能に検出される態様であればよい。たとえば、エコーピークが、同じ界面を反射した反射波の干渉による合成波によりピーク群を形成した態様であってもよい。また、反射波 RS, RI 1, RB 1 のそれぞれのエコーピークは、例えば S/N 比が 2.5 以上、好ましくは 3 以上である。

【0076】

判定部 160 (図 5 参照) においては、少なくとも、第 1 反射波 RI 1, RB 1、または、金属層 510 中で n 重反射する場合の反射波 RB のうち少なくとも 2 の反射波 RB が、ピークとして判別可能な分解能、または分解能および S/N 比 (たとえば S/N 比が 2.5 以上、好ましくは 3 以上) で検出されたか否かが判断される。

【0077】

たとえば図 6 のようなピークパターン (反射波 RS, RI 1, RB 1 のエコーピーク) が判別可能に検出された場合、ライニング管 500 の金属管 510 の肉厚が、その肉厚を求めることができる程度であると判断できる。

【0078】

同様に、2 以上の反射波 RB のエコーピークが判別可能に検出された場合、ライニング管 500 の金属層 510 の肉厚が、その肉厚を求めることができる程度であると判断できる。

【0079】

図 6 のようなピークパターンの場合、さらに、肉厚算出部 170 (図 5 参照) において、第 1 反射波 RB 1 と第 1 反射波 RI 1 との伝播時間の差 (μ 秒) に $1/2$ と音速とを乗じることにより、金属管 510 の肉厚を算出する。

【0080】

同様に、2 以上の反射波 RB のピークが判別可能に検出された場合、検出された反射波 RB のピークから任意に選択される一対 (2 本) の反射波 RB のピークを用い、それらの伝播時間の差に基づいて、金属層の肉厚を算出することができる。

【0081】

たとえば、第 $(n - k)$ 反射波 RB $(n - k)$ および第 $(n - k + 1)$ 反射波 RB $(n - k + 1)$ を用いる場合は、第 $(n - k)$ 反射波 RB $(n - k)$ と第 $(n - k + 1)$ 反射波 RB $(n - k + 1)$ との伝播時間の差 (μ 秒) に $1/2$ と音速とを乗じることにより、金属管 510 の肉厚を算出する。

【0082】

さらにたとえば、第 $(n - k)$ 反射波 RB $(n - k)$ および第 $(n - k + 3)$ 反射波 RB $(n - k + 3)$ を用いる場合は、第 $(n - k)$ 反射波 RB $(n - k)$ と第 $(n - k + 3)$ 反射波 RB $(n - k + 3)$ との伝播時間の差 (μ 秒) に $1/3$ を乗じ、さらに $1/2$ と音速とを乗じることにより、金属管 510 の肉厚を算出する。

【0083】

なお、判別可能に検出された 2 以上の反射波 RB のピークから一対の反射波 RB のピークを選択する組み合わせが複数パターンある場合は、複数パターンについて計算を行い、

10

20

30

40

50

それら計算結果を平均化した値を最終的に金属管 5 1 0 の肉厚としてもよい。

【 0 0 8 4 】

あるいは、判別可能に検出された 2 以上の反射波 R B のピークから任意に選択される 2 以上の反射波 R B について、まず、反射波 R B の経路の距離に対する伝播時間の関係を最少自乗法等により一次関数に近似することで、近似された一次関数の係数を、反射波 R B が金属層 5 1 0 の境界面 i と外表面 b とを 1 往復する時間の平均値として算出し、次に、算出された平均値に $1/2$ と音速とを乗じることにより、金属層 5 1 0 の肉厚としてもよい。

【 0 0 8 5 】

判定部 1 6 0 による判定結果および / または肉厚算出部 1 7 0 の結果は、表示部 1 8 0 に表示されることができる。

10

【 0 0 8 6 】

図 7 は、層厚試験によってもたらされるモデルケースの他の例におけるピークパターンを示す。

図 7 においては、第 1 反射波 R I 1 と第 1 反射波 R B 1 とのエコーピークが分離不能であることに對して、反射波 R S のエコーピークは分離可能に検出されている。

【 0 0 8 7 】

図 7 のようなピークパターンが検出された場合、ライニング管 5 0 0 の金属管 5 1 0 は、測定不可能な程度に減肉されていると判断することができる。一方で、セメント含有層 5 2 0 については、劣化していないか、または劣化していても、その程度が、セメント含有層 5 2 0 内部への発信波 E の入射を可能とする程度に軽微であると判断することができる。

20

【 0 0 8 8 】

図 6 および図 7 の例では、第 1 反射波 R I 1 および第 1 反射波 R B 1 の検出ピークに基づいて金属管 5 1 0 の肉厚を測定する態様を示したが、第 1 反射波 R B 1 とともに第 2 反射波 R B 2 (図 3 参照) が、互いに判別可能な検出能 (例えば S / N 比が 2 . 5 以上、好ましくは 3 以上) で検出される場合は、第 1 反射波 R B 1 および第 2 反射波 R B 2 の検出ピークに基づいて、同様に、金属管 5 1 0 の肉厚を測定することができる。

【 0 0 8 9 】

図 8 は、層厚試験によってもたらされるモデルケースのさらに他の例におけるピークパターンを示す。

30

図 8 においては、反射波 R S のエコーピークのみが検出されている。図 8 のようなピークパターンが検出された場合、ライニング管 5 0 0 の少なくともセメント含有層 5 2 0 の劣化が進んだ状態であると判断することができる。セメント含有層 5 2 0 の劣化が進んだ状態とは、空隙率の増加、セメントの重量比率の減少、およびカルシウム濃度の減少の少なくともいずれかによって、発信波 E が、セメント含有層 5 2 0 内部に入らない状態をいう。このようなピークパターンを生じる場合のセメント含有層 5 2 0 の劣化度合いとしては、例えば、セメントの重量比率が 2 0 重量 % 以下である場合、および / またはカルシウム濃度が 1 0 0 , 0 0 0 p p m 以下である場合が挙げられる。その他、セメント含有層 5 2 0 の空隙率が 0 . 5 % 以上である場合も挙げられる。

40

【 0 0 9 0 】

また、上述の例では、回転軸 1 2 1 に固定されたプローブ部 1 1 0 の超音波探触子 1 1 1 が、セメント含有層 5 2 0 内周表面に沿って回転する (図 1 および図 2 中矢印) 態様を示したが、この態様に限定されるものではない。たとえば、回転軸 1 2 1 に固定されない超音波探触子 1 1 1 を備えるプローブ部 1 1 0 が、セメント含有層 5 2 0 表面に対する距離と角度 (垂直) とを保った状態で、自走する態様であってもよい。

【 0 0 9 1 】

さらに、図 9 に示す層厚試験装置 1 0 0 の他の例である層厚試験装置 1 0 0 a のように、回転しない軸心に固定されたプローブ部 1 1 0 a の超音波探触子 1 1 1 a が、ライニング管 5 0 0 の軸心位置から当該軸心方向に超音波を発信するように設けられてもよい。こ

50

の場合、超音波探触子 1 1 1 a から発信された超音波を、セメント含有層 5 2 0 の内表面に対して所定の角度（垂直）で入射するように屈折させるミラー 1 4 0 が、当該軸心を回転軸として回転可能に（図 9 中矢印）設けられる。

【 0 0 9 2 】

また、上述の例では、表面が曲面であるセメント含有層 5 2 0 がライニングされたライニング管 5 0 0 に対して層厚試験を行う態様を示したが、この態様に限定されるものではない。例えば、表面が平面であるセメント含有層が、当該表面と反対側の面が金属表面に接するように積層された金属複層体に対して層厚試験が行われてもよい。

【 0 0 9 3 】

さらに、上述の例では、金属管 5 1 0 の表面に設けられた多孔質層がセメント含有層 5 2 0 である態様を示したが、多孔質層はセメント含有物質に限られない。

10

【 0 0 9 4 】

さらに、上述の例では、層厚試験装置 1 0 0 が、プローブ部 1 1 0 が保持部 1 2 0 を介して離間部 1 3 0 に連結される態様を例示したが、この態様に限定されるものではない。例えば、層厚試験装置 1 0 0 は、プローブ部が直接離間部に直接連結された構成であってもよい。この場合、セメント含有層の表面または当該表面の接線に対するプローブ部の角度を垂直に保持する機能を、離間部に担わせてよい。

【 0 0 9 5 】

以上のように、層厚試験装置 1 0 0 , 1 0 0 a を用いた層厚試験によると、波形取得工程で少なくとも第 1 反射波 R I 1 , R B 1 のピーク（たとえば図 6 のピークパターン）が観測された場合は、金属管 5 1 0 が、厚み測定が可能な程度の肉厚を有すると判断することができる。この場合、第 1 反射波 R B 1 のピークと第 1 反射波 R I 1 のピークとの検出時間差に音速を乗じることによって、金属管 5 1 0 の肉厚を正確に取得することができる。

20

【 0 0 9 6 】

なお、図 7 のピークパターンが観測された場合は、金属管 5 1 0 の減肉程度が大きいと判断することができる。図 8 のピークパターンが観測された場合は、少なくともセメント含有層 5 2 0 の劣化程度が大きいと判断することができる。

【 0 0 9 7 】

層厚試験装置 1 0 0 , 1 0 0 a を用いた層厚試験によると、金属管 5 1 0 の内周面にセメント含有層 5 2 0 がライニングされたライニング管 5 0 0 を測定対象とし、発信波 E は、複合管の内部に設けられた層厚試験装置 1 0 0 , 1 0 0 a のプローブ部 1 1 0 , 1 1 0 a の超音波探触子 1 1 1 , 1 1 1 a から発信されるため、ライニング管 5 0 0 が埋設されかつ中に水 W が満たされた状態で層厚試験を行うことができる。このため、開削作業を行うことなく層厚試験を行うことができる。

30

【 0 0 9 8 】

層厚試験装置 1 0 0 , 1 0 0 a を用いた層厚試験によると、発信波 E が、セメント含有層 5 2 0 の内表面に対して垂直に発信される位置関係を保ちながら、ライニング管 5 0 0 の全内周を走査するように発信されることができる。したがって、金属管 5 1 0 の全周の肉厚を試験することができる。

【 0 0 9 9 】

層厚試験装置 1 0 0 , 1 0 0 a を用いた層厚試験によると、発信工程において発信される超音波（発信波 E）の周波数が、1 MHz 以上 9 MHz 以下であると、金属管 5 1 0 の肉厚を正確に取得しやすい。

40

【 0 1 0 0 】

層厚試験装置 1 0 0 , 1 0 0 a を用いた層厚試験によると、発信工程において介在する水媒体の厚み D が、5 mm 以上 60 mm 以下であるため、発信波 E が金属管 5 1 0 内部を透過しやすくなり、反射波 R B が感度の高い状態で得られやすくなる。

【 0 1 0 1 】

層厚試験装置 1 0 0 , 1 0 0 a を用いた層厚試験によると、試験対象が、鋳鉄管を代表とする金属管 5 1 0 セメント含有層 5 2 0 がライニングされたライニング管 5 0 0 である

50

ため、高い汎用性を実現することができる。

【0102】

層厚試験装置100、100aは、超音波を発信するためのプローブ部110、110aと、プローブ部110、110aのヘッド部とセメント含有層520の表面とを離間させる離間部130と、超音波伝播時間に対する反射波強度の波形を取得する波形取得部150と、波形において、反射波のピーク数が、3本以上であるか否かを判定する判定部160とを含むため、波形取得部150で少なくとも第1反射波RI1、RB1のピーク（たとえば図6のピークパターン）が観測された場合は、金属管510が、厚み測定が可能な程度の肉厚を有すると判断することができる。この場合、肉厚算出部170が、第1反射波RB1のピークと第1反射波RI1のピークとの検出時間差に音速を乗じることで、金属管510の肉厚を正確に取得することができる。

10

【0103】

層厚試験装置100は、プローブ部110が、ライニング管500の軸心を回転軸としてライニング管500内部で回転可能に設けられているため、金属管510の全周の肉厚を試験することができる。

【0104】

層厚試験装置100aは、プローブ部110aが、ライニング管500の軸心に、設けられ、かつ、セメント含有層520の内表面に対して垂直に入射するように屈折させるミラー140が、ライニング管500の軸心を回転軸として回転可能に設けられるため、金属管510の全周の肉厚を試験することができる。

20

【0105】

本発明においては、金属管510が「金属層」に相当し、セメント含有層520が「多孔質層」に相当し、ライニング管500が「複層体」に相当し、水Wが「水媒体」に相当し、セメント含有層と金属管との境界面iが「金属層と多孔質層との境界面」に相当し、金属管の外表面bが「金属層の多孔質層とは反対側の面」に相当し、発信波Eが「発信される超音波」に相当し、第1反射波RI1が「第1界面反射波」に相当し、第1反射波RB1が「第1外面反射波」に相当し、反射波RBが「外面反射波」に相当し、内周表面sが「内周面」に相当し、層厚試験装置100が「層厚試験装置」に相当し、プローブ部110が「プローブ部」に相当し、離間部130が「離間部」に相当し、波形取得部150が「波形取得部」に相当し、判定部160が「判定部」に相当し、肉厚算出部170が「肉厚算出部」に相当し、車輪135が「移動機構」に相当し、超音波探触子111が「超音波探触子」に相当する。

30

【実施例】

【0106】

以下に実施例を示し、本発明を具体的に説明するが、本発明は下記の実施例に制限されるものではない。

【0107】

JWWA A107、A113既定のモルタルライニングダクトイル鋳鉄管（モルタルライニング層の層厚は7mm程度）の健全管を用意し、その一部の金属を減肉させてサンプル管を作成した。実施例1から実施例7で用いたサンプル管の口径は呼び径250である。減肉加工はザグリ加工によって行い、φ20mmのザグリ穴の平底面を減肉部とした。減肉部の減肉程度は、金属肉厚が健全部の50%である。層厚試験は、サンプル管内に水を充填し、層厚試験装置100を挿入して行った。

40

【0108】

[実施例1]

本実施例では、発信周波数を1.0MHz、超音波探触子の特性を直進型、および水距離（図1および図3における距離D）を15mmとして、層厚試験を行った。健全部について得られたオシログラムを図10（a）に、減肉部について得られたオシログラムを図10（b）に示す。図10（a）および図10（b）において、横軸は伝播時間に基づく層厚の相対値、縦軸は信号の相対強度を示す。また、Sは、セメント含有層の内周表面で

50

反射した反射波のピークを表し、I は、セメント含有層と金属管との境界面で最初に反射した第 1 反射波を表し、B₁ および F は、金属管の外表面で最初に反射した第 1 反射波を表す。B₂ は、第 1 反射波が境界面で反射することにより金属管の外表面で 2 番目に再び反射した第 2 反射波である。以降のオシログラムについても同様である。

【0109】

[実施例 2]

発信周波数を 2 . 2 5 M H z に変更したことを除いて、実施例 1 と同様に層厚試験を行った。健全部について得られたオシログラムを図 1 1 (a) に、減肉部について得られたオシログラムを図 1 1 (b) に示す。

【0110】

10

[実施例 3]

発信周波数を 3 . 5 M H z に変更したことを除いて、実施例 1 と同様に層厚試験を行った。健全部について得られたオシログラムを図 1 2 (a) に、減肉部について得られたオシログラムを図 1 2 (b) に示す。

【0111】

[実施例 4]

発信周波数を 5 . 0 M H z に変更したことを除いて、実施例 1 と同様に層厚試験を行った。健全部について得られたオシログラムを図 1 3 (a) に、減肉部について得られたオシログラムを図 1 3 (b) に示す。

【0112】

20

[実施例 5]

発信周波数を 7 . 5 M H z に変更したことを除いて、実施例 1 と同様に層厚試験を行った。健全部について得られたオシログラムを図 1 4 (a) に、減肉部について得られたオシログラムを図 1 4 (b) に示す。

【0113】

[実施例 6]

発信周波数を 1 0 M H z に変更したことを除いて、実施例 1 と同様に層厚試験を行った。健全部について得られたオシログラムを図 1 5 (a) に、減肉部について得られたオシログラムを図 1 5 (b) に示す。

【0114】

30

[実施例 7]

発信周波数を 2 . 2 5 M H z に変更し、かつ超音波探触子の特性を焦点型としたことを除いて、実施例 1 と同様に層厚試験を行った。健全部について得られたオシログラムを図 1 6 (a) に、減肉部について得られたオシログラムを図 1 6 (b) に示す。

【0115】

[参考例 1]

モルタルライニングダクタイル鋳鉄管のテストピース（呼び径 2 5 0 のサンプル管の半割管）を用意し、水距離（図 1 および図 3 における距離 D に相当）を 1 0 mm 以上 2 0 0 mm 以下の範囲で変化させてオシログラムを取得し、測定感度を評価した。なお、使用した機器は、オリンパス社製超音波探傷器エポック 4、探触子の特性は焦点型、発信周波数 2 . 2 5 M H z、振動子径 1 2 . 7 mm、集束ポイント 5 0 . 8 mm である。測定感度の評価は、水距離を 1 0 mm に設定した場合に検出された底面エコーをディスプレイ上 8 0 % に調整した感度を基準とした。水距離に対するエコー高さの変化を図 1 7 に示す。

40

【0116】

水距離 1 0 mm から 6 0 mm までを 1 0 mm 刻みで、水距離 6 0 mm から 2 0 0 mm までを 2 0 mm 刻みで測定を行った結果は、いずれも感度良好であった。図 1 7 に示すように、特に、水距離 1 0 mm 以上 1 0 0 mm 以下の範囲では、底面エコーが高くなり、感度が良いことが分かった。一方、1 0 0 mm 超 2 0 0 mm 以下の範囲では、徐々に底面エコーが低くなり、感度が低下する傾向が見られた。しかしながら、特に感度が良好である水距離 5 0 mm の場合と、最も感度が低い水距離 2 0 0 mm の場合とを比べた場合、感度差

50

は 6 d B であり、測定に大きな影響を与えるものではなかった。

【 0 1 1 7 】

[実施例 8]

J W W A A 1 0 7 , A 1 1 3 既定のモルタルライニングダクタイル鋳鉄管（呼び径 2 5 0 ）の健全管を用意し、その一部の金属を減肉させて、減肉度合いの異なる複数のサンプル管を作成した。減肉加工はザグリ加工によって行い、 ϕ 2 0 m m のザグリ穴の平底面を減肉部とした。サンプル管の減肉部における金属肉厚の減肉程度は、それぞれ、健全部の 3 0 %、5 0 %、6 0 %、および 7 5 % である。健全部および減肉部について層厚試験を行った。層厚試験は、サンプル管内に水を充填し、層厚試験装置 1 0 0 を用い、発信周波数 2 . 2 5 M H z、焦点型探触子使用、水距離 4 5 m m の条件下で行った。

10

【 0 1 1 8 】

図 1 8 に、層厚試験（水浸法）によって測定された金属肉厚と、実際の金属肉厚との関係を示す。図 1 8 に示すように、減肉について測定誤差は 0 . 1 m m レベルであり、本発明の層厚試験の正確さが示された。

【 0 1 1 9 】

[実施例 9]

敷設後 2 7 年が経過したモルタルダクタイル鋳鉄管（呼び径 1 5 0 ）を入手し、発信周波数 2 . 2 5 M H z、焦点型探触子使用、水距離 4 5 m m の条件下で層厚試験を行った。

図 1 9 に、層厚試験によって得られたオシログラムを示す。図 1 9 が示すように、健全管について層厚試験した場合（実施例 1 から実施例 8 ）と同様、良好なオシログラムが得られた。

20

【 0 1 2 0 】

[実施例 1 0]

敷設後 2 7 年が経過したモルタルダクタイル鋳鉄管（呼び径 1 5 0 ）1 m を入手し、さらに、2 . 0 m m と 3 . 0 m m との人工減肉を施し、サンプル管を作成した。層厚試験は、サンプル管内に水を充填し、層厚試験装置 1 0 0 を挿入し、実施例 5 における条件下で行った。本実施例においては、筒状ケーシング 1 2 2 内に収容されたモータの回転速度を 6 0 r p m として、超音波探触子 1 1 1 を、サンプル管内周表面の周方向に沿って回転させた。

【 0 1 2 1 】

30

本実施例によるサンプル管の減肉評価の結果を図 2 0 に示す。図 2 0 中、横軸は周方向における回転距離（m m）、縦軸は減肉量（m m）を示す。周方向における回転距離は、サンプル管の外周面の周方向距離を示す。図 2 0 が示すように、回転距離 5 5 m m 地点で 1 . 4 m m の自然減肉が観測され、回転距離 8 0 m m の地点で 2 . 0 m m の人工減肉が観測され、回転距離 2 0 0 m m の地点で 3 . 0 m m の人工減肉が観測された。

【 0 1 2 2 】

[実施例 1 1]

元の肉厚が 7 . 7 m m であったモルタルライニングダクタイル鋳鉄管（呼び径 2 5 0 ）を、発信周波数 2 . 2 5 M H z、焦点型探触子使用、水距離 4 5 m m の条件下で層厚試験に供した。図 2 1 に、得られたオシログラムを示す。図 2 1 が示すように、検出されたピークは 2 本であったため、層厚試験に供された管の鋳鉄部分は、顕著に減肉していることが分かった。実際に、層厚試験に供された管の鋳鉄部分の肉厚を直接測定したところ 1 . 9 m m であり、従って減肉率（肉厚基準）は 7 5 % であった。

40

【 0 1 2 3 】

[実施例 1 2]

敷設後 5 0 年が経過したモルタルダクタイル鋳鉄管（呼び径 2 0 0 ）を、発信周波数 2 . 2 5 M H z、焦点型探触子使用、水距離 4 5 m m の条件下で層厚試験に供した。図 2 2 に、得られたオシログラムを示す。図 2 2 が示すように、検出されたピークは 1 本であったため、層厚試験に供された管のライニング層が、顕著に劣化していることが分かった。実際に、層厚試験に供された管のライニング部分について、モルタル空隙率、セメント重

50

量比率、およびカルシウム濃度を直接測定した。

【0124】

(空隙率の測定方法)

X線CTシステムとして、松定プレジジョン社製 μ B3500を使用し、300data/360° (1回転で300枚の透過画像を撮影)の測定条件で、ライニング層を3D化した。専用解析ソフトとして、VG Studio(Volume Graphics社製) CTX/欠陥抽出オプションを用い、空隙率を算出した。

【0125】

(セメント重量比率の測定方法)

まず85で1hr乾燥機でモルタル層の検体を乾燥し、乾燥後の検体をハンマーで小片まで粉碎した。乾燥後計量したルツボに、検体約10gを計量投入し、15% HCl 50mlを添加して、大きな検体片をガラス棒で粉碎し、超音波処理(10min)した。2日間浸漬状態を維持し、その後、計量した50ml 遠沈管に検体を移した。3000rpm・5minの条件で遠心分離処理を行った。

【0126】

固形物を純水で中性になるまで洗浄(遠心3000rpm・2min x 7~10回)し、固形物を遠沈管ごと、ギアオープン(50)で乾燥した。遠沈管ごと計量した後、砂割合を算出した。

【0127】

(カルシウム濃度の測定方法)

上記の遠心分離処理後の上澄みをサンプリングし、ICP分析(誘導結合プラズマ発光分光分析)に供した。ICP分析の測定条件は、以下の通りである。

- ・高周波出力1.2 kw ・スプレイチャンバー石英サイクロンチャンバー
- ・プラズマガス流量15 L/min ・アルゴン加湿器使用なし
- ・補助ガス流量1.5 L/min ・分析波長下記の通り
- ・キャリアガス流量0.9 L/min ・積分時間3秒
- ・トーチ石英トーチ・繰り返し回数5回
- ・ネブライザ同軸ガラスネブライザー・内部標準補正なし
- ・ICP発光分析(SIIナノテクノロジーSPS5100)2点計量定性分析

【0128】

測定の結果、モルタル空隙率が1.13%、セメント重量比が18重量%、カルシウム濃度が15,782ppmであった。

【0129】

[参考例2]

ダクトイル鉄管のライニング層として、モルタルライニング層の代わりにエポキシ樹脂粉体塗装層(2mm程度)を被覆したことを除いて、実施例1と同様のサンプル管(呼び径250)を作成した。このサンプル管に対し、参考例1と同じ機器を用いて、水距離15mmとして、層厚試験を行った。健全部について得られたオシログラムを図23(a)に、減肉部について得られたオシログラムを図23(b)に示す。

【0130】

本発明の好ましい実施形態は上記の通りであるが、本発明はそれらのみに限定されるものではなく、本発明の趣旨と範囲とから逸脱することのない様々な実施形態が他になされる。さらに、本実施形態において述べられる作用および効果は一例であり、本発明を限定するものではない。

【符号の説明】

【0131】

- 500 ライニング管
- 510 金属管
- 520 セメント含有層
- 100 層厚試験装置

10

20

30

40

50

- 1 1 0 プローブ部
- 1 1 1 超音波探触子
- 1 3 0 離間部
- 1 3 5 車輪
- 1 4 0 ミラー
- 1 5 0 波形取得部
- 1 6 0 判定部
- 1 7 0 肉厚算出部

W 水

s 内周表面

i セメント含有層と金属管との境界面

b 金属管の外表面

E 発信波

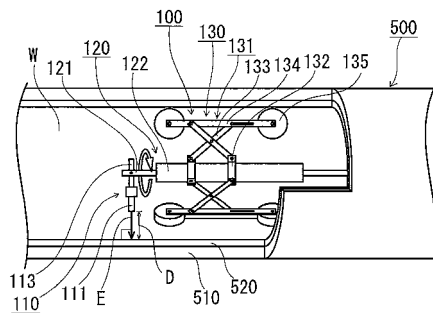
R I 1 第 1 界面反射波

R B 1 第 1 外面反射波

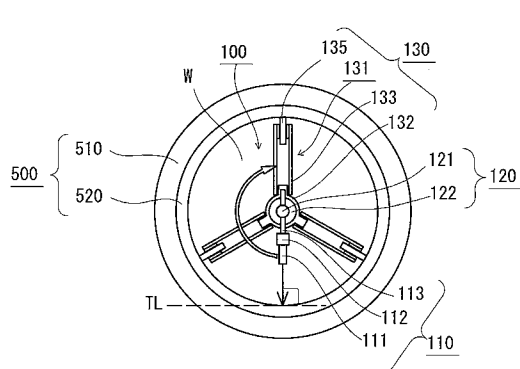
R B 2 第 2 外面反射波

10

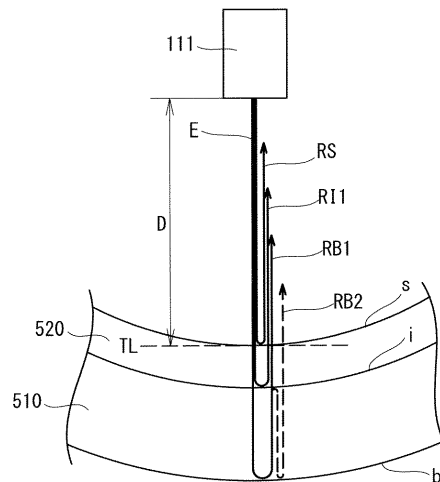
【 図 1 】



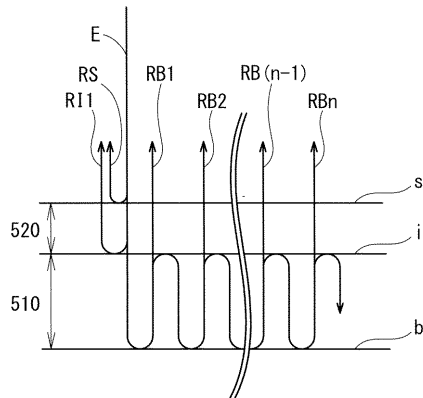
【 図 2 】



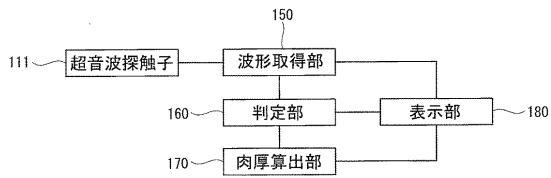
【 図 3 】



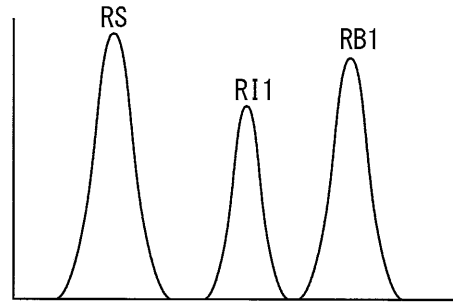
【図 4】



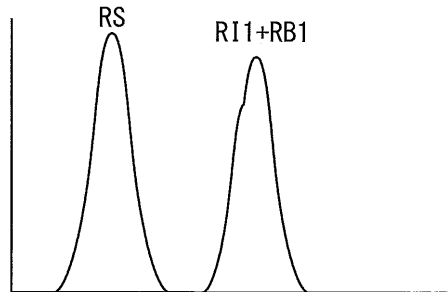
【図 5】



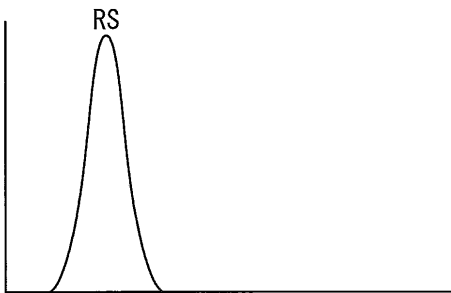
【図 6】



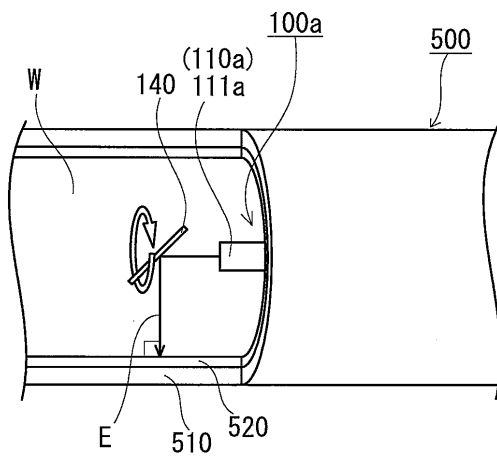
【図 7】



【図 8】

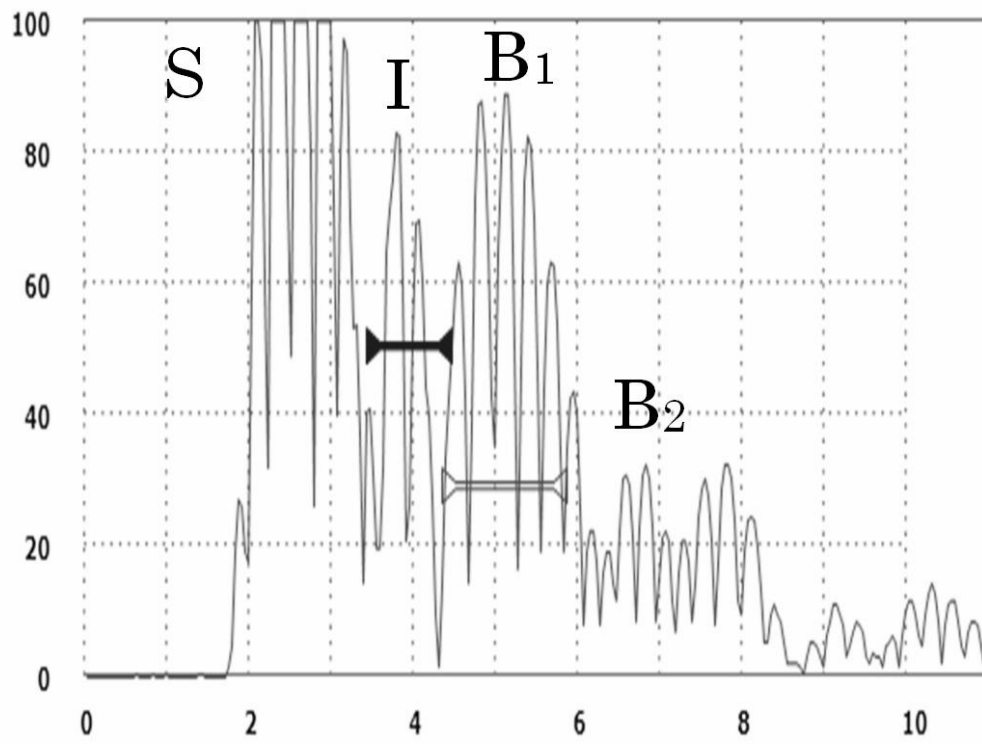


【図 9】

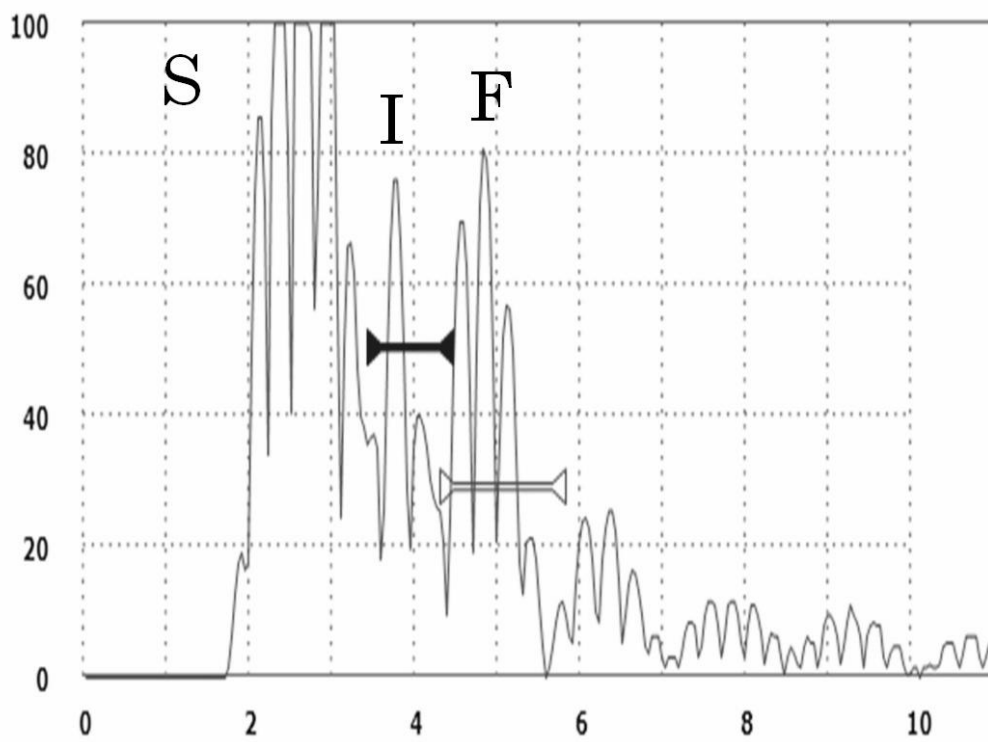


【図 10】

(a)

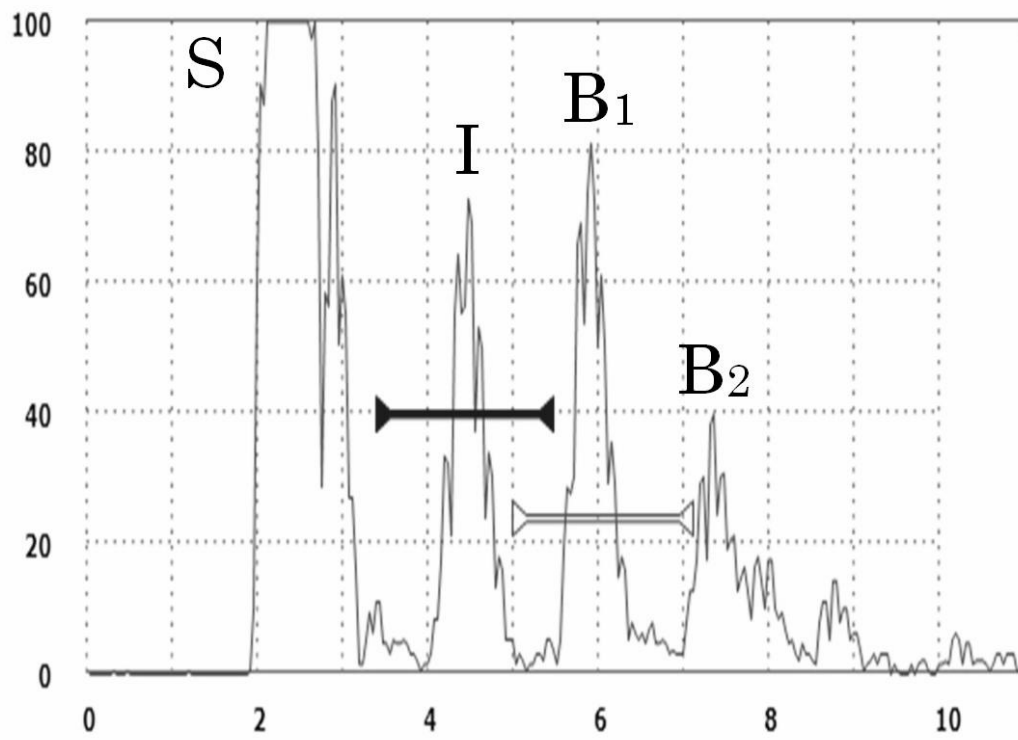


(b)

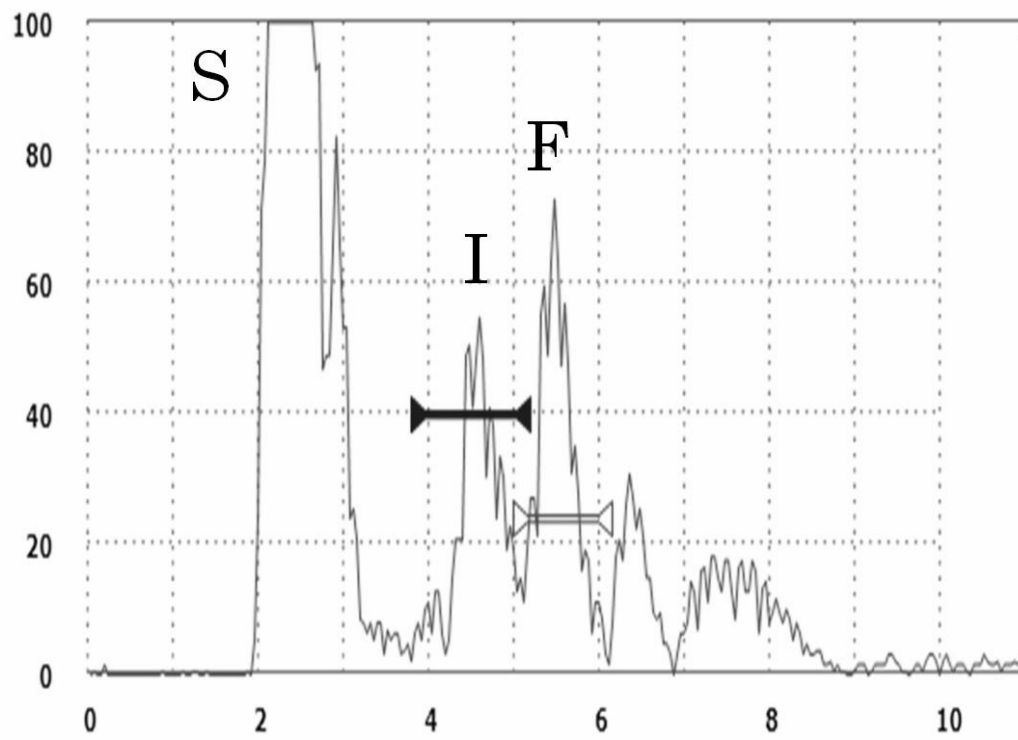


【図 1 1】

(a)

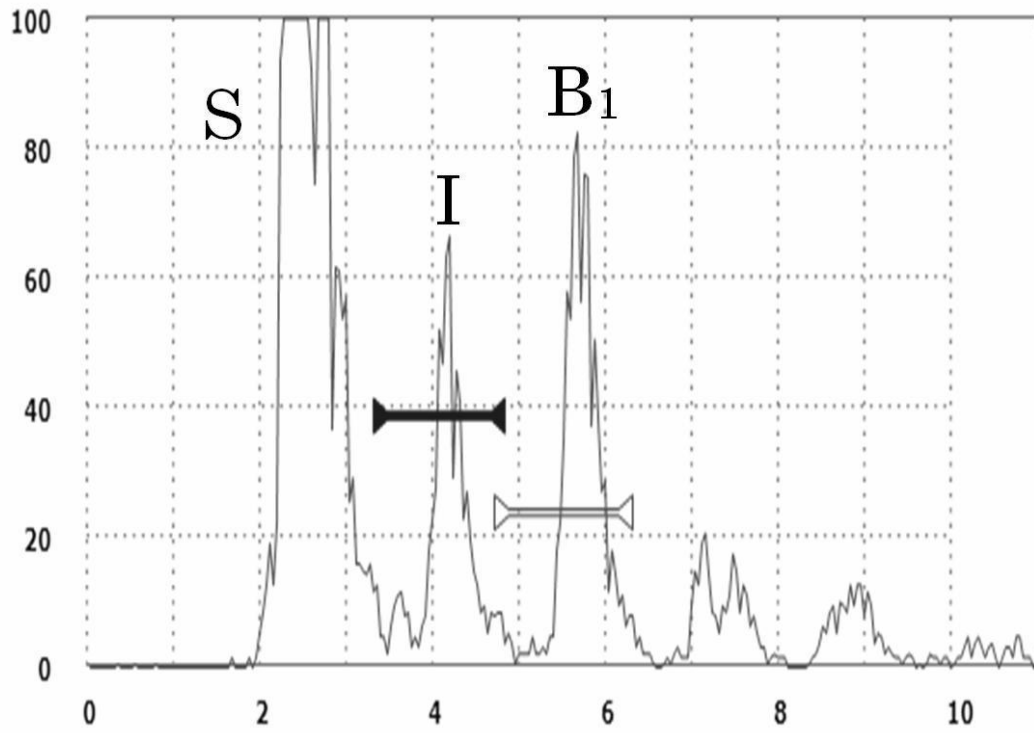


(b)

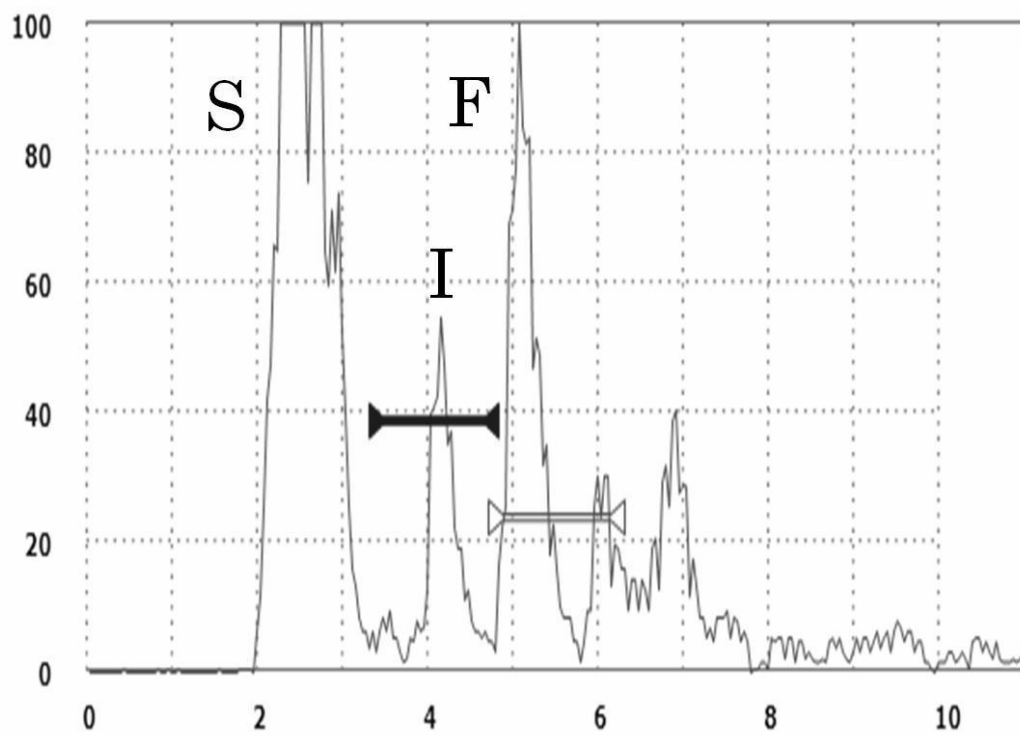


【図 1 2】

(a)

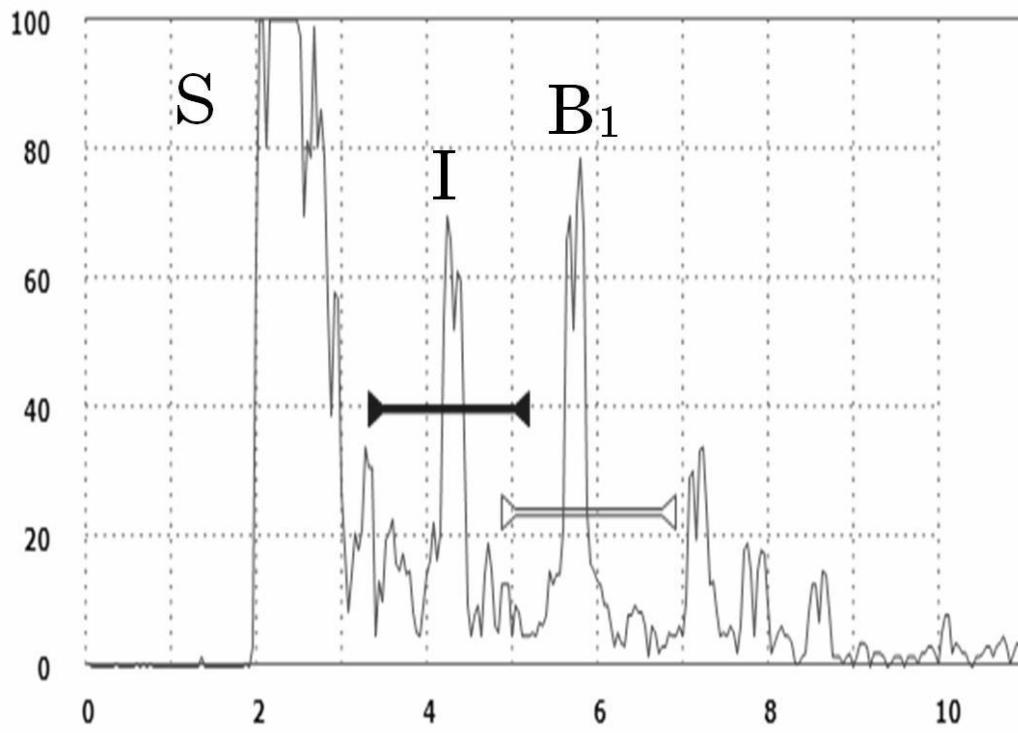


(b)

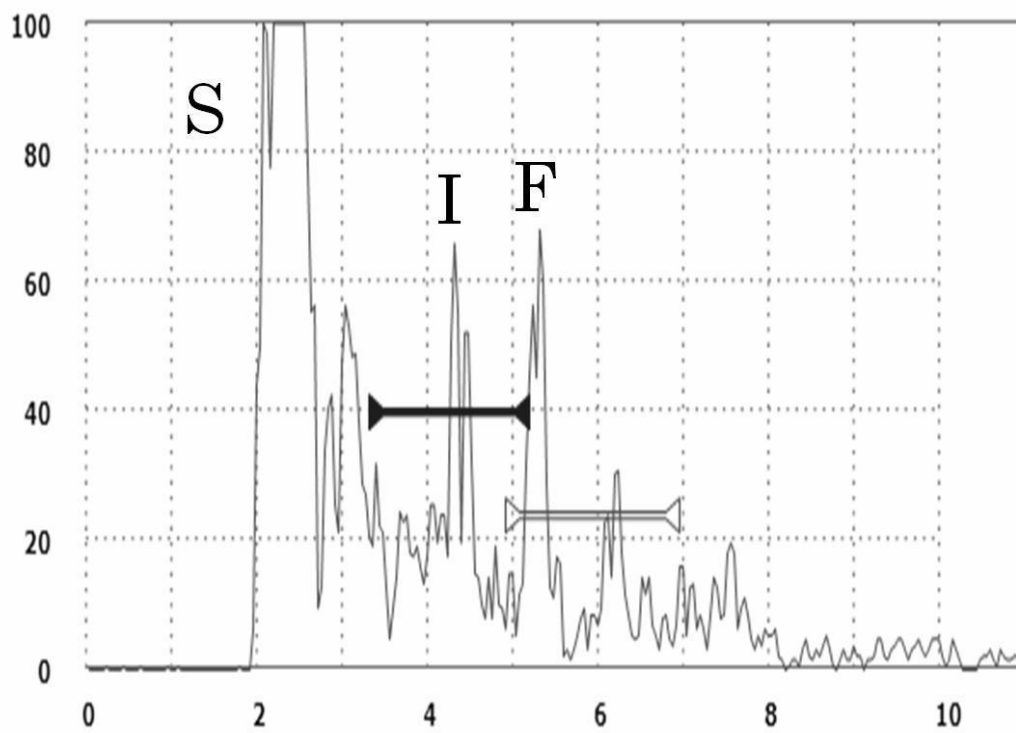


【図 13】

(a)

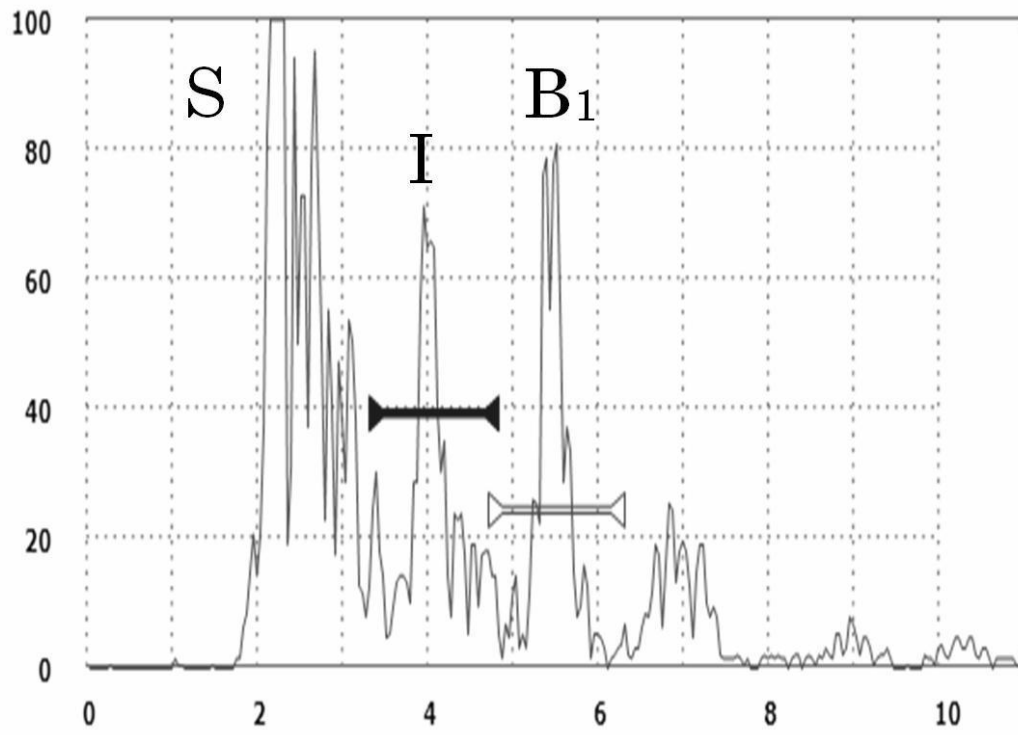


(b)

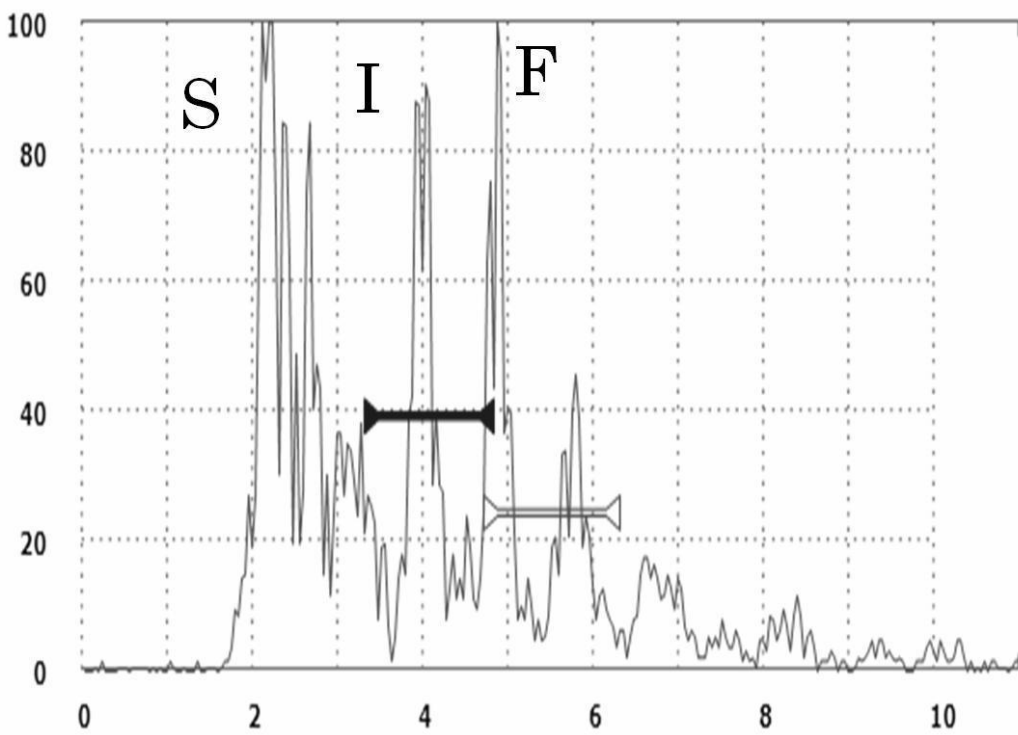


【図 14】

(a)

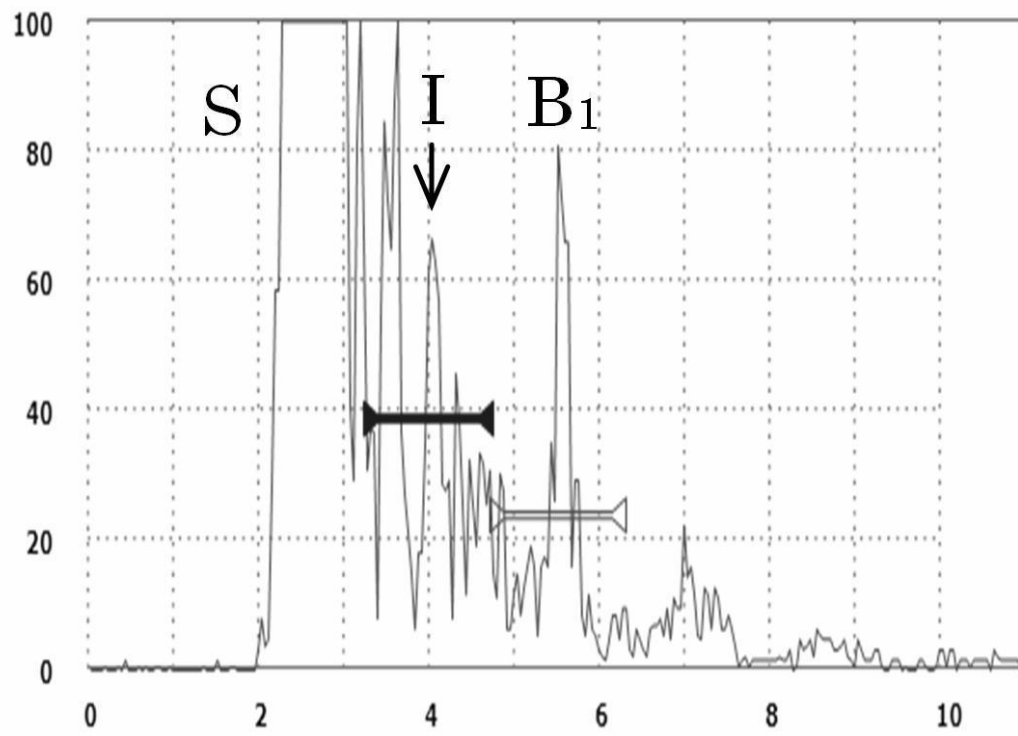


(b)

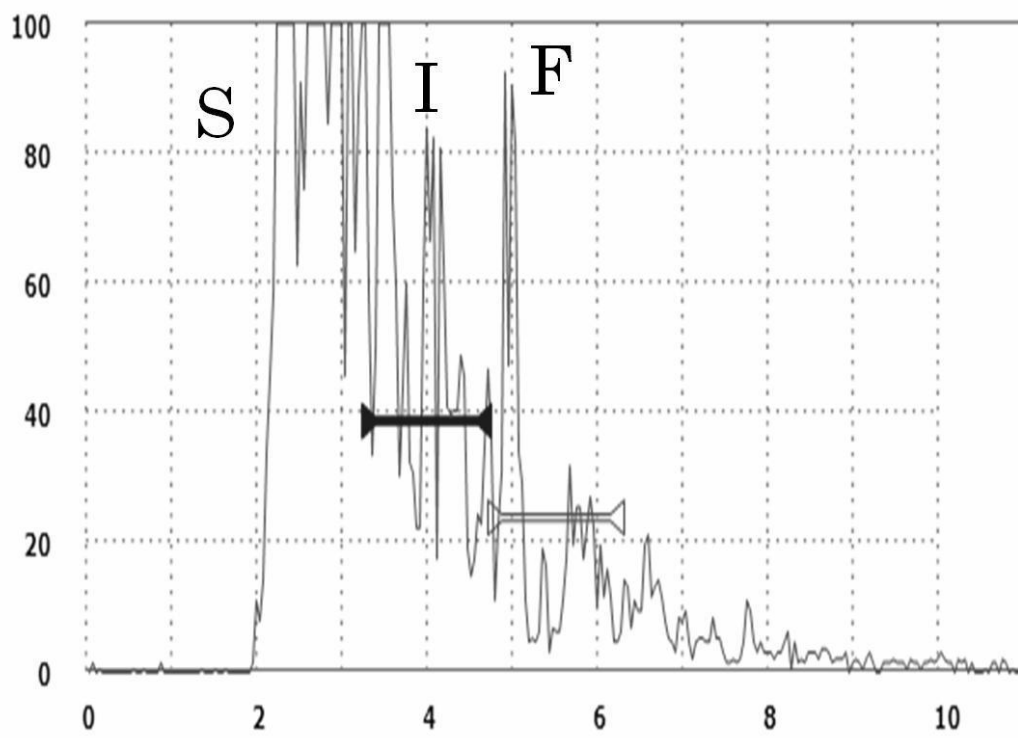


【図 15】

(a)

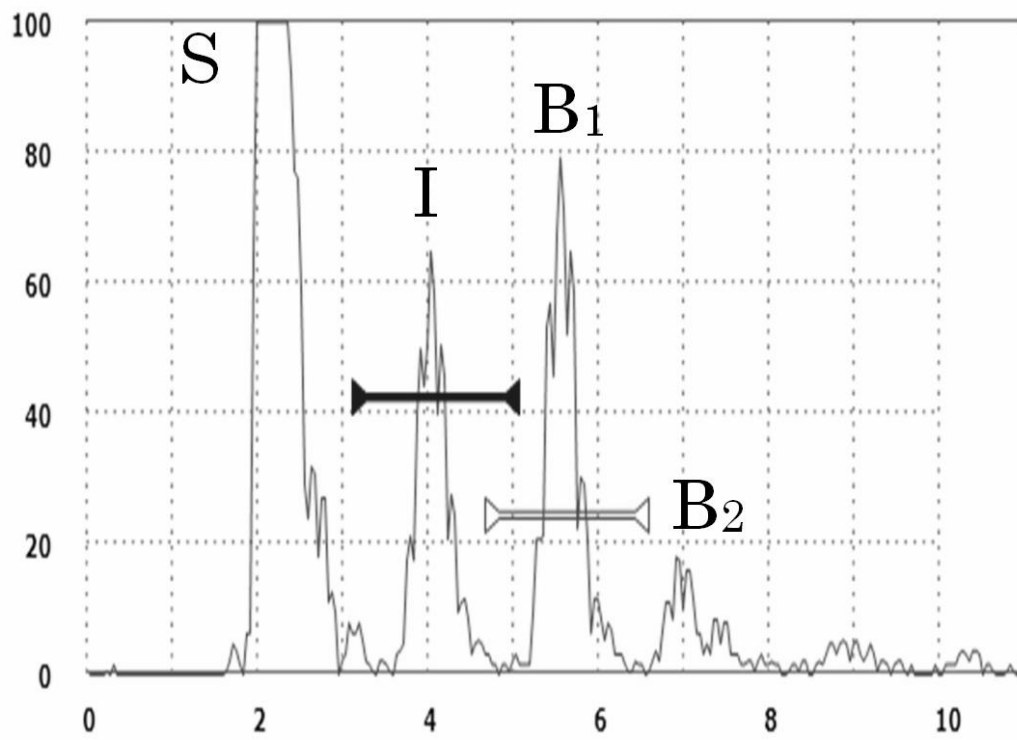


(b)

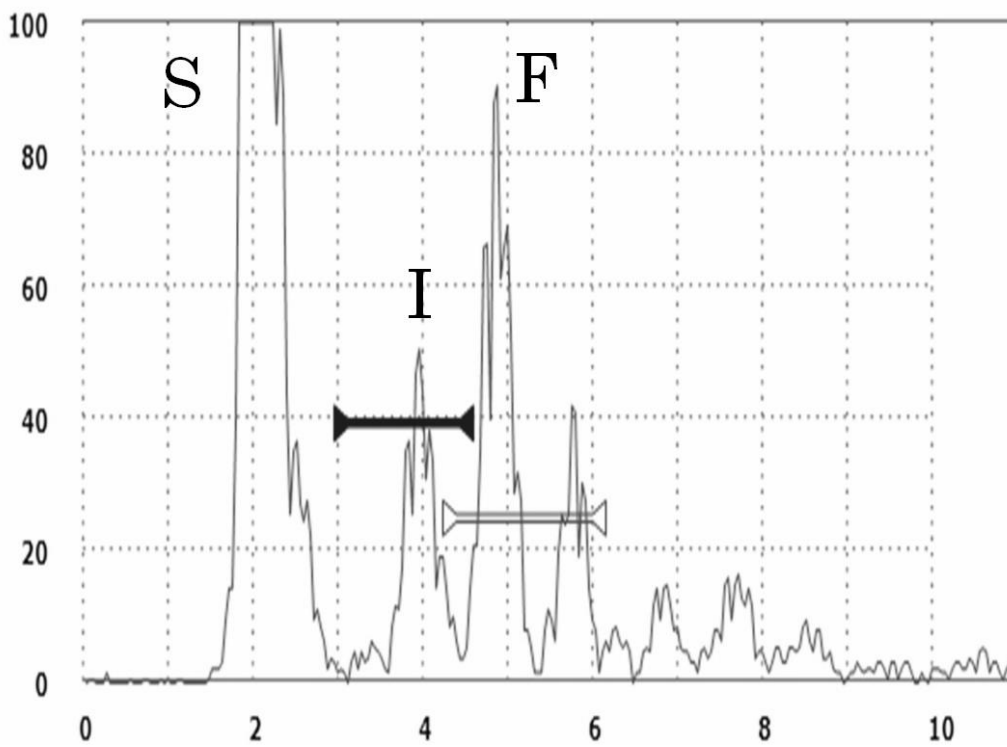


【図 16】

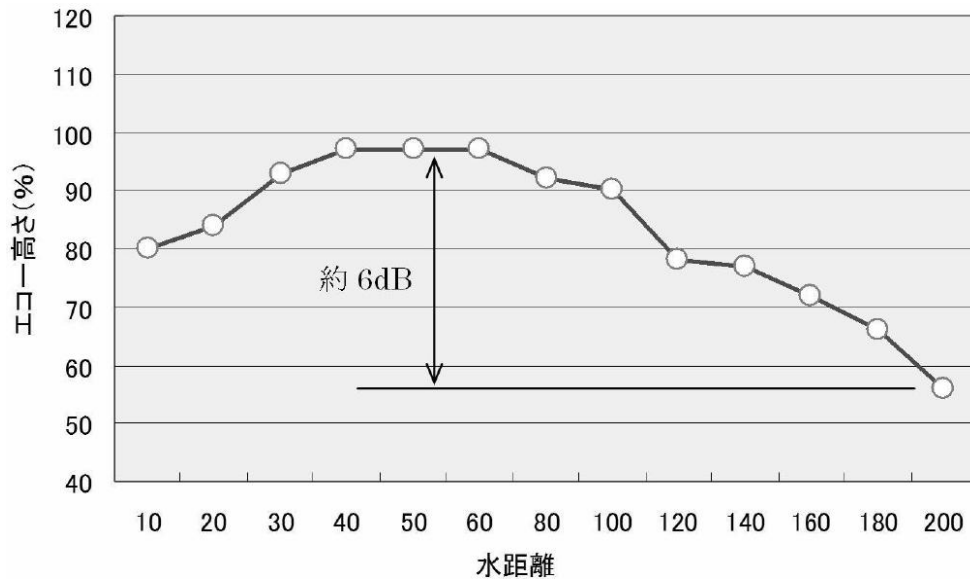
(a)



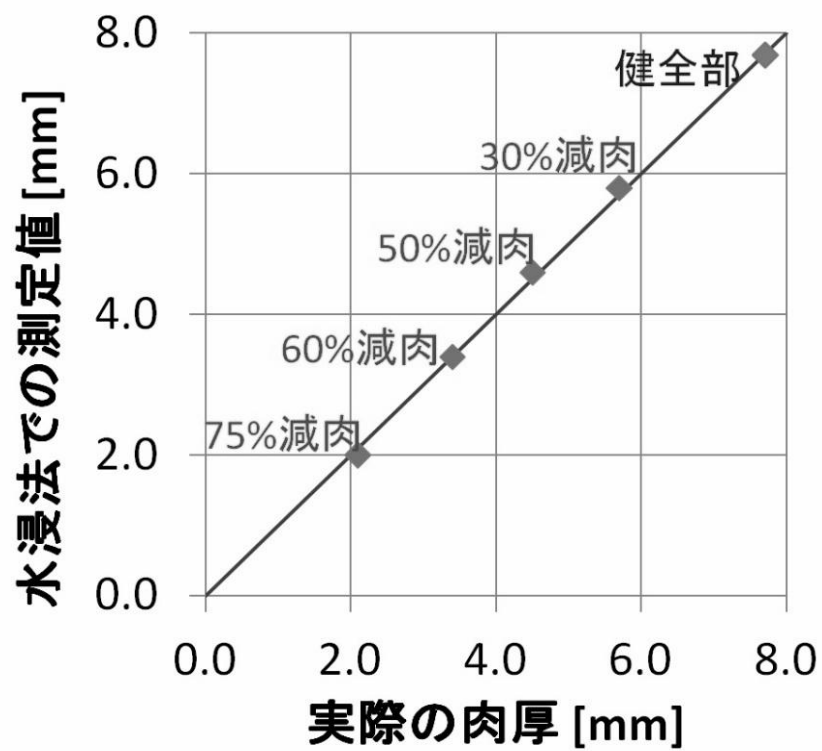
(b)



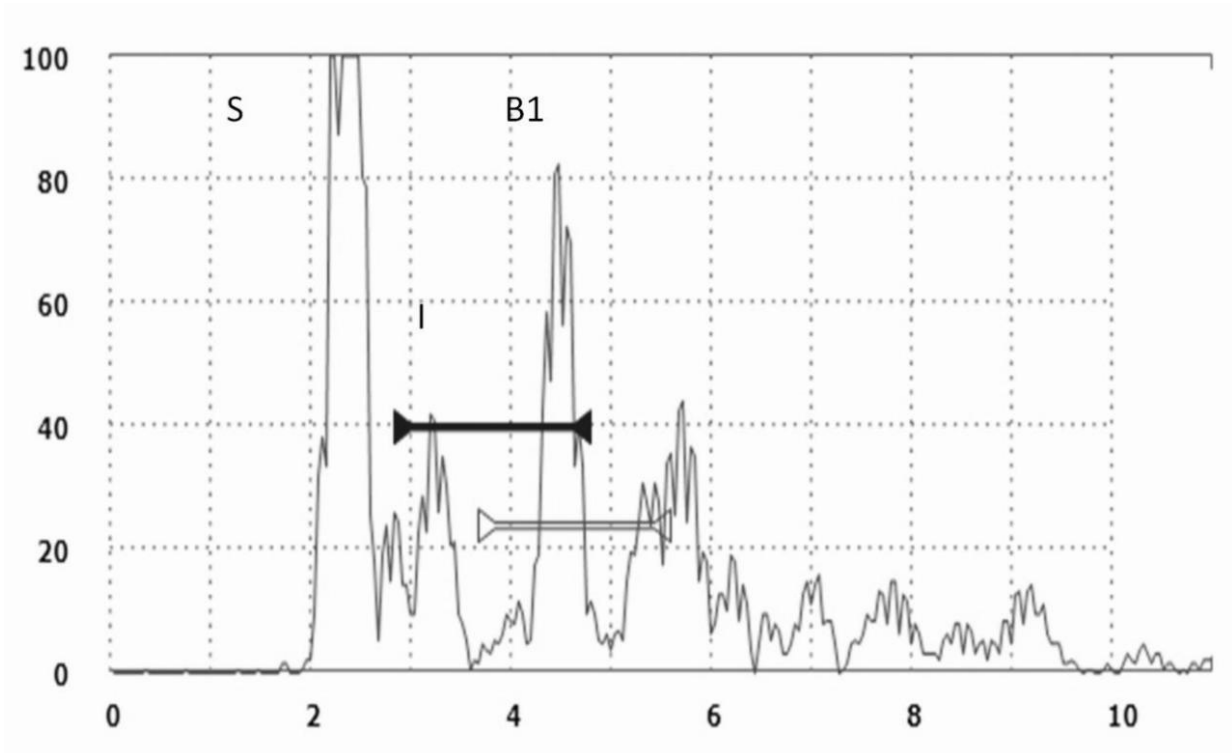
【図 1 7】



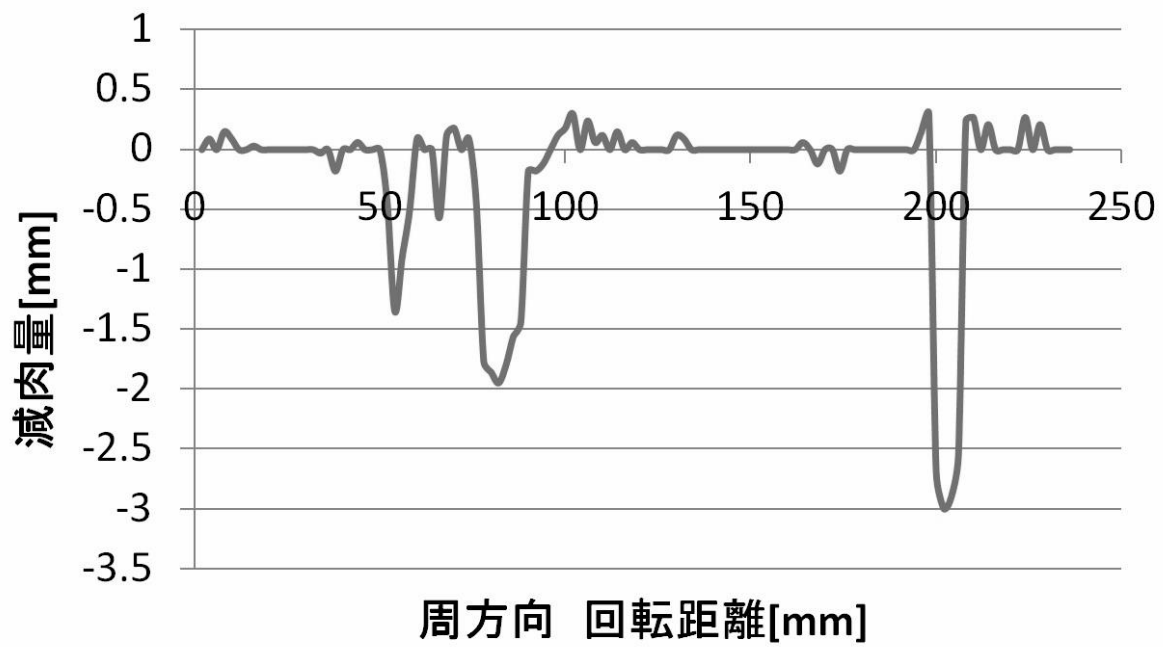
【図 1 8】



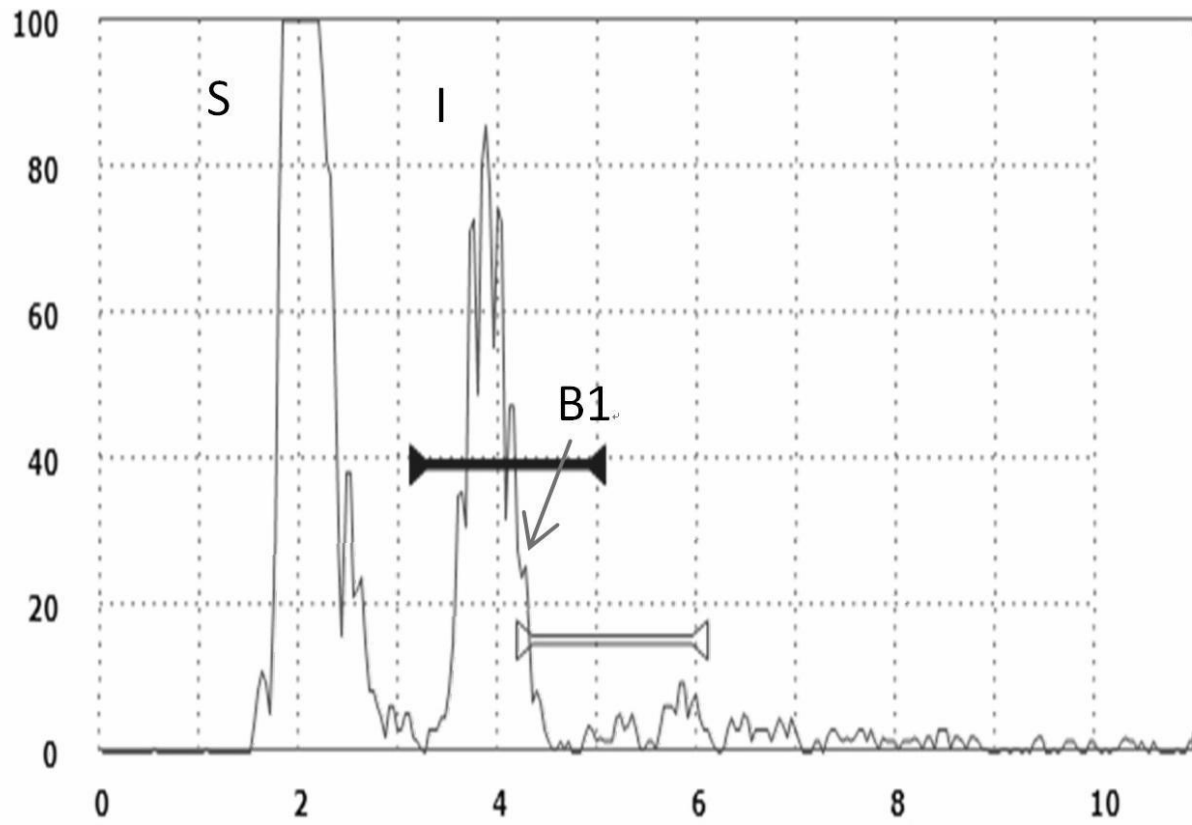
【図 19】



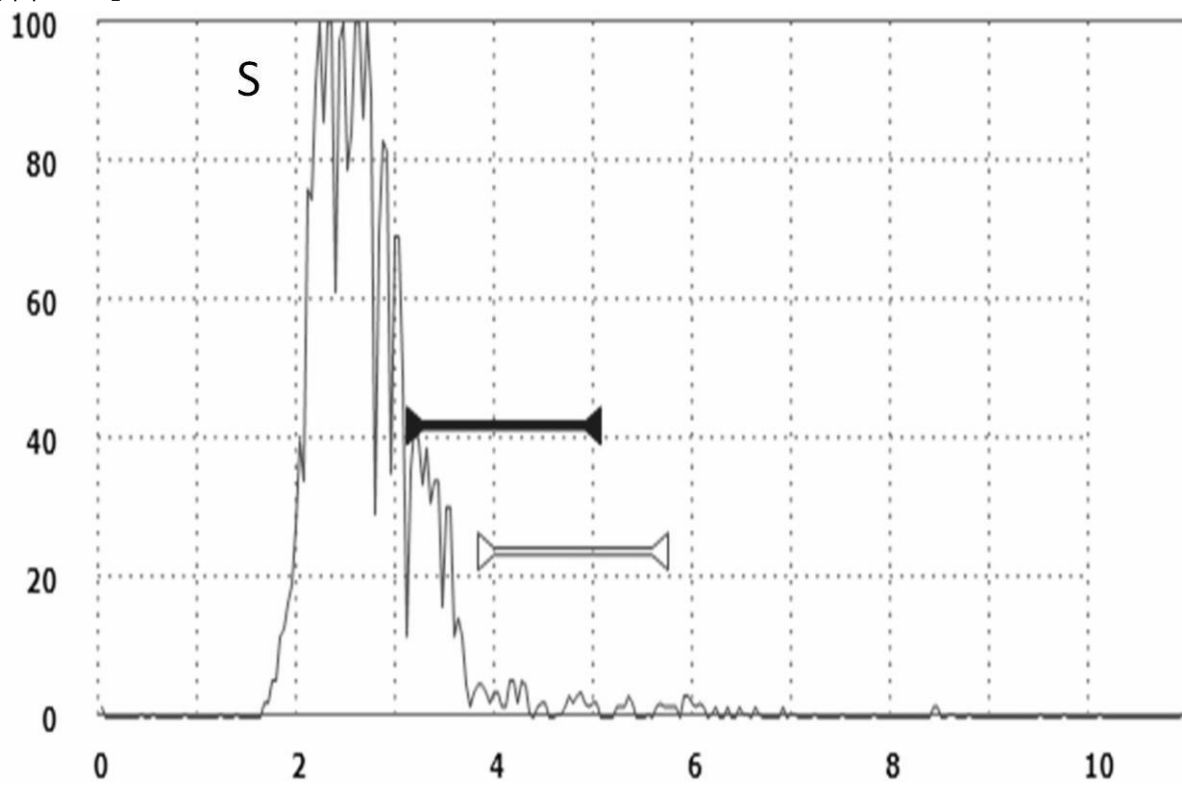
【図 20】



【図 2 1】

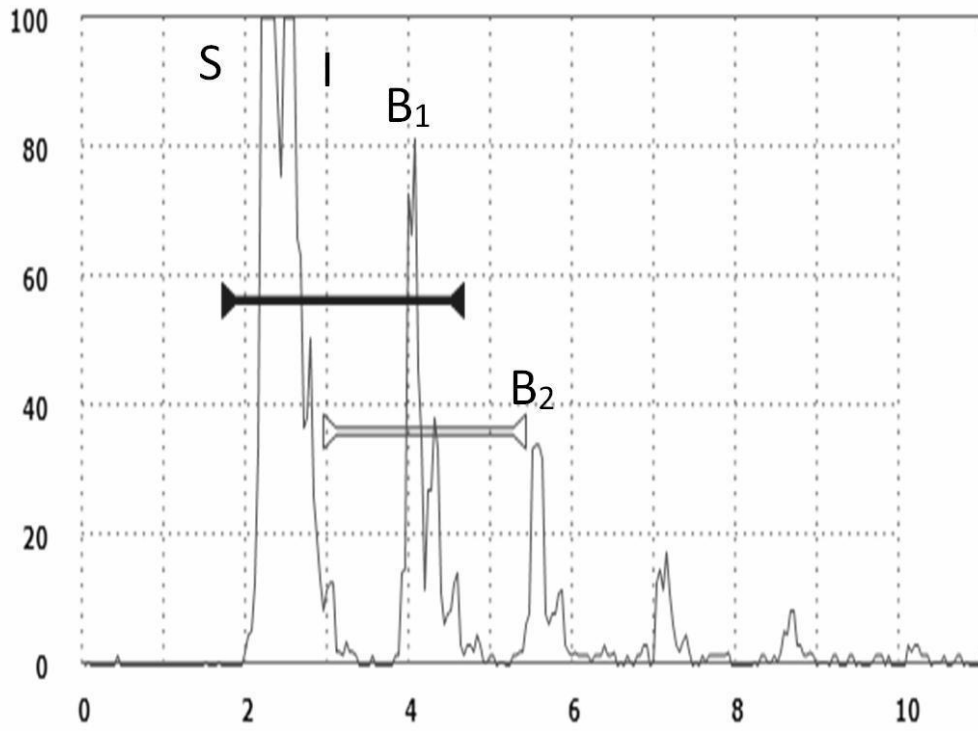


【図 2 2】

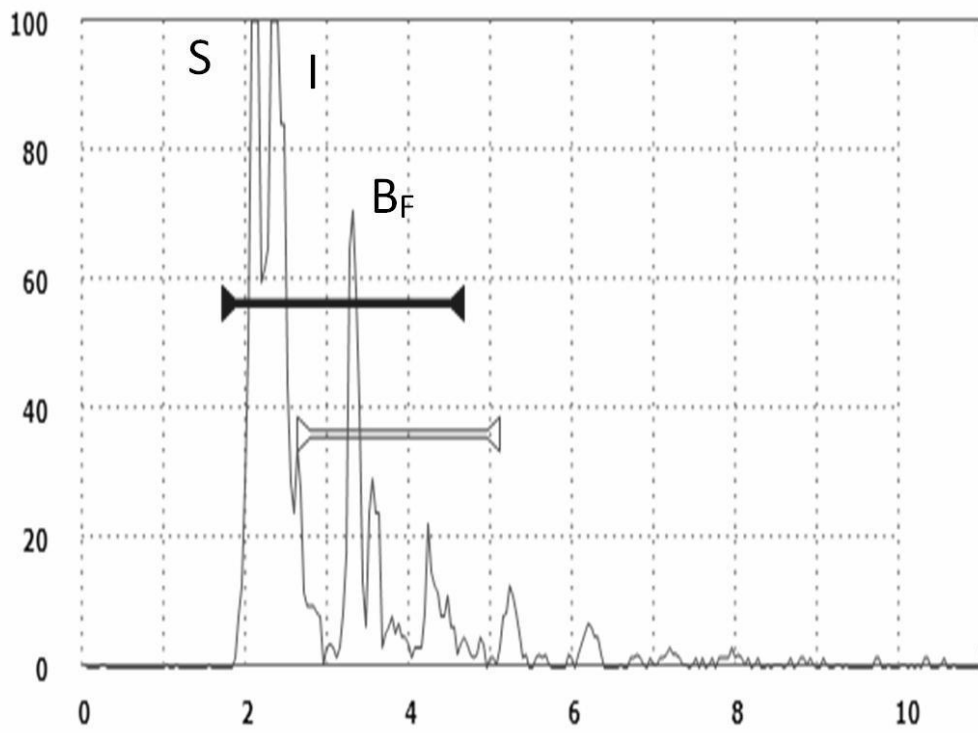


【図 2 3】

(a)



(b)



フロントページの続き

- (72)発明者 田中 健二
福岡県北九州市小倉北区井堀4丁目10番13号 新日本非破壊検査株式会社内
- (72)発明者 中川 峰寛
福岡県北九州市小倉北区井堀4丁目10番13号 新日本非破壊検査株式会社内
- (72)発明者 安永 元則
福岡県北九州市小倉北区井堀4丁目10番13号 新日本非破壊検査株式会社内
- Fターム(参考) 2G047 AA07 AA10 AB01 AB05 BA02 BA03 BB01 BB06 BC02 BC11
BC18 DB18 EA08 GE02 GG24 GG30 GJ08