

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6420218号  
(P6420218)

(45) 発行日 平成30年11月7日(2018.11.7)

(24) 登録日 平成30年10月19日(2018.10.19)

(51) Int. Cl. F I  
**GO 1 V 3/12 (2006.01)** GO 1 V 3/12 B  
**GO 1 S 13/88 (2006.01)** GO 1 S 13/88 2 0 0

請求項の数 5 (全 10 頁)

(21) 出願番号	特願2015-154051 (P2015-154051)	(73) 特許権者	000001373 鹿島建設株式会社 東京都港区元赤坂一丁目3番1号
(22) 出願日	平成27年8月4日(2015.8.4)	(73) 特許権者	501254955 川崎地質株式会社 東京都港区三田2丁目11番15号
(65) 公開番号	特開2017-32455 (P2017-32455A)	(74) 代理人	100088155 弁理士 長谷川 芳樹
(43) 公開日	平成29年2月9日(2017.2.9)	(74) 代理人	100113435 弁理士 黒木 義樹
審査請求日	平成29年11月15日(2017.11.15)	(74) 代理人	100122781 弁理士 近藤 寛
		(74) 代理人	100124800 弁理士 諏澤 勇司

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 地中解析方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

電磁波を用いて地中の対象物の分布を解析する地中解析方法であって、  
 地中あるいは地表に固定された送信アンテナ及び前記送信アンテナに接続された制御装置を用いて、所定の周波数範囲内の複数の周波数で連続的に発振する連続波である電磁波を発信する発信ステップと、

地中の異なる位置に固定された3つ以上の受信アンテナ及び前記受信アンテナに接続された前記制御装置を用いて、前記電磁波を受信して前記受信アンテナごとの受信信号を検出する受信ステップと、

前記制御装置を用いて、前記複数の周波数で発振する前記電磁波に対応した前記受信アンテナごとの受信信号を対象に逆フーリエ変換を実行することで、前記受信アンテナごとの前記受信信号のインパルス応答波形を算出し、前記受信アンテナごとの前記インパルス応答波形を基に地中の対象物の三次元分布を解析する解析ステップと、  
 を備える地中解析方法。

【請求項2】

前記電磁波の前記周波数範囲は、50～500MHzである、  
 請求項1記載の地中解析方法。

【請求項3】

前記電磁波の前記周波数範囲は、100MHz～1GHzである、  
 請求項1記載の地中解析方法。

## 【請求項 4】

前記発信ステップでは、地中の前記対象物の周りの地盤条件に応じて、前記電磁波の発振する周波数範囲を変更する、  
請求項 1～3 のいずれか 1 項に記載の地中解析方法。

## 【請求項 5】

前記発信ステップでは、地中の解析対象の前記送信アンテナあるいは前記受信アンテナからの距離、あるいは地中の減衰特性に応じて、前記電磁波の発振する周波数範囲を変更する、  
請求項 1～4 のいずれか 1 項に記載の地中解析方法。

## 【発明の詳細な説明】

10

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明の一側面は、電磁波を用いて地中の対象物の分布を解析する地中解析方法に関する。

## 【背景技術】

## 【0002】

弾性波、電気、電磁波等を用いた一般的な非破壊検査の手法のうち、電磁波を用いる電磁波レーダ法は、最も高い分解能を有する。この電磁波レーダ法は、地盤、岩盤を対象とした地質調査、路面下空洞、埋設管、トンネル覆工背面空洞、コンクリート構造物内の鉄筋、部材厚、空洞等の様々な対象物の位置を調べる非破壊検査に利用される。

20

## 【0003】

例えば、電磁波レーダ法を応用した地中の断面情報を得る方法として、下記特許文献 1 あるいは下記特許文献 2 に記載の方法が知られている。これらの方法においては、一対の送信アンテナ及び受信アンテナを 2 本のボーリング孔に挿入し、送信アンテナと受信アンテナとの間で送受信される電磁波の解析結果を基に断面情報を取得する。

## 【先行技術文献】

## 【特許文献】

## 【0004】

【特許文献 1】特開平 6 - 3 2 4 1 6 2 号公報

【特許文献 2】特開平 7 - 2 9 4 6 6 1 号公報

30

## 【発明の概要】

## 【発明が解決しようとする課題】

## 【0005】

しかしながら、上記特許文献 1, 2 に記載の方法によれば、送信アンテナあるいは受信アンテナの位置を変えながら繰り返し解析処理を行わなければならないため、操作が煩雑である。

## 【0006】

そこで、本発明は、かかる課題に鑑みて為されたものであり、地中の対象物の三次元分布の解析結果を簡易な操作で効率的に取得することが可能な地中解析方法を提供することを目的とする。

40

## 【課題を解決するための手段】

## 【0007】

上記課題を解決するため、本発明の一形態に係る地中解析方法は、電磁波を用いて地中の対象物の分布を解析する地中解析方法であって、地中あるいは地表に固定された送信アンテナ及び送信アンテナに接続された制御装置を用いて、所定の周波数範囲内の複数の周波数で連続的に発振する連続波である電磁波を発信する発信ステップと、地中の異なる位置に固定された 3 つ以上の受信アンテナ及び受信アンテナに接続された制御装置を用いて、電磁波を受信して受信アンテナごとの受信信号を検出する受信ステップと、制御装置を用いて、複数の周波数で発振する電磁波に対応した受信アンテナごとの受信信号を対象に逆フーリエ変換を実行することで、受信アンテナごとの受信信号のインパルス応答波形を

50

算出し、受信アンテナごとのインパルス応答波形を基に地中の対象物の三次元分布を解析する解析ステップと、を備える。

【0008】

上記形態の地中解析方法によれば、送信アンテナから送信された複数の周波数で連続的に発振する電磁波が、地中に固定された3つ以上の受信アンテナで受信され、制御装置を用いて、受信アンテナごとの受信信号を対象に逆フーリエ変換することで受信アンテナごとのインパルス応答波形を算出し、これらのインパルス波形を基に地中の対象物の三次元分布を解析する。これにより、送信アンテナ及び受信アンテナの位置を固定させたままで連続波を用いて地中の三次元分布を解析することができ、簡易な操作で効率的に解析結果を取得することができる。

10

【0009】

電磁波の周波数範囲は、50～500MHzであってもよいし、電磁波の周波数範囲は、100MHz～1GHzであってもよい。このような周波数帯を利用することで、送信アンテナ及び受信アンテナの大きさを比較的小さくすることができるとともに、この周波数範囲の連続波を用いることで受信アンテナの感度の低下も防ぐことができる。

【0010】

発信ステップでは、地中の対象物の周りの地盤条件に応じて、電磁波の発振する周波数範囲を変更する、ことが好適である。こうすれば、電磁波の地盤における減衰を小さくして解析結果の感度を高めることができる。

【0011】

発信ステップでは、地中の解析対象の送信アンテナあるいは受信アンテナからの距離、あるいは地中の減衰特性に応じて、電磁波の発振する周波数範囲を変更する、ことも好適である。解析対象の距離が近い場合に解析結果における分解能を高めることができ、解析対象の距離が遠い場合に電磁波の減衰を小さくして解析結果の感度を高めることができ、地中の減衰特性に応じて分解能を高めることができる。

20

【発明の効果】

【0012】

本発明の一側面によれば、地中の対象物の三次元分布の解析結果を簡易な操作で効率的に取得することができる。

【図面の簡単な説明】

30

【0013】

【図1】本発明の好適な一実施形態に係る地中解析方法を実現するための解析システム1の概略構成を示すブロック図である。

【図2】(a)は、送信アンテナ5の外観構成を示す斜視図、(b)は、送信アンテナ5の内部構成を示す斜視図である。

【図3】本発明の実施形態にかかる地中解析方法の手順を示すフローチャートである。

【図4】本発明の実施例において土槽中における送信アンテナ5及び受信アンテナ7の固定状態を示す平面図及び側面図である。

【図5】(a)は、図4の塩化ビニル管PAによって土槽23中に挿入された受信アンテナ7に対応して算出されたインパルス応答波形を示すグラフ、(b)は、図4の塩化ビニル管PBによって土槽23中に挿入された受信アンテナ7に対応して算出されたインパルス応答波形を示すグラフである。

40

【図6】本発明の実施例において解析システム1によって得られた電磁波の反射強度の三次元分布の出力例を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0014】

以下、図面を参照しつつ本発明に係る地中解析方法の好適な実施形態について詳細に説明する。なお、図面の説明においては同一又は相当部分には同一符号を付し、重複する説明を省略する。

【0015】

50

## 〔システム構成及び地中解析方法の説明〕

図1は、本発明の好適な一実施形態に係る地中解析方法を実現するための解析システム1の概略構成を示すブロック図である。図1に示す解析システム1は、電磁波を用いて地中の対象物の分布を解析するための装置である。この解析システム1は、例えば、地中の地質の評価、地中の水理構造の評価の他、山岳トンネルやダム等の工事における地中の地下水挙動の評価、止水注入工、グラウチング効果等の評価等に用いられる。

## 【0016】

解析システム1は、制御装置3と1つの送信アンテナ5と3つ以上の受信アンテナ7を備えて構成される。以下、解析システム1の各構成要素の構成について説明する。

## 【0017】

送信アンテナ5は、制御装置3に接続され、制御装置3からの給電により所定の周波数範囲内における連続波である電磁波を発信するためのものである。この送信アンテナ5は、解析時には解析対象物近くの地表あるいは地中に固定される。図2には、送信アンテナ5の構造の一例を示しており、図2(a)には、送信アンテナ5の外観構成を示し、図2(b)には送信アンテナ5の内部構成を示している。このように、送信アンテナ5には、その内部に中空形状の真鍮製の導体9a, 9bが一直線上に並んで設けられ、一方の導体9bの内側に導体9a, 9bと制御装置3とを電氣的に接続するための導線である同軸ケーブル11が挿入されている。そして、この同軸ケーブル11の一端は、 balan (平衡 - 不平衡変換器) 13を介して導体9a, 9bに接続されている。さらに、送信アンテナ5には、導体9a, 9bを外部から覆うように円筒状の塩化ビニル製の絶縁チューブ15が設けられ、この絶縁チューブ15の端部から同軸ケーブル11の他端が引き出され、この同軸ケーブル11の他端が制御装置3に電氣的に接続される。このような送信アンテナ5のサイズは、例えば、送信される連続波である電磁波の周波数範囲が50 ~ 500 MHzの場合には、導体9a, 9bの径が10 mmでその長さが合わせて100 mm、及び絶縁チューブ15の径が18 mm、その長さが120 mmである。また、送信される連続波の電磁波の周波数範囲が100 MHz ~ 1 GHzの場合には、導体9a, 9bの径が10 mmで長さが合わせて60 mm、及び絶縁チューブ15の径が18 mm、長さが80 mmである。このようなサイズに設定することにより、周波数範囲の下限の周波数においてもアンテナの利得を高めることができる。また、使用する電磁波をパルス波ではなく連続波としているので、小型の送信アンテナ5によっても、広い周波数帯で安定した波形を微小な電力で送信することができる。なお、この送信アンテナ5のサイズは、一例であり、使用される電磁波の周波数範囲に応じて様々に変更され得る。

## 【0018】

受信アンテナ7は、制御装置3に接続され、送信アンテナ5から所定の周波数範囲の連続波である電磁波を受信することにより受信信号を検出および出力するためのものである。この受信アンテナ7は、解析中に少なくとも3つが解析対象物の近くの地中の異なる位置に固定される。受信アンテナ7の構造は、図2に示した送信アンテナ5の構造と同一である。このような受信アンテナ7のサイズは、同時に使用される送信アンテナ5のサイズと同一である。例えば、受信する連続波の電磁波の周波数範囲が50 ~ 500 MHzの場合には、導体9a, 9bの径が10 mmでその長さが合わせて100 mm、及び絶縁チューブ15の径が18 mm、その長さが120 mmである。また、受信される連続波の電磁波の周波数範囲が100 MHz ~ 1 GHzの場合には、導体9a, 9bの径が10 mmでその長さが合わせて60 mm、及び絶縁チューブ15の径が18 mm、その長さが80 mmである。このようなサイズに設定することにより、周波数範囲の下限の周波数においてもアンテナの感度を高めることができる。また、使用する電磁波をパルス波ではなく連続波としているので、小型の受信アンテナ7によっても、広い周波数帯で安定した受信波形を検出することができる。なお、この受信アンテナ7のサイズは、一例であり、使用される電磁波の周波数範囲に応じて様々に変更され得る。ただし、受信アンテナ7は、送信アンテナ5のサイズと同一に設定することが受信信号の検出感度の点で有利である。

## 【0019】

制御装置 3 は、機能的な構成要素として、信号処理部 1 7、T R T 解析部 1 9、及び解析結果表示部 2 1 を備えている。ここで、制御装置 3 は、一体化された装置であってもよいし、一部の構成要素が別の装置で構成されていてもよい。例えば、制御装置 3 は、ネットワークアナライザ等の高周波回路にプロセッサ等の演算回路が内蔵されて構成されてもよいし、高周波回路とコンピュータ等の演算装置との組み合わせによって構成されてもよい。

#### 【 0 0 2 0 】

制御装置 3 の信号処理部 1 7 は、解析処理時に、地中あるいは地表に固定された送信アンテナ 5 から電磁波を送信するように、送信アンテナ 5 に高周波信号を供給する。具体的には、信号処理部 1 7 は、予め設定された周波数範囲内においてステップ状で連続的に発振周波数が増えられた高周波信号を生成し、その高周波信号を送信アンテナ 5 に供給する。例えば、設定された周波数範囲が 5 0 ~ 5 0 0 M H z であった場合は、信号処理部 1 7 は、所定の周期で 5 0 M H z、5 0 . 5 M H z、5 1 M H z、5 1 . 5 M H z、... と発振周波数が増えられた高周波信号を供給する。これにより、解析処理時に、送信アンテナ 5 からは、設定された周波数範囲内の複数の周波数 ( 5 0 M H z、5 0 . 5 M H z、5 1 M H z、5 1 . 5 M H z、... ) で連続的に発振する連続波である電磁波が送信される。

#### 【 0 0 2 1 】

また、制御装置 3 の信号処理部 1 7 は、送信アンテナ 5 への高周波信号の供給時に、同時に受信アンテナ 7 で検出される受信信号を増幅する。その際、信号処理部 1 7 は、受信アンテナ 7 ごとの受信信号を、所定周波数範囲内で送信された電磁波の複数の周波数 ( 例えば、5 0 M H z、5 0 . 5 M H z、5 1 M H z、5 1 . 5 M H z、... ) ごとに検波することにより、その複数の周波数成分ごとに受信信号を抽出する。さらに、信号処理部 1 7 は、受信アンテナ 7 ごとに生成された複数の周波数成分の受信信号を対象に逆フーリエ変換を実行することにより、受信アンテナ 7 ごとの受信信号のインパルス応答波形を算出する。そして、この受信アンテナ 7 ごとのインパルス応答波形を T R T 解析部 1 9 に出力する。ここで、受信信号の検波からインパルス応答波形の算出までの処理は、例えば、特開 6 - 3 2 4 1 6 2 号公報に開示された「地中レーダトモグラフィ方法及び装置」の構成を利用することで実現されるが、この構成に限定されるものではない。

#### 【 0 0 2 2 】

制御装置 3 の T R T 解析部 1 9 は、信号処理部 1 7 から出力された受信アンテナ 7 ごとのインパルス応答波形を基にして、地中の対象物の三次元分布を解析する。この解析の方法としては、公知の T R T ( T h r e e - d i m e n s i o n a l R e f l e c t o r T r a c i n g ) 解析が適用される。この T R T 解析は、従来から、複数のセンサを用いて観測した弾性波の反射波形からトンネル前方の地質境界位置を三次元的に予測する解析技術である ( 横田泰宏, 山本拓治, 名児耶薫, 白鷺卓「無線式トンネル三次元反射法弾性波探査技術の開発」, 岩盤力学に関するシンポジウム講演集, 38th, pp.ROMBUN056, 2009)。T R T 解析部 1 9 は、受信アンテナ 7 ごとのインパルス応答波形を基に T R T 解析を実行することにより地中の電磁波の反射強度 ( 振幅 ) の三次元分布を算出し、解析結果表示部 2 1 に出力する。制御装置 3 の解析結果表示部 2 1 は、ディスプレイ、プリンタ等の出力装置であり、T R T 解析部 1 9 により算出された電磁波の反射強度の三次元分布を、ディスプレイ上あるいは媒体上に出力する。

#### 【 0 0 2 3 】

次に、上述した解析システム 1 を利用した地中解析方法の手順について、図 3 を参照しながら説明する。図 3 は、本実施形態にかかる地中解析方法の手順を示すフローチャートである。

#### 【 0 0 2 4 】

最初に、ユーザによって制御装置 3 が操作されて地中の解析処理が開始されると、信号処理部 1 7 の動作が開始され、設定された周波数範囲内での複数の周波数の電磁波の送信アンテナ 5 からの発信が開始される ( ステップ S 0 1 )。次に、信号処理部 1 7 により、地

10

20

30

40

50

中に埋設された複数の受信アンテナ7ごとに受信信号が検出される(ステップS02)。

【0025】

さらに、信号処理部17により、受信アンテナ7ごとの受信信号が複数の周波数毎に検波されることにより複数の周波数成分ごとに受信信号が抽出され、それらの複数の周波数成分の受信信号を基に逆フーリエ変換が実行されることにより、複数の受信アンテナ7ごとのインパルス応答波形が算出される(ステップS03)。次に、TRT解析部19により、受信アンテナ7ごとのインパルス応答波形を対象にTRT解析処理が実行されることにより、地中の電磁波の反射強度の三次元分布が算出される(ステップS04)。最後に、算出された電磁波の反射強度の三次元分布は、解析結果表示部21によってディスプレイ上あるいは媒体上に出力される(ステップS05)。

10

【0026】

[地中解析処理の実施例]

【0027】

次に、解析システム1を用いた地中解析処理の実施例について説明する。

【0028】

本実施例では、均質な珪砂を入れた円柱状の模擬土槽を用意し、この土槽に送信アンテナ5及び受信アンテナ7を配置して地中解析の処理の結果の正常性を確認した。土槽中の珪砂は水で締固め、締固め後は土槽の底板から排水を行い計測の初期状態とした。このような土槽中には、塩化ビニル管の側面に固定された受信アンテナ7を鉛直方向あるいは斜め方向に差し込むことによって受信アンテナ7を固定した。

20

【0029】

図4には、本実施例において土槽中における送信アンテナ5及び受信アンテナ7の固定状態を示しており、同図中央には土槽の平面図、同図右側および下側には土槽の側面図を示している。土槽23の大きさは、底面の径が240cm、側面の高さが80cmに設定され、送信アンテナ5が、土槽23の表面、すなわち、表面からの距離 $GL = 0$ cmの面の中心近傍に固定され、6個の受信アンテナ7が表面からの距離 $GL = 30$ cmの土槽23中の異なる位置に固定された。具体的には、4個の受信アンテナ7が送信アンテナ5の周りを取り囲むように塩化ビニル管とともに土槽23の表面に対して垂直方向に差し込まれて固定され、2個の受信アンテナ7が送信アンテナ5の両側において塩化ビニル管とともに互いに平行な方向、かつ、土槽23の表面に対して斜め方向に差し込まれて固定された。

30

【0030】

上記のように固定された送信アンテナ5及び受信アンテナ7と、それらに電氣的に接続された制御装置3とを用いて、土槽23中の対象物としての水面境界の三次元分布の解析処理を実行した。解析処理は、土槽23中に $GL = 80$ cm~ $45$ cmの間の5cm間隔で水位が設定されるように注水を行いながらその都度行われた。図5(a)には、塩化ビニル管PAによって土槽23中に挿入された受信アンテナ7に対応して算出されたインパルス応答波形、図5(b)には、塩化ビニル管PBによって土槽23中に挿入された受信アンテナ7に対応して算出されたインパルス応答波形をそれぞれ示している。これらのグラフにおいては、横軸に応答時間(ns)、縦軸に土槽23表面からの水位の距離 $GL$ (cm)が示されている。これらの結果から、 $GL = 50$ ~ $55$ cmに水面が存在する場合に水面からの反射波の応答波形(グラフ中の点線で囲んだ箇所)がはっきりと確認できた。また、図5(a)の点線の矢印に示すように、注水が進むにつれて水面より上の含水率の増加に起因した直達波(送信アンテナ5から受信アンテナ7に直接伝搬する電磁波に対応した応答波形)の時間遅れも見られる。

40

【0031】

また、図6には、 $GL = 50$ cmに水面が存在していた場合に解析システム1によって得られた電磁波の反射強度の三次元分布の出力例を示している。同図に示す出力例では、土槽23に対応した三次元座標において、送信アンテナ5の位置に対応する点 $P_0$ を通る互いに垂直な2つの鉛直面上での反射強度の分布を示している。この出力結果には、点P

50

0の直下には、 $GL = 50\text{ cm}$ の近傍の範囲 $A_1$ に水面境界に対応した反射面が捉えられており、本実施例によって土槽23中の対象物である水面の3次元イメージングを的確に実現できていることが分かった。範囲 $A_1$ の周りの範囲 $A_2$ 、 $A_3$ にも水面以外の反射面が現れているが、これは送信アンテナ及び受信アンテナの数による測定限界、土槽23の側面や底板からの多重反射の影響等によるものと考えられ、実際の自然環境下での測定では測定精度に大きな影響を及ぼすものではないと考えられる。

#### 【0032】

以上説明した本実施形態の地中解析方法によれば、送信アンテナ5から送信された複数の周波数で連続的に発振する電磁波が、地中に固定された3つ以上の受信アンテナ7で受信され、制御装置3を用いて、受信アンテナ7ごとの受信信号を対象に逆フーリエ変換することで受信アンテナ7ごとのインパルス応答波形を算出し、これらのインパルス波形を基に地中の水面等の対象物の三次元分布を解析する。これにより、送信アンテナ5及び受信アンテナ7の位置を固定させたままで連続波を用いて地中の三次元分布を解析することができ、簡易な操作で効率的に解析結果を取得することができる。

10

#### 【0033】

また、送受信する電磁波の周波数範囲を、 $50 \sim 500\text{ MHz}$ 、 $100\text{ MHz} \sim 1\text{ GHz}$ 等の範囲に設定することにより、送信アンテナ5及び受信アンテナ7の大きさを比較的小さくすることができるとともに、この周波数範囲の連続波を用いることでサイズの小さい受信アンテナ7の検出感度の低下も防ぐことができる。その結果、地中の対象物の三次元分布の解析の精度を保つことができる。

20

#### 【0034】

なお、本発明は、前述した実施形態に限定されるものではない。

#### 【0035】

上述した送信アンテナ5及び受信アンテナ7の大きさは上述した例には限定されず、送受信する電磁波の周波数範囲に応じて適宜変更してもよい。例えば、電磁波の周波数範囲の最低周波数に応じて送信アンテナ5及び受信アンテナ7の導体9a、9bの長さを設定してもよい。

#### 【0036】

また、送信アンテナ5及び受信アンテナ7の数も解析対象の地中の対象物の予想される範囲に応じて、適宜変更してもよい。例えば、対象物の範囲が広範囲に亘っていると予想される場合は、その範囲に応じて受信アンテナ7の数を多くして、受信アンテナ7の設置範囲を広げるようにしてもよい。

30

#### 【0037】

また、制御装置3によって設定される電磁波の周波数範囲は、解析対象の対象物の周りの地盤条件に応じて変更されてもよい。例えば、対象物の周りに硬岩が多い地層であると予想される場合には電磁波の周波数範囲を高周波側にシフトするように、例えば、 $100\text{ MHz} \sim 1\text{ GHz}$ の範囲に設定する。また、対象物の周りに軟岩が多い地層であると予想される場合には電磁波の周波数範囲を低周波側にシフトするように、例えば、 $50 \sim 500\text{ MHz}$ の範囲に設定する。つまり、解析対象の対象物の周りを伝搬する電磁波の周波数範囲を、その周りの地層がより硬い場合にはより高い周波数範囲に設定し、その周りの地層がより軟らかい地層の場合にはより低い周波数範囲に設定することができる。これにより、送受信される電磁波の発信周波数の範囲が地盤に応じて変更される結果、電磁波の地盤における減衰を小さくして解析結果の感度を高めることができる。

40

#### 【0038】

さらに、制御装置3によって設定される電磁波の周波数範囲は、解析対象の対象物の送信アンテナ5あるいは受信アンテナ7からの距離、あるいは地中の減衰特性に応じて変更されてもよい。例えば、アンテナが対象物から近いと予想される場合には電磁波の周波数範囲を高周波側にシフトするように、例えば、 $100\text{ MHz} \sim 1\text{ GHz}$ の範囲に設定する。また、アンテナが対象物から遠いと予想される場合には電磁波の周波数範囲を低周波側にシフトするように、例えば、 $50 \sim 500\text{ MHz}$ の範囲に設定する。これにより、送受

50

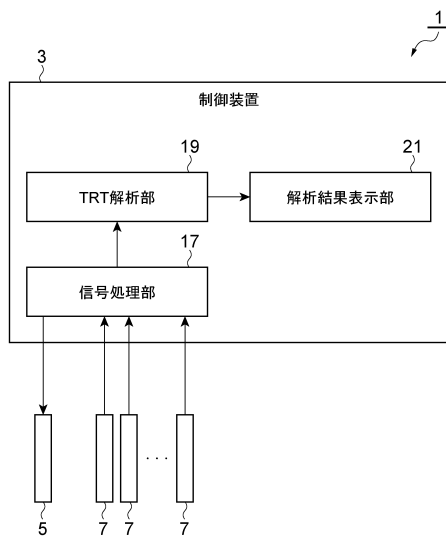
信される電磁波の発信周波数の範囲が対象物のアンテナからの距離に応じて変更される結果、解析対象の距離が近い場合に解析結果における分解能を高めることができ、解析対象の距離が遠い場合に電磁波の減衰を小さくして解析結果の感度を高めることができる。また、対象物の周りの地層の地質等によって予想される電磁波の減衰特性に応じて電磁波の周波数範囲を設定してもよい。これにより、地中の減衰特性に応じて解析結果の分解能を高めることができる。

【符号の説明】

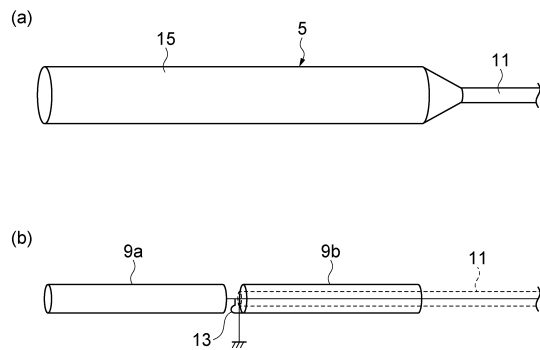
【 0 0 3 9 】

1 ... 解析システム、 3 ... 制御装置、 5 ... 送信アンテナ、 7 ... 受信アンテナ、 17 ... 信号処理部、 19 ... TRT解析部、 21 ... 解析結果表示部。

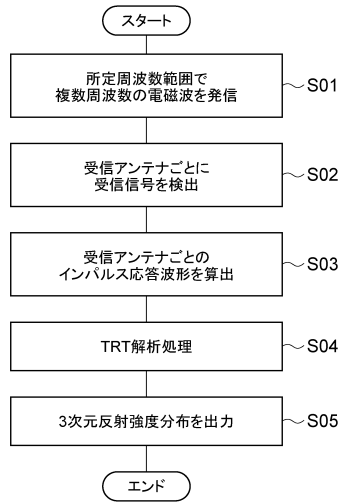
【 図 1 】



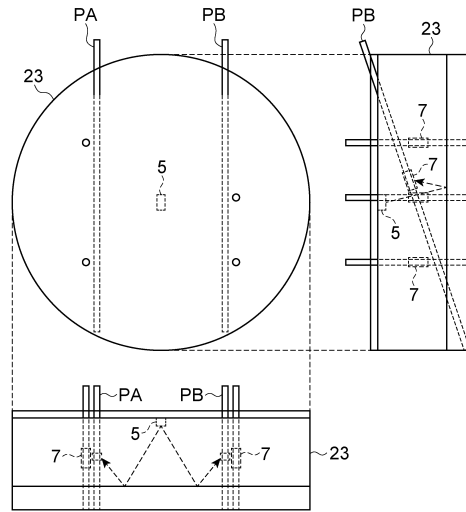
【 図 2 】



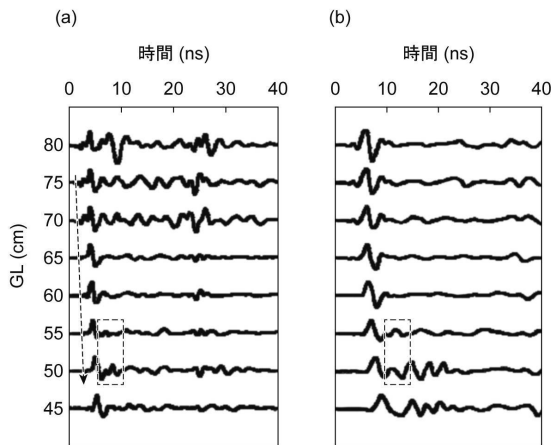
【図3】



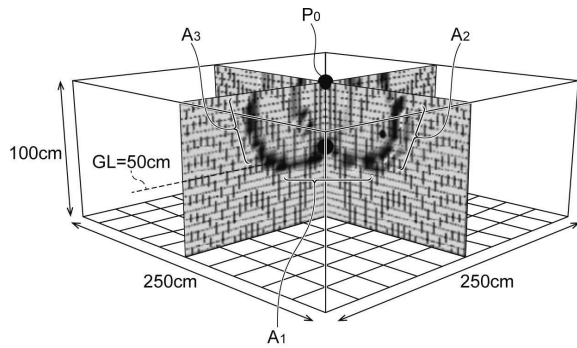
【図4】



【図5】



【図6】



---

フロントページの続き

- (72)発明者 栗原 啓丞  
東京都港区元赤坂一丁目3番1号 鹿島建設株式会社内
- (72)発明者 升元 一彦  
東京都港区元赤坂一丁目3番1号 鹿島建設株式会社内
- (72)発明者 鈴木 敬一  
東京都港区三田二丁目11番15号 川崎地質株式会社内

審査官 西岡 貴央

- (56)参考文献 特開2010-164327(JP,A)  
特開2003-107169(JP,A)  
特開2002-323459(JP,A)  
特開平3-272488(JP,A)  
特開昭60-161884(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01V 1/00-99/00  
G01S 7/00-7/42、13/00-13/95