(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号

特許第6501128号
(P6501128)

(45)発行日　平成31年4月17日(2019.4.17)　(24)登録日　平成31年3月29日(2019.3.29)

(51)Int.Cl.　　F I
G01N 17/00 (2006.01)　　G01N 17/00
G01V 3/06 (2006.01)　　G01V 3/06

請求項の数 8　(全 10 頁)

(21)出願番号　特願2017-952(P2017-952)
(22)出願日　平成29年1月6日(2017.1.6)
(65)公開番号　特開2018-109589(P2018-109589A)
(43)公開日　平成30年7月12日(2018.7.12)
審査請求日　平成30年11月15日(2018.11.15)

早期審査対象出願

(73)特許権者　301021533
国立研究開発法人産業技術総合研究所
東京都千代田区霞が関１－３－１
(72)発明者　神宮司　元治
茨城県つくば市東１－１－１　国立研究開発法人産業技術総合研究所つくばセンター内

審査官　福田　裕司

最終頁に続く

(54)【発明の名称】金属管腐食予測システム及びその方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項１】

キャパシタ電極の対からなるダイポール電極を離間配置した高周波交流電気探査法によって絶縁体の舗装材下の地盤の三次元的な見かけの比抵抗を得て該地盤内に埋設された金属管の腐食予測を与えるシステムであって、

前記舗装材上に配置され電流電極としての前記ダイポール電極を有する通電手段と、

前記舗装材上に配置され電位電極としての前記ダイポール電極の１又は複数を有する検出手段と、

情報処理手段と、を含み、

前記キャパシタ電極と前記舗装材との間に水を介在させて接地を与えた上で、

前記通電手段は、前記ダイポール電極に正弦波の交流電圧を印加して前記地盤内に電流Ｉを与え、

前記検出手段は、前記ダイポール電極で交流信号を検出し、

前記情報処理手段は、前記通電手段からの参照信号で前記検出手段からの前記交流信号を直交同期検波して計測電位Ｖを抽出し、

前記通電手段と前記検出手段との配列させた一連について前記舗装材上を牽引し、前記ダイポール電極の間の距離と、前記電流Ｉ及び前記計測電位Ｖと、から前記地盤の三次元的な比抵抗を算出することを特徴とする金属管腐食予測システム。

【請求項２】

前記キャパシタ電極は、車軸に取り付けられた水を与えられる吸水スポンジからなり、

回転しながら移動可能であることを特徴とする請求項１記載の金属管腐食予測システム。
【請求項３】
前記参照信号は、前記通電手段と前記検出手段との間での時間同期を与える信号を含むことを特徴とする請求項１又は２に記載の金属管腐食予測システム。
【請求項４】
前記参照信号は、ＧＰＳ信号であることを特徴とする請求項３記載の金属管腐食予測システム。
【請求項５】
キャパシタ電極の対からなるダイポール電極を離間配置した高周波交流電気探査法によって絶縁体の舗装材下の地盤の三次元的な見かけの比抵抗を得て該地盤内に埋設された金属管の腐食予測を与える方法であって、
前記舗装材上に配置され電流電極としての前記ダイポール電極を有する通電手段と、
前記舗装材上に配置され電位電極としての前記ダイポール電極の１又は複数を有する検出手段と、
情報処理手段と、を含み、
前記キャパシタ電極と前記舗装材との間に水を介在させて接地を与えた上で、
前記通電手段は、前記ダイポール電極に正弦波の交流電圧を印加して前記地盤内に電流Ｉを与え、
前記検出手段は、前記ダイポール電極で交流信号を検出し、
前記情報処理手段は、前記通電手段からの参照信号で前記検出手段からの前記交流信号を直交同期検波して計測電位Ｖを抽出し、
前記通電手段と前記検出手段との配列させた一連について前記舗装材上を牽引し、前記ダイポール電極の間の距離と、前記電流Ｉ及び前記計測電位Ｖと、から前記地盤の三次元的な比抵抗を算出することを特徴とする金属管腐食予測方法。
【請求項６】
前記キャパシタ電極は、車軸に取り付けられて水を与えられた吸水スポンジからなり、回転しながら移動可能であることを特徴とする請求項５記載の金属管腐食予測方法。
【請求項７】
前記参照信号は、前記通電手段と前記検出手段との間での時間同期を与える信号を含むことを特徴とする請求項５又は６に記載の金属管腐食予測方法。
【請求項８】
前記参照信号は、ＧＰＳ信号であることを特徴とする請求項７記載の金属管腐食予測方法。
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
本発明は、地盤の比抵抗を計測し該地盤における金属管の腐食されやすさ又はされにくさといった腐食状態の傾向を予測する金属管腐食予測システム及びその方法に関し、特に、キャパシタンス電極を用いた高周波交流電気探査法によって絶縁体のアスファルト下の地盤の比抵抗を計測する金属管腐食予測システム及びその方法に関する。
【背景技術】
【０００２】
地中に埋設された水道管などの各種金属製配管（金属管）の更新計画の策定にあたって、その必要性の順番、例えば、腐食の進んだ金属管から更新を進めることが考慮される。しかしながら、埋設された金属管の腐食箇所を直接目視して腐食位置やその状態を判定することは簡単ではなく、例えば、金属管の接地抵抗を測定することで腐食位置の検知やその腐食状態を予測する方法が提案されている。
【０００３】
例えば、特許文献１では、地中に埋設された被覆鋼管において、被覆の損傷による接地抵抗の変化を計測し被覆損傷位置を予測する方法が開示されている。ここでは、被覆鋼管

の区間毎に両端を絶縁した上で電極を取り付け、区間毎の接地抵抗を求めて損傷位置を予測するとしている。また、特許文献２では、地中に埋設された金属管に電極を取り付けることが容易ではないことを述べた上で、埋設金属管の腐食状態を予測する方法として、埋設金属管に電気的に接続されて地上に露出しているユーティリティ管を利用して、接地抵抗を測定する方法を開示している。

【０００４】

一方、接地抵抗のような埋設金属管自体の物性値を計測し該金属管の状態を予測するのではなく、金属管の埋設された地盤環境から該金属管の腐食状態の傾向を予測する方法も提案されている。特許文献３では、金属製検査部材の腐食速度と金属管の耐用期間の関係から埋設された該金属管の腐食状態（実耐用期間）を予測する方法を開示している。金属管の埋設された土壌（地盤）における金属製検査部材の重量減少量から腐食速度を測定し、この腐食速度と金属管の耐用期間の関係に基づいて該金属管の実耐用期間を推測するとしている。

【０００５】

ここで、金属管の埋設された地盤環境を示す指標として、比抵抗、ｐＨ、地下水成分、塩分含有量などが挙げられる。特に、地盤の比抵抗は、金属管の電気的な腐食に大きな影響を与えるとともに、地盤の水分飽和度や塩分含有量など腐食に影響を与える指標を複合的に表す指標ともなり得ることから、金属管の腐食状態を予測するのに適している。一方、地盤の比抵抗を計測するには、地面を開削してサンプルを取得する方法や、路面に孔を開けて電極を挿入する必要があり、特に、道路下にある水道管などの埋設金属管では道路工事を伴い、コストと時間が必要となる。

【０００６】

そこで、キャパシタンス電極を用いた高周波交流電気探査法により、絶縁体のアスファルト路面下の比抵抗を路面に電極を打設するなどして孔を開けることなく、その地下の比抵抗を計測する方法が考慮される。得られた比抵抗値からは、水道管周囲の腐食環境の状態を把握できる。

【０００７】

例えば、特許文献４及び５では、キャパシタンス電極を用いたマルチチャンネルの高周波交流電気探査装置を用いて、地盤の深度方向の構造や３次元構造を把握するシステムを開示している。送信部と複数の受信部とは一連に配列され、地表面上を牽引されながら、各受信部で同時に電位測定を行うとしている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【０００８】

【特許文献１】特開２００３－２３２７６４号公報
【特許文献２】特開２００６－２７５６２３号公報
【特許文献３】特開２０１２－１０７９１１号公報
【特許文献４】特開平９－１２７２５３号公報
【特許文献５】特開平１０－２９３１８１号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【０００９】

高周波交流電気探査法において、キャパシタンス電極間のダイポール長を小さくすることで金属管の埋設位置の局所的な比抵抗をより正確に計測できるようになる。一方で、キャパシタンス電極は静電容量を用いた電極であり、電極間のダイポール長を小さくするように電極を小型にすると接地抵抗が下がって通電できる電流値を小さくしてしまう。つまり、検出される電位も非常に小さくなってしまう。また、送信機と受信機の間の相互誘導による干渉の影響をより受けやすくもなる。

【００１０】

本発明は、以上のような状況に鑑みてなされたものであって、その目的とするところは

、キャパシタンス電極を用いた高周波交流電気探査法によって絶縁体のアスファルト下の地盤の比抵抗を計測し該地盤における金属管の腐食されやすさ又はされにくさといった腐食状態の傾向を予測する金属管腐食予測システム及びその方法を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【００１１】

本発明による金属管腐食予測システムは、キャパシタ電極の対からなるダイポール電極を離間配置した高周波交流電気探査法によって絶縁体の舗装材下の地盤の比抵抗を計測し金属管腐食予測を与えるシステムであって、前記舗装材上に配置され電流電極としての前記ダイポール電極を有する通電手段と、前記舗装材上に配置され電位電極としての前記ダイポール電極の１又は複数を有する検出手段と、情報処理手段と、を含み、前記キャパシタ電極と前記舗装材との間に水を介在させて接地を与えた上で、前記通電手段は、前記ダイポール電極に高周波交流電圧を印加して前記地盤内に電流Ｉを与え、前記検出手段は、前記ダイポール電極で交流信号を検出し、前記情報処理手段は、前記通電手段からの参照信号で前記検出手段からの前記交流信号を直交同期検波して計測電位Ｖを抽出し、前記ダイポール電極の間の距離と、前記電流Ｉ及び前記計測電位Ｖと、から所定深度位置での比抵抗を算出することを特徴とする。

【００１２】

かかる発明によれば、電位電極間での微小な交流信号を検出できるから、例えば、逆解析により求められる比抵抗モデルの如きから金属管の腐食予測を精度よく与えることができるのである。

【００１３】

上記した発明において、前記キャパシタ電極は、金属車軸に取り付けられて水を与えられた吸水スポンジからなることを特徴としてもよい。かかる発明によれば、地表面との接地を良好にでき、微小な交流信号をより良好に検出できるから金属管の腐食予測を精度よく与えることができる。

【００１４】

上記した発明において、前記参照信号は、前記通電手段と前記検出手段との間での時間同期を与える信号を含むことを特徴としてもよい。また、前記参照信号は、ＧＰＳ信号であることを特徴としてもよい。かかる発明によれば、送受信機間の電気的な干渉を抑制しつつ電位電極間での微小な交流信号をより良好に検出できるから金属管の腐食予測を精度よく与えることができる。

【００１５】

また、本発明による金属管腐食予測方法は、キャパシタ電極の対からなるダイポール電極を離間配置した高周波交流電気探査法によって絶縁体の舗装材下の地盤の比抵抗を計測し金属管腐食予測を与える方法であって、前記舗装材上に配置され電流電極としての前記ダイポール電極を有する通電手段と、前記舗装材上に配置され電位電極としての前記ダイポール電極の１又は複数を有する検出手段と、情報処理手段と、を含み、前記キャパシタ電極と前記舗装材との間に水を介在させて接地を与えた上で、前記通電手段は、前記ダイポール電極に高周波交流電圧を印加して前記地盤内に電流Ｉを与え、前記検出手段は、前記ダイポール電極で交流信号を検出し、前記情報処理手段は、前記通電手段からの参照信号で前記検出手段からの前記交流信号を直交同期検波して計測電位Ｖを抽出し、前記ダイポール電極の間の距離と、前記電流Ｉ及び前記計測電位Ｖと、から所定深度位置での比抵抗を算出することを特徴とする。

【００１６】

かかる発明によれば、電位電極間での微小な交流信号を検出できるから、例えば、逆解析により求められる比抵抗モデルの如きから金属管の腐食予測を精度よく与えることができるのである。

【００１７】

上記した発明において、前記キャパシタ電極は、金属車軸に取り付けられて水を与えられた吸水スポンジからなることを特徴としてもよい。かかる発明によれば、地表面との接

地を良好にでき、微小な交流信号をより良好に検出できるから金属管の腐食予測を精度よく与えることができる。

【００１８】

上記した発明において、前記参照信号は、前記通電手段と前記検出手段との間での時間同期を与える信号を含むことを特徴としてもよい。また、前記参照信号は、ＧＰＳ信号であることを特徴としてもよい。かかる発明によれば、送受信機間の電気的な干渉を抑制しつつ電位電極間での微小な交流信号をより良好に検出できるから金属管の腐食予測を精度よく与えることができる。

【図面の簡単な説明】

【００１９】

【図１】本発明による方法における比抵抗測定原理を示す図である。

【図２】本発明によるシステムの要部を示す図である。

【図３】本発明による方法の比抵抗測定の様子を示す写真である。

【図４】本発明によるシステムを示すブロック図である。

【図５】本発明によるシステムでの比抵抗測定の例を示すグラフである。

【図６】比抵抗測定の例を示すグラフである。

【発明を実施するための形態】

【００２０】

まず、本発明によるキャパシタンス電極からなる電極対をマルチチャンネルにダイポール・ダイポール配置して高周波交流電流で路面（アスファルト）の上から地盤の比抵抗を測定するシステムの原理について、図１及び２を用いて説明する。

【００２１】

図１に示すように、三次元で地盤（地中）の比抵抗を測定するためのマルチチャンネル比抵抗測定システムでは、キャパシタンス電極からなる一対の電極１５ａ及び１５ｂからなる送信電極対１５に対して、一対の電極２５ａ及び２５ｂからなる受信電極対２５の１つ又は複数（受信電極対２５－１．．．ｎ）を含み得る。キャパシタンス電極は、アスファルトのような絶縁体の舗装材を地面との間に挟んでキャパシタを形成し、このキャパシタへの充放電のための電圧極性を切り換えることで連続的に地中に電流を流すことができる。そして、受信電極対２５のそれぞれで測定される電位差によって地盤の三次元的な見かけの比抵抗ρを計測できる。

【００２２】

図２に示すように、送信電極対１５（一対の電極１５ａ及び１５ｂ）の距離、及び、受信電極対２５（一対の電極２５ａ及び２５ｂ）の距離を一定とし、更に、送信電極対１５及び受信電極対２５の距離に一致させたとき、見かけ比抵抗の深度ｄは、この距離ｘを用いて、

【数１】

$$d=\frac{(n+1)}{2}x$$

で表される。このとき、見かけ比抵抗ρは、

【数２】

$$\rho=n(n+1)(n+2)\pi x\frac{V}{I}$$

となる。ここで、Ｉは送信電極対１５の間で流れる電流（値）、Ｖは受信電極対２５で測定される電位差（計測電位）である。見かけ比抵抗ρを逆解析することにより、水道管近傍の腐食状態の予測を与えるようにできる。

【００２３】

ここで、受信電極対２５で測定される微弱信号の受信には、直交同期検波による信号解析を用いる。これによれば、より微弱信号の解析も可能となるから、キャパシタ電極の大きさを小さくすることが可能であり、より詳細な測定が可能となる。他方、送信電極対１５と受信電極対２５の間隔を広げることも可能であって、より深部の解析も可能となる。つまり、非常に融通性に富むようになるのである。

【００２４】

この同期信号としては、温度ドリフトの小さいＧＰＳ信号など、送信機１０及び受信機２０において共通の信号、例えば、時間同期を与え得る信号を用い得る。また、送信機１０から受信機２０へ無線通信によって同期信号を与えてもよい。これによれば、送信機１０と受信機２０との間の電気的な干渉を防ぐことができる。

【００２５】

上記したように、送信機１０と受信機２０とは無線通信で接続され、送信機１０で与えた電流（値）Ｉを受信機２０側に送信し、受信機２０においては計測された受信ダイポール間の電位差Ｖから比抵抗ρを計測できる。なお、距離ｘは、超音波やエンコーダ等の手段によって計測する。

【００２６】

図３に示すように、電極１５ａ、１５ｂ、２５ａ及び２５ｂは、枠体６０に回転自在に取り付けられた複数のローラー状のスポンジからなるローラー電極６１（図では５本が枠体６０に取り付けられている）であり、地表面を回転しながら移動可能である。かかるローラー電極６１は吸水性を有し水を含ませた上で使用される。キャパシタンス電極は、地面との静電容量による接地を必要とするため、一般的には、平板状である。このとき、地表面の凹凸や、電極と地面の間に砂などを介在させたりしてしまうと、隙間ができて、接地を悪くしてしまい、十分な電流を流せなかったり、電位差を精度良く検出できなくなることがあった。一方、柔らかいローラー電極６１では、地表面に追従して変形可能であるとともに移動も容易であり、高い誘電率と高い導電率を兼ね備える水を地表面との隙間に与えることでかかる移動に対しても接地を確実にし、安定して高い精度を確保できるのである。

【００２７】

次に、本発明によるシステムの一例について、図４を用いて説明する。

【００２８】

図３に示すように、本システムは、主として、中央制御部Ｂ１、信号発生部Ｂ２、検波部Ｂ３、送信部Ｂ４と複数の受信部Ｂ５とからなる。

【００２９】

中央制御部Ｂ１は、システムでの各種動作定義などの入力操作を与えるとともに、出力を与えるものである。主として、ＣＰＵ３０、記録媒体３４、表示部３６、キーボード３７などを含む。また、後述するように、検波部Ｂ３によって得られた電位差Ｖについての情報を処理し地盤の三次元的な見かけの比抵抗ρを得るとともに、適宜、水道管近傍の腐食状態の予測を与えるのであるが、このための外部処理装置インターフェース３１や無線通信モジュール３２を含み、外部装置との接続を可能にすることで拡張性を与えている。

【００３０】

信号発生部Ｂ２は、タイムベース４１と発信器４２とを切換回路４３で接続し、上記したような信号同期のための基準クロックを生成する。この基準クロックに基づいて信号発生器４５で同期検波用信号を得て、これを検波部Ｂ３、及び送信部Ｂ４に送出する。なお、タイムベース４１は、例えば、ＧＰＳタイムベースの如きであって、時間同期を与えるものであり、発信器４２は、例えば、水晶発振器の如きである。

【００３１】

ここでは、好ましくは、位相を直交させた２つの参照信号を用いて直交信号の２成分の大きさを求め、振幅及び位相を求める直交同期検波を行う。この２つの参照信号を得るための２つの信号発生器４５－１、４５－２の２回路を設ける。

【００３２】

送信部Ｂ４は、波形制御部１１で振幅制御及び参照信号に基づく２周波数合成を行う。なお、信号発生器４５－１及び４５－２で正弦（ｓｉｎ）波を得るのであれば、正弦波合成となる。かかる信号をアンプ１２及び昇圧回路１３で増幅、昇圧し、絶縁インターフェース１４を介して送信電極対１５に与えると、送信電極対１５がキャパシタとして働き、充放電により地中に電流Ｉを流すのである。同時に、送信電流及び電圧の情報を含む電流信号Ｓ１及び電圧信号Ｓ２が検波部Ｂ３に送出される。ここで、アンプ１２は小型のバッテリーであっても長時間運用を可能とするように高い効率での動作を与えるＤ級アンプであることが好ましい。

【００３３】

一方、受信部Ｂ５では、受信電極対２５からの入力電圧差を差動入力アンプ２１で増幅し、電源ノイズを除去するよう５０／６０Ｈｚノッチフィルタ２２を通した後に可変ゲインアンプ２３で増幅して検波部Ｂ３に送出する。なお、マルチチャンネルシステムにおいて、他の受信部Ｂ５も同様である。

【００３４】

検波部Ｂ３では、セレクタ５４において、適宜、送信部Ｂ４からの電流信号Ｓ１及び電圧信号Ｓ２、及び、受信部Ｂ５からの計測信号の切り替えを行いつつ、位相検波モジュール５１に送出する。位相検波モジュール５１では、同期検波を行って、Ａ／Ｄコンバータ５２を介して、同期検波によって得られた電位差Ｖについての情報を中央制御部Ｂ１に送出するのである。

【００３５】

なお、位相検波モジュール５１では、信号発生器４５－１及び４５－２から直交同期検波のための２周波数４成分の検波信号を受信するためには、４つの位相検波モジュール５１－１～４が必要となり、これに対応してＡ／Ｄコンバータ５２－１～４を与えることが好ましい。

【００３６】

以上述べてきたシステムによれば、受信電極対２５での微小な交流信号を検出できるから、例えば、逆解析により求められる比抵抗モデルの如きから金属管の腐食予測を精度よく与えることができる。また、水を与えたローラー状のスポンジからなるローラー電極６１により、地表面との接地を良好にでき、微小な交流信号をより良好に検出できるようになるのである。更に、時間同期を与えるような信号に基づいて受信電極対２５で測定される信号を同期検波することで、送信電極対１５との電気的な干渉を抑制しつつ微小な交流信号をより良好に検出できるのである。

【００３７】

［実施例］

図５は、上記したようなシステムでアスファルトの地表面からその下の地盤の比抵抗を２回繰り返して測定した結果である。これから判るように、非常に高い再現性を得られ、本システムによる測定が非常に安定していることを示している。

【００３８】

図６は、実施例としての水を与えたローラー電極による交流比抵抗探査の結果と、比較例としてのアスファルトに電極を打設した場合の直流比抵抗探査の結果とを比較したものである。これから判るように、ローラー電極を用いた結果は、一般的な直流比抵抗探査とほぼ等価の結果を得られ、打設の必要がなく簡易且つ精確に計測をできるのである。

【００３９】

ここまで本発明による代表的実施例及びこれに基づく改変例について説明したが、本発明は必ずしもこれらに限定されるものではない。当業者であれば、添付した特許請求の範囲を逸脱することなく、種々の代替実施例を見出すことができるだろう。

【符号の説明】

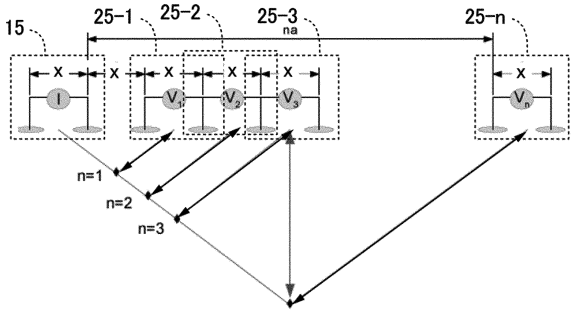
【００４０】

１０　　送信機

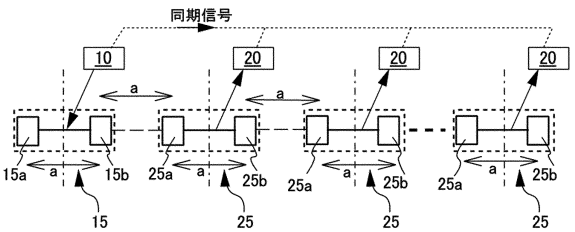
１５　　送信電極対

２０　受信機
２５　受信電極対
１５ａ、１５ｂ、２５ａ、２５ｂ　電極
４１　タイムベース
４２　発信器
４５　信号発生器
５１　位相検波モジュール
５２　Ａ／Ｄコンバータ
６１　ローラー電極
Ｂ１　中央制御部
Ｂ２　信号発生部
Ｂ３　検波部
Ｂ４　送信部
Ｂ５　受信部

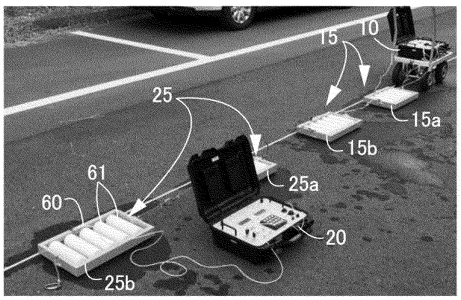
【図１】



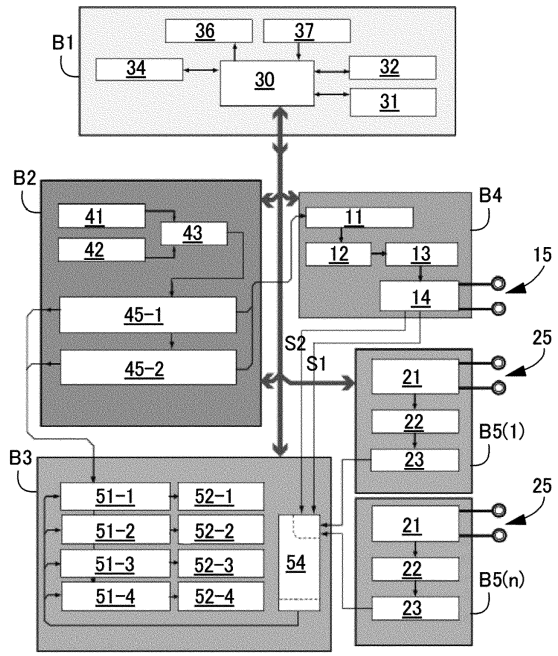
【図２】



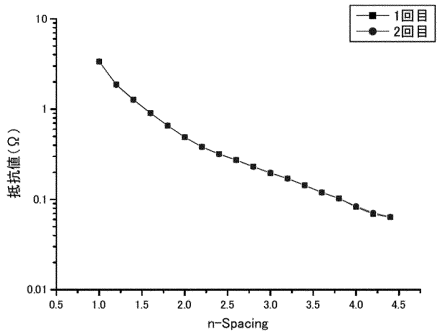
【図３】



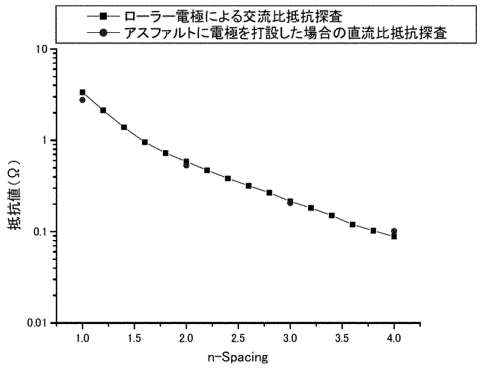
【図４】


B1
36
37
34
30
32
31
B2
41
43
42
45-1
45-2
B4
11
12
13
14
15
S2
S1
25
21
22
23
B5(1)
B3
51-1
52-1
51-2
52-2
51-3
52-3
51-4
52-4
54
B5(n)

【図５】


1回目
2回目
抵抗値（Ω）
10
1
0.1
0.01
0.5
1.0
1.5
2.0
2.5
3.0
3.5
4.0
4.5
n-Spacing

【図６】


ローラー電極による交流比抵抗探査
アスファルトに電極を打設した場合の直流比抵抗探査
抵抗値（Ω）
10
1
0.1
0.01
1.0
1.5
2.0
2.5
3.0
3.5
4.0
n-Spacing

フロントページの続き

(56)参考文献 特開平０４－１８４２４９（ＪＰ，Ａ）
特開平０７－１５１８０１（ＪＰ，Ａ）
特開２００６－３２９９４６（ＪＰ，Ａ）
特開２０１０－２６６３４２（ＪＰ，Ａ）
特開平１０－２９３１８１（ＪＰ，Ａ）
米国特許出願公開第２０１０／００３９１２７（ＵＳ，Ａ１）

(58)調査した分野(Int.Cl.，ＤＢ名)
Ｇ０１Ｎ １７／００～１７／０４
Ｇ０１Ｖ ３／００～３／４０