

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4900615号
(P4900615)

(45) 発行日 平成24年3月21日(2012.3.21)

(24) 登録日 平成24年1月13日(2012.1.13)

(51) Int.Cl.		F I			
GO 1 V	3/08	(2006.01)	GO 1 V	3/08	Z
GO 1 N	27/00	(2006.01)	GO 1 N	27/00	Z
GO 1 V	3/04	(2006.01)	GO 1 V	3/04	
GO 1 D	21/00	(2006.01)	GO 1 D	21/00	D
EO 2 D	17/20	(2006.01)	EO 2 D	17/20	1 O 6

請求項の数 2 (全 11 頁)

(21) 出願番号	特願2008-331788 (P2008-331788)	(73) 特許権者	301031392
(22) 出願日	平成20年12月26日(2008.12.26)		独立行政法人土木研究所
(65) 公開番号	特開2010-151701 (P2010-151701A)		茨城県つくば市南原 1 番地 6
(43) 公開日	平成22年7月8日(2010.7.8)	(73) 特許権者	302060926
審査請求日	平成23年10月18日(2011.10.18)		株式会社フジタ
早期審査対象出願		(74) 代理人	100071205
			弁理士 野本 陽一
		(72) 発明者	伊東 佳彦
			北海道札幌市豊平区平岸 1 条 3 丁目 1 番 3 号
			4 号 独立行政法人土木研究所 寒地土木研究所内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 地盤の破壊・崩壊予測方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

地盤に設置した電極間を接続した複数の測線で電位差を計測し、各測線個別の電位差データを、各測線からの電位差データの和で除算することによって電位分担率を求め、この電位分担率の変化を地盤破壊・崩壊に係る内的要因による前兆変化として評価することを特徴とする、地盤の破壊・崩壊予測方法。

【請求項 2】

各測線が、安定領域の地盤に設置した電極を共通陰極として、不安定又は不安定になると予想される地盤に設置した複数の電極との間をそれぞれ接続したものであることを特徴とする、請求項 1 に記載の地盤の破壊・崩壊予測方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、地盤の破壊や崩壊現象の発生を予測するための技術に関するものである。

【背景技術】

【0002】

盛土や切土等による斜面や、風化等により成層が不安定になっていると予想される地域での地盤の破壊や崩壊（地すべり、岩盤崩落、斜面崩壊、落石など）による危険を回避するためには、地盤破壊や崩壊につながる前兆現象が発生しているか否かを、実際に地盤の破壊や崩壊の発生する前に的確にとらえることが重要である。従来、このような地盤破壊

・崩壊予測には、地盤の微小な電気的変化を観測することによって地盤破壊・崩壊の前兆現象を把握しようとする試みがなされて来た。

【0003】

このうち、例えば不安定な斜面などにおいて地盤の変位や歪を計測し、崩壊を予測しようとする手法は、変動が緩慢な地すべり等の予測には適しているが、岩盤崩落等は非常に小さな変位や歪で瞬時に崩落が発生することから、地盤の変位や歪の計測によって崩壊を予測することはきわめて困難である。

【0004】

また、地盤が破壊される時に発生する音響信号であるA E (Acoustic Emission) による破壊・崩壊予測は、元来、A E が金属材料の疲労破壊等の予測に用いられてきたことから、均一材料の破壊予測には有効であるが、地盤のような自然かつ複合材料に対する適用性は低い。また、A E は地盤振動のうちかなりの高周波成分を計測するために、地盤内での振動の伝播減衰が非常に大きく、広範囲の領域における計測は不可能である。したがって、A E は破壊・崩壊位置が高精度に推定されたジャストポイントの計測には有効であるが、現状では地盤内の破壊・崩壊位置を推定することは困難である。しかも破壊・崩壊位置が推定できれば有効な対策を施すことが可能となるのであるから、災害発生リスクを勘案すれば、破壊・崩壊を予測するより、事前に対策を講じた方が賢明である。このため、地盤の破壊・崩壊予測技術としては、その位置と規模を推定できる手法の開発が望まれていると言える。

【0005】

また、地盤の電位変化を計測して地震予知に活用するギリシャで開発されたVAN法では、地盤内での減衰が小さい電磁波が広範囲の計測に有利であるといった特性を活かして、発生する地震の位置と規模を同定する試みがなされている。よって、地盤の微小な電位変化を観測することによって地盤崩壊の位置と規模を同定することが可能となることが示唆される。

【0006】

一方、地盤の電位観測では絶対電位を測定することは困難であるため、ある地点に配置した共通陰極(基準電極)との差(電位差)を観測することになる。地下深部の金属鉱床や地熱地帯における熱源探査に活用されている調査法である自然電位法(S P法、電気探査の一種)でも、同様に基準電極に基づく地盤の電位分布を広範囲に計測し、その分布形状から地下の状態を把握している。

【0007】

地盤の電位観測において観測値から降雨等の外的要因によるノイズを除去する手法としては、対象地点から遠方あるいは異なる条件の箇所に電極を配置して、この測線をノイズ測線として活用しノイズを除去する試みがなされてきたが(例えば下記の特許文献1参照)、地盤の電位観測では、上述のように共通陰極を配置する必要があるが、例えば観測目的区域から数km離れた遠方に電極を設置することは実務的に難しいのが現状である。一方、複数の異なる観測地点のデータから個々の観測地点の固有のノイズを除去しようとする手法も考えられるが、個々の地点で受ける個別の外的要因が同一であることが保証されていないことから、この手法も現実性に乏しい。

【特許文献1】特許第3803470号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

本発明は、上述のような問題に鑑みてなされたもので、その技術的課題は、地盤破壊・崩壊予測の信頼性を高めるため、地盤の電位差データから外的要因による電位変化を除去して、内的要因による電位変化を的確に把握するため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】

【0009】

上述の技術的課題を有効に解決するための手段として、本発明に係る地盤の破壊・崩壊

10

20

30

40

50

予測方法は、地盤に設置した電極間を接続した複数の測線で電位差を計測し、各測線個別の電位差データを、各測線からの電位差データの和で除算することによって電位分担率を求め、この電位分担率の変化を地盤破壊・崩壊に係る内的要因による前兆変化として評価することを特徴とするものである。

【0010】

上記構成において好ましくは、各測線が、安定領域の地盤に設置した電極を共通陰極として、不安定又は不安定になると予想される地盤に設置した複数の電極との間をそれぞれ接続したものである。

【0011】

本発明は、地盤の微小な電氣的な変化によって破壊現象（岩盤崩落、地すべり、落石、斜面崩壊など）の前兆を捉えようとするものであり、この種の手法では、降雨、降雪、温度、湿度などの気象変化や、地中の水分の凍結、融解などの外的要因による電位変化を除去しなければ、地盤の破壊・崩壊（内的要因）による電位変化を的確に評価することができない。これは、地盤の破壊に伴い発生する電位変化は非常に小さく数mV～数百mV程度にすぎないのに対し、降雨時の電位変化は大きなものであるため、仮に降雨時に地盤の破壊が発生した場合、それによる電位変化が、降雨に起因する電位変化に埋もれてしまい、しかも内的要因による電位変化のパターンも、長期間に亘ってほぼ一定の勾配で変化するパターンや、周期的に変化するパターンや、急激に変化するパターンなどさまざまであるため、計測された電位差データだけでは地盤の微小破壊などの前兆現象を把握することができないからである。

【0012】

また、地盤試料を用いた室内実験でも、付近を通過する電車や、工場や家庭内の電気機器など、電気を動力源とする機器から発生する多くの電磁波による影響を受けて、本来、地盤試料の破壊とは無関係の外的要因による電位変化も一緒に観測されてしまう。

【0013】

しかしながら、上述のような外的要因は、観測対象領域内の個別の地点（測線）に等しくその影響が作用するために、各測線で計測された電位差データに乗算としてその影響が含まれている。したがって、本発明はこの点に着目し、個別の電位差データを、各測線からの電位差データの総和で除算することによって外的要因をキャンセルした電位分担率を算出し、内的要因の変化指標として捉えるものである。

【発明の効果】

【0014】

本発明に係る地盤の破壊・崩壊予測方法によれば、計測された複数の電位差データから外的要因に伴う電位変動を除去し、地盤の破壊・崩壊の前兆現象による電位分担率のみを取り出すことができるので、地盤破壊・崩壊の予測精度を向上することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0015】

以下、本発明に係る地盤の破壊・崩壊予測方法について、図面を参照しながら説明する。まず図1は、本発明に係る地盤の破壊・崩壊予測方法における好ましい実施の形態を、電極の平面配置例と共に概略的に示す説明図、図2は、電極の鉛直配置例と共に概略的に示す説明図である。

【0016】

図1において、上側が地盤斜面の上部、下側が地盤斜面の下部であり、参照符号G1は安定領域、G2は太矢印で示される地すべりなどが発生しやすい不安定又は不安定になると予想される領域（以下、不安定領域という）である。この形態では、安定領域G1の任意の一箇所に電極ER₀を埋設し、不安定領域G2における複数の地点に電極ER₁～ER_nを埋設しており、電極ER₀は、多チャンネルの電圧計測器（例えばデータロガー）1の各陰極入力端子11₁～11_nに並列に接続し、電極ER₁～ER_nは、それぞれ前記電圧計測器1の各陽極入力端子12₁～12_nに接続している。

【0017】

10

20

30

40

50

不安定領域 G 2 に埋設された電極 E R₁ ~ E R_n は、安定領域 G 1 に埋設された一つの電極 E R₀ を共通陰極とする複数の測線を形成するものであり、電圧計測器 1 は、陽極側の各電極 E R₁ ~ E R_n と陰極側の電極 E R₀ との間の電位差を、一定のサンプリング周期（例えば 10 秒）で計測して記録するものである。

【 0 0 1 8 】

図 2 において、参照符号 G W L は地下水位、参照符号 S F は地すべりの発生しやすい面（以下、すべり面という）であって、安定領域 G 1 と不安定領域 G 2 との境界面に相当する。そしてこの図 2 の参照符号 B h は、電極 P_{1U}、P_{1L}、P_{2U}、P_{2L} を埋設するためのボーリング孔である。このうち上側の電極 P_{1U}、P_{2U} は、すべり面 S F より上側の不安定領域 G 2 に位置し、下側の電極 P_{1L}、P_{2L} は、すべり面 S F より下層の安定領域 G 1 に位置している。また、電極 P_{1U}、P_{2U}、P_{1L}、P_{2L} は、雨の影響を排除するために地下水位 G W L 以下に設置した。

10

【 0 0 1 9 】

そして、安定領域 G 1 に埋設した電極 E R₀ を共通陰極として、多チャンネルの電圧計測器（例えばデータロガー）2 の各陰極入力端子 2 1₁ ~ 2 1₄ に並列に接続し、電極 P_{1U}、P_{1L}、P_{2U}、P_{2L} を、それぞれ前記電圧計測器 2 の各陽極入力端子 2 2₁ ~ 2 2₄ に接続している。

【 0 0 2 0 】

ここで、ある測線で計測される電位差を P_{s_i} とし、このうち地盤の破壊などの内的要因による電位変化を P_{t_i}、電極の状態などに起因する不明確な未知のノイズを P_{n_i}、気象変化などの外的要因による電位変化を P_c とすると、発明者らの研究の結果、おおよそ次のような式が成り立つことがわかった。

20

$$P_{s_i} = (P_{t_i} + P_{n_i}) \times P_c$$

【 0 0 2 1 】

また、各測線（電極 E R₀ と E R₁ の間、電極 E R₀ と E R₂ の間、電極 E R₀ と E R₃ の間、・・・）で計測された電位差の和（又は総和）を P_s、各測線で計測された電位差のうち、内的要因による電位変化を P_t、個々の電極の状態などに起因する不明確な未知のノイズを P_n とすると、

$$P_s = (P_t + P_n) \times P_c$$

であるから、個別の電位差 P_{s_i} を P_s で除算することによって、次式のように、外的要因による電位変化 P_c をキャンセルした電位分担率 R_i を個別に得ることができる。

30

$$R_i = P_{s_i} / P_s = (P_{t_i} + P_{n_i}) \times P_c / (P_t + P_n) \times P_c \\ = (P_{t_i} + P_{n_i}) / (P_t + P_n)$$

【 0 0 2 2 】

すなわち、電位分担率 R_i は、気象変化などの外的要因による電位変化 P_c が除去されているものであり、地盤崩壊・破壊を起こす箇所の電位は変位に先行して変化するため、地盤の破壊現象に起因する内的要因の変化を把握するための指標とすることができる。また、電位差の和 P_s は、観測対象領域に及ぼす外的要因の影響が強調されたデータとなっているため、外的要因の程度の差を表す指標として活用することができる。また、発明者らが野外で観測した種々の電位差データを分析した結果、電位差の変化は降水の有無には敏感だが、降水量には比例しないことが分かった。

40

【 0 0 2 3 】

なお、P_s は 2 箇所以上の計測値の和であり、必ずしも観測対象領域内における各測線での計測値の総和である必要はなく、同じ外的要因を受ける箇所に設置された最低 2 箇所（1 組）の観測データがあれば算出することが可能であり、移動土塊内、不動土塊内あるいは不動土塊と移動土塊を跨いだ領域での内的変化に伴う電位差の比を算出し、破壊前兆現象を把握することができる。

【 0 0 2 4 】

仮に 2 箇所の電極において、電極の設置状況や形状・材質などが同一で、等しい外的要因をうける理想的な状況と考えられる場合、各々の電極における電位分担率は、共に等し

50

く電位を分担するので0.5となる。同様に、4箇所の場合0.25となる。よって、地盤破壊等による内的要因による電位変化がある電極位置で観測された場合、その地点の電位分担率が正側あるいは負側に変化することになる。よって、地盤の破壊に伴う前兆現象を把握するためにはこの電位分担率の変化に注目することが有効である。

【0025】

なお、現況では破壊に伴い発生する電位差を一概に確定することが困難なため、その変化量は多様であり、変化の極性は正側、負側の双方があり得る。

【実施例】

【0026】

次に図3は、本発明に係る地盤の破壊・崩壊予測方法を検証するために実施した室内試験を示す説明図である。この試験では、一軸圧縮試験機100における上下に互いに対向した一对の押圧子101、101間に円柱状の岩石からなる供試体TPを設置し、この供試体TPの上下両端に電極ER₁₁、ER₁₂を設け、押圧子101、101と電極ER₁₁、ER₁₂の間はそれぞれ絶縁体102によって電氣的に絶縁した。また、一方の電極ER₁₁は、サンプリング周期が0.1秒のデータロガー3における陽極入力端子32₁、32₂に接続し、他方の電極ER₁₂は、データロガー3における陰極入力端子31₁と陽極入力端子32₃に接続し、陰極入力端子31₂、31₃はアースし、供試体TPを押圧子101、101間で圧縮荷重を加えていくことにより破壊させるまでの過程で、上部電極ER₁₁と下部電極ER₁₂間に生じてch1に入力される電位差P_U-P_L、上部電極ER₁₁とアースGND間に生じてch2に入力される電位差P_U-G、及び下部電極ER₁₂とアースGND間に生じてch3に入力される電位差P_L-Gの変化を計測した。

【0027】

図4は、試験結果を示す線図である。この図4において、R_U、R_Lは電位差データP_U-G及びP_L-Gをその和で除算した電位分担率であって、すなわち次のようにして求められたものである。

$$R_U = P_U - G / (P_U - G + P_L - G)$$

$$R_L = P_L - G / (P_U - G + P_L - G)$$

【0028】

供試体TPへの圧縮荷重を増大させていくと、やがて図4に破線で示される時刻で供試体TPの破壊に到るが、それより以前の時点(時間0:35~0:42付近)では、電位分担率が0.5を基準として正の値であったR_Uと負の値であったR_Lの関係が逆転し、それまでの均衡が崩れていることがわかる。この変化は、供試体TPの内部組織の微小破壊が始まったことに伴う電位変化によるものであると考えられる。

【0029】

次に図5は、本発明に係る地盤の破壊・崩壊予測方法をトンネル掘削現場での観測に用いた実施例を示す電極の平面配置図、図6は、図5におけるVI-VI断面図である。これら図5及び図6において、参照符号TNは掘削されるトンネル、参照符号G3はひん岩などによる基盤からなる領域、G4は、トンネルTNの掘削によって不安定になりやすい領域で、粘土や砂、崖錐などの未固結堆積物からなる。この実施例では、トンネル掘削によるゆるみの影響範囲外に位置する電極ER₂₀を埋設してこれを不図示のデータロガーの陰極側の入力端子に接続し、トンネルTNの掘進方向の真上及びこれと直交する方向へ並ぶようにそれぞれ電極ER₂₁~ER₂₈を埋設してこれらを前記データロガーの陽極側の入力端子にそれぞれ接続した。

【0030】

図7は、図5及び図6に示されるトンネル掘削現場での電極ER₂₀を共通陰極とする電極ER₂₁~ER₂₃の電位計測データ及びこの計測データに基づいて算出された電位分担率の経時変化と降雨との関係を示す線図である。この事例では、電極ER₂₁~ER₂₃の電位計測データには、降雨時にその影響が負側への変化として表れているが、下段の電位分担率では降雨のよる変化はほとんどキャンセルされており、図中に楕円で囲んで

10

20

30

40

50

示されるように、内的要因であるトンネル掘削の影響による電位変化が強調されていることがわかる。

【0031】

また図8は、図5及び図6に示されるトンネル掘削現場での電極 ER_{20} を共通陰極とする電極 $ER_{21} \sim ER_{28}$ の電位計測データの総和と、各電位計測データに基づいて算出された各電極の電位分担率の経時変化を示す線図である。この事例では、電位差の総和($ER_{21} \sim ER_{28}$)は降雨の影響が誇張されているが、各電極における電位分担率には降雨の影響がほとんどキャンセルされていることがわかる。

【0032】

次に図9は、本発明に係る地盤の破壊・崩壊予測方法を地すべり地の観測に用いた実施例を示す電極の平面配置図である。この図9において、参照符号G5は地山の安定領域、G6(太線で囲んだ範囲)は、不安定領域である地すべり地、Aは河川、Bは道路である。この実施例では、安定領域G5に電極 ER_{30} を埋設してこれを不図示のデータロガーの陰極側の入力端子に接続し、安定領域G5に複数の電極 $ER_{31}, ER_{32}, ER_{36}$ 、地すべり地G6に複数の電極 $ER_{33} \sim ER_{35}$ を埋設してこれらを前記データロガーの陽極側の入力端子にそれぞれ接続した。また、 P_{31}, P_{32} は金属線の電気抵抗の変化から地すべりを深さ方向で検出するパイプ歪計である。

【0033】

図10は、図9に示される電極 ER_{30} を共通陰極とする電極 $ER_{31} \sim ER_{36}$ の電位計測データに基づいて個別に算出された電位分担率及びパイプ歪計 P_{31}, P_{32} の歪計測データの経時変化と降雨量、積雪量との関係を示す線図である。この図10によれば、積雪及び降雨の後の歪データの変化(地すべり変状の発生)に先行して、電位分担率に変化が表れていることがわかる。

【0034】

図11は、図9に示される電極 ER_{30} を共通陰極として、安定領域G5に設置した電極 ER_{31} 及び地すべり地G6に設置した電極 ER_{33} の電位計測データに基づいて算出された電位分担率と、前記電極 ER_{31}, ER_{33} に隣接して設置したボーリング孔内パイプ歪計 P_{31}, P_{32} の歪計測データの経時変化を示す線図である。この図11によれば、地すべり地G6と安定領域G5の電位分担率は、歪データの変化(地すべり変状の発生)に先行して逆転していることがわかる。

【0035】

図12は、図9に示される電極 ER_{30} を共通陰極として、安定領域G5に設置した電極 ER_{31}, ER_{32} の電位計測データに基づいて算出された電位分担率と、前記電極 ER_{31} に隣接して設置したボーリング孔内パイプ歪計 P_{32} の歪計測データの経時変化を示す線図である。この図12によれば、安定領域G5に設置した電極 ER_{31}, ER_{32} 間では、電位分担率の変動がほとんどみられないことがわかる。

【図面の簡単な説明】

【0036】

【図1】本発明に係る地盤の破壊・崩壊予測方法の好ましい実施の形態を、電極の平面配置例と共に概略的に示す説明図である。

【図2】本発明に係る地盤の破壊・崩壊予測方法の好ましい実施の形態を、電極の鉛直配置例と共に概略的に示す説明図である。

【図3】本発明に係る地盤の破壊・崩壊予測方法を検証するために実施した室内試験を示す説明図である。

【図4】室内試験の結果を示す線図である。

【図5】本発明に係る地盤の破壊・崩壊予測方法をトンネル掘削現場での観測に用いた実施例を示す電極の平面配置図である。

【図6】図5におけるVI-VI断面図である。

【図7】図5及び図6のトンネル掘削現場での電位計測データ及びこの計測データに基づいて算出された電位分担率の経時変化と降雨との関係を示す線図である。

10

20

30

40

50

【図8】図5及び図6のトンネル掘削現場での電位計測データの総和と、各電位計測データに基づいて算出された各電極の電位分担率の経時変化を示す線図である。

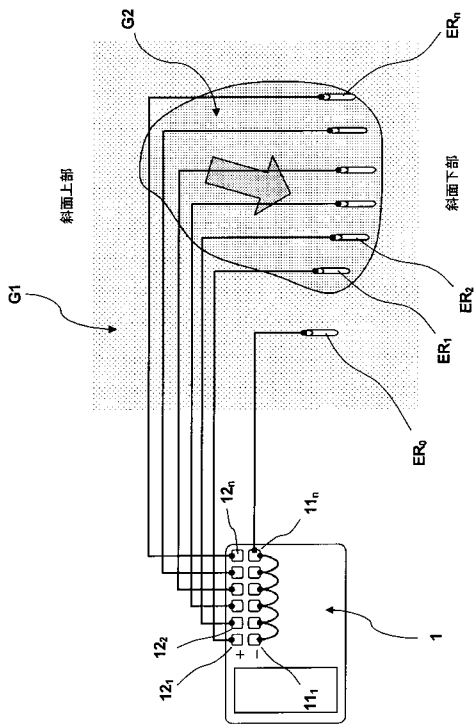
【図9】本発明に係る地盤の破壊・崩壊予測方法を地すべり地の観測に用いた実施例を示す電極の平面配置図である。

【図10】図9の地すべり地の観測において個別に算出された電位分担率及び歪計測データの経時変化と降雨量、積雪量との関係を示す線図である。

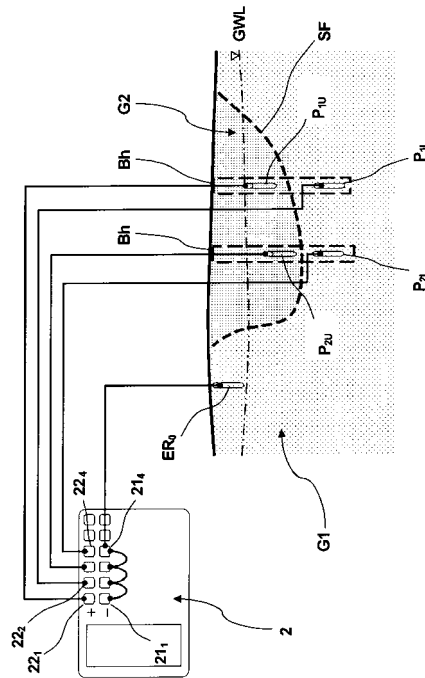
【図11】図9における安定領域と地すべり地の2箇所の電極による電位計測値に基づいて算出された電位分担率及び前記電極と隣接する位置の歪計測データの経時変化を示す線図である。

【図12】図9における安定領域の2箇所の電極による電位計測値に基づいて算出された電位分担率及び前記電極と隣接する位置の歪計測データの経時変化を示す線図である。

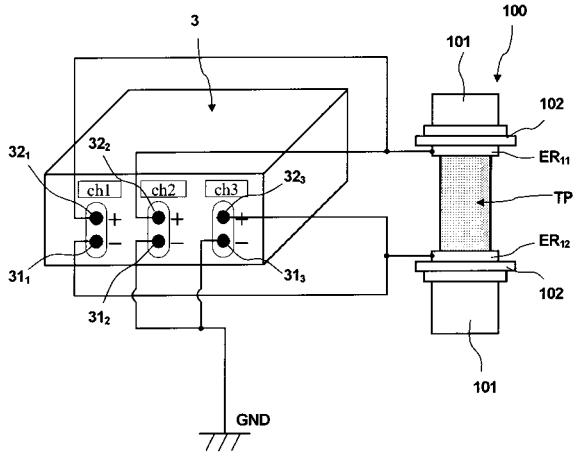
【図1】



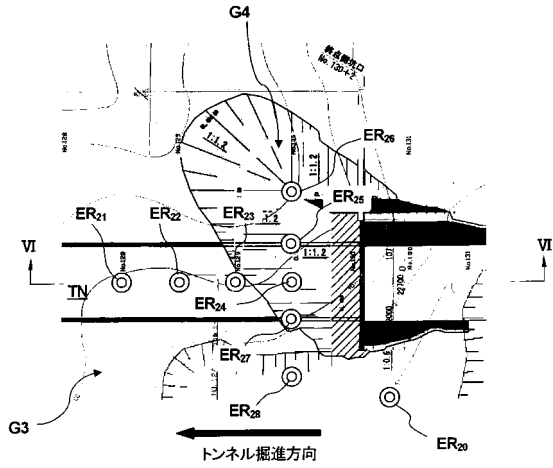
【図2】



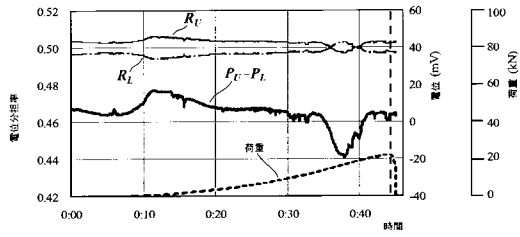
【図3】



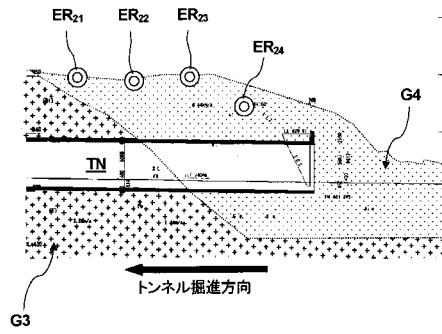
【図5】



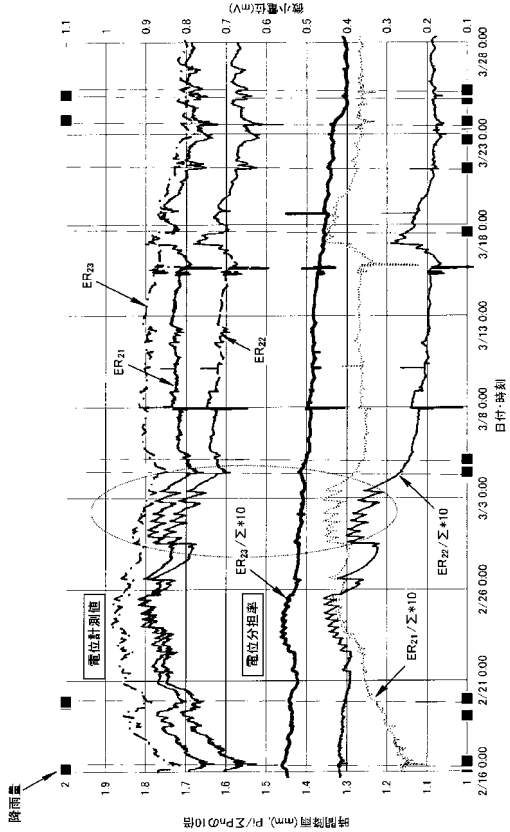
【図4】



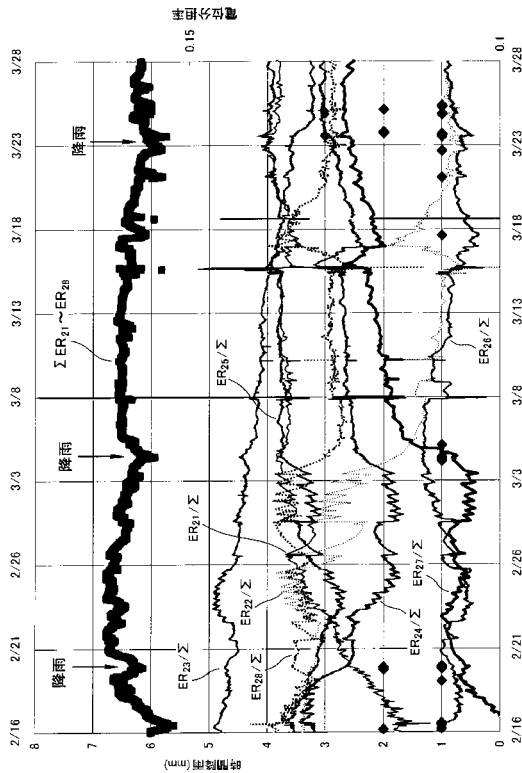
【図6】



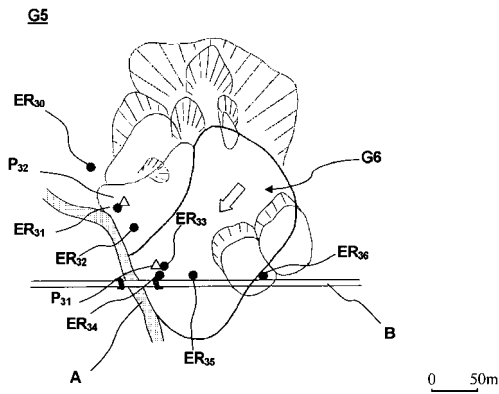
【図7】



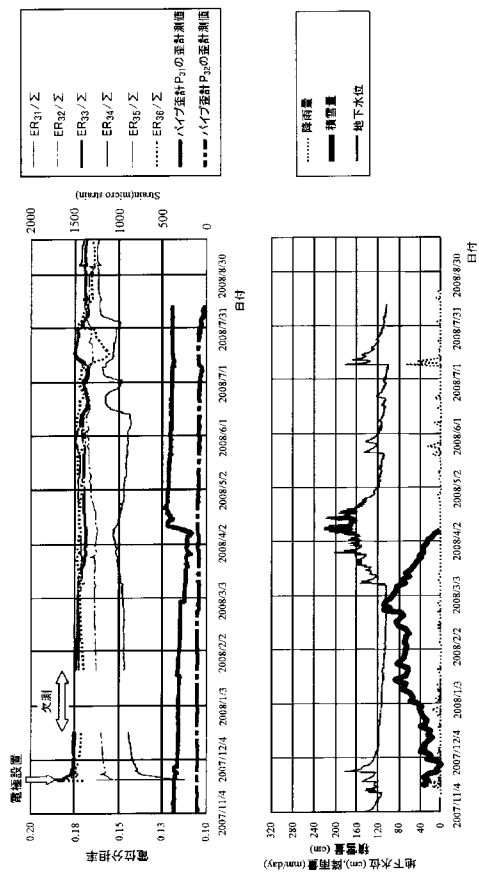
【 図 8 】



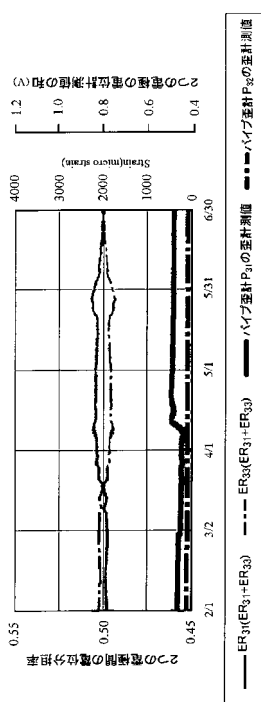
【 図 9 】



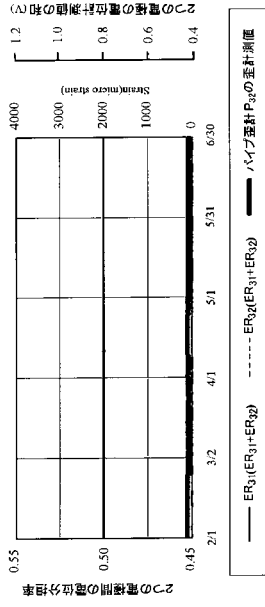
【 図 10 】



【 図 11 】



【 図 1 2 】



フロントページの続き

- (72)発明者 日下部 祐基
北海道札幌市豊平区平岸1条3丁目1番34号
木研究所内 独立行政法人土木研究所 寒地土
- (72)発明者 宍戸 政仁
北海道札幌市豊平区平岸1条3丁目1番34号
木研究所内 独立行政法人土木研究所 寒地土
- (72)発明者 村山 秀幸
東京都渋谷区千駄ヶ谷四丁目25番2号 株式会社フジタ内
- (72)発明者 丹羽 廣海
東京都渋谷区千駄ヶ谷四丁目25番2号 株式会社フジタ内

審査官 田中 秀直

- (56)参考文献 特開平11-83558(JP,A)
特開2002-357666(JP,A)
特開2003-262571(JP,A)
特開2005-274242(JP,A)
丹羽廣海、他、変状斜面における微小電位の観測, 第43回地盤工学研究発表会 - 平成20年度
発表講演集(2分冊の2) -, 2008年 6月12日

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01V 1/00 - 13/00
E02D 17/20
G01D 21/00
G01N 27/00
JSTPlus(JDreamII)