

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2016年2月25日(25.02.2016)



(10) 国際公開番号
WO 2016/027291 A1

- (51) 国際特許分類:
G08B 31/00 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2014/004303
- (22) 国際出願日: 2014年8月21日(21.08.2014)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (71) 出願人: 日本電気株式会社(NEC CORPORATION) [JP/JP]; 〒1088001 東京都港区芝五丁目7番1号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 笠原 梓司(KASAHARA, Shinji); 〒1088001 東京都港区芝五丁目7番1号日本電気株式会社内 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 岩壁 冬樹, 外(IWAKABE, Fuyuki et al.); 〒1040031 東京都中央区京橋二丁目8番7号 読売八重洲ビル6階サンライズ国際特許事務所 Tokyo (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA,

BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

- 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

(54) Title: SLOPE MONITORING SYSTEM, DEVICE FOR SLOPE SAFETY ANALYSIS, METHOD, AND PROGRAM

(54) 発明の名称: 斜面監視システム、斜面安全性解析装置、方法およびプログラム

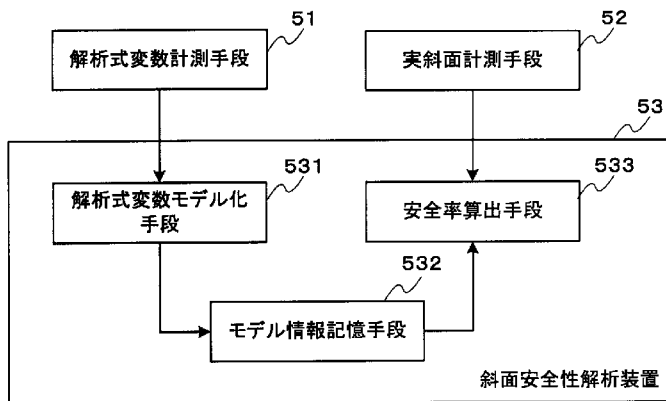


FIG. 20:
 51 Analysis formula variable measuring means
 52 Actual slope measuring means
 53 Slope safety analysis device
 531 Analysis formula variable modeling means
 532 Model information storage means
 533 Safety factor computing means

(57) Abstract: Provided is a slope monitoring system, comprising: an analysis formula variable measuring means (51) for measuring each value of analysis formula variables and a value of a prescribed first observable quantity when there is a change in a state of a test layer from a test environment provided with at least a test layer of the same substance as a substance layer configuring a slope to be monitored; an actual slope measuring means (52) for measuring, from the substance layer which configures the slope to be monitored, a value of a prescribed second observable quantity which is the same as the first observable quantity or has a known relation with the first observable quantity; an analysis formula variable modeling means (531) for building a model for each analysis formula variable on the basis of various values obtained from the test environment, said model defining a relation between the analysis formula variable and the second observable quantity or a prescribed third variable which can be computed from the second observable quantity; a model information storage means (532) for storing the information of the built model; and a safety factor computing means (533) for computing the safety factor of the slope to be monitored by computing the values of each analysis formula variable using the

model which is built on the basis of the value of the second observable quantity which is obtained from the slope to be monitored.

(57) 要約:

[続葉有]



WO 2016/027291 A1



監視対象斜面を構成している物質層と同質の試験層を少なくとも有する試験環境から試験層の状態を変化させたときの解析式変数の各々の値および所定の第1可観測量の値を計測する解析式変数計測手段(51)と、監視対象斜面を構成している物質層から第1可観測量と同じまたは第1可観測量との関係が既知である所定の第2可観測量の値を計測する実斜面計測手段(52)と、試験環境から得られる各種値に基づいて、解析式変数の各々について、第2可観測量または第2可観測量から算出可能な所定の第3変数との関係を規定するモデルを構築する解析式変数モデル化手段(531)と、構築されたモデルの情報を記憶するモデル情報記憶手段(532)と、監視対象斜面から得られる第2可観測量の値を基に構築されたモデルを用いて各解析式変数の値を算出して、解析対象斜面の安全率を算出する安全率算出手段(533)とを備える斜面監視システム。

明 細 書

発明の名称：

斜面監視システム、斜面安全性解析装置、方法およびプログラム

技術分野

[0001] 本発明は、斜面の安全性を監視する斜面監視システム、斜面安全性解析装置、斜面監視方法および斜面監視プログラムに関する。

背景技術

[0002] 斜面の安全性を評価する方法の1つに、フェレニウス法や修正フェレニウス法などの斜面安定解析式を用いて安全率を算出する方法が挙げられる。安全率は、斜面の安全性を評価する指標であって、斜面を滑落しようとする滑落力と、滑落を抑止しようとする抵抗力の比で表わされる。この値が1未満、すなわち滑落力が抵抗力よりも大きくなったときに、崩壊する可能性があるとして評価される。

[0003] フェレニウス法および修正フェレニウス法は、重力に基づく滑落力と、摩擦力や粘着力等に基づく抵抗力との比である安全率を、土塊重量、間隙水圧、土塊の粘着力および内部摩擦角を用いて算出する方法である。

[0004] 斜面の安全性を監視する技術に関連して、例えば、特許文献1～特許文献4に記載されている方法がある。

先行技術文献

特許文献

- [0005] 特許文献1：特開2004-60311号公報
特許文献2：特開2006-195650号公報
特許文献3：特開2005-030843号公報
特許文献4：特開2002-070029号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0006] 斜面安定解析式を用いて斜面の安全性を評価する方法の課題は、斜面安定

解析式に用いられる各変数を監視対象斜面から直接計測することが困難な点にある。例えば、修正フェレニウス法では、安全率を求めるために、土塊重量と間隙水圧とを計測することに加えて、土塊のもつ性質である粘着力および内部摩擦角を算出する必要がある。これらを監視対象斜面から直接計測するには、監視対象斜面に土塊重量を計測可能な重量計と間隙水圧を計測可能な間隙水圧計とを設置する必要があるだけでなく、粘着力と内部摩擦角とを算出するために監視対象斜面を構成している土塊の崩壊時のせん断応力を計測する必要がある。しかし、これら全てを監視対象斜面から直接計測するのは困難であるとともに、コストも高くなってしまいうという問題がある。

[0007] 特許文献1に記載されている地すべり監視方法は、上記のような計測の困難さを解消するために、フェレニウス法に用いられる変数のうち、間隙水圧のみを変数とし、残余の変数すなわち土塊重量、粘着力および内部摩擦角を定数として監視対象斜面の安全率を求めて、地すべりの発生を監視または予測しようというものである。

[0008] 土塊は、土の粒子そのものと、粒子間の隙間に含まれる空気および水とで構成される。降雨により水分量が増加する過程で土の粒子間の隙間に含まれる空気が押し出され、水分の占有率が大きくなる。このとき、土塊重量が増加するとともに、土塊の性質である粘着力および内部摩擦角が変化する。しかし、これらの変動を考慮しない特許文献1に記載されている方法は算出される安全率の精度が悪くなるという問題がある。

[0009] なお、特許文献2に記載されている方法は、伸縮計や傾斜計の値を用いて警報する方法および、雨量計により計測される雨量や地下水位計により計測される水位から土粒子間隙の水による飽和度を求めて安全率の解析に用いる方法が記載されている。しかし、伸縮計や傾斜計は斜面上の位置によって変化するケースとしないケースがあり、不正確であるという問題がある。また、これらのセンサは斜面崩壊の前兆以外のことでも変動しうるため、誤報の可能性もある。さらに、雨量計、水位計の計測値を元に浸透流解析をする場合、土の種類によって異なる浸透特性を無視することになり精度が低下する

ことが考えられる。また、雨量計、水位計、伸縮計、および傾斜計を設置する構成であり、設置個所における設備コストが高くなるという問題がある。

[0010] また、特許文献3に記載されている方法は、振動強度信号に基づいて監視対象斜面内の体積含水率を推算し、得られた体積含水率分布から斜面の崩壊危険度分布を推算する方法が記載されている。しかし、体積含水率の分布を推算しているが、推算した体積含水率から崩壊危険度を評価するにあたり、経験や過去の実例、地質データなどを反映させる必要があり、過去のデータの蓄積や十分な地質データが得られないと実現不可能であるという問題がある。

[0011] また、特許文献4に記載されている方法は、監視対象斜面より計測される土質係数の実測データに基づいて力学モデルを作成する例の一つとして、土の飽和度（飽水土）の空間的分布に基づいて、重量増加およびせん断強度低下を示す物性値を推定する例が記載されている。しかし、初期データのみから力学モデルを作成する点で、本来飽和度に伴って変動する値を定数としてモデル作成するため、崩壊の危険性が高まるにつれて、算出する斜面の安全性の精度が低くなるという問題がある。

[0012] そこで、本発明は、監視対象斜面に対する計測困難性を回避しつつ、監視対象斜面の安全性を精度よく監視または予測できる斜面監視システム、斜面安全性解析装置、斜面監視方法および斜面監視プログラムを提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0013] 本発明による斜面監視システムは、監視対象斜面を構成している物質層と同一の種類、乾燥密度および締固め度を有する物質群からなる物質層である試験層を少なくとも有する試験環境から、試験層の状態を変化させたときの、所定の斜面安定解析式に必要な変数である解析式変数の各々の値と、試験層の状態に応じて変化する所定の第1可観測量の値とを計測する解析式変数計測手段と、監視対象斜面から、監視対象斜面を構成している物質層の状態に応じて変化する所定の第2可観測量の値を計測する実斜面計測手段と

、斜面安全性解析装置とを備え、第2可観測量は、第1可観測量と同じまたは第1可観測量との関係が既知である所定の可観測量であり、斜面安全性解析装置は、解析式変数計測手段により得られる、解析式変数の各々の値と、第1可観測量の値とに基づいて、解析式変数の各々について、第2可観測量または第2可観測量から算出可能な所定の第3変数との関係を規定するモデルを構築する解析式変数モデル化手段と、解析式変数モデル化手段が構築したモデルの情報を記憶するモデル情報記憶手段と、実斜面計測手段により得られる第2可観測量の値と、モデル情報記憶手段に記憶されているモデルの情報とに基づいて、第2可観測量の値を計測したときの各解析式変数の値を算出し、算出された各解析式変数の値を基に、斜面安定解析式を用いて監視対象斜面の安全率を算出する安全率算出手段とを含むことを特徴とする。

[0014] また、本発明による斜面安全性解析装置は、監視対象斜面を構成している物質層と同一の種類、乾燥密度および締固め度を有する物質群からなる物質層である試験層を少なくとも有する試験環境から計測される、試験層の状態を変化させたときの、所定の斜面安定解析式に必要な変数である解析式変数の各々の値と、試験層の状態に応じて変化する所定の第1可観測量の値とに基づいて、解析式変数の各々について、監視対象斜面を構成している物質層の状態に応じて変化する所定の第2可観測量であって第1可観測量と同じもしくは第1可観測量との関係が既知である所定の第2可観測量、または第2可観測量から算出可能な所定の第3変数との関係を規定するモデルを構築する解析式変数モデル化手段と、解析式変数モデル化手段が構築したモデルの情報を記憶するモデル情報記憶手段と、監視対象斜面から計測される第2可観測量の値と、モデル情報記憶手段に記憶されているモデルの情報とに基づいて、第2可観測量の値を計測したときの各解析式変数の値を算出し、算出された各解析式変数の値を基に、斜面安定解析式を用いて監視対象斜面の安全率を算出する安全率算出手段とを備えたことを特徴とする。

[0015] また、本発明による斜面監視方法は、コンピュータが、監視対象斜面を構成している物質層と同一の種類、乾燥密度および締固め度を有する物質群か

らなる物質層である試験層を少なくとも有する試験環境から計測される、試験層の状態を変化させたときの、所定の斜面安定解析式に必要な変数である解析式変数の各々の値と、試験層の状態に応じて変化する所定の第1可観測量の値とに基づいて、解析式変数の各々について、監視対象斜面を構成している物質層の状態に応じて変化する所定の第2可観測量であって第1可観測量と同じもしくは第1可観測量との関係が既知である所定の第2可観測量、または第2可観測量から算出可能な所定の第3変数との関係を規定するモデルを構築し、コンピュータが、監視対象斜面から計測される第2可観測量の値を基に、構築されたモデルを用いて第2可観測量の値を計測したときの各解析式変数の値を算出し、算出された各解析式変数の値を基に、斜面安定解析式を用いて監視対象斜面の安全率を算出することを特徴とする。

- [0016] また、本発明による斜面監視プログラムは、コンピュータに、監視対象斜面を構成している物質層と同一の種類、乾燥密度および締固め度を有する物質群からなる物質層である試験層を少なくとも有する試験環境から計測される、試験層の状態を変化させたときの、所定の斜面安定解析式に必要な変数である解析式変数の各々の値と、試験層の状態に応じて変化する所定の第1可観測量の値とに基づいて、解析式変数の各々について、監視対象斜面を構成している物質層の状態に応じて変化する所定の第2可観測量であって第1可観測量と同じもしくは第1可観測量との関係が既知である所定の第2可観測量、または第2可観測量から算出可能な所定の第3変数との関係を規定するモデルを構築する処理、および監視対象斜面から計測される第2可観測量の値を基に、構築されたモデルを用いて第2可観測量の値を計測したときの各解析式変数の値を算出し、算出された各解析式変数の値を基に、斜面安定解析式を用いて監視対象斜面の安全率を算出する処理を実行させることを特徴とする。

発明の効果

- [0017] 本発明によれば、本発明は、監視対象斜面に対する計測困難性を回避しつつ、監視対象斜面の安全性を精度よく監視または予測できる。

図面の簡単な説明

- [0018] [図1]第1の実施形態の斜面監視システムの構成例を示すブロック図である。
- [図2]第1の実施形態の斜面監視システムのモデル学習フェーズにおける動作の一例を示すフローチャートである。
- [図3]第1の実施形態の斜面監視システムにおけるせん断試験の例を示すフローチャートである。
- [図4]第1の実施形態の斜面監視システムにおける加水・加振試験の例を示すフローチャートである。
- [図5]第1の実施形態の斜面監視システムの減衰率の算出方法の例を示すフローチャートである。
- [図6]第1の実施形態の斜面監視システムの減衰率の算出方法の他の例を示すフローチャートである。
- [図7]第1の実施形態の斜面監視システムの実斜面監視フェーズにおける動作の一例を示すフローチャートである。
- [図8]第2の実施形態の斜面監視システムの構成例を示すブロック図である。
- [図9]第2の実施形態の斜面監視システムのモデル学習フェーズにおける動作の一例を示すフローチャートである。
- [図10]第2の実施形態の斜面監視システムの実斜面監視フェーズにおける動作の一例を示すフローチャートである。
- [図11]第1の実施例にかかる斜面監視システムの構成図である。
- [図12]三軸圧縮試験により得られた粘着力 c および内部摩擦角 ϕ の値を示す説明図である。
- [図13]加水・加振試験に用いるプランターの例を示す説明図である。
- [図14]加水・加振試験により得られた各種値を示す説明図である。
- [図15]監視対象斜面および監視対象斜面に設置する実斜面計測機器の例を示す説明図である。
- [図16]加水動作により第1の実施例の実斜面から得られた各種値を示す説明図である。

[図17]第3の実施例にかかる斜面監視システムの構成図である。

[図18]加水動作により第3の実施例の実斜面から得られた各種値を示す説明図である。

[図19]加水動作により第3の実施例の実斜面から得られた各種値を示す説明図である。

[図20]本発明による斜面監視システムの概要を示すブロック図である。

発明を実施するための形態

[0019] 以下、本発明の実施形態を図面を参照して説明する。以下では、式(1)に示すようなフェレニウス法と呼ばれる斜面安全解析式を用いて斜面の安全性を監視および予測する場合を例に各実施形態を説明するが、本発明で用いられる斜面安全解析式はフェレニウス法に限られない。

[0020] [数1]

$$F_s = \frac{\sum \{c + (W - u) \cos \alpha \cdot \tan \phi\}}{\sum W \sin \alpha} \quad \dots (1)$$

[0021] まず、フェレニウス法による斜面の安全性の解析方法の原理を説明する。フェレニウス法における斜面の安全性は、各分割片の斜面方向に働くせん断応力と、そのせん断応力による滑落を阻止するせん断抵抗力とを用いて算出される安全率 F_s によって評価される。

[0022] ところで、地盤の強度を表す指標の1つにせん断強さがある。せん断強さは、滑落力であるせん断応力に抵抗する最大のせん断抵抗力と定義されており、クーロンの式と呼ばれる以下の式(2)によれば、土壌がもつ粘着力 c と、せん断面上に働く垂直応力 σ にもとづく抵抗力 ($\sigma \tan \phi$) の和で表わされる。ここで、 s はせん断強さであり、 $\tan \phi$ は土壌の性質を表すパラメータの1つである内部摩擦角 ϕ に基づく有効摩擦係数である。

[0023] $s = c + \sigma \tan \phi \quad \dots (2)$

[0024] 式(2)により示される、せん断面上に働く垂直応力 σ とせん断強さ s の

関係は、破壊基準または破壊包絡線と呼ばれている。このような破壊基準に基づき、例えば、一面せん断試験等により、試験体（土塊等）に加える垂直荷重を変化させながら、破壊時のせん断応力を求めることにより、その試験体のもつ粘着力 c と内部摩擦角 ϕ とを求めることができる。

[0025] フェレニウス法において、各分割片のせん断応力は、当該分割片（土塊等）の、当該分割片に加わる重力としての重量 W と傾斜勾配角 α とで表される（式（1）の分母参照）。一方、各分割片のせん断抵抗力は、上述したクーロンの式に基づいて、当該分割片（土塊）の、粘着力 c と、垂直応力に基づく抵抗力（ $(W-u) \cos \alpha \cdot \tan \phi$ ）とで表される（式（1）の分子参照）。なお、 u は間隙水圧である。

[0026] 土塊は、土の粒子と、粒子間の隙間に介在する間隙空気および間隙水とで構成される。土塊の重量を支える抗力として、土粒子による垂直抗力、間隙空気圧および間隙水圧が作用する。ただし、これらの力のうち、せん断強さに寄与するのは土粒子による垂直抗力のみであるため、せん断強さすなわち最大のせん断抵抗力を算出する際には、間隙水圧と間隙空気圧を土塊に加わる重力である重量から差し引いて得られる見かけの垂直応力を用いなければならない。なお、上記の式（1）では、間隙空気圧は無視できる程度であるとして省略されている。

[0027] ところで、土壌の含水比が大きくなると、この見かけの垂直応力は小さくなる。さらに、この垂直応力に乗算または加算される係数である有効摩擦係数および粘着力は、斜面が滑落するときせん断応力とせん断強さが釣り合うように設定される係数である。これらの値も、土壌の含水比の上昇とともに減少することがわかっている。このため、土壌の含水比が増加すると、滑落力であるせん断応力が大きくなり、抵抗力であるせん断強さが小さくなるため、斜面崩壊が起こる。

[0028] 以下の実施形態では、土壌に含まれる水分量または土壌に振動を加えたときに得られる振動波形を計測することによって、土壌の含水比の増加を検知し、それを基に斜面崩壊の危険性を評価する。土壌に含まれる水分量が増加

すれば、当然、含水比が増加する。また、土壌の含水比が増加すると、単位体積当たりの質量が大きくなることにより土壌の共振周波数の値が変化する。これにより、共振周波数に関する共振尖鋭度の値も変化する。共振尖鋭度と振動波形の減衰率は反比例関係にあるため、減衰率も質量の変化に伴い変化する。したがって、土壌に含まれる水分量の変化や土壌において発生した振動波形から算出される減衰率の変化を、含水比の変化ひいては斜面崩壊の危険性の変化としてとらえることができる。

[0029] このように、本発明では、斜面崩壊の危険性の変化を、斜面を構成する物質層（土壌等）の状態に応じて変化する所定の量（上記の例では、含水比）に影響を与える所定の可観測量（水分量や振動波形）を計測することによって捉える。これにより、その可観測量の計測だけで、監視対象斜面の安全性を精度よく監視または予測できる。なお、斜面崩壊の危険性に変化をもたらす量は、含水比に限られない。該量は、斜面を構成する物質層の状態に応じて変化する量であればよく、例えば、斜面を構成する物質層に含まれる粒子の密度や、締固め度などであってもよい。そして、実際に計測する可観測量は、該量を直接または間接的に観測できる量であれば特に限定されない。また、斜面を構成する物質層は土壌に限られず、例えば、コンクリート等であってもよい。

[0030] 実施形態 1.

図 1 は、本実施形態の斜面監視システムの構成例を示すブロック図である。図 1 に示す斜面監視システム 100 は、各種センサ（応力センサ 101、応力センサ 102、水分計 103、水分計 104、振動センサ 105、間隙水圧計 106、重量計 107 および振動センサ 108）と、第 1 のモデル化手段 110 と、第 2 のモデル化手段 120 と、モデル変換手段 130 と、モデル情報記憶手段 140 と、実斜面監視手段 150 とを備える。

[0031] なお、本実施形態では、監視の前処理として、2 種類の試験を行う。第 1 の試験は、第 1 のモデル化手段 110 におけるモデル学習に用いるデータを得るための試験であって、含水比の異なる試験層を有する試験体の各々に対

して、加える垂直荷重 P の値を変化させながら破壊されるまでせん断力を加えてその時のせん断応力 τ を計測するせん断試験である。試験体は、少なくとも監視対象斜面を構成している物質層のうち崩壊するおそれのある物質層（以下、すべり層という）と略同質の物質層である試験層を有していればよい。例えば、試験体は、監視対象斜面のすべり層を構成している土砂等の物質群と略同一の種類、乾燥密度および締固め度を有する物質群からなる試験層を有する試料であってもよい。

[0032] 第2の試験は、第2のモデル化手段120によるモデル学習に用いるデータを得るための試験であって、含水比を予め小さな値に調整した試験層を有する試験体を用いて該試験層に対して加水を行い、段階的に試験層に含まれる水分量を増加させていく過程で、適宜振動を加えて振動波形を取得するとともに、該試験層の重量 W と間隙水圧 u を計測する加水・加振試験である。

[0033] 応力センサ101は、第1の試験であるせん断試験において、試験層に作用する垂直応力 σ を計測する。

[0034] 応力センサ101は、例えば、異なる含水比の試験層を有する試験体の各々に対して行うせん断試験において、該試験体に垂直荷重（圧縮力） P を作用させたときに応じる応力である垂直応力 σ を計測し、計測結果を示す垂直応力データを出力するセンサであってもよい。

[0035] 応力センサ102は、第1の試験であるせん断試験において、試験層に作用するせん断応力 τ を計測する。応力センサ102は、例えば、異なる含水比の試験層を有する試験体の各々に対して行うせん断試験において、該試験体のせん断面に平行に、互いに反対向きの一対のせん断力を作用させたときに生じる応力であるせん断応力 τ を計測し、計測結果を示すせん断応力データを出力するセンサであってもよい。

[0036] 応力センサ101および応力センサ102は、例えば、三軸圧縮試験装置に設けられたセンサであって、該三軸圧縮試験装置を用いて行われるせん断試験において垂直応力 σ およびせん断応力 τ を計測し、計測された垂直応力 σ およびせん断応力 τ を各々示す垂直応力データおよびせん断応力データを

、ユーザ操作に応じて出力してもよい。

[0037] 水分計 103 は、第 1 の試験であるせん断試験において、試験層に含まれる水分量 m を計測する。水分計 103 は、例えば、用意された含水比が異なる試験層の各々に含まれる水分量 m を計測し、計測結果を示す水分量データを出力するセンサであってもよい。水分計 103 は、例えば試験層が土の層である場合には、土中の水分量を計測できる計測機器であってもよい。計測される水分量の値の形式は特に問わない。例えば、体積含水率であってもよいし、重量含水率であってもよい。なお、試験体の試験層が所定の含水比になるよう予め調整されている場合など、試験層に含まれる水分量が既知の場合は、水分計 103 を省略してユーザが直接水分量データを入力することも可能である。このときの水分量 m として含水比を用いてもよい。

[0038] 第 1 のモデル化手段 110 は、含水比の異なる試験層を有する複数の試験体を用いたせん断試験により得られる粘着力 c および内部摩擦角 ϕ の各々の値と、そのときの水分量 m とに基づいて、粘着力 c と水分量 m の関係を規定する粘着力－水分量モデルおよび内部摩擦角 ϕ と水分量 m の関係を規定する内部摩擦角－水分量モデルを構築する。

[0039] 第 1 のモデル化手段 110 は、より具体的には、粘着力・内部摩擦角算出手段 111 と、粘着力・内部摩擦角モデル化手段 112 とを含む。

[0040] 粘着力・内部摩擦角算出手段 111 は、含水比が異なる試験層に対して各々せん断実験を行った結果、応力センサ 101 および応力センサ 102 より得られる垂直応力データおよびせん断応力データに基づいて、各試験層の粘着力 c および内部摩擦角 ϕ を算出する。粘着力・内部摩擦角算出手段 111 は、例えば、各試験層について、垂直応力データおよびせん断応力データにより示される破壊時のせん断応力 τ をせん断強さ s として、その時の垂直応力 σ とともに、式 (2) に示されるクーロンの式に当てはめることにより、粘着力 c および内部摩擦角 ϕ を算出してもよい。

[0041] 粘着力・内部摩擦角モデル化手段 112 は、水分計 103 より得られる各試験層の水分量 m と、粘着力・内部摩擦角算出手段 111 によって算出され

た各試験層の粘着力 c および内部摩擦角 ϕ とに基づいて、粘着力 c を水分量 m の関数としてモデル化した粘着力-水分量モデルおよび内部摩擦角 ϕ を水分量 m の関数としてモデル化した内部摩擦角-水分量モデルを構築する。

[0042] 水分計104は、第2の試験である加水・加振試験において、試験層に含まれる水分量を計測する。水分計104は、例えば、試験層の水分量 m を、常時または所定の間隔でもしくはユーザ指示に応じて計測し、計測結果を示す水分量データを出力するセンサであってもよい。

[0043] 振動センサ105は、第2の試験である加水・加振試験において、試験層に対して振動を加えた際に発生する振動波形を計測する。振動センサ105は、例えば、試験層において発生する振動波形を、常時または所定の間隔でもしくはユーザ指示に応じて計測し、計測結果を示す波形データを出力するセンサであってもよい。

[0044] 間隙水圧計106は、第2の試験である加水・加振試験において、試験層の間隙水圧 u を計測する。間隙水圧計106は、例えば、試験層の間隙水圧 u を、常時または所定の間隔でもしくはユーザ指示に応じて計測し、計測結果を示す間隙水圧データを出力するセンサであってもよい。

[0045] 重量計107は、第2の試験である加水・加振試験において、試験層の重量 W を計測する。重量計107は、例えば、試験層の重量を、常時または所定の間隔でもしくはユーザの操作に応じて計測し、計測結果を示す重量データを出力するセンサであってもよい。

[0046] また、第2のモデル化手段120は、第2の試験である加水・加振試験により得られる加水過程における、重量 W および間隙水圧 u の各々の値および波形データに基づいて、振動波形の減衰率 δ を算出するとともに、重量 W と減衰率 δ の関係を規定する重量-減衰率モデルおよび間隙水圧 u と減衰率 δ の関係を規定する間隙水圧-減衰率モデルを構築する。また、第2のモデル化手段120は、第2の試験である加水・加振試験により得られる、加水過程における水分量 m の値および波形データに基づいて、水分量 m と振動波形の減衰率 δ との関係を規定する水分量-減衰率モデルを構築する。

- [0047] 第2のモデル化手段120は、より具体的には、減衰率算出手段121と、水分量モデル化手段122と、間隙水圧モデル化手段123と、重量モデル化手段124とを含む。
- [0048] 減衰率算出手段121は、振動センサ105により得られる加水過程における振動波形を基に、加水過程における振動波形の減衰率 δ を算出する。
- [0049] 水分量モデル化手段122は、水分計104により得られる加水過程における試験層の水分量 m と、減衰率算出手段121によって算出された同過程における変動波形の減衰率 δ とに基づいて、水分量 m を減衰率 δ の関数としてモデル化した水分量-減衰率モデルを構築する。
- [0050] なお、加水前の試験層の含水比、重量、加水量等から加水毎の試験層の水分量 m が算出できる場合には、水分計104を省略してもよい。そのような場合には、例えば、水分量モデル化手段122が、加水前の試験層の含水比、重量、加水量等から現在の試験層の水分量 m を算出した上で、水分量 m を減衰率 δ の関数としてモデル化した水分量-減衰率モデルを構築する。このとき、水分量 m として含水比を用いてもよい。
- [0051] 間隙水圧モデル化手段123は、間隙水圧計106により得られる加水過程における試験層の間隙水圧 u と、減衰率算出手段121により得られる同過程における変動波形の減衰率 δ とに基づいて、間隙水圧 u を減衰率 δ の関数としてモデル化した間隙水圧-減衰率モデルを構築する。
- [0052] 重量モデル化手段124は、重量計107により得られる加水過程における試験層の重量 W と、減衰率算出手段121により得られる同過程における変動波形の減衰率 δ とに基づいて、重量 W を減衰率 δ の関数としてモデル化した重量-減衰率モデルを構築する。
- [0053] なお、加水前の試験層の含水比、重量および加水量から加水毎の試験層の重量 W が算出できる場合には、重量計107を省略してもよい。そのような場合には、例えば、重量モデル化手段124が、加水前の試験層の含水比、重量、加水量等から現在の試験層の重量 W を算出した上で、重量 W を減衰率 δ の関数としてモデル化した水分量-減衰率モデルを構築する。

- [0054] モデル変換手段130は、水分量モデル化手段122が作成した水分量－減衰率モデルに基づいて、粘着力・内部摩擦角モデル化手段112が作成した粘着力－水分量モデルおよび内部摩擦角－水分量モデルをそれぞれ、振動波形の減衰率 δ を関数とするモデルに変換する。すなわち、モデル変換手段130は、粘着力－水分量モデルおよび内部摩擦角－水分量モデルのモデル化入力変数を水分量 m から振動波形の減衰率 δ に変換して、粘着力－減衰率モデルおよび内部摩擦角－減衰率モデルを構築する。
- [0055] モデル情報記憶手段140は、斜面安定解析式に用いられる変数である解析式変数の各々を解析対象斜面である実斜面で計測可能な可観測量により学習したモデルの情報として、上記の重量－減衰率モデル、間隙水圧－減衰率モデル、粘着力－減衰率モデルおよび内部摩擦角－減衰率モデルの情報を少なくとも記憶する。
- [0056] モデル情報記憶手段140は、例えば、上記の各モデルについて、関数モデルを同定するパラメータや、モデル化入力変数を引数にして解析式変数の値を返す処理を実装したモジュールのアドレス等をモデルの情報として記憶してもよい。
- [0057] 振動センサ108は、実斜面のすべり層において発生する振動波形を計測する。振動センサ108は、例えば、実斜面のすべり層に設置され、該すべり層において落下物または降水による加振により生じる振動波形を計測し、計測結果を示す波形データを出力するセンサであってもよい。
- [0058] 実斜面監視手段150は、振動センサ108により得られる実斜面のすべり層において発生する振動波形に基づいて、実斜面の安全率を算出して、必要に応じて警報を出力する。実斜面監視手段150は、より具体的には、安全率算出手段151と、判定手段152と、警報手段153とを含む。
- [0059] 安全率算出手段151は、振動センサ108より得られる実斜面のすべり層において発生した振動波形と、モデル情報記憶手段140に記憶されている重量－減衰率モデル、間隙水圧－減衰率モデル、粘着力－減衰率モデルおよび内部摩擦角－減衰率モデルの情報とに基づき、該振動波形計測時の実斜

面の安全率 F_s を算出する。安全率算出手段 151 は、具体的には、実斜面の振動波形から減衰率 δ を算出し、算出された減衰率 δ の値を基に、上記各モデルを用いて各解析式変数の値、すなわち重量 W 、間隙水圧 u 、粘着力 c および内部摩擦角 ϕ の値を算出し、得られた値を上記の式 (1) に適用して安全率 F_s を算出する。

[0060] 判定手段 152 は、安全率算出手段 151 によって算出された安全率に基づき、警報を出すか否かを判定する。

[0061] 警報手段 153 は、判定手段 152 からの要求に応じて、警報を出す。

[0062] 本実施形態において、第 1 のモデル化手段 110、第 2 のモデル化手段 120、モデル変換手段 130 および実斜面監視手段 150 は、プログラムに従って動作する CPU 等によって実現される。また、モデル情報記憶手段 140 は、記憶装置によって実現される。

[0063] なお、図示省略しているが、本実施形態の斜面監視システム 100 は、センサデータ受付手段を備え、該センサデータ受付手段が、各種センサからセンサデータ（垂直応力データ、せん断応力データ、水分量データ、波形データ等）を試験条件とともに受け付けて、必要に応じて第 1 のモデル化手段 110、第 2 のモデル化手段 120 または実斜面監視手段 150 に出力する構成としている。なお、第 1 のモデル化手段 110、第 2 のモデル化手段 120 または実斜面監視手段 150 といったセンサデータ処理手段が直接センサデータを受け付けてもよいし、また、これらセンサデータ処理手段がセンサと同じ装置（試験装置や監視装置等）に含まれていてもよい。

[0064] 次に、本実施形態の動作を説明する。図 2～図 7 は、本実施形態の斜面監視システムの動作の一例を示すフローチャートである。本実施形態の動作は、大別して、モデル学習フェーズと、実斜面監視フェーズの 2 つのフェーズに分けることができる。なお、以下では、監視対象斜面を構成している物質層が土の層である場合を例に用いて説明するが、監視対象斜面の物質層は土の層に限られない。

[0065] まず、モデル学習フェーズの動作について説明する。図 2 は、モデル学習

フェーズにおける本実施形態の動作の一例を示すフローチャートである。図2に示す例では、まず三軸圧縮試験（せん断試験）を実施する（ステップS111）。

[0066] 図3は、せん断試験の例を示すフローチャートである。図3に示すせん断試験では、初めに、所定の含水比に調整した土塊（試験体）を用意する（ステップS111）。試験体の土は、実斜面の土と同質のものを用いる。ここでは、試験体として、実斜面の土と同一の種類、乾燥密度および締固め度の土からなる土塊を、含水比を変えて複数作成する。

[0067] 次に、水分計103を用いて、用意した土塊の水分量を計測する（ステップS112）。

[0068] 次に、用意した土塊を、応力センサ101および応力センサ102を備えた三軸圧縮試験装置にセットして圧縮を行い、圧縮時の垂直応力 σ とせん断応力 τ を計測する（ステップS113～ステップS115）。

[0069] 必要回数に達するまで、ステップS114～S115の圧縮および応力測定を繰り返し実施する（ステップS116）。通常は最低3回実施する。これにより、1つの土塊に対して、少なくとも複数の垂直荷重に対応したせん断時の垂直応力データおよびせん断応力データを得る。

[0070] モデル化必要サンプル数に達するまで、含水比を変えた土塊に対して同様の動作を行う（ステップS117）。これにより、含水比の異なる土塊の各々に対して、水分量データと、複数の垂直荷重に対応したせん断時の垂直応力データおよびせん断応力データとを得る。

[0071] せん断試験により、含水比の異なる土塊の各々に対して、水分量データと、複数の垂直荷重に対応したせん断時の垂直応力データおよびせん断応力データとを得ると、粘着力・内部摩擦角算出手段111は、得られた垂直応力データおよびせん断応力データに基づいて、粘着力 c および内部摩擦角 ϕ を算出する（図2のステップS12）。

[0072] 次に、粘着力・内部摩擦角モデル化手段112は、得られた水分量データと、算出された粘着力 c および内部摩擦角 ϕ とに基づいて、水分量 m の変化

に対する粘着力 c の変化および水分量 m の変化に対する内部摩擦角 ϕ の変化を学習し、粘着力-水分量モデルおよび内部摩擦角-水分量モデルを構築する（ステップS13）。

[0073] 次に、ステップS11のせん断試験で用いた土と同質、すなわち同一の種類、乾燥密度および締固め度の土からなる試験体を用いて、加水・加振試験を実施する（ステップS14）。

[0074] 図4は、加水・加振試験の例を示すフローチャートである。図4に示す加水・加振試験では、初めに、せん断試験で用いた土と同一の種類、乾燥密度および締固め度の土からなり、かつ含水比が相対的に少ない土塊（試験体）を用意する（ステップS121）。ここでは、試験体として、せん断試験で用いた試験体のうち最小の含水比の試験層を有する試験体よりも少ない含水比の試験層になるように調整された土塊を作成する。

[0075] 次に、用意した土塊を、水分計104、振動センサ105、間隙水圧計106および重量計107を備える試験機にセットして、水分量 m 、間隙水圧 u および重量 W を計測する（ステップS122～ステップS124）。これにより、少なくとも加水前の含水比が既知の状態における土塊の水分量データ、間隙水圧データおよび重量データを得る。

[0076] 次に、土塊に振動を加えて、その振動波形を計測する（ステップS125、ステップS126）。これにより、少なくとも加水前の含水比が既知の状態における土塊の波形データを得る。

[0077] 次に、土が飽和するまで土塊に一定量ずつ加水して（ステップS127、ステップS128）、同様の計測を行う（ステップS122に戻る）。これにより、土が飽和するまでの加水過程における各状態（加水前および加水毎）の土塊の水分量データ、間隙水圧データ、重量データおよび波形データを得る。なお、「土が飽和する」とは、具体的には、土に水がしみ込まなくなる状態になることである。なお、土が飽和するまで加水を行う方法以外に、所定回数分加水を行う方法もある。

[0078] 加水・加振試験により、少なくとも1つの土塊（試験体）に対して、含水

比が異なる状態における水分量データ、間隙水圧データ、重量データおよび波形データを得ると、まず、減衰率算出手段121が、得られた波形データに基づいて、各状態における振動波形の減衰率 δ を算出する（図2のステップS15）。

[0079] 図5は、減衰率の算出方法の例を示すフローチャートである。減衰率算出手段121は、例えば、図5に示す方法により、振動波形の減衰率 δ を求めてもよい。図5に示す例では、減衰率算出手段121は、まず、得られた波形データから分析対象とする周波数領域をフィルタリングし（ステップS131）、得られた周波数領域の時系列波形データから第1ピーク値（振幅の最大値）を検出する（ステップS132）。

[0080] 次に、減衰率算出手段121は、検出した第1ピーク値を基準に切り出し期間を決定し、周波数領域の時系列波形データからその期間のデータを切り出す（ステップS133）。次に、減衰率算出手段121は、切り出した波形データから第2ピーク値（振幅の2番目に大きな値）を検出する（ステップS134）。

[0081] 次に、減衰率算出手段121は、検出した第1ピーク値と第2ピーク値の差分すなわちPeak to Peak値から、減衰率 δ を算出する（ステップS135）。このとき、第3ピーク以降の値も検出して、その前のピーク値との差分から各々減衰率を算出し、これらの平均をとってもよい。

[0082] また、図6は、減衰率の算出方法の他の例を示すフローチャートである。減衰率算出手段121は、例えば、図6に示す方法により、振動波形の減衰率 δ を求めてもよい。図6に示す例では、減衰率算出手段121は、まず、得られた波形データから分析対象とする周波数領域をフィルタリングする（ステップS141）。

[0083] 減衰率算出手段121は、フィルタリングして得られた周波数領域の時系列波形データに対して周波数変換を施し、周波数応答を得る（ステップS142）。そして、その周波数応答におけるピーク周波数を取得する（ステップS143）。

- [0084] 次いで、減衰率算出手段121は、得られたピーク周波数を、物理モデルから導出できる周波数応答関数の共振周波数とみなして、減衰比を変数とした周波数応答関数を生成する（ステップS144）。
- [0085] 次いで、減衰率算出手段121は、ステップS142で得られた周波数応答のデータに対して、生成した周波数応答関数をフィッティング（近似）し、最適な減衰比を同定する（ステップS145）。減衰率算出手段121は、例えば、カーブ・フィッティングと呼ばれる手法を用いて、想定した周波数応答関数の解析式中の固有振動数、減衰比、振動モードなどのモーダル・パラメータを適当な値にすることにより、実測された周波数応答関数とモデルの周波数応答関数をできるだけ近似させる処理を行い、その結果得られる最適なモーダル・パラメータの1つである減衰比を、最適な減衰比として同定してもよい。そして、得られた減衰比に基づいて、減衰率 δ を算出する（ステップS146）。
- [0086] このようにして、減衰率算出手段121は、加水・加振試験によって得られた加水過程における各状態（加水前および加水毎）の波形データに基づいて、各状態の減衰率 δ を算出する。なお、各波形データには取得の時刻情報や所定の識別番号が付与される等によって、どの状態のときの波形データであるかが識別可能であるとする。
- [0087] ステップS16では、重量モデル化手段124が、算出された加水過程における各状態の減衰率 δ と、加水・加振試験によって得られた加水過程における各状態の重量データとに基づいて、重量 W を減衰率 δ の関数として学習して、重量-減衰率モデルを構築する。また、間隙水圧モデル化手段123が、算出された加水過程における各状態の減衰率 δ と、加水・加振試験によって得られた加水過程における各状態の間隙水圧データとに基づいて、間隙水圧 u を減衰率 δ の関数として学習して、間隙水圧-減衰率モデルを構築する。
- [0088] さらに、水分量モデル化手段122が、算出された加水過程における各状態の減衰率 δ と、加水・加振試験によって得られた加水過程における各状態

の水分量データとに基づいて、水分量 m を減衰率 δ の関数として学習して、水分量－減衰率モデルを構築する（ステップ S 17）。

[0089] 次に、モデル変換手段 130 は、ステップ S 17 で得られた水分量－減衰率モデルを用いて、ステップ S 13 で得られた粘着力－水分量モデルおよび内部摩擦角－水分量モデルを、各々減衰率をモデル化入力変数とするモデルである粘着力－減衰率モデルおよび内部摩擦角－減衰率モデルに変換する（ステップ S 18）。

[0090] 最後に、ステップ S 16 およびステップ S 18 で得られたモデルの情報、すなわち重量－減衰率モデル、間隙水圧－減衰率モデル、粘着力－減衰率モデルおよび内部摩擦角－減衰率モデルの情報をモデル情報記憶手段 140 に記憶する。

[0091] 以上の動作により、4つの解析式変数の全てについて、減衰率 δ による関数モデルを構築するモデル学習フェーズが完了する。なお、上記の例では、せん断試験を行った後に、加水・加振試験を行っているが、試験の順序は特に問わない。

[0092] また、上記では、粘着力・内部摩擦角モデル化手段 112 が、せん断試験によって状態変化時の値が得られた解析式変数（本例の場合、粘着力 c および内部摩擦角 ϕ ）について、同せん断試験で得られた可観測量（本例の場合、水分量 m ）でモデル化した後で、モデル変換手段 130 が、水分量モデル化手段 122 により構築された水分量－減衰率モデルに基づいて、実斜面で計測される可観測量である減衰率 δ をモデル化入力変数とするモデルに変換する例を示したが、粘着力・内部摩擦角モデル化手段 112 が、直接、減衰率をモデル化入力変数とするモデルを構築することも可能である。

[0093] そのような場合、粘着力・内部摩擦角モデル化手段 112 は、上記のステップ S 13 のタイミングではなく、上記のステップ S 18 のタイミングで下記のようなモデル構築処理を行えばよい。すなわち、粘着力・内部摩擦角モデル化手段 112 は、2つの試験が完了して全てのデータが揃った後で、水分量モデル化手段 122 により構築される水分量－減衰率モデルを利用して

、せん断試験に用いた各試験体の水分量 m を減衰率 δ に変換した上で、粘着力 c および内部摩擦角 ϕ を各々、減衰率 δ の関数として学習して粘着力-減衰率モデルおよび内部摩擦角-減衰率モデルを構築してもよい。このとき、上記のステップ S 1 8 の動作は省略される。なお、加水・加振試験で、粘着力 c および内部摩擦角 ϕ の算出に用いた垂直応力データおよびせん断応力データを得たときと同じ条件下での波形データ、すなわち、せん断試験に用いた各試験体の水分量 m と同じ水分量 m のときの波形データが得られる場合には、水分量-減衰率モデルを利用せずとも水分量 m を減衰率 δ に変換できるため、ステップ S 1 7 の水分量-減衰率モデルの構築処理も省略可能である。

[0094] 次に、実斜面監視フェーズの動作について説明する。図 7 は、実斜面監視フェーズにおける本実施形態の動作の一例を示すフローチャートである。図 7 に示す例では、まず実斜面に設置された振動センサ 1 0 8 を用いて、監視対象斜面のすべり層において発生する振動波形を計測する（ステップ S 2 1）。これにより、現在のすべり層の含水比に影響のある可観測量である振動波形を示す波形データを得る。

[0095] 次に、安全率算出手段 1 5 1 は、得られた波形データから対象斜面の振動波形の減衰率 δ を算出する（ステップ S 2 2）。

[0096] 次に、安全率算出手段 1 5 1 は、算出した減衰率 δ に基づいて、モデル情報記憶手段 1 4 0 に記憶されている 4 つのモデルを用いて、監視対象斜面の振動波形計測時における 4 つの解析式変数の値を推定する。そして、推定された各値を斜面安定解析式に適用して、安全率 F_s を算出する（ステップ S 2 3）。

[0097] 判定手段 1 5 2 は、算出された安全率 F_s に基づいて、警報を出すか否かを判定する（ステップ S 2 4）。判定手段 1 5 2 は、例えば、算出された安全率 F_s が所定の閾値を下回っていれば、警報を出すとして判定してもよい（ステップ S 2 4 の Yes）。

[0098] 警報手段 1 5 3 は、判定手段 1 5 2 によって警報を出すとして判定された場合

に、警報を出力する（ステップS25）。

[0099] ステップS21～S25の動作を、例えば、監視終了の指示があるまで繰り返す（ステップS26）。

[0100] 以上のように、本実施形態によれば、予め実斜面と同質の土を用いて解析式変数全てについて、その変動の様子を、実斜面を構成する物質層（土砂等）の状態に応じて変化する可観測量から算出可能な所定の変数（ここでは、振動波形の減衰率）と結び付けて学習しておくことにより、実斜面にはその可観測量を計測可能なセンサ（振動センサ）を設けるだけで、精度よく安全率 F_s を算出することができる。したがって、実斜面に対する計測困難性を回避しつつ、斜面の安全性を精度よく監視することができる。

[0101] また、本実施形態によれば、1種類のセンサ（振動センサ）を実斜面に設けるだけで、斜面の安全性を精度よく監視することができる。

[0102] 実施形態2.

次に、本発明の第2の実施形態について図面を参照して説明する。以下では、第1の実施形態と同様のものについては同一の符号を付し、説明を省略する。

[0103] 図8は、本発明の第2の実施形態の斜面監視システムの構成例を示すブロック図である。図8に示す斜面監視システム200は、各種センサ（応力センサ101、応力センサ102、水分計103、水分計104、間隙水圧計106、重量計107および水分計208）と、第1のモデル化手段110と、第2のモデル化手段220と、モデル情報記憶手段240と、実斜面監視手段250とを備える。

[0104] なお、本実施形態でも、監視の前処理として、2種類の試験を行う。第1の試験は、第1のモデル化手段110におけるモデル学習に用いるデータを得るためのせん断試験である。第2の試験は、第2のモデル化手段220によるモデル学習に用いるデータを得るための試験であって、含水比を小さな値に調整した試験層に対して加水を行い、段階的に水分量を増加させていく過程で、試験層に含まれる水分量 m を取得するとともに、重量 W と間隙水圧

- u を計測する加水試験である。
- [0105] 本実施形態において、第2のモデル化手段220は、加水試験により得られる、加水過程における試験層の水分量m、重量Wおよび間隙水圧uの各々の値に基づいて、重量Wと水分量mの関係を規定する重量－水分量モデルおよび間隙水圧uと水分量mの関係を規定する間隙水圧－水分量モデルを構築する。
- [0106] 第2のモデル化手段220は、より具体的には、間隙水圧モデル化手段223と、重量モデル化手段224とを含む。
- [0107] 間隙水圧モデル化手段223は、間隙水圧計106により得られる加水過程における試験層の間隙水圧uと、水分計104により得られる加水過程における試験層の水分量mとに基づいて、間隙水圧uを水分量mの関数としてモデル化した間隙水圧－水分量モデルを構築する。
- [0108] 重量モデル化手段224は、重量計107により得られる加水過程における試験層に加わる重力である重量Wと、水分計104により得られる加水過程における試験層の水分量mとに基づいて、重量Wを水分量mの関数としてモデル化した重量－水分量モデルを構築する。
- [0109] モデル情報記憶手段240は、解析式変数の各々を実斜面で計測可能な可観測量により学習したモデルの情報として、重量－水分量モデル、間隙水圧－水分量モデル、粘着カー水分量モデルおよび内部摩擦角－水分量モデルの情報を少なくとも記憶する。
- [0110] モデル情報記憶手段240は、例えば、上記の各モデルについて、関数モデルを同定するパラメータや、モデル化入力変数を引数にして解析式変数の値を返す処理を実装したモジュールのアドレス等をモデルの情報として記憶してもよい。
- [0111] 水分計208は、実斜面のすべり層に含まれる水分量mを計測する。水分計208は、例えば、実斜面のすべり層に設置され、該すべり層に含まれる水分量mを計測し、計測結果を示す水分量データを出力するセンサであってもよい。

- [0112] 実斜面監視手段250は、水分計208により得られる実斜面のすべり層の水分量 m に基づいて、実斜面の安全率を算出して、必要に応じて警報を出力する。実斜面監視手段250は、より具体的には、安全率算出手段251と、判定手段152と、警報手段153とを含む。
- [0113] 安全率算出手段251は、水分計208により得られる実斜面のすべり層に含まれる水分量 m と、モデル情報記憶手段240に記憶されている重量－水分量モデル、間隙水圧－水分量モデル、粘着力－水分量モデルおよび内部摩擦角－水分量モデルの情報とに基づき、該水分量計測時の実斜面の安全率 F_s を算出する。安全率算出手段251は、具体的には、実斜面の水分量 m の値を基に、上記各モデルを用いて各解析式変数の値、すなわち重量 W 、間隙水圧 u 、粘着力 c および内部摩擦角 ϕ の値を算出し、得られた値を上記の式(1)に適用して安全率 F_s を算出する。
- [0114] また、本実施形態の安全率算出手段251は、水分量データに加えて、予測雨量を示す予測雨量データが入力された場合には、該水分量データと該予測雨量データとに基づき、将来の実斜面のすべり層に含まれる水分量 m を予測して、その予測した水分量 m を用いて、将来の実斜面の安全率 F_s を算出してもよい。これにより、地すべりの危険性をより早く検知できる。
- [0115] なお、水分量データと予測雨量データとから将来の水分量 m の予測を容易にするために、例えば、重量モデル化手段224が、加水試験における加水量より示される累積加水量を累積降水量とみなして、各状態での水分量 m を、累積降水量でモデル化した水分量－累積降水量モデルを構築してもよい。
- [0116] そのような場合には、安全率算出手段251は、水分量－累積降水量モデルを用いて、水分量データが示す現在の水分量 m から現在の累積降水量を求めるとともに、さらに予測雨量データを用いて将来の累積降水量を求め、求めた将来の累積降水量と、水分量－累積降水量モデルとに基づいて、将来の水分量 m を推定してもよい。このようにして、将来の水分量 m が得られれば、各解析式変数のモデルを用いて、将来の安全率 F_s が求まる。
- [0117] なお、安全率 F_s を予測する方法として、実斜面における可観測量（本例

では水分量 m) - 累積降水量モデルを構築する以外にも、加水量を所定の単位時間あたりの降水量とみなして、該降水量に対する可観測量の変動モデルを構築してもよい。該変動モデルを利用して、実斜面から得られた現在の可観測量と予測雨量データとから将来の可観測量を予測して、将来の安全率 F_s を予測できる。

[0118] 次に、本実施形態の動作を説明する。図9および図10は、本実施形態の斜面監視システムの動作の一例を示すフローチャートである。動作についても、第1の実施形態と同様のものは同じ符号を付し、説明を省略する。

[0119] 図9は、モデル学習フェーズにおける本実施形態の動作の一例を示すフローチャートである。図9に示すように、本実施形態では、加水・加振試験の代わりに、加水試験を行う(ステップS31)。なお、本実施形態の加水試験は、図4に示される加水・加試験の動作のステップS125~ステップS126の動作を省略すればよい。これにより、土が飽和するまでの加水過程における各状態(加水前および加水毎)の水分量データ、間隙水圧データおよび重量データを得る。

[0120] 加水試験により、少なくとも1つの土塊(試験体)に対して、含水比が異なる状態における水分量データ、間隙水圧データおよび重量データを得ると、ステップS32に進む。

[0121] ステップS32では、重量モデル化手段224が、加水試験によって得られた加水過程における各状態の水分量データおよび重量データに基づいて、重量 W を水分量 m の関数として学習して、重量-水分量モデルを構築する。また、間隙水圧モデル化手段223が、加水試験によって得られた加水過程における各状態の水分量データおよび間隙水圧データに基づいて、間隙水圧 u を水分量 m の関数として学習して、間隙水圧-水分量モデルを構築する。

[0122] そして、ステップS13およびステップS32で得られたモデルの情報、すなわち粘着カー-水分量モデル、内部摩擦角-水分量モデル、重量-水分量モデルおよび間隙水圧-水分量モデルの情報をモデル情報記憶手段240に記憶する。

- [0123] 以上の動作により、4つの解析式変数の全てについて、水分量 m による関数モデルを構築するモデル学習フェーズが完了する。なお、上記の例では、せん断試験を行った後に、加水試験を行っているが、試験の順序は特に問わない。
- [0124] 次に、実斜面監視フェーズの動作について説明する。図10は、実斜面監視フェーズにおける本実施形態の動作の一例を示すフローチャートである。図10に示すように、本実施形態では、まず実斜面に設置された水分計208を用いて、監視対象斜面のすべり層に含まれる水分量 m を計測する（ステップS41）。これにより、現在のすべり層の含水比に影響のある可観測量である水分量を示す水分量データを得る。
- [0125] 本例では、次いで、予測雨量データが入力される（ステップS42）。
- [0126] 次に、安全率算出手段251は、得られた水分量データによって示される水分量 m に基づいて、モデル情報記憶手段240に記憶されている4つのモデルを用いて、監視対象斜面の振動波形計測時における4つの解析式変数の値を推定する。そして、推定された各値を斜面安定解析式に適用して、安全率 F_s を算出する（ステップS43）。
- [0127] ステップS42では、安全率算出手段251は、さらに、水分量データと予測雨量データとに基づき、予測雨量データで予測雨量が示された将来の任意の時間の実斜面の安全率 F_s を算出する。
- [0128] 次に、判定手段152は、算出された安全率 F_s に基づいて、警報を出すか否かを判定する（ステップS24）。判定手段152は、例えば、算出された安全率 F_s の1つでも所定の閾値を下回るものがあれば、警報を出すと判定してもよい。
- [0129] 以上のように、本実施形態によれば、予め実斜面と同質の土を用いて解析式変数全てについて、その変動の様子を、実斜面を構成する物質層（土砂等）の状態に応じて変化する可観測量の値（ここでは、水分量）と結び付けて学習しておくことにより、実斜面にはその可観測量を計測可能なセンサ（水分計）を設けるだけで、精度よく安全率 F_s を算出することができる。した

がって、上述した計測困難性を回避しつつ、斜面の安全性を精度よく監視することができる。

[0130] また、本実施形態においても、1種類のセンサ（水分計）を実斜面に設けるだけで、斜面の安全性を精度よく監視することができる。

[0131] また、本実施形態によれば、加水試験中に波形データを取得する必要がないため、試験装置を簡素化できる。

[0132] また、本実施形態によれば、予測雨量に基づく将来の安全率も簡単かつ精度よく算出できるので、斜面の崩壊に至る際の警報をより早く出力することができる。

[0133] なお、第1の実施形態においても、実斜面監視手段150に予測雨量データを入力させて、安全率算出手段151に、波形データと該予測雨量データとに基づき、予測雨量データで予測雨量が示された将来の任意の時間の実斜面の安全率 F_s を算出させてもよい。

[0134] なお、そのような場合において、波形データと予測雨量データとから将来の減衰率 δ の予測を容易にするために、例えば、減衰率算出手段121が、加水試験における加水量より示される累積加水量を累積降水量とみなして、各状態での減衰率 δ を、累積降水量でモデル化した減衰率－累積降水量モデルを構築してもよい。そのような場合には、安全率算出手段151は、減衰率－累積降水量モデルを用いて、現在の減衰率 δ から現在の累積降水量を求めるとともに、さらに予測雨量データを用いて将来の累積降水量を求め、求めた将来の累積降水量と、減衰率－累積加水量モデルとに基づいて、将来の減衰率 δ を推定してもよい。このようにして、将来の減衰率 δ が得られれば、各解析式変数のモデルを用いて、将来の安全率 F_s が求まる。

[0135] なお、実斜面における可観測量（本例では減衰率 δ ）－累積降水量モデルを構築する以外にも、加水量を所定の単位時間あたりの降水量とみなして、該降水量に対する可観測量の変動モデルを構築してもよい。該変動モデルを利用して、実斜面から得られた現在の可観測量と予測雨量データとから将来の可観測量を予測して、将来の安全率 F_s を予測できる。

実施例

[0136] 次に、具体的な例を用いて上記各実施形態をより詳細に説明する。

[0137] 実施例 1.

以下では、第 1 の実施形態の斜面監視システムの具体的な例である第 1 の実施例を説明する。図 11 は、第 1 の実施例にかかる斜面監視システムの構成図である。図 11 に示す斜面監視システム 300 は、三軸圧縮試験装置 31 と、プランター 32 と、コンピュータ 33 と、実斜面計測機器 34 と、ディスプレイ装置 35 とを備えている。

[0138] 三軸圧縮試験装置 31 は、応力センサ 101 と、応力センサ 102 とを含んでいる。また、プランター 32 は、水分計 104 と、振動センサ 105 と、間隙水圧計 106 とを含んでいる。また、実斜面計測機器 34 は、振動センサ 108 を含んでいる。

[0139] データを収集、処理するコンピュータ 33 は、例えば、プログラムに従って動作する CPU（図示せず）と、記憶装置としてのデータベース 336 とを備えた一般的なコンピュータである。

[0140] 本例のコンピュータ 33 には、プログラムモジュールとして、粘着力・内部摩擦角算出モジュール 331、粘着力・内部摩擦角モデル化モジュール 332、水分量対応化モジュール 333、減衰率算出モジュール 334、重量・間隙水圧モデル化モジュール 335 および実斜面監視モジュール 337 を含む斜面監視プログラムが実行可能な態様でインストールされているものとする。すなわち、コンピュータ 33 は、そのような斜面監視プログラムが CPU に読み込まれており、該 CPU が斜面監視プログラムに含まれる各モジュールに規定されている所定の処理を実行可能な状態であるとする。

[0141] 本例において、粘着力・内部摩擦角算出モジュール 331 は、第 1 の実施形態における粘着力・内部摩擦角算出手段 111 に相当する。粘着力・内部摩擦角モデル化モジュール 332 は、第 1 の実施形態における粘着力・内部摩擦角モデル化手段 112 およびモデル変換手段 130 に相当する。また、水分量対応化モジュール 333 は、第 1 の実施形態における水分量モデル化

手段 1 2 2 または センサデータ受付手段の一部機能に相当する。また、減衰率算出モジュール 3 3 4 は、第 1 の実施形態における減衰率算出手段 1 2 1 に相当する。また、重量・間隙水圧モデル化モジュール 3 3 5 は、第 1 の実施形態における間隙水圧モデル化手段 1 2 3 および重量モデル化手段 1 2 4 に相当する。また、実斜面監視モジュール 3 3 7 は、第 1 の実施形態における実斜面監視手段 1 5 0 すなわち安全率算出手段 1 5 1、判定手段 1 5 2 および警報手段 1 5 3 に相当する。

[0142] なお、本例の三軸圧縮試験装置 3 1 は水分計 1 0 3 を備えていない。したがって、ユーザが、試験条件として予め測っておいた各試験体の試験層の水分量 m (含水比) 等を示すデータをコンピュータ 3 3 に入力する。同様に、プランター 3 2 は重量計 1 0 7 を備えていない。したがって、重量・間隙水圧モデル化モジュール 3 3 5 が、加水前の試験層の含水比、重量および加水毎の加水量から加水毎の試験層の重量 W を算出する。なお、算出に必要なこれらのデータは、例えば、試験条件としてユーザがコンピュータ 3 3 に入力すればよい。

[0143] 粘着力・内部摩擦角算出モジュール 3 3 1 は、応力センサ 1 0 1 および応力センサ 1 0 2 によって計測された計測値である垂直応力 τ およびせん断応力 σ から、三軸圧縮試験の試験体の粘着力 c と内部摩擦角 ϕ を算出する。

[0144] 粘着力・内部摩擦角モデル化モジュール 3 3 2 は、三軸圧縮試験の試験条件として示される三軸圧縮試験の各試験体の含水比と、算出された三軸圧縮試験の各試験体の粘着力 c および内部摩擦角 ϕ と、後述の水分量対応化モジュール 3 3 3 による対応づけにより得られる三軸圧縮試験の各試験体の含水比に対応する減衰率 δ とに基づいて、粘着力 c と内部摩擦角 ϕ とを各々、振動波形の減衰率 δ の関数としてモデル化する。

[0145] 減衰率算出モジュール 3 3 4 は、振動センサ 1 0 5 によって計測された計測値である振動波形から、加水過程における各状態での振動波形の減衰率 δ を算出する。

[0146] 水分量対応化モジュール 3 3 3 は、三軸圧縮試験で得られる水分量として

の含水比と、少なくとも加水・加振試験で得られる減衰率 δ とを対応づける。本例では、水分量対応化モジュール333は、プランター32において加水した量から加水過程における各状態での試験体の含水比を求め、求めた含水比とともに、加水過程における各状態でのセンサデータおよび算出した値（少なくとも減衰率 δ を含む）をデータベース336に記憶することにより三軸圧縮試験で得られる水分量としての含水比と、少なくとも加水・加振試験で得られる減衰率 δ とを対応づける（後述の図14参照）。なお、三軸圧縮試験で得られる水分量と、加水・加振試験で得られる水分量とが同じデータ形式である場合には、水分量対応化モジュール333は、単に、加水過程における各状態でのセンサデータおよび算出した値（減衰率 δ ）をデータベース336に記憶するだけでもよい。

[0147] なお、本例では、加水・加振試験で、粘着力 c および内部摩擦角 ϕ の算出に用いた垂直応力データおよびせん断応力データを得たときと同じ条件下での波形データが得られることを前提としているが、もしそのような波形データが得られない場合には、水分量対応化モジュール333は、三軸圧縮試験で得られる水分量としての含水比と、減衰率 δ との関係を規定した含水比－減衰率モデルを構築すればよい。

[0148] 重量・間隙水圧モデル化モジュール335は、加水過程における各状態での、間隙水圧計106で計測された計測値である間隙水圧 u 、加水量から求まる試験体の重量 W および算出された振動波形の減衰率 δ から、重量 W と間隙水圧 u とを各々、振動波形の減衰率 δ の関数としてモデル化する。

[0149] データベース336は、粘着力・内部摩擦角モデル化モジュール332によってモデル化された粘着力 c の関数モデル（粘着力－減衰率モデル）および内部摩擦角 ϕ の関数モデル（内部摩擦角－減衰率モデル）と、重量・間隙水圧モデル化モジュール335によってモデル化された重量 W の関数モデル（重量－減衰率モデル）および間隙水圧 u の関数モデル（間隙水圧－減衰率モデル）との情報を記憶する。

[0150] 実斜面監視モジュール337は、実斜面に設置された振動センサ108に

よって計測された計測値である振動波形から減衰率 δ を算出し、算出された減衰率 δ を基に斜面の安全率 F_s を算出して、算出された安全率 F_s に基づき斜面の安全性を判定する。実斜面監視モジュール337は、安全性の判定結果として、例えば警報の有無を安全率 F_s とともに出力してもよい。

[0151] ディスプレイ装置35は、実斜面監視モジュール337の判定結果を表示する。

[0152] 次に、本実施例の動作を説明する。以下では、造成された斜面を監視対象斜面として、該斜面のすべり層を構成している物質群が土、より具体的には締固め度85%の山砂によって構成されている場合を例とする。

[0153] まず、実斜面のすべり層を構成している山砂と同じ構成、乾燥密度および締固め度の試料を用い、複数の含水比に調整した試験体（土塊）を用意する。

[0154] 次に、三軸圧縮試験装置31を用いて、用意した試験体の各々に対して三軸圧縮試験を実施する。

[0155] 図12は、本例の三軸圧縮試験により得られた粘着力 c および内部摩擦角 ϕ の値を示す説明図である。なお、図12には、含水比が14~24%に調整された計11個の試験体について、三軸圧縮試験により得られた粘着力 c および内部摩擦角 ϕ とともに、有効摩擦係数である $\tan \phi$ の値が示されている。データをデータベース336は、上述したモデルの情報以外に、例えば図12に示されるようなデータを記憶してもよい。

[0156] また、図13は、加水・加振試験に用いるプランターの例を示す説明図である。加水・加振試験は、例えば、図13に示すような小型プランターを用いてもよい。図13に示すプランター32は、3つの水分計104（土壤水分計104A、土壤水分計104Bおよび土壤水分計104C）と、2つの振動センサ105（振動センサ105Aおよび振動センサ105B）と、2つの間隙水圧計106（間隙水圧計106Aおよび間隙水圧計106B）とを備えている。なお、複数の土壤水分計および振動センサは高さが異なる位置に設けられており、モデル化に用いる際にはその平均値を利用する。

- [0157] 本例の加水・加振試験では、図13に示す小型プランターを利用する。まず、図13に示すプランター32に、実斜面のすべり層を構成している山砂と同じ構成、乾燥密度および締固め度の試料からなり、三軸圧縮試験で用いた試験体よりも小さい含水比に調整された土を盛り、試験体（盛土）を形成する。
- [0158] そのまま土壌水分計104A、土壌水分計104B、土壌水分計104C、間隙水圧計106Aおよび間隙水圧計106Bの値を計測するとともに、シャワーをかけ、その時の振動センサ105Aおよび振動センサ105Bの値を計測する。シャワーの強度は100mm/hの降水量相当の強さとし、降水時間は5秒程度とする。なお、本例では、加水動作でもあるシャワーをかける動作が加振動作に相当する。
- [0159] 引き続きシャワーによって所定の量加水した上で、上記と同様の方法で、土壌水分計104A、土壌水分計104B、土壌水分計104C、間隙水圧計106A、間隙水圧計106B、振動センサ105Aおよび振動センサ105Bの値を計測する。このような加水・計測サイクルを、土が飽和するまで繰り返す。
- [0160] 1回の操作あたり、複数の水分量データ、間隙水圧データおよび波形データを計測する。なお、モデル学習に用いる水分量 m および間隙水圧 u は、各測定値の平均値を算出する。また、減衰率 δ は、得られた各波形データから図6に示す方法により求める。
- [0161] すなわち、図6に示す方法に従って、各波形データを周波数フィルタリングし、フィルタリングしたデータを周波数変換して周波数応答を取得する。そして、その周波数応答におけるピーク周波数を取得し、得られたピーク周波数を物理モデルから導出できる周波数応答関数の共振周波数として、減衰比を変数とした周波数応答関数を生成する。ここで、生成された周波数応答関数を、上記の周波数変換して得られた各周波数応答のデータに合うようにフィッティングして、最適な減衰比を同定する。そして、得られた減衰比に基づいて減衰率 δ を算出する。

[0162] 図14は、本例の加水・加振試験により得られた各種値を示す説明図である。なお、図14には、計6回の加水・計測サイクルにおいて取得された計測値（水分量 m 、減衰率 δ および間隙水圧 u ）、加水量、含水比、重量 W 等の値が示されている。図14において、水分量の”水分計A”の欄は土壤水分計104Aによる計測値を表している。また、”水分計B”の欄は土壤水分計104Bによる計測値を表している。また、”水分計C”の欄は土壤水分計104Cによる計測値を表している。また、減衰率の”CH1”の欄は振動センサ105Aから得られた波形データより求めた減衰率を表している。また、減衰率の”CH2”の欄は振動センサ105Bから得られた波形データより求めた減衰率を表している。また、間隙水圧の”CH1”の欄は間隙水圧計106Aによる計測値を表している。また、間隙水圧の”CH2”の欄は間隙水圧計106Bによる計測値を表している。なお、表中の”[—]”は無単位を表している。

[0163] データベース336は、上述したモデルの情報以外に、例えば図14に示されるようなデータを記憶してもよい。なお、図14において、含水比および土塊重量の値は、加水量、初期の土塊重量および初期の含水比から求めた。

[0164] このようにして、実斜面のすべり層を構成している山砂と同じ構成、乾燥密度および締固め度の土の複数の含水比に対する粘着力 c 、内部摩擦角 ϕ 、水分量 m 、間隙水圧 u 、重量 W および減衰率 δ のデータを得ると、粘着力・内部摩擦角モデル化モジュール332および重量・間隙水圧モデル化モジュール335は、得られたデータを基に、解析式変数の各々について減衰率 δ に対する関数モデルを学習する。本例では、重量 W 、間隙水圧 u 、粘着力 c および内部摩擦角 ϕ について減衰率 δ に対する回帰式を学習する。なお、含水比が高い場合と低い場合とで粘着力 c の傾向が異なる場合には、回帰式の学習においてこの場合は含水比の高い部分の粘着力 c のみを用いてもよい。すなわち、得られたデータの一部のみを用いてモデルを構築してもよい。

[0165] 次に、監視動作について説明する。本例では、図15に示す造成した斜面

を監視対象斜面（実斜面）として、本発明の斜面監視方法を評価した。図15において四角印で示すように、造成した実斜面には3×2個の振動センサ108が埋設されている。この他、当該実斜面には、評価用に、3×2個の土壌水分計（丸印参照）と、4個の間隙水圧計とが埋設されている。なお、振動センサ108は、斜面の3個所に、各々2種類の深さ位置に埋設されている。また、土壌水分計および間隙水圧計は、振動センサ108のすぐ近くに配置されている。ただし、間隙水圧計については、斜面の3個所中の真ん中の位置以外の個所には浅い方の深さ位置にのみ配置した。

[0166] 斜面の監視動作としては、造成した実斜面にシャワーを用いて加水していく過程で、約20分毎に振動センサ108の各々の値を計測し、振動波形の波形データを得る。そして、得られた各振動波形の波形データを基に減衰率 δ を求め、求めた減衰率 δ を基に、実斜面監視モジュール337が安全率 F_s を求めることにより、安全性を評価する。複数個所で計測している振動センサそれぞれから、減衰率を算出し、平均の値を使用してもよい。また、本例では、上記の監視動作を評価のために加水を斜面が崩壊するまで行い、斜面が崩壊した際の時刻を記録する。

[0167] 実斜面監視モジュール337は、6個の振動センサ108により計測された振動波形の波形データを基に、図6に示されるフローに従い減衰率 δ を算出し、算出された減衰率 δ から、データベース336に記憶されている各モデルの情報を用いて各解析式変数の値を予測し、安全率 F_s を算出する。そして、算出された安全率 F_s が1を下回った場合に斜面の崩壊の可能性ありとして、警報を出力する。なお、複数個所で計測している振動センサそれぞれから、図5に示す方法等を用いて減衰率 δ を算出し、平均の値を使用してもよい。

[0168] 図16は、加水動作により本例における実斜面から得られた各種値の例を示す説明図である。図16には、本例の実斜面に対する加水過程における波形データ取得時の経過時間、減衰率 δ 、時刻および安全率 F_s が示されている。なお、本例では、実験を開始してから7時間59分後に斜面が崩壊した

。

[0169] 図16に示す例では、実際の斜面崩壊時間が実験開始から7時間59分後であったのに対し、安全率 F_s が1を下回った時間は実験開始から7時間06分後であった。なお、その1つ前に計測したとき（安全率が1よりも大きかったとき）の経過時間は6時間49分であるため、実際の崩壊と警報出力との間の時間差は53～70分の間であることがわかる。

[0170] 実施例2.

第1の実施例では、加水・加振試験および実斜面監視時ともに、シャワーによる水の圧力を利用して加振を行ったが、以下では、加水・加振試験および実斜面監視時の加振方法として、鉄球の落下を利用する第2の実施例を説明する。第2の実施例では、第1の実施例と同一の構成に、プランター32の直上または実斜面に設けられた振動センサの直上から、鉄球を落下する装置を追加する。

[0171] 本例でも、造成された斜面を監視対象斜面として、該斜面のすべり層を構成している物質群が土、より具体的には締固め度85%の山砂によって構成されている場合を例とする。

[0172] まず、第1の実施例と同様の方法で、図12に示す、複数の含水比に対する粘着力 c 、内部摩擦角 ϕ のデータを得て、データベース336に格納する。

。

[0173] 次に、第1の実施例と同様に、図13に示すプランター32内に、実斜面のすべり層を構成している山砂と同じ構成、乾燥密度および締固め度の試料からなり、三軸圧縮試験で用いた試験体よりも小さい含水比に調整された試験体（盛土）を造成する。

[0174] 最初の状態のまま土壌水分計104A、土壌水分計104B、土壌水分計104C、間隙水圧計106Aおよび間隙水圧計106Bの値を計測するとともに、プランター32内の試験体に向けて真上から鉄球を落下させ、その時の振動センサ105Aおよび振動センサ105Bの値を計測する。鉄球は直径1cm程度のものとし、土表面から10cmほどの高さから落下させる

。なお、プランター32の振動センサ105Aおよび振動センサ105Bが設置されている位置の真上から、鉄球を落下させるのが好ましい。

[0175] 所定の量加水した上で、上記と同様の方法で、土壌水分計104A、土壌水分計104B、土壌水分計104C、間隙水圧計106A、間隙水圧計106B、振動センサ105Aおよび振動センサ105Bの値を計測する。このような加水・計測サイクルを、土が飽和するまで繰り返す。なお、本例の加水方法は特に問わないが、第1の実施例と同様シャワーを用いた。

[0176] 本例でも、1回の操作あたり、複数の水分量データおよび間隙水圧データを計測する。なお、モデル学習に用いる水分量 m および間隙水圧 u は、各測定値の平均値を算出する。また、含水比および（土塊）重量 W の値は、加水量、初期の土塊重および初期の含水比から求める。また、減衰率 δ は、得られた各波形データから図6に示す方法により求める。これにより、1つの試験体における複数の含水比に対する水分量 m 、間隙水圧 u 、重量 W および減衰率 δ のデータを得て、データベース336に格納する。

[0177] このようにして、実斜面のすべり層を構成している山砂と同じ構成、乾燥密度および締固め度の土の複数の含水比に対する粘着力 c 、内部摩擦角 ϕ 、水分量 m 、間隙水圧 u 、重量 W および減衰率 δ のデータを得ると、粘着力・内部摩擦角モデル化モジュール332および重量・間隙水圧モデル化モジュール335は、得られたデータを基に、解析式変数の各々の減衰率 δ に対する関数モデルを学習する。モデルの学習方法は第1の実施例と同様である。

[0178] 次に、監視動作について説明する。本例でも、図15に示す造成した斜面を監視対象斜面（実斜面）として、本発明の斜面監視方法を評価した。本例の監視動作としては、造成した実斜面にシャワーを用いて加水していく過程で、一定間隔で設置されている振動センサ108の各々の直上から鉄球を落下させ、そのときの振動センサ108の各々からの値を計測し、振動波形の波形データを得る。そして、得られた各振動波形の波形データを基に減衰率 δ を求め、求めた減衰率 δ を基に、実斜面監視モジュール337が安全率 F_s を求めることにより、安全性を評価する。複数個所で計測している振動セ

ンサそれぞれから、減衰率を算出し、平均の値を使用してもよい。本例でも約20分毎に波形データを取得するとともに、上記の監視動作を評価のために加水を斜面が崩壊するまで行い、斜面が崩壊した際の時刻を記録する。

[0179] 本実施例によっても、第1の実施例と同様、斜面の崩壊の可能性を検知できる。

[0180] 実施例3.

以下では、第2の実施形態の斜面監視システムの具体的な例である第3の実施例を説明する。図17は、第3の実施例にかかる斜面監視システムの構成図である。図17に示す斜面監視システム400は、三軸圧縮試験装置41と、プランター42と、コンピュータ43と、実斜面計測機器44と、ディスプレイ装置45とを備えている。

[0181] 三軸圧縮試験装置41は、第1の実施例の三軸圧縮試験装置31と同様である。

[0182] プランター42は、第1の実施例のプランター32と比べて、振動センサ105を備えていない点で異なる。なお、他の点は第1の実施例のプランター32と同様である。

[0183] 実斜面計測機器44は、水分計208を含んでいる。

[0184] コンピュータ43も、例えば、プログラムに従って動作するCPU（図示せず）と、記憶装置としてのデータベース436とを備えた一般的なコンピュータである。

[0185] 本例のコンピュータ43には、プログラムモジュールとして、粘着力・内部摩擦角算出モジュール431、粘着力・内部摩擦角モデル化モジュール432、水分量対応化モジュール433、重量・間隙水圧モデル化モジュール435および実斜面監視モジュール437を含む斜面監視プログラムが実行可能な態様でインストールされているものとする。すなわち、コンピュータ43は、そのような斜面監視プログラムがCPUに読み込まれており、該CPUが斜面監視プログラムに含まれる各モジュールに規定されている所定の処理を実行可能な状態であるとする。

[0186] 本例において、粘着力・内部摩擦角算出モジュール431は、第2の実施形態における粘着力・内部摩擦角算出手段111に相当する。粘着力・内部摩擦角モデル化モジュール432は、第2の実施形態における粘着力・内部摩擦角モデル化手段112に相当する。また、重量・間隙水圧モデル化モジュール435は、第2の実施形態における間隙水圧モデル化手段223および重量モデル化手段224に相当する。また、実斜面監視モジュール437は、第2の実施形態における実斜面監視手段250すなわち安全率算出手段251、判定手段152および警報手段153に相当する。

[0187] なお、水分量対応化モジュール433は、上記の第2の実施形態では明示されていないが、各試験で得られる水分量と、実斜面の監視に用いる水分計208の計測値から得られる水分量とでデータ形式が異なる場合に、これらに対応づける。これにより、各モデル化モジュールが、各解析式変数を、実斜面の監視に用いる水分計208の計測値から得られる水分量でモデル化できるようにする。本例では、水分量対応化モジュール433は、プランター42において加水した量から加水過程における各状態での試験体の含水比を求め、求めた含水比とともに、加水過程における各状態でのセンサデータおよび算出した値（少なくともモデル化入力変数とされる水分量としての水分計計測値の平均値を含む）をデータベース436に記憶することにより、三軸圧縮試験で得られる水分量としての含水比と、少なくとも加水・加振試験で得られる水分量としての水分計計測値の平均値とを対応づける（後述の図14参照）。

[0188] なお、本例でも、加水・加振試験で、粘着力 c および内部摩擦角 ϕ の算出に用いた垂直応力データおよびせん断応力データを得たときと同じ条件下での波形データが得られることを前提としているが、もしそのような波形データが得られない場合には、水分量対応化モジュール433は、三軸圧縮試験で得られる水分量としての含水比と、モデル化入力変数とされる水分量 m としての水分計計測値の平均値との関係を規定した含水比-水分計計測値モデルを構築すればよい。

- [0189] 粘着力・内部摩擦角算出モジュール431は、第1の実施例の粘着力・内部摩擦角算出モジュール331と同様である。
- [0190] 粘着力・内部摩擦角モデル化モジュール432は、試験条件として示される各試験体の含水比と、算出された各試験体の粘着力 c および内部摩擦角 ϕ と、水分量対応化モジュール433による対応づけにより得られる三軸圧縮試験の各試験体の含水比に対応する水分計計測値（の平均値）とに基づいて、粘着力 c と内部摩擦角 ϕ とを各々、水分量 m より具体的には水分計計測値（の平均値）の関数としてモデル化する。
- [0191] 重量・間隙水圧モデル化モジュール435は、加水過程における各状態での、間隙水圧計106で計測された計測値である間隙水圧 u 、加水量から求まる試験体の重量 W および水分計104で計測された計測値である水分量 m から、重量 W と間隙水圧 u とを各々、水分量 m すなわち水分計計測値（の平均値）の関数としてモデル化する。
- [0192] データベース436は、粘着力・内部摩擦角モデル化モジュール432によってモデル化された粘着力 c の関数モデル（粘着力－水分量モデル）および内部摩擦角 ϕ の関数モデル（内部摩擦角－水分量モデル）と、重量・間隙水圧モデル化モジュール335によってモデル化された重量 W の関数モデル（重量－水分量モデル）および間隙水圧 u の関数モデル（間隙水圧－水分量モデル）との情報を記憶する。
- [0193] 実斜面監視モジュール437は、実斜面に設置された水分計208によって計測された計測値である水分量 m を基に斜面の安全率 F_s を算出して、算出された安全率 F_s に基づき斜面の安全性を判定する。実斜面監視モジュール437は、安全性の判定結果として、例えば警報の有無を安全率 F_s とともに出力してもよい。
- [0194] ディスプレイ装置45は、実斜面監視モジュール437の判定結果を表示する。
- [0195] 次に、本実施例の動作を説明する。以下では、造成された斜面を監視対象斜面として、該斜面のすべり層を構成している物質群が土、より具体的には

締固め度 85% の山砂によって構成されている場合を例とする。

[0196] まず、実斜面のすべり層を構成している山砂と同じ構成、乾燥密度および締固め度の試料を用い、複数の含水比に調整した試験体（土塊）を用意する。

[0197] 次に、三軸圧縮試験装置 41 を用いて、第 1 の実施例と同様の方法により、三軸圧縮試験を実施する。そして、図 12 に示すデータを得る。

[0198] 本例の加水・加振試験では、図 13 に示すような小型プランターを利用する。ただし、本例のプランター 42 には振動センサは不要である。小型のプランター 42 に、実斜面のすべり層を構成している山砂と同じ構成、乾燥密度および締固め度の試料からなり、三軸圧縮試験で用いた試験体よりも小さい含水比に調整された土を盛り、試験体（盛土）を形成する。

[0199] そのまま土壌水分計 104A、土壌水分計 104B、土壌水分計 104C、間隙水圧計 106A および間隙水圧計 106B の値を計測する。

[0200] その後、シャワーにより所定の量加水した上で、上記と同様の方法で、土壌水分計 104A、土壌水分計 104B、土壌水分計 104C、間隙水圧計 106A および間隙水圧計 106B の値を計測する。このような加水・計測サイクルを、土が飽和するまで繰り返す。

[0201] 本例でも、1 回の操作あたり、複数の水分量データおよび間隙水圧データを計測する。なお、モデル学習に用いる水分量 m および間隙水圧 u は、各測定値の平均値を算出する。そして、図 14 に示すデータ（ただし、減衰率は除く）を得る。

[0202] このようにして、実斜面のすべり層を構成している山砂と同じ構成、乾燥密度および締固め度の土の複数の含水比に対する粘着力 c 、内部摩擦角 ϕ 、間隙水圧 u 、重量 W および水分量 m のデータを得ると、粘着力・内部摩擦角モデル化モジュール 332 および重量・間隙水圧モデル化モジュール 435 は、得られたデータを基に、解析式変数の各々について、水分量 m に対する関数モデルを学習する。本例では、重量 W 、間隙水圧 u 、粘着力 c および内部摩擦角 ϕ について水分量 m に対する回帰式を学習する。なお、含水比が高

い場合と低い場合とで粘着力 c の傾向が異なる場合には、回帰式の学習において含水比の高い部分の粘着力 c のみを用いてもよい。

[0203] 次に、監視動作について説明する。本例でも、図15に示す造成した斜面を監視対象斜面（実斜面）として、本発明の斜面監視方法を評価した。ただし、第1の実施例および第2の実施例では、評価用として説明した 3×2 個の土壤水分計（丸印参照）が、監視用の水分計208となる。

[0204] 斜面の監視動作としては、造成した実斜面にシャワーを用いて加水していく過程で、約20分毎に各水分計208の値を計測し、水分量データを得る。そして、得られた各水分量データを基に、水分量 m （ここでは水分計計測値の平均値）を求め、求めた水分量 m を基に、実斜面監視モジュール437が安全率 F_s を求めることにより、安全性を評価する。本例でも、上記の監視動作を評価のために加水を斜面が崩壊するまで行い、斜面が崩壊した際の時刻を記録する。

[0205] 図18および図19は、加水動作により本例の実斜面から得られた各種値を示す説明図である。図18および図19には、本例の実斜面に対する加水過程における水分量データ取得時の経過時間、各水分計計測値、その平均値である水分量 m 、時刻および安全率 F_s が示されている。なお、本例では、実験を開始してから7時間59分後に斜面が崩壊した。

[0206] 図18および図19に示すように、実際の斜面崩壊時間が実験開始から7時間59分後であったのに対し、安全率が1を下回った時間は実験開始から7時間39分後であった。なお、その1つ前に計測したとき（安全率が1よりも大きかったとき）の経過時間は7時間22分であるため、実際の崩壊と警報出力との間の時間差は20～37分の間であることがわかる。

[0207] 実施例4.

以下では、第1の実施例の構成に通信手段を追加した第4の実施例を説明する。通信手段は、例えば、インターネット回線や無線LAN（Local Area Network）などを介して監視斜面がある地域の予測雨量データを受信する。

[0208] 本実施例では、実斜面の深さを計測し、プランター32に盛る土の深さを

合わせる。実斜面の深さとして、例えば、実斜面を構成している物質層ごとの界面の深さを計測してもよい。この条件下で第1の実施例と同様の方法で、プランター32に加水し、加振した際の波形データを取得する。このとき、加水した量を記録する。

[0209] また、本実施例では、減衰率算出モジュール334が、記録した加水量より算出される累積加水量を累積降水量とみなして、算出した減衰率 δ を、累積降水量による関数モデルとして学習することにより、減衰率－累積降水量モデルを構築する。なお、他の点は第1の実施例と同様である。

[0210] 実斜面での監視時、実斜面監視モジュール337は、第1の実施例と同様、各振動センサ108から振動波形を示す波形データを各々取得し、減衰率 δ （平均値）を算出する。そして、算出した減衰率 δ を基に、各解析式変数の値を算出して、安全率 F_s を算出する。また、本実施例では、実斜面監視モジュール337は、この動作と並行して、通信手段を経由して予測雨量データを取得し、取得した予測雨量データと上記の減衰率－累積降水量モデルとに基づいて、将来の減衰率 δ を予測する。そして、予測した将来の減衰率 δ を基に、各解析式変数の値を算出して、将来の安全率 F_s を予測（算出）する。

[0211] 実施例5.

以下では、第1の実施例の構成に通信手段を追加した第5の実施例を説明する。通信手段は、例えば、インターネット回線や無線LANなどを介して監視斜面がある地域の予測雨量データを受信する。

[0212] 本実施例でも、実斜面の深さを計測し、プランター32に盛る土の深さを合わせる。実斜面の深さとして、例えば、実斜面を構成している物質層ごとの界面の深さを計測してもよい。この条件下で第1の実施例と同様の方法で、プランター32に加水し、加振した際の波形データを取得する。このとき、加水した量を記録する。

[0213] 本実施例では、減衰率算出モジュール334が、加水量を降水量とみなして、土の特性に合わせて、該降水量に対する減衰率の変動モデルを構築する

。なお、他の点は第1の実施例と同様である。

[0214] 実斜面での監視時、実斜面監視モジュール337は、第1の実施例と同様、各振動センサ108から振動波形を示す波形データを各々取得し、減衰率 δ （平均値）を算出する。そして、算出した減衰率 δ を基に、各解析式変数の値を算出して、安全率 F_s を算出する。また、本実施例では、実斜面監視モジュール337は、この動作と並行して、通信手段を経由して予測雨量データを取得し、取得した予測雨量データを基に、上記の降水量に対する減衰率の変動モデルを用いて、将来の減衰率 δ を予測する。そして、予測した将来の減衰率 δ を基に、各解析式変数の値を算出して、将来の安全率 F_s を予測（算出）する。

[0215] 実施例6.

以下では、第3の実施例の構成に通信手段を追加した第6の実施例を説明する。通信手段は、例えば、インターネット回線や無線LANなどを介して監視斜面がある地域の予測雨量データを受信する。

[0216] 本実施例では、実斜面の深さを計測し、プランター42に盛る土の深さを合わせる。実斜面の深さとして、例えば、実斜面を構成している物質層ごとの界面の深さを計測してもよい。この条件下で第1の実施例と同様の方法で、プランター42に加水し、各状態における水分量データを取得する。このとき、加水した量を記録する。

[0217] また、本実施例では、水分量対応化モジュール433または重量・間隙水圧モデル化モジュール435が、記録した加水量より算出される累積加水量を累積降水量とみなして、取得した水分計104の測定値である水分量 m を、累積降水量による関数モデルとして学習することにより、水分量－累積降水量モデルを構築する。なお、他の点は第3の実施例と同様である。

[0218] 実斜面での監視時、実斜面監視モジュール437は、第3の実施例と同様、各水分計208から水分量を示す水分量データを各々取得し、水分量 m （水分計計測値の平均値）を算出する。そして、算出した水分量 m の平均値を基に、各解析式変数の値を算出して、安全率 F_s を算出する。また、本実施

例では、実斜面監視モジュール437は、この動作と並行して、通信手段を経由して予測雨量データを取得し、取得した予測雨量データと上記の水分量－累積降水量モデルとに基づいて、将来の水分量 m を予測する。そして、予測した将来の水分量 m を基に、各解析式変数の値を算出して、将来の安全率 F_s を予測（算出）する。

[0219] 実施例7.

以下では、第3の実施例の構成に通信手段を追加した第7の実施例を説明する。通信手段は、例えば、インターネット回線や無線LANなどを介して監視斜面がある地域の予測雨量データを受信する。

[0220] 本実施例でも、実斜面の深さを計測し、プランター42に盛る土の深さを合わせる。実斜面の深さとして、例えば、実斜面を構成している物質層ごとの界面の深さを計測してもよい。この条件下で第1の実施例と同様の方法で、プランター42に加水し、各状態における水分量データを取得する。このとき、加水した量を記録する。

[0221] また、本実施例では、水分量対応化モジュール433または重量・間隙水圧モデル化モジュール435が、記録された加水量を降水量とみなして、土の特性に合わせて、該降水量に対する水分量 m の変動モデルを構築する。なお、他の点は第3の実施例と同様である。

[0222] 実斜面での監視時、実斜面監視モジュール437は、第3の実施例と同様、各水分計208から水分量を示す水分量データを各々取得し、水分量 m （水分計計測値の平均値）を算出する。そして、算出した水分量 m を基に、各解析式変数の値を算出して、安全率 F_s を算出する。また、本実施例では、実斜面監視モジュール437は、この動作と並行して、通信手段を経由して予測雨量データを取得し、取得した予測雨量データを基に、上記の降水量に対する水分量の変動モデルを用いて、将来の水分量 m を予測する。そして、予測した将来の水分量 m を基に、各解析式変数の値を算出して、将来の安全率 F_s を予測（算出）する。

[0223] 次に、本発明の概要を説明する。図20は、本発明による斜面監視システ

ムの概要を示すブロック図である。

- [0224] 図20に示すように、本発明による斜面監視システムは、解析式変数計測手段51と、実斜面計測手段52と、斜面安全性解析装置53とを備えている。
- [0225] また、斜面安全性解析装置53は、解析式変数モデル化手段531と、モデル情報記憶手段532と、安全率算出手段533とを含んでいる。
- [0226] 解析式変数計測手段51（例えば、三軸圧縮装置31、プランター32、三軸圧縮装置41、プランター42等）は、監視対象斜面を構成している物質層と同一の種類、乾燥密度および締固め度を有する物質群からなる物質層である試験層を少なくとも有する試験環境から、試験層の状態を変化させたときの、所定の斜面安定解析式に必要な変数である解析式変数の各々の値と、試験層の状態に応じて変化する所定の第1可観測量の値とを計測する。
- [0227] 実斜面計測手段52（例えば、実斜面計測機器33、実斜面計測機器43等）は、監視対象斜面から、監視対象斜面を構成している物質層の状態に応じて変化する所定の第2可観測量の値を計測する。ここで、第2可観測量は、第1可観測量と同じまたは第1可観測量との関係が既知である所定の可観測量である。
- [0228] 解析式変数モデル化手段531（例えば、第1のモデル化手段110、第2のモデル化手段120、第1のモデル化手段210、第2のモデル化手段220、粘着力・内部摩擦角モデル化モジュール332、水分量対応化モジュール333、重量・間隙水圧モデル化モジュール335、粘着力・内部摩擦角モデル化モジュール432、水分量対応化モジュール433、重量・間隙水圧モデル化モジュール435等）は、解析式変数計測手段51により得られる、解析式変数の各々の値と、第1可観測量の値とに基づいて、解析式変数の各々について、第2可観測量または第2可観測量から算出可能な所定の第3変数との関係を規定するモデルを構築する。
- [0229] モデル情報記憶手段532（例えば、モデル情報記憶手段140、モデル

情報記憶手段240、データベース336、データベース436等)は、解析式変数モデル化手段531が構築したモデルの情報を記憶する。

[0230] 安全率算出手段533(例えば、安全率算出手段151、安全率算出手段251、実斜面監視モジュール337、実斜面監視モジュール437等)は、実斜面計測手段52により得られる第2可観測量の値と、モデル情報記憶手段に記憶されているモデルの情報とに基づいて、第2可観測量の値を計測したときの各解析式変数の値を算出し、算出された各解析式変数の値を基に、斜面安定解析式を用いて監視対象斜面の安全率を算出する。

[0231] このような特徴的要素を備えているので、監視対象斜面に対する計測困難性を回避しつつ、該斜面の安全性を精度よく監視することができる。例えば、本発明によれば、例えば、実斜面計測手段52として1種類のセンサを監視対象斜面に設けるだけで、該斜面の安全性を精度よく監視することができる。

[0232] また、第1可観測量および第2可観測量は、計測対象の物質層の含水比に影響する可観測量であってもよい。

[0233] また、解析式変数計測手段は、解析式変数計測手段は、第1可観測量の少なくとも1つとして、試験層において発生する振動波形を計測する振動センサを少なくとも含み、実斜面計測手段は、第2可観測量として、監視対象斜面を構成している物質層において発生する振動波形を計測する振動センサを含み、解析式変数モデル化手段は、解析式変数の各々について、第2可観測量から算出可能な第3変数である減衰率との関係を規定するモデルを構築してもよい。

[0234] また、該振動センサは、計測対象の物質層において落下物または降水により発生する振動の波形である振動波形を計測する振動センサであってもよい。

[0235] また、解析式変数計測手段は、第1可観測量の少なくとも1つとして、試験層に含まれる水分量を計測する水分計を含み、実斜面計測手段は、第2可観測量として、監視対象斜面を構成している物質層に含まれる水分量を計測

する水分計を含み、解析式変数モデル化手段は、解析式変数の各々について、第2可観測量である水分量との関係を規定するモデルを構築してもよい。

[0236] また、解析変数計測手段は、少なくとも2つの異なる試験のうちの第1試験において、解析式変数のうちの少なくとも1つの値とともに、第2可観測量とは異なる第1可観測量を測定する第1試験解析変数計測手段と、少なくとも2つの異なる試験のうちの第2試験において、解析式変数のうちの少なくとも1つの値とともに、第1試験の第1可観測量と同じ可観測量と、第2可観測量と同じ可観測量とを含む2種以上の第1可観測量の値を計測する第2試験解析変数計測手段とを含み、解析式変数モデル化手段は、第1試験解析変数計測手段により得られる、解析式変数の値と、第2可観測量とは異なる第1可観測量の値とに基づいて、該解析式変数について、該第1可観測量との関係を規定するモデルを構築する第1解析式変数モデル化手段と、第2試験解析変数計測手段により得られる、解析式変数の値と、第2可観測量と同じ第1可観測量の値とに基づいて、該解析式変数について、第2可観測量または第3変数との関係を規定するモデルを構築する第2解析式変数モデル化手段と、第2試験解析変数計測手段により得られる、第1試験の第1可観測量と同じ第1可観測量の値と、第2可観測量と同じ第1可観測量の値とに基づいて、第1試験と同じ第1可観測量について、第2可観測量または第3の変数との関係を規定するモデルを構築する第1可観測量モデル化手段と、第1可観測量モデル化手段によって構築されたモデルを用いて、第1解析式変数モデル化手段が構築されたモデルを、第2可観測量または第3変数をモデル化入力変数とするモデルに変換するモデル変換手段とを有していてもよい。

[0237] また、解析式変数モデル化手段は、解析式変数の少なくとも1つについて、試験層の状態を変化させたときの、該解析式変数の値のうち所定の条件を満たす一部の値と、第1可観測量の値とに基づいて、第2可観測量または第3変数との関係を規定するモデルを構築してもよい。

[0238] また、解析式変数計測手段は、加水により試験層の状態を変化させたとき

の、解析式変数の各々の値と、試験層の状態に応じて変化する所定の第1可観測量の値とを計測し、斜面安全性解析装置は、解析式変数計測手段により得られる第1可観測量の値と、該値を計測したときの加水量とに基づいて、解析式変数モデル化手段が各解析式変数のモデル化に用いるモデル化入力変数である第2可観測量または第3変数の、累積降水量との関係を規定したモデルまたは所定の単位時間あたりの予測雨量に対する変動モデルを構築するモデル化入力変数モデル化手段と、モデル化入力変数モデル化手段が構築したモデルと、実斜面計測手段により得られた第2可観測量の値と、予測雨量データとに基づいて、将来の安全率を予測する安全率予測手段とを含んでいてもよい。

[0239] また、上記の実施形態の一部または全部は、以下の付記のようにも記載されうるが、以下には限られない。

[0240] (付記1) 監視対象斜面を構成している物質層と同一の種類、乾燥密度および締固め度を有する物質群からなる物質層である試験層を少なくとも有する試験環境から計測される、試験層の状態を変化させたときの、所定の斜面安定解析式に必要な変数である解析式変数の各々の値と、試験層の状態に応じて変化する所定の第1可観測量の値とに基づいて、解析式変数の各々について、監視対象斜面を構成している物質層の状態に応じて変化する所定の第2可観測量であって第1可観測量と同じもしくは第1可観測量との関係が既知である所定の第2可観測量、または第2可観測量から算出可能な所定の第3変数との関係を規定するモデルを構築する解析式変数モデル化手段と、解析式変数モデル化手段が構築したモデルの情報を記憶するモデル情報記憶手段と、監視対象斜面から計測される第2可観測量の値と、モデル情報記憶手段に記憶されているモデルの情報とに基づいて、第2可観測量の値を計測したときの各解析式変数の値を算出し、算出された各解析式変数の値を基に、斜面安定解析式を用いて監視対象斜面の安全率を算出する安全率算出手段とを備えたことを特徴とする斜面安全性解析装置。

[0241] (付記2) コンピュータが、監視対象斜面を構成している物質層と同一の

種類、乾燥密度および締固め度を有する物質群からなる物質層である試験層を少なくとも有する試験環境から計測される、試験層の状態を変化させたときの、所定の斜面安定解析式に必要な変数である解析式変数の各々の値と、試験層の状態に応じて変化する所定の第1可観測量の値とに基づいて、解析式変数の各々について、監視対象斜面を構成している物質層の状態に応じて変化する所定の第2可観測量であって第1可観測量と同じもしくは第1可観測量との関係が既知である所定の第2可観測量、または第2可観測量から算出可能な所定の第3変数との関係を規定するモデルを構築し、コンピュータが、監視対象斜面から計測される第2可観測量の値を基に、構築されたモデルを用いて第2可観測量の値を計測したときの各解析式変数の値を算出し、算出された各解析式変数の値を基に、斜面安定解析式を用いて監視対象斜面の安全率を算出することを特徴とする斜面監視方法。

[0242] (付記3) 第1可観測量および第2可観測量が、計測対象の物質層の含水比に影響する可観測量である付記2に記載の斜面監視方法。

[0243] (付記4) 試験環境には、第1可観測量の少なくとも1つとして、試験層において発生する振動波形を計測する振動センサが設置されており、監視対象斜面には、第2可観測量として、監視対象斜面を構成している物質層において発生する振動波形を計測する振動センサが設置されており、コンピュータが、試験環境から計測される、試験層の状態を変化させたときの、解析式変数の各々の値と、試験層において発生する振動波形の波形データとに基づいて、解析式変数の各々について、監視対象斜面を構成している物質層において発生する振動波形の減衰率との関係を規定するモデルを構築する付記2に記載の斜面監視方法。

[0244] (付記5) 試験環境には、第1可観測量の少なくとも1つとして、試験層に含まれる水分量を計測する水分計が設置されており、監視対象斜面には、第2可観測量として、監視対象斜面を構成している物質層に含まれる水分量を計測する水分計が設置されており、コンピュータが、試験環境から計測される、試験層の状態を変化させたときの、解析式変数の各々の値と、試験層

に含まれる水分量の値とに基づいて、解析式変数の各々について、監視対象斜面を構成する物質層に含まれる水分量との関係を規定するモデルを構築する付記2に記載の斜面監視方法。

[0245] (付記6) コンピュータが、少なくとも2つの異なる試験のうちの第1試験において、解析式変数のうちの少なくとも1つの値とともに、第2可観測量とは異なる第1可観測量を測定した結果と、少なくとも2つの異なる試験のうちの第2試験において、解析式変数のうちの少なくとも1つの値とともに、第1試験の第1可観測量と同じ可観測量と、第2可観測量と同じ可観測量とを含む2種以上の第1可観測量の値を計測した結果とを入力し、コンピュータが、第1試験の結果得られる、解析式変数の値と、第2可観測量とは異なる第1可観測量の値とに基づいて、該解析式変数について、該第1可観測量との関係を規定するモデルを構築し、コンピュータが、第2試験の結果得られる、解析式変数の値と、第2可観測量と同じ第1可観測量の値とに基づいて、該解析式変数について、第2可観測量または第3変数との関係を規定するモデルを構築し、コンピュータが、第2試験の結果得られる、第1試験の第1可観測量と同じ第1可観測量の値と、第2可観測量と同じ第1可観測量の値とに基づいて、第1試験と同じ第1可観測量について、第2可観測量または第3の変数との関係を規定するモデルである第1可観測量モデルを構築し、コンピュータが、構築された第1可観測量モデルを用いて、第1解析式変数モデル化手段が構築されたモデルを、第2可観測量または第3変数をモデル化入力変数とするモデルに変換する付記2から付記5のうちのいずれかに記載の斜面監視方法。

[0246] (付記7) コンピュータが、解析式変数の少なくとも1つについて、試験層の状態を変化させたときの、該解析式変数の値のうち所定の条件を満たす一部の値と、第1可観測量の値とに基づいて、第2可観測量または第3変数との関係を規定するモデルを構築する付記2から付記6のうちのいずれかに記載の斜面監視方法。

[0247] (付記8) コンピュータが、試験環境から計測される、加水により試験層

の状態を変化させたときの、第1可観測量の値と、該値を計測したときの加水量とに基づいて、各解析式変数のモデル化に用いるモデル化入力変数である第2可観測量または第3変数の、累積降水量との関係を規定したモデルまたは所定の単位時間あたりの予測雨量に対する変動モデルを構築し、コンピュータが、構築されたモデル化入力変数である第2可観測量または第3変数のモデルと、監視対象斜面から計測される第2可観測量の値と、予測雨量データとに基づいて、将来の安全率を予測する付記2から付記7のうちのいずれかに記載の斜面監視方法。

[0248] 以上、実施形態及び実施例を参照して本願発明を説明したが、本願発明は上記実施形態および実施例に限定されるものではない。本発明の構成や詳細には、本願発明の範囲内で当業者が理解し得る様々な変更をすることができる。

産業上の利用可能性

[0249] 本発明は、フェレニウス法に限らず、所定の斜面安全解析式を用いて斜面を監視するシステムであれば、好適に適用可能である。

符号の説明

[0250] 100、200、300、400 斜面監視システム
101、102 応力センサ
103、104、208 水分計
104A、104B、104C 土壌水分計
105、105A、105B、108 振動センサ
106、106A、106B 間隙水圧計
107 重量計
110 第1のモデル化手段
111 粘着力・内部摩擦角算出手段
112 粘着力・内部摩擦角モデル化手段
120、220 第2のモデル化手段
121 減衰率算出手段

- 1 2 2 水分量モデル化手段
- 1 2 3、2 2 3 間隙水圧モデル化手段
- 1 2 4、2 2 4 重量モデル化手段
- 1 3 0 モデル変換手段
- 1 4 0、2 4 0 モデル情報記憶手段
- 1 5 0、2 5 0 実斜面監視手段
- 1 5 1、2 5 1 安全率算出手段
- 1 5 2 判定手段
- 1 5 3 警報手段
- 3 1、4 1 三軸圧縮試験装置
- 3 2、4 2 プランター
- 3 3、4 3 コンピュータ
- 3 4、4 4 実斜面計測機器
- 3 5、4 5 ディスプレイ装置
- 3 3 1、4 3 1 粘着力・内部摩擦角算出モジュール
- 3 3 2、4 3 2 粘着力・内部摩擦角モデル化モジュール
- 3 3 3、4 3 3 水分量対応化モジュール
- 3 3 4 減衰率算出モジュール
- 3 3 5、4 3 5 重量・間隙水圧モデル化モジュール
- 3 3 6、4 3 6 データベース
- 3 3 7、4 3 7 実斜面監視モジュール
- 5 1 解析式変数計測手段
- 5 2 実斜面計測手段
- 5 3 斜面安全性解析装置
- 5 3 1 解析式変数モデル化手段
- 5 3 2 モデル情報記憶手段
- 5 3 3 安全率算出手段

請求の範囲

[請求項1]

監視対象斜面を構成している物質層と同一の種類、乾燥密度および締固め度を有する物質群からなる物質層である試験層を少なくとも有する試験環境から、前記試験層の状態を変化させたときの、所定の斜面安定解析式に必要なとなる変数である解析式変数の各々の値と、前記試験層の状態に応じて変化する所定の第1可観測量の値とを計測する解析式変数計測手段と、

前記監視対象斜面から、前記監視対象斜面を構成している物質層の状態に応じて変化する所定の第2可観測量の値を計測する実斜面計測手段と、

斜面安全性解析装置とを備え、

前記第2可観測量は、前記第1可観測量と同じまたは前記第1可観測量との関係が既知である所定の可観測量であり、

前記斜面安全性解析装置は、

前記解析式変数計測手段により得られる、前記解析式変数の各々の値と、前記第1可観測量の値とに基づいて、前記解析式変数の各々について、前記第2可観測量または前記第2可観測量から算出可能な所定の第3変数との関係を規定するモデルを構築する解析式変数モデル化手段と、

前記解析式変数モデル化手段が構築したモデルの情報を記憶するモデル情報記憶手段と、

前記実斜面計測手段により得られる前記第2可観測量の値と、前記モデル情報記憶手段に記憶されているモデルの情報とに基づいて、前記第2可観測量の値を計測したときの各解析式変数の値を算出し、算出された各解析式変数の値を基に、前記斜面安定解析式を用いて前記監視対象斜面の安全率を算出する安全率算出手段とを含む

ことを特徴とする斜面監視システム。

[請求項2]

第1可観測量および第2可観測量は、計測対象の物質層の含水比に

影響する可観測量である

請求項 1 に記載の斜面監視システム。

[請求項3] 解析式変数計測手段は、第 1 可観測量の少なくとも 1 つとして、試験層において発生する振動波形を計測する振動センサを少なくとも含み、

実斜面計測手段は、第 2 可観測量として、監視対象斜面を構成している物質層において発生する振動波形を計測する振動センサを含み、

解析式変数モデル化手段は、解析式変数の各々について、前記第 2 可観測量から算出可能な第 3 変数である減衰率との関係を規定するモデルを構築する

請求項 1 または請求項 2 に記載の斜面監視システム。

[請求項4] 解析式変数計測手段は、第 1 可観測量の少なくとも 1 つとして、試験層に含まれる水分量を計測する水分計を含み、

実斜面計測手段は、第 2 可観測量として、監視対象斜面を構成している物質層に含まれる水分量を計測する水分計を含み、

解析式変数モデル化手段は、解析式変数の各々について、前記第 2 可観測量である前記水分量との関係を規定するモデルを構築する

請求項 1 または請求項 2 に記載の斜面監視システム。

[請求項5] 解析変数計測手段は、

少なくとも 2 つの異なる試験のうちの第 1 試験において、解析式変数のうちの少なくとも 1 つの値とともに、第 2 可観測量とは異なる第 1 可観測量を測定する第 1 試験解析変数計測手段と、

少なくとも 2 つの異なる試験のうちの第 2 試験において、解析式変数のうちの少なくとも 1 つの値とともに、前記第 1 試験の第 1 可観測量と同じ可観測量と、前記第 2 可観測量と同じ可観測量とを含む 2 種以上の第 1 可観測量の値を計測する第 2 試験解析変数計測手段とを含み、

解析式変数モデル化手段は、

第1試験解析変数計測手段により得られる、前記解析式変数の値と、前記第2可観測量とは異なる第1可観測量の値とに基づいて、該解析式変数について、該第1可観測量との関係を規定するモデルを構築する第1解析式変数モデル化手段と、

前記第2試験解析変数計測手段により得られる、前記解析式変数の値と、前記第2可観測量と同じ第1可観測量の値とに基づいて、該解析式変数について、前記第2可観測量または第3変数との関係を規定するモデルを構築する第2解析式変数モデル化手段と、

前記第2試験解析変数計測手段により得られる、前記第1試験の第1可観測量と同じ第1可観測量の値と、前記第2可観測量と同じ第1可観測量の値とに基づいて、前記第1試験と同じ第1可観測量について、前記第2可観測量または前記第3の変数との関係を規定するモデルを構築する第1可観測量モデル化手段と、

前記第1可観測量モデル化手段によって構築されたモデルを用いて、前記第1解析式変数モデル化手段が構築されたモデルを、前記第2可観測量または前記第3変数をモデル化入力変数とするモデルに変換するモデル変換手段とを有する

請求項1から請求項4のうちのいずれか1項に記載の斜面監視システム。

[請求項6] 解析式変数モデル化手段は、解析式変数の少なくとも1つについて、試験層の状態を変化させたときの、該解析式変数の値のうち所定の条件を満たす一部の値と、第1可観測量の値とに基づいて、前記第2可観測量または第3変数との関係を規定するモデルを構築する

請求項1から請求項5のうちのいずれか1項に記載の斜面監視システム。

[請求項7] 解析式変数計測手段は、加水により試験層の状態を変化させたときの、解析式変数の各々の値と、前記試験層の状態に応じて変化する所定の第1可観測量の値とを計測し、

斜面安全性解析装置は、

解析式変数計測手段により得られる第1可観測量の値と、該値を計測したときの加水量とに基づいて、解析式変数モデル化手段が各解析式変数のモデル化に用いるモデル化入力変数である第2可観測量または第3変数の、累積降水量との関係を規定したモデルまたは所定の単位時間あたりの予測雨量に対する変動モデルを構築するモデル化入力変数モデル化手段と、

前記モデル化入力変数モデル化手段が構築したモデルと、実斜面計測手段により得られた前記第2可観測量の値と、予測雨量データとに基づいて、将来の安全率を予測する安全率予測手段とを含む

請求項1から請求項6のうちのいずれか1項に記載の斜面監視システム。

[請求項8]

監視対象斜面を構成している物質層と同一の種類、乾燥密度および締固め度を有する物質群からなる物質層である試験層を少なくとも有する試験環境から計測される、前記試験層の状態を変化させたときの、所定の斜面安定解析式に必要な変数である解析式変数の各々の値と、前記試験層の状態に応じて変化する所定の第1可観測量の値とに基づいて、前記解析式変数の各々について、前記監視対象斜面を構成している物質層の状態に応じて変化する所定の第2可観測量であって前記第1可観測量と同じもしくは前記第1可観測量との関係が既知である所定の第2可観測量、または前記第2可観測量から算出可能な所定の第3変数との関係を規定するモデルを構築する解析式変数モデル化手段と、

前記解析式変数モデル化手段が構築したモデルの情報を記憶するモデル情報記憶手段と、

前記監視対象斜面から計測される前記第2可観測量の値と、前記モデル情報記憶手段に記憶されているモデルの情報とに基づいて、前記第2可観測量の値を計測したときの前記各解析式変数の値を算出し、

算出された各解析式変数の値を基に、前記斜面安定解析式を用いて前記監視対象斜面の安全率を算出する安全率算出手段とを備えた

ことを特徴とする斜面安全性解析装置。

[請求項9]

コンピュータが、監視対象斜面を構成している物質層と同一の種類、乾燥密度および締固め度を有する物質群からなる物質層である試験層を少なくとも有する試験環境から計測される、前記試験層の状態を変化させたときの、所定の斜面安定解析式に必要な変数である解析式変数の各々の値と、前記試験層の状態に応じて変化する所定の第1可観測量の値とに基づいて、前記解析式変数の各々について、前記監視対象斜面を構成している物質層の状態に応じて変化する所定の第2可観測量であって前記第1可観測量と同じもしくは前記第1可観測量との関係が既知である所定の第2可観測量、または前記第2可観測量から算出可能な所定の第3変数との関係を規定するモデルを構築し、

コンピュータが、前記監視対象斜面から計測される前記第2可観測量の値を基に、構築された前記モデルを用いて前記第2可観測量の値を計測したときの各解析式変数の値を算出し、算出された各解析式変数の値を基に、前記斜面安定解析式を用いて前記監視対象斜面の安全率を算出する

ことを特徴とする斜面監視方法。

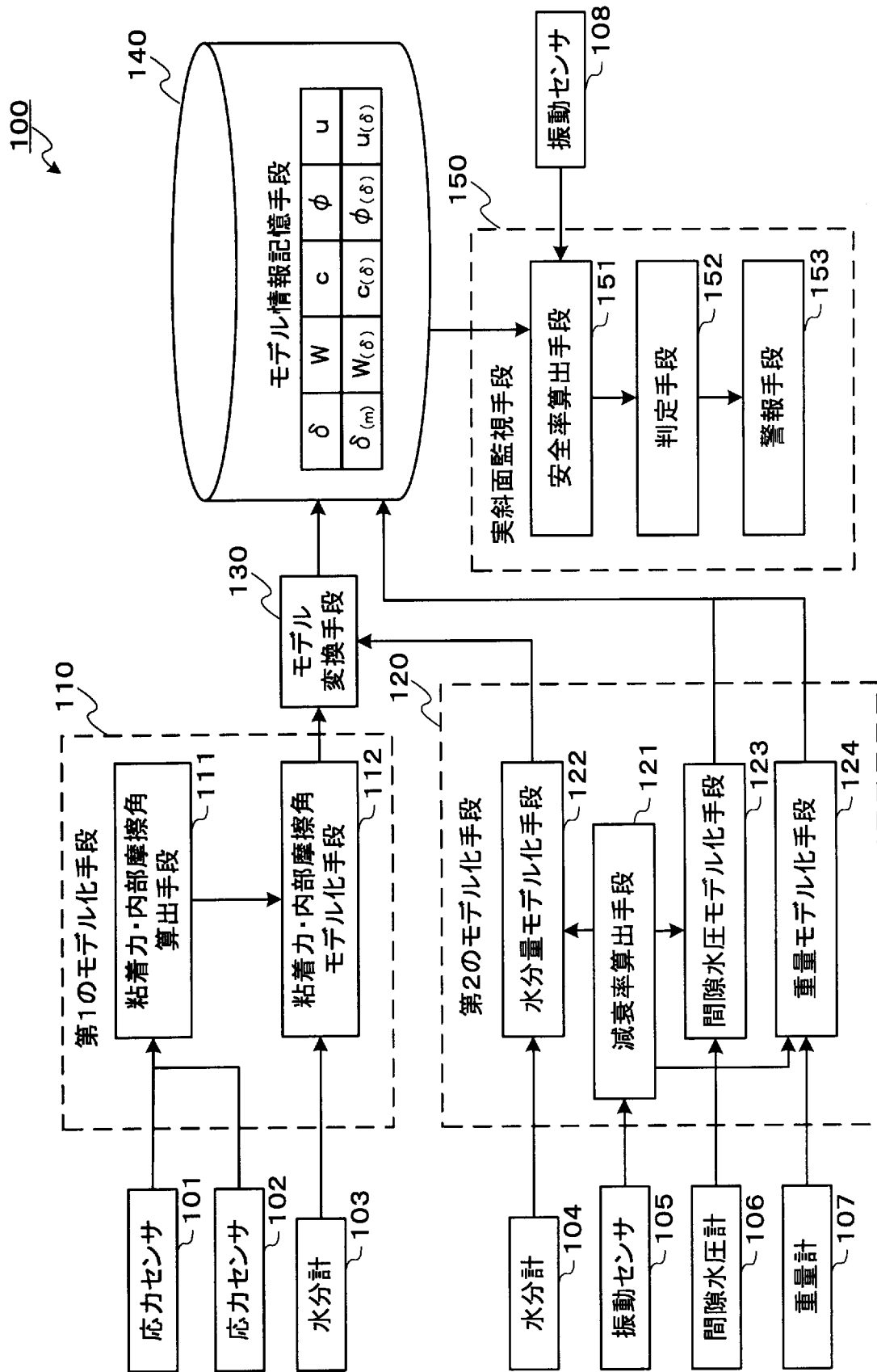
[請求項10]

コンピュータに、

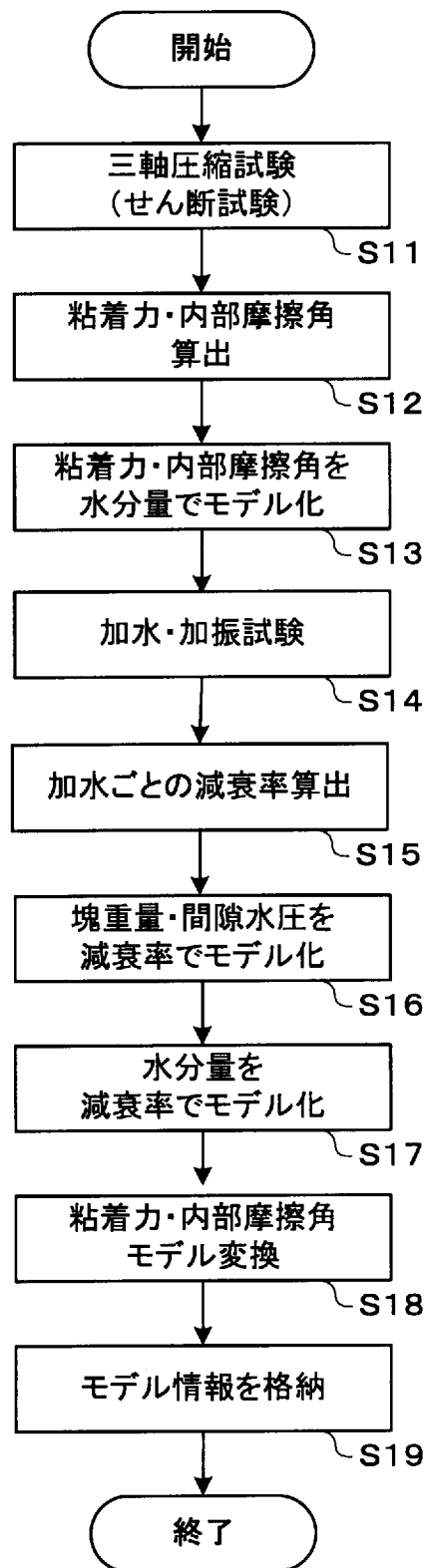
監視対象斜面を構成している物質層と同一の種類、乾燥密度および締固め度を有する物質群からなる物質層である試験層を少なくとも有する試験環境から計測される、前記試験層の状態を変化させたときの、所定の斜面安定解析式に必要な変数である解析式変数の各々の値と、前記試験層の状態に応じて変化する所定の第1可観測量の値とに基づいて、前記解析式変数の各々について、前記監視対象斜面を構成している物質層の状態に応じて変化する所定の第2可観測量であ

って前記第1可観測量と同じもしくは前記第1可観測量との関係が既知である所定の第2可観測量、または前記第2可観測量から算出可能な所定の第3変数との関係を規定するモデルを構築する処理、および前記監視対象斜面から計測される前記第2可観測量の値を基に、構築された前記モデルを用いて前記第2可観測量の値を計測したときの各解析式変数の値を算出し、算出された各解析式変数の値を基に、前記斜面安定解析式を用いて前記監視対象斜面の安全率を算出する処理を実行させるための斜面監視プログラム。

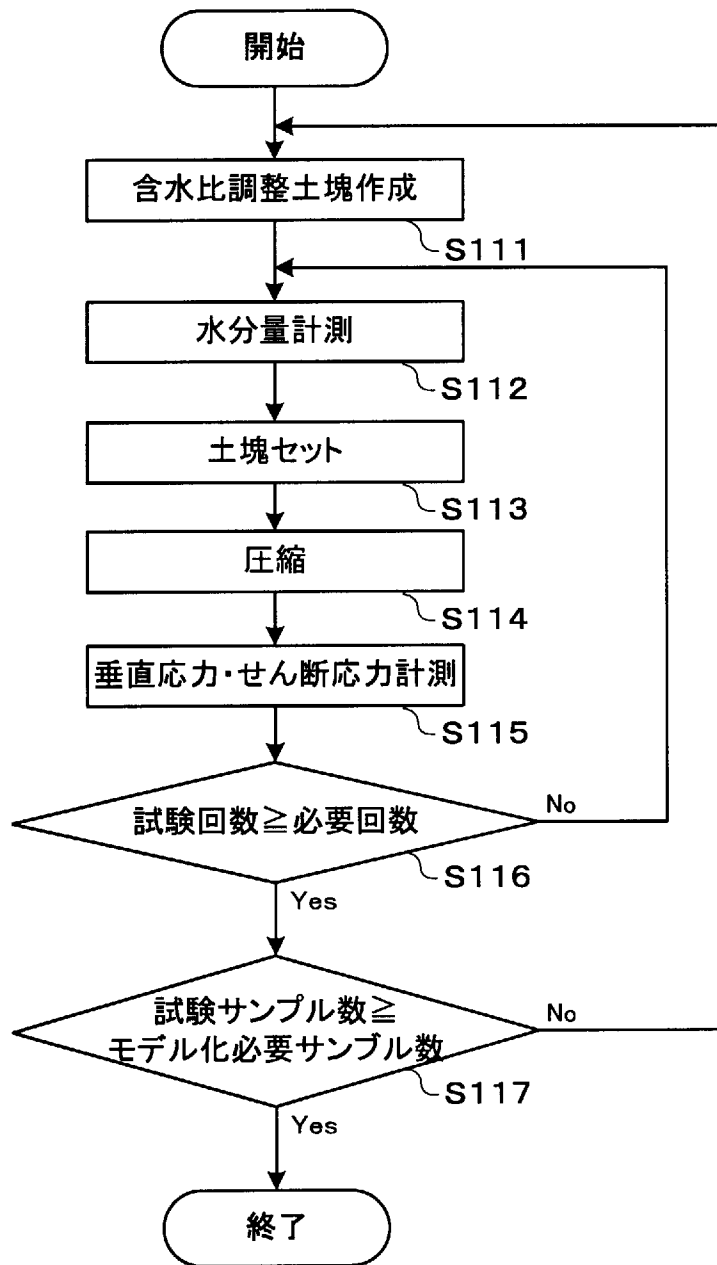
[図1]



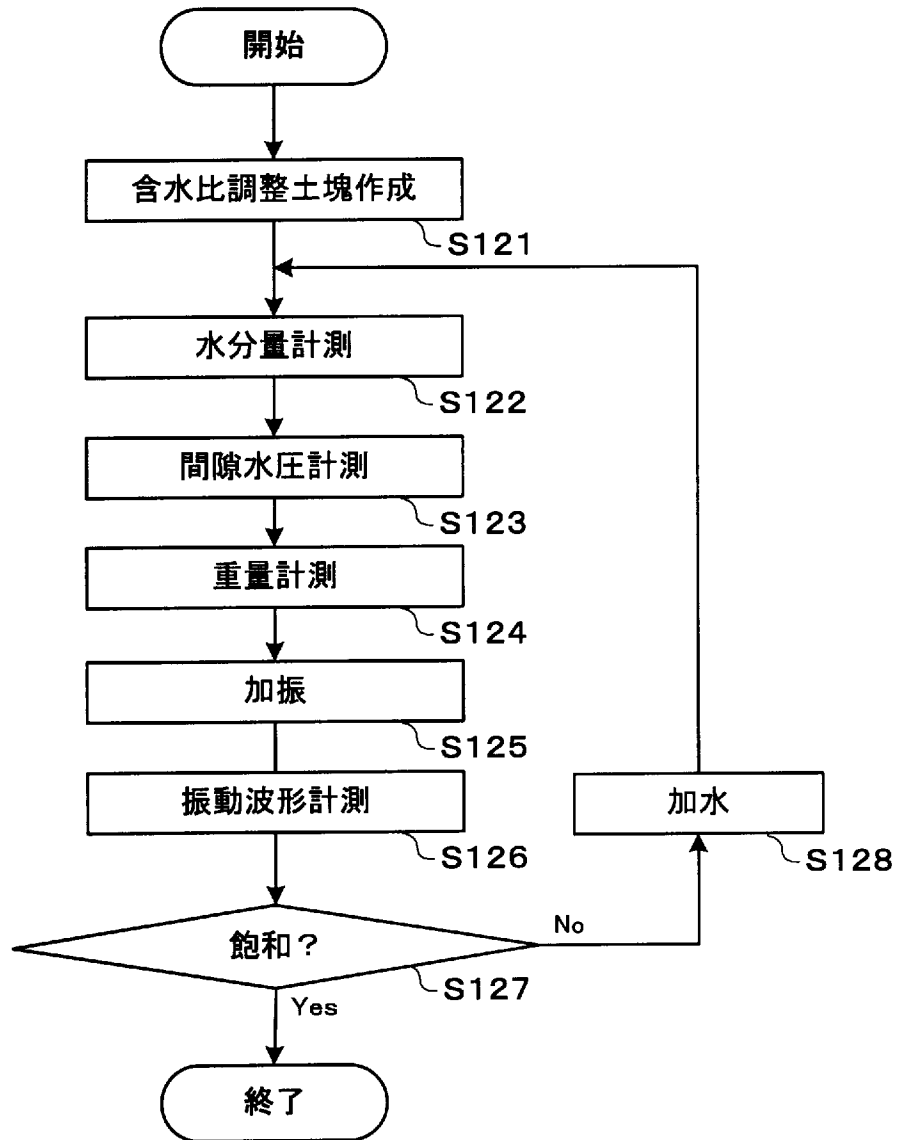
[図2]



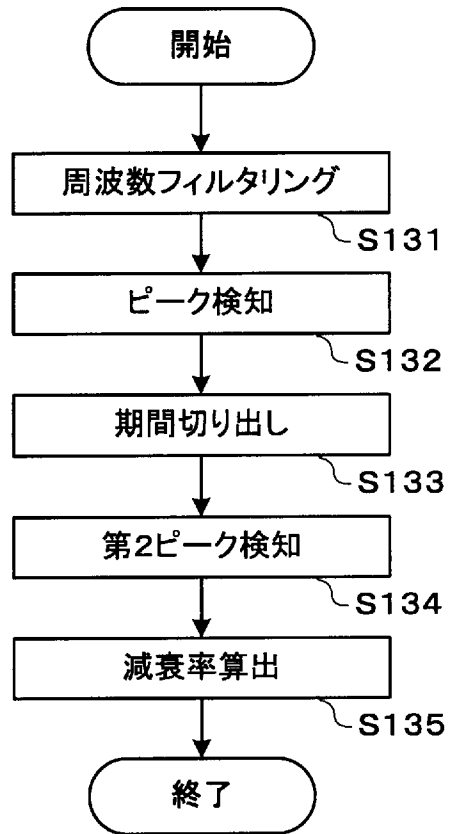
[図3]



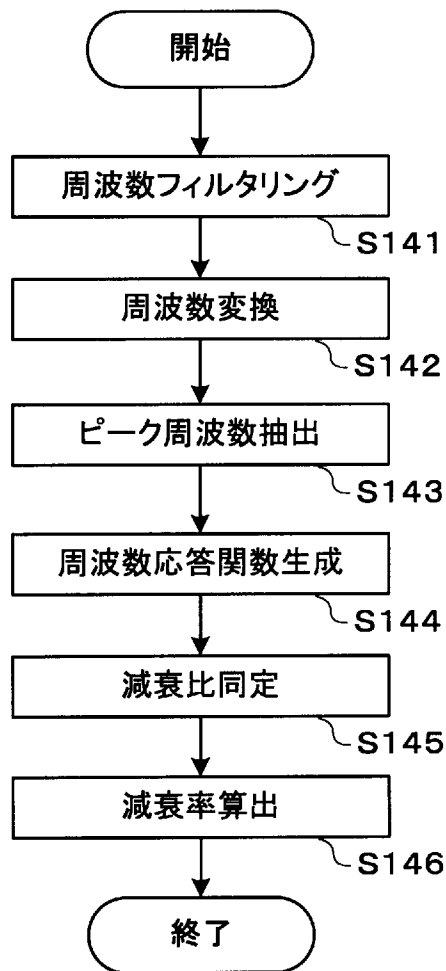
[図4]



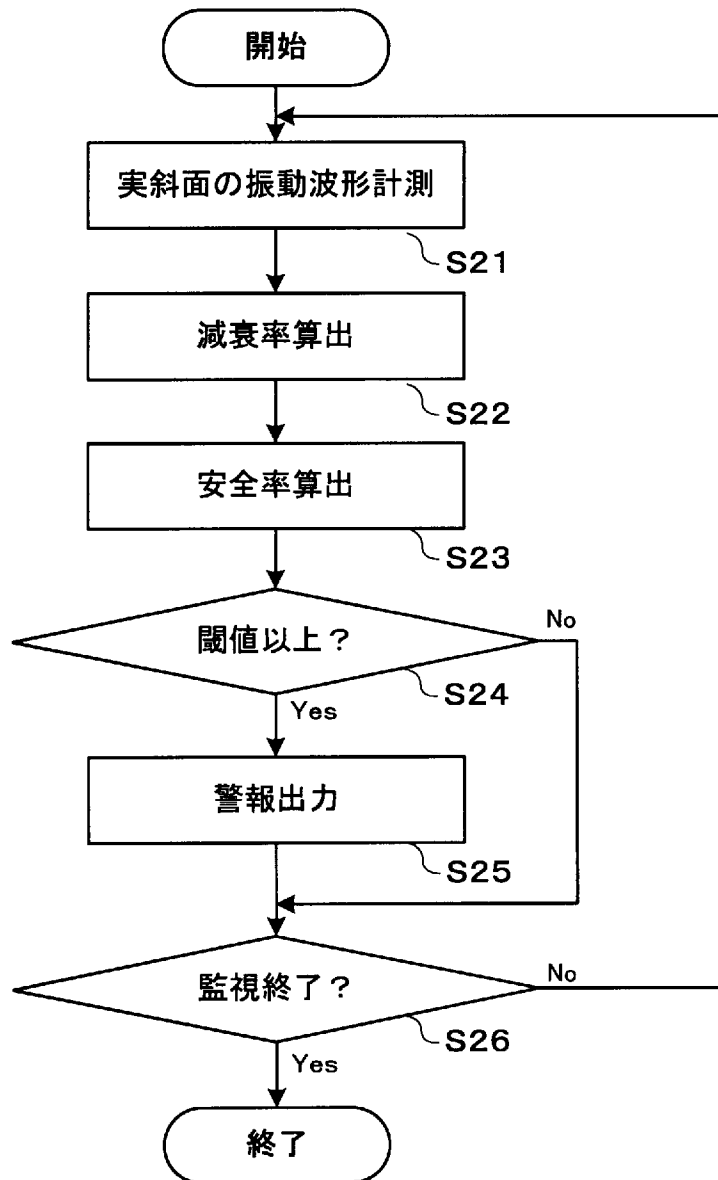
[図5]



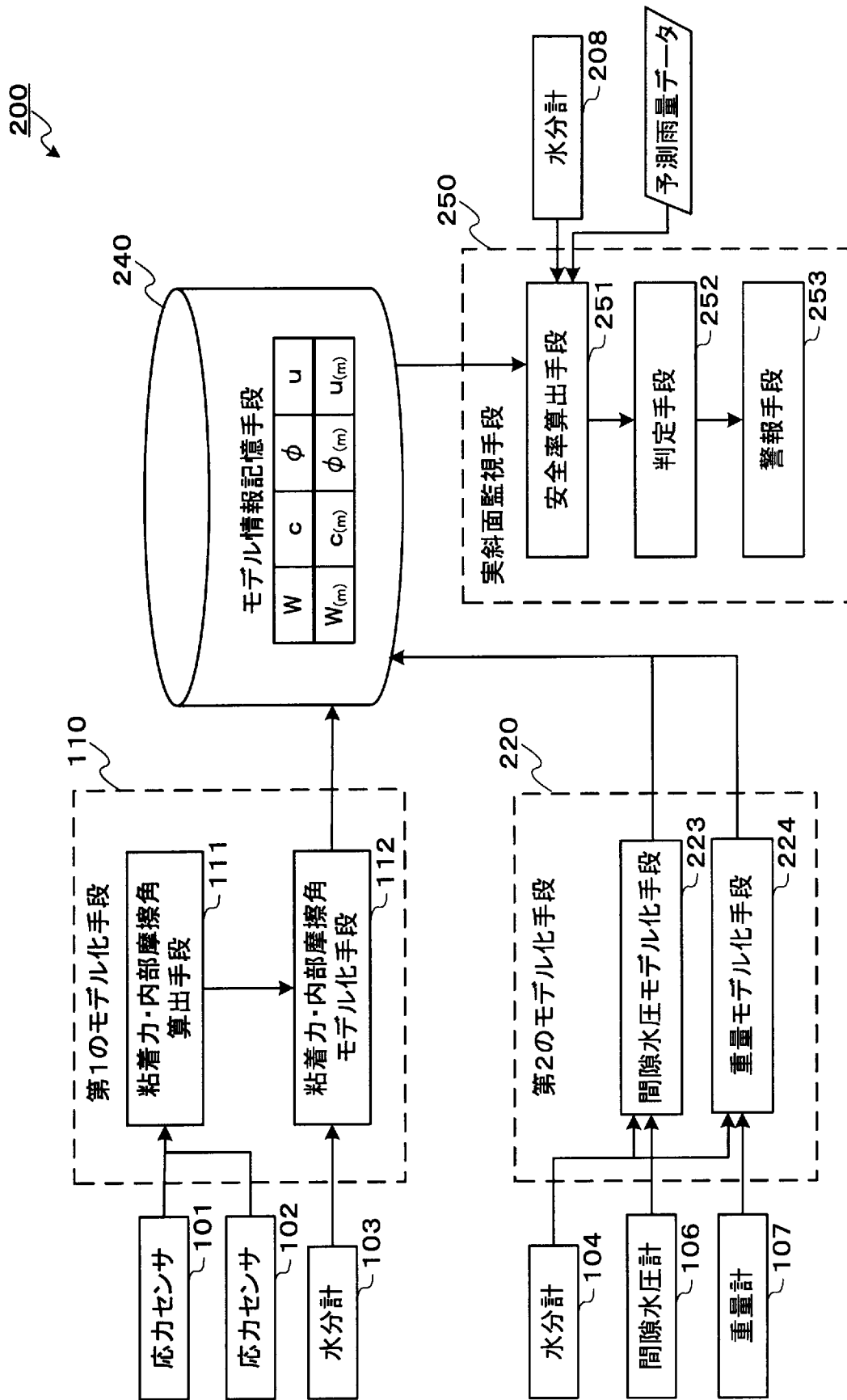
[図6]



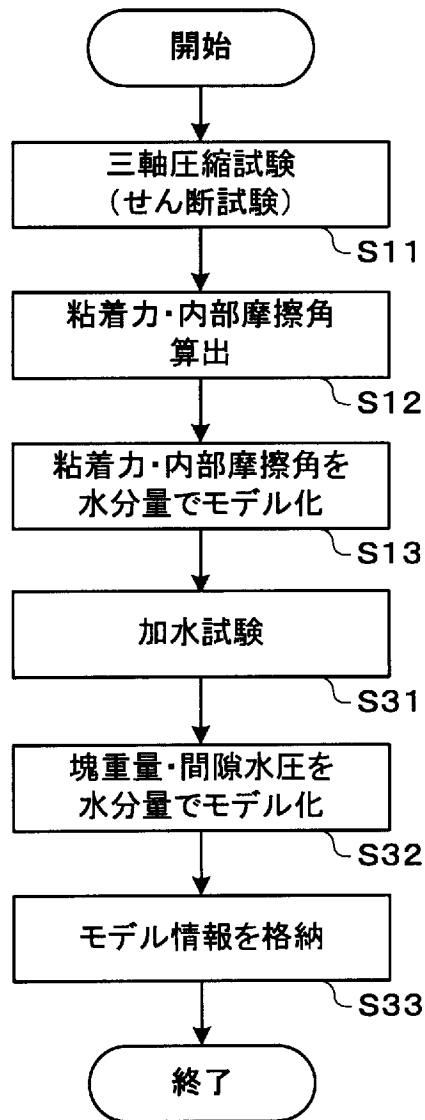
[図7]



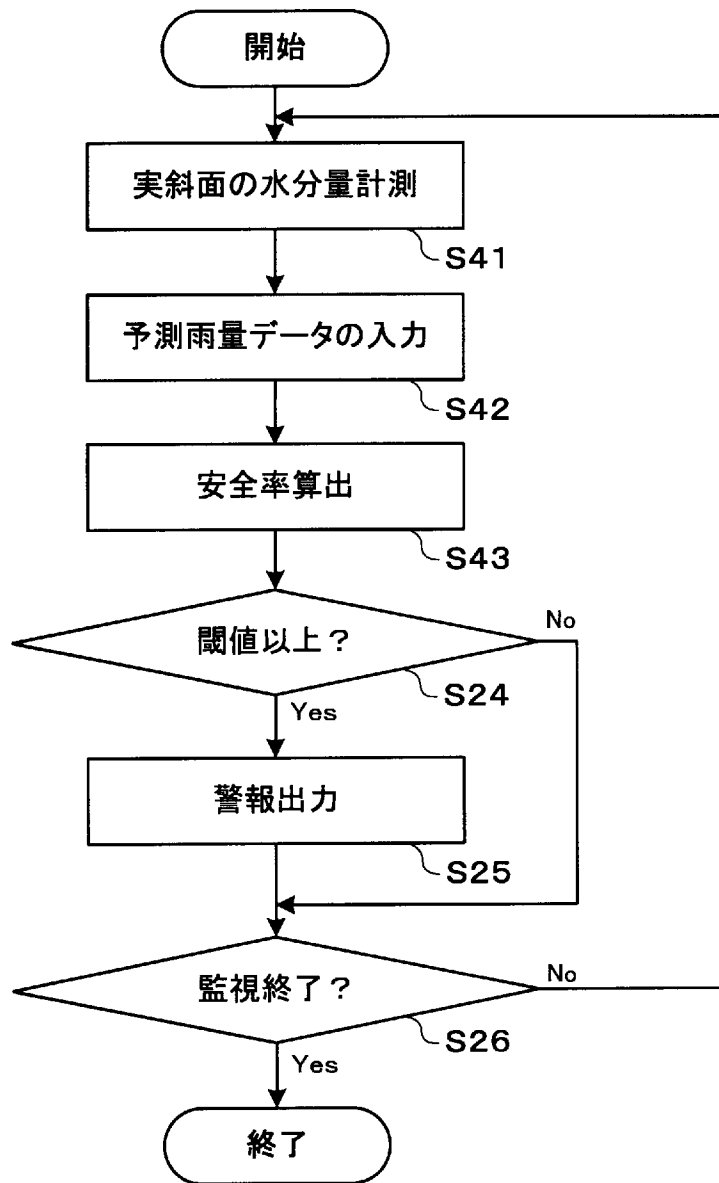
[図8]



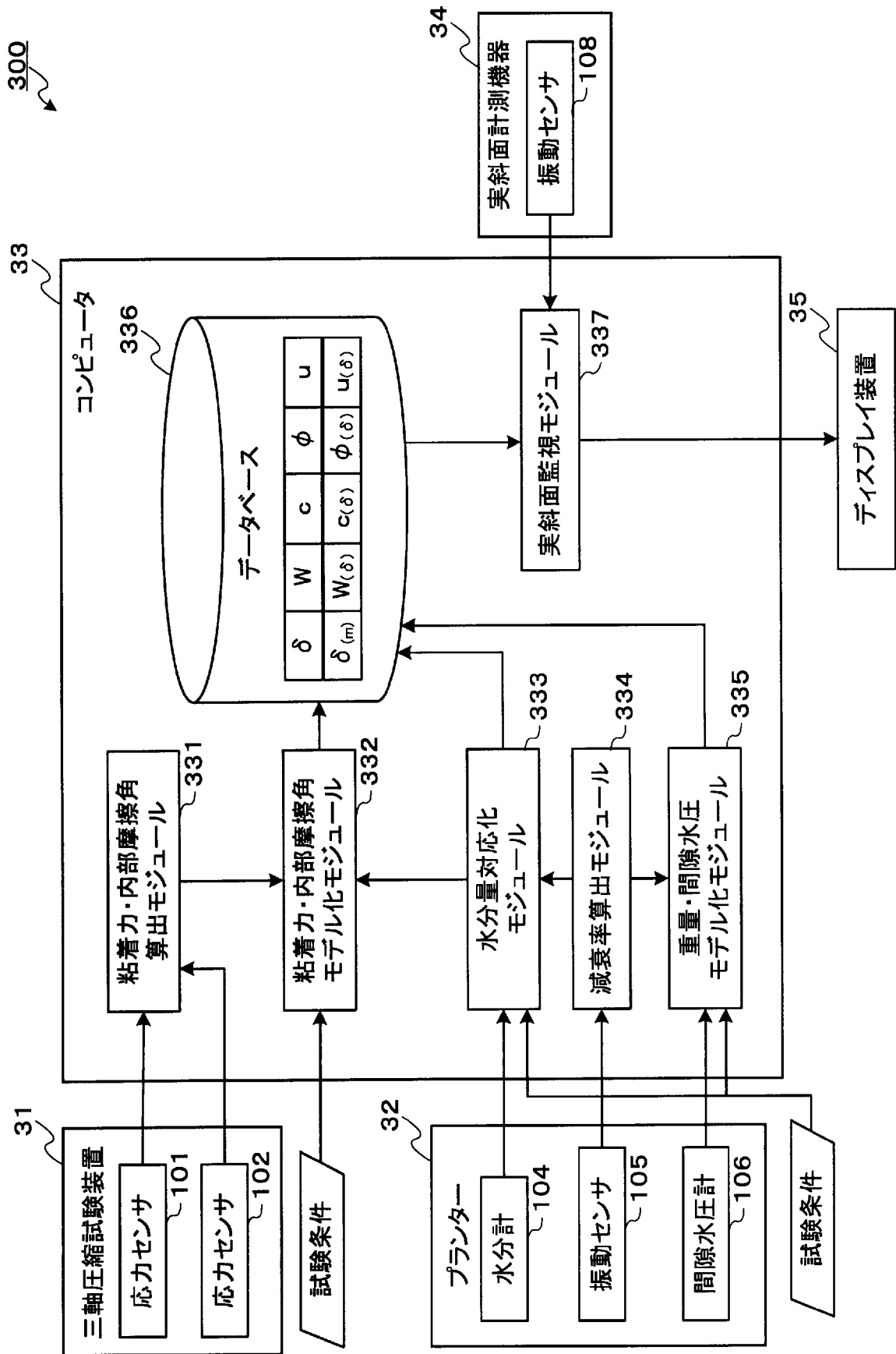
[図9]



[図10]



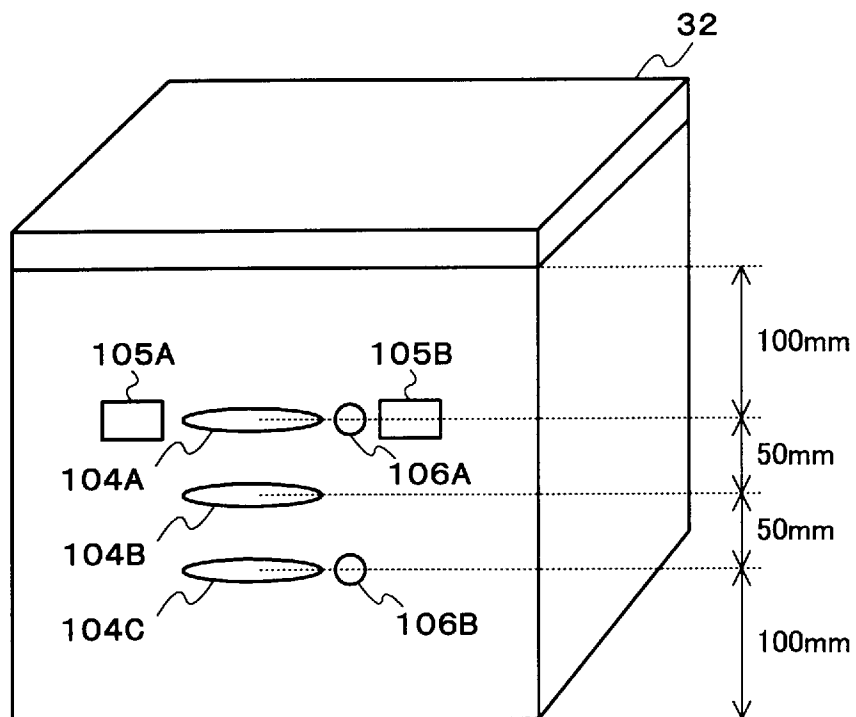
[図11]



[図12]

試験体No	含水比 [%]	粘着力c [kN/m ²]	内部摩擦角φ [°]	有効摩擦係数 (tan φ)
1	14	2.52	28.4	0.540698
2	15	1.72	26.7	0.502948
3	16	1.77	26.2	0.492061
4	17	1.65	25.3	0.472698
5	18	1.91	20.3	0.369911
6	19	2.32	22.6	0.416260
7	20	7.84	16.3	0.292420
8	21	6.84	13.5	0.240079
9	22	4.81	13.8	0.245624
10	23	7.87	8.8	0.154808
11	24	6.76	6.3	0.110401

[図13]

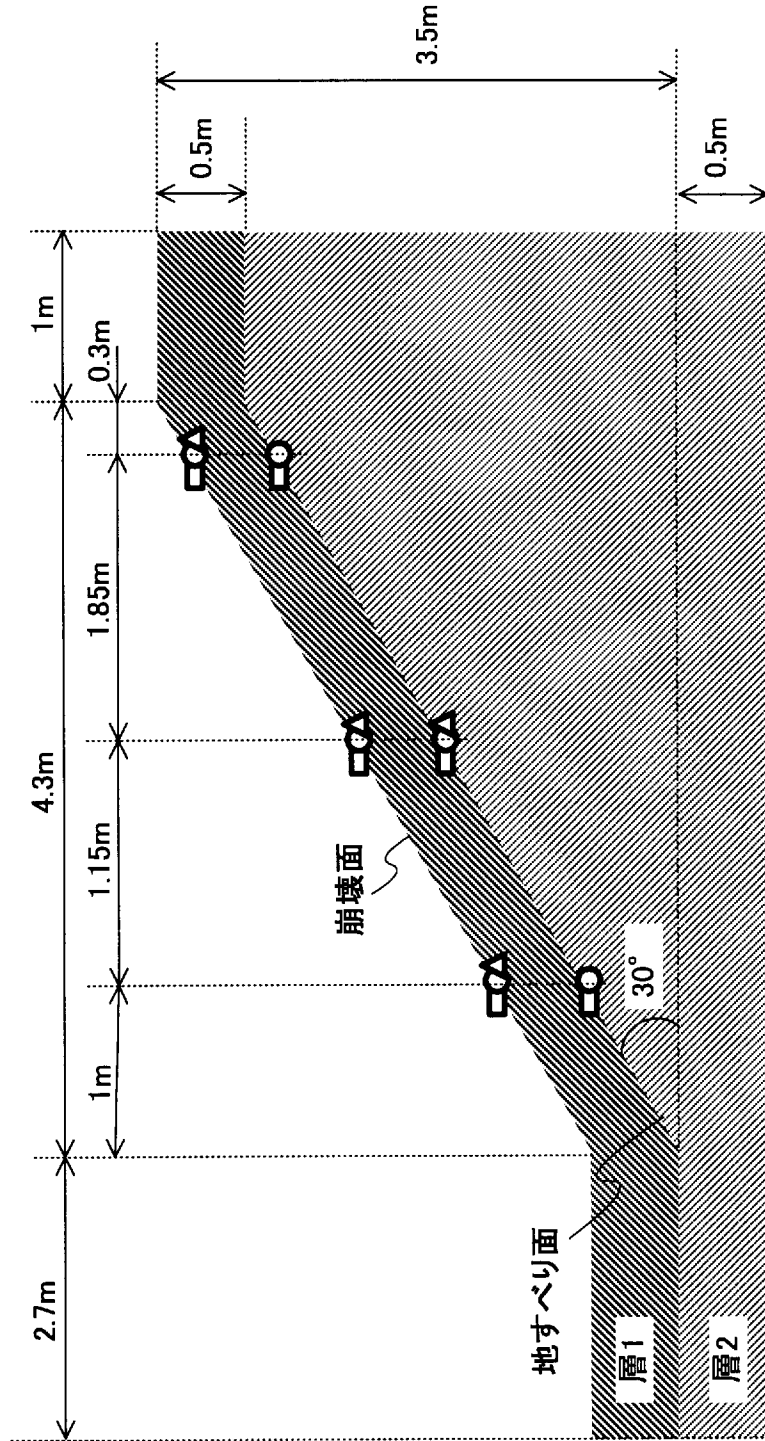


[図14]

サイクル No	加水量 [L]	含水比 [-]	土塊重量 [kg]	土塊密度 [kg/m ³]	水分量[-]				減衰率[-]		間隙水圧[cm]		
					水分計 A	水分計 B	水分計 C	平均	CH1	CH2	CH1	CH2	平均
1	13.042	0.159	95.2	1586.6	0.184	0.191	0.198	0.191	3.355	3.361	-1.656	2.823	0.583
2	16.042	0.195	98.2	1636.667	0.232	0.263	0.234	0.243	3.353	3.358	-1.77	7.896	3.063
3	19.042	0.232	101.2	1686.667	0.236	0.281	0.292	0.27	3.354	3.358	-1.502	11.124	4.811
4	22.042	0.268	104.2	1736.667	0.27	0.367	0.391	0.343	3.352	3.357	-3.5	18.903	7.701
5	23.842	0.29	106	1766.667	0.344	0.398	0.395	0.379	3.351	3.356	2.785	28.374	15.58
6	26.842	0.327	109	1816.667	0.344	0.401	0.395	0.38	3.351	3.355	2.367	40.739	21.553

[図15]

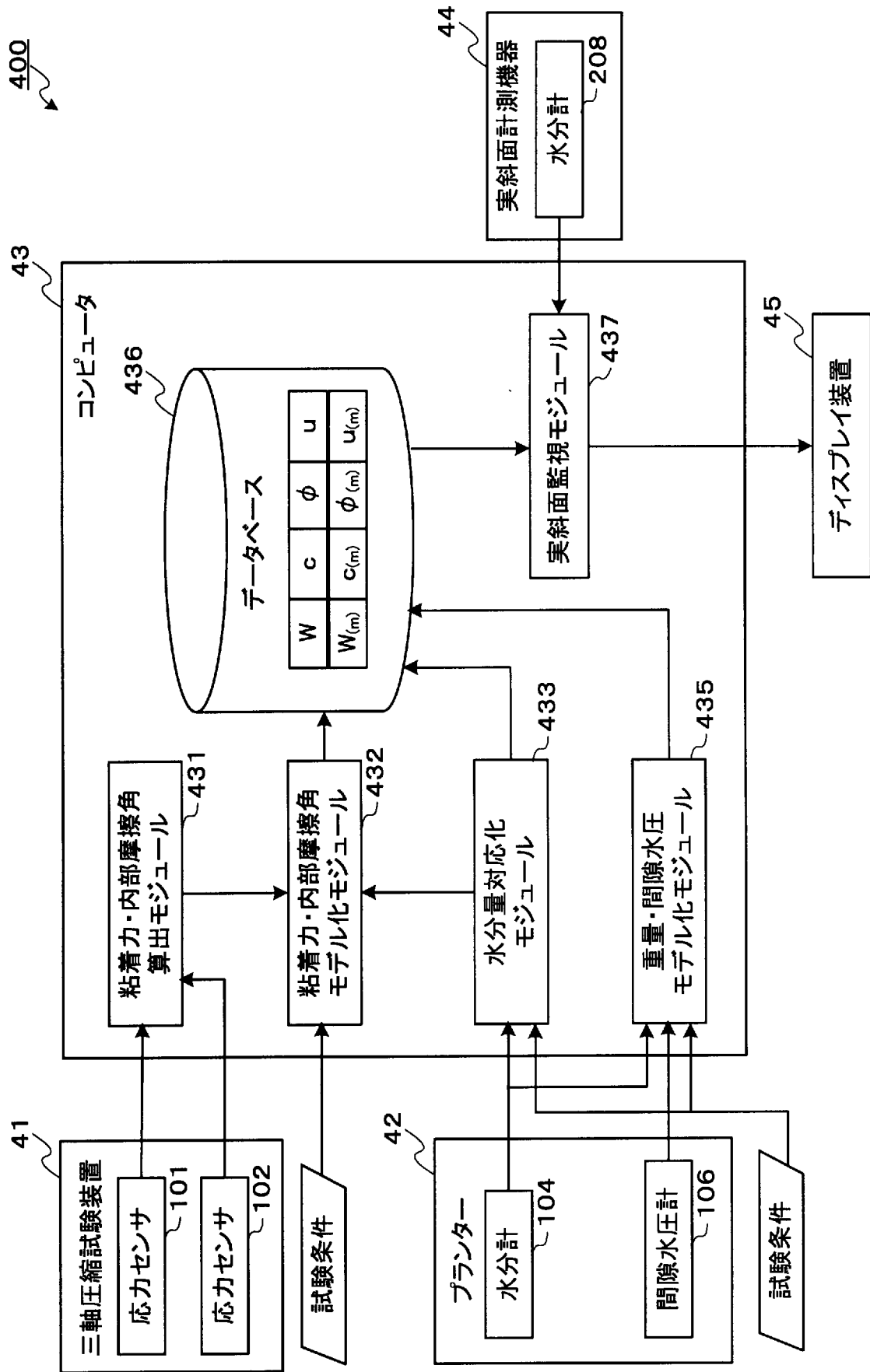
- : 振動センサ
- : 土壌水分計
- △ : 間隙水圧計



[図16]

サイクルNo	経過時間 [時:分]	減衰率 [-]	時刻 [時:分]	安全率 [-]
1	0:00	3.360	11:56	4.654869
2	0:23	3.359	12:19	4.061446
3	0:42	3.359	12:38	4.061446
4	1:02	3.358	12:58	3.582952
5	1:26	3.355	13:22	2.558008
6	1:52	3.356	13:48	2.849414
7	2:26	3.355	14:22	2.558008
8	2:56	3.354	14:52	2.301445
9	3:49	3.353	15:45	2.071979
10	4:16	3.353	16:12	2.071979
11	4:35	3.352	16:31	1.863679
12	4:53	3.352	16:49	1.863679
13	5:10	3.351	17:06	1.671824
14	5:26	3.351	17:22	1.671824
15	5:43	3.350	17:39	1.492492
16	5:58	3.349	17:54	1.322257
17	6:14	3.349	18:10	1.322257
18	6:34	3.348	18:30	1.157947
19	6:49	3.348	18:45	1.157947
20	7:06	3.347	19:02	0.996412
21	7:22	3.347	19:18	0.996412
22	7:39	3.346	19:35	0.834276
23	7:59	3.347	19:55	0.996412

[図17]



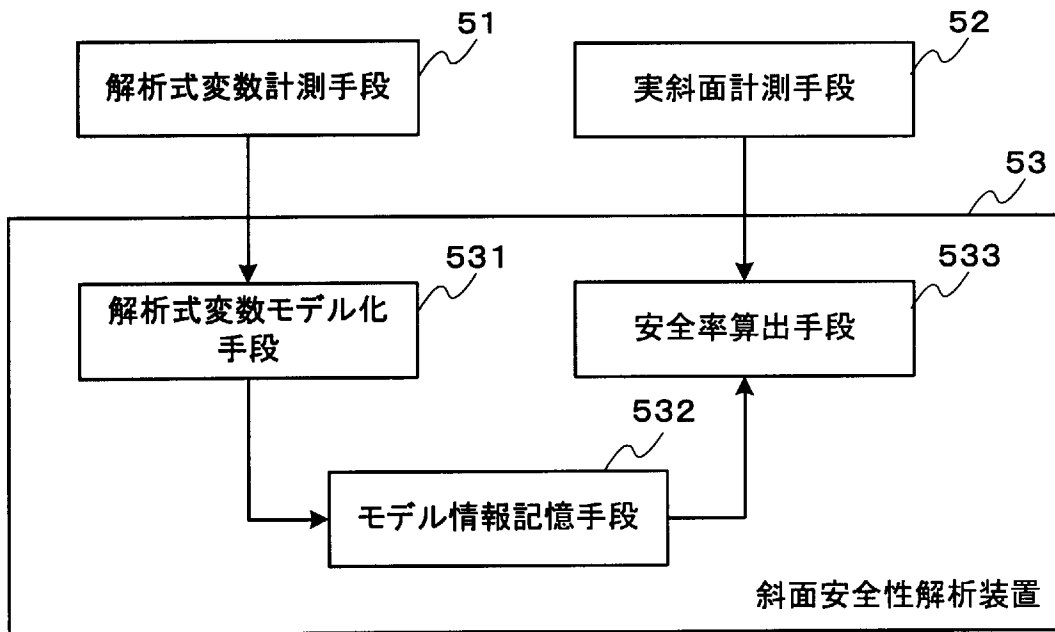
[図18]

サイクル No	経過時間 [時:分]	水分量[-]						平均	時刻 [時:分]	安全率 [-]
		水分計 1	水分計 2	水分計 3	水分計 4	水分計 5	水分計 6			
1	0:00	0.117	0.092	0.152	0.110	0.107	0.077	0.109	11:56	5.193
2	0:23	0.189	0.091	0.195	0.109	0.139	0.076	0.133	12:19	4.689
3	0:42	0.217	0.092	0.258	0.110	0.179	0.075	0.155	12:38	4.255
4	1:02	0.230	0.093	0.274	0.110	0.185	0.076	0.161	12:58	4.138
5	1:26	0.234	0.142	0.298	0.171	0.183	0.077	0.184	13:22	3.720
6	1:52	0.237	0.164	0.323	0.185	0.188	0.081	0.196	13:48	3.507
7	2:26	0.234	0.256	0.319	0.188	0.191	0.161	0.225	14:22	3.029
8	2:56	0.248	0.468	0.305	0.190	0.192	0.174	0.263	14:52	2.436
9	3:49	0.213	0.446	0.262	0.193	0.188	0.175	0.246	15:45	2.690
10	4:16	0.255	0.448	0.273	0.207	0.190	0.186	0.260	16:12	2.481
11	4:35	0.334	0.449	0.287	0.246	0.187	0.193	0.283	16:31	2.143
12	4:53	0.388	0.448	0.308	0.358	0.185	0.200	0.315	16:49	1.696
13	5:10	0.402	0.449	0.315	0.419	0.180	0.200	0.328	17:06	1.520
14	5:26	0.402	0.449	0.331	0.416	0.178	0.200	0.329	17:22	1.496
15	5:43	0.401	0.449	0.354	0.414	0.178	0.202	0.333	17:39	1.447

[図19]

サイクル No	経過時間 [時:分]	水分量[-]						平均	時刻 [時:分]	安全率 [-]
		水分計 1	水分計 2	水分計 3	水分計 4	水分計 5	水分計 6			
16	5:58	0.400	0.448	0.366	0.414	0.178	0.207	0.336	17:54	1.414
17	6:14	0.399	0.448	0.370	0.413	0.179	0.215	0.337	18:10	1.390
18	6:34	0.397	0.446	0.377	0.412	0.179	0.225	0.339	18:30	1.364
19	6:49	0.394	0.445	0.382	0.412	0.179	0.236	0.341	18:45	1.337
20	7:06	0.389	0.441	0.395	0.412	0.180	0.247	0.344	19:02	1.303
21	7:22	0.387	0.438	0.412	0.411	0.181	0.266	0.349	19:18	1.236
22	7:39	0.385	0.432	0.422	0.411	0.189	0.466	0.384	19:35	0.796
23	7:59	0.382	0.423	0.440	0.406	0.195	0.457	0.384	19:55	0.800

[図20]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2014/004303

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
G08B31/00(2006.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
G08B31/00

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2014
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2014	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2014

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2006-252128 A (Shimizu Corp.), 21 September 2006 (21.09.2006), paragraphs [0022] to [0025]; fig. 1, 5 (Family: none)	1-10
A	JP 2003-217054 A (Kokusai Kogyo Co., Ltd.), 31 July 2003 (31.07.2003), paragraphs [0020] to [0041], [0052] to [0054]; fig. 1 (Family: none)	1-10
A	JP 2008-25138 A (Public Works Research Institute), 07 February 2008 (07.02.2008), paragraphs [0023] to [0028]; fig. 4 (Family: none)	1-10

Further documents are listed in the continuation of Box C. See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"&" document member of the same patent family
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search 04 November, 2014 (04.11.14)	Date of mailing of the international search report 18 November, 2014 (18.11.14)
---	--

Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office	Authorized officer
Facsimile No.	Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2014/004303

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 2013/0263681 A1 (Sueng Won JEONG), 10 October 2013 (10.10.2013), paragraphs [0039] to [0044], [0053], [0054], [0085] to [0090]; fig. 1 to 4 & EP 2650860 A1 & KR 10-1195409 B1	1-10

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC)) Int.Cl. G08B31/00(2006.01)i		
B. 調査を行った分野 調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC)) Int.Cl. G08B31/00		
最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの 日本国実用新案公報 1922-1996年 日本国公開実用新案公報 1971-2014年 日本国実用新案登録公報 1996-2014年 日本国登録実用新案公報 1994-2014年		
国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)		
C. 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	JP 2006-252128 A (清水建設株式会社) 2006.09.21, [0022]-[0025], 図 1, 5 (ファミリーなし)	1-10
A	JP 2003-217054 A (国際航業株式会社) 2003.07.31, [0020]-[0041], [0052]-[0054], 図 1 (ファミリーなし)	1-10
A	JP 2008-25138 A (独立行政法人土木研究所) 2008.02.07, [0023]-[0028], 図 4 (ファミリーなし)	1-10
<input checked="" type="checkbox"/> C 欄の続きにも文献が列挙されている。 <input type="checkbox"/> パテントファミリーに関する別紙を参照。		
* 引用文献のカテゴリー 「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの 「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの 「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す) 「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願日の後に公表された文献 「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの 「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの 「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の 1 以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの 「&」 同一パテントファミリー文献		
国際調査を完了した日 04. 11. 2014	国際調査報告の発送日 18. 11. 2014	
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁 (ISA/J P) 郵便番号 100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目 4 番 3 号	特許庁審査官 (権限のある職員) 二階堂 恭弘 電話番号 03-3581-1101 内線 3332	3K 3118

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリ*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	US 2013/0263681 A1 (Sueng Won JEONG) 2013.10.10, [0039]-[0044], [0053], [0054], [0085]-[0090], Fig.1-4 & EP 2650860 A1 & KR 10-1195409 B1	1-10