

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2019-60100

(P2019-60100A)

(43) 公開日 平成31年4月18日(2019.4.18)

(51) Int.Cl.	F 1	テーマコード (参考)
E 2 1 D 9/00 (2006.01)	E 2 1 D 9/00 Z	2 D 0 5 4
E 2 1 D 9/06 (2006.01)	E 2 1 D 9/06 3 0 2 Z	

審査請求 未請求 請求項の数 3 O L (全 9 頁)

(21) 出願番号	特願2017-184341 (P2017-184341)	(71) 出願人	000206211
(22) 出願日	平成29年9月26日 (2017. 9. 26)		大成建設株式会社
			東京都新宿区西新宿一丁目2 5 番 1 号
		(74) 代理人	110001807
			特許業務法人磯野国際特許商標事務所
		(72) 発明者	熊本 創
			東京都新宿区西新宿一丁目2 5 番 1 号 大
			成建設株式会社内
		F ターム (参考)	2D054 FA00 GA63 GA81 GA91

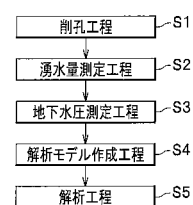
(54) 【発明の名称】 水理特性評価方法

(57) 【要約】

【課題】複雑な装置を必要とせず、かつ、トンネル上方の地形に限定されることなく、先進ボーリングを利用して切羽前方における地質毎の透水係数および地下水位を、簡易かつ正確に推定することを可能とした水理特性評価方法を提案する。

【解決手段】切羽前方に向けてボーリング孔を削孔する削孔工程 S 1 と、削孔を中断した状態でボーリング孔の口元において当該ボーリング孔からの排水量を測定する湧水量測定工程 S 2 と、ボーリング孔からの排水を停止させた状態でボーリング孔の口元において当該ボーリング孔内の水压を測定する地下水压測定工程 S 3 と、地質構造モデルを作成する解析モデル作成工程 S 4 と、地質構造モデルに対して排水量および水压の測定結果を利用して逆解析を行い、透水係数および地下水位を推定する解析工程 S 5 とを備えている。

【選択図】 図 1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

切羽前方に向けてボーリング孔を削孔する削孔工程と、
前記削孔を中断した状態で、前記ボーリング孔の口元において当該ボーリング孔からの排水量を測定する湧水量測定工程と、
前記ボーリング孔からの排水を停止させた状態で、前記ボーリング孔の口元において当該ボーリング孔内の水圧を測定する地下水圧測定工程と、
地質構造モデルを作成する解析モデル作成工程と、
前記地質構造モデルに対して、前記排水量および前記水圧の測定結果を利用して逆解析を行い、透水係数および地下水位を推定する解析工程と、を備えていることを特徴とする、水理特性評価方法。

10

【請求項 2】

解析モデル作成工程では、前記ボーリング孔の削孔距離と前記排水量との関係から、地層の境界を推定して地質構造モデルを作成することを特徴とする、請求項 1 に記載の水理特性評価方法。

【請求項 3】

前記削孔工程、前記湧水量測定工程および前記地下水圧測定工程を繰り返すことにより複数箇所において前記排水量および前記水圧を測定した後、前記解析モデル作成工程および前記解析工程を実施することを特徴とする、請求項 1 または請求項 2 に記載の水理特性評価方法。

20

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、トンネル切羽前方の水理特性評価方法に関する。

【背景技術】

【0002】

大量湧水が予想されるトンネル工事では、切羽前方の地下水位や透水係数を把握しておき、必要に応じて対策工を講じることで、湧水に伴う切羽の崩壊やトンネル周辺の地山の地下水の枯渇等のリスクを最小限に抑える必要がある。

切羽前方の地質や地下水状況（水理特性）を推定するために、切羽前方に向けて先進ボーリングを行う場合がある。先進ボーリングによる切羽前方の水理特性評価方法として、例えば、特許文献 1 には、切羽前方に向けて形成されたボーリング孔内にパッカー装置を挿入し、パッカー装置で区切られた測定区間毎に湧水量および地下水圧を測定し、この観測データに基づいて、切羽前方の地層の透水係数を推定する計測方法が開示されている。

30

また、特許文献 2 には、中空のボーリングロッドの先端部内側に設けた圧力計を利用して、削孔過程における地下水圧を測定する地下水圧計測方法が開示されている。

また、特許文献 3 には、切羽前方に向けて注水孔と排水孔とを間隔をあけて形成し、注水孔に注水するための注水圧と、注水孔への注水量と同量の排水を排水孔から行う場合の排水圧とを測定し、この測定結果に基づいて岩盤の透水特性を評価する評価方法が開示されている。なお、注水孔および排水孔では、それぞれパッカーによって評価対象区間を区切っている。

40

さらに、非特許文献 1 には、水平ボーリングの口元において測定した湧水量により切羽前方の透水係数を推定し、この透水係数の推定値と水平ボーリングによる地下水位の低下を考慮して、切羽前方にトンネルの掘削が到達した際のトンネルへの湧水量を予測する予測方法が開示されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献 1】特開 2009-052328 号公報

【特許文献 2】特開 2017-128881 号公報

50

【特許文献3】特開2016-117997号公報

【非特許文献】

【0004】

【非特許文献1】小泉悠、他5名、「水抜きボーリングの実績データを活用したSWING法によるトンネルの湧水量予測」、土木学会第66回年次学術講演会（平成23年度）、土木学会年次学術講演会講演概要集、66巻、III-101、p201-202、2011

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

10

特許文献1の計測方法は、削孔用のボーリングロッドをボーリング孔から抜き出してから、計測用のパッカー装置を挿入する必要があるため、作業に手間がかかる。また、水圧が高く、多量の湧水が発生する条件下においては、ボーリングを削孔した後からパッカー装置をボーリング孔内に挿入するのは困難である。また、地下水圧の測定は、ボーリング孔内の水圧が安定するまで待機する必要がある、測定に時間がかかる。

また、特許文献2の計測方法は、ボーリングロッドに圧力計等の計測機器を設置するため、装置の構成が複雑となり高価であるが、特許文献1の計測方法のようにボーリングロッドを抜き出して、計測用パッカーを挿入することなく、ボーリング孔の先端付近で水圧を測定できる利点がある。しかし、特許文献1の計測方法と同様に、地下水圧の測定は、ボーリング孔内の水圧が安定するまで待機する必要がある、測定に時間がかかる。

20

また、特許文献3の評価方法は、2本のボーリング孔を形成する作業に手間がかかるとともに、パッカーによって評価対象区間を区切る必要があるため、特許文献1と同様に、パッカー装置を挿入する作業に手間がかかる。

さらに、非特許文献1の推定方法は、地表から別途設置した観測井戸等によって地下水位データを取得する必要があるが、急峻な山岳部の下方を掘進するトンネルでは、地表から観測井戸等を設置するのが困難である。

このような観点から、本発明は、複雑な装置を必要とせず、かつ、トンネル上方の地形に限定されることなく、先進ボーリングを利用して切羽前方における地質毎の透水係数および地下水位を簡易かつ正確に推定することを可能とした水理特性評価方法を提案することを課題とする。

30

【課題を解決するための手段】

【0006】

前記課題を解決するために、本発明の水理特性評価方法は、切羽前方に向けてボーリング孔を削孔する削孔工程と、前記削孔を中断した状態で前記ボーリング孔の口元において当該ボーリング孔からの排水量を測定する湧水量測定工程と、前記ボーリング孔からの排水を停止させた状態で前記ボーリング孔の口元において当該ボーリング孔内の水圧を測定する地下水圧測定工程と、地質構造モデルを作成する解析モデル作成工程と、前記地質構造モデルに対して前記排水量および前記水圧の測定結果を利用して逆解析を行い、少なくとも透水係数および地下水位を推定する解析工程とを備えていることを特徴とする。

なお、解析モデル作成工程では、前記ボーリング孔の削孔距離と前記排水量との関係から、地層の境界を推定して地質構造モデルを作成するのが望ましい。

40

また、前記削孔工程、前記湧水量測定工程および前記地下水圧測定工程を繰り返すことにより複数箇所において前記排水量及び前記水圧を測定した後、前記解析モデル作成工程および前記解析工程を実施すればよい。すなわち、逆解析は、予定されている先進ボーリングの全長にわたって実行してもよいし、所定の削孔距離毎に実行してもよい。

かかる水理特性評価方法によれば、ボーリングの口元で測定を行うため、ボーリング孔内に測定器を配置するための複雑な装置を必要とせず、また、ボーリング孔内へ測定装置を設置するための手間を省略することができる。また、実測された排水量および水圧を利用して逆解析を行うので、パラメータ（透水係数および地下水位）の推定精度が高い。また、水圧変化が顕著な初期の値を用いて逆解析を行えば、水圧の回復を定常状態まで観測す

50

る場合に比べて測定期間を大幅に短縮することができる。

【発明の効果】

【0007】

本発明の水理特性評価方法によれば、先進ボーリングを利用して切羽前方における地質毎の透水係数および地下水位を簡易かつ正確に推定することが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【0008】

【図1】本発明の実施形態に係る水理特性評価方法のフローチャートである。

【図2】本実施形態に係る先進ボーリング口元構造を示す断面図である。

【図3】地質構造と湧水量測定結果との関係の一例を示す参考図である。

10

【図4】(a)は地質構造に対する水圧測定個所を示す模式図、(b)は水圧測定結果の一例を示すグラフである。

【図5】解析モデルを示す参考図である。

【図6】逆解析結果の例を示すグラフであって、(a)は湧水量のマッチング結果、(b)は圧力水頭のマッチング結果をそれぞれ示している。

【発明を実施するための形態】

【0009】

本実施形態では、大量湧水が予想されるトンネルにおいて、先進ボーリングによって得られる情報から切羽前方の地質状況を精度よく評価することが可能な水理特性評価方法について説明する。切羽前方の地質状況を評価できれば、湧水に伴う切羽の崩壊やトンネル周囲の地山の地下水の枯渇等のリスクを事前に把握することができる。本実施形態の水理特性評価方法は、図1に示すように、削孔工程S1、湧水量測定工程S2、地下水圧測定工程S3、解析モデル作成工程S4および解析工程S5を備えている。

20

【0010】

本実施形態では、図2に示すように、ボーリング孔BHの孔口にボーリング孔BHの孔口を保護するとともに孔口からの高圧水等の噴出を防止するための口元構造1を形成した状態で、削孔工程S1、湧水量測定工程S2および地下水圧測定工程S3を実行する。

口元構造1は、口元保護管2と、削孔用排水管3と、測定用排水管4と、圧力計5と、プリペンダー6とを備えている。口元構造1には、ボーリング孔BHを削孔するボーリングロッド7が挿通されている。なお、口元構造1の構成は限定されるものではない。例えば、測定用排水管4は必要に応じて設置すればよく省略してもよい。ボーリング孔BHが下向きに形成されている場合（先端側が孔口側よりも低い場合）には、削孔用排水管3のみを形成すればよく、測定用排水管4は設ける必要はない。

30

【0011】

口元保護管2は、ボーリング孔BHの孔口部分を保護する管材であって、ボーリング孔BHの孔口部分に先端部が挿入されているとともに、基端部が当該ボーリング孔BHから突出している。口元保護管2は、ボーリングロッド7を挿通可能な内径を具備したケーシングであって、ボーリング孔BHと連通している。口元保護管2とボーリング孔BHとの隙間は、充填材9により密閉されている。なお、充填材9を構成する材料は限定されるものではないが、例えばセメント系材料を使用すればよい。口元保護管2には、削孔用排水管3、測定用排水管4、圧力計5およびプリペンダー6が取り付けられている。

40

【0012】

削孔用排水管3は、口元保護管2の下部に取り付けられていて、下向きに開口している。本実施形態の削孔用排水管3は、口元保護管2よりも細径の管材からなる。削孔用排水管3は、口元保護管2の内空と連通している。また、削孔用排水管3にはバルブ10が設けられていて、削孔用排水管3の内空を遮蔽可能である。

測定用排水管4は、口元保護管2の上部に取り付けられていて、上向きに立ち上げられている。測定用排水管4は、口元保護管2よりも細径の管材からなり、口元保護管2の内空と連通している。測定用排水管4にはバルブ10が設けられていて、測定用排水管4の内空を遮蔽可能である。また、測定用排水管4には、図示しない流量計が設置されている

50

。

なお、測定用排水管 4 は、必要に応じて形成すればよく、省略してもよい。また、流量計は必要に応じて設置すればよい。例えば、ストップウォッチとバケツ等を利用して、手動により時間当たりの流量を計測する場合には、流量計は省略してもよい。また、削孔用排水管 3 および測定用排水管 4 の配管方法は限定されるものではなく、例えば、口元保護管 2 の基端側に接続された接続管に取り付けられていてもよい。また、測定用排水管 4 は、少なくとも一部分が上向きに立設されていれば、必ずしも口元保護管 2 の上部に取り付けられている必要はなく、口元保護管 2 の側部や下部に接続されていてもよい。また、削孔用排水管 3 および測定用排水管 4 の内径は限定されるものではない。

圧力計 5 は、口元保護管 2 に取り付けられていて、口元保護管 2 の内部（すなわちボーリング孔 B H 内）の圧力を測定する。なお、圧力計 5 の取り付け個所は、ボーリング孔 B H 内の水压を測定することが可能であれば、限定されるものではなく、例えば、ボーリング孔 B H 内に配置してもよい。

プリベンダー 6 は、口元保護管 2 の基端において、ボーリングロッド 7 と口元保護管 2 との隙間を遮蔽するように設けられている。

【0013】

削孔工程 S 1 では、図 2 に示すように、切羽前方に向けてボーリング孔 B H を削孔する。本実施形態のボーリング孔 B H は、水平あるいは斜め上向き（基端側よりも先端側が高い状態）に形成する。なお、ボーリング孔 B H の向きは限定されるものではなく、例えば、斜め下向き（基端側よりも先端側が低い状態）であってもよい。ボーリング孔 B H の削孔は、ボーリングロッド 7 により行う。ボーリングロッド 7 は中空の筒状部材からなり、ボーリングロッド 7 の先端にはビット 8 が固定されている。ボーリング孔 B H の穿孔は、図示しないボーリングマシンの動力によりボーリングロッド 7 を中心軸を中心に回転させることでビット 8 により地山を切削するとともに、ビット 8 の真後ろに取り付けられたハンマー（図示せず）の打撃力によって地山を破碎することにより行う。このとき、ボーリングロッド 7 を通じて、ビット 8（ボーリング孔 B H の先端部）に高圧水 W_H を送水する。高圧水 W_H は、ハンマーの駆動元として使用されるとともに、地山の切削により発生したカッティングス（掘削屑）の排出に用いられる。なお、ボーリングロッド 7 を介してビット 8 に供給される液体は、必ずしも高圧水 W_H である必要はない。また、ビット 8 に加える打撃力は、孔口近傍に据え付けられたボーリングマシンによって付与してもよい。

ボーリング孔 B H を穿孔する際には、削孔用排水管 3 のバルブ 10 を開いた状態とし、ボーリング孔 B H 内の水分（高圧水 W_H や湧水 W_G ）を削孔用排水管 3 を通して排水するとともに、カッティングスを削孔用排水管 3 を通してボーリング孔 B H から排出する。なお、測定用排水管 4 を備えている場合には、削孔工程 S 1 では、測定用排水管 4 のバルブ 10 は閉じた状態にしておく。

【0014】

湧水量測定工程 S 2 では、ボーリング孔 B H の口元においてボーリング孔 B H からの排水量を測定する。湧水量測定工程 S 2 は、1 日に 1 ～ 2 回程度実施する。排水量の測定は、ビット 8 の交換時や、昼夜勤の交代時等、ボーリング孔 B H の削孔（ボーリングロッド 7 の回転、ビット 8 による打撃および高圧水 W_H の供給）を中断したタイミングで実施する。なお、湧水量を測定するタイミングおよび回数は、限定されるものではなく、現場の状況に応じて適宜決定すればよい。本実施形態では、削孔用排水管 3 を閉塞した状態で、測定用排水管 4 から排水させた湧水量を流量計により測定する。なお、測定用排水管 4 を備えていない場合には、削孔用排水管 3 を利用して湧水量を測定すればよい。ここで、削孔中断直後は、ボーリングマシンから供給された高圧水 W_H が湧水 W_G と混合された状態で排水されるため、排水量が多いが、時間の経過とともに排水量は減少する。そして、所定の時間経過後は、岩盤からの湧水 W_G のみが排水されることで、排水量が安定する。したがって、湧水量測定工程 S 2 では、排水量が安定した後の排水量（湧水量）を測定する。

。

湧水量の観測値は、ボーリング孔 B H の深度（長さ）と対応させた状態で記録する。図

3に示すように、湧水量の観測値は、ボーリング孔BHが透水性の高い（透水係数が大きい）地質構造 K_2 に達したときに急激に増加する。一方、透水性の低い地質構造 K_1 、 K_3 を削孔している間は、湧水量に顕著な増加は見られない。

湧水量の測定が終了したら、削孔工程S1を再開する。

【0015】

地下水圧測定工程S3では、ボーリング孔BHの口元において当該ボーリング孔BH内の水圧を測定する。なお、本実施形態では、水圧の測定を、ボーリング孔BHの削孔の休工日やボーリング孔BHの全長の削孔が終了した後に実施する。なお、水圧を測定するタイミングおよび回数は限定されるものではなく、現場の状況に応じて適宜決定すればよい。水圧の測定は、ボーリング孔BHの削孔（ボーリングロッド7の回転、ビット8による打撃および高圧水 W_H の供給）を中断するとともにボーリング孔BHからの排水を停止させた状態（削孔用排水管3のバルブ10および測定用排水管4のバルブ10を閉じた状態）で行う。水圧測定には、圧力計5を使用する。

10

なお、ボーリング孔BHからの排水を停止すると、排水によって低下した岩盤内の水圧が徐々に回復し、所定の時間（例えば、数日から1週間以上の場合がある）を経過した段階で水圧が一定値（岩盤が持つ真の水圧）に安定する。一方、本実施形態では、岩盤が持つ真の水圧を測定するものではなく、測定初期の圧力回復過程のデータを測定するものとし、測定期間は水圧の安定を待つ場合よりも短い期間（本実施形態では1～2日程度）とする。図4（b）に示した例では、測定開始（排水停止後）から2日間（＝2880min）測定した。測定開始から2日後の水圧は、回復途中で十分な安定値には達していないものの、略安定した傾向を示す。なお、図4（b）は、図4（a）に示す地山に対して5回実施した水圧の測定（ $M_1 \sim M_5$ ）のうち、3回目（ M_3 ）に実施した水圧の測定結果である。

20

【0016】

解析モデル作成工程S4では、地質構造モデルを作成する。本実施形態では、削孔工程S1、湧水量測定工程S2および地下水圧測定工程S3を複数回繰り返すことにより、予定されている長さのボーリング孔BHの削孔が完了し、かつ、複数箇所において湧水量の測定と地下水圧の測定が終了した段階で、解析モデル作成工程S4を実行する。

まず、湧水量の観測データ（ボーリング孔BHの削孔距離と排水量との関係）を分析し、ボーリング孔BHに沿って分布する地質構造（ $K_1 \sim K_3$ ）の位置や範囲（地層の境界等）を評価する。次に、評価結果に基づいて、解析モデルを作成する。例えば、湧水量が急激に増加する箇所が確認された場合は、その位置を高透水ゾーンと認定するとともに、その前後を低透水ゾーンと認定してモデルを推定する（図5参照）。このとき、ボーリング孔BHおよびバルブ10もモデル化する。推定したモデルは、解析用のメッシュに離散化する。

30

【0017】

解析工程S5では、地質構造モデル（図5参照）に対して、排水量および水圧の測定結果を利用して逆解析を行い、地質構造（ $K_1 \sim K_3$ ）毎の透水係数および地下水位を推定する。すなわち、本実施形態では、湧水量や水圧回復等の観測データを利用して、透水係数や地下水位等を推定する。

40

ここで、解析モデルに対して、各ゾーンの透水係数（地下水の流れやすさを表す物性値）や削孔前の初期の地下水位等の入力パラメータを与えて、ボーリング孔BHへの湧水量や排水を停止した際の水圧回復等を出力データとして計算することを一般的に順解析という。

本実施形態では、解析モデル作成工程S4において作成された解析モデルに対して、複数の入力パラメータの組み合わせについて繰り返し順解析を実施して、観測データと出力データとの誤差が最小となる入力パラメータの組み合わせを探索する。繰り返し実施される順解析の入力パラメータは、逆解析のアルゴリズムに従って更新される。本実施形態では、逆解析の中で用いる順解析プログラムとして、ボーリング孔BH内の流れと地盤内の地下水の流れを連成解析する解析コードを用いる。このような解析コードを使用すれば、

50

ボーリングBH孔から大量の湧水 W_G が排水される場合であっても、前方の地下水位や透水係数分布を正しく推定することができる。なお、逆解析に用いる解析コード（アルゴリズム）は限定されるものではなく、例えば、通常の地下水流動解析コードを使用してもよい。本実施形態では、逆解析の中で実施する順解析を、ボーリング孔BHの存在やバルブ10の開閉状況を詳細にモデル化した非定常解析とすることで、誤差評価のための観測データと出力データとの比較を1：1の関係で実施できるようにした。

そして、入力パラメータ（透水係数、地下水位等）ごとに出力データと観測データとのマッチングを行い、誤差が最小となるパラメータ（透水係数、地下水位等）を地質構造（ $K_1 \sim K_3$ ）毎に同定する。最適なパラメータを設定すれば、図6（a）および（b）に示すように、観測データを略再現可能となる。

10

【0018】

本実施形態の水理特性評価方法によれば、ボーリング孔BHの口元で測定を行うため、ボーリング孔内に測定器を配置するための複雑な装置（パッカー装置等）を必要としない。そのため、パッカー装置等の設置および撤去に要する手間や、設備費等を省略することができる。また、ボーリング孔BH内に測定器等を配設する必要がないため、長距離の先進ボーリングであっても、測定器等がボーリング孔BH内に引っかかることもない。

また、逆解析に必要なデータを取得すればよいので、水圧が定常状態まで回復するまで観測する必要がない。また、地層毎の透水係数の計測や、地上からの観測井戸による地下水位の計測を必要としない。

また、実測された排水量および水圧を利用して逆解析を行うので、パラメータ（透水係数および地下水位等）の推定精度が高い。

20

また、水圧変化が顕著な初期の値を用いて逆解析を行うため、水圧の回復を定常状態まで観測する場合に比べて測定期間を大幅に短縮することができる。

【0019】

以上、本発明の実施形態について説明したが、本発明は、前述の実施形態に限られず、前記の各構成要素については本発明の趣旨を逸脱しない範囲で適宜変更が可能である。

例えば、地下水圧測定工程S3を実施するタイミングは限定されるものではなく、例えば、湧水量測定工程S2を実施した直後に行ってもよい。

【符号の説明】

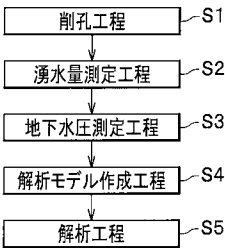
【0020】

30

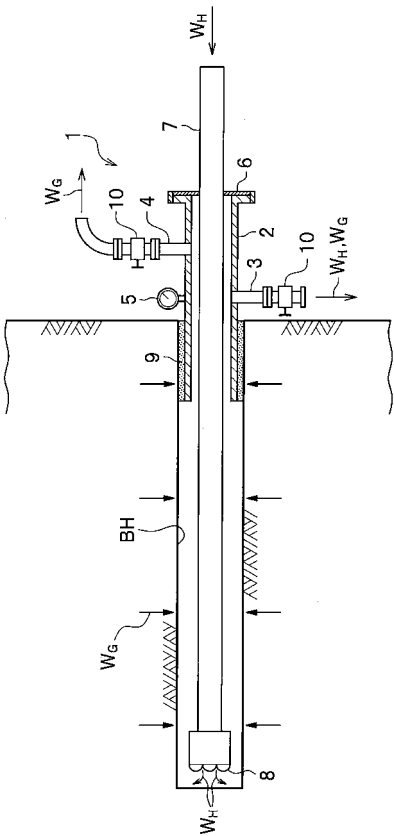
- 1 口元構造
- 2 口元保護管
- 3 削孔用排水管
- 4 測定用排水管
- 5 圧力計
- 6 プリベンダー
- 7 ボーリングロッド
- 8 ビット
- 9 充填材
- 10 バルブ
- BH ボーリング孔
- S1 削孔工程
- S2 湧水量測定工程
- S3 地下水圧測定工程
- S4 解析モデル作成工程
- S5 解析工程

40

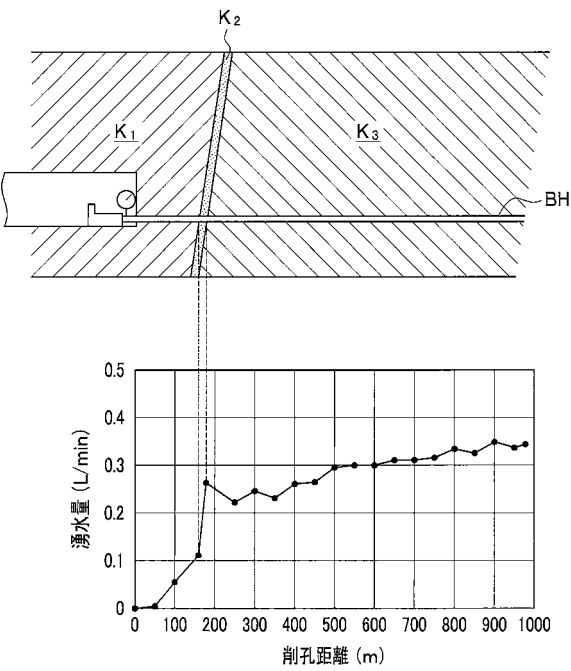
【図 1】



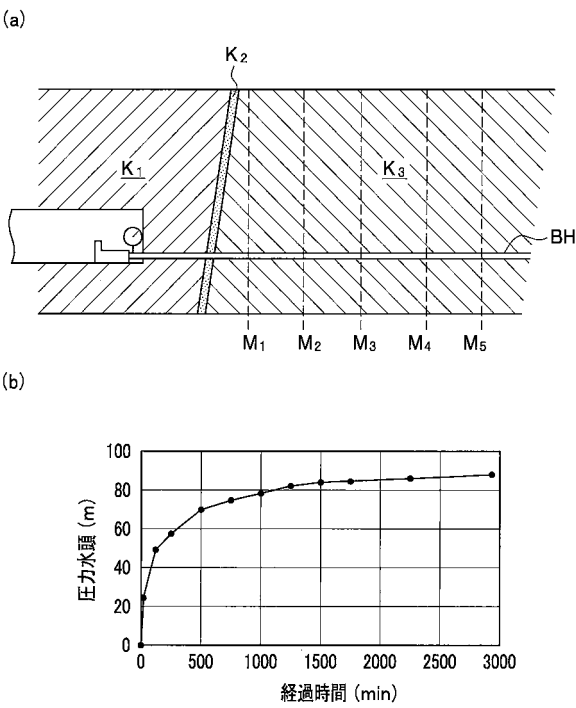
【図 2】



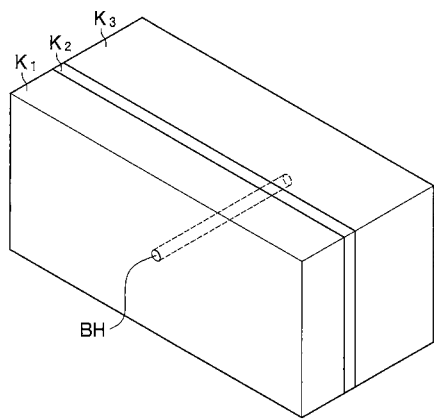
【図 3】



【図 4】

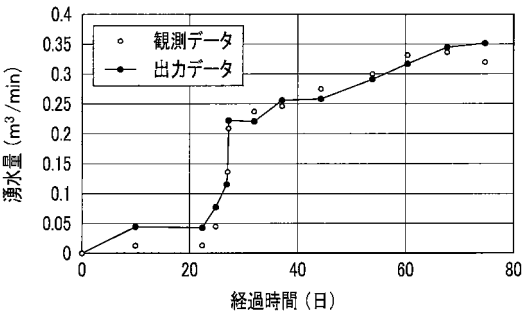


【図 5】



【図 6】

(a)



(b)

