

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B1)

(11)特許番号
特許第7635452号
(P7635452)

(45)発行日 令和7年2月25日(2025.2.25)

(24)登録日 令和7年2月14日(2025.2.14)

(51)国際特許分類

F I

E 2 1 D 9/06 3 0 1 Z

E 2 1 D 9/06 3 0 1 K

請求項の数 9 (全20頁)

(21)出願番号	特願2024-74821(P2024-74821)	(73)特許権者	591032862
(22)出願日	令和6年5月2日(2024.5.2)		国土開発工業株式会社
審査請求日	令和6年7月1日(2024.7.1)		神奈川県厚木市中町二丁目6番10号
		(74)代理人	110004370
			弁理士法人片山特許事務所
		(72)発明者	橘 寛行
			神奈川県厚木市中町2-6-10 国土
			開発工業株式会社内
		(72)発明者	鈴木 貴博
			神奈川県厚木市中町2-6-10 国土
			開発工業株式会社内
		(72)発明者	土屋 浩太
			神奈川県厚木市中町2-6-10 国土
			開発工業株式会社内
		(72)発明者	小幡 博志
			最終頁に続く

(54)【発明の名称】 地山探査装置

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

トンネル掘削機に設置されて地山の強度を探査するための地山探査装置であって、
前記トンネル掘削機の内部に設けられた探査装置本体と、
前記探査装置本体に対して出没可能であり、前記トンネル掘削機の外周部から外部に突出可能なロッドと、
前記探査装置本体からの前記ロッドの押出力を調整する調整装置と、
前記調整装置により調整された第1の押出力により前記ロッドを突出させた後に、前記調整装置により調整され、前記第1の押出力より大きな第2の押出力により前記ロッドを突出させる制御装置と、を備える地山探査装置。

【請求項2】

前記制御装置は、前記第1の押出力を用いて前記地山の空隙量を特定し、前記第2の押出力に基づいて前記地山の安定度を特定する、請求項1に記載の地山探査装置。

【請求項3】

前記制御装置は、前記地山の安定度に基づいて裏込め充填材を前記地山の空隙に投入するタイミングを決定し、前記地山の空隙量に基づいて前記裏込め充填材の投入量を決定する、請求項2に記載の地山探査装置。

【請求項4】

前記探査装置本体と前記ロッドは、前記トンネル掘削機の前端部近傍に設けられる、請求項1に記載の地山探査装置。

【請求項 5】

前記制御装置は、事前に実施した前記地山のボーリングデータに基づいて、前記第 1 の押出力と前記第 2 の押出力との少なくとも一方を調整する請求項 1 に記載の地山探査装置。

【請求項 6】

前記トンネル掘削機の前端部と前記探査装置本体及び前記ロッドとの位置関係を変更する変更装置を備える、請求項 1 に記載の地山探査装置。

【請求項 7】

前記ロッドには、温度センサ及び水分センサの少なくとも一方が設けられている、請求項 1 に記載の地山探査装置。

【請求項 8】

前記探査装置本体には、レーザ距離計及び撮像装置の少なくとも一方が設けられている、請求項 1 に記載の地山探査装置。

【請求項 9】

前記レーザ距離計及び前記撮像装置の少なくとも一方に対し、洗浄用の流体を噴射する噴射装置を備える、請求項 8 に記載の地山探査装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、地山探査装置に関する。

【背景技術】

【0002】

シールド工法では、シールド機の進行方向前方又はシールド機直上の地山情報を取得しながらトンネルを掘削する。従来、切羽近傍の複数箇所の地山情報を取得し、それら複数の地山情報に基づいて地山の安定度を判定する探査システムが知られている（例えば、特許文献 1 等参照）。

【0003】

特許文献 1 に記載の技術によれば、シールド機の上部に設置された上部探査装置、シールド機の内部に設置された前方探査装置、及びカッタヘッドに設置された切削抵抗検出装置それぞれの測定結果に基づいて地山の安定度を判定する。また、上部探査装置は、シールド機の外殻から出沒可能で、シールド機の上方に位置する地山に貫入することができ、地山への貫入圧力及び貫入量を測定するものである。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【文献】特開 2011-196068 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

しかしながら、上記特許文献 1 の上部探査装置は、シールド機と地山の間における空洞の有無を検出することができず、また、地山が軟弱な場合、上部探査装置のロッドが地山に貫入する際に圧力が発生せず、ロッドが停止しないことがあり、貫入圧力や貫入量を正確に計測できない可能性がある。

【0006】

そこで、本発明は、地山の状態を正確に探査することができる地山探査装置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】

【0007】

本発明の第 1 の地山探査装置は、トンネル掘削機に設置されて地山の強度を探査するための地山探査装置であって、前記トンネル掘削機の内部に設けられた探査装置本体と、前記探査装置本体に対して出沒可能であり、前記トンネル掘削機の外周部から外部に突出可

10

20

30

40

50

能なロッドと、前記探査装置本体からの前記ロッドの押出力を調整する調整装置と、前記調整装置により調整された第1押出力により前記ロッドを突出させた後に、前記調整装置により調整され、前記第1押出力より大きな第2の押出力により前記ロッドを突出させる制御装置と、を備える。

【0008】

本発明の第2の地山探査装置は、トンネル掘削機に設置されて地山の強度を探査するための地山探査装置であって、前記トンネル掘削機に設けられ、前記地山の空隙量及び前記地山の安定度の少なくとも一方を測定する測定装置と、前記測定装置を前記トンネル掘削機に対して移動させる移動装置と、前記移動装置を制御して、前記トンネル掘削機と同一速度で前記トンネル掘削機とは反対の方向に前記測定装置を移動させる制御装置と、を備える。

10

【発明の効果】

【0009】

本発明の地山探査装置によれば、地山の状態を正確に探査することができる。

【図面の簡単な説明】

【0010】

【図1】図1は、第1の実施形態に係るトンネル掘削機の概略構成を示す断面図である。

【図2】図2は、カッタヘッドを+X方向から見た状態を示す図である。

【図3】図3(a)、図3(b)は、地山探査装置及びその近傍を拡大して、一部断面して示す図である。

20

【図4】図4は、第1の実施形態に係るトンネル掘削機の制御系を示すブロック図である。

【図5】図5(a)は、ボーリングデータテーブルを示す図であり、図5(b)は、押出力テーブルを示す図であり、図5(c)は、図5(a)の各地点について説明するための図である。

【図6】図6は、トンネル掘削機の動作について示すフローチャート(その1)である。

【図7】図7は、トンネル掘削機の動作について示すフローチャート(その2)である。

【図8】図8(a)、図8(b)は、トンネル掘削機を用いた1セグメント分の掘進について説明するための図(その1)である。

【図9】図9は、トンネル掘削機を用いた1セグメント分の掘進について説明するための図(その2)である。

30

【図10】図10(a)は、通常の間隙を示す図であり、図10(b)は、通常の間隙よりも大きい空洞の例を示す図である。

【図11】図11は、第1の実施形態の変形例に係る制御系を示すブロック図である。

【図12】図12(a)は、第2の実施形態に係る第1の地山探査装置を示す図であり、図12(b)は、第2の実施形態に係る第2の地山探査装置を示す図である。

【図13】図13は、第3の実施形態に係る地山探査装置及びX駆動機構を示す図である。

【図14】図14(a)、図14(b)は、図13の地山探査装置を用いた処理を説明するための図である。

【図15】図15は、第3の実施形態の変形例を示す図である。

【発明を実施するための形態】

40

【0011】

《第1実施形態》

以下、地山探査装置を備えるトンネル掘削機の第1実施形態について、図1～図10に基づいて詳細に説明する。

【0012】

図1は、第1の実施形態に係るトンネル掘削機100の概略構成を示す断面図である。なお、図1においては、図面の錯綜を避けるため、断面を示すハッチングを省略している。本第1の実施形態においては、トンネル掘削機100がシールド工法において用いられるシールド掘進機である場合について説明する。

【0013】

50

トンネル掘削機１００は、地中（地山）を掘進して掘削坑２０４を形成し、掘削坑２０４の内壁を覆うようにセグメントリング２０２を組み立てることによって、シールドトンネルＴＬ（トンネル）を構築するものである。なお、トンネル掘削機１００は、シールド掘進機以外、例えば、推進工法において推進管の先端に設置される掘削機であってもよい。

【００１４】

本第１の実施形態では、トンネル掘削機１００が進む方向（切羽側、前方）を＋Ｘ方向とし、坑口側（後方）を－Ｘ方向とする。また、トンネル掘削機１００の左右方向をＹ軸方向とし、進行方向左側を＋Ｙ方向、進行方向右側を－Ｙ方向とする。更に、トンネル掘削機１００の上下方向をＺ軸方向とし、上方向を＋Ｚ方向、下方向を－Ｚ方向とする。

【００１５】

トンネル掘削機１００は、泥土圧シールド工法に用いられる泥土圧式シールド掘進機であり、図１に示すように、円筒状の胴部１０を備える。胴部１０は、シールドトンネルＴＬの軸方向（図１のＸ軸方向）に沿って延在する円筒状の外殻１１と、外殻１１の前方において回転駆動されるカッタヘッド２０と、外殻１１内に設けられ、カッタヘッド２０の－Ｘ側に対向して配置された隔壁１２と、を有する。なお、外殻１１の断面形状は円形に限定されず、楕円状や矩形であってもよい。

【００１６】

カッタヘッド２０は、外殻１１の外径と略等しい大きさの外径を有する円盤状の構造体である。図２には、カッタヘッド２０を＋Ｘ方向から見た状態が示されている。カッタヘッド２０は、回転軸ＡＸ１を中心として放射状に延びるスポーク部２１と、円環状のリング部２２と、スポーク部２１の＋Ｘ側の面に径方向に所定の間隔をあけて配置された複数のカッタビット２４と、を有する。なお、複数のカッタビット２４の配置は一例である。また、スポーク部２１には、複数種類のカッタビットが設けられてもよい。

【００１７】

カッタヘッド２０においては、隣り合うスポーク部２１間に開口部２５が形成されている。複数のカッタビット２４によって掘削された土砂は、スポーク部２１間の開口部２５を通じて、カッタヘッド２０、隔壁１２及び外殻１１により区画されているチャンバＣＢ（図１参照）内へと導かれる。なお、不図示ではあるが、スポーク部２１や隔壁１２には、チャンバＣＢ内に滞留した掘削土砂を攪拌するための部材（攪拌棒など）が設けられている。

【００１８】

隔壁１２には、図１に示すように、カッタヘッド２０と共に回転する円環状のカッタードラム１３が回転自在に支持されている。

【００１９】

カッタードラム１３は、回転軸ＡＸ１を中心として、複数のモータ１４によって回転駆動される。モータ１４は、電動モータであってもよいし、油圧モータであってもよい。図４の制御装置９０は、モータ１４の作動を制御することによって、カッタヘッド２０の回転方向や回転速度を制御する。

【００２０】

トンネル掘削機１００の外殻１１内には、チャンバＣＢ内に滞留した掘削土砂をトンネル掘削機１００の後方へと搬出するためのスクリーコンベヤ３０が設けられている。スクリーコンベヤ３０は、円筒状のケースと、ケース内部に設けられたスクリーと、を有し、スクリーの回転によってチャンバＣＢ内の掘削土砂が隔壁１２の後方へ搬出されるようになっている。スクリーコンベヤ３０によって後方へ搬出された掘削土砂は、不図示の土砂運搬台車により、シールドトンネルＴＬ内を搬送され、地上に排出されるようになっている。なお、土砂運搬台車を用いずに、ベルトコンベヤやスクリーコンベヤなどのコンベアや、圧送ポンプなどを組み合わせた排土システムを用いて、掘削土砂を地上に搬出するようにしてもよい。

【００２１】

また、外殻１１内には、セグメントリング２０２を組み立てるエレクタ３３と、トンネ

10

20

30

40

50

ル掘削機 100 を前進させる複数のシールドジャッキ 34 と、カッタヘッド 20 により掘削された掘削坑 204 の内周面とセグメントリング 202 の外周面との間に裏込め材（グラウト材）を注入する第 1 の裏込め注入装置 35 と、セグメントリング 202 の形状を保持する真円保持装置 37 と、これらの装置を支持する支持部 32 と、が設けられている。なお、真円保持装置 37 は、省略してもよい。

【0022】

エレクタ 33 は、円弧形状のセグメントピース 206 を把持可能であるとともに、外殻 11 の内周面に沿って移動可能となっている。エレクタ 33 によって複数のセグメントピース 206 が外殻 11 の内周面に沿って組み立てられることにより、円筒状のセグメントリング 202 が構築される。

【0023】

外殻 11 の内周面には、外殻 11 とセグメントリング 202 との間の隙間をシールする環状のテールシール 11a が設けられている。テールシール 11a は、外殻 11 とセグメントリング 202 との間を介して土砂や水がトンネル掘削機 100 内に侵入することを防止する。

【0024】

第 1 の裏込め注入装置 35 は、注入管 36 を介して、テールシール 11a 後方の隙間（掘削坑 204 とセグメントリング 202 との間）に裏込め材を注入する。なお、注入管 36 は、外殻 11 の外周部に所定間隔で設けられているため、裏込め材は、掘削坑 204 とセグメントリング 202 との間の全域にわたって充填されるようになっている。なお、第 1 の裏込め注入装置 35 を、セグメントリング 202 の内周面に設けてもよい。この場合、第 1 の裏込め注入装置 35 は、セグメントリング 202 の図示しない開口部を介して、テールシール 11a 後方の隙間に裏込め材を注入する。

【0025】

シールドジャッキ 34 は、シリンダとロッドとを有する油圧ジャッキであり、外殻 11 の内側に周方向に所定の間隔をあけて複数設けられている（図 1 では 1 つのシールドジャッキ 34 のみを図示している）。シールドジャッキ 34 のシリンダから突出したロッドの先端部（－X 端部）をセグメントリング 202 の側面（＋X 端面）に当接させた状態でシールドジャッキ 34 を伸長作動させることによってセグメントリング 202 から得られる反力により、カッタヘッド 20 は地山に押し付けられる。このように、トンネル掘削機 100 は、シールドジャッキ 34 が既設のセグメントリング 202 を押圧することで得られる反力を、前方へ掘進するための推進力としている。

【0026】

なお、本第 1 の実施形態においては、外殻 11 が、1 つの円筒状部材により構成されているが、2 つの円筒状部材（前胴部と後胴部）により構成され、前胴部と後胴部との間が屈曲可能に連結されていてもよい。

【0027】

なお、トンネル掘削機 100 の後方には、トンネル掘削機 100 の掘進に追従して移動する後続台車が配置される。後続台車は、トンネル掘削機 100 の作動を制御する制御装置やトンネル掘削機 100 に電力を供給する電源装置、シールドトンネル TL を構築するための装置を運搬するためのものである。

【0028】

トンネル掘削機 100 は、カッタヘッド 20 を回転し、スクリーコンベヤ 30 により土砂を搬出し、シールドジャッキ 34 を伸長させて地山を掘進する。地山には掘削坑 204 が掘削されるとともに、掘削坑 204 の内周面に沿ってセグメントリング 202 が順次組み立てられることによってシールドトンネル TL が構築される。掘削坑 204 の内周面とセグメントリング 202 の外周面との間に生じる間隙には、第 1 の裏込め注入装置 35 により裏込め材（グラウト材）が注入され、セグメントリング 202 は裏込め材を介して地山に強固に結合された状態となる。

【0029】

10

20

30

40

50

ここで、本第１の実施形態においては、トンネル掘削機１００の前端部（＋Ｘ側の端部）の、カッタヘッド２０の近傍であって、隔壁１２の－Ｘ側に、地山探査装置４０が設けられている。また、地山探査装置４０の近傍（図１では－Ｘ側近傍）には、第２の裏込め注入装置４２が設けられている。

【００３０】

図３（ａ）、図３（ｂ）は、地山探査装置４０及びその近傍を拡大して、一部断面して示す図である。地山探査装置４０は、図３（ａ）に示すように、探査装置本体としてのシリンダ５２と、ロッド５４と、を有する。シリンダ５２は、＋Ｚ側の端部に設けられたフランジ部１５２を介して外殻１１の内周面に固定されており、ロッド５４を外殻１１の外周部から外部に突出させる。なお、シリンダ５２は、フランジ部１５２を介して外殻１１に固定されなくてもよい。例えば、シリンダ５２は、ねじ込み式で外殻１１に固定されてもよい。ロッド５４の押出力は、調整装置５８（図４参照）によって無段階で調整される。調整装置５８は、図４の制御装置９０により制御される。

10

【００３１】

地山探査装置４０には、ストローク計５６が設けられている。ストローク計５６は、直線変位計であり、ロッド５４のストローク量（突出量）を計測し、計測結果を制御装置９０に対して出力する。

【００３２】

本第１の実施形態では、地山探査装置４０においてロッド５４の押出力を第１の押出力（例えば１Ｎ程度の弱い押出力）に設定し、ロッド５４を図３（ｂ）に示すように＋Ｚ方向に突出させる。これにより、ロッド５４が＋Ｚ方向に移動した場合には、ロッド５４の上方（地山との間）に空隙があることが分かる。また、ロッド５４の移動が停止したときにストローク計５６によって計測されるストローク量は、空隙の深さ（空隙量）を意味する。

20

【００３３】

また、地山探査装置４０において、ロッド５４の押出力を第１の押出力から徐々に大きくすると、所定の押出力になったときに、ロッド５４が移動を開始する。このロッド５４の移動が開始した時点の押出力（第２の押出力）から、地山の安定度（地山強度）が分かる。

【００３４】

したがって、図４の制御装置９０は、地山探査装置４０の動作によって得られる情報（押出力やストローク量）に基づいて、地山に空隙（空洞）があるか否かや、空洞の深さ、地山の安定度（地山強度）を特定することができる。

30

【００３５】

図１に戻り、第２の裏込め注入装置４２は、地山の沈下を抑制するための薬液（裏込め材）を地山に対して供給する装置である。薬液は、例えば第１の裏込め注入装置３５が注入する裏込め材（グラウト材）と同一であってもよいし、その他の薬液であってもよい。図４の制御装置９０は、地山探査装置４０の特定結果に基づいて、第２の裏込め注入装置４２を制御する。また、制御装置９０は、地山探査装置４０の特定結果に基づいて、第１の裏込め注入装置３５を制御する。なお、制御装置９０による制御の詳細については後述する。

40

【００３６】

なお、図１においては、１つの地山探査装置４０と、その地山探査装置４０の近傍に設けられた第２の裏込め注入装置４２と、を図示しているが、実際には、地山探査装置４０は、外殻１１の内周面に沿って所定間隔で複数設けられてもよい。また、第２の裏込め注入装置４２は、複数の地山探査装置４０それぞれの近傍に対し薬液を供給できるようになっている。

【００３７】

図４は、第１の実施形態に係るトンネル掘削機１００の制御系を示すブロック図である。図４に示すように、トンネル掘削機１００においては、制御装置９０が、各部の動作を

50

統括的に制御する。制御装置 90 には、メモリ 92 が接続されており、メモリ 92 には、図 5 (a) に示すようなボーリングデータテーブルと、図 5 (b) に示すような押出力テーブルが格納されている。

【0038】

図 5 (a) のボーリングデータテーブルには、「地点 No.」と、各地点の「発進立坑からの距離」と、各地点の「深さ D (m) における地山強度 (N 値)」とが、関連付けて格納されている。各地点は、図 5 (c) に示すように、シールドトンネル TL の延伸方向に沿って発進立坑から所定距離 (例えば、1 つのセグメントピース 206 の幅程度の距離) ずつ離れた地点である。深さ D (m) における N 値は、事前に行われたボーリングにより計測された各地点 (深さ D (m)) の N 値である。N 値が大きいほど、土が締まっており地盤が強いと言える。

10

【0039】

図 5 (b) の押出力テーブルは、地山探査装置 40 のロッド 54 を地山に押し付けた状態からロッド 54 の押出力を徐々に上げていき、ロッド 54 の押出力がどの程度になったときにロッド 54 が動き出すか (ロッド 54 が地山に入り込むか) を、地山強度 (N 値) 毎に示すテーブルである。N 値が大きいほど土が締まっており、地盤が強いため、N 値が大きいほどロッド 54 が動き始める押出力は大きい。なお、押出力テーブルは、事前に行った実験の結果に基づいて作成されるものとする。

【0040】

(トンネル掘削機 100 の動作について)

20

次に、図 6、図 7 のフローチャートに沿って、その他図面を適宜参照しつつ、トンネル掘削機 100 の動作について詳細に説明する。なお、説明の便宜上、図 6、図 7 の処理が開始される際には、図 1 に示すように掘削坑 204 の内周面に沿ってセグメントリング 202 が複数組み立てられており、既にシールドトンネル TL の一部が構築されているものとする。なお、以下においては、地山の N 値が 0 ~ 5 の場合、軟弱地盤であり、沈下のおそれがあるため、直ちに第 2 の裏込め注入装置 42 から薬液を注入する必要があることを意味するものとする。また、地山の N 値が 5 ~ 20 の場合、沈下の懸念はあるものの、直ちに第 2 の裏込め注入装置 42 から薬液を注入する必要はないことを意味するものとする。また、地山の N 値が 20 以上の場合、沈下の懸念がなく、第 2 の裏込め注入装置 42 から薬液を注入する必要はないことを意味するものとする。

30

【0041】

図 6 の処理が開始されると、まず、ステップ S10 において、制御装置 90 は、トンネル掘削機 100 を用いた 1 セグメント分の掘進を行う。ここで、1 セグメント分の掘進について、図 8 (a) ~ 図 9 に基づいて説明する。図 8 (a) には、掘削坑 204 の内周面に沿ってセグメントリング 202 が複数組み立てられ、シールドトンネル TL の一部が構築された状態が示されている。

【0042】

この図 8 (a) の状態から、制御装置 90 は、モータ 14 を制御して、カッタヘッド 20 を回転し、図 8 (b) に示すように、シールドジャッキ 34 を伸長させて (図 8 (b) の矢印 E1 参照)、地山を掘進する (図 8 (b) の矢印 E2 参照)。この掘進において、制御装置 90 は、1 つのセグメントピース 206 の X 軸方向の幅分だけ、シールドジャッキ 34 を伸長させる。また、制御装置 90 は、スクリューコンベヤ 30 を動作させることにより、チャンバ CB 内の土砂を搬出する。

40

【0043】

図 6 に戻り、次のステップ S12 において、制御装置 90 は、1 セグメント分の掘進が完了するまで待機する。1 セグメント分の掘進が完了すると、次のステップ S14 に移行し、制御装置 90 は、図 9 において黒塗りで示すように、新たなセグメントピース 206 の組み立てをエレクタ 33 を用いて開始し、円筒状のセグメントリング 202 を構築する。なお、このセグメントリング 202 の構築の際には、制御装置 90 は、モータ 14 (カッタヘッド 20) や、スクリューコンベヤ 30 を停止させる。また、制御装置 90 は、掘

50

掘削坑204の内周面とセグメントリング202の外周面との間に生じる間隙に、第1の裏込め注入装置35から裏込め材を注入する（図9のグレー部分参照）。なお、制御装置90は、後述する処理において特定される空洞の有無や深さに基づいて、第1の裏込め注入装置35から注入する裏込め材の量を適切な量に調整することができる。

【0044】

なお、ステップS16以降の処理は、ステップS14のセグメントピース206の組み立てが終了する前から実施するものとする。すなわち、セグメントピース206の組み立てと、ステップS16以降の処理は同時並行的に実行される。

【0045】

ステップS16において、制御装置90は、地山探査装置40を制御して、第1の押出力（ここでは、1Nとする）でロッド54が停止するまでロッド54を伸ばす。このとき、掘削坑204の内周に空洞が無ければ、図10（a）に示すような位置（ストローク長La）で、ロッド54は停止する。これに対し、掘削坑204に空洞があれば、図10（b）に示すような位置（ストローク長Lb）で、ロッド54は停止する。

【0046】

次いで、ステップS18において、制御装置90は、ロッド54が停止したときのストロークが通常の間隙より大きいかな否かを判断する。通常の間隙は、図10（a）のストローク長Laであるものとする。このステップS18の判断が否定された場合（すなわち、図10（a）のような場合）には、ステップS22に移行する。一方、ステップS18の判断が肯定された場合（すなわち、図10（b）のような場合）には、ステップS20に移行する。ステップS20に移行すると、制御装置90は、空洞があると判断する。その後は、ステップS22に移行する。

【0047】

ステップS22に移行すると、制御装置90は、地山探査装置40を制御して、第2の押出力（ここでは、10Nとする）まで、ロッド54の押出力を徐々に上げる。

【0048】

次いで、ステップS24において、制御装置90は、第2の押出力に到達するまでの間に、ロッド54が動き出したかな否かを判断する。ここで、ロッド54が動き出した場合には、地山の安定度が低く、地山が緩んでおり、早めに対策をしないと地盤沈下が生じる可能性があることを意味する。したがって、ステップS24の判断が肯定された場合には、ステップS26に移行して、制御装置90は、地山探査装置40を制御して、ロッド54を縮める（図3（a）参照）。そして、ステップS28において、制御装置90は、第2の裏込め注入装置42を制御して、掘削坑204の内周に薬液を注入する。ここで、制御装置90は、ステップS20において空洞が存在すると判断した場合には、ステップS18でロッドが停止した時点におけるロッド54のストローク長から空洞の深さを特定し、空洞の深さに応じた量の薬液を注入（投入）する。一方、ステップS20を経していない場合（空洞があると判断していない場合）には、制御装置90は、予め定められている量の薬液を掘削坑204の内周面に向けて注入する。

【0049】

次いで、ステップS30に移行すると、制御装置90は、次の掘削を実施するかな否かを判断する。このステップS30の判断が肯定された場合には、ステップS10に戻る。これに対し、ステップS30の判断が肯定された場合（トンネル掘削機100が到達立坑（図5（c）参照）まで到達した場合）には、図6、図7の全処理を終了する。

【0050】

ところで、ステップS24の判断が否定された場合、すなわち、第2の押出力（10N）に到達するまでの間に、ロッド54が動き出さなかった場合には、制御装置90は、図7のステップS32に移行する。

【0051】

図7のステップS32に移行すると、制御装置90は、メモリ92のボーリングデータテーブル（図5（a））を参照して、現在の地点の深さD（m）におけるボーリングデー

10

20

30

40

50

タが、 N 値 ≥ 20 であるか否かを判断する。このステップ S 3 2 の判断が肯定された場合には、ステップ S 3 4 に移行し、制御装置 9 0 は、押出力テーブル（図 5（b））を参照して、 N 値 $= 20$ に対応する押出力を特定し（図 5（b）の場合、 40 N ）、その押出力までロッド 5 4 の押出力を徐々に上げる。一方、ステップ S 3 2 の判断が否定された場合には、ステップ S 3 6 に移行し、制御装置 9 0 は、押出力テーブル（図 5（b））を参照して、ボーリングデータの N 値に対応する押出力を特定し、その押出力まで、ロッド 5 4 の押出力を徐々に上げる。例えば、ボーリングデータの N 値が 10 であった場合には、図 5（b）より、押出力を 20 N まで徐々に上げる。

【0052】

次いで、ステップ S 3 8 において、制御装置 9 0 は、ステップ S 3 4 又は S 3 6 のようにして押出力を徐々に上げている間に、ロッド 5 4 が動き出したか否かを判断する。このステップ S 3 8 の判断が肯定された場合には、ステップ S 4 0 に移行し、ロッド 5 4 が動き出したときの押出力から地山の N 値を特定する。例えば、押出力が 10 N のときにロッド 5 4 が動き出した場合には、制御装置 9 0 は、図 5（b）の押出力テーブルを参照して、地山の N 値 $= 5$ （押出力 10 N に対応する N 値）と特定する。

【0053】

一方、ステップ S 3 8 の判断が否定された場合、すなわち、ステップ S 3 4 又は S 3 6 のようにして押出力を徐々に上げて、ロッド 5 4 が動き出さなかった場合には、ステップ S 4 2 に移行し、最後に設定された押出力から地山の N 値を特定する。例えば、押出力が徐々に上げられ、最終的に 20 N になってもロッド 5 4 が動き出さなかった場合には、制御装置 9 0 は、図 5（b）の押出力テーブルを参照して、地山の N 値 $= 10$ （押出力 20 N に対応する N 値）と特定する。

【0054】

なお、本第 1 の実施形態では、ボーリングデータの N 値が 20 以上である場合に、 N 値 $= 20$ に対応する押出力（ 40 N ）までロッド 5 4 の押出力を徐々に上げることとしている（ステップ S 3 4）。押出力を 40 N まで上げて、ロッド 5 4 が動き出さなければ、地山が強固であることが明らかであるため、押出力の上限を 40 N とすることで、地山探査装置 4 0 を用いた処理の時間を短くすることが可能となる。

【0055】

その後、ステップ S 4 4 に移行し、制御装置 9 0 は、地山探査装置 4 0 を制御して、ロッド 5 4 を図 3（a）の状態になるまで縮める。

【0056】

次いで、ステップ S 4 6 に移行すると、制御装置 9 0 は、次の掘削を実施するか否かを判断する。このステップ S 4 6 の判断が肯定された場合には、ステップ S 1 0 に戻る。これに対し、ステップ S 4 6 の判断が否定された場合（トンネル掘削機 1 0 0 が到達立坑（図 5（c）参照）まで到達した場合）には、図 6、図 7 の全処理を終了する。

【0057】

以上のように、図 6、図 7 の処理を実行することで、トンネル掘削機 1 0 0 により 1 セグメント分ずつトンネルを掘り進めることができるとともに、セグメントピース 2 0 6 を組み立てている間（トンネル掘削機 1 0 0 が停止している間）に、掘削坑 2 0 4 における空洞の有無や深さ、地山の安定度を特定する処理（地山探査処理）を行うことができる。

【0058】

以上、詳細に説明したように、本第 1 の実施形態によると、地山探査装置 4 0 は、トンネル掘削機 1 0 0（外殻 1 1）の内部に設けられたシリンダ 5 2 と、シリンダ 5 2 に対し出沒可能であり、トンネル掘削機 1 0 0（外殻 1 1）の外周部から外部に突出可能なロッド 5 4 と、シリンダ 5 2 からのロッド 5 4 の押出力を調整する調整装置 5 8 と、を備えている。そして、調整装置 5 8 は、制御装置 9 0 の指示の下、第 1 の押出力（例えば 1 N ）でロッド 5 4 を突出させた後に、第 1 の押出力より大きな第 2 の押出力（ 1 N よりも大きい押出力）によりロッド 5 4 を突出させる。これにより、第 1 の押出力でロッド 5 4 を突出させているときのロッド 5 4 の動きに基づいて、地山探査装置 4 0 に対向する掘削坑

10

20

30

40

50

204の内周面に空洞があるか否か、空洞がどの程度の大きさ（空隙量）であるかを特定することができる。また、第2の押出力でロッド54を突出させているときのロッド54の動きに基づいて、掘削坑204の地山の安定度（地山強度）を特定することができる。

【0059】

また、本第1の実施形態によると、制御装置90は、地山の安定度に基づいて裏込め材を地山に投入するタイミングを決定している（図6のステップS28）。これにより、地山の安定度が低く、沈下が起こりやすい場合に、早めに地山を補強することが可能である。また、制御装置90は、空洞の大きさ（深さ）に基づいて、裏込め材の注入量を決定するため、空洞を埋めるのに適切な量の裏込め材を注入することができる。

【0060】

また、本第1の実施形態では、シリンダ52とロッド54が、トンネル掘削機100の前端部（+X側の端部）近傍に設けられている。これにより、カッタヘッド20が掘削した地山の空洞量や安定度を早期に特定し、地山の安定度が低い場合に、早期に対策を講じることができる。

【0061】

また、本第1の実施形態では、制御装置90は、事前に実施した地山のボーリングデータに基づいて、押出力を調整する（S34、S36）。これにより、地山探査装置40による探査処理を効率よく実施することができる。なお、第1の実施形態においては、ボーリングデータに基づいて第1の押出力を決定することとしてもよい。

【0062】

なお、上記第1の実施形態では、地山探査装置40が、外殻11の外周方向の地山を探査する場合について説明したが、これに限られるものではない。例えば、地山探査装置40は、カッタヘッド20の前方の地山を探査することとしてもよい。この場合、シリンダ52を隔壁12の+X側に設け、地山の探査の際には、ロッド54をスポーク部21間の開口部25から突出させるようにすればよい。

【0063】

なお、上記第1の実施形態では、地山探査装置40の-X側に第2の裏込め注入装置42を設けることとしたが、これに限らず、第2の裏込め注入装置42は、地山探査装置40の+X側や-Y側、+Y側などに設けることとしてもよい。

【0064】

なお、上記第1の実施形態では、図6のステップS28において薬液を注入した後に、地山探査装置40を用いて、地山の強度を確認する処理（薬液の効果が発揮されているか否かを確認する処理）を行うこととしてもよい。

【0065】

（変形例）

なお、上記第1の実施形態では、トンネル掘削機100の制御装置90が地山探査装置40を制御する場合について説明したが、これに限られるものではない。図11は、第1の実施形態の変形例に係る制御系を示すブロック図である。図11に示すように、変形例においては、トンネル掘削機100が通信装置94を有しており、通信装置94を介して地山探査装置40が接続されている。地山探査装置40は、前述した調整装置58及びストローク計56と、探査制御装置62と、メモリ64と、通信装置66と、を有する。探査制御装置62は、通信装置66を介して、トンネル掘削機100の制御装置90から送信されてくる地山探査のタイミングの情報を取得する。そして、探査制御装置62は、地山探査のタイミングにおいて、地山探査の処理（図6、図7のステップS16～S26、S32～S44の処理）を実行する。なお、メモリ64には、図5（a）、図5（b）のテーブルが格納されているものとする。このため、探査制御装置62は、地山探査の際には、メモリ64に格納されている各テーブルを参照する。ここで、探査制御装置62は、ステップS26の処理を行った場合に、トンネル掘削機100の制御装置90に対して、処理が終了した旨と、第2の裏込め注入装置42を用いた薬液の注入指示を出力する。この場合、制御装置90は、第2の裏込め注入装置42を用いて、地山強度が低い箇所に薬

10

20

30

40

50

液を注入する（ステップＳ２８）。また、探査制御装置６２は、ステップＳ４４の処理を行った後は、処理が終了した旨と処理の結果得られた地山に関する情報を、通信装置６６を介して、トンネル掘削機１００の制御装置９０に対して出力する。この場合、トンネル掘削機１００の制御装置９０は、探査制御装置６２から受信した情報に基づいて、トンネル掘削を継続したり、第１の裏込め注入装置３５からの裏込め材の注入量を調整したりする。

【００６６】

《第２の実施形態》

以下、第２の実施形態について、図１２（ａ）、図１２（ｂ）に基づいて説明する。図１２（ａ）には、第２の実施形態に係る第１の地山探査装置４０１が示されている。本第２の実施形態の第１の地山探査装置４０１は、第１の実施形態の地山探査装置４０の構成に加えて、ロッド５４の＋Ｚ端部近傍に温度センサ７１及び水分センサ７２を備えている。

10

【００６７】

温度センサ７１は、ロッド５４が地山に貫入された状態で、地山の温度や地下水の温度を検出する。温度センサ７１の検出結果は、制御装置９０（図４）や探査制御装置６２（図１１）に送信される。制御装置９０や探査制御装置６２は、温度センサ７１の検出結果に基づいて、ロッド５４の先端が接触している岩盤の変化をモニタすることができるので、岩盤の変化に応じて、裏込め材を注入するか否かを判断するなどすることができる。

【００６８】

水分センサ７２は、地山表面の水分量を検出する。水分センサ７２の検出結果は、制御装置９０（図４）や探査制御装置６２（図１１）に送信される。制御装置９０や探査制御装置６２は、水分センサ７２の検出結果に基づいて、地山の表面にロッド５４の先端が接触したか否かを検出することができるので、水分量の変化とロッド５４のストローク量とに応じて空洞の有無や空洞の深さを特定することができる。

20

【００６９】

また、本第２の実施形態においては、図１２（ｂ）に示す第２の地山探査装置４０２のように、第１の実施形態の地山探査装置４０の構成に加えて、シリンダ５２の上端部（＋Ｚ端部）に、撮像装置７３と、レーザ距離計７４と、を備えていてもよい。

【００７０】

撮像装置７３は、例えば＋Ｚ方向を撮像する。撮像装置７３が撮像した画像は、制御装置９０（図４）や探査制御装置６２（図１１）に送信される。制御装置９０や探査制御装置６２は、撮像画像を画像処理することにより、空洞の形状や大きさを特定することができる。なお、撮像装置７３の近傍に照明装置を設けておき、撮像装置７３による撮像の際に照明装置を用いて地山を照明するようにしてもよい。

30

【００７１】

レーザ距離計７４は、例えば＋Ｚ方向にレーザを射出することにより、＋Ｚ方向における地山との距離を計測するためのものである。レーザ距離計７４の計測結果は、制御装置９０（図４）や探査制御装置６２（図１１）に送信される。制御装置９０や探査制御装置６２は、レーザ距離計７４の計測結果に基づいて、空洞の有無や空洞の深さを特定することができる。なお、図６のステップＳ１６の処理に代えて、レーザ距離計７４を用いて空洞の有無や深さを特定してもよいし、図６のステップＳ１６とレーザ距離計７４を用いた処理との両方を実行し、各処理の結果を両方用いて空洞の有無や深さを特定するようにしてもよい。例えば、レーザ距離計７４を用いて、空洞の深さを特定し、当該空洞の深さに基づいてロッド５４の先端（＋Ｚ端部）を地山表面に高速で近づけた状態から図６のステップＳ１６の処理を実行することとしてもよい。これにより、ステップＳ１６の処理時間を短縮することができる。

40

【００７２】

なお、温度センサ７１、水分センサ７２、撮像装置７３、レーザ距離計７４は、泥などによる汚れによって計測精度が悪化したり、画像の画質等が悪くなるおそれがある。したがって、ロッド５４やシリンダ５２に、温度センサ７１、水分センサ７２、撮像装置７３

50

及びレーザ距離計 7 4 を洗浄するための洗浄液（水）を噴射するための液体噴射装置を設けることとしてもよい。なお、液体噴射装置に代えて、気体を用いて土砂等を吹き飛ばす気体噴射装置を設けることとしてもよい。また、温度センサ 7 1、水分センサ 7 2、撮像装置 7 3 及びレーザ距離計 7 4 を土砂等から保護するためのシャッタを設けることとしてもよい。

【0073】

なお、本第 2 の実施形態の地山探査装置は、図 1 2（a）と図 1 2（b）に図示した温度センサ 7 1、水分センサ 7 2、撮像装置 7 3、レーザ距離計 7 4 の全てを備えていてもよいし、少なくとも 1 つを備えていてもよい。

【0074】

なお、ロッド 5 4 を駆動する際に所定の押出力を維持する場合、ロッド 5 4 にかかる力（地山の抵抗）により、駆動電流が変化する。したがって、電流計を用いて駆動電流を計測することで、地山強度の変化（地盤の硬さの変化）を測定することとしてもよい。

【0075】

なお、上記第 2 の実施形態では、ロッド 5 4 の先端（+Z 端部）近傍に、第 2 の裏込め注入装置 4 2 から供給される薬液を噴射する噴射ノズルを設けてもよい。これにより、直ちに薬液を注入する必要があると判断されたときに、図 6 のステップ S 2 8 において、ロッド 5 4 の先端から薬液を噴射することが可能である。

【0076】

《第 3 の実施形態》

次に、第 3 の実施形態について、図 1 3～図 1 4（b）に基づいて詳細に説明する。本第 3 の実施形態においては、図 1 3 に示すように、トンネル掘削機 1 0 0 内に、地山探査装置 4 0 を X 軸方向に駆動するための変更装置としての X 駆動機構 1 0 2 が設けられている点に特徴を有する。

【0077】

X 駆動機構 1 0 2 は、地山探査装置 4 0 を保持する板状の保持部材 1 0 4 と、保持部材 1 0 4 の X 軸方向への移動を許容しつつ、保持部材 1 0 4 を下側（-Z 側）から支持する支持部材 1 0 6 と、保持部材 1 0 4 を X 軸方向にスライド移動させる移動装置としてのスライドジャッキ 1 0 8 と、を有する。

【0078】

保持部材 1 0 4 の略中央部には Z 軸方向に貫通する貫通孔 1 0 5 が形成されており、当該貫通孔 1 0 5 において地山探査装置 4 0 のシリンダ 5 2（フランジ部 1 5 2）を保持している。なお、トンネル掘削機 1 0 0 の外殻 1 1 には、ロッド 5 4 を貫通させるための長孔 1 1 1 が形成されている。長孔 1 1 1 は、X 軸方向に延びており、ロッド 5 4 が伸びた状態で地山探査装置 4 0 が X 軸方向へ移動しても、ロッド 5 4 と外殻 1 1 とが機械的に干渉しないようになっている。

【0079】

保持部材 1 0 4 の上面には、Oリング等のシール部材 1 1 0 が設けられている。シール部材 1 1 0 は、外殻 1 1 の外側の水や泥が長孔 1 1 1 を介して外殻 1 1 の内部に浸入するのを抑制する。

【0080】

スライドジャッキ 1 0 8 は、シリンダと、シリンダに対して X 軸方向に移動可能なロッドと、を有する。ロッドが伸びる（+X 方向に移動する）ことにより、保持部材 1 0 4 及び地山探査装置 4 0 が外殻 1 1 に対して +X 方向に相対的に移動する。また、ロッドが縮む（-X 方向に移動する）ことにより、保持部材 1 0 4 及び地山探査装置 4 0 が外殻 1 1 に対して -X 方向に相対的に移動する。

【0081】

本第 3 の実施形態においては、トンネル掘削機 1 0 0 が掘進動作を行っている間（すなわち、+X 方向に移動している間）に、地山探査装置 4 0 を用いて、地山における空洞の有無や深さの特定、地山の安定度の特定処理を実行する。

10

20

30

40

50

【0082】

図14(a)、図14(b)は、図13の地山探査装置40を用いた処理を説明するための図である。トンネル掘削機100の制御装置90は、掘進動作を行っている間において、シールドジャッキ34のロッドの移動速度（すなわち、図14(a)のトンネル掘削機100の矢印D1方向(+X方向)への移動速度)と、スライドジャッキ108のロッドの移動速度（すなわち、図14(a)の保持部材104の矢印D2方向(-X方向)への移動速度)と、を同一にして、図6、図7のステップS16~S26、S32~S44の処理を実行する。この場合、地山探査装置40の移動方向と移動速度を上述のように設定することにより、図14(b)に示すように、地山探査装置40は地山に対して停止した状態を維持する。これにより、トンネル掘削機100が掘進中も、地山探査装置40を用いて、地山における空洞の有無や深さ、地山の安定度を特定することが可能である。これにより、掘進していない状態でしか地山探査装置40を用いた処理が行えないという制約がなくなるため、トンネル掘削の工期の短縮を図ることが可能となる。

10

【0083】

なお、上記第3の実施形態においては、トンネル掘削機100の掘進動作中に地山探査装置40を用いた処理を行う場合について説明したが、これに限られるものではない。例えば、トンネル掘削機100が掘進動作を行っていない間(停止中)に、地山探査装置40を用いた処理を実行するとともに、X軸方向に所定距離だけ移動し、地山探査装置40を用いた処理を再度実行するという処理を繰り返すこととしてもよい。このようにすることで、地山における空洞の有無や深さ、地山強度の特定処理を多数の箇所において実行することができる。

20

【0084】

(変形例)

なお、上記第3の実施形態では、地山探査装置40がロッド54とシリンダ52とを有する装置である場合について説明したが、これに限らず、図15に示すように、地山探査装置40は、ロッド54やシリンダ52に代えて、その上端部にレーザ距離計74を有する装置であってもよい。

【0085】

この図15の例の場合、例えば、トンネル掘削機100が停止している間に、地山探査装置40をX軸方向に移動させながらレーザ距離計74を用いて対向する地山との距離を計測する。これにより、地山のXZ断面形状(空洞のXZ断面形状)を測定することができる。

30

【0086】

また、例えば、トンネル掘削機100が停止している間に、地山探査装置40をX軸方向に移動させるとともに、レーザ距離計74のレーザをX軸回りにスキャンすることにより、地山との距離を計測する。これにより、地山の3次元形状(空洞の3次元形状)を測定することができる。

【0087】

また、例えば、トンネル掘削機100が掘進している間に、地山探査装置40をX軸方向に移動させながらレーザ距離計74を用いて対向する地山との距離を計測することとしてもよい。これにより、トンネル掘削機100が掘進している間に、地山のXZ断面形状(空洞のXZ断面形状)を測定することができる。更に、トンネル掘削機100が掘進している間に、地山探査装置40をX軸方向に移動させるとともに、レーザ距離計74のレーザをX軸回りにスキャンすることにより、地山との距離を計測することとしてもよい。これにより、トンネル掘削機100が掘進している間に、地山の3次元形状(空洞の3次元形状)を測定することができる。

40

【0088】

上述したように、地山の断面形状や3次元形状を測定することで、第1の裏込め注入装置35や第2の裏込め注入装置42から地山に注入すべき裏込め材の量を適切な量に調整することができる。

50

【0089】

なお、上記各実施形態及び変形例においては、制御装置90又は探査制御装置62は、空洞があると判断した場合や、地山強度が低い場合に、その旨を外部装置（例えば作業者が使用するPC）に対して出力して、警告を発するようにしてもよい。

【0090】

なお、上記各実施形態及び変形例のトンネル掘削機100は、いわゆる泥土圧式シールド掘進機である。これに代えて、トンネル掘削機100は、チャンバCB内に対して泥水を給排することによりチャンバCB内に滞留した掘削土砂をトンネル掘削機100の後方へと搬出する泥水給排装置を備えた、いわゆる泥水圧式シールド掘進機であってもよい。

【0091】

上述した実施形態は本発明の好適な実施の例である。但し、これに限定されるものではなく、本発明の要旨を逸脱しない範囲内において種々変形実施可能である。

【符号の説明】

【0092】

- 40 地山探査装置
- 52 シリンダ（探査装置本体）
- 54 ロッド
- 58 調整装置
- 62 探査制御装置（制御装置）
- 71 温度センサ
- 72 水分センサ
- 73 撮像装置
- 74 レーザ距離計
- 100 トンネル掘削機
- 102 X駆動機構（変更装置）
- 108 スライドジャッキ（移動装置）

10

20

30

40

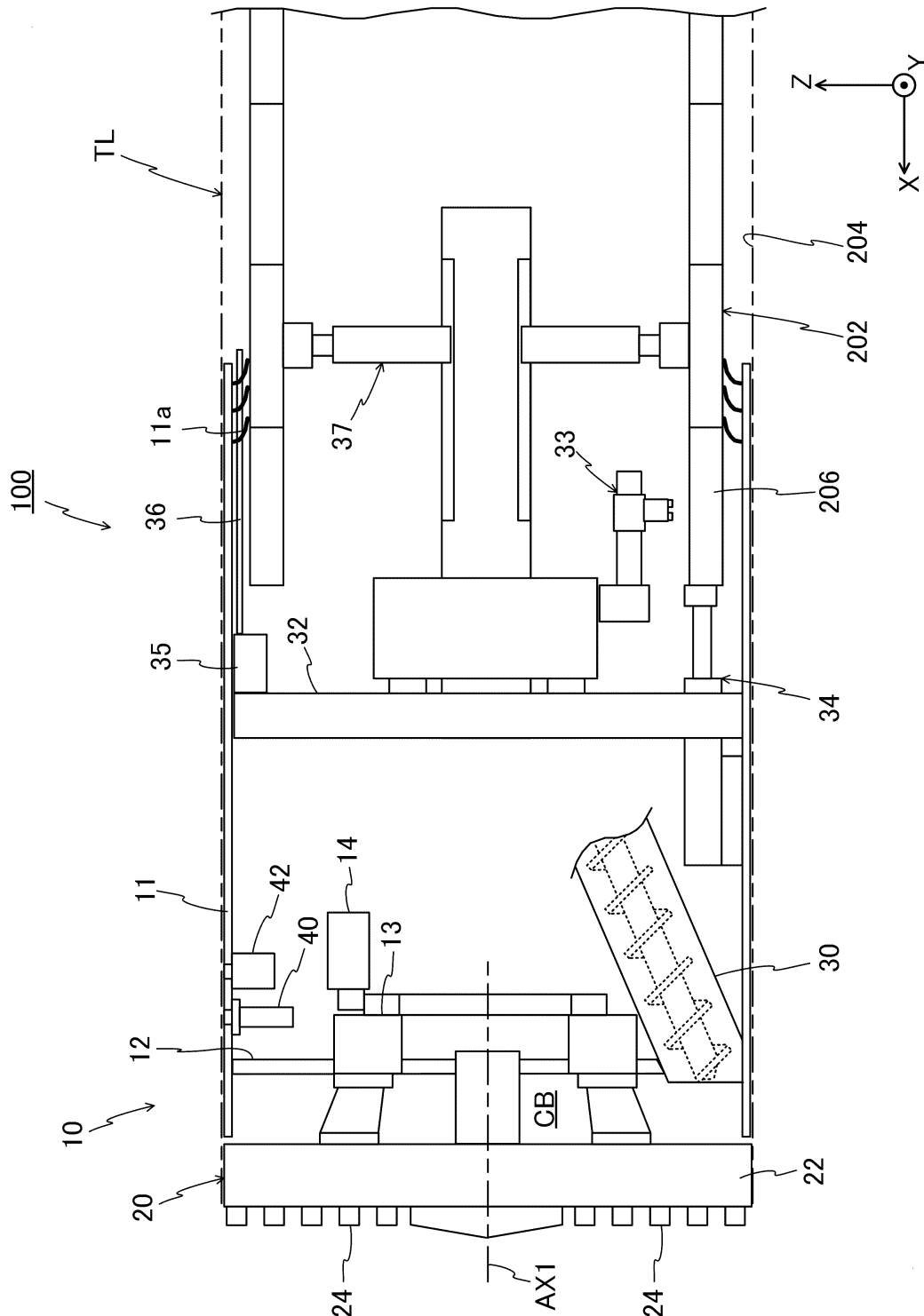
50

【要約】

【課題】地山の状態を正確に探査する。

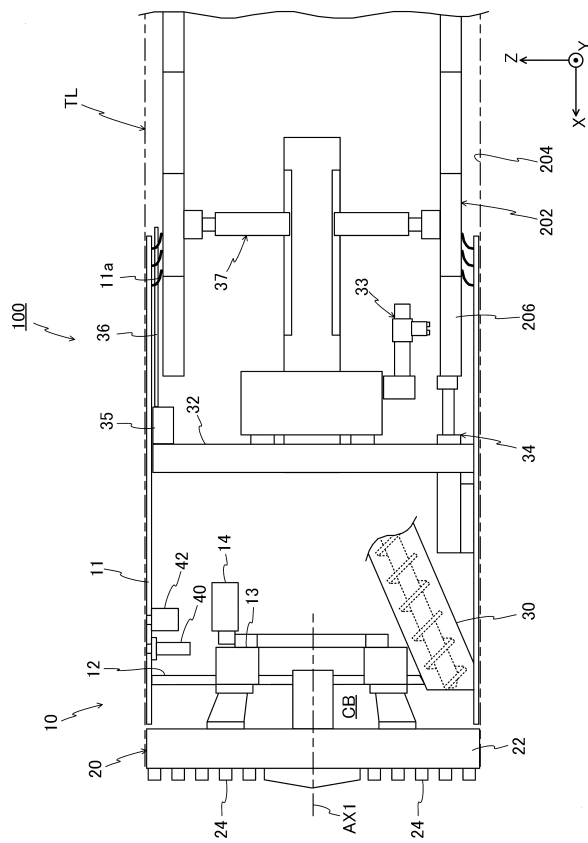
【解決手段】地山探査装置は、トンネル掘削機 100 に設置されて地山の強度を探査するための地山探査装置 40 であって、前記トンネル掘削機の内部に設けられた探査装置本体と、前記探査装置本体に対して出沒可能であり、前記トンネル掘削機の外周部から外部に突出可能なロッドと、前記探査装置本体からの前記ロッドの押出力を調整する調整装置と、前記調整装置により調整された第 1 の押出力により前記ロッドを突出させた後に、前記調整装置により調整され、前記第 1 の押出力より大きな第 2 の押出力により前記ロッドを突出させる制御装置と、を備える。

【選択図】 図 1

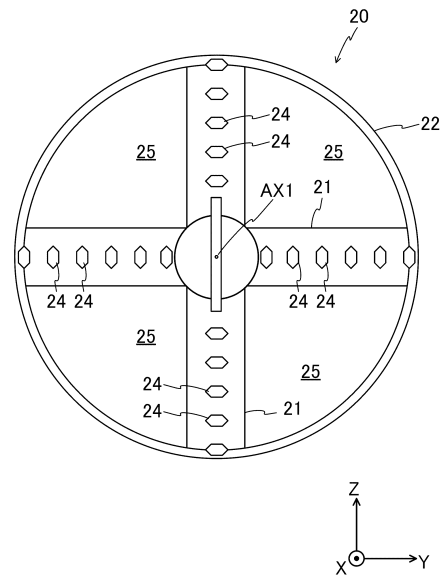


【図面】

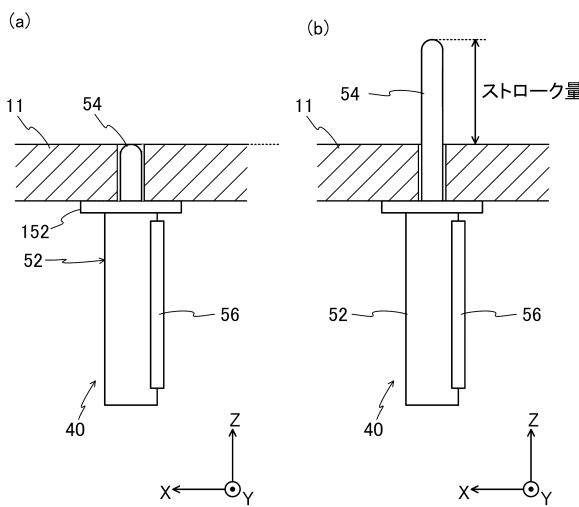
【図 1】



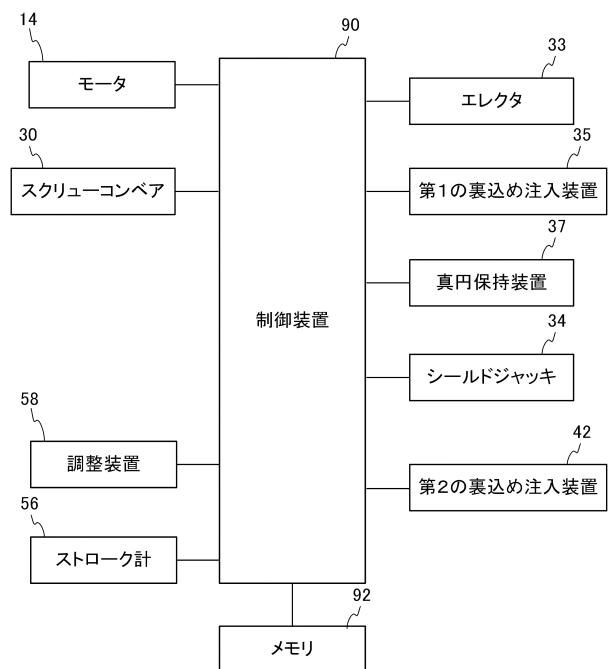
【図 2】



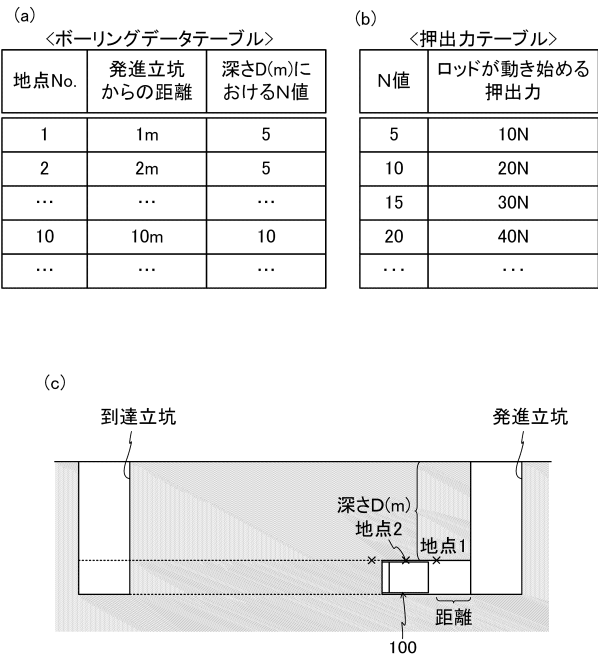
【圖 3】



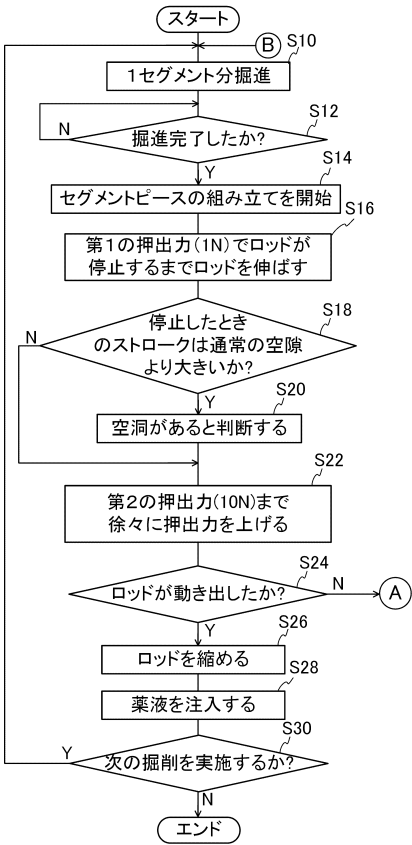
【図 4】



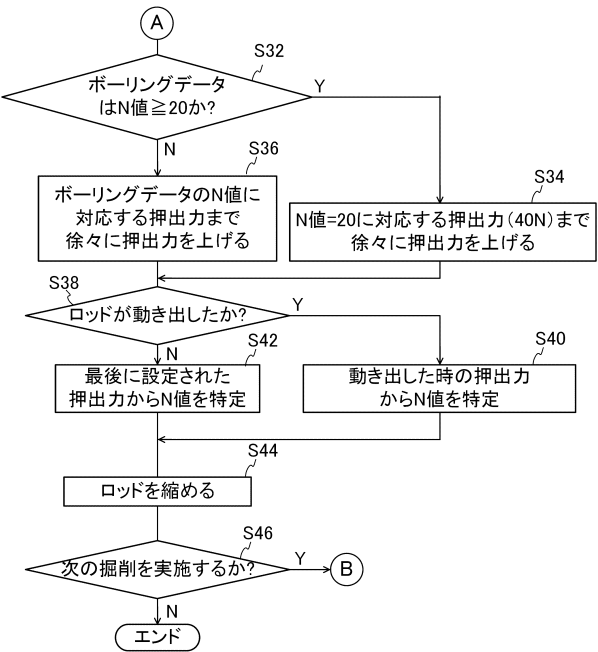
【図 5】



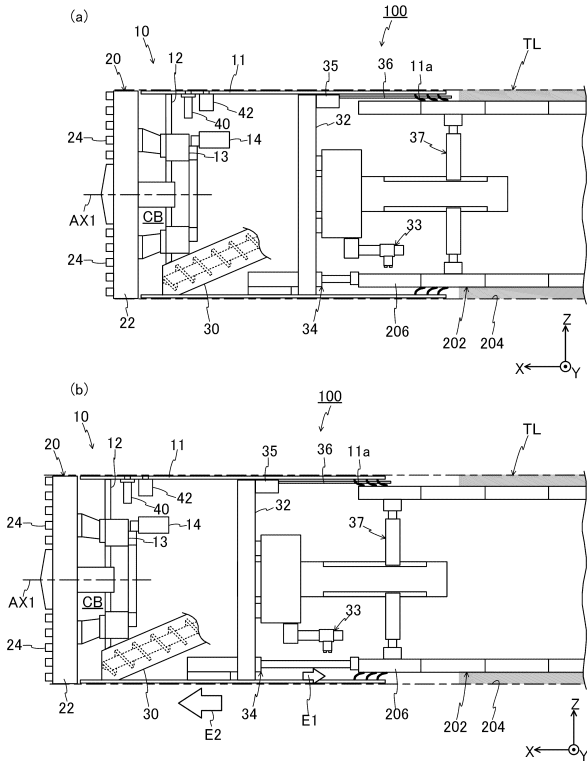
【図 6】



【図 7】



【図 8】



10

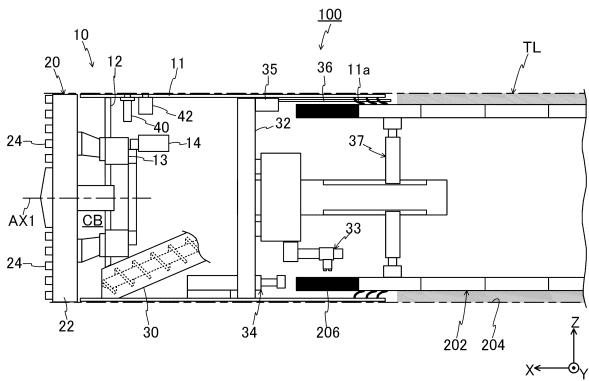
20

30

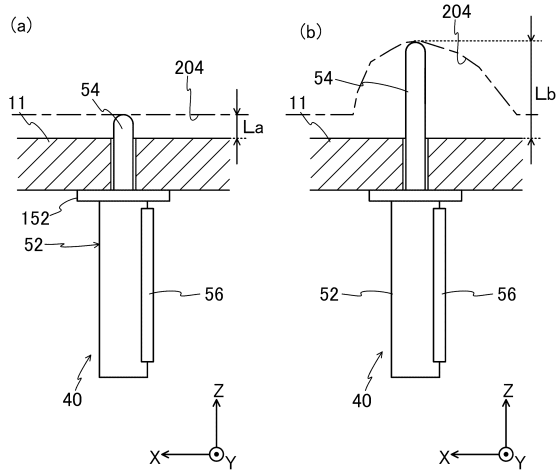
40

50

【図 9】



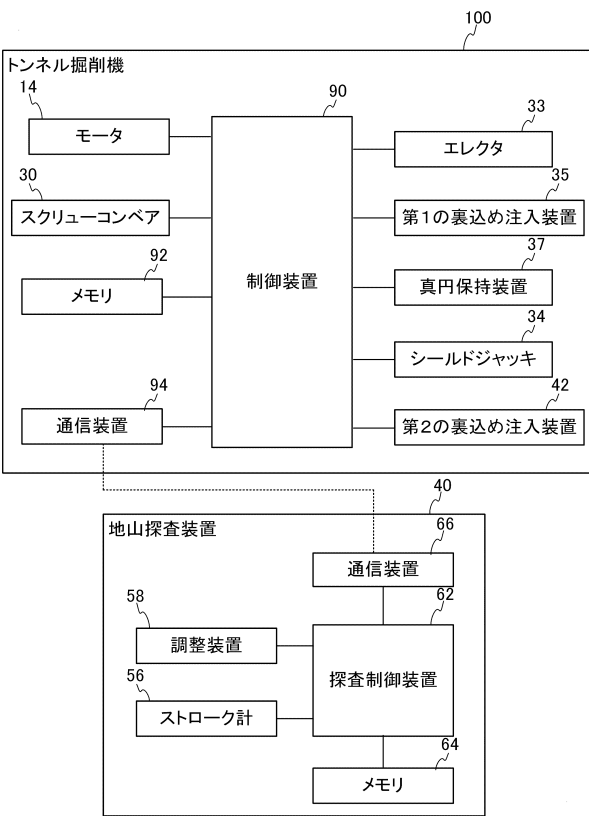
【図 10】



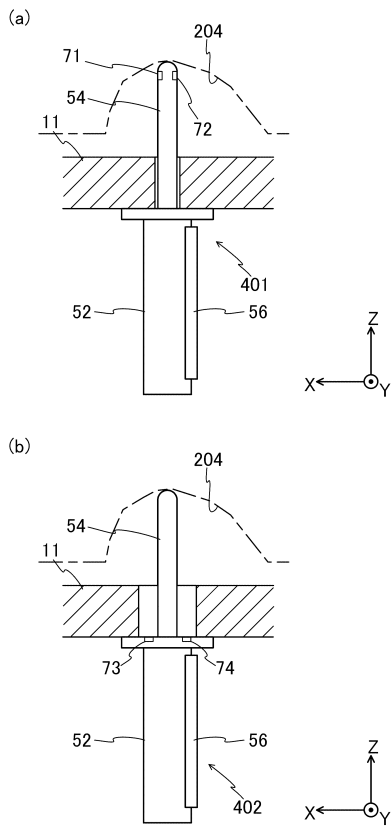
10

20

【図 11】



【図 12】

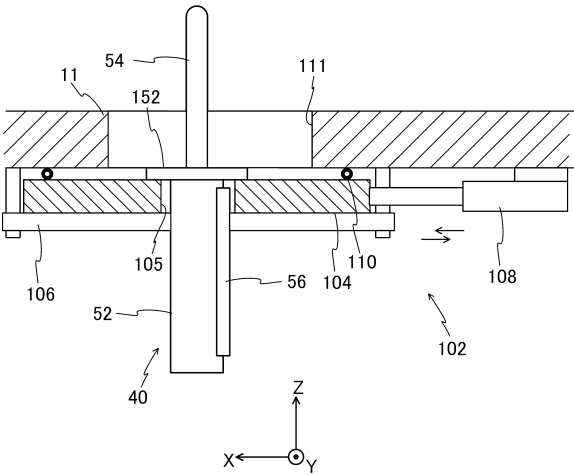


30

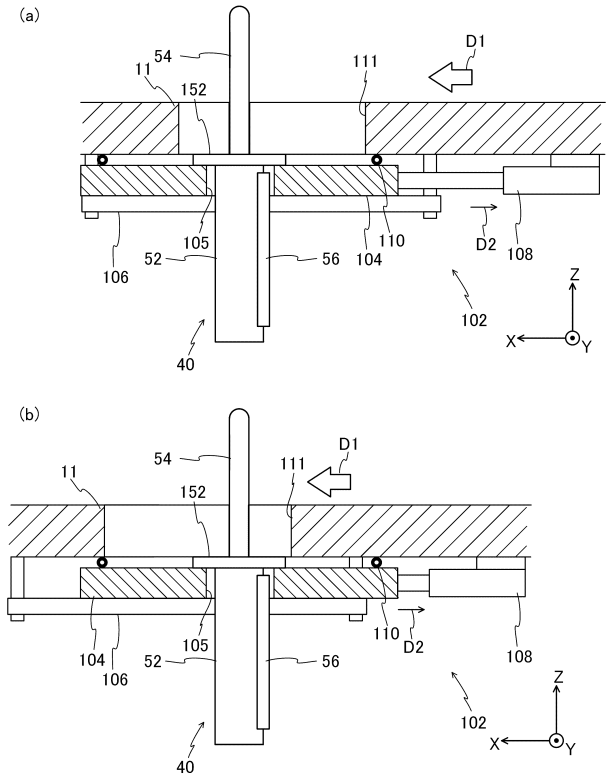
40

50

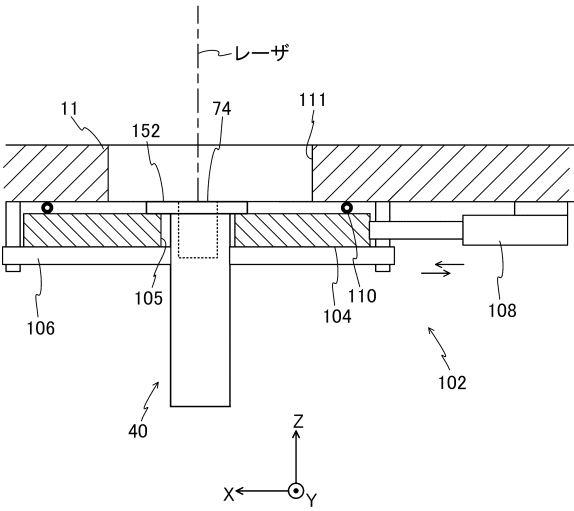
【図 1 3】



【図 1 4】



【図 1 5】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

神奈川県厚木市中町 2-6-10 国土開発工業株式会社内

審査官 五十幡 直子

- (56)参考文献 特開 2021-075858 (JP, A)
特開 2011-196068 (JP, A)
特開 2001-082905 (JP, A)
実開昭 60-154499 (JP, U)
特開昭 58-037295 (JP, A)
- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
E 21 D 1/00~9/14
E 21 D 11/00~11/40
G 01 B 5/18
G 01 C 15/00~15/14