明　細　書

発明の名称 ： トンネル掘進機の掘削状況監視システム

技術分野

[0001] 本発明は、トンネル掘進機の掘削状況監視システムに関し、特に、振動または音波を検出するトンネル掘進機の掘削状況監視システムに関する。

背景技術

[0002] 従来、音波を検出するトンネル掘進機の掘削状況監視システムが知られている。このようなトンネル掘進機の掘削状況監視システムは、たとえば、特許第３２７５０８５号公報に開示されている。

[0003] 特許第３２７５０８５号公報には、カッタヘッド（カッタフェイス）背面の密閉チャンバの後部の隔壁に取り付けられた音波センサと、音波センサにより検出された音波（信号）に基づいて音声出力するスピーカとを備えたトンネル掘進機の掘削状況監視システムが開示されている。このトンネル掘進機の掘削状況監視システムでは、カッタヘッド背面の密閉チャンバの後部の隔壁に取り付けられた音波センサにより、カッタヘッドによる地山の掘削音を検出するとともに、その検出信号をスピーカにより音声出力することによって、聴覚的に掘削状況を把握することが可能である。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：特許第３２７５０８５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、特許第３２７５０８５号公報のトンネル掘進機の掘削状況監視システムでは、音波センサがカッタヘッドから密閉チャンバを隔てた後方の位置（隔壁）に配置されているため、カッタヘッドによる地山の掘削音（音波信号）が音波センサに到達するまでに減衰してしまうという不都合がある。このため、特許第３２７５０８５号公報のトンネル掘進機の掘削状況

監視システムでは、カッタヘッドが礫等の支障物に接触した場合に、正確な音波信号の検出が困難である。その結果、カッタヘッドによる地山の掘削音に基づいて音声出力する場合に、掘削状況（礫等の支障物の有無）を聴覚的に正確に把握することが困難であるという問題点がある。

[0006] この発明は、上記のような課題を解決するためになされたものであり、この発明の１つの目的は、掘削状況（礫等の支障物の有無）を聴覚的に正確に把握することが可能なトンネル掘進機の掘削状況監視システムを提供することである。

課題を解決するための手段

[0007] 上記目的を達成するために、この発明の一の局面におけるトンネル掘進機の掘削状況監視システムは、トンネル掘進機のカッタヘッドに取り付けられ、振動を検出する加速度計または音波を検出する音響センサからなる検出部と、検出部により検出された信号を音声出力する音声出力部とを備えている。

[0008] この発明の一の局面によるトンネル掘進機の掘削状況監視システムでは、上記のように、振動を検出する加速度計または音波を検出する音響センサからなる検出部をトンネル掘進機のカッタヘッドに取り付けることによって、検出部をカッタヘッド背面の密閉チャンバの後部の隔壁に取り付ける場合と異なり、検出部をカッタヘッドの切羽に接する前面のすぐ近く（近傍）に配置することができるので、カッタヘッドによる地山の掘削音や掘削振動などの検出信号が検出部に到達するまでに減衰して小さくなる（弱まる）のを抑制することができる。これにより、カッタヘッドによる地山の掘削音や掘削振動を、検出部により、正確に検出することができるので、カッタヘッドが礫等の支障物に接触した場合に、カッタヘッドによる地山の掘削音や掘削振動に基づいて音声出力部から音声を出力することにより、掘削状況（礫等の支障物の有無）を聴覚的に正確に把握することができる。その結果、カッタヘッドが礫等の支障物に接触した場合に、掘削状況（礫等の支障物の有無）を聴覚的により迅速かつ正確に把握することができるので、カッタヘッド（

カッタビットなど）の破損が生じる前により迅速に運転条件を調整することができる。また、回転体であるカッタヘッドに検出部を取り付けることによって、検出部をカッタヘッド背面の密閉チャンバの後部の隔壁（静止体）に取り付ける場合と異なり、カッタヘッドの回転に伴って切羽に対する検出部の位置が変化（回転移動）されるので、検出部の取付位置とカッタヘッドの回転角度とに基づいて礫等の支障物が切羽のどの位置に存在するのかを把握することができる。

[0009] 上記一の局面によるトンネル掘進機の掘削状況監視システムにおいて、好ましくは、検出部は、リアルタイム診断用の第１検出部を含み、第１検出部により検出された信号は、音声出力部に送信されてリアルタイムで音声出力されるように構成されている。このように構成すれば、リアルタイム診断用の第１検出部により検出された信号に基づくリアルタイムの音声出力により、より迅速に掘削状況（礫等の支障物の有無）を把握して支障物に対してより迅速に対応することができる。

[0010] 上記一の局面によるトンネル掘進機の掘削状況監視システムにおいて、好ましくは、検出部は、カッタヘッドの異なる半径位置に複数配置されている。このように構成すれば、複数の検出部のそれぞれの取付位置とカッタヘッドの回転角度とに基づいて、礫等の支障物が切羽のどの位置にどの程度の大きさで存在するのかを正確に把握することができる。また、検出部をカッタヘッドの異なる半径位置に複数配置することによって、カッタトルクやトンネル掘進機の推力の値に基づいて支障物の有無を検出する場合と異なり、切羽の一部分だけに局所的に支障物が存在する場合に全体のトルクや推力にほとんど影響を与えない場合でも、異なる半径位置に配置された複数の検出部により、容易に支障物を検出することができる。

[0011] この場合、好ましくは、カッタヘッドの異なる半径位置に配置された複数の検出部は、カッタヘッドの異なる回転角度位置に配置されている。このように構成すれば、複数の検出部を互いに離間した回転角度位置に配置することができるので、複数の検出部のうち、礫等の支障物が存在する位置に近い

検出部を容易に識別することができる。その結果、識別された検出部の取付位置（回転角度位置）とカッタヘッドの回転角度とに基づいて、礫等の支障物が切羽のどの位置にどの程度の大きさで存在するのかをより正確に把握することができる。また、複数の検出部をカッタヘッドの異なる回転角度位置に配置することによって、同じ回転角度位置に複数配置する場合よりも、より早く局所的な支障物が存在する位置に検出部を近づけることができるので、より迅速に局所的な支障物を検出することができる。

[0012] 上記一の局面によるトンネル掘進機の掘削状況監視システムにおいて、好ましくは、カッタヘッドに配置され、所定の内部ネットワーク通信を行うことが可能で、かつ、複数の検出部により検出された信号を記録するデータ記録部と、トンネル掘進機のカッタヘッドよりも後方の部分に配置され、データ記録部から内部ネットワーク通信を介して送信された複数の検出部により検出された信号を受信する内部情報端末装置とをさらに備え、検出部により検出された信号を、内部情報端末装置を介して、音声出力部から音声出力するように構成されている。このように構成すれば、複数の検出部により検出された信号をカッタヘッドに配置されたデータ記録部により一元化することができるので、容易に、複数の検出部による検出信号をカッタヘッド側からカッタヘッドよりも後方の部分に配置された内部情報端末装置に送信して音声出力することができる。また、近年のコンピュータ技術（データ取得およびデータ転送技術）の進歩により、掘削振動データなどの計測に必要な１０ｋＨｚ以上のサンプリングレート（データ取得頻度）においても、データ記録部を介して内部情報端末装置にデータ転送が可能であるので、データ記録部および内部情報端末装置を介したとしても、リアルタイムに近い状態で音声出力を行うことができる。これにより、データ記録部および内部情報端末装置を介したとしても、迅速に掘削状況（礫等の支障物の有無）を把握することができる。

[0013] この場合、好ましくは、検出部およびデータ記録部が配置されるカッタヘッドは、回転するように構成されており、回転するカッタヘッドに配置され

たデータ記録部に記録された信号を、内部ネットワーク通信を介して、トンネル掘進機のカッタヘッドよりも後方の回転しない部分に配置された内部情報端末装置に送信する際に、回転体から静止体に信号を伝達する信号伝達部材を介して信号を送信するとともに、内部ネットワーク通信による電気的な信号を光信号に変換して内部情報端末装置側へ送信するように構成されている。このように構成すれば、検出部およびデータ記録部を回転するカッタヘッドに配置した場合にも、信号伝達部材を用いて、容易に、複数の検出部により検出された信号をデータ記録部により一元化した状態で、回転体であるカッタヘッド側から静止体である後方の内部情報端末装置に送信することができる。また、複数の検出部により検出された信号をデータ記録部により一元化した状態で、回転体であるカッタヘッド側から静止体である後方の内部情報端末装置に送信することができるので、回転体から静止体に信号を伝達する信号伝達部材を検出部ごとに設ける必要がない。その結果、複数の検出部をカッタヘッドに取り付けた場合でも、信号伝達部材の個数が増加するのを抑制することができる。また、内部ネットワーク通信による電気的な信号を光信号に変換して内部情報端末装置側へ送信することによって、カッタヘッドを回転させるモータなどに起因するノイズの影響を受けにくい光信号に変換した状態で、複数の検出部により検出された信号を内部情報端末装置側へ送信することができるので、より鮮明に音声出力することができる。これによっても、掘削状況（礫等の支障物の有無）を正確に把握することができる。

[0014] 上記データ記録部および内部情報端末装置を備えた構成において、好ましくは、トンネル掘進機の外部に配置され、内部情報端末装置により外部ネットワーク通信を介して送信された信号を受信する外部情報端末装置をさらに備える。このように構成すれば、トンネルの掘削現場のみならず、掘削現場から離れた遠隔地のオフィスなどでも、外部情報端末装置により、カッタヘッドに取り付けられた複数の検出部により検出された信号を受信することができる。これにより、遠隔地においても、外部情報端末装置の受信信号に基

づいて、掘削現場では困難な掘削状況のより詳細な分析や検討を行うことができる。

[0015] 上記データ記録部および内部情報端末装置を備えた構成において、好ましくは、検出部は、事後診断用の第２検出部を含み、第２検出部により検出された信号は、データ記録部に記録された後、内部情報端末装置を介して、音声出力部に送信されて音声出力されるとともに、内部情報端末装置に蓄積された第２検出部により検出された信号に基づいて事後的に診断可能なように構成されている。このように構成すれば、事後診断用の第２検出部により検出されてデータ記録部に記録された信号を用いて、事後的に掘削状況の詳細な分析や検討を行うことができる。さらに、上述したように、近年のデータ取得およびデータ転送技術の進歩により、データ記録部および内部情報端末装置を介したとしても、リアルタイムに近い状態で音声出力することができるので、事後診断用の第２検出部による検出信号においても、迅速に掘削状況を把握することができる。

発明の効果

[0016] 本発明によれば、上記のように、掘削状況（礫等の支障物の有無）を聴覚的に正確に把握することができる。

図面の簡単な説明

[0017] [図1]本発明の一実施形態によるトンネル掘進機の掘削状況監視システムの全体構成を示した概略図である。

[図2]本発明の一実施形態によるトンネル掘進機の掘削状況監視システムを適用するトンネル掘進機の内部構成を示した概略斜視図である。

[図3]本発明の一実施形態によるトンネル掘進機の掘削状況監視システムにおける加速度計の配置状態を示した図である。

[図4]本発明の一実施形態の変形例を示した図である。

発明を実施するための形態

[0018] 以下、本発明の実施形態を図面に基づいて説明する。

[0019] 図１～図３を参照して、本発明の一実施形態によるトンネル掘進機の掘削

状況監視システム１００の構成について説明する。

[0020] トンネル掘進機の掘削状況監視システム１００は、トンネル掘進機１によりトンネルを掘削する際に、礫等の地中障害物（支障物）を検出するためのシステムである。トンネル掘進機１は、大口径（直径約１０ｍ）のシールド掘進機であり、密閉式のシールド工法に対応している。具体的には、トンネル掘進機１は、図２に示すように、円筒状のシールドフレーム１１と、シールドフレーム１１の掘進方向の前端に配置された面盤型のカッタヘッド１２と、カッタヘッド１２の背面に位置する密閉チャンバ１３と、密閉チャンバ１３の後部の隔壁１４と、密閉チャンバ１３内の掘削土を連続的に排出するスクリューコンベア１５とを備えている。トンネル掘進機１は、機内後方に配置されたエレクタ装置１６により図示しないセグメントをリング状（セグメントリング）に組み立てながら掘進するように構成されている。

[0021] カッタヘッド１２は、図２に示すように、掘進方向から見て、円形状に形成されており、図示しないモータにより、密閉チャンバ１３内に配置された回転軸部１２ａとともに周方向に回転されるように構成されている。なお、シールドフレーム１１や隔壁１４は回転しない静止体である。カッタヘッド１２は、図２および図３に示すように、放射状に延びるとともに４５度の等角度間隔で配置された８本のカッタスポーク１２１を有している。８本のカッタスポーク１２１には、それぞれ、半径方向に略等間隔に配置された複数のディスクカッタ（カッタビット）１２２が取り付けられている。また、８本のカッタスポーク１２１は、図２に示すように、それぞれ、中空部１２１ａを有している。

[0022] ここで、本実施形態では、回転体であるカッタヘッド１２には、図３に示すように、振動を検出する６つの加速度計２１～２６が取り付けられている。すなわち、６つの加速度計２１～２６は、カッタヘッド１２の回転に伴ってカッタヘッド１２とともに回転される。６つの加速度計２１～２６は、互いに異なるカッタスポーク１２１に取り付けられることにより、カッタヘッド１２の異なる回転角度位置に配置されている。具体的には、正面から見て

、加速度計２１に対して、時計回りに９０度ずれた位置に加速度計２２が配置され、加速度計２２に対して、時計回りに９０度ずれた位置（加速度計２１から時計回りに１８０度の位置）に加速度計２３が配置されている。また、加速度計２３に対して、時計回りに９０度ずれた位置（加速度計２１から時計回りに２７０度の位置）に加速度計２４が配置されている。すなわち、加速度計２１～２４は、９０度の等角度間隔で配置されている。また、加速度計２１に対して、時計回りに４５度ずれた位置に加速度計２５が配置され、加速度計２５に対して、時計回りに１８０度ずれた位置（加速度計２１から時計回りに２２５度の位置）に加速度計２６が配置されている。

[0023] 加速度計２１～２６は、それぞれ、対応するカッタスポーク１２１の中空部１２１ａ内に配置されており、泥土に接触しない状態でカッタスポーク１２１の内面に取り付けられている。また、９０度の等角度間隔で配置された加速度計２１～２４は、カッタヘッド１２の半径方向の全域に均等に分散（等間隔で分散）されるように、カッタヘッド１２の異なる半径位置に配置されている。具体的には、加速度計２１、加速度計２２、加速度計２３および加速度計２４は、それぞれ、カッタヘッド１２の中心から半径方向に距離Ｄ１（たとえば、２ｍ）、距離Ｄ２（たとえば、４ｍ）、距離Ｄ３（たとえば、６ｍ）および距離Ｄ４（たとえば、８ｍ）離間した位置に配置されている。また、加速度計２５および２６は、それぞれ、カッタヘッド１２の中心から半径方向に距離Ｄ５（たとえば、２ｍ）および距離Ｄ６（たとえば、６ｍ）離間した位置に配置されている。

[0024] 加速度計２２は、リアルタイム診断用の検出部であり、後述するレコーダ３３および制御室４０のＰＣ（パーソナルコンピュータ）４１を介さずに、制御室４０のスピーカ４２に接続されている。具体的には、加速度計２２は、カッタヘッド１２に配置された検出信号（アナログ信号）を増幅するアンプ３１と、回転体から静止体に信号を伝達するスリップリング５０とを介して、スピーカ４２に接続されている。このため、加速度計２２により検出された振動（信号）は、レコーダ３３およびＰＣ４１を介さずに、直接的に、

アナログ信号のままスピーカ４２に送信されてリアルタイムで衝撃音として音声出力される。加速度計２２により検出された振動（信号）は、ＢＮＣケーブル（同軸ケーブル）６１ａおよび６１ｂを介してスピーカ４２に送信される。また、加速度計２２は、異なる半径位置に配置された加速度計２１～２４のうち、最も内側（回転中心側）に位置する加速度計２１と最も外側（外周側）に位置する加速度計２４との間の位置に配置されているため、礫等の支障物がカッタヘッド１２のどの位置に接触した場合でも、支障物との接触による振動（信号）を正確に検出しやすい。なお、加速度計２２は、本発明の「検出部」および「第１検出部」の一例であり、スピーカ４２は、本発明の「音声出力部」の一例である。

[0025] また、６つの加速度計２１～２６のうち、加速度計２２を除く残り５つの加速度計（加速度計２１および２３～２６）は、回転体であるカッタヘッド１２に配置されたレコーダ３３に接続されている。詳細には、加速度計２１および２３～２６は、加速度計２１および２３～２６により検出されたアナログ信号を増幅するアンプ３２を介して、レコーダ３３に接続されている。なお、加速度計２１および２３～２６は、共に、本発明の「検出部」および「第２検出部」の一例であり、レコーダ３３は、本発明の「データ記録部」の一例である。

[0026] レコーダ３３は、加速度計２１および２３～２６により検出された振動（信号）をアナログ信号からデジタル信号に変換して記録するとともに、デジタル信号を後述するＰＣ４１に送信する機能を有している。すなわち、レコーダ３３は、５ｋＨｚ以上、望ましくは１０ｋＨｚ以上のサンプリングレートで加速度計２１および２３～２６から振動（信号）データを取得してデジタル変換を行うとともに、ＬＡＮ（Ｌｏｃａｌ Ａｒｅａ Ｎｅｔｗｏｒｋ）通信により、加速度計２１および２３～２６により検出された信号（デジタル信号）を一元化した状態でＰＣ４１に送信することが可能に構成されている。ここで、近年のコンピュータ技術（データ取得およびデータ転送（送信）技術）の進歩により、上記した掘削振動データの計測に必要な１０ｋＨ

ｚ以上のサンプリングレートにおいても、レコーダ３３を介してＰＣ４１にデータ転送を行うことが可能であり、加速度計２１および２３～２６から取得したデータをほぼリアルタイムでＰＣ４１に転送してスピーカ４２から音声出力することが可能である。また、カッタヘッド１２には、レコーダ３３により変換された電気的なデジタル信号を光デジタル信号に変換して送信する光変換送信部３４が配置されている。レコーダ３３と光変換送信部３４とは、ＬＡＮケーブル６２により接続されている。

[0027] トンネル掘進機１のカッタヘッド１２よりも後方でかつ密閉チャンバ１３の隔壁１４よりも後方の回転しない部分（機内の作業領域）には、制御室４０が設けられており、制御室４０には、レコーダ３３に記録された信号を受信するＰＣ４１が配置されている。ＰＣ４１は、ＬＡＮ通信が可能に構成されており、ＬＡＮケーブル６３により光受信変換部４３に接続されている。なお、ＰＣ４１は、本発明の「内部情報端末装置」の一例である。

[0028] 詳細には、レコーダ３３およびＰＣ４１は、カッタヘッド１２に配置された光変換送信部３４と、回転体から静止体に信号を伝達するスリップリング５０と、制御室４０に配置された光受信変換部４３とを介して互いに接続されている。これにより、本実施形態のトンネル掘進機の掘削状況監視システム１００では、回転するカッタヘッド１２（回転体）に配置されたレコーダ３３に記録された信号を、ＬＡＮ通信を介して、カッタヘッド１２よりも後方の回転しない部分に配置されたＰＣ４１（静止体）に送信することが可能である。レコーダ３３からＰＣ４１に送信される信号は、ＬＡＮケーブル６２のＬＡＮ信号が光変換送信部３４により光デジタル信号に変換された状態で光ファイバ６４ａおよび６４ｂを介してＰＣ４１側の光受信変換部４３に送信された後、光受信変換部４３により光信号を電気信号に変換してＬＡＮケーブル６３を介してＰＣ４１に送信される。なお、スリップリング５０は、本発明の「信号伝達部材」の一例である。

[0029] また、ＰＣ４１には、加速度計２１および２３～２６により検出された振動（信号）を衝撃音として音声出力するスピーカ４２が接続されている。Ｐ

Ｃ４１は、受信した信号をスピーカ４２から音声出力することが可能に構成されている。すなわち、加速度計２１および２３～２６により検出された振動（信号）は、レコーダ３３により記録された後、ＰＣ４１を介して、スピーカ４２に送信されて音声出力される。また、加速度計２１および２３～２６により検出された信号は、ＰＣ４１に蓄積された加速度計２１および２３～２６により検出された信号に基づいて事後的に診断可能である。すなわち、加速度計２１および２３～２６は、事後診断用の検出部として用いられる。

[0030] また、ＰＣ４１は、インターネット通信を行うことが可能に構成されており、インターネット通信を介して、トンネル掘進機１の外部に配置されたＰＣ７１に接続されている。ＰＣ７１は、トンネル掘削現場から離れた遠隔地（地上）のオフィス７０に設けられている。ＰＣ７１は、ＰＣ４１によりインターネット通信を介して送信された、加速度計２１および２３～２６による検出信号を受信して事後診断を行うことが可能なするように構成されている。なお、ＰＣ７１は、本発明の「外部情報端末装置」の一例である。

[0031] カッタヘッド１２に配置されたアンプ３１、３２、レコーダ３３および光変換送信部３４は、防水機能および耐震機能を有するハウジング８０に収納されている。

[0032] 本実施形態では、上記のように、振動を検出する加速度計２１～２６をトンネル掘進機１のカッタヘッド１２に取り付けることによって、加速度計２１～２６をカッタヘッド１２背面の密閉チャンバ１３の後部の隔壁１４に取り付ける場合と異なり、加速度計２１～２６をカッタヘッド１２の切羽に接する前面のすぐ近く（近傍）に配置することができるので、カッタヘッド１２による地山の掘削振動（検出信号）が加速度計２１～２６に到達するまでに減衰して小さくなる（弱まる）のを抑制することができる。これにより、カッタヘッド１２による地山の掘削振動を、加速度計２１～２６により、正確に検出することができるので、カッタヘッド１２が礫等の支障物に接触した場合に、カッタヘッド１２による地山の掘削振動に基づいてスピーカ４２

により音声を出力することにより、掘削状況（礫等の支障物の有無）を聴覚的に正確に把握することができる。また、上述のように、近年のコンピュータ技術（データ取得およびデータ転送技術）の進歩により、レコーダ３３およびＰＣ４１を介したとしても、リアルタイムに近い状態で音声出力を行うことができるので、リアルタイム診断用の加速度計２２のみならず、事後診断用の加速度計２１および２３～２６による検出信号に基づく場合でも、カッタヘッド１２が礫等の支障物に接触した場合に、掘削状況（礫等の支障物の有無）を聴覚的により迅速かつ正確に把握することができる。その結果、ディスクカッタ（カッタビット）１２２の破損が生じる前により迅速に運転条件を調整することができる。また、回転体であるカッタヘッド１２に加速度計２１～２６を取り付けることによって、加速度計２１～２６をカッタヘッド１２背面の密閉チャンバ１３の後部の隔壁１４（静止体）に取り付ける場合と異なり、カッタヘッド１２の回転に伴って切羽に対する加速度計２１～２６の位置が変化（回転移動）されるので、加速度計２１～２６の取付位置とカッタヘッド１２の回転角度とに基づいて礫等の支障物が切羽のどの位置に存在するのかを把握することができる。

[0033] また、本実施形態では、上記のように、リアルタイム診断用の加速度計２２を設けるとともに、加速度計２２により検出された信号を、スピーカ４２に送信してリアルタイムで音声出力する。これにより、リアルタイム診断用の加速度計２２により検出された信号に基づくリアルタイムの音声出力により、より迅速に掘削状況（礫等の支障物の有無）を把握して支障物に対してより迅速に対応することができる。

[0034] また、本実施形態では、上記のように、加速度計２１～２４を、カッタヘッド１２の互いに異なる半径位置に配置する。これにより、加速度計２１～２４のそれぞれの取付位置とカッタヘッド１２の回転角度とに基づいて、礫等の支障物が切羽のどの位置にどの程度の大きさで存在するのかを正確に把握することができる。また、加速度計２１～２４を、カッタヘッド１２の互いに異なる半径位置に配置することによって、カッタトルクやトンネル掘進

機１の推力の値に基づいて支障物の有無を検出する場合と異なり、切羽の一部分だけに局所的に支障物が存在する場合に全体のトルクや推力にほとんど影響を与えない場合でも、異なる半径位置に配置された加速度計２１～２４により、容易に支障物を検出することができる。特に、本実施形態では、加速度計２１～２４は、２ｍの等間隔で異なる半径位置に配置されているので、この効果が大きい。

[0035] また、本実施形態では、上記のように、加速度計２１～２６を、カッタヘッド１２の互いに異なる回転角度位置に配置する。これにより、加速度計２１～２６を互いに離間した回転角度位置に配置することができるので、加速度計２１～２６のうち、礫等の支障物が存在する位置に近い加速度計を容易に識別することができる。その結果、識別された加速度計の取付位置（回転角度位置）とカッタヘッド１２の回転角度とに基づいて、礫等の支障物が切羽のどの位置にどの程度の大きさで存在するのかをより正確に把握することができる。また、加速度計２１～２６をカッタヘッド１２の異なる回転角度位置に配置することによって、同じ回転角度位置に複数配置する場合よりも、より早く局所的な支障物が存在する位置に加速度計を近づけることができるので、より迅速に局所的な支障物を検出することができる。

[0036] また、本実施形態では、上記のように、ＬＡＮ通信を行うことが可能で、かつ、加速度計２１および２３～２６により検出された信号を記録するレコーダ３３をカッタヘッド１２に設けるとともに、レコーダ３３からＬＡＮ通信を介して送信された加速度計２１および２３～２６により検出された信号を受信するＰＣ４１をトンネル掘進機１のカッタヘッド１２よりも後方の部分に設ける。そして、加速度計２１および２３～２６により検出された信号を、ＰＣ４１を介して、スピーカ４２から音声出力する。これにより、加速度計２１および２３～２６により検出された信号をカッタヘッド１２に配置されたレコーダ３３により一元化することができるので、容易に、加速度計２１および２３～２６による検出信号をカッタヘッド１２側からカッタヘッド１２よりも後方の部分に配置されたＰＣ４１に送信して音声出力すること

ができる。また、上述のように、近年のコンピュータ技術（データ取得およびデータ転送技術）の進歩により、レコーダ３３およびＰＣ４１を介したとしても、リアルタイムに近い状態で音声出力を行うことができるので、加速度計２１および２３～２６による検出信号に基づいて迅速に掘削状況（礫等の支障物の有無）を把握することができる。

[0037] また、本実施形態では、上記のように、回転するカッタヘッド１２に配置されたレコーダ３３に記録された信号を、ＬＡＮ通信を介して、トンネル掘進機１のカッタヘッド１２よりも後方の回転しない部分に配置されたＰＣ４１に送信する際に、回転体から静止体に信号を伝達するスリップリング５０を介して信号を送信する。これにより、加速度計２１、２３～２６およびレコーダ３３を回転するカッタヘッド１２に配置した場合にも、スリップリング５０を用いて、容易に、加速度計２１および２３～２６により検出された信号をレコーダ３３により一元化した状態で、回転体であるカッタヘッド１２側から静止体である後方のＰＣ４１に送信することができる。また、加速度計２１および２３～２６により検出された信号をレコーダ３３により一元化した状態で、回転体であるカッタヘッド１２側から静止体である後方のＰＣ４１に送信することができるので、回転体から静止体に信号を伝達するスリップリング５０を加速度計ごとに設ける必要がない。その結果、複数の加速度計をカッタヘッド１２に取り付けた場合でも、スリップリング５０の個数が増加するのを抑制することができる。

[0038] また、光変換送信部３４により、ＬＡＮ通信による電気的な信号を光デジタル信号に変換してＰＣ４１側へ送信することによって、カッタヘッド１２を回転させるモータなどに起因するノイズの影響を受けにくい光デジタル信号に変換した状態で、加速度計２１および２３～２６により検出された信号をＰＣ４１側へ送信することができるので、より鮮明に音声出力することができる。これによっても、掘削状況（礫等の支障物の有無）を正確に把握することができる。この構成は、検出信号を、隔壁１４よりも後方の電磁波が比較的多く存在する部分を通過させる必要がある場合に、特に有効である。

[0039] また、本実施形態では、上記のように、トンネル掘進機１の内部のＰＣ４１によりインターネット通信を介して送信された信号を受信するＰＣ７１をトンネル掘進機１の外部に配置する。これにより、トンネルの掘削現場のみならず、掘削現場から離れた遠隔地のオフィス７０でも、ＰＣ７１により、カッタヘッド１２に取り付けられた加速度計２１および２３～２６により検出された信号を受信することができる。これにより、遠隔地においても、ＰＣ７１の受信信号に基づいて、掘削現場では困難な掘削状況のより詳細な分析や検討を行うことができる。

[0040] また、本実施形態では、上記のように、事後診断用の加速度計２１および２３～２６により検出された信号を、レコーダ３３に記録した後、ＰＣ４１を介して、スピーカ４２に送信して音声出力するとともに、ＰＣ４１に蓄積された加速度計２１および２３～２６により検出された信号に基づいて事後的に診断可能なように構成する。これにより、事後診断用の加速度計２１および２３～２６により検出されてレコーダ３３に記録された信号を用いて、事後的に掘削状況の詳細な分析や検討を行うことができる。

[0041] なお、今回開示された実施形態は、すべての点で例示であって制限的なものではないと考えられるべきである。本発明の範囲は、上記した実施形態の説明ではなく特許請求の範囲によって示され、さらに特許請求の範囲と均等の意味および範囲内でのすべての変更が含まれる。

[0042] たとえば、上記実施形態では、本発明のトンネル掘進機の掘削状況監視システムを、シールド掘進機に適用する例を示したが、本発明はこれに限られない。本発明のトンネル掘進機の掘削状況監視システムを、ＴＢＭ（Ｔｕｎｎｅｌ　Ｂｏｒｉｎｇ　Ｍａｃｈｉｎｅ）など、シールド掘進機以外のトンネル掘進機に適用してもよい。

[0043] また、上記実施形態では、本発明のカッタヘッドの一例として、面盤型のカッタヘッドを示したが、本発明はこれに限られない。本発明では、ローラ型など、面盤型以外のカッタヘッドであってもよい。

[0044] また、上記実施形態では、カッタヘッドに８本のカッタスポークを設ける

例を示したが、本発明はこれに限られない。本発明では、カッタヘッドに、８本以外の本数のカッタスポークを設ける構成であってもよい。

[0045] また、上記実施形態では、本発明の検出部としての加速度計および本発明のデータ記録部としてのレコーダを、カッタヘッドのカッタスポークの内部に配置する例を示したが、本発明はこれに限られない。本発明では、検出部およびデータ記録部をカッタヘッドに配置する構成であれば、検出部およびデータ記録部を、防水および振動対策を施した上でカッタヘッドの露出した外表面（カッタスポークの側面や裏面など）に配置してもよい。また、検出部を、カッタスポークに設けられたディスクカッタ交換装置に取り付ける構成であってもよい。

[0046] また、上記実施形態では、本発明の検出部の一例として、振動を検出する加速度計を示したが、本発明はこれに限られない。本発明では、検出部として、音波を検出する音響センサを用いてもよいし、加速度計および音響センサの両方を用いてもよい。

[0047] また、上記実施形態では、事後診断用の加速度計（検出部）により検出された振動（信号）を電気的なデジタル信号から光デジタル信号に変換して制御室のＰＣ（内部情報端末装置）に送信する例を示したが、本発明はこれに限られない。本発明では、事後診断用の検出部により検出された信号を、光デジタル信号に変換することなく、電気的なデジタル信号のまま内部情報端末装置に送信してもよい。この場合でも、検出信号をアナログ信号のまま送信する場合に比べて、カッタヘッドを回転させるモータなどに起因するノイズの影響を受けにくい状態で検出信号を送信することができる。

[0048] また、上記実施形態では、リアルタイム診断用の加速度計（２２）を１つ設けるとともに、事後診断用の加速度計（２１および２３～２６）を５つ設ける例を示したが、本発明はこれに限られない。本発明では、全て（６つ）の加速度計をリアルタイム診断用にしてもよいし、リアルタイム診断用の加速度計と事後診断用の加速度計とを複数ずつ設けてもよい。

[0049] また、上記実施形態では、事後診断用の加速度計２１および２３～２６（

第２検出部）による信号を、トンネル掘進機の内部のスピーカ４２（音声出力部）により音声出力する例を示したが、本発明はこれに限られない。本発明では、図４に示す変形例のように、事後診断用の加速度計２１および２３～２６（第２検出部）による信号を、トンネル掘進機の外部（地上のオフィス７０）のＰＣ７１（外部情報端末装置）を介してスピーカ７２（音声出力部）から音声出力するようにしてもよい。この場合、リアルタイム診断用の加速度計（２２）による検出信号だけがトンネル掘進機の内部のスピーカ４２（音声出力部）によりリアルタイムで音声出力されるので、複数の加速度計の検出信号がスピーカ４２（音声出力部）によりリアルタイムで音声出力される場合と異なり、トンネル掘進機内のオペレータ（聞き手）が複数の音声出力に起因して混乱するのを抑制することが可能である。

[0050] また、上記実施形態では、本発明の音声出力部としてのスピーカをトンネル掘進機の内部に配置する例を示したが、本発明はこれに限られない。本発明では、音声出力部をトンネル掘進機の外部に配置してもよい。

符号の説明

[0051] １　トンネル掘進機

１２　カッタヘッド

２１、２３～２６　加速度計（検出部、事後診断用の第２検出部）

２２　加速度計（検出部、リアルタイム診断用の第１検出部）

３３　レコーダ（データ記録部）

４１　ＰＣ（内部情報端末装置）

４２、７２　スピーカ（音声出力部）

５０　スリップリング（信号伝達部材）

７１　ＰＣ（外部情報端末装置）

１００　トンネル掘進機の掘削状況監視システム

請求の範囲

［請求項1］ トンネル掘進機（１）のカッタヘッド（１２）に取り付けられ、振動を検出する加速度計または音波を検出する音響センサからなる検出部（２１～２６）と、

前記検出部により検出された信号を音声出力する音声出力部（４２、７２）と、を備えた、トンネル掘進機の掘削状況監視システム。

［請求項2］ 前記検出部は、リアルタイム診断用の第１検出部（２２）を含み、

前記第１検出部により検出された信号は、前記音声出力部に送信されてリアルタイムで音声出力されるように構成されている、請求項１に記載のトンネル掘進機の掘削状況監視システム。

［請求項3］ 前記検出部は、前記カッタヘッドの異なる半径位置に複数配置されている、請求項１または２に記載のトンネル掘進機の掘削状況監視システム。

［請求項4］ 前記カッタヘッドの異なる半径位置に配置された複数の前記検出部は、前記カッタヘッドの異なる回転角度位置に配置されている、請求項３に記載のトンネル掘進機の掘削状況監視システム。

［請求項5］ 前記カッタヘッドに配置され、所定の内部ネットワーク通信を行うことが可能で、かつ、複数の前記検出部により検出された信号を記録するデータ記録部（３３）と、

前記トンネル掘進機の前記カッタヘッドよりも後方の部分に配置され、前記データ記録部から前記内部ネットワーク通信を介して送信された複数の前記検出部により検出された信号を受信する内部情報端末装置（４１）と、をさらに備え、

前記検出部により検出された信号を、前記内部情報端末装置を介して、前記音声出力部から音声出力するように構成されている、請求項１または２に記載のトンネル掘進機の掘削状況監視システム。

［請求項6］ 前記検出部および前記データ記録部が配置される前記カッタヘッドは、回転するように構成されており、

回転する前記カッタヘッドに配置された前記データ記録部に記録された信号を、前記内部ネットワーク通信を介して、前記トンネル掘進機の前記カッタヘッドよりも後方の回転しない部分に配置された前記内部情報端末装置に送信する際に、回転体から静止体に信号を伝達する信号伝達部材（５０）を介して前記信号を送信するとともに、前記内部ネットワーク通信による電気的な前記信号を光信号に変換して前記内部情報端末装置側へ送信するように構成されている、請求項５に記載のトンネル掘進機の掘削状況監視システム。

［請求項7］ 前記トンネル掘進機の外部に配置され、前記内部情報端末装置により外部ネットワーク通信を介して送信された前記信号を受信する外部情報端末装置（７１）をさらに備える、請求項５に記載のトンネル掘進機の掘削状況監視システム。

［請求項8］ 前記検出部は、事後診断用の第２検出部（２１、２３～２６）を含み、

前記第２検出部により検出された信号は、前記データ記録部に記録された後、前記内部情報端末装置を介して、前記音声出力部に送信されて音声出力されるとともに、前記内部情報端末装置に蓄積された前記第２検出部により検出された信号に基づいて事後的に診断可能なように構成されている、請求項５に記載のトンネル掘進機の掘削状況監視システム。