

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4690030号
(P4690030)

(45) 発行日 平成23年6月1日(2011.6.1)

(24) 登録日 平成23年2月25日(2011.2.25)

(51) Int.Cl.

F I

GO 1 B 21/32 (2006.01)
E 2 1 D 11/00 (2006.01)
GO 1 B 7/16 (2006.01)
GO 1 B 11/16 (2006.01)
GO 1 C 7/06 (2006.01)

GO 1 B 21/32
E 2 1 D 11/00 Z
GO 1 B 7/16 R
GO 1 B 11/16 G
GO 1 C 7/06

請求項の数 11 (全 28 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2004-372348 (P2004-372348)
(22) 出願日 平成16年12月22日(2004.12.22)
(65) 公開番号 特開2006-177822 (P2006-177822A)
(43) 公開日 平成18年7月6日(2006.7.6)
審査請求日 平成19年12月12日(2007.12.12)

特許法第30条第1項適用 平成16年8月18日 社
団法人土木学会発行の「第59回 年次学術講演会講演
概要集」に発表

(73) 特許権者 000201478
前田建設工業株式会社
東京都千代田区富士見二丁目10番26号

(73) 特許権者 000142067
株式会社共和電業
東京都調布市調布ヶ丘3丁目5番地1

(74) 代理人 100082636
弁理士 真田 修治

(72) 発明者 田尻 功
東京都千代田区内幸町1丁目1番3号 東
京電力株式会社内

(72) 発明者 松本 正浩
東京都台東区東上野3丁目3番3号 東電
設計株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 トンネル内空変位計測システムおよびトンネル内空変位計測方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

トンネルの内壁に植設されトラス構造の束材をなす剛性大なる複数の支柱と、
隣接する前記支柱の基端部に各端部がピン結合され前記トラス構造の上弦材をなす複数の
の伸縮可能な第1の棒状変位計と、
隣接する前記支柱の先端部に各端部がピン結合され前記トラス構造の下弦材をなす複数の
の伸縮可能な第2の棒状変位計と、
隣接する前記支柱の基端部と先端部に各端部がピン結合され前記トラス構造の斜材をな
す複数の伸縮可能な第3の棒状変位計と、
前記複数の第1～第3の棒状変位計から出力される軸方向の変位に応じた信号に基づい
て、前記トンネルの下端部の2点を既知の2節点と仮定し、前記既知の2節点を基点とし
て順次、相対する2つの前記棒状変位計の交点である節点座標を連続的に算出して前記ト
ンネルの変状を測定する制御装置と
を具備することを特徴とするトンネル内空変位計測システム。

【請求項2】

前記第1～第3の棒状変位計は、
一端が閉塞された第1のパイプと、
前記第1のパイプの他端近傍の外周または内周に形成された摺動部が一端近傍の内周ま
たは外周に摺動可能に嵌合すると共に、他端が閉塞された第2のパイプと、
前記第1のパイプの前記他端側に一端が取り付けられた第1のシャフトと、

前記第 2 のパイプ内に一端が取り付けられた第 2 のシャフトと、
前記第 2 のパイプ内の空間において前記第 1 のシャフトの他端と前記第 2 のシャフトの他端との間に支持された検出部と
を有することを特徴とする請求項 1 記載のトンネル内空変位計測システム。

【請求項 3】

前記第 1 のシャフトは、前記第 2 のパイプ内に保持されたベアリング内を摺動可能に構成されていることを特徴とする請求項 2 に記載のトンネル内空変位計測システム。

【請求項 4】

前記検出部は、前記第 1 のシャフトまたは前記第 2 のシャフトのいずれか一方または両方に引張ばねを介して支持されることを特徴とする請求項 2 または請求項 3 に記載のトンネル内空変位計測システム。

10

【請求項 5】

前記第 2 のシャフトは、その一端部外周に雄ねじが形成され、ナットの回転に応じて前記検出部にプリテンションを付加可能に前記第 2 のパイプ内に取り付けられていることを特徴とする請求項 2 ～ 請求項 4 のうちのいずれか 1 項に記載のトンネル内空変位計測システム。

【請求項 6】

前記検出部は、
両端に前記第 1 のシャフトの他端と前記第 2 のシャフトの他端との間に支持されるための係止部を有すると共に、略中央部に長円孔が形成された起歪部と、
空隙部と、前記空隙部を挟んで前記棒状変位計の軸方向に平行に延びる溝とが形成され、前記起歪部に前記長円孔を塞ぐように固定されたゲージベースと、
前記溝に固定されて延びる光ファイバと、
前記光ファイバの前記空隙部内に位置する部分に形成されたファイバ・ブラッグ・グレーティング・センサと
を有することを特徴とする請求項 2 ～ 請求項 5 のうちのいずれか 1 項に記載のトンネル内空変位計測システム。

20

【請求項 7】

前記ゲージベースは、前記空隙部の前記軸方向に平行な周囲にその形状に沿って、他の部分の厚さに比べて厚さが薄い薄肉部が形成されていることを特徴とする請求項 6 に記載のトンネル内空変位計測システム。

30

【請求項 8】

前記検出部は、
中央部がくびれた起歪部と、
前記起歪部の前記中央部の表面または裏面の少なくとも一面に添着されたひずみゲージと
を有することを特徴とする請求項 2 ～ 請求項 5 のうちのいずれか 1 項に記載のトンネル内空変位計測システム。

【請求項 9】

トンネルの内壁に剛性大なる複数の支柱をトラス構造の束材を構成するように植設し、
軸方向の変位に応じた信号を出力する複数の伸縮可能な複数の第 1 の棒状変位計の各端部を前記トラス構造の上弦材を構成するように隣接する前記支柱の基端部にピン結合により取り付け、
軸方向の変位に応じた信号を出力する複数の伸縮可能な複数の第 2 の棒状変位計の各端部を前記トラス構造の下弦材を構成するように隣接する前記支柱の先端部にピン結合により取り付け、
軸方向の変位に応じた信号を出力する複数の伸縮可能な複数の第 3 の棒状変位計の各端部を前記トラス構造の斜材を構成するように隣接する前記支柱の基端部と先端部にピン結合により取り付け、

40

前記複数の第 1 ～ 第 3 の棒状変位計からの信号に基づいて、前記トンネルの下端部の 2

50

点を既知の２節点と仮定し、前記既知の２節点を基点として順次、相対する２つの前記棒状変位計の交点である節点座標を連続的に算出して前記トンネルの変状を測定することを特徴とするトンネル内空変位計測方法。

【請求項１０】

前記第１～第３の棒状変位計は、

一端が閉塞された第１のパイプと、

前記第１のパイプの他端近傍の外周または内周に形成された摺動部が一端近傍の内周または外周に摺動可能に嵌合すると共に、他端が閉塞された第２のパイプと、

前記第１のパイプの前記他端側に一端が取り付けられると共に、前記第２のパイプ内に保持されたベアリング内を摺動可能に構成された第１のシャフトと、

前記第２のパイプ内に一端が取り付けられた第２のシャフトと、

前記第２のパイプ内の空間において前記第１のシャフトの他端と前記第２のシャフトの他端との間に引張ばねを介して支持された検出部とを有し、

前記第２のシャフトは、その一端部外周に雄ねじが形成され、ナットの回転に応じて前記検出部にプリテンションを付加可能に前記第２のパイプ内に取り付けられ、

前記検出部は、両端に前記第１のシャフトの他端と前記第２のシャフトの他端との間に支持されるための係止部を有すると共に、略中央部に長円孔が形成された起歪部と、空隙部と、前記空隙部を挟んで前記棒状変位計の軸方向に平行に延びる溝とが形成される共に、前記空隙部の前記軸方向に平行な周囲にその形状に沿って、他の部分の厚さに比べて厚さが薄い薄肉部が形成され、前記起歪部に前記長円孔を塞ぐように固定されたゲージベースと、前記溝に固定されて延びる光ファイバと、前記光ファイバの前記空隙部内に位置する部分に形成されたファイバ・ブラッグ・グレーティング・センサとを有していることを特徴とする請求項１に記載のトンネル内空変位計測システム。

【請求項１１】

前記第１～第３の棒状変位計は、

トンネルの内壁に設置され、その軸方向に加えられた変位を検出し、前記変位に応じた信号を出力するトンネル内空変位計であって、

一端が閉塞された第１のパイプと、

前記第１のパイプの他端近傍の外周または内周に形成された摺動部が一端近傍の内周または外周に摺動可能に嵌合すると共に、他端が閉塞された第２のパイプと、

前記第１のパイプの前記他端側に一端が取り付けられると共に、前記第２のパイプ内に保持されたベアリング内を摺動可能に構成された第１のシャフトと、

前記第２のパイプ内に一端が取り付けられた第２のシャフトと、

前記第２のパイプ内の空間において前記第１のシャフトの他端と前記第２のシャフトの他端との間に引張ばねを介して支持された検出部とを有し、

前記第２のシャフトは、その一端部外周に雄ねじが形成され、ナットの回転に応じて前記検出部にプリテンションを付加可能に前記第２のパイプ内に取り付けられ、

前記検出部は、両端に前記第１のシャフトの他端と前記第２のシャフトの他端との間に支持されるための係止部を有すると共に、中央部がくびれた起歪部と、前記起歪部の前記中央部の表面または裏面の少なくとも一面に添着されたひずみゲージとを有していることを特徴とする請求項１に記載のトンネル内空変位計測システム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【０００１】

本発明は、トンネルの内空変位を検出するトンネル内空変位計測システムおよびトンネル内空変位計測方法に関する。

【背景技術】

【０００２】

橋梁、トンネルやビルディング等の土木建築構造物の崩落や倒壊等の重大事故は、社会的・経済的損害が甚大なだけでなく、人命の損失も招くため、高い信頼性と安全性が要求

10

20

30

40

50

される。そこで、従来より、土木建築構造物の変位を監視してその信頼性や安全性を評価することが行われている。このうち、トンネル内空の変位計測については、以下に示す各種のものがある。

まず、第1の従来例としては、アンカー手段を有する検出器本体に、回動可能な滑車とこの滑車の回動量を検出し電気信号を出力する変位計測用変換器と滑車に掛け渡されるワイヤの各端側の検出器本体に対する引出方向角度をそれぞれ検出する第1および第2の相対角度計測用変換器がそれぞれ取り付けられてなる変位計測用検出器を、トンネル内壁の複数の被測定個所にアンカー手段でそれぞれ設置し、1本のワイヤの一端をトンネル内壁の基準個所に固定し、このワイヤを複数の変位計測用検出器の各滑車に順次掛け渡し、その他端に一定張力を付与せしめる張力付与手段を連結し、変位計測用検出器および第1、第2の相対角度計測用変換器からそれぞれ出力される当該被測定個所の隣接する被測定個所または基準個所に対する区間変位および相対角度に対応する電気信号に基づいて、基準個所からの各変位計測用検出器の位置座標を所定の演算により求めるトンネル内空の変位計測方法がある（例えば、特許文献1参照。）。

10

【0003】

また、第2の従来例としては、光ファイバを任意の区間で任意の回数だけ往復して構造物に敷設し、光ファイバの伸張による歪みに基づいて構造物の変形量を測定する構造物の変形量測定装置がある（例えば、特許文献2参照。）。

さらに、第3の従来例としては、レーザ距離計を所定間隔をおいて所定数だけトンネル内壁面両側に配設し、レーザ距離計からのレーザ光をトンネル内壁面の所定範囲に向けて投光することで、レーザ距離計からトンネル内壁までの距離を測定し、その信号をコンピュータに送信して演算処理し、必要な表示をしながらトンネル内径の変位を監視することによりトンネル内壁面の隆起や歪み等を検知しているトンネル内壁面の変位監視システムがある（例えば、特許文献3参照。）。

20

【0004】

【特許文献1】特開昭62-151706号公報（特許請求の範囲第2項，第3頁右上欄第11行目～第6頁左上欄第7行目、第1図，第5図）

【特許文献2】特開平11-237219号公報（請求項1，[0014]～[0025]、図1，図2）

【特許文献3】特開2001-66168号公報（請求項1，[0006]～[0007]，[0018]～[0021]、図1，図2）

30

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

上記した第1の従来例では、滑車、これに掛け渡されるワイヤ、ワイヤに一定張力を付与せしめる張力付与手段など複雑な機構を必要とするため、故障しやすいと共に、設置後のメンテナンスが必要であるという問題があった。したがって、遠隔地から自動的に、長期間に亘って経時的に、簡易に、安定的に、トンネル内空の変位計測を行うことができないという問題があった。一方、上記した第2の従来例では、ひび割れ等の局所的な変形形状（変状）しか検出できないため、崩落や倒壊等の重大事故に直接結びつくようなトンネル断面の巨視的な内空変位を計測できないという問題があった。また、上記した第2の従来例では、いわゆるOTDR（Optical Time Domain Reflectometer）の原理を利用しているため、例えば、100μ以下のひずみに対して計測精度が低くて測定誤差が生じるため、実用上十分な計測精度が得られないという問題があった。また、上記した第3の従来例では、レーザ距離計を所定角度回動させる回動支持機構を必要とするため、設置環境によっては回動支持機構がさび等によって回動しなくなるおそれがあり、設置後のメンテナンスが必要であるという問題があった。したがって、遠隔地から自動的に、長期間に亘って経時的に、簡易に、安定的に、トンネル内空の変位計測を行うことができないという問題があった。

40

【0006】

50

本発明は、上述した事情に鑑みてなされたもので、トンネル断面の巨視的な内空変位を常時実用上十分な計測精度で得ることを可能とすると共に、簡単な機構でメンテナンスフリーを可能とするトンネル内空変位計測システムおよびトンネル内空変位計測方法を提供することを目的としている。

本発明の請求項 1 の目的は、特に、面内の角変形および座屈等の面外変形に伴う測定誤差（曲げによる干渉）および機能上の不具合（破損やかじり）を回避することを可能とすると共に、トンネルの地山または覆工の表面に設置する構造とし、かつ、複雑な機構を必要とせず、後施工を可能とすると共に、設置後のメンテナンスも容易であり、ある棒状変位計に何らかの原因で不具合が発生した場合であっても、当該棒状変位計だけを取り替えるだけで良いトンネル内空変位計測システムを提供することにある。

10

本発明の請求項 2 の目的は、特に、引張ひずみだけでなく圧縮ひずみの測定も可能とすると共に、各棒状変位計の最大予想変位を想定しその最大予想変位を十分にカバーし得る可動範囲の棒状変位計を設計することを可能とし、設計の自由度が大きいと共に、予想以上の変位に際し破損等の不具合を防止することを可能とするトンネル内空変位計測システムを提供することにある。

【 0 0 0 7 】

本発明の請求項 3 の目的は、特に、棒状変位計が軸方向以外は大きな曲げ剛性を有すると共に、支柱から棒状変位計に変位を伝えやすく、またトンネル内を列車や自動車等の車両が走行した場合であっても、風圧等による影響を受けにくいトンネル内空変位計測システムを提供することにある。

20

本発明の請求項 4 の目的は、特に、各棒状変位計にプリテンションを与えることを可能とすると共に、このトンネル内空変位計測システムをトンネルに設置する際に各棒状変位計の摺動部に所定のプリテンション（変位）を与えることにより、引張ひずみだけでなく圧縮ひずみも測定することを可能とすると共に、棒状変位計の座屈を防止することを可能とするトンネル内空変位計測システムを提供することにある。

本発明の請求項 5 の目的は、特に、各棒状変位計ごとに内部で微細なプリテンションを与えることにより棒状変位計の初期出力調整が可能となり、各棒状変位計の組み立ての作業性向上を可能とするトンネル内空変位計測方法を提供することにある。

本発明の請求項 6 の目的は、特に、測定対象物がひずみの大きい鉄の場合は勿論、ひずみの小さいコンクリートの場合でも、高精度な検出を可能とし、実用上十分な計測精度を得ることを可能とすると共に、支柱の長さを短くすることを可能とするトンネル内空変位計測方法を提供することにある。

30

【 0 0 0 8 】

本発明の請求項 7 の目的は、特に、棒状変位計が低反力で軸方向に伸縮することを可能とするトンネル内空変位計測方法を提供することにある。

本発明の請求項 8 の目的は、特に、測定対象物がひずみの大きい鉄の場合は勿論、ひずみの小さいコンクリートの場合でも、高精度な検出が可能とし、実用上十分な計測精度を得ることを可能とすると共に、支柱の長さを短くすることを可能とし、しかも、起歪部に加えられたひずみにより起歪部が湾曲した場合にその湾曲成分を相殺することを可能とするトンネル内空変位計測方法を提供することにある。

40

本発明の請求項 9 の目的は、特に、面内の角変形および座屈等の面外変形に伴う測定誤差（曲げによる干渉）および機能上の不具合（破損やかじり）を回避することを可能とすると共に、トンネルの地山または覆工の表面に設置する構造とし、かつ、複雑な機構を必要とせず、後施工を可能とすると共に、設置後のメンテナンスも容易であり、ある棒状変位計に何らかの原因で不具合が発生した場合であっても、当該棒状変位計だけを取り替えるだけで良いトンネル内空変位計測方法を提供することにある。

【 0 0 0 9 】

本発明の請求項 10 の目的は、特に、引張ひずみだけでなく圧縮ひずみの測定も可能とすると共に、各棒状変位計の最大予想変位を想定しその最大予想変位を十分にカバーし得る可動範囲の棒状変位計を設計することを可能とし、設計の自由度が大きいと共に、予想

50

以上の変位に際し破損等の不具合を防止することを可能とし、棒状変位計が軸方向以外は大きな曲げ剛性を有すると共に、支柱から棒状変位計に変位を伝えやすく、またトンネル内を列車や自動車等の車両が走行した場合であっても、風圧等による影響を受けにくく、各棒状変位計にプリテンションを与えることを可能とすると共に、トンネルに設置する際に各棒状変位計の摺動部に所定のプリテンション（変位）を与えることにより引張ひずみだけでなく圧縮ひずみも測定することを可能とし、座屈を防止することを可能とし、各棒状変位計ごとに内部で微細なプリテンションを与えることにより棒状変位計の初期出力調整が可能となり、各棒状変位計の組み立ての作業性向上を可能とし、測定対象物がひずみの大きい鉄の場合は勿論、ひずみの小さいコンクリートの場合でも、高精度な検出を可能とし、実用上十分な計測精度を得ることを可能とすると共に、低反力で軸方向に伸縮すること

10

ことを可能とするトンネル内空変位計測システムを提供することにある。

本発明の請求項 11 の目的は、特に、測定対象物がひずみの大きい鉄の場合は勿論、ひずみの小さいコンクリートの場合でも、高精度な検出が可能とし、実用上十分な計測精度を得ることを可能とすると共に、起歪部に加えられたひずみにより起歪部が湾曲した場合にその湾曲成分を相殺することを可能とするトンネル内空変位計測システムを提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0010】

請求項 1 に記載した本発明に係るトンネル内空変位計測システムは、上述した目的を達成するために、

20

トンネルの内壁に植設されトラス構造の束材をなす剛性大なる複数の支柱と、

隣接する前記支柱の基端部に各端部がピン結合され前記トラス構造の上弦材をなす複数の伸縮可能な第 1 の棒状変位計と、

隣接する前記支柱の先端部に各端部がピン結合され前記トラス構造の下弦材をなす複数の伸縮可能な第 2 の棒状変位計と、

隣接する前記支柱の基端部と先端部に各端部がピン結合され前記トラス構造の斜材をなす複数の伸縮可能な第 3 の棒状変位計と、

前記複数の第 1 ～ 第 3 の棒状変位計から出力される軸方向の変位に応じた信号に基づいて、前記トンネルの下端部の 2 点を既知の 2 節点と仮定し、前記既知の 2 節点を基点として順次、相対する 2 つの前記棒状変位計の交点である節点座標を連続的に算出して前記トンネルの変状を測定する制御装置と

30

を具備することを特徴としている。

【0011】

請求項 2 に記載した本発明に係るトンネル内空変位計測システムは、請求項 1 のシステムであって、

前記第 1 ～ 第 3 の棒状変位計は、

一端が閉塞された第 1 のパイプと、

前記第 1 のパイプの他端近傍の外周または内周に形成された摺動部が一端近傍の内周または外周に摺動可能に嵌合すると共に、他端が閉塞された第 2 のパイプと、

前記第 1 のパイプの前記他端側に一端が取り付けられた第 1 のシャフトと、

40

前記第 2 のパイプ内に一端が取り付けられた第 2 のシャフトと、

前記第 2 のパイプ内の空間において前記第 1 のシャフトの他端と前記第 2 のシャフトの他端との間に支持された検出部と

を有することを特徴としている。

請求項 3 に記載した本発明に係るトンネル内空変位計測システムは、請求項 2 のシステムであって、

前記第 1 のシャフトは、前記第 2 のパイプ内に保持されたベアリング内を摺動可能に構成されていることを特徴としている。

【0012】

請求項 4 に記載した本発明に係るトンネル内空変位計測システムは、請求項 2 または請

50

求項 3 のシステムであって、

前記検出部は、前記第 1 のシャフトまたは前記第 2 のシャフトのいずれか一方または両方に引張ばねを介して支持されることを特徴としている。

請求項 5 に記載した本発明に係るトンネル内空変位計測システムは、請求項 2 ～ 請求項 4 のうちのいずれか 1 項のシステムであって、

前記第 2 のシャフトは、その一端部外周に雄ねじが形成され、ナットの回転に応じて前記検出部にプリテンションを付加可能に前記第 2 のパイプ内に取り付けられていることを特徴としている。

請求項 6 に記載した本発明に係るトンネル内空変位計測システムは、請求項 2 ～ 請求項 5 のうちのいずれか 1 項のシステムであって、

前記検出部は、

両端に前記第 1 のシャフトの他端と前記第 2 のシャフトの他端との間に支持されるための係止部を有すると共に、略中央部に長円孔が形成された起歪部と、

空隙部と、前記空隙部を挟んで前記棒状変位計の軸方向に平行に延びる溝とが形成され、前記起歪部に前記長円孔を塞ぐように固定されたゲージベースと、

前記溝に固定されて延びる光ファイバと、

前記光ファイバの前記空隙部内に位置する部分に形成されたファイバ・ブラッグ・グレーティング・センサと

を有することを特徴としている。

【 0 0 1 3 】

請求項 7 に記載した本発明に係るトンネル内空変位計測システムは、請求項 6 のシステムであって、

前記ゲージベースは、前記空隙部の前記軸方向に平行な周囲にその形状に沿って、他の部分の厚さに比べて厚さが薄い薄肉部が形成されていることを特徴としている。

請求項 8 に記載した本発明に係るトンネル内空変位計測システムは、請求項 2 ～ 請求項 7 のうちのいずれか 1 項のシステムであって、

前記検出部は、

中央部がくびれた起歪部と、

前記起歪部の前記中央部の表面または裏面の少なくとも一面に添着されたひずみゲージと

を有することを特徴としている。

【 0 0 1 4 】

請求項 9 に記載した本発明に係るトンネル内空変位計測方法は、上述した目的を達成するために、

トンネルの内壁に剛性大なる複数の支柱をトラス構造の束材を構成するように植設し、

軸方向の変位に応じた信号を出力する複数の伸縮可能な複数の第 1 の棒状変位計の各端部を前記トラス構造の上弦材を構成するように隣接する前記支柱の基端部にピン結合により取り付け、

軸方向の変位に応じた信号を出力する複数の伸縮可能な複数の第 2 の棒状変位計の各端部を前記トラス構造の下弦材を構成するように隣接する前記支柱の先端部にピン結合により取り付け、

軸方向の変位に応じた信号を出力する複数の伸縮可能な複数の第 3 の棒状変位計の各端部を前記トラス構造の斜材を構成するように隣接する前記支柱の基端部と先端部にピン結合により取り付け、

前記複数の第 1 ～ 第 3 の棒状変位計からの信号に基づいて、前記トンネルの下端部の 2 点を既知の 2 節点と仮定し、前記既知の 2 節点を基点として順次、相対する 2 つの前記棒状変位計の交点である節点座標を連続的に算出して前記トンネルの変状を測定することを特徴としている。

【 0 0 1 5 】

請求項 1 0 に記載した本発明に係るトンネル内空変位計測システムは、請求項 1 のシス

10

20

30

40

50

テムであって、

前記第 1 ～ 第 3 の棒状変位計は、

一端が閉塞された第 1 のパイプと、

前記第 1 のパイプの他端近傍の外周または内周に形成された摺動部が一端近傍の内周または外周に摺動可能に嵌合すると共に、他端が閉塞された第 2 のパイプと、

前記第 1 のパイプの前記他端側に一端が取り付けられると共に、前記第 2 のパイプ内に保持されたベアリング内を摺動可能に構成された第 1 のシャフトと、

前記第 2 のパイプ内に一端が取り付けられた第 2 のシャフトと、

前記第 2 のパイプ内の空間において前記第 1 のシャフトの他端と前記第 2 のシャフトの他端との間に引張ばねを介して支持された検出部とを有し、

前記第 2 のシャフトは、その一端部外周に雄ねじが形成され、ナットの回転に応じて前記検出部にプリテンションを付加可能に前記第 2 のパイプ内に取り付けられ、

前記検出部は、両端に前記第 1 のシャフトの他端と前記第 2 のシャフトの他端との間に支持されるための係止部を有すると共に、略中央部に長円孔が形成された起歪部と、空隙部と、前記空隙部を挟んで前記棒状変位計の軸方向に平行に延びる溝とが形成される共に、前記空隙部の前記軸方向に平行な周囲にその形状に沿って、他の部分の厚さに比べて厚さが薄い薄肉部が形成され、前記起歪部に前記長円孔を塞ぐように固定されたゲージベースと、前記溝に固定されて延びる光ファイバと、前記光ファイバの前記空隙部内に位置する部分に形成されたファイバ・ブラッグ・グレーティング・センサとを有していることを特徴としている。

【 0 0 1 6 】

請求項 1 に記載した本発明に係るトンネル内空変位計測システムは、請求項 1 の変位計測システムであって、

前記第 1 ～ 第 3 の棒状変位計は、

トンネルの内壁に設置され、その軸方向に加えられた変位を検出し、前記変位に応じた信号を出力するトンネル内空変位計であって、

一端が閉塞された第 1 のパイプと、

前記第 1 のパイプの他端近傍の外周または内周に形成された摺動部が一端近傍の内周または外周に摺動可能に嵌合すると共に、他端が閉塞された第 2 のパイプと、

前記第 1 のパイプの前記他端側に一端が取り付けられると共に、前記第 2 のパイプ内に保持されたベアリング内を摺動可能に構成された第 1 のシャフトと、

前記第 2 のパイプ内に一端が取り付けられた第 2 のシャフトと、

前記第 2 のパイプ内の空間において前記第 1 のシャフトの他端と前記第 2 のシャフトの他端との間に引張ばねを介して支持された検出部とを有し、

前記第 2 のシャフトは、その一端部外周に雄ねじが形成され、ナットの回転に応じて前記検出部にプリテンションを付加可能に前記第 2 のパイプ内に取り付けられ、

前記検出部は、両端に前記第 1 のシャフトの他端と前記第 2 のシャフトの他端との間に支持されるための係止部を有すると共に、中央部がくびれた起歪部と、前記起歪部の前記中央部の表面または裏面の少なくとも一面に添着されたひずみゲージとを有していることを特徴としている。

【発明の効果】

【 0 0 1 7 】

本発明によれば、トンネル断面の巨視的な内空変位を常時実用上十分な計測精度で得ることを可能とすると共に、簡単な機構でメンテナンスフリーを可能とするトンネル内空変位計測システムおよびトンネル内空変位計測方法を提供することができる。

即ち、本発明の請求項 1 のトンネル内空変位計測システムによれば、トンネルの内壁に植設されトラス構造の束材をなす剛性大なる複数の支柱と、隣接する前記支柱の基端部に各端部がピン結合され前記トラス構造の上弦材をなす複数の伸縮可能な第 1 の棒状変位計と、隣接する前記支柱の先端部に各端部がピン結合され前記トラス構造の下弦材をなす複数の伸縮可能な第 2 の棒状変位計と、隣接する前記支柱の基端部と先端部に各端部がピン

10

20

30

40

50

結合され前記トラス構造の斜材をなす複数の伸縮可能な第3の棒状変位計と、前記複数の第1～第3の棒状変位計から出力される軸方向の変位に応じた信号に基づいて、前記トンネルの下端部の2点を既知の2節点と仮定し、前記既知の2節点を基点として順次、相対する2つの前記棒状変位計の交点である節点座標を連続的に算出して前記トンネルの変位を測定する制御装置とを具備することにより、特に、面内の角変形および座屈等の面外変形に伴う測定誤差（曲げによる干渉）および機能上の不具合（破損やかじり）を回避することが可能となると共に、トンネルの地山または覆工の表面に設置する構造とし、かつ、複雑な機構を必要とせず、後施工が可能となると共に、設置後のメンテナンスも容易であり、ある棒状変位計に何らかの原因で不具合が発生した場合であっても、当該棒状変位計だけを取り替えるだけで良い。

10

【0018】

本発明の請求項2のトンネル内空変位計測システムによれば、請求項1のシステムであって、前記第1～第3の棒状変位計は、一端が閉塞された第1のパイプと、前記第1のパイプの他端近傍の外周または内周に形成された摺動部が一端近傍の内周または外周に摺動可能に嵌合すると共に、他端が閉塞された第2のパイプと、前記第1のパイプの前記他端側に一端が取り付けられた第1のシャフトと、前記第2のパイプ内に一端が取り付けられた第2のシャフトと、前記第2のパイプ内の空間において前記第1のシャフトの他端と前記第2のシャフトの他端との間に支持された検出部とを有することにより、特に、引張ひずみだけでなく圧縮ひずみの測定も可能となると共に、各棒状変位計の最大予想変位を想定しその最大予想変位を十分にカバーし得る可動範囲の棒状変位計を設計することができるため、設計の自由度が大きいと共に、予想以上の変位に際し破損等の不具合を防止することが可能となる。

20

本発明の請求項3のトンネル内空変位計測システムによれば、請求項2のシステムであって、前記第1のシャフトは、前記第2のパイプ内に保持されたベアリング内を摺動可能に構成されていることにより、特に、棒状変位計が軸方向以外は大きな曲げ剛性を有しているので、支柱から棒状変位計に変位を伝えやすく、またトンネル内を列車や自動車等の車両が走行した場合であっても、風圧等による影響を受けにくい。

【0019】

本発明の請求項4のトンネル内空変位計測システムによれば、請求項2または請求項3のシステムであって、前記検出部は、前記第1のシャフトまたは前記第2のシャフトのいずれか一方または両方に引張ばねを介して支持されることにより、各棒状変位計にプリテンションを与えることが可能となるため、このトンネル内空変位計測システムをトンネルに設置する際に各棒状変位計の摺動部にスペーサ等を挟み込み所定のプリテンション（変位）を与えることにより、引張ひずみだけでなく圧縮ひずみも測定することが可能となり、棒状変位計の座屈を防止することが可能である。

30

本発明の請求項5のトンネル内空変位計測システムによれば、請求項2～請求項4のうちのいずれか1項のシステムであって、前記第2のシャフトは、その一端部外周に雄ねじが形成され、ナットの回転に応じて前記検出部にプリテンションを付加可能に前記第2のパイプ内に取り付けられていることにより、特に、各棒状変位計ごとに内部で微細なプリテンションを与えることが可能となるため、各棒状変位計の初期出力調整が容易になり、各棒状変位計の組み立ての作業性が向上する。

40

【0020】

本発明の請求項6のトンネル内空変位計測システムによれば、請求項2～請求項5のうちのいずれか1項のシステムであって、前記検出部は、両端に前記第1のシャフトの他端と前記第2のシャフトの他端との間に支持されるための係止部を有すると共に、略中央部に長円孔が形成された起歪部と、空隙部と、前記空隙部を挟んで前記棒状変位計の軸方向に平行に延びる溝とが形成される共に、前記空隙部の前記軸方向に平行な周囲にその形状に沿って、他の部分の厚さに比べて厚さが薄い薄肉部が形成され、前記起歪部に前記長円孔を塞ぐように固定されたゲージベースと、前記溝に固定されて延びる光ファイバと、前記光ファイバの前記空隙部内に位置する部分に形成されたファイバ・ブラッグ・グレーテ

50

ィング・センサとを有することにより、特に、測定対象物がひずみの大きい鉄の場合は勿論、ひずみの小さいコンクリートの場合でも、高精度な検出が可能となり、実用上十分な計測精度が得られると共に、支柱の長さを短くすることが可能となる。

本発明の請求項 7 のトンネル内空変位計測システムによれば、請求項 6 のシステムであって、前記ゲージベースは、前記空隙部の前記軸方向に平行な周囲にその形状に沿って、他の部分の厚さに比べて厚さが薄い薄肉部が形成されていることにより、特に、棒状変位計が低反力で軸方向に伸縮することが可能となる。

【 0 0 2 1 】

本発明の請求項 8 のトンネル内空変位計測システムによれば、請求項 2 ～ 請求項 5 のうちのいずれか 1 項のシステムであって、前記検出部は、中央部がくびれた起歪部と、前記起歪部の前記中央部の表面または裏面の少なくとも一面に添着されたひずみゲージとを有することにより、特に、測定対象物がひずみの大きい鉄の場合は勿論、ひずみの小さいコンクリートの場合でも、高精度な検出が可能となり、実用上十分な計測精度が得られると共に、支柱の長さを短くすることが可能となり、しかも、起歪部に加えられたひずみにより起歪部が湾曲した場合にその湾曲成分を相殺することが可能となる。

【 0 0 2 2 】

本発明の請求項 9 のトンネル内空変位計測方法によれば、トンネルの内壁に剛性大なる複数の支柱をトラス構造の束材を構成するように植設し、軸方向の変位に応じた信号を出力する複数の伸縮可能な複数の第 1 の棒状変位計の各端部を前記トラス構造の上弦材を構成するように隣接する前記支柱の基端部にピン結合により取り付け、軸方向の変位に応じた信号を出力する複数の伸縮可能な複数の第 2 の棒状変位計の各端部を前記トラス構造の下弦材を構成するように隣接する前記支柱の先端部にピン結合により取り付け、軸方向の変位に応じた信号を出力する複数の伸縮可能な複数の第 3 の棒状変位計の各端部を前記トラス構造の斜材を構成するように隣接する前記支柱の基端部と先端部にピン結合により取り付け、前記複数の第 1 ～ 第 3 の棒状変位計からの信号に基づいて、前記トンネルの下端部の 2 点を既知の 2 節点と仮定し、前記既知の 2 節点を基点として順次、相対する 2 つの前記棒状変位計の交点である節点座標を連続的に算出して前記トンネルの変状を測定することにより、特に、面内の角変形および座屈等の面外変形に伴う測定誤差（曲げによる干渉）および機能上の不具合（破損やかじり）を回避することが可能となると共に、トンネルの地山または覆工の表面に設置する構造とし、かつ、複雑な機構を必要とせず、後施工が可能となると共に、設置後のメンテナンスも容易であり、ある棒状変位計に何らかの原因で不具合が発生した場合であっても、当該棒状変位計だけを取り替えるだけで良い。

【 0 0 2 3 】

本発明の請求項 1 0 のトンネル内空変位計測システムによれば、

請求項 1 のシステムであって、

前記第 1 ～ 第 3 の棒状変位計は、

一端が閉塞された第 1 のパイプと、前記第 1 のパイプの他端近傍の外周または内周に形成された摺動部が一端近傍の内周または外周に摺動可能に嵌合すると共に、他端が閉塞された第 2 のパイプと、前記第 1 のパイプの前記他端側に一端が取り付けられると共に、前記第 2 のパイプ内に保持されたベアリング内を摺動可能に構成された第 1 のシャフトと、前記第 2 のパイプ内に一端が取り付けられた第 2 のシャフトと、前記第 2 のパイプ内の空間において前記第 1 のシャフトの他端と前記第 2 のシャフトの他端との間に引張ばねを介して支持された検出部とを有し、前記第 2 のシャフトは、その一端部外周に雄ねじが形成され、ナットの回転に応じて前記検出部にプリテンションを付加可能に前記第 2 のパイプ内に取り付けられ、前記検出部は、両端に前記第 1 のシャフトの他端と前記第 2 のシャフトの他端との間に支持されるための係止部を有すると共に、略中央部に長円孔が形成された起歪部と、空隙部と、前記空隙部を挟んで前記棒状変位計の軸方向に平行に延びる溝とが形成される共に、前記空隙部の前記軸方向に平行な周囲にその形状に沿って、他の部分の厚さに比べて厚さが薄い薄肉部が形成され、前記起歪部に前記長円孔を塞ぐように固定されたゲージベースと、前記溝に固定されて延びる光ファイバと、前記光ファイバの前記

空隙部内に位置する部分に形成されたファイバ・ブラッグ・グレーティング・センサとを有し、各棒状変位計の最大予想変位を想定しその最大予想変位を十分にカバーし得る可動範囲の棒状変位計を設計することが可能となり、設計の自由度が大きいと共に、予想以上の変位に際し破損等の不具合を防止することが可能となる。また、棒状変位計が軸方向以外には大きな曲げ剛性を有すると共に、支柱から棒状変位計に変位を伝えやすく、またトンネル内を列車や自動車等の車両が走行した場合であっても、風圧等による影響を受けにくく、各棒状変位計にプリテンションを与えることが可能となると共に、トンネルに設置する際に各棒状変位計の摺動部に所定のプリテンション（変位）を与えることにより引張りずみだけでなく圧縮ひずみも測定することが可能となる。

【0024】

これにより、作業性が向上し、測定対象物がひずみの大きい鉄の場合は勿論、ひずみの小さいコンクリートの場合でも、高精度な検出が可能となり、実用上十分な計測精度を得ることが可能となると共に、低反力で軸方向に伸縮することが可能となり、座屈を防止することが可能となる。

本発明の請求項11のトンネル内空変位計測システムによれば、請求項1の変位計測システムであって、

前記第1～第3の棒状変位計は、

トンネルの内壁に設置され、その軸方向に加えられた変位を検出し、前記変位に応じた信号を出力するトンネル内空変位計であって、

一端が閉塞された第1のパイプと、

前記第1のパイプの他端近傍の外周または内周に形成された摺動部が一端近傍の内周または外周に摺動可能に嵌合すると共に、他端が閉塞された第2のパイプと、

前記第1のパイプの前記他端側に一端が取り付けられると共に、前記第2のパイプ内に保持されたベアリング内を摺動可能に構成された第1のシャフトと、

前記第2のパイプ内に一端が取り付けられた第2のシャフトと、

前記第2のパイプ内の空間において前記第1のシャフトの他端と前記第2のシャフトの他端との間に引張ばねを介して支持された検出部とを有し、

前記第2のシャフトは、その一端部外周に雄ねじが形成され、ナットの回転に応じて前記検出部にプリテンションを付加可能に前記第2のパイプ内に取り付けられ、

前記検出部は、両端に前記第1のシャフトの他端と前記第2のシャフトの他端との間に支持されるための係止部を有すると共に、中央部がくびれた起歪部と、前記起歪部の前記中央部の表面または裏面の少なくとも一面に添着されたひずみゲージとを有していることにより、特に、測定対象物がひずみの大きい鉄の場合は勿論、ひずみの小さいコンクリートの場合でも、高精度な検出が可能となり、実用上十分な計測精度を得ることが可能となると共に、起歪部に加えられたひずみにより起歪部が湾曲した場合にその湾曲成分を相殺することが可能となる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0025】

以下、本発明に係る実施の形態に基づき、図面を参照して本発明のトンネル内空変位計測システムを詳細に説明する。

実施の形態1.

図1は、本発明の実施の形態1に係るトンネル内空変位計測システムの回路構成を示している。この例のトンネル内空変位計測システムは、光源1と、光サーキュレータ2と、光スイッチ3と、棒状変位計4₁₁～4₁₆、4₂₁～4₂₆、4₃₁～4₃₆、4₄₁～4₄₆と、光ファイバ5と、光コネクタ6と、波長計7と、制御装置8とから構成されている。棒状変位計4₁₁～4₁₆は第1系統の計測系、棒状変位計4₂₁～4₂₆は第2系統の計測系、棒状変位計4₃₁～4₃₆は第3系統の計測系、棒状変位計4₄₁～4₄₆は第4系統の計測系をそれぞれ構成している。尚、棒状変位計4₁₁～4₁₆、4₂₁～4₂₆、4₃₁～4₃₆、4₄₁～4₄₆を総称するときは、単に棒状変位計4と表す。この総称に関しては、他の構成要素でも同様である。光源1は、例えば、希土類元素

10

20

30

40

50

添加光ファイバを、半導体レーザ等の励起用光源で励起することにより生じた自然放出光 (Spontaneous Emission) が、光ファイバ内を導波するにしたがい、増幅 (Amplified) される現象を利用した A S E (Amplified Spontaneous Emission) 光源から広帯域且つ高輝度の光出力を連続で出射する。光サーキュレータ 2 は、光源 1 から供給される光信号を光スイッチ 3 に供給すると共に、光スイッチ 3 から供給される光信号を波長計 7 に供給する。光スイッチ 3 は、制御装置 8 から供給される切替信号に基づいて、光サーキュレータ 2 から供給され、共通入出力端 T_c から入射された光信号を第 1 ~ 第 4 の入出力端 $T_1 \sim T_4$ のいずれかから出射すると共に、第 1 ~ 第 4 の入出力端 $T_1 \sim T_4$ のいずれかから入射された光信号を共通入出力端 T_c から出射して光サーキュレータ 2 に供給する。

【 0 0 2 6 】

10

棒状変位計 4 は、その内部に有するファイバ・ブラッグ・グレーティング (F B G : Fiber Bragg Grating) センサというセンサデバイスを用いて軸方向のひずみを計測する。ここで、F B G センサ 6 1 とは、図 2 に示すように、光ファイバ 6 2 のコア 6 3 内に所定周期 (以下、「グレーティング周期」という。) で所定間隔おきに所定長 (以下、「グレーティング長」という。) の屈折率変化部分を形成したものをいう。グレーティング周期 は例えば、500 nm、グレーティング長は例えば、3 ~ 10 mm である。上記屈折率変化部分は、例えば、紫外レーザ光を光ファイバ 6 2 に照射することにより作製する。以下、F B G センサ 6 1 の動作原理について説明する。F B G センサ 6 1 に、図 3 に示すように、広帯域の波長領域を有する入射光 I_{IN} を入射すると、コア 6 3 の屈折率 n およびグレーティング周期 に応じた波長 (以下、「ブラッグ波長」という。) を有する反射光 I_R が反射され、残りの波長領域の光が透過光 I_T として透過する。ブラッグ波長のピーク波長 λ_B は、コア 6 3 の屈折率 n およびグレーティング周期 を用いて、式 (1) で表される。

20

【 0 0 2 7 】

$$\lambda_B = 2 n \cdot \cdot \cdot (1)$$

図 2 および図 3 に示す F B G センサ 6 1 の構造から、F B G センサ 6 1 に光軸方向にひずみを負荷した場合、コア 6 3 の屈折率 n またはグレーティング周期 が変化し、式 (1) で表されるピーク波長 λ_B が変化することが予想される。その変化量 $\Delta \lambda_B$ は、式 (2) で表される。

$$\lambda_B = \lambda_B (1 - \cdot \cdot \cdot (2)$$

30

ここで、 λ_B は F B G センサ 6 1 の光軸方向に負荷したときのひずみ、 λ_{B0} は負荷したひずみによる光ファイバ 6 2 の光弾性係数 (例えば、約 0.22) を意味している。

ピーク波長 λ_B が 1550 nm である場合、ピーク波長 λ_B の変化量 $\Delta \lambda_B$ は、 ~ 1.2 pm / μ 程度である。即ち、ブラッグ波長のピーク波長 λ_B の変化を分解能 1 pm (1×10^{-12} m) 程度で計測することができれば、1 μ (1×10^{-6}) の分解能で、F B G センサ 6 1 の軸方向のひずみを計測可能であることが分かる。図 4 にブラッグ波長のピーク波長 λ_B のスペクトル変化の一例を示す。

【 0 0 2 8 】

図 4 において、スペクトル a は、引張ひずみに比例してピーク波長 λ_B が増加したことを示し、スペクトル b は、圧縮ひずみに比例してピーク波長 λ_B が減少したことを示している。

40

この実施の形態 1 では、1 つの系統の計測系に 6 本の棒状変位計 4 を用いているので、各棒状変位計 4 を構成する F B G センサが同一または重なり合うピーク波長 λ_B を有していると、反射光を分離できずに多点計測が不可能となる。そこで、この実施の形態 1 では、各棒状変位計 4 を構成する F B G センサの作製時に式 (1) に示すグレーティング周期 を互いに異ならせることにより、図 5 に示すように、異なったピーク波長 λ_{B1} 、 λ_{B2} 、 λ_{B3} 、 λ_{B4} 、 λ_{B5} 、 λ_{B6} を有する F B G センサを作製すると共に、光源 1 には、図 6 に示すように、ピーク波長 λ_{B1} 、 λ_{B2} 、 λ_{B3} 、 λ_{B4} 、 λ_{B5} 、 λ_{B6} を含む広帯域の波長帯域幅を有する光信号を出射可能なものを用いる。これにより、波長計 7 では、図 7 に示すように、各棒状変位計 4 に対応した反射光 I_R のピーク波長 λ_{B1} 、 λ_{B2} 、 λ_{B3} 、 λ_{B4} 、 λ_{B5} 、 λ_{B6} が分離でき、

50

多点計測が可能となる。尚、1つの系統の計測系に用いられる6本の棒状変位計4において各F B Gセンサのピーク波長 λ_B が異なっていれば良く、棒状変位計4を構成するF B Gセンサのピーク波長 λ_B の値は任意であるが、この実施の形態1では、例えば、棒状変位計4₁₁のピーク波長 λ_B がピーク波長 λ_1 、棒状変位計4₁₂のピーク波長 λ_B がピーク波長 λ_2 というように、棒状変位計4の符号の下1桁目の添え字とピーク波長 λ_B の添え字とが対応しているものとする。

【0029】

図1に示す光ファイバ5は、例えば、石英ガラスからなり、光スイッチ3と対応する棒状変位計4との間、各棒状変位計4と対応する光コネクタ6との間に介挿され、これらの間において光信号を伝送する。また、光スイッチ3の第1、第2、第3および第4の入出力端 T_1 、 T_2 、 T_3 および T_4 と、対応する棒状変位計4₁₁、4₂₁、4₃₁および4₄₁との間に敷設される光ファイバ5の長さは、数kmであっても良い。これは、光源1から照射される光信号が広帯域で光強度が大きいからである。波長計7は、光サーキュレータ2から供給された光信号における複数のブラッグ波長のピーク波長を検出して制御装置8に供給する。

制御装置8は、制御部と、記憶部と、操作部と、表示部と、通信部等とを有するパーソナルコンピュータ等の情報処理装置によって構成されている。制御部は、中央処理装置(CPU)等からなり、記憶部に記憶されているトンネル内空変位計測プログラム等に基づいて、トンネル内空変位計測処理等を実行し、制御装置8の各部を制御する。即ち、例えば、トンネル内空変位計測プログラムが記憶部から読み出されると、制御部に読み込まれ、制御部の動作を制御する。

【0030】

制御部は、トンネル内空変位計測プログラムが起動されると、トンネル内空変位計測プログラムの制御により、トンネル内空変位計測処理を実行するのである。トンネル内空変位計測処理は、波長計7から供給される複数のブラッグ波長のピーク波長を物理量(例えば、力、変位等)に変換し、得られた物理量または上記物理量に統計的処理を施した結果を記憶部に順次記憶したり、自発的にまたは外部からの要求に基づいて、通信部を介して外部に通知する処理である。

記憶部は、RAMやROM、あるいはフラッシュメモリ等の半導体メモリ、FD(フロッピー(登録商標)・ディスク)が装着されるFDドライブ、HD(ハード・ディスク)が装着されるHDドライブ、MO(光磁気)ディスクが装着されるMOディスクドライブ、あるいはCD(コンパクト・ディスク)-ROM、CD-R(Recordable)、CD-RW(Rewritable)やDVD-ROM、DVD-R、DVD-RW等が装着されるCD/DVDドライブ等からなる。記憶部には、制御部が実行する各種プログラムの他、各種のデータが記憶される。操作部は、テンキー、エンターキー、あるいはファンクションキー等からなるキーボードや、マウス、タッチパッド、あるいはペンデバイス等のポインティングデバイスなどを有する。表示部は、CRTディスプレイ、液晶ディスプレイ(LCD: Liquid Crystal Display)等からなる。通信部は、図示せぬ回線やネットワーク等を介して外部とデータ通信を行う。

【0031】

次に、棒状変位計4の詳細について、図8~図13を参照して説明する。図8は本発明のトンネル内空変位計測システムに適用される棒状変位計4の構成を示す断面図、図9は図8に示す棒状変位計4の一部の構成を示す分解斜視図、図10は図8に示す棒状変位計4の一部の構成を示す透視斜視図である。図8~図10において、棒状変位計4は、パイプA11~パイプD14と、エンドプレート(キャップ)15と、リング16と、リング保持具17と、第1のシャフト18および第2のシャフト19と、リニアベアリング20と、ベアリング保持具21と、引張ばね22と、起歪部23と、ゲージベース24と、F B Gセンサ25と、固定ブッシュ26と、ナット27と、光ファイバ28と、コネクタ29とから構成されている。尚、起歪部23と、ゲージベース24と、F B Gセンサ25とは、検出部65を構成している。パイプA11~パイプD14は、例えば、ステンレ

ス（ＳＵＳ３０４）等からなり、略円筒状を呈している。パイプＡ１１は、その一端（図８においては左端）１１ａにエンドプレート１５が嵌合されている。エンドプレート１５は、例えば、ステンレス（ＳＵＳ３０４）等からなり、略円盤状を呈しており、棒状変位計４の内部に水分や塵埃の混入を防止するために取り付けられるものである。

【００３２】

一方、パイプＡ１１の他端１１ｂから全長の１５％程度までには、パイプＢ１２の一端１２ａ側から挿入され、パイプＢ１２の内側において、図１０に矢印で示す方向に摺動可能となるようにその外径が他の部分より小さく切削加工された摺動部１１ｃが形成されている。また、第１のパイプＡ１１の他端１１ｂには、例えば、ステンレス（ＳＵＳ３０４）等からなり、略円柱状のリング保持具１７が嵌合された上、溶接により固着されている。このリング保持具１７には、軸方向の略中央外周部分に、リング１６が装着される断面矩形状の溝１７ａが形成されている。また、リング保持具１７の一端側（図８においては、右端側）には、第１のシャフト１８の一端が螺合する雌ねじ穴１７ｂが形成されている。

第１および第２のシャフト１８および１９は、例えば、ステンレス（ＳＵＳ３０３）等からなり、小径の棒状を呈している。第１のシャフト１８は、その一端がリング保持具１７の雌ねじ穴１７ｂに螺合されて固定されていると共に、その他端１８ａがベアリング保持具２１の略中央部に軸方向に形成された孔２１ａに挿入されてその内部に保持されたりニアベアリング２０により軸方向に摺動可能に支持されている。

【００３３】

また、第１のシャフト１８の他端１８ａは、扁平板状に形成されていると共に、引張ばね２２のフック２２ａが架けられる孔１８ｂが形成されている。ベアリング保持具２１には、光ファイバ２８が折り返して挿入される２つの孔２１ｂおよび２１ｃが形成されている。図１０に示すように、パイプＢ１２とパイプＣ１３とは、例えば、溶接等により接合され、ベアリング保持具２１は、パイプＢ１２の他端（図８において、右端側）とパイプＣ１３の段部との間に挟持固定される。また、パイプＢ１２の長さ方向の略中央部から他端１２ｂまでの内周の内径は、リング保持具１７の外径より小さく形成されており、リング保持具１７の右方への摺動限界（ストッパ）として機能するように構成されている。

起歪部２３は、例えば、ステンレス（ＳＵＳ６３０）等からなり、図１１に示すように、基部２３ａと、壁部２３ｂ_１および２３ｂ_２と、底部２３ｃ_１および２３ｃ_２とが一体に形成されて構成されている。壁部２３ｂ_１および２３ｂ_２は、基部２３ａの幅と同一の幅を有すると共に、基部２３ａの両端からほぼ垂直に所定寸法の高さを有して立ち上がっている。底部２３ｃ_１および２３ｃ_２は、基部２３ａの幅並びに壁部２３ｂ_１および２３ｂ_２の幅と同一の幅を有すると共に、それぞれ対応する壁部２３ｂ_１および２３ｂ_２の上端から外側に向かってほぼ水平に所定寸法の長さを有して延びている。

【００３４】

起歪部２３は、例えば、ステンレス板等の薄板に対して打ち抜き加工およびプレス曲げ加工等を施すことにより作製されている。基部２３ａの略中央部には、打ち抜きにより長円孔２３ｄが形成されている。壁部２３ｂ_１および２３ｂ_２の基部２３ａとの接線の略中央部には、光ファイバ２８が挿入される孔２３ｂ_１_１および２３ｂ_２_１が形成されている。また、底部２３ｃ_１の略中央部には、引張ばね２２のフック２２ｂが架けられる孔２３ｃ_１_１（係止部）が形成されている。底部２３ｃ_２の略中央部には、第２のシャフト１９の一端１９ａに形成された孔１９ｂに一端が架けられたフック３０の他端が架けられる孔２３ｃ_２_１（係止部）が形成されている。

ゲージベース２４は、例えば、ステンレス（ＳＵＳ３０４）等からなり、図１２および図１３に示すように、平面から見た形状が全体として略矩形状を呈しており、その両短辺２４ａおよび２４ｂから略等しい位置（中心位置）に略Ｈ字状の貫通された空隙部３１が形成されている。また、ゲージベース２４には、両長辺２４ｃおよび２４ｄから略等しい位置（この場合、中心位置）に空隙部３１を挟んで両長辺２４ｃおよび２４ｄに平行に、即

ち、棒状変位計 4 の中心軸方向に延びる断面 U 字状または半円形状の溝 3 2 a および 3 2 b が形成されている。

【 0 0 3 5 】

さらに、ゲージベース 2 4 には、他の部分の厚さ（例えば、0 . 6 m m ）に比べてその厚さが薄い（例えば、0 . 2 m m ）薄肉部 3 3 a、3 3 b、3 4 a ~ 3 4 d が形成されている。薄肉部 3 3 a および 3 3 b は、H 字状を呈する空隙部 3 1 を挟んでゲージベース 2 4 の両長辺 2 4 c および 2 4 d に沿うように略同一の幅をもって一对のクランク状を呈するように形成されている。即ち、薄肉部 3 3 a および 3 3 b には、それぞれ切欠部 3 3 a₁ および 3 3 b₁ が形成されている。薄肉部 3 3 a および 3 3 b がこのような形状を呈しているのは、薄肉部 3 3 a および 3 3 b の剛性を低下させ、鋼材などの測定対象物（図示略）のひずみを拘束しないように、即ち、ひずみに応じてゲージベース 2 4 を変形し易くするためである。一方、薄肉部 3 4 a および 3 4 b は、ゲージベース 2 4 の短辺 2 4 a から略等距離であって、溝 3 2 a を挟んで線対称の位置に略矩形状を呈して形成されている。同様に、薄肉部 3 4 c および 3 4 d は、ゲージベース 2 4 の短辺 2 4 b から略等距離であって、溝 3 2 b を挟んで線対称の位置に略矩形状を呈して形成されている。薄肉部 3 4 a ~ 3 4 d がこのような形状を呈しているのは、後述するスポット溶接を容易にさせるためである。

【 0 0 3 6 】

上記構成のゲージベース 2 4 は、図 1 1 に示すように、起歪部 2 3 の基部 2 3 a 上に長円孔 2 3 d を塞ぐように載置された後、図 1 1 の薄肉部 3 4 a ~ 3 4 d 内においてそれぞれ 3 個の黒丸で示すように、例えば、スポット溶接により起歪部 2 3 の基部 2 3 a 上に固定される。尚、ゲージベース 2 4 と起歪部 2 3 の基部 2 3 a とを固定するための溶着には、種々の形態を採用することができ、本実施の形態のスポット溶接の他、接着剤による接着、さらに、ガス圧接のような圧接のみならず、種々の融着およびろう付け技術等で両者を固定することが可能である。また、その一部に F B G センサ 2 5 が形成された光ファイバ 2 8 は、図 1 1 に示すように、起歪部 2 3 の壁部 2 3 b₁ および 2 3 b₂ に形成された孔 2 3 b₁₁ と孔 2 3 b₂₁ との間に挿通された後、図 1 1 および図 1 3 に示すように、F B G センサ 2 5 が空隙部 3 1 に位置するように、溝 3 2 a および 3 2 b に嵌入され、例えば、接着剤により溝 3 2 a および 3 2 b に固定される。そして、図 9 に示すように、起歪部 2 3 の底部 2 3 c₁ に形成された孔 2 3 c₁₁ に引張ばね 2 2 のフック 2 2 b が架けられると共に、起歪部 2 3 の底部 2 3 c₂ に形成された孔 2 3 c₂₁ に第 2 のシャフト 1 9 の孔 1 9 b との間でフック 3 0 が架けられることにより、検出部 6 5 がパイプ B 1 2、パイプ C 1 3 およびパイプ D 1 4 の内部空間に保持されることになる。

【 0 0 3 7 】

F B G センサ 2 5 は、上記したように、例えば、光ファイバ 2 8 の一部に紫外のレーザー光を照射することにより作製される。F B G センサ 2 5 において、グレーティング長は 3 ~ 1 0 m m、グレーティング周期 は 5 0 0 n m である。尚、ここで、パイプ A 1 1 を「第 1 のパイプ」と称し、パイプ B 1 2、パイプ C 1 2、パイプ D 1 4 を「第 2 のパイプ」と総称する。即ち、パイプ A ~ パイプ D は、組立前には 4 本のパイプからなるが、組立後はパイプ B、パイプ C およびパイプ D は溶接により一体化され、軸方向への撓動は、実質的に、上記定義した第 1 のパイプと第 2 のパイプの間で行われる。

第 2 のシャフト 1 9 の一端 1 9 a は、直方体状（扁平板状）に形成されていると共に、フック 3 0 が架けられる孔 1 9 b が形成されている。第 2 のシャフト 1 9 の外周には、その他端 1 9 c から第 2 のシャフト 1 9 の略中央部まで、所定形状の雄ねじ 1 9 d が螺旋状に所定ピッチで形成されている。固定ブッシュ 2 6 は、例えば、ステンレス（S U S 3 0 3）等からなり、略円盤状を呈している。固定ブッシュ 2 6 の略中央部には、第 2 のシャフト 1 9 が嵌合する孔 2 6 a が形成されている。固定ブッシュ 2 6 の起歪部 2 3 に対向する面とは反端側の面の孔 2 6 a の周縁部には、ナット 2 7 の凸球面加工された一端 2 7 a に対応して凹球面加工が施されている。

【 0 0 3 8 】

10

20

30

40

50

固定ブッシュ 26 には、図 9 に示すように、孔 26 a を挟んで対称となる位置に、光ファイバ 28 が挿入される 2 つの孔 26 b および 26 c が形成されている。ナット 27 は、例えば、ステンレス (SUS303) からなり、略円筒状を呈しており、内周には第 2 のシャフト 19 の雄ねじ 19 d に螺合するための所定形状の雌ねじが螺旋状に所定ピッチで形成されている。第 1 および第 2 のシャフト 18 および 19、引張ばね 22、固定ブッシュ 26 およびナット 27 は、パイプ C 13 の内部空間に保持された検出部 65 に対して所定のプリテンションを加え且つ調整するためのものである。即ち、ナット 27 を右回転または左回転させることにより、第 2 のシャフト 19 が軸方向に移動し、引張ばね 22 の付勢力が変化し検出部 65 に加えられるプリテンションが調整されるのである。パイプ C 13 とパイプ D 14 とは、例えば、組立後に溶接等により接合され、固定ブッシュ 26 は、パイプ C 13 とパイプ D 14 との接合部近傍の内部で固定される。光ファイバ 28 は、例えば、石英ガラスからなり、その一端がコネクタ 29 の第 1 の入力端に接続され、パイプ D 14 内を通過した後、固定ブッシュ 26 の孔 26 b を経てパイプ C 13 内に入る。パイプ C 13 内に入った光ファイバ 28 は、パイプ C 13 内を通過し、ベアリング保持具 21 の孔 21 b を経てパイプ B 12 内に入った後、折り返してベアリング保持具 21 の孔 21 c を経て再びパイプ C 13 内に入る。

【0039】

パイプ C 13 内に再び入った光ファイバ 28 は、起歪部 23 に固定された後、固定ブッシュ 26 の孔 26 c を経てパイプ D 14 内に入り、その他端がコネクタ 29 の出力端で中継用の光ファイバ 5 に接続される。光ファイバ 28 は、棒状変位計 4 の内部において光信号を伝送する。コネクタ 29 には、光ファイバ 5 がそれぞれ接続される。棒状変位計 4 は、上記構造を有しているので、変位を計測すべき棒状変位計 4 の軸方向に対しては低反力で伸縮するが、軸方向以外に対しては大きな曲げ剛性を有しているので、軸方向に圧縮した際の座屈が確実に防止される。

次に、上記構成のトンネル内空変位計測システムのトンネルへの設置の一例について図 14 および図 15 を参照して説明する。まず、図 14 に示すように、トンネルの半円弧状の覆工 (内壁) 41 に支柱 42₁ ~ 42₉ を植設する。この支柱 42₁ ~ 42₉ は、なるべく覆工 41 が形成する円弧に垂直に設置することが望ましいが、多少傾いて設置されても良い。支柱 42₁ ~ 42₉ は、例えば、帯鋼 (SS400) からなり、略矩形状を呈している。これらの支柱 42 は、基端および先端近傍に取付座板 51 を取り付けするための孔が 1 つずつ形成され、それぞれリーマ仕上げが施されている。

【0040】

次に、図 14 に示すように、図 1 に示す第 1 系統の測定系を構成する棒状変位計 4₁₁ ~ 4₁₃ および 4₁₄ ~ 4₁₆ が支柱 42₁ と支柱 42₂ との間および支柱 42₂ と支柱 42₃ との間に、そして、図 1 に示す第 2 系統の測定系を構成する棒状変位計 4₂₁ ~ 4₂₃ および 4₂₄ ~ 4₂₆ が支柱 42₃ と支柱 42₄ との間および支柱 42₄ と支柱 42₅ との間に、そして、図 1 に示す第 3 系統の測定系を構成する棒状変位計 4₃₁ ~ 4₃₃ および 4₃₄ ~ 4₃₆ が支柱 42₅ と支柱 42₆ との間および支柱 42₆ と支柱 42₇ との間に、そして、図 1 に示す第 4 系統の測定系を構成する棒状変位計 4₄₁ ~ 4₄₃ および 4₄₄ ~ 4₄₆ が支柱 42₇ と支柱 42₈ との間および支柱 42₈ と支柱 42₉ との間に、それぞれトラス (truss) 構造を構成するように取り付けられる。即ち、第 1 系統の測定系においては、支柱 42₁ ~ 42₃ がトラス構造の垂直材 (構造力学の分野においては「束材」と称している。)、支柱 42₁ および 42₂ の基端部近傍側の棒状変位計 4₁₁ および 4₁₆ がトラス構造の上弦材、支柱 42₁ および 42₂ の先端部近傍側 (即ち、覆工 41 に遠い側) の棒状変位計 4₁₃ および 4₁₄ がトラス構造の下弦材、支柱 42₁ の先端と支柱 42₂ の基端との間および支柱 42₂ の基端と支柱 42₃ の先端との間にそれぞれ連結される棒状変位計 4₁₂ および 4₁₅ がトラス構造の斜材をそれぞれ構成している。

【0041】

同様に、第 2 系統の測定系においては、支柱 42₃ ~ 42₅ がトラス構造の束材、棒状

10

20

30

40

50

変位計 4₂₁ および 4₂₆ がトラス構造の上弦材、棒状変位計 4₂₃ および 4₂₄ がトラス構造の下弦材、棒状変位計 4₂₂ および 4₂₅ がトラス構造の斜材をそれぞれ構成している。第 3 系統の測定系においては、支柱 4₂₅ ~ 4₂₇ がトラス構造の束材、棒状変位計 4₃₁ および 4₃₆ がトラス構造の上弦材、棒状変位計 4₃₃ および 4₃₄ がトラス構造の下弦材、棒状変位計 4₃₂ および 4₃₅ がトラス構造の斜材をそれぞれ構成している。第 4 系統の測定系においては、支柱 4₂₇ ~ 4₂₉ がトラス構造の束材、棒状変位計 4₄₁ および 4₄₆ がトラス構造の上弦材、棒状変位計 4₄₃ および 4₄₄ がトラス構造の下弦材、棒状変位計 4₄₂ および 4₄₅ がトラス構造の斜材をそれぞれ構成している。以上説明したトラス構造の上弦材をなす棒状変位計 4₁₁、4₁₆、4₂₁、4₂₆、4₃₁、4₃₆、4₄₁ および 4₄₆ を第 1 の棒状変位計と称し、同様に、トラス構造の下弦材をなす棒状変位計 4₁₃、4₁₄、4₂₃、4₂₄、4₃₃、4₃₄、4₄₃ および 4₄₄ を第 2 の棒状変位計と称し、トラス構造の斜材をなす棒状変位計 4₁₂、4₁₅、4₂₂、4₂₅、4₃₂、4₃₅、4₄₂ および 4₄₅ を第 3 の棒状変位計と称する。

【 0 0 4 2 】

次に、棒状変位計 4 の設置方法および光ファイバ 5 の接続方法の詳細について、図 1 4 に破線でもって示す楕円 A の部分を例にとって説明する。図 1 5 は、図 1 4 の楕円 A の部分の拡大図である。尚、楕円 A の部分において覆工 4 1 は湾曲しているが、図 1 5 では説明を簡単にするために覆工 4 1 の一部を平面状のものと仮定して表している。棒状変位計 4 は、支柱 4 2 に取付座板 5 1 および取付具 5 2 により設置する。取付座板 5 1 は、例えば、帯鋼 (S S 4 0 0) からなり、略矩形状を呈している。この取付座板 5 1 は、一端近傍に当該取付座板 5 1 を支柱 4 2 に取り付けるための孔が形成され、リーマ仕上げが施されていると共に、他端近傍に棒状変位計 4 を取付具 5 2 により取り付けるための 2 つの孔が形成されている。この 2 つの孔の内周には所定形状の雌ねじが螺旋状に所定ピッチで形成されている。一方、取付具 5 2 は、例えば、ステンレス (S U S 3 0 3) からなり、全体として略直方体状を呈している。この取付具 5 2 は、その略中央部に U 字状の切欠部が形成されていると共に、切欠部の両側には棒状変位計 4 を当該取付具 5 2 を介して取付座板 5 1 に取り付けるために、2 本のボルトが挿入される 2 つの孔が形成されている。2 本のボルトの外周には、その一端から所定位置まで、取付座板 5 1 の 2 つの孔に形成された雌ねじに螺合するための所定形状の雄ねじが螺旋状に所定ピッチで形成されている。

【 0 0 4 3 】

まず、各棒状変位計 4₁₁ ~ 4₁₆ の両端に取付具 5 2 および 2 本のボルトにより取付座板 5 1 を取り付ける。次に、支柱 4 2₁ の覆工 4 1 側の基端近傍に、棒状変位計 4₁₁ の一端に取り付けられた取付座板 5 1₁₁ を、図 1 5 において、棒状変位計 4₁₁ の一端の取付面が紙面の奥側に向いた状態で支柱 4 2₁ に対して紙面の手前側に配置して、支柱 4 2₁ に外ねじ式ストリッパボルト (リーマボルト) とナットで相対的に回動自在に連結する。一方、支柱 4 2₁ の先端近傍に、棒状変位計 4₁₃ の一端に取り付けられた取付座板 5 1₃₁ を、図 1 5 において、棒状変位計 4₁₃ の一端の取付面が紙面の奥側に向いた状態で支柱 4 2₁ に対して紙面の手前側に配置し、かつ、棒状変位計 4₁₂ の一端に取り付けられた取付座板 5 1₂₁ を、棒状変位計 4₁₂ の一端の取付面が紙面の手前側に向いた状態で上記取付座板 5 1₃₁ に重ねて配置して、支柱 4 2₁ に外ねじ式ストリッパボルトとナットで相対的に回動自在に連結する。

【 0 0 4 4 】

図 1 5 において、支柱 4 2₂ の覆工 4 1 側の基端近傍に、棒状変位計 4₁₁ の他端に取り付けられた取付座板 5 1₁₂ を、棒状変位計 4₁₁ の他端の取付面が紙面の奥側に向いた状態で支柱 4 2₂ に対して紙面の手前側に配置し、また、棒状変位計 4₁₂ の他端に取り付けられた取付座板 5 1₂₂ を、棒状変位計 4₁₂ の他端の取付面が紙面の手前側に向いた状態で上記取付座板 5 1₁₂ に重ねて配置すると共に、棒状変位計 4₁₆ の一端に取り付けられた取付座板 5 1₆₁ を、棒状変位計 4₁₆ の一端の取付面が紙面の手前側に向いた状態で支柱 4 2₂ に対して紙面の奥側に配置し、また棒状変位計 4₁₅ の一端に取り付けられた取付座板 5 1₅₁ を、棒状変位計 4₁₅ の一端の取付面が紙面の奥側に向いた

10

20

30

40

50

状態で上記取付座板 5 1_{6 1} に重ねて配置して、支柱 4 2₂ に外ねじ式ストリッパボルトとナットで相対的に回動自在に連結する。一方、図 1 5 において、支柱 4 2₂ の先端近傍に、棒状変位計 4 1₃ の他端に取り付けられた取付座板 5 1_{3 2} を、棒状変位計 4 1₃ の他端の取付面が紙面の奥側に向いた状態で支柱 4 2₂ に対して紙面の手前側に配置し、かつ、棒状変位計 4 1₄ の一端に取り付けられた取付座板 5 1_{4 1} を、棒状変位計 4 1₄ の一端の取付面が紙面の手前側に向いた状態で支柱 4 2₂ に対して紙面の奥側に配置して、支柱 4 2₂ に外ねじ式ストリッパボルトとナットで相対的に回動自在に連結する。

【 0 0 4 5 】

以下、第 2 ～ 第 4 系統の測定系についても同様に行う。以上説明した設置方法を採用することにより、各棒状変位計 4 1₁ ～ 4 1₆、4 2₁ ～ 4 2₆、4 3₁ ～ 4 3₆ および 4 4₁ ～ 4 4₆ は、支柱 4 2₁ ～ 4 2₃、4 2₃ ～ 4 2₅、4 2₅ ～ 4 2₇ および 4 2₇ ～ 4 2₉ の面に対して平行に設置されると共に、支柱 4 2₁ ～ 4 2₉ と取付座板 5 1 を介してピン結合されることになり、軸方向にのみ力が加わることになる。

次に、図 1 に示す光スイッチ 3 の第 1 の入出力端 T₁ と、第 1 系統を構成する棒状変位計 4 1₁ ～ 4 1₆ および光ファイバ 5 との接続方法について、図 1 5 を参照して説明する。図 1 に示す光スイッチ 3 の第 1 の入出力端 T₁ は、図 1 5 に示す光ファイバ 5₁ を介して棒状変位計 4 1₁ の第 1 の入出力端に接続し、棒状変位計 4 1₁ の第 2 の入出力端は、光ファイバ 5₂ を介して棒状変位計 4 1₂ の第 1 の入出力端に接続する。棒状変位計 4 1₂ の第 2 の入出力端は、光ファイバ 5₃ を介して棒状変位計 4 1₃ の第 1 の入出力端に接続し、棒状変位計 4 1₃ の第 2 の入出力端は、光ファイバ 5₄ を介して棒状変位計 4 1₄ の第 1 の入出力端に接続する。棒状変位計 4 1₄ の第 2 の入出力端は、光ファイバ 5₅ を介して棒状変位計 4 1₅ の第 1 の入出力端に接続し、棒状変位計 4 1₅ の第 2 の入出力端は、光ファイバ 5₆ を介して棒状変位計 4 1₆ の第 1 の入出力端に接続する。棒状変位計 4 1₆ の第 2 の入出力端は、光ファイバ 5₇ に接続する。

【 0 0 4 6 】

次に、上記構成のトンネル内空変位計測システムの計測原理について説明する。この実施の形態 1 におけるトンネル内空変位計測システムは、上記したように設置したトラス構造の上弦材、下弦材および斜材を構成する棒状変位計 4 に生じるひずみを検出することによりトンネル内空（覆工）の変状を計測するものである。即ち、トンネル内空の変位をトラス節点の座標変化として検出する。トラス節点変化は、トラスの辺長変化余弦定理を用いて計算する。トラスの辺長変化余弦定理は、トンネルの下端部の 2 点を不動点（既知の 2 節点）と仮定し、この既知の 2 節点の変位から順次、相対する変位計の長さ（辺長）から 2 辺の交点（各トラスの節点座標）を連続的に算出することにより、トンネル全体の変状を測定するものである。既知の 2 節点は、図 1 4 および図 1 5 では、例えば、トンネルの左下端部の点 a (X_a, Y_a) および b (X_b, Y_b) とする。

以下、トラスの辺長変化余弦定理について説明する。図 1 6 に示すように、既知の 2 節点の座標を a (X_a, Y_a) および b (X_b, Y_b) とし、求める未知の節点の座標を c (X, Y)、角度 b a x を α、角度 c a b を A とする。また、図 1 6 に示す三角形 a b c が変形する前の各辺の長さを l_a、l_b および l_c、三角形 a b c が変形した後の各辺の長さを L_a、L_b および L_c とすると、接点 c の座標 X および座標 Y は、それぞれ式 (3) および式 (4) で表される。

【 0 0 4 7 】

$$X = X_a + L_b \cos(\alpha + A) \quad \cdots (3)$$

$$Y = Y_a + L_b \sin(\alpha + A) \quad \cdots (4)$$

三角形 a b c の各辺のひずみを α、β、γ とすると、三角形 a b c が変形した後の各辺の長さ L_a、L_b および L_c は、式 (5) ～ 式 (7) のように表される。

$$L_a = l_a (1 + \alpha) \quad \cdots (5)$$

$$L_b = l_b (1 + \beta) \quad \cdots (6)$$

$$L_c = l_c (1 + \gamma) \quad \cdots (7)$$

また、角度 α および角度 A は、式 (8) および式 (9) で表される。

10

20

30

40

50

【 0 0 4 8 】

【 数 1 】

$$\theta_a = \cos^{-1} \left(\frac{X_b - X_a}{L_c} \right) \dots (8)$$

【 0 0 4 9 】

【 数 2 】

$$A = \cos^{-1} \left(\frac{-L_a^2 + L_b^2 + L_c^2}{2 L_b L_c} \right) \dots (9)$$

10

【 0 0 5 0 】

したがって、式(5)～式(9)を式(3)および式(4)に代入すると、接点cの座標Xおよび座標Yはそれぞれ式(10)および式(11)で表される。

【 0 0 5 1 】

【 数 3 】

$$X = X_a + l_b(1 + \varepsilon_b) \cos \left[\cos^{-1} \left(\frac{X_b - X_a}{l_c(1 + \varepsilon_c)} \right) + \cos^{-1} \left(\frac{-\{l_a(1 + \varepsilon_a)\}^2 + \{l_b(1 + \varepsilon_b)\}^2 + \{l_c(1 + \varepsilon_c)\}^2}{2 l_b l_c(1 + \varepsilon_b)(1 + \varepsilon_c)} \right) \right] \dots (10)$$

20

【 0 0 5 2 】

【 数 4 】

$$Y = Y_a + l_b(1 + \varepsilon_b) \sin \left[\cos^{-1} \left(\frac{X_b - X_a}{l_c(1 + \varepsilon_c)} \right) + \cos^{-1} \left(\frac{-\{l_a(1 + \varepsilon_a)\}^2 + \{l_b(1 + \varepsilon_b)\}^2 + \{l_c(1 + \varepsilon_c)\}^2}{2 l_b l_c(1 + \varepsilon_b)(1 + \varepsilon_c)} \right) \right] \dots (11)$$

【 0 0 5 3 】

以下、図16に示す未知の節点の座標d(X_d, Y_d)やその他の未知の節点の座標について上記した方法と同様な方法により順次求めることができる。

30

次に、上記構成のトンネル内空変位計測システムの動作について説明する。図1、図14および図15に示す設置状態において、図14に矢印で示すように、覆工41の天端に力が加えられ、支柱42₅に変位が生じたとする。これにより、トラス構造の上弦材たる棒状変位計4₁₁、4₁₆、4₂₁、4₂₆、4₃₁、4₃₆、4₄₁、4₄₆、下弦材たる棒状変位計4₁₃、4₁₄、4₂₃、4₂₄、4₃₃、4₃₄、4₄₃、4₄₄および斜材たる棒状変位計4₁₂、4₁₅、4₂₂、4₂₅、4₃₂、4₃₅、4₄₂、4₄₅において、上記変位およびそれぞれの設置場所に応じた軸方向のひずみが生じる。したがって、各棒状変位計4を構成するゲージベース24が当該ひずみに応じて引っ張られまたは圧縮される。この結果、各ゲージベース24の空隙部31の間隔が、引っ張りの場合には増加し、圧縮の場合には減少する。そして、空隙部31の間隔が増減することによりゲージベース24の溝32aと32bに固着保持されたF B Gセンサ25にひずみが加えられる。この際、ある棒状変位計4において、棒状変位計4を軸方向に圧縮する変位が加えられたとしても、第1のパイプたるパイプA11に形成された摺動部11cの外周全体が第2のパイプたるパイプB12の内周を摺動すると共に、パイプA11の他端11bに取り付けられた第1のシャフト18がパイプB12とパイプC13との接合部に取り付けられたリニアベアリング20内を摺動するので、軸方向に対しては低反力で伸縮し、座屈が防止される。

40

【 0 0 5 4 】

尚、上述したように、パイプB12、パイプC13、パイプD14は、溶接により一体

50

化されているので、これらを第2のパイプと総称しているが、結局は、第1のパイプと第2のパイプとの間における相対摺動量に対応したひずみが、ゲージベース24の空隙部31の間隔を変化させることになる。

このような状態において、トンネル内空変位計測システムの光源1は、ピーク波長 $\lambda_1 \sim \lambda_6$ を含む広帯域の波長帯域幅を有し、光強度の大きい光信号を連続で出射する。一方、制御装置8の制御部は、光スイッチ3に対して共通入出力端 T_c と第1の入出力端 T_1 とを接続するための切替信号を供給する。これにより、光スイッチ3は、光源1から出射され光サーキュレータ2を経て共通入出力端 T_c から入射された光信号を第1の入出力端 T_1 から出射して第1系統の計測系を構成する光ファイバ5₁（図15参照）の入力端に入射する。光ファイバ5₁に入射された光信号は、光ファイバ5₁内を伝送された後、棒状変位計4₁₁を構成する光ファイバ28内に入射され、対応するFBGセンサ25においてコア63の屈折率 n および当該FBGセンサ25固有のグレーティング周期 Λ に応じたブラッグ波長（ピーク波長 λ_1 ）を有する反射光が反射され、残りの波長領域の光が透過し、光ファイバ5₂内に入射される。

【0055】

棒状変位計4₁₁を構成するFBGセンサ25において反射されたピーク波長 λ_1 を有する光信号は、光ファイバ5₁内を伝送された後、光スイッチ3および光サーキュレータ2を経て波長計7に入射される。以下、光ファイバ5₂に入射された光信号のうち、各棒状変位計4_{12} \sim 4_{16}}を構成するFBGセンサ25のコア63の屈折率 n および当該FBGセンサ25固有のグレーティング周期 Λ に応じたブラッグ波長（ピーク波長 $\lambda_2 \sim \lambda_6$ ）を有する光信号は、対応するFBGセンサ25で反射され、逆の経路を伝送された後、光スイッチ3および光サーキュレータ2を経て波長計7に入射される。

一方、光ファイバ5₂に入射された光信号のうち、各FBGセンサ25で反射されなかった光信号は、棒状変位計4₁₂内の光ファイバ28およびFBGセンサ25、光ファイバ5₃、棒状変位計4₁₃内の光ファイバ28およびFBGセンサ25、光ファイバ5₄、棒状変位計4₁₄内の光ファイバ28およびFBGセンサ25、光ファイバ5₅、棒状変位計4₁₅内の光ファイバ28およびFBGセンサ25、光ファイバ5₆、棒状変位計4₁₆内の光ファイバ28およびFBGセンサ25、光ファイバ5₇内を順次伝送され、光ファイバ5₇の出力端から出射される。各FBGセンサ25において光信号が反射される際には、上記したように、各FBGセンサ25にひずみが加えられており、グレーティング周期 Λ が変化しているため、各FBGセンサ25からの反射光のブラッグ波長のピーク波長 $\lambda_1 \sim \lambda_6$ が変化している（図7参照）。

【0056】

したがって、波長計7は、光サーキュレータ2から供給された光信号における複数のブラッグ波長の変化しているピーク波長 $\lambda_1 \sim \lambda_6$ を検出して制御装置8に供給する。これにより、制御装置8の制御部は、波長計7から供給された複数のブラッグ波長のピーク波長を物理量（例えば、力、変位等）に変換し、得られた物理量を記憶部に記憶する。

次に、制御装置8の制御部は、第2系統の計測系からのデータを収集するために、光スイッチ3に対して共通入出力端 T_c と第2の入出力端 T_2 とを接続するための切替信号を供給する。これにより、光スイッチ3は、光源1から出射され光サーキュレータ2を経て共通入出力端 T_c から入射された光信号を第2の入出力端 T_2 から出射して第2系統の計測系を構成する光ファイバ5の入力端に入射する。この後は、上記した第1系統の計測系と同様に、各棒状変位計4_{21} \sim 4_{26}}を構成するFBGセンサ25において光信号の反射および透過が行われる。したがって、波長計7からは第2系統の計測系に関する複数のブラッグ波長のピーク波長が供給されるので、制御装置8の制御部は、当該第2系統の計測系に関する複数のブラッグ波長のピーク波長を物理量に変換し、得られた物理量を記憶部に記憶する。以下、上記処理と同様の処理を順次繰り返すことにより、制御装置8の制御部は、第3系統の計測系および第4系統の計測系からのデータを収集する。この後、制御装置8の制御部は、収集した第1～第4系統の計測系のデータに基づいて、上記したトラスの辺長変化余弦定理によりトンネルの変位を測定する。

【 0 0 5 7 】

ここで、図 1 7 に実験結果の一例を示す。トンネル模型を内径 8 0 0 0 mm の半円弧状の H 型鋼 (1 0 0 × 1 0 0 × 6 × 8) で作製し、油圧ジャッキで天端に最大 6 0 mm の強制変位を与える負荷を加えた。トンネル模型の内側の各節点座標には、図 1 4 に示す X 方向および Y 方向に変位計を設置し、トンネル内空変位計測システムの精度検証を行った。尚、トンネル内空変位計測システムの設置範囲は、トンネル模型の対象性を考慮して 1 / 4 円とした。図 1 7 において、初期座標とは、変位を与える前の各節点座標を意味し、変位計節点座標とは、変位を与えた後の各節点座標を変位計で計測した各接点座標を意味し、システム算出座標とは、収集されたデータに基づいて制御装置 8 の制御部が上記したトラスの辺長変化余弦定理により算出した座標を意味している。図 1 7 から分かるように、変位計の計測結果と良く一致している。

10

このように、本実施の形態 1 によれば、支柱 4 2₁ ~ 4 2₉ を覆工 4 1 に取り付け、引張ひずみおよび圧縮ひずみの測定が可能な棒状変位計 4 を支柱 4 2₁ ~ 4 2₉ の基端および先端にそれぞれ連結しているので、トンネル断面の巨視的な内空変位について、引張ひずみだけでなく圧縮ひずみの測定も可能である。

【 0 0 5 8 】

また、検出感度の比較的高い F B G センサ 2 5 を用いているので、測定対象物がひずみの大きい鉄の場合は勿論、ひずみの小さいコンクリートの場合でも、高精度な検出が可能であると共に、束材としての支柱 4 2 の長さを短くすることができる。各棒状変位計 4 ごとにプリテンションを与えていると共に、摺動部 1 1 c を設けているので、このトンネル内空変位計測システムをトンネルに設置する際に各棒状変位計 4 の摺動部に所定のプリテンション (変位) を与えることにより、引張ひずみだけでなく圧縮ひずみも測定することができると共に、棒状変位計の座屈を防止することができる。例えば、0 ~ 4 0 mm の可動範囲がある場合には、± 2 0 mm の引張ひずみおよび圧縮ひずみを高精度で測定することができ、実用上十分な計測精度が得られる。さらに、本実施の形態 1 によれば、トンネルの地山または覆工の表面に設置する構造であると共に、複雑な機構を必要としないため、後施工が可能であり、設置後のメンテナンスも容易である。例えば、ある棒状変位計 4 に何らかの原因で不具合が発生した場合であっても、当該棒状変位計 4 だけを取り替えれば良い。1 つの系統に 6 本の棒状変位計 4 が接続可能であるので、光ファイバの収まりが良い。また、棒状変位計 4 は、軸方向以外は大きな曲げ剛性を有しているので、支柱 4 2₁ ~ 4 2₉ から棒状変位計 4 に変位が正確に伝わり、またトンネル内を列車や自動車等の車両が走行した場合であっても、風圧等による影響を受けにくい。さらに、低反力で軸方向に伸縮する棒状変位計 4 と支柱 4 2₁ ~ 4 2₉ とをピン結合によりトラス構造としているので、面内の角変形および座屈等の面外変形に伴う測定誤差 (端部の曲げによる干渉) および機能上の不具合 (破損やかじり) を回避することができる。さらに、各棒状変位計 4 の最大予想変位を想定し任意の可動範囲の棒状変位計 4 を設計することができるため、設計の自由度が大きいと共に、破損等の不具合を防止することができる。

20

30

【 0 0 5 9 】

実施の形態 2 .

上述した実施の形態 1 では、トンネル内空変位の検出に、起歪部 2 3 と、ゲージベース 2 4 と、F B G センサ 2 5 とからなる検出部 6 5 (図 1 1 参照) を用いる例を示したが、本発明は、これに限定されるものではない。例えば、本発明は、トンネル内空変位の検出にひずみゲージを有する検出部を用いても良い。図 1 8 は、本発明の実施の形態 2 に係るトンネル内空変位計測システムを構成する検出部 7 1 の構成を示している。この例の検出部 7 1 は、起歪板 7 2 と、ひずみゲージ 7 3 および 7 4 とから構成されている。

40

起歪板 7 2 は、例えば、ステンレス (S U S 6 3 0) 等からなり、図 1 8 に示すように、横長矩形状を呈する起歪板 7 2 の中間部には、短辺方向からくびれを呈した起歪部 7 2₁ が形成され、両端側には、幅広の保持部 7 2₂ および 7 2₃ が形成されている。起歪板 7 2 の起歪部 7 2₁ の表面 7 2 a に、図 1 8 (a) に示すように、ひずみゲージ 7 3 が接着、蒸着、融着、スパッタリングその他の手段により添着され、起歪部 7 2₁ の裏面 7 2 b

50

に、図 18 (b) に示すように、ひずみゲージ 7 4 が同様に添着されている。一方の保持部 7 2₂ の端部略中央部には、図 9 に示す引張ばね 2 2 のフック 2 2 b が架けられる孔 7 2₂₁ が形成され、他方の保持部 7 2₃ の端部略中央部には、図 9 に示す第 2 のシャフト 1 9 の一端 1 9 a に形成された孔 1 9 b との間でフック 3 0 が架けられる孔 7 2₃₁ が形成されている。

【 0 0 6 0 】

起歪板 7 2 がこのような形状を呈しているのは、起歪部 7 2₁ の剛性を低下させ、測定対象物 (図示略) の挙動を拘束せずに起歪部 7 2₁ を変形し易くするためである。ひずみゲージ 7 3 および 7 4 は、4 ゲージ法測定モードの 8 線式であり、ポリイミド系樹脂のフィルムからなるゲージベース上に、厚さ数 μm を有し、銅・ニッケル系合金またはニッケル・クロム系合金からなり、蛇行状の抵抗箔 (ゲージ抵抗) $R_1 \sim R_4$ が接着されて構成されている。起歪部 7 2₁ の表面 7 2 a および裏面 7 2 b にひずみゲージ 7 3 および 7 4 を添着するのは、起歪部 7 2₁ に加えられたひずみにより起歪部 7 2₁ が湾曲した場合にその湾曲成分を相殺するためであるが、片面にのみ添着するようにしても良い。ゲージ抵抗 $R_1 \sim R_4$ により図 1 9 に示すように、ブリッジ回路を構成すると共に、ゲージ抵抗 R_1 とゲージ抵抗 R_4 との接続点と、ゲージ抵抗 R_2 とゲージ抵抗 R_3 との接続点との間にブリッジ電源により電圧 E を印加すると、式 (1 2) で表される、4 個のゲージ抵抗 $R_1 \sim R_4$ にそれぞれ加えられたひずみ $\epsilon_1 \sim \epsilon_4$ の大きさおよび極性に応じたブリッジの出力電圧 e_0 が得られる。

【 0 0 6 1 】

$$e_0 = (K_s / 4) \cdot (\epsilon_1 - \epsilon_2 + \epsilon_3 - \epsilon_4) \cdot E \cdots (12)$$

式 (1 2) において、 K_s は 4 個のゲージ抵抗 $R_1 \sim R_4$ が等しいと仮定されたゲージ率である。

上記構成の検出部 7 1 は、図 9 に示す検出部 6 5 に換えて、起歪板 7 2 の端部 7 2₂ に形成された孔 7 2₂₁ に引張ばね 2 2 のフック 2 2 b が架けられると共に、起歪板 7 2 の端部 7 2₃ に形成された孔 7 2₃₁ に第 2 のシャフト 1 9 の孔 1 9 b との間でフック 3 0 が架けられることにより、検出部 7 1 がパイプ C 1 3 の内部空間に保持される。この場合、図 9 に示す光ファイバ 2 8 に換えて、ひずみゲージ 7 3 および 7 4 の各端子にそれぞれ接続されるケーブルが固定ブッシュ 2 6 の孔 2 6 b および 2 6 c と、ベアリング保持具 2 1 の孔 2 1 b および 2 1 c とに順次挿入され、図 8 に示すコネクタに接続される。また、各棒状変位計間も光ファイバ 5 および光コネクタ 6 ではなくケーブルで接続される。さらに、光源 1、光サーキュレータ 2、光スイッチ 3、波長計 7 に換えて、ブリッジ電源、スキャナ、データロガー等が設けられる。

このように、本実施の形態 2 によれば、検出感度の比較的高いひずみゲージを用いているので、上記した実施の形態 1 の場合と略同様の効果が得られる。

【 0 0 6 2 】

以上、この実施の形態を図面を参照して詳述してきたが、本発明は、この実施の形態に限られるものではなく、本発明の要旨を逸脱しない範囲で種々の設計の変更等が可能である。

例えば、上述した各実施の形態では、パイプ A 1 1 ~ D 1 4 は、略円筒状である例を示したが、これに限定されない。例えば、パイプ A 1 1 ~ D 1 4 は、略角筒状であっても良い。また、上述した各実施の形態では、パイプ A 1 1 の他端 1 1 b の近傍の外周に形成された摺動部 1 1 c がパイプ B 1 2 の一端 1 2 a の近傍の内周に摺動可能に嵌合する例を示したが、これに限定されず、パイプ A 1 1 の他端 1 1 b の近傍の内周に形成された摺動部がパイプ B 1 2 の一端 1 2 a の近傍の外周に摺動可能に嵌合するように構成しても良い。

また、上述した各実施の形態では、パイプ 1 2 ~ 1 4 は、別個に設けられる例を示したが、これに限定されず、組立てが可能であれば一体に形成しても良い。また、上述した各実施の形態では、検出部は引張ばね 2 2 を介して第 1 のシャフト 1 8 に取り付けられる例を示したが、これに限定されず、検出部は直接第 1 のシャフト 1 8 に取り付けても良いし、第 2 のシャフト 1 9 にも引張ばねを介して取り付けられても良い。

また、上述した実施の形態 1 では、起歪部 2 3 は、基部 2 3 a と、壁部 2 3 b₁ および 2 3 b₂ と、底部 2 3 c₁ および 2 3 c₂ とが一体に形成されて構成されている例を示したが、これに限定されず、起歪部は、基部 2 3 a のみからなり、その両端に係止部をなす孔がそれぞれ形成されているとしても良い。

【図面の簡単な説明】

【0063】

【図 1】本発明の実施の形態 1 に係るトンネル内空変位計測システムの構成を示すシステム構成図である。

【図 2】F B G センサの構成を模式的に示す概念図である。

【図 3】F B G センサの動作原理を模式的に示す概念図である。

10

【図 4】F B G センサの動作原理を模式的に示す概念図である。

【図 5】F B G センサの多点計測原理を模式的に示す概念図である。

【図 6】F B G センサの多点計測原理を模式的に示す概念図である。

【図 7】F B G センサの多点計測原理を模式的に示す概念図である。

【図 8】本発明の実施の形態 1 に係る棒状変位計の構成の一例を示す断面図である。

【図 9】図 8 に示す棒状変位計の一部の構成を示す分解斜視図である。

【図 10】図 8 に示す棒状変位計の一部の構成を示す透視斜視図である。

【図 11】図 8 に示す棒状変位計に用いられる検出部の構成を示す斜視図である。

【図 12】図 11 に示す検出部を構成するゲージベースの平面図である。

【図 13】図 12 に示すゲージベースに F B G を取り付けた状態を示す平面図である。

20

【図 14】図 1 のトンネル内空変位計測システムをトンネルに設置した一例を示す概念図である。

【図 15】図 14 の破線 A で囲んだ部分の拡大図である。

【図 16】トラスの辺長変化余弦定理を説明するための概念図である。

【図 17】図 1 の本発明の実施の形態 1 に係るトンネル内空変位計測システムの模擬的実験結果の一例を示す図である。

【図 18】本発明の実施の形態 2 に係るトンネル内空変位計測システムの一部を構成する検出部の構成を示すもので、(a) は、表面を示す平面図、(b) は、その裏面を示す底面図である。

【図 19】図 18 に示すひずみゲージでもってホイーストンプリッジを構成してなる回路図である。

30

【符号の説明】

【0064】

1 光源

2 光サーキュレータ

3 光スイッチ

4, 4₁₁ ~ 4₁₆, 4₂₁ ~ 4₂₆, 4₃₁ ~ 4₃₆, 4₄₁ ~ 4₄₆ 棒状変位計

5, 5₁ ~ 5₇, 6 2 光ファイバ

6 光コネクタ

7 波長計

8 制御装置

40

A 1 1 パイプ (第 1 のパイプ)

B 1 2 ~ D 1 4 パイプ (第 2 のパイプ)

1 1 a, 1 2 a, 1 9 a, 2 7 a 一端

1 1 b, 1 2 b, 1 8 a, 1 9 c 他端

1 1 c 摺動部

1 5 エンドプレート

1 6 オリング

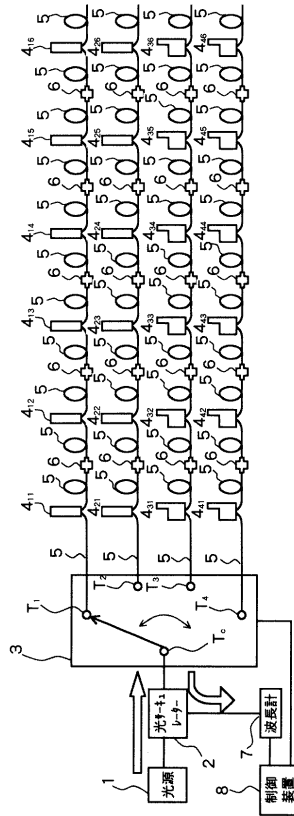
1 7 オリング保持具

1 7 a, 3 2 a, 3 2 b 溝

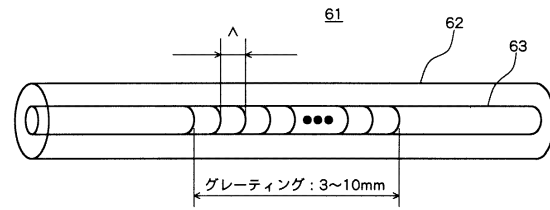
50

1 7 b	雌ねじ穴	
1 8 b , 1 9 b , 2 1 a ~ 2 1 c , 2 6 a ~ 2 6 c , 2 3 b _{1 1} , 2 3 b _{2 1} , 2 3 c _{1 1} , 2 3 c _{2 1} , 7 2 _{2 1} , 7 2 _{3 1}	孔	
1 8 , 1 9	シャフト	
1 9 d	ねじ山	
2 0	リニアベアリング	
2 1	ベアリング保持具	
2 2	引張ばね	
2 2 a , 2 2 b , 3 0	フック	
2 3 , 7 2	起歪部	10
2 3 a	基部	
2 3 b ₁ , 2 3 b ₂	壁部	
2 3 c ₁ , 2 3 c ₂	底部	
2 3 d	長円孔	
2 4	ゲージベース	
2 4 a , 2 4 b	短辺	
2 4 c , 2 4 d	長辺	
2 5 , 6 1	F B G センサ	
2 6	固定ブッシュ	
2 7	ナット	20
2 8	光ファイバ	
2 9	コネクタ	
3 1	空隙部	
3 3 a , 3 3 b , 3 4 a ~ 3 4 d	薄肉部	
3 3 a ₁ , 3 3 b ₁	切欠部	
4 1	覆工	
4 2 ₁ ~ 4 2 ₉	支柱	
5 1 , 5 1 _{1 1} , 5 1 _{1 2} , 5 1 _{2 1} , 5 1 _{2 2} , 5 1 _{3 1} , 5 1 _{3 2} , 5 1 _{4 1} , 5 1 _{5 1} , 5 1 _{6 1}	取付座板	
5 2	取付具	30
6 3	コア	
6 5 , 7 1	検出部	
7 2 ₁	中央部	
7 2 ₂ , 7 2 ₃	保持部	
7 2 a	表面	
7 2 b	裏面	
7 3 , 7 4	ひずみゲージ	

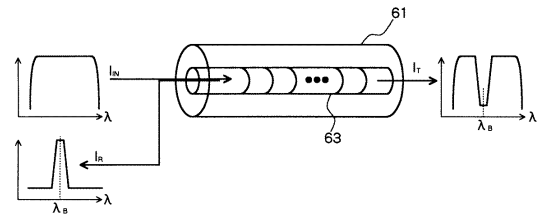
【図 1】



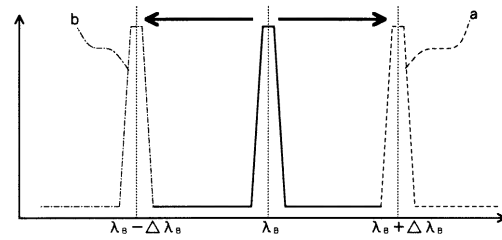
【図 2】



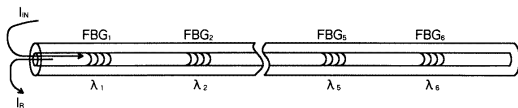
【図 3】



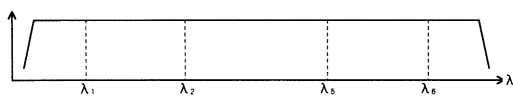
【図 4】



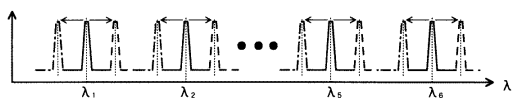
【図 5】



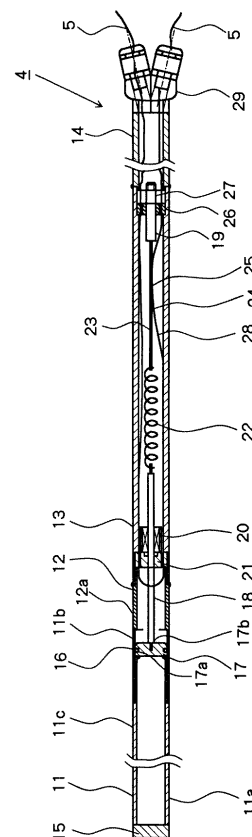
【図 6】



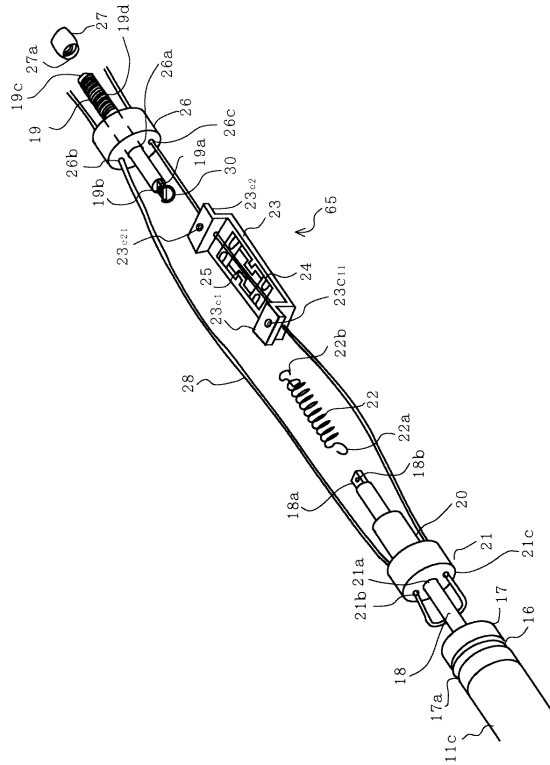
【図 7】



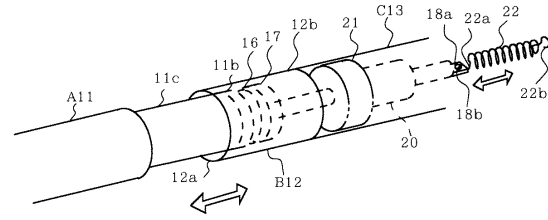
【図 8】



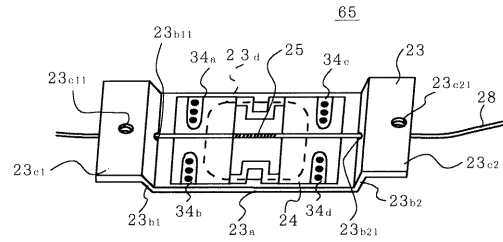
【図 9】



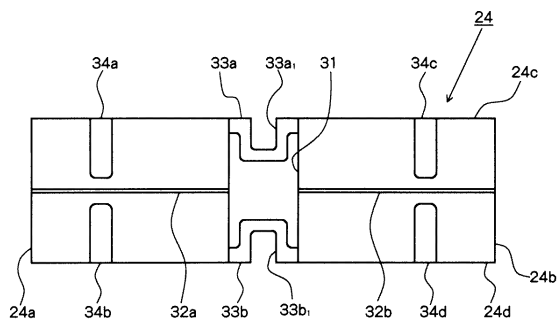
【図 10】



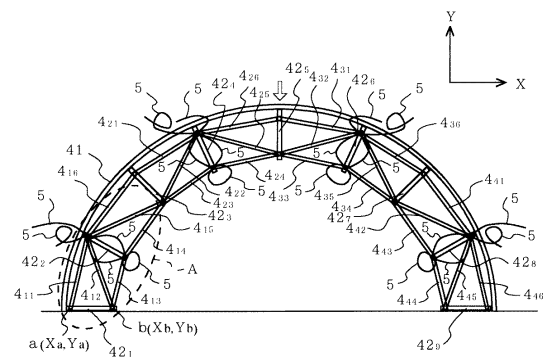
【図 11】



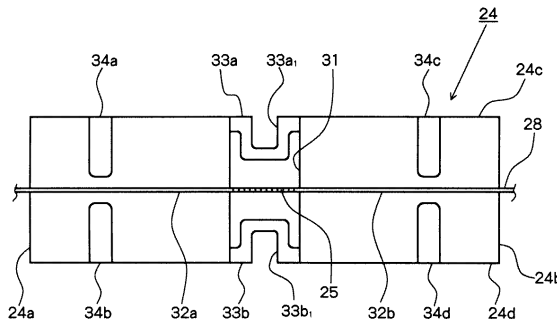
【図 12】



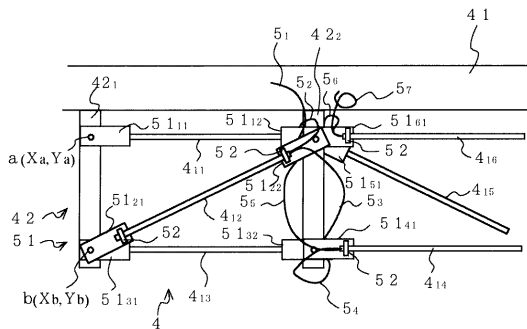
【図 14】



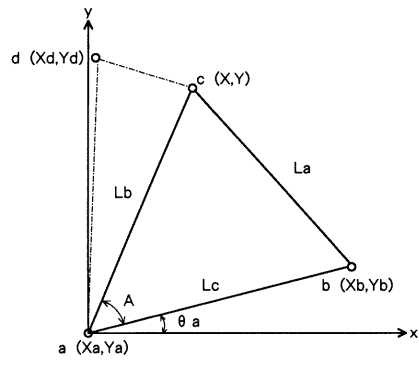
【図 13】



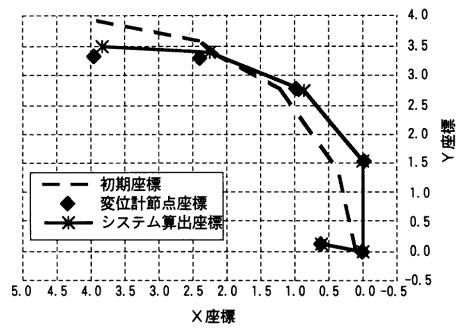
【図 15】



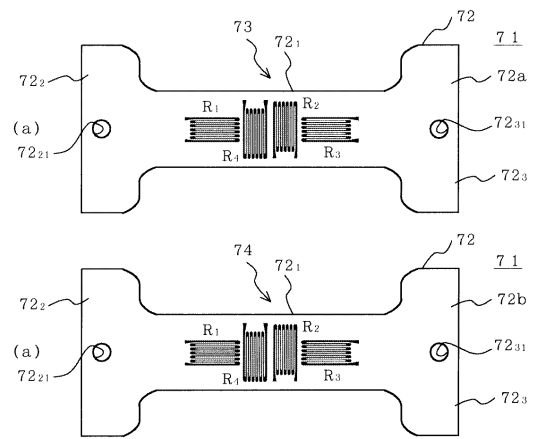
【図 16】



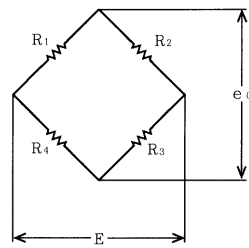
【図 17】



【図 18】



【図 19】



フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I
G 0 1 D 21/00 (2006.01) G 0 1 D 21/00 D

- (72)発明者 舟橋 政司
東京都千代田区富士見二丁目10番26号 前田建設工業株式会社内
- (72)発明者 福山 雅典
東京都千代田区富士見二丁目10番26号 前田建設工業株式会社内
- (72)発明者 笹倉 伸晃
東京都千代田区富士見二丁目10番26号 前田建設工業株式会社内
- (72)発明者 根本 勇
東京都調布市調布ヶ丘3丁目5番地1 株式会社共和電業内
- (72)発明者 廣瀬 浩二
東京都調布市調布ヶ丘3丁目5番地1 株式会社共和電業内

審査官 須中 栄治

- (56)参考文献 実用新案登録第3078316(JP,Y2)
特開2002-286563(JP,A)
特開2001-289616(JP,A)
特開2000-039309(JP,A)
実開昭58-046165(JP,U)
国際公開第2004/099713(WO,A1)
特開2003-254724(JP,A)
実用新案登録第3070022(JP,Y2)

- (58)調査した分野(Int.Cl.,DB名)
G 0 1 C 7 / 0 6
G 0 1 C 1 5 / 0 0
E 0 2 D 2 9 / 0 4 5 - 2 9 / 0 7 7
E 2 1 D 1 1 / 0 0 - 1 1 / 4 0
E 2 1 D 1 3 / 0 0 - 1 9 / 0 6
E 2 1 D 2 3 / 0 0 - 2 3 / 2 6
G 0 1 B 1 1 / 0 0 - 1 1 / 3 0
G 0 1 B 7 / 0 0 - 7 / 3 4
G 0 1 B 2 1 / 0 0 - 2 1 / 3 2
G 0 1 D 1 8 / 0 0 - 2 1 / 0 2
G 0 1 B 5 / 0 0 - 5 / 3 0