

5. 装置の設計・試作

5. 1. 不陸測定装置の設計・試作

5. 1. 1. 水圧方式による不陸測定装置の構成

測定システムは、図3. 1に示すように、地上に設置した基準タンクと管内を走行する装置に装着した水位センサをホースで接続した構成となっている。基準タンク内水面からの水圧を測定して地上との高低差を検出する方法である。

5. 1. 2. 設計仕様

- a. 不陸測定 : 基準タンク水面からの最大深度10m (圧力センサ: $1\text{kg}/\text{cm}^2$)
- b. 測定形態 : 下水管内カメラプローブに接続しトラクタに搭載して管内を移動し、一定間隔で停止して測定する。
- c. 測定分解能 : 1mm
- d. 測定精度 : $\pm 10\text{mm}$
- e. 送水ホース : ナイロンホース $\phi 6 \times 4\text{mm}$
- f. 使用温度範囲 : 0~40度 (凍結しない範囲)

5. 1. 3. 測定装置

1) 測定方法

測定開始位置において下水管深度を測定して測定基準を求めておく。この最初の測定装置の位置からの相対変位を算出して管路の不陸を求める。この最初の位置(測定基準)は、メジャーなどにより地表面からの深度を計測して決定する。あるいは、海拔などのデータを用いて海拔データとして記録する。

2) 不陸測定手順

測定装置を管内に挿入し、測定の初期位置にプローブを置き、測定を開始する。

トラクタを進め次の測定位置で停止し、測定する。順次これをくり返し終点まで行う。

3) システム構成

図5.1にシステム構成図を示す。

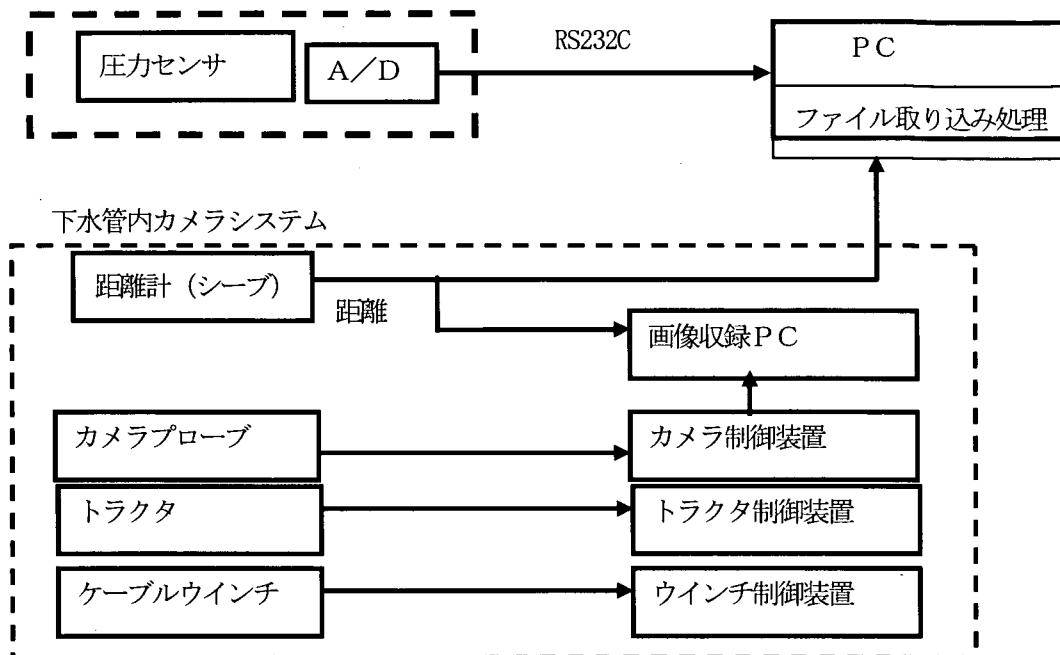


図5.1 システム構成図

5. 1. 4. PCの測定ソフト

測定は収録画面を見ながらデータを収録するソフトウェアを用いて行う。

1) 測定手順

距離データ、水圧データは表示される距離データを見ながらプローブを移動させ、所定の位置で停止させてから測定する。

2) PCのデータ収録画面構成例

図5.2に画面の一例を示す。

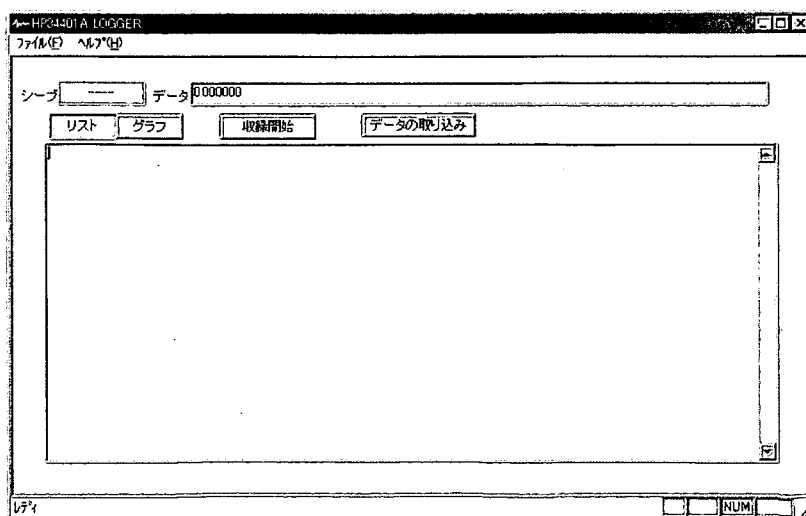


図5.2 測定画面

5. 1. 5. 圧力センサの校正

圧力センサは、圧力センサとタンク水面との水位差を数段階に設定して校正する。

タンクを高い台の上に置き圧力センサの高さを変え水位の基準面とそれぞれのセンサ間の高さをメジャー等で測定して出力の関係を求める。センサの出力値と実測値のグラフから変換係数を求める。

5. 1. 6. 不陸データの保存及びデータ処理

収録した距離データと水圧データはCSV形式で保存し、PCで処理する。

5. 1. 7. 圧力センサの取り付け

測定精度を向上する上では、緩衝材の効果はあまり見られなかったものの、トラクタの走行振動や衝撃よりセンサを保護するために、防振機構を設けた。ただし、やわらかいスポンジでは、衝撃を吸欠するには厚さを必要とするため形状が大きくなり、スポンジの変形に伴うセンサの変位量が大きくなる。このため、緩衝材の厚さを薄くできる特殊防振ゴム(ソルボセンイ)を使用した。また、 $\phi 150$ mmの下水管に入るように小さなスペースでカメラプローブと圧力センサを組み合わせる必要があるため、防振機構を小さくするためにもソルボセンイが有利である。トラクタにカメラプローブを搭載した場合 $\phi 150$ mmの下水管との隙間は約40mmとなる。この隙間内に直径25 mmの圧力センサを取り付けなければならない。確実に固定され緩衝機能を備える方法として、緩衝材の肉厚を5 mmとしてリングホルダ内に配置して、その内側に圧力センサを搭載した。(図5. 3) また、圧力センサ部は、カメラプローブと一緒に固定バンドでトラクタに固定する構造とした。(図5. 4)

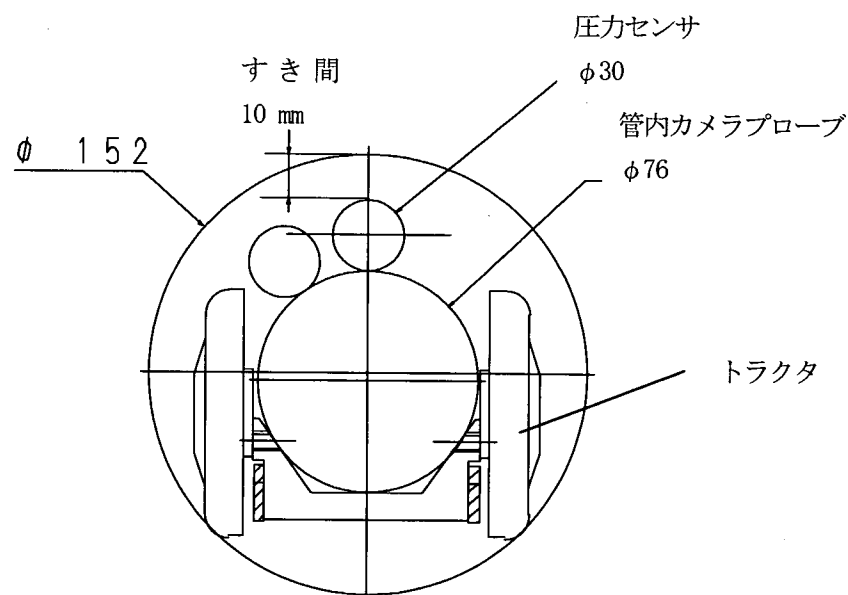


図5. 3 管内のトラクタ寸法

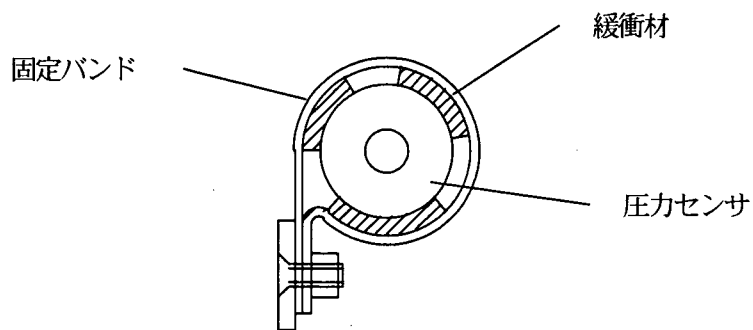


図5. 4 圧力センサを固める構造（断面図）

5. 1. 8. タンク的设计

長さ100mのナイロンホースでは、温度変化に伴う水量変化は、約 $0.63\text{cm}^3/\text{°C}$ であった。また、ホース伸ばした状態と巻いた状態での水量の変化量は約 2.5cm^3 であった。これらの結果から、 30°C の温度変化とナイロンホースの伸縮が複合した場合の水量の最大変化量は次のようになる。

$$0.63 \times 30 + 2.5 = 21.4\text{cm}^3$$

したがって断面積が 214cm^2 以上のタンクを用いれば、水位変化は1mm以内の誤差範囲となる。ここで、タンク直径を170mmとすると、このときのタンク水位変化は、

$$21.4 / (8.5^2 \times \pi) = 0.09\text{cm}$$

と計算でき、約0.9mmの水位変化に留まることになる。上記の想定変化量は現実では考えられない程度まで大きく見積ったものであり、タンクの直径は170mmあれば十分であるといえよう。

5. 1. 9. ホース巻取りドラム

ナイロンホースに水を満たすにあたり、できる限りエア溜りができないように注入できる構造であること、また、ホース内の水に溶解しているエアが分離して発生する気泡が一箇所に集まりエア溜りにならないような構造でもあることが望ましい。そこで、ホースドラムを水平巻きする構造とした。また、タンクとドラム巻きのホースとの接続はスィベルを通じて接続することによりタンクと接続したままドラムを回転させてホースを送り出せるようにした。

5. 2. 蛇行測定装置の設計・試作

5. 2. 1. 蛇行測定方式

1) カム機構による検出方式

連結された前後のプロープの折れ曲がり量は、前方プロープに取り付けた軸と直交するターゲット板と後方プロープに取り付けた変位センサの固定点との距離変化量として検出する（図5. 5）。

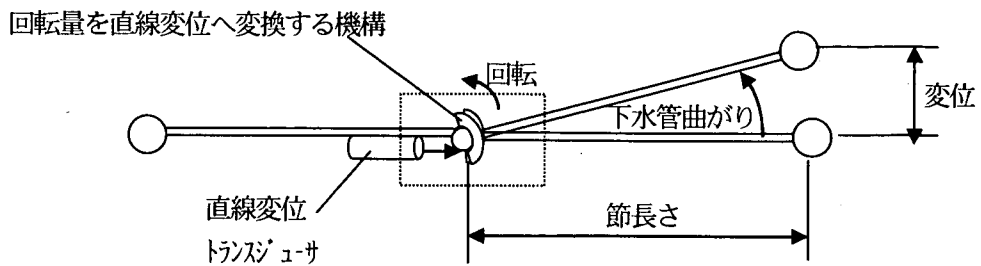


図5.5 カム機構による検出方式

2) プロブのセントライズ機構 (車輪方式)

連結プローブ方式では、変位の検出機構と同程度にセントライズ機能が重要である。測定されるのはプローブの変位形状であるが、その変位形状が管路の形状を忠実に反映したものでない限り、測定される形状は異なった結果をもたらすことになる。移動過程における2つのプローブの中心からのずれやそのずれ方の相対的な差異などが影響する。この部分は、実際に試作して評価しない限り、見通しを得ることは難しい。

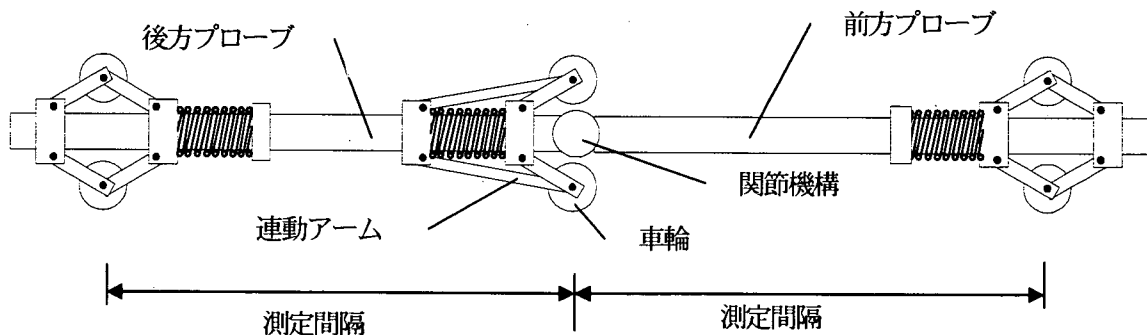


図5.6 プロブセントライズ機構概念図

セントライズは図5.6に示すように周3方向に車輪を配置し、この車輪の開き量が等しく開くようにすることにより、プローブが常に測定管の中心に位置するようになれる。

3) 測定範囲

- ・蛇行測定 : ±10度/測定間隔 (1m間隔測定で一箇所での曲がりの最大値)
- ・ロール : ±45度 (水平より)
- ・ピッチ : ±30度 (水平より)
- ・適合管径 : 目標仕様は内径150mm~800mmであるが、この範囲をひとつのセントライズでカバーするのは困難であるので、管径により、セントライズを付け替えて使用するものとする。そこで、初期の試験装置としては、測定管径をφ200mmで試作する。

5. 2. 2. 測定系

1) 初期値

測定開始位置において測定装置の姿勢（方向、向き）を測定して測定基準（初期値）を求めておく必要がある。この最初の測定装置の方向、向きからの相対変位の累積により管路の不陸蛇行を算出する。具体的な手順は次のとおりである。

測定装置を管内に挿入し、測定の初期位置にプローブを置く。プローブの向き（管の向き）を確定するために装置の水平からの傾斜（ロールとピッチの2成分）を測定する。

ただし、ピッチについては別な方法で測定して手入力とすることも可能である。

2) システム構成

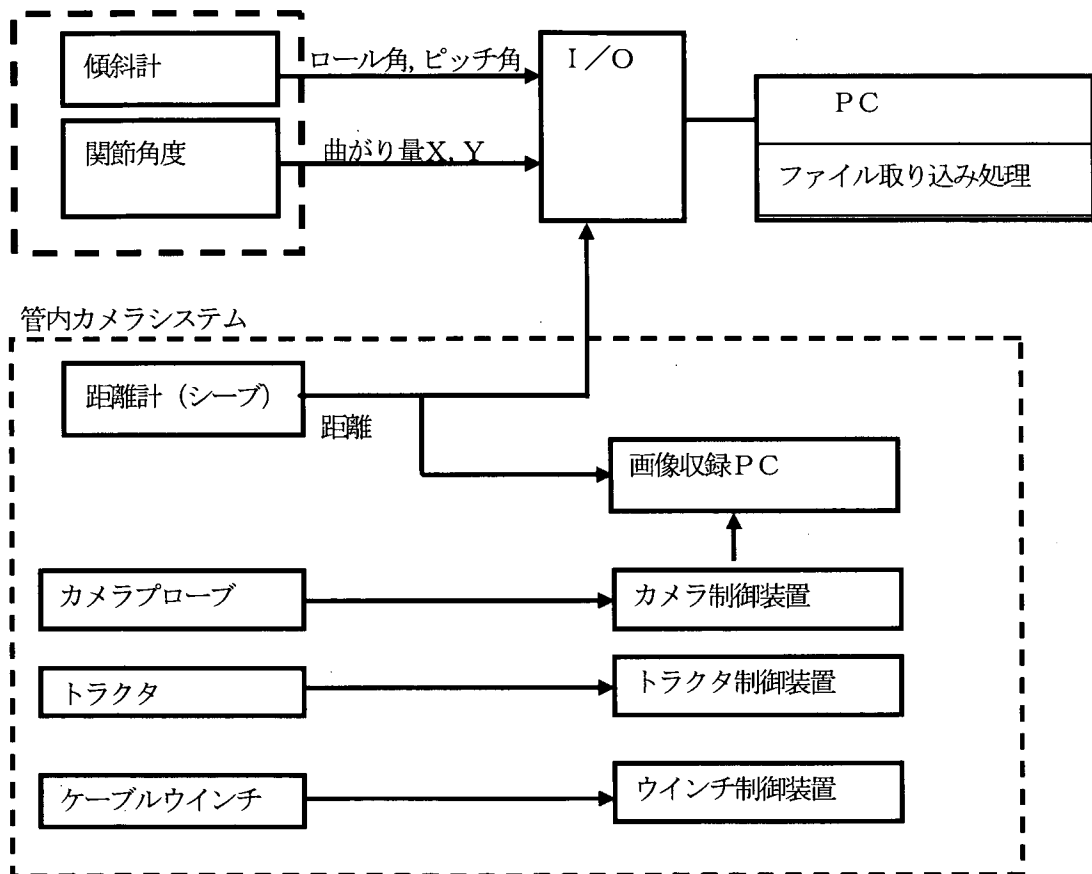


図5. 7 システム構成図

5. 2. 4. データの取り込み

距離データ、関節の曲がり角度、ロール角などのデータの取り込みはシーブの距離データを見ながらプローブを移動させ一定間隔ごとに停止して測定する。

1) PCのデータ収録画面構成

距離 (mm)	蛇行 X軸	蛇行 Y軸	ロール角(度)	ピッチ角(度)
---	---	---	---	---

距離	蛇行 X	蛇行 Y	ロール角	ピッチ角

図5. 8 測定画面

5. 2. 5. センサデータの内容

ロール角はプローブの軸まわりの回転角であり、傾斜センサで計測するが、関節の変位検出するX軸が水平面にある状態を基準として、そこからの相対角度として出力するようにした。

5. 2. 6. 校正システム

1) ピッチ基準（水平）の校正

プローブをトラクタの牽引によって移動し、測定位置ごとに停止してプローブ内に取り付けられた傾斜計でロールとピッチを測定し、併せて関節の曲がり量も測定する。傾斜計のロールとピッチはプローブの姿勢を所定の位置に設定してゼロ値とするか、初期値として記録しておいて測定値との差を求める方法をとる。ピッチのゼロ値の校正は、図5. 9にしめす校正測定システムによりプローブ基準面を上に向け、水準器によりプローブを水平にしたときの出力値を基準値とする。

2) ロール基準の校正

測定系（プローブ）の水平基準を校正台により、水平基準状態でロール角の出力をゼロに合わせる。

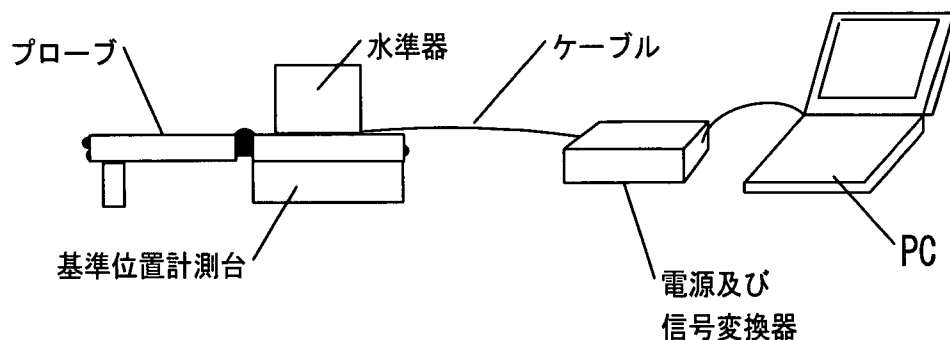


図5. 9 校正測定システム

5. 2. 7. 蛇行データの処理

各測定位置でデータを複数回サンプルして平均処理し、それをその位置での測定値とする。データのサンプル数は、任意に設定可能とする。不陸および蛇行は次式で求められる測定間隔 dL と直交2軸の変位量 hz 、 hy より算出する。

$$dL = (\text{測定位置の距離データ}) - (\text{1個前の測定位置の距離データ})$$

不陸、蛇行の計算方法を図5. 10に示す。

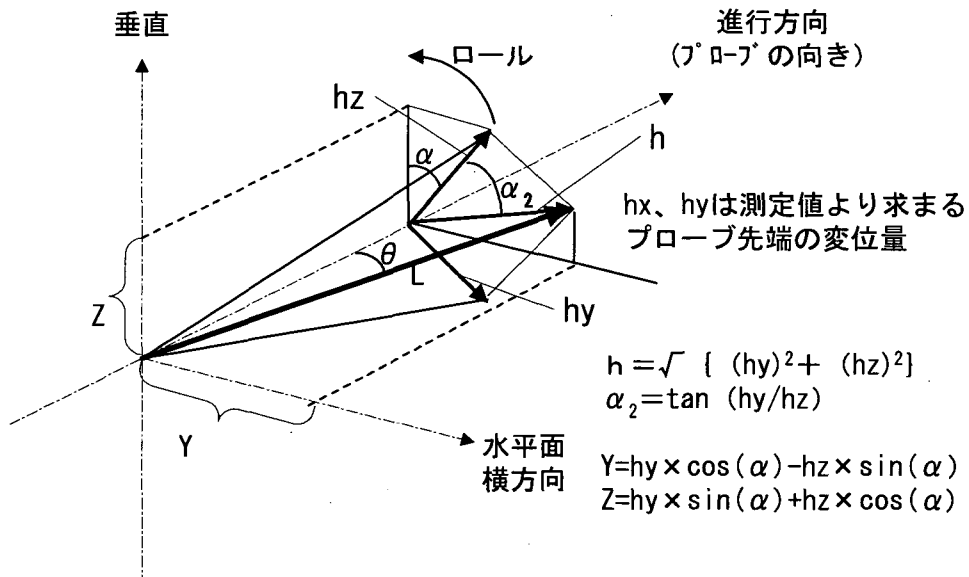
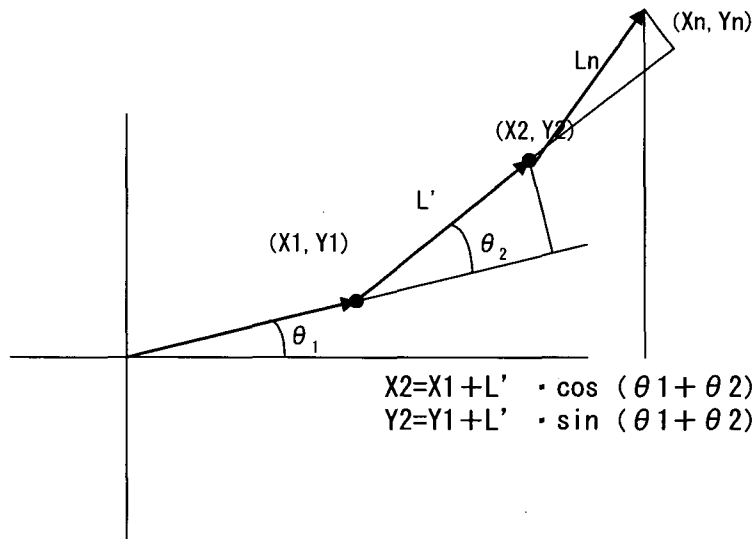


図5. 10 水平、垂直変位量の算出方法

不陸蛇行の軌跡は累積計算によりもめる。まず、始点のプローブ先端位置を (X_1, Y_1) とし、次にプローブを1ステップ移動したときの測定値を X_1, X_2 に加算すると図5. 11に示すように先端位置 X_2, Y_2 が求まる。同様にすれば n 番目の測定点の位置は図中に示す式で求められる。



n 番目の測定位置は、

$$X_n = X_{(n-1)} + L_n \cdot \cos(\theta_1 + \theta_2 + \dots + \theta_n)$$

$$Y_n = Y_{(n-1)} + L_n \cdot \sin(\theta_1 + \theta_2 + \dots + \theta_n)$$

図5. 11 不陸蛇行の累積計算

5. 2. 8. プローブ回路構成ブロック図

プローブの回路構成を図5. 1 2に示す。

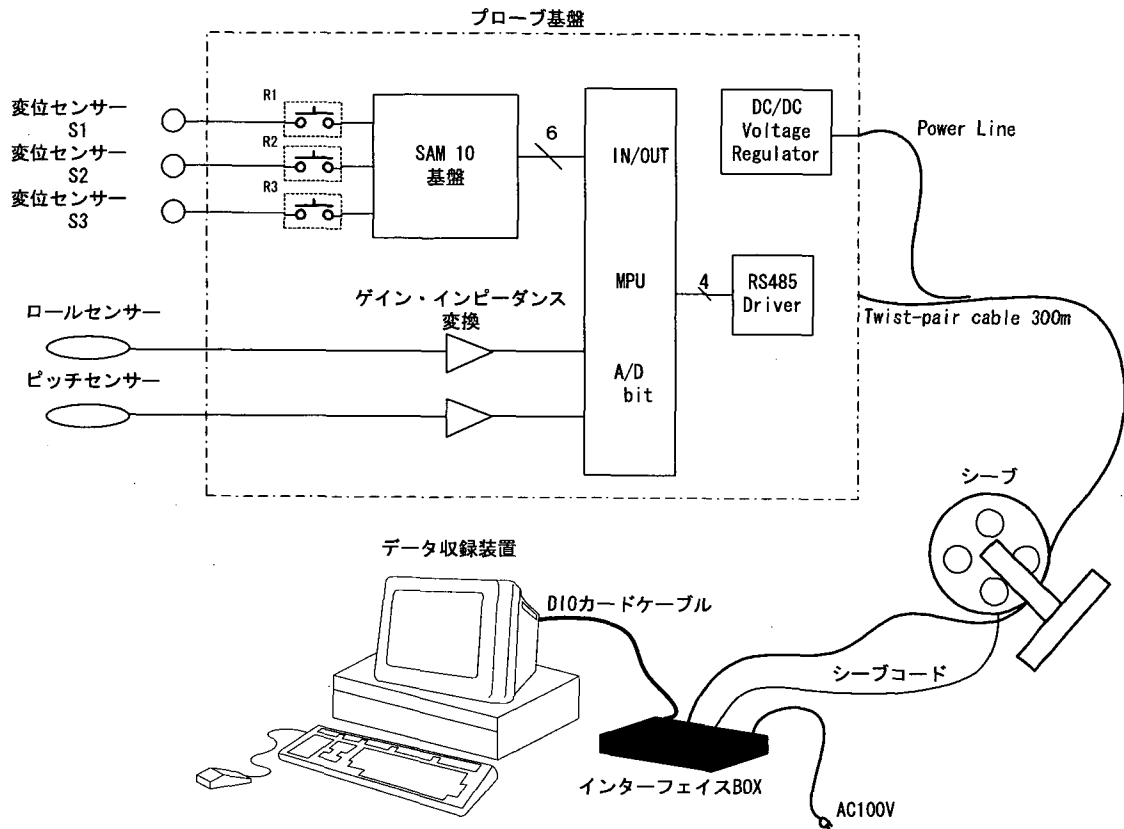


図5. 1 2 プローブ回路構成図

5. 2. 9. 蛇行測定プローブの構造

蛇行測定プローブの構造を図5. 13～図5. 15に示す。

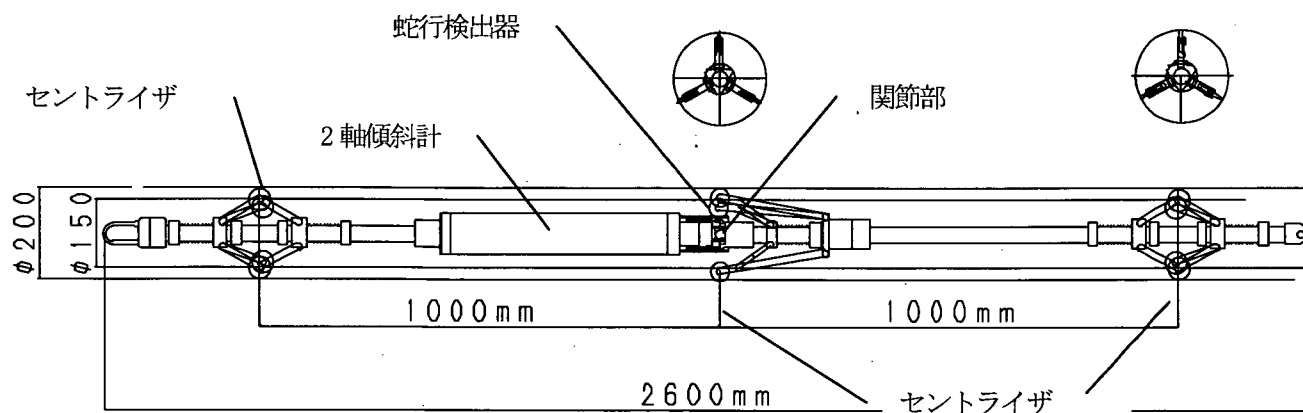


図5. 13 プローブ全体図

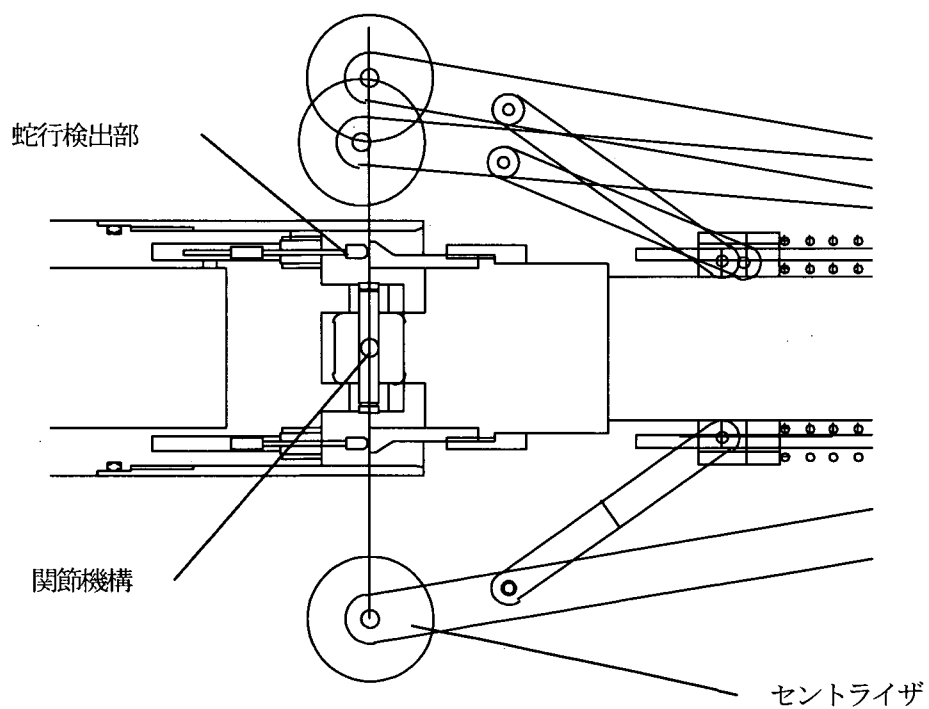
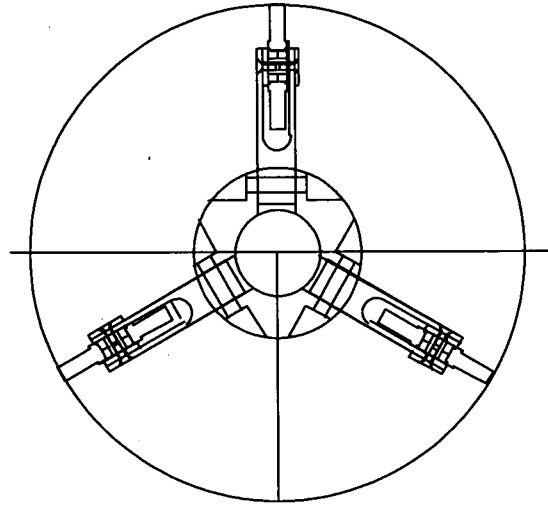


図5. 14 プローブ関節部の構造



3本のアームが連動して開閉する。

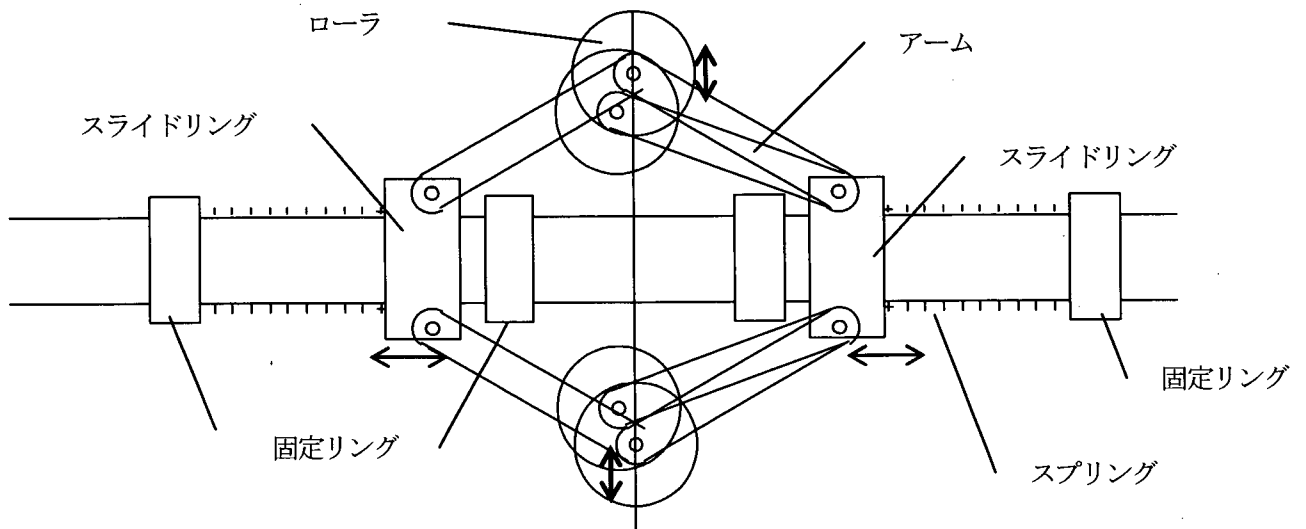


図5. 15 セントライザの構造図