

管路位置計測システム (PPS : Pipe Positioning System) の開発

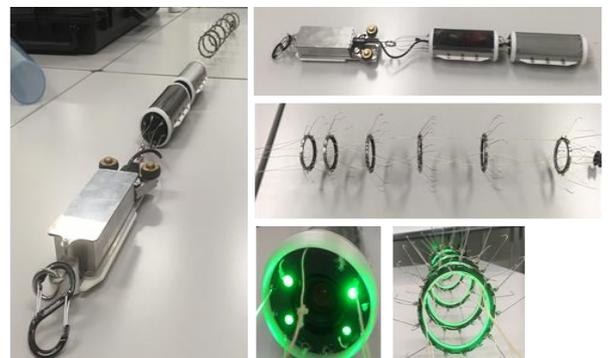
株式会社NTEC 正会員 ○奥野正富 大橋稔明 糸永和彦 増田順一
(株) アプライド・ビジョン・システムズ 高橋裕信

1. はじめに

近年、都市部において通信ケーブルの地中化が積極的に実施されている。背景には、都市の景観確保や防災機能の向上などがあり、今後ますます地中化は増加していくものと推測される。ところが埋設された時期が古いものを中心に、埋設後の道路拡幅等の地上の現況変更のために正確な埋設位置がわかりにくくなっている。このため地下埋設管路の周辺の掘削工事では慎重な工事が求められ、通信ケーブルの切断といった事故も懸念されており掘削せず地下埋設管路の位置や経路を正確に知ることが必要とされている。また、GISの発展により設備の座標管理の時代となってきている。本稿では、地下埋設管路の位置を精度よく連続的に計測し、絶対座標化するシステムの開発状況について報告する。

2. 画像センサーの利用

地下埋設管路の内側からセンサーとカメラの位置を移動させて画像計測し、それらを結合して管路全体の形状を計測する方法を提案する。加速度法と同じように地下管路の一端からロープで牽引するが、そのセンサーの後方に円形のマーカを複数設置して、これをセンサー後方に向けたカメラで撮影する。マーカは管路の中心となるように維持されているので、複数のマーカのから管路の中心の曲がりやが推定できる。センサーの進行量については管路の内面に接触するロータリーエンコーダを用いて移動距離を得ている。積分を繰り返す加速度法と違いセ



センサー全体 (左), 本体部 (右上), マーカ部 (右中)
光源とカメラユニット, 発光時の反射
図1 計測装置構成

ンサー周辺の管路の方位の変異は画像から得られた管路形状から、進行方向の位置はロータリーエンコーダから直接得られる。このため本報告の方法は精度の向上と衝撃の影響の排除が期待できる。装置の構成として、図1にセンサー本体を示す。今回、対象とする管路は内径が約80mmで、最小の曲率半径を3000mmでも確実に通過させるため、3つのユニットに分割した。牽引方向に対して先頭のユニットには電源および進行量を計測するロータリーエンコーダを左右に2個設置している。エンコーダは管路内面の左右に接触し、左右いずれかにすべりがあっても検出ソフトウェアで互いに補償するようになっている。二番目のユニットには制御用のPCがあり、測定中は独立して画像等の収集を自動的に行う。測定の前後には、外部から制御でき、収集したデータを取り出すことができる。三番目のユニットには本体後方のリングマーカを撮影するためのLED照明と、産業用のグローバルシャッターCMOSカメラが入っている。さらに後述するようにカメラの鉛直方向への傾きを検出するためにIMUをカメラに密着させている。センサー本体の後方で115cmにわたって、6つの円環型のマーカユニットを牽引している。ユニットを管路の中心に維持するために、それぞれの周囲に線形のバネが12本ついている。図2にマーカに向けたカメラから撮影した画像を示した。撮影して得られる6つの楕円の長径がほぼ等間隔となるように、それぞれのマーカの間隔は、本体のカメラから近い部分では短く、遠い部分では長くなるようにした。それぞれのマーカは黒い金属部材の上に、カメラ側に向けた面に直径50mmの円が2mmの幅で白い再帰反射塗料を用いた。計測方法は、センサー本体を管路の一端からロープで牽引する。ロータリーエンコーダが一定距離(100mm)の前進を検出するごとに、カメラが後方に続くマーカを撮影し、同時にIMUが計測した値を記録する。測定対象の管路から引き出された時点で計測を停止する。

キーワード 地下管路、管路位置、計測

連絡先 532-0033 大阪市淀川区新高3-9-14 株式会社NTEC TEL06-6868-9101

計測終了後、画像処理能力を必要とするため、外部の PC に無線で計測データを吸い上げ計算処理する。図 2 に示すように、撮影画像からマーカを示す楕円を検出する。レンズ系を含めて画像の歪みと透視投影行列等のカメラパラメータは事前に計測している。空間中のマーカは回転対称であるため 5 自由度のパラメータで位置と回転が表現できる。最初にカメラから一番近いマーカを検出する。カメラからのおおまかな距離と正確なマーカの直径が既知である。初期値としてカメラの正面に正対しているものとしてパラメータを設定する。続いてシミュレーテッドアニーリングに類似した方法で正確なマーカの位置・姿勢を求めた。マーカは傾くことにより画像中では楕円となり、レンズ歪によって複雑な図形となるが、その正確な形状はパラメータから厳密に決定できる。撮影画像と比較することで最適な結果を得られる。カメラからより遠いマーカは、既に検出した楕円の周辺部分を黒く塗りつぶした画像を作成し、同じ手順で楕円を探索する。その結果図 2 右側に示したように検出できる。管路が強く屈曲した部分では遠いマーカがカメラから見えなくなる。そこで、楕円の半分以上が観測できなくなった場合は探索を打ち切る。検出された各マーカのパラメータから、撮影単位でカメラ位置を基準座標とする管路の中心位置と形状がわかる。本体後部のカメラユニットは管路の中心軸と同じ方向の回転はもちろん、わずかだが他の軸も管路の方向と異なる回転をしている。そこでカメラに取り付けた IMU の 3 方向の線形加速度データからカメラ座標系と重力方位の関係が推定でき、鉛直方向を Z 軸とする座標系に管路中心の形状を変換する。水平方向の回転については、比較検討した結果、精度も悪く、本方法では利用していない。前後に連続して撮影された画像の座標系の間は本来 6 自由度の移動と回転がある。しかし重力方位が一致するため回転については水平方向の回転のみの 1 自由度となる。移動については撮影ごとに先頭のマーカが決められた距離を移動するので、2 自由度となる。そこで、(撮影枚数-1) × 3 が管路計測に必要な未知のパラメータ数となる。一回の撮影で得られる各管路形状は、前後の約 40 回の撮影結果といずれかの部分で共通している。その共通部分での 3 次元空間中でのずれが最小となるように、未知の全パラメータを求める。その結果最初の撮影画像の座標系を基準として、撮影ごとの先頭のマーカの中心が求まり、管路全体の形状が得られる。絶対座標化は、別に行う GPS センサーで計測する始点、終点の位置データと合わせることで実現できる。

3. 試験計測

実際の管路は地下に埋設されているが、実験のために地上に図 3 の模擬管路を敷設し計測した。検証のため、トータルステーションと専用の治具で管路中心の直上の位置を計測して比較を行った。その結果、計測の開始・終了点は一致するものとして、途中での管路のずれは最大 25cm であり、良好な結果が得られた。

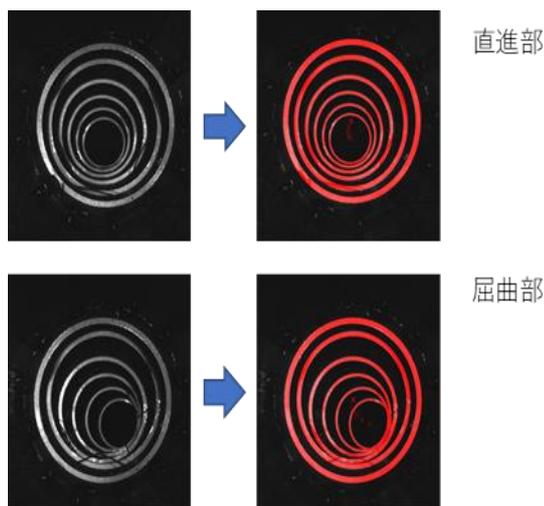


図2 撮影画像とマーカ検出結果



図3 模擬管路（地上設置）

4. おわりに

現在実際の管路環境を模擬した 140m の地上管路や地下埋設管路での評価試験を進めている。本報告では内面がスムーズな塩化ビニール製の管路を対象としているが、素材や径の異なる管路への適用を検討している。