

1 はじめに

現在、我が国では社会インフラの老朽化が深刻な問題となっており、社会インフラにおける補修、補強などメンテナンスについての関心が高まってきている。また、昨今の財政状況下では、すべての箇所の補修や補強、交換を実施することは困難である。そのため、如何に少ない費用で、大きなリスクを避けるように優先順位をつけてメンテナンスを実施できるかが求められている。

本研究では社会インフラの中でも水、天然ガスなどの輸送に使われているパイプラインについて着目する。パイプラインの多くは地中に埋設されており、メンテナンスにおける管内の形状調査、劣化度の診断が難しいとされている。そのため、パイプラインの老朽化による事故が毎年発生している。最近では、2012年7月23日に堺市南区で起こった水道管破裂事故によって近隣住民の3万3000世帯で水が半日以上使えないという事態が発生した。こうした事故を未然に防ぐためには計画的にパイプライン管内の調査・診断を行い、事前に問題箇所を把握する必要がある。そこで、本研究では少ないコストで効率的にパイプライン管内の調査・診断が可能な技術を提案する。

2 関連技術

2.1 パイプライン管内の調査方法

パイプラインの適切な構造機能を維持するために、管内の状態を正確に把握することが重要である。その調査方法としてパイプラインの地表面調査と管内調査が挙げられる。そのうち、管内の状態を直接診断する管内調査としてデプスゲージによる入管調査、自走式ロボットを用いたビデオカメラ調査などがあり、パイプラインの機能診断評価における調査項目は以下の通りとなっている [2]。

- ①管内における断面形状やたわみ量（連続的計測）
- ②錆などによるパイプラインの不陸
- ③管内継ぎ手部の間隔
- ④管内における亀裂の有無

従来の管内形状の調査方法では①の断面形状やたわみ量の連続的データを写真やビデオなど2次元の情報として記録していたため、情報として有効性のあるものではなかった。そのため、新たなパイプラインにおける管内調査の方法が検討されている。

2.2 三次元画像計測法 [1]

三次元画像計測機には原理的に見て、多くの方式があるが、まず2つに大別するならば接触方式と非接触方式となる。また、非接触方式の最大の特徴は非接触での測定が可能であることに加え、物体を1点 (point) だけでなく面 (fullfield) で同時に捉えることができる点にある。さらに非接触方式を2つに分けると超音波やx線を用いる非光学式計測法と光学技術を用いた光学式計測法となる。このうち光学式計測法にはアクティブ方式とパッシブ方式がある。アクティブ方式とは、対象物に光などを照射して

計測する方式で、パッシブ方式とは光などを照射せずカメラのみで計測する方式である。

2.3 目的

本研究では三次元画像計測法を用いたパイプライン管内の調査・診断技術を提案することでメンテナンスにおける効率性の向上を目的とする。

3 提案手法

3.1 システム構成

本研究では、三次元画像計測を用いて (1) 管内形状の点群データ化を行い、(2) 管内形状の点群データと円筒モデルの照合によってパイプライン管内における変形量を連続的データとして算出するシステムとする。システムの全体像として、現場での撮影を想定し、管内での移動手段として車両などを用いて管内形状の点群データを直接PC上に記録し、持ち帰った点群データと円筒モデルを照合するという構成である (図1)。

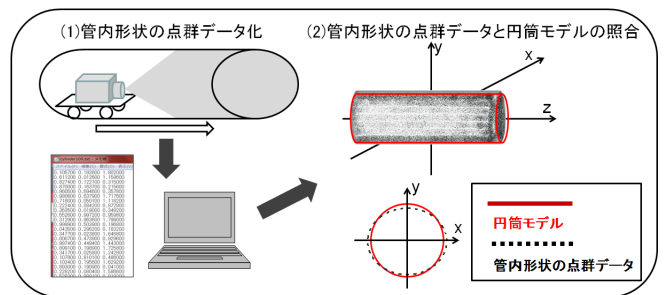


図 1: システムの全体像

3.2 管内形状の点群データ化

パイプラインの管内形状を点群データとして記録する手段として3Dカメラを使用する。また、取得した点群データはPC上に保存することができ、編集することができる。

3.3 管内形状の点群データと円筒モデルの照合

3Dカメラのローカルな三次元座標を持つ管内形状の点群データにおいて、重心の座標と中心を通る線の傾きを求め平行移動、回転を行い、円筒モデルと照合する。(図2)

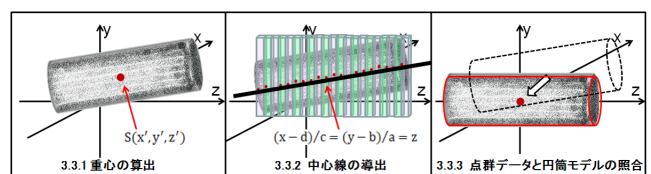


図 2: 管内形状の点群データと円筒モデルの照合の流れ

3.3.1 重心の算出

取得した管内形状の点群データにおける点の個数を n 個、それぞれの座標を $(x_1, y_1, z_1), (x_2, y_2, z_2) \dots (x_n, y_n, z_n)$

とすると点群データの重心の座標 $S(x', y', z')$ は式 (1) と表すことができる。

$$S = \frac{(x_1 + x_2 + \dots + x_n, y_1 + y_2 + \dots + y_n, z_1 + z_2 + \dots + z_n)}{n} \quad (1)$$

3.3.2 中心線の導出

管内形状の点群データを y 軸方向に等間隔で m 個の区間に分割する。そして、分割された m 個の区間にそれぞれ点の個数が n_1, n_2, \dots, n_m 個あるとすると、 m 個の区間ごとにそれぞれ中心の点 S_1, S_2, \dots, S_m が求められる。これらの S_1, S_2, \dots, S_m を最小二乗法を用いて一つの直線として結ぶことで管内形状の点群データにおける中心線を導出することができる。はじめに、 $y-z$ 平面について考える。 S_1, S_2, \dots, S_m の $y-z$ 平面における座標を $(y_1, z_1), (y_2, z_2), \dots, (y_n, z_n)$ として、求められる直線を $y = ax + b$ とすると、式 (2)(3) より、 a, b が求められる。

$$a = \frac{n \sum_{i=1}^n z_i y_i - \sum_{i=1}^n z_i \sum_{i=1}^n y_i}{n \sum_{i=1}^n z_i^2 - (\sum_{i=1}^n z_i)^2} \quad (2)$$

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n z_i^2 \sum_{i=1}^n y_i - \sum_{i=1}^n z_i y_i \sum_{i=1}^n z_i}{n \sum_{i=1}^n z_i^2 - (\sum_{i=1}^n z_i)^2} \quad (3)$$

同様に、 $x-z$ 平面で求められる直線を $x = az + b$ とすると、最小二乗法より c, d が求められる。よって、 a, b, c, d より以下の中心線が求められる。

$$z = (x - d)/c = (y - b)/a \quad (4)$$

3.3.3 点群データと円筒モデルの照合

管内形状の点群データと円筒形モデルの照合のため、点群データを原点 $O(0, 0, 0)$ まで移動し、傾きを 0 にするよう回転させる。よって、点群データ全体を $(-x', -y', -z')$ 平行移動させ、 $(0, -a, 1), (-c, 0, 1)$ 回転させる。次に、既知の直径の円筒モデルを z 軸周りに表示させる。最後に指定した座標において z 軸と垂直方向に輪切りにすることで点群データと円筒形モデルの差より、断面形状の変形量が確認できる。

4 実験

4.1 実装内容・実験環境

管内形状の点群データ化を行う 3D カメラとして、XBOX 360 用 Kinect (Microsoft 社) を使用し、取得した点群データの編集にはオープンソースのソフトウェアである Meshlab を使用した。また、管内形状の点群データと円筒モデルの照合のために作成したプログラムの開発環境として Microsoft visual studio 2010 による C/C++ 言語を用いた。描画処理には、標準的な CG ライブラリの OpenGL を使用する。管内形状の点群データ化を行う対象として、直径 1 m の円筒形模型を用意した (図 3(左))。用意した模型は手前から奥にかけて、円から楕円形に形状が変化している。

4.2 実験結果

直径 1 m の円筒形模型を 3D カメラを用いて点群データを取得し、三次元画像として PC 上に表した (図 3(右))。実際の写真と同様に右から左にかけて、形状が変化していることがわかる (図 3(左))。Kinect の画角が垂直方向に約 40° 、水平方向に 57° 程度であったが、一回の撮影で約 1.2 m の長さにわたって管の内壁を測定できた。また取得した点の数は約 90 万点であった。

円筒形模型の断面形状の変形量をあらかじめメジャーを用いて計測した (図 4(右))。次に、取得した点群データより (図 4(右)) と同じ箇所の変形量を作製したプログラムによって算出したものを (図 4(左)) に示す。

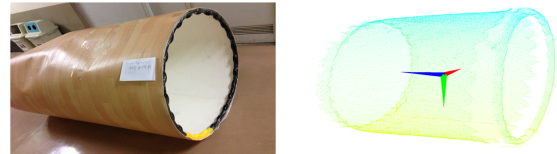


図 3: 直径 1 m の円筒形模型の点群データとしての表示

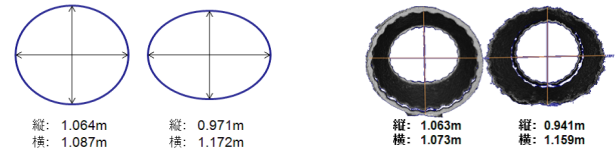


図 4: 円筒形模型の断面形状の変形量

5 考察

今回の実験によって管内形状の点群データ化と断面形状の変形量の表示を結果として示すことができた。今後の課題としては、管内の移動手段の検討と三次元データの結合が挙げられる。

6 おわりに

従来のパイプラインの管内形状の調査方法では管内における連続的なたわみ量や断面形状を測定することが難しいという問題について、本研究では、三次元画像計測法を用いた管内形状の調査・診断技術によってメンテナンスの効率性の向上を図るアプローチを提案した。3D カメラである kinect を用いた実装と、円筒形模型への適用を図り、その有効性を確認した。従来の調査方法である入管調査や自走式ロボットを用いたビデオカメラ調査ではパイプライン管内形状の連続的な変形量をデータとして残すことが難しく、少ないデータから主観的にメンテナンスの必要性を判断していた。それに対して、本研究で提案した調査方法ではより客観的にメンテナンスの必要性を分析できることを示すことができた。また直径 1 m の模型という条件下では、変形量測定の精度として約 0.015 m 以下という結果が確認され、有効性の範囲についての知見が得られた。今後は、実際のパイプライン管内での使用実験が課題として挙げられる。

参考文献

- [1] 吉澤 徹, 最新光三次元計測, 朝倉書店, 2006.
- [2] 管路内部からの調査探査診断技術, ノー・ディグトゥーデイ, 日本非開削技術協会誌 No.67, 2009.