# 配管内画像からの配管歪み量推定

# Estimating deformation of pipe from its internal image

○学	小菅	海人	(中央大学)	学	大山	暁	(中央大学)
学	佐藤	広都	(中央大学)	学	内山	航輔	(中央大学)
Æ	中村	太郎	(中央大学)	Æ	梅田	和昇	(中央大学)

Kaito KOSUGE, Chuo University, kosuge@sensor.mech.chuo-u.ac.jp Akira OYAMA, Chuo University, oyama@sensor.mech.chuo-u.ac.jp Hiroto SATO, Chuo University, h\_sato@bio.mech.chuo-u.ac.jp Kosuke UCHIYAMA, Chuo University, k\_uchiyama@bio.mech.chuo-u.ac.jp Taro NAKAMURA, Chuo University, nakamura@mech.chuo-u.ac.jp Kazunori UMEDA, Chuo University, umeda@mech.chuo-u.ac.jp

In recent years, the number of pipes that have exceeded their service life has been increasing. Thus, regular inspection of the pipes is required. In particular, a flexible pipe made of vinyl chloride shows its unique degradation, such as oblatening. In this paper, we propose a method of estimating the degree of oblatening of a pipe from its internal image captured by an earthworm robot. Covariance matrix of the image is used to obtain the degree of oblatening.

Key Words: Image Processing, Infrastructure Inspection, Measurement and Monitoring, Deformation of Pipe

#### 1. 緒言

下水管は環境保全・衛生維持のための重要なインフラであ るが,近年,耐用年数50年を超えた下水管が増加している. こうした配管は劣化による損傷などにより道路陥没などの重 大な事故を引き起こす原因となりうるため,定期的な検査が 必要である.そこで配管検査用ロボットとして図1に示すミ ミズ型ロボットが開発されている[1][2].

本論文では、下水管に使用される配管の中でも圧送管に着 目する. 圧送管は従来の下水管に比べ地形的条件による制約 を受けにくく管路ルートが比較的自由に決定できるという利 点がある[3]. しかし圧送管内の検査手法は未だ確立されて いないのが現状である. 圧送管には、鋳鉄管やコンクリート 管のような剛性管や塩化ビニル管のような可とう管が使用さ れ、管種によって劣化事象が異なる. 特に塩化ビニル管では 剛性管では発生し得ない土圧による扁平といった特有の劣化 事象が確認されている[4]. 下水管内の扁平度合いによって は漏水や亀裂の状態を悪化させてしまうため、検査を通して 事前に扁平の度合い(扁平率)を把握する必要がある.

本論文ではミミズ型ロボットの先頭に取り付けられたカメ ラで撮影した配管内画像から配管の歪み量を推定する手法を 提案する.



# 2. 提案手法

### **2.1 提案手法の概要**

配管内を撮影した画像では、ロボット先頭部の照明によっ て配管内が照らされているため、カメラに近いほど明るく、 カメラから遠いほど暗いという性質がある.また配管の暗い 部分が楕円状に見えることから、この楕円の軸の方向と径を 求める.軸の方向と径の算出には、画像から求まる共分散行 列の固有ベクトルと固有値を計算することにより求める.

#### 2.2 画像の前処理

楕円の軸の方向と径を求める方法として,後述するように 画像の輝度値を重みとした重みつき平均ベクトル,共分散行 列を求める.このとき,図2(a)の元画像のままでは抽出した い部分が暗いため,元画像をグレースケール化したのちネガ・ ポジ反転を行う.また抽出したい楕円部分の重みを大きくす るために輝度値のしきい値を設け,しきい値以上の箇所のみ を計測対象とする.図2(b)に示すのはしきい値処理を行った 場合の出力画像である.また配管に汚れがある場合はモルフ オロジー処理などノイズ除去処理を用いて除去する.



(b) Image with inversion and thresholding Fig.2 Pipe Image

#### 2.2 楕円の軸方向と径の算出方法

画像の全画素数をNとして,各画素の座標データを特徴ベクトルで表すと, $x_n = (i_n, j_n)^T$ ,n=1,2,...,Nとなる. また画像全体の輝度値の合計Fは各画素の輝度値を $f(i_n, j_n)$ とすれば

$$F = \sum_{n=1}^{N} f(i_n, j_n) \tag{1}$$

が成り立つ.重み付きの平均ベクトルMは

$$M = \frac{1}{F} \sum_{n=1}^{N} f(i_n, j_n) x_n$$
 (2)

となる.また共分散行列Sは

$$\boldsymbol{S} = \frac{1}{F} \sum_{n=1}^{N} f(\boldsymbol{i}_n, \boldsymbol{j}_n) (\boldsymbol{x}_n - \boldsymbol{M}) (\boldsymbol{x}_n - \boldsymbol{M})^T$$
(3)

となる. 式(2) で求めた平均ベクトルは楕円の中心座標に対応する. 式(3) の共分散行列の固有値, 固有ベクトルから楕円の径と軸を求める. また, 扁平率hは楕円の長半径をa, 短半径をbとすると

$$h=1-\frac{b}{a} \tag{4}$$

で求めることができる.

#### 3. 実験データの作成

実際に使用されている下水管の歪み量を物理的に測定する ことは困難である.したがって本研究では,歪んだ配管を模 したデータを2種類作成し,その配管内部を撮影した画像を 実験に用いる.

1 種類目は、市販の塩化ビニル管の一部に等分布荷重を与 えることで、歪んだ配管を模したデータを作成した. 図3に 配管を変形させた様子を示す. また得られたデータを表1に 示す. 1から7に分けて荷重を大きくして行き、歪みを大き くするごとに配管内をミミズ型ロボットで撮影した. 撮影さ れた配管内画像を図4の(a)から(g)に示す.

2 種類目は,透明なパイプに新聞を巻き付けて汚れを模し た配管を作成した.この配管に対して1種類目と同じ方法で 歪みのデータを作成した.表2に得られたデータを示す.撮 影された配管内画像を図5に示す.

	Table 1	Diameter	and	oblateness	of PCV	<sup>7</sup> pipe
--	---------	----------	-----	------------	--------	-------------------

Numbers	1	2	3	4	5	6	7
Vertical Diameter[mm]	114	114	109	107	103	100	97.6
Transverse Diameter[mm]	114	116	119	121	123	124	126
Oblateness	0	0.020	0.086	0.116	0.157	0.196	0.225

Table 2 Diameter and oblateness of dirty pipe

Numbers	1	2	3	4	5	6	7
Vertical Diameter[mm]	114	113	110	107	104	101	100
Transverse Diameter[mm]	114	116	118	120	121	123	125
Oblateness	0	0.026	0.068	0.108	0.140	0.179	0.200



Fig.3 Deformation process of a pipe



(e) Image 5





(d) Image 4



(f) Image 6



(g) Image 7 Fig.4 Images of deformed PCV pipe





(a) Image 1



(c) Image 3



(b) Image 2



(d) Image 4



(f) Image 6



(g) Image 7

Fig.5 Images of dirty pipe using a sheet of newspaper

### 4. 歪み量推定実験

#### 4.1 実験概要

本実験では、表1または表2の配管の径から求めた扁平率 を真値とし画像から推定した配管の扁平率と比較することで 提案手法の有効性を確認する.まず作成した1種類目のデー タで実験を行い、次に2種類目のデータで実験を行う.2章 の前処理で述べた輝度値のしきい値は1に設定する.またし きい値を変えた場合の扁平率の変化について検討する.

#### 4.2 実験結果

図 6 に塩化ビニル管画像を用いた場合の扁平率の真値と推 定値を比較したグラフを示す.また図 7 に、2 章で述べた共 分散行列の固有ベクトルから求めた軸の方向を描画した画像 としきい値処理を行った画像をそれぞれ示す.さらに、しき い値を 0 から 10 ずつ増加させたときの扁平率の値の変化を図 8 に示す.次に汚れを模した配管画像を用いた場合の扁平率 を比較した結果を図 9 に示す.図 10 には軸方向を描画した画 像としきい値処理、ノイズ除去処理を行った画像を示す.

図6および図9より、扁平率の真値と推定値は比較的近い 値を取っており両者ともに右肩上がりのグラフになっている ことから推定が正しく行えていることがわかる. 扁平率の推 定値が真値よりも大きい値となっているのは, 配管内を撮影 した画像のアスペクト比が1:1になっていないことと, ロボ ットの先頭部が上下に傾いているためだと考えられる. 図7 と図10より,軸方向がおおむね正確に求められていることが 分かる. 図8では, しきい値が80までは画像1~7のどの画 像においてもしきい値が一定の範囲内で推移していることが わかる. ネガ・ポジ反転した配管内画像はしきい値を上げて くと配管中心を中心として同心円状に輝度の分布が広がって いくためである.

本実験では、2 種類のデータを用いて扁平率の比較を行い 軸の方向を求め、扁平率と軸方向がおおむね推定できている ことを確認した.しかし図6、図8、図9の推定された扁平率 のばらつきにより、配管の微小な変形を正確に推定すること が困難であることがわかった.



Fig.6 Comparison between estimated and true values of oblateness with PCV pipe images





Fig.8 Change in oblateness



Fig.9 Comparison between estimated and true values of oblateness with images of polluted pipe





(a) Image 1



(b) Image 2





(c) Image 3





(d) Image 4





Fig.10 Left : drawing axial direction(blue : semimajor axis, red :

short axis). Right : thresholding

## 5. 結論

本論文では、配管内画像からの共分散行列による歪み量推 定手法を提案した.共分散行列の固有値、固有ベクトルから 楕円の径と軸方向を求め、さらに扁平率を計算することによ り歪み量の推定を行った.汚れのない塩化ビニル管と汚れを 模した配管で実験を行い本手法の有効性を確認した.今後の 展望は、実際の配管内画像で実験を行うこと、歪み量推定の 精度を高めることである.

### 参考文献

- Ryutaro Ishikawa, Takeru Tomita, Yasuyuki Yamada, Taro Nakamura, "Investigation of Odometry Method of Pipe Line Shape by Peristaltic Crawling Robot Combined with Inner Sensor," in Proceedings of 2017 IEEE International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics, pp.1275-1279, 2017.
- [2] 眞野雄貴,石川龍太郎,谷瀬友基,河口貴彦,山田泰之,中村太郎,"圧送管内検査用蠕動運動型ロボットの速度向上ユニットの提案",第18回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会,講演論文集 pp. 24-27, 2017.
- [3] <u>http://assouken.gr.jp/tokutyo.html</u>
- [4] 深谷涛,賀屋拓郎,末久正樹,小川文章,"下水道用塩化ビニル管の劣化事象と管体性能への影響評価<sup>\*</sup>塩化ビニル管用視覚判定基準(案)の作成<sup>\*</sup>",土木技術資料 56-11, pp. 26-29, 2014.