

## (21) 円筒管内の水滴落下位置推定

藤田 佑樹<sup>1</sup>・水谷 孝一<sup>2</sup>・若槻 尚斗<sup>3</sup>・川村 洋平<sup>4</sup>

<sup>1</sup>学生会員 筑波大学博士後期課程 大学院システム情報工学研究科(〒305-8573 茨城県つくば市天王台1-1-1)

E-mail: fujita-y@aclab.esys.tsukuba.ac.jp

<sup>2</sup>正会員 筑波大学教授 システム情報系(〒305-8573 茨城県つくば市天王台1-1-1)

E-mail: mizutani@iit.tsukuba.ac.jp

<sup>3</sup>非会員 筑波大学教授 システム情報系(〒305-8573 茨城県つくば市天王台1-1-1)

E-mail: wakatuki@iit.tsukuba.ac.jp

<sup>4</sup>正会員 Curtin Univ., Lecturer WASM, Dept. Mining Eng. (Kalgoorlie, WA6433)

E-mail: Yohei.Kawamura@curtin.ac.au

本研究では、地下貯水タンクや下水管など地下埋蔵された欠損位置の特定を目的として、その内部での反響音を利用する特定手法の提案を行った。円筒管内の反響音から、その周波数成分に対応する振動モードを求めることで、欠損位置より流入するであろう水滴の落下位置の推定手法を検討した。円筒容器への液滴実験を通して反響音から励起しづらい振動モードがあることを実験的に特定した。

**Key Words:** Sound Source Localization, Natural Vibration Mode, Reverberating Sound, Buried Property

### 1. 背景

地下貯蔵のタンクや下水管といった埋蔵物は外的要因や経年劣化により損傷し水の流入<sup>1)</sup>が発生する。水の流入は空洞形成を経て地盤の陥没に繋がる問題であるため損傷位置の特定が求められる。このような場合、内部にカメラを挿入する<sup>2,3)</sup>等センサで損傷箇所を特定する方法があるが、センサが入れられることが前提となる。そこで損傷位置から水が流入することで発生する音を外部で取得し、そこから損傷位置を特定したい。タンクや管のような円筒管に水が流入した結果水滴が落下するとして、本研究では水滴音が内部で反響した反響音から水滴落下位置を推定する方法を検討する。

### 2. 円筒空間の振動モードを用いる水滴落下位置推定原理

反響音から水滴落下位置を推定する方法として円筒空間の振動モードを利用する。

円筒管内で発生する水滴音は反響し、反響音は円筒管の振動モードと共鳴し、そのスペクトルは様々な共振ピークを有する<sup>4,7)</sup>。円筒管の振動モードは図-1に示すような形状となる。それぞれ $k, m, n$ が半径方向、円周方向、軸方向の振動モードの次数である。また図内に示すのは

高さ200 mm、内径300 mmの円筒形における理想的な節の位置である。それぞれの振動モードは、節の位置で水滴音が発生すると振動モードが励起されにくく、共振ピークは表れにくくなる。そこで本稿では音源となる水滴落下位置の推定に繋がる振動モードを反響音の周波数成分から特定する。

### 3. 円筒管を用いた実験

実験系の概要図を図-2に示す。タンクを模した円筒容器は高さ300 mm、上端と下端の内径がそれぞれ300 mm、280 mmのテーパ状でありこれを円筒管として扱った。管内空洞の高さが200 mmになるように水を貯め、中心に15 mmの穴の開いた板でふたをした。また中心から $r$

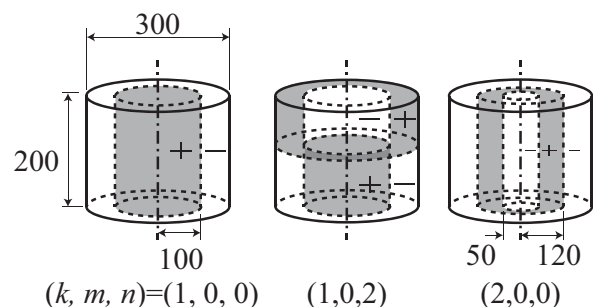


図-1 円筒形の振動モード

mmずれた位置に開けた穴から水滴を落下させた。落下した水面では水滴音が鳴り管内で反響する。反響音は中心に開いた穴の横に設置したマイクから44.1 kHzのサンプリング周波数で集音した。

マイクから取得した信号は一滴の水滴によって発生する反響音ごとに処理をした。反響音は4410サンプルごとにFFTを行い、振動モードの周波数と一致する周波数成分のパワーを抽出した。ここで抽出する周波数成分は1450, 1680, 2240, 2650, 2790 (Hz)とした。この周波数と一致する振動モードの次数は $(k, m, n) = (1, 0, 0), (1, 0, 1), (1, 0, 2), (2, 0, 0), (2, 0, 1)$ である。抽出したパワーは取得した水滴音全体で一番大きなパワーで正規化した。 $r$ は0, 50, 70, 100 (mm)で実験を行った。複数回試行し、平均と標準偏差を求めた(試行回数は図中にnで記載)。

水滴下位置 $r$ と周波数の関係を図-3に示す。×は平均値、エラーバーは標準偏差を示している。また代表的なスペクトルも点線で示している。 $r=0, 70$  mmでは抽出したすべての周波数成分で同程度の強度を示している。小さな周波数成分はなく、振動モードの節は見られない。 $r=50$  mmでは2650, 2790 (Hz)の周波数成分が大きく減少している。他の周波数成分に比べ30 dB以上小さい。 $r=100$  mmでは2240 Hzの周波数成分が他の周波数成分に比べて30 dB以上小さい。この結果の特徴的な2240, 2790 (Hz)の周波数成分を抜き出し、横軸を $r$ 、縦軸をパワーとした時の図が図-4である。図中にはそれぞれ $(k, m, n) = (1, 0, 2), (2, 0, 0)$ の振動モードの理想的な節の位置を点線で示している。パワーは節位置でディップを形成し、滴下位置として正しい位置を示している。以上より反響音の周波数成分から振動モードを特定し節位置を示すことがわかる。

#### 4. 結言

本研究では、円筒管内に落下する液滴の位置を、その反響音から推定する手法を検討し、反響音の周波数成分から振動モードを特定できることを確認した。今後は振動モードの有する複数の節から水滴落下位置を一意に特定することが課題である。また振動モードの節だけでなく振動モードの形状も利用して、任意の水滴落下位置を推定を行う。

#### 参考文献

- 1) 佐藤真理, 桑野玲子: 下水管破損部からの水の流入出による空洞形成を想定した小型模型実験, Vol.61, No.4, pp.31-35, 東京大学生産技術研究, 2009.
- 2) 黒岩正信: 曲がり部の多い小口径配管調査用カメラシステム, 非破壊検査 journal of N.D.I 58(5), pp.191-195, 2009.

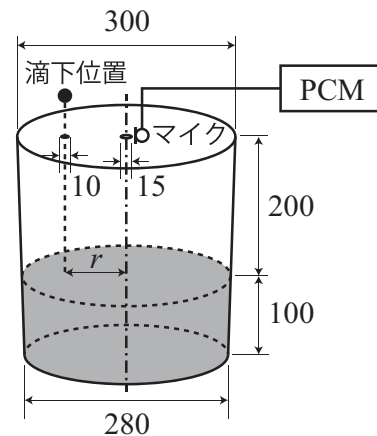


図-2 実験系の概要図

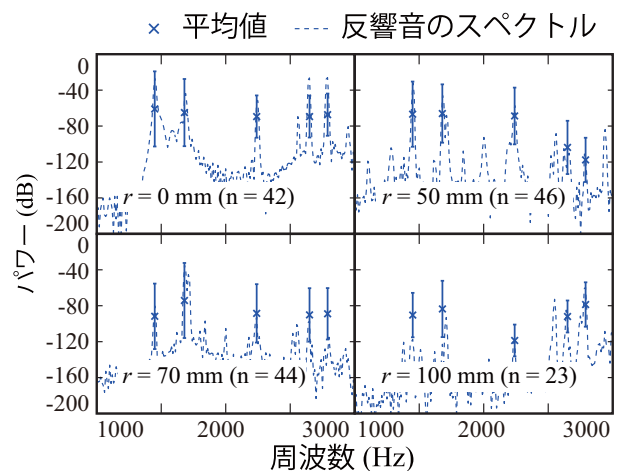


図-3 実験結果に基づく滴下位置と周波数の関係

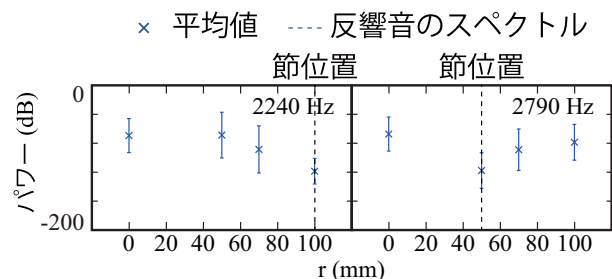


図-4 周波数成分ごとの滴下位置と節位置の関係

- 3) 岡部光悦, 原弘和, 本島邦行: 壁面に亀裂を有する導波管の通過特性解析, 信学技報, A-P2009-147, pp.31-35, 2009.
- 4) 岸塚正昭: 水琴窟の音響構造に関する実験的考察, 造園雑誌, 55(5), pp.133-138, 1992.
- 5) 藤田 佑樹, 水谷 孝一, 若槻 尚斗: 数値シミュレーションを用いる水琴音の合成, 日本音響学会音楽音響研究会資料, Vol.29, No.3, MA2010-25, pp.13-16, 2010.
- 6) 藤井郁香, 藤田 佑樹, 水谷孝一, 若槻尚斗: 円筒形水琴窟モデルにおける筒高一底径比と音響特性の関係, 日本音響学会音楽音響研究会資料, Vol.30, No.8, MA2011-72, pp.7-12, 2012.
- 7) Yuki Fujita, Naoto Wakatsuki, and Koichi Mizutani: Simulation of 'Suikinkutsu' sound considering sound radiation from water surface, Proceedings of the Acoustics 2012 Hong Kong, 4pMUB4, S228, DVD, 2012.