

時間周波数解析を用いた水道管を伝搬するガイド波の群速度推定

愛媛大学 学生会員 ○川瀬寛己 浦道将 正会員 丸山泰蔵 中畑和之

1. はじめに

現在、上水道管の漏水検査には漏水音を計測にする方法が広く用いられている。しかしながら、音波計測による検査が行える水道管口径や距離には制限があり、その性能向上が望まれている。水道管は長大構造物であるため、音波はその内部をガイド波[1]として伝搬していると考えられる。ガイド波は分散性、多重モード性といった複雑な性質を有するため、その性質を正確に把握する必要がある。実験的にガイド波の伝搬特性を調べるには、時間-空間の両方向に広がりを持つデータの計測[2]が望ましい。しかしながら、実際の検査では空間方向に多数のデータを計測することは難しく、時刻歴波形によってモード推定を行う必要がある。そこで本研究では、時間周波数解析によるガイド波の伝搬特性について検討する。

2. ガイド波の計測実験

本研究では、中空状態、満水状態それぞれの状態の塩化ビニル管を伝搬する波動の計測を行った。図1に示すように、超音波パルスレーザと送信、受信用の探触子を用いて、中心周波数 30 kHz の超音波の送受信を行った。入力した電気信号は矩形波 1 波であり、いくつかの送受信点間距離 L に対して計測を行った。計測に用いた塩化ビニル管の断面寸法を図2に示す。

得られた時刻歴波形は、ウェーブレット変換[3]を用いて時間周波数解析を行った。ウェーブレット変換では、次式に示す複素 Morlet ウェーブレットの一種をマザーウェーブレットとして用いた。

$$W_{\psi}[f(t)](a, b) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \overline{\psi\left(\frac{t-b}{a}\right)} dt \quad (1)$$

$$\psi(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{t^2}{2}} e^{2\pi i t} \quad (2)$$

ここで、 $\overline{(\)}$ は複素共役、 i は虚数単位である。ウェーブレット変換後、伝搬距離 L を時間 t で除して波動の伝搬速度を求め、横軸に周波数、縦軸に伝搬速度として、 W_{ψ} の絶対値をプロットすることで、どのような周波数-伝搬速度関係で受信波の振幅が分布しているかを調べる。

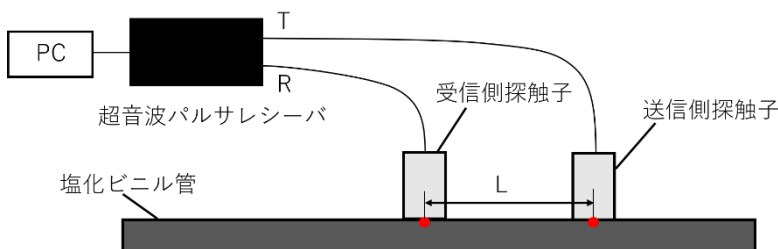


図1 超音波測定方法の概略

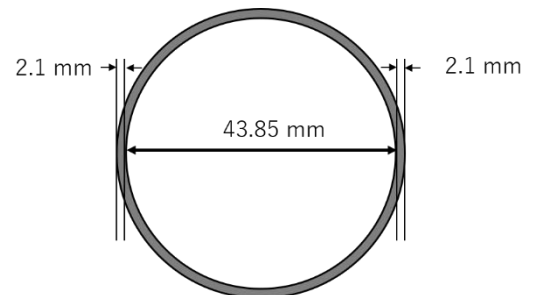


図2 断面寸法図

3. 計測結果

探触子間距離 L を 200mm, 400mm としたときの結果をそれぞれ図3, 4に示す。両図において(a)は中空状態, (b)は満水状態である。どちらの状態に対しても半解析的有限要素法[1]による群速度分散曲線の計算結果 ($n = 0 \sim 4$) をプロットしている。ここで、 n は円周方向の次数を表している。図3, 4より、すべての結果において中心周波数 30kHz 付近に大きな振幅が現れていることがわかる。図3より、 $L = 200\text{mm}$ の場合、中空状態では

0.3km/s 程度，満水状態では 0.5km/s 程度の速度で伝搬する波動の振幅が検出されており，数値解析結果より同程度の群速度を持つ伝搬モードは存在している．しかしながら，どのモードかの特定には至っていない．図 4(a)より， $L = 400\text{mm}$ の場合，中空状態は $L = 200\text{mm}$ の場合と異なり，伝搬速度 1.0km/s 辺りに大きな振幅が現れている．図 4(b)より， $L = 400\text{mm}$ の場合，満水状態は $L = 200\text{mm}$ の場合とほぼ同様の結果である．

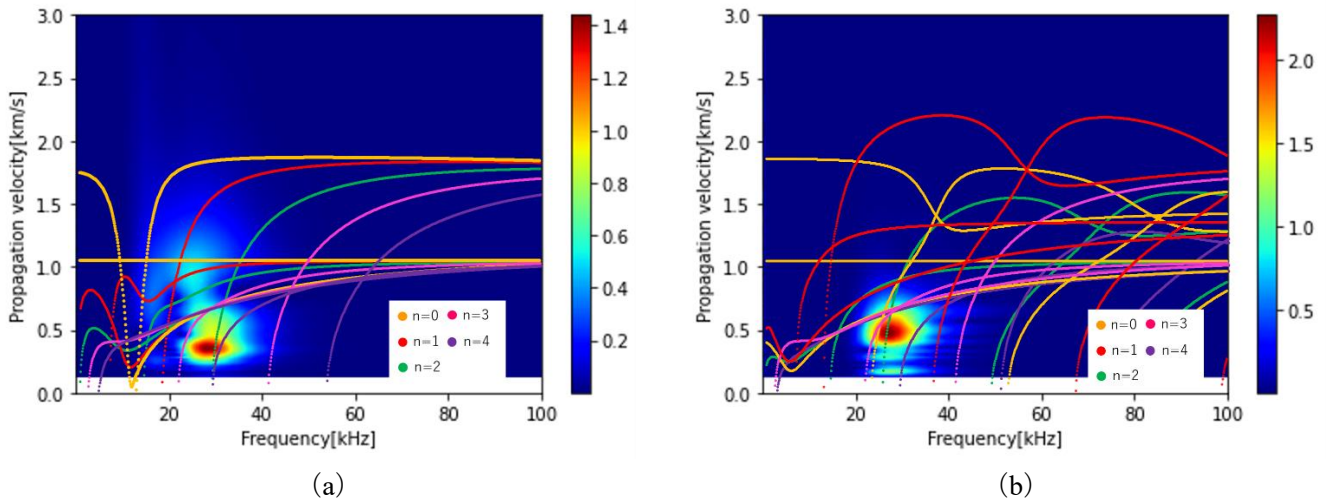


図 3 $L = 200\text{mm}$ の場合の計測結果 (a) 中空状態，(b) 満水状態

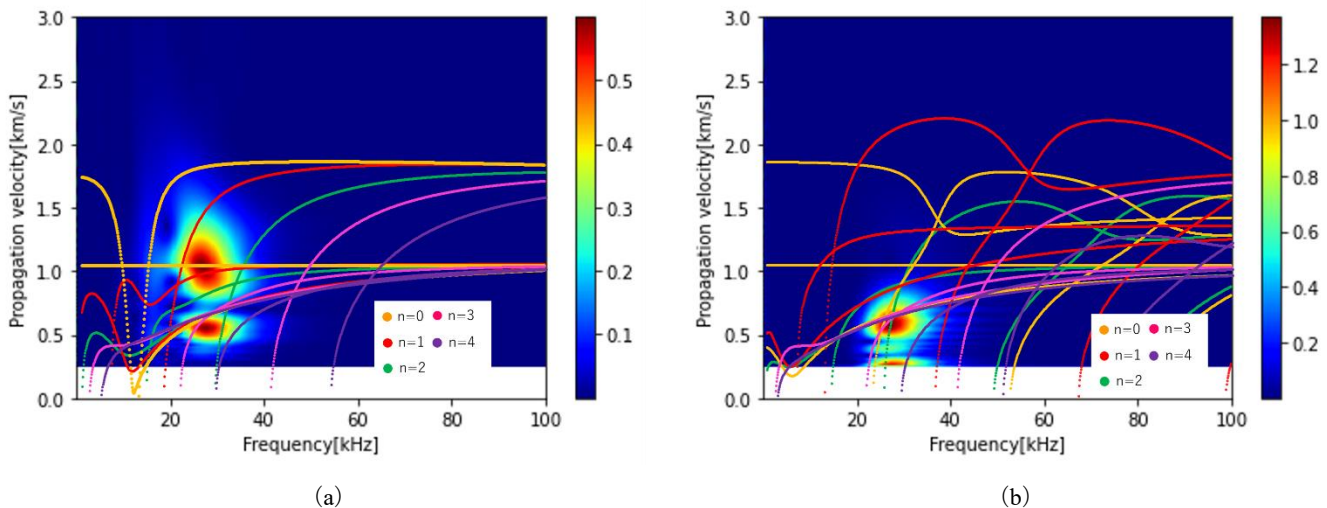


図 4 $L = 400\text{mm}$ の場合の計測結果 (a) 中空状態，(b) 満水状態

4. まとめ・今後の課題

本研究では，塩化ビニル管を用いて超音波の送受信を行った．受信波形にウェーブレット変換による時間周波数解析を行うことで，周波数-伝搬速度関係を抽出した．数値解析による群速度分散曲線と比較し，得られた伝搬速度と近い群速度を有する伝搬モードが存在することは確かめられたが，モードの特定には至らなかった．

今後は，周波数帯域や円周方向の送受信位置を変化させて計測を行うことによって，モードの特定を目指す予定である．

参考文献

- [1] Rose, J. L.: Ultrasonic Guided Waves in Solid Media, Cambridge University Press, 2014.
- [2] 高本龍直, 大谷憂馬, 齊藤中, 中畑和之: 衝撃加振法によるガイド波検査のための数値解析とその実験的検証, 土木学会論文集 A2(応用力学), Vol. 71, No. 2 (応用力学論文集 Vol. 18), pp. I_813-I_822, 2015.
- [3] 和田成夫: よくわかる信号処理フーリエ解析からウェーブレット変換まで, 森北出版株式会社, 2009.