

水道管を伝搬するガイド波の計測と波動分散に関する検討

愛媛大学 学生会員 ○浦道将
愛媛大学 正会員 丸山泰蔵, 中畑和之

1. 背景

上水道管は老朽化が進むことにより漏水が発生するため、適切な維持管理が必要である。上水道管は地中に埋設されていることが多いため、目視検査は困難であり、代替手法として漏水音の測定が行われている。しかしながら現段階では、大口径管に対する遠距離位置での漏水音の解析は困難であり、空気弁位置に存在するマンホールからの漏水音測定によるモニタリング実施には課題が残されている。検査ができない場合、上水道管は耐用年数を越えたものから交換することとなり、交換には掘削が必要であるため大きなコストがかかる。適切な交換時期の選定によるコスト低減のため、損傷の有無や程度の評価を可能にする検査技術向上が期待される。

水道管のような長大構造物を伝搬する音波はガイド波として伝搬することが予想される。ガイド波は低減衰で長距離伝搬することが知られているため、ガイド波を適切に利用した計測方法を開発することができれば、現状よりも遠距離位置での漏水音計測が期待される。しかしながら、ガイド波は分散性、多重モード性といった複雑な挙動を示すため、その伝搬特性を詳しく調べる必要がある。本研究では基礎的検討として、実際に使用されている小口径のダクタイル鋳鉄管を用いて、管を伝搬する音波の特性を調べる。

2. 実験概要

ガイド波として伝搬する波動は分散性と多重モード性を示し、実測データから分散関係を推定するためには波数と周波数の関係を調べるのが重要である¹⁾。そのための手法として、波数-周波数スペクトルを用いる方法²⁾等が提案されている。本研究では、高本ら²⁾に倣って水道管内を伝搬する波動の分散関係を求める。時空間両方の広がりを持つ波形データ $u(z, t)$ を収集し、次式で表される2次元フーリエ変換を行うことにより、波数-周波数スペクトルを求められる。

$$\hat{u}(k, f) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} u(z, t) \exp[-i(kz - 2\pi ft)] dz dt \quad (1)$$

ここで、 f は周波数、 k は波数、 t は時刻、 z は空間位置である。

計測実験の対象として、図-1に示す小口径のダクタイル鋳鉄管を用いた。この鋳鉄管はモルタルと鋳鉄の二層構造となっており、管径は、内径 73.5mm、外径 93.5mm、モルタル厚 4mm、鋳鉄厚 6mm である。時空間波形の取得には、相反定理を利用した方法²⁾を用いた。弾性波の相反定理³⁾より、点 A で加振を行い点 B で計測した加速度と、点 B で加振を行い点 A で計測を行った加速度は等しい。そのため、図-2に示すように、加速度センサを固定し、10mm 間隔で合計 101 点の位置において多点加振を行うことで波形データを取得した。

デジタイザのサンプリング周波数は 100kHz、サンプリング数は 2000 点とした。また、加振には、図-3の振動スピーカを用いた。広範囲の波数-周波数スペクトルを得るために広帯域の成分を入力する必要がある。そのため、図-4に示す 7.5ms で 0kHz から 10kHz まで変化するチャープ信号を振動スピーカに入力して加振を行った。



図-1 試験に用いたダクタイル鋳鉄管

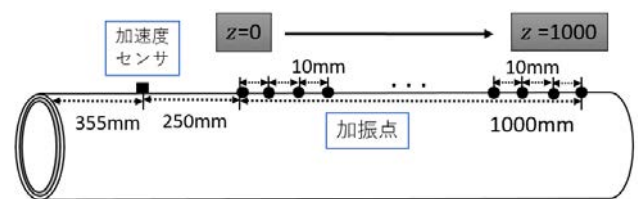


図-2 波形計測の概要

Key Words: 上水道管, ガイド波, 分散関係, 構造ヘルスマニタリング

〒790 - 8577 愛媛県松山市文京町3 愛媛大学大学院理工学研究科生産環境工学専攻



図-3 振動スピーカ (boco 社製 docodemo SPEAKER)

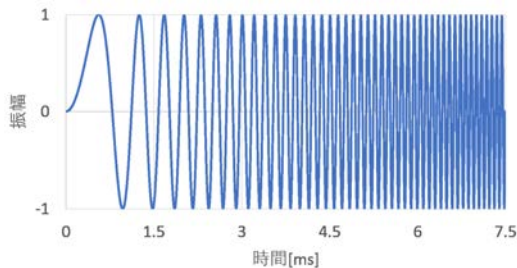


図-4 入力波形

3. 計測結果

計測により取得した時間-振幅領域波形の1つを図-5に示す。更に加速度波形の空間-時間領域の分布を図-6に示す。図-6には、全ての波形の最大振幅値で全体を正規化している。時間が経過すると、 z が大きい位置に波動が伝搬していく様子がわかる。しかしながら、このグラフから音速を読み取ることは容易ではない。一方、計測波形に対して式(1)で示される2次元フーリエ変換によって求めた波数-周波数領域における振幅スペクトルを図-7に示す。ここでは、それぞれの周波数における最大振幅値で正規化を行っている。また、比較のため、半解析的有限要素シミュレーション¹⁾により求めた分散曲線を同図にプロットしている。図-7より、数値シミュレーションと実験による波数-周波数スペクトルが概ね一致していることが確認される。以上により、計測された加速度波形は水道管を伝搬してるガイド波の影響であることが確認された。

4. おわりに

本研究では、実用されている上水道管を用いて、相反定理を利用した多点加振による波形を計測した。計測された時空間領域の波形に2次元フーリエ変換を施すことによって、どのような波数-周波数関係を持つ波動が伝搬しているのかを調べた。実験結果と数値シミュレーションとの比較から、音波は水道管をガイド波として伝搬していることが確認された。

上水道管は運用時に満水状態であるため、満水状態における音波の計測と解析を今後は行う予定である。

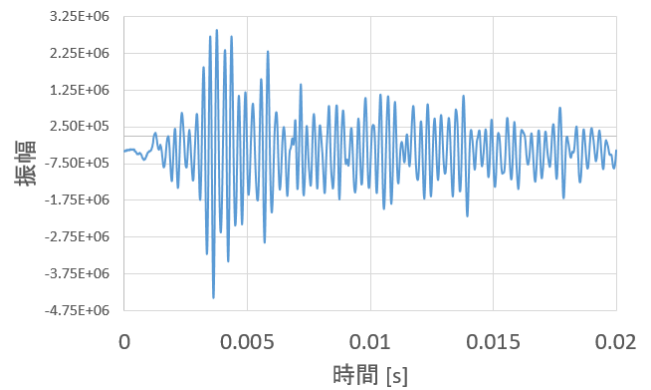


図-5 500mm 地点での計測波形

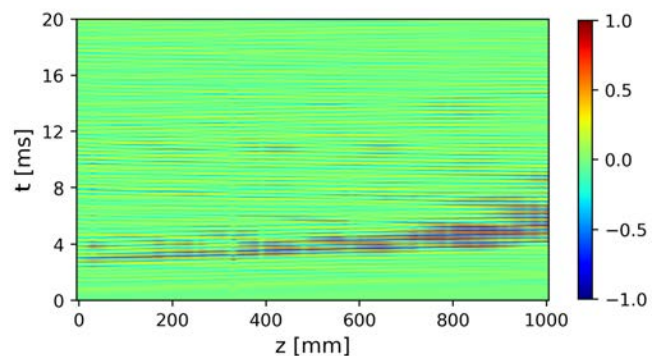


図-6 空間-時間領域における計測波形

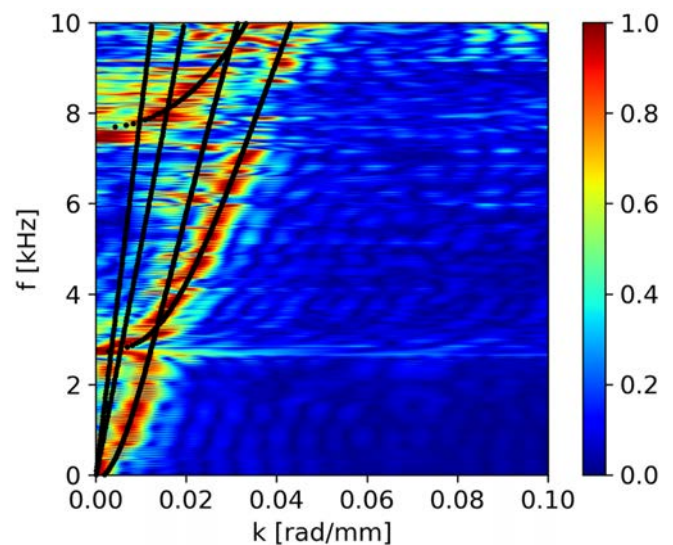


図-7 計測波形の波数-周波数スペクトル (黒点は半解析的有限要素シミュレーション結果)

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) Schmerr, L. W.: Fundamentals of Ultrasonic Nondestructive Evaluation, Plenum Press, 1998.