

鋼管と水の伝播速度測定と Wavelet による周波数解析

東北学院大学 学生会員 本堂 祐希
 東北学院大学 正会員 河野 幸夫
 東北学院大学 加藤 和夫
 東北学院大学 石川 和己
 東北学院大学 芳賀 昭

1 はじめに

現代社会ではパイプライン周辺の環境条件、設計時以上の過度の水圧、内圧、埋設管の土圧、施工時にかかる偏心、及び亀裂や腐食等によりパイプラインの破損事故が各地で発生し問題となっている。また現在では、上水道の漏水探査において発見、修復のため漏水点の特定をするには、相関装置を用いているが、経験とノウハウに頼ることが多く、およその位置しか特定できない事や、修復に費用や時間が掛かり過ぎる等の問題点が存在する。

そのような観点から本研究では、2点間の遅れ時間に着目し鋼管に条件を設けた状態で伝播速度を測定し、Wavelet 解析により漏水探査に関する基礎的な実験を行う。本研究は、最終的には漏水探査を目的として行っている。

2 実験目的

(1) 加速度センサー (NEC 三栄 9G101S) と A/D 変換器 (YOKOGAWA WE7000) を用い鋼管の遅れ時間を検出し、伝播速度を算出し、鋼管の伝播速度の理論値と比較する。

伝播速度の理論値は、鋼管の伝播速度を $S(m/s)$ 、ヤング率 E を $20.10 \sim 21.60 (10^{10} kgf/m^2)$ 、密度を $7.85 [10^3 kgf/s^2/m^4]$ とし、以下の(1)式により求めることができる。ヤング率、密度については理科年表より引用する。また、(1)式にそれぞれの数値を代入し、伝播速度を求めた。

$$S = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \quad (m/s) \quad (1)$$

$$= \sqrt{\frac{20.10 \sim 21.60 \times 10^{10} (kgf/m^2)}{7850 (kgf/s^2/m^4)}} \\ = 5060.15 \sim 5245.56 (m/s)$$

(2) 鋼管に、水が満水状態と空の状態、鋼管の水位が半分満たした状態において Wavelet 解析により算出した周波数変動の比較をする。

3 実験方法及び解析方法

伝播速度測定実験において、ハンマーで鋼管を叩いて衝撃音を発生させ、2個の加速度センサーで振動を感じ、チャージアンプ、A/D 変換器

を通して得たデータを MATLAB で解析を行った。解析方法は、データをサンプリング周波数 $50 \text{ kHz} (20\mu s)$ 、データ長 $5s$ で取り込み、音圧波形の立ち上がりを手動で検出し、遅れ時間を求めた。実験図を Fig.1 に示す。実験装置図を Fig.2 に示す。求めた遅れ時間を用い、(2)式に代入し鋼管の伝播速度を算出した。

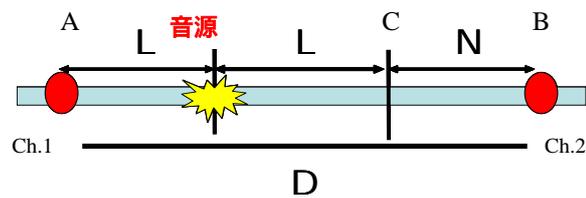


Fig.1 伝播速度測定実験図

測定された遅れ時間 T_d に、管が媒体となって伝播する音速 S を掛けると、図に示した C、B 間の距離 N が求められる。あらかじめ求めていた A、B 点間の距離 D から N を引いて 2 で割った値が、音源までの距離 L となる。

$$L = \frac{D - N}{2} = \frac{D (S \times T_d)}{2} \quad (2)$$

$$N = S \times T_d$$

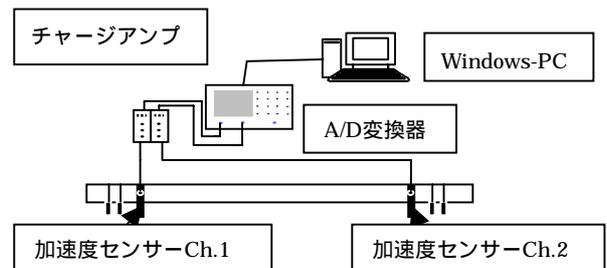


Fig.2 実験装置図

4 満水状態と水なしの伝播速度の実験結果

ここでは、鋼管に水がある状態とない状態で伝播速度にどのような違いが見られるか実験した。Fig.3 に鋼管 (水なし, Ch.1 から $1(m)$), を打撃位置とし、 $N=8(m)$, $T_d=-1.57(ms)$, 伝播速度 $S=5095.54 (m/s)$ の波形を示す。

鋼管水あり、水なしの各打撃位置の伝播速度を平均すると、水ありでは $5073.52(m/s)$ 、水なしでは $5074.17(m/s)$ と理論値の範囲内に収まった。鋼管は、水無し水ありで差がほとんど見られなかった。

キーワード：鋼管、水、伝播速度、Wavelet、周波数解析

連絡先 (宮城県多賀城市中央 1 丁 13-1・022-368-1116)

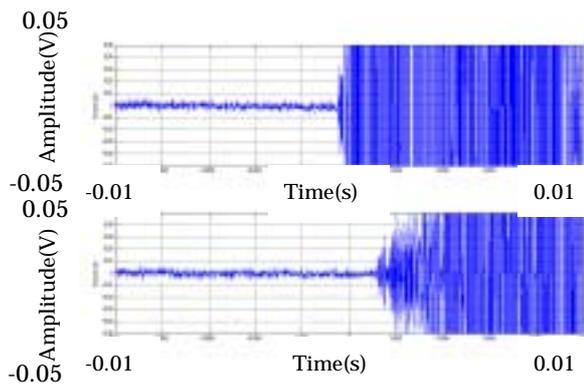
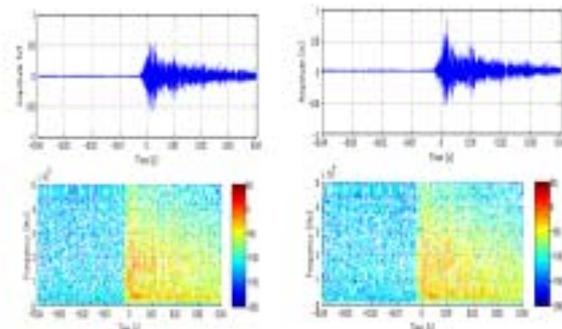


Fig.3 鋼管(水なし Ch.1 から 1m)の波形



水を半分にした場合 0~0.04(s)の間に 15~50(kHz)の周波数分布が弱くなった。

Fig.5 水半分の波形と周波数成分

Table1 伝播速度実験値と理論値の比較

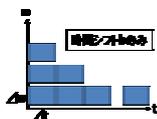
| | 実験値 (m/s) | 理論値 (m/s) |
|---------|-----------|-------------|
| 鋼管(水無し) | 5074.17 | 5060 ~ 5246 |
| 鋼管(満水) | 5073.52 | 5060 ~ 5246 |
| 平均 | 5073.86 | 5060 ~ 5246 |

5 周波数解析結果

時間推移する信号の周波数成分の解析をするには、以下の2つの方法がある。本研究では Wavelet 解析を用いた。

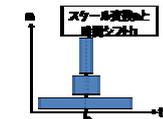
- 短時間フーリエ解析

$$F(a,b) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t)g(t-b)e^{-j\omega t} dt$$

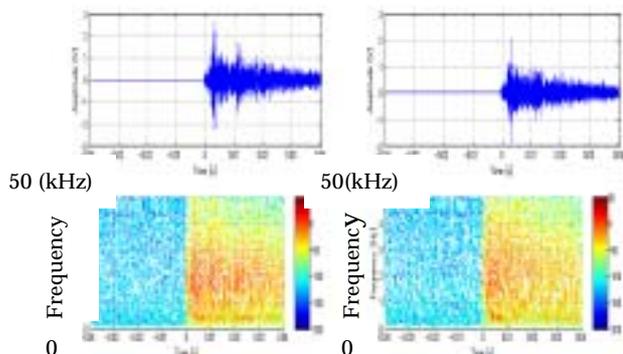


- Wavelet 解析

$$W(a,b) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \frac{1}{\sqrt{a}} \Psi\left(\frac{t-b}{a}\right) d$$

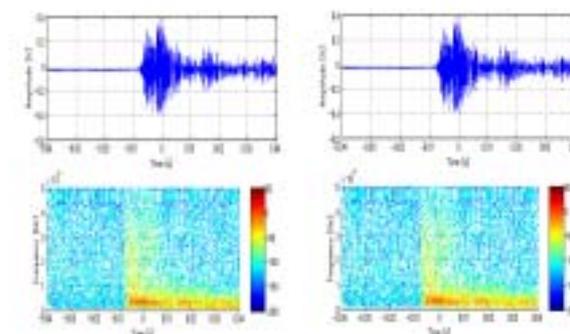


Wavelet 解析の場合突発的な高周波成分や、少し長い区間に渡る低周波成分を取り出せる特徴がある。



0.00 ~ 0.04s の時間の間に、15 ~ 30(kHz)に高い周波数成分がみられる。

Fig.4 水なしの波形と周波数成分



満水状態の場合水の影響により 0.02(s)後に 30 ~ 35(kHz)の高い周波数を減衰させることがわかった

Fig.6 満水の場合の波形と周波数成分

6 おわりに

(1)理論値の範囲である 5060 ~ 5246(m/s)に実験値が収まった。満水状態と鋼管のみの実験値を比較すると、伝播速度は変わらない事がわかった。

(2)鋼管のみの場合 0.00 ~ 0.04(s)の時間の間に、15 ~ 30(kHz)の高い周波数成分がみられる。水を半分にした場合 0 ~ 0.04(s)の間に 15 ~ 50(kHz)の周波数分布が弱くなった。満水状態の場合、水の影響により 0.02(s)後に 30 ~ 35(kHz)の高い周波数を減衰させることがわかった。

7 参考文献

- 1)早坂 寿雄：『音響工学入門』, p.227.
- 2)国立天文台：『理科年表』, p.1034.
- 3)中野 宏毅,山本 鎮男,吉田 靖夫：『ウェーブレットによる信号処理と画像処理』, p.174.
- 4)上路 崇大：『鋼管と水の相互作用について』(2009年度卒業論文), pp.82.