

# 鋼管と水の伝播速度の相互作用について

東北学院大学  
電気情報工学科  
電子工学科

学生会員 上路 崇大、正会員 河野 幸夫  
石川 和己、芳賀 昭、阿部 桂  
加藤 和夫

## 1. はじめに

現代社会において、上水道はライフラインとして必要不可欠なものであり、我々の生活や産業発展の基盤として深く結びついている。

それに伴い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、物質の流動による管の摩擦、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、調査員の目、耳、それに経験とノウハウに頼ることが多く、お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、鋼管に条件を設け伝播速度を測定し、漏水探査に関する基礎的な実験を行う。

## 2. 実験目的

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  $S[m/s]$ 、ヤング率を  $E[10^{10}kgf/m^2]$ (20.10 ~ 21.60)、密度を  $[10^3kgfs^2/m^4]$ (7.85)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。

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

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

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の周波数成分の比較。

本研究は、最終的には漏水探査を目的として行っている。

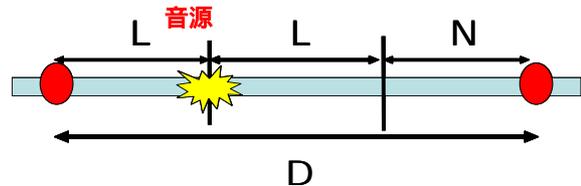
## 3. 実験方法及び解析方法

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、それぞれの加速度センサーで振動を感知し、チャージアンプ、A/D 変換器を通し 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 100 kHz (50  $\mu$ 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。

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。



測定された遅れ時間(Td)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。

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

$$N = S \times Td$$

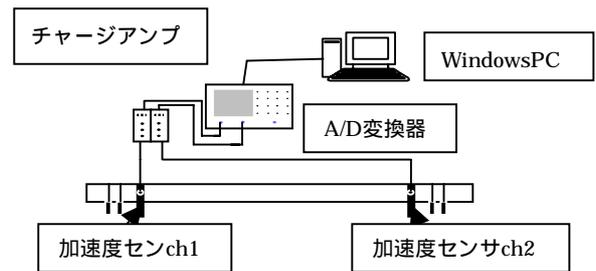


Fig.1 実験装置図

## 4-1. 満水状態と水なしの伝播速度

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.2 に鋼管(水なし Ch.1 から 2m)の波形を示す。

鋼管水あり、水なし 2つの伝播速度の各打撃位置を平均すると、水ありでは 5144.25(m/s)、水なしでは 5080.25(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。

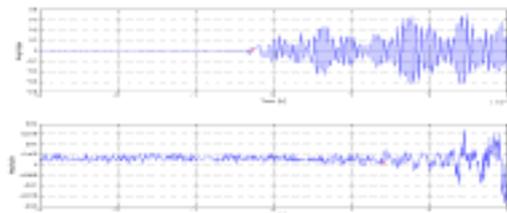


Fig.2 鋼管(水なし Ch.1 から 2m)の波形

N=6 (m), Td=-1.19(ms), 伝播速度 S=5042.02 (m/s)

**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)	5080.25	5060 ~ 5256
鋼管(満水)	5144.25	5060 ~ 5256
平均	5112.25	5060 ~ 5256

**4-2. 伝播速度測定誤差について**

伝播速度の測定を行っているなか、理論値よりも2000m/s以上誤差が生じることがあった。原因として、Nの値によって精度に違いが見られた。

**Table2 Nの値による伝播速度の比較**

N(m)	伝播速度		理論値
	(0-4m)	(6-10m)	
2	5249.344	4576.659	5060 ~ 5256
4	5188.067	4895.961	
6	5029.338	4930.156	
8	5072.923	4770.423	
10	5047.956	4854.369	

**結言**

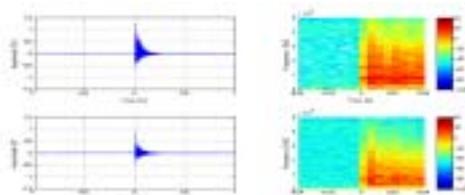
1. 満水状態と水なしで伝播速度に違いが見られなかった。これは波形の立ち上がりを見て、遅れ時間を検出しているため水の影響がなかったと考えられる。
2. Nの値が小さいと遅れ時間が非常に小さくなるので誤差が生じやすいことが分かった。正しい伝播速度を求めるにはNの値を4m以上にするのが望ましい。

**5. 周波数解析**

周波数成分の比較では、打撃位置から5mの位置に加速度センサーを取り付けた。(鋼管の上部にCh.1、下部にCh.2)

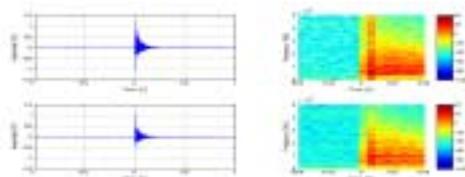
周波数による観測では、波形の立ち上がりで大きな違いが見られた。

**Fig.4 水なしの波形と周波数成分**



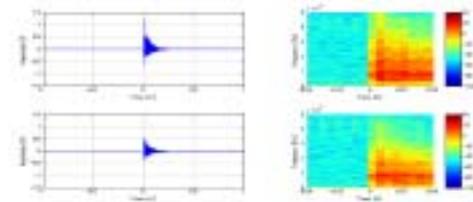
水なしの状態では30~50kHzが長い時間続いた。

**Fig.3 満水の場合の波形と周波数成分**



満水では30~50kHzが0.04sでなくなっている。

**Fig.5 水半分の波形と周波数成分**



ch1:水なし、ch2:水と鋼管が接している状態

**結言**

3. 水が鋼管に与える影響として、30~50kHzの高い周波数を減衰させることがわかった。
4. 水位を半分満たした状態では、鋼管の上部(ch1)では水なしの状態、下部(ch2)では満水の状態に近い結果が得られた。

**5. おわりに**

1. 満水状態と水なしで伝播速度に違いが見られなかった。これは波形の立ち上がりを見て、遅れ時間を検出しているため水の影響がなかったと考えられる。
2. Nの値が小さいと遅れ時間が非常に小さくなるので誤差が生じやすいことが分かった。正しい伝播速度を求めるにはNの値を4m以上にするのが望ましい。
3. 水が鋼管に与える影響として、30~50kHzの高い周波数を減衰させることがわかった。
4. 水位を半分満たした状態では、鋼管の上部(ch1)では水なしの状態、下部(ch2)では満水の状態に近い結果が得られた。

今回の実験により、去年のデータに引き継ぎ伝播速度の実験値を精度よく算出する事ができた。また、周波数解析によって鋼管の状態をある程度予想することができる。鋼管の様々な状態について実験を進めることができ、最終目的である漏水探査にいつそう近づくことができた。今後は実験回数を増やすことで、波形を安定させ立ち上がりをわかりやすくし、手動でも更に精度のよい伝播速度を求めることが課題である。

**6. 参考文献**

早坂 寿雄：『音響工学入門』  
 八木 純一：『土木技術者のための振動便覧』  
 西山 静男：『音響振動学』  
 国立天文台：『理科年表』  
 上野 嶺太：『漏水探査における鋼管の伝播速度の基本的検討』(2008年度卒業論文)