

水撃作用を利用した漏水波の非破壊・非接触検出 Non-Destructive and Non-Contact Detection of Water Leakage Waves using a Water Hammer Phenomenon

○木津和樹*, 萩原大生**, 北野原朋宏***, 本間順***, 鈴木哲也****

○Kazuki KITSU*, Taiki HAGIWARA**, Tomohiro KITANO HARA***, Jun HONMA***

and Tetsuya SUZUKI****

1. はじめに

パイプラインは、合理的な水配分が可能であるといった利点から、幅広い分野で利用されている。近年パイプライン事故は増加傾向にあり、定量的な診断法の開発が喫緊の課題である。筆者らは、3次元画像解析を用いて実構造物における水撃圧発生時の管材変形の同定を検討している¹⁾。本研究では、画像解析によって水撃圧発生下における漏水の有無を非破壊・非接触で検出することを目的とする。

2. 実験・解析方法

モデルパイプライン実験にて、漏水現象の検出を試みた。対象のパイプラインについて、全長は約 65 m、放流口と自由水面までの高低差は約 7.74 m である。使用したパイプラインは、外半径 57 mm、管厚 6.6 mm の VP 管である。放流口から約 0.6 m 地点にボールバルブが設置されており、実験ではバルブを開閉することで圧力波を発生させた。実験を開始するにあたって、ボールバルブより 3.60 m 上流に縦 80 mm、横 55 mm の画像解析面を作成した。解析用の画像は、撮影間隔を 20 Hz に設定した CCD カメラで撮影した (Fig. 1)。撮影されたステレオ画像に対し、デジタル画像相関法による 3次元画像解析を行った。画像解析における評価パラメータは周方向変位である。



Fig. 1 画像撮影の様子
A setup for digital image acquisition.

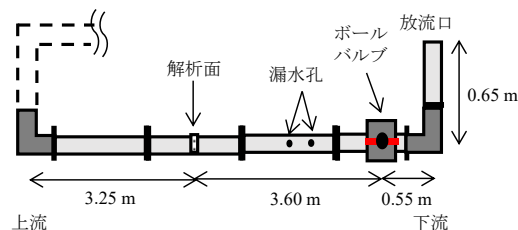


Fig. 2 直線部の模式図
A schematic depiction of a straight part of a pipeline.

3. 水撃圧の周期および管体の固有振動

発生した水撃圧は、一定の周期性をもってパイプラインを往復する。水撃圧の周期は式(1)によって求めることができる。

$$T = \frac{4L}{a}, \quad (1)$$

ここで、 T : 水撃圧の周期 (s), L : 反射端までの距離 (m), a : 圧力伝播速度 (m/s) である。計算の結果、本パイプラインにおける水撃圧の周期は 1.70 Hz と算出された。

管体には特に顕著な振動が見られる周波数

*新潟県農地部 (旧新潟大学農学部) Niigata Prefectural Ministry of Agriculture

**新潟大学大学院自然科学研究科 Graduate School of Science and Technology, Niigata University

***大林道路株式会社 Obayashi Road Corporation

****新潟大学自然科学系 (農学部) Faculty of Agriculture, Niigata University

キーワード: パイプライン, 漏水現象, 非破壊検査, 画像解析, 水撃圧

帯が存在しており、固有振動と呼ばれる。本検討では、固有振動に着目した解析を行った。管体をはりと仮定した場合、 n 次の固有円振動数は式 (2) で求めることができる²⁾。

$$\omega_n = (n\pi)^2 \sqrt{\frac{EI}{\rho NL^4}}, \quad (2)$$

ここで、 ω_n : n 次の固有円振動数 (Hz), E : 縦弾性係数 (N/mm²), I : 断面二次モーメント (mm⁴), ρ : 単位体積重量 (kg/mm³), N : はりの断面積 (mm²), L : 区間長 (mm) である。 n 次の固有振動数 f_n は式 (3) で算出される。

$$f_n = \frac{\omega_n}{2\pi}. \quad (3)$$

画像解析面を含む直線部 (Fig. 2) をはりと仮定して計算した結果、1次および2次の固有振動はそれぞれ 1.67 Hz, 6.67 Hz と算出された。

4. 結果および考察

Fig. 3 に、水圧および周方向変位の周波数解析結果を示す。対象区間はバルブ閉塞 5 秒前から 25.6 秒間である。グラフ内の青線は 1.70 Hz を示し、水撃圧の周期で卓越した成分が確認された。赤線はそれぞれ 1.67 Hz および 6.67 Hz を示しており、管体の固有振動付近で周波数成分が強く検出された。Fig. 4 に示したスカログラムでも、水撃圧及び固有振動付近の周波数帯で卓越した成分が検出された。また、いずれにおいても漏水の有無で比較した場合、漏水有りのケースの方が方が漏水無しのケースよりも減衰過程の時間が短いことが確認された。

5. おわりに

本研究では、管体の周方向変位に着目して漏水の検出を試みた。その結果、水撃圧発生に伴い固有振動付近で卓越した成分が検出されること、漏水の有無による減衰の傾向が水撃圧と固有振動で一致していることが確認された。このことから、管体振動に着目することで、漏水現象を非接触で検出できる可

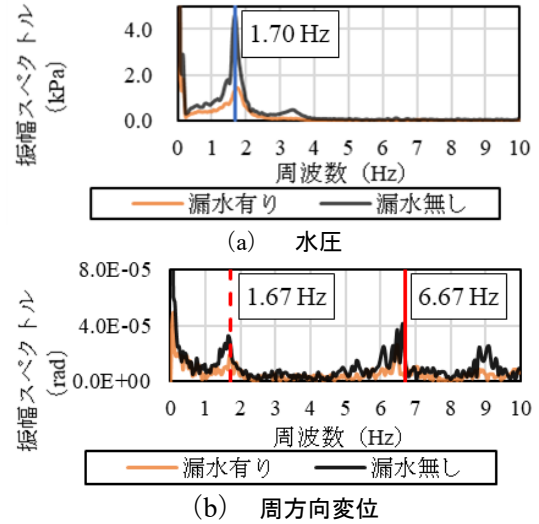


Fig. 3 周波数解析結果

Results of frequency analysis.

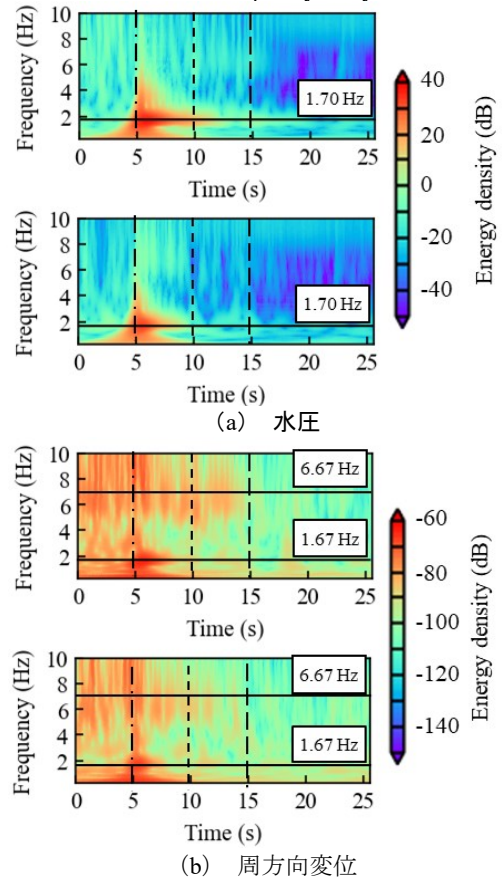


Fig. 4 周方向変位の時間周波数解析

(上: 漏水無し, 下: 漏水有り)

Scalograms of circumferential displacements.

能性が示唆された。

引用文献

- 1) 木津 和樹 (2022) : デジタル画像相関法を用いたポンプ On-Off 制御による管材変形の非破壊同定, 第 71 回農業農村工学会講演会要旨.
- 2) 国井 隆弘 (1995) : よくわかる構造振動学入門, 工学出版株式会社, pp. 60-70.