

連続ウェーブレット変換による送配水パイプラインのエネルギー損失の非破壊検出 Non-Destructive Detection of Energy Loss in Pipeline using Continuous Wavelet Transformation

○高橋悠斗*, 大島圭一郎**, 坪田到馬***, 萩原大生****, 鈴木哲也*****

○Yuto TAKAHASHI*, Keiichiro OSHIMA**, Toma TSUBOTA***, Taiki HAGIWARA****

and Tetsuya SUZUKI*****

1. はじめに

農業灌漑に用いられる送配水パイプラインでは耐用年数の超過に伴い、漏水の発生件数が増加傾向にある。送配水パイプラインの大部分は埋設されているため、漏水の発生を直ちに検出することは困難である。漏水の規模が小さい段階で漏水箇所を特定する方法の開発が急務となっている。筆者らの既往研究^{1,2)}では、既設パイプラインにおいて、バルブの急閉塞により発生させた水撃圧に伴う管材変形をデジタル画像相関法（以下、DIC法と記す）を用いて非接触検出し、漏水による水撃圧の減衰を評価している。本研究では、モデルパイプラインを対象に、漏水によるパイプライン内のエネルギー損失の非破壊検出を試みた。

2. 実験および解析方法

実験を行ったモデルパイプラインは、内径 100.8 mm、管厚 6.6 mm、管長 2.0 m の硬質塩化ビニル管をボルトでつなぎ合わせることで構築した。全長が約 65 m、高低差が約 7.8 m であり、上流端が自由水面を持つ水槽、下流端がボールバルブで構成されている。実験では、下流端のバルブを開放することで通水を開始し、上流水槽の水位が 1.0 m 低下した際にバルブを急閉塞し、管内に水撃圧を発生させた。水撃圧による管内の圧力変動を小型圧力センサを用いて計測した。水撃圧に伴う管材変形を DIC 法により計測した。DIC 法は、管表面に塗布したまだら模様を撮影し、画像解析により追跡することで対象物の変形を計測する手法である。水圧計測はバルブから約 0.4 m、DIC 法はバルブから約 1.5 m 上流で実施した。実験は漏水なし（Case 1）とバルブから約 22.6 m 地点で漏水あり

（Case 2）の 2 ケースに設定した。漏水により管内にエネルギー損失が発生することをもとに、水撃圧に伴う管材変形を管外面から計測することで、漏水由来のエネルギー損失の非接触検出を試みた。

パイプラインを両端自由の薄肉円筒と仮定し、水圧変動に伴う管材変形の理論値を次式より算出した。

$$\varepsilon_{\theta} = \frac{1}{E_p} \frac{Rp}{e}, \quad (1)$$

ここで、 ε_{θ} ：周方向ひずみ、 E_p ：縦弾性係数（Pa）、 R ：内半径（m）、 p ：内水圧（Pa）、 e ：管厚（m）である。式（1）より得られた周方向ひずみの理論値および DIC 法により計測された周方向ひずみの実測値を時間-周波数領域において解析するため、連続ウェーブレット変換を行った。ウェーブレット関数に Gabor ウェーブレットを用いた。

3. 結果および考察

周方向ひずみの理論値および実測値の時系列結果を Fig. 1 に示す。水撃圧による水圧変動に伴う周方向ひずみ変動が、理論値と同様に発生していることが確認された。理論値と比較して実測値では、光条件の変化に由来すると考えられる細かい変動が確認された。周方向ひずみの理論値のウェーブレット変換結果を Fig. 2 に示す。水撃圧の伝播速度から算出された周波数（1.80 Hz）付近および 2.0 m のはりの固有振動数（0.72 Hz）付近において、ウェーブレット係数が比較的高い値となっていることが確認された。漏水の有無で比較すると、水撃圧の周波数付近のウェーブレット係数の比較的高い部分の継続時間が、漏水により短くなっていることが確認された。周方向ひずみの実測

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

**新潟大学農学部 Faculty of Agriculture, Niigata University

***大林道路株式会社 Obayashi Road Corporation

****山口大学大学院創成科学研究科 Graduate School of Sciences and Technology for Innovation, Yamaguchi University

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

キーワード 周方向ひずみ、デジタル画像相関法、水撃圧、漏水、非接触検出

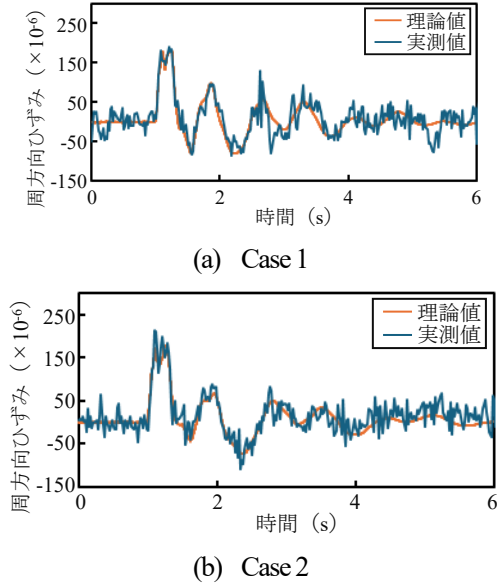


Fig. 1 周方向ひずみの理論値および実測値の時系列グラフ

Time-series of theoretical and measured hoop strain.

値のウェーブレット変換結果を Fig. 3 に示す. 理論値のウェーブレット変換結果と同様に, 水撃圧の伝播速度から算出された周波数と 2.0 m のはりの固有振動数付近においてウェーブレット係数が高い値となっていることが確認された. 漏水の有無で比較すると, 漏水によりウェーブレット係数の比較的高い部分の継続時間が短くなっていることが確認された. 以上より, 連続ウェーブレット変換を用いて漏水による管内のエネルギー損失を非破壊で検出できる可能性が示唆された.

4. おわりに

本研究では, モデルパイプラインにおいて水撃圧に伴う管材変形をDIC法を用いて計測・解析した. 水撃圧に伴う周方向ひずみが非接触で検出できていることが確認された. 連続ウェーブレット変換結果より, 理論値および実測値の周方向ひずみにおいて漏水による水撃圧の減衰が確認された. このことから, 連続ウェーブレット変換を用いて漏水による管内のエネルギー損失を非破壊検出できる可能性が示唆された.

参考文献

- 1) Tsubota, T., Hagiwara, T., Asada, Y. and Suzuki, T. (2024) : Non-contact detection of water leakage in service pipeline by digital image correlation method with damping coefficients, *Advanced Experiment Mechanics*, **9**, 105-110.
- 2) Hagiwara, T., Asada, Y., Tsubota, T., Kurusawa, K.

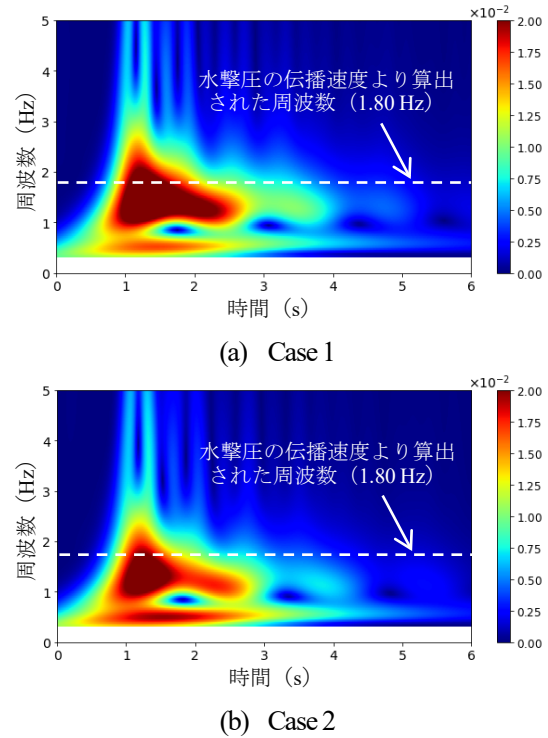


Fig. 2 周方向ひずみの理論値のウェーブレット変換結果

Wavelet transform results of theoretical hoop strain.

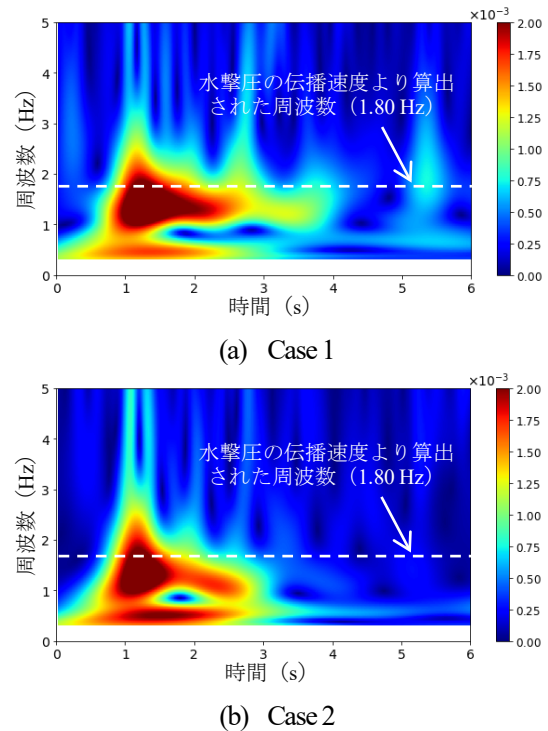


Fig. 3 周方向ひずみの実測値のウェーブレット変換結果

Wavelet transform results of measured hoop strain.

and Suzuki, T. (2025) : Non-contact detection of leak-derived energy loss for an in-service pipeline system using digital image correlation, *Nondestructive Testing and Evaluation*, 1-22.