

## 対数減衰率を用いた実構造物パイプラインにおけるエネルギー損失の検出 Detection of Energy Loss in Service Pipeline by Logarithmic Decrement

○坪田到馬\*, 高橋悠斗\*\*, 萩原大生\*\*\*, 鈴木哲也\*\*\*\*

○Toma TSUBOTA\*, Yuto TAKAHASHI\*\*, Taiki HAGIWARA\*\*\* and Tetsuya SUZUKI\*\*\*\*

### 1. はじめに

近年、実構造物パイプラインは標準的な耐用年数を経過した施設割合が増加傾向にあり、漏水および管体破損が懸念される。既往研究<sup>1)</sup>では、実構造物パイプラインの維持管理の方法として、画像解析による水撃圧現象の非破壊検出法が提案されている。本研究では、水撃圧に伴う管材変形に着目し、漏水による管内のエネルギー損失を検出することを試みた。

### 2. 実験方法および解析方法

管路延長が約 18 km、管種が鋼管およびダクタイル鋳鉄管で構成された実構造物パイプラインを対象とした。バルブから約 7 km 地点にある管体を計測地点とした。計測ではバルブを開放することで通水を開始し、流量が安定したところでバルブを閉塞して管内に水撃圧を発生させた。計測方法はデジタル画像相関法（以下、DIC 法とする）を用いた。管体表面に画像解析面を作成し、2 台の CCD カメラで画像解析面の撮影を行った。DIC 法はバルブ閉塞 1 分前から 21 分間実施した。実験ケースは漏水なし（Case A）、バルブから 0.07 km 地点での漏水（Case B）およびバルブから 11.60 km 地点での漏水（Case C）の計 3 ケースを実施した。漏水は、排泥工を開放することで再現した。DIC 法により水撃圧に伴う管材変形の検出を試みた。

解析的検討では、管体表面の周方向ひずみに着目して、漏水の有無における比較を試み

た。周方向ひずみの時系列グラフより、周方向ひずみ変動の 1 周期目および 6 周期目における振幅値を用いて対数減衰率を求めた。対数減衰率は式 (1) より求めることができる。

$$\delta = \frac{1}{m} \cdot \ln \frac{a_n}{a_{n+m}}, \quad (1)$$

ここで、 $a_n$  は振幅値、 $n, m$  は振幅の数、 $\delta$  は対数減衰率である。

### 3. 結果および考察

水圧および周方向ひずみの時系列グラフを Fig. 1 に示す。グラフ内の黒線は周方向ひずみの実測値に対してローパスフィルタ（以下、LPF とする）をかけたものである。周方向ひずみの実測値と比較して、LPF をかけた周方向ひずみでは、水圧変動との周期性の一致が確認された。漏水なしのケース（Case A）と比較して、漏水ありのケース（Case B および Case C）は周方向ひずみ変動が早く収まることが確認された。時間と周方向ひずみの振幅値の関係を Fig. 2 に示す。近似曲線の傾きについて、Case A では  $1.8 \times 10^{-8}$ 、Case B では  $8.6 \times 10^{-8}$ 、Case C では  $7.5 \times 10^{-8}$  と算出された。漏水の有無において、漏水ありのケースでは、漏水なしのケースよりも時間経過に伴う周方向ひずみの振幅の減衰が大きいことが確認された。周方向ひずみの振幅値における

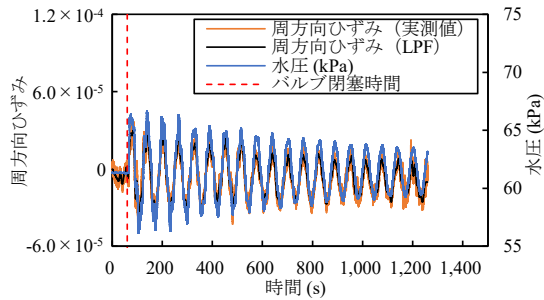
\*新潟大学大学院自然科学研究科 Graduate School of Science and Technology, Niigata University

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

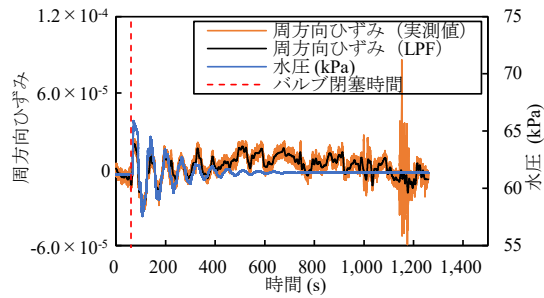
\*\*\*寒地土木研究所（元新潟大学大学院自然科学研究科） Civil Engineering Research Institute for Cold Region (Graduate School of Science and Technology, Niigata University)

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

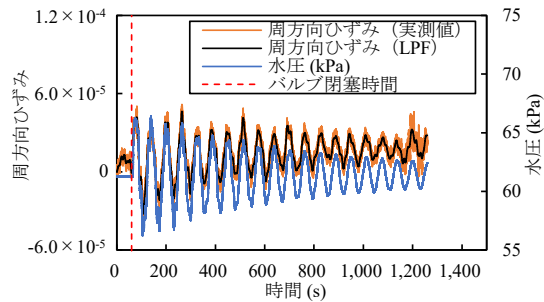
キーワード：パイプライン、水撃圧、デジタル画像相関法、周方向ひずみ、対数減衰率



(a) Case A: 漏水なし



(b) Case B: バルブから 0.07 km 地点で漏水あり



(c) Case C: バルブから 11.60 km 地点で漏水あり

Fig. 1 水圧および周方向ひずみの時系列グラフ

Time-series of water pressure and circumferential strain.

Tukey 法の結果を Table 1 に示す. 統計的には, 有意水準 5%において, 漏水ありのケース同士では有意差が確認されなかったが, 漏水ありと漏水なしのケースの比較では有意差が確認された. 周方向ひずみの対数減衰率を Table 2 に示す. 対数減衰率について, 漏水なしのケースよりも漏水ありのケースのほうが大きいことが確認された. これは管内におけるエネルギー保存則を仮定したとき, 漏水による圧力損失に伴い, 管内でエネルギー損失が発生したことが要因と考えられる. 類似の結果は浅田らも報告している.

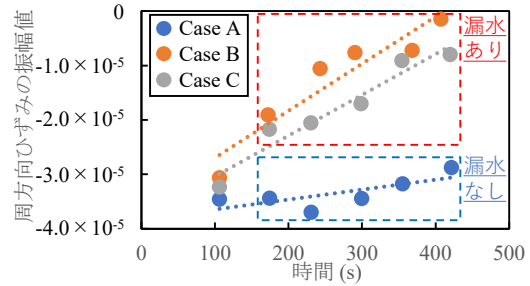


Fig. 2 時間と周方向ひずみの振幅値の関係

The relation of time and the amplitude of circumferential strain.

Table 1 周方向ひずみの振幅値における Tukey 法の結果  
The results of Tukey's test in the amplitude of circumferential strain.

1 組	2 組	p値	有意差 (有意水準5%)
Case A	Case B	0.0014	有意差がある
Case A	Case C	0.0134	有意差がある
Case B	Case C	0.5094	有意差がない

Table 2 周方向ひずみの対数減衰率  
Logarithmic decrement of circumferential strain.

	Case A	Case B	Case C
対数減衰率	0.0164	0.5072	0.1639

#### 4. おわりに

本研究では, 実構造物パイプラインを対象として, DIC 法より水撃圧に伴う管材変形の検出を試みた. 周方向ひずみの振幅値および対数減衰率の結果から, 漏水ありのケースについて, 漏水なしのケースよりも時間経過に伴う周方向ひずみの振幅の減衰が大きいことが確認された. 以上より, 対数減衰率を用いて, 管内におけるエネルギー損失を検出できることが示唆された.

#### 引用文献

- 鈴木哲也 (2014): 送水パイプラインの事故後復旧過程の非破壊安全性診断に関する研究, 土木学会論文集 F6 (安全問題), 70(2), pp. I\_143-I\_148.
- 浅田洋平, 木村匡臣, 安瀬地一作, 飯田俊彰, 久保成隆 (2018): 漏水中の管路における水撃圧波形を利用した漏水位置と漏水量の推定, 土木学会論文集 B1 (水工学), 74(4), I\_613-I\_618.