

(1) 概要

本報告書は、一般社団法人 北陸地域づくり協会・令和7年度研究助成事業に係わる研究成果をとりまとめたものである。

1-1. 申請課題名

助成番号 2025 技術 05

助成事業名 地震により被災した上水道施設の早期復旧・復興に資する非破壊検査法の開発

1-2. 申請者

新潟大学自然科学系（農学部） 教授 鈴木哲也

1-3. 研究期間

調査研究の期間は令和7年4月1日～令和8年3月31日の1年間である。

1-4. 研究目的

本課題では、地震被災後の上水道施設の迅速復旧に資する非破壊検査法を開発する。具体的には、漏水現象を対象に既往技術では数 m 程度の検出範囲を人工的に発生させた圧力波を用いて検出範囲の拡張（1～2 km程度）と非破壊検査精度の向上を3次元画像解析により実現し、新たな安全性評価技術を構築する。

1-5. 研究成果

(1) 論文

- 1) Yuto Takahashi, Taiki Hagiwara, Toma Tsubota, Tetsuya Suzuki, Tomohiro Kitanohara and Jun Honma: Non-Contact Detection of Water Hammer Pressure Damping in Model Pipeline with Leakage using Digital Image Correlation and Continuous Wavelet Transform, ASCE (掲載許可), 2026.
- 2) Toma Tsubota, Taiki Hagiwara, Yuto Tahakashi, and Tetsuya Suzuki: Detection of Pipe Strain Field induced by Water Hammer Conditions in Service Pipeline System, Water Supply, <https://doi.org/10.2166/ws.2025.100>, 2025.

(2) 口頭発表

- 1) 萩原大生, 浅田洋平, 鈴木哲也: 農業用パイプラインシステムのデジタルツイン実装に資する非破壊・非接触漏水検出法の開発, 令和7年度農業農村工学会講演会講演要旨集, 2025.
- 2) 北野原朋宏, 本間順, 坪田到馬, 高橋悠斗, 萩原大生, 鈴木哲也: 漏水に伴うパイプラインの周方向ひずみの変化とその周波数特性の検出, 令和7年度土木学会全国大会 第80回 年次学術講演会, 2025.
- 3) 坪田到馬, 北野原朋宏, 本間順, 高橋悠斗, 萩原大生, 鈴木哲也: 水撃圧の液柱共鳴指標による既設パイプラインの非破壊漏水同定, 令和7年度土木学会全国大会 第80回 年次学術講演会, 2025.
- 4) 高橋悠斗, 坪田到馬, 北野原朋宏, 本間順, 萩原大生, 鈴木哲也: ポンプ運転停止による水撃圧を援用した既設パイプラインの非破壊漏水検出, 令和7年度土木学会全国大会 第80回 年次学術講演会, 2025.
- 5) 萩原大生, 高橋悠斗, 鈴木哲也: パイプライン内の圧力波起源の管変形に着目した漏水の非破壊評価, 令和7年度応用水理研究部会講演会要旨集, pp.19-21, 2025.

(3) 研究成果概要

2-1. はじめに

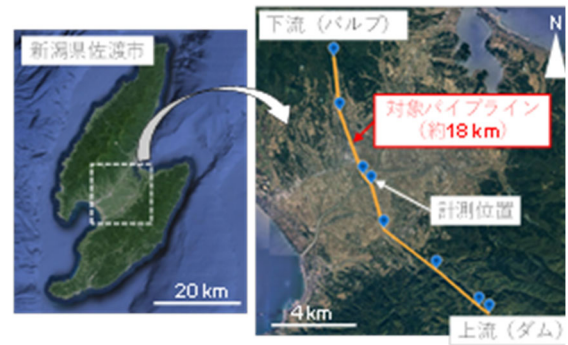
本事業では、地震被災後の上水道施設の迅速復旧に資する非破壊検査法を開発することを目的に圧力波（水撃圧）を利用した新たな検査法を提案する。事業期間である令和7年度には（1）構築した理論のモデルパイプラインでの検証，（2）鋼管パイプラインでの実証的検討（新潟県佐渡市）とその評価を試みた。本報では，（2）の鋼管パイプラインでの実証的検討を中心に報告する。

2-2. 計測対象と方法

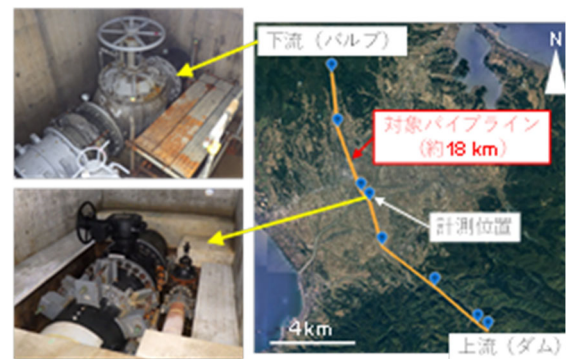
計測は新潟県佐渡市で供用されている既設パイプラインを対象とした。管路延長が約 18 km，管径φ1,000mmである。管種は鋼管およびダクタイル鋳鉄管で構成されている（Fig. 1）。

圧力波を発生させるバルブから約 7 km 地点にある管体を計測地点とした。実験的検討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圧力波を発生させた。計測方法はデジタル画像相関法（以下，DIC法と記す）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（Fig. 2）。DIC法はバルブ閉塞1分前から21分間実施した。実験ケースは疑似漏水なし（Case A），バルブから0.07 km地点での疑似漏水（Case B）およびバルブから11.60 km地点での疑似漏水（Case C）の計3ケースを実施した。疑似漏水は，排泥工を開放することで再現した。DIC法により圧力波の伝搬に伴う管材変形の検出と疑似漏水の発生に伴うエネルギー解放の評価を試みた。

解析的検討では，管体表面の周方向ひずみに着目して，疑似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



(1) 路線図



(2) 計測部詳細図

Fig. 1 計測施設（新潟県佐渡市）

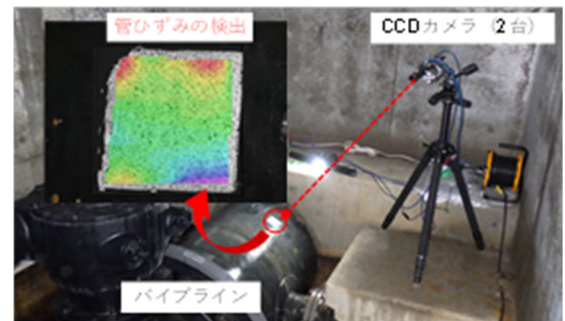


Fig. 2 3次元画像計測状況（マンホール内）

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。

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

Table 1 周方向ひずみの振幅値における Tukey 法の結果

| 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

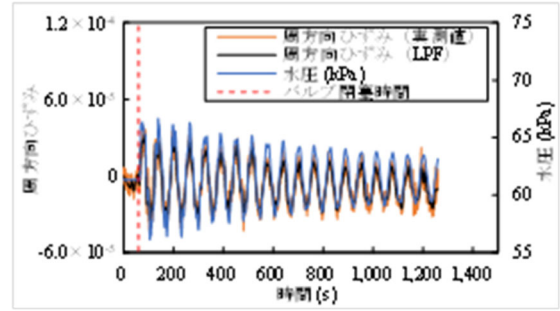
| | Case A | Case B | Case C |
|-------|--------|--------|--------|
| 対数減衰率 | 0.0164 | 0.5072 | 0.1639 |

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

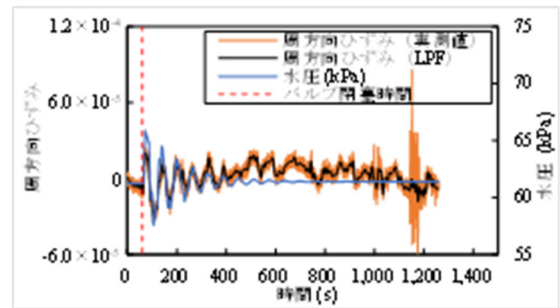
2-3 結果および考察

水圧および周方向ひずみの時系列グラフを Fig. 3 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。

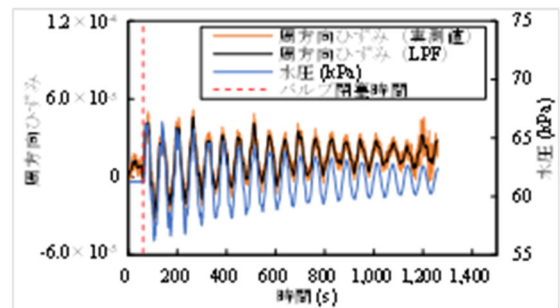
時間と周方向ひずみの振幅値の関係を Fig. 4 に示す。近似曲線の傾きについて、Case A では 1.8×10^{-8} 、Case B では 8.6×10^{-8} 、Case C では 7.5×10^{-8} と算出された。漏水の有無において、漏水ありのケースでは、漏水なしのケースよりも時間経過に伴う周方向ひずみの振幅の減衰が大きいことが確認された。周方向ひずみの振幅値における Tukey 法の結果を Table 1 に示す。統計的には、有意水準 5% において、漏水ありのケース同士では有意差が確認されなかったが、漏水ありと漏水なしのケースの比較では有意差が確認された。周方向ひずみの対数減衰率を 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



(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. 3 水圧および周方向ひずみの時系列グラフ

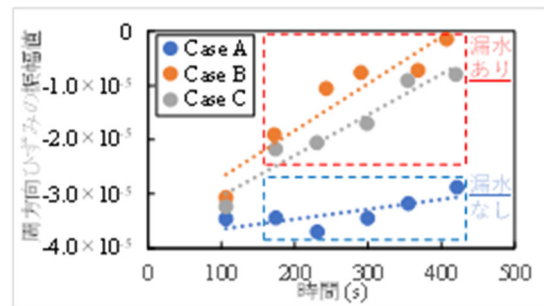


Fig. 4 時間と周方向ひずみの振幅値の関係

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。

2-4. おわりに

本報告書では、研究課題「地震により被災した上水道施設の早期復旧・復興に資する非破壊検査法の開発」として開発した圧力波を用いたパイプラインの非破壊検査法を既設パイプライン（新潟県佐渡市）において適用した事例を中心に報告した。圧力波を用いることで、漏水音や弾性波を用いた既存技術において数 m から 10m 程度の検出範囲が km 単位（本実験では最大 11.6 km）で拡張可能であることが明らかになった。今後、環境ノイズを適切に処理することで精度改善は可能であると推察される。

参考文献

- 1) 鈴木哲也：非定常流況のパイプラインに発生する過渡現象の非接触検出への 3 次元画像解析の応用，日本非破壊検査協会 AE 委員会・社会インフラの維持管理・点検に資する AE 技術とその発展，2024.
- 2) 浅田洋平，大山修蔵，申文浩，鈴木哲也：圧力変動データ同化を利用した漏水 1 点に対応した管内漏水検知法の開発及び検証，土木学会論文集 B1 (水工学), 80 巻 16 号，2024，<https://doi.org/10.2208/jscej.23-16045>
- 3) Toma Tsubota, Taiki Hagiwara, Yohei Asada and Tetsuya Suzuki: Non-Contact Detection of Water Leakage in Service Pipeline by Digital Image Correlation Method with Damping Coefficients, *Advanced Experimental Mechanics*, vol. 9, pp.105-110, 2024, <https://doi.org/10.11395/aem.24-0011>
- 4) Taiki Hagiwara, Yohei Asada, Toma Tsubota, Kanae Kurasawa, Tetsuya Suzuki: Non-contact detection of leak-derived energy loss for an in-service pipeline system using digital image correlation, *Nondestructive Testing and Evaluation*, 2025, <https://doi.org/10.1080/10589759.2024.2446647>
- 5) Tetsuya Suzuki, Masaomi Kimura, Yohei Asada and Taiki Hagiwara: Estimation of Fracture Parameter for Steel Pipeline Material in Pressure Wave Propagation Field by using 3D Image Analysis, *20th World conference in Non-Destructive Testing*, Korea, 27-31 May, 2024.
- 6) Yuto Takahashi, Taiki Hagiwara, Toma Tsubota, Tetsuya Suzuki, Tomohiro Kitanohara and Jun Honma: Non-Contact Detection of Water Hammer Pressure Damping in Model Pipeline with Leakage using Digital Image Correlation and Continuous Wavelet Transform, *ASCE* (掲載許可), 2026.
- 7) Toma Tsubota, Taiki Hagiwara, Yuto Takahashi, and Tetsuya Suzuki: Detection of Pipe Strain Field induced by Water Hammer Conditions in Service Pipeline System, *Water Supply*, <https://doi.org/10.2166/ws.2025.100>, 2025.