

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 Non-destructive Identification of Transformation in Pipe Material under control with Pump by using Digital Image Correlation Method

○木津和樹*, 五十嵐司**, 島本由麻***, 鈴木哲也****

○Kazuki KITSU*, Tsukasa IKARASHI**, Yuma SHIMAMOTO*** and Tetsuya SUZUKI****

1. はじめに

パイプラインは、現代生活の基盤である水を扱う上で重要な構造物である。しかし、損傷における定量的な評価方法は未だ確立されていない。パイプラインの損傷過程における重要な影響要因として水撃圧が挙げられる。既往研究¹⁾には、モデルパイプラインを用いた画像解析による水撃圧現象の非接触検出法の開発がある。本研究では、ポンプ制御下の実構造物パイプラインにおける水撃圧に伴う管材変形を、デジタル画像相関法を用いて解析・検討する。

2. 実験・解析方法

実験対象施設は送水パイプラインで、管の諸条件は、外半径 360 mm、管厚 10 mm の鋼管およびダクタイル鋳鉄管である。実験では、ポンプ操作時の管材変形を画像解析およびひずみゲージ計測にて同定を試みた (Fig. 1)。実験を開始するにあたって、フランジ片落ち管中央部の同心円上に画像解析面とひずみゲージを設置した。解析画像は、撮影間隔を 20 Hz に設定した 2 台の CCD カメラで撮影されたステレオ写真である (Fig. 2)。画像に対し、デジタル画像相関法による 3 次元画像解析を行い、管体表面の変形量を求めた。解析条件は円筒座標系を用いサブセット長 55×55 pixel, ステップサイズ 13 pixel およびフィルターサイズ 31 とした。流量計室内には水圧計が設置され

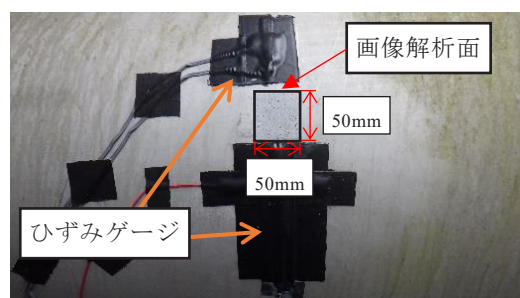


Fig. 1 解析面およびひずみゲージ
Surface for image analysis and strain gauges

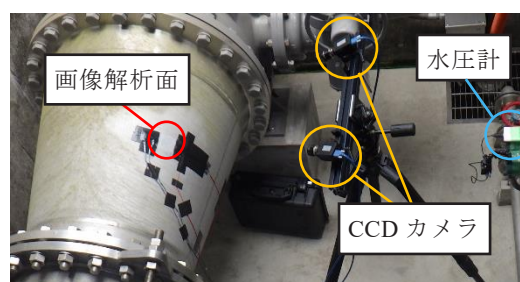


Fig. 2 画像計測の様子
Appearance of image measurement

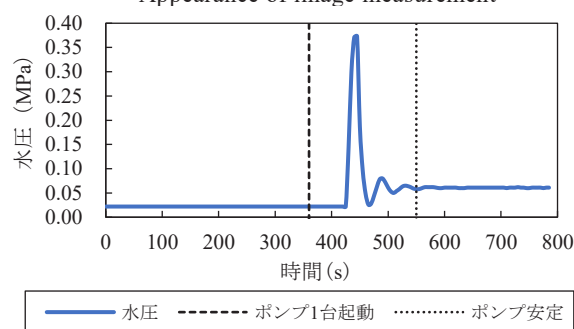


Fig. 3 水圧の時系列変化 (ポンプ起動時)
Time series change of water pressure

ており、管材撮影と並行して計器の撮影を行うことで、水圧の時系列変化を記録した (Fig. 3)。

3. 管体が発生するひずみの理論値²⁾

管体では、管両端の拘束条件や管厚、外

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

**株式会社本間組(旧新潟大学農学部) Honma Corporation

***東京農工大学大学院農学研究院 Institute of Agriculture, Tokyo University of Agriculture and Technology

****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, 非正常流況, 動的载荷過程, 画像解析, 非破壊検査

圧などが要因となり、算出されるひずみも条件によって異なることが知られている³⁾。本研究では、対象パイプラインを両端拘束の厚肉円筒と仮定した。この場合の半径方向変位は式(1)で求められ、周方向ひずみは式(2)で求められる。

$$u = \frac{(1+\nu)}{(b^2-a^2)E} \left\{ (1-2\nu)(a^2p_1 - b^2p_2)r + a^2b^2(p_1 - p_2) \frac{1}{r} \right\} \quad (1)$$

$$\varepsilon_\theta = \frac{2\pi(r+u) - 2\pi r}{2\pi r} = \frac{u}{r} \quad (2)$$

ここで、 u ：半径方向変位 (mm)， ε_θ ：周方向ひずみ， E ：縦弾性係数 (N/mm²)， r ：中心から微小要素までの距離 (mm)， p_1 ：内圧 (MPa)， p_2 ：外圧 (MPa)， a ：内半径 (mm) および b ：外半径 (mm) である。なお、対象はゲージ圧で計測され外圧は 0 MPa とし、両端拘束と仮定した場合、管の軸方向へのひずみは発生しないものとする。

4. 結果および考察

画像解析およびひずみゲージの計測結果と周方向ひずみの理論値を Fig. 4 に示す。画像解析によるデータの抽出点は解析面の中央部とした。Fig. 4 より、周方向ひずみのピーク前後にて計測値と理論値の一致が確認された。Fig. 5 は、Fig. 4 で示した周方向ひずみの画像解析結果を 2 次元画像で表したものである。Fig. 5 (a) はポンプ起動前の画像で、Fig. 5 (b)、Fig. 5 (c) および Fig. 5 (d) はひずみのピーク前後の画像である。画像中央部 (Fig. 5 の白線内) において画像解析による値と理論値の一致が確認された。

5. おわりに

本研究では、ポンプ制御下の実構造物パイプラインにおける管材変形をデジタル画像相関法によって評価した。その結果、ポンプ起動時の周方向ひずみにおいて、画像解析、ひずみゲージ、算出した理論値がいずれも一致することが確認された。このことから、管内部における水理現象を管外から非接触で検出できる可能性が示唆された。

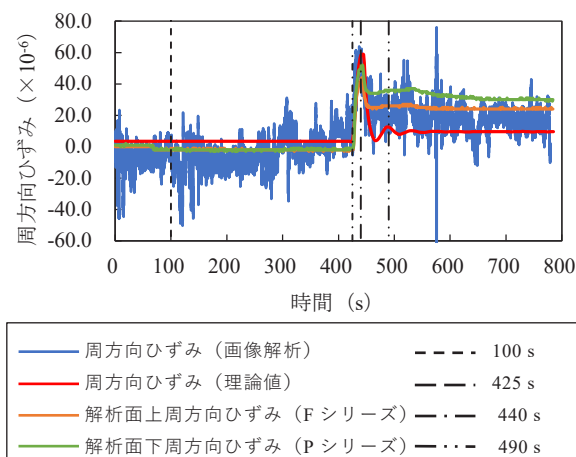


Fig. 4 周方向ひずみの時系列変化
Time series change of circumference strain

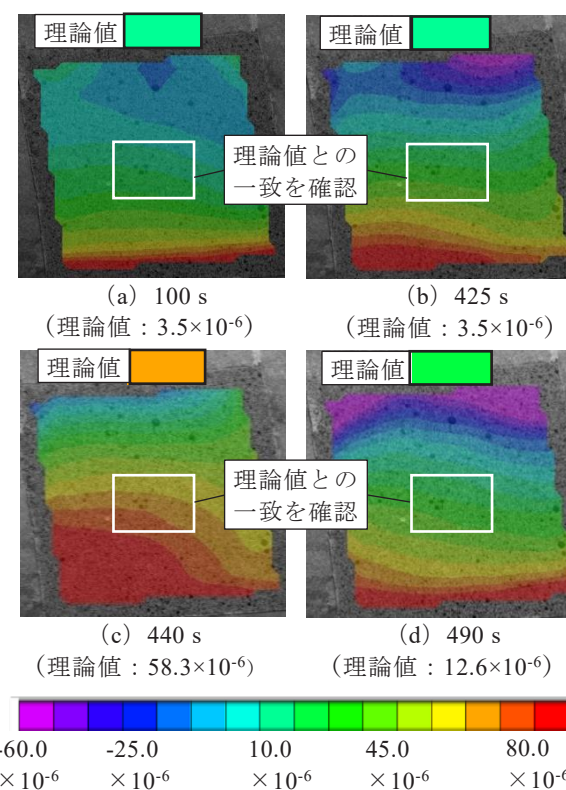


Fig. 5 画像解析結果 (周方向ひずみ)
Result of image analysis (circumference strain)

引用文献

- 1) 鈴木哲也：三次元画像解析によるパイプライン水撃圧現象の非接触検出に関する研究，第 65 回理論応用力学講演会要旨，2019。
- 2) 渋谷寿一，本間寛臣，斉藤憲司：現代材料力学，8. 円筒と中空球の応力と変形，朝倉書店，pp. 151-158，1986。
- 3) Watkins Reydol King and Loren Runar Anderson：Structural mechanics of buried pipes，CHAPTER 19. STRESS ANALYSIS，CRC Press，pp. 239-268，2000