

DICM によるポンプ制御下のパイプラインに発生した変形挙動の非破壊同定

新潟大学 学生会員 ○五十嵐 司 東京農工大学 正会員 島本 由麻
 新潟大学 正会員 鈴木 哲也

1. はじめに

パイプラインは材料と流体の相互作用によって損傷が蓄積する。特に、水撃圧は管体に大きな損傷を与える原因となるが、その定量的な評価法は確立されていない。筆者らは、モデルパイプラインを用いて画像解析による水撃圧現象の非接触検出法を開発している¹⁾。本報では既設送水パイプラインを用いてポンプの On-Off 制御による水撃圧の発生とそれに伴う管材変形を 3 次元画像解析により実証的に検討した結果を報告する。

2. 実験・解析方法

実験対象施設は浄水場施設の送水パイプラインで内径 350 mm, 外径 360 mm, 管種は鋼管とダクタイル鋳鉄管である (Fig. 1)。最大 4 台のポンプによって約 7.8 km 先の配水場に水を圧送している。流量計室内には水圧計が設置されており、施設は 60 秒に一度の間隔で計測を行っている。本実験では水圧のより詳細な時系列変化を記録するため、5 秒に一度の間隔で計器を撮影することにより水圧を記録した。

Fig. 2 および Fig. 3 に施設より提供された水圧と記録した水圧の時系列変化を示す。対象施設にはフライホイールが取り付けられており、ポンプの急停止は防止されている。実験ではポンプ操作時の管体挙動を可視画像とひずみゲージによって計測した。計測ケースはポンプの操作時である停止、起動、稼働台数増加および稼働台数減少の 4 条件と、水圧安定時である 3 台稼働、1 台稼働および稼働無しの 3 条件とし、Case A から Case G と設定した。フランジ片落ち管中央部の同心円上に画像解析面の作成とひずみゲージの取付けを行い、2 台の CCD カメラによるステレオ撮影を行った。ステレオ撮影で得た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解析的に求めた。解析は円筒

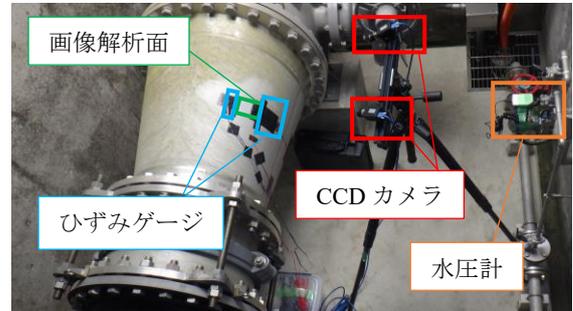


Fig. 1 既設パイプラインにおける計測状況

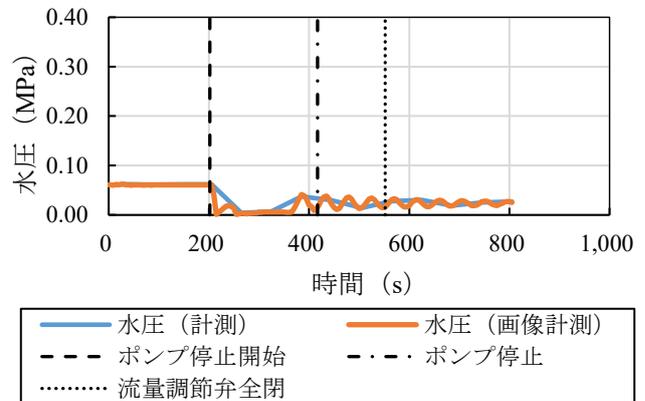


Fig. 2 水圧の時系列変化 (Case C-1: ポンプ停止時)

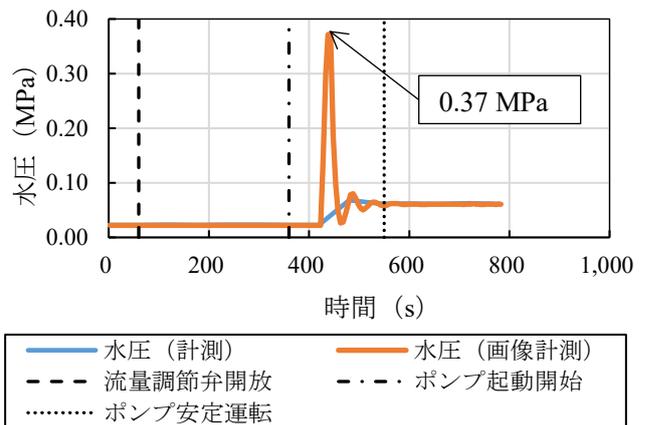


Fig. 3 水圧の時系列変化 (Case E-1: ポンプ起動時)

座標系にて行い、解析条件はサブセット長 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。

3. 結果および考察

パイプラインに内圧が作用した時のひずみを求めた。対象パイプラインを両端拘束の厚肉円筒と仮定し、パイプライン表面の半径方向変位を式 (1) に、周方向ひずみを式 (2) に示す^{2), 3)}。

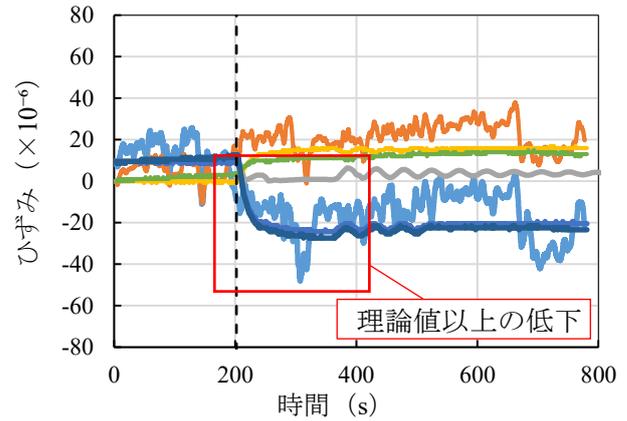
$$u = \frac{(1+\nu)}{(b^2-a^2)E} \{ (1-2\nu)(a^2p_1 - b^2p_2)r + a^2b^2(p_1 - p_2)\frac{1}{r} \} \quad (1)$$

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

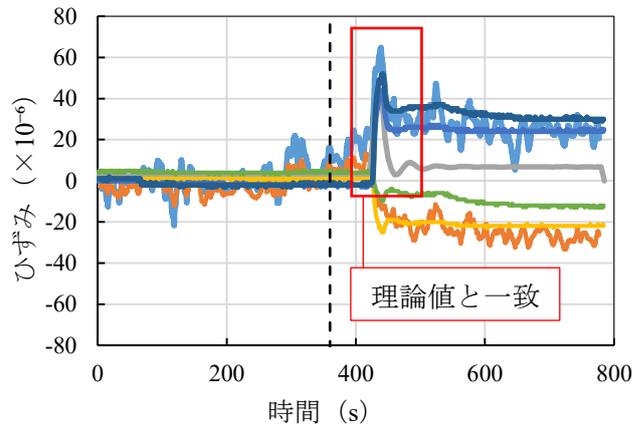
ここで、 u ：半径方向変位 (mm)， ε_θ ：周方向ひずみ， ν ：ポアソン比， E ：弾性係数 (N/mm²)， r ：中心から微小要素までの距離 (mm)， p_1 ：内圧 (MPa)， p_2 ：外圧 (MPa)， a ：内半径 (mm) および b ：外半径 (mm) である。両端拘束の場合、管の軸方向への変形は発生しない。水圧より求めた周方向ひずみ (理論値) とひずみゲージおよび画像解析から得た計測値の時系列変化を Fig. 4 に示す。画像解析結果に管体振動がノイズとして現れたため、水圧のサンプリング間隔である 5 秒の移動平均処理によってノイズ除去を行った⁴⁾。Fig. 4 (a) のひずみゲージおよび画像解析結果と Fig. 4 (b) の画像解析結果のひずみはスタート値を理論値として相対的に評価した。ポンプ停止時、周方向ひずみ (計測値) において理論値以上の大幅な低下が確認された (Fig. 4 (a))。ポンプ起動時の周方向ひずみピーク時において、周方向ひずみの計測値と理論値の一致が確認された (Fig. 4 (b))。軸方向ひずみではひずみゲージおよび画像解析結果において圧縮方向へのひずみ値の増大が確認された。これは管の両端が拘束されているため内圧を受けても軸方向の引張応力が抑制され、周方向の引張によって軸方向が内側に引っ張られることで圧縮として評価されたものと考えられる。

4. おわりに

本研究では三次元画像解析を援用し、ポンプ制御下の実構造物パイプラインにおける管体変形挙動を評価した。その結果、ポンプ起動時の周方向ひずみにおいて、画像解析およびひずみゲージによる計測値と水圧より求めた理論値との一致が確認された。このことから、ポンプの On-Off 制御により発生する水撃圧に代表される管内部の水理現象を管外面より非接触計測にて検出できる可能性が示唆された。



(a) Case C-1：ポンプ停止時



(b) Case E-1：ポンプ起動時

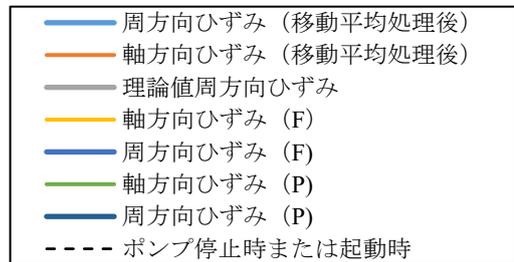


Fig. 4 ひずみの時系列変化

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，斎藤憲治：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) 日本機械学会：材料力学，第 6 章圧力・遠心力などを受ける円板，円筒，および球，日本機械学会，pp. 63-64，2005。
- 4) 石村貞夫，石村友二郎：入門初めての時系列分析，東京図書，pp. 114-121，2012。