

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

Non-Destructive and Non-Contact Leak Detection Method for Supporting Digital Twin
Implementation in Agricultural Pipeline Systems

○萩原大生* 浅田洋平** 鈴木哲也***

○Taiki HAGIWARA*, Yohei ASADA** and Tetsuya SUZUKI***

1. はじめに

水インフラのひとつであるパイプラインの漏水は、道路の陥没や断水を引き起こす恐れがあり、漏水検出を確立することは技術的課題といえる。筆者らは、既設のパイプラインを利用して漏水検出法の検討を重ねている^{1),2)}。本研究では、災害時のモニタリングをはじめ近年のデジタルツインの潮流³⁾への寄与も考えられる、デジタル画像関連(DIC)法を用いた非破壊・非接触による漏水検出法について報告する。

2. 理論

圧力波による管体の変形により、管内の流体と管体にはひずみエネルギーが蓄えられる。パイプラインにおいて水と管の両方に蓄えられるひずみエネルギー U_{total} (N·m) は、水と管のそれぞれに蓄えられるひずみエネルギー U_{water} (N·m) および U_{pipe} (N·m) に分けられ、そのうち U_{pipe} は次のようになる。

$$\begin{aligned} U_{\text{pipe}} &= \frac{1}{2} \cdot \frac{2r}{hE_p} \cdot \frac{L_0}{A_0} \cdot (pA_0)^2 \\ &= \frac{1}{2} \cdot \frac{2r}{hE_p} \cdot (p)^2 \cdot A_0 L_0 \\ &= \frac{1}{2} \cdot \frac{2r}{hE_p} \cdot \left(\frac{h}{r} \sigma_\theta\right)^2 \cdot A_0 L_0 \\ &= \frac{1}{2} \cdot \frac{2h}{r} E_p \cdot (\varepsilon_\theta)^2 \cdot A_0 L_0 \end{aligned} \quad (1)$$

ここで、 E_p は管の弾性係数 (N/m²)、 r は管

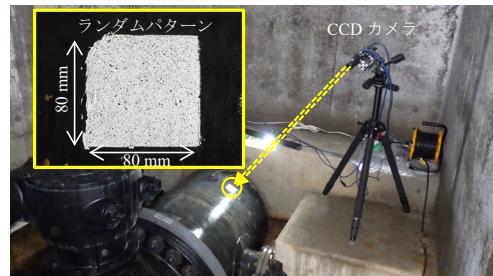


Fig. 1 画像計測の状況

内径 (m), h は管厚 (m), L_0 は管の長さ (m), A_0 は管の水圧 p (N/m²) を受ける断面積 (m²) ε_θ は管体の周方向ひずみ (境界は開放端とする), σ_θ は周方向応力 (N/m²) である。本研究では、周方向ひずみ ε_θ を DIC 法により非破壊・非接触で計測する。

3. 実構造物による実証実験

実証実験では、新潟県佐渡市に位置する既設パイプラインにおいて、バルブに伴う圧力波に起因する管体の周方向ひずみを DIC 法で計測し、水圧変動および周方向ひずみの漏水に起因する減衰を非破壊・非接触で捉えた。模擬漏水は、パイプラインの途中に設置されている排泥弁を開けることで発生させた。DIC の実施状況を Fig. 1 に示す。実験ケースは、模擬漏水がない Case A と最下流のバルブより約 73 m 上流に模擬漏水がある Case B とした。

検討結果として、Fig. 2 に、Case A および Case B のそれぞれの水圧変動の時系列

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

** 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） Institute of Agriculture, Niigata University

キーワード：パイプライン、漏水検出、非破壊・非接触評価

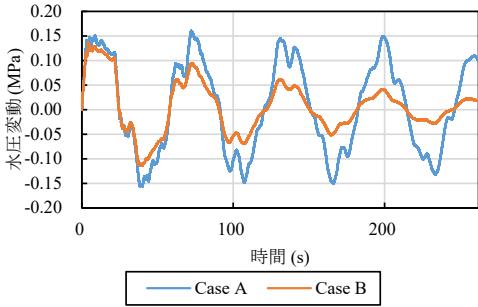


Fig. 2 水圧変動の時系列

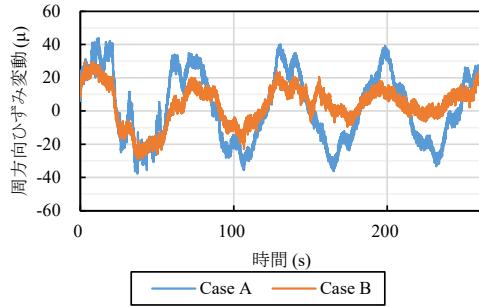
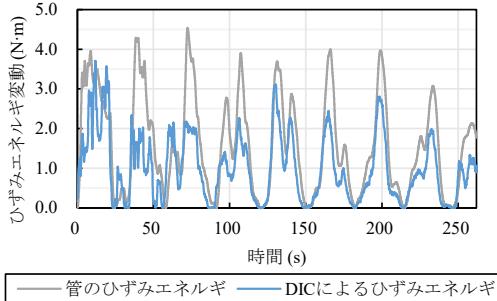
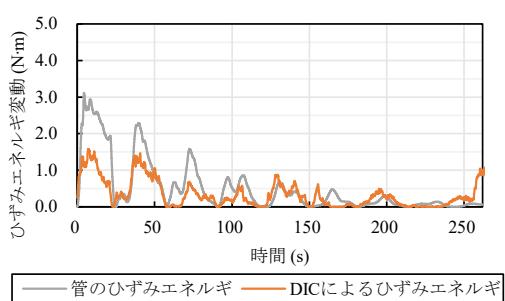


Fig. 3 周方向ひずみの時系列

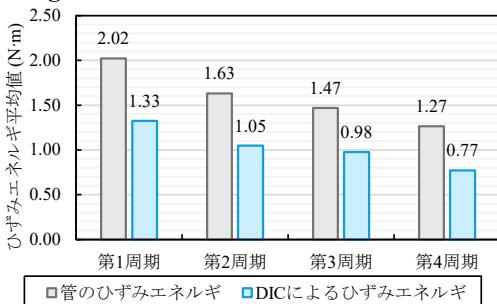


(a) Case A

Fig. 4 水圧変動と DIC による周方向ひずみ変動から求めた管のひずみエネルギー



(b) Case B



(a) Case A

Fig. 5 水圧変動の1周期あたりのひずみエネルギーの平均値による漏水由来の減衰の比較

を示す。模擬漏水のある Case B では、エネルギー損失に伴う水圧変動の減衰が確認された。これに起因して生じる管体の周方向ひずみを Fig. 3 に示す。ひずみエネルギーの場合、外力（水圧）による仕事の観点から求めたひずみエネルギーおよび内力に関する DIC の周方向ひずみから非接触で求めたひずみエネルギーの比較を Fig. 4 に示す。Case B ではその減衰が確認された。Fig. 5 のように、圧力波の1周期におけるひずみエネルギーの平均値を指標として定量的に示すことができる。

4. おわりに

本稿では、圧力波に伴う管体の周方向ひ

ずみを DIC により計測し、ひずみエネルギーの減衰に着目することで、非接触による漏水検出の可能性を提示した。

参考文献

- 1) Hagiwara, T., Asada, Y., Tsubota, T., Kurasawa, K. and Suzuki, T. : Non-contact detection of leak-derived energy loss for an in-service pipeline system using digital image correlation, *Nondestructive Testing and Evaluation*, 2025.
- 2) Asada, Y., Hagiwara, T., Tsubota, T., Suzuki, T., Kurasawa, K., Kimura, M., Azechi, I. and Iida, T.: Field verification of single leak detection method based on transient pressures using optimization technique in in-situ irrigation pipeline system including branch junctions and diameter changes, *Paddy and Water Environment*, 2024.
- 3) Jiang, F., Ma, L., Broyd, T. and Chen, K.: Digital twin and its implementations in the civil engineering sector, *Automation in Construction*, 130, 103838, 2021.