

送水データの深層学習による産業用パイプラインの 漏水予兆検出に関する実証的研究

株式会社日本水工コンサルタント 正会員 ○宮崎康文
新潟大学大学院総合学術研究科 学生会員 池田弘毅
新潟大学大学院自然科学研究科 学生会員 高橋悠斗
新潟大学自然科学系（農学部） 正会員 鈴木哲也

1. はじめに

老朽化した施設の突発事故を防ぎ長寿命化を図るため、施設の状態を定量的に把握する状態監視保全¹⁾の重要性が高まっている。特に事故が増加傾向にあるパイプラインでは、異常の早期認識が不可欠であり、突発事故を防ぐためには事故発生前の微小な漏水を予兆として捉える必要がある。上水道分野では、夜間の流出流量パターンを深層学習により学習し、漏水を検知する手法が提案されている²⁾。本研究では、状態監視保全の実現に資する技術として、パイプラインの漏水事象事例を対象に、日々蓄積される送水データと深層学習手法を用いた、漏水予兆の検出について実証的検討を行った。

2. 対象構造物および解析方法

漏水事故は、2025年9月19日午前3時頃、灌漑期終盤の通常運用中に発生した。漏水箇所は、A幹線用水路の吐出し水槽から1,610.9 m、水頭差47.100 m地点の強化プラスチック複合管（FRPM管、口径900 mm）で、造成から約15年が経過していた（図-1）。事故時の水管理システムの記録では、3時03分に5.00 mから急速な水位低下が開始し、5時00分には水位が0.00 mに低下した。この水位低下時にポンプは稼働していなかった。

解析対象は、事故地点を含むA幹線用水路の吐出し水槽と、対照施設としたB・C幹線用水路のファームポンドの計3施設である。非灌漑期は流出がないため、2021～2025年の

灌漑期の3分間隔の水位・流入流量データを用いた。ポンプ揚水量は0.375 m³/sとした。1時間当たりの流出流量は、流入流量、水位変化量および水槽面積から算出した（図-2）。微小漏水量の抽出には、水利用の影響が小さい時間帯のデータが必要となる。給水栓の利用記録がないため、弁開閉に伴う水撃圧から水利用時間帯を検討した。圧力変動が21時から翌3時の間に検出されなかったため、この時間帯を夜間と定義し解析に用いた。

漏水予兆検出には、正常データから特徴を学習し、逸脱するデータを異常度として出力する深層学習モデル Deep Support Vector Data Description（Deep SVDD）³⁾を適用した。入力データは夜間流出流量の日平均とし、2021～2022年を訓練・検証データ、2023年～事故日前日までをテストデータとした。出力された異常度の評価には、微小な変化を累積し早期に検出する管理図（CUSUM）を適用した。非

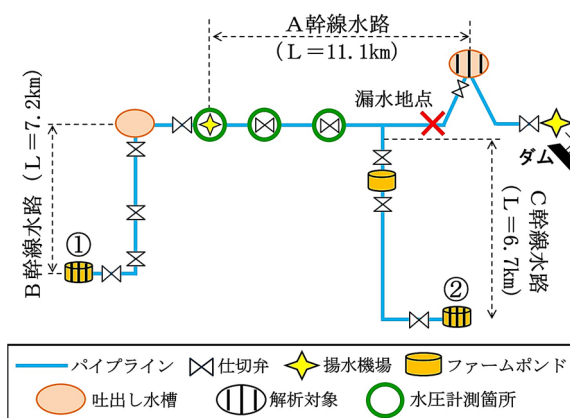


図-1 対象パイプラインシステムの概要図

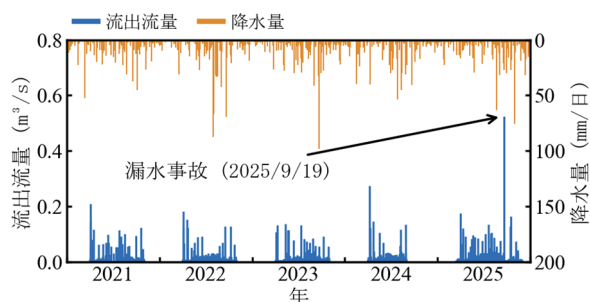


図-2 吐出し水槽の流出流量および当該地域の降水量

灌漑期のデータ欠測による検出遅れを防ぐため Fast Initial Response 法を用い、異常検知のしきい値は訓練データの最大値から設定した。

3. 結果および考察

吐出し水槽の夜間流出流量の時系列データについて統計的な傾向変動を解析した結果、2023 年 5～6 月を境に流出量の水準の有意な上昇が確認された。同期間以降、夜間流出流量は事故まで継続的に増加した。対照施設ではこの増加は確認されず、需要変動ではなく A 幹線用水路の漏水に起因すると考えられる。

Deep SVDD による異常度の時系列データおよび異常発生を検出結果を図-3 に示す。本研究では、異常度の推移に対して管理図 (CUSUM) を適用し、異常の発生を定量的に検出した。CUSUM は時系列データにおける微小な変化を累積して早期に検出する手法であり、非灌漑期のデータ欠測に伴う検出遅れを防ぐため Fast Initial Response 法を導入している。異常検知のしきい値は、正常状態であ

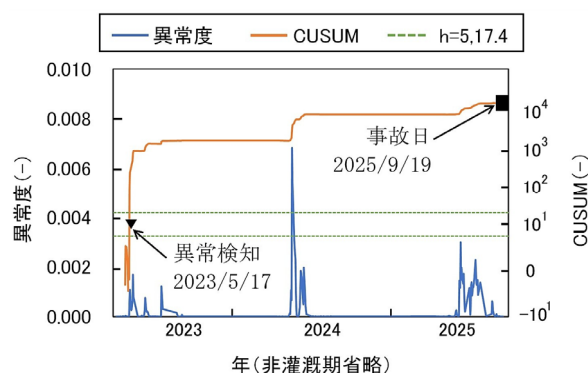


図-3 Deep SVDD による異常度の推移および異常発生を検出

る訓練データ期間の最大値等を基準に設定した。解析の結果、吐出し水槽においては事故発生の約 2 年前となる 2023 年 5 月 17 日に CUSUM がしきい値を超過し、明確な異常度の上昇を検出した。この異常度の上昇時期は、前述した夜間流出流量の増加時期とよく整合しており、本手法が供用中のパイプラインにおける漏水予兆現象を的確に捉えたものであると評価できる。一方、対照施設である B および C 幹線用水路のファームpondでは、異常度は年間を通じて極めて低く推移し、しきい値の超過は一切認められなかった。以上により、対象施設に対する提案手法の実証的な有用性が確認された。

4. おわりに

本報では、産業用パイプラインの漏水事故事例に対し、深層学習を用いた予兆検出を試みた。日常的な送水データから事故前に異常を検出し、事前の予兆把握が可能であることを示した。今後は、誤検出の低減と漏水地点を特定する調査体系の構築が課題である。

謝辞 本研究を実施するにあたり、三重大学みえの未来図共創機構の藤山宗氏、国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構の中田達氏、山口大学大学院創成科学研究科の萩原大生氏、農林水産省東北農政局の佐藤正一氏ならびに岡村裕加氏、および管轄の土地改良区の皆様より多大なるご協力を賜りました。ここに記して深く感謝の意を表します。

引用文献

- 1) 日本産業規格：JIS Z 8115 ディペンダビリティ (信頼性) 用語 (2019)
- 2) Tornyeviadzi, H.M., Mohammed, H. and Seidu, R. : Robust night flow analysis in water distribution networks: A BiLSTM deep autoencoder approach, Advanced Engineering Informatics 58, 102135 (2023), doi : 10.1016/j.aei.2023.102135
- 3) Ruff, L., Vandermeulen, R.A., Görnitz, N., Deecke, L., Siddiqui, S.A., Binder, A., Müller, E. and Kloft, M. : Deep One-Class Classification, Proceedings of the 35th International Conference on Machine Learning, PMLR 80, pp.4393～4402 (2018)