

圧力変動を用いたパイプライン漏水検知法の側方流出による高精度化 Enhancing the Precision of Pipeline Leak Detection Using Transient Pressures via Side Discharge

○武内宏一郎*, 浅田洋平**, 福重雄大***, 石井敦****

○Koichiro Takeuchi, Yohei Asada, Yudai Fukushige, Atsushi Ishii

1. はじめに

日本の農業では送配水のためにパイプラインが多数用いられており、農業に不可欠な施設となっている。しかし、多くのパイプラインは高度経済成長期に整備され、現在老朽化が進んでいる。そのため、漏水・破損事故が多発しており、水資源を最大限活かすことができない。さらに漏水は悪化すると、地上への冠水、周辺地盤の沈下や陥没など生活環境や経済に大きな被害を引き起こす可能性があるが、大半のパイプラインは地中に埋まっているため被害が出る前に漏水検知を行うことは一般的に簡単ではない。したがって、漏水を迅速、簡便、正確に検知することが求められている。浅田ら(2018) [1]は鋼管に対して漏水部からの反射波を用いた漏水検知法を提案し、高い精度で漏水検知が可能であることを模型管路実験によって示したが、現場管路内の圧力変動には管構造由来のノイズが多数含まれており、目視で漏水による圧力変動を検知できない可能性がある。一方で、数値シミュレーションを用いた手法はノイズ下であっても自動的に漏水検知し得る方法であるが、高精度に検知するためには漏水がない場合など既知の流況におけるベースとなる圧力変動によって数値モデルをキャリブレーションする必要がある。しかしながらデータの蓄積が進んでいない現況では、ベースの圧力変動の取得が難しく、本手法の現場への実装の課題となっている。本研究では、通常の圧力変動に加えて、排泥弁などからの側方流出を意図的に発生させた準コントロール下の圧力変動も参照することで、漏水検知精度の向上を可能とする手法を提案し、その有効性を実験的に検証した。

2. 圧力波伝播理論を用いた本手法の妥当性の検証

側方流出を加えたデータによって、漏水検知精度が向上する根拠を圧力波伝播理論により示す。Figure1, 2 にそれぞれ示す漏水のみの管路 1 と漏水と側方流出がある管路 2 を想定した。ただし、漏水部は上流側にあると仮定する。これらの管路では上流端から下流端へ定常に水が流れしており、弁を急閉塞させて水撃作用による圧力変動を発生させる。弁で生じた圧力波(F_1)は下流端と上流端の間を反射して往復する。さらに圧力波が漏水や側方流出などの管内の物理的変化に到達すると、反射波(f_1)と通過波(F_2)が発生する。以下に理論的に求められる反射波と圧力波の関係式(式(1))、通過波と圧力波の関係式(式(2))を示す。

*筑波大学生命環境学群生物資源学類, Faculty of Agro-Biological Resource Sciences, University of Tsukuba **東京農工大学大学院農学研究院, Institute of Agriculture, Tokyo University of Agriculture and Technology ***農研機構農村工学研究部門, Institute for Rural Engineering, NARO ****筑波大学生命環境系, Faculty of Life and Environmental Sciences, University of Tsukuba

キーワード: 管・開水路流れ、水理学的波動

$$f_1 = \frac{-\frac{ca}{2A} \frac{1}{\sqrt{2gh}}}{1 + \frac{ca}{2A} \frac{1}{\sqrt{2gh}}} F_1 = rF_1 \quad (1)$$

$$F_2 = \frac{1}{1 + \frac{ca}{2A} \frac{1}{\sqrt{2gh}}} F_1 = sF_1 \quad (2)$$

ただし、 c は圧力伝播速度 (m/s)、 a は流出孔の面積と流出係数の積 (m^2)、 A は管の断面積 (m^2)、 g は重力加速度 (m/s^2)、 h は流出部の初期圧力水頭 (m) である。(1)、(2)式の係数部分をそれぞれ反射率、通過率として r 、 s とおく。Figure 1, 2 において管路 1、2 における漏水部からの反射波による下流端での圧力変化 ΔH_1 と ΔH_2 について考える。 r_{leak} は漏水部での反射率を、 s_{sd} は側方流出部での通過率を示す。管路 1 では圧力波は漏水部で反射し、そのまま下流端に到達する。管路 2 では圧力波が側方流出部を通過し、漏水部で反射する。そして、もう一度側方流出部を通過して下流端に到達する。以上から ΔH_1 と ΔH_2 はそれぞれ式(3)、(4)で表すことができる。

$$\Delta H_1 = F_1 \times r_{leak} \times f_{e1} \quad (3)$$

$$\Delta H_2 = F_1 \times s_{sd} \times r_{leak} \times s_{sd} \times f_{e2} \quad (4)$$

ただし、 f_{e1} と f_{e2} は摩擦損失効果であり、管の摩擦損失係数から算出される。式(1)、(2)を式(3)、(4)に代入すると、未知数は、管路 1 および管路 2 の漏水孔の面積と流出係数の積 a 、管路 1 および管路 2 の漏水部の初期圧力水頭 h_{L1} 、 h_{L2} (m)、管路 2 の側方流出部の初期圧力水頭 h_{sd2} (m) である。ここで h_{L1} 、 h_{L2} 、 h_{sd2} は定常状態の動水勾配から求めることができ、上流端からの漏水位置 x_L の関数で表される。

$$h_{L1} = H_{down} + f \frac{L - x_L}{D} \frac{Q_{down}^2}{2gA^2} \quad (5)$$

$$h_{L2} = H_{down} + f \frac{L - L_{sd}}{D} \frac{Q_{down}^2}{2gA^2} + f \frac{L_{sd} - x_L}{D} \frac{(Q_{down} + Q_{sd})^2}{2gA^2} = h_{sd} + f \frac{L_{sd} - x_L}{D} \frac{(Q_{down} + Q_{sd})^2}{2gA^2} \quad (6)$$

ただし、 H_{down} は下流端の圧力水頭 (m)、 f は摩擦損失係数、 L は管の全長 (m)、 D は管径 (m)、 Q_{down} は下流端流量 (m^3/s)、 L_{sd} は上流端から側方流出までの距離 (m)、 Q_{sd} は側方流出量 (m^3/s) である。側方流出を加えた圧力変動データも参照する場合に式(3)～(6)が導かれ、実測データ ΔH_1 、 ΔH_2 からこれらの式を用いて漏水位置 x_L 、漏水規模 a を導出できる。

3. まとめ

圧力波伝播理論により、側方流出を加えたデータを参照することで高精度の漏水検知が可能であることが示唆された。今後は実際に水路実験を行い、本手法の精度の検証を行う。

参考文献 : [1] 浅田洋平、木村匡臣、安瀬地一作、飯田俊彰、久保成隆. 漏水中の管水路における水撃圧波形を利用した漏水位置と漏水量の推定. 土木学会論文集 B1(水工学), vol.74, No.4, 2018, I_613-I_618.

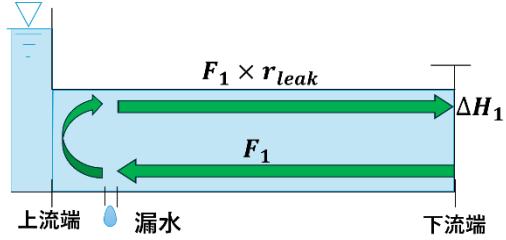


Figure 1 管路 1 での漏水部からの反射波

Reflective wave from leak in Pipe 1

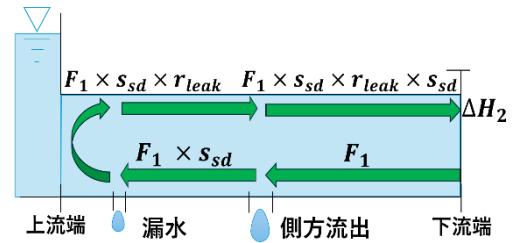


Figure 2 管路 2 での漏水部からの反射波

Reflective wave from leak in Pipe 2