

## 水撃作用による管路内の圧力波形と漏水との関係について Relation between Pressure fluctuation by Water hammer and Leakage in Pipeline

○浅田洋平\*、木村匡臣\*、安瀬地一作\*\*、飯田俊彰\*、久保成隆\*

○Asada Yohei\*, Kimura Masaomi\*, Azechi Issaku\*\*, Iida Toshiaki\*, and Kubo Naritaka\*

### 1. はじめに

農業用管水路の漏水・破損事故が年々増加傾向になり、漏水検知の重要性が高まってきている<sup>1)</sup>。漏水は水の現象であるが、既存の漏水検知の現状では相関法や音聴法などのように漏水から発する音波を捉えて漏水検知を行うことが多い<sup>2)</sup>。しかしながらこれらの方法は漏水が起こっている区間を水張り試験法などであらかじめ絞って入れておく必要があり効率が悪い。したがって漏水が水の現象であることをふまえ、管内の圧力や流量などの水理量を計測することで漏水を検知することを検討した。定常状態流れでは漏水による水理量の変化は非常に小さく捉えることは難しいため、今回は水撃作用によって大きな圧力変動を起こし圧力変化量自体を大きくすることで漏水による圧力変化を捉えやすくすることを考えた。以上から本研究では水撃作用による圧力波形から漏水位置と漏水量を推定することを目的とした。

### 2. 実験装置ならびに実験方法

農村工学研究部門（茨城県、つくば市）において、Fig.1 に示すステンレス製の実験用管水路を使用して、圧力波形と漏水との関係を調べた。上流タンクをコンプレッサーによって所定の圧力まで加圧した後、上流から水を流した。漏水部は Fig.1 の3箇所に設定し、実験ごとに1箇所ずつ擬似的に漏水を発生させ漏水量はバルブにより変化させた。流量が安定したところで下流端の電磁弁を急閉塞することで圧力変動を起こした。管内の圧力波形は電磁弁付近の圧力計で計測し、計測された圧力波形から漏水位置と漏水量を推定した。

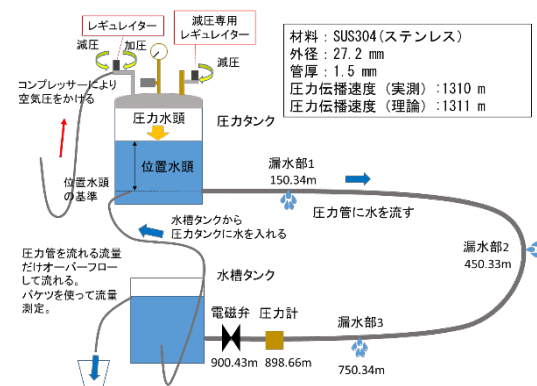


Fig.1 ステンレス製の実験用管水路  
Experimental stainless pipeline

### 3. 圧力波形から漏水位置と漏水量を推定する方法

#### ・漏水位置の推定

Fig.2 の実線が観測点の圧力の時間変動の波形を表している。実線において圧力が最初に上昇し始めてから漏水によって圧力が下がり始めるまでの時間は圧力波が観測点から漏水部を往復する時間 $2t_L$ に等しい。

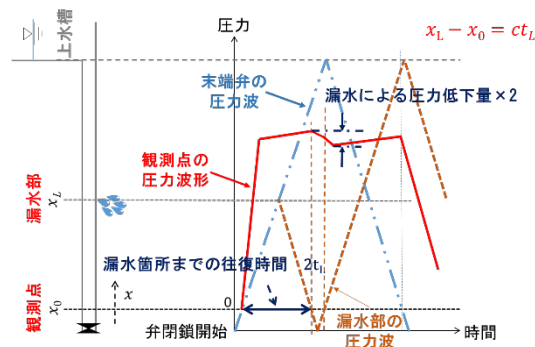


Fig.2 観測点の圧力波形と漏水位置との関係  
Relation between pressure fluctuation in observation point and leakage location

\*東京大学大学院農学生命科学研究科 Graduate School of Agricultural and Life Sciences, The University of Tokyo

\*\*農業・食品産業技術総合研究機構 農村工学研究部門 Institute for Rural Engineering, NARO

キーワード：流体力学一般、管・開水路流れ、水理学的波動

よってこの時間を圧力波形から読み取ること、観測点から漏水部までの距離 $x_L - x_0$ は管内の圧力伝播速度  $c$  を使って $x_L - x_0 = ct_L$ と表された。以上から漏水位置を推定できた。

・漏水量の推定

下流バルブから発生した圧力波は漏水部で反射してその反射波が観測点に到達すると観測点の圧力値は低下する。したがって次に漏水部からの反射波と漏水量との関係を明らかにした。Fig.3 に漏水部を分岐管と捉えたときの漏水部周りの圧力波の反射と通過の様子を示している。管内の圧力波の分岐における理論式<sup>3)</sup>より漏水部からの反射波 $f_1$ と漏水量との関係は以下のように表された。

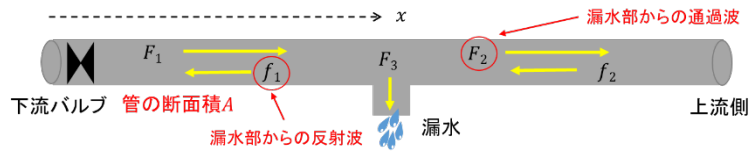


Fig.3 漏水部周りの圧力波の通過と反射の様子  
Passing and reflection of pressure wave around leakage point

$$f_1 = -\frac{c}{2Ag} \Delta Q_{leak} \quad (\Delta Q_{leak} \text{は圧力波が漏水部に到達したときの漏水量変化})$$

漏水部の最初の圧力を $h_0$ 、圧力波による圧力上昇量を $h_u$ 、漏水による圧力低下量を $h_d = -f_1$ とおくと以上の式から漏水量 $Q_{leak}$ は以下の式で表され $h_0, h_u, h_d$ を圧力波形から読み取ることによって漏水量 $Q_{leak}$ が推定できる。

$$Q_{leak} = \frac{\frac{2gA}{c} h_d}{\sqrt{2g(h_0 + h_u - h_d)} - \sqrt{2gh_0}} \sqrt{2gh_0}$$

4. 実験結果

結果の一例として Fig.4 に漏水部 3 (上流タンクから 750.34m 地点) で漏水を発生させ、水撃作用を起こしたときの観測点の圧力波形を示す。横軸は時刻を圧力波が管の全長を進むのにかかる時間で除した無次元化時刻で与えている。水撃作用を起こす前の漏水量は 0.020L/s、下流部流速は 0.235m/s であった。Fig.4 において 0.3 付近の時刻で漏水による圧力低下が起こ

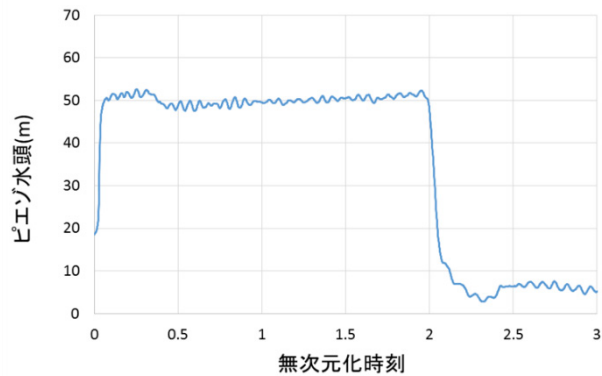


Fig.4 観測点で計測した圧力波形  
(漏水地点 750.34m、漏水量 0.020L/s のとき)  
Measured pressure fluctuation in observation point  
(leakage point 750.34m from upside tank, leakage quantity 0.020L/s)

っている。前述した方法を使用し、圧力波形から漏水位置と漏水量をそれぞれ推定したところ漏水位置は 750.54m~752.79m であり、実際値との誤差は 0.20~2.45m、漏水量は 0.017~0.018(L/s) であり、実際値との誤差は-0.003~-0.002L/s であった。以上より圧力波形を読み取ることによって漏水位置と漏水量を推定する方法が実験においても適用できることが確認できた。

謝辞：本研究は、内閣府総合科学技術・イノベーション会議の「SIP インフラ維持管理・更新・マネジメント技術」(管理法人：JST) の一部として実施された。

引用文献：1) 農村振興局 (2009)：「農業水利施設の機能保全の手引き」ーパイプライン編ーの策定について, pp.8-9. 2) (独) 農業・食品産業技術総合研究機構 農村工学研究所, (株)NTC コンサルタンツ(2015)：H26 年度パイプライン漏水検知技術とりまとめ業務報告書, 第3章

3) 秋元徳三(2004)：水撃作用と圧力脈動 (改訂版) 第1編「基礎式および諸定数」,16-37 社団法人 農業農村工学会(2009)：土地改良事業計画設計基準及び運用・解説 設計「パイプライン」 230-233