

漏水探查装置による農業用パイプラインの 新たな漏水位置探查システム

農研機構 森 充広
川邊 翔平
金森 拓也
木村 優世

1. はじめに

農業用パイプラインの延長は約 18,000km¹⁾あり、農業生産に欠かせない重要な農業水利施設である。しかし、近年では、毎年 1,000 件を越える漏水事故が発生している²⁾。パイプラインの漏水は突発的に起こるため、事前にその兆候を捉えることは非常に困難である。しかし、パイプラインの全体で漏水の有無を調査し、漏水量が小さい段階で事前にその場所を特定できれば、事前に対策を行うことにより、大規模な漏水事故の発生リスクや被害を最小限にとどめることができると考えられる。

そこで、農研機構は、ハイドロフォン（水中マイク）を取り付けた漏水探查カプセル（以降、カプセル）をパイプライン内部に投入して水とともに流下させ、漏水箇所近傍で管内音を記録することにより、漏水の有無やその位置を特定するための技術開発を民間企業との共同研究を通じて実施してきた。成果の一部は、中嶋ら（2018（平成 30）年）³⁾により報告されているが、その後、様々な課題に対応し、新たな漏水位置探查システムとして実用化した。本報では、課題解決を行った点を中心に、技術の概要を報告する。

2. 漏水位置探查システムの概要

(1) 基本思想

パイプラインの漏水箇所では、圧力水の噴出に起因する漏水音が発生している。この漏水音

を記録することにより、漏水位置を特定することが開発のコンセプトである。漏水音を取得する技術として、これまで水道分野では、様々な手法が開発されている（図1）。例えば音聴法は、マイクロフォンを道路、地盤に設置し、人がパイプラインからの漏水に起因する音を地表面で聞き取る方法である。しかし、この方法は、漏水地点から地表面に到達する漏水音を調査することから、埋設深が深い農業用パイプラインには適用が難しい。また、相関法は、パイプラインに直接アクセスできる空気弁や制水弁に、漏水に起因して発生する音や振動を受信するセンサーを2箇所以上設置し、漏水の有無とその位置を特定する技術である。ある時刻に発生した漏水音は、パイプライン本体や水中を伝播してセンサーに到達し、受信波形として記録され

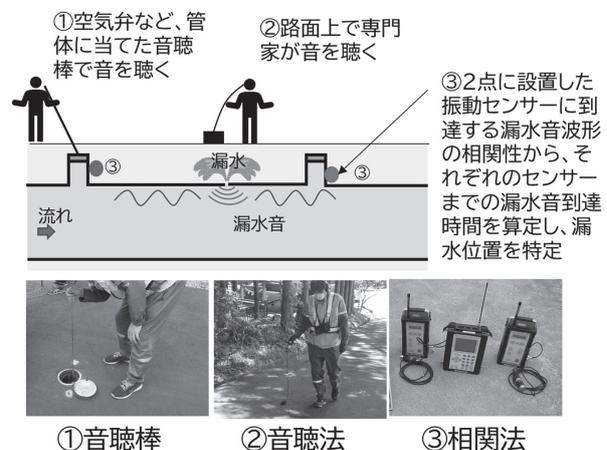


図1 漏水探查技術の例

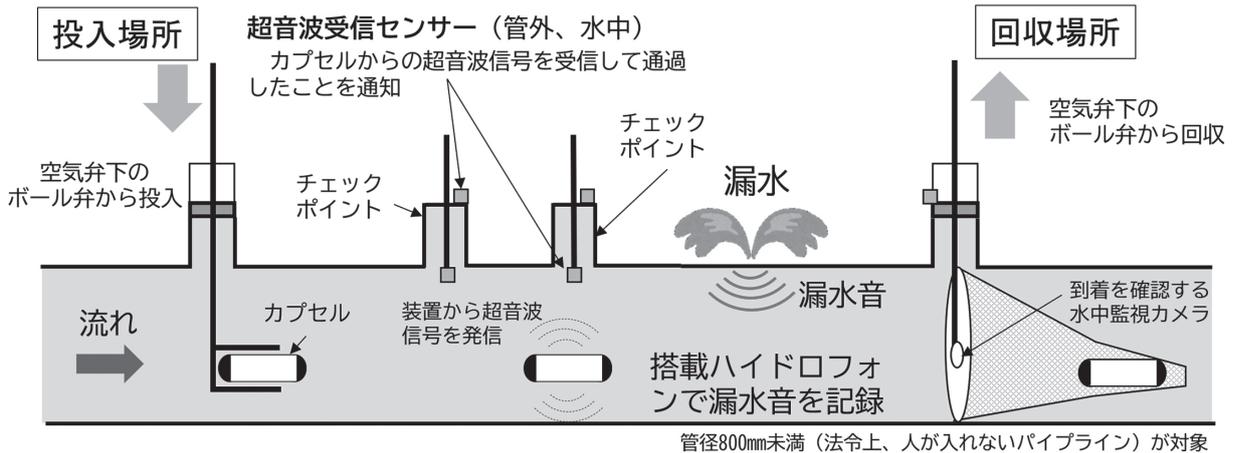


図2 開発した漏水探査技術の概要

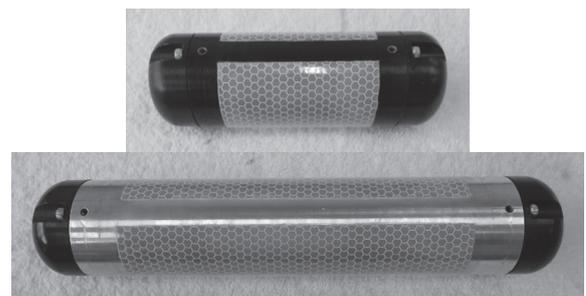
る。2点のセンサーで受信した信号の相関性を解析することにより、漏水位置がそれぞれのセンサーからそれぞれどのくらい離れているかを求めて、位置を特定する技術である。この技術の有効性を検証するための取り組みが複数の地区で実施されており、結果が報告されている⁴⁾。それらの結果によると、漏水位置が受信センサーの近傍である場合、水圧が高い場合、ダクタイル鑄鉄管のように音を伝えやすい管種の場合、などでは、漏水位置を特定できる可能性が高いことが明らかになっている。ただし、農業用パイプラインでは、上水道と比べると、パイプラインにアクセスできる空気弁や制水弁の数が非常に少ない。このため、センサーの設置間隔がどうしても距離が遠くなってしまい、漏水位置によっては、技術の適用が困難である。

そこで、「パイプライン内にハイドロフォンを搭載した装置を流下し、漏水箇所接近することによって漏水音を取得する技術」の開発を目指した。概念図を図2に示す。パイプラインの上流側にカプセルを投入し、下流で回収することにより、確実に漏水近傍の音情報を収集できる。流下距離、発射から回収までの時刻から、パイプライン内の平均的なカプセルの移動速度を求め、発射してから漏水音を取得した時点までの時間を乗じることによって、漏水位置を特定する。

(2) カプセルの仕様

カプセルは、直径が55mmであり、長さは165mmと280mmの2タイプがある(図3)。これらは、調査対象とするパイプラインの管径によって使い分ける。2タイプの大きな違いとして、280mmタイプには、カプセルの現在位置を管外から把握するための超音波発信器を装備している。後述するように、途中通過する空気弁などに受信センサーを取り付けておけば、カプセルからの超音波信号を受信することにより、カプセルがその地点を通過した時刻を検出できる。

カプセルには、可聴域の音を収録できるハイドロフォンを内蔵している。流下中、できる限り一定の姿勢を維持しつつ、管の中心付近を流下させることを目的として、カプセル内の重量配分によって回転しにくい構造としている。さらに、カプセルは、水中で浮きもせず、沈みもしないよう、比重を調整することができる。

図3 漏水位置探査技術に用いるカプセル
(上：165mmタイプ、下：280mmタイプ)

(3) パイプラインへのカプセルの投入および回収方法

パイプラインの内部にカプセルを投入する方法は、大別して①開渠部からの投入、②空気弁下の補修弁から投入、の2種類がある。①については、例えば配水槽や開渠部などからパイプラインに投入する方法がある。補修弁からの投入イメージを図4に示す。空気弁を取り外し、補修弁上部に装置を一時的に格納するためのパイプを継ぎ足し、そのパイプ内にカプセルをセットした発射装置を投入し、パイプライン内にカプセルを発射する。このため、補修弁は全開状態にできるボール弁（φ75mm以上）が必要である。

一方、パイプラインからカプセルを回収する方法は、①開渠部で網などを用いて回収、②空気弁下の補修弁から回収、の2種類がある。②については、回収時には、管路全断面をカバーする網を折りたたんでボール弁（φ75mm以上）から投入する。回収イメージを図5に示す。先端は、管径に合わせた板バネと網を接合した構造となっているため、管内に回収装置を押し込

むことにより、網が管の全断面をカバーする形で広がる。カプセルの到着を確認したら、シャフトを引き上げることでカプセルが回収される。

なお、投入、回収は、流水状態、つまりパイプラインに内圧が作用した状態で行うため、ウインチ等で発射装置、回収装置を押し込む必要がある。発射・回収装置の上部のフランジは止水しつつシャフトを上下できる構造となっている。

3. 従来からの改良点⁵⁾

この漏水探查法の原型は、2018（平成30）年にほぼ完成し、各地で性能実証試験を実施してきたが、以下の課題があった。

- ①カプセルの現在位置が不明。
- ②カプセルの流下距離が長くなると、漏水位置の探查精度が落ちる傾向がある。
- ③回収場所において、補修弁から回収する場合、カプセルの到着が目視確認できない。そこで、これらの課題への対応を行った。

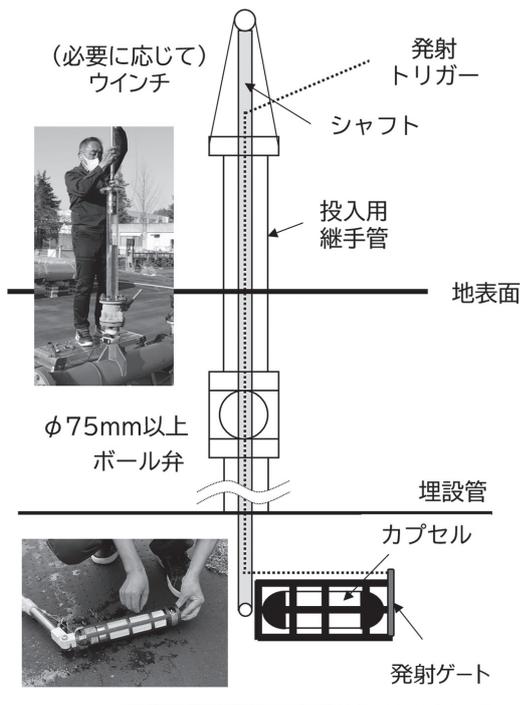


図4 投入・発射イメージ

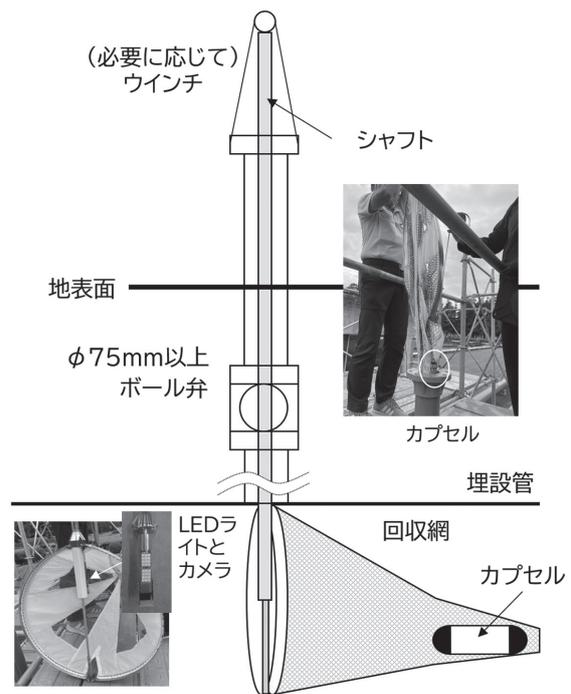


図5 回収イメージ

(1) カプセルへの超音波発信装置の搭載

上記課題①に対応するため、280mm タイプに超音波発信装置を内蔵し、本体から600kHzの超音波を発信することとした。漏水音は、これよりも低い周波数の音であるため、明確に区別できる。受信センサーは、図6に示すように、途中の空気弁等、管にアクセス出来る場所に設置する。流下するカプセルがセンサーに近づくと、それを検知し、その場所（以下、チェックポイントと称す）を通過した時刻を作業員が確認できる。チェックポイントを複数設置することにより、カプセルのおよその現在位置と流下状況が概ね把握できるようになった。

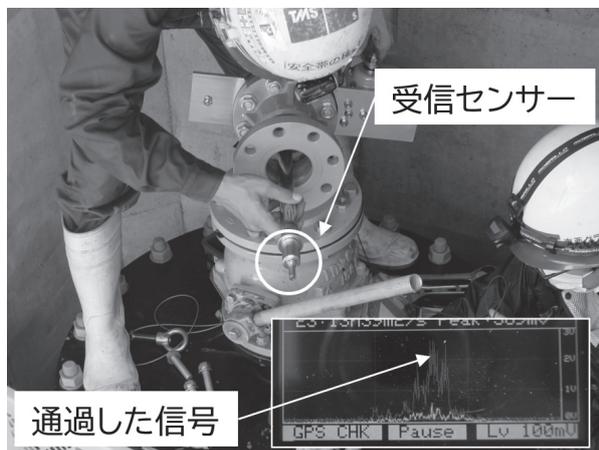


図6 超音波受信センサーの設置とカプセル通過検出状況

(2) チェックポイントの設置による精度向上

カプセルからの超音波信号をチェックポイントで確認するメリットとして、精度の向上が挙げられる。本調査技術では、発射から漏水音が聞こえるまでの時間に、カプセルの移動速度を乗じて、漏水位置を特定している。これまで、カプセルの移動速度と、管内の流速はほぼ等しいという前提で漏水位置を特定していたが、比重の調整によっては、流速よりもゆっくり移動していることがある。また、途中で管径が変化している場合には、流速が路線の途中で変化する。したがって、発射時刻、回収時刻、その間の距離から求めた「平均的な移動速度」を用いて、漏水位置を特定する場合、どうしても誤差

が生じる。しかし、チェックポイントを複数設置することにより、調査距離を分割し、区間ごとに平均移動速度を求めることができるようになった。この結果、これまで流下距離の約5%が漏水位置特定精度であったが、チェックポイントの導入により、特定精度が流下距離の約2~3%にまで向上した。

(3) 回収網の改良

回収場所において設置している回収網にLEDライトと水中監視カメラを設置することにした。これにより、カプセルが回収網に入ったことを確認して引き上げることが可能となった。

4. 調査の条件

本技術の適用条件は以下のとおりである。

- ϕ 200mm 以上 ϕ 800mm 未満のパイプライン
- すべての管種
- ϕ 75mm 以上のボール弁タイプの補修弁があり、鉛直にシャフトを挿入できること
- 補修弁の上部には、シャフトを投入できる空間があること
- 流速 0.3 ~ 0.6m/s が望ましい
- 水圧 0.1 ~ 1.0MPa
- 水の透視度が 1m 以上あること
- 調査距離は 調査時の流速とバッテリー容量（8時間）による

最も重要な調査にかかる条件は、投入、回収場所の選定である。本技術の適用に際しては、ご相談いただきたい。

5. おわりに

本技術を広く現場で利用していただける体制を検討中である。なお、本技術は、農林水産省の官民連携新技術研究開発事業「農業用パイプラインに適した漏水探査ロボット技術の開発（2019（令和元）～2020（令和2）年度）」や、民間企業との共同研究により開発した技術であ

る。関係各位にお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 農林水産省：農業生産基盤の整備状況について（令和4年3月）
<https://www.maff.go.jp/j/nousin/sekkei/totikai/attach/pdf/index-3.pdf>
- 2) 農林水産省：農業水利施設におけるストックマネジメントの取組について
https://www.maff.go.jp/j/nousin/mizu/sutomane/attach/pdf/sutomane_230322.pdf
- 3) 中嶋勇ほか（2018年）：管水路のカプセル型漏水探査装置の開発，農業農村工学会誌，86（6），513-516
- 4) 横木淳一ほか（2022年）：農業用パイプラインに対する相関式漏水探査法の適用性について，寒地土木研究所平成21年度技術研究発表会，<https://thesis.ceri.go.jp/db/files/GR0002900089.pdf>
- 5) 森充広（2023年）：カプセル型漏水探査装置によるパイプラインの新たな漏水探査技術，農村振興882，22-23

