

山間地におけるパイプラインの漏水調査手法の評価

－ 調査手法の高度化に向けて －

植屋 賢祐 大津 将則

はじめに

平成 20 年度より、国営造成水利施設保全対策指導事業(以下、「指導事業」という)において、施設のライフサイクルコストを効率的に低減していくことなどをねらいとして、施設の診断、劣化予測、評価手法の確立および対策工法の有効性の検証など、機能保全計画の策定に必要な技術を、現地の実践を通じて確立し、ストックマネジメント技術の高度化を図る「ストックマネジメント技術高度化事業」(以下、「高度化事業」という)が制度化され、実施されている。

パイプラインは、施設の大部分が地中埋設構造物であり、施設の規模や立地環境によっては、施設状況を直接確認することが難しく、施設機能の診断・劣化予測を困難にしている理由となっている。このため、パイプラインの機能診断は、可能な範囲の直接的な定量調査に、漏水や水圧・流量等の調査など、地上部から間接的に実施可能な定量調査(間接的定量調査)を組み合わせることにより、水利用機能や水理機能などを照査していくことが重要とされている¹⁾。とくに、「漏水」はパイプラインの機能診断にとって最も重要な調査であり、漏水履歴の有無および漏水発生箇所の特定制と要因解明が、劣化予測を行ううえで重要となる。

本報告は、高度化事業の一環として「診断技術の適用と評価」を目的に、山間地を縦断し、熊やスズメバチとの遭遇の危険性もある地域におけるパイプラインの間接的定量調査として、従来の方法(水位調査)と上水道分野等で実績のある漏水調査手法を組合せた漏水調査手法を用いて、確実性、効率性および安全確保を両立しつつ、漏水箇所の特定調査を行った事例を紹介する。

高度化事業の内容²⁾

- 1 破損事故等の要因調査
- 2 診断技術の適用と評価 **今回**
- 3 対策工法の適用と評価
- 4 リスク評価の実証調査

1. 対象施設の概要

1-1 施設の構造

漏水調査の対象施設は、昭和 50 年代から 60 年代にかけて造成された畑地かんがい用のパイプラインであり、施工から 20 年余りを経過していた。

パイプラインは、延長 4.6km、口径 450~250mm のセミクローズドタイプであり、管種はダクタイル鋳鉄管である。最大静水圧は 1MPa、付帯施設として、空気弁工、排泥弁工、制水弁工およびファームポンドへの分水工が設置されている。

本施設は、水源のダムから配水起点のファームポンドまでを繋ぐ「送水幹線水路」であり、山間地を縦貫する立地条件から起伏に富んだ縦断形状を成している。(図-1)

1-2 施設の状況

現地踏査と管理者聞き取り調査から、施設状況について事前に以下の知見を得た。

- 山間地に立地して起伏に富むことに加え、路線に沿った管理用道路がなく、アクセス性が低い。
- 漏水履歴として、過去に塩化ビニル管で 1 回漏水が発生している。その後、指導事業で行われた漏水調査により、ダクタイル鋳鉄管の区間でも漏水の存在が確認されている。

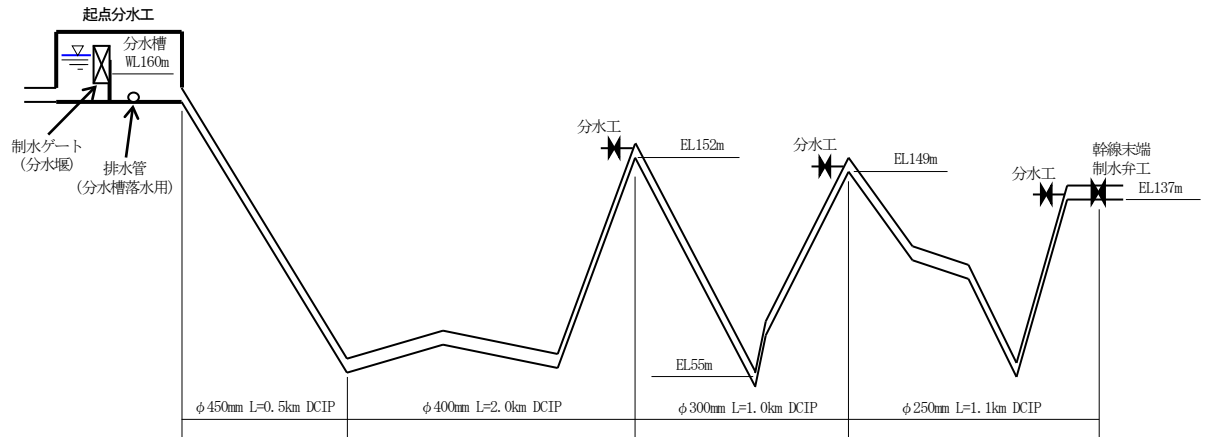


図-1 漏水調査対象施設の概要図

- しかし、施設の周辺地盤および付帯施設には、浸み出し、陥没などの異常は認められていない。
- 流量計設置が可能な露出配管のある施設に制限がある。
- 通年利用であるが、11月以降の利用は僅少である。
- 施設が所在する山間地域は、熊やスズメバチの生息域である。

2. 調査方法

農業用パイプラインにおける漏水調査の方法としては、初期通水における水張試験などで従来から用いられている「水位調査」「2点間流量調査」のほかに、最近は上水道分野等で実績がある「相関調査」や「音聴調査」の適用事例が見られる。

対象施設は、①山間地に立地し、管理用道路が隣接しない区間が多くあり、付帯施設へのアクセス条件が厳しいこと、②流量計の設置箇所に制限があり、2点間流量測定法の採用が困難であること、③管上地には植生が繁茂し、現地でパイプライン線路を把握することは困難な状況にあり、調査効率の低下が予想されたこと、さらに、④熊・スズメバチなどによる作業上の安全性への影響も懸念されたことなどの課題があった。

そこで、対象施設の構造・立地特性に、「水位調査」「相関調査」「音聴調査」における漏水調査の特性を勘案のうえ、これらを段階的に組合せた漏水箇所特定の調査手法を立案した。(図-2)

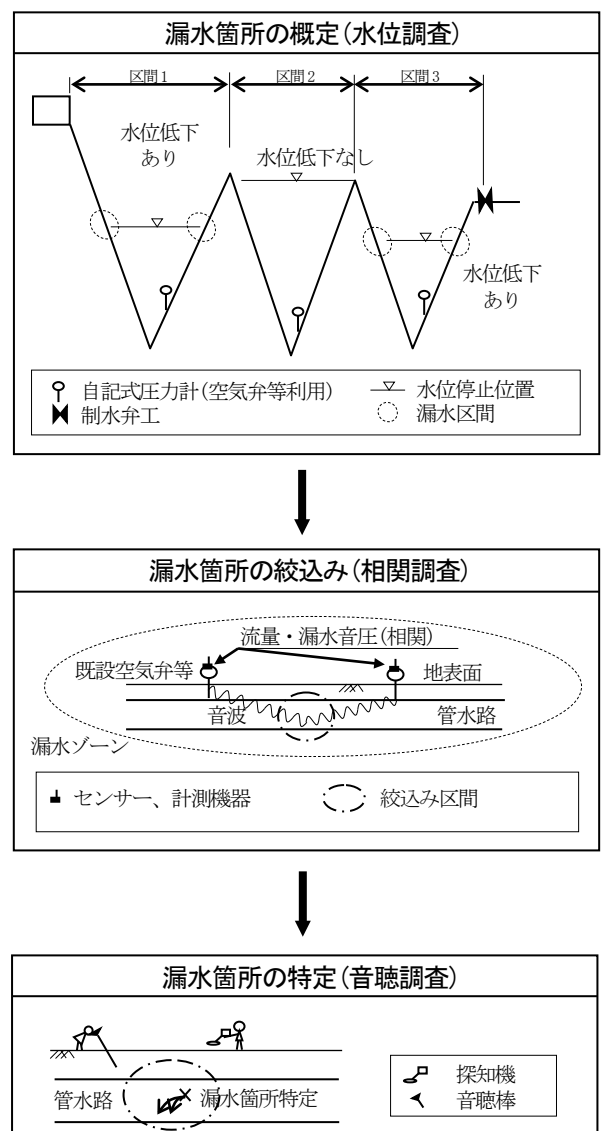


図-2 漏水箇所特定調査のフロー図

2-1 水位調査の利点と調査のねらい

既設空気弁などを利用して圧力計を設置し、通水を停止したうえで管水路内の減水(水位変化)を監視して、その停止標高から漏水位置を把握する方法である。1 地点の監視で、水理ユニットなどの比較的広い範囲を対象とした調査が可能で、対象施設の立地条件に対し、山間地内の作業を最小限とした調査を可能とすることが本手法の利点である。ただし、管の口径や敷設勾配によっては、水位停止標高の該当箇所が複数あるいは広範囲となる場合がある。対象施設の構造等から、当該調査による漏水箇所のピンポイントでの特定は困難と判断し、漏水箇所の「概定」に用いた。

通水停止が可能な期間は、水利用状況とファーム Pond 貯留量の関係から求め、調査工程を調整した。また、調査区間に複数箇所の漏水の可能性もあることから、水位低下傾向は、きめ細かな時間変化の把握が重要であり、計測は、アナログ式の圧力計読取りに加えて、自記式圧力計を用いて1分刻みに連続監視し、時系列データを取得した。

2-2 相関調査の利点と調査のねらい

管水路の2点間に漏水音が伝播する時間差から漏水地点までの距離を調べる方法であり、相関式漏水探知器を用いて、管体に接してセンサーを設置し調査する。(図-3)

本調査では、急傾斜部の昇降や熊・スズメバチ等との遭遇など、山間地内で危険性のある作業を

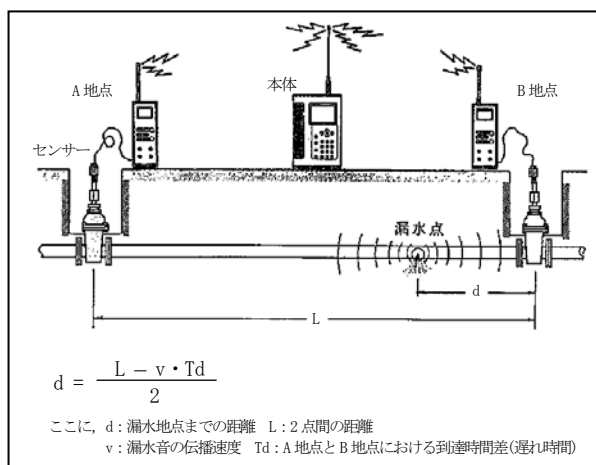


図-3 相関法による漏水調査の原理

最小限にして、作業の効率性向上と安全を確保する目的から、水位法による漏水の概定区間に適用し、漏水箇所の「絞り込み」を行った。

2-3 音聴調査の利点と調査のねらい

音聴棒や電氣的に漏水音を増幅する漏水探知機を用いる方法であり、管上地を順に移動しながら調査する。ピンポイントの漏水調査のため、漏水箇所の特定に適している。

本調査では、山間地内の作業を最小限として、作業の効率性と安全性の向上を図る目的から、漏水箇所の絞り込み区間に適用し、漏水箇所の「特定」を行った。

3. 調査実績

3-1 水位法による漏水区間の概定

本調査は、ファーム Pond の分水弁および他路線との境界となる末端制水弁を閉そくして、通水を停止し、実施した。

対象区間は、減水(水位低下)がある場合、初期段階で水理的に3区間に縁切れる縦断形状となっている。このため、各区間に水圧監視用の圧力計を設置して、管水路内の水深変化を観測・記録した。(図-4)

なお、水圧計は、現地に合わせた治具を準備して設置した(写真-1)。治具には三口を設け、一つは目視監視のためのアナログ計を、もう一方には、詳細な経時変化を記録するための自記式圧力計を取付け、残る一つは排気口とした。



写真-1 治具と圧力計の設置状況

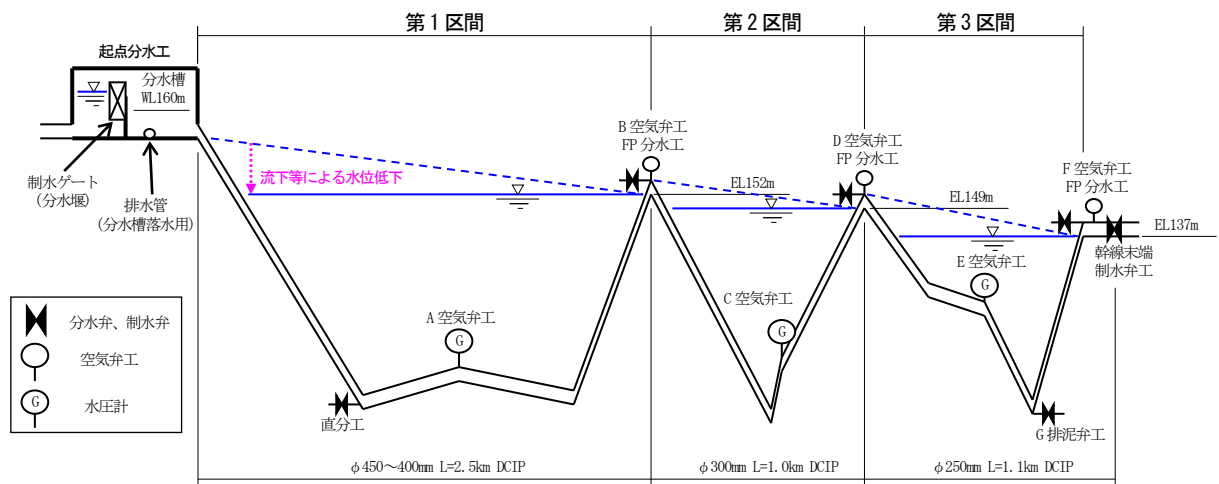


図-4 水位法による漏水調査の概要図

(1) 第1区間

本区間は、起点分土工から B 空気弁工 (FP 分土工付近) までの約 2.5km であり、施設諸元は以下のとおりである。

水圧計は、区間の空気弁工のうち、最も低標高に位置する A 空気弁工に設置した。

- 管径・延長：φ450mm・800m
φ400mm・1,700m
- 管種：DCIP
- 静水圧：0.98 MPa
- 許容漏水量：0.121 l/s

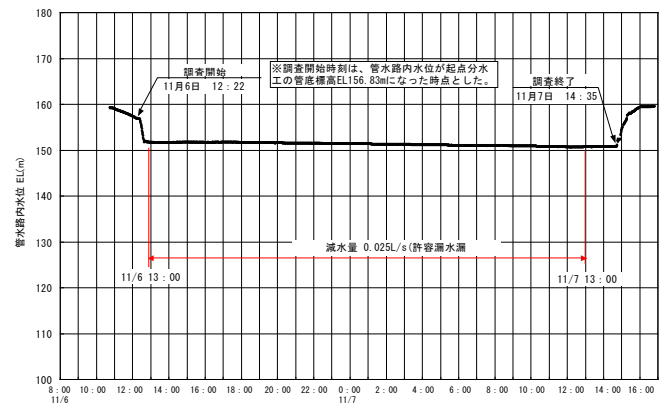


図-5 第1区間の管水路内水位経時変化図

漏水調査にあたり、まず、起点分土工で分水堰の制水ゲートを閉そくし、分水槽への流入を遮断するとともに、試験時間短縮のため、排水管を利用して分水槽を落水した。その後、管水路内の水位は、B 空気弁付近の管底高 (EL152m) まで低下し、下流区間と分離された状態となった。下流区間との分離後、水位低下の速度は鈍化した。

調査開始からの計測記録を図-5 に示す。下流区間との分離後 24 時間の水位低下量から減水量を算定すると、許容漏水量の 1/5 程度の値となったことから、本区間については「変状なし」¹⁾と判断した。

(2) 第2区間

本区間は、B 空気弁工 (FP 分土工付近) から D 空気弁工 (FP 分土工付近) までの約 1.0km であり、施設諸元は以下のとおりである。

水圧計は、区間の空気弁工のうち、最も低標高に位置する C 空気弁工に設置した。

- 管径・延長：φ350mm・250m
φ400mm・790m
- 管種：DCIP
- 静水圧：1.06 MPa
- 許容漏水量：0.038 L/s

起点分水工の分水槽水位を落水してから約 40 分後に、管水路内の水位はD 空気弁付近の管底高 (EL149m) まで低下し、上下流区間と分離された状態となった。

調査開始からの計測記録を図-6 に示す。上下流区間との分離後は、24 時間経過の後も水位の低下が認められなかったことから、本区間については「変状なし」と判断した。

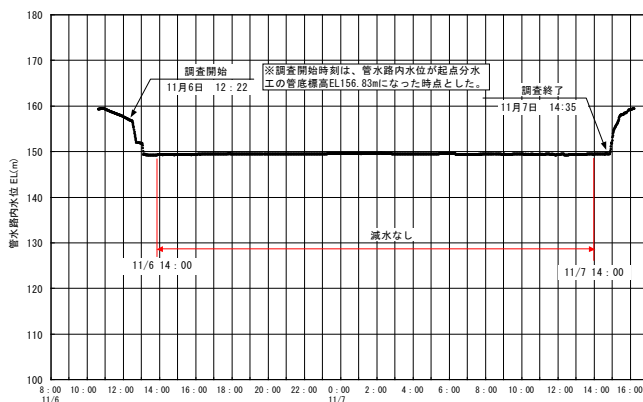


図-6 第 2 区間の管水路内水位経時変化図

(3) 第 3 区間

本区間は、D 空気弁工 (FP 分水工付近) から F 空気弁工 (FP 分水工付近) までの約 1.1km であり、施設諸元は以下のとおりである。

水圧計は、区間の空気弁工のうち、最も低標高に位置する E 空気弁工に設置した。

- 管径・延長：φ250mm・1,080m
- 管種：DCIP
- 静水圧：1.00 MPa
- 許容漏水量：0.031 L/s

調査開始からの計測記録を図-7 に示す。起点分水工の分水槽水位を落水してから約 40 分後に、管水路内の水位低下により、上流区間と分離された状態となった。

その後も管水路内の水位低下が続き、約 5 時間後に、水圧計を設置した E 空気弁工地点まで低下した。水圧低下の記録から減水量を算定すると、

許容漏水量を上回る値となることが確認された。

このため、本区間で相関法を適用し、漏水箇所 の絞込みを行った。

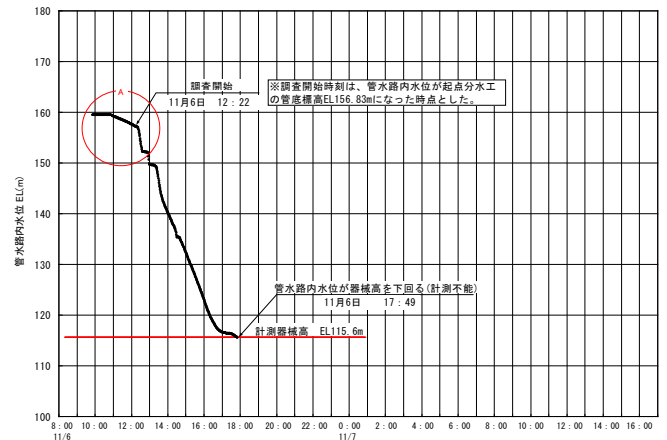


図-7 第 3 区間の管水路内水位経時変化図

3-2 相関法による漏水区間の絞込み

(1) 調査方法

相関法による調査は、掘削により管体を露出させて行う場合があるが、本施設は山間地に立地してアクセス条件が厳しく、掘削作業が容易ではないことから、パイプラインの付帯施設として地上に露出部がある、空気弁工および排泥弁工を利用する方法とした。

具体的には、管水路に再充水後、先ず、図-8 のように、D 空気弁工、E 空気弁工、F 空気弁工および G 排泥弁工にセンサーを設置して、漏水音の有無を調べた。次に、漏水音が聴こえた 2 施設に挟まれた区間を対象として相関法を適用し、漏水区間の絞込みを行った。

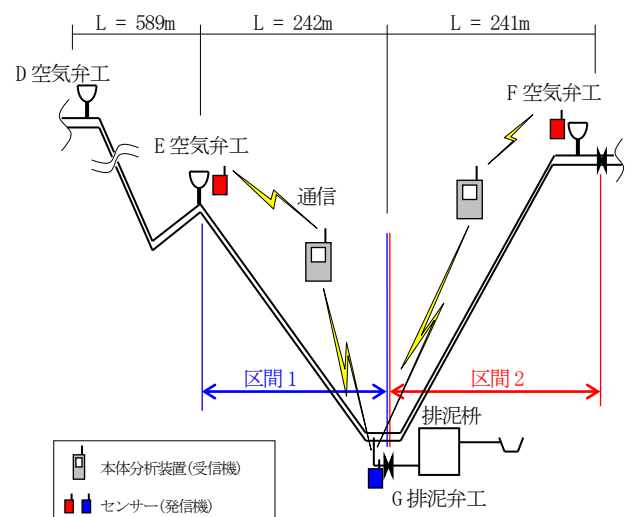


図-8 相関法による漏水調査の概念図

(2) 調査結果

- D 空気弁工に音圧センサーを設置したが、漏水音は無かった。
- E 空気弁工に音圧センサーを設置したところ、漏水音を捉えた。
- G 排泥弁工に音圧センサーを設置したところ、漏水音を捉えた。
- F 空気弁工に音圧センサーを設置したところ、漏水音を捉えた。

以上の状況から、相関法の適用区間は、E 空気弁工から G 排泥弁工(区間 1)および G 排泥弁工から F 空気弁工(区間 2)の 2 区間とした。(図-8、写真-2、写真-3 参照)

[区間 1]

E 空気弁工と G 排泥弁工を利用した調査から、漏水地点(音源)は、E 空気弁工のセンサーから下流に L=242m の位置、G 排泥弁工の音圧センサーから上流に L=0m の位置という結果が得られた。

E 空気弁工から音源までの距離が、両施設間の距離(L=242m)に一致し、かつ、7 号排泥弁工から上流 0m との結果から、漏水箇所は当該区間の範囲外にあり、さらに、G 排泥弁工の下流にあると判定された。

[区間 2]

G 排泥弁工と F 空気弁工を利用した調査から、漏水地点(音源)は、G 排泥弁工のセンサーから下流に L=6.64m の位置、F 空気弁工のセンサーから上流に約 L=234.73m の位置という結果が得られた(図-9)。

なお、分析値は、1m 程度の幅で変動が見られたこと、および排泥弁は本線から分岐後 0.7m の位置に設置されていることを勘案し、漏水箇所は、G 排泥弁工の分岐地点から下流へ L=5~7m の本線管水路にあると判定した(次頁図-10)。



写真-2 センサーの設置状況(空気弁工)



写真-3 装置本体による音圧信号の受信・解析状況

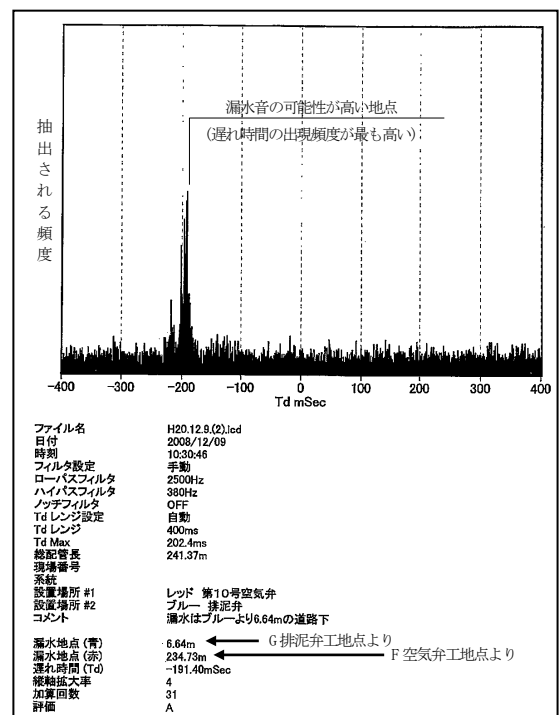


図-9 相関調査の結果(区間 2)

〔図-9 関連調査結果の解説〕

F 空気弁工への伝播時間に対する G 排泥弁工への伝播時間の遅れ時間が (Td) である。

図-9 のとおり、Td = -191.40 ms(ミリ秒)となる頻度が、その他の Td に対して突出して多い。これは、管水路に伝わる音源が、当該 Td となる位置に存在する可能性を示唆する。

2 点間の総配管長 L=241.37m、φ250mm のダクタイル鉄管における音の伝播速度 v=1,191m/s として、F 空気弁工から漏水地点までの距離 d は以下のとおり算定される。

$$d = \frac{L - v \cdot Td}{2}$$

$$= \frac{241.37 + 0.19140 \times 1191}{2}$$

$$= 234.7(m)$$

なお、漏水地点から G 排泥弁工までの距離は L より d を差し引いて求まる。

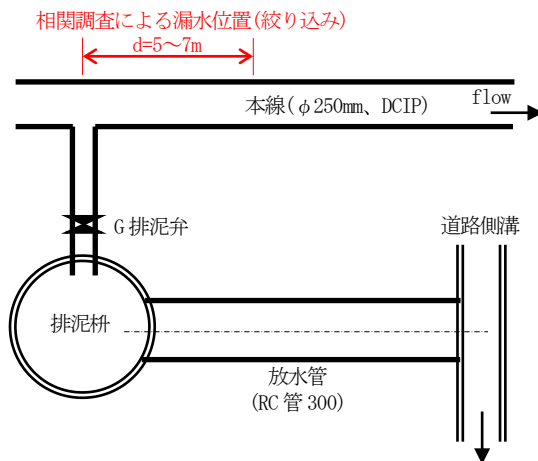


図-10 G 排泥弁工付近の平面模式図

3-3 音聴法による漏水箇所の特定

関連法により絞り込んだ、G 排泥弁工直下流を対象に、漏水箇所特定のため、音聴調査を実施した。

(1) 調査方法

漏水探知機および音聴棒を用いた音聴調査を実施した。(写真-4)

調査範囲は、関連法で絞り込んだ区間を含む、約 5m 区間を対象とした。



写真-4 漏水探知機による音聴調査状況

(2) 調査結果

漏水探知機による音聴調査から、漏水箇所は、排泥弁分岐点より 6m 程度下流地点の可能性が高いと判定した。なお、当該地点付近における音聴棒による調査では、管体に伝わる流水音を確認できた。(写真-5)



写真-5 音聴棒による音聴調査状況

3-4 補足調査

漏水箇所特定精度向上のため、音聴調査の補足的な調査として、資料の追加収集・検討および補足測量を実施した。

管理者の聞き取り調査から、経年的な漏水の増

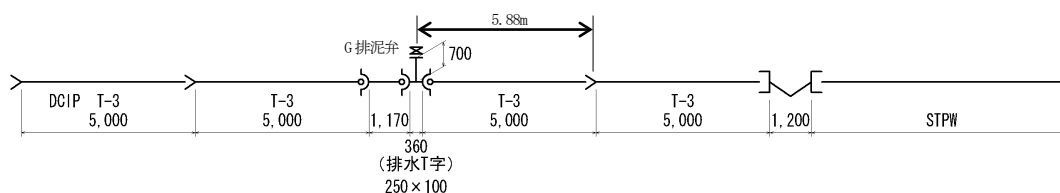


図-11 漏水箇所付近の管割り図

加は生じていないと考えられた。また、対象地点の管種がダクタイル鋳鉄管であることから、漏水の要因としては、管体破損の可能性は低く、継ぎ手部の抜け出しあるいはパッキン損傷の可能性が高いと判断した。

関係資料として管割り図を収集し、周辺の配管の詳細を把握した。

3-5 漏水箇所の特定

図-11 に示すとおり、相関調査および音聴調査による判定で漏水の可能性が高いと判定した排泥分岐点より約6m地点に、直管の継ぎ手が配置されている。継ぎ手の形式は、T型である。

音聴調査と補足調査の結果から総合的に判断して、漏水箇所は、G排泥弁工地点より5.88m下流のダクタイル鋳鉄管(直管)のT型継ぎ手部と特定した。

4. 調査・診断手法の評価

4-1 確実性の評価

本調査手法によって、漏水箇所の特定を実現しており、確実性の面から、各種調査方法を組み合わせ今回の調査手法は、山間地にあつて、路線および付帯施設へのアクセスが困難なパイプラインの漏水調査に有用と考えられる。

今回の調査では、水位法により、管の規模・敷設勾配および空気弁の配置などの条件から、全延長4.6kmのうち、漏水箇所として約0.5kmの範囲と概定できた。この範囲を対象にした相関調査では、2m程度の範囲の精度で漏水箇所を絞り込み、その後の音聴調査と補足調査から、漏水箇所を特定できた。

なお、相関調査により示された漏水位置と、その後の音聴調査等により特定したT型継ぎ手地点(実際の漏水位置)のF空気弁工からの距離は、それぞれ以下のとおりであり、実際の漏水位置と相関法による位置との差は、 $\Delta d_{max} \div 2m$ であった。

$$ds = 233.7 \sim 235.7m$$

$$dt = 235.8m$$

この結果から、相関調査のみの適用でも、施設の構造・規模および漏水規模などの調査条件によっては、漏水箇所を十分な精度で「特定」することも可能と考えられる。

4-2 効率性の評価

今回の現地調査に要した日数は、水位法に2日間、相関法と音聴法に1日間の延べ3日間である。

水位法では漏水箇所の“特定”は困難であるが、仮に、当初から相関法を全区間(L=4.6km)に適用した場合は、今回の調査実績延長L=0.5kmにもとづく延長比から単純換算すると、調査に9日間を要することとなる。また、音聴法による調査の場合は、施設へのアクセス条件が厳しいことや、植生が繁茂する山間地でパイプライン線路の位置出しが必要になることなどを勘案すれば、さらに多くの時間を要することになると考えられる。

以上より、今回の調査手法は、効率性向上の面から、山間地におけるパイプラインの漏水調査手法として有用と考える。

4-3 安全性の評価

今回の調査では、対象区間 L=4.6km、付帯施設 25 箇所のうち、施設へのアクセスを要した施設は、圧力計を設置した空気弁工 3 箇所と相関法を適用した空気弁工・排泥弁工の 3 箇所を併せた 6 箇所である。また、音聴調査を実施した道路横断部のほかは、管上地での調査を必要としなかった。

急傾斜部に在る施設へのアクセスや山間地内での作業が大幅に軽減されたことは、滑落事故の予防や熊・ハチ等との接触機会を軽減することとなり、結果として、作業の安全性向上に繋がったものと考えている。

4-4 総合考察

山間地に立地して起伏に富み、アクセス条件が厳しい管水路を対象とした場合、農業分野の水張り漏水試験で一般に用いられてきた「水位法」と、上水道分野などで用いられている「相関法」「音聴法」を、互いの特徴を踏まえて組み合わせ、段階的に適用した今回の調査手法は、確実に効率的かつ安全に漏水箇所の特定を可能とする有効な調査・診断技術であると考えられる。

なお、各調査手法の特徴および評価を表-1 に一覧表としてまとめる。

表-1 調査手法の評価一覧表

調査手法	調査目的と調査手法の特徴	調査結果	調査・診断手法の評価	優先度
1 水位法	<ul style="list-style-type: none"> ■減水が停止する管水路内の水位を観測することにより、漏水箇所の標高を特定する。 ■水理ユニットを調査単位とする。 ■一度に比較的広範囲を対象とするため効率が良い。 ■水圧計などの簡易な計器のみで調査が可能である。 ■管水路の標高変化が少ない場合は、水位停止位置に該当する範囲が広がる。 ■計測機器を設置できる施設の配置により、漏水の該当範囲が広狭する。 	<ul style="list-style-type: none"> ■減水がある水理ユニットを特定した。 ■さらに、減水の停止位置から数百mの範囲で漏水箇所を概定した。 	<ul style="list-style-type: none"> ■起伏のある山間地等に立地する管水路の漏水箇所概定に有効である。 ■アクセス条件が不利な立地で、効率的かつ安全に漏水箇所の概定を可能とする。 	A
2 相関法	<ul style="list-style-type: none"> ■管水路内を伝わる漏水音から、漏水箇所を特定する。 ■空気弁等の付帯施設間を調査単位とできる。 ■管水路の敷設形状に影響されない。 ■金属系の管種に最も適する。樹脂系の管種は調査精度がやや低くなる。 ■専用機器を用いるためのコストを要する。 	<ul style="list-style-type: none"> ■水位法で概定した範囲を対象に、付帯施設間の調査を行い、数mの範囲まで漏水箇所を絞り込んだ。 	<ul style="list-style-type: none"> ■アクセス条件が不利な立地で、水位法との組合せが効率的であり、作業の安全性向上にも繋がる。 ■漏水箇所の絞り込みあるいは特定に有効である。 	B
3 音聴法	<ul style="list-style-type: none"> ■地上に伝わる漏水音を調べ、漏水箇所を特定する。 ■ピンポイントの調査となる。 ■管水路の敷設形状に影響されない。 ■調査精度は、埋設深や周辺雑音に影響される。 ■専用機器を用いるためのコストを要する。 ■管上地の調査のため、山間地や長延長の場合には多くの作業時間を要する。 	<ul style="list-style-type: none"> ■相関法で絞り込んだ範囲を対象に、管上地盤周辺の調査を行い、漏水箇所を特定した。 	<ul style="list-style-type: none"> ■漏水箇所の特定に有効である。 ■雑音など、調査精度を低下させる要因がある場合も、調査時間帯や調査員の経験により概ねカバーできる。 	C

※優先度は、山間地のバイブライン漏水調査に適用する場合に、「A」は第1に実施すべき調査、「B」はAの結果を踏まえて実施すべき調査、「C」はAあるいはBの結果を踏まえて実施すべき調査とした分類である。

おわりに

平成 20 年度より制度化された「高度化事業」は、ストックマネジメント技術の高度化・標準化に向けた一環として、対象施設の特性を踏まえた調査手法等の検討(Plan)およびその実践(Do)を通じて、調査手法等の有効性を評価するとともに、適用上の問題点や課題を明らかとして(Check),さらなる解決策を検討・適用(Act)することにより、調査・診断・保全技術のスパイラルアップ(PDCA サイクル)を図っていくための実効手段といえます。

このため、その結果は、一つの業務報告に止まらず、論文発表や研究発表会などを通じて、広く関係者に周知されることが重要と考えます。

今回は、図らずも、本報文集において弊社の調査実績について発表の機会を頂き、誠にありがとうございました。

また、本調査の機会を与えて下さいました関係機関に対し厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 農業水利施設の機能保全の手引き「パイプライン」(案)：農林水産省，平成 20 年 12 月 18 日版
- 2) スtockマネジメント技術高度化事業実施要綱：農林水産省，平成 20 年 4 月 1 日