

PC管における電磁波レーダー探査法による 調査方法の有効性

○小笠原りさ¹・三浦竜也²・四宮弘智³・阿部耕三⁴

概要：

香川用水施設は、徳島県の吉野川より流水を取水し、全長約 106 kmの水路によって香川県全域に農業用水、水道用水及び工業用水を供給する重要なライフラインである。本施設は、通水開始から既に 45 年が経過し、老朽化の進行が想定されることから、ストックマネジメントを用いた機能保全計画を立案するため、平成 20 年度から機能診断調査を実施している。

水路施設における PC 管本体の機能診断調査は、同じ埋設環境下においても外的要因による劣化の進行が管体ごとに異なるが、空水調査の時間的な制約等から従来の非破壊調査による全区間の調査は困難なため、定点調査（代表した地点の定期的な調査）により実施されている。

本稿では、香川用水高瀬支線水路におけるトンネル内に布設された PC 管本体の破損による漏水に鑑みて、同じ布設環境にある約 700m 区間を対象に短期間で実施した新たな非破壊調査（電磁波レーダー探査法）の有効性について報告する。

キーワード：PC管、電磁波レーダー探査法、機能診断調査、短期間

1. はじめに

1.1 香川用水施設の概要

香川用水施設は、吉野川から流水を取り入れる取水工、香川県に導く幹線導水路、県内全域に水を運ぶ西部幹線水路、西部幹線水路、高瀬支線水路に分かれており、水路の総延長は約 106km に及ぶ。このうち水資源機構が管理している区間は、農業用水、水道用水及び工業用水が流れている「共用区間」であり、幹線導水路の約 8km と西部幹線水路の上流部約 35km 及び神田チェックから分岐している高瀬支線水路上流部約 4km の計約 47km の区間である。なお、共用区間以降の約 59km は、農業用水専用区間であり、香川用水土地改良区が管理している（図-1）。このほか、渇水時や緊急時においても必要な用水量が供給可能となるよう、香川用水施設緊急改築事業において貯水量約 300 万 m³ の水道水専用の調整池を設置するとともに調整池と高瀬支線水路二宮チェック（共用区間末端）の間に連絡水路を設置しており、高瀬支線水路のバイパスとして西部浄水場へ用水の供給が可能となっている。

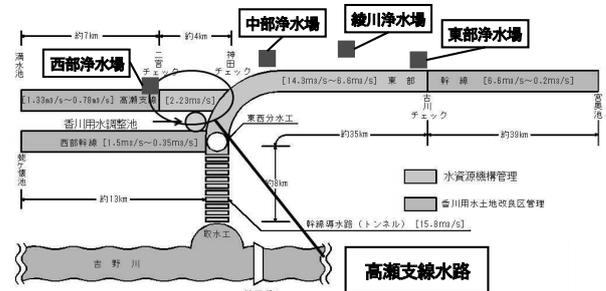


図-1 香川用水施設管理模式図

1.2 高瀬支線水路における機能診断調査

高瀬支線水路は、全長約 3.88km の水路で 2 箇所（砂川サイホン、玉田サイホン）のトンネル及び 3 箇所（砂川分水工、玉田分水工、向谷分水工）のサイホンで構成されている水路である（図-2）。

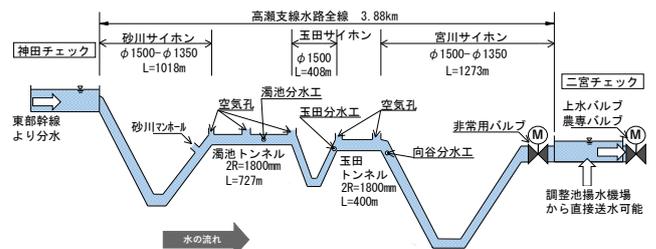


図-2 高瀬支線水路模式図

1. 香川用水管理所 企画調整グループ
2. 香川用水管理所 企画調整グループ

3. 香川用水管理所 建設グループ
4. 香川用水管理所 企画調整グループ 所長代理

サイホン部はPC管で造成され(土中埋設及びトンネル内配管)、近年経年劣化が顕在化しており、漏水事故も頻繁に発生している。機能診断調査では、管内部からの目視等調査のほか埋設管を試掘して管外面からも劣化状況を直接把握する外観調査も実施し、重度のひび割れ、進行性の継手開き、カバーモルタル中性化・薄肉化、PC鋼線発錆・破断(写真-1)、漏水の発生状況等を総合的に判断し、サイホン区間全線を健全度評価S-2と診断している(表-1)。



写真-1 高瀬支線水路 PC管劣化状況

表-1 健全度指標

健全度	施設の状態	対策の目安
S-5	変状がほとんど認められない状態	対応不要
S-4	軽微な変状が認められる状態	要観察
S-3	変状が顕著に認められる状態	補修(補強)
S-2	施設の構造安定性に影響を及ぼす変状が認められる状態	補強(補修)
S-1	施設の構造安定性に重大な影響を及ぼす変状が複数認められる状態	改築

※出典:農業水利施設の機能保全の手引き平成28年8月

これまでの外観調査は、地理的条件が良い土中埋設部しか実施できないため、トンネル内配管区間(約700m)の管外面は直接確認できていない。また、従来の非破壊調査は、日当たり調査延長が数10m程度と限定されるため、対象施設すべてを調査するのは時間的制約から困難である。

このことから令和元年11月に同区間で発生した漏水事故(管体破裂)では、予防保全対策を講ずるうえで、管内から短期間(PC管φ800mm L=500m(1測線)を半日で測定した実績から)で劣化箇所を抽出できる電磁波レーダー探査法に着目した。

2. PC管非破壊調査の概要

本章では、PC管非破壊調査における従来調査方法及び新たな調査方法について紹介する。

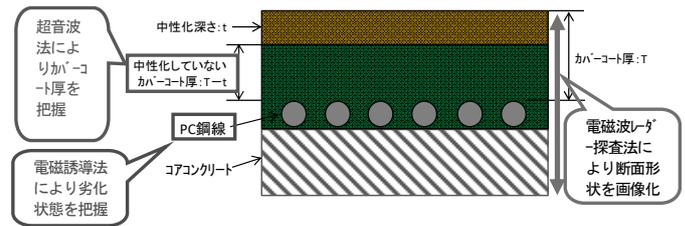
2.1 従来調査方法

(1) 電磁誘導法

電磁誘導法は、コイルを導体に近づけると導体内に渦電流が発生する原理を用いて、PC鋼線の発錆及び破断の有無を測定する調査方法である(図-3)(φ1500日当たり作業量約30m)。PC鋼線が発錆していると出力電圧がバラツキ(標準偏差)、破断していると出力電圧値が大きく変動(最大出力電圧差)する特徴がある。

(2) 超音波法

超音波法は、物質の境界面で反射する性質がある原理を用いて、中性化していないカバー厚を測定する調査方法である(図-3)(φ1500日当たり作業量約30m)。



※PC管規格:カバーコートモルタル厚20mm以上 PC鋼線5mm, JIS規格

図-3 非破壊調査による測定範囲(イメージ)

2.2 新たな調査方法(電磁波レーダー探査法)

電磁波レーダー探査法は、周波数1.6GHzの電磁波をPC管内面から発射(偏波面90°)して電磁波の伝播時間からPC管断面の形状を画像化し、管外面のカバーコートの状態を相対的に把握する調査方法である(図-3)。

写真-2、図-4に健全なPC管を試験測定した記録断面図を示す。同図からコアコンクリート及びカバーコートの断面が一定の幅で測定できていることが確認できる。カバーコートに減肉等の異常がある場合、記録断面図のカバーコートの層に欠落が見られ、異常管として抽出することができる(φ1500mm日当たり作業量約350m)。



写真-2 PC管の全景

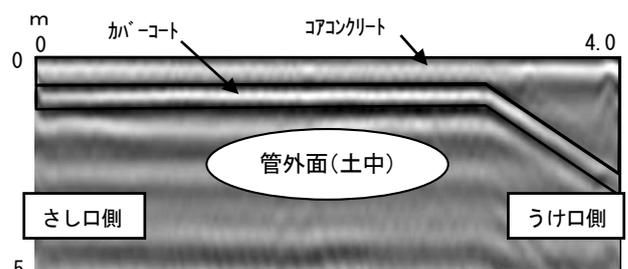


図-4 健全なPC管の電磁波レーダー探査記録断面図の例

3. 電磁波レーダー探査法の有効性

3.1 電磁波レーダー探査法による調査

令和元年11月に高瀬支線水路サイホン部(トンネル内配管区間)において発生した漏水事故では、トンネル岩盤からの浸透水(酸性)がPC管頂部を起点としてカバーコートが中性化させ、PC鋼線が発錆・破断し、管体破裂を引き起こしたと推定された。このことから、調査対象は、漏水事故が発生したトンネル内配管区間(図-5)すべての管頂部1測線を測定した(図-6, 写真-3)。

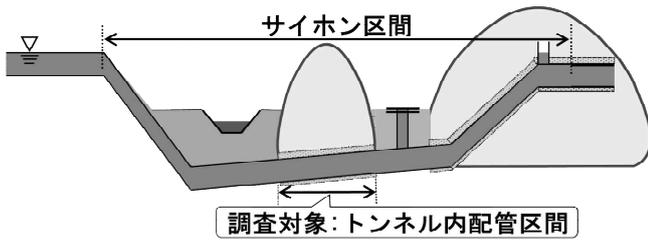


図-5 電磁波レーダー探査法調査対象イメージ

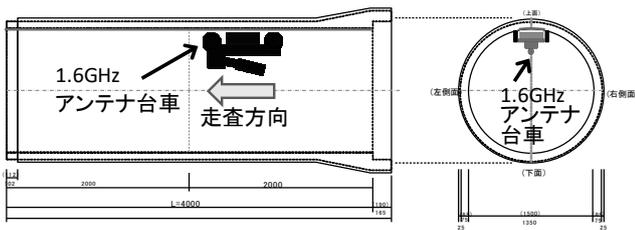


図-6 電磁波レーダー探査法の調査イメージ



写真-3 電磁波レーダー探査法による調査状況

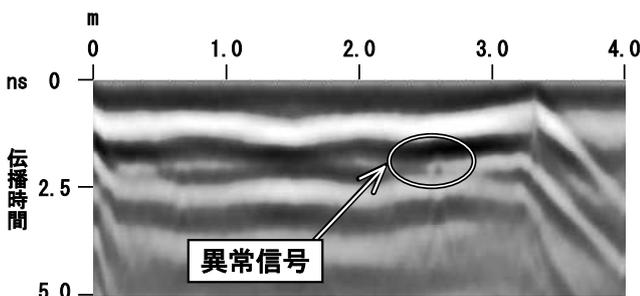


図-7 管 No. 149 の電磁波レーダー探査記録断面

上記に基づき実施した本調査結果の一例を図-7に示す。健全な状態である図-4と比較するとカバーコートの劣化が懸念される異常信号(カバーコートの減肉や剥離からの信号)が確認できる。調査では、これと同様な異常信号を8管で確認した。

3.2 電磁波レーダー探査法(一次調査)の有効性の検証

電磁波レーダー探査法により異常が確認されたPC管を対象に、従来調査方法と調査結果を対比して有効性を検証した。今回は漏水事故の応急復旧期間で同様の事故を引き起こす可能性がある劣化の有無を早期に把握し、該当箇所にて予防保全対策を実施する必要から、管体破裂に直結するPC鋼線の劣化状況を把握することを優先し、従来調査方法は電磁誘導法を適用した。

電磁誘導法における電圧測定結果(破断)(出力電圧値の変動(最大出力電圧差))では、出力電圧値が大きく変動している箇所(図-8)と電磁波レーダー探査記録断面図での異常信号を示した位置(図-7)が合致しており、一次調査としての電磁波レーダー探査法の有効性が確認できた。

電磁波レーダー探査法(一次調査)で異常信号を確認した8管を対象とした電磁誘導法(二次調査)による劣化診断では、5管で「要注意」と判断し(図-9)、この5管を劣化管として、SUS巻鋼管による予防保全対策を実施した(写真-4)。

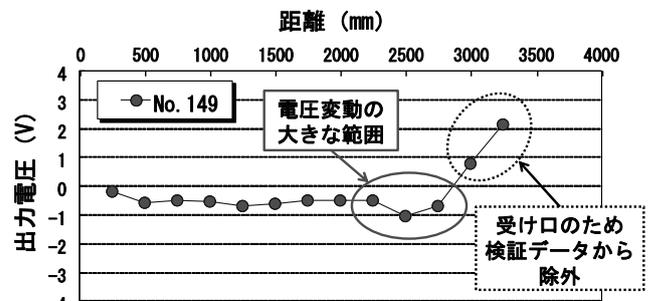
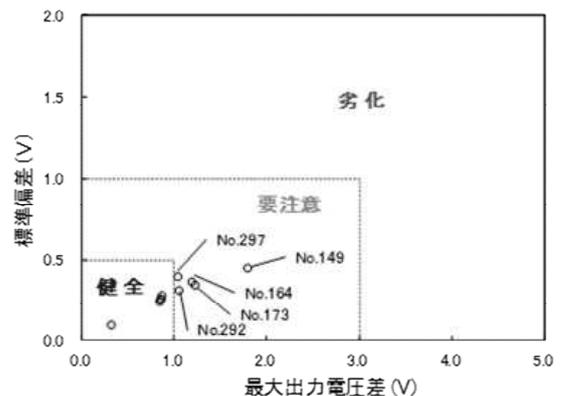


図-8 電磁誘導法による電圧測定結果



※PC管本体の劣化に関する調査・診断マニュアル(案)に基づき作成

図-9 電磁誘導法によるPC鋼線劣化診断結果

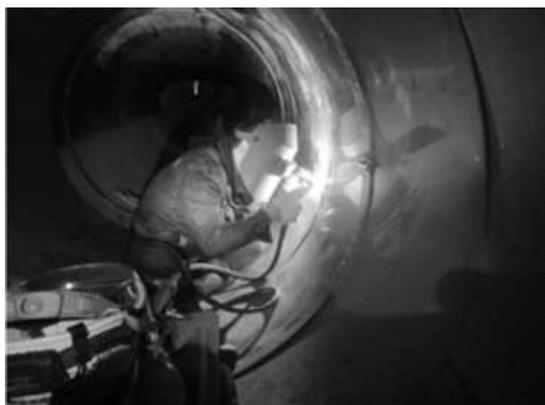


写真-4 予防保全対策実施状況

4. まとめ

今回、都市用水を供給する高瀬支線水路PC管サイホン部（トンネル内配管区間約700m）において、漏水事故による応急復旧の限られた期間で電磁波レーダー探査法を用いた劣化PC管の抽出作業を2日間という短期間で実施し、有効性を検証した上で、異常管候補8管を抽出（一次選定）した。

さらに、この8管を対象に、マニュアルに位置づけられている電磁誘導法（PC鋼線の発錆・破断の診断測定手法）により、劣化管5管を特定し、SUS巻鋼管による予防保全対策を実施した。

これらのことから、今後のストックマネジメントにおけるPC管の機能診断調査において、異常管を抽出する一次調査（電磁波レーダー探査法）と異常管を詳細に診断する二次調査（従来調査方法）を組み合わせることで、短期間で精度の高い成果が得られ、適切な機能保全計画への反映が期待できる。

5. 今後の課題

5.1 測定精度の向上

今回適用した電磁波レーダー探査法は、送信アンテナ部から調査対象物に発射した電磁波が反射して受信アンテナで捉えられるまでの伝播時間を計測して構造物の形状を画像化する探査法で、画像処理した断面からカバーコートの状態を推定した。この断面図からは相対的なカバーコートの状態は把握できるが、現時点で深度（厚さ）を正確（mm単位）に計測することはできないことから、超音波法と同程度にカバーコートの厚さが定量的に確認出来れば、さらに異常箇所抽出精度の向上が期待できる。

5.2 手引き・マニュアル等への位置づけ

機能保全の手引きにおけるPC管の機能診断調査は、定点調査が前提に整理されており、電磁波レーダー探査法のような全数を対象とする調査方法は設定されていない。また、PC管の調査・診断マニュアルにおいても非破壊調査として位置づけられていない。よって、今回適用した電磁波レーダー探査法を一次調査（概略診断）として位置づけ、手引き・マニュアル等へ反映する必要があると考える。

6. おわりに

電磁波レーダー探査法を用いた機能診断手法は、実際に漏水事故応急復旧の限られた時間で早期に異常箇所を抽出できるため、的確な予防保全対策の実施に繋がり、非常に有効な手段であった。

一方で、当該手法は、今後、異常箇所抽出精度の向上に向けた更なる技術の高度化が期待される。また、当該手法は非破壊調査として手引き・マニュアル等への位置付けがされていないため、新たな診断技術としての確立が望まれる。

当機構の管理する水路施設のほとんどは農業用水、都市用水を共用するライフラインとなっており、水の安定通水は組織の使命である。今後もこの使命を達成すべく、適切な管理に努めていきたい。

最後に、全国の水路施設においても電磁波レーダー探査法が導入され、機能診断調査の効率化や維持管理の高度化に貢献できるものとなれば幸いである。

参考文献

- 1) 農業水利施設の機能保全の手引き. 平成30年8月. 農林水産省.
- 2) 農業水利施設の機能保全の手引き「パイプライン」. 平成30年8月. 農林水産省.
- 3) (独) 水資源機構. 2013. PC管本体の劣化に関する調査・診断マニュアル（案）【平成24年度版】.
- 4) 水土の知. 2018. PC管の劣化診断のための電磁波レーダー探査法の現地適用性. p. 19～22.
- 5) 2020年度農業農村工学会. 2020. 電磁波レーダー探査法と電磁誘導法によるPC管の調査方法.
- 6) 令和元年度水資源機構技術研究発表会. 2019. 香川用水管理所. 漏水事故を教訓とした香川用水の取り組み.