

農業用水路機能診断における非破壊調査技術の有効性

森 充広* 渡嘉敷 勝* 長束 勇* 石村英明*

* (独) 農業工学研究所, 〒305-8609 茨城県つくば市観音台 2-1-6

要 旨

現在実施されている農業用水路の機能診断では、目視調査やコンクリートコアの圧縮強度確認などに主眼をおいた調査が行われている。しかし、ひび割れなどの変状がいつ発生したか、経年的な進行性が認められるか、などの変状発生メカニズム特定に有効な調査記録はほとんどない。そこで、他省庁における道路、水路トンネルの機能診断の評価基準を調査・整理し、農業水利施設の機能診断のあり方について考察した。これらを踏まえ、長大な農業用水路の機能診断に有効と思われる連続壁面画像スキャンニング手法を概査に適用し、その有効性を検証した。概査で抽出された変状多発区間において、既存の各種非破壊調査による精査を実施し、ひび割れ深さや鉄筋の腐食状況、断面変形などを計測した。これら一連の調査の結果、おおむねこれらの非破壊調査が農業水利施設の精査手法として有効であることが確認された。

キーワード：予防保全対策事業、機能診断、非破壊調査、農業用水路、水路トンネル、連続壁面画像

1. はじめに

我が国の農業水利施設の総ストックは、平成 14 年度現在の再建設費ベースで約 25 兆円、主要な農業用水路の延長は約 4 万 5 千 km と、膨大な社会資本を形成している。これらの施設は、今後、順次更新の時期を迎えることから、農林水産省ではこれら基幹施設の長寿化に向けた予防保全対策事業を平成 15 年度から制度化し、全国各地で農業水利施設の機能診断が実施されようとしている。

全国の調査管理事務所を中心として進められている「広域基盤整備計画調査」では、既に「機能診断マニュアル」を作成して農業水利コンクリート構造物の機能診断を実施しているところもある。これら調査のほとんどは、目視調査やコンクリートコアの圧縮強度確認、中性化試験などに主眼を置いたものである。目視調査は、農業水利コンクリート構造物の点検・変状調査手法として基本的かつ最も重要な調査手法である。しかし、目視調査には、①変状の確認に個人差が発生する、②機能診断に必要なとされる精度での目視調査には時間がかかる、③見落としなどの可能性があるため大勢の人が一斉に調査する、あるいは熟練した人が調査するなど手間やコストがかかる、④得られるデータが紙ベースでしか保存されず、変状の進行性を定量的に判断することが難しい、などの問題点がある。実際、ひび割れなどの変状の記録が残っている場合もあるが、それらが「いつ」発生したか、あるいは「経年的に進行しているか」という情報はほとんどない。この一因として、特に長大な延長を有する農業用水路においては、発電や上水道などと兼用となっている地区や、畑地かんがい

用水、防火用水、地域用水として冬期における通水の要望がある地区が多く、完全に断水できる時期がほとんどないため、実際に調査が行えない、あるいは調査が非常に短い期間に制限される、という背景が考えられる。ひび割れなどの変状の情報を迅速に電子情報として保管できれば、これらの電子情報を利用した施設機能管理データベースを構築することにより、農業水利施設の劣化度やその発生時期などの基礎資料を提供することが可能となり、効果的な補修・補強工法の選定に大きく貢献できる。

水力発電用の水路トンネルや、道路トンネルなどでは、発生している変状を電子情報として画像化し、これをデータベースとして記録できる技術が開発されている。そこで、これらの連続壁面画像スキャンニングなどの非破壊調査技術を長大な延長を有する農業用水路を対象として適用し、その有効性を検証した。さらに、部分的に発生している変状に関しては、その発生メカニズムを特定するための各種の非破壊調査を実施し、その精度を検証した。

2. 農業用水路の機能診断

2.1 現在の農業用水路の機能診断

各農政局の調査管理事務所では、広域基盤整備計画調査の一環として農業水利施設の機能診断を実施している。劣化レベルを判定するための指標として、次に挙げる事項が取り上げられている。

①変状

記録の対象としている項目は、ひび割れ幅、ひび割れ長さ、

段差、断面変形、断面欠損、不同沈下、たわみ、不良継目、湧水・漏水、浮き・はく離、表面状態（エフロレッセンス、ポップアウトなど）である。これらは、目視調査によって記録されているが、路線全線で実施することは難しいため、ある調査区間に限定して実施されている場合が多い。

② 残存設計耐用年数

耐用年数には、施設そのものが材料的に劣化することによる物理的耐用年数、社会的機能が失われることによる社会的耐用年数のほかに、維持補修費用にかかる費用対効果の算定による経済的耐用年数などがある。土地改良事業計画設計基準・設計「水路工」（農林水産省農村振興局、2001）によれば、施設の改修、更新の判定は、「経済的耐用年数」で検討する、と記述されている。しかし、農業用水路などの土地改良施設では、経済的耐用年数の算定の根拠とすべき維持管理費が、管理者努力などの裁量に委ねられていることもあり、必ずしも明確でない。したがって、現在では簡易ではあるが予定供用年数から経過年数を差し引いた残存設計耐用年数による評価が行われていることが通常である。

③ 破壊・非破壊試験による判定

コンクリートの圧縮強度を確認するために、コア採取による一軸圧縮試験が実施されている。また、圧縮強度を推定するためのシュミットハンマーによる反発硬度測定、浮きやはく離などの内部欠損を確認するための打音調査なども一部実施されている。

④ その他の項目

事故があった場合に第三者への影響度が大きいのか、現在維持管理作業に支障がある部分はないか、過去の事故歴はどうか、現行の計画設計基準を満足しているか、などを補修・補強の判定理由として勘案している地区も見られる。

最終的な補修の要否は、上述した①～④の事項をある判定基準に照らし合わせて評価し、A（要改修）、B（あと数年で改修）、C（今のところ改修の必要性なし）の3ランクに区分しているケースが多い。しかし、判定基準については、それぞれ個別の基準が試行され、統一的な判定基準は今のところ

ない。一部ではあるが、農業水利施設としての“機能”に着目し、その機能が満たされているかどうかを判定基準にしている地区や、ライフサイクルコスト（LCC）、施設のアベイラビリティ（施設全体が規定の時点で機能を維持している確率）を評価項目としようとする試みがみられる。

2.2 他省庁、民間企業などにおける劣化判定の取り組み

例として、通産省（現 経済産業省）資源エネルギー庁、東京電力、東北電力、鉄道総合技術研究所、日本トンネル技術協会におけるトンネル（水路トンネルと道路・鉄道トンネル）の評価項目を Table 1 に列記する。特に際だっているのが、評価対象区間が 10m 単位と、かなり綿密に評価している（資源エネルギー庁、東京電力）ことである。また、鉄道総合技術研究所や日本トンネル技術協会などでは、評価対象区間が「変状区間」となっているが、道路や鉄道は、第三者影響度を最優先に考慮する必要がある、日々の点検作業などで変状区間をスクリーニングしていると考えられる。一方、評価ランクを 5～6 段階に細分化していることも特徴である。他には、トンネルの覆工背面の空洞、覆工巻厚などの調査が加えられていること、鉄道やトンネルでは第三者影響度を勘案し、はく離・はく落といった評価項目が追加されていること、ひび割れについては、ひび割れ係数（資源エネルギー庁）、ひび割れの進行性の有無、ひび割れパターン分析など、各機関・団体固有の評価項目が定義されていることが挙げられる。

2.3 農業用水路の機能診断における特異性

農業用水路に発生している変状は、道路トンネルや鉄道トンネルに通常発生するひび割れや変形などの他に、流水による変状（摩耗、漏水など）を考慮する必要がある。さらに、水路トンネルにおいては、道路や鉄道トンネルとは異なり、日々の日常点検作業が不可能であり、最も頻繁に管理を行ったとしても、毎年の非かんがい期（すなわち年 1 回程度）にしか調査できないのが実情である。

一方、農業水利コンクリート構造物において、コンクリー

Table 1 他省庁、民間企業における劣化評価
Diagnosis of concrete tunnel except Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries

評価単位	資源エネルギー庁 10m 単位	東京電力 10m 単位	東北電力 変状区間	鉄道総合技術研究所 変状区間	日本トンネル技術協会 変状区間
評価項目	・ひび割れ（ひび割れ係数、最大幅） ・はく離・はく落 ・洗掘、摩耗 ・目地切れ ・漏水、噴泥 ・変位、変形 ・コンクリート覆工厚 ・覆工背面の空洞 ・補修歴	・ひび割れ（パターン分類、進行性の有無） ・覆工巻厚 ・コンクリート強度 ・覆工背面空洞 ・周辺地山状況 ・摩耗、洗掘 ・湧水 ・中性化 ・鉄筋腐食、鉄筋露出	・クラック（パターン分析） ・変形 ・欠損、洗掘 ・湧水 ・漏水 ・巻圧および応力（応力計算に基づく） ・摩耗 ・空隙 ・目地切れ ・地表の異常	・覆工の変形、移動、沈下など ・限界支障 ・圧さ ・ひび割れ、食い違いなど ・覆工耐力（有効巻厚と設計巻厚との比）の低下度 ・はく離、はく落 ・目地切れ ・つらら、漏水、噴泥、膨れなど	・覆工の変形、移動、沈下など ・覆工のひび割れ、食い違いなど ・覆工コンクリート片のはく落など ・断面強度の低下 ・覆工コンクリート片のはく離、はく落 ・車両安全走行の阻害 ・側水、土砂流出
評価ランク	A（問題ない状態である）～D（ブロックの劣化に対する補修の要否を検討するべき状態である）の 4 ランク	I（直ちに対策）～V（一般点検）の 5 ランク	1（通常点検としてよい場合）～5（改修した後に充水する場合）の 5 ランク	AA（危険：直ちに措置）、A1、A2、B、C、S（影響なし）の 6 ランク	3A（危険：直ちに対策をする）、2A、A、B、S（影響なし）の 5 ランク

ト塊のはく離・はく落による第三者に対する安全性を考慮しなければならない施設は、農道のトンネルや橋梁などに限定されると考えられる。

以上の観点から、農業用水路の機能診断に際しては、①長大な延長の農業用水路の目視情報を効率的に記録できること、②ひび割れなどの変状の他に、摩耗や漏水といった農業用水路の機能低下を引き起こす現象を捉えることができること、③数年に1回程度しか実施されない目視情報を長期間保管し、経年的な変状の進行性を評価できること、が望まれる。

2.4 農業用水路における効率的な機能診断

農業用水路の延長は、調査対象地区ごとに分割しても数kmという単位になる。このように長大な延長を有する農業用水路の機能診断の流れは、Fig.1に示すように、予備調査、概査、精査と、段階を追って調査することが適切と考えられる。予備調査では、設計図書、既存調査資料、事故歴、補修歴などを調査し、施設の概略を把握するとともに、機能低下の状況を把握する。概査は、予防保全対策が必要とされる変状の著しい区間をスクリーニングするために実施されるものであり、目視調査などがこれに該当する。さらに、絞り込んだ変状区間について、変状を引き起こしている原因を解明するために精査を実施する。変状の原因が解明できれば、根本的な予防保全対策が可能となり、また、数多くある補修・補強工法のうち、どの工法が適切なのかを容易に判断できる。

近年、構造物の設計を仕様で規定するのではなく、必要とする性能（要求性能）だけを規定し、設計の自由度を高めようとする性能設計が導入されつつある。渡嘉敷（2003）は、これらの考え方を機能診断にも応用した「性能管理」という新たな管理理念を提案している。性能を「目的または要求に応じて構造物が果たす役割および働きをある評価軸によって数値化した値」と定義し、「現在ある構造物がその性能を満たしているかどうか」を機能診断の判定基準とすることで、補修・改修の要否が決定される、という提案である。また、中ら（2003）は、水路システムの性能を水理性能、水利性能、構造性能に大別し、水理性能と水利性能について、設計内容と照査すべき内容を詳細にとりまとめている。これらの提案を参考に、農業用水路に求められる主要な機能を簡潔にとりまとめると、Table 2のように整理される。したがって、農業用水路の機能診断においては、これら構造的機能、水理学的機能、水利機能、環境機能に関する機能低下の情報を、効率よく必要な精度で収集できることが理想である。

2.5 効率的な農業用水路の調査診断に向けた研究開発の方向

これまでの機能診断では、「変状区間を絞り込む」作業を目視調査に頼っており、長大な延長を有する農業用水路では、このスクリーニング作業に時間を要している。したがって、今後の研究開発の第一の方向として、このスクリーニングのための効率的な概査法を開発することが挙げられる。すなわ

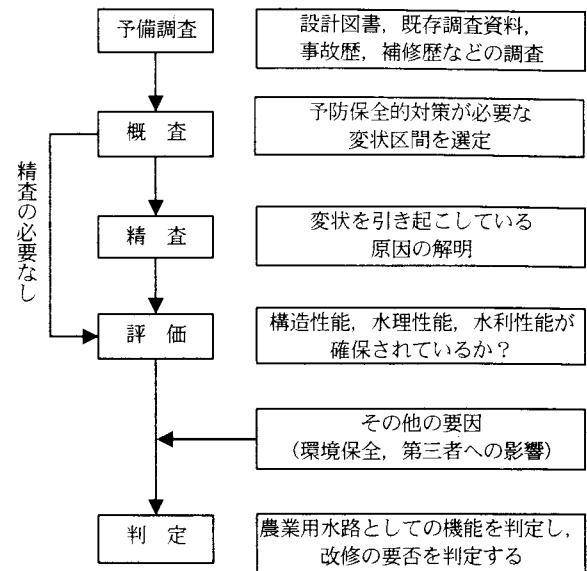


Fig.1 農業水利施設における機能診断フロー
Flowchart of function diagnosis of agricultural facilities

Table 2 農業用水路に求められる主要な機能の一例
Function of irrigation canals

機能	内容
構造的機能	構造体としての安定性
	構造体としての耐久性・耐荷性
水理学的機能	通水機能（断面確保）
	分水機能（分水位の維持）
	水理的安定性（表面抵抗の大小）
水利機能	水管理機能（漏水損失）
	水位・流量制御機能（操作性）
	需給調整機能（計測連携性）
	分水制御機能
	付加的機能
環境機能	水質保全性
	周辺環境への調和・快適性

ち、農業用水路に発生しているひび割れや漏水などの情報を、連続的に電子媒体として記録する非破壊調査技術の開発である。

また、機能診断の目的は、「どこに変状が発生しているか」を調査することではなく、「発生している変状が農業用水路の機能に悪影響を与えているかどうか」を判断し、最終的には「補修すべきか、改修すべきか、あるいは今後点検を継続するのみにとどめるか」を判断することである。そこで、研究開発の第二の方向として、上記の概査法で得られた電子媒体の画像情報から、劣化の著しい区間を抽出し、その区間において発生しているひび割れなどの変状の情報から現在の構造的残余耐力や水理学的な機能低下を推定し、劣化度のランクや補修の必要性を判定できるシステムを開発する必要があると考えられる。

そこで、長大な延長を有する農業用水路を対象とし、これらの効率的な調査診断を目的として、（独）農業工学研究所および民間3社（日本工営株式会社、コマツエンジニアリング株式会社、株式会社ウォールナット）は、官民連携新技術研究開発事業「効率的な農業用水路維持管理のための非破壊調

査技術および劣化診断システムの開発」(平成 14~16 年度)を実施している。次章以降、関東農政局管内の O 地区を対象として実施した既存の非破壊検査手法による変状箇所の検出結果と、変状箇所を対象として実施した非破壊調査結果を報告するとともに、今後の開発の方向を述べる。

3. 既存の非破壊検査手法の適用とその結果

3.1 調査の目的

変状を効率的かつ非破壊的に連続画像としてとらえる連続壁面画像スキャン手法として、レーザー光を用いた手法、CCD カメラを用いた手法が実用化されている。そこで、今回、これらの手法を農業用水路に適用し、その有効性を検証した。さらに、コンクリート構造物の非破壊調査法として一般に実用化されている各種の手法を農業用水路に発生している変状の精査手法として適用し、その有効性を確認することを目的として調査を行った。

3.2 調査の概要

調査は、現在更新事業が実施されている O 地区 D 開渠 ($L=62.0\text{m}$) および K 水路トンネル ($L=2,462\text{m}$) を対象として実施した。O 地区は、昭和 22 年から 43 年にかけて基幹水利施設の整備が実施されたが、事業完了後既に 30 年以上が経過し、施設の老朽化、営農形態や水需要の変化などにより、適正な用水配分に支障をきたしている地区である。地区調査段階では、目視調査に基づき、施設の老朽化度、安定性、構造耐力、維持管理面、周辺状況などから、総合評価を行い、A (早期に改修する必要がある)、B (事業期間中までに改修が必要な施設であり、A ランクの施設の改修と関連して計画的に改修することが望ましい)、C (事業期間中に改修する必要があると認められない) に区分していた。今回調査した K 水路トンネルの当時の目視調査結果によれば、トンネル坑口から 480m の位置にトンネル上部が抜け出しているような食い違いを有

するひび割れなどの変状の存在が確認されていた(A ランク)。また、それ以外の区間でも、部分的にトンネル側壁部分に開口したひび割れが発生している状況であった(B または C ランク)。これらの変状を効率よく調査するために、Table 3 に示す調査を実施した。特に変状の著しい箇所においては、別途そのメカニズムを特定するための精査を実施した。以下に、

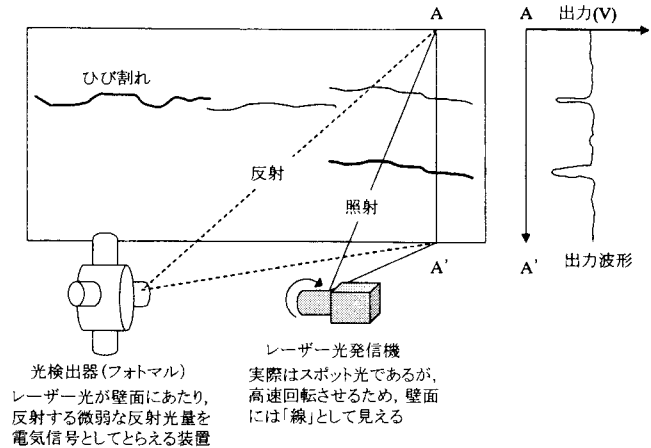


Fig.2 レーザー壁面画像計測の概要
Outline of continuous laser scanning system

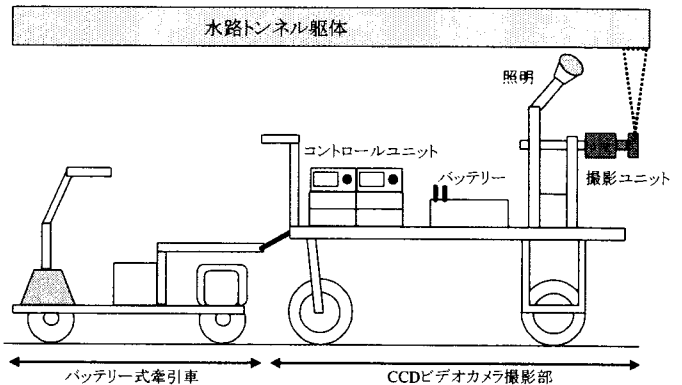


Fig.3 ビデオカメラ壁面画像計測概要(トンネル部)
Outline of continuous CCD video camera scanning system

Table 3 適用した調査法一覧
Outline of applied survey methods

対象	計測方法	計測対象	調査数量
トンネル	レーザー法	覆工表面のひび割れなど	2,462m
	CCD カメラ壁面計測	覆工表面のひび割れなど	トンネル坑口から 10m
	レーダ法	覆工背面の空洞	天端 2,462m, 変状の著しい区間では横断方向も実施
	レーザー式内空断面計測	トンネル内空の断面形状	変状の著しい区間
	超音波法	ひび割れ深さ	変状の著しい区間
	ドリルカメラ調査法	覆工背面の空洞	レーダ実施箇所で数カ所
	赤外線サーモグラフィ法	ひび割れ周辺の温度分布	代表的なひび割れ数カ所
	シュミットハンマー反発度法	コンクリート強度	変状の著しい区間
開水路	レーザー法	覆工表面のひび割れなど	62m
	レーダ法	配筋状態	幅 2m×高さ 1.6m の範囲
	電磁誘導法	配筋状態	幅 2m×高さ 1.6m の範囲
	自然電位法	鉄筋の腐食状態	幅 2m×高さ 1.6m の範囲
	電気抵抗法	鉄筋の腐食状態	幅 2m×高さ 1.6m の範囲
	レーザープロファイル計測	開水路側面の不陸	幅 2m×2 測線
	赤外線サーモグラフィ法	開水路側面の温度分布	幅 2m×高さ 1.6m の範囲
	シュミットハンマー反発度法	コンクリート強度	1 箇所

これらの調査法について、その方法を概説する。

3.2.1 レーザー法

レーザー光線を壁面に照射し、壁面で反射する光量の強弱を光検出器でとらえることにより、ひび割れなどの変状情報を連続的に検出する手法である。概要を Fig.2 に示す。照射したレーザー光が計測対象壁面にあたり、反射してくる光量の大きさを連続的に計測することにより、ひび割れの方向や長さ、位置が検出される。計測速度は最大 2km/h と迅速な調査が可能である。なお、光検出器は微弱な光量を計測する装置であるため、開水路での調査は夜間に限定される。一方、水路トンネル内では、目視調査のように明るい照明をつけることなく調査が可能である。

3.2.2 CCD カメラ壁面画像計測法

壁面を照明で照らしながら CCD カメラで撮影し、得られた画像データをコンピュータ上で処理して連続画像を取得することにより、ひび割れや摩耗状況を記録する方法である。今回使用した機器の概要を Fig.3 に示す。測定できるひび割れ幅は、搭載する CCD カメラの画素数による。すなわち、高解像度の CCD カメラであれば、計測対象壁面から離れた位置にカメラを据え付けても微細なひび割れをも検出できるが、画素数の低いカメラであれば、対象壁面に近づけて設置しなければ同様の精度でひび割れを検知することが難しくなる。

3.2.3 レーダ法

アンテナと呼ばれる装置からコンクリート中に電磁波を発射し、それらの透過、屈折、反射などの物理現象をとらえることにより、コンクリート中の鉄筋や空洞の位置を検出する方法である。電磁波は比誘電率の異なる境界で強く反射する。コンクリートの比誘電率が約 10、空気の比誘電率が 1 であるため、この境界面で強い反射が起こることになる。この反射の位置や、発射してから受信されるまでの時間を計測することで、覆工厚や空洞位置を特定できる。今回、水路トンネルに発生しているひび割れの原因を探るため、トンネル覆工厚さや覆工背面の裏込め状況を調査した。さらに、開水路区間においては、鉄筋の配筋状況を確認するために、高周波のレーダを使用した。

3.2.4 レーザー式内空断面計測

自動的に円周上を回転しながら断面形状を記録するレーザー距離計 (Fig.4) を用いて、トンネル内空断面を計測した。今回の測定では回転角を 1.8° / 点に設定し、全周測定 200 点で断面形状を測定した。

3.2.5 その他

その他トンネル変状区間の概査として赤外線サーモグラフィ法による浮きやはく離箇所の調査を、精査として、超音波法によるひび割れ深さの調査を実施した。また、開水路では、鉄筋の配筋状況を調査するための電磁誘導法およびレーダ法、鉄筋の腐食状況を確認できる自然電位法、鉄筋が腐食環境にあるかを確認できる電気抵抗法などを利用した。測定方法に

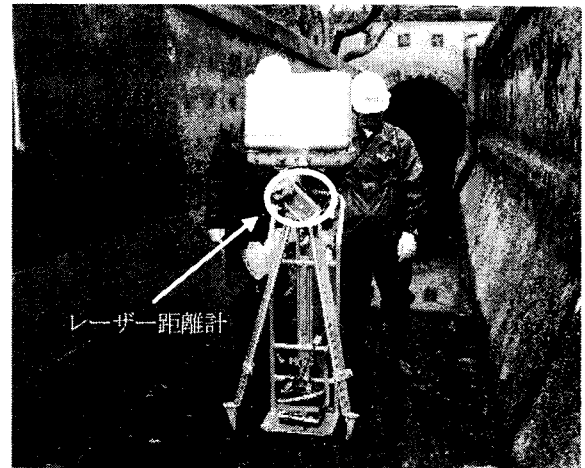


Fig.4 レーザー式内空断面計測
Section measurement system using laser sensor

については、参考文献 (例えば (社) 日本非破壊検査協会編, 1994; (社) 日本コンクリート工学協会編, 2001) を参照されたい。

3.3 調査結果

3.3.1 レーザー法および CCD カメラ壁面計測法の結果

レーザー法および CCD カメラ壁面計測法で取得したトンネル坑口から 10m 区間の連続壁面画像結果を Fig.5 に示す。レーザー法の場合は、グレースケール画像、CCD カメラ法の場合にはカラー画像が得られる。2R=2,400 標準馬蹄形の水路トンネルで実施したレーザー法の結果では、1mm 幅のひび割れまで確認できた。一方、CCD カメラ法では、壁面の微妙な質感を表現することができるが、使用した CCD カメラの画素数が荒く、1mm 幅のひび割れを確認できる精度ではなかった。さらに高い画素数の CCD カメラを利用するか、もしくはカメラをさらに壁面に近づけて、画素数あたりの撮影範囲を細かくとることが必要と思われる。

3.3.2 レーダ法の結果

開水路では、鉄筋の配筋位置を求めるため、また、水路トンネルでは、覆工背面の空洞状態を確認するため、レーダ法を適用した。使用したアンテナの周波数は 500MHz (水路トンネル) および 800MHz (鉄筋調査) である。開水路区間でのレーダ結果では、鉄筋からの反射が確認でき、配筋状態を特定することができた。また、水路トンネル覆工のレーダ適用結果では、覆工コンクリートの厚さや、その背面の空洞分布状況が確認できた。Fig.6 に水路トンネル内で実施した調査結果の一例を示す。T.P.110+10m までは、覆工背面の空洞からの強い反射が比較的連続して見られるが、最も変状の大きかった食い違いを有する天端クラックのあたりでは、明瞭な反射面が途切れている。そこで、ドリル削孔によって地山の状況を確認した結果、緩んだ土砂が堆積していることを確認した。

3.3.3 レーザー式内空断面計測の結果

レーザーにより内空断面を計測した結果、トンネル坑口か

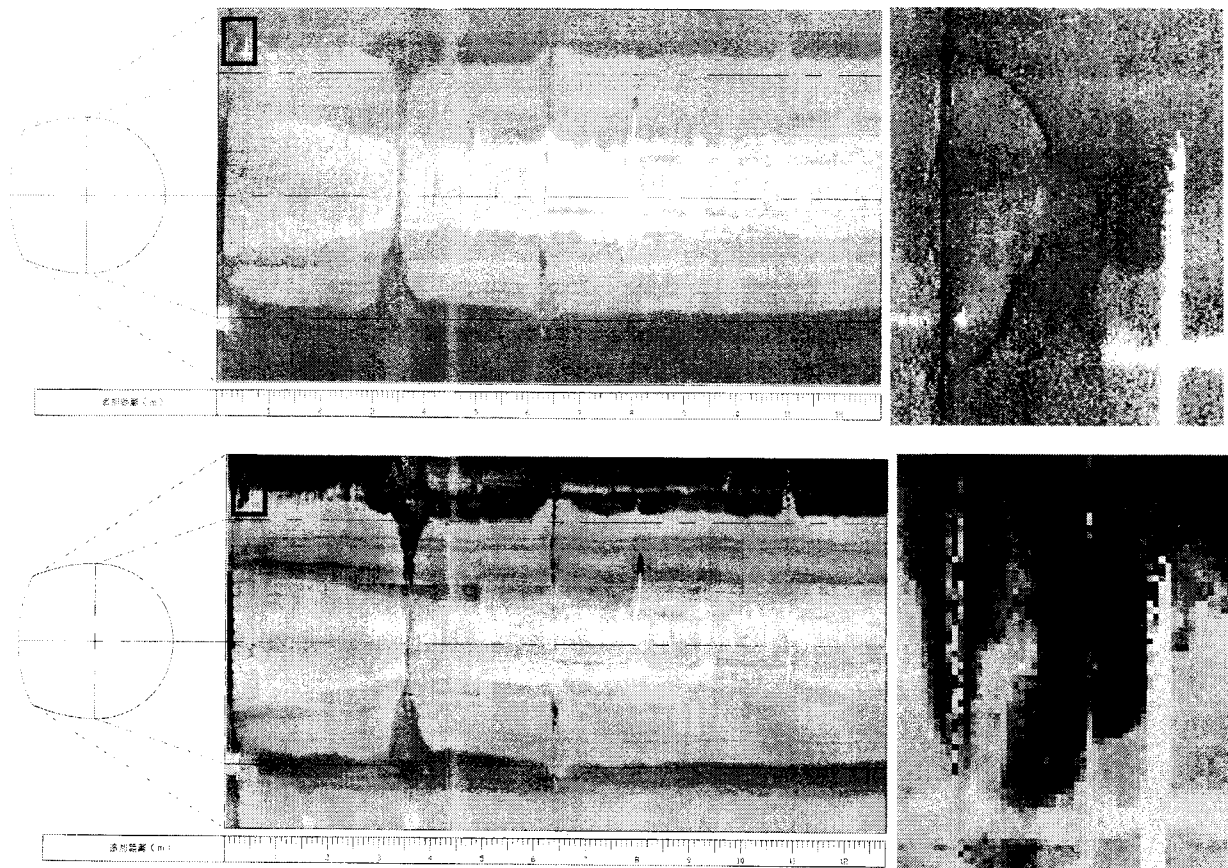


Fig.5 連続壁面画像結果 (上: レーザー法, 下: CCD カメラ壁面計測法, 右図は□で囲った範囲の拡大図)
Scanning pictures of continuous imaging methods (Top: laser measurement system, Bottom: CCD camera imaging system)

ら 480m 付近の変状の著しい水路トンネルにおいては, トンネル坑口の断面と比較すると, トンネル側壁が内側に押され, 天端が上側に突出している状況が確認された (Fig.7). 完成当初の記録がないため, この結果だけで実際に変形が進行していると断定できないが, この上部が緩んだ土砂であることから, トンネル側壁が押され, 上側に突出しようとする変形を押さえるだけの十分な反力が得られていないと推測される。

3.3.4 その他の調査結果

開水路で実施した電磁誘導法による配筋調査結果を Fig.8 に, 同じく開水路で実施した自然電位法による鉄筋腐食可能性の確認結果を Fig.9 に示す。電磁誘導法では, 浅い位置に鉄筋があれば, 鉄筋径やかぶりを特定することも可能であり, 設計図書との整合性を確認する作業に効率的に利用できる。また, 自然電位法は, 鉄筋までドリルなどではつた後に計測を行うことになるが, それ以外の領域の鉄筋腐食状況を確認することができる。開水路壁面の調査では, 自然電位が全体的に $-100 \sim -170 \text{ mV vs CSE}$ (硫酸銅電極換算) であり, ASTM による判定基準で「90%以上の確率で非腐食の状態」であった。電気抵抗法においても, おおむね $10,000 \Omega \text{ cm}$ 以上であり,

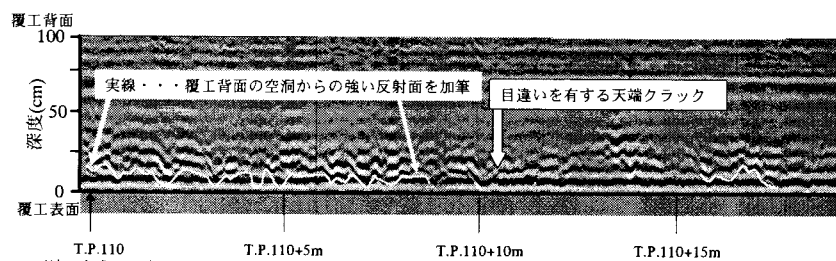


Fig.6 レーダによるトンネル覆工背面の空洞分布調査結果
Void behind the tunnel concrete lining using ground penetrating radar system

鉄筋腐食環境にないことが確認された。ただし, これらの電気化学的方法は, あくまで相対的な評価を示すものであり, 実際にははつるなどして一部破壊検査と組み合わせて評価する必要がある。

一方, 赤外線サーモグラフィ法は, 広大な面積を非接触で調査できる手法として有効であるが, 今回の調査では水路トンネル区間, 開水路区間とも有益な結果は得られなかった。特に水路トンネル区間では, 目視で明らかな漏水や食い違いといった変状でさえ, 赤外線サーモグラフィ法で検知することが難しかった。これは, トンネル内部がほぼ恒温状態にあるため, 健全部と変状部との温度差が生じにくいためであったと考えられる。しかし, 営団地下鉄で既に実用化されているように, 壁面全体を加熱し, その放熱状況を連続的にモニタリングすることにより, 表面に見えないはく離危険箇所や漏水箇所の特定ができる可能性はある。

4. まとめと今後の展開

本報では、現在実用化されている種々の非破壊調査技術を農業用水路の機能診断の一助として活用できるか、現地適用試験を行った。その結果、連続画像スキャニングは、断水直後の調査においては、壁面が浸潤している、底版には水が貯まっている、あるいは開水路区間では、コケなどの植生が計測の妨げになるなど、農業用水路特有の障害もあるものの、短時間にひび割れなどの劣化情報を電子媒体として記録できる優れた手法であることが確認された。また、劣化メカニズム特定のための既存の非破壊調査技術は、おおむね農業用水路への適用が可能であることが確認できた。これら調査の結果、水路トンネルで発生していた食い違いを有する天端のクラックは、トンネル上部の覆工背面に空洞あるいは緩んだ土砂があり、躯体と地山が一体化していなかったため、側圧によりトンネルが上側に変形した結果生じたものであると分かった。また、開水路区間では、鉄筋の配筋状況を確認するとともに、その腐食状況を確認した結果、鉄筋も腐食しておらず、構造的な耐力低下は認められなかった。

一方、今後の課題として、農業用水路に求められる性能と、その性能を低下させる変状を明らかにすること、また、どのレベルの劣化情報まで取得するかという判定基準を明確にする必要があることが分かった。

なお、今後、官民連携新技術研究開発では、次のような方向でさらに研究を推進する予定である。

① 調査項目の決定

今回の調査は、「既存の非破壊調査がどの程度まで適用可能か」に主眼を置いたものであったため、手配できた機器を用いて種々の手法を適用した。しかし今後は、農業用水路に求められる性能と、その性能を低下させる変状を明らかにし、必要な精度でその変状をとらえ、評価する手法を開発する。

② 計測システムの要求性能の決定

今回は、既存のシステムを農業用水路に適用できるように計測装置を分解、小型化して調査を行った。しかし、農業用水路には様々な規模や形状の水路が混在するため、これらすべてに適用できるよう、弾力のあるシステムを開発する必要がある。また、今回用いたレーザー法のひび割れ検出精度は、約0.5mm程度であったが、水密性確保という観点からすれば、0.2mmの分解能が必要とされると想定される（（社）日本コンクリート工学協会，1984）。今後、農村振興局で実施される予防保全対策事業の中で、農業水利施設の統一的な機能診断マニュアルなどが制定され、ひび割れに関する判定基準が決定されれば、それに準拠した精度での測定が可能なシステムとしたいと考えている。

③ 劣化診断システムの開発

本研究開発事業では、最終的には、得られた概査情報や、

地区の情報を入力することによって、自動的に劣化レベルを判定できるシステムの開発を計画している。電力会社では、主要な水路トンネルを中心に、既に「水路トンネル管理支援システム」が実用化されている（安保ら，2000）。水路トンネルに特化したこのシステムでは、クラックの発生パターンマッチング、数値解析による残余耐力評価、クラックの進行性、そして荷重増大の可能性評価の4項目を評価項目とし、電力会社で定めた判定基準をもとに構造的な面からの健全度を判定している。これらの考え方は、大いに参考になるものの、

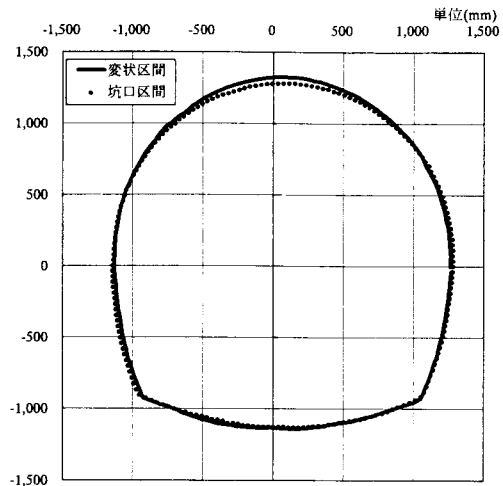


Fig.7 内空断面計測結果

Deformation of tunnel section using laser sensors

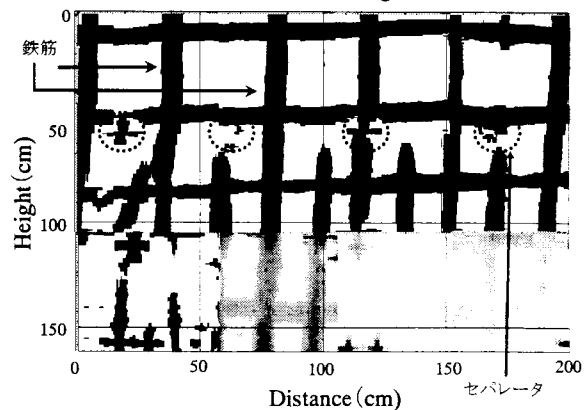


Fig.8 電磁誘導法による配筋調査結果

Supposed rebar position using electromagnetic test

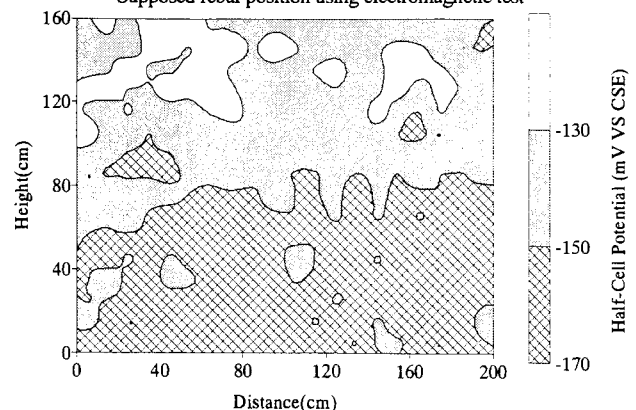


Fig.9 開水路における自然電位分布

Potential mapping using half-cell potential methods

農業用水路においては、構造的性能評価のほかに、水理学的機能、水利機能、環境保全機能なども評価項目として取り入れるべきであり、また、その判定基準も、農林水産省として独自の基準を整備する必要があると考えられる。

④ 簡易な調査技術の開発

特に水路トンネルにおいては、側圧や偏圧の状態を知るためにも地山性状の情報が不可欠である。しかし、管理委託先の県や土地改良区には設計図書や図面が残っていない場合も多く、地表からのボーリングなどの作業が必要となるのが実情である。そこで、ボーリングをしなくとも、トンネル内から簡易に地山の性状を確認できる簡易地山確認調査技術の開発を行う予定である。さらに、発生しているひび割れが躯体を完全に貫通しているかをコア抜きせずに簡易に判定できる調査技術も必要であると考えている。

⑤ 水理学的機能の評価

農業用水路特有の劣化現象として、流水による摩耗や、摩耗による粗度係数の低下が挙げられる。しかし、これらの判定基準については、コンクリート標準示方書「維持管理編」でも触れられておらず、早急な検討が必要である。

謝辞: 現地調査にあたっては、関係者各位の多大なるご協力を頂いた。記してお礼申し上げます。なお、本研究は、平成 14~16 年度実施予定の官民連携新技術研究開発事業「効率的な農業用水路維持管理のた

めの非破壊調査技術および劣化診断システムの開発」の成果の一部をとりまとめたものである。関係者各位にお礼申し上げます。

引用文献

- 中達雄, 田中良和, 向井章恵 (2003): 施設更新に対応する水路システムの性能設計, 農業土木学会誌, **71**(5), 51-56
- 農林水産省農村振興局 (2001): 土地改良計画設計基準・設計「水路工」基準書・技術書
- (社) 日本非破壊検査協会編 (1994): コンクリート構造物の非破壊試験法, (株) 養賢堂発行
- (社) 日本コンクリート工学協会編 (1984): コンクリートのひび割れ調査・補修指針
- (社) 日本コンクリート工学協会編 (2001): コンクリート構造物の診断のための非破壊試験方法研究委員会報告書
- 渡嘉敷勝 (2003): 農業水利構造物の管理の展開方向, 材料施工研究部会報, **41**, 1-12
- 安保秀範, 田中雅弘, 吉田典明 (2000): 水路トンネル管理支援システムの開発, 電力土木, **287**, 1-5

[2003. 12. 1. 受稿, 2004. 2. 19. 閲読]

[この研究論文に対する公開の質疑あるいは討議(4,000字以内, 農業土木学会論文集編集委員会あて)は, 2004 年10月24日まで受付けます。]

Effectiveness of Non-destructive Tests to Irrigation Canals and Tunnels for Function Diagnosis

MORI Mitsuhiro*, TOKASHIKI Masaru*, NATSUKA Isamu*, and ISHIMURA Hideaki*

* National Institute for Rural Engineering, Kannondai 2-1-6, Tsukuba, Ibaraki 305-8609, Japan

Abstract

The diagnosis of irrigation and drainage canals and tunnels is generally based on some inspection which is taken by eyes or simple tools, concrete strength by unconfined compression test, and neutralization test until now. But no information had been recorded when the deterioration like open cracks had occurred or how much the crack progressed according to years, which must be beneficial to assume mechanism of the deterioration. To specify the properties of management of irrigation canals, we collected several standards for the diagnosis of roads or water canals that were applied in another Ministry or Corporation except Ministry of Agriculture, Forestry, and Fisheries, and consider the way to assess agricultural facilities. Moreover, we tried continuous scanning system for irrigation and drainage canals inspections. Also, at the point of concrete deterioration that was detected by continuous scanning system, we examined conventional non-destructive tests as the detail survey to get the information about the depth of crack, corrosion of rebar, and deformation of the shape. We recognized that these non-destructive tests were effective.

Key words: Preservation and conservation government project, Diagnosis of agricultural facilities, Non-destructive tests, Irrigation canals, tunnels for irrigation, Continuous scanning system