

農業水利施設機能診断のための非破壊調査現地適用事例

Application of Non-destructive Tests for Performance Diagnosis on Agricultural Facilities

森 充 広[†] 渡 嘉 敷 勝[†] 長 束 勇[†] 服 部 晋 一^{††}
 (MORI Mitsuhiro) (TOKASHIKI Masaru) (NATSUMA Isamu) (HATTORI Shin-ichi)

I. はじめに

コンクリートは、ダムや頭首工、開水路等の農業水利施設をはじめとして、多くの土木、建築構造物に利用されている。適切に設計、施工されたコンクリート構造物は耐用年数50年以上ともいわれてきた。しかし、1984年「道路橋の塩害対策指針（案）」、1986年「アルカリ骨材反応対策」が制定される以前に施工されたコンクリート構造物の一部は、塩害やアルカリ骨材反応、凍結融解等による早期劣化を引き起こしており、社会的な問題となっている。22兆円ともいわれる膨大なストックの農業水利施設に関しても、ひび割れや摩耗等の老朽化が深刻な問題となっており¹⁾、これらの補修・改修が緊急の課題となっている。補修コストを削減するためには、補修の必要な箇所を迅速に発見・特定し、部分的な補修を適切に行い対応するのか、またはある時期に全面改修するのかを総合的に判定する必要がある。このため、これら構造物に発生している変状が重大な欠陥であるかどうかを客観的に判定する非破壊調査技術へのニーズが高まっている。農村振興局においても、平成14年度を目標に施設機能診断手法を体系的に整理し、施設更新の判定基準を策定する計画を打ち出している²⁾。

本報では、コンクリート構造物の非破壊調査法として、広範囲を一度に概査できる赤外線サーモグラフィ法、コンクリート構造物の力学的な健全度を評価できる音響弾性波法、そして概査で検出した異常箇所を正確にマッピングできる診断テストの3種類の非破壊調査法に着目し、これらを頭首工のピアおよび管理用道路の橋梁床版の劣化部および剥離危険箇所の検出に適用した結果を報告する。

II. 調査の概要

1. 調査地の概要

調査は、東海農政局管内の犬山頭首工のピアおよび管

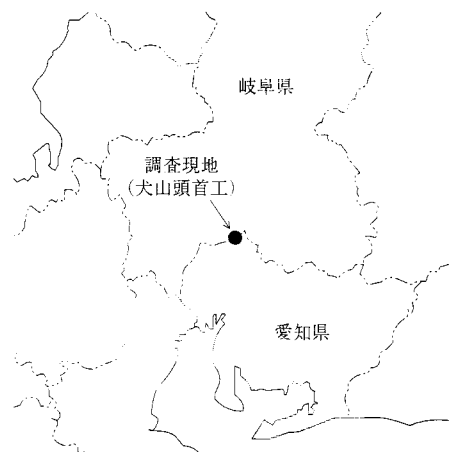


図-1 調査現地位置図

理用道路橋梁床版を対象として実施した(図-1)。犬山頭首工は約40年前に建設されたコンクリート構造物であり、現在、浸透路長確保のための止水鋼矢板の打設、管理用道路の拡幅、下流エプロン底版へのグラウチング等の補修工事が実施されている³⁾。頭首工のピアおよび管理用道路そのものの補修は現時点では計画されていないが、音響弾性波法および赤外線サーモグラフィ法による概査を行い、劣化部や剥離危険箇所を非破壊で検出できるか調査した。また、何らかの異常が認められた場合には、その周辺を診断テストで診断し、正確にその位置を特定した。

2. 調査法の概要

(1) 音響弾性波法の概要 音響弾性波法は、コンクリート構造物内に音響弾性波を入射し、その振動応答をとらえることにより、コンクリート内部に存在する空洞や剥離層を検出する非破壊調査法である。コンクリートの非破壊調査法としては、超音波法が通常用いられており、弾性波の周波数領域が可聴域よりも高い(20 kHz以上)ものを使用しているが、音響弾性波法では、超音波よりもやや周波数の低い1~10 kHzの可聴音波を利用

[†](独) 農業工学研究所

^{††}三菱電機(株)



非破壊調査、機能診断、農業水利施設、頭首工、音響弾性波、赤外線サーモグラフィ

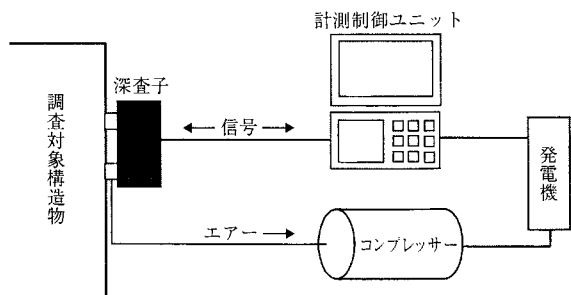


図-2 計測システムの概要図

する。一般に弾性波法では、使用する弾性波の周波数が高いほど波長が短くなり、調査能力は向上するが、減衰が激しく、調査深度が浅くなるという特性がある。したがって、音響弾性波法は、超音波法と比較すると波長が長い分コンクリート中の骨材や鉄筋の影響を受けにくく、より深部の情報がとらえられるという利点がある。今回用いた計測システムの概要を、図-2に示す。深査子には、磁気とひずみを可逆的に変換できる金属系磁歪材を使用している。磁歪材とは、駆動電流の大きさによって磁界が変化することにより、ひずみを発生し、また、一方でひずむことによって磁気特性が変化し、起電力が生じる物質である。磁歪材を調査対象面に押し当て、電流を通電させることにより生じるひずみを構造物内へ音響弾性波として入射し、そのときに得られる反射波をもう一対の磁歪材が感知して電流値に換算することにより構造物表面近傍の浮きや剥離を計測できる仕組みである。また、構造物を挟み、送信機と受信機を対向して設置することにより、構造物内の音響弾性波速度も計測可能である。なお、本計測システムでは、調査対象面に接した深査子内のエアースタックをコンプレッサーにより吸引し、構造物と深査子とを密着させるため、超音波法で必要とされるグリース塗布などの表面処理が不要で、作業効率に優れている。

(2) 赤外線サーモグラフィ法の概要 赤外線サーモグラフィ法は、赤外線映像装置を用いて物体の表面温度分布を測定し、熱画像上に現れる表面温度の異常部から内部欠陥の存在を推定する方法である。内部に生じた空隙が断熱層となり、日射や気温変化に起因して生じる表面温度の日変動中に、欠陥部と健全部との間に表面温度差が生じる時間帯があることを利用して内部欠陥を検知する⁴⁾。赤外線サーモグラフィ法の特長は、①非破壊かつ非接触で短時間に広範囲にわたる診断ができるため、作業効率がよく、安全である、②検査結果を視覚的な熱画像として表示することができる、③光学的な計測法であるために、検査対象の大きさによる制限を受けにく

表-1 赤外線映像装置の仕様

測定温度範囲	-20~300℃
フレームタイム	1/30秒
検出素子	2次元非冷却マイクロボロメータ
測定波長	8~14μm
測定視野角	25.8°(H)×19.5°(V)
有効画素数	320(H)×236(V)
測定距離	30cm~∞
熱画像表示	5インチカラー液晶モニター
A/D変換	12ビットフルレンジ取込み
寸法	115(W)×220(D)×142(H)mm
本体重量	2kg

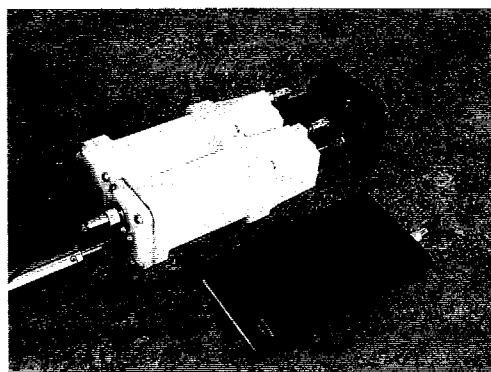


写真-1 診断テスト

い、等が挙げられる。こうした利点から、近年、法面保護の吹き付け面の浮き確認やコンクリート構造物の診断にも応用されるようになってきた。今回利用した赤外線映像装置の仕様は、表-1のとおりである。

(3) 診断テストの概要 診断テストは、対象物を打撃して振動を発生させるハンマーモジュールと、打撃により生じる振動をとらえるセンサーモジュールからなるコンパクトな測定機である。対象物をハンマーモジュールで打撃した際の表面の振動の大きさに応じて、センサーモジュール内のランプが点灯し、剥離に対する危険度を4段階で評価する仕組みになっている。診断テストの外観を、写真-1に示す。

III. 調査方法

1. 頭首工ピアの剥離調査

音響弾性波法においては、ピアの左右岸側面において50cm×50cmの格子を描き、その交点を測定ポイントとした。測定ポイントに送受一体型の深査子を設置して音響弾性波を入射、およびその反射波を受信し、ピア表層近傍の剥離個所の検出を行った。

2. 頭首工ピアの音響弾性波速度計測

次に、ピアの左右岸の対向する位置の一方に送信機、もう一方に受信機を設置し、ピア内部の音響弾性波透過時間およびピアの厚さ(3.0 m)から、ピア内部の音響弾性波伝播速度を計算で求めた。

3. 診断テストによる管理用道路橋梁床版調査

管理用道路橋梁床版の調査は、簡易型の診断テストを用いた。得られた危険度データは無線でノートパソコンに記録することが可能であるため、本調査においては、管理用道路橋梁床版の調査を高所作業車に乗った作業員が担当し、そのデータを地上に待機した作業員が記録、保存する、という作業が可能であり、非常に効率的な調査が可能であった。

4. 赤外線サーモグラフィ法による温度異常部の検出

赤外線サーモグラフィ法は、赤外線映像装置を三脚に固定し、太陽光が当たっている状態でのピア表面温度分布をデジタル画像として記録した。さらに、赤外線画像とともにデジタルカメラによって可視画像も記録した。赤外線サーモグラフィ法の調査は、よく晴れた日の午後(調査時期は2001年10月)に実施した。

IV. 調査結果

1. 音響弾性波法によるピア調査結果

ピアの左岸側、右岸側表層部で実施した音響弾性波法による診断結果を、写真-2に示す。なお、図中の剥離面までの深度は、本測定システムにより得られた推定値である。調査対象としたピアは、施工時に斜めに打ち継いでいるが、この打ち継ぎ目付近に一部剥離の危険性の高い個所が存在した。さらに、目視では特に異常が認められなかった右岸側のピア側壁にも一部剥離の危険性の高い個所が存在した。そこで、ピアを挟み込む形で送受信探査子を離して設置し、コンクリート中の音響弾性波伝播速度を計測し、力学的安全性を評価した。結果を写真-3に示す。測定点20点の平均値は4,400 m/sであり、コンクリートの一般的な弾性波伝播速度(4,000～5,000 m/s)⁵⁾の範囲内の値であり、局所的な劣化は検出されなかった。

次に、管理用道路橋梁床版に発生している微細クラック周辺の剥離危険性を簡易型の診断テストにより調査した結果を口絵写真-1に示す。ごく一部ではあったが、ひび割れ周辺に剥離危険度の高い部分が認められた。口絵写真-1(下)はハンマ打音により確認した浮きの範囲である。これらの結果は非常によい対応を示した。頭首工のピアの場合、管理用道路橋梁直下は河川であるため、コンクリート片が剥離したとしても、大きな問題と

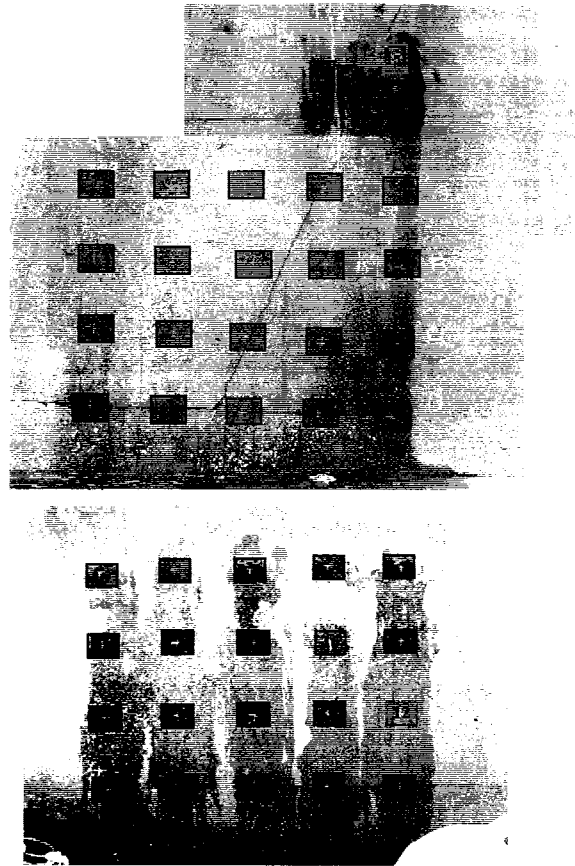


写真-2 ピア表層近傍の剥離診断結果(上段:左岸側, 下段:右岸側, 無印:健全, 数値は剥離面までの推定深度:cm)

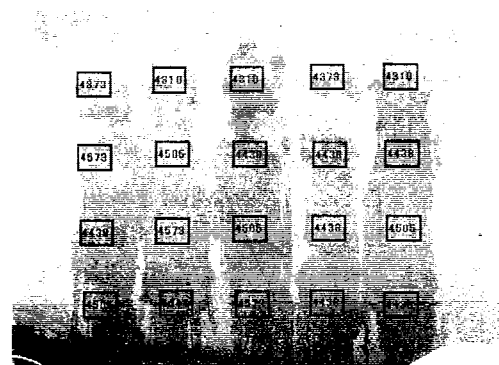


写真-3 ピア内部の音響弾性波伝播速度分布
(数値は音響弾性波速度:m/s)

はならないと思われるが、第三者被害が問題となる農道や歩道橋であれば至急手当をする必要がある。

2. 赤外線サーモグラフィ法による調査結果

赤外線サーモグラフィ法によるピアの赤外線画像を口絵写真-2に示す。高所に周囲のコンクリートよりも約2～3℃高温になっている領域を非破壊で検知すること

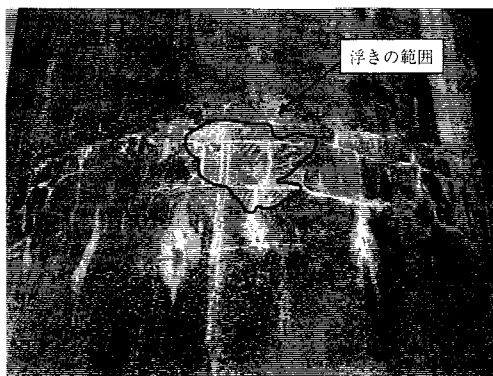


写真-4 打音により確認した浮きの範囲

ができた。同地点を打音法により調査した結果、剥離の危険性が高い部分が検出された(写真-4)。以上の結果から、人が容易に近づくことが難しい高所(法面、橋梁など)や、ある一定以上の広大な面積を有する構造物(ダム、頭首工など)の概査手法として、コンクリートの熱伝導特性を利用した赤外線サーモグラフィ法の適用が非常に有効であると考えられた。

V. まとめと今後の課題

本報では、頭首工のピアを対象として音響弾性波法ならびに赤外線サーモグラフィ法を適用し、ピアの劣化状況を非破壊で調査した。その結果、剥離危険性のある部分を効率的に検出することができた。音響弾性波法では探査子をコンクリート壁に密着させるためにエア吸引を行っているが、農業水利施設においては摩擦等により表面に凹凸があり、密着方法に課題が残された。また、赤外線サーモグラフィ法では、太陽光によって生じる温度差を計測するという測定原理上、その検出精度が日射に左右されることが現地適用上の問題点である。また、あくまでも健全部との相対的な相違を検出しているため、「何度以上であれば異常」という判断基準が適用できない。しかし、本報に示したように、他の非破壊調査法と組合わせて実施することにより、一度に広範囲を対象として調査できるという、その有効性を発揮できると考えられる。また、農業水利施設特有の劣化として、漏水が考えられるが、漏水を引き起こしている個所は、周辺のコンクリート温度とは明らかに異なる温度を示すと考えられるため、赤外線サーモグラフィ法が漏水調査法として適用できる可能性がある。

今回の調査においては、部分的な異常個所は検出できたものの、構造物全体の安全性を評価するに至っていない。今後は、これらの手法を各種農業水利施設に適用しつつ、現地で見られるどのような変状の検出に有効であ

るのか、事例を蓄積し、最終的には構造物全体の安全性を評価し、これから増大する補修・改修における補修区間の特定や、農業水利施設の機能評価等へ応用していきたいと考えている。

なお、本調査に当たっては、新濃尾農地防災事業所、木曽川水系土地改良調査管理事務所犬山頭首工管理所をはじめ関係者各位のご協力を得た。記してお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 渡嘉敷勝・長束 勇・直江次男・森 充広：農業用コンクリート構造物の補修・補強に関する事例調査，農土学会大会講演要旨，pp.394～395(2002)
- 2) 宮元 均：適切な施設の維持管理に向けた取組みについて，農土誌 70(5)，pp.13～16(2002)
- 3) 糸賀信之・阪本 勝・富岡和夫：犬山頭首工の補修について，水と土，128，pp.56～65(2002)
- 4) (社)日本コンクリート工学協会：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，p.85(2001)
- 5) 前掲 4)，p.8

[2002. 7. 15. 受稿]

森 充広



1994年 京都大学農学研究科修了，農林水産省入省
農業工学研究所土地質研究室
1999年 東北農政局郡山土地改良建設事業所
2001年 独立行政法人農業工学研究所施設機能研究室
現在に至る

渡嘉敷 勝



1996年 千葉大学大学院自然科学研究科博士課程退学，農林水産省入省
農業工学研究所施設管理システム研究室
2001年 独立行政法人農業工学研究所施設機能研究室
現在に至る

長束 勇



1974年 京都大学農学部卒業，農林水産省入省
1980年 筑波大学大学院経営・政策科学研究科修了
1986年 構造改善局設計課設計審査班長
1989年 農業工学研究所土木材料，土地質研究室長
2001年 独立行政法人農業工学研究所施設機能研究室長
現在に至る

服部 晋一



1977年 京都大学工学研究科修了，三菱電機(株)長崎製作所
1997年 三菱電機(株)電力・産業システム事業所産業・環境エンジニアリングセンター
現在に至る