14.3 農業水利施設の凍害劣化の診断手法と耐久性向上技術に関する研究

研究予算:運営費交付金(一般勘定)

研究期間:平23~平27

担当チーム:寒地農業基盤研究グループ(水利基盤) 技術開発調整監付(寒地技術推進室)

研究担当者:中村和正、小野寺康浩、佐藤 智、金田敏和、 石神暁郎、中谷利勝、石井邦之、細川博明、 長畑昌弘

【要旨】

本研究では、寒冷地の社会基盤を構成する施設群の一つである農業水利施設の機能維持を図るため、コンクリート開水路の凍害診断技術の開発と、寒冷地における農業水利施設の維持管理技術の開発を行う。平成23年度の 結果は次の通りである。

開水路の凍害劣化機構の精査に関する研究では、開水路側壁の冬期の温度変化および水分供給状況の調査を行い、凍害劣化部における温度変化と凍結融解作用時の融雪水の影響を確認した。また、開水路の凍害劣化の診断 手法に関する検討では、表面変状から内部変状を推定するための現地踏査上の留意点を整理し、診断の流れと非 破壊調査の必要性を確認するとともに、超音波法による凍害劣化深さの推定手法に関する検討を行った。

開水路補修工法の耐久性評価では、現地試験施工区間での評価に加え、室内試験による評価手法の開発に着手 した。現地試験施工区間での評価では、無機系および有機系の各表面被覆工法、ならびにパネル取付け工法の寒 冷地における適用性を確認した。室内試験による評価手法の開発では、開水路において施工後の表面被覆材が受 ける劣化外力を再現することを目的とした凍結融解試験方法を開発し、各種補修材料を用いた確認試験により本 試験方法の劣化促進能力を確認した。

キーワード:農業水利施設、コンクリート開水路、凍害、非破壊調査、耐久性評価、凍結融解試験方法

1. はじめに

食料・農業・農村基本計画¹⁾では、農業生産力強 化に向けて、基幹的農業水利施設に対する施設機能 の監視・診断、補修、更新などを機動的かつ確実に 行うための戦略的な保全管理が求められている。寒 冷地でこのような保全管理を行うためには、温暖な 地域とは異なる施設診断と対策技術が必要である。

国内の用水路延長のうち寒冷地にあるものは約4 割に当たる。寒冷条件の厳しい北海道内での研究成 果は、北海道内だけではなく国内の他の寒冷な地域 の農業水利施設の維持管理にも活用できる。

寒冷地の農業水利施設の機能診断では、凍結融解 作用に着目する必要がある。例えば農業水利施設の 多くを占めるコンクリート開水路は、一般のコンク リート構造物に比べて部材厚が薄い。また、流水と の接触が多い上に背面側からは地下水が供給される 過湿な供用環境に置かれているものが多い。さらに、 寒冷地では落水期間は水路内の全面が過酷な気象条 件に曝される。これらのことから、凍害による部材 の劣化状況を把握するための診断手法が求められて いる。特に、凍害劣化の深さ・厚さの把握が、補修 と改修のいずれを選択するかを検討する上で重要な 事項となる。また、寒冷地においても、農業水利施 設の機能維持のために、耐久性の高い補修による維 持管理手法が求められている。

本研究では、寒冷地の社会基盤を構成する施設群 の一つである農業水利施設の機能維持を図るため、 コンクリート開水路の凍害診断技術の開発と、寒冷 地における農業水利施設の維持管理技術の開発を行 うことを目的とする。

コンクリート開水路の凍害診断技術の開発 1 目的

北海道は、国産供給熱量の約22%を担う、我が国の 一大食糧供給地である²⁰。この一大食糧供給基盤を下 支えするのが、用排水路などに代表される基幹水利 施設である。北海道における基幹水利施設の規模は 再建設費ベースで30,349億円であり、全国(178,596 億円)の約17%を占める。その中で用排水路の延長は 11,876kmに及び、全国(49,239km)に存在する用 排水路の約1/4は北海道に位置している³⁾。

現在、北海道に位置する基幹的水路の多くが更新 時期の到来を迎えようとしている。既にその耐用年 数を超過した水路の延長は2,256kmに及び、超過割 合50~100%の水路の延長と合わせると、実にその半 数以上が今後20年以内に更新時期の到来を迎える

(図-1参照)³⁾。こうした長大な延長を有する水路に おいて、如何に効率的かつ効果的に診断を行うかが、 解決すべき喫緊の課題となっている。



図-1 全国および北海道における基幹的水路の

延長と耐用年数超過割合別水路延長 3)

本研究では、長年に渡り積雪寒冷地の水路施設管 理者を悩ませてきたコンクリート開水路の凍害に焦 点を当て、その診断技術を開発することを目的とし、 ①開水路の凍害劣化機構の精査、ならびに②開水路 の凍害劣化の診断手法に関する検討を行う。初年度 に当たる平成23年度においては、①開水路の凍害劣 化機構の精査に関する研究では、劣化機構を把握す るために必要となる基礎データの取得を目的とした、 開水路側壁の冬期の温度条件と水分供給状況の調査 を行った。また、②開水路の凍害劣化の診断手法に 関する検討では、診断の流れと非破壊調査の必要性 を確認するとともに、超音波法による凍害劣化深さ の推定手法に関する検討を行った。

2. 2 開水路の凍害劣化機構の精査⁴⁾

開水路の凍害劣化機構の精査では、開水路側壁の 冬期の温度条件と水分供給状況の調査を行った。コ ンクリート開水路の凍害劣化は、表面から目視で確 認できる変状の他、部材の内部でもひび割れが生じ ている場合がある 5。部材内部のひび割れも把握し て機能診断を行うためには、コンクリート開水路の 凍害劣化機構を解明することが必要である。

水利基盤チームでは、前中期計画期間の平成21年

冬期から、凍害発生の要因把握を目的として、水分 供給状況や温度変化の現地観測を開始した。本研究 では、この調査フィールドでの観測を継続した。

(1) 調査概要

調査地点は、北海道上川郡和寒町内を流下する剣 和幹線用水路のうち、昭和 49 年に施工された堀込 み形式の現場打ちフルーム水路区間である。水路断 面は幅 5.6m、壁高 2.0m、部材厚 20cm であり、左 岸側壁内面が南西向き面、右岸側壁内面が北東向き 面である。

図-2 に示すように、この区間では左岸の灌漑期水 位より上部(以下、気中部と呼ぶ)に凍害による長 手方向のひび割れが、また、天端にはスケーリング が生じている。一方、左岸の灌漑期水位より下部(以 下、水中部と呼ぶ)および右岸側壁には顕著な凍害 劣化はみられない。

調査は、側壁部材の表面・内部温度変化と凍害劣 化部への水分供給源の把握のため、図-3に示すよう に温度計(T型熱電対)および地下水位観測孔を設置 した。温度計の設置位置は、凍害が生じている左岸 気中部、顕著な凍害劣化がみられない左岸水中部お よび右岸気中部の3箇所であり、1時間おきに自動計 測した。また、積雪形状や側壁表面への水分供給状 況の撮影のため、カメラを設置した。



図−2 観測箇所の水路側壁の状況



図-3 観測機器の設置概要

(2) 調査結果および考察

1) 側壁温度の状況

図-4に平成22年の11月からひと冬の側壁表面の 凍結融解回数を月別に示す。なお、凍結融解回数の 算出に用いる凍結・融解温度の考え方は既往の文献 ⁶⁾を参考にした。即ち、文献 6)によればコンクリー トに凍結融解を繰返し与える場合、凍結温度が-5℃ 以下の条件で凍害劣化が顕著に生じる。それゆえ、 本報では一旦-5℃以下となっていたコンクリート温 度が 0℃を超えた場合の回数を凍結融解回数とし た。図-4に示すように、左右岸ともに凍結融解回数 が多い時期は1月と2月である。ひと冬を通した合 計で比較すると、左岸側壁の気中部と水中部では、 ともに 36 回であった。図-2 のように、左岸の気中 部と水中部ではひび割れの状況は異なるが、凍結融 解回数に違いはない。一方で、右岸気中部では、ひ と冬の凍結融解回数は 20 回で左岸側壁の 5 割強で あった。

このような左右岸の凍結融解回数の差は、側壁の 面する方位の他、積雪形状も要因となっている。図 -5に平成21年度および平成22年度の観測区間の積雪 形状を示す。右岸側では水路の内部まで雪庇が張り 出す。左岸側は雪に覆われず、日射による温度変化 を受けやすい状況であった。両年で積雪量の多少は あるものの、雪庇の有無や露出状況などの基本的な 積雪形状はほぼ同じである。このように、積雪形状 は、水路延長上のそれぞれの場所でみれば年毎の変 化が小さい。このことが、特定の箇所に著しい凍害 劣化を生じさせる一因となっていることが示唆され る。

2) 水分の供給状況

図-6 に左岸側壁背後の地下水位の観測結果を示 す。この区間では地下水位は年間を通して底版から 上方 30cm 程度と低く、融雪時期であっても地下水 位は水中部の温度観測位置よりも下であった。この ため、本区間では図-5 に示すような凍害劣化部への 冬期の水分供給源は地下水ではなく、融雪水である ことがわかった。

図-7に定点カメラで撮影した左右岸側壁表面への 代表的な融雪水の供給パターンを示す。写真は、外 見上で融雪水の浸み出しが最も多く見られる17時の ものである。左岸側壁では1月下旬から、凍害ひび割 れ部や天端からの融雪水の流出により、主に気中部 の表面が濡れる浸み出しが始まった。2月下旬を過ぎ るとひび割れや天端から流れ出す融雪水の量が増加 し、水中部を含む側壁表面全体が濡れるようになった。 このような側壁表面の濡れは、2月に入るとほぼ2日に 1回の頻度で見られるようになり、3月に入るとほぼ毎 日見られるようになった。右岸側では3月下旬まで雪 庇が維持され、この間、天端上の雪から滴る水でわず かに気中部が濡れる程度であった。3月下旬に雪庇が 落下すると、側壁表面を伝う融雪水の量が急増し、



図-4 観測箇所の側壁表面の月別凍結融解回数 (平成22年11月~平成23年4月)





側壁表面の濡れる面積が拡大した。このように、左右 岸側壁の気中部、水中部それぞれの部位への融雪水の 供給時期や供給量は積雪形状により大きく左右され ていることがわかった。

図-8に定点カメラの画像をもとに整理した、左右

岸側壁表面が融雪水により濡れた日数を示す。凍結 融解の多い1月と2月に左右岸側壁の気中部と水中部 における側壁表面の濡れを確認した日数は、左岸気 中部で16日、左岸水中部で7日、右岸気中部で4日、 右岸水中部で0日であった。凍害劣化の生じている左 岸気中部では凍害劣化のみられない部位と比較し2 倍以上の頻度で水分供給を受けていた。このように 凍害劣化が生じている左岸気中部では凍結融解を生 じるような温度変化の多い時期に融雪水の供給を多 く受けていた。一方で、顕著な凍害劣化がみられな い左岸水中部や右岸気中部では、側壁温度から算出 した凍結融解回数は、凍害劣化部と比較して半数か ら同程度もあるが、融雪水が多量に供給され始める 頃にはすでに凍結融解を生じるような温度変化の回 数が多い時期を過ぎていることがわかった。



図-7 左右岸側壁表面への融雪水の供給パターン (黄色破線内は側壁表面が濡れている箇所)



2.3 開水路の凍害劣化の診断手法に関する検討

2.3.1 診断の流れと非破壊調査の必要性

コンクリート開水路の機能診断調査は、①資料収 集や施設管理者からの聴取りによる事前調査、②遠 隔目視により概況の把握を行う現地踏査、③近接目 視、計測、試験などにより定量的な調査を行う現地 調査、の3段階を基本として実施される。この中で③ 現地調査では、事前調査、現地踏査による情報を踏 まえ、調査の目的に応じ、調査対象施設の種類や重 要度、調査の効率性などを勘案して、調査項目およ び調査単位を設定し、近接目視と定量計測による現 地調査を行うで。コンクリート開水路において凍害劣 化を対象とした現地調査を行う場合、一般に、目視 や打音法による調査に加え、深さ方向におけるひび 割れ発生状況の確認、細孔径分布および気泡分布の 測定、弾性係数の測定などが有用とされる⁸⁾。しかし ながら、こうした調査項目の多くはコア採取、即ち 施設の局部的な破壊を伴う調査となるため、水密性 が要求される水利施設である開水路では多用するこ とができない。また、開水路は長大な延長を有する 水利施設であるため、効率性の面からもその適用は 限られる。このため、有用で効率性を有し、かつ破 壊を伴わない調査手法、即ち、効果的かつ効率的な 非破壊調査手法の確立が望まれている。

加えて、積雪寒冷地におけるコンクリート開水路 の側壁には、側壁の構造形式および供用される環境 条件に応じて特徴的な表面変状および内部変状が発 生している。コンクリート開水路の長寿命化を図る ための対策を的確に策定するためには、これらの変 状を正確に診断しなければならない。しかし、表面 変状である表面ひび割れは目視調査でその劣化程度 を容易に診断できるものの、内部変状である層状ひ び割れは定量的調査だけでなく定性的調査の手法も 未確立である。側壁を部材厚方向に割るような形態 で発生する層状ひび割れは、側壁の耐久性および安 全性にも影響を及ぼすことから、その診断手法の確 立が望まれている⁹。

表面変状と内部変状は、ひび割れの発生方向が異 なることから、それぞれのひび割れの発生原因とな る応力の作用方向が異なることが分かる(図-9参照)。



図-9 表面変状と内部変状

一方、このように両者は異なる発生形態であるもの の同じ部材の側壁に発生しており、両者は全く無関 係ではなく、表面変状の発生状況の特徴から内部変 状の診断に繋がる情報が得られるのではないかと考 えられる⁹。以下に、本研究においてこれまでに得ら れた知見を基に、表面変状から内部変状を推定する ための現地踏査上の留意点を整理した¹⁰。

(1) 浸潤箇所の把握

凍害の発生が懸念される側壁においては、降雨後 に浸潤している箇所と浸潤していない箇所があるの が目視できる。この浸潤は、側壁内部からのもので あり、浸潤箇所は凍害による内部変状が発生してお り、透水性が他の箇所よりも増加していることが示 唆される。したがって、降雨後における浸潤箇所の 調査は、背面から水分供給がある箇所を把握し、内 部変状が生じている可能性がある箇所を把握するこ とにつながる(図-10参照)。



図-10 浸潤箇所

(2) 天端のスケーリングの有無・形状の把握

飽水度の高いコンクリートは凍結時の膨張圧力が 大きくなることから、水の供給経路を把握すること は凍害の発生可能性が高い側壁および箇所を把握す ることにつながる。天端にスケーリングが発生して いる箇所は、スケーリングを生じさせるだけの水の 流入があるところであり、スケーリングの有無と形 状の調査は、地形的にも融雪水などが流れ込みやす い箇所を把握し、凍害の発生可能性が高い側壁およ び箇所を把握することにつながる(図-11参照)。



図-11 天端のスケーリング

(3) 表面ひび割れの形状(凹凸)の把握

側壁表面のひび割れの中には、凹凸の形状をもっ て発生しているものがある。この凹凸のひび割れが 発生する原因は、上記(1)、(2)で述べたことが複合的 に関係していると考えられ、融雪水などが地形的に 流れ込みやすくコンクリート内部の飽水度が高くな る箇所が部分的に存在し、その箇所が凍結時に膨張 することで凍害が他の箇所に比べて進行するためだ と考えられる(図-12参照)。



図-12 表面ひび割れの形状(凹凸)

これらを原因として凍害が進行している箇所では、 コンクリート組織のゆるみや微細ひび割れが生じて いるために、更に水が供給されやすく凍結時の膨張 圧力に追随してひび割れが拡大しやすくなるために、 凹凸の形状をもってひび割れが発生すると考えられ る。特に凍害によりコンクリート内部にひび割れや 空隙が生じている場合は、透水性が大きくなり側壁 内部の水は重力にしたがって下に移動することから、 表面ひび割れの形状が下に凸のところで、内部変状 が発生している可能性が高い。

一方、側壁表面のひび割れは、内部の凍結時の膨 張圧力に追随して拡大するものと考えられることか ら、表面ひび割れが他よりも多く発生している箇所 では、凍結時の膨張圧力が内部の層状ひび割れの発 生や拡大に使われず、表面ひび割れの拡大に使われ ているため、内部変状が発生あるいは他の箇所より も拡大している可能性は低い。現時点で内部変状が 発生している可能性が高い箇所は、表面ひび割れが 下に凸で、ひび割れ密度が他よりも少ないところで あると考えられる。

今後は、これら積雪寒冷地のコンクリート開水路 に特有の変状を踏まえた診断の流れと、それを具現 化する非破壊調査手法を確立する必要がある。特に 内部変状は、上述のようにある程度までは表面変状 から推定できる可能性はあるものの、基本的に表面 変状とは異なるメカニズムで発生していることが考 えられるため、これを定性的、定量的に検出、推定 できる手法の確立が望まれる。

2.3.2 非破壊調査による診断手法の検討¹¹⁾

効率的な診断を行うことが期待できる非破壊調査 法の一つである、超音波法による凍害劣化深さの推 定手法に関する検討を行った。ここでは、実構造物 における適用性の検証結果について報告するととも に、実務上の課題について整理した。

(1) 調査概要

調査対象の概要

調査対象とした実構造物は、北海幹線用水路の赤 平市および美唄市に位置する区間(以下、赤平区間、 美唄区間と呼ぶ)である。北海幹線用水路は、北海 道空知地方の赤平市から南幌町までの6市町を流下 する、延長約80kmに及ぶ長大な基幹水利施設であ る。対象区間とした赤平区間、美唄区間ともに、昭 和40年前後に建設がなされ、供用後40年以上が経 過している。両区間ともに、構造形式はRC現場製 作L型ブロック水路であり、側壁は左右岸ともに土 中に埋設されている。特に凍結融解作用を受けやす い、躯体表面が南側に面した右岸側側壁において、 表面の変状が著しい。調査対象区間の位置および現 況を図-13に示す。

調査は、全て側壁で行うこととし、赤平区間では 右岸側2箇所、左岸側1箇所の計3箇所、美唄区間 では右岸側3箇所、左岸側3箇所の計6箇所にて実 施した。各箇所では、表面の変状が特に著しい気中 部(最多頻度水位の上側)に加え、水中部(最多頻 度水位の下側)の調査も併せて行った。

2)調査方法の概要

調査方法は、コンクリートの調査手法として多く の実績を有する超音波法を選定した。超音波法は、 20kHz以上の超音波域の周波数帯を使用し、発振子 から接触媒質を介してコンクリート中に発射された 弾性波を受振子で測定する手法である。一般に、劣 化したコンクリートにおける超音波の伝播速度は、 健全なコンクリートの伝播速度に比べ小さくなるた め、この速度の差異からコンクリートの品質の差異 を判定することができる。凍害診断では、躯体の健 全度の把握や、補修を行う際の劣化層の除去深さの 把握が重要となるが、凍害による劣化深さの推定方 法として、近年、この超音波法による調査手法が適 用されつつある。遠藤ら12)は、1981年に柏ら13)によ り紹介された表面走査法による凍害深さの評価方法 について、また、緒方ら14は、コンクリート開水路 における評価方法について提案を行っている。本調 査では、表面走査法による劣化深さの推定を試み、 併せて採取コアを用いた透過法による劣化深さの確 認を行い、その適用性を検証した。超音波伝播速度



図-13 診断対象区間の位置および現況



は超音波試験機(プロセク社製TICO型)を用いて 測定した。測定周波数は54kHzである。

表面走査法の概念を図-14に示す。表面走査法は、 超音波伝播速度を測定することにより、コンクリート 表層部に存在する劣化層の厚さを推定する手法であ る。表面に超音波の発振子と受振子を配置し、受振子 を発振子から遠ざけながら順次伝播時間を測定する と、発・受振子間の距離と伝播時間との関係において、 図に示すような走時曲線が得られる。ここで、表層が 劣化したコンクリートの場合に得られる破線(a)の傾 斜が変わる位置をXo、劣化層の伝播速度をVoとすると、劣 化層の厚さtは式(1)により求めることができる¹³。本 調査では、発・受振子間距離は50mm間隔で50~ 500mmまでとし、発・受振子を同じ高さに配置し、 水路方向に走査した。

$$t = \frac{X_0}{2} \sqrt{\frac{V_s - V_d}{V_s + V_d}} \tag{1}$$

採取コアを用いた透過法の概念を図-15に示す。採 取コアを用いた透過法は、コアの直径方向において直 接的に超音波伝播速度を測定する手法である。発・受 振子を部材厚方向にスライドさせながら順次伝播速 度を測定することにより、躯体表面からの深さ毎の劣 化状況を確認することができる。本調査では、伝播速 度は10mm間隔で深さ5~85mmまでの位置で測定し た。また、得られた伝播速度Vより、緒方ら¹⁵⁾の研究 結果から導き出された式(2)および式(3)により相対動 弾性係数を算出し、劣化の程度の定量化を試みた。

 $E_d = 4.0387 V^2 - 14.438 V + 20.708$ (2) 相対動弾性係数(%) = $E_{dn} / E_{d0} \times 100$ (3) ここで、 E_d は動弾性係数、 E_{dn} は深さ nにおける 動弾性係数である。 E_{d0} は、最奥部のコンクリート を健全層とみなし、深さ 85mm における動弾性係数 とした。

(2) 調査結果および考察

3)劣化深さの推定

赤平区間左岸側水中部、美唄区間左岸側気中部、 赤平区間右岸側気中部、美唄区間右岸側気中部にお ける表面走査法および採取コアを用いた透過法の測 定結果を図-16に示す。図に示す4つの測定結果は、



図-15 採取コアを用いた透過法の概念

本調査の表面走査法で得られた代表的な走時曲線の パターンと、各箇所の透過法の測定結果を併せて示 したものである。

図の左側の2つのパターンでは、式(1)が適用でき る前提条件である Va< Vaの関係が成立し、劣化深 さを推定できた。一方、図の右側の2つのパターン では、Va>Vs、もしくは近似直線間に交点が存在せ ず、式(1)が適用できないため、劣化深さを推定でき なかった。こうした走時曲線が得られた理由は、躯 体内部に超音波が伝播できないひび割れなどが存在 したためと考えられる。超音波の伝播経路にひび割 れなどが存在する場合、超音波はこれを迂回して伝 播するため、この分の距離が伝播距離に加算され、 これ以後の伝播速度が低下するものと考えられる。 内部に著しく劣化した領域があることは、透過法の 測定結果や採取コアの外観(図-17 参照)からも裏 付けられた。また逆に、こうした走時曲線は躯体内 部におけるひび割れなどの存在を示唆するものとし て、定性的診断における判断材料になるものと考え



られる %

透過法の測定結果では、コンクリートの含水状態 が測定箇所により異なることを踏まえ、コア採取直 後の湿潤状態での測定結果を併記している。乾燥後のコ アの相対動弾性係数は、内部にひび割れなどが存在 しない場合は表面に近付くほど低下する傾向がみら れ、ひび割れなどが存在する場合はその箇所におい て著しく低下する傾向がみられた。また、測定結果 は含水状態により大きく影響を受けることが確認さ れた。

全測定箇所の表面走査法による推定結果を表-1 に示す。表中の「-」は V_d>V_sとなり推定できな いことを、「(-)」は近似直線間に交点が存在しない ため推定できないことを表す。また、表面走査法で 推定された t の位置の劣化状態を透過法の結果から 確認するため、乾燥後のコアの透過法の測定結果に おいて、相対動弾性係数が 10%低下した最大深さ、 ならびに 3%低下した最大深さを示す。本調査では、 表面走査法を適用した全 18 箇所の内、10 箇所にお いて推定値が得られ、各推定値は、透過法において 相対動弾性係数が 3%低下した最大深さに近い値で あることが分かった。

2) 超音波伝播速度と圧縮強度との関係

本調査では、最奥部のコンクリートを健全層とみ なし、相対動弾性係数を算出した。しかし、コンク リート開水路は一般に部材厚が薄く、最奥部であっ ても健全層であるとは限らない。そのため、超音波 伝播速度から直接強度特性を推定する手法が必要で あると考えられる。乾燥後のコアの超音波伝播速度 と圧縮強度との関係を図-18 に示す。伝播速度は、 発・受振子をコアの両端面に配置し、部材厚方向に 測定した。結果、試験値の数は少ないものの、両者 には相関性がみられた。

3. 寒冷地における農業水利施設の維持管理技術の 開発

3.1 目的

近年、コンクリート開水路では、種々の劣化要因 により低下した性能の回復・向上を目的とした補修 材料の開発・適用が行われている。その中で積雪寒 冷地では、特に開水路側壁の凍害とそれに起因する 水路施設としての性能低下を対象とした表面被覆工 法の開発・適用が進められている¹⁶⁾。しかし、施工 実績は未だ少なく、その適用性については十分に検 証されているとは言い難い現状にある。

表面被覆工法の適用に際しては、表面被覆材に期 待される効果と要求性能を明確にした上で、適切な



図-17 採取コアの外観(左:赤平 1RT、右:美唄 3RT)

表-1 全測定箇所の表面走査法による推定結果

		表面走查法		透過法		
箇所		V _d (km/s)	V _s (km/s)	t (mm)	10%低下 深さ (mm)	3%低下 深さ (mm)
	1 R T	4.337	0.914	_	55	65
赤	1 R B	1.957	3.795	49.4	35	45
平	2 R T	3.902	5.263	87.8	35	75
\mathbb{X}	2 R B	4.693	4.119	-	5	15
間	3 L T	4.655	4.149	-	5	55
	3 L B	3.488	4.167	36.0	5	75
	1 R T	5.426	3.719	_	55	65
	1 R B	2.006	4.085	65.5	15	75
	2 L T	1.609	1.941	20.9	5	25
	2 L B	3.044	1.907	I	35	45
美	3 R T	1.184	0.955	_	55	55
唄	3 R B	1.666	2.137	70.0	35	55
\boxtimes	4 L T	2.660	3.356	64.6	25	75
間	4 L B	1.878	2.211	(-)	25	75
	5 R T	2.472	4.029	65.3	45	65
	5 R B	2.687	2.778	(-)	15	35
	6 L T	1.960	2.106	28.4	5	15
	6LB	1.984	3.647	67.1	5	75

(記号) 右岸側:<u>R</u>ight、左岸側:<u>L</u>eft、気中部:<u>T</u>op、水中部:<u>B</u>ottom





試験方法により性能評価を行うことが肝要となる。 一般に、凍害を対象とした表面被覆材の要求性能に は、凍結融解抵抗性、防水性(遮水性)、一体性など が挙げられ、表面被覆材は標準化・規定化された各 試験方法を用いて試験・評価されている¹⁷⁾。しかし、 既往の試験方法は、道路施設や鉄道施設などのコン クリート構造物を対象として標準化・規定化された ものが多く、必ずしも農業水利施設であるコンクリ ート開水路の実情にそぐわない場合がある。このた め、道路施設や鉄道施設で適用されている試験方法 により評価された表面被覆材がコンクリート開水路 にそのまま施され、結果、施工後早期に変状を生じ る事例も散見されている。

本研究では、寒冷地における農業水利施設の維持 管理技術を開発することを目的とし、開水路補修工 法の耐久性評価に関する検討を行う。初年度に当た る平成 23 年度では、現地試験施工区間において無 機系および有機系の各表面被覆工法、ならびにパネ ル取付け工法の適用性を確認するとともに、開水路 において施工後の表面被覆材が受ける劣化外力を再 現することを目的とした凍結融解試験方法を開発し た。

3.2 開水路補修工法の耐久性評価

3.2.1 現地試験施工区間での評価^{18)、19)}

積雪寒冷地に適したコンクリート開水路の補修工 法を開発する目的で、平成 18 年度に北海道北部の 老朽コンクリート開水路において3種類の表面被覆 材を用いた補修工法の現地試験施工を行った。

現地試験施工区間では、寒冷地における補修工法 の適用性、耐久性などを検証するため、施工後の経 過観察を行っている。

本項では、施工後5年経過時点での目視調査結果 を報告する。

(1) 施工した表面被覆材の種類

コンクリート開水路の表面被覆工法に用いる材料 には、大別すると無機系、有機系、パネル系がある。

現地試験施工では、上記 3 区分のそれぞれから、 府県で施工実績があるものとして、セメントモルタ ル(以下、セメント系と呼ぶ)、ウレタン樹脂(以 下、樹脂系と呼ぶ)、FRPMパネル(以下、パネル 系と呼ぶ)の3種類の表面被覆材を用いた補修工法 を選定した。各補修工法の施工断面の概要を図-19 に示す。



図-19 各補修工法の施工断面

各補修工法の適用にあたっては、寒冷地での施工 に配慮した。即ち、セメント系では低温下でも付着 強度が早期に発現する低温速硬型のセメントを使用 した。樹脂系では速硬化タイプの吹付けウレタン樹 脂を用いた。パネル系では凍結融解作用に配慮して 躯体コンクリートと FRPM 板との間に緩衝材を用 いるなどの工夫を行った。

(2) 施工後5年経過段階での評価

現地試験施工区間でのセメント系、樹脂系、パネ ル系それぞれの施工後 5 年経過段階での状況を図 -20 に示す。



セメント系



樹脂系



パネル系

図-20 施工後5年経過時点の各補修工法の状況

現時点では補修表面に目立った変状は無く、各補 修工法ともに寒冷地での適用性があるといえる。

3.2.2 室内試験での評価²⁰⁾

積雪寒冷地のコンクリート開水路において、施工 後の表面被覆材が受ける劣化外力を再現することを 目的とした、表面被覆材の付着耐久性を評価する凍 結融解試験方法に関する検討を行った。ここでは、 先ず、凍結融解試験方法の具備すべき条件について 整理した。次に、整理した条件を基に試験装置の開 発を試みた。そして、開発した試験装置の劣化促進 能力を確認するため、各種補修材料を用いた試験を 行った。

(1) 凍結融解試験方法の具備すべき条件

表面被覆材の凍結融解作用に対する抵抗性に関し ては、コンクリートの耐凍害性を評価する手法とし て規定されている種々の凍結融解試験方法を活用し て評価する場合が多い。JISA1148「コンクリート の凍結融解試験方法」、RILEM CDF 試験といった 既往の試験方法が適用されており、コンクリートの 凍結融解抵抗性と比較することにより、その耐久性 を評価している。また、JISA 6909「建築用仕上塗 材|7.10に規定される温冷繰返し試験を適用する場 合もある 17%。しかしながら、こうした既往の試験方 法はあくまでコンクリートや建築用材料の性能を評 価する試験方法であり、コンクリート開水路の表面 被覆材を評価する場合には留意が必要である。例え ば、表面被覆材を JIS A 1148 により評価する場合、 試験は表面被覆材により全面が被覆されたコンクリ ート試験体を用いて行われる。表面被覆材の防水性 が高ければコンクリート試験体内に水分は取り込ま れず、凍結融解作用は発生しない。これに対して実 構造物では、躯体表面以外に表面被覆材を施すこと は難しいため、躯体背面から内部への水分の侵入を 完全に防止することはできず、よって凍結融解作用 自体は抑止されない。従って、コンクリートに凍結 融解作用が発生した場合の表面被覆材の耐久性に関 しては評価できていないことになる。このように、 既往の試験方法は必ずしもコンクリート開水路の表 面被覆材が受ける劣化外力を再現できていない。即 ち、躯体背面から吸収された水分の凍結融解作用に よる付着性の低下に対する抵抗性については、十分 に評価できないことが考えられる。

こうした既往の試験方法における課題を解決する ため、凍結融解試験方法の開発に際し、①水分は試 験体の背面側から吸収させること、②試験体の表面 側の気温と背面側の水温との間に差を設けられるこ と、③試験体の背面側からの吸水に際しては水圧を 作用させられること、などを条件とした。

(2) 凍結融解試験装置の開発

開発した試験装置(以下、背面吸水式凍結融解試 験装置と呼ぶ)は、表面被覆材を施したモルタル試 験体の背面側から水分を吸収させ、表面側において 温度変化を生じさせることにより、モルタル試験体 と表面被覆材との界面付近に凍結融解作用を発生さ



図-21 背面吸水式凍結融解試験装置による試験状況



図-22 試験方法の概要

÷⊐ ₽.	種別	塗布厚
記万	(使用材料)	(塗布量)
PU	有機系表面被覆材 (柔軟型ポリウレタン樹脂系)	150µm
SM	無機系断面修復材 (無収縮モルタル)	10 mm
Silane	シラン系表面含浸材	200 g/m^2
Silicate	けい酸塩系表面含浸材	$250~{ m g/m^2}$

表-2 試験に用いた補修材料の種別および塗布厚

せる試験装置である。

背面吸水式凍結融解試験装置による試験状況の事 例を図-21 に、本装置による試験方法の概要を図-22 に示す。本装置は、気温および湿度の制御が可能な 気槽部と、水温の制御が可能な水槽部から構成され、 両槽部は断熱材部により隔てられる。試験体は、断 熱材部に、表面被覆材塗布面を気槽部側に向けて設 置する。これにより、水槽部側から、即ち試験体の 背面側から水分を吸収させることが可能となり、ま た、気槽部と水槽部との間に温度差を設けることに より、試験体の表面側の気温と背面側の水温との間 に差を設けることができる。試験体は、最大 30 体 を同時に設置することができる²¹。

(3) 背面吸水式凍結融解試験装置の劣化促進能力の 確認

1) 試験方法

本装置の劣化促進能力を確認するため、表-2に示 す補修材料を用いた試験を行った。補修材料は、モ ルタル試験体に対する付着性を発現する機構が異な る4種類を選定した。

モルタル試験体の配合は、JISR 5201に規定され るモルタルの配合に準拠し、水セメント比W/C=50%、 砂セメント比S/C=3.0とした。また、凍結融解試験期 間中の極度の脆弱化を防止するため、AE剤をセメン ト量に対し0.01%加え、空気量を5.4%とした。試験 体の寸法は、縦70mm×横70mm×厚さ50mmである。 モルタル打設後、7日間経過後に脱型し、気中で6月 間の養生を行った。養生期間経過後、試験体の表面 をグラインダーにて下地処理し、各補修材料を塗布 した。各材料の所定養生期間経過後、凍結融解試験 を行った。

凍結融解試験では、モルタル試験体内に水分を十 分に吸収させるため、前工程として水中浸漬を行っ た。浸漬時間は、コンクリートの毛管浸透性に関す る既往の研究論文22)を参考に、20℃で7日間とした。 水中浸漬終了後、試験体を背面吸水式凍結融解試験 装置の断熱材部に設置し、凍結融解試験を行った。 試験条件は、JISA 1148およびRILEM CDF試験を参 考に、気槽部の温度は最高温度20℃、最低温度-20℃、 1サイクル当たりの所要時間は3時間(20℃×0.5時間 → 20~-20℃×1.0時間 → -20℃×0.5時間 → -20~ 20℃×1.0時間)とし、水槽部の温度は2℃とした。表 面被覆材(塗布厚1mm)を用いた予備試験における 任意の試験時間(2サイクル分)の槽内および試験体 の温度履歴を図-23に示す。試験サイクル数は、300 サイクルとした。また、試験に際しては、比較のた め、補修材料を塗布しない試験体(無塗布試験体B) の試験を併せて行った。なお、試験体数は各3体とし た。本装置の劣化促進能力の判定に際する測定項目 は、補修材料およびモルタル試験体における外観変 化、吸水率、表面水分率、相対動弾性係数、ならび に付着強さとした。

吸水率 (W_a%) の算出では、JSCE-K 571「表面 含浸材の試験方法(案)」6.4 吸水率試験の算出方法 17)を参考に、凍結融解試験開始後の吸水率を測定する こととした。試験開始時の試験体質量(Waog)およ び試験開始時から所定試験サイクル数経過後の試験 体質量 (W_{ai} g) より、式(4)により算出した。

 $W_a = (W_{ai} - W_{a0}) / W_{a0} \times 100$ (4)表面水分率は、高周波容量式表面水分計(ケット 科学研究所社製 HI-520 型)を用いて測定した。



相対動弾性係数の算出では、コンクリートの超音 波伝播速度と動弾性係数との関係について調べた既 往の研究論文 15)を参考に、凍結融解試験開始後の相 対動弾性係数を測定した。所定サイクル数経過後の 超音波伝播速度(Vm/s)より、前出の式(2)により 動弾性係数(Ed GPa)を算出し、式(3)により相対 動弾性係数を算出した。超音波伝播速度は、超音波 試験機(プロセク社製 TICO 型)を用いて測定した。

付着強さは、JSCE-K 531「表面被覆材の付着強 さ試験方法(案) を参考に、試験サイクル数 300 サイクル後の試験体を用いて測定した。試験時の最 大荷重(TN)より、式(5)により算出した。

付着強さ $(N/mm^2) = T/1600$ (5)2) 試験結果および考察

補修材料およびモルタル試験体における外観変化 について、試験サイクル数202サイクル後の有機系表 面被覆材塗布試験体PUおよび無機系断面修復材塗 布試験体SMの状況を図-24に示す。PUでは、界面付 近のモルタル試験体の脆弱化と、それに伴う表面被 覆材のはく離が確認された。また、SMでは、断面修 復材表面において微細ひび割れの発生が確認された。 300サイクル後の状況からは、PUの表面被覆材のは く離およびSMの断面修復材の微細ひび割れの進展 は確認されたものの、その他の材料において新たな 変状の発生は確認されなかった。

吸水率および表面水分率について、試験サイクル 数と吸水率との関係を図-25 に、試験サイクル数と 表面水分率との関係を図-26に示す。なお、比較の





有機系表面被覆材 PU 無機系断面修復材 SM のはく離 の微細ひび割れ 図-24 試験サイクル数 202 サイクル後の状況

ため、凍結融解試験期間中に継続して室温にて水中 浸漬を行った試験体(水中浸漬試験体 N)の試験結 果を併記する。いずれの試験体においても、吸水率、 表面水分率ともに顕著な変化はみられなかったが、 補修材料間には差異がみられた。吸水率では、水中 浸漬試験体 N および PU の各試験値は、試験サイク ル数の増加とともに緩やかな上昇傾向を示したが、 無塗布試験体 B、SM、シラン系表面含浸材塗布試 験体 Silane、けい酸塩系表面含浸材塗布試験体 Silicate の各試験値は、試験開始時の値に比べほと んど変化はなかった。これは、凍結時における試験 体表面からの水分の逸散が影響したものと考えられ る。PU では、試験体表面から水分を逸散させるこ とができないため、Nと同様の上昇傾向を示したと 推定される。表面水分率では、Silaneの試験値が他 の試験値に比べ小さい値となった。これは、シラン 系表面含浸材が有する撥水効果によるものと考えら れる。即ち、Silane では、試験体表面付近に水分を 保持することができないため、小さい値になったと 推定される。吸水率と表面水分率との関係を図-27 に示す。N と同程度以上に吸水率が高く保持される PU、表面水分率が高く保持される Silicate および SM では、凍結時に試験体表面付近に水分が保持さ れる可能性が高いが、Silane では、凍結時に水分が 十分に保持されず、凍結に伴う膨張圧が生じ難い可 能性が考えられる。シラン系表面含浸材の凍結融解 抵抗性を評価する場合には、試験体の背面側から水 圧を作用させるなど、水分を保持させる対策が必要 であると考えられる。

相対動弾性係数について、試験サイクル数と相対 動弾性係数との関係を図-28 に示す。いずれの試験 体においても、相対動弾性係数に顕著な変化はみら れなかった。本試験で作製したモルタル試験体には、 試験期間中の極度の脆弱化を防止するため、AE 剤 を加えている。このため耐凍害性が向上し、モルタ ル試験体自体の劣化は最小限に抑えられたものと考 えられる。外観変化では、補修材料およびモルタル 試験体において変状が確認されていることから、モ ルタル試験体内では緩和された凍結に伴う膨張圧が、 補修材料との界面付近や試験体表面においては緩和 されることなく、劣化外力として作用したものと推 定される。

付着強さについて、試験結果を図-29 に、試験後の状況を図-30 に示す。なお、比較のため、凍結融解試験期間中に継続して室温にて気中に放置した試験体(気中放置試験体 R)の試験結果を併記する。 試験後の主な破断状態は、気中放置試験体 R、N、 B、PU、Silane、Silicateにおいてはモルタル試験





体内の破断、SM においてはモルタル試験体との界 面付近における無機系断面修復材内の破断であった。 試験値は総じて大きい値となったが、補修材料間に は差異がみられた。RやNに比べ、Bの試験値は小 さい値となり、凍結融解作用による影響が確認され た。また、この傾向は、PU においてより顕著にみ られた。モルタル試験体と有機系表面被覆材との界 面付近において、凍結融解作用によるモルタルの脆 弱化が促進されたためと考えられる。一方、SM、 Silane、Silicate の試験値は、いずれも N や B に比 べ大きい値となった。SM では、試験後の主な破断 状態が無機系断面修復材内の破断となり、断面修復 材における凍結融解作用が大きくなったことが考え られた。SM の塗布厚は 10 mm と他の試験体に比べ 大きく、凍結時においてもモルタル試験体にまで凍 結深が及ばなかった可能性も考えられた。Silane で は凍結時の水分の不足が、Silicate ではモルタル試 験体に対する強度の増進効果が影響したものと推定 された。なお、試験後の状況からは、凍結融解試験 を行ったモルタル試験体の破断面において水分の浸 潤がみられ、試験時における試験体内への水分の吸 収が確認された。



4. まとめ

本研究では、コンクリート開水路の凍害診断技術の開発、寒冷地における農業水利施設の維持管理技術の開発、ならびに各々の技術開発結果に基づいたマニュアルの作成を最終的な達成目標としている。初年度に当たる平成23年度においては、コンクリート開水路の凍害診断技術の開発では開水路の凍害劣化機構の精査と凍害診断手法の開発に着手し、寒冷地における農業水利施設の維持管理技術の開発では

現地調査と室内試験による開水路補修工法の耐久性 評価に関する検討を行った。

開水路の凍害劣化機構の精査に関する研究では、 劣化機構を把握するために必要となる基礎データの 取得を目的とした、開水路側壁の冬期の温度変化お よび水分供給状況の調査を行い、凍害劣化部におけ る温度条件と凍結融解作用時の融雪水の影響を確認 した。今後は、現地調査により得られた基礎データ や、凍結融解試験を行ったコンクリート試験体の分 析結果などに基づき、凍害劣化の進行予測手法の検 討を行う。

開水路の凍害劣化の診断手法に関する検討では、 表面変状から内部変状を推定するための現地踏査上 の留意点を整理し、診断の流れと非破壊調査の必要 性を確認するとともに、超音波法による凍害劣化深 さの推定手法に関する検討を行い、その適用性を検 証した。今後は、衝撃弾性波法、機械インピーダン ス法、電磁波レーダ法など、他の非破壊調査手法に よる診断手法の検討を併せて行い、各調査手法の適 用性および適用範囲を明らかにする。

現地調査による開水路補修工法の耐久性評価では、 現地試験施工区間において無機系および有機系の各 表面被覆工法、ならびにパネル取付け工法の適用性 を確認した。今後は、同区間における追跡調査を継 続実施してその耐久性を検証するとともに、各種補 修工法の補修効果の確認手法に関する検討を行う。

室内試験による評価手法の開発では、開水路にお いて施工後の表面被覆材が受ける劣化外力を再現す ることを目的とした凍結融解試験方法を開発し、各 種補修材料を用いた確認試験により本試験方法の劣 化促進能力を確認した。今後は、コンクリート開水 路において適用実績を有する表面被覆材の試験・評 価・分析を行い、本試験方法における最適な試験条 件および判定指標を確認するとともに、実構造物に おける供用期間との相関性(耐用年数)の解明を行 う予定である。

参考文献

- 1) 食料・農業・農村基本計画、2010
- 2) 岩村和平:最近の農業農村整備を巡る諸情勢、平成 23年度第2回土地改良研修会講演資料、2012
- 農林水産省農村振興局:平成21年度農業基盤情報基礎調査報告書、pp.61-82、2011
- 4) 金田敏和・佐藤智・石神暁郎・小野寺康浩・中村和正・ 緒方英彦:凍害が生じているコンクリート開水路側壁 における冬期の温度条件と水分供給状況、寒地土木研 究所月報、第706号、pp.30-37、2012
- 5) 緒方英彦·高田龍一·鈴木哲也·山﨑大輔·佐藤周之:

RC 開水路の側壁内部における凍害ひび割れの発生 形態、水土の知、第78巻、5号、pp.29-33、2010

- 6) 田畑雅幸・洪悦郎・鎌田英治:コンクリートの耐凍害
 性におよぼす環境要因の影響、セメント技術年報、
 Vol.37、pp.349-352、1983
- 7) 食料・農業・農村政策審議会農村振興分科会農業農村 整備部会技術小委員会:農業水利施設の機能保全の手 引き、2007
- 8) 日本コンクリート工学協会:コンクリート診断技術、 基礎編、pp.69-182、2011
- 9) 緒方英彦・金田敏和・石神暁郎・周藤将司:凍結融解 作用による開水路側壁の内部変状に対する目視調査 および超音波試験の考察、コンクリート工学年次論文 集、2012(投稿中)
- 緒方英彦:水利施設である RC 開水路の凍害診断の ポイント、平成 23 年度農業農村工学会北海道支部講 習会講演資料、pp.1-18、2012
- 11) 石神暁郎・金田敏和・蒔苗英孝・会沢義徳・西田真 弓・佐藤智:超音波伝播速度の測定によるコンクリー ト開水路の凍害診断、水土の知、2012(投稿中)
- 12) 遠藤裕丈・田口史雄・林田宏・草間祥吾:非破壊に よる凍害深さの評価、コンクリートの凍結融解抵抗性 の評価方法に関する研究委員会報告書論文集、 pp.293-298、2008
- 13) 柏忠二編・明石外世樹・小阪義夫監修:コンクリートの非破壊試験法-日欧米の論文・規格・文献-、
 p.42、1981
- 14) 緒方英彦・高田龍一・野中資博・服部九二雄: RC
 開水路の凍害、水土の知、第76巻、9号、pp.31-34、
 2008
- 15) 緒方英彦・野中資博・藤原貴央・高田龍一・服部九

二雄:超音波法によるコンクリート製水路の凍害診断、 コンクリートの凍結融解抵抗性の評価方法に関する シンポジウム論文集、pp.63-70、2006

- 16) 例えば、佐藤智・横木淳一・小野寺康浩・嘉指成詞・ 秋山譲治:寒冷条件下でのウレタン樹脂系表面被覆材 の付着強さ、コンクリート構造物の補修、補強、アッ プグレード論文報告集、第9巻、pp.69-74、2009
- 17) 土木学会:表面保護工法 設計施工指針(案)、コン クリートライブラリー119、pp.1-54、pp.55-67、[工 種別マニュアル編] pp.1-141、2005
- 18) 北海道開発局農業水産部農業計画課・函館開発建設 部・旭川開発建設部・土木研究所寒地土木研究所:寒 冷地における用水路の劣化と保全-ストックマネジ メントの取組み-、第53回北海道開発技術研究発表 会、2010
- 19) 北海道開発局農業水産部農業計画課・函館開発建設 部・旭川開発建設部・土木研究所寒地土木研究所:寒 冷地における用水路の劣化と保全-機能診断手法の 提案と対策工法の評価-、第55回北海道開発技術研 究発表会、2012
- 20) 石神暁郎・佐藤智・金田敏和・中村和正:農業用コンクリート水路における表面被覆材の凍結融解試験方法に関する検討、コンクリート工学年次論文集、2012(投稿中)
- 21) 佐藤智・石神暁郎・金田敏和・中村和正:コンクリ ート開水路の凍害補修工法の性能評価法に関する一 考察、第60回農業農村工学会北海道支部研究発表会 講演集、pp.30-33、2011
- 22) 越川茂雄・荻原能男:コンクリートの毛管浸透試験 方法に関する研究、土木学会論文集、第426号、V-14、 pp.183-191、1991

STUDY ON A METHOD OF DIAGNOSING FROST DAMAGE TO AGRICULTURAL IRRIGATION FACILITIES AND INVESTIGATION OF DURABILITY ENHANCEMENT TECHNOLOGY

Budged : Grants for operating expenses General account Research Period : FY2011-2015 Research Team : Cold-Region Agricultural Development Research Group (Irrigation and Drainage Facilities) Director for Cold-Region Technology Development Coordination (Cold-Region Technology Promotion Division) Author: NAKAMURA Kazumasa **ONODERA** Yasuhiro SATO Satoshi KANETA Toshikazu ISHIGAMI Akio NAKAYA Toshikatsu ISHII Kuniyuki HOSOKAWA Hiroaki NAGAHATA Masahiro

Abstract : The aims of this study were to develop technology for the diagnosis of frost damage to concrete canal with the goal of maintaining the functions of agricultural irrigation facilities as elements of social infrastructure in cold regions, and to examine maintenance technology for agricultural irrigation facilities in such regions. The results of this 2011 research project are outlined below.

In the detailed study on the mechanism behind frost damage to concrete canal, temperature changes and water supply conditions at canal's sidewalls in winter were investigated, and temperature changes as well as the effect of melted snow on the freeze-thaw process were determined. In the study on a frost damage diagnosis method for concrete canal, points to note when conducting site surveys for the estimation of internal conditions from the surface state were defined, and the diagnosis procedure as well as the need for non-destructive inspection were confirmed. Frost damage depth estimation using the ultrasonic method was additionally studied.

In the durability evaluation of the concrete canal repair technique, development of an evaluation method based on indoor tests and on-site tests at the test installation section was started. In the on-site evaluation, the applicability of inorganic and organic surface coating methods and the panel installation method for cold regions was confirmed. Freezing and thawing test method intended to reproduce the external deterioration forces acting on the surface coating material applied was also developed, and the deterioration acceleration capacity of the method was verified in testing using various repair materials.

Key words : agricultural irrigation facilities, concrete canal, frost damage, non-destructive inspection, durability evaluation, freezing and thawing test