

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－

とりまとめ担当 本局 農業水産部農業計画課
函館開発建設部
旭川開発建設部
(独)土木研究所寒地土木研究所

まえがき

北海道開発局では、農業水利施設のストックマネジメントの一環として、国営事業完了地区の基幹的水利施設を対象に、機能診断および機能保全計画の策定を進めている。平成22年までに約1,300施設の機能診断が実施されており、そのうち126施設が開水路形式の用水路である。

コンクリート開水路は、気象環境の影響を直接的に受ける構造であることから、北海道のような積雪寒冷地における機能診断にあたっては、劣化要因である凍害等の積雪寒冷地特有の劣化メカニズムを把握したうえで調査を行うことにより、的確な診断が可能になる。また、コンクリート開水路の補修工法の選定においては、寒冷環境下における適用性が重要となってくる。

しかしながら、これまで実施してきた機能診断や補修等の保全対策については、府県の技術をそのまま使用していることが多く、積雪寒冷地における適用性について検証する必要があった。

本研究は、平成21年度から平成23年度の3ヶ年をかけて、積雪寒冷地におけるコンクリート用水路の劣化要因の把握および機能診断手法の検討、補修工法の適用性の検証を行うことにより、ストックマネジメント技術の向上に資するものである。

研究の1年目（平成21年度）および2年目（平成22年度）は、積雪寒冷地におけるコンクリート用水路の劣化要因や機能診断の課題について整理し、凍害劣化メカニズムの検証を行った。また、試験的に実施された用水路の補修工法について、対策後の経過状況を報告した。

研究の最終年度となる本年度は、これまでの取りまとめとして、凍害劣化メカニズムの検証結果から、凍害劣化に着目した用水路の機能診断手法の提案を行う。また、試験的に実施された用水路の補修工法のモニタリング結果から、各補修工法における適用性評価や施工上の留意点について報告する。

1. 寒冷地における用水路診断手法の提案

(1) 目的

コンクリート開水路の凍害劣化では、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¹⁾。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メカニズムを解明することが必要である。

寒地土木研究所水利基盤チームは鳥取大学と共同で、凍害発生 の 要因である水分供給状況や温度変化の現地調査を平成21年度から行ってきた。本報ではこれらの結果を報告するとともに、凍害劣化に着目した機能診断手法を提案する。

(2) 凍害劣化メカニズムの検証

a) 調査概要

調査地点は、剣和幹線用水路の和寒町内を流下する区間のうち、昭和49年に施工された掘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。写真-1に示すように、この区間では左岸のかんがい期水位より上部（以下、気中部と称する）に長手方向のひび割れが、また天端にスケーリングが発生している。かんがい期水位より下部（以下、水中部と称する）および右岸側壁には凍害劣化はない。

調査では、左岸側壁背面の地下水位、側壁部材の表面・内部温度および内部の水分観測のため、図-1に示すように地下水位観測孔、温度計（T型熱電対）、

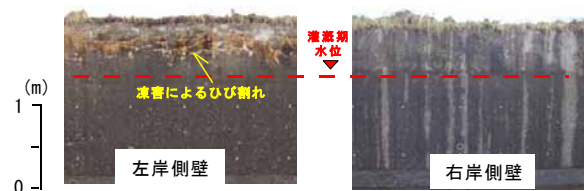


写真-1 観測箇所水路側壁の状況

および水分センサー（KZW-1A, (株)東京測器研究所製）を設置した。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。

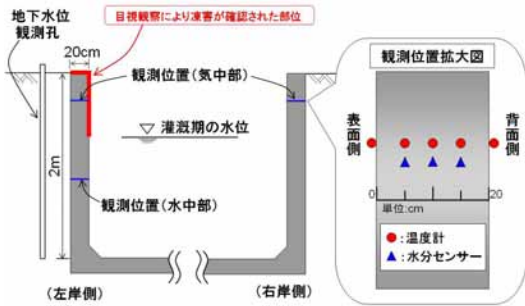


図-1 観測機器の設置概要

b) 結果および考察

① 側壁温度の状況

図-2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²⁾を参考にした。すなわち、文献²⁾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-2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。ひと冬を通じた合計と比較すると、左岸側壁の気中部と水中部は、ともに36回であった。写真-1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、次に述べるように、積雪形状も要因となっている。

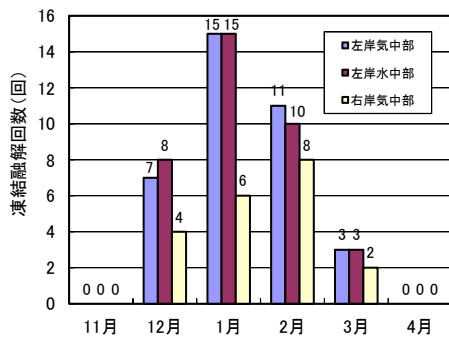


図-2 観測箇所における側壁表面の月別凍結融解回数(平成22年11月～平成23年4月)

図-3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、特定の箇所に着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。

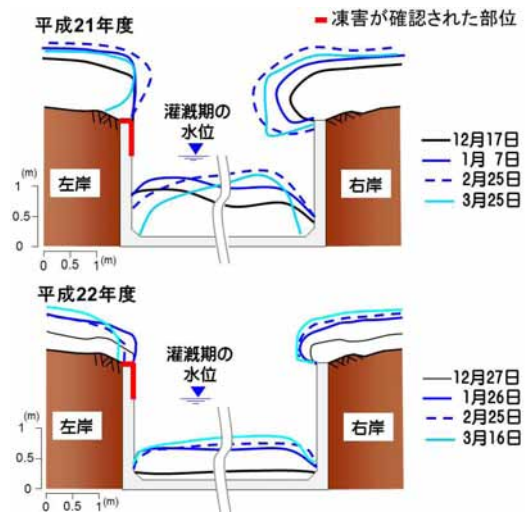


図-3 観測地点の積雪形状

② 水分の供給状況

図-1に示した側壁部材内部に設置した水分センサーから得られたデータについては、現在解析中であり本報中ではふれない。

左岸側壁の背後の地下水位は年間を通して底版から上方30cm程度であった。それゆえ、本区間では図-3に示すような凍害劣化部への水分供給源は地下水ではなく、融雪水であると考えられる。側壁表面への融雪水の浸み出し状況の例を写真-2に示す。この写真は凍結融解回数が多い時期のもので、なおかつ外見上で融雪水の浸み出しが1日の中で最も多い17時のものである。左岸側壁では、ひび割れや天端からの融雪水の浸み出しにより、気中部を中心に濡れている。右岸では側壁表面の濡れはない。左岸側では2月中旬を過ぎると、融雪水の量がさらに増加し、水中部を含む側壁全面が濡れる。一方、右岸側では3月下旬に雪庇が落下し、側壁表面を融雪水が伝うようになるまで、側壁の濡れはほとんど生じなかった。

側壁表面が濡れた日数を図-4に示す。表面が濡れた日数の1月と2月の合計は、多い箇所から順に、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日である。このように、凍害を生じている左岸気中部では凍結融解を生じるような

温度変化が多い時期に、融雪水の供給を多く受ける。一方、凍害劣化がみられない部位で、融雪水が多量に供給されるのは、凍結融解を生じるような温度変化が少ない時期である。



写真-2 平成23年2月3日17時の左右岸側壁の状況
(黄色破線内は側壁表面が濡れている箇所)

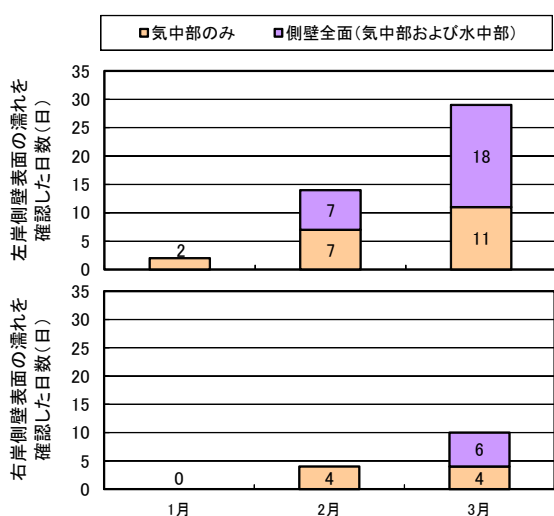


図-4 定点カメラにより側壁表面の濡れを確認した日数 (平成23年1月～3月)

③考察

凍害劣化部が冬期にさらされている環境についての事例調査の結果は以下のとおりである。

- 1) 凍害劣化部は、冬期に雪に覆われず日射を受けることで、凍結融解を繰り返す温度変化をひと冬に数多く受けていた。また、この部位は、凍結融解回数が多い時期に融雪水の供給が多かった。
- 2) コンクリート開水路沿いのそれぞれの場所で見れば、積雪形状は年による違いは小さい。そのため、凍害劣化を受けやすい場所とそうでない場所が分かれる。

1)、2)のように、積雪形状は凍害発生の有無を大きく左右する。コンクリート開水路で、凍害を受けやすい区間を把握するためには、雪に覆われず露出し、なおかつ日射を受けやすい部位の整理が重要である。

(3)凍害劣化に着目した用水路機能診断手法の提案

a)機能診断調査

現在、コンクリート開水路の機能診断調査は、農業水利施設の機能保全の手引き「開水路」に示されている機能保全のフロー³⁾に基づいて行われている。凍害劣化については、このフローに温度条件や水分供給条件に着目した項目を追加すれば、よりの確に調査できる。表-1にコンクリート開水路の凍害劣化の機能診断調査に必要な項目の案を示す。

表-1 コンクリート開水路の凍害劣化の機能診断で必要となる項目の案

| 調査段階 | 凍害劣化の診断で必要となる項目 |
|--------------|--|
| 事前調査 | 水路形式・区間の整理／水路路線の方位の整理／周辺地形判読による地下水、融雪水の供給可能性区間の整理／施設管理者への聞き取りによる積雪量、雪庇形成の多寡の区間整理 |
| 現地踏査(概査) | 積雪状況調査／近接目視による凍害劣化形態、発生位置の把握／周辺地形から地下水、表面水の供給状況の把握／周辺排水施設の機能低下等による水路への水分供給状況の把握 |
| 現地調査(定点調査) | ひび割れ状況調査／スケーリング状況調査／積雪状況調査／表面温度観測／地下水位観測・融雪水供給状況調査 |
| 詳細調査(必要に応じて) | コア採取による部材内部状況調査／採取コアの超音波探査／超音波の表面走査法による調査／鉄筋腐食状況調査 |

以下、各調査段階での必要項目の概略を述べる。まず、事前調査で水路の形式(掘込型、置樋形式など)の整理、および水路区間の方位の確認を行う。この段階で、現地踏査および現地調査において、劣化部位の見落としが生じないように、対象区間での留意点の整理を行う。現地踏査(概査)では、凍害劣化の位置や形態の把握のほか、水路に沿った積雪状況など、冬期に水路の躯体が曝される温度条件や水分供給条件の把握を行う。現地調査では、代表的な凍害劣化区間を選定し、量的に変状の発生状況を記録することに加え、側壁背面からの地下水の供給など劣化の発生要因の特定を行う。さらに、コンクリート開水路の凍害では、内部劣化の範囲の特定が重要であるため、コア採取等を詳細調査に盛り込んでいる。これら現地調査の結果は、その後の対策工法選定等で活用できるよう、体系的に整理しておく。

b)機能診断評価

農業水利施設の機能保全の手引き「開水路」に示されている鉄筋コンクリート開水路の健全度ランクの設定例³⁾に、凍害劣化の各段階を現象例に当てはめる場合の案を表-2に示す。表に示す現象例は、コ

ンクリート表面から内部への凍害の進行程度とかぶり厚さとの関係や、層状ひび割れの発生に着目して区分した。なお、層状ひび割れとは、側壁内部において、ひび割れが側壁表面にほぼ平行して生じるものである。これは、コンクリート開水路の凍害で特徴的な変状のひとつである。層状ひび割れは道内の複数のコンクリート開水路で報告例があり¹⁾、本章の現地調査の凍害劣化部でもコア採取により発生を確認している。

表-2では、部材内部への凍害劣化の進行過程は次のように想定した。

- ①側壁表面側から、凍害による微細構造の破壊や、モルタル部およびモルタルと骨材の境界部にひび割れが生じ、内部に劣化が進展していく(S-5～S-4)。
- ②凍害劣化の進展に伴いコンクリートの透水性が高まり、周囲からの水分供給により部材内部の飽水度が高まっていく(S-3)。
- ③継続的な部材内部への水分供給により鉄筋の腐食が発生するとともに、多数の層状ひび割れが発生し、部材としての耐荷力が低下する(S-2～S-1)。

ここで示した現象例は、凍害劣化の定性的な進行の程度と健全度ランクの照らし合わせを試みたものである。今後、現場技術者にとって活用しやすい資料とするため、記載した現象例の検証や、凍害劣化の定量的な評価手法についての検討を行いたい。

表-2 コンクリート開水路の凍害劣化による健全度ランク区分の案

| 健全度ランク | 対応する対策の目安 | 現象例の追加項目 |
|--------|-----------|---|
| S-5 | 対策不要 | 凍結融解作用を受けているが、凍害による劣化がなく、初期の健全性を保持している状態 |
| S-4 | 要観察 | 凍害により亀甲状、水平方向のひび割れや、目地付近のななめひび割れ、スケーリングが発生しているが、凍害深さが小さく剛性にほとんど変化がなく、かつ鉄筋の腐食がない状態 |
| S-3 | 補修(補強) | 凍害深さが大きくなり、周辺地形等の影響で構造物に水が供給され、鉄筋腐食が発生するおそれのある状態 |
| S-2 | 補強(補修) | 凍結融解作用の繰返し作用により、更に凍害深さが大きくなり、鉄筋腐食が発生している状態 |
| S-1 | 改築 | ・凍害深さがかぶり以上になり、変形や鉄筋の腐食が著しくなり、部材としての耐荷力に影響を及ぼす状態 ・側壁内部に多数の層状ひび割れの発生が確認された状態 |

c)劣化予測の現状と課題

中性化、塩害といった劣化要因に対しては、すでに性能低下過程の経験式が存在している³⁾。一方で、凍害劣化に関しては、個々の施設の機能診断結果をもとに単一劣化曲線を作成する方法が多くとられる。凍害劣化は、施設の曝される環境条件により劣化の程度が大きく変わるため、上記の方法による予測の信頼性は十分であるとはいえず、現状では、精度よく予測できる手法の確立が求められている。

凍害劣化の予測手法の検討には、積雪寒冷地で実施された機能診断調査結果の蓄積が必要である。多くの要因が関与し進行する凍害劣化の予測のためには、蓄積したデータをもとに、各施設が曝されてる気象条件や積雪形状といった凍害劣化の発生に関与する要因と、凍害による変状進行過程を体系的に整理することが重要であると考えられる。

(4)今後の機能診断技術の向上に向けて

今後、長大なコンクリート開水路の機能診断調査を効率的に行うために、部材内部に生じる変状を非破壊で精度よく把握する手法が必要となる。非破壊による内部劣化の調査手法としては、打音や反発度によるもの、超音波を用いたものなどがある。コンクリートの表面に超音波の発振・受振子を密着させ、探子間距離を変えながら超音波伝播速度を測定する表面走査法は、部材内部の劣化深さの調査に有用であると考えられる⁴⁾。超音波を用いた凍害による内部劣化の診断手法について、寒地土木研究所水利基盤チームでは鳥取大学と共同で、さらなる技術開発に向け研究を行っており、その結果については随時報告を行う予定である。

なお、本報で示した凍害劣化の機能診断調査で必要となる調査項目の案および、健全度評価における現象例の追加項目の案は、今後のさらなる検討を踏まえ、より現場技術者にとって利用しやすい資料となるよう改良を続ける予定である。

2. 寒冷地に適する用水路補修工法の開発

老朽化したコンクリート開水路の補修工法には、表面被覆工法などがあるが、現状では積雪寒冷地での施工実績は少なく、その適用性については十分に検証されていない。

本章では、ストックマネジメント技術高度化事業で実施した開水路の補修工法について、施工後のモニタリング調査結果から、初期欠陥に着目した評価および施工上の留意点を整理した結果を中心に報告する。また、参考として、頭首工の補修工法の施工後のモニタリング調査結果について報告する。なお、

寒地土木研究所が行った試験施工とモニタリングの結果は、昨年度までの発表論文⁵⁾⁶⁾を参照されたい。

(1) 施工事例 1：美瑛川地区貯水池幹線用水路

a) 目的

これまで、コンクリート開水路の補修工法は多様なものが開発されているが、積雪寒冷地での適用性の長期にわたる調査例は少なく、長寿命化技術として確立されたものはない。そこで、旭川開発建設部では、コンクリート開水路の凍害対策として補修に適しているといわれている工法のうち6種類を選定し、平成21年度に試験工事を行った。それら6工法の劣化状況や耐用年数を把握するためモニタリング調査を継続して行い、積雪寒冷地での適用性を検討した。

b) 施工箇所

工事箇所は、大雪山系に近い美瑛町に位置し、直轄かんがい排水事業美瑛川地区で整備された農業水利施設のうち、昭和44年度に施工された貯水池幹線用水路である（図-5）。

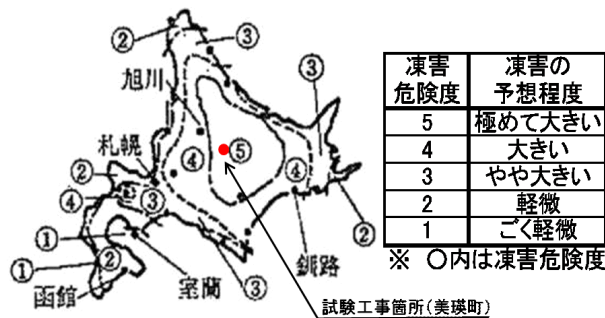


図-5 凍害危険度の分布図⁷⁾と試験工事箇所

試験区間は斜面の中腹に半切半盛の構造で配置された幅2.0m、高さ1.5mの現場打ち鉄筋コンクリートフルーム水路である（図-6）。

試験区間の延長は、試験工事区間延長180mと不施工区間延長10mをあわせた190mである。

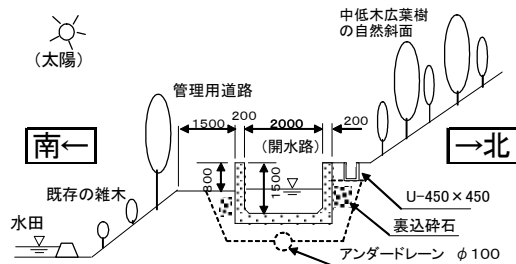


図-6 構造断面

現在、用水路は施工から約40年を経過し、写真-3に示すように経年劣化とともに凍害による劣化が進行しているものの、用水路としての機能上で大きな支障はない。



写真-3 劣化状況

c) 補修工法

試験工法は、北海道内での施工実績が少ない工法あるいは新技術として紹介されている凍害対策工法の中から、表-3に示す6工法（C、D、Eグループ）を選定した。また、これら凍害対策工法と比較をするため、一般的な3工法（A、Bグループ）を選定し、併せて対照区間となる不施工（Fグループ）を設定した。なお、C-2のPW工法は被覆層を形成させるものであるが、Dの表面被覆工法の層厚(10mm)より薄い(2mm)ため、DグループではなくCグループの区分に含めた。また、本来Dグループは既設構造物表面の脆弱部を除去し、その部分に保護層を施工し、既設構造物表面を保護する工法であるが、当施工現場では既設のフルーム水路側壁部の劣化が著しいため、既設母材を取り壊し、従来工法で部分打換えを行った表面に保護層として施工することとした。

表-3 工法選定理由

| 区分 | グループ名 | 工法名等 | 選定根拠等 | 本道での実績 農業 他分野 | |
|--------|-------|-------------------------|--|--------------------|---|
| 凍害対策工法 | C | 表面含浸工法 | | | |
| | C-1 | 表面含浸工法（ケイ酸ナトリウム系含浸工法） | コンクリート表面の含浸による強化・浸透阻止・ひび割れ閉塞機能確認 | 少 | 多 |
| | C-2 | PW工法 | 軽微な凍害箇所。トンネル等で実績有。用水路1 | 少 | 多 |
| | D | 表面被覆工法 | | | |
| | D-1 | 高耐久性PCM工法 | | 少 | 多 |
| | D-2 | レジンモルタル工法（樹脂モルタル現場打ち工法） | 土木学会誌の複合構造技術の最先端工法 ⁸⁾ として紹介 | 少 | 多 |
| | D-3 | 韧性モルタル工法 | | 少 | 少 |
| E | E | 埋設型枠工法 | | | |
| | E | 高耐久性埋設型枠工法 | 道路橋での実績有 | 無 | 無 |
| 一般工法 | A | 従来工法 | 経年変化を調べ他工法と比較する基準 | | |
| | A | 部分打換え工法 | | 多 | 多 |
| | B | 部分的補修工法 | 経年変化を調べ他工法と比較する基準、最低限度の補修 | | |
| | B-1 | ひび割れ補修 | ひび割れ幅Bにより3方法選択 | 多 | 多 |
| | B-2 | 断面修復工 | 流水作用の受ける部分と気中部との比較 | 多 | 多 |
| F | F | 不施工 | 補修効果の確認の基準 | | |
| | F | 不施工 | | | |

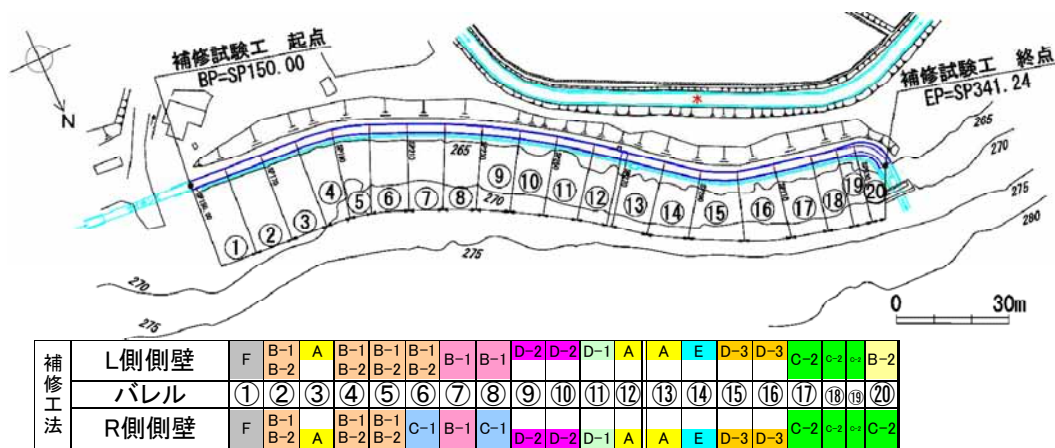


図-7 工種別配置図

各工法の施工位置は図-7に示すように配置した。また、凍害対策の施工部位は、木陰により日射の影響が少ない区間は図-8に示すように側壁天端を含め側壁内面（ハンチ部を除く）とし、直射日光を受け、日射の影響が大きい区間は、劣化が著しい側壁天端を含め、天端から80cm下がった部分までの打換えを行った範囲の水路内面とした（図-9、図-10）。

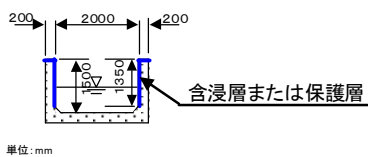


図-8 工種別詳細定規図（Cグループ）

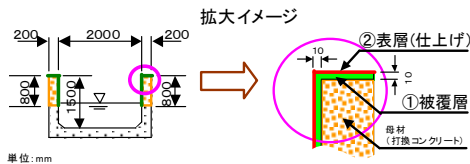


図-9 工種別詳細定規図（Dグループ）

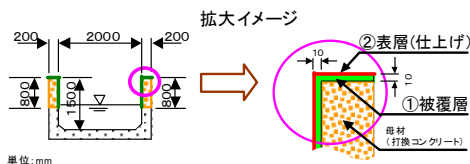


図-10 工種別詳細定規図（Eグループ）

d) 補修後の状況

①観測項目

モニタリング調査では、9工法に対する有効性の評価を行うため、表-4に示す項目について、常時観測と定期観測を行う計画としている。

常時監視では、側壁の温度とひずみを自記記録するとともに、起点部の気温計と約1km離れた地点の

アメダス測候所（美瑛）における気温と日照時間データを加え検討を行う。定期観測では施工後0.5、1、1.5、2、3、5、10年目で試験等を行う。施工後0.5年、1.5年とは、それぞれ越冬後の通水前に確認する時期のものであり、かんがい期間中の変状と冬期の変状を区分するために行うものである。

剥離、空洞化調査では、衝撃弾性波法および機械インピーダンス法を行い躯体の内部剥離を調査した。本調査で言う内部剥離とは表面含浸工法では母材コンクリートの内部に発生する空隙を想定した。PW工法では母材内部の空隙と母材コンクリートと表面被覆材の間の空隙を想定した。PCM工法、レジシモルタル工法、靱性モルタル工法、埋設型枠工法については、母材コンクリートを新たに打設することから母材コンクリートの内部に空隙は発生しないものと考え、主に母材コンクリートと表面被覆材の間の空隙を想定した。

衝撃弾性波試験では構造物を打撃して得られる衝撃波から、構造物の欠陥の有無を検知した。測定深さは20cm（部材厚）とした。内部剥離については相関係数と周波数の数値から「健全」「剥離の可能性が高い」「剥離」のいずれであるかを判定した。機械インピーダンス法では衝撃加速度計が内蔵されているハンマーにより構造物を打撃し、加速度を測定することにより得られる機械インピーダンスを用いて欠陥の有無を検知した。測定深さは4cm程度となる。剥離度合いの推定は打撃力波形のピーク数により、ピーク数が2個以上であれば内部剥離の可能性があると判定した。劣化度合いの推定は、VA（ハンマーがコンクリートを押し続けている時間と加速度の積）とVR（コンクリートがハンマーを押し返している時間と加速度の積）の比VA/VRが1に近いほど健全と判定した。

②1.5年後（冬期1回経過、通水前）の状況

・近接目視調査

表面含浸工法では母材コンクリートの断面修復を

ラができ、凸部の塗装厚の薄い部分から乾燥収縮によるひび割れが発生し、拡大したと考えられる。

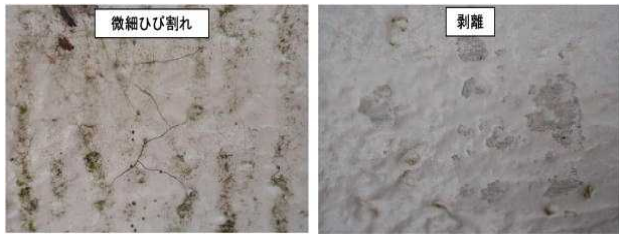


写真-4 PW工法の微細ひび割れと剥離

PCM工法では変状は見られなかった。

レジンモルタル工法では天端角部に幅0.1mm以下の縦ひび割れ、天端の横断ひび割れ、表層材の剥離が確認された(写真-5)。この要因として母材コンクリートに発生した乾燥収縮によるひび割れが表面被覆材に影響を及ぼしたことが推定される。しかし、表層だけに入ったひび割れの可能性も否定できないことから、今後ひび割れ幅を観察し、拡大が確認された場合、表層部分を剥がし、被覆層のひび割れの有無を確認する。



写真-5 レジンモルタル工法の変状

韌性モルタル工法では変状は見られなかった。

埋設型枠工法ではひび割れは拡大しておらず、また大きなひび割れへと進行しているものも確認されなかった(写真-6)。天端パネルに発生した横断方向のひび割れは、パネルとコンクリートの間に充填した接着剤の収縮による変形が、パネル下面に設置した高さ調整モルタルに拘束され、パネル上面に引張応力が働いたことが原因と推定される(図-11)。側面パネルの縦方向のひび割れは、打ち換えコンクリートの収縮による変形がパネル背面の突起により拘束され、パネル表面に引張応力が生じたことが原因と推定される。目地材の浮き、膨れ、剥離は拡大傾向にある。



写真-6 高耐久性埋設型枠工法の変状

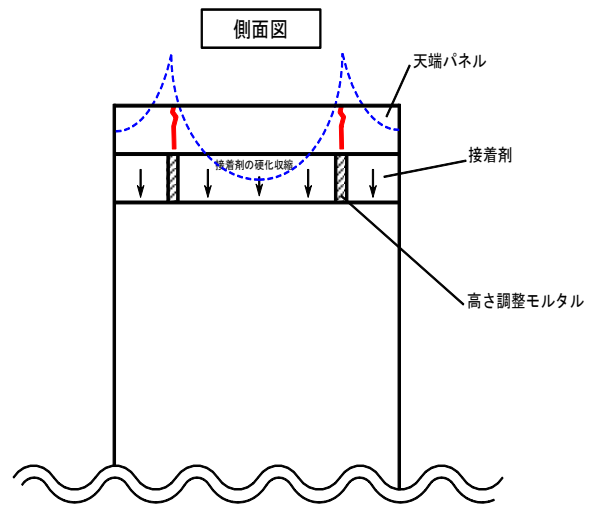


図-11 天端パネルのひび割れメカニズム

・表面強度試験

表面含浸工法では16.5~20.6N/mm²とばらつき、平均で18.5N/mm²と設計基準強度21.0N/mm²を下回った。

PW工法では平成23年春の1.5年後の調査と同様に採用できる値が得られなかった。

PCM工法、レジンモルタル工法、韌性モルタル工法では設計基準強度である21.0N/mm²を超えた数値となり強度不足は生じていない。

・中性化試験

表面含浸工法では10.1~23.4mmとばらつき、平均で16.6mmであった。

PW工法では9.1~21.0mmとばらつき、平均で12.6mmであった。

これらは対策を行う前の母材コンクリートの中性化を示したものと考えられる。この値を初期値とし対策工法を行ったことにより中性化の進行が抑制されるか確認する必要がある。

・付着強度試験

PW工法、PCM工法、レジンモルタル工法、靱性モルタル工法では管理値1.0N/mm²を超えており、異常は見られない。

・剥離、空洞化試験

表面含浸工法では17カ所の内部剥離が検知された。内部剥離は主に側壁上部で検知された。

PW工法ではハンチ部に内部剥離の可能性が確認されが極狭い範囲であった。また、側壁上部、中央付近で内部剥離が検知されが2カ所のみであった。また、微細な網状ひび割れの範囲が拡大してきていることから、ひび割れ自体を叩くことにより内部剥離と誤認した可能性もある。

PCM工法では側壁下部に内部剥離の可能性が確認された。また、側壁下部に内部剥離が検知されたが1カ所のみであった。

レジンモルタル工法では側壁下部に内部剥離の可能性が確認された。また、側壁下部に4カ所の内部剥離が検知された。

靱性モルタル工法では天端付近に衝撃弾性波法により2カ所の内部剥離を検知した。しかし、数が少ないことと、同じ地点での機械インピーダンス法では内部剥離の可能性が確認されなかったことから、測点付近の施工の際にできた微少な空隙や不純物に反応した可能性も考えられる。

埋設型枠工法では側壁下部に内部剥離の可能性が確認された。天端付近の内部剥離は12カ所が検知され増加傾向にある。

なお、表面含浸工法およびPW工法については、平成23年秋から調査密度を増やしたため、内部剥離が平成23年の通水期間中に新たに発生したかは不明である。

e)補修工法の評価

①初期欠陥に着目した補修工法の評価

表面含浸工法は、ケイ酸ナトリウム系表面含浸材がコンクリートに浸み込むことによりコンクリートを緻密化し、水がコンクリート内部に侵入することを妨げることによって「ひび割れの閉塞」「コンクリート表層部の強度向上」を期待するものであるが、本調査では新たなひび割れが確認され、表面強度は設計基準強度以下となり、多数の内部剥離が検知された。これらは母材の劣化がそのまま反映されたことが原因と考えられる。本工法は劣化が進行する前の適切な時期に対策することにより最大の効果が得られるものとする。

PW工法は、水路内面に厚さ2mmのコンクリート保護材を塗布し、既設コンクリートと保護材が一体化することにより摩耗から水路を保護するものである。本調査では、塗布材の表面に微細ひび割れ、剥

離が見られ、これらの変状は拡大方向にあり、既設コンクリートと保護材の一体化は完全ではないという結果であった。この要因として、下地処理不足が推定される。本工法は、脆弱部や不陸をなくし、均一に表面被覆を仕上げるのが通常である。しかし、本試験施工は、下地処理が十分に行われていない状態で施工していることから、対策工法の適性や有効性、妥当性の評価を行うことは難しい。評価するためには再施工する必要がある。

PCM工法は、近接目視では変状が見られず、表面強度と付着強度は十分な値であった。側壁下部に内部剥離が検知されたが2点と少なかった。このことから補修工法として適していると評価できる。

レジンモルタル工法は、平成23年秋から軽微なひび割れと剥離が発生し始めたが、表面強度および付着強度は十分な値が得られていること、内部剥離が検知されたがごく少数であることから、構造的な問題は無いと判断できる。今後、平成23年秋から見られた変状が進行するものかどうか観察を行うこととするが、変状が軽微であること、構造的な問題は無いことから補修工法として適していると評価できる。

靱性モルタル工法は内部剥離が検知されたが2点と少なく、打音では浮き等が確認されなかったこと、近接目視で側壁の傾き・水平方向のひび割れ等の構造上の問題となる変状が見られなかったこと、表面強度と付着強度は十分な値であることから補修工法として適していると評価できる。

埋設型枠工法では、本調査においてひび割れが発生したことを踏まえて、他地区において、天端パネルとコンクリートの間に充填する材料を接着剤から無収縮モルタルに変更し、側面パネルの背面突起を用いず鋼材による型枠固定方法に変更した。また、パネル厚も16mmから25mmに変更した。その事例では、ひび割れが減少し改善された。今後、本地区での継続的なモニタリングと他地区の今後の経過を把握した上で評価を行うべきであるとする。

②施工上の留意点

2年経過後までのモニタリングによって分かった施工上の留意点は以下の通りである。

PW工法では、均一な表面被覆として仕上げるため、コンクリート表面の脆弱部は除去し、不陸は断面修復する必要がある。

高耐久性埋設型枠工法では、収縮による接着剤やコンクリートの変形を拘束しないような型枠固定方法を考えていく必要がある。

他の工法については、今後、モニタリングを継続し整理する。

f) 今後に向けて

モニタリング調査の目的は補修工法の耐用年数の

検証および劣化予測にある。近接目視等の調査を毎年行い、変状を確認することで、今後どの時期にどのような劣化が顕在化するかを予測することが可能と考える。このことにより、補修を行った施設の長寿命化に資するものとする。

(2) 施工事例2：北檜山左岸地区第1幹線水路

a) 目的

農業用水路の水路橋は、河川等と立体交差する架橋形式のため重要度が高い構造物であり、漏水・破損事故による社会的影響が大きい。このため、水路橋については高性能で効率的な補修補強技術の確立が望まれている。

函館開発建設部では、国営かんがい排水事業で表面補修工事が行われたコンクリート水路橋の再補修長寿命化技術の有効性を検証することを目的に、平成21年度に道南の今金町にて水路橋内面補修工法の試験施工を実施した。平成22年4月よりモニタリング調査を開始し、平成23年9月時点で工事後2ヶ年目を迎え、経過観察を続けている。

b) 施工箇所

試験対象とした第1幹線水路の2水路橋は、前歴事業国営かんがい排水事業北檜山左岸地区で整備されたRC構造水路橋で、その後の更新事業国営かんがい排水事業利別川地区で一部改修が行われた(図-12、表-5)。



図-12 試験施工箇所

表-5 水路橋の現況諸元等

| | 1号水路橋 | 3号水路橋 |
|-----------------|-----------------------|--------------------------|
| 形式 | RC-U型 | RC-BOX型 |
| 構造 | 1スパン鋼桁支持 | 2スパン単純梁 |
| スパン | 9.15m | S=23.55+20.15m |
| 断面形 | B2.25m×H1.57m | B1.85m×H1.49m |
| 表面被覆 | ガラスクロスライニング | エポキシ樹脂塗装 |
| 整備地区【整備年度】(経過年) | 利別川地区【平成12年度】(11年) | 北檜山左岸地区【昭和55年度以前】(30年以上) |
| 主な変状 | ひび割れ、剥がれ、剥離 | ひび割れ、剥離、たわみ |
| 変状要因 | 凍害、流水、施工不良 | 凍害、流水、追従不足 |
| 対策目標 | 耐用年数15~20年長寿命化、維持管理軽減 | |

c) 補修工法

試験工事の工法は再補修技術に着目し、変状とその要因から耐久性、ひずみ追従性、防水性の3点を確保する方針のもとに選定した。

特に工法選定では底版と側壁に作用する環境作用の違いに着目し無機系と有機系を使い分ける他、健全度の高い既存工法の部分有効利用、たわみ追従性や母材の脆弱化への付着性能の確保を図った(表-6、図-13)。

表-6 側壁および底版の再補修工法選定の考え方

| 区分 | 側壁 | 底版 |
|------|--|-----------------------------|
| 選定工法 | 1号水路橋 上流側：有機系 高耐久性 上塗材薄膜再塗装 下流側：有機系 標準耐久性 上塗材厚膜再塗装 | 部分撤去および繊維補強 高耐久性無機系表面保護工再被覆 |
| | 3号水路橋 | シート材との一体化による有機系再補修 |

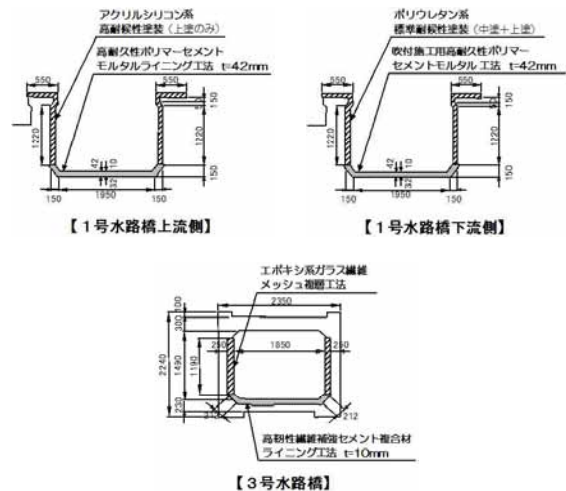


図-13 補修工法の試験施工断面

d) 補修後の状況

① 観測項目

経過観察は、再補修による表面被覆工の有効性を確認し、施工後の劣化状況を監視評価するために行う(表-7)。

表-7 水路橋の補修工法監視計画

| 項目 | 観測項目 | 観測対象 | 測定頻度 |
|-----------|---|--------------|---------------------------|
| 近接目視 | 割れ、剥がれ、ふくれ、錆汁、白亜化、光沢低下、変退色、摩耗 | 各補修区間(側壁・底版) | 中間測定※1(通水前) 定期測定※2 |
| 歪み測定 | 縦横断方向定高さ測定によるたわみ量測定 外面全体双眼目視によるひび割れ・漏水監視 | 3号水路橋 | 中間測定※1(最大流量通水時) 定期測定※2 |
| すり減り・膜厚測定 | 有機系塗膜の膜厚測定・付着力試験※3 無機系被覆材のすり減り測定 | 各補修区間(側壁・底版) | 定期測定※2 |
| 母材調査 | 表面強度測定※3 中性化測定※3 超音波伝播速度試験※3 | 各補修区間(側壁・底版) | 定期測定※2 |

※1 中間測定：0.5年、1.5年

※2 定期測定：1.0、3.0、5.0、10.0、15.0年

※3 定期測定の3.0年後以降に実施

補修後の流水による摩耗量測定は、工法の耐久性評価に資するほか、今後の長寿命化に向けた補修工法に対する機能診断手法を検討する上でも有用であり、測定精度の安定確保と簡易な測定方法の開発が求められている。

このため、平成23年から可搬式高精度レーザー測定器を用いた凹凸測定と固定SUSプレートを用いた固定点からの減耗量測定による併用測定を行い、測定方法の有効性の検証を進めている（**図-14**、**写真-7**）。

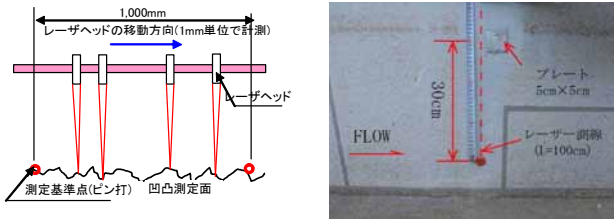


図-14 レーザー凹凸計測法 **写真-7** 摩耗量の測線とプレート

本施設では2つの測定方法を底版（無機系）と側壁（有機系）に適用し、測定時の補修面状況や人為的な機器測定誤差が測定精度に与える影響を調べ、適用工法等を考慮した有効な測定方法を検討する。

②建設～2.0年までの監視結果

水路橋の監視にあたっては、夏場の流水作用や落水期の空水状態のほか冬場の積雪状態を踏まえ、環境作用が補修工法に与える影響を調査し、現時点で以下の結果を得た（**写真-8**）。



写真-8 1号水路橋補修後の夏場・冬場の状況

全ての試験工法で大きな変状は見られないが、1号水路橋の側壁R側の再塗装面では、下地処理の施工不良によるものと思われる「剥がれ」が部分的に発生している。

この再塗装面の剥がれは、2.0年落水後には河川原水の微粒土砂の付着により、目視による詳細な変状確認はできない状況にあるが、1.5年通水前と比べて剥がれの進行が停滞している可能性がある。（**写真-9**）。

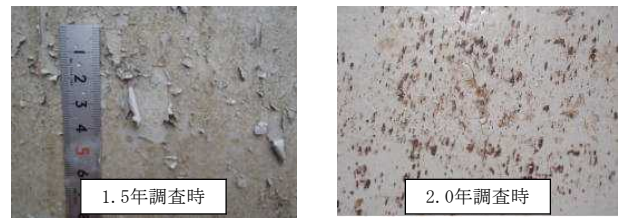


写真-9 1号水路橋側壁の塗装剥がれ部の変化

ゲート取付部では渦流れによる巻き込み作用、通水面ハンチ部では小さなラセン流による巻き上げ作用が発生していると考えられ、これらの水理的作用が目地や補修材に作用していると推測される流跡や痕跡が確認された（**写真-10**）。



写真-10 工法境界部と端部の目地周りの状況（3号水路橋）

変状が発生しやすいと考えられる目地部は、流水の作用方向を考え側壁底版の工法境界の縦断目地をt=10mm幅で重ね接合とし、端部を伸縮目地にH=20mm補修材折込みを行っているため、現時点では剥がれ等の変状は見られない（**図-15**）。

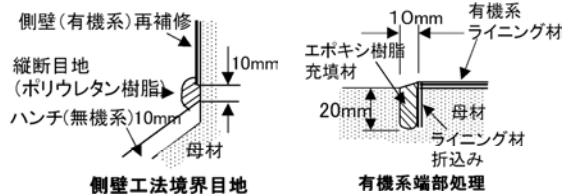


図-15 目地および端部処理の例（有機系）

3号水路橋は、母材の脆弱化と構造たわみに対して底版を高靱性無機系、側壁をシート併用有機系の補修材を使用した。底版については付着強度0.7N/m²以上⁸⁾の品質管理で施工したが、床板下面のエフロレンスが立ち枯れし、躯体からの漏水や補修材のひび割れや剥がれがない。また、ボックス母材の外表面が乾燥傾向に推移していることが目視および触診で確認された。

e) 補修工法の評価

①初期欠陥に着目した補修工法の評価

工事後2年が経過した水路橋補修工法において、初期欠陥による微細な変状（剥がれ）が見られたが、停滞状態で一時的に安定しているため、初期欠陥の評価は行わない。

一方、対象の水路橋は築造後40年以上が経過する

施設であり、今後、補修工法の劣化が顕在化する時期に入るため、水路橋構造本体（母材）と表面補修工法の経年変化と今後想定される劣化傾向を概括的に推定した（図-16）。

今後の監視作業では水路橋本体（母材）と補修工法の変状を早期に発見し、段階的な評価を適時行い、施設の長寿命化を図っていく必要があると考えられる。

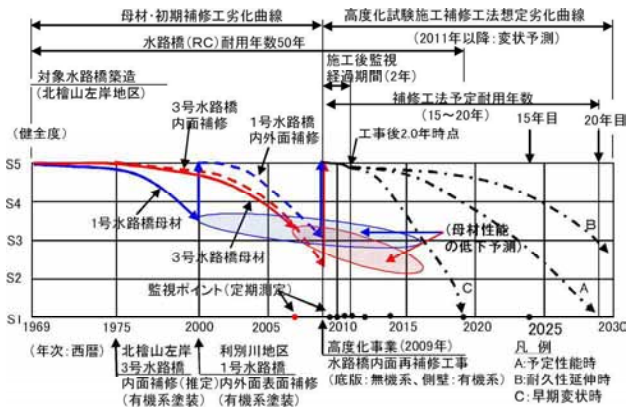


図-16 水路橋補修後の劣化の傾向と予測

②設計施工上の留意点

コンクリート開水路における長寿命化対策で表面補修工法を導入するにあたり、設計施工面では以下に示す配慮が必要である。

- 1) 無機系補修工法では、素地境界面へ水の侵入が発生すると、早期に凍結融解作用や流水の作用を受け連続的な剥がれを誘発する。このため、工法変更部や端部の境界処理で行うカッター面は、材料の密着と付着力の向上を図るため目荒しを行う。
- 2) 有機系補修工法では、下地処理の不具合や目地や端部での密着不良により、施工後間もなく剥がれやひび割れが発生することが多い。このため、設計施工に際しては、母材や既存補修材の下地調査を十分行い、施工面の状況に適した対処を部位毎に行う。
- 3) 放水ゲート付近で渦流れが発生する場所や、ハンチ周りで小さなラセン流が予想される箇所では、局所流れによって補修材を引き剥がす力が作用する場合がある。このため工法選定に際しては、力学的抵抗力が高い無機系材料や、増厚による断面修復工を選定するとともに、近傍に配置する縦断目地はハンチ上端から10cm程度に設ける。
- 4) 母材の脆弱化が進んだ区間における表面被覆材の選定では、高靱性材料やネット併用の工法による付着性能の確保と一体的剥落防止の検討が重要である。このため、調査設計時の付着試験では母材の水分状況も併せて調査し、試験結果の妥当性を検討する。
- 5) 補修工法の性能を大きく左右する母材の付着性能は、下地処理方法の選定とはつり深さを決定する重

要な要素であり工事費への影響が大きいため、調査段階において母材の付着性能の確認を十分に行う事が望ましい。しかし、調査段階では付着試験点数が限定される等、構造物の細部を含めた全体に対しては不足する場合がある。このため、工事の実施段階（下地露出後）において、補修後の再劣化を起こさないように、母材の部分的な脆弱部やひび割れ等の変状を精査した上で、補修工事を行うことが重要である。

6) 水路橋のように外面が露出し躯体の保温が期待できない場所で、施工時期が適期を外れ初冬となる場合には、施工後の養生が薄膜・薄層の補修材の安定に与える影響も大きい。このため施工後の養生管理は供用後の性能を左右し易く、構造形式や立地条件、施工時期等を総合的に考慮し、初期欠陥の誘発防止に努めた工事管理方法（養生温度と期間、温度分布と温風ダクト配置方法、背面気温の影響等）の検討を行い、適切な施工管理を行う必要がある。

f) 今後に向けて

試験工事の水路橋補修工法について、今後、継続的な監視を行っていく上での課題を以下に示す。

①補修工法の健全度評価方法の検討

補修工法の健全度評価については、これまで事例がほとんどないことから、技術的確立が急がれる。

ここでは、土木学会指針のコンクリートライブラリー⁹⁾で示されている評価項目を参考に作成した補修工法（表面被覆工法（有機系））の評価マトリックスについて示す（図-17）。

表面被覆工の健全度評価については、変状面積だけでなく変状の状態を加えた2つの項目で評価設定し、マトリックスによる総合的な評価を行うことで、補修工法の健全度を的確に評価できるものと考えている。

なお、本マトリックスによる評価手法については、試作段階であり表面被覆工の劣化の進行過程等を踏

| | | 変状の面積に対する評価 | | | | | |
|-------------|-----|-------------|-----|------|----------------|-----------------|-------|
| | | 健全度 | S-5 | S-4 | S-3 | S-2 | S-1 |
| 変状の状態に対する評価 | 健全度 | 評価基準 (有機) | なし | 5%未満 | 5%以上 ~10%未満 | 10%以上 ~30%未満 | 30%以上 |
| | S-5 | なし | S-5 | - | - | - | - |
| | S-4 | 上塗り材浮き | - | S-4 | S-4 | S-3 | S-3 |
| | S-3 | 上塗り材剥がれ | - | S-4 | S-3 | S-2 | S-2 |
| | S-2 | 中塗り材浮き | - | S-3 | S-2 | S-1 | S-1 |
| | S-1 | 母材露出 | - | S-3 | S-2 | S-1 | S-1 |

図-17 補修工法の評価マトリックス案(有機系)

まえ、継続的に検証する必要がある。

農業用施設の多くは、河川原水を利用した水利施設のため、今後の評価では流水に含まれる微粒土砂等による影響も考慮したすり減り作用に対する耐久性の検討が課題である。

②水路橋の長寿命化に向けて

水路橋では内面側の表面補修工法に関する耐久性評価のほか、母材コンクリート構造の耐久性評価を併せて行うことが、施設の構造安全性の確保を図り社会的影響リスクを低減する上で必要不可欠である。

このため、今後は、構造物本体と補修材の両面について監視を行い、段階的に補強工法の導入の検討も行っていきたいと考えている。

(3) 施工事例3：てしおがわ地区土別川頭首工

a) 目的

土別川頭首工は、国営総合かんがい排水事業「天塩川上流地区」により昭和44年度に新築され、その後の老朽化により、国営造成土地改良施設整備事業「てしおがわ地区」で補修工事を平成19年度に実施した。施工後4年を経過していることから、補修工法の有効性について経過観察を行った。

b) 施工箇所

土別川頭首工は土別市朝日町に位置し、天塩川上流の特定多目的岩尾内ダムに水源を確保している。

c) 補修工法

土別川頭首工の型式はフィックスドタイプで、堤長63m、洪水吐2門（径間20m、転倒ゲート）、土砂吐1門（径間20m、ローラーゲート）である（図-18）。各部位の補修工法は下記の理由から表-8のとおりとした。

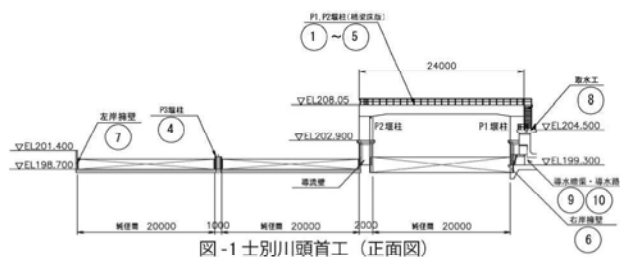


図-18 土別川頭首工（正面図）

表-8 各部位の補修工法

| 部位 | 補修工法 |
|-----------------|------------------|
| 左右岸擁壁 | 断面修復工、表面被覆工（有機系） |
| P2, P3堰柱下部、導水暗渠 | 表面被覆工（無機系） |
| 土砂吐操作台、取水工上部 | 断面修復工+表面被覆工（有機系） |

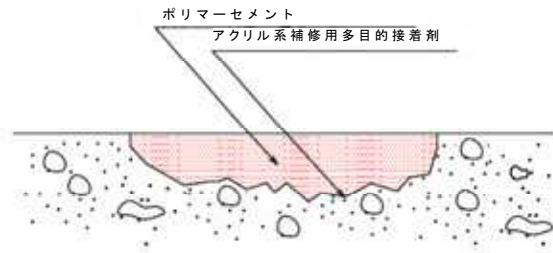
①左右岸擁壁、P2, P3堰柱下部、導水暗渠

砂礫を含む流水の影響を受ける護岸擁壁、堰柱下

部、導水暗渠は、摩耗劣化が進行しているため、摩耗によって消失したコンクリートの断面修復並びにすり減り作用からの躯体保護が必要となる。

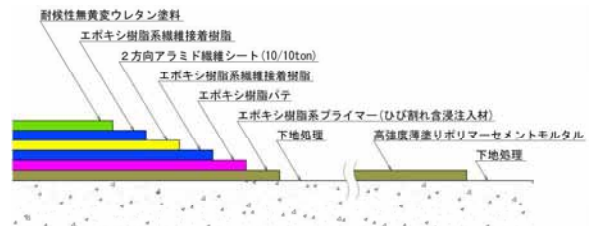
②土砂吐操作台、取水工上部

日射の影響を受けやすい土砂吐上部や取水工上は、手摺り、階段等の金物からの水分供給が多く凍害劣化を受けているため、凍害によって健全性が失われた断面の修復と水分侵入の遮断が必要である。なお、断面修復工と表面被覆工の詳細図を図-19、図-20に示す。



断面修復材料にはポリマーセメントを採用した。しかし、表面被覆工で連続繊維接着工を採用する箇所については、遮水性と躯体の保護が付与されるので、経済性を考慮して高強度・高耐久性補修用モルタルを使用した。

図-19 断面修復工



凍結融解作用時における膨張圧に備えて、既存の劣化が著しい箇所に対してはエポキシ樹脂と連続繊維接着工（アラミド繊維）とし、劣化が軽微な箇所においては、エポキシ樹脂による被覆工とした。

図-20 表面被覆工（左；有機系、右；無機系）

d) 補修後の状況

①観測項目

経過観測は、補修工法の有効性を確認するため、表-9に示す観測項目で実施した。

表-9 観測項目

| 項目 | 観測内容 | 部位 |
|---------|---------------------------|------------------------|
| 目視観測 | 材料劣化、ひび割れ、剥離・剥落、浮き、変色、錆汚れ | 左右岸擁壁、P1～P3堰柱、取水口、導水暗渠 |
| 磨耗量測定※1 | 磨耗減少厚さ | 左岸擁壁 |
| 付着力試験※2 | 付着強さ | 右岸擁壁 P2堰柱 |
| 透気試験※3 | 透気性 | 右岸擁壁、P1堰柱、取水口 |

※1 すり減り抵抗性測定用ピン
 ※2 建研式引張試験機
 ※3 Air-Permea

②現在(冬期2回経過、通水期3回経過)の状況

1) 目視観測

近接目視の結果、右岸擁壁並びにP1, P2堰柱の一部、P3堰柱の天端にひび割れ、浮き、剥落がみられた。また、土砂吐操作台、取水工上部では、剥がれ・浮きがみられた(写真-11~14)。要因としては下地処理や施工方法による影響が考えられる。



写真-11 右岸擁壁天端



写真-12 右岸擁壁側壁



写真-13 P2堰柱



写真-14 土砂吐操作台

2) 摩耗量測定

平成20年3月以降の表面被覆工の摩耗は最大でも0.1mm程度でありわずかであった。

3) 付着力試験

右岸擁壁上流側とP2堰柱南面の強度は2.43~2.65 N/mm²であった。P2堰柱北面の強度は0.70N/mm²であったが母材での破断である。右岸擁壁下流側では基材が破断し測定不能であった。要因としては、下地処理や左官工法の熟練度による影響が考えられる。

4) 透気試験

表面被覆工(有機系)では透気係数が $0.001 \times 10^{-16} \text{m}^2$ 以下であり、断面修復工では若干のバラつきがあるものの、既設のコンクリートと同程度であり、ともに耐久性は良好に維持されている。

e) 補修工法の評価

①工法の評価

施工後4年の段階では、各工法とも補修材料の目立った変状はみられず概ね良好な結果であった(表-10)。剥離・剥落、浮きは施工上の初期欠陥に

表-10 劣化面積と割合

| 補修工法 | 調査面積 ①(m ²) | 劣化面積 ②(m ²) | 劣化割合 ②/①(%) |
|------------|----------------------------|----------------------------|----------------|
| 断面修復工 | 46.6 | 1.2 | 2.6% |
| 表面被覆工(無機系) | 170.9 | 8.3 | 4.9% |
| 表面被覆工(有機系) | 177.1 | 4.2 | 2.4% |
| 計 | 394.6 | 13.7 | 3.5% |

※1 劣化面積は、剥離・剥落、浮きの総面積

※2 ひび割れは、剥離・浮きに起因するものが大部分であるため、上表には含んでいない。

よるものであり、今後早急な劣化の進行はないと考えられるが、日常的な維持管理の中で適時、的確な対策が必要である。

②施工上の留意点

施工上の留意点として、以下のことがあげられる。

- 1) 確実な下地処理：ウォータージェットで脆弱部、ホコリ等の完全除去と補修接着面の付着力向上の為に粗面形成を確実に行う。
- 2) 最適な工法の選定：左官工法では熟練度により、塗りムラや補修施工面での接着不足を伴うことが危惧されることから、補修面積が広い場合は、吹付け工法の採用が望ましい。
- 3) 施工境界の止水：躯体と補修材の境界部への水の侵入を防ぐため、補修材をラップさせるなどの配慮が必要である。

3. 寒冷地に適する補修技術のまとめ

本章では剣和幹線用水路、貯水池幹線用水路、北松山左岸地区第1幹線用水路水路橋でのコンクリート水路補修の試験施工および士別川頭首工での補修工事を実施した後のモニタリング調査結果から、寒冷地における補修工法の適用性について評価する。

なお、各補修工法の評価は剣和幹線用水路では通水期5回、冬期5回(平成18年12月完成)、貯水池幹線用水路(平成22年3月完成)では通水期2回、冬期1回、北松山左岸地区第1幹線用水路(平成21年12月完成)では通水期2回、冬期2回、士別川頭首工(平成20年3月完成)では通水期4回、冬期3回を経た段階でのものである。

(1) 各種表面補修工法の評価

a) 無機系表面被覆工法

剣和幹線用水路での通水期4回、冬期4回経過後においてセメント系補修工法では摩耗、ひび割れ、剥離の目立った変状は見られなかった⁹⁾。通水期5回、冬期5回経過後の平成23年度に底版の縦断方向にある目地部で新たにひび割れが発生した。これは平成23年9月に降水量が非常に多かった(平年値の2.7倍)ため、地下水圧が底版目地部に作用したことが原因と考えられる。しかし、それ以外は目立った変状は無く良好な状態を保っていた。

貯水池幹線用水路で施工した高耐久性PCM(ポリマーセメントモルタル)工法、靱性モルタル工法はいずれも変状が無く、現段階では良好な状態を保っていた。レジンモルタル工法は現時点で天端にひび割れと表層の上塗り材の剥離が確認された。これらの変状が進行性のものであるかモニタリング調査による今後の評価が必要である。

第1幹線用水路の水路橋の底版に施工した高耐久性ポリマーセメントモルタルおよび高靱性繊維補強

セメント複合材モルタルライニング工法は、現時点ではどちらも全体的には大きな変状はなかった。但し、施工端部で剥離が見られたことから、未施工部とのすり付け部での工法の工夫が必要であると考えられた。

士別川頭首工では現時点において無機系表面被覆材の摩耗は進行していなかった。

これらのことから目地を補修材料で埋めないことや施工端部での施工に留意することで、無機系表面被覆工法は寒冷地において適用可能な工法であると考えられる。

b) 有機系表面被覆工法

剣和幹線用水路で施工したウレタン樹脂系補修工法は、施工後1年目に側壁の目地の止水が不完全であったところで剥離が生じたが、その部分を再補修した後は、良好な状態を保っていた。

第1幹線用水路の水路橋の側壁で施工したアクリルシリコン系ポリウレタン系工法、エポキシ系ガラス繊維メッシュ複層工法は現時点ではポリウレタン系材料の上塗り材に部分的な剥離が見られた程度でいずれも全体的には大きな変状はなかった。但し、ゲート取付部で剥離が見られたことから、水流の乱れる場所での補修工法の工夫が必要であると考えられた。

士別川頭首工では現時点において有機系表面被覆材の劣化因子侵入防止効果は保たれていることがわかった。

これらのことから、上塗り材の耐久性に留意する必要があるものの、有機系表面被覆工法は寒冷地において適用可能な工法であると考えられる。なお、目地部分は縁切りを行うことが望ましい。

c) パネル取付け工法

剣和幹線用水路で施工したFRPM 板をアンカーで固定する補修工法は通水期5回、冬期5回経過後の時点では、FRPM 板の変状、アンカーの脱落等の変状は見られず、良好な状態を保っていた。本工法は寒冷地において適用可能な工法であると考えられる。

埋設型枠工法は現段階では充填材料の選定や型枠の固定方式を工夫する必要があると考えられる。

(2) 断面の部位ごとの工法選定の留意点

用水路の補修では、底版および左右の側壁といった断面全体を、必ずしも同一の方法で施工するわけではない。凍害劣化が断面の一部である場合には、その箇所を補修することになる。また断面全体が劣化している場合でも、部位ごとで異なる補修方法を採用することも可能である。これらのことから、ここでは部位ごとの補修方法検討の留意点を述べる。

天端や側壁は凍結融解を受けやすい。それゆえ、水路コンクリートへの水分浸透による凍害劣化を防止するため、補修材料にはひび割れを発生させない

材料を選定する必要がある。また、摩耗に対する抵抗性のある材料の方が耐用年数が長いと考えられる。これらのことから、側壁および天端では、無機系表面被覆工法のうちでひび割れ抵抗性と耐摩耗性が高い工法や有機系表面被覆工法が適していると考えられる。なお、パネル取付け工法は側壁には適しているが、天端については施工実績が少ない工法が多いことから、天端への適用性を確認する必要がある。

側壁が部分的に凍害劣化を受けている場合で、摩耗も進行していない場合は、貯水池幹線用水路の事例のように、部分打換えおよび表面補修を劣化部のみに対して行いコストを低減させる方法もある。この場合、既設コンクリートと断面修復部の境界部や断面修復材自体にひび割れを生じない材料を選定する必要がある。

底版は積雪があるため、凍結融解作用を受けることは天端や側壁よりも少ない。それゆえ、底版の補修では多様な工法を選択肢とできるが、維持管理の面を考えた配慮が必要である。たとえば、水路清掃時にスコップや重機を使用する場合は、衝撃や擦れに耐えられることが必要となる。また、水路点検時の転倒防止の点から滑りにくい材料であることが望ましい。

底版や側壁の補修の特殊な例として水路橋があげられる。水路橋は、用水や積雪による荷重のため、季節的なたわみの変化が生じ、これに伴いひび割れや剥がれが発生する可能性がある。特に底版は下面が外気に曝されるため、凍結融解作用の影響を受けやすく劣化しやすい環境である。それゆえ、第1幹線用水路の水路橋の補修事例のように、底版に高靱性の材料を使用し、また、側壁には、シート系材料等を使用した補修工法を採用することで補修後の変状を抑える工夫も考えられる。

(3) 現場条件と各種補修工法の適用性

開水路の補修は落水期に行うことが一般的であり、寒冷地では低温条件での施工となることが多い。この場合、降水および融雪水が水路内に滞水すると乾燥しにくい。掘込み形式の水路で水路外からの水が侵入しやすい場合には、底版でのドライ施工が難しいことが多い。特に有機系材料を使用する場合、母材の水分によって接着性が極端に低下することがある¹⁰⁾ことから施工にあたっては注意を要する。

水管理の面では、補修により水路の粗度係数が小さくなると、補修前に比べてかんがい期の水位が低下するため、所要の分水位を確保できるか水理計算で確認し、補修材料を選定する必要がある。

4. 総括

(1) 寒冷地における農業用用水路の保全手法

農業用用水路の保全手法には大きく分けて機能診断調査・評価と機能保全計画の策定がある。本研究では、機能診断調査・評価に関しては、凍害劣化のメカニズムの検証と凍害劣化に着目した用水路機能診断手法について検討した。凍害劣化に着目した用水路機能診断手法では、特に現地踏査や調査の際に必要な項目を提案した。機能保全計画に関しては、補修による対策を行う場合における各種補修工法の寒冷地での適用性を現地試験施工により評価を行った。施工後2年から5年の段階では主な表面補修工法である無機系表面被覆工法、有機系表面被覆工法、パネル取付け工法は、寒冷地でも適用可能な工法であることがわかった。

(2) 今後継続すべき調査研究

今後は機能診断においては長大な延長の用水路を効率的に凍害劣化診断のできる診断手法の確立が必要である。また、試験施工区間でのモニタリング調査の継続と室内での劣化促進試験により、寒冷地での各種補修工法の耐用年数の算定が必要となる。

謝辞：本研究をすすめるにあたり、各地区の機能診断および補修工法等の施工では、関係土地改良区をはじめとする多くの方々のご支援とご協力を頂戴している。末筆ながら、関係者の皆様に対し、深く感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 緒方英彦ら：RC開水路の側壁内部における凍害ひび割れの発生形態，農業農村工学会誌，第78巻，5号，pp. 405-409, 2010
- 2) 田畑雅幸ら：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
- 3) 農林水産省：農業水利施設の機能保全の手引き「開水路」，pp. 16-60, 2010
- 4) 緒方英彦ら：超音波法によるコンクリート製開水路の凍害診断に関する研究-表面走査法による凍害劣化の評価-，農業農村工学会全国大会講演要旨集，pp. 518-519, 2009
- 5) 北海道開発局農業水産部・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，第53回北海道開発技術研究発表会（指定課題），2010
- 6) 北海道開発局農業水産部・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，第54回北海道開発技術研究発表会（指定課題），2011
- 7) 長谷川寿夫：コンクリートの凍害危険度算出と水セメント比限界値の提案，セメント技術年報 XXIX, pp. 248-253, 1975
- 8) 土木学会：コンクリートライブラリー119 表面保護工法 設計施工指針(案) [工種別マニュアル編]，pp. 112, 2006
- 9) 土木学会：コンクリートライブラリー119 表面保護工法 設計施工指針(案)，pp. 53, 2006
- 10) 農林水産省農村振興局整備部設計課施工企画調整室：農業水利施設のコンクリート構造物調査・評価・対策工法選定マニュアル，pp. 167, 2007