

寒冷地における用水路の劣化と保全

ーストックマネジメントの取組みー

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

近年、農業水利施設に対するストックマネジメントの一環として、コンクリート開水路の機能診断と機能保全対策が進められている。現在、先行地区で老朽化した用水路の改修が実施されているところであるが、積雪寒冷地におけるコンクリート開水路の部分的な補修については施工実績が少なく、技術として確立されているものではない。このため、近年では新技術、新工法が数多く出ており、それらの技術としての検証が必要となっている。

北海道開発局および寒地土木研究所では、3年程前より積雪寒冷地における用水路補修工法の適用性や耐久性に関する検証を始めたところである。

本研究は寒冷地に適した用水路の保全技術の確立に向けて、こうした取り組みの経過と結果を取り纏めることにより、ストックマネジメント技術の向上に資するものである。

研究の初年度目となる平成21年度は、寒冷地のコンクリート用水路についての劣化要因や機能診断の課題を踏まえ、ストックマネジメント技術高度化事業の一環として実施されている用水路補修に係る試験工事による取り組みの事例や、寒地土木研究所による補修工法の試験施工区間における検証事例を紹介する。

1. 研究の背景と実施計画

(1) スtockマネジメントの必要性和開水路を研究対象とした理由

北海道において、農業農村整備事業で造成された基幹的な農業水利施設は、施設数で約3,700箇所にのぼっており、再建設費ベースでは約3.3兆円に及ぶ社会資本ストックとして形成されるに至っている。一方では、農業水利ストックの多くは、高度成長期に急速に整備されているため、今後更新時期

を迎えることとなり、従来の一括更新を行うのではなく、補修・補強などにより施設の長寿命化を図り、ライフサイクルコスト（建設・維持管理等にかかる全てのコスト）を低減し、既存ストックの有効活用をすることが求められている。

これらの農業水利ストックの中でも、開水路（用水路）はその施設構造から直接的に寒冷気象の影響を受けることから、施設管理において維持管理に加えて、北海道特有の寒冷環境下に適応した補修・補強技術の確立が望まれている状況にある。

(2) 用水路整備技術の歴史¹⁾

北海道における農業水利施設は、昭和の初期までにはほぼ現在の水利系統の基礎が出来上がったとされる。昭和30年代までは土水路を主体としていたが、その後、漏水防止、流水による法面浸食防止等が図れる張ブロック工法が採用された。昭和30年代後半以降は、背面土圧に耐えられ、側壁を急勾配にできて水路断面が小さくて済むこと等から、L型ブロックが開水路改修工法の主流となった。昭和50年代半ばには、コンクリート現場打ち施工技術の進歩等により、接合目地処理が容易で強度的にも信頼性の高い現場打ちフルーム水路の採用比率が高くなり、現在に至っている。

(3) 劣化の要因と事例

北海道のコンクリート水路の劣化の要因は、中性化、凍害、凍上、アルカリ骨材反応、摩耗である。このうち寒冷地特有の劣化要因は凍害、凍上であり、凍害の劣化形態には、ひび割れ、スケーリング、ポップアウトなどがある（写真-1）。また、凍上の劣化形態には、水路側壁の傾倒破損や目地の破断などがあげられる（写真-2）。

(4) 機能診断技術の現状と課題

寒冷地のコンクリート開水路の機能診断では、温暖な府県における調査項目に加え、寒冷地特有の劣

化要因に起因した凍結融解作用、水路周辺地盤の凍上、雪庇の形成、融雪期に生じる急激な地下水位上昇などの冬期の水路変状調査²⁾が必要である。

とくに、コンクリート水路は一般のコンクリート構造物に比べ部材厚が薄いことに加え、落水後は水路の全面が冷気に曝されるため、凍結融解作用に対する抵抗性の評価が重要である。しかし、現状の機能診断は、写真-1のような凍害劣化の表面からの深さや面的広がりやの評価にとどまっており、劣化予測や対策工法の有効性を判断するための調査・評価手法は未確立である。今後、寒冷地の水路の劣化要因を踏まえた機能診断調査と機能診断評価の確立が急がれる。



写真-1 水路における凍害劣化の形態



写真-2 凍上による水路側壁の傾倒

(5) 補修工法の課題と現在の取り組み

寒冷地で水路の補修を行う際の課題は、冬期間に補修表面および躯体背面から水分供給を受けた場合に凍結融解作用を受け、補修材のひび割れや剥離が生じることである。このため、寒地土木研究所では寒冷地特有の条件を再現した実験により各種補修工法の適用性を検証している。さらに、寒冷地における補修工法の試験施工区間を設け、水路補修区間のモニタリング調査を実施している。また、北海道開発局では、ストックマネジメント技術高度化事業により、凍害対策等を目的とした補修工法の検討および試験施工を行っている。

(6) 研究の方向と次年度以降の発表計画

本研究では、次年度以降も寒冷地のコンクリート開水路の劣化と機能診断技術の検討を進めるとともに、ストックマネジメント技術高度化事業による対策後のモニタリング経過の事例と寒地土木研究所による補修技術に関する検討を踏まえ、これらの調査・試験結果を総合的に取り纏め、以下の項目を検討する予定である。

①劣化要因と機能診断技術

- ・劣化メカニズムの検証
- ・劣化診断手法の検討
- ・水路型式ごとの機能診断技術の検討

②対策技術

- ・現場条件と各種工法の適用性
- ・断面全体での補修工法の組み合わせの考え方
- ・補修部の耐用年数の推定

2. 寒冷地における用水路の機能診断技術の開発

(1) 凍害劣化についての既往知見

コンクリート開水路で凍害劣化が多く見られる部位は、日射の影響により温度変化が大きく凍結融解の回数が増える南向き面であり、とくに側壁の中でも灌漑期の水位より上部（以下、気中部と称する）に多く見られる。また、側壁の気中部で著しい凍害劣化が生じている場合でも、灌漑期の水位より下部（以下、水中部と称する）では、目視観察では凍害劣化が認められないケースがしばしば見られる。

緒方ら³⁾は、鉄筋コンクリート製開水路の側壁内面の気中部に著しい凍害劣化ひび割れが発生し、なおかつ水路背面に地下水の水分供給があるような側壁の内部では、表面にひび割れが確認されない水中部においても凍害が生じる場合があることを報告している。このことは、凍害を受けている部位の把握において、部材表面部だけではなく部材内部での凍害発生を想定することが、機能診断の精度向上につながることを示唆している。そのためには、水路のおかれる各種環境条件下における凍害の進行パターンなどを解明することが必要であると考えられる。

(2) 凍害劣化メカニズムの想定と検証

寒地土木研究所水利基盤チームでは鳥取大学の緒方准教授と共同で、平成21年度の冬期から凍害を受けているコンクリート用水路の温度、水分、側壁背面地下水位の測定を行い、凍害劣化の進行過程のモニタリングを行うこととした。

観測地点は、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年度に施工された掘り込み形式のコンクリート製現場打ちフルーム水路区間であ

る。水路断面は、水路幅5.6m、側壁高2.0m、部材厚20cmである。

観測区間の側壁は、左岸が南東向き面、右岸が北西向き面である。水路側壁には、写真-3に示すように、左岸側壁の気中部には天端付近のスケーリングとともに壁面には多数の長手方向のひび割れが生じているが、水中部には目立った凍害劣化は見られない。一方、右岸側壁は気中部、水中部ともに目視観察ではひび割れ等の凍害劣化は見られない。

観測項目は、水路側壁の温度、水分および側壁背面の地下水位であり、温度と水分の観測位置は、図-1に示すように、左岸側壁においては気中部と水中部の2箇所とし、右岸側壁では気中部の1箇所とした。地下水位観測孔は左岸側壁の背面に設置した。

観測機器は平成21年12月中旬に設置しており、今後、水路のおかれる環境条件と凍害劣化過程の関係について明らかにしていく予定である。

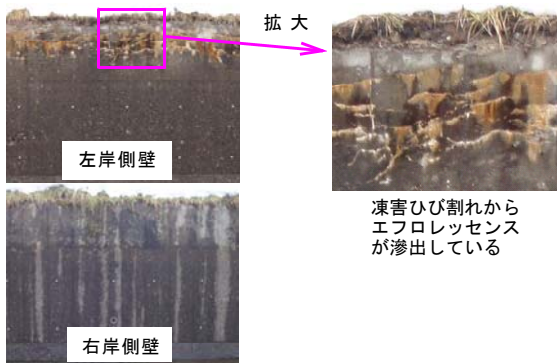


写真-3 観測区間の水路側壁の状況

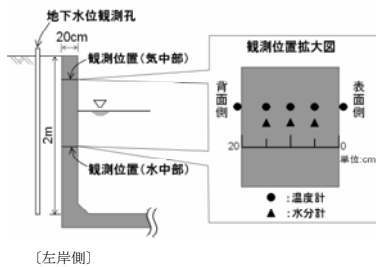


図-1 観測機器の設置概要

3. 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、寒地土木研究所が取り組んでいる開水路補修の試験施工、および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補修の施工事例について述べるとともに、参考として、頭首工の補修工法の施工事例を述べる。

(1) 施工事例1：剣和幹線用水路における試験施工

a) 目的

寒地土木研究所水利基盤チームでは、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年度に共同研究による表面被覆工法の試験施工を行った。試験施工箇所は、剣淵町に位置する剣和幹線用水路の一部区間である（図-2）。なお、この区間は、2.(2)で述べた観測区間の約10km上流に位置している。

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。



図-2 試験施工箇所

b) 補修施工箇所の劣化状況

試験施工区間は、剣和幹線用水路の剣淵町内を流下する区間のうち、昭和47年度に施工された掘り込み形式のコンクリート製現場打ちフルーム水路区間である。水路幅は6.0m、側壁の高さは2.0mである。当該区間は、長年にわたる流水による磨耗で骨材が露出し、一部区間ではコンクリートの剥落や鉄筋の露出がみられる。また、試験施工区間より上流区間では凍害による側壁のひび割れがみられた。

c) 補修工法の選定理由

コンクリート開水路の表面被覆工法に用いる材料は、大別すると無機系、有機系、パネル系の3種類がある。それぞれの各補修材料の一般的な特徴は表-1のとおりである。

表-1 各補修材料の特徴

材 料	長 所	短 所
無 機 系	・耐候性に優れる ・透湿性と通気性を有する	・ひび割れや磨耗が生じやすい
有 機 系	・劣化因子を遮断する性能が高い ・柔軟性が大きく、ひび割れ追従性が高い	・コンクリート表面の含水率が高いと付着不良を生じることがある
パネル系	・施工性がよい ・耐久性に優れ、品質の確保が容易である	・他の材料に比べ高価な場合が多い

今回の試験施工では、3区分の補修のそれぞれから、府県で施工実績があるものとして、セメント系補修工法（以下、セメント系と称する）、ウレタン樹脂系補修工法（以下、樹脂系と称する）、FRPMパネル補修工法（以下、パネル系と称する）の3工法を選定した。各補修工法の施工断面の概要を図-3に示す。

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。すなわち、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。



写真-6 パネル系補修工法の施工状況

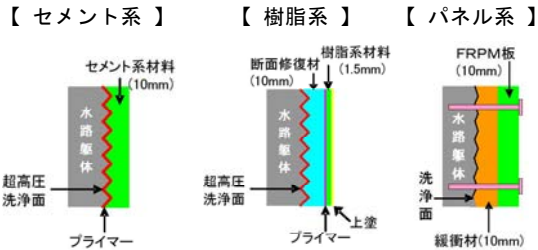


図-3 各補修工法の施工断面

d) 施工状況

試験施工は、平成18年の11月から12月にかけて行った。

各表面被覆工法の主な施工工程を以下に示す。

- ・セメント系
 - ①超高压洗浄によるコンクリート表面の劣化部の除去、②プライマーの塗布、③被覆材の塗布
- ・樹脂系
 - ①超高压洗浄によるコンクリート表面の劣化部の除去、②断面修復材の施工（一部区間では省略）、③プライマーの塗布、④被覆材の吹付け
- ・パネル系
 - ①コンクリート表面の洗浄、②緩衝材の設置、③FRPM板の設置とアンカー固定、④FRPM板の継目部および端部に目地材を施工

各補修工法の施工状況の事例を写真-4、写真-5、写真-6に示す。

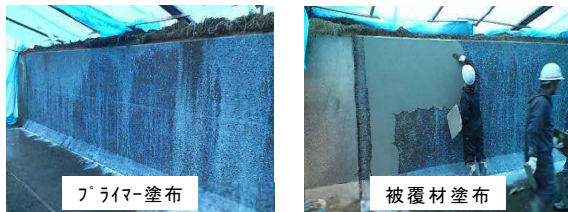


写真-4 セメント系補修工法の施工状況



写真-5 樹脂系補修工法の施工状況

e) 観測項目

試験施工区間における主なモニタリング内容を表-2に、モニタリングのための観測機器の配置を図-4に示す。

表-2 補修施工後の主な観測項目

観測項目	対象	測定頻度	備考
目視観測	各補修区間および無補修区間	2回/年 (融雪後、落水後)	
温度	各補修区間および無補修区間の側壁表面、側壁背面	1回/2時間 (自動観測)	FRPM板区間では、FRPM板、緩衝材、躯体コンクリートの各境界部も測定
ひずみ	各補修区間および無補修区間の側壁表面	1回/2時間 (自動観測)	側壁鉛直方向を測定
付着強さ	セメント系、樹脂系の各補修区間	1~2回/年 (融雪後または落水後)	建研式付着力試験による測定
磨耗量	セメント系補修区間	1~2回/年 (融雪後または落水後)	磨耗減少厚さの測定

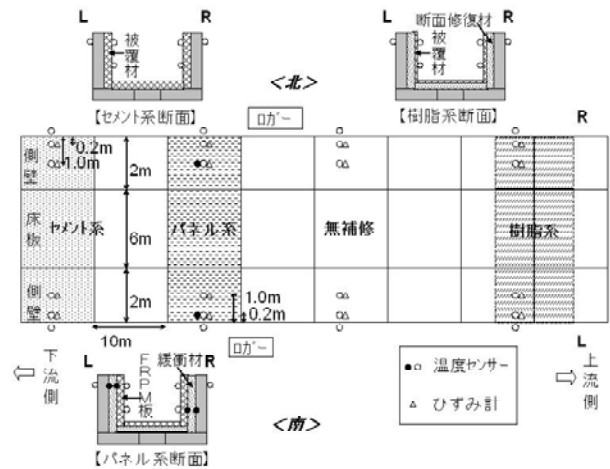


図-4 観測機器の配置

f) 観測結果

①目視調査

平成19年、20年、21年の融雪後と落水後に行った目視調査の結果は次のとおりである。

- ・平成19年（半年および1年経過後）
 - 各補修工法ともに概ね良好な状態にある。
- ・平成20年（1年半および2年経過後）
 - 前年からの大きな変化はみられず、各補修工法ともに概ね良好な状態にある。
- ・平成21年（2年半および3年経過後）
 - 各補修工法ともにひび割れ、浮き、剥離等の目立った変状はみられない。

なお、樹脂系では目地部の止水の不完全なところで剥離が生じたが、水路躯体に施工した被覆材まで剥離を起こさせるものではなかった。剥離部分については再補修済みである。

②表面温度

表面温度の測定は、各被覆材が受ける凍結融解回数を算定すること等を目的に行った。

図-5は、平成20年度冬期のセメント系（南面）の側壁の補修表面温度、躯体コンクリート背面温度等の測定結果である。側壁表面温度変化は、各補修工法とも日射の影響により南面側で大きく、真冬日が続く期間でも、0℃をはさむ温度変化を繰り返していた。

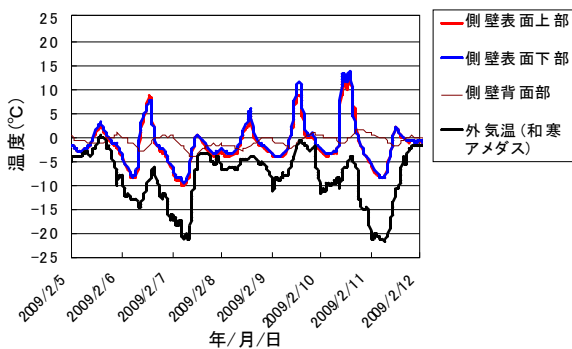


図-5 側壁における温度変化
(セメント系の南面の例)

次に、温度観測結果から整理した平成20年度冬期におけるセメント系と樹脂系の補修表面、およびパネル系の緩衝材と躯体コンクリートとの間における凍結融解回数を図-6に示す。この回数は-5℃で凍結、0℃で融解が生じるものとして求めた。なお、-5℃を凍結の判断基準としたのは、コンクリートの供試体に対して凍結温度を-5℃以下とした場合、耐久性指数（数値が低いほど凍結融解作用に対する耐久性が低い）が大きく低下すると示された文献⁴⁾によるものである。

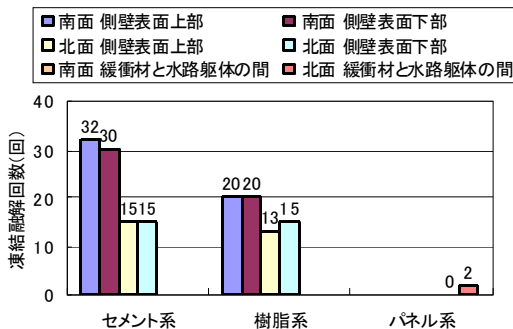


図-6 平成20年度冬期の凍結融解回数

凍結融解回数は、南面ではセメント系が約30回、樹脂系が約20回、北面ではセメント系、樹脂系ともに約15回であった。また、パネル系の躯体コンクリートの凍結融解回数は少なく、これは緩衝材の断熱効果によるものと考えられる。

③表面被覆材の付着強さ

樹脂系の試験施工区間で測定した付着強さを図-7に示す。この図の付着強さは断面修復を行わずに被覆材を施工した区間の値である。樹脂系の試験施工では、劣化部除去後の凹凸部を断面修復材で平滑に仕上げしてから被覆材を施工した区間と、図-7のように断面修復を行わず劣化部除去後の凹凸部をそのままにして被覆材を施工した区間を設けており、後者の方が付着強さが大きい傾向にある⁵⁾。

表面被覆材に必要なとされる付着強さは、工法や被覆材のタイプにより異なるものの、一般に1.0N/mm²程度が多い。樹脂系では断面修復を行わない場合は1.0N/mm²を大きく上回っている。表面に凹凸が残ることにより粗度係数がやや大きいことの問題や、構造的な問題がない場合には、経済的でもあることから、優位な工法であると考えられる。なお、断面修復を行った場合は、測定時期によるバラツキがみられたが1.0N/mm²前後となっていた。補修前の躯体コンクリートに断面欠損等の構造的な問題があり、断面修復材の施工を必要とする場合には、付着強さの大きい材料を選択する必要があると考えられる。

セメント系では付着強さは1.0N/mm²前後であった。しかし、剥離が付着境界面付近の躯体コンクリートで起こっていたことから、被覆材の付着強さは測定値以上であると考えられる。

なお、施工後3年を経過した段階では、各工法とも外見上の変状は生じていない。

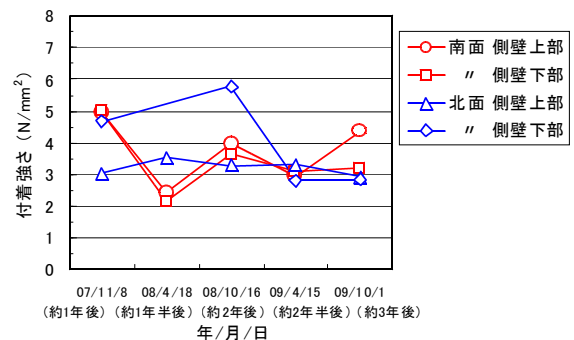


図-7 試験施工区間での付着強さ
(樹脂系の断面修復無しの例)

g) 今後に向けて

今後も経過観察を継続し、平成21年度中に試験施工区間における補修工法の耐久性等に関する結果をとりまとめる予定である。

(2) 施工事例2：美瑛川地区貯水池幹線用水路

a) 目的

近年、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い。そこで、旭川開発建設部では、用水路の補修に適しているといわれている工法のうち、6種類を選定して、それらの劣化状況や耐用年数を把握できるような区間を設定し、平成21年度に試験工事を行った。また、それらの工法の評価に当たっては、施工性や経済性も考慮する必要があることから、工事中の施工性も確認することとした。

b) 試験工事箇所の劣化状況

工事箇所は、大雪山系に近い美瑛町に位置し、国営直轄かんがい排水事業美瑛川地区で整備された新区画ダム直下の幹線用水路として、昭和44年に施工された貯水池幹線用水路である（図-8）。



図-8 試験施工箇所

試験区間は河川沿い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-9）。全体試験区間延長は、今回の試験工事区間延長180mと不施工対象区間延長10mをあわせて190mである。

現在、施工から約40年を経過し、構造的な劣化が進行しているが、用水路としての機能上、大きな支障はない。この劣化の要因としては、次のような立地条件と材料条件の影響がある。

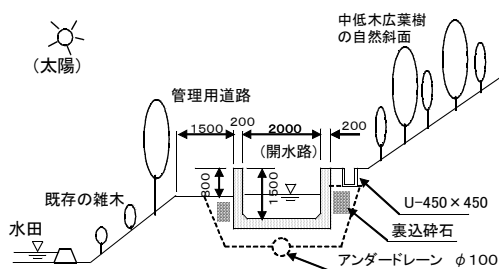


図-9 構造断面

①立地条件

当水路が位置する地域の冬期の気象条件は、道内の他地域に比べて厳しい環境にあり、凍害危険度マップにおいては、凍害危険度5となっている。

また、水路は南からの日射を受ける山腹斜面に位置し、山側から継続的な水分供給がある。とくに冬

期において、昼間の日射による山腹斜面の融雪水が水路を湿潤状態にし、この状態で凍結融解の繰り返しを受けている。

なお、対象区間の中でも水路南側に立木がなく十分な日射を受ける区間（以下、日射ゾーン）と、立木により日射が軽減されている区間（以下、日陰ゾーン）が存在する。後者では比較的劣化が進んでいないことから、日射による影響が大きいと考えられる。

②材料条件

水路から採取したコアの空気量や気泡間隔係数を確認したところ、この区間のコンクリートはA Eコンクリートではなく、耐凍害性の低いものであると想定された。劣化状況と対策方針は表-3、写真-7のとおりである。

表-3 劣化状況と対策方針

劣化状況区分	健全部(主に日陰ゾーン:B, C)	劣化部(主に日射ゾーン:A, D, E)
代表的凍害形態	スホール	ひび割れ、内部ひび割れ、欠損、スケーリング
凍害劣化部位	側壁：気中部・・・軽微な凍害 水中部・・・健全(軽微な摩耗) 底版：健全(軽微な摩耗)	側壁：気中部・・・凍害 水中部・・・健全(軽微な摩耗) 底版：健全(軽微な摩耗)
凍害劣化グレード	進展期	加速期～劣化期
劣化回復に求める要求性能	・耐久性の向上	・力学的安全性の回復 ・耐久性の向上
対策方針	・表面被覆による劣化進行の抑制 ・改質強化	・劣化要因の除去 ・耐荷力の改善



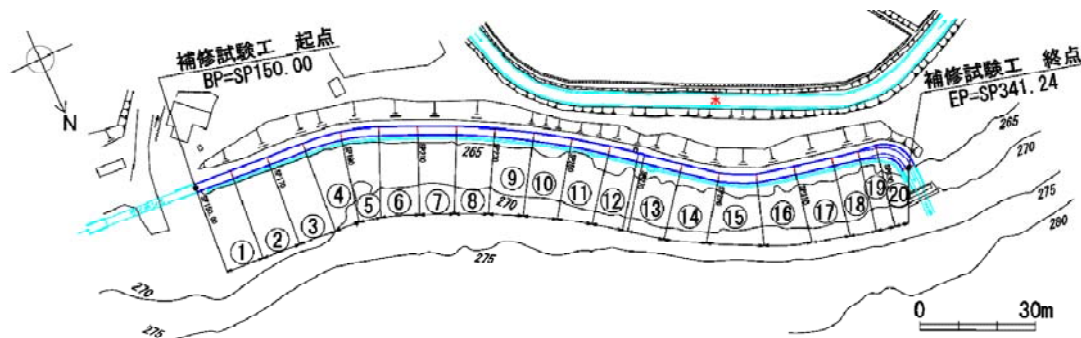
写真-7 劣化状況

c) 試験工法の選定理由

①選定理由

試験工法の選定では、表-3の対策方針に対応できる工法であること、北海道での施工実績が少ない工法あるいは先端技術として紹介されている工法であることを考慮し、6グループ10工法を選んだ。工法選定理由は表-4に示すとおりである。凍害対策効果観察と対照経過観察を目的として、それぞれC、D、EとA、B、Fを選定した。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)よりもはるかに薄い(2mm)ため、DではなくCの区分に入れた。

各工法の施工位置は対策工法の特徴に合わせて図-10に示すように配置した。凍害対策の施工範囲



補修工法	L側側壁	F	B-1	A	B-1	B-1	B-1	B-1	D-2	D-2	D-1	A	A	E	D-3	D-3	C-2	C-2	C-2	B-2
	バレル	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫	⑬	⑭	⑮	⑯	⑰	⑱	⑳
	R側側壁	F	B-1	A	B-1	B-1	C-1	B-1	C-1	D-2	D-2	D-1	A	A	E	D-3	D-3	C-2	C-2	C-2

図-10 工種別配置図

表-4 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
対照経過観察	A	従来工法	経年変化を調べ他工法と比較する基準	多 多
	A	部分打替工法		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	ひび割れ幅に3方法選択	多 多
	B-1	自動式低圧樹脂注入	B<1.0mm	多 多
	B-1	Uカットポリマーセメントモルタル充填	B≥1.0mm、エフロレッセンス無	多 多
	B-1	Uカットシーリングエポキシ樹脂充填	B≥1.0mm、エフロレッセンス有	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	不施工	補修効果の確認の基準		
F	不施工			
凍害対策効果観察	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 (CS-21): (株)アストム)	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	PWI工法 (MGコーティング: マグネ (株))	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 (デンカアクリイニング工法: 電気化学工業 (株))	土木学会誌の複合構造技術の最先端工法 ⁶⁾ として紹介	少 多
	D-2	レジモルタル工法 (樹脂モルタル現場打ち工法: (株)ホソロン)		少 多
	D-3	韌性モルタル工法 (DFRCC: (株)チーロス・ジャパン)		少 少
E	埋設型枠工法			
E	高耐久性埋設型枠工法 (ハイセット 2: 共和コンクリート工業 (株))	道路橋での実績有	無 無	

表-5 各工法の特徴

工法	特徴等
A 部分打替工法	コンクリート(RC-φ)で打替える。表面保護工との対照工法。
B-1 ひび割れ補修	1) ひび割れ幅Bの状況により3方法選択 B<1.0mm: 自動式低圧樹脂注入 B≥1.0mmかつエフロレッセンスなし: Uカットポリマーセメントモルタル充填 B≥1.0mmかつエフロレッセンス有り: Uカットシーリングエポキシ樹脂充填 2) 流水作用の受ける部分と気中部との比較
B-2 断面修復工	施工が容易 欠損部分、劣化の著しい側壁天端部分
F 不施工	現状は健全部(比較的凍害を受けていない。経年変化はある。)
C-1 表面含浸工法	1) コンクリートの表面改質硬化、緻密化、強度向上 2) ひび割れ閉塞効果 3) 施工が容易・早い
C-2 PWI工法	1) 付着力が大きく薄層施工が可能(概ね2mmから施工可) 2) 対摩耗性、耐候性に優れる。摩耗減量モルタルの1/5 3) 施工が容易・早い
D-1 高耐久性PCM工法	1) 耐久性の向上 2) 対摩耗性、耐候性に優れる。短繊維で補強されている。 3) 吹付け、左打ちいずれも容易に施工
D-2 レジモルタル工法	1) 有害となるひび割れが少ない。樹脂の性能が期待可能 2) 対摩耗性、耐候性に優れる。道路舗装工事で認証済み 3) 樹脂を使った任意施工が可能
D-3 韌性モルタル工法	1) 有害となるひび割れが少ない。高韌性繊維補強メント複合材料。引張り応力下ひびき硬化型特性 2) 対摩耗性、耐候性、韌性に優れる。 3) 吹付け、左打ちいずれも容易に施工
E 高耐久性埋設型枠工法	1) 工場製品による品質安定 2) 対摩耗性、耐候性に優れる。道路構造物で実績有り。水路での実績はない。 3) パネルの大きさを変えて任意施工可

は、劣化部 (A、D、Eの施工対象区間) は劣化が著しい側壁の天端から80cm下がった部分までとし、健全部 (B、Cの施工対象区間) は側壁全体 (ハンチ部を除く) とした。

②各工法の特徴

各工法の特徴は表-5のとおりである。グループごとに補修断面は異なる。また、同一グループであっても工法の細区分では使用材料が異なる。凍害対策工法として選定したC、D、Eの各グループの施工断面をそれぞれ、図-11、図-12、図-13に、また、工法の細区分での施工仕様を表-6、表-7に示す。

なお、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コンクリート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、従来工法で部分打替えを行った表面に保護層として施工することとした。

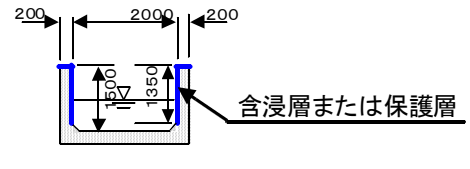


図-11 工種別詳細定規図 (Cグループ)

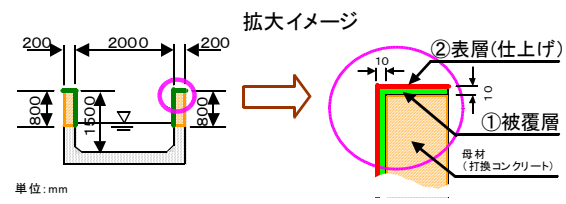


図-12 工種別詳細定規図 (Dグループ)

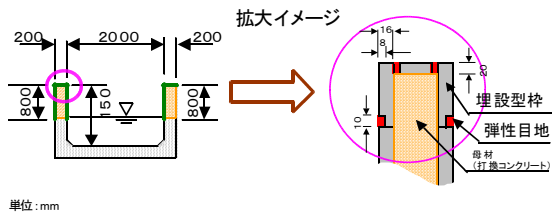


図-13 工種別詳細定規図 (Eグループ)



①含浸材塗布



②噴霧器で散水養生

写真-8 表面含浸工法 (C-1) の施工状況

表-6 施工仕様 (Cグループ)

①グループ	表面含浸工法 (C-1)	PW工法 (C-2)
含浸層、保護層	含浸材塗布 (ローラー) CS-21塗布後散水養生 (2層)	仕上げ (ローラー、刷毛) パーミエイトHS-300 (2層) 下塗り・上塗り (吹付け) マグネライタイプ I (各2層)
塗布前の母材の水分状態処理	母材を表乾状態とする	母材を表乾状態とする
下処理	高圧洗浄機により汚れ・レイタンス・苔等除去	高圧水洗浄 (ウォータージェット)
母材	既設	既設

表-7 施工仕様 (Dグループ)

Dグループ	高耐久性PCM工法 (D-1)	レジモルタル工法 (D-2)	靱性モルタル工法 (D-3)
②表層 (仕上げ)	断面修復仕上げ剤塗布 スプリードエース アクア、アクアアシスト	カラートップコート塗布 XD523	被膜養生剤噴霧 DFガードN
①被覆層	PCM吹付け スプリードエースアクア	樹脂モルタル左官 マーベルレック	靱性モルタル吹付け TYPE-I N
母材と被覆層の接着	アクアハード	PU-W-1	特になし。噴霧器により湿潤状態とする
下処理	サンディング	サンディング	汚れ、レイタンス除去
母材	新設	新設	新設

工法の施工では、施工完了後に浸透深さを確保するための管理手法が必要と感じられた。

写真-9にPW工法 (C-2) の施工状況を示す。吹付け面の凹凸が著しい場合は、壁面に対して垂直に吹き付けなければ凸部の下面に吹き残しが生じる恐れがあるので注意を要する。また、ローラー仕上げの際には凹部に塗り残しが発生し、刷毛による施工が必要となった。吹付け厚さが2mmとなるのは凹凸の少ない部分であり、凹凸の多い場合は材料のロスが多く、下地処理で平面化を考慮する必要がある。



①下塗り施工 (吹付け)



②仕上施工 (ローラー)

写真-9 表面含浸工法 (C-2) の施工状況

d) 施工状況

当該対策工事は平成22年3月までの工期となっており、6グループのうち2グループ (D、E) については平成22年1月以降に工事が本格化される。ここでは、現時点で工事が開始されている表面含浸工法 (C-1とC-2) について施工状況を報告する。

表面含浸工法を施工する区間では、水路内側の側壁表面部の全体に施工することとしているが、同じ側壁表面部でも気中部と水中部では劣化の種類と程度が異なっている。とくに水中部は流水の摩耗により、モルタル分が消失しコンクリート表面に骨材が現れ、骨材による凹凸が著しい。

写真-8に表面含浸工法 (C-1) の施工状況を示す。表面含浸工法では柔らかな専用ローラーで含浸材の塗布を行うが、この際に凹部に未塗布部分ができないように十分注意した。

含浸材は無色の液体のため、他の被覆工法等とは異なり、外見上は施工前と施工後の区別が付きにくかった。また、含浸材の浸透のためには母材がある程度の含水状態にある必要があるため、塗布前の母材コンクリートの湿潤程度によって含浸材の浸透深さが異なることも考えられた。このため、表面含浸

e) 観測項目

監視計画では、試験工事で採用した10種類の対策工法に対する有効性の評価・確認として、表-8に示す常時監視と定期点検を行う。

常時監視では、側壁温度 (表面、内部、背面) と側壁のひずみ (表面のみ) を自記記録する。

また、定期点検内容は、近接目視および材料剥離 (付着強度・表面強度) の他、中性化等の確認とし、0.5、1、1.5、3、5、10年で点検・評価を行う予定である。0.5年、1.5年とは越冬後の通水前の時期を意味し、これらの2回の点検は補修後の1~2年程度で変状が生じた場合に、灌漑期間中の変状と冬期の変状を区分できるように行うものである。

なお、比較すべき工法が多く、またそれぞれの区間が短いため、試験工法以外の環境条件をきちんとそろえることは困難である。それゆえ、比較検証時に劣化状況で差が生じた場合には、特殊な条件が監視期間中に存在したかどうかとも考慮する予定である。

表-8 施工後の監視、点検項目

監視項目 対策工法	定期点検				常時監視	
	近接目視	現場試験			機器監視	
		表面強度	付着強度	圧縮強度	中性化試験	温度
A 部分打替工法	○	○	○	○	○	○
B-1 ひび割れ補修	○	○	○	○	○	○
B-2 断面修復工	○	○	○	○	○	○
F 不施工	○	○	○	○	○	○
C-1 表面含浸工法	○	○	○	○	○	○
C-2 PW工法	○	○	○	○	○	○
D-1 高耐久性PCM工法	○	○	○	○	○	○
D-2 レジンモルタル工法	○	○	○	○	○	○
D-3 靱性モルタル工法	○	○	○	○	○	○
E 高耐久性埋設型砕工法	○	○	○	○	○	○

f) 今後にむけて

今回のような老朽化した用水路の補修・補強工事に際しては、事前調査と工事実施までの迅速性が重要であることを再認識した。また、今後、補修・補強・改修の計画がある場合には、次のような点に注意すべきと考えられる。

- ①当時の施工図面、写真等がない施設に関しては、詳細な調査が重要であると考えられる。コア抜き等の調査費を惜しんだばかりに施工条件が当初と異なり工法変更を余儀なくされ、予想外に費用増となる場合もある。また、調査費と対策工事費のバランスに留意しながらも、できるだけ詳細な調査を行うべきである。
- ②開水路側壁天端部の劣化が著しい場合には、凍害による側壁の劣化進行が早いため、早期に調査し、短期間で施工することが望ましい。
- ③脆弱部除去用のウォータージェットによる高圧洗浄は機械台数が少ないことから、現場の希望する時期に確保できるか、工程にずれがあった場合に対応可能かといったことに留意が必要である。
- ④詳細調査時には発見できなかった脆弱部がウォータージェットにより除去され、鉄筋が露出する場合がある。本来のかぶり厚の1/5程度で同等の品質を持つ断面修復材もあるが、高価であるため、耐用年数を長くするかコストを優先するかで採用する工法も変わってくる。

今回の工事における各工法の施工性については今後まとめる予定である。また、耐用年数に関しては、今後の経緯を監視することで確認する。今後は、耐久性、施工性、経済性等を考慮し、現場にあった工法を選択する指標を得たい。

(3) 施工事例3：北檜山左岸地区第1幹線用水路

a) 目的

函館開発建設部では、積雪寒冷地で表面被覆施工されたコンクリート水路橋の再補修技術を開発する目的で、平成21年度に道南の今金町において試験施工を行った(図-14)。

試験施工の工法選定においては、再補修であることから既存被覆材の有効利用が可能なこと、また水路橋が対象であることから、灌漑期と非灌漑期のたわみの変化に対して被覆材が十分な剥離抵抗性を有することを条件とした。また、施工段階では、10月～11月の低温期に有機系および無機系の薄膜薄層施工を行うため、施工時はもとより養生時にも施工管理に重点的配慮をした。

さらに、試験施工水路橋では、寒冷地水路橋における補修工法の適用性、耐久性等を検証するため、施工後の経過観察を行う。



図-14 試験施工箇所

b) 補修施工箇所の劣化状況

①現況施設諸元

試験施工の対象とした第1幹線用水路の1号水路橋と3号水路橋は、前歴事業である国営かんがい排水事業北檜山左岸地区(昭和39年～56年)で建設された鉄筋コンクリート構造水路橋で、その後、国営かんがい排水事業利別川地区(昭和56年～平成16年)で改修が行われた(表-9)。

表-9 水路橋現況諸元

	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	FVガラスクロスライニング	エポキシ樹脂塗装
整備地区(経過年)	利別川地区(9年)	北檜山左岸地区(28年以上)

②劣化状況

現況水路橋の表面被覆材は、底版での剥離と側壁での磨耗が顕著である(写真-10)。

水路橋の表面被覆材劣化の原因を検討するため近接目視調査の他、表-10に示す試験を行った。その結果、1号水路橋は滞水と湿潤化による凍害によって母材組織の脆弱化と剥離が進行している。一方、

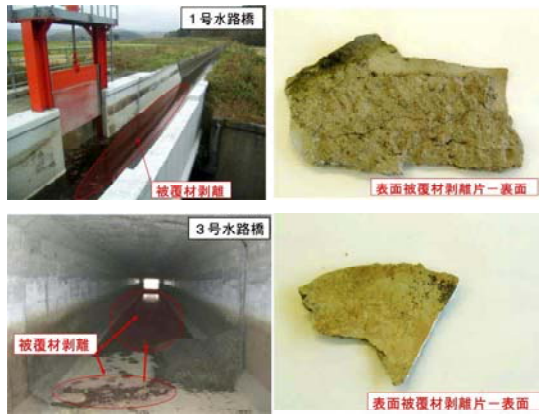


写真-10 剥離・磨耗の劣化

表-10 母材コンクリートと被覆工の試験結果

名称	単位	1号水路橋		3号水路橋	
		側壁	底版	側壁	底版
圧縮強度	N/mm ²	24.2	17.7	33.9	27.2
付着強度	N/mm	1.54	0.63	2.09	3.07
中性化深	mm	8	—	2	4
超音波伝搬速度	m/s	3000	—	4000	4200

- 1) 圧縮強度試験はシュミットハンマー、付着試験は建研式である。
- 2) 1号水路橋の「—」は、脆弱により測定不能を表すが、はつり試験により凍害深さを確認した。

3号水路橋はたわみが大きく、このことが母材のひび割れや被覆材の剥離に影響を与えている(図-15、表-11)。

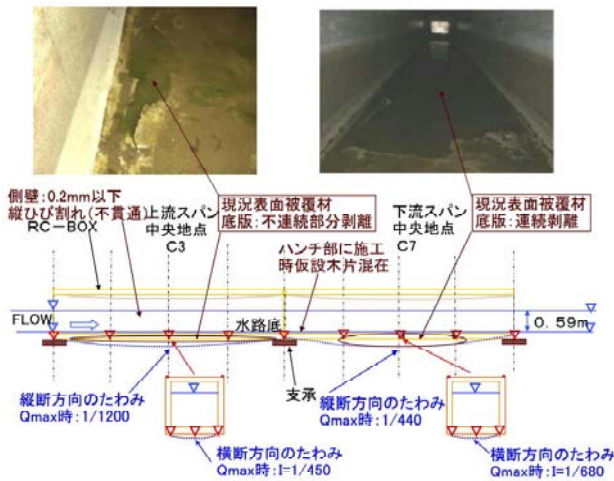


図-15 3号水路橋のたわみと剥離の関係

表-11 桁(側壁)と床(底版)のたわみ(Qmax時)

区分	上流スパン		下流スパン	
	桁: 縦断	床: 横断	桁: 縦断	床: 横断
たわみ	1/1200	1/450	1/440	1/680

③劣化のメカニズム

これらの水路橋の補修工法の検討に向けて、表面被覆材の劣化のメカニズムを検討した(図-16)。そ

の結果、表面被覆材剥離の原因は、水路橋の上下面と内外面に作用する複合的因子(紫外線:1号のみ+滞水や流水+凍結融解+荷重)の繰り返しである⁷⁾。

ボックス構造である水路橋は、河川断面形状に起因して風にさらされやすいため、底版と側壁に対して施設完成後に外側から進行した乾燥収縮ひび割れが見られる。このひび割れの進展により、施設のたわみが増大するようになり、被覆材が追従できなくなって底版部に表面剥離が拡大した。

- 1号水路橋 母材の脆弱化・剥離の関係
- 側壁は日射及び水分の降下により乾燥しやすく、剥離が起こりにくい。
 - 水中部は、流水の摩擦等で塗膜が減っている。

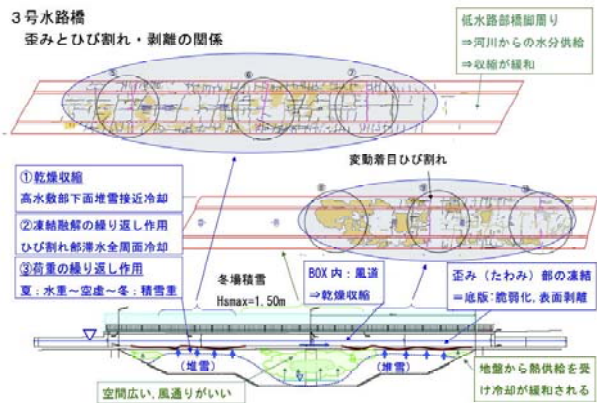
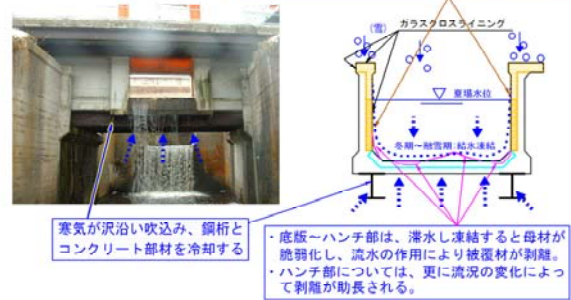


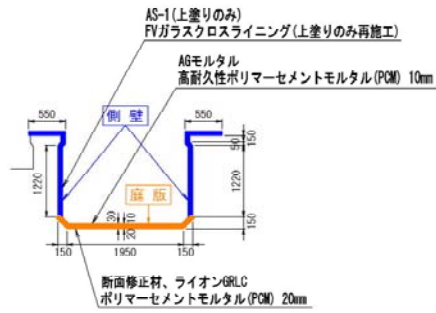
図-16 水路橋劣化のメカニズム

c) 補修工法の選定理由

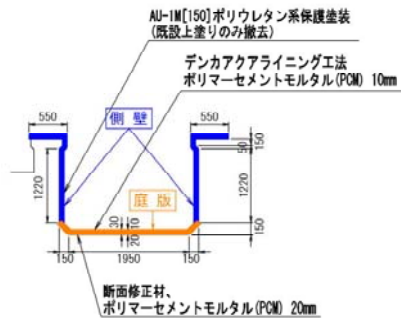
補修工法は再補修技術の開発を基本に、耐久性(耐凍害性、耐流水磨耗性、耐中性化性)、ひずみ追従性、防水性の3点の確保向上を対策目標とし、施工の容易性と維持管理の軽減、環境への影響の低減を図った工法を選定した(表-12、図-17)。

表-12 側壁・底版の補修工法選定の考え方

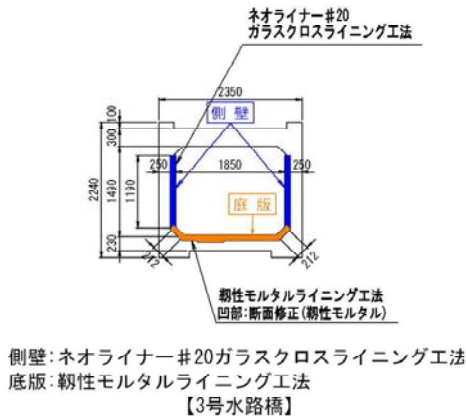
区分	側壁	底版
対策目標	耐用年数を15~20年に長寿命化、維持管理の軽減	耐用年数を15~20年に長寿命化、耐久性の向上
選定工法	1号水路橋 上流側: 有機系 高耐久性 上塗材再塗装 下流側: 有機系 標準耐久性 上塗材厚膜再塗装	部分撤去および高耐久性無機系表面保護工再被膜
	3号水路橋 シート材との一体化による有機系再補修	部分撤去および歪み変動への対応から引張強度歪み硬化型の無機系



側壁：AS-1塗装、底版：AGモルタルライニング工法
【1号水路橋上流側】



側壁：AU-1M塗装、底版：デンカアクアライニング工法
【1号水路橋下流側】



側壁：ネオライナー#20ガラスクロスライニング工法
底版：靱性モルタルライニング工法
【3号水路橋】

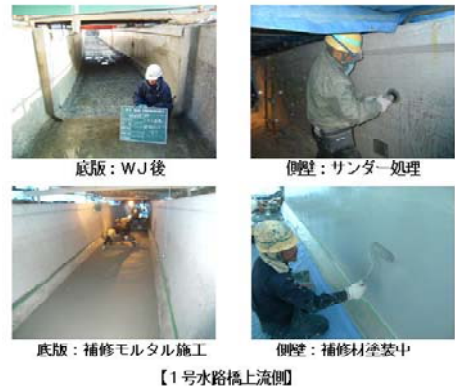
図-17 各補修工法の施工断面

d) 施工状況

1号水路橋および3号水路橋の試験施工状況のポイントを以下に示す(写真-11、写真-12)。

この試験施工では、10月末～12月の初冬期(約2ヶ月)が工事期間のため、以下の点に留意した。

- ①集中的な降雨が施工区間へ侵入しないよう排水に十分配慮した。
- ②低温期での薄膜薄層施工のため、養生にあたっては給熱温度管理で、表面の乾燥化に注意し給熱の仕方、温度計測位置に注意した。
- ③水路橋のため、底版下面や側壁外面から冷気の影響を受けるため温度管理にあたっては、外気(桁下)の気温も点検し、耐久性・強度の確保のため初期凍害の防止に努めた。



【1号水路橋上流側】



【1号水路橋下流側】

写真-11 施工状況(1号水路橋)



【3号水路橋】

写真-12 施工状況(3号水路橋)

④母材コンクリートとの一体性を確保するために、底版では、付着性⁸⁾の高いはつり方法(ウォータージェット工法)を選定するほか、建研式付着試験やシュミットハンマーによる圧縮強度試験を行い、試験施工材料に必要な性能の確保を図った。

e) 観測項目

経過観察は、RC構造水路橋の表面被覆工再補修技術への有効性を確認するため、施工後の劣化状況等を定期的に監視評価⁹⁾し、定期点検書として整理報告する。このために、1号水路橋および3号水路橋では、表-13、表-14に示す監視計画を策定し、平成22年4月(0.5年目)から監視を開始する。また、3

号水路橋は、水路橋特有のたわみへの被覆材の追従性を監視するため、図-18に示す位置の定点高さを測定する。

なお、評価基準については、有識者の意見を参考に現在検討中である。

表-13 監視項目

項目	監視細目
近接目視	割れ、剥がれ、ふくれ、錆汁、白亜化、光沢低下、変退色、磨耗(底版：無機系でピン測定)
歪み調査	3号水路橋：縦断横断方向定点測定によるたわみ監視、外面双眼近接目視(漏水、ひび割れ等)
被膜測定	側壁(有機系塗膜)：水中部、気中部で付着力、膜厚測定
母材調査	側壁：母材コンクリート圧縮強度、中性化(有機系表面被覆工の効果測定)

表-14 監視時期と内容

監視時期・評価	
中間	0.5年, 1.5年：近接目視、外面双眼目視(施工直後の越冬後状況を監視)
定期	1年, 3年, 5年, 10年, 15年：近接目視、歪み調査、膜厚測定、母材調査

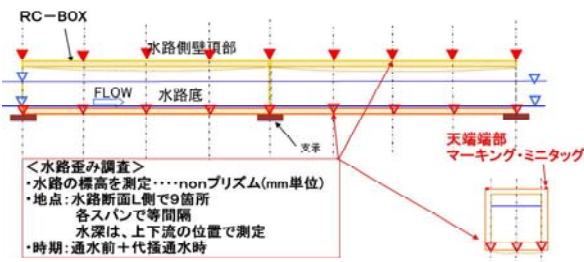


図-18 3号水路橋歪み調査位置

f) 今後に向けて

今回の補修工事を経験し、次のことが重要であると感じた。

- ・ 下地処理の重要性
- ・ 検査方法とその判定の考え方
- ・ 官民・設計施工の連携性、即応性の重要性
- ・ 施工時期と工程計画の重要性
- ・ 有識者や専門技術者との意見交換・指導を受ける場が必要不可欠

また、今後の調査は以下の点に留意して行いたい。

①平成21年度の冬以降の取り組み

- ・ 試験施工の監視結果の評価方法について有識者、専門技術者との意見交換を行い、評価方法を検討する。

②施工区間で今後注目したい点

- ・ 再塗装による有機系補修工の有効性
- ・ 無機系補修材の対凍害性と母材一体性
- ・ 靱性モルタルライニングのひずみ追従性¹⁰⁾
- ・ 端部処理方法の有効性

(4) 施工事例4：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(昭和42年度～昭和61年度)により造成された施設で、築造後40年経過しており、老朽化等による施設機能の低下が見られ維持管理に支障をきたしていた。

このため、平成17年度に着工した国営造成土地改良施設整備事業「てしおがわ地区」で補修することとした。

b) 補修施工箇所の劣化状況

土別川頭首工は昭和44年度に築造され、型式はフイックストタイプで、堤長63.0m、洪水吐2門(径間長20.0m、転倒ゲート)、土砂吐1門(径間長20.0m、ローラーゲート)の頭首工である。

本頭首工のコンクリート構造物は、築造後40年経過しており、初期劣化ならびに凍害と磨耗の単独または複合の劣化が生じており、堰柱上部では、凍害とひび割れが見られ、とくに天端付近は凍害による劣化が卓越している(表-15、図-19、写真-13)。

表-15 劣化状況検討一覧表

No	検討部位	劣化要因	劣化度	変状の種類
①	P1,P2堰柱上部(橋梁床版)	凍害	加速期～劣化期	崩壊、スケーリング ひび割れ、鉄筋露出
②	P1堰柱下部	磨耗	進展期	磨耗
③	P2堰柱下部	磨耗	進展期	磨耗
④	P3堰柱	磨耗	潜伏期	磨耗
⑤	P2堰柱導流壁	凍害 磨耗	劣化期	磨耗
⑥	右岸擁壁	凍害 磨耗	加速期～劣化期	磨耗、スケーリング ひび割れ、シ'ョイント部欠損
⑦	左岸擁壁	磨耗	潜伏期	ひび割れ
⑧	取水口	凍害	進展期 劣化期	崩壊、スケーリング ひび割れ
⑨	導水暗渠	磨耗	進展期	磨耗、ひび割れ 鉄筋露出 ジャンカ、目地劣化
⑩	導水路	凍害 磨耗	進展期	崩壊、磨耗、ひび割れ シ'ョイント部欠損

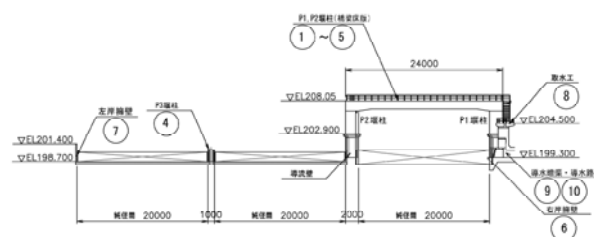


図-19 土別川頭首工正面図

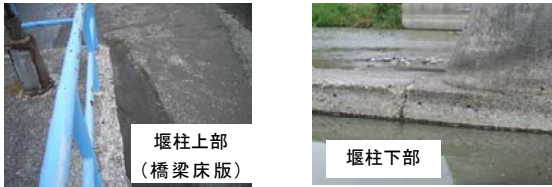


写真-13 頭首工劣化状況

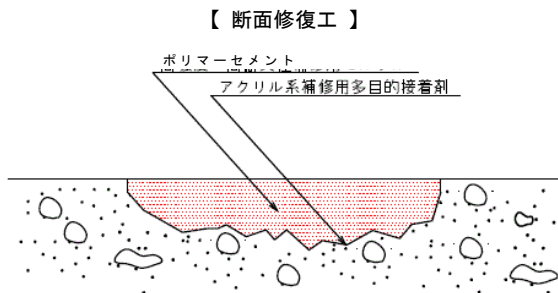
c) 補修工法の選定理由

①P1およびP2堰柱、導流壁、取水工上部

これらの構造物では、比較的健全な箇所も存在するが、凍結融解サイクル数の多い南面の劣化状況は、劣化深さ等から考察すると「崩壊（剥落）」であり、凍害劣化過程から見ると「加速期～劣化期」と判断された。それゆえ、これらの構造物に対しては、スケーリングやポップアウト部の除去を行ったうえで、断面修復工と表面被覆工を併用した工法を採用した。(図-20)。

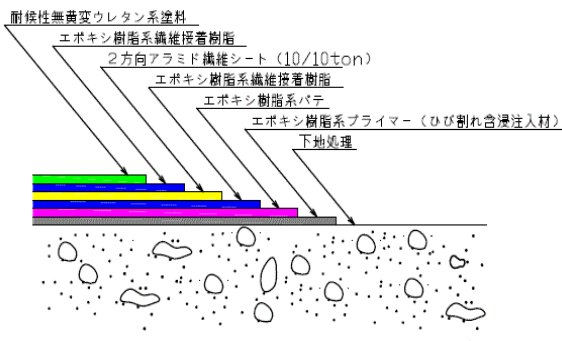
②左右岸擁壁、導水暗渠、導水路

各構造物には、砂礫を含む流水の影響による摩耗劣化が生じており、右岸擁壁では「加速期」～「劣化期」の劣化状態であることから、断面修復工と表面被覆工の併用とした。また、左岸擁壁、導水暗渠、導水路では「潜伏期」～「進展期」の劣化状況から表面被覆工とした(図-20)。



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。

【表面被覆工】



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 補修工法の施工断面

d) 施工状況

断面修復工および表面被覆工の施工手順は、次のとおりである。

①断面修復工

i) 下地処理(写真-14)

劣化部の除去後に高圧洗浄により清掃を行う。鉄筋が露出し、腐食している場合には錆を落とし防錆処理を行う。



写真-14 下地処理

ii) プライマー塗布(写真-15)

断面修復面にプライマー(アクリル系補修用多目的接着剤)をローラー・刷毛等を使用して塗布する。



写真-15 プライマー塗布

iii) 断面修復(写真-16)

ポリマーセメント等をコテにより施工する。養生は、シート等で覆い、水分が急激に蒸発しないように、更に直射日光が当たらないように注意する。



写真-16 断面修復

②表面被覆工(連続繊維接着工)

i) 下地処理(写真-17)

下地コンクリート表層の脆弱層等をダイヤモンドカップ等を使用し除去し、圧搾空気等により施工面の浮きや埃を除去する。



写真-17 下地処理

ii) プライマー塗布(写真-18)

施工面にプライマー(エポキシ樹脂系プライマー)をローラー・刷毛等を使用して塗布する。



写真-18 プライマー塗布

iii) 繊維接着：アラミド繊維（写真-19）

エポキシ樹脂系繊維接着樹脂剤を下塗りし、アラミド繊維シートを押しつけ繊維方向に気泡を除去し、シートの上から同接着樹脂剤を均一に塗布する。



写真-19 繊維接着

iv) 上塗り（写真-20）

接着剤の完全硬化後、上塗り材（耐候性無黄変ウレタン系塗料）をローラー等で塗布する。温度5℃以上、湿度85%以下を確保する。



写真-20 上塗り

e) 施工後の状況

補修から1年経過して、各補修箇所を目視調査を行った。このとき、気中、水中の違い、天端、側面、角部による違い、方位面による違いの有無に注目して観察した。

今回の目視調査結果では、とくに異常な箇所は確認されなかった。

f) 今後に向けて

次年度以降、表-16のような観測項目で補修後の追跡調査を行う予定である。

表-16 補修施工後の主な観測項目

観測項目	対象	測定頻度	備考
目視観測	各補修区間	2回/年 (融雪後、落水後)	
温度	各補修区間	1回/2時間 (自動観測)	
ひずみ	各補修区間	1回/2時間 (自動観測)	側壁鉛直方向を測定
磨耗量	セメント系補修区間	1~2回/年 (融雪後または落水後)	磨耗減少厚さの測定

あとがき

研究の初年度目である今年度は、主にコンクリート開水路を対象として、ストックマネジメントによる機能診断および補修工法の事例や、寒冷地での補修工法の適用性検証のために行われている試験施工区間の経過状況等を報告した。

寒冷地におけるストックマネジメント技術は、積雪寒冷条件を踏まえた機能診断の実践とともに、補修工法等の対策後の寒冷環境下での検証結果を踏まえて更なる向上が図られることが期待される。

次年度以降も、関係開発建設部による補修施工後のモニタリング経過を検証するとともに、寒冷地における機能診断と補修技術に関する調査・試験結果を総合的に検討する。

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、深く感謝申し上げる。

参考文献

- 1) 秀島好昭：北海道における農業用水路の変遷と維持管理，北海道開発土木研究所月報，No. 619号，pp. 20-26，2004
- 2) 秀島好昭：水利施設の設計・維持・補修における寒冷地対策，農業土木学会誌，第70巻，第4号，pp. 15-18，2002
- 3) 緒方英彦ら：RC開水路の凍害，農業農村工学会誌，第76巻，第9号，pp. 819-822，2008
- 4) 鎌田英治：凍結融解抵抗性（耐凍害性），コンクリート工学，Vol. 22，No. 3，pp. 38-46，1984
- 5) 佐藤智ら：低温での養生や凍結融解を受けた表面被覆材の付着強さ，寒地土木研究所月報，No. 673，pp. 12-18，2009
- 6) 土木学会：複合構造シリーズ03 複合構造技術の最先端 -その方法と土木分野への適用-，pp. 15-35，2007
- 7) 日本コンクリート工学協会：コンクリート診断技術07 基礎編，pp. 47-51，pp. 199-205，pp. 238，2007
- 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)，pp. 104-105，2006
- 9) 日本コンクリート工学協会：コンクリートのひび割れ調査，補修・補強指針-2003-，pp. 106，2003
- 10) 土木学会：コンクリートライブラリー127 複数微細ひび割れ型繊維補強セメント複合材料 設計施工指針(案)，pp. 1-3，2007