平成22年度

寒冷地における用水路の劣化と保全
－劣化メカニズムの検討と補修後のモニタリング－

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、国営完了地区の基幹的水利施設(受益面積100ha以上の施設)を対象に、平成15年度から機能診断を実施している。

この機能診断の結果、老朽化や劣化が見られた施設については、施設の長寿命化やライフサイクルコストが低減される保全計画を策定し、必要に応じ保全対策を実施してきている。

保全対策の検討にあたっては、施設毎・部位毎の劣化状況に適した補修・補強工法を選定するが、コンクリート開水路については、直接的に気象環境の影響を受ける構造形式であることから、対策工法を選定するうえで、北海道のような積雪寒冷地での適用性が重要となってくる。

しかし、コンクリート開水路の補修工法については、これまで北海道内での施工実績は少なく、積雪寒冷地における補修技術として適用性が確立されたものはない。

本研究では、積雪寒冷地に適したコンクリート用水路の補修技術を確立するため､劣化要因を把握し、補修工法の適用性および耐久性の検証を行う。

研究の1年目である昨年度（平成21年度）は、寒冷地のコンクリート用水路の主な劣化要因や機能診断の課題等について整理を行い、試験的に実施された用水路の補修工法の事例および対策後の経過状況の報告を行った。

2年目となる今年度は､コンクリート用水路の劣化メカニズムの検証を踏まえ､現場で実施された用水路補修工法の試験施工後の評価について報告する。

１．コンクリート開水路の凍害劣化メカニズム

(1) 目的

農業水利施設の多くを占めるコンクート開水路は､一般のコンクリート構造物に比べ部材厚が薄く、施設の性質上、湿潤な供用環境におかれているものが多い。また、寒冷地のコンクリート開水路は落水期間に凍結融解作用を受けるため、機能診断を行ううえで凍害劣化の診断が重要である。

コンクリート開水路における凍害劣化の形態については、部材表面部のひび割れ、スケーリングなどの他に、部材内部においてもひび割れが発生している事例が報告されている[1)]。寒冷地のコンクリート開水路の診断技術向上のためには、その凍害劣化メカニズムを把握したうえで、診断手法を検討する必要がある。

寒地土木研究所水利基盤チームでは、コンクリート開水路の凍害劣化メカニズムの検討のため、平成21年度の冬期から鳥取大学の緒方准教授と共同で、凍害を受けているコンクリート開水路側壁の温度と水分のモニタリングを行っている。

(2) 調査方法

a) 調査地点の概要

モニタリングの調査地点は、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年度に施工された掘り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、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、左岸が南西向き面、右岸が北東向き面である。水路側壁の左岸気中部には長手方向のひび割れが多数生じており、天端付近にはスケーリングが生じていた。左岸水中部には目立った凍害劣化はなかった。一方、右岸側壁には気中部、水中部ともに目視観察では凍害劣化はなかった（写真-1)。

b) 水路側壁の温度と水分の測定

観測区間では、側壁の表面、内部、背面の温度と側壁内部の水分状況を観測している。温度計（T型熱電対）およびコンクリート水分センサー（KZW-1A,

キーワード：用水路、ストックマネジメント、コンクリート開水路、補修、積雪寒冷地

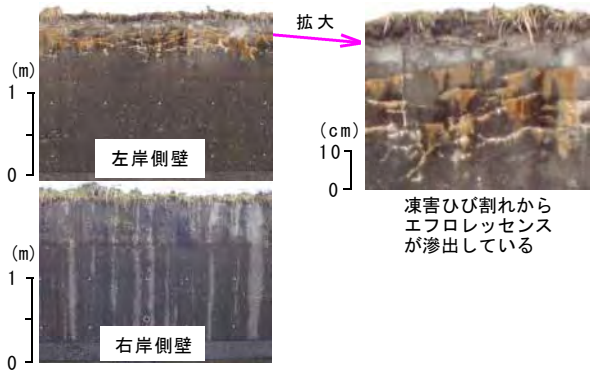


写真-1　観測箇所の水路側壁の状況

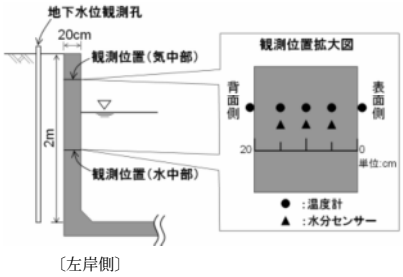


図-1　観測機器の設置概要

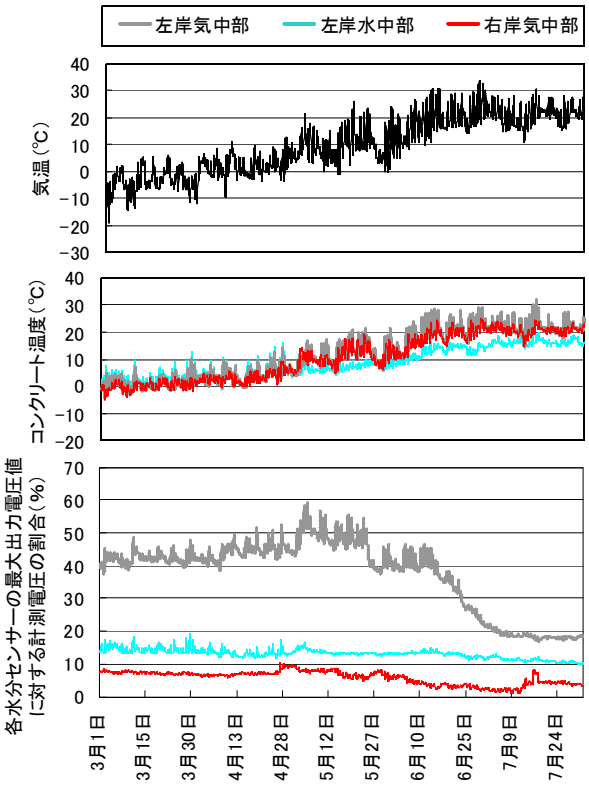


図-2　観測箇所の気温および水路側壁内部(深さ10cm)の水分センサーの計測電圧の割合、温度

(株)東京測器研究所製）の設置位置を図-1に示す。このような測定を左岸側壁では気中部と水中部の2箇所で、右岸側壁では気中部の1箇所で行っている。左岸側壁の背面部には地下水位観測孔を設置し、側壁背面の地下水位の観測を行っている。

c) 積雪および融雪の状況

平成21年度の積雪期から融雪期にかけて観測区間周辺の積雪状況や融雪状況を調査した。調査では左右岸の側壁周辺および底版における積雪、雪庇の形状を測定した。また、左右岸に自動撮影用カメラを設置して、側壁からの水の滲出状況などを撮影した。

(3) 結果および考察

a) 側壁内部の温度・水分と凍害

図-2に平成22年3月1日から7月31日までの観測区間の気温および左右岸側壁の表面から深さ10cmにおけるコンクリート温度と水分センサーの計測電圧の割合を示す。水分センサーの計測電圧の割合とは、センサーを設置した孔内にモルタルを充填した後の各センサーの最大出力電圧値を100%とした場合の、各計測時の出力電圧の比率であり、水分の相対値を表すものである。

凍害が見られる左岸気中部では、融雪が進行する3月上旬から3月下旬にかけての温度変化が右岸気中部に比較して大きく、断面の中心部において0℃をまたぐ温度変化が生じている。

左岸気中部では、3月上旬から5月上旬までコンクリート内部で水分は緩やかに増加していき、5月上旬以降に水分は減少していく傾向がみられた。同断面の表面から深さ5cm、15cmでも、4月下旬から5月上旬以降に水分が減少する傾向がみられており、融雪終了後には断面全体で水分の減少が生じていた。これに比べて、左岸水中部および右岸気中部では水分の変化は小さく、左岸水中部では4月下旬以降の水路への通水の影響はほとんどみられなかった。

b) 水路側壁への水分供給状況と経路

観測区間における冬期間の積雪形状を図-3に示す。凍害の見られない右岸側では観測を開始した平成21年12月17日から平成22年3月25日にかけて雪庇が発達し冬期間を通してほぼ雪に覆われていた。凍害が見られる左岸側では雪庇の発達は小さく、冬期間を通して側壁上部は露出しており、融雪の進んだ3月下旬には天端面まで完全に露出するなど左岸側壁の上部は日射による温度変化を受けやすい状況になっていた。一方、側壁の下部は図-3のように2月下旬頃まで雪で覆われていた。

また、左岸側壁では、しばしば冬期の日中に天端やひび割れから水が滲み出し、壁面を濡らしていた

キーワード：用水路、ストックマネジメント、コンクリート開水路、補修、積雪寒冷地

（写真-2）。左岸側壁背面で観測している地下水位は、積雪期、融雪期を通して壁高の1/3以下であった。それゆえ写真-2のような側壁上部への水分供給源として地下水は考えにくく、側壁背後の融雪水が地表面あるいは側壁背後の地盤を通って供給されていると推察される。

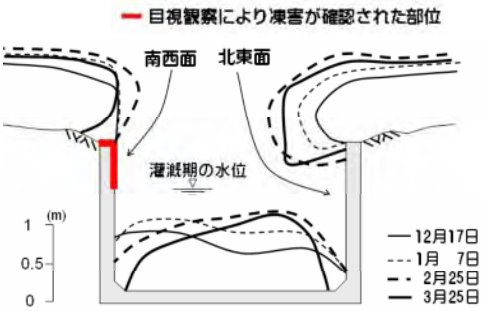


図-3　観測箇所の積雪形状

(2010年3月24日 16:00)

写真-2　冬期の左岸側壁の状況

以上のように、側壁内部の水分の観測により、凍害が発生している左岸気中部では、凍害が見られない部位とは異なり、側壁断面全体での季節的な水分の変化が生じる傾向があることがわかった。

また、凍害劣化区間の冬期間の観察や側壁内部温度の観測から、凍害が生じている左岸側壁気中部では融雪水による多量の水分供給と断面内部まで及ぶ凍結融解作用が併行して生じる環境であることがわかった。

このことから凍害劣化には側壁の方位や日射による温度変化に加え、側壁周辺における局所的な積雪、融雪状況や、水分供給が影響していると考えられる。

(4) 今後の予定

これまでの調査で日射や積雪形状の違いによる温度変化の大小、融雪水、地下水などの水分供給の有無が凍害発生のメカニズムと大きな関連を有していることがわかった。

今後も、現地での観測、観察を継続して凍害劣化メカニズムの考察を行う。

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として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による補修工法施工後の耐久性の評価、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および補修後のモニタリング経過等について述べる。

(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。試験施工区間では、施工後に経過観察を行い、寒冷地における補修工法の適用性、耐久性などを検証した。今年度は試験施工結果のとりまとめとして、施工後4年間における各種表面被覆工法の耐久性評価の結果について述べる。

b) 方法

①施工箇所

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-4）。試験施工区間は、昭和47年度に施工された掘り込み形式の現場打ちフルーム水路区間で、水路幅は6.0m、側壁の高さは2.0m、部材厚20cmである。

図-4　試験施工箇所

②補修工法

剣和幹線用水路の試験施工で用いたのは、無機系、有機系、パネル系の表面被覆材のそれぞれの中から、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工法とした。各補修工法の施工断面の概要を図-5に示す。セメント系とパネル系はコンクリート躯体の表面にのみ施工を行い、樹脂系は目地を止水処理したうえで、目地とコンクリート躯体の表面を併せて施工を行った。なお、樹脂系ではコスト低減と工期短縮を図る目的で、断面修復材を用いず、超高圧洗浄面に直接施工した区間も設けた。

キーワード：用水路、ストックマネジメント、コンクリート開水路、補修、積雪寒冷地

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、次のような工夫を行った。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用いた。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。パネル系では既設水路とFRPM板との隙間に進入する水分の凍結融解作用の繰り返しによる結氷膨張抑制効果を期待し、躯体コンクリートとFRPM板との間に緩衝材を用いた。緩衝材はEPS（ﾋﾞｰｽﾞ法ﾎﾟﾘｽﾁﾚﾝﾌｫｰﾑ）、PE（発泡ﾎﾟﾘｴﾁﾚﾝ）、EPT（ｴﾁﾚﾝﾌﾟﾛﾋﾟﾚﾝｺﾞﾑ）の3種類とした。

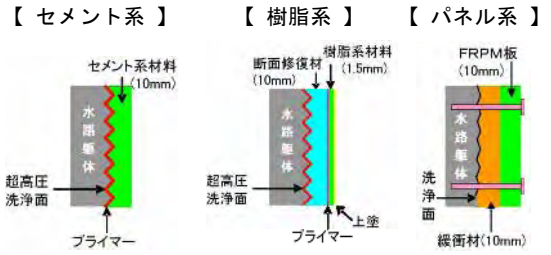


図-5　各補修工法の施工断面

③施工後の観測

試験施工区間における主なモニタリング内容を表-1に、モニタリングのための観測機器の配置を図-6に示す。なお、磨耗量は、セメント系の補修面に対して頭部が数mm出るように打ち込んだアンカーの先端と補修面の距離を測定し、その経時変化によって求めた。

表-1　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

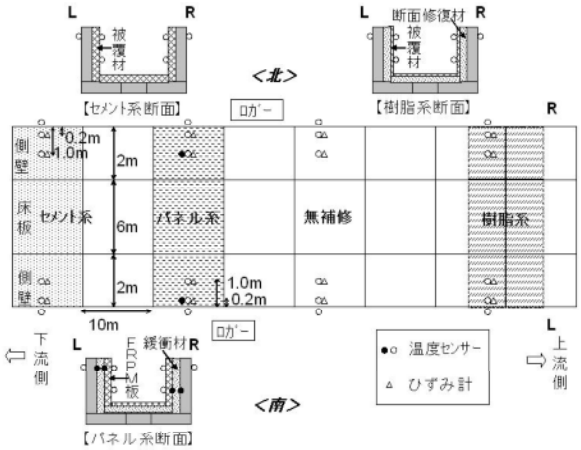


図-6　観測機器の配置

c) 結果

①セメント系の補修工法

1) 目視調査結果

平成19年～平成22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～平成21年（半年～3年経過後）

ひび割れ、浮き、剥離等の目立った変状は見られず、概ね良好な状態であった。

・平成22年（3年半および4年経過後）

南面側壁上部に微細なひび割れが見られた。これは表面的なもので、補修内部にまで達しているものではなかった。他には、浮き、剥離等の目立ったは変状は見られなかった。

2) 表面被覆材の付着強さ

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。

3) 摩耗量

灌漑期間を1回経た後を基準として算出した磨耗量の推移を図-7に示す。通水4回終了後の時点で、流水のある側壁下部で南面、北面ともに0.4mm、常に気中にある側壁上部で0.3mmであることから、被覆材の厚さ10mmに対して小さい値である。しかし、通水4回目で側壁上部でも磨耗が進行する傾向にあるため、今後も観察を継続していく必要がある。

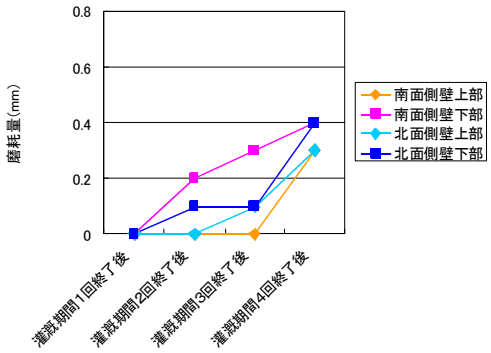


図-7　灌漑期間1回終了後を基準としたセメント系の磨耗量

4) 評価

施工4年後までの段階では、目視調査結果から補修区間全体にわたる変状は見られず、概ね良好であることがわかった。被覆材の磨耗量は施工厚さに対してごくわずかで、磨耗による劣化は問題とならなかった。

②樹脂系補修工法

1) 目視調査結果

平成19年～平成22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。

キーワード：用水路、ストックマネジメント、コンクリート開水路、補修、積雪寒冷地

・平成19年～平成21年（半年～3年経過後）

ひび割れ、浮き、剥離等の目立った変状は見られず概ね良好な状態にある。なお、目地にも被覆材を施工したことにより、目地の止水が不完全なところで水分浸透により断面修復部の剥離が生じたが、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。**図-8**に目地およびその周辺における剥離の様子を模式図で示す。なお、剥離部分については再補修済みである。

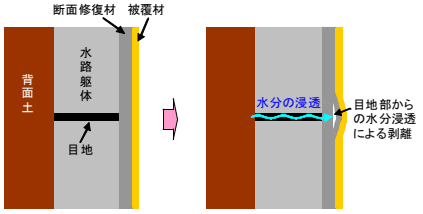


図-8　水路天端から見た樹脂系施工後の目地およびその周辺の経過模式図

・平成22年（3年半および4年経過後）

底版の目地およびその周辺で浮き（一部でひび割れ）が見られた。水路躯体部分には目立った変状は見られなかった。

以上のような補修後の経過観察を踏まえると、目地部分は縁切りを行うとともに、必要に応じ、目地専用の補修工法を組み合わせることも考えられる。

2) 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-9**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。劣化部除去後の凹凸部を断面修復材で平滑に仕上げてから被覆材を施工した区間よりも、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の方が付着強さが大きい傾向がみられた[2)]。被覆材に必要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/mm^{2}程度が多い。断面修復を行わない場合は1.0N/mm^{2}を大きく上回っている。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/mm^{2}前後となった。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る場合には、断面修復材の施工が必要となるが、劣化部除去後に構造的な問題がない場合には、経済的でもあることから、断面修復を行わない工法が有利であると考えられる。

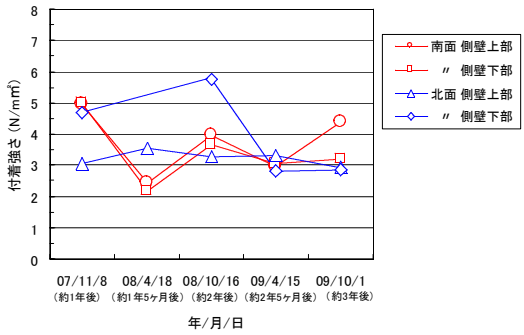


図-9　試験施工区間での付着強さ(断面修復なし)

3) 水理性能の検証

付着強さが大きい工法であると述べた、劣化部を除去した凹凸面に樹脂系を施工した場合の粗度係数を水理模型実験により測定した。併せて、流水により磨耗した水路および超高圧洗浄後の表面に凹凸のある水路の粗度係数も測定した。

図-10は流速と粗度係数の関係を表したものである。超高圧洗浄した水路に比べ、その上に樹脂系被覆材で補修した水路では粗度係数が低下し、磨耗した水路と同等かそれ以下となった。また、設計基準に示される粗度係数の標準値である0.012～0.016[3)]の範囲にあった。それゆえ、断面修復を行わずに表面に凹凸のある状態に樹脂系材料で施工しても水理的に大きな問題は生じないと考えられ、実用的な工法であるといえる。

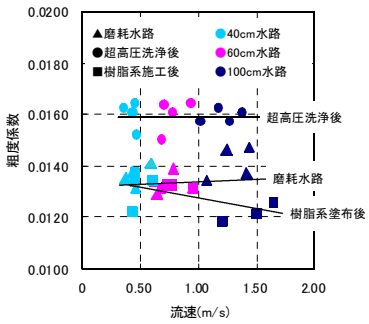


図-10　流速と粗度係数の関係

4) 評価

施工後4年後までの段階では、目視調査結果から概ね良好な状態を保っていることがわかった。しかし、目地からの水分浸透により目地およびその周辺で浮きが確認されたため、目地部分で縁切りした施工が必要と考えられる。付着強さは、被覆材を劣化部除去面に直接塗布した場合には付着強さが大きいことがわかった。その場合、表面に凹凸が生じるものの、粗度係数は設計基準に示される標準値内に収まり、水理性能の面から見ても実用的な工法であるといえる。

③パネル系補修工法

1) 目視調査結果

平成19年～平成22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～平成21年（半年～3年経過後）

FRPM板は変状が見られず、アンカーも抜け落ち等はなく、良好な状態を保っていた。

キーワード：用水路、ストックマネジメント、コンクリート開水路、補修、積雪寒冷地

・平成22年（3年半および4年経過後）

緩衝材EPT区間の底版の高さが他の緩衝材を用いた区間よりやや低くなっていた。他にはとくに変状は見られない。この原因は、EPTが他の材料に比べ変形しやすい材料であるため、水圧、積雪荷重による圧縮量が他の緩衝材より大きいことと経年変化により復元力が弱まってきたことによるものと考えられる。

2)緩衝材の含水比の経年変化

パネル系補修工法はアンカーを躯体コンクリートに打ち込むことで固定する方式であることから、緩衝材内部の水分の凍結による膨張圧がアンカーの引き抜き強度の最大荷重以上となる危険性がある。このため、3種類の緩衝材の含水比を灌漑期2回、冬期間2回を経過した時点で測定した。

天端から下へ一定間隔毎に測定した緩衝材の含水比を**図-11**に示す。EPSは灌漑期（普通期）水位より下の部位で含水比が高くなっており、PEとEPTは全体的に含水比が小さいことがわかった。EPSは水分を多く含むようになったことから、他の材料に比べて凍結融解作用の影響を受けやすい状況にあることが示唆された。

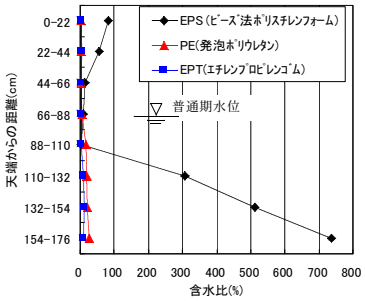


図-11　試験施工区間での各緩衝材の含水比

3)評価

施工後4年後までの段階では、目視調査結果からFRPM板は変状が見られず、アンカーも抜け落ちはなく、概ね良好な状態を保っていることがわかった。また、3種類の緩衝材の中では、PEが含水比が低く凍結融解作用を受けづらいと考えられることや、目視調査による変状がないことから、最も適した緩衝材であると考えられた。

d) 今後にむけて

今後もより長期的な耐久性を検証するために経過観察を継続するとともに、水路躯体の背面から浸透する水分が凍結融解を受けた場合の付着強さを室内試験により検証することで、寒冷地で施工した補修材料の耐用年数等を的確に把握していく必要があると考えられる。これらについては、来年度報告する予定である。

(2) 施工事例２：美瑛川地区貯水池幹線用水路

a) 目的

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ているものはない。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。引き続き、それら凍害対策6工法の試験工事実施時の施工性、経済性を検証するとともに、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検討の指標とするものである。

b) 施工箇所

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年度に施工された貯水池幹線用水路である（**図-12**）。

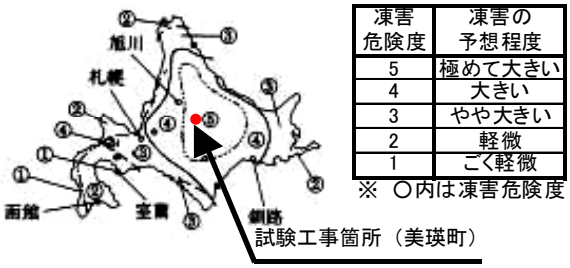


図-12　凍害危険度の分布図[4]と試験工事箇所

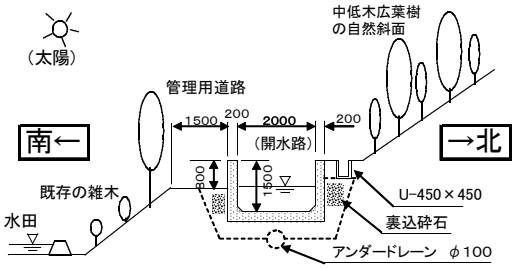


図-13　構造断面

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-13**）。

試験区間の延長は、試験工事区間延長180mと不施工対照区間延長10mを合わせた190mである。

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、構造的な劣化は少なく、用水路としての機能上、大きな支障はない。

キーワード：用水路、ストックマネジメント、コンクリート開水路、補修、積雪寒冷地

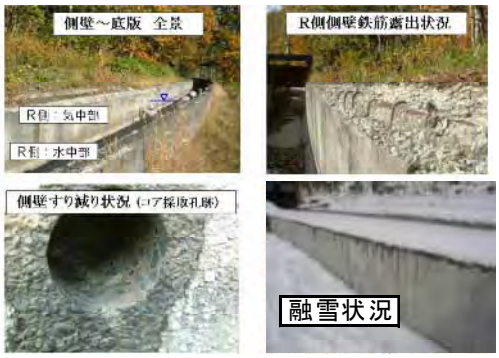


写真-3　劣化状況

本試験区間において、このような凍害が発生している要因としては、次の2点をあげることができる。一つ目は、当水路は凍害危険度マップ[4)]上で凍害危険度が最大の5に区分される地域に位置し、道内の他地域に比べ冬期の気象条件が厳しいことがあげられる。特に、試験区間の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。冬期においては、昼間の日射による山腹斜面や側壁天端からの融雪水が側壁を湿潤状態にし、この状態で凍結融解の繰返しを受けている。二つ目は、この区間のコンクリートはAE剤を使用せずに打設した耐凍害性の低いコンクリートであったことがあげられる。

劣化状況と対策方針は**表-2**のとおりである。

なお、水路内側の側壁表面部のうち、水中部は凍害による劣化は軽微であるが、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、凹凸が著しくなっている。

表-2　劣化状況と対策方針

劣化状況区分	日陰ゾーン：健全部（主にB，C，F）	日射ゾーン：劣化部（主にA，D，E）
代表的凍害形態	スポール	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

c) **補修工法**

①選定理由

試験工法の選定では、**表-2**の対策方針に対応できる工法のうち、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の中から、**表-3**に示す凍害対策工法として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、併せて対象区間となる不施工（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(10㎜)より薄い(2㎜)ため、Dグループではなく Cグループの区分に含めた。

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	本道での実績 他分野
凍害対策工法	C		表面含浸材工法			
		C-1	表面含浸工法（ケイ酸ナトリウム系含浸工法(CS-21)：(株)アストン）	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（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（デンカアクアライニング工法：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[5)]として紹介	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：(株)ホッコン）		少	多
		D-3	靭性モルタル工法（DFRCC：(株)デーロス・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Σ：共和コンクリート工業(株)）	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		不施工	補修効果の確認の基準		
		F	不施工			

各工法の施工位置は対策工法の特徴に合わせて**図-14**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側壁天端を含め側壁全体（ハンチ部を除く）の水路内面（**図-15**）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80㎝下がった部分までの水路内面（**図-16**、**図-17**）とした。

②各工法の特徴

各工法の特徴はd)施工性で述べる。グループごとに補修断面は異なり、また、同一グループであっても工法の細区分では施工方法が異なる。

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、従来工法で部分打換えを行った表面に保護層として施工することとした。

d) **施工性**

試験工事は、平成21年12月から平成22年3月にかけて防寒囲いの中で行った。このため、作業空間が狭く支保工等が支障となり、資材の搬入や各作業に時間を要し、施工性は全体的に悪い結果となった。凍害対策6工法についての施工性の比較を**表-4**に示す。なお、作業時間については、作業員の職種にかかわらず、実作業時間にて算出した。

以下に各工法毎の施工時の課題等を示す。

①Cグループ

○表面含浸工法（C-1）

写真-4に表面含浸工法の施工状況を示す。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

キーワード：用水路、ストックマネジメント、コンクリート開水路、補修、積雪寒冷地

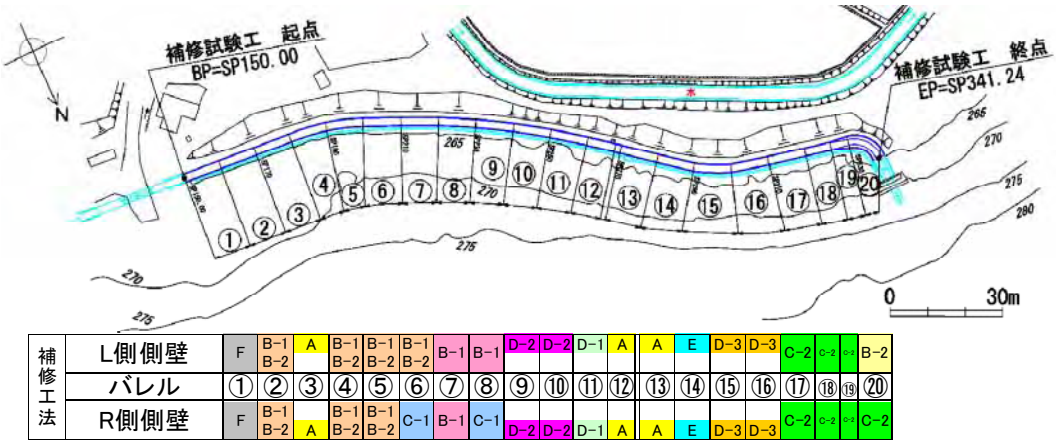


図-14　工種別配置図

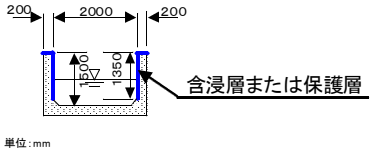


図-15　工種別詳細定規図（Ｃグループ）

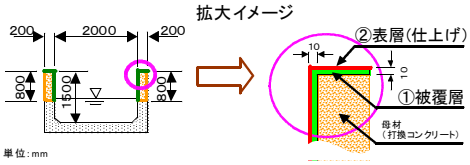


図-16　工種別詳細定規図（Ｄグループ）

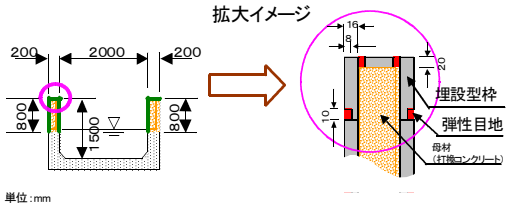


図-17　工種別詳細定規図（Ｅグループ）

表-4　施工性

施工性（1㎡あたり作業時間）
C-1 ＜ C-2 ＜ D-2 ＜ D-3 ≒ D-1 ≪ E

注1）Dは「既設利用で10mmはつり」としてはつり後から算定。
Eは本体とりこわし後から算定。(各工法の下処理は含む)

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つきにくかった。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が考えられた。このため、表面含浸工法の施工では、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。

①含浸材塗布　②噴霧器で散水養生

写真-4　表面含浸工法（C-1）の施工状況

○ＰＷ工法（C-2）

写真-5にＰＷ工法の施工状況を示す。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。吹付け厚さが設計厚さの2mmとなるのは凹凸の少ない部分であり、凹凸の多い場合は凹部の塗り残しがないようにするため、同じ場所を塗る回数が増え施工厚が増え、材料のロスが多く、下処理で平面化を検討する必要がある。

①下塗り施工（吹付け）　②仕上施工（ローラー）

写真-5　ＰＷ工法（C-2）の施工状況

②Ｄグループ

Ｄグループは、部分打換えを行った水路内面と側壁天端部にポリマーセメントモルタルや靱性モルタルを厚さ10mmで被覆する工法である。

母材となる打換えコンクリートは新設であり、表面の凹凸が少なく、モルタルとの付着力を確保するよう下処理に注意した。しかし、凹凸に定量的な基

キーワード：用水路、ストックマネジメント、コンクリート開水路、補修、積雪寒冷地

準がなく、どの程度の凹凸をつければよいものか施工者の経験に頼るものであり、何らかの基準が必要と思われる。また、3工法とも10㎜分の型枠設置に時間を要した。

○高耐久性ＰＣＭ工法（D-1）

写真-6に高耐久性ＰＣＭ工法の施工状況を示す。本工法は、プライマー塗布後、モルタル吹付で被覆した。実吹付け速度は速いが、吹付け機の調整に時間を要した。

①下処理（サンディング）　②プライマー処理

③被覆材施工（吹付け）　④表面仕上材塗布

写真-6　高耐久性ＰＣＭ工法（D-1）の施工状況

○レジンモルタル工法（D-2）

写真-7にレジンモルタル工法の施工状況を示す。この工法は吹付けではなく左官作業により被覆層を施工し、表層は有機系材料を塗布する。

①モルタル補設（左官）　②仕上施工（ローラー）

写真-7　レジンモルタル工法（D-2）の施工状況

○靭性モルタル工法（D-3）

写真-8に靭性モルタル工法の施工状況を示す。本工法は下処理後にプライマー処理を行わず、直接、被覆層を吹付けにより施工した。そのため、母材コンクリートと被覆層が十分付着可能な凹凸をつける

①下処理（チッピング）　②下処理（サンディング）

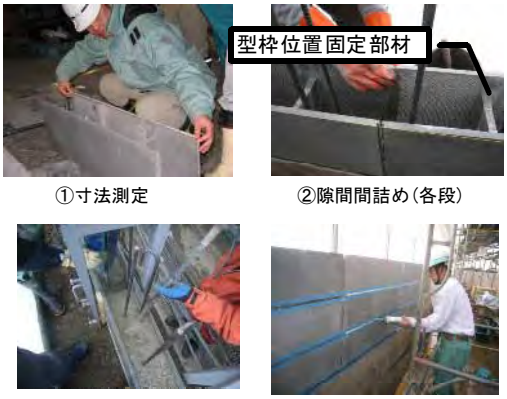
写真-8　靭性モルタル工法（D-3）の施工状況

ようとくに下処理に注意して施工した。D-1と同様、吹付け機の調整に時間を要した。

③ Ｅグループ

○高耐久性埋設型枠工法（E）

写真-9に高耐久性埋設型枠工法の施工状況を示す。今回使用した埋設型枠は、車両通行が不可能な施工条件の不利な場所でも適用可能か検討するため、人力で運搬可能な大きさおよび重量とした。このため、型枠枚数と段数が多くなり、段数の分だけコンクリートの打設回数が増えることになった。また、打設前に型枠ごとの接合部分の隙間を埋める作業等に多大な時間を要した。



①寸法測定　②隙間間詰め（各段）

③コンクリート打設（各段）　④目地材注入

写真-9　高耐久性埋設型枠工法（Ｅ）の施工状況

e) 補修後の状況

①観測項目

モニタリング調査では、試験工事で実施した9工法に対する有効性の評価を行うため、**表-5**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1㎞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。定期観測は施工後0.5、1、1.5、2、3、5、10年目で試験等を行う。なお、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、灌漑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。

②0.5年後（通水前）の状況

工事完了が平成22年3月上旬であり、十分な越冬期間を経過していないため、目視調査のみを行った。

大きな変状が見られたのはＰＷ工法と埋設型枠工法の2工法であり、**写真-10**、**写真-11**に示すように、ＰＷ工法では厚塗り部でのクラックと仕上げ層の表面剥離が、埋設型枠工法では微細なクラックが発生していた。他の工法では、特に変状は見られなかった。ＰＷ工法の厚塗り部でのクラックの原因は、主に表面の凹凸部の凹部に厚くたまった表面保護材が

キーワード：用水路、ストックマネジメント、コンクリート開水路、補修、積雪寒冷地

表-5　試験項目および試験位置

区分	項目	実施年度 0.5	1	1.5	2	3	5	10	L側	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫	⑬	⑭	⑮	⑯	⑰	⑱	⑲	⑳	実施小計数量
									パレル	F		A						D−2	D−2	D−1	A	A	E	D−3	D−3	C−2	C−2	C−2		
									R側	F		A			C−1		C−1	D−2	D−2	D−1	A	A	E	D−3	D−3	C−2	C−2	C−2	C−2	
										L R	L R	L R	L R	L R	L R	L R	L R	L R	L R	L R	L R	L R	L R	L R	L R	L R	L R	L R	L R	
定期観測	①近接目視調査 目視、打音、触診、スケッチ	○	○	○	○	○	○	○		地上目視RC−フリューム全体：側内1.5*2+頂0.2*2+側外L0.8m+底2.0m																				
	②表面強度試験 シュミットハンマー法		○	○	○	○	○	○		1 1		1 1			2		2	1 1	1 1	1 1	1 1	1 1		1	1 1	1 2	2 2	2 2	2	36
	③中性化試験 ドリル法				○	○	○	○		1 1								3	3											8
	④付着強度試験 建研式引張試験		○		○	○	○	○		1 1					2 2		2 2		1 1	1 1	1				1 1		2 2			22
	⑤剥離調査 赤外線法		○	○	○	○	○	○		○		○			○		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
	⑥ひび割れ、剥離、空洞化調査 衝撃弾性波法		○	○	○	○	○	○		○ ○		○ ○			○ ○		○ ○	○ ○	○ ○	○ ○	○ ○	○ ○	○ ○	○ ○	○ ○	○ ○	○ ○	○ ○	○	
	⑦施工厚試験 ノギス4点法		○		○		○	○											1 1	1 1					1 1		1 1			8
	⑧透気試験		○	○	○	○	○	○		○					○	○	○													
	⑨曝露試験 供試体採取 φ100mmコア	毎回 D−1*6,D−2*3,D−3*3																			D−1,2,3									
	⑩雪庇状況確認 スケッチ	冬期のみ																	○	○										
	⑪圧縮強度試験 曝露試験用試料利用						○	○																						
	⑫凍結融解促進試験	コア採取		試験														3	3	6	3	3			3		3			24
常時観測	⑬温度 側壁(内・外表面、内部)	通年																	○ ○	○ ○	○ ○	○			○ ○					
	⑭ひずみ 側壁(内・外表面)	通年																	○ ○	○ ○	○ ○	○			○ ○					
	⑮外気温 外気温3(アメダスデータ1)	夏期 外気温2、水温1								水温																				
	⑯日照時間 アメダスデータ	通年																												
	⑰積雪状況確認 カメラ3台	冬期のみ													No.3→ → → →			← ← ← ← ← ←No.2				No.1→ → → → → → → →								

■ 特記事項
水路構造：　B2.0m×H1.5m×t0.2m、観測範囲：　側壁部は0．80m上部と全高（ハンチを除く）の2タイプ
凍害対策工法・・・・・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：靭性モルタル工法、E：埋設型枠工法
比較用・・・・・・・・・A：従来工法（打換）、B：部分補修工法（②～⑭、⑯～⑳）、F：不施工
試験項目　赤字：H22年内実施、青字：H22年度実施予定、黒字：H23年度以降実施
観測計器（温度計、ひずみ計）位置：　⑩、⑪、⑫、⑮

①厚塗り部でのクラック

②仕上げ層の表面剥離

写真-10　PW工法（C-2）の変状発生状況

①縦クラック

②網の目状の不規則クラック

写真-11　埋設型枠工法（E）の変状発生状況

乾燥し、ひび割れが発生したものと考えられる。

また、埋設型枠工法では側壁天端と側面に縦クラックが発生し、側面にのみ網の目状の不規則クラックが発生していた。なお、いずれのクラックも幅0.2㎜以下の微細なものである。縦クラックは、それぞれの型枠位置を固定するための部分が乾燥収縮の際に点荷重となり発生したものと思われ、網の目状の不規則クラックの発生原因は現在検討中である。

③1年後（落水後）の状況

近接目視は通水前とほとんど変化はなかった。

表面強度試験、付着強度試験結果を図-18、図-19

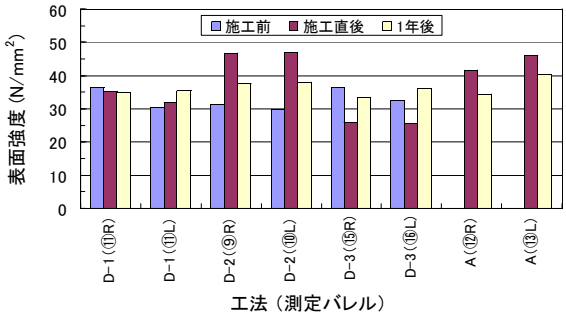


図-18　表面強度試験結果

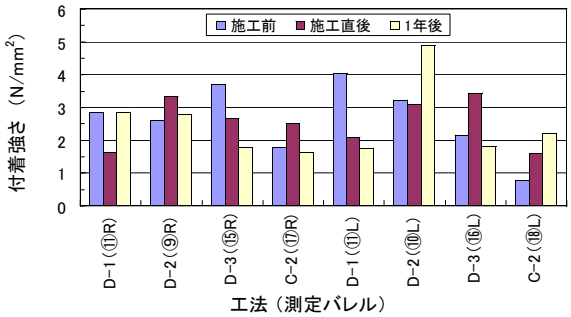


図-19　付着強度試験結果

に示す。表面強度試験および付着強度試験とも、施工前より数値が減少するが、中には増加したものもある。

その他、結果の表示を省略するが、測定方法を再検討する試験項目も確認された。1つは施工厚試験であり、この試験は工事中に施工管理に用いたピン

キーワード：用水路、ストックマネジメント、コンクリート開水路、補修、積雪寒冷地

を利用した試験であるが、1年程度であれば測定値は微少な数値であり、かつ、測定箇所に凹凸があり、誤差を生じやすいことから、単年度ごとではなく、数年後毎の測定が適当と思われる。

また、透気試験では壁面の凹凸が著しい水中部は測定チャンバーと壁面の密着性が確保できないため、気中部のみを測定対象とした（**写真-12**）。今後は、透気係数の経年的な変化を追跡調査する。

①透気試験状況　　②測定チャンバー

写真-12　透気試験状況

なお、モニタリング時の施設の清掃状況の違いにより、近接目視の精度も低下する恐れがあることもわかった。

f) 補修工法の評価

今回採用した補修工法は、表面含浸工法を除いてコンクリート単体構造ではなくコンクリートと補修材よりなる複層構造である。そのため、劣化予測として表面のひび、浮き、被覆層と母材の剥離等が考えられる。これらの試験データはコンクリート単体構造の数値とは異なることが多く、一般的な数値基準での判断を避け、何の影響で数値が異なるかを各種試験データにより総合的に判断する必要がある。いずれにしても、劣化の評価基準は初期値であり、判断上、その数値との差が重要である。また、評価の際には次年度以降に農林水産省の保全技術センターで公表予定の補修工法の評価基準を参考にする予定である。

常時監視項目であるコンクリート温度の観測結果の一例として3月下旬の経時変化を**図-20**に示す。外気温と日照時間は近傍のアメダス測候所の値であるが、外気温と表面温度には大きな差があることがわかる。また、同じ外気温でも日照時間が長ければより表面温度との差が大きくなっていくのがわかる。

今後、観測結果をもとに現地での年間の凍結融解回数を算定するとともに、採取コアを用いた複層構造体での凍結融解試験や所定の凍結融解回数時における付着強度試験を行い、メーカーの想定している年間凍結融解回数や耐凍害性の考え方との比較を行うことで評価を進める。

また、ひずみについては、今後、従来工法と各補修工法の温度とひずみの関係を整理するとともに、コンクリートと補修材で生じるひずみ量の違いに注目してモニタリングを行う。

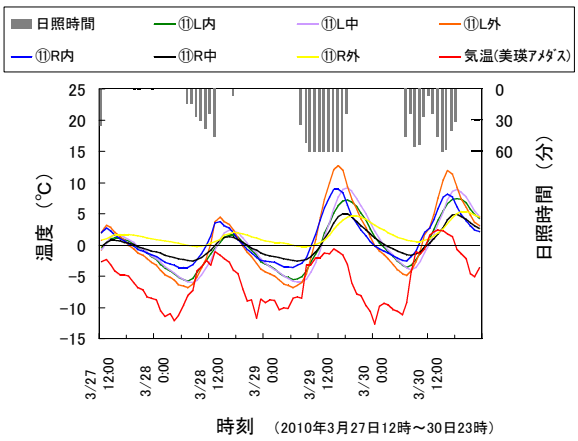


図-20　コンクリート温度等の経時変化

埋設型枠工法のクラックについては、クラック発見後、補修を行うブロックとそのままのブロックを設け、現在監視している。表面上のクラックが内部コンクリートに影響を及ぼすかどうかは今後のモニタリングで判断することとなる。

g) 今後の予定

今回の試験工事区間は平成22年3月上旬に完成し、実質的な越冬は平成22年度が初めてであり、それ以降の中長期モニタリングが重要である。

前述のとおり、平成22年度内の観測項目も残っており、今後、冬期間には**図-21**に示すように定時撮影用カメラを試験区間に設置し、現地での積雪状況の変化を確認するとともに温度計付近の雪庇状況のスケッチを行い、温度データ評価時の参考にする予定である。

次年度以降も引き続きモニタリング調査を継続し、一般工法と比較しながら耐久性を検証し、現場に適した補修工法の指標の一つとしてとりまとめる予定である。

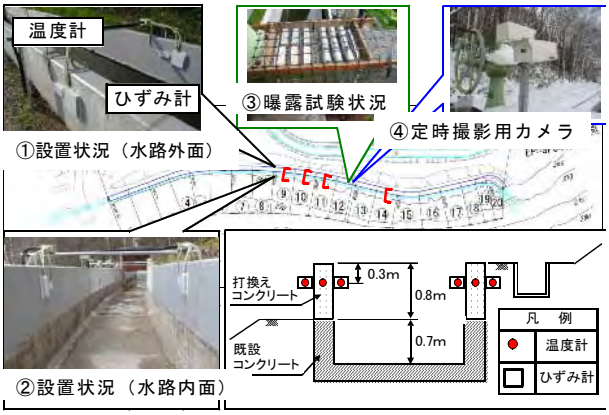


図-21　観測機器の設置状況

キーワード：用水路、ストックマネジメント、コンクリート開水路、補修、積雪寒冷地

(3) 施工事例３：北桧山左岸地区第１幹線用水路

a) 目的

開水路は寒冷気象の影響を直接的に受ける施設構造であることから、北海道特有の寒冷環境に適応しつつ、維持管理面を踏まえた補修・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北檜山左岸地区（以下、「北檜山左岸地区」という）で造成された後、国営かんがい排水事業利別川地区(以下、「利別川地区」という）で表面被覆工による改修が行われたコンクリート水路橋において、再補修技術の有効性を検証することを目的として、平成21年度に試験施工を実施し、モニタリング調査により経過観察を行っている。

b) 施工箇所

今回、試験施工を行った箇所は瀬棚郡今金町に位置し（**図-22**)、北檜山左岸地区で建設された第1幹線用水路の1号水路橋および3号水路橋である。1号水路橋は老朽化のため、平成12年度に表面被覆工により改修された（**表-6**)。

水路橋では、底版における表面被覆材の剥離や側壁の磨耗が顕著であった（**写真-13**)。

図-22　試験施工箇所

表-6　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ｽﾊﾟﾝ鋼桁支持	2ｽﾊﾟﾝ－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	ｶﾞﾗｽｸﾛｽﾗｲﾆﾝｸﾞ	ｴﾎﾟｷｼ樹脂塗装
整備地区 【整備年度】 (経過年)	利別川地区 【平成12年度】 (10年)	北檜山左岸地区 【昭和55年度以前】 (30年以上)

水路橋の表面被覆材の劣化要因を検証するため、近接目視調査の他、**表-7**に示す試験を行った。

その結果、1号水路橋の側壁では、超音波伝播速度が一般的な基準値3,500～4,000m/sを下回り、底版では圧縮強度が設計基準強度21.0N/mm^{2}を下回るなど、母材組織の脆弱化と剥離が進行していることが確認されており、水路橋の現在の環境面から、滞水と湿潤化による凍害が劣化の要因であると推測される。

一方、3号水路橋では、側壁および底版ともに、

写真-13　剥離・劣化状況

圧縮強度、超音波伝播速度は基準値を上回っており、母材組織の脆弱化はあまり進行していないが、水路橋に大きなたわみが発生していることが確認され、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ものと考えられる（**表-8**)。

表-7　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^2	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。

表-8　桁(側壁)と床(底版)のたわみ(Qmax時)

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

これらの調査結果を踏まえ、補修工法の検討に向けて、表面被覆材の劣化メカニズムの解明を行った結果、①寒気や風道による乾燥収縮、②滞水による冷却、結氷、凍結融解、③水重および積雪による荷重など、複合的な因子が水路橋の上下面および内外面に繰り返し作用していることが表面被覆材の剥離の要因であることが示唆された[6]。

特にボックス構造である3号水路橋は、河川沿いの風道により水路橋の上下面から寒気が強く作用することから、底版と側壁の外側から数多くの乾燥収縮ひび割れが見られる。このひび割れが進行したことにより、たわみが増大し、被覆材が追従できなくなって底版部の表面剥離が拡大したものと考えられる。

キーワード：用水路、ストックマネジメント、コンクリート開水路、補修、積雪寒冷地

c) 補修工法

1号および3号水路橋の劣化要因を踏まえ、①側壁は劣化が比較的軽度であるため、現況の被覆材を有効利用できること、②底版は劣化が重度なため、脆弱部を撤去し根本的な改善を図ること、を基本方針として、再補修の観点から長寿命化や、維持管理の容易さを考慮し、側壁と底版の耐久性能がほぼ一致した工法を選定することとした。

各部の側壁、底版における補修工法選定の考え方は以下のとおりである（表-9、図-23）。

表-9　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　上塗材薄膜再塗装	部分撤去および高耐久性無機系表面保護工再被膜
		下流側：有機系　標準耐久性　上塗材厚膜再塗装	
	3号水路橋	シート材との一体化による有機系再補修	部分撤去およびひずみ変動への対応から引張強度歪み硬化型の無機系

○1号水路橋側壁

流水によるすり減り摩耗等で上塗・中塗材が減少し部分的に既設ガラスクロスが露出しているが、剥離箇所以外の被覆材は健全な状態であったため、既設部分を再利用し、上塗材を再塗装する工法を選定した。高耐久性材（アクリルシリコン系高耐候性塗料）を薄膜塗布する上流側と、標準耐久性材（ポリウレタン系標準耐候性塗料）を標準の2倍厚で厚膜塗布する下流側とで耐久性能を比較することとした。

○1号水路橋底版

既設の有機系工法（既設側壁と同工法）に変え、流水の作用を受けても捲れや引掻き作用を受けにくい無機系の被覆工法を選定した。凍害により脆弱化した母材コンクリートを除去した後、耐摩耗・耐凍害・耐中性化に優れた高耐久性無機系表面保護工を採用し、施工方法の異なる高耐久性ポリマーセメントモルタルライニング工法（上流側）と吹付施工用高耐久性ポリマーセメントモルタルライニング工法（下流側）で施工性を比較することとした。

○3号水路橋側壁

耐用年数が超過していた既設塗装材を除去し、ひび割れ抵抗性・耐摩耗性を考慮したシート材との一体化による有機系補修工法（エポキシ系ガラス繊維メッシュ複層工法）で機能回復を図った。

○3号水路橋底版

底版も側壁同様に既設塗装を除去するとともに、歪みが顕著であったため、引張強度ひずみ硬化型の無機系材料で内面被覆（高靭性繊維補強セメント複合材モルタルライニング工法）を行った。

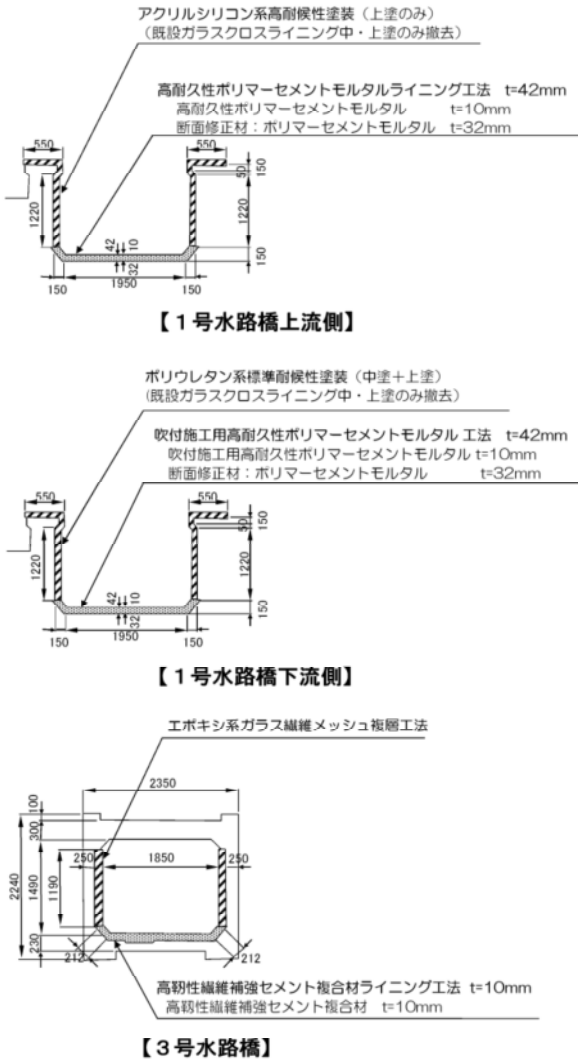


図-23　各補修工法の施工断面

d) 施工性

寒冷地における再補修工法では、落水後から初冬期での低温期での施工となることから、給熱養生が必要となる場合が多く、薄層薄膜施工にあたっては、給熱方法や温度計測位置の工夫等、表面の乾燥を防止するため十分な注意が必要である。

水路橋は構造上、底版下面や側壁外面からも冷気の影響を受けるため、綿密な工程管理を行い初期凍害を防止し、できるだけ早期に工事を完了させるよう、施工性に優れた工法を採用することが重要といえる。

本試験施工においては、凍害による脆弱化度合いの違いにより各工法で施工厚が異なるため、一概に施工性を比較することは難しいが、1号水路橋上流と下流の無機系補修工法では、吹付工法の方が左官工法よりも施工性に優位であるといえる結果となった。参考値として表-10に各工法毎の日当り施工面積を示す。

キーワード：用水路、ストックマネジメント、コンクリート開水路、補修、積雪寒冷地

表-10　工法毎施工面積

施工箇所		工　法	仕　様	日当施工面積 (m²/日)	施工面積〔参考〕 (m²)
底版	1号	高耐久性ﾎﾟﾘﾏｰｾﾒﾝﾄﾓﾙﾀﾙ工法（断面修正含）	t=42mm	6.83	27.30
		吹付施工用高耐久性ﾎﾟﾘﾏｰｾﾒﾝﾄﾓﾙﾀﾙ工法（断面修正含）	t=42mm	7.20	36.00
	3号	高靱性繊維補強ｾﾒﾝﾄ複合材ﾗｲﾆﾝｸﾞ工法（断面修正含）	t=10mm	28.63	85.90
側壁	1号	ｱｸﾘﾙｼﾘｺﾝ系高耐候性塗装	30μ×2	37.40	37.40
		ﾎﾟﾘｳﾚﾀﾝ系標準耐候性塗装	60μ×2 30μ×1	25.45	50.90
	3号	ｴﾎﾟｷｼ系ｶﾞﾗｽﾒｯｼｭ複層工法	500μ 140μ×1 30μ×2	15.23	106.60

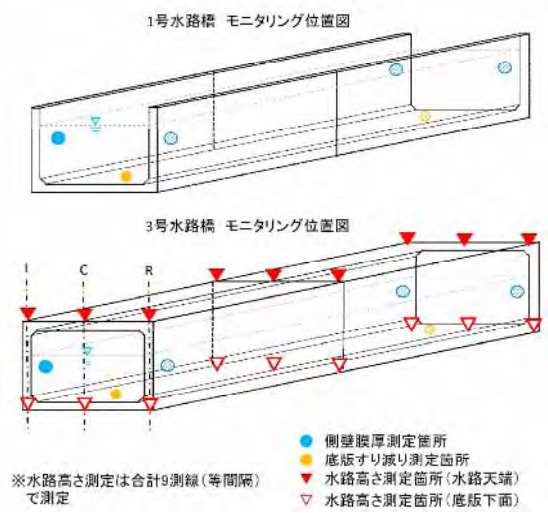


図-24　モニタリング計測位置図

e) 補修後の状況

①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[7]し、定期点検書として整理する。1号水路橋および3号水路橋では**表-11**に示す監視計画を策定し、平成22年度は通水前の4月(0.5年後)と、落水後(1年後)に目視観察等の調査を行った。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、最大流量通水時(0.5年後)に、**図-24**に示す位置において定点高さを測定した。

施工後初期の状態を把握することにより、今後発生する劣化が施工段階での初期欠陥によるものか、設計に起因するものかを明確に判断することが可能となることからも、1年目のモニタリング調査の重要度は高い。

表-11　施工後の監視、点検項目

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	縦横断方向定点高さ測定によるたわみ量測定	3号水路橋	中間測定※1（最大流量通水時）
	外面全体双眼目視によるひび割れ・漏水監視		定期測定※2
被膜測定	有機系塗膜の膜圧測定・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

②1号水路橋の変状状況

材料劣化、変形・ひずみ・欠損・損傷、目地の変状、ひび割れ、ふくれ等について施工後0.5年（通水前）に近接目視調査を、1.0年（落水後）に近接目視調査査に加え、膜厚測定とすり減り測定を行った。

調査結果概要は、以下に示すとおりである。

1)0.5年後（通水前）

近接目視調査の結果、側壁全面に施工に起因すると考えられる凹凸・液垂れや、部分的に軽微な剥がれ・ピンホールが見られたが（**写真-14**）、底版では変状は認められなかった。

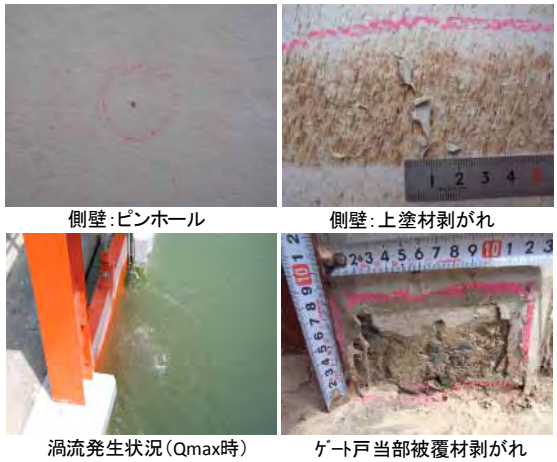


写真-14　1号水路橋の変状状況等

2)1.0年後（落水後）

近接目視調査の結果、主に上流側の南向き側壁と施工境界目地部において、被覆材に軽微な剥がれが認められた。また、水路橋中間部に位置する放水ゲート戸当たり上流部において、底版から高さ7cm程度まで劣化グレードの高い表面被覆材の剥離が見ら

キーワード：用水路、ストックマネジメント、コンクリート開水路、補修、積雪寒冷地

れた（写真-14）。これは、ゲート部特有の放水による高速縮流の発生が原因と考えられる。

水路底版および目地部には特段の変状は見られなかった。

③3号水路橋の変状状況

1号水路橋同様の調査に加え、3号水路橋においては水路本体に発生している構造たわみへの被覆材の追従性[8]を確認するため、0.5年後（通水前）と最大流量通水時において、水路定点高さ調査と外面全体双眼目視調査を実施した。

1)0.5年後（通水前）

近接目視調査の結果、側壁全面に施工に起因すると考えられる凹凸が認められたが、水路底版、ハンチ部、および目地部に特段の変状は見受けられなかった。外面全体双眼目視調査により、底版下面に施工前から確認されていたエフロレッセンスに多少の湿り気は残るものの立ち枯れしていることが確認された。

2)0.5年後（最大流量通水時）

底版下面のエフロレッセンスは、通水前と同様立ち枯れし、漏水や滲出し等が確認されなかったことから、補修対策により内面からの水分の供給が遮断されたと評価できる（写真-15）。

通水前および最大流量通水時の定点高さ調査結果より、縦横断方向のたわみの進行は認められなかった。

3)1.0年後（落水後）

側壁においては特段の変状は認められないが、底版施工境界（起点部）において端部処理の剥離が見られた（写真-15）。

底版下面：エフロレッセンス
（水分の滲出は見られない）

底版：起点部目地端部処理剥離

写真-15　3号水路橋の変状状況等

f) 補修工法の評価

①1号水路橋

底版においては、ひび割れや浮きなどの変状が見られないことから、底版における無機系補修工法の採用は評価できる結果となった。しかし、今後微細繊維が流水等により表面露出することが考えられることから、引続き監視が必要である。

側壁における軽微な剥がれ等は、初期要因・流水作用・環境作用が複合的に作用した結果であると考えられる。とくに初期要因については、上流側工法において、既設中上塗材のポリウレタン系樹脂と、補修上塗材のアクリルシリコン系塗料の材料間の塗重ね相性が良くないことから[9]、施工時のサンダーによる下地処理が十分に行われなかった箇所において局部的な剥がれが発生したものと考えられ、今後の工法選定や下地処理の際の課題として取り上げるべき項目であるといえる。

今後剥がれに流水作用が働き、更に進行することが予想されるため、早期対策により劣化促進を予防することも視野に入れ経過観察していく。耐久性の評価は今後の日常管理を考慮に入れて数年後（3～7年後）に行うのが適切と考えている。

ゲート戸当り付近の被覆材剥離箇所については、他の変状部位よりも比較的劣化グレードの高い変状となっている。今後の補修工法設計に当たっては、高速縮流の発生等、特殊な状況下に置かれるゲート部等の部位においては、水理特性に配慮した設計が必要であるといえる。

②3号水路橋

底版については、ひび割れや浮きなどの変状が見られず、微細繊維の表面露出も少ない。今後はひび割れや端部の剥離の進行に注視していきたい。定点高さ調査により、たわみの進行は確認されなかったが、水路橋本体の老朽化が顕著なため、今後の目視調査では構造物自体の耐久性にも注目していくことが必要である。

1号水路橋同様、底版の無機系補修工法は現段階で有効と評価できる。側壁に関しては、施工時の表面凹凸は見られるものの現段階では変状は見られないが、今後、引裂き等の発生も含め観察していく。

③モニタリング項目における課題と改善点

側壁膜厚測定結果については、同地点の測定においても0.3㎜程度測定にばらつきが生じている。このことは、下地処理により仕上がり面が一様でなく、施工仕上がり面にも不陸が有ることが原因と考えられる。品質確保の面では問題はないが、今後のモニタリング調査において、膜厚測定により補修工法の評価を行うことは難しくなった。また、超音波測定法は測定値の変動が大きく不安定であることから、複層薄膜構造のすり減り量を正確に把握することが難しく、今後のモニタリング方法を再考する必要があるといえる。

底版すり減り測定結果については、埋設ピンの切断面（ピンの頭）が水平でなかったことから、計測方向により測定値に差異が生じる結果となった。本調査では測定方向を一方向に定めて計測を行ったが、今後のモニタリング調査への適用には問題が残り、測定値をグラフ化し、すり減りを概略で把握する程度は可能であると考えている。

以上のことから、次年度以降のモニタリング計測

キーワード：用水路、ストックマネジメント、コンクリート開水路、補修、積雪寒冷地

では、膜厚測定、すり減り測定の代替案としてレーザー不陸測定の実施を検討している。

④機能評価

現在、農業用コンクリート構造水利施設（用水路、水路橋）の補修工法については監視点検に関する規定は示されていない。このため、本検討では、コンクリート水路橋補修工法の劣化程度の判定基準を「段階状態指標」として検討することとした。

判定基準は補修工法に対して**表-12**、**表-13**により「指標項目-段階-状態」の組み合わせ（Ex:T-Ⅰ-C）で表す[10]。

表-12　表面被覆工法の変状段階（T）

変状規模指標		評　価
段　階	変状面積率	
Ⅰ	なし	(S-5に相当)
Ⅱ	5%未満	(S-4に相当)
Ⅲ	5%以上～10%未満	(S-3に相当)
Ⅳ	10%以上	(S-2に相当)

表-13　変状形態指標

変状形態指標	
状　態	主な変状形態
A	ピンホール・割れ・変色
B	ひび割れ
C	剥がれ・浮き
D	漏水
X	変状無し

最終的には、「変状・付着性能・耐摩耗性」の3項目について判定基準を設定することが適切であると考えるが、モニタリング初期の現段階においては、付着性能・耐摩耗性について評価することは難しいことから、本検討においては目視による変状段階の判定基準のみ検討することとした。

なお、本検討における判定基準については、監視調査とその結論が限られた期間の中でのデータに基づいて行ったものであることから、工法の有効性を直接決定するものではなく、それを検討するためのひとつの判断材料として位置づけるものとする。

目視調査の結果より、変状箇所全体面積に対する変状の密度を概ね10%程度と概定し、構造物全体に対する変状面積率を算定し、劣化グレード判定を行った。便宜的に健全度評価に読み替えることにより、単一劣化曲線による劣化予測を行うことも可能となる（**表-14**）。

表-14　劣化判定総括表

項目	1号水路橋		3号水路橋	
	側 壁	底 版	側 壁	底 版
全体面積（m^2）	87.17	65.77	107.59	86.26
変状面積（m^2）	0.028	0.00	0.00	0.059
変状面積率（%）	0.032	-	-	0.684
劣化グレード	T-Ⅱ-C	T-Ⅰ-X	T-Ⅰ-X	T-Ⅱ-C
S評価	S-4	S-5	S-5	S-4

g) 今後の予定

次年度以降も、監視計画に基づいてモニタリング調査を継続するとともに、寒冷地における再補修技術に関する試験施工の結果を総合的に検証していきたい。

あとがき

寒冷地におけるストックマネジメント技術は、積雪寒冷条件での機能診断の実践とともに、補修後の寒冷環境下での検証結果を踏まえることにより、更なる向上が図られることが期待される。

次年度は、引き続き関係開発建設部による補修後のモニタリング経過を報告するとともに、寒冷地における機能診断と補修に関する調査・試験結果を総合的に検討し、とりまとめる予定である。

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)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.29-34,2010
2)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
3)農林水産省農村振興局:土地改良事業計画設計基準 設計「水路工」基準書 技術書,pp.156,2001
4)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
5)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
6)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
7)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
8)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
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.10,2006
10)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.266,2006

キーワード：用水路、ストックマネジメント、コンクリート開水路、補修、積雪寒冷地