

平成28年度

積雪寒冷地における用水路の補修工法について —コンクリート表面被覆工法のモニタリング結果—

札幌開発建設部 農業計画課 ○砂原 勝美
五十嵐 壽晃

積雪寒冷地におけるコンクリート用水路の凍害対策として、補修工法の有効性を検証するために、幌加内幹線用水路において選定した3工法（無機系韌性モルタル工法，無機系ポリマーセメントモルタル工法，有機系ポリウレタン樹脂工法）における経年変化についての検証結果を報告するものである。

キーワード：ライフサイクルコスト、長寿命化、維持・管理

1. はじめに

地域特性に応じたストックマネジメント技術の確立を目指した取り組みとして、積雪寒冷地におけるコンクリート用水路の凍害補修工法の有効性について検証した。

北海道の農業用水路は、部材厚が薄いうえに日射，寒冷の繰り返しによる凍結融解作用を受け、コンクリート表面には凍害に起因した劣化が顕著に現れる。この対策として、様々な補修工法が開発されているものの、現在のところ、有効な工法は明確にはなっていない。

このため、凍害に対する補修工法を確立していくことが、積雪寒冷地における既存ストックの長寿命化を図るうえで極めて重要な課題となっている。

平成22年度に、道内でも有数の厳しい寒冷条件下で凍害劣化が見られる幌加内幹線用水路（図-1）において凍害補修工法の試験施工を実施した。本報告は、補修工事後、5か年間のモニタリング調査結果について報告する。

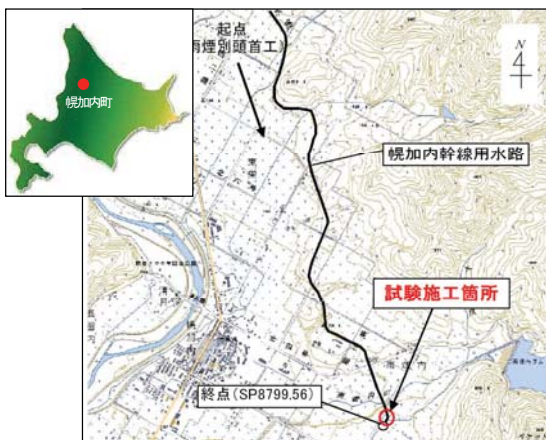


図-1 試験施工位置図

2. モニタリング調査の内容

(1) 施設概要

幌加内幹線用水路は、直轄かんがい排水事業幌加内地区により昭和41年～昭和45年に造成された全延長8.8kmの農業用水路である。施設型式は、現場打ち鉄筋コンクリート構造のフルーム型水路（B=2.00m×H=1.55m）である。造成後、約40年以上が経過しているため、全体的に凍害によるコンクリートの表面劣化が著しい状況にある。

コンクリート補修工法の試験施工は、補修工法を行う母材の条件を変えて実施した。写真-1に示した既設水中部（用水路），既設気中部（門柱），新材気中部（操作台 ※打替え）の3地点を選定した。



写真-1 コンクリート補修工法の母材条件

(2) 環境条件

当該地域は冬期と夏期の寒暖差が極めて大きい内陸性気候である。冬期は平均気温がマイナスで推移するなかで日中の気温がプラスになるなど、凍結融解を繰り返す気象条件下に置かれる。特に南西向きの中気中部では、日射の影響により他の部位よりもその発生回数が多くなり、劣化の進行が早くなる。

(3) 補修工法

凍結融解への抵抗性、ひび割れに対する追従性、湿潤・低温時の施工能力、防水性、経済性に着目し、無機系、有機系の表面被覆工法の中から図-2に示した3工法を選定した。これらは、用水路(3.0m区間×3箇所)および3カ所の分水門(図-3)に施工した。

なお、以降、各工法をA～C工法に略称する。

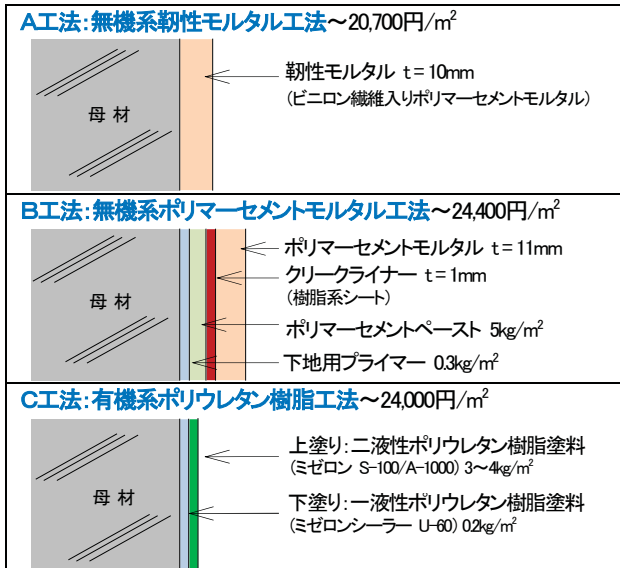


図-2 試験施工した表面被覆工法

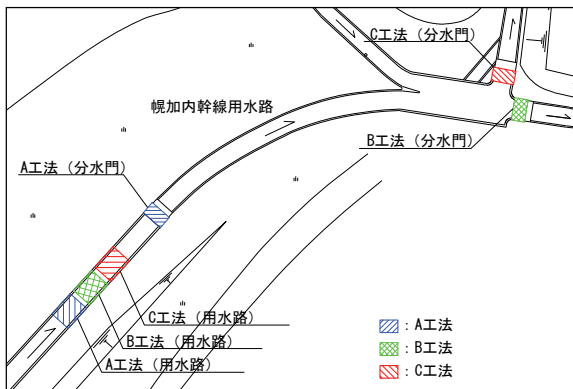


図-3 表面被覆工法施工位置

(4) 調査項目

① 目視調査

外観目視により被覆材の変状(ひび割れ、亀裂、摩耗、浮き、剥離等)の位置や程度を把握し、継続的に観察することで各工法の劣化状況を比較する。

② 修復材厚調査

予め母材に設置した摩耗ピンの長さの測定(電子ノギスで計測)により流水あるいは風雨による摩耗量を把握し、各工法の耐摩耗性を比較する。

③ 付着強度試験

被覆材の付着力測定(建研式付着強度試験)により付着強度の変化量を把握し、母材との付着性を比較する。

④ 中性化試験

母材の中性化深さの測定(ドリル法)により中性化の進行度を把握し、被覆材による外部劣化因子の遮断効果を比較する。

⑤ ひずみと温度計測

被覆材表面のひずみ・温度および躯体背面の地中温度の計測により凍結融解作用あるいは外力作用に伴う変位量を把握し、被覆材のひび割れ発生状況や付着強度との関係性から被覆材の劣化の進行度を比較する。

観測機器の配置は、図-4に示したとおりで、データ計測は、2時間のインターバルとし、データロガーにて記録を蓄積した。

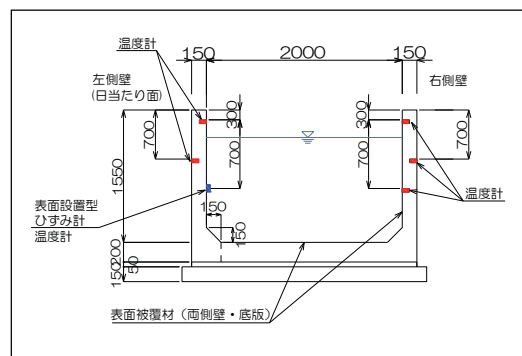


図-4 用水路の観測機器配置図

3. モニタリング調査結果

a) 目視調査

表-1に母材条件ごとの各工法の変状箇所数の推移を示した。A工法、C工法の変状は少なかったが、B工法は、多数の変状を確認し、これらは年々増加傾向にある。

表-1 変状箇所数の推移(単位:箇所)

母材条件	年度	A工法	B工法	C工法
既設水中部 (用水路)	H23	0	5	1
	H24	1(+1)	17(+12)	1(+0)
	H25	1(+0)	20(+3)	1(+0)
	H26	1(+0)	31(+11)	1(+0)
	H27	1(+0)	39(+8)	2(+1)
既設気中部 (門柱)	H23	0	23	2
	H24	0(+0)	41(+18)	2(+0)
	H25	0(+0)	61(+20)	4(+2)
	H26	5(+5)	79(+18)	6(+2)
	H27	5(+0)	98(+19)	12(+6)
新材気中部 (操作台)	H23	2	13	6
	H24	7(+5)	42(+29)	6(+0)
	H25	18(+11)	74(+32)	7(+1)
	H26	25(+7)	102(+28)	7(+0)
	H27	29(+4)	116(+14)	7(+0)

① 既設水中部（用水路）

A工法(写真-2)は、天端にひび割れがみられるが、進行性の変状は認められない。B工法(写真-3)は、側壁天端付近にひび割れが多数みられ、ひび割れ箇所数とともに幅、長さが増加している。C工法(写真-4)は、既設との境界で長さ2cmほどの横亀裂を確認し、施工後5年目に縦方向への亀裂を確認した。



写真-2 A工法の用水路側壁面

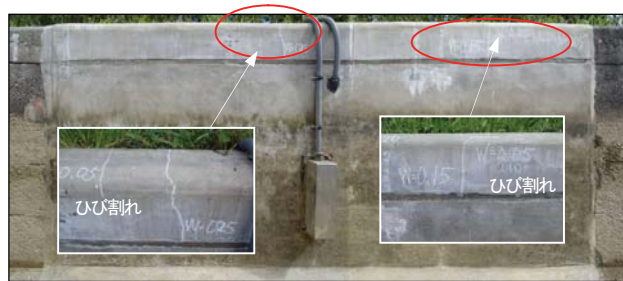


写真-3 B工法の用水路側壁面



写真-4 C工法の用水路側壁面

② 既設気中部（門柱）

A工法(写真-5)は、ひび割れ等がみられるが進行性の変状は認められない。

B工法(写真-6)は、門柱に沿って連続した縦方向のひび割れがみられ、エフロレンスの流出を伴う。ひび割れ数、幅、長さは、用水路と同様に経年とともに増加している。門柱の基部においては、3年目の春に被覆材が剥落した。

C工法(写真-7)は、タラップまわりや既設との境界で、穴や亀裂を確認したが進行性の変状は認められない。また、H26年度調査で門柱側面に水分に起因した膨れを確認したため、H27年度にサーモグラフィー調査と打音調査を行った結果、多数の被覆材の浮きを確認した。

Katumi Sunahara, Tositeru Igarasi

の範囲は確認されなかった。



写真-5 A工法の門柱の状態



写真-6 B工法の門柱の状態

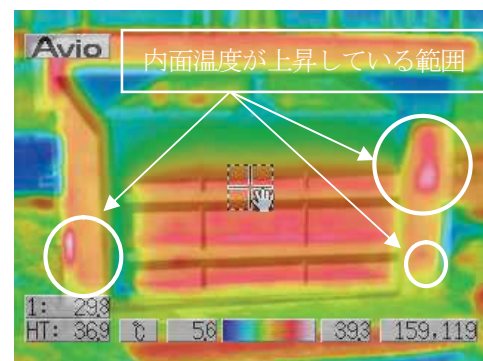
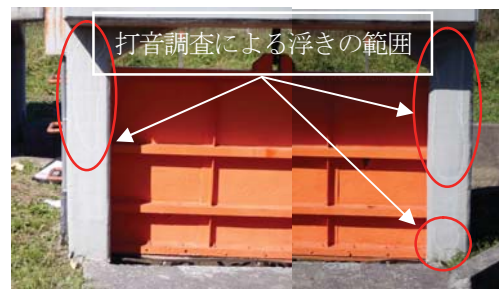


写真-7 C工法の門柱の状態

③ 新材気中部 (操作台)

A工法(写真-8)は、操作台上面に亀甲状のひび割れがみられた。このひび割れは、2年目から部分的に20～30cm四方の範囲で出現し、4年目にはほぼ全面積にまで広がっている。

B工法(写真-9)は、張出スラブの4側面ともに横方向のひび割れがみられた。これらは、上部と下部に連続して発生しており、経年とともにひび割れ幅が増幅し、エフロッセンスの流出量も増えている状況である。

C工法(写真-10)は、張出スラブ側面のピンホールおよび操作台上面の気泡や破れ箇所を確認したが、進行性の変状は認められない。H26年度調査では、新たに門柱戸当たり付近に亀裂が確認された。

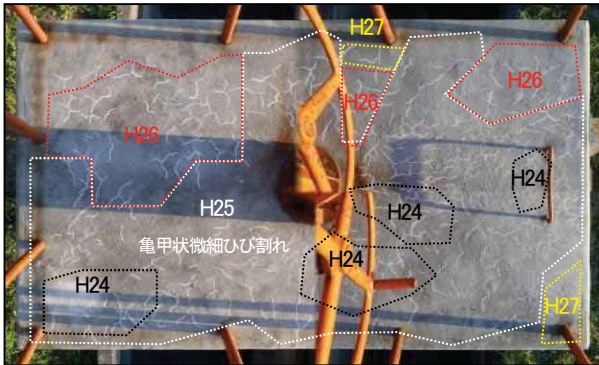


写真-8 A工法の操作台上面の状態(上から)



写真-9 B工法の張出スラブ側面の状態



写真-10 C工法の門柱戸当たり付近の亀裂

b) 修復材厚調査

表-2に各工法の摩耗量の推移を示した。初年度に対して、年々、摩耗量が減少している結果であるが、これらは、測定面が平滑ではなく微細な凹凸があること、いずれも電子ノギスの計測による0.1mm程度のわずかな計測値であることから、測定誤差の範疇とも伺える。したがって、表面状態の目視や触診とあわせて鑑みると、各工法の耐摩耗性に明瞭な差は現れていないと判断している。

表-2 摩耗量の推移(単位:mm)

母材条件	年度	A工法	B工法	C工法
既設水中部 (用水路)	H23	0.32	0.25	0.25
	H24	0.10	0.09	0.13
	H25	0.12	0.14	0.08
	H26	0.12	0.14	0.09
	H27	0.10	0.11	0.08
既設気中部 (門柱)	H23	0.27	0.14	0.22
	H24	0.13	0.09	0.11
	H25	0.02	0.03	0.02
	H26	0.03	0.02	0.02
	H27	0.03	0.04	0.02

c) 付着強度試験

表-3に各工法の付着強度の推移を示した。A工法は、基準値(1.0N/mm²)を上回っており、破断は母材または界面である。(写真-11)基準値に満たない箇所は、母材で破断しているため、劣化によるものと想定される。

B工法の用水路部は、年々強度が低下し基準値を下回っている。破断は、母材、基材等さまざまであり、強度にもばらつきがある。(写真-12)門柱では、全て基準値を下回り、カッターを入れると樹脂系シートとポリマーセメントペーストの界面で剥がれ落ちる。(写真-13)

C工法は、すべて母材の破断であり、被覆材そのものの破断は確認されていない。

表-3 付着強度の推移(単位:N/mm²)

母材条件	年度	A工法	B工法	C工法
既設水中部 (用水路)	H23	2.27	1.31	3.44
	H24	2.15	1.21	2.92
	H25	2.50	0.44	2.21
	H26	1.45	0.82	2.86
	H27	2.23	0.58	3.11
既設気中部 (門柱)	H23	1.84	0.71	2.58
	H24	1.90	0.78	2.78
	H25	0.28	0.00	1.89
	H26	0.38	0.19	0.25
	H27	1.19	0.00	0.78

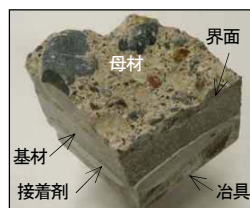


写真-11 A工法破断面

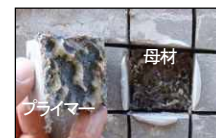


写真-12 B工法用水路部



写真-13 B工法門柱部

d) 中性化試験

ドリル法を実施したが、ドリル粉に被覆材が混入するため、計測困難となった。このため、付着強度の破断片に試薬を噴霧し、母材の中性化深さを直接観察した。(写真-14)

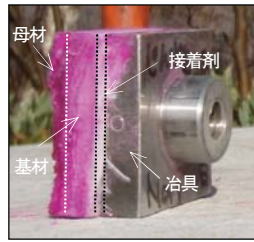


写真-14 中性化深さ

この結果、いずれの工法も中性化深さはゼロであった。

各工法の外部劣化因子の遮断効果に明瞭な差は現れていない。

e) ひずみと温度計測

表-4に用水路の年度毎のひずみのピーク値と変化量を示した。図-5にはその鉛直方向のひずみ経時変化グラフを(H23.1.15~H27.12.9)を示した。なお、H26年度から母材のひずみ計を1ヶ所追加し、被覆材との関係性を把握した。

表-4 用水路ひずみのピーク値と変化量(単位: μm)

工法	時期	H23年		H24年		H25年		H26年		H27年	
		ひずみ	変化量	ひずみ	変化量	ひずみ	変化量	ひずみ	変化量	ひずみ	変化量
A工法	冬	-115	-115	-23	-126	98	-86	103	-84	142	-57
	春	98	213	124	147	180	82	193	90	210	68
	秋	103	5	184	60	187	7	199	6	214	4
B工法	冬	-155	-155	177	-110	161	-330	413	-196	561	-118
	春	99	254	371	194	476	315	611	198	718	157
	秋	287	188	491	120	609	133	679	68	751	33
C工法	冬	-71	-71	110	-217	239	-99	245	-144	284	-116
	春	217	288	328	218	379	140	417	172	407	123
	秋	327	110	338	10	389	10	400	-17	400	-7
母材	冬	-	-	-	-	-	-	-	-	-124	-124
	春	-	-	-	-	-	-	-	-	-54	70
	秋	-	-	-	-	-	-	-	-	-38	16

ひずみの経時変化は、大別して冬期(2月下旬~4月上旬)、春期(5月下旬~6月上旬)、秋期(10月下旬~11月下旬)にそれぞれ伸収縮のピークがみられ、これを毎年繰り返している。これは、気温の変化や側壁面への日射時間および用水路側壁の変形に伴う伸収縮によるものである。冬期は、積雪深の増加とともに積雪荷重や凍上力、雪底力といった寒冷地特殊荷重の作用により側壁が水路内側に變形し収縮する。春期は、融雪、通水開始とともに一気に伸び領域に移行し、夏期の日射による昼夜変動を繰り返しながら秋期に伸びのピークを迎え、降雪とともに再度、収縮を開始する。

A工法は、毎年、同じような経時変化をしており、伸収縮量は年々減っている。全体的に横ばいに経過し特異な挙動はみられない。積雪深とも相関的な収縮過程を経過している。

B工法は、毎年、異なる経時変化をしており、伸収縮量は年々増加している。全体的に右上がり経過し、降雪直前まで伸び量が增大し、秋期のピーク値が大きいことや降雪後に一気に収縮するところに特異な挙動を示している。これは、母材との付着強度の低下が主要因と考えられ、被覆材そのものの伸収縮を示していると推察される。また、目視で確認できない無数の微細ひび割れが入り収縮することにより、ひずみ計センサー間が広がり、ひずみ計のデータ結果では、伸びで表示されていると推察される。

C工法は、母材のひずみと同様な経時変化を示している。冬期の収縮過程も近似している。これは、有機系の被覆材のため、微細なひび割れが入らず、母材との付着力も高いため、母材に追従し、同じ挙動を示したものと考えられる。

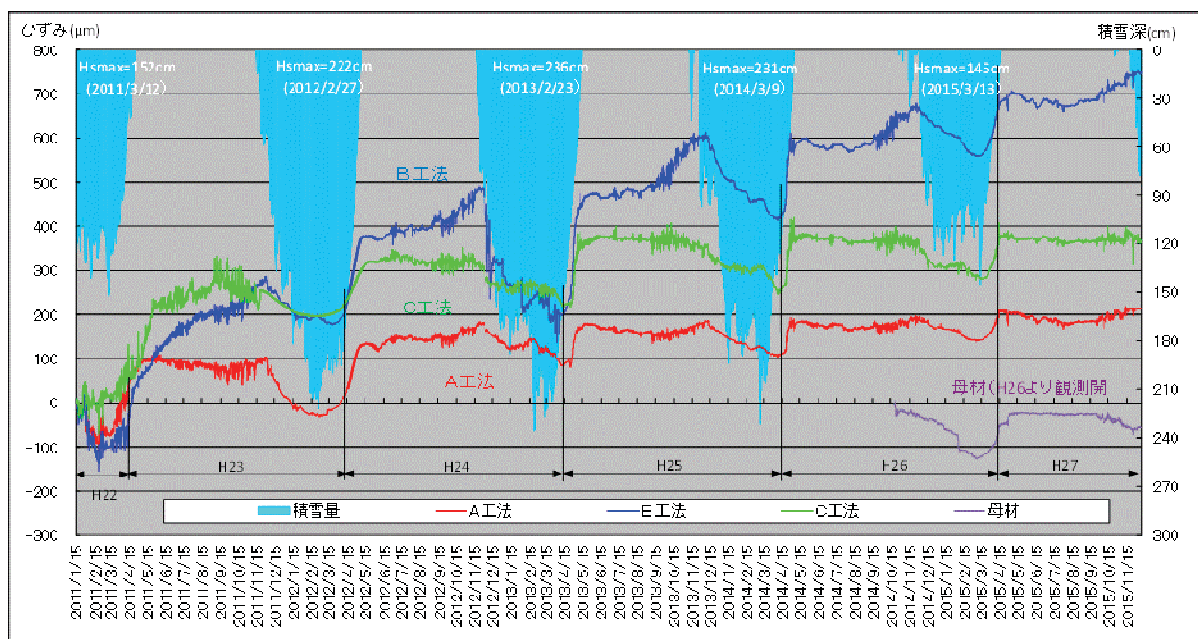


図-5 用水路の表面ひずみの経時変化

4. 各工法の評価

a) A工法

母材が新材の場合において多数のひび割れがみられ、年々増加傾向にある。これは、新しいコンクリートと被覆材の収縮率の違いにより界面で互いに異なる挙動を示し、それをポリマー成分の付着力が拘束することで初期のひび割れが入る。このひび割れや界面に水分が供給されて凍結融解作用を受け、経年とともに全体的に広がったものと推察する。

一方、母材が既設の場合は、温度収縮によるひび割れがみられるが、進行性のある変状は認められない。これは、既設コンクリートには新材のような収縮が起こらないため、被覆材そのものの収縮率とポリマー成分の付着力の関係が適切であることを示している。したがって、現段階においては、母材が既設の場合には、寒冷地に適用可能な工法であると判断できる。新材の場合には、コンクリートと被覆材の収縮率の差によって付着面に応力がかかりひび割れが発生したものと推察されるため、ひび割れ対策が必要だと思われる。

b) B工法

どの部位においても、温度収縮による多数のひび割れ等の変状を確認した。これらのひび割れは、乾燥収縮による初期ひび割れ後に、水分の供給を受け凍結融解作用により経年とともに著しく増加しているものと推察する。ひび割れにはエフロッセンスの流出を伴っているものが多くみられることから、降雨水や融雪水の内面浸透経路があるものと想定される。この浸透水は、界面の広い範囲に相当量の供給があり、これらの凍結膨張が最終的に被覆材の剥落に繋がるほどの外力となって作用していると推察する。

また、付着強度の低下も著しく、用水路の一部ではプライマーの硬化不良箇所があり、分水門では、樹脂系シートで剥離するなど、非常に不安定であった。

この結果は、母材の湿潤状態、水分供給のほか、冬期間の施工管理方法にも影響を受けている可能性がある。本工法の寒冷地への適用には、プライマーの種類、各層の接着方式、養生方法など再考すべき課題がある。

c) C工法

被覆材の亀裂等の変状は少ないものの、H27年度の打音調査等で、分水門に広範囲の浮きを確認した。

本工法は唯一の有機系である。有機系は、結合材に有機系樹脂を使用するので被覆が緻密となる。しかし、コンクリート中の水分を外部に発散させにくいデメリットを持ち、背面からのしみ出しがあった場合は、容易に膨

らむことが懸念される。また、浮き内部に水が溜まっている箇所もあり、母材の凍害を促進させる可能性がある」と推察される。

d) 総合評価

表-5に被覆材と母材条件の適用性について、現段階の調査結果に基づく評価結果を示した。評価項目は、モニタリング調査結果から、a) 変状程度、b) 耐摩耗性、c) 母材との付着性、d) 劣化因子の遮断効果、e) 劣化の進行度の5項目とし、変状程度や経年の増加傾向等に応じて相対的なものとした。なお、新材気中部は、付着強度試験を実施していないため未評価とした。

5年間の調査結果においては、母材条件が既設の場合はA工法およびC工法が優れていると評価した。新材の場合は、C工法が優れていると評価したが、有機系樹脂の透水性が課題となっている。B工法については、プライマーの種類、各層の接着方式、養生方法など再考すべき課題が残る結果となっている。

表-5 被覆材と母材条件の適用性評価

	項目	A工法	B工法	C工法
既設 水 中 部 (用水路)	a) 変状程度	○	△	○
	b) 耐摩耗性	○	○	○
	c) 母材との付着性	○	×	○
	d) 劣化因子遮断	○	○	○
	e) 劣化の進行度	○	△	○
	判定	○	×	○
既設 気 中 部 (雨柱)	a) 変状程度	○	×	△
	b) 耐摩耗性	○	○	○
	c) 母材との付着性	△	×	△
	d) 劣化因子遮断	○	○	○
	e) 劣化の進行度	○	×	○
	判定	○	×	×
新設 気 中 部 (操作台)	a) 変状程度	△	×	○
	b) 耐摩耗性	○	○	○
	c) 母材との付着性	—	—	—
	d) 劣化因子遮断	○	○	○
	e) 劣化の進行度	△	△	○
	判定	△	△	○

5. おわりに

本報告は、厳しい寒冷条件下におかれた幌加内幹線用水路で試験施工を実施し、5年間のモニタリング調査の結果について評価を行った。

各工法においては、再考すべき課題が残る結果となったが、本報告内容を参考に、他の地区でも試験施工を重ね、コンクリート用水路の補修工法の実用化を望むものである。