

# 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（第2報）—

札幌開発建設部 農業整備課 ○岡下 敏明  
石岡 浩一  
北村 英士

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、コンクリート表面の凍害劣化に対する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凍害抵抗性、付着性、ひび割れ追従性、防水性、耐候性に優れた工法として選定した3工法（靱性モルタルライニング工法、クリークライナー工法、OM水路ライニング工法）の施工初期（施工後3年目）における経年変化について、経過報告するものである。

キーワード：長寿命化、維持・管理、凍害劣化、用水路補修、ストックマネジメント

## 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、補修工事から3年目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。

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：スケーリングが著しいため打替え後に表面被覆）の3地点を選定した。



写真-1 試験施工の母材条件

### (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、写真-2)に施工した。

なお、以降、各工法をA~C工法に略称する。

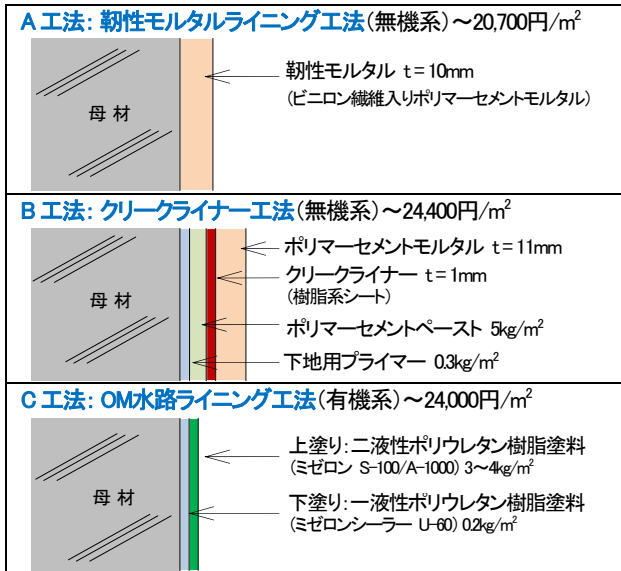


図-2 試験施工した表面被覆工法

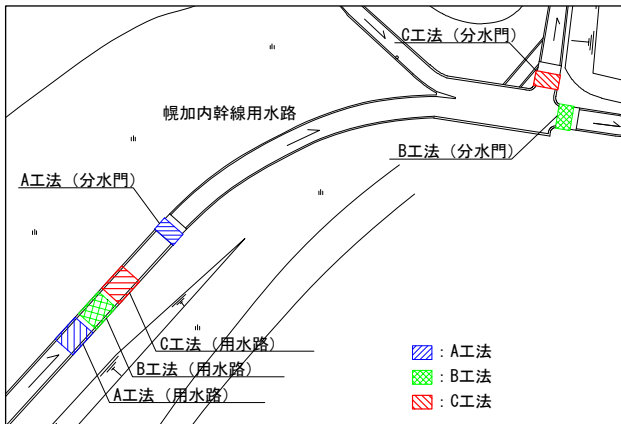


図-3 表面被覆工法施工位置

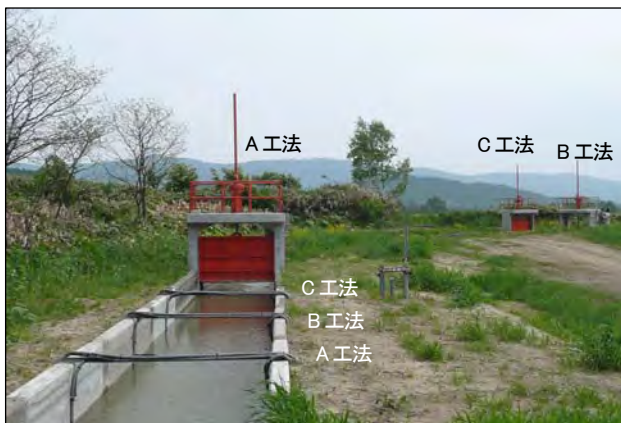


写真-2 表面被覆工法の施工状況

### (4) 調査項目

#### a) 目視調査

外観目視により被覆材の変状(ひび割れ, 亀裂, 磨耗, 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。

#### b) 修復材厚調査

補修前に予め母材に設置した摩耗ピンの長さを測定(電子ノギスで計測)して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。

#### c) 付着強度試験

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

#### d) 中性化試験

母材の中性化深さを測定(ドリル法)して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。

#### e) 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を計測して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および図-5に示したとおりとした。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。

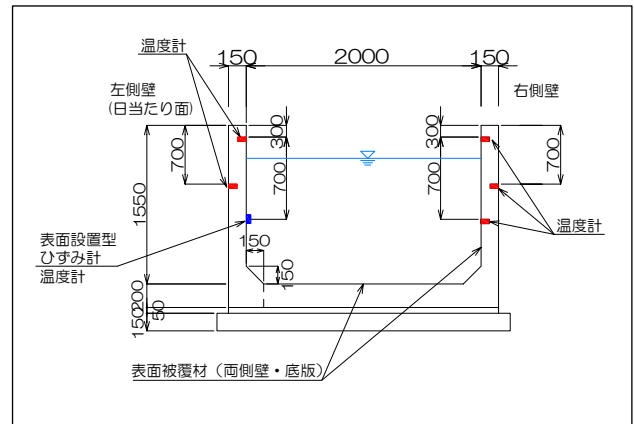


図-4 用水路の観測機器配置図

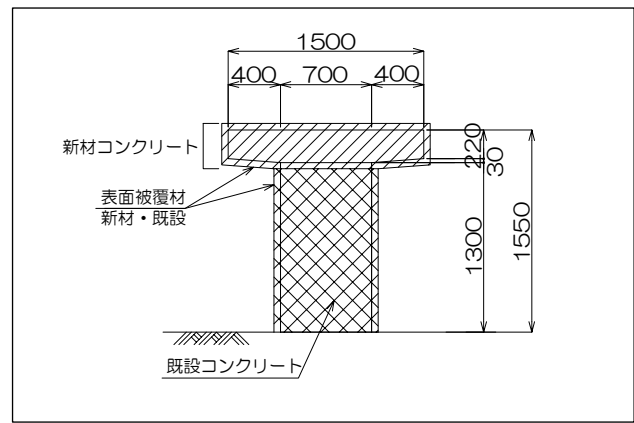


図-5 分水門の観測機器配置図

### 3. モニタリング調査結果

#### (1) 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, C工法の変状は少なかった。B工法については、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)
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)
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)

#### a) 既設水中部 (用水路)

A工法(写真-3), B工法(写真-4)とも、温度収縮によるひび割れがみられた。B工法は、側壁天端付近に微細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-5)は、施工直後に天端に長さ2cmほどの亀裂を確認したが、進行していない。



写真-3 A工法の用水路側壁面



写真-4 B工法の用水路側壁面



写真-5 C工法の用水路側壁面

#### b) 既設気中部 (門柱)

A工法(写真-6)は、現在においてもひび割れ等の変状はみられず良好な状態である。

B工法(写真-7)は、門柱に沿って連続した縦方向の温度収縮によるひび割れがみられた。これらのひび割れには、エフロの流出を伴う。ひび割れ数、幅、長さは、用水路と同様に経年とともに増加の一途を辿る。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-8)は、タラップまわりや既設との境界において、施工時の欠陥と思われる穴や亀裂を確認した。しかし、経年における変状の進行は認められない。



写真-6 A工法の門柱の状態



写真-7 B工法の門柱の状態



写真-8 C工法の門柱の状態

c) 新材気中部 (操作台)

A工法(写真-9)は、操作台上面に亀甲状の微細ひび割れがみられた。これらは、初年度はみられず、2年目から部分的に20~30cm四方の範囲で出現した。3年目には全面積の半分以上にまで広がっている。

B工法(写真-10)は、張出スラブの側面(4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、エフロの流出量も増えてきている状態である。

C工法(写真-11)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。これらは、施工時に発生したものである。現在において、ピンホールまわりの剥がれや破れ範囲の増加、気泡の破裂などといった劣化の進行は認められない。

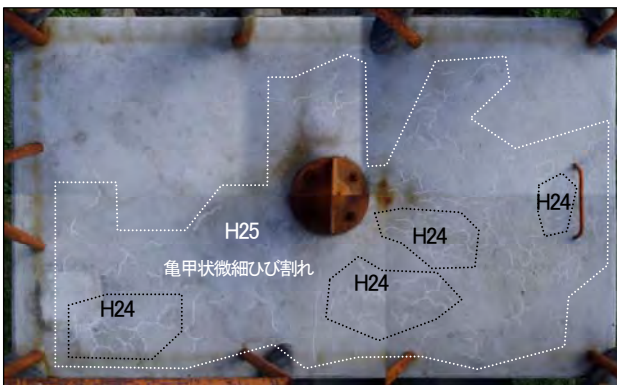


写真-9 A工法の操作台上面の状態 (上から)



写真-10 B工法の張出スラブ側面の状態

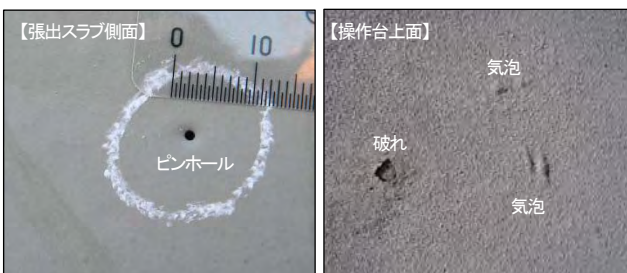


写真-11 C工法のピンホール、破れ、気泡の状態

(2) 修復材厚調査

表-2に各工法の磨耗量の推移を示した。初年度に対して、年々、磨耗量が減少している。また、各工法の差もみられる。しかし、これらは、測定面が平滑ではなく微細な凹凸があること、かつ、いずれも電子ノギスの計測による0.1mm以下のわずかなレベルであることから、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現段階においては、各工法の耐磨耗性に明瞭な差は現れていないと判断した。

表-2 磨耗量の推移 (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
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

(3) 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(写真-12)の破断面は、母材または界面で基準値1.0N/mm<sup>2</sup>(土木学会: 表面保護工法設計施工指針案 工種別マニュアル(編)を上回っている。

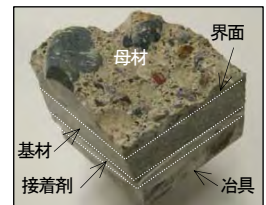


写真-12 A工法破断面

B工法の用水路部は、年々強度が低下し今年度は基準値を下回った。破断面は、母材、基材等さまざまであり、強度にばらつきがある。側壁上部では、プライマーの硬化不良箇所(写真-13)を確認している。門柱では、当初から基準値を下回り、現在では強度がゼロになった。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(写真-14)で自然に剥がれ落ちる。

C工法は、強度が年々低下しているが、これらはすべて母材破断であり、母材の強度を示しているものである。工法そのものの強度の低下はみられない。

表-3 付着強度の推移 (単位: N/mm<sup>2</sup>)

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
既設気中部 (門柱)	H23	1.84	0.71	2.58
	H24	1.90	0.78	2.78
	H25	1.85	0.00	1.89



写真-13 B工法用水路部



写真-14 B工法門柱部

**(4) 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-15)

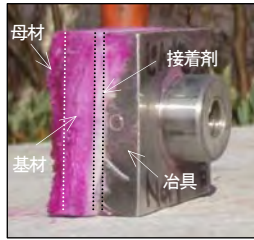


写真-15 中性化深さ

この結果、いずれの工法も中性化深さはゼロであった。

現在のところ、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。

**(5) ひずみと温度計測**

図-6に用水路の鉛直方向のひずみ経時変化グラフ(H23.1.15~H25.10.9)を示した。表-4にこのグラフが示す年度毎のひずみのピーク値と変化量を示した。

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(2011)		H24年(2012)		H25年(2013)	
		ひずみ	変化量	ひずみ	変化量	ひずみ	変化量
A	冬	-115	-115	-23	-126	98	-86
	春	98	213	124	147	180	82
	秋	103	5	184	60	165	-15
B	冬	-155	-155	177	-110	161	-330
	春	99	254	371	194	476	315
	秋	287	188	491	120	547	71
C	冬	-71	-71	110	-217	239	-99
	春	217	288	328	218	379	140
	秋	327	110	338	10	389	10

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変形し収縮する。春期からは、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、B工法は表面が無機系ではあるが、内部の樹脂系シートが、エチレンと酢酸ビニルの合成樹脂であるため、有機系のC工法と同等以上の伸びを示すものと推察される。

C工法は、A工法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。A工法との違いは、初期の伸び量が多いことである。これは、無機系に比べ樹脂成分の含有量が多いことによる塑性変形量と考えられる。

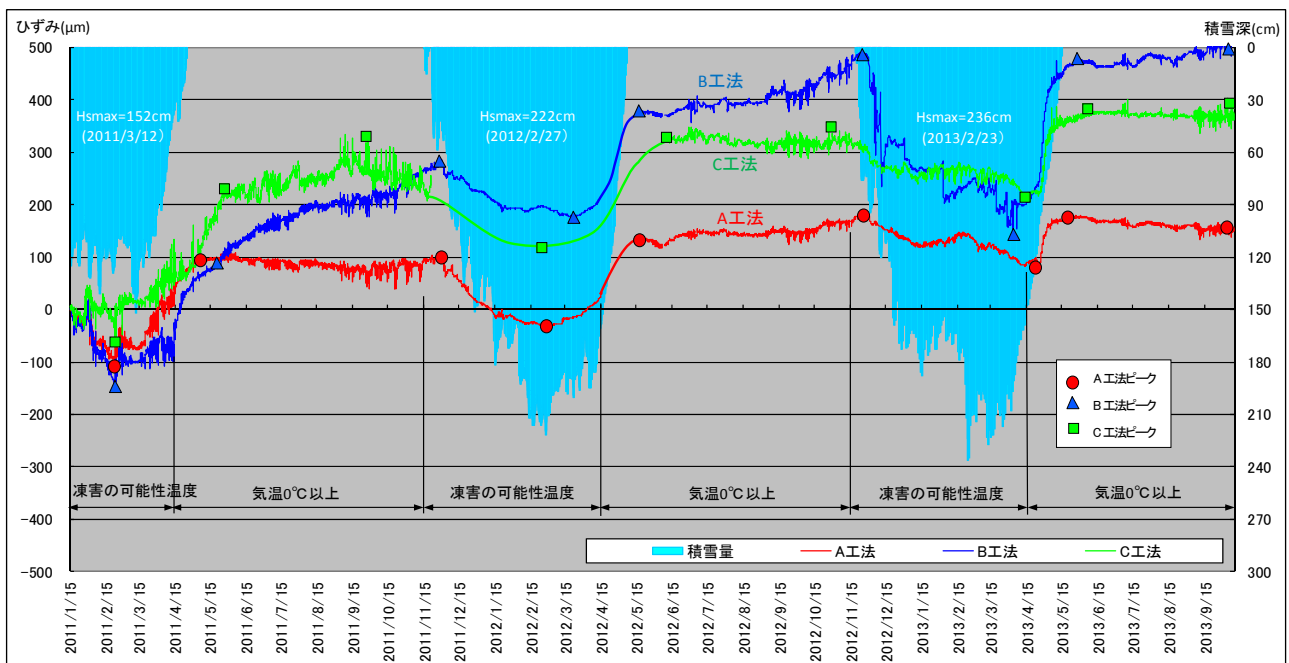


図-6 用水路の表面ひずみの経時変化

## 4. 各工法の評価

### (1) A工法

母材が新材の場合において多数の微細ひび割れがみられ、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、進行性のある変状がなかった。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、今後の経過をみて判断する必要がある。

### (2) B工法

どの部位においても、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、エフロレ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。この浸透水は界面に相当範囲の供給があり、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、一方の分水門では、樹脂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、水分の供給のほか、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。

### (3) C工法

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。無機系は、セメント等の結合材を使用するのである程度の透湿性、透気性を有する。このため、被覆厚さが同じ場合、有機系の方が劣化因子の遮断性能が高い。しかし、コンクリート中の水分を外部に発散させにくいといったデメリットを持ち、背面からの滲み出しがあった場合は、容易に膨らむことが懸念され、また、冬期施工においては温度管理や水滴垂れなどの対処が課題となる。現在のところ、水分に起因した変状は特にない。付着強度も十分であり経年低下もみられない。

### (4) 総合評価

表-5に母材条件毎の適用性について、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、モニタリング調査項目にあわせて、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。現段階においては、母材条件が既設の場合はA工法およびC工法、新材の場合は、C工法が優れる結果であった。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。

表-5 母材条件毎の適用性評価

	項目	A工法	B工法	C工法
		韌性モルタル ライニング工法	クレーク ライナー工法	OM水路 ライニング工法
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 (門柱)	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	○	×	○
新材気 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

本報告では、3カ年の調査結果に基づき、現在の変状程度をもとに各工法を評価した。工法毎に劣化の進行や母材との付着性に徐々に差が現れてきているので、今後とも着目して行きたい。

特に、ひずみの経時変化は、年ごとに各工法の伸縮量の増減に違いがみられる。これは、被覆材の材質や日射による温度変化、あるいは寒冷地特殊荷重の作用などによるものと推察される。このため、これらのひずみ変化の要因を分析し、被覆材の経年的な劣化特性を検証していきたい。

今後も継続してモニタリング調査を行い、寒冷地特有の劣化症状とそれに適合した補修工法の確立に一步でも近づきたいと考えている。