

平成23年度

# コンクリート用水路の表面補修に係る 試験施工およびモニタリングについて(第1報)

札幌開発建設部 農業整備課 ○北村 英士  
会沢 義徳  
西田 真弓

ストックマネジメント技術高度化事業により、積雪寒冷地におけるコンクリート用水路表面の凍害劣化に対する補修工法の選定に向け、試験施工およびモニタリングを実施し、各補修工法の有効性について検証を行った。

本報は、幌加内幹線用水路にて実施した試験施工において、検討した着目点および評価を前提として、モニタリング計画、モニタリング調査（初年度）結果について報告するものである。

キーワード：長寿命化、凍害劣化、用水路補修、ストックマネジメント

## 1. はじめに

既存の農業水利施設の有効活用を通じたライフサイクルコストの低減を図っていくためには、施設の長寿命化のための機能保全計画の策定に当たって必要な診断、評価、対策工法といったストックマネジメント技術を確立させる必要がある。

「ストックマネジメント技術高度化事業」は、施設の診断、劣化予測、評価手法の確立及び対策工法の有効性、耐久性の検証などを行い、機能保全計画の精度を高めることを目的として平成20年度より制度化された。施設の立地条件や特性に応じた技術の確立と高度化に必要な取組として、①破損事故等の要因調査、②診断技術の適用と評価、③対策工法の適用と評価、④リスク評価の実証調査が実施されている。

これらの取組の内、「対策工法の適用と評価」として、積雪寒冷地におけるコンクリート用水路凍害補修工法の有効性について検証した。

農業用水路のような部材が薄く、なおかつ流水の影響を受けるコンクリート構造物の表面に対する凍害劣化の有効な補修工法は明確にはなっておらず、対策工法の確立を図っていくことは、既存ストックの有効利用上、極めて重要な課題である。

本報は、道内でも有数の豪雪地帯に位置し、凍害によるコンクリート劣化が進行している幌加内幹線用水路を対象施設とし、試験施工を実施（H22.9月～12月施工）した。これに係る補修工法の選定、モニタリング計画および初年度のモニタリング結果について報告するものである。

## 2. 対象施設の概要

### (1) 地域特性

幌加内幹線用水路は、上川管内の西部に位置する幌加内町の農業基幹水利施設で（図-1）、同町（観測所：幌加内）の気象条件は、最低気温-26.4℃、最高気温33.7℃、最深積雪は221cmを記録し、冬季と夏季の寒暖差が極めて大きい内陸性気候の積雪寒冷地である。



図-1 位置図

表-1 幌加内町アメダスデータ（2010年）

月	最高気温 (℃)	最低気温 (℃)	気温差 (℃)	最深積雪 (cm)
1	3.2	-26.1	29.3	202
2	8.0	-26.4	34.4	221
3	6.6	-24.6	31.2	211
4	10.6	-11.5	22.1	179
5	24.4	-1.2	25.6	62
6	33.7	4.2	29.5	0
7	30.8	10.2	20.6	0
8	32.3	11.7	20.6	0
9	29.3	2.5	26.8	0
10	21.0	-2.5	23.5	2
11	13.9	-7.1	21.0	69
12	7.9	-20.8	28.7	67

## (2) 対象施設の現状

本用水路は、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8,777mの施設である。雨煙別頭首工より取水し、最大取水量は $2.3\text{m}^3/\text{s}$ 、構造形式の大部分は敷幅 $2.65\text{m}\sim 2.00\text{m}$ 、高さ $1.35\text{m}$ の開水路（コンクリート擁壁水路）である。造成後から約40年が経過しているため、全体的に老朽化が進み、流水による摩耗に加え、凍害によるコンクリート表面の劣化が著しい状況にある。（図-2）

## (3) 試験施工箇所の劣化状況

試験施工箇所は、コンクリートの凍害劣化に対する補修工法の有効性を同一条件下で比較検証するため、用水路末端部のSP.8710.00～SP.8799.56の開水路区間（写真-1）を対象とした。また、凍害の影響が最も顕著に現れていた天端部を打直し、健全化したコンクリートに対しての凍害対策効果を検証するため、開水路区間の近傍に位置している分水門3箇所（写真-2）も試験施工の対象とした。

劣化診断調査を実施した結果、開水路部においては、部分的に凍結融解によるポップアウト（写真-3）が表面から $3\sim 5\text{mm}$ 程度生じているほか、水路内面の摩耗が主な変状であった。分水門については、天端部の凍害によるコンクリートの剥離が著しく、コンクリート内部にまで劣化が進行している状況にあり、門柱部についてもスケーリングによる鉄筋露出（写真-4）が確認された。劣化部以外の本体は、非破壊検査においてコンクリートの圧縮強度は基準値 $21\text{N}/\text{mm}^2$ 以上を確保しており、中性化の進行は見られたものの、鉄筋の腐食度合は小さいと判断した。

調査結果に基づいた健全度評価より、開水路部および門柱部は進展期から加速期に移行する段階（補修レベル）、天端部は加速期から劣化期に移行する段階（補強レベル）と評価した。



写真-1 試験施工箇所の状況（開水路）



写真-2 試験施工箇所の状況（No.3分水門）



写真-3 開水路側壁天端のポップアウト状況



写真-4 スケーリングおよび鉄筋露出の状況（No.1分水門）



図-2 試験施工箇所位置図

### 3. 試験工法の選定

#### (1) 表面保護工法の選定<sup>1)</sup>

試験工法は、劣化状況を踏まえ、凍害対策を重要項目として以下を着目点とした。①凍結融解への抵抗性、②コンクリートひび割れに対する追従性、③湿潤、低温時の施工能力、④防水性（浸透性の抵抗）、⑤経済性、の5項目である。

「表面保護工法 設計施工指針（案）」の選定フローより、表面保護工法として表面被覆工法（有機系、無機系）、表面含浸工法が比較対象となる。ただし、劣化過程が進展期から加速期に該当するため、表-2より表面含浸工法は不適と判断し、凍害抵抗性、付着性、ひび割れに対する追従性、防水性、耐候性を有し、湿潤・低温時でも施工可能となる表-3に示す表面被覆工法（有機系、無機系）①韌性モルタルライニング工法（無機系）、②

クリークライナー工法（無機系）、③OM水路ライニング工法（有機系）の3工法を試験工法として採用した。

上記にて採用した工法を、用水路本体および同一条件下に位置する分水門3門に施工した。分水門においては、打直した天端部の新設コンクリートに対しても、表面被覆を施すこととした。

### 4. 着目点および評価方針

#### (1) 着目点

試験施工の目的は、選定した表面被覆工法3工法の劣化状況を比較し、凍害に対する有効性を検証することである。各工法に対する評価は、劣化要因が凍害であることを踏まえ、外観（ひび割れ、厚さ等）の外、コンクリートの膨張収縮等によるひずみと被覆工法の付着による

表-2 凍害に対する表面保護工法の適用範囲

解説 表4.3.5 凍害に対する表面保護工法の適用範囲

適用対象		工法	表面処理工法			断面修復工法 と表面処理工法 の併用
			表面被覆工法 有機系	表面被覆工法 無機系	表面含浸 工法	
環境	寒冷地	陸上部・内陸部	○	○	○	○
		海上大気中部	○	○	○	○
既設構造物	劣化度	潜伏期	○	○	○	-
		進展期	○	○	△	○
		加速期	△	△	-	○
		劣化期	-	-	-	○
新設構造物			○	○	○	-

表中の○は適用の対象、△は適用する場合に検討が必要、-は適用の対象外を示す。

表-3 表面被覆工法の比較検討表（採用工法）

工法名	表面被覆工(無機系)		表面被覆工(有機系)
	韌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(ポリウレタン樹脂塗料)
概要図			
評価	付着性	○	○
	追従性	○	○
	水理性	○	○
	耐候性	○	○
	凍結融解抵抗	○	○
	経済性	20,700 円/m <sup>2</sup>	24,400 円/m <sup>2</sup>
期待	耐用年数	40年	20年 ※クリークライナー（シート）のみ対象
	総合評価	○ ・水理性、凍結融解抵抗、ひび割れ追従性に優れる。 ・性態は、PCエース工法と同等であるが、経済性、ひび割れ追従性に優れる。	○ ・水理性、凍結融解抵抗、ひび割れ追従性、耐候性に優れ、全ての性能で○評価である。 ・他工法と比較し、経済性に優れる。
施工性	・高潤状態で施工可能。 ・モルタル1層のフック構造であるため、施工が容易で工期の短縮が図れる。 ・セメント系であるため、外気温が5℃以下の施工は硬化不良の懸念があり、水路を掘削し、ヒーター等により温度低下を防止する必要あり。 ・多少の高潤状態でも施工が可能。	・多少の高潤状態でも施工が可能。 ・自然乾燥にやさしい工法。 ・セメント系であるため外気温が5℃以下の施工は硬化不良を起す可能性があり、水路を掘削し、ヒーター等により温度低下を防止する必要あり。 ・多少の高潤状態でも施工が可能。	・下地コンクリートが高潤状態での施工は難しい。（表地調整面の水分量が8%以下であること） ・低温時でも施工可能。 ・速乾性(30~60分で指触乾燥、3時間後には通水可能)なので、工期が短い。 ・火気厳禁、防毒マスクを着用する必要がある。

耐久性について着目した。

また、分水門天端部の新設コンクリートに表面被覆を行うことで、コンクリートの凍害劣化への耐候性を向上させる可能性について着目した。

## (2) 評価方針

前節で述べた着目点を評価するために、1年に1回（落水後）、目視調査および簡易的な計測（修復材厚、付着強度、中性化試験）を実施する。また、一日の最低、最高温度が観測できるように観測間隔を2時間として、ひずみ、温度、地下水位を観測し、凍結融解によるコンクリート内の膨張収縮を把握する。測定データは、データロガーにて記録を蓄積するものとする。

## (3) 観測機器の配置

表面被覆工法の施工位置および観測機器の配置は、図-4～図-6のとおりである。

### a) ひずみ計

ひずみ量により凍結融解に伴う体積変化を把握し、被覆材のひび割れ発生状況との関係性を評価する。

開水路側壁および分水門操作台の補修工法毎に、表面設置型ひずみ計を1台配置する。配置箇所は、ひずみ量が大きく出ることを想定し、日当たり面とした。

### b) 温度計

凍害は、躯体の背面温度に影響されることから、背面温度とひずみ量との関係を把握する。また、気中部・水中部の温度変化の違いと付着強度により、被覆材の劣化の進行性を評価する。

開水路側壁の補修工法毎に5台配置する。配置箇所は、側壁の気中部と水中部に3箇所（右側壁2箇所、左側壁1箇所）、躯体の背面に2箇所（左右各1箇所）とした。

### c) 地下水位計

凍結融解を誘因する地下水の供給を把握し、地下水位とひずみ量との関係より、凍結融解の発生状況も合わせて評価する。

開水路周辺の地下水位の変動を確認するため、躯体近傍（右岸側）に調査孔を設置した。

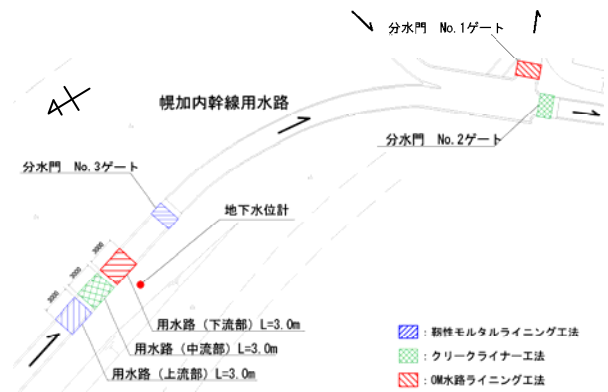


図-4 表面被覆工法施工位置

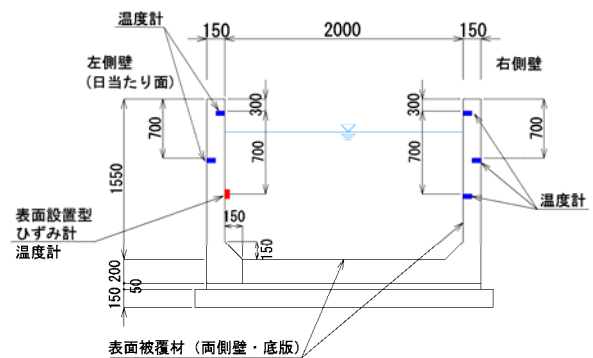


図-5 観測機器配置図（開水路標準図）

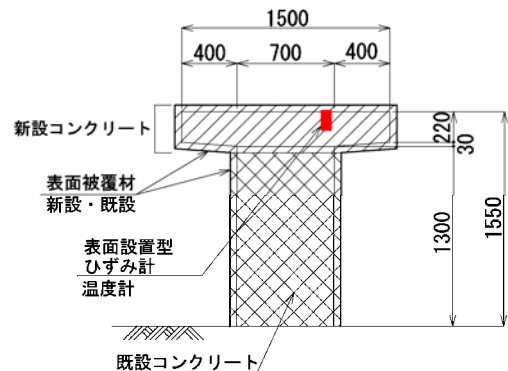


図-6 観測機器配置図（分水門標準図）

## 5. モニタリング計画

### (1) 調査概要

本施設のモニタリング調査は、凍害に着目し、補修工法として表面被覆工法施工後の経年変化を確認することを目的とし、温度計およびひずみ計による測定データを収集し、コンクリートの凍結・融解状況を把握する。

調査時期は、試験施工後から毎年の落水後の同時期に実施し、5年間の計画である。調査対象は、開水路9.0 m (3.0m区間×3箇所)（写真-3）、分水門3門とし、



写真-3 モニタリング調査区間（開水路L=9.0m）

調査項目は、目視調査、修復材厚調査、付着強度試験、中性化試験、測定データの収集である。

## (2) 調査項目

### a) 目視調査

外観目視を実施し、被覆材のひび割れ、亀裂、剥離等の変状について確認し、スケッチおよび同位置による写真撮影を実施する。写真撮影については、対象箇所を分割し、可能な限り真横または真上からの撮影となるように留意する。

### b) 修復材厚調査（摩耗ピン測定）

躯体コンクリートに設置した摩耗ピンの長さを測定し、試験施工終了後の初期値からの被覆材の摩耗量を算出する。電子ノギスのデップスパーが摩耗ピンに一定方向で接するようにし、被覆材面に対して垂直に測定する。

### c) 付着強度試験

建研式付着強度試験により、被覆材と母材の付着力を測定し、付着強度を算出する。調査箇所について、開水路は側壁の気中部、水中部および底版で測定し、分水門は日当たり面にて実施する。付着強度試験後の試験片から、実際の被覆厚を記録する。

### d) 中性化試験（ドリル法）

中性化残りを算出し、母材の中性化の進行を確認する。試験箇所は、開水路側壁の日当たり面とし、気中部と水中部の2箇所で行う。また、表面被覆材を施工していない箇所においても、1箇所実施する。

### e) 測定データの収集

データロガーに記録したひずみ計、温度計、地下水位計の測定データを収集する。

## 6. モニタリング結果（1年目）

試験施工から1年経過後のモニタリング調査（1年目）を実施した。

### (1) 目視調査結果

開水路においては、各補修工法ともに大きな変状は生じていない。分水門は、クリークライナー工法にひび割れおよびエフロレッセンスが一部生じていることを確認している。

### (2) 測定データ

測定データは、2010年12月から2011年10月までの10ヶ月間のデータを収集し、各表面被覆工法のひずみと水路温度の関係性は、図-7～図-9のような関係であった。

当該地は豪雪地帯であり、冬期間は水路が雪に埋没しているが、1月を除いて水路温度の日中気温は凍結融解が発生する0°C以上に達することが確認できた。

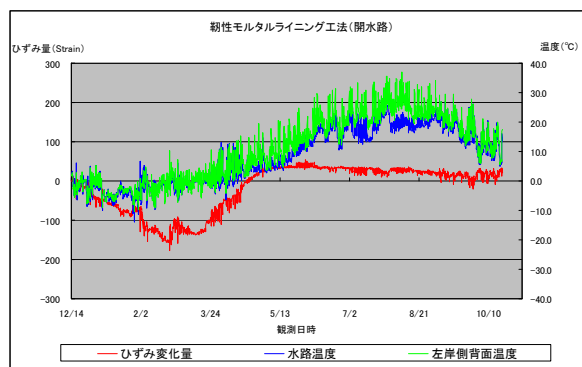


図-7 ひずみと水路温度の関係

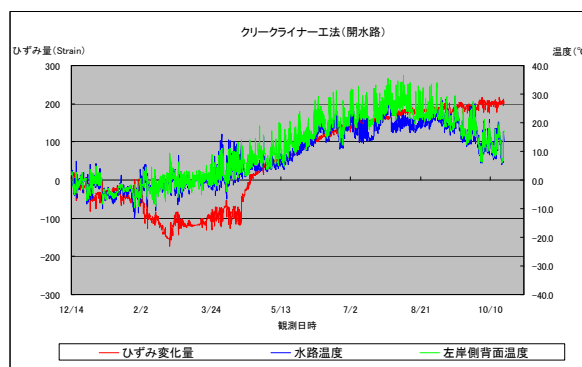


図-8 ひずみと水路温度の関係

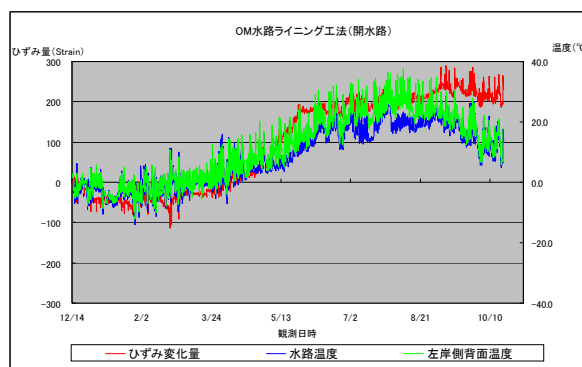


図-9 ひずみと水路温度の関係

各補修工法の特徴をみると、靱性モルタルライニング工法およびクリークライナー工法は、凍結融解が発生する0°C付近で温度が変化すると、ひずみ量は大きくなる。（図-7、図-8）一方、OM水路ライニング工法は、0°C付近のひずみ量は小さくなる。（図-9）この結果より、有機系であるOM水路ライニング工法は、温度変化による凍結融解の発生を低減できることが確認された。ただし、目視調査結果による各被覆材の劣化変状にほとんど違いはないことから、現段階での凍害に対する有効性について比較検証することは難しい。

よって、今後もひずみと目視等による変状の関係性についてデータ蓄積を図り、検討していく。

## 7. 今後について

初年度のモニタリング調査では、各補修工法の経年変化に大きな違いはなく、被覆材自体の劣化も進行していない状況にある。各工法の凍害に対する信頼性や妥当性を明確にすることは現時点では難しいが、初年度のモニタリング結果を初期値として、次年度以降の経年的変化を観察していくことで、凍害に対しての有効性をより具体的に比較検証することが可能となる。

本モニタリング調査により、データを継続的に収集し、各補修工法の表面部の経年変化と母材の状態（温度、ひずみ等）から、被覆材の凍害対策効果を検証していく。

## 8. おわりに

道内には、北海幹線用水路に代表される長大な開水路が造成されており、積雪寒冷地での立地条件や特性に応じた対策工法の確立が望まれている。本報に紹介する凍害補修工法のモニタリング結果が、将来的にその一助となれば幸いである。

### 参考文献

- 1) 土木学会 (H17) : 表面保護工法 設計施工指針 (案)