

# 積雪寒冷地の老朽農業用水路の補修技術に関する実験的検討

(独)土木研究所 寒地土木研究所      ○佐藤 智 横木 淳一  
 中村 和正 小野寺康浩  
 (独)農村工学研究所      田頭 秀和  
 北海道開発局 札幌開発建設部      佐藤 大輔 秦 哲  
 北海道開発局 農業水産部      草薙 忍

## 1. はじめに

北海道内の農業用用水路は、1960年代以降、土水路からL型ブロック等によるコンクリート製の用水路に置き換えられてきたが、造成後数十年を経過し老朽化が進み、補修や補強が必要となっているものも増えつつある<sup>1)</sup>。

農業用用水路の補修技術については、近年、府県では実際の用水路への適用が進みつつあるが、本道のような積雪寒冷地の用水路への適用に関する検証例は少ない。とくに、本道の用水路の場合は、積雪寒冷環境に起因し、部材に凍結融解や凍上等が作用する特徴があり、温暖な府県での補修技術をそのまま適用することは難しい。

筆者らは、現地での補修工法の適用性検証を行うため、2006年度に試験施工区間を設け、補修後の変状等の発生の有無等を把握するための現地調査を開始した。本論では、試験施工初年度の冬期における水路表面部等の温度変化、発生ひずみ等の基礎的データの観測結果について報告する。

## 2. 試験内容

### 2-1 試験箇所

試験施工は、2006年11月に北海道上川郡剣淵町内に位置する農業用用水路(開水路)の一部区間で行った。

当該水路区間は、1970年代前半に国営事業で造成されたフリーム水路で、水路断面は図1に示すように幅6.0m、高さ2.0mで、用水は東から西に向かって流れている。

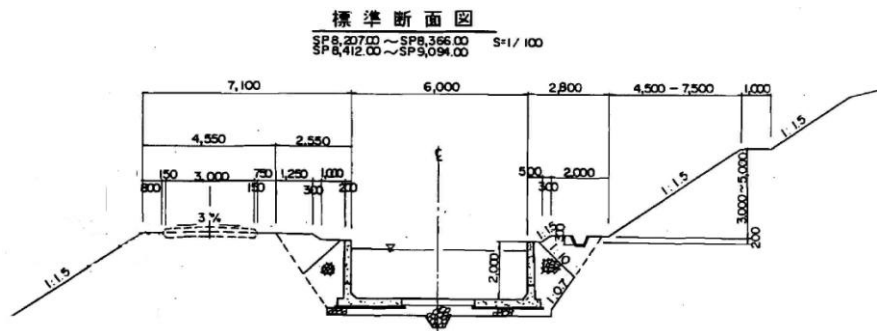


図1 試験施工区間の標準断面図

### 2-2 補修工法

補修工法には、一般的な工法として実績のある、モルタル系素材(厚さ $t=5\sim 10\text{mm}$ )、ウレタン樹脂系素材(厚さ $t=1.5\text{mm}$ )、FRPM板(FRPM板 $t=10\text{mm}$ 、緩衝材 $t=10\text{mm}$ )

の補修材質による3タイプを採用した。図2に、各補修工法の施工箇所を示した。

本試験施工では積雪寒冷地という気象条件に配慮し、モルタル系素材区間は低温下でも付着強度が



図2 各補修工法の施工箇所

早期に発現する低温速硬型の素材を用い、ウレタン樹脂系素材区間は速硬化タイプの吹き付けウレタン樹脂を採用した。FRPM 板区間は、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凍上力抑制効果を期待し、既設水路と FRPM 板との間に緩衝材(発泡ポリエチレン他)を用い、アンカーボルトで固定した。

### 2-3 観測項目

各補修区間毎に水路側壁表面部、水路側壁背面部の温度と補修面の発生ひずみ(水路側壁縦方向ひずみ)を2時間間隔で自動計測している。また、冬期間のみ側壁間の距離を1ヶ月に2回、手動計測している。さらに、融雪後と落水後には補修面等の目視調査を行っている。温度と発生ひずみの観測箇所を図3に示す。側壁表面温度は、きつ水線より上の側壁天端から20cm下(以下、側壁表面上部と記す)ときつ水線より下の天端から100cm下(以下、側壁表面下部)に、水路側壁背面部温度は水路天端から20cm(以下、側壁背面部)に熱電対を設置して測定した。ひずみゲージは側壁表面上部と側壁表面下部に設置した。観測は2006年12月13日から開始した。

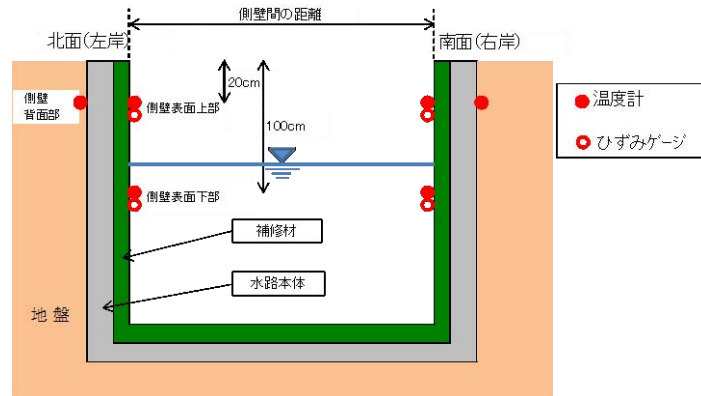


図3 観測箇所

### 2-4 室内試験

試験施工区間で、試験施工に影響のない部分の水路側壁からコンクリートを採取し、超音波試験等の室内試験を行い、老朽化コンクリートの性状を把握した。また、表面被覆系の補修工法については、付着特性を調べる目的で、新規コンクリートに施工した場合の付着強さを調べた。

## 3. 試験結果

### 3-1 側壁表面等温度の温度変化

最も外気温の低下した、日最低気温が $-20^{\circ}\text{C}$ 以下の日を含む2007年2月7日から13日までの7日間の表面温度等の経時変化の一例として、ウレタン樹脂系素材の観測値を図4に示す。図4の外気温には和寒アメダス地点における観測値を用いている。また、ウレタン樹脂系素材の2006年12月から2007年4月までの各月の最高温度、最低温度、最高温度と最低温度の温度差をまとめたものを表1に示す。

#### (1) 南面側の温度変化

##### ①側壁表面部温度

側壁表面部の温度は、側壁表面上部、側壁表面下部ともに、外気温の温度変化に応じて昇降を繰り返しており、12月～3月の間は、ほぼ毎日のようにプラス～マイナスの温度変化が生じている。1～2月の真冬日で日最低気温が $-20^{\circ}\text{C}$ 前後を記録した時期においても、日中はモルタル系素材では $+15^{\circ}\text{C}$ 前後、ウレタン樹脂系素材では $+10^{\circ}\text{C}$ 前後、FRPM板では $+20^{\circ}\text{C}$ ～ $+35^{\circ}\text{C}$ 前後まで上昇する日が多く発生している。

一方、夜間には、モルタル系素材およびウレタン樹脂系素材では $-10^{\circ}\text{C}$ 前後まで、FRPM板で

は-15℃前後まで低下しているが、外気温より3℃~10℃程度高くなっている。

日最低気温が-15℃以下の日が8日間みられた2月における側壁下部の温度は、モルタル系素材では-12℃~+22℃（温度差34℃）、ウレタン系素材では-11℃~+17℃（温度差28℃）を、FRPM板では-15℃~+32℃（温度差47℃）を推移しており、最も厳寒な2月においても25℃を超える大きな温度変動が生じていた。特にFRPM板では40℃を超える大きな温度差となった。

このように、南面では表面部温度は冬期間を通じて大きな温度変化を生じていた。

なお、外気温の日最高気温がプラスとなる3月上・中旬頃からは、ほとんどの時間帯でプラスの温度を示すようになった。

側壁表面上部と下部で比較すると、両観測点ともに、ほぼ同様の温度変化を示しているが、日中の温度上昇時には側壁上部よりも側壁下部のほうが2~3℃程度高温を示す日がみられた。これは、側壁上部は降雪量の多い時期には雪庇形成によって表面部が雪で覆われ、側壁への日射が遮られる時間が生じるが、側壁下部では雪庇の影響を受けないため、ほぼ冬期間を通して表面が露出していることなどが影響している。

## ②側壁背面部温度

側壁背面部温度は冬期間を通じ0℃前後で推移し、3月中旬以降に温度が上昇した。真冬日が多くみられた2月の温度は、モルタル系素材では-4℃~+3℃（温度差7℃）、ウレタン樹脂系素材では-11℃~+3℃（温度差14℃）、FRPM板では-3℃~+3℃（温度差6℃）であり、表面部に比べると温度変動はかなり小さかった。

## (2) 北面側の温度変化の傾向

### ①側壁表面部温度

側壁表面部の温度変化の傾向は、外気温が終日、マイナスの温度を記録した真冬日には、モルタル系素材およびウレタン樹脂系素材では側壁表面温度は外気温と同様に、終日、ほぼマイナスの温度域を変動している。FRPM板では真冬日でも日中はプラスの温度に上昇することが多かった。

夜間などの外気温の低い時間帯には、表面部の最低温度は、モルタル系素材およびウレタン樹

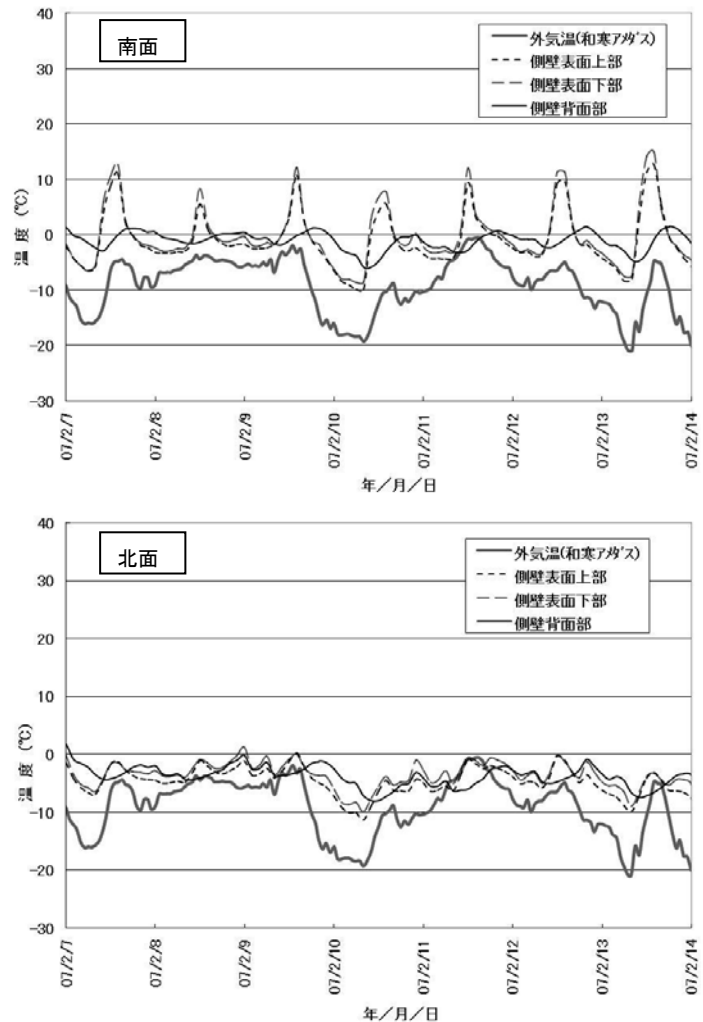


図4 ウレタン系素材側壁表面部および背面部温度

脂系素材では-10℃前後まで、FRPM 板では-15℃前後まで低下しているが、外気温より 3℃～10℃程度高くなっている。この傾向は南面側と同様である。

日最低気温が最も低下した 2 月の側壁下部の表面温度は、モルタル系素材では-11℃～+5℃（温度差 16℃）、ウレタン樹脂系素材では-11℃～+6℃（温度差 17℃）、FRPM 板では-15℃～+7℃（温度差 22℃）を推移しており、南面側に比べ温度差は小さくなっている。

外気温の日最高気温がプラスとなる 3 月上・中旬は、ほぼ連日のようにプラス～マイナスの温度変化を繰り返し、3 月下旬以降はほぼプラスの値を示している。

このように、北面の側壁表面部は、冬期間を通じてマイナス域での温度変化が多く、プラス～マイナスの温度変化を繰り返す時期は 12 月中・下旬と 3 月上・中旬に限られる傾向がみられ、南面側との温度変化の違いが認められた。但し、FRPM 板では南面側ほどの差はないものの、冬期間を通じプラス～マイナスの温度変化を繰り返していた。

側壁表面上部と下部とは、変動そのものが小さく大きな差はみられなかった。

なお、南面側と比べて温度変化が小さい原因は、日射による温度上昇が小さいため、日中の最高温度が低いことであった。

## ②側壁背面部温度

側壁背面部温度は冬期間を通じて変化が小さく、南面側との差はほとんど無かった。真冬が多くみられた 2 月の背面部温度は、モルタル系素材では-6℃～+2℃（温度差 8℃）を、ウレタン系素材では-10℃～+4℃（温度差 14℃）を、FRPM 板では-4℃～0℃（温度差 4℃）を推移しており、表面部温度に比べると温度変動は小さかった。

表 1 1 ヶ月単位でみたウレタン樹脂系素材の表面・背面温度の最高・最低温度等

<単位：℃>

観測年月		2006年12月			2007年1月			2007年2月			2007年3月			2007年4月		
最高温度、最低温度、および最高・最低温度の差		最高温度	最低温度	高・低温度差	最高温度	最低温度	高・低温度差	最高温度	最低温度	高・低温度差	最高温度	最低温度	高・低温度差	最高温度	最低温度	高・低温度差
外気温(和寒アメダス)		+3	-19	22	+3	-22	25	+8	-21	29	+7	-21	28	+16	-6	22
南面	側壁表面上部温度	+13	-10	23	+12	-12	24	+14	-11	25	+18	-11	29	+20	-2	22
	側壁表面下部温度	+14	-7	21	+14	-11	25	+17	-9	26	+20	-8	28	+20	+1	19
	側壁背面部温度	+2	-9	11	+2	-8	10	+3	-11	14	+8	-11	19	+15	-3	18
北面	側壁表面上部温度	+4	-10	14	+1	-13	14	+5	-12	17	+6	-10	16	+13	-2	15
	側壁表面下部温度	+9	-7	16	+4	-12	16	+6	-11	17	+9	-9	18	+12	-2	14
	側壁背面部温度	+4	-14	18	+1	-10	11	+4	-10	14	+5	-8	13	+11	-4	15

注) 上表の 2006 年 12 月の値は 12 月 13 日～31 日の期間の観測値から求めた。

## 3-2 補修表面部の発生ひずみの変化

最も外気温の低下した、日最低気温が-20℃以下の日を含む 2007 年 2 月 7 日から 13 日までの 7 日間の発生ひずみの経時変化の一例として、ウレタン樹脂系素材側壁表面部の発生ひずみを図 5 に示す。

側壁表面部の発生ひずみは、観測開始日の 2006 年 12 月 13 日正午の観測開始時の値を初期値とするひずみ差として示している。

モルタル系素材区間は南面、北面ともに発生ひずみが小さかった。一方、ウレタン樹脂系素材は北面では差が小さいが、南面では大きな差を示し、一日の中の変動も大きかった。FRPM 板区間は、北面、南面ともに比較的大きな変動を示していた。変動は日中は引っ張り側（-）、夜間は圧縮側（+）の動きを示していた。

側壁表面上部と下部で比較すると、南面では、モルタル系素材は上部の方がやや引っ張り傾向に、ウレタン樹脂系素材は下部の方がやや圧縮傾向にあるが、FRPM板は双方に差はない。北面はいずれの工法も差が小さかった。

モルタル系素材に比べて、ウレタン樹脂系素材の発生ひずみおよび変動が大きい原因として、水路本体コンクリートと補修材の伸縮性の違いにより、温度変化によるひずみを大きくしたものと考えられる。

### 3-3 室内試験

モルタル系素材とウレタン樹脂系素材について、補修材のコンクリートとの付着強度を予め把握する目的で、建研式付着力試験による付着強さを求めた。試験は新規コンクリート供試体(7×7×5cm)を用い、モルタル系素材とウレタン系素材の2種類について行った。結果は表2に示すとおりで、今後、現地で付着力試験を実施した際に比較するための基礎データとなるものである。

また、試験施工区間内の側壁から、きつ水線より上下部で既存コンクリートのボーリングコアを採取し、それぞれ、表面、中央、背面で供試体(7×7×5cm)を切り出し、新規コンクリートとともに超音波試験を行った。図6に示すとおり、超音波伝搬速度は、きつ水線下部よりも上部のほうが、また、きつ水線上部の表面では新規コンクリートに比べ15%程度、速度低下が認められた。

表2 建研式付着力試験による付着強さ

補修材	付着強さ	
	N/mm <sup>2</sup>	平均
ウレタン樹脂系素材	3.17	3.73
	3.80	
	4.22	
モルタル系素材	3.36	2.98
	2.59	
	3.00	

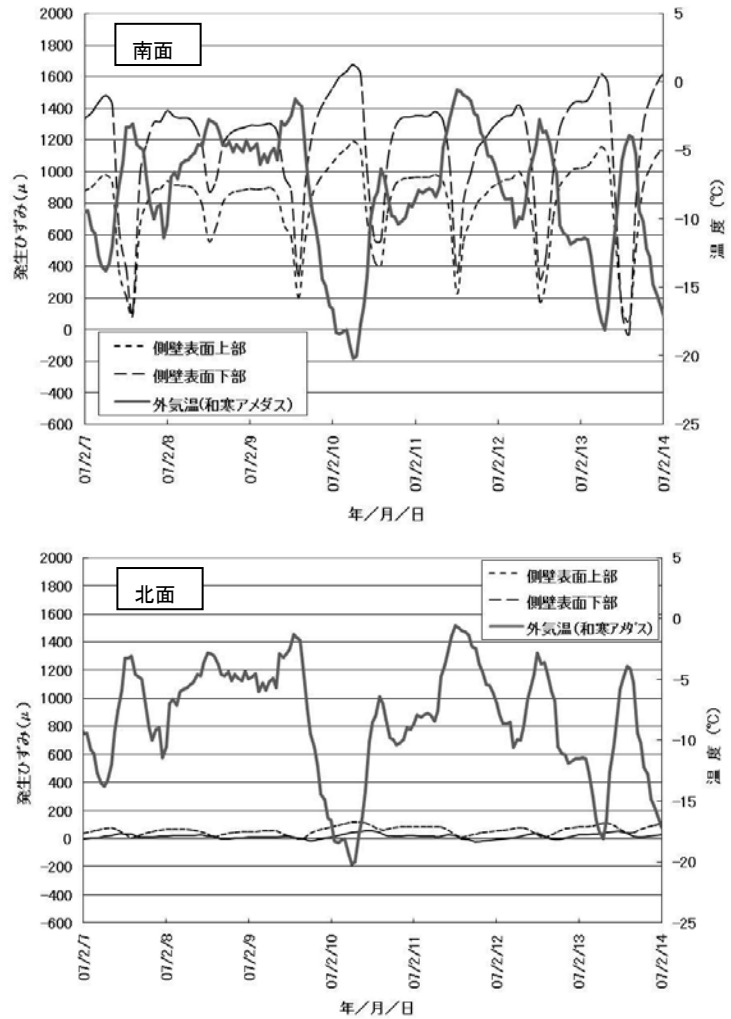


図5 ウレタン樹脂系素材側壁表面における発生ひずみ

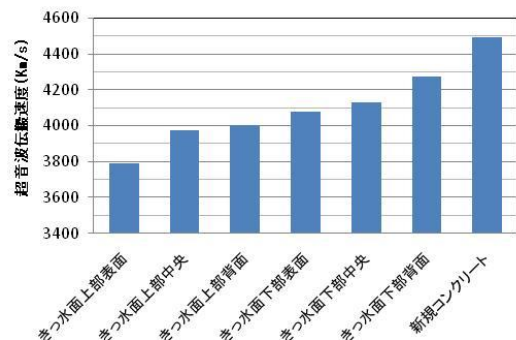


図6 既存および新規コンクリートの超音波伝搬速度

### 3-4 現地観察

施工から一冬期を越えた平成 19 年 4 月 17 日に、試験施工箇所での現地観察を行ったところ、いずれの補修工法も良好な状態が確認されており、変状や異常等は認められなかった。

#### 4. まとめ

- 1) 冬期間の温度経過は、北面側よりも南面側の方が温度変化が大きい、その原因は日中の温度が上昇することによるものである。
- 2) 真冬が続く期間でも、側壁の南面側は毎日のようにプラス～マイナスの温度変化を繰り返していた。
- 3) 3 タイプの補修工法の表面部温度を比較すると、FRPM 板が最も温度変化が大きい傾向にあった。
- 4) 発生ひずみはウレタン樹脂素材の南面側が大きく、1 日の変動も大きい。モルタル系素材は南面、北面ともに発生ひずみは小さい。
- 5) 補修材に対する冬期の温度環境は南面側でとくに厳しい状況下であり、損傷等により補修部に水分が貯留した場合には、凍結融解作用が生じることが予想される。
- 6) 一冬を越えた現地観察の結果、いずれの補修工法も良好な状態であることが確認されている。

#### 5. 今後に向けて

今後は、現地での温度環境等の観測を継続するとともに、通水期間（かんがい期間）の前後に、流水等による摩耗、ふくれ、損傷等の発生の有無等についての観察を行い、軽微でも何らかの変状がみられた場合には、発生位置、形状等を定量的に調査する予定である。

また、現地で付着力試験等を行い付着特性等の経時変化を追跡するとともに、室内試験により水路本体および緩衝材への水分貯留後の凍結融解抵抗性、補修材の剥離抵抗等を把握する予定である。

**謝辞：**本研究では、水土里ネットてしおがわ、北海道開発局旭川開発建設部名寄地域農業開発事業所のご協力のもと、試験施工の実施等にあたっては、農業用用水路の寒冷地型補修工法について共同研究を行っている各メーカー等のご協力を頂いた。末筆ながら、関係各位に、深甚なる謝意を表します。

#### 参考文献

- 1) 秀島好昭(2004)：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、pp.20～26