

寒地農業用水路におけるウレタン樹脂系  
ライニング補修工法の耐久性に関する研究

共同研究報告書

平成24年7月

独立行政法人土木研究所寒地土木研究所  
日本アクセス工業株式会社  
サンユレック株式会社

Copyright © (2012) by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Chief Executive of P.W.R.I.

この報告書は、独立行政法人土木研究所理事長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、独立行政法人土木研究所理事長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

# 寒地農業用水路におけるウレタン樹脂系 ライニング補修工法の耐久性に関する研究 共同研究報告書

(独) 土木研究所 寒地土木研究所

寒地農業基盤研究グループ 水利基盤チーム

上席研究員	中村 和正
総括主任研究員	小野寺康浩
主任研究員	佐藤 智
主任研究員	田頭 秀和 <sup>※1</sup>
研究員	金田 敏和
研究員	佐藤 大輔 <sup>※2</sup>
研究員	横木 淳一 <sup>※3</sup>
代表取締役	秋山 譲治
室長	佐久間博嗣
技術係長	久富 豊
チーム長	嘉指 成詞
	原 直洋

日本アクシス工業(株)

開発営業部

工事部

サンユレック(株) 建設材料事業部

技術グループ

※ 1 : 現 (独) 農業・食品産業技術総合研究機構農村工学研究所施設資源部構造研究室主任研究員

※ 2 : 現 北海道開発局札幌開発建設部樺戸農業開発事業所開発専門職

※ 3 : 現 北海道開発局網走開発建設部農業整備課開発専門職

## 要旨

寒冷な条件下でのコンクリート開水路の補修工法の耐久性を検証する目的で、ウレタン樹脂系の表面被覆工法の現地試験施工と室内試験を行った。試験施工では補修部分の目視調査、付着強さ試験等を、また、室内試験では寒冷地の冬期の施工時および供用後の条件を想定した環境における付着強さ試験を実施するとともに、水理実験による水理性能を検証した。これらの試験の結果、補修後約 3 年経過の時点では、本研究において対象としたウレタン樹脂系の表面被覆材を用いた補修工法は、寒冷地の秋から冬の寒冷条件下の施工に対応できることが確認された。また、水路としての供用性に問題はなく、補修施工部にも特段の変状は見られず良好な状態を維持している。

キーワード：コンクリート開水路、補修、ウレタン樹脂、表面被覆工法、寒冷地、試験施工

## まえがき

社会資本として整備されてきた農業水利施設は、高度経済成長期に集中的に整備されたものが多く、今後更新時期を迎える施設の増加が予想される。一方、昨今の厳しい予算条件によって、施設のライフサイクルコストの低減が求められており、効率的なストックマネジメント技術の開発ニーズが高まっている。このため、老朽化により施設が更新時期を迎える前に、経済的かつ合理的な補修工法を早急に確立することが望まれている。

このような状況を踏まえて、独立行政法人土木研究所寒地土木研究所と日本アクシス工業株式会社、サンユレック株式会社は、2006年度から2009年度まで、積雪寒冷地におけるコンクリート農業用開水路の補修技術の耐久性に関する検証を目的とした共同研究を行った。

コンクリート開水路は、他のコンクリート構造物と比べて、部材厚が薄いことや湿潤な環境におかれるといった特徴がある。さらに、積雪寒冷地においては、冬期には過酷な温度環境に曝されるために、凍結融解作用などにより劣化の進行が速いと考えられる。このような劣化に対して、維持管理費を抑制しながら施設を長期にわたって供用するためには、寒冷地で適用可能な補修工法の開発が必要となる。コンクリート開水路の主な補修工法として表面被覆工法があるが、現状では積雪寒冷地への適用技術が十分に確立されているとはいえない。

このため、寒冷な条件下での表面被覆工法の適用性および耐久性の検証を行うことを目的とし、北海道北部の老朽コンクリート開水路において、ウレタン樹脂系の表面被覆材を用いた表面被覆補修工法の試験施工を行った。この試験施工では、落水後の秋から冬にかけての寒冷気象条件下における施工性の確認および供用開始後のモニタリングにより補修後の初期段階での変状の有無の検証などを行った。また、本工法の長期的な耐久性を推察するために、寒冷地の冬期の施工時および供用開始後の条件を想定した室内試験を行った。

これらの研究成果として、「寒地農業用水路におけるウレタン樹脂系ライニング補修工法の耐久性に関する研究」の共同研究報告書を取りまとめた。

# 目次

第1章 研究目的	1
第2章 樹脂系表面被覆工法の特徴	1
2.1 補修工法の特徴	1
2.2 補修材料の特徴および性状	1
第3章 研究方法	2
3.1 水路補修の試験施工	2
3.1.1 施工箇所	2
3.1.2 施工手順	2
3.1.3 施工後の観測	5
3.2 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	6
3.3 水理実験による水理性能の検証	7
第4章 研究結果	8
4.1 水路補修の試験施工	8
4.1.1 試験施工区間近傍の気象概要	8
4.1.2 観測結果	8
4.2 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	13
4.3 水理実験による水理性能の検証	14
第5章 結論	15
第6章 今後の問題点等	15
巻末資料	

## 第1章 研究目的

北海道のような寒冷地でコンクリート開水路を補修する際には、寒冷地特有の課題である施工時に低温であることや供用開始後に凍結融解作用を受けることなどに対応できる技術が求められる。しかし、これまでに寒冷な条件下での補修工法の耐久性を検証した事例はほとんどみられない。

このため、本研究では現場における用水路補修に資することを目的として、寒冷地の水路補修の試験施工による現地検証とともに、寒冷条件下での施工時および供用後の条件を想定した室内試験を行うことにより、寒冷地における補修工法の耐久性を評価する。

本研究で用いた補修工法は、水路補修後に生じる特有の劣化である磨耗に対する抵抗性が高い工法を選ぶ必要があることから表面被覆工法とした。使用した素材は、温暖な府県で施工実績のある有機系のウレタン樹脂（以下、樹脂系と称する。）とした。なお、無機系材料を用いた表面被覆工法、およびパネル系工法については、別の共同研究で扱った。

本研究は、独立行政法人土木研究所、日本アクシス工業株式会社、サンユレック株式会社による共同研究であり、実施期間は2006年11月1日から2010年3月31日までである。共同研究では、独立行政法人土木研究所が施工材料の室内凍結融解試験と現地施工区間での観測による適用性評価を、日本アクシス工業株式会社とサンユレック株式会社が現地試験施工および現地付着力試験、室内試験用供試体の作成を担当した。

## 第2章 樹脂系表面被覆工法の特徴

この章では、本研究で対象とした樹脂系表面被覆工法の特徴を、この研究以前に得られている試験値などを用いて説明する。

### 2.1 補修工法の特徴

本研究で採用したのは、サンユレック株式会社のネプトライニング水路工法である。本工法は、有機系材料である無溶剤形のポリウレタンを吹き付けることでコンクリートの補修を行うものであり、水道施設のコンクリート補修に採用されている工法である。水道用に使われる工法であるため、飲料水に適用可能で、水路においても水道と共有区間へ適用が可能である。

開水路における補修の施工時期は、非かんがい期に限定されるため短期間で施工しなければならず、短期施工と速硬化が要求される。本工法においては専用の塗装機を用いることで、短期施工、速硬化が可能になっている。特に、後述の試験施工で採用した断面修復を省いた工法ではさらなる短期施工を可能としている。本工法における標準仕様を表-1に示す。断面修復を行う場合は、現場に応じた厚さの断面修復を行い、その後プライマー、上塗りを施工する。ポリウレタンの標準塗布量は、断面修復有りの場合は $2.4\text{kg}/\text{m}^2$ で、断面修復無しの場合は凹凸があり均一に塗布できないため、1.5倍増しの塗布量が必要である。なお、設計膜厚は $1.5\text{mm}$ 以上である。

### 2.2 補修材料の特徴および性状

ポリウレタンの一般的な特徴として、外的要因の遮断効果に優れ、柔軟性があり、低温での乾燥性が早い

ことなどが挙げられる。また、本工法で使用するポリウレタンの性状は表-2に示すとおりである。

表-1 ネプトライニング水路工法の標準仕様

工程	材料名	標準仕様 (kg/m <sup>2</sup> )		施工方法
		断面修復有り (t=10mm)	断面修復無し	
断面修復工	RSモルタル	2.1	—	金ゴテ、吹きつけ
プライマー塗布	RW-10	0.4	0.4	ローラー
表面被覆材塗布	LU-100	2.4	3.6	専用塗装機
トップコート塗布	L-300	0.15	0.15	ローラー、吹きつけ
設計膜厚	1.5mm以上			

表-2 本工法で使用するポリウレタンの性状

項目	無溶剤型ウレタン樹脂塗料		試験方法
	主剤	硬化剤	
主成分	MDI系イソシアネート	ポリオール	
外観	褐色液状	白色液状	目視
粘度	200mPa・s	10000mPa・s	BH型粘度計
配合比 (重量比) (容量比)	1/3		主剤/硬化剤
硬化物比重	1.2~1.3		JIS K 7112
硬化物硬度	D70		JIS K 6253
引張強度	20MPa		JIS K 6251
伸び率	35%		JIS K 6251
ひび割れ追従性	1.5mm		1.5mm厚
透水量	0.02g		JIS A 1404

### 第3章 研究方法

#### 3.1 水路補修の試験施工

試験施工は、2006年11月から12月にかけて行った。

##### 3.1.1 施工箇所

試験施工箇所は、北海道上川郡剣淵町に位置し、国営事業で昭和47年度に造成された剣和幹線用水路の一部区間である。当該区間は掘り込み形式のコンクリート製現場打ちフルーム水路で、側壁の高さは2.0m、水路の幅は6.0m、側壁の厚さは20cmである(図-1)。当該区間は、長年にわたる流水による磨耗で骨材が露出し、一部区間ではコンクリートの剥落や鉄筋の露出がみられた(写真-1)。試験施工は、表面被覆材へ与える日射の影響を考慮し、両側の側壁が南向きと北向きになる区間を選定した。なお、この地域は、和寒観測所のアメダス(試験施工区間から約8km南)観測データから日平均気温の1月の平年値が-8.8℃、年最深積雪は104cmであり、北海道内でも比較的寒冷で多雪な条件下にある。

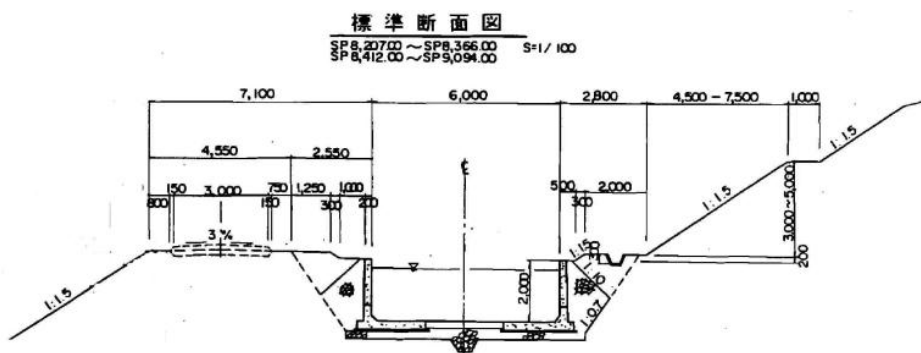


図-1 施工箇所の標準断面図



写真-1 コンクリートの剥落、鉄筋露出状況

##### 3.1.2 施工手順

本試験施工での工事工程表は巻末資料に示す。各工程の作業内容は以下のとおりである。

### (1) 準備工 (写真-2)

現地の天候状況に左右されない環境を作るため、開水路の天端から1m上に単管パイプ、合板ビニールシート等を用いて仮囲い屋根を設置した。また、開水路内は土嚢等を用いて施工範囲以外からの流入水をせき止め、せき止めた水はポンプアップして施工面を乾燥状態にした。



写真-2 仮囲い

### (2) 劣化部除去工 (写真-3)

超高压洗浄 (200MPa) によりコンクリート劣化部の除去を行った。はつりガラ等は集積し、産廃処理した。また、作業発生水はポンプアップにより排水した。



写真-3 劣化部除去工

### (3) 目地部の処理

目地部分は材料の劣化やコンクリートの挙動等により、変形や隙間が出来ており、漏水があるため、アクリル系高弾性タイプのグラウト剤を注入することにより止水処理を行い、今後の挙動にも対応できるようにした。

### (4) 断面修復工 (写真-4)

はつり面に断面修復モルタル (標準仕様: R S モルタル) を平均約10mm厚で金鏝等を用いて均一に塗布した。なお、工期短縮およびコスト縮減を図ることを目的に、一部、断面修復を行わない区間も設けた。

試験施工で実施した工法は表-3に示すNo. 1~No. 6までの6工法である。No. 1~No. 5は断面修復を行った区間、No. 6は断面修復を行わなかった区間である。No. 1~No. 5は断面修復モルタルの種類の違いや含浸材、素地調整剤の有無で区分けした。各工法は下流側がNo. 1、上流側がNo. 6で、それぞれの施工延長は1バレル(10m)を6等分した約1.7mとした。なお、各断面修復工法(断面修復無しを含む)の配置、使用材料等については巻末資料に示す。





写真-4 断面修復工

表-3 試験施工で使用した6工法の断面修復モルタル等の種類

No	含浸材	断面修復モルタル	素地調整剤	塗膜外観
1	—	アクリル系樹脂モルタル(RSモルタル)	—	平滑
2	ケイ酸塩系	アクリル系樹脂モルタル(RSモルタル)	—	平滑
3	—	アクリル系樹脂モルタル(RSモルタル)	エポキシ系	平滑
4	—	一材型アクリル系樹脂モルタル	—	平滑
5	—	撥水タイプモルタル	—	平滑
6	—	無し	—	凹凸有り

(5) プライマー塗布 (写真-5)

断面修復モルタル等が乾燥した後 (含水率8%以下)、プライマー (RW-10) をローラー刷毛等で、均一に  $0.2\text{kg}/\text{m}^2$  の量を塗布した。



写真-5 プライマー塗布

(6) 樹脂系表面被覆材塗布 (写真-6)

プライマー (RW-10) 硬化後、樹脂系表面被覆材 (LU-100) を専用吹付け機 (カスマー社H-2000) にて均一に  $2.4\text{kg}/\text{m}^2$  の量で吹付けた (塗布厚1.5mm以上)。なお、底版は施工期間中に乾燥状態にならなかったため、翌年の2007年秋に施工した。



写真-6 樹脂系表面被覆材塗布

(7) トップコート塗布

樹脂系表面被覆材（LU-100）が硬化後、トップコート（L-300）をローラー刷毛等にて、均一に0.2kg/㎡量で塗布した。トップコートは右岸側壁（南向き面）と底版に施工した。

(8) 完成

試験施工後の状況は、写真-7に示すとおりである。また、施工断面を図-2に示す。なお、寒冷な条件での施工であったが、施工上の問題点は特になかった。



写真-7 施工後の状況 (2007. 11)

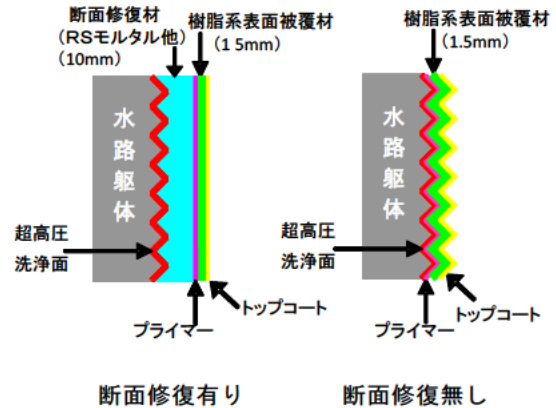


図-2 補修工法の施工断面

3.1.3 施工後の観測

試験施工区間における観測項目を表-4に示す。

(1) 目視調査

目視調査は融雪後の通水前と落水後の年2回、側壁および底版のひび割れ、浮き、剥離等の変状の有無に着目して行った。

(2) 温度およびひずみ

側壁表面等の温度、ひずみの観測位置を図-3に、また、側壁表面の温度センサー、ひずみゲージの設置状況を写真-8に示す。側壁表面での温度、ひずみ(鉛直方向)は、左右岸の灌漑期水位の上部(天端から20cm下、以下、側壁上部と称する。)、下部(天端から100cm下、以下、側壁下部と称する。)で、また、側壁背面温度は天端から20cm下で2時間間隔の自動観測を行った。温度は熱電対(T型)、ひずみはひずみゲージ(ゲージ長30mm)を用いて測定した。なお、温度とひずみの測定は、表-3に示したNo. 2の工法の区間で行った。

表-4 施工区間における観測項目

観測項目	測定箇所	測定頻度	備考
目視調査	補修全区間	2回/年 (融雪後、落水後)	
温度	側壁表面、側壁背面	1回/2時間 (自動観測)	
ひずみ	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	側壁および底版	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

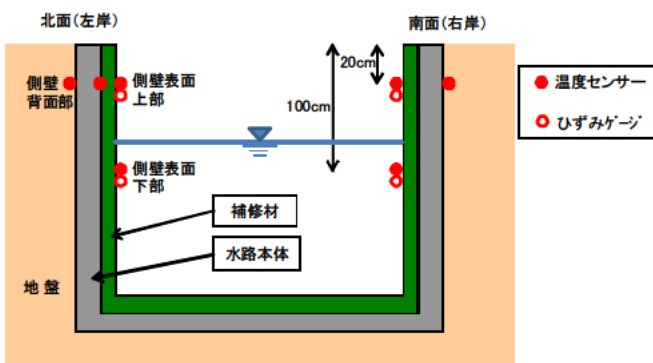


図-3 表面温度等の観測位置

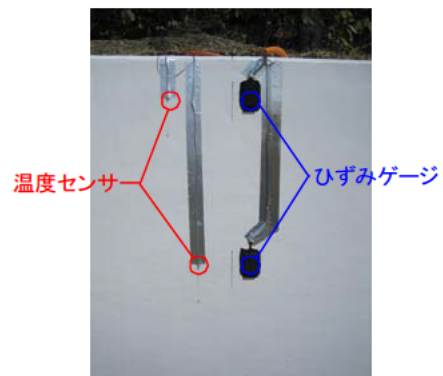


写真-8 補修材表面への温度センサーの設置状況

### (3) 付着強さ

付着強さ試験は、「表面被覆材の付着強さ試験方法」(JSCE-K-531-1999)に準拠して行った。付着強さは、表-3に示す6工法について、側壁表面の南面と北面の各々で2点(側壁上部と側壁下部)と底版において、測定した。測定は、側壁では2007年11月から2009年10月までの計5回、底版は2008年10月と2009年10月の計2回実施した。なお、測定1箇所当たり1個の上部引張用治具を設置し、付着強さを測定した。

## 3.2 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

寒冷地における表面被覆工法の施工時期は、灌漑期間終了後の秋から冬の期間となる。それゆえ、施工後に補修表面が低温に曝されるため、このような条件でも補修部の耐久性に優れる施工方法を確認する必要がある。そこで、積雪寒冷地の施工時および供用開始後の条件等を想定し、低温下での養生後および凍結融解を繰り返した後における表面被覆材の付着強さを測定した。

### (1) 試験材料

試験材料は、試験施工で使用したのと同じ樹脂系材料を、モルタル基板の上に厚さ1.5mmで塗布し、試験用の供試体とした(写真-9)。

モルタル基板は、JSCE-K511-2007の4.1(試験用基板)に準拠して作成・養生した。すなわち、ステンレス製の型枠にモルタルを流し込み、その後、①気中養生：24時間(気温 $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 、湿度80%以上)、②脱型、③水中養生：6日間(気温 $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ )、④気中養生：7日間(気温 $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 、湿度 $50\% \pm 5\%$ )の順に作業した。なお、仕上がり寸法は、縦70mm×横70mm×高さ50mmである。また、表面被覆材塗布前の供試体表面に試験施工と同じプライマー処理を行った。



写真-9 試験用供試体

### (2) 試験方法

#### ① 表面被覆材塗布後の養生条件

被覆材塗布後の養生条件として、ア)  $5^{\circ}\text{C}$ で5日、 $0^{\circ}\text{C}$ で23日低温養生(現場施工で短期間の給熱養生後に曝露を想定したケース)、イ)  $5^{\circ}\text{C}$ で28日低温養生(現場施工で長期間の給熱養生を想定したケース)、および比較対照として、ウ)  $20^{\circ}\text{C}$ で28日養生(室内での標準的な養生を想定したケース)の計3ケースの気中養生を設定した。

各養生ケースでは、現場での状況を模擬して、設定温度条件が被覆面のみから与えられるよう、供試体を断熱材(XPS)の容器にはめ込み、被覆面のみ開放した状態にて恒温器内で養生した。なお、湿度条件の設定は行わなかった。

#### ② 凍結融解試験

被覆材塗布後に①で述べたア)～ウ)のケースにて養生を行った供試体に対して、JIS A 1148-2001に準拠し水中にて凍結融解の繰り返しを与えた。凍結融解の1サイクルは、供試体中心部温度が凍結過程は $+5^{\circ}\text{C}$ から $-18^{\circ}\text{C}$ 、融解過程は $-18^{\circ}\text{C}$ から $+5^{\circ}\text{C}$ となるようにし、温度保持はさせず、1サイクルに要する時間は3時間とした。また、凍結融解試験前後に供試体の質量測定を行った。凍結融解過程では、供試体の被覆面からのみ水分が侵入するよう、供試体の側面および底面をブチルゴムで覆った。凍結融解過程における供試体の質量測定は、0(養生

後)、50、100、300サイクル時点で行った。

### ③ 表面被覆材の付着強さ試験

被覆材の付着強さの測定は、JSCE-K 531-1999「6. 表面被覆材の付着強さ試験方法」(建研式付着力試験)で行った。供試体に40mm×40mmの切込みを小型ダイヤモンドカッターで基板に達するまで入れ、上部引張用ジグをエポキシ樹脂系接着剤で接着した。接着から24時間後に建研式引張試験機を用いて垂直方向に引張力を加え、最大引張荷重を求めた。求めた最大引張荷重をジグ接着面積で除して付着強さを算出した。

試験は、凍結融解0(養生後)、50、100、300サイクル後に、それぞれ供試体2個ずつを使用し、測定値を平均した。

### 3.3 水理実験による水理性能の検証

試験施工において、劣化部を除去した凹凸面に樹脂系被覆材を塗布したのみで、断面修復を行わない工法を一部区間で実施(写真-10)しているが、この場合、補修表面に凹凸が残ることにより水理性能が低下する懸念があるため、水理模型実験により粗度係数を測定した。併せて、流水により磨耗した水路および超高压洗浄後の表面に凹凸のある水路の粗度係数も測定した。



写真-10 劣化部除去面に樹脂系被覆材を塗布した水路

水理模型実験で用いたフルーム水路の幅は、0.4m、0.6m、1.0mである。側壁の凹凸は、北海道の中央部に位置する幹線用水路の改修時に採取した、老朽化したL型ブロックを用いて、側壁および底版の磨耗部分と超高压洗浄した部分から型を取って模擬した。超高压洗浄部分から製作した水路は粗度係数測定後に樹脂系表面被覆材を塗布してから、再度、粗度係数を測定した。

粗度係数は、流速、流量が一定の2点間(L=10m)の水深を観測することで求めた。流速は用水路の実態から1.5m/s程度以下とし、それぞれの幅の水路で流速を変えて測定を行った。



## 第4章 研究結果

### 4.1 水路補修の試験施工

#### 4.1.1 試験施工区間近傍の気象概要

試験開始後の2006年度から2009年度までの12月から3月における気象データを表-5に示す。このデータは、和寒アメダスのものである。この期間において、1月、2月の日平均気温は $-6^{\circ}\text{C}$ ～ $-9^{\circ}\text{C}$ 程度であり、平年値よりも高い傾向であり、最深積雪は、各年ともに90cm程度で、平年よりもやや少雪傾向であった。写真-11は冬期間の試験施工区間の状況である。南面は雪庇があまり発達していないのに比べ、北面では雪庇が大きく発達している。

表-5 気象の概要

	単位: $^{\circ}\text{C}$				単位: cm					
	12月	1月	2月	3月	12月	1月	2月	3月		
日平均気温	2006年度	-4.0	-6.9	-6.2	-2.5	2006年度	27	77	82	97
	2007年度	-4.5	-9.4	-8.3	-0.5	2007年度	59	69	86	84
	2008年度	-1.9	-6.1	-6.9	-1.3	2008年度	39	58	91	80
	2009年度	-6.2	-6.1	-6.9	-3.3	2009年度	64	83	94	83
	平年値	-4.6	-8.8	-8.5	-3.4	平年値	67	90	97	95
最深積雪	2006年度					2006年度	27	77	82	97
	2007年度					2007年度	59	69	86	84
	2008年度					2008年度	39	58	91	80
	2009年度					2009年度	64	83	94	83
	平年値					平年値	67	90	97	95



写真-11 冬期の試験施工区間の状況

#### 4.1.2 観測結果

##### (1) 樹脂系補修区間の温度環境

樹脂系補修区間において、年間を通じて表面温度が最も高くなるのは、落水後の9月上旬であり約 $+40^{\circ}\text{C}$ まで上昇する。一方、最低温度は年によって異なるが、 $-10^{\circ}\text{C}$ ～ $-16^{\circ}\text{C}$ 程度であった（巻末資料参照）。冬期間の側壁南面の樹脂系補修区間等の温度の推移を図-4に示す。図に示した期間は観測期間中の最低気温を記録した日を含む7日間である。南面では冬期間は $0^{\circ}\text{C}$ をはさむ温度変化を生じる日が多い。また、側壁背面の温度は日変動が小さい。

日平均気温が最低となる1月における、2006年度から2009年度までの側壁表面での日最低温度と日最高温度の平均値を表-6に示す。1月における日最低温度の平均値は南面、北面ともに $-5^{\circ}\text{C}$ 程度であり、日最高温度の平均値は南面で $+4^{\circ}\text{C}$ ～ $+5^{\circ}\text{C}$ 、北面で $-1^{\circ}\text{C}$ 程度である。日中の気温がマイナスでも、南面の補修表面温度は日射の影響でプラスとなることが多く、1日の中で $0^{\circ}\text{C}$ をはさむ温度変化を繰り返す。一方、北面ではこのような日には、日中もマイナスで推移することが多い。

次に、現地で観測した温度データを用いて、表面被覆材の凍結融解回数を推定する。このとき、表面被覆材の温度が何度まで低下したら凍結したと判定するのかを考える必要がある。既往の文献<sup>1)</sup>では、コンクリート供試体の凍結融解試験において、最低温度の設定を $-5^{\circ}\text{C}$ 以下としたときに凍害劣化が進行すると報告されている。このため、 $-5^{\circ}\text{C}$ で凍結、 $0^{\circ}\text{C}$ で融解が生じるものとして凍結融解回数を求めた。南面と北面の側壁表面の凍結融解回数（側壁の上部と下部との平均値）を図-5に示す。

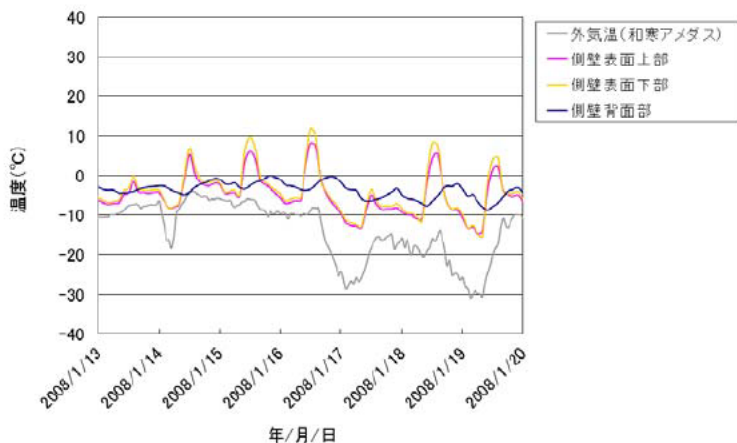


図-4 冬期間の樹脂系補修区間等の温度の推移（側壁南面）

表-6 2006年度から2009年度までの1月における補修表面温度の平均値

項目	側壁の向き	測定部位	
		側壁上部	側壁下部
日最低温度	南面	-5.0	-4.9
日最高温度		3.6	5.3
日最低温度	北面	-4.9	-4.9
日最高温度		-1.2	-0.3

凍結融解回数は、南面では2008年度は20回、2009年度は28回、北面では両年ともに15回程度と算出された。南面で2009年度に増加したのは、12月に凍結融解回数が多かったことが原因であった（図-6）。2008年度の12月は平年より気温が高かったのに対し、2009年度の12月は平年より低かった。このことから、気温が低い年は凍結融解回数が増える傾向にあるものと考えられる。2008年度と2009年度の2年間は1月、2月に平年より気温が高かったため（表-5左）、寒冷な年では凍結融解回数が増える可能性もある。

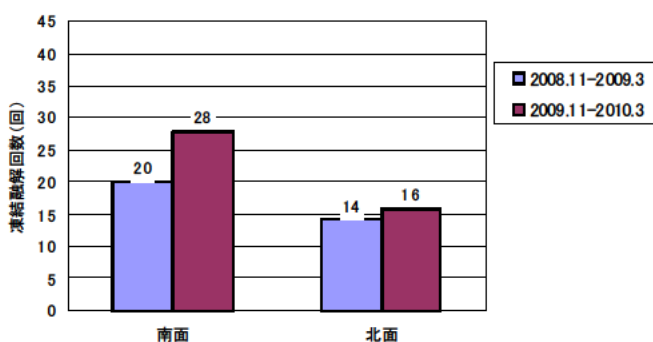


図-5 樹脂系補修表面の凍結融解回数

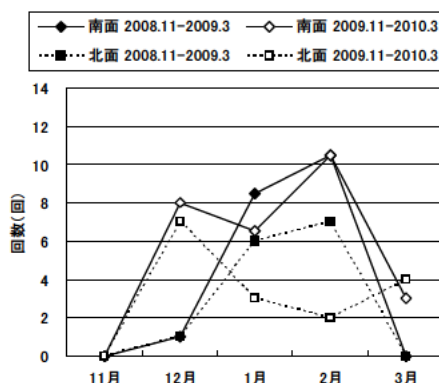


図-6 月毎の凍結融解回数

写真-12は、冬期間の南向き側壁の状況である。日射があると天端に積もった雪が解けて、側壁を流れ落ち、冬期間も補修表面に水分が供給されていることから、凍結融解作用を受けやすい環境にあることがわかる。



写真-12 冬期間の南向き側壁の状況 (セメントモルタルによる補修区間)

## (2) 樹脂系補修区間の発生ひずみ

発生ひずみは表面被覆材の性能に初期欠陥があった場合の原因を検証することを目的に測定を行ったが、後述のとおり、2010年3月末現在で表面被覆材に目立った変状は発生していないため、各年度ごとの発生ひずみを巻末資料に掲載するにとどめる。

## (3) 目視調査

試験施工から約3年経過後における外観 (写真-13) は、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った。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箇所からの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-7に目地およびその周辺における断面修復部の剥離のイメージを模式図で示す。なお、剥離部分については再補修済みである。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。



写真-13 樹脂系の施工3年後の状況

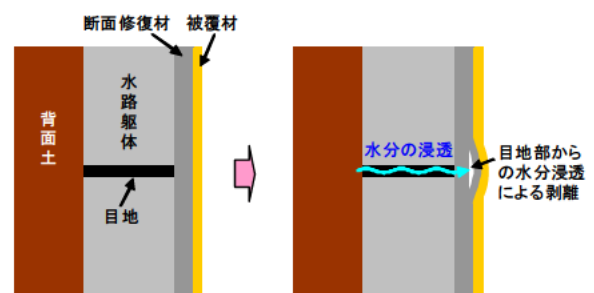


図-7 水路天端から見た樹脂系施工後の目地およびその周辺の断面修復部の剥離イメージの模式図

## (4) 側壁および底版の付着強さ

### ① 側壁の付着強さ

写真-14に付着強さ試験の状況等を、表-7に施工から3年後までにおける、6種類の断面修復工法に対する

付着強さの平均値を、付着強さが大きい順番にランクづけした結果を示す。付着強さ試験の結果、劣化部除去後の凹凸部を断面修復材で平滑に仕上げし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ことがわかった。なお、断面修復を行った場合は、撥水タイプモルタルが最も付着強さが大きかった。

図-8に断面修復を行わずに樹脂系被覆材を施工した区間と撥水タイプモルタルで断面修復してから樹脂系被覆材を施工した区間の付着強さの経年推移を示す。表面被覆材に必要な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 $1.0\text{N/mm}^2$ 程度とされている<sup>2)</sup>。断面修復を行わない場合は付着強さが $1.0\text{N/mm}^2$ を大きく上回った。また、撥水タイプモルタルで断面修復を行った場合も、ほとんどの時点で付着強さは $1.0\text{N/mm}^2$ を上回った。他の断面修復材では付着強さは $1.0\text{N/mm}^2$ 前後であった。断面修復材の種類により付着強さに差はあるが、どの材料でも変状はみられず良好な状態を保っていた。なお、施工から約3年後の時点で、付着強さは断面修復の有無にかかわらず、時間の経過とともに付着強さが低下する傾向はみられず、側壁の向きや側壁の上部、下部での付着強さの違いも明確ではなかった。



写真-14 付着強さ試験状況等

表-7 断面修復材の種類と付着強さランク

No	含浸材	断面修復モルタル	素地調整剤	塗膜外観	施工後3年間の付着強さランク
1	—	アクリル系樹脂モルタル(RSモルタル)	—	平滑	5
2	ケイ酸塩系	アクリル系樹脂モルタル(RSモルタル)	—	平滑	3
3	—	アクリル系樹脂モルタル(RSモルタル)	エポキシ系	平滑	4
4	—	一材型アクリル系樹脂モルタル	—	平滑	6
5	—	撥水タイプモルタル	—	平滑	2
6	—	無し	—	凹凸有り	1

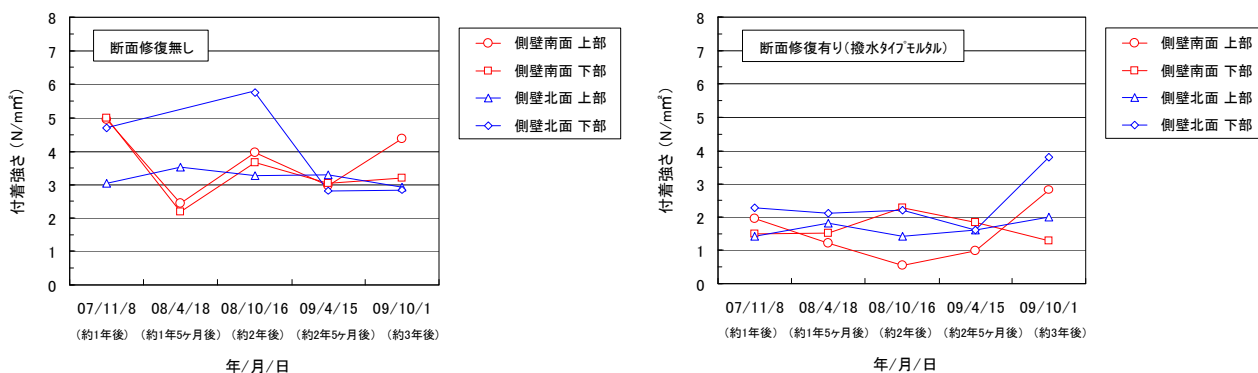


図-8 側壁の付着強さ

現地における付着強さ試験後の剥離の発生位置は図-9のとおりである。すなわち、測定後の破断面は、断面修復無しでは上部引張用ジグと被覆材との界面 ((a) 図) あるいは水路躯体コンクリート部分 ((b) 図) であり、また、断面修復有りでは断面修復材内 ((c) 図) であった。このような剥離の発生位置をみると、断面修復無し、有りともに被覆材は水路躯体もしくは断面修復材との界面で剥離していないことから、被覆材の付着強



さは測定値を超える強度を有していると考えられる。但し、断面修復有りのケースでは、剥離位置が断面修復部であることから、断面修復部の強度が表面被覆工法の付着強さを決める要因となり、断面修復部の性状変化が被覆後の付着強さを決定する要因となりうるということが推察された。

これらのことから、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。なお、この場合、表面に凹凸が残ることにより粗度係数がやや大きくなることが懸念されるため、水理性能の検証を行った。その結果については後述する。

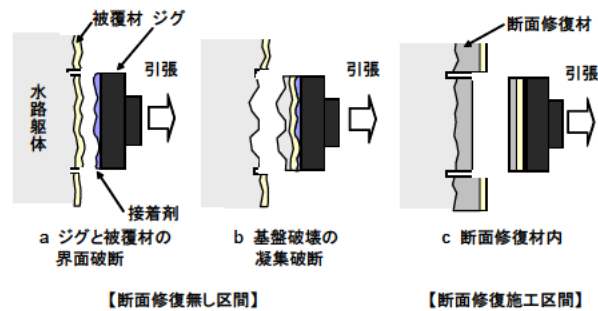


図-9 付着強さ試験による剥離例

## ② 底版の付着強さ

図-10に底版における付着強さについて、断面修復無し区間と撥水タイプのモルタルで断面修復してから樹脂系被覆材を施工した区間の測定値を示す。付着強さは、一般的に表面被覆材に求められる $1.0\text{N}/\text{mm}^2$ 以上に対し、断面修復無し、有りともにその値を上回った。破断面は、断面修復無し区間では被覆材と水路躯体との界面、断面修復有り区間では、施工から約1年後は断面修復材内の凝集破断、施工から約2年後は断面修復材と水路躯体との界面破断であった。底版では断面修復の有無による付着強さの違いは明確ではなかった。

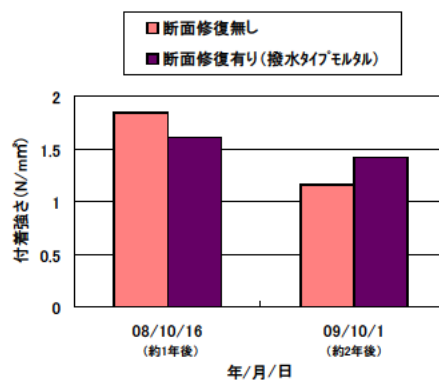


図-10 底版の付着強さ

## (5) 試験施工区間の評価

樹脂系表面被覆工法については、断面修復を行わずに被覆材を施工した場合に付着強さが大きく、目視観察では断面修復を行った区間も含めて変状が無く、施工から3年が経過したの段階では適用性に問題はないといえる。

## 4.2 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

### (1) 養生条件と付着強さの関係

表-8に室内試験における各養生条件での付着強さを示す。いずれの条件でも一般的に表面被覆材に求められる付着強さ $1.0\text{N/mm}^2$ を大きく上回っており、本試験の養生条件では、低温で養生を行っても、一般に必要とされる付着強さ以上となることが分かった。この結果、本試験範囲内の低温での養生条件では付着強さの低下は小さいことから、実施工上も5日間程度の給熱養生で十分な付着強さが得られることが確認できた。

表-8 養生後の樹脂系の付着強さ

養生条件	付着強さ( $\text{N/mm}^2$ )
5°C,5日+0°C,23日	3.51
5°C,28日	3.50
20°C,28日	4.22

### (2) 凍結融解作用と付着強さの関係

図-11に凍結融解300サイクルまでの3ケースの養生条件における付着強さの変化を示す。

3ケースとも凍結融解100サイクルまでは付着強さが増加しているが、300サイクルでは100サイクルのときよりも付着強さが低下している。しかし、いずれのケースでも300サイクル後で約 $3.0\text{N/mm}^2$ 以上の付着強さが得られており十分な強度を有していた。なお、養生条件の違いによる付着強さの差は明確でなかった。凍結融解100サイクルまで付着強さが増加しているのは、時間経過とともに基板自体の強度が増加したためと推定される。その後、300サイクルで100サイクルのときよりも付着強さが低下したのは基板が凍結融解による影響を受けたものと考えられる。

付着強さ測定後の供試体の剥離は、多くの場合で付着境界面付近のコンクリート基板内部で発生していた(写真-15)。このことから、被覆材と基板の界面では、付着強さの測定値を超える強度を有していることが示唆された。

つぎに凍結融解サイクルと供試体の水分増加率との関係を図-12に示す。なお、水分増加率は各サイクル数経過時の水分増加量を凍結融解0サイクル時の供試体重量に対する比率で表したものである。

凍結融解サイクルの増加に伴い水分増加率が増加するが、300サイクル時の水分増加率は $0.3\sim 0.5\%$ と低く、3ケースとも同程度であった。このように、凍結融解過程における被覆材を通しての吸水による水分増加は小さく、養生条件による大きな違いは認められなかった。

今回の室内試験結果では、凍結融解300サイクル時でも付着強さの低下は小さい。これは、本研究で用いた樹脂系の被覆材は、被覆材の表面側からの水分浸透を想定した試験条件では、凍結融解の影響を受けても透水性を低く抑える性能が保持できたため、凍結融解後の付着性能の低下を抑制できたと考えられる。

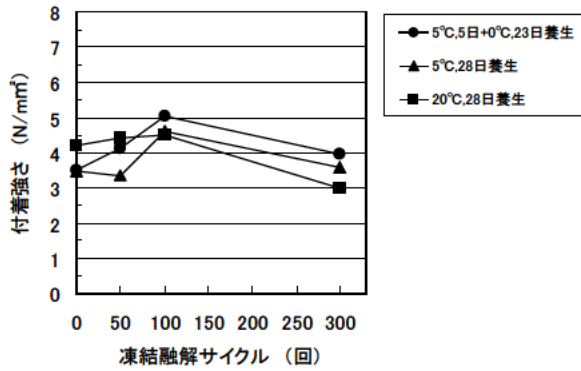


図-11 養生後および凍結融解後の付着強さ



写真-15 付着強さ試験実施後の供試体 (5°C, 5日+0°C, 23日養生、300サイクル後)

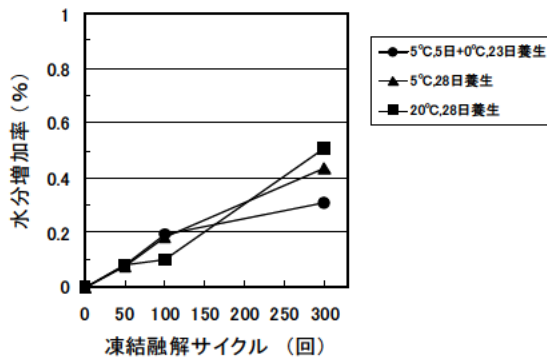


図-12 凍結融解サイクルに伴う供試体の水分増加率

### 4.3 水理実験による水理性能の検証

図-13に磨耗した水路、超高压洗浄した水路、超高压洗浄面に樹脂系被覆材を塗布した水路の流速と粗度係数の関係を示す。

超高压洗浄した水路の粗度係数はやや大きい傾向であったが、超高压洗浄面に樹脂系被覆材を塗布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、土地改良事業計画設計基準 設計「水路工」基準書 技術書に示される粗度係数の標準値である0.012~0.016<sup>3)</sup>の範囲にあった。それゆえ、樹脂系表面被覆工法で断面修復を行わず、表面に凹凸のある状態であっ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。

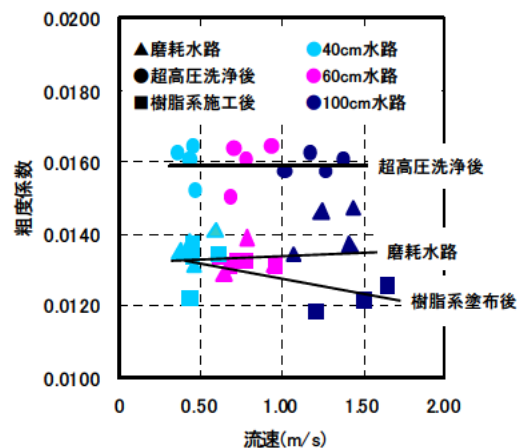


図-13 流速と粗度係数の関係

## 第5章 結論

本報告書で述べた農業用水路の補修工法の試験施工は、2006年11月から12月にかけての寒冷な気象条件の中で、供用中の老朽コンクリート開水路を対象に行ったものであり、2010年3月末時点で3回の通水期間と4回目の冬期を経験している。

農業用水路の補修工事は、通水期間を終えた秋から冬に施工時期が限定され、北海道のような積雪寒冷地では、低温下での施工を余儀なくされることになる。

今回、寒冷地のコンクリート開水路の補修工法として研究対象とした樹脂系表面被覆材を用いた補修工法は、秋から冬の寒冷条件下の施工に対応できることが確認された。施工から3年を経過した2010年3月現在では水路としての供用性に問題は発生しておらず、また、補修施工部にも特段の変状は見られず良好な状態を維持している。

## 第6章 今後の問題点等

本研究は2009年度で終了したが、今後は寒冷地の水路における長期耐久性に注目して、現地調査や室内試験による検証を継続していくことが必要と考えられる。

## 謝辞

表面被覆工法の試験施工箇所を選定にあたり、国土交通省北海道開発局、水土里ネットてしおがわのご協力を頂いた。末筆ながら、関係各位に深甚なる謝意を表す。

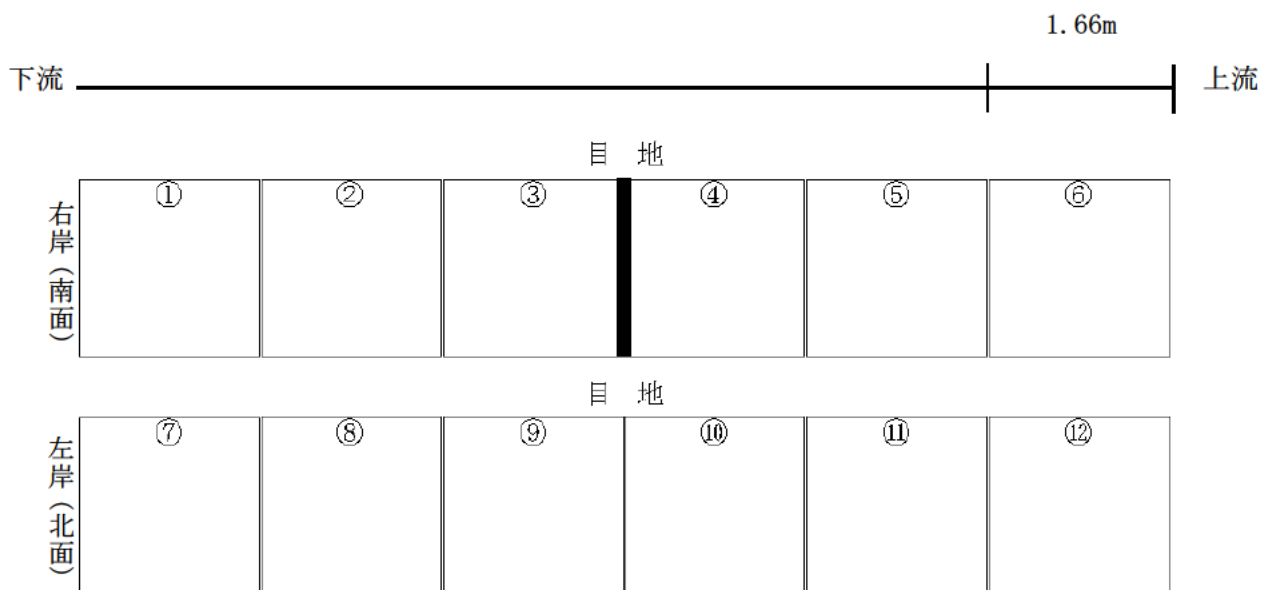
## 参考文献

- 1) 鎌田英治：凍結融解抵抗性（耐凍害性）、コンクリート工学、Vol. 22、No. 3、pp. 38-46、1984
- 2) 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)、p. 147、2005.
- 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

## 卷末資料

1. 剣和幹線用水路試験施工内容（17ページ～20ページ）
2. 工事工程表（21ページ）
3. 樹脂系補修区間の温度環境（22ページ～29ページ）
4. 樹脂系補修区間の発生ひずみ（30ページ）

# 1. 剣和幹線用水路試験施工内容

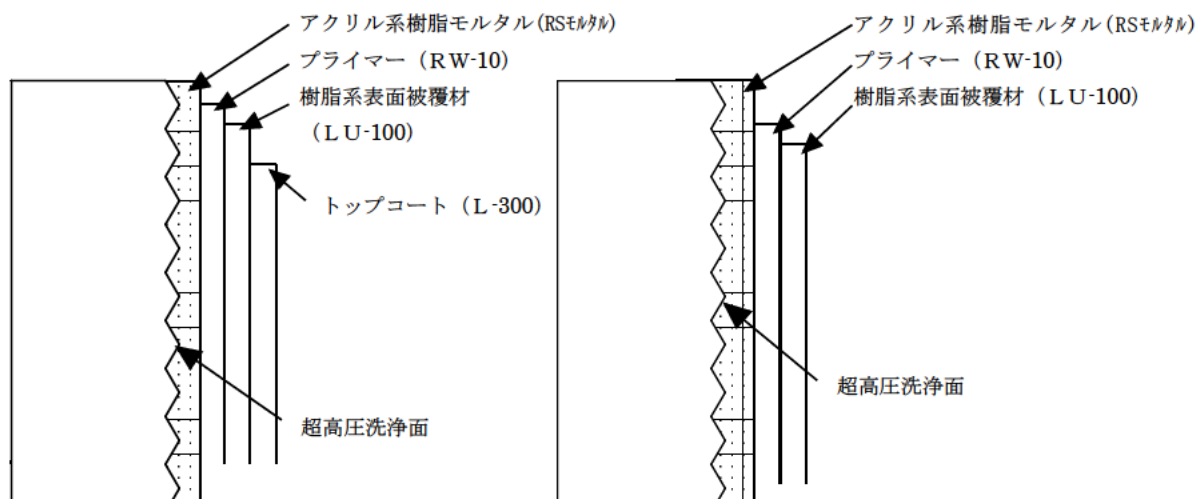


[①・⑦]区間

施工断面

右岸(南面)

左岸(北面)



アクリル系樹脂モルタル (RSモルタル)

厚塗りタイプの速硬化型モルタル

プライマー (RW-10)

1液型ウレタン系プライマー

樹脂系表面被覆材 (LU-100)

速硬化タイプ吹付ウレタン樹脂

トップコート (L-300)

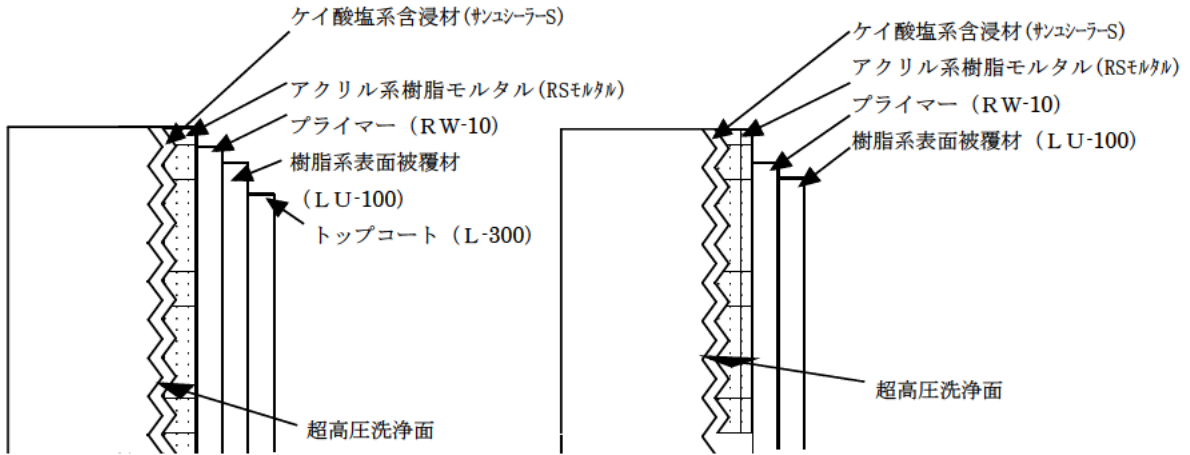
2液型アクリルウレタン樹脂

〔②・⑧〕 区間

施工断面

右岸（南面）

左岸（北面）



ケイ酸塩系含浸材（サンユシーラーS）

コンクリート躯体を緻密化する目的で使用

アクリル系樹脂モルタル（RSモルタル）

厚塗りタイプの速硬化型モルタル

プライマー（RW-10）

1液型ウレタン系プライマー

樹脂系表面被覆材（LU-100）

速硬化タイプ吹付ウレタン樹脂

トップコート（L-300）

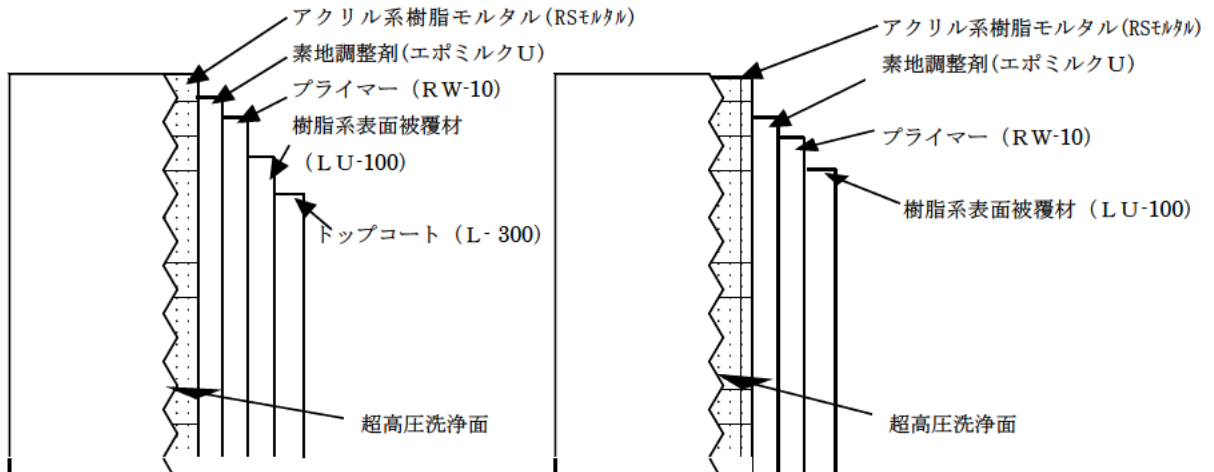
2液型アクリルウレタン樹脂

〔③・⑨〕 区間

施工断面

右岸（南面）

左岸（北面）



アクリル系樹脂モルタル（RSモルタル）

厚塗りタイプの速硬化型モルタル

エポキシ系素地調整剤（エポミルクU）

薄塗用樹脂モルタル(平滑性と接着強度の向上を目的に使用)

プライマー（RW-10）

1液型ウレタン系プライマー

樹脂系表面被覆材（LU-100）

速硬化タイプ吹付ウレタン樹脂

トップコート（L-300）

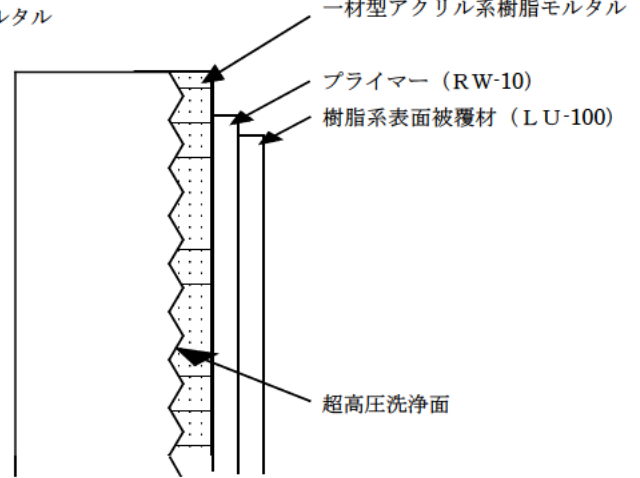
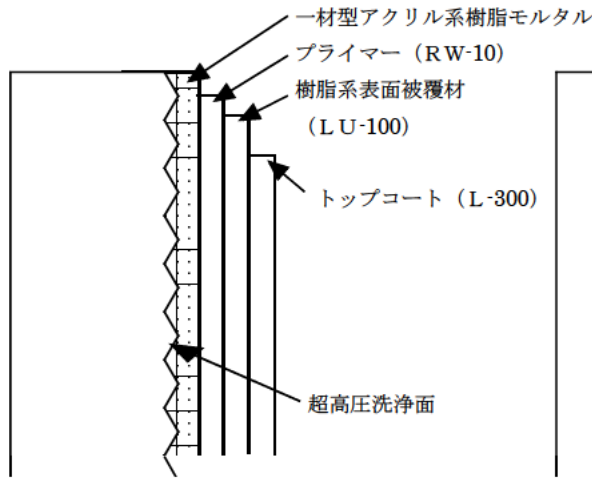
2液型アクリルウレタン樹脂

〔④・⑩〕 区間

施工断面

右岸（南面）

左岸（北面）



一材型アクリル系樹脂モルタル  
 プライマー (RW-10)  
 樹脂系表面被覆材 (LU-100)  
 トップコート (L-300)

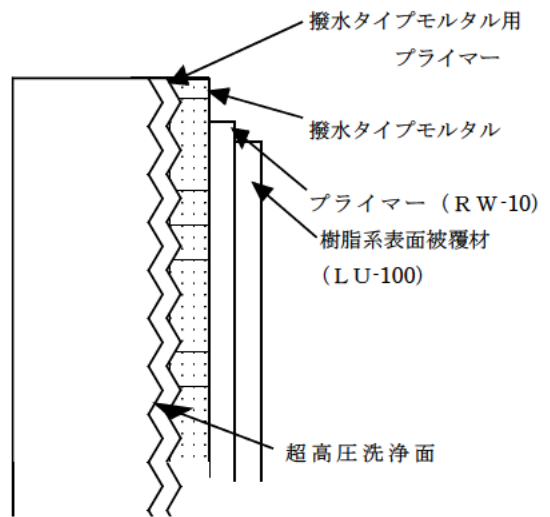
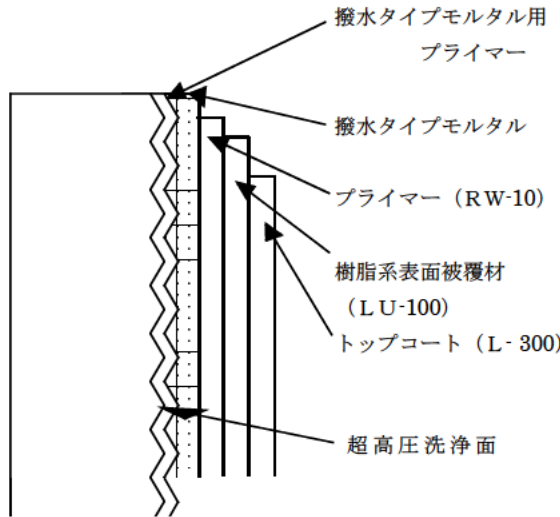
ポリマー内在型の厚塗りタイプモルタル  
 1液型ウレタン系プライマー  
 速硬化タイプ吹付ウレタン樹脂  
 2液型アクリルウレタン樹脂

〔⑤・⑪〕 区間

施工断面

右岸（南面）

左岸（北面）



撥水タイプモルタル用プライマー  
 撥水タイプモルタル  
 プライマー (RW-10)  
 樹脂系表面被覆材 (LU-100)  
 トップコート (L-300)

硬化後に撥水性が発現  
 1液型ウレタン系プライマー  
 速硬化タイプ吹付ウレタン樹脂  
 2液型アクリルウレタン樹脂

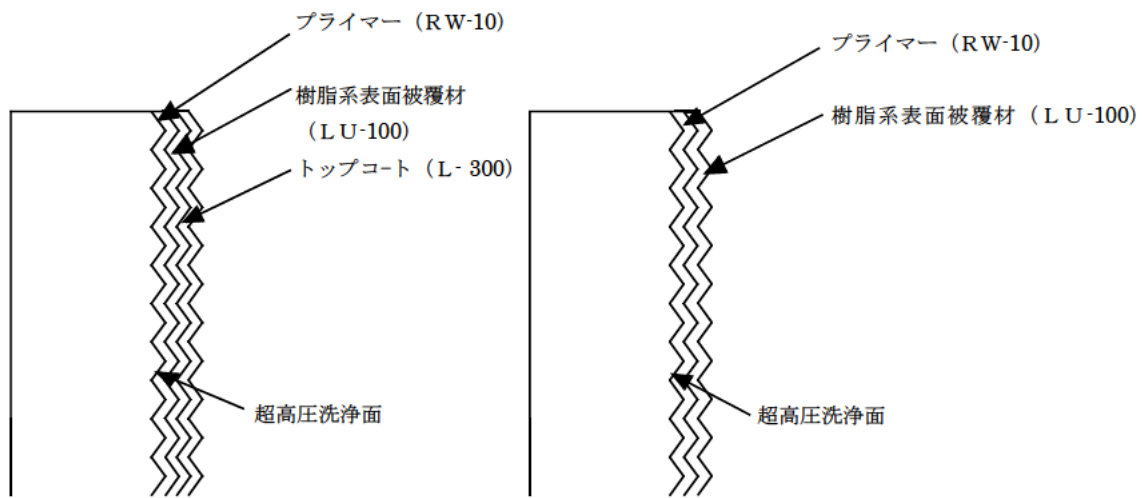


〔⑥・⑫〕 区間

施工断面

右岸（南面）

左岸（北面）



プライマー (RW-10)

1 液型ウレタン系プライマー

樹脂系表面被覆材 (LU-100)

速硬化タイプ吹付ウレタン樹脂

トップコート (L-300)

2 液型アクリルウレタン樹脂

## 2. 工事工程表

### 工 事 工 程 表

平成 年 月 日

独立行政法人東北国土研究所 殿

工事名 剣和幹線用水路試験施工(実施工程書)

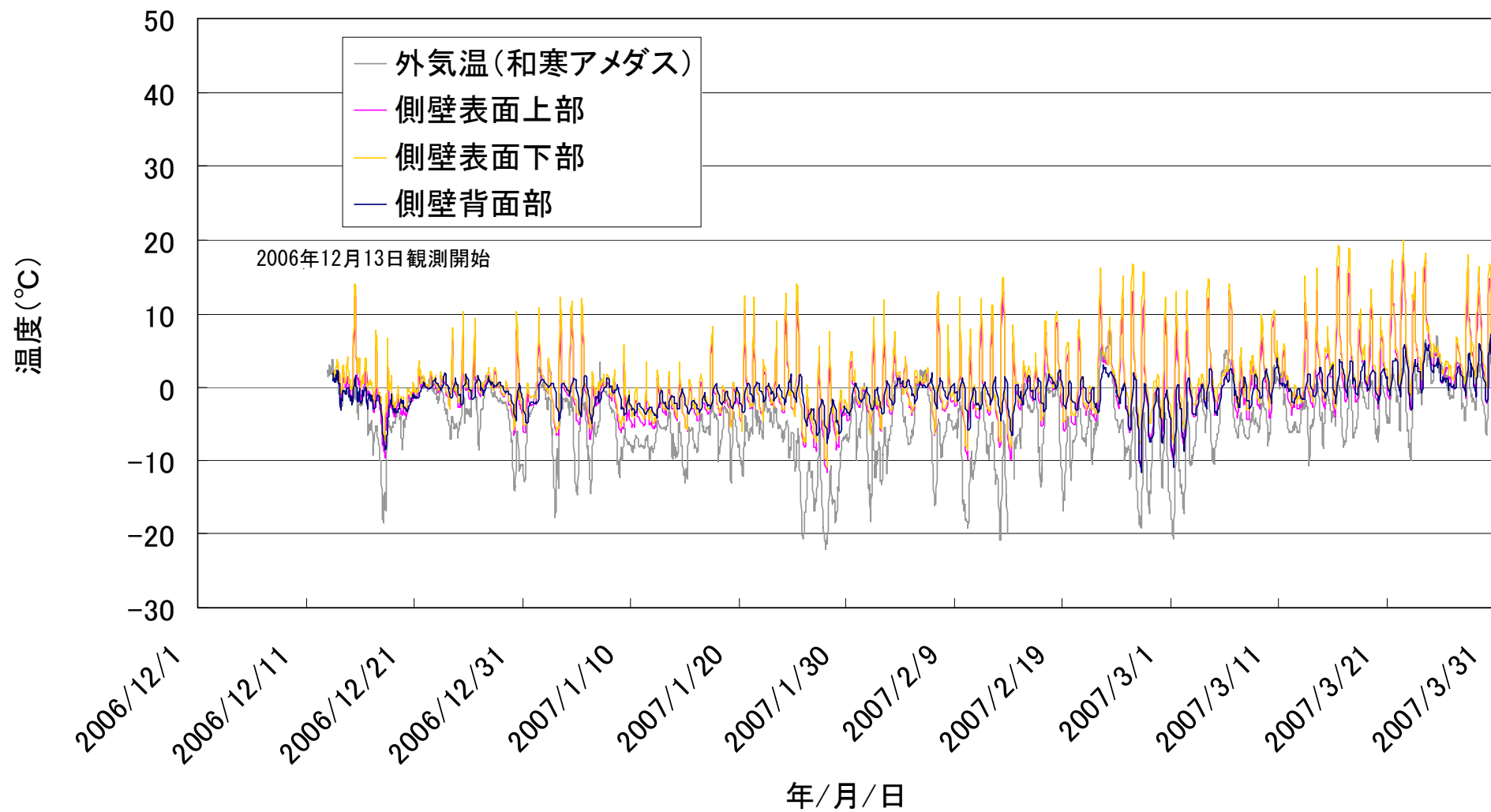
住 所 札幌東区東苗穂2条3丁目3-43  
 請負人 日本アクシス工業株式会社  
 氏 名 代表取締役 秋山 譲治

上記工事について、次の通り工程表を作成したので提出します。

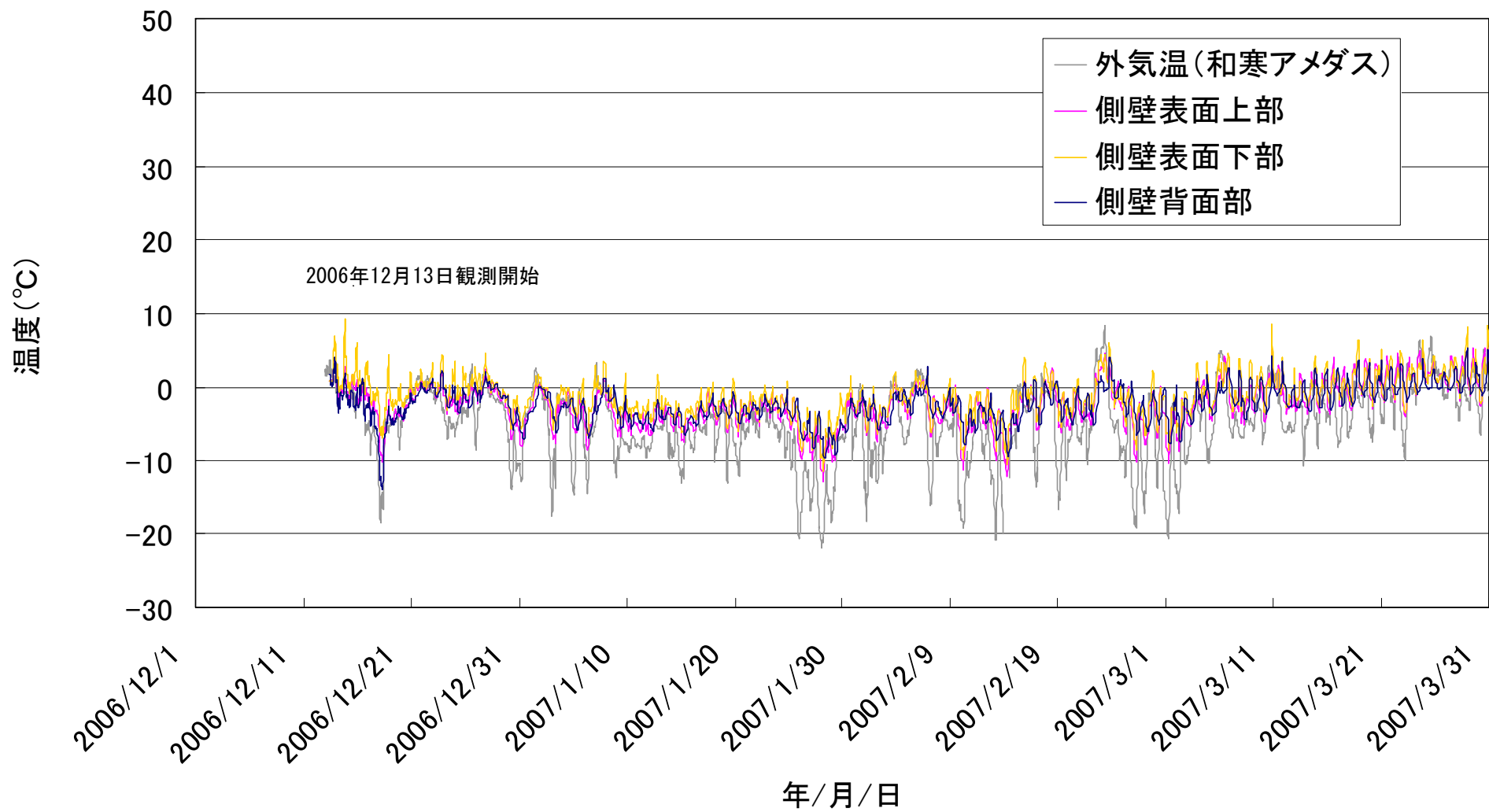
工 期 平成 18年 11月 2日から  
 平成 18年 12月 2日まで

種別 日別	11 月															12 月														
	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
仮設資材搬入	■																													
用水路側面掘削	■																													
仮設屋根組立	■	■																												
水替	■																													
超高压洗浄				■	■	■																								
下地SRモルタル塗布									■	■					■	■														
水替・止水栓設置																														
乾燥養生																														
プライマー塗布及び目地シール																														
ウレタン吹付トップコート																														
仮設解体																														

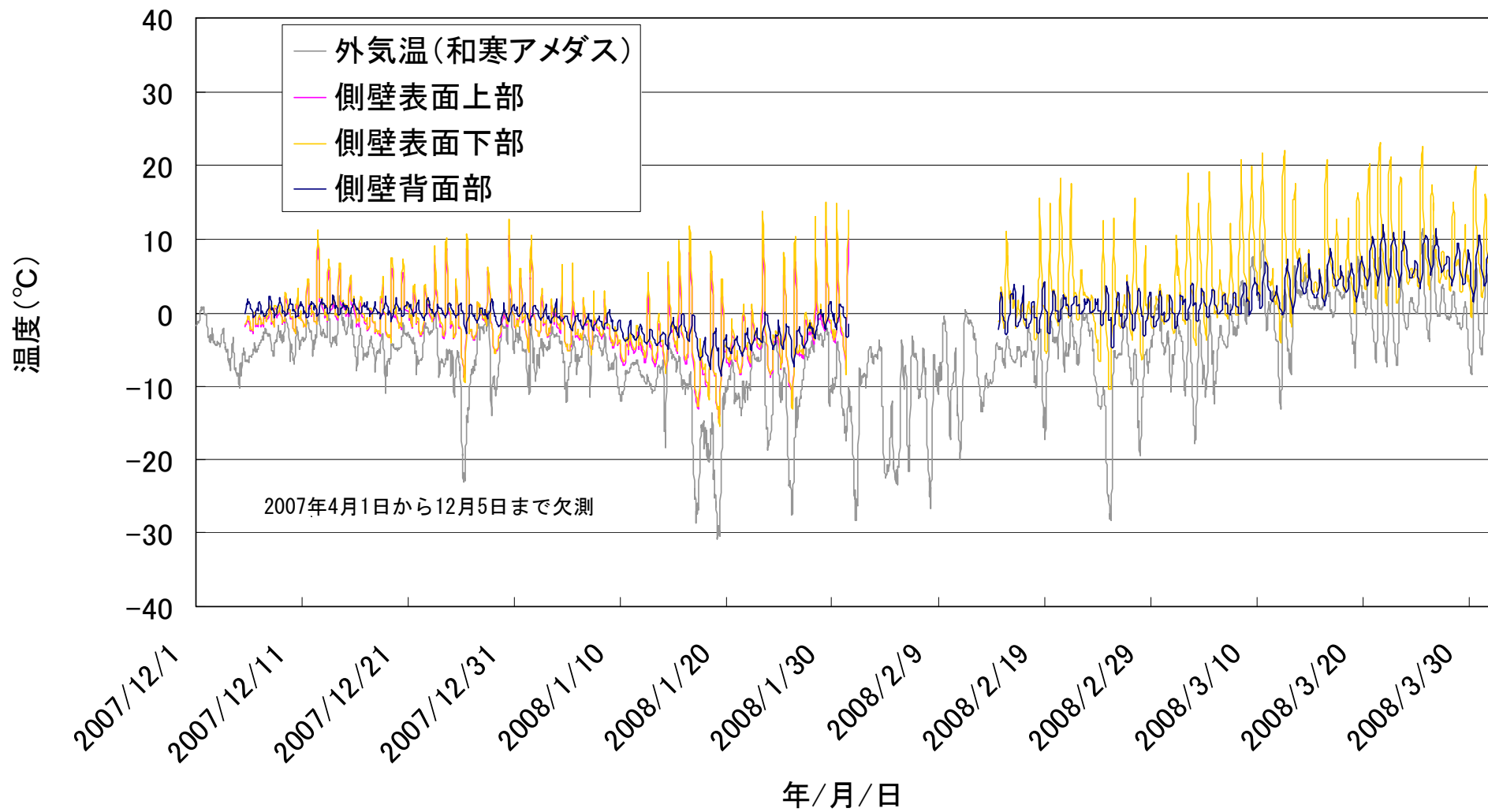
### 3. 樹脂系補修区間の温度環境



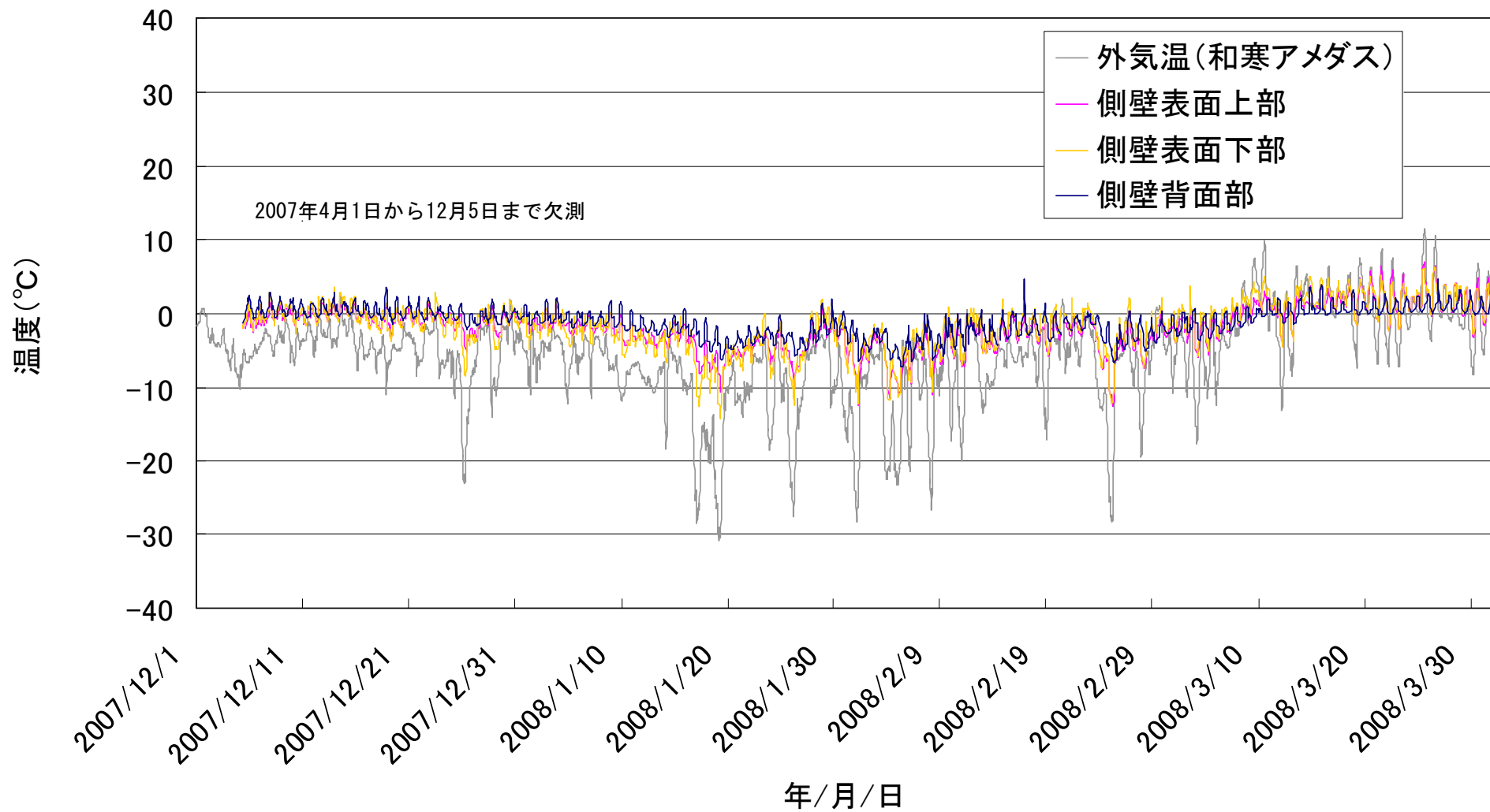
2006年度(12月～3月)の樹脂系補修区間における側壁表面および側壁背面の温度変化【南面】



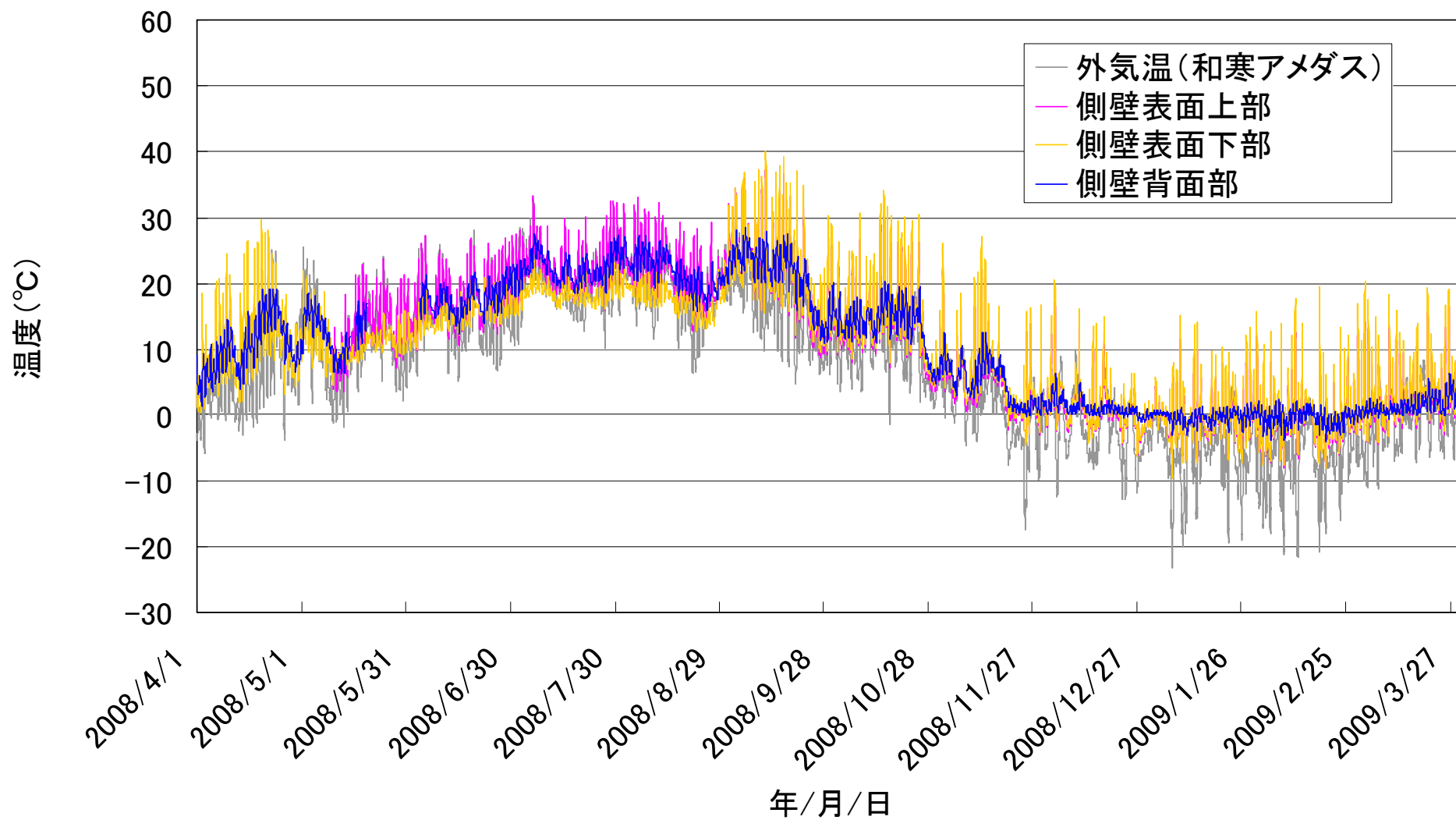
2006年度(12月～3月)の樹脂系補修区間における側壁表面および側壁背面の温度変化【北面】



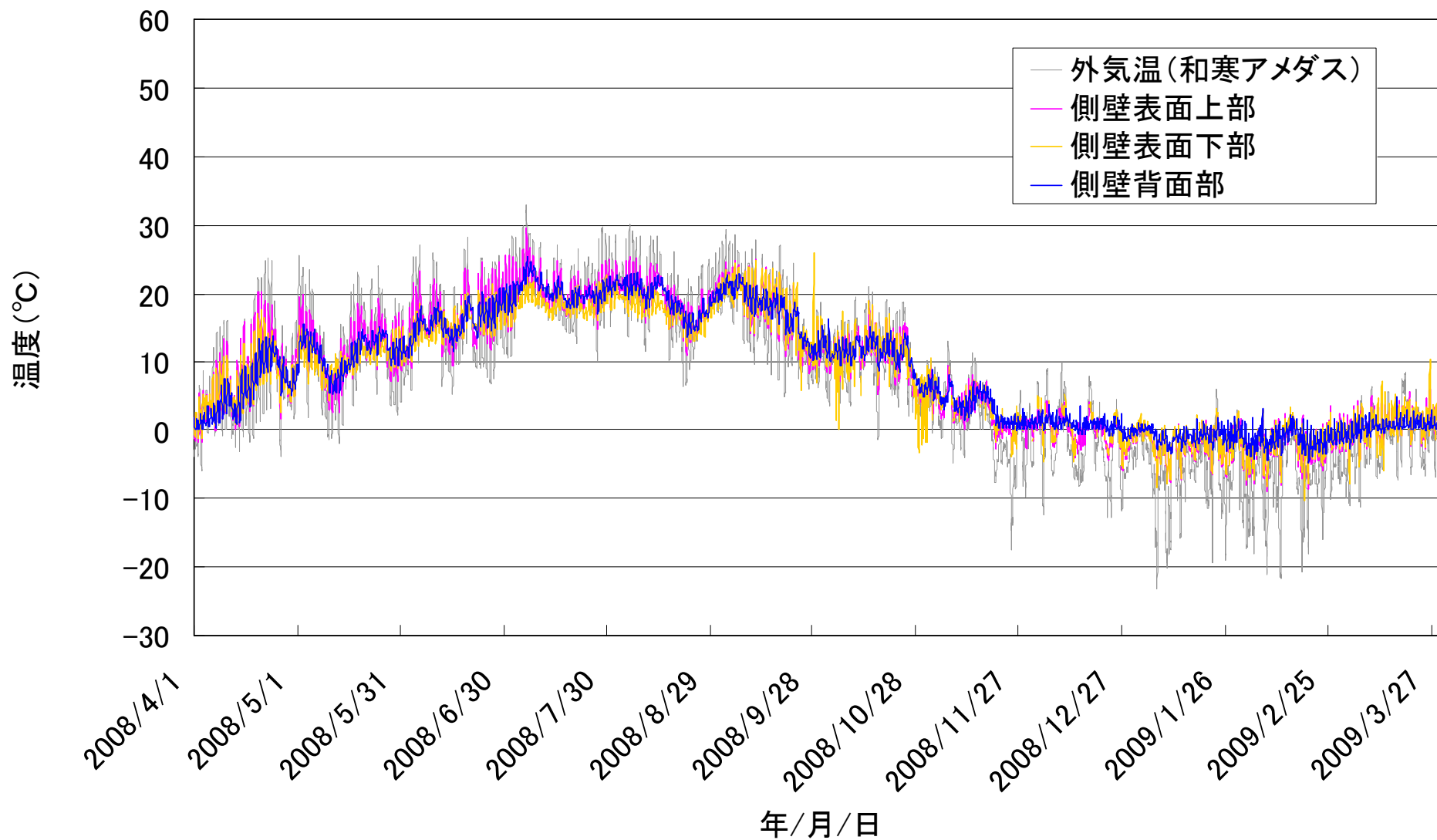
2007年度(12月～3月)の樹脂系補修区間における側壁表面および側壁背面の温度変化【南面】



2007年度(12月～3月)の樹脂系補修区間における側壁表面および側壁背面の温度変化【北面】

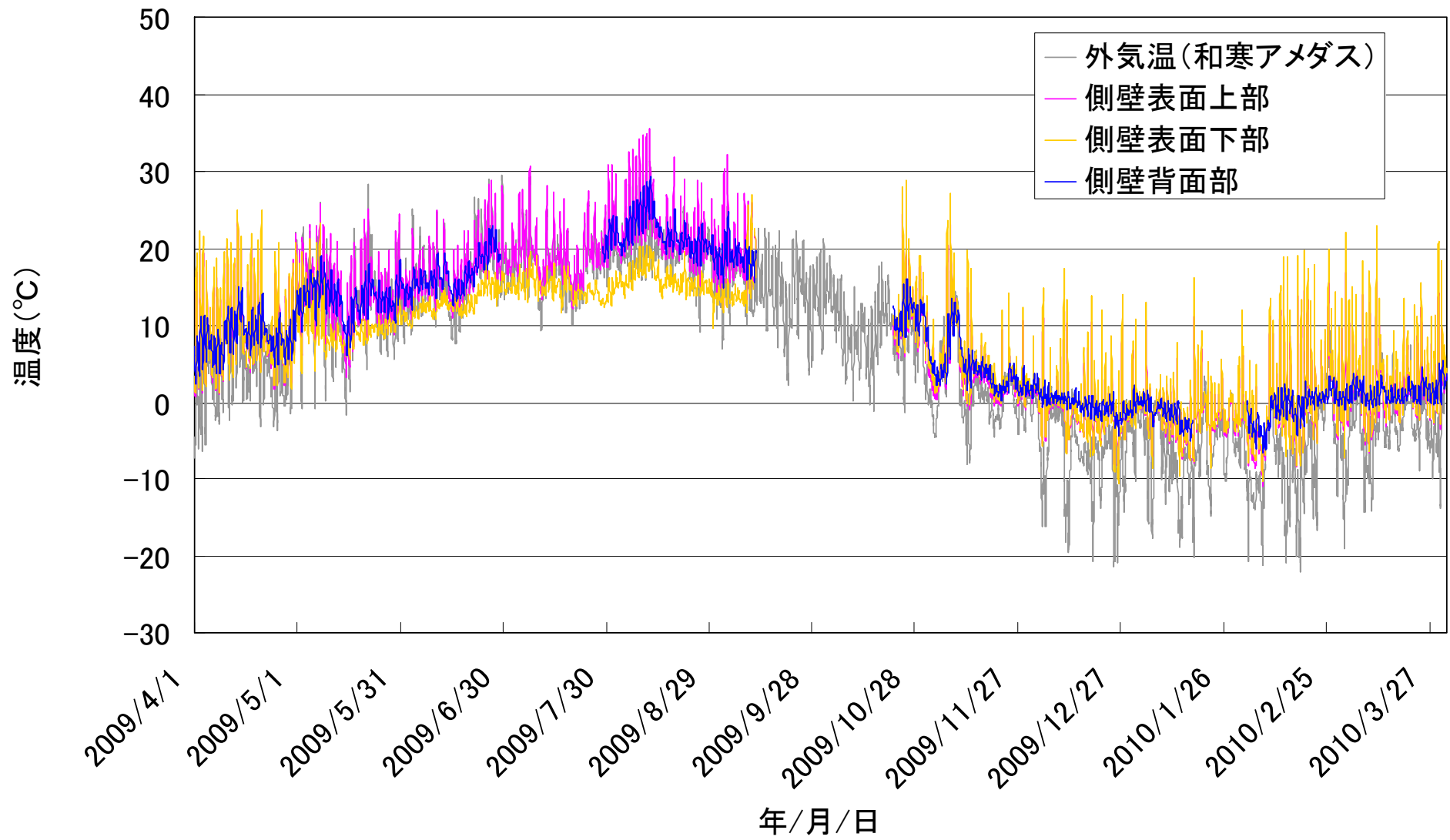


2008年度の樹脂系補修区間における側壁表面および側壁背面の温度変化【南面】

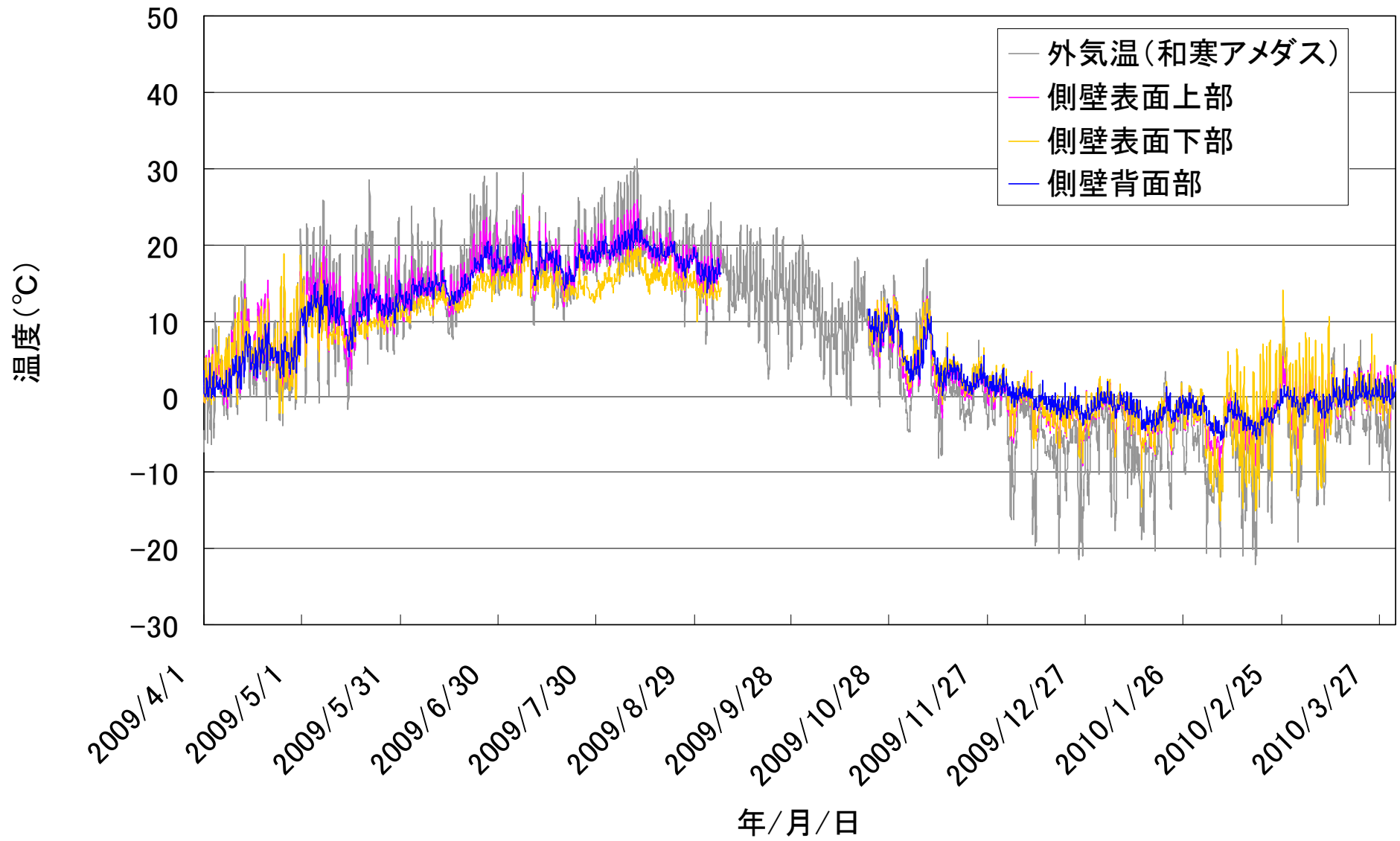


2008年度の樹脂系補修区間における側壁表面および側壁背面の温度変化【北面】



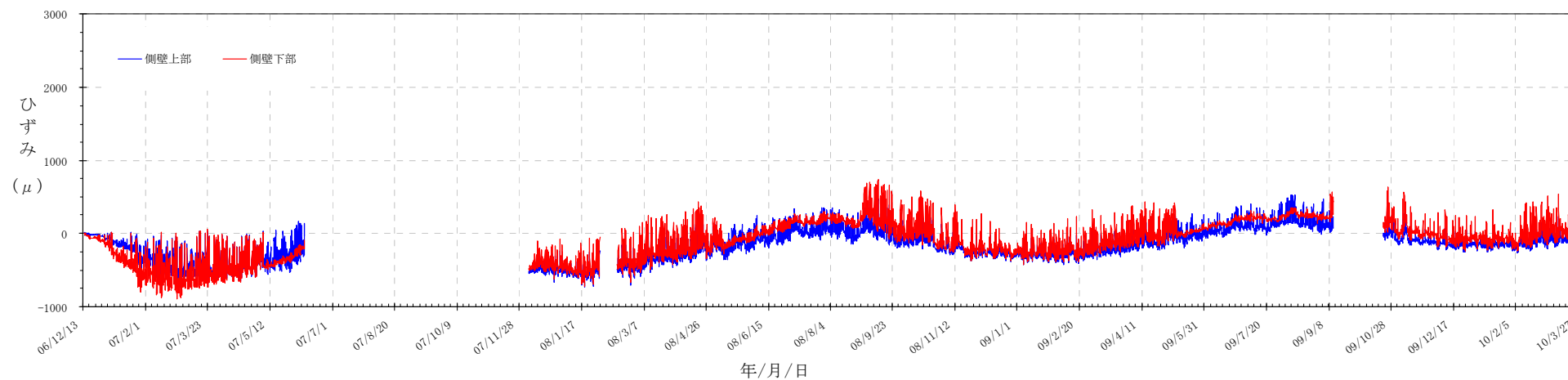


2009年度の樹脂系補修区間における側壁表面および側壁背面の温度変化【南面】

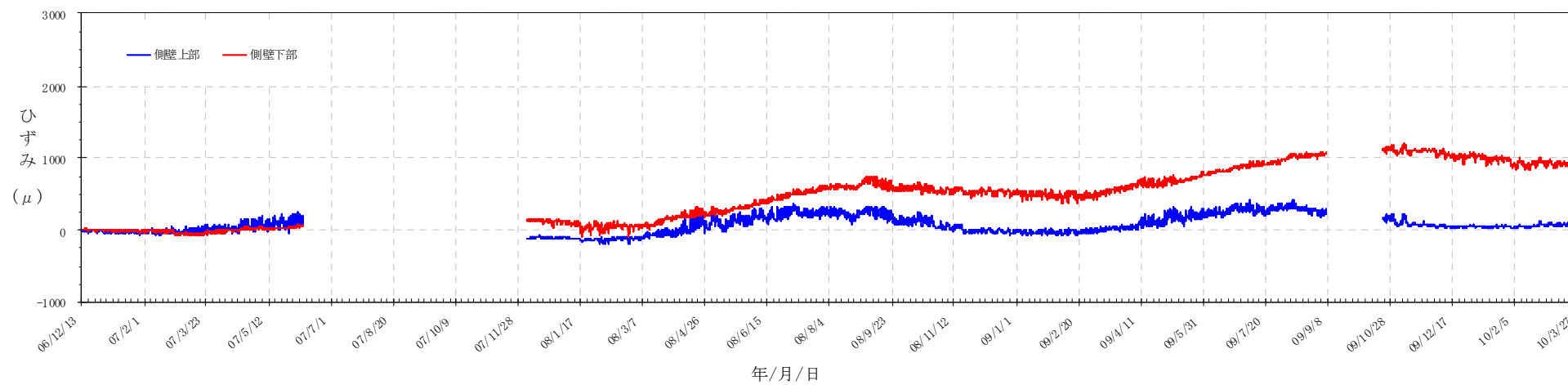


2009年度の樹脂系補修区間における側壁表面および側壁背面の温度変化【北面】

#### 4. 樹脂系補修区間の発生ひずみ



2006年度から2009年度までの樹脂系補修区間における側壁表面のひずみ【南面】



2006年度から2009年度までの樹脂系補修区間における側壁表面のひずみ【北面】

---

共同研究報告書  
COOPERATIVE RESEARCH REPORT of P.W.R.I.  
No.440 July 2012

編集・発行 ©独立行政法人土木研究所

---

本資料の転載・複写の問い合わせは

独立行政法人土木研究所  
寒地土木研究所 寒地技術推進室  
〒062-8602 北海道札幌市豊平区平岸1条3丁目1番34号 電話 011-590-4046