

寒地農業用水路におけるモルタル系  
表面被覆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  
日鐵セメント株式會社  
全国止水躯体補修工事協同組合

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モルタル系 表面被覆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>

日鐵セメント(株) 技術部

技術部研究所

部長 有賀美樹雄

所長 星 俊彦

副主幹研究員 小倉 東

主幹研究員 八島 洋<sup>※4</sup>

全国止水躯体補修工事協同組合

代表理事 片倉 達雄

技術部長 内海 亮

※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

※4：現 フジコンサルタント(株) 試験研究部長

## 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、セメントモルタル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、磨耗量調査等を、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等を実施した。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セメントモルタル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、セメントモルタル、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鐵セメント株式会社・全国止水躯体補修工事協同組合は、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、セメントモルタル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モルタル系表面被覆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 モルタル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	1
2.3 補修材料の性能	3
第3章 研究方法	5
3.1 水路補修の試験施工	5
3.1.1 施工箇所	5
3.1.2 施工手順	5
3.1.3 施工後の観測	8
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	9
第4章 研究結果	11
4.1 水路補修の試験施工	11
4.1.1 試験施工区間近傍の気象概要	11
4.1.2 観測結果	11
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	15
第5章 結論	16
第6章 今後の問題点等	16
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時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無機系のセメントモルタル（以下、モルタル系と称す。）とした。なお、有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、日鐵セメント株式会社、全国止水躯体補修工事協同組合による共同研究であり、実施期間は2006年12月4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、日鐵セメント株式会社が供試体の作成および現地付着力試験を、全国止水躯体補修工事協同組合が現地試験施工を担当した。

## 第2章 モルタル系表面被覆工法の特徴

この章では、本研究で対象としたモルタル系表面被覆工法のうち、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

今回、寒地農業用水路（コンクリート開水路）の補修工法の研究対象としたモルタル系表面被覆工法の特徴を図-1に示す。本工法の施工は、左官工法または吹付け工法など由来工法を主体としているため、特殊な技能、施工機械を必要とせず、容易に施工することが可能である。補修材料は、水を加えるだけのプレミックス製品であるため、現場での作業性が良好であるとともに安定した施工品質が得られる。また、寒冷期の施工では、養生時間の軽減と短時間での強度発現が可能な速硬タイプを選択して対応することができる。

なお、酸性河川などでの施工に適した耐硫酸タイプもあり、現場環境に応じた材料選択が可能である。

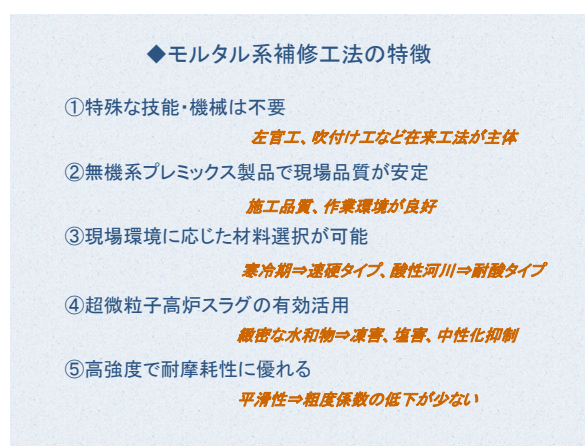


図-1 モルタル系表面被覆工法の特徴

### 2.2 補修材料の特徴

本工法で使用する材料は、超微粒子高炉スラグを原料としたセメントモルタルであることから、凍害、塩

害などに対する化学的抵抗性が高い。また、高炉スラグを利用しているため環境に配慮した材料である。

本材料は、表面部が劣化して平滑性が低下したコンクリートを当初の水理性能に回復する。また、耐摩耗性に優れているため、施工後も粗度係数の増大を抑制することができると考えられる。

高炉スラグ微粉末の特性のうち、化学抵抗性の向上に寄与するのが、潜在水硬性による緻密な水和物の生成である。普通セメントでは水和反応によりカルシウムシリケートと水酸化カルシウムを生成するが、水溶性で粗大な結晶である水酸化カルシウムは、水密性の阻害要因となる場合もある。潜在水硬性のある高炉スラグは、この水酸化カルシウムを消費して、緻密なカルシウムシリケート水和物を生成するため、水密性および化学的抵抗性の高い水和物が得られる（図-2）。

高炉スラグの置換率と圧縮強度の関係を図-3に示す。一般に、高炉スラグの置換率を高めると圧縮強度が低下するが、スラグの粉末度を上げることで強度低下を抑制することが可能である。図-3は、スラグの粉末度が4,000ブレン（S4）の場合と8,000ブレン（S8）の場合の試験結果であるが、粉末度を上げることで強度低下が抑制できることがわかる。

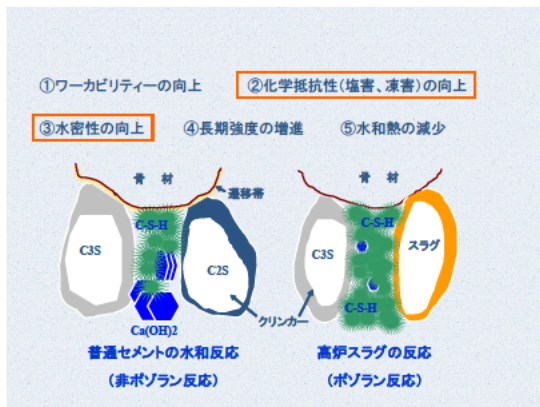


図-2 高炉スラグ微粉末の特性

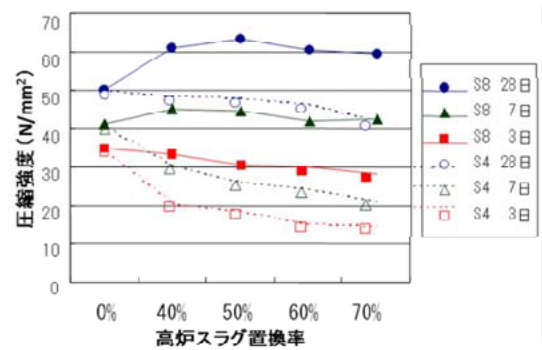


図-3 高炉スラグ置換率および微粉末が圧縮強度に与える影響

本工法における材料の使用順序は次のとおりである。

①前処理として躯体の劣化部を除去した後、ひび割れなどがある場合は、ひび割れに超微粒子ひび割れ注入材の充填を行う。

②底版には、高強度の耐摩耗性の高い断面修復材（以下、NEM-R1と称す。）を左官工法で施工し、側壁には、有機短繊維（ビニロン繊維）を加えてひび割れ抵抗性を高めた断面修復材（以下、NEM-RSと称す。）を左官工法または吹付けで施工する。

③耐久性を要求される箇所については断面

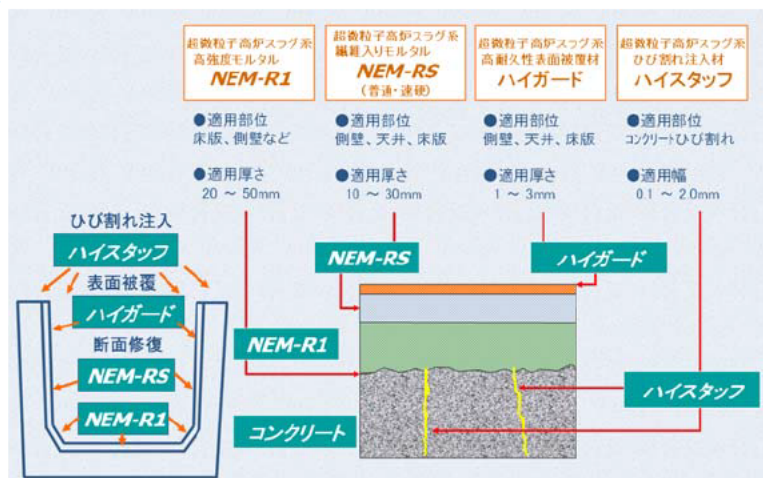


図-4 補修材料の種類

修復材の上に表面被覆材として、耐久性の高いポリマーセメントモルタル（以下、ハイガードと称す。）を薄塗りで塗布する。

このような使用材料の組合せによって、現場状況に合わせた施工を行うことが可能である（図-4）。

## 2.3 補修材料の性能

### (1) 強度および化学的抵抗性

#### ① NEM-R1

NEM-R1の強度特性を表-1に示す。底版に施工するNEM-R1は、施工後の短期間で高強度を発現し、28日時点では67N/mm<sup>2</sup>と非常に高い圧縮強度を発現する。これによって、耐摩耗性が非常に高くなる。また、付着強度も十分な性能を有する。

NEM-R1の塩分浸透性、凍結融解抵抗性、耐摩耗性を図-5に示す。NEM-R1は、塩分浸透性、凍結融解抵抗性ととも普通モルタルに比べ、高い性能が得られる。また、耐摩耗性についても、普通モルタルより優れた性能を有している。

表-1 NEM-R1の強度特性

強度特性(圧縮・曲げ)		試験方法:JIS R 5210に準拠				
種類	圧縮強度(N/mm <sup>2</sup> )			曲げ強度(N/mm <sup>2</sup> )		
	3日	7日	28日	3日	7日	28日
NEM-R1	40.5	57.1	67.2	7.28	8.35	9.46
普通モルタル (W/C=50%)	25.1	31.4	43.7	4.23	5.53	8.06

強度特性(付着)		試験方法:建研式に準拠	
種類	付着強度(N/mm <sup>2</sup> )		
	7日	28日	
NEM-R1	1.8	2.0	
普通モルタル (W/C=50%)	0.9	1.1	

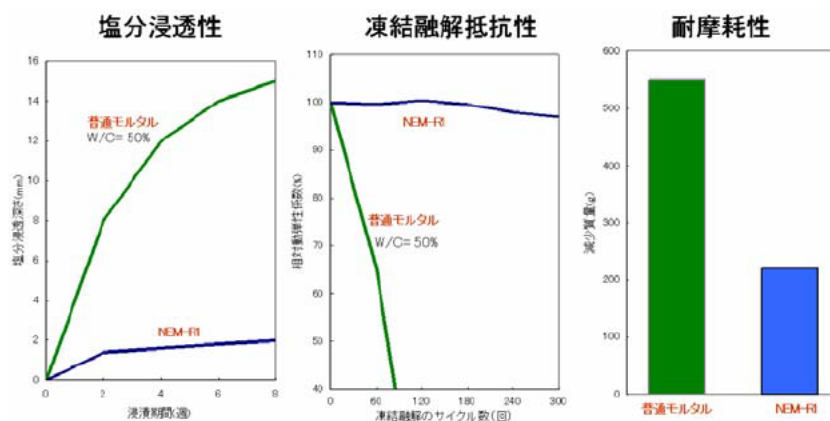


図-5 NEM-R1の塩分浸透性、凍結融解抵抗性、耐摩耗性

#### ② NEM-RS

NEM-RSの強度特性を表-2に示す。側壁に施工する繊維入りの補修モルタルであるNEM-RSは、現場環境に応じて、普通型、常温速硬型、低温速硬型という材料を使い分けることができる。それぞれの圧縮



強度は、表-2に示したように高い性能を発揮する。また、速硬型については短時間で強度を発現するので、寒冷期の施工のケースや緊急施工のケースには有効である。

NEM-R Sの塩分浸透性、凍結融解抵抗性、耐摩耗性を図-6に示す。NEM-R Sは、塩分浸透性、凍結融解抵抗性ともに普通モルタルに比べて高い性能を示す。また、耐摩耗性も普通モルタルより優れた性能を有する。

表-2 NEM-R Sの強度特性

強度特性(圧縮・曲げ) 試験方法:JIS R 5210に準拠

種類	養生温度	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )					曲げ強度 (N/mm <sup>2</sup> )				
		6時間	1日	3日	7日	28日	6時間	1日	3日	7日	28日
NEM-RS 普通型	20℃	-	-	25.0	36.0	51.0	-	-	4.0	6.0	7.0
NEM-RS 常温速硬型	20℃	11.6	29.3	-	49.3	59.5	2.2	4.8	-	8.0	10.0
NEM-RS 低温速硬型	5℃	7.0	23.9	-	44.4	55.1	1.1	3.9	-	7.2	9.0
普通モルタル W/C = 50%	20℃	-	-	-	31.4	45.7	-	-	-	5.5	8.0

強度特性(付着)

試験方法:建研式に準拠

種類	養生温度	付着強度(N/mm <sup>2</sup> )	
		7日	28日
NEM-RS 普通型	20℃	1.7	1.8
NEM-RS 常温速硬型	20℃	1.5	1.7
NEM-RS 低温速硬型	5℃	1.6	1.8
普通モルタル W/C = 50%	20℃	0.94	1.1

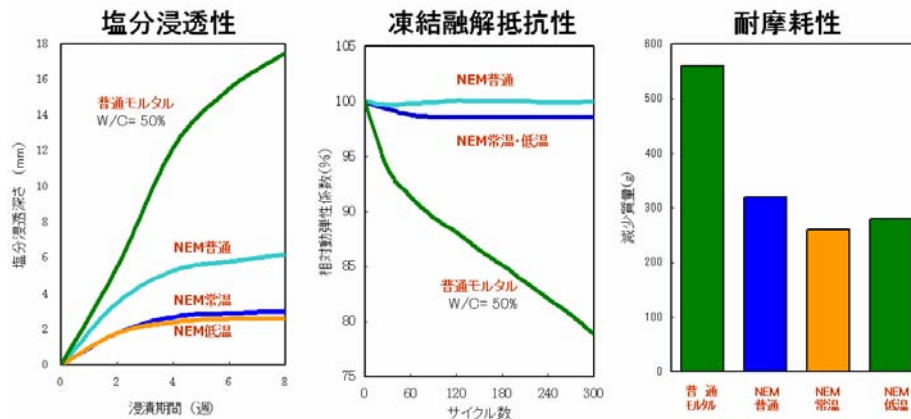


図-6 NEM-R Sの塩分浸透性、凍結融解抵抗性、耐摩耗性

(2) 粗度係数

底版にNEM-R 1、側壁にNEM-R Sを塗布した水路の水理実験を流量を変えた4ケースで行い、粗度係数を求めた結果は表-3のとおりである。粗度係数は、コンクリート製現場打ちフルーム水路の標準値である $n=0.015^1$ よりも若干小さな値である $n=0.011$ であった。

表-3 粗度係数測定結果

B=580mm	ケース1	ケース2	ケース3	ケース4
Q (l/s)	70.62	95.25	120.31	130.01
h (mm)	181.9	221.1	278.2	265.3
Fr	0.50	0.50	0.45	0.52
V (m/s)	0.67	0.74	0.75	0.85
h/B	0.31	0.38	0.48	0.46
<b>粗度係数(n)</b>	<b>0.0105</b>	<b>0.0113</b>	<b>0.0096</b>	<b>0.0106</b>

B:水路幅、Q:流量、h:水深、Fr:フルード数、V:流速

### 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12月に行った。

##### 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-7）。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。

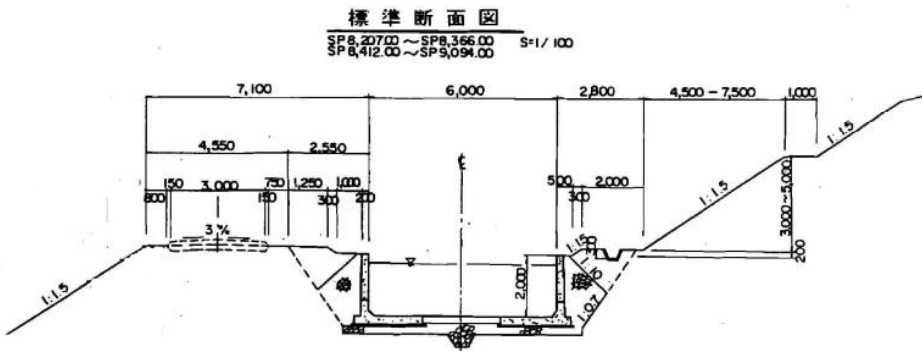


図-7 施工箇所の標準断面図



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

表-4に試験施工での施工工程表を示す。各工程の作業は次のとおりである。

表-4 施工工程表

項目	1日目	2日目	3日目	4日目	5日目	6日目	7日目	8日目
準備工	—							
劣化部除去工		—						
養生仮設工			—					
プライマー塗布				—				
セメントモルタル施工				壁面				
				底面				
給熱養生				—	—	—		
上屋養生							—	—
養生仮設取外し								—

### (1) 準備工

準備工では、仮設ハウスの設置や上流側水締切りのための土嚢積みを行った。

### (2) 劣化部除去工（写真-2）

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。なお、超高压洗浄に先立ち、用水の水流による補修バレル端部からのモルタルの剥離を抑制する目的で、補修バレルのうち、目地端部から7cm内側の位置にコンクリートカッターで深さ3cmの切り込みを入れ、ブレードで除去した（図-8）。超高压洗浄終了後には、洗浄水やガラをバキュームポンプで吸い上げ、補修面を清掃した。



写真-2 劣化部除去工

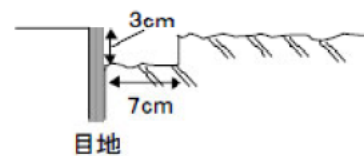


図-8 端部処理

### (3) 養生仮設工（写真-3）

単管足場とブルーシートにて仮設上屋を設置した。内部にジェットヒーターを1基配置し、施工開始4時間前に点火して内部を加温した。

### (4) プライマー塗布（写真-4）

ライオンボンドAによるプライマー処理を未処理部がないように、刷毛で入念に行った。プライマーは付着強度の増進および躯体へのモルタル水分の吸水防止のために使用した。

### (5) セメントモルタル施工（写真-5）

モルタルの練混ぜはペール缶とハンドミキサーにて1袋ずつ行い、モルタルの塗布は左官工3名にて壁面、底面の順に施工した。使用したモルタルは、側壁には有機短繊維（ビニロン繊維）入りのNEM-R S低温速硬型を使用し、底版については上流側半分には有機短繊維（ビニロン繊維）入りのNEM-R S低温速硬型を、下流側半分にはNEM-R 1をそれぞれ施工した（図-9）。施工厚さは、通水断面の確保を考慮し、側壁および底版ともに5～10mm程度とした。底版には縦断方向に目地が2カ所あるが、特に処理は行わず前述2種類のモルタルをそのまま施工した。

### (6) 給熱養生（写真-6）

施工後は、施工日を含めて3日間の給熱養生を行い、仮設上屋内部の温度を5～10℃程度に保った。その後、給熱養生を終了し、急激な温度変化を避けるために1.5日間仮設上屋を設置したままで養生し、4日目に仮設上屋を取り外した。



写真-3 養生仮設工

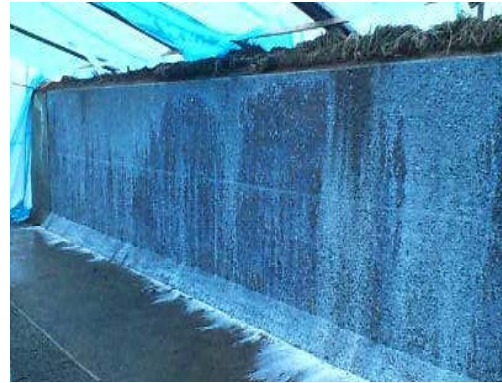


写真-4 プライマー塗布



写真-5 セメントモルタル施工



写真-6 給熱養生

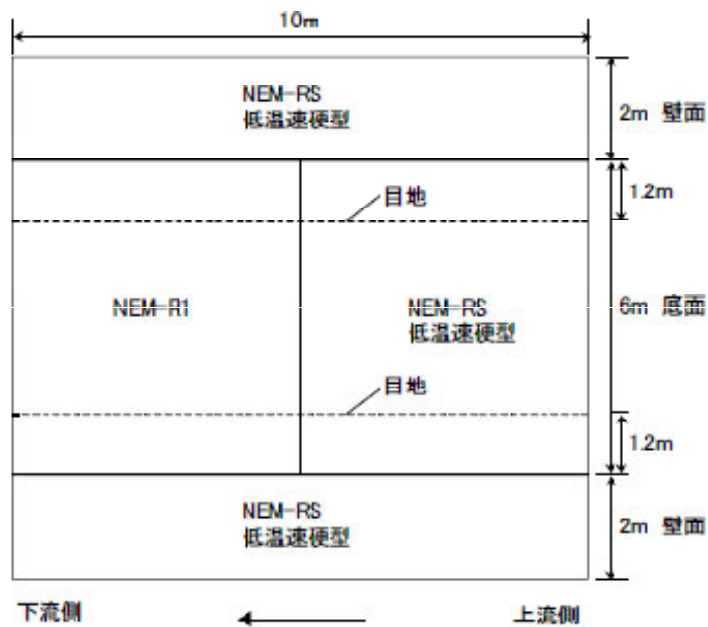


図-9 施工展開図

(7) 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-10に示す。なお、寒冷的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

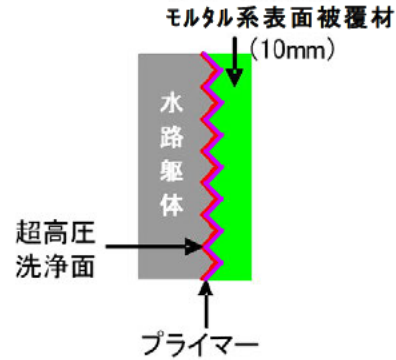


図-10 補修工法の施工断面

### 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-5に示す。

表-5 施工区間における観測項目

#### (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-11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。)、下部(天端から100cm下、以下、側壁下部と称す。)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。

観測項目	測定箇所	測定頻度	備考
目視調査	補修区間	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
摩耗量	側壁および底版	1~2回/年 (融雪後または落水後)	摩耗減少厚さの測定

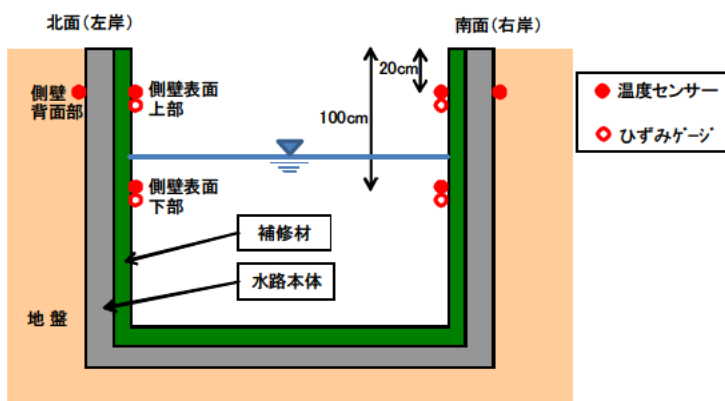


図-11 側壁表面等の温度、ひずみの観測位置

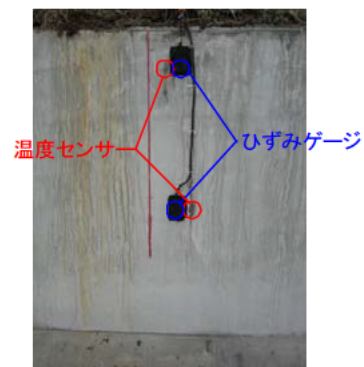


写真-8 補修材表面への温度センサーの設置状況

### (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。付着強さの測定位置は、側壁(NEM-R S低温速硬型)の南面と北面のそれぞれでの2点(側壁上部と側壁下部)、および底版の上流側(NEM-R S低温速硬型)、下流側(NEM-R 1)とした。測定は、南面の側壁では2007年11月から2009年10月までに計4回、北面の側壁では2008年10月から2009年10月までに計3回、底版は2007年11月と2008年10月(下流側のみ)の計2回実施した。測定1箇所当たり4個の上部引張用治具を設置し、それらの測定値の平均を付着強さの値とした。なお、対象とする試験面が湿潤状態となっている部位では、治具を取り付ける際にその水分によってエポキシ樹脂接着剤が硬化しないので、治具の設置が可能な位置で行うこととした。このため、2007年10月の試験時には、北面が湿潤であったため試験を実施できず、2008年10月から2009年10月までの計3回となった。同じく北面の2009年4月の試験では、乾燥している試験面の範囲が非常に狭く、付着強さ試験用治具の取り付け範囲が限られていたことから、4ヵ所の治具の設置を3ヵ所に変更して試験を行った。一方、底版の付着強さ試験は、雪解け水や落水後の残留水のため、上流側のNEM-R Sについては2007年11月の1回、下流側のNEM-R 1については2007年11月および2008年10月の計2回にとどまった。

### (4) 磨耗量

磨耗量は、補修面に対して頭部が数mm出るように打ち込んだ鋼製のアンカーピンの先端と補修面の距離を測定し、その経時変化によって求めた。アンカーピンは試験施工から1年後の2007年11月に側壁と底版に設置した。測定位置は、側壁表面(NEM-R S低温速硬型)の北面・南面の灌漑期水位の上下部と底版の上流側(NEM-R S低温速硬型)および下流側(NEM-R 1)とした。測定は、2008年と2009年の落水後に実施した。なお、2007年11月の基長測定時には、ピン1箇所に対して1点の測定であったが、2008年10月の調査からは、ピン1箇所に対し直行する4点としてその平均値を結果とした。

## 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、補修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、室内試験により低温下での養生後、凍結融解を繰り返した後の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有機短繊維(ビニロン繊維)入りのNEM-R S低温速硬型を、モルタル基板の上に厚さ10mm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℃で5日、0℃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℃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℃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で+5℃から-18℃、融解過程で-18℃から+5℃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。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。

### 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。

## 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-6に示す。このデータは、和寒観測所の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-10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-6 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

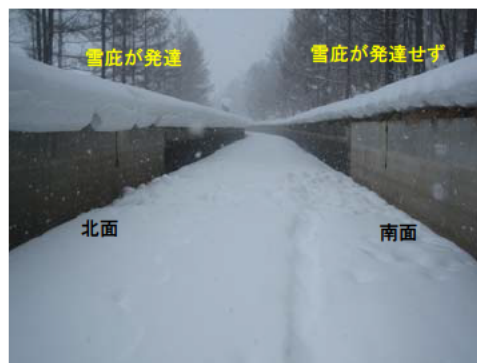


写真-10 冬期の試験施工区間の状況

#### 4.1.2 観測結果

##### (1) モルタル系補修区間の温度環境

モルタル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 $+4^{\circ}\text{C}$ まで上昇する。一方、最低温度は年によって異なるが、 $-10^{\circ}\text{C}$ ～ $-17^{\circ}\text{C}$ 程度であった（巻末資料参照）。冬期間の側壁南面のモルタル系補修区間等の温度の推移を図-12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-7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 $-5^{\circ}\text{C}$ ～ $-6^{\circ}\text{C}$ 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。



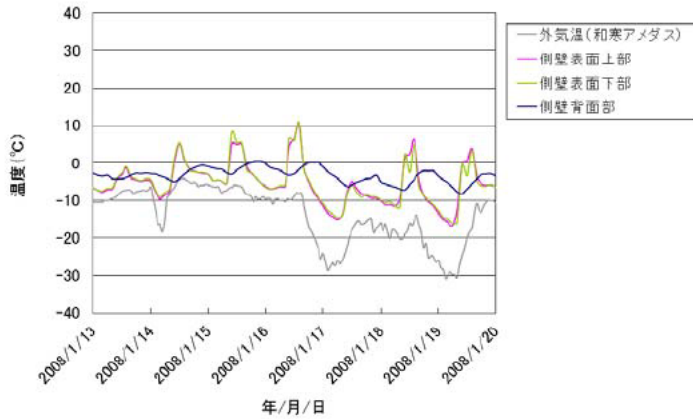


表-7 2006年度から2009年度までの1月における補修表面温度の平均値

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	-6.0	-5.7
日最高温度		3.9	4.4
日最低温度	北面	-5.5	-5.6
日最高温度		-1.3	-1.2

図-12 冬期間のモルタル系補修区間等の温度の推移（側壁南面）

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>2)</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-13に示す。

凍結融解回数は、南面では2008年度は31回、2009年度は38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-14）。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-6左）、寒冷な年では凍結融解回数が増える可能性もある。

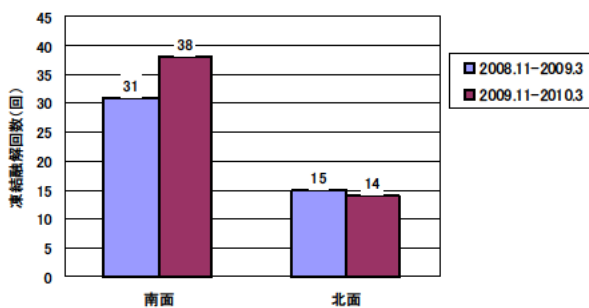


図-13 モルタル系補修表面の凍結融解回数

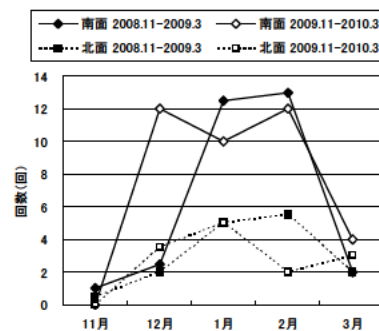


図-14 モルタル系補修表面の月毎の凍結融解回数

写真-11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-11 冬期間の南向き側壁の状況

### (2) モルタル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月末現在ま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-12）は、側壁および底版ともにひび割れや表面剥離等の現象が見受けられず、良好な状態を保っていた。しかし、NEM-R Sで施工された側壁および底版は、水流の影響がある部位において、表層のセメントペースト部分が洗われたような形跡が若干見られ、ごく僅かではあるものの細骨材が露出した状況であった。また、NEM-R 1を施工した底版では、施工後1年目の調査時において、下流側末端部の一部分に割れによる剥離が確認されたものの、その後の経過観察では新たな割れの発生や剥離の拡大等は見られなかった。

その他、外観性状において特筆する事項として、通水中の藻の付着が挙げられる。藻の付着は、NEM-R Sを施工した側壁および底版に見られ、NEM-R 1を施工した床面には全く見られなかった（写真-13）。これは、上流から流れてきた藻がNEM-R S表面の細骨材や繊維に絡みついたものと推察されるが、詳細な原因は不明である。



写真-12 モルタル系の施工3年後の状況

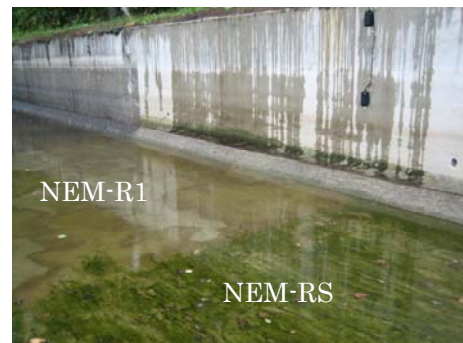


写真-13 藻の付着状況

#### (4) 側壁および底版における付着強さ

##### ① 側壁における付着強さ

写真-14に付着強さ試験の状況を、図-15に側壁の付着強さの平均値を示す。南面の側壁下部における2009年10月の試験では、治具の貼り付け後、翌日に接着力試験機を設置した段階において、治具が既設コンクリートから破断したため、付着強さを評価するための試験値が得られなかった。

図-15のように、付着強さは概ね $1.0\text{N}/\text{mm}^2$ 前後であった。しかし、破断が付着境界面付近の躯体コンクリートで起こっていたことから、測定値は躯体コンクリートの強度であり、被覆材自体はそれ以上の付着強さを有していた。



写真-14 付着強さ試験状況

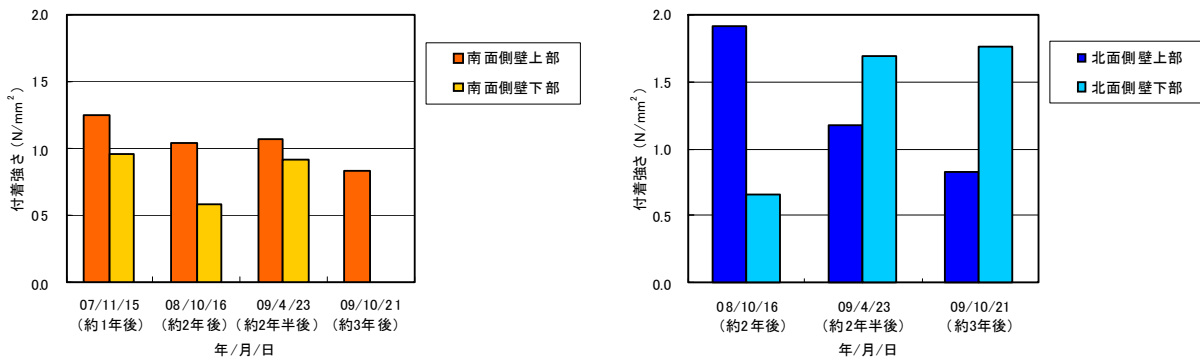


図-15 側壁の付着強さ

##### ② 底版における付着強さ

図-16に底版の付着強さの平均値を示す。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<sup>3)</sup>に対し、上流側底版および下流側底版ともにその値を上回った。破断面は、上流側底面でモルタルの表層での凝集破断が一部見受けられたが、双方共に概ね付着界面破壊であった。

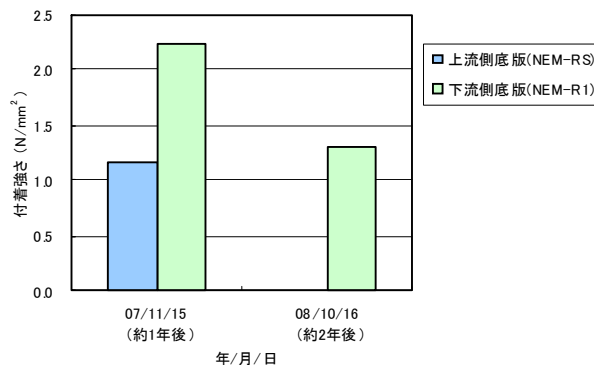


図-16 底版の付着強さ

## (5) 磨耗量

灌漑期間を1回経た後のアンカー長を基準にした通水3回目までの側壁の磨耗量の推移を図-17に、磨耗の量測定状況を写真-15示す。南面の側壁下部で磨耗が進行する傾向にあるが、その量は0.3mmと少ない値である。その他の部位では磨耗はほとんど進行していなかった。底版については、上流側、下流側ともに磨耗は認められなかった。

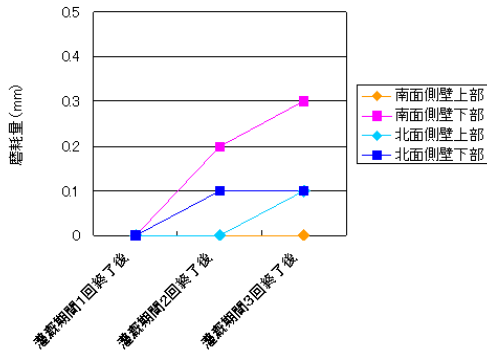


図-17 灌漑期間1回終了後を基準としたモルタル系の磨耗量

写真-15 磨耗量の測定状況

## (6) 試験施工区間の評価

モルタル系表面被覆工法については、付着強さは評価できなかったが、目視観察では変状が無く、磨耗もほとんど進行していないため、補修後3年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養生後の試験用供試体での付着強さを示す。表面被覆材に求められる付着強さは、工法や被覆材のタイプにより異なるが一般に $1.0\text{N}/\text{mm}^2$ 以上とされている<sup>3)</sup>。いずれの条件でも付着強さは $1.0\text{N}/\text{mm}^2$ を上回っており、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なとされる付着強さ以上となることがわかった。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。

### (2) 凍結融解作用と付着強さの関係

凍結融解の繰返しでは、100サイクル以降で付着強さが $1.0\text{N}/\text{mm}^2$ を下回った。これはモルタル系の材料が表面からの水分浸透によって凍結融解作用を受けたためと考えられた。なお、養生温度による違いは明確でなかった。

付着強さ試験を実施した後の供試体をみると、写真-16のように表面被覆材とモルタル基板の付着境界面で剥がれていることから、補修材料の強度の低下よりもモルタル基板と補修材料の境界面の付着強さが低下する方が早いことが示された。しかしながら、現地試験施工区間では剥離はみられないことから、モルタル

系の表面被覆材が現場における供用中に剥離が生じ始めるときの付着強さを確認し、付着強さを評価する際の閾値をどの程度に設定するかといった課題があるため、今後も調査・研究を継続していく必要がある。

表-8 モルタル系の養生後の付着強さ

養生条件	付着強さ(N/mm <sup>2</sup> )
5°C,5日+0°C,23日	1.99
5°C,28日	1.36
20°C,28日	2.59



写真-16 モルタル系の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)

## 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12月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の施工に限定され、北海道のような積雪寒冷地では、低温条件下での施工を余儀なくされることになる。

今回、本研究において寒冷地型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セメントモルタル系の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も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。とくに、補修部の長期供用後に必要となる付着強さの閾値の設定が、今後の長期耐久性の検討で重要である。

## 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。

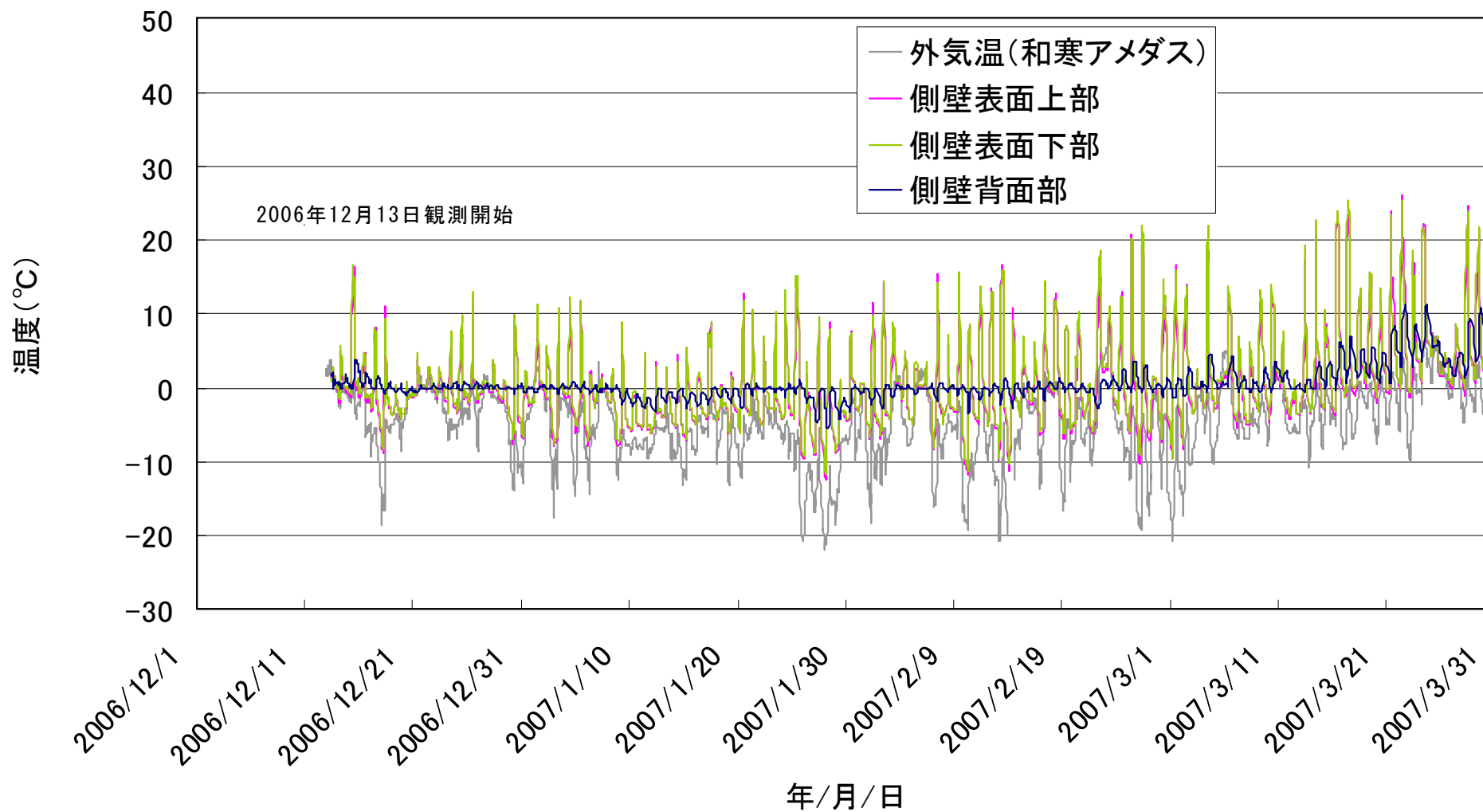
## 参考文献

- 1) 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
- 2) 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
- 3) 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

## 卷末資料

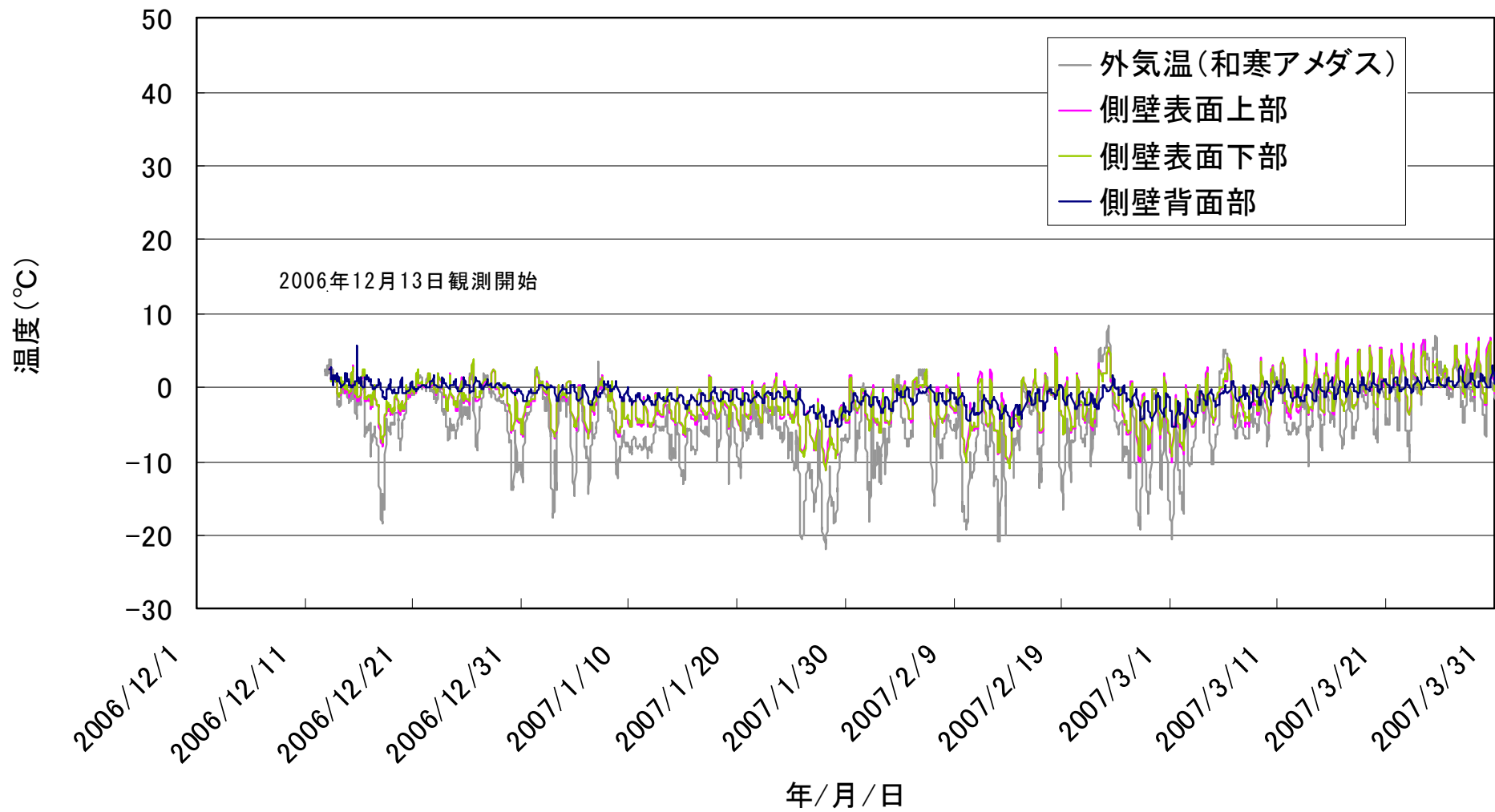
1. モルタル系補修区間の温度環境（19ページ～26ページ）
2. モルタル系補修区間の発生ひずみ（27ページ）

# 1. モルタル系補修区間の温度環境

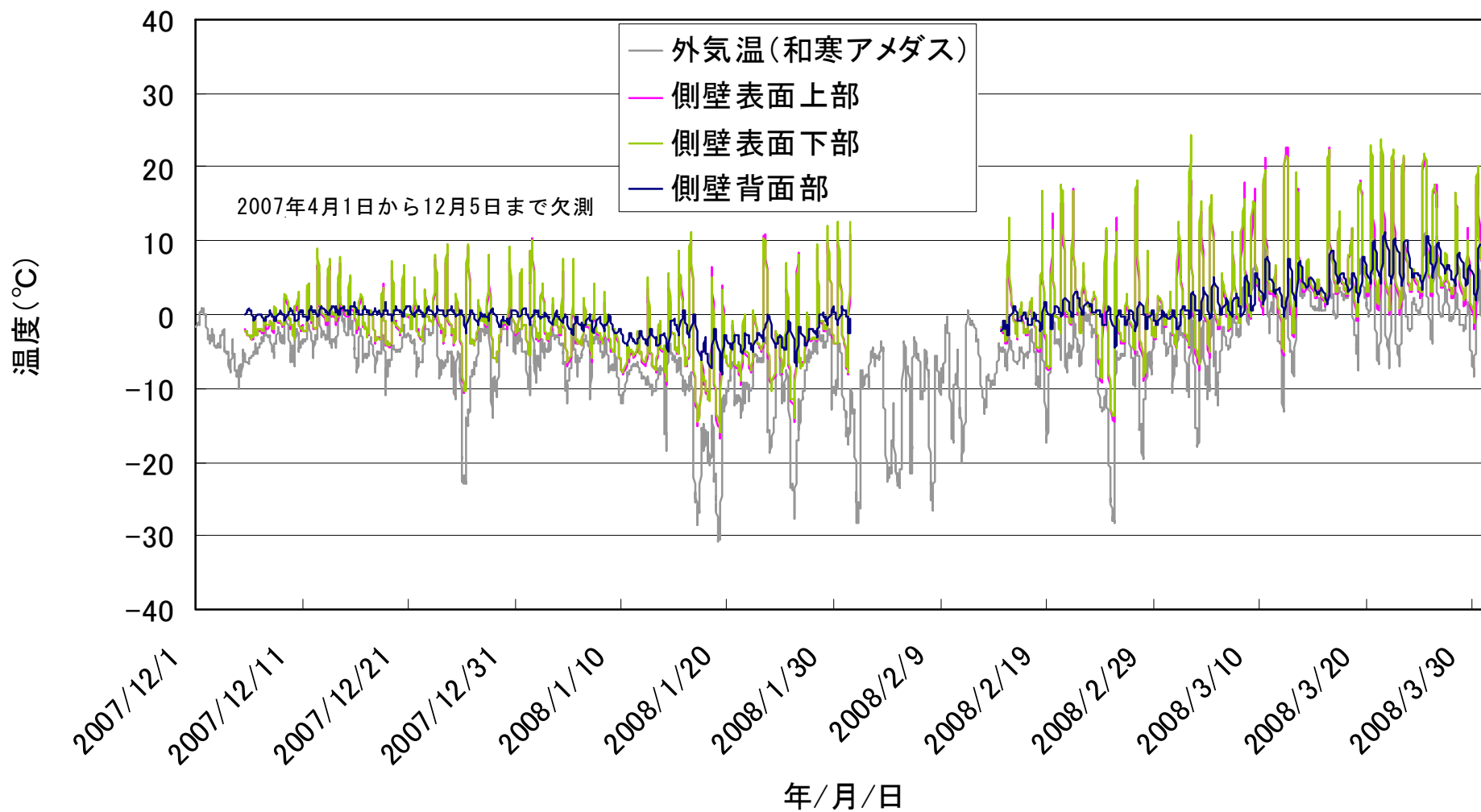


2006年度(12月~3月) のモルタル系補修区間における側壁表面および側壁背面の温度変化【南面】

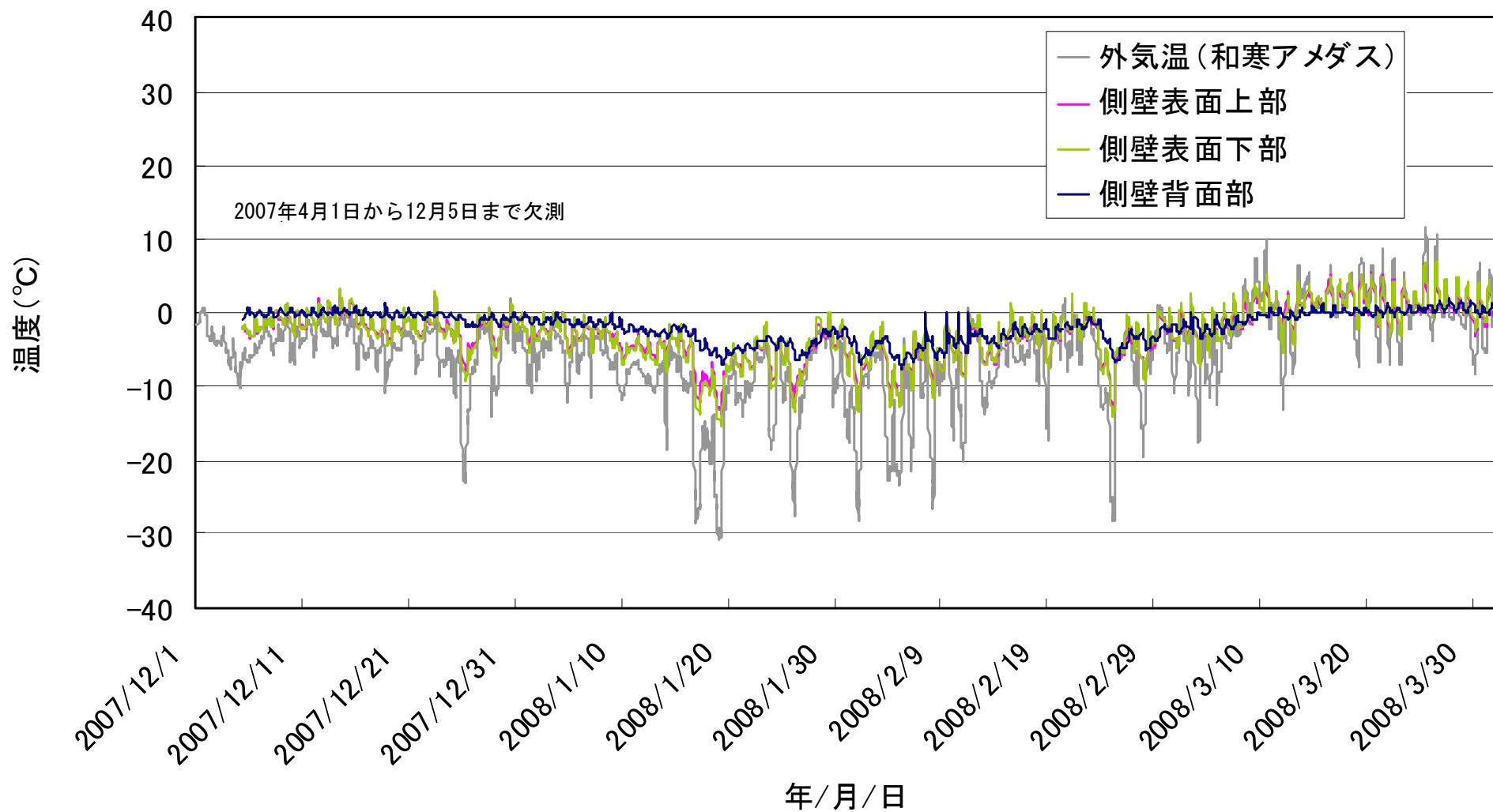




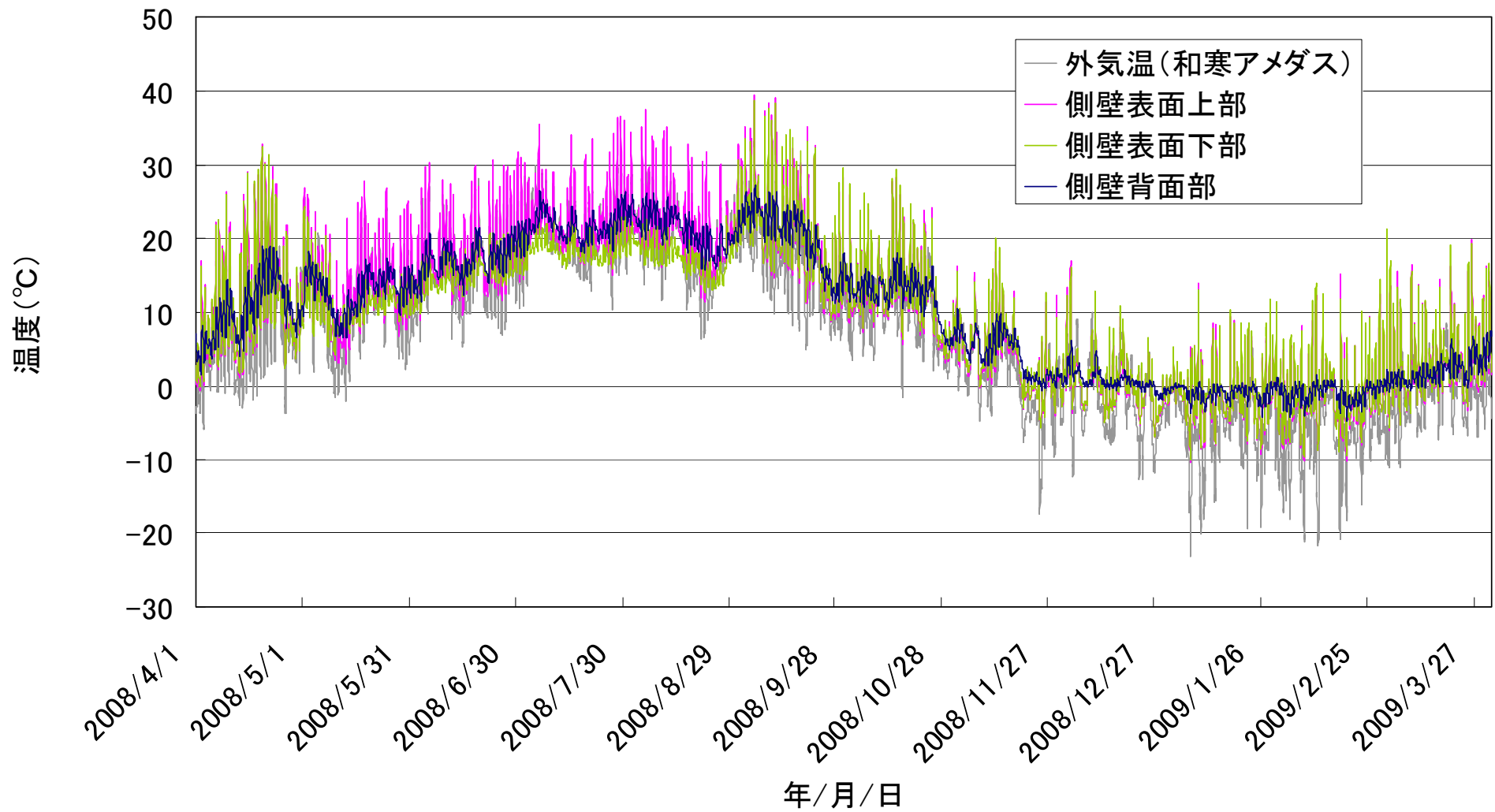
2006年度(12月～3月) のモルタル系補修区間における側壁表面および側壁背面の温度変化【北面】



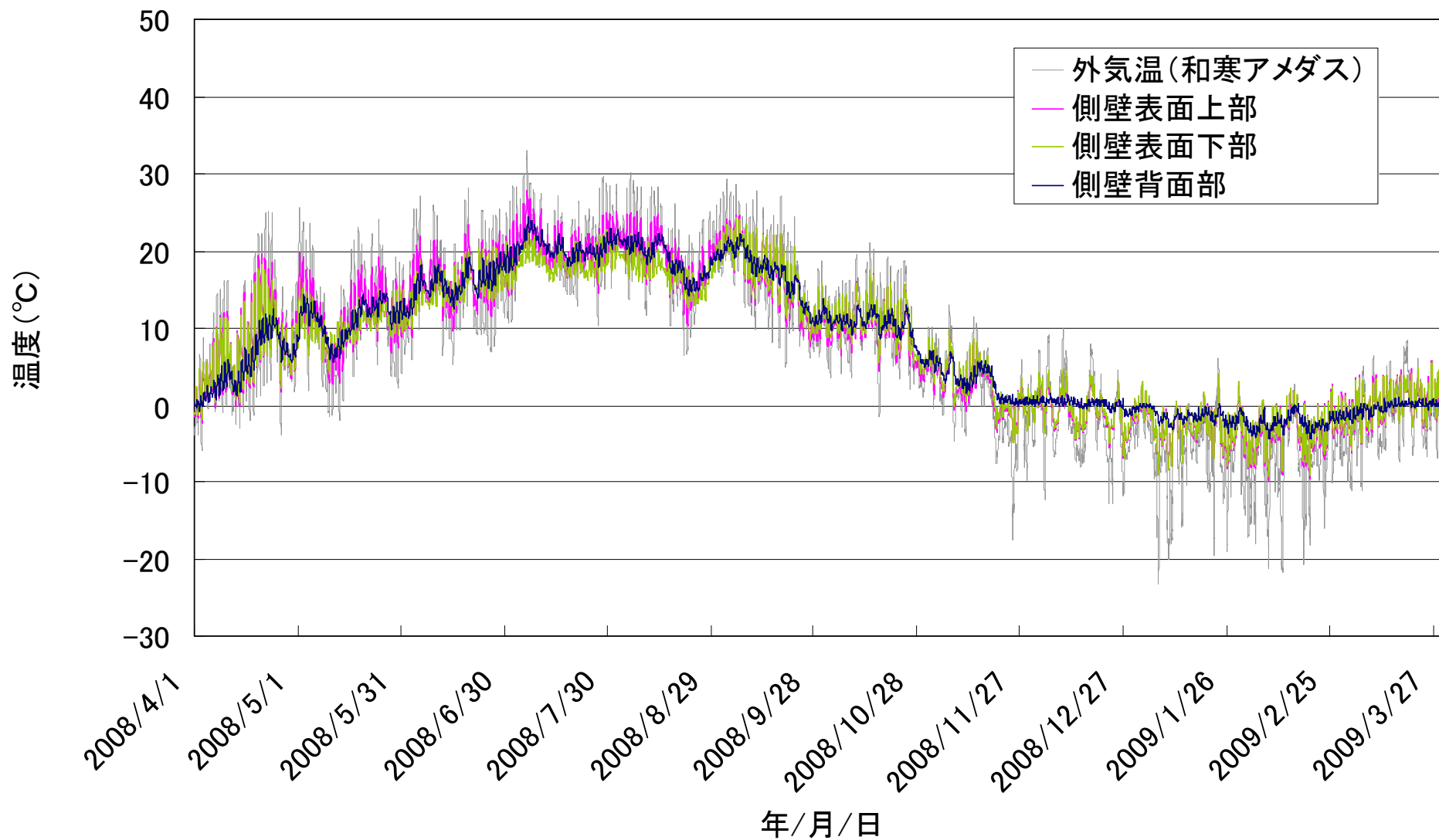
2007年度(12月～3月) のモルタル系補修区間における側壁表面および側壁背面の温度変化【南面】



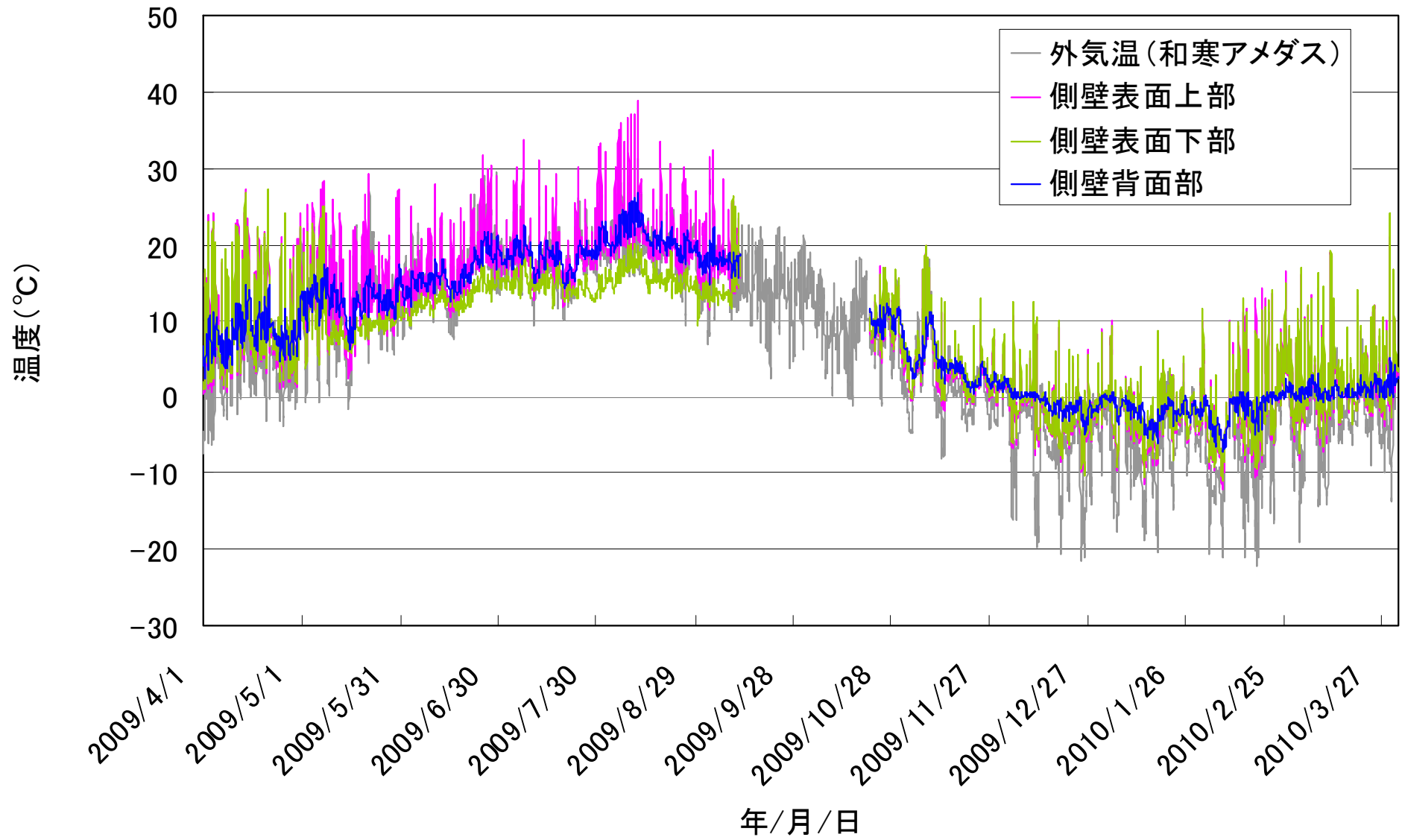
2007年度(12月～3月) のモルタル系補修区間における側壁表面および側壁背面の温度変化【北面】



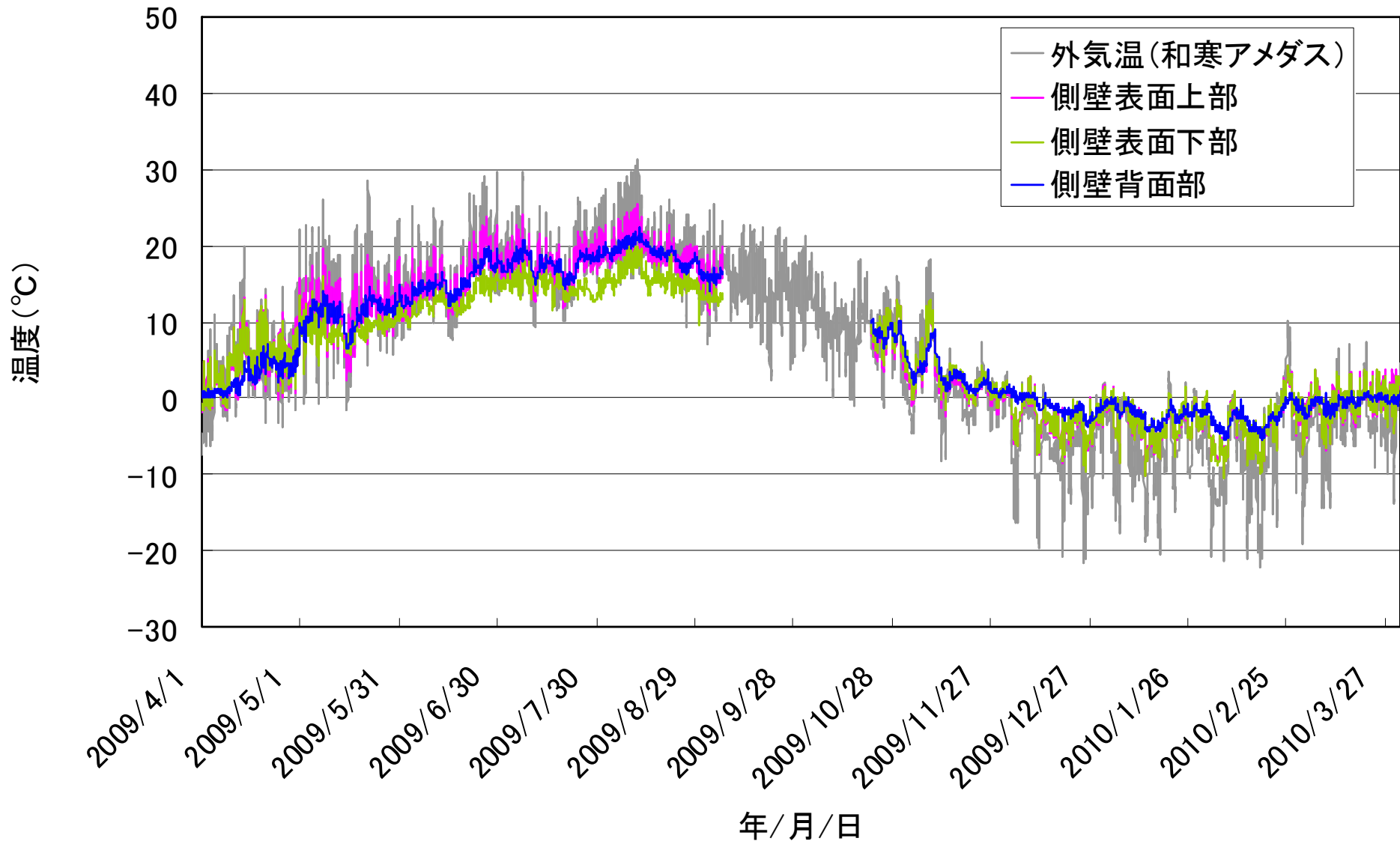
2008年度のモルタル系補修区間における側壁表面および側壁背面の温度変化【南面】



2008年度のモルタル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】

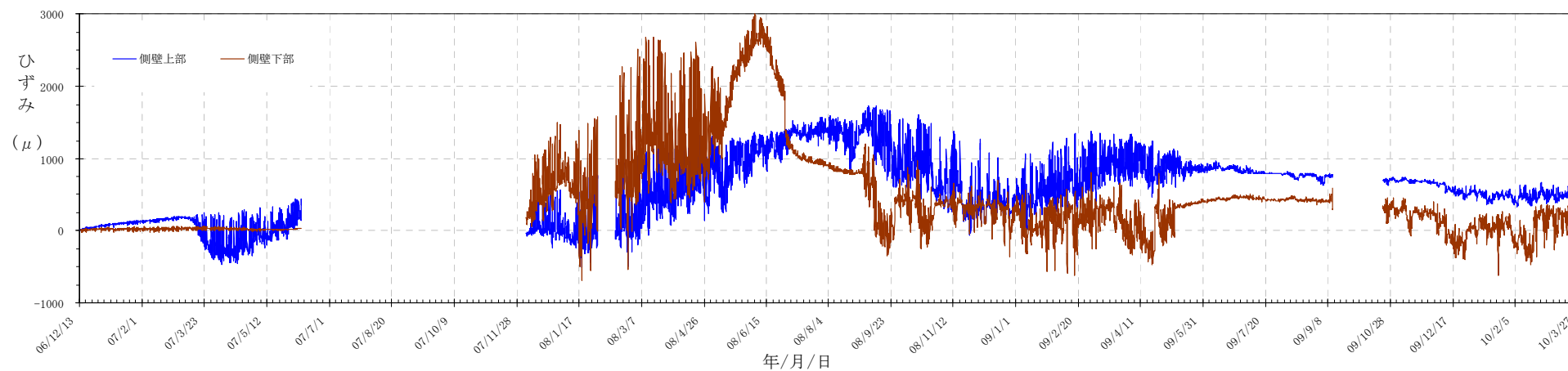


2009年度のモルタル系補修区間における側壁表面および側壁背面の温度変化【南面】

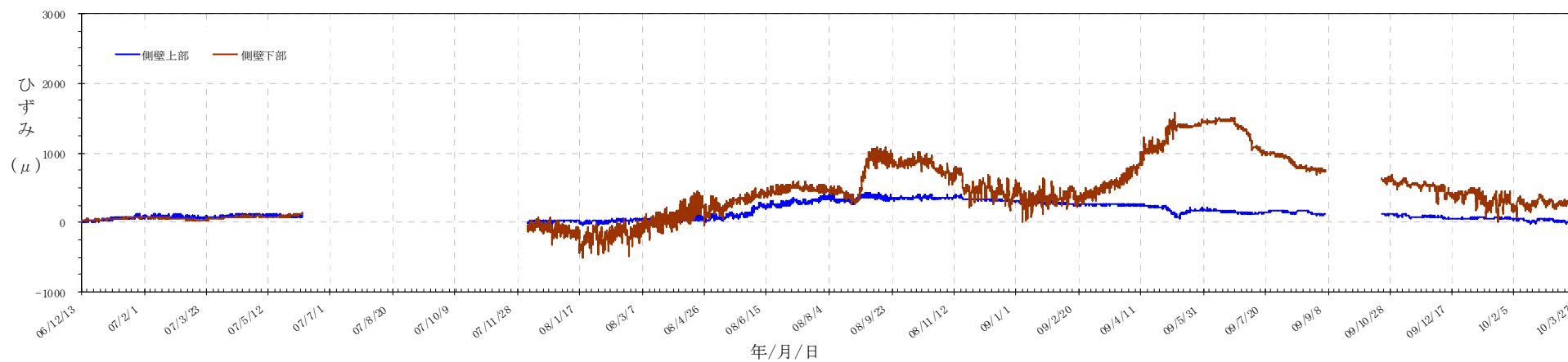


2009年度のモルタル系補修区間における側壁表面および側壁背面の温度変化【北面】

## 2. モルタル系補修区間の発生ひずみ



2006年度から2009年度までのモルタル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年度までのモルタル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.442 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