

平成 18 年度

卒業論文

蓄熱材封入舗装の
凍結抑制効果に関する基礎的検討

藤井 公嗣

平成 19 年 3 月

武蔵工業大学 工学部 都市基盤工学科

建設マネジメント研究室

目次

第1章	序論	3
1.1	研究の背景	4
1.2	研究の目的	5
1.3	本論文の内容	6
第2章	潜熱蓄熱材	7
2.1	本章の内容	8
2.2	蓄熱材の概要	9
2.2.1	蓄熱材	9
2.2.2	潜熱蓄熱材の特徴	9
2.3	潜熱蓄熱材の種類と性能	11
第3章	蓄熱材の実用例	12
3.1	本章の内容	13
3.2	潜熱蓄熱材封入工法の原理	14
3.3	蓄熱材の施工方法	15
3.4	福井市内鋼床版橋での凍結抑制効果	15
第4章	数値シミュレーションによる路面温度予測	16
4.1	本章の内容	17
4.2	路面温度の予測方法	18
4.3	考察	19
第5章	蓄熱材封入舗装の路面温度予測	26
5.1	本章の内容	27
5.2	封入する蓄熱材	28
5.3	潜熱蓄熱材封入舗装路面温度予測の結果	28
第6章	結論	31
6.1	本章の内容	32
6.2	蓄熱材適用の利点	33
6.3	潜熱蓄熱材封入舗装の今後の課題点	33
	《謝辞》	34
	《参考文献》	36

第 1 章

序論

1.1 研究の背景

積雪寒冷な地域では、冬期に積雪や気温の低下により路面が凍結し、道路交通機能が低下する。特に1992年に粉塵問題からスパイクタイヤが禁止されてから、つるつる路面と呼ばれる非常に滑りやすい路面が多く見られるようになり、冬の路面は非常に滑りやすくなった。凍結した、滑りやすい路面の出現によって自動車の発進が遅れ、制動距離が長くなるなど走行に支障を来し、渋滞や事故の原因となることもある。

現在、道路管理者は路面凍結対策として様々な方法で道路交通機能の確保に努めている。対策方法としては塩化カルシウムなどの融雪剤の散布や流水による融雪装置、ロードヒーティング、凍結防止舗装などがある。中でも融雪材の散布は恒常的に行われている。また、自動車側の対策としては、スタッドレスタイヤを履く、アイスバーン対応のタイヤチェーンを装着するなどがあげられる。しかし、これらの方法はコスト面や効果に問題があると考えられる。塩化カルシウムなどの融雪材の散布で問題になっているのは、コンクリートに対する塩害である。橋の床版は鉄筋コンクリート製が多いが、コンクリートに塩分がしみこみ、中の鉄筋を錆びさせ、橋が傷んでしまう。また、恒常的に散布を行わなければならない。ロードヒーティングは道路のアスファルトの下に電気コードや温水を流すためのパイプなどを敷き、降ってきた雪を溶かしたり路面の凍結を防いだりするシステムであり、交通量の多い道路の信号付近や、急な坂道などで見かけることがある。ただ、コストが高いという問題があげられる。札幌市などでは財政面・環境面などの問題から、「脱・ロードヒーティング」の動きも見られる。凍結抑制舗装は、塩化ナトリウムやゴムなどを含有した材料をアスファルト混合物中に添加・混入することで凍結抑制効果を付与した舗装である。塩化ナトリウムでの塩害の問題があげられる。また、ゴムを使った凍結抑制舗装は地域によっては効果が現れにくい。

そこで、本研究では近年開発が進んできた潜熱蓄熱材を封入した舗装の路面温度を数値により予測し、その路面凍結の抑制効果を基礎的に検討した。

1.2 研究の目的

現在用いられている路面凍結の対策はコスト面,効果面で問題も多く,実状としては路面の凍結抑制の効果を十分に発揮していないといえる.少子高齢化による投資余力の減少,自然環境への意識の高まりといった問題から今までの路面凍結対策ではなく,新しい路面凍結対策が必要となってくると考えられる.

近年,技術の発展に伴い,太陽や風力などの自然エネルギーを利用した省エネルギー化に対する意識が高まっている¹⁾.このような背景から,潜熱蓄熱材をマイクロカプセル化する技術が開発された.

この工法の効果は,鋼床版橋路面の凍結を地盤部なみに改善する程度に限られているが,電気ヒーター方式より建設費が安価で,運転管理が一切不要で,昼間の太陽熱を蓄え利用するソーラーシステムで環境にやさしい.勝山市の鋼床版橋や新潟県下の北陸自動車道のRC床橋でも使用されようとしている.

上記のことを踏まえて,今後,潜熱蓄熱材を用いた路面凍結抑制はますます発展していくだろうと考えられ,地盤部での路面凍結舗装への潜熱蓄熱材の適用可能性を検討する必要があると思われる.そこで,本研究は地盤部での潜熱蓄熱材封入路面凍結抑制舗装の路面温度を数値シミュレーションにより予測し,その凍結抑制効果を含め,地盤部での潜熱蓄熱材封入路面凍結抑制舗装の適用可能性を検討・考察することを目的としている.

1.3 本論文の内容

前記の目的(1.2)のもと、本論文では以下の内容および手順で地盤部での潜熱蓄熱材封入路面凍結抑制舗装の路面温度を数値シミュレーションにより予測し、その凍結抑制効果を含め、地盤部での潜熱蓄熱材封入路面凍結抑制舗装の適用可能性を検討・考察する。

まず、蓄熱材についての基礎的知識を整理する(2章)。ここでは、顕熱蓄熱材・潜熱蓄熱材の熱特性について述べてある。また、顕熱蓄熱材・潜熱蓄熱材の特徴についても述べてある。その後、代表的な潜熱蓄熱材も紹介している。

次に、潜熱蓄熱材の構造物への実用例として、福井市内の鋼床版橋についての調査を行った(3章)。ここでは、福井市内の潜熱蓄熱材封入鋼床版橋の理論が述べてある。また、潜熱蓄熱材の封入工法についてもまとめ、その路面凍結抑制効果についても検討してある。

次に、数値シミュレーションにより、アスファルト舗装の路面温度の予測を行った(4章)。ここでは数値シミュレーションの方法が述べられている。その後、路面温度の予測値と実測値の比較がされている。

次に、数値シミュレーションにより、蓄熱材封入舗装の路面温度の予測を行った(5章)。ここではまず、パラフィン・硫酸ナトリウム十水和物について特徴がまとめられている。その後、予測値と実測値の比較が行われている。

最後に、5章を踏まえて、地盤部での潜熱蓄熱材封入路面凍結抑制舗装の適用可能性を検討・考察した(6章)。ここでは、数値シミュレーションを踏まえたうえで、潜熱蓄熱材封入路面凍結抑制舗装の利点とその課題点を考察し、まとめている。

第 2 章

潜熱蓄熱材

2.1 本章の内容

地盤部での潜熱蓄熱材封入路面凍結抑制舗装の適用可能性を検討するにあたり、まずは、蓄熱材についての知識を深める必要がある。よって、本章では、蓄熱材の基礎的な機能と特徴をまとめている。その後、本研究の予測に用いる代表的な潜熱蓄熱材の特徴・熱特性をまとめている。

2.2 蓄熱材の蓄熱方式や特徴を基礎知識としてまとめてある。

2.3 本研究で、地盤部での潜熱蓄熱材封入路面凍結抑制舗装の適用可能性を検討するために用いた、代表的な潜熱蓄熱材について取り上げている。

2.2 蓄熱材の概要²⁾

近年潜熱蓄熱材をマイクロカプセル化する技術が開発されているが、本研究では、地盤部の舗装に蓄熱材を封入したものを路面凍結抑制舗装のモデルとして使用している。ここでは、蓄熱材の機能や特徴などを基礎知識として取り上げる。

2.2.1 蓄熱材

蓄熱材は、蓄熱方式の違いにより顕熱蓄熱と潜熱蓄熱方式とがある。顕熱蓄熱は、物質の相変化を伴わず物質の温度を変化させた時の熱量を蓄熱する方式で、潜熱蓄熱は、温度変化を伴う物質の相を変化させた時の熱量を利用して蓄熱する方式である。顕熱蓄熱の長所としては入手が容易で安価、安全で耐久性があることが挙げられる。また、短所として容積効率が低い、温度レベルが一定でないことが挙げられる。代表的な顕熱蓄熱材としては、水、コンクリート、土壌、煉瓦などがある。潜熱蓄熱の長所としては蓄熱量が大きいこと、一定温度の熱エネルギーが得られることが挙げられる。短所としては価格が高い、相変化の温度領域により材料選定が必要なが挙げられる。代表的な潜熱蓄熱材としては、無機水和塩、パラフィン、有機物などが挙げられる。特徴をまとめたものを表-2.1に示す。

表-2.1 蓄熱方式の特徴

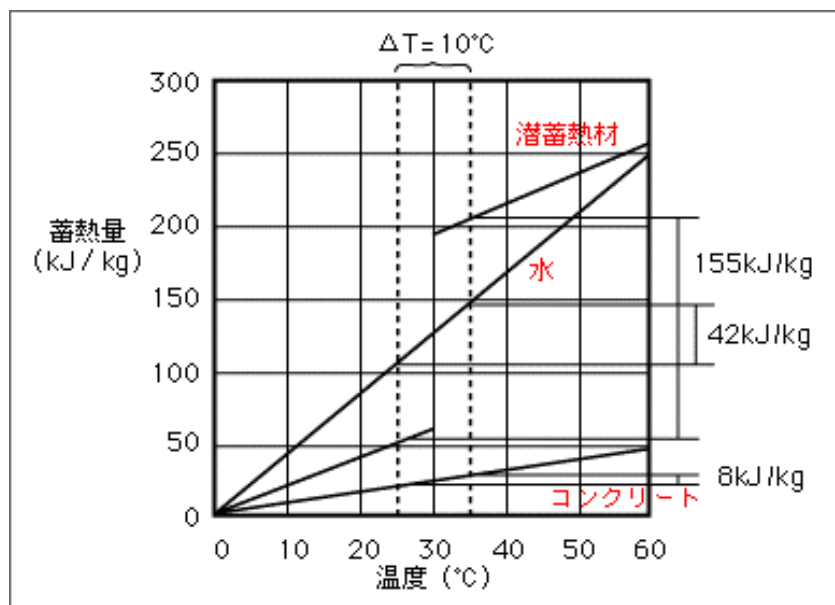
利用形態	蓄熱材	長所	短所	
蓄熱方式	顕熱蓄熱	水 コンクリート 土壌、煉瓦	入手が容易 安価 安全、耐久性がある	容積効率が低い 温度レベルが一定でない
	潜熱蓄熱	無機水和塩 パラフィン 有機物	蓄熱量が大 一定温度の熱エネルギーが 得られる	価格が高い 相変化の温度領域により材料選定が必要

2.2.2 潜熱蓄熱材の特徴

潜熱蓄熱方式は、温度変化を伴わず物質の相を変化させて時の熱量を利用して蓄熱するもので、次のような特徴を有している。

・効率的な蓄熱材

潜熱蓄熱材は、小容量に多量の熱量を蓄えることができる効率的な蓄熱材である。潜熱蓄熱材と顕熱蓄熱材の蓄熱挙動の1例を図-2.1に示す。また潜熱蓄熱材と顕熱蓄熱材との蓄熱量の比較例を表-2.2に示す。表からわかるように、潜熱蓄熱材は単位容積当たり水の約5倍、コンクリートの約10倍の蓄熱量が得られる。



潜熱蓄熱材と顕熱蓄熱材の蓄熱挙動

図-2.1 潜熱蓄熱材の効率性

表-2.2 顕熱蓄熱材と潜熱蓄熱材の蓄熱量の比較

蓄熱材	物質	密度	比熱	蓄熱量		容積比
		kg/立方メートル	kJ/kg・K	kJ/kg	kJ/立方メートル	
潜熱蓄熱材	硫酸ナトリウム	1,340	-	155	207,700	1
顕熱蓄熱材	水	1,000	4.2	42	42,000	4.9
	コンクリート	2,300	0.88	8.8	20,240	10.3

・ 温度の変化が少ない

潜熱蓄熱材は、蓄放熱に伴う相変化中は温度が一定のために、温度の変化が少ない。

・ 利用温度範囲に適した潜熱蓄熱材の選定が必要

潜熱蓄熱材は、相変化温度を挟んだ温度範囲で蓄熱量が最大となるため、潜熱蓄熱材の選択に当たっては、利用温度範囲に適した潜熱蓄熱材の選択が必要である。路面凍結抑制舗装の設計、温度コントロールには潜熱蓄熱材の相変化温度に関する配慮が必要である。

・ 顕熱蓄熱材より高価である

潜熱蓄熱材は、使用できる材料が限定されており顕熱蓄熱材より高価である。

2.3 潜熱蓄熱材の種類と性能³⁾

・潜熱蓄熱材の種類

現在，実用化されている代表的な潜熱蓄熱材の種類を表-2.3 に示す．

表-2.3 代表的な蓄熱材の種類

潜熱蓄熱材の種類			融点	融解熱
			kJ / kg	
無機水和塩	塩化カルシウム水和物	$\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	29.7	192
	硫酸ナトリウム水和物	$\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	32.4	251
	チオ硫酸ナトリウム水和物	$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	48	197
	酢酸ナトリウム水和物	$\text{CH}_3\text{COOH} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	58	264
有機物化合物	パラフィン	$\text{C}_{18}\text{H}_{38}$	28.2	243
		$\text{C}_{20}\text{H}_{42}$	36.4	247
		$\text{C}_{22}\text{H}_{46}$	44	157

・潜熱蓄熱材の構成と構造

潜熱蓄熱材は，物質単体で用いられることは無く，無機水和塩系潜熱蓄熱材は，用途分野に適した相変化温度にするため融点調整剤を添加したり，耐久性を高めるため過冷却防止剤，相分離防止剤等を添加した混合物をポリポロピレン等の合成樹脂製の容器に充填した潜熱蓄熱体(潜熱蓄熱材を容器に充填又は被覆材で被覆したもの)として用いられる．またパラフィン系潜熱蓄熱材は，パラフィンをゴムまたは合成樹脂に練り込み，板状に成形したものをアルミラミネート被覆材で被覆した潜熱蓄熱体として用いられている．

第 3 章

蓄熱材の実用例

3.1 本章の内容

福井市内での鋼床版橋などでは、潜熱蓄熱材を鋼管を埋め込んだ路面凍結抑制システムが実際に使用されており、路面凍結抑制効果が発揮されている。この工法は、電気ヒーター方式より建設費が安価で、運転管理が一切不要で、昼間の太陽熱を蓄え利用するソーラーシステムで環境にやさしい。地盤部での路面凍結舗装への潜熱蓄熱材の適用可能性を検討するにあたって、本章では、福井市内での鋼床版橋の実用例を基礎的知識として取り上げている。

3.2 潜熱蓄熱材封入工法の原理を取り上げている。

3.3 蓄熱材の施工方法を取り上げている。

3.4 福井市内鋼床版橋での凍結抑制効果をまとめている。

3.2 潜熱蓄熱材封入工法の原理⁴⁾

床版橋が凍結しやすいのは、下面での冷却にあるのではなく、別に原因がある。日射で暖かかった後に降雪があると、熱容量の大きな橋は蓄熱量も多いので、雪がよく溶け、熱容量の小さなものより積雪が少なくなる。もちろん、厳しい冷え込みが続いた後ならば、熱を貯める器が大きくても熱は貯まらないので、鋼床版橋と地盤部の積雪の差は少なくなる。このように考えると、橋部が凍結しやすいのは、熱容量が小さいことによることが分かる。

そこで、福井市内の鋼床版橋では、死荷重を増やすことなく凍結直前の熱容量を大きくする方法として、0 よりやや高い温度で凝固融解する潜熱蓄熱材を舗装表面近くに封入している。昼間には日射で舗装は暖められ、その蓄熱材も融解温度以上になり潜熱蓄熱される。降雪や凍結の早朝には、舗装表面温度が0 に下がる直前に、その蓄熱材は液体から固体になり潜熱が放出され、凍結は抑制され、あるいは舗装上の雪を溶かす。概念図を図-3.1 に示す。北陸地方などの、冬期でも日中の気温が比較的に高い地域では、原理的に図-3.1 のような凍結抑制効果が現れると考えることが出来る。

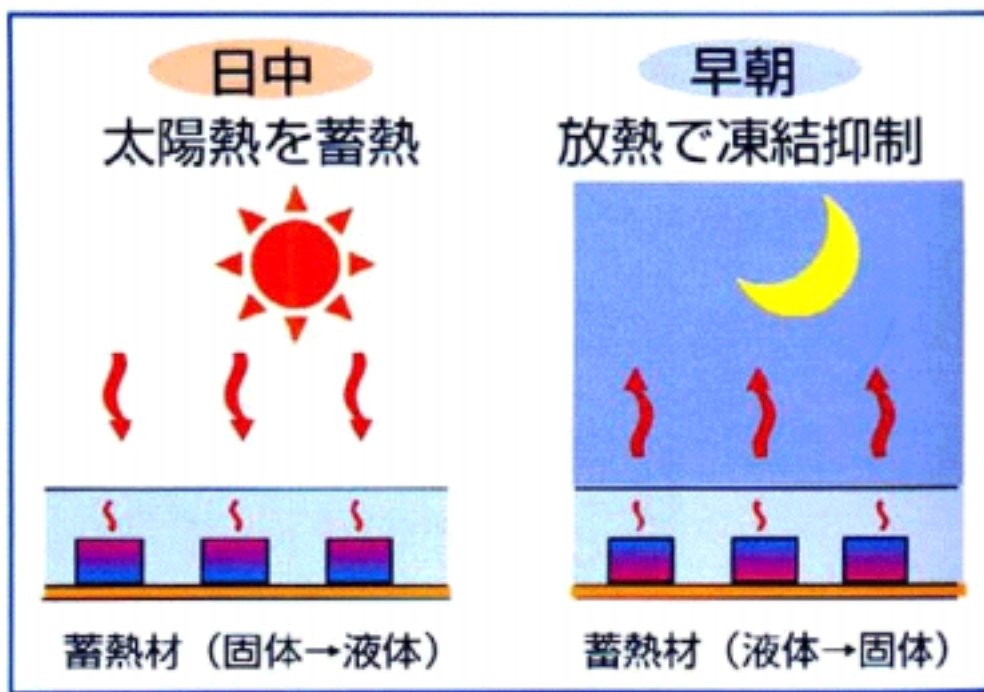


図-3.1 潜熱蓄熱材による凍結抑制の概念図

第4章

数値シミュレーションによる路面温度予測

4.1 本章の内容

福井市内鋼床版橋では、地盤部なみの結露凍結と積雪の路面状況にほぼ改善できるという結果が出されている。潜熱蓄熱材を用いた路面凍結抑制はますます発展していきだろとうと考えられ、地盤部での路面凍結舗装への潜熱蓄熱材の適用可能性も検討する必要があると思われる。そこで、本研究は地盤部での潜熱蓄熱材封入路面凍結抑制舗装の路面温度を数値シミュレーションにより予測し、その凍結抑制効果を含め、地盤部での潜熱蓄熱材封入路面凍結抑制舗装の適用可能性を検討・考察することを目的としている。本章では、地盤部での潜熱蓄熱材封入路面凍結抑制舗装の適用可能性を検討するための、路面温度の予測方法を示している。また、予測方法の正確性を検討するために、アスファルト舗装の路面温度を予測し、実測値との比較を行っている。

4.2 路面温度を数値予測するうえで、その予測方法を示している。

4.3 予測値と実測値を比較し、数値予測の正確性を検討している。

4.2 路面温度の予測方法⁶⁾

シミュレーションの予測地点は富山県南砺市坪野とし、予測期間は2007年1月30日から2007年2月9日とした。また、この予測で用いた風速、日射量などのデータは富山県地方気象台の観測データ⁷⁾である。また、比較に用いた富山県南砺市坪野地点の路面温度実測値・気温実測値は、富山県土木部道路課⁸⁾で測定されたものである。図-4.1に富山県南砺市坪野地点の路面温度実測値・気温実測値のグラフを示す。

路面温度は地表面の熱収支により予測することができる。地表面の熱収支は日射、大気放射、対流顕熱、地表面での反射とした。この地表面での熱移動について、式-(1)が成り立つ。

$$q_u = G(1 - \alpha_r) + N_r + H_r \quad \text{より}$$

$$-\lambda \frac{\partial T}{\partial X} = G(1 - \alpha_r) + N_r + H_r \quad (1)$$

ここで、 λ :熱伝導率、 G :全天日射量、 α_r :地表面での日射反射率(0.04)、 N_r :長波長放射、 H_r :対流顕熱、である。長波長放射 N_r は式-(2)の山本・Bruntの式で求めることが出来る。

$$N_r = \varepsilon_r \sigma \{T_r^4 - T_k^4 (0.51 + 0.066e^{\frac{1}{2}})\} \quad (2)$$

ここで、 ε_r :路面の放射率(0.9)、 σ :ステファンボルツマン定数(5.667×10^{-8})、 T_r :路面温度、 T_k :気温、 e :水蒸気圧である。顕熱 H_r 式-(3)で、 h_j はユルゲスの式で求めることが出来る。

$$H_r = h_j (C_r + C_c \cdot S_c \cdot \eta_c) (T_r - T_k) \quad (3)$$

$$U \leq 5 \quad h_j = 3.95U + 5.8$$

$$U \geq 5 \quad h_j = 7.13U^{0.58}$$

ここで、 h_j :対流熱伝達率、 U :風速、 C_r :路面と空気間の熱伝達率(18[W/m²K])、 C_c :蓄熱材と空気間の熱伝達率、 S_c :路面単位面積当りの蓄熱材表面積、 η_c :蓄熱効率(0.4)である。蓄熱材封入路面温度は式-(4)で求めることが出来る。

$$T_c = \frac{\rho_r c_r S_r}{\rho_c c_c S_c} (T_r - T_r^{n-1}) + T_c^{n-1} \quad (4)$$

ここで、 T_c :蓄熱材温度、 ρ_r :路面の密度(920[J/kgK])、 c_r :路面の比熱(2378[kg/m³])、 S_r :路面単位面積当りのアスファルト表面積、 ρ_c :蓄熱材の密度、 c_c :蓄熱材の比熱、である。式 - (1) を展開すると式 - (5)になる。

$$\begin{aligned} & \frac{\Delta X}{\lambda} \varepsilon_r \sigma T_r^4 + \left\{ 1 + \frac{\Delta x}{\lambda} h_j (C_r + C_c \cdot S_c \cdot \eta_c) \right\} T_r \\ & - \frac{\Delta x}{\lambda} \varepsilon_r \sigma (0.51 + 0.066 \phi^{\frac{1}{2}}) T_k^4 - \frac{\Delta x}{\lambda} h_j (C_r + C_c \cdot S_c \cdot \eta_c) T_k - T_r^{n-1} - \frac{\Delta x}{\lambda} G (1 - \alpha_r) \end{aligned} \quad (5)$$

G, T_k, e, U のパラメータは実測の時系列を用いた。また、式 - (1) の非線形方程式を路面温度について解くにあたっては、ニュートン・ラプソン法⁹⁾を用いた。

ニュートン・ラプソン法とは、 $f(x) = 0$ の実数解 x を数値的に求めるとき、解の初期値 x_0 を仮定し、関数 $f(x)$ に接する直線の方程式を求め、その直線と X 軸の交点 X_1 を求めるものである。 $f(x_1) = 0$ のとき、 x_1 が解となる。そうでない時、 x_1 を新しい初期値と仮定し、 $f(x_n) = 0$ となるまで繰り返す。これにより得られたアスファルト舗装路面温度予測値を図-4.2 に示す。また、図-4.2 を詳細にしたグラフを図-4.3 から図-4.11 までに示す。

4.3 考察

アスファルト舗装の路面温度実測値と予測値の比較をすると、2月5日以降はほぼ一致しているが、1月30日から2月4日までは一貫していない。この誤差は1月30日から2月4日まで降雪または降雨があったが、本研究のシミュレーションでは降雪または降雨の影響を考慮していないことによる。そのため、快晴の続いた2月5日以降は実測値と予測値はよく一致している。蓄熱材封入舗装の路面温度予測は、この結果により、誤差の小さな2月5日以降で行った。

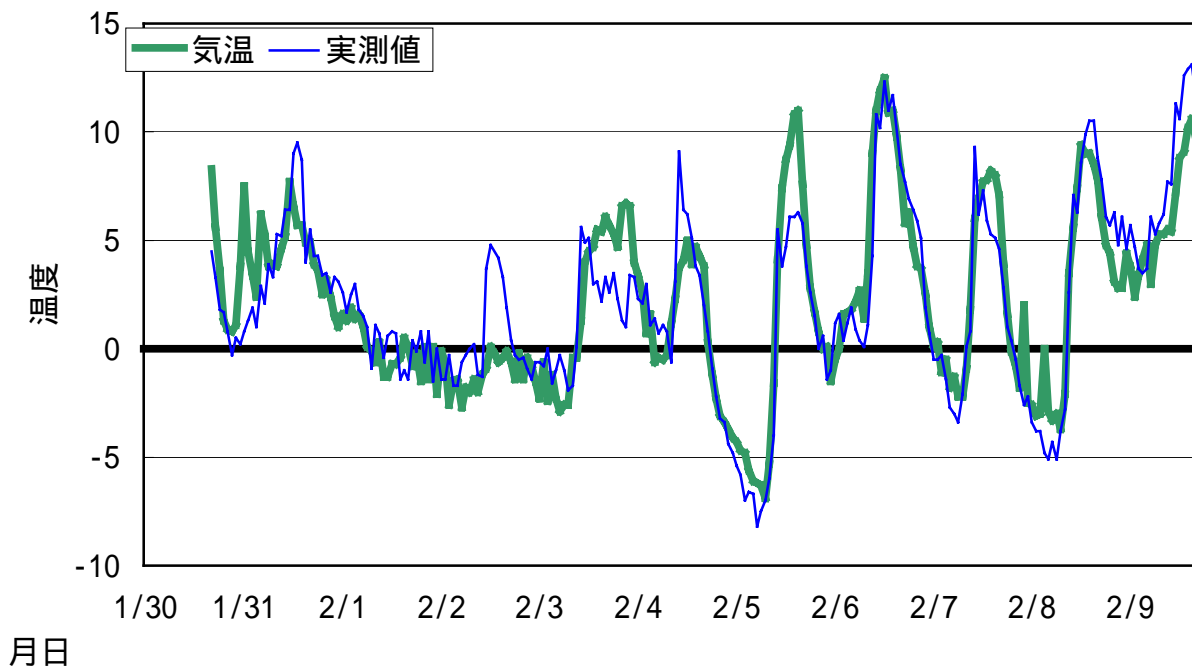


図-4.1 路面温度実測値・気温実測値

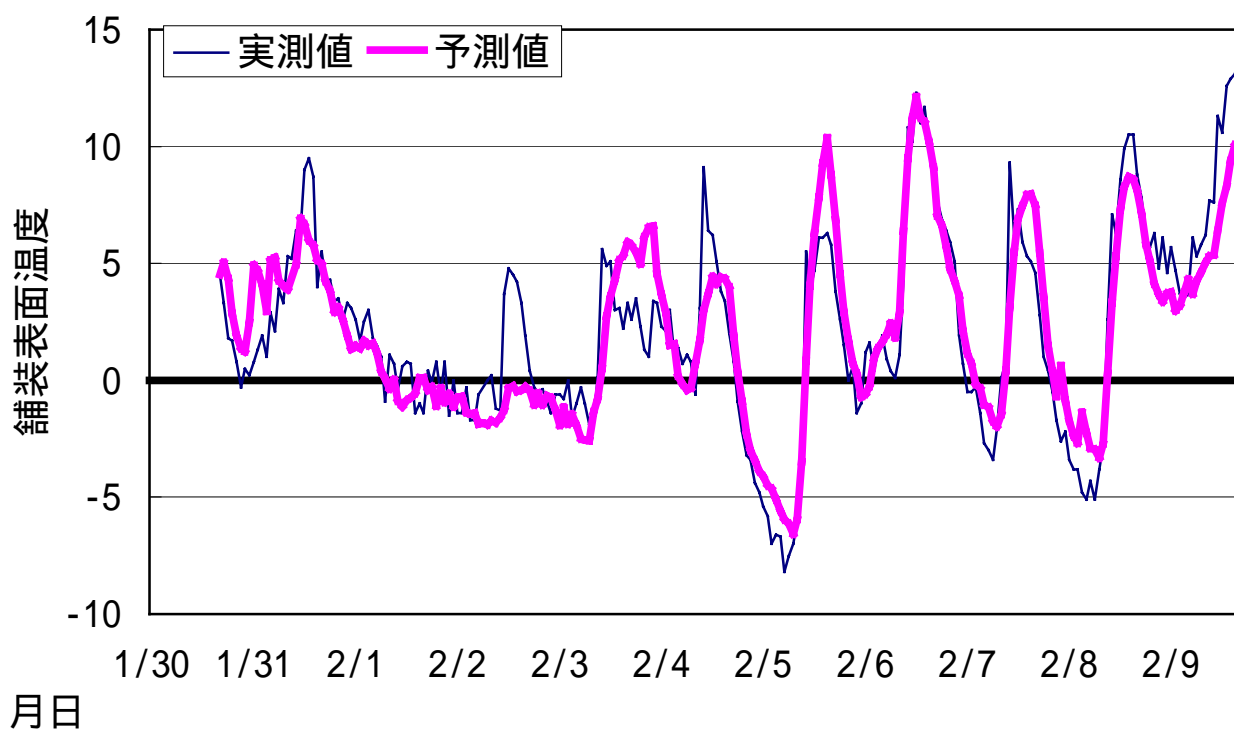


図-4.2 舗装表面温度実測値と予測値の比較

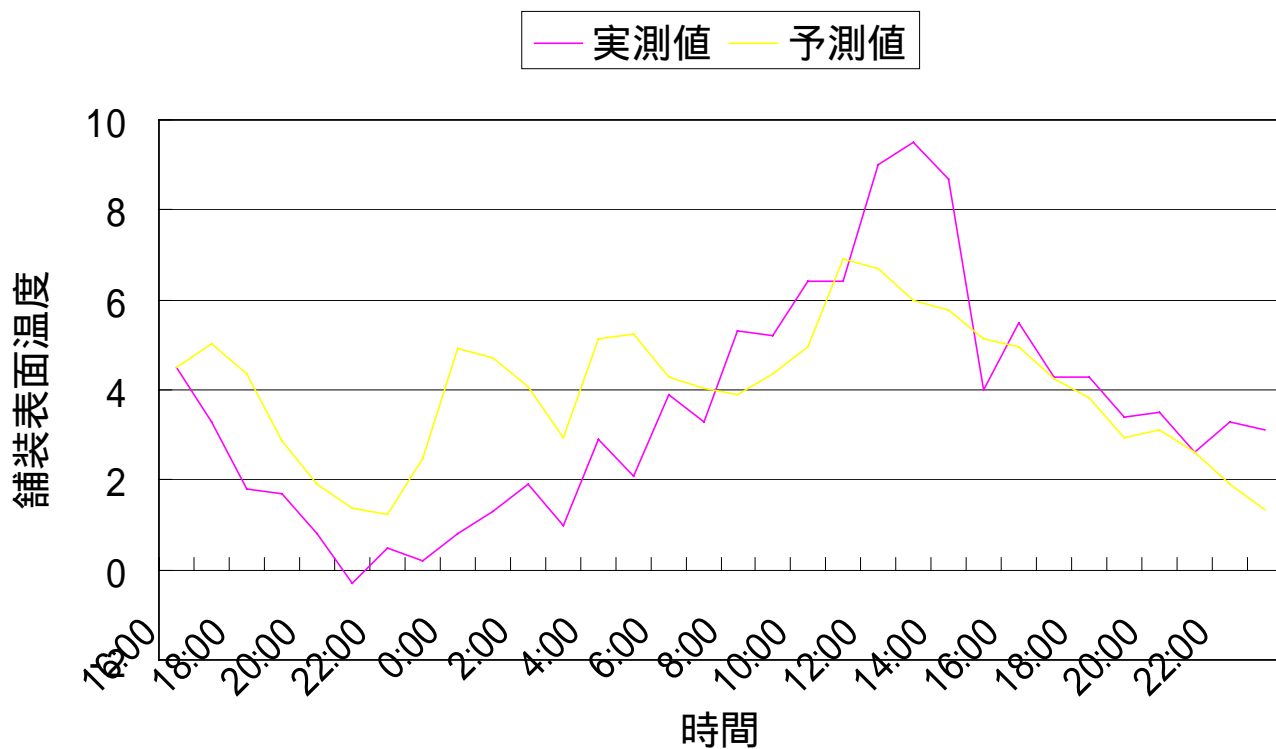


図-4.3 1月30日～1月31日

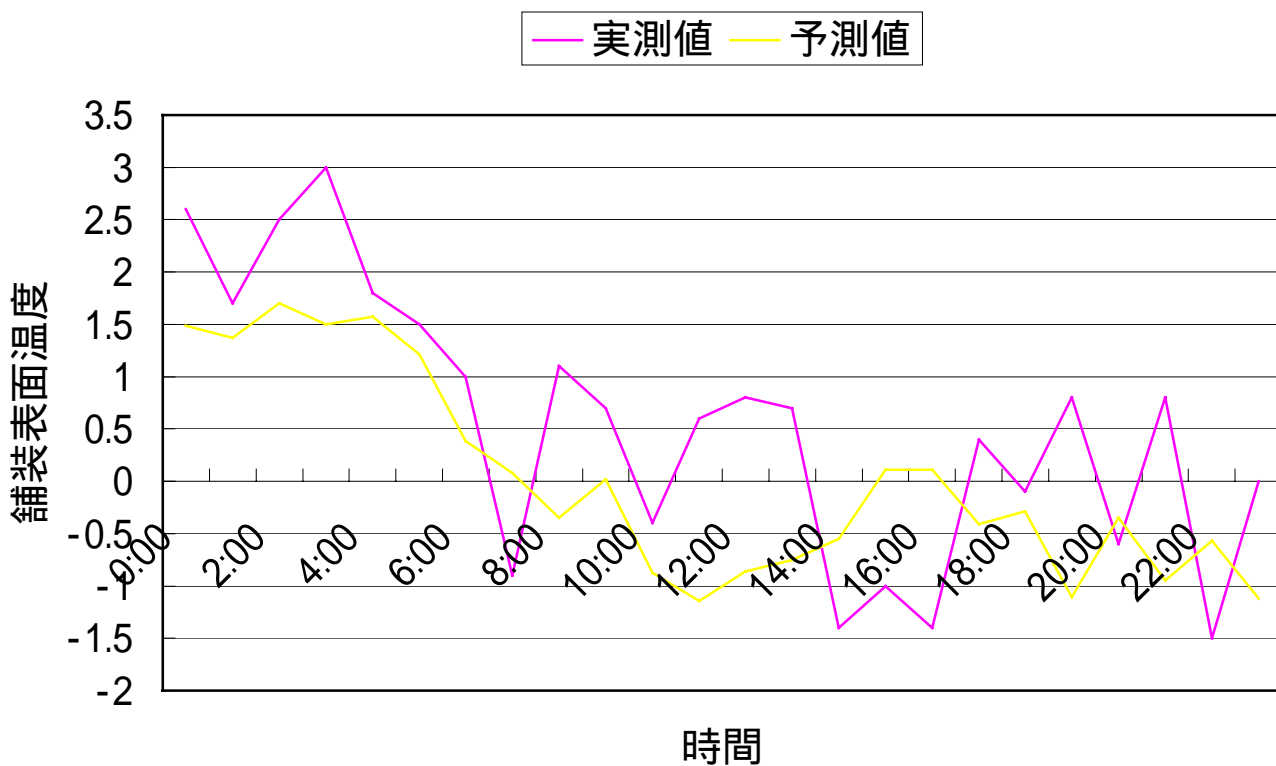


図-4.4 2月1日

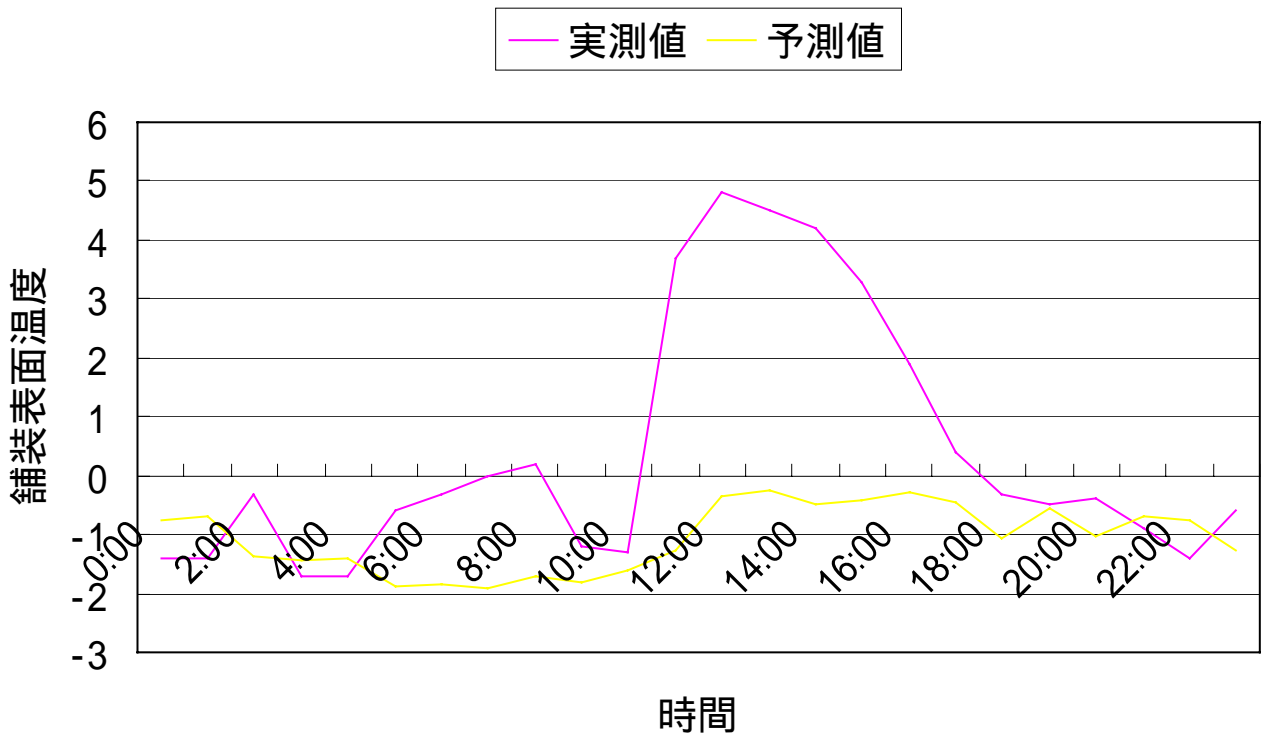


図-4.5 2月2日

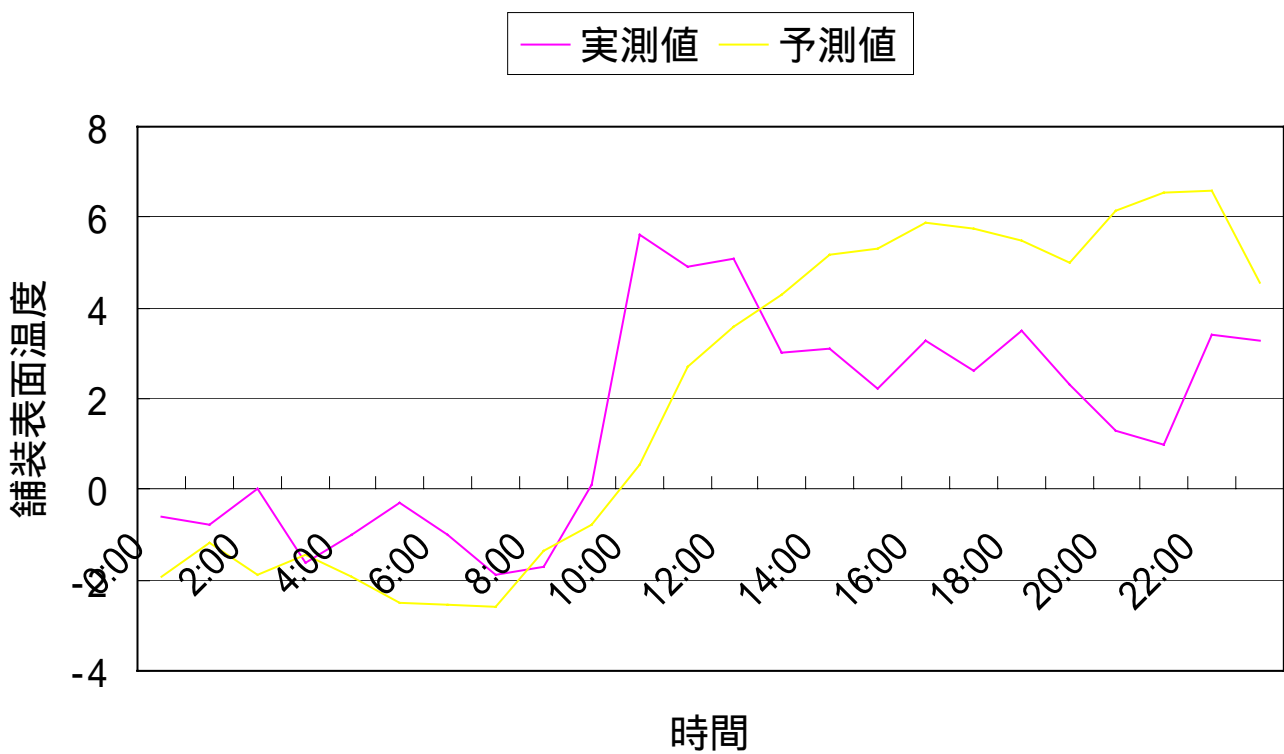


図-4.6 2月3日

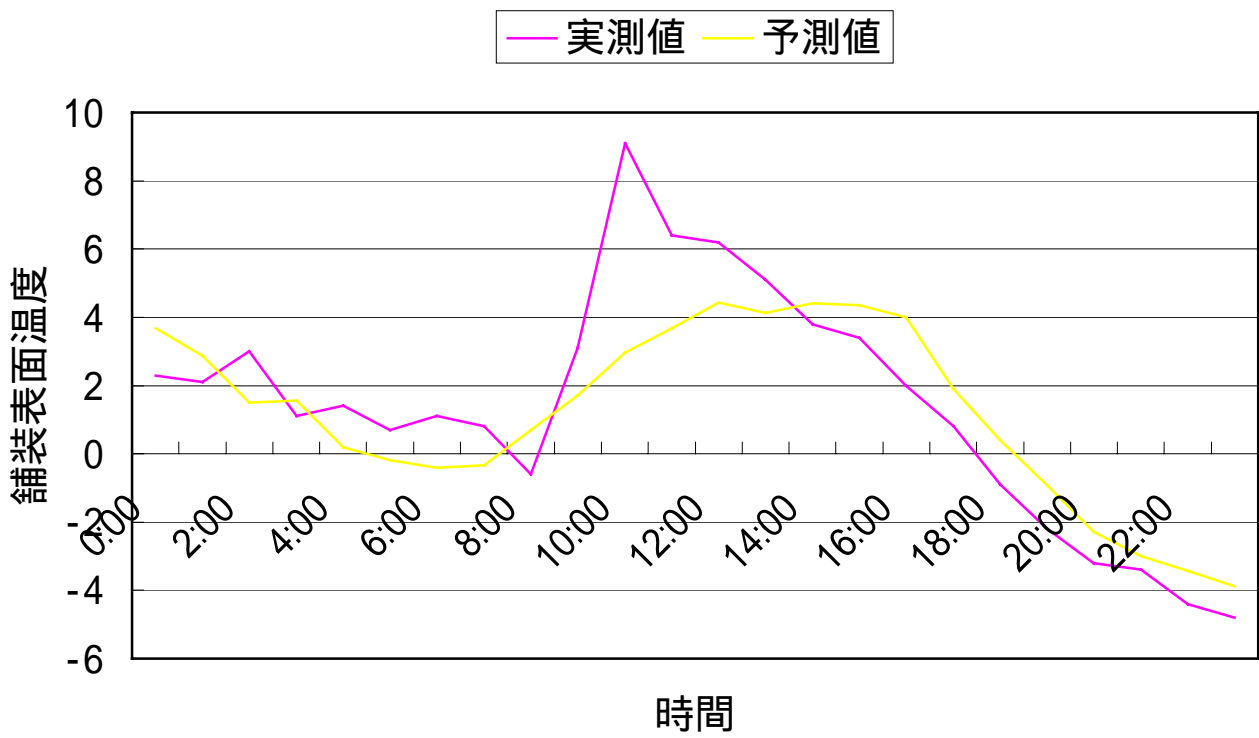


図-4.7 2月4日

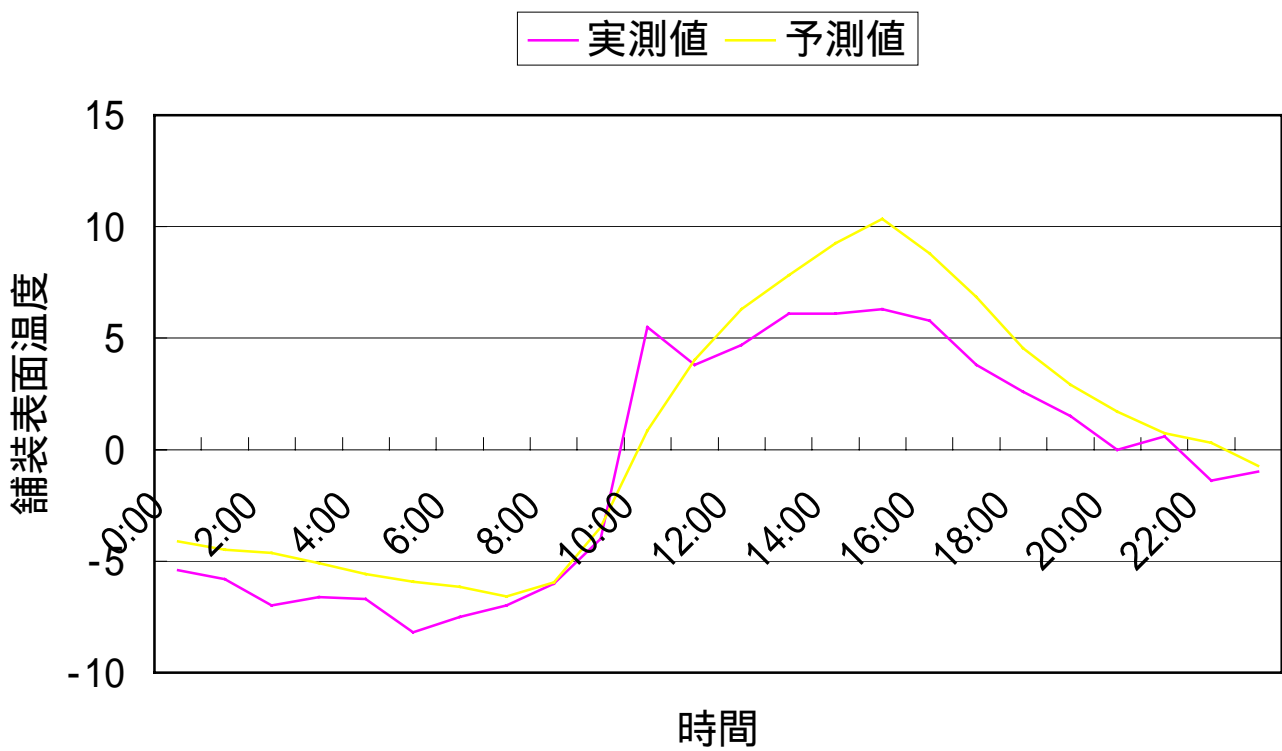


図-4.8 2月5日

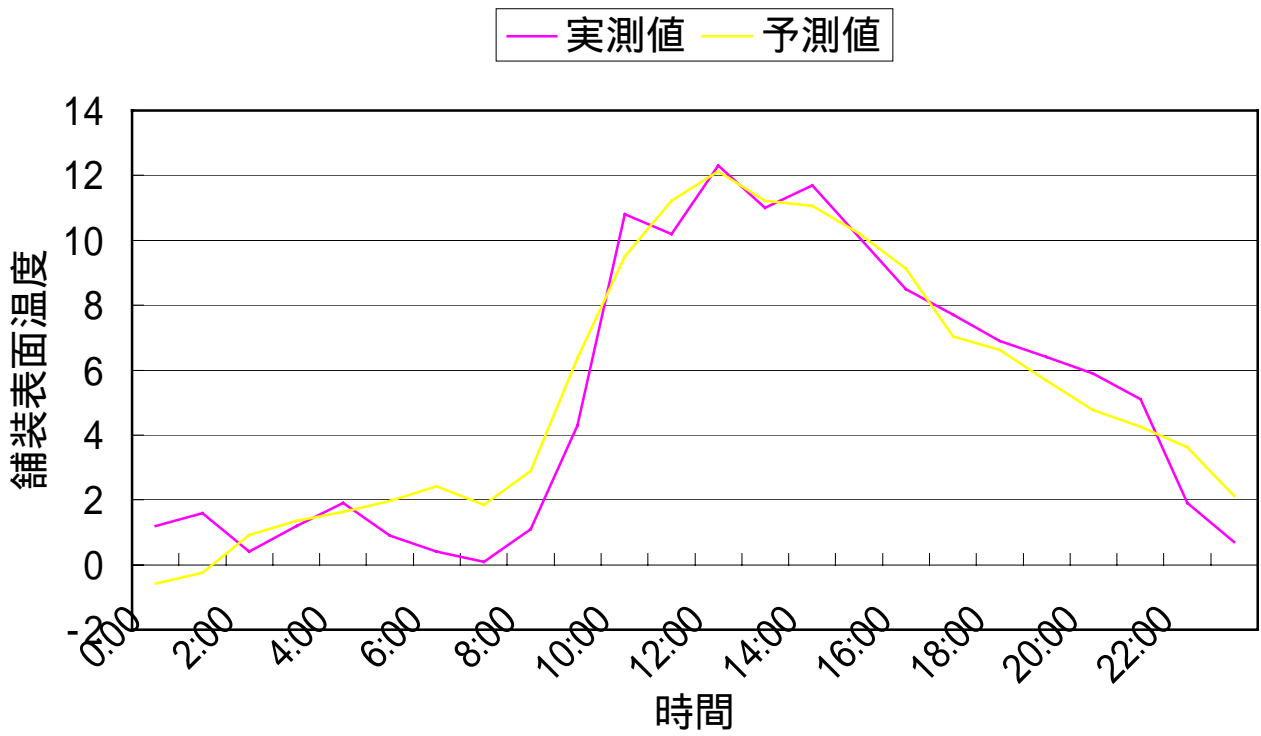


図-4.9 2月6日

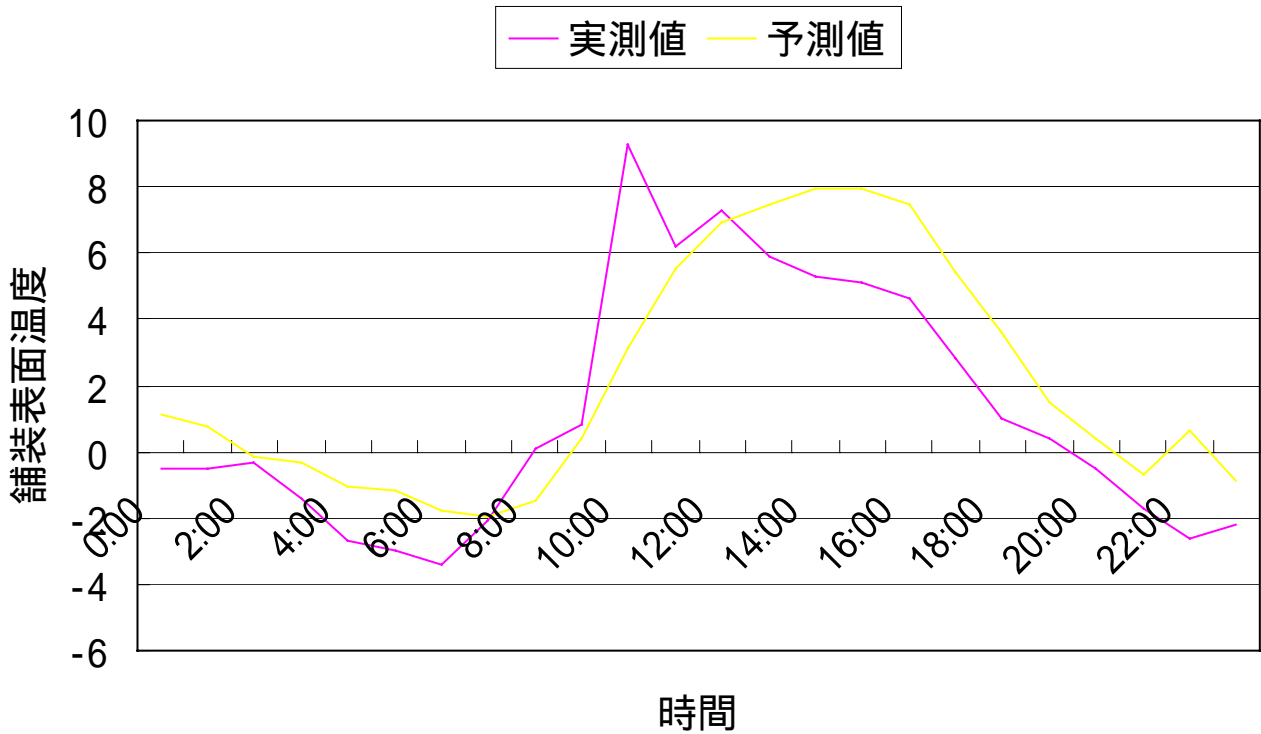


図-4.10 2月7日

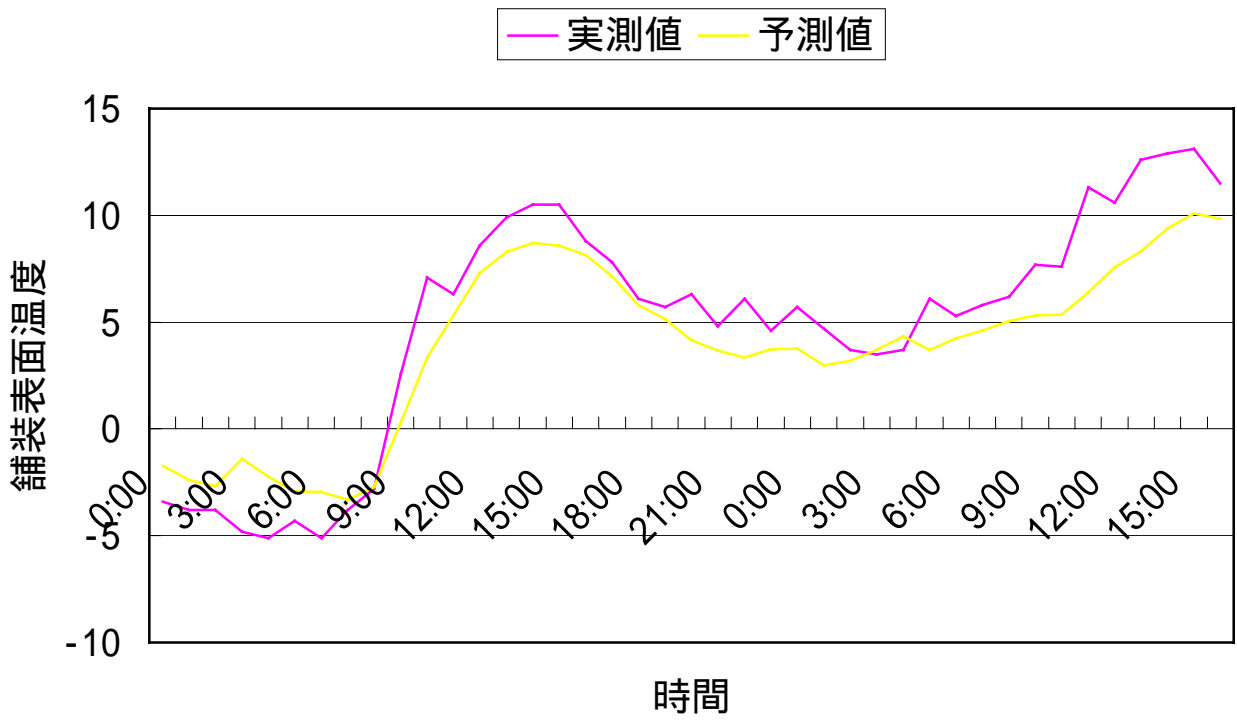


図-4.11 2月8日～2月9日

第 5 章

蓄熱材封入舗装の路面温度予測

5.1 本章の内容

第4章で行ったアスファルト舗装の路面温度予測により、路面温度は、ある程度予測可能であることがわかった。本研究の目的は、地盤部での潜熱蓄熱材封入路面凍結抑制舗装の路面温度を数値シミュレーションにより予測し、その凍結抑制効果を含め、地盤部での潜熱蓄熱材封入路面凍結抑制舗装の適用可能性を検討・考察することである。そこで本章ではパラフィンと硫酸ナトリウム十水和物といった、二つの潜熱蓄熱材を封入した地盤部舗装の路面温度をシミュレーション予測した。パラフィン封入舗装では封入割合を変えたものの路面温度も予測し、封入割合による影響も検討している。

5.2 予測で封入した潜熱蓄熱材の特徴について述べてある。

5.3 潜熱蓄熱材封入舗装の路面温度の予測結果が示されている。

5.2 封入する蓄熱材

代表的な潜熱蓄熱材は有機物ではパラフィン，無機物ではボウ硝系の物質が挙げられる．本研究の潜熱蓄熱材封入路面凍結抑制舗装の路面温度予測では，融点が 4.9 のパラフィンとボウ硝系では硫酸ナトリウム十水和物を封入することにした．パラフィンと硫酸ナトリウム十水和物の熱特性を表-5.1 に示す．特徴として，硫酸ナトリウム十水和物のほうがパラフィンより単価が安いことが挙げられる．また，硫酸ナトリウム十水和物のほうがパラフィンより凝固点と融解点の差が大きく，潜熱量が大きいと考えられる．

表-5.1 予測に用いた潜熱蓄熱材の熱特性

種別		パラフィン	ボウ硝系
熱伝導率	W/mK	0.16	0.99
熱容量 MJ/(Km ³)	固体	5	6.4
	凝固	103.1	83.7
	液体	1.8	7
凝固開始		3.5	6.3
凝固終了		2	0
液化開始		3.6	7
液化終了		4.9	11
密度(固体/液体)	kg/m ³	810/770	1460/1330
比熱(固体/液体)	J/gK	1.8/2.1	1.9/2.9
価格	円/kg	約 6000	約 1680

5.3 潜熱蓄熱材封入舗装路面温度予測の結果

第3章で示した路面温度予測方法で，パラフィンと硫酸ナトリウム十水和物を封入した舗装の路面温度予測を行った．パラフィン封入による路面凍結抑制効果を封入割合毎に図-5.1 に示す．パラフィン封入による凍結抑制効果のひとつの目安として，封入割合毎の低温側での温度上昇の最大値を材料コストで割ったもののグラフを図-5.2 に示す．5割以上は2月6日などで氷点下を上回り，路面凍結が緩和されているのが分かる．実測値との低温側での最高温度差は4割，5割，6割，8割でそれぞれ，4.1，7.1，9，11.5 となっている．これを材料費（アスファルト合材単価:約 10000 円/t）で割ったものを図-3 に示す．封入方法などを決定していないので正確な材料費ではないが，目安として5割から6割の間で封入するのが効果的であると考えられる．また，硫酸ナトリウム十水和物封入による路面凍結抑制効果を図-5.3 に示す．ボウ硝系はパラフィンと比べて潜熱量が大きく，コストも安価になると見込まれるが，融解温度が 11 と高く，昼間十分に潜熱蓄熱できず，パラフィンほどの効果が得られなかった．比較的暖かい3月ではボウ硝系の方がパラフィンより効果的であると考えられる．

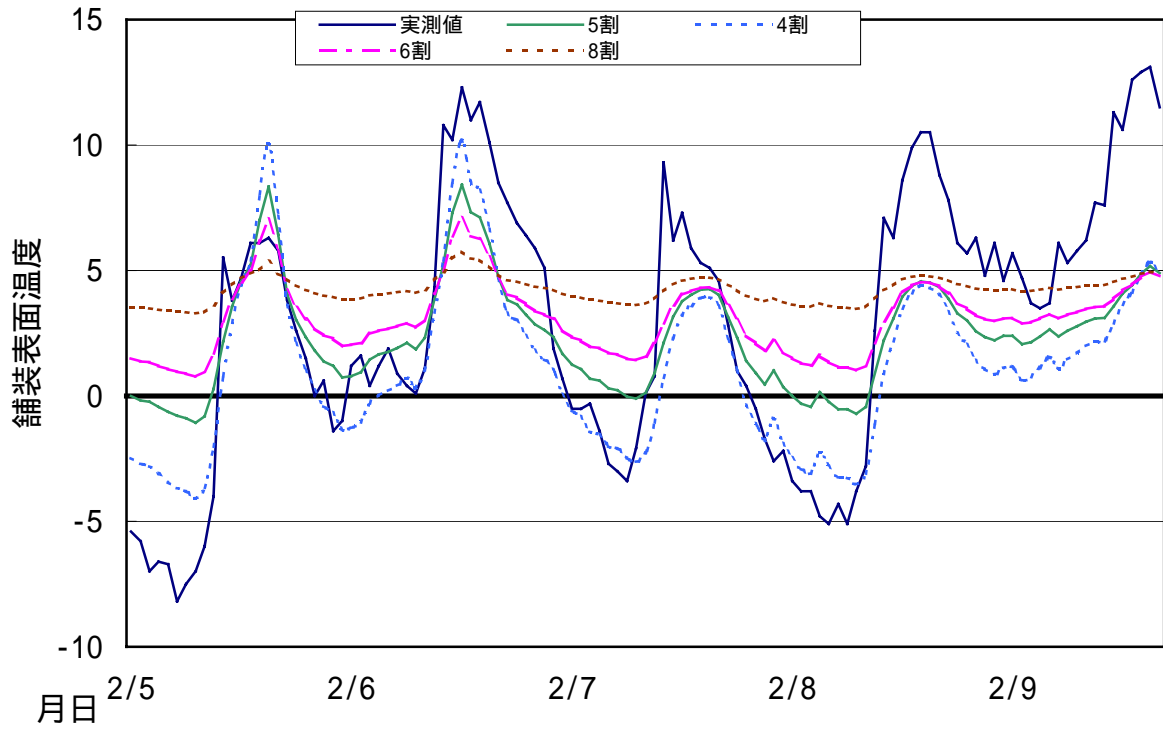


図-5.1 パラフィン封入による効果

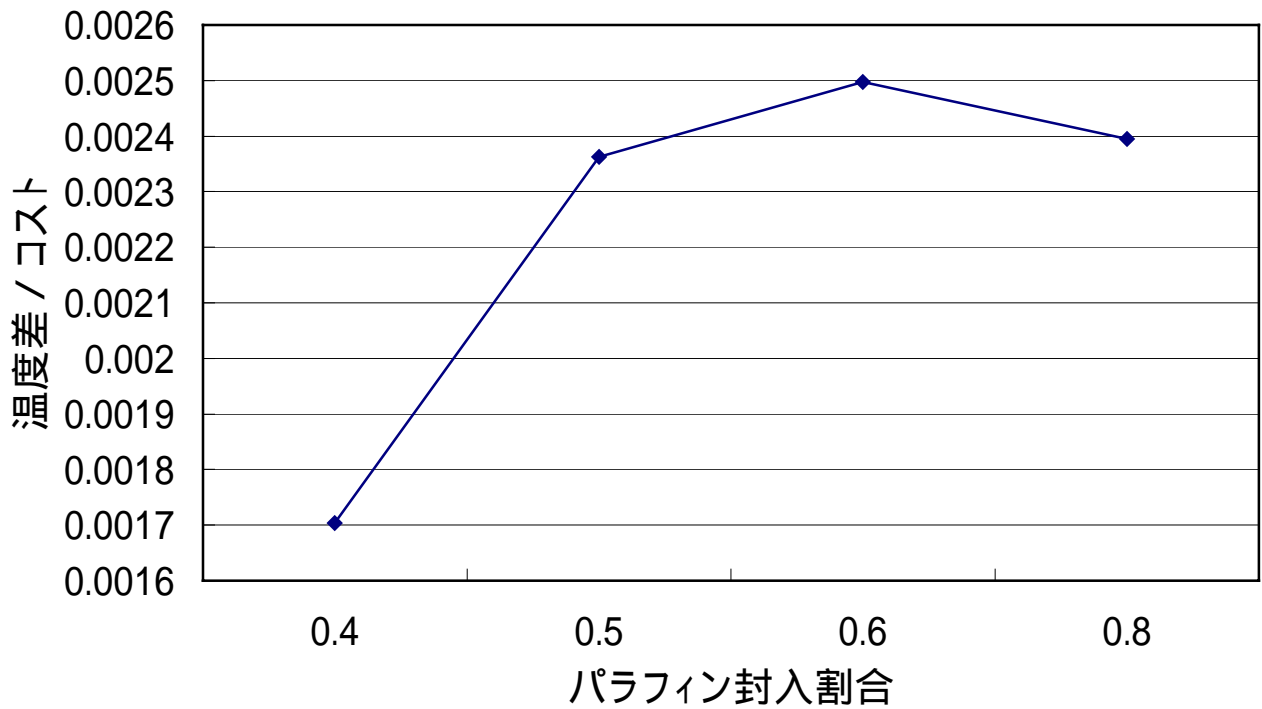


図-5.2 パラフィン封入割合の目安

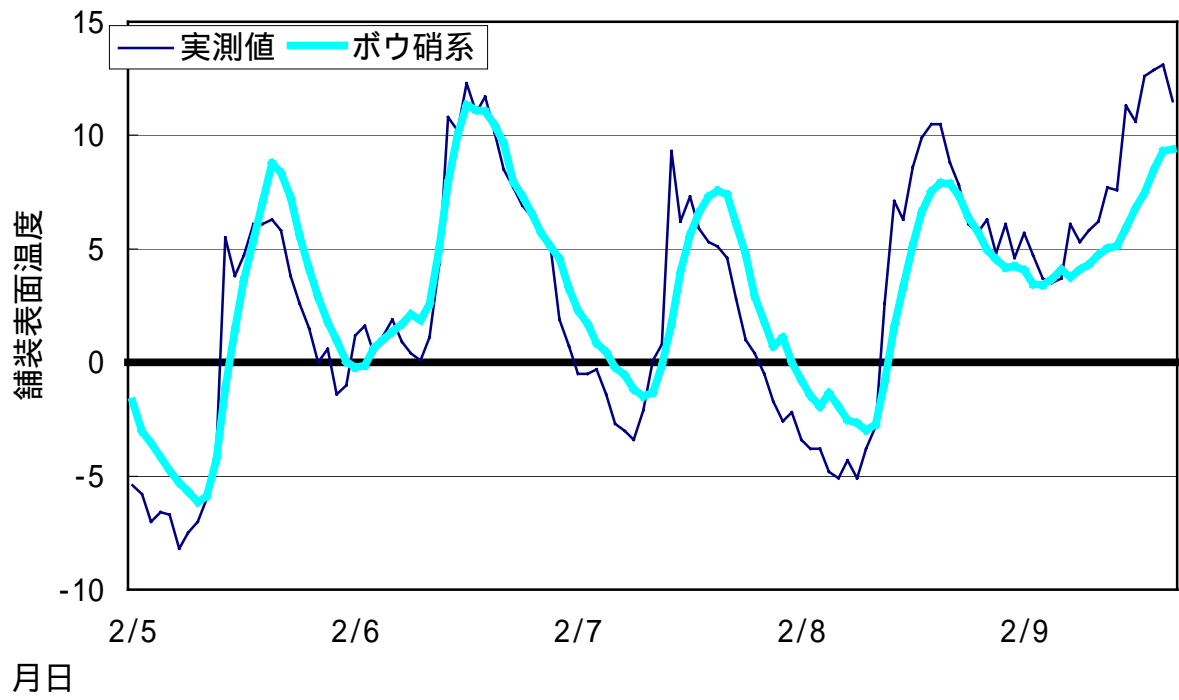


図-5.3 硫酸ナトリウム十水和物封入の効果

第 6 章

結論

6.1 本章の内容

本論文においてここまで、基礎的な観点から、地盤部での潜熱蓄熱材封入舗装の適用可能性を検討するべく、その検討材料を整理してきた。その目的と背景を第1章において述べ、適用する技術として注目した蓄熱材に関する基礎知識を第2章で述べた。また、適用する分野として注目した蓄熱材の実用例について第3章でそれぞれ述べてきた。第4章・第5章においては、潜熱蓄熱材封入舗装の適用可能性を検討するために、路面温度の予測を行い、その予測結果をもとにその考察を行ってきた。

本章では、それらの検討材料のすべてを踏まえたうえで、自分の考えをまとめ、本研究としての結論を述べている。

6.2 ここでは、地盤部での潜熱蓄熱材封入舗装の適用利点について述べている。

6.3 ここでは、地盤部での潜熱蓄熱材封入舗装を実用化するにあたっての課題点について考察してある。

6.2 蓄熱材適用の利点

ここまで行ってきた、地盤部の潜熱蓄熱材封入舗装の路面温度予測により、地盤部の潜熱蓄熱材封入舗装を路面凍結対策として用いることによって、低温時の路面温度が上昇することが予測された。このことから、舗装に蓄熱材を封入することによって、蓄熱材の種類や封入割合によって変わってくるが、路面凍結の抑制効果が現れると考えられる。

潜熱蓄熱材封入舗装はロードヒーティングなどに比べると、安価に施工することができる。また、運転管理が一切不要という点で、1度施工してしまえば不具合が生じることもなく、後の管理費がかからず、半永久的に効果が持続するため経済的である。

昼間の太陽熱を蓄えて利用するソーラーシステムなので環境にもやさしく、今後の時代背景を考えても、魅力的なシステムであると考えられる。今後、この技術をもっと経済的・効果的にすることができれば、路面凍結対策だけではなく、幅広い分野で適用することができるであろうと考えられる。

6.3 潜熱蓄熱材封入舗装の今後の課題点

地盤部の潜熱蓄熱材封入舗装の路面温度予測により、地盤部の潜熱蓄熱材封入舗装を路面凍結対策として用いることによって、低温時の路面温度が上昇することが予測され、路面凍結の抑制効果がみられた。しかし、実際に全ての地盤部に潜熱蓄熱材を封入するにはコストがかかりすぎると考えられる。実用化レベルまでコストを下げるためには、安価な潜熱蓄熱材の開発が必要だと考えられる。また、潜熱蓄熱材を安価に舗装に封入する工法も考案しなければならないと考えられる。

本研究の潜熱蓄熱材封入舗装の路面温度予測では、蓄熱材封入による路面凍結抑制効果がみられたが、実用化にむけてという意味でのシミュレーションは行われていない。潜熱蓄熱材は地域によって、気候などの要因を考慮して選定しなければならないため、封入方法や封入環境をより詳細にシミュレーションできる予測が必要になってくると考えられる。

《謝辭》

本研究を進めるにあたって、皆川 勝教授、吉田 郁政教授、梶谷 義雄助教授、佐藤 安雄技師には、有益な助言を多数いただき、大きな助けとなりました。そして、研究当初の自分の研究に対する怠慢な態度に叱咤をいただき、研究姿勢を改めることができました。皆様方のお力添え無しには、研究を進めることができませんでした。お忙しい中、私の研究に親身になって接していただき、私自身の大きな力となりました。また、研究室の皆様には、違った目線からのアドバイスをいただいたり、励ましたりしていただきました。皆様のお力添えにより、本論文を制作することができました。

皆様に深く感謝致しております。真にありがとうございました。

《参考文献》

- 1) 日本太陽エネルギー学会：太陽エネルギー利用技術，オーム社，2006.8
- 2) 三菱製紙株式会社ホームページ，<http://web.infoweb.ne.jp/mpm/>
- 3) 関信弘：蓄熱工学，森北出版，1995.12
- 4) 福井県雪対策・建設技術研究所ホームページ，<http://www.fklab.fukui.fukui.jp/yk/>
- 5) 宮本重信，奥村茂：拡張アメダス気象データと数値シミュレーションを用いた橋面凍結の推定，第二回道路橋床版シンポジウム講演論文集，2000.10
- 6) 庄治正弘：伝熱工学，東京大学出版会，1995.3
- 7) 気象庁ホームページ，<http://www.jma.go.jp/jma/index.html>
- 8) 富山県ホームページ，<http://www.pref.toyama.jp/>
- 9) 岩井裕，大村高弘，小林健一，富村寿夫，羽田光明，平澤茂樹，吉田英生：熱流体のシミュレーション，丸善，2005.3.31