

## 寒冷地における空港舗装の温度特性に関する研究

北海学園大学大学院 堤 洋介  
 北海学園大学工学部 久保 宏  
 (株)ズコーシャ 金澤雅博

### 1. はじめに

近年、日本の空港滑走路においてプリスタリング現象による表層の剥離が報告された。この対策の一つに施工時の舗装厚を大きくする方法がある<sup>1)</sup>。また、空港舗装に施工されているグルーピングは、冬期では溝のない普通路面より融雪が早いという報告がされている。

このような背景から本研究では、空港滑走路舗装での日変化について検討する。任意の深さでの最高・最低舗装温度の推定式を導く。任意の深さと時間における舗装温度の推定式をフーリエ解析から導く。グルーピング工法の有無と溝間隔による舗装温度の比較を目的としている。

### 2. 空港舗装の温度

舗装温度に影響する因子は外部影響因子として大気温度などの気象条件が挙げられ、内部影響因子として熱伝導率などの材料特性がある<sup>2)</sup>。

空港舗装に施工されているグルーピング工法は、タイヤの溝部食込みによるすべり抵抗性の向上、路面排水性の向上、タイヤの食込みによる薄氷の破碎といった効果が一般的に期待される。

舗装温度は、新千歳空港の平行誘導路および取り付け誘導路で測定し解析を行った。比較した舗装のタイプは溝のない普通路面と溝間隔 32 mm・64 mm のグルーピング舗装である。温度測定には銅 - コンスタantan熱電対温度計を用いて 1 時間ごとにデータロガーで記録した。また本研究で使用した温度計の精度は  $\pm 0.5$  である。

測定期間は、冬期として 2000.11.30 ~ 2001.4.1、夏期として 2001.6.14 ~ 7.20 まで行った。

### 3. 舗装温度の日変化

図 - 1 は、夏期の溝なしにおける各深さの平均舗装温度と平均気温の推移を例として示している。

この図から気温および舗装温度も、24 時間周期にあり、また各深さの舗装温度が最大・最小となる時間はほぼ同じで、特に路面温度と気温は、12 時 ~ 14 時頃で最高に、5 時 ~ 7 時頃で最低になった。

舗装温度の伝播は、最大値と最小値が 5 cm 深くなるごとに約 1 時間の遅れが生じ、同時に舗装温度の日格差も減少していった。夏期と冬期においては、日格差が

異なるだけで舗装温度の日変化に関しては同じ傾向が見られる。また、路面から約 30 cm より深い位置では、一日を通して温度があまり変化していないといえる。

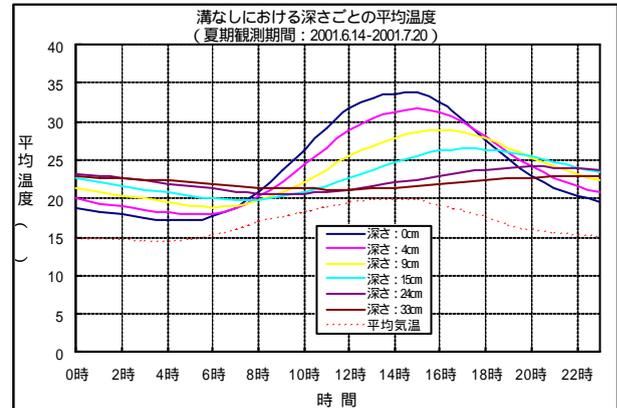


図 - 1 夏期における平均温度

### 4. 気温から舗装の最高・最低温度の推定

推定方法の手順は、始めに気温と舗装温度の相関関係を求め、有意水準 5% の t 検定から、有意であった場合、各舗装タイプの深さごとに回帰直線の傾きと切片を求める。次に傾き及び切片と深さの相関から 3 次近似曲線の回帰係数を求め、有意水準 5% の F 検定から係数が回帰曲線に合致することを確認し、舗装温度の推定式を導いた。

以上から日最高気温および日最低気温を入力条件にした、任意の深さにおける最高・最低舗装温度の推定式は、それぞれ式 - 1・式 - 2 に示した一般式の通りになる。またこれら推定式の各係数値は表 - 1 に夏期を例としてまとめた。

$$T''_{Z \max} = A_1 \cdot T_{\max} + A_2 \quad \dots \text{式 - 1}$$

$$\text{ただし } A_n = (a_n Z^3 + b_n Z^2 + c_n Z + d_n)$$

$$T''_{Z \min} = A'_1 \cdot T_{\min} + A'_2 \quad \dots \text{式 - 2}$$

$$\text{ただし } A'_n = (a'_n Z^3 + b'_n Z^2 + c'_n Z + d'_n)$$

ここに

ここに	}	Z: 任意の深さ (cm)
		$T''_{Z \max}$ : 推定最高舗装温度 ( )
		$T''_{Z \min}$ : 推定最低舗装温度 ( )
		$T_{\max}$ : 最高気温 ( )
		$T_{\min}$ : 最低気温 ( )
		$a_n \sim b_n \cdot a'_n \sim b'_n$ : 定数

キーワード：グルーピング フーリエ解析

連絡先：北海学園大学 〒064-0926 札幌市中央区南 26 条西 11 丁目 1 番 1 号 011-841-1161

表 - 1 最高最低舗装温度推定式の係数値 (夏期)

最高舗装温度推定式の係数値								
溝間隔	a <sub>1</sub>	b <sub>1</sub>	c <sub>1</sub>	d <sub>1</sub>	a <sub>2</sub>	b <sub>2</sub>	c <sub>2</sub>	d <sub>2</sub>
64mm	0.0000	0.0008	-0.0757	1.9001	-0.0003	0.0032	0.7741	-3.3633
32mm	0.0000	0.0011	-0.0795	1.8519	-0.0002	-0.0037	0.9002	-4.5736
溝なし	0.0000	0.0005	-0.0734	1.8724	-0.0003	0.0048	0.7942	-4.1526
最低舗装温度推定式の係数値								
溝間隔	a' <sub>1</sub>	b' <sub>1</sub>	c' <sub>1</sub>	d' <sub>1</sub>	a' <sub>2</sub>	b' <sub>2</sub>	c' <sub>2</sub>	d' <sub>2</sub>
64mm	0.0000	0.0002	-0.0150	0.7137	0.0000	-0.0069	0.4829	7.9523
32mm	0.0000	0.0003	-0.0181	0.7243	0.0000	-0.0071	0.4956	6.4143
溝なし	0.0000	0.0000	-0.0184	0.7040	-0.0001	-0.0051	0.5061	6.9509

図 - 2 は、例として夏期の溝なしでの最高舗装温度の推定結果を示している。路面温度の実測値と推定値は、差の平均で 5.4 あり、日によっては 10 近くに開くこともあった。しかし、有意水準 5% の t 検定から比較した結果、どの溝間隔の深さにおいても有意差がなかったため、比較的精度よく推定できると考えられる。

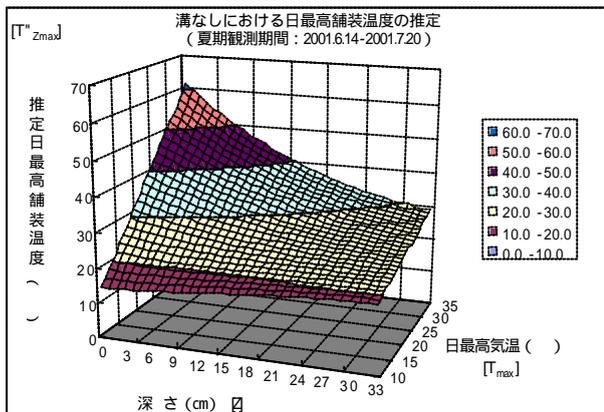


図 - 2 最高舗装温度の推定結果 (夏期・溝なし)

5. フーリエ解析による舗装温度の推定

ここでは、一日の舗装温度が 24 時間周期で変動していることに着目し、フーリエ解析を用いて推定を行った。推定手順は図 - 3 の通りに行い、式 - 3 に示す舗装温度の推定式を導いた。また、表 - 2 に夏期の溝なしにおける係数値を示している。

夏期と冬期における舗装温度の実測値とフーリエ解析による推定値を有意水準 5% の t 検定から判定した結果、いずれの舗装タイプにおける深さでも差は見られなかったため、フーリエ解析による舗装温度の推定は精度よく求められるといえる。

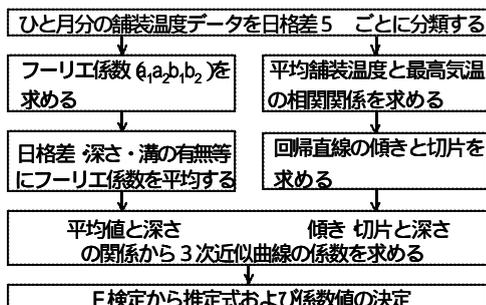


図 - 3 舗装温度推定式の作成手順

$$T''_{(z,t)} = (A_0 \cdot T_{max} + B_0) + (A_1 \cos \frac{\pi}{12} t + B_1 \sin \frac{\pi}{12} t) + (A_2 \cos \frac{\pi}{6} t + B_2 \sin \frac{\pi}{6} t) \quad \text{式 - 3}$$

ただし  $A_n = (Aa_n Z^3 + Ab_n Z^2 + Ac_n Z + Ad_n)$   
 $B_n = (Ba_n Z^3 + Bb_n Z^2 + Bc_n Z + Bd_n)$

- Z: 任意の深さ (cm)
- t: 任意の時間 (h)
- ここに  $T''_{(z,t)}$ : 推定舗装温度 ( )
- $T_{max}$ : 日最高気温 ( )
- $a_n \sim d_n$ : 定数

表 - 2 推定式の定数値 (夏期: 6・7月)

日格差 ( )	0 ~ 5	5 ~ 10	10 ~	日格差 ( )	0 ~ 5	5 ~ 10	10 ~
Aa <sub>0</sub>	0.0000	0.0000	0.0000	Ba <sub>0</sub>	-0.0002	0.0000	-0.0001
Ab <sub>0</sub>	-0.0006	-0.0001	-0.0004	Bb <sub>0</sub>	0.0105	0.0016	0.0058
Ac <sub>0</sub>	-0.0099	-0.0066	0.0037	Bc <sub>0</sub>	0.2578	0.0530	-0.2063
Ad <sub>0</sub>	0.9151	0.7614	0.7710	Bd <sub>0</sub>	2.5492	8.0005	9.4276
Aa <sub>1</sub>	0.0000	0.0001	0.0000	Ba <sub>1</sub>	-0.0001	-0.0003	-0.0005
Ab <sub>1</sub>	-0.0031	-0.0151	-0.0202	Bb <sub>1</sub>	0.0026	0.0148	0.0284
Ac <sub>1</sub>	0.2080	0.6370	0.9901	Bc <sub>1</sub>	0.0160	0.0010	-0.1941
Ad <sub>1</sub>	-1.8406	-6.4216	-11.2421	Bd <sub>1</sub>	-0.9185	-6.0624	-7.1438
Aa <sub>2</sub>	0.0000	-0.0001	-0.0002	Ba <sub>2</sub>	0.0000	0.0000	0.0001
Ab <sub>2</sub>	0.0016	0.0102	0.0148	Bb <sub>2</sub>	-0.0018	0.0003	-0.0058
Ac <sub>2</sub>	-0.0474	-0.2089	-0.3790	Bc <sub>2</sub>	0.0215	-0.1176	-0.0370
Ad <sub>2</sub>	0.6779	0.9101	2.5776	Bd <sub>2</sub>	0.5624	1.8696	2.0972

6. グルーピング工法の舗装温度特性

夏期における溝の有無による積算温度は、最大で 4% 程度しか認められなかった。したがって、グルーピング工法を施工しても、舗装のわだち掘れなどの流動は小さいものと考えられる。

冬期での積算舗装温度を比較すると、溝なしと溝間隔 32 mm のものは、最大で 4% 程度の違いだったので、あまり差はないと考えられるが、64 mm のものとは普通路面より約 13% 高くなっていた。したがって、普通路面より 64 mm 間隔の溝を施工した舗装温度の方が高くなる可能性がある。

7. 結論

以上から本研究の結論は、次のことがいえる。

- 1) 最高・最低舗装温度およびフーリエ解析による推定温度は、大気温度から実測値に近い値が推定できると考えられる。
- 2) 夏期は溝の有無による舗装温度の差があまりなかったが、冬期は 64 mm 間隔のグルーピングの施工で温度上昇効果を期待することができる。

参考文献

- 1) 金岡優樹・久保宏：空港滑走路舗装のプリスタリング現象に関する研究、平成 13 年度土木学会第 56 回年次学術講演概要集 第 部、舗装一般 (1) V-004、2001 年 10 月、熊本県
- 2) 姫野賢治・猪股和義：アスファルト舗装の内部温度分布に関する調査研究、土木技術資料 28 - 6、pp.326 ~ 331、1986 年