

空港コンクリート舗装版の温度分布特性

尾関孝人¹・西澤辰男²・加藤浩司³

¹正会員 工修 大成建設株式会社 横浜支店白山工事作業所 (〒226-0006 横浜市緑区白山 2-16-33)

E-mail : ozkkt00@pub.taisei.co.jp

²正会員 工博 石川工業高等専門学校教授 環境都市工学科 (〒929-0392 河北郡津幡町北中条タ1)

³非会員 関東地方整備局 東京空港整備事務所 (〒144-0041 東京都大田区羽田空港 3-3-1)

空港コンクリート舗装の構造設計においては、版に生じる温度応力が重要となる。版厚の厚い空港コンクリート舗装においては、版内の温度分布が非線形となり、この非線形温度分布により生じる温度応力は、線形温度分布で算定したものとは異なってくる。そこで、本研究では、1年間を通して計測されたコンクリート舗装版の温度・ひずみ計測結果より温度応力を算定し検討を行った。また、熱伝導解析によりコンクリート舗装版における温度分布を算定し、コンクリート舗装版の非線形温度分布特性について検討した。さらに3DFEMにより温度応力解析を行って、版厚の影響を調べた。

Key Words : airport concrete pavement, thermal stress, thermal analysis, nonlinear thermal distribution

1. はじめに

空港コンクリート舗装の構造設計においては、航空機荷重により発生する荷重応力と、コンクリート版の温度変化による変形が版の自重及び路盤との摩擦により生じる温度応力を考慮する必要がある。その中で、コンクリート舗装版に生じる温度応力については岩間の提案式¹⁾が一般的に用いられてきた。岩間の提案式は、Westergaardの反り拘束応力式²⁾を基にし、厚さ20cmと25cmのコンクリート舗装版に対する長期観測結果より算定したものである。岩間の提案式は、版内温度分布の非線形性によりコンクリート下縁において圧縮となる内部拘束応力により、曲げ拘束応力が30%低減されるとしている。しかしながら、版厚の厚いコンクリート舗装においては、版厚方向の温度分布の非線形性が大きく、内部拘束応力が大きくなる。そのため、空港コンクリート舗装に生じる温度応力は、従来の岩間の提案式で算出された温度応力よりも小さくなると考えられる。したがって、合理的な空港コンクリート舗装の構造設計を行う上で、版厚の厚いコンクリート舗装の温度分布及びそれにより生じる温度応力を適切に評価することが必要となってきた。坪川らは空港コンクリート舗装における温度応力について実験的な検討を行い、実用的な実験式を導いている³⁾。

また、東京国際空港国際線エプロン整備事業において、高強度コンクリートの適用性を確認するため、厚さ46cmのコンクリート舗装版の実大規模の試験施工を行った。その中で、コンクリート舗装版の温度・ひずみについて、

版内に計測器を設置し、1年間の長期計測を実施した。

本研究では、この試験用コンクリート舗装版内における温度・ひずみ計測結果を基に温度応力を算定した。また、コンクリート舗装版の温度分布について熱伝導解析を実施し、版内温度分布についても検討した。さらに、3DFEMにより温度応力を算定し、版厚の影響を調べた。

2. 温度・ひずみ計測

(1) 計測概要

実物大の試験用コンクリート舗装版において、高強度コンクリートであるC区画及び普通コンクリートであるD区画において温度及びひずみの計測を行った。高強度コンクリート・普通コンクリートの各々の舗装版の寸法は8.5m×8.5mであり、厚さは46cmである。図-1に示す位置に計測器を設置し、温度及びひずみの計測を行った。各々の舗装版に対し、平面的に6測点、深度方向に3測点のひずみ及び7測点の温度を計測した。

高強度コンクリート(C区画)及び普通コンクリート(D区画)の配合を表-1に示す。高強度コンクリート(C区画)の設計曲げ強度は5.5N/mm²、普通コンクリート(D区画)の設計曲げ強度は5.0N/mm²である。

(2) 温度・ひずみ計測結果

1年間を通して行われた温度・ひずみ計測結果の一例として、高強度コンクリート(C区画)の版中央部(計

測位置 1-1)・最下部の温度及びひずみの計測結果を図-2に示す。図-2において、1年間を通して温度とひずみは同様の挙動を示しており、この計測結果が妥当なものであることが分かる。

3. 計測結果からの温度応力の算定

上記の温度及びひずみの計測結果を用いて、以下に示すように温度応力を算定した。

(1) 温度応力の算定法

コンクリート版に発生する拘束応力は、図-3に示すよ

うに軸方向拘束応力、曲げ拘束応力、内部拘束応力の3つに分けることができる。軸方向拘束応力は版の軸方向の伸縮が路盤との摩擦や隣接版により拘束されることによる応力、曲げ拘束応力は版上下面の温度差による版の曲げ変形が自重等により拘束されることによる応力、内部拘束応力は版深さ方向の温度分布が非線形になることにより発生する応力である。軸拘束応力は引張応力になる場合の大きさが小さいこと、曲げ拘束応力が大きくなる温度上昇期には圧縮応力となるため、無視しても安全側であることから、設計上は考慮していない¹⁾。したがって、本研究では温度応力として曲げ拘束応力と内部拘束応力を足し合わせたものを考慮している。

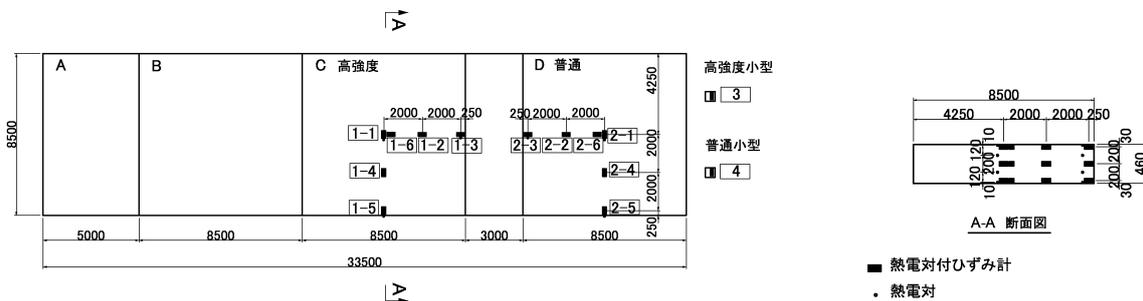


図-1 コンクリート舗装版 計測位置

表-1 高強度コンクリート (C区画) 及び普通コンクリート (D区画) の配合

	C/W	W/C (%)	単位粗骨材容積	s/a (%)	単位量(kg/m ³)					AE減水剤	
					W	C	S	4020	2005	C×%	Kg/m ³
高強度コンクリート (C区画)	2.7	37.0	0.76	32.7	134	362	599	511	759	1.0	3.62
普通コンクリート (D区画)	2.2	45.5	0.76	35.9	127	279	685	511	759	1.0	2.79

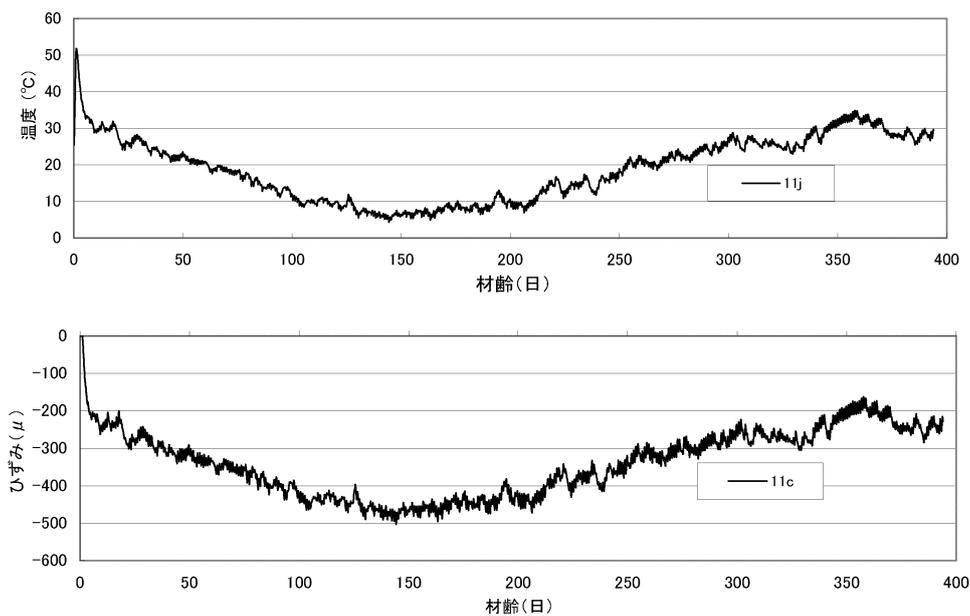


図-2 温度・ひずみ計測結果

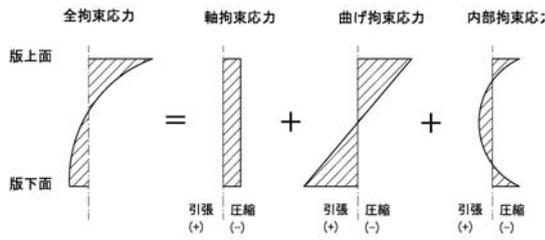


図-3 コンクリート版に生じる応力の模式図

温度応力を構成する曲げ拘束応力及び内部拘束応力について下記に示す方法により算出した。

- ① 日のうちでコンクリート版厚方向の温度差が最小になるときからの実ひずみ変化量，温度変化量を求める。
- ② ひずみの測定点における実ひずみ変化量について，最小二乗法により 2 次曲線近似した版厚方向の実ひずみ分布を描く。同様に，温度の測定点における温度変化量に線膨張係数を乗じることで算出される温度ひずみ分布を 2 次曲線近似して描く。この実ひずみ及び温度ひずみ分布より，コンクリート版下面の値を外挿する。
- ③ 実ひずみ分布及び温度ひずみ分布について，2 次曲線の左右の面積が等しくなるように 1 次近似直線を引きコンクリート版下面の値を外挿する。2 次曲線と 1 次直線の差が内部拘束成分となる。さらに，1 次直線を曲げ拘束成分と軸拘束成分に分ける。
- ④ 実ひずみの各成分から温度ひずみの各成分をそれぞれ差し引くことで拘束ひずみの各成分を求め，これにヤング係数を乗じることで拘束応力の各成分を求める。

(2) 温度応力算定結果

(1)に示したような算定法により，温度・ひずみ計測結果から温度応力を算定した。なお，温度応力算定の際に用いる弾性係数，線膨張係数及びポアソン比は材齢 28 日の供試体に対して室内試験を行い測定した。高強度コンクリートは，弾性係数 $E=39,900(\text{N}/\text{mm}^2)$ ，線膨張係数 $\alpha=8.89(\mu/\text{C})$ ，ポアソン比 $\nu=0.206$ であり，普通コンクリートは，弾性係数 $E=41,700(\text{N}/\text{mm}^2)$ ，線膨張係数 $\alpha=8.97(\mu/\text{C})$ ，ポアソン比 $\nu=0.204$ と測定された。空港コンクリート舗装においては，航空機荷重により版下面において引張応力が生じる。構造設計を行うに際しては，この航空機荷重により生じる応力と温度応力を足し合わせたものを考慮するため，ここでは版下面における温度応力についての検討を行う。

図-4 に，年間を通じて温度応力が最も大きくなる夏期の高強度コンクリート (C 区画) 及び普通コンクリート (D 区画) の版中央部の計測位置 (計測位置 1-6) における計測結果により算定した温度応力の日変化を示す。

引張応力として発生する版下面の温度応力の最大値は，

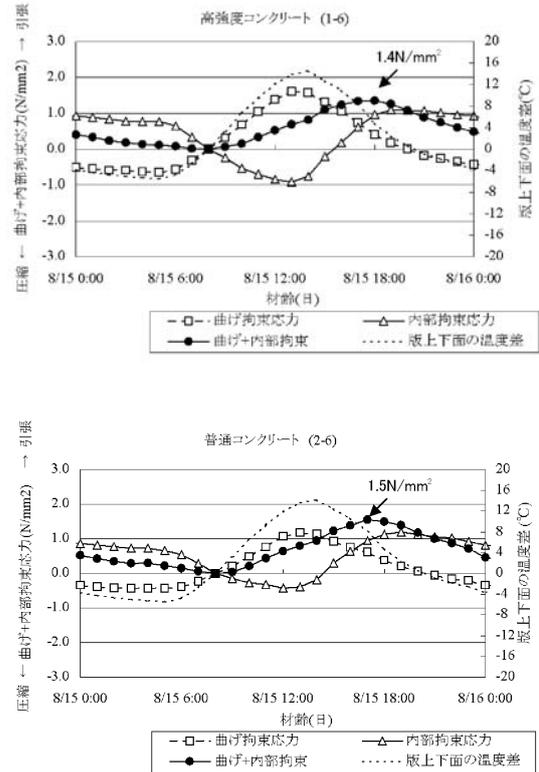


図-4 温度応力の日変動 (夏期)

高強度コンクリート (C 区画) で $1.4\text{N}/\text{mm}^2$ ，普通コンクリート (D 区画) で $1.5\text{N}/\text{mm}^2$ となり，高強度コンクリートと普通コンクリートとで温度応力の挙動及び最大値について大きな差異がないことが確認された。また，曲げ拘束応力は版上下面の温度差と比例して大きくなるのに対し，内部拘束応力は版上下面の温度差と反比例していることが分かる。したがって，曲げ拘束応力と内部拘束応力の和として表わされる温度応力は，版上下面の温度差が最大値を示す時刻から遅れて (約 2~3 時間程度)，最大値を示している。このことは坪川らによっても確かめられており，一般的な傾向である³⁾。

従来の舗装設計において用いられてきた厚さ 20~25cm の舗装版から導出された岩間の版中央部の温度応力式¹⁾を以下に示す。

$$\sigma = 0.7 \frac{E\alpha\theta}{2(1-\nu)} \quad (1)$$

ここに，

σ : 版中央部の温度応力 (N/mm^2)

E : コンクリートの弾性係数 (N/mm^2)

α : コンクリートの線膨張係数 ($1/\text{C}$)

θ : コンクリート舗装版の上下面温度差 (C)

ν : コンクリートのポアソン比

この式は，前述したように版内温度分布が線形で，版

の自由変形が完全に拘束されたと仮定した場合の Westergaard による曲げ拘束応力の算定式 ($\sigma = E\alpha \theta / (2(1-\nu))$)に、内部拘束応力による低減分として係数0.7を乗じた式となっている。³⁾

この岩間の温度応力式を用いて算定された温度応力は 2.3N/mm^2 であり、今回の計測から算定された温度応力よりも約 50%程度大きい。これは、版厚が厚い方が版内部に生じる温度分布の非線形性が強くなることにより、内部拘束応力 (図中の△) が大きくなるためと考えられる。

このように、版厚が厚い場合は岩間の提案式が導出された厚さ 20cm~25cm の舗装版とは温度分布特性が変化するため、温度応力も異なってくる。したがって、温度応力を正確に算定するためには、様々な版厚に対して温度分布特性を精度良く評価し、温度応力を算定することが必要となってくると考えられる。

4. 熱伝導解析

2章~3章において述べた実大試験においては、版厚 46cm の舗装版に対して版内の温度分布を計測し温度応力を算定した。しかし、前述したように版厚により版内の温度分布も変化することから温度応力も異なることが確認されている。このようなことから、異なる版厚の舗装版に対しても温度分布及び温度応力を正確に評価することが合理的な設計を行うことで必要となってくる。したがって、この章以降において、熱伝導解析を実施しコンクリート版内の温度分布特性に対する検討を行い、その温度分布特性に基づいた温度応力の算定を実施した。

(1) コントロールボリューム法

コンクリート舗装版内の温度分布を推定するためには、熱伝導解析が必要となる。本研究では、コントロールボリューム法を用いて熱伝導解析を行った。この方法は、着目している節点と隣接する節点の中央で切断した有限な厚さの層に流入・流出する熱エネルギーの収支が釣り合うという条件から支配方程式を誘導している。⁴⁾⁵⁾

$$\text{支配方程式: } \rho C \frac{\partial T}{\partial t} = k \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \quad (2)$$

$$\text{初期値: } T(z,0) = T_0(z) \quad (3)$$

$$\text{境界条件: } z=0: -k \frac{\partial T}{\partial z} = q_{con} + q_{sol} + q_{rad} \quad (4)$$

$$z=z_b: -k \frac{\partial T}{\partial z} = 0 \quad (5)$$

ここに、 ρ は密度(kg/m^3)、 C は比熱($\text{J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$)、 k は熱伝導係数($\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$)である。また、 q_{con} は顕熱輸送量(W/m^2)、 q_{sol} は正味全天日射量(W/m^2)、 q_{rad} は正味長波放射量(W/m^2)である。これらの熱量はそれぞれ下記のように表わすこ

とができる。

$$q_{con} = h(T_s - T_a) \quad (6)$$

$$q_{sol} = (1 - \alpha)S \downarrow \quad (7)$$

$$q_{rad} = L \downarrow - L \uparrow \quad (8)$$

T_a は気温、 T_s は舗装の表面温度、 $S \downarrow$ は全天日射量、 α はアルベド、 $L \downarrow$ は下向き赤外放射量、 h は熱伝達率である。また、熱伝達率 h については、Australian Standard の式： $h=3.1+4.1v$ (v : 風速(m/s))を用いている。正味全天日射量の全天日射量 $S \downarrow$ は気象庁のデータを用いる。また、下向き赤外放射量 $L \downarrow$ は大気の射出率 ϵ_{sky} を用いて、一般に下記のように書くことができる。

$$L \downarrow = \epsilon_{sky} \sigma T_a^4 \quad (9)$$

ここに、 σ はステファン・ボルツマン定数 ($=5.67 \times 10^{-8} \text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$)、 T_a は気温(K)である。また、 $L \uparrow$ と $L \downarrow$ の間には以下の関係がある。

$$L \uparrow = \epsilon \sigma T_s^4 + (1 - \epsilon)L \downarrow \quad (10)$$

ϵ は舗装表面の射出率、 $T_s(\text{K})$ は舗装表面温度である。

(2) 熱特性値

熱伝導解析を行ううえで、比熱・熱伝導率等の熱特性値を設定する必要がある。アスファルト層・下層路盤・路床については既往の研究を参考に設定した。また、コンクリートの熱特性値については、熱伝導解析を行い、計測値 (版中央部計測位置、図-2 中 1-1) と比較することにより熱特性値の推定を行った。舗装表面の境界条件は、実大試験において計測された表面温度を入力してい

表-2 各層の層厚・熱特性値

コンクリート	層厚(mm)	460
	密度(kg/m^3)	2350
	比熱($\text{J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$)	1050
	熱伝導係数($\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$)	4.0
アスファルト層	層厚(mm)	210
	密度(kg/m^3)	2350
	比熱($\text{J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$)	900
	熱伝導係数($\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$)	0.7
下層路盤	層厚(mm)	400
	密度(kg/m^3)	1800
	比熱($\text{J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$)	800
	熱伝導係数($\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$)	0.5
路床	層厚(mm)	1600
	密度(kg/m^3)	1800
	比熱($\text{J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$)	800
	熱伝導係数($\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$)	0.5

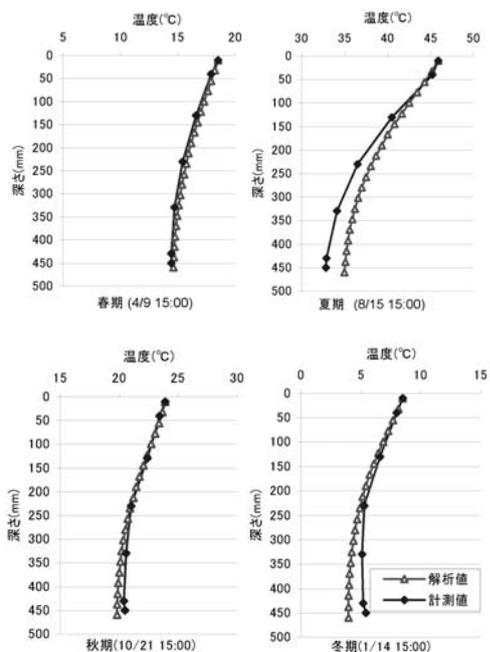


図-5 コンクリート版内温度分布

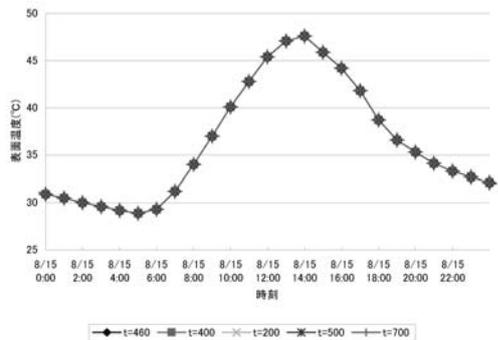


図-6 舗装表面温度解析結果

る。熱伝導解析を行う際の舗装構成は実大試験と同様のものとした。表-2に各層の層厚・熱特性値を、図-5にコンクリート版内温度分布の計測値との比較結果を示す。計測値と解析値は完全には一致してはいないが、同様の傾向を示しており、精度も非常に高いことが確認された。したがって、以降の検討においてはこの熱特性値を用いて検討を行うものとする。

(3) 表面温度に対する版厚の影響

舗装の表面温度に対して版厚がどのような影響を与えるのか検討するため、版厚を変化させた場合の表面温度を熱伝導解析により算出した。舗装表面の境界条件は熱伝導境界とし、気温・湿度・風速・全天日射量等のデータは気象庁からのデータを使用した。図-6に各版厚毎の舗装表面温度の熱伝導解析結果を示す。全ての版厚において表面温度は同様の値を示している。この結果より、版厚を変化させた場合でも表面温度は変化しないことが確認された。

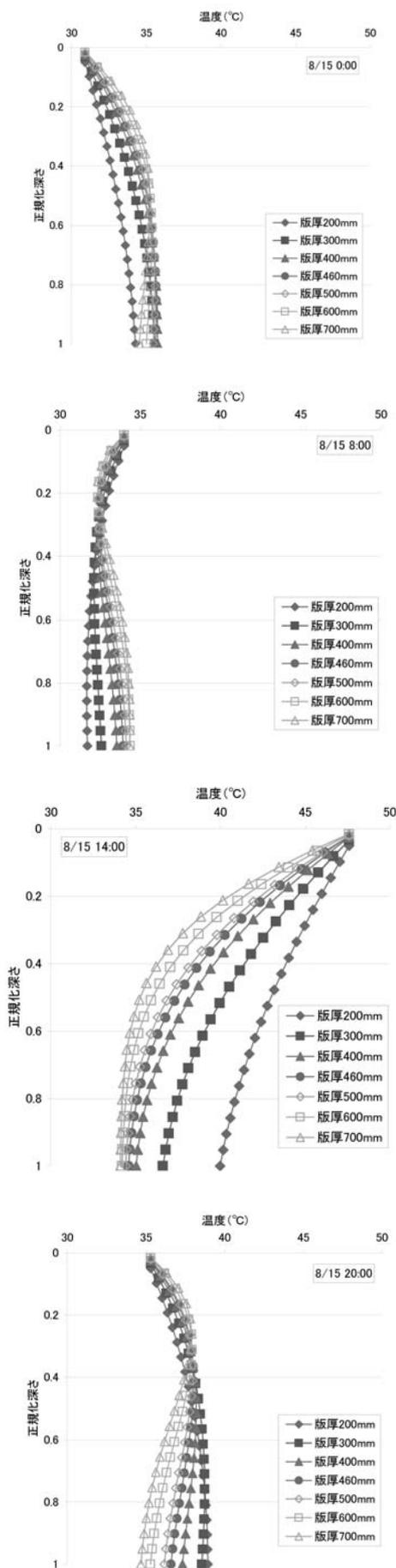


図-7 コンクリート版内温度分布 (縦軸: 正規化した版深さ)

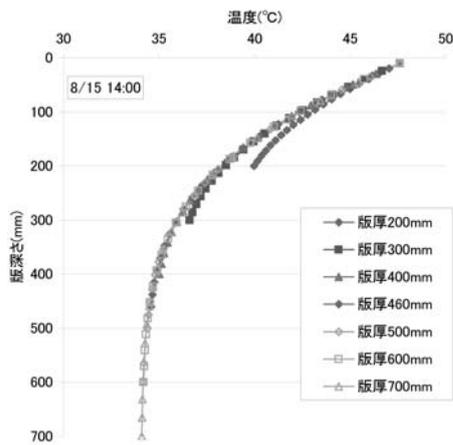


図-8 コンクリート版内温度分布 (縦軸：実際の版深さ)

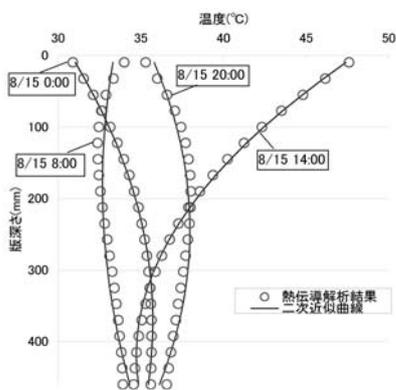


図-9 熱伝導解析結果と二次近似曲線との比較

(4) 版内温度分布に対する版厚の影響

版厚を変化させた場合の温度分布を熱伝導解析により算出した。(3)の検討結果より、版厚を変化させた場合でも表面温度は変化しないことが確認されたため、この検討においては舗装表面の境界条件として実大試験において計測された表面温度を全ての版厚において同様に入力している。図-7に算出された各版厚毎のコンクリート版内温度分布(縦軸：深さを版厚で除して正規化した版深さ)を示す。各時刻の結果において、版厚に比例して非線形性が大きくなっていることが分かる。特に版上下面温度差が最も大きくなる14:00の結果においては、版厚400mm以上で非線形性が強くなっていることが確認された。また、版上下面温度差についても、版厚に比例して大きくなっているが、版厚400mm以上では殆ど変化していないことが分かる。

また、14:00における版内温度分布について、縦軸を正規化した版深さではなく、実際の版深さとしたものを図-8に示す。版厚400mm以上では、版内温度分布は一致していることが分かる。このことから、温度応力を算出する際に、コンクリート版厚400mm以上では、同様の版内温度分布を使用することが可能であると考えられる。

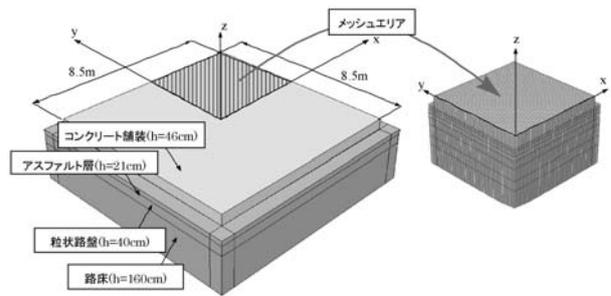


図-10 3DFEM モデル

(5) 版内温度分布の二次曲線表現

熱伝導解析より得られた版内温度分布に対して二次曲線で近似可能かの検討を行った。図-9に熱伝導解析結果と近似曲線を比較したものを示す。二次近似した曲線は精度良く解析結果をトレースしていることが分かる。このことから、熱伝導解析より得られた版内温度分布は二次曲線で近似可能であることが確認された。

5. 3DFEMによる温度応力解析

(1) 3DFEMによる温度応力算定

本研究で用いた3DFEMプログラムPave3D[®]においては、各点における温度を与えて、温度応力を計算することができる。温度応力は次式で算定される。

$$\{\sigma\} = [D](\{\varepsilon\} - \{\varepsilon_T\}) = [D]\{\varepsilon_C\} \quad (11)$$

ここに、 $\{\sigma\}$:応力ベクトル、 $[D]$:弾性マトリックス、 $\{\varepsilon\}$ 全ひずみ、 $\{\varepsilon_T\}$ 温度ひずみであり、以下のようになる。

$$\{\varepsilon_T\} = \{\alpha T \quad \alpha T \quad \alpha T \quad 0 \quad 0 \quad 0\} \quad (12)$$

ここに、 T はその点における温度である。本研究においては、前章において示されたように版内温度分布は二次曲線で近似可能であることが示されたため、 T を z の2次関数と仮定して、3DFEMに入力し、温度ひずみを計算した。

(2) 3DFEMモデル

図-10に示すように、3DFEMは実大試験における舗装版と同様の形状・層構成のモデルに対して実施した。このモデルに、熱伝導解析より得られた版内温度分布を二次曲線として近似したものを入力した。比較のためにコンクリート版上下面の温度差を直線で結んだ線形分布によるものも入力した。コンクリート版の弾性係数は39,900MPa、ポアソン比は0.2、アスファルト安定処理路盤の弾性係数およびポアソン比は、2000MPaおよび0.35、粒状路盤のそれらは500MPaおよび0.35、路床のそれらは100MPaおよび0.35と仮定した。

(3) 解析結果

まずはじめに、3DFEM 解析の適用性を検証するため、**図-11**に示すように3章で求められた実測値と3DFEMによる解析値の比較を行った⁷⁾。夏・冬において最大値に差異はあるものの、全体として実測値と解析値とで同様の挙動を示していることが確認された。

図-12はコンクリート版の中央下面の温度応力の1日の経時変化を見たものである。(a)は線形温度分布を仮定した場合の温度応力、(b)は非線形温度分布のものである。線形温度分布の場合、コンクリート版上下面の温度差に比例した温度応力が計算されるため、温度差が最大となる12時から13時に最大になる。版厚によって温度応力が異なることがわかる。非線形温度分布の場合、坪川らが指摘しているように、内部拘束応力の影響で応力自体は小さくなり、最大値が生ずる時刻も2時間から3時間遅くなる³⁾。

図-13は、時刻13時におけるコンクリート版中央の深さ方向の温度応力分布である。200mm版の場合、線形温度分布と非線形温度分布による温度応力の分布にほとんど差がない。一方、400mm版および600mm版になると、非線形の影響が顕著になり、特に底面の引張応力はかなり減少する。

図-14は、コンクリート版中央の1日の最大温度応力に及ぼす版厚の影響をみたものである。線形温度分布の場合、厚さ400mmまでは厚くなるほど応力が増加するが、それ以上になると減少する。これは、自重による拘束の増加よりも版厚が厚くなることによる曲げ剛性の増加が上回り、拘束の度合いが相対的に減少し岩間らが仮定した完全拘束の状態にならないためである。つまり、自重によって反り変形が完全に拘束されきれず、若干反った状態になるため、その分だけ拘束応力が減少する。非線形分布の場合も、値は小さいものの300mmをピークに同様の傾向を示す。岩間が提唱しているように、線形温度分布から計算した温度応力を0.7倍して非線形温度分布の影響を考慮する、という考え方を適用してみると300mmまでは非線形温度分布と同じになり岩間の考え方の妥当性が確認できる。それ以上になると0.7よりも小さくなり、こ

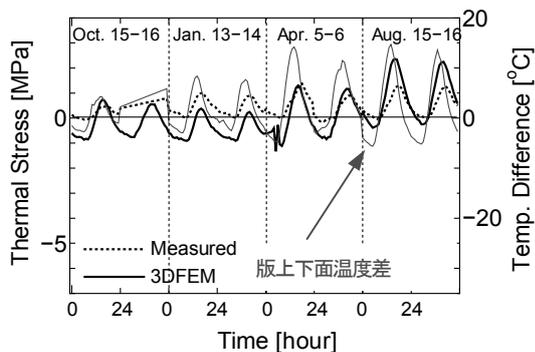


図-11 実測値と解析値の比較

の考え方は妥当ではなくなる。岩間の式は版厚の効果を考慮できないので、版厚が厚い場合には非線形分布を直接考慮できるFEMによる温度応力の算定が必要になる。

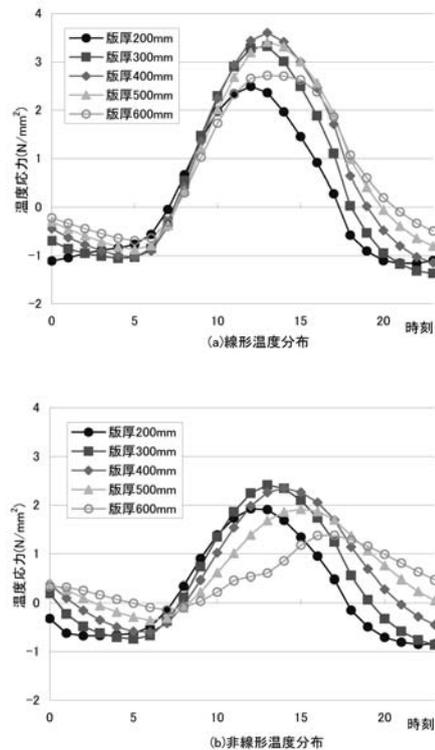


図-12 コンクリート版下面の温度応力経時変化

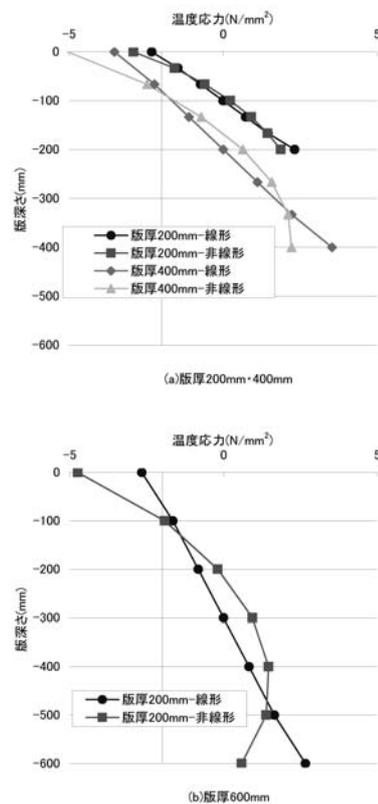


図-13 厚さ方向の温度応力分布

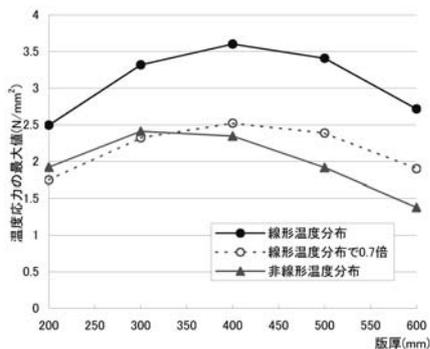


図-14 温度応力と版厚の影響

6. まとめ

本研究では、空港コンクリート舗装に生じる温度応力を正確に評価することを目的に、長期間に渡る温度・ひずみ計測結果から試験用のコンクリート舗装に生じる温度応力の算定を行った。また、その計測結果を基にコンクリート舗装版内の温度分布を熱伝導解析により算出し、3DFEMにより温度応力の算定を行った。本研究で得られた知見は以下のようにまとめられる。

- 温度・ひずみ計測結果より算定された温度応力は、版上下面の温度差が最大値を示す時刻から遅れて(約 2~3 時間程度)、最大値を示すことが確認された。これは、版下面において引張力として働く曲げ拘束応力が版上下面の温度差と比例して大きくなるのに対し、内部拘束応力は版上下面の温度差と反比例しているためである。
- 熱伝導解析を行い、実大試験で用いられたコンクリート舗装版の熱特性値を推定した。この熱特性値を用いた熱伝導解析結果は、実大試験における温度分布の計測結果と一致していることが確認された。
- コンクリート舗装版の表面温度に対して、版厚がどのような影響を及ぼしているのか、同じ気象データを用いて検討を行った。その結果、どのような版厚においても表面温度は変わらず、版厚の影響がない

ことが確認された。

- 版厚を変化させた場合の版内の温度分布について、熱伝導解析を行い検討した。その結果、版厚が 400mm 以上になると版内温度分布の非線形性が強くなること・版内温度分布及び版上下面の温度差についても 400mm 以上で殆ど変化しないことが確認された。
- 熱伝導解析より得られた版内温度分布を用いて、3DFEM により温度応力の算定を行った結果、温度応力は版厚が厚くなるほど小さくなることが確認された。また非線形温度分布による応力は線形温度分布によるものよりも小さく、版厚が厚くなると、1N/mm² 以上減少する。

参考文献

- 岩間滋: コンクリート舗装の構造設計に関する実験的研究, 土木学会論文集, No.111, pp16-46, 1964.
- Westergaard, H.M.: Analysis of Stresses in Concrete Roads Caused by Variation of Temperature, Proceedings of the annual meeting, Highway Research Board, pp201-215, 1926.
- 坪川将丈, 水上純一, 八谷好高, 亀田昭一: 日温度変化による空港コンクリート舗装の温度応力に関する研究, 土木学会舗装工学論文集, 第 12 巻, pp157-164, 2007
- 青木大介, 吉中保, 藤波潔, 井上武美, 松井邦人: 舗装の熱パラメータ推定に関する考察, 土木学会舗装工学論文集, 第 10 巻, pp225-231, 2005.
- 福田裕子, 吉中保, 松井邦人: 数値シミュレーションに基づく密粒舗装および遮熱性(灰)舗装の表面温度予測システムの構築, 舗装, Vol. 43, No.4, pp.3-8, 2008..
- 西澤辰男: 3次元有限要素法に基づいたコンクリート舗装構造解析パッケージの開発, 土木学会舗装工学論文集, 第 5 巻, pp.145-121, 2000.
- Taizo Shimomura, Tatsuo Nishizawa, Takato Ozeki: Evaluation of Thermal Stress in Airport Concrete Pavement Slab by 3D-FEM Analysis, International Conference on Concrete Pavements, 2008.

A STUDY ON TEMPERATURE DISTRIBUTION OF AIRPORT CONCRETE PAVEMENT

Takato OZEKI, Tatsuo NISHIZAWA and Kouji KATO

Thermal stress caused by temperature distribution in pavement slab is important in the structural design of airport concrete pavements. Airport concrete pavement slab is very thick, therefore, temperature in the pavement slab varies nonlinearly throughout the slab depth. Thermal stress caused by the nonlinear temperature distribution would be different from that of linear temperature distribution. In this research, following issues were investigated to evaluate the thermal stress in concrete pavement. 1) Thermal stress caused by nonlinear temperature distribution was calculated using temperatures and restraint strains measured in an experimental concrete pavement with a 46cm thick slab. 2) Temperature distribution in concrete pavement was evaluated by thermal analysis. 3) Thermal stress was calculated considering the nonlinear temperature distribution by 3DFEM.