

層間剥離を考慮した空港舗装の熱伝導解析

独立行政法人港湾空港技術研究所 正会員 前川 亮太

横浜国立大学大学院 正会員 早野 公敏

株式会社ジオデザイン 正会員 ○橋爪 秀夫

1. はじめに 空港の滑走路や誘導路に層間剥離が発生する事例が報告されている。層間剥離がある場合、航空機の安全な運行に支障をきたす恐れがある。現状では、打音調査によって層間剥離の発生位置を確認し、改修工事などの対策を行っている。ここで、層間剥離がある場合、アスファルト舗装内の温度分布が健全部と異なることが予想される。そこで、層間剥離の発生位置を調査する新しい手法として、赤外線を用いた探査技術が開発されてきている¹⁾。本研究では、層間剥離状態におけるアスファルト舗装の表面温度分布を、有限要素法に基づく熱伝導解析により推定した。さらに、現地計測結果との比較を行い、熱伝導解析の妥当性について検証した。

2. 数値解析

2.1 支配方程式 一次元における熱伝導支配方程式を(式-1)に示す。

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{K}{c \cdot \rho} \frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} + \frac{q}{\rho c} \quad (\text{式-1})$$

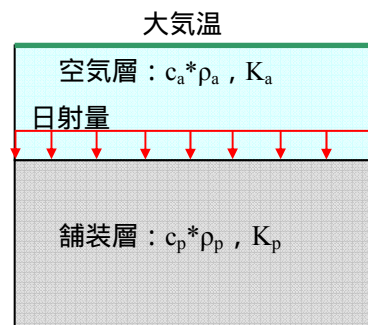
ここに、 θ ：舗装温度[K]、 t ：時間[s]、 K ：熱伝導率 [W/m・K=J/s / m・K]、 c ：比熱容量 [J/kg・K]、 ρ ：密度 [kg/m³]、 q ：日射量[W/m²]

2.2 気象条件 気象条件は、大気温、日射量、風速の3種類とした。アスファルト舗装の内部温度の推定に関する既往の研究²⁾から、アスファルト舗装表面と空気層の熱量の授受は風速に依存する。本解析プログラムでは、式-2に示すように空気層の熱伝導率 K と風速 w の関係を非線形に表現できるようにした。

$$K = A \times w^2 + B \times w + K_0 \quad (\text{式-2})$$

ここに、 A 、 B ：定数、 w ：風速[m/s]、 K_0 ：風速が0のときの熱伝導率[W/m・K]

2.3 解析方法 図-1は解析断面を模式的に示している。舗装断面上部に仮想的に厚さ1mの空気層を設けている。この空気層の上端に大気温の時刻歴変化、舗装表面に日射量の時刻歴変化を作用させる。境界条件について、解析断面の左右および下端を断熱境界としている。このような断面において、層間剥離の無い健全な舗装体に対する熱伝導解析を事前に行い、別途屋外実験で計測された舗装内温度の現地計測結果と解析結果とを比較し解析精度の検証を行った。



2.4 事前解析と結果 解析断面および解析に用いた入力定数の諸元を表-1.1、表

図-1 解析断面の模式図

表-1.1 野比屋外実験施設

名称	層厚 (m)	K (W/m・K)	c (J/kg・K)	ρ (kg/m ³)
下層路盤	0.23	1.0	1000	1800
上層路盤	0.15	1.3	920	2300
コンクリート版	0.34	1.2	900	2350
アスコン	0.18	1.3	920	2300
空気層	1.00	5.0	c*ρ:277,150 B=10	

表-1.2 現地空港

名称	層厚 (m)	K (W/m・K)	c (J/kg・K)	ρ (kg/m ³)
アスファルト 安定処理	0.213	1.3	920	2300
既設アスコン	0.130	1.3	920	2300
オーバーレイ アスコン	0.310	1.3	920	2300
空気層	1.000	5.0	c*ρ:277,150 B=8.0	

-1.2に示す。現地計測は港湾空港技術研究所の野比屋外実

験施設および現地空港の2サイトである。解析精度の検証は、対象時期は夏季、対象期間は約2週間とした。気象

キーワード アスファルト舗装、維持・管理、熱伝導解析

連絡先 〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬3-1-1 (独)港湾空港技術研究所 TEL:046-844-5055 FAX:046-841-8098

条件は実際に観測された値を用いた．解析では仮想的な空気層の入力定数をパラメトリックに変化させた．解析結果の一例を図-2 に示す．縦軸はアスファルト舗装内の温度の解析誤差を示している．解析誤差はスパイク状に変動しているものの、空気層に表-1.1 及び表-1.2 に示した入力定数を用いることで、アスファルト舗装表面およびその内部の解析誤差（解析結果と実測結果の差）を 5 程度で再現できることが分かった．

2.5 層間剥離の解析 表-1.2 に示した現地空港の断面において層間剥離を想定した解析を行った．現地空港では、実際に赤外線センサーを用いた現地計測が行われており、解析では計測結果との比較を行うため、計測時期と同じ気象条件を用いた．層間剥離の空隙厚さは

1mm と仮定し、空隙深度はオーバーレイアスコンのうち、施工境界である GL-5cm および 12cm、空隙幅は 10,30,50cm と設定した．解析メッシュは幅 4.0m とし、その中央に空隙を再現した．なお、空隙部分は熱量の授受がないものとしている．図-3,4 に空隙深度が GL-5cm および

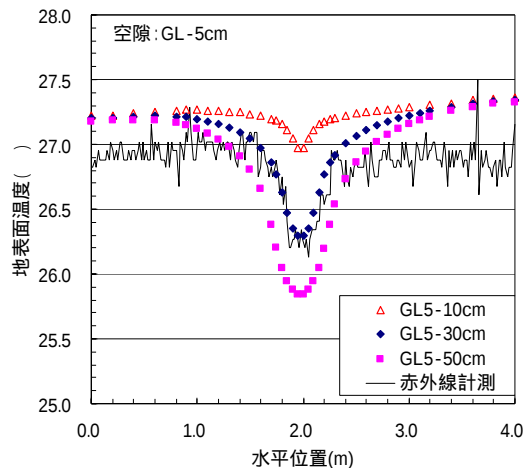


図-3 解析結果（空隙 GL-5cm）

-12cm におけるアスファルト地表面温度と水平位置の解析結果を示す．

図-3,4 の解析結果を見ると、中央部は他の位置と比べて地表面温度が低くなっており、下に凸となるような温度分布を示していることが分かる．また、この傾向は空隙幅が大きいほど顕著である．空隙深度で比較すると、空隙が浅い位置にあるほど温度分布の変化が大きくなっていることが分かる．また、図-3.4 には現地計測結果も合わせて示している．現地計測結果と解析結果を比較すると、解析結果は現地計測結果の温度分布傾向を再現しており、空隙深度は GL-5cm、幅は 10cm～30cm と推定される．このことから、赤外線センサーによる現地計測結果と解析結果を比較することにより、空隙深度および空隙幅を推定できると考えられる．ここで、解析結果の空隙中央と空隙による影響範囲外との温度差と時間との関係を図-5 に示す．空隙深度が GL-5 および-12cm、空隙幅が 30cm のものである．図-5 を見ると、温度差がピークとなる時間に差が生じており、GL-5cm と比べて GL-12cm のピークとなる時間が遅いことが分かる．この結果から、層間剥離があると思われる箇所において赤外線センサーの定点計測を行うことにより、赤外線センサーによって空隙の深度が推定できると考えられる．

3. まとめ 層間剥離を考慮したアスファルト舗装の熱伝導解析を行った．解析結果は赤外線センサーを用いた現地計測結果を比較的良く再現しており、赤外線センサーの計測結果を補完することにより層間剥離の位置や大きさを推定できることが分かった．[参考文献]1)前川、

早野、鈴木：連続式赤外線撮影による空港アスファルト舗装の層間剥離探査、第 61 回年次学術講演会(投稿中) 2)姫野賢治ら：アスファルト舗装の内部温度の推定に関する研究、土木学会論文集、第 366 号/ -4, pp.128-129, 1986.2.

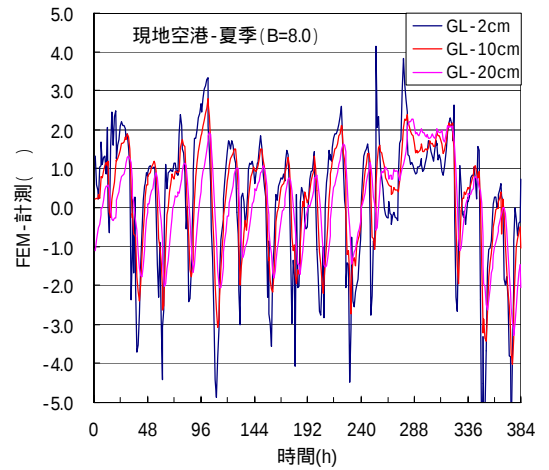


図-2 解析誤差（現地空港-夏季）

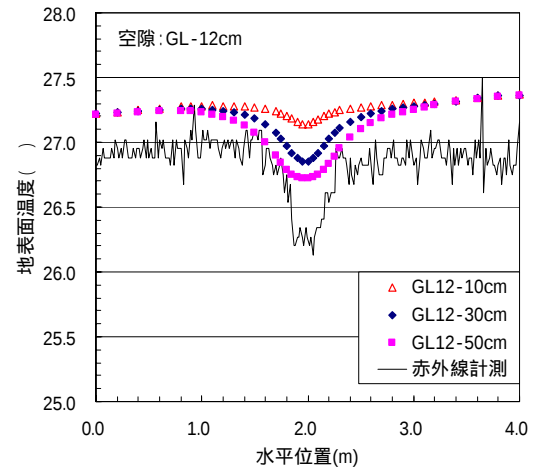


図-4 解析結果（空隙 GL-12cm）

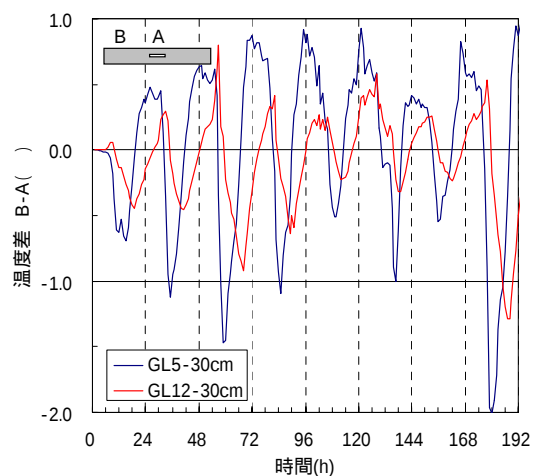


図-5 地表面の温度差