

コンクリート舗装における温度推定と熱特性値の同定

東京電機大学 学生会員 市川 将志
東京電機大学 フェロー会員 松井 邦人

1. はじめに

従来、コンクリート舗装における温度解析は表面の境界条件を輻射熱モデルとし、対流熱伝達境界、全天日射、天空放射をモデル化して温度解析を行ってきた。そのため、気象情報を測定しなければならないので、大変な労力と費用が掛かってしまう。文献¹⁾では熱電対で測定した温度を境界温度として温度解析が行えるシステムを構築している。しかし、このシステムは一次元モデルでの解析であった。そこで本研究では、より実舗装に近いモデルで解析を行うため、二次元に拡張し温度解析および熱特性値の同定を試み、またその精度を確認する。

2. 温度解析

二次元非定常熱伝導方程式は一般に式(1)で与えられる。

$$\rho C \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \dot{Q} \quad (1)$$

ここに、 ρ ：密度 $[kg/m^3]$ 、 C ：比熱 $[J/kgK]$ 、 k ：熱伝導率 $[W/mK]$ 、 \dot{Q} ：発熱特性である。また、発熱特性 \dot{Q} は一般に(2)式を用いられている。

$$\dot{Q} = \rho C \cdot Q_{\infty} \cdot \gamma \cdot e^{-\gamma t} \quad (2)$$

ここに、 Q_{∞} ：終局断熱温度上昇量 $[]$ 、 γ ：発熱に関する定数 $[1/day]$ である。

本研究では温度解析にコントロールボリューム法を用いて解析を行っている。コントロールボリューム法を用いて二次元既知温度境界を適用するにあたり、境界面上の温度が既知でなければならない。

そこで、数点の熱電対で測定した温度と内挿関数を用いて境界面上の温度分布を推定する。ここで、境界上の数

点で温度測定が必要となるが、そのような実測データがなかったため、輻射熱を考慮した境界でシミュレーションを行い、算出した着目点の温度を測定温度とした。ここで、シミュレーションより求めたコンクリート舗装の温度分布、また、そのときに使用した熱特性値を真値とする。

3. 解析モデル

本研究で用いた解析モデルを図-1、解析条件を表-1に示す。境界上に14点、18点の2パターンで熱電対により温度測定が行われたと想定して解析を行う。熱電対の設置した位置は14点、18点共に図に示した位置である。

4. 境界面温度推定

境界面上に設置してある熱電対により測定された温度データから推定した境界面上の1点の温度変化と真値とを図-2に示す。このグラフより測定された温度データが14点の場合と18点の場合とでは、18点の方がより精度よく推定していることが確認できる。また、本研究で取り上げた解析モデルにおいては、熱電対により測定された測定温度は18点あれば十分な精度で境界面温度分布を推定できる。

5. 熱特性値同定

測定温度と内挿関数から算出した境界面上温度分布を使用し、順解析部分にコントロールボリューム法、熱特性値を同定する逆解析部分にガウスニュートン法を用いている。ガウスニュートン法では、未知パラメータに関する解析温度の感度が必要となるが、そこには差分法を

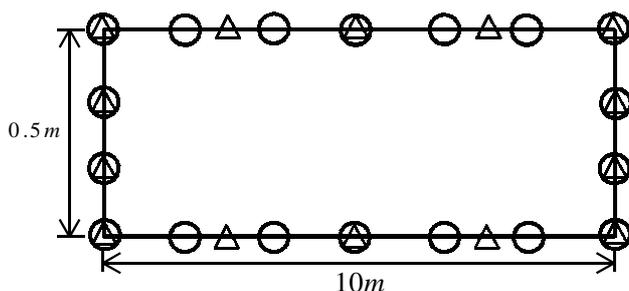


図-1 解析モデル(:18 節点 :14 節点)

表-1 解析条件

	数値	単位
解析期間	7.5(360)	日(回数)
時間刻み	0.5	時間
高さ	0.5	m
幅	10.0	m
密度	2300.0	kg/m ³
初期温度	20.0	°C
熱伝達係数(左,右)	1.0 5.0	W/m ² °C

キーワード：コントロールボリューム法，温度解析，熱特性値

連絡先：〒350-0394 埼玉県比企郡鳩山町大字石坂 TEL：0492(96)5731 内線(2734) FAX：0492(96)6501

適用している．本研究では打設直後のコンクリート舗装を対象としているので，発熱が生じる．そこで発熱モデルの温度解析を行うにあたり重要となるコンクリートの発熱モデル終局断熱温度上昇量 Q_{∞} ，発熱に関する定数と熱の伝わりを表す熱拡散率 $k/\rho C$ の計3つの未知パラメータを同定した．また，比較のため，一次元モデルでも同様な解析を行った．

6．解析結果

逆解析に使用した $k/\rho C$ ， Q_{∞} ， γ の初期値は，収束過程をみるため真値の熱特性値より20%高い値とした． $k/\rho C$ ， Q_{∞} ， γ の収束過程と真値を図-3にそれぞれ示す．図よりどのパラメータも18点においては，ほぼ真値と近い値に収束していることが確認できる．しかし，14点，一次元モデルともに同定精度が低下している．14点は，境界面上温度分布を推定する際に生じた誤差の影響であると考えられる．また，一次元モデルでは，横からの熱収支を考えていないので，その影響が出たものと思われる．収束過程はどれも安定している．18点の結果より，二次元既知温度境界を使用して3個の熱特性値を同定することは可能であり，一次元モデルでの解析より比較的精度良く推定されている．また，同定した熱特性値と推定した境界面上温度分布から求めた内部温度と真値との比較を図-4に示す．このグラフより，18点は精度

よく温度予測が行えていることが確認できた．よって，境界条件に二次元既知温度境界を用いて温度予測が可能である．14点は推定精度が低下している．これは，境界面温度分布を推定する際に生じた誤差の影響であると考えられる．また，一次元でも精度良く温度解析が行われているが，熱特性値を同定する際生じた誤差が内部温度推定の誤差を軽減したのと今回使用したモデルは熱伝達係数が比較的小さく設定したためだと思われる．

7．まとめ

- 1) 今回対象とした解析モデルでは，18点の測定温度が存在すれば，内挿関数を用いて境界面上の温度分布が推定可能であることが確認できた．また，推定した境界面上の温度分布から十分な精度で温度解析が行える．
- 2) 二次元既知温度境界において，ガウスニュートン法により，3個の熱特性値を同定することが可能である．また，一次元モデルで同定するより，精度良く同定されることが確認できた．このことから温度解析を行う上で二次元問題とし扱った方が精度良く推定できると思われる．また，その収束過程はどれも安定していることが確認できた．

参考文献

1) 松井邦人，潮田和司，高橋誠二，菅原智博：境界条件を異にする屋外試験データを用いた熱特性値の同定，土木学会第55回年次学術講演回講演概要集 293

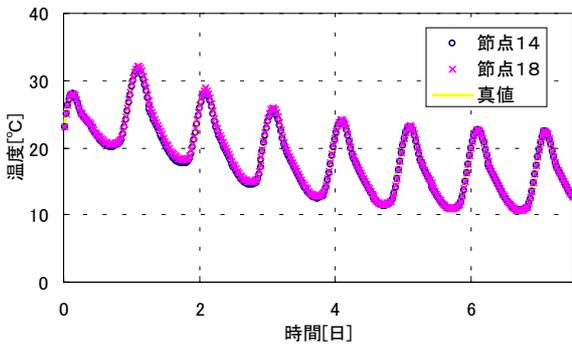


図 - 2 境界面温度比較

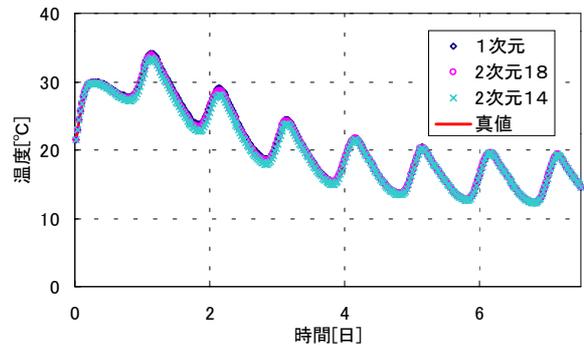


図 - 4 舗装内部温度比較

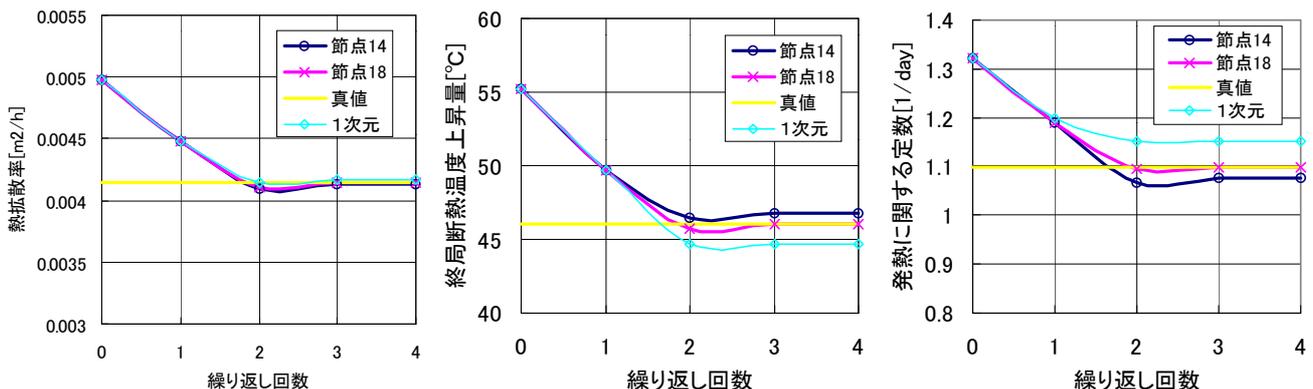


図 - 3 各パラメータの収束過程