

論文 コンクリートの上・下面部計測データを既知温度境界とした逆解析

潮田和司*1・高橋誠二*2・土橋吉輝*3・松井邦人*4

要旨: 本論文は、より精度良くコンクリートの熱特性の同定を行うための逆解析手法を考案した。本逆解析手法の特徴は、計測点における温度データを既知温度境界とし、コントロールボリューム法を用いてコンクリート躯体内の温度を計算することである。コンクリートの上・下面部の計測データを既知温度境界とし温度解析すると、日射・放射のモデル化の影響、あるいは岩盤に関するパラメータの設定誤差の影響を受けずにコンクリート躯体内の温度を計算することができる。この解析温度を逆解析に使用することにより、精度高くコンクリートの熱特性を同定することができる。

キーワード: マスコンクリート、コントロールボリューム法、逆解析、輻射熱

1. はじめに

温度計測データからコンクリートの熱特性を同定する逆解析は、実構造物コンクリートの熱特性を評価するうえで有効な手段である。しかしながら、逆解析における解析モデルは実現象を正確にモデル化できないため、得られる同定値はモデル誤差の影響を受けたものとなっている。これまで著者らは、岩盤上に打設するスラブ状コンクリートを対象に逆解析を行ってきた^{1)~3)}。これまで行ってきた逆解析方法は、岩盤に関するパラメータを既知パラメータ、コンクリート表面を対流熱伝達のみ熱伝達境界とした。このような逆解析で得られる同定値は、既知パラメータの設定誤差の影響を受ける。また、コンクリート表面では日射、放射等の輻射熱の影響が大きいことが指摘されているが^{4),5)}、同定値は輻射熱の影響も受けていると考えられる。

そこで、本論文は、日射・放射等の輻射熱に関するモデル化の影響、および岩盤に関するパラメータの設定誤差の影響を受けずにコンクリートの熱特性を同定する逆解析手法を考案した。考案した逆解析手法は、コンクリートの上・下面部の計測データを既知温度境界として温度

解析を行い、この解析温度を用いてコンクリートの熱特性を同定する。なお、温度解析にはコントロールボリューム法を、逆解析手法には Gauss-Newton 法を用いている。

2. 温度計測データを利用した温度解析

2.1 コントロールボリューム法による温度解析

一般に、1次元非定常熱伝導方程式は次のように与えられる。

$$K \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + \dot{Q} = \rho C \frac{\partial T}{\partial t} \quad (1)$$

ここに、 K : 熱伝導率、 C : 比熱、 ρ : 密度、 \dot{Q} : 発熱特性である。ここで、発熱特性 \dot{Q} は、岩盤は発熱しないため $\dot{Q}=0$ 、コンクリートはセメントの水和反応で熱が発生し、一般に次式を用いている。

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

ここに、 Q_{∞} : 終局断熱温度上昇量、 γ : 温度上昇速度に関する定数である。

本論文では、式(1)の熱伝導方程式をコントロールボリューム法で解く。コントロールボリューム法は、着目する節点と隣接する節点を含む要素で、着目する節点に流入・流出する熱

*1 西松建設(株)技術研究所技術研究部土木技術研究課 工修 (正会員)
 *2 西松建設(株)中部支店
 *3 西松建設(株)技術研究所技術研究部土木技術研究課主任研究員
 *4 東京電機大学教授 理工学部建設工学科 Ph.D. (正会員)

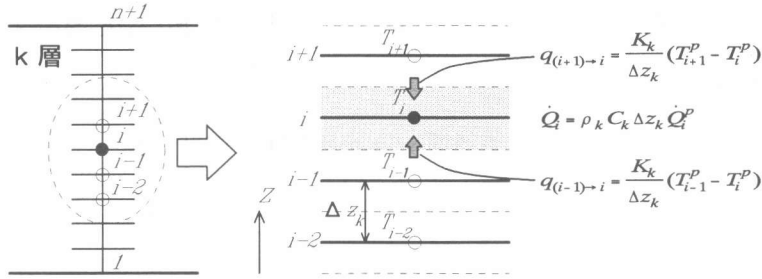


図-1 解析モデル

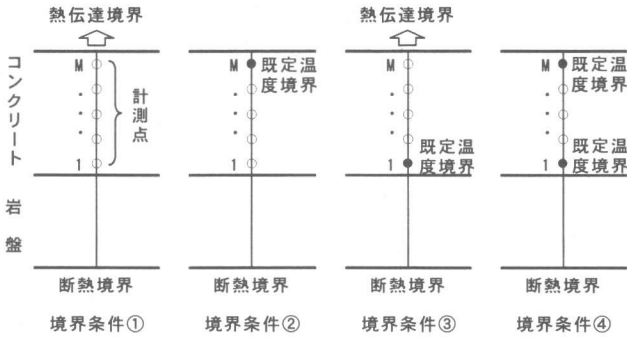


図-2 境界条件

エネルギーの収支を表したものである。いま、 k 番目の層を要素厚 Δz_k で n 分割したモデルの温度解析を考える。解析モデルは図-1 に示すとおりである。図-1 に示す節点 i でのエネルギー収支は次のようになる。

$$\rho_k C_k \Delta z_k \frac{T_i^p - T_i^{p-1}}{\Delta t} = \frac{K_k}{\Delta z_k} (T_{i-1}^p - T_i^p) + \frac{K_k}{\Delta z_k} (T_{i+1}^p - T_i^p) + \rho_k C_k \Delta z_k \dot{Q}_i^p \quad (3)$$

式(3)を書き直すと、

$$-\frac{K_k}{\Delta z_k} T_{i-1}^p + \left(\frac{\rho_k C_k \Delta z_k}{\Delta t} + \frac{2K_k}{\Delta z_k} \right) T_i^p - \frac{K_k}{\Delta z_k} T_{i+1}^p = \frac{\rho_k C_k \Delta z_k}{\Delta t} T_i^{p-1} + \rho_k C_k \Delta z_k \dot{Q}_i^p \quad (4)$$

となる。なお、 p は時間ステップを表す。式(4) で得られた差分表示を系全体としてまとめると、各要素の代表温度を未知とした連立方程式が構成される。これを数値的に計算して解が得られる。

2.2 計測点を既知温度境界とした温度解析

コンクリート躯体内で温度データが得られる場合、この温度データを利用して温度解析を行うことができる。いま、図-1 に示した節点 i の温度は計測を行って分かっているものとする。この節点 i の温度を既知温度 (T_i^p) とした既知温度境界とすると節点 ($i-1$) での関係式は式(4) から次のようになる。

$$-\frac{K_k}{\Delta z_k} T_{i-2}^p + \left(\frac{\rho_k C_k \Delta z_k}{\Delta t} + \frac{2K_k}{\Delta z_k} \right) T_{i-1}^p = \frac{K_k}{\Delta z_k} T_i^p + \frac{\rho_k C_k \Delta z_k}{\Delta t} T_{i-1}^{p-1} + \rho_k C_k \Delta z_k \dot{Q}_{i-1}^p \quad (5)$$

同様に、節点 ($i+1$) での関係式も得られる。既知温度境界とした節点を除いた未知節点数分の連立方程式が構成される。これを数値的に計算して解が得られる。

2.3 境界条件の設定および逆解析

本論文では、岩盤上に打設するスラブ状コンクリートを対象とする。コンクリート躯体内では M 個の温度計測点が設けられているものとする。温度計測データを利用して温度解析する場合、例えば、図-2 に示す境界条件で温度解析を行うことができる。境界条件①は一般に用いている境界条件で、コンクリート躯体内の温度は、コンクリート表面における熱伝達のモデル化および岩盤の熱物性の影響を受ける。境界条件②はコンクリート表面に近い計測点を既知温度境界とするモデルである。フィールドでの温度計