

PSOによるコンクリートの熱特性値推定

山口大学工学部 正会員 ○中村秀明, 河村 圭, 宮本文穂
(有)ミツワ電器 正会員 江本久雄

1. はじめに

コンクリート構造物に発生する温度ひび割れを予測するためには、まず始めに温度解析を行い、その結果をもとに温度応力解析が行われる。これら数値解析の精度は、入力する材料特性値によるところが大きく、正確な材料特性値を入力しなければ、正確な解析結果は得られない。コンクリート構造物の温度解析に必要な熱特性値は、コンクリートの発熱特性、コンクリートおよび地盤の熱伝導率、熱伝達率、比熱、密度などであるが、これらの値は、コンクリートの配合や、コンクリートおよび地盤の湿潤状態などによって影響されるものであり、実際の現場において信頼性の高い熱特性値を得ることは非常に難しい。そこで、本研究では、2次元非定常熱伝導有限要素解析と Particle Swarm Optimization (PSO)を組み合わせることにより、現場での温度測定結果から熱特性値を推定する手法について提案する。

2. PSOによる熱特性値の推定

PSOは、鳥の群れや魚の群泳など、群れを成して移動する生物の行動パターンを最適化に応用したもので、1995年にJames KennedyとRussell Eberhart¹⁾によって提案された。概念が非常にシンプルであり、種々の問題への適用も比較的容易であることから、最近注目を集めている。PSOの基本概念を以下に示す。

- ・ 多次元の解空間を粒子 (Particle) が群れを成して動き廻り、その移動の過程で最適な位置 (最適解) を見つける。
- ・ それぞれの粒子は、多次元空間の点として扱われ、自己の移動軌跡および他の粒子の移動軌跡によってそれぞれの粒子の移動が決まる。
- ・ それぞれの粒子は、解空間におけるこれまでの移動軌跡の中で最良の位置 (Personal best position) を最適解として保持している。また、他の全ての粒子も含め、これまでの移動軌跡の中で最良の位置 (Global best position) を最適解として保持している。

この基本概念を基に、熱伝導解析において、施工後のコンクリート構造物のある位置で計測された温度と熱伝

導解析により計算された温度との残差平方和 S (目的関数) が最小となるように熱特性値を推定する。

$$S = \sum_{i=1}^n (T_i - \phi_i)^2 \rightarrow \min \quad (1)$$

ここで、 T_i : 計測された温度 (°C)
 ϕ_i : 計算された温度 (°C)
 n : 計測点の数

3. 実計測データによる熱特性値の推定

実計測データからの熱特性値の推定例として図-1に示す壁式橋台の熱特性値の推定を行う。この壁式橋台は、平成15年秋に福岡市に打込まれたもので、使用したセメントは、高炉セメントB種 (単位セメント量299kg/m³) である。温度の計測は、図-1中のA~Gの点で行われている。解析では、図-1の壁式橋台の堅壁上部を除き、左右対称の構造物として図-2のような有限要素メッシュを用いて、最小時間間隔3時間、最大時間間隔12時間のタイムステップで解析を行った。推定は、計測期間の50日間のデータを用いて行った。推定する熱特性値は、地盤およびコンクリートの熱伝導率と熱容量、型枠の熱伝達率、地盤およびコンクリートの熱伝達率の計7つである。断熱温度上昇特性については、今回のケースでは、断熱温度上昇試験が別途行われており、同定パラメータ数が増えることによる精度低下を防ぐため、断熱温度上昇試験の試験結果を用いた。温度解析の解析条件を表-1に示す。PSOでは、これらの7つを次元とする解空間を粒子が飛び回り、実測値と計測値との差 (式(1)に示す残差平方和) が一番小さくなるような位置を見つける問題となる。

4. 熱特性値の推定結果

推定された熱特性値を表-2に示す。また、実測値と同定された熱特性値を用いて解析した計算値との比較を図-3に示す。図中実線で示したのが実測値で、破線で示したのが計算値である。図-3によると同定された熱特性値を用いて解析した計算値は、ピーク温度が異なっているものの実測値と比較的良く一致している。同定された熱特性値と一般的に使われている値との比較を表-2に示す。

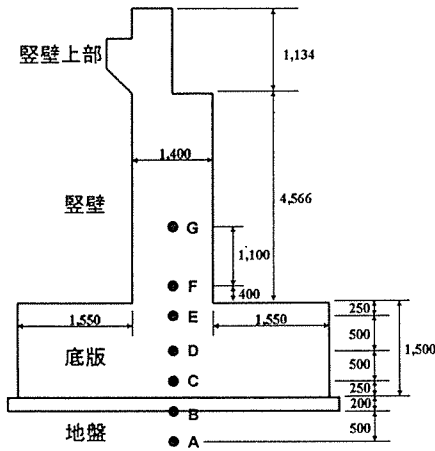


図-1 対象構造物 (壁式橋台)

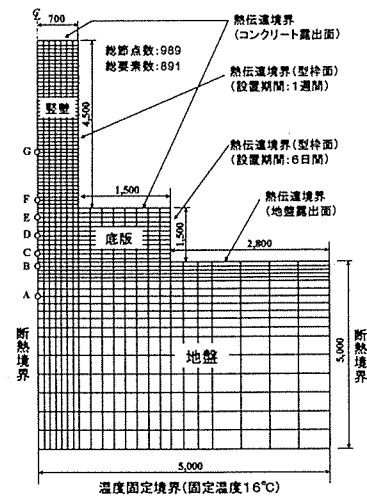


図-2 有限要素メッシュ

表-1 温度解析の解析条件

項目	単位	地盤	コンクリート
セメントの種類	—	—	高炉セメントB種
単位セメント量	kg/m ³	—	299
断熱温度上昇式	—	—	$Q_{\infty}=48.8, \gamma=0.696$
熱伝導率	W/m°C	同定	同定
密度	kg/m ³	同定	同定
比熱	kJ/kg°C	同定	同定
熱伝達率	W/m ² °C	同定	露出面: 同定 型枠: 同定
初期温度	°C	16.0	16.0
外気温	°C	実測値	

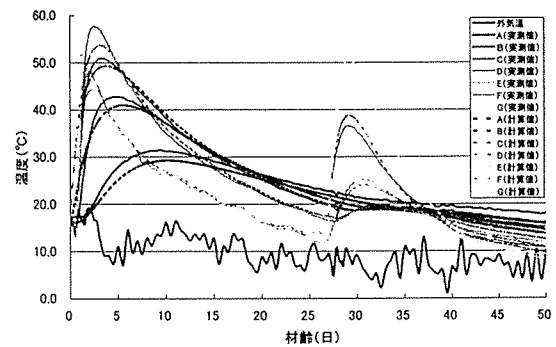


図-3 実測値と推定値を使った計算値との比較

表-2 同定された熱特性値と一般的な熱特性値との比較

		同定値	ひび割れ制御指針	示方書	マスコン報告書	一般的な値
コンクリート	熱伝導率 (W/m°C)	3.40	1.51~3.61	2.6~2.8	2.5~2.9	2.7
	比熱 (kJ/kg°C)	5,000	0.884~1.047	1.05~1.260	1.13~1.30	1.2
	密度 (kg/m ³)		—	—	—	2,500
	熱伝達率 (型枠) (W/m ² °C)	12.2	2.9~11.6	8 (合板)	—	8
	熱伝達率 (露出面) (W/m ² °C)	13.4		14 (散水)	9.3~12.8	14
地盤	熱伝導率 (W/m°C)	2.2	—	1.7~5.2	—	3
	比熱 (kJ/kg°C)	3,080	—	0.71~0.88	—	0.8
	密度 (kg/m ³)		—	2600~2700	—	2650
	熱伝達率 (W/m ² °C)	6.0	—	—	—	14

一般的な値として用いられているものは、試験室で求められたものが多く、実規模コンクリートのものとは異なることが考えられる。またコンクリートの若材齢時の熱特性値は、硬化時のものと若干異なっている。本研究で同定したコンクリートの熱伝導率は、一般的な値よりも大きな値になっている。また、本研究での発熱モデルは、コンクリートの全断面で断熱状態と同様の発熱が行われているものと仮定して解析が行われており、その影響も現れているものと思われる。コンクリートの熱容量については、一般的な値よりもかなり大きな値となっており、コンクリートの密度を2,500kg/m³程度と仮定すると、ほぼ2倍近い値となっている。熱伝達率については、ほぼ妥当な値が得られているものと思われる。

5. まとめ

本研究では、2次元非定常熱伝導有限要素解析とPSOを組み合わせた熱特性値の推定手法を提案した。本研究で行った実計測データを用いた推定では、7パラメータの同時同定が可能であり、同定された熱特性値は、一般的な値より大きなものもあるが、ほぼ妥当な値が推定された。

参考文献

- 1) James Kennedy and Russell Eberhart : Particle Swarm Optimization, Proc. The 1995 IEEE International Conference on Neural Networks, vol. IV, pp.1942-1948, 1995.
- 2) 中村秀明, 王桂萱, 江本久雄, 宮本文穂 : Particle Swarm Optimization によるマスコンクリートの熱伝導逆解析, 土木学会論文集 No.809, V-70, pp.41-52, 2006.2.