Particle Swarm Optimization の逆問題解析への適用

山口大学　正会員　○中村　秀明
山口大学　学生会員　江本　久雄
山口大学　正会員　河村　圭
山口大学　フェロー会員　宮本　文穂

１．はじめに

計測技術やセンサリング技術，通信技術の著しい進展により，土木工学の分野ではデータ計測がこれまで以上に簡単かつ安価に行われつつある．今後は計測されたデータをいかに有効に活用するかが重要であり，計測されたデータを有効に活用する手法の一つとして逆問題解析がある．逆問題解析の代表的なものはパラメータ同定であり，拡張カルマンフィルタをはじめ種々の手法がある．これらの手法の多くは，逆問題解析用の独自のプログラムが必要であり，市販の汎用コードを利用して逆問題解析を行うことは一般的には難しい．パラメータ同定とは，計測された計測値とあるパラメータを入力して計算された計算値との誤差を最小にするようなパラメータの組み合わせを見つける問題であり，言い換えれば，誤差最小を目的とする最適化問題である．本研究では，近年，最適化の分野で注目を集めている Particle Swarm Optimization (PSO)[1)]を用いてパラメータ同定を行い，その有効性を検証する．

２．Particle Swarm Optimization (PSO)

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 Eberhart[1)]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，粒子の移動過程をシミュレートすると，最終的に最適解に収束する．

３．PSO の逆問題解析（パラメータ同定）への適用

PSO を用いたパラメータ同定の例として，コンクリート製壁式橋台の熱特性値の同定を行う．コンクリートは，セメントの水和反応により発熱するため，躯体内に温度分布が生じ，ひび割れの原因となることがある．ここでは，実際の構造物で計測された温度計測結果から解析に必要となる熱特性値の同定を行う．コンクリートの配合を**表-1** に示し，解析に用いた壁式橋台の有限要素メッシュを**図-1** に示す．また，温度解析の解析条件を**表-2** に示す．温度の計測は，**図-1** 中の A～G 点で行われている．計測された温度履歴を**図-2** に示す．この計測された温度と非定熱伝導有限要素解析で計算された温度との誤差が最小になるように，熱特性値の同定を行う．同定した熱特性値は，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．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，計測値と計算値との誤差が一番小さくなるような位置（最適パラメータ）を見つける．

４．結果と考察

同定された熱特性値を用いて解析された解析値を**図-2** 中に破線で示す．**図-2** による同定された熱特性値を用いて解析した値は，最高温度では差が生じているものの，計測値と比較的良く一致している．**表-3** には同

キーワード　逆問題解析，パラメータ同定，particle swarm optimization，最適化，非定常熱伝導解析
連絡先　〒755-8611　山口県宇部市常盤台 2-16-1　山口大学工学部知能情報システム工学科　TEL:0836-85-9531

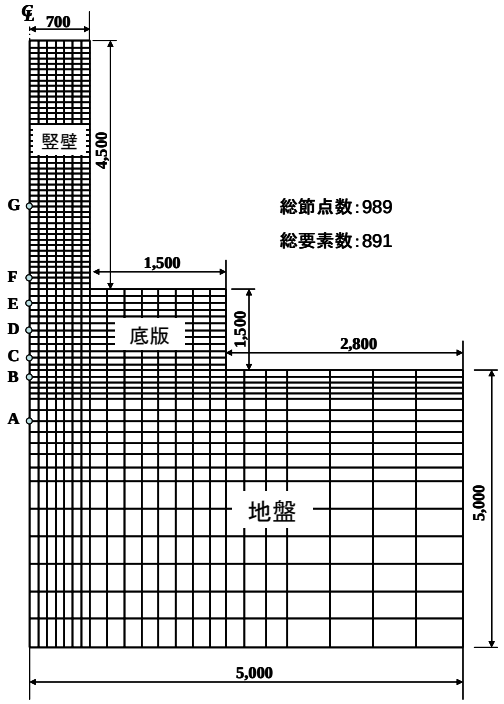

図-1　解析用有限要素メッシュ

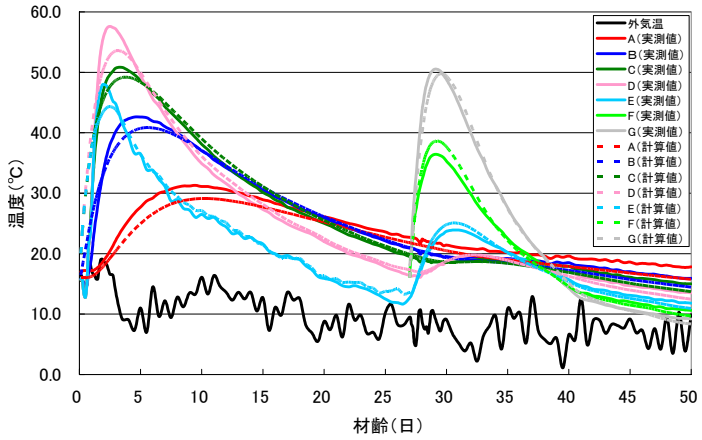

図-2　計測値と計算値の比較

表-1　コンクリートの配合

水ｾﾒﾝﾄ比 (%)	細骨材率 (%)	単位量 (kg/m^3)			
		セメント	水	細骨材	粗骨材
54.0	44.8	299	161	799	1045

表-2　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_∞=48.8,　γ=0.696	
熱伝導率	W/m℃	同定	同定	
密度	kg/m^3	同定	同定	
比熱	kJ/kg℃			
熱伝達率	W/m^2℃	同定	露出面：同定	型枠：同定
初期温度	℃	16.0	16.0	
外気温	℃	実測値		

表-3　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
熱伝導率　(W/m℃)	3.40	1.51～3.61	2.6～2.8	2.5～2.9
比熱　(kJ/kg℃)	5000	0.884～1.047	1.05～1.260	1.13～1.30
密度　(kg/m^3)		―	―	―
熱伝達率（型枠）　(W/m^2℃)	12.2	2.9～11.6	8（合板）	―
熱伝達率（露出面）　(W/m^2℃)	13.4		14（散水）	9.3～12.8
熱伝導率　(W/m℃)	2.2	―	1.7～5.2	―
比熱　(kJ/kg℃)	3080	―	0.71～0.88	―
密度　(kg/m^3)		―	2600～2700	―
熱伝達率　(W/m^2℃)	6.0	―	―	―

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示す．コンクリートの熱伝導率については，一般的な値よりも大きな値になっている．また，コンクリートの熱容量についても一般的なものよりかなり大きな値となっている．熱伝達率については，露出面より型枠（合板）の方が若干小さくなっており，ほぼ妥当な値と云える．ただし，熱伝達率については，計測されている温度が断面の中心付近であり，熱伝達率の影響（感度）が小さいため，他の熱特性値に比べ信頼性は劣る．

５．まとめ

本研究では，Particle Swarm Optimization(PSO)を用いて，計測データからパラメータの同定を行った．計測されたパラメータの値は，一般的なのものとは若干異なっているが，同定されたパラメータを用いた解析値は，計測値と比較的良く一致しており，PSO によるパラメータ同定の有効性が確認された．

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.