

二次元場におけるマスコンクリートの熱特性値の逆解析

東北学院大学大学院 学生員 ○高橋 真一
東北学院大学工学部 正会員 遠藤 孝夫

1. 背景と目的

マスコンクリートの初期欠陥の一つである温度ひび割れを正確に把握するには事前の温度解析を精度よく行うことが必要である。温度解析を行う場合、いくつかの熱特性値が解析条件として用いられるが、それらの値は事前に室内実験により求めるかあるいは示方書の値を参考にして求めるなどした数値を用いている。しかし現場の測定温度は種々の条件により変化するため、事前の温度解析結果を一致させることは難しい。そこで本論文では、温度解析に用いる4つの熱特性値をGauss-Newton法を用いて逆解析によって算定することを試み、本手法が二次元のコンクリートの熱特性値を推定する問題に適用可能であるかどうかを考察した。

2. 逆解析理論

本研究では、逆解析手法にGauss-Newton法を採用する。誤差関数 f を次のように定義する。この誤差関数を最小とするような未知パラメータ $\bar{X}$ が推定したい物性値である。

$$f = \int_{t_0}^{t_1} \sum_{i=1}^N \{ u_i(t) - T_i(\bar{X}, t) \}^2 dt \quad (1)$$

ここで、 t : 逆解析の測定点数

t_0, t_1 : 逆解析を行う時間の下限と上限

$u_i(t)$: 時刻 t における i 点の測定温度

$T_i(\bar{X}, t)$: 時刻 t における i 点の解析温度

$\bar{X} = (X_1, X_2, \dots, X_m)$: 未知パラメータ

いま、式(2)のように $T_i(\bar{X}, t)$ を $\bar{X}$ について1次の項までTaylor展開で近似した値に置き換え、式(1)と区別するために $\hat{f}$ とおけば次式を得る。

$$\hat{f} = \int_{t_0}^{t_1} \sum_{i=1}^N \left\{ u_i(t) - T_i(\bar{X}, t) - \sum_{j=1}^m \left(\frac{\partial T_i}{\partial X_j} \right) \Delta X_j \right\}^2 dt \quad (2)$$

誤差関数 $\hat{f}$ を最小とする条件 $\frac{\partial \hat{f}}{\partial X_k} = 0$ より

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^N \left\{ \int_{t_0}^{t_1} \sum_{j=1}^m \left(\frac{\partial T_i}{\partial X_j} \right) \left(\frac{\partial T_i}{\partial X_k} \right) dt \right\} \Delta X_j \\ = \int_{t_0}^{t_1} \sum_{i=1}^N \{ u_i(t) - T_i(\bar{X}, t) \} \left(\frac{\partial T_i}{\partial X_k} \right) dt \quad (k=1, \dots, m) \end{aligned} \quad (3)$$

このような非線形最小二乗法の定式化をGauss-Newton法という。

3. 解析条件

熱特性値としてコンクリートの熱伝導率 λ_c 、熱伝達率 α_c 、断熱温度上昇量 Q_∞ 、断熱温度上昇速度 γ の4つのパラメータを選択した。

解析モデルは、厚さ1.5m・幅6.0mのスラブ状のマスコンクリート構造物を岩盤上に打設したと想定したものであり、左右対称な形状であり温度分布も左右対称であると予想されることから図-1のように構造物の右半分をモデル化し、熱的な境界条件を設定している。

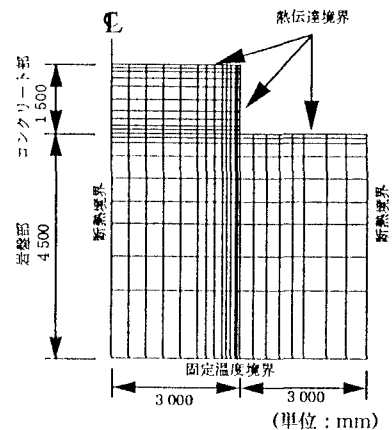


図-1 モデル及び境界条件

また、逆解析中の解析温度の計算には、岩盤を含めた2次元モデルを考え2次元FEM温度解析を行っている。

4. 解析手法

Gauss-Newton法で逆解析をおこなう場合、解析結果は初期値の選択の仕方や測定点数及びそれらの配置の影響を受けることがある。そこでGauss-Newton法が、熱特性値の逆解析に対して二次元場においても適用可能であるか検討を行うため次のような方法で逆解析のシミュレーションを行う。測定温度は表-1の基準値をもちいて順解析を行い算出し実際の測定温度の代わりに用いることとする。

(1) 初期値の設定方法

初期値については、4つの未知パラメータ（コンクリートと大気との熱伝達率 α_c 、コンクリートの熱伝導率 λ_c 、コンクリートの終局断熱温度上昇量 Q_∞ 、断熱温度上昇速度 γ ）についてそれぞれ表-1の基準値から50%、100%、200%の3通りに変化させ、それらの組み合わせを考えた。したがって81通りの初期値の組み合わせを行った。

表-1 物性値一覧

物性値	基準値	
	コンクリート	岩盤
熱伝導率 [kcal/cm hr °C]	0.023	0.0194
比熱 [kcal/kg °C]	0.31	0.25
密度 [kg/cm ³]	0.0023	0.0026
熱伝達率 [kcal/cm ² hr °C]	0.0012	0.0012
初期温度 [°C]	20.0	
固定温度 [°C]		15.0
外気温 [°C]	20.0	
終局断熱温度上昇量: Q_{∞}	34.0	
断熱温度上昇係数: γ	0.654	

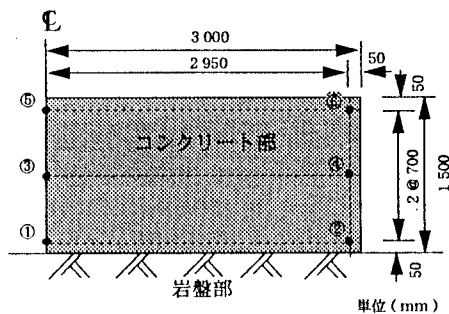


図-2 温度測定点配置図

(2) 測定点の配置

測定点の配置を図-2に示す。これらのうち図-3に示すような測定点を6点用いたと5点用いた場合の測定点配置を考え、これらの条件で逆解析を行った。

5. シミュレーション結果と考察

5.1 初期値の選択が収束性に及ぼす影響

解析結果の一例として、初期値をそれぞれ基準値から以下に示す比率だけ変化した場合の評価関数と熱伝導率の収束過程を図-4、図-5に示す。

- ・熱伝達率 α_c = (基準値の) 200%
- ・熱伝導率 λ_c = (基準値の) 50%
- ・終局断熱温度上昇量 Q_{∞} = (基準値の) 200%
- ・断熱温度上昇速度 γ = (基準値の) 50%

今回の解析条件の範囲内では、いずれの解析ケースでも初期値の与え方に関わらず、各熱特性値は繰り返し回数10回以内で基準値に収束した。

5.2 測定点の配置が収束性に及ぼす影響

逆解析アルゴリズムは、各測定点の温度解析結果からパラメータの推定をおこなっているため、偏った測定点配置をおこなうと収束しないことがあるが、今回用いた3種類の測定点配置では、測定点数が5点、6点と多いこともありいずれの場合でも安定した収束結果が得られた。

6. 結論

岩盤上に打設したスラブ状のマスコンクリート構造物を想定し、Gauss-Newton法が二次元場においても熱特性パラメータを推定可能であるかどうか、測定温度を順解析により作成した逆解析のシミュレーションを行い検討した。その結果Gauss-Newton法は今回検討した範囲において二次元場の熱特性パラメータの推定に対しても安定した収束性があり有効な手法であると言える。

〔参考文献〕

- 1) 松井邦人ほか：逆解析手法によるマスコンクリートの熱特性値の推定、コンクリート工学年次論文報告集Vol.1, 16, No. 1, pp. 1347-1352, 1994. 6

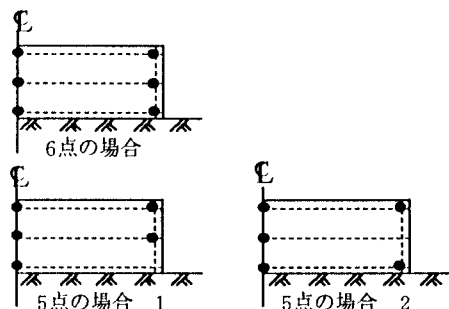


図-3 測定点配置例

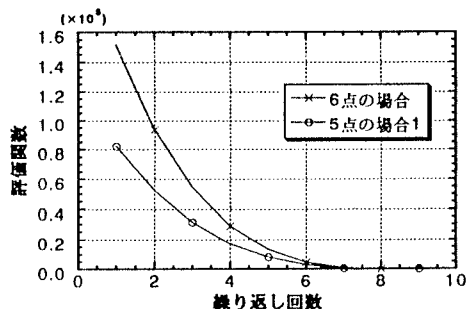


図-4 評価関数の収束状況

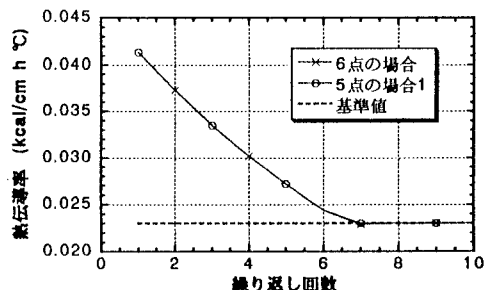


図-5 収束状況の一例（熱伝導率）