

住友大阪セメント(株) ○正会員 小田部裕一  
 同 上 正会員 寺野 宜成  
 東京電力(株) 正会員 坂本 洋  
 日本工営(株) 正会員 鈴木 誠

### 1. はじめに

マスコンクリート構造物の施工に際して、事前に温度ひび割れ制御を目的に温度応力解析が行われているが、設定した条件が必ずしも施工段階において一致せず、事前解析の結果と計測結果に相違が生じることがある。温度解析では、打込み温度等がコンクリートの発熱特性に及ぼす影響を適切に評価することが解析精度を高める上で重要である。

本研究では、送電線鉄塔基礎部材内部の温度観測データから、コンクリートの発熱特性の温度依存性を的確に評価できる水和発熱モデルの定数を推定した。次に、この水和発熱モデルを用いた温度解析を実施し、実測温度履歴との比較により、その適用性を検討した。

### 2. 計測および解析概要

今回温度計測を行った構造物は、図-1に示すようなフーチング基礎であり、厚さ方向の5箇所において温度計測を行っている。養生方法は打設後14日まで湿水養生の表面にエアバックシートを重ね敷き、更にその上部に温風をあて保温養生を実施し、それ以降はシート養生となっている。水和発熱モデルの定数は、5箇所の計測点のうち温度履歴がより異なる3箇所(B,C,E)それぞれの材齢14日までの温度計測結果から、逆解析により得られた断熱温度上昇曲線から求めた。逆解析においては、コンクリート・地盤の熱伝導率、熱容量は文献等<sup>2),3)</sup>より表-1に示す値を入力値として用いた。なお、熱伝達率は、養生方法の違いを勘案し、打設後14日までとそれ以降とに分け、5箇所全ての温度計測結果から逆解析より推定し値を用いた。

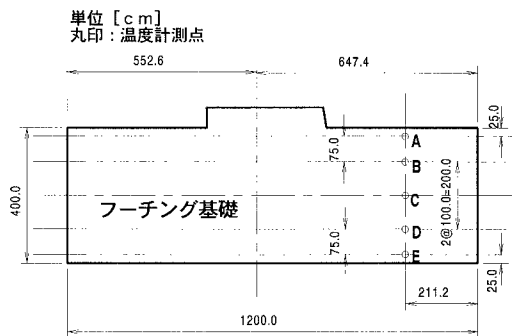


図-1 計測位置

表-1 逆解析における入力値

| 部位     | 熱伝導率<br>(W/m°C) | 熱容量<br>(kJ/m³°C) |
|--------|-----------------|------------------|
| コンクリート | 2.35            | 2408             |
| 地盤     | 1.74            | 3736             |

表-2 逆解析より得られた断熱温度上昇曲線

| 計測点 | $Q(t)=Q_{\infty}(1-\text{EXP}(-\gamma t^{\delta}))$ |          |          |
|-----|-----------------------------------------------------|----------|----------|
|     | $Q_{\infty}$                                        | $\gamma$ | $\delta$ |
| A   | 29.8                                                | 0.410    | 0.977    |
| B   | 35.0                                                | 0.346    | 0.999    |
| C   | 36.9                                                | 0.370    | 0.983    |
| D   | 37.7                                                | 0.394    | 0.946    |
| E   | 38.8                                                | 0.221    | 1.028    |

### 3. 解析結果

#### 3.1 逆解析による各物性値の同定

逆解析によって得られた各計測点における断熱温度上昇曲線の各定数を表-2に示す。また、逆解析より得られた特性値を用いた温度解析結果と温度計測値を比較したものを図-2に示す。各計測点の温度解析結果は、ほぼ計測値と一致しており、逆解析により推定された各計測点における断熱温度上昇曲線は適切なものであると考えられる。

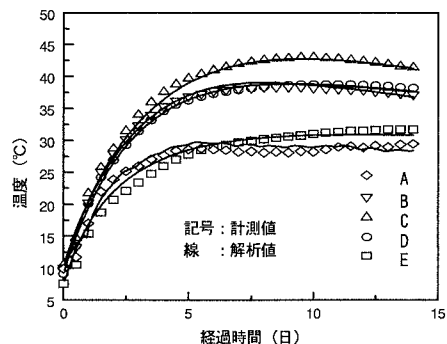


図-2 逆解析より得られた推定値を用いた解析結果

### 3. 2 水和発熱モデルによる温度解析結果

既往の研究成果によれば、水和発熱モデルは次式で示される<sup>4)</sup>。

$$\underline{H} = \underline{H}(T_s, Q) \exp\left[-\frac{E(Q)}{R}\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_s}\right)\right]$$

ただし、 $\underline{H}$ は水和発熱速度、 $\underline{H}(T_s, Q)$ は基準水和発熱速度、 $-E(Q)/R$ はセメントの温度活性、 $T_s$ は基準絶対温度、 $T$ は絶対温度、 $Q$ は積算発熱量である。

次に、逆解析より推定された断熱温度上昇曲線をもとに算定した各積算発熱量ごとの水和発熱速度の対数と絶対温度の逆数の関係を図-3に示す。また、任意の積算発熱量毎のセメントの温度活性および温度条件 293°K（摂氏 20℃）における基準水和発熱速度をそれぞれ表したものを図-4、図-5に示す。図-3に示したアーレニウズプロットは、異なる温度履歴を示した計測点を用いているため、比較的良好な直線関係を示しているのが分かる。次に、このようにして得られた値を水和発熱モデルの定数として用い、温度解析を行った。

温度解析より得られた温度履歴と現場における温度計測値の比較を図-6に示す。解析値と計測値は、どの計測点においてもほぼ一致しており、水和発熱モデルを用いた温度解析は、今回の対象構造物においては適用が可能であると考えられる。ただし、今回の解析は一事例を対象にしたものにすぎない。したがって、今後様々な部位および打設時期の違いによる打込み温度の変化に対応した同種の解析を行い、現場温度計測から得られた水和発熱モデルを用いた温度解析の適用性を検討していく必要がある。

### 4. まとめ

マスコンクリート構造物における現場温度計測結果から、任意の打込み温度での発熱特性を与える水和発熱モデルの定数を求める方法について検討した。本法により得られた水和発熱モデルは温度解析における適用性が示唆されたが、今後その精度について、同種の構造物の温度計測結果をもとに検討していきたい。

#### 参考文献

- 1)坂本 洋、大内 幸夫、田邊 成：杭に支持されたフーチングの温度応力計測，平成7年9月 土木学会年次講演集，PP736～737
- 2)川口 徹、棚田佳寛：コンクリートの熱伝導率、熱拡散率、比熱の測定方法とその応用，マスコンクリートの温度応力発生メカニズムに関するコロキウム論文集
- 3)土質工学会ライブラリー 23 上の凍結、その理論と実際，PP42～59
- 4)鈴木 康範、辻 幸和、前川 宏一、岡村 市：コンクリート中に存在するセメントの水和発熱過程の定量化，土木学会論文誌，No.414/V-12，PP155～164

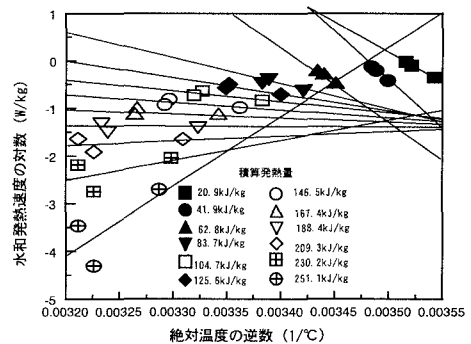


図-3 絶対温度の逆数と発熱速度の対数の関係

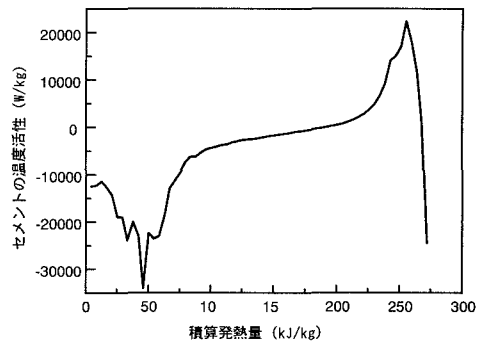


図-4 積算発熱量とセメントの温度活性の関係

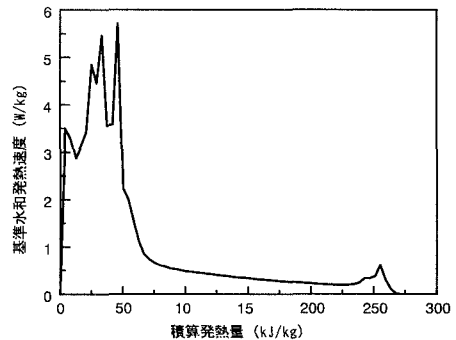


図-5 積算発熱量と基準水和発熱速度の関係

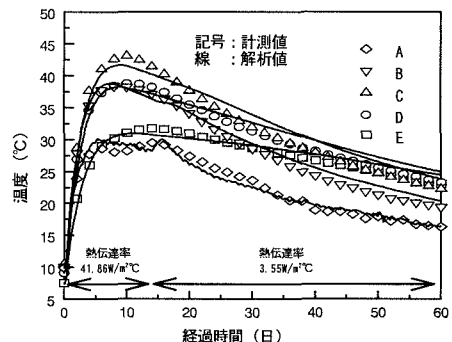


図-6 水和発熱モデルによる温度解析結果