

## 水和発熱モデルを用いた断熱温度上昇特性の推定結果に関する考察

前田建設工業（株）技術研究所 正会員 山本晴人  
 同上 正会員 伊藤 始  
 同上 正会員 三島徹也

### 1. はじめに

コンクリートの水和反応は温度依存性が強いと言われている。そのため、土木学会コンクリート標準示方書（平成11年版・施工編）の施工段階におけるひび割れの照査では、材齢と場所ごとに異なる温度を考慮した水和発熱速度を用いて温度解析を行うことが望ましいとしている。

ここでは、岸らにより提案された温度依存性を考慮した水和発熱モデル<sup>1)</sup>（以下、岸モデルと記す）に基づく断熱温度上昇特性の推定結果と標準示方書に示されている推定式との比較結果を報告する。

### 2. 岸モデルの概要

岸モデルでは、セメントの水和発熱量はエーライト、ビーライト等の各クリンカー化合物や混和材の水和反応による発熱量の総和であるとしている。本モデルの特徴は、材料自身の温度が高くなれば水和反応が活発になるという温度依存性を考慮している点にある。岸モデルで必要となる主な入力パラメータは単位セメント量、水セメント比、セメント組成（C3S、C2S、C3A、C4AF）、高炉スラグやフライアッシュなどの結合材の割合、結合材の粉末度である。なお、練り上がり温度の影響は、温度依存性に対するモデル化の中で自動的に考慮される。

### 3. 土木学会・推定式との比較

温度応力解析を実施する場合には、標準示方書の推定式を用いることが多い。セメント種類（普通ポルトランド・早強・中庸熱・高炉・フライアッシュの5種類）、セメント量（200・300・400kg/m<sup>3</sup>の3水準）、打設温度（10・20・30の3水準）をパラメータとして、全部で45ケースに対する標準示方書の推定式と岸モデルによる断熱温度上昇曲線の比較検討を行った。

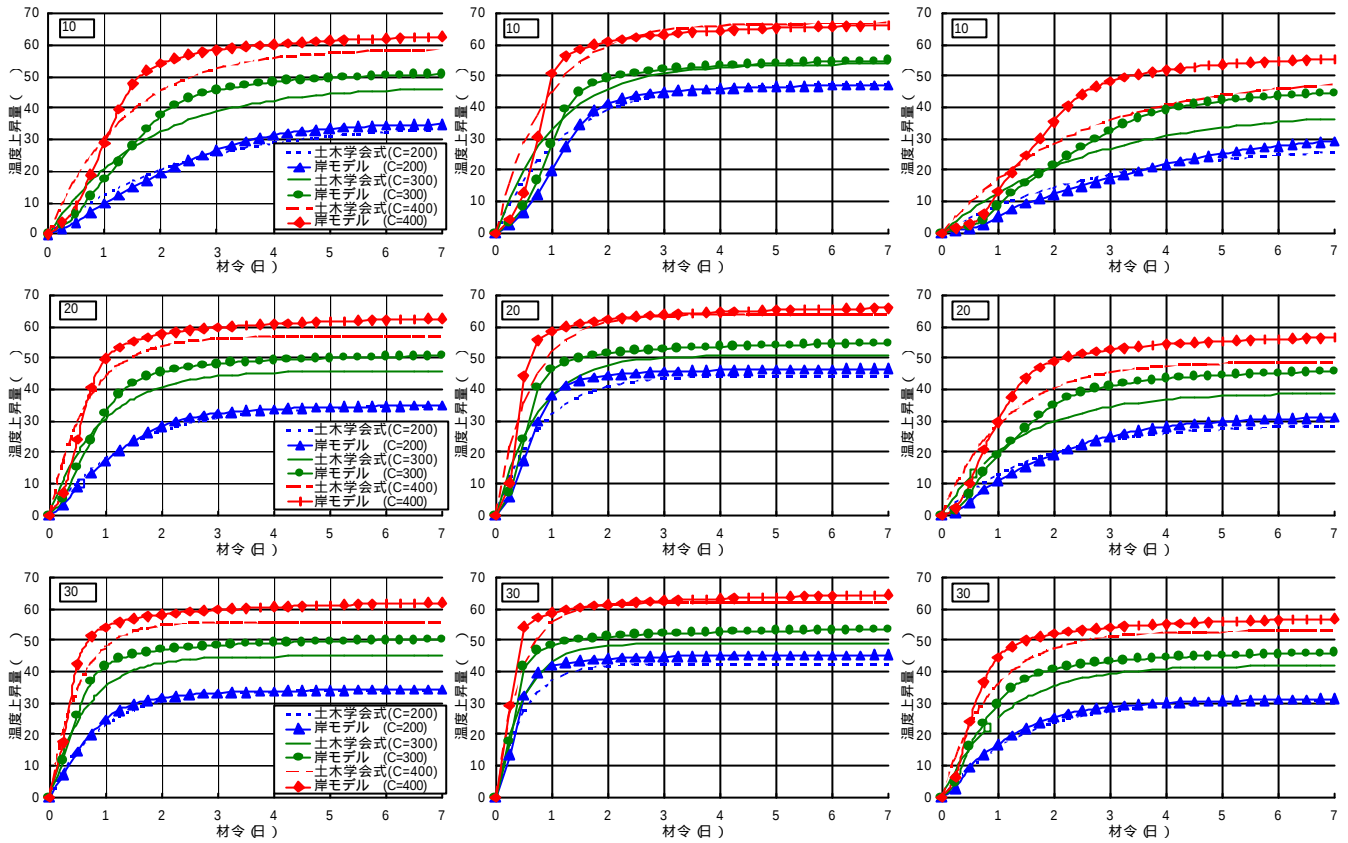
図-1のa)～e)に比較結果を示す。普通ポルトランドセメントおよび高炉セメントにおけるセメント量300、400 kgf/m<sup>3</sup>の場合、岸モデルの方が若干最終上昇量が高い傾向にある。また、中庸熱セメントとフライアッシュセメントの場合は、打設温度が10の時に岸モデルの方が温度上昇速度、最終上昇量ともに高くなる傾向を示す。標準示方書の推定式は断熱温度上昇試験結果をもとに定められているが、鈴木の研究<sup>2)</sup>によれば試験機の温度制御が難しいため、試験機のタイプによっては発熱量を低く見積もる場合があるとされている。岸モデルの方が高めの推定値を与える点は、岸モデルの精度だけでなく、土木学会式のもととなった試験値の精度に問題がある可能性もある。なお、早強セメントについては、今回使用した5種類のセメントの中で両者の推定値が最もよく一致している。早強セメントに対する土木学会式は、他のセメントと異なり、改良型の断熱温度上昇試験機を用いた鈴木らの試験結果から求められている<sup>3)</sup>。岸モデルも鈴木らの試験結果を用いて検証されている点が<sup>1)</sup>、その一因と考える。

### 4. まとめ

岸モデルの方が標準示方書の推定式と比べて高めの断熱温度上昇量を与える傾向にあるが、両者は実用上十分な精度で一致していることが確認できた。ただし、中庸熱セメントとフライアッシュセメントの打設温度が10の場合については、両者の差が大きいため、混和剤（特に遅延剤）に対するモデル化の精度などをさらに検討する必要があると思われる。なお、岸モデルは練り上がり温度の影響を合理的に考慮できるため、事前検討を行う際などに、断熱温度上昇特性を簡便に求める方法としても有効であるといえる。

キーワード：温度応力解析、断熱温度上昇特性、温度依存性、水和熱

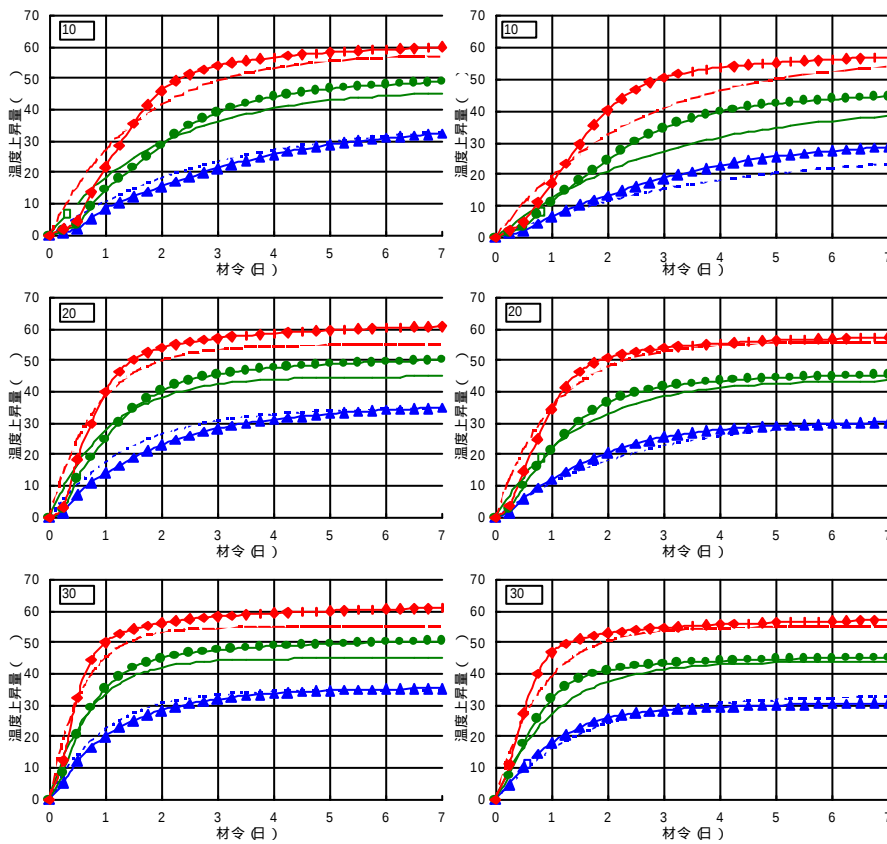
連絡先：〒179-8914 東京都練馬区旭町 1-39-16 TEL03-3977-2246 FAX03-3977-2251



a) 普通ポルトランドセメント

b) 早強セメント

c) 中庸熱セメント



d) 高炉セメント

e) フライアッシュセメント

図- 1 断熱温度上昇曲線

謝辞：

水和発熱モデルのサブルーチンを提供していただいた東京大学・岸利治博士にお礼を申し上げます。

参考文献：

- 1) Koich Maekawa, Rajesh Chaube and Toshiharu Kishi ; Modelling of Concrete Performance, E&FN SPON
- 2) 鈴木康範；コンクリート中のセメントの水和発熱過程と定量化に関する研究（博士論文）
- 3) 土木学会；コンクリート技術シリーズ・最新のマスコンクリート技術，1996.11