

断熱温度上昇式の適合性に関する研究

広島大学大学院 学生員○萩野千晶 (株)エイトコンサルタント 正会員 谷本俊夫
山口大学工学部 正会員 中村秀明 山口大学工学部 正会員 浜田純夫

1. はじめに

コンクリートの断熱温度上昇を表す方法としていくつかの近似式が提案されている。本研究では種々のコンクリートの断熱温度上昇試験結果およびFEMによる温度解析結果によりそれらの近似式の適合性について検討を行った。

2. 断熱温度上昇近似式

コンクリートの断熱温度上昇近似式として、以下の7つの式について検討を行った。

$$T_{ad}=K\{1-\exp(-\alpha t)\} \quad (1)$$

$$T_{ad}=K\{1-\exp(-\alpha t^s)\} \quad (2)$$

$$T_{ad}=K\{1-(1+\alpha t)\exp(-\alpha t)\} \quad (3)$$

$$T_{ad}=K\{1-\exp(-\alpha(t-t_0)^s)\} \quad (4)$$

$$T_{ad}=K\{1-(1+\alpha t)\exp(-\beta t)\} \quad (5)$$

$$T_{ad}=K_1\{1-\exp(-\alpha_1 t^{s_1})\} + K_2\{1-\exp(-\alpha_2(t-t_0)^{s_2})\} \quad (6)$$

$$T_{ad}=K_1\{1-\exp(-\alpha_1 t^{s_1})\} + K_2\{1-\exp(-\alpha_2 t^{s_2})\} \quad (7)$$

T_{ad} : 材令t日におけるコンクリートの断熱温度上昇量(°C)

$K, \alpha, s, K_1, \alpha_1, s_1, K_2, \alpha_2, s_2, \beta, t_0$:

実験定数

3. 断熱温度上昇実測値との適合性

一般に、ポルトランドセメントおよび混合セメントでは式(1)に比べ式(2), (3)が実測値とよく適合し、中でも式(2)はセメントの種類や単位セメント量および打込み温度といった要因による影響がより少なく断熱温度上昇の近似式として優れることが知られている⁸⁾。本研究では拡張カルマンフィルタにより鈴木ら⁸⁾の実測値から係数を同定し(表-1)、式(1)~(3)から得られる断熱温度上昇量(図-1)を実測値と比較したが、同様な結果が得られた。しかし、低発熱セメントの断熱温度上昇試験値について同様に検討した場合式(1)~(3)では断熱温度上昇を正確に近似できなかった。そこで低発熱セメントに対し新たに式(4)~(7)により検討した。式(4), (5)は拡張カルマンフィルタから係数を同定し、式(6), (7)はTry&Errorによる(表-1)。図-2に示すように、式(5)以外は良好な近似となり、特に式(6)は実測値によく適合した。しかし式(6),

表-1 断熱温度上昇近似式の係数

普通ポルトランドセメント C=300kg/m ³ , 20°C	(1) K=51.01, $\alpha=1.023$
	(2) K=49.96, $\alpha=1.043, s=1.429$
	(3) K=49.99, $\alpha=2.241$
低発熱セメント C=300kg/m ³ , 20°C	(1) K=22.93, $\alpha=0.291$
	(2) K=23.74, $\alpha=0.324, s=0.863$
	(3) K=21.80, $\alpha=0.719$
	(4) K=24.78, $\alpha=0.410, s=0.695, t_0=0.344$
	(5) K=22.88, $\alpha=0.386, \beta=0.467$
	(6) $K_1=12.6, \alpha_1=0.5, s_1=2.5,$ $K_2=15.5, \alpha_2=0.15, s_2=0.8, t_0=2$
	(7) $K_1=9, \alpha_1=0.776, s_1=2.98,$ $K_2=15, \alpha_2=0.089, s_2=1.327$

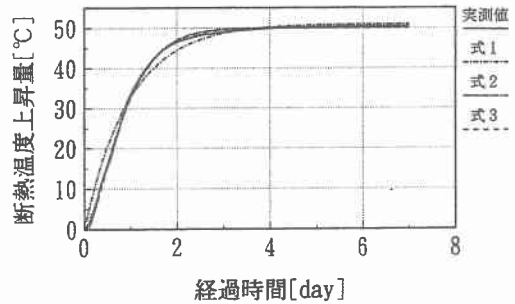


図-1 近似式の適合性(普通、C=300kg/m³, 20°C)

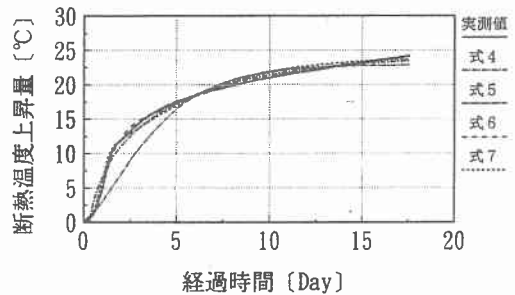


図-2 近似式の適合性(低発熱、C=260kg/m³, 20°C)

(7)の係数を同定する手法の確立には至らなかった。

4. 温度解析

既往の研究⁹⁾から非線形温度解析により水和発熱過程の温度依存性を考慮した温度解析が可能となったと考えられるため、鈴木ら⁹⁾による温度と積算発熱量に依存する水和発熱速度を用いた非線形非定常熱伝導有限要素解析の結果を基準とした上で、時間依存型水和発熱速度を用いた線形非定常熱伝導有限要素解析に各

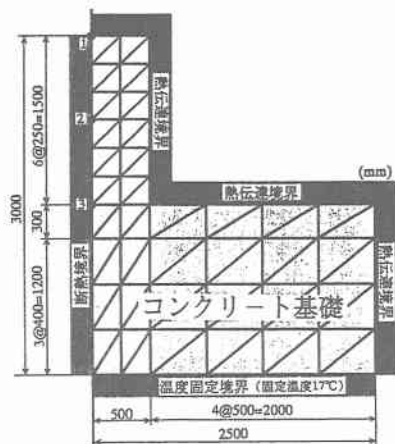


図-3 壁状構造物

近似式を導入しそれらの温度解析における適合性について検討した。解析例として図-3に示す壁状構造物モデルの節点3について温度解析を行った。

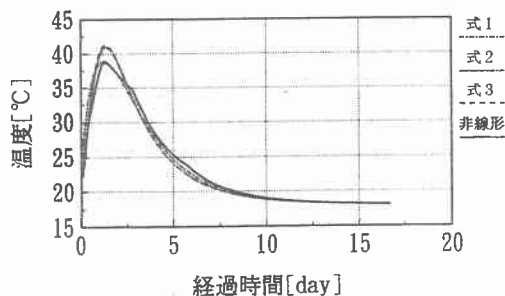
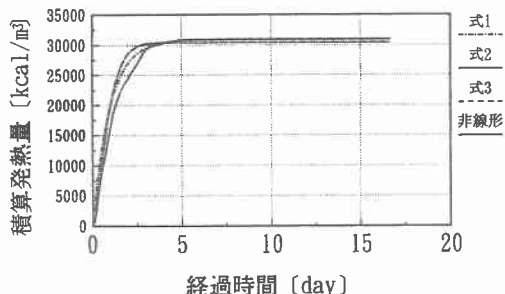
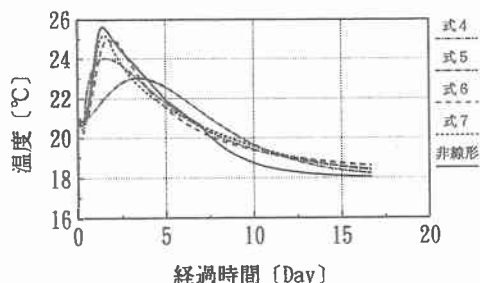
5. 解析結果に対する考察

ポルトランドセメントや混合セメントの場合、図-4に示すように、ピーク時の温度はほとんどのケースで非線形解析の結果が最も低くなった。線形解析の結果は式(1)が非線形解析値に最も近く、式(2)、(3)では高く見積もっている。式(1)は打込み直後の温度を高く見積もるが、全般的にみれば非線形解析値との適合性は3式の内では比較的良好。積算発熱量を比較すると(図-5)、温度がピークに達する時間においては非線形解析値が最も低く、次いで式(1)、(2)、(3)となっている。このことが温度解析に影響していると思われる。低発熱セメントでは図-6に示すように、ピーク時の温度は非線形解析の結果が最も高い。線形解析の結果は式(6)、(7)が非線形解析値に近く、式(4)、(5)では低く見積もっている。材令7日以降は非線形解析の結果が最も低くなった。

6. 結論

本研究により得られた結論は次のようである。

- ① ポルトランドセメントや混合セメントを用いたコンクリートの断熱温度上昇を近似する式としては、式(2)が適当である。
- ② 低発熱セメントを用いたコンクリートの断熱温度上昇を近似する式としては、式(6)、(7)が適当である。
- ③ 線形温度解析におけるピーク時の非線形温度解析値との差は、式(1)が最も小さく、式(2)および式(3)はピーク時の温度を高く評価する。

図-4 解析結果 (普通、 $C=300\text{kg/m}^3$, 20°C)図-5 積算発熱量 (普通、 $C=300\text{kg/m}^3$, 20°C)図-6 解析結果 (低発熱、 $C=260\text{kg/m}^3$, 20°C)

【参考文献】

- 1) 土木学会：昭和61年度制定コンクリート標準示方書施工編，pp. 128～146，1991
- 2) 佐藤ら：ポルトランドセメントの水和熱およびモルタル強度などを計算する新しい公式の提案，セメント・コンクリートNo. 166，pp. 42～46，1980. 12
- 3) 鈴木：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，東京大学学位論文，pp. 57～92，pp. 118～170
- 4) 平賀ら：コンクリートの断熱温度上昇特性に関する既往の研究成果について，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，pp. 1～6，1982. 8
- 5) 例えは原田ら：温度依存性を有するセメントの水和発熱過程と熱伝導との連成を考慮した非線形温度解析，土木学会論文集，第426号/V-9，pp. 167～176，1991. 2