

1. はじめに

マスコンクリートの温度応力を精度良く推定するためには、各材令におけるコンクリート躯体の温度分布を先ず精度良く求めることが大前提となる。本報告は、マスコンクリートの温度予測における誤差要因について考察したものである。

2. コンクリートの水和発熱パターンと断熱温度上昇試験結果の近似式への適用に起因する誤差

コンクリートの水和発熱パターンを一般的な模式図として示すと図-1¹⁾のようになる。この図は、コンクリート（厳密に言えばセメントと水）を練り混ぜてから24時間経過した時点までの熱変化を連続して測定したものを示しており、この図より明らかなように、コンクリートの発熱速度はコンクリート打設後約1～2時間経過した時点で極小値をとった後、再び発熱反応が活発になるため、約8～10時間後に極大値に達し、それ以降は発熱速度が徐々に減少し始めることが判る。

一方、一般的にこのコンクリートの発熱速度が極小値になる時間帯における単位時間当たりの発熱量の変化率は、コンクリートの断熱温度上昇式として一般に使用されている $T=K(1-e^{-\alpha t})$ で示される慣用式を用いると、 α の値により若干異なるものの、

表-1に示すようになる。この図より、 $\alpha=2.0$ のようにコンクリートの発熱反応がかなり速い場合でも、コンクリート打設後2時間前後における単位時間当たりの発熱速度の変化率は1割未満であり、この時間帯におけるコンクリートの断熱温度上昇式をほぼ直線とみなすことが可能である。すなわち、一般的にコンクリート打設後約1～2時間後に現れるこのコンクリートの発熱速度が極小値をとる

時間帯における上記の慣用式による近似が必ずしも適切でないことが判る。さらに、コンクリート打設時に混合剤として遅延剤を添加した場合には、このコンクリートの発熱速度が極小値をとる時間帯が5時間前後も継続する事例もあり、コンクリートの断熱温度上昇試験結果を断熱温度上昇式に適用する際の主たる誤差要因の一つに挙げられる。次に、コンクリートの断熱温度上昇量が究極温度と材令と α のみにより表されるものと仮定している上記の慣用式では、富配合コンクリートで打設温度が高い場合ならびにコンクリートの打設温度が10℃程度とかなり低温の場合には、慣用式への適用結果と実験値との適合性があまりよくないようである。

図-2は暑中に打設した富配合コンクリート（単位セメント量は370kgでポゾリスNo.5L使用）の断熱温度上昇試験結果と上記の慣用式への適用結果につき検討したものを示しているが、材令1日前後より両者の値の適合性が非常に悪くなることが判る。

前述した検討結果を総合的に勘案すると、コンクリートの断熱温度上昇式の一般式としては、次頁に示す2式を用いる方が適当であるものと考えられる（図-2参照）²⁾。

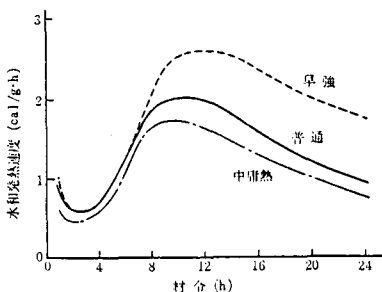


図-1 各種ポルトランドセメントの水和発熱例

表-1 コンクリートの材令と発熱速度との関係
(表中の各々の値は初期発熱速度で割った値)

発熱速度 材令(時間)	$\alpha = 0.5$ (1/日)	$\alpha = 1.0$ (1/日)	$\alpha = 2.0$ (1/日)
0.5	0.99	0.98	0.96
1.0	0.98	0.96	0.92
2.0	0.96	0.92	0.85
3.0	0.94	0.88	0.78

$$T = at \quad (0 \leq t \leq t_a) \dots\dots\dots ①$$

$$T = K (1 - e^{-\alpha(t-t_0)^\beta}) \dots\dots\dots ②$$

ここに t : 材令 (日)
 K : 究極温度 (°C)
 α : 発熱速度係数
 β : 発熱加速度係数
 a : 実験定数 (°C/日)
 t_a : 実験定数 (日)
 t_0 : 実験定数 (日)

尚、①式の直線式を用いずに、しかも②式の $\beta = 1$ および $t = t_0 = 0$ と仮定すれば上記の一般式はコンクリートの断熱温度上昇式として慣用的に用いられている $T = K (1 - e^{-\alpha t})$ になる。また、断熱温度上昇試験方法 (装置) の精度に起因する誤差については、既に小野³⁾ が指摘しているのでここでは省略する。

3. 解析過程における誤差

コンクリートの温度予測における誤差要因には、前述したコンクリートの断熱温度上昇試験結果の不適切な近似式への適用に起因するもの以外に、断熱温度上昇試験結果の解析への適用法 (主として発熱率の入力方法) が解析手法に適合しないために生じるものもある。

コンクリートの断熱温度上昇試験結果は、解析上各材令におけるコンクリートの発熱率として取り扱うことになるが、この発熱率の入力方法が解析で用いられている時間軸に対する差分スキームに適合しない場合には、コンクリートの温度予測における主たる誤差要因の一つになる。図-3は、コンクリートの断熱温度上昇試験結果と周囲を断熱境界とした有限要素法による温度予測結果とを示しているが、この図より明らかなように、差分スキームに適合しないコンクリートの発熱率 (各時間間隔における断熱温度上昇量の増分値をそれぞれの対応する時間間隔で割ったもの) を入力した解析結果と断熱温度上昇試験結果とを比較すると、両者の値は必ずしも一致せず、かなりの誤差が生じていることがわかる。尚、本解析では、時間軸に対するスキームとしてWilson&Clough法を用いている。

4. 参考文献

- 1) 峯岸敦一: セメントの水和と熱, コンクリート工学Vol.22, No.3, 1984.3
- 2) 山川秀次: 暑中に打設した富配合なマスコンクリートの温度上昇特性に関する一考察, 土木学会第36回年次学術講演会概要集V, 1981.10
- 3) 小野 定: 各種断熱温度上昇試験方法の比較, コンクリート工学協会, マスコンコロキウム論文集, 1982.9

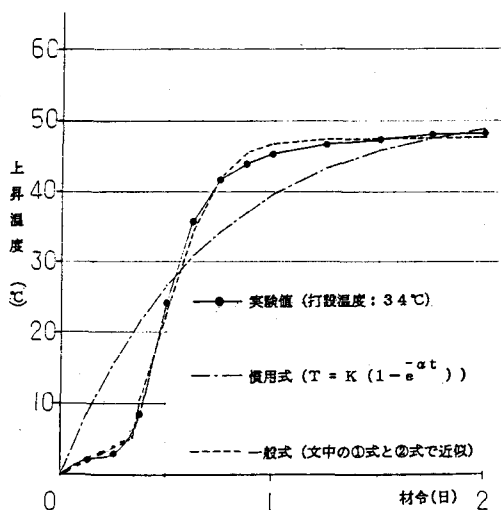


図-2 断熱温度上昇試験結果と近似式との比較

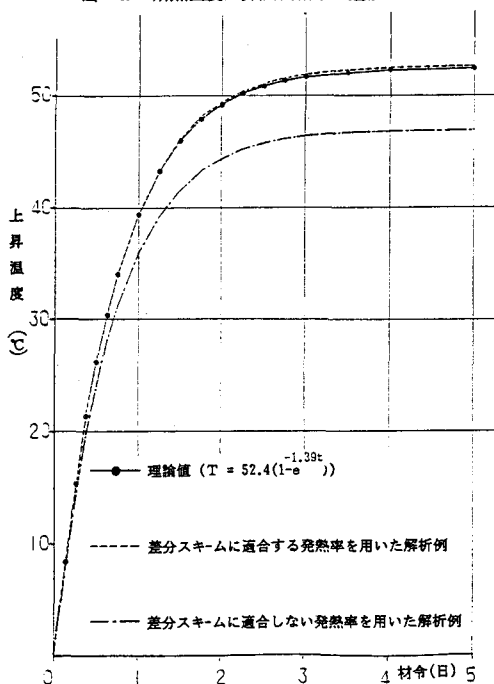


図-3 差分スキームに起因する温度予測解析での誤差例