

清水建設株式会社技術部 正会員 小野 定

1. まえがき

マスコンクリート打込み後の温度上昇に及ぼす要因には多くのものがある。コンクリートの比熱、熱伝導率等の熱特性値もその一つである。一般に、施工前に温度上昇を数値解析により推定する場合、これらの水準を実験的に求めて計算するのは大変であるため、既往の類似データを参考にしたりして、あるいは各構成材料の熱特性値を推定して計算により求めている場合が多い。このようなことから、コンクリートの熱特性値が温度上昇に及ぼす影響の程度を把握しておけば、温度上昇の計算精度の向上につながるものと考えられる。

徳田の研究によれば、通常のコンクリートの比熱の範囲は $0.2 \sim 0.8 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C}$ であり、また熱伝導率の範囲は $0.5 \sim 3.0 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C}$ である。本報文は、数値実験によりコンクリートの熱特性値（比熱、熱伝導率）がこのような範囲内にあるものとして、熱特性値が温度上昇に及ぼす影響について検討したものである。

2. 数値実験の概要

図-1に示したA現場の地盤上に打込んだスラブを対象にして、数値実験を行った。表-1は、熱特性値以外の計算因子および水準を示したものである。版厚は 2.0m であり、外気温は実測値を 1.0 時間毎に入力した。風速の影響は、熱伝達率 $\alpha = 10.0 \text{ kcal/m}^2\text{hr}^\circ\text{C}$ として考慮した。コンクリートの断熱温度上昇に関する諸定数は、塚山の研究成果を用いて推定した。

まず、基本となるA現場での熱特性値を計算により推定し、これらの値を使、て計算した温度上昇と実測値との比較を行、た。具体的数値実験は、コンクリートの比熱および熱伝導率を表-2のように変化させて行、た。

〔基本の熱特性値〕

①比熱： $C = \sum W_i C_i / \sum W_i$ ($C = 0.242 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C}$)

$C_c = 725/S$ ($C_c = 0.307 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C}$)

②熱伝導率： $\lambda_c = \sum W_i \lambda_i / \sum W_i$ ($\lambda_c = 1.798 \text{ kcal/mhr}^\circ\text{C}$)

ここに、 W_i ：各材料の単位量 (kg/m^3)、 S ：コンクリートの単位体積重量 (kg/m^3)、 C_i ：各構成材料の比熱 ($\text{kcal/kg}^\circ\text{C}$)、 λ_i ：各構成材料の熱伝導率 ($\text{kcal/mhr}^\circ\text{C}$)

3. 実験結果および考察

(1) 基本の熱特性値を使、て計算した場合の温度上昇

図-2、3は、基本の熱特性値を使、て計算した温度上昇の経時変化を、中心部と表面部について示した

表-1

NO.	計算因子	水準
1.	打込み温度	13.4°C
2.	地盤温度	15.0°C
3.	リフト高さ	2.0m
4.	地盤の熱的性質	
	比熱	$0.492 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C}$
	熱伝導率	$1.225 \text{ kcal/mhr}^\circ\text{C}$
5.	使用セメントの種類	
6.	単位セメント量	250 kg/m^3
7.	セメントの終局発熱量	80.1 kcal/kg
	実験定数(r)	0.631
8.	熱伝達率	$10.0 \text{ kcal/m}^2\text{hr}^\circ\text{C}$
9.	養生	
	養生：厚さ	0.005m
	熱伝導率	$0.518 \text{ kcal/mhr}^\circ\text{C}$
	期間	7日

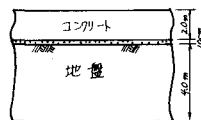
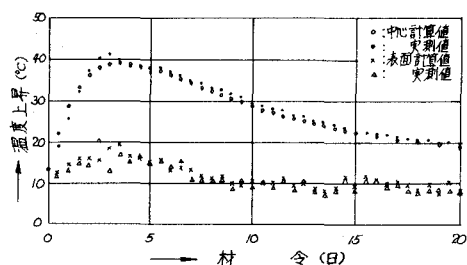


図-1

表-2

NO.	比熱 ($\text{kcal/kg}^\circ\text{C}$)	熱伝導率 ($\text{kcal/mhr}^\circ\text{C}$)
1	0.2	0.5
2	0.25	1.0
3	0.3	1.5
4	0.35	2.0
5	0.4	2.5
6	0.45	3.0
7	0.5	3.5
8	0.6	4.0
9	0.7	
10	0.8	
	10 ケース	8 ケース
		計 80 ケース

図-2 温度上昇の経時変化 ($C_c = 0.307 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C}$)

ものである。表面部の温度は、材令5日まで1~2℃程度の差が認められるに過ぎないが、中心部の温度に関しては5~6℃の差が生じている。比熱の小さい方($C_c = 0.242 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C}$)が温度上昇量が高くなっており、当然の結果となっている。各々の結果を実測値と比較してみると、 $C_c = 0.307 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C}$ の方が実測値と良い対応を示している。この場合の最高温度上昇量の差は2℃程度である。

② 最高温度上昇と比熱との関係

図-4は、最高温度上昇量 T_{max} と比熱 C_c との関係を示したものである。比熱が温度上昇に及ぼす影響は顕著であり、比熱の小さい($0.2 \sim 0.4 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C}$)場合は影響は顕著となっている。特に $0.2 \sim 0.3 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C}$ の範囲では、基本の熱特性値の結果にみられるように、 $0.25 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C}$ と $0.3 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C}$ とでは、最高温度上昇量に5℃程度の差が生じている。計算精度を考えると、5℃といった差は大きなものであり、計算する際、比熱の水準をいくらにとるかは重要なポイントとなることが予想される。

③ 最高温度上昇量と熱伝導率との関係

図-4は、最高温度上昇量 T_{max} と熱伝導率 λ_c との関係を示したものである。熱伝導率が大きくなるにしたがって、若干 T_{max} が低くなる傾向を示している。この傾向は比熱が大きくなるほど明らかとなっている。しかしながら、比熱が $0.2 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C}$ の場合で約4.0℃、 $0.8 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C}$ の場合で約0.5℃といったように、熱伝導率が $0.5 \sim 3.0 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C}$ と比較的大きな範囲で変化しているにもかかわらず、最高温度上昇量には大きな差が認められない。このことから、通常のコンクリートの熱伝導率が、最高温度上昇量に及ぼす影響は小さいと考えられ、熱伝導率は計算により推定しても十分な結果が得られることが予想される。

④ 最高温度上昇と熱拡散係数との関係

図-5は、 C_c と λ_c とをパラメーターとして、コンクリートの熱拡散係数 k^2 (m^2/hr , $k^2 = \lambda_c / C_c \rho$)と最高温度上昇 T_{max} との関係をA現場のスラブ(2.0m)について示したものである。熱伝導率を一定とした場合、 k^2 と T_{max} の間には正の勾配をもった直線的な関係が認められる。

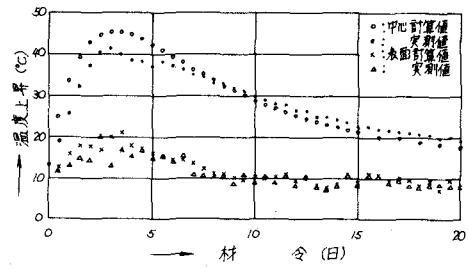


図-3 温度上昇の経時変化($C_c = 0.242 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C}$)

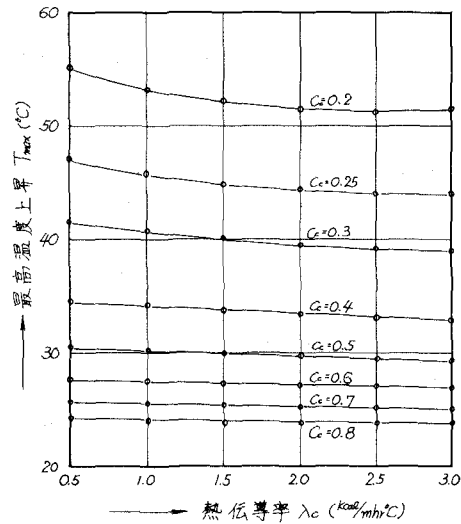


図-4

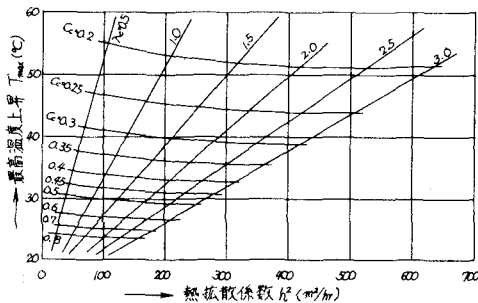


図-5

(参考文献) ①徳田弘, 庄谷征美: コンクリートの熱特性値の測定とニ、三の考察, 土木学会論文報告集第212号, 1973年4月, ②塚山隆一: マッシュな鉄筋コンクリートの温度上昇ならびに温度ひびわれに関する基礎研究, 学位論文, 1975年