

清水建設㈱ 正員 小 野 定
清水建設㈱ 正員 榎 田 泰 仁

1 はじめに

本報は、実大試験体によるコンクリート温度の測定結果を基にして、マスコンクリート温度解析へのFEM手法の適用性について考察したものである。

2 実大試験体によるコンクリート温度の測定結果

図-1に示す実大試験体により温度測定実験を行った。実験手順としては、まず上部コンクリートを打設し、それが十分に硬化した後に下部コンクリートを打設した。型わくは一面だけメタルフォームに厚さ5cmの発泡スチロールをはめ込んだものを使用し、残りの三面はメタルフォームを使用した。コンクリートの配合は表-1に示す通りである。図-2～図-4(図中●線)に測定点No.3, 6, 9のコンクリート温度の経時変化を示す。測定結果をまとめれば次のようである。

表-1 コンクリートの配合

使 用 セメント	粗骨材の 最大寸法 (mm)	スラング (mm)	空気量 (%)	スラブ 厚さ (mm)	W/c (%)	S/A (%)	単位 量 (kg/m ³)				
							W	C	S	G	水和剤
高炉セメント B種	25	12	4	45	515	474	159	309	888	987	1.068

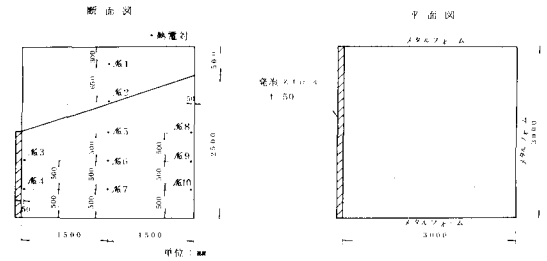


図-1 実大試験体形状寸法
および熱電対埋設位置

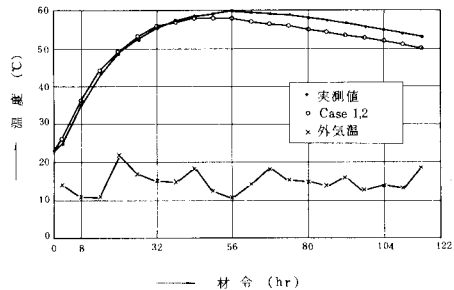


図-2 中心部(No.6)のコンクリート
温度の経時変化および外気温

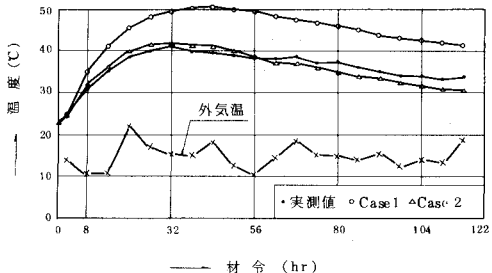


図-4 発泡スチロール側(No.3)の
コンクリート温度の経時変化

1) 中心温度(No.6)は打込み温度から約3.7℃上昇しており、ほぼ断熱状態に近い温度上昇を示している。

2) 発泡スチロール側(No.3)は打込み温度から約1.8℃の上昇がみられ、保温効果の影響が現われている。

3) メタルフォーム側(No.9)は打込み温度から約1.3℃上昇している。これは予想していたより高い上昇量である。

3 FEMによるコンクリート温度実測値の解析

実大試験体による温度測定結果をFEMにより解析した。温度解析モデル図を図-5に、また、解析で考慮した要因および水準を表-2に示す。

(1) Case 1……Case 1の入力定数の内、特に、コンクリートの断熱温度上昇、熱伝達率、発泡スチロールの熱伝導率・熱容量は、次のようにして決めたものである。

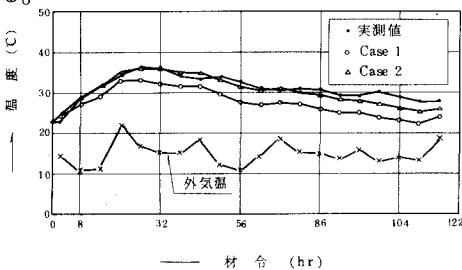


図-3 メタルフォーム側(No.9)の
コンクリート温度の経時変化

1) コンクリートの断熱温度上昇……中心部において最高温度を示すまでの温度曲線を断熱温度上昇曲線とみなし、次式のように推定した。

$$Q(t) = 38.6(1 - e^{-1.287t})$$

2) 熱伝達率……コンクリートの温度解析において一般に使用される熱伝達率は $10 \sim 20 \text{ kcal/m}^2\text{hr}^\circ\text{C}$ ぐらいであり、Case 1 では $15 \text{ kcal/m}^2\text{hr}^\circ\text{C}$ とした。

3) 発泡スチロールの熱伝導率および熱容量……既往の調査を基に熱伝導率は $0.03 \text{ kcal/m}^\circ\text{C}$ 、熱容量は $9.6 \text{ kcal/m}^\circ\text{C}$ とした。

Case 1 の解析結果を図-2～図-4（図中○線）に示す。解析結果をまとめれば次のようである。

a) 中心部においては最高温度が実測値より約 2°C ぐらい低くなっているが傾向としては良い対応を示しており、先に推定した断熱温度上昇式で十分であると考えられる。

b) メタルフォーム側の表面温度は実測値より約 3°C 低くなっている。これは熱伝達率が大きすぎるためであると考えられる。

c) 発泡スチロール側の表面温度は実測値より約 10°C 高くなっており、発泡スチロールの物性値に問題があると考えられる。

(2) Case 2……Case 1 の結果を参考にして Case 2 の解析を行った。Case 1 の場合と異なるのは熱伝達率、発泡スチロールの熱伝導率であり、以下に述べるように推定した。

*)

1) 熱伝達率……筆者らの研究により、熱伝達率を $15 \text{ kcal/m}^2\text{hr}^\circ\text{C}$ から $10 \text{ kcal/m}^2\text{hr}^\circ\text{C}$ にすれば表面部において約 3°C 温度を上げることができると考えた。

2) 発泡スチロールの熱伝導率……筆者らの研究により、Case 1 において $0.58 \text{ kcal/m}^\circ\text{C}$ であった

熱貫流率を $4.0 \text{ kcal/m}^2\text{hr}^\circ\text{C}$ にすれば約 10°C 温度を下げれると考え、熱伝導率を $0.333 \text{ kcal/m}^\circ\text{C}$ とした。解析結果を図-3, 4（図中○線）に示す。Case 2 の解析結果をまとめれば次のようである。

a) メタルフォーム側は実測値とよい対応を示しており、熱伝達率は $10 \text{ kcal/m}^2\text{hr}^\circ\text{C}$ 程度でよいと考えられる。熱伝達率 $10 \text{ kcal/m}^2\text{hr}^\circ\text{C}$ は風速約 2 m/sec 前後の場合の熱伝達率であり、これは実験の状況から判断すれば、妥当な値だと考えられる。

b) 発泡スチロールの熱伝導率が $0.333 \text{ kcal/m}^\circ\text{C}$ で実測値とよい対応を示している。実際は $0.1 \text{ kcal/m}^\circ\text{C}$ 前後が適当な値ではないかと考えられるが、実験では発泡スチロール側に接する両面からも熱放散があるのに対し、FEM解析では、断熱状態としている等の影響により、このような差が生じたと考えられる。

以上述べたように入力定数を適確に決めることにより、FEM手法で十分な精度の温度解析を行うことができることを明らかにした。

*) 小野定：マスコンクリートの温度ひびわれ制御に関する研究，1979年1月，未発表

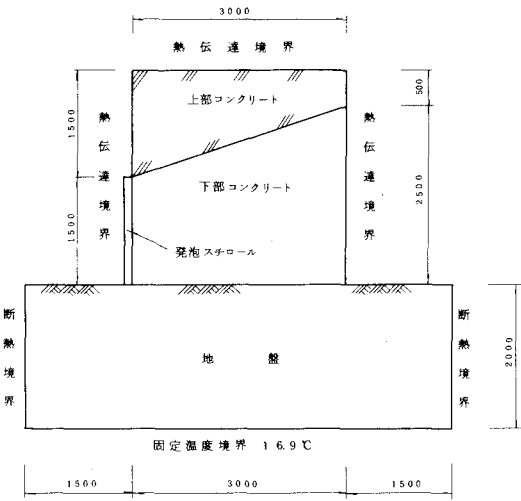


図-5 解析モデルおよび境界条件

表-2 温度解析に使用した諸定数

	Case 1	Case 2
コンクリートの単位体積重量 (Kg/m^3)	2344	2344
コンクリートの比熱 ($\text{Kcal/Kg}^\circ\text{C}$)	0.309	0.309
コンクリートの熱伝導率 ($\text{Kcal/mhr}^\circ\text{C}$)	2.424	2.424
地盤の単位体積重量 (Kg/m^3)	1500	1500
地盤の比熱 ($\text{Kcal/Kg}^\circ\text{C}$)	0.56	0.56
地盤の熱伝導率 ($\text{Kcal/mhr}^\circ\text{C}$)	1.16	1.16
固定温度 ($^\circ\text{C}$)	16.9	16.9
外気温 ($^\circ\text{C}$)	図参照	図参照
打込み温度 ($^\circ\text{C}$)	23.0	23.0
熱伝達率 ($\text{Kcal/m}^2\text{hr}^\circ\text{C}$)	15	10
発泡スチロールの熱伝導率 ($\text{Kcal/m}^\circ\text{C}$)	0.03	0.333
発泡スチロールの熱容量 ($\text{Kcal/m}^\circ\text{C}$)	9.6	9.6