

アーチアバットでの水和熱による温度変化の実測と有限要素解析

宮崎大学 正 ○中沢 隆雄

宮崎大学 正 今井富士夫

宮崎大学 学 由浅 直洋

宮崎県土木部 新森 功一

1. まえがき

セメントの水和熱によるマスコンクリートの温度変化を解析する方法にはいくつかあるが、三次元有限要素解析法は、解析対象構造物の境界形状を適切に表現することができるとともに、構造物内部の熱の流れをよく表現することができるものと思われる。そこで本論は、鉄筋コンクリートアーチ橋のアーチアバット施工時における施工段階に応じたコンクリートの温度変化を、三次元非定常熱伝導有限要素法を用いて解析し、解析結果と温度実測値との比較検討を試みたものである。

2. 基礎式

微小直方体の熱収支バランスから、熱伝導方程式は次のとおり表される。

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = \kappa \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) + \dot{Q}$$

ここに ρ : 密度、 c : 比熱、 T : 温度、 t : 時間、

κ : 熱伝導率、 $\dot{Q}$: 単位時間単位体積当たりの発熱量。

コンクリートの内部発熱量は、次の断熱温度上昇式を用いた。

$$Q = \rho c \{ K(1 - e^{-\alpha t}) + T_0 \}$$

ここに、 K 、 α : 定数、 T_0 : コンクリート打設温度。

境界条件としては、1) 温度が規定される境界 ($T = T_s$ 、 T_s : 規定温度)、2) 熱流束が流入する境界 ($q = q_0$ 、断熱境界では $q_0 = 0$)、3) 熱伝達がある境界 ($q = \alpha_s(T - T_s)$ 、 α_s : 熱伝達率、 T_s : 外部温度) を考慮した。

熱伝導有限要素式は、構造物を有限要素に分割し、境界条件も含めてマトリックス形式で表現すれば

$$[K]\{\Phi\} + [C]\left\{\frac{\partial \Phi}{\partial t}\right\} = \{F\}$$

ここに、 $[K]$: 熱伝導マトリックス、 $\{\Phi\}$: 節点温度ベクトル、

$[C]$: 熱容量マトリックス、 $\{F\}$: 熱流束ベクトル、である。

3. アーチアバットの概要と計算モデル

アーチアバットの概要は図-1に示すとおりである。コンクリートは高さ1 m づつ 10 リフトの分割打設である。コンクリートの配合は、210-8-40 BB、W/C=56%、s/a=39.1%、C: 261kg/m³、W: 146kg/m³、S: 800kg/m³、G: 1045kg/m³、AE減水剤: 0.72kg/m³であり、スランプは8 cm、空気量は4.5%である。計算モデルとしては、アーチアバットを20節点アイソパラメトリック要素を用いて図-2に示すように実際の施工に対応させて分割した。このとき岩盤要素数が59、コンクリート要素が第10リフトまでで40で全要素数99、節点総数656である。また実際には鉄筋コンクリート構造ではあるが、鉄筋は無視したモデルとしている。解析に使用した温度特性値は、岩盤につい

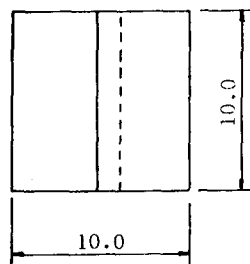
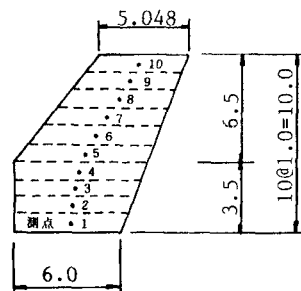


図-1 アーチアバットの形状寸法 (単位: m)

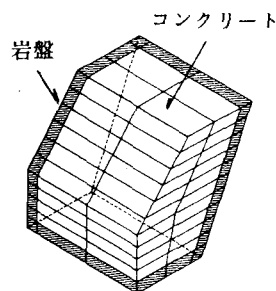


図-2 三次元解析モデル

ては熱伝導率 $\kappa=2.7\text{kcal/mh}^\circ\text{C}$ 、比熱 $c=0.21\text{kcal/kg}^\circ\text{C}$ 、密度 $\rho=2700\text{kg/m}^3$ 、コンクリートについては熱伝導率 $\kappa=2.4\text{kcal/mh}^\circ\text{C}$ 、空気への熱伝達率 $\alpha_c=10.0\text{kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$ 、型枠への熱伝達率 $\alpha_c=8.57\text{kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$ 、比熱 $c=0.3\text{kcal/kg}^\circ\text{C}$ 、密度 $\rho=2300\text{kg/m}^3$ である。また、断熱温度上昇式における定数については、特に断熱温度上昇試験を実施していないため、マスコンクリートのひびわれ制御指針¹⁾を参照して終局断熱温度上昇量 $K=36.4^\circ\text{C}$ 、温度上昇速度に関する定数 $\alpha=0.798$ の値を基準とし、打設時のコンクリートの温度に応じて補正した値を用いている。

4. 実測および解析結果

コンクリート内部の温度は、熱電対温度計をアーチバット内に埋設して計測した。なお今回は、第4リフトまで施工したところまでをまとめているが、1リフトから4リフトまでのコンクリートの打設時の温度は $22\sim 28^\circ\text{C}$ であった。

図-3に、第1リフトから第4リフトまでの施工段階における測点1および測点2での実測値と計算値を比較した温度-時間曲線を、図-4には同じく測点3および測点4での実測および理論温度-時間曲線を示す。前述の文献¹⁾に示されている断熱温度上昇特性値を用いた場合、温度解析値は実測値よりも一般的に低くなる傾向にあるが、本解析例でもピーク温度で $5\sim 6^\circ\text{C}$ 程度低い結果となっている。ピーク温度到達時点は理論値と実測値とがほぼ一致していることから、終局断熱温度上昇量のみ補正して $K=43^\circ\text{C}$ として再度計算を行った。図-3および図-4に対応する温度-時間曲線をそれぞれ図-5および図-6に示すが、ピーク時の温度がほぼ一致してきていることがわかる。しかし、ピーク以後の温度下降時にやや差異がみられるのは、境界面での熱伝達率の正確な評価ができていないためと考えられる。

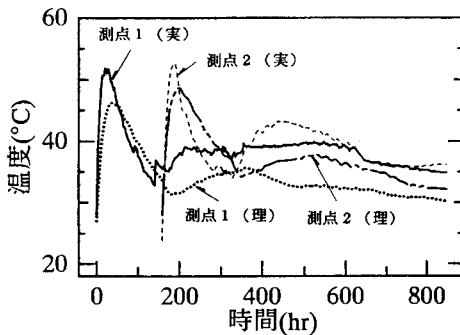


図-3 温度-時間曲線 ($K=36.4^\circ\text{C}$)

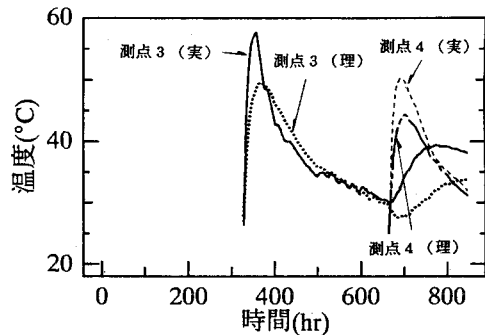


図-4 温度-時間曲線 ($K=36.4^\circ\text{C}$)

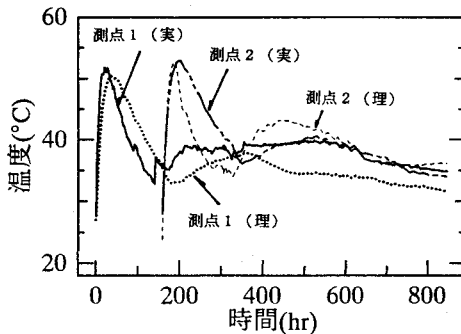


図-5 温度-時間曲線 ($K=43^\circ\text{C}$)

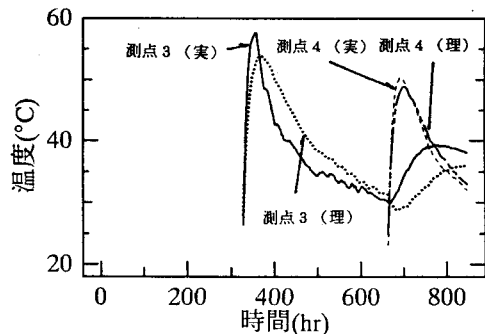


図-6 温度-時間曲線 ($K=43^\circ\text{C}$)

参考文献

- 1) 日本コンクリート工学協会：マスコンクリートのひびわれ制御指針、1986