

厚肉ボックスカルバートの水和熱による温度応力

宮崎大学大学院 学生員 ○栗山 和秀
 宮崎大学 正会員 中沢 隆雄
 宮崎大学 正会員 今井富士夫

1. はじめに

最近、ボックスカルバートにおいて、セメントの水和熱に起因する温度ひびわれが生じる事例が多く見受けられる。温度ひびわれは、コンクリートが最高温度に達した後に表面の温度が降下し、内部との温度差が大きくなると発生しやすい傾向にある¹⁾。温度ひびわれの予防策の1つとして、保温養生があるが、今回その効果を検討するための、厚肉ボックスカルバートの温度および温度応力を計測する機会をえた。本論は、それらの実測結果を有限要素法による解析結果と比較検討してとりまとめたものである。

2. 計測の概要および測定結果

本ボックスカルバートは、1 ブロックの寸法が幅9.1m、高さ7.3m、長さ9.0mである5ブロック(全長45m)で成り立っている。本ボックスカルバートの施工にあたっては、下降温度勾配を小さくするために温度がピーク(コンクリート打設後30時間目)に達した後に両端をシートで締め切り、内部で3日間練炭を焚いて保温養生を行った。引き続き材令10日までは、シートで締め切った状態を維持した。頂版上面には養生マットを敷き、散水養生を行った。

図-1に温度および応力の測定位置を示す。温度および応力の測定には、それぞれ熱電対および有効応力計を用いた。また、図-2に頂版打設後の測点(1)、(2)および(3)の温度および気温の挙動を示す。図-2から測点(3)の温度がピークに達する時点が他の測点よりも遅れており、保温養生の効果が認められる。

3. 有限要素解析結果および考察

温度の挙動については、3次元有限要素法を用いて解析した。コンクリートは高炉B種、配合は $C = 309\text{kg/m}^3$ 、 $W/C = 46\%$ である。温度および温度応力の解析条件を表-1および表-2示す。なお、表-2中にある圧縮強度の式は、材令7日、28日および91日の供試体による圧縮試験の結果から求めた式である。

表-1 温度解析条件

打込み温度(°C)	25.0
比熱(kcal/kg°C)	0.23
密度(kg/m³)	2450.0
熱伝導率(kcal/mh°C)	2.0
熱伝達率(kcal/m²h°C)	9.97
~ (養生マット+散水)	7.50
断熱温度上昇式	$T = 44.5(1 - e^{1.04t})$

・マスコンクリートのひびわれ制御指針中の値

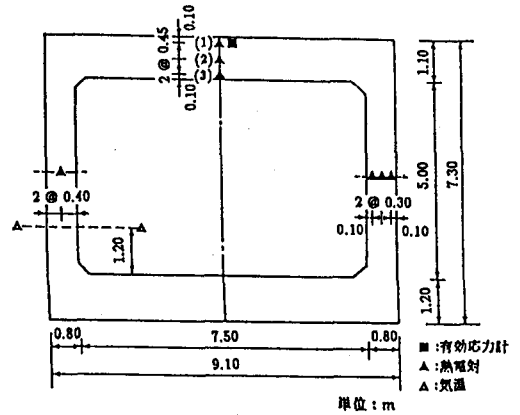


図-1 ボックスカルバート断面図

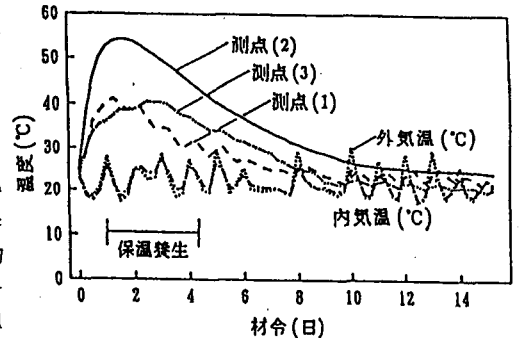


図-2 頂版の実測温度と材令の関係

表-2 温度応力解析条件

熱膨張率(1/°C)	1.0×10^{-5}
ポアソン比	0.160
圧縮強度(kgf/cm²)	$f_c(t) = \frac{8.19 + 0.91t}{1.0} \times 336.33$
引張強度(kgf/cm²)	$f_t(t) = 1.4 \sqrt{f_c(t)}$
弾性係数(kgf/cm²)**	$E_s(t) = \psi(t) \times 1.5 \times 10^4 \sqrt{f_c(t)}$

** 補正係数 $\psi(t)$ は、材令によって変化する。

材令3日まで $\psi(t) = 0.73$
 材令5日以降 $\psi(t) = 1.0$

材令3日から5日までは直線補間

図-3に、実測気温を用いて温度解析を行った結果を示す。この場合、測点(3)の温度挙動は測点(1)とさほど変わらず、保温養生の効果が見られなかった。これは、図-1に示すようにボックスカルバート内部の気温を測定した位置が、頂版下面から3.8mと低すぎたからだと思われる。そこで、保温養生していることから、頂版付近では気温がもっと高く、あまり変動しないのではないかと考え、内部の気温を上げて解析を行った。その結果、頂版下部の温度のピーク時間が遅れ、下降温度勾配が緩やかになり、測点(2)の中心温度の挙動に近づいた。(図-4参照)

次に、保温養生の効果を考慮した温度解析の結果を用いて温度応力解析を行った。図-5に有効応力計の設置位置と同一位置での解析結果を、実測値と比較して示す。この図から、実測値と解析値がよく一致しているのが分かる。また、実測値、解析値ともに各材令における引張強度よりも小さくなっている。したがって、頂版上面ではひびわれは生じないと考えられる。また、温度計測点(1)～(3)での温度応力解析結果を図-6に示す。この図から、頂版上部の温度応力に比べて、保温養生をしている頂版下部の材令約4日までに生じている引張応力の方が小さくなっている。また、頂版下部の応力は、保養生をはじめた材令30時間以降引張応力が減少しはじめている。また、応力が圧縮方向に転じてからは大きな変動をしていない。なお、材令10日以降応力の変動は気温の変化の影響と考えられる。

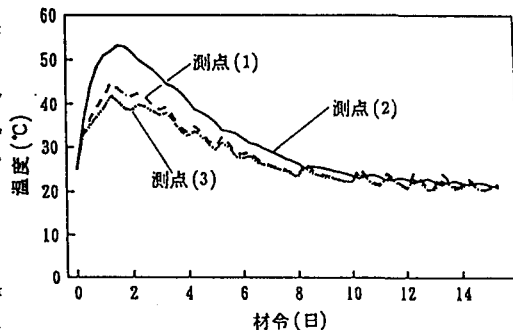


図-3 解析温度 (保温養生の影響なし)

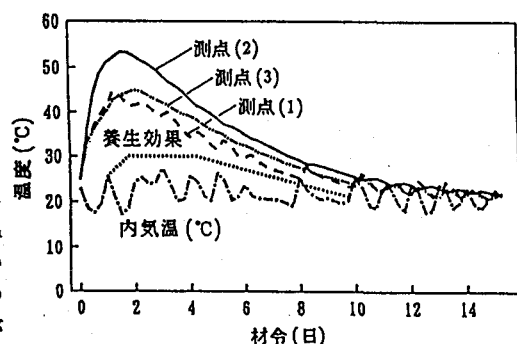


図-4 解析温度 (保温養生の影響あり)

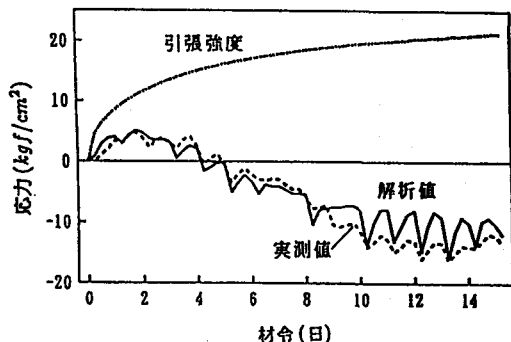


図-5 温度応力 (実測値と解析値の比較)

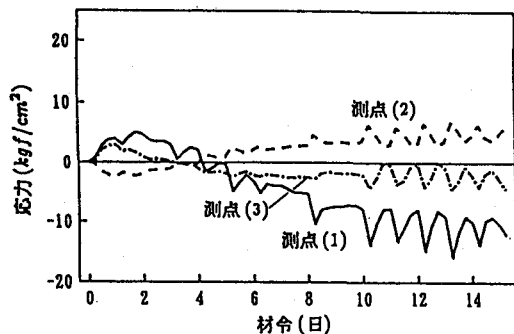


図-6 温度応力解析値

4. まとめ

温度応力測定ならびに温度応力解析の結果から、保温養生を行えば、最高温度に到達した後の下降温度勾配を緩やかにし、温度ひびわれの防止に効果的であることが明らかになった。

参考文献

- 1) マスコンクリートのひびわれ制御指針:日本コンクリート工学協会
- 2) コンクリート標準示方書 [平成3年版] 施工編 pp.134 ~ 141:土木学会,1991