

V-329 水和熱によるボックスカルバートの温度および温度応力に関する一考察

宮崎大学 正 ○中沢 隆雄 正 今井富士夫
宮崎大学 国武 昌人 学 緒方 英彦

1. まえがき

ボックスカルバートなど比較的肉厚の薄い構造物においては、温度ひびわれの発生がよく見受けられる。そこで、簡便な温度ひびわれ防止法の1つであると思われる練炭による保温養生を、ボックスカルバート内部にて行い、その温度ひびわれ防止効果の確認のため、コンクリート内に熱電対と有効応力計を埋設し、打設直後からの温度および温度応力を測定した。また、ひびわれ制御指針¹⁾やコンクリート標準示方書²⁾に定められた温度定数と、別途実施した試験からえられた温度定数を用いて有限要素法による解析を行い、実測値と解析結果との比較検討もあわせて行った。ここに、その結果を報告する。

2. 計測概要および温度測定結果

本ボックスカルバートは、図-1に示すように1ブロックの寸法が幅9.1m、高さ7.3m（内空断面：幅7.5m、高さ5.0m）の断面で、長さ9.0mの5つのブロック（総延長45.0m）で構成されている。施工に際し、同図中に示したように3段階に分けて1週間のサイクルでコンクリートが打設された。コンクリートとしては、高炉セメントB種、セメント量 309 kg/m^3 、 $W/C = 46\%$ のものが用いられた。温度ひびわれの防止を目的として、最高温度（コンクリート打設後30時間目）に達した後の温度下降勾配を小さくするため、両端をシートで締め切り、内部で3日間練炭を焚き保温養生した。材令10日まではシートで締め切ったままとし、頂版上面には養生マットを敷き、散水して養生した。試験からえられたコンクリートの圧縮強度と弾性係数は表-1のとおりである。

コンクリートの温度および温度応力の測定には、熱電対と有効応力計を用いた。また、ボックスカルバート内外の気温の変化も熱電対にて測定した。これらの測定位置は図-1に示すとおりである。

図-2に頂版打設後の測点A1、A2およびA3のコンクリートの温度変化とボックスカルバートの内外の気温の測定結果を示す。この図からわかるように、頂版下面部の測点A3の温度のピークが他の測点のピークよりも遅く生じている。これは、練炭による保温効果であると考えられる。

3. 温度および温度応力解析結果と実測値との比較検討

実測値との比較検討をするため、有限要素法による温度および温度応力の解析を試みた。温度解析は直方体要素（1要素20節点）を用いた3次元解析である。また、温度応力解析は長方形要素を用いた2次元解析である。温度解析に際し、用いた温度定数の一覧を表-2に示す。

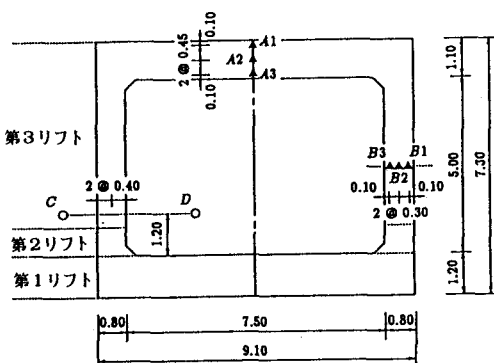


図-1 ボックスカルバートの断面
(寸法の単位：m)

表-1 コンクリートの圧縮強度と弾性係数

材令 (日)	圧縮強度 (kgf/cm ²)	弾性係数 (kgf/cm ²)
7	165	2.34×10^5
28	264	3.04×10^5
91	336	3.40×10^5

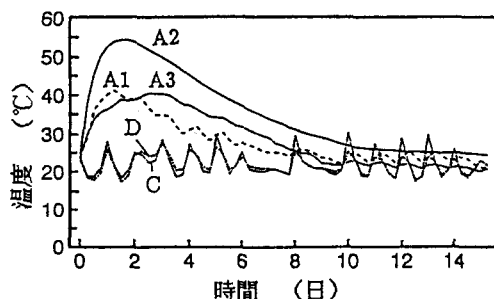


図-2 コンクリートの温度と気温の実測値

解析1で用いた温度定数はひびわれ指針¹⁾を参照して設定した。解析2では、本ボックスカルバートと同一のコンクリートの断熱温度上昇試験からえられた終局断熱温度上昇量および速度に関する定数、ならびにGlover法¹⁾を用いて15×30cmの円柱供試体中心部の温度-時間曲線からえられた熱拡散率と熱伝導率を用いている。また、ボックスカルバートの施工現場にて同一配合のコンクリートで作成した20cm角、40cm角および60cm角の立方体の中心部での温度変化状況を測定してえられた最高温度と到達時間を、解析1で使用した温度定数を用いて温度解析した結果と比較したところ、寸法が大きくなるにともな

表-2 解析に用いた温度定数

温度定数		解析1	解析2	解析3	解析4
熱伝導率 λ (Kcal/m・hr・℃)		2.0	2.175	2.175	2.175
熱伝達率 λ (Kcal/m ² ・hr・℃)	頂版外面	7.50	7.50	7.50	7.50
	頂版内面	9.99	9.99	9.99	9.99
	側壁外面	9.99	9.99	9.99	9.99
	側壁内面	9.99	9.99	9.99	9.99
終局断熱温度上昇量 K (℃)	頂 版	39.97	42.93	44.22	44.22
	側 壁	39.69	42.73	44.01	44.01
断熱温度上昇速度係数 α	頂 版	1.035	0.993	0.993	0.993
	側 壁	1.119	1.007	1.007	1.007

解析値の最高温度は実験値よりも小さくなり、到達時間は同一になる傾向が認められた。そこで解析3では、60cm角の立方体の実測最高温度と解析値の比を参考にして終局温度上昇量を設定した。ところで、ボックス内の気温は底版上面から1.2mと低い位置（測点C）で測定している。しかし、練炭による保温養生時はボックス内が密閉されているので、ボックス内の上部の気温は測点Cよりも高くなっていると考えられる。したがって、解析4では養生期間中ボックス内部の気温は30℃で一定であると仮定して計算を行ったものである。

図-3および図-4は頂版中央部の測点A2および頂版下面部の測点A3での各温度解析結果を、実測値と比較して示したものであるが、解析4による最高温度の値や最高温度の到達時間、さらには温度降下状況が他の解析結果に比較して実測値に最も合致した結果となっている。

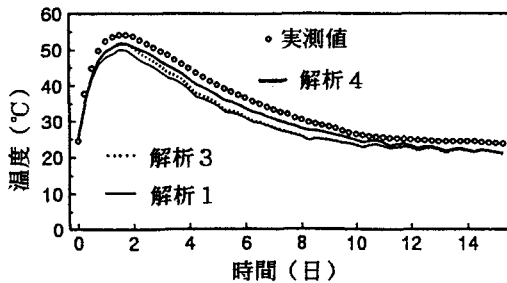


図-3 解析温度と実測温度の比較（測点A2）

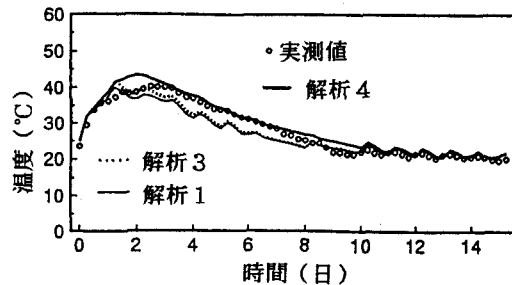


図-4 解析温度と実測温度の比較（測点A3）

そこで、解析4による温度を用いて温度応力の解析を行った。

図-5は頂版の温度応力の解析結果を実測値と比較して示したものである。図中のコンクリートの引張強度はコンクリート標準示方書より算定したものであり、温度応力の実測値は測点A1の位置に埋設した有効応力計からえられたものである。この図から、応力の解析結果は実測値と比較的によく合致していると思われる。また、実測値、解析値とも引張強度よりも小さくなっていることからひびわれは発生しないと考えられる。さらに頂版下部の温度応力の変化の程度は頂版上部よりも小さくなっていることは、保温養生の効果が現れているものと思われる。

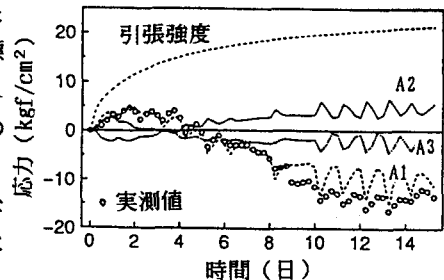


図-5 実測および解析温度応力

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) 土木学会コンクリート標準示方書【平成3年版】施工編