

低熱ポルトランドセメントの温度応力解析に用いる熱定数の一考察

首都高速道路公団 正会員 山本 泰幹

○鹿島建設（株）関東支店 同 上 鐘ヶ江 敏樹

鹿島技術研究所

渡部 貴裕

1. はじめに

現在建設中の首都高速道路高速大宮線は延長 13.8km の 4 車線の自動車専用道路であり、さいたま新都心地区付近はトンネル構造となっている。トンネルは上下二層式のカルバート構造であり、開削工法で施工されているが、スラブ及び側壁は厚さ 2.5m~3.5m のマスコンクリートであるため、温度応力解析と施工時の温度計測を行っている。低熱ポルトランドセメントの熱定数は通常のコンクリートと異なる場合もあるとの報告もあることから¹⁾、解析と計測値を比較したところ、事前検討による温度上昇速度について計測結果と違いが見られた。本報告では温度応力解析に用いた低熱ポルトランドセメントの熱定数について、実施工との差異を把握するために、施工後に同定解析を実施した結果について報告するものである。

2. 事前検討

構造物の断面を図-1 示す。各スラブは 1 リフトで、各側壁は 2 リフトに分割して打設している。各部材のセメントの種類は温度応力解析を行い、ひび割れ指数 1.2（平成 8 年度版コンクリート標準示方書による）を目標とし、1.2 に満たない場合でも最低 0.7 を上回るセメントに決定する。

解析は温度解析を二次元有限要素法、応力解析を CP 法で行っている。コンクリート配合を表-1 に、解析で用いた物性値を表-2 に示す。物性値は土木学会コンクリート標準示方書やセメントメーカーの実績値などを参考に決定した。事前の温度応力解析ではスラブ、側壁ともに高炉セメント B 種を用いた当初設計のケース (Case1) と、側壁のみに低熱ポルトランドセメントを用いたケース (Case2) について実施した。

解析の結果、Case1 ではスラブの最小ひび割れ指数が 1.3、側壁の最小ひび割れ指数は 0.5 であり、Case2 ではスラブの最小ひび割れ指数が 1.4、側壁の最小ひび割れ指数は 0.7 となるため、実施工では Case2 を採用し、スラブを高炉セメント B 種、側壁を低熱ポルトランドセメントで施工している。

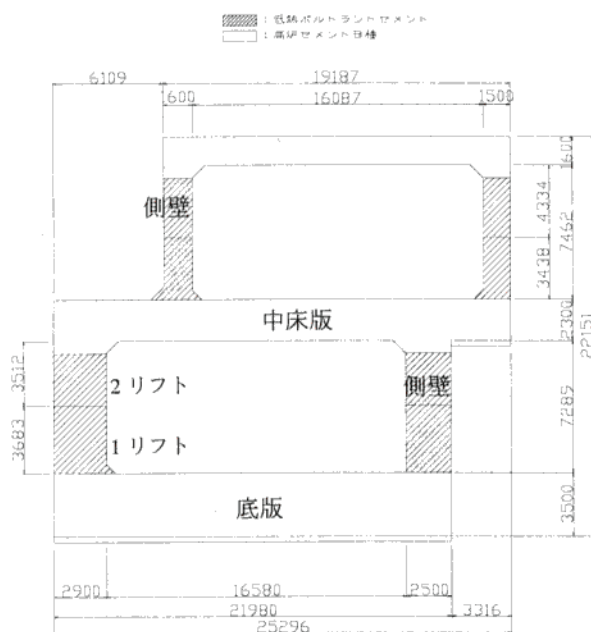


图-1 断面形状

表-1 コンクリート配合

セメント	設計基準強度	W/C (%)	単位量(kg/m ³)				
			W	C	S	G	Ad
高炉セメントB種	24	55.4	157	283	794	1072	3.01
低熱ポルトランドセメント	27	59.4	156	263	834	1064	2.80

表-2 物性值

セメントの種類	高炉セメントB種	低熱ポルトランドセメント
断熱温度上昇 (コンクリート温度20℃の場合)	$Q(t) = 47.98$ $(1 - \exp(-0.83t))$	$Q(t) = 37.28$ $(1 - \exp(-0.29t))$
熱伝導率 (W/m℃)	2.70	2.70
単位体積重量 (kg/m ³)	2350	2350
比熱 (kJ/kg℃)	1.16	1.16
熱伝達率 (W/m ² ℃)	打設後5日まで:8 " 5日以降:14	打設後7日まで:8 " 7日以降:14
外気温 (℃)	東京の月別平均気温	
圧縮強度(f_c) (N/mm ²)	$f_c(t) = (t / (10.556 + 0.884t)) \times f_c(91)$ t:材齢	$f_c(t) = (t / (19.092 + 0.792t)) \times f_c(91)$ t:材齢
引張強度(f_t) (N/mm ²)	$f_t(t) = 0.35 \times f_c(t)^{1/2}$	
ヤング係数 (E_c) (N/mm ²)	$E_c(t) = \phi \times 4.7 \times 10^3 \times f_c(t)^{1/2}$	

キーワード : 温度応力解析, 低熱ポルトランドセメント, 熱定数

連絡先 : 〒338-0001 埼玉県さいたま市上落合 5-19-2 TEL : 048-851-4870 FAX : 048-851-4890

3. 温度計測

温度は底版と側壁第1リフトで計測している。温度は熱電対で計測し、底版、側壁それぞれ5点ずつ計測する（図-2）。コンクリート打設日は底版が6/25、側壁が8/25であったことから、温度計測期間はそれぞれ6/21から51日間、8/23から45日間としている。

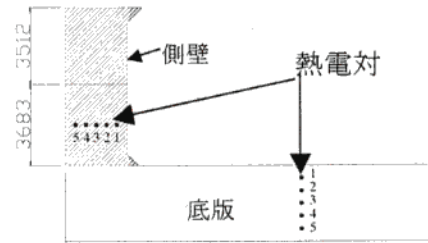


図-2 温度計測位置

4. 事後解析

事前解析と実施工では外気温、打設日などが異なっているため、それらを実績に基づいた値に変更して解析を行い、解析値と測定値の比較を行っている。図-3に高炉セメントB種（底版）、図-4に低熱ポルトランドセメント（側壁）の比較結果を示す。高炉セメントB種では最高温度、温度上昇速度ともにほぼ等しい値であった。一方、低熱ポルトランドセメントでは測定結果の温度上昇速度が大きく、最高温度に到達する時刻が解析結果に比べて早い結果である。

そこで、側壁の断熱温度上昇式を $Q(t) = 37.0(1 - (-0.35t))$ から $Q(t) = 31.0(1 - (-0.7t))$ に変更して、同定解析を行った。解析結果を図-5に示す。最高温度、温度上昇速度とも測定値が計測結果と同様となっていることが分かる。すなわち、実施工時に断熱温度上昇に関する定数は Q_{∞} が 6°C 高く、 γ が2倍となる。

また、どちらのセメントを用いた場合にも、コンクリート中央部の測定値の温度低下速度が小さかった。これは、本工事の環境条件が温度変化の少ない無風の状態であるために、表面からの放熱が解析で想定した値より小さいことが原因と考えられる。

5. まとめ

低熱ポルトランドセメントを用いる構造物について温度計測を行い、実測値に基づく温度応力解析を行ったところ、本工事においては実際の温度上昇速度の方が速いことが分かった。断熱温度上昇に関する定数は温度ひび割れを評価する上で重要な値であるので、低熱ポルトランドセメントを用いた解析の精度を向上させるためには、今後、さらなるデータの蓄積が必要と考えられる。

参考文献

内田雅一他：低熱ポルトランドセメントを用いたマスコンクリートの温度応力解析に関する一考察，土木学会第55回年次学術講演会，2000.9

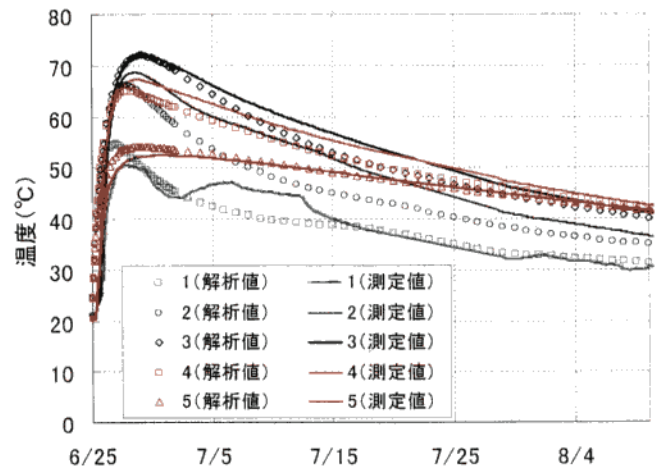


図-3 高炉セメントB種の温度比較

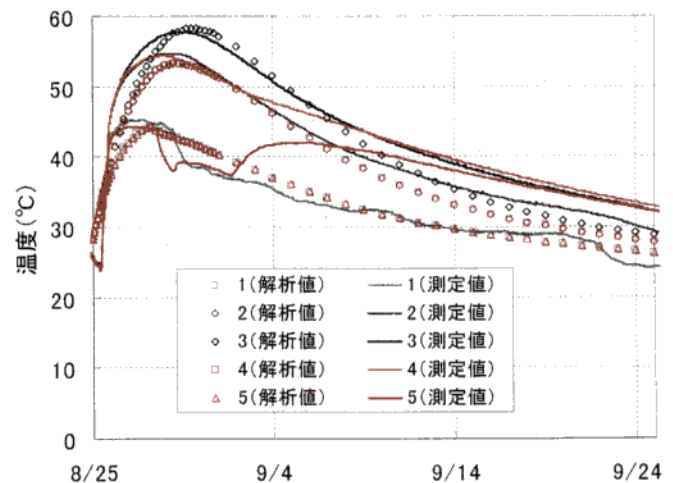


図-4 低熱ポルトランドセメントの温度比較

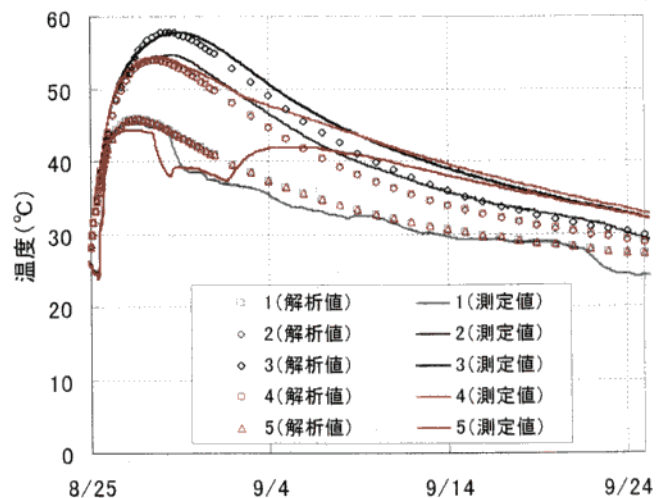


図-5 同定解析結果