

清水建設㈱ 土木開発部 正 木 村 克 彦
 " 土木技術部 " 小 野 定
 東京瓦斯㈱ " 高 木 貞 人

1. はじめに マスコンクリート構造物を施工する場合、コンクリート打込み後のセメントの水和反応による温度上昇が温度ひびわれを制御する上で重要な要因となる。一方、本LNG地下式貯槽は内径64.42m、外径68.84m、高さ35.5m、壁厚2.2mであるため、施工上マスコンクリートとしての配慮を払う必要性があり、また、RC構造物においては一般に過大なひびわれの発生は好ましくなく温度ひびわれを制御する必要性が認められた。しかしながら、LNG地下式貯槽の施工時温度上昇に関する資料は少なく、特に、高炉セメントを使用したコンクリートの実測例はほとんど見受けられない。このようなことから、本報では、躯体コンクリート施工時の温度上昇の実測結果の概要を報告するものである。また、有限差分法(FDM)により温度上昇について数値計算し、実測値との比較を行った。

2. 配合計画 表1にコンクリートの配合を示す。配合を

決定するにあたって施工時温度上昇を低くし、温度ひびわれを極力少なくするために呼び強度の材令、単位セメント量及

びセメントの種類について検討を行った¹⁾。その結果、呼び強度 $\sigma = 270 \text{ kg/cm}^2$ を材令91日の圧縮強度とし、 $W/C = 60\%$ 及び高炉セメントB種(以下高炉Bと略)とした。また、耐圧性、特に、水密性の点から $W/C = 60\%$ としても本地下式貯槽の場合問題がなく、施工性からスランブを12cmとすれば、単位水量は 150 kg/m^3 となる。すなわち、単位セメント量は 250 kg/m^3 まで削減できた。セメント種類の選定では、 σ_{91} としたため長期強度の増進が大きい方が配合設計上有利であること、水密性がよいこと、セメントの水和熱が普通ポルトランドセメント(以下普ポと略)より小さいこと等により高炉Bとした。

3. 計測計画 施工時の温度測定は、図1～図3に示すようにC-C熱電対を埋設して行った。なお、測定は各リフトとも約3週間行い、記録は12点打点式自動記録計を用いた。

4. 測定結果及び考察 (1) コンクリートの性質 使用したコンクリートの性質は次のようであった。スランブ: 10.6～14.3cm、平均12.4cm、空気量: 3.2～4.3%、平均3.8%、打込温度: 表2参照。また、圧縮強度 σ_7 (または σ_8)は $148 \sim 169 \text{ kg/cm}^2$ であった。

(2) ひびわれ状況 ひびわれは、1リフトのみ発生し、2及び3リフトには発生しなかった。1リフトのひびわれは、打込み約1ヶ月後で2.3～2.43mピッチに18本発生しており、特に、日射を受ける部分は2.3～11.6mピッチとひびわれ間隔は狭い傾向が認められた。ひびわれ幅は0.1～0.3mmのものが多く、最大幅は約0.5mmであった。

(3) コンクリート温度の経時変化 1～3リフトのコンクリート温度の経時変化を図1～図3に示した。また、各リフトの打込み温度 T_p 、内部温度の最大値 T_{max} 、内部温度上昇量の最大値 $T_{r,max}$ 、表面温度の最大値 $T_{s,max}$ 、表面温度上昇量の最大値 $T_{s,r,max}$ 及び内部温度と表面温度の差の最大値 $\Delta T_{s,max}$ を表2に示した。1～3リフトでは、 T_{max} に材令3日、2日、4日で達しており、部材最小寸法の小さい順に T_{max} に達している。 $T_{s,max}$ は、外気温の影響を特に大きく受けていることが1及び2リフトを比較すれば分かる。 $T_{r,max}$ の値をそれぞれの部材最小寸法で割れば1～3リフトでは 15.7°C 、 13.3°C 、 15.5°C となり、 $T_{r,max}$ は部材最小寸法に比例していることが分かる。各リフトの中心部温度降下の割合を比較すれば1～3リフトそれぞれ約 1.8°C/日 、 1.3°C/日 及び 2.0°C/日 で、 $T_{r,max}$ が高いほどその降下する割合は大きい。

(4) 実測値と計算値の比較 解析は、FDM 2次元熱伝導問題として行った²⁾。図4に解析モデル図、表3に解析に用いた計算定数

表1 コンクリートの配合

粗骨材の最大寸法 (mm)	スランブ (cm)	空気量 (%)	W/C (%)	S/A (%)	単 位 量 (kg/m ³)				
					W	C	S	G	混和材料
25	12	4	60	12	150	250	809	1135	0.63

表 2

	T_p	T_{max}	$T_{r,max}$	$T_{s,max}$	$T_{s,r,max}$	$\Delta T_{s,max}$
1 リフト	11.4	36.5	25.1	26.0	14.6	11.0
2 リフト	12.5	28.5	16.0	18.0	5.5	13.0
3 リフト	15.0	49.0	34.0	29.5	14.5	21.5

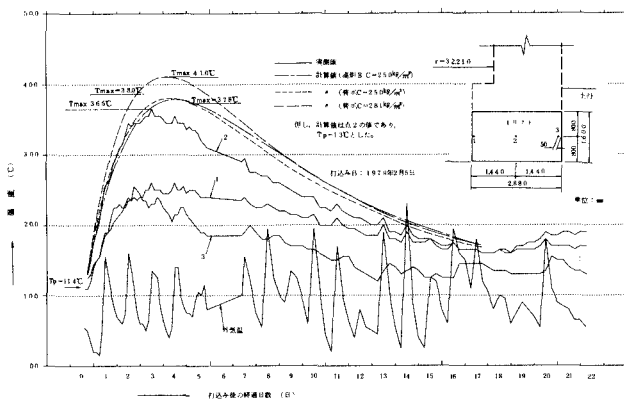


図1 コンクリート温度経時変化 (1リフト)

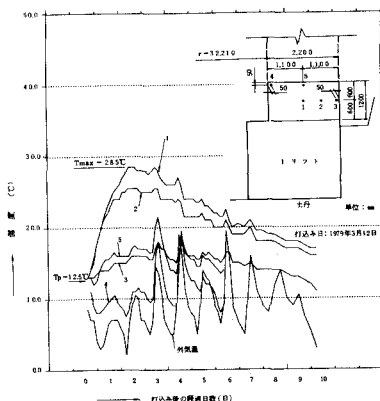


図2 コンクリート温度経時変化 (2リフト)

及び水準を示した。図1にコンクリートの温度経時変化の計算値を併記した。計算値(配合1)は実測値と比較して T_{max} で約 1.3°C 高く、その材令は約1日遅い。また、温度降下の割合は計算値の方が実測値と比較してやや小さい傾向を示している。しかし、計算条件と実状の相違を考慮すれば、計算値と実測値は比較的良好に合っている。次に、同一単位セメント量の配合1及び2の温度経時変化を比較すれば、配合2

(普ポ)の方が T_{max} に達する材令が約1日早く、 0.2°C 高く、また、温度の降下する割合はやや大きい。このことから、単位セメント量が 250 kg/m^3 程度のコンクリートの T_{max} はセメントの種類によってほとんど影響を受けないが、 T_{max} に達する材令はセメント種類により異なる。また、配合1と3(普ポ、 $\text{C} = 281\text{ kg/m}^3$)の経時変化を比較すれば配合3の方が T_{max} は 3.3°C 高い。一方、温度ひびわれ制御という観点から T_{max} は低いほど、また、 T_{max} に達する材令は遅いほど好ましく、高炉B、 $\text{C} = 250\text{ kg/m}^3$ としたことによりひびわれ制御上かなりの効果があると考えられる。

5. まとめ 高炉Bを用いて単位セメント量を 250 kg/m^3 まで削減した配合をLNG地下式貯槽に初めて適用した。その結果、施工時温度上昇によるひびわれは、1リフトに平均 11.0 m ピッチに発生したが、2, 3リフトには発生せず、ひびわれ制御に関しては良好な結果が得られた。また、最高温度上昇量は、1, 2, 3リフトで 25.1°C 、 16.0°C 及び 34.0°C であり、内部と表面の温度差の最大値は 11.0°C 、 13.0°C 及び 21.5°C であった。さらに、4リフト以降の温度測定も計画している。測定にあたって第1セメント嚢に協力戴いたことを記し謝意を表します。

参考文献：1) 国島他；マスコンクリートの配合に関する一考察，土木学会第3回関東支部研究発表会，1976. 1

2) 小野；マスコンクリートの打込み後の温度上昇に関する二、三の考察，コンクリート工学 Vol 15, No 1, Jan, 1977

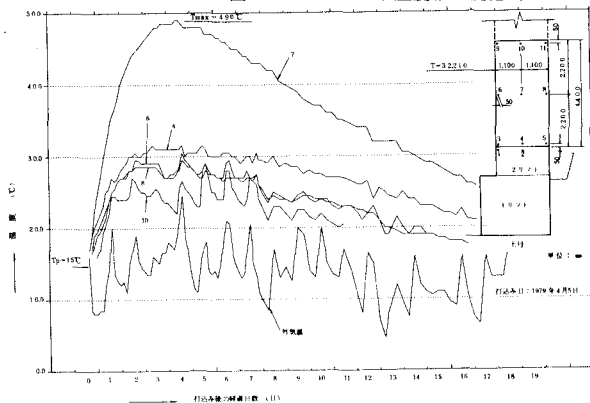


図3 コンクリート温度経時変化 (3リフト)

表3 数値解析計算因子および水準

計算因子	単位	配合1	配合2	配合3
1 打込み量	m^3	11.0	1.0	1.0
2 単位セメント量	kg/m^3	250	250	281
3 養生期間	日	2.0	2.0	2.0
4 コンクリートの熱伝導率	$\text{W/m}\cdot^{\circ}\text{C}$	0.80	0.80	0.80
5 熱伝導率の温度係数	$1/^{\circ}\text{C}$	0.01	0.01	0.01
6 単位セメント量	kg/m^3	250	250	281
7 コンクリートの熱膨張係数	$1/^{\circ}\text{C}$	0.0001	0.0001	0.0001
8 単位セメント量	kg/m^3	250	250	281
9 コンクリートの熱膨張係数	$1/^{\circ}\text{C}$	0.0001	0.0001	0.0001
10 コンクリートの熱膨張係数	$1/^{\circ}\text{C}$	0.0001	0.0001	0.0001
11 コンクリートの熱膨張係数	$1/^{\circ}\text{C}$	0.0001	0.0001	0.0001
12 コンクリートの熱膨張係数	$1/^{\circ}\text{C}$	0.0001	0.0001	0.0001
13 コンクリートの熱膨張係数	$1/^{\circ}\text{C}$	0.0001	0.0001	0.0001
14 コンクリートの熱膨張係数	$1/^{\circ}\text{C}$	0.0001	0.0001	0.0001
15 コンクリートの熱膨張係数	$1/^{\circ}\text{C}$	0.0001	0.0001	0.0001
16 コンクリートの熱膨張係数	$1/^{\circ}\text{C}$	0.0001	0.0001	0.0001
17 コンクリートの熱膨張係数	$1/^{\circ}\text{C}$	0.0001	0.0001	0.0001
18 コンクリートの熱膨張係数	$1/^{\circ}\text{C}$	0.0001	0.0001	0.0001
19 コンクリートの熱膨張係数	$1/^{\circ}\text{C}$	0.0001	0.0001	0.0001
20 コンクリートの熱膨張係数	$1/^{\circ}\text{C}$	0.0001	0.0001	0.0001

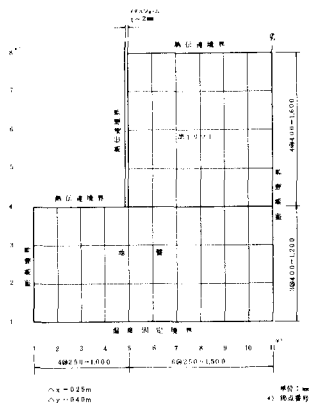


図4 温度解析モデル