

フィルダム監査廊設計における一検討

——コンクリート硬化時の発熱特性について——

三祐コンサルタンツ 正会員 白石幸久 富樫 豊
森 富雄 ○橋口幸正

1. はじめに

近年、フィルダムにおいては、基礎処理の一貫として、あるいは将来の維持管理補修の一助として監査廊が設置される場合が多い。

この監査廊は、遮水部直下にカルバートタイプで、あるいはトンネルタイプで設けられるが、その位置・目的からみて極めて高い水密性が必要とされる。

しかし、一方では部材厚 1 m を越えるマスコンクリートであることを考えると、コンクリート硬化時の熱応力に起因する内部拘束・外部拘束によりひび割れの発生する可能性もある。

よって、ここでは最も基本的な事項として、セメント種、打込み温度の相違による発熱特性について有限要素法による非定常熱伝導解析を行い考察を加える。

2. 解析手法

有限要素法の非定常熱伝導解析の適用に当っては準調和方程式を式(1)に示すように、時間軸に対し中央差分法を用いて定式化したものを用いた。

式(1)中の熱荷重項 $\{F\}$ は、セメントの化学反応の結果として生ずる水和熱であるが、本解析では式(2)の断熱温度上昇曲線を用いて処理した。

その方法は、式(2)の時間微分項に比熱 c 、単位重量 ρ を乗ずることにより時刻 t における発生熱量 Q とした。

3. 解析条件

解析の対象は、図-1に示すようなカルバート型監査廊とした。境界条件については側方を断熱境界、底部を 20°C 一定温度境界として取り扱い、監査廊天端・内空部の熱伝達境界はメタルフォーム養生を考え、熱伝達率 $\eta = 12 \text{ kcal/m}^2\text{hr}$ を与えた。なお、岩盤表層も同様の熱伝達率を与えた。また外気温度については、打込み温度に等しいとしている。

岩盤・コンクリートの基本物性値は、既往例より以下を仮定値として用いた。

	岩 盤	コンクリート
熱伝達率	$k = 1.9$	$k = 2.2 \quad \text{kcal/mhr}^{\circ}\text{C}$
比 熱	$c = 0.25$	$c = 0.25 \quad \text{kcal/kg}^{\circ}\text{C}$
単位重量	$\rho = 2,600$	$\rho = 2,300 \quad \text{kg/m}^3$

解析ケースは、打込み温度について、10、20、 30°C の 3 ケース、コンクリート種について普通ポルトランド、高炉 B 種の 2 ケース、計 6 ケースである。

$$\left(\left(k \right) + \frac{2}{\Delta t} (C) \right) \{ \theta_i \} = \left(\frac{2}{\Delta t} (C) - (K) \right) \{ \theta_{i-1} \} - 2 \{ F \} \quad (1)$$

$$\{ F \} = \frac{1}{2} \{ F_i + F_{i+1} \}$$

$$T = k \left(1 - e^{-\alpha t} \right) \quad (2)$$

$$Q = \frac{\partial T}{\partial t} = c \cdot \rho \cdot k \alpha e^{-\alpha t} \quad (3)$$

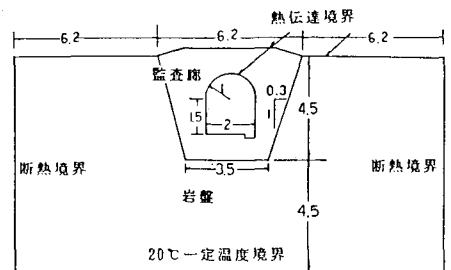


図-1 解析モデル図

各ケース毎に式(2)の k 、 α を決定する必要があるが、これについては単位セメント量を $300\text{kg}/\text{m}^3$ として、標準示方書・ひび割れ制御指針等から表-1の値を仮定した。なお、初期岩盤温度はすべて 20°C とし、インバート部も打設工程から判断して、岩盤と同様に取り扱った。即ち、発熱を考慮するのは監査廊側壁・天端部のみである。

4. 解析結果

各ケースの最高温度及びそれに達する日数を表-2に示す。また、図-2に打込み温度 20°C 、普通ボルト使用の最高温度発生時の温度コンターを、図-3に各ケースの最高温度発生位置の温度時刻歴を示す。これより、以下のことが判明する。

- ① 上昇温度は、打込み温度 10°C の場合が若干低いものの、いずれのケースも 30°C 程である。
- ② 最高温度は、最も部材厚の厚い箇所に生ずる。また、熱伝達境界近傍、特に天端部での温度変化の著しいことが判る。
- ③ 普通ボルトは、高炉B種に比し、最高温度に達する時間が幾分早い。同様に打込み温度が高い程、最高温度に早く達し、その上昇率も大きいものとなる。
- ④ 温度降下時に注目すると、打込み温度が低い程緩やかな、高い程急激な温度降下勾配を示す。
- ⑤ 上述のうち、温度上昇過程については、図-4に示す断熱温度上昇特性に依存し、降下過程については、初期岩盤温度を 20°C に仮定したことに起因しているものと思われる。即ち、上昇過程では、打込み温度が高い程初期温度上昇が大きい断熱温度上昇特性の影響を受け、一方、降下過程では岩盤との温度差による熱授受の影響を受けたものと思われる。

5. まとめ

今回の解析では、高炉B種の方が普通ボルトに比しやや最高温度が低く、最高温度発生時期も遅れることが得られたもののその相違は大差ないものであった。一方、打込み温度に関しては、最高温度上昇量は大きくないものの上昇・降下率については明瞭にその相違が表われ、低い程温度上昇・降下過程とも緩やかになることが判明した。

表-1 k 、 α 一覧表

T_0	普通ボルト		高炉B種	
	k	α	k	α
10°C	42	0.46	42	0.41
20°C	40	0.89	40	0.81
30°C	38	1.37	39	1.24

表-2 最高温度及び要する日数

T_0	普通ボルト		高炉B種	
	T_{max}	日数	T_{max}	日数
10°C	38	3.5	37	3.8
20°C	51	2.5	50	2.6
30°C	61	1.9	61	2.0

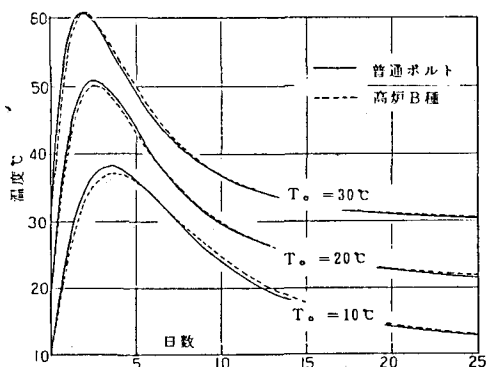
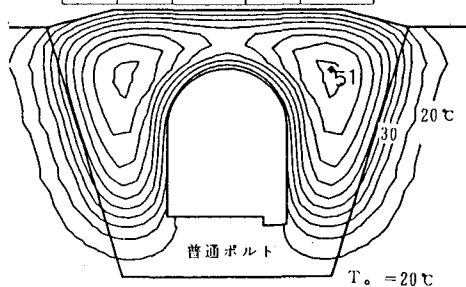


図-3 温度時刻歴図

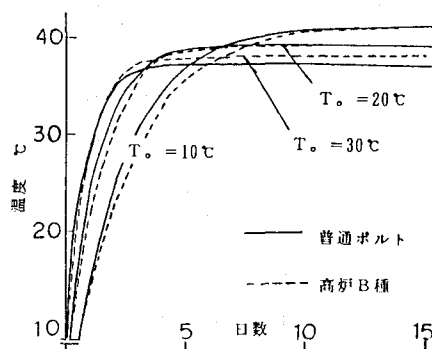


図-4 断熱温度上昇曲線図

参考文献 略