

神戸市水道局 正員 村上公彦
 (株) 鴻池組 正員 和田 節
 (株) 鴻池組 正員 小野 紘一

まえがき

セメントの水和反応は、体積の減少と熱の発生を伴うためコンクリート構造物には材質的にクラックが発生し易く、この傾向は長大な構造物や大型構造物においてとくに著しい。クラックの発生は構造物の美観のみならず安全性や性能を損うことが多く、現場におけるトラブルの一つとなっているのが現状である。本報告は、RCによる大型配水池壁のクラック防止対策として、配筋やコンクリート等に考慮を払って施工した結果クラックの発生を完全に防止することができたので、その概要についてまとめたものである。

1. 工事概要

本配水池工事は神戸市水道局より発注されたものであり、図-1はその一般図であり、構造物の概要は表-1のとおりである。

2. クラックの防止対策の検討

コンクリート構造物に発生するクラックの要因は材料特性、施工条件、使用環境条件および設計外力条件に大別される。材令の若いコンクリート構造物における温度応力および収縮応力の発生は、コンクリートの材料特性上ほとんど回避できないものであるため、有害なクラックの発生を防止する対策として

(1) 伸縮継手の設置によって収縮を吸収する。

(2) 発熱量および収縮量を小さくする。

(3) プレストレスを導入する。

(4) 補強筋によってひびわれ幅をできるだけ小さくする。

等が考えられるが、現場の施工性をも考慮して本工程においては、先ず、ひびわれ幅を小さくするという目的から、ACI 207委員会提案(1973)による方法によって必要補強筋について検討を行なった。

2-1 補強筋の検討

ACI 207委員会で提案されている方法は、セメント量、コンクリートの打設温度、大気温度、部材の露出割合等よりコンクリートの有効な上昇温度(設計温度)を算定し、部材が拘束を受けた状態で冷却する過程において、発生する引張応力によって生じるクラックの幅を要求される範囲内に制限するために必要な補強筋量を算出するものである。以下には上記の方法を本配水池壁に適用したものである。(数式その他の詳細については、参考文献参照)

2-1-1 コンクリートの物理特性

本工程における壁コンクリートの物理特性は表-2に示すように仮定した。(圧縮強度は設計強度を採用し、引張強度および弾性係数はこれよりACIの方法で推定した。

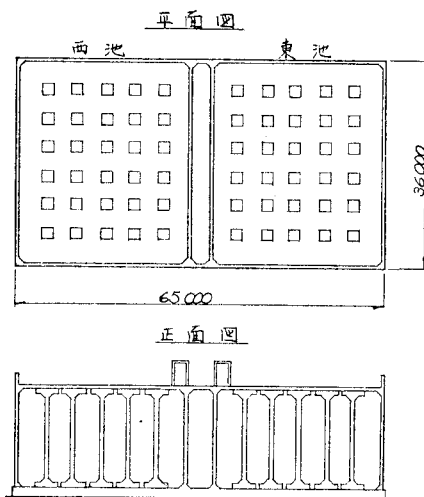


図-1 一般図

表-1 構造物の概要

形状	鉄筋コンクリート箱型構造
工期	昭和49年7月31日～50年7月31日
貯水量	5000 ² × 2 池
断面積	36.00 ^m × 32.50 ^m × 6.70 ^m (1池あたり)
壁厚	50 cm
貯水水深	5.00 ^m
上座高支柱	5列 × 6列 = 30本 (1池あたり)

2-1-2 最大有効温度変化(設計温度)

最大有効温度変化は、コンクリートの打設温度、露出条件、水和反応によるコンクリートの温度上昇、乾燥収縮と等価な温度変化等によって定まる設計温度である。本配水池壁(図-2)の設計温度は下記のように決定した。

表-2 コンクリートの物理性質

材料	7日	28日
圧縮強度 f_c	20.0 kg/cm^2	27.0 kg/cm^2
引張強度 f_t	10.0 kg/cm^2	17.4 kg/cm^2
弾性係数 E_c	2.0×10^4 kg/cm^2	2.5×10^4 kg/cm^2
熱膨張係数 C_T	9×10^{-6} / $^{\circ}\text{C}$	
乾燥収縮率 ϵ	0.11 mm/day	

1) 容積/露出表面積比 V/S

壁の両側面に木製形枠が使用されるため、形枠1面の厚さが60cmのコンクリート厚さに相当すると仮定すると $V/S = 0.825 \text{ m}$

2) 純有効打設温度 T_{PE}

コンクリートの打設は1月に行なわれ、本現場の1月の平均気温は約10 $^{\circ}\text{C}$ であり、コンクリートの打設温度 T_c は大気平均温度より6 $^{\circ}\text{C}$ 高めであると仮定すると、 $T_c = 16^{\circ}\text{C}$ である。本コンクリートの T_c および V/S よりコンクリートの温度がピークに達するのは打設後約2日であり、この間の熱消失は約60%であるから $T_{PE} = T_c - 0.6 \times 6 = 1.4^{\circ}\text{C}$ である。

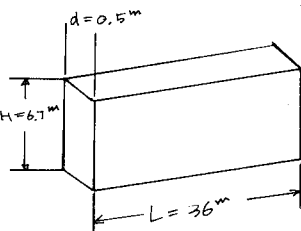


図-2 西配水池壁

3) コンクリートの最終露出温度 T_{min}

$$T_{min} = T_A + \frac{2(T_M - T_A)}{3} \sqrt{\frac{V/S}{2.44}}$$

ここに $T_A = 1$ 週間最低露出温度 = 0 $^{\circ}\text{C}$ 、 $T_M =$ 気候によって変化する修正温度 = 16 $^{\circ}\text{C}$ と仮定。
したがって $T_{min} = 6.2^{\circ}\text{C}$

4) 水和熱による上昇温度 T_H

コンクリートの打設温度、使用セメント量および V/S を考慮して推定される水和熱による上昇温度は、
 $T_H = 23.9^{\circ}\text{C}$ である。

5) 乾燥収縮の影響

V/S は乾燥経路を表わす数値であるが、本構造物の V/S は 0.825 m と比較的大きいため、乾燥収縮による付加温度はとくに考慮しなかった。

6) 設計温度 T_E

$$T_E = T_{PE} - T_{min} + T_H = 30.1^{\circ}\text{C}$$

2-1-3 構造物の拘束特性

収縮が拘束されることによって壁に生じる引張応力 f_c はつぎのように計算される。

$$f_c = K_R \cdot \Delta c \cdot E_c$$

ここに Δc は拘束がない場合に生じる収縮量、 E_c は Δc が生じるときのコンクリートの弾性係数、また K_R は拘束の度合を示す係数であり、拘束する基礎の剛度や壁の長さ L および高さ H によって求められ、拘束面から遠ざかるにつれて減少する。本構造物の最大拘束係数は $K_R = 0.87$ である。

2-1-4 必要補強鉄筋量

本構造物は止水性を要求されるため許容ひびわれ幅 w はきびしく制限し $w = 0.05 \text{ mm}$ とした。

1) 補強鉄筋応力の制限値 f_s

ひびわれ幅を許容ひびわれ幅に制限するために必要な補強鉄筋の応力の制限値 f_s はつぎのように求めた。

$$f_s = \frac{w \times 10^6}{1.085 \sqrt{d_c} A} \quad (\text{kg/cm}^2)$$

ここに $d_c =$ 鉄筋中心までのかぶり量 = 5 cm

$A =$ 補強鉄筋周囲の平均有効コンクリート面積

$$= 2 d_c \times \text{鉄筋間隔} = 2 \times 5 \times 12.5 = 125 \text{ cm}^2$$

したがって $f_s = 540 \text{ kg/cm}^2$

2) 所要平均ひびわれ間隔 L'

壁全体のひびわれ幅の合計は、全体の長さ変化からコンクリートの弾性変形を差し引いたものであり、かつ平均のひびわれ間隔を $W/1.5$ と仮定すると

$$L' = \frac{W}{1.5(KR \cdot CT \cdot TE - f_t' / E_c)} = 22.5$$

3) 必要補強鉄筋量 A_s

平均ひびわれ間隔を L' に制限する(最大ひびわれ幅を W に制限する)に必要な壁全高に渡っての所要補強鉄筋量 A_s は次式によって求めた。 $A_s = 2K_c (f_t' / f_o) dH (1 - L' / 2H)$

ここに K_c は L/H によって定まる係数で本構造物においては $L/H = 0.6/6.7 = 0.087$ であるので $K_c = 0.6$ である。それぞれの数値を代入して計算される所要鉄筋量は $A_s = 764 \text{ cm}^2$ である。鉄筋比に換算すると $\rho = 2.28\%$ であり、 12.5 cm ピッチに配筋すれば $D13$ の補強筋が必要である。

5. 実際の施工

設計温度 0.1°C および許容ひびわれ幅 0.05 mm に対して要求される補強鉄筋量はさきわめて過大であり、施工性を損う恐れがあると考えられたため、実際の施工においては $D13$ の補強鉄筋を 12.5 cm ピッチに配筋した。これは必要鉄筋量の 20% 程度であるが、この不足分はセメントの約 7% を膨張性セメント(電化 CBA)に置き換え、温度変化による収縮の緩和を行なった。コンクリートの配合およびその試験結果は表-3 および表-4 に示すとおりである。

表-3 コンクリートの配合

セメントの種類	単位 セメント量	スランパ	骨材最大寸法	空気量	混和剤	水セメント比	膨張剤
普通	380 kg/m^3	12 cm	25 mm	4%	ポンツール 0.5% と 電化 CBA	0.44	電化 CBA 26 kg/m^3

コンクリートの打設はポンプ車により、12月中旬に行なった。脱型は打設後2週間で行なったがコンクリートの表面と内部の温度差をできるだけ小さくするために、養生期間中は構造物をシートによって十分に被覆した。

表-4 コンクリートの試験結果

スランパ	空気量	圧縮強度	
		7日	28日
11.4 cm	3.4%	21.8 kg/cm^2	30.7 kg/cm^2

4. 結 語

本構造物は大型 RC 構造物であり、高度の止水性が要求されるため、クラックの発生は是非阻止されなければならないという課題を抱えていたが、補強鉄筋および膨張セメントの使用、また十分な養生によって現在に至るまでまたクラックの発生がなく、したがって漏水止めの補修工事が不要であることは幸である。

ACI 207 委員会が提案されている、クラック幅制限に必要な補強鉄筋量の算定方法は、施工性を損うほど過大な補強鉄筋量を与えると考えられるが、今回行なったように膨張セメントを併用することによって、に定めた計算された補強鉄筋量を減少させてもクラック発生防止が行なえるようであると考えられる。

参考文献

Effect of Restraint, Volume change,
and Reinforcement on Cracking of
Massive Concrete, ACI Committee 207, 1973