

1. はじめに

水槽の側壁等の壁体コンクリートに、乾燥収縮や水和熱の降下により生じるひびわれの制御は、単に美観上の問題だけでなく、漏水や鉄筋の腐食を防止するうえでも重要である。そこで本研究は実際に施工された長方形水槽の側壁の一部(長さ $L=37.7\text{m}$, 高さ $H=5\text{m}$, 壁厚 $B=0.42\text{m}$)をモデル化し、ひびわれ誘発目地と鉄筋によるひびわれの間隔と幅の制御法について、有限要素法を応用して検討を行ったものである。

2. ひびわれ誘発目地

壁体の長さ L と高さ H の比 L/H で決定される拘束度 K_R の低減を目的として、一定間隔にひびわれ誘発目地を設けることは、後に鉄筋によるひびわれ幅の制御を容易にするために有効である。また目地を設けると①拘束度の低減により目地外ひびわれが生じにくくなる。②目地外ひびわれの幅が減少する。③補修箇所が減少し、目地部では補修が容易になる。④目地外ひびわれを制御するための鉄筋量が減少するなどの利点があるため、目地深さと間隔について検討した。

目地間隔はACI¹⁾により示された L/H と K_R の関係、ならびに実測結果²⁾を考慮して $L/H \leq 1$, つまり壁高に等しいかそれ以下が適当であると考えて、有限要素分割を行った壁体に単位温度降下を与えたときに得られる目地要素応力 σ_m と、目地に隣接する壁体要素応力 σ_w の比を用いて目地深さと応力集中の程度³⁾の関係を求め、これを図1に示す。このときの壁体の拘束条件は既設の底版とイン

また表1をはじめに述べた壁体に、約4mの間隔で2種類の深さ(壁厚の12%, 15%)の目地を設けたときの、目地上ならびに目地外ひびわれの発生状況を調査した結果²⁾図2である。これらの結果から、目地深さは壁厚の15~20%程度は必要であると考えられる。

3. 鉄筋によるひびわれ幅の制御

上で述べたひびわれ誘発目地間のコンクリートに生じる可能性のあるひびわれの幅の制御に必要な鉄筋量を、主として鉄筋径と温度変化量に着目して求めた。したがって解析対象となる壁体は目地にはさまれた $L=4\text{m}$, $H=5\text{m}$, $B=0.42\text{m}$ の部分で、計算方法ならびに仮定は次の通りである。

上述の壁体に拘束面から高さ1mのひびわれを仮定し、壁体の有限要素分割を行う。配筋間隔を10cmとすると、ひびわれ面には図3のように9本の鉄筋が露出する。このひびわれと鉄筋を図4のようにモデル化し、各記号を表2のように定義する。コンクリートと鉄筋を弾性体と仮定し、重ね合せの法則が成立するものとする変位の適合条件は、

$$W_0 = W_i + \sum_{j=1}^N \delta_{ij} \quad \cdots \cdots (1)$$

またコンクリートの局部変位と鉄筋の伸び量ならびに抜け出し量の関係は $\Delta W_i = \Delta l_i - W_i \quad \cdots \cdots (2)$

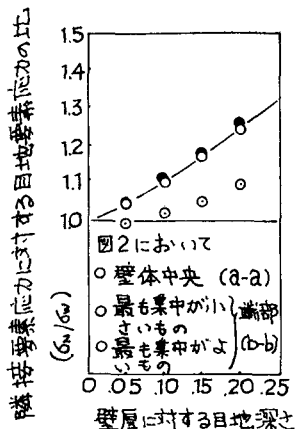


図1 目地深さと応力集中の関係

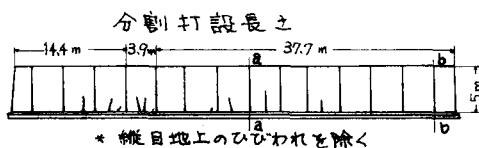


図2 解析対象側壁

表1 目地部のひびわれ集中度

目地深さ	目地上	目地外	集中度*
12%	22	17	56.4%
15%	25	2	92.6%

*端部斜めのひびわれを除く

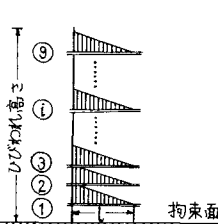


図3 ひびわれと鉄筋の関係

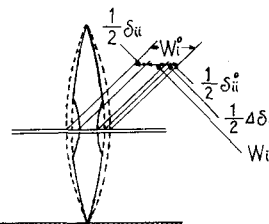


図4 モデル化したひびわれと鉄筋

付着応力分布を三角形と仮定すると鉄筋の伸び量は、

$$\Delta l_i = (2 l_i / 3 A_{s_i} E_s) P_i \quad \cdots \cdots (3)$$

変位 δ_{ij}, δ_{ji} は P_j に比例すると考え、比例定数を a_{ij}, b_{ij} とすると $\delta_{ij} = a_{ij} P_i \quad \cdots (4) \quad \delta_{ji} = b_{ij} P_i \quad \cdots (5)$

(ここで a_{ii}, b_{ii} はそれぞれ i 点に単位付着力を作用させたときに得られるひびわれ面と定着完了点の節点変位)

コンクリートの局部変位は $\Delta \delta_i = \delta_{ii} - \delta_{ii}^0 \quad \cdots (6)$

$$= (a_{ii} - b_{ii}) P_i \quad \cdots (7)$$

したがって W_i, P_i, A_s の関係は次の2式で求められる。

$$\text{式(2),(3),(7)より } W_i = (2 l_i / 3 A_{s_i} E_s - a_{ii} + b_{ii}) P_i \quad \cdots (8)$$

$$\text{式(1),(4)より } W_i^0 = W_i + \sum_{j=1}^N a_{ij} P_j \quad (j=1 \sim N) \quad \cdots (9)$$

$1 \leq i \leq N$ なる各点のひびわれ幅 W_i に許容ひびわれ幅 W_a を与え、 $A_{s_i} = A_s$ (const.) とすると、式(8),(9)より W_i ($i=1 \sim N$), P_i ($i=1 \sim N$), A_s を未知数とする $2N$ 元の連立方程式が成立し、これを解けば W_i, P_i, A_s を求めることができる。解析において鉄筋の付着長 l_i は 15, 20, 25, 30 cm の4通りを仮定し付着長は各鉄筋とも同一とした。解析より得られた結果は以下のようである。

1) W_a と A_s の関係を示す一例として $l=75$ cm の場合を図5に示す。

W_a を小さく制限するほど必要鉄筋量は急激に増加する。本解析でモデル化した壁体に対して ACI¹⁾ の方法で温度変化量を求めると $\Delta T = 84.4^\circ\text{C}$ となり、 $W_a = 0.1$ mm の場合に必要鉄筋量を求めると $A_s = 1,430 \text{ cm}^2$ であるが、これは図中に破線で示す値より若干多くなっている。しかしながらいずれの方法によっても1段当りの配筋は D10 を用いると2本程度でよいことになる。また他の付着長を仮定した場合と比較すると、付着長が長くなるにつれて同じ $W_a, \Delta T$ のときにより多くの鉄筋量が必要となり、このことから鉄筋は細径のもので必要量を満たす方が有利であると考えられる。

2) 図6は $W_a = 0.1$ mm のときの $\delta_s \sim \Delta T$ 関係を示すものである。図中の破線は ACI の方法によるひびわれ幅制御のための限界鉄筋応力を、配筋間隔 10 cm, かぶり 5.5 cm の部材に対して求めたものである。本解析結果はかぶりが 3 ~ 4 cm 程度の部材に相当する。

4. 結論

- ・本解析により得られた鉄筋量は様々な仮定のもとに求められたものであるため、今のところその適用範囲は限られているが、解析方法としては非常に有効である。
- ・壁体長さ長くなる場合には鉄筋によるひびわれ幅制御と、ひびわれ誘発目地によるひびわれ間隔の制御を併用するのが効果的である。
- ・本解析と同様な手法によりプレストレスによるひびわれ制御も可能であると考えられるが、その場合には導入時期や位置について慎重な検討が必要である。

参考文献 1) ACI Committee 207: Effect of Restraint, Volume Change, and Reinforcement on Cracking of Massive Concrete, Jour of ACI, July, 1973

2) 藤井, 宮本, 小林, 大前: RC配木壁体コンクリートのひびわれ制御について, (財)建設工学研究報告 才19号 昭和52年5月

* なお計算は京都大学大型計算機センター M-190 システムを利用した。

表2 解析に用いる記号の定義

記号	説明
W_i^0	補強を考慮しない場合の位置 i におけるひびわれ幅。
W_i	位置 i における鉄筋の引き出し量。つまり補強後のひびわれ幅。
δ_{ij}	位置 j における鉄筋引き出し長により i 点に生じるひびわれ幅減少量。
$\Delta \delta_i$	δ_{ij} のうち i 点に作用する金矢筋引き出し長により生じるコンクリートの局部変位。
δ_{ij}^0	P_j により i 点に生じるコンクリートの全体的変位。
Δl_i	i 点における鉄筋の伸び量。
P_j	j 点での金矢筋引き出し長。
l_i	金矢筋の定着長。

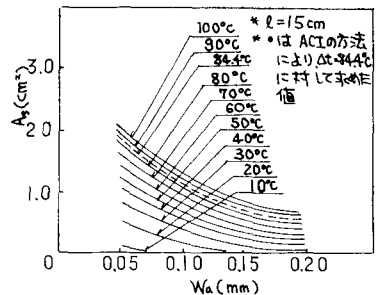


図5 必要鉄筋量

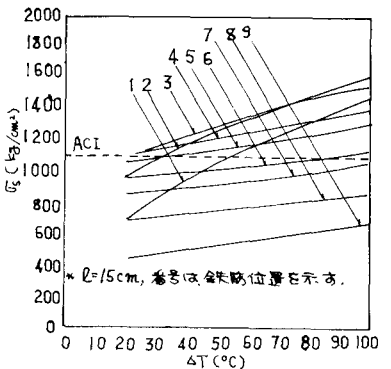


図6 温度降下量 ΔT と鉄筋応力との関係