

名古屋大学 〇正 田辺忠顕

電力中央研究所 正 山川秀次

1. 序 コンクリートダムは熱応力制御の要する方法として、従来からパイプクーリング法が使用されているが、近年は、ダムに限らず重要なマスコンクリート工事に同手法が使われつつある。例えは多摩川に建設された原子力工学試験センター振動台の基礎マウント工事は、その代表とも言えるものであって、各ブロック各リフト間にはクーリング用パイプを布設して慎重な熱応力制御を行った。重要なマスコンクリート工事で、かつ高配合コンクリートが増える程、クーリングによる熱応力制御は必要になると考えられる。

クーリングを行うためには、配管網の適切な配置、管径ならびにクーリング水の流速、初期水温に対する適切な選抜が必要であるが、これらは発熱固体中の配管網からの熱除去効果の解析が精度よく行われて始めて可能となる。

現在、ダム等々に使用されている解析手法は、米国Boulderダム建設時に開発された手法であって、他の手法は殆ど使用されていない。しかし、この解析手法については、(i) 仮定が多くて、実際のシミュレーションの程度が明らかでないこと、例えは、クーリングパイプ一本当りの有効領域を円として解析するが、一断面中に含まれる各パイプ中の水温が異なり、有効領域は円ではないし、その領域は時間とともに変動する。又パイプと水との境界は熱伝達率境界であるが、固定温度境界として取り扱っている。パイプ周囲の熱伝達率場をト方向だけの関数として取り扱っている等、又、その他にも(ii) コンクリートの発熱過程を考慮することはできない、(iii) 単純なパイプ配置のみが計算可能である等の問題点があり、更に精度のよい解析手法の開発が望まれている。

上記の事情を鑑みて、パイプクーリング効果の精度よい解析手法の開発を目差して始めた研究のうち、本報告では、パイプと水との熱伝達率境界の平均熱伝達率を求めるためのオーステップとしての理論解を提示する。

2. 解析理論 図-1のように、直方体、ならびに直方体に埋設されたパイプに対して、直交座標系を確立 (x, y, z) 、あるいは (ξ, η, ζ) 、又パイプに沿って局所座標 S をとる。熱伝達率 q_c を問題にしているのを、定常熱伝達率状態として、

$$\frac{\partial^2 T_c}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T_c}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T_c}{\partial z^2} + \frac{q_c}{K_c} = 0 \quad \dots \dots \dots (1)$$

ここで、 T_c はコンクリートの温度、 K_c はコンクリートの熱伝導率で場所によらず一定、 q_c は発熱率であるが、クーリングパイプ位置では負の発熱率があると考える。

(1)式を満たす1種のGreen関数を求める。即ち、

$$\nabla^2 G_1 + \delta(x-\xi)\delta(y-\eta)\delta(z-\zeta) = 0 \quad \dots \dots \dots (2)$$

で、かつ境界条件として、 $G_1 \Big|_{x=0} = 0 \quad \dots \dots \dots (3)$

S^* は、 $0 \leq x \leq a$, $0 \leq y \leq b$, $0 \leq z \leq c$ で表わされる直方体の表面とする。Diracの δ 関数をFourier級数で表わし、かつ G_1 も次のように級数展開する。

$$G_1(x, y, z; \xi, \eta, \zeta) = \sum_{m, n, p=1}^{\infty} g_{mnp} \sin \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b} \sin \frac{p\pi z}{c} \quad \dots \dots (4)$$

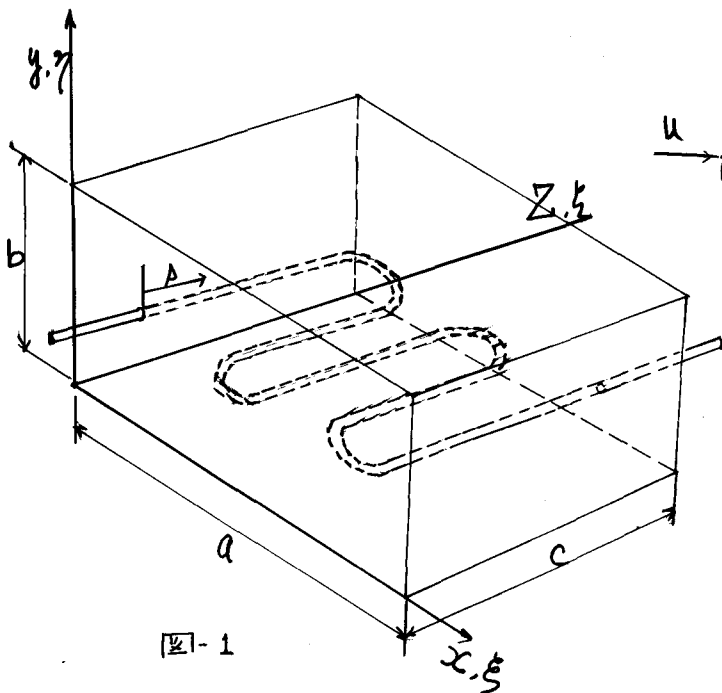


図-1

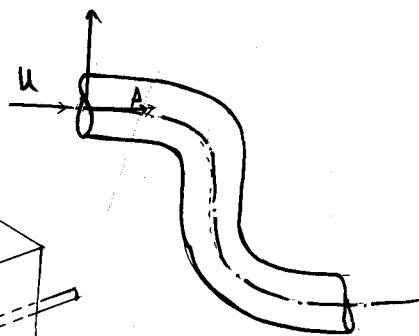


図-2

(4)式を(2)式に代入し、両辺を比較することによって

$$q_{mmp} = \frac{8}{abc} \frac{\sin \frac{m\pi}{a} \xi \sin \frac{n\pi}{b} \eta \sin \frac{p\pi}{c} \zeta}{\left(\frac{m\pi}{a}\right)^2 + \left(\frac{n\pi}{b}\right)^2 + \left(\frac{p\pi}{c}\right)^2} \quad (5)$$

が得られ、(1)式の解として、

$$T_c = \int_{S^*} f(\xi, \eta, \zeta) \frac{\partial G_1}{\partial n_{\xi\eta\zeta}} dS_{\xi\eta\zeta}^* + \int_V \frac{q_c}{k_c} G_1(x, y, z; \xi, \eta, \zeta) dV_{\xi\eta\zeta} \quad (6)$$

が得られる。

次に、図-2に示されるパイプについて、入口から計った距離を λ とし、パイプ断面内の水の流速分布、温度分布を、それぞれ u , T_w (断面内で一定と仮定)とすると、 $d\lambda$ 区間の熱収支より、

$$\rho_w C_w u \frac{dT_w}{d\lambda} + q_c = 0 \quad (7)$$

が得られる。ここでパイプの径、 d を水とパイプ壁との熱伝達率とすれば、

$$q_c = \frac{2h}{r_o} (T_w - T_c) \quad (8)$$

(6)式を(8)式に代入し、更に得られた T_w を(7)式に代入すれば、パイプに吸収される熱量 q_c を未知数とする次の微積分方程式が得られる。

$$\rho_w C_w \frac{u r_o}{2h} \frac{\partial q_c}{\partial \lambda} + \rho_w C_w u \left[- \int_{S^*} f(\xi, \eta, \zeta) \frac{\partial^2 G_1}{\partial \lambda \partial n} dS + \frac{1}{k_c} \int_V q_c \frac{\partial G_1}{\partial \lambda} dV \right] + q_c = 0$$

上式を差分法にてとき、実験値と比較することにより q_c を求めることにした。数値解ならびに q_c を求めておけるので、別の場合に報告する。