

土木研究所資料

第209号

④
コンクリートの温度履歴計算

昭和41年11月

建設省土木研究所

まえがき

コンクリートの温度はキレツ防止、継目グラウト時期の選定等の施工管理にとって重要であるため、古くから多くの計算例が示されていた。これらの中、米国開拓による“*Cooling of Dam*”が最も大成されたものであり、その後の多くの計算例はこれに基いたものが多い。しかし、熱の交換が二系統以上あるとき、例えば打設直後の断熱温度上昇、リフト上面からの熱放散、パイプクリーニングが同時に働く場合、あるいは二次冷却時のパイプクリーニング、ブロック側面からの熱放散が同時に働く場合等、このような場合の二系統以上の熱交換の相互作用については明示されておらず、この点で間違った計算例もかなり多い。

この点については Carlson の方法が最も正確に加味されているが、数値計算であるために、多大の労力を要する。このためアーチダムのように各種の厚さで各種の打設日に対し温度履歴を計算する必要がある場合には計算機による以外にない。

また、打設工程に合わせて温度履歴計算を行なうと打設工程が変わる前の計算結果はすべて使えなくなり、新たに計算をし直さなければならなくなる。この欠点を補うために筆者は川俣ダム、矢木沢ダム、小渋ダムでは幾つかのブロックの厚さに対し、各月に打設されたコンクリートの温度履歴を求め、これにより施工管理を行なうような資料を作製した。

これらの計算は FACOM128B により行なっていたが、計算時間もかなりかかるので高速計算機にて行ない得るようにしたいと考えていたが土木研究所に OKITAC 5090H が設置されたのを機会にプログラムの作製に着手し今回完成した。なおこのプログラムは伊藤忠電子計算センターの C.D.C. 3600 で行なった場合、10種類の厚さに対し、1月～12月の間各月に打設された温度履歴計算が10分で、約 55,000 円である。

終りにこのプログラム作製に当り御協力いただいた伊藤忠電子センターの本田勝氏に感謝する次第である。

1966 年 9 月

コンクリートの温度履歴計算

(昭和41年11月)

柳 田 力
飯 田 隆 一

目 次

第1章	概 説	1
第2章	基本計算式	1
第3章	計 算 手 順	5
第4章	記号の説明	6
第5章	入力データの作製方法	9
第6章	出力データ	14
第7章	プ ロ グ ラ ム	18

第1章 概 説

コンクリートの温度はダムのキレツ防止、継目グラウト時期の選定等の施工管理にとって極めて重要である。

しかし、この計算を正確に行なうためにはかなり複雑な手続を必要とするが、特に打設直後は、

- (a) セメントの水和熱による発熱
- (b) リフト上面からの熱放散
- (c) パイプクーリングによる熱放散
- (d) 上下流面からの熱放散

等が同時に複雑にからみ合っているため、極めて複雑な計算が必要とされる。

これに対し、種々簡易計算が考えられ、それらを組合わせていくつかの実際計算例がある。これらの簡易計算法はいずれもかなりの精度があり、計算も簡単であるが、異った熱交換が同時に行なわれている時の計算方法に問題があり、これを或る程度正確に計算するにはかなり複雑な計算になって来る。

このようないくつかの異った熱交換が同時に行なわれる場合にも正確な計算を行い得るのは Carlson の方法であるが、この計算には多大の労力を要し、いくつかのケースについて手で計算することは實際上不可能に近い。

現在土木研究所において、打設初期の温度上昇については Carlson の方法による種々な場合の計算結果から図解的に求める方法を検討中であるが、継目グラウトを行なうダムでは二次冷却後までの温度履歴計算が必要であり、このような場合には打設日、二次冷却期間等が関係し、図解的に処理するのが困難であるので、この種の計算を電子計算機で処理すべくプログラムを作製した。

なお打設工程に合わせて温度計算を行なうと打設工程が変わると計算結果が使えなくなることがあるので、このプログラムでは種々の厚さで種々の時期に打設したものについて計算し得るようにしている。

このプログラムは最終安定度の計算と打設コンクリートの履歴温度計算（コンクリート上に打設の場合と岩盤上打設の場合）とから成っている。

第2章 基本計算式

第1節 最終安定温度の計算

一次元の熱伝導の微分方程式

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = k^2 \frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} \quad \dots\dots\dots (2.1.1)$$

これに対する境界条件は、

$$\text{上流面では } x=0 \quad \theta=A_0+A_1 \sin \frac{2\pi}{\omega} (t-\delta_0) \quad \dots\dots\dots (2.1.2)$$

$$\text{下流面では } x=T \quad \theta=B_0+B_1 \sin \frac{2\pi}{\omega} (t-\delta_D) \quad \dots\dots\dots (2.1.3)$$

この解は

$$\begin{aligned} \theta = & A_0 \left(1 - \frac{x}{T}\right) + B_0 \frac{x}{T} + \frac{1}{\cosh \frac{2T}{h} \sqrt{\frac{\pi}{\omega}} - \cos \frac{2T}{h} \sqrt{\frac{\pi}{\omega}}} \left\{ A_1 \left\{ \left(\cosh \frac{2T-x}{h} \cdot \sqrt{\frac{\pi}{\omega}} \right. \right. \right. \\ & \left. \left. \cos \frac{x}{h} \sqrt{\frac{\pi}{\omega}} - \cosh \frac{x}{h} \sqrt{\frac{\pi}{\omega}} \cos \frac{2T-x}{h} \sqrt{\frac{\pi}{\omega}} \right) \sin \frac{2\pi}{\omega} (t - \delta_a) \right. \right. \\ & \left. \left. - \left(\sinh \frac{2T-x}{h} \sqrt{\frac{\pi}{\omega}} \sin \frac{x}{h} \sqrt{\frac{\pi}{\omega}} - \sinh \frac{x}{h} \sqrt{\frac{\pi}{\omega}} \sin \frac{2T-x}{h} \sqrt{\frac{\pi}{\omega}} \right) \cos \frac{2\pi}{\omega} (t - \delta_a) \right\} \right. \\ & + B_1 \left\{ \left(\cosh \frac{T+x}{h} \sqrt{\frac{\pi}{\omega}} \cos \frac{T-x}{h} \sqrt{\frac{\pi}{\omega}} - \cosh \frac{T-x}{h} \sqrt{\frac{\pi}{\omega}} \cos \frac{T+x}{h} \sqrt{\frac{\pi}{\omega}} \right) \sin \frac{2\pi}{\omega} (t - \delta_b) \right. \\ & \left. \left. - \left(\sinh \frac{T+x}{h} \sqrt{\frac{\pi}{\omega}} \sin \frac{T-x}{h} \sqrt{\frac{\pi}{\omega}} - \sinh \frac{T-x}{h} \sqrt{\frac{\pi}{\omega}} \sin \frac{T+x}{h} \sqrt{\frac{\pi}{\omega}} \right) \cos \frac{2\pi}{\omega} (t - \delta_b) \right\} \right\} \end{aligned}$$

..... (2.1.4)

これから断面内平均の温度は

$$\begin{aligned} \bar{\theta} = & \frac{1}{T} \int_0^T Q dx = \frac{1}{2} (A_0 + B_0) + \frac{\frac{h}{T} \sqrt{\frac{\omega}{\pi}}}{2 \left(\cosh \frac{T}{h} \sqrt{\frac{\pi}{\omega}} + \cos \frac{T}{h} \sqrt{\frac{\pi}{\omega}} \right)} \left\{ A_1 \left\{ \left(\sinh \frac{T}{h} \sqrt{\frac{\pi}{\omega}} \right. \right. \right. \\ & \left. \left. + \sin \frac{T}{h} \sqrt{\frac{\pi}{\omega}} \right) \sin \frac{2\pi}{\omega} (t - \delta_a) - \left(\sinh \frac{T}{h} \sqrt{\frac{\pi}{\omega}} - \sin \frac{T}{h} \sqrt{\frac{\pi}{\omega}} \right) \cos \frac{2\pi}{\omega} (t - \delta_a) \right\} \right. \\ & \left. + B_1 \left\{ \left(\sinh \frac{T}{h} \sqrt{\frac{\pi}{\omega}} + \sin \frac{T}{h} \sqrt{\frac{\pi}{\omega}} \right) \sin \frac{2\pi}{\omega} (t - \delta_b) - \left(\sinh \frac{T}{h} \sqrt{\frac{\pi}{\omega}} - \sin \frac{T}{h} \sqrt{\frac{\pi}{\omega}} \right) \cos \frac{2\pi}{\omega} (t - \delta_b) \right\} \right\} \\ = & \frac{1}{2} (A_0 + B_0) + K \sin \frac{2\pi}{\omega} (t - \lambda) \end{aligned}$$

..... (2.1.5)

$$\begin{aligned} K = & \frac{\frac{h}{T} \sqrt{\frac{\omega}{\pi}}}{2 \left(\cosh \frac{T}{h} \sqrt{\frac{\pi}{\omega}} + \cos \frac{T}{h} \sqrt{\frac{\pi}{\omega}} \right)} \sqrt{\left\{ \left(A_1 \cos \frac{2\pi}{\omega} \delta_a + B_1 \cos \frac{2\pi}{\omega} \delta_b \right) \left(\sinh \frac{T}{h} \sqrt{\frac{\pi}{\omega}} \right. \right. \right. \\ & \left. \left. + \sin \frac{T}{h} \sqrt{\frac{\pi}{\omega}} \right) - \left(A_1 \sin \frac{2\pi}{\omega} \delta_a + B_1 \sin \frac{2\pi}{\omega} \delta_b \right) \left(\sinh \frac{T}{h} \sqrt{\frac{\pi}{\omega}} - \sin \frac{T}{h} \sqrt{\frac{\pi}{\omega}} \right) \right\}^2 \\ & + \left\{ \left(A_1 \sin \frac{2\pi}{\omega} \delta_a + B_1 \sin \frac{2\pi}{\omega} \delta_b \right) \left(\sinh \frac{T}{h} \sqrt{\frac{\pi}{\omega}} + \sin \frac{T}{h} \sqrt{\frac{\pi}{\omega}} \right) + \left(A_1 \cos \frac{2\pi}{\omega} \delta_a + B_1 \cos \frac{2\pi}{\omega} \delta_b \right) \right. \\ & \left. \left. \left(\sinh \frac{T}{h} \sqrt{\frac{\pi}{\omega}} - \sin \frac{T}{h} \sqrt{\frac{\pi}{\omega}} \right) \right\}^2 \right\} \\ = & \frac{\frac{h}{T} \sqrt{\frac{\omega}{\pi}}}{2 \left(\cosh \frac{T}{h} \sqrt{\frac{\pi}{\omega}} + \cos \frac{T}{h} \sqrt{\frac{\pi}{\omega}} \right)} \sqrt{2 \left\{ A_1^2 + B_1^2 + 2 A_1 B_1 \cos \frac{2\pi}{\omega} (\delta_a - \delta_b) \right\}} \\ & \left(\sinh^2 \frac{T}{h} \sqrt{\frac{\pi}{\omega}} + \sin^2 \frac{T}{h} \sqrt{\frac{\pi}{\omega}} \right) \end{aligned}$$

..... (2.1.6)

$$\tan \frac{2\pi}{\omega} \lambda = \frac{(A_1 \sin \frac{2\pi}{\omega} \delta_u + B_1 \sin \frac{2\pi}{\omega} \delta_v) (\sinh \frac{T}{h} \sqrt{\frac{\pi}{\omega}} + \sin \frac{T}{h} \sqrt{\frac{\pi}{\omega}})}{(A_1 \cos \frac{2\pi}{\omega} \delta_u + B_1 \cos \frac{2\pi}{\omega} \delta_v) (\sinh \frac{T}{h} \sqrt{\frac{\pi}{\omega}} + \sin \frac{T}{h} \sqrt{\frac{\pi}{\omega}})} + \frac{(A_1 \cos \frac{2\pi}{\omega} \delta_u + B_1 \cos \frac{2\pi}{\omega} \delta_v) (\sinh \frac{T}{h} \sqrt{\frac{\pi}{\omega}} - \sin \frac{T}{h} \sqrt{\frac{\pi}{\omega}})}{-(A_1 \sin \frac{2\pi}{\omega} \delta_u + B_1 \sin \frac{2\pi}{\omega} \delta_v) (\sinh \frac{T}{h} \sqrt{\frac{\pi}{\omega}} - \sin \frac{T}{h} \sqrt{\frac{\pi}{\omega}})} \dots \dots (2.1.7)$$

第2節 Carlsonの方法

前述したように打設されたコンクリートはいくつかの異った熱交換が同時に作用する。このような場合に最も精度のよいものは Carlson の方法である。そこで本計算では Carlson の方法に従って計算することにする。

コンクリートを $2n$ 等分し、各等分点の温度を $\theta_0, \theta_1, \dots, \theta_n, \dots, \theta_{2n}$ とする。

θ_0, θ_{2n} はコンクリートの表面の温度であり、 θ_n は中央の温度であるとする。

また θ_j は j 点の初期温度で θ_j は時隔 t 後の温度とする。

j 点での温度勾配を $\delta\theta_j/L$

j 点での時隔 t 間の温度変化を $\Delta\theta_j$

j 点での時隔 t 間の断熱温度変化を $\Delta\theta$ とすれば

熱の移動量は温度勾配に比例するから、

$$\theta_1 = K \frac{\delta\theta_1}{L} t$$

また熱の移動による j 点での温度変化は

$$\Delta\theta_1 = \frac{\theta_1}{C \cdot \rho \cdot L} = \frac{K \cdot \delta\theta_1 \cdot t}{C \cdot \rho \cdot L^2} = \frac{h^2 \cdot t}{L^2} \delta\theta_1$$

$$S = \frac{L^2}{h^2 t}$$

とおくと

$$\Delta\theta_1 = \frac{\delta\theta_1}{S}$$

更に時隔 t 間の断熱温度変化を $\Delta\theta$ とすれば

$$\Delta\theta_1 = \Delta\theta - \frac{\delta\theta_1}{S}$$

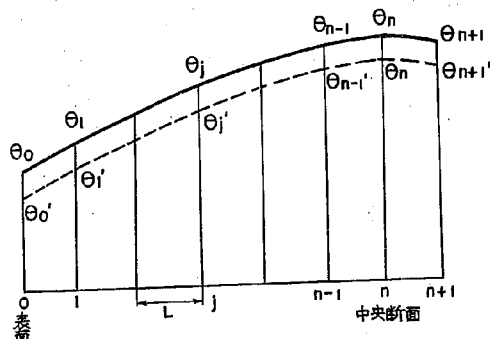
$$\Delta\theta_1 = \theta_1 - \theta'_1$$

$$\delta\theta_1 = \frac{1}{2} (-\theta_{1+1} - \theta'_{1+1} + \theta_1 + \theta'_1 + \theta_1 + \theta'_1 - \theta_{1-1} - \theta'_{1-1}) = \theta_1 + \theta'_1 - \frac{1}{2} (\theta_{1+1} + \theta'_{1+1} + \theta_{1-1} + \theta'_{1-1})$$

$$2S(\theta_1 - \theta'_1) = 2S\Delta\theta - 2(\theta_1 + \theta'_1) + (\theta_{1+1} + \theta'_{1+1} + \theta_{1-1} + \theta'_{1-1})$$

$$-\theta_{1-1} + 2(S+1)\theta_1 - \theta_{1+1} = \theta'_{1+1} + \theta'_{1-1} + 2(S-1)\theta'_1 + 2S\Delta\theta$$

$$\text{今 } C_1 = \theta'_{1+1} + \theta'_{1-1} + 2(S-1)\theta'_1 + 2S\Delta\theta$$



図—1

とおくと

$$\theta_1 = \frac{\theta_{1-1} + \theta_{1+1} + C_1}{2(S+1)}$$

$j = n$ のとき

$$\theta_{j-1} = \theta_{j+1}$$

$$\theta_n = \frac{2\theta_{n-1} + C_n}{2(S+1)}$$

$$Z_n = \frac{1}{S+1} \quad L_n = \frac{C_n Z_{n-1}}{2}$$

とおくと

$$\theta_n = L_n + \theta_{n-1} \cdot Z_n$$

$$\theta_{n-1} = \frac{\theta_{n-2} + L_n + \theta_{n-1} \cdot Z_n + C_{n-1}}{2(S+1)}$$

$$\theta_{n-1} = \frac{\theta_{n-2} + (L_n + C_{n-1})}{2(S+1) - Z_n}$$

$$Z_{n-1} = \frac{1}{2(S+1) - Z_n} \quad L_{n-1} = (L_n + C_{n-1}) Z_{n-1}$$

とおけば

$$\theta_{n-1} = \theta_{n-2} \cdot Z_{n-1} + L_{n-1}$$

同様にして

$$Z_1 = \frac{1}{2(S+1) - Z_{1+1}} \quad L_1 = (L_{1+1} + C_1) Z_1$$

とおけば

$$\theta_1 = \theta_{1-1} \cdot Z_1 + L_1$$

以上要約すると

$$S = \frac{L^2}{h^2 t}$$

$$Z_1 = \frac{1}{Z(S+1) - Z_{1+1}}$$

$$L_1 = (L_{1+1} + C_1) Z_1$$

$$C_1 = \theta'_{1+1} + \theta'_{1-1} + 2(S-1)\theta'_1 + 2S \cdot d\theta$$

$$\theta_1 = \theta_{1-1} \cdot Z_1 + L_1$$

但し $j = n$ のとき

$$C_n = 2\theta'_{n-1} + 2(S-1)\theta'_n + 2S \cdot d\theta$$

$$Z_n = \frac{1}{S+1}$$

$$L_n = \frac{C_n \cdot Z_n}{2}$$

$$\left. \begin{aligned} Z_1 &= \frac{1}{Z(S+1) - Z_{1+1}} \\ L_1 &= (L_{1+1} + C_1) Z_1 \\ C_1 &= \theta'_{1+1} + \theta'_{1-1} + 2(S-1)\theta'_1 + 2S \cdot d\theta \\ \theta_1 &= \theta_{1-1} \cdot Z_1 + L_1 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2.2.1)$$

$$\left. \begin{aligned} C_n &= 2\theta'_{n-1} + 2(S-1)\theta'_n + 2S \cdot d\theta \\ Z_n &= \frac{1}{S+1} \\ L_n &= \frac{C_n \cdot Z_n}{2} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2.2.2.)$$

なお n が温度変化を受けていない点のとき

$$L_n = \theta_n (1 - Z_n) \quad \dots\dots\dots (2.2.3)$$

またパイプクリーニングが行なわれる場合には水温を θ_w とすると

$$\frac{\theta_j - \theta_w}{\theta'_j - \theta_w} = X$$

$$\theta_j - \theta'_j = -(1 - X)(\theta'_j - \theta_w)$$

であるからこれを (2.2.1) (2.2.2) の C_j の $\Delta\theta$ に加えればよい。

即ち

$$j \neq n \quad C_j = \theta'_{j+1} + \theta'_{j-1} + 2(S-1)\theta'_j - 2S(1-X)(\theta'_j - \theta_w) + 2S\Delta\theta \quad \dots\dots (2.2.4)$$

$$j = n \text{ のとき } C_n = 2\theta'_{n-1} + 2(S-1)\theta'_n - 2S(1-X)(\theta'_n - \theta_w) + 2S\Delta\theta \quad \dots\dots (2.2.5)$$

第3章 計算手順

第1節 最終安定温度の計算

ダムの最終安定温度は (2.1.6), (2.1.7) 式にて K, λ を求め (2.1.5) 式の形に示す。

第2節 断熱温度上昇の計算

一般にセメントの断熱温度上昇は τ

$$\tau = Q_c (1 - e^{-at})$$

にて表わされる。この時の断熱温度上昇は

$$Q = \frac{W_c \cdot Q_c}{C \cdot \rho} (1 - e^{-at})$$

にて表わされる。ここに W_c ; セメント使用量 Kg/m^3

C ; コンクリートの比熱 $\text{Kcal}/\text{Kg} \cdot ^\circ\text{C}$

ρ ; コンクリートの単位容積重量 Kg/m^3

Q_c ; セメントの総発熱量 Kcal/Kg

とする。(3.2.1)式よりコンクリートの断熱温度上昇を求める。

第3節 コンクリートの温度履歴計算

(i) 着目しているリフトが打設され二つ上のリフトが打設されるまでの期間

タイムインターバルは 1日

スペースインターバルは リフトの $\frac{1}{2}$

にとり Carlson の方法を鉛直方向に適用する。

パイプクリーニングを行なっている時は一番上のリフトは下半分だけがクリーニングの効果がき、上半分にはクリーニングの効果はないものとする。

岩盤上に打設するときは岩盤面から2倍のリフトだけ深く入った所の点を温度の変化しない点として (2.2.3) 式を適用して計算する。この場合にハーフリフトで打設されることがあるので、ハーフリフトを用いるかハーフリフトが何リフト行なわれるかについて入力により指示する。

リフト面に打設されるときは外気温に等しいリフト面に打設され、この面では熱の交

換は行なわれないうして計算し、3 リフト上のリフトに着目して履目を求める。

(iii) (i)の期間の後一次冷却終了までの期間

タイムインターバル 5 日

スペースインターバル ダムの厚さの $\frac{1}{10}$ ($L/10$)

この期間は Carlson の方法を水平方向に適用する。

その時の水平方向の温度分布は次のように仮定する。着目しているリフトの一つ上のリフトが打設される時には温度分布は水平方向に一様であるとし、その次のリフトが打設される時までの間上下流面が放置されていた状態での分布を示すものと仮定する。

即ち打設間隔を t_0 (i) の期間が終了した時の平均温度を θ_0 とすれば、

$$\theta = \frac{\pi \theta_0}{2} \frac{\sum_{n=1}^{\infty} \frac{e^{-\frac{(2n-1)^2 h^2 \pi}{L^2} t_0}}{(2n-1)} \sin \frac{(2n-1) \pi}{L} x}{\sum_{n=1}^{\infty} \frac{e^{-\frac{(2n-1)^2 h^2 \pi}{L^2} t_0}}{(2n-1)^2}} \dots\dots\dots (2.2.4)$$

を用いて各点の温度分布を計算する。この温度を出発点として Carlson の計算を行なう。なお断熱温度上昇は打設後 30 日間考慮している。

(iii) 自然放置期間

タイムインターバル 10 日

スペースインターバル ダムの厚さの $\frac{1}{10}$ ($L/10$)

(iv) 二次冷却期間

タイムインターバル 5 日

スペースインターバル ダムの厚さの $\frac{1}{10}$ ($L/10$)

第4章 記号の説明

第1節 入力データ

計算式の記号	プログラムの記号	説明	単位	整数・実数	備考
	N_1	計算すべき厚さの数		integer	<10
	N_2	打設開始月日の数		integer	<12
	H	リフト高さ	m	real	
	T	リフト打設の Time interval	日	real	
	T_1	一次冷却期間	日	real	
	T_2	二次冷却期間	日	real	
	T_3	二次冷却開始月日	月日	real	1月3日 103
h^2	F	熱拡散係数	m ² /day	real	
	$A1(1,1)$	岩盤上に打設する場合岩盤から1番目のリフトの高さ	m	real real	$H + \frac{1}{2}H + \frac{1}{2}H$ のみ取扱う

計算式の記号	プログラムの記号	説 明	単 位	整数・実数	備 考
	A1[2.1]	岩盤上に打設する場合岩盤から1番目のリフトの <i>time interval</i>	日	real real	
W_c	A2[1]	コンクリート単位容積当りセメント使用量	kg/m^3	real	
C	A2[2]	コンクリートの比熱	$\text{Kcal}/\text{kg}^\circ\text{C}$	real	
ρ	A2[3]	コンクリートの単位容積重量	kg/m^3	real	
Q_c	A2[4]	セメントの総発熱量	Kcal/kg	real	
m	A2[5]	セメントの断熱温度上昇の $Q_c(1-e^{-2})$ の m		real	
X	A3[1]	クーリング係数(1日)		real	
X	A3[2]	クーリング係数(5日)		real	
X	A3[3]	クーリング係数(10日)		real	
T	A4[1.1]	計算すべき厚さ	m	real	
A_0	A4[2.1]	各厚さでの貯水温の年平均温度	$^\circ\text{C}$	real	
A_1	A4[3.1]	各厚さでの貯水温の年変化の振幅	$^\circ\text{C}$	real	
δ_a	A4[4.1]	各厚さでの貯水温の年変化の位相の遅れ	日	real	
	A5[1.1]	打設月日	月日	real	外気温が低いとき+
	A5[2.1]	各打設月日における打設コンクリート温度と外気温との差	$^\circ\text{C}$	real	
Q_w	A6[1]	各月におけるクーリング水温	$^\circ\text{C}$	real	
B_0	A7[1]	外気温の年平均	$^\circ\text{C}$	real	
B_1	A7[2]	外気温の年変化の振幅	$^\circ\text{C}$	real	
δ_a	A7[3]	外気温の年変化の位相の遅れ	日	real	

第2節 出力データ

記 号	説 明	単 位	備 考
DATE	月 日		
F.T.	計算した日の最終安温度	$^\circ\text{C}$	
O	表面での温度(外気温に等しい)	$^\circ\text{C}$	これらは水平方向に Carlson の方法を適用した場合にのみ出力する。従って打設後10日間は出力しない。
1~5	内部温度	$^\circ\text{C}$	
M.T.	平均温度	$^\circ\text{C}$	
G.T.	温度勾配	$^\circ\text{C}/m$	(i) 打設後10日間では着目しているリフトの一番上の0点と次の下の点との間に直線分布と仮定して求めたもの。 (ii) それ以後は表面の点0と1点との間で直線分布と仮定して求めたもの。

第5章 入力データーの作製方法

入力データーについては前節に簡単に説明を加えたが、ここでは前節の説明では不充分と思われる二三について詳細に説明を加え、最後に入力データーシートについて説明を加えることにする。

第1節 熱拡散係数

コンクリートの温度履歴計算においてコンクリートの熱拡散係数の値は重要で、特に長い計算期間が必要となる二次冷却後の温度の推定、これにともなう冷凍プラントの容量の検討等においては極めて重要な数値となってくる。これに用いる数値は従来の計算例を参考にするか、実験値にもとづいて決められている。

ここで注意すべきことは、実際にはコンクリートの表面の温度は外気温、貯水温とは異っていて、逆に表面近くの空気、水の温度はコンクリートの温度に強く影響されているが、この計算では簡単のためにコンクリートの表面の温度は外気温、貯水温に等しいとして行なっている点である。このため、実験値又は実測値から求めた実際の熱拡散係数の値を用いると熱の移動が過大に計算される恐れがあり、従来の計算例からするとこの点を加味して実験値又は実測値より1～2割低目の値を用いるのがよいようである。

表-1は各ダムの計算に用いられた数値を示している。これらのうち鳴子ダム・大倉ダムは比較的大きな値が用いられているが、実際の施工に当ってはかなり計算よりは冷えにくかった。また川俣ダム、矢木沢ダムではかなり小さな値が用いられているが、実際の施工時の温度は計算値とはほぼ一致している。このことから一般に小さな値を用いた方が一致度はよいようであり、更に施工時に計算で予測したよりも冷えないときは色々な支障が出るので低目の値を用いた方が安全である。

第2節 クーリング係数

クーリング係数はパイプクーリングの効果を表わす係数で“Cooling of Dam” P131の Fig. 35 より求めるものである。この図を再掲すれば図-2の如くである。

この図からXの値を求めるには $\frac{h^2 t}{D^2}$ と $\frac{KL}{C_w \cdot \rho_w \cdot q_w}$ の数値が必要である。 h^2 はコンクリートの熱拡散係数、 t は日数又は時間、 D は一本のクーリングパイプが受け持つべきコンクリート円筒の直径である。

ここで問題になるのは D のとり方である。“Cooling of Dam”によればリフトの高さが H とするとパイプ間隔が $1.1547H$ の時にパイプが相互に正三角形になり、パイプの受持つ

表-1 各ダムの計算に用いられた熱拡散係数

ダム名	熱拡散係数
五十里ダム	0.096 m ² /day
上樵葉ダム	0.087 m ² /day
鳴子ダム	0.096 m ² /day
綾北ダム	0.112 m ² /day
室牧ダム	0.100 m ² /day
大倉ダム	0.096 m ² /day
湯田ダム	0.076 m ² /day
大鳥ダム	0.096 m ² /day
二瀬ダム	0.087 m ² /day
川俣ダム	0.067 m ² /day
矢木沢ダム	0.072 m ² /day
小渋ダム	0.072 m ² /day

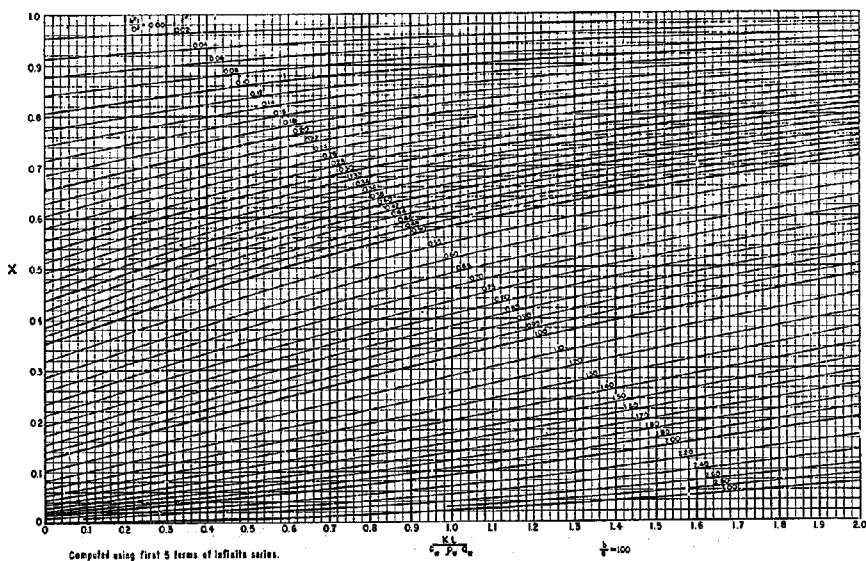


図 - 2 $X \sim \frac{KL}{C \omega \rho \omega q \omega}, \frac{h^2 t}{D^2}$ 曲線

円壩の直径は $D = 1.2125H$ となつてゐる。しかし一般にはパイプ間隔はこれとは異なる場合がほとんどであるので簡単のために、パイプ間隔が S のとき、パイプは二辺の長さが S 及び H の矩形柱を冷却すると考え、これと断面積が等しい円壩の直径を D として

$$D = 2\sqrt{\frac{H \cdot S}{\pi}} \dots (5.1)$$

により D を求めることを提唱する。この式によるとき "Cooling of Dam" で述べる。

$S = 1.1547H$ のとき

$$D = 1.212H$$

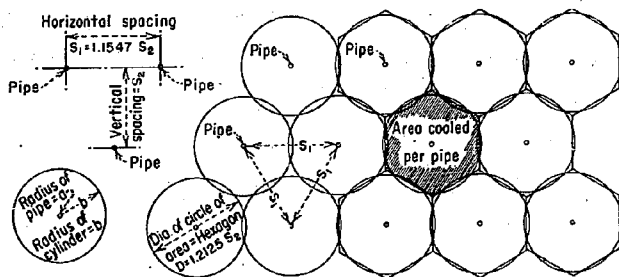


図-3 クーリングパイプ配置図

となり、パイプが正三角形をなすときも支障ない。また "Cooling of Dam" によるとクーリングパイプの径と上述のコンクリート円壩の径の比が 100 のとき、図-1 が作製されてゐるので、次式にもとづいて熱拡散係数を補正する必要があるとされている。

$$h^2_t = \frac{\log \cdot 100}{\log \cdot \left(\frac{D}{a}\right)} h^2 \quad \dots\dots\dots (5.2)$$

ここに a はパイプの径, h^2 はコンクリートの熱拡散係数とし, h^2_t は補正された熱拡散係数で, この値により $\frac{h^2_t \cdot t}{D^2}$ を求め, 図-2 から X をもとめる。

K はコンクリートの熱伝導率 ($Kcal/day \cdot m \cdot ^\circ C$), C_w は水の比熱 ($=1.0 Kcal/Kg \cdot ^\circ C$)
 ρ_w は水の密度 ($=1000.0 Kg/m^3$), q_w は冷却水の流量 (m^3/day) である。 L はパイプの長さ (m) である。

なお, パイプの長さはダムの厚さにより異ってくるので固定して考えるのは問題はあるが
 図-2 から明らかなように $\frac{KL}{C_w \cdot \rho_w \cdot Q_w}$ による X の値の変化は小さい。

従って平均の L をつかって X を求めてもさしつかえないと考えられる。

第3節 位相の遅れと貯水温

次項で述べる入力データシートではダムの厚さに対応して上流面の温度変化の振幅と, 位相の遅れを記入するようになっている。厚さに対応して標高が規定し得るので, このよう
 な入力データの組方をとったが, 貯水温の変化についてはダムの近傍ではダムの影響を受け貯水温も変化して
 いて, これについての実測データも極めてほしい。従ってこれらについては適当に仮定する以外はない。

一般に貯水池の深い所では水温は $4^\circ C$ で年間を通じて変化していないと云われている。しかし, 水深 $20 \sim 50 m$ までの部分をどのように仮定するかは, 従来の計算例もまちまちである。ある例では利用水深の部分を外気温と河水温の平均をとり, それ以下は熱伝導で水温変化を求めているものもあるが, 熱伝導により求めるときは深さと共に水温変化が急速に小さくなり, 対流があるときは不適當である。

従って深さと共に水温変化が直線的に小さくなるという仮定をとる例も多いが, この場合には水温変化の位相の遅れが決め難い。しかし一般には深い所程位相の遅れは大きくなる。

位相の遅れは外気温の場合も含めて,

最低温度が1月1日のとき	90.25 日
2月1日のとき	121.25 日
3月1日のとき	149.25 日

となるように記入する。

第4節 入力データシート

入力データシートは表-2 に示す通りである。尚下釜ダムの例を示せば表-3 の通りである。

表-2 入力データシート

NAME	=	= DAM
------	---	-------

N1	
N2	
H	
T	
T1	
T2	
T3	
F	

H OF LIFT ON ROCK	
1	
2	
3	
4	
5	
6	
TIME INTERV. ON ROCK	
1	
2	
3	
4	
5	
6	

THERML PROP.	
1	
2	
3	
4	
5	
COEF OF COOLING	
1	
2	
3	

	THICKNESS	TEMP. IN RESERVOIR		
		MEAN TEMP.	AMP. OF TEMP.	LAGE OF PHASE
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				

	DATE	EFFECT OF PRECOOL	TEMP OF COOLING WATER	
1			1	
2			2	
3			3	
4			4	
5			5	
6			6	
7			7	
8			8	
9			9	
10			10	
11			11	
12			12	

	AIR TEMP
1	
2	
3	

表-3 下釜ダム入力データー

NAME	= SHTMOUKE	= DAM
------	------------	-------

N1	10
N2	12
H	1.5
T	5.0
T1	30
T2	20
T3	12.01
F	0.072

H OF LIFT ON ROCK	
1	0.75
2	0.75
3	0.75
4	0.75
5	1.5
6	1.5
TIME INTERV. ON ROCK	
1	4.0
2	4.0
3	4.0
4	4.0
5	5.0
6	5.0

THERML PROP.	
1	173.0
2	0.22
3	2350.0
4	78.8
5	0.201
COEF OF COOLING	
1	0.975
2	0.900
3	0.820

	THICKNESS	TEMP. IN RESERVOIR		
		MEAN TEMP.	AMP. OF TEMP.	LAGE OF PHASE
1	5.0	15.2	10.7	115.0
2	8.6	10.7	5.5	166.0
3	13.4	7.4	2.75	167.0
4	16.5	5.7	1.4	169.0
5	20.4	4.0	0.0	0.0
6	24.9	4.0	0.0	0.0
7	28.0	4.0	0.0	0.0
8	32.0	4.0	0.0	0.0
9	42.0	4.0	0.0	0.0
10	52.0	4.0	0.0	0.0

	DATE	EFFECT OF PRECOOL		TEMP OF COOLING WATER		AIR TEMP
1	1.15	0.0	1	+5.8	1	15.2
2	2.15	0.0	2	+5.8	2	10.7
3	3.15	0.0	3	7.8	3	115.0
4	4.15	0.0	4	11.0		
5	5.15	0.0	5	11.0		
6	6.15	0.0	6	14.1		
7	7.15	0.0	7	16.3		
8	8.15	0.0	8	16.0		
9	9.15	0.0	9	13.4		
10	10.15	0.0	10	11.0		
11	11.15	0.0	11	11.0		
12	12.15	0.0	12	+7.8		

6. 出力データー

出力データーの例を示せば表-4の如くである。

表-4 出力データ

INPUT DATA

N1= 10

N2= 12

H= 1.5

T= 5.0

T1=30.0

T2=20.0

T3=12.01

F= 0.0720

HEIGHT OF LIFT ON ROCK

A1(1,1)

TIME INTERVAL ON ROCK

A1(2,1)

THERMAL PRGP.

A2(1)

COEFFICIENT OF COOLING

A3(1)

1 0.75

2 0.75

3 0.75

4 0.75

5 1.50

6 1.50

1 4.00

2 4.00

3 4.00

4 4.00

5 5.00

6 5.00

1 173.0000

2 0.2200

3 2350.0000

4 78.8000

5 0.2010

1 0.900

2 0.575

3 0.332

THICKNESS

A4(1,1)

TEMP. OF RESERVOIR

MEAN TEMP. AMP. OF TEMP. LAGE OF PHASE

A4(2,1)

A4(3,1)

A4(4,1)

1 5.00

2 8.60

3 13.40

4 16.50

5 20.40

6 24.90

7 28.00

8 32.00

9 42.00

10 52.00

15.20

10.70

7.40

5.70

4.00

4.00

4.00

4.00

4.00

4.00

10.70

5.50

2.75

1.40

0.00

0.00

0.00

0.00

0.00

0.00

0.00

115.00

166.00

167.00

169.00

0.00

0.00

0.00

0.00

0.00

0.00

DATE

A5(1,1)

EFFECT OF PRE COOL

A5(2,1)

TEMP. OF COOLING WATER

A6(1)

1 1.15

2 2.15

3 3.15

4 4.15

5 5.15

6 6.15

7 7.15

8 8.15

9 9.15

10 10.15

11 11.15

12 12.15

0.00

0.00

0.00

0.00

0.00

0.00

0.00

0.00

0.00

0.00

0.00

5.80

5.80

7.80

11.00

11.00

14.10

16.30

16.00

13.40

11.00

11.00

7.80

AIR TEMP.

A7(1)

1 15.20

2 10.70

3 115.00

THICKNESS= 5.00 M

FINAL STABLE TEMPERATURE

$$T = 15.2 + 9.2 \sin(6.28/365.0(T-140.4))$$

DATE	F.T.	PLACED ON CONCRETE								PLACED ON ROCK								M.T.	G.T.
		0	1	2	3	4	5	M.T.	G.T.	0	1	2	3	4	5	M.T.	G.T.		
1.15	7.5							4.6	0.000							4.6	0.000		
1.16	7.4							9.1	13.742							9.1	14.930		
1.17	7.3							11.8	18.852							10.6	21.136		
1.18	7.3							13.3	21.684							11.0	22.582		
1.19	7.2							14.1	22.742							10.8	21.653		
1.20	7.1							14.3	22.705							12.5	-0.303		
1.21	7.0							15.0	-0.098							13.8	1.169		
1.22	7.0							15.6	0.166							14.5	-0.322		
1.23	6.9							15.9	-2.860							14.7	0.708		
1.24	6.8							16.0	-3.071							14.7	0.761		
1.25	6.7							15.9	-3.415							14.5	0.111		
1.30	6.5	4.5	8.2	11.6	13.7	14.6	14.7	11.6	7.430	4.5	8.0	11.1	13.0	13.7	13.9	11.0	6.997		
2.04	6.2	4.6	7.1	8.7	10.0	10.8	11.1	8.9	5.119	4.6	7.0	8.5	9.6	10.4	10.7	8.6	4.866		
2.09	6.1	4.7	6.1	7.2	8.0	8.4	8.5	7.2	2.704	4.7	6.0	7.1	7.8	8.2	8.3	7.1	2.598		
2.14	6.0	4.9	5.7	6.3	6.8	7.0	7.1	6.4	1.639	4.9	5.7	6.3	6.7	7.0	7.0	6.3	1.572		
2.24	6.0	5.2	5.5	6.0	6.3	6.6	6.7	6.1	0.680	5.2	5.5	5.9	6.3	6.5	6.6	6.0	0.641		
3.06	6.3	6.0	5.9	6.0	6.1	6.2	6.3	6.1	-0.185	6.0	5.9	5.9	6.1	6.2	6.2	6.1	-0.221		
3.16	6.9	7.1	6.6	6.3	6.2	6.2	6.2	6.4	-1.066	7.1	6.5	6.3	6.2	6.1	6.1	6.3	-1.090		
3.26	7.7	8.4	7.5	6.9	6.5	6.4	6.3	6.9	-1.870	8.4	7.5	6.9	6.5	6.3	6.3	6.9	-1.890		
4.05	8.7	9.9	8.6	7.7	7.2	6.8	6.8	7.7	-2.642	9.9	8.6	7.7	7.1	6.8	6.7	7.7	-2.655		
4.15	9.9	11.6	9.9	8.8	8.0	7.6	7.4	8.8	-3.317	11.6	9.9	8.8	8.0	7.6	7.4	8.7	-3.328		
4.25	11.3	13.4	11.4	10.0	9.1	8.5	8.3	10.0	-3.902	13.4	11.4	10.0	9.0	8.5	8.3	10.0	-3.910		
5.05	12.8	15.2	13.0	11.4	10.3	9.7	9.5	11.3	-4.364	15.2	13.0	11.4	10.3	9.7	9.4	11.3	-4.370		
5.15	14.3	17.0	14.7	12.9	11.7	11.0	10.7	12.8	-4.700	17.0	14.7	12.9	11.7	11.0	10.7	12.8	-4.704		
5.25	15.9	18.8	16.4	14.5	13.2	12.4	12.2	14.4	-4.894	18.8	16.4	14.5	13.2	12.4	12.2	14.4	-4.897		
6.04	17.5	20.5	18.0	16.1	14.7	13.9	13.7	16.0	-4.944	20.5	18.0	16.1	14.7	13.9	13.7	16.0	-4.946		
6.14	19.0	22.0	19.6	17.7	16.3	15.5	15.2	17.5	-4.846	22.0	19.6	17.7	16.3	15.5	15.2	17.5	-4.848		
6.24	20.4	23.3	21.0	19.2	17.9	17.1	16.8	19.0	-4.606	23.3	21.0	19.2	17.9	17.1	16.8	19.0	-4.607		
7.04	21.6	24.4	22.3	20.6	19.3	18.6	18.3	20.4	-4.229	24.4	22.3	20.6	19.3	18.5	18.3	20.4	-4.230		
7.14	22.7	25.2	23.3	21.8	20.7	19.9	19.7	21.6	-3.726	25.2	23.3	21.8	20.7	19.9	19.7	21.6	-3.727		
7.24	23.5	25.7	24.1	22.8	21.8	21.2	21.0	22.7	-3.114	25.7	24.1	22.8	21.8	21.2	21.0	22.7	-3.114		
8.03	24.1	25.9	24.7	23.6	22.8	22.3	22.1	23.5	-2.409	25.9	24.7	23.6	22.8	22.3	22.1	23.5	-2.410		
8.13	24.4	25.8	25.0	24.2	23.6	23.2	23.0	24.1	-1.633	25.8	25.0	24.2	23.6	23.2	23.0	24.1	-1.634		
8.23	24.4	25.3	24.9	24.5	24.1	23.8	23.7	24.4	-0.809	25.3	24.9	24.5	24.1	23.8	23.7	24.4	-0.809		
9.02	24.2	24.6	24.6	24.5	24.3	24.2	24.1	24.4	0.039	24.6	24.6	24.5	24.3	24.2	24.1	24.4	0.039		
9.12	23.7	23.6	24.0	24.2	24.3	24.3	24.2	24.2	0.887	23.6	24.0	24.2	24.3	24.3	24.2	24.2	0.886		
9.22	23.0	22.3	23.2	23.7	24.0	24.1	24.2	23.7	1.708	22.3	23.2	23.7	24.0	24.1	24.2	23.7	1.708		
10.02	22.0	20.9	22.1	22.9	23.5	23.7	23.8	22.9	2.478	20.9	22.1	22.9	23.5	23.7	23.8	22.9	2.478		
10.12	20.8	19.2	20.8	21.9	22.7	23.1	23.2	21.9	3.175	19.2	20.8	21.9	22.7	23.1	23.2	21.9	3.175		
10.22	19.5	17.5	19.4	20.7	21.6	22.2	22.3	20.8	3.779	17.5	19.4	20.7	21.6	22.2	22.3	20.8	3.779		
11.01	18.0	15.7	17.8	19.4	20.4	21.1	21.3	19.4	4.271	15.7	17.8	19.4	20.4	21.1	21.3	19.4	4.271		
11.11	16.5	13.8	16.1	17.9	19.1	19.8	20.0	18.0	4.636	13.8	16.1	17.9	19.1	19.8	20.0	18.0	4.636		
11.21	14.9	12.0	14.5	16.3	17.6	18.4	18.6	16.4	4.865	12.0	14.5	16.3	17.6	18.4	18.6	16.4	4.865		
12.01	13.3	10.3	12.8	14.7	16.1	16.9	17.1	14.8	4.949	10.3	12.8	14.7	16.1	16.9	17.1	14.8	4.949		
12.06	12.5	8.8	10.1	11.2	11.9	12.4	12.6	11.2	2.642	8.8	10.1	11.2	11.9	12.4	12.6	11.2	2.642		
12.11	11.8	8.1	8.8	9.4	9.8	10.1	10.2	9.5	1.518	8.1	8.8	9.4	9.8	10.1	10.2	9.5	1.518		
12.16	11.1	7.4	8.1	8.5	8.8	8.9	9.0	8.5	1.360	7.4	8.1	8.5	8.8	8.9	9.0	8.5	1.360		
12.21	10.4	6.8	7.5	8.0	8.2	8.3	8.3	7.9	1.488	6.8	7.5	8.0	8.2	8.3	8.3	7.9	1.488		

7 プログラム

***JOB(A033001)-END/INCOMPLETE LVL-2;15-57

NO EXECUTE

START TIME 15.56
TOTAL TIME 1MIN

CURRENT STATUS
LEVEL1: ,NQ
LEVEL2: ,NQ
LEVEL3: ,NQ

```

begin external PRINTF,PRINTI,PRINTS,PRINTA,SPACE,CRLF,PRISF,PRISI,PRISIGN;
integer I,J,K,L,M,N,P,Q,R,A1,A2,A3,A4,A5,A6,A7,A8,A9,A10,A11,A12,A13,A14,A15,A16,A17,A18,A19,A20,A21,A22,A23,A24,A25,A26,A27,A28,A29,A30,A31,A32,A33,A34,A35,A36,A37,A38,A39,A40,A41,A42,A43,A44,A45,A46,A47,A48,A49,A50,A51,A52,A53,A54,A55,A56,A57,A58,A59,A60,A61,A62,A63,A64,A65,A66,A67,A68,A69,A70,A71,A72,A73,A74,A75,A76,A77,A78,A79,A80,A81,A82,A83,A84,A85,A86,A87,A88,A89,A90,A91,A92,A93,A94,A95,A96,A97,A98,A99,A100;
real H,T,T1,T2,T3,F,D,DA,D2,B,B1,B2,B3,B4,B5,B6,B7,B8,C,C1,C2,C3,LD,TD,X,SS;
integer array G1[1:2,1:6],G2[1:2,0:6],G3[1:3,1:2],G4[1:3,1:2],G5[1:3,1:2];
array A1[1:2,1:6],A2[1:5],A3[1:3],A4[1:4,1:10],A5[1:2,1:12],A6[1:12],A7[1:3],E[1:30],
D1[1:4],E1[0:30],E2[1:8],E3[1:30,1:8],E4[1:30],E5[1:8],E6[0:32,0:8],E7[1:2,1:2,0:16],E8[1:2,0:
procedure READI1(A1,A2,MA1);
value A1,A2; integer A1,A2; array MA1;
begin integer I;
for I=A1 step 1 until A2 do
READ(MA1[I]);
end;
procedure READI2(A1,A2,A3,A4,MA2);
value A1,A2,A3,A4; integer A1,A2,A3,A4; array MA2;
begin integer I,J;
for I=A1 step 1 until A2 do
for J=A3 step 1 until A4 do
READ(MA2[I,J]);
end;
procedure DATE1(DA1,DA2);
value DA1; real DA1,DA2;
begin real G;
if DA1<13.0 then G=0.0 else if DA1<25.0 then G=1.0 else G=2.0;
if DA1-G*12.0<2.0 then DA2=(DA1-FIX(DA1))*100.0+G*365.0 else
if DA1-G*12.0<3.0 then DA2=(DA1-FIX(DA1))*100.0+31.0+G*365.0 else
if DA1-G*12.0<4.0 then DA2=(DA1-FIX(DA1))*100.0+59.0+G*365.0 else
if DA1-G*12.0<5.0 then DA2=(DA1-FIX(DA1))*100.0+90.0+G*365.0 else
if DA1-G*12.0<6.0 then DA2=(DA1-FIX(DA1))*100.0+120.0+G*365.0 else
if DA1-G*12.0<7.0 then DA2=(DA1-FIX(DA1))*100.0+151.0+G*365.0 else
if DA1-G*12.0<8.0 then DA2=(DA1-FIX(DA1))*100.0+181.0+G*365.0 else
if DA1-G*12.0<9.0 then DA2=(DA1-FIX(DA1))*100.0+212.0+G*365.0 else
if DA1-G*12.0<10.0 then DA2=(DA1-FIX(DA1))*100.0+243.0+G*365.0 else
if DA1-G*12.0<11.0 then DA2=(DA1-FIX(DA1))*100.0+273.0+G*365.0 else
if DA1-G*12.0<12.0 then DA2=(DA1-FIX(DA1))*100.0+304.0+G*365.0 else
DA2=(DA1-FIX(DA1))*100.0+334.0+G*365.0;
end;
procedure DATE2(DA1,DA2);
value DA1; real DA1,DA2;
begin real G;
G=FLOAT(FIX(DA1/365.0));
if DA1-G*365.0<32.0 then DA2=(DA1-G*365.0)/100.0+1.0 else
if DA1-G*365.0<60.0 then DA2=(DA1-31.0-G*365.0)/100.0+2.0 else
if DA1-G*365.0<91.0 then DA2=(DA1-59.0-G*365.0)/100.0+3.0 else
if DA1-G*365.0<121.0 then DA2=(DA1-90.0-G*365.0)/100.0+4.0 else
if DA1-G*365.0<152.0 then DA2=(DA1-120.0-G*365.0)/100.0+5.0 else
if DA1-G*365.0<182.0 then DA2=(DA1-151.0-G*365.0)/100.0+6.0 else
if DA1-G*365.0<213.0 then DA2=(DA1-181.0-G*365.0)/100.0+7.0 else
if DA1-G*365.0<244.0 then DA2=(DA1-212.0-G*365.0)/100.0+8.0 else

```

```

if DA1-G*365.0<274.0 then DA2=(DA1-243.0-G*365.0)/100.0+9.0 else
if DA1-G*365.0<305.0 then DA2=(DA1-273.0-G*365.0)/100.0+10.0 else
if DA1-G*365.0<335.0 then DA2=(DA1-304.0-G*365.0)/100.0+11.0 else
DA2=(DA1-334.0-G*365.0)/100.0+12.0;
end;
procedure SINH(H1,H2);
value H1; real H1,H2;
begin H2=0.5*(EXP(H1)-EXP(0.0-H1));
end;
procedure COSH(H1,H2);
value H1; real H1,H2;
begin
H2=0.5*(EXP(H1)+EXP(0.0-H1));
end;
procedure CARLSON(P,Q,R,F,LD,TD,X,E1,E2,E3,E4,E5,E6);
value P,Q,R,F,LD,TD,X; integer P,Q,R; real LD,TD,F,X;
array E1,E2,E3,E4,E5,E6;
begin real S,SS; array W1(0:24),W2(0:24),W3(0:24); integer I,J;
S=LD/2/(F*TD); SS=0.0;
for J=0 step 1 until P do
begin
E6(J,0)=E1(J); SS=SS+E1(J);
end;
E6(P+1,0)=(SS-0.5*(E1(0)+E1(P)))/P;
E6(P+2,0)=(E1(1)-E1(P))/LD;
for I=1 step 1 until Q do
begin E6(0,I)=E2(I); SS=E2(I);
for J=P step -1 until 1 do
begin if J=P then
begin W1(J)=1.0/(S+1.0);
W2(J)=2.0*E6(J-1,I-1)+2.0*(S-1.0)*E6(J,I-1)+2.0*S*(E3(J,I)-(1.0-X)*E4(J)*(E6(J,I-1)-E5(I)));
if R=1 then W3(J)=0.5*W1(J)*W2(J) else
W3(J)=E6(J,I-1)*(1.0-W1(J));
end else
begin W1(J)=1.0/(2.0*(S+1.0)-W1(J+1));
W2(J)=E5(J+1,I-1)+E6(J-1,I-1)+2.0*(S-1.0)*E6(J,I-1)+2.0*S*(E3(J,I)-(1.0-X)*E4(J)*(E6(J,I-1)-E5(I)));
W3(J)=(W3(J+1)+W2(J))*W1(J);
end;
end;
SS=E6(0,I);
for J=1 step 1 until P do
begin E6(J,I)=E6(J-1,I)+W1(J)*W3(J); SS=SS+E6(J,I);
end;
E6(P+1,I)=(SS-0.5*(E6(0,I)+E6(P,I)))/P;
E6(P+2,I)=(E6(1,I)-E6(0,I))/LD;
end;
end;
READ(AL1,AL2); READ(N1,N2,H,T,T1,T2,T3,F); READI2(1,2,1,6,A1);
READI1(1,5,A2); READI1(1,3,A3); READI2(1,4,1,N1,A4);
READI2(1,2,1,N2,A5); READI1(1,12,A6); READI1(1,3,A7);

```

```

SPACE(36); PRINTA(AL1); SPACE(1); PRINTA(AL2);
CRLF(1);
SPACE(15); PRINTS('N1='); PRINTI(2,N1); SPACE(2); PRINTS('N2=');
PRINTI(2,N2); SPACE(2); PRINTS('H='); PRINTF(1.1,H); SPACE(2);
PRINTS('T='); PRINTF(1.1,T); SPACE(2); PRINTS('T1=');
PRINTF(2.1,T1); SPACE(2); PRINTS('T2='); PRINTF(2.1,T2); SPACE(2);
PRINTS('T3='); PRINTF(2.1,T3); SPACE(2); PRINTS('F='); PRINT(1.4,F); CRLF(1);
SPACE(16); PRINTS('HEIGHT*OF*LIFT*ON*ROCK*****TIME*INTERVAL*ON*
ROCK*****THERMAL*PROP*****COEFFICIENT*OF*COOLING'); CRLF(1);
for I=1 step 1 until 3 do
begin
SPACE(19); PRINTI(1,I); SPACE(1); PRINTF(1.2,A1[1,I]); SPACE(17);
PRINTI(1,I); PRINTF(2.2,A2[2,I]); SPACE(10); PRINTI(1,I);
PRINTF(4.4,A2[1]); SPACE(5); PRINTI(1,I); PRINTF(2.3,A3[1]); CRLF(1);
end;
for I=4 step 1 until 5 do
begin
SPACE(19); PRINTI(1,I); SPACE(1); PRINTF(1.2,A1[1,I]); SPACE(17);
PRINTI(1,I); PRINTF(2.2,A2[2,I]); SPACE(10); PRINTI(1,I);
PRINTF(4.4,A2[1]); CRLF(1);
end;
SPACE(21); PRINTS('6'); SPACE(2); PRINTF(1.2,A1[1,6]); SPACE(19);
PRINTS('6'); PRINTF(3.2,A2[2,1]); CRLF(3);
SPACE(20); PRINTS('THICKNESS'); SPACE(14); PRINTS('TEMP.*OF*RESERVOIR'); CRLF(1);
SPACE(33); PRINTS('MEAN*TEMP.**AMP.*OF*TEMP.**LAGE*OF*OF*PHASE'); CRLF(1);
for I=1 step 1 until N1 do
begin
SPACE(18); PRINTI(2,I); PRINTF(4.2,A4[1,I]); SPACE(5); PRINTF(2.2,A4[2,I]);
SPACE(5); PRINTF(2.2,A4[3,I]); SPACE(5); PRINTF(3.1,A4[4,I]); CRLF(1);
end; CRLF(2);
SPACE(20); PRINTS('DATE'); SPACE(7); PRINTS('EFFECT*OF*PRECOOL***TEMP.*OF*
COOLING*WATER'); CRLF(1);
for I=1 step 1 until N2 do
begin
SPACE(13); PRINTI(2,I); PRINTF(2.2,A5[1,I]); SPACE(9); PRINTF(2.2,A5[2,I]);
SPACE(19); PRINTF(2.2,A6[1]); CRLF(1);
end;
if N2<12 then
for I=N2 step 1 until 12 do
begin SPACE(13); PRINTI(2,I);
SPACE(44); PRINTF(2.2,A6[1]); CRLF(1);
end; CRLF(2);
SPACE(20); PRINTS('AIR*TEMP.'): CRLF(1);
for I=1 step 1 until 3 do
begin SPACE(14); PRINTI(1,I); PRINTF(4.2,A7[1]); CRLF(1);
end;
PRINT('t');
for I=1 step 1 until N1 do
begin
SPACE(36); PRINTS('THICKNESS='); PRINTF(3.2,A4[1,I]); PRINTS('M'); CRLF(2);
B=A4[1,I]*SQRT(3.1415927/(365.0*F)); SINH(B,B1); COSH(B,B2);
B3=SIN(B); B4=COS(B); B5=SIN(6.2831853*A4[4,I]/365.0);
B6=COS(6.2831853*A4[4,I]/365.0); B7=SIN(6.2831853*A7[1]/365.0);

```

103
104
105
106
107
108
109
110
111
112
113
114
115
116
117
118
119
120
121
122
123
124
125
126
127
128
129
130
131
132
133
134
135
136
137
138
139
140
141
142
143
144
145
146
147
148
149
150
151
152
153
154
155

```

B8=COS(6.2831853*A7(3)/365.0); C1=0.5*(A4(2,I)+A7(1));
C2=SQR(2.0*(A4(3,I)+A7(2)+2.0*A4(3,I)*A7(2)*COS(6.2831853*(A4(4,I)-A7(3))/365.0));
C3=(-365.0/6.2831853)*ARCTAN(((A4(3,I)+B5+A7(2)+B7)*(B1+B3)+(A4(3,I)*
B5+A7(2)+B8)*(B1-B3))/((A4(3,I)+B6+A7(2)+B8)*(B1+B3)-(A4(3,I)+B5+A7(2)+B7)*(B1-B3)));
if C3=0 then C3=C3-182.5;
PRINT(''); SPACE(30); PRINTS('FINAL'); SPACE(1); PRINTS('STABLE'); SPACE(1);
PRINTS('TEMPERATURE'); CRLF(2);
SPACE(26); PRINTS('T='); PRINTF(2.1,C1); PRISIGN(C2);
PRISF(2.1,C2); PRINTS('SIN(6.28/365.0*T)'); PRISIGN(C3);
PRISF(3.1,C3); PRINTS(''); CRLF(1);
DATE1(T3,D); D1(3)=D; D1(4)=D+T2;
for J=1 step 1 until N2 do
begin
D=A5(1,J); DATE1(D,DA); D1(1)=DA; D1(2)=DA+T1;
if D1(2)>D1(3) then begin D1(3)=D1(3)+365.0; D1(4)=D1(4)+365.0;
end;
if D1(3)-D1(2)>365.0 then
begin D1(3)=D1(3)-365.0;
D1(4)=D1(4)-365.0;
end;
for K=1 step 1 until 50 do
E1K1=A2(1)+A2(4)*(EXP(0.0-A2(5)*(K-1))-EXP(0.0-A2(5)*K))/(A2(2)+A2(3));
PRINT(''); SPACE(30); PRINTS('PLACED'); SPACE(1); PRINTS('ON');
SPACE(1); PRINTS('CONCRETE'); SPACE(32); PRINTS('PLACED');
SPACE(1); PRINTS('ON'); SPACE(1); PRINTS('ROCK'); CRLF(1);
SPACE(3); PRINTS('DATE'); SPACE(3); PRINTS('F-T. ');
for K=0 step 1 until 5 do
begin PRINT(1,K); SPACE(2);
end;
SPACE(2); PRINTS('M.T. '); SPACE(2); PRINTS('C-T. '); CRLF(1);
R=1; Q=FIX(T);
for K=1 step 1 until 4 do
begin
P=6*K;
for M=1 step 1 until Q do
E2(M)=A7(1)+A7(2)*SIN(6.2831583*(D1(1)-(3-K)*Q+M-A7(3))/365.0);
for M=0 step 1 until 6 do
E1(M)=A7(1)+A7(2)*SIN(6.2831583*(D1(1)-(3-K)*Q-A7(3))/365.0)+A5(2,J);
if K=1 then
for M=7 step 1 until 6*K do
E1(M)=E6(M-6,Q);
for M=1 step 1 until K do
for N=1 step 1 until Q do
for L=1 step 1 until 6 do
E3(L+6*(M-1),N)=E1(N+Q*(M-1));
for L=1 step 1 until 2 do E4(L)=0.0; E4(3)=0.5;
for L=4 step 1 until 6*K do E4(L)=1.0;
for L=1 step 1 until Q do
begin
D=D1(1)-(3-K)*Q+L; DATE2(D,DA); M=FIX(DA); E5(L)=A6(M);
end;

```

156
157
158
159
160
161
162
163
164
165
166
167
168
169
170
171
172
173
174
175
176
177
178
179
180
181
182
183
184
185
186
187
188
189
190
191
192
193
194
195
196
197
198
199
200
201
202
203
204
205
206
207
208

```

L0=H/6.0; TD=1.0; X=A3[1]; CARLSON(P,Q,R,F,LD,TD,X,E1,E2,E3,E4,E5,E6);
if K>2 then
begin
for M=0 step 1 until Q do
begin SS=0.0;
for L=6*(K-3) step 1 until 6*(K-2) do
SS=SS+E6[L,M];
E7[1,1,M+Q*(K-3)]=(SS-0.5*(E6[6*(K-3),M]+E6[6*(K-2),M]))/6.0;
E7[1,2,M+Q*(K-3)]=(E6[6*(K-3)+1,M]-E6[6*(K-3),M])/LD;
end;
end;
end;
R=2; G2[1,0]=12; G2[2,0]=0;
for K=1 step 1 until 6 do
begin
if H/A1[1,K]=1.0 then G1[1,K]=6;
if H/A1[1,K]=2.0 then G1[1,K]=3;
if H/A1[1,K]=3.0 then G1[1,K]=2;
G1[2,K]=FIX(A1[2,K]); G2[1,K]=G2[1,K-1]+G1[1,K];
G2[2,K]=G2[2,K-1]+G1[2,K];
for L=1 step 1 until Q do
E2[L]=A7[1]+A7[2]*SIN(6.2831853*(D1[1]+G2[2,K-1]+L-A7[3])/365.0);
for L=0 step 1 until G1[1,K] do
E1[L]=A7[1]+A7[2]*SIN(6.2831853*(D1[1]+G2[2,K-1]-A7[3])/365.0)+A5[2,J];
if K=1 then
for L=G1[1,K]+1 step 1 until G2[1,K] do
E1[L]=A7[1] else
for L=G1[1,K]+1 step 1 until G2[1,K] do
E1[L]=E6[L-G1[1,K],G1[2,K-1]];
for L=1 step 1 until K do
for M=G2[1,K]-G2[1,K-L]+1 step 1 until G2[1,K]-G2[1,K-L] do
for N=1 step 1 until G1[2,K] do
E3[M,N]=E1[G2[2,L-1]+N];
for L=G2[1,K]-G2[1,0]+1 step 1 until G2[1,K] do
for M=1 step 1 until G1[2,K] do
E3[L,M]=0.0;
if H/A1[1,K]=1.0 then
begin
E4[1]=0.0; E4[2]=0.0;
E4[3]=0.5; E4[4]=1.0; E4[5]=1.0;
end;
if H/A1[1,K]=2.0 then
begin E4[1]=0.0; E4[2]=1.0;
end;
if H/A1[1,K]=3.0 then E4[1]=0.5;
for L=G1[1,K] step 1 until G2[1,K]-G2[1,0] do
E4[L]=1.0;
for L=G2[1,K]-G2[1,0]+1 step 1 until G2[1,K] do
E4[L]=0.0;
for L=1 step 1 until G1[2,K] do
begin
D=D1[1]+G2[2,K-1]+L; DATE2(D,DA); M=FIX(DA); E5[L]=A6[M];
end;

```

209
210
211
212
213
214
215
216
217
218
219
220
221
222
223
224
225
226
227
228
229
230
231
232
233
234
235
236
237
238
239
240
241
242
243
244
245
246
247
248
249
250
251
252
253
254
255
256
257
258
259
260
261

```

P=G2[1,K1]; Q=G1[2,K1]; CARLSON(P,Q,R,F,LD,TD,X,E1,E2,E3,E4,E5,E6);
for M=0 step 1 until G1[2,K1] do
begin
SS=0.0;
for L=G2[1,K1]-12-G1[1,1] step 1 until G2[1,K1]-12 do
SS=SS+E6[L,M];
E7[2,1,M+G2[2,K-1]]=(SS-0.5*(E6[G2[1,K1]-12-G1[1,1],M]
+E6[G2[1,K1]-12,M]))/G1[1,1];
E7[2,2,M+G2[2,K-1]]=(E6[G2[1,K1]-11-G1[1,1],M]
-E6[G2[1,K1]-12-G1[1,1],M])/LD;
end;
if G2[2,K1]>2*FIX(T) then go to L1;
end;
L1: P=FIX(T);
for K=0 step 1 until 1.2*P do
begin D=D1[1]+FLOAT(K); DATE2(D,DA);
C=C1+C2*SIN(5.2831853*(D+C3)/365.0);
SPACE(3); PRISF(2.2,DA); PRINTF(2.1,C); SPACE(35); PRINTF(2.1,E7[1,1,K]);
PRISGN(E7[1,2,K]); PRISF(2.3,E7[1,2,K]); SPACE(36);
PRINTF(2.1,E7[2,1,K]); PRISGN(E7[1,2,K]); PRISF(2.3,E7[2,2,K]); CRLF(1);
end;
for K=1 step 1 until 2 do
begin
for L=0 step 1 until 5 do
begin
B1=0.0; B2=0.0;
for M=1 step 1 until 100 do
begin
B1=B1*EXP(0.0-(2.0*M-1.0)*2*F*3.1415927*T/(A4[1,1]+2))*SIN((2.0*M-1.0)*3.1415927*L/10.0
(2.0*M-1.0));
B2=B2*EXP(0.0-(2.0*M-1.0)*2*F*3.1415927*T/(A4[1,1]+2))/((2.0*M-1.0)*2);
end;
B3=A7[1]+A7[2]*SIN(6.2831853*(D1[1]+2*T-A7[3])/365.0);
E8[K,L]=B3+1.5707963*(E7[K,1,2*T]-B3)*B1/B2;
end;
end; B=2.0*T;
G3[1,2]=FIX((T1-2.0*T)/5.0); G3[1,1]=FIX(T1-2.0*T)-G3[1,2]*5;
G3[2,2]=FIX((D1[3]-D1[2])/10.0);
G3[2,1]=FIX(D1[3]-D1[2])-G3[2,2]*10;
G3[3,2]=FIX((D1[4]-D1[3])/5.0);
G3[3,1]=FIX(D1[4]-D1[3])-G3[3,2]*5;
G4[1,1]=2*FIX(T); G4[1,2]=G4[1,1]+G3[1,1];
G4[2,1]=G4[1,2]+G3[1,2]*5; G4[2,2]=G4[2,1]+G3[2,1];
G4[3,1]=G4[2,2]+G3[2,2]*10; G4[3,2]=G4[3,1]+G3[3,1];
G5[1,1]=1; G5[1,2]=5; G5[2,1]=1; G5[2,2]=10; G5[3,1]=1; G5[3,2]=5;
for K=1 step 1 until 3 do
begin
for L=1 step 1 until 2 do
begin if G3[K,L]#0 then
begin
for M=1 step 1 until G3[K,L] do
begin
for N=1 step 1 until 2 do

```

```

begin
  for R=0 step 1 until 5 do
    E1(R)=E8(N,R);
    E2(1)=A7(1)+A7(2)*SIN(6.2831853*(D1(1)+FLOAT(G4(K,L)+(M-1)*G5(K,L))-A7(3))/365.0);
    for P=1 step 1 until 5 do
      begin
        E3(P,1)=0.0;
        for Q=1 step 1 until G5(K,L) do
          if G4(K,L)+(M-1)*G5(K,L)+Q<30 then
            E3(P,1)=E1G4(K,L)+(M-1)*G5(K,L)+Q+E3(P,1);
          if K=1V K=5 then E4(P)=1.0 else E4(P)=0.0;
        end;
        D=D1(1)+FLOAT(G4(K,L)+(M-1)*G5(K,L)); DATE2(D,DA);
        R=FIX(DA);
        for P=1 step 1 until 5 do E5(P)=A6(R);
        TD=FLOAT(G5(K,L)); LD=A4(1,1)/10.0; P=5; Q=1; R=1;

        if TD=1.0 then X=A3(1);
        if TD=5.0 then X=A3(2);
        if TD=10.0 then X=A3(3);
        CARLSON(P,Q,R,F,LD,TD,X,E1,E2,E3,E4,E5,E6);
        for R=0 step 1 until 7 do
          E8(N,R)=E6(R,1);
        end;
        D=D+FLOAT(G5(K,L)); DATE2(D,DA);
        C=C1+C2*SIN(6.2831853*(D+C3)/365.0);
        SPACE(3); PRISF(2.2,DA); PRINTF(2.1,C);
        for N=1 step 1 until 2 do
          begin
            for R=0 step 1 until 6 do
              begin
                PRISGN(E8(N,R)); PRISF(2.1,E8(N,R)); SPACE(1);
              end;
              PRISGN(E8(N,7)); PRISF(2.3,E8(N,7)); SPACE(1);
            end;
            CRLF(1); B=B+1.0;
            if B=50.0 v B=100.0 then
              begin
                PRINT(' ');
                SPACE(30); PRINTS('PLACED*ON*CONCRETE'); SPACE(32);
                PRINTS('PLACED*ON*ROCK'); CRLF(1);
                PRINTS('***DATE***F-I.***');
                for N=0 step 1 until 5 do
                  begin
                    PRINT(1,N); SPACE(2);
                  end;
                  PRINTS('***M.T.*G.T.*');
                  for N=0 step 1 until 5 do
                    begin
                      PRINT(1,N); SPACE(2);
                    end;
                    SPACE(2); PRINTS('M.T.*G.T.*'); CRLF(1);
                  end;
                end;
              end;
            end;
          end;
        end;
      end;
    end;
  end;
end;

```

end;
end;

367
368
TM

1