

られない。

衝撃反力の大きさは、輪荷重、速度、タイヤの種類とその装備状態、路面のこぼこの度によつて変化する。又輪荷重の増加と共に増すが静荷重に対する割合で求めると必ずしも単位圧力が増加するわけではない。衝撃は衝突反力と落下反力とに分けられるが、実測結果では最大値は80km/h附近で現われ、静荷重の約300%を示している。大体の標準は表-2の如くである。

表-2

補修必須の路面	300%	路面粗度の大きいとき	200%
普通の舗装路面	150%	良好な舗装路面	110~120%

従つて路盤の支持力の要求度は、交通車両の種類、舗装構造とその外力に対する抵抗力の大きさなどによつて変化することは当然である。即ちコンクリート舗装では特に均等なる支持力を、硬質アスファルト舗装

では稍大きくしかも均等なる支持力を、軟質アスファルトおよび簡易舗装では大きい支持力をとつて要求する内容もまた変る。勿論強くしかも均等であることは最も望ましいことであるが、経済事情はしかく簡単にこれを解決してくれない所に最小の要求において合理性を満足する限界を見出す必要を生じてくる。著者の実験の測定装置はいつでも簡単なものであつて、これらを組合せることによつて静的或は動的の支持力判定が現場的に可能になり得るのである。最近各地において支持力試験が行われるようになって来たことは誠に悦びに堪えない次第である。

尚、実験室および現場において長期に亘る実験を行つて来たのであるが、その間における松村所長を始め京大石原教授、東大星埜教授および最上教授の御鞭撻を深謝し、又実験の便宜を與えてくれた東京都始め多くの官庁の方々に厚く御礼申上げる。

堰堤コンクリートの自然熱放散及び人工冷却について

正員 藤田博愛*

NATURAL AND ARTIFICIAL COOLING OF THE CONCRETE FOR DAM

(JSCE June 1950)

Hironaru Fujita, C.E. Member

Synopsis This paper describes the theoretical analysis and practical calculation of natural and artificial cooling for mass concrete, and gives the plan and procedure for controlling the temperature of concrete in dam.

1. 緒言

我国に於ては近年利水及び治水の見地から、堰堤築造が増加して来た。特に発電を目的とするものに於ては高ヘッドを得るために、又洪水調節を主眼とするものも勾配の急な我国の河川に於て貯水量を増大するために益々堤高増加の傾向にある。

此の堤高増加に伴つて堤体コンクリート容積を増大することになり、コンクリートを大塊となし、硬化熱処理が重要課題として浮上つて来る外、施工の面に於ても工期及び経済の見地から施工速度を増進して、今日までの單純なる層狀式工法のみに依存することが不可能になつて、施行接手の問題が大きく取り上げられることになつた。

此の問題は欧米に於て既に研究の域を脱し、具体的実施時代に入つてゐる。殊に米國に於ては Arial Dam及び Owyhee Dam の試験過程を経て、Boulder Dam の完成を境として、完全に工法上の一大変革を來した

ものである。即ち柱狀式工法の採用と、コンクリートの人工冷却及び接手グラウトの実施時代となつてゐる。

然るに我國に於ては石井穎一郎博士が小牧堰堤建設に際して、堰堤コンクリートの内部温度の測定及びコンクリートの内部温度による諸影響に関する貴重なる資料を提供せられ、コンクリートの内部温度問題が緒についたが、其の後堰堤技術者の間で検討され乍らも人工冷却による熱処理法を積極的に施工に取入れることなく、柱狀式工法のみを採用して来たことは今から思えば返すがへすも残念なことである。

柱狀式工法はコンクリートの一体性を破壊し、内部応力的に弱点を持つと云ふ点に就いては、層狀式工法による認知不能の龜裂残存との比較問題であるので、ここでは言及しないことにする。

此の工法の主眼は人工冷却によりコンクリートを速かに温度的に安定せしめ、縦横の接手に龜裂を集中して、接手グラウトを完全に施工し堤体を一体化することである。

* 東京都水道局小河内貯水池建設事務所技術課長

従つて以下この工法の内重要な人工冷却について数学的究明をなし、人工冷却を採用した堰堤コンクリートの施工計画樹立の指針を述べんとするものである

2. コンクリートの内部温度

コンクリートはセメント、細粗骨材及び水の適量配合により生成されるが、セメントの水和熱発生のため練り混ぜ後時間の経過に伴つて、凝結硬化しつゝ温度を上昇する。又コンクリートの終局温度(断熱)は練り混ぜ時の外気温度又は骨材温度とセメントの発熱に關係するが、これ等の間には特別な關係はなく、唯その和によつて表わされる。

セメントの発熱量 Q_c は次式で表わされる。

$$Q_c = Q_0(1 - e^{-mt}) \dots\dots\dots(1)$$

茲に Q_0 : 総発熱量, t : 時間, m : 実験値

コンクリートの温度 θ は次式で表わされる。

$$\theta = \frac{W_c \cdot Q_c}{W \cdot C} = \theta_0(1 - e^{-mt}) \dots\dots\dots(2)$$

茲に W_c : コンクリート単位容積内のセメント重量, W : コンクリートの単位重量, C : コンクリートの比熱, θ_0 : コンクリートの終局温度 = $\frac{W_c \cdot Q_0}{W \cdot C}$

コンクリートの発熱量 Q は次式で表わされる。

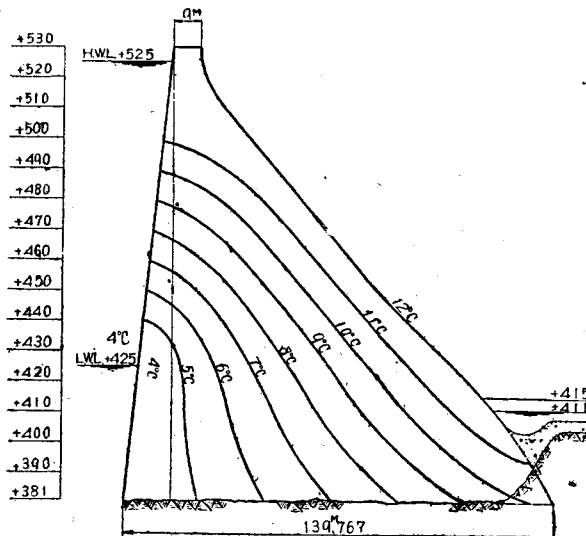
$$Q = C\rho\theta_0(1 - e^{-mt}) \dots\dots\dots(3)$$

茲に ρ : コンクリートの密度

尙コンクリートの生成に際して骨材は外気温度に相当する温度を保有し、練り混ぜ後セメントの水和作用によつて内部熱発生をするので、コンクリート構造物を温度的に安定せしめるには、季節的に変化する外界気温と均衡した温度まで低下して置く必要がある。こ

図-1 最終安定温度曲線

Fig.1 Curves of the final stable temperature in dam



れを最終安定温度と称して人工冷却の基礎資料とする尙堰堤の場合は上部及び下流面を外気の年平均温度とし、上流面は年平均水温として、内部は比例的に変化するものと仮定して最終安定温度曲線図を作製する。

その一例を示せば図-1の通りである。

3. 自然熱放散計算式

上述の如くコンクリートは練り混ぜた時は外気温度に等しいと仮定したが、その後セメントの水和熱発生により、内部的に温度を上昇する一方打設表面から自然に空中へ熱を放散する。これは初め外気温度と等しかつたものが次第に内部熱発生により、外気と温度の差を生ずるため、自然熱放散又は曝露による熱放散と云つている。

一般にコンクリートを打設する場合、側面は熱傳導率の低い木製型枠又は既設コンクリートに接するので自然熱放散は上表面からのみと考え、側面に対する熱流は起らないものと仮定すれば、熱傳導の基本微分方程式は次の如く表わされる。

$$\frac{\partial u}{\partial t} = K^2 \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \theta(t) \dots\dots\dots(4)$$

茲に x 軸は熱流の方向, u : コンクリートの温度, K^2 : コンクリートの温度傳達率 = $\frac{k}{\rho c}$, k : コンクリートの熱傳導率, $\theta(t)$ = 内部熱発生項 = $\frac{1}{\rho c} \frac{\partial Q}{\partial t}$

今リフト a , 上面外気温度を 0, 下面は熱的に絶縁されているものと仮定して(4)式の解を求める。

初期条件及び境界条件を次の如くする

$$\begin{cases} t=0 & x=0 & x=a \\ u=0 & u=0 & \frac{\partial u}{\partial x}=0 \end{cases} \dots\dots\dots(5)$$

(4)及び(5)式を満足する様に u 及び $\theta(t)$ を次式で表わす。

$$u = \sum_{s=0}^{\infty} \phi(t) \sin \frac{(2s+1)\pi}{2a} x \dots\dots\dots(6)$$

$$\theta(t) = \sum_{s=0}^{\infty} \psi(t) \sin \frac{(2s+1)\pi}{2a} x \dots\dots\dots(7)$$

(6)及び(7)式を用いて(4)式を解けば次の如くなる。

$$u = \frac{4m\theta_0}{\pi} \sum_{s=0}^{\infty} \frac{e^{-mt}}{(2s+1)} \left\{ \frac{-e^{-K^2 \frac{(2s+1)^2 \pi^2}{4a^2} t}}{4a^2} \right. \\ \left. \cdot \sin \frac{(2s+1)\pi}{2a} x \dots\dots\dots(8) \right.$$

今 $2s+1=n$ と置けば

$$u = \frac{4m\theta_0}{\pi} \sum_{n=1,3,5} \frac{e^{-mt}}{n} \left\{ \frac{-e^{-K^2 \frac{n^2 \pi^2}{4a^2} t}}{K^2 \frac{n^2 \pi^2}{4a^2} - m} \right. \\ \left. \sin \frac{n\pi}{2a} x \dots\dots\dots(9) \right.$$

これが求むる解であるが、実用上1リフト間を

この平均値で表はして差支へないので、 $x=0 \sim a$ 間の平均値 u_m を求めれば次式で表わされる。

$$u_m = \frac{8m\theta_0}{\pi^2} \sum_{n=1,3,5} \frac{e^{-mt} - \frac{-K^2 n^2 \pi^2 t}{4a^2}}{n^2 (K^2 n^2 \pi^2 - m)} \dots\dots(10)$$

この (9) 及び (10) 式は Journal of the A.C.I. - Nov., Dec. - 1937 に Douglas Mc. Henny が 'Measured and Computed Temperatures of Concrete at Norris Dam' として発表されたものである。

4. 人工冷却理論式

コンクリートは打設後一定期間上記の自然熱放散をして、その上に打継がれるもので、打継時のコンクリート温度と、その後の断熱温度上昇の和が打設後 28 日以上を経過したコンクリートの内部温度となる。

これはセメントの熱発生を 28 日で完了すると仮定したため、コンクリートの内部温度も 28 日以後は上昇しないので、その後人工冷却を実施すれば熱発生を考慮する必要がないことになる。

今コンクリートの 1 リフトを a 、各リフト底部に $\sqrt{\frac{4}{3}}a$ 間隔に冷却管を埋設し、次段は夫々下段と千鳥型に配置すれば、1 本の冷却管の分担区域は蜂の巣型正六角嚢体となる。これを正六角嚢体に外接する半径 $r_2 = \frac{2}{3}a$ なる円嚢と仮定し、管の外半径 r_1 とで囲まれた中空円嚢を考える。尙熱は管に向う方向のみ移動するものと仮定すれば、円嚢座標を用いた熱伝導の基本微分方程式は次の如く表わされる。

$$\frac{\partial u}{\partial t} = K^2 \left(\frac{\partial^2 u}{\partial r^2} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial u}{\partial r} \right) \dots\dots(11)$$

冷却直前のコンクリートの温度を θ_0 、冷却水の温度を 0 とし、中空円嚢の外側では熱的に絶縁されていると仮定すれば初期条件及び境界条件は次の如くなる。

$$\begin{cases} t=0 & \begin{cases} r=r_1 \\ u=\theta_0 \end{cases} & \begin{cases} r=r_2 \\ \frac{\partial u}{\partial r}=0 \end{cases} \end{cases} \dots\dots(12)$$

$$\text{今 } u = e^{-\lambda^2 t} R(r) \dots\dots(13)$$

と置けば (11) 式は Bessel の微分方程式となるから、この解を求めれば次式の如し。

$$u = 2\theta_0 \sum_{s=1}^{\infty} \frac{-\frac{r_1}{\alpha_s} u_1(\alpha_s r_1)}{J_0^2(\alpha_s r_2) - r_1^2 u_1^2(\alpha_s r_1)} e^{-K^2 \alpha_s^2 t} u_0(\alpha_s r) \dots\dots(14)$$

$$\text{茲に } u_0(\alpha_s r) = \frac{J_0(\alpha_s r)}{J_0(\alpha_s r_1)} - \frac{Y_0(\alpha_s r)}{Y_0(\alpha_s r_1)} \dots\dots(15)$$

人工冷却に対する理論式の定常理論による解は既発表のものがあるが、不定常理論による解は未だ入手し得なかつたので、上記仮定のもとに筆者が誘導したものである。尙既発表のものも同様であるが、この (14) 式も水温を一定であると仮定したから、正確には水の

入口に於ける状態を興えているもので、水の進むにつれて温度が上昇することを考慮していないから、次節に於てこれを検討する。

5. 冷却水の温度上昇による影響

埋設管によるコンクリートの人工冷却に於て、管を通る水は初め管の全長に亘つて等温度にあるコンクリートを漸次冷却しつゝ自らの温度を上昇するので、コンクリートの冷却効果も水の進むに従つて非能率的となるから、この影響について考察する。

熱伝導の基本微分方程式は (11) 式を用いて、冷却直前のコンクリートの温度を 0、冷却水温を θ_w とすれば、初期条件及び境界条件は次の如くなる。

$$\begin{cases} t=0 & \begin{cases} r=r_1 \\ u=0 \end{cases} & \begin{cases} r=r_2 \\ \frac{\partial u}{\partial r}=0 \end{cases} \end{cases} \dots\dots(16)$$

然るに (11) 及び (16) 式に於て $v = u - \theta_w$ と置換すれば、前節と同様な条件となるから、求める解は次の如くなる。

$$u = \theta_w \left\{ 1 - \sum_{s=1}^{\infty} U_s u_0(\alpha_s r) e^{-K^2 \alpha_s^2 t} \right\} \dots\dots(17)$$

$$\text{茲に } U_s = \frac{-2 \frac{r_1}{\alpha_s} u_1(\alpha_s r_1)}{r_2^2 u_0^2(\alpha_s r_2) - r_1^2 u_1^2(\alpha_s r_1)} \dots\dots(18)$$

然るに θ_w は前節と異なり変数であるから、これを別の観点から求める。

今冷却管の外径及び内径を夫々 d_0 及び d_i 、冷却水の dt 時間の移移を ds 、水の比熱を $c_w = 1$ 、水の密度を ρ_w 、水の進む方向を z 軸に考へると、次の関係がある。

$$\pi d_0 \cdot dz \cdot k \left(\frac{\partial u}{\partial r} \right)_{r=r_1} dt = \frac{\pi d_i^2}{4} dz \cdot ds \cdot c_w \cdot \rho_w \cdot \frac{\partial \theta_w}{\partial z}$$

然るに $\frac{ds}{dt}$ は水の流速になるから v とすれば

$$\frac{\partial \theta_w}{\partial z} = \frac{4 d_0 k}{d_i^2 v \rho_w} \left(\frac{\partial u}{\partial r} \right)_{r=r_1}$$

今 $(\theta_w)_{z=0} = \theta_{w_0}$ とすれば、(17) 式を用ひて次の如くなる。

$$\theta_w = \theta_{w_0} \cdot e^{-z \sum_{s=1}^{\infty} \Omega_s} e^{-K^2 \alpha_s^2 t} \dots\dots(19)$$

$$\text{茲に } \Omega_s = \frac{4 d_0 k}{d_i^2 v \rho_w} \alpha_s U_s u_0(\alpha_s r_1) \dots\dots(20)$$

(19) 式で明かなる如く、 $\theta_w = F(z, t)$ なる時間の函数であるから、Duhamel の定理を用ひた解を指数級数に展開すれば次式の如くなむ。

$$u = \theta_{w_0} \sum_{s=1}^{\infty} U_s u_0(\alpha_s r) \left[e^{-z \Omega_s} e^{-K^2 \alpha_s^2 t} - e^{-z \Omega_s - K^2 \alpha_s^2 t} + z \Omega_s e^{-K^2 \alpha_s^2 t} \left\{ K^2 \alpha_s^2 t + z \Omega_s (1 - e^{-K^2 \alpha_s^2 t}) \right\} + \frac{z^2 \Omega_s^2}{4} (1 - e^{-2K^2 \alpha_s^2 t}) + \frac{z^3 \Omega_s^3}{18} (1 - e^{-3K^2 \alpha_s^2 t}) + \frac{z^4 \Omega_s^4}{96} (1 - e^{-4K^2 \alpha_s^2 t}) + \dots \right] \dots\dots(21)$$

この(21)式によつて任意の点のコンクリートの冷却過程を求め得るし、(19)式によつて任意の点の冷却水の温度を知り得る。米国に於ても実験的にはこの点を検討しているかも知れないが理論的に究明したものを今日まで見ていないので、実際施工に際して埋設温度計の読みを確かめるため、又排出口に於ける水温を測定して冷却効果を検する目的でこれらの理論式を誘導して見たものである。

6. 計算例

使用セメントの発熱量を大略3日で 50cal/gr, 7日 で 70cal/gr, 28日 で 80cal/gr= Q_0 を標準として, $m = 0.3$ とする。然しこれは一般に使用セメントの発熱量を実験的に測定して, 最小自乗法から m の値を決定するものである。

尚コンクリートの配合をセメント 220kg, 細骨材 744kg, 粗骨材 1363kg 及び水 143kg (65%) とすれば, $W_c = 220\text{kg}$, $W = 2470\text{kg}$ となり, コンクリートの比熱 $C = 0.246\text{cal/gr} \cdot ^\circ\text{C}$ とすれば(2)式を用いて $\theta_0 = 28.9^\circ\text{C}$ となる。

又コンクリートの熱伝導率 $k = 0.006\text{cal/sec.cm} \cdot ^\circ\text{C}$ とすれば, コンクリートの温度傳達率 $K^2 = \frac{k}{\rho p} = 0.085 \text{ m}^2/\text{day}$ となる。

以上の数値からコンクリート打設時の外気温度を基準とした, コンクリートの断熱状態及び自然熱放散を考えた平均温度経歴を(2)及び(10)式から求むれば

図-2 の如くなる。

次にリフト a を 1.5m 及び 0.75m とした場合の各点温度経歴を(9)式から求むれば図-3 及び図-4 の通りである。

(15)式は Bessel 函数の性質 $U_0'(\alpha_s r) = -U_1(\alpha_s r)$ 及び境界条件から $U_0'(\alpha_s r_2) = 0$ を適用して, $\alpha_s = \frac{x}{r_1}$ 及び $\frac{r_2}{r_1} = \beta$ と置けば次の関係を得る。

$$\frac{Y_0(x)}{J_0(x)} - \frac{Y_1(\beta x)}{J_1(\beta x)} = 0$$

冷却管を内径 $\frac{3}{4}$ in 管とすれば, $r_1 = 0.0136\text{m}$, リフトを $a = 1.5\text{m}$ とすれば $r_2 = 1.0\text{m}$ となるから, $\beta = 73.529$ となる。

従つて上式の J_0 及び Y_0 を函数表から求め, 図式計算によつて $\alpha_1 = 0.743$, $\alpha_2 = 4.301$ 及び $\alpha_3 = 7.618$ となるが, 以下の計算は α_1 のみについて計算する。

(18)式に(15)式の関係を入れて, $\alpha_1 = 0.743$ として計算すれば $U_s = 1.333$ となる。

冷却管の内径を $\frac{3}{4}$ in とすれば, $d_0 = 0.0272\text{m}$, $d_i = 0.0216\text{m}$ となり, 冷却水の流速 $v = 0.6\text{m/sec} = 51840 \text{ m/day}$, 水の密度を $\rho_w = 1000\text{kg}$, コンクリートの熱伝導率 $k = 0.006\text{cal/sec.cm} \cdot ^\circ\text{C} = 51.84\text{kcal/day.m} \cdot ^\circ\text{C}$ として, $\alpha_1 = 0.743$ 及び $U_s = 1.333$ の場合(20)式から $\alpha_3 = -0.005$ となる,

又(15)式に於て r を $r_1 \sim r_2$ 間に变化させて, $\alpha_1 =$

図 - 2 コンクリート平均温度経歴曲線

Fig.2 Historical curves of mean temperature in concrete.

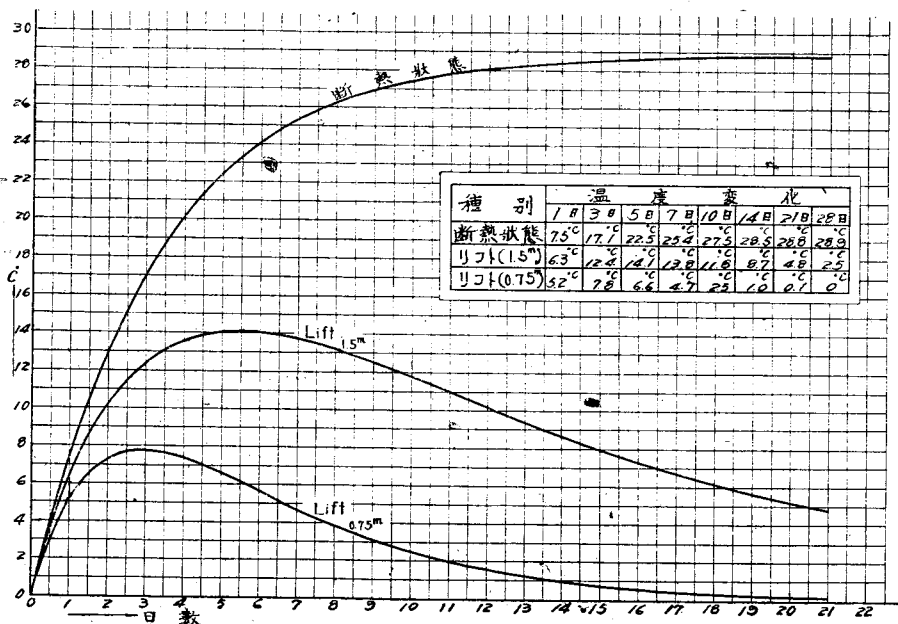


図-3 コンクリート内部温度経歴曲線(リフト1.5m)

Fig.3 Historical curves of internal temperature in concrete. (for lift 1.5m)

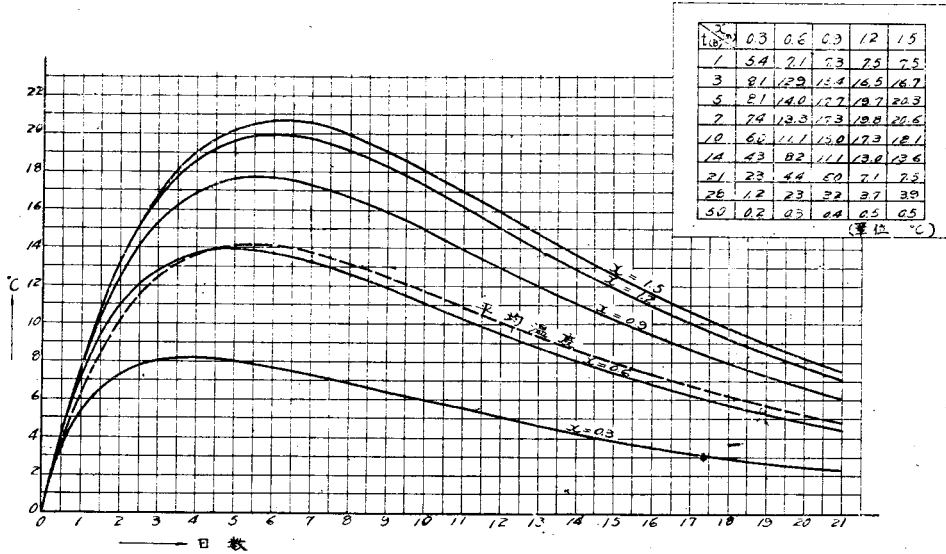
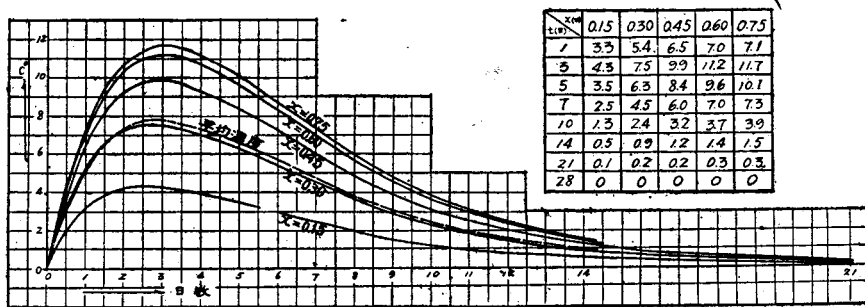


図-4 コンクリート内部温度経歴曲線(リフト0.75m)

Fig.4, Same as Fig.3. (for lift 0.75m)



0.743 の場合の $u_0(\alpha_s r)$ を計算し、 $U_s=1.333$ を用いて、 $U_s u_0(\alpha_s r)$ を算定すれば表-1 の如くなる。

然るに精密計算をすれば $r=r_2$ に於ける $U_s u_0(\alpha_s r)$ ($\alpha_s r=1$ となるべきであるから

表-1

r (m)	0.006	0.05	0.1	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
$u_0(\alpha_s r)$	0	0.277	0.424	0.569	0.709	0.775	0.809	0.819
$U_s u_0(\alpha_s r)$	0	0.369	0.545	0.758	0.942	1.033	1.070	1.092
換算値	0	0.338	0.517	0.694	0.863	0.946	0.987	1.000

逆算して換算値を求め、以下の計算に使用する。

尙人工冷却には最も条件の悪い $r=r_2$ を対照とするから、 $U_s u_0(\alpha_s r)=1$ の場合だけを考えればよいことになるので、(21)式から $\frac{u}{\theta_{\omega_0}}$ を求むるには[]内のみの計算で足りる。

今仮定条件を実際に適用し得る様に変えて $1-\frac{u}{\theta_{\omega_0}}$ を求むれば表-2 及び図-5 の如くなる。

この図-5 を用いて冷却所要日数を求めるために、 $1-\frac{u}{\theta_{\omega_0}}$ の実数値を用いた関係を求める。今冷却直前

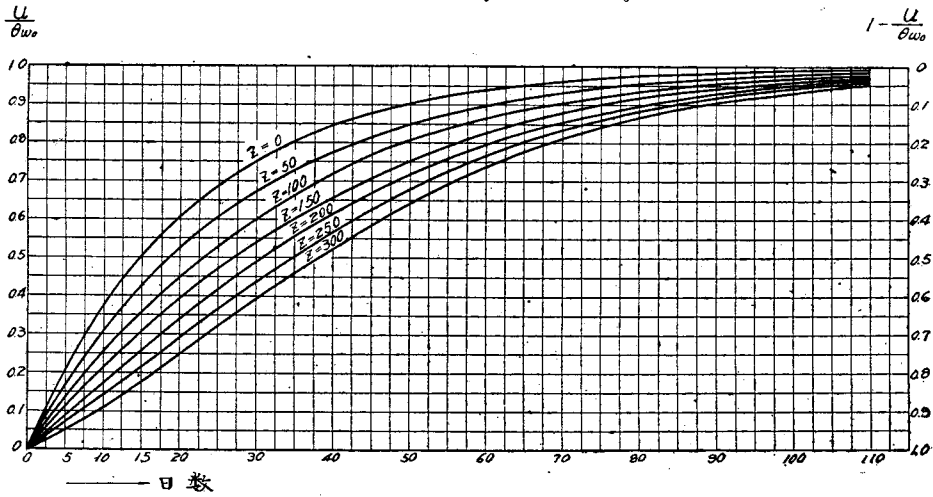
表-2

z (m)	0	50	100	150	200	250	300
1	0.954	0.965	0.972	0.977	0.984	0.987	0.994
3	0.868	0.895	0.917	0.934	0.948	0.958	0.974
5	0.791	0.833	0.866	0.892	0.916	0.933	0.954
7	0.720	0.774	0.816	0.851	0.880	0.903	0.931
10	0.626	0.693	0.748	0.792	0.829	0.863	0.895
14	0.518	0.597	0.660	0.714	0.761	0.800	0.839
21	0.373	0.458	0.531	0.593	0.646	0.693	0.739
28	0.269	0.352	0.424	0.487	0.542	0.591	0.638
35	0.194	0.270	0.335	0.396	0.447	0.497	0.541
50	0.096	0.150	0.199	0.243	0.285	0.323	0.359
70	0.037	0.066	0.095	0.120	0.143	0.166	0.189
90	0.015	0.032	0.047	0.058	0.073	0.086	0.099
110	0.006	0.017	0.021	0.031	0.034	0.044	0.047

のコンクリートの温度を D 、冷却水の最初の温度を E 、最終安定温度を S とすれば、初期条件で $D=0$ と仮定したので $\theta_{\omega_0} = -(D-E)$ となり、コンクリートの温度が D から S まで低下することになるから $u = -(D-S)$ で表わされる、従つて

図-5 $\frac{u}{\theta_{\omega 0}}$ 及び $1 - \frac{u}{\theta_{\omega 0}}$ の曲線

Fig.5 Curves of $\frac{u}{\theta_{\omega 0}}$ and $1 - \frac{u}{\theta_{\omega 0}}$



$$1 - \frac{u}{\theta_{\omega 0}} = \frac{S-E}{D-E} = \frac{G}{F}$$

それらの符号は表-3 に合致せしめたものである、今 $S=8^{\circ}\text{C}$, $E=4^{\circ}\text{C}$ として、気温変化の一例をとつた場合のリフト 1.5m 及び 0.75m について、冷却所要日数を求めたものが表-3 である。

然しこの場合冷却管の 1 回路を 200m として、その中間 100m に於ける計算である。

又冷却水の排出口に於ける温度から冷却効果を確認したり、冷却水の再冷凍の場合の冷凍設備能力検討の資料を得るため、(19) 式を用いて $\frac{\theta_{\omega}}{\theta_{\omega 0}}$ を求め、 $1 - \frac{\theta_{\omega}}{\theta_{\omega 0}}$ を算定すれば図-6 の如くなる。

次に参考までに上記配管をなした場合の冷却管長を求めれば、 $V/2.6$ となる。茲に V = 堤体コンクリート総容積 (m^3)、2.6 は冷却管の分担する正六角嚮体の単位長当りの容積である。

又冷却水の所要量は施工法及び気温状態で差異があるが、上記の如く $\frac{3}{4}$ in 管を使用し、1 回路長を 200m、流速を 0.6m/sec とし、2 ヶ月分位のコンクリートを同時に冷却するものとすれば次の如くなる。

$$0.00022 \times \frac{2V_m}{2.6 \times 200} \text{ (m}^3\text{/sec)}$$

茲に 0.00022 は $\frac{3}{4}$ in 管 1 本を 0.6m/sec の流速で通す水量、 V_m : 1 ヶ月分のコンクリート平均打設量とする。

表 - 3

月別	Lift - 1.5m							Expose - 7 ^B			熱率日数	Lift-1.5 EXP-5 ^B	Lift-0.75 EXP-5 ^B	Lift-0.75 EXP-0 ^B
	A	B	C	D	E	F	G	G/F	EXP-5 ^B	EXP-0 ^B				
1	0.4	1.38	3.5	17.7	4.0	13.7	4.0	0.272	37 ^B	45 ^B	28 ^B	43 ^B		
2	1.3	•	•	18.6	•	14.6	•	0.272	41	46	31	45		
3	5.3	•	•	22.6	•	18.6	•	0.215	47	51	40	51		
4	10.3	•	•	27.6	•	23.6	•	0.169	54	56	48	57		
5	15.8	•	•	33.1	•	29.1	•	0.138	60	63	56	62		
6	18.8	•	•	36.1	•	32.1	•	0.125	63	65	59	65		
7	23.0	•	•	40.3	•	36.3	•	0.110	66	68	63	68		
8	24.1	•	•	41.4	•	37.4	•	0.107	67	69	64	68		
9	20.1	•	•	37.4	•	33.4	•	0.120	64	66	60	63		
10	13.8	•	•	31.1	•	27.1	•	0.148	58	61	53	61		
11	8.7	•	•	26.0	•	22.0	•	0.182	52	56	46	55		
12	2.4	•	•	19.7	•	15.7	•	0.255	43	48	34	46		
年平均	12.0	•	•	29.3	•	25.3	•	0.158	56	60	51	57		
年最高	35.2	•	•	52.5	•	48.5	•	0.082	72	76	72	75		

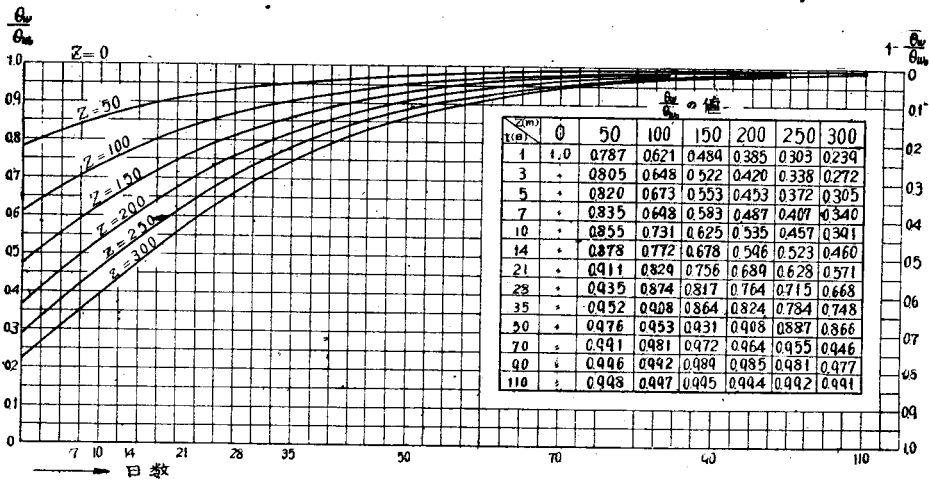
備考 A: 月平均気温 ($^{\circ}\text{C}$)、B: 気温 0°C とした時の所定曝露後のコンクリート温度 ($^{\circ}\text{C}$)
 C: 所定曝露後のコンクリート温度上昇 ($^{\circ}\text{C}$)、D: 冷却直前のコンクリート温度 (A+B+C)
 E: 冷却水の初温度 ($^{\circ}\text{C}$)、F: コンクリートと水の温度差 (D-E) G: 最終安定温度と水の初温度との差 ($^{\circ}\text{C}$)、G/F: $1 - \frac{u}{\theta_{\omega 0}}$ の値
 Lift 0.75m の場合と冷却管は Lift 1.5m の時と同様に垂直間隔と水平間隔を 1.5m x 1.72m とした、即ち 1 段を 2 段に配置した。

7. 結 言

冷却能率は冷却管の受持範囲、管径、回路長、冷却水の温度及び流速等種々なる要素に関係するが、能率を増進するには何れも経済的負担及び施工の困難性を伴うから、充分に比較検討を要する問題である。然し上記計算例に示した垂直間隔 1.5m 及び水平間隔 1.72m 千鳥型配管にして、1 回路 200m 前後、管径 $\frac{3}{4}$ ~ 1in 程度が望ましい。又冷却水も冷凍機の操作上及び自然河水利用の場合は冬季河水の平均温度等から勘案して 4°C 位を適当とするし、流速も損失水頭及びポンプ馬力等から 1m/sec 以下とすべきである。

尙冷却を容易にする予備的措置として、又収縮龜裂

図-6 1- $\frac{\theta_w}{\theta_{w0}}$ の曲線



防止の方法として、Pre-cooling 及び Two-Stage-Cooling 等重要なる問題が最近取上げられる様になつた。

即ちこれは何れもコンクリートの内部温度を少しでも低温に生成せんとするもので、前者は練り混ぜ前の骨材及び水を極力低温に保ち、コンクリート生成時の温度を実際の気温より低温にせんとするもので、後者は練り混ぜ後の内部熱発生による温度上昇を抑制して人為的に Low-heat, Slow-setting のセメントを使用したと同様の効果を発揮せんとしたものである。

然し Two-Stage-Cooling を行うには(11)式に熱発生項を考慮した解を求める必要があり、配管上にも相当の工夫を必要とするので今後の研究課題であると思ふ。

又冷却水の所要量は冷凍機使用の場合はコンクリート打設に数ヶ月遅れに継続して施工出来るから、月平均コンクリート施工量の2ヶ月分を同時冷却出来る程度でよいが、冬季自然水を使用する場合は冷却実施期間が4ヶ月位に制約せられるので相当に余裕を必要とする。

以上堰堤コンクリートの内部温度処理に対する理論的究明をしたが、計算例により簡単に使用出来る図表を示したので、諸賢の御利用と御批判を願うものである。

尚本稿を草するに当所近藤邦二、上野達人両君の御助力を得たことを附記して謝意を表する次第である。

網代港埋没に関する飛砂の影響について**

准 員 岩 垣 雄 一*

ON THE EFFECT OF THE SAND-DRIFT ON THE COAST BY WIND FOR THE FILLING UP WITH SAND IN AJIRO-HARBOR.

(JSCE June 1950)

Yuichi Iwagaki, C. E. Assoc. Member.

Synopsis Along the coast of Tottori prefecture sand-drift is so remarkable that the harbors are filling up with sand gradually and beach-erosion damages to some constructions greatly. The case of Ajiro-harbor is a typical instance of that. In this paper, I discussed the influence of sand-drift by wind which seemed one of main causes of filling up in this harbor.

The contents of this paper are following

- (1) Theory of sand-drift by wind.
- (2) On the coast in Ajiro-harbor, on which sand-drift by wind is remarkable.
- (3) On the wind at Ajiro-harbour.
- (4) Measurement of sand storm at Ajiro-harbor.

(*, ** 次頁)