

コンクリートの体積変化におよぼす外気温の影響(第1報)

—コンクリート内部温度の変動—

中西正俊

§ 1. まえがき

コンクリートの体積変化の原因には、乾燥収縮、温度変化および外力などがあるが、従来主として乾燥収縮に着目されている。そのため、コンクリートのひびわれ防止を目的として、乾燥収縮を減少させる混和剤が現在市販されている。しかし、ひびわれ発生については、温度変化の影響を無視することはできない。

温度降下の原因はつぎの2つに大別できる。

- (1) セメントの水和熱による温度変化
- (2) 環境条件による温度変化

このうち(1)については、ダム等マスコンクリートの施工に関連して従来から多くの研究が行なわれているものである。

環境条件による温度変化については、つぎのようなものが考えられる。

- (a) 外気温の日、年変化、その他の変化(寒波の襲来等)
- (b) 太陽光線の直射による変化
- (c) 暖房等の熱源による変化

ここでは、主として(a)についてまず理論解析を行ない、次に実測を行なって検討を加えたものである。

外気温が建物に与える影響については、従来室内環境計画画面から研究されてきたが、鉄筋コンクリート構造物のひびわれに関連する研究として発表されたものもある。^{1)~3)}

温度変化による自己歪応力について武藤博士の研究⁴⁾

によると、温度変化はつぎの2つに分けて考えられている。

第1は気温の季節的变化によるもので、その変化は地上部分に対してほぼ一様と考えられる。地中温度は年中ほとんど変化しないから、建物の地上第1層を中心に自己歪応力を生ずることになる。

第2は日射により1日の昼夜の間に生ずる温度変化である。建物の屋根面が夏に受ける日射量がもっとも大きく、これにより最上層に自己歪応力が生ずることになる。

気温変化による建物の自己歪の型を図一1に示す。

さて、熱の伝達については、伝導、放射および対流の3要素がある。コンクリートの表面温度と内部温度との関係は伝導により処理できるが、気温変動と表面温度との関係は対流を、日中太陽光線の直射を受けるような場所では放射を考慮せねばならない。

先にのべた「第2」の場合には、昼間の直達日射によるコンクリート表面ならびに内部の温度を推定することになるが、推定には多くの仮定が必要である。

ここでは、表面温度は一応既知として、表面温度と内部温度との関係を伝導理論により推定することを中心とした。

気候学⁵⁾によると、昼間の日射によって地表面が暖められるため、気温の日変化を生ずる。また、太陽高度と太陽の照射時間の変化により気温の年変化を生ずる。

各月の時刻別平均気温の例として東京の平均気温を図

(a)長期自己歪の型

(b)短期自己歪の型



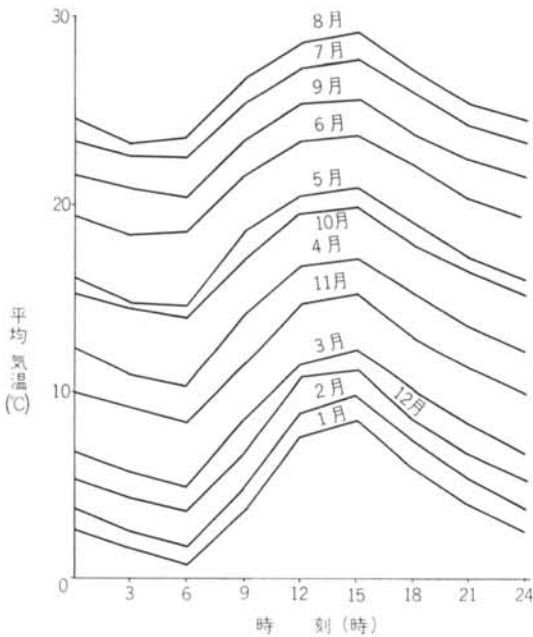
温度の季節的下降

温度の季節的上昇

図一1 気温変化による建物の自己歪の型

—2, および3に示す.

図—4に示すものは, 東京の1969年3月10日~1970年3月10日における日平均気温(1日8回の平均)をplotしたもので, 東京管区气象台(東京都千代田区大手町1—7)が測定したものである. これによると, 年間の気温はほぼ正弦曲線になることがわかるが, 急激な温度降下を示す時期がみられる.



図—2 東京の平均気温(時刻別気温)1953~1960年の平均

§ 2. コンクリート表面温度の周期的変動による内部温度変動

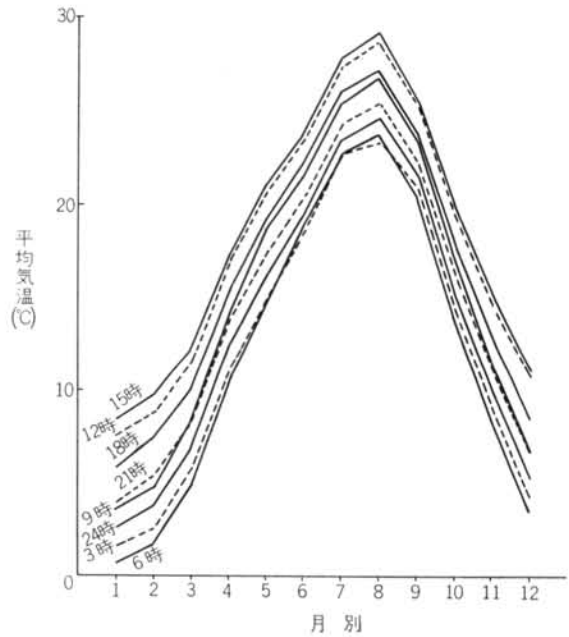
半無限固体で, はじめの温度が $f(x)$, 表面温度を $A \cos \omega t$ とした場合の, 熱伝導理論による解法はつぎのとおりである⁷⁾.

$x=0$ から $x=+\infty$ まで広がっている固体について, 熱は $x=0$ 面に垂直に流れるものとする.

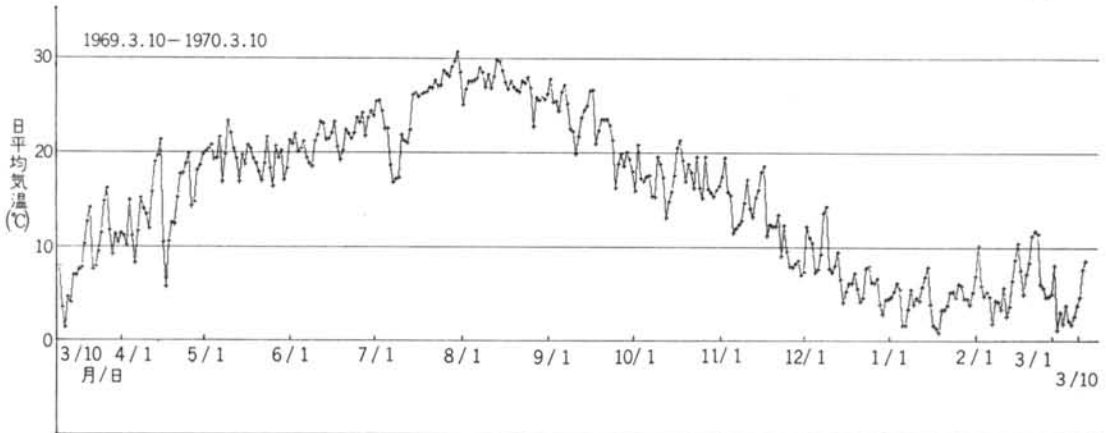
解を2つに分解し

$$\theta = \theta_1 + \theta_2$$

として考える.



図—3 東京の平均気温(月別気温)1953~1960年の平均



図—4 東京の日平均気温(1969.3.10~1970.3.10)

θ_1 および θ_2 はつぎの式および条件を満足するものとする。

$$\frac{\partial \theta_1}{\partial t} = K \frac{\partial^2 \theta_1}{\partial x^2} \quad \dots(1) \quad \text{[基礎式]}$$

$$t=0 \text{ のとき } \theta_1 = 0 \quad \dots(2) \quad \text{[初期条件]}$$

$$x=0 \text{ のとき } \theta_1 = \varphi(t) \quad \dots(3) \quad \text{[境界条件]}$$

$$\frac{\partial \theta_2}{\partial t} = K \frac{\partial^2 \theta_2}{\partial x^2} \quad \dots(4) \quad \text{[基礎式]}$$

$$t=0 \text{ のとき } \theta_2 = f(x) \quad \dots(5) \quad \text{[初期条件]}$$

$$x=0 \text{ のとき } \theta_2 = 0 \quad \dots(6) \quad \text{[境界条件]}$$

[θ_1 の決定]

(1), (2), (3)

の解は Duhamel の定理により

$$\theta_1 = \int_0^t \varphi(\lambda) \frac{\partial}{\partial t} F(x, t-\lambda) d\lambda \quad \dots(7)$$

で与えられる。そこで

$$F = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_{\frac{x}{2\sqrt{Kt}}}^{\infty} e^{-\xi^2} d\xi$$

であるから

$$\frac{\partial}{\partial t} F(x, t-\lambda) = \frac{x}{2\{\sqrt{\pi K(t-\lambda)}\}^3} e^{-\frac{x^2}{4K(t-\lambda)}}$$

ゆえに

$$\theta_1 = \frac{x}{2\sqrt{\pi K}} \int_0^t \varphi(\lambda) \frac{e^{-\frac{x^2}{4K(t-\lambda)}}}{(t-\lambda)^{\frac{3}{2}}} d\lambda \quad \dots(8)$$

ここで、つぎの変換を行なって(9)式が得られる。

$$\frac{x}{2\sqrt{K(t-\lambda)}} = \mu$$

$$\theta_1 = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_{\frac{x}{2\sqrt{Kt}}}^{\infty} \varphi\left(t - \frac{x^2}{4K\mu^2}\right) e^{-\mu^2} d\mu \quad \dots(9)$$

$\varphi(t) = A \cos \omega t$ とすれば

$$\theta_1 = A e^{-\sqrt{\frac{\omega}{2K}} x} \cos\left(\omega t - \sqrt{\frac{\omega}{2K}} x\right) - \frac{2A}{\pi} \int_0^{\infty} e^{-K\alpha^2 t} \sin \alpha t \cdot \frac{\alpha^3 d\alpha}{\alpha^4 + \omega^2/K^2} \quad \dots(10)$$

[θ_2 の決定]

(4), (5), (6)

について解く

さて、無限固体 ($-\infty < x < \infty$) において

基礎式

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = K \frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} \quad \dots(11)$$

初期条件

$$t=0 \text{ のとき } \theta = f(x) \quad \dots(12)$$

の解は

$$\theta = \frac{1}{2\sqrt{\pi Kt}} \int_{-\infty}^{\infty} f(\lambda) e^{-\frac{(x-\lambda)^2}{4Kt}} d\lambda \quad \dots (13)$$

(13)より、(4)の解はつぎのようになる。

$$\theta_2 = \frac{1}{2\sqrt{\pi Kt}} \int_0^{\infty} f(\lambda) \left\{ e^{-\frac{(x-\lambda)^2}{4Kt}} - e^{-\frac{(x+\lambda)^2}{4Kt}} \right\} d\lambda \quad \dots (14)$$

[θ の決定]

$$\theta = \theta_1 + \theta_2$$

であるが、 t が増大するにしたがって θ_1 の第2項および θ_2 はだんだん小さくなる。時間がじゅうぶん経過すれば温度分布は完全に周期的になり、最初の温度分布の影響は消えてしまう。

したがって

$$\theta = Ae^{-\sqrt{\frac{\omega}{2K}}x} \cos\left(\omega t - \sqrt{\frac{\omega}{2K}}x\right) \quad \dots (15)$$

温度の周期を τ_0 で表わすと

$$\omega = 2\pi/\tau_0$$

だから(15)式はつぎのように変形できる。

$$\theta = Ae^{-x\sqrt{\frac{\pi}{K\tau_0}}} \cos\left(x\sqrt{\frac{\pi}{K\tau_0}} - \frac{2\pi}{\tau_0}t\right) \quad \dots (16)$$

$$\therefore \theta_{\max} = Ae^{-x\sqrt{\frac{\pi}{K\tau_0}}} \quad \dots (17)$$

time lag を dt とすると

$$dt = \frac{x}{2} \sqrt{\frac{\tau_0}{K\pi}} \quad \dots (18)$$

§ 3. 急激な表面温度の降下による内部温度変化

はじめの温度が $\theta=f(x)$ で、面 $x=0$ を温度0にした場合、(14)から

$$\theta = \frac{1}{2\sqrt{\pi Kt}} \int_0^{\infty} f(\lambda) \left\{ e^{-\frac{(x-\lambda)^2}{4Kt}} - e^{-\frac{(x+\lambda)^2}{4Kt}} \right\} d\lambda \quad \dots (19)$$

別の場合として、最初の温度を Θ とすれば

$$\theta = \frac{\Theta}{\sqrt{\pi}} \int_{-\frac{x}{2\sqrt{Kt}}}^{\frac{x}{2\sqrt{Kt}}} e^{-\beta^2} d\beta = \frac{2\Theta}{\sqrt{\pi}} \int_0^{\frac{x}{2\sqrt{Kt}}} e^{-\beta^2} d\beta = \Theta \Phi\left(\frac{x}{2\sqrt{Kt}}\right) \quad \dots (20)$$

ここに

$$\Phi(\xi) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^{\xi} e^{-\beta^2} d\beta \quad (\text{誤差函数})$$

§ 4. 気温変動とコンクリート表面温度変動との関係

気温が一定振幅の周期変動(正弦曲線)として与えられた場合の半無限固体の周期的熱伝導と考える。

固体の表面温度を θ_0

流体の温度を θ_f

表面に対する法線を n

としたとき、次式は Newton の冷却則といわれているものである。

$$-\lambda \frac{\partial \theta}{\partial n} = \alpha(\theta_f - \theta_0) \quad \dots \cdot (21)$$

ただし

α : 熱伝達率 [Kcal/m²hr°C]

λ : 熱伝導率 [Kcal/m²hr°C]

気温が, $\theta = a \cos \omega t$ で与えられたとき,

$$h = \frac{\alpha}{\lambda}$$

として, $x=0$ における境界条件を

$$\left(\frac{\partial \theta}{\partial x} \right)_0 = h \{ (\theta)_0 - a \cos \omega t \} \quad \dots \cdot (22)$$

として

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = K \frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2}$$

を解いた結果はつぎのとおりである⁶⁾。

気温に対して, 表面温度の振幅が η 倍, 位相が ε だけ遅れるものと仮定すると,

$$\theta = \eta e^{-x \sqrt{\frac{\pi}{K \tau_0}}} a \cos(\omega t - \varepsilon - x \sqrt{\frac{\pi}{K \tau_0}}) \quad \dots \cdot (23)$$

境界条件から

$$\eta = \frac{1}{\sqrt{1+2B+2B^2}} \quad \dots \cdot (24)$$

$$\varepsilon = \tan^{-1} \left(\frac{B}{1+B} \right) \quad \dots \cdot (25)$$

ただし

$$B = \sqrt{\frac{\pi}{K \tau_0}} / h$$

§ 5. 熱関係諸定数

いま

熱伝導率: λ [Kcal/mhr°C]

熱拡散率: K [m²/hr]

比熱: c [Kcal/kg°C]

密度: ρ [kg/m³]

とすると, 川下博士が数値計算で採用した数値は $K=0.0058$ となっている⁸⁾。

一方, 浜田博士の研究⁹⁾ では表-1 のようである。

調 合	1:0.5:1	1:1:2	1:1.5:2	1:2:4
λ	1.21	1.34	1.26	1.26
c	0.23	0.22	0.21	0.20
$K = \frac{\lambda}{c\rho}$	0.0023	0.0026	0.0027	0.0028

表-1 熱伝導率 λ [Kcal/mhr°C] 比熱 c [Kcal/kg°C]
熱拡散率 K [m²/hr]

また, Chapman¹⁰⁾ によると, コンクリートの K はつぎのようである。

$$K = 0.019 \sim 0.027 [\text{ft}^2/\text{hr}]$$

$$= 0.0018 \sim 0.0025 [\text{m}^2/\text{hr}]$$

普通コンクリートで含水量の異なる場合の λ については, 表-2 のような値がある¹¹⁾。

熱伝達率 α [Kcal/m²hr°C] については, Jüges の式⁷⁾ によると表-3 のようである。

含水率 Vol%	0	1	4	6
λ [Kcal/mhr°C]	1.1	1.6	1.75	2.0

表-2 含水率と熱伝導率 λ との関係

風 速	$\omega \leq 5 \text{ m/s}$	$\omega > 5 \text{ m/s}$
平 滑 面	$\alpha = 4.8 + 3.4\omega$	$\alpha = 6.12\omega^{0.78}$
粗 面	$\alpha = 5.3 + 3.6\omega$	$\alpha = 6.47\omega^{0.78}$

表-3 熱伝達率 α [Kcal/m²hr°C]

§ 6. 仮定数値による試算結果

6.1 表面温度の周期変動[(16)式]

(1) 温度拡散率 K [m²/hr]

文献(8)に用いられた数値 0.0058 [m²/hr], ならびに文献(9), (10), (11)を考慮して 0.0058 の $1/2$ である 0.0029 [m²/hr] の2種類とした。

(2) コンクリートの深さ x [m]

0~1.0 @ 0.1 [m]

1.5~5.0 @ 0.5 [m]

6~10 @ 1 [m]

(3) 温度周期 τ_0

日変化, 年変化のほか, 寒波の襲来を考え, 周期6日

のものも加えつぎのようにした。

24hr, 144hr, 365days

以上の数値による計算結果を図-5~10に示す。

6.2 急激な表面温度の降下〔(20)式〕

$K=0.0058, 0.0029$ [m^2/hr]

$x=0\sim 1.0$ @ 0.1 [m]

としたときの、時間 t ($0\sim 48$) [hr] と温度比 θ/θ_0 の関係を図-11, 12に示す。

§ 7. 実験計画

以上にのべた外気温の変動によるコンクリート内部温度変動理論に対応させる目的で実測を行なった。すなわち、写真1, 2に示すような、2次元, 2スパン, 壁付および壁なしの実大ラーメンを、当社研究所塩浜分室（東京都江東区塩浜2-9-5）構内に作成し、種々の測定を行なった。ここで報告するのは、コンクリートの表面ならびに内部温度の実測結果である。

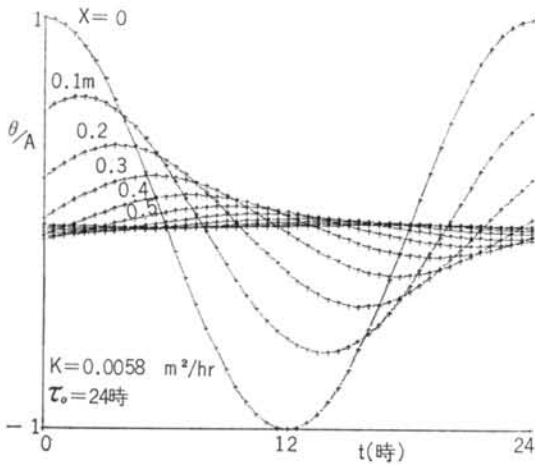


図-5 表面温度の周期変動による内部温度〔(16)式, θ/A と t との関係〕

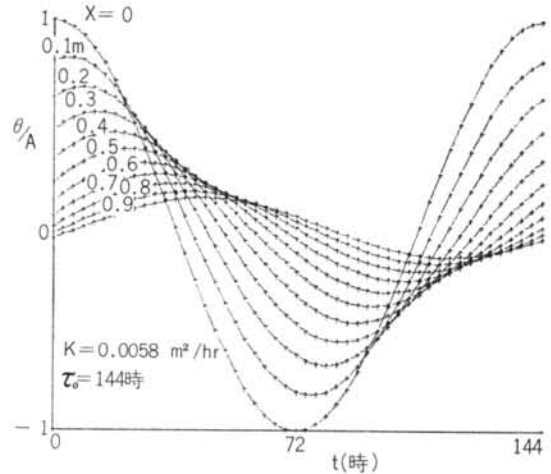


図-7 表面温度の周期変動による内部温度〔(16)式, θ/A と t との関係〕

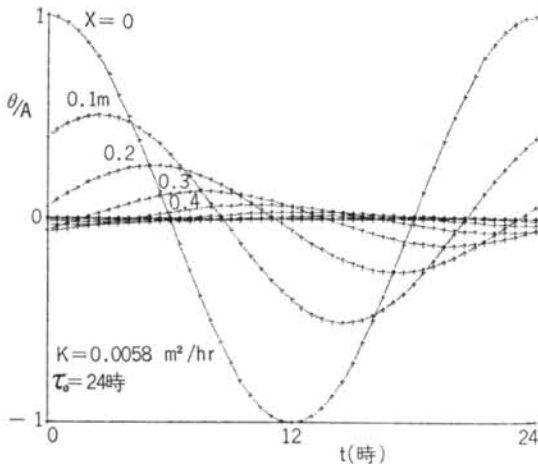


図-6 表面温度の周期変動による内部温度〔(16)式, θ/A と t との関係〕

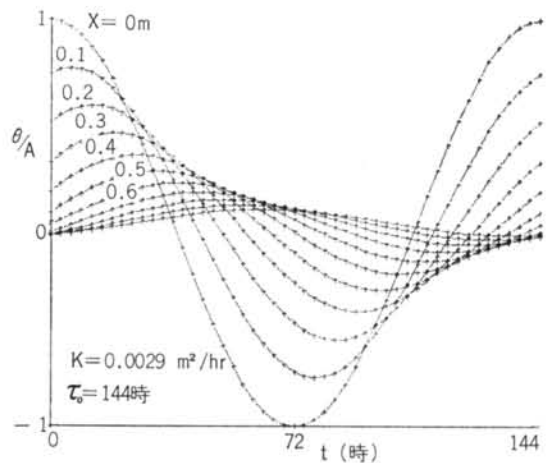
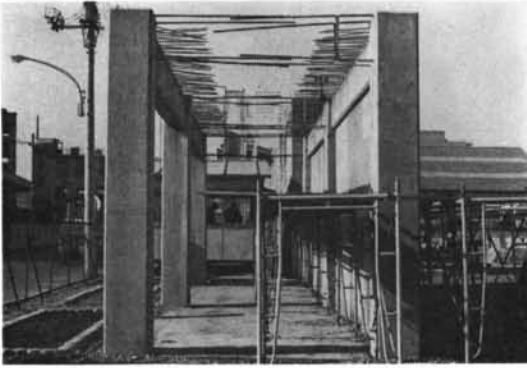
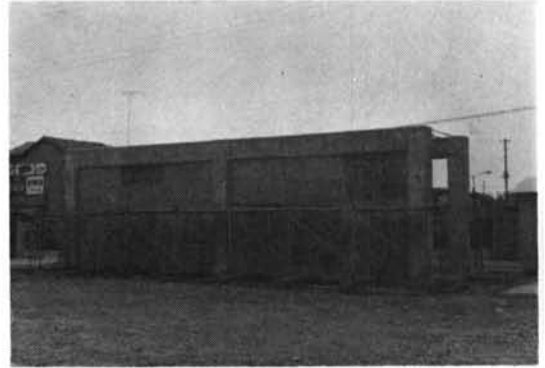


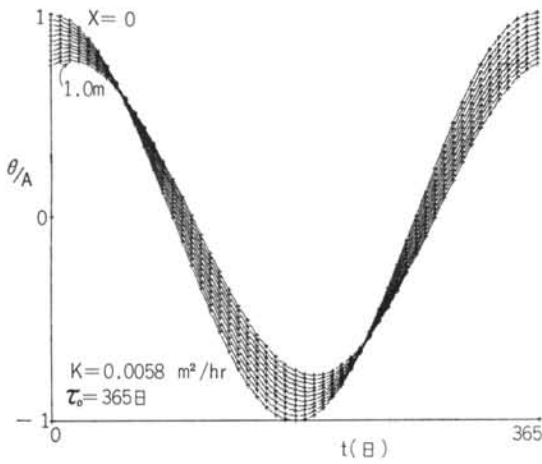
図-8 表面温度の周期変動による内部温度〔(16)式, θ/A と t との関係〕



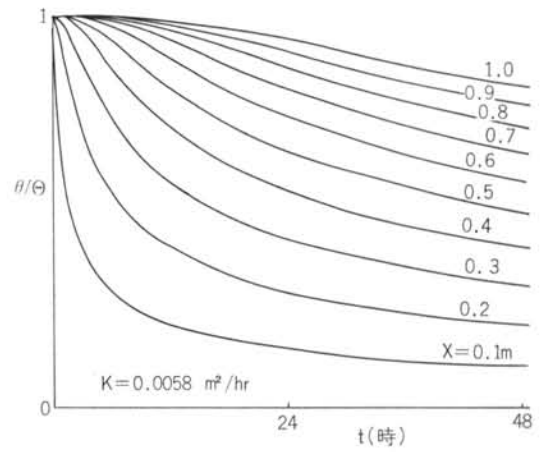
写真一 1 実大試験体（東からみたもの）



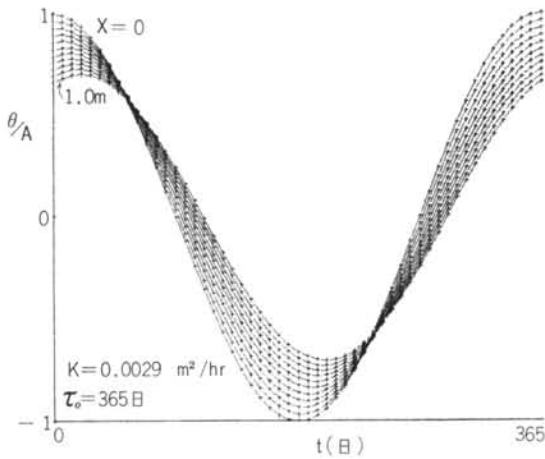
写真一 2 実大試験体（北からみたもの）



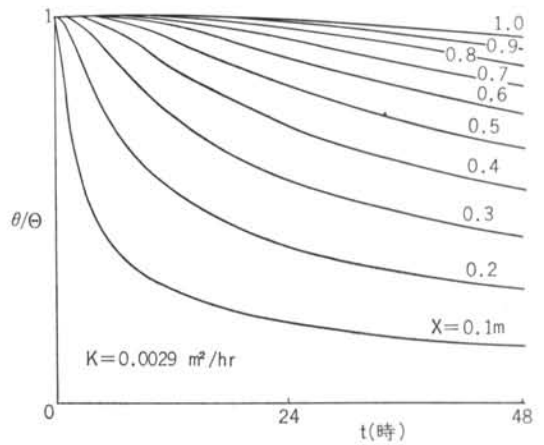
図一 9 表面温度の周期変動による内部温度 [(16)式, θ/A と t との関係]



図一 11 急激な表面温度の降下による内部温度 [(20)式, θ/θ と t との関係]



図一 10 表面温度の周期変動による内部温度 [(16)式, θ/A と t との関係]



図一 12 急激な表面温度の降下による内部温度 [(20)式, θ/θ と t との関係]

打込箇所	予 定 ス ラ ン プ (cm)	W/C (%)	S/A (%)	重 量 kg/m ³					所要強度 (kg/cm ²)	温度補正 (kg/cm ²)
				セメント	細骨材	粗骨材	水	A E 剤		
基 礎	18	51.5	40.7	334	742	1,087	172	cc/m ³ 83.5	210	40
軸 部	21	51.5	43.6	361	768	1,002	186	90.3	210	40

表-6 コンクリートの調合

打込箇所	養 生	圧 縮 強 度 (kg/cm ²)			引張(割裂)強度 (kg/cm ²)		スランプ (cm)	空気量 (%)
		7 日	28 日	91 日	7 日	28 日		
基 礎	標 準	160	297	—	—	—	18.6	3.1
軸 部	標 準	162	291	343	16.1	25.6	21.5	3.0
	現場空中	127	211	—	—	—		
	現場水中	130	260	—	—	—		

表-7 コンクリート試験成績表

外気温 (No.12) は、実大試験体の西側に設けた測定小屋の北側地上約20cmの高さで、直射日光を受けない場所で測定した。

§ 8. 測定結果

日変化の一例として、測定期間1年間の夏と冬から各各48時間をとった。図-14~17は夏の、図-18~21は冬の測定結果である。

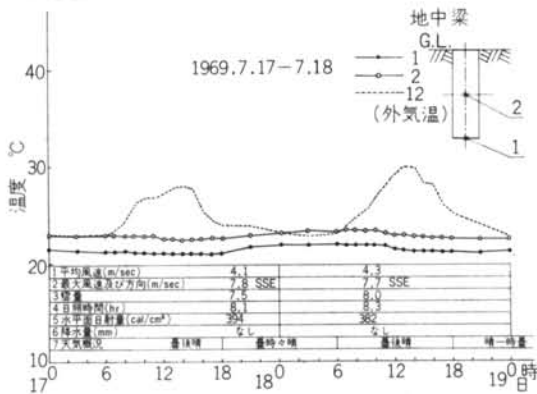


図-14 日変化の実測結果(夏) - その1

注1) 気象データは東京管区気象台が観測したものである。図-6, 14, 15, 16も同様である。

注2) No. 12 (外気温) の測定位置は本文中に示す。図-3~16も同様である。

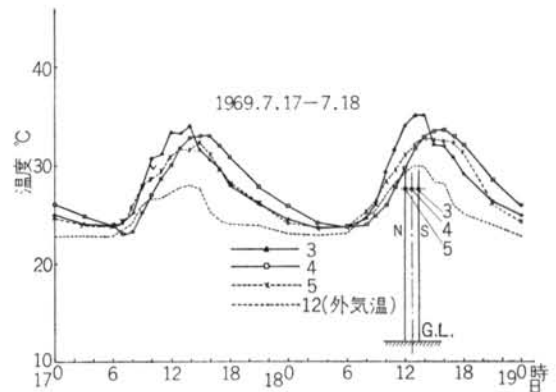


図-15 日変化の実測結果(夏) - その2

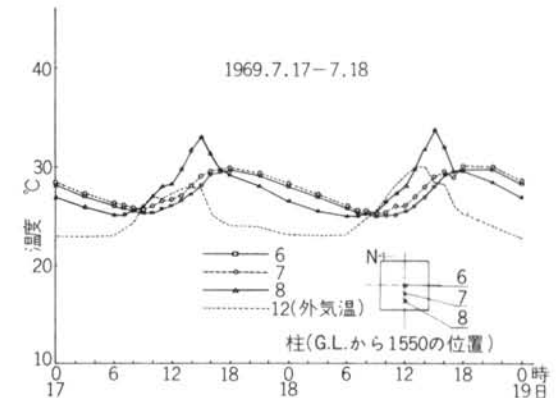


図-16 日変化の実測結果(夏) - その3

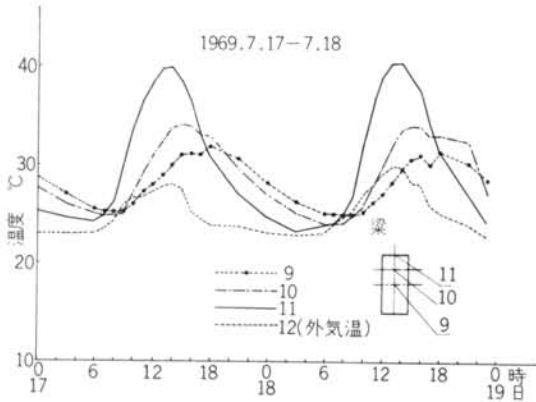


図-17 日変化の実測結果(夏) —その4

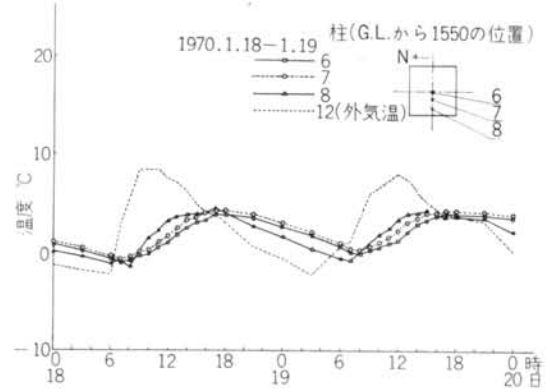


図-20 日変化の実測結果(冬) —その3

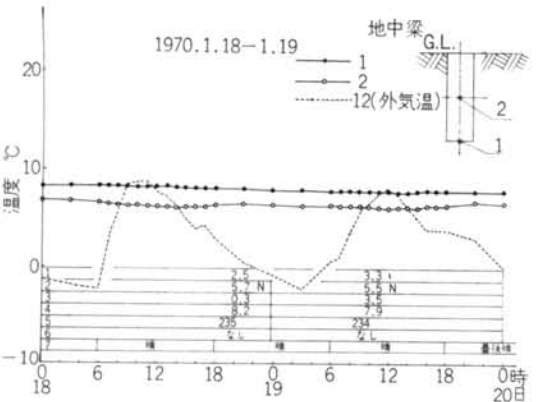


図-18 日変化の実測結果(冬) —その1

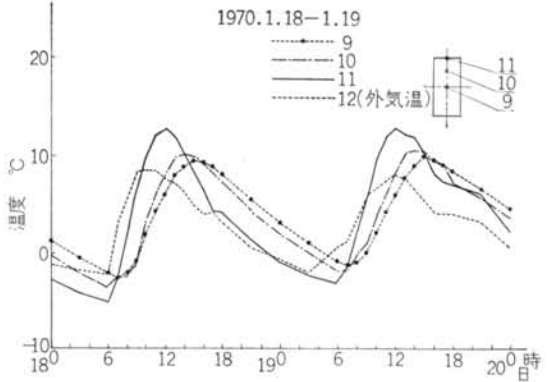


図-21 日変化の実測結果(冬) —その4

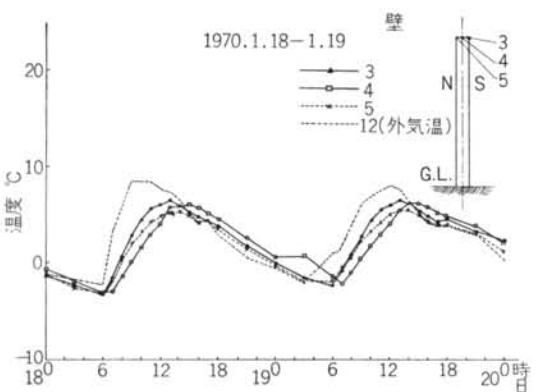


図-19 日変化の実測結果(冬) —その2

年変化の結果は図-22~25に示す。これらは毎日午前10時の値を1週間毎に plot したものである。

図-26~28に示すものは、この期間に試験体の壁にひびわれが発見されたものであり、いずれも気温が急激に降下している。

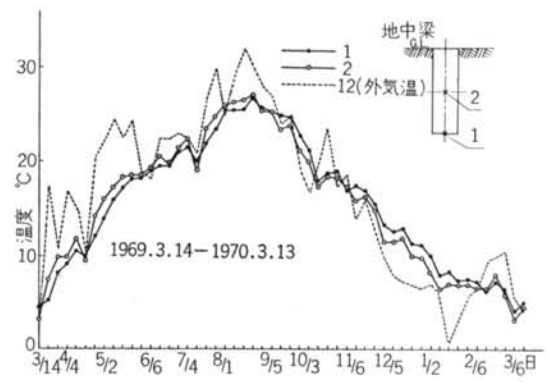


図-22 年変化の実測結果—その1

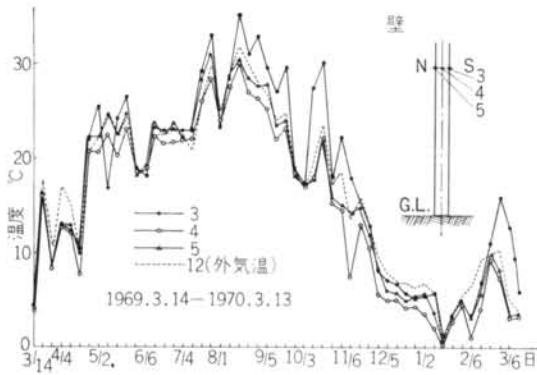


図-23 年変化の実測結果—その2

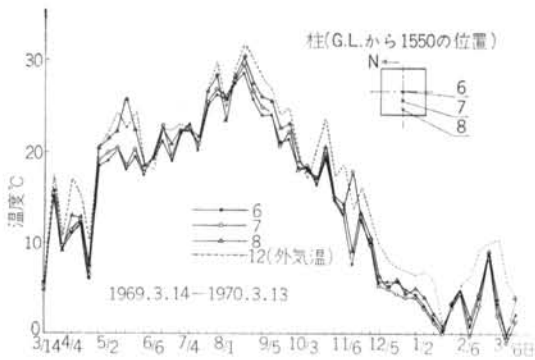


図-24 年変化の実測結果—その3

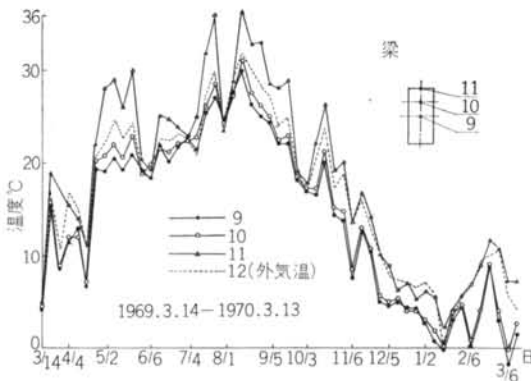


図-25 年変化の実測結果—その4

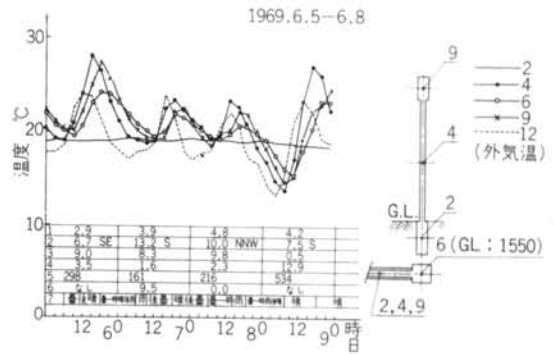


図-26 壁にひびわれが発見された時期の実測結果—その1

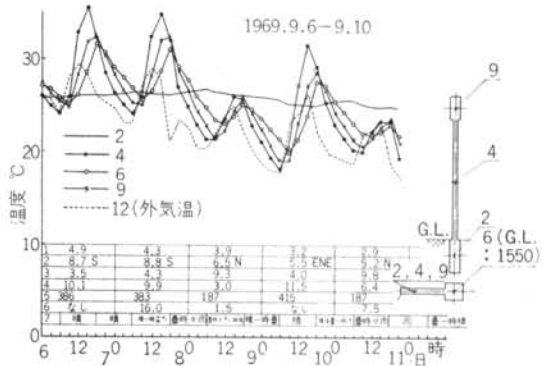


図-27 壁にひびわれが発見された時期の実測結果—その2

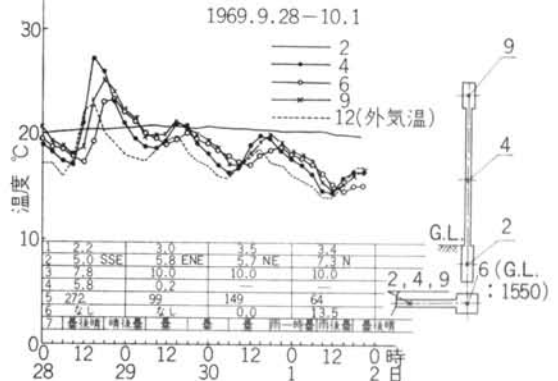


図-28 壁にひびわれが発見された時期の実測結果—その3

§ 9. 検討 (その I. 気温と表面温度)

9.1 推定値

(24), (25)式につきの仮定数値を代入して, 試算を行なう。

温度拡散率 $K=0.0058, 0.0029$ [m^2/hr]

熱伝導率 $\lambda=2.60, 1.30$ [$Kcal/mhr^\circ C$]

風速 $\omega=3, 4$ [m/sec]

Jüges の式により, 粗面の対流熱伝達率 α は

$$\alpha=5.3+3.6\omega$$

であるから

$$\omega=3 m/sec \text{ のとき } \alpha=5.3+3.6 \times 3=16.1$$

$$\omega=4 m/sec \text{ のとき } \alpha=5.3+3.6 \times 4=19.7$$

対流熱伝達率を3.5とすると、総合熱伝達率 α_T は
 $\omega = 3 \text{ m/sec}$ のとき $\alpha_T = 16.1 + 3.5 = 19.6 \div 20$

$$h = \frac{\alpha}{\lambda} = 7.70, 15.4$$

$\omega = 4 \text{ m/sec}$ のとき $\alpha_T = 19.7 + 3.5 = 23.2 \div 23$

$$h = \frac{\alpha}{\lambda} = 8.85, 17.7$$

気温の周期 $\tau_o = 24, 144 \text{ [hr]}, 365 \text{ [days]}$ としたときの計算結果を表-8, 9に示す。

K, h	K=0.0058, h=7.7		K=0.0029, h=15.4	
	η	ϵ	η	ϵ
τ_o				
24hr	0.578	1.39hr	0.749	0.88hr
144hr	0.778	4.48hr	0.839	3.43hr
365days	0.969	1.82days	0.978	1.28days

表-8 風速3m/sの場合の気温の振幅に対する表面温度の振幅の比 η と位相の遅れ ϵ

K, h	K=0.0058, h=8.85		K=0.0029, h=17.7	
	η	ϵ	η	ϵ
τ_o				
24hr	0.615	1.25hr	0.775	0.78hr
144hr	0.808	4.09hr	0.859	3.05hr
365days	0.973	1.57days	0.982	1.10days

表-9 風速4m/sの場合の気温の振幅に対する表面温度の振幅の比 η と位相の遅れ ϵ

9.2 測定期間中の風速

この測定期間中は当所では風速の測定は行なわなかった。つぎに示すのは東京管区気象台が観測したものである。

1969年3月~1970年3月	13カ月間の平均	3.79m/sec
1969年7月17日		4.1 "
1969年7月18日		4.3 "
1970年1月18日		2.5 "
1970年1月19日		3.3 "

9.3 実測結果にみる η と ϵ

外気温と壁表面温度について検討する。

(1)日変化

図-15に夏の、図-19に冬の外気温と壁表面温度の測定結果の1例を示した。これらの天候等は各々図-14, 18に示す。ただし、図-14~21は、温度の読み取り間隔が1~3時間毎となっている。これは、自動記録計の打

点間隔は1分間であるが、外気温や表面温度はかなりの変動があるのでこのようにした。

(1-1)位相の遅れ ϵ (夏)

風速4m/secの場合の計算値(表-9)によると、 $\tau_o = 24 \text{ hr}$ で $K = 0.0058$ のとき $\epsilon = 1.25 \text{ hr}$ 、同じく $K = 0.0029$ のとき $\epsilon = 0.78 \text{ hr}$ である。ところで図-15をみると直射日光の影響の少ない北側表面(No.5)と外気温(No.12)の極大値で ϵ を読み取ると約1.0hrとなり、 $K = 0.0058$ と 0.0029 で計算した値の中間にあるが、読み取り間隔が1時間であるから、この結果から K は定めにくい。

(1-2)振幅の変化 η (夏)

η は表-9による計算結果が1.0未満であるのに対して実測値は図-15から、あきらかに1.0以上である。

(1-3)位相の遅れ ϵ (冬)

図-19からNo.5, 12の極大極小の差の比を η として読み取ると $\eta \div 0.75$ である。さて表-8によると、 $\tau_o = 24 \text{ hr}$ で $K = 0.0058$ のとき $\eta = 0.578$ 、 $K = 0.0029$ のとき $\eta = 0.749$ であるから、 $K = 0.0029$ とした計算値に近い。

(2)年変化

図-23によると、No.5と12とはほぼ等しい周期変動のようであり、計算結果(表-9)と一致するが K は定めにくい。ただし南側の日射の影響は解析していない。

§ 10. 検討(そのII. 表面温度の周期変動と内部温度)

10.1 推定値

(17), (18)式による θ_{\max}/A と Δt について計算結果を表-10, 11に示す。

10.2 実測結果の検討

(1)日変化($\tau_o = 24 \text{ hr}$)

(1-1)Time lag Δt

- 壁中央 ($x = 0.075 \text{ m}$)
- 梁中央 ($x = 0.3 \text{ m}$)
- 地中梁中央 ($x = 0.45 \text{ m}$)

とすると実測値は

- 夏は図-15から2hr, 冬は図-19から2hr
- 夏は図-17から4hr, 冬は図-21から3hr
- 夏は図-14から13hr, 冬は図-18から10hr

となり、表-8の計算値と比較すると

- $K = 0.0029$ とした値に近い。
- $K = 0.0058$ とした値に近い。
- $K = 0.0029$ とした値に近い。

(1-2)振幅の変化 θ_{\max}/A

x(m)	0.0058			0.0029		
	24 (hr)	144 (hr)	365 (days)	24 (hr)	144 (hr)	365 (days)
0	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
0.05	0.79	0.91	0.99	0.71	0.87	0.98
0.075 (壁中央)	0.70	0.86	0.98	0.60	0.81	0.97
0.1	0.62	0.82	0.98	0.51	0.76	0.97
0.15	0.49	0.75	0.96	0.36	0.66	0.95
0.2	0.39	0.68	0.95	0.26	0.58	0.93
0.3 (梁中央)	0.24	0.56	0.93	0.13	0.44	0.90
0.4	0.15	0.46	0.91	0.07	0.33	0.87
0.45 (地中梁中央)	0.12	0.42	0.90	0.05	0.29	0.85
0.5	0.09	0.38	0.88	0.03	0.25	0.84
0.9 (地中梁底)	0.01	0.17	0.80	0.00	0.08	0.73
1.0	0.01	0.14	0.78	0.00	0.06	0.70
2.0	0.00	0.02	0.61	0.00	0.00	0.50
5.0	0.00	0.00	0.29	0.00	0.00	0.17
10.0	0.00	0.00	0.08	0.00	0.00	0.03

表-10 θ_{\max}/A (表面温度の振幅に対する内部温度の振幅の割合)

実測値は

- a. 夏は図-15から1.0以上, 冬は図-19から0.77
- b. 夏は図-17から1.0以上, 冬は図-21から1.0以上
- c. 夏は図-14から0.17, 冬は図-18から0.03

となり, 表-7の計算値と比較すると,

- a は, 夏は合わない, 冬は $K=0.0058$ とした値に近い
- b は, 夏, 冬とも合わない,
- c は, 夏は $K=0.0058$ とした値に近く, 冬は $K=0.0029$ とした値に近い.

(2)年変化 ($\tau_0=365$ days)

地上, 地下部分共に実測値と計算値との間に大きな差はないようである. ただし K は定めにくい.

§ 11. 検討 (そのⅢ. 急激な表面温度の降下)

図-26~28はいずれもこの期間に試験体の壁にひびわれが発生した. このような外気温の変動を周期変動と考えるのは無理のようで, むしろ「急激な表面温度の降下」と考えた方が取扱いやすいようである. すなわち,

x(m)	0.0058			0.0029		
	24 (hr)	144 (hr)	365 (days)	24 (hr)	144 (hr)	365 (days)
0	0	0	0	0	0	0
0.05	0.91	2.22	17.3	1.28	3.14	24.5
0.075 (壁中央)	1.36	3.33	26.0	1.92	4.71	36.7
0.1	1.81	4.44	34.6	2.57	6.29	49.0
0.15	2.72	6.67	51.9	3.85	9.43	73.4
0.2	3.63	8.89	69.2	5.13	12.6	97.9
0.3 (梁中央)	5.44	13.3	104	7.70	18.9	147
0.4	7.26	17.8	138	10.3	25.1	196
0.45 (地中梁中央)	8.17	19.8	156	11.6	28.4	221
0.5	9.07	22.2	173	12.8	31.4	245
0.9 (地中梁底)	16.3	40.0	312	23.1	56.6	441
1.0	18.2	44.4	346	25.7	62.9	490
2.0	36.3	88.9	692	51.3	126	979
5.0	90.7	222	1,731	128	314	2,448
10.0	181	445	3,462	257	629	4,896

表-11 Time lag Jt (hr)

地中梁中心温度の降下に比較して地上部分の温度降下は急激であり, このことは図-11~12により説明できる.

§ 12. 結論

(1)外気温の日変化と, コンクリート内部温度との関係は, 地中部分では, 温度拡散率 $K=0.0029, 0.0058$ [m^2/hr] とし熱伝導理論式から導いた値との間に大きな差はない. ただし, この測定結果からは K は定めにくい.

地上部分では, 変動振幅が, 夏は実測値の方が計算値よりいずれの場合も大きい. また冬でも日射の影響で変動振幅の大きいものがあつた.

(2)外気温の年変化とコンクリート内部温度との関係は, 地上地中ともに, $K=0.0029, 0.0058$ とし熱伝導理論式から導いた値との間に大きな差はないが, この場合もこの結果からは K は定めにくい.

(3)寒波の襲来と, コンクリート内部温度との関係は, 周期変動と考えるよりは「急激な表面温度の降下」とした方が実測値は説明しやすい.

§ 13. あとがき

この報告（第1報）では、外気温の変動によるコンクリート内部温度の変動についてのべた。体積変化ならびにひびわれ発生等については引続いて報告する予定である。

なお、数値計算ならびに作図は、当社計算センターの

I BM1620ならびに I BM1627 Plotter によった。

謝 辞

本研究の実施にあたっては、当研究所所長鳥田専右博士のご指導をいただいた。ここに厚く感謝の意を表する次第である。

<参考文献>

- 1) 大野, 武藤: “RC造建築物の温度伸縮の測定” 日本建築学会研究報告 第27号 昭29.5
- 2) 大野: “RC造構造物の温度伸縮の実態” 日本建築学会論文集 第54号 昭31.9
- 3) 大沢, 青山: “日射を受けるRC版の変形測定” 日本建築学会研究報告 第35号 昭31.6
- 4) 高橋, 中島: “温度によるコンクリート建物の挙動と屋根防水の関連性に関する研究” 日本建築学会大会号 昭44.8他
- 5) 西, 勝木他: “CSAを用いたRC屋根スラブの自己ひずみに関する測定としての考察” 日本建築学会大会号 昭44.8
- 6) 武藤清: “耐震設計シリーズ”
- 7) “建築学大系” 第8巻 1969
- 8) 川下研介: “熱伝導論” 1966
- 9) 浜田稔: “建築材料学” 1964
- 10) Chapman: “Heat Transfer” 1967
- 11) “コンクリート工学ハンドブック” 1965