

名古屋大林ビルの温度測定結果

高橋 久雄
長尾 覚博

Results of Temperature Measurements on Nagoya Ohbayashi Building

Hisao Takahashi
Kakuhiko Nagao

Abstract

This report is a study of the results of temperature measurements made on the Nagoya Ohbayashi Building (6 stories) carried out to ascertain temperature changes at columns, beams, walls and slabs which are the causes of movement of reinforced concrete structures. While clarifying the actual state of temperature changes of reinforced concrete members, diurnal, daily and annual variations are indicated and arranged to be applicable as data for predicting movement of reinforced concrete structures and calculating thermal stresses. Still further, the relation between changes in temperatures of outdoor air and member is examined.

概要

本報告は、RC構造物の伸縮の原因としてのコンクリート部材の温度変動を、名古屋大林ビルの柱、はり、壁、スラブについて測定し、まとめたもので、各部材の温度変動の実態を明らかにするとともに、日内、日間、年間における変動値を示し、RC構造物の伸縮の予測および温度応力の計算時に資料として適用できるようにした。また外気温の変動と部材温度の変動との関連についても検討した。

1. まえがき

RC構造物は、コンクリートの湿潤乾燥、あるいは日照および空調の影響によるコンクリート部材の温度変動によって伸縮し、その結果コンクリート躯体にひびわれが入り防水故障、内外装材の剝離などの障害を生ずる。これらの障害を防止するには、設計時に前述の挙動を予測し、対策を講ずる必要がある。

本報告は、RC構造物の伸縮の原因としてのコンクリート部材の温度変動を、名古屋大林ビルの柱、はり、壁、スラブについて測定し、各部材の温度変動の実態を明らかにするとともに、日内、日間、年間における変動値を示し、RC構造物の伸縮の予測および温度応力の計算時に資料として適用できるようにした。

2. 測定建物

測定の対象とした建物は名古屋市内所在の名古屋大林ビルで、その概要は次の通りである。

所在地：名古屋市内

構造：RC造，地下1階，地上6階

防水：アスファルト防水，シンダーコンクリート押え，豆砂利洗い出し仕上。

東面，西面外装：プレキャストパネル，コンクリート化粧打放し仕上。

南面，北面外装：プレキャストパネル，コンクリート化粧打放し仕上。

図-1 に建物の梁伏，断面図を示す。

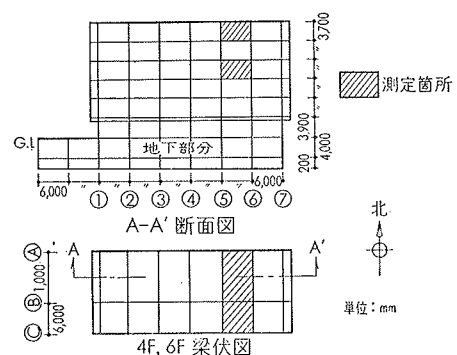


図-1 梁伏、断面図

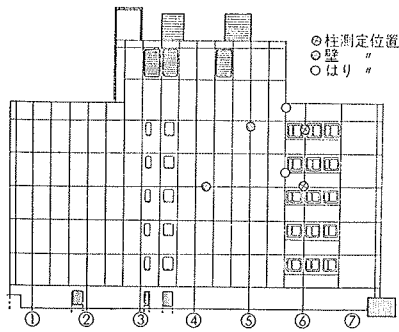


図-2 南立面図

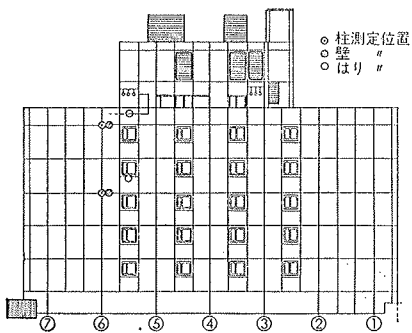


図-3 北立面図

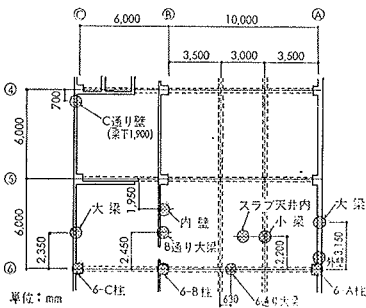


図-4 4F平面図

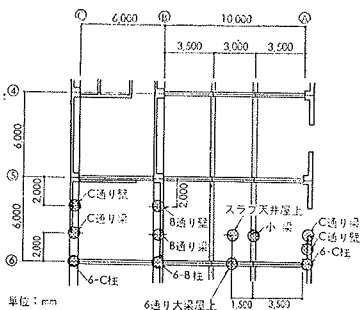


図-5 6F平面図

3. 測定部材

測定は南北面の壁、柱、大梁、および小梁、スラブについて行い、図-2、3、に測定位置を立面で、図-4、5には平面で示した。

また図-6には測定した部材の断面寸法を示した。

4. 測定期間

測定は昭和45年1月～12月までの12カ月間行い、季別として、1月(冬季)、4月(春季)、8月(夏季)、10月(秋季)を取り上げた。

5. 測定方法

温度の測定は、銅-コンスタンタン熱伝対(0.3mmガラス巻)を部材内部に埋込み、感応部をエポキシ樹脂でコーティングし、耐候性を高めた。また熱伝対の埋込みは、9mm鉄筋を支持棒とし、エポキシ樹脂のコーティングによって固定した後、その支持棒を配筋に結束した。なお温度は自記記録計を用い測定した。

6. 外気温の変動

コンクリート部材の温度変動に与える要因としてはつぎのようなものが考えられる。

- a) 外気温の変動……外気温の日内、日間、季別の変動。
- b) 直達日射……昼間の太陽光線の直射、方位、太陽高度によって異なる。
- c) 空調の変動……夏季の冷房、冬季の暖房による室内温度の変動。

実際にはこれらが組み合わさって部材の温度に影響しているのであるが、ここでは外気温の変動について検討した。図-7は、名古屋市昭和45年1月～12月までの外気温の変動を、気象協会の資料により日最高温度、日最低温度で示したが、これによると年間の外気温の変動はほぼ正弦曲線を示し、日内、日間では大

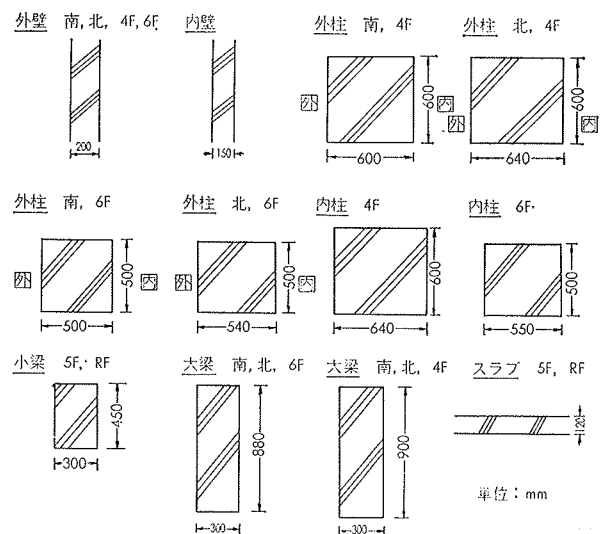


図-6 測定部材の断面寸法

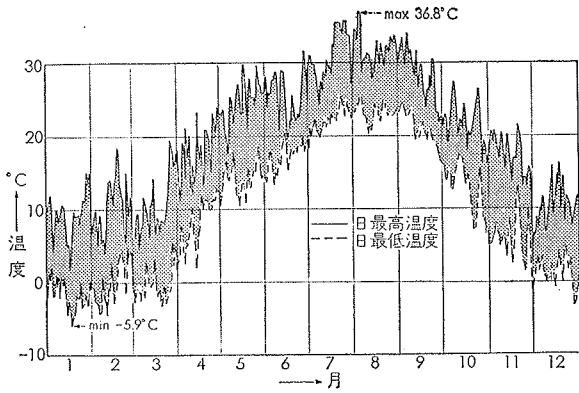


図-7 名古屋市における外気温の変動

きな温度降下, 上昇を示す時期が見られ, これらが部材の温度変動に影響することになる。

なを, 年間における外気温の変動は, 最高36.8°C, 最低-5.9°C で, 42.7°C であった。

また図-8 に外気温の変動と気象条件との関係を昭和45年10月(秋季)を例として示したが, 外気温の日内の変動は晴天時に大きく, 曇天, 雨天時には小さいことがわかる。

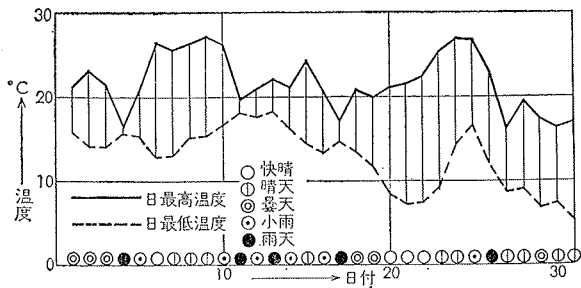


図-8 外気温の変動と気象条件との関係

7. コンクリート部材の温度変動性状

外気に接した部材の温度は, 日照の開始とともに表面温度が上昇しはじめ, 内部は位相のずれを生じながら, 表面温度に追従する傾向を示し(図-9), 一方建物の内部に位置する部材は外気条件の影響が少ないので, 外気に接した部材ほどには, 温度変動しない。

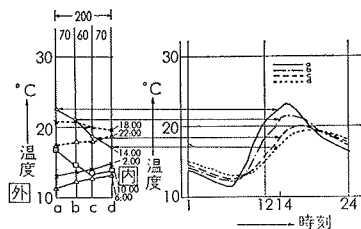


図-9 部材の温度変動(1)

さらに, 部材の温度変動は外的条件, すなわち, 気象条件, 季節によって異なり, 日内, 日間の変動を繰り返しつつ, 年間の変動を繰り返してい

ることになる。(図-10)

また部材の温度変動は, 部材のもつ熱的性質によっても異なる。

部材温度の日内の変動, 年間の変動の一例として, 図-11~19に各季節の代表的な晴天時における

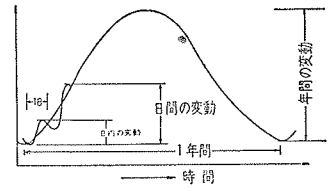


図-10 部材の温度変動(2)

日内の変動を, 壁, 柱, 大梁, スラブの各部材について示した。

これらの結果から, 次のことがいえる。

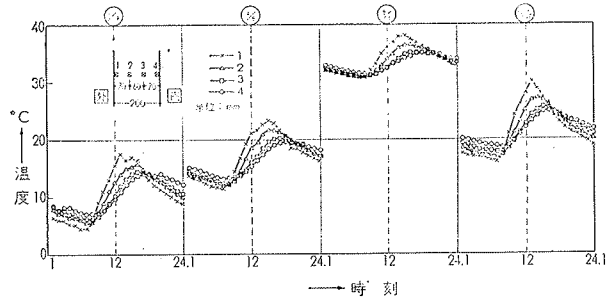


図-11 南側壁の変動

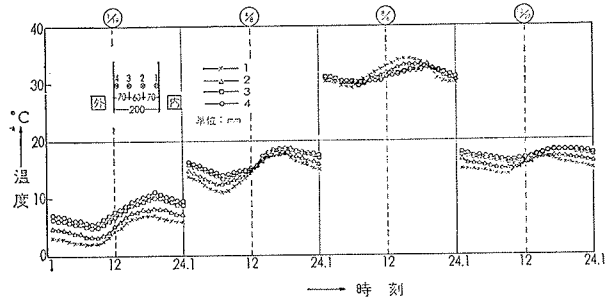


図-12 北側壁の変動

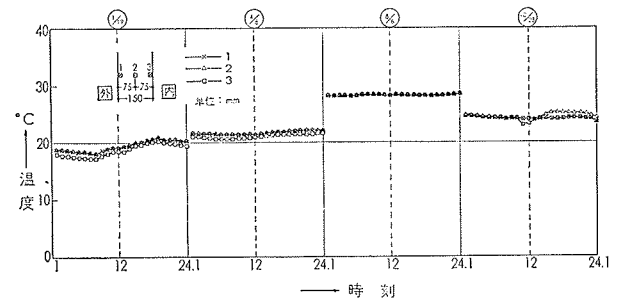
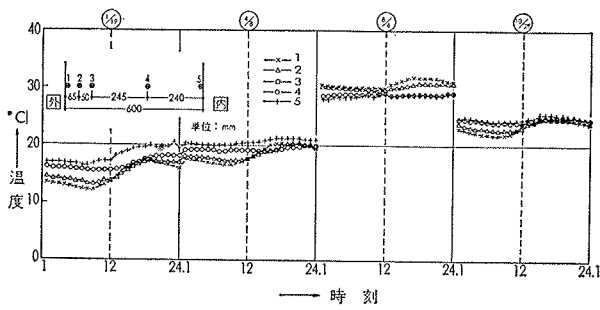
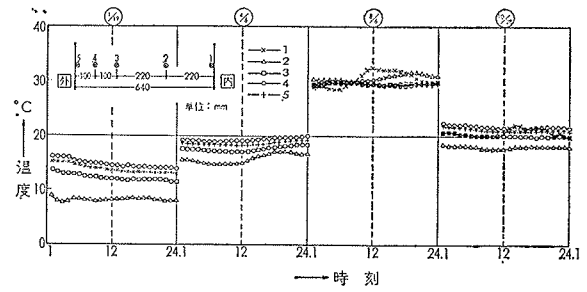


図-13 内側壁の変動

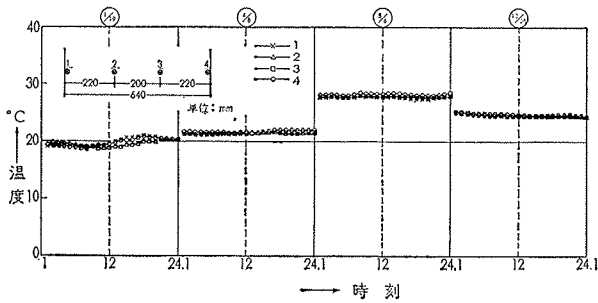
- 1) 外気に接した部材の日内における変動が大きく, 建物の内部に位置する部材の変動は小さい。
- 2) 変動の振幅は部材断面の小さいものほど大きい。



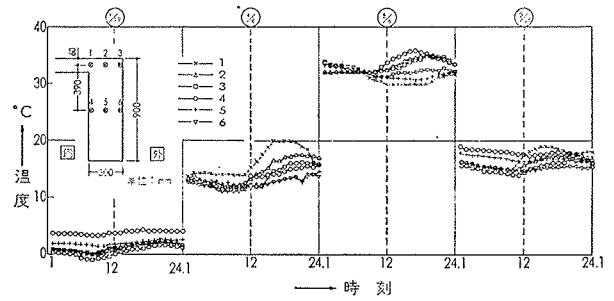
図一14 南側柱の温度変動



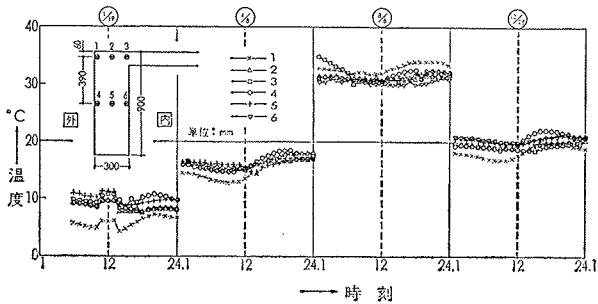
図一15 北側柱の温度変動



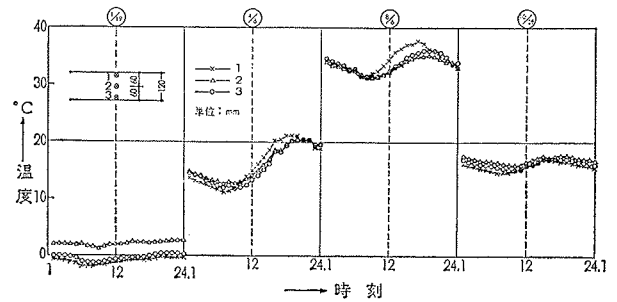
図一16 内側柱の温度変動



図一17 南側大梁の温度変動



図一18 北側大梁の温度変動

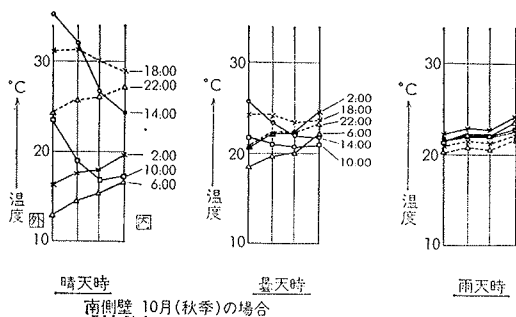


図一19 R/Fスラブの温度変動

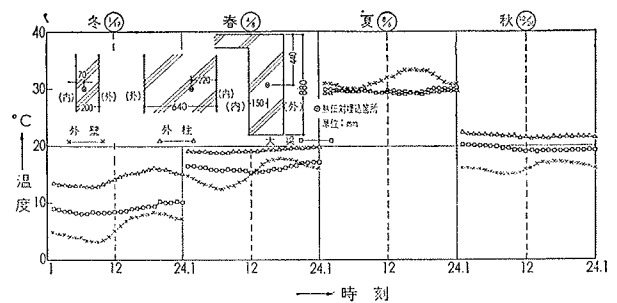
- 3) 方位別では、北面よりも南面に位置する部材の振幅が大きい。
 - 4) 季節別では、8月(夏季)の変動が小さく、1月(冬季)の変動が大きい。
- また図一20に、気象条件による温度変動の相違を壁体について示したが、晴天時に最も大きい変動を示し、

曇天、雨天の順に変動が小となり、外気温の変動と同様の傾向を示している。

以上のように部材の温度変動は部材の寸法、気象条件、部材の位置によって著しく異なり、同一気象条件の場合でも、各部材間の変動にはかなりの差があるため建物には不均等な温度変動により、応力の発生する



図一20 気象条件と温度変動



図一21 柱、梁、壁の温度変動

ことが考えられる。例えば、図-21に示したように、柱、梁、に囲まれた壁体の温度変動は、柱、梁の変動よりも大きい。壁体の伸縮が柱、梁に拘束され、壁体には温度応力によるひびわれ発生の可能性がある。

以上のように、コンクリート部材の温度変動の実態を示したが、部材の温度変動の具体的な値について以下に示した。部材の温度は、両表面の温度差を生じつつ、内部の温度が変動しているから、変動値としては図-22に示すように、

- 1) 部材の中心部の温度差（日内、日間、年間）
 - 2) 部材の両表面温度の差（日内、日間、年間）
- を考慮する必要がある。

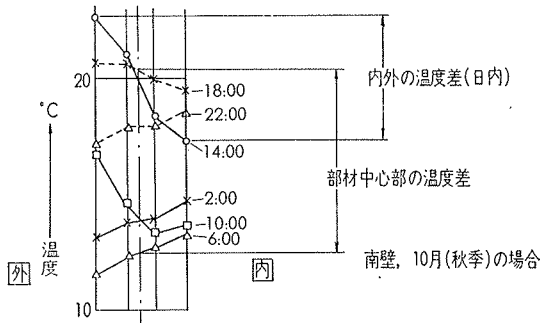


図-22 部材中心部の温度差と、両表面温度の差

方位	部材	冬 期			春 期			夏 期			秋 期			
		晴天(%)	曇天(%)	雨天(%)	晴天(%)	曇天(%)	雨天(%)	晴天(%)	曇天(%)	雨天(%)	晴天(%)	曇天(%)	雨天(%)	
南	壁	4F	10.4	5.7	3.6	8.7	2.3	1.4	5.6	3.3	3.6	5.7	2.6	5.6
		6F	9.9	—	4.4	10.2	3.0	1.0	5.7	3.9	3.5	9.9	3.5	5.6
	柱	4F	4.0	—	1.0	3.0	0.1	0.5	0.5	0.7	1.4	0.8	1.0	0.6
		6F	4.4	2.5	0.9	2.7	0.7	1.3	3.9	0.7	1.4	1.4	2.2	2.0
	大梁	RF	2.9	—	2.7	—	1.4	1.1	0.8	2.6	2.4	—	3.0	—
		4F	5.2	—	2.9	4.7	3.0	2.3	3.3	3.3	1.1	2.1	2.8	4.0
北	壁	4F	3.1	3.4	3.7	4.8	3.0	2.7	1.4	3.1	1.3	2.1	2.1	4.2
		6F	2.4	—	1.5	2.1	0.7	0.6	0.7	0.8	1.2	0.9	0.7	0.5
	柱	4F	1.3	1.4	1.0	1.9	1.3	1.7	0.7	1.6	1.6	0.4	1.1	1.8
		6F	1.2	—	1.3	1.6	1.0	1.1	1.0	1.5	0.6	0.7	0.6	0.4
	大梁	RF	2.6	1.5	2.1	2.2	1.1	1.4	1.3	1.9	1.7	1.7	1.7	0.8
		4F	1.5	—	2.2	0.6	0.7	0.3	0.4	0.9	0.5	2.1	0.7	1.0
内	壁	4F	0.9	2.2	0.7	0.6	1.4	0.5	0.9	0.9	0.4	1.4	1.4	0.3
		6F	1.5	—	0.8	0.3	0.4	0.1	0.4	0.1	0.3	0.7	1.3	0.3
	柱	4F	1.8	0.8	0.8	0.6	0.6	0.5	0.8	0.8	0.5	1.1	2.0	0.6
		6F	2.1	—	3.1	1.1	0.5	0.9	1.1	0.5	0.8	0.3	1.1	0.7
	大梁	4F	3.5	—	—	3.8	1.5	3.0	—	—	—	3.5	2.3	1.3
		6F	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
スラブ	小梁	4F	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		6F	1.1	—	3.8	—	2.0	2.5	5.0	3.1	2.5	1.9	—	3.9
	RF	5F	3.1	—	3.2	2.0	1.6	0.8	0.8	1.5	1.0	1.0	1.1	1.8
	RF	40.6	1.8	1.5	7.1	3.2	2.8	3.9	2.9	3.8	2.4	2.5	2.2	

表-1 日内の中心部の温度差

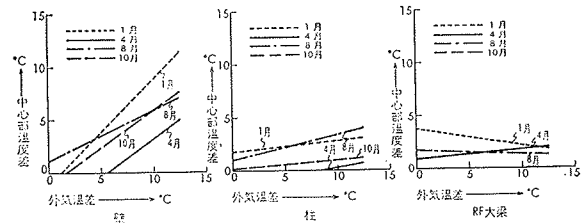


図-23 外気温差と中心部温度差との関係(南)

8. 部材の中心部の温度差

8.1. 日内の温度差

表-1は気象条件の違いによる日内の部材中心部の温度差を各季節についてまとめたもので、これより南壁の温度差が最も大きく、1月の晴天時に10.0°C、ついで北壁が1月の晴天時に5.0°Cを示し、他の部材では南柱、大梁が3~4°C程度、他は大略1~2°Cで、特に建物の内部に位置する部材では0~1.5°Cとほとんど日内においては変動がないといってよい。

また図-23~24には、日内における外気温差と部材中心部温度差との関係を、各月の任意の10日間について示したが、外気温差との関係は南壁が大きく、1月に顕著で、ついで10月、4月、8月の順となった。北壁では四季を通じて大差がなく、南北の柱、大梁の場合にはあまり外気温差と中心部温度差との関係は顕著でなかった。

8.2. 日間の温度差

ここでいう日間の温度差は、当日に対する前日あるいは後日の部材中心部の温度差のことである。それゆえ、日間の温度差を考慮する際には、表-2に示すような前日(後日)と当日との気象条件の関係を調べる必要がある。

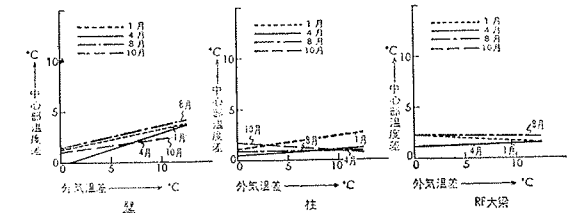


図-24 外気温差と中心部温度差との関係(北)

記号	前日(当日)→当日(後日)	t _{1,min} ~t _{0,max}	t _{1,max} ~t _{0,min}
a	○ → ○	a ₁	a ₂
b	○ → ⊙	b ₁	b ₂
c	○ → ●	c ₁	c ₂
d	⊙ → ○	d ₁	d ₂
e	⊙ → ⊙	e ₁	e ₂
f	⊙ → ●	f ₁	f ₂
g	● → ○	g ₁	g ₂
h	● → ⊙	h ₁	h ₂
i	● → ●	i ₁	i ₂

(注) ○ 晴天(快晴)
 ⊙ 曇天
 ● 雨天(雷天)

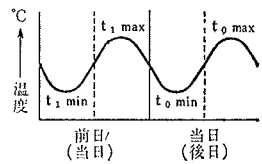


表-2 日間の気象条件の組合せ

表-3は、壁、柱、大梁の部材中心部の日間の温度差とそのときの気象条件の組合せを表-2に示す記号でまとめたが、各部材とも、当日あるいは前日(後日)の気象条件が晴天時に最大値を示している場合がほと

んどで、季節別では、冬季の場合に比較的大きな差を示している。部材間では南壁が最も大きく、1月の○→○の組合せの場合に12°C(上昇)にも達している。北壁では10月の●→○の組み合わせの場合に約7.0°C(上昇)の温度差を示し、柱、大梁では四季を通じておよそ1~3°C程度の温度差であった。

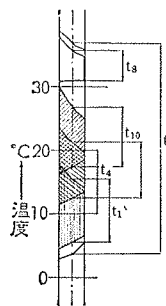
方位	部材	階	1月		4月		8月		10月	
			a ₂	a ₁	a ₂	a ₁	f ₂	f ₁	a ₂	a ₁
南	壁	4F	12.1	7.6	10.1	4.3	9.8	13.7		
			(11.3)	(11.2)	(4.3)	(13.7)				
	柱	4F								
北	壁	4F	c ₂	c ₁	h ₂	g ₂				
			4.2	3.8	3.9	5.6				
	柱	4F								
内部	壁	4F	i ₂	c ₁	h ₂	a ₁				
			5.1	4.6	4.9	7.3				
	柱	4F								
内部	壁	4F	i ₂	c ₁	h ₂	a ₁				
			3.5	2.4	2.0	2.7				
	柱	4F								
内部	壁	4F	d ₁	c ₁	h ₂	a ₁				
			3.7	3.3	3.5	3.9				
	柱	4F								
内部	壁	4F	d ₁	c ₁	h ₂	a ₁				
			3.7	3.3	3.5	3.9				
	柱	4F								
内部	壁	4F	d ₁	c ₁	h ₂	a ₁				
			3.7	3.3	3.5	3.9				
	柱	4F								
内部	壁	4F	d ₁	c ₁	h ₂	a ₁				
			3.7	3.3	3.5	3.9				
	柱	4F								
内部	壁	4F	d ₁	c ₁	h ₂	a ₁				
			3.7	3.3	3.5	3.9				
	柱	4F								
内部	壁	4F	d ₁	c ₁	h ₂	a ₁				
			3.7	3.3	3.5	3.9				
	柱	4F								
内部	壁	4F	d ₁	c ₁	h ₂	a ₁				
			3.7	3.3	3.5	3.9				
	柱	4F								
内部	壁	4F	d ₁	c ₁	h ₂	a ₁				
			3.7	3.3	3.5	3.9				
	柱	4F								
内部	壁	4F	d ₁	c ₁	h ₂	a ₁				
			3.7	3.3	3.5	3.9				
	柱	4F								
内部	壁	4F	d ₁	c ₁	h ₂	a ₁				
			3.7	3.3	3.5	3.9				
	柱	4F								
内部	壁	4F	d ₁	c ₁	h ₂	a ₁				
			3.7	3.3	3.5	3.9				
	柱	4F								
内部	壁	4F	d ₁	c ₁	h ₂	a ₁				
			3.7	3.3	3.5	3.9				
	柱	4F								

(注) a₁ a₂ b₁ b₂……は温度差が最大となるとき条件
()内、外気温度:°C

表一3 日間の温度差

8.3 年間の温度差

図一25は、南壁の日内の温度変動幅と年間の変動幅との関係を示したものであるが、図からも明らかのように、部材の温度は年間において最も大きな値を示す。



図一25 日内の変動と年間の変動

は、外壁、RF大梁が0.7, RFスラブが0.8, 外柱が0.4となり、外気温をパラメーターとして考えた場合、この程度の値を参考値とすれば、変動値のおおその目安がつけられる。

9. 部材両表面温度の差

部材外表面と内表面の温度差は、日内、日間、年間で生ずるが、ここでは日内の最大温度差について示した。表一5は各部材の内外表面の温度差を示したもので、南壁の温度差が大きく、最大値で7°C, 北壁が5

方位	部材	階	内部温度範囲	外気温度との割合	方位	部材	階	内部温度範囲	外気温度との割合
南	壁	4F	30.8	0.72	内部	壁	4F	11.0	0.26
		6F	33.1	0.77			6F	17.4	0.41
	柱	4F	14.4	0.34		柱	4F	7.7	0.17
		6F	19.8	0.46			6F	16.7	0.39
	大梁	RF	19.0	0.44		大梁	5F	14.5	0.34
	北	壁	4F	28.9		0.67	外部	大梁	RF
6F			30.9	0.72	5F	—			—
柱		4F	15.9	0.37	小梁	RF		30.7	0.71
		6F	24.9	0.58		5F		17.4	0.41
大梁		5F	23.1	0.54	スラブ	RF		34.7	0.81
		RF	30.8	0.72					

表一4 年間の温度差

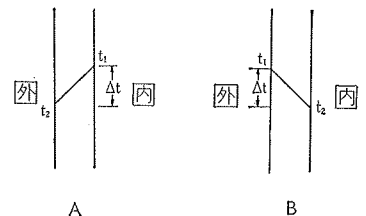
方位	部材	階	冬期			春期			夏期			秋期		
			晴天(%)	曇天(%)	雨天(%)	晴天(%)	曇天(%)	雨天(%)	晴天(%)	曇天(%)	雨天(%)	晴天(%)	曇天(%)	雨天(%)
南	壁	4F	6.3	—	3.9	5.4	2.0	1.0	4.5	2.1	1.5	6.9	3.5	4.3
		6F	5.3	3.2	2.8	5.0	1.9	1.2	4.5	2.2	2.4	4.0	2.8	3.6
	柱	4F	4.4	—	5.7	3.6	3.0	3.0	2.3	2.0	2.6	2.6	2.1	
		6F	1.3	2.0	2.7	1.7	0.9	1.3	2.4	1.6	1.0	3.3	1.1	2.5
	壁	4F	4.0	—	5.2	3.3	2.8	2.2	2.6	2.5	1.1	2.8	2.6	3.5
		6F	2.0	3.0	3.8	1.8	1.7	1.2	3.3	3.2	1.3	2.2	2.5	2.6
柱	4F	—	—	—	—	—	—	2.6	3.0	1.4	1.4	1.6	2.2	
	6F	6.3	6.0	5.9	4.8	3.7	3.9	4.3	4.0	1.0	5.7	5.8	5.2	
内部	壁	4F	1.3	—	1.6	1.0	0.8	0.8	0.1	0.4	0.2	0.3	0.6	0.7
		6F	0.9	0.6	0.7	0.8	0.7	0.4	0.5	0.2	0.3	0.5	1.2	0.3
	柱	4F	0.8	—	2.0	0.6	0.5	0.4	0.6	0.8	0.6	0.8	0.2	0.5
		6F	—	—	—	1.5	1.0	0.9	2.6	0.4	2.1	0.6	0.6	0.8
	スラブ	5F	6.3	—	5.0	—	1.8	1.5	1.6	3.5	1.8	5.6	1.8	1.5
		RF	0.8	0.9	0.9	2.3	1.2	1.1	2.6	2.0	2.8	1.0	1.0	1.0

(注) (±) t₀ | t_i (±) t₀ | t_i t₀~t_i:内外の温度差

表一5 部材内外の温度差

°C, 柱は南北の差がなく4°C程度であった。また建物内部の部材は0~1.5°Cでほとんど内外の温度差がなかった。

また部材内外表面の温度差を考慮する場合にはその状態が問題となる。つまり外表面が高く、内表面が低い(図一26のA)かあるいは外表面が低く、内表面が高い(図一26のB)



図一26 内外の温度差の状態

かによって応力の状態が異なるからである。南壁では四季を通じて、外表面が高く内表面が低いという状態で最大値を示し、北壁および南北の柱については、外表面が低く、内表面

が高い状態で最大値を示す場合がほとんどであった。
また、建物の内部に位置する部材はR Fスラブを除いて両表面の温度差はほとんどなかった。

10. 結 び

R C構造物の伸縮の原因としての部材の温度変動の

実態について示したが、これらの結果はR C構造物の伸縮の予測および温度応力を解析する際の資料となるであろう。

参考文献

- 1) 日本気象協会編, 1971年版気象年鑑