

# 熱荷重を受ける鉄筋コンクリート部材の熱応力評価実験

生 駒 哲 夫  
山 崎 庸 行  
入 野 一 男  
(原子力部)  
中 村 雅 彦  
(原子力部)

## § 1. はじめに

鉄筋コンクリート構造物に発生する熱応力は、通常の外力荷重によって生じる応力とは異なり、躯体に生じるひび割れや、クリープ変形等によって減少する、いわゆる自己制限応力である。したがって、躯体に作用する外力荷重の大小や、鉄筋量の多少によっても変動する傾向、すなわち躯体の剛性に依存する性質を有する。この種の自己制限応力について、その定性的傾向はこれまで幾多の研究者によって研究されてはいるが、定量的な把握およびその実証に関しては未だ十分とはいえないのが実情である。

原子力発電所の建屋は、通常運転時あるいは事故時には多大の熱荷重を受ける。一般に熱応力を含む設計は、熱荷重に対する弾性解析値を一律に、ある係数倍することによって設計熱応力を定め、他の外力荷重による応力と組み合わせて断面算定を行なうという方法を探っている。これに対し、熱応力を断面算定の際にその減少量を考慮に入れて評価する、という方法も一方では提案されている。これは従来の鉄筋コンクリート部材の断面設計理論に、ひび割れにより低減する熱応力の性質を加味しようとする立場であるが、いずれにしても上記2つの熱応力設計法については実験によるその定量的な裏付けはほとんどない。

本報告は、こうした未解明な部分の多い熱応力の挙動を部材実験を通して捉え、併せて現在までに既に提案されている熱応力に対する実験的な評価法<sup>1)2)</sup> および部材設計法的な評価法<sup>3)</sup> に関して、それらの妥当性を検討したものである。

## § 2. 実験計画

### 2.1 実験方針

実験は、荷重に対してクリープの影響の少ない短期間

とし、かつ構造境界の影響を受けない実構造物の部位を想定して行なった。それは、温度勾配と外力（軸力と曲げモーメント）の作用下における部材内熱応力を検出するための実験（以下、これを熱応力実験という）と、常温下での部材の曲げ降伏実験とから成る。なお、熱応力実験については、部材のせい方向の温度勾配によって生じる曲げ変形のみを拘束する手法を探っている。

実験上のパラメータは次のとおりとした。

- (I)軸力 ( $N$ )、 (II)外力曲げモーメント ( $M^*$ )、
- (III)鉄筋比 ( $P_t$ )、 (IV)内外面温度差 ( $\Delta T_v$ )

### 2.2 コンクリートの調合および材料

セメントは普通ポルトランドセメント、砂と砂利は鬼怒川産のものを使用し、28日強度が  $240 \text{ kg/cm}^2$  となることを目標に調合した。それを表-1に示す。

試験体は、打設後直ちに濡れむしろで覆い、材令7日の脱型時まで散水養生を施した。その後は実験材令(21~56日)まで室内に放置した。部材試験体と同一調合より成るシリンダー状ピース試験体 ( $100 \text{ mm} \times 200$ ) から得られたコンクリートの諸特性を、表-2に示す。

### 2.3 試験体および実験方法

図-1に、部材試験体と実験装置の概略図を示す。試験体はピンとピンローラーで支持され、その全長は試験部と定着部とから成っている。試験部は長さ200cm、幅20cm、せい40cmの矩形梁で、主筋には異形棒鋼を、あばら筋には丸鋼を使用している。さらに、主筋は圧縮側と引張側それぞれ均等に配筋されている。

粗骨大材寸法 (mm)	所要スランプレンジ (cm)	所要空気量 (%)	水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	単位水量 (kg/m <sup>3</sup> )	重量 (kg/m <sup>3</sup> )			混和剤 ポゾリス No.8 L 25%溶液 (cc/m <sup>3</sup> )
						セメント	細骨材	粗骨材	
25	12 ±2.5	4±1	54	41.5	153	282	772	1088	2120

表-1 コンクリートの調合

実験種類	試験体 No.	使用鉄筋 (本-サイズ)	鉄筋比片側 (%)	材令 (日)	圧縮強度 $F_c$ (kg/cm <sup>2</sup> )	引張強度 $F_t$ (kg/cm <sup>2</sup> )	弾性係数 $E_c \times 10^3$ (kg/cm <sup>2</sup> )
熱応力実験 (T)	T 1	4-D16	0.50	40	258	24	2.48
	T 2	4-D16	0.50	33	267	23	2.32
	T 3	4-D16	0.50	32	294	29	2.50
	T 4	4-D19	0.71	56	305	28	2.66
	T 5	4-D19	0.71	40	300	24	2.52
	T 6	4-D19	0.71	28	282	24	2.42
	T 7	4-D19	0.71	27	296	24	2.60
	T 8	4-D22	0.97	21	275	24	2.49
	T 9	4-D22	0.97	39	296	24	2.53
曲げ降伏実験 (S)	S 1	4-D16	0.50	29	281	22	2.64
	S 2	4-D16	0.50	26	238	21	2.39
	S 3	4-D19	0.71	26	275	26	2.28
	S 4	4-D19	0.71	27	282	24	2.47
	S 5	4-D19	0.71	33	257	26	2.34
	S 6	4-D22	0.97	22	281	23	2.40
	S 7	4-D22	0.97	35	286	26	2.40

表-2 試験体の諸元とコンクリートの材料物性

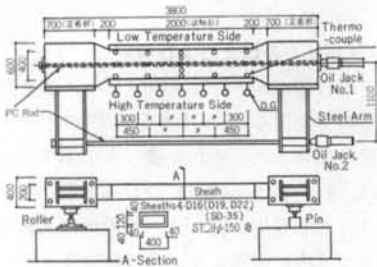


図-1 試験体および実験装置

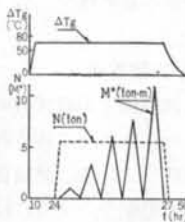


図-2 加熱および加力の模式図

なお、用いた実験装置は自己釣合い系を保持するものである。

### 2.3.1 熱応力実験 (T)

加熱および加力の方法の模式図を図-2に示す。温度勾配は、試験部の両側面にその温度を制御された温水(60℃,あるいは80℃)と冷水(15℃)を循環させて与え、部材内温度分布を試験体1体あたり22本のc-c熱伝対で計測した。試験体は温度勾配がほぼ定常状態に達

するまで自由に熱変形をさせ、しかる後に所定の軸力 $N$ を油圧ジャッキNo.1で導入し、その後、試験体両端の定着部に設けた鋼製アームを介して油圧ジャッキNo.2で先の自由熱変形を打ち消すように拘束曲げモーメントを加えた。このときの外力曲げモーメント $M^*$ は図-2に示すとおり、繰り返し作用させている。

なお、この間の試験体の呈する曲率は、同試験体底部の中心軸位置に配置した7台の変位計によって経時的に測定したたわみ値から、その都度、最小自乗法によって算出した。ひずみは、鉄筋コンクリート部材表面と内部鉄筋のそれぞれの表面に貼ったひずみゲージにより検出している。

また、軸力 $N$ は実際には一定に制御しなかったため、拘束曲げモーメントの変化と共に変動した。

### 2.3.2 曲げ降伏実験 (S)

先の熱応力実験(T)と同じ加力装置で、常温下の曲げ降伏実験を行ない、引張鉄筋の降伏時まで曲げモーメント-曲率の関係を計測した。

## § 3. 熱応力評価法

本論文の主要目的である、部材内熱応力の評価方法を以下に示す。便宜上、実験を通じて熱応力を評価する方法を“実験熱応力評価法”といい、部材設計法に基づいて熱応力を評価する方法を“設計熱応力評価法”というものとする。

### 3.1 実験熱応力評価法<sup>1)</sup>(その1)

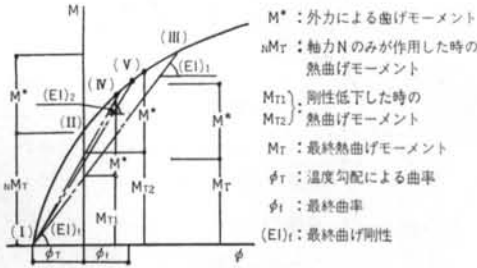
既述のとおり、実験は先に温度勾配を付与して自由熱変形を許し、しかる後に拘束曲げモーメントを与えて先の自由熱変形を打ち消す方法を採用した。この推移を表わしたのが図-3である。ここに、横軸 $\phi$ は試験体が呈する曲率を、縦軸 $M$ は外力曲げモーメントに熱曲げモーメントを加算した、いわゆる拘束曲げモーメントを示す。この $M-\phi$ 曲線をもとに、外力(軸力 $N$ と外力曲げモーメント $M^*$ )および温度勾配 $\Delta T_g/D$ ( $D$ :断面厚)が与えられたときの部材の曲げ剛性と熱曲げモーメントを、以下に示す手順に沿って評価した。

(I)温度勾配を付与し部材に自由な熱変形をさせる。

温度勾配による曲率は、

$$\phi_T = \alpha \cdot \frac{\Delta T_g}{D} \quad \dots\dots(1)$$

として与えられる。ここに、 $\alpha$ は試験体の等価線膨張率であり、またこの場合 $\phi_T$ は実験グラフ上から



図—3 実験手順および評価法  
定まる。

(II)拘束曲げモーメントを与えて、先の自由熱変形を打ち消す ( $\phi_r \rightarrow 0$ )。このときの拘束曲げモーメントの値は図中の  $nMr$  であり、またこれは軸力  $N$  (当初の  $N$  とは異なる) のみが作用したときの熱曲げモーメントのことでもある。

(III)この後、さらに  $M^*$  (任意量) を追加させ、そのときの総和としての拘束曲げモーメント  $M (= nMr + M^*)$  の値から、等価剛性の考え方を導入し、所定の熱曲げモーメントを評価する。ここにいう等価剛性とは、外力に因る剛性と熱に因るそれとが互いに相等しいとみなしたときの部材の割線剛性のことを意味するものとする。以下、熱曲げモーメントを求めるのにグラフ上にて取れん過程を経るが、これは  $M-\phi$  曲線の非線形性に起因するものである。拘束曲げモーメント  $M$  の作用時点での曲げ剛性は  $(EI)_1$  で、この剛性に対応する  $\phi_r = 0$  とするという意味での熱曲げモーメントは  $M_{T1}$  となる。しかるに、この  $(EI)_1$  は  $(nMr + M^*)$  という拘束曲げモーメントに対するものであるというものの、外力曲げモーメントの追加により熱曲げモーメントは  $nMr$  から  $M_{T1}$  へと低下している。これは、外力曲げモーメントの負荷により部材の剛性が低下したことによるものと解せる。したがって、 $(EI)_1$  は  $N$ 、 $M^*$ 、 $\phi_r$  の各値が与えられたときの真の曲げ剛性ではないことが分かる。

(IV)こうして、次に  $M = M_{T1} + M^*$  なる拘束曲げモーメントに対する曲げ剛性を求めると、それは  $(EI)_2$  で与えられ、熱曲げモーメントは  $M_{T1}$  から  $M_{T2}$  へと上昇する。これは、曲げ剛性が  $(EI)_1$  から  $(EI)_2$  へと高まったことに因るものと解せる。……

以下、同様のプロセスを  $M_{Ti} = M_{Ti+1}$  となるまでくり返す。

(V)最終的に  $M_{Ti} = M_{Ti+1}$  に達したとき、その値をもって所定の  $N$ 、 $M^*$ 、 $\phi_r$  に対する熱曲げモーメント  $M_T$  としての評価する。そして、そのときの曲げ剛

性は  $(EI)_f$  となり、実際に部材に生じる曲率は  $\phi_f$  となることを期待できる。

なお、上記の熱応力評価法は、その過程からも明らかのように、温度勾配による曲率  $\phi_r$  のないいわゆる常温下での外力曲げモーメント曲率曲線さえ予め得られていれば、これに仮想的な自由熱変形曲率  $\phi_r$  を与えること (このことは常温下での  $M-\phi$  曲線を  $\phi$  軸方向に平行移動することによって達せられる) によって、非加熱時の外力曲げモーメント—曲率関係から熱応力 (熱曲げモーメント) を評価することの可能性を示唆するものである。ただしその際、部材の材料物性 (強度、弾性係数、線膨張率) が温度によって大きく変動しないものとする。こうして曲げ降伏実験 (S) から評価した熱応力についても、今後併せて検討する。

### 3.2 実験熱応力評価法<sup>2)</sup> (その2)

これは、通常の線形梁理論を熱応力評価のために拡張したものである。梁理論を適用するために、予め次のような仮定を置く。

- (i)変形拘束荷重は、常に部材の幅方向中央面内に作用するものとする。
- (ii)上下面温度差  $\Delta T_0$  は常に部材の高さ方向に生じ、かつ、それは部材長にわたり均一であるものとする。
- (iii)部材のたわみは、部材長に比べて十分小さい ( $< 1/250$ ) ものとする。
- (iv)部材の材料特性は、温度によって変化しないものとする。

梁のたわみ曲線を定める微分方程式は、一般に次式で与えられる。

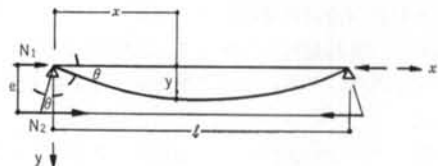
$$EcI_0 \frac{d^2y}{dx^2} = -M \quad \dots\dots(2)$$

ここに、 $EcI_0$  は部材の初期弾性剛性である。以下、部材に対する変形拘束のないときの温度差  $\Delta T_0$  による自由熱変形時を基準に考える (図—4 参照)。

この自由熱変形による部材の曲率  $\phi_r$  は次式で与えられる。

$$\phi_r = \alpha \cdot \frac{\Delta T_0}{D} \quad \dots\dots(3)$$

ここに、 $\alpha$ 、 $D$  は部材の等価線膨張率および全高であ



図—4 試験体加力模式図

る。このときの部材の任意断面  $x=x$  に働く拘束曲げモーメントは次式で与えられる。

$$M = N_1 \cdot y - N_2 \cdot e \quad \dots\dots(4)$$

式(2)を、式(4)と許容される境界条件の下で解くと次のようになる。

$$y(x) = \frac{N_2 \cdot e}{N_1} \left[ 1 - \frac{\cos \left\{ \sqrt{\frac{N_1}{E_c I_g}} \left( x - \frac{l}{2} \right) \right\}}{\cos \left\{ \sqrt{\frac{N_1}{E_c I_g}} \frac{l}{2} \right\}} \right] \quad \dots\dots(5)$$

上式は、部材の任意断面について、その全断面が有効であるとしたときの、拘束荷重  $N_1$ 、 $N_2$  の作用下での部材の長手方向のたわみ分布を与えるものである。

次に、部材の熱応力実験 (T) によって得られた実測たわみ分布が、次式のように表示できたものとする。

$$w = w(x) \quad \dots\dots(6)$$

このたわみ  $w(x)$  は、一般には部材内温度勾配の効果および、もし生じているならばひび割れの効果をも含んでいるとみなすことができる。したがって、通常はこの  $w(x)$  は全断面有効として求めた式(5)のたわみ  $y(x)$  に等しくはならない。しかしながら、仮に式(5)の中で表示されている曲げ剛性  $E_c I_g$  が、温度勾配とひび割れの影響によって変化して、ある剛性  $EI$  になったとき、式(5)のたわみが式(6)で示される実測たわみに最も近づいたものとするれば、そのときの  $EI$  をもって温度勾配作用下およびひび割れ発生下における部材の長手方向に関する平均曲げ剛性とみなすことができる。このように考えることによって、当部材の剛性は評価され得る。

実際の剛性の算定は次のようにして行なわれる。すなわち、式(5)の  $E_c I_g$  を任意の値  $EI$  に置換し、そのときの  $y(x)$  を  $y^*(x)$  とすると、次式を満足する  $EI$  が求められるべき部材の曲げ剛性となる。

$$\frac{\partial S}{\partial (EI)} = \frac{\partial}{\partial (EI)} \left[ \int_0^l (y^*(x) - w(x))^2 dx \right] = 0 \quad \dots\dots(7)$$

こうして求めた  $EI$  を用いることによって、そのときの部材内熱応力 (熱曲げモーメント)  $M_T$  は次式で評価される。

$$M_T = EI \cdot \phi_T \quad \dots\dots(8)$$

### 3.3 設計熱応力評価法

これは部材設計の立場から、コンクリート材料特性の線形および非線形性を考慮して、部材内熱応力を評価する方法である。理論の展開にあたり、まず基本仮定を明示する。

- (i) 断面内のせい方向の温度分布は、定常状態において線形とし、ひび割れ発生後も不変とする。

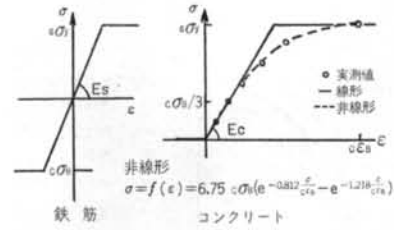


図-5 材料の  $\sigma-\epsilon$  関係

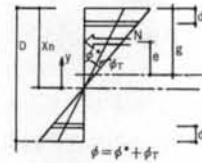


図-6 ひずみ分布図

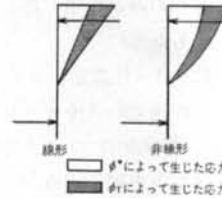


図-7 応力分布図

- (ii) コンクリートと鉄筋の線膨張率  $\alpha$  は同じとする。
- (iii) 温度による材料の物性変化は、無視できるものとする。
- (iv) ひずみは中立軸からの距離に比例する。
- (v) コンクリートの引張側の耐力は無視する。
- (vi) コンクリートおよび鉄筋の応力-ひずみ ( $\sigma-\epsilon$ ) 関係は各試験体の実測値を使用し、図-5のように仮定する。これを  $\sigma=f(\epsilon)$  とおく。
- (vii) 軸力は断面の重心に作用するものとする。
- (viii) 部材断面内の温度勾配により、曲げ変形のみが拘束されるものとする。
- (ix) 部材の有する曲げ剛性は、外力および熱に対して互いに相等しい (等価剛性) ものとする。

外力 (軸力  $N$ 、曲げモーメント  $M^*$ ) と上下面温度差  $\Delta T_\theta$  が作用すると、部材内の任意断面には図-6に示すようなひずみ勾配  $\phi$  が生じる。この  $\phi$  は  $\Delta T_\theta$  に因る  $\phi_T$  と、 $M^*$  に因る  $\phi^*$  とから成るもので、仮定より次式が成立する。

$$\phi = \phi^* + \phi_T \quad \dots\dots(9)$$

そこで、任意断面における力および曲げモーメントの釣り合いを考える。

軸力の釣り合いより、

$$N = \phi \{ E_c \int y dA_c + E_s \sum y A_s \} \quad (\text{線形}) \quad \dots\dots(10_1)$$

$$N = \int f(\epsilon) dA_c + \phi E_s \sum y A_s \quad (\text{非線形}) \quad \dots\dots(10_2)$$

中立軸に関する曲げモーメントの釣り合いより、

$$N(x_n - g + e) = \phi \{ E_c \int y^2 dA_c + E_s \sum y^2 A_s \} \quad \text{(線形)} \quad \dots\dots (1)_1$$

$$N(x_n - g + e) = \int f(\epsilon) y dA_c + \phi E_s \sum y^2 A_s \quad \text{(非線形)} \quad \dots\dots (1)_2$$

$D$ : 部材全高

$x_n$ : 外力(軸力, 曲げモーメント)と熱曲げモーメントが作用したときの中立軸位置

$g$ : 全断面有効時の等価(鉄筋コンクリート断面と等しい性能をもつコンクリートのみの断面という意味)断面の重心位置

$e$ : 偏心距離

$d_c$ : 圧縮鉄筋位置

$d_t$ : 引張鉄筋位置

$E_c$ : コンクリートの弾性係数

$E_s$ : 鉄筋の弾性係数

$\phi_T$ :  $\alpha \Delta T_0 / D$

一方、拘束モーメント(全曲げモーメント)と外力曲げモーメント、熱曲げモーメントとの関係は次式で与えられる。

$$N \cdot e = M^* + M_T \quad \dots\dots (2)$$

したがって、式(9)と等価剛性の仮定より、上式は次式のように変形できる。

$$M^* = N \cdot e - M_T = N \cdot e (\phi - \phi_T) / \phi \quad \dots\dots (3)$$

式(1), (1), (3)を連立させることにより、線形の場合には中立軸  $x_n$  に関する5次式、非線形の場合には超越方程式となる。いずれの場合にも収束計算により、 $x_n$ ,  $\phi$ ,  $e$  を求める。その結果、最終的に熱曲げモーメントは次のように与えられる。

$$M_T = N \cdot e - M^* \quad \dots\dots (4)$$

#### § 4. 実験結果とその考察

実験結果の検討にあたり、以下では、特に断らない限り、全試験体中の T7 に関する結果のみをもって他を代表するものとする。また、試験体図を示す際には、その形状の左右対称性を考慮して右半分のみをあてるものとする。

図-8は、加力開始時における試験体内の定常温度分布である。実線は計算値、×印はその位置での実測値を示す。

図-8より、試験体中央部を除いて、実測値と計算値とはほぼ良好な一致を示していることが分かる。

次に、図-3に熱応力実験(T)にて得られた等価線

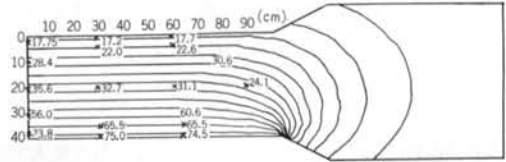


図-8 試験体内定常温度分布 (T7)

試験体No	内外面温度差 (°C)	曲率 ( $\times 10^{-6}/\text{mm}$ )	線膨脹率 ( $\times 10^{-5}/\text{°C}$ )
T 1	38.8	0.97	1.00
T 2	56.0	1.42	1.01
T 3	56.8	1.40	0.99
T 4	57.6	1.54	1.07
T 5	56.4	1.58	1.12
T 6	58.8	1.50	1.02
T 7	57.6	1.54	1.07
T 8	58.4	1.51	1.03
T 9	58.0	1.41	0.97

表-3 試験体等価線膨脹率

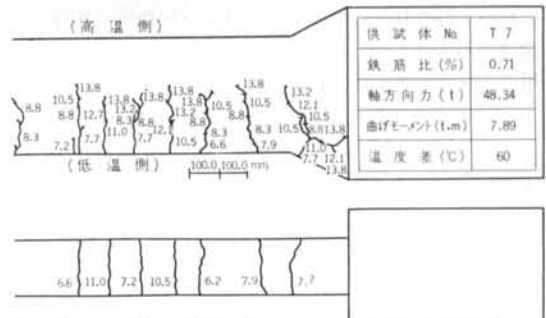


図-9 ひび割れ状況図 (T7)

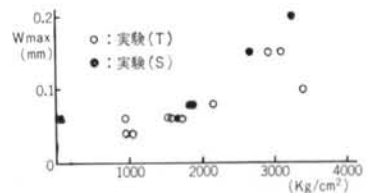


図-10 引張鉄筋応力と最大ひび割れ幅

膨脹率を示す。ここにいう等価とは、任意時刻における部材せい方向の温度分布を適当な方法によって線形化したときの内外面温度差  $\Delta T_0$  を、先の式(3)によって部材曲率  $\phi_T$  と関連づけたときに定義される線膨脹率という意味である。

上表からも明らかなように、等価線膨脹率はそのいずれも、慣用値の  $1.0 \times 10^{-5}/\text{°C}$  に概ね等しいことが分かる。

図-9に、熱応力実験(T)にて観測されたひび割れの発生状況を示す。図中のひび割れ線近傍に付された数

値は、そのひび割れが見られた時点での全曲げモーメントの値である。図より、ひび割れは10~20(cm)の間隔で低温側(引張側)にのみ、ほぼ等間隔で生じていることが分かる。

図一10は、全試験体に関する引張鉄筋応力と最大ひび割れ幅との関係を示したものである。図より、各試験体の最大ひび割れ幅は、曲げ降伏実験(S)の方が、熱応力実験(T)のそれより幾分か大きめであることが分かる。

### § 5. 熱応力の評価値

次に、部材内に生じる熱応力(熱曲げモーメント)の値を、既述の各種評価法に基づいて検討する。便宜上、それら評価法を以下のように略称する。

熱応力実験(T)において得られた拘束曲げモーメント一曲率の関係から評価する方法をA、曲げ降伏実験(S)において得られた外力曲げモーメント一曲率の関係から評価する方法をB、拡張した梁理論に一部実験実値を併用して評価する方法をCとする(以上、実験的評価法)。また、線形理論の設計熱応力評価法によって評価する方法をD、そしてBransonの方法<sup>3)</sup>を拡張した熱応力評価法をEとする(以上、部材設計的评价法)。

これらの評価法A~Eに基づいて得られた熱曲げモーメントを示したものが、図一11~図一14である。

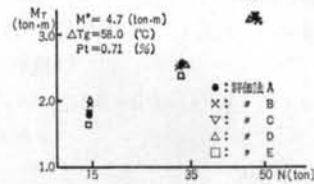
これらの図より、定性的には次のことが分かる。

- (i)熱曲げモーメント  $M_T$  は、他のパラメータを一定としたとき、圧縮軸力  $N$  の増加と共に増大する。
- (ii)熱曲げモーメント  $M_T$  は、他のパラメータを一定としたとき、外力曲げモーメント  $M^*$  が増大するほど小さくなる。
- (iii)熱曲げモーメント  $M_T$  は、他のパラメータを一定としたとき、鉄筋比  $P_t$  を大きくするほど増大する。
- (iv)熱曲げモーメント  $M_T$  は、他のパラメータを一定としたとき、上下面温度差  $\Delta T_g$  の増加と共に増大する。
- (v)評価法A~Dによって評価される熱曲げモーメント  $M_T$  は、互いに概ね良く一致している。

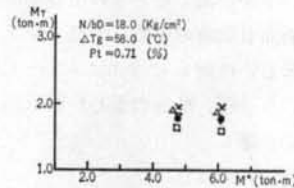
また、これらの評価法より得られた熱曲げモーメント  $M_T$  を、コンクリートのみの全断面有効剛性から次式によって得られた熱曲げモーメント:

$$M_{T0} = \alpha \Delta T_g E_c \frac{bD^3}{12} \quad (b: \text{部材幅}) \quad \dots\dots(15)$$

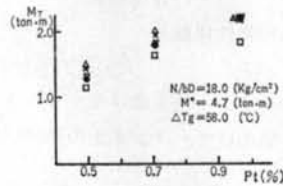
と比較すると、それらはおおよそ50%内外に低下してはい



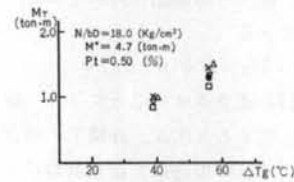
図一11 圧縮軸力と評価熱応力



図一12 外力曲げモーメント評価熱応力



図一13 引張鉄筋比と評価熱応力



図一14 内外面温度差と評価熱応力

るが、圧縮軸力  $N$  あるいは引張鉄筋比  $P_t$  が大きくなると、最大で90%程度の残存値を示すことは留意すべきことであろう。

図一4は、強度設計レベルに最も近いと思われる引張鉄筋降伏時において、評価法Aと設計熱応力評価法(ここでは非線形理論)とのそれぞれから得られた熱曲げモーメント  $M_T$  を示す。この表からも、両者は互いに誤差が10%の精度で良く一致していることが知れる。

### § 6. 曲げ剛性の実験的評価値

図一15に、加熱試験体についての、引張側鉄筋の応力度レベル ( $\sigma_s$ ) に対する曲げ剛性残存率 ( $EI/EI_0$ ) との関係を示す。ここに、 $\sigma_s$  は部材の長手方向に関する引張鉄筋応力の平均値を意味し、 $EI_0$  は部材内の鉄筋をも含めた初期弾性曲げ剛性であり、 $EI$  は任意の  $\sigma_s$  に対す

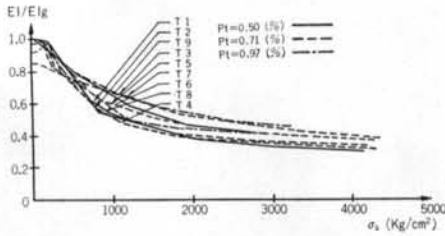


図-15 引張鉄筋応力レベルと剛性残存率  
る、先に定義した意味での等価曲げ剛性である。

## § 7. 結論

以上の諸考察より、次のように結論づけることができるものと思われる。

(i)設計熱応力評価法(線形理論)に基づいて評価される熱応力は、実験熱応力評価法(A)または同法(B)とよく一致しており、本実験で想定された短期間の荷重作用下で、かつ構造境界の影響を受けない、いわゆる一般部の設計においては十分実用に供し得る。

(ii)常温下での曲げ降伏実験から得られる $M-\phi$ 曲線を用いて、これに自由熱変形曲率を仮想的に与えて評価した熱応力は、実際に温度勾配を与えて評価した値にほぼ一致している。したがって、熱応力を等価曲げ剛性の立場で評価する際には、予め常温下での $M-\phi$ 曲線が与えられてさえいれば、必ずしも温度勾配付と実験を行なわなくても熱応力を評価することは可能である。

(iii)曲げ剛性残存率は、引張鉄筋の平均応力度が長期許容応力度レベル(2000 kg/cm<sup>2</sup>)で0.4~0.6、短期許容応力度レベル(3500 kg/cm<sup>2</sup>)で0.3~0.4であった。本実験においては、高圧縮軸力の作用する試験体も含まれた故、上記の曲げ剛性残存率となったが、対応する鉄筋応力度が部材の長手方向の平均値であることも考慮すれば、引張鉄筋の耐力で断面が決定される場合には、MITICCV技術指針(案)<sup>5)</sup>にいう長期ベースの0.5、短期ベースの0.33という値は妥当である。

**謝辞** 本実験の遂行に当り、当研究所力学研究部の河村宗夫氏および実験課の方々には一方ならぬご協力をいただいた。末尾ながら、ここに心からの感謝の意を表す次第です。

### <参考文献>

- 1) 入野他：“鉄筋コンクリート部材の熱応力に関する基礎実験”日本建築学会大会学術講演梗概集(昭和55年9月)
- 2) 生駒他：“熱荷重を受けるRC曲げ部材の剛性と熱応力の実験的評価法”土木学会第36回年次学術講演会講演概要集(昭和56年10月)
- 3) 入野：“熱応力に対する鉄筋コンクリートの設計法”日本建築学会大会学術講演梗概集(昭和52年10月)
- 4) Dan E. Branson：“Instantaneous and Time-Dependent Deflections of Simple and Continuous Reinforced Concrete Beams” Report No. 7, Alabama Highway Research Report, Bureau of Public Roads, Aug. 1963 (1965)
- 5) 資源エネルギー庁：“原子力発電用コンクリート格納容器に関する技術規準(案)”(昭和54年11月)

Faint, illegible text in the upper left quadrant of the page.

Faint, illegible text in the upper right quadrant of the page.

Faint, illegible text in the lower left quadrant of the page.

Faint, illegible text in the lower right quadrant of the page.