

光弾性実験による 2 ヒンジ偏心支持アーチの曲げ モーメントの分布に関する研究

安 井 将 文

(Ⅰ)；実験の目的

鉄筋コンクリート固定アーチ橋においては、その乾燥収縮およびクリープにより発生する曲げモーメントがアーチ橋に局部的な引張りひび割れを発生させる原因となる。この問題に対して何らかの処置を施し、コンクリートの引張りひび割れを防止しなければならない。鉄筋コンクリートの乾燥収縮およびクリープは、一般に 1～2 年という長期間継続進行するものといわれているが、構造物の耐用年限に比較すれば、その現象は一時的なものと解釈でき、この現象発生期間中のみ何らかの処置を行う方法が考案されても設計としては、何ら不合理なこととは思われない。その一時的な処置として固定アーチリブに作用する上載死荷重を利用し、アーチの支点を偏心滑節支持点にすることにより、曲げモーメントをアーチ全体に発生させ、これにより一時的な乾燥収縮およびクリープによる曲げモーメントを減少ないしは除去せんとするものである。乾燥収縮およびクリープのほぼ終了した時点においては、アーチの偏心滑節支持点を改修し固定支持点にする方法が考えられた。しかしながら、この処置方法には下記(1)、(2)の問題点がある。

(1)；支点において偏心滑節させた効果がアーチ全体の曲げモーメントの発生にどの様に現われるか。換言すれば偏心支持による曲げモーメント分布の状態が明確でないこと。

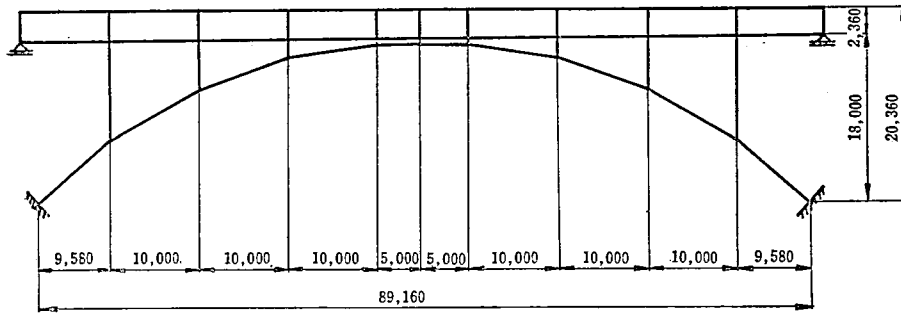
(2)；支持点付近の応力は、いかなる状態にあるか。

本研究は、上記問題点(1)について光弾性実験により調査したものであり、以下にその概要を示す。なお、実験による調査と同時に、6 節点 3 角形要素を用いた有限要素法による解析も行っている。

(Ⅱ)；実験の方法

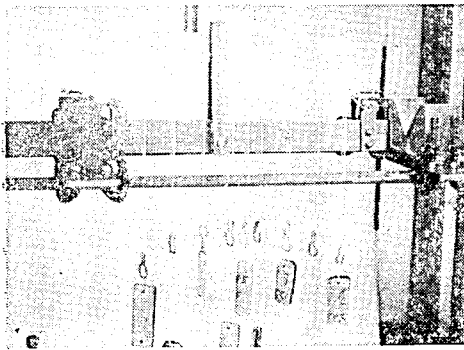
設計されたアーチ構造のリブは、梁高が一定であるがウェブ厚が変化したものを採用している。今回行なわれた光弾性実験においては、梁高およびウェブ厚が共に一定なアーチのモデルについての偏心支持による曲げモーメント分布の発生状況を調査することとした。エポキシモデルが実際のアーチと相異することにより、所定の荷重を作用させると、変形が相異するため、多少の曲げモーメントの発生が予想されたが、この問題は、偏心により発生する曲げモーメント分布の調査に関しては影響がないと判断した。実際、この試験片に所定の荷重を作用させた場合に発生する曲げモーメントは小さなものである。

アーチに作用する荷重については、図—1を参照して、アーチ自体の自重および柱、床板等アーチ上部の死荷重がアーチリブの各格点に集中するものとして荷重を算出し、各格点荷重の比を定め、光弾性実験においては、その比を同一にした集中荷重系を採用した。

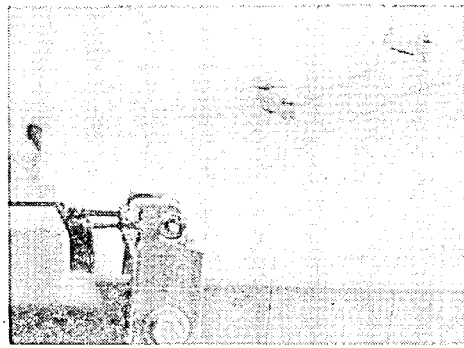


図—1；アーチの構造

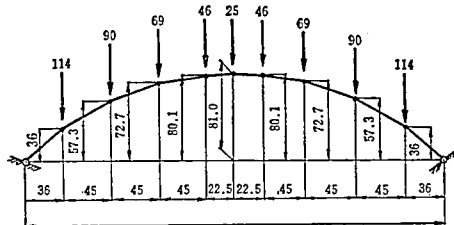
試験片に荷重の作用している状態を写真—1に示す。試験片の寸法および荷重の大きさを図—2に示す。またアーチの支持点の様子を写真—2に示す。



写真—1；載荷



写真—2；支 点



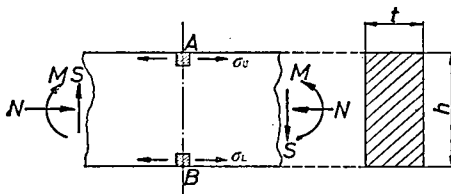
図—2；寸法，荷重

梁の平面寸法に対してウェブ厚が小さいこと、また実験法に応力凍結法を採用したことにより高温(130°C)におけるエポキシ樹脂のヤング率が 200kg/cm² と小さくなり、試験片が座屈し易くなるため、試験片の破損防止用に、写真—1に示す防具を備えた。

実験の種類については、支持点が偏心していない場合($e=0.0$)、および偏心した場合

(2.0, 4.0, 6.0mm) について行った。実験は応力凍結法を採用しているため、温度変化による温度応力を測定する必要があり、そのための実験を別に行なった。

(1)；部材の曲げモーメントについて、



図—3；曲げモーメントの求め方

実験結果からアーチ部材の曲げモーメントの求め方について簡単に述べる。

アーチの任意の格点間における断面の曲げモーメントは、図—3を参照して上側縁繊維応力 σ_U 、下側縁繊維応力 σ_L を用いれば、任意断面 A—B における曲げモーメント M_{A-B} と σ_U ,

σ_L との関係は次式で与えられる。

$$M_{A-B} = \frac{1}{2}(\sigma_U - \sigma_L) \times W_{A-B} \quad (1)$$

ただし W_{A-B} は断面 A—B におけるアーチリブの断面係数である。

また任意断面 A—B に生ずる軸力 N_{A-B} と、 σ_U 、 σ_L との関係は、次式で与えられる。

$$N_{A-B} = \frac{1}{2}(\sigma_U + \sigma_L) \times A_{A-B} \quad (2)$$

ただし A_{A-B} は断面 A—B におけるアーチリブの断面積である。

また自由境界点 A、B においては、せん断応力および境界に垂直な直応力が存在しないという条件を用いれば、境界点における光弾性法則は次式で与えられる。

$$\left. \begin{aligned} N_U &= \alpha_h \times t \times |\sigma_U| \\ N_L &= \alpha_h \times t \times |\sigma_L| \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

ただし α_h ; 130°C 付近におけるエポキシ樹脂の光弾性応力感度 (cm/kg)

t ; 試験片の板厚 (cm)

N_U, N_L ; 上縁および下縁における等色線縞次数

(3) 式を (1)(2) 式に代入すれば、断面 A—B に作用する曲げモーメント、 M_{A-B} 、軸力 N_{A-B} は次式で与えられる。

$$\left. \begin{aligned} M_{A-B} &= \frac{1}{2} \left(\frac{N_U}{\alpha_h \times t} - \frac{N_L}{\alpha_h \times t} \right) \times W_{A-B} = \frac{1}{2} (N_U - N_L) \times \frac{W_{A-B}}{\alpha_h \times t} \\ N_{A-B} &= \frac{1}{2} \left(\frac{N_U}{\alpha_h \times t} + \frac{N_L}{\alpha_h \times t} \right) \times A_{A-B} = \frac{1}{2} (N_U + N_L) \times \frac{A_{A-B}}{\alpha_h \times t} \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

ただし (4) 式中の応力の符号については、実験結果から引張り応力が圧縮応力かを定めなければならない。

曲げモーメント、軸力を求める断面は、集中荷重の作用する格点の中間の断面とし、中間断面の曲げモーメントの値を連ねた曲線をアーチリブの曲げモーメント図とした。

(2); 曲げモーメントの計算方法

応力凍結法を用いて載荷による偏心支持に帰因する曲げモーメントを求めるには、

- (1) 偏心量 $e=0.0$ で載荷による応力の測定
- (2) 偏心量 $e=0.0$ で無載荷の場合の温度応力の測定
- (3) 偏心支持で載荷による応力の測定
- (4) 偏心支持で無載荷の場合の温度応力の測定

上記 (1)～(4) の 4 種類の測定を行なう必要がある。

上記 (1)～(4) の実験により発生する部材の曲げモーメントと軸力をそれぞれ $M_1 \sim M_4$ および $N_1 \sim N_4$ で表わせば、偏心支持に帰因する曲げモーメント M_0 と軸力 N_0 は、次式で与えられる。

$$\left. \begin{aligned} M_0 &= (M_3 - M_4) - (M_1 - M_2) \\ N_0 &= (N_3 - N_4) - (N_1 - N_2) \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

(Ⅲ); 実験結果

(1); 実験の種類

(Ⅱ) の (2) に基づいて行なわれた各実験の種類に応じて、表で示される名称を付す。

偏心量 (cm)	実 験 番 号	
	温度応力測定	荷重による応力測定
$e=0.0$	TEMP-1	LOAD-1
$e=2.0$	TEMP-2	LOAD-2
$e=4.0$	TEMP-3	LOAD-3
$e=6.0$	TEMP-4	LOAD-4

表-1 実験番号

(2) ; 実験の方法とその結果

荷重をアーチに作用させ常温から徐々に 130°C まで上昇させ、約2時間 130°C に維持した後、温度を徐々に室温まで降下させた。この方法により得られた各実験の等色線縞写真を写真3～写真10に示す。曲げモーメント、軸力を計算するために必要な縞次数、および

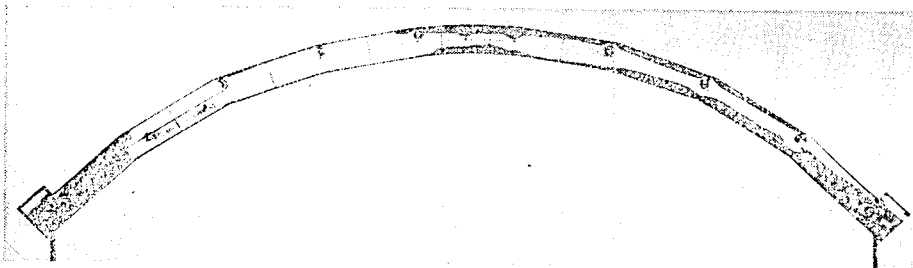


写真-3 ; LOAD-1

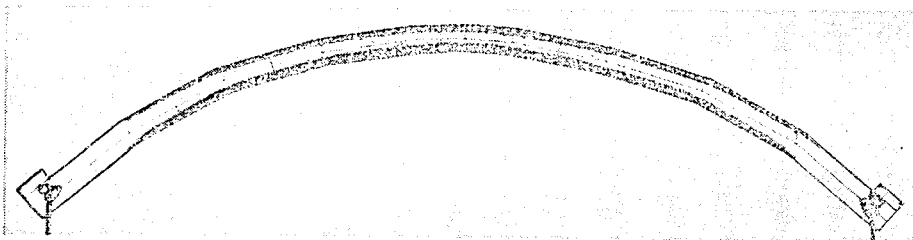


写真-4 ; TEMP-1

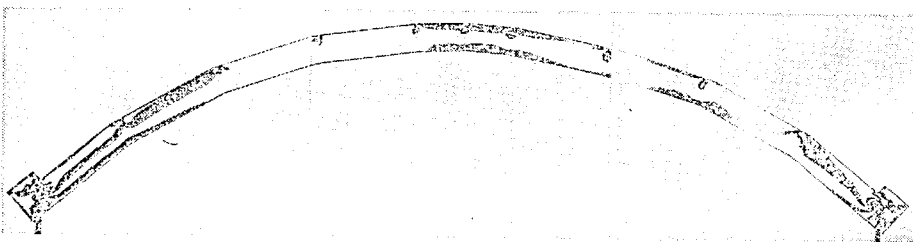


写真-5 ; LOAD-2

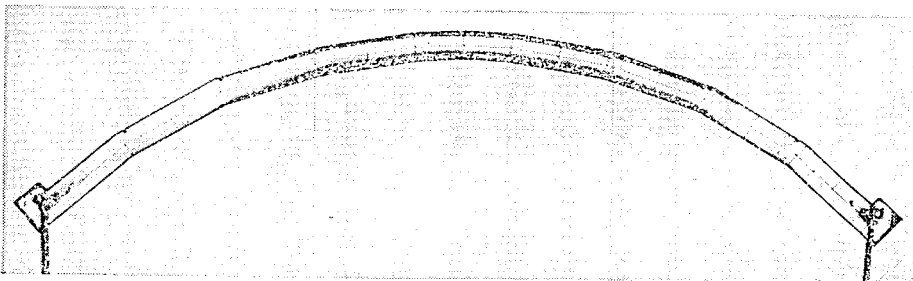
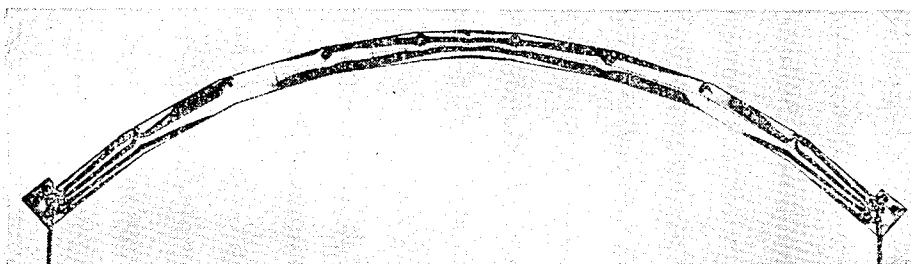
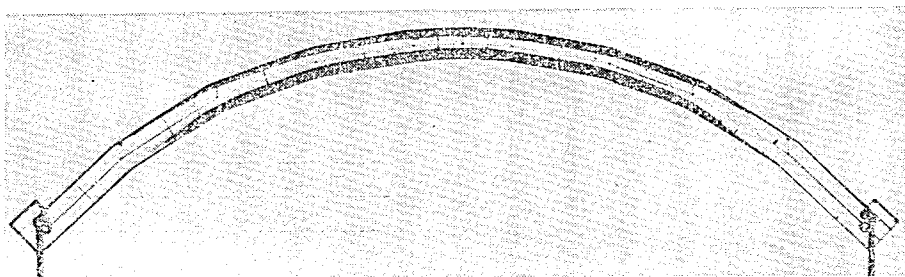
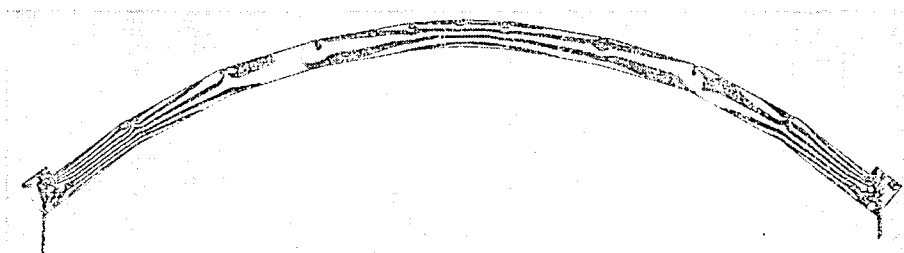
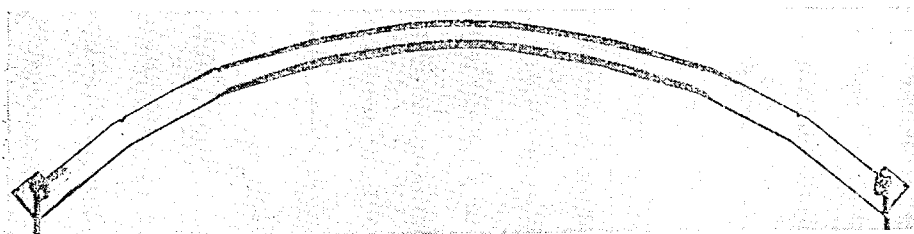


写真-6 ; TEMP-2

写真-7 : *LOAD-3*写真-8 : *TEMP-3*写真-9 : *LOAD-4*写真-10 : *TEMP-4*

それらを用いて得られた結果を表-2に示す。また、これらの結果を用いて、(5)式から得られた偏心支持に帰因する曲げモーメント M_0 の値を表-3に示す。

(3) ; 曲げモーメント分布図

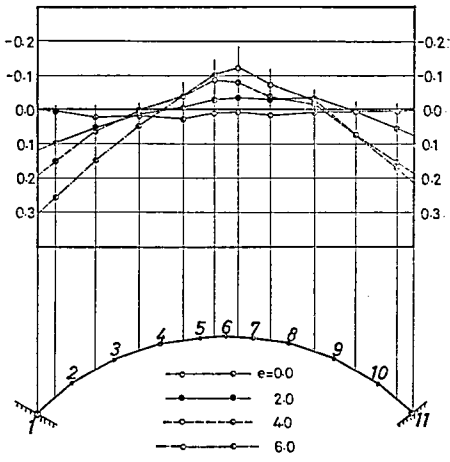
表-4における M_0 の値を連ねた曲線を曲げモーメント図として図-4に示す。図-4においては、実験から偏心支持点における曲げモーメントの正確な値を得ることが困難なため、推定値を細い点線で示してある。

MEMB.	e=0.0				e=2.0				e=4.0				e=6.0			
	LOAD-1		TEMP-1		LOAD-2		TEMP-2		LOAD-3		TEMP-3		LOAD-4		TEMP-4	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
1-2	1.25	1.30	0.0	0.15	2.70	0.15	0.0	0.0	3.30	-0.60	0.0	-0.10	4.65	-2.00	0.20	-0.05
2-3	0.90	1.25	-0.40	0.50	1.94	0.46	-0.15	0.20	1.90	0.48	-0.40	0.30	3.20	-0.70	-0.10	0.20
3-4	0.70	1.25	-0.50	0.50	1.15	0.85	-0.20	0.30	0.75	1.50	-0.50	0.60	1.40	0.80	-0.50	0.50
4-5	0.90	1.20	-0.50	0.50	1.00	1.00	-0.30	0.35	0.50	1.60	-0.50	0.60	0.45	1.90	-0.60	0.70
5-6	0.40	1.25	-0.50	0.60	0.40	1.62	-0.40	0.40	-0.50	2.50	-0.60	0.65	-0.75	2.50	-0.60	0.70
6-7	0.40	1.30	-0.50	0.60	0.32	1.73	-0.40	0.40	-0.50	2.50	-0.60	0.65	-0.95	3.20	-0.60	0.70
7-8	0.60	1.25	-0.50	0.50	0.37	1.55	-0.40	0.40	0.30	1.60	-0.50	0.60	-0.20	2.50	-0.60	0.70
8-9	0.50	1.30	-0.50	0.50	0.42	1.68	-0.30	0.30	0.45	1.60	-0.50	0.60	0.40	1.70	-0.50	0.50
9-10	0.45	1.30	-0.40	0.60	0.92	1.10	-0.20	0.20	1.50	0.55	-0.40	0.30	2.10	0.30	-0.10	0.20
10-11	1.10	1.20	0.0	0.20	2.10	0.64	0.0	0.0	3.35	-0.65	0.0	-0.10	4.10	-0.40	0.25	-0.10

表—2 A—Bの精次数

MEMBER	Bending Moment by eccentricity			
	e=0.0	e=2.0	e=4.0	e=6.0
1-2	0.0101	0.0392	0.150	0.257
2-3	0.0591	0.0523	0.0641	0.149
3-4	0.0591	0.0143	0.0041	0.0470
4-5	0.0693	-0.0024	-0.0366	-0.0346
5-6	0.0551	-0.0273	-0.0816	-0.105
6-7	0.0530	-0.0330	-0.0795	-0.124
7-8	0.0550	-0.0297	-0.0305	-0.0713
8-9	0.0489	-0.0350	-0.0102	-0.0203
9-10	0.0469	0.0028	0.0775	0.0795
10-11	0.0121	0.0555	0.152	0.165

表—3 M₀の値



図—4 ; 曲げたモーメント図

(IV); 結 論

偏心支持による2ヒンジアーチの曲げモーメント分布の状態が光弾性実験から図—4の結果として得られた。図—4に示される曲げモーメントの分布から明らかな様に、偏心支持により発生する曲げモーメントの特色が明確に現われている。即ち、両偏心支持点付近で正の曲げモーメントが偏心量の増大とともに増加し、アーチのクラウン部においては、支点における曲げモーメントの約50%程度の負の曲げモーメントが発生している。

乾燥収縮による2ヒンジアーチの応力状態は、設計においては乾燥収縮を温度変化の量に変換して計算する例が多い。本実験において測定された温度変化により生ずる曲げモーメントから乾燥収縮により発生する曲げモーメント分布の状況をほぼ推定できると思われる。乾燥収縮による曲げモーメントは、表—4のe=0.0の場合におけるM₂欄の曲げモーメント符号を逆にしたものと考えられる。(どれ程の乾燥収縮に対応するかはわからない。)詳細な点については述べられないが、以上の考え方から、温度変化により生ずる曲げモーメントの定性的なことは把握できると思われる。したがって、アーチのクラウン部においては、偏心支持付近の正の曲げモーメントの値の約50%近い負の曲げモーメントが

発生し、これと温度変化（即ち乾燥収縮）により発生する正の曲げモーメントにより、結果として、クラウン部の曲げモーメントを減少ないしは除去できるものとする。

終りに、本研究の一連の実験については、本学、土木工学科四年室橋伸一君の助力があったことをここに記し、感謝致します。

なお、同一の問題を現在、東京大学大型電子計算機 HARP 8700 を用いて有限要素法で解析中であり、その結果については、別の機会に発表するつもりである。