

PCトラスに関する光弾性実験

孤 島 法 夫

1. ま え が き

現在日本で見受けられるトラス橋は鋼構造のもので、設計上は格点をいわゆるヒンジとして扱い曲げモーメントを無視することが多い。

ところで、このたび岩手県の安家川に架設が予定されているトラス型の橋はプレストレストコンクリートによるもので、格点は剛結されており部材に曲げが生ずる（ここでは便宜上PCトラスと呼ぶ）。

このような構造については従来あまり実験による解析がなされていなかったが、この度、PCトラス橋架設のために実物模型による実験とエポキシモデルによる光弾性実験が行なわれた。

このうち実物実験では静的・動的試験により歪・ひびわれ・たわみを測定し、ひびわれ荷重・位置等を求め、荷重繰返し載荷回数と歪・ひびわれとの関係や断面力（曲げモーメント・軸力）についての解析が行なわれた。

一方、光弾性実験はエポキシモデルを用いて静的試験を行ない、縮写真より部材の応力分布・断面力を算定し、実物実験でのひびわれ発生箇所や歪ゲージ貼付箇所の選定等について資料を提供した。また、断面力等は実物実験値、計算値との比較検討に参照された。

ここでは、そのPCトラスに関する光弾性実験をまとめようとしたものである。

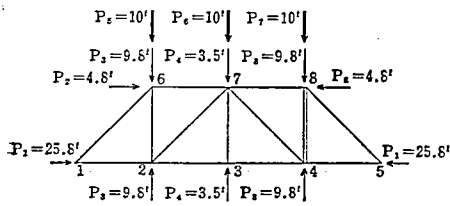
2. 実 験

PC部材を光弾性モデルであらわす方法については従来幾つかの研究があり、本研究室でも検討中であるが、今回の実験ではPC力を1種の外力とみなし載荷したものをを用い、改めてPC部材のモデルを作製しなくてよいような方法を試みた。

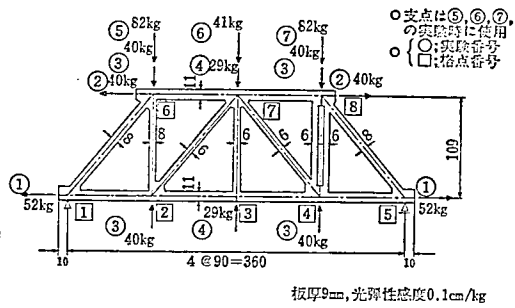
この方法が可能であれば必要なPC力が載荷できるようなモデルに関しては、PC部材の光弾性モデル化の完成を待たなくてもPC構造物の一応の光弾性実験ができるわけである。

今回の光弾性実験は実物実験模型（実橋の1/5寸法でパネル数もすくない、以下1/5実物PCトラス模型という）の、平面寸法で1/10、厚さ比で9/110の大きさを持つエポキシモデルを用いて行なった。図-1(a)に1/5実物PCトラス模型のPC力と荷重を、図-1(b)にエポキシモデルの寸法とPC力・荷重を示す。なお、実験装置は本学土木工学科の大型光弾性実験装置および荷重装置である。

この7種類の荷重のうち下弦材と上弦材のPC力については、本来プレストレスはコンクリートに圧縮を加えるものであるが、今回の光弾性実験では引張力を働かせ、応力の符



図一(a) 1/5実物PCモデル作用PC力, 荷重



図一(b) エポキシモデルの寸法とPC力及び荷重

荷重の種類	1/5モデルよりの換算値	繰回数概算値	採用した倍率
下弦材PC力	210kg	19.0次	1/4
上弦材PC力	40	3.6	1/1
縦梁張力(端)	80	10.0	1/2
縦梁張力(中央)	20	4.9	1/1
格点6集中荷重	82	—	1/1
格点7集中荷重	82	—	1/2
格点8集中荷重	82	—	1/1

表一

号を解析の際に逆にする方法を採用した。

これはこの実験が実荷重による2次元光弾性実験であるため、軸力載荷によるモデルの変形を無視しても差支えないと判断し、荷重のかけやすさを考慮したものである。

1/5実物PCトラス模型とエポキシモデルの寸法の比から得た荷重をそのまま載荷すると、生じる繰回数が多過であり解析しやすさを妨げたりモデルの破損もありうるので、荷重別に適当な倍率を定めて表一に示す荷重を採用した。

材種 格点番号	部材	格点 6				格点 7				格点 8			
		縦縮応力 (kg/cm ²)	軸力 (t)	曲げモーメント (t.cm)	曲げモーメント (t.cm)	縦縮応力 (kg/cm ²)	軸力 (t)	曲げモーメント (t.cm)	曲げモーメント (t.cm)	縦縮応力 (kg/cm ²)	軸力 (t)	曲げモーメント (t.cm)	曲げモーメント (t.cm)
1	1-2	35	208	14.6	0.192	50	250	18.2	0.222	95	253	21.0	0.175
	1-5	83	123	9.0	0.023	50	125	7.7	0.044	14	78	4.0	0.037
2	2-1	267	105	22.5	0.178	260	175	26.3	0.094	277	157	26.2	0.133
	2-6	110	197	13.5	0.050	105	10	5.1	0.056	122	95	9.5	0.016
2	2-7	-45	-50	-3.1	0.001	145	90	7.8	0.018	83	33	3.8	0.017
	2-3	255	131	23.7	0.145	55	150	12.4	0.105	210	149	21.7	0.068
3	3-2	212	163	23.9	0.132	225	100	19.7	0.139	212	177	23.5	0.039
	3-7	42	22	2.1	0.007	80	50	4.3	0.010	27	17	1.4	0.003
3	3-4	233	177	24.8	0.062	135	100	14.2	0.039	232	171	24.3	0.068
	4-3	250	156	24.5	0.104	160	156	19.1	0.004	263	129	23.7	0.149
4	4-5	266	196	24.5	0.071	235	180	25.1	0.061	254	138	23.7	0.129
	4-7	38	93	4.3	0.018	116	122	7.9	0.004	-34	-9	-1.4	0.008
4	4-8(I)	42	72	3.7	0.010	0	165	6.4	0.054	106	122	7.5	0.005
	4-8(II)	32	23	2.1	0.003	-35	45	0.3	0.026	93	84	5.8	0.003
5	5-4	200	222	25.5	0.024	117	200	22.8	0.026	123	193	19.1	0.078
	5-8	38	44	3.6	0.004	78	80	7.0	0.000	128	122	11.0	0.004
6	6-1	139	84	9.8	0.032	175	20	8.6	0.091	104	-5	4.3	0.064
	6-2	187	169	15.6	0.011	0	180	7.9	0.105	72	63	5.9	0.005
6	6-7	137	94	13.9	0.048	156	58	12.9	0.109	104	60	9.9	0.049
	7-6	145	46	1.5	0.110	61	100	9.7	0.043	116	34	9.0	0.091
7	7-2	-45	-50	-3.1	0.002	90	60	5.0	0.010	49	67	3.8	0.006
	7-3	39	17	1.8	0.007	62	44	3.5	0.006	94	7	3.3	0.029
7	7-4	28	50	2.5	0.007	67	90	5.2	0.008	-71	-33	-3.4	0.013
	7-8	100	30	7.8	0.078	50	80	7.9	0.033	157	61	9.5	0.107
8	8-7	112	28	8.5	0.094	175	63	14.4	0.124	118	80	11.9	0.042
	8-4(I)	33	17	1.6	0.005	110	-44	2.2	0.051	77	73	4.9	0.001
8	8-4(II)	12	5	0.5	0.002	121	-47	2.4	0.055	178	76	8.3	0.036
	8-5	83	28	6.7	0.001	111	52	9.9	0.065	118	117	14.2	0.001

表一 縦縮応力と断面力

○ 応力は圧縮を正とする

○ 表中縦縮応力 [左側: 部材外側, 垂直材の左側, 内部にある科材の左側の値
右側: 部材内側, " 右側, " " 右側の値

○ 右端垂直材は, 左側を(I), 右側を(II)とする

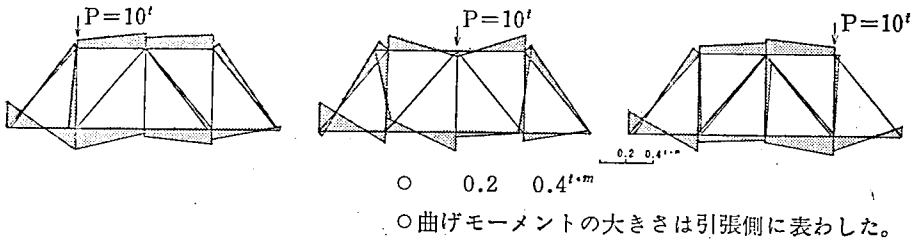


図-2 曲げモーメント分布図

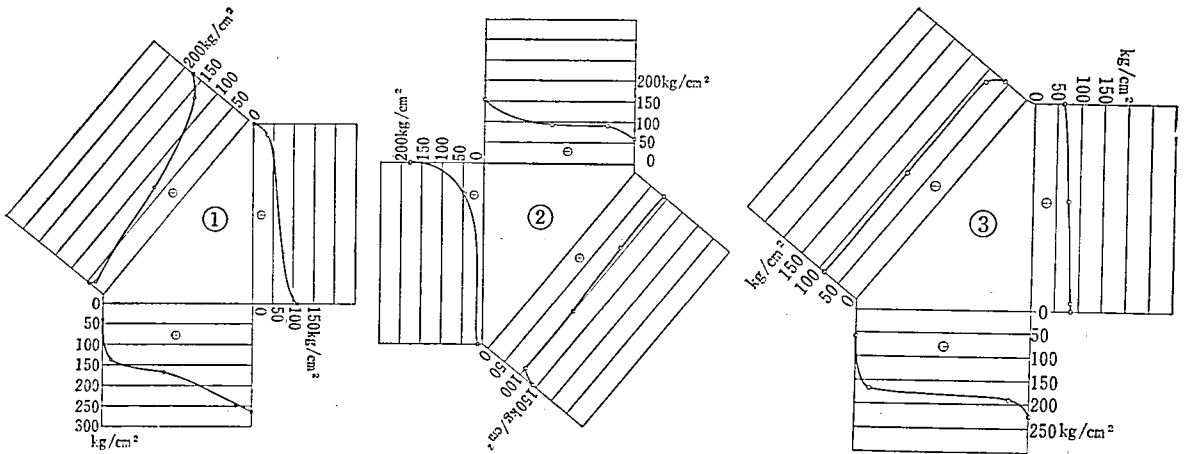
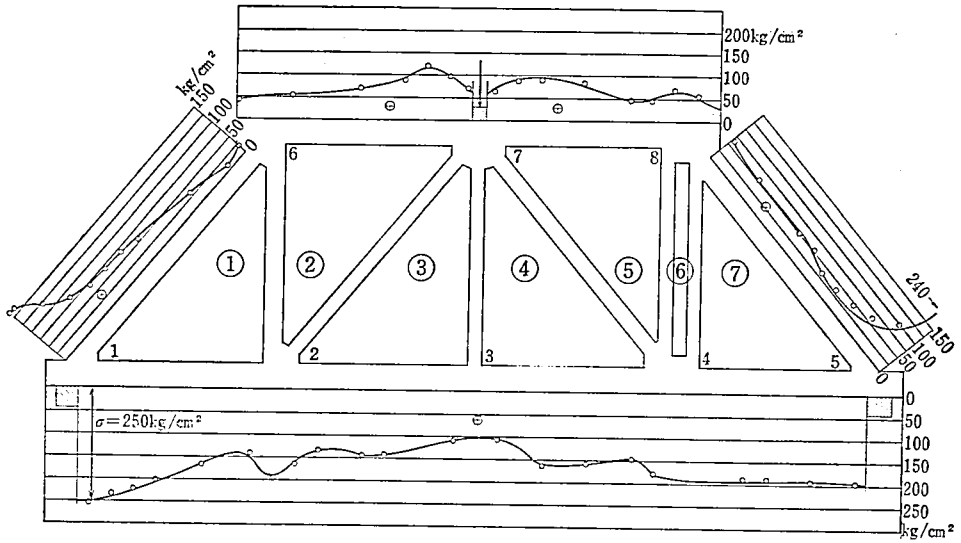


図3-1 曲げモーメント分布図

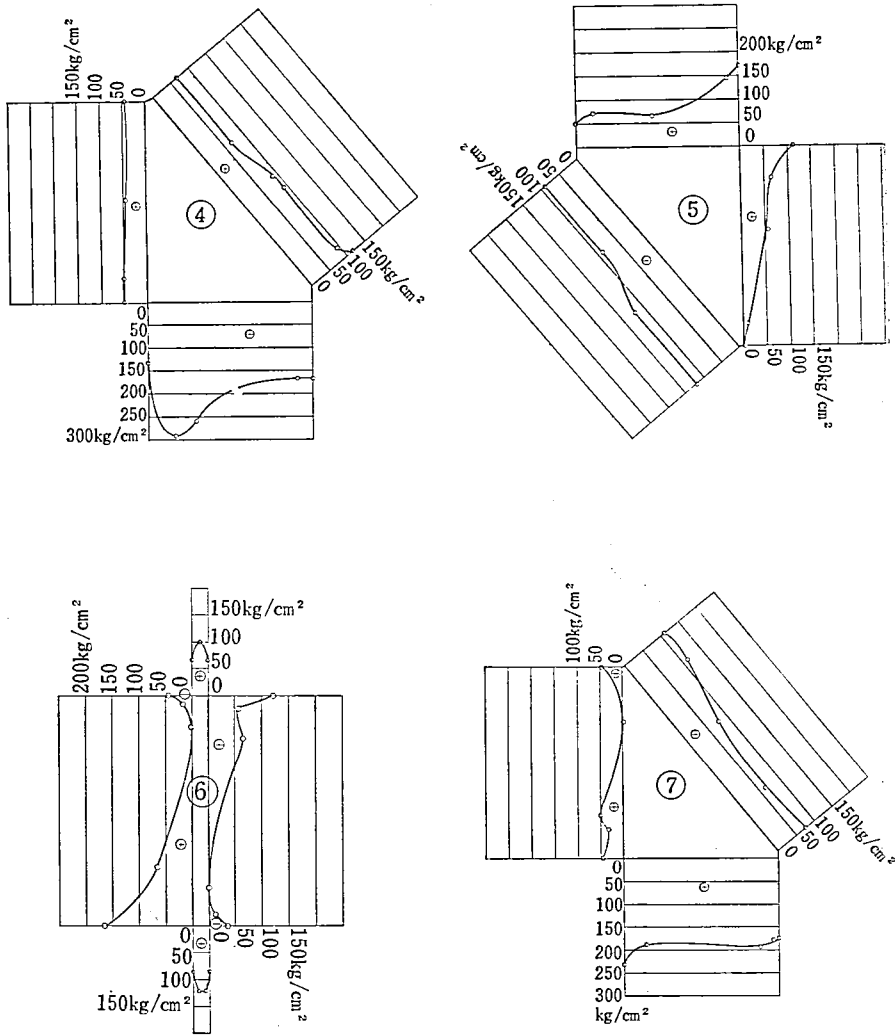


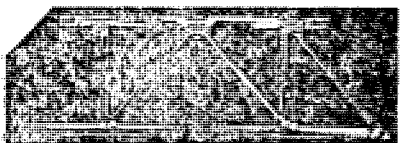
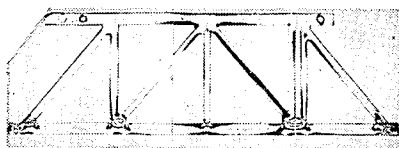
図3-2 荷重とPC力による応力分布（中央格点載荷）（圧縮を正）

こうして得られた7種類の実験結果のうち①～④のPC力による応力をすべて重ねあわせ、その結果と⑤、⑥、⑦の載荷重の応力を各々別個に重ねあわせて1/5実物PCトラス模型の応力状態に対応させた。

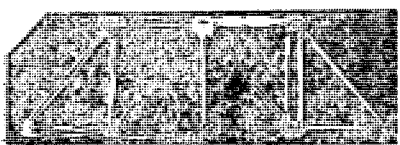
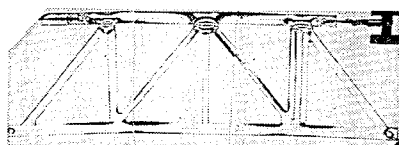
これらの載荷による光弾性縞写真を写真-1に示す。この縞次数より部材の縁織応力を求める。PC力と載荷重の結果を重ねあわせた応力分布図を、中央格点載荷時を例にとって示したものが図-3である。このようにして求めた3種の応力分布図より部材端における断面力（曲げモーメント・軸力）を求め、表-2、図-2に示す。更に載荷重のみによる場合を、PCトラスをラーメンのように解いた計算値と並記して、表-3、図-4に



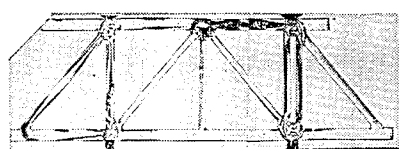
実験番号①



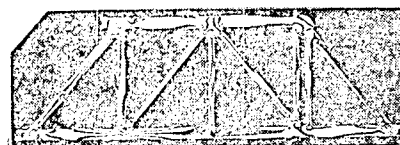
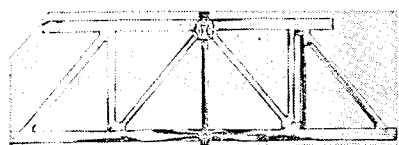
実験番号②



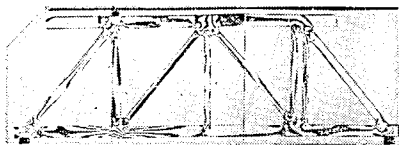
実験番号③



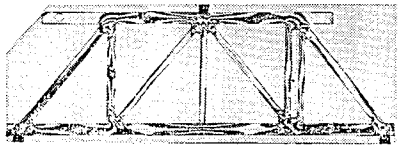
実験番号④



実験番号⑤

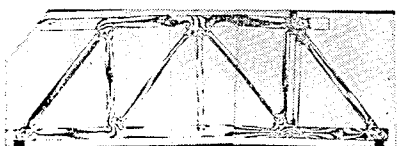


実験番号⑥



(暗視野)

実験番号⑦



(明視野)

示す。

3. 解析

表一2は、4種類のPC力導入時に格点荷重を載荷した場合の部材端の縁織応力と断面力である。これによると、たとえば中央格点7に載荷した場合にはびびわれを生ずるであろう部材は2-6部材と4-8部材のみであり、しかも図-3からは部材端に生ずるであ

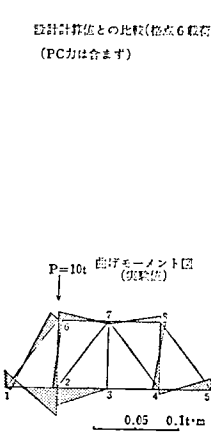


図-4(a)

部材	設計計算値との比較(格点6載荷) (PC力は合ます)	設計計算値との比較(格点7載荷) (PC力は合ます)	軸力(計算値)	軸力(実験値)
1-2	-0.025	-0.028	-6.10	-5.72
2-1	0.079	0.080	-6.10	-5.65
2-3	0.077	0.052	-4.14	-4.17
3-2	-0.013	-0.002	-4.14	-3.50
3-4	0.002	0.0	-4.12	-3.99
4-3	-0.063	0.006	-4.12	-3.99
4-5	0.018	0.016	-2.05	-1.66
5-4	-0.011	-0.037	-2.05	-1.99
6-7	0.033	-0.020	6.05	3.75
7-6	-0.004	0.010	6.05	4.77
7-8	-0.019	0.010	2.09	1.87
8-7	-0.024	-0.016	2.09	2.05
1-6	-0.009	-0.015	9.59	9.00
6-1	0.020	0.023	9.59	9.02
2-6	0.001	0.010	2.56	1.98
6-2	-0.013	-0.007	2.56	4.37
2-7	0.003	0.002	-3.05	-3.11
7-2	0.003	0.002	-3.06	-3.18
3-7	0.014	0.002	-0.09	-1.65
7-3	-0.014	-0.002	-0.09	-1.61
4-7	-0.005	0.007	3.16	2.91
7-4	0.005	0.0	3.16	0.33
4-8(I)	{ 0.017	{ 0.025	{ -1.26	{ -1.26
4-8(II)	{ 0.016	{ -0.026	{ -1.08	{ -1.08
8-4(I)	{ 0.016	{ -0.026	{ -1.08	{ -1.65
8-4(II)	{ -0.009	{ -0.009	{ -1.65	{ -1.65
5-8	-0.011	0.0	3.21	3.47
8-5	0.008	0.0	3.21	3.43

表中の計算値は株式会社協会による

表一3(a)

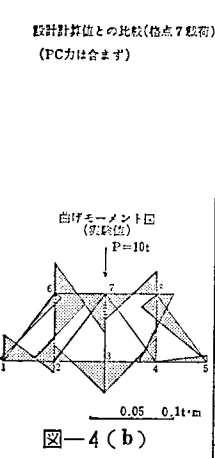


図-4(b)

部材	設計計算値との比較(格点6載荷) (PC力は合ます)	設計計算値との比較(格点7載荷) (PC力は合ます)	軸力(計算値)	軸力(実験値)
1-2	-0.025	-0.028	-4.13	-4.24
2-2	0.029	0.033	-4.13	-3.63
2-1	-0.033	-0.050	-8.01	-9.40
3-2	0.110	0.089	-6.01	-7.26
3-4	0.108	0.089	-6.01	-7.26
4-3	-0.035	-0.067	-6.01	-8.47
4-5	0.018	0.0	-4.13	-3.63
5-4	-0.023	-0.022	-4.13	-4.84
6-7	-0.082	-0.089	4.23	4.84
7-6	0.156	0.111	4.23	6.05
7-8	0.154	0.078	4.22	4.23
8-8	-0.071	-0.067	4.22	6.05
1-6	0.026	0.012	6.44	7.04
6-1	-0.026	-0.023	6.44	7.04
2-6	0.056	0.058	-4.67	-6.16
6-2	-0.057	-0.117	-4.67	-1.76
2-7	0.005	0.003	5.94	6.27
7-2	0.002	0.0	5.94	5.94
3-7	0.0	0.0	0.32	-1.32
7-3	-0.001	0.0	0.32	0.0
4-7	-0.005	-0.003	5.56	6.27
7-4	-0.004	0.0	5.56	5.94
4-8(I)	{ -0.015	{ -0.023	{ -1.71	{ -2.31
4-8(II)	{ 0.016	{ 0.026	{ -1.71	{ -2.64
8-4(I)	{ 0.015	{ 0.023	{ -1.71	{ -2.31
8-4(II)	{ 0.016	{ 0.026	{ -1.71	{ -2.64
5-8	-0.023	-0.012	6.45	7.04
8-5	0.025	-0.058	6.45	5.72

表中の計算値は株式会社協会による

表一3(b)

ることが予想される。

格点6載荷時の2-7部材、格点8載荷時の4-7部材についても同様にびびわれ発生位置を推定することができる。

ただし、1つの部材の両端での軸力の値が著しく異なっている場合が生じているが、この原因としてはPC力4種類と載荷重の計5種の実験結果を重ねあわせたために誤差の累積があったものと思われる。すなわち縮写真から縮次数を数え縮の正しい位置を推定し応力に換算する場合に、写真に出ている明暗の縮が幅を持っていたり縮次数がすくない場合には解析の際誤差が含まれやすいが、PC力の縮写真を見るとその点で問題があるように思われる。そのために各載荷によって生じた縮次数がそろっていないので、誤差の程度も一定でなくなり大誤差を含んだ実験結果に左右されていると考えられる。

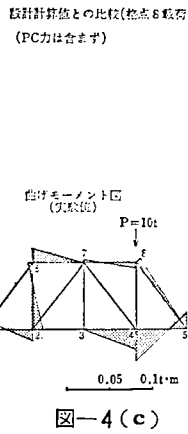


図-4(c)

部材	設計計算値との比較(格点6載荷) (PC力は合ます)	設計計算値との比較(格点7載荷) (PC力は合ます)	軸力(計算値)	軸力(実験値)
1-1	-0.013	-0.037	-2.05	-2.05
2-2	-0.025	0.035	-2.05	-1.54
2-1	0.003	-0.004	-4.11	-5.05
3-3	-0.001	0.003	-4.11	-4.38
3-2	-0.014	0.053	-4.14	-4.25
4-4	-0.079	0.054	-4.14	-4.33
4-3	0.053	0.055	-6.10	-6.65
5-5	0.011	-0.050	-6.10	-6.71
6-4	-0.030	-0.037	2.09	2.66
7-7	-0.026	0.007	2.09	2.38
7-6	-0.003	-0.005	6.09	7.05
8-8	0.027	0.019	6.05	5.69
1-7	0.013	0.0	3.20	3.67
6-6	0.009	0.0	3.20	3.38
2-1	-0.021	-0.035	-2.40	-2.64
6-6	-0.021	0.013	-2.40	-2.90
2-2	0.005	-0.007	3.16	3.26
7-7	-0.005	0.004	3.16	3.64
3-2	0.014	-0.002	-0.01	-1.63
7-7	-0.014	0.0	-0.01	-1.82
4-3	0.004	-0.002	-3.07	-2.73
7-4	0.003	0.002	-3.07	-2.36
4-8(I)	{ 0.0	{ -0.002	{ 2.56	{ 1.63
4-8(II)	{ 0.0	{ 0.004	{ 2.56	{ 2.17
8-4(I)	{ 0.010	{ 0.007	{ 2.56	{ 1.10
8-4(II)	{ 0.010	{ 0.0	{ 2.56	{ 1.45
5-8	-0.011	0.0	9.59	10.60
8-5	0.018	0.022	9.59	10.50

表中の計算値は株式会社協会による

表一3(c)

もう一つの誤差の原因としては部材端縞次数の取り方が考えられる。応力が集中している格点部は当然縞も多く生じているので、部材が格点部に入り込んでいる部材付近では部材端の縞の読み取り方で2～3次の差が生ずることもありうる。

これらのことに考慮を払って、実験結果を重ねあわせない場合を計算値と比較してみたものが表-3、図-4である。ここでは誤差の累積もなく、また縞次数のすくないための誤差も除かれている。

重ねあわせを用いた場合と比較すると、計算値と実験値では軸力においてはかなりの一致を示し曲げモーメントについては傾向は合っているが値そのものはややばらつきがみられる。

5. ま と め

この度の光弾性実験の第1の目的は、実橋との直接的対応ではなく1/5実物PCトラス模型実験を対象としたものであり、PCトラスの性質についての資料を得るためにこの実験方法を試みたものである。

したがって、実験値そのものの定量的意味を問うにはより多くの実験を行なわねばならないが、PC力を外力のように扱い重ね合わせるという解析法は実験過程に以下のような幾つかの注意を払えば信頼できる値を得ることが可能であろう。

(1) 各々の載荷条件により生ずる縞次数をできるだけ一定にし、負荷されるべき荷重と実際の載荷重との倍率を可能な限り一定にする。

(2) 同時載荷等を用いて、重ねあわせは出来るだけ少なくし累積誤差を減らす。

なお部材と格点部との応力集中部の縞次数の読み取り方に注意を払う。

(3) 全体の応力の流れの状態や応力集中部に検討を加える必要があるが、そのためには格点部のみの光弾性実験を別に行なわねばならない。

(4) 1/5実物PCトラス模型の1/10の平面寸法をもつ光弾性モデルでは、厚さは一定であり、荷重は断面積比によっているので、軸応力の値はそのまま採用できるが曲げ応力は1/5実物PCトラス模型の値を示していない。

したがって、表2・3、図3・4にある曲げモーメントの値は正しくは曲げモーメント分布の傾向を現わしているにすぎない。そのことは前述のように表に示されている。

曲げ応力で定量的信頼を得るような実験値を得るためには、たとえば単純に曲げモーメントと荷重が1次関係にあるとすれば、載荷重は今回のように断面積比によって定められるが、その場合でも1/5実物PCトラス模型との断面係数比が一定であるように光弾性モデルは厚さ変化を伴った形状を用いねばならない。

今回の実験はコンクリート構造物に関する光弾性実験の第一歩であり、今後も実験を進めてゆく予定である。

末筆ながら、終始御指導を頂いた土木工学科安井将文助教授、および資料の提供等を頂いた鉄道建設公団と、実験にたずさわった本学大学院生室橋伸一君に感謝致します。