

【報 告】

道路ランガー桁(子飼橋と銀座橋)の載荷試験*

吉 村 虎 蔵**
清 田 堅 吉***
村 橋 久 昭****

要 旨 この報告は子飼橋と銀座橋の両ランガー桁における載荷試験結果と理論値とを比較検討したものである。静応力試験にはダンプカー2台を用い、抵抗線ひずみ計とたわみ計によつて応力・たわみを測定し、動応力試験ではさらに加速度計を併用して振動性状や固有周期を測定した。またカールソン型ひずみ計を用いて床版重量による応力・たわみをいくつかの段階に分けて測定した。

1. 緒 言

昭和28年白川災害復旧橋梁のうちランガー桁が2橋あいついで完成した。子飼橋と銀座橋がそれであり、前者は建設省九州地建、後者は熊本市役所の設計による。

近年新しい形式の実在橋梁について多くの応力測定が行われているが、道路ランガー桁に関する応力測定は見えないようであり¹⁾、また上記2橋は構造上多少の相違があつて、そのためにどのような応力状態・振動性状の変化が生じるかは興味あるものとする。また従来道路橋の応力測定には荷重として自動車がいわれてきたが、これらの場合にくらべて非常に大きい応力値・変形を生ずる死荷重あるいはその一部による応力・たわみの測定によつて測定値の精度を上げ、かつ建設途中に生ずる応力状態の研究を行うこともまた重要なことと思われる²⁾。なおランガー桁の固有周期について筆者の一人(吉村)の理論値³⁾と、両橋における実測の固有周期との比較研究などをあわせ企図し、この実験が行われた。

2. 両橋の構造概要

両橋の構造概要は表-1(a)に示すとおりで、アーチ軸線はともに放物線である。また、アーチ断面の選定が表-1(b)のように相違し、これにともない支承上の格点構造および橋門構の差異が写真-1に見られる。補剛

表-1(a) 両橋の構造概要

	橋 格	支 間 (m)	ライズ (m)	有効巾員 (m)	格間数	縦桁数	補剛桁間 隔(m)
子飼橋	一等下路	57.20	9.00	7.25	10	5	8.50
銀座橋	一等下路	62.00	10.00	8.00	10	5	9.00

*第5回日本道路会議において一部分を公表

**正員 工博 熊本大学教授 工学部応用力学教室

***熊本大学教授 工学部応用力学教室

****石川島重工KK, 元熊本大学勤務

表-1(b) 基準断面

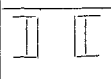

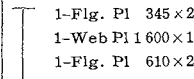

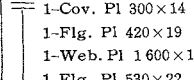
	アーチリブ	補剛桁
子飼橋	 1-Cov. P1 500×14 2-  300×90×10 2-Side P1 230×10 A=227.5 cm ² I=2.878×10 ⁴ cm ⁴	 1-Flg. P1 345×20 1-Web P1 1600×10 1-Flg. P1 610×25 A=381.5 cm ² I=167.9×10 ⁴ cm ⁴
銀座橋	 1-P1 450×14 2-Side P1s 540×19 1-P1 382×12 A=292.2 cm ² I=10.86×10 ⁴ cm ⁴	 1-Cov. P1 300×14 1-Flg. P1 420×19 1-Web. P1 1600×10 1-Flg. P1 530×22 1-Cov. P1 450×19 A=483.9 cm ² I=241.8×10 ⁴ cm ⁴

写真-1(a) 子 飼 橋

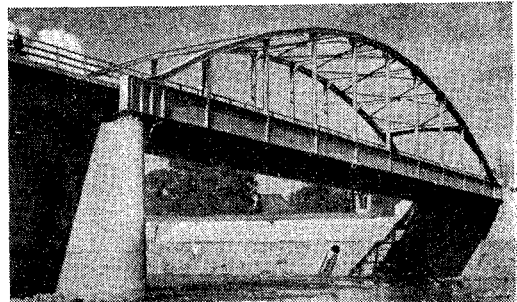
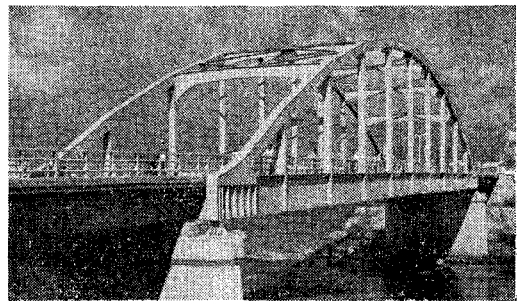


写真-1(b) 銀 座 橋



桁の断面を表-1(b)に併記した。

3. 実験の方法

(1) 子飼橋

自動車荷重による静的応力・たわみの測定には土砂を積載した13.00tのダンプカー2台を並行に用いた。後輪(9.20t)の停止位置は格点③, ⑤, ⑦であつて、以下それぞれの荷重状態をKSA, KSB, KSCと名づける(図-1)。動的応力ならびに減衰自由振動の測定には、

上記のダンプカー1台を種々の速度で走行せしめて行なつた。測点は上流側主構の格点①, ③, ⑤に近いアーチリブ・つり材・補剛桁に設けた。これらの測点および測点名を図-2に示す。応力測定にははくゲージ, 新興通信 PS-7L 型ひずみ測定器, 共和無線 DPM-6 B ひずみ測定器, 三栄測器 100-A 型電磁オシログラフ (6 エレメント) を用いた。また減衰自由振動の記録から桁の固有周期とその振動形を知るために, $A_{31} \cdot G_{31} \cdot G_{31}$ のゲージと格点③, ⑤, ⑦の補剛桁上に 120 A-5C 型加速度計 (共和無線) を設置した。加速度計をそれぞれ a_3, a_5, a_7 と呼ぶ。静的たわみの測定には, 高橋式たわみ計を格点⑤の補剛桁上に取りつけて行なつた。

図-1 子銅橋自動車荷重

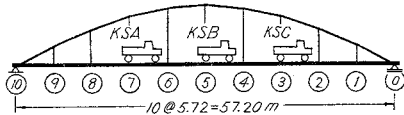
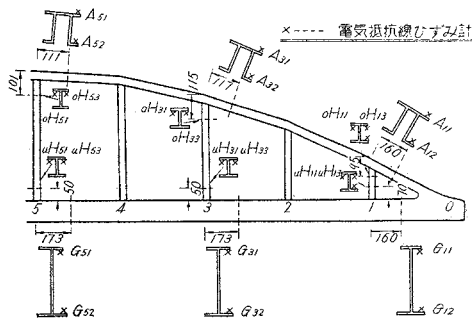


図-2 測点 (子銅橋)



(2) 銀座橋

銀座橋では床版コンクリート (厚 16 cm) 打設途中の 4 段階におけるそれぞれの段階の応力をカールソン型ひずみ計 (CS-10 D) によって測定した。同ひずみ計の取り付けは型わく組立前に行なつた。この場合の全格点のたわみ測定にはレベルを用いた。いずれも主構の各部の温度が一樣と思われる日没後に測定を行なつた。カールソン型ひずみ計の測点は格点⑩, ③, ⑤に近く選ばれ, 測定名は 図-3 に示すとおりである。取り付けの状態を写真-2 に掲げる。

自動車による静的応力・たわみの測定には土砂を積んだ 12.22 t のダンプカー 2 台を並行に載荷した。載荷位置は子銅橋の場合と少しく変更して, 後輪 (8.45 t) の停止位置を $l/4, l/2, 3l/4$ 点とし, それぞれの荷重状態を GSA, GSB, GSC と名づける (図-4 (a))。このときの応力測点は上流側主構の格点⑩, ①, ③, ⑤に近く設け (図-3), はくゲージ, 新興通信 PS-7L 型ひずみ測定器・共和無線 DM-6E・MA-33 型電磁オシログラフを用い, たわみの測定には高橋式たわみ計を格点③に取りつけて行なつた。実験状況を写真-3 に示す。

動的応力の測定ではゲージ貼布から測定日まで約 4 ヶ月経過していたためか, 大部分のゲージの抵抗値の変化がひどくて計器 DM-6E のバランスがとれず二, 三

図-3 測点 (銀座橋)

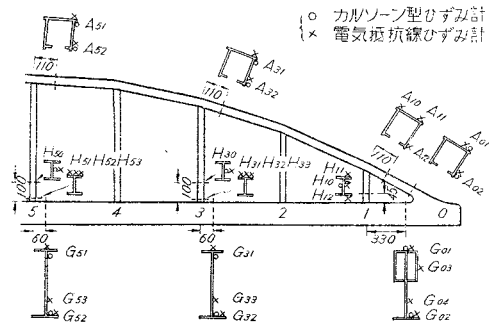


図-4 銀座橋自動車荷重

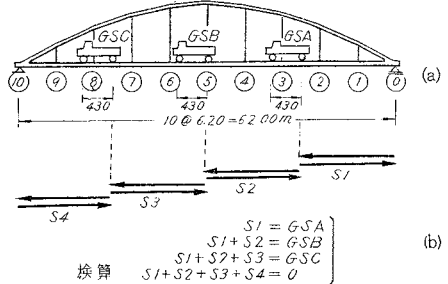


写真-2 下突縁に取りつけたカールソン型ひずみ計 (CS-10D)

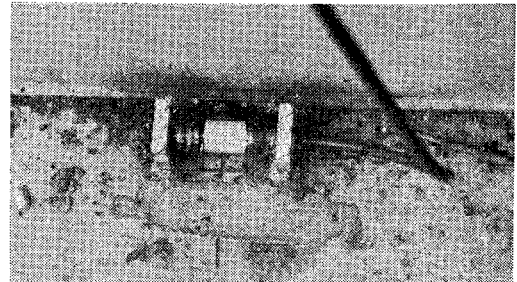
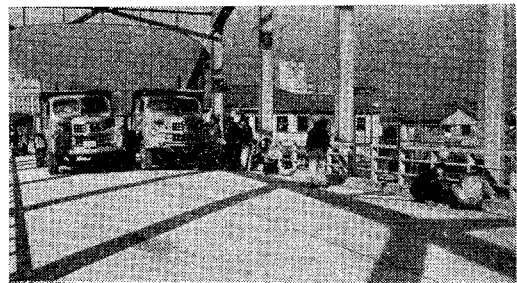


写真-3 実験状況 (銀座橋)



のゲージと加速度計 120 A-5C を用いて振動性状をしらべた。このときの加速度計は格点③, ⑤, ⑦の桁の上突縁と格点③のアーチ上に設置し (それぞれ a_3, a_5, a_7, a_3' と名づける), 上下動を記録せしめた。走行自動車は子銅橋と同様に 1 台である。

なお (A) (B) いずれの場合とも, 自動車による実験は橋梁完成から開通式の間に行なつた。すなわち子銅橋では昭和 32 年 6 月, 銀座橋では 33 年 12 月である。

4. 測定結果

(1) 子飼橋

自動車荷重の静応力の格点③における測定結果と1次応力の計算値および応力比を表-2(a)に示す。格点⑤のたわみの測定値を表-2(b)に示し計算値と比較した。

表-2(a) 自動車による静応力(子飼橋)

測点		A ₃₁	A ₃₂	σH ₃₁	G ₃₁	G ₃₂
荷重	測定	-22	-56	-23	+121	-49
	計算	-60	-60	+42	+202	-73
	比	0.37	0.97	-0.55	0.60	0.67
KSA	測定	-28	-55	+12	+51	+11
	計算	-70	-70	+59	+68	+22
	比	0.40	0.79	0.20	0.75	0.50
KSB	測定	-50	-14	+89	-118	+112
	計算	-54	-54	+46	-221	+198
	比	0.93	0.26	1.93	0.53	0.57
KSC	測定	-50	-14	+89	-118	+112
	計算	-54	-54	+46	-221	+198
	比	0.93	0.26	1.93	0.53	0.57

(応力単位 kg/cm²)

表-2(b) 自動車による静たわみ(子飼橋格点⑤)

荷重		KSA	KSB	KSC
測 定	測定	2.70	6.80	2.50
	計算	3.90	7.40	2.70
	比	0.69	0.85	0.93

(たわみ単位 mm)

表-3 動的応力と衝撃係数(子飼橋)

測点		A ₃₁	A ₃₂	σH ₃₁	G ₃₁	G ₃₂
速度	σ _{max}	-40.8	-49.8	+60.5	+74.3	+75.0
	σ _{min}	-12.6	-10.3	+44.5	+45.2	+45.0
	平均	-26.7	-30.1	+52.5	+59.8	+60.1
	i	0.53	0.65	0.15	0.24	0.25
	10.4 km/h (KDA)					
18.7 km/h (KDB)	σ _{max}	-40.8	-42.0	+56.5	+105.0	+80.2
	σ _{min}	-9.4	-21.7	+45.2	+35.1	+53.3
	平均	-25.1	-31.9	+50.9	+70.1	+66.8
	i	0.63	0.32	0.11	0.50	0.20
	27.0 km/h (KDC)					
34.6 km/h (KDD)	σ _{max}	-21.7	-42.2	+66.4	+95.6	+92.4
	σ _{min}	0	-15.7	+38.4	+35.1	+32.0
	平均	-10.9	-29.0	+52.7	+65.4	+62.2
	i	1.00	0.46	0.26	0.46	0.49
	iの平均値		0.77	0.2	0.38	

(応力単位 kg/cm²)

動的応力の測定結果から表-3が得られた。表中、 $i = \{2\sigma_{max}/(\sigma_{max} + \sigma_{min}) - 1\}$ にして衝撃係数である。

減衰自由振動については次のとおりであった。

(1) ゲージ A₃₁ は 1.72 sec の合成振動周期をもちこの現象のうち 0.344 sec の周期の振動が顕著である。

(2) ゲージ G₃₁, 加速度計 a₅ は 0.344 sec の周期の振動を示した。

(3) ゲージ G₃₁, 加速度計 a₃, a₇ は 0.432 sec の周期の振動を記録し、a₃ と a₇ は逆位相である。

なおアーチ リブ・つり材・補剛桁のゲージの記録か

ら対数減衰率を求めて表-4の結果を得た。

表-4 対数減衰率(子飼橋)

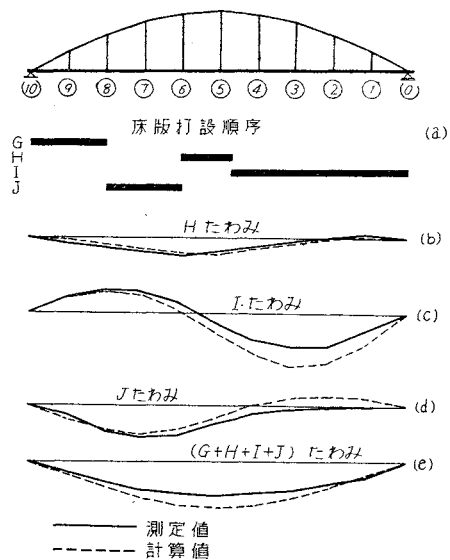
速度	測点	A ₃₁	A ₃₂	σH ₃₁	G ₃₁	G ₃₂	G ₁₁
	KDA	—	—	—	—	—	—
	KDB	—	0.094	—	0.076	—	—
	KDC	—	—	0.078	0.082	0.100	0.099
	KDD	0.087	0.078	—	0.089	—	0.083

注: 空欄は読取り困難のため省略

(2) 銀座橋

コンクリート床版打設による応力・たわみの測定にあたっては、型わく・鉄筋組立の数段階 A~F の荷重状態を測定ののち、コンクリート打設の4段階(図-5(a))を G・H・I・J と名づけた。これらのうち H・I・J の荷重および床版全重量 (G+H+I+J) による測定たわみと測定応力、理論値およびたわみ比・応力比をそれぞれ表-5(a), (b) に示す。たわみ図を画いて 図-5(b), (c), (d), (e) が得られた。

図-5 床版重量によるたわみ



床版による応力測定5日間における測定時のカーボン型ひずみ計の示した最大温度差は約5°Cであつて、測定誤差は測定ひずみの大きさにくらべて微小であり⁴⁾、かなりの精度の結果が得られたものと信ずる。またこれらのひずみ計個々の較正係数および温度係数については筆者等が実験室において測定したものを使用してひずみを算定した⁵⁾。上のごとく温度差が小さく、かつ日没後主構各部の温度分布が一樣と思われる時刻に測定したので、応力値・たわみ値には温度応力や温度変化によるたわみを考慮に入れずに測定値と理論値とを比較してある。

自動車荷重 GSA・GSB・GSC のときの応力・たわみの測定結果から表-6(a), 表-6(b) が得られる。測定値の精度を高めるため、図-4(b)の矢印の要領で自動車の前進後退をくり返して、それぞれの場合の応力値 S1・S2・S3・S4 を求め、図中の注記の式によつて、GSA・GSB・GSC の応力値を決定し最後に $\sum_{N=1}^4 SN=0$ によ

表-5(a) 床版重量によるたわみ (銀座橋)

荷重	格点	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
		測定	-0.22	-0.04	0.14	0.42	0.70	0.88	0.66	0.54
H	計算	-0.07	0	0.22	0.52	0.76	0.75	0.54	0.29	0.10
	比	—	—	0.64	0.81	0.92	1.17	1.22	1.86	—
I	測定	0.92	1.74	1.76	1.38	0.50	-0.48	-1.16	-1.24	-0.82
	計算	1.52	2.49	2.69	2.11	1.01	-0.14	-0.94	-1.17	-0.81
J	測定	0.05	0.10	0.15	0.30	0.85	1.50	1.75	1.40	0.55
	計算	-0.46	-0.66	-0.54	-0.08	0.59	1.23	1.55	1.36	0.77
G+H+I+J	測定	0.80	1.10	1.50	1.60	1.80	1.70	1.50	1.10	0.60
	計算	0.71	1.38	1.93	2.28	2.41	2.28	1.93	1.38	0.71
	比	1.13	0.80	0.78	0.70	0.75	0.75	0.78	0.80	0.85

注: 数値の小なるものは比をとらない (たわみ単位 cm)

表-5(b) 床版重量による応力 (銀座橋)

荷重状態	測点	A ₀₁	A ₀₂	A ₃₁	A ₃₂	A ₅₁	A ₅₂	G ₀₁	G ₀₂	G ₃₁	G ₃₂	G ₅₁	G ₅₂	H ₁₀	H ₃₀
		H	測定	-46	-44	-71	-78	-115	-44	+36	+8	+53	-11	-132	+82
I	計算	-60	-60	-55	-55	-60	-60	+92	+4	+83	-7	-100	+127	+29	+29
	比	0.77	0.73	1.29	1.42	1.92	0.73	0.39	—	0.64	—	1.32	0.65	0.93	—
J	測定	-193	-82	-221	-27	-128	-183	-42	+229	-244	+386	+23	+40	+48	+65
	計算	-131	-131	-122	-122	-133	-133	-77	+201	-327	+372	+26	+104	+64	+64
G+H+I+J	測定	1.47	0.63	1.81	0.22	0.96	1.38	0.55	1.14	0.75	1.04	0.88	0.38	0.75	1.02
	比	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
J	測定	-61	-92	-34	-95	-61	-44	+34	-13	+155	-84	+65	+8	+29	+32
	計算	-73	-73	-68	-68	-74	-74	+138	-13	+206	-89	+49	+32	+36	+36
G+H+I+J	測定	0.84	1.26	0.50	1.40	0.82	0.59	0.25	1.00	0.75	0.94	1.33	0.25	0.81	0.89
	計算	-317	-221	-309	-214	-300	-242	+65	+233	+63	+269	+69	+179	+137	+132
G+H+I+J	測定	-292	-292	-271	-271	-296	-296	+213	+182	+64	+225	+32	+248	+143	+143
	比	1.09	0.76	1.14	0.79	1.01	0.82	0.31	1.28	0.98	1.20	2.20	0.72	0.96	0.92

注: 数値の小さいものは比をとらなかつた (応力単位 kg/cm²)

つて測定誤差をしらべた。この値を表-6(b) の最下欄に示した。表に示すとおり誤差は微小で良好な結果と思われるので測定値の補正を行わなかつた。かかる結果が得られたのは当日は曇天で測定中のゲージの温度変化がなかつたからである。

減衰自由振動における加速度計の記録から次の結果が

表-6(a) 自動車による静たわみ (銀座橋格点③)

荷重	GSA	GSB	GSC
測定	5.50	1.35	-2.55
計算	9.45	2.47	-4.05
比	0.58	0.55	0.63

(たわみ単位 mm)

得られた。

(1) 加速度計 a_5 は 0.347 sec

(2) 加速度計 a_3, a_3', a_7 は 0.445 sec の周期を示し、 a_3 と a_7 とは逆位相、 a_3 と a_3' は同位相である。

5. 実験結果に対する考察

(1) アーチ リブ応力

銀座橋の床版コンクリート打設時のアーチ リブの応力比を見るとHの場合に最大 1.92, Iの場合最大 1.81, Jの場合最大 1.40, 全面等分布荷重の場合にも 1.14 のとき応力比を示し2次応力が非常に大きいことが知ら

表-6(b) 自動車による

荷重	測点	ア								
		A ₀₁	A ₀₂	A ₁₀	A ₁₁	A ₁₂	A ₃₁	A ₃₂	A ₅₁	A ₅₂
GSA	測定	-42	-32	-42	-46	-32	-71	-11	-27	-32
	計算	-41	—	—	—	—	-38	-38	-41	-41
GSB	測定	1.02	0.78	1.02	1.12	0.78	1.87	0.29	0.66	0.78
	比	—	—	—	—	—	—	—	—	—
GSC	測定	-42	-55	-42	-42	-55	-53	-59	-74	-17
	計算	-54	—	—	—	—	-50	-50	-55	-55
GSC	測定	0.78	1.02	0.78	0.78	1.02	1.06	1.18	1.34	0.31
	比	—	—	—	—	—	—	—	—	—
測定はずみの検算 S1+S2+S3+S4 (×10 ⁻³)	測定	-27	-34	-25	-25	-42	-23	-46	-25	-42
	計算	-36	—	—	—	—	-33	-33	-36	-36
測定はずみの検算 S1+S2+S3+S4 (×10 ⁻³)	測定	0.75	0.94	0.69	0.69	1.17	0.70	1.39	0.70	1.17
	計算	—	—	—	—	—	—	—	—	—
測定はずみの検算 S1+S2+S3+S4 (×10 ⁻³)	測定	-5	-1	-2	-3	-4	+2	-4	+1	-2
	計算	—	—	—	—	—	—	—	—	—

れる。自動車荷重の場合でも、アーチ リブ応力比は GSA のとき最大 1.87, GSB のとき最大 1.34, GSC のとき最大 1.39 の値を示し、床版重量による応力比と同じ傾向を示している。これらの応力比は子飼橋の格点③付近のアーチ リブ応力比が 100% を越えない(子飼橋では他の格点の資料がとれず資料としてはややとぼしいが)のとくらべて大きな相違である。格点①のアーチの構面外への曲げはほとんど認められなかった。

(2) つり材応力

銀座橋のつり材ではカールソン型ひずみ計は図-4に示すように絵断面積の部分のウェブ中心に取りつけ、はくゲージはつり材と補剛桁との接合部に貼布したのであるが、前者では応力比が 0.75~1.01 を示すに対し、後者では表-6(b)のごとく荷重の位置によつて正負の応力が生じ(理論的には常につり材は正の応力となるべきである)、しかも正の応力比も負の応力比も 400% を越えることがあつて 2 次応力がきわめて大きい。また自動車による測定応力値を見るとアーチ リブや補剛桁における最大応力値がそれぞれ -74, +118(kg/cm²) であるのに対して、つり材の最大応力は +134, -97(kg/cm²) などを示し、自動車による測定応力の中の最大値を示した。格点①のつり材の構面外への曲げが多少みられたが、つり材の内外突縁での応力差はさほど大きいものではない。

(3) 補剛桁応力

銀座橋の床版重量による補剛桁の応力比は、アーチリブ・つり材接合部のそれらにくらべて小さいが、4 段階の最大値としてそれぞれ 1.32, 1.14, 1.33 などが得られた。自動車荷重の場合の応力比は床版重量によるそれにくらべて小さく、上下の突縁で最大値として 0.82, 0.87 などが見られるが、これらも子飼橋のそれらに比してやや大きい値を示している。

なおアーチリブと補剛桁において、自動車による測定応力の大きさとコンクリート床版重量による測定応力の大きさとをくらべるとき、床版による応力は前者の 3~5 倍あるいはそれ以上の応力値を示し、測定誤差は前

者の 2 倍くらいと思われるので⁹⁾、床版重量による応力値はかなり精度が高いものと思われる。

(4) たわみ

子飼橋における自動車による格点⑤のたわみ比、銀座橋における自動車による格点③のたわみ比、および床版重量による全格点のたわみ比をみると、格点③と格点⑤とのたわみ比にはかなりの差があり、格点⑤のたわみ比が大きいに思われる。周知のようにランガー桁では荷重が偏心して作用する場合、例えば KSA, KSC, GSA, GSC または G, I, J のごとき荷重によつては、桁の一部分に正のたわみ、他の部分に負のたわみが生ずる。このことは 1/4 点付近のたわみの影響線からも明らかなことであつて、このたわみ性状はランガー桁の特徴であり振動性状にも関連し単桁といちじるしく異なる。

子飼橋の格点⑤の自動車によるたわみ比の平均は、0.82、銀座橋の床版全重量による全格点のたわみ比の平均は 0.92 であつた。後者は表-5(b)の全応力比の平均値にはほぼ近い。

(5) 動的応力

銀座橋ではアーチリブ・補剛桁のゲージによる動的資料がとれなかつたが、子飼橋における格点③付近の動的応力の資料表-3 からアーチリブの衝撃係数は平均 0.77、つり材のそれは 0.20、補剛桁のそれは 0.38 とともにわずかに速度に比例して係数が増加する傾向がみられる。なお子飼橋の実験の後、つり材の中立軸応力がある荷重状態で圧縮応力を示したり、あるいは走行荷重によつて正負の交番応力が生ずるのでないかとの疑問がもたれたので、銀座橋の実験ではゲージ H₃₀(つり材中立軸、図-3) 加速度計 a₃ と a_{3'} の動的現象をオッシログラフに入れたところ、H₃₀ は正応力だけを記録し、a₃ と a_{3'} とは同位相であり、つり材そのものは圧縮力をうけないことが確かめられた。

(6) 固有周期

両橋の減衰自由振動の記録によると、格点⑤の加速度計およびゲージでは対称 1 次振動を、格点③、⑦の加速度計は逆対称 1 次振動を、子飼橋のゲージ G₃₁ は逆対称 1 次振動を、ゲージ A₃₁ は対称 1 次と逆対称 1 次の合成振動を示しこのうち対称 1 次の周期の波形が顕著である。アーチリブは理論的には逆対称変形によつては応力が生ぜず、しからざる形の振動によつてのみ応力

静 応 力 (銀座橋)

(応力単位 kg/cm²)

補 剛 桁								つ り 材					
G ₀₁	G ₀₂	G ₀₄	G ₃₁	G ₃₂	G ₃₃	G ₅₁	G ₅₂	H ₁₁	H ₁₂	H ₃₁	H ₃₂	H ₅₁	H ₅₃
+2	+42	+23	-118	+113	+69	+23	+13	+4	+11	-55	+67	+134	-94
-9	+52	+41	-173	+157	+97	+28	+18	+25	—	—	—	—	—
—	0.81	0.56	0.68	0.72	0.71	0.82	0.72	—	0.44	-2.20	2.68	5.36	3.88
+23	+6	0	+48	-11	0	-82	—	+11	+27	+74	+11	+40	+95
+82	+4	+19	+73	-2	+12	-125	+131	+33	—	—	—	—	—
0.28	—	—	0.66	—	—	0.66	—	0.33	0.82	2.24	0.33	1.21	2.88
+19	-2	-2	+74	-48	-27	+32	—	+17	+27	+46	+8	-97	+124
+72	-9	+6	+125	-55	-22	+53	—	+22	—	—	—	—	—
0.26	—	—	0.59	0.87	1.23	0.60	—	0.77	1.23	2.09	—	-4.41	5.64
-1	+2	-4	-5	-5	-8	-1	—	-4	0	-1	0	-3	-3

を生ずるわけであるが、実際には逆対称振動によつてもわずかにアーチ リブに応力が生ずるであろうから、 A_{31} の記録のごとき波形が得られたのであろう。

このように考えると、自動車走行後のランガー桁では対称と逆対称の振動が同時に発生していることが知られる。なおこのことはランガー桁の $l/2$ 点と $l/4$ 点付近のたわみの影響線を見るとき、前者は対称形の正の面積をもち後者は逆対称に近い形の正負の面積をもち、最大縦距は後者におけるものの方が大なることより考えあわせても妥当であると考ええる。

固有周期に関する筆者の一人(志村)の理論³⁾ 値と実測値とを比較すれば表-7 のとおりである。表に示すよ

表-7 固有周期 (sec)

		測定値	理論値	
			Rayleigh	Ritz
子飼橋	対称1次	0.344	0.346	0.356
	逆対称1次	0.432	0.500	
銀座橋	対称1次	0.347	0.353	0.365
	逆対称1次	0.445	0.524	

うに対称1次の周期は Rayleigh 法による値の方が測定値に近い。上記の周期の算定にあたってはつり材のエネルギーを無視してあるが、たわみの測定値およびたわみ比の各表から知られるように実在の橋梁の剛性は理論計算の場合に仮想する構造の剛性よりも大であるから、計算周期の方が延びるものと考ええる。

6. 結 言

上記の実験結果ならびにその考察から次のことがいえると思う。

一般的に見て両ランガー桁は通常設計に用いる理論に近い応力・たわみを示すが、子飼橋の格点③近くのアーチ リブの応力比が 100% を越えないのに対して銀座橋のアーチ リブでは 2 次応力がきわめて大きく 1 次応力の 200% 近い応力値が測定された。このことはアーチ リブと補剛桁との断面 2 次モーメントの比、およびアーチ リブの断面の選定上参考とすべき事項と考える。

両橋の補剛桁では、自動車荷重によつて 53~87% の応力比が得られたが銀座橋床版重量による応力比は 100% をわずかにこえることがあつた。

つり材断面はランガー桁にかぎらずトラス橋においても通常、応力に対してきわめて十分な余裕をもつものであるが、銀座橋の実験ではつり材と補剛桁との接合部(ガセットプレート)において、正負の応力しかも応力比が $\pm 400\%$ を越え、応力値もアーチ リブ・補剛桁の全測点を通じて最大の応力値を示した。構造物全体における応力のバランス上から留意すべきことと考える。

応力測定上、新しい試みとして死荷重応力の一部の測定のためカールソン型ひずみ計を使用し、良好な結果が得られたが、このような長期にわたる応力測定および架設途中における応力測定による研究は今後機会あるごとに取り上げるべきであると考ええる。

格点①でのアーチ リブ・つり材における 構面外への曲げは非常に小さい。

衝撃係数 i については、アーチ リブ・つり材・補剛桁ではその値に大きな開きがあるようであり、速度に比例して増大する傾向が見られるが、このことについてはさらに十分な資料を得たいものである。

またつり材の中立軸応力は正負の交番応力をうけることなく、理論と同様引張力をうけていることが知られた。たわみ比は測点の位置・荷重の位置によつて必ずしも一様でないが、等分布荷重時に銀座橋では格点⑤で 75%、格点③で 78% であつた。このように実在橋梁は理論計算に用いる構造よりも剛性が大であるから固有周期の理論値は実測周期よりも延びるものと考ええる。

固有周期はいずれも対称 1 次よりも逆対称 1 次の周期の方が大きく、自動車走行後の自由振動は両者が同時に発生していることが看取された。筆者の理論でパラメーター 1 の場合の方が実測値に近く、よく一致している。逆対称周期は実測値との間に 16~18% の差がある。

両橋の実験を行なうにあたっては、建設省 熊本工事事務所および熊本市役所の御厚意と多大の御便宜をうけた。子飼橋の実験においては、熊本大学 福井武引教授・川本眺万・松前建男両助教授の御援助をうけ、また緒方典介君は両橋の実験に始終熱心に協力された。なお本実験研究の一部については昭和 33 年度科学研究費の交付をうけた。付記して深甚の謝意を表する。

注 記

- 1) ランガー桁の実験としては鉄道橋について
友永・橋本：ランガー飯桁の応力とたわみの実例およびその解析(土木学会誌 40 巻 7 号)があり、ランガー トラスについては那珂大橋・舟木橋・厚川橋・梶別橋などの実験があるが、ほとんど固有周期に関する実験である。
- 2) 死荷重応力の測定には次の論文があり、その他の実験で成功した例を知らない。
Investigation of Dead-Load and Live-Load Stresses in a 350-Ft Truss Span on the AT & SF System, A.R.E.A., 1953
- 3) 筆者の一人吉村は第 13 回土木学会年次大会において、ランガー桁の固有周期の理論について発表したことがあるが、その後この方法を改めさらに簡単化した新しい理論を導いた。この理論については稿を改める。ランガー桁の固有周期については、この他に次の研究がある。
阿部：ランガー橋の振動に関する研究，土木学会論文集第 14 号
山崎：ランガー桁の固有周期，第 14 回土木学会年次大会
- 4), 6) 吉村・他：鋼構造物の応力測定に使用する場合のカールソン型歪計の応力較正係数および温度係数に関する基礎的実験について，熊大研究報告 8 巻 2 号，p. 90 表-7，表-8
- 5) 同上の論文，筆者等の得た較正係数は与えられた係数より約 20% 大きかつた。