

曲線橋（後谷橋）の載荷試験について

小堀 為雄 吉田 博

Static and Dynamic Responses of the Curved Beam Bridge — Ushirodani Bridge —

by

Tameo KOBORI and Hiroshi YOSHIDA

In this paper, the authors describe the results of measurement of static and dynamic responses of the curved beam bridge (Ushirodani bridge, the radius of curvature of the inside girder and the outside girder of the bridge is 20.7m and 25.5m, respectively, and interior angle is 55°) under a live load.

These results were measured by wire strain gauges and deflection gauges, and compared with the designed values, and it was found that

(1) in actual, this bridge was acted as composite girder for all that was designed as uncomposite girder,

(2) natural frequency of this bridge was 7cps, impact coefficient was 0.3 ~ 0.7.

1. 緒 言

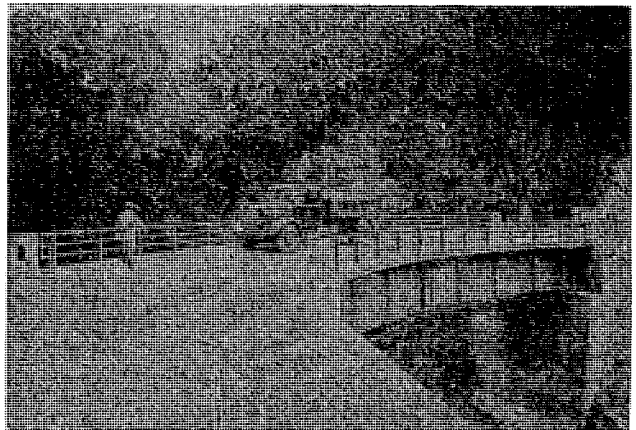
本報告は滋賀県後谷橋における載荷試験の結果についてのべたものである。

本橋は滋賀県下，県道大河原一日野線の後谷川に架設された単純曲線桁橋であり，とくに橋軸の曲率半径は 23 m と曲率半径の小さい橋梁であって，設計計算上多くの問題点を含んでいる。

本実験においては，従来の理論にしたがって設計架設された本橋について，実際の自動車荷重を載荷して，主として内外両主桁に働く応力の分布，さらに走行荷重による橋桁の振動性状および衝撃係数を測定して，この種の曲線橋に対する，合理的設計の資料をえようとするものである。

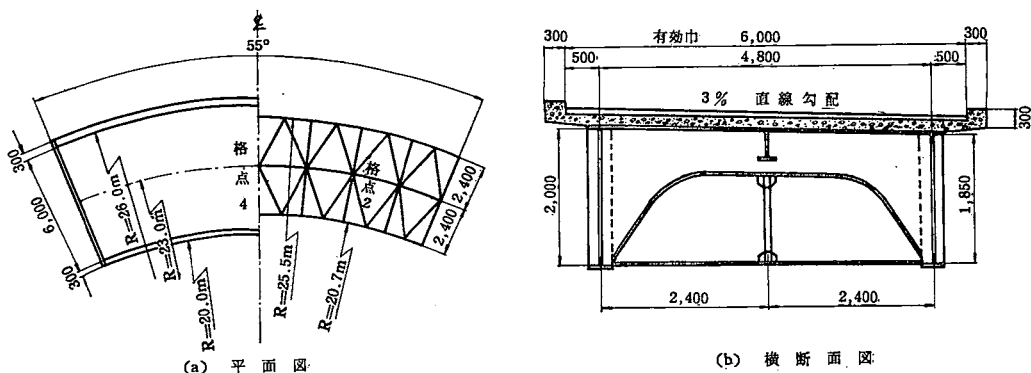
2. 本橋の概要

橋 長	22.0 m (道路中心線)
有効巾員	6.0 m
橋 格	2 等橋
型 式	上路式溶接曲線鋼桁
床 版	16 cm厚，鉄筋コンクリート床版
舗 装	5 cm厚，コンクリート舗装
曲率半径	$R = 23.0$ m (道路中心線)，内角 55 度
横断勾配	3.0 %，直線勾配
縦断勾配	2.5 %，直線勾配



写 真 載荷試験中の後谷橋

一般図を第1図に示す。



第1図 後谷橋 一般図

3. 使用ゲージと使用機器

静的試験に対しては、内外両側桁ともにスパン中央断面、スパン $\frac{1}{4}$ 断面 および 支承附近断面に共和電業KK製ワイヤストレングージ (K 10 - A 1, 1方向および K 10 - B 3, 3方向) 床版コンクリートに対し、同じく共和電業KK製ワイヤストレングージ (K 8 - 1) を接着し、歪は共和電業KK製静的歪測定器 SM - 4 J, 同スイッチボックス3台, 同ジャンクションボックス1台, 支点の移動量測定用としてダイヤルゲージ9個を使用した。

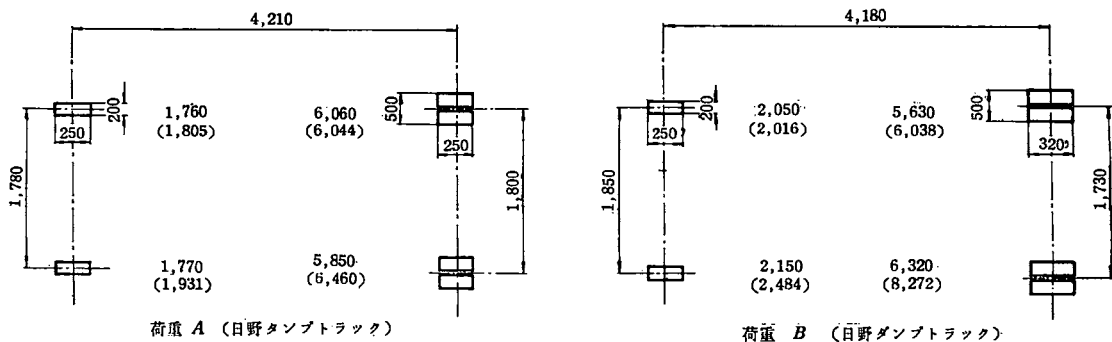
また、スパン中央点の内側桁および外側桁のたわみを測定するために田辺式たわみ計2台を設置した。

動的試験については、前記静的試験用のワイヤストレングージおよび測定計器として、共和電業KK製動的歪測定器 DPM - 8 AT, 三栄測器製 100 A 型電磁オシログラフを使用した。

さらに、スパン中央点の動たわみは前記の田辺式たわみ計を2台用いて記録した。

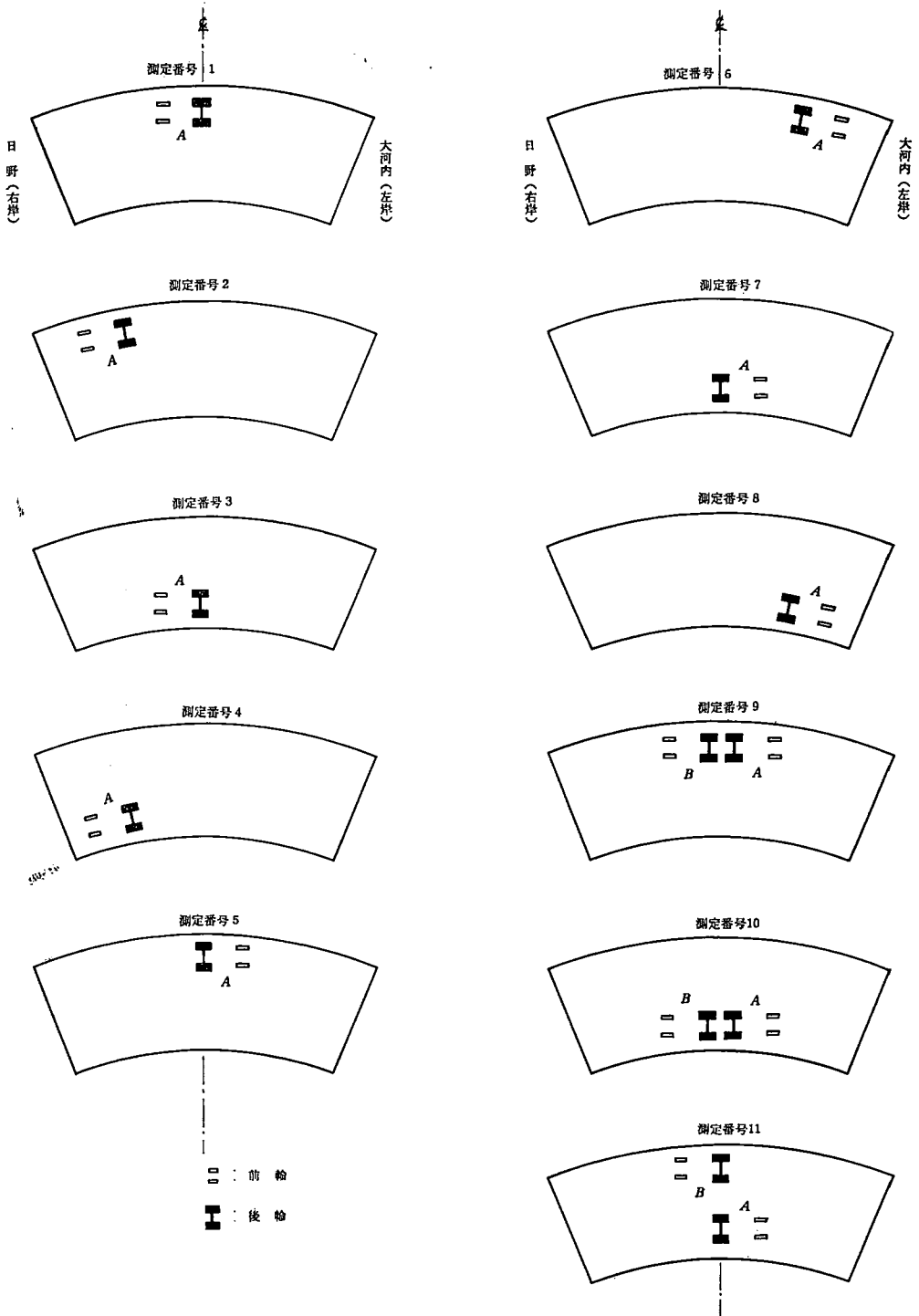
4. 試験荷重と載荷方法

試験荷重は、日野ダンプトラック総重量 16.24 ton (以下荷重 A という) および同じく日野ダンプトラック総重量 18.81 ton (以下荷重 B という) の2台を用いた。それぞれの自動車の輪荷重の大きさは第2図の通りであるが、橋面には3%の片勾配がついているので、その傾斜を考慮すると橋面上における輪荷重はそれぞれ第2図のカッコ内の数字に補正される。



第2図 載荷荷重の重さ

() 内は片勾配のための補正值 単位 kg, mm.



第3図 測定番号と荷重載荷位置

載荷方法は、ゲージ接着断面に最大応力が生ずるようにまず、1台を外側桁のスパン中央点上、1/4点上および内側桁のスパン中央点上、1/4点上にそれぞれ車の方向を日野側（右岸）に4回、反転して大河内側（左岸）に4回の計8回、つづいて2台同時にスパン中央断面に並列に車の方向をかえて2回、外側桁上および内側桁上に後輪荷重を接近して、2台が互に反対向にスパン中央点上に載荷した、この場合が橋桁にとって最悪の荷重状態である。

なお、測定番号と載荷状態を第3図および第1表に示す。

第1表 測定番号と動的試験状態

測定番号	荷 重 の 状 態	時 速	
12	荷重車Aによる走行試験 走行方向 右岸 → 左岸	25Km	
13	12 と 同 じ		
14	荷重車Aによる走行試験 走行方向 右岸 → 左岸	30Km	
15	ブレーキ試験 橋桁中央付近で急停車	15Km	で走行中
16	衝撃試験 橋桁スパン中央付近に板厚60mmの板を置いて走行試験車にジャンピング作用を起させた。	22Km	
17	16 と 同 じ く	30Km	
18	徐行による影響線の計測		
19	18 に 同 じ		
20	荷重車Aによる走行試験 走行方向 右岸 → 左岸	30Km	

引きつづいて、トラック1台による走行試験および衝撃試験を行った。最後に自由振動数および減衰振動の記録をとった。

5. 測定結果

測定された歪より測定応力度の算出にあたっては鋼桁部に対しては、鋼の弾性係数 $2,100,000 \text{ kg/cm}^2$ を、床版コンクリートに対しては、3本のコンクリート供試体にワイヤストレインゲージを接着しアムスラー荷重試験機で弾性係数の測定を行った。その結果、本橋の床版コンクリートの弾性係数は $326,000 \text{ kg/cm}^2$ であり、この値を用いてコンクリート床版の応力度を算出した。

次に設計計算で用いた曲げモーメントの影響線を用いて、各載荷状態におけるゲージ接着点の応力度を計算すると第2表のようになる。第2表よりわかるように中立軸がかなり上昇していることを考慮して、床版コンクリートのうち、床版の縁より主桁と縦桁の中心までを有効巾として、主桁に合成されているものとしての計算も行ってみた。

なお、各載荷状態における内外両側桁中央点のたわみを第3表に示す。この中測定番号1～11までは静的試験の結果である。

次に動的試験であるが、荷重Aを右岸より一定速度で走行させ、その時の動たわみを田辺式たわみ計で記録した。その代表的な記録を第5図に示す。

第 2 表 静的試験の測定値と計算値 (Kg/cm²)

ゲージ接着位置			ゲージ 番号	測定番号 1			2		
格点	桁	位置		測定値	計算値A	計算値B	測定値	計算値A	計算値B
4	内側桁	上 フランジ橋軸方向	3	- 31.5	-582.00	- 78.56	- 33.6	-303.10	- 40.49
		下 フランジ "	1	56.7	873.00	276.38	4.2	453.07	142.47
	外側桁	上 フランジ "	8	- 31.5	-312.90	- 88.46	- 27.3	-157.81	- 44.61
		下 フランジ "	10	58.8	330.10	252.29	14.7	166.54	127.19
2	内側桁	上 フランジ "	13	- 39.9	-373.30	- 52.67	- 23.1	-301.50	- 40.31
		下 フランジ "	11	- 16.8	553.20	174.06	18.9	451.43	141.72
	外側桁	上 フランジ "	18	- 37.8	-287.62	- 60.40	- 14.7	-282.18	- 59.28
		下 フランジ "	20	29.4	309.20	208.90	52.5	302.60	204.96

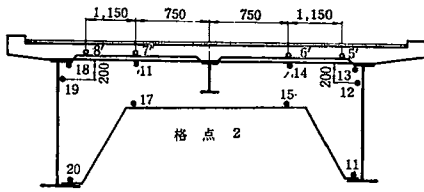
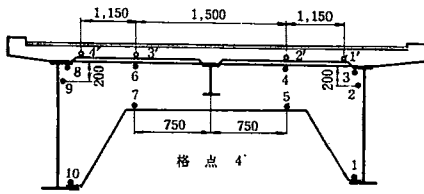
ゲージ接着位置			ゲージ 番号	測定番号 7			8		
格点	桁	位置		測定値	計算値A	計算値B	測定値	計算値A	計算値B
4	内側桁	上 フランジ橋軸方向	3	8.4	-351.41	- 46.96	4.2	-114.25	- 15.27
		下 フランジ "	1	240.5	525.33	165.17	100.8	170.77	53.70
	外側桁	上 フランジ "	8	- 29.4	53.59	15.13	0	34.06	9.63
		下 フランジ "	10	33.6	- 56.56	- 43.19	46.2	- 35.96	- 27.45
2	内側桁	上 フランジ "	13	- 46.2	-122.34	- 16.35	14.7	- 32.81	- 4.38
		下 フランジ "	11	0	182.91	57.30	140.7	49.29	15.42
	外側桁	上 フランジ "	18	-25.2	57.92	12.16	- 4.2	35.52	7.45
		下 フランジ "	20	16.8	- 62.10	- 42.07	52.5	- 38.09	- 25.80

計算値A : 非合成桁として計算した場合

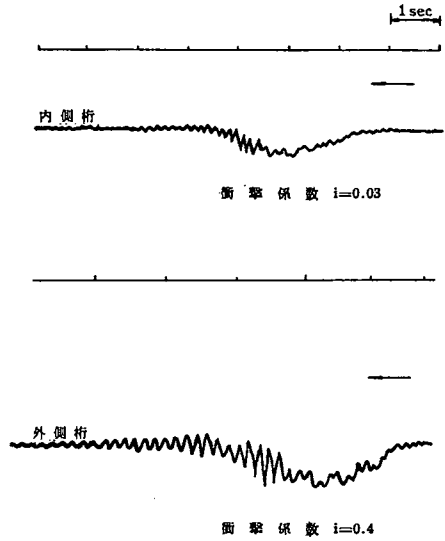
計算値B : 合成桁として計算した場合

3			4			5			6		
測定値	計算値A	計算値B	測定値	計算値A	計算値B	測定値	計算値A	計算値B	測定値	計算値A	計算値B
- 8.4	-351.41	- 48.96	- 16.8	114.37	- 15.32	- 46.2	-593.35	- 79.28	(-4.2) 31.5	-239.12	- 39.95
243.6	525.33	165.17	84.0	171.04	53.76	29.4	886.90	278.90	63.0	387.10	140.60
- 16.8	48.16	13.59	- 18.9	34.06	9.36	- 46.2	-312.99	- 88.46	(-21.0) 14.7	-156.28	- 44.18
48.3	- 50.86	- 38.81	10.5	- 35.96	- 27.45	58.8	330.37	252.29	90.3	164.95	125.97
- 29.4	-177.93	- 23.79	- 16.8	-290.24	- 38.79	- 48.3	-338.08	- 45.54	21.0	- 88.76	- 23.97
65.1	266.39	83.63	132.3	434.17	136.45	- 27.3	505.40	157.46	77.7	268.17	84.33
- 4.2	54.92	11.57	- 4.2	24.34	5.10	- 31.5	-216.79	- 45.54	6.3	-128.03	- 26.88
54.6	- 58.90	- 39.89	44.1	- 26.11	- 15.36	10.5	232.46	157.46	63.0	137.28	92.99

9			10			11		
測定値	計算値A	計算値B	測定値	計算値A	計算値B	測定値	計算値A	計算値B
- 31.5	1013.78	-135.45	- 42.0	-532.75	- 71.03	18.9	-861.38	-115.09
21.0	1515.12	476.53	371.7	795.66	249.88	306.6	1287.47	404.87
- 73.5	-549.23	-155.22	- 14.7	82.13	23.21	- 4.2	-275.83	- 77.95
184.8	579.70	442.71	96.6	- 86.70	- 66.20	159.6	291.14	222.34
- 29.3	-664.65	- 88.80	- 27.3	-300.72	- 40.18	- 46.2	-492.20	- 65.76
- 33.6	993.43	312.41	132.3	449.45	141.35	39.9	735.53	231.36
- 4.2	-533.21	-112.03	8.4	95.76	20.11	- 16.8	-230.79	-48.46
149.1	571.74	387.50	94.5	-102.70	- 69.55	79.8	247.50	167.64



第4図 ゲージ接着位置とゲージ番号



第5図 たわみ計記録 (測定番号 14)
 走行速度 30 km/h 走行方向 右岸→左岸

第3表 たわみ計記録

mm			
外側桁		内側桁	
実験番号	撓み	実験番号	撓み
No. 1	2.0	No. 1	1.1
No. 2	1.2	No. 2	0.5
No. 3	0.9	No. 3	1.5
No. 4	0.5	No. 4	0.8
No. 5	2.1	No. 5	0.9
No. 6	1.7	No. 6	0.7
No. 7	0.9	No. 7	1.4
No. 8	0.7	No. 8	1.0
No. 9	4.8	No. 9	1.7
No. 10	2.0	No. 10	/
No. 11	4.7	No. 11	2.9
No. 12	2.6	No. 12	1.8
No. 13	2.2	No. 13	1.4
No. 14	2.3	No. 14	1.4
No. 15	2.1	No. 15	1.4
No. 16*	5.4	No. 16*	2.6
No. 17*	5.5	No. 17*	2.8
No. 18	1.5	No. 18	1.4
No. 19	1.7	No. 19	1.3
No. 20	2.8	No. 20	1.6

* は衝撃試験

第4表 衝撃率 (たわみ計記録)

外側桁		内側桁	
測定番号	衝撃率	測定番号	衝撃率
No. 12	1.6	No. 12	1.3
No. 13	1.4	No. 13	1.03
No. 14	1.4	No. 14	1.03
No. 15	1.3	No. 15	1.03
No. 16*	3.4	No. 16*	1.9
No. 17*	3.4	No. 17*	2.1
No. 20	1.7	No. 18	1.2

* は衝撃試験

この記録より衝撃係数を求めると第4表のようになる。表中測定番号16および17の衝撃係数が大きくあらわれているのは、橋面上スパン中央に厚さ約6cmの板を置き走行荷重車にジャンピング作用を起させた場合の橋桁の衝撃で、かなり大きい値を示している。

6. 結果の考察

静的試験の結果は第2表に示してあるが、スパン中央点およびスパン1/4点のいずれも鋼桁の中立軸はかなり上昇していることが判る、これは鉄筋コンクリート床版がかなり合成桁として有効に作用しているものと考えられる。第2表では各載荷状態に対し、設計で行ったように鉄筋コンクリート床版と鋼桁とは非合成であるとして計算しこれを計算値Aとし、鉄筋コンクリート床版と鋼桁とは合成されているとして計算した値を計算値Bとして、測定値と対応させて記入した。この表から一般に測定値にくらべて、非合成として計算した計算値Aは非常に大きく、時には許容応力を越える計算結果が出ている。(測定番号9, ゲージ番号1)しかし計算値Bでは計算値Aにくらべて測定値により近い値となっている。

このことは、設計の際は合成桁として作用するよう考慮されていない本橋のような場合でも、鉄筋コンクリート床版と鋼桁とのスラブ・クランプなどの影響でかなり鉄筋コンクリート床版は合成桁としての役割を果たしていることがわかる。

ただし、本計算値Bでは鉄筋コンクリート床版の有効巾として床版の縁から主桁と縦桁の中心までの200cmをとっているが、この有効巾については今後より多くの実験結果から決定しなければならない。

また、このことは、これまでの実験報告3)でも指摘されているところである。

しかし、本橋のような場合には、鋼桁と鉄筋コンクリート床版に許容応力度を越えるような応力度が働くような場合には、この合成の効果は減少することが考えられる。

本実験で載荷状態が最悪な場合として、2台の荷重車を橋の中央で背合せに載荷した場合、すなわち、測定番号10の場合、スパン中央の内側桁下フランジで 371.7 kg/cm^2 の応力度を測定した。この場合この測定値は計算値Aの46%であるが、計算値Bに対しては150%である。この場合は合成桁とした場合の計算値より測定値ははかり大きくなっている。ちなみに鋼桁に作用している全応力度を計算してみると死荷重によってスパン中央断面の外側桁の上フランジで -1014 kg/cm^2 、下フランジで 1080 kg/cm^2 、内側桁の上フランジで -18 kg/cm^2 、下フランジで 28 kg/cm^2 、スパン1/4断面の外側桁の上フランジで -1081 kg/cm^2 、下フランジで 115.9 kg/cm^2 、内側桁の上フランジで -69 kg/cm^2 、下フランジで 88 kg/cm^2 の応力度がすでに作用しており、したがってこれらの載荷状態によって鋼桁に実際に作用している全応力度は、測定番号10および11について第5表に示すとおりである。

第5表 測定番号10及び11の載荷状態における鋼桁の全応力度 (Kg/cm²)

格点	桁	ゲージ位置	死荷重による 応力度	測定番号10		測定番号11	
				荷重による 応力度	全応力度	荷重による 応力度	全応力度
4	内側桁	上下フランジ	- 18	- 42	- 60	19	1
		フランジ	28	372	400	307	335
	外側桁	上下フランジ	-1014	- 15	-1029	- 4	-1018
		フランジ	1080	97	1177	160	1240
2	内側桁	上下フランジ	- 69	- 27	- 96	- 46	115
		フランジ	88	132	220	40	128
	外側桁	上下フランジ	1081	8	-1073	- 17	-1098
		フランジ	1159	94	1253	80	1239

第5表で最大応力度を生じているのは、測定番号11でスパン中央断面の外側桁の下フランジ、同じくスパン1/4断面の外側桁の下フランジである。しかしいずれの場合も許容応力度以内に入っている。また計算値 B でこの位置での全応力度を求めると、それぞれ 1302 kg/cm^2 、 1327 kg/cm^2 、いずれも許容応力度内に入っているが、かなり大きい応力度である。

しかし、この様な載荷状態は実際の交通では越えることがほとんど考えられず、測定番号1～8の載荷状態が一般的な場合と考えられるので本橋は十分満足な応力状態を示すと考えられる。

本橋のようにスパンが短く、橋中心線半径が小さい曲線橋の場合、設計荷重として鋼道路橋示方書の活荷重を取ると同時に、単一荷重による種々の載荷状態の応力度の検討もなされるべきであろう。

動的試験の結果は第4表よりわかるように内側桁の衝撃率は小さく、外側桁の衝撃率はやや大きく $1.3 \sim 1.7$ の範囲であり、これを衝撃係数 i になおせば $0.3 \sim 0.7$ となり、設計に用いた衝撃係数 i 0.272(外側桁)、0.289(内側桁)よりやや大きい。

しかし、これは1台の走行であり、したがって作用応力度も小さく設計の時は2台以上同時に載荷している場合を対象としているのでこの場合は、一般に小さくなるものと考えられる。

なお、測定番号16, 17は前にものべたように、橋面上に厚さ6cmの敷板をおいて試験車を走行させ衝撃試験を行ったもので、このときは約3倍の大きな衝撃を生じている。このことから橋面の凹凸には特に注意が必要である。

なお、本橋の自由振動数は7 cpsで固有周期0.14 sec、減衰定数 $\beta = 0.01$ であり減衰の速い橋である。

7. む す び

以上考察でものべたように、本橋のような場合鉄筋コンクリート床版を有効と考え合成桁橋として設計する方が実際応力に近い設計ができる。さらに本橋のようにスパン長が小さく、しかも橋中心線の曲率半径が小さい橋では、示方書の設計活荷重による応力計算の外に、集中荷重による応力計算もあわせて行って検討をするべきである。

曲線橋の振動について、特に走行荷重による振動についてはさらに進んだ解析を行うべきで、特に曲線による遠心力の影響等に興味ある問題が多い。今後の研究がまたれる。

本実験では衝撃係数はかなり大きく $0.3 \sim 0.7$ を記録したが、これは単一荷重による衝撃であって、2台以上の連行荷重による衝撃は一般に小さくなる。しかし、いずれにしろ曲線橋の場合はその構造上から、いくらか衝撃は大きく出るのでないかと考えられる。

本報告では、特にこれらについては解析せず、その結果のみを挙げるにとどめたが、今後の研究のよき資料になるものと考えられる。

最後に、本実験に御協力下さいました滋賀県土木部道路課の方々および石原工業KKの方々に感謝の意を表する。

参 考 文 献

- 1) 渡辺 昇：曲線桁橋設計計算法1，土木技術，昭和36年2月。
- 2) 倉西 茂：曲線格子桁の解法，土木学会論文集 No. 76，昭和36年9月。
- 3) 保田市兵衛：曲線桁橋の曲げモーメントについて，金沢大学工学部紀要，第2巻，第5号，昭和36年12月。
- 4) 堅田，中原，宮中：曲線橋の載荷実験，土木技術，昭和38年2月。

(昭和39年9月15日受付)