

合成箱桁橋（辰巳橋）の模形試験について

近 藤 和 夫*
 森 正 英**
 小 松 定 夫***

要 旨 合成箱桁橋として架設された辰巳橋と構造力学的に相似な縮尺 1:5 を有する模形を製作し、これについて載荷試験を実施した。そして薄肉構造理論による応力および変形の計算値と試験結果とを比較し、この種の箱桁橋にこの理論を適用することが適切であることを確認した。

1. 緒 言

架橋地点付近の地形的制約などの事情によって、辰巳橋は、低構造高をとる合成箱桁橋として完成された。その設計および製作については、すでに報告したとおりである¹⁾。

本橋の設計および製作にさいしては、この種構造形式の橋梁構造についての力学的特性および耐荷安全度を明確にし、設計上必要な資料をえようと計画した。そのため、次元解析²⁾によって、実橋と力学的に相似な縮尺 1:5 の模形桁を製作し、これについて載荷試験を行なった。本文では、その結果の一部を報告し、あわせて論文集第 25 号³⁾で述べたような、薄肉構造理論をこの種の構造物に適用することが、妥当であると考えたものである。

思うに、構造物の模形について実験を行なおうとするとき、その構造物の力学的特性を十分具備した模形を製作することが大切である。もしその点が、なおざりにされると、模形試験の意義が半減する。このような意味から、同じ構造物を対象とした模形試験であっても、実施しようとする試験の種類に応じて、その目的によく適合した材料、形状および寸法を持った模形を製作せねばならないと考える。例えば同じ吊橋の模形であっても、その耐震性状を解明するための振動試験を行なう場合と、流体力学的安定性を究明するための風洞試験を行なう場合とでは、それらの模形の形状、寸法の詳細について、かなり違ったものとなるのが普通である。これは模形が小形になればなるほど、実橋そのままの材料を使用し、

すべての部分を同じ縮尺で縮小して製作することが、より一層困難になるためである。

このように模形の製作にあたっては、原形とは多少形状、寸法においては、かけ離れたものとならざるをえない。しかしそのような場合にも、実物の力学的機能が損われ、試験の目的を遂行する上に、障碍となるような任意の変更は許されてはならない。換言すれば、試験結果から実橋の力学的性状を帰納しうるような適切な変更でなくてはならない。

従って試験の目的によってはこの変更の仕方が相違するのは当然である。またこのような点に留意して初めてある構造物に関する理論値と実験値との比較といった事柄なども、工学的な意味を持つことになると思われる。逆に、ある模形試験結果から、實在構造物の諸特性を判定するという場合、試験によってえられた資料の適用範囲の限界が、おのずと存在することを知るのである。

2. 模形桁の設計、製作

模形桁は原則として、実橋の 1/5 の縮尺で設計することとした。しかし前述のようにあらゆる部分を実橋のままの形状で、1/5 に縮小できなかった。例えばウェブプレートの厚さは、実橋では 9 mm であるから、同じ縮尺とすれば、厚さ 1.8 mm の薄板を使わねばならない。ところがそのような薄板を溶接して箱桁を製作すれば、かなりの残留ひずみが生じ、その矯正は相当むずかしい。それで模形では、最小板厚を 3.2 mm とした。

このように板厚、ジベル、鉄筋コンクリート床板部などの詳細においては、かなり思い切った変更をよぎなくされた。

一方、両者の相似性を確立するため、次元解析により重要な力学的諸因子については、相似率が成立するように配慮した。このために、上下カバープレートの板厚、箱桁の中、フランジ突出縁の長さなどを適宜調節するのに苦心した。

模形桁の詳細は、図-1 に示す。また模形の断面諸元および相似率に対する誤差は、表-1 のようである。相似率としては、主桁の曲げ剛性、ねじり剛性および横桁

* 正員 大阪市土木局道路部橋梁課長
 ** 汽車製造KK大阪製作所技術部長
 *** 正員 大阪市立大学助教授、工学部土木工学教室

図-1 模 形 桁

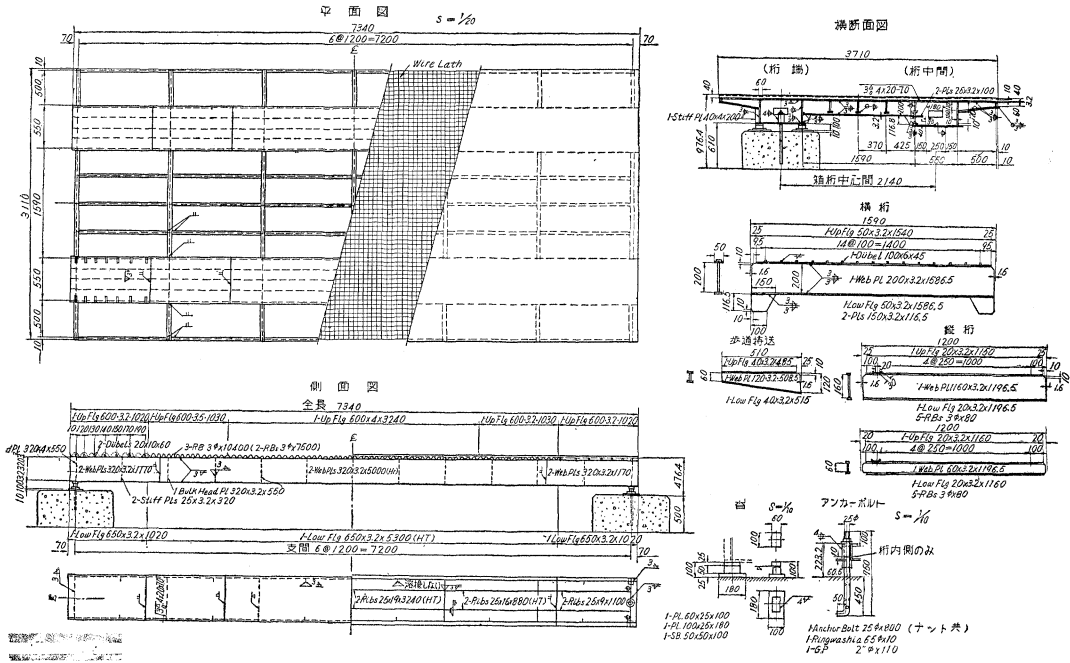


表-1 断 面 諸 量

断 面 位 置	主 桁						横 桁	
	鋼箱桁断面			合成箱桁断面			鋼箱断面	合成桁断面
	0	$\frac{l}{6}$	$\frac{l}{3}, \frac{l}{2}$	0	$\frac{l}{6}$	$\frac{l}{3}, \frac{l}{2}$	等断面	等断面
断面 2 次 モーメント $I \text{ cm}^4$	13390 (+2.8)	14588 (+1.8)	15781 (+1.1)	199499 (+2.3)	215692 (+1.1)	223561 (+2.7)	543.6 (-0.4)	11832 (+0.4)
ね じ り 剛 性 $K \text{ kg} \cdot \text{cm}^2 \times 10^{10}$	1.877	1.929	2.006	2.354	2.370	2.398 (+1.2)	—	—

注：（ ）内は正確は相似率に対する誤差

の曲げ剛性をいずれも $(1/5)^4$ とした。ただし曲げ剛性を計算するさいの床板の有効巾は、鋼道路橋の合成桁設計施工指針 18 条の規定に従って計算した。もう一つの大切な因子である曲げねじり剛性までも正確に相似率を保持させることは、非常に面倒である。しかし板厚を除く、断面の主要な寸法および他の重要な力学的因子がきわめて正確に相似率を確保しているの、曲げねじり剛性についても正しい相似率からはなほだしい偏差を生じていないようである。

このようにすれば、試験用荷重は、実橋の $(1/5)^2$ の大きさのものを載荷したとき、模形の各部に生じる応力値は、大体実橋の応力値に一致し、曲げモーメントは実橋のその $(1/5)^3$ 、たわみは $1/5$ の大ききで与えられることになる。

3. 材料試験

模形に使用した材料の試験および計測器類のキャリブ

レーションをあらかじめ慎重に行なった。そのうち、材料試験について簡単に述べる。

(1) 鋼材引張試験

本橋は、高張力鋼 Welten 50 を使用しているの、模形桁においても、全く同じ部分に Welten 50 を用いた。そして模形箱桁の中央断面に用いたと同じ Welten 50 および SS 41 から、それぞれ 3 個ずつの試験片を採取した。

試験片の大ききは、表-2 に示す。また表-2 には、この試験片を、アムスラー型 100 t 万能試験機によって引張試験した結果を掲げてある。ひずみ測定は、主として Baldwin 社製 SR 4 型電気抵抗線ひずみ計を使用し、check の意味で、Huggenberger Deformeter 261 を用いた。

以下模形試験においても同じである。ゲージは、試験片の中央、両側面に貼付けた。測定値は 3 個の試験片の結果を平均したものである。

表-2 材 料 試 験 結 果

板 厚 (mm)	材 質	試 験 片	断 面 積			抗 張 力		伸 び (%)	ヤ ン グ 率 $E(\text{kg/cm}^2)$
			$A(\text{cm}^2)$	$P_S(\text{kg})$	$\sigma_S(\text{kg/cm}^2)$	$P_B(\text{kg})$	$\sigma_B(\text{kg/cm}^2)$		
4.5	SS 41	JIS 1号	1.981	6.650	3.360	8.960	4.520	28.6	2.15×10^6
3.2	Welten 50	JIS 特1号	1.201	5.500	4.570	6.530	5.430	20.6	2.09×10^6

(2) コンクリート圧縮試験

コンクリートの圧縮強度および弾性係数などは、すべて実際に模形桁に打設したさいに採取した標準供試体6個について圧縮試験を行ない決定した。供試体の側面中央部に互いに直交する4点を選び、圧縮方面にゲージを貼付けた。

アムスラー型 200 t 圧縮試験機によって、2週間後と4週間後にそれぞれ3個ずつ破壊試験を行ない、圧縮強度の平均値を求めると次のようである。

$$\sigma_{14} = 316 \text{ kg/cm}^2, \sigma_{28} = 343 \text{ kg/cm}^2$$

また σ - ϵ 曲線より E_B を計算し、これを用いて $n = E_s/E_c$ を計算すれば、 $n_{14} = 7.52$, $n_{28} = 7.15$ で、本橋と同じ $n = 7$ を理論計算に用いることにした。

4. 単独鋼箱桁の載荷試験

本橋は、合成二箱桁橋であるが、主箱桁と横桁とを結構する前に、まず主箱桁のみを単純支持の状態に設置して、単純支持単独箱桁として載荷試験を行なった。

荷重 P は、最大 10 t とし、 $P = 0 \rightarrow 4 \rightarrow 8 \rightarrow 10 \rightarrow 0$ t の順序に同じ位置において3回くり返した。そして測定値から、1 t あたりの平均値を求めて実測値とした。

(1) たわみ

ダイヤルゲージ(精度 1/100)を左右両側のウェブプレート直下に設置して、たわみの測定を行なった。

図-2 には、その実測値と計算値との比較を示す。計算値にはせん断力によるたわみの影響を考慮している。図中○印は荷重の位置を示す。

図-2 (a) は、スパン中央断面の両側ウェブプレートに対称荷重 $P/2$ ずつが作用した場合で、実測値の計算値に対する比 T/C の百分率は、全測点で 91~104% であって、平均して 97% となっている。この場合のせん断力の影響は、4% である。

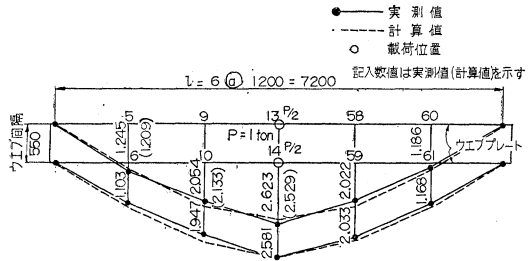
図-2 (b) は、スパン中央断面の片側ウェブプレート上に偏心載荷した場合である。 T/C は、全測点について、94~113% で、平均して 99.5% である。

図-2 (c) は、1/3 断面の両側ウェブプレート上に対称荷重 $P/2$ ずつを載荷した場合である。 T/C は、全測点で 94~113% で、平均して 99.5% である。

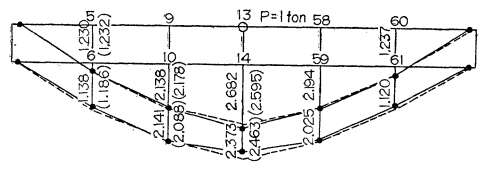
以上のように、対称曲げ、および偏心曲げによるたわみの実測値が計算値と非常によく一致している。これによって鋼箱桁のような、薄肉閉断面桁に対し、薄肉曲げ理論および曲げじねり理論を適用することの妥当性が明らかにされたと思う。

図-2 単独鋼箱桁試験たわみ実測値 m/t

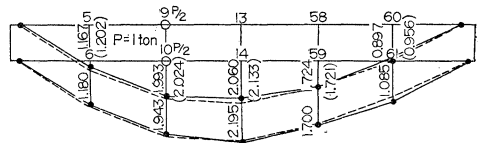
(a) 中央断面对称荷重



(b) 中央断面偏心荷重



(c) 1/3 断面对称荷重



(2) 応 力

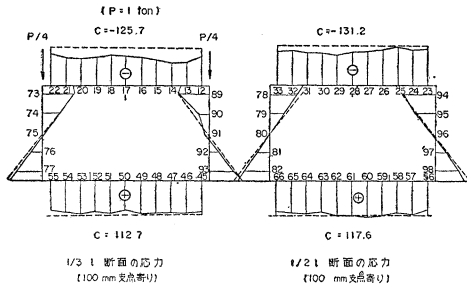
ひずみ測定については、載荷点付近における応力のかくらん状態、およびひずみゲージの損傷を回避する意味で、中央断面および 1/3 断面から、いずれも支点よりに 10 cm 離れた断面にゲージを貼付けた。それらの断面内における応力の分布状態を図-3 に図示する。

まず 図-3 (a) は、1/3 断面および 2/3 断面の両側ウェブプレート上の二重対称な4点に、相等しい荷重を作用した場合である。支間の中央部分には単純曲げが生じている。図中の実線は測定値、点線は計算値を示す。両者とも、中立軸の位置はよく一致しているが、上部カバープレートの実測応力が総体に小さいようである。 T/C の平均値を示せば、上部カバープレートでは、1/3 断面で 74%, 1/2 断面で 87% である。また下部カバープレートでは、1/3 断面で 96%, 1/2 断面で 94.5% となっている。これは上部カバープレートの板厚が、実際には指定寸法より少し厚い目であったことが、その原因になっていると考えられる。

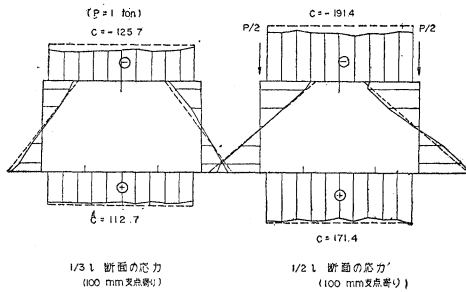
図-3 (b) は、中央断面の両側ウェブプレート上に相等しい集中荷重を載荷した場合のゲージ貼付断面に

図-3 単独鋼箱桁試験応力分布図

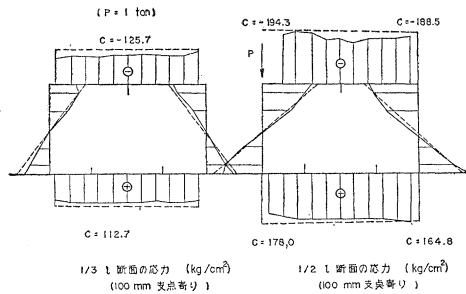
(a) 4点対称荷重試験



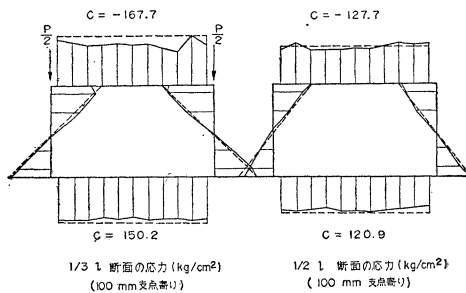
(b) 中央断面对称荷重



(c) 中央断面偏心荷重



(d) 1/3断面対称荷重



おける応力分布状態を示す。T/C の平均値は、次のようである。

上部カバー プレート 1/3 断面 85%、1/2 断面 89%
下部カバー プレート 1/3 断面 95%、1/2 断面 97%

図-3(c) は、中央断面の片側ウェブ プレート上に集中荷重が、偏心的に荷重した場合についての応力分布状態を示す。

T/C の平均値は、次のようである。

上部カバー プレート 1/3 断面 84%、1/2 断面 88%
下部カバー プレート 1/3 断面 87%、1/2 断面 92%

最後に図-3(d) は、1/3 断面の両側ウェブ プレート上に、集中荷重を荷重した場合である。T/C の平均値は次のようである。

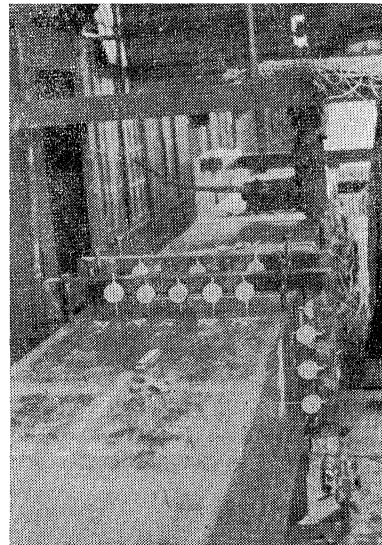
上部カバー プレート 1/3 断面 82%、1/2 断面 98%
下部カバー プレート 1/3 断面 95%、1/2 断面 95%

いずれも薄板の局部曲げ変形の影響、その他の測定誤差によって、少し不均一が認められるが、一般に実測結果はよく理論の合理性を説明している。表-3~6 は、両者の比較および誤差の百分率を示す。

(3) 横断面の変形

中央断面より 30 cm および 60 cm はなれた2つの断面に写真-1のような、ダイヤルゲージ取り付けわくを設置した。荷重によって鋼桁の横断面の形状が、どのよう

写真-1



に変形するかをダイヤルゲージで読み取った。写真-1で明らかのように、取り付けわくは、2本の直立するボルトで支持されている。2本の植込みボルトは、それぞれ両側のウェブプレートの直上に、箱桁の巾 55 cm の間隔でポイントタッチしている。従って取り付けわくは、箱桁がたわむと、箱桁と一緒に同じ高さだけ沈下する。そして取り付けわくは剛体運動するだけである。ダイヤルゲージは、その軸が薄板に垂直となるように、このわくに固定してある。もし箱桁の横断面が変形すれば、薄板の局部的な湾曲によって、ダイヤルゲージの軸が伸縮することになる。

図-4(a),(b) は、それぞれ中央断面および 1/3 断面の両側のウェブ プレート上に集中荷重を荷重した場合の断面変形の状態を示す。

一方、図-4(c),(d) はそれぞれ中央断面および 1/3

表-3 断面応力 (kg/cm²/t) 4点載荷

($p=1t$)

1/3 l 断面 (100 mm 支点寄り)

測点番号	実測値 T(kg/cm ²)	計算値 C(kg/cm ²)	T/C ×100%	測点番号	実測値 T(kg/cm ²)	計算値 C(kg/cm ²)	T/C ×100%	測点番号	実測値 T(kg/cm ²)	計算値 C(kg/cm ²)	T/C ×100%
12	-111.7	-125.7	89	45	107.0	112.7	95	73	-106.2	-101.0	105
13	-94.3	"	75	46	110.7	"	98	74	-61.2	-53.6	114
14	-89.8	"	72	47	114.5	"	102	75	-6.5	-6.3	103
15	-92.1	"	73	48	104.8	"	93	76	42.5	41.1	103
16	-102.2	"	81	49	108.7	"	96	77	84.9	88.5	96
17	-100.7	"	80	50	100.6	"	89				
18	-96.7	"	77	51	110.9	"	98	89	-100.2	-101.0	99
19	-99.1	"	71	52	107.8	"	96	90	-41.6	-53.6	78
20	-73.6	"	59	53	107.7	"	"	91	-15.8	-6.3	250
21	-77.4	"	62	54	111.3	"	99	92	39.7	41.1	97
22	-97.5	"	78	55	105.9	"	94	93	83.0	88.5	94
平均	-93.2	"	74	平均	108.2	"	96				

1/2 l 断面 (100 mm 支点寄り)

23	-112.3	-131.2	86	56	101.5	117.6	86	78	-89.9	-105.5	80
24	-116.4	"	89	57	108.8	"	93	79	-51.6	-56.0	92
25	-107.7	"	82	58	111.3	"	95	80	-4.8	-6.5	74
26	-106.6	"	81	59	115.9	"	98	81	45.3	42.9	106
27	-103.1	"	78	60	117.9	"	100	82	87.0	92.3	94
28	-112.6	"	85	61	118.7	"	100				
29	-110.6	"	84	62	116.9	"	99	94	-105.0	-105.5	100
30	-112.9	"	86	63	114.7	"	98	95	-67.8	-56.0	121
31	-126.7	"	97	64	107.7	"	92	96	-10.5	-6.5	162
32	-124.6	"	95	65	111.2	"	94	97	42.0	42.9	98
33	-122.7	"	94	66	99.3	"	84	98	81.6	92.3	88
平均	-114.2	"	87	平均	111.3	"	94.5				

表-4 断面の応力 (kg/cm²/t) 中央断面对称載荷

($p=1t$)

1/3 l 断面 (100 mm 支点寄り)

測点番号	実測値 T(kg/cm ²)	計算値 C(kg/cm ²)	T/C ×100%	測点番号	実測値 T(kg/cm ²)	計算値 C(kg/cm ²)	T/C ×100%	測点番号	実測値 T(kg/cm ²)	計算値 C(kg/cm ²)	T/C ×100%
12	-114.7	-125.7	91	45	97.8	112.7	87	73	-101.2	-100.9	100
13	-110.0	"	87	46	106.0	"	94	74	-62.5	-53.6	116
14	-103.9	"	82	47	109.4	"	96	75	-8.3	-6.3	13.3
15	-104.8	"	83	48	103.4	"	92	76	39.8	41.1	79
16	-115.8	"	91	49	109.5	"	97	77	73.2	88.5	8.3
17	-106.2	"	85	50	103.9	"	92				
18	-109.2	"	87	51	113.0	"	100	89	-90.3	-100.9	90
19	-98.7	"	79	52	111.8	"	99	90	-38.6	-53.6	72
20	-103.2	"	82	53	110.8	"	98	91	アウト	-6.3	
21	-101.5	"	81	54	110.8	"	98	92	39.8	41.1	97
22	-107.0	"	85	55	106.1	"	94	93	83.5	88.5	94
平均	-106.8	-125.7	85		107.5	112.7	95				88

1/2 断面 (100 mm 支点寄り)

23	-174.0	-191.4	91	56	177.9	171.4	104	78	-152.5	-153.7	90
24	-172.6	"	90	57	167.5	"	98	79	-90.0	-81.6	110
25	-162.2	"	85	58	164.9	"	96	80	-8.6	-9.5	91
26	-161.0	"	84	59	161.4	"	94	81	65.0	62.5	104
27	-154.5	"	81	60	172.3	"	101	82	134.8	134.6	100
28	-165.4	"	86	61	157.2	"	92				
29	-168.5	"	88	62	173.4	"	101	94	-180.0	-153.7	117
30	-169.9	"	88	63	170.4	"	99	95	-109.7	-81.6	135
31	-188.0	"	98	64	156.0	"	91	96	-10.5	-9.5	111
32	-181.8	"	95	65	175.4	"	102	97	77.0	62.5	123
33	-176.2	"	92	66	161.2	"	94	98	150.9	134.6	112
平均	-170.4	-191.4	89		167.1	171.4	97				110

表一五 断面の応力 (kg/cm²/t) 中央断面偏心載荷

($p=1t$)

l/3 断面 (100 mm 支点寄り)

測点番号	実測値 T(kg/cm ²)	計算値 C(kg/cm ²)	T/C ×100%	測点番号	実測値 T(kg/cm ²)	計算値 C(kg/cm ²)	T/C ×100%	測点番号	実測値 T(kg/cm ²)	計算値 C(kg/cm ²)	T/C ×100%
12	-116.7	-125.7	93	45	89.5	112.7	80	73	-109.2	-100.9	108
13	-108.1	"	86	46	99.0	"	88	74	71.7	-53.6	134
14	-104.4	"	83	47	100.5	"	89	75	-3.7	-6.3	59
15	-104.2	"	83	48	92.4	"	82	76	37.0	41.1	90
16	-108.1	"	86	49	100.7	"	89	77	70.0	88.5	79
17	-105.1	"	84	50	100.6	"	89				
18	-107.9	"	86	51	104.0	"	92	89	-101.4	-100.9	101
19	-94.2	"	75	52	100.6	"	89	90	-40.2	-53.6	75
20	"	"		53	98.2	"	87	91	-4.9	-6.3	78
21	-107.2	"	85	54	101.2	"	90	92	30.9	41.1	75
22	-92.9	"	74	55	91.8	"	82	93	72.3	88.5	82
平均	-104.9	-125.7	84		98.0	112.7	87				88

1/2 断面 (100 mm 支点寄り)

23	-170.2	-194.3	88	56	175.5	178.0	99	78	-159.8	-156.0	102
24	-158.7	-193.7	82	57	173.1	176.7	98	79	-92.3	-82.9	111
25	-166.4	-193.1	86	58	164.1	175.4	83	80	-9.6	-9.7	99
26	-159.2	-192.6	83	59	163.6	174.0	94	81	64.2	64.9	99
27	-148.8	-192.0	78	60	164.1	172.7	95	82	139.5	139.9	100
28	-161.3	-191.4	24	61	162.8	171.4	95				
29	-158.7	-190.8	84	62	162.0	170.1	95	94	-164.0	-151.4	108
30	-189.2	-190.2	98	63	159.7	168.8	95	95	-108.0	-80.4	134
31	-190.5	-189.6	101	64	128.7	167.4	77	96	-21.5	-9.4	228
32	-178.7	-189.1	95	65	151.5	166.1	91	97	54.2	60.1	90
33	"	-188.5		66	141.9	164.8	86	98	130.5	129.4	101
平均			88				92				117

表一六 断面応力 (kg/cm²/t) l/3 断面对称載荷

ANO. 4 ($p=1t$)

l/3 断面 (100 mm 支点寄り)

測点番号	実測値 T(kg/cm ²)	計算値 C(kg/cm ²)	T/C ×100%	測点番号	実測値 T(kg/cm ²)	計算値 C(kg/cm ²)	T/C ×100%	測点番号	実測値 T(kg/cm ²)	計算値 C(kg/cm ²)	T/C ×100%
12	-153.2	-167.7	91	45	145.6	150.2	97	73	-155.2	-134.7	115
13	-144.1	"	86	46	146.4	"	98	74	-95.8	-71.5	134
14	-132.8	"	79	47	"	"	98	75	-14.9	-8.5	175
15	-133.7	"	80	48	133.5	"	89	76	51.8	54.8	95
16	-141.9	"	85	49	140.5	"	94	77	111.2	117.9	94
17	-136.5	"	81	50	135.3	"	90				
18	-133.2	"	79	51	144.1	"	96	89	141.8	-134.7	105
19	-120.6	"	72	52	141.4	"	94	90	-500		70
20	-107.8	"	64	53	141.6	"	94	91	-92	-8.5	108
21	-169.4	"	101	54	148.9	"	99	92	57.2	54.8	104
22	-132.3	"	79	55	143.5	"	96	93	1240	117.9	105
平均	-136.9	-167.7	82		142.5	150.2	95				111

1/2 l 断面 (100 mm 支点寄り)

23	-118.9	-127.7	93	56	117.3	120.9	92	78	-100.6	-102.5	98
24	-133.1	"	104	57	117.0	"	97	79	-57.1	-54.5	105
25	-116.3	"	91	58	116.8	"	97	80	-1.9	-6.4	30
26	-116.7	"	91	59	109.0	"	90	81	44.4	44.1	101
27	-115.3	"	90	60	121.3	"	100	82	87.3	94.9	92
28	-122.2	"	96	61	121.8	"	101				
29	-119.8	"	94	62				94	-110.6	-102.5	108
30	-125.2	"	98	62				95	-63.5	-54.5	117
31	-138.3	"	108	64				96	-7.9	-6.4	124
32	-133.1	"	104	65				97	43.8	44.1	99
33	-134.6	"	105	66	104.4	120.9	86	98	90.7	94.9	96
平均	-124.9	-127.7	98		114.5	120.9	95				97

断面の片側ウェブプレート上に偏心載荷した場合の断面変形の状態を図示したものである。

これらの図で、 $1/2 \cdot \lambda$ および $1/4 \cdot \lambda$ と記したのは、それぞれ支間中央より 60 cm および 30 cm だけはなれた断面を意味する。 $1/2 \cdot \lambda$ 断面における上部カバープレートのたわみが、左右非対称になっている。その様子が上記の4つの載荷状態に対して類似していることより判断して、初期たわみの影響によるものと思われる。著者の一人は、先に箱桁の断面変形について理論的研究⁵⁾を行なったが、そのさい次のような薄板のたわみに関する仮

図-4 (a),(b) 横断面の変形

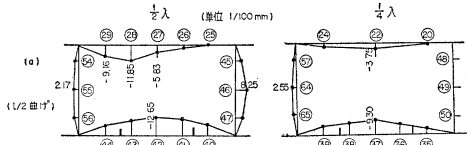
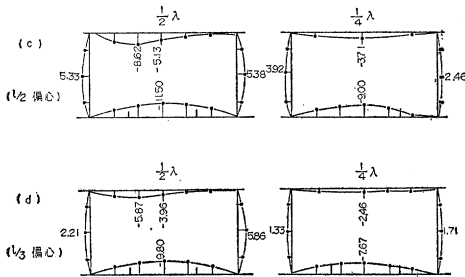


図-4 (c),(d) 横断面の変形 (mm/t) $p=1t$



定を設けた。

(1) 横断面の変形後も上下のカバープレートとウェブプレートとは直角を保持する。

(2) 上下のカバープレートはやせ馬型に、ウェブプレートは外方へはらむように変形する。

図-4 は、いずれも上記の仮定が実際の状態によく一致することを示す。

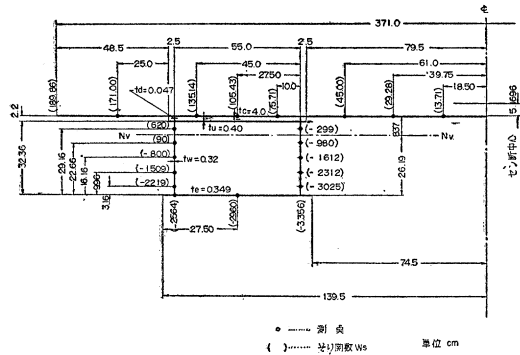
5. 合成箱桁橋の載荷試験

図-1 に示す全橋模形についても、単独箱桁試験と同じ要領で荷重を三段階に分けて計測した。そして $P=1t$ あたりの平均値を以って実測値とした。

図-5 には、合成断面左半分の寸法およびひずみ貼付け位置を示す。また () 内には、それらの点におけるそり関数 W_s の値が示してある。

まず中央断面に作用する、(a) 対称曲げ、(b) 偏心曲

図-5 断面諸量 ($1/2$ 断面)



げ、(c) 曲げねじりの三種類の載荷状態について、横断面内のたわみおよび応力の分布状態を実測した結果を示せば、次のようである。

(1) たわみ

図-6 (a) 対称曲げによる $1/2$ 断面のたわみ単位 (mm)



図-6 (b) 偏心曲げによる $1/2$ 断面のたわみ単位 (mm)

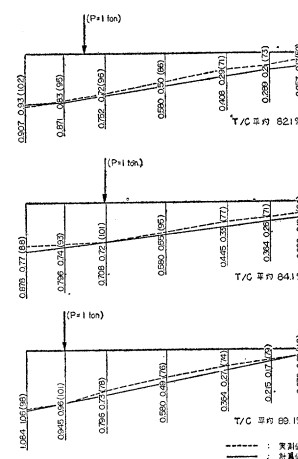
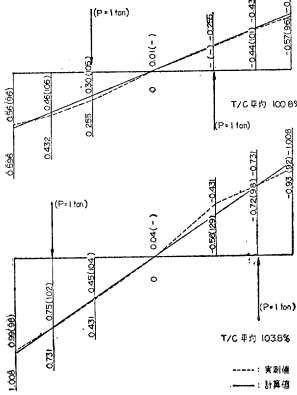


図-6 には、上記の三種類の載荷状態における中央断面のたわみを図示した。横断面内の測定点としては、対称軸すなわち横桁中点に関して、左右対称に7点を選んだ。具体的にいえば、ブラケット先端の縦桁、箱桁の両側のウェブプレート、横桁中点などの下面に接するようにダイヤルゲージを設置した。

またそれぞれの載荷状態に対して、横方向での載荷位置としては、外側ウェブプレート、箱桁中心、外側ウェブプレートの3点に移動して、いずれも3回ずつ行なった。

特に曲げねじり(c)の状態では、計算値と実測とがきわめてよく一致している。計算値は論文集第25号によったが、この理論には、床板コンクリートと鋼桁の合成に関し、ある種の仮定を設けて

図一6 (c) 曲げねじりによる $1/2$ 断面のたわみ (単位 mm)



いるにもかかわらず、きわめてよく実際の状態を説明しうることが明白となった。一方対称曲げおよび偏心曲げにおいては、少しばかり荷重点の真下で局部変形が認められるが、断面全体のたわみの傾向は、理論値とよく一致している。後者の二つの場合について T/C がやや小さいのは、コンクリート床板の有効巾、仕上り寸法の不均一、材料の弾性係数などの不確かさが曲げに対して、若干影響するためであると考えられる。

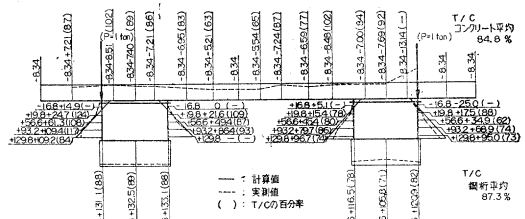
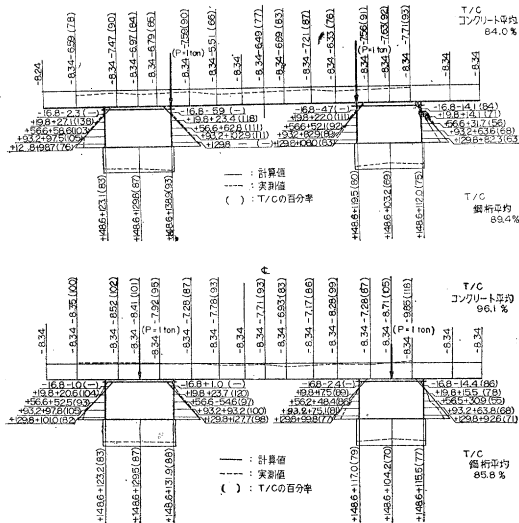
(2) 応力

上記の三種類の荷重状態における中央断面での応力分布のようすを図示すれば、図一7 のようである。図中、同じ測点に二つの数値が併記してあるが、前者は計算値を表わし、後者は実測値を表わす。実測値が記していない測点は、ひずみゲージが切断して測定できなくなったためである。

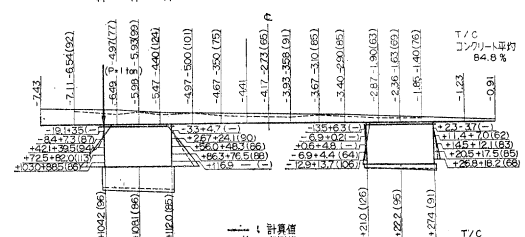
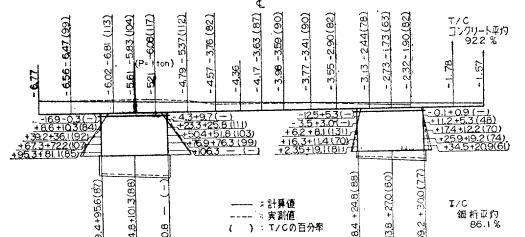
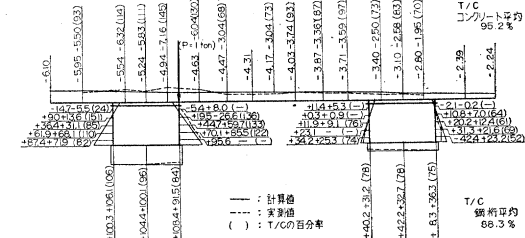
図一7 (a) は対称曲げにおける応力値を示す。コンクリート床板中央付近で少し応力の低下が認められる。

図一7 (b) は、偏心曲げの場合の応力値を示す。コンクリート床板の全巾にわたって、応力が連続的に変化しているが、曲げねじり理論を適用した計算値が、この状態を非常によく説明している。鋼桁部分の測点において

図一7 (a) 対称曲げによる $1/2$ 断面の垂直応力分布 (単位 kg/cm^2)



図一7 (b) 偏心曲げによる $1/2$ 断面の垂直応力分布 (単位 kg/cm^2)



図一7 (c) 偏心曲げによる $1/2$ 断面の垂直応力の分布 (単位 kg/cm^2)



も、計算値と実測値は、かなりよい一致を示している。図一7 (c) は、トルク荷重を中央断面に作用した場合の垂直応力の分布状態を示す。この荷重状態では、コンクリート床板の引張応力に制限があるので、あまり大きい荷重を作用できなかった。そのため応力値が小さいコンクリート部分では、若干の測定誤差が入ったのではな

いかと考える。しかし全般的に応力分布の傾向は、かなりよく一致している。

(3) 影響面

集中荷重を、主桁筋、縦筋と横筋、ブラケットの交点すなわち骨組の全格点に作用した場合について、特定点のたわみおよび垂直応力に関する影響面を描いた。

図-8には、中央断面の片側箱桁中心線上の点 M_3 のたわみについての影響面を示す。一つの荷重位置に、二段に記載した数値は、影響面のその点における縦距を示す。その中、上段は計算値を表わし、下段は実測値を表わす。各列の最下段には、その列に属する測点に関する T/C の百分率の平均値を示す。そして全測点についての平均値は、80.8% である。全面的にかなりよい一致を示している。特に縦距が小さい点ではそれだけ測定誤差が入ることになるので、図のように縦距が大きい点でよく合っていることは、実質的には理論計算の優秀な適用性を実証するものであると考えられる。

図-8 $p=1t$ による $l/2$ 断面のたわみ影響面 (単位 mm)

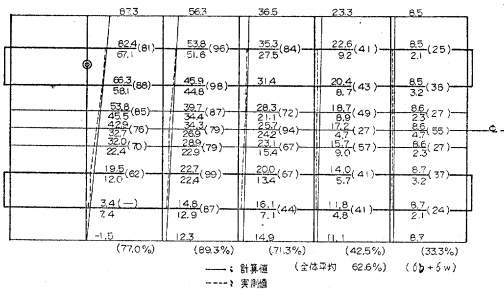


図-9(a)は、中央断面より10cm支店寄りの、片側箱桁中心軸の下部カバープレート上の点(図中◎印の点)における垂直応力の影響面を示す。計算値 σ は、やはり曲げ応力 σ_b と曲げねじり応力 σ_w の和として求めた。この場合も計算値は実測値と一致し、かつ安全側である。

図-9(b)および(c)は、それぞれ $l/3$ 断面および $l/2$ 断面における片側箱桁中心軸の下部カバープレート上の点での垂直応力の影響面を示す。測定点と反対側の比較的縦距の小さい点では、 T/C 値が小さく出ている。

図-9(a) $p=1t$ による $l/2$ 断面の応力影響面 (単位 kg/cm^2)

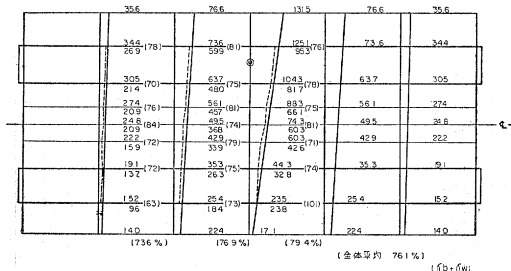


図-9(b) $p=1t$ による $l/3$ 断面の応力影響面 (単位 kg/cm^2)

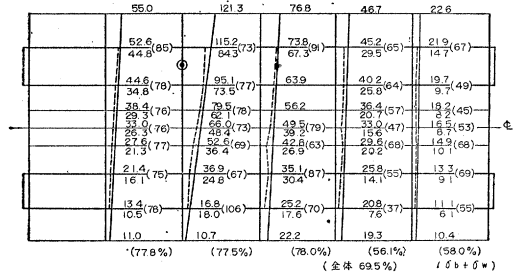
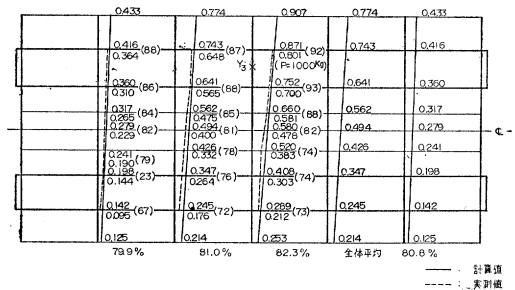


図-9(c) $p=1t$ による $b/6$ 断面の応力影響面 (単位 kg/cm^2)



このために全体の T/C の平均値を低下させる原因になっている。縦距が比較的大きくて、測定精度がよい、スパンの左半分だけについて、 T/C の平均値を求めれば、(b) で 77.8%, (c) で 79.2% であって、(a) の場合の平均値 76.1% よりむしろすぐれている。

6. 荷重分配率

合成箱桁橋模形の中央断面、主桁中心軸上のたわみおよび垂直応力の影響面から、たわみおよび応力に関する荷重分配率 μ_b, μ_σ の実測値を求める。

まず図-8から、左右主桁中心軸における縦距として、両側のウェブプレートでの縦距の平均値をとれば、 $(0.801+0.700)/2=0.7505$ および $(0.303+0.212)/2=0.2575$ をうる。よって、

$$\mu_b = \frac{0.7505}{0.7505 + 0.2575} = 0.750 (0.701)$$

一方図-9(a)から、 μ_σ についても同じように、左右主桁中心軸での縦距は、 $(95.3+81.7)/2=88.5$ および $(32.8+23.8)/2=28.3$ 、従って

$$\mu_\sigma = \frac{88.5}{88.5 + 28.3} = 0.757 (0.773)$$

これより実測では、たわみと応力に関して、荷重分配率には大差がないことを知った。ちなみに設計用には、実橋について集中荷重に対する荷重分配率として $\mu = 0.757^{(1)}$ が与えられている。()内は計算値を示す。

7. 結 言

本模形試験の測定結果から、次のことがいえる。

(1) 単独鋼箱桁の対称曲げ、および偏心曲げの載荷試験の結果、工学的曲げ理論および工学的曲げねじり理論を用いた計算値に対し、実測値は、たわみで総平均99%であり、応力では90%であった。鋼桁の剛性および強度は十分保持されている。

(2) 単独鋼箱桁が曲げを受けるさいには、カバープレートは内方へ、ウェブプレートは外方へ局部曲げを生じ、横断面形状が変形する。その変形の仕方には、各構成薄板の初期たわみの影響があるが、基本的な形態は上述のようである。この現象は、薄板の局部座屈の問題と密接の関係があるものと考えられる。また本橋の隔板の配置は適当である。

(3) 合成箱桁橋については、(a) 対称曲げ、(b) 偏心曲げ、(c) 曲げねじりトルク、の三種類の載荷状態における測定によれば、実測値と計算値の比が、たわみで平均88%であり、応力で89%である。この種の箱桁橋で、床板の有効巾に関しては、くわしい理論的研究とあわせて、結論すべきである。ところで、本橋の設計には、鋼道路橋の合成桁設計施工指針第18条の規定に従い、床板の有効巾を算定した。試験結果から、それが安全側の良好な近似値を与えることが明らかになった。従って本橋のような合成二箱桁橋に関しては、主桁間の床板内法 $2b$ と支間 l の関数として、上記設計指針の規定によって算定するのが適切であると考えられる。また本橋のように、支間長と巾員の比が1.94というような比較的巾員が大きい場合にも、薄肉構造理論を適用した論文集第25号掲載の合成箱桁橋の計算法がきわめてよく実

測値と一致した理論値を与えることを明確にできた。

(4) 合成箱桁橋のある指定せる点におけるたわみならびに応力に関する影響面を実測結果から与えた。これらは理論値の合理性適用性を十分実証している。

(5) 荷重分配率は、たわみに対するものと応力に対するものとの差がない。従って両者の計算値の平均値を採用すればよい近似値がえられるようである。

最後に本実験全般にわたって御懇切なる御指導を賜わった京都大学教授 小西博士に対し深く感謝申し上げる次第である。また実験計画について御尽力下された建設省道路局 村上永一氏、松崎彬磨氏(現首都高速道路公団)に対し厚く謝意を表する次第である。さらに実測に御参加下された大阪市土木局 松永 朗氏、金丸仁亮氏、京都大学大学院および大阪市立大学学生諸君、それから試験桁および設備の製作、準備に御尽力下された汽車製造KK 岩城康雄氏に対し厚く御礼申し上げる次第である。なお理論値は、主として大阪市立大学大学院学生 中井博君の御協力によってえられたものであることを付記して深謝の意を表する次第である。

参考文献

- 1) 近藤和夫・松永 朗・小松定夫：辰巳橋の設計と製作について、土木学会誌第45巻第4号、昭35.4
- 2) 本間 仁・春日屋伸昌：次元解析・最小二乗法と実験式、応用数学講座第5巻、昭32.1
- 3) 小西一郎・小松定夫・大橋昭光：合成箱桁橋の応力解析と設計算法、土木学会論文集第25号、昭30.3
- 4) 鋼道路橋設計示方書作成委員会：鋼道路橋の合成桁設計施工指針、日本道路協会編集、昭35.1
- 5) 小松定夫：箱桁の断面変形について、土木学会誌第40巻第11号、昭30.11 (原稿受付：1960.12.6)

フレシネー プレストレスト コンクリート

FREYSSINET ALL OVER THE WORLD

計 画 ・ 調 査 ・ 設 計 ・ 管 理



オランダ アムステル橋(連続桁) 全長178m

FKK

極東地域協定実施会社 22社

実施成績 7000件

仏国STUP社
極東総代理店

極東鋼弦コンクリート振興株式会社

取締役社長 藤田亀太郎

本社 東京都中央区銀座西6の6(合同ビル) 電話 (571)(直通)4465・(代表)8651-4