

## 2 主構型斜め箱桁橋について

土木工学科 中 村 卓 次

### ON THE SKEW BRIDGE HAVING TWO MAIN BOX GIRDERS

By Takuji NAKAMURA

Synopsis ; Skew bridges are usually calculated in the same manner as if they were straight structures whose span is equal to the oblique span.

In this method no advantage is taken of the fact that, owing to the cross-bondings, the effective span may be less than the oblique span and approach the size of the straight span, which reduces the stresses in the main girders.

In practice fairly special type of deck is selected, corresponding to rational use of the material, and approximate analysis is feasible for this type. For metal bridges an assembly of box girders with high torsion strength is used, the girders being connected on supports by rigid braces normal to the girders.

In this paper, the author gives the calculation and experimental research of this deck, which shows that by taking the obliquity into account, fairly substantial reductions can be made in the stresses in the main girders.

#### 1. 緒 言

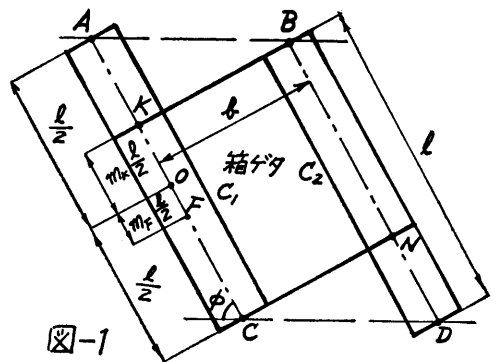
高速道路の建設にともない、斜橋はますます多くなって来ているが、斜めである事実を考えに入れた力学的解析は、まだ十分に行われていない。D. Valalas<sup>1)</sup> が述べている、2本の箱ゲタをこれと直角に交わる横ゲタにより支点上で連結した構造は、材料が鋼の場合短いスパンに対しても斜橋の型式として極めて有利で、推奨に値するものである。

横ゲタを持つ斜橋を、斜めにはかったスパンを持つ直橋として計算する普通の方法に比べ、支点上における横連結を算入した場合曲げモーメントに非常な減少が生ずることを例題をもって示し、さらにこの考え方を検討するため、模型実験ゲタによって実験的研究を行ったのでその結果について報告する。

考え方の概要は、図-1のように剛な横ゲタBK, CNによって結ばれた2本の箱ゲタ C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub> からなる斜橋において、箱ゲタ C<sub>1</sub> の点 F に荷重が作用した場合、点 K はタワミを生じ下がる。この傾向は横ゲタ BK の回転を生ぜしめ、この回転が箱ゲタ C<sub>2</sub> の回転を起す。ところがこの箱ゲタ C<sub>2</sub> は点 N において横ゲタ CN に連結されているので自由には回転できない。従って箱ゲタ C<sub>2</sub> がそのねじり抵抗によって点 K に対し上向きの反力を及ぼし、これによって点 K のタワミを助けることになる。すなわち箱ゲタ C<sub>1</sub> の曲げモーメント

は、箱ゲタ C<sub>2</sub> のねじりモーメントの増加という代償によって減少する。

このように2本の箱ゲタの横連結は、ねじりに対して大きな剛性を持つ鋼箱ゲタの場合、構造全体の経済になって来る。



#### 2. 計算方法

箱ゲタ C<sub>1</sub> の軸上の1点 F に集中荷重 P が作用した場合を考えることとし、箱ゲタの中央 O と点 F との距離が、 $OF = m_F \cdot l/2$ 、点 K との距離  $OK = m_K \cdot l/2$  で表わされるものとする。もし箱ゲタ C<sub>1</sub> が独立にあるものとすれば、点 K は次式の与えるタワミ  $y_K$  を生ずる。

$$y_K = \frac{Pl^3}{48I} (1+m_K)(1-m_F)(1+m_F-m_K)$$

$$-\frac{m^2_K + m^2_F}{2})$$

ここに  $I$  は箱ゲタの 2 次モーメントであり、ヤング係数  $E$  および剛性係数  $G$  は、それらの比だけでしか入って来ないので、計算を簡単にするため  $E=1$  にとつてある。このタワミ  $y_K$  により横ゲタ BK には回転角  $\theta = y_K/b$  を生ずる。 $y_K$  は小さく横ゲタの剛性は極めて大きいとする。その結果箱ゲタ  $C_2$  にも同量の回転角  $\theta$  を生ずる、しかるに箱ゲタ  $C_2$  は横ゲタ CN に連結されており自由には変形できない。そこで点 K に反力  $R$  が起っていると考えると、この反力によって  $M_t = bR$  なるねじりモーメントが B 点に生ずる。すると箱ゲタ  $C_2$  は N 点において同量の偶力モーメントを受けることになり点 C には  $R$ 、点 N には下向きに  $R$  なる力が起り、点 N は  $y_R$  だけ下がる。ここに  $y_R$  は K 点にかけられたある力によって、K 点に生ずるタワミである。

$$y_R = \frac{Rl^3}{48I} (1 - m^2_K)^2$$

従つて箱ゲタ  $C_2$  の断面 N における回転角  $\theta_N$  は、

$$\theta_N = y_R/b$$

であり、断面 B の断面 N に対する回転角は、ねじりモーメント  $M_t$  の作用のもとで、

$$\theta_T = \int_B^N \frac{M_t dl}{GJ} = \frac{M_t}{GJ} \overline{NB}$$

ここに、 $\overline{NB} = l - b \cot \phi$ 、

$GJ$  は箱ゲタのねじり剛性で

$$J = \frac{4S^2}{\int \frac{ds}{t}}$$

ただし  $S$  は箱ゲタ肉厚中心線の包む面積、 $t$  は板厚である。

以上のように点 K の変形は箱ゲタのねじり剛性によって 1 部分さまたげられる。そこで点 F にかかった集中荷重のもとで、横ゲタの作用により点 K で箱ゲタを上げる反力を  $R$  とすると、K 点のタワミは  $y_K - y_R$  であり、横ゲタの回転角は  $\theta = (y_K - y_R)/b$  となる。その結果 2 つの箱ゲタは横ゲタのところで  $\theta$  に等しい回転角を生じ、それによって箱ゲタに生ずるねじりモーメント  $M_t$  は

$$M_t = \frac{bR}{2}$$

である。N における箱ゲタの回転角  $\theta$  を BN にそつての回転角  $\theta_T$  と断面 N の回転角  $\theta_N$  との和に等しいとおけば、 $\theta = \theta_T + \theta_N$ 、すなわち

$$\frac{y_K - y_R}{b} = \frac{(l - b \cot \phi)}{GJ} \cdot \frac{bR}{2} + \frac{y_R}{b}$$

$$\therefore R = \frac{y_K}{A}$$

$$\text{ただし、} A = \frac{(l - b \cot \phi) b^2}{2GJ} + \frac{l^3(1 - m^2_K)^2}{24I}$$

となる。この式が横ゲタにより点 K に生ずる反力  $R$  の値を与える。 $R$  がわかれば箱ゲタの曲げモーメントは容易に算出される。

対称な 1 対の力が、各箱ゲタに作用した場合、K 点における反力は 2 倍になり、曲げモーメントは非常に減少する。しかしこのような横連結が存在する場合には、これによって生ずるねじり応力についても考えておく必要がある。

### 3. 計算例

図-2 のような 2 つの鋼箱ゲタから成り立つ斜橋を考え、支間 30m、幅員 14m の場合について、斜角と曲げモーメントの関係を求めて見る。荷重は 2 つの力  $P$  が各箱ゲタの中央に作用した場合を計算する。

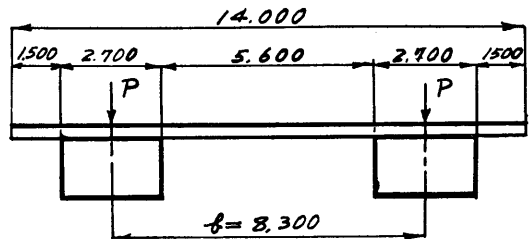


図-2

$$P = 1 \text{ ton}, I = 0.04 m^4, J = 0.08 m^4,$$

$$G = 1/2.6,$$

斜め度係数として

$$\beta = \frac{b}{l} \cot \phi$$

なる量を考えると、いまの場合  $b/l = 0.2767$  であるから  $\beta$  を 0 から 1 まで変えてそれに対するスパン中央の曲げモーメント  $M_o$  を求めると次の表のようになる。

$\beta$	$\phi$	$R(t)$	$M_o(t-m)$	減少(%)
0	90°	0	7.500	0
0.1	70° 8'	0.2458	7.131	5
0.2	54° 9'	0.4162	6.252	17
0.3	42° 41'	0.5140	5.187	31
0.4	34° 41'	0.5760	4.044	46
0.5	28° 58'	0.6260	2.805	63
0.6	24° 46'	0.6744	3.453	54
0.7	21° 34'	0.7446	4.149	45
0.8	19° 5'	0.8756	4.874	35
0.9	17° 5'	1.188	5.718	25
1.0	15° 28'	0	7.500	0

斜め度係数  $\beta$  は斜角  $\phi$  が小になるにつれて、いいかえれば斜め度が大きくなるに従つて増大する。しかしこの  $\beta$  はまた幅員と支間の比  $b/l$  が大になれば比例的に増大する。

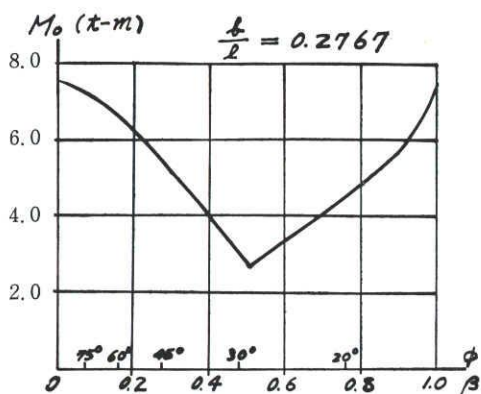


図-3

従って斜角  $\phi$  が一定なる場合、斜めであることの影響は、幅のせまい橋におけるよりも、幅のひろい橋において敏感であり、またスパンの大なる橋におけるよりも、スパンの小なる橋において敏感であることがわかる。

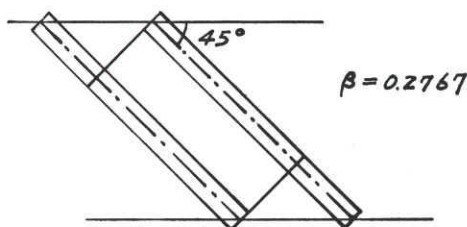


図-4

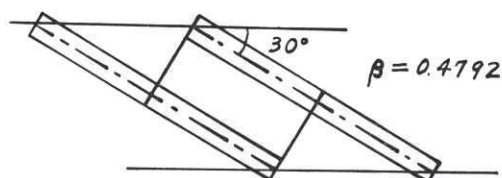


図-5

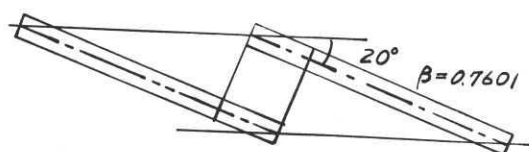


図-6

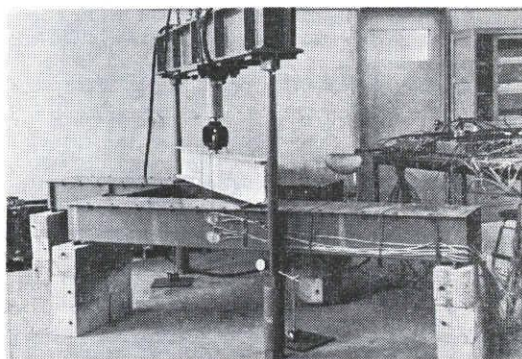
この計算例では、箱ゲタのスパン中央の曲げモーメント  $M_0$  は、 $\beta=0$  ( $\phi=90^\circ$ ) すなわち直橋の場合から、斜角  $\phi$  が小になるにつれて減少し、 $\beta=0.5$  ( $\phi=29^\circ$ ) で最小になり、それから  $\beta=1.0$  ( $\phi=16^\circ$ ) すなわち横ゲタが両箱ゲタの反対側の支点を結ぶ位置へ来るまで次第に増大する。(図-3~6)

この結果、曲げモーメントは  $\beta=0.5$  すなわち横ゲタが一方の箱ゲタのスパン中央と、もう一方の箱ゲタの支

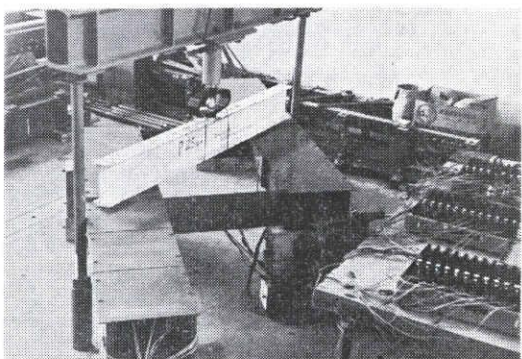
点とを連結する位置に来る場合に最小となり、斜めであることを考慮に入れなかった場合に比べ、約63%も減少することとなる。

#### 4. 実験方法

実験に用いた箱ゲタは写真-1に示すようなスパン  $l=2\text{m}$ 、中心間隔  $b=1\text{m}$  のもので、材料は SS 41 板厚  $3\text{mm}$  の鋼板である。上面板および横ゲタは、ゲージを箱ゲタ内部に貼付するためおよび横ゲタの取付け位置と剛性を变化させる目的で直径  $9.5\text{mm}$  のボルト締めにした。横ゲタは  $100 \times 3 \times 700$  の鋼板を 4 枚、2 枚、1 枚と変えて実験を行った。



荷重はゲタ中央の油圧ジャッキによって載荷したが写真に示すように、実験ゲタの上に I ビームをのせ、油圧ジャッキの荷重を 2 本のゲタが 2 等分して受けるようにした。載荷方法は中央の油圧ジャッキと I ビームの間に検力リング (許容荷重  $10\text{ton}$ ) を入れて、載荷荷重の大きさを測定しながら  $0 \rightarrow 2 \rightarrow 4 \rightarrow 6$  (ton) と増大させた。荷重の各段階において測定したのは、箱ゲタおよび横ゲタのひずみ、スパン中央部のゲタのタワミである。



ひずみの測定位置は、スパン中央から  $15\text{cm}$  離れた A、B 断面と、横ゲタ中央の C 断面で、タワミはスパン中央部でダイヤルゲージにより測定した。ワイヤーストレインゲージの取付け位置は図-7に示すとおりである。

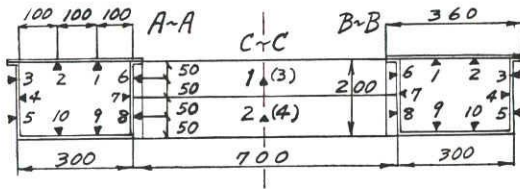
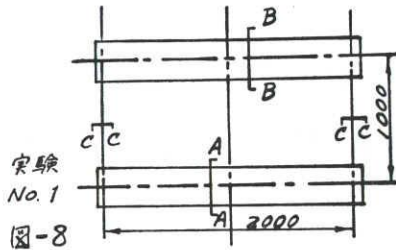


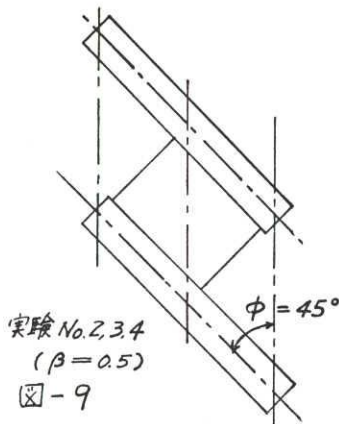
図-7

ゲージは共和電業の KP-10-B3で、直角の一方方向をスパンの方向と一致させた。箱ゲタの A, B 断面に10枚横ゲタ C断面に4枚、合計72点を測定した。

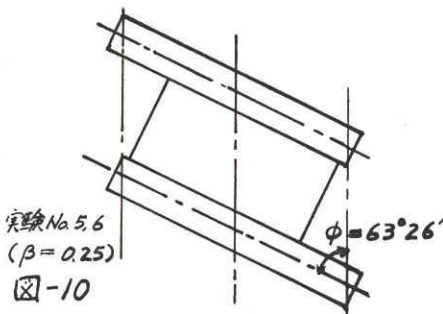
実験の種類は、横ゲタの取付け位置を図-8, 9, 10に示すように移動させて構成した斜角度 $90^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $63^\circ 26'$ の3種類で、斜め度係数  $\beta = (b/l) \cot \phi$  がそれぞれ 0, 0.5, 0.25の場合に当る。この3種類の構成について、横ゲタの板数を4, 2, 1枚と変化させた合計6つの場合について前記各荷重段階における測定値を求めた。



実験 No. 1  
図-8



実験 No. 2, 3, 4  
( $\beta = 0.5$ )  
図-9



実験 No. 5, 6  
( $\beta = 0.25$ )  
図-10

### 5. 実験結果

1例として荷重 2 ton の場合の測定値を示す。

表-2 A~A断面測定ひずみ ( $\times 10^{-6}$ )

実験 No.	1	2	3	4	5	6
横ゲタ枚数	4	4	2	1	2	1
A-11	+ 76	+ 83	+ 79	+ 80	+ 60	+ 70
12	- 112	- 67	- 74	- 75	- 88	- 90
13	+ 1	+ 33	+ 26	+ 25	+ 13	+ 13
A-21	+ 18	+ 56	+ 56	+ 55	+ 38	+ 40
22	- 78	- 55	- 63	- 63	- 75	- 70
23	- 64	- 37	- 44	- 35	- 48	- 50
A-31	- 17	- 26	- 34	- 30	- 30	- 30
32	+ 19	+ 34	+ 22	+ 25	+ 15	+ 16
33	- 24	- 39	- 49	- 45	- 45	- 40
A-41	- 9	- 7	- 16	- 10	- 18	- 18
42	+ 14	+ 11	- 1	0	+ 5	+ 3
43	+ 14	+ 34	+ 24	+ 20	+ 15	+ 18
A-51	+ 28	+ 64	+ 49	+ 58	+ 43	+ 43
52	- 32	- 19	- 16	- 15	- 23	- 23
53	- 17	- 4	- 14	- 10	- 13	- 13
A-61	- 37	- 14	- 21	- 20	- 28	- 30
62	+ 29	+ 24	+ 21	+ 25	+ 25	+ 23
63	+ 33	+ 31	+ 24	+ 28	+ 28	+ 30
A-71	+ 3	+ 1	- 7	- 10	- 8	- 10
72	- 13	+ 1	- 9	- 10	- 8	- 13
73	- 46	- 22	- 29	- 30	- 38	- 43
A-81	+ 80	+ 41	+ 42	+ 40	+ 48	+ 50
82	+ 4	+ 1	- 11	- 13	- 13	- 10
83	+ 78	+ 31	+ 22	+ 28	+ 43	+ 45
A-91	- 53	- 23	- 25	- 20	- 30	- 33
92	+ 120	+ 80	+ 83	+ 80	+ 90	+ 95
93	+ 35	+ 28	+ 30	+ 30	+ 35	+ 35
A-101	- 10	- 23	- 25	- 25	- 23	- 23
102	+ 80	+ 90	+ 88	+ 90	+ 85	+ 85
103	+ 15	+ 20	+ 18	+ 20	+ 20	+ 23

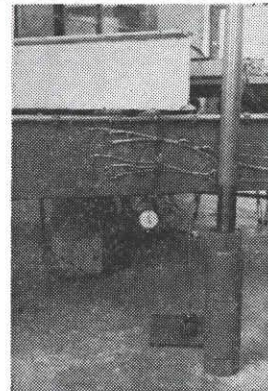


表-3 B~B断面測定ひずみ ( $\times 10^{-6}$ )

実験 No.	1	2	3	4	5	6
B-11	+ 75	+100	+105	+105	+ 93	+ 92
12	- 55	- 60	- 55	- 60	- 60	- 59
13	+ 40	+ 43	+ 43	+ 40	+ 35	+ 37
B-21	+ 75	+ 85	+ 65	+ 85	+ 70	+ 74
22	- 60	- 60	- 55	- 60	- 60	- 60
23	- 10	- 10	- 10	- 10	- 15	- 15
B-31	- 20	- 33	- 28	- 28	- 25	- 20
32	+ 20	+ 40	+ 35	+ 38	+ 30	+ 30
33	- 30	- 35	- 35	- 35	- 33	- 30
B-41	+ 10	- 5	- 5	0	0	0
42	- 10	- 5	- 10	- 10	- 5	- 5
43	+ 23	+ 20	+ 23	+ 25	+ 20	+ 20
B-51	+ 65	+ 48	+ 50	+ 50	+ 45	+ 45
52	- 10	- 10	- 10	- 10	- 15	- 10
53	+ 10	- 5	- 9	- 10	- 8	- 6
B-61	- 20	- 25	- 28	- 25	- 30	- 30
62	+ 40	+ 53	+ 55	+ 53	+ 50	+ 50
63	+ 35	+ 45	+ 43	+ 40	+ 38	+ 39
B-71	0	0	0	0	0	0
72	- 13	- 23	- 20	- 20	- 20	- 20
73	- 30	- 40	- 38	- 40	- 40	- 40
B-81	+ 35	+ 70	+ 65	+ 68	+ 68	+ 68
82	- 10	- 8	- 5	- 8	- 5	- 10
83	+ 33	+ 55	+ 53	+ 53	+ 50	+ 53
B-91	- 10	- 20	- 15	- 20	- 20	- 20
92	+ 70	+100	+100	+100	+ 95	+ 98
93	+ 40	+ 40	+ 40	+ 40	+ 40	+ 40
B-101	- 18	- 10	- 13	- 10	- 10	- 10
102	+ 90	+ 95	+ 97	+ 95	+ 88	+ 88
103	+ 43	+ 33	+ 29	+ 35	+ 30	+ 30

表-4 C~C断面の測定ひずみ ( $\times 10^{-6}$ )

実験 No.	1	2	3	4	5	6
C-11	- 10	- 5	- 4	+ 10	- 5	+ 3
12	+ 5	+ 5	+ 3	0	+ 3	0
13	- 5	- 5	- 9	- 10	- 10	- 13
C-21	0	0	0	-	0	-
22	0	0	- 4	-	0	-
23	0	0	- 3	-	- 5	-
C-31	+ 5	+ 6	+ 5	+ 5	- 23	- 8
32	0	- 5	- 5	0	+ 3	0
33	+ 5	+ 3	- 1	0	- 10	- 3
C-41	- 5	+ 15	- 6	-	- 20	-
42	+ 3	- 5	+ 1	-	+ 5	-
43	0	+ 5	- 5	-	- 10	-
横ゲタ数	4	4	2	1	2	1

表-5 タワミ測定値 (mm)

実験 No.	1	2	3	4	5	6
ケタ A	0.757	0.649	0.611	0.591	0.498	0.488
ケタ B	0.500	0.533	0.513	0.488	0.411	0.432
平均	0.629	0.591	0.562	0.540	0.455	0.460

## 6. 考 察

表-6 測定ひずみより求めた主応力No.1(kg/cm<sup>2</sup>)

Pt	$\sigma_1$	$\sigma_2$	$\theta$	Pt	$\sigma_1$	$\sigma_2$	$\theta$
A 1	101	-209	0	B 1	146	- 86	0
A 2	5	-185	0	B 2	135	- 90	0
A 3	53	- 47	- 90	B 3	58	- 58	- 90
A 4	34	- 19	45	B 4	41	- 41	- 90
A 5	48	- 60	0	B 5	149	16	0
A 6	68	- 92	90	B 6	93	- 33	0
A 7	52	- 82	90	B 7	20	- 59	90
A 8	211	41	0	B 8	87	- 12	0
A 9	240	- 39	0	B 9	157	23	0
A 10	185	25	0	B 10	196	20	0
C 1	5	- 20	0	C 3	13	2	- 45
C 2	8	0	0	C 4	4	- 10	0

表-7 No.2の主応力(kg/cm<sup>2</sup>)

Pt	$\sigma_1$	$\sigma_2$	$\theta$	Pt	$\sigma_1$	$\sigma_2$	$\theta$
A 1	152	-104	0	B 1	194	- 74	0
A 2	110	-107	0	B 2	160	- 85	0
A 3	97	- 73	- 90	B 3	96	- 75	- 90
A 4	60	- 48	90	B 4	25	- 55	- 90
A 5	147	- 12	0	B 5	117	- 4	0
A 6	67	- 37	90	B 6	122	- 38	0
A 7	40	- 34	90	B 7	15	- 84	90
A 8	99	26	0	B 8	167	19	0
A 9	169	2	0	B 9	217	23	0
A 10	194	7	0	B 10	214	41	0
C 1	11	- 11	- 45	C 3	11	- 8	0
C 2	0	0	0	C 4	31	- 1	0

表-8 No.5の主応力(kg/cm<sup>2</sup>)

Pt	$\sigma_1$	$\sigma_2$	$\theta$	Pt	$\sigma_1$	$\sigma_2$	$\theta$
A 1	85	-169	0	B 1	177	- 78	0
A 2	47	-158	0	B 2	125	- 95	0
A 3	48	- 93	- 90	B 3	80	- 65	- 90
A 4	20	- 59	90	B 4	29	- 44	- 90
A 5	95	- 35	0	B 5	106	- 16	0



A 6	60	- 69	90	B 6	109	- 49	0
A 7	24	- 72	90	B 7	21	- 81	90
A 8	117	- 12	0	B 8	161	28	0
A 9	187	- 7	0	B 9	205	20	0
A10	182	4	0	B10	197	37	0
C 1	13	- 19	- 90	C 3	- 9	- 51	0
C 2	8	8	90	C 4	- 2	- 43	0

測定値の平均と計算値を比較すると表一9、10のとおりである。

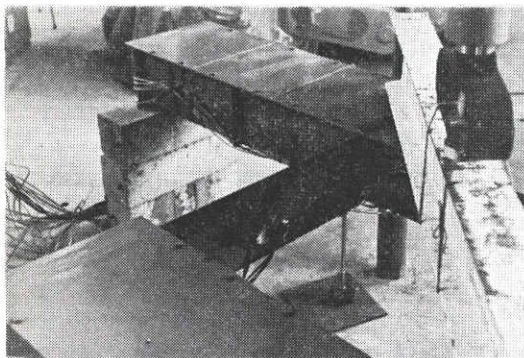
表一9 曲げ応力度 (kg/cm<sup>2</sup>)

実験	位置	測定値	計算値	測/計 (%)	
No. 1	上面板	- 170	- 159	107	
	側面板	上	- 59	- 50	118
		中	+ 35	+ 24	146
		下	+ 127	+ 116	109
	下面板	+ 218	+ 206	106	
No. 2	上面板	- 127	- 113	112	
	側面板	上	- 44	- 35	126
		中	+ 24	+ 17	141
		下	+ 106	+ 82	129
	下面板	+ 162	+ 146	111	
No. 5	上面板	- 148	- 138	107	
	側面板	上	- 55	- 43	128
		中	+ 29	+ 21	138
		下	+ 120	+ 100	120
	下面板	+ 188	+ 179	105	

表一10 タワミ (mm)

実験	測定値	計算値	測/計 (%)
No. 1	0.63	0.34	183
No. 2	0.59	0.24	244
No. 5	0.46	0.21	221

いずれも測定値は計算値よりかなり大きく、No. 1 (直

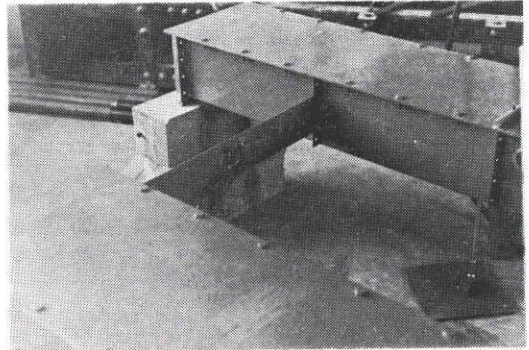


橋)の場合と比べ、No. 2 (斜角45°)の場合計算では応力比が約70%、すなわち30%の減少となるのに対し、実験では平均の応力比75%、25%の減少となっている。No. 5 (斜角63°26')の場合にも、計算では直橋との応力比80%、20%の減少となるのに対し、実験では平均の応力比90%、10%の減少になる。

これらの原因として考えられることは、タワミの測定結果からみても模型の曲げ剛性が計算に用いた値に比べてかなり不足していること、また上面板および横ゲタの取付けをゲージの貼付と斜角および剛性の変化を与える目的でボルト締めにしたため、箱ゲタ相互間の力が十分伝達されていないことなどがあげられる。

横ゲタの剛性の変化による影響については、上記のような理由で取付けが十分でなかったために横ゲタの測定値がいずれもきわめて小さく、実験結果にほとんど効果が現われなかった。

これに対して今後は高力ボルトによる結合、さらには溶接接合などの方法によって横連結を十分にしておいて実験すること、計算についても曲げ剛性その他を材料試験などによって検討し、またこのような横連結によって生ずる箱ゲタのねじり応力についても解析を進めたいと考えている。



### 7. 結 言

これまでの研究により、2本の箱ゲタを主構とする斜橋について、鋼箱形部材のもつ大きなねじり剛性を積極的に利用するという意味で、支点上の横連結が曲げモーメントの減少に役立つことを計算と実験で示した。

本研究は昭和40年度文部省科学研究費補助金によるもので、御指導を賜った荒井教授、実験に協力された大学院の鎌田、浜島、増味の諸君に対し、附記して深い感謝の意を表するものである。

### 参考文献

- 1) D. Valalas ; Annale des Ponts et Chaussées, 1960
- 2) 土木学会中部支部研究発表会 ; 昭和39年度。