

# 直交格子斜橋の横構軸力と主桁付加応力度に関する研究

## STUDY ON AXIAL FORCES OF LATERAL BRACINGS AND ADDITIONAL STRESSES OF MAIN GIRDERS IN SKEW GIRDER BRIDGES

尾下里治\*

By Satoji OSHITA

The purpose of this paper is to investigate the axial forces of lateral bracings and the additional stresses of main girders in skew girder bridge due to dead load and live load. 12 simply supported skew bridges with various numbers of main girders, and with various angles of skew to the abutment line, have been examined applying the 3-D space frame formulation.

In addition, an approximate method was developed to calculate the lateral bracing forces of skew bridge. And it has been cleared that the eccentric distance between support and shear center of a bridge has a influence on the lateral bracing forces.

*Keywords*: skew bridge, lateral bracing, additional stress

### 1. ま え が き

一般的な斜橋においては、斜角が $70^\circ$ より大きい場合、横桁または対傾構は支承線に平行に配置されるが、 $70^\circ$ より小さくなると荷重分配効果を高め、かつ連結部の構造を簡単にするために横桁または対傾構は主桁に対して直角に配置される。前者を斜交格子斜橋とよび、後者を直交格子斜橋とよぶ。また、斜角が $60^\circ$ より小さくなると合成桁が適用されることは少ないため、直交格子斜橋は非合成桁として施工されることが多い。

直交格子斜橋で斜角が小さくなると、主桁相互のたわみ差により主桁がねじられ、支点上では主桁が倒れることになる。従来から、完成時の主桁の倒れを防止するために、プレツィスティング工法<sup>2)</sup>やジャッキアップ・ジャッキダウン工法<sup>3),4)</sup>など架設時に特別な処置を講じている。しかし、主桁のねじりによって生じる横構軸力や主桁フランジの付加応力度については、ほとんど研究されていない。わずかに、荒井<sup>5)</sup>の主桁の倒れによる主桁フランジの付加応力度を検討したものがあがるが、部材相互の結合条件や横構の影響を考慮すると、かなり異なる結果が得られるようである。

本文では、実橋に近い直交格子斜橋の多くの計算モデルを、横構も含めて立体解析することにより、斜角が横構軸力や主桁付加応力度に与える影響を検討する。特に、横構軸力については、新しい近似計算法を提案し、立体解析結果と比較する。

### 2. 立体解析法

横構を含む実際の斜橋の挙動を把握しようとする場合、解析上は次の点を考慮する必要がある。

- a) 主桁および横桁は、薄肉部材として扱い、ねじりやそり変形を考慮する。
- b) 横構は、換算した薄板としてではなく、個別の構造部材として計算する。また、主桁中立軸に対して偏心して取り付けられていることを考慮する。
- c) 支承位置が主桁中立軸に対して偏心していることを考慮する。

上記の点を満足させる解法としては、文献9)で示した立体解析法が適している。これは、1節点7自由度の薄肉立体はり要素と、横構の偏心結合の影響を考慮するためのオフセットビーム要素とを用いた変形法である。モデル化の概念図をFig.1に示す。

この解法によると、横構軸力は、トラス要素の軸力として直接求められ、主桁フランジの水平曲げによる付加

\* 正会員 横河橋梁製作所大阪支店設計部  
(〒592 堺市築港新町2丁)

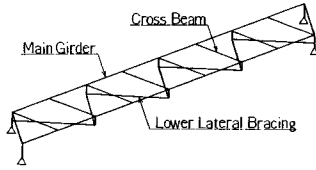


Fig. 1 Idealized Bridge System as 3-D Frame.

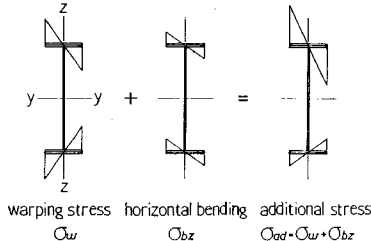


Fig. 2 Additional Stress of Main Girder.

応力度は、Fig. 2 に示すように、そり応力度と水平曲げ応力度とを加算して求めることができる。ただし、解析上は次の制約を有する。

- a) 主桁中立軸と横構とは、剛棒により連結されていることになるので、横構取付け位置の腹板の局所的な面外変形や、主桁の断面変形は考慮できない。
- b) 活荷重に対しては、RC 床版がある程度主桁と合成して働くと思われるが、この影響は無視する。

### 3. 斜角の影響による横構軸力の近似計算法

#### (1) 横構軸力発生の原理

斜橋においては、主桁相互のたわみ差により主桁が倒れるが、支承部で橋軸直角方向の変位が拘束されるので、橋体のせん断中心は、Fig. 3 に示すように橋軸直角方向に水平変位する。この水平変位量が橋体を強制変位させて、橋軸直角方向に均一なせん断力を生じさせる。この結果、横構には支間全長にわたって等しい軸力が発生する。ここで注意すべき点は、支承位置と横構取付け位置との偏心量ではなく、支承位置と橋体のせん断中心との

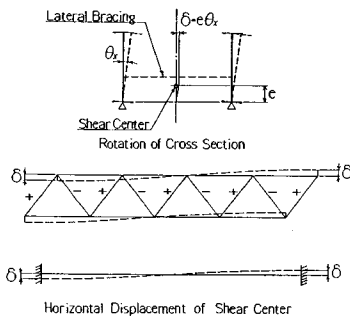


Fig. 3 Mechanism Producing Axial Forces of Lateral Bracings.

偏心量が横構軸力の大きさに影響することである。

#### (2) 近似計算法

具体的に横構軸力の計算方法を述べると次のようである。

##### a) 支点部における主桁の倒れ角 $\theta_x$

主桁を薄肉部材として扱い、ねじり変形を考慮した解析を行えば  $\theta_x$  は直接求まるが、ねじり剛度を無視した通常の格子計算では、主桁相互のたわみ差から算出できる。また、支点部のたわみ角  $\theta_y$  と倒れ角（ねじり角） $\theta_x$  とは、斜角  $\theta_0$  によって次のような関係にあるので、たわみ角から求めることもできる。

$$\theta_x = \theta_y / \tan \theta_0 \dots \dots \dots (1)$$

##### b) 橋体のせん断中心の水平変位量 $\delta$

$$\delta = e \theta_x \dots \dots \dots (2)$$

$e$  : せん断中心と支承回転中心との偏心量

##### c) 横構面に作用するせん断力 $Q_y$

Fig. 3 に示すように、両端固定のはりが支点変位  $2\delta$  を受けたときのせん断力として求める。このとき、横構を等価なせん断剛性をもつ板に換算して、せん断変形の影響を考慮する。

$$Q_y = \frac{12 EI_z}{l^2(1 + \phi_y)} 2\delta \dots \dots \dots (3)$$

$$\phi_y = \frac{12 EI_z}{GA_y l^2} \dots \dots \dots (4)$$

$$A_y = t_B B$$

$I_z$  : 橋体の鉛直軸まわりの断面 2 次モーメント

$l$  : 支間長

$\phi_y$  : せん断変形のパラメーター

$A_y$  : 水平軸方向のせん断断面積

$t_B$  : 横構面の換算板厚

$B$  : 横構面の幅（主桁間隔）

##### d) 横構軸力 $N_B$

横構の組み方によって異なるが、通常のアウトラスであれば次式でよい。

$$N_B = Q_y / \sin \theta_B \dots \dots \dots (5)$$

$\theta_B$  : 横構の取付け角度

#### (3) せん断中心の算出式

横構軸力の大きさは、橋体のせん断中心位置によって影響を受けるので、せん断中心の算出は重要である。特に、斜橋の場合は横構が一面しか設けられないので、横構取付け位置によってせん断中心位置も大きく変化する。

Fig. 4 のように横構を等価な板に置き換えた断面に対して、せん断中心と横構面との距離  $Z_s$  を求めると式 (6) のようになる。

$$Z_s = \frac{B^2}{4I_z} \{2(b_u t_u h_1 - b_l t_l h_2) + t_w (h_1^2 - h_2^2)\}$$

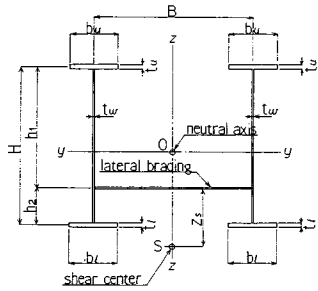


Fig. 4 Cross-Section of I-Girder Bridge with Lateral Bracing.

$$-\frac{1}{6I_z}(b_{1t}^3 t_{1t} h_1 - b_{1b}^3 t_{1b} h_2) \dots \dots \dots (6)$$

4 主桁以上の橋では、横構がすべての主桁間に設けられないが、このときは横構のある2本の主桁部分を取り出して、この近似計算法を適用すればよい。ただし、形状によっては限界があるので5.の考察を参考にするとよい。

4. 横構取付け位置の影響

3. では横構軸力の近似計算法を示し、橋体のせん断中心と支承位置との関係が横構軸力に影響することを述べた。ここでは、簡単な2主桁の斜橋を例にとり、横構取付け位置を変えることによりせん断中心位置を変化させ、横構軸力や主桁付加応力度に与える影響を検討する。解析は2.の立体解析法によるが、横構軸力については3.の近似計算法による値とも比較する。

解析モデルと断面諸元を Fig. 5 に示す。荷重は、全節点に 24.5 kN の鉛直集中荷重を載荷する。横構取付け

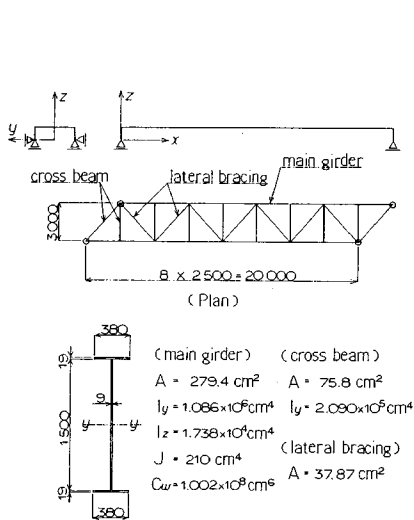


Fig. 5 Dimensions and Properties of Example Problem.

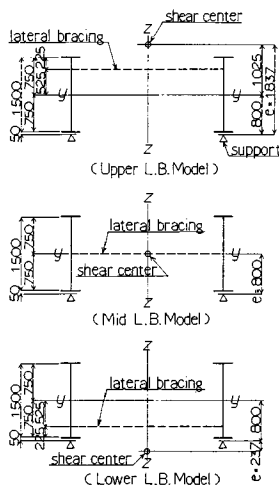


Fig. 6 Relations between Lateral Bracing Location and Shear Center.

位置は、上フランジ側(上横構モデル)、腹板中央(中横構モデル)、下フランジ側(下横構モデル)の3ケースを考える。このときのせん断中心と支承位置との関係を Fig. 6 に示す。支持条件は、Y 方向と Z 方向の変位をすべて拘束し、X 方向の変位はすべて自由にした。実橋ではどちらかの支承線を固定にするが、このようにすると固定側と可動側とで解析結果がわずかに異なってくるので、対称性をもたせて検討しやすいように両方の支点を可動とした。

(1) 横構軸力

横構軸力の計算結果を Fig. 7 に示す。せん断中心と支承位置との偏心量が大きくなる上横構モデルの横構軸力が最も大きく、下横構モデルではかなり小さくなる。また、下横構モデルではせん断中心が支承よりも下側になるので、橋体に作用するせん断力の符号が変わり、他のモデルの横構軸力とは逆符号になっている。

近似計算法による値は、立体解析結果とよく一致しており、近似計算法の妥当性が確認できる。上横構モデルと下横構モデルにおいて、近似計算法による値と立体解析結果とに多少の差があるのは、立体解析結果には斜角

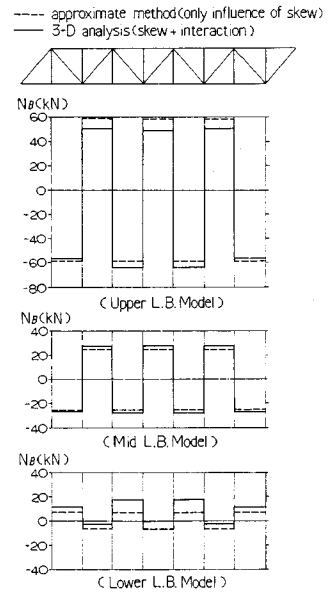


Fig. 7 Axial Forces of Lateral Bracings.

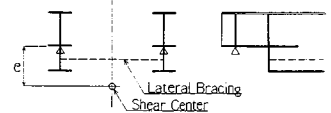


Fig. 8 Skew Bridge with Cutting Web.

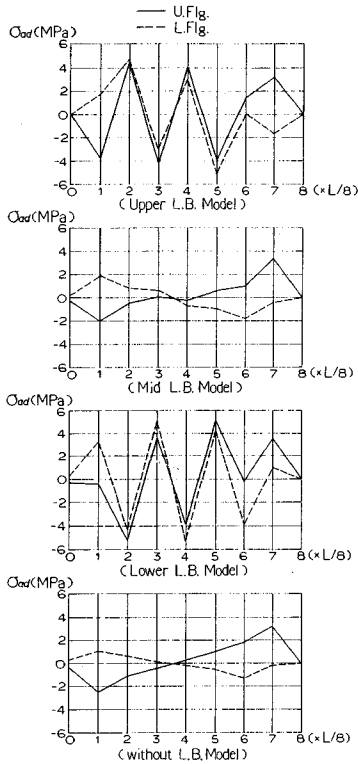


Fig. 9 Additional Stress of Main Girder.

の影響による軸力のほかに、主桁との共同作用による軸力をも含むからである。この共同作用<sup>12)</sup>とは、横構が主桁中立軸に対して偏心して取り付けられた場合、横構取り付け位置の主桁の軸方向変位に伴って横構に軸力が生じることという。

桁端部において腹板を切欠いて支持するような形式の斜橋の場合、Fig. 8のように支承位置と橋体のせん断中心との偏心量が大きくなり、横構軸力が増大する可能性があるので注意しなければならない。

(2) 主桁フランジの付加応力度

Fig. 9には、主桁フランジの外側縁に着目した付加応力度を示す。これより、横構の取り付け位置、または横構の有無によって主桁付加応力度は大きな影響を受け、全く違う分布形状になることがわかる。主桁中立軸に対して偏心して横構が取り付けられる場合は、主桁と横構との共同作用により主桁フランジが水平方向に変位し、格点間で符号が逆転する形状の付加応力度が生じる。主桁中立軸位置に横構がある中横構モデルでは、主桁との共同作用の影響がないので、斜橋特有の付加応力度のみが生じる。これはまた、横構がないモデルの付加応力度とほとんど同じ形状である。中横構モデルの横構軸力はかなり大きいのに対し、付加応力度については横構のない場合と同

Table 2 Dimensions and Properties.

number of main girder	2	3	4
span length (cm)	23	32.6	37.7
main girder			
h (cm)	150	180	190
t <sub>w</sub> (cm)	0.9	0.9	0.9
b (cm)	40	50	52
t <sub>f</sub> (cm)	2.5	3.4	2.8
A (cm <sup>2</sup> )	335	502	524.6
I <sub>y</sub> (cm <sup>4</sup> )	1.416 × 10 <sup>6</sup>	3.296 × 10 <sup>6</sup>	3.821 × 10 <sup>6</sup>
I <sub>z</sub> (cm <sup>4</sup> )	2.667 × 10 <sup>4</sup>	7.083 × 10 <sup>4</sup>	3.457 × 10 <sup>4</sup>
J (cm <sup>4</sup> )	453	1354	654
C <sub>w</sub> (cm <sup>6</sup> )	1.550 × 10 <sup>8</sup>	5.956 × 10 <sup>8</sup>	2.291 × 10 <sup>8</sup>
sway bracing			
A (cm <sup>2</sup> )	45.48	45.48	45.48
I <sub>y</sub> (cm <sup>4</sup> )	6.652 × 10 <sup>4</sup>	1.081 × 10 <sup>5</sup>	1.042 × 10 <sup>5</sup>
lateral bracing			
A (cm <sup>2</sup> )	19.0	19.0	26.34
e <sub>B</sub> (cm)	50	65	55
eccentric of supp.			
e <sub>s</sub> (cm)	90	105	95
dead load (kN/m)			
G1 (G4)	29.88	30.86	26.39
G2 (G3)			23.73

Table 1 Kinds of Bridges Studied.

Girder	Span (m)	Skew	Mark
2	23	60°	2G-23-60
		45°	2G-23-45
		30°	2G-23-30
3	32.6	45°	3G-32-45
		60°	3G-26-60
		45°	3G-26-45
4	35.6	30°	3G-26-30
		45°	3G-36-45
		60°	4G-28-60
4	28	45°	4G-28-45
		30°	4G-28-30
		45°	4G-38-45

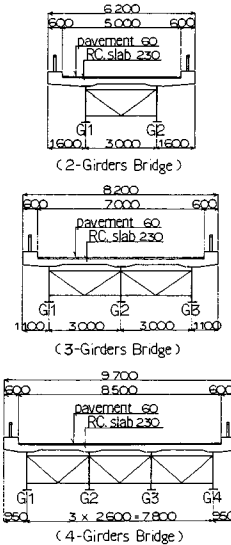


Fig. 10 Cross-Sections of Bridges Studied.

じであることから、斜角の影響によって生じる横構軸力が主桁付加応力度にはほとんど関係しないことがわかる。

5. 実橋モデルにおける横構軸力と主桁付加応力度

ここでは、実橋に近い斜橋のモデルについて死荷重を載荷し、斜角の大きさや横構の組み方が、横構軸力や主桁付加応力度にどのような影響を与えるかを検討する。また、活荷重載荷時の挙動については、これまでほとんど研究されていないため、一部のモデルについてL-20荷重を影響線載荷して、設計上の問題点を検討する。

(1) 計算モデル

斜橋の計算モデルを考えるとき、主桁本数や斜角の大きさによって、横構の組み方や対傾構の配置がそれぞれ

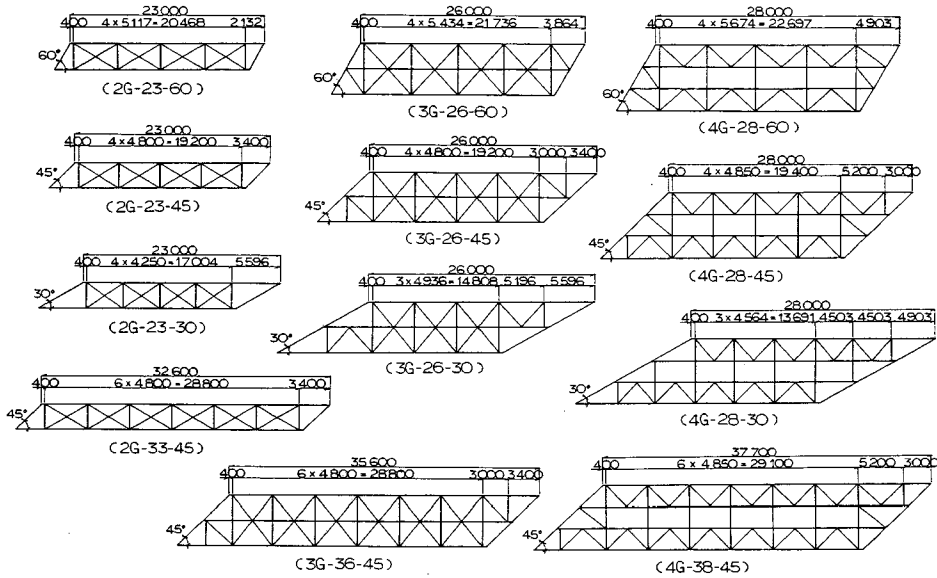


Fig. 11 Skeletons of Bridges Studied.

異なってくるので、一般性をもったモデル化が非常に難しい。そこで、計算モデルとしては、実際に施工される可能性のあるできるだけ多くの形状を取り上げることとし、Table 1 に示す 12 タイプを設定した。横断面形状を Fig. 10 に、部材断面性能と死荷重強度を Table 2 に示す。骨組図は Fig. 11 に示すが、モデル化にあたっては次のような条件を設けた。

- a) 端対傾構と端部の中間対傾構とは一致させずに、400 mm のギャップを設ける。これは、一般に行われているディテールである。
- b) 対傾構はすべて分配対傾構として計算し、分配横桁は設けない。
- c) 主桁断面は、支間中央で最大曲げ応力度 ( $D+L$ )

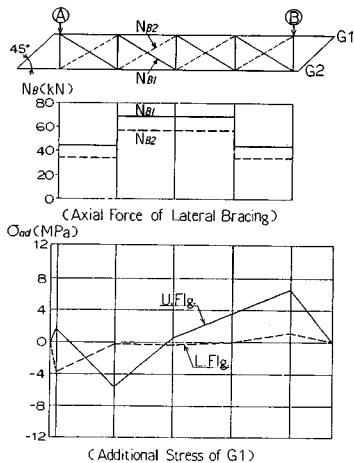


Fig. 12 2 G-23-45 (Dead Load).

が 200 MPa 程度となるように決定する。また、付加応力度の分布形状を評価しやすいように、全長等断面とする。

(2) 死荷重の載荷計算結果

Table 1 の 12 タイプの斜橋について、死荷重による横構軸力と主桁フランジの付加応力度とを 2. の立体解析法により求めたが、結果の一部を Fig. 12~Fig. 15 に

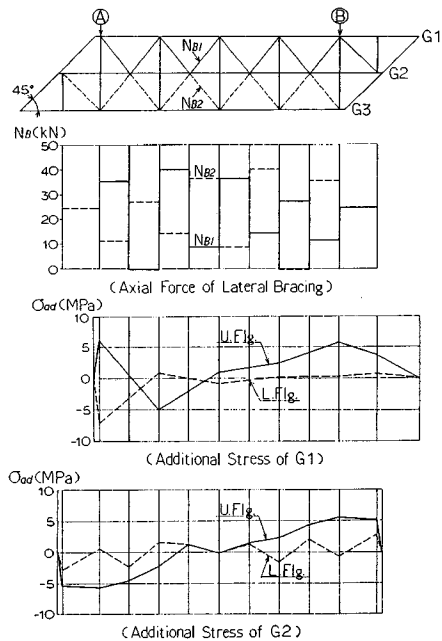


Fig. 13 3 G-26-45 (Dead Load).

示す。これらの計算結果を要約すると次のようである。

a) 横構軸力

Fig. 12~14の中で実線 ( $N_{B1}$ ) と破線 ( $N_{B2}$ ) とで示した横構軸力は、同一パネルに2本の横構が存在するので、これを区別するためのもので、骨組図の横構の表示方法と対応づけている。ここで、同一パネルの  $N_{B1}$  と  $N_{B2}$  との平均値が主桁との共同作用によるもので、 $N_{B1}$

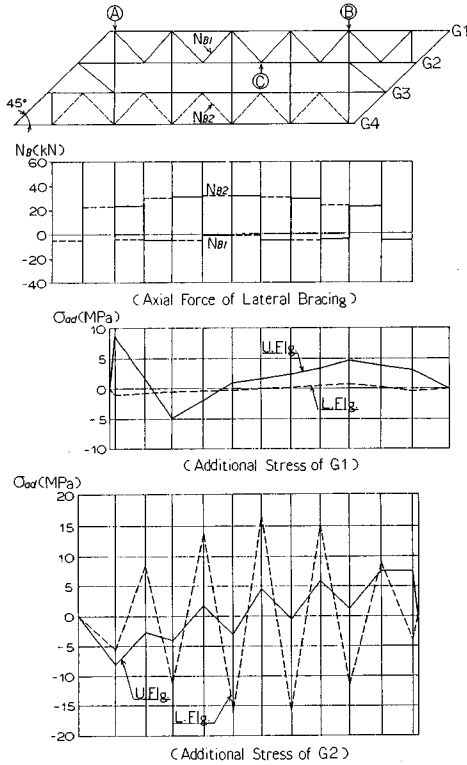


Fig. 14 4 G-28-45 (Dead Load).

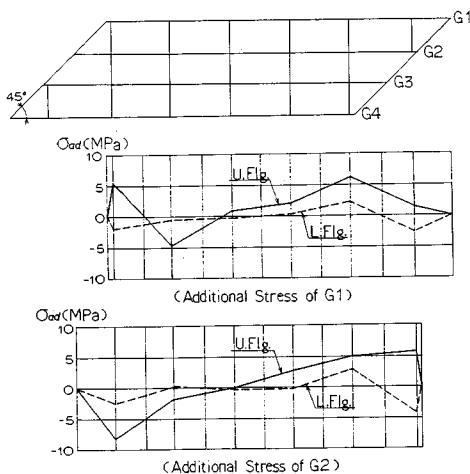


Fig. 15 4 G-28-45 without Lateral Bracing (Dead Load).

と  $N_{B2}$  との差の 1/2 が斜角の影響によるものと考えられる。Table 3 には、すべてのモデルの支間中央部における横構軸力を、斜角の影響によるものと共同作用の影響によるものとに分けて示している。Table 3 の近似計算法による軸力のうち、斜角分については3.の方法により求め、共同作用分については2主桁橋のみ文献12)

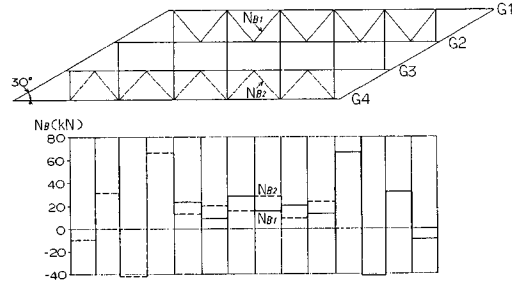


Fig. 16 4 G-28-30 Axial Forces of Lateral Bracings due to Dead Load.

Table 3 Axial Forces of Midspan Lateral Bracings due to Dead Load.

Girder	Span (m)	Skew	3-D analysis (kN)				approx. method (kN)		ratio	
			$N_{B1}$	$N_{B2}$	skew $\pm$ ①	interaction ②	skew $\pm$ ③	interaction ④	③/①	④/②
2	23	60°	70.84	63.11	3.87	66.98	3.24	72.41	0.84	1.08
		45°	68.73	56.66	6.04	62.70	4.12	69.43	0.68	1.11
		30°	62.15	44.12	9.02	53.14	8.24	61.78	0.91	1.16
3	26	60°	90.97	62.15	14.41	76.56	17.95	87.67	1.25	1.14
		45°	20.87	36.89	7.91	28.78	7.26	—	0.92	—
		30°	8.96	36.98	14.01	22.97	12.06	—	0.86	—
4	35.6	60°	17.40	47.66	15.13	32.53	20.40	—	1.35	—
		45°	0.51	49.81	24.65	25.16	22.85	—	0.93	—
		30°	6.99	25.26	9.14	16.13	10.00	—	1.09	—
4	28	45°	-1.12	31.24	16.18	15.06	15.89	—	0.98	—
		30°	15.63	28.13	6.25	21.88	25.30	—	4.05	—
		37.7	45°	-3.98	48.49	26.24	22.26	26.48	—	1.01

①  $\pm(N_{B1} - N_{B2})$   
 ②  $\pm(N_{B1} + N_{B2})$   
 ③ by the method of Chapter 3  
 ④ by the method of Ref. 12)

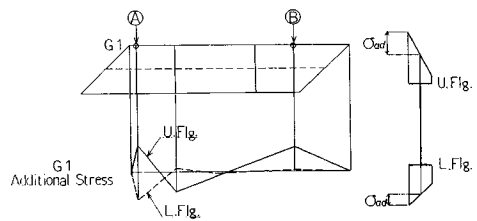


Fig. 17 Schematic of Additional Stress.

Table 4 Additional Stresses due to Dead Load.

Girder	Span (m)	Skew	① (MPa)				② (MPa)	
			U.Flg.	L.Flg.	U.Flg.	L.Flg.	U.Flg.	L.Flg.
2	23	60°	0.6	-1.8	3.5	0	4.5	18.2
		45°	1.7	-3.8	6.7	1.2		
		30°	6.1	-10.0	11.5	2.6		
3	26	45°	0.8	-3.7	6.0	1.1	4.6	17.0
		60°	1.5	-4.8	3.2	0.5		
		45°	6.1	-7.1	9.8	0.5		
4	35.6	30°	14.1	-14.3	9.8	2.5	8.6	15.9
		45°	3.1	-7.1	5.9	0.4		
		60°	3.2	-0.3	2.9	-0.2		
4	28	45°	8.6	-1.0	4.8	0.7	3.2	13.0
		30°	18.0	1.8	9.5	4.0		
		37.7	45°	4.4	-2.8	4.5		

の方法で算出した。これらより、次のようなことがいえる。

まず、斜角の影響による横構軸力は、支間全長にわたってほぼ均等に分布し、斜角の減少に伴って増加する傾向がある。同じ斜角であれば支間長の大きい方が、せん断中心位置の関係から横構軸力が大きくなる。

共同作用による横構軸力は、主桁の曲げ応力度に比例するので、支間中央で最も大きくなる。特に、2主桁橋の横構の組み方は、主桁の変形を拘束する度合いが最も大きいので、他の3主桁橋や4主桁橋よりもかなり大きな軸力となる。一方、斜角や支間長の大きさに対しては、Table 3 をみる限りあまり影響を受けない。

近似計算法による値は、ほとんどの場合、立体解析結果とほぼ一致するが、4主桁橋の斜角 30° の場合は4倍以上の値になってしまった。このときの立体解析による横構軸力を Fig. 16 に示すが、向かい側の主桁が支承線に交わった位置での手前側主桁に配置された横構に大きな軸力が作用し、中間部の横構軸力はかなり小さな軸力となっている。4主桁橋の場合は、横構のある2本の主桁部分(1組)を取り出して両端固定ばりとして扱ったが、斜角が小さくなると2組の横構トラスが桁端部で相互に影響し合うので、精度が悪くなるようである。このような場合は、全体の平面トラス構造に支点変位を与えて解けばよい。

b) 主桁フランジの付加応力度

G1 桁の付加応力度の分布形状については、すべての

モデルともほぼ同じで、概念的には Fig. 17 に示すようである。桁端部の中間対傾構と支点部とにギャップのあるA点と、主桁相互のたわみ差が最も大きくなるB点とで付加応力度のピークがある。G2 桁については、横構の組み方によっても異なるが、4主桁橋のように横構のみが主桁に取り付くC点、および中間対傾構位置で大きな付加応力度が生じている。これら、A・B・C点の付加応力度をまとめて Table 4 に示す。また、各点における付加応力度の特徴を要約すると次のようである。

④点 端部のギャップによる付加応力度

支点部で橋体が橋軸直角方向に水平変位しようとするときに、A点で横構のトラス組みが跡切れるために弱点となり局部的に水平曲げを受けるために生じる。斜角の余接値 ( $1/\tan \theta_0$ ) と付加応力度  $\sigma_{aa}$  との関係を示すと Fig. 18 のようになる。斜角の余接値に比例して付加応力度が増大し、上フランジ、下フランジともほぼ同程度の付加応力度が生じる。

⑤点 斜角特有の付加応力度

主桁相互のたわみ差により主桁がねじられることによって生じる。Fig. 18 に斜角の余接値との関係を示すが、上フランジの付加応力度は斜角の余接値に比例して増加する。一方、下フランジの付加応力度は上フランジと比較して小さく、増加量もわずかである。

⑥点 横構軸力の影響による付加応力度

主桁と横構との共同作用によって生じた横構軸力が、

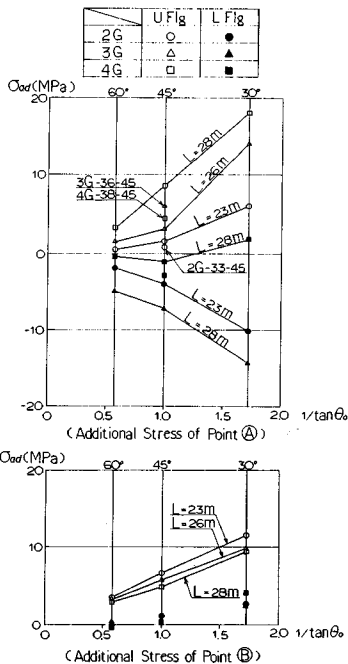


Fig. 18 Relations between  $(1/\tan \theta_0)$  and Additional Stress.

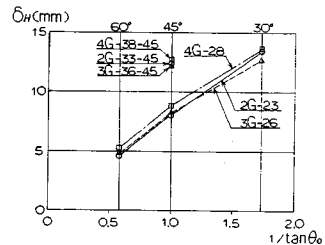


Fig. 19 Relations between  $(1/\tan \theta_0)$  and Horizontal Displacement of U. Flg.

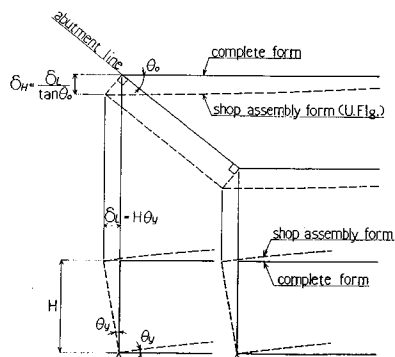


Fig. 20 Fabric Form of End of Bridge.

主桁フランジ，特に下フランジを水平変位させるために発生する。横構の組み方によって生じ方が違うが，斜角の大きさにはほとんど影響を受けない。こうした付加応

力は，大塚・吉村<sup>13)</sup>が上下に横構のある直線橋を解析したときに，発生することをすでに示している。4主桁橋のような横構の組み方は，直橋でも最も一般的に用いられる形式であることから，横構と主桁との相互作用については改めて見直す必要もあるようである。

参考に，横構のないモデルを計算すると Fig. 15 のようになる。主桁付加応力は斜角の影響だけのものとなり，値はかなり小さい。

c) 主桁の倒れ量

斜橋を架設する場合，支点上での死荷重による主桁の倒れが問題になることが多いので，ここでは，具体的に倒れ量がどの程度の値になるかを示し，これを防ぐための製作形状の決め方などについて述べる。

死荷重による支点上での主桁の倒れ量と斜角の大きさとの関係を Fig. 19 に示す。主桁の倒れ量は斜角の余接値に比例して増加し，斜角が45°より小さい場合や，支間が長く桁高が大きい場合は，10 mm を超える倒れ量が生じる。この倒れ量によって支点部の主桁の耐力が低下することは無いと思われるが，伸縮装置や耐震連結装

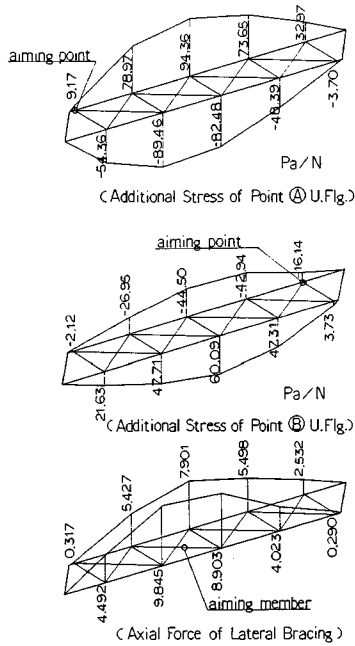


Fig. 21 Influence Lines for (2 G-23-45).

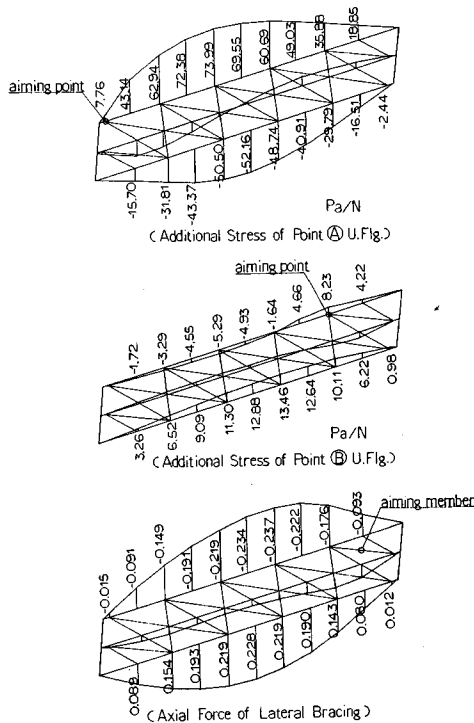


Fig. 22 Influence Lines for (3 G-26-45).

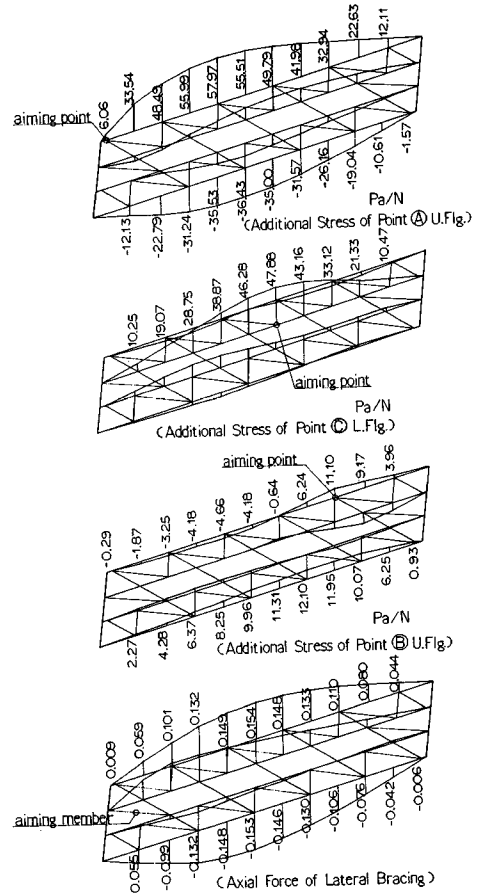


Fig. 23 Influence Lines for (4 G-28-45).



置などを施工するうえで十分に注意する必要がある。特に、斜橋どうしが連続する支点部では、相互の水平変位量が倍増することになる。

斜橋の支点は、たわみ角  $\theta_1$  とねじり角  $\theta_2$  とが合成されて、必ず支承線（斜角方向）を中心として回転する。よって、製作時には Fig. 20 に示すように製作そりを付けておけば、架設完了後には主桁は鉛直に戻るようになる。これは、箱桁橋においても同様にいえることである。また、斜橋の支点が、橋軸直角方向の軸ではなく、支承線方向を軸に回転することから、支承の形式や配置には注意する必要がある。支承板支承やピボット支承を用いる場合は問題が少ないが、ピン支承を用いる場合は、回転軸が支承線方向となり、移動方向が橋軸方向となるような特殊な構造が必要と思われる。

(3) 活荷重による挙動

着目部材に対して最も不利なように影響線載荷される活荷重による挙動は、橋面全体に等分布に載荷される死荷重によるものとは、かなり異なるものと考えられる。ここでは、Table 1 のモデルのうち、3タイプを選んで、横構軸力と主桁付加応力度の影響線を計算し、斜橋の活荷重に対する挙動を検討する。

影響線の計算結果の一部を Fig. 21 ~ Fig. 23 に示す。また、横構軸力については、L-20 荷重を影響線載荷して最大・最小軸力を求めたものを Fig. 24 に示す。これらの結果を要約すると次のようである。

a) 横構軸力

横構軸力は、橋体にねじりモーメントを与えるように活荷重を載荷したときに最大・最小となり、支間全長にわたって、ほぼ均等な軸力が生じる。ただし、2主桁橋の横構の組み方では、主桁との共同作用の影響が大きいため、軸力の影響線は主桁の曲げが最大になるものと一致する。

下横構の場合は、支承位置と橋体のせん断中心との偏心量が小さく軸力が生じにくい形式ではあるが、それでも死荷重による軸力と合計するとかなり大きな値となり、横構の断面設計に影響を与える可能性がある。

b) 主桁フランジの付加応力度

支点付近のギャップ部④点の付加応力度の影響線は、横構軸力と同様にねじり荷重に対して大きくなる傾向にある。等分布荷重である死荷重では付加応力度は小さかったが、L-20 荷重を影響線載荷すると Table 5 のようになり、いずれのモデルもきわめて大きな付加応力度を生じる。

一方、死荷重で比較的高い付加応力度の生じていた⑥点の影響値は、④点に比べてかなり小さく、活荷重による付加応力度は2主桁橋を除けば小さな値になる。

4主桁橋の中主桁③点に生じた主桁と横構との共同作

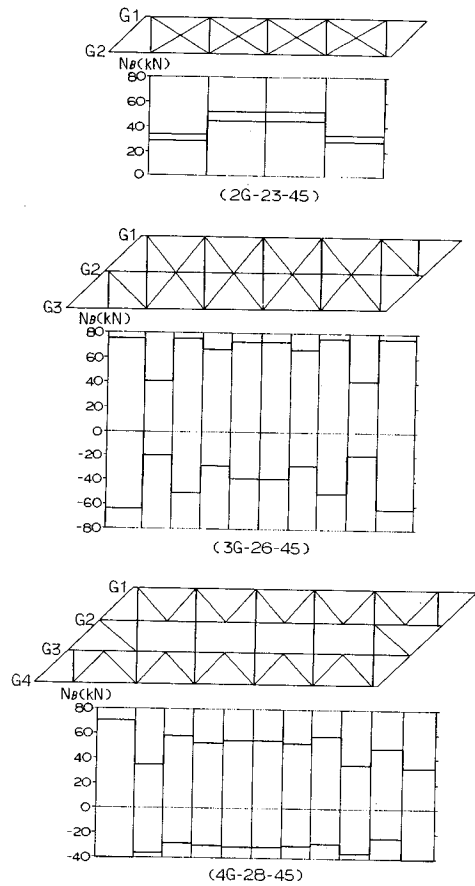


Fig. 24 Maximum Axial Forces of Lateral Bracings due to Live Load.

Table 5 Additional Stresses due to Live Load.

		(MPa)					
		④		⑥		③	
		U.Flg.	L.Flg.	U.Flg.	L.Flg.	U.Flg.	L.Flg.
2G-23-45	max	29.4	24.2	18.6	8.9	-	-
	min	-28.0	-27.3	-13.7	-7.8		
3G-26-45	max	21.0	13.8	5.2	1.9	-	-
	min	-15.9	-12.8	-2.5	-1.7		
4G-28-45	max	17.8	22.2	4.3	1.9	6.9	19.3
	min	-13.1	-14.6	-3.6	-1.6	-2.6	-1.5

用による付加応力度の影響線を Fig. 23 に示す。これより、③点の付加応力度は、中主桁のみに活荷重を載荷した場合が最も大きくなり、値は Table 5 に示すように最大 19.3 MPa である。

(4) まとめ

斜橋を横構も含めて立体解析すると、橋体の構成部材相互が複雑に影響し合い、横構や主桁フランジに予想外の力が作用していることが明らかになった。こうした、横構軸力や主桁付加応力度は、骨組形状や横構の組み方、部材の結合条件によってそれぞれ変化するので、本章での計算結果からただちに設計への提言を行えるものではないが、計算結果をまとめると次のようである。

a) 支点部で、端対傾構と中間対傾構との取付け位置のギャップは、できるだけ避けるのが望ましい。ギャップを設ける場合は、横構が担う橋軸直角方向の水平力が支点まで伝達されるよう、ガセットプレートを支点まで延長し、十分に補強する必要がある。

b) 斜角の影響によって生じる横構軸力は、3. の近似計算法により求めることができる。ただし、4主桁以上の橋で斜角が小さくなると、両端固定ばりとして扱えなくなる場合がある。

c) 斜角の影響による主桁付加応力度や支点上での主桁の倒れ量は、斜角の余接値 ( $1/\tan \theta_0$ ) にほぼ比例して増加する。Fig. 18, 19 から判断すると斜角が  $45^\circ$  より小さくなると斜角の影響が設計上、無視できなくなるようである。

d) 斜橋に限らず横構の組み方によっては、主桁との共同作用の影響を受けることになる。特に、4主桁橋のような組み方では、共同作用による横構軸力は小さいが、主桁付加応力度はかなり大きくなる。

## 6. あとがき

これまで、主桁の倒れについてのみ着目されていた直交格子斜橋の問題を、設計の立場から応力的に明らかにすることができた。直交格子斜橋の問題は、完成時に主桁が鉛直になっていればよいということではなく、死荷重や活荷重も含めて作用する外力に対して構成部材が安全に設計されているかどうかということである。本文では立体解析法を適用し、横構軸力や主桁付加応力度に関していくつかの新しい問題点を明らかにした。また、横構軸力については近似計算法を考案し、支承位置と橋体のせん断中心位置との偏心量が影響することを示した。しかし、斜橋の横構軸力や主桁付加応力度は、横構と主桁との共同作用の影響も重なって非常に複雑な性状を示すため、実際の設計実務の中でどのように反映していくかは、今後の課題である。特に、斜角が極端に小さな斜橋 ( $\theta_0=30^\circ$  程度) では、架設工法や構造詳細に配慮しても、2次的な応力が設計上、無視しがたいものとなる

ため、本文のような立体解析法を用いて応力照査をした方がよいと思われる。

最後に、本論文をまとめるにあたり、懇切なご指導を賜った名古屋大学名誉教授の成岡昌夫先生に深く感謝します。また、(株)横河橋梁製作所の荒井利男部長と大森邦雄部長には、終始、貴重なご助言とご支援をいただき、ここに厚く感謝します。

## 参考文献

- 1) 島田静雄：斜橋、橋梁と基礎，pp.69～70，1968年10月。
- 2) 服部 智：斜め格子合成桁新制橋の工事，橋梁と基礎，pp.22～27，pp.22～25，1968年11，12月。
- 3) 加藤 寛・城 秀夫・藤永康夫・児島良充：斜角のきつい斜橋（鉸ゲタ構造）の架設工法，橋梁と基礎，pp.38～42，1974年8月。
- 4) 荒井利男：斜橋（直交格子斜げた）に関する一考察，横河橋梁技報，No.8，pp.16～21，1978年11月。
- 5) 日本道路協会：鋼道路橋設計便覧，pp.158～164，1979年12月。
- 6) 小西一郎編：鋼橋・設計編Ⅱ，pp.1485～1518，丸善，1976年1月。
- 7) 長谷川進ほか：名古屋上水橋工事報告（水荷重工法による斜橋の架設について），横河橋梁技報，No.11，pp.91～105，1981年11月。
- 8) 杉山博道・高島和彦・桜井勝好：斜角格子桁の桁倒れ対策，橋梁と基礎，pp.39～46，1987年10月。
- 9) 尾下里治・金子俊一：直線，曲線および斜角の合成I桁橋の立体解析，土木学会論文集，第374号，pp.339～348，1986年10月。
- 10) 小松定夫：薄肉構造物の理論と計算，p.158，山海堂，1969年。
- 11) 橋梁委員会鋼橋示方書委員会：道路橋示方書Ⅰ共通編，Ⅱ鋼橋編に関する質問および回答（第2回），道路，p.59，1983年1月。
- 12) 尾下里治：疑似箱桁理論による曲線I桁橋の横構部材力の近似解法，土木学会論文集，第380号，pp.485～491，1987年4月。
- 13) 大塚久哲・吉村虎蔵：並列I桁曲線および直線橋における主桁付加応力度と横構部材力について，土木学会論文報告集，第290号，pp.17～29，1979年10月。

(1988.8.30・受付)