

I-9 斜角格子桁橋の桁倒れの解析と実験

(株)釧路製作所	正員	井 上 稔 康
北海道大学工学部	正員	渡 辺 昇
北海道大学工学部	正員	林 川 俊 郎
北海道大学工学部		村 山 陽

1. まえがき

主桁と対傾構を直交するように組んだ斜角格子桁橋は、あるひとつの対傾構上にある各主桁相互のキャンパー差（製作反り差）のために、コンクリート床版などの死荷重載荷時などによるたわみにより主桁がねじれ、主桁が倒れる現象が生ずる（図-1）。これが「桁倒れ」である。桁倒れは、部材に2次応力が発生するなどの問題を生ずることになる。そこで本研究の目的は、主桁間のたわみ差から桁倒れ量を算定する従来の方法¹⁾と、ここで提案する主桁のねじり角から桁倒れ量を算定する方法との比較を行う。また、桁倒れ量やねじり角を算定する際には、電子

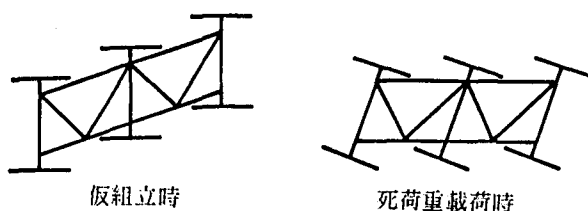


図-1 桁倒れ量

計算機で格子桁理論を用いて計算する。ここで用いる断面諸元の組合わせとして、(1) 曲げ変形のみを考慮した場合（ EI = 曲げ剛性）、(2) 曲げとねじり変形を考慮した場合（ GJ_T = ねじり剛性）、(3) 曲げ、ねじりおよびそり変形を考慮した場合（ EC_w = 曲げねじり剛性）の3通りについて検討する。なお、具体的には昨年度北海道開発局石狩川開発建設部札幌河川事務所管内において施工された下藤野1号橋について数値計算および現場実験を行った。図-2は下藤野1号橋の一般図である。

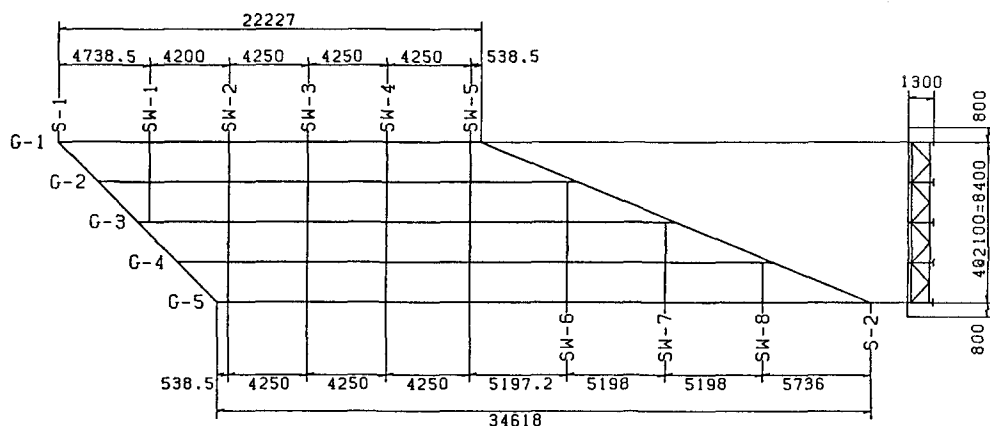


図-2 一般図

2. 剛性マトリックス法による格子桁の曲げ解析

下藤野1号橋の場合、図-2に示すように床版が主桁の上にだけ載っている構造であり、横桁（対傾構）は荷重分配の役目をしている。これを格子桁として、剛性マトリックス法で解析する。図-3のように考慮すべき断面力は、鉛直方向の力 Y 、曲げモーメント M_z 、ねじりモーメント M_x および、曲げねじりモー

メント M_w であり、それぞれの断面力に対応する変位は、鉛直変位 v たわみ角 θ_z 、ねじり角 θ_x およびねじり率 θ_w である。前節で述べたように、断面諸元は3通りの組み合わせについて検討するため剛性マトリックスも3通り必要となる。それぞれの剛性マトリックスを以下に示す。

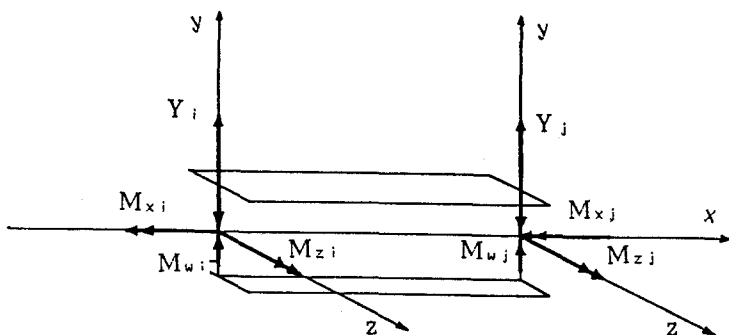


図-3 薄肉断面直線部材要素

2-1 曲げ変形のみを考慮した場合（曲げ剛性 $E I$ のみ）

$$\begin{bmatrix} Y_i \\ M_{zi} \\ Y_j \\ M_{zj} \end{bmatrix} = E I \begin{bmatrix} 12/L^3 & 6/L^2 & -12/L^3 & 6/L^2 \\ & 4/L & -6/L^2 & 2/L \\ & & 12/L^3 & -6/L^2 \\ \text{SYM.} & & & 4/L \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_i \\ \theta_{zi} \\ v_j \\ \theta_{zj} \end{bmatrix}$$

2-2 曲げ変形とねじり変形を考慮した場合（曲げ剛性 $E I$ とねじり剛性 $G J_T$ ）

$$\begin{bmatrix} Y_i \\ M_{zi} \\ M_{xi} \\ Y_j \\ M_{zj} \\ M_{xj} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 12E I / L^3 & 6E I / L^2 & 0 & -12E I / L^3 & 6E I / L^2 & 0 \\ & 4E I / L & 0 & -6E I / L^2 & 2E I / L & 0 \\ & & G J_T / L & 0 & 0 & -G J_T / L \\ & & & 12E I / L^3 & -6E I / L^2 & 0 \\ & & & & 4E I / L & 0 \\ \text{SYM.} & & & & & G J_T / L \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_i \\ \theta_{zi} \\ \theta_{xi} \\ v_j \\ \theta_{zj} \\ \theta_{xj} \end{bmatrix}$$

2-3 曲げ変形、ねじり変形および曲げねじり変形を考慮した場合

（曲げ剛性 $E I$ 、ねじり剛性 $G J_T$ および曲げねじり剛性 $E C_w$ ）

$$\begin{bmatrix} Y_i \\ M_{zi} \\ M_{xi} \\ M_{wi} \\ Y_j \\ M_{zj} \\ M_{xj} \\ M_{wj} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 12E I / L^3 & 6E I / L^2 & 0 & 0 & -12E I / L^3 & 6E I / L^2 & 0 & 0 \\ & 4E I / L & 0 & 0 & -6E I / L^2 & 2E I / L & 0 & 0 \\ & & A & B & 0 & 0 & -A & B \\ & & & C & 0 & 0 & -B & D \\ & & & & 12E I / L^3 & -6E I / L^2 & 0 & 0 \\ & & & & & 4E I / L & 0 & 0 \\ & & & & & & A & -B \\ \text{SYM.} & & & & & & & -C \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_i \\ \theta_{zi} \\ \theta_{xi} \\ \theta_{wi} \\ v_j \\ \theta_{zj} \\ \theta_{xj} \\ \theta_{wj} \end{bmatrix}$$

ここで、 $A = 12E C_w / L^2 + 6G J_T / 5L$ $B = 6E C_w / L^2 + G J_T / 10L$
 $C = 4E C_w / L + 2G J_T / 15$ $D = 2E C_w / L + G J_T / 30$

2-4 鉛直たわみの数値計算結果

表-1 支間中央のたわみ (mm)

図-2に示すような斜角格子桁橋において、コンクリート床版(床版厚15cm~22cm)打設時における各主桁の支間中央点の鉛直たわみの計算結果を表-1に示す。この結果からして、3者の断面諸元の組合せによる差異は、ほとんどないことがわかる。

	E I	E I, G J _T	E I, G J _T , E C _w
G-1	19.1022	19.0978	19.0936
G-2	21.9620	21.9574	21.9530
G-3	29.6511	29.6540	29.6292
G-4	41.8080	41.7986	41.7300
G-5	57.3075	57.2919	57.1247

3. 桁倒れ量の算定方法

斜角格子桁橋では、主桁間のキャンバー差がある程度以上になった場合、必要な対策を講じないまま施工すると死荷重載荷時に桁が倒れ、部材に付加的な2次応力が発生するため設計・施工の際桁倒れ量の算定は重要な問題である。以下に桁倒れの算定方法について述べる。

3-1 「北海道における鋼道路橋の設計および施工指針」による桁倒れ量の算定方法

図-4において、 δ ; 桁倒れ量、 h ; 桁高、 a ; 主桁間隔、 ψ ; 桁の倒れ角、 d_i ; 死荷重載荷により生じる主桁のたわみ差(すなわち仮組立時のキャンバー差)、 d ; d_i の平均値である。指針による桁倒れ量 δ_1 は

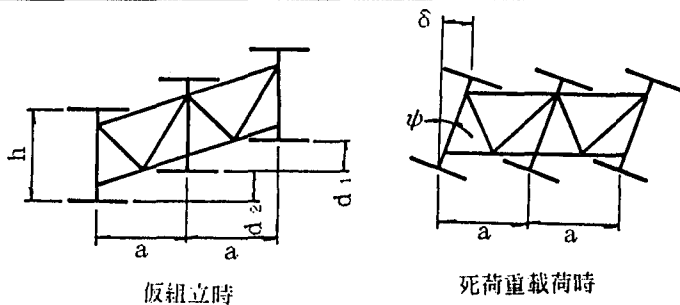


図-4 桁倒れ図

$$\delta_1 = \frac{h}{a} d \quad \text{--- (1)}$$

と求められる。

3-2 主桁のねじり角による桁倒れ量の算定方法

図-5において、 θ_i ; 各主桁のねじり角である。各主桁の桁倒れ量を δ_{2i} とすると

$$\delta_{2i} = h \theta_i \quad \text{--- (2)}$$

となる。

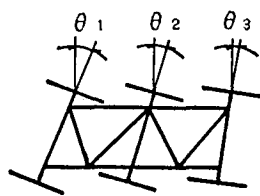


図-5 ねじり角

3-3 δ_1 と δ_{2i} の関係

式(1)中の d は、各主桁のキャンバー差 d_i の平均値なので

$$d = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N d_i \quad \text{--- (3)}$$

となる。ここで、 N は主桁の本数である。上式を式(1)に代入すると

$$\delta_1 = \frac{h}{a} \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N d_i \right) = \frac{h}{a} \left\{ \frac{1}{N} (d_1 + d_2 + \dots + d_N) \right\}$$

$$= \frac{h}{N} \left(\frac{d_1}{a} + \frac{d_2}{a} + \dots + \frac{d_N}{a} \right) \quad \text{--- (4)}$$

となる。また、図-5に示すように、各主桁のねじり角 θ_i は

$$\theta_i = \frac{d_i}{a} \quad \text{--- (5)}$$

である。式(4)と式(5)より

$$\delta_1 = \frac{h}{N} (\theta_1 + \theta_2 + \dots + \theta_N) = \frac{1}{N} (h\theta_1 + h\theta_2 + \dots + h\theta_N) \quad \text{--- (6)}$$

となり、更に式(2)を用いると

$$\delta_1 = \frac{h}{N} \sum_{i=1}^N \delta_{2i} \quad \text{--- (7)}$$

である。つまり δ_1 は δ_{2i} の平均値となる。表-2に上記2通りの方法によるコンクリート床版打設時(全死荷重)の桁倒れ量の値を示す。表-2において δ_3 は、 δ_2 の平均値である。表中の値は、曲げ剛性EIのみを考慮した時のものであるが、ねじり剛性GJTや曲げねじり剛性EC_ωなどを考慮した場合でも同様の結果を得る。

表-2 格点の桁倒れ量

		SW1	SW2	SW3	SW4	SW5	SW6	SW7	SW8
δ_1		4.6661	3.3893	-1.63912	-6.75750	-11.3980	-15.9018	-19.9086	-23.3279
δ_2	G-1	4.2628	1.2443	-2.87733	-7.53085	-11.6439			
	G-2	4.6661	1.5143	-2.55083	-7.23042	-11.6437	-15.0605		
	G-3	5.0694	2.7689	-1.65100	-6.65817	-11.3703	-15.7163	-19.5153	
	G-4		5.2643	-0.72743	-6.28459	-11.1524	-16.3225	-19.9086	-23.3279
	G-5		6.7751	-0.37718	-6.18283	-11.2076	-16.2728	-20.2978	-23.3279
δ_3		4.6661	3.5134	-1.63675	-6.77737	-11.2076	-15.8480	-19.9072	-23.3279

4. 実測した桁倒れ量と数値計算結果との比較

4-1 現場での桁倒れ量の測定方法

桁倒れ量の測定は、図-6に示すよう、マグネット付きの下げ振りを上フランジの下面に固定し、ウェブ上端の離れ δ_u と下端の離れ δ_l を計測する。桁倒れ量は

$$\delta = \delta_l - \delta_u$$

となる。

4-2 実測値と計算値

図-7~図-9の桁倒れ量は、全死荷重が載荷された時の実測値と計算値である。なお、数値計算による桁倒れ量は、曲げ剛性EIのみを考慮して求めた。

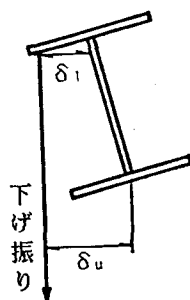


図-6 測定方法

5. 考察

表-1に示すように、たわみの数値計算には断面諸元を3通りの組合せについて検討したがその解析結

図-7 実測された桁倒れ量

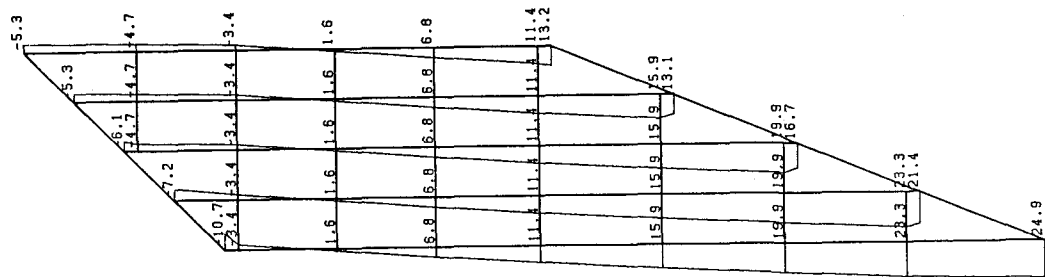


図-8 計算による桁倒れ量 (δ_1)

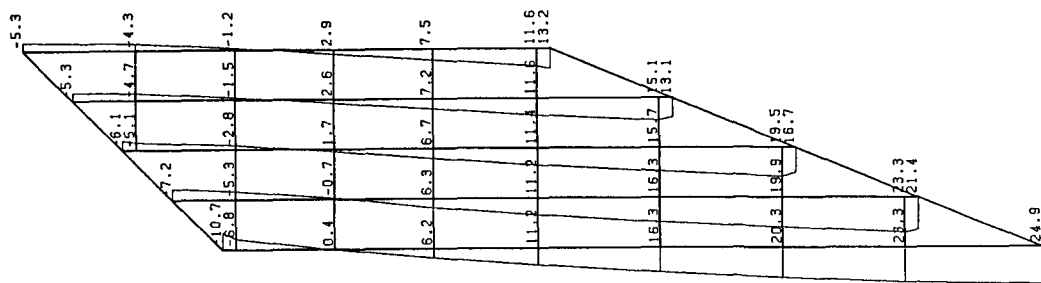


図-9 計算による桁倒れ量 (δ_2)

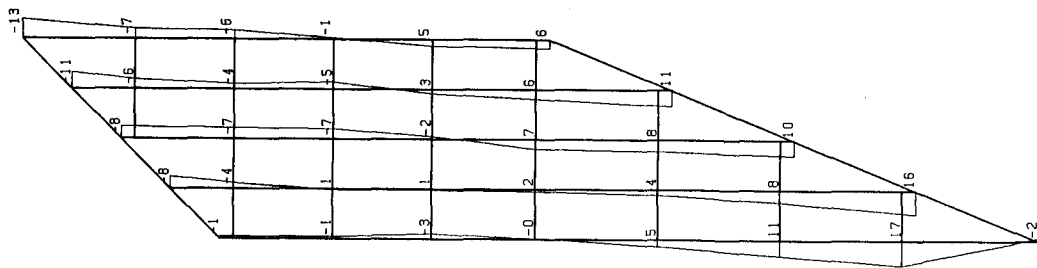


図-10 実測された桁倒れ量と計算による桁倒れ量 (δ_2) との差

げねじり剛性が小さいので当然の結果であると思われる。今後、箱形断面を用いた斜角格子桁橋についてはさらに検討する必要があるだろう。

桁倒れ量の算定方法については、指針による算定では、ある一つの対傾構上の主桁の桁倒れ量が全て同じになってしまうが、式(2)による方法では全格点の桁倒れ量がそれぞれ計算できる。また、端対傾構の桁倒れ量は指針によると

$$\delta_4 = \Delta \cot \theta \quad \text{--- (8)}$$

となる。ここで、 Δ ；主桁端部の倒れ量（橋軸方向）、 θ ；斜角の角度である。つまり、指針の方法では格点の場所によって桁倒れ量が異なっているが、式(2)では格点のねじり角に、桁高を乗ずるだけで全格点の桁倒れ量が計算できるという便利さがある。式(2)と式(8)による端部での桁倒れ量の計算結果を表-3に示す。

実測した桁倒れ量と計算された桁倒れ量との差は
最大17mmであり、良好な結果を得られたと思う。

表-3 桁端部の倒れ量 (mm)

6. あとがき

本研究は、斜角格子桁橋の桁倒れ量を、各主桁の格点におけるねじり角より算定する方法を提案した。その結果、従来の指針により算定された桁倒れ量と良好な一致をみた。したがって、本方法はその簡便性からして、今後桁倒れ量の算定に役立つであろう。また、格子桁理論により桁倒れ量を算定するには、曲げ剛性EIのみを考慮するだけで十分であることがわかった。

なお、本数値計算には北海道大学大型計算機センターのHITAC M-682とS-810システムを利用した。

(参考文献)

1) 北海道における鋼道路橋の設計および施工指針,

北海道土木技術会鋼道路橋研究委員会, 昭和58年8月

2) 荒井 利男; 斜橋(直交格子げた)に関する一考察, 横河橋梁技報 No. 8 1978年11月

3) 杉山 博道, 高島 和彦, 桜井 勝好; 斜格子桁の桁倒れ対策, 橋梁と基礎 1987年10月

4) 服部 智; 斜め格子桁合成ゲタ 新制橋の工事 (上)・(下), 橋梁と基礎 1968年11, 12月

5) 加藤 寛, 城 秀夫, 藤永 泰夫, 児島 良充;

斜角のきつい斜橋の架設工法, 橋梁と基礎 1974年8月

6) 稼農 知徳; せん断変形の影響を考慮した剛性マトリックスと薄肉骨組系の解析,

橋梁と基礎 1974年8月

7) 渡辺 昇; 橋梁工学, 朝倉書店