

I-44

斜橋の骨組形状とねじり応力について

(株) 鋼路製作所 正員 井上 稔康

(株) 鋼路製作所 杉江 豊

(株) 鋼路製作所 武田 敦

北海道大学工学部 正員 佐藤 浩一

1. まえがき

I形断面主桁を用いた格子構造では桁自体のねじり抵抗が小さいため、曲げねじりおよび単純ねじりによる応力は小さく、一般に桁のねじり抵抗を無視して解析している。しかし、図-1のように横桁を主桁に直角に配置した直交格子桁の斜橋（以下、斜角格子桁とよぶ）では、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、フランジにそり応力が発生する。この応力を斜橋の影響による主桁フランジの二次応力とよぶことがある。また、主桁間のたわみ差により主桁が倒れる現象を斜橋の桁倒れとよぶ。

斜橋の桁倒れによるねじり応力は骨組形状によって分布状態が複雑に変わり、斜角が小さい場合は設計上これを無視できなくなると思われる¹⁾。また、斜橋の桁倒れを防ぐ対策としてプレツイスト工法を採用する場合が多い。プレツイスト工法で施工すると完成時の桁倒れ量を少なくすることができるが^{1), 2)}、プレツイスト量とねじり応力の関係については明らかにされていない。

本文では、斜角格子桁の計算において主桁を薄肉部材として扱い、ねじり変形およびそり変形を考慮した剛性マトリックス法¹⁾により平面格子桁の解析を行なうことによって、斜橋のねじり応力について検討する。

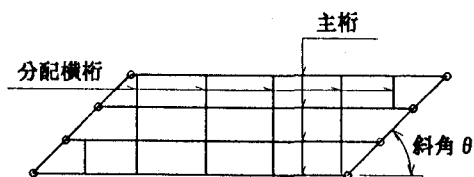


図-1 直交格子桁の斜橋（斜角格子桁）

2. 斜橋の計算モデル

図-2、表-1に示すように、斜角を変えた実橋に近い3ケースの計算モデルについて、曲げ、ねじりおよび曲げねじり剛性を考慮した平面格子桁の解析を行ない、死荷重載荷時の桁倒れ量とねじり応力を計算する。計算モデルと荷重は次のように設定した。

- 1) 主桁は非合成桁とし、主桁断面は実橋の設計と同様に断面数3の変断面とする。

- 2) 斜橋のねじり応力を正しく計算

するため、対傾構は全て荷重分配対傾構とし分配横桁は付けない。ただし、対傾構のねじり抵抗は小さいので無視する。

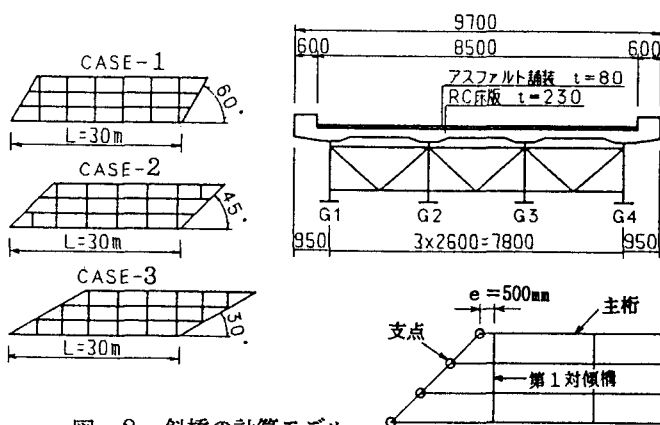


図-2 斜橋の計算モデル

3) ここで死荷重とは床版コンクリート硬化前の荷重（鋼重と床版コンクリートの重量）を示す。床版硬化後の死荷重（アスファルト舗装等）および活荷重に対しては、主桁は床版や下横構によって橋全体として π 断面や準箱断面を構成するため、ねじり剛性が大きくなり斜角格子桁の計算モデルは全く違うものとなるので、これらについては本研究では除外した。

表-1 部材の断面性能

	主桁 Sec.① (中央断面)	主桁 Sec.②	主桁 Sec.③ (端部断面)	分配対傾構
断面長 (m)	16.2	3.6	3.3	—
上下フランジ	480×28	400×22	300×13	—
腹 板	1600×9	1600×9	1600×9	—
I (cm ⁴)	2.09×10 ⁶	1.47×10 ⁶	0.81×10 ⁶	6.50×10 ⁴
J _T (cm ⁴)	7.41×10 ²	3.23×10 ²	0.83×10 ²	—
C _w (cm ⁶)	3.42×10 ⁶	1.54×10 ⁶	0.38×10 ⁶	—
ω (cm ²)	1.92×10 ³	1.60×10 ³	1.20×10 ³	—
S _w (cm ⁴)	6.45×10 ⁴	3.52×10 ⁴	1.17×10 ⁴	—

3. 斜橋のねじり応力

斜角格子桁では桁倒れによって主桁全体がねじられるので、曲げによる応力度のほかに単純ねじりおよび曲げねじりによる応力度が発生する。I形断面桁におけるこれらの応力度の算定式を表-2に、ねじりによる応力度の分布を図-3に示す^{3), 4)}。

ここで、

M : 曲げモーメント

Q : せん断力

S : 断面一次モーメント

I : 断面二次モーメント

T_s : 単純ねじりモーメント

M_w : そりモーメント

T_w : そりねじりモーメント

S_w : そり関数の断面一次モーメント

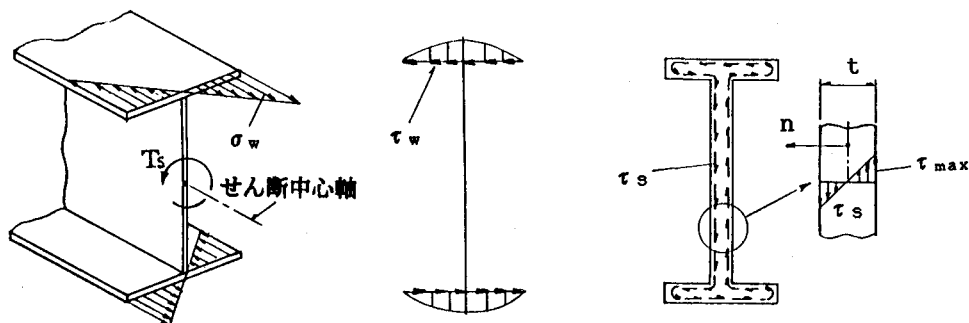
J_T : 純ねじり定数

C_w : 曲げねじり定数

ω : そり関数

表-2 I形断面桁の応力度算定式

	垂直応力度	せん断応力度
曲げによる 応力度	$\sigma_b = \frac{M}{I} \cdot y$	$\tau_b = \frac{Q}{I \cdot t} \cdot S$
単純ねじり による応力度	—	$\tau_{smax} = \frac{T_s}{J_T} \cdot t$
曲げねじり による応力度	$\sigma_w = \frac{M_w}{C_w} \cdot \omega$	$\tau_w = \frac{T_w}{C_w \cdot t} \cdot S_w$



(a) 曲げねじりの垂直応力度 (b) 曲げねじりのせん断応力度 (c) 単純ねじりのせん断応力度

図-3 I形断面桁のねじりによる応力度の分布

図-4は計算モデル3ケースの死荷重による主桁のねじり応力 M_w 、 T_w 、 T_s と桁倒れ量 δ の最大値を比較したもの。表-3はCASE-2(斜角 $\theta=45^\circ$)の主桁断面Sec.①~③に発生する曲げねじりおよび単純ねじりによるフランジの最大応力度 σ_w 、 τ_w 、 τ_s を示す。

これらの計算結果から、斜角格子桁では斜角が極端に小さくなると曲げねじりによる M_w 、 σ_w が大きくなり設計上無視できなくなる。一方単純ねじりによる T_s 、 τ_s は斜角が小さくなくてもそう大きくはならない。

また曲げねじりによる T_w 、 τ_w は図-7cのように桁端部付近で極端に大きくなるが、これは鈍角部の支点と第1対傾構の離れ量 e に左右される。本計算モデルでは $e=500$ mmとしているが(図-2)、これを大きくすると T_w をかなり小さくすることができる。

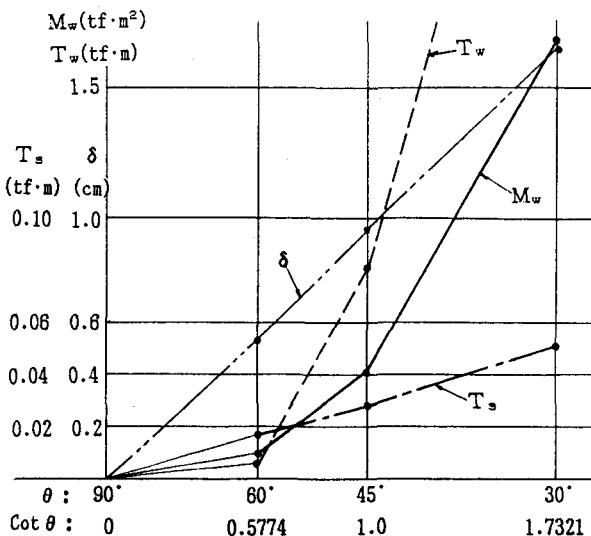


図-4 主桁のねじり応力～最大値の比較
(CASE-1~3, L=30m)

4. プレキャスト工法とねじり応力

斜角格子桁では主桁間のたわみ差により、完成時(死荷重載荷時)に桁倒れが生じる。プレキャスト工法は架設時にあらかじめ桁倒れと逆の方向にねじっておき完成時に主桁が鉛直となるようにするもので、比較的施工が簡単なことから多用されている。

プレキャスト工法で施工すると完成時の桁倒れ量を少なくすることができるが^{(1), (2)}、プレキャストとねじり応力の関係については明らかでない。

そこで、プレキャスト工法で架設した場合に主桁にどのようなねじり応力が初期応力として導入されるのか試算した。実橋では架設順序やペント位置などの違いによって架設時の構造系は様々であるが、ここではプレキャスト架設時の骨組モデルとして、図-6のような2本主桁の中央付近に対傾構を一か所だけ連結した骨組形状を設定する。この状態で桁端付近に15~35 kgf·mのねじりモーメント M_T を付加すると、完成時の計算桁倒れ量に相当するプレキャストを導入することができる(図-7a)。

一方この時主桁に導入されるねじり応力 M_w 、 T_w 、 T_s は、図-7b、c、dから完成時に発生する応力とは大きさも分布状態も異なることが明らかである。

表-3 ねじりによる応力度 (CASE-2, L=30m, $\theta=45^\circ$)

	Sec.①	Sec.②	Sec.③
σ_w (Kgf/cm ²)	8.3	15.3	129
τ_w (Kgf/cm ²)	0.2	0.4	19.3
τ_s (Kgf/cm ²)	10.6	17.5	14.1

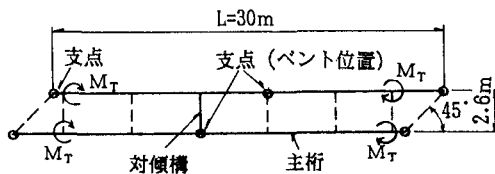


図-6 プレキャスト架設時の骨組モデル

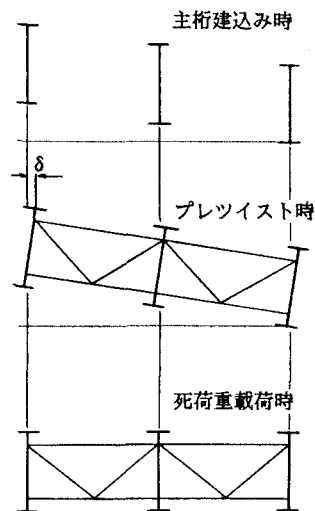


図-5 プレキャストによる架設

5. あとがき

1) ねじり変形およびそり変形を考慮した平面格子桁の解析により、ねじり応力として単純ねじりモーメント、そりモーメントおよびそりねじりモーメントを求めることができる。

2) I形断面主桁を用いた直交格子桁の斜橋では主桁相互のたわみ差により主桁がねじられ、これらのねじり応力が発生する。斜角が極端に小さくなると曲げねじりによるそりモーメントが大きくなるので、設計上主桁フランジのそり応力度を考慮する必要がある。

3) このそり応力度は桁端部付近で特に大きくなるが、桁端部のフランジ断面は通常応力的に余裕があるので、問題にならないことが多いと思われる。

4) 「北海道における鋼道路橋の設計及び施工指針」²⁾では、斜橋の死荷重による計算桁倒れ量 δ が限界桁倒れ量10mmを超える場合には、現場施工の面から問題があるとして桁倒れを防ぐ対策をとるものとしている。しかし、現場施工上の問題は橋の規模や構造によって異なり、施工方法を工夫することによって対処できる場合もあるので、 δ が10mm以上でも問題にならないこともある。

5) 桁倒れを防ぐ対策として、プレツィスト工法を採用する場合が多い。プレツィスト工法で施工すると完成時の桁倒れ量を少なくすることができるが、斜橋の桁倒れによるねじり応力も小さくなることにはならない。

6) 架設時にこの2次応力を発生させない工法としては、プレダウン法によるジャッキアップ・ジャッキダウン工法が考案されているが⁵⁾、施工が複雑になるので実施例は少ないようである。

7) 最後に、格子桁の計算はパソコン(PC9801-FA)を用い、剛性方程式の解法はMS-FORTRANによるスカイライン法で行なった。本計算モデル1ケースの演算時間は10秒程度であり、ねじり変形およびそり変形を考慮した解析を容易に行なうことができた。

【参考文献】

- 1) 井上稔康・杉江豊・武田敦・佐藤浩一；斜橋の桁倒れとねじり応力、土木学会北海道支部、第49号
- 2) 北海道土木技術会鋼道路橋研究委員会編；北海道における鋼道路橋の設計及び施工指針、平成元年11月
- 3) 渡辺昇；橋梁工学、朝倉書店
- 4) 中井博・北田俊行；鋼橋設計の基礎、共立出版
- 5) 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、1987.10

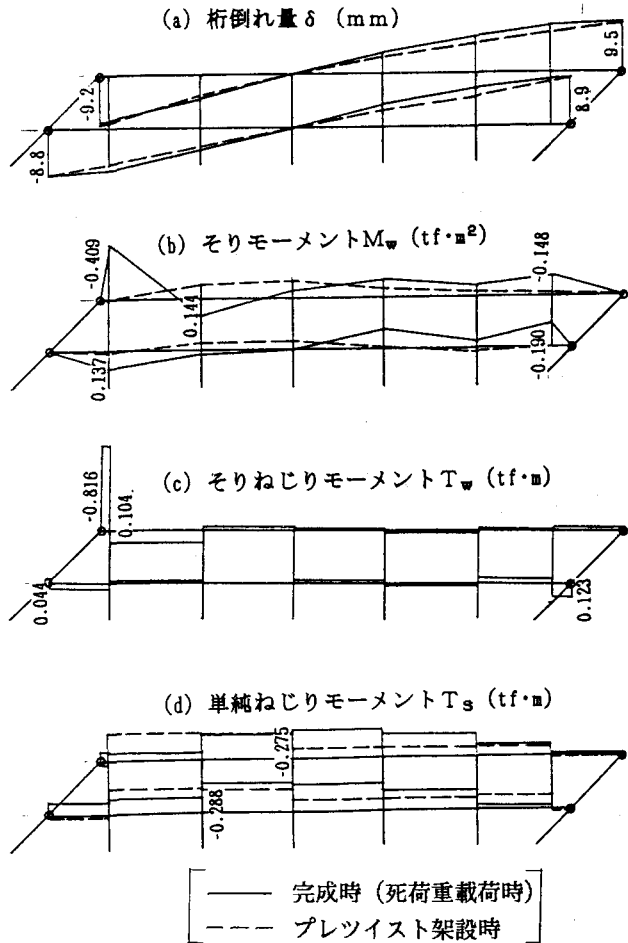


図-7 斜橋のけた倒れとねじり応力の分布
(プレツィスト架設時と完成時の比較)