

I-54 斜角の小さい鋼床版箱桁橋のそりねじり応力

(株) 釧路製作所 正員 井上 稔康
 (株) 釧路製作所 杉江 豊
 (株) 釧路製作所 大島 巖
 北海道大学工学部 正員 佐藤 浩一

1. はじめに

中心角または曲率が大きい曲線橋、斜角の小さい斜橋および大きい偏心荷重が作用する直橋など、構造物の性質上ねじりの影響を無視できない場合、ねじりの影響に配慮する必要がある。プレートガーダーのような薄肉断面のはりでは、ねじりモーメントは純ねじりモーメントとそりねじりモーメントの和として受け持たれる。厳密には一つの部材断面内では必ず両者が共存するが、一般に箱桁のように薄肉でも閉じた断面では純ねじりモーメントが支配的になる。したがって、箱形断面主桁を用いる場合には、格子構造、単一主桁構造いずれの場合でも、一般にそりねじりによる応力度を無視している¹⁾。

一方、箱桁でも張出しの大きい合成床版や鋼床版を持つ場合、あるいは箱形断面が特に扁平で幅が広い場合には、そりねじりによる応力度が大きくなる¹⁾。本文は、斜角の小さい鋼床版格子箱桁橋におけるそりねじり応力について検討したもので、実橋を対象としたケーススタディとして解析した。その際、斜角格子桁の計算では主桁を薄肉部材として扱い、ねじり変形および曲げねじり変形を考慮した剛性マトリックス法により平面格子桁の解析を行なった。

2. 曲げねじり変形を考慮した剛性方程式

図-1の薄肉断面直線部材要素において、考慮すべき断面力は鉛直方向のせん断力 Q 、曲げモーメント M 、ねじりモーメント T およびそりモーメント M_w である。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 v' 、ねじり角 ϕ およびねじり率 ϕ' である。

曲げ要素の剛性マトリックス $[K_m]$ と曲げねじり要素の剛性マトリックス $[K_w]$ は、それぞれ式(1)、式(2)で与えられる²⁾。

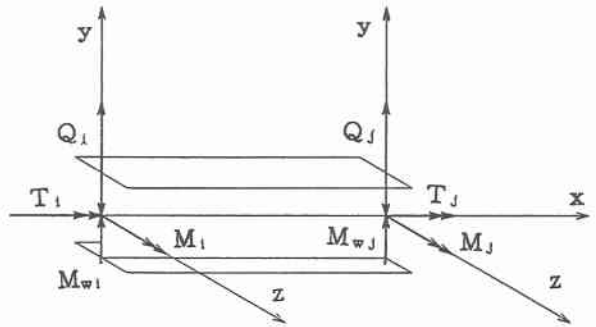


図-1 薄肉断面直線部材要素

$$[K_m] = \frac{2EI}{L^3} \begin{bmatrix} 6 & 3L & 2L^2 & \text{Sym.} \\ -6 & -3L & 6 & \\ 3L & L^2 & -3L & 2L^2 \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$[K_w] = \frac{EC_w}{\mu LS - 2(C-1)} \begin{bmatrix} \mu^3 S & -\mu^2(1-C) & \mu(L\mu C - S) & \text{Sym.} \\ -\mu^3 S & \mu^2(1-C) & -\mu^3 S & \\ -\mu^2(1-C) & \mu(S - L\mu) & \mu^2(1-C) & \mu(L\mu C - S) \end{bmatrix} \quad (2)$$

ここで、 E ：弾性係数、 G ：せん断弾性係数、 I ：断面二次モーメント、 J_T ：純ねじり定数、

C_w ：曲げねじり定数、 $\mu^2 = GJ_T / EC_w$ 、 $S = \sinh \mu L$ 、 $C = \cosh \mu L$

曲げ変形、ねじり変形および曲げねじり変形を考慮した平面格子薄肉部材要素の剛性マトリックスは、 $[K_m]$ と $[K_w]$ を組み合わせて求めることができ、剛性方程式は次式のようになる^{2), 3)}。

$$\begin{bmatrix} Q_i \\ M_i \\ T_i \\ M_{wi} \\ Q_j \\ M_j \\ T_j \\ M_{wj} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{12EI}{L^3} & & & & & & & \\ \frac{6EI}{L^2} & \frac{4EI}{L} & & & & & & \\ 0 & 0 & \frac{A_{11}EC_w}{D} & & & & & \\ 0 & 0 & \frac{-A_{12}EC_w}{D} & \frac{A_{22}EC_w}{D} & & & & \\ -\frac{12EI}{L^3} & -\frac{6EI}{L^2} & 0 & 0 & \frac{12EI}{L^3} & & & \\ \frac{6EI}{L^2} & \frac{2EI}{L} & 0 & 0 & -\frac{6EI}{L^2} & \frac{4EI}{L} & & \\ 0 & 0 & \frac{-A_{11}EC_w}{D} & \frac{A_{11}EC_w}{D} & 0 & 0 & \frac{A_{11}EC_w}{D} & \\ 0 & 0 & \frac{-A_{12}EC_w}{D} & \frac{A_{24}EC_w}{D} & 0 & 0 & \frac{A_{12}EC_w}{D} & \frac{A_{22}EC_w}{D} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_i \\ v'_i \\ \phi_i \\ \phi'_i \\ v_j \\ v'_j \\ \phi_j \\ \phi'_j \end{bmatrix} \quad (3)$$

ここで、 $D = \mu LS - 2(C-1)$ 、 $A_{11} = \mu^3 S$ 、 $A_{12} = \mu^2(1-C)$ 、 $A_{22} = \mu(L\mu C - S)$ 、 $A_{24} = \mu(S - L\mu)$

3. 曲げねじり変形を考慮した鋼床版箱桁橋の解析

計算モデルとして使用した橋梁は、図-2に示すように2主桁の鋼床版箱桁橋で斜角が $32 \sim 36^\circ$ と小さく、端横桁と第1横桁にも箱形断面を使用しているのが特徴である。床版片持ち部の張出し長は3.5mと大きく、支間長も87mと単純箱桁としては最大規模の橋である。この計算モデル橋について、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、死荷重載荷時の断面力を計算した。活荷重に対しては、曲げモーメントによる垂直応力度を算出する載荷ケースとそりねじり応力度を算出する載荷ケースが大幅に異なると考えられることから¹⁾、ここでは考慮していない。

断面力と桁倒れ量の計算結果を図-3に示す。断面性能(表-1)の計算は文献⁴⁾の算定式によった。斜角の小さい直交格子桁では、桁端部付近の主桁間のたわみ差によって桁倒れが起こり主桁がねじられる。

そのため桁端部付近の横桁には大きな曲げモーメントが発生することになり、その断面も大きくなる。

本計算モデル橋は規模が大きく、斜角も非常に小さいため端横桁と第1横桁に箱形断面を使用しており、これらの横桁には非常に大きな曲げモーメントが作用する。一方、その主桁格点には横桁の曲げモーメントに相当するねじりモーメントの段差が生じる。

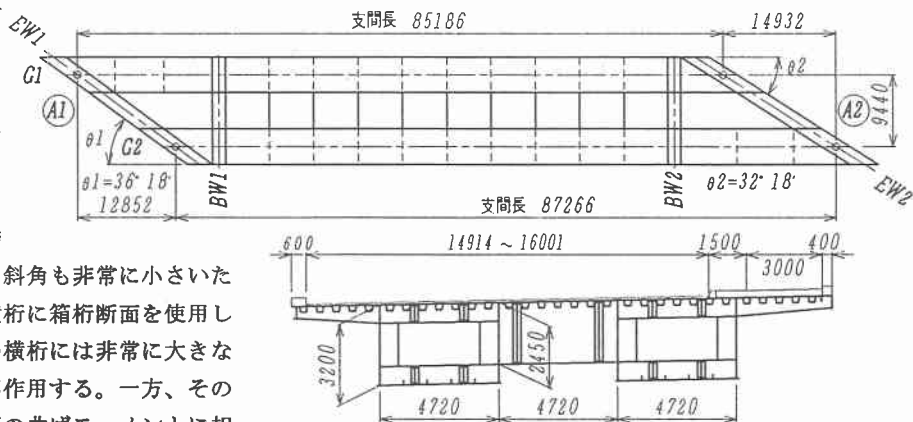


図-2 計算モデル橋の断面と主構平面図

中井らの研究^{4)・5)}によると、そりねじりの応力はおもに着目断面のねじりモーメント T のステップ量(段差) ΔT に比例することが明らかになっている。本計算例でも ΔT の特に大きい第1横桁との交点部で大きなそりモーメント M_w が発生する。(図-3・b, c)

表-1 主要部材の断面性能

	主桁・G 2			横桁		
	A ₁ 端部	中央部	A ₂ 端部	端部EW 1	第1BW 1	中間部
上フランジ(cm)	1050×2.2	1050×1.2	1050×1.9	223×2.2	170×1.9	32×1.3
腹板(cm)	320×1.6	320×1.4	320×1.2	320×1.2	320×1.2	244×1.0
下フランジ(cm)	472×2.8	472×1.9	472×2.2	138×2.8	170×2.2	32×1.3
I (cm ⁴)	10.7×10 ⁷	7.31×10 ⁷	8.08×10 ⁷	6.71×10 ⁷	5.25×10 ⁷	7.37×10 ⁶
J _T (cm ⁴)	12.5×10 ⁷	8.02×10 ⁷	8.06×10 ⁷	4.69×10 ⁷	3.51×10 ⁷	—
C _w (cm ⁶)	54.7×10 ¹⁰	42.3×10 ¹⁰	45.7×10 ¹⁰	5.40×10 ¹⁰	3.11×10 ¹⁰	—

ここで、 I : 断面2次モーメント、 J_T : 単純ねじり定数、 C_w : 曲げねじり定数

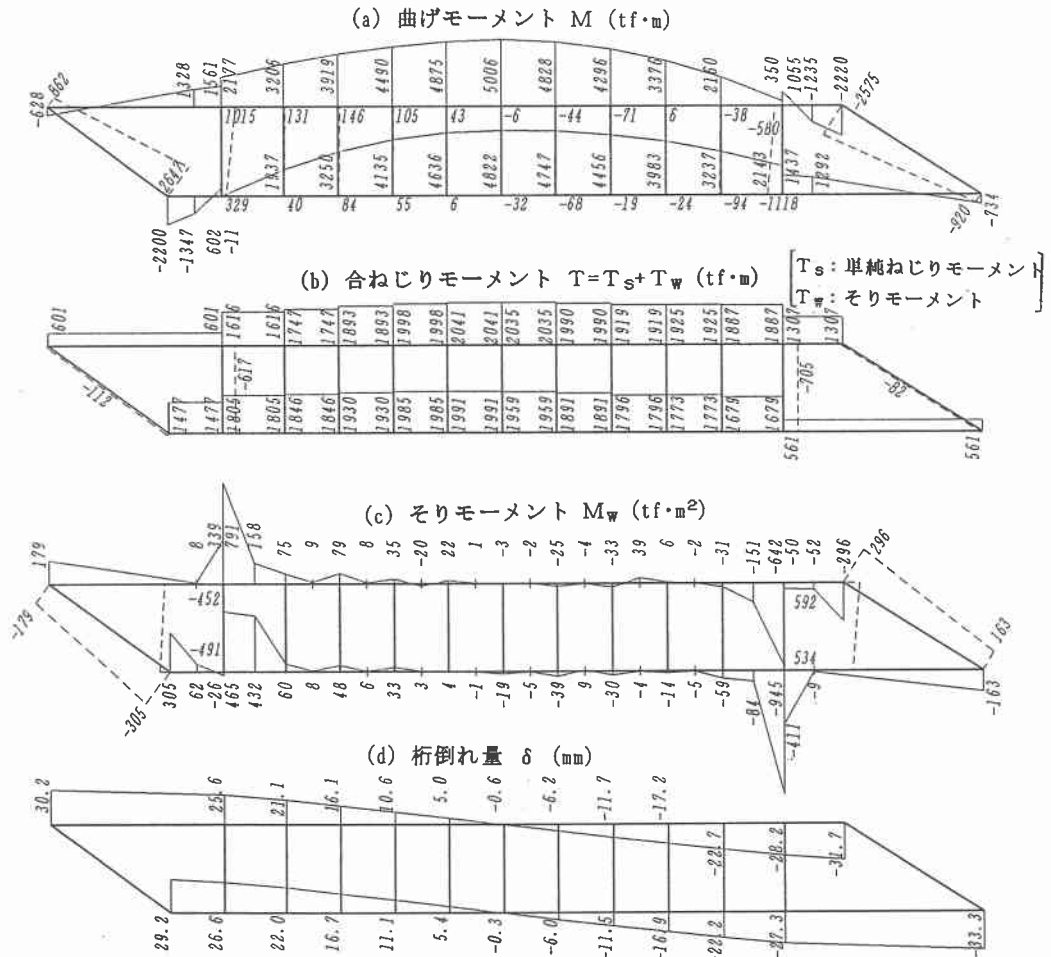


図-3 断面力と桁倒れ量の分布 (死荷重載荷時)

4. そりねじりによる応力度

箱桁の部材断面内には、曲げ、単純ねじりおよびそりねじりによる応力度が発生する。前項で求めた合ねじりモーメント T は、単純ねじりモーメント T_s とそりねじりモーメント T_w の合計であるが、本計算例のように大きな箱形断面の場合は T_w は小さく問題にならないので、ねじりよるせん断応力度は単純ねじりによるものだけを考慮すればよい。

そりねじりによる垂直応力度 σ_w は (4) 式で計算できる。

$$\sigma_w = \frac{M_w}{C_w} \cdot \omega \quad \text{----- (4)}$$

ここで、 ω はそり関数 (cm^2)

本計算例では主桁 G 2 と第 1 横桁 BW 2 の交点で最大のそりモーメント M_w が発生し、(4) 式からそり応力度 σ_w の分布は図-4 になる。

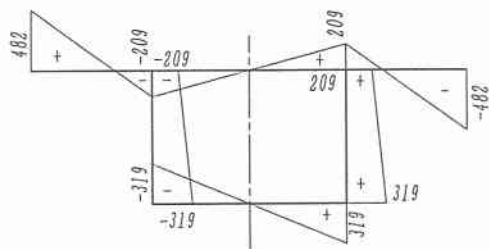


図-4 そり応力度 σ_w (kgf/cm^2) の分布
(G2とBW2の交点)

5. まとめ

道路橋示方書では、張出しの大きい鋼床版をもつ箱桁橋はそりねじりによる応力について検討する必要があるとしている¹⁾。本文では、実橋を対象としたケーススタディとして、斜角の小さい鋼床版格子箱桁橋の解析を行ない、死荷重載荷時におけるそりねじり応力について検討した。その際、斜角格子桁の計算では主桁を薄肉部材として扱い、ねじり変形および曲げねじり変形を考慮した剛性マトリックス法により平面格子桁の解析を行なった。

斜角格子桁では桁端部の桁倒れにより主桁がねじられ、これを端横桁と第 1 横桁の曲げ剛性で拘束する形になる。そのため特に第 1 横桁との交点で大きなそりモーメント M_w が局部的に発生し、主桁の断面に大きなそり応力度 σ_w が生じる。これは連続曲線箱桁において、中間支点部の拘束で主桁に直角方向の曲げモーメント反力が発生し、中間支点上の主桁に大きなそりモーメントが作用するケース⁵⁾と同様の現象と考えられ、いずれも設計上注意する必要がある。

最後に、本計算例における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。

【参考文献】

- 1) 日本道路協会；道路橋示方書・同解説Ⅱ鋼橋編、平成 6 年 2 月
- 2) 鷺津久一郎・宮本博・山田嘉昭・山本善之・川井忠彦；有限要素法ハンドブックⅠ・基礎編、培風館
- 3) 稼農知徳；せん断変形の影響を考慮した剛性マトリクスと薄肉骨組系の解析、橋梁と基礎、1974.8
- 4) 中井博・北田俊行；鋼橋設計の基礎、共立出版
- 5) 中井博・谷俊寛；箱桁橋のねじりによる応力の簡易計算法とその応力、土木学会論文集、第 277 号
- 6) 井上稔康・杉江豊・武田敦・佐藤浩一；斜橋の桁倒れによるそり応力、土木学会第 48 回年次学術講演会
- 7) 井上稔康・杉江豊・武田敦・佐藤浩一；斜橋の骨組み形状とねじり応力、土木学会北海道支部、第 50 号