

鋼 I 桁橋の横ねじれ座屈に対する実用的設計法の一提案

(株)横河ブリッジ 正会員 尾下 里治¹
 (株)横河ブリッジ 正会員 ○水口 知樹¹
 (株)横河技術情報 正会員 江川 定利²

1. はじめに

道路橋示方書¹⁾では、曲げを受ける鋼I桁の横ねじれ座屈に対する設計は、対傾構や横桁の間隔を固定点距離として規定される許容曲げ圧縮応力度を拠り所としている。しかし、床版コンクリートが硬化する前の細長い2主桁橋では、橋桁全体が横ねじれ座屈する危険性がある²⁾。一方、最近の合理化橋のような横構の省略、および簡素な横桁の場合は、横桁間隔が主桁の固定点としての機能を果たさなくなる恐れもある。

本文では、一般性のある骨組構造による薄肉断面はりの横ねじれ座屈解析から、これらの問題に対する実用的な設計法を提案する。

2. 横ねじれ座屈解析を用いた鋼I桁の座屈設計法

薄肉断面はりからなる骨組構造の弾性座屈解析を行い横ねじれ座屈に対する弾性座屈曲げモーメントを算出して、これから道路橋示方書で規定している座屈有効長さを誘導する。この後は、通常の許容曲げ圧縮応力度に基づく設計を行うものである。

道路橋示方書の横ねじれ座屈に対する基準耐力曲線を設定する際には、実用の桁形状を想定して St. Venant のねじりを省略した形で座屈パラメーターが設定されており³⁾、座屈有効長さは次式で求められる。

$$\ell_i = \pi \sqrt{\frac{E}{M_{cri}}} \sqrt{I_{zi} C_{wi}} \quad (1)$$

ℓ_i : 断面 i の座屈有効長さ, E : 鋼材のヤング率

M_{cri} : 断面 i の弾性座屈曲げモーメント

I_{zi} : 断面 i の面外断面 2 次モーメント

C_{wi} : 断面 i のそりねじり定数

実際の構造物は等断面でなく、生じる曲げモーメントも部位ごとに变化するが、すべての部材に対して式(1)を適用して道路橋示方書による許容曲げ圧縮応力度を算出して、作用圧縮応力度よりも大きいことを照査すればよい。

ただし、通常の骨組構造と異なり、薄肉断面はりを用いて横ねじれ座屈解析を行う上で次の 2 点に注意す

る必要がある。

a) 荷重載荷位置の考慮

通常、骨組軸線は部材の図心位置となっているが、床版自重のように荷重載荷位置が図心位置と異なる場合は、図-1 に示すように剛棒を介してその偏心量 e だけ高さ方向にずれた位置に、新たに載荷用節点を追加する必要がある。

b) 主桁と横桁との結合条件の考慮

a)と同様、図-1 に示すように、主桁と横桁の両要素間に結合条件を適切に評価した回転ばね要素（橋軸回りと鉛直軸回り）を挿入する必要がある。鉛直軸回りの回転バネ定数 $K_{\theta z}$ については、文献 4)に算出方法が示されている。橋軸回りの回転バネ定数 $K_{\theta x}$ については、垂直補剛材と有効幅を考慮した主桁腹板とで構成された T 形断面が主桁上下フランジで単純支持されると仮定して算出する。

3. 骨組構造の横ねじれ座屈解析の精度確認

2章で示した薄肉断面はりの骨組構造による横ねじれ座屈解析の精度について、横ねじれ座屈が問題となる L/B (支間長 / 主桁間隔) が大きな 2 主桁橋を例にとり、FEM による弾性座屈解析結果と比較することでその解析精度を確認する。解析対象モデルは、主桁に圧延 I 形鋼 (I-100 × 50 × 5 × 7, 材質 SS400) を用いた単純 2 主並列桁で、横桁に丸鋼 $\phi 22$ を用いている試験桁である。断面の諸元を表-1, および表-2 に示す。

骨組構造と FEM による弾性座屈固有値解析結果から、座屈モード図を図-2 に示す。図-2 より、両者とも全体横ねじれ座屈を起こしており、モード形状もよく一致していることがわかる。構造諸元をさまざまに変化させたその他のモデルについても同様の結果を得られた。

4. 実験の耐力力との比較による座屈設計法の検証

ここでは、2章で提案した座屈設計法の妥当性について、既往の実験による耐力力との比較を行うことで検証する。参考にしたのは、3章においても一部引用した文献 5)によるもので、パラメーターを種々に変化させた 36 体もの 2 主並列桁および単桁の実験結果である。

キーワード 横ねじれ座屈, 座屈固有値解析, 骨組構造, 鋼橋, I 桁, 設計

連絡先 1 〒273-0026 千葉県船橋市山野町 27 番地 横河テクノビル T E L 047-435-6161

2 〒273-0026 千葉県船橋市山野町 47 番地 1 号 横河第 2 テクノビル T E L 047-435-6115

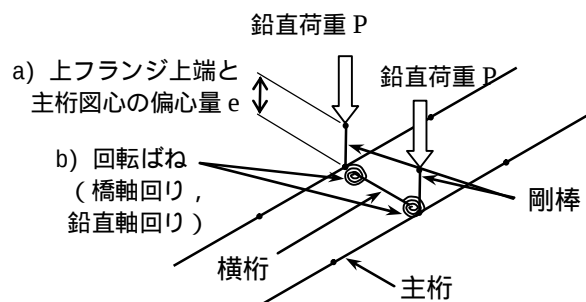


図-1 骨組構造のモデル化の注意点

表-1 部材の断面諸元

	主桁 (I-100 × 50 × 5 × 7)	横桁 (丸鋼φ 22)
A (cm ²)	11.30	3.801
Iz (cm ⁴)	14.67	1.150
Iy (cm ⁴)	178.1	1.150
J (cm ⁴)	1.502	2.300
Cw (cm ⁶)	315.3	- -

表-2 回転ばねの剛性

	回転ばね定数 (Nmm/rad)
鉛直軸回り $K_{\theta z}$	8.393×10^6
橋軸回り $K_{\theta x}$	1.037×10^7

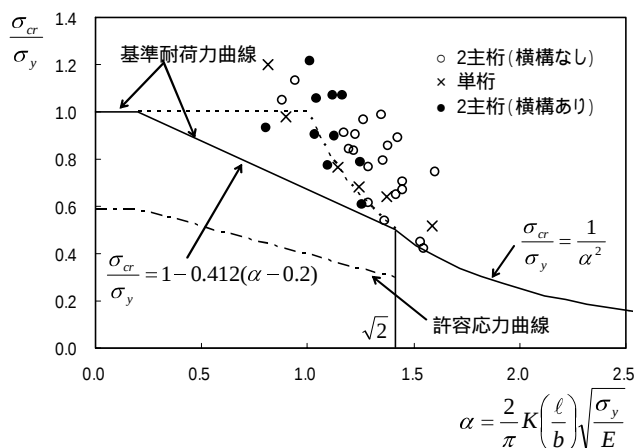


図-3 道示・基準耐荷力曲線と実験結果

各供試体について、解析で得られた横ねじれ座屈に関するパラメーター α を横軸にとり、それに対応する実験結果による σ_{cr}/σ_y をプロットすると、図-3 が得られる。ここで、

$$\alpha = \frac{2}{\pi} K \left(\frac{\ell}{b} \right) \sqrt{\frac{\sigma_y}{E}} \quad (2) \quad K = \sqrt{3 + \frac{A_w}{2A_c}} \quad (3)$$

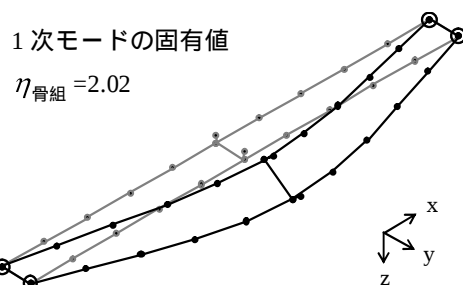
ℓ : 座屈有効長さ, b : 圧縮側フランジ幅

σ_y : 引張試験による降伏点

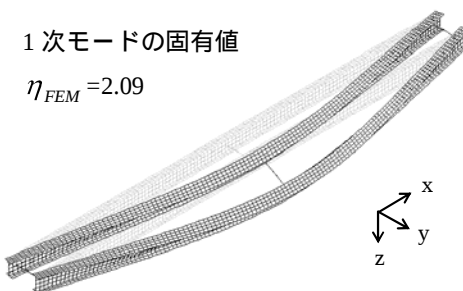
E : 引張試験によるヤング率

A_w : 腹板断面積, A_c : 圧縮側フランジ断面積

σ_{cr} : 実験による終局限界時の作用応力



(a) 骨組構造



(b) FEM

図-2 座屈モード図

道路橋示方書では $A_w/A_c \leq 2$ では、 $K = 2$ としているが、ここでは文献 3) に従い、式(3)の値のままとした。図-3 には、道路橋示方書で規定されている基準耐荷力曲線を示しているが、これに対して実験結果はかなりのばらつきがあるものの、すべて上回ったものとなっている。よって、本提案法によれば、全体横ねじれ座屈を起こすような形態の並列桁橋でも、横桁や横構などの影響も考慮して安全な座屈設計が可能となることがわかる。

5. まとめ

提案した設計法について、FEM による弾性座屈解析結果との比較、および試験桁の耐荷力との比較によって問題ないことを確認した。

謝辞：本研究をまとめるに当たり、福山大学福本昶士教授より貴重な御助言を賜った。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) (社)日本道路協会：道路橋示方書 鋼橋編，2002.3.
- 2) 建設省土木研究所：土木研究所資料第 1795 号，プレートガード側道橋の全体横倒れ座屈に関する検討（その 1），1982.2.
- 3) 福本昶士：プレート・ガードのフランジの曲げ圧縮強度 - 道路橋示方書許容曲げ圧縮応力度規定の背景 -，橋梁と基礎，pp.1-6，1972.8.
- 4) 小松定夫・西村宣男・大野正人：横桁で連結された 2 主桁橋の全体横倒れ座屈特性と補剛設計法，土木学会論文報告集，第 329 号，pp.69-79，1983.1.
- 5) 西田進・福本昶士：細長い 2 主並列桁の全体横倒れ座屈実験と座屈設計に関する検討，橋梁と基礎，pp.29-35，1989.5.