

垂直局部荷重を受ける腹板の座屈安全性照査に関する一考察

大日本コンサルタント 正会員 ○平山 博
 首都大学東京 フェロー会員 野上邦栄
 信州大学 正会員 清水 茂

1. はじめに

鋼桁橋を手延式送出し工法によって架設する場合には、送出し装置上の腹板に生じる垂直反力のほかに、曲げモーメント、せん断力などの組合せ断面力作用を考慮して、腹板座屈および局所崩壊(クリップリング)に対して安全性を確保する必要がある。現在、垂直局部荷重を受ける腹板の座屈安全性照査は、日本道路協会刊行の鋼道路橋施工便覧¹⁾(以下、「便覧」)や土木学会刊行の鋼構造架設設計施工指針²⁾(以下、「指針」)、鋼構造物の終局強度と設計³⁾(以下、「設計」)およびドイツのDASt指針012⁴⁾などに準拠して実施されている。

本文では、国内における垂直局部荷重を受ける腹板の座屈安全性照査式の特徴と相違点を整理し、送出し架設時の腹板パネルを対象に上記3つの手法によって座屈安全率を試算比較した結果について報告する。

なお、本研究は、(社)日本橋梁建設協会 H22 年度研究助成テーマの中間報告の一部である。

2. 垂直局部荷重を受ける腹板の座屈安全性照査の手法

(1) 座屈安全性照査式の概要

「便覧」、「指針」、「設計」で規定されている垂直局部荷重を受ける腹板の座屈安全性照査式を式(1)～(3)に、また各照査式で仮定している腹板パネルの応力状態を図-1～3に示す。

$$\left(\frac{\sigma_{xb}}{\sigma_{xbcr}}\right)^2 F_s^2 + \left(\frac{\pm \sigma_{xc}}{\sigma_{xCCR}}\right) F_s + \left(\frac{\gamma \sigma_{yc}}{\sigma_{yCCR}}\right)^2 F_s^2 + \left(\frac{\gamma \tau}{\tau_{cr}}\right)^2 F_s^2 \leq 1.0 \quad \text{式(1)}$$

$$F_s \left\{ \left(\frac{\sigma_{bc}}{\sigma_{bcrc}}\right)^2 + \left(\frac{\tau}{\tau_{cre}}\right) + \left(\frac{\sigma_p}{\sigma_{pcre}}\right) \right\} \leq 1.0 \quad \text{式(2)}$$

$$F_s \left\{ \sqrt{\left(\frac{\sigma_p}{\sigma_{pu}}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_c}{\sigma_{cu}}\right)^2} + \left(\frac{\sigma_b}{\sigma_{bu}}\right)^2 + \left(\frac{\tau}{\tau_u}\right)^2 \right\} \leq 1.0 \quad \text{式(3)}$$

ここに、 F_s ：合成座屈安全率

σ_{xb} , σ_b ：純曲げによる腹板の応力度

σ_{xc} , σ_c ：純圧縮力(水平方向の軸力)による腹板の応力度

σ_{bc} ：曲げ圧縮による腹板の応力度

σ_{yc} , σ_p ：垂直方向の局部荷重による腹板の応力度

τ ：腹板のせん断応力度

σ_{xbcr} , σ_{bu} ：純曲げを受けるパネルの座屈強度

σ_{xCCR} , σ_{cu} ：一様圧縮を受けるパネルの座屈強度

σ_{bcrc} ：曲げ圧縮を受けるパネルの弾性座屈応力度

σ_{yCCR} , σ_{pu} ：垂直方向の局部応力を受けるパネルの座屈強度

σ_{pcre} ：垂直方向の局部応力を受けるパネルの弾性座屈応力度

τ_{cr} , τ_u ：せん断を受けるパネルの座屈強度

τ_{cre} ：せん断を受けるパネルの弾性座屈応力度

γ ：不均等荷重による割増係数

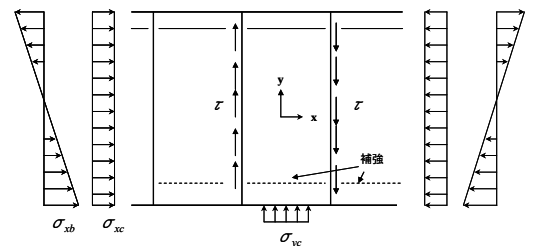


図-1 「便覧」式(1)での応力状態

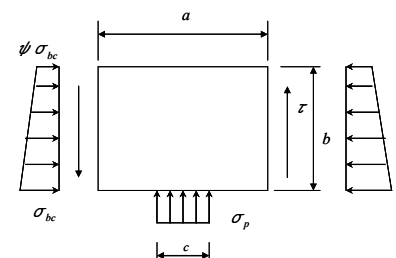


図-2 「指針」式(2)での応力状態

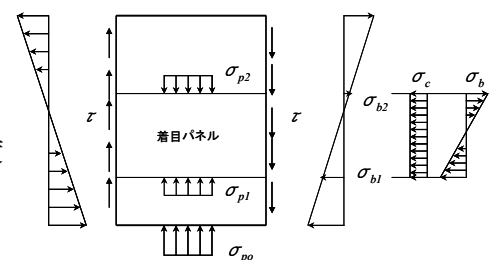


図-3 「設計」式(3)での応力状態

キーワード：鋼桁橋、送出し工法、垂直局部荷重、局所崩壊、クリップリング、座屈安全性照査

連絡先：〒170-0003 東京都豊島区駒込 3-23-1 TEL:03-5394-7604, FAX:03-5394-7606

(2) 座屈安全性照査式の主な相違点

- 「便覧」, 「指針」, 「設計」における座屈安全性照査式の主な相違点を以下に示す.
- a) 強度相関式: 式(1)と(3)は曲げ応力を純曲げと一様圧縮の成分に分け, これらにせん断と垂直局部圧縮を加えた4成分の相関で与えているのに対して, 式(2)は曲げ応力を分離せず, せん断と垂直局部圧縮の3成分の相関で与えている. また, 作用応力度と座屈強度の比で表された各項の次数は, 式ごとに異なる.
 - b) 安全率の適用方法: 式(1)では合成座屈安全率 F_s を強度相関式の2次および1次の成分項にそれぞれ対応して乗じているのに対して, 式(2)と(3)では F_s を相関式全体に乗じている.
 - c) 座屈強度の算定方法: 式(1)と(3)の各項の分母は, 各荷重が単独で作用するときの平板の終局強度であるのに対して, 式(2)では弾性座屈応力度をそのまま用いている.

3. 垂直局部荷重を受ける腹板の座屈安全率の算出結果

図-4に示す2ケースの箱桁腹板の着目パネル⁵⁾を対象に, 前述の3手法を用いて算出した合成座屈安全率の比較結果を表-1に示す. ここで, 腹板の材質はSM490Y(降伏応力 355N/mm^2)であり, 作用断面力は曲げモーメントが $-23644\text{kN}\cdot\text{m}$, せん断力が 496kN , 垂直反力が 987kN である. また, 不均等荷重による割増係数は, 3手法ともにせん断力と垂直反力に乗じるものとし, $\gamma=1.2$ とした.

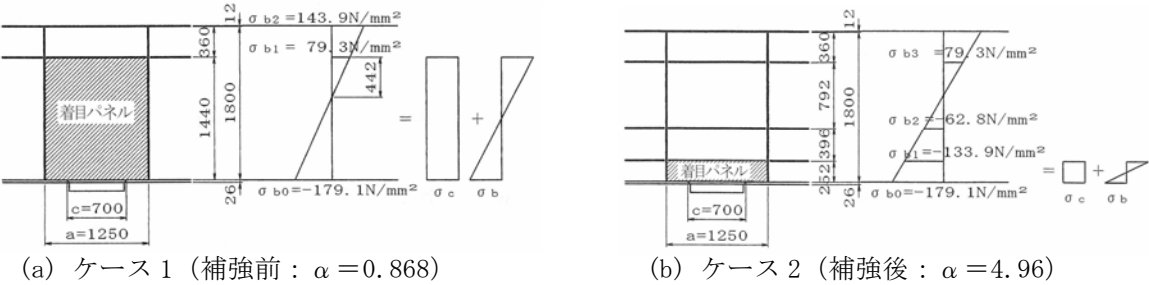


図-4 試算対象パネルの条件と腹板の応力状態

表-1 腹板パネルの座屈安全率の算出結果一覧

		ケース1(補強前: $\alpha=0.868$)			ケース2(補強後: $\alpha=4.96$)		
		便覧	指針	設計	便覧	指針	設計
純曲げ (曲げ圧縮) による	作用応力度(N/mm^2)	-129.2 (1.00)	-179.1 (---)	-129.2 (1.00)	-22.6 (1.00)	-179.1 (7.92)	-22.6 (1.00)
	座屈係数	23.9 (1.00)	12.5 (---)	23.9 (1.00)	23.9 (1.00)	4.5 (0.19)	23.9 (1.00)
	座屈強度(N/mm^2)	150.0 (1.00)	156.4 (---)	278.8 (1.86)	355.0 (1.00)	355.0 (1.00)	326.6 (0.92)
純圧縮 による	作用応力度(N/mm^2)	-49.9 (1.00)	----- (---)	-49.9 (1.00)	-156.5 (1.00)	----- (---)	-156.5 (1.00)
	座屈係数	4.1 (1.00)	----- (---)	4.1 (1.00)	4.0 (1.00)	----- (---)	4.0 (1.00)
	座屈強度(N/mm^2)	25.6 (1.00)	----- (---)	103.3 (4.03)	355.0 (1.00)	----- (---)	326.6 (0.92)
せん断 による	作用応力度(N/mm^2)	22.9 (1.00)	22.9 (1.00)	22.9 (1.00)	22.9 (1.00)	22.9 (1.00)	22.9 (1.00)
	座屈係数	11.1 (1.00)	11.1 (1.00)	11.1 (1.00)	5.5 (1.00)	5.5 (1.00)	5.5 (1.00)
	座屈強度(N/mm^2)	69.6 (1.00)	139.2 (2.00)	137.4 (1.97)	205.0 (1.00)	205.0 (1.0)	188.6 (0.92)
垂直反力 による	作用応力度(N/mm^2)	98.0 (1.00)	117.5 (1.20)	117.5 (1.20)	98.0 (1.00)	117.5 (1.20)	117.5 (1.20)
	座屈係数	5.4 (1.00)	9.3 (1.74)	8.9 (1.66)	1.1 (1.00)	2.0 (1.90)	1.4 (1.28)
	座屈強度(N/mm^2)	33.6 (1.00)	117.3 (3.49)	141.0 (4.19)	218.6 (1.00)	355.0 (1.62)	268.6 (1.23)
合成座屈安全率 F_s		0.21 (1.00)	0.37 (1.74)	0.73 (3.46)	1.22 (1.00)	1.27 (1.04)	1.36 (1.11)

表-1の算出結果より, 3手法の主な相違点を以下にまとめる.

- (1) 垂直方向の局部応力に対する座屈係数は, 「便覧」では図上読取りまたは文献4)から求めてよいことが記載されているため, 文献4)を用いて算出したが, 「便覧」による値は他の手法に比べて小さくなる.
- (2) 座屈強度は, 「便覧」では塑性進展による強度低下を考慮して弾性座屈応力度を一律0.5倍しているため, 「便覧」による座屈強度は他の手法に比べて小さくなる.
- (3) 合成座屈安全率 F_s の値は, 両ケースともに, 「便覧」, 「指針」, 「設計」の順に大きくなる. 所要安全率1.36を満足しないため水平補剛材の設置によって, つまり, アスペクト比 α が大きくなるに従って, 3手法による F_s の値の差は縮まる傾向にある.

【参考文献】1) 日本道路協会: 鋼道路橋施工便覧, 丸善, 1985. 2) 土木学会: 鋼構造架設設計施工指針, 2001. 3) 土木学会: 鋼構造物の終局強度と設計, 1994. 4) DAST-Richtlinie 012, Beulsicherheitsnachweise für Platten, Deutscher Ausschuss für Staubau, 1978. 5) 日本橋梁建設協会: 工法別架設計算例題集シリーズ(2) 送出し工法, 2009.