

鉛直局部荷重を受ける腹板の座屈安全性照査に関する一提案

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

現在、送出し装置上の鉛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DAS⁴⁾指針012⁴⁾などに準拠して実施されている。しかし、各基準の腹板座屈照査式には相違点が存在しており、式の統一化を図ることにより、架設時の安全照査が容易になり、より経済的な送出し架設を可能にすることが求められている。

本研究では、代表的橋梁形式を対象にして送出し架設時の腹板パネルの座屈安全率を国内の各基準類を用いて試算し、その比較結果のもと、鉛直局部荷重を受ける腹板の座屈安全性照査方法の一提案を試みる。

2. 鉛直局部荷重を受ける腹板の座屈安全性照査式

「便覧」に規定されている鉛直局部荷重を受ける腹板の座屈安全性照査式を式(1)に示す。

$$\left(\frac{\sigma_{xb}}{\sigma_{xbcr}}\right)^2 F_s^2 + \left(\frac{\pm \sigma_{xc}}{\sigma_{xcrcr}}\right) F_s + \left(\frac{\gamma \sigma_{yc}}{\sigma_{ycrcr}}\right)^2 F_s^2 + \left(\frac{\gamma \tau}{\tau_{cr}}\right)^2 F_s^2 \leq 1.0$$

式(1)

ここに、 F_s ：合成座屈安全率、 σ_{xb} ：純曲げ応力度、 σ_{xc} ：純圧縮応力度、 σ_{yc} ：鉛直局部圧縮応力度、 τ ：せん断応力度、 σ_{xbcr} ：純曲げによる座屈強度、 σ_{xcrcr} ：純圧縮力による座屈強度、 σ_{ycrcr} ：鉛直局部圧縮力による座屈強度、 τ_{cr} ：せん断座屈強度、 γ ：不均等荷重による割増係数

3. 鉛直局部荷重を受ける腹板の座屈安全率の試算結果

表-1に諸元を示す箱桁⁵⁾、I桁²⁾および合理化桁の補強前後の腹板パネル全6ケースを対象に、国内の3手法^{1)~3)}を用いて算出した合成座屈安全率の比較結果を表-2に示す。ここで、不均等荷重による割増係数 γ は、3手法ともにせん断力と鉛直反力に乘じるものとし、 $\gamma=1.2$ とした。

表-2によれば、「便覧」による座屈安全率 F_s は全ケースにおいて他の手法に比べて最も小さく、また補強後においても所要安全率(=1.36)を確保できていない。この主な理由として、以下が考えられる。

- ①「便覧」における鉛直局部圧縮力による座屈係数は、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、他の手法に比べて小さい。
- ②「便覧」における座屈強度は、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、他の手法に比べて小さい。

4. 鉛直局部荷重を受ける腹板の座屈安全性照査方法に関する一提案

(1) 座屈照査方法の変更点

3.の比較結果をもとに、「便覧」により算出された座屈安全率の改善を試みる。座屈安全性照査式は式(1)のままで、座屈係数や座屈強度の算出式を変更した以下の2つの方法を提案する。

① 提案1：「便覧」における鉛直局部応力に対する座屈係数 k_p の算出には、図上読取りまたは文献4)を用い

キーワード：鋼桁橋、送出し工法、鉛直局部荷重、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

表-2 腹板パネルの座屈安全率の算出結果一覧

		箱桁 ⁵⁾								I桁 ²⁾								合理化桁							
		補強前				補強後				補強前				補強後				補強前				補強後			
		便覧	指針	設計	提案2	便覧	指針	設計	提案2	便覧	指針	設計	提案2	便覧	指針	設計	提案2	便覧	指針	設計	提案2	便覧	指針	設計	提案2
純曲げ (曲げ圧縮) による	作用応力度(N/mm ²)	-129	-179	-129	-129	-23	-179	-23	-23	-40	-63	-40	-40	-9	-63	-9	-9	-40	-36	-40	-40	-8	-36	-8	-8
	座屈係数	23.9	12.5	23.9	23.9	23.9	4.5	23.9	23.9	23.9	10.2	23.9	23.9	23.9	4.6	23.9	23.9	23.9	29.3	23.9	23.9	23.9	5.1	23.9	23.9
	座屈強度(N/mm ²)	150	156	279	304	355	355	327	323	97	82	183	199	235	235	216	214	129	315	302	334	450	450	414	409
純圧縮 による	作用応力度(N/mm ²)	-50	---	-50	-50	-156	---	-156	-156	-23	---	-23	-23	-54	---	-54	-54	3	---	3	3	-28	---	-28	-28
	座屈係数	4.1	---	4.1	4.1	4.0	---	4.0	4.0	4.0	---	4.0	4.0	4.0	---	4.0	4.0	4.0	---	4.0	4.0	4.0	---	4.0	4.0
	座屈強度(N/mm ²)	26	---	103	103	355	---	327	323	16	---	67	67	235	---	216	214	22	---	111	110	450	---	403	409
せん断 による	作用応力度(N/mm ²)	23	23	23	23	23	23	23	23	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
	座屈係数	11.1	11.1	11.1	11.1	5.5	5.5	5.5	5.5	9.4	9.4	9.4	9.4	5.5	5.5	5.5	5.5	6.4	6.4	6.4	6.4	5.4	5.4	5.4	5.4
	座屈強度(N/mm ²)	70	139	137	162	205	205	189	203	38	76	88	104	136	136	132	134	35	69	150	177	260	260	244	257
鉛直 局部圧縮 による	作用応力度(N/mm ²)	98	117	117	117	98	117	117	117	56	78	78	78	56	78	78	78	60	77	77	77	60	77	77	77
	座屈係数	5.4	9.3	8.9	8.9	1.1	2.0	1.4	1.4	3.6	15.1	13.2	13.2	0.7	3.4	2.3	2.3	1.3	17.8	17.8	17.8	0.3	4.1	2.8	2.8
	座屈強度(N/mm ²)	34	117	141	153	219	355	269	291	14	122	108	117	59	235	181	196	7	191	202	219	34	450	352	380
合成座屈安全率		現式								現式								現式							
$F_s(\geq 1.36)$		(0.29)								(0.46)								(1.08)							
提案1)		(1.39)								(2.06)								(4.45)							

ずに、理論解として明確にされている以下の「設計」の式を適用する。

$$k_p = \left\{ 0.8 + \frac{2.4}{(a/b)^2} \right\} \left(\frac{c}{a} + \frac{a}{c} \right) \eta_p \quad \text{式(2)}$$

ここに、 a ：固定縁端距離、 b ：着目パネルの板幅、 c ：腹板下縁の局部荷重の載荷幅

$$\eta_p = \frac{\varphi_p^2 + 3\varphi_p + 1}{(1 + \varphi_p)^3}, \quad \varphi_p = \frac{\sigma_{p2}}{\sigma_{p1}} = \frac{d - d_2}{d - d_1}, \quad \sigma_{p1}, \sigma_{p2} : \text{着目パネルの下辺および上辺の応力度}$$

- ② 提案2：提案1に加え、「便覧」における各作用に対する腹板の座屈強度の算出には、文献6)に示された下式を適用する。なお、「設計」における座屈強度式は、せん断強度に不連続性があるため適用を控えた。また、「便覧」における腹板の鉛直局部圧縮応力度は、下フランジの剛性を考慮した方法で算出しているため、他の手法に比べて小さな値となっている。そこで、より安全側の「設計」の式を適用する。

・純曲げによる座屈強度： σ_{xber}

・純圧縮力による座屈強度： σ_{xcer}

$$\sigma_{xber} = \begin{cases} \frac{f_{yd}}{\gamma_b} & (R \leq 1.0) \\ \left(\frac{1.0}{R} \right)^{0.72} \frac{f_{yd}}{\gamma_b} & (R > 1.0) \end{cases} \quad \text{式(3)}$$

$$\sigma_{xcer} = \begin{cases} \frac{f_{yd}}{\gamma_b} & (R_c \leq 0.7) \\ \left(\frac{0.7}{R} \right)^{0.86} \frac{f_{yd}}{\gamma_b} & (R_c > 0.7) \end{cases} \quad \text{式(4)}$$

・せん断座屈強度： τ_{cr}

・鉛直局部圧縮力による座屈強度： σ_{ycer}

$$\tau_{cr} = \begin{cases} \frac{f_{vyd}}{\gamma_b} & (R_\tau \leq 0.6) \\ \left(\frac{0.6}{R_\tau} \right)^{0.32} \frac{f_{vyd}}{\gamma_b} & (R_\tau > 0.6) \end{cases} \quad \text{式(5)}$$

$$\sigma_{ycer} = \begin{cases} \frac{f_{yd}}{\gamma_b} & (R \leq 0.7) \\ \left(\frac{0.7}{R} \right)^{0.80} \frac{f_{yd}}{\gamma_b} & (R > 0.7) \end{cases} \quad \text{式(6)}$$

ここに、 f_{yd} ：設計降伏強度、 f_{vyd} ：せん断基準強度、 R ：幅厚比パラメータ、 γ_b ：部材係数 (=1.1)

(2) 提案手法による座屈安全率の試算結果

提案1と提案2の手法を用いて算出した合成座屈安全率の比較結果(表-2 参照)より、以下の事が言える。

- ① 提案1：「便覧」における鉛直局部圧縮力による座屈係数の算出式を変更するだけで、座屈安全率が改善され、補強後においては全ケースともに所要安全率を確保することができた。
- ② 提案2：この手法により算出した座屈安全率は、「設計」による値とほぼ同等の値を確保できる。

謝辞：本研究は、(社)日本橋梁建設協会研究助成テーマ「腹板座屈照査式および方法の統一化」に関する首都大学東京と信州大学の共同研究の一環として実施したものである。

- 【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. 6) 土木学会：鋼・合成構造標準示方書 総則編・構造計画編・設計編，2007.