

技術短信

腹板座屈照査式および方法の統一化に向けて 鋼桁を送出し架設する際の照査法の比較と提案

1 送出し架設の腹板座屈照査の現状と研究目的

送出し架設における腹板の座屈安全性照査は、[2]に示す基準類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方法には相違点があり、架設時の安全照査が容易、かつ経済的な送出し架設をするために照査式や方法の統一化が求められている。そこで、代表的な橋梁形式を対象に架設時の腹板パネルの座屈安全率を各基準により試算し、その比較結果を基に、腹板の座屈安全性照査方法の提案を行う。

2 代表的な基準類の座屈安全性照査方法

- (1) 鋼道路橋施工便覧¹⁾ (以下、*便覧*) (1985): 日本道路協会
- (2) 鋼構造架設設計施工指針²⁾ (以下、*指針*) (2001): 土木学会
- (3) 鋼構造の終局強度と設計³⁾ (以下、*設計*) (1994): 土木学会
- (4) 鋼・合成構造標準示方書 (以下、*示方書*) (2007): 土木学会
- (5) DAST指針012⁴⁾ (1978) (以下、*DAST*): ドイツ鋼構造委員会
- (6) DIN18800 Part3 (1988) (以下、*DIN*): ドイツ鋼構造委員会

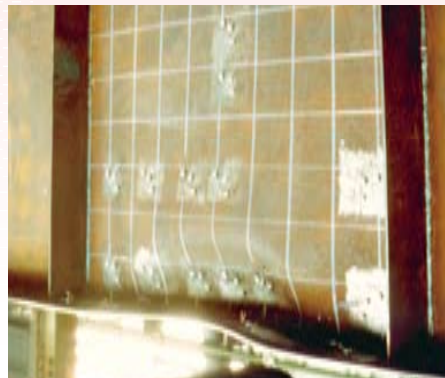


写真-1 腹板座屈状況
 (信州大学での実験後)

3 腹板の座屈安全性照査式の1例

現行の *便覧* の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。

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

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し係数

4 腹板の座屈安全率の試算

表-1に示す箱桁⁵⁾、I桁²⁾および少数2主I桁(以下、合理化桁と呼ぶ)の補強前後の腹板パネル全6ケースを対象に、国内の三手法^{1)~3)}を用いて試算した合成座屈安全率を図-1に示す。不均等荷重による割増し係数は、三手法共にせん断力と鉛直反力に $\gamma = 1.2$ を乗じるものとした。

図-1の結果から、*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を確保できていない。この理由は、*便覧* における鉛直局部圧縮力による座屈係数は、*DAST* を用いて算出しているが他の手法に比べて小さいことや、*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倍しているためである。したがって、現行の *便覧* の計算方法に対して改善の提案を行う。

表-1 試算対象の腹板パネルの断面諸元

断面諸元	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	
材質	SM490Y		SM400		SM570		
腹板	高さ (mm)	1800	2100		2851		
	板厚 (mm)	12	9		22		
パネル	幅 (mm)	1250	1341		5464		
	高さ	1440	252	1344	294	2851	570
	アスペクト比	0.868	4.960	0.998	4.561	1.917	9.586
反力受	幅 (mm)	700		300		450	
降伏応力度 (N/mm ²)	355		235		450		
オーバー座屈応力 (N/mm ²)	12.55	409.9	8.11	169.4	10.76	269.3	

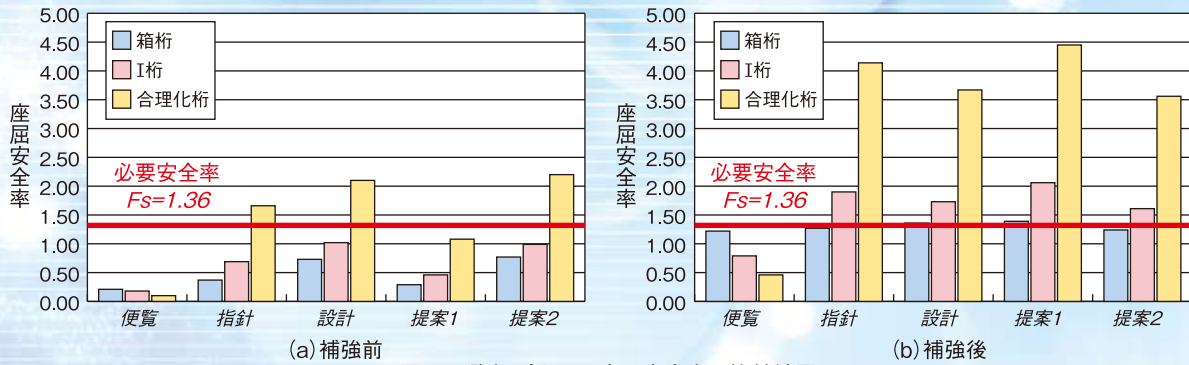


図-1 腹板パネルの座屈安全率の比較結果

5 腹板の座屈安全性照査方法に関する提案

座屈照査方法の変更点: 結果を比較すると 便覧の座屈安全率はかなり小さくなるため改善案として、座屈安全性照査式(1)を用いるけれども、座屈係数や座屈強度の算出式に、以下の2点の変更を提案する。

提案1 便覧の鉛直局部圧縮力に対する座屈係数 k_p の算出に、理論解として明確な設計の式(2)を適用する。

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

$$\eta_p = \frac{\phi_p^2 + 3\phi_p + 1}{(1 + \phi_p)^3} \dots \text{式(2a)}$$

$$\phi_p = \frac{\sigma_{p2}}{\sigma_{p1}} = \frac{d - d_2}{d - d_1} \dots \text{式(2b)}$$

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, σ_{p1}, σ_{p2} :各着目パネルの下辺および上辺の応力度

提案2 便覧の各作用に対する腹板の座屈強度の算出に、示方書の式(3)などを適用する。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ない設計の式(4)を適用する。

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

$$\sigma_{p1} = \sigma_{p0} \left(1 - \frac{d_1}{d} \right) = \frac{P}{ct} \left(1 - \frac{d_1}{d} \right) \dots \text{式(4)}$$

$$\sigma_{p2} = \sigma_{p0} \left(1 - \frac{d_2}{d} \right) = \frac{P}{ct} \left(1 - \frac{d_2}{d} \right)$$

σ_{xber} : 純曲げによる座屈強度, f_{yd} : 設計降伏強度, γ_b : 部材係数($\gamma_b=1.1$), R_b : 幅厚比パラメータ,
 σ_{p0} : 腹板下縁の鉛直方向の応力度, d : 腹板高, d_1, d_2 : 載荷辺から着目パネルの下辺および上辺までの距離, P : 支点反力,
 c : 載荷幅, t : 腹板厚

6 提案手法による座屈安全率の試算結果

提案1にて、便覧の座屈係数の算出式を変更することで図-1に示すように座屈安全率が改善され、図-1(b)の補強後には全ケースとも合成座屈安全率 $F_s (\geq 1.36)$ を確保できた。また、提案2により算出した座屈安全率は、図-1の設計による値とほぼ同等の値を確保できる。なお、設計における座屈強度式は、せん断強度の不連続性や照査式の不均等係数 γ の欠落を改正して、新指針2012年版で採用されている。本提案により、送出し架設時の安全照査が容易かつ経済的に行うことが可能である。

7 座屈安全率の検証

箱桁, I桁における補強前の腹板パネルに別解法(相関式を用いない照査法)⁶⁾と固有値解析を用いて算出した結果を表-2に示す。これら2方法による座屈強度は実橋に近いと考えられるが、いずれも各基準よりも安全側の大きい値であり、本提案の値が安全側であることを示している。

表-2 各基準、別解法および固有値解析における座屈安全率の検証(補強前)

		(1) 便覧	(2) 指針	(3) 設計	提案1	提案2	(5) DAST	(6) DIN	別解法 相関式を用いない 照査法 (曲げ考慮)	別解法 相関式を用いない 照査法 (考慮せず)	固有値解析 FEM (腹板)
箱桁	座屈強度(N/mm ²)	33.6	117.3	141	56	148.7	106.8	143.6	121.05	182.04	177.5
	合成座屈安全率	0.21	0.37	0.73	0.29	0.77	0.41	0.53	1.03	1.55	1.51
I桁	座屈強度(N/mm ²)	14.4	122.2	108.5	48.9	105.3	103.8	76.9	88.93	111.81	131.04
	合成座屈安全率	0.18	0.69	1.02	0.46	0.99	0.61	0.59	1.14	1.44	1.68

≒新指針 =本提案 <別解法 <FEM固有値解析

【参考文献】1) 日本道路協会：鋼道路橋施工便覧, 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：工法別架設設計算例題集シリーズ(2)送出し工法, 2009. 6) 清水 茂, 吉田 薫：送り支承上の腹板の座屈係数推定式, 鋼構造論文集, 第6巻第2号, pp111-122, 1999.