

I-67 曲線 I 形桁の曲げ耐荷力算定法について

五洋建設(株) 正員 ○中岡智昭
 広島大学 正員 藤井 堅
 広島大学 正員 藤枝洋二

1. まえがき プレートガーダーの曲げ耐荷力算定式のほとんどは直線桁に関するものであり、曲線桁に関しては見あたらないようである。直線桁は曲線桁の特別な場合、つまり曲率半径が $Rw=\infty$ の桁であるという観点に立てば、直線桁と曲線桁を個別に扱うことは必ずしも合理的でないと考えられる。そこで、西村ら¹⁾の提案する強度設計法に準拠し、直線および曲線プレートガーダーに適用できる曲げ耐荷力算定式を提案するとともに、過去に行われた実験結果と比較した。

2. 曲げ耐荷力算定法 曲げ耐荷力算定式を提案するにあたって、西村ら¹⁾の提案する構造区分の考え方を導入し、直線桁の曲げ耐荷力算定式を統一的に曲線桁にも適用できるように拡張した。

(1) フランジの極限強度式

$$\frac{P_u}{P_y^*} = \begin{cases} 1.0 & \bar{\lambda}_{pf} \leq 0.7 \\ (0.7/\bar{\lambda}_{pf})^{0.64} & 0.7 < \bar{\lambda}_{pf} \end{cases} \quad (1)$$

ここに、 $\bar{\lambda}_{pf} = \frac{b}{t_f} \sqrt{\frac{12(1-\xi)(1-\nu^2)}{k_f \pi^2} \frac{\sigma_{yf}}{E}}$, Rw : 腹板の曲率半径
 $k_f = 0.425 \{1 - 16.3(M_f/Pb)(b/Rw)\}$, b : 圧縮フランジ半幅
 $\xi = 1 + |\lambda| - \sqrt{1 + \lambda^2}$, t_f : 圧縮フランジ板厚
 $\lambda = M_f/Pb$, P : 桁の曲げによるフランジ圧縮軸力
 $P_y^* = 2(1-\xi)b t_f \sigma_{yf}$, P_y^* : 反り応力を考慮した降伏軸力
 M_f : 曲げねじりに伴うフランジ面内の曲げモーメント

(2) 腹板の極限強度式

$$\frac{\sigma_{uw}}{\sigma_{yw}} = \begin{cases} 1.0/\alpha & \bar{\lambda}_{pw} \leq 1.0 \\ (1.0/\bar{\lambda}_{pw})^{0.72}/\alpha & 1.0 < \bar{\lambda}_{pw} \end{cases} \quad (2)$$

ここに、 $\bar{\lambda}_{pw} = \frac{h}{t_w} \sqrt{\frac{12(1-\nu^2)}{k_w \pi^2} \frac{\sigma_{yw}}{E}}$, $k_w = 23.9 + 0.28Z$

$$\alpha = \begin{cases} 1 + 0.04Z & Z \leq 30 \\ 1 + 0.04Z - 0.008 \exp \frac{Z}{15} & 30 < Z \leq 50 \end{cases} \quad (3)$$

$$Z = h^2 \sqrt{1-\nu^2} / Rw / t_w$$

ここで、 α は曲率による腹板の応力欠損を考慮するパラメータである。

(3) 曲げ耐荷力算定式

曲線および直線桁の曲げ耐荷力算定式は、式(1)、(2)から得られる P_u 、 σ_{uw} を用いて次式で与える。

$$\frac{M_u}{M_y^*} = \frac{P_u + \sigma_{uw} A_w / 6}{P_y^* + \sigma_{yw} A_w / 6} \quad (4)$$

ここに、 A_f : フランジ断面積、 A_w : 腹板断面積、 σ_{yw} : 腹板の降伏応力度、
 σ_{uw} : 腹板の強度に対応する曲げ応力度で、応力欠損を検討した値
 P_y^* : 反り応力を考慮した降伏軸力、 P_u : フランジの極限強度式から求まる値

これらの式で曲率半径 $Rw=\infty$ とし、反り応力を 0 ($\lambda=0$, $\xi=0$) とすると、西村ら¹⁾が提案する曲げ耐荷力算定式と一致する。したがって、式(4)は曲線桁と直線桁を同時に考慮でき、また両者の整合性がとれたものとなっている。

3. 曲げ耐荷力 過去に行われた曲線桁に関する実験結果と曲げ耐荷力算定式から得られた結果をTable-1に示す。また、Table-1の各値をプロットしたものをFig-1に図示する。Table-1から、実験に用いられた供試体のほとんどが、反り応力を考慮したフランジ降伏モーメント M_{y*} より大きい曲げ耐荷力を与えており、Fig-1に示すようになり安全側にプロットされる結果となる。フランジ降伏モーメントを満足していない供試体については、曲げ耐荷力算定値とかなり良い一致を示していることが分かる。

4. まとめ 直線および曲線プレートガーダーに統一的に適用できる曲げ耐荷力算定式を提案するとともに、曲線桁に関する実験結果と比較検討することで、提案した曲げ耐荷力算定式の精度の検討を行った。しかしながら、比較検討の対象となる曲線桁に関する実験結果は非常に少なく、曲げ耐荷力算定式の精度の検討には十分であるとはいえない。曲線桁の実験結果を詳しく調べてみると、ほとんどの供試体は、フランジ全域が降伏するまでは座屈しないフランジ幅厚比 $\bar{\lambda}_{pf} < 0.7$ が採用されている。したがって、多くの供試体がフランジ降伏モーメントを保障する結果となっている。このような意味で、フランジ幅厚比に注目して曲線桁の実験が今後望まれるところである。

また、今後の課題として腹板の境界条件が挙げられるが、現段階では代表的な鋼構造設計基準との整合性をとる意味で、腹板の座屈係数を4辺単純支持 $k_w = 23.9 + 0.28Z$ としている。しかしながら、腹板板厚が薄くなるにつれて、腹板の座屈係数はフランジ辺固定他辺単純支持 $k_w = 39.6$ に近くなると考えられる。曲げ耐荷力算定式の精度の検討とともに腹板の座屈係数の改善が求められる。

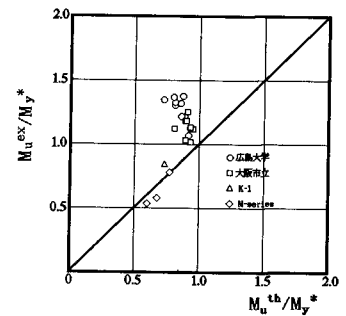


Fig-1 曲げ耐荷力比

Table-1 実験結果および幅厚比

No.	Reference	Test Girder	Radius of Curvature R_v (mm)	Flange $2b \times t_f$ (mm)	Web $h \times t_w$ (mm)	$\alpha R_v/h$	Z	Yield Stress		Slenderness Ratio		M_u/P_b	M_u^* (kN·m)	M_u^{*b} (kN·m)	M_u^{**} (kN·m)
								Flange σ_{yf} (MPa)	Web σ_{yw} (MPa)	$\bar{\lambda}_{yf}$	$\bar{\lambda}_{yw}$				
1	Aether	RR45-SS	∞	180.5x 8.87	800.7x5.07	1.00	0.0	253.2	328.9	0.528	1.373	0.000	499.1	462.7	513.0
2		RR45-SS	50 000	182.4x 8.83	800.6x4.62	1.00	2.7	253.2	328.9	0.561	1.484	0.106	455.9	404.0	511.0
3		RR45-20S	20 000	180.8x 8.89	799.5x4.85	1.00	6.6	253.2	328.9	0.552	1.440	0.115	453.2	389.4	502.2
4		RR45-10S	10 000	180.7x 8.84	800.5x5.08	1.00	12.1	253.2	328.9	0.508	1.282	0.338	410.8	332.9	486.3
5		RR45-SS	5 000	181.2x 8.90	800.5x5.04	1.00	24.4	253.2	328.9	0.479	1.218	0.634	356.8	257.5	423.6
6		RR45-10F	10 000	136.4x11.88	800.6x4.67	1.00	13.2	274.5	328.9	0.295	1.387	0.343	418.4	339.2	515.8
7		RR26-SS	∞	180.3x 8.71	799.6x2.58	1.00	0.0	253.2	253.4	0.592	2.365	0.000	387.7	355.5	412.9
8		RR26-20S	20 000	180.7x 8.93	798.1x2.65	1.00	11.5	253.2	253.4	0.523	2.157	0.222	333.0	289.8	447.2
9		RR26-10S	10 000	180.6x 8.92	798.9x2.54	1.00	24.1	253.2	253.4	0.535	2.119	0.187	339.0	290.8	448.4
10		RR26-SS	5 000	181.2x 8.77	797.4x2.67	1.00	45.7	253.2	253.4	0.505	1.839	0.488	272.1	217.8	371.7
11	Kagawa ²⁾	K-1	10 000	112.0x 5.60	800.0x2.88	1.00	21.4	294.8	278.0	0.602	2.046	0.120	216.6	158.7	181.4
12	Fujii ³⁾	M-1	∞	201.2x 7.19	799.0x4.50	1.00	0.0	358.4	393.1	0.967	1.714	0.000	602.5	464.6	467.8
13		M-2	5 000	201.4x 7.22	800.0x4.51	1.00	27.2	358.4	393.1	0.897	1.491	0.220	524.3	353.9	303.9
14		M-3	2 000	202.6x 7.19	800.0x4.50	1.00	68.1	358.4	393.1	0.975	1.280	0.370	479.5	288.4	255.8
15	Nakai ⁴⁾	M ∞ (0.5-178-15-0-2)	∞	180.0x11.99	799.2x4.50	1.00	0.0	387.1	318.5	0.525	1.503	0.000	820.2	781.4	914.9
16		M30(0.5-178-15-0-2)	29 400	181.8x11.97	797.8x4.50	0.50	4.6	387.1	318.5	0.512	1.461	0.077	774.4	720.2	876.1
17		M30(1.0-178-15-0-2)	29 385	180.7x12.04	797.8x4.48	1.00	4.6	339.1	291.1	0.474	1.403	0.077	683.4	636.5	692.7
18		M10(0.5-178-15-0-2)	10 400	181.6x12.02	797.8x4.50	0.50	13.0	387.1	318.5	0.479	1.398	0.230	688.5	615.1	813.8
19		M10(0.5-250-15-0-2)	10 678	180.5x11.97	799.4x3.23	0.51	12.7	339.1	269.5	0.450	1.753	0.219	564.2	507.7	666.8
20		M10(0.5-178-15-0-1)	9 666	181.3x11.98	799.2x4.50	0.51	12.7	339.1	258.7	0.449	1.264	0.231	592.1	537.6	739.7
21		M10(0.5-178-7.5-0-2)	9 285	90.5x11.92	799.0x4.57	0.50	14.4	339.1	258.7	0.194	1.234	0.565	296.4	239.3	331.6
22		M10(1.0-178-15-0-2)	10 644	180.1x12.01	800.3x4.57	1.00	12.6	339.1	291.1	0.444	1.323	0.234	607.7	543.0	626.8

《参考文献》 1) 西村・秋山・松村：曲げを受けるI形断面はりおよびプレートガーダーの強度設計法の一提案，構造工学論文集，Vol.39A，1993年3月 2) 藤井・藤枝・香川・大村：断面変形挙動に注目した曲線I形桁の曲げ耐荷力実験，構造工学論文集，Vol.36A，1990年3月 3) 藤井・藤枝・大村：曲げを受ける曲線I形桁の断面変形と耐荷力に関する実験，広島大学工学部研究報告 第37巻 第1号 別冊，1988年7月 4) 中井・北田・大南：曲線桁橋腹板の曲げ強度に関する実験的研究，土木学会論文報告集，No.340，1983年12月