

冷弯薄壁型钢中间加劲板件有效面积计算方法

李元齐¹, 姚行友¹, 沈祖炎¹, 王树坤²

(1. 同济大学 建筑工程系, 上海 200092; 2. 博思格蓝瑾建筑钢结构有限公司, 上海 201613)

摘要: 基于超薄壁高强冷弯型钢槽形截面轴压构件承载力试验研究, 参考美国冷成型钢结构构件设计规范、澳洲冷成型钢结构规范和北美冷成型钢结构构件设计规范的计算方法, 并结合我国现行《冷弯薄壁型钢结构技术规范》的三类不同加劲板件的有效面积计算公式, 对中间加劲板件有效面积的合理计算方法进行了探讨, 提出了与我国现行规范有效面积计算方法相一致的中间加劲板件有效面积的计算方法——等效板件法。最后, 通过与试验结果的比较分析, 验证了其合理性和实用性。

关键词: 冷弯薄壁型钢; 有效面积; 板件稳定系数; 中间加劲板件

中图分类号: TU 392.1; TU 317.1

文献标识码: A

Estimation Method for Effective Area of Cold-formed Thin-walled Steel Plate Elements with Intermediate Stiffeners

LI Yuanqi¹, YAO Xingyou¹, SHEN Zuyan¹, WANG Shukun²

(1. Department of Building Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China; 2. Blue Scope Steel Co. Ltd., Shanghai 201613, China)

Abstract: Based on the experimental investigations of load-carrying capacities of super thin-walled high-strength cold-formed steel channel columns with intermediate stiffeners in web subjected to axial compression, the calculation method for the effective area of cold-formed thin-walled plate elements with intermediate stiffeners was discussed with reference to the related calculation formulas, and an equivalent element method (EEM), for estimating the effect area of cold-formed thin-walled steel plate element with intermediate stiffeners consistent with estimated method for three different stiffened element was put forward. Finally, a comparison of the experimental results with the theoretical analysis shows that the proposed method is effective and suitable for Chinese cold-formed thin-walled steel specification.

Key words: cold-formed thin-walled steel; effective area; buckling coefficient of plate element; stiffened element with intermediate stiffeners

近年来高强钢材在冷弯薄壁型钢结构中的应用日益广泛, 美国、日本和澳洲采用了屈服强度高达 550 MPa 的钢材, 且承重构件壁厚达到 1.0 mm 以下, 这些构件完全超出了我国现行规范《冷弯薄壁型钢结构技术规范》(GB50018—2002)^[1] 的适用范围。为此国内对厚度 2.0 mm 以下屈服强度达 550 MPa 的冷弯超薄壁型钢构件的承载力设计方法进行了研究^[2-3], 结果表明: 采用合适的抗力分项系数, 我国规范中的承载力设计方法也适合于厚度小于 2.0 mm、强度高于 Q345 的冷弯超薄壁型钢轴压构件。

为了减小截面较薄冷弯超薄壁型钢板件的宽厚比, 通常会在构件的腹板或翼缘设置一道或几道中间加劲肋以进一步提高构件截面承压时的有效面积, 进而提高构件的承载力。根据文献[4]的分析, 宽厚比等于 120 的加劲板件有效率为 42%, 设置中间加劲后可以提高到 77%。但是目前我国规范^[1] 中只有针对加劲板件(图 1a)、部分加劲板件(图 1b)和非加劲板件(图 1c)的有效面积计算方法, 没有对中间加劲板件(图 1d、1e)的计算方法。而 AISI 规范(AISI:1996)^[5]、澳洲规范(AS/NZS4600:2005)^[6] 和北美规范(AISI-S100:2007)^[7] 已有对中间加劲板件有效面积计算的方法。

因此, 如何基于我国规范的计算方式来计算中间加劲板件的有效面积进而计算高强超薄壁加劲构件的承载力是国内冷弯薄壁型钢结构设计中的一个重要问题。本文基于轴压构件试验研究, 参考 AISI 规范、北美规范和澳洲规范的计算方法, 对适合我国

收稿日期: 2010-08-15

基金项目: 国家科技支撑计划资助项目(2008BAJ08B11)

第一作者: 李元齐(1971—), 男, 教授, 工学博士, 主要研究方向为冷弯型钢结构、空间结构及工程抗风。E-mail: liyq@tongji.edu.cn

规范的中间加劲板件有效面积的合理计算方法进行了探讨,并验证其合理性.

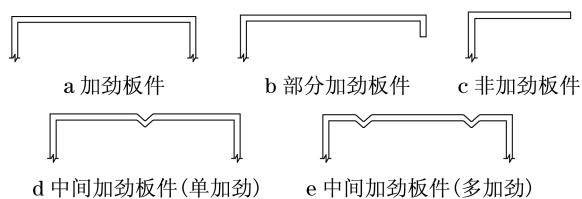


图 1 板件类型
Fig.1 Typical plate elements

1 现有中间加劲板件有效面积计算方法

1.1 单加劲板件

以康奈尔大学研究^[4,8-9]为基础,文献[10]对于单加劲板件的加劲刚度进行研究,提出充分加劲的最小加劲刚度计算公式如下:

$$\begin{cases} I_s/t^4 = (100b/t)/S - 50 \\ 0.5S \leq b/t \leq 1.5S \\ I_s/t^4 = (257b/t)/S - 285 \\ b/t > 1.5S \end{cases} \quad (1)$$

式中: $S = 37.9 \sqrt{235/f_y}$, f_y 为板件屈服强度, MPa; b 为子板件宽度, mm; t 为板件厚度, mm; I_s 为充分加劲所要求的最小加劲刚度, mm⁴.

当板件满足最小加劲刚度要求时,其有效面积可以分段计算,每段按照加劲板件计算;当板件不满足加劲要求时则偏于保守地忽略板件中间加劲. AISI 规范、澳洲规范和北美规范均依此为基础给出最小加劲刚度的相应计算公式.

Rhodes 建议^[11]用单一公式(式(2))代替式(1)计算加劲最小刚度:

$$I_s = 0.045 \left(\frac{b}{t} \right)^2 \frac{f_y}{280} t^4 \quad (2)$$

1.2 多加劲板件

康奈尔大学通过研究也提出有多个加劲时中间加劲的最小刚度计算公式如下^[4,8-9]:

$$I_{\min} = \left[3.66 \sqrt{(b/t)^2 - 0.136E/f_y} \right] t^4 \geq 18.4 t^4 \quad (3)$$

式中, E 为板件弹性模量.

当满足式(3)最小刚度要求时,多加劲板件的每个子板件均可以按照加劲板件计算,如果不满足最小刚度要求,对于中间多加劲板件的有效面积计算

是根据多加劲板件对其自身形心轴(图 2)的惯性矩得到一个等效厚度 t_e , 然后按无中间加劲的加劲板件进行简化计算. 其等效厚度的计算式为

$$t_e = \sqrt[3]{12I_{st}/b_0} \quad (4)$$

式中: t_e 为等效厚度; I_{st} 为多加劲板件对其自身形心轴的惯性矩(图 2b); b_0 为加劲板件宽度(图 2a).

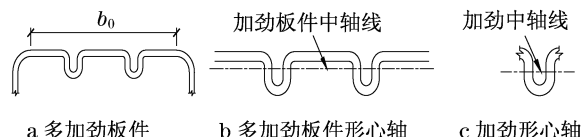


图 2 多加劲板件
Fig.2 Plate elements with intermediate stiffeners

需要注意的是,当加劲板件的子板件宽厚比大于 60 时,有效宽厚比 b_e/t 降低为 $b_e/t - 0.1(b/t - 60)$.

AISI 规范^[5]采用以上计算方法计算多加劲板件的有效宽度.

北美规范^[7]和澳洲规范^[6]则是通过计算加劲部分对其平行于加劲板件形心轴的自身惯性矩来重新考虑中间加劲板件的稳定系数 k 值,然后按无中间加劲的加劲板件计算其有效面积. 板件稳定系数 k 值计算方式为

$$k = \min(Rk_d, k_{loc}) \quad (5)$$

$$R = \begin{cases} 2 & b_0/h < 1 \\ (11 - b_0/h)/5 \geq 1/2 & b_0/h \geq 1 \end{cases} \quad (6)$$

其中, R 为板件畸变屈曲稳定系数的修正系数,与加劲板件的宽度 b_0 (扣除转角部分,如图 2 所示)及最小的相邻板件宽度 h 有关; k_d 为畸变屈曲的板件稳定系数; k_{loc} 为子板件的局部屈曲板件稳定系数,各系数计算如式(7)~(9):

$$k_d = \frac{(1 + \beta^2)^2 + 2 \sum_{i=1}^n \gamma_i \omega_i}{\beta^2 (1 + 2 \sum_{i=1}^n \delta_i \omega_i)} \quad (7)$$

$$\begin{cases} \beta = (1 + 2 \sum_{i=1}^n \gamma_i \omega_i)^{0.25} \\ \gamma_i = \frac{10.92(I_{sp})_i}{b_0 t^3} \\ \delta_i = (A_s)_i / (b_0 t) \\ \omega_i = \sin^2 \left(\pi \frac{c_i}{b_0} \right) \end{cases} \quad (8)$$

$$k_{loc} = 4(b_0/b_p)^2 \quad (9)$$

式(7)~(9)中: β 、 γ_i 、 δ_i 、 ω_i 为计算参数; I_{sp} 为第 i

个加劲对其平行于板件形心轴的自身惯性距(即加劲刚度,如图 2c 所示),包括加劲与板件连接的转角; b_o 为加劲板件宽度; b_p 为最大子板件宽度; c_i 为加劲板件加劲边到第 i 个子板件的板件宽度; t 为板件厚度.

2 基于我国现行规范的分析思路

我国冷弯薄壁型钢规范^[1]中并没有专门针对中间加劲板件有效面积的计算方法,为此本文利用我国规范中现有的计算方法,结合 AISI 规范^[5]、北美规范^[7]、澳洲规范^[6],分别采用几种不同的计算方式对有中间加劲的加劲板件有效面积进行计算比较,再将不同计算方式得到的结果与试验结果以及 Ansys 有限元理论分析结果进行对比,最后给出适合中国现行规范的建议方法.本文拟采用的分析方法包括:①方法一:对中间加劲板件按照加劲分段(S_1 , S_2 , S_3)分别计算(图 3),每段子板件的稳定系数按照部分加劲方式计算;②方法二:对中间加劲板件按照加劲分段分别计算,每段子板件的稳定系数按照完全加劲方式计算;③方法三:对中间加劲板件,先按照北美规范^[7]和澳洲规范^[6]中的中间加劲板件的计算方式求出板件的等效稳定系数 k ,然后将其代入我国规范中中间无加劲板件的计算公式来计算有效面积;④方法四:对中间加劲板件,先按照 AISI 规范^[5]中对中间加劲板件的计算方法求出板件的“等效厚度”,然后将其代入我国规范中中间无加劲板件的计算公式来计算有效面积.

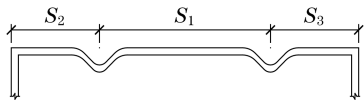


图 3 板件分段

Fig.3 Fragment of plate element with intermediate stiffeners

3 试验与计算分析

3.1 试验介绍

本文对 3 种不同规格截面的轴压构件进行试验分析,构件的截面形式及各尺寸如图 4 所示,其中 h 为腹板高度; t 为构件厚度; S_1 , S_2 为腹板中间板件和靠近翼缘侧板件宽度; b_1 , b_2 为构件的上、下翼缘宽度; a_1 , a_2 为截面的上、下卷边宽度; r_1 , r_2 , r_3 分别为截面弯角半径、加劲的外半径、加劲的内半径, u 为腹板加劲的高度.

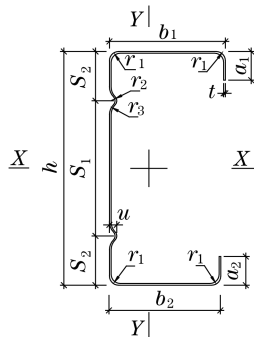


图 4 构件截面形式
Fig.4 Section sizes

表 1 给出了试件的公称截面尺寸,其中 a 为两卷边宽度 a_1 和 a_2 的平均值,表 2 给出了试件的公称截面属性.试件具体的测量数据参考文献[12].基于材性试验,板件厚度为 1.00,0.75 mm 时所对应的屈服强度分别为 615,667 MPa,弹性模量 E 均取 $2.06 \times 10^5 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$.试验的详细情况见文献[12].

3.2 承载力计算比较

针对本文试验的三种截面、不同长度的 53 根有效试件采用不同的计算方法计算其极限承载力,计算结果见表 3.表中各符号说明如下: λ_y 为构件绕弱轴的长细比; P_t 为试验值; P_{ANS} 为 Ansys 有限元的计

表 1 试件公称截面尺寸

Tab.1 Nominal sizes of the sections

构件型号	h/mm	b_1/mm	b_2/mm	a/mm	S_1/mm	S_2/mm	u/mm	r_1/mm	r_2/mm	r_3/mm	t/mm
SS7510	75	40	38	8	45	15	3.50	2.5	5.0	2.5	1.00
SS1010	100	51	49	12	60	21	3.50	4.0	5.0	2.5	1.00
SS1075	100	51	49	12	60	21	2.85	4.0	5.0	2.5	0.75

算结果; P_{CP} 为按照中国规范^[1]计算的结果,对中间加劲板件采用“方法一”计算; P_{CS} 为按照中国规范^[1]计算的计算值,对加劲板件采用“方法二”计算; P_{CU} 为按照中国规范^[1]计算的计算值,加劲板件采用“方

法三”计算; P_{US} 按照北美规范^[7]计算的计算值; P_{AS} 为按照 AISI 规范^[5]计算的计算值; P_{CA} 为按照中国规范^[1]计算方法,加劲板件采用“方法四”计算.同时图 5 也给出了 3 种截面试件采用不同规范计算所得

的承载力与试验承载力的对比.

表 2 试件公称截面属性
Tab.2 Nominal properties of the sections

构件型号	面积 /mm ²	回转半径		惯性距	
		i_x /mm	i_y /mm	I_x /mm ⁴	I_y /mm ⁴
SS7510	163.5	30.29	13.92	150 066	31 712
SS1010	218.0	41.01	18.26	366 725	72 708
SS1075	164.2	41.13	18.37	277 813	55 447

表 3 试件承载力试验结果和规范计算结果
Tab.3 Experimental and analysis results of all specimens

序号	构件编号	λ_y	P_t /kN	P_{ANS} /kN	P_t / P_{ANS}	P_{CP} /kN	P_t / P_{CP}	P_{CS} /kN	P_t / P_{CS}	P_{CU} /kN	P_t / P_{CU}	P_{US} /kN	P_t / P_{US}	P_{AS} /kN	P_t / P_{AS}	P_{CA} /kN	P_t / P_{CA}
1	SS7510-10-AC-Y-1	10.6	68.94	61.55	1.12	53.93	1.28	67.41	1.02	50.34	1.37	71.81	0.96	66.26	1.04	60.73	1.14
2	SS7510-10-AC-Y-3	10.6	73.01	61.55	1.19	53.76	1.36	67.27	1.09	50.11	1.46	71.60	1.02	65.94	1.11	60.58	1.21
3	SS7510-50-AC-Y-1	50.3	43.78	38.60	1.13	42.80	1.02	51.47	0.85	39.72	1.10	54.35	0.81	49.79	0.88	46.12	0.95
4	SS7510-50-AC-Y-2	50.0	46.45	38.60	1.20	42.72	1.09	51.50	0.90	39.69	1.17	54.21	0.86	49.53	0.94	46.11	1.01
5	SS7510-100-AC-Y-1	107.6	26.57	25.53	1.04	18.94	1.40	20.58	1.29	18.14	1.46	22.88	1.16	22.88	1.16	19.36	1.37
6	SS7510-100-AC-Y-2	107.6	26.81	25.53	1.05	18.92	1.42	20.56	1.30	18.14	1.48	22.85	1.17	22.85	1.17	19.34	1.39
7	SS7510-100-AC-Y-3	107.6	24.85	25.53	0.97	18.91	1.31	20.55	1.21	18.11	1.37	22.84	1.09	22.84	1.09	19.33	1.29
8	SS7510-100-AC-Y-4	107.8	25.73	25.53	1.01	18.95	1.36	20.50	1.26	18.05	1.43	22.95	1.12	22.95	1.12	19.26	1.34
9	SS7510-100-AC-Y-5	107.8	28.43	25.53	1.11	19.02	1.49	20.57	1.38	18.16	1.57	22.99	1.24	22.90	1.24	19.33	1.47
10	SS7510-150-AC-Y-2	157.9	12.57	12.58	1.00	10.79	1.16	10.80	1.16	10.73	1.17	11.12	1.13	11.12	1.13	10.48	1.20
11	SS7510-150-AC-Y-3	157.9	12.86	12.58	1.02	10.72	1.20	10.73	1.20	10.68	1.20	11.04	1.16	11.04	1.16	10.43	1.23
12	SS1010-10-AC-Y-1	11.1	68.56	68.10	1.01	54.62	1.26	71.98	0.95	50.43	1.36	80.71	0.85	73.77	0.93	62.38	1.10
13	SS1010-10-AC-Y-3	11.0	66.46	68.10	0.98	54.97	1.21	72.32	0.92	50.78	1.31	81.02	0.82	74.34	0.89	62.74	1.06
14	SS1010-30-AC-Y-1	33.1	63.68	62.12	1.03	49.38	1.29	64.64	0.99	45.50	1.40	71.55	0.89	65.56	0.97	56.53	1.13
15	SS1010-30-AC-Y-2	32.7	69.88	62.12	1.12	49.63	1.41	64.90	1.08	45.71	1.53	71.96	0.97	66.00	1.06	56.80	1.23
16	SS1010-30-AC-Y-3	32.9	65.48	62.12	1.05	49.37	1.33	64.63	1.01	45.44	1.44	71.57	0.91	65.44	1.00	56.54	1.16
17	SS1010-50-AC-Y-1	54.9	55.24	52.84	1.05	42.06	1.31	53.59	1.03	38.66	1.43	60.30	0.92	55.35	1.00	47.25	1.17
18	SS1010-50-AC-Y-2	54.4	58.81	52.84	1.11	42.06	1.40	53.79	1.09	38.76	1.52	60.24	0.98	55.06	1.07	47.38	1.24
19	SS1010-50-AC-Y-3	54.5	55.27	52.84	1.05	42.05	1.31	53.70	1.03	38.63	1.43	60.24	0.92	55.01	1.00	47.32	1.17
20	SS1010-75-AC-Y-1	76.7	44.65	39.85	1.12	32.23	1.39	39.25	1.14	29.53	1.51	45.77	0.98	42.54	1.05	34.38	1.30
21	SS1010-75-AC-Y-2	76.6	42.38	39.85	1.06	32.19	1.32	39.19	1.08	29.51	1.44	45.66	0.93	42.16	1.01	34.32	1.23
22	SS1010-75-AC-Y-3	76.7	46.61	39.85	1.17	32.18	1.45	39.20	1.19	29.50	1.58	45.66	1.02	42.20	1.10	34.33	1.36
23	SS1010-100-AC-Y-1	98.6	35.02	28.62	1.22	24.44	1.43	28.80	1.22	23.18	1.51	33.06	1.06	32.05	1.09	25.85	1.35
24	SS1010-100-AC-Y-2	98.6	35.97	28.62	1.26	24.47	1.47	28.83	1.25	23.25	1.55	33.04	1.09	32.36	1.11	25.88	1.39
25	SS1010-120-AC-Y-1	120.5	29.09	24.50	1.19	18.74	1.55	21.50	1.35	17.84	1.63	24.16	1.20	24.82	1.17	20.09	1.45
26	SS1010-120-AC-Y-2	120.5	30.15	24.50	1.23	18.77	1.61	21.54	1.40	17.88	1.69	24.19	1.25	24.85	1.21	20.12	1.50
27	SS1010-120-AC-Y-3	120.4	32.02	24.50	1.31	18.76	1.71	21.54	1.49	17.88	1.79	24.17	1.32	24.83	1.29	20.12	1.59
28	SS1010-120-AC-Y-4	120.3	31.05	24.50	1.27	18.65	1.66	21.34	1.46	17.71	1.75	24.09	1.29	24.67	1.26	19.99	1.55
29	SS1010-150-AC-Y-1	153.3	19.43	17.34	1.12	13.36	1.45	14.44	1.35	12.72	1.53	15.55	1.25	15.55	1.25	13.57	1.43
30	SS1010-150-AC-Y-2	153.3	18.61	17.34	1.07	13.38	1.39	14.47	1.29	12.74	1.46	15.59	1.19	15.59	1.19	13.59	1.37
31	SS1075-10-AC-Y-2	10.9	40.04	42.41	0.94	34.72	1.15	45.02	0.89	32.19	1.24	55.02	0.73	51.06	0.78	42.93	0.93
32	SS1075-10-AC-Y-3	10.9	42.32	42.41	1.00	34.64	1.22	44.93	0.94	32.10	1.32	54.91	0.77	51.02	0.83	42.84	0.99
33	SS1075-50-AC-Y-1	54.5	35.50	34.42	1.03	25.46	1.39	33.50	1.06	23.56	1.51	40.43	0.88	36.89	0.96	31.87	1.11
34	SS1075-50-AC-Y-2	54.4	35.42	34.42	1.03	25.53	1.39	33.57	1.06	23.60	1.50	40.52	0.87	36.95	0.96	31.95	1.11
35	SS1075-50-AC-Y-3	54.4	34.36	34.42	1.00	25.57	1.34	33.62	1.02	23.64	1.45	40.52	0.85	36.99	0.93	32.00	1.07
36	SS1075-100-AC-Y-1	98.0	20.80	19.96	1.04	15.02	1.38	18.47	1.13	13.80	1.51	22.21	0.94	19.81	1.05	17.13	1.21
37	SS1075-100-AC-Y-2	98.0	21.44	19.96	1.07	15.04	1.43	18.47	1.16	13.79	1.55	22.23	0.96	19.87	1.08	17.14	1.25
38	SS1075-150-AC-Y-1	152.4	12.41	12.38	1.00	8.78	1.41	10.18	1.22	8.35	1.49	11.63	1.07	11.78	1.05	9.65	1.29
39	SS1075-150-AC-Y-2	152.4	14.29	12.38	1.15	8.77	1.63	10.17	1.41	8.35	1.71	11.62	1.23	11.78	1.21	9.64	1.48
	平均值 μ				1.09		1.37		1.15		1.46		1.02		1.07		1.25
	最大比值				1.31		1.71		1.49		1.79		1.32		1.29		1.59
	最小比值				0.94		1.02		0.85		1.10		0.73		0.78		0.93
	变异系数				0.09		0.15		0.17		0.15		0.16		0.12		0.17

由表 3 的各方法计算结果与试验承载力对比可以看出:ANSYS 有限元理论分析结果与试验结果非常接近;各种规范设计方法中,AISI 规范^[5]计算承载力与试验值较吻合;北美规范^[7]计算值在长细比较小时偏大,而长细比较小时构件主要是发生局部屈曲,表明北美规范^[7]的局部整体相关承载力大于 AISI 规范^[5]的局部整体相关承载力;我国规范^[1]计

算方式中加劲板件采用“方法一”和“方法三”计算结果均较试验值偏小较多,太过保守,“方法二”的计算结果与试验值相对比较吻合,但对于长细比较大构件稍显保守,长细比较小构件又不安全,而“方法四”的计算结果与试验值比较吻合,对于长细比较大构件稍显保守。

在 AISI 规范^[5]中加劲板件必须满足式(3)的最小加劲刚度才能视子板件为加劲板件,因此按照中国规范的“方法二”计算,高估了板件的稳定系数,而

另一方面,AISI 规范^[5]、北美规范^[7]和澳洲规范^[6]中计算板件有效面积时候扣除板件转角部分长度,从而减小了板件的计算长度,这两类不同的处理方式抵消了对有效面积计算结果的影响的差异,但是式(3)中的加劲刚度要求与我国规范^[1]中的计算方法不相一致,其合理值仍需要进一步研究。为此,为了保证与中国规范^[1]计算方法的一致性,并保证一定的设计可靠度,利用中国规范^[1]计算承载力,其中加劲板件采用“方法四”计算有效面积是合理的。

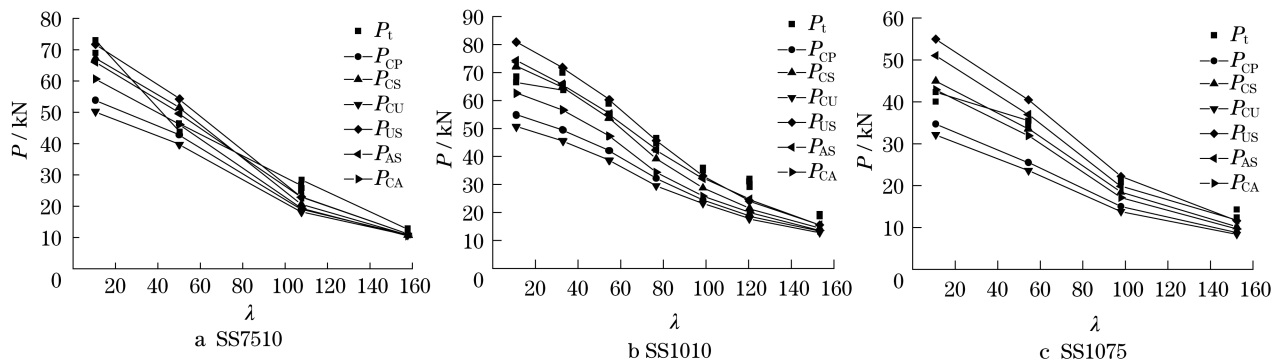


图 5 试件计算承载力对比

Fig.5 Comparison on load-carrying capacities of specimens

4 中间加劲板件有效面积计算的建议

通过对腹板加劲试件的承载力对比分析可以看出,利用我国规范^[1]的计算方式,将加劲板件按加劲分段且每段按加劲板件计算得到的承载力及采用 AISI 规范^[5]对加劲板件考虑“等效板件”的计算方法得到的承载力与试验值相差较小。但是,前者的加劲大小仍需要大量的试验和理论分析来研究其加劲刚度的要求,而后者可适用于不同的加劲程度,计算简单易行,试验结果表明也偏于安全,且能有效地利用我国现有规范的计算模式。因此,结合试验和理论研究以及规范的计算模式,同时考虑到计算公式的简单实用,本文对中间加劲板件的有效面积提出以下建议计算方法:

首先,利用加劲板件的加劲刚度计算一个等效厚度:

$$t_e = \sqrt[3]{12I_{st}/h} \quad (10)$$

式中, t_e 为加劲板件的等效厚度; h 为加劲板件长度; I_{st} 为加劲板件对形心轴的惯性矩,对于本文截面加肋形式,截面参数如图 4 所示,则 I_{st} 按式(11)计算。

$$I_{st} = t \cdot$$

$$\left[\begin{aligned} &(2s_2 + s_1 - 4r_2 - 4r_3)(x^2 + 0.08t^2) \\ &+ 0.6(r_2^3 + r_3^3) + 6.28r_2 \\ &(r_3 + 0.637r_2 - x)^2 + \\ &6.28r_3(0.363r_3 - x)^2 \end{aligned} \right] \quad (11)$$

其中 x 为加劲腹板的形心到腹板平直段中线的距离,按式(12)计算:

$$x = \frac{6.28r_3r_2 + 4r_2^2 + 2.28r_3^2}{2s_2 + s_1 + 2.28r_2 + 2.28r_3} \quad (12)$$

然后,将中间加劲板件作为一个宽度为 h ,厚度为 t_e 的中间无加劲的“等效板件”来计算板件的有效宽厚比 b_e/t_e 。

最后,用中间加劲板件的实际厚度 t 代替 t_e ,那么板件的无效面积的结果可以表示为 $(h - b_e)t$,其中 t 为板件实际厚度。具体计算流程如图 6 所示。

5 结论

本文以试验为基础,结合理论方法和现有规范的计算方法,对高强冷弯超薄壁型钢中比较常见的中间加劲板件的有效面积计算方法进行探讨。结合已有的计算方式,通过不同处理方法分析结果与试

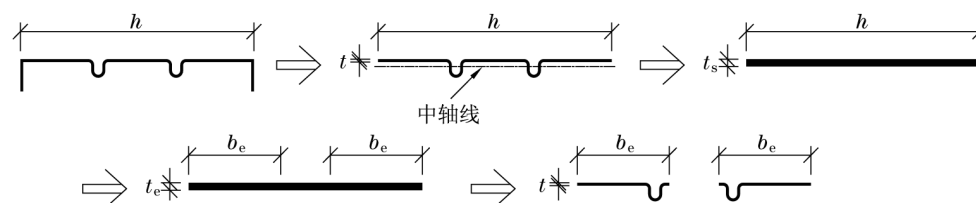


图 6 加劲板件有效面积计算过程

Fig.6 Estimation process for the effective area of plate element with intermediate stiffeners

验结果的比较分析,本文提出了推荐使用的“等效板件”计算方法来计算中间加劲板件的有效面积. 试验和计算结果分析表明,“等效板件”与我国现行规范《冷弯薄壁型钢结构技术规范》其他 3 类板件的有效面积计算方法相一致,其计算结果是安全、可靠的,可以供我国规范计算中间加劲板件有效截面计算使用.

参考文献:

- [1] GB50018—2002. 冷弯薄壁型钢结构技术规范[S]. 2002.
GB50018—2002. Technical code of cold-formed thin-wall steel structures[S]. 2002.
- [2] 李元齐, 沈祖炎, 王磊, 等. 屈服强度 550 MPa 高强冷弯薄壁型钢结构轴压构件承载力计算模型研究[J]. 建筑结构学报, 2006, 27(3): 18.
LI Yuanqi, SHEN Zuyan, WANG Lei, et al. Analysis method for load-carrying capacity of 550MPa high-strength cold-formed thin-walled steel columns subjected to axial compression[J]. Journal of Building Structures, 2006, 27(3): 18.
- [3] 沈祖炎, 李元齐, 王磊, 等. 屈服强度 550 MPa 高强冷弯薄壁型钢结构轴心受压构件可靠度分析[J]. 建筑结构学报, 2006, 27(3): 26.
SHEN Zuyan, LI Yuanqi, WANG Lei, et al. Reliability analysis of 550 MPa high-strength cold-formed thin-walled steel structures[J]. Journal of Building Structures, 2006, 27(3): 26.
- [4] Desmond T P, Pekoz T, Winter G. Local and overall buckling of cold-formed compression members [R]. New York: Cornell University. Department of Structural Engineering, 1978.
- [5] AISI 1996. Specification for the design of cold-formed steel structural members[S]. 1996.
- [6] AS/NZS 4600:2005. Australian/New Zealand standard cold-formed steel structures[S]. 2005.
- [7] AISI-S100—2007. North American cold-formed steel specification [S]. 2007.
- [8] Winter G. Commentary on the 1968 edition of the specification for the design of cold-formed steel structural members[M]. New York: AISI, 1977.
- [9] Desmond T P, Pekoz T, Winter G. Edge stiffeners for thin-walled members[J]. Journal of the Structural Division, ASCE Proceedings, 1981, 107(2): 329.
- [10] Desmond T P, Pekoz T, Winter G. Intermediate stiffeners for thin-walled members[J]. Journal of the Structural Division, ASCE Proceedings, 1981, 107(4): 627.
- [11] 陈绍蕃. 钢结构设计原理[M]. 第 3 版. 北京: 科学出版社, 2005.
CHEN Shaofan. Principles of steel structure design[M]. 3rd ed. Beijing: Science Press, 2005.
- [12] 沈祖炎, 李元齐. 轴压构件承载力试验研究[R]. 上海: 同济大学, 博思格建筑系统住宅部, 2007.
SHEN Zuyan, LI Yuanqi. Test of cold-formed thin-walled steel axial members[R]. Shanghai: Tongji University. Blue Scope Steel Co. Ltd., 2007.