

文章编号:1673-9469(2012)04-0020-04

矩形钢管混凝土抗弯性能研究及规范对比

吴乃森,刘雪冬,赵艳艳,吴志坤

(西北工业大学 力学与土木工程学院,陕西 西安 710129)

摘要:对国内外研究钢管混凝土具有代表性的规范进行了研究,并通过7根填充高强灌浆料的矩形钢管混凝土受弯构件的试验研究,分析了它们在不同高宽比、钢管壁厚条件下的抗弯承载力及抗弯刚度,并将试验结果与日本 AIJ(1997)、欧洲 EC4(1996)、中国 CECS159(2004)等规范的计算结果进行了比较。结果表明,日本 AIJ 规范安全储备最高,相应造价也要提高,DBJ 规范和试验值比较接近,工程使用比较经济,并有足够安全储备,而其他三个规范介于二者之间。

关键词:矩形钢管混凝土;抗弯刚度;抗弯承载力;规范

中图分类号:TU323.3

文献标识码:A

Experimental investigation and code comparison on flexural bearing capacity of concrete - filled rectangular steel tubes

WU Nai - sen, LIU Xue - dong, ZHAO Yan - yan, WU Zhi - kun

(School of Mechanics, Civil Engineering and Architecture Northwestern Polytechnical University, Shanxi Xi' an 710129, China)

Abstract: In Seven flexural members of rectangular steel tubes filled with high strength grouting are experimental studied in order to investigate those mechanical properties. Furthermore, the flexural bearing capacity and stiffness are investigated on condition that the different height - to - breadth ratio and tube thickness, and these results are compared with the criterion's calculate results of Japan AIJ (1997), Europe EC4(1996), China CECS159:2004 (2004) etc. It shows that the criterion Japan AIJ is safest, the criterion DBJ is close to the test and have good economic engineering application and enough safety stock, and the other three criterions lie between the former two.

Key words: concrete - filled rectangular steel tube; flexural stiffness; flexural bearing capacity; code

矩形钢管混凝土由于兼有钢结构及混凝土结构的优点,能够降低工程造价、满足建筑布局灵活要求、缩短工期、节约材料、减少能耗,可与钢结构、型钢混凝土结构、钢筋混凝土结构、和圆形钢管混凝土结构同时使用。应用前景良好,我国已在越来越多的工程中采用^[1-4]。

各国学者对于矩形钢管混凝土轴压构件和偏压构件作了大量的试验研究和理论研究:韦灼彬等^[5]利用轴压方钢管混凝土中钢和混凝土的应力-应变关系模型,采用数值分析方法对方钢管混凝土纯弯构件进行了分析,并通过8个方钢管混凝土的纯弯试验验证理论分析结果的正确性;

陈曦等^[6]采用 Von Mises、Mohr Coulomb 和 Drucker Prager 3 种通用模型分别对带约束拉杆和无约束拉杆的方形、矩形钢管混凝土短柱轴压承载力进行有限元分析,探讨每种混凝土模型的特点以及在钢管混凝土有限元分析中的优缺点;张保等^[7]利用 ABAQUS 程序对方钢管高强混凝土短柱的受力性能进行非线性有限元数值分析,讨论了试验中难以测定的考虑钢管约束效应的核心混凝土纵向应力-应变关系曲线,分析混凝土强度,截面宽厚比以及钢材强度对核心混凝土应力-应变关系曲线的影响规律,研究了轴心受压方钢管高强混凝土短柱核心混凝土本构关系的影响因素;

Nakannishi 等^[8]通过拟动力及拟静力试验研究矩形截面钢管混凝土桥墩的极限强度、刚度和延性。对于方矩形钢管混凝土的受弯力学性能研究还不是那么完善^[9]。尤其各规范抗弯承载力及抗弯刚度公式的计算差别比较大。究其原因,就是方矩形钢管混凝土构件受弯试验数据较少、对其力学性能认识不够明确。本文通过方矩形钢管混凝土受弯试验,研究其抗弯承载力及抗弯刚度,并且以这两个指标探讨了国内外学者推荐的几个常用规范的适用性^[10],以方便工程人员根据不同规范的特点选用合适规范。

1 试验概况

本次试验为7个长度为1500 mm 宽度为100 mm 而高度和壁厚不同的方矩管试件,其截面参数如表1所示。

1.1 试件的选材及其制作

本试验所用钢管尺寸及钢材强度参见表1,钢板与钢板及钢板与两端盖板之间采用对接焊缝,构件焊于端板中心,每边各留20 mm,端板厚度为12 mm,上侧钢板两端各开有一个直径50 mm的圆孔,用于灌浆。本试验选用高强无收缩灌浆料替代混凝土,其强度通过制作三个边长为100 mm的立方体试块测得。试件制备过程为,将适量灌浆料和为灌浆料重量14%的水加入搅拌机搅拌2 min,然后将钢管一端架起来,从该处的开口开始浇灌,另一端的开口排气直至灌浆料从另一端溢出为止。

1.2 试验方法

试验在60 T的电液伺服压力机上进行,采用跨中加载方法,跨中垫有100 mm × 100 mm的钢板,荷载及梁跨中位移由试验机配套的传感器测量,应变测量由电阻10个应变片测量。加载制度

为:在预测弹性范围内,每级荷载为预计极限荷载的1/10,钢材屈服后,每级荷载约为极限荷载的1/15,接近破坏时采用连续缓慢加载,每级荷载持荷时间约为2 min^[11]。

2 试验过程及现象

通过对试验过程进行观察发现,试验在加载的初始阶段,随着荷载的逐渐增大,跨中位移缓慢增大,位移的增长速度明显小于力的增长速度;当受拉边缘钢材逐渐屈服,构件开始进入塑性阶段,直到受压边缘钢材也屈服时,位移的增长速度逐渐大于力的增长速度,从传感器传回的力和位移的数据可以发现,随着位移的进一步增大,虽然力增长的速度非常缓慢,但是仍然可以继续承载。从本试验所进行的7根试件的受力情形来看,大部分试件在跨中挠度达到40 mm左右时,力依然可以缓慢增长,跨中位移达到53 mm甚至60 mm以上时荷载依然不会急速下降,表现出非常好的受力性能。整体来讲,这7根试件在破坏之前都有十分明显的变形,表现出延性破坏的特征。另外,在试件挠度达到40 mm左右时,钢管表面还没有明显的鼓屈,说明在钢管中填充混凝土对限制钢管的局部屈服稳定性能有很大的提高。提高了构件整体的承载力。

图1所示为各试件实测跨中力与位移的关系曲线。

从图1可以看出,各试件的荷载-位移曲线形状大体相同,可以用一个典型的荷载-位移曲线图2表示。试件的荷载-位移曲线大致可分为三段,第一段为OA段,曲线大致为直线,可认为试件处于弹性阶段,在此阶段,位移的增长速度明显小于力的增长速度,第二段是弹塑性阶段(AC段)此阶段曲线已经不是直线,比较接近二次曲线表明试件在此阶段出现了较强的塑性,在B点附近试件抗弯刚度会有突变,抗弯刚度大幅减小,随着

表1 试件参数表

Tab. 1 Specimen parameter

试件 编号	$D \times B \times t / \text{mm}$	D/B	D/t	$\delta / \%$	$f_t / \text{N} \cdot \text{mm}^{-2}$	混凝土强度 $/ \text{N} \cdot \text{mm}^{-2}$
1	100 × 100 × 3	1	33.3	11.64	280	42.71
2	100 × 100 × 4	1	25	15.36	280	42.71
3	150 × 100 × 4	1.5	37.5	12.91	280	42.71
4	150 × 100 × 5	1.5	30	16.00	280	42.71
5	200 × 100 × 4	2	50	11.68	280	42.71
6	200 × 100 × 5	2	40	14.50	280	42.71
7	200 × 100 × 6	2	33.3	17.28	280	42.71

位移的进一步增长,力的增长逐渐变得缓慢,但是力仍然在增加,试件仍然能够承载,表现出良好的受力性能;第三阶段是从C点直至构件破坏失去承载能力,这一段曲线也基本为直线,随着位移的增长跨中荷载几乎不再增长,或是只有微小增长。

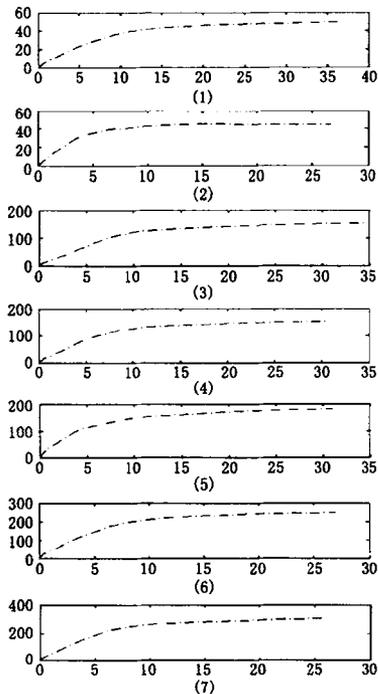


图1 试件1~7的荷载—位移曲线

Fig. 1 The load-displacement curve of specimens 1~7

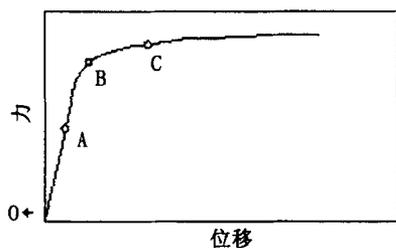


图2 典型的荷载—位移曲线

Fig. 2 A typical load-displacement curve

表2 试验得极限抗弯承载力值与规范计算值的比较

Tab. 2 Comparison of the obtained ultimate flexural capacity values with specifications values

试件编号	M_{ue} /kN·m ⁻¹	规程 AIJ ^[12]		BS 5400 ^[13]		DBJ 13-51-2003 ^[14]		EC 4 (1994) ^[15]		CECS 159-2004 ^[1]	
		M_i	$\frac{M_i}{M_{ue}}$	M_i	$\frac{M_i}{M_{ue}}$	M_i	$\frac{M_i}{M_{ue}}$	M_i	$\frac{M_i}{M_{ue}}$	M_i	$\frac{M_i}{M_{ue}}$
1	15.28	11.86	0.776	11.94	0.781	13.0	0.851	12.06	0.789	13.9	0.910
2	16.99	15.49	0.912	15.28	0.899	17.21	1.013	15.36	0.904	17.4	1.024
3	46.73	27.64	0.591	27.99	0.599	32.37	0.693	28.33	0.606	32.92	0.704
4	48.32	34.02	0.704	33.82	0.700	40.46	0.837	34.07	0.705	39.6	0.820
5	55.08	42.6	0.773	43.95	0.798	52.17	0.947	44.7	0.812	52.24	0.948
6	76.12	52.57	0.691	53.12	0.698	64.8	0.851	53.79	0.707	62.9	0.826
7	92.74	62.28	0.672	61.95	0.668	78.26	0.844	62.45	0.673	72.93	0.786
平均值			0.731		0.735		0.862		0.742		0.860
均方差			0.095		0.091		0.096		0.092		0.100

上表中 M_{ue} 为本文试验试件的抗弯承载力, M_i 为各规范的计算值。

3 试验结果与各规范对比

以试验构件的抗弯承载力和抗弯刚度为指标,评价几个常用规范的适用性,具体见表2、表3。

从表2可以看出:(1)各规范所得计算值多数小于实测值,计算结果相对保守。(2)特别是日本 AIJ(1997)、英国桥梁设计规程 BS 5400(1979)和欧洲标准化委员会提出的钢-混凝土组合结构设计规范 EC 4(1994),计算值比实测值小得多,试件7的计算值甚至只有实测值的2/3,过于保守,在工程上使用时,会造成材料浪费,不经济。(3)我国福建省工程建设标准 DBJ 13-51-2003 和矩形钢管混凝土结构技术规范 CECS 159:2004 与实测值较为接近,同时有足够的安全储备,工程上可考虑采用。(4)表中的均方差值差别不大,可以看出各规范在计算构件抗弯承载力时公式的稳定性相当。

由表3的计算结果可知:(1)日本 AIJ 规范比较保守,其计算值与试验实测值的平均比值在0.7和0.8左右。(2)DBJ 和 BS 5400 及 EC 4(1994)的计算结果与试验实测值的平均比值比较接近,在0.9和0.96之间,比较经济,但是安全储备不如日本 AIJ 规范。(3)矩形钢管混凝土结构技术规范 CECS 159:2004 计算值则大部分超出试验值,究其原因,则是刚度折减系数太大。

4 结论

1) 方矩形钢管混凝土受弯构件具有较高的抗弯承载力,本批次实验构件跨中挠度达到40 mm时,仍然可以继续承载,表现出非常好的延性。

表3 试验得抗弯刚度与规范计算值的比较

Tab.3 Comparison of the obtained flexural (or bending) stiffness with specifications values.

试件 编号	K_{uc} /kN·m ⁻¹	规程 AIJ ^[12]		BS 5400		DBJ 13 - 51 - 2003		EC 4 (1994)		CECS 159 - 2004	
		K_i	$\frac{K_i}{K_{uc}}$	K_i	$\frac{K_i}{K_{uc}}$	K_i	$\frac{K_i}{K_{uc}}$	K_i	$\frac{K_i}{K_{uc}}$	K_i	$\frac{K_i}{K_{uc}}$
1	486.6	419	0.861	501	1.030	506	1.040	512	1.052	548	1.126
2	654.6	526	0.804	602	0.920	606	0.926	614	0.938	644	0.984
3	1 826	1 415	0.775	1 694	0.928	1 709	0.936	1 730	0.947	1 851	1.014
4	2 145	1 689	0.787	1 950	0.909	1 964	0.916	1 991	0.928	2 098	0.978
5	3 960	2 911	0.735	3 598	0.910	3 636	0.918	3 678	0.929	3 988	1.007
6	4 489.3	3 473	0.774	4 125	0.919	4 161	0.927	4 214	0.939	4 492	1.001
7	4 833.9	4 014	0.830	4 632	0.958	4 181	0.865	4 731	0.979	4 982	1.031
平均值			0.795		0.939		0.933		0.959		1.020
均方差			0.038		0.040		0.049		0.041		0.048

上表中 K_{uc} 为本文试验试件的抗弯刚度, K_i 为各规范的计算值。

2) 截面高宽比和钢管壁厚对其抗弯承载力和抗弯刚度的影响较大, 随着截面高宽比和钢管壁厚的增大, 抗弯承载力和初始抗弯刚度有显著增长, 另外, 随着截面高宽比的增大, 钢管壁厚对抗弯承载力的影响也越来越大。

3) 通过表1 表3 中的均方差的对比可以看出, 以上几个规范在计算矩形钢管混凝土受弯构件的极限承载力时稳定性基本相同, 但是在计算试件抗弯刚度时日本 AIJ 规范的均方差最小, 计算公式稳定性最好。

4) 日本 AIJ 规范安全储备最高, 但是相应造价也要提高, DBJ 规范和试验值比较接近, 工程使用比较经济, 并有足够安全储备, 而其他三个规范介于二者之间, 在实际工程中应该针对它们的特点选择应用。

参考文献:

[1] CECS159 2004, 矩形钢管混凝土结构技术规程[S]
 [2] CECS28 90, 钢管混凝土结构设计与施工规程[S].
 [3] 熊维, 崔亚萍, 徐敬军. 方钢管混凝土的研究[J]. 河北建筑工程学院学报, 2005, 23(3): 41 - 43.
 [4] 周书敬, 潘靖. 基于改进蚁群算法的钢管混凝土构件的优化[J]. 河北建筑工程学院学报, 2011, 28(4): 10 - 13.
 [5] 韦灼彬, 陶忠, 韩林海. 方钢管混凝土纯弯构件力学性能及承载力的研究[J]. 工业建筑, 1998, 28(10): 6

- 9.
 [6] 陈曦, 周德源. 3 种材料模型在钢管混凝土有限元中的比较[J]. 塑性工程学报, 2008, 15(4): 67 - 69.
 [7] 张保, 梁禧. 方钢管高强混凝土轴压短柱核心混凝土本构关系的研究[J]. 工程质量, 2010, 28(增1): 134 - 137.
 [8] K NAKANNISHI, T KITADA, H NAHAI. Experimental study on ultimate strength and ductility of concrete filled steel columns under strong earthquake [J]. Journal of Constructural Steel Research, 1999, 5: 297 - 319.
 [9] 李黎明, 姜忻良, 陈志华, 等. 矩形钢管混凝土抗弯性能数值分析与简化计算[J]. 天津大学学报, 2007, 40(8): 990 - 994.
 [10] 韩林海, 陶忠, 尧国皇, 等. 钢管混凝土基本构件承载力的设计计算 - 各国规程比较 (I) [J]. 建筑钢结构进展, 2002, 4(3): 47 - 55
 [11] 卢辉, 韩林海. 圆钢管混凝土抗弯刚度计算方法探讨[J]. 工业建筑, 2004, 34(1): 1 - 5.
 [12] ARCHITECTURAL INSTITUTE OF JAPAN (AIJ). Recommendations for design and construction of concrete filled steel tubular structures[S]. Oct. , 1997
 [13] BS 5400, 英国桥梁规范[S].
 [14] DBJ 13 - 51 - 2003, 钢管混凝土结构技术规程[S].
 [15] DD ENV1994 - 1 - 1: 1994, Eurocode 4: Design of composite steel and concrete structures[S].

(责任编辑 刘存英)