钢骨混凝土T形截面短柱抗剪性能试验研究

李 哲,张小锋,郭增玉,何文安

(西安理工大学 水利水电学院, 陕西 西安 710048)

[摘 要] 为了研究钢骨混凝土T 形截面短柱的抗剪性能,在考虑剪跨比、轴压力系数及配骨率等影响参数的基础上,对14 根钢骨混凝土T 形截面短柱和2 根钢筋混凝土T 形截面短柱的抗剪性能进行了试验研究,提出了钢骨混凝土T 形截面短柱抗剪承载力计算公式。试验结果表明,计算值与试验结果较为吻合,钢筋混凝土T 形截面短柱加入钢骨后,其抗剪承载力有较大程度的提高。

[关键词] 钢骨混凝土; 钢筋混凝土; T 形截面短柱; 抗剪性能; 抗剪承载力 [中图分类号] TU 375. 3 [文献标识码] A [文章编号] 1671-9387(2006)10-0197-05

异形柱将传统的矩形柱框架结构中突出墙面的 棱角部分分散到墙中去,这就使异形柱两个方向上 的肢长要较等效的矩形柱长,肢宽较等效的矩形柱 窄,使单根柱子的剪跨比变小。为了施工方便,一般 梁的厚度要等于或小于柱肢厚.这不仅限制了梁的 宽度,而且降低了其抗剪强度。为了获得足够的承载 力,就必须增加梁的高度,这就进一步减小了剪跨 比,恶化了异形柱的横向抗剪受力性能^[1]。因此,有 必要对较小剪跨比异形柱的抗剪承载力做进一步研 究。但目前尚未见在钢筋混凝土异形柱中加入钢骨 以提高其抗剪性能的相关报道。本研究通过对在较 小剪跨比的钢筋混凝土T 形截面短柱中加入钢骨 (以下简称钢骨T 形短柱)的14 根钢骨T 形短柱和2 根钢筋混凝土 T 形截面短柱的对比试验, 对钢骨 T 形短柱的抗剪性能进行了理论分析和探讨,并提出 钢骨T 形短柱的抗剪承载力计算公式,以期为钢骨 T 形短柱的合理设计提供科学依据。

1 试验概况

1.1 构件设计

0

构件截面如图1所示。根据已有^[2-3]的钢筋混凝 土异形柱的分析结果,截面设计的参数为: 肢宽 275 mm,肢厚 100 mm;试件箍筋采用复合箍筋,间距取 100 和 150 mm;构件中的钢骨采用轧制等肢角钢和 焊接工字钢,其中角钢型号为L 40 × 4 和L 30 × 3,工 字钢型号为190 × 50 和 I70 × 50;构件长度为1 100 和 1 200 mm。考虑影响短柱的主要因素和规范要 求^[2,4], 试验主要参数及其变化范围为: 剪跨比 $H/2h_0$ 分别为1.53,1.73; 配骨率 ρ_s 分别为2.33% (1 根 I70×50和2 根L 30×3)和3.37% (1 根 I90×50和 2 根L 40×4); 试验轴压力系数分别为 $V/(f_A_c+f_s)$ $A_s) = 0.24, 0.36, 0.42, 0.48; 体积配箍率<math>\rho_s = 1.1\%$ 和1.7%; 考虑规范^[4]的要求, 混凝土强度均为C40, 试件所用混凝土采用 P.042 5R 硅酸盐水泥, 由灞 河中砂和5~15 mm 碎石制成, 配合比为1 1.46 2.65(水泥 砂 石子), 水灰比为0.43。本次试验的 试件参数详见表 1。



图1 试件尺寸及截面配筋图



1.2 加载装置及加载制度

试验采用简支梁加载图式,首先用几何对中方

^{* [}收稿日期] 2005-10-24 [基金项目] 西安理工大

[[]基金项目] 西安理工大学青年教师基金项目(219819) [作者简介] 李 哲(1965-),女,辽宁辽阳人,副教授,在读博士,主要从事钢筋混凝土结构及高层建筑研究。

法使轴向荷载作用在截面形心处,并施加全部轴向 荷载,然后施加水平低周集中荷载,试验加载如图2 所示。加载制度采用变幅变位移制度,每一控制位移 下横向荷载循环3次。在试件达到开裂荷载以前采 用荷载控制,缓慢施加荷载至出现第1条裂缝,并记 录此时的位移Δ。



2 破坏形态

试验观察结果表明,钢骨T 形短柱在低周荷载 作用下的破坏形态大体可分为剪压破坏和剪切粘结 破坏2种。



- Fig. 3 Shear-compres-sion failure
- 3 结果与分析

2

影响抗剪承载力的主要因素:

1) 轴压力系数。轴压力系数提高抗剪承载力的



1) 剪压破坏。这类破坏大多发生在轴压力系数 较低(n₁< 0 42) 的试件上。其破坏过程大致为: 首先 在腹板出现多条微小斜裂缝, 随之在翼缘中部也出 现水平裂缝, 随着荷载的增加和循环次数的增多, 斜 裂缝迅速扩展而形成 1 条或多条主斜裂缝。当主裂 缝延伸到试件边缘时, 箍筋屈服, 剪压区混凝土被压 碎, 试件纵筋屈服, 水平荷载迅速下降, 构件呈现剪 压破坏(图3)。本次试验, 翼缘也出现较宽的斜裂缝, 在腹板发生破坏的同时翼缘斜裂缝迅速加宽, 柱中 挠度增大, 整个构件发生剪压破坏。

2) 剪切粘结破坏。这类破坏大多发生在轴压力 系数较高(n, 0 42) 的试件上, 主要是由于较高轴 压力系数下钢骨两侧混凝土产生纵向劈裂所致。其 破坏过程大致为:首先在腹板出现多条平行的微小 斜裂缝, 随着荷载的增大, 在腹板中钢骨翼缘位置的 混凝土表面出现一系列纵向劈裂粘结裂缝, 随着荷 载的进一步增大和循环次数的增多, 纵斜裂缝交错 贯通, 导致混凝土剥落, 纵筋屈服, 承载力下降, 直到 试件破坏。 图4 是试验中观察到的试件发生剪切粘 结破坏时的裂缝开展及破坏情况。



图 4 剪切粘结破坏 Fig. 4 Shear-coherence failure

原因在于其能延缓和限制斜裂缝的出现和发展,改善着骨料咬合作用并提高了纵筋的销栓作用^[5-6]。图5 为本次试验的构件抗剪承载力V 随轴压力系数n 的 变化曲线。

0.9

现,钢筋混凝土T 形短柱加入钢骨后的抗剪承载力

以及位移延性均有较大程度的提高。当配骨率从0

增长到3.37%时,V "提高了17.7%。图6为本次试验

3) 配箍率。箍筋能够较好地约束钢骨外围的混

试件配骨率 ρ_{ss} 与抗剪承载力V 的关系曲线。

由图5可以看出,相同条件下,构件抗剪承载力 随轴压力系数的增大而提高,但轴压力系数大于一 定值后,抗剪承载力增加幅度不大。本次试验中,当 轴压力系数大于042后,抗剪承载力的增加幅度趋 于平缓。





4 抗剪承载力计算公式

本文采用强度叠加理论并考虑了翼缘的有利作 用^[10-11],提出了钢骨混凝土T形短柱斜截面抗剪承 载力的建议计算公式,即

$$V = \frac{0.35}{\lambda + 1.5} f_{c} b h_{0} + f_{yv} \frac{A_{sv}}{s} h_{0} + 0.07 N_{rc} + V_{s0}$$
(1)

式中,V 为钢骨混凝土T 形短柱斜截面抗剪承载力; λ 为计算剪跨比, $\lambda = 2$, 但当 $\lambda < 1$ 时, 取 $\lambda = 1$; $f \in$ 为混 凝土的轴心抗压强度 (N /mm²); b 为构件截面宽度 (mm); ho 为构件的截面有效高度 (mm); f yy 为箍筋 屈服强度 (N /mm²); A sy 为同一截面处箍筋面积 (mm²); s 为箍筋的间距 (mm); N rc 为钢筋混凝土部 分承担的轴力设计值, N rc = Nf A c/(f A c+ f sA ss), 当N rc > 0 3f A c 时, 取N rc = 0 3f A c; V so 为钢骨部分 的抗剪承载力, 可按焊接工字钢的抗剪承载力公 式^[12]计算, 即

$$V_{s0} = \min\left\{\frac{1}{\sqrt{3}}t_w h_w f_{ss}, \frac{M_{sy}}{l_0}\right\}$$
(2)

式中, f_w 为钢骨腹板的厚度 (mm); h_w 为钢骨腹板的 高度 (mm); f_s 为钢骨的屈服强度 (N/mm²); M_s 为 钢骨抗弯承载力 (N · mm); l_0 为柱剪跨段高度 (mm)。

本试验工字钢均采用钢板焊接而成,故采用公 式(2)。根据本文建议的公式,钢骨混凝土T 形短柱 斜截面抗剪承载力的计算结果与试验值较吻合(表 1),试验结果与式(1)计算值之比x 和标准差 σ 值分 别为1.07 和0.053。 文献[2]表明,在低周反复荷载作用下,T 形截 面钢筋混凝土柱的抗剪承载力为单调荷载作用的 89%。对于地震区,建议采用考虑地震组合作用的抗 剪承载力公式(由式(1)乘以0 8 再除以承载力抗震 调整系数 ½ 而得),即

$$V = \frac{1}{\mathcal{Y}_{RE}} \left(\frac{0.28}{\lambda + 1.5} f_{c} b h_{0} + 0.8 f_{yv} \frac{A_{sv}}{s} h_{0} + 0.056 N_{rc} + V_{s0} \right)$$
(3)

表1 试件参数及试验结果与计算值比较

Table 1 Parameters of specimen and contrast of test results and calculated results
--

试件编号 Specimen number	∫ c∕ M Pa	λ	$ ho_v$ /%	n _t	$ ho_{ss}/\%$	V cr/kN	V u/kN	V j/kN	V u/V j	破坏形态 Failure pattern
T 15-17-08	29.3	1. 53	1. 7	0 48	3. 37	240	318 2	289	1. 101	剪切粘结-腹板压碎 Shear-coherent and web crushed
T15-11-08	29.3	1. 53	1. 1	0 48	3. 37	248 5	321.5	272 8	1. 178	剪切粘结-腹板压碎 Shear-coherent and web crushed
T15-17-07	33.4	1.53	1. 7	0 42	3. 37	243 5	312 3	294 4	1. 061	剪切粘结 Shear-coherent
T15-11-07	33.4 🔨	1. 53	1. 1	0 42	3. 37	240 3	307.4	278 2	1. 104	剪切粘结 Shear-coherent
T15-17-06	31. 9	1. 53	1. 7	0 36	3.37	235.5	302 8	283 9	1. 066	剪压 Shear-compression
T15-11-06	33.4	1. 53	1. 1	0 36	3. 37	230 8	297.7	272	1. 094	剪压 Shear-compression
т15-17-04	31. 9	1.53	1. 7	0 24	3. 37	225	289.3	271.5	1. 065	剪压 Shear-compression
т15-11-04	31. 9	1.53	1. 1	0 24	3. 37	220 5	288	255.3	1. 127	剪压 Shear-compression
T115-17-08	33.4	1. 53	1. 7	0 48	2 33	235. 7	287. 1	266 4	1. 077	剪切粘结-腹板压碎 Shear-coherent and web crushed
T115-17-07	31. 9	1.53	1. 7	0 42	2 33	230 4	279.9	255.9	1. 093	剪切粘结 Shear-coherent
т 17-17-08	29.3	1. 73	1. 7	0 48	3. 37	226 2	289.4	283 8	1. 019	剪切粘结-腹板压碎 Shear-coherent and web crushed
T17-11-08	33.4	1. 73	1. 1	0 48	3. 37	225. 3	281. 2	278 6	1. 010	剪切粘结-腹板压碎 Shear-coherent and web crushed
T17-17-07	33.4	1.73	1. 7	0 42	3. 37	220 5	275.2	288 5	0 953	剪切粘结 Shear-coherent
T17-11-07	29.3	1.73	1. 1	0 42	3. 37	223 4	270 6	261.5	1. 034	剪切粘结 Shear-coherent
T _{w1} 15-17-08	31. 9	1. 53	1. 7	0 48	0	205	240	190 2	1. 261	剪压-腹板压碎 Shear-compression and web crushed
Tw215-17-07	31. 9	1. 53	1. 7	0 42	0	220	258	184	1. 404	剪压-腹板压碎 Shear-compression and web crushed

注: (1) V_{cr} , V_{u} , V_{j} 分别为斜裂缝出现时的剪力值及破坏剪力的试验值和计算值(kN); V_{u}/V_{j} 的均值为 $\overline{x}=1$ 07,标准差 $\sigma=0$ 053; (2)试件 编号T15-17-08 中第1 个数字15 表示该试件的剪跨比 $\lambda=1$ 53,第2 个数字17 表示该试件的体积配箍率 $\rho_{v}=1$ 7%,第3 个数字08 表示该试件 的设计轴压力系数n=0 8(设计轴压力系数=1.667 n_{v}),其他试件编号的意义依此类推; (3) $f_{c}=0$ 67 $f_{cu_{o}}$

Note: (1) V_{cr} , V_u and V_j represent the shear strength as skew crack appearing, the test result and calculated result of the shear strength (kN); The average of V_u/V_j is 1. 07, $\sigma=0.053$; (2) The first number 15 of T15-17-08 represents shear span ratio $\lambda=1.53$, the second number 17 represents hooped reinforcement ratio $\rho_v=1.7\%$, the third number 08 represents axial pressure ratio n=0.8 (axial pressure ratio n=1.667 n_i), othersdeduced; (3) $f_c=0.67f_{cub}$

1) 钢骨混凝土T 形短柱的受剪破坏形态主要有 剪压破坏和剪压粘结破坏两种。

2) 试验表明, 钢骨混凝土T 形短柱的抗剪承载 力随轴压力系数的增大而提高, 但轴压力系数大于 一定值后, 抗剪承载力增加幅度不大; 钢骨混凝土T 形短柱的抗剪承载力随配箍率的增加而增大,但增 大的幅度较小。

3) 钢筋混凝土T 形短柱加入钢骨后的抗剪承载 力有很大提高, 且随配骨率的增加而增大。

4)本文给出了钢骨混凝土T 形短柱斜截面抗剪 承载力的建议计算公式,所得计算值与试验值吻合 较好,可供工程设计人员参考。

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

[参考文献]

[1] 王 丹: 钢筋混凝土框架异形柱设计理论研究[D]. 辽宁大连: 大连理工大学, 2002: 87-89.

- [2] 徐向东, 康谷贻 单调及低周反复荷载作用下T 形截面框架柱受剪性能的试验研究[J] 建筑结构, 1999(5): 29-30
- [3] 吴建营 异形截面柱在低周反复荷载作用下的抗剪性能试验与理论研究[D].上海:同济大学,2001:11-14.
- [4] 中华人民共和国行业标准 YB 9082-97 钢骨混凝土结构设计规程[S]. 北京: 冶金工业出版社, 1998
- [5] 贾金青 钢骨高强混凝土短柱及高强混凝土短柱力学性能的研究[D]. 辽宁大连: 大连理工大学, 2000: 111-113.
- [6] 冯建平 L 形和T 形截面柱正截面承载力的研究[J]. 华南理工大学学报, 1995, 23(1): 54-60
- [7] 康谷贻, 巩长江 单调及低周反复荷载作用下异形截面框架柱的受剪性能[J] 建筑结构学报, 1997, 18(5): 22-24
- [8] 曹万林,樊 太,张维斌,等.异形截面钢骨混凝土柱抗震性能试验研究[J]世界地震工程,2004,20(2):64-68
- [9] 张 杜, 叶献国 钢筋混凝土异形柱非线性分析[J] 合肥工业大学学报, 2003, 26(4): 491-496
- [10] 赵鸿铁 钢与混凝土组合结构[M] 北京: 科学出版社, 2001.
- [11] 中华人民共和国行业标准 JGJ 138-2001 型钢混凝土组合结构技术规程[S]. 北京: 中国建筑工业出版社出版, 2001
- [12] 赵世春 型钢混凝土组合结构计算原理[M] 成都:西南交通大学出版社, 2003

Experimental study on shear resistance of T-shaped steel reinforced concrete short columns

L I Zhe, ZHANG Xiao-feng, GUO Zeng-yu, HE W en-an

(School of Water Resources and Hydroelectric Power, Xi an University of Technology, Xi an, Shaanx 710048, China)

Abstract: In order to study the shear behavior of T-shaped steel reinforced concrete short column, an experimental study was carried on fourteen T-shaped steel reinforced concrete short columns and two T-shaped reinforced concrete short columns by considering the influential parameters such as shear span ratio, axial pressure ratio and steel ratio. The shear resistance formula of T-shaped columns is derived through tests Based on the test results, the calculated results are in correspondence with those of the tests, and the shear resistance capacity of T-shaped reinforced concrete short column is increased to a larger degree with the addition of steel barsare

Key words: steel reinforced concrete; reinforced concrete; T-shaped section short column; shear performance; shear strength