

型钢混凝土 T 形柱受剪性能及承载力计算^{*}

张向冈, 陈宗平, 郑述芳, 苏益声, 梁荣耀

(广西大学土木建筑工程学院, 南宁 530004)

[摘要] 为了研究型钢混凝土(SRC) T形柱斜截面抗剪承载性能,设计了4个试件进行静力单调加载试验,考虑了剪跨比、轴压比、配钢形式、翼缘尺寸4个变化参数,通过试验观察了试件的受力全过程和破坏形态。根据实测数据,给出了混凝土应变沿截面高度的分布情况以及荷载-应变、荷载-挠度等重要关系曲线;并分析了各变化参数对抗剪承载力的影响,提出了承载力计算公式。研究表明:型钢混凝土 T形柱受力过程中截面应变基本符合平截面假定;剪跨比、轴压比、配钢形式、翼缘尺寸等参数对其抗剪强度有显著影响;基于叠加法的抗剪强度计算公式可用于其斜截面极限承载力计算。

[关键词] 型钢混凝土; T形柱; 受剪性能; 强度计算

中图分类号: TU398 文献标识码: A 文章编号: 1002-848X(2013)01-0054-05

Research on shear performance and bearing capacity calculation method of T-shaped steel reinforced concrete columns

Zhang Xianggang, Chen Zongping, Zheng Shufang, Su Yisheng, Liang Rongyao

(College of Civil Engineering and Architecture, Guangxi University, Nanning 530004, China)

Abstract: In order to study the shear bearing capacity of inclined section in T-shaped steel reinforced concrete (SRC) columns, 4 specimens with different shear span ratios, axial compression ratios, steel form and flange dimension were designed and produced to carry out monotonic static shear loading test. The whole loading process and failure pattern were watched and the curves of concrete strain distribution along cross section height, load-strain and load-deflection were drawn based on the measured data. The impact of parameters on the shear capacity was analyzed, and the formula for calculating capacity was proposed. It is shown that average strain of T-shaped section conforms to plane section assumption. Shear span ratios, axial compression ratios, steel form and flange dimension have significant effect on the shear strength. The calculation formula of shear strength can be used to calculate ultimate bearing capacity of inclined section.

Keywords: steel reinforced concrete; T-shaped column; shear performance; strength calculation

0 引言

SRC 异形柱是指在截面中主要配置型钢,并且配有适量的纵向钢筋和箍筋,浇筑混凝土后把型钢包裹在里面所形成的 L 形、T 形、十字形等异形截面柱^[1]。由于 SRC 结构配置了较多的钢材,大大提高了柱承载力和抗震性能,在高层建筑以及高烈度地震设防区的建筑中有较好的应用前景。一般来说,角柱为 L 形柱,边柱为 T 形柱,中柱为十字形柱,柱肢与填充墙等厚,房间的实际使用面积大,使家庭装修和布置时灵活方便,且可节约使用面积,受到广大用户和开发商的好评^[2,3]。研究 SRC 异形柱,对推广异形柱结构体系的应用和扩大异形柱的使用范围具有重要的理论价值和工程意义。目前,国内外对 SRC 异形柱的研究主要集中在正截面承载能力、混凝土保护层厚度、抗震性能^[4-6]等方面,但关于 SRC 异形柱的静力单调受剪承载力的研究却不多。在前人的研究基础之上,完成了4根试件静力单调试验,研究 SRC 异形柱的斜截面受力性能和破坏机理,以期丰富 SRC 异形柱研究内容,并为其工程应用提供

参考和依据。

1 试验概况

1.1 试验设计与制作

设计了4个型钢混凝土 T 形柱试件,主要考虑了轴压比、剪跨比、配钢形式、翼缘尺寸4个变化参数,混凝土设计强度等级为 C35,型钢骨架为空腹式,各试件高度均为2 300mm,设计参数具体见表1。轴压比 $n = N / (f_c A_c + f_s A_{ss})$,其中, N 为轴向压力设计值, f_c 为混凝土轴心抗压强度, A_c 为混凝土截面面积, f_s 为型钢的屈服强度, A_{ss} 为型钢截面面积。剪跨比 $\lambda = a / h_0$,其中, a 为邻近加载点到支座中心的距离, h_0 为截面的有效高度。截面形式及配钢示意图见图1, T 形钢桁架实拍照片见图2。

1.2 材料性能试验

依标准试验方法实测试件用型钢、角钢、钢筋的力学性能指标具体见表2。预留混凝土标准试

^{*} 国家自然科学基金(50908057),广西科学基金(桂科青0832004)。通讯作者:陈宗平,博士,教授,Email: zpchen@gxu.edu.cn。

设计参数及部分试验结果

表 1

试件编号	轴压比 n	剪跨比 λ	型钢配置形式				开裂荷载 P_{cr}/kN	极限荷载 P_u/kN	破坏形态
			T 型钢	纵筋	箍筋	角钢			
T1	0.12	1.60	半 I14	± 12	$\phi 6@200$	L25 $\times$ 3	165	240	剪压破坏
T2	0.23	2.18	半 I14	± 12	$\phi 6@200$	L25 $\times$ 3	150	285	剪压破坏
T3	0.23	1.60	半 I14	± 12	$\phi 6@200$	L25 $\times$ 3	190	420	剪压破坏
T4	0.23	1.60	半 I14	± 12	$\phi 8@100$	—	240	370	剪压破坏

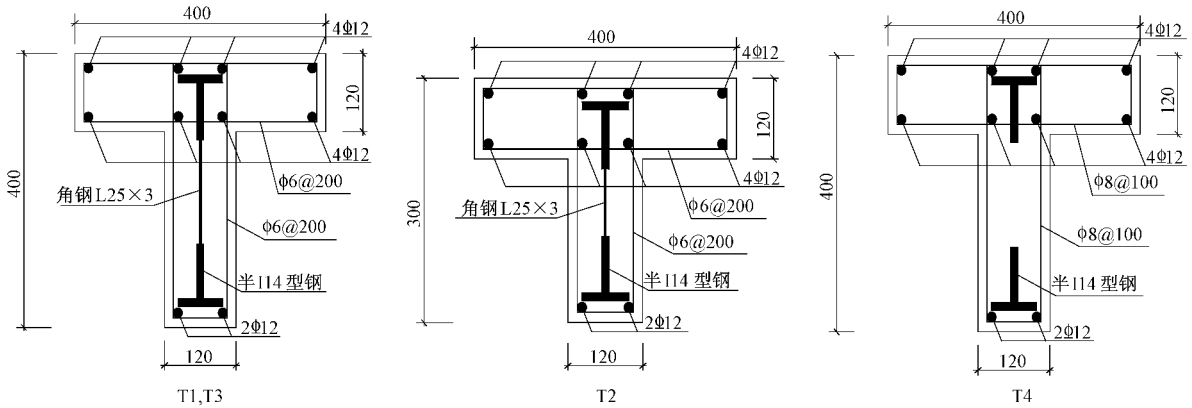


图 1 截面形式及配钢示意图

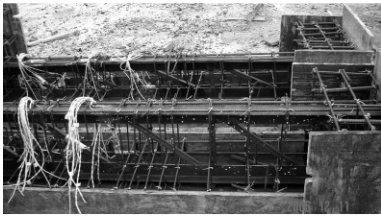


图 2 T 形钢桁架实拍照片



图 3 加载装置实拍照片

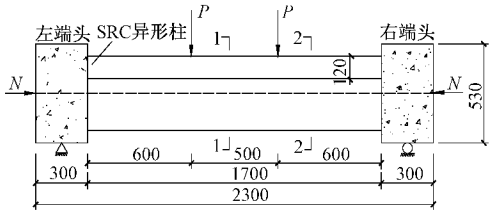


图 4 加载装置示意图

型钢、角钢、钢筋的实测力学性能 表 2

钢材种类	规格	屈服强度 f_y/MPa	极限强度 f_u/MPa	弹性模量 $E_s/\times 10^5 \text{MPa}$
翼缘	I14	299.64	394.59	1.84
腹板	I14	268.40	369.80	1.69
角钢	L25 $\times$ 3	272.20	316.00	1.96
钢筋	± 12	382.00	595.00	2.07
钢筋	$\phi 8$	355.00	482.00	2.37
钢筋	$\phi 6$	343.00	468.00	2.43

块的实测立方体抗压强度 f_{cu} 为 38.76MPa。

1.3 加载装置

试验采用了自平衡框架作为施加轴力的反力加载装置,实拍照片见图 3,示意图见图 4。试件几何对中后,用量程为 1 500kN 的油压千斤顶在端头沿轴向进行加载,施加到试验轴向压力并保持该轴力不变,由横向加载至试件破坏。

2 试验主要结果及分析

2.1 受力全过程及破坏形态

T1 ~ T4 试件均发生了剪压破坏。加载初期,试件处于弹性阶段,剪弯段没有出现裂缝,当荷载平均达到 52.15% P_u (P_u 为极限荷载) 时,在构件剪弯段

的腹板部分开始出现腹剪斜裂缝,倾角为 $40^\circ \sim 45^\circ$,随后 1 ~ 2 级荷载之内,在构件中间纯弯段开始出现细小的弯曲垂直裂缝。在剪弯段出现的垂直裂缝从柱腹板底部向中部发展,并且指向集中加载点,逐渐形成弯剪斜裂缝。

随着荷载的增加,腹剪斜裂缝和弯剪斜裂缝增多变密,而纯弯段弯曲垂直裂缝上升到腹板高度的 $1/4 \sim 1/2$ 后,几乎处于停滞发展状态。当加载达到约 77.8% P_u 之后,不再出现新的斜裂缝,原有腹剪斜裂缝继续向两端伸展。斜裂缝往上延伸到 T 形截面翼缘与腹板交接处后停止,往下则朝支座方向或腹板底部延伸。此时,斜向角钢腹杆已达到屈服应变,竖向角钢腹杆应变也接近屈服应变值。当荷载达到 P_u 时,支座、加载点连线上的斜裂缝最大宽度达到 0.45mm,形成主裂缝,同时剪压段混凝土被压碎,试验宣告结束。T1 ~ T4 试件均属于剪压破坏,破坏形态见图 5。

2.2 型钢混凝土 T 形柱破坏特点

4 根型钢混凝土 T 形柱破坏主要发生在剪弯区段内靠近加载点位置以及加载点和支座连线的方向

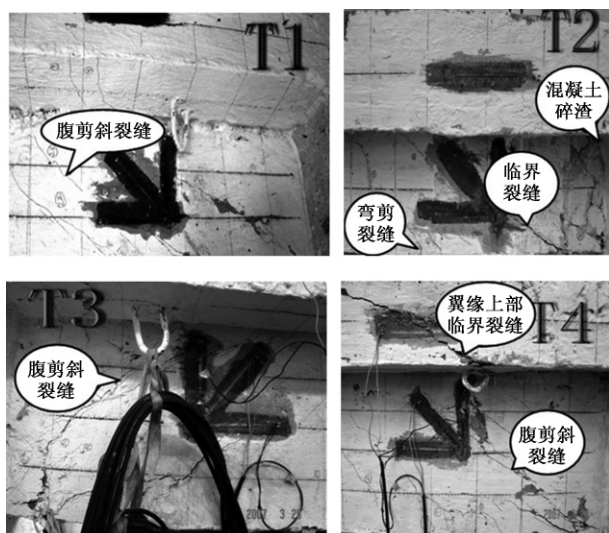


图5 试件 T1 ~ T4 破坏形态

上,各构件破坏特征明显,破坏形态相似:1)在剪弯区段的斜裂缝发展较快、较充分,纯弯区段的垂直裂缝发展较慢、延伸较早停滞;2)在加载点附近,4个试件剪压区顶部混凝土均被压碎;3)在加载末期,构件发生破坏,柱内型钢骨架尚能对破坏后的混凝土形成一定程度的约束与支撑,使得构件损而不坏,外观上基本保持原来的形状;4)在接近破坏时,翼缘中产生破坏斜裂缝,裂缝从加载点压碎区斜向往下延伸,然后在翼缘下排纵筋的高度处形成水平撕裂裂缝;5)试件破坏时,在腹板中部截面附近大多出现1~2条主裂缝,且宽度较大,一般延伸至截面翼缘下侧和支座处。

2.3 混凝土截面的应变分布

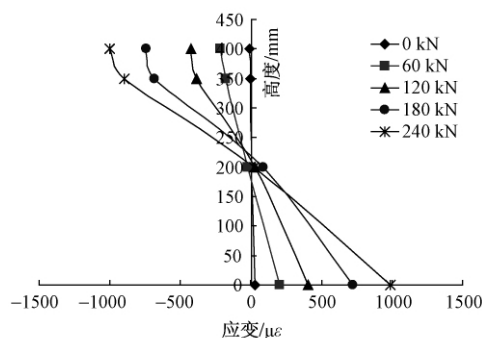
截面应变的分布情况如图6~9所示,其中1-1横截面、2-2横截面位置见图4。从加载开始至构件破坏,型钢混凝土T形柱截面平均应变分布基本符合平面假定,无论在剪弯段还是纯弯段,构件截面平均应变均受到了翼缘的影响,在剪弯段特别明显。由于翼缘部分面积较大,降低了混凝土的应力,所以翼缘部分截面平均应变大大减小。

2.4 型钢、角钢/箍筋-应变关系曲线

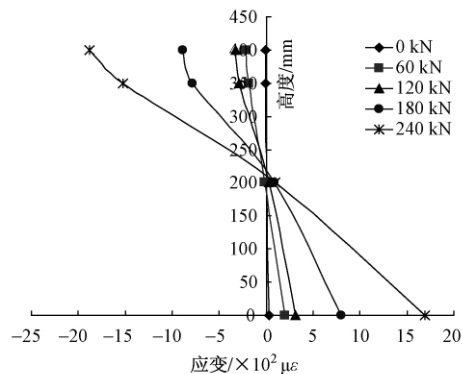
从图10中可以看出,型钢混凝土T形柱的破坏过程大致可以分为三个阶段:

第一阶段为加载至斜裂缝出现之前。由于此阶段的剪力较小,构件箍筋、角钢和型钢的剪应变都很小,剪力主要由混凝土承担。

第二阶段为斜裂缝出现至构件开始屈服。斜裂缝出现以后,截面上的剪应力发生重分布,裂缝处的混凝土退出工作并将其承担的剪应力转移给与之相交的角钢/箍筋和型钢,此时型钢部分的应变发展迅



(a) T1剪弯段2-2横截面



(b) T1纯弯段1-1横截面

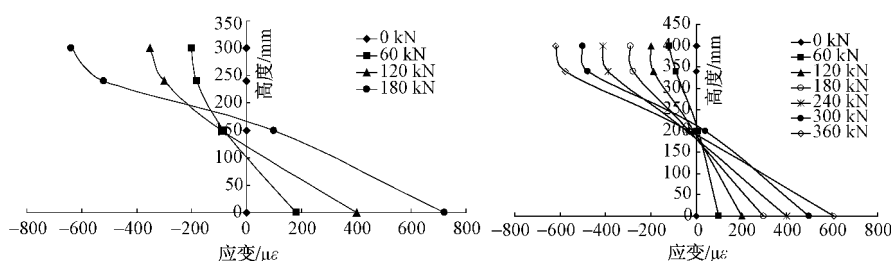
图6 T1截面应变分布情况

速,特别是角钢/箍筋的应变都产生比较明显的突变,表明构件所受的剪力由逐渐形成的混凝土斜柱体、型钢、角钢/箍筋等共同承担;随着荷载的进一步增加,混凝土进入塑性变形阶段,应力增加速度开始减缓,新增加的荷载主要由角钢/箍筋和型钢承担。同时,由图10还可以看出,与型钢应变的增长相比,缀件角钢/箍筋应变增长速度更快,继续增加荷载,角钢/箍筋在弯矩和剪力的共同作用下发生屈服。

第三阶段为破坏阶段,缀件角钢/箍筋屈服后,随着荷载继续增大,腹部混凝土斜压杆逐渐被压碎剥落,试件破坏。破坏时,试件纵向型钢只是部分屈服,而并非全截面屈服。所以尽管型钢应变部分达到屈服值,但其荷载-应变曲线并未出现明显的屈服台阶;一部分型钢的应变尚处于应力-应变的上升阶段,尚未完全屈服,应力还能继续增加。

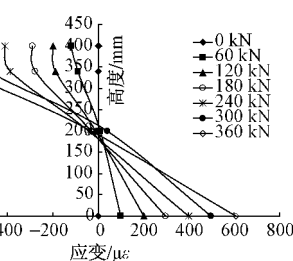
2.5 荷载-挠度关系曲线

由图11可以看出,试件T1~T4的挠度随荷载的增加而稳定增长,4条曲线的形状相似,初始弹性刚度相近。曲线表现为三个发展阶段:1)在加载至开裂荷载(P_{cr})前,截面的刚度基本无削弱,所以荷载-挠度曲线呈近似线性变化;2)随后由于混凝土的开裂,截面刚度有所降低,但由于型钢刚度在截面刚度中的比重较大,所以尽管挠度增长较前一阶段迅速,但荷载-挠度曲线没有明显的转折点;3)接近试



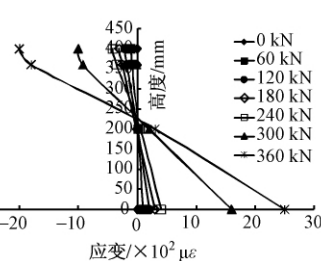
(a) T2 剪弯段 2-2 横截面

(b) T2 纯弯段 1-1 横截面



(a) T3 剪弯段 2-2 横截面

(b) T3 纯弯段 1-1 横截面



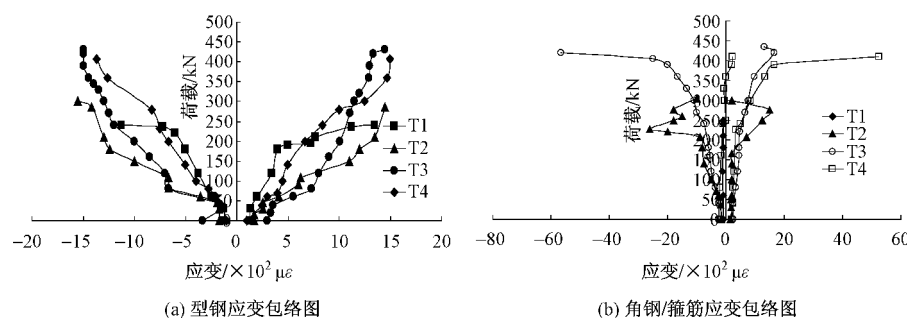
(a) T4 剪弯段 2-2 横截面

(b) T4 纯弯段 1-1 横截面

图 7 T2 截面应变分布情况

图 8 T3 截面应变分布情况

图 9 T4 截面应变分布情况



(a) 型钢应变包络图

(b) 角钢/箍筋应变包络图

图 10 剪弯段型钢、角钢/箍筋应变包络图

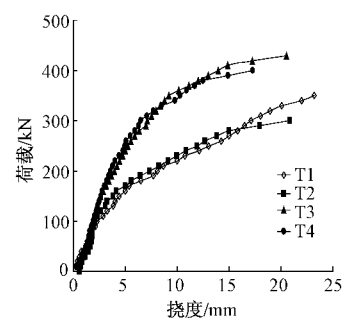


图 11 荷载-挠度关系曲线

验破坏荷载 (P_u) 时, 刚度下降较多, 挠度突增直至破坏。4 个试件破坏时构件最大跨中挠度为 21.3 mm。从图 11 中还可以看出, 试件 T3 和 T4 的后期强度及刚度明显高于试件 T1 和 T2, 其原因是加载后期, 角钢/箍筋、型钢相继屈服, 试件 T1 ~ T4 型钢骨架对构件的后期刚度贡献基本相同, 但由于试件 T3 和 T4 轴压比较大而剪跨比较小, 并且空间型钢骨架对核心混凝土的约束能力得到加强, 使得核心混凝土的刚度有所提高, 试件 T3 和 T4 的整体刚度较大。

3 抗剪承载力影响因素分析

3.1 剪跨比

剪跨比实质上是指柱中弯矩与剪力的相互作用。剪跨比越大, 表明柱中弯矩作用相对于剪力作用较大, 构件的抗剪承载力越小; 反之, 则柱中剪力作用相对于弯矩作用较小, 构件的抗剪承载力越大。文中试件 T2 和 T3 轴压比一致, 剪跨比分别为 2.18, 1.60, 斜截面承载力分别为 285, 420 kN, 试件 T3 比试件 T2 提高了 47.4%。

3.2 轴压比

轴压比的大小对型钢混凝土 T 形柱的抗剪承载力有较大影响。型钢混凝土 T 形柱的抗剪承载力随轴压比的增大而提高, 是因为在 T 形柱混凝土开裂以前, 由于柱端轴压力作用, 可相应降低由弯矩和剪力在混凝土中产生的主拉应力, 因此提高了混凝土的抗开裂能力; 随着荷载增大, 混凝土开裂, T 形柱的轴压力促使柱截面受压区形成骨料摩阻力, 使得混凝土块体之间形成咬合力, 型钢和混凝土则能够更好地协同受力, 提高 T 形柱的抗剪承载力。

结合课题组前期研究结果^[7], 本文对 8 根不同轴压比型钢混凝土 T 形柱试件的斜截面承载力进行对比分析, 具体见表 3。从表 3 可见, 对应于试件 T1 ~ T4, $P_u/(f_t b_c h_0)$ 的均值为 6.02, 对应于试件 T1' ~ T4', $P_u/(f_t b_c h_0)$ 的均值为 3.56, 轴向力大幅度地提高了试件的极限抗剪承载力。

3.3 配钢形式

箍筋能够较好地约束型钢外围的混凝土, 使得混凝土与型钢协同工作, 明显延缓混凝土表面裂缝

的产生。从表 1 中可以看出,试件 T3 和 T4 箍筋配置分别为 $\Phi 6@200$, $\Phi 8@100$, 且试件 T3 配有角钢,其他参数基本一致,开裂荷载分别为 190, 240kN, 试件 T4 比试件 T3 提高了 26.3%。

型钢混凝土 T 形柱抗剪承载力对比 表 3

试件编号	剪跨比 λ	轴压比 n	型钢	角钢/箍筋	$P_u/(f_t b_c h_0)$
T1	1.60	0.12	半 I14	L25 × 3	5.44
T2	2.18	0.23	半 I14	L25 × 3	6.04
T3	1.60	0.23	半 I14	L25 × 3	6.53
T4	1.60	0.23	半 I14	$\Phi 8@100$	6.06
T1'	2.00	0.00	半 I10	L25 × 3	3.71
T2'	1.80	0.00	半 I14	L25 × 3	4.08
T3'	1.20	0.00	半 I10	L25 × 3	3.14
T4'	1.50	0.00	半 I10	L25 × 3	3.31

角钢斜腹杆和水平腹杆通过焊接的方式与上下 T 形钢组成桁架式型钢骨架,斜腹杆和水平腹杆有效地参与斜截面抗剪,提高了极限承载力。从表 1 可以看出,试件 T4 没有配置角钢,试件 T3 配置角钢 L25 × 3, 极限承载力分别为 370, 420kN, 试件 T3 比试件 T4 提高了 13.5%。

3.4 翼缘尺寸

从图 1 可以看出,试件 T2 翼缘肢高与腹板肢高之比 $h_f/h = 4:3$, 试件 T1, T3 和 T4 翼缘肢高与腹板肢高之比均为 $h_f/h = 1:1$, 试验最终破坏形态为腹剪斜裂缝贯穿至试件 T1, T3 和 T4 的翼缘部分,而在试件 T2 翼缘部分没有临界裂缝穿越的现象。表明 T 形柱翼缘伸出腹板两侧部分较多,有助于阻止斜裂缝的开展,消耗一定的能量,从而抑制斜裂缝从腹板向上翼缘部分开展。

4 承载力计算

目前,国内外对 SRC 构件的斜截面抗剪承载力计算方法并不统一^[1],主要有叠加法、近似钢筋混凝土理论的方法、半经验半理论法。三种计算方法各有利弊,并且分别被不同的规范所采纳。在综合分析各种计算理论、借鉴前人的研究方法的基础上,采用叠加法对型钢混凝土 T 形柱斜截面承载力进行计算,并且将计算值与试验实测数据对比分析,考虑翼缘对承载力的影响之后,提出适合本文研究课题的承载力计算方法。

根据叠加法的基本原理,空腹式配钢的型钢混凝土 T 形柱斜截面抗剪承载力 V_u 由型钢抗剪承载力(V_s)和钢筋混凝土抗剪承载力(V_{rc})两部分组成:

$$V = V_s + V_{rc} \quad (1)$$

对于 V_s 的计算,借鉴钢筋混凝土构件的计算方法,将型钢混凝土 T 形柱中斜腹杆看作弯起钢筋,

水平腹杆看作箍筋,故计算式为:

$$V_s = f_s A \cos \theta + \frac{A_h}{s} f_s h_0 \quad (2)$$

式中: f_s 为腹杆的屈服强度; A 为同一截面内斜腹杆截面面积; θ 为斜腹杆与水平腹杆的夹角; A_h 为水平腹杆的截面面积; s 为水平腹杆沿构件高度方向的间距; h_0 为水平腹杆的有效高度,取 $h_0 = h - \alpha_s$, α_s 为纵向型钢的混凝土保护层厚度。

对于 V_{rc} 的计算,利用《混凝土异形柱结构技术规程》(JGJ 149—2006)^[8] 中给出的计算公式,并考虑翼缘对抗剪承载力提高系数 β , 其计算式为:

$$V_{rc} = \frac{1.75}{\lambda + 1.0} \beta f_t b_c h_0 + f_{yv} \frac{A_{sv}}{s} h_0 + 0.07N \quad (3)$$

式中: λ 为剪跨比; f_t 为混凝土轴心抗拉强度,取 $f_t = 0.26(f_{cu})^{2/3}$; b_c 为腹板宽度; h_0 为截面有效高度,取 $h_0 = h - \alpha_s$; f_{yv} 为箍筋的屈服强度; s 为箍筋间距; N 为轴向力; β 的取值参考文[4]给出的结果,见表 4。

抗剪承载力提高系数 β 取值 表 4

肢的高厚比	T 形柱	
	沿腹板加载	沿翼缘加载
2.5	1.000 7	1.305
3.0	1.001 9	1.208
3.5	1.007 3	1.152

将式(2)、(3)代入到式(1)之中,得到:

$$V = f_s A \cos \theta + \frac{A_h}{s} f_s h_0 + \frac{1.75}{\lambda + 1.0} \beta f_t b_c h_0 + f_{yv} \frac{A_{sv}}{s} h_0 + 0.07N \quad (4)$$

将实测数据代入到式(4),得到承载力计算值 V_c , 并与实测值 V_t 对比,见表 5。从表 5 可以看出,试验值与计算值比值均值为 1.35, 变异系数为 0.18。式(4)可用于计算型钢混凝土 T 形柱斜截面极限承载力。

承载力试验值与计算值 表 5

试件编号	试验值 V_t /kN	计算值 V_c /kN	V_t/V_c
T1	240.0	231.6	1.04
T2	285.0	197.7	1.44
T3	420.0	260.2	1.61
T4	370.0	284.7	1.30

5 结论

(1) 剪跨比分别为 1.60, 2.18, 1.60 和 1.60 的 4 个型钢混凝土 T 形柱试件均发生了剪压破坏。

(2) 从混凝土截面应变分布可以看出,型钢混凝土 T 形柱在变形过程中基本符合平截面假定。

(下转第 72 页)

2.3 板挠度

图 5 给出了所有构件实测的荷载-跨中挠度关系曲线(括号中为各板实际腐蚀率)。由图可见,裂缝出现前,曲线基本呈线性,随着荷载增加,裂缝不断出现,受拉区混凝土逐渐退出工作,截面刚度减小,挠度随弯矩增大加快,曲线逐渐与横轴平行。

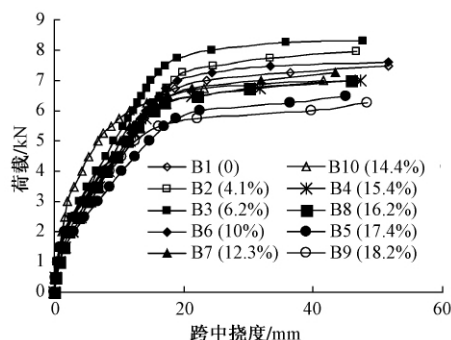


图 5 再生混凝土板荷载-跨中挠度关系曲线

在相同荷载水平下,随着钢筋腐蚀率的增加,再生混凝土板的抗弯刚度逐渐变小,挠度增大。由此可知,再生混凝土板的刚度因钢筋的腐蚀发生了一定的退化。影响普通混凝土板的短期刚度的因素主要是混凝土板的截面尺寸、截面所抵抗的弯矩标准值、纵向受拉钢筋的截面面积、混凝土抗拉强度、混凝土及钢筋的弹性模量等。由于本试验中各块板的截面尺寸、混凝土强度和配筋均相同,而再生混凝土抗拉强度、再生混凝土及钢筋的弹性模量一般认为在短期内不会发生变化,所以导致再生混凝土板刚度退化的主要原因之一是再生混凝土板和钢筋的有效截面面积减小,之二是钢筋与混凝土之间的粘结性能退化。

上述分析说明各板在钢筋腐蚀的情况下,其刚

度出现了一定程度的退化,当钢筋达到屈服后,各板的跨中挠度在一定范围内急剧增大,但荷载增大缓慢,甚至不变。由此可以得出,再生混凝土板在钢筋腐蚀的情况下,与未腐蚀板相比,延性退化很小。

3 结论

(1) 腐蚀钢筋再生混凝土板的破坏过程与普通混凝土板类似,且符合平截面假定。腐蚀钢筋再生混凝土板在钢筋屈服后表现出了很好的延性,与未腐蚀板相比,延性退化很小。

(2) 当钢筋腐蚀率较小(小于 6%)时,再生混凝土板承载力略有增加;当钢筋腐蚀率较大时,再生混凝土板承载力下降。本文根据试验结果回归了腐蚀环境下再生混凝土板承载力计算公式。

(3) 再生混凝土板发生钢筋腐蚀,出现锈胀裂缝后,其刚度会出现较大的损失,随着钢筋腐蚀率的增大,抗弯刚度下降。

参 考 文 献

- [1] 肖建庄. 再生混凝土[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2008.
- [2] 刘冠国. 钢筋混凝土锈蚀构件性能试验研究[D]. 南京: 河海大学, 2006.
- [3] 卞汉兵. 海洋环境锈蚀钢筋混凝土板试验研究及理论分析[D]. 南京: 河海大学, 2003.
- [4] 李富民, 袁迎曙. 腐蚀钢绞线预应力混凝土梁的受弯性能试验研究[J]. 建筑结构学报, 2010, 31(2): 78-84.
- [5] 吕维波. 9 年期锈蚀钢筋混凝土板试验研究及分析[D]. 南京: 河海大学, 2008.
- [6] GB 10124—88 金属材料实验室均匀腐蚀全浸试验方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 1988.
- [7] GB 50152—92 混凝土结构试验方法标准[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1992.
- [8] GB 50010—2010 混凝土结构设计规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2011.

(上接第 58 页)

(3) 通过对型钢混凝土 T 形柱抗剪机理的分析可知, 剪跨比、轴压比、配钢形式、翼缘尺寸等参数对型钢混凝土 T 形柱的抗剪强度有显著影响。剪跨比越大, 构件的抗剪承载力越小, 反之, 构件的抗剪承载力越大; 型钢混凝土 T 形柱的抗剪承载力随轴压比的增大而提高; 箍筋能够较好地约束型钢外围的混凝土, 使混凝土与型钢骨架协同工作, 明显延缓混凝土表面裂缝的产生; 翼缘部分通过对腹板的约束, 在一定程度上有利于提高 T 形柱的抗剪强度。

(4) 采用叠加法对型钢混凝土 T 形柱抗剪承载力进行计算, 其公式可用于其斜截面极限承载力计算。

参 考 文 献

- [1] 赵鸿铁. 钢与混凝土组合结构[M]. 北京: 科学出版社, 2001.
- [2] 徐亚丰, 刁晓征, 王鑫. 十字形实腹式钢骨混凝土异形柱非线性分析[J]. 建筑结构, 2010, 40(7): 96-98.
- [3] CHENG-TZU, THOMAS HSU. Biaxial loaded I-shaped reinforced concrete columns[J]. Journal of Structural Engineering, 1985, 111(12): 2576-2595.
- [4] 陈宗平, 薛建阳, 赵鸿铁, 等. 低周反复荷载作用下型钢混凝土异形柱的抗剪承载力分析[J]. 土木工程学报, 2007, 40(7): 15-21.
- [5] 周建中. 钢筋混凝土不等肢 L 形截面异形柱正截面承载力的试验及理论研究[D]. 南宁: 广西大学, 2000.
- [6] 严孝钦. 异形柱纵筋最小配筋率和保护层厚度对矩形柱承载力影响[D]. 天津: 天津大学, 2000.
- [7] 胡飞鹏. 桁架式钢骨混凝土异形柱[D]. 南宁: 广西大学, 2006.
- [8] JGJ 149—2006 混凝土异形柱结构技术规程[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2006.