

DOI :10.3876/j.issn.1000-1980.2012.03.013

SRC-RC 竖向混合结构转换柱研究现状综述

伍 凯¹ 薛建阳² 赵鸿铁²

(1. 河海大学土木与交通学院, 江苏 南京 210098; 2. 西安建筑科技大学土木工程学院, 陕西 西安 710055)

摘要:通过 16 根转换柱试件及钢筋混凝土柱对比试件的低周反复荷载试验,分析型钢延伸高度、箍筋配置和型钢配钢率对转换柱受力性能的影响,为 SRC-RC 竖向混合结构的推广应用提供科研基础与参考.指出 (a) 由于型钢的局部存在,转换柱容易产生类似于 RC 短柱的剪切破坏,破坏主要集中在 RC 部分,钢与混凝土之间的共同工作会导致此类破坏发生 (b) 为了保证转换柱具有更好的抗震性能,应采取构造措施控制剪切裂缝的发展,避免剪切破坏,提高构件的变形能力.建议构件全高箍筋加密或在 RC 部分设置 X 形交叉钢筋.在对转换柱特殊破坏方式充分认知的基础上,对新的构造措施与配钢方式进行了展望.

关键词:型钢混凝土;钢筋混凝土;混合结构;转换柱;综述

中图分类号: TU398+.9 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-1980(2012)03-0319-06

A review of research progress on transfer columns in SRC-RC vertical hybrid structures

WU Kai¹, XUE Jian-yang², ZHAO Hong-tie²

(1. College of Civil and Transportation Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China;

2. School of Civil Engineering, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710055, China)

Abstract: Through experiments on 16 transfer columns under low cyclic reversed loading, the effects of factors including the extended height, the stirrup ratio, and the shaped steel ratio on the bearing capacity of the transfer columns were analyzed. This analysis provides a basis and references for extensive applications of SRC-RC vertical hybrid structures. The results show the following: (a) Due to the partial existence of the shaped steel, the transfer columns, like the RC short columns, are easily subjected to shear failure. This failure mainly occurs in the RC part and is caused by the interaction between concrete and the shaped steel. (b) To ensure a good anti-seismic performance of the transfer columns, construction measures that can restrict the development of shear cracks, avoid the shear damage, and improve the deformation ability of specimens should be taken. It is suggested that X bars and more stirrups be used for the specimens. Based on a comprehensive understanding of the special failure modes of the transfer columns, new methods for steel arrangement and configuration are put forward.

Key words: steel reinforced concrete; reinforced concrete; hybrid structure; transfer column; review

随着建筑高度不断的增加,高层建筑底部数层受到轴压力的控制,柱子断面普遍偏大,容易形成抗震性能很差的短柱^[1].将型钢混凝土(SRC)结构引入高层建筑物,在建筑物的底层或者底部数层使用 SRC 结构,利用其良好的工作性能提高底部楼层的承载力和变形能力,而上部继续采用更为经济的钢筋混凝土(RC)结构,形成 SRC-RC 竖向混合结构^[2].SRC-RC 竖向混合结构沿竖向存在结构形式的转变,容易产生刚度突变,需要设置过渡层.过渡层一方面需要实现刚度的平缓变化,另一方面需要将混合结构下部的 SRC 柱和上部

收稿日期:2011-04-06

基金项目:国家自然科学基金(50978217);中国博士后科学基金(2012M511666);中央高校基本科研业务费专项(2011B07714);教育部高等学校博士学科点专项(20096120110005);教育部留学回国人员科研基金(教外司函[1108]号);陕西省重点学科建设专项(E01003)

作者简介:伍凯(1980—)男,陕西西安人,讲师,博士,主要从事钢结构、钢与混凝土组合结构及混合结构研究. E-mail: wukai19811240@yahoo.com.

的 RC 柱进行合理转换和连接.早期的 SRC-RC 竖向混合结构采用整层过渡的转换方式 ,SRC 柱型钢的截断位置选择在梁柱节点处 2 种结构形式简单累加.由于缺乏相关的试验研究与抗震设计 ,采用此类过渡方式的 SRC-RC 竖向混合结构在地震中遭到了严重的破坏 ,破坏发生在 2 种结构形式的衔接处 ,其特殊的破坏方式引起了工程界的普遍关注^[3].从 20 世纪中后期开始 ,日本采用转换柱实现 SRC-RC 竖向混合结构中 SRC 柱到 RC 柱的过渡 ,并对其抗震性能进行了试验研究.由于下部 SRC 柱的型钢延伸至转换柱的柱身中部截断 ,因此转换柱具有特殊的构造特征 ,图 1 给出了转换柱低周反复荷载试验的试件模型.虽然日本学者对转换柱的抗震性能进行了试验研究 ,但由于试件数量稀少 ,侧重于研究单个参数的影响 ,系统性的研究比较缺乏^[4-10].

自日本 1995 年阪神地震以来 ,我国工程界对 SRC-RC 竖向混合结构过渡层的抗震设计比较关注 ,但关于过渡层的抗震性能试验和理论研究工作开展得比较少^[11-16].研究工作落后于 SRC-RC 竖向混合结构在工程实践中的应用与发展.

1 试件抗震性能试验及试验参数

收集了不同学者完成的 16 根试件 ,包括具有代表性的转换柱试件及相应的 RC 柱对比试件.对型钢延伸高度、构造加强措施及型钢配钢率进行分析 ,揭示这些因素对转换柱受力性能的影响 ,为转换构件的合理设计提供数据和参考.由于转换柱具有型钢沿纵向不连续的特点 ,为了更好地反映构件真实的受力情况 ,收集的试件均采用“建研式”加载装置进行抗震性能试验.表 1 给出了各试件的试验参数 ,转换柱由柱身下部 SRC 部分和上部 RC 组成 ,2 部分的配箍率和配筋率见表 1.

表 1 试件的主要参数及试验结果

Table 1 Parameters and test results of specimens

试件 编号	截面尺寸/mm		λ	ξ	n	$\rho_{ss}/\%$	$\rho_s/\%$		$\rho_s/\%$		主要构造 措施	极限承载力 V/kN
	长	宽					RC	SRC	RC	SRC		
S3-00	400	400	1.5		0.15		0.3	0.3	1.44	1.44		431
S3-30	400	400	1.5	0.25	0.15	4.5	0.3	0.3	1.44	1.44		401
S3-60	400	400	1.5	0.50	0.15	4.5	0.3	0.3	1.44	1.44		400
S3-90	400	400	1.5	0.75	0.15	4.5	0.3	0.3	1.44	1.44		446
T3-PL	400	400	1.5	0.50	0.15	4.5	0.3	0.3	1.44	0.72	型钢端部加劲板	384
T6-PL	400	400	1.5	0.50	0.15	4.5	0.6	0.3	1.44	0.72	型钢端部加劲板	503
T6-SD	400	400	1.5	0.50	0.15	4.5	0.6	0.3	1.44	0.72	型钢翼缘栓钉	520
TX3-PL	400	400	1.5	0.50	0.15	4.5	0.3	0.3	1.36	0.72	交叉钢筋	542
M6-PL	400	400	1.5	0.50	0.15	1.5	0.6	0.3	1.44	0.72	型钢端部加劲板	448
M6-PL0	400	400	1.5	0.50	0	1.5	0.6	0.3	1.44	0.72	型钢端部加劲板	309
M6-SD0	400	400	1.5	0.50	0	1.5	0.6	0.3	1.44	0.72	型钢翼缘栓钉	311
RC	300	300	2.0		0.20		0.47	0.47	0.89	0.89		173
S300	300	300	2.0	0.25	0.20	2.58	0.47	0.47	0.89	0.89		209
S600	300	300	2.0	0.50	0.20	2.58	0.47	0.47	0.89	0.89		227
S900	300	300	2.0	0.75	0.20	2.58	0.47	0.47	0.89	0.89		225
S1200	300	300	2.0	1.00	0.20	2.58	0.47	0.47	0.89	0.89		229

注 λ 为剪跨比 , $\lambda = L/(2h)$, L 为试件高度 , h 为截面高度 ; ξ 为型钢延伸高度系数 , $\xi = L_{ss}/L$, L_{ss} 为型钢在转换柱中的延伸高度 , $\xi = 1.0$ 表示型钢延伸至上部(上部的加载大头)的下边缘 ; n 为轴压比 , $n = N/(f_c A)$, f_c 为混凝土轴心抗压强度 , N 为轴压力 , A 为截面面积 ; ρ_{sv} 为箍筋的配箍率 , $\rho_{sv} = A_{sv}/(bs)$, A_{sv} 为箍筋的截面面积 , b 为截面宽度 , s 为箍筋间距 ; ρ_{ss} 与 ρ_s 分别为型钢的配钢率和纵筋的配筋率.

2 SRC-RC 转换柱受力性能影响因素

2.1 型钢延伸高度的影响

型钢延伸高度指型钢在转换柱中的伸入长度 ,是影响转换柱受力性能的重要参数.型钢的局部存在改变

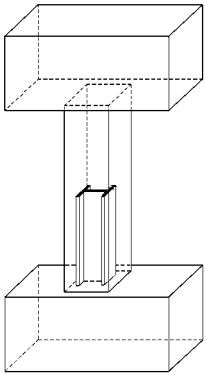


图 1 转换柱试件模型

Fig. 1 Model of specimen of transfer column

了构件的破坏方式,转换柱容易产生类似于 RC 短柱的剪切破坏,如图 2 所示,型钢的局部存在是导致此类破坏的根本原因。在低周反复荷载作用下,为了实现型钢与混凝土的共同工作,两者之间存在相互挤压现象,挤压力主要集中在型钢的截断位置处。型钢对混凝土的挤压力相当于间接荷载作用于转换柱的内部,使混凝土内部产生垂直于柱轴线方向的拉应力,混凝土处于多向拉压的应力状态,拉应力产生的撕裂作用降低了混凝土的抗剪强度,导致试件产生严重的剪切破坏,延性较差。

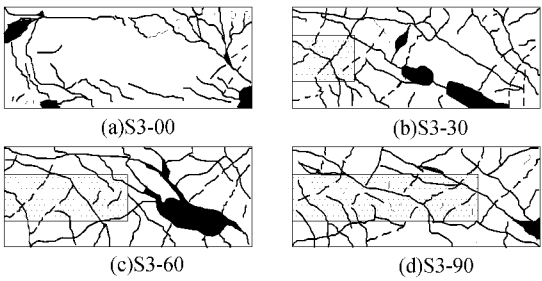


图 2 试件的破坏情况

Fig. 2 Failure patterns of specimens

转换柱的承载力随型钢延伸高度系数的变化如图 3 所示。随着型钢延伸高度的增加,试件的承载力有小幅增长。对于剪跨比较小的试件,剪切作用比较明显,型钢的作用主要体现在腹板的抗剪,型钢延伸高度的增加在更大范围内增强了 RC 截面的强度和刚度,限制并约束了剪切裂缝的发展,因此构件的承载力有所提高。对于剪跨比较大的试件,型钢的作用主要体现在增强横截面的抗弯能力,型钢在转换柱中的延伸可以理解为型钢的锚固,较大的型钢延伸高度增加了挤压力的力臂,保证型钢的抗弯作用得到更好的发挥,承载力随延伸高度的增加而增大。当型钢延伸高度增加到可以保证柱底型钢达到屈服状态时,继续增加延伸高度无法再继续提高试件的承载力。对于剪跨比为 1.5 的试件,转换柱没有表现出比 RC 柱更好的承载能力,对于剪跨比为 2.0 的试件,转换柱的承载力明显高于对应的 RC 对比试件。

现行抗震规范要求结构在大震(罕遇烈度地震)作用下的非弹性变形小于容许极限变形,以防止结构倒塌,因此要求结构的层间侧移角小于规定值,对 RC 框架此限值为 $1/50$ ^[17]。结构与柱子的侧移角不能等同,但柱子的极限侧移角超过 $1/50$ 是保证结构满足容许值的必要条件。柱子具有良好的变形能力是结构体系抗倒塌的基本保证。对构件的极限侧移角 R_u 的定义,目前没有统一的标准,常用的方法是以荷载~位移骨架曲线($P \sim \Delta$ 骨架曲线)上承载力下降至 αP_{max} 时所对应的变形作为构件的极限变形 Δ_u , P_{max} 为极限荷载, α 为衰减系数,其取值取决于构件保持稳定对承载力降低的容许程度或构件对破坏的容许程度。 Δ_u 与构件净高的比值定义为极限侧移角^[18]。转换柱是混合结构中承上启下的转换构件,在地震作用下容易成为薄弱环节,其抗震性能直接影响建筑结构的抗震安全,因此可以偏于安全地取 $\alpha = 1$ 。图 4 给出了 3 个试件 S3-30、S3-60、S3-90 的极限侧移角,转换柱的极限侧移角随着型钢延伸高度的增加而加大,但延性最好的试件 S3-90 的极限侧移角也仅为 0.97%,尚不及 RC 框架限值的 50%,剪跨比较小和配箍量不足是造成转换柱延性不足的 2 个重要因素。对于剪跨比较大且配箍较多的试件,型钢在破坏时可以达到弯曲屈服状态,转换柱具有较好的变形能力,其抗震性能介于 RC 柱与 SRC 柱之间。

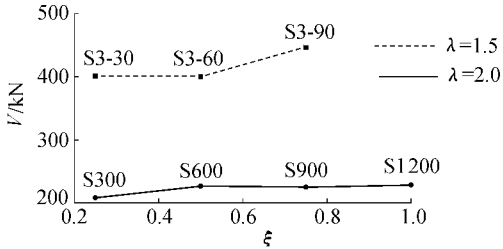


图 3 承载力与型钢延伸高度系数的关系

Fig. 3 Relationship between bearing capacity and extended height coefficient of shaped steel

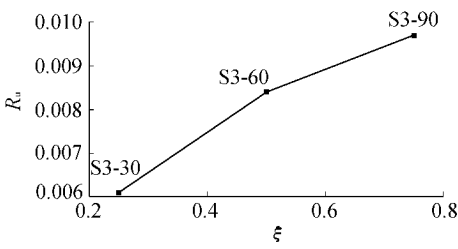


图 4 极限侧移角与型钢延伸高度系数的关系

Fig. 4 Relationship between ultimate rotation angle and extended height coefficient of shaped steel

2.2 箍筋与 X 形交叉钢筋的影响

将转换柱划分为 RC、SRC 和型钢截断位置区域 3 个部分。由于 SRC 部分具有较大的抗剪能力,试件的剪切破坏均发生在 RC 部分或型钢截断位置区域。为了改善转换柱的抗剪性能,对这 2 部分应适当加强。为了有效约束剪切裂缝的发展,避免发生剪切破坏,应自型钢截断位置区域至柱顶端进行箍筋加密。由于型钢与混凝土之间的相互挤压作用,型钢截断位置区域的混凝土内部存在水平方向的拉应力,需要额外的箍筋提供拉力平衡,因此在此区域应配置更多的箍筋。由试件的剪切破坏方式可知,导致破坏的临界剪切裂缝贯通试

件上部的整个 RC 部分,因此应对 RC 部分进行箍筋加密.图 5(a)给出了试件 T6-PL 和试件 T3-PL 的骨架曲线.试件 T6-PL 在 RC 部分和型钢不连续位置区域的箍筋数量为试件 T3-PL 的 2 倍,虽然箍筋加密未能最终避免剪切破坏,但试件的承载能力和变形能力均得到了较大改善,说明箍筋加密是改善转换柱抗震性能的有效措施.

为了改善转换柱的受力性能,可以在 RC 部分配置形如 X 形交叉钢筋.X 形交叉钢筋与斜裂缝交叉,可以有效控制斜裂缝的发展,减少捏拢现象,增加变形能力.试件 TX3-PL 比试件 T3-PL 在 RC 部分多设置了 4 根以 27°倾角(钢筋与柱轴线的夹角)形成的 X 形钢筋,其极限承载力比 T3-PL 增加了约 40%,比采取箍筋加密试件 T6-PL 极限承载力增加约 8%,同时试件的延性得到了很好的发展,屈服平台明显增长,如图 5(b)所示(R 为试件的侧移角).

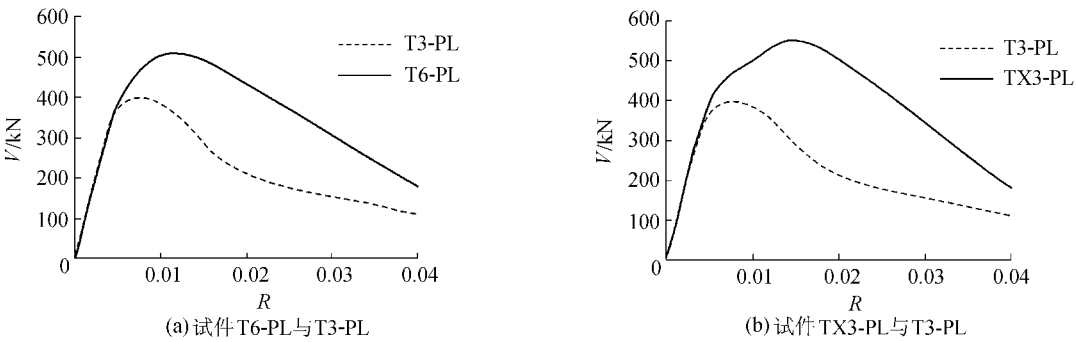


图 5 不同构造转换柱骨架曲线对比
Fig. 5 Comparison of skeleton curves of specimens with different steel configurations

2.3 配钢率

SRC 构件的配钢率是型钢截面面积与构件截面面积的比值.转换柱存在着不同于 SRC 柱的特殊性,其合理配钢率需要通过平衡矛盾来确定:用钢量过小,型钢约束混凝土的面积较小,对混凝土脆性性质改善的作用有限,体现不出 SRC 柱延性好的特点;配钢率较小的柱承载能力有限,体现不出 SRC 柱承载能力高的优势;配钢率过大,造成转换柱中 SRC 与 RC 性能差异过大,型钢在端部对混凝土产生较大的挤压力,更容易导致剪切破坏的发生,型钢截断位置区域的合理过渡难以实现,较大的配钢率同样会造成混凝土浇筑困难,而且由于型钢截面尺寸过大造成混凝土保护层厚度较小,导致 2 种材料之间产生黏结裂缝及相对滑移,影响钢与混凝土的共同工作.

配钢率为 1.5% 的试件 M6-PL 产生弯曲破坏,配钢率为 4.5% 的试件 T6-PL 产生剪切破坏,说明配钢情况直接影响试件的破坏方式.对比试件 T6-PL 与试件 M6-PL 的骨架曲线(图 6).后者的极限承载力较前者降低了约 10%,主要原因在于配钢率的大幅度降低;另一方面,由于配钢率的减小和破坏方式的转变,构件的变形能力和耗能能力得到了保证.

3 转换柱的新型配钢方式

为了缓解转换柱 RC 部分和 SRC 部分之间的承载力和刚度差异,避免发生剪切破坏,保证转换柱具有足够的抗震延性,提出转换柱的新型配钢方式.

a. 由于型钢局部存在于转换柱的中下部,其增强了试件底部截面的抗弯能力.在加载过程中试件底部可能尚未达到屈服状态,未能形成塑性铰,型钢的性能得不到充分发挥.为了缓解转换柱上下 2 部分正截面承载能力的差异,使柱底形成塑性铰以达到弯曲破坏,可以采用图 7(a)所示的配钢方式,将柱底部一定范围内型钢的翼缘进行狗骨式削减^[19],使受力过程中根部的应力集中促使塑

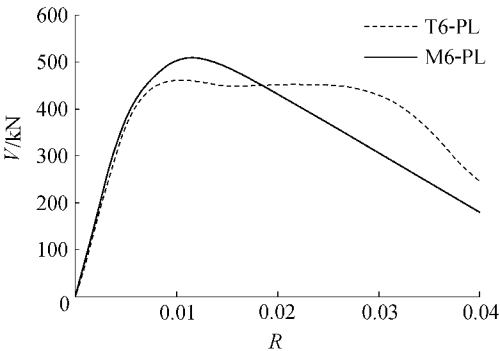


图 6 不同配钢率转换柱骨架曲线对比
Fig. 6 Comparison of skeleton curves of specimens with different shaped steel ratios

性铰形成。

b. 对于转换柱试件,箍筋加密的构造措施虽然可以延缓剪切裂缝的发展,但无法最终避免剪切破坏。箍筋在混凝土开裂前所起的抗剪作用有限,只是当剪切开裂后起到限制裂缝发展、拉结裂缝两侧混凝土分离体的作用。部分转换柱试件的剪切破坏实质上并非由剪切裂缝的过度张开引起,而是剪切裂缝出现导致局部范围内混凝土整体性遭到破坏。剪切裂缝两侧的混凝土在弯矩、剪力与轴压力的共同作用下沿发展较充分的剪切面产生相对运动,导致承载能力丧失。因此,采用箍筋约束裂缝发展虽然能够起到改善构件抗震性能的作用,但其“被动抗剪”的本质决定其无法避免剪切破坏的发生。为了防止剪切破坏的发生,可以采用图 7(b)所示的配钢方式,将型钢腹板延伸至柱顶部。型钢的腹板能够自始至终主动参与抗剪,承担部分或大部分的剪力,腹板的抗剪作用可以减少剪切裂缝的出现并延缓其发展,因此能够减小剪切裂缝对正截面承载能力的削弱程度,保证混凝土的整体性,提升截面的转动能力。与此同时,型钢腹板可以负担部分轴向荷载,减小混凝土的轴压应力,有利于改善转换柱构件的抗震性能。

c. 第 3 种配钢方式是在削弱柱根部型钢的同时延伸型钢腹板至柱顶部,如图 7(c)所示。这样在提高 RC 部分受剪承载能力的同时有利于柱底塑性铰的形成,实现弯曲破坏,保证转换柱具有可靠的抗震性能。

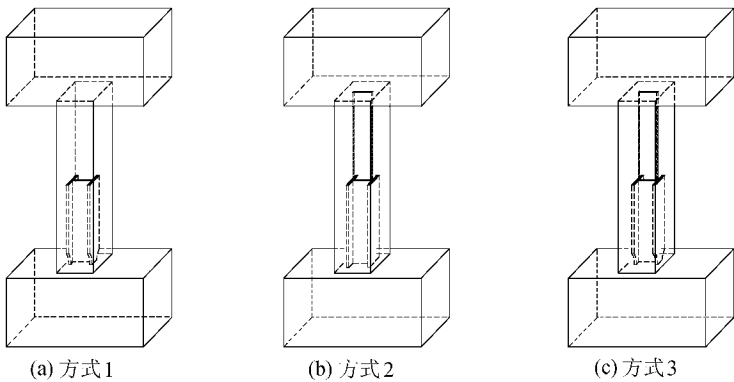


图 7 转换柱的新型配钢方式

Fig. 7 New arrangement of shaped steel for transfer columns

4 结 语

SRC-RC 竖向混合结构转换柱是从 SRC 柱到 RC 柱的转换构件,地震中容易成为整个混合结构的薄弱环节,并导致薄弱层出现,其受力性能直接影响建筑结构的抗震安全。笔者利用收集的 16 根转换柱试件,分析转换柱的抗震性能,得出以下认识:

- a. 型钢延伸高度是影响试件受力性能的主要因素之一,为了充分发挥型钢的作用,转换构件应保证型钢具有足够的延伸高度。
- b. 由于型钢的局部存在,转换柱容易产生类似于 RC 短柱的剪切破坏,破坏主要集中在 RC 部分,钢与混凝土之间的共同工作导致此类破坏的发生。
- c. 为了保证转换柱具有良好的抗震性能,应采取构造措施控制剪切裂缝的发展,避免剪切破坏,提高构件的变形能力,建议构件从型钢截断位置区域至柱顶端进行箍筋加密或在 RC 部分设置 X 形交叉钢筋。
- d. 为了避免剪切破坏、提高抗震延性,可以将转换柱底部一定范围内型钢的翼缘进行狗骨式削减。由削减产生的应力集中有利于形成塑性铰,促使构件产生弯曲破坏。此外还可将型钢腹板延伸至柱顶部,腹板能够承担大部分剪力,可以延缓剪切裂缝的出现和发展,保证混凝土的整体性,提升截面的转动能力。

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] 薛建阳, 赵鸿铁. 型钢混凝土黏结滑移理论及其工程应用[M]. 北京: 科学出版社, 2007.
[3] AZIZINAMINI A, GHOSH S K. Steel reinforced concrete structures in 1995 Hyogoken-Nanbu earthquake[J]. Journal of Structure Engineering, 1997, 123(8): 986-992.
[4] 西村泰志, 冈本昌泰, 马场 望. RC 部材とSRC 部材が直列的に結合される接合部の耐力倍率(その2)[C] // 日本建筑学

- 会.日本建筑学会大会学术讲演梗概集.中国:日本建筑学会,1999:1063-1064.
- [5] 冈本昌泰,马场 望,西村泰志.RC部材とSRC部材が直列的に結合される接合部の麻力伝達(その3)[C]/日本建筑学会.日本建筑学会大会学术讲演梗概集.中国:日本建筑学会,1999:1065-1066.
- [6] 铃木英之,西原 宽,松崎育弘.柱高さの途中まで存在する鉄骨がRC柱のせん断性状に及ぼす影响[J].コンクリート工学年次论文报告集,1999,21(3):577-582.
- [7] 铃木英之,西原 宽,松崎育弘.SRC造からRC造へ构造形式が切り替わる柱のせん断性状[C]/日本建筑学会.日本建筑学会大会学术讲演梗概集.中国:日本建筑学会,1999:1069-1070.
- [8] 山口美有纪,木村润一,郑真安,等.SRC-RC混合柱部材の骨格曲线モデル[C]/日本建筑学会.日本建筑学会大会学术讲演梗概集.北海道:日本建筑学会,2004:1177-1178.
- [9] 今野 修,今泉隆之,山本宪一郎,等.超高层建筑物における下层階へのSRC构造适用に関する实验的研究,その1 SRC柱の 性性能に関する实验計画[C]/日本建筑学会.日本建筑学会大会学术讲演梗概集.九州:日本建筑学会,1998:1029-1030.
- [10] 木村润一,新宫义信.繰返しせん断を受ける混合部材の构造性能[C]/日本建筑学会.日本建筑学会大会学术讲演梗概集.九州:日本建筑学会,1998:1067-1068.
- [11] 杨勇,郭子雄,聂建国,等.SRC-RC竖向混合结构过渡层抗震设计方法探讨[J].世界地震工程,2005,21(4):60-65.
(YANG Yong, GUO Zi-xiong, NIE Jian-guo, et al. Study on seismic design of transmission story of SRC-RC vertical hybrid structures [J]. World Earthquake Engineering, 2005, 21(4): 60-65. (in Chinese))
- [12] 杨勇,郭子雄,聂建国.型钢混凝土竖向混合结构过渡层抗震性能研究综述[J].工程抗震与加固改造,2006,28(5):78-86.
(YANG Yong, GUO Zi-xiong, NIE Jian-guo. Review of studies on seismic design of transition story of steel reinforced concrete (SRC) vertical hybrid structure [J]. Earthquake Resistant Engineering and Retrofitting, 2006, 28(5): 78-86. (in Chinese))
- [13] 杨勇,张志伟,聂建国.型钢混凝土竖向混合结构过渡层设计方法[J].福州大学学报:自然科学版,2006,34(3):399-404.
(YANG Yong, ZHANG Zhi-wei, NIE Jian-guo. Design of transition story of steel reinforced concrete (SRC) vertical hybrid structures [J]. Journal of Fuzhou University Natural Science, 2006, 34(3): 399-404. (in Chinese))
- [14] 刘大海,杨翠如.型钢、钢管混凝土高楼计算和构造[M].北京:中国建筑工业出版社,2003.
- [15] 戴国亮,蒋永生,傅传国,等.高层型钢混凝土底部大空间转换层结构性能研究[J].土木工程学报,2003,36(4):24-32.
(DAI Guo-liang, JIANG Yong-sheng, FU Chuan-guo, et al. Experimental study on aseismic behaviors of transfer story with steel reinforced concrete in low stories of large space [J]. China Civil Engineering Journal, 2003, 36(4): 24-32. (in Chinese))
- [16] 日本钢结构协会.钢结构技术总览(实例篇Ⅰ)[M].陈以一,傅功义,严敏,等,译.北京:中国建筑工业出版社,2004.
- [17] GB50011—2001 建筑抗震设计规范[S].
- [18] 戴国莹,王亚勇.房屋建筑抗震设计[M].北京:中国建筑工业出版社,2005.
- [19] 张雪松,李海涛,张铁蓉.型钢翼缘狗骨式削弱在型钢混凝土节点的作用[J].哈尔滨工业大学学报,2009,41(12):110-114.
(ZHANG Xue-song, LI Hai-tao, ZHANG Tie-rong. The effect of dog-bone style weakened flanges of shaped steel on SRC joints [J]. Journal of Harbin Institute of Technology, 2009, 41(12): 110-114. (in Chinese))