

[文章编号] 1003—4684(2020)01-0052-03

不同破坏模式的新型框架节点抗震性能比较

苏 骏, 李 芬

(湖北工业大学土木建筑与环境学院, 湖北 武汉 430068)

[摘 要] 为了解不同破坏模式下 UHTCC 新型框架节点的抗震性能差异,对 UHTCC 新型框架节点进行了低周反复荷载试验,比较分析了不同模式下 UHTCC 新型框架节点的破坏过程、承载力、骨架曲线和位移延性系数的差异。结果表明,UHTCC 框架节点裂缝明显细密且均匀,梁端弯曲破坏时的 UHTCC 框架节点试件具有更高的抗震延性和耗能性能。实际工程中 UHTCC 优异的抗剪性能可部分取代梁柱节点核心区水平箍筋的抗剪作用。

[关键词] 破坏模式; UHTCC; 框架节点; 抗震性能

[中图分类号] TU375.4 [文献标识码] A

大量震害和节点抗震实验表明,钢筋混凝土框架节点在水平动力荷载下的破坏模式除锚固破坏外,主要有梁端出现塑性铰破坏、节点核心区剪切破坏、柱端破坏等破坏类型。框架结构柱与梁端受弯承载力的比值是影响节点破坏模式的重要因素,按照我国《建筑抗震设计规范》(GB50010—2010)^[1]中“强柱弱梁”设计原则,柱与梁端受弯承载力的比值越大,节点试件发生梁铰破坏的可能性越大,由于梁铰破坏节点性能往往没有明显退化,耗能能力显著,所以梁铰破坏是框架结构设计时可取的耗能模式。但是由于楼板钢筋的协同工作以及钢筋的强化等,造成节点核心区产生剪切破坏的可能性增大。

超高韧性水泥基材料(Ultra High Toughness Cementitious Composites,简称 UHTCC)主要是由 PVA 纤维、低掺量水泥、大掺量粉煤灰、优质细砂为基本组成材料,具有多条细密裂缝开裂、纤维桥接能力和显著的应变硬化特征,可用于以受剪切为主的构件和高剪应力作用下的结构关键部位。为验证新

型材料 UHTCC 对不同破坏模式的框架结构抗震性能和损伤容限的影响,在本课题组前期试验并参考文献^[2]的基础上,考虑节点核心区箍筋配箍率和柱试验轴压比的影响,研究拟静力试验条件下的 UHTCC 新型框架节点的骨架曲线和位移延性系数,评估不同破坏模式下的 UHTCC 新型框架节点的抗震性能,为超高韧性水泥基材料取代框架梁柱节点核心区普通混凝土的可行性提供参考。

1 试验概况

本课题组设计的第一组节点试件模型拟发生节点核心区剪切破坏,UHTCC 浇筑范围为梁端 250 mm、柱端 150 mm;文献^[2]设计的第二组节点模型拟发生梁端出现塑性铰破坏,UHTCC 浇筑范围为梁端 600 mm、柱端 300 mm。试件基本参数及材料的力学性能分别见表 1 和表 2,节点试件几何尺寸及配筋见图 1。

表 1 试件基本参数

试件编号	本课题组			文献来源 ^[2]	
	UHTCCJ1	UHTCCJ2	UHTCCJ3	J1	J2
梁截面尺寸	150×300	150×300	150×300	200×300	200×300
柱截面尺寸	200×250	200×250	200×250	300×300	300×300
梁配筋	4Φ20	4Φ20	4Φ20	4Φ18	4Φ18
柱配筋	8Φ16	8Φ16	8Φ16	8Φ22	8Φ22
节点水平箍筋	—	1Φ8	2Φ8	1Φ10	1Φ10
试验轴压比	0.35	0.25	0.35	0.35	0.15
轴向压力/kN	538	385	538	765	328
节点破坏模式	节点剪切破坏			梁铰破坏	

[收稿日期] 2019—09—02

[基金项目] 国家自然科学基金(51579195)

[第一作者] 苏 骏(1971—),男,安徽六安人,工学博士,湖北工业大学教授,研究方向为纤维混凝土结构,工程结构抗震

表 2 UHTCC 材料及混凝土强度 MPa				
梁 C30	柱 C40	节点 UHTCC 材料		
		f_{cu}	σ_{tc}	σ_{tu}
31.95	45.78	40	4.0	5.98

f_{cu} 为材料立方抗压强度标准值; σ_{tc} 为 UHTCC 材料拉伸初裂强度; σ_{tu} 为其极限抗拉强度。文献[2]中梁柱混凝土采用 C30, $f_{cu} = 42.8MPa$

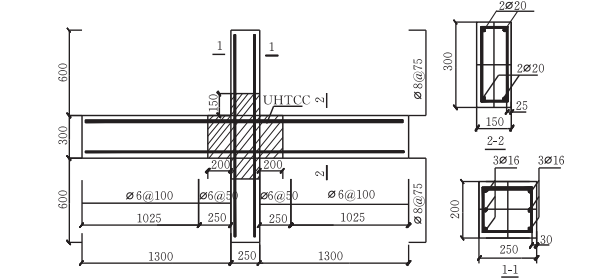


图 1 节点试件几何尺寸及配筋(本课题组)

不同破坏模式节点试件拟静力结构试验均在大连理工大学结构实验室进行,加载方式依据《建筑抗震试验方法规程》[3]要求,即首先在柱顶端施加轴向力到达预设轴压比,在梁的两个自由端采用推拉千斤顶施加低周反复荷载,以模拟水平地震作用时构件的受力和变形。梁端竖向荷载在试件屈服前采用荷载控制模式,试件屈服以后采用位移控制模式,每个控制位移循环 3 次,直到 UHTCC 框架节点试件梁端荷载显著降低或无法继续稳定承受荷载时停止加载。

2 试验结果分析

2.1 受力过程及破坏分析

J1 和 J2 试件均发生梁端出现塑性铰引起的破坏,为延性破坏。与 J1 和 J2 试件破坏模式不同, UHTCCJ1、UHTCCJ2 和 UHTCCJ3 试件均为典型的节点核心区剪切破坏,且破坏模式在试验过程中基本相似,如试件 UHTCCJ1 的试验轴压比为 0.35,当梁端竖向荷载增加至 11.2 kN 时,梁端塑性铰区出现第一条竖向微细裂缝,当梁端荷载加至 25.1 kN 时,核心区出现了第一条微细斜裂缝,卸载时裂缝闭合,在往复荷载作用下,大量新的微细斜裂缝在节点核心区出现并延伸(图 2),核心区微细斜裂缝随控制位移的增加逐渐发展,最终贯通形成多条沿 45 度方向的 X 形剪切裂缝,细密裂缝出现以后,构件进入弹塑性阶段,节点试件破坏时 X 形剪切裂缝宽度很小,核心区没有发生水泥基材料剥落现象。图 3 为 UHTCCJ1 试件在低周反复荷载作用下的破坏过程。

UHTCC 新型材料的多裂缝开裂模式和受拉应硬化特征可以显著提高混凝土框架结构的抗剪和

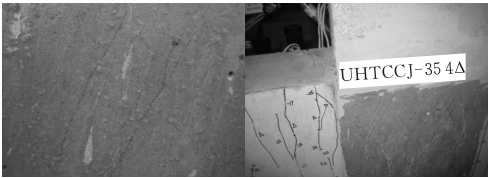


图 2 节点核心区的微细裂缝

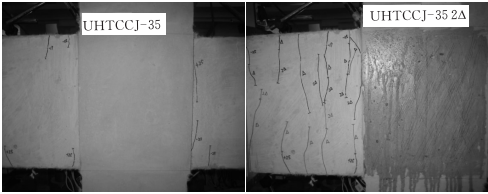
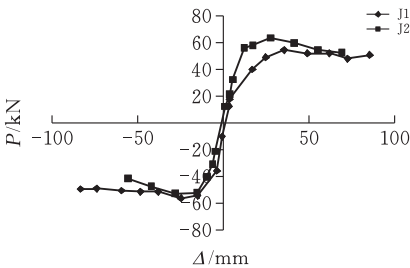


图 3 梁端和节点核心区开裂

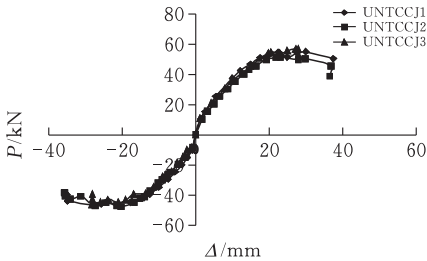
抗震性能,明显提高框架节点核心区的受剪承载力、变形能力和损伤容限,PVA 纤维乱向随机分布在基体内,纤维与基体界面粘结强度高,由于 PVA 纤维的桥接作用限制了裂缝的扩展和延伸,能够较大程度的吸收能量,UHTCC 材料在裂缝出现后仍然与钢筋粘结成整体,并与钢筋共同承担应力作用,从而提升 UHTCC 新型框架节点试件的抗损伤能力、抗剪承载力和变形能力。

2.2 骨架曲线和位移延性系数

将低周反复加载历次循环下的最大峰值点连接形成节点的骨架曲线见图 4,从图中可以看出,梁铰破坏的 J1、J2 试件的耗能能力明显优于以剪切破坏为主的节点试件 UHTCCJ1-UHTCCJ3 的耗能能力。节点核心区的箍筋数量对 UHTCC 框架节点的抗剪承载力影响并不显著,实际工程中 UHTCC 优异的抗剪性能可部分取代梁柱节点核心区水平箍筋的抗剪作用。



(a) J1、J2 试件荷载—位移骨架曲线



(b) UHTCCJ1-UHTCCJ3 试件荷载—位移骨架曲线

图 4 UHTCC 新型框架节点试件的骨架曲线
利用能量等效法确定 UHTCC 新型框架节点

的屈服荷载 p_y 和屈服位移 Δ_y ,破坏时取荷载 $p_u = 0.85p_{\max}$,相应位移为 Δ_u 。构件的位移延性系数是指极限位移与屈服位移的比值即 $\mu = \Delta_u / \Delta_y$,构件的位移延性系数见表 3。结果表明,梁端弯曲破坏模式下 UHTCC 新型框架梁柱节点位移延性系数

均大于 3,远高于节点核心区剪切破坏模式下的 UHTCC 新型框架节点,位移延性系数提高幅度约为 45%~95%,说明按“强柱弱梁”和梁铰屈服机制进行新型 UHTCC 框架结构设计具有良好的抗震延性和耗能性能。

表 3 各试件主要试验结果

试件编号	屈服点		荷载最大点		极限点		μ
	P_y/kN	Δ_y/mm	P_{\max}/kN	Δ_{\max}/mm	P_u/kN	Δ_u/mm	
UHTCCJ1	40.44	12.94	49.91	21.26	42.42	35.13	2.71
UHTCCJ2	42.15	14.43	48.57	23.12	41.28	32.37	2.24
UHTCCJ3	48.15	15.91	55.49	25.46	47.14	35.65	2.24
J1	46.10	21.60	54.49	35.46	50.65	85.45	3.95
J2	57.05	13.06	63.57	27.58	52.47	69.28	5.30

3 主要结论

通过对不同破坏模式下 UHTCC 新型框架节点的低周往复试验的对比,对节点的裂缝开展、骨架曲线和位移延性系数等方面的分析,得到如下结论:

1)UHTCC 新型框架节点在低周往复荷载作用下,节点核心区及附近裂缝更加均匀且明显细密,加载时没有发生水泥基材料脱落现象,UHTCC 优异的抗剪性能和桥联作用明显提高了节点核心区的抗剪承载力、变形能力和损伤容限。

2)J1 和 J2 试件均发生了梁端出现塑性铰引起的破坏,符合工程设计中的强柱弱梁破坏机制,节点的位移延性系数大于 3,梁端出现塑性铰破坏的 UHTCC 框架节点试件具有更高的抗震延性和耗能性能。

3)UHTCCJ1,UHTCCJ2 和 UHTCCJ3 试件均发生了节点核心区剪切破坏,位移延性系数较小。节点核心区的箍筋数量对 UHTCC 框架节点的抗剪承载力影响并不显著,实际工程中 UHTCC 优异的抗剪性能可部分取代梁柱节点核心区水平箍筋的

抗剪作用。

[参 考 文 献]

[1] 中华人民共和国住房和城乡建设部.建筑抗震设计规范(GB50011—2010)[S].北京:中国建筑工业出版社,2016.

[2] 路建华,张秀芳,徐世琅.超高韧性水泥基复合材料梁柱节点的低周往复试验研究[J].水利学报,2012,43(1):135-143.

[3] 中华人民共和国住房和城乡建设部.建筑抗震试验规程(JGJ/T101—2015)[S].北京:中国建筑工业出版社,2015.

[4] 齐岳,郑文忠.低周反复荷载下核心高强混凝土柱抗震性能试验研究[J].湖南大学学报自然科学版,2009,36(12):6-12.

[5] 苏骏,杨家瑞.柱梁弯矩系数对 UHTCC 增强框架节点抗震性能影响分析[J].武汉理工大学学报,2017,39(9):35-39,69.

[6] 苏骏,李威. UHTCC 局部增强框架节点抗震性能试验[J].华中科技大学学报(自然科学版),2015,43(9):110-113.

Comparison of Seismic Performance of New UHTCC
Frame Joint With Different Failure Modes

SU Jun, LI Fen

(School of Civil Engin.,Architecture and Environment ,Hubei Univ. of Tech.,Wuhan 430068,China)

Abstract: In order to understand the seismic performance difference of UHTCC new frame nodes under different failure modes. The low-cycle repeated load tests were carried out on the new UHTCC frame joints. The differences in the failure process, bearing capacity, skeleton curve and displacement ductility coefficient of the new UHTCC frame joints under different modes were compared. The results show that the UHTCC frame joint cracks are fine and uniform and the UHTCC frame joint specimens with the beam flexural failure have higher seismic ductility and energy dissipation performance. The excellent shear resistance of UHTCC in actual engineering can partially replace the shearing effect of horizontal stirrups in the core zone of beam-column joints.

Keywords: failure modes; UHTCC; frame joints; seismic performance [责任编辑:裴 琴]