

U型钢条连接剪力墙和连梁的力学性能研究

李明¹, 谢可可¹, 吴潜¹, 付春^{1,2}, 梁奇才¹

(1. 沈阳建筑大学土木工程学院, 辽宁 沈阳 110168; 2. 辽宁石油化工大学土木工程学院, 辽宁 抚顺 113001)

摘要 目的 研究 U 型钢条连接剪力墙与连梁的力学性能, 为此类节点设计提供参考。方法 基于 ABAQUS 模拟新型连接构件的受力性能, 对比分析模拟结果, 研究灌浆料强度、槽型钢板屈服强度、厚度等因素对该新型连接构件力学性能的影响。结果 与现浇构件对比, 该新型连接构件的承载能力更高, 耗能能力更好; 构件主要在 U 型钢条处破坏, 可充分利用各材料的性能; 灌浆料强度、钢套箍宽度对骨架曲线影响很小; 增加 U 型钢条个数或在一定范围内增大槽型钢板厚度、屈服强度可提高新型连接构件的承载力, 降低延性和耗能能力, 但降低后仍可满足设计要求。结论 U 型钢条连接剪力墙和连梁具有可行性, 设计时可优先调整 U 型钢条个数, 其次是槽钢板厚度和屈服强度, 而灌浆料强度和钢套箍宽度只需满足最小值要求。

关键词 剪力墙; 连梁; U 型钢条; 骨架曲线; 影响因素

中图分类号 TU391

文献标志码 A

Study on Mechanical Behavior of Shear Walls and Coupling Beams by U-shaped Steel Bars

LI Ming¹, XIE Keke¹, WU Qian¹, FU Chun^{1,2}, LIANG Qicai¹

(1. School of Civil Engineering, Shenyang Jianzhu University, Shenyang, China, 110168; 2. School of Civil Engineering, Liaoning Shihua University, Fushun, China, 113001)

Abstract: To offer a reference for the design of shear wall and coupling beam connected by U-Shaped steel bar (SCU), the mechanical properties was studied. The load process of SCU and a cast-in-situ member was simulated by ABAQUS, and the feasibility of SCU was discussed by comparing the simulation result from them. The mechanical influencing factors on them is also analyzed, including the grouting material strength, the thickness and yield strength of steel groove plate etc. The results show that SCU has higher bearing capacity and better energy consumption than the cast-in-site one. The test piece is mainly damaged in the U-shaped steel bar strip, and has the ability to fully utilize the performance of various materials. The strength of grouting material and the width of steel hoop has little effect on the skeleton curves, and the bearing capacity of SCU

收稿日期: 2021-07-16

基金项目: 国家自然科学基金项目(51978422); 辽宁省教育厅面上项目(LJKZ0561); 住房和城乡建设部科技攻关项目(2019-K-080)

作者简介: 李明(1979—), 男, 副教授, 博士, 主要从事装配式混凝土结构等方面研究。

can be improved by increasing the number of U-shaped steel bars or the thickness and the yield strength of the groove steel plate in a certain range, which will also make the ductile and energy dissipation capacity declined. But the declined ones can also satisfy the requirement of design. It can be concluded that SCU has good mechanical properties. In the design of it, it can be adjusted for the number of U-shaped steel bar firstly, then the thickness and the yield strength of the groove steel plate. As for the grouting strength and the steel hoop width, it will be satisfied only when they meet the minimum requirements.

Key words: shear wall; coupling beam; U-shaped steel bar; skeleton curve; influencing factors

装配式建筑具有质量稳定性高、施工高效、机械化程度高等优点,在我国得到了飞速发展^[1-2]。其结构形式主要包括框架、剪力墙和框架-剪力墙结构,连梁是后两种结构形式中剪力墙间的传力构件,对结构的抗侧移刚度和抗震能力影响很大^[3-6]。李松估^[7]提出连梁内置连接筋与墙肢后穿的连接法,采用其连接的结构在弹性阶段整体性较高,弹塑性阶段耗能较好。袁帅锋^[8]提出了带拱型连梁的装配式联肢剪力墙,其可有效避免连梁破坏集中在连梁端部。张海洋^[9]、王春艳^[10]研究了等效钢筋连接剪力墙和连梁的装配方法,结果表明装配单连梁的承载力与现浇连梁相差不大,而装配双连梁则具有更好的承载、变形和耗能能力。

现有研究多以传统工法连接剪力墙与连梁,而对钢结构连接节点的研究有限。基于此,笔者提出一种基于 U 型钢条连接预制剪力墙和连梁的新型方法,研究灌浆料强度、槽型钢板屈服强度、厚度等因素对该新型连接构件力学性能的影响,研究表明,该方法具有装配便捷、施工速度更快等优点,可以为工程应用提供设计依据。

1 新型连接方法介绍

U 型钢条连接剪力墙与连梁的结构如图 1 所示。预制连梁和预制剪力墙上均安装预埋件(见图 1(a)),预埋件由预埋带槽孔的槽型钢板和锚固钢筋组成。装配时,预制墙和预制连梁通过 U 型钢条穿入槽孔连接,连接前先将钢套箍置于预埋件上,待钢条插入

后,再将钢套箍套于 U 型钢条外侧,以满足抗剪需求。其中 U 型钢条如图 1(b)所示,连接后的结构如图 1(c)所示,最后在节点连接处浇注灌浆料,连接完成。

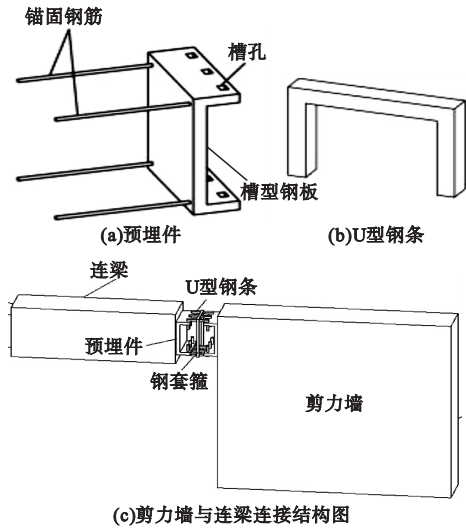


图 1 U 型钢条连接剪力墙与连梁结构
Fig. 1 Structure of the connection of shear walls and coupling beam by U-shaped steel bars

2 有限元模拟方法及验证

为探讨 U 型钢条连接剪力墙和连梁的可行性,笔者基于 ABAQUS 对该种新型连接节点的力学性能进行分析。分析前,采用文献[10]中的试件 XJ 对模拟方法进行验证。混凝土采用 CDP 模型本构,单元为 C3D8R,泊松比为 0.2;钢筋采用三折线简化模型,单元为 T3D2,泊松比取 0.3^[11-13]。混凝土单元网格尺寸为 100 mm,钢筋单元网格尺寸为 50 mm。边界条件和加载方式如下:上部剪力墙的端面设置参考点,参考点与上部剪力墙的

左侧端面采用 Coupling 约束^[14],在参考点上直接施加水平荷载;释放下部剪力墙底面、侧面竖向位移约束,其余自由度全部约束,剪力墙水平方向自由,其余自由度全部约束。剪力墙与连梁间采用 Tie 约束,钢筋与混凝土间采用 Embedded Region 约束^[15-16]。

试件 XJ 的骨架曲线见图 2。从图中可以看出,模拟与试验骨架曲线偏差较小,说明笔者建立的模拟方法可行。

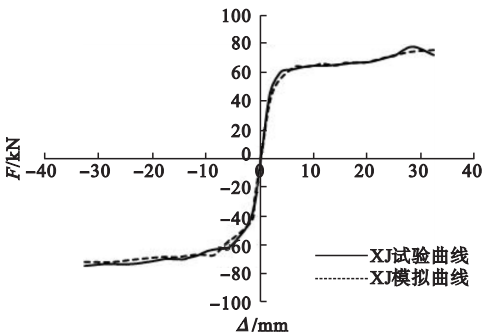


图2 试件 XJ 骨架曲线

Fig. 2 Comparison between skeleton curves of test and simulation for specimen XJ

表1 连接处钢构件几何参数

Table 1 Geometric size of steel components of connections mm

U 型钢条				槽钢板			钢套箍		
长	高	宽	厚	长	高	宽	长	宽	厚
70	26	10	10	350	35	140	380	110	5

笔者采用上述有限元模拟方法,模拟了试件 UZP 在低周往复荷载作用下的受力过程,并与试件 XJ 的模拟结果进行对比,结果见图 3、图 4 和表 2。其中屈服荷载、破坏荷载、位移延性系数等定义同文献[17-18]。

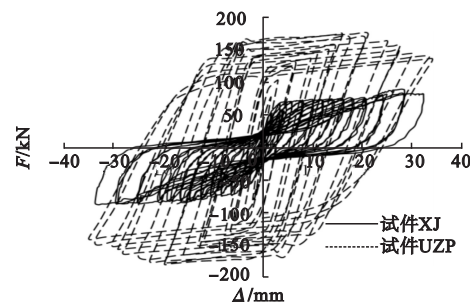


图3 试件 UZP 和 XJ 滞回曲线对比

Fig. 3 Comparison between the hysteresis curves of the specimen UZP and XJ

3 新型连接试件的可行性分析

3.1 新型与现浇试件的力学性能对比

为探讨新型连接方法的可行性能,笔者参考试件 XJ 的尺寸和配筋,设计了 U 型钢条连接剪力墙和连梁的装配试件,编号为 UZP。连接处钢构件几何参数见表 1,锚固钢筋为 4 Φ 20,长为 350 mm,连接区长度为 100 mm,槽钢板翼缘开孔长 \times 宽为 10 mm \times 10 mm。预埋件和钢套箍均采用 Q235 钢,锚固钢筋采用 HRB400,模拟时本构采用双折线模型,单元类型分别为 SHELL181 和 T3D2,强度按现行混凝土规范规定取值。连接区域的灌浆料棱柱体抗压强度为 82.4 MPa,单元类型为 C3D8R。剪力墙与连梁和灌浆料间、锚固钢筋与槽型钢板间及套箍与钢条间设置 Tie 约束,U 型钢条与槽型钢板之间设置 Coupling 约束。

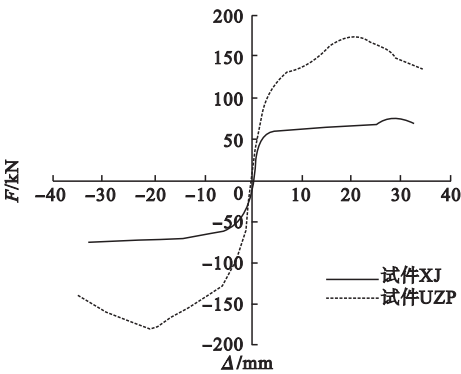


图4 试件 UZP 和 XJ 骨架曲线对比

Fig. 4 Comparison of UZP and XJ skeleton curves

从图 3 可以看出,试件 UZP 的滞回曲线呈菱形且较为饱满,而试件 XJ 的滞回曲线呈明显的“捏缩”现象,说明采用新型连接节点构件具有更好的耗能能力。从图 4 和表 2

表 2 试件 UZP 和 XJ 模拟结果对比

Table 2 Comparison between the simulation results of UZP and XJ specimens

试件编号	屈服荷载/ kN	峰值荷载/ kN	破坏荷载/ kN	初始刚度/ (kN·mm ⁻¹)	位移延 性系数	能量耗 散系数
UZP	125.07	175.48	149.15	26.21	4.70	2.41
XJ	62.17	78.18	66.45	22.63	6.85	1.21

可以看出,试件 UZP 的骨架曲线明显高于 XJ 骨架曲线,试件 UZP 的峰值荷载和破坏荷载是 XJ 的 2.2 倍,屈服荷载和能量耗散系数是 XJ 的 2 倍,二者的初始刚度接近,延性系数均大于 4。由此说明采用 U 型钢条连接的试件具有更好的力学性能。

3.2 UZP 受力机理分析

试件 UZP 在屈服荷载、峰值荷载和破坏荷载时 U 型钢条 Mises 应力图、混凝土等效塑性应变图(PEEQ 图)、钢筋 Mises 应力图分别如图 5、图 6、图 7 所示。

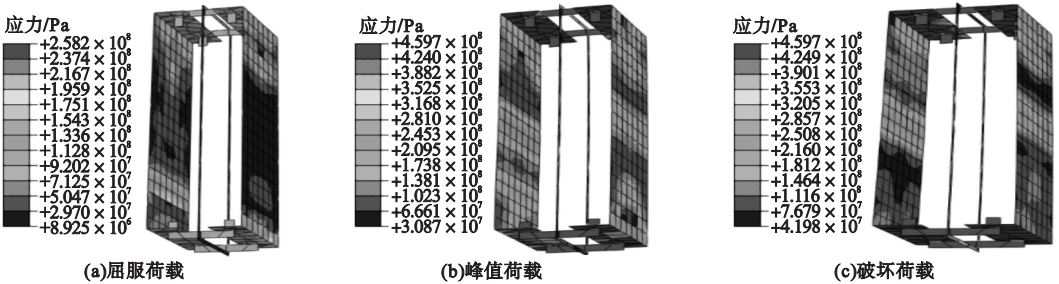


图 5 U 型钢条 Mises 应力图

Fig. 5 Mises stress diagram of U-shaped steel

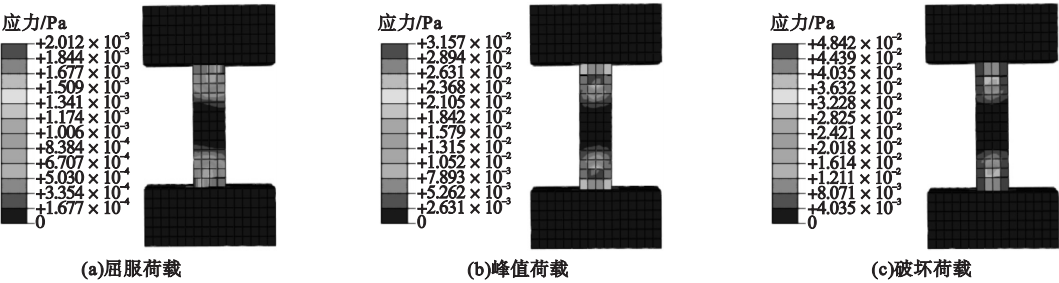


图 6 混凝土和灌浆料的 PEEQ 图

Fig. 6 PEEQ diagram of concrete and grouting material

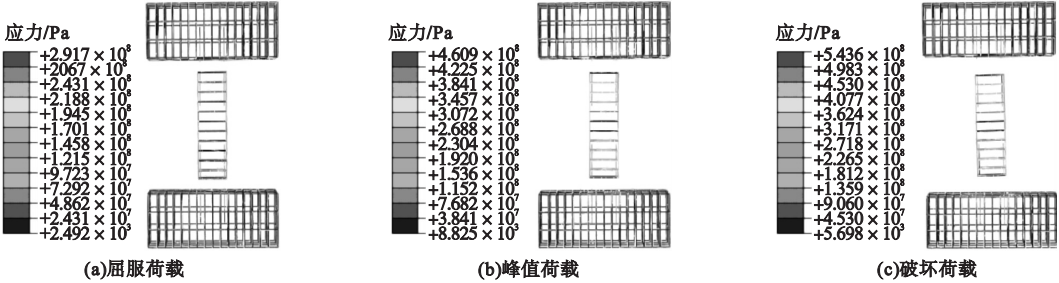


图 7 钢筋的 Mises 应力图

Fig. 7 Mises stress diagram of reinforcement

从图5~图7可以看出,在屈服荷载时,U型钢条最大应力为258.2 MPa,钢筋最大应力为291.7 MPa,最大应力主要集中于U型钢条和槽型钢板开孔处;连梁端部钢筋和锚固钢筋开始承受拉力,灌浆料出现微小裂缝,混凝土塑性应变最大累积量为 2.012×10^{-3} 。峰值荷载时,U型钢条和槽型钢板开孔区域最大应力为459.7 MPa,钢筋最大应力为461 MPa,分别较屈服荷载时增加了78%和58%,说明屈服时连梁纵向钢筋已屈服,同时箍筋和锚固钢筋应力随裂缝的发展进一步增加,混凝土等效塑性应变累积量最大值达 3.157×10^{-3} ,裂缝逐渐由灌浆区向连梁端部发展。破坏荷载时,灌浆料基本被压碎,连梁端部混凝土大部分区域发生受拉破坏,钢筋最大应力较峰值荷载增加了17.9%,锚固钢筋达到屈服,U型钢条最大应力保持在峰值应力状态,发生较大的拉伸变

形,逐渐丧失承载能力。

从上述受力过程可以看出,新型连接试件中U型钢条和槽型钢板开孔位置附近最先达到屈服,破坏趋势由开孔位置向钢板扩展,并且U型钢条先于连梁的混凝土和钢筋破坏,灌浆料区域部位破坏较严重,连接节点处的材料性能充分发挥,因此节点表现出了优越的耗能能力。

4 力学性能影响因素分析

为分析U型钢条连接剪力墙和连梁力学性能影响因素,笔者设计了11个试件,参数见表3。其中, n 为U型钢条个数; w 为钢套箍宽度; t 为槽型钢板厚度; $f_{GM,u}$ 为灌浆料强度; f_y 为钢板屈服强度。采用上述模拟方法,模拟试件受力过程,得到各试件骨架曲线及相应屈服荷载、峰值荷载等结果(见表3)。

表3 试件参数及模拟结果

Table 3 Specimen parameters and simulation results

试件编号	n /个	w /mm	t /mm	$f_{GM,u}$ / MPa	f_y / MPa	屈服荷 载/kN	峰值荷 载/kN	破坏荷 载/kN	位移延 性系数	能量耗 散系数
JD1	4	10	5	80	235	125.07	175.48	149.15	4.90	2.31
JD2	4	10	5	100	235	120.61	175.09	148.83	5.18	2.29
JD3	4	10	5	120	235	121.84	174.52	148.34	5.48	2.20
JD4	4	10	8	80	235	168.83	225.06	191.30	3.95	1.66
JD5	4	10	10	80	235	170.94	221.18	188.00	4.32	1.82
JD6	4	10	5	80	355	165.79	215.78	183.41	4.01	1.76
JD7	4	10	5	80	390	169.68	216.91	184.37	4.16	1.73
JD8	4	15	5	80	235	126.41	175.57	149.23	4.49	2.28
JD9	4	20	5	80	235	130.85	176.46	149.99	4.65	2.26
JD10	6	10	5	80	235	138.65	194.79	165.57	4.5	2.30
JD11	8	10	5	80	235	159.25	216.41	183.95	4.2	2.05

4.1 灌浆料强度

不同灌浆料强度下各试件的骨架曲线如图8所示。从图8和表3可以看出,灌浆料强度从80 MPa增加到120 MPa时,各试件的承载力和能量耗散系数几乎不变,而位移延性系数增加了12%,并且试件的延性系数

均大于4,满足混凝土延性设计的要求。这主要是因为强度最低的灌浆料强度也远高于混凝土,对节点区的破坏不起控制作用,因此增加灌浆料强度,仅在破坏荷载时对应变形略增加,延性略提高。由此说明,改变灌浆料强度对试件骨架曲线影响较小,设计时可选

择强度较低的灌浆料。

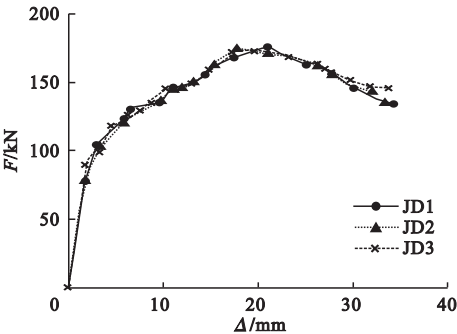


图 8 灌浆料强度对骨架曲线的影响

Fig. 8 Effect of the strength of filler on skeleton curves

4.2 钢槽板厚度

不同槽型钢板厚度下各试件的骨架曲线如图 9 所示。从图 9 和表 3 可以得出,当槽型钢板厚度从 5 mm 增加到 8 mm 时,屈服荷载增加了 34.99%,峰值荷载增加了 28.3%,位移延性系数减小了 19.4%,能量耗能系数减小了 28.1%;当槽型钢板厚度从 8 mm 增加到 10 mm 时,承载力变化较小(小于 2%),位移延性系数增加了 9.4%,能量耗能系数增加了 9.64%。这主要是因为槽型钢板较薄时,破坏较重,随其厚度增加,破坏向 U 型钢条转移,二者协同受力,因此承载力提高。但因 U 型钢条较厚,变形性能不如槽型钢板,因此延性和能量耗散能力反而降低。而当槽型钢板较厚时,破坏转移至 U 型钢条,后期承载力反而降低,但变化较小,同

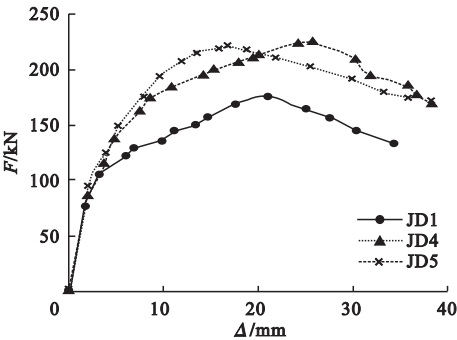


图 9 钢槽板厚度对骨架曲线的影响

Fig. 9 Effect of groove steel plate thickness on skeleton curves

时因为 U 型钢条受槽型钢板约束较强,会产生较大变形,引起延性和耗能能力的增加。由此说明,在一定厚度范围内增加钢槽板厚度可提高试件承载力,降低延性和耗能能力,但降低后仍满足延性和耗能能力需求。超过 8 mm,随槽型钢板厚度增加,试件的承载力变化较小,但延性和耗能能力增强。

4.3 槽钢板屈服强度

不同钢槽板屈服强度下各试件的骨架曲线如图 10 所示。从图 10 和表 3 可以看出,当屈服强度从 235 MPa 增加到 355 MPa 时,构件屈服荷载增加了 32.6%,峰值荷载增加了 23%,位移延性系数以及能量耗散系数分别减小了 18.2%、23.8%,但均满足延性和耗能能力需求;当屈服强度增加到 390 MPa 时,其承载能力、延性和耗能能力基本不变。变化规律与不同槽型钢板厚度下规律相似,但因为屈服强度增加不能引起 U 型钢条产生较大变形,因此当屈服强度增加到一定程度后,后期承载力、延性和耗能能力变化不明显。由此说明,在一定范围内增加钢板屈服强度可提高试件的承载能力,降低延性和耗能能力,但降低后仍满足延性和耗能能力需求。超过 355 MPa,槽型钢板屈服强度对试件力学性能几乎无影响。

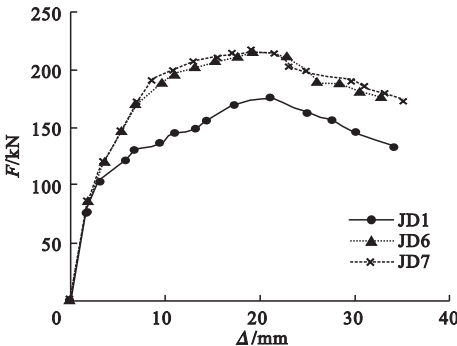


图 10 钢材屈服强度对骨架曲线的影响

Fig. 10 Effect of steel yield strength on skeleton curves

4.4 钢套箍宽度

不同钢套箍宽度下各试件的骨架曲线如

图 11 所示。从图 11 和表 3 可以看出,当钢套箍宽度由 10 mm 增加到 20 mm 时,骨架曲线变化较小。分析原因是因为钢套箍的作用类似于箍筋,而其最小截面面积也大于箍筋截面面积,因此增大钢套箍宽度对力学性能几乎无影响。由此说明,钢套箍宽度对试件骨架曲线几乎无影响。

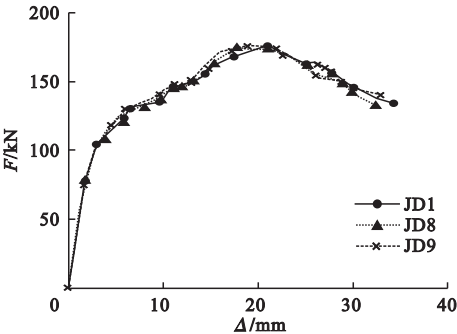


图 11 钢套箍宽度对骨架曲线的影响

Fig. 11 Effect of width of steel collar on skeleton curves

4.5 U 型钢条个数

不同 U 型钢条个数下各试件的骨架曲线如图 12 所示。从图 12 和表 3 可以看出,当 U 型钢条个数由 4 个增到 6 个时,屈服荷载增加了 10.9%,峰值荷载增加了 11%,位移延性系数减小了 8.1%,能量耗能系数几乎不变;当 U 型钢条个数由 6 个增加到 8 个时,屈服荷载增加了 14.9%,峰值荷载增加了 11.1%,位移延性系数减小了 6.7%,能量耗能系数减小了 10.9%。但降低后的延性

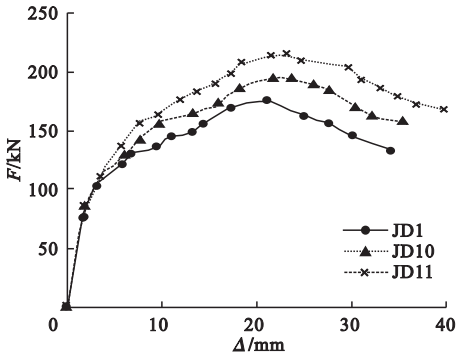


图 12 U 型钢条个数对骨架曲线的影响

Fig. 12 Effect of the number of U-shaped steel bars on skeleton curves

和耗能能力仍可满足延性和耗能能力需求,主要是因为 U 型钢主要承担钢筋拉压应力的作用,并且连接处的弯矩最大,因此增加 U 型钢条个数将提高连接区域的承载力,但同时降低了连接区域的变形能力,因此延性和耗能能力反而降低。由此说明,增加 U 型钢条个数可提高试件的承载力,但同时会引起延性和耗能能力的降低。

5 结 论

(1)与同条件现浇试件相比,U 型钢条连接试件具有更好的承载和耗能能力,延性虽然降低,但仍可满足设计要求。

(2)U 型钢条和槽型钢板开孔位置附近最先达到屈服,破坏趋势由开孔位置向钢板扩展,并且 U 型钢条先于连梁的混凝土和钢筋破坏,灌浆料区域部位破坏较严重,连接节点处的材料性能充分发挥。

(3)灌浆料强度、钢套箍宽度对骨架曲线影响很小,增加 U 型钢条个数或在一定范围内增大槽型钢板厚度、屈服强度可提高新型连接构件的承载力,降低延性和耗能能力,但仍可满足设计要求。因此,在设计 U 型钢条连接剪力墙和连梁时,可优先调整 U 型钢条个数,其次是槽钢板厚度或屈服强度,而灌浆料强度和钢套箍宽度只需满足最小值要求。

参考文献

[1] 吴刚,冯德成,徐照,等. 装配式混凝土结构体系研究进展[J]. 土木工程与管理学报,2021, 38(4):41-51.
(WU Gang, FENG Decheng, XU Zhao, et al. Research developments in precast concrete structural systems [J]. Journal of civil engineering and management, 2021, 38(4): 41-51.)
[2] 蒋勤俭. 国内外装配式混凝土建筑发展综述[J]. 建筑技术,2010,41(12):1074-1077.
(JIANG Qinqian. Summary on development of assembled concrete building both home and board [J]. Architecture technology, 2010, 41(12):1074-1077.)
[3] WELDON B D, KURAMA Y C. Experimental evaluation of posttensioned precast concrete coupling beams [J]. Journal of structural

- engineering, 2010, 136(9): 1066–1077.
- [4] CHOI Y, HAJYALIKHANI P, CHAO S H. Seismic performance of innovative reinforced concrete coupling beam-double-beam coupling beam. [J] ACI structural journal, 2018, 115(1): 113–125.
- [5] 陈吉光. 双臂并联不等宽装配式连梁的力学性能研究[D]. 沈阳: 沈阳建筑大学, 2015.
(CHEN Jiguang. Study on the force behavior of parallel double precast coupling beams with different width [D]. Shenyang: Shenyang Jianzhu University, 2015.)
- [6] 梁奇才. 钢连接装配混凝土连梁的力学性能与设计方法研究[D]. 沈阳: 沈阳建筑大学, 2019.
(LIANG Qicai. Study on mechanical properties and design method of steel-connected concrete beams [D]. Shenyang: Shenyang Jianzhu University, 2019.)
- [7] 李松佳. 装配式混凝土拼接连梁剪力墙抗震性能试验研究[D]. 深圳: 哈尔滨工业大学(深圳), 2019.
(LI Songjie. Experimental study on seismic behavior of prefabricated concrete splicing beam share wall [D]. Shenzhen: Harbin Institute of Technology(Shenzhen), 2019.)
- [8] 袁帅锋. 带拱形连梁的装配式联肢剪力墙抗震性能研究[D]. 长春: 长春工程学院, 2020.
(YUAN Shuaifeng. Study on seismic behavior of assembled coupled shear wall with arch coupling beam [D]. Changchun: Changchun Institute of Technology, 2020.)
- [9] 张海洋. 装配式混凝土单双连梁的力学性能研究[D]. 沈阳: 沈阳建筑大学, 2016.
(ZHANG Haiyang. Mechanical behavior study of pre-cast concrete single coupling beam and dual coupling beams [D]. Shenyang: Shenyang Jianzhu University, 2016.)
- [10] 王春艳. 装配式混凝土连梁力学性能试验研究[D]. 沈阳: 沈阳建筑大学, 2016.
(WANG Chunyan. Experimental study of mechanical behavior on pre-cast concrete coupling beam [D]. Shenyang: Shenyang Jianzhu University, 2016.)
- [11] 石亦平, 周玉蓉. ABAQUS 有限元分析实例详解[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2010.
(SHI Yiping, ZHOU Yurong. Detailed explanation of ABAQUS finite element analysis example [M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2010.)
- [12] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 混凝土结构设计规范: GB50010—2010[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2010.
(Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China. Code for design of concrete structures: GB50010—2010 [S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2010.)
- [13] 王萌, 杨维国. 不同改进形式钢板剪力墙滞回性能研究[J]. 工程力学, 2016, 33(8): 110–121.
(WANG Meng, YANG Weiguo. Study on hysteretic performances of the improved steel plate shear walls [J]. Engineering mechanics, 2016, 33(8): 110–121.)
- [14] 李霆, 张慎, 徐子豪, 等. 带分段式连梁的钢筋混凝土联肢剪力墙拟静力试验及数值模拟[J]. 土木工程学报, 2020, 53(4): 38–49.
(LI Ting, ZHANG Shen, XU Zihao, et al. Quasistatic test and numerical simulation of reinforced concrete coupled shear walls with segmental coupling beams [J]. Civil engineering journal, 2020, 53(4): 38–49.)
- [15] 刘香, 倪东阳, 李娟. 预制带肋钢桁架叠合板的试验与有限元分析[J]. 沈阳建筑大学学报(自然科学版), 2018, 34(1): 42–53.
(LIU Xiang, NI Dong, LI Juan. Experimental study and finite element analysis of prefabricated ribbed steel truss laminated slabs [J]. Journal of Shenyang jianzhu university (natural science), 2018, 34(1): 42–53.)
- [16] 何晴光, 尚进, 党育. 耗能连梁采用新型复合阻尼器后对剪力墙结构性能的影响[J]. 兰州理工大学学报, 2021, 47(3): 105–112.
(HE Qingguang, SHANG Jin, DANG Yu. Seismic performance of shear wall structure with a new damper used in coupling beam [J]. Journal of Lanzhou university of technology, 2021, 47(3): 105–112.)
- [17] 吴潜, 李幅昌, 罗元伟, 等. 矩形钢管混凝土键连接剪力墙框梁柱的力学性能研究[J]. 沈阳建筑大学学报(自然科学版), 2019, 35(5): 839–848.
(WU Qian, LI Guochang, LUO Yuanwei, et al. Study on mechanical properties of shear wall and frame column connected with CFRSTs keys [J]. Journal of Shenyang jianzhu university (natural science), 2019, 35(5): 839–848.)
- [18] 彭跃强. 框支短肢剪力墙斜柱转换结果非线性分析及抗震规律研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2013.
(PENG Yueqiang. Nonlinear finite element analysis and regularity distribution of seismic behavior of inclined column-shaped transfer floor of framed short-leg shear wall structures [D]. Chongqing: Chongqing University, 2013.)
- (责任编辑: 杨永生 英文审校: 刘永军)