

doi: 10.11918/j.issn.0367-6234.2015.12.020

改进型钢筋浆锚装配式剪力墙压弯承载力计算

吴东岳, 梁书亭, 郭正兴, 肖全东

(东南大学 土木工程学院, 210096 南京)

摘要:为提高钢筋浆锚连接装配式剪力墙的力学性能,采用闭合扣约束箍筋对传统钢筋浆锚连接装配式剪力墙进行改进,通过改进型钢筋浆锚连接装配式剪力墙的低周反复加载试验,证明了闭合扣约束箍筋能够有效提高钢筋浆锚连接装配式剪力墙的力学性能.为确定改进型钢筋浆锚连接装配式剪力墙接缝的压弯承载力计算方法,对钢筋浆锚连接装配式剪力墙的破坏机理进行分析并提出简化的钢筋浆锚连接接缝承载力计算模型,结合现行规范设计公式提出钢筋浆锚连接装配式剪力墙的接缝承载力计算方法.采用规范公式计算和截面应力积分计算,得到改进型钢筋浆锚连接装配式剪力墙接缝的承载力.通过计算承载力与试验实测承载力的对比,证明了改进型钢筋浆锚连接装配式剪力墙接缝承载力简化计算模型和计算方法的合理性.

关键词: 闭合扣约束箍筋;改进型钢筋浆锚连接;装配式剪力墙;承载力

中图分类号: TU398+.2

文献标志码: A

文章编号: 0367-6234(2015)12-0112-05

Bending bearing capacity calculation of the improved steel grouted connecting precast wall

WU Dongyue, LIANG Shuting, GUO Zhengxing, XIAO Quandong

(School of Civil Engineering, Southeast University, 210096 Nanjing, China)

Abstract: The closure buckle steels was applied to improve the traditional steel grouted connecting precast wall to improve the mechanical properties of the steel grouted connecting precast wall. By the low cyclic loading experimental test of the improved steel grouted precast wall connector, that the closure buckle steels can efficiently improve the mechanical properties of the steel grouted connecting precast wall, was proved. After that, in order to determine the capacity calculation method for the improved steel grouted precast wall connector, this paper analyzed the typical shear failure mechanism of steel grouted connecting precast wall, especially the interface failure, and proposed the simplified capacity calculation model for the improved steel grouted precast wall connector. Afterward, by combining with the capacity calculation formulas of the cast-in-place shear wall provided by the current design code, the capacity calculation method for the improved steel grouted precast wall connector was determined. Finally, the joint capacity of the connector was calculated using the proposed calculation formulas and the section integral method. By comparing the calculated capacity using the method proposed above to the section stress integral calculation results and the experimental test results; it can be illustrated that the proposed simplified capacity calculation model and the calculation method for the improved steel grouted precast wall connector can be reasonable.

Keywords: the closure buckle steels; the improved grouted connecting; precast wall; bending bearing capacity

钢筋浆锚连接装配式接缝构造合理、造价低、施工方便且性能可靠,在建筑工业化进程中扮演着重要角色.目前国内多家企业和科研机构均已形成了各具特色的钢筋浆锚连接形式^[1-6].但钢筋浆锚连接装配

式构件的接缝位置较为薄弱^[5-6].另外,多数钢筋浆锚连接加强了浆锚段的约束箍筋^[1-6],但尚未确定约束箍筋对连接效果的影响规律.本文以闭合扣约束箍筋约束的改进型金属波纹管成孔钢筋浆锚连接装配式剪力墙为研究对象,对其接缝承载力进行研究.

1 改进型钢筋浆锚连接装配式剪力墙的低周反复加载试验

装配式剪力墙的试验结果表明^[1,4,6]:装配拼缝

收稿日期: 2014-06-24.

基金项目: 国家“十二五”科技支撑项目(2011BAJ10B03).

作者简介: 吴东岳(1986—),男,博士研究生;

梁书亭(1964—),男,教授,博士生导师;

郭正兴(1956—),男,教授,博士生导师.

通信作者: 吴东岳, dongyuetashan86@163.com.

位置存在新老混凝土接合面,受力后拼缝部位首先产生贯通裂缝,削弱了混凝土的力学性能,使得水平拼缝位置出现集中变形与破坏.浆锚钢套筒的研究结果表明^[7]:钢筋浆锚连接效果主要受钢筋浆锚长度和混凝土约束情况的影响,当浆锚钢筋连接长度一定时,较高的边缘约束能够有效提高混凝土骨料对钢筋的咬合作用,增强钢筋浆锚装配式剪力墙的整体力学性能.

改进型金属波纹管成孔钢筋浆锚连接采用预埋

金属波纹管成孔,剪力墙边缘部位采用扣搭排列的对接焊箍筋代替传统的箍筋、拉筋构造.闭合对接焊箍筋采用对接电弧焊,其焊缝强度不低于箍筋截面的受拉强度.在墙肢端部浆锚区域内,闭合扣接箍筋加密,连接构造形式见图 1.闭合箍筋扣搭配置可减小约束箍筋尺寸以提高约束效果.闭合箍筋的扣搭按照每 4 根连接钢筋设置一组闭合箍筋的原则进行布置,所有 4 根纵向连接钢筋及金属波纹管均在两组闭合箍筋的扣搭约束之内.

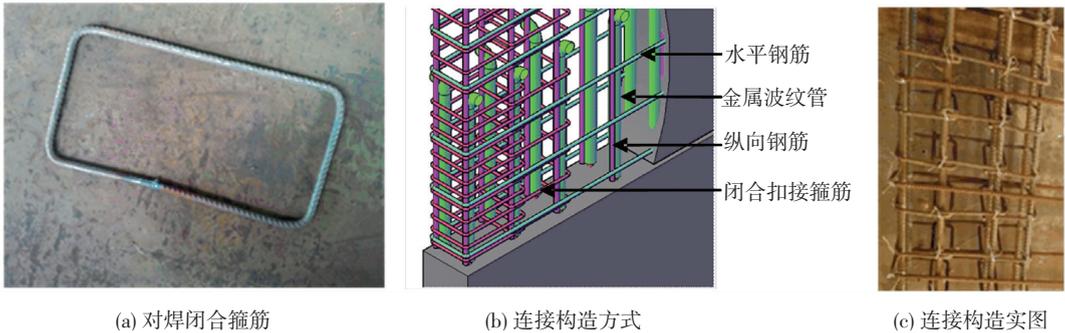


图 1 闭合扣接箍筋约束的改进型预埋金属波纹管成孔钢筋浆锚连接

1.1 试验概况

测试改进型钢筋浆锚连接装配式剪力墙能否达到“等同现浇”的设计要求.试验共 3 个构件:现浇构

件 XJ-1, 预制构件 ZP-1、ZP-2. 构件轴压比取 0.1. 构件截面形式和配筋情况见图 2~4, 装配式接缝位置的纵向连接钢筋与墙体纵筋配置相同.

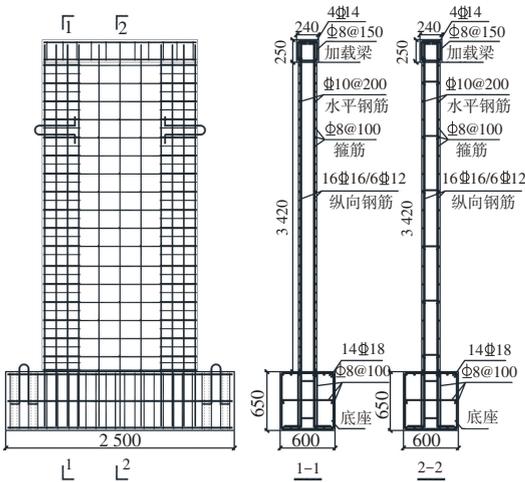


图 2 现浇试件(XJ-1)尺寸及配筋

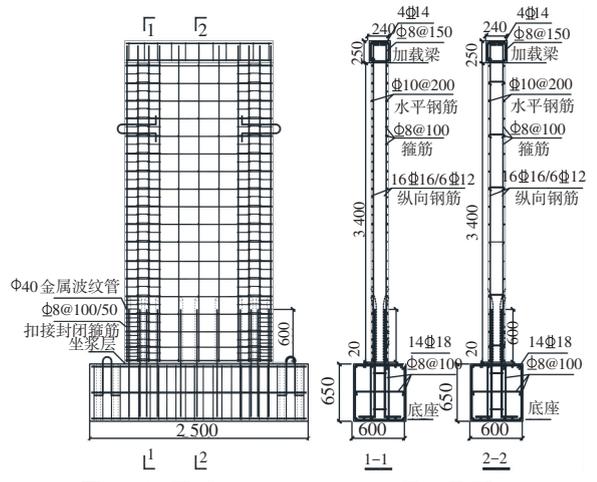


图 3 装配式试件(ZP-1、ZP-2)尺寸及配筋

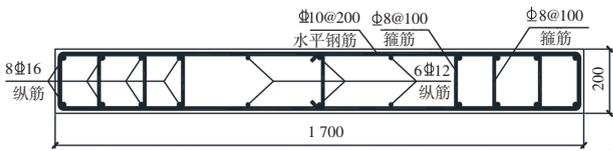


图 4 XJ-1、ZP-1 及 ZP-2 构件截面配筋

1.2 加载方式及破坏形态

试验采用低周反复加载,试验装置见图 5. 试验得到构件的力学参数见表 1、2, 装配式构件的破坏形态见图 6~8, 试验测试构件滞回曲线及骨架曲线见图 9~11.

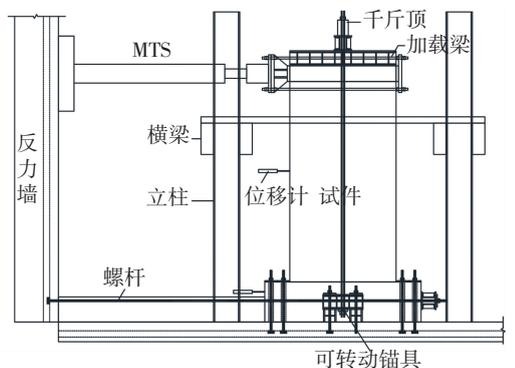


图 5 试验加载装置

试验测试结果表明:1)改进型金属波纹管成孔钢筋浆锚连接装配式剪力墙构件的承载力高于现浇剪力墙,延性与现浇构件接近,装配式剪力墙边缘部位箍筋用量大,混凝土约束效果更好.浆锚区域存在钢筋搭接,使得钢筋截面面积的增大,但墙体纵筋未穿过接缝,仅

纵向连接钢筋穿过接缝;因此较好的约束效果提高了混凝土和钢筋的连接性能,进而提高装配式构件承载力,而非搭接纵筋面积增大造成的;2)加载到开裂荷载时接缝出现界面相对滑移,滑移的存在对连接钢筋产生不利影响,并使纵向连接钢筋较快进入屈服.



图 6 试件 XJ-1 破坏形态



图 7 试件 ZP-1 接缝位置破坏形态



图 8 试件 ZP-2 接缝位置破坏形态

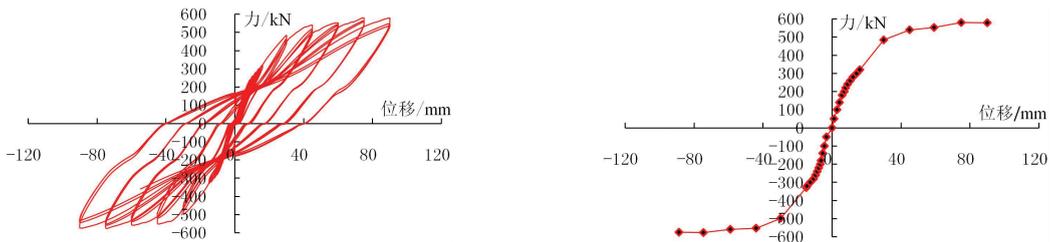


图 9 现浇试件 XJ-1 滞回曲线和骨架曲线

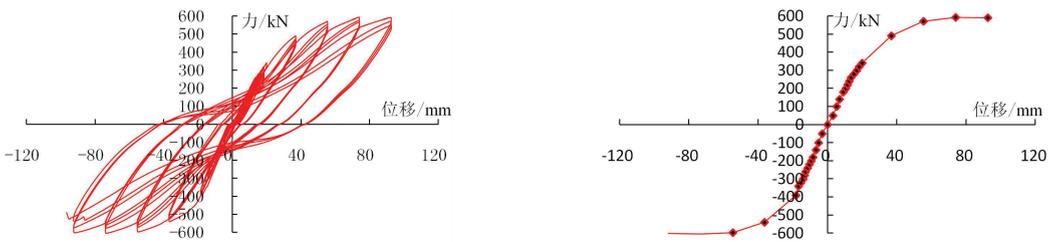


图 10 预制试件 ZP-1 滞回曲线和骨架曲线

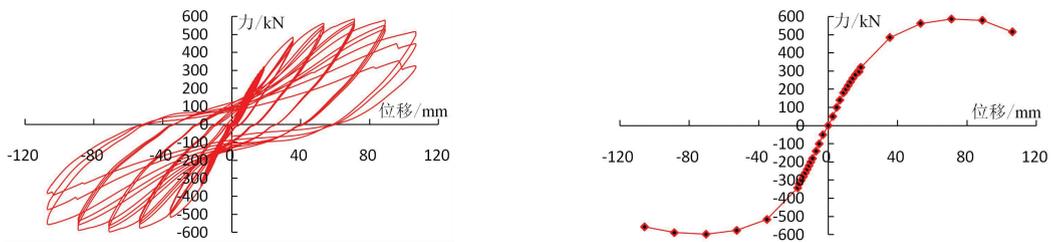


图 11 预制试件 ZP-2 滞回曲线和骨架曲线

表 1 剪力墙试件承载能力 kN

编号	开裂荷载	屈服荷载	极限荷载	主要破坏形态
XJ-1	200	320	580	破坏形态为弯剪破坏,混凝土严重压碎,箍筋、受拉钢筋外露。
ZP-1	200	340	605	灌浆层存在界面滑移(200 kN 时出现),出现滑移后钢筋较快屈服,破坏时为弯剪破坏。
ZP-2	200	320	598	灌浆层存在界面滑移,纵向钢筋在拉、剪组合应力作用下断裂,破坏形态为弯剪破坏。

表 2 剪力墙试件加载特征值、延性和刚度

模型	屈服位移 Δ_y/mm	屈服位 移角 θ_y	极限位移 Δ_u/mm	极限位 移角 θ_u	位移延性 系数 μ
XJ-1	15.0	1/227	90.0	1/38	6
ZP-1	18.5	1/184	92.5	1/37	5
ZP-2	17.8	1/191	106.8	1/32	6

2 改进型钢筋浆锚连接装配式剪力墙接缝的压弯承载力计算模型

压弯状态下浆锚接缝截面内力主要包括:钢筋作用力、混凝土压力和界面摩擦力^[8-9],根据试验破坏现象提出装配式剪力墙接缝的承载力简化计算模型见图 12。

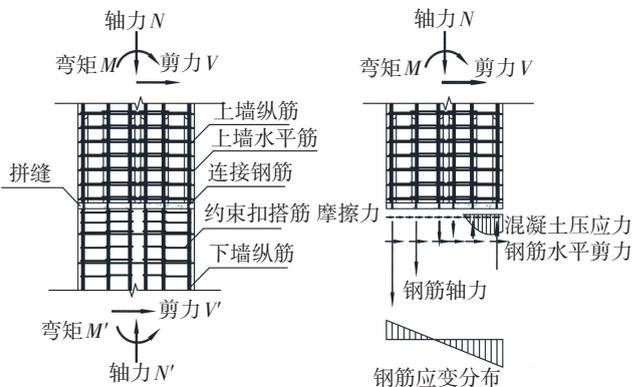


图 12 钢筋浆锚连接接缝构造及计算模型

该模型采用以下基本假定:

- 1) 改进型钢筋浆锚连接能有效传递钢筋内力。
- 2) 改进型钢筋浆锚连接的接缝截面应变分布为线性。
- 3) 忽略装配式接缝的粘结力,忽略混凝土抗拉强度,考虑箍筋对混凝土的影响。
- 4) 构件接缝位置的水平剪力全部由纵向连接钢筋和混凝土界面摩擦承担。其中混凝土界面摩擦系数为 0.4^[10]。各根纵向连接钢筋承受的水平剪应力相等,钢筋承受的剪应力为

$$\tau = \frac{(V - 0.4N)}{\rho_s A_c} \quad (1)$$

式中: V 为剪力墙接缝位置承受的水平剪力, ρ_s 为接缝截面的纵向连接钢筋配筋率, A_c 为接缝截面面积, N 为剪力墙承受的竖向压力。

该基本假定将纵向连接钢筋的水平剪应力简化为均匀分布。事实上,接缝截面的纵向连接钢筋存在受拉与受压两种状态,因此钢筋承受的水平剪应力存在差异。但钢筋拉压状态对水平剪应力的影响规律复杂,其他学者提出的接缝摩擦模型亦未考虑钢筋拉压状态对钢筋承受剪应力的影响^[11]。本文忽略纵向连接钢筋拉压状态对其水平剪应力分布的影响。

3 改进型钢筋浆锚连接装配式剪力墙接缝的压弯承载力计算

GB50010—2010《混凝土结构设计规范》9.4.3 条规定:对于现浇剪力墙结构,承受平行于墙面的水平荷载和竖向荷载作用时,需按照偏心受压或偏心受拉进行正截面的承载力验算,同时需进行斜截面的抗剪承载力验算。此外,《混凝土结构设计规范》6.2.17 条和 6.2.19 条规定:剪力墙按正截面受弯承载力计算时,对于沿腹板均匀配置纵向普通钢筋的矩形、T 形或者 I 形截面的偏心受压构件。装配式构件接缝影响纵向连接钢筋的应力分布,因此按照构件实际承受内力值和抗剪承载力等效原则两种方法,对相应计算公式中的钢筋强度进行折减。

3.1 按构件承受的实际内力值折减

结构内力计算得到的构件实际承受的剪力值 V 作用于装配式接缝,其折减后强度为

$$f'_{yc} = \sqrt{f'_y - \frac{(V - 0.4N)}{\rho_s A_c}} \quad (2)$$

将钢筋的折减强度带入规范相应公式,按偏心受压构件计算装配式剪力墙的正截面承载力。

3.2 按构件抗剪承载力等效原则折减

按照装配式剪力墙接缝承担的剪力不小于现浇剪力墙构件抗剪承载力的原则,将现浇剪力墙构件按规范规定的抗剪承载力直接作用于装配式接缝,折减后强度为

$$f'_{yc} = \sqrt{f'_y - \frac{(V_u - 0.4N)}{\rho_s A_c}} \quad (3)$$

式(2)和式(3)中, f'_y 为钢筋的屈服强度, f'_{yc} 为折减后的钢筋屈服强度, V 为剪力墙承受的剪力值, V_u 为剪力墙的抗剪承载力, V_u 按现浇剪力墙的抗剪承载力计算公式得到。

4 计算结果对比

按照两种折减方法和截面应力积分法,得到试验构件的计算承载力和试验实测承载力见表 3。计算结果表明计算承载力略微小于试验测试承载力;考虑钢筋削弱作用后,计算承载力降低,体现出接缝的不利影响;因此接缝承载力计算模型合理,计算结果准确且偏于安全。

表 3 计算结果可知:箍筋约束作用提高了接缝承载力;同时考虑箍筋约束和钢筋削弱的计算承载力介于仅各自考虑约束作用和削弱作用的计算承载力之间,但均高于现浇构件的计算承载力.该结果表明:虽然装配式剪力墙接缝滑移削弱了纵向连接钢筋,但是较强的闭合扣接箍筋能够完全抵消接缝滑移不利影响;另一方面,目前国内多位学者通过设置较强的约束箍筋以实现“等同现浇”的装配式结构设计原则是合理可行的.

GB50010—2010《混凝土设计规范》在截面设计时将约束箍筋的提高作用作为安全储备,并未给出

表 3 试验模型的接缝承载力计算结果及试验结果

kN

计算构件类型和考虑因素	规范公式计算		截面积分(标准值)		试验测试结果		
	设计值	标准值	屈服荷载	极限荷载	实测屈服荷载	双折化后的屈服荷载	极限荷载
现浇构件	423.20	516.60	389.50	560.90	320	504.40	580.00
仅考虑约束作用	456.80	553.80	390.90	574.70			
仅考虑钢筋削弱	实际内力折减	424.16	388.70	553.07			
	承载力等效折减	409.80	376.80	549.00	330(平均值)	511.80	589.40
考虑约束和钢筋削弱	实际内力折减	461.09	390.06	565.82			
	承载力等效折减	441.90	378.20	562.50			

5 结 论

1) 钢筋浆锚连接装配式剪力墙接缝相对滑移对纵向连接钢筋产生不利影响,造成装配式剪力墙接缝力学性能薄弱.在墙体浆锚区设置较多的闭合扣接箍筋,能够完全抵消装配式接缝的不利影响,达到“等同现浇”的要求.

2) 提出了钢筋浆锚装配式剪力墙的承载力计算模型.

3) 提出按构件实际内力折减和构件抗剪承载力等效原则折减两种纵向连接钢筋的强度折减方法.

4) 建议装配式剪力墙的接缝承载力计算需按抗剪承载力等效原则进行纵向连接钢筋的强度进行折减,并忽略约束箍筋的提高作用下,按照相关规范公式进行计算.

5) 本文提出的改进型钢筋浆锚连接压弯承载力计算模型和计算方法能够适用于低轴压比钢筋浆锚连接装配式剪力墙的计算,但对于中高轴压比下的计算方法仍需开展后续研究.

参考文献

[1] 陈云钢,刘家彬,郭正兴,等.装配式剪力墙水平拼缝钢筋浆锚搭接抗震性能试验[J].哈尔滨工业大学学报,2013,45(6):83-89.

[2] 钱稼茹,杨新科,秦珩,等.竖向钢筋采用不同连接方法的预制钢筋混凝土剪力墙抗震性能试验[J].建筑结构学报,2011,32(6):51-60.

约束配箍情况和混凝土性能之间的定量关系,出于安全考虑,建议计算接缝承载力时不考虑约束箍筋对混凝土强度的有利影响.此外,按承载力等效原则的钢筋强度折减幅度更大,因此按承载力等效原则折减的计算承载力小于按构件实际承受内力折减的计算承载力.出于安全考虑,建议按剪力墙的抗剪承载力等效原则对纵向连接钢筋的强度进行折减.

综上,钢筋浆锚装配式剪力墙的承载力计算需按剪力墙抗剪承载力等效原则采用式(4)、(5)对钢筋强度进行折减,在不考虑箍筋约束作用下,按照相关规范计算接缝的承载力.

[3] 姜洪斌,张海顺,刘文清,等.预制混凝土插入式预留孔灌浆钢筋搭接试验[J].哈尔滨工业大学学报,2011,43(10):18-23.

[4] 朱张峰,郭正兴.装配式短肢剪力墙平面模型抗震性能试验[J].哈尔滨工业大学学报,2012,44(4):94-99.

[5] 王墩,吕西林,卢文胜.带接缝连接梁的预制混凝土剪力墙抗震性能试验研究[J].建筑结构学报,2013,34(10):1-11.

[6] 刘家彬,陈云钢,郭正兴,等.竖向新型连接装配式剪力墙抗震性能试验研究[J].湖南大学学报,2014,41(4):16-25.

[7] LING J H, ABD RAHMAN A B, IBRAHIM I S, et al. Behaviour of grouted pipe splice under incremental tensile load [J]. Construction and Building Materials, 2012, 33: 90-98.

[8] SANTOS P M D, JULIO E N B S. A state-of-the-art review on shear-friction [J]. Engineering Structures, 2012, 45: 435-448.

[9] ZILCH K, REINECKE R. Capacity of shear joints between high-strength precast elements and normal-strength cast-in-place decks [C]//FIB International Symposium on High Performance Concrete 2000. Orlando: [s.n.], 2000:25-27.

[10] TSOUKANTAS S G, TASSIOS T P. Shear resistance of connections between reinforced concrete linear precast elements [J]. ACI Structure Journal, 1989, 86(3):242-9.

[11] MANSUR M A, VINAYAGAM T, TAN K H. Shear transfer across a crack in reinforced high-strength concrete [J]. Journal of Materials in Civil Engineering, 2008, 20(4): 294-302.

[12] GB 50010—2010 混凝土结构设计规范[S].北京:建筑工业出版社,2010. (编辑 赵丽莹)