

可恢复功能装配式剪力墙研究现状与新型结构体系

余勇胜¹ 邱昇诚² 解叶龙³ 侯华全⁴ 郭志坚⁵

1 福建理工大学 土木工程学院 2 福建省长汀县第一建筑工程有限公司 3 福建中闽城投建筑工程有限公司

4 厦门鸿润源建设集团有限公司 5 中铁十五局集团有限公司

DOI:10.12238/bd.v8i3.4196

[摘要] 装配式剪力墙是装配式结构的重要抗侧力构件,具有可恢复功能的装配式剪力墙结构能有效减少主体结构的损伤,震后可快速进行修复,成为可恢复功能结构的研究热门之一。为此,本文分析了目前具有可恢复功能装配式剪力墙结构的实现形式,总结了可恢复功能装配式剪力墙结构的研究现状,并评述了存在的问题;提出了一种可恢复功能钢连接装配式剪力墙结构,论述该结构的构造形式、设计原理、抗剪承载力计算及抗震性能。该结构通过钢连接区实现了装配式剪力墙与基础的竖向拼接,震后通过更换部分钢构件便可实现结构的功能可恢复。

[关键词] 装配式剪力墙; 钢连接区; 可恢复功能; 抗剪承载力

中图分类号: TU375 **文献标识码:** A

Research status and structural innovation system on precast shear wall of earthquake resilient

Yongsheng Yu¹ Shengcheng Qiu² Yelong Jie³ Huaquan Hou⁴ Zhijian Guo⁵

1 College of Civil Engineering, Fujian University of Technology

2 Fujian Changting County first Construction Engineering Co., Ltd

3 Fujian Zhongmincheng Investment Construction Engineering Co., Ltd

4 Xiamen Hongrunyuan Construction Group Co., Ltd 5 China Railway 15th Bureau Group Co., Ltd

[Abstract] The earthquake-resilient prefabricated shear wall structure can effectively reduce the damage of the main structure and can be repaired quickly after the earthquake. In this paper, the research status of earthquake-resilient prefabricated shear wall structure is summarized, and the existing problems are reviewed. Then, a prefabricated shear wall structure with recoverable functional steel connection is proposed, and the structural form, design principle and the calculation of shear bearing capacity are discussed.

[Key words] precast shear walls; steel connection area; recoverable function; shear resistance

引言

剪力墙是房屋结构主要用来承受水平荷载的墙体,是地震中的主要抗剪力构件,普通钢筋混凝土剪力墙在震后会产生较大的残余变形,使得结构无法修复,最终造成巨大的经济损失。但近年来随着“可恢复功能城市”(resilient city)^[1]理念的产生,结构在地震后的功能可恢复性成为了抗震研究的另一个主要研究方向。本文对具有可恢复功能装配式剪力墙的主要结构形式、研究现状和不足之处进行了论述,并在此基础上提出了一种可恢复功能钢连接装配式剪力墙结构,对该结构的构造形式、设计理念和传力机理进行了分析。

1 国内外研究现状

1.1 装配式剪力墙连接形式研究现状

装配式结构具有能源消耗少、安全隐患低、工程质量有保证、生产效率高、人工成本低、污染少、节能环保等优点,且顺

应国家大力发展建筑工业化的方向,故近年来装配式结构成为了国内外学者研究的热门领域。

为实现装配式剪力墙的水平连接,针对装配式剪力墙中的纵向钢筋采用套筒灌浆连接实现其竖向钢筋的传力,并对该连接形式的装配式剪力墙结构进行了抗震研究^[2],结果表明:套筒浆锚连接和套筒浆锚间接搭接能有效传递竖向钢筋应力,获得与现浇剪力墙相近的力学性能,但其初始刚度、峰值承载力和耗能能力弱于现浇混凝土剪力墙。为满足装配式剪力墙“强节点一弱构件”的设计目的,对装配式剪力墙上下墙体中边缘暗柱内预埋型钢,然后在拼接区通过焊接连接型钢,实现装配式剪力墙结构的竖向强连接^[3],研究表明,该连接形式的装配式剪力墙的初始刚度和承载力有较大幅度的提升,但结构的变形能力和延性较普通RC剪力墙弱,且最终结构的破坏位置仍发生在焊接区域。装配式墙剪力墙可实现与现浇剪力墙相近的抗震性能,其耗

能力都接近或略小于普通混凝土剪力墙,但装配式剪力墙中连接区域延性较差,是装配式剪力墙结构破坏的薄弱区域。

1.2可恢复功能装配式剪力墙研究现状

为减小装配式剪力墙结构的残余应变,实现结构的震后可修复功能,采用无粘结后张拉预应力筋代替装配式剪力墙中的纵向钢筋^[4],研究表明采用后张拉装配式剪力墙结构拥有和同配置的现浇剪力墙相似的初始刚度和承载能力,且其变形能力较现浇剪力墙有明显提升,在震后该结构损伤较小,但其耗能能力较现浇剪力墙弱;现浇RC剪力墙的薄弱部位为两端墙脚。此外,为实现剪力墙的可恢复功能,学者们提出了一种使用拉压组合装置来代替普通剪力墙的现浇区域,以达到将剪力墙墙角的损伤变形集中到该装置上,震后通过更换该拉压组合装置便可快速恢复剪力墙的功能^[5-6]。目前可恢复功能剪力墙结构主要通过柱角放置可更换的耗能阻尼器来实现结构的可恢复功能,但对于墙体底部现浇连接区域的剪切破坏仍无法避免关于可更换功能剪力墙的研究主要集中在现浇剪力墙,对于装配式剪力墙在震后的可恢复功能研究仍较少,因此有必要进行该方面的研究。

2可恢复功能钢连接装配式剪力墙结构

2.1新型装配式剪力墙的构造形式

本文提出一种由上部预制剪力墙体、U型钢板、受拉耗能钢板、承压梁、耗能垫梁、角钢及高强螺栓组成的可恢复功能钢连接装配式混凝土剪力墙,如图1所示。该装配式剪力墙结构将连接区域设置在易受损的底部区域,用钢连接区域实现水平连接,且荷载作用下先于上部预制剪力墙发生屈服,利用钢连接区域内良好的变形和耗能能力来消耗地震能力,结构的损伤和破坏主要发生在钢连接区域,保护上部预制墙体不发生破坏,震后通过更换钢连接构件实现结构震后可恢复功能。

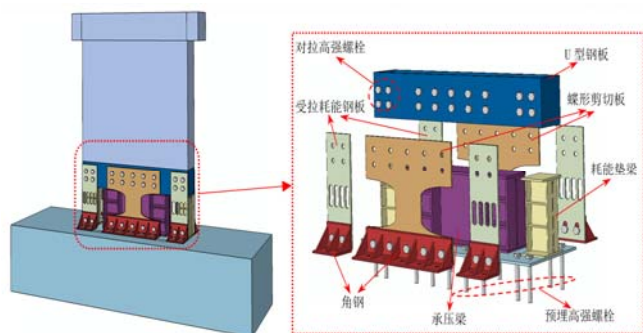


图1 可恢复功能钢连接装配式混凝土剪力墙构造图

2.2新型装配式剪力墙设计原理

水平荷载作用下,墙体会相应地发生转角 θ ,由于钢制连接区域内蝶形剪切板的特殊构造,且受拉耗能钢板下部连接端设有开竖向的螺栓孔(如图2),受压耗能钢板发生滑移释放压力,仅拉区耗能钢板受力。因此,钢连接区域内的弯矩由受拉耗能钢板的承拉和耗能垫梁的承压组成的抗弯力偶承担;受拉耗能钢板中部开竖向长条孔可形成多条高宽比较大

的“小钢柱”,可使受拉耗能钢板在承受拉力时拥有更大的变形能力,从而可在保证结构拥有稳定承载力的同时,其耗能能力也较为优异。

钢连接区域内轴力主要由承压梁承担,其用来传递上部预制墙体和基础间的轴向力;钢连接区域内的剪力由蝶形剪切板、受拉耗能钢板和摩擦力组成,由于受拉耗能钢板中部采用了长条竖缝的削弱形式,受拉耗能钢板的抗剪刚度大幅削弱,通过控制长条竖缝的高度,可使受拉耗能垫块的抗剪刚度小于中部蝶形剪切板抗剪刚度的1/10,保证结构钢连接区域内的剪力主要由蝶形剪切板和摩擦力组成。

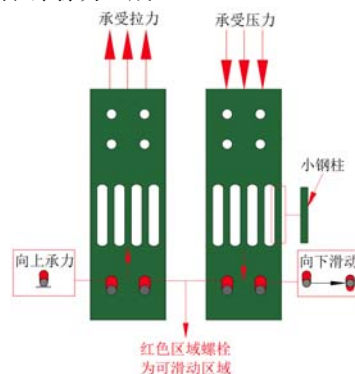


图2 受拉耗能钢板受力机理

2.3新型装配式剪力墙抗剪承载力计算方法

该装配式剪力墙的钢连接区域承载力依据上部预制剪力墙体进行设计,由图3可知钢制耗能连接区域的抗剪承载力由提供的抗剪承载力(V_t)、蝶形剪切板的抗剪承载力(V_s)、上部预制剪力墙结构与耗能垫块和承压垫梁上表面的摩擦力(V_f)三部分组成,故该钢制耗能连接区域的抗弯承载力初始设计公式为:

$$V = V_t + V_s + V_f \quad (1)$$

2.3.1受拉耗能钢板抗剪承载力计算

钢连接区中的受拉连接钢板的抗剪承载力和其开竖缝削弱的高度相关,竖缝削弱高度越高,受拉耗能钢板中小钢柱的高宽比就越大,从而导致其抗剪刚度降低,此开缝钢板的抗剪承载力依据陈以一^[7]提出的开缝钢板抗剪承载力计算方法,故单块受拉耗能钢板的极限承载力 Q_u 的计算公式为:

$$Q_u = \frac{n_1 M_u}{h/2} = \frac{2n_1 M_u}{h} = \frac{2n_1 f_u W_p}{h} \quad (2)$$

式中: Q_u 为一块受拉连接钢板的极限抗剪承载力; t 为钢板厚度; n_1 为一块受拉连接钢板中小钢柱的个数; b 小钢柱宽度; h 为小钢柱高度; M_u 为小钢柱的屈服弯矩; W_p 为小钢柱端部截面的塑性抵抗矩, $W_p = tb^2/4$; f_u 为钢板极限强度。

故受拉耗能钢板提供的抗剪承载力为:

$$V_t = n_2 Q_u = \frac{n_1 n_2 t b^2 f_u}{2h} \quad (3)$$

式中: n_2 为该装配式剪力墙结构中受拉连接钢板的块数;

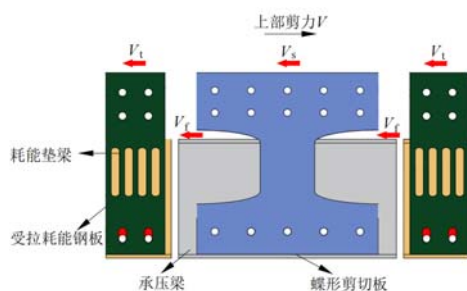


图3 钢连接区抗剪受力分析图

2.3.2 蝶形剪切板提供的抗剪承载力计算

钢制耗能连接区域内的蝶形剪切板为主要的承剪构件,其中部矩形区域的高宽比 $\lambda=0.667$,故按正常钢板承剪进行设计,计算公式为:

$$V_s = nA_s \cdot f_v \quad (4)$$

式中, n 为该装配式剪力墙结构中蝶形剪切板的块数; A_s —蝶形剪切板的抗剪截面积; f_v —蝶形剪切板钢材的抗剪强度设计值。

2.3.3 摩擦力提供的抗剪承载力计算

钢制耗能连接钢板中的用来抵抗剪力的摩擦力主要由上部预制剪力墙中的U型钢板与耗能垫块和承压垫梁之间的摩擦力构成,摩擦力计算公式为

$$V_f = uN \quad (5)$$

式中, u 为摩擦系数,此时为钢与钢连接,取 $u=0.6$; N —竖向轴力。

综上,钢制耗能连接区域的抗剪承载力设计公式为:

$$V = V_t + V_s + V_f = \frac{n_1 n_2 t b^2 f_u}{2h} + nA_s \cdot f_v + nA_s \cdot f_v \quad (6)$$

3 结论

(1) 已有的可恢复功能剪力墙结构主要通过柱角放置可更换的耗能阻尼器来实现结构的可恢复功能,但对于墙体底部现浇连接区域的剪切破坏仍无法避免;目前关于可更换功能剪

力墙的研究主要集中在现浇剪力墙,对于装配式剪力墙在震后的可恢复功能研究仍较少。

(2) 由上部预制剪力墙体、U型钢板、受拉耗能钢板、承压梁、耗能垫梁、角钢及高强螺栓组成的可恢复功能钢连接装配式混凝土剪力墙可实现弯剪解耦受力;通过合理设计可控制结构的损伤和变形集中在钢连接区内的耗能钢构件上,保护上部预制墙体的安全,实现结构的塑性损伤可控。

[基金项目]

福建省建设厅科技研究开发计划项目(2022-K-302)。

[参考文献]

[1] Pacific earthquake Engineering Research Center. Report of the seventh joint planning meeting of NEES/E-defense collaborative research on earthquake engineering [R]. PEER 2010/109. Miki: Hyogo Earthquake Engineering Research Center. 2010.

[2] 朱张峰,郭正兴. 预制装配式剪力墙结构节点抗震性能试验研究[J]. 土木工程学报, 2012, 45(01): 69-76.

[3] Belleri Andrea, Riva Paolo. Seismic Performance and Retrofit of Precast Concrete Grouted Steel Connections [J]. PCI Journal, 2012, 57(1): 97-109.

[4] Kurama Y, Sause R, Pessiki S, et al. Lateral load behavior and seismic design of unbonded post tensioned precast concrete walls [J]. ACI Structural Journal, 1999, 96(4): 622-633.

[5] 吕西林,陈云,毛苑君. 结构抗震设计的新概念—可恢复功能结构[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2011, 39(07): 941-948.

[6] 吕西林,毛苑君. 带有震损可修复的墙脚构件剪力墙的设计方法[J]. 结构工程师, 2012, 28(03): 12-17.

[7] 陈以一,蒋路. 带缝钢板剪力墙的承载力和开缝参数研究[J]. 建筑科学与工程学报, 2010, 27(03): 109-114.

作者简介:

余勇胜(1994--),男,汉族,福建福州人,硕士,从事装配式结构、组合结构方面的研究。