

砌体结构的震害特征分析

郑山锁¹, 张秋石¹, 程明超², 牛丽华¹, 朱揽奇¹, 石磊¹

(1. 西安建筑科技大学土木工程学院, 西安 710055; 2. 中国移动通信集团设计院有限公司陕西分公司, 西安 710077)

摘要:砌体结构是我国最悠久最广泛的建筑结构形式。在已有震害资料的基础上,论述砌体墙的水平裂缝、斜裂缝和竖向裂缝的破坏形式,给出各种裂缝的破坏形态和常见位置;砌体结构的倒塌破坏包括整体粉碎性垮塌,局部垮塌和整层垮塌,系统的阐述了各种倒塌破坏的特征;归纳分析了砌体结构的其他常见震害破坏形式,如变形缝处破坏、楼梯板破坏和结构突出物破坏。深入探讨砌体墙裂缝和倒塌破坏的产生原因,为了解砌体结构的破坏机制和抗震性能奠定基础。针对砌体结构在结构安全上的薄弱缺陷,提出在设计 and 施工时的一些建议。

关键词:砌体结构;震害特征;裂缝;倒塌破坏

中图分类号:TU241.7

文献标志码:A

引言

我国是多地震国家,近些年来地震灾害频发,给国家带来了重大的人员伤亡和财产损失,同时也使得我国大量的房屋建筑遭到破坏。我国目前存在多种建筑结构形式,比如钢筋混凝土结构、砌体结构、钢结构以及一些混合结构等。其中砌体结构是我国最主要的建筑结构形式之一,由于其就地取材、施工简单、保温隔热性能好等优点,被广泛应用于医院、住宅、办公楼等建筑工程中。然而,由于砌体结构材料强度低、延性差、整体性弱等劣势,导致砌体结构的抗震性能较差^[1]。在历次地震灾害调查中,砌体结构的抗震表现都不尽人意。图 1 是汶川地震后土木工程专家组现场实地考察统计得到的不同建筑结构震害情况统计^[2],由图 1 可知,砌体结构抗震性能最差,震害最为严重。

砌体结构是我国的主要建筑结构形式,鉴于砌体结构在地震作用下的表现较差,因此,对地震灾区不同烈度下的砌体结构的震害资料进行深入的整理和分析,总结地震灾区砌体结构的破坏特征及发生原因,有助于深

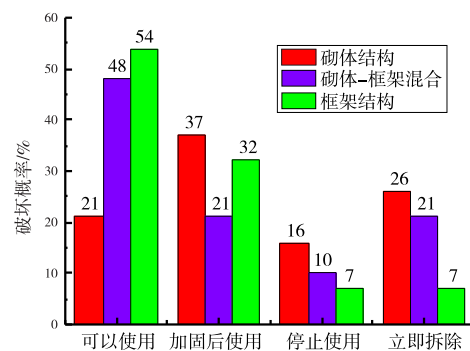


图 1 不同建筑结构震害情况对比

入了解砌体结构抗震性能的不足,为提高砌体结构的抗震设计和施工水平奠定基础。

1 砌体墙的破坏特征

1.1 水平裂缝

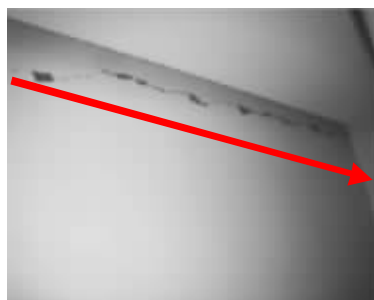
在历次地震灾害中,水平裂缝是墙体的主要破坏形式之一^[3]。在汶川地震中,不少横墙出现了水平裂缝,如图 2 所示。水平裂缝多发生在楼层墙顶(圈梁底部)以及 ± 0.00 位置(地圈梁顶面),出现水平裂缝后,墙体

收稿日期:2016-09-05

基金项目:国家科技支撑计划(2013BAJ08B03);国家自然科学基金(51678475);教育部高等学校博士学科点专项科研基金(20136120110003)

作者简介:郑山锁(1960-),男,陕西渭南人,教授,博士(后),主要从事砌体结构检测加固和易损性方面的研究,(E-mail)zhengshansuo@126.com

会产生整体的错动和滑移迹象。水平裂缝产生的原因大体上有以下三种,第一种主要是由于瞬间地震动峰值过大,导致墙体瞬间被剪断,发生滑移现象,地震反复作用导致裂缝较宽^[4]。第二种是由于砂浆强度不足,建造时间较长,砂浆强度退化,或是遭遇的地震强度较大,砂浆层抗剪强度不足以抵抗水平地震作用,从而形成水平裂缝,发生剪摩破坏。第三种是由于地震作用方向与墙体正好垂直时,抵抗地震作用的纵墙发生破坏^[5]。横墙由于其平面外刚度较小,平面外抗侧能力较弱,在地震作用下会发生平面外弯曲破坏,形成水平裂缝。



(a)砌体墙顶部的水平裂缝



(b)圈梁底部的水平裂缝



(c) ± 0.00位置(地圈梁顶面)水平裂缝



(d)平面外弯曲破坏处的水平裂缝

图2 砌体墙水平裂缝破坏形式

1.2 斜裂缝

斜裂缝破坏是砌体结构较为常见的震害形式,在地震灾区随处可见砌体墙发生斜裂缝破坏^[6]。墙体的斜裂缝破坏主要包括单向斜裂缝和交叉斜裂缝(X型裂缝),如图3所示。墙体斜裂缝主要是由于墙体的抗剪强度不足,主拉应力超过砌体的抗拉强度所致。裂缝沿主拉应力方向发展,属于剪压破坏形态^[7]。

在教学楼、医院等大开间砌体结构中,常出现交叉滑移裂缝^[8]。如图3(d)所示,此类横墙宽度较大,高宽比较小,裂缝先沿45度方向发展,随着地震的反复作用,形成水平滑移通缝,砂浆和砖完全分开,仅依靠摩擦力抵抗地震作用。这种破坏形式为剪摩和剪压复合破坏形式^[9]。



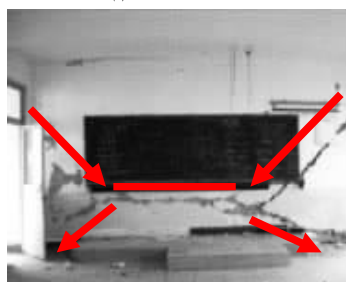
(a)单向斜裂缝



(b)窗下墙交叉斜裂缝



(c)窗间墙交叉斜裂缝



(d)交叉滑移斜裂缝

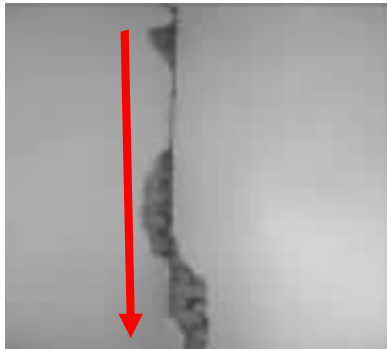
图3 砌体墙斜裂缝破坏形式

1.3 竖向裂缝

竖向裂缝主要产生于纵横墙连接处,产生竖向裂缝的主要原因是纵横墙之间缺少可靠的拉结,地震作用下产生裂缝,甚至纵墙外闪或倒塌^[10],如图 4 所示。



(a)单片墙体的竖向裂缝



(b)纵横墙交接处的竖向裂缝

图 4 砌体墙竖向裂缝破坏形式

2 砌体结构倒塌破坏特征

2.1 倒塌破坏形态

砌体结构抗震性能差,在历次地震中发生倒塌的概率最高^[11]。砌体结构的倒塌主要发生在高烈度区,对于未经过抗震设计的砌体结构或者农村民房,地震作用下发生倒塌的概率较大。鉴于砌体结构在地震作用下不同的倒塌形式,将倒塌分为以下几种类型:

(1)整体粉碎性垮塌。砌体结构整体性倾倒,倒塌后不能保持原有的建筑形状,无生存空间,倒塌现场一片废墟,造成严重的人员伤亡,如图 5(a)所示。这些砌体结构大多材料强度较低,并且建造年代较早,服役时间较长,并且没有经过正规的结构抗震设计,并且没有构造柱、圈梁、拉结筋等构造措施,结构整体性差,多数为某层砖墙承载力不足而倒塌,其它层随之倒塌或被其砸倒。

(2)局部垮塌。多层砖砌体房屋局部倒塌形式多种多样,有的是一端倒塌,一端未倒;有的是两端倒塌,中间未倒;有的是中间倒塌,两端未倒;有的是外墙倒塌,内墙未倒等。造成局部倒塌的原因很多,例如某个开间突然变大,平面或是里面不规则产生地震扭转效应,两

种形式的混合承重,局部荷载改变等。这类倒塌剩余部分能保持一定的建筑形状,有一定的生存空间,能够提供避难场所。

(3)整层倒塌。多层砖砌体结构底层门窗开洞较多,或者是底部框架抗震墙结构,这类结构底部刚度较小,上部刚度较大,在地震作用下容易发生底部整层倒塌现象,如图 5 所示。此类倒塌在倒塌层无生存空间,除倒塌层外,其余结构基本完整,这种倒塌形式的建筑物,圈梁和构造柱设计基本齐全,在设计过程中未考虑竖向地震作用,在正常使用情况下可以满足承载力的要求,但是在遭遇大地震时,由于没有足够的安全储备导致承载力不足而发生整体倒塌。



(a)整体粉碎性倒塌



(b)局部倒塌



(c)底部整层倒塌



(d)二层整体倒塌

图 5 砌体结构倒塌破坏形式

2.2 倒塌破坏原因

砌体结构的倒塌破坏与很多因素有关,例如地震烈度达到甚至超过罕遇地震烈度,平面不规则、立面不规则,圈梁构造柱设置不完善,未经过正规设计,设计施工有缺陷等。然而,砌体结构的倒塌归根结底始于承重墙体的破坏,承重墙体的破坏始于墙体的裂缝,墙体裂缝产生的原因包括平面内的弯曲破坏和剪切破坏,平面外的弯曲破坏。在裂缝出现初期,墙体仍能够承担部分地震作用,并且能保持一定的承载力使得结构不致发生倒塌。一旦砌体结构遭遇较大地震时,地震峰值加速度较大,地面运动强烈,墙体发生裂缝后进一步发展,进而出现错动、压碎等破坏,直至承重墙丧失承载力而发生倒塌。

3 其他破坏

砌体结构在地震作用下的破坏形式多种多样。除了上述常见的砌体结构的破坏形式之外,还存在其他各种破坏形式^[12]。如墙角的破坏、屋面突出物的鞭梢效应、屋面楼面破坏、楼梯破坏等都会影响砌体结构的结构安全,如图6所示。

4 结论

历次地震震害资料表明,砌体结构的抗震性能较差,破坏和倒塌非常严重^[13]。通过对大量震害资料的调查和分析,总结出影响砌体结构破坏程度的主要因素和砌体结构设计施工的建议如下:

(1) 砌体结构在平面形状复杂,立面凹凸变化较多时,抗震性能极差。所以,砌体结构在设计时平面和立面布置应简单、规则、对称、无刚度突变,结构体系传力明确,构造措施完善、合理。

(2) 震害表明,砌体结构门窗洞口破坏较为严重,因此对于门窗洞口开洞大小、位置应重点考虑。现有砌体结构设计方法无法考虑窗间墙和窗下墙间的破坏模式,因此需要对现有砌体结构计算方法加以改进。

(3) 大开间砌体结构的横墙较少,破坏较为严重^[14]。所以,在实践中对教室、医院等大开间结构需要进行重点设计、提前加固。

(4) 震害表明,建造年代较为久远,服役时间较长的老旧房屋破坏相对较为严重^[15]。适时、适当对老旧房屋进行加固,有助于提高其抗震能力。

(5) 砌体结构的抗地震能力与施工质量有直接联系。震害资料表明,由于施工质量的原因造成房屋倒塌和严重破坏的事例在历次地震灾害中均有体现。因此,施工质量是决定房屋破坏程度的最直接因素。



(a) 墙角无构造柱破坏



(b) 结构突出物鞭梢效应



(c) 变形缝处破坏



(d) 屋盖破坏



(e) 楼梯板破坏

图6 砌体房屋其他部位破坏

参考文献:

- [1] 张秋石. 攀枝花地区砌体结构经验震害矩阵的完善[C]//结构工程新进展国际论坛(第七届)论文集. 西安: 中国建筑工业出版社, 2016.

- [2] 清华大学,西南交通大学,北京交通大学土木工程结构专家组.汶川地震建筑震害分析[J].建筑结构学报,2008,29(4):1-9.
- [3] 刘桂秋.砌体结构基本受力性能的研究[D].长沙:湖南大学,2005.
- [4] 周铁钢,赵冬.5·12 地震绵竹城区砌体结构房屋震害调查与分析[J].西安建筑科技大学学报,2008,40(5):613-618.
- [5] 周强.砌体结构抗震试验及弹塑性地震反应分析[D].哈尔滨:哈尔滨工程大学,2012.
- [6] 吴丽洁.砖砌体结构房屋震害分析及设计建议[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2010.
- [7] 施楚贤.砌体结构[M].北京:中国建筑工业出版社,2012.
- [8] 赵蕴林.5·12 大地震后大地震后砖混结构房屋抗震加固技术探讨[J].四川理工学院学报:自然科学版,2011,24(2):129-132.
- [9] 冯学刚.砌体结构地震破坏模式研究[D].哈尔滨:中国地震工程力学研究所,2010.
- [10] 吴建超.2014 年 3 月 30 日湖北省秭归 M4.7 地震房屋震害特征分析[J].地震工程学报,2016,38(4):669-672.
- [11] 谭皓.芦山地震砌体结构震害分析[J].世界地震工程,2016,32(1):59-64.
- [12] 陈平.崇文塔震害分析及安全性评估[J].工业建筑,2015,45(2):65-69.
- [13] 冀昆.鲁甸 M_S6.5 级地震强震动记录及震害分析[J].震灾防御技术,2016,32(1):59-64.
- [14] 苏启旺.砌体结构抗震评估研究[J].建筑结构学报,2014,9(3):325-339.
- [15] 金伟良.《砌体结构设计规范》的回顾与进展[J].建筑结构学报,2010,31(6):22-28.

Research on Masonry Structure's Characteristics of Seismic Disaster

ZHENG Shansuo¹, ZHANG Qiushi¹, CHENG Mingchao², NIU Lihua¹, ZHU Lanqi¹, SHI Lei¹

(1. College of Civil Engineering, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710055, China;

2. Shanxi Branch, China Mobile Group Design Institute Co., Ltd., Xi'an 710077, China)

Abstract: Masonry is an ancient and common form of building structure. Based on the existing earthquake disaster data, the failure modes of masonry structure's horizontal crack, diagonal crack and vertical crack, including the crack's shape and position are elaborated. Masonry's overall collapse includes comminuted collapse, partial collapse and the whole floor's collapse, then the characteristic of various collapses are summarized. Other failure modes are generalized, such as the destruction in deformation joint, stairboard and protrusion. Besides, the causes of above destruction are thoroughly discussed, and a foundation for deeply understanding the failure mechanism and failure reason is laid. Focused on the shortcomings of masonry, some suggestions on structural design and building construction are given.

Key words: masonry structure; characteristics of seismic disaster; crack; collapse