

钢筋混凝土构件修复加固与抗震性能比较

柴少峰^{1, 2, 3}, 王平^{1, 2, 3}, 王峻^{1, 2, 3}, 王谦^{1, 2, 3}

(1. 中国地震局黄土地震工程重点实验室, 甘肃兰州 730000; 2. 中国地震局兰州地震研究所, 甘肃兰州 730000;

3. 甘肃省岩土防灾工程技术研究中心, 甘肃兰州 730000)

摘要:钢筋混凝土框架结构在地震作用下应满足强柱弱梁等抗震设计理念,但由于设计和施工各种综合原因所致,在历次地震中。规范要求的“强柱弱梁”理想破坏机制始终没有出现,竖向承重构件遭受了不同程度的损伤和破坏,不满足现有规范的相关规定。为了保证钢筋混凝土竖向承重构件不先于水平构件破坏,对于一些重要位置的钢筋混凝土构件进行修复加固显得十分重要。本文以加大截面加固法、外贴碳纤维加固法、喷射混凝土技术加固法、外包钢加固法、外包粘钢加固法等加固处理方式为例,对钢筋混凝土构件的修复加固方法及其抗震性能进行对比分析。研究对于钢筋混凝土构件的修复加固工程具有一定的参考价值。

关键词: 钢筋混凝土; 修复加固; 外包钢加固; 外包粘钢加固法; 抗震性能

中图分类号: TU352.1 文献标识码: A 文章编号: 1000-0844(2013)04-872-05

DOI: 10.3969/j.issn.1000-0844.2013.04.872

Repairing and Strengthening of Reinforced Concrete Members and Study of its Seismic Performance

CHAI Shao-feng^{1,2,3}, WANG Ping^{1,2,3}, WANG Jun^{1,2,3}, WANG Qian^{1,2,3}

(1. Key Laboratory of Loess Earthquake Engineering, CEA, Lanzhou Gansu 730000, China;

2. Lanzhou Institute of Seismology, CEA, Lanzhou Gansu 730000, China;

3. Geotechnical Disaster Prevention Engineering Technology Research Center of Gansu Province, Lanzhou Gansu 730000, China)

Abstract: Reinforced concrete frame structures should meet the design concepts of strong columns, weak beams, and so on, in order to survive during earthquakes. Due to various reasons of design and construction, the vertical load-bearing component suffered various degrees of damage and destruction in previous earthquakes and the ideal broken mechanism of “strong columns weak beams” which was required by the specification did not appear. In order to avoid massive destruction and collapse of reinforced concrete frame structures during strong earthquakes, vertical load-bearing members of reinforced concrete must undergo damage after the horizontal ones. Therefore, it is very important to repair and strengthen the reinforced concrete members at some important positions. Strengthening treatments such as increasing the section, the carbon fiber reinforced method, reinforced method of shotcrete, the steel-encasing strengthening method, and the method of sticking steel reinforcement of outsourcing were taken as examples in this paper to discuss the repair and reinforcement of concrete members,

收稿日期: 2013-10-05

基金项目: 甘肃省自然科学基金(1308RJZA153)

作者简介: 柴少峰(1986-),男(汉族),甘肃会宁人,硕士,主要从事地震工程与地震模拟振动台试验研究工作。E-mail: chaishaofeng520@163.com

which could provide effective engineering measures for the strengthening and repairing of this type of concrete member. The research has a certain practical value for the repair and reinforcement of the concrete member.

Key words: reinforced concrete; repair and strengthen; steel-encasing strengthening; method of sticking steel reinforcement of outsourcing; earthquake resistant behavior

0 引言

钢筋框架结构具有抗震性能好、耐火性能好、整体性能好以及耐久性能好等特点,因此广泛应用于公共建筑和住宅建筑当中。但从历次地震灾害分析中可见,钢筋混凝土结构在强震作用下并没有出现“强柱弱梁”的基本设计理念,绝大部分破坏严重甚至倒塌的结构中都是竖向结构率先发生了破坏,因此有必要对现有钢筋混凝土构件进行修复加固。

目前,我国对于钢筋混凝土构件的加固处理技术主要有加大截面加固法、外贴碳纤维加固法、喷射混凝土技术加固法、外包钢加固法、外包粘钢加固法等。其研究成果也相对较多,例如万墨林和韩继云^[1]对钢筋混凝土柱加固前后的受力状态及破坏过程进行了分析;刘匀等^[2]提出采用复合施工法和使用复合灌浆料进行钢筋混凝土柱外包钢加固处理方法;林友勤等^[3]进行了4根外包钢混凝土加固柱与4根混凝土柱的轴心抗压对比试验研究;陈金锋和江世永^[4]从理论上推导了后加钢与原混凝土以及混凝土里面的钢筋之间的应力—应变关系;欧阳煜等^[5]通过7根外包钢加固低强度混凝土柱的偏心受压试验,研究了加固后混凝土柱在不同偏心距荷载作用下的破坏特征等受力性能。

本文先从结构设计中有关“强柱弱梁”的设计问题入手,分析钢筋混凝土结构的受力屈服特点,从而引出设计人员在相应设计中应重视“强柱弱梁”的设计理念。进而对于目前常用的钢筋混凝土结构竖向承重构件进行加固处理的方法进行介绍和对比分析。

1 “强柱弱梁”的设计问题

一个结构抵抗强烈地震的能力强弱主要取决于这个结构对地震能量“吸收与耗散”能力的大小。要使结构在遭遇强烈地震时具有很强的抗倒塌能力,最理想的是使结构中的所有构件均具有很高的延性。然而在实际工程中很难完全做到这一点。有效的办法是,在设计时有意识地设置一系列有利的屈服区,使这些并不危险的部位首先形成塑性铰,把能量耗散在整个结构的平面和高度方面上,这样结构既可承受反复的塑性变形而又不倒塌,仍具有一定的承载能力^[6]。即将塑性铰控制在一些预定部位从而保护主要承重体系。否则塑性铰的出现可能使结构成为可变的机构而失去承载能力,引起过早倒塌。

从图1可以清楚地看出,构件发生梁铰机制时,其塑性铰的数量远比柱铰机制要多;发生梁铰机制的构件,层间侧移沿竖向分布比较均匀;而发生柱铰机制的构件,不仅层间侧移沿竖向呈非均匀分布,而且柔弱楼层处存在着塑性变形集中。所以,从构件实际表现出来的超静定次数和层间侧移限值等角度来衡量,属于梁铰机制的构件,其抗震性能均优于柱铰机制的构件。

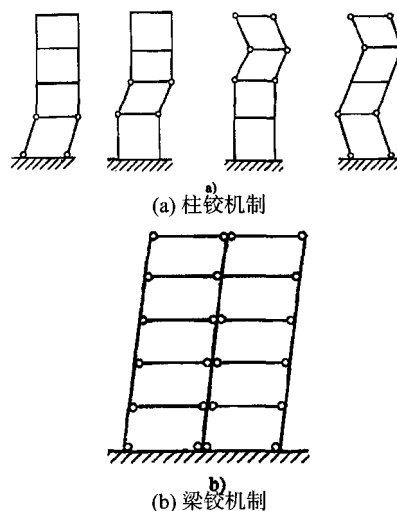
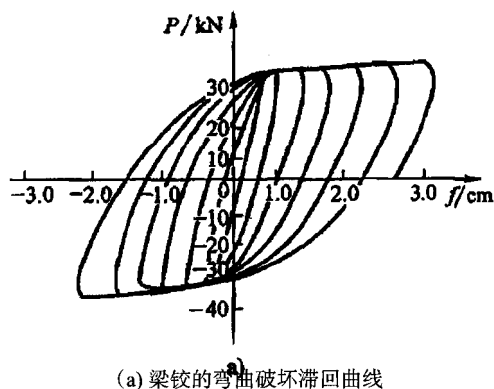


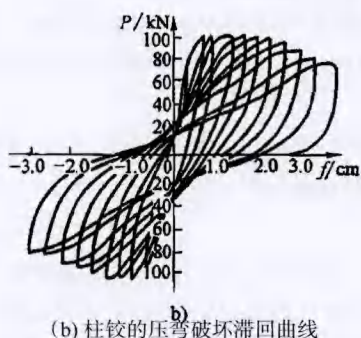
图1 梁、柱铰机制对比示意

Fig.1 Comparison of beams and columns-hinge mechanism

图2列出了“梁铰”(a)和“柱铰”(b)的滞回曲线。“梁铰”是指塑性铰出现在框架梁的端部,是弯曲破坏,其滞回曲线成梭形,滞回环饱满,耗能能力最好。“柱铰”是指塑性铰出现在框架柱的端部,是压弯破坏,其滞回曲线成弓形,滞回环有“捏拢”现象,耗能能力降低不少。所以从塑性铰的实际耗能能力的角度来衡量,梁铰机制构件的抗震性能亦优于柱铰机制的构件。



(a) 梁铰的弯曲破坏滞回曲线



(b) 柱铰的压弯破坏滞回曲线

图2 耗能能力的比较

Fig.2 Comparison of energy consumption

从地震中建筑物破坏和倒塌的过程中认识到,建筑物在地震时要免于倒塌和严重破坏,对于框架结构中的构件发生强度屈服的顺序应该符合下列条件:(1)杆件先于节点;(2)梁先于柱。这样,构件发生变形时能具有较好的延性,而不是脆性破坏,在各环节的变形中塑性变形成分远大于弹性变形成分。这样,这幢框架结构就具有较高的耐震性能,遭遇等于设防烈度的地震时,框架结构不会发生严重破坏;遭遇高于设防烈度1度的地震时,框架结构不至于倒塌。

2 混凝土加固技术

当前,各种类型的钢筋混凝土结构,其构造是复杂多样的,在建筑工程中,钢筋混凝土结构的变更、追加、加固也成为很平常的问题。目前,我国建筑结构工程上常用的钢筋混凝土结构补强加固方法有(建筑抗震设计规范,2010^[7]),加大截面加固法、外贴碳纤维加固法、喷射混凝土技术加固法、外包钢加固法、外包粘钢加固法等,本文对一些加固方法进行对比和总结。

2.1 碳纤维加固法(徐新生等^[8])

碳纤维加固法(carbon fiber reinforced plastics, CFRP)是把碳纤维片含浸树脂系粘结剂叠合在混凝土构件受力部位使之与基体合为一体,从而达到加固目的的一种施工方法。该方法通常以混凝土桥面板、桥墩、梁、柱、烟囱以及隧道衬砌为对象进行构件的抗弯补强、抗剪补强以及防止混凝土开裂、剥落等。

碳纤维片材由于其强度高,弹性模量大,用于横向包裹钢筋混凝土柱时,可以有效提高柱的承载能力和延性性能。其作用机理体现在两个方面:一方面,碳纤维片材横向包裹其作用类似于受剪钢筋,协同钢筋承受剪力,由于碳纤维的抗拉强度远远大于钢筋的抗拉强度,相当于配筋率大大提高,使其抗剪承载力得以显著提高,斜裂缝出现以后构件的变形性能也得以明显改善;另一方面,横向包裹碳纤维还会对其内部的混凝土起到有效的约束作用,当受压区混凝土达到峰值应力后其横向膨胀变形急剧

增大,碳纤维环向应变显著增大,环向约束力增大,这就使得混凝土应力—应变曲线的下降变得平缓,极限压应变得以提高,因而推迟了受压区混凝土的破坏过程,充分发挥了纵向钢筋的塑性变形性能,显著改善构件的延性。



图3 碳纤维加固工程实例

Fig.3 The engineering example of carbon fiber reinforcement

近年来,碳纤维材料以其轻质、高强、抗腐蚀、耐疲劳及其温度稳定性而受到土木工程界的日益关注,成为研究与应用的热点。工程实践和试验研究表明:采用碳纤维对钢筋混凝土柱进行抗震加固可以有效约束混凝土的变形,增强耗能能力,从而使其承载能力及延性能力有很大的提高,可取得良好的抗震加固效果。

2.2 外粘钢加固法

用粘结剂(建筑结构胶)将钢板粘贴在已开裂构件需要加固的部位上,以提高结构承载力的一种方法。该方法的应用研究始于20世纪60年代。在国际上它是一种适用面较广的加固方法,不仅用于建筑,而且用于公路桥梁的加固补强。这项技术简称粘钢加固技术。

与传统加固方法比较,它有以下特点:

(1) 工艺简便,只需对被加固构件的表面进行处理,用建筑结构胶将钢板与之牢固地粘结成一个整体,使钢板和原构件很好地共同工作。

(2) 加固施工所需的场地、空间都不是很大,且钢板粘贴在已开裂构件上一般2天即可受力使用,对生产和生活影响很小,特别适用于应急的加固工程。

(3) 粘钢加固所用的钢板厚度一般为2 mm~6 mm所以,加固后不影响结构外观,重量增加也不多。

(4) 加固效果比较明显。

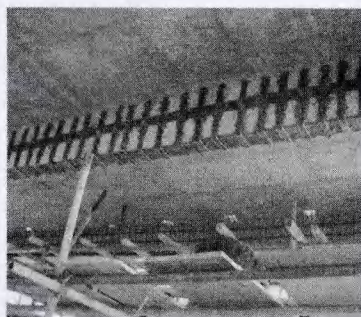


图4 外粘钢加固法工程实例

Fig.4 The engineering example of sticking steel reinforcement

2.3 化学植筋技术

植筋技术是运用高强度的化学粘合剂使钢筋、螺杆等与混凝土产生握裹力,施工后产生高负荷承载力,不易产生移位、拔出,并且密实性能良好,无需做任何防水处理。

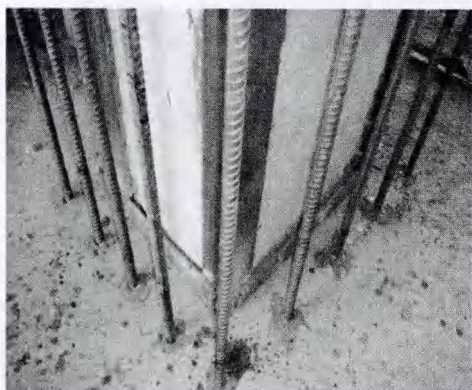


图5 化学植筋加固法工程实例

Fig.5 The engineering example of chemical rebar method

由于其通过化学粘合固定不但对基材不会产生膨胀破坏,而且对结构有补强作用,施工简便迅速安全并符合环保要求,是建筑工程中钢筋混凝土结构变更、加固的最有效的方法。它可以应用在各种建筑结构增建、变更等预留钢筋锚定中,还可以用于横梁、柱头、楼板、剪力墙等加固预留钢筋锚定中,也可用于各类钢结构、机械设备等的螺杆锚定中。

它主要的技术特点就是:(1)具有高的承载力(剪力、拉力)。(2)对固定的基材不产生膨胀力,适宜边距、间距小的部位。(3)施工简便,时间短。

2.4 注浆加固法

注浆加固法主要是针对钢筋混凝土结构物由于各种原因产生的各种裂缝,采用环氧树脂类粘合剂及密封剂灌浆加固修补,在不影响生产运营的情况下可以达到预期的强度,延长结构的使用寿命,施工快捷,加固效果安全可靠。



图6 注浆加固法工程实例

Fig.6 The engineering example of Grouting method

它的特点是:(1)采用慢速,附压延续灌浆,可以确保树脂注入裂缝细微部位;(2)可以控制注入量,必要时可以补充灌浆料;(3)可根据裂缝大小,注入状况的需要,调整压力;(4)注入量和注入情形可以目视观察。这种技术主要应用范围:混凝土建筑物裂缝的修补,各种构筑物的修补以及桥梁、铁路的附属构件如桥墩、桥台、桥面、隧道等的修补。

3 结语

基于以上分析,可以初步得到以下几点结论:

(1)从梁铰和柱铰的滞回曲线可以看出梁铰出现在框架梁的端部,是弯曲破坏,其滞回曲线成梭形,滞回环饱满,耗能能力最好。柱铰是指塑性铰出现在框架柱的端部,是压弯破坏,其滞回曲线成弓形,滞回环有“捏拢”现象,耗能能力降低不少。

(2)碳纤维片材适用于横向包裹钢筋混凝土柱,可以有效提高柱的承载能力和延性性能;植筋技术对结构有补强作用,施工简便迅速安全并符合环保要求,是建筑工程中钢筋混凝土结构变更、加固的最有效的方法。

参考文献(References)

- [1] 万墨林,韩继云.混凝土结构加固技术[M].北京:中国建筑工业出版社,1995.
WAN Mo-lin, HAN Ji-yun. Strengthening Technical of Concrete Structure[M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 1995. (in Chinese)
- [2] 刘匀,张林绪,姜维山,等.外包钢新材料灌浆加固钢筋混凝土柱的研究与实践[J].西安建筑科技大学学报,1997,29(4): 422-425.
LIU Yun, ZHANG Lin-xu, JIANG Wei-shan, et al. Strengthening RC Column by Pouring with New SRC Material[J]. Journal of Xi'an University of Arch & Tech, 1997, 29(4): 422-425. (in Chinese)
- [3] 林友勤,龚光,宗周红.外包钢加固短柱轴心抗压实验研究[J].福州大学学报:自然科学版,2002,30(2): 221-224.
LIN You-qin, GONG Guang, ZONG Zhou-hong. Test Research on Concentric Axial Compression of Concrete Short Columns Reinforced Outside by Steel plank[J]. Journal of Fuzhou University: Natural Science Edition, 2002, 30(2): 221-224. (in Chinese)
- [4] 陈金锋,江世永.外包钢加固混凝土时外包钢利用系数的确定[J].四川建筑科学研究,2004,30(1): 63-65.
CHEN Jin-feng, JIANG Shi-yong. The Defining of Outside Steel Utilization Coefficient in Concrete Strengthen by Wrapping Steel Outside[J]. Building Science Research of Sichuan, 2004, 30(1): 63-65. (in Chinese)
- [5] 欧阳煜,戚继亮,蔡志鸿.外包钢加固低强混凝土偏压柱试

- 验研究[J].建筑结构,2011,41(6):71-93.
- OUYANG Yu, QI Ji-Jiang, CAI Zhi-hong. Experimental Research on Low Strength RC Eccentric Compression Columns Strengthened with Angle Steel[J]. Building Structure, 2011,41(6): 71-93. (in Chinese)
- [6] 周靖,蔡健,方小丹.强柱系数基于结构易损性的抗震性能评估[J].西北地震学报,2007,29(3):208-209.
- ZHOU Jing, CAI Jian, FANG xiao-dan. Evaluation of Structural Fragility-based Seismic Performance for Strong Column Factors[J]. Northwestern Seismological Journal, 2007,29(3): 208-209.(in Chinese)
- [7] 建筑抗震设计规范 GB50011-2010[S].北京:中国建筑工业出版社,2010.
- Code for Seismic Design of Buildings.GB50011-2010 [S].Beijing:China Building Industry Press, 2010.(in Chinese)
- [8] 周靖,蔡健,方小丹.强柱系数基于结构易损性的抗震性能评估[J]. 西北地震学报,2007,29(3):208-209.
- HOU Jing,CAI Jian, FANG xiao-dan.Evaluation of Structural Fragility-based Seismic Performance for Strong Column Factors[J]. Northwestern Seismological Journal, 2007,29(3):208-209.(in Chinese)