

文章编号:1673-9469(2009)03-0008-04

隅撑支撑钢框架结构抗震性能分析

史三元,刘春生,马裕超,韩亚强

(河北工程大学 土木工程学院,河北 邯郸 056038)

摘要:采用 pushover 方法对单角隅撑支撑钢框架在三种罕遇地震烈度下的抗震性能进行分析,得出该结构在不同罕遇地震作用下的破坏模式及抗震性能点,并对其抗震性能进行评定;该结构在地震作用下塑性铰依次出现在隅撑、斜支撑及框架梁上,从而可以消耗大量的地震能量,同时避免了框架柱遭受破坏,符合“强柱弱梁”的设计要求。

关键词:单角隅撑支撑;钢框架;抗震性能;性能点;

中图分类号: TU391

文献标识码: A

Analysis on anti - earthquake performances of knee bracing steel frame

SHI San-yuan, LIU Chun-sheng, MA Yu-chao, HAN Ya-qiang

(College of Civil Engineering, Hebei University of Engineering, Hebei Handan 056038, China)

Abstract: The pushover method was applied to analyze the anti - earthquake performances of the knee bracing steel frame under three kind rare earthquake intensities, The failure mode and plasticity hinge developing processing under the rare earthquake function of the cross truss system were obtained, and the structure has been assessed the anti - earthquake performances under the different earthquakes. Under the earthquake plasticity hinges appear from knee brace to ordinary brace the last is on the beam, it can consume earthquake energy to protect the column being destroyed at the same time. The result indicates the knee bracing steel frame adjust to the requirement of strong column and weak beam.

Key words: single knee brace; steel frame; anti - earthquake performances; performance point

隅撑支撑钢框架结构(KBF)是由 Aristizabal Ochoa 在 1986 年提出的一种新型的支撑框架结构^[1],该结构具有良好抗震性能和较大抗侧刚度的新型耗能抗侧力结构体系,隅撑为一端连在梁上而另一端连在柱上的耗能构件^[2]。本文采用 Push over 方法对单角隅撑支撑结构在三种罕遇地震烈度下的抗震性能进行分析,得出该体系在不同罕遇地震作用下的破坏模式及抗震性能点,并对其抗震性能进行评定。

1 Push over 分析方法

1.1 Push over 原理

静力非线性 Push over 方法主要基于两本手册,一本是由美国应用技术委员会编制的《混凝土

建筑抗震评估和修复》(ATC - 40),另一本是由美国联邦紧急管理厅出版的《房屋抗震加固指南》(FEMA273/274)。Push over 方法包括基于 ATC - 40 的承载力谱法和基于 FEMA273 的目标位移法,两种方法都是以弹性反应谱为基础,将结构简化成等效单自由度体系。本文采用承载力谱法,其基本思想是建立两条相同基准的谱线,一条是由结构的基底剪力 - 顶点位移曲线转化得来的承载力谱线,反应结构本身的承载能力;另一条是由反应谱曲线转化得到的需求谱线,将两条曲线按一定的转化方法放在同一个图上,其交点即为结构抗震性能点,以此进行结构抗震性能评价^[3,4]。

1.2 分析步骤

1) 建立空间杆系分析模型。

收稿日期:2009 - 06 - 11

作者简介:史三元(1959 -),男,河北乐亭人,教授,从事结构工程和岩土工程方面的教学与研究。

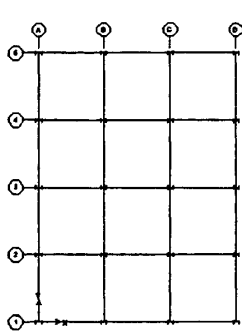


图1 结构平面及隅撑布置示意图

Fig. 1 Structure and knee bracing diagram

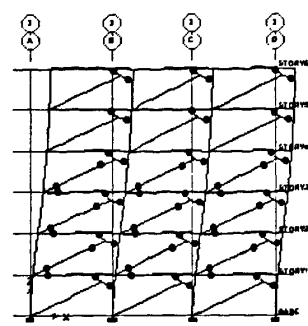
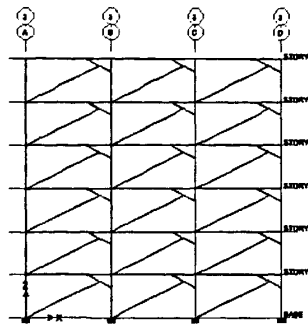


图2 塑性铰分布图

Fig. 2 Plastic hinge diagram

2) 定义 push over 工况。定义 push over 工况前应先定义竖向重力荷载工况以反应结构在侧向荷载作用下真实的内力和变形。

3) 定义并指定塑性铰。ETABS 程序中提供了弯矩 (M)、剪力 (V)、轴力 (P)、轴力和弯矩相关 (PMM) 四种塑性铰, 每种塑性铰分为三个能力水平, 分别对应于直接使用 (B-IO)、生命安全 (IO-LS) 及防止倒塌 (LS-CP) 三种状态。

4) 数据准备。根据我国现行抗震规范的地震反应谱与 ATC-40 反应谱的对比, 可以确定系数 C_A 与 C_V , 其中 $C_A = \alpha_{\max}/0.25$, $C_V = T_g \alpha_{\max}$; 由此可确定下列对应关系

7 度罕遇地震 $C_A = 0.125$, $C_V = 0.20$ 。

8 度罕遇地震 $C_A = 0.224$, $C_V = 0.36$ 。

9 度罕遇地震 $C_A = 0.350$, $C_V = 0.56$ 。

2 ETABS 模型的建立

2.1 工程概况

该隅撑支撑钢框架结构所有构件均采用 H 型钢, 截面尺寸由 ETABS^[4] 软件根据 AISC-LRFD99 进行优化后取值, 柱子型号采用 H500 × 300 × 11 × 18; 梁采用 H250 × 150 × 6 × 8; 支撑采用 H190 × 90 × 5 × 8; 隅撑采用 H190 × 90 × 5 × 8; 柱距为 6m, 层数为 6 层, 共 6 层; 钢材屈服强度为 235N/mm², 设计地震分组为第一组, 场地类别为 II 类, 抗震等级为 3 级。

2.2 ETABS 模型的建立

在用 ETABS 有限元软件建立模型时使隅撑构件与框架梁和框架柱的连接设置为刚接, 而把斜支撑与柱脚、隅撑的连接设置为铰接, 取隅撑与框

架的一对角连线平行偏心距 0.3, 斜支撑连接于隅撑的中点以达到斜支撑延长线通过框架梁与柱交点的合理设计要求^[5-7]; 塑性铰分别设置于各构件上, 距构件杆端的相对距离分别为 0.05 和 0.95。结构平面及隅撑布置图如图 1 所示。隅撑支撑布置在图 1 中的 1、3、5 轴线框架上, 沿 X 方向施加水平推力。

3 分析结果

3.1 破坏过程和出铰机制

Push over 分析推覆至第二步时, 第二层中间跨隅撑构件上开始出现塑性铰, 说明该隅撑构件刚刚进入屈服阶段, 随着荷载步的增大塑性铰又依次出现在斜支撑和框架梁上, 说明随着推覆力的逐渐增加斜支撑和框架梁也相继进入屈服阶段, 直到推覆至第十步时第一个出现在隅撑构件上的塑性铰变为红色, 说明结构开始失去承载能力已破坏。如图 2 所示为结构破坏时塑性铰分布图, 由图可知破坏时结构上共出现了 63 个塑性铰, 其中处于直接使用状态 (B-IO) 的有 11 个, 处于生命安全状态 (IO-LS) 的有 37 个, 处于防止倒塌状态 (LS-CP) 的有 9 个, 处于塑性铰破坏状态的有 6 个。

出铰机制: 在不同的罕遇地震作用下, 塑性铰依次出现在隅撑构件、斜支撑构件及框架梁上, 而框架柱上没有出现塑性铰, 这是因为结构中的剪力主要由隅撑构件承担, 随着侧向位移的增大楼层剪力也越来越大, 导致隅撑及斜支撑杆件的轴力不断增大, 当超过其屈服强度时产生塑性铰, 从而导致结构内力重分布, 同时吸收大量地震能量保证了结构主要构件推迟或免受破坏, 提供了多

道抗震防线,实现了“大震不倒”的抗震设防目标。

3.2 性能分析

经过 Push over 计算可得到三种罕遇地震作用下 X 向推覆分析时荷载步 - 楼层位移(图 3)和荷载步 - 层间位移角曲线(图 4)及性能点处的基底剪力和对应顶点位移(表 1)。

由图 3 和图 4 可知在推覆过程的前半段,结构的楼层位移和层间位移角随着推覆荷载步的增加逐渐增大,当推覆至荷载步 4 时楼层位移及层间位移角均达到最大值,并且在之后的推覆过程中不再增大,这是由于推覆到第四步时结构出现的塑性铰消耗了大量地震能量,从而避免了结构的进一步破坏;同时由表 1 可知随着荷载步和地震烈度的增大,结构的顶点位移和基底剪力也逐渐增大,这符合 Pushover 推覆过程结构的变形特点。

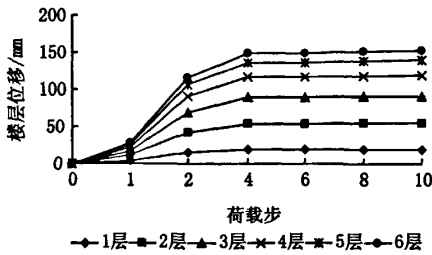


图3 荷载步-楼层位移曲线

Fig.3 Load step-story displacement curve

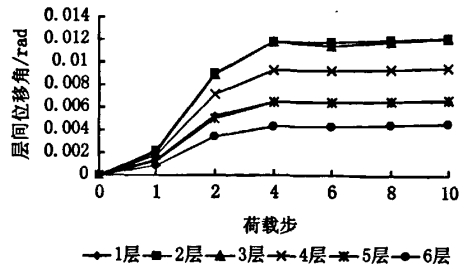


图4 荷载步-层间位移角曲线

Fig.4 Load step-story drifts curve

表 1 性能点处基底剪力及顶点位移

Tab.1 Base shear and top displacement for performance point

地震反应	7度罕遇	8度罕遇	9度罕遇
基底剪力(kN)	2 231.215	3 707.739	5 325.768
顶点位移(mm)	20.871	37.764	60.486

根据表 1 所示性能点处的顶点位移,采用插值法可求得性能点处结构楼层位移曲线和层间位移角曲线(图 5)。由图 5 可知结构呈剪切型变形,薄弱层为第二和第三层,这是因为在罕遇地震下,塑性铰首先集中出现在结构下部的隅撑及斜支撑构件上,塑性铰的出现造成结构下部刚度降低导致内力重分布使得层间位移角增大。此外还可以看出薄弱层的层间位移角较大,而从薄弱层开始向上和向下楼层的层间位移角在逐渐变小,因此加强结构薄弱层的刚度和耗能能力,可以有效的降低结构的地震反应。

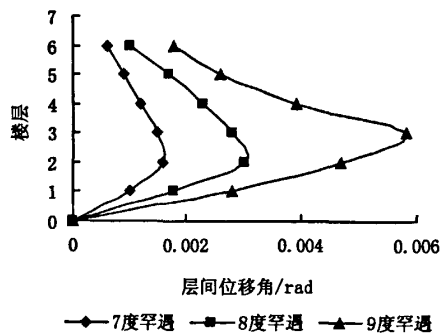
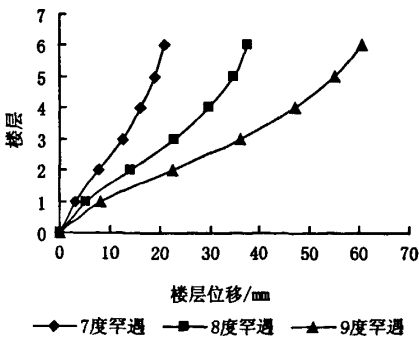


图5 结构性能点处的位移曲线和层间位移角曲线

Fig.5 Story displacement and drifts curve for performance point

在7度罕遇地震作用下结构处于弹性变形阶段,性能点处最大层间位移角为1/625;在9度罕遇地震作用下结构处于弹塑性变形阶段,最大层间位移角为1/172;可以看出该结构弹性变形和弹塑性变形均小于《建筑抗震设计规范》的限值,即弹性层间位移角不得大于 $[\theta_e] = 1/300$ 和弹塑性层间位移角不得大于 $[\theta_p] = 1/50$ 。

4 结论

隅撑支撑钢框架结构在侧向推覆力作用下产生的塑性铰,首先出现在隅撑和斜支撑构件上,在框架梁和框架柱上出现塑性铰之前消耗了大量地震能量,从而保护了结构主要构件使其推迟或免受破坏。隅撑支撑钢框架结构在侧向推覆力作用下,隅撑构件、斜支撑构件及框架梁上出现了塑性铰,而在这些构件的保护下,框架柱上并没有出现塑性铰,说明该结构符合“强柱弱梁”的设计要求。隅撑支撑钢框架结构的层间位移角符合《建筑抗震设计规范》的要求,所以该结构是一种有效抗震的框架支撑结构,有着广阔的发展前景。Push over分析是基于性能评估现有结构和设计新结构的一种方法,能够确定结构在罕遇地震作用下潜在的破坏机制,找到最先破坏的薄弱环节,为抗震研究

提供了一种有效的分析方法。

参考文献:

- [1] ARISTIZABAL OCHOA J D. Disposable knee bracing: improvement in seismic design of steel frames [J]. Journal of Structure Engineer, 1986, 112(7): 1544 - 1552.
- [2] 吉小萍,董军. 新型钢框架支撑体系特点及抗震性能分析[J]. 防震减灾工程学报, 2007, 4(27): 173 - 177.
- [3] 李荣华. 框架结构抗震性能的静力非线性分析研究[D]. 邯郸: 河北工程大学, 2007.
- [4] 史三元,郭维光,陈鑫,等. 高层钢结构抗震耗能体系的力学性能分析[J]. 河北工程大学学报(自然科学版), 2008, 25(4): 1 - 3.
- [5] 北京金土木软件技术有限公司,中国建筑标准设计研究院. ETABS使用指南[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2004.
- [6] 孙爱付,董军,王肇民,等. 隅撑支撑钢框架的抗震性能[J]. 地震工程与工程振动, 2007, 2(27): 104 - 109.
- [7] 王永华,於昌荣. 斜隅撑支撑框架体系的参数分析[J]. 重庆科技学院学报(自然科学版), 2007, 12(9): 42 - 45.
- [8] 王涛,孟丽岩,孙景江,等. 框架-剪刀墙结构的弹塑性地震反应[J]. 黑龙江科技学院学报, 2008, 18(6): 455 - 459.

(责任编辑 马立)

(上接第7页)

6 结论

本文建立的新的计算模型和方法,数据准备量小,精度较高。在高层框-剪结构的方案选择和初步设计阶段应用本文的计算方法,避免了用烦琐的有限元法反复试算,其精度能够满足初步设计要求,是一种合理适用的简化计算方法。本方法可方便地用于结构的二阶分析,同时通过适当的改进,考虑地基的刚度,还可应用于考虑结构与土体相互作用影响时的协同分析。

参考文献:

- [1] JGJ 3-2002, 高层建筑混凝土结构技术规范[S].
- [2] 包世华. 新编高层建筑结构[M]. 北京: 中国水利水电

出版社, 2001.

- [3] 张同亿,李丛林,王忠礼. 框支剪力墙结构简化分析的超元法[J]. 建筑结构, 2001, 31(1): 37 - 39.
- [4] 钟万勰. 应用力学对偶体系[M]. 北京: 科学出版社, 2002.
- [5] 胡启平,李张苗,侯瑞珀. 铁摩辛柯梁弯曲问题的对偶求解体系[J]. 河北建筑科技学院学报, 2006, 23(3): 1 - 2.
- [6] 胡启平,孙良鑫,高洪俊. 铁摩辛柯梁弯曲问题的精细积分法[J]. 工业建筑, 2007, 37(增刊): 268 - 270.
- [7] 胡启平,张华. 框架-剪力墙-薄壁筒斜交结构分析的状态空间法[J]. 工程力学, 2006, 23(4): 125 - 129.
- [8] 卢明. 大底盘多塔高层建筑结构分析[D]. 邯郸: 河北工程大学, 2008.
- [9] 吕铭. 考虑地基及楼板变形的建筑结构分析[D]. 邯郸: 河北工程大学, 2008.

(责任编辑 闫纯有)

隅撑支撑钢框架结构抗震性能分析

作者: [史三元](#), [刘春生](#), [马裕超](#), [韩亚强](#), [SHI San-yuan](#), [LIU Chun-sheng](#), [MA Yu-chao](#),
[HAN Ya-qiang](#)
作者单位: [河北工程大学, 土木工程学院, 河北, 邯郸, 056038](#)
刊名: [河北工程大学学报\(自然科学版\)](#) 
英文刊名: [JOURNAL OF HEBEI UNIVERSITY OF ENGINEERING \(NATURAL SCIENCE EDITION\)](#)
年, 卷(期): 2009, 26(3)
被引用次数: 2次

参考文献(8条)

1. [ARISTIZABAL OCHOA J D](#) [Disposable knee bracing:improvement in seismic design of steel frames](#)[外文期刊] 1986(07)
2. [吉小萍](#); [董军](#) [新型钢框架支撑体系特点及抗震性能分析](#) 2007(04)
3. [李荣华](#) [框架结构抗震性能的静力非线性分析研究](#)[学位论文] 2007
4. [史三元](#); [郭维光](#); [陈鑫](#) [高层钢结构抗震消能体系的力学性能分析](#)[期刊论文]-[河北工程大学学报\(自然科学版\)](#) 2008(04)
5. [北京金土木软件技术有限公司](#); [中国建筑标准设计研究院](#) [EYABS使用指南](#) 2004
6. [孙爱付](#); [董军](#); [王肇民](#) [隅撑支撑钢框架的抗震性能](#)[期刊论文]-[地震工程与工程振动](#) 2007(02)
7. [王永华](#); [於昌荣](#) [斜隅支撑框架体系的参数分析](#)[期刊论文]-[重庆科技学院学报\(自然科学版\)](#) 2007(12)
8. [王涛](#); [孟丽岩](#); [孙景江](#) [框架-剪力墙结构的弹塑性地震反应](#)[期刊论文]-[黑龙江科技学院学报](#) 2008(06)

本文读者也读过(10条)

1. [史三元](#). [郭周超](#). [商冬凡](#). [边智慧](#). [SHI San-yuan](#). [GUO Zhou-chao](#). [SHANG Dong-fan](#). [BIAN Zhi-hui](#) [超声法结合钻芯法检测大体积混凝土内部缺陷](#)[期刊论文]-[混凝土](#)2011(4)
2. [孙爱伏](#). [董军](#). [王肇民](#). [Sun Aifu](#). [DongJun](#). [Wang Zhaomin](#) [隅撑支撑钢框架的弹塑性分析模型](#)[期刊论文]-[特种结构](#)2007, 24(2)
3. [冯海明](#). [胡强](#) [隅撑-支撑框架结构在建筑抗震中的应用](#)[期刊论文]-[大众科技](#)2009(6)
4. [李庆松](#). [黄真](#). [陈龙珠](#) [框架钢结构斜隅支撑体系的抗倾覆弹塑性分析](#)[会议论文]-2003
5. [董军](#). [吉小萍](#) [两类新型隅撑支撑钢框架的抗震性能研究](#)[会议论文]-2008
6. [於昌荣](#). [黄真](#). [黄醒春](#). [周清](#). [金江](#) [用拟静力法对斜隅支撑框架的地震反应分析](#)[期刊论文]-[铁道建筑](#)2008(12)
7. [周伟](#). [巫恩海](#). [吴文平](#). [Zhou Wei](#). [Wu Enhai](#). [Wu Wenping](#) [隅撑支撑钢框架的抗震性能分析](#)[期刊论文]-[钢结构](#) 2009, 24(11)
8. [於昌荣](#). [黄真](#). [黄醒春](#). [金江](#). [YU Chang-rong](#). [HUANG Zhen](#). [HUANG Xing-chun](#). [JIN Jiang](#) [斜隅支撑钢框架体系的隅撑位置分析](#)[期刊论文]-[建筑科学](#)2007, 23(7)
9. [李燕](#). [史三元](#) [动三轴试验分析饱和粉土的液化性](#)[期刊论文]-[煤炭工程](#)2004(3)
10. [金磊](#). [程天博](#). [曹学翰](#) [基于Pushover分析的隅撑支撑钢框架抗震性能研究](#)[期刊论文]-[河南建材](#)2010(6)

引证文献(2条)

1. [谭燕秋](#). [韩旭飞](#). [史三元](#). [张宏磊](#) [钢骨-钢管混凝土框架结构抗震性能比较](#)[期刊论文]-[河北工程大学学报\(自然科学版\)](#) 2011(3)
2. [谭燕秋](#). [甄晓慧](#). [史三元](#) [双层柱面网壳结构在BRB作用下的减震分析](#)[期刊论文]-[河北工程大学学报\(自然科学版\)](#) 2012(1)

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_hbjzkjyxb200903003.aspx