

基于 MIDAS 设置阻尼器的刚框架地震时程分析

苏晓芸

(上海大学 土木工程系,上海 200072)

摘要:为了验证粘弹性阻尼器对结构消能减震作用的效果,通过运用有限元分析软件 MIDAS/GEN 建立典型六层钢框架模型,对设置粘弹性阻尼器和未设置粘弹性阻尼器的两种结构分别进行地震作用下非线性时程对比分析。分析的结果从各方面显示了粘弹性阻尼器对结构效能减震的优越性。

关键词:刚框架;效能抗震;粘弹性阻尼器;时程分析;Midas

中图分类号:TU352

文献标识码:A

Earthquake time history analysis of steel frame with viscoelastic dampers based on MIDAS

SU Xiao-yun

(Department of Civil Engineering, Shanghai University, Shanghai 200072, China)

Abstract:To verify the effects of viscoelastic damper for seismic mitigation, a six-storey steel frame structure with viscoelastic dampers and the original structure without viscoelastic dampers are established and compared by the finite element analysis software MIDAS/GEN under horizontal seismic. The analysis testified the efficiency of viscoelastic dampers by comparing structure with viscoelastic damper to common structure.

Key words:steel frame; seismic mitigation; viscoelastic damper; time history analysis; Midas

我国大中城市多为地震区,需要进行抗震设计。国内外对结构抗震的研究一直很活跃,传统抗震方法是依靠增加结构的承载力和变形能力来降低地震作用的,由结构构件本身储存和消耗地震能量,从而保护结构主体。这种结构一旦破坏难以恢复,是很不经济的,是一种被动消极的抗震方法^[1-3]。

为了克服传统抗震设计的不足,提出了结构振动控制这一概念。结构振动控制作为一种新型的抗震方式,采用了加设减振控制装置,储存和消耗地震能量,调谐和减轻结构的地震反应,使结构在动力荷载作用下的响应不超过某一限量,以满足工程要求和建筑结构的抗震设计要求^[4-5]。粘弹性阻尼器就是一种减振控制装置,既安全又经济,属于结构振动控制中的被动控制,国内外对粘弹性阻尼器做了各方面的研究^[6-10]。本文在六层刚框架结构上设置粘弹性阻尼器来进行的耗能减

震分析与设计。

1 粘弹性阻尼器

1.1 粘弹性阻尼器的力学性质及特点

粘弹性阻尼器是一种有效的被动减震控制装置,由粘弹性材料和约束钢板所组成,详图如下图1所示。

常见的粘弹性材料为高分子聚合物,这种材料既具有粘性又具有弹性,在受到交变应力作用产生变形时,一部分能量像位能那样储存起来,另一部分能量则被转化成热能耗散掉,其主要依靠粘弹性材料的滞回耗能特性,为结构提供附加刚度和阻尼,减小结构的动力反应,以达到减震的目的^[11-13]。

整体来说,阻尼器应放置在结构内部具有较大相对位移的位置。在建筑结构中,粘弹性阻尼

器一般均布置在层间,比如梁柱节点、支撑、桁架下弦杆上等^[14]。

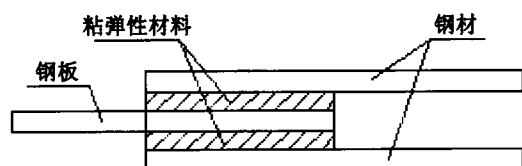


图1 粘弹性阻尼器详图

Fig.1 The detail of viscoelastic dampers

粘弹性阻尼器最大优点是可在较宽的频带范围内对振动进行抑制,特别适用于地震和风振情况下的减震问题。粘弹性阻尼减震技术在旧有建筑物的加固和新建建筑物的抗震设计方面都能发挥很大的作用,另外,阻尼器还具有施工方便、工期短、价格低等优点^[15]。

1.2 粘弹性阻尼器的计算模型

目前,描述粘弹性阻尼器力学性能的计算模型主要有五种:Maxwell 模型、Kelvin 模型、标准线性固体模型、四参数模型、有限元模型。本文简要介绍前三种模型^[16-18]。

Maxwell 模型: Maxwell 粘弹性阻尼器由弹簧和粘壶元件相串联,如图 2 所示,其本构关系为

$$\tau + p_1 \tau = q_1 \gamma \quad (1)$$

式中 τ, γ - 粘弹性材料的剪切应力和剪切应变;
 p_1, q_1 - 由粘弹性材料性能确定的系数。

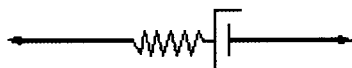


图2 Maxwell 模型

Fig.2 The model of Maxwell

在简谐应变的激励下,由式(1)可得

$$G_1 = p_1 q_1 \omega^2 / (1 + p_1^2 \omega^2) \quad (2)$$

Maxwell 模型的优点是可以反映粘弹性阻尼器的松弛现象以及储能模量随频率的变化趋向,却不能反映粘弹性阻尼器轻微的蠕变特性和损耗因子随频率、温度的变化特性。

Kelvin 模型: Kelvin 模型是由弹性元件和粘壶元件相互并联而成,如图 3 所示,其本构关系为

$$\tau = q_0 \gamma + q_1 \dot{\gamma} \quad (3)$$

式中 q_0, q_1 - 由粘弹性材料性能确定的系数。

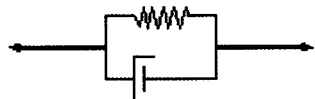


图3 Kelvin 模型

Fig.3 The model of Kelvin

在简谐应变的激励下,可以得出

$$G_1 = q_0, \eta = q_1 \omega / q_0 \quad (4)$$

Kelvin 模型的优点是能很好地反映粘弹性阻尼器的蠕变和松弛现象,但是它不能反映粘弹性阻尼器的储能模量和损耗因子随温度和频率的变化特性。

标准线性固体模型: 该模型是将粘弹性阻尼器模拟为弹性元件和 Kelvin 元件相串联,如图 4 所示,其本构关系为

$$\tau + p_1 \tau = q_0 \gamma + q_1 \dot{\gamma} \quad (5)$$

式中 q_0, q_1, P_1 - 由粘弹性材料性能确定的系数。

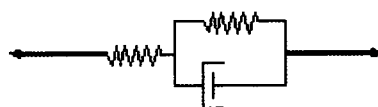


图4 标准线性固体模型

Fig.4 The standard model of solid and linear

在简谐应变的激励下,由式(5)可得

$$G_1 = (q_0 + p_1 q_1 \omega^2) / (1 + p_1^2 \omega^2) \quad (6)$$

标准线性固体模型的优点是既可以反映粘弹性阻尼器的性能随频率的变化趋向也可以反映粘弹性阻尼器的松弛及其轻微的蠕变特性,但不能反映温度和频率对粘弹性阻尼器性能的影响。

2 计算实例

2.1 钢结构模型

本文算例采用的是六层钢框架结构,结构的基本数据如柱:HW98×432×45/70;主梁:HM440×300×11/18;次梁:HN400×150×8/13;钢材:Q235;层高:一层4.5m,2~6层3.0m;7度设防烈度;II类场地;设计地震分组为1组;地面粗糙度为A类;基本风压:0.35kN/m²;荷载条件:1~5层楼面,恒荷载4.0kN/m²,活荷载2.0kN/m²;6层屋面,恒荷载5.0kN/m²,活荷载1.0kN/m²,建模图形如图5、图6。

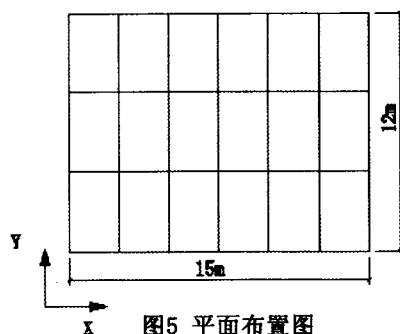


图5 平面布置图

Fig.5 The diagram of arrangement plan

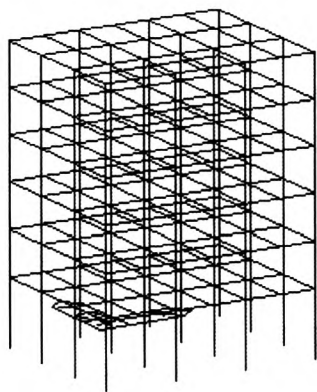


图6 六层刚框架
Fig.6 Six flights of steel frame

2.2 地震波及粘弹性阻尼器数据

地震波:选 Elcent - h 波;最大值 0.035 g;结束时间 20 s;分析时间步长 0.02;输出时间步长 2;分析类型为非线性;分析方法为振型叠加法;时程类型为瞬态(地震波);输入所有振型的阻尼比 0.02。此地震波如图 7 所示。

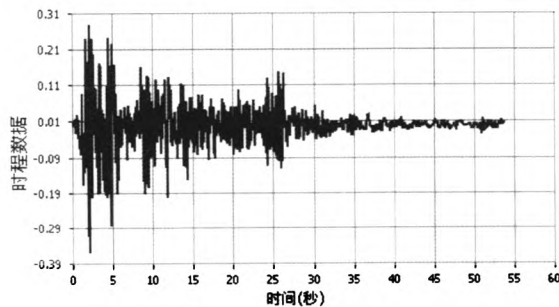


图7 地震波
Fig.7 Seismic wave

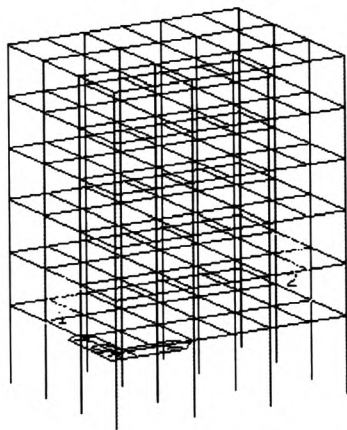


图8 阻尼器施加的情况
Fig.8 Imposed by the damper

粘弹性阻尼器:Damper;作用类型:内力;有效阻尼:1 000 kN × sec/m;非线性特性值中的阻尼类型:Maxwell 模型;消能器阻尼:2 000 kN;参考速

度:1 m/sec;阻尼指数:0.5;连接弹簧刚度:1 000 000 kN/m;布置在第二层。

在框架结构中多在结构的中下部布置粘弹性阻尼器,其中在结构第二层布置的粘弹性阻尼器最多,这种布置方法占 30% 以上。由于实例中未设置粘弹性阻尼器的结构模型,在地震作用下,Y 方向的层间位移大于 X 方向的位移,所以我们在 Y 方向的第二层的中间跨对称的设置两个粘弹性阻尼器如图 8。

2.3 计算结果及对比分析

为了验证粘弹性阻尼器在减振抗震方面的优势,对两种结构的计算结果从自振周期、层间位移、楼层剪力、层加速度这些方面进行对比分析。

表 1 两种结构的自振周期/s

Tab.1 Natural vibration period of two constructions

模态	未加粘弹性阻尼器结构	加粘弹性阻尼器结构
1	0.593 354	0.593 357
2	0.520 339	0.520 340
3	0.477 322	0.477 324
4	0.185 499	0.185 502
5	0.153 236	0.153 238
6	0.145 932	0.145 924

1) 自振周期:从表 1 可以看出,安装了粘弹性阻尼器结构的自振周期与未安装粘弹性阻尼器的结构相比整体变化不大,只是稍微大一点。稍大的原因是粘弹性阻尼器的设置为结构提供了一定的刚度,这就使结构的整体刚度增大一些。

2) 层间位移:由图 9 可知,在 Y 方向施加此阻尼器后,Y 方向的层间位移减少的最多达到 43.5%。X 方向的位移只有在第二层有变化,这是受 Y 方向的粘弹性阻尼器的影响,但变化很小可以忽略,即在 Y 方向设置的阻尼器基本不影响 X 方向的层间位移。

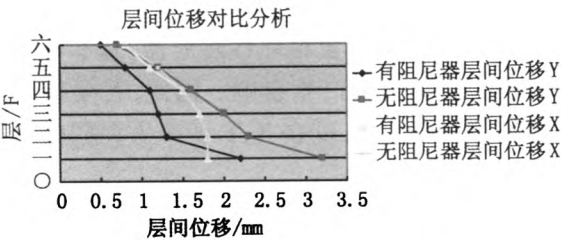


图9 两种结构X、Y方向的层间位移
Fig.9 Displacement of X and Y directions of two constructions

3) 楼层剪力:由图 10 可知,在 Y 方向施加阻

尼器后, Y 方向的楼层剪力却大幅度减小, 整体减少了 20% ~ 40%。X 方向的楼层剪力基本没有变化, 只在第二层(施加粘弹性阻尼器层)有些许影响, 基本可以忽略, 故 Y 方向施加阻尼器几乎对 X 方向没有影响。

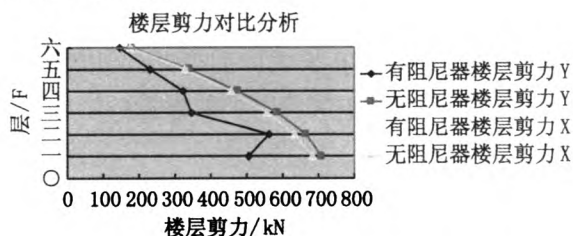


图10 两种结构X、Y方向的楼层剪力对比

Fig. 10 Floor shearing force of X and Y directions of two constructions

4) 层加速度: 由图 11 可知。X 方向的加速度基本没有变化, 但 Y 方向设置粘弹性阻尼器后, Y 方向的加速度却大幅度减少了, 大致减少了 30% 左右。以上的图表充分说明了粘弹性阻尼器具有良好的减振效果, 施加粘弹性后的结构在自振周期、层间位移、楼层剪力、层加速度等方面都有明显降低。

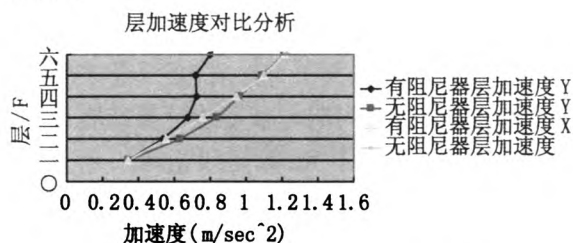


图11 两种结构X、Y方向的层加速度对比

Fig. 11 Layer acceleration of X and Y directions of two constructions

3 结论

1) 结构加设粘弹性阻尼器后频率变化并不大。粘弹性阻尼器本身具有一定的刚度, 这导致结构的自振周期有微小的增加。

2) 在 Y 方向设置粘弹性阻尼器, 基本不会对 X 方向的各种参数产生影响。因此, 若要提高结构整体的抗震性能, 可在 X、Y 两个方向同时对称设置粘弹性阻尼器。

3) 结构设置粘弹性阻尼器后, 层间位移比纯框架结构减小 30% ~ 40%, 各楼层剪力减小 20% ~ 40% 左右, 不仅如此, 结构的位移反应、加速度反应和杆件内力均得到明显减小。

参考文献:

- [1] 半定国, 王社良. 抗震结构设计[M]. 武汉: 武汉工业大学出版社, 2003.
- [2] 刘军生, 杨佳玲, 陈建慧. 粘弹性阻尼器在工程应用中的震动控制理论及分析[J]. 建筑结构, 2011(41): 187.
- [3] 谭燕秋, 王秀华. 框架结构抗震、隔震和减振控制的对比分析[J]. 建筑与结构设计, 2009(22): 44 - 47.
- [4] 袁健铮, 李健. 粘弹性阻尼器在结构设计和抗震加固中的应用[J]. 广东土木与建筑, 2006(6): 52 - 54.
- [5] 林新贤. 粘弹性阻尼器的计算模型及分析[J]. 青岛农业大学学报: 自然科学版, 2007, 24(2): 140 - 142.
- [6] CHANG K C, SOONG T T, OH S - T, et al. Seismic behavior of steel frame with added viscoelastic dampers [J]. Journal of Structural Engineering, ASCE, 1995, 121(10): 1418 - 1426.
- [7] SHUKLA A K, DATTA T K. Optimal use of viscoelastic dampers in building frames for Seismic Force [J]. ASCE J Struct Eng., 1999, 125(4): 401 - 409.
- [8] 隋杰英. 粘弹性阻尼器及消能支撑的试验研究与工程应用[D]. 南京: 东南大学, 2002.
- [9] KYUNG WON MIN, JINKOO KIM, SANG - HYUN LEE. Vibration tests of 5 - storey steel frame with viscoelastic dampers [J]. Engineering Structures, 2004, 26(2): 831 - 839.
- [10] 凌和海, 薛素铎, 庄鹏. 减震结构中的粘弹性阻尼器参数优化[J]. 世界地震工程, 2005, 21(3): 126 - 130.
- [11] ZHAO DONG XU, HONG TIE ZHAO, AI QUN LI. Optimal analysis and experimental study on structures with viscoelastic dampers [J]. Journal of Sound and Vibration, 2004, 273: 607 - 618.
- [12] 陈星. 粘弹性阻尼器在结构振动控制中的应用与发展[J]. 陕西建筑, 2008(151): 13 - 15.
- [13] 常业军. 粘弹性阻尼器及消能减震结构的研究与应用[D]. 南京: 东南大学, 2003.
- [14] 汪志昊, 陈政清. 高层建筑结构中粘滞阻尼器的新型安装方式[J]. 世界地震工程, 2012, 26(4): 135 - 137.
- [15] 袁健铮, 李健. 粘弹性阻尼器在结构设计和抗震加固中的应用[J]. 广东土木与建筑, 2009(6): 52.
- [16] 徐赵东, 周云, 周福霖. 粘弹性阻尼器三种计算模型的对比与分析[J]. 华南建设学院西院学报, 1999, 7(2): 1 - 7.
- [17] 徐赵东, 周洲, 赵鸿铁, 等. 粘弹性阻尼器的计算模型[J]. 工程力学, 2001, 18(6): 88 - 90.
- [18] 于国荣. 粘弹性阻尼器的计算模型模拟分析[J]. 山西建筑, 2008, 34(12): 28 - 19.

(责任编辑 刘存英)