基于双折线恢复力模型的 钢框架内填钢板深梁滞回耗能分析

袁晓洒,郑宏,于旭光

(长安大学 建筑工程学院 陕西 西安 710061))

摘要:钢板深梁作为一种新型的耗能构件,可以实现钢框架内填钢板深梁结构刚度宽范围 渐变调幅。通过对钢板深梁跨高比分别为2和0.75的钢框架内填钢板深梁结构进行低周反复 荷载实验,得到了该结构滞回曲线和骨架曲线。采用"通用屈服弯矩法"简化的双折线恢复力曲 线对钢框架内填钢板深梁结构进行动力时程分析来得到结构的能量时程曲线。研究结果表明: 钢框架内填钢板深梁结构抗震性能良好,双折线恢复力曲线用于结构动力时程分析,为研究结 构损伤设计和能量设计提供基础。

关键词:钢框架内填钢板深梁;滞回曲线;骨架曲线;双折线恢复力曲线

中图分类号: TU39 文献标识码: A 文章编号: 2095-0373(2013) 03-0018-05

0 引言

在强烈地震作用下 结构可能屈服进入非弹性阶段 因而结构的非弹性地震反应受到各国研究者的 重视。而能量分析方法是一种较好地反应结构在非弹性性质和地震动对地震抗震性能的方法。

结构非线性地震反应一般采用动力时程分析方法^[1] 根据选用的地震波和恢复力模型对结构进行动 力时程分析 ,通过逐步积分方法得到结构位移、速度和加速度时程曲线 ,进而能得到结构的总输入能量、 滞回耗能和阻尼耗能 ,这些曲线为结构抗震提供依据。

1 相对能量方程

单自由度体系在地震作用下的运动方程可以用绝对能量方程和 相对能量方程来表示,采用相对能量方程的表示方法^[2-3],如图1。其 运动方程为

$$m\ddot{v} + c\dot{v} + f_s = -m\ddot{v}_g$$

对该式两边积分得

$$\int m\ddot{v}dv + \int c\dot{v}dv + \int f_sdv = -\int m\ddot{v}_gdv$$

也可以写成如下形式

$$E_K + E_D + E_e + E_h = E_I$$

式中, E_{κ} 为结构的动能 $E_{\kappa} = \left(m \ddot{v} dv = m \dot{v}^2 / 2; E_D \right)$ 为结构的阻尼耗能,



(1)

(2)

(3)

其大小与阻尼比 ξ 的大小有关 $E_D = \int cv dv = \int \frac{4\pi m\xi}{T} v dv$; E_e 为可恢复的弹性应变能 $E_e = f_s^2/2k$; E_h 为结

收稿日期: 2013 - 01 - 14

作者简介: 袁晓洒 女 1984 年出生 博士研究生

基金项目:国家自然科学基金(50678025);陕西省外国专家局项目(SLZ2008008);中央高校基本科研业务费专项资金 (CHD2012TD012)

19

构的滞回耗能 $E_h = \int f_s dv - f_s^2 / 2k; E_I$ 为总输入能量 $E_I = -\int m \ddot{v}_s dv$ 。

2 相对能量方程的数值解法

为了求解上述运动微分方程,涉及到计算模型、恢复力模型、 地震波选择以及逐步积分方法等。

2.1 恢复力模型

恢复力模型^[4]由两部分组成,包括:骨架曲线(各次滞回曲线峰 值点的联系)和滞回规则。采用双线性恢复力模型,通过实验得出骨 架曲线,然后采用"通用屈服弯矩法"^[5]来确定屈服点(*U_y*, *P_y*),这样就能确定恢复力骨架*O-A-B*。双线性恢复力模型见 图 2。

2.2 地震波选择及数值分析

选用 Elcentro 波,数值积分方法选择 Wilson-0 法,采用 Matlab^[6]编制如下单自由度的基于双折线恢复力模型的能量反应方程。求解程序流程如图 3。

3 算例

3.1 滞回曲线和骨架曲线

该算例基于钢框架内填钢板深梁试验。设计了2个钢框 架内填钢板深梁试件,通过改变深梁高度研究跨高比对结构性 能影响,试件参数如表1。

钢板和钢框架均采用 Q235B 框架采用 HW200 × 200 × 8 × 12 型钢 ,钢框架为单榀单跨 柱轴距 1.8 m 梁轴线据底部 1 m, 竖向荷载为 300 kN ,采用位移加载方式。得到试件的滞回曲线 和骨架曲线如图 3。试件的抗震性能指标见表 2。

3.2 单自由度系数参数

单自由度系数参数见表3。

表1 钢板深梁填充钢框架的试件参数

序号	名称		试件编号					
1	钢板梁内填钢框架 A		SDBF-A	填充钢板深梁 钢板为 450 mm × 900 mm × 6 mm				
2	钢板梁内填充钢框架 B		SDBF-B	填充钢板深梁,钢板为1200 mm×900 mm×6 mm				
表 2 SDBF-A 和 SDBF-B 抗震性能指标								
			屈服荷	我你你们们的你们的你们的你们的你们的你们的你们的你们的你们的你们。"				

	3半/开始中国								
	以什编与	P_y /kN	U_y /mm	P_u /kN	U_u /mm				
	SDBF-A	541.08	10.46	643.203	29.71				
	SDBF-B	653.42	16.73	954.23	28.32				
表3 等效单自由度系统参数值									
试样编号	单自由度	阻尼 c /	(kg • s • m	ı ⁻¹)	国田 エノ。	折减系数 a			
	质量 <i>m</i> /kg	$\xi = 0.05$	ξ=	0.08	可知 1 / 5				
SDBF-A	60 093.7	340 296	544	473	0.1109	0.10			
SDBF-B	60 110.8	391 187	625	721	0.096 5	0.15			

注: 折减系数 α 为恢复力模型第二刚度与第一刚度比值。

3.3 峰值加速度(PGA)和阻尼比(ξ)对结构耗能影响分析

选用 Elcentro 波 地震波持时 8 s 时间间隔 0.02 s。



图 2 双线性恢复力模型





图 3 求解程序流程



图4 试件滞回曲线和骨架曲线

3.3.1 跨高比对结构耗能的影响

将 Elcentro 波峰值加速度调到 0.5g,阻尼比取值 0.05。得到两个试件的能量时程曲线如图 5 和图 6。各个能量数值见表 4。



表4 地震波结束后各个能量数值

图 5 试件 SDBF-A 能量时程曲线

图 6 试件 SDBF-B 能量时程曲线

从图 5 和图 6 中可以看出,两组试件在 1.3 s 以前基本处于弹性工作阶段,在 5.8 s 以后基本处于平 稳阶段,由于试件 SDBF-B 比 SDBF-A 的质量大,由图中可以看出,当地震结束后,试件 SDBF-B 滞回耗能 比试件 SDBF-A 的提高 13%,总输入能量提高 9%,可见随着填充钢板的高度增加,滞回耗能能力增强,随

着地震波作用时间结束 动能最终趋近于0。

3.3.2 峰值加速度对结构耗能的影响

将 Elcentro 波的阻尼比都取为 0.05,以试件 SDBF-A 为例子来说明能量变化,先把 Elcentro 波峰值加 速度调为 0.5g 和 0.8g,如图 7 和图 8。各个能量数值见表 5。

表5 试件 SDBF-A 不同加速度地震波结束后各个能量数值



图 7 试件 SDBF-A 能量时程曲线(PGA = 0.5g)

图 8 试件 SDBF-A 能量时程曲线(PGA = 0.8g)

从图 7 和图 8 中可以看出 地震动峰值越大 输入到结构中的总能量越大,因而通过结构阻尼及塑性 变形耗散的能量就相应较大。从 0.5g 到 0.8g,当地震波结束后,滞回耗能提高了 2.5 倍,当峰值加速度为 0.5g 时,地震波结束后滞回耗能占总输入能的 69%;当峰值加速度为 0.8g 时候,地震波结束后滞回耗能 占总输入能的 70%.可见基本地震动峰值对总输入能的分配比例有一定的影响,但这种影响规律是地震 动峰值越大,滞回耗能所占比例越大。

3.3.3 阻尼比对结构耗能的影响

将 Elcentro 波峰值加速度调到 0.8g 阻尼比分别是 0.05 和 0.08。结果如图 9 和图 10。各个能量数 值见表 6。



表6 试件 SDBF-A 不同阻尼比地震波结束后各个能量数值

图 9 试件 SDBF-A 能量时程曲线(ξ=0.05) 图 10 试件 SDBF-A 能量时程曲线(ξ=0.08) 从图 9 和图 10 可以看出,当峰值加速度相同,阻尼比从 0.05 到 0.08,地震波结束后结构的滞回耗能 占总输入能的比例从 70% 降到 56%。这是因为在其它条件相同的情况下,结构的总输入能保持不变,结 构的阻尼比增大时,由结构阻尼耗能所耗散的能量增大,从而结构的滞回耗能减小,其在总输入能中所占的比例也减小。

4 结语

(1)当峰值加速度和阻尼比都相同时,钢板深梁跨高比为0.75的比跨高比为2的钢框架内填钢板深梁结构的滞回耗能提高13%,总输入能量提高9%。

(2) 当阻尼比相同,试件 SDBF-A 峰值加速度从 0.5g 到 0.8g 地震波结束后滞回耗能大约提高了 2.5 倍,滞回耗能占总输入能比例从 69% 提高到 70%。

(3) 当峰值加速度相同,试件 SDBF-A 阻尼比从 0.05 到 0.08 地震波结束后由于结构阻尼耗能量增 大使结构的滞回耗能占总输入能的比例从 70% 降到 56%。

(4)钢框架内填钢板深梁结构抗震性能良好,双折线恢复力曲线用于结构动力时程分析,为研究结构 损伤设计和能量设计提供基础。

参考文献

[1]丰定国,王清敏, 钱国芳, 等. 工程结构抗震[M]. 北京: 地震出版社, 1994.

[2]谢礼立,马玉宏 翟长海,等. 基于性态的抗震设防与设计地震动[M]. 北京:科学出版社 2009.

[3] 克拉夫 彭津. 结构动力学 [M]. 王光远,译. 北京:科学出版社,1983.

[4]陆新征,叶列平,谬志伟,等. 建筑抗震弹塑性分析[M]. 北京:中国建筑工业出版社 2009.

[5]姚谦峰 陈平. 土木工程结构试验 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社 2001.

[6]徐斌 高岳飞 余龙 等. Matlab 有限元结构动力学分析与工程应用[M]. 北京:清华大学出版社 2009.

[7]王新敏. ANSYS 工程结构数值分析 [M]. 北京: 人民交通出版社, 2007.

Hysteresis Energy Analysis of the Steel Plate Deep Beam Filled in the Steel Frame Based on the Bilinear Restoring Force Model

Yuan Xiaosa, Zheng Hong, Yu Xuguang

(School of Civil Engineering , Chang' an University , Xi' an 710061 , China)

Abstract: As a new energy component , the steel plate deep beam filled in the steel frame may realize the modulation of structural stiffness in a certain range. By cyclic loading model test on two steel plate deep beams filled in the steel frame with span height ratios of 0. 75 and 2 respectively , the hysteretic loops and skeleton curves are obtained. The bilinear restoring force model is used for time history analysis to get time history curve of energy. The result indicates that seismic performance of the steel plate deep beam filled in the steel frame is better , and structural dynamic analysis making use of bilinear restoring force model provides the basis for structural damage design and energy design.

Key words: steel plate deep beam filled in the steel frame; hysteresis curve; skeleton curve; bilinear restoring force model

(责任编辑 车轩玉)