

文章编号:1673-2049(2012)02-0007-07

隔层耗能桁架式抗侧力体系及其低周往复荷载作用性能研究

贺拥军¹, 周绪红^{1,2}, 杨承超¹

(1. 湖南大学 土木工程学院, 湖南 长沙 410082; 2. 兰州大学 土木工程与力学学院, 甘肃 兰州 730000)

摘要:基于停车需要,提出了隔层耗能桁架抗侧式立体停车结构,并用有限元法对其中隔层耗能桁架式抗侧力体系在低周往复荷载作用下的性能进行了研究,分析了桁架耗能梁段长度对抗侧力体系的刚度、承载力、延性、耗能性能等的影响。结果表明:随着耗能梁段长度的不断增大,隔层耗能桁架式抗侧力体系的刚度、承载力、延性和耗能性能都存在一定程度的减小和退化;剪切屈服型隔层耗能桁架式抗侧力体系的耗能性能比弯曲屈服型的要好,但剪切屈服型的耗能梁段也不能设计得太短,否则会影响体系耗能性能的充分发挥。

关键词:隔层耗能桁架式抗侧力体系;立体停车结构;低周往复荷载;滞回性能

中图分类号:TU355 **文献标志码:**A

Research on Alternation Story-height Energy Dissipation Truss Lateral-load-resisting System and Its Behaviors Under Low Cyclic Loading

HE Yong-jun¹, ZHOU Xu-hong^{1,2}, YANG Cheng-chao¹

(1. School of Civil Engineering, Hunan University, Changsha 410082, Hunan, China; 2. School of Civil Engineering and Mechanics, Lanzhou University, Lanzhou 730000, Gansu, China)

Abstract: Based on the requirement of parking, the three-dimensional parking structure with the alternation story-height energy dissipation truss lateral-load-resisting system was presented. The behaviors of the alternation story-height energy dissipation truss lateral-load-resisting system under low cyclic loading were studied by finite element method. Effects of the length of energy dissipation beam within the truss on lateral stiffness, load-carrying capacity, ductility and energy dissipation capacity of the lateral-load-resisting system were investigated. The results indicate that the lateral stiffness, load-carrying capacity, ductility, and energy dissipation capacities will decrease with increase of the lengths of energy dissipation beams. The energy dissipation capacity of shear-yield-typed energy dissipation truss is superior to that of bending-yield-typed one. However, the energy dissipation beam of shear-yield-typed energy dissipation truss should not be too short; otherwise, its energy dissipation capacity will be confined.

Key words: alternation story-height energy dissipation truss lateral-load-resisting system; three-dimensional parking structure; low cyclic loading; hysteretic behavior

收稿日期:2012-02-20

基金项目:国家自然科学基金项目(51178176);中央高校基本科研业务费专项资金项目(531107040539)

作者简介:贺拥军(1970-),男,湖南宁乡人,教授,博士研究生导师,工学博士,E-mail:hyj0087@163.com。

0 引言

近年来,由于汽车工业和经济的飞速发展,城市小汽车的保有量正与日俱增,同时对停车位的需求也在不断增加。立体车库作为一种新型的停车形式,具有节省占地面积,节约投资,出入库管理方便,省时省力,能有效保障车辆安全以及配置灵活的特点^[1-3],修建立体停车结构是缓解城市停车压力的有效途径。目前,关于立体停车结构的研究文献与成果相对较少^[4-7],深入开展这方面的研究极为重要。本文中笔者提出了隔层耗能桁架抗侧式立体停车结构,并用有限元法对隔层耗能桁架式抗侧力体系在低周往复荷载作用下的性能进行了研究。

1 立体停车结构与隔层耗能桁架式抗侧力体系

图 1(a)为笔者提出的垂直升降型立体停车结构的平面布置,中间为提升井,两边为停车间,车辆进入提升井后,由电梯将其提升至停车位高度,然后平移进入停车间。由于车辆停放过程的特殊性,为了使车辆能在停车间与提升井之间水平移动,中间框架(b-b 和 c-c)内不能布置抗侧力构件。因此,立体停车结构的抗侧力构件只能布置于结构周边。结构前后方向作用的水平荷载由布置在侧立面 a-a 和 d-d 上的隔层桁架式抗侧力体系承受,如图 1(b)所示。为了增强结构纵向抗侧刚度,在结构前、后立面的 b-c 跨之间布置常规 X 形支撑,考虑到车辆进出的要求,将底层的 X 形支撑改为单斜杆支撑,布置在两边跨 a-b 和 c-d 内,如图 1(c)所示。隔层桁架式抗侧力体系由敞开层和耗能桁架层相间组成,如图 1(d)所示。桁架由上、下弦杆和 2 根竖腹杆及 2 根斜腹杆构成,其高度与结构层高相同并与结构层平齐,如图 1(e)所示。所有腹杆均对称布置,上、下弦杆均为连续弦杆,2 根竖腹杆布置于桁架中部并与上、下弦杆垂直,斜腹杆一端铰接在上弦杆与角柱的连接节点处,另一端斜向下在竖腹杆与下弦杆连接节点处铰接,从而在桁架中部两竖腹杆间形成一空腹段,桁架的上、下弦杆在空腹节间的部分构成耗能段。

本文中提出的隔层耗能桁架式抗侧力体系,由于其抗侧力桁架中间空腹耗能段的存在,在水平地震荷载作用下,耗能段能够首先发生塑性变形,消耗地震能量,减轻或避免其他结构构件的破坏,增加了结构的抗震耗能能力,桁架的存在也为结构提供了

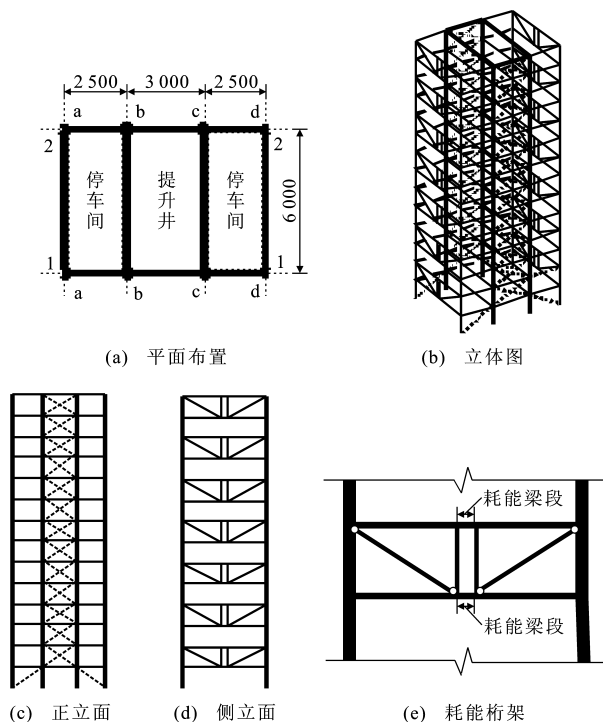


图 1 隔层桁架抗侧式立体停车结构(单位:mm)

Fig. 1 Three-dimensional Parking Structures with Alternation Storey-height Truss Lateral-load-resisting System (Unit:mm)

足够的抗侧刚度。另外,桁架隔层布置,便于车库内机械设备从侧面吊入安装,施工方便。

2 有限元模型的建立

如图 1(d)所示,隔层耗能桁架式抗侧力体系由隔层布置的耗能桁架和与之相间的敞开层构成,可以把桁架层及其下与之相邻的敞开层看作一个基本单元,则整个抗侧力体系是由一些这样的基本单元竖向叠合而成。本文中取如图 2 所示的一个基本单元来研究隔层耗能桁架式抗侧力体系在低周往复荷载作用下的性能。图 2 中, P 为荷载, e 为耗能梁段长度。

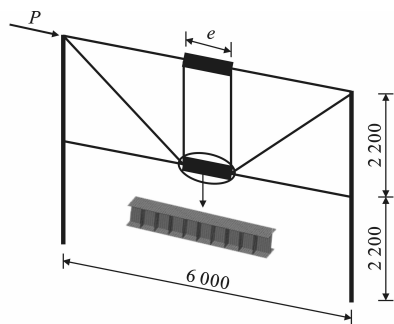


图 2 基本单元的有限元模型(单位:mm)

Fig. 2 Finite Element Model of Basic Unit (Unit:mm)

根据相关规范要求,取图 1 所示的隔层耗能桁架式立体停车结构,层高为 2 200 mm,隔层桁架的跨度 $L=6\,000\text{ mm}$ 。

梁、柱之间的连接以及竖腹杆两端与横梁之间的连接都采用刚接,而斜腹杆的两端采用铰接。梁、柱、竖腹杆和斜腹杆的截面尺寸分别为: $H200\times150\times6\times14$, $H500\times300\times10\times16$, $H200\times150\times6\times14$ 与 $\Phi102\times17$ (斜腹杆采用圆钢管截面)。将耗能梁段长度各不相同的有限元模型分别定义为模型 HJ1~HJ6,其耗能梁段的长度和屈服类型如表 1 所示。

表 1 耗能梁段长度和屈服类型

Tab. 1 Lengths and Yield Types of Energy Dissipation Beams

模型编号	HJ1	HJ2	HJ3	HJ4	HJ5	HJ6
e/mm	600	800	1\,000	1\,200	1\,600	2\,000
耗能梁屈服类型	剪切屈服	剪切屈服	剪切屈服	弯曲屈服	弯曲屈服	弯曲屈服

计算模型由 ANSYS 创建,按平面模型来考虑,中间耗能梁段采用 Shell143 壳单元,其余的梁与柱采用 Beam188 单元,中间的竖腹杆也采用 Beam188 单元,斜腹杆则采用 Link8 杆单元,以实现斜腹杆两端铰接。Shell143 壳单元与 Beam188 单元之间采用 Mpc184 连接单元以实现连接。

3 加载制度、约束情况及破坏准则

模型加载采用的是 ECCS 的完全加载制度,首先计算基本单元在顶部单向加载时的行为,然后根据单向加载曲线来确定结构屈服位移 Δ_y ,结构屈服位移 Δ_y 采用通用屈服弯矩法来确定。所有加载方案均按 $\pm\Delta_y/4$, $\pm\Delta_y/2$, $\pm3\Delta_y/4$, $\pm\Delta_y$, $\pm2\Delta_y$, $\pm3\Delta_y$, $\pm4\Delta_y$,... 的方式进行,每级位移循环 1 次,直到结构破坏。模型中柱脚节点采用理想刚接形式。平面钢框架、桁架结构在荷载作用下的破坏形式十分复杂,而且受很多因素的影响,根据以往试验的结果及经验,本文模型破坏准则定义如下:①当模型所承受的荷载超过极限荷载并降至 0.85 倍极限荷载时认为结构达到破坏;②结构刚度矩阵行列式的值接近 0 或出现负值时,结构达到破坏。分析中考虑二阶效应对结构受力性能的影响。

4 有限元结果分析

4.1 单向加载荷载-位移曲线

图 3 为各模型的单向加载荷载-位移($P-\Delta$)曲线

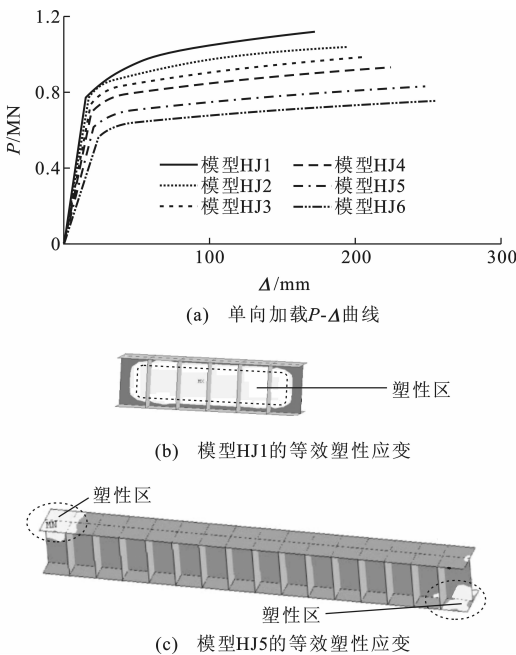


图 3 各模型的单向加载 $P-\Delta$ 曲线和等效塑性应变

Fig. 3 $P-\Delta$ Curves and Equivalent Plastic Strain of Models in Case of Monotonic Loading

和等效塑性应变。可以看出,随着桁架中间空腹段耗能梁段逐渐变长,极限荷载逐渐变小,而极限位移逐渐增大。另外,初始刚度也会随着耗能梁段的变长而逐渐变小。如图 3(b)所示,模型 HJ1 的等效塑性应变首先出现在耗能梁段的腹板上,逐渐向上下翼缘发展,当两端翼缘都达到塑性极限变形而形成塑性铰时,耗能梁段发生破坏,所以,模型 HJ1 是腹板的剪应力先达到材料的剪切屈服点,发生剪切型屈服,这是剪切型耗能梁段的受力特点;而模型 HJ5 的塑性变形则首先发生在耗能梁段上下翼缘的表面,并逐渐向腹板移动,最终在两端形成塑性铰而发生破坏,如图 3(c)所示。所以,模型 HJ5 的翼缘板弯曲正应力最先达到材料的屈服应力,发生弯曲型屈服,这是弯曲型耗能梁段发生塑性变形的特点。

4.2 滞回分析

图 4 为各模型的滞回曲线。显然,所有模型的滞回曲线都比较饱满,而且都呈梭形,没有“捏缩效应”存在,具有良好的耗能性能和延性。另外,可以发现:模型 HJ1~HJ3 在正向加载时都至少完成了 $5\Delta_y$ 位移的循环,其中 HJ2 完成了 $6\Delta_y$ 位移的循环,而模型 HJ4~HJ6 在正向加载时最多只完成了 $4\Delta_y$ 位移的循环,其中 HJ6 只完成了 $3\Delta_y$ 位移的循环,在反向加载时模型 HJ1~HJ3 所完成的位移循环次数也要比 HJ4~HJ6 多。直观来看,模型 HJ1~HJ3 的滞回曲线要比模型 HJ4~HJ6 的饱满,即滞

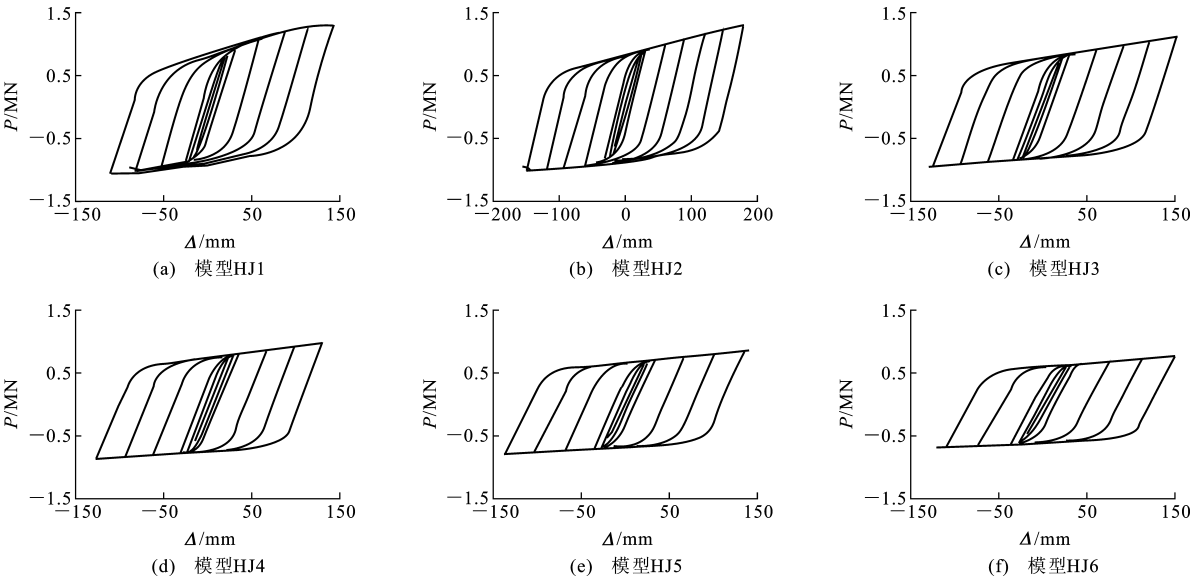


图 4 各模型的滞回曲线
Fig. 4 Hysteretic Curves of Models

回曲线所围面积相对要大,所以,将耗能梁段设计成剪切型的耗能性能比设计成弯曲型的要好。从图 4 还可以看出,正向加载时结构的极限荷载比反向加载时要大一些,这是因为正向加载时中间耗能梁段的翼缘和腹板都承受拉应力,可以避免翼缘和腹板在压应力作用下发生局部失稳。

4.3 刚度和承载力

图 5 为各模型的骨架曲线与刚度退化曲线。由图 5 可见,初始切线刚度随着模型中间空腹耗能梁段的加长而逐渐变小,如 HJ6 的耗能梁段长度为 2 000 mm 时,初始切线刚度只有 $25.78 \text{ kN} \cdot \text{mm}^{-1}$,而模型 HJ1 的耗能梁段长度为 600 mm,其初始切线刚度则达到了 $47.5 \text{ kN} \cdot \text{mm}^{-1}$,差不多为模型 HJ6 初始切线刚度的 2 倍。从图 5 还可以看出,当所施加的位移小于 $\pm \Delta_y/2$ 时,结构切线刚度基本不发生变化,当所施加的位移大于 $\pm \Delta_y/2$ 时,切线刚度才会明显变小,而当其大于 $\pm \Delta_y$ 时,切线刚度退化曲线的降低趋势明显加快。由图 5(c)可以看出,模型割线刚度退化曲线也随着耗能梁段的加长而逐渐变小,而且,当所施加的位移小于 $\Delta_y/2$ 时,结构的割线刚度不发生变化,曲线近似水平,只有当所施加的位移大于 $\Delta_y/2$ 时,割线刚度才会发生明显的降低,而所施加的位移大于 $2\Delta_y$ 时,割线刚度的退化速度会变得很缓慢。

耗能梁段的长度变化除了对模型的骨架曲线、刚度退化曲线有较大的影响外,对其承载力也会产生较大的影响。如图 6 所示,结构的极限荷载随耗能梁段长度的加长而变小,其中 HJ1 和 HJ2 这 2 个

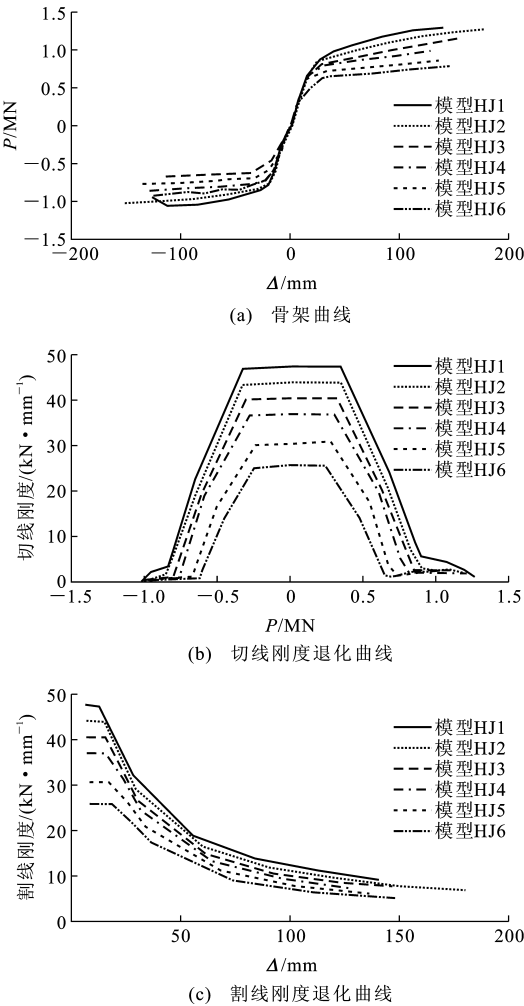


图 5 模型的骨架曲线和刚度退化曲线
Fig. 5 Skeleton Curves and Rigidity Degeneration Curves of Models

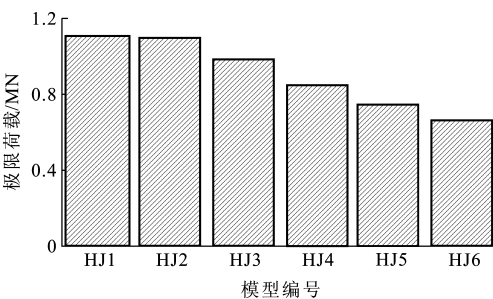


图 6 各模型的极限荷载

Fig. 6 Ultimate Loads of Models

模型的极限荷载极为相近,但从模型 HJ3 开始,极限荷载随着耗能梁段长度的加长而快速变小。这也说明,随着耗能梁段长度的不断加长,剪切型耗能梁段极限荷载减小的趋势并不明显,但对于弯曲型耗能梁段,极限荷载减小的趋势则比较明显。由此可见,桁架中间耗能梁段越短,结构的极限荷载越大,反之越小,而这种变化趋势则以弯曲型耗能梁段最为明显。

4.4 耗能比较

图 7 为模型 HJ1~HJ6 在低周往复荷载作用下从加载到破坏所耗散的总能量。从图 7 可以看出: HJ2 所耗散的能量最多,耗能性能最好;模型 HJ6 所耗散的能量最少。模型 HJ2~HJ6 所耗散的能量随着耗能梁段的加长而变小,大体来讲,剪切屈服型耗能梁段的耗能性能比弯曲屈服型耗能梁段的耗能性能要好,但模型 HJ1 除外。可见,当耗能梁段的长度太小时,也会影响结构的耗能性能,因为剪切屈服型耗能梁段的耗能主要依靠腹板发生塑性变形,如果耗能梁段的长度设计得太短,则腹板总面积较小,能发生塑性变形的范围也较小,从而导致耗散的能量也会较小,达不到明显的耗能效果。表 2 为模型 HJ1~HJ6 在不同加载阶段的耗能。由表 2 可以看出,屈服后,随着位移的不断增大,结构所耗散的能量也在不断增大,比较模型 HJ1~HJ6 可知,HJ2 和 HJ3 在各阶段所耗散的能量都较高,所以,合理设计的剪切屈服型耗能梁段在各阶段的耗能性能都比弯曲屈服型耗能梁段的要好,也就是说,剪切屈服型耗能梁段比弯曲屈服型的耗能性能要好。表 3 为各模型在不同加载阶段的耗能系数。由表 3 可知,屈服后,随着位移的不断增大,结构的耗能系数也在逐渐增大,而且模型 HJ2 在各阶段的耗能系数都较高,表明其各阶段的耗能性能都较好。另外,除个别数据之外,各阶段的耗能系数随着耗能梁段的加长而逐渐变大。因此,对于耗能桁架,中间空腹耗能梁

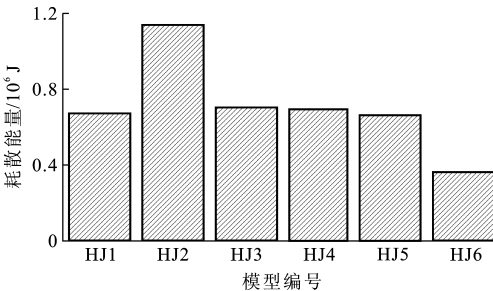


图 7 各模型的总耗能

Fig. 7 Total Energy Dissipations of Models

表 2 各模型在不同加载阶段的耗能

Tab. 2 Energy Dissipations of Models at Different Loading Stages

模型编号	HJ1	HJ2	HJ3	HJ4	HJ5	HJ6
Δ_y	0.284	0.310	0.303	0.301	0.285	0.288
$2\Delta_y$	1.129	1.233	1.244	1.227	1.169	1.165
$3\Delta_y$	2.074	2.209	2.225	2.192	2.081	2.071
$4\Delta_y$	3.122	3.225	3.220	3.170	3.010	
$5\Delta_y$		4.293				

表 3 各模型在不同加载阶段的耗能系数

Tab. 3 Energy Dissipation Coefficients of Models at Different Loading Stages

模型编号	HJ1	HJ2	HJ3	HJ4	HJ5	HJ6
Δ_y	1.154	1.204	1.191	1.205	1.205	1.232
$2\Delta_y$	1.992	2.165	2.252	2.282	2.303	2.328
$3\Delta_y$	2.231	2.401	2.531	2.581	2.601	2.630
$4\Delta_y$	2.428	2.475	2.602	2.668	2.699	
$5\Delta_y$		2.540				

段应设计成剪切屈服型,而且不能太短,否则不能达到理想的耗能效果。

4.5 变形能力和延性

根据模型的骨架曲线得到各受力阶段的荷载、转角和延性系数,如表 4 所示,其中结构屈服位移 Δ_y 采用通用屈服弯矩法得到,极限荷载对应的极限位移与用通用屈服弯矩法确定的结构屈服位移的比值为结构的延性系数。从表 4 可以看出,随着耗能梁段长度的加长,结构屈服位移逐渐变大,而屈服荷载和极限荷载迅速减小,屈服荷载与极限荷载的最大降幅分别达到 10.8%,13%,极限位移却没有类似的变化规律,其中 HJ2 的极限位移最大,达到了 150 mm。结构的屈服转角随着耗能梁段的逐渐加长而缓慢变大,而且剪切屈服型耗能梁段模型的屈服转角要小于弯曲屈服型的,所以,剪切屈服型耗能梁段比弯曲屈服型耗能梁段先达到屈服,可以在结构转角较小的情况下进入屈服耗能阶段。结构的极限转角也是 HJ2 最大,所以 HJ2 的总耗能也比别的

表 4 模型各阶段的荷载、转角和延性系数

Tab. 4 Loads, Angular Displacements and Ductility Coefficients of Models at Different Stages

模型 编号	屈服点			极限点			延性 系数
	P_y/kN	Δ_y/mm	$\Delta_y H^{-1}$	P_u/kN	Δ_u/mm	$\Delta_u H^{-1}$	
HJ1	893	28	1/157	1 253	112	1/39	4
HJ2	869	30	1/147	1 232	150	1/29	5
HJ3	830	31	1/142	1 070	124	1/35	4
HJ4	787	32	1/138	988	128	1/34	4
HJ5	702	34	1/129	864	136	1/32	4
HJ6	638	37	1/119	733	111	1/40	3

注： P_y 、 P_u 分别为屈服荷载和极限荷载； Δ_u 为极限位移； H 为模型高度。

模型多。除了 HJ6 有效延性系数为 3 以外,其他桁架模型的有效延性系数基本上都在 4 以上,满足规范规定的有效延性系数大于 4 的要求,而且剪切屈服型耗能梁段模型的有效延性系数要比弯曲屈服型好。综上所述,剪切屈服型耗能梁段的承载力、延性系数和耗能性能都要比弯曲屈服型耗能梁段好。

4.6 耗能梁段的内力和变形分布特点

图 8 为极限状态下模型 HJ5 和 HJ2 耗能梁段腹板剪应力和等效应力沿长度方向的分布,图 9 为模型 HJ5,HJ2 的等效塑性应变。由图 8(a)可以看出,弯曲屈服型耗能梁段腹板等效应力在两端较大,中间较小,在离耗能梁段左端 400,800,1 200 mm 的加劲肋处等效应力发生突变,而在加劲肋之间的等效应力分布比较均匀。剪应力在弯曲屈服型耗能梁段腹板两端较小,中间较大,腹板剪应力在加劲肋处较无加劲肋区格处要小得多,但是在极限状态时剪应力沿耗能梁全长都没有达到材料的屈服应力,其等效塑性应变沿模型 HJ5 的耗能梁段长度方向的分布如图 9(a)所示。从图 9(a)可以看出,模型 HJ5 的耗能梁段的翼缘和腹板的等效塑性应变都在耗能梁段的两端突然变大,其中翼缘的等效塑性应变比腹板的要大,耗能梁段中间部位腹板基本上不发生塑性变形。显然,极限状态时模型 HJ5 的耗能梁段两端截面形成了一定长度的塑性铰,塑性变形集中在塑性铰处。

由图 8(b)可以看出,在极限状态下,除了离耗能梁段左端 200,400,600 mm 的加劲肋处有所减小外,模型 HJ2 的耗能梁段的剪应力和等效应力沿其全长分布都比较均匀,而且两者的变化趋势基本相同,在相邻加劲肋之间的区格内,剪应力和等效应力都超过了材料的屈服应力。由图 9(b)可以看出,模型 HJ2 腹板的等效塑性应变和等效应力的变化趋

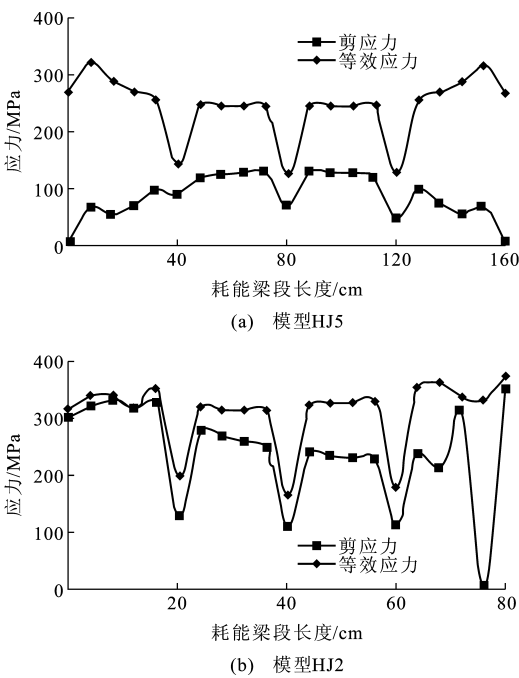


图 8 模型的耗能梁段腹板的应力分布

Fig. 8 Stress Distributions in Web of Energy Dissipation Beam of Models

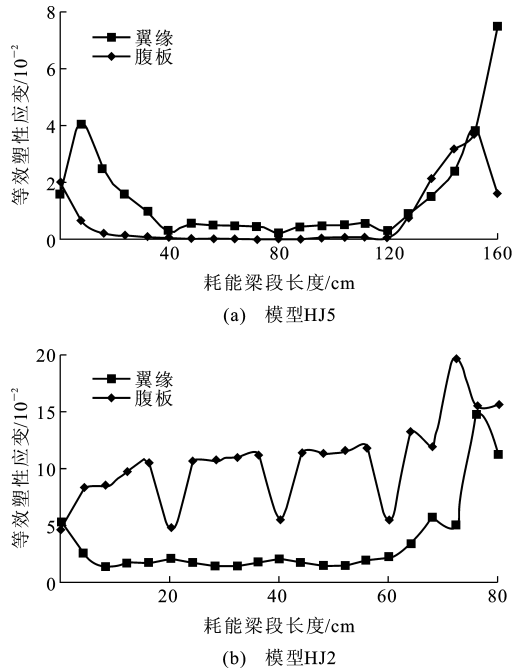


图 9 模型的塑性应变分布

Fig. 9 Plastic Strain Distributions of Models

势一样,等效应力大的地方其等效塑性应变也比较大,腹板等效塑性应变除了在加劲肋处有所减小外,沿耗能梁段全长的分布都比较均匀,在耗能梁段的右端达到最大,翼缘的等效塑性应变呈现两端大,中间小的趋势,但都小于腹板的等效塑性应变。所以,极限状态时,模型 HJ2 耗能梁段的腹板和翼缘沿全

长都产生了一定程度的塑性应变,但腹板比翼缘的塑性应变大,翼缘的塑性变形耗能梁段两端较大,形成了塑性铰。构件的耗能主要来源于塑性变形,塑性变形的大小决定了结构耗散能量的多少,比较图9(a)和图9(b),发现模型 HJ2 耗能梁段产生的塑性变形要明显大于模型 HJ5,这正是模型 HJ2 比 HJ5 耗能性能好的原因。

5 结 语

(1)对于耗能梁段先发生屈服的隔层耗能桁架式抗侧力体系,其滞回曲线都比较饱满,耗能性能都较好,延性也能满足规范的要求。

(2)随着耗能梁段长度的增加,结构刚度、承载力、延性和耗能性能都存在一定程度的减小和退化。

(3)剪切屈服型隔层耗能桁架式抗侧力体系在刚度、承载力、延性和耗能性能等方面都比弯曲屈服型要好;对于前者,桁架耗能梁段越短,体系的耗能性能越好,但也不能太短,否则发生塑性变形的能力有限,影响整体耗能性能的发挥。

(4)弯曲屈服型隔层耗能桁架式抗侧力体系的耗能梁段塑性变形首先发生在两端的翼缘处,并逐渐向腹板发展,最终破坏时塑性变形都只发生在耗能梁段两端,中间不会有塑性变形。而剪切屈服型的耗能梁段塑性变形首先发生在腹板上,且沿梁段全长分布,然后慢慢向翼缘发展,最终破坏时在两端翼缘处产生较大的塑性变形,形成塑性铰。

参考文献:

References:

[1] 贺拥军,杨承超,周绪红,等.立体车库的结构形式及应用与发展[J].建筑科学与工程学报,2009,26(4):30-34.

HE Yong-jun, YANG Cheng-chao, ZHOU Xu-hong, et al. Structural Forms, Application and Development of Three-dimensional Garages[J]. Journal of Architecture and Civil Engineering, 2009, 26(4): 30-34.

[2] 刘丽娜. 浅谈立体车库的特点及其应用[J]. 智能建筑与城市信息, 2007(12): 96-99.

LIU Li-na. Discuss About Characteristics and Application of the Three-dimensional Garages[J]. Intelligent Building & City Information, 2007(12): 96-99.

[3] 汪浩,余华. 自动化立体停车库的类型、特点和应用[J]. 苏州职业大学学报, 2004, 15(4): 90-92.

WANG Hao, YU Hua. Classification, Peculiarity and Application of the Automatic Three-dimension Parking Systems[J]. Journal of Suzhou Vocational University, 2004, 15(4): 90-92.

[4] 贺拥军,吴星,周绪红. 多高层钢框架立体车库连续化分析[J]. 湘潭大学自然科学学报, 2009, 31(4): 63-68.

HE Yong-jun, WU Xing, ZHOU Xu-hong. Continuous Analysis on Multi-story or Tall Steel Tridimensional Garage Structure[J]. Natural Science Journal of Xiangtan University, 2009, 31(4): 63-68.

[5] 张启君. 立体车库的主要型式及技术特点[J]. 机电产品开发与创新, 1999(2): 7-9.

ZHANG Qi-jun. Classification and Peculiarity of the Three-dimensional Garages[J]. Development & Innovation of Machinery & Electrical Products, 1999(2): 7-9.

[6] KWAR H G, SONG J Y. Live Load Design Moments for Parking Garage Slabs Considering Support Deflection Effect[J]. Computers and Structures, 2001, 79(19): 1735-1751.

[7] KWAR H G, SONG J Y. Live Load for Parking Garage Members[J]. Structural Safety, 2000, 22(3): 251-279.

《建筑科学与工程学报》入编《中文核心期刊要目总览》

2012年1月,《中文核心期刊要目总览》2011年版编委会公布了中文核心期刊名单,《建筑科学与工程学报》入编《中文核心期刊要目总览》2011年版之建筑科学类核心期刊。

《中文核心期刊要目总览》2011年版系第六版,为了使期刊评价更加科学合理,《中文核心期刊要目总览》2011年版编委会课题组在总结前五版研制经验的基础上,进一步改进评价方法,运用定量评价和定性评价相结合的方法,根据被引量、被摘量、被引量、他引量、被摘率、影响因子、被国内外重要检索工具收录、基金论文比、Web下载量9个评价指标进行定量评价,经过筛选和专家定性评审,从14400多种期刊中评选出1982种中文核心期刊。《建筑科学与工程学报》系首次入选,标志着《建筑科学与工程学报》在稳步发展中迈上了一个新台阶。