

文章编号:1671-6833(2002)02-0034-03

影响桥梁减震性能参数的试验研究

李加武¹, 卢 斌², 刘健新²

(1. 同济大学土木工程防灾国家重点实验室, 上海 200092; 2. 长安大学桥梁工程系, 陕西 西安 710064)

摘 要: 阻尼、墩高、支座的剪切刚度对桥梁的动力行为有着重要的影响, 研究它们在减震中的作用对抗震设计很有指导价值. 通过连续桥梁模型振动台试验, 分析了阻尼、墩高、支撑剪切刚度对模型梁和墩减震性能的影响; 墩越高, 对自身的抗震越有利, 对上部结构不利; 剪切刚度越大, 对上部结构不利, 对下部结构也不利, 阻尼不是越大越好. 试验表明, 适当地调节阻尼、刚度、墩高会降低振动幅值, 扰乱振动过程中规则的相位, 从而得到良好的减震效果.

关键词: 模型; 阻尼; 相位; 墩高; 支座剪切刚度; 地震波

中图分类号: TU 435 **文献标识码:** A

地震是与地球构造运动密切相关的一种自然现象, 地震给人类造成的损失是难以估量的. 为减轻桥梁地震灾害, 众多地震工作者和桥梁工程技术人员一直致力于提高桥梁抗震能力的研究. 实践表明, 单纯提高桥梁结构强度的抗震思路弊端较多, 而调整桥梁的动力参数, 减少地震能量的输入或增加阻尼耗能能力不失为有效且可行的方法. 因此了解桥梁在地震作用下的行为很有必要.

由于受试验条件的影响, 本文针对实际桥梁进行实桥的缩尺试验, 仅仅就连续梁模型进行定性研究. 本文通过振动台的地震模拟试验, 研究了模型桥梁在地震波激励下的振动现象, 探讨了阻尼、支撑的刚度、墩高度等对模型桥减震性能的影响.

1 试验设计

模型选用 10 mm 厚有机玻璃制作, 试验中采用两种模型, 一是没有附加阻尼装置的对比模型; 二是设有附加阻尼装置的阻尼模型. 梁由位于墩顶的滚动轴承支撑. 阻尼、刚度和墩高各设 3 种. 试验时, 由插入粘性材料的插板提供附加阻尼, 通过改变粘性液体的粘度和插板的数目来调节附加阻尼的大小. 由于本文是定性研究, 没有且也很难测出附加阻尼绝对大小. 支撑的刚度由闹钟发条加工的钢片提供. 刚度通过改变嵌入梁内的钢片数来调节, 试验模型安装见图 1.

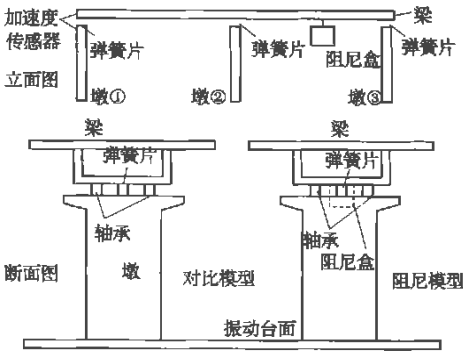


图 1 试验模型及安装

Fig. 1 Test model installing on the shake table

将 MTS 疲劳试验机适当改造后成为本试验用振动台. 其他的测试仪器还有: 加速度传感器、计算机、试验数据采集系统, 见图 2.

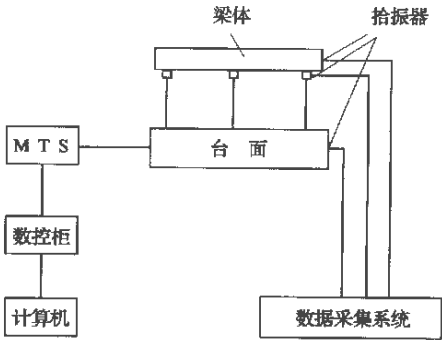


图 2 试验测试系统

Fig. 2 Test and collecting data system

收稿日期:2002-01-08; 修订日期:2002-03-30

作者简介:李加武 (1972-), 男, 安徽省舒城县人, 同济大学博士研究生, 主要从事长大桥的抗风和抗震研究.
(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

试验中,用自由衰减法测定模型的固有频率和阻尼.试验中输入三种地震波:圣费南波、埃尔森特波和阪神波.试验共进行了9种工况,其中阻尼模型的工况1~3的阻尼最小,工况4~6的阻尼最大.限于篇幅,本文仅列举部分试验数据.

2 试验结果

2.1 阻尼的影响

2.1.1 阻尼对幅值的影响

表1列举了输入阪神波时模型上部结构加速度峰值和埃尔森特波输入时墩顶的加速度峰值.对于梁的峰值,阻尼模型都比对比模型峰值小.值得一提的是,这里给的仅仅是峰值.但是有一点出乎预料,9种工况中,工况4~6的附加阻尼最大.作者预期大阻尼同时会提供较大的刚度,进而对减震效果有负面影响,但是试验中未发现.从墩顶的加速度峰值可看出,阻尼总体上减小了幅值,但工况Ⅳ出现了阻尼模型的幅值要大于对比模型.作者怀疑是大阻尼减震装置在提供阻尼的同时,也增加了刚度,验证了刚才的猜想.和梁相比,墩顶的加速度峰值显得有些凌乱.

表1 阪神波输入梁加速度峰值

Tab.1 The acceleration peak value of beam incited by Hyogoken-Nanbu earthquake cm/s^2				
工况	上部结构加速度峰值		墩顶加速度峰值	
	对比模型	阻尼模型	对比模型	阻尼模型
Ⅳ	-0.4938	-0.2562	-0.5518	-0.8161
	0.5321	0.2939	0.6883	0.5662
Ⅴ	-0.5340	-0.3027	-0.8092	-0.5868
	0.5710	0.3149	0.7038	0.5137
Ⅵ	-0.4886	-0.3187	-0.9733	-0.5375
	0.6206	0.3159	0.7536	0.4826

2.1.2 阻尼对相位影响

图3为30cm墩高模型的工况Ⅳ阪神波输入时两个模型上部结构和墩顶的加速度时程曲线.对于梁来说,附加阻尼模型对比模型的相位要滞后,长达0.1秒.其他工况也有不同程度的滞后.墩顶的相位滞后要比梁更为明显,但是阻尼模型加速度反而要比对比模型要大.

2.2 墩高及支撑刚度的影响

2.2.1 对模型幅值的影响

表2为梁的加速度峰值,表3为墩顶的加速度峰值.阪神波和圣费南波激励下,在支座剪切刚度 K_1 —墩高300mm组合,刚度 K_1 —墩高200mm

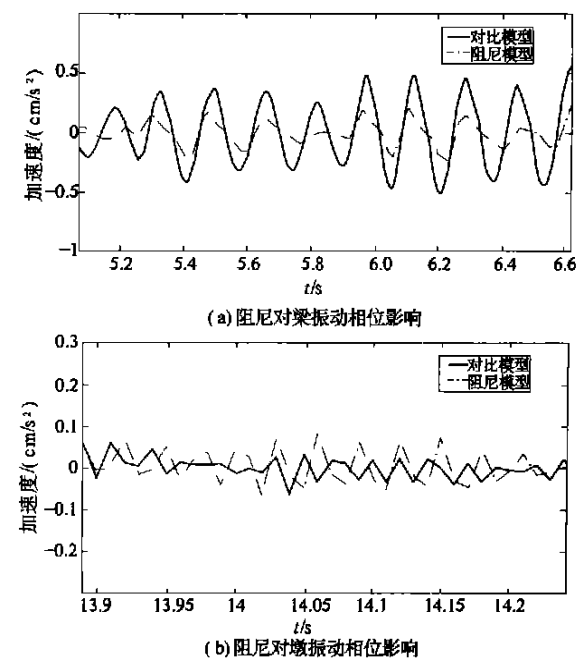


图3 阻尼对振动相位的影响

Fig.3 The effect of damp on the phase

组合以及刚度 K_3 —墩高400mm的组合中,梁加速度峰值出现大值;墩高300mm时墩顶加速度峰值最大,而墩高200mm时墩顶加速度峰值基本是最小的.试验中未发现墩高400mm时墩顶加速度峰值为最大.由此可以看出,墩高对墩顶加速度峰值的影响要比支座剪切刚度大.在地震波激励下,梁的加速度峰值受墩高和支座剪切刚度共同影响,墩高和支座剪切刚度的不当组合会对桥梁的减震产生负面影响.墩顶加速度峰值与地震类型无关.

表2 三种地震波下梁加速度峰值

Tab.2 The acceleration peak value of beam incited by three types of seismic wave				
墩高/ mm	刚度系数/ (kN/m)	埃尔森特波/ (cm/s^2)	阪神波/ (cm/s^2)	圣费南波/ (cm/s^2)
200	27.36	87.87	48.68	46.40
200	20.82	86.97	46.72	61.40
200	13.80	68.94	37.93	36.82
300	27.36	75.36	51.68	62.06
300	20.82	70.38	43.34	57.10
300	13.80	68.83	55.40	53.21
400	27.36	79.32	51.58	52.78
400	20.82	68.13	44.28	43.07
400	13.80	78.95	44.63	64.74

2.2.2 滤波器效应

试验中还发现,在桥墩的动力反应中,墩越高,台面中因噪音产生的高频成份被墩“吸收”越

多;墩越矮,则其中噪音产生高频成份被‘吸收’越多

表 3 三种地震波下墩顶加速度峰值

Tab. 3 Acceleration peak value of pier incited by three types of seismic wave

墩高/ mm	刚度系数/ (kN/m)	埃尔森特波/ (cm/s ²)	阪神波/ (cm/s ²)	圣费南波/ (cm/s ²)
200	27.36	0.4159	0.3221	1989
200	20.82	0.5330	2276	0.2050
200	13.80	0.5005	0.2416	0.2445
300	27.36	1.2013	0.5344	0.5673
300	20.82	0.9814	0.2145	0.5599
300	13.80	0.9744	0.2310	0.4152
400	27.36	0.9736	0.4920	0.3772
400	20.80	0.9274	0.3344	0.2967
400	13.80	0.7554	0.3276	0.3907

少.这是由于墩越高,基频愈小,激励中的高频成分被阻断.试验中发现,当正弦波输入中夹杂高频信号时,从墩到梁,高频信号影响逐渐减小,墩梁间似乎经过低通滤波器‘滤波’,使梁的反应近乎正弦曲线.

3 结论

通过上述试验及数据分析,得出以下结论:

(1) 试验表明:墩的动力响应要比上部结构复杂,墩受到台面的直接输入,墩顶的反应比梁表现得杂乱.

(2) 阻尼在耗能的同时,还会改变构件振动中的相位,甚至会提供刚度.构件间的相位差会产生动力干涉.利用这一点也可以达到减震的目的.但是阻尼过大,阻尼器可能会提供部分刚度,从而放大输入,不再有减震效果.

(3) 试验进一步明确了桥梁结构的地震激励响应可以通过改变桥梁的动力参数,如固有频率、阻尼等的变化而加以改变,人为地控制地震激励响应是可行的.

(4) 影响桥梁的减震性能的因素比较多,因此桥梁的减震机理比较复杂.上述试验数据表明:断面型式一定时,反应墩刚度的墩高和支座剪切刚度的合理组合可作为桥梁减震方法之一.

(5) 支座剪切刚度反映了梁与墩间的约束程度,支座剪切刚度大时,由墩通过支座输入的能量越多,梁的反应越强烈;反之,支座可以吸入部分能量起到过滤作用.

参考文献:

[1] 胡志强.随机振动实验应用技术[M].北京:中国计量出版社,1996.

[2] 朱伯龙.结构抗震试验[M].北京:地震出版社,1989.

[3] 李加武.采用减震装置连续梁的振动台试验研究[D];西安:西安公路交通大学,2000

[4] 胡兆同,刘健新.桥梁结构的免震装置[J],华东公路,1996,(6):43—46.

Shake Table Experimental Study of the Seism-reducing Behavior of Continuous-beam Bridges

LI Jia-wu¹, LU Bin², LIU Jian-xin²

(1.State Key Laboratory for Disaster Reduction in Civil Engineering, Tongji University, Shanghai 200092,China; 2.Department of Bridge Engineering, Chang'an University, Xi'an 710064,China)

Abstract : Studying the influence of the damp, the pier's height and the bearing's shear stiffness on the dynamic behaviors of bridges may help the bridge seismic resistance design. By the shake table test on the model, the results of influence of the damp, pier height and the bearing shear stiffness on the models' beams and piers' behavior are reached. The higher the pier is, the better the pier's resistant seismic performance is, and the more harmful to superstructure. Increasing bearing's shear stiffness is harmful to both pier and superstructure; and increasing damping may be disadvantage sometime. The data show that if those parameters live together well, amplitudes can be lowered considerably, and phases may be well disturbed. Therefore, the seismic resistance can be gained.

Key words : model; damping; phase; pier height; bearing shear stiffness; seismic wave