

桥梁抗震设计中滑移挡块作用机理

刘荣灿¹, 王克成², 唐红梅¹, 陈洪凯¹

(1. 重庆交通大学 岩土工程研究所, 重庆 400074; 2. 重庆市交通旅游投资集团有限公司, 重庆 400021)

摘要:基于能量耗散理论及地震动力响应分析,研究了不同地震荷载水平下滑移挡块及桥跨结构承载变化趋势,分析结果说明,滑移挡块在地震荷载下依靠滑移产生摩擦阻力消耗一部分地震力,不会使桥跨结构产生过大刚度而将巨大地震冲击力反馈给下部桥墩及桩基,同时挡块将桥梁破损控制在一定范围内,能量大部分由挡块承担,导致主体结构受损较小,受损严重的挡块在震后也较容易进行快速修复。

关键词:桥梁工程;挡块;地震;能量耗散;滑移隔震

中国分类号:U442.55

文献标志码:A

文章编号:1674-0696(2010)02-171-03

Mechanism of Sliding Block in Bridge Seismic Designing

LIU Rong-can¹, WANG Ke-cheng², TANG Hong-mei¹, CHEN Hong-kai¹

(1. Institute of Geotechnical Engineering, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China;

2. Chongqing Traffic & Tourism Investment Group Co. Ltd, Chongqing 400021, China)

Abstract: Based on energy dissipation theory and seismic dynamic response analysis this paper studied on the variation trends of sliding block and the bridge span structures bearing under the different levels of seismic loading. The results revealed the sliding block relying on silpping generated friction force for consumption part of the seismic load in the earthquake, so the bridge span structures does not make more rigidity to generate huge earthquake force that feedback to the lower part of the piers and pile foundation, while sliding block controlled the bridge damage within a certain range, the block took on largely energy, causing the main structure small damage, more damaged block was carried up quick fix easily after the earthquake.

Key words: bridge engineering; block; earthquake; energy dissipation; sliding isolation

汶川地震灾区的国道干线大部分分布在高山区和丘陵地区,大部分桥梁横桥向设有防震挡块,在本次地震考察中,大量桥梁防震挡块出现了不同程度的损害,导致上部结构位移过大。例如,国道213线都江堰至映秀公路是通往灾区映秀、汶川的南线通道,地震发生后该段道路桥梁均出现了比较严重的病害,在K1 020+592.03寿江大桥的0#桥台,多处盖梁挡块破坏,梁体横移,导致梁体扭转下沉,面临整孔落梁危险;在K1 012+020小黄沟中桥0#桥台挡块开裂至盖梁下端,裂缝宽度5~10 cm,横向错位25 cm,高差3 cm,4#桥台横向错位,高差3 cm;在K1 011+611蒙子沟中桥0#桩柱式桥台后挡块破坏严重,左侧桩身分布大量环向裂缝,右侧桩身剪断,全桥主梁横向向江心侧移动,左右两侧挡块均破坏;在映秀镇鱼子溪大桥1#大桥,盖梁挡块破坏,裂缝向下延伸至盖梁根部,主梁整体向岷江侧横向移动约10 cm,桥台伸缩缝破坏,与桥台连接的

挡墙下沉约20 cm^[1],如图1、图2。



图1 彭州中坝中桥

Fig.1 The Zhongba bridge in Pengzhou



图2 都江堰水井湾大桥

Fig.2 The Shuijingwan bridge in Dujiangyan

收稿日期:2009-11-24; 修订日期:2009-12-25

基金项目:国家自然科学基金项目(50678182);四川省公路交通科技基金项目(2008002)

作者简介:刘荣灿(1984-),男,湖北武汉人,硕士研究生,主要从事桥梁与地震灾害研究。E-mail:liurongcan163@163.com。

1 滑移挡块作用机理

1.1 传统设计存在问题

现在传统方法^[2]是通过加大防震挡块的尺寸及钢筋数量来抵御地震的,人们普遍认为挡块做得越强越好。这种观点也许在中小地震中是对的,但在大地震中,这些强壮的挡块反而会起到反作用,其导致上部结构过大的刚度,把巨大的地震冲击力传给了下部结构和基础^[3],尤其是桥台和桩基,其破坏程度难以确定,也难以修复。近年来挡块减震控制技术一直是结构抗震研究中一个活跃的分支,包括结构主动和被动控制以及两者组合控制,实际上反映了能量概念的应用,是设法减小地震输入能量,或通过能量转移和补充,增大结构耗能有效供给能力,来抵御强震作用。例如,研究开发中的结构基底隔震技术^[4],从能量的角度来看,正是设法减小地震输入能量,使结构耗能与之平衡,人们通过提高桥梁与挡块的柔性系数,使动力放大系数减小;提高桥梁与挡块间的耗能能力,在梁体与挡块之间设置橡胶减震器^[5]来承受桥梁纵向水平振动反应,或借助阻尼器的摩阻耗能来实现减震目的。但这些措施往往存在很大缺陷,因为结构柔度的提高伴随着结构强度的下降,减震器及阻尼器的设置使得桥梁的设计复杂化,耗资巨大。

挡块出现病害^[6]的原因是多方面的,主要原因有以下几方面:在地震力的作用下,当梁体与挡块发生横桥向的相对移动时,挡块受到较强的撞击,挡块与盖梁连接处存在较强的剪切作用;部分桥梁因挡块的截面尺寸偏小,配筋不足,挡块与盖梁之间钢筋连接考虑不周,斜截面的强度不足;挡块混凝土与盖梁混凝土浇筑时间不一致,使该处混凝土联结较弱,抗剪强度降低。

桥梁防震挡块的设置,其作用机制可概括为限制上部结构与墩台顶的相对位移,以防止上部结构产生过大的位移或落梁^[7]。挡块的防震效果不仅与挡块的强度相关,而且与挡块的类型、刚度、挡块与梁体的间隙等存在密切的关系。设置不同刚度的挡块时,挡块刚度减小,挡块抗力峰值减小,且挡块与上部结构相互作用的时间也增大,即冲击力减小。如在普通的混凝土挡块内侧加垫橡胶挡块,其防震效果会得到明显改善,从橡胶挡块与混凝土挡块的隔震响应上考虑,由于橡胶挡块初始刚度较低,起到了一定的缓冲作用,橡胶挡块的内力和设有橡胶挡块的墩台所承担的惯性力同混凝土挡块相比显著降低,但其对上部结构与墩台顶相对位移的约束也有所减弱,对抗震不利。

1.2 滑移挡块设计原理

经历汶川地震后,为了分散和减轻上部结构地震荷载以及对桥台和桩基的作用力,笔者提出了滑移挡块,即在挡块和盖梁间设置可滑移的柔性隔震层(聚四氟乙烯夹层^[8]),让盖梁在挡块上消能、滑移,使传输到下部结构的能量达到最小,从而使下部结构的响应也最小。与一般防震挡块相比,它会延长结构振动周期,由于挡块与主梁撞块之间留有一定的缝隙,在中等以下的地震作用下,整个体系(包括挡块)处于安全状态。一旦发生强震,主梁的位移超过挡块缝隙值时,挡块即开始滑动,隔震材料限制产生位移并消耗能量。

如图3所示,以平面滑移隔震剪切型结构为研究对象,体系由箱梁、挡块、限位挡块^[9]、滑移拉杆^[10]、滑移隔震层及缓冲材料组成。假定地震作用的整个过程中主梁始终处于弹性状态,滑移隔震层材料主要采用聚四氟乙烯、润滑剂及河砂等,隔震层与地面之间的摩擦力为库仑摩擦模型,假定隔震层滑动的过程中摩擦系数 μ 保持不变,而取静摩擦系数 μ_s 为滑动摩擦系数 μ 的1.05倍。在地震作用比较小时,挡块此时处于弹性阶段^[11],仅依靠结构弹性性能就可平衡地震输入能,挡块不发生破损;当地震作用超过一定强度时,挡块就将进入非弹性阶段,此时挡块依靠滑移拉杆在隔震层上滑移,隔震层将提供滑动摩擦阻力消耗能量^[12]。河砂起缓冲作用,延长挡块与箱梁之间的作用时间,当滑动摩擦阻力耗能平衡地震输入能时,整个体系将处于安全状态;而当滑动摩擦阻力耗能不能平衡地震输入能时,此时滑移拉杆的位移将达到最大值,这意味着结构伴随着某种程度上的破损存在,只要将这种破损控制在一定范围内,使结构不致于倒塌,震后仍可修复破损,所以在左边设置一限位挡块,控制箱梁滑动位移在一定范围内,此时能量大部分由挡块承担,导致主体结构受损较小,而受损严重的挡块在震后也容易快速修复。

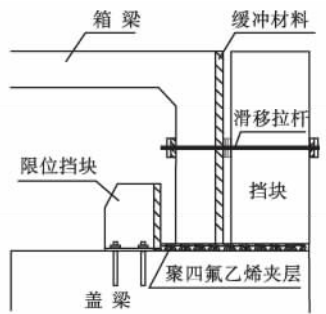


图3 桥台处滑移系统构造

Fig. 3 The slip system construction at abutment

2 滑移挡块构造细节

将挡块做成薄而高的柔性钢筋混凝土块(图3)^[13]在挡块和盖梁之间有意识地做成可滑移的薄弱面,即先浇盖梁,并进行表面修光处理,刷油并涂上聚四氟乙烯做隔离层,然后在其上浇筑混凝土,在挡块中部设置一排伸入盖梁的钢筋,其余箍筋和防裂钢筋均在滑移面上方截断,并在一部分滑移面上垫硬塑料板做隔离层。试验结果证明,当上部构造施加横向力时,挡块沿滑移面平移,甚至自身也不破坏,只是预埋的竖向钢筋被扭弯,当被扭弯成约40°时,钢筋屈服,此时盖梁及以下各部位得到保护^[14]。

挡块下方设置滑移面,竖向预埋钢筋成为唯一能阻止挡块滑剪的部件,其力学模型^[15]如图4,它考虑了挡块破坏时钢筋被扭曲的形状。

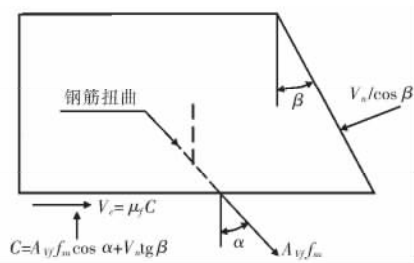


图4 挡块剪切滑动破坏

Fig. 4 The shear sliding damage of block

从满足力的平衡条件出发,可求出挡块的抗剪能力 V_n :

$$V_n = \frac{\mu_f \cos \alpha + \sin \beta}{1 - \mu_f \sin \beta} A_{vf} f_{su}$$

式中: α 为竖向钢筋的扭曲角; β 为挡块内侧面的倾斜角; μ_f 为混凝土的动摩擦系数; f_{su} 为竖向钢筋极限抗拉强度。

为了保护盖梁不受损伤,应在盖梁顶面设置水平拉筋,如图5。而且拉筋要尽量靠近挡块,采用端部带90°的弯钩钢筋,底层拉筋的长度应超过与竖向埋筋交点后一定的距离,并由图中的 L_{dh} 和 L_{min} 来控制,即:

$$L_{dh} = 100d_b / \sqrt{f_c'}$$

$$L_{min} = \tan \theta (a_1 + a_2) + L_{dh}$$

式中: d_b 为拉筋直径; f_c' 为混凝土抗压强度; a_1 为施力点到盖梁顶面间的距离; a_2 为从盖梁顶面到底层拉筋间的距离。

挡块力的传递见图5,图中的虚线表示力传递到盖梁拉筋上的路线,斜线段代表垂直于滑移面的力和平行于滑移面的摩擦力合力方向。由于静摩擦系数有一假定值,故 θ 角可通过 $\theta = \arctan \mu$ 求出。

在防震挡块和盖梁接触面之间要进行修光处理,形成光滑的施工缝,以便在地震时做相对滑动。

挡块不要和背墙、耳墙浇筑在一起,避免它们对挡块的滑移起遏制作用。浇筑顺序按先浇盖梁、背墙和耳墙,然后对盖梁顶面刷油并涂上聚四氟乙烯做隔离层,最后浇筑挡块,挡块中预埋入盖梁中的钢筋应归拢在一起,尽量接近挡块中心部位,它和挡块和盖梁之间唯一的连接部件。挡块和盖梁中的构造钢筋仍按规定设置,但不允许它们穿过滑移面。

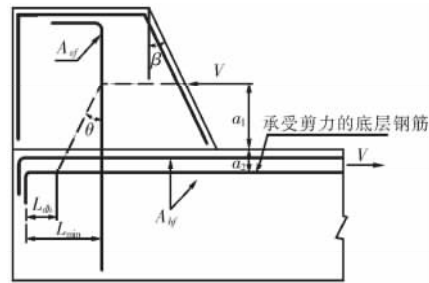


图5 挡块力的传递路径

Fig. 5 The transmission path of block power

3 结论

笔者从能量耗散理论着手提出滑移挡块,对其在地震荷载下的性能进行了分析,从理论的计算角度分析其在荷载作用下的能量变化过程及抗震效果,得出以下几点结论:

1) 现行的防震挡块设计的指导思想是强力阻止落梁,挡块越强越好。挡块尺寸拟定和配筋具有很大的盲目性,这样将导致上部结构刚度过大,把巨大的地震冲击力传给了下部结构和基础,其破坏程度难以确定,结构也难以修复。

2) 树立滑移挡块理念,将挡块做成薄而高的柔性钢筋混凝土块,在挡块和盖梁之间有意识地做成可滑移的施工缝,进行表面修光处理。在地震时,能使挡块在滑移层上移动,并消耗一定的能量,保证整个结构在安全范围内。

3) 滑移拉杆和限位挡块控制挡块在一定范围内平动,能量大部分由挡块自身承担,导致主体结构受损较小,受损严重的挡块在震后容易快速修复。

4) 在施工浇筑时,挡块和盖梁分两次浇筑,即先浇盖梁,进行表面修光处理,刷油并涂上聚四氟乙烯做隔离层;然后在其上浇筑混凝土,在挡块中部设置一排伸入盖梁的钢筋,其余箍筋和防裂钢筋均在滑移面上方截断,并在一部分滑移面上垫硬塑料板做隔离层,以提供挡块滑动的薄弱面。

5) 为了保护盖梁不受损伤,应在盖梁顶面设置水平拉筋,而且要尽量靠近挡块,采用端部带90°的弯钩钢筋,底层拉筋的长度应超过与竖向埋筋交点后一定的距离。



图3 交通状况实时显示图

Fig.3 Real-time traffic situation display

此外,SMS 短信息作为 CDMA 网络的基础服务,可以利用它设计短信内容进行交通调查。再通过系统对短信息数据的处理,还能得到居民出行的时间、OD 矩阵等更高级的交通数据。

5 结 语

笔者提出了基于 CDMA 网络作为国内交通数据采集系统的方法,并以此构建了重庆市主城区的动态交通数据采集系统,实现了道路交通状况实时显示。随着移动通信技术的发展与数据采集系统的改进,得到的交通信息将会越来越丰富,这对提高城

市交通管理水平、推动 ITS 的建设与发展有着重要的意义。

参考文献:

- [1] Zhao Y L. Mobile phone location determination and its impact on intelligent transportation systems [J]. IEEE Transactions On Intelligent Transportation Systems, 2000, 1(1): 55-64.
- [2] 曹科. 基于智能手机的 A-GPS 定位技术的研究与实现 [D]. 成都: 电子科技大学, 2007.
- [3] Wang K D, Yan L, Wen H, et al. GpsOne: A new solution to vehicle navigation [C]// IEEE. Position Location and Navigation Symposium (PLANS 2004). California: IEEE, 2004: 341-346.
- [4] GB 50220-95 城市道路交通规划设计规范 [S].
- [5] Weisberg S. Applied Linear Regression [M]. (3rd Edition). San Francisco: John Wiley & Sons Inc., 2005.
- [6] Cayford R, Johnson T. Operational parameters affecting the use of anonymous cell phone tracking for generating traffic information [CD]// TRB. Transportation Research Board 82nd Annual Meeting. Washington D. C.: MDP, 2003.
- [7] Weng J, Hu Z. Floating car data based nonparametric regression model for short-term travel speed prediction [J]. Journal of Southwest Jiaotong University: English Edition, 2007, 15(3): 223-230.
- [8] 重庆市规划局, 重庆市城市交通规划研究所. 重庆市主城区交通发展年度报告 2008 [R]. 重庆: 重庆市规划局, 重庆市城市交通规划研究所, 2009.
- [9] 熊科新. 限位挡块在机械加工中的应用 [J]. 风机技术, 2000(4): 32-33, 56.
- [10] 杨丁芳. 用于挡住工件端部的杆式挡块 [J]. 铁道机车车辆工人, 1994(5): 30.
- [11] Wang Y P, Chung L L, Liao W H. Seismic response analysis of bridges isolate with friction pendulum bearing [J]. Earthquake Engineering & Structural Dynamics, 1998, 27(10): 1069-1093.
- [12] 孙敏. 基于能量法的隔震效果的研究 [J]. 中原工学院学报, 2007(2): 47-50.
- [13] 陈闪光, 张玉珊. 梁式桥上部构造防震挡块的预制和安装问题探讨 [J]. 山东交通科技, 1999(1): 27-29.
- [14] 金锡平. 隔震建、构筑物限位防护装置实验与理论分析 [D]. 西安: 西安理工大学, 2005.
- [15] Hwang J S. Evaluation of equivalent linear analysis methods of bridge isolation [J]. Journal of Structure Engineering, 1996, 122(08): 972-976.
- [1] 宋胜武. 汶川大地震工程震害调查分析与研究 [M]. 北京: 科学出版社, 2009: 740-764.
- [2] 谢旭. 桥梁结构地震响应与抗震设计 [M]. 北京: 人民交通出版社, 2006: 246-248.
- [3] 韩森, 周锡元. 基础隔震软碰撞限位保护分析 [J]. 建筑科学, 1999, 15(1): 54-57.
- [4] Zayas V, Low S S, Mahin S A. A simple pendulum technique for achieving seismic isolation [J]. Earthquake Spectra, 1990, 6(2): 317-331.
- [5] 金锡平, 张俊发, 刘金慧. 隔震橡胶防护挡块非线性有限元分析 [J]. 工程抗震与加固改造, 2005, 27(3): 51-54.
- [6] 周明, 何清友, 郭光普. 强震地区桥梁墩台防震挡块病害述评 [J]. 西南公路, 2009(01): 28-29.
- [7] 余建星, 王新岐. 挡块对斜拉桥抗震性能的影响 [J]. 地震工程与工程振动, 2002, 22(4): 114-119.
- [8] Tsopelas P, Constantinou M C, Kim Y S, et al. Experimental study of FPS system in bridge seismic in bridge seismic isolation [J]. Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 1996, 25(7): 65-78.

(上接第 173 页)

参考文献: