

文章编号:1671-6833(2013)06-0072-04

公路桥梁横向防落梁设施抗震性能评价

刘龄嘉¹, 邵妍², 贺拴海¹

(1. 长安大学 桥梁与隧道陕西省重点实验室, 陕西 西安 710064; 2. 西安市市政设施管理局, 陕西 西安 710016)

摘要: 为了研究梁式桥梁结构横向防落梁设施的受力性能, 以公路装配式简支 T 梁、空心板梁和小箱梁横向防落梁挡块为研究对象, 采用 ANSYS 软件用 combin40 单元模拟横向挡块, 分析了其在地震动加速度峰值下的受力行为; 通过钢筋混凝土挡块极限状态破坏分析确定了其最大承受撞击荷载。结果表明: 公路装配式简支梁桥现行设计中常采用的钢筋混凝土横向防落梁挡块在桥梁运营期间能起到很好的横向限位作用, 但其抗震能力较低, 在地震动加速度峰值超过 0.05 g 时将开裂破坏。

关键词: 桥梁工程; 简支梁; 横向挡块; 抗震性能评价

中图分类号: U448.214

文献标志码: A

doi:10.3969/j.issn.1671-6833.2013.06.018

0 引言

建国以来陕西境内未发生过 6 级以上地震, 近十年来对陕西省影响比较大的是 2008 年四川省汶川 5.12 大地震及其余震。5.12 汶川地震使陕西省受影响的公路 47 条、桥梁 338 座, 桥梁主要病害为梁体纵、横向移位、伸缩缝损坏、支座变形和钢盆断裂、挡块开裂、露筋、混凝土脱落、损坏等^[1]。地震波的空间变化以及行波效应会引起桥梁挡块和主梁间不同相运动, 导致二者间产生碰撞, 物体在碰撞过程中, 因为各自出现了形变而产生的弹力即为碰撞力^[2]。笔者在分析前人研究^[3-9]的基础上, 运用 ANSYS 结构软件对装配式 T 梁、空心板梁和小箱梁在不同等级横向地震荷载作用下所受最大撞击力进行分析计算, 并对钢筋混凝土挡块进行模拟分析, 由此对其实际抗震能力进行评价。

1 结构动力分析

1.1 横向限位装置的非线性有限元分析

根据我国装配式混凝土简支梁常用的 T 梁、空心板梁和小箱梁作为研究对象, 利用 ANSYS 结构软件建立一跨简支梁桥空间三维有限元模型^[2-4], 其中上部主梁结构、盖梁和墩桩均采用 beam4 单元模拟, 二期恒载质量用 mass21 单元模拟, 橡胶支座用 combin14 单元模拟, 挡块与主梁

之间的连接用 combin40 单元模拟。梁与盖梁通过支座单元进行连接, 约束桩底单元节点的所有自由度, 桩-土-结构作用采用 link10 单元模拟。

1.2 地震波激励的选择

根据我国《公路桥梁抗震设计细则》^[10], 选用 EL-Centro 波和 Hollywood Storage P. E 波作为地震响应分析的地震波。由于这些波加速度峰值较大, 波频范围较宽, 因此被工程界广泛利用。选取其相应 20 s, 时间间隔为 0.02 s, 共 1 000 个时间点。并将 a_{\max} 调幅到 $a_{\max} = 0.05 \text{ g}$ 、 0.10 g 、 0.20 g 、 0.30 g 、 0.40 g 进行分析。地震波波形如图 1 所示。

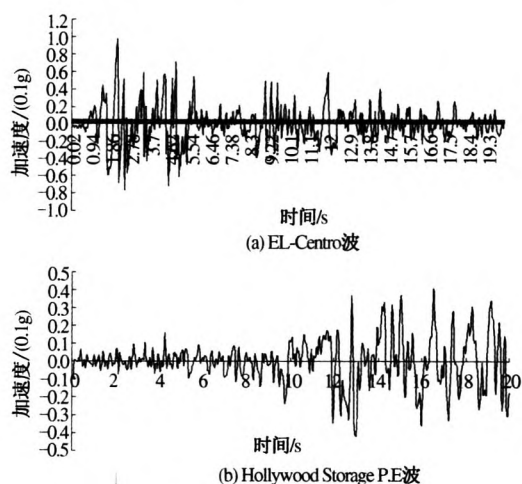


图 1 计算选用地震波

Fig.1 Choose seismic calculation

收稿日期:2013-05-12; 修订日期:2013-07-06

基金项目:陕西省科学技术研究发展计划项目(200804)

作者简介:刘龄嘉(1963-),女,广西靖西人,长安大学教授,博士,主要从事桥梁抗震研究,E-mail:liuljia@126.com.

1.3 有限元分析模型

(1)无间隙模型. 横向限位装置与主梁间没有间隙,二者原则上紧贴在一起. 由于支座等外部原因的影响,发生地震时二者相当于一个整体,基本一起同步运动.

(2)间隙有限元模型. 间隙设置为非线性碰撞单元,碰撞单元属于状态非线性单元,其运动过程可分为两种:①结构在碰撞点的相对位移未超过初始间距,此时接触单元不起作用;②结构在碰撞点的相对位移有超过初始间距的趋势时,修改结构特性,在接触点加入弹簧—阻尼器直至接触分离.

在 ANSYS 中选用 Combin40 单元,在工程中可用摩擦问题及碰撞问题模拟. Combin40 单元由弹簧单元、阻尼单元、滑移单元、间隔单元和质量组成,如图 2 所示. 通过设置阻尼和间隔为零,可以使单元只具备弹簧—滑移功能,这样单元的恢复力模型就为两折线模型,如图 3 所示. 图中: K_1 为初始刚度, K_2 为碰撞接触刚度.

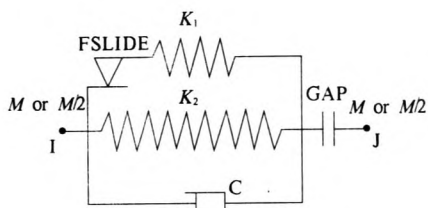


图 2 Combin40 单元
Fig.2 Combin40 unit

挡块与主梁间因地震产生的碰撞力为

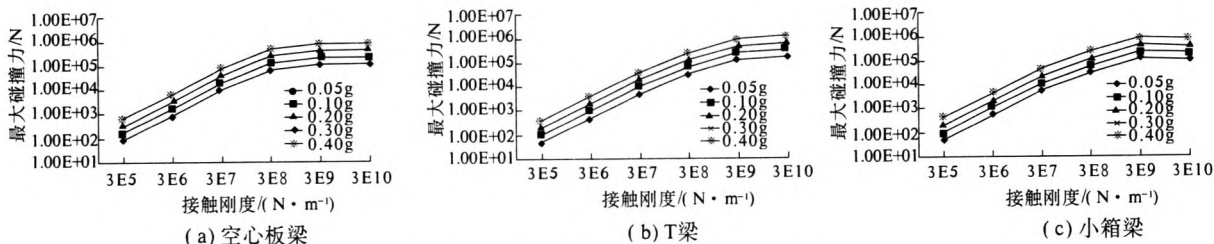


图 4 挡块在 EL-Centro 波下所受最大撞击力

Fig.4 Block in EL Centro-wave under the maximum impact force

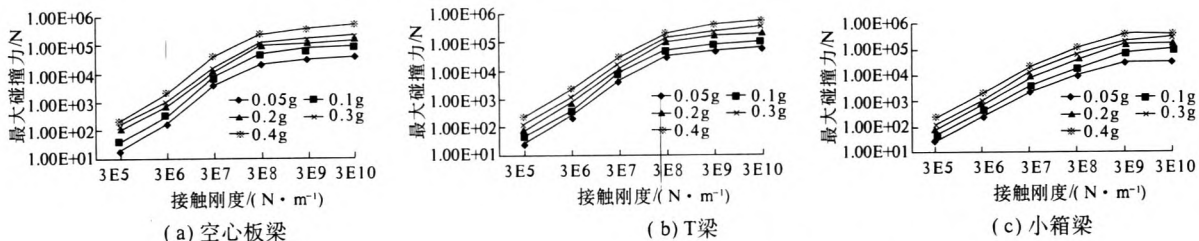


图 5 挡块在 Hollywood Storage P.E 波下所受最大撞击力

Fig.5 Stop in Hollywood Storage P.E wave under the maximum impact force

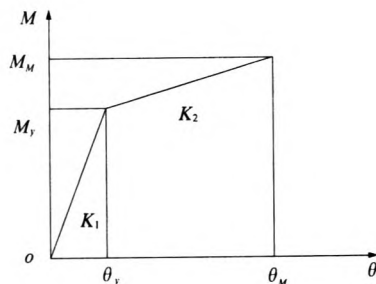


图 3 Combin40 单元的恢复力模型

Fig.3 The restoring force model of Combin40 unit

$$F(x)=K_2(d_0+X_s).$$

式中: d_0 为初始间隙; X_s 为地震力作用下主梁与挡块的相对位移.

1.4 挡块地震响应分析

对标准图中跨径为 20 m 的空心板、T 梁和小箱梁进行分析. 在加速度峰值为 0.05 g、0.10 g、0.20 g、0.30 g、0.40 g, 梁与挡块间间隙为 30 mm, 阻尼为 $c=2\times10^7\text{ N}\cdot\text{s/m}$, 间隙接触刚度(即恢复力模型中的 K_2)为结构的地震响应, 此时, $k_1=3\times10^5\text{ N}\cdot\text{m}^{-1}$, $k_2=3\times10^6\text{ N}\cdot\text{m}^{-1}$, $k_3=3\times10^7\text{ N}\cdot\text{m}^{-1}$, $k_4=3\times10^8\text{ N}\cdot\text{m}^{-1}$, $k_5=3\times10^9\text{ N}\cdot\text{m}^{-1}$, $k_6=3\times10^{10}\text{ N}\cdot\text{m}^{-1}$ ($k_1\sim k_6$ 的值根据挡块与主梁间常见填充物刚度范围选取). 挡块所受最大碰撞力^[1]如图 4、5 所示. 图 4 为 20 m 简支 T 梁挡块间隙变刚度最大碰撞力($c=2\times10^7\text{ N}\cdot\text{s/m}$). 图 5 为 20 m 简支空心板梁挡块间隙变刚度最大碰撞力($c=2\times10^7\text{ N}\cdot\text{s/m}$).

2 钢筋混凝土挡块模拟分析

依据挡块的实际使用情况、使用尺寸及受力特点,对挡块进行单独受力分析,挡块混凝土采用 C30,纵向长均为 1.20 m,横截面及配筋图如图 6 所示,纵向采用 HRB335 的 $\phi 20$ 、 $\phi 25$ 钢筋;箍筋为 R235 的 $\phi 8$ 钢筋.计算中采用混凝土开裂应变为 $67\text{ }\mu\epsilon$,R235 钢筋屈服为 $1\text{ }119\text{ }\mu\epsilon$,HRB335 钢筋屈服为 $1\text{ }675\text{ }\mu\epsilon$.应用 ANSYS 结构软件进行建模,其中混凝土单元用 Solid65 单元模拟,钢筋用 link8 单元模拟,采用钢筋与混凝土分离的建模方式,挡块与盖梁接触截面采用固结.

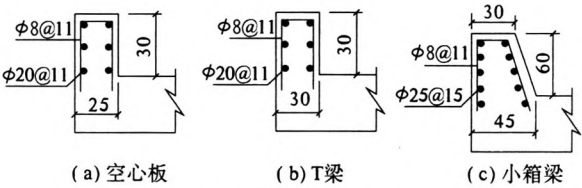


图 6 挡块横截面图
Fig. 6 Figure block in cross section

经计算分析,挡块混凝土开裂破坏时受力特性见表 1 所示.挡块破坏状态见图 7、挡块荷载与变形关系见图 8 所示.

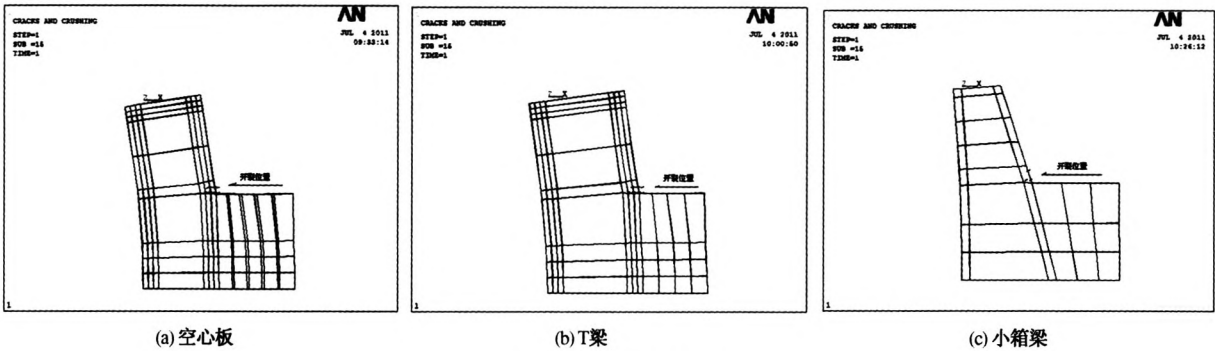


图 7 挡块破坏状态图
Fig. 7 Block damage state diagram

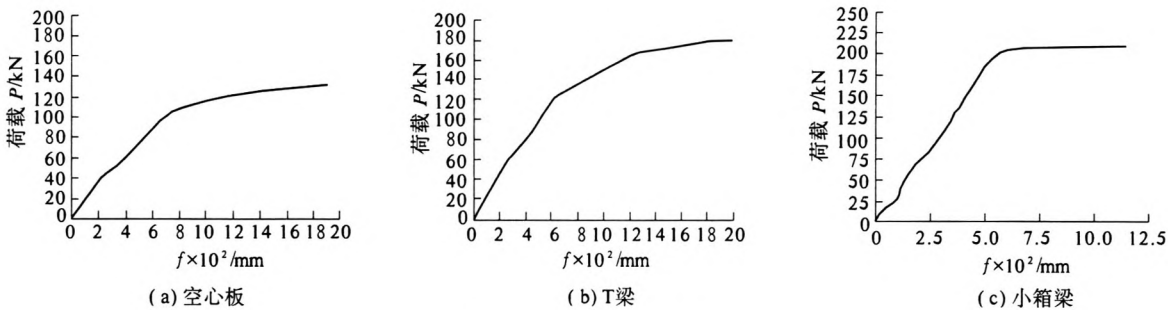


图 8 挡块荷载与变形关系图
Fig. 8 Load and deformation diagram

表 1 混凝土开裂破坏时挡块受力特性
Tab.1 Stop for concrete cracking destruction
mechanical characteristics

挡块截面类型	最大碰撞力/N	钢筋应力/MPa	横向最大位移/mm
K(空心板)	$>1.260\text{E}+05$	12.028	0.067
T(T梁)	$>1.836\text{E}+05$	10.022	0.059
X(小箱梁)	$>2.152\text{E}+05$	16.686	0.156

由图 8 分析可知:①3 种形式挡块中小箱梁对应的挡块较其他两种能承受更大的碰撞力.②挡块变形均由下向上逐渐增大,其最大位置均位于挡块顶部.③挡块最早的开裂位置均位于挡块与盖梁相交处.④3 种形式挡块荷载与变形均遵循钢筋混凝土结构规则,小箱梁对应的挡块形式收敛性能更为突出.

3 抗震性能评价

(1)3 种截面形式简支梁,其挡块所承受的最大碰撞力均随地震加速度峰值的增大而增大,基本呈线性增加.

(2)若梁的横向不设限位挡块,为防止地震中横向落梁发生,抗震等级越高,梁端与墩台顶帽端部需预留的横向距离越大.

(3)挡块所受最大碰撞力均随接触刚度的减小而减小,接触阻尼越大,减小的效果越显著.

(4)在现行设计中挡块与梁之间一般采用两种方式设计,其一是挡块与梁之间留有 10 ~ 50 mm 间隙,中间大部分填塞橡胶块(相当于间隙刚度 $k = 3 \times 10^8 \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}$)、个别填塞木块(相当于间隙刚度 $k = 3 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}$),空心板梁和 T 梁多采用这种方法设计;其二是挡块与梁之间密贴(相当于间隙刚度 $k = 3 \times 10^{10} \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}$),部分小箱梁采用这种方法设计.笔者分析可知,这两种设计方式在抗震设防烈度 ≥ 6 度时挡块均已破坏,可见目前所采用的钢筋混凝土挡块抗震性能很低.

4 结论

挡块与梁间填塞刚度较大的物质不能起到防撞效果;若填塞刚度较小的物质,在运营时梁体又易产生横向移动.挡块与梁间填塞橡胶块时应增大支座阻尼或结构阻尼,既限制梁体在运营中的横向移动又减小挡块在地震中的破坏.由于现行设计的盖梁端部钢筋混凝土挡块抗震性能很低,建议采用大阻尼抗震型支座以减小横向撞击力,或采用其他防落梁设施取代钢筋混凝土挡块.

参考文献:

[1] 邵妍.桥梁横向限位装置抗震性能评价[D].西安:

长安大学公路学院,2010.

- [2] 聂利英,范立础.地震作用下城市立交抗震挡防撞措施分析[J].中国公路学报,2006,19(3):49-53.
- [3] 朱文正,刘健新.限位装置静力设计研究[J].公路交通科技,2006,23(3):65-69.
- [4] 王东升,杨海红,王国新.考虑邻梁碰撞的多跨长简支梁桥落梁震害分析[J].中国公路学报,2007,18(3):54-59.
- [5] 王军文,李建中,范立础.非规则梁桥横桥向地震碰撞反应分析[J].振动与冲击,2010,18(3):25-30.
- [6] 聂利英,李建中,范立础.地震作用下结构碰撞的模型参数及其影响分析[J].工程力学,2005,22(5):142-147.
- [7] 徐略勤,李建中,吴陶晶.碰撞效应对非规则梁桥横向地震反应的影响[J].振动与冲击,2011,30(4):95-123.
- [8] 彭刚辉,郑史熊.高墩桥梁在地震作用下梁体与挡块之间的非线性碰撞效应研究[J].广东公路交通,2010(3):37-41.
- [9] 高玉峰,蒲黔辉,李晓斌.梁式桥地震碰撞响应及防碰撞与落梁措施研究进展[J].地震工程与工程振动,2011,31(1):80-88.
- [10] 重庆交通科研设计院.JTG/TB02-01-2008,公路桥梁抗震设计细则[S].北京:人民交通出版社.

Seismic Behavior Evaluation for Highway Bridge's Side Retainer

LIU Ling-jia¹, SHAO Yan², HE Shuan-hai¹

(1. Key Laboratory of Bridge and Tunnel of Shaanxi, Chang'an University, Xi'an 710064, China; 2. Xi'an Municipal Administration of Facilities, Xi'an 710016, China)

Abstract: In order to study the mechanical behavior of the reinforced concrete side retainer in the beam bridge, T-beam, three fabricated types of highway bridge, which are hollow-slab and box-girder bridge, are taken as the object. Using combin40 element of ANSYS software was employed to simulate side retainer to analyze the dynamic behavior of the side retainer in the different peak acceleration of ground motion, and the maximum impact capacity of side retainer was fixed by its ultimate capacity failure analysis. The results indicate that the concrete reinforced side retainer is only effective during its normal service period, but will break down when it is subject to 0.05 g peak acceleration of ground motion.

Key words: bridge engineering; simply-supported beam; side retainer; aseismic behavior evaluation