

挡块设置参数对简支梁桥抗震性能影响研究

张 辉

(上海城市交通设计院有限公司, 上海市 200092)

摘 要: 以某高烈度区 30 m 等跨简支小箱梁桥为研究对象, 采用有限元软件建立非线性动力分析模型, 重点研究了钢筋混凝土挡块非线性模型和理想弹塑性挡块模型在不同设计参数下对桥梁抗震性能的影响。通过对比分析挡块强度和初始间隙对结构响应的作用机制, 发现钢筋混凝土挡块非线性模型在 2 倍基准强度时主梁位移显著降低, 且其滞回特性接近理想弹塑性挡块模型, 优于刚性假定模型; 初始间隙超过 0.09 m 后主梁位移趋于稳定, 并能减小对墩柱的不利影响。研究表明, 在合理的参数设置下, 钢筋混凝土挡块非线性模型对梁体限位和结构耗能都比较有利, 其性能介于弹性挡块模型和理想弹塑性挡块模型之间, 为简支梁桥横向抗震设计提供了参考依据。

关键词: 简支梁桥; 钢筋混凝土挡块; 抗震性能; 抗震设计

中图分类号: U443.5

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2026)08-0182-06

Research on Influence of Block Setting Parameters on Seismic Performance of Simple-supported Beam Bridges

ZHANG Hui

(Shanghai Urban Transportation Design Institute Co., Ltd., Shanghai 200092, China)

Abstract: Taking a 30-m equal-span simple-supported small box beam bridge in a high-intensity seismic region as the research object, a nonlinear dynamic analysis model is established by using the finite element software to mainly study the influence of the nonlinear model of reinforced concrete blocks and the ideal elastic-plastic block model on the seismic performance of bridges under the different design parameters. By comparing and analyzing the action mechanisms of the block strength and the initial clearance on the structural response, it is found that the nonlinear model of reinforced concrete blocks significantly reduces the displacement of the girder at twice the reference strength, and its hysteresis characteristics are close to the ideal elastoplastic block model and superior to the rigid assumption model. The girder displacement tends to stabilize when the initial clearance exceeds 0.09 m, and the adverse effect on the piers can be reduced. The research result shows that the nonlinear model of reinforced concrete blocks is relatively favorable for both beam body limiting and structural energy dissipation under reasonable parameter settings. Its performance lies between that of the elastic block model and the ideal elastoplastic block model, which provides a reference basis for the lateral seismic design of simple-supported beam bridges.

Keywords: simple-supported beam bridge; reinforced concrete block; seismic performance; seismic design

0 引 言

简支梁桥作为我国道路交通桥梁中最常见的桥型, 其抗震性能直接影响到地震中震区的交通生命线安全^[1-2]。在桥梁抗震设计中, 防止梁体在地震作用下发生过大位移导致落梁是该类型桥梁抗震设防的重点^[3-4]。通常在桥墩或桥台顶部设置一种钢筋混凝土挡块结构来限制主梁位移是一种经济高效的

防落梁措施设计, 并且钢筋混凝土挡块已在大量中小跨径简支梁桥的横向抗震中得到广泛应用^[5-7]。

2008 年汶川地震后, 学者们通过对汶川震区桥梁的震害进行深入研究后发现, 挡块对桥梁的抗震性能有着明显的提升作用^[8-9]。挡块除了能在地震作用下限制主梁的横向位移, 同时也承担着传递主梁横向地震力的作用, 其抗震性能直接影响着这两方面功能的发挥^[10]。在已有的众多研究中, 大多数学者将挡块视为刚性体来研究主梁与挡块碰撞对桥梁横向地震作用的影响^[11-13]。然而汶川地震的桥梁破坏情况表明, 挡块通常在地震初期就已发生了剪

收稿日期: 2026-03-12

作者简介: 张辉(1982—), 男, 硕士, 高级工程师, 从事桥梁工程设计与研究工作。

切破坏,不会一直在整个地震过程中发挥理想作用,说明将挡块视为完全刚体的假设理论存在明显缺陷。另外现有研究大多集中在挡块的构造与破坏模式的分析上,挡块强度和挡块与主梁的间隙等挡块设计的关键参数对简支梁桥抗震性能影响的系统性研究较少。

本次研究将以新型钢筋混凝土挡块抗震性能的分析模型,探讨不同挡块设置情况对简支梁桥横向地震响应的影响。同时本文对弹性挡块、理想弹塑性挡块和钢筋混凝土挡块 3 种抗震性能不同的挡块进行对比分析,以研究钢筋混凝土挡块在简支梁桥横向地震响应中的影响特征,为简支梁桥的抗震设计提供参考。

1 分析桥例与模型

1.1 桥梁概况

本次研究以某高架快速路桥为背景工程(见图 1),该桥为 30 m 等跨简支小箱梁桥面连续结构,桥面全宽 20.75 m。选取高架桥互通立交处主线桥梁,由于该立交为全互通立交,层高较高,因此桥墩高度达到近 24.0 m,两桥墩横向净宽为 13.5 m,墩柱的截面为 1.8 m×2.0 m,盖梁的断面尺寸为 2.0 m×1.8 m。在墩顶盖梁两侧均设置钢筋混凝土挡块,每片小箱梁两端均采用 2 个常规板式橡胶支座支承。基础采用直径 2.5 m 的嵌岩桩。结构混凝土强度主梁采用 C50,桥墩和盖梁采用 C40,桩基采用 C30。桥梁位于高烈度地区,桥址场地类型为 II 类。

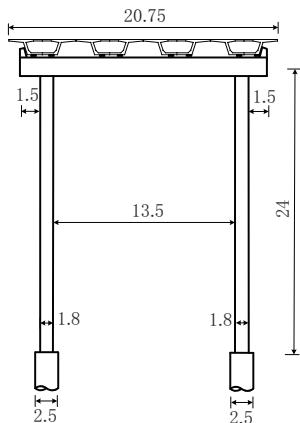


图1 桥梁断面图(单位:m)

1.2 有限元模型建立

采用有限元分析软件建立非线性动力分析模型。本桥为简支梁桥,因此采用简化的二维分析模型。主梁采用单质点模拟,质点位置在主梁形心处,并将相邻两跨主梁质量的一半分别加载在该质点

上。墩柱用弹塑性纤维单元模拟,盖梁用弹性梁单元模拟^[14]。由于采用嵌岩桩,本文不考虑桩-土共同作用的影响,墩底按固定处理。结构阻尼比取 5%,采用 Rayleigh 阻尼模式。

二维有限元分析模型见图 2。

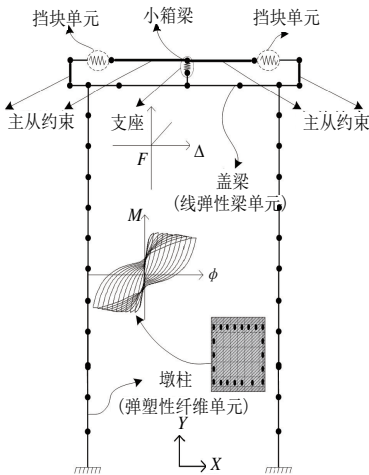


图2 二维有限元分析模型

钢筋混凝土挡块采用已有文献^[15-16]提出的简化非线性滞回模型进行模拟,其简化本构关系见图 3。图中 A 点代表挡块弹性阶段终点,此时混凝土发生初裂;B 点为强度峰值,此时挡块达到最大承载力;随着变形增大,剪切钢筋逐渐破坏,力-位移曲线急剧下降,C、D 点对应钢筋断裂过程中的残余强度点;E 点代表挡块极限位移点,此时所有钢筋断裂,挡块丧失承载力。相关取值均按文献[15]试验数据考虑。

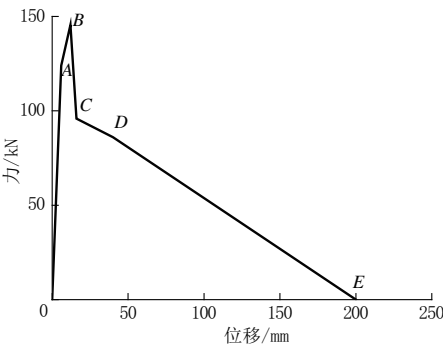


图3 挡块简化本构模型

本文对弹性挡块和理想弹塑性挡块这 2 类挡块模型也作了对比分析,如图 4 所示。其中弹性挡块的弹性刚度取图 3 中 B 点对应的割线刚度;理想弹塑性挡块的弹性刚度和屈服强度同样取图 3 中 B 点对应的割线刚度和强度。

挡块与主梁之间的初始间隙采用有限元软件中的间隙单元模拟。当主梁相对于挡块的横向位移小于初始间隙时,单元传递的力为零;当位移超过初始

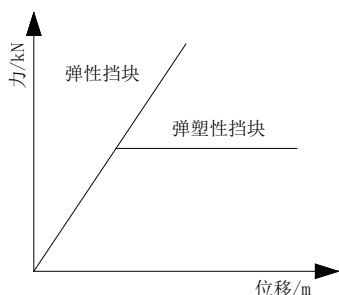


图4 弹性挡块和理想弹塑性挡块分析模型

间隙后,单元刚度按挡块模型的弹性刚度或非线性本构激活。

板式橡胶支座按其特性采用弹簧单元进行模拟。为简化分析模型,将盖梁上的所有支座等效为1个支座,其刚度为各个支座刚度的并联。单个板式橡胶支座的刚度(kN/m)用式(1)至式(3)计算。

水平刚度 k_{bh} 为:

$$k_{bh} = G_d A_r / \sum t \quad (1)$$

竖向刚度 k_{bv} 为:

$$k_{bv} = \frac{E_b^c A_r}{\sum t} = \frac{5.4 G_d S_b^2 A_r}{\sum t} = \frac{5.4 G_d D_b^2 A_r}{16 t_1^2 \sum t} \quad (2)$$

沿弯曲方向的转动刚度 k_{br} 为:

$$k_{br} = \frac{M_b}{\theta_r^{\max}} = \frac{E_b^c I_b}{2 \sum t} \quad (3)$$

式中: G_d 为板式橡胶支座的动剪切模量,现行《公路桥梁抗震设计规范》(JTG/T 2231-01—2020)建议取值1 200 kN/m²; A_r 为圆板橡胶支座的剪切面积,m²; $\sum t$ 为橡胶层的总厚度,m; E_b^c 为圆板橡胶支座的竖向抗压弹性模量,kN/m²; S_b 为形状系数; D_b 为圆板橡胶支座的直径,m; t_1 表示板式橡胶支座中间单层橡胶片的厚度,m; M_b 为板式橡胶支座的抗弯承载力,kN·m; $\theta_r^{\max}$ 为板式橡胶支座的最大容许转角,rad; I_b 为板式橡胶支座的抗弯惯性矩,m⁴。

由式(1)至式(3)可得:等效支座的水平刚度、竖向刚度、沿弯曲方向的转动刚度分别为7 636、3 600 315、77 262 kN/m。

1.3 地震动输入

根据桥位处地震安评报告数据,地震动加速度峰值取0.4g,场地类型为II类。为便于研究,本文选取7条实际地震波作为地震动激励,分析结果采用7条地震波地震响应的平均值。非线性时程分析时,将7条地震波的峰值加速度均调整为桥位场地地震动加速度0.4g。本次非线性时程分析只考虑横桥向地震输入,不考虑纵桥向和竖向地震的影响。

7条地震波的加速度反应谱曲线见图5。

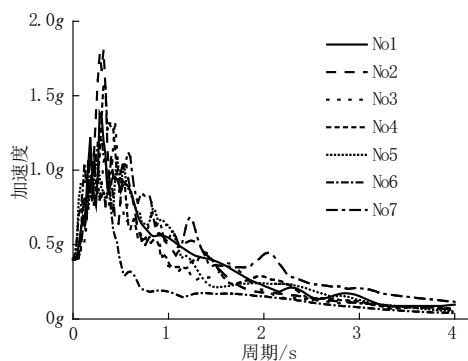


图5 7条地震波加速度反应谱曲线

1.4 分析工况

为了研究不同挡块强度、不同挡块与主梁的初始间隙对桥梁横向地震响应的影响,根据挡块设置的参数变化分别建立有限元模型,每一个工况都按弹性挡块模型、理想弹塑性挡块模型、钢筋混凝土挡块非线性模型这3类挡块模型进行分析。以实际工程桥梁结构设计参数建立基本计算模型,基本模型参数中挡块强度取148 kN,初始挡块间隙取0.03 m。

对挡块强度的影响进行参数分析时,挡块强度分别取为基本模型参数的0.5、1、2、4、8倍。

对挡块初始间隙的影响进行参数分析时,初始间隙分别取为0.03、0.06、0.09、0.12、0.15 m。

2 挡块强度影响

根据地震输入情况,本次分析结果均采用7条地震波计算结果的平均值。以主梁模型节点和盖梁顶节点作为位移分析对象,分别得到这些节点在不同挡块强度下的位移,见图6、图7。

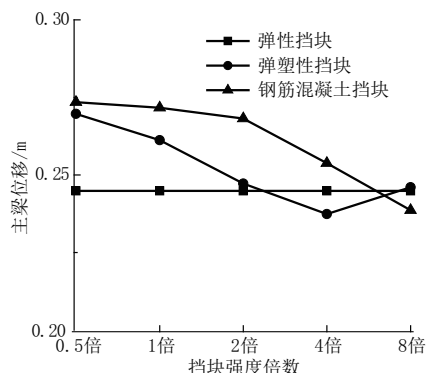


图6 挡块强度对主梁位移的影响

由图6可知:对于钢筋混凝土挡块非线性模型而言,随着挡块强度的不断增大,主梁位移呈下降趋势,当挡块强度提高到2倍基准强度之后,主梁位移降幅明显增大;对于理想弹塑性挡块模型而言,在一定范围内,挡块强度的增大可以有效减少主梁的横向位移,但当挡块强度提高到4倍基准强度以上时,

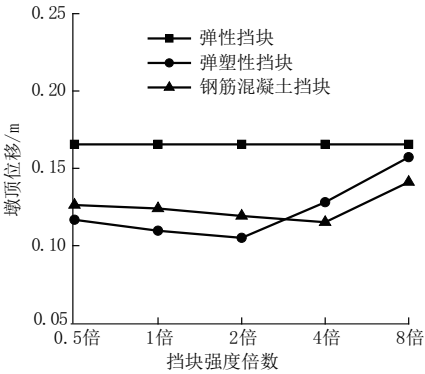


图 7 挡块强度对墩顶位移的影响

由于其强度过高而不会发生弹性破坏,反而会退化成弹性挡块模型,从而增大主梁的横向位移;对于弹性挡块模型而言,其挡块强度足够大,导致主梁的位移始终没有变化,完全限制住了主梁的位移。当挡块强度达到 8 倍基准强度时,3 种挡块模型下主梁的位移非常接近。总体而言,较大的挡块强度确实能够更好地限制住主梁的横向位移。

由图 7 可知:对于弹性挡块模型而言,与主梁位移相同,其盖梁顶位移保持不变;随着挡块强度的增加,理想弹塑性挡块模型和钢筋混凝土挡块非线性模型均使得盖梁顶位移出现先缓慢减小后突增的趋势,且两者的位移相比于弹性挡块模型均有所减小。主要原因是理想弹塑性挡块模型和钢筋混凝土挡块非线性模型的本构关系中均存在刚度变化点,即关系模型中的折线段。在地震作用下,挡块部分发生较大的位移,传递给墩柱部分的地震力相应有所减少,从而使得墩顶位移也相应减小。当挡块强度继续增大时,理想弹塑性挡块模型和钢筋混凝土挡块非线性模型由于没有发生屈服破坏,两者都发挥了类似弹性挡块的作用,使其墩顶位移非常接近。

图 8 为挡块强度对桥墩立柱弯矩分布的影响,此处仅对 0.5、2、4 倍基准强度的挡块强度进行说明。

由图 8 可知:弹性挡块模型由于其刚度保持不变,强度大而不破坏,因此不同挡块强度下墩柱的弯矩响应均相同;当挡块强度较小时,3 种挡块使得墩身产生的弯矩出现差异,其中弹性挡块模型产生的墩身弯矩最大,钢筋混凝土挡块非线性模型产生的墩身弯矩次之,理想弹塑性挡块模型产生的墩身弯矩最小。主要原因是理想弹塑性挡块模型整体耗能能力最强,弹性挡块模型没有耗能能力,而钢筋混凝土挡块非线性模型介于这两者之间。当挡块强度逐渐增大时,无论是理想弹塑性挡块模型还是钢筋混凝土挡块非线性模型,其本构中的屈服和退化现象

都不能很好地发挥出来,致使 3 种挡块模型对应的墩身弯矩分布规律很接近。另外,从墩身的弯矩响应分布规律可以看出,无论是理想弹塑性挡块模型还是钢筋混凝土挡块非线性模型,当设置的挡块强度太大时,对墩身的弯矩响应都很不利。

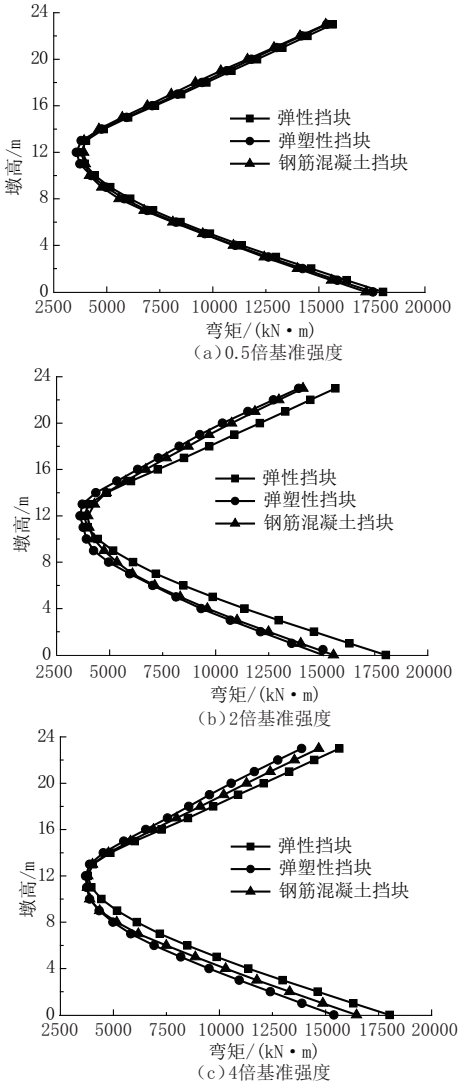


图 8 挡块强度对框架墩柱弯矩分布的影响

总体来看,对于钢筋混凝土挡块非线性模型而言,当挡块强度从 0.5 倍基准强度逐渐增大至 2 倍基准强度时,主梁位移显著下降(降幅约 25%),而墩柱弯矩仅有小幅增加。当挡块强度继续增大至 4 倍基准强度及以上时,主梁位移的下降幅度和墩柱弯矩都快速增长。这表明存在一个合理的挡块强度区间,在该区间内,挡块既能有效限制主梁位移,又不会对墩柱造成过大的附加弯矩,即主梁位移和墩柱弯矩均处于相对合理的水平。

3 挡块设置间隙的影响

同样根据地震输入情况,分析结果均采用 7 条地

震波计算结果的平均值。以主梁模型节点和盖梁顶节点作为位移分析对象,分别得到这些节点在不同初始间隙下的位移,见图9、图10。

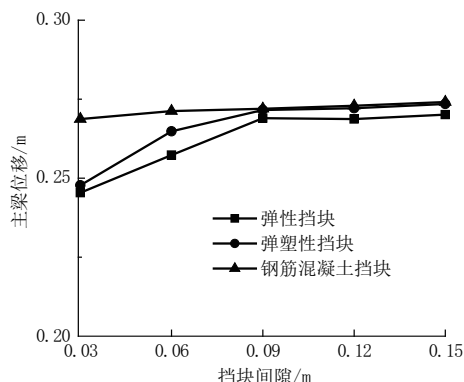


图9 挡块间隙对主梁位移的影响

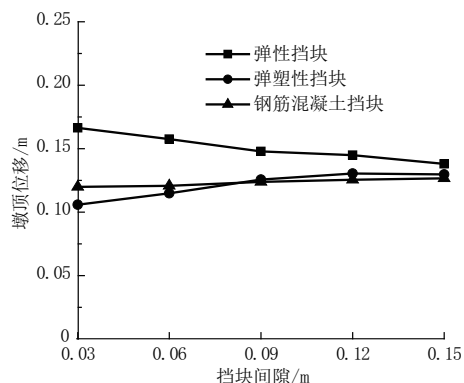


图10 挡块间隙对墩顶位移的影响

由图9可知:对于钢筋混凝土挡块非线性模型而言,随着挡块与主梁设置间隙的增大,主梁位移缓慢增大;对于理想弹塑性挡块模型而言,在一定范围内,挡块初始间隙的增大可以显著增大主梁的横向位移,但当初始间隙继续增大到0.09 m之后,主梁位移不会继续增大;对于弹性挡块模型而言,在一定初始间隙范围内,主梁位移呈线性变化。总体而言,挡块初始间隙的增大会显著增大主梁的位移,但对于特定大小的地震动而言,较大的挡块初始间隙不利于挡块限位作用的发挥,太大的初始间隙下,3种挡块的限位作用都不能很好地体现出来。

由图10可知:随着挡块与主梁设置间隙的增大,弹性挡块模型的墩顶位移逐渐减小,原因是弹性挡块模型本构关系中全部为直线段;理想弹塑性挡块模型和钢筋混凝土挡块非线性模型均使得墩顶位移缓慢增加并逐渐趋于稳定,且两者的位移相比于弹性挡块模型都要小。在地震作用下,因挡块破坏而发生更大的位移,传递给墩柱部分的地震力相应有所减少,从而使得墩顶位移减小。此外,刚度变化折线段的存在也会导致墩顶位移增加。

图11为挡块间隙对框架墩柱弯矩分布的影响,此处仅对0.03、0.09、0.15 m挡块间隙进行说明。

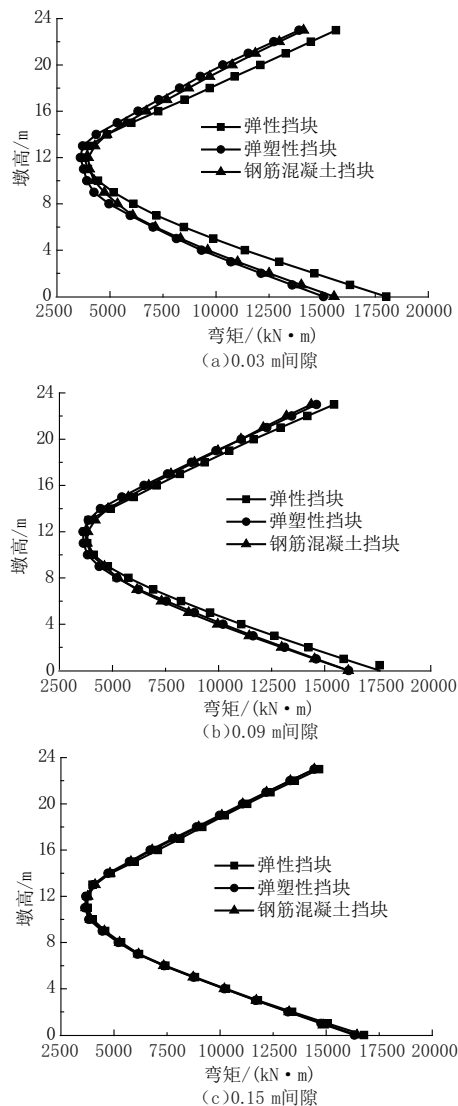


图11 挡块间隙对框架墩柱弯矩分布的影响

由图11可知:弹性挡块模型由于其刚度保持不变而强度无穷大,因此不同挡块间隙下墩柱的弯矩响应均相同;当挡块初始间隙较小时,3种挡块使得墩身产生的弯矩差异较大,其中弹性挡块模型产生的墩身弯矩最大,钢筋混凝土挡块非线性模型产生的墩身弯矩次之,理想弹塑性挡块模型产生的墩身弯矩最小。原因也是理想弹塑性挡块模型的耗能能力最强,弹性挡块模型没有耗能能力,而钢筋混凝土挡块非线性模型介于这两者之间。当挡块初始间隙逐渐增大时,无论是理想弹塑性挡块模型还是钢筋混凝土挡块非线性模型,其本构中的屈服和退化现象都不能很好地发挥出来,致使3种挡块对应的墩身弯矩分布规律很接近。此外,从墩身的弯矩响应分布规律可以看出,无论是理想弹塑性挡块模型还是钢筋混凝土挡块非线性模型,当设置的初始间隙

较小时,对墩身弯矩的响应均较大,而初始间隙较大时则相反。总体来看,当挡块初始间隙增大时,主梁和墩底位移小幅增加,而墩柱弯矩略微下降。这说明钢筋混凝土挡块非线性模型仍有合理的间隙取值,在该间隙下主梁位移虽略有增加但仍处于可控范围,同时墩柱弯矩得到有效控制,实现了限位与保护墩柱的平衡。

另外需要指出的是,本文所对比的3种挡块模型具有不同的适用场景。弹性挡块模型假定强度无限大且不破坏,限位能力最强但会显著增大墩柱内力,适用于保守估算或挡块实际强度远高于地震需求的情形;理想弹塑性挡块模型假定屈服后刚度为零且无强度退化,适用于高延性材料挡块(如低屈服点钢)的分析;本文采用的钢筋混凝土挡块非线性模型包含开裂、屈服、峰值、退化及失效阶段,最为贴合工程抗震的实际情况,在抗震设计中可优先采用。

4 结 语

(1)随着挡块强度的提高,3种类型挡块的限位能力越来越强,但同时对于下部结构横向地震响应的增大效应也越发明显。

(2)挡块与主梁间的初始间隙对结构地震响应有着较大影响。初始间隙的增大会增大主梁横向位移,使得挡块的限位作用下降,但同时也会降低挡块对下部结构的不利影响。当初始间隙增大到一定数值时,3种类型挡块将对桥梁结构地震响应产生几乎相同的影响。

(3)理想弹塑性挡块模型和钢筋混凝土挡块非线性模型有着非常接近的限位作用,而且随着挡块强度的增大,钢筋混凝土挡块的限位作用会逐渐达

到甚至超过弹性挡块和理想弹塑性挡块。在合理的强度下,钢筋混凝土挡块是板式橡胶支座桥梁较为理想的横向限位装置。

参考文献:

- [1] 全伟,王东升.高烈度震区高速铁路简支梁抗震体系研究[J].沈阳建筑大学学报(自然科学版),2017,33(5):838-846.
- [2] JTG/T 2231-01—2020 公路桥梁抗震设计规范[S].
- [3] 闫磊,安康,岳克锋,等.可替换式桥梁横向防落梁限位装置抗震性能研究[J].世界地震工程,2020,36(3):172-180.
- [4] 高浩原,王胜斌,项敬辉,等.地震作用下梁桥纵向阻挡型装置防落梁效果研究[J].振动工程学报,2025,38(2):321-330.
- [5] 李建中,汤虎.中小跨径板式橡胶支座梁桥横向抗震设计研究[J].土木工程学报,2016,49(11):69-78.
- [6] 徐略勤,李建中.新型滑移挡块的设计、试验及防震效果研究[J].工程力学,2016,33(2):111-118;199.
- [7] 徐略勤,王龙,李建中,等.在役桥梁挡块基于保险丝理念的改造方法[J].西南交通大学学报,2020,55(1):118-125;143.
- [8] 陈乐生,庄卫林,赵河清,等.汶川地震公路震害调查[M].北京:人民交通出版社,2012.
- [9] 宋飞,李建中,管仲国.汶川地震百花大桥震害分析[J].振动与冲击,2015,34(9):121-128.
- [10] SAINI A, SAIIDI MS. Post-earthquake damage repair of various reinforced concrete bridge components[R]. Reno: University of Nevada, 2013.
- [11] MALEKI S. Effect of side retainers on seismic response of bridges with elastomeric bearings[J]. Journal of Bridge Engineering, 2004, 9(1): 95-100.
- [12] 聂利英,范立础.地震作用下城市立交抗震防撞措施分析[J].中国公路学报,2006,19(3):49-53.
- [13] 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,2010,29(6):25-30.
- [14] 刘津成,徐略勤,李建中,等.挡块强度对不规则连续梁桥横向地震响应的影响[J].工程抗震与加固改造,2015(6):86-92.
- [15] 刘营.新型钢筋混凝土挡块抗震性能试验与数值分析研究[D].重庆:重庆交通大学,2017.
- [16] 张辉.非规则梁桥有挡块作用的横向地震力分配[J].城市道桥与防洪,2025(11):108-113.

(上接第169页)

- | | |
|---|--|
| <p>[11] 葛继平,梅德磊,闫兴非,等.预制拼装盖梁施工方式对比分析[J].应用技术学报,2018,18(1):56-62.</p> <p>[12] 郭忆,郑本辉.关于一种新型城市高架桥梁轻量化装配式下部结构的试设计研究[J].中国市政工程,2025,(6):12-15;132-133.</p> <p>[13] 严佳杰.邻近地铁的施工环境下预制分片盖梁吊装技术研究[J].产业创新研究,2025(20):124-126.</p> | <p>[14] 曾华侨.全预制大悬臂高强钢-UHPC组合盖梁抗弯性能试验研究[D].长沙:湖南大学,2023.</p> <p>[15] 李立峰,唐金良,胡方健,等.全预制轻型预应力 UHPC 薄壁盖梁抗剪性能试验[J].中国公路学报,2020,33(8):144-158.</p> <p>[16] 李立峰,叶萌,胡方健,等.预制大悬臂预应力 UHPC 薄壁盖梁抗弯性能的试验研究[J].土木工程学报,2020,53(2):92-104.</p> |
|---|--|