

地震序列作用下板式橡胶支座简支梁桥响应特点研究

潘哲

(杭州市地铁集团有限责任公司, 浙江 杭州 310000)

摘要: 根据汶川地震中板式橡胶支座简支梁桥地震响应出现的新特点,结合桥梁抗震规范中的最新规定,对地震序列作用下板式橡胶支座简支梁桥的响应进行了分析研究。结果发现,在考虑强地震序列后,板式橡胶支座在历次地震作用下的残余位移将得到累计,从而降低了桥梁后续的抗震及运营能力。

关键词: 简支梁桥;板式橡胶支座;地震序列

中图分类号: U443.36

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2021)08-0271-04

0 引言

板式橡胶支座于1936年第一次实际运用于桥梁工程中,并在第二次世界大战后被广泛运用于桥梁工程中。目前,因板式橡胶支座构造简单、制造容易、成本低廉、安装方便等优点,已替代了原有的刚性支座,被广泛运用于我国公路、市政梁式桥体系中。由于板式橡胶支座的大量运用,汶川地震中,震区简支梁桥出现了新的震害特点。

陈乐生^[1]对汶川地震中实际烈度在7~11度范围内的958座简支梁桥进行了震害统计,归纳出其震害特征为:支座震害多、桥墩震害少;主梁移位多、落梁少。统计表明,在实际烈度7度及以上的区域,支座的破坏率为16.6%,而桥墩破坏率仅为0.76%;主梁移位率达19.5%,但处于运营状态的桥梁仅有7跨发生落梁,占桥跨总数(总跨数3298跨)的0.2%。震区简支梁桥的桥墩及其基础的震害比例大为减小,震害特点与国内外其他地震中简支梁桥的表现明显不同。

肖旭红^[2]通过计算分析与振动台试验,定量解释了地震中梁体与板式橡胶支座之间的相对滑动释放了主梁的地震作用是汶川地震中简支梁桥桥墩震害少的主要原因。

范立础等^[3]提出对于使用板式橡胶支座的桥梁,地震作用中梁底与支座之间发生的相对滑动,实际上起到了隔震作用,能够有效减少下部结构的地震作用,同时提出对于这种体系桥梁的抗震设计

关键是:(1)采用合理的梁体限位装置;(2)设置合理的梁墩搭接长度,将梁体控制在不发生落梁的范围内,以达到减少墩柱地震作用的目的。

最新出版的《公路桥梁抗震设计规范》(JTG/T 2231-01—2020)明确,对于采用板式橡胶支座的桥梁,在E2地震作用下,当支座抗滑性能不能满足规范要求时,应更换支座类型或按抗震体系类型Ⅱ(减隔震支座)进行抗震设计。

采用板式橡胶支座的简支梁桥多为中小跨径,其数量多、分布广,在E2地震作用下,板式橡胶支座的抗滑移性能或难以满足规范要求,因此研究板式橡胶支座桥梁在抗震体系类型Ⅱ设计原则下的地震响应特点具有实际意义。本文以地震序列作用下板式橡胶支座简支梁桥支座位移的响应特点为切入点,展开相关研究。

1 地震序列简介

根据地震学的定义,在一定时间区间内,在同一震源区域内发生的具有一定相关性的1组大小不同的地震总称为地震序列。在地震序列中,震级最大的地震称为主震,发生在主震前的地震称为前震,发生在主震后的地震称为余震。

1.1 地震序列中强余震发生的普遍性

根据文献[4]中关于地震的统计,在发生强地震后可能伴随发生等级较高的余震。文献[5]从结构抗震分析的角度给出了强余震的概念定义:强余震是在同个地震序列中,在主震发生后的20d内,发生在同一震源机制下、震级不小于5级的余震。

吕晓健等^[6]对1966年邢台地震以来我国发生的21次主震震级大于7级的地震序列进行了统计研究。统计发现,除了1969年的渤海地震以外,其余的

收稿日期:2021-01-13

作者简介:潘哲(1989—),男,硕士,工程师,从事城市轨道交通设计管理工作。

地震序列中都伴随着强余震。其中,12次地震序列中发生了震级大于6级的强余震,占统计总数的57%,强余震发生次数最多的达到31次。其中包含了多震型地震序列,包括邢台地震序列(发生4次震级大于6级的强余震);龙陵地震序列(发生6次震级大于6级的强余震)。可见,在强震过后,强余震的发生是比较普遍的。

1.2 考虑强地震序列作用对板式橡胶支座简支梁桥抗震设计的影响

目前的抗震设计中,对于板式橡胶支座简支梁桥地震响应分析,往往选取单次的地震作用展开设计计算。而在实际工程中,在较强的地震序列作用下,桥梁结构将依次受到主震与各余震的地震作用,桥梁结构在主震作用与余震作用下的动力响应有着一定的差异,其主要差异在于,在主震发生前桥梁结构并无损伤,桥梁结构性能良好,而在余震作用下的桥梁结构往往在之前的主(余)震中发生了损伤,使结构性能有所下降。对于板式橡胶支座简支梁桥,在单次地震作用后,梁体与桥墩间将产生残余位移,由于板式橡胶支座没有自恢复能力,这种残余位移将在后续的余震作用中得到累计。可以预想,这种残余位移的累计效应将大大降低桥梁的抗震安全性,增加桥梁发生破坏的可能性。

本文将选取算例,对地震序列作用下板式橡胶支座简支梁桥的响应特点展开研究。

2 算例

2.1 工程概况

桥例为3跨(3×20 m)预应力混凝土简支梁桥,其主梁由6片跨径20 m后张法预应力混凝土预制空心板组成,并简支于下部结构。下部结构桥墩采用双柱柱式墩接钻孔灌注桩基础;桥台采用一字墙桥台扩大基础。支座与伸缩缝的设置见图1所示的桥型布置图。桥墩处支座采用矩形板式橡胶支座(12×GJZ 250×300×47 mm),桥台处支座采用聚四氟乙烯滑板支座(12×GJZF4 250×300×49 mm)。

2.2 相关参数选取

2.2.1 支座摩擦系数的选取

本文板式橡胶支座摩擦系数取为0.3,聚四氟乙烯支座摩擦系数取为0.05,不考虑摩擦系数的速度相关性。

2.2.2 地震序列的选取

本文选择同一地震测站所收集到的集集地震主

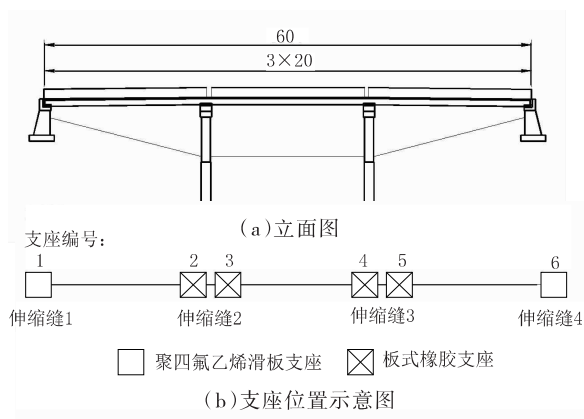


图1 桥型布置图(单位:m)

震与余震记录,并进行整理筛选,挑选出具有代表性的主震与余震记录,其参数信息见表1和图2~图7。

表1 集集地震主震及具有代表性的余震地震信息

相关参数	主震	余震1	余震2
持续时间/s	102	65	60
震级	7.6	6.2	6.3
加速度峰值	0.444g	0.471g	0.254g

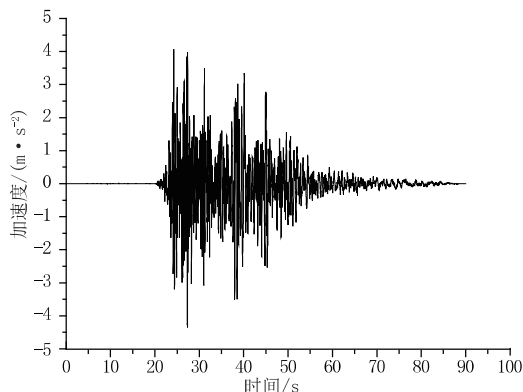


图2 主震纵向分量加速度时程

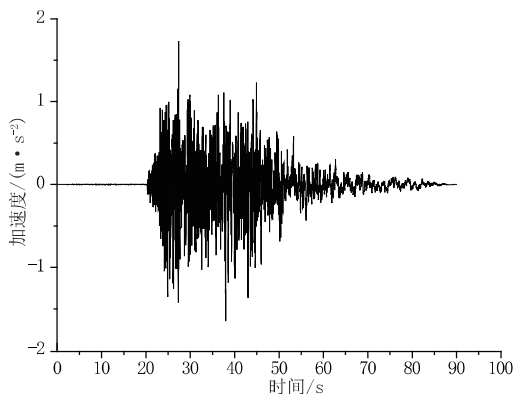


图3 主震竖向分量加速度时程

2.3 计算结果

2.3.1 强地震序列作用下简支梁桥各支座位移时程分析

图8~图13列出了6个支座在地震序列作用下

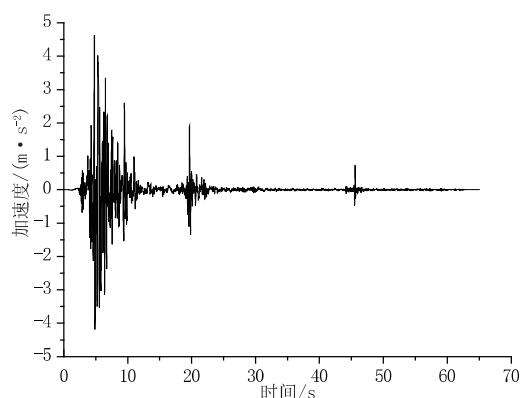


图4 余震1纵向分量加速度时程

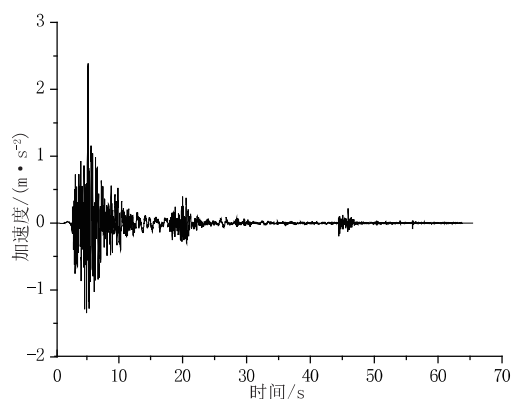


图5 余震1竖向分量加速度时程

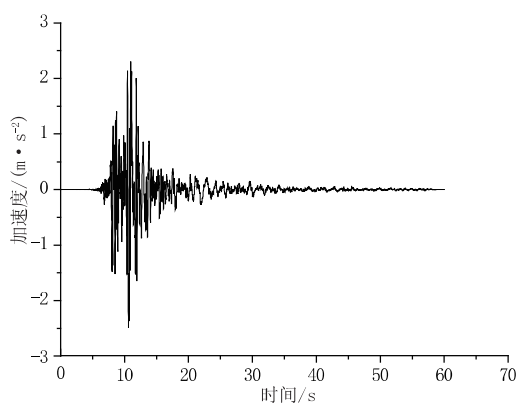


图6 余震2纵向分量加速度时程

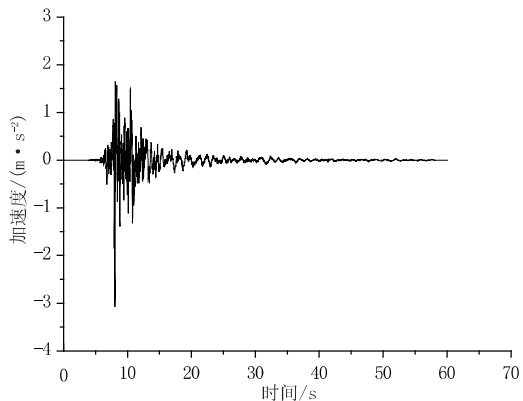


图7 余震2竖向分量加速度时程

的位移时程。为方便数据分析,将主震、余震1、余震2的结构响应时程绘制于同一张图中,其中0~100 s

为主震发生时段;100~170 s为余震1发生时段;170~240 s为余震2发生时段(下同)。

由图8~图13可知:(1)历次主震、余震过后,各个支座均产生了残余位移,随着地震序列的发生,这种支座位移的残余效应将得到累计,对于整座桥梁而言,这种支座位移的累计效应无疑是危险的,这将加大桥梁破坏的可能性,降低桥梁后续的抗震及运营能力;(2)由于主(余)震后支座残余位移的贡献,余震作用中的支座最大位移要大于主震作用下的支座最大位移,此时余震作用中梁体发生落梁震害的可能性将大于主震情况;(3)主震过后,在余震1、2的作用下,支座位移基本都停留在负值上,这说明在余震的影响下,简支梁所有梁体都向1号伸缩缝靠近,这将减小1、2号伸缩缝的实际工作宽度并增大4号伸缩缝的实际工作宽度,那么梁体于1、2号伸缩缝位置发生碰撞的可能性将有所增大,而梁体于4号伸缩缝处发生碰撞的可能性将减小,并增加了梁体于右侧桥台(6号支座处)发生落梁的风险。

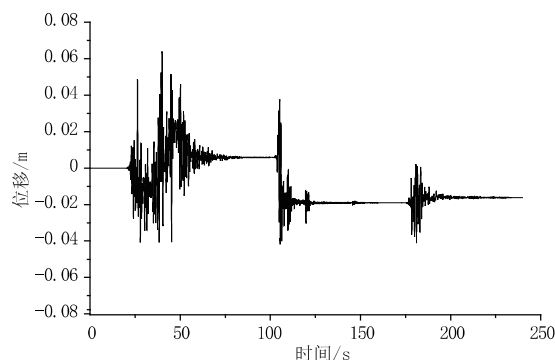


图8 强地震序列下1号支座位移

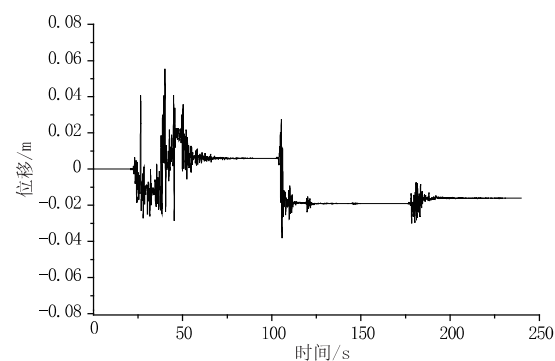


图9 强地震序列下2号支座位移

2.3.2 强地震序列作用下板式橡胶支座简支梁桥伸缩缝碰撞力分析

桥梁结构在伸缩缝处发生分段,伸缩缝左右桥梁构件并非一体,在地震作用中伸缩缝左右构件可能发生碰撞,这种碰撞的发生将导致构件的损伤甚至破坏,对桥梁结构的安全性及震后的正常通行造

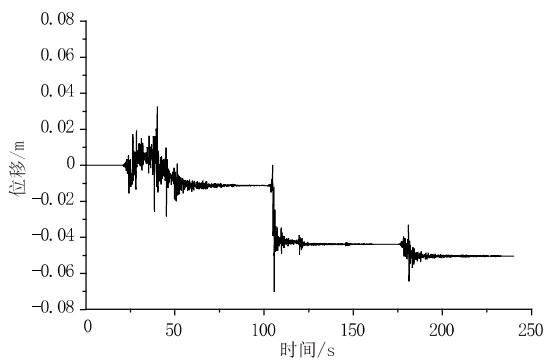


图 10 强地震序列下 3 号支座位移

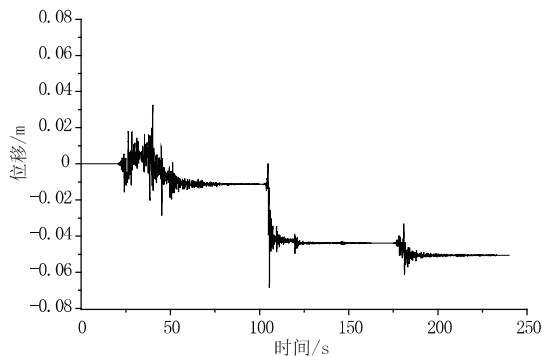


图 11 强地震序列下 4 号支座位移

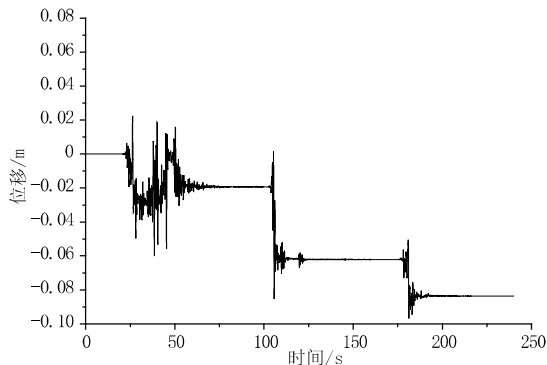


图 12 强地震序列下 5 号支座位移

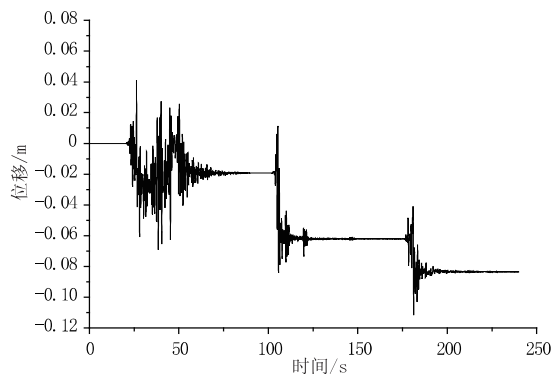


图 13 强地震序列下 6 号支座位移

成不可忽视的影响。强地震序列作用下的桥梁伸缩缝碰撞计算结果见图 14~图 17。

由图 14~图 17 可知:(1)在余震作用下,1、2 号伸缩缝处发生的碰撞响应,不管是从碰撞的次数还是碰撞力的大小上,都要强于 3、4 号伸缩缝处的碰

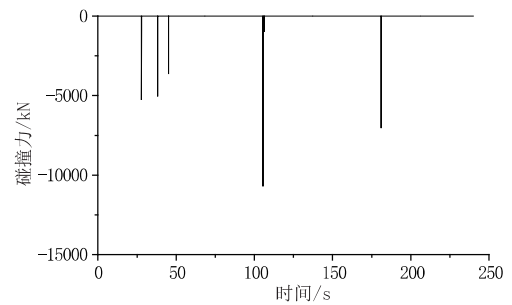


图 14 强地震序列下 1 号伸缩缝碰撞力

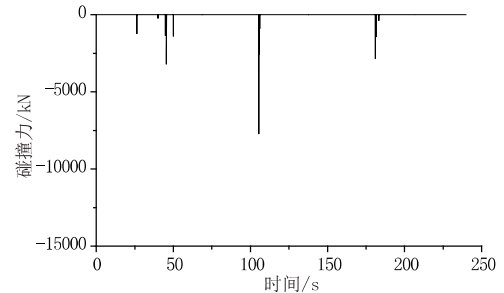


图 15 强地震序列下 2 号伸缩缝碰撞力

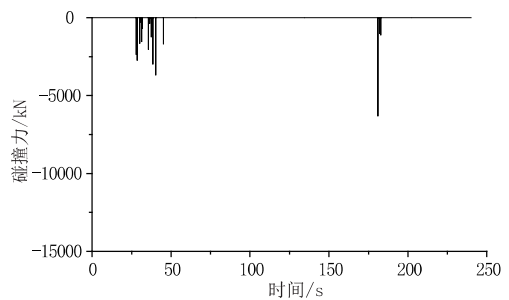


图 16 强地震序列下 3 号伸缩缝碰撞力

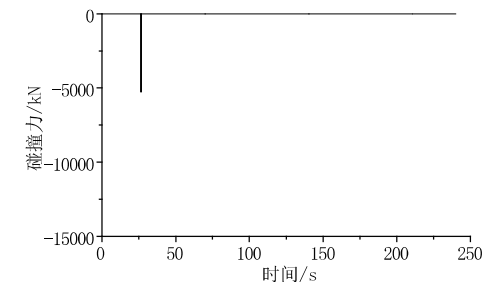


图 17 强地震序列下 4 号伸缩缝碰撞力

撞响应(其中 4 号伸缩缝处并未发生碰撞响应);(2)余震作用中,1、2、3 号伸缩缝处均发生了碰撞,并且碰撞力的大小都超过了其在主震作用中的最大碰撞力,这将造成伸缩缝构件的破坏并大大加大梁体、桥台发生局部损伤的可能性。

3 结 语

(1)在历次主震、余震过后,各个支座均产生了残余位移,随着地震序列的发生,这种支座位移的残余效应将得到累计。

(2)支座位移的累计效应将增加桥梁梁体与梁体、梁体与桥台间碰撞的可能性,桥台及梁体发生局部

(下转第 290 页)

(1)美国 ASTM D2487《统一土质分类体系》(USCS)是一种应用于工程的土质分类简明方法。但与我国标准相比,在粗粒土界限粒径划分、细粒土塑性图、土工试验方法等方面有一定的区别。

(2)AASHTO 土的分类常用于公路建设中土壤集料等方面,在勘察工作中应用较少。AASHTO 和 USCS 土的分类方法两者之间没有直接的对应关系。

(3)采用静力触探进行土层划分和分类本质上还是一个间接的方法,在区域地质资料和工程经验丰富的地区可以直接利用,对于资料和经验缺乏的地区还需要结合钻孔资料进行验证。

参考文献:

- [1] 冯蓓蕾,周伟兵.基于土壤分类的 ASTM(美标)与国标之异同研究[J].水运工程,2013(10):224-228.
- [2] 胡建平,吴朝东.中美土质分类标准模型转换程序设计[J].港工技术,2016,53(4):74-78.
- [3] 冷艺.国内外规范在港口岩土工程勘察中的异同分析[J].水运工程,2011(9):27-30.
- [4] 贾宁,王红播,金永军,等.国内外土工直接剪切试验方法对比[J].勘察科学技术,2014(增刊):12-14,56.
- [5] 丁其兵,许永斌,沈忠炎,等.英美土工试验标准与国标的主要区

别[J].广东土木与建筑,2010(10):19-21.

- [6] GB/T 50145—2007,土的工程分类标准[S].
- [7] ASTM D2487-11,Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (unified soil classification)[S].
- [8] ASTM D3282-15,Standard Practice for Classification of Soils and Soil-Aggregate Mixtures for Highway Construction Purposes[S].
- [9] Handy R L.Geotechnical engineering:soil and foundation principles and practice[M].McGraw-Hill Education,2007.
- [10] Sabatini P J,Bachus R C,Mayne P W,etc.Evaluation of soil and rock properties: Geotechnical Engineering Circular No. 5[R].FH-WA-IF-02 - 034,National Highway Institute (US),2002.
- [11] Loehr J E,Lutenegger A,Rosenblad B L,etc.Geotechnical Site Characterization Geotechnical Engineering Circular No. 5[R].FH-WA NHI-16-072,National Highway Institute (US),2016.
- [12] Robertson P K.Soil behaviour type from the CPT: an update[C]// 2nd International Symposium on Cone Penetration Testing,2010.
- [13] Hathaway A W.Manual on subsurface investigations: Washington [M].DC,American Association of State Highway and Transportation Officials,1988.
- [14] ASTM D5778-12,Standard Test Method for Electronic Friction Cone and Piezocone Penetration Testing of Soils[S].
- [15] ASTM D1586-11,Standard test method for standard penetration test (SPT) and split-barrel sampling of soils[S].

(上接第 274 页)

损伤的可能性有所增大。

(3)对于整座桥梁而言,这种支座位移的累计效应无疑是危险的,这将加大桥梁发生落梁的可能性,并降低桥梁后续的抗震及运营能力。板式橡胶支座筒支梁桥抗震设计中,应充分考虑地震序列的影响。

参考文献:

- [1] 陈乐生.汶川地震公路震害调查—桥梁[M].北京:人民交通出版社,2012:14-35.

- [2] 肖旭红.汶川地震筒支梁桥桥墩及主梁震害机理分析[J].重庆交通大学学报(自然科学版),2014(2):15-20.
- [3] 范立础,李建中.汶川桥梁震害分析与抗震设计对策[J].公路,2009(5):122-128.
- [4] 张煜敏.公路桥梁位移型抗震分灾系统研究[D].西安:长安大学,2011.
- [5] 丁文胜.下承式刚架系杆拱桥的抗震设计方法及试验研究[D].南京:东南大学,2006.
- [6] 吕晓健,高孟潭,高战武.强余震和主震地面运动分布比较研究[J].地震学报,2007,29(3):295-301.