

欧阳艳, 毛红梅. 轨道桥梁施工过程中桩柱抗震性能研究[J]. 华南地震, 2018, 38(3): 68-73. [OUANG Yan, MAO Hongmei. Study on Seismic Performance of Pile Columns in Rail Bridge Construction Process[J]. South China journal of seismology, 2018, 38(3): 68-73]

轨道桥梁施工过程中桩柱抗震性能研究

欧阳艳, 毛红梅

(陕西铁路工程职业技术学院轨道工程系, 陕西 渭南 714000)

摘要: 为了研究轨道桥梁施工过程中桩柱抗震性能, 设计了一种和原件比例是 1:4 的桩柱, 试件通过输出力高的机械式千斤顶为桩柱施加轴向力。利用 ABAQUS 建立桩柱有限元模型, 通过试件破坏形态、滞回性分析和骨架曲线分析结果发现, 采用有限元模型对轨道桥梁施工过程中桩柱抗震性能进行研究可行。对墩柱和桩体抗震性能研究, 得出以下结论: 墩柱选用 0.802% 纵筋配筋率时, 符合抗震性能目标。在地震作用下, 桩体应变与弯矩分布整体呈下小上大的趋势, 接触压力整体呈两端大、中间小, 同时上端明显高于下端的趋势, 需重点保护桩体上端。

关键词: 轨道桥梁; 施工; 桩柱; 抗震性; 性能

中图分类号: U442.55 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-8662(2018)03-0068-06

DOI: 10.13512/j.hndz.2018.03.010

Study on Seismic Performance of Pile Columns in Rail Bridge Construction Process

OUANG Yan, MAO Hongmei

(Department of orbital engineering, Shanxi Railway Institute, Weinan 714000, China)

Abstract: In order to study the seismic performance of pile columns in the course of track bridge construction, a pile column with the original proportion of 1:4 is designed, and the axial force is applied to the pile column by the mechanical jack with high output force. The finite element model of pile column is established by ABAQUS. The results of the failure form, hysteresis analysis and skeleton curve analysis show that the seismic performance of the pile column in the construction process of the track bridge can be studied by the finite element model. According to the research on the seismic performance of pier columns and piles, the following conclusions are drawn: when the 0.802% longitudinal reinforcement ratio is applied to the pier column, it meets the goal of seismic performance. Under the action of earthquake, the distribution of the strain and bending moment of the

收稿日期: 2018-04-17

基金项目: 陕西省职业技术教育学会 2015 年度教育科研规划立项重点课题; 盾构施工技术专业“土木+机械”复合型人才培养课程体系研究与实践(SZJZD2015009)

作者简介: 欧阳艳 (1982-), 女, 讲师, 主要从事桥梁与隧道工程的研究。

E-mail: 4955605@163.com.

pile is larger and larger, and the contact pressure is large and small in the middle, and the upper end is obviously higher than the lower end.

Keywords: Track bridge; Construction; Pile column; Seismic property; Performance

0 引言

现阶段，我国交通领域迅速发展，轨道桥梁建设占比很大^[1]。在地震影响下，轨道桥梁会在一定程度上被损坏，不但会导致生命财产受到威胁，而且会造成救援延误^[2-3]。桩柱为桥梁的主体部分，所以，需对轨道桥梁施工过程中桩柱抗震性能进行研究。

当前，有关桥梁抗震性能的分析主要集中于上部结构的分析，对桩柱抗震性能的研究较少^[4]。本文对轨道桥梁施工过程中桩柱抗震性能进行研究，利用有限元软件 ABAQS 构建模型，将构建模型进行研究对象，进行地震作用下桩柱抗震性能研究实验。

1 研究对象

1.1 研究模型

本节设计了一种和原件比例是 1:4 的桩柱，将其称作试件 D。桩柱选择圆形截面的方式，直径是 440 mm，高度是 3 500 mm，混凝土强度等级选择 C30。桩柱构造用图 1 进行描述。针对试件 D 的桩基承台，选用 C30 混凝土，承台中含充分钢筋，使得承台不会最先被损坏。下部选择四根钢管桩，将桩和承台结合在一起。桩基础选择 20# 钢管桩，通过打桩机将其打入土槽中。

1.2 加载方法

试件 D 通过输出力高的机械式千斤顶为桩柱施加轴向力。为了对地震进行模拟，实验加载时，令顶点位移从 130 mm 逐渐降至 10 mm，不断重复上述过程直到试件被完全损坏。实验现场用图 2 进行描述。

1.3 有限元模型建立

基础土体选用优化的 Drucker-Prager 屈服准则^[5]下弹塑性模型实现模拟。针对桩柱塑性流动的特性，利用应力应变数据，通过 ABAQUS^[6]对桩柱模型进行建立。建立的桩柱有限元模型用图 3 进行描述。

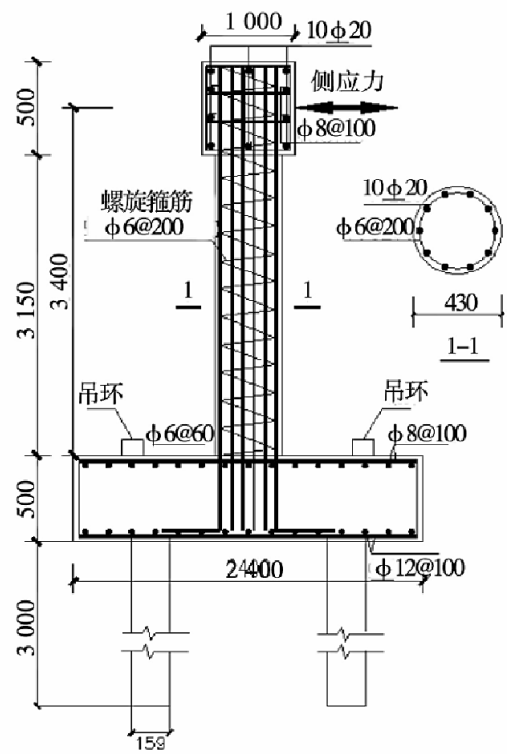


图 1 构件大小和配筋图
Fig.1 Component size and reinforcement diagram



图 2 实验现场图
Fig.2 Experimental scene map

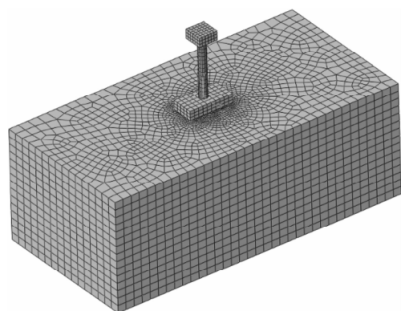


图3 桩柱有限元模型

Fig.3 Finite element model of pile column

1.4 测量方法

利用力和位移传感器完成对荷载、墩柱、桩身加载位置处的变形和塑性铰区应变、弯矩等进行实时测量^[7-8]。

2 实验结果分析

2.1 试件破坏形态

试件破坏的特征是试件因受地震等外力的影响,纵筋受拉力出现断裂造成承载力丧失,破坏存在显著的脆性特征,在试件出现破坏的情况下,桩身裂缝没有被全部发展,受压部分混凝土相对完整,没有显著的损坏现象出现,所有没有很好的发挥混凝土高承压力的优势。试件破坏情况用图4进行描述。

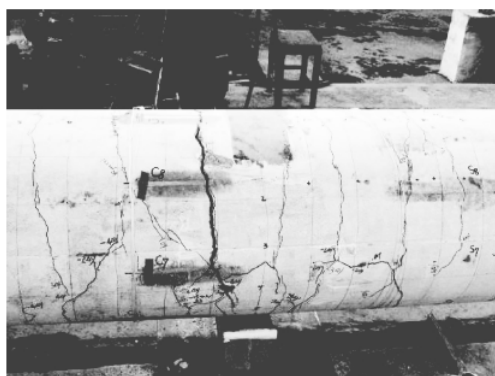
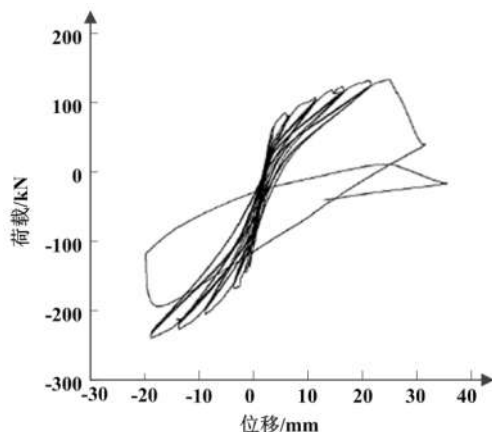


图4 试件破坏情况

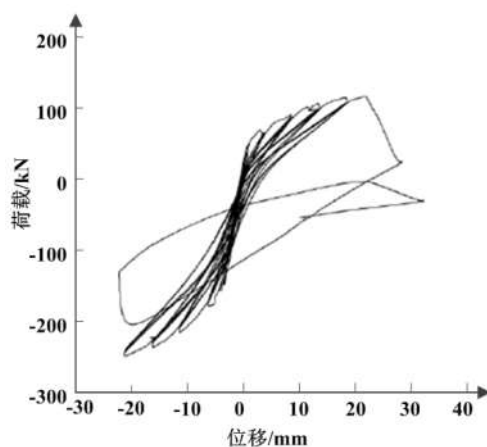
Fig.4 Broken condition of the specimen

2.2 滞回性分析

桩柱的荷载—位移滞回曲线能够体现桩柱试件在地震作用下的变形情况与耗能情况,为体现试件抗震性能的关键指标。将试件和有限元模型的荷载—位移滞回曲线相比,结果用图5进行描



(a) 试件荷载—位移滞回曲线



(b) 有限元模型荷载—位移滞回曲线

图5 试件和有限元模型荷载—位移滞回曲线

Fig.5 Load displacement hysteretic curve of specimen and finite element model

述。分析图5可知,试件和有限元模型的荷载—位移滞回曲线基本相同,试件在最初地震作用下,因为刚度大大降低,所以滞回曲线呈S形,滞回曲线整体面积小,说明试件耗能性能不佳。而有限元模型的滞回曲线和试件滞回曲线呈相同的变化趋势,说明采用有限元模型对轨道桥梁施工过程中桩柱抗震性能进行研究可行。

2.3 骨架曲线

骨架曲线即把不同循环的滞回环位移峰值点连接在一起,形成的相应曲线,也就是骨架曲线为试件滞回曲线的包络线。试件和有限元模型的骨架曲线用图6进行描述。

分析图6可知,试件在受地震作用下受力过程包括弹性时期、屈服时期与极限时期。在开始加载时,骨架曲线处于弹性直线状态,试件形变相对较小。在混凝土开裂后,骨架曲线存在弯曲现象,也就是结构的刚度改变情况较小,和开裂

前相比,该时期试件形变速度加快,说明试件开始进入弹塑性时期。在试件达到屈服后,其位移随载荷的增加显著增加,刚度大大降低,曲线斜率变小。在荷载高于试件最大承载力的情况下,尽管试件仍旧在变形,然而骨架曲线开始下降,说明试件抵抗变形的能力大大降低,最终导致试件破坏。分析有限元模型骨架曲线可知,其和试件骨架曲线变化情况基本一致,进一步说明采用有限元模型对轨道桥梁施工过程中桩柱抗震性能进行研究可行。

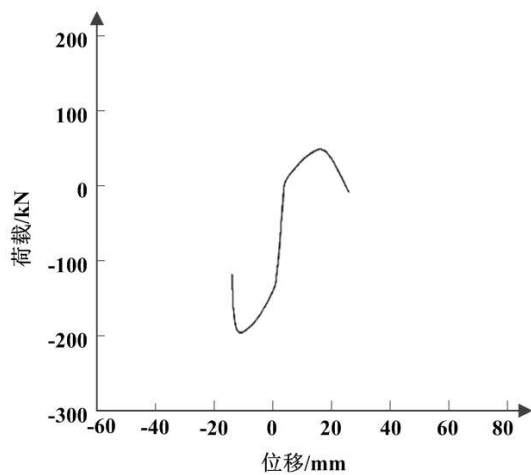


图6 试件和有限元模型的骨架曲线

Fig.6 Skeleton curves of the specimen and the finite element model

3 墩柱抗震性能研究

依次输入纵向和横向地震作用,针对纵向地震,对桥墩墩柱和对应桩基抗震性进行研究;针对横向地震,对最不利墩柱和对应桩基抗震性进行研究,同时对墩顶位移进行计算,不同桥墩重要截面抗震验算结果用表1进行描述,轴力如果是拉力,则值是正数,轴力如果是压力,则值是负数。墩柱选用0.802%纵筋配筋率。

分析表1可以看出,在纵桥向地震作用下,墩柱截面弯矩需求高于相应等效屈服弯矩,桥墩出现屈服现象。在横桥向地震作用下,墩柱顶截面弯矩需求比相应等效屈服弯矩低,墩顶能够出现塑性铰现象,墩底截面没有出现屈服。针对屈服的墩柱,应完成对其的延性设计,同时通过能力保护法完成对桩基抗震性能的验算。针对没有屈服的墩柱,需完成对其的弹性设计,同时通过地震作用下桩基内力实现分析。桥墩墩顶位移和墩柱塑性铰区域抗剪能力分析结果用表2和表3进行描述。

分析表2可以看出,在地震影响下,进入延性状态的墩柱位移和塑性铰强度等指标均符合要求。结合表3可以看出,在纵桥向与横桥向地震影响下,墩柱剪力承载力也符合要求。

下面对墩柱屈服情况下相应桩基内力和横桥向地震作用下桩基内力进行分析,结果用图7和图8进行描述。

表1 桥墩重要截面抗震验算

Table 1 Anti-seismic checking calculation for important cross section of pier

地震输入	截面位置	恒载轴力/kN	地震轴力/kN	最不利轴力/kN	地震弯矩/ kN·m	等效屈服 弯矩/kN·m	能力需求比	验算结果
纵桥向	墩底	-4 022	6	-4 021	7 407	4 021	0.59	屈服
	墩顶	-3 912	662	-3 223	7 752	3 815	0.51	屈服
横桥向	墩底	-4 106	662	-3 414	1 305	3 792	3.01	通过

表2 桥墩墩顶位移验算

Table 2 Checking calculation of pier top displacement of pier

地震输入	截面位置	容许位移/m	能力需求比	验算结果
纵桥向	墩顶	0.151	1.21	通过
横桥向	墩顶	0.071	1.44	通过

表3 墩柱塑性铰区域抗剪验算结果

Table 3 Calculation results of shear resistance in plastic hinge region of piers and columns

地震输入	剪力设计值/kN	箍筋配筋/mm	剪力承载力/kN	是否符合
纵桥向	721.8	14@60	1490.5	符合
横桥向	1432	14@60	1490.5	符合

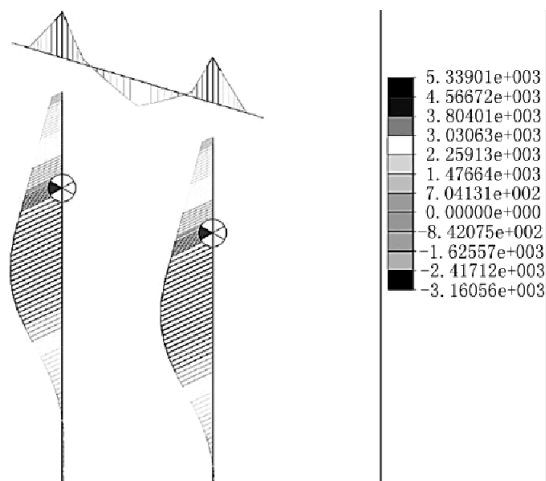


图7 纵桥向地震下墩柱屈服时桩基弯矩

Fig.7 The pile foundation bending moment of the longitudinal bridge under the yield of the pier column under the earthquake

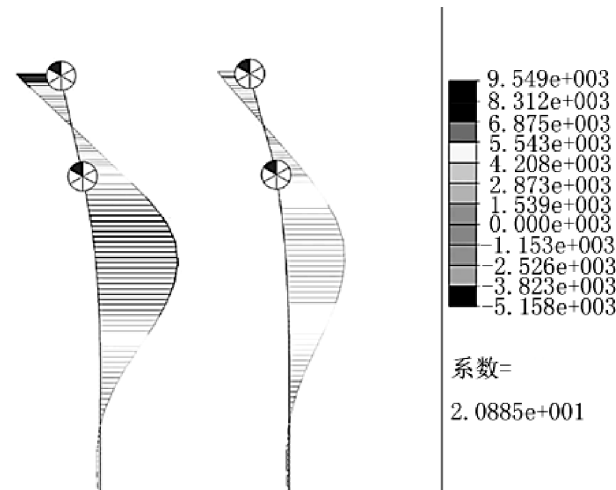


图8 横桥向地震下墩柱屈服时桩基弯矩

Fig.8 The pile foundation bending moment of a horizontal bridge under the yield of the pier column under an earthquake

不同桩基的能力保护分析结果用表4进行描述。综合分析图7、图8和表4可以看出,墩柱在纵桥向地震作用下,桥墩屈服,位移符合要求,桩基符合既定抗震目标。在横桥向地震影响下,墩底不屈服,墩柱符合既定要求,墩底弯矩变大,但符合抗震性能目标。

4 桩体抗震性能研究

4.1 应变弯矩实验

图9描述的是桩体有限元模型应变、弯矩分布曲线,弯矩是通过应变时程获取的弯矩时程峰值。

表4 桥墩桩基础最不利单桩截面抗震验算

Table 4 The most unfavorable pile pier foundation anti-seismic check for single pile section

地震输入	桩身轴力/kN	剪力 P/kN	弯矩/kN·m	等效屈服弯矩/kN	能力需求比/kN	验算结果
纵桥向	-4 226	802×1.5	4 923×1.5	6 315	1.12	符合
横桥向	-1 425	1 105	5 819	4 915	0.85	不符合

分析图9可知,桩体应变与弯矩分布整体呈下小上大的趋势,应变与弯矩在一段高度范围内始终较低,然而大小存在波动,曲线为锯齿形,通常在各土层连接处有所增加,在接近桩顶的情况下,应变与弯矩迅速升高,在桩顶达到最大值。桩体两侧应变分布不对称,在地震幅度较小或中小的情况下无显著差异,而在地震幅度超过中震的情况下,差异越来越大。 X 轴负向桩顶拉应变明显高于压应变,而其正向则与之相反,桩顶正弯矩明显高于负弯矩。

4.2 桩-土界面接触压力实验

图10描述的是桩体有限元模型 X 轴正负两个侧面桩-土连接面接触压力变化情况。

分析图10可知,接触压力整体呈两端大、中间小,同时上端明显高于下端的趋势。震动强度

越高,界面压力越高。

和应变基本相同,桩体两边接触压力变化情况也不对称, X 轴正向压力明显高于负向。实验完成后,桩体有限元模型向 X 轴正向倾斜,负向承台和土体完全脱离。

5 结语

本文对轨道桥梁施工过程中桩柱抗震性能进行研究,依据实际情况建立ABAQUS有限元模型,对建立模型和实际试件的滞回曲线与骨架曲线进行比较分析,将加你了模型看作研究对象进行桩柱抗震性能分析,获取以下结论:

(1) 墩柱选用0.802%纵筋配筋率时,符合抗震性能目标。

(2) 桩体应变与弯矩分布整体呈下小上大的

趋势,应变与弯矩在一段高度范围内始终较低, X 轴负向桩顶拉应变明显高于压应变,而其正向则与之相反,桩顶正弯矩明显高于负弯矩。

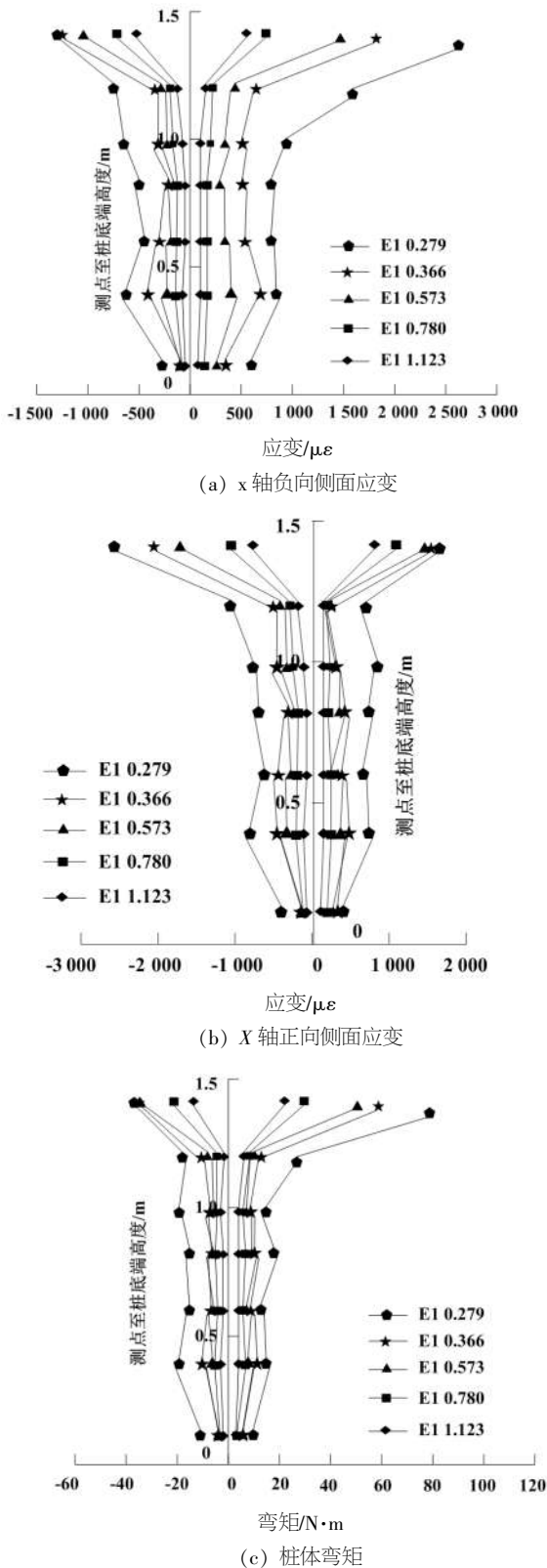


图9 桩体有限元模型应变、弯矩曲线

Fig.9 The strain and bending moment curve of the finite element model of the pile

(3) 接触压力整体呈两端大、中间小,同时上端明显高于下端的趋势。震动强度越高,界面压力越高。

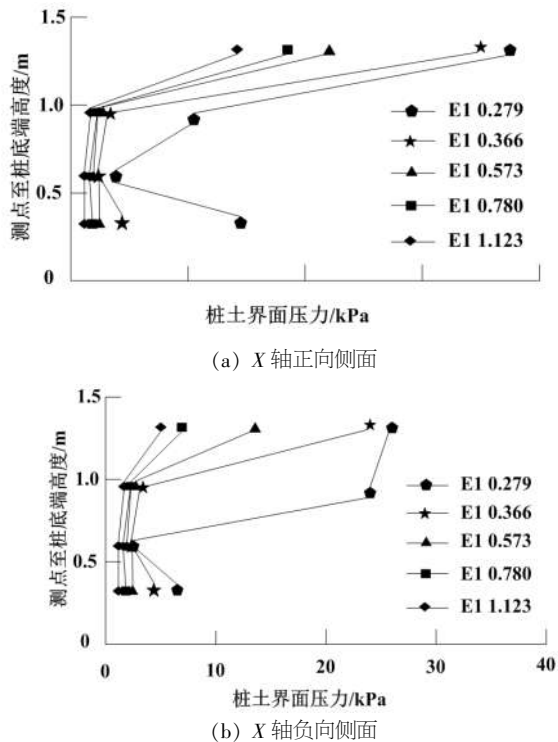


图10 桩体有限元模型桩土界面接触压力曲线

Fig.10 Pile soil interface pressure curve of pile body with finite element model

参考文献:

[1] 韩振峰,叶爱君. 桥梁高桩承台基础抗震性能研究[J]. 合肥工业大学学报(自然科学版), 2016,39(2):199-204.

[2] 孙治国,谷明洋,司炳君,等. 外置角钢摇摆-自复位双柱墩抗震性能分析[J]. 中国公路学报,2017,30(12):40-49.

[3] 张永亮,宁贵霞,陈兴冲,等. 考虑桩-土相互作用效应的高速铁路桥梁桩基础抗震设计方法研究 [J]. 冰川冻土, 2016, 38(4):1 003-1 011.

[4] Lombardi D,Bhattacharya S. Evaluation of seismic performance of pile - supported models in liquefiable soils [J]. Earthquake Engineering & Structural Dynamics, 2016,45(6):1 019-1 038.

[5] 任重翠,徐自国,肖从真,等. 独柱高架车站考虑桩土相互作用的抗震性能分析 [J]. 建筑结构学报,2014,35(5): 25-32.

[6] 马方. 矮塔斜拉桥抗震性能与减震控制研究[J]. 施工技术,2017,46(11):16-20.

[7] 王海东,邓沛航,曾裕林. 群桩-土-墩柱相互作用体系抗震性能试验及数值模拟研究 [J]. 地震工程与工程振动, 2015, 35(6):47-55.

[8] Guo Z,He W,Bai X,et al. Seismic Performance of Pile-Cap Connections of Prestressed High-Strength Concrete Pile with Different Details [J]. Structural Engineering International, 2017,27(4):546-557.