

DOI:10.3969/j.issn.1672-1144.2016.01.032

山地建筑结构桩基受力特性研究

李 勇¹, 金 星²

(1. 广东石油化工学院 建筑工程学院, 广东 茂名 525000;

2. 绍兴宝业西伟德混凝土预制件有限公司, 浙江 绍兴 312030)

摘 要: 我国地形以山地为主, 占全国陆地面积 2/3 以上, 为尽可能利用有限的土地资源, 较多的建筑往往依山就势, 使得我国山地建筑越来越多。我国现行抗震设计规范主要是针对水平场地提供建筑设计依据, 对非水平场地上的建筑结构没有明确规定, 相应的说明也比较模糊。基于山地建筑结构桩基的受力特点, 通过 ANSYS 有限元分析方法将桩和土体视为一个整体, 同时还考虑了桩—土间的相互作用问题, 对桩静动力作用下, 桩侧土体的推力、抗力以及桩内力分布进行对比研究, 同时分析了桩顶质量大小对桩顶水平位移的影响。分析结果表明, 山地建筑结构桩基受力较为复杂, 同水平场地条件下桩基的受力差别较大。在动力作用下, 水平场地条件下的桩基剪力和弯矩呈抛物线分布, 但山地建筑结构桩基剪力和弯矩在中部位置存在反弯点。在山地建筑结构桩基设计中, 应适当提高桩基的抗剪和抗弯能力。

关键词: 山地建筑结构; 桩基; 受力特性; 有限元

中图分类号: TU473.1

文献标识码: A

文章编号: 1672—1144(2016)01—0172—06

Stress Characteristic of Pile Foundation in Hillside Architecture structure

LI Yong¹, JIN Xing²

(1. Architecture and Civil Engineering Institute, Guangdong University of Petrochemical Technology, Maoming, Guangdong 525000, China;

2. Shaoxing Baoye Sievert Concrete Precast Elements Co., Ltd., Shaoxing, Zhejiang 312030, China)

Abstract: Hillside is the main topography in China, which accounts for 2/3 of the total land area. In order to use the limited land resources, many buildings were often built on hillsides, which caused more and more hillside architecture in our country. The current earthquake resistant code is mainly for the architecture structures on the flat ground, and which has not clearly defined for the structures which are not on the flat ground and the corresponding instructions are rather vague. Based on the stress characteristics of pile foundation in hillside architecture structure, by using ANSYS finite element analysis software, the pile and soil were considered as a unity, the model also considered the interaction between pile and soil, static and dynamic effects of the pile, the pile side soil thrust body resistance and pile internal force distribution were compared, and the impact of the quality of the size of the pile horizontal displacement of the pile was analyzes. The results show that the hillside architecture structure pile stress is relatively complex, and the difference between the stress of the pile foundation under the condition at site. Under dynamic action, the shear force and bending moment of the pile foundation under the condition of horizontal field follows a parabola distribution, but there are some anti bending points in the middle of the shear and bending moment of the pile foundation. In pile foundation design of mountain building structure, the anti shear and bending resistance of pile foundation should be improved.

Keywords: hillside architecture structure; pile foundation; stress characteristic; finite element

我国地形以山地为主, 占全国陆地面积 2/3 以上, 全国很多城市依山而建。近年来, 为了尽可能利

用有限的土地资源, 较多的建筑往往是依山就势, 采用只挖不填或半挖半填等方式直接修建在坡体上,

收稿日期: 2015-10-19

修稿日期: 2015-11-04

基金项目: 茂名市科技计划(20130110); 湖北省自然科学基金项目(2010CBD10806)

作者简介: 李 勇(1980—), 男, 湖南岳阳人, 硕士, 讲师, 工程师, 主要从事土木工程教学科研工作。E-mail: mmly315@126.com

这使得我国的山地建筑越来越多^[1-4]。在我国山地建筑结构桩基的设计方面,还主要是沿用传统桩的设计方法,首先确定桩侧土层的推力和抗力,由于在确定桩侧土层推力和抗力方面存在较多假定,所以桩的内力的确定不是过于保守就是偏不安全^[5-10]。目前对这一方面的研究成果极少,研究成果也主要集中在抗滑桩的静力方面,对于山地建筑结构桩基的动力分析,还未深入研究,对于它们的工作性状和承载机理,在学术上还是一片空白。本文采用有限元的手段将桩和土体视为一个整体,这样不用假定土层的推力和抗力,就可以得到桩的内力分布,同时还考虑了桩-土间的相互作用问题^[11-14]。

1 山地建筑结构桩基的受力特点

山地建筑结构桩基一方面要承受上部结构传递过来的荷载,另一方面,由于坡体在自重作用下会产生下滑力,下滑力直接作用在桩体上,承受桩侧推力和抗力,受力如图 1 所示。水平方向上,桩不仅要承受桩侧岩土体的推力和抗力,还要承担桩顶水平剪力;在竖直方向上,桩受到桩侧摩阻力和桩顶竖向作用力以及桩底反力。

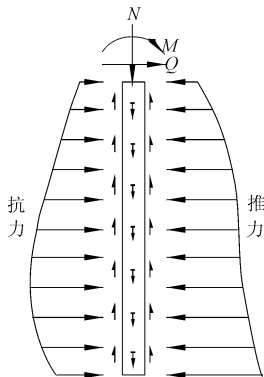


图 1 山地建筑结构桩基受力示意图

2 山地建筑结构桩基静(动)力有限元分析

2.1 有限元计算模型

在动力荷载作用下,桩-土间力的传递是通过桩-土接触面实现的。由于桩体材料同周围土体性质差别较大,桩体和土体的变形不一致,这将导致桩-土接触面上形成较大的接触应力和相对位移,从而导致桩-土接触面上产生错动、滑移或开裂等现象。然而在过去分析土体与桩互相作用时,往往假定接触面十分粗糙,土体与结构之间无滑动,或是接触面十分光滑,不产生剪应力这两种极端的情况,显

然这两种假定都是过于理想化的,不符合实际情况。在以往的研究中,接触面主要包括两个方面:接触面单元类型和接触面本构关系。接触面单元有两结点单元,Goodman 提出的无厚度四结点接触面单元和 Desai 提出的薄层单元^[15]。在这三种接触面单元中,两结点单元力学模型简单,易于应用,但计算结果精度低;Goodman 单元能考虑接触面变形的非线性特性,得到了广泛的应用,但单元无厚度,在受压时就会使两侧和普通单元相互嵌入,法向刚度取值的任意性使应用存在一些不方便之处;薄层单元能够模拟剪切破坏发生在界面附近的计算区域。在 ANSYS 有限元软件中接触单元是采用无厚度接触单元,即 Goodman 单元。

为了进行比较研究,同时考虑了两种计算模型(水平场地条件和山地条件),如图 2 所示。其中,桩为线弹性材料,弹性模量 $E = 2.5 \times 10^{10} \text{ Pa}$,泊松比 $\mu = 0.2$,密度 $\rho = 2\,500 \text{ kg/m}^3$,桩径为 $1 \text{ m} \times 1 \text{ m}$;不考虑岩土体材料的非线性,弹性模量 $E = 1.0 \times 10^7 \text{ Pa}$,泊松比 $\mu = 0.3$,密度 $\rho = 1\,950 \text{ kg/m}^3$,桩-土间相互作用采用 Goodman 单元来模拟,界面摩擦系数为 0.4。桩顶荷载用质量单元来模拟,质量分为 0 kg、5 000 kg、50 000 kg 和 500 000 kg 四种。

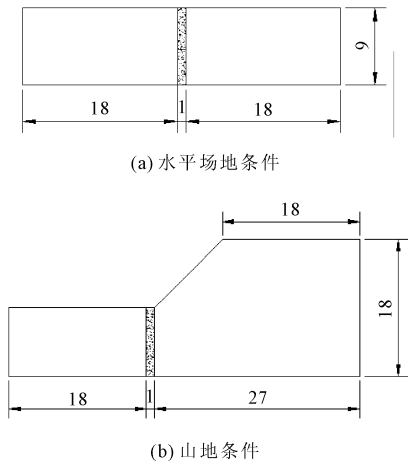


图 2 计算模型(单位:m)

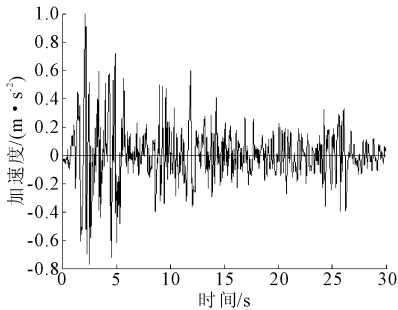
在进行动力分析时,将重力以动力荷载方式施加在模型上,当整个体系达到稳定之后再施加动力荷载,在重力荷载单独作用时关闭积分效应,重力和动荷载一起作用时再打开积分效应。输入地震动时程曲线为实际强震记录(El Centro 波),如图 3 所示,持时为 30 s,时间间隔为 0.02 s。

人工边界底部采用固定边界,两侧采用黏弹性边界,当考虑重力时,考虑到水平弹簧不足以抵抗水平力时,就先杀死弹簧单元,然后在模型两侧施加水

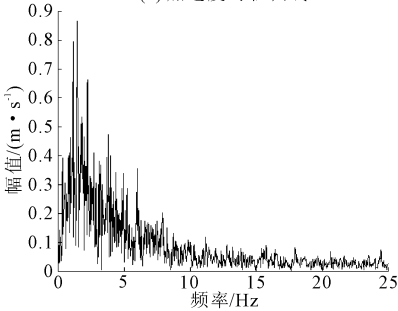
平梯度应力^[16]:

$$\sigma = -\rho ghK_0 \tag{1}$$

式中: K_0 为侧压力系数。当重力和地震荷载一起作用时,就激活弹簧单元,所以黏弹性边界只是在重力和地震荷载一起作用时起作用,在仅计算重力时不起作用。



(a) 加速度时程曲线



(b) 傅立叶幅值谱图

图 3 El Centro 波

2.2 桩体水平位移

2.2.1 不同场地条件下的对比

在动力作用下,桩体水平位移为桩顶达到最大位移时刻所对应的位移。在静力作用下,水平场地条件下的桩体由于受左右两侧土层的作用力大小相等,方向相反,所以使得桩体不产生水平位移,但在山地条件下,由于左右两侧土层的作用力不同,使桩体产生较大的水平位移,如图 4 所示。由于桩顶承受一个集中质量,在动力作用下,等于在桩顶施加一个水平作用力,所以不论是水平场地条件下还是山地条件下的桩体都产生较大的位移。如图 5 所示。

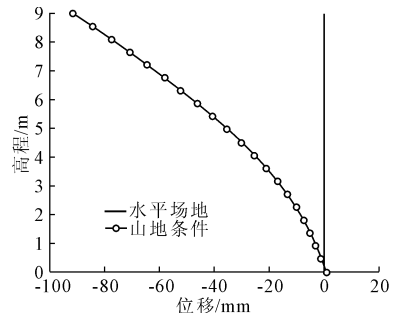


图 4 静力作用下位移图

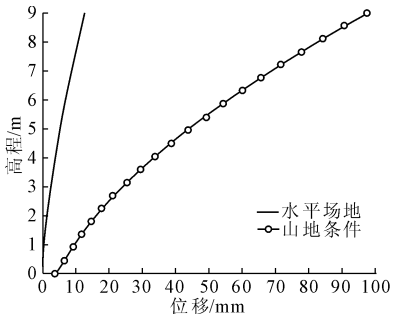


图 5 动力作用下位移图

2.2.2 静力和动力作用下的对比

图 6 和图 7 分别为水平场地条件和山地条件下,桩在不同受力条件下的桩身位移图。从图中可以看出,动力作用下的桩身位移大于静力作用下的桩身位移,这是因为桩体在动力作用下,就相当于桩体沿高程受到一个水平力作用。山地条件下,沿桩的高程,位移逐渐增大,但增长趋势越来越慢。

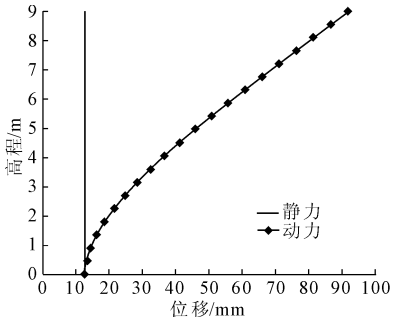


图 6 水平场地条件下位移图

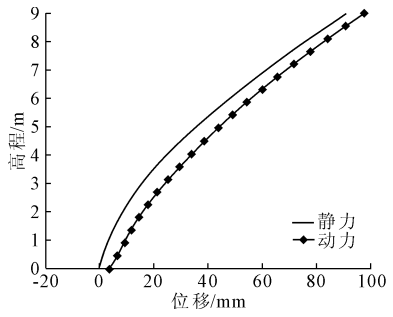


图 7 山地条件下位移图

2.3 桩体内力

2.3.1 不同场地条件下的对比

图 8 和图 9 分别为静力和动力条件下桩的剪力图,图 10 和图 11 分别为静力和动力条件下桩的弯矩图。从图中可以看出,剪力图同弯矩图的变化规律基本一致。水平场地条件下的桩体在静力作用下不存在剪力和弯矩,在动力作用下才存在剪力和弯矩,图形呈抛物线分布,山地条件下的桩体不论动力还是静力,都存在较大的弯矩和剪力,同时,桩上部同

下部所承受的力和弯矩的方向不一致,在中部附近出现为 0 的点,这主要是因为桩侧土层作用力不平衡,使得上部主要承受推力,下部承受土层的抗力。

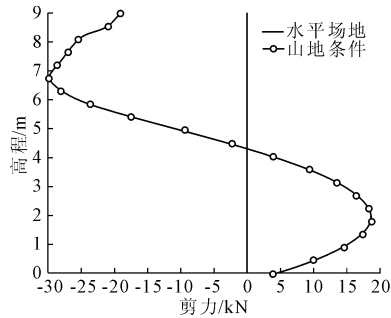


图 8 静力作用下的剪力图

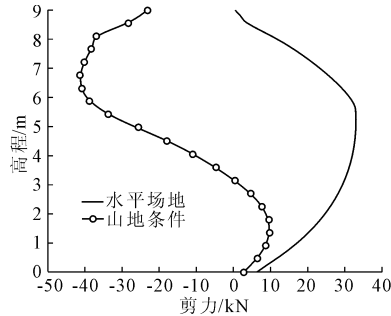


图 9 动力作用下的剪力图

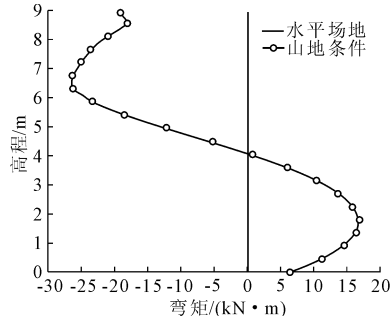


图 10 静力作用下弯矩图

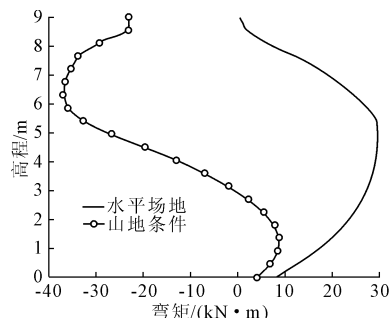


图 11 动力作用下弯矩图

2.3.2 静力和动力作用下的对比

图 12 和图 13 分别为水平场地条件和山地条件下桩的剪力图,图 14 和图 15 分别为水平场地条件和山地条件下桩的弯矩图。

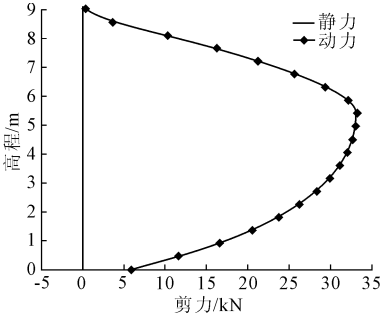


图 12 水平场地条件下剪力图

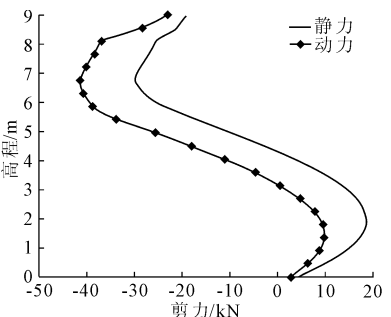


图 13 山地条件下剪力图

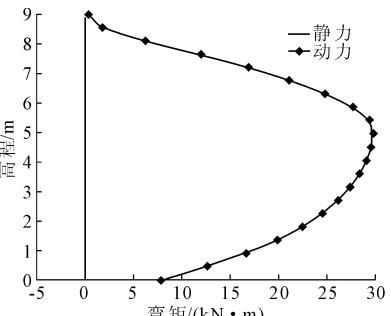


图 14 水平场地条件下弯矩图

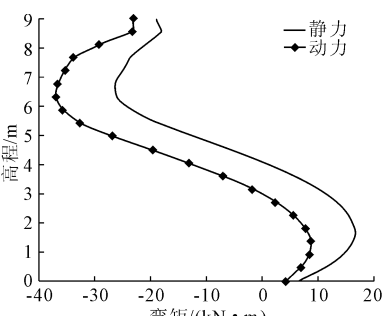


图 15 山地条件下弯矩图

从图中可以看出,剪力图同弯矩图的变化规律基本一致。水平场地条件下的桩体在静力作用下不存在剪力和弯矩,在动力作用下才存在剪力和弯矩,山地条件下的桩体不论动力还是静力,都存在较大的弯矩和剪力,同时,桩上部同下部所承受的力和弯矩的方向不一致,在中部附近出现为 0 的点,这主要是因为桩侧土层作用力不平衡,使得上部主要承受

推力,下部承受土层的抗力。

2.4 桩侧土体推力和抗力分布

2.4.1 不同场地条件下的对比

图 16 和图 17 分别为静力和动力作用下的推力图,图 18 和图 19 分别为静力和动力作用下的抗力图。

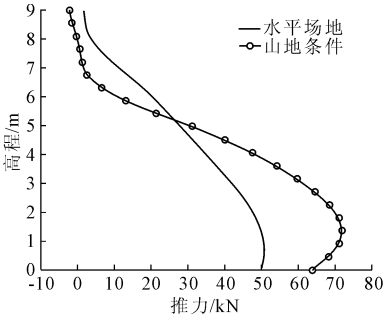


图 16 静力作用下推力图

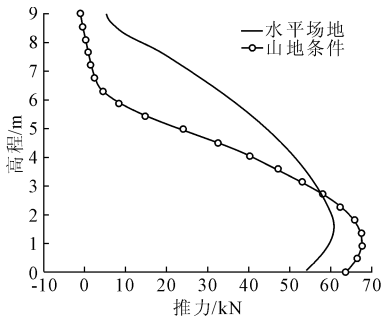


图 17 动力作用下推力图

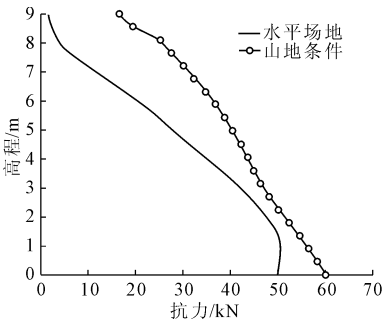


图 18 静力作用下的抗力图

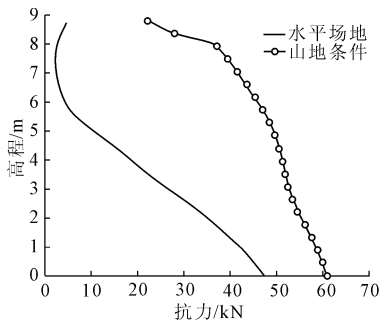


图 19 动力作用下的抗力图

从图中可以看出,推力和抗力总体呈梯形分布。在中下部,山地条件下推力要大于水平场地条件下

的推力,在中上部刚好相反,但抗力在不同高程处都是山地条件下的比水平场地条件下的要大。

2.4.2 静力和动力作用下的对比

图 20 和图 21 分别为水平场地条件下和山地条件下桩侧土体的推力分布,图 22 和图 23 分别为水平场地条件下和山地条件下桩侧土体的抗力分布。

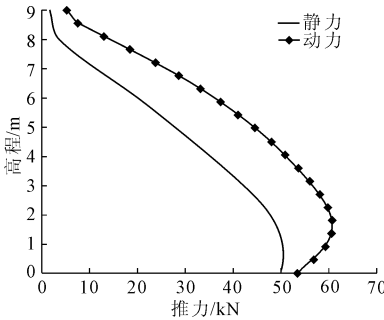


图 20 水平场地条件下推力图

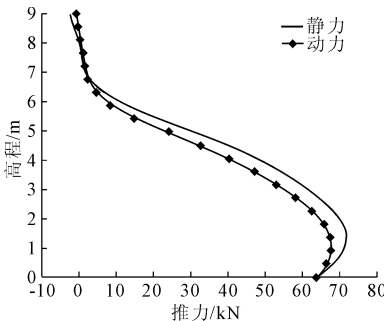


图 21 山地条件下推力图

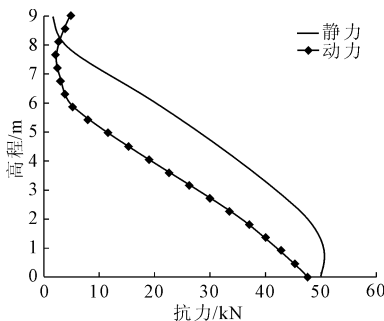


图 22 水平场地条件下抗力图

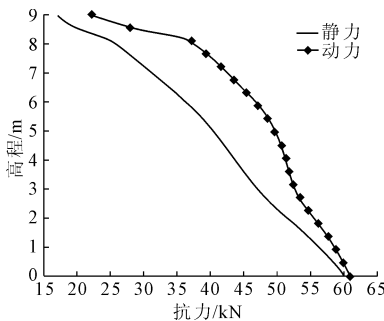


图 23 山地条件下抗力图

从图中可以看出,推力和抗力总体呈梯形分布。

对于推力,在水平场地条件下,动力作用时比静力作用时的要大,但在山地条件下,刚好相反;对于抗力,在水平场地条件下,动力作用时比静力作用时的要小,但在山地条件下,刚好相反。

2.5 桩顶位移

表 1 为不同场地条件下桩顶位移幅值,当桩顶质量增加时,位移幅值逐渐增大。

不同条件	位移幅值			
	0/kg	5000/kg	50000/kg	500000/kg
水平场地	7.745	8.288	15.119	27.672
山地条件	6.013	6.448	13.423	29.914

从图 24 ~ 图 27 可以看出,当桩顶质量未达到 500 000 kg 时,水平场地条件下和山地条件下的桩顶位移基本一致,且山地条件下的要略小于水平场地条件下的,当桩顶质量为 500 000 kg 时,山地条件下的桩顶位移大于水平场地条件下的桩顶位移。这表明,桩顶质量大小对水平场地条件下的桩基的影响要小于山地条件下的桩基。

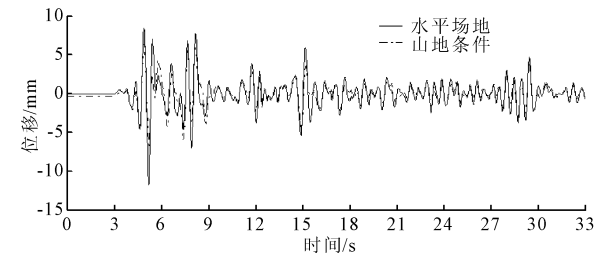


图 24 桩顶质量为 0 时不同场地条件下桩顶位移时程曲线

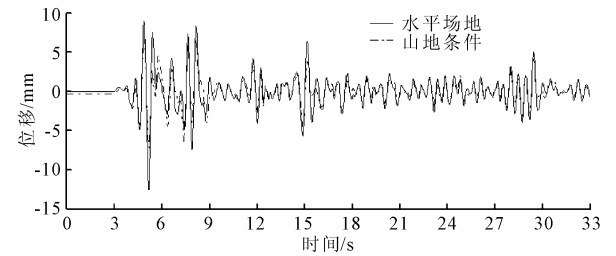


图 25 桩顶质量为 5 000 kg 时不同场地条件下桩顶位移时程曲线

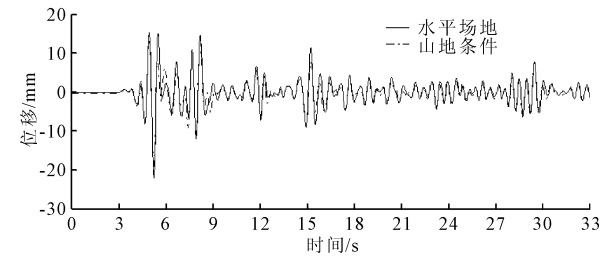


图 26 桩顶质量为 50 000 kg 时不同场地条件下桩顶位移时程曲线

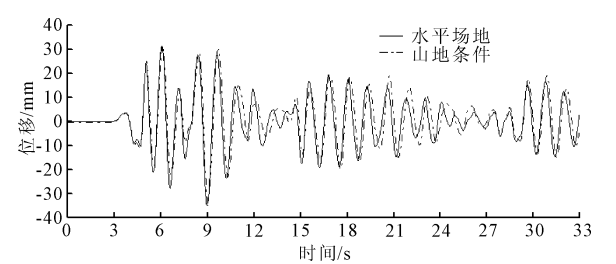


图 27 桩顶质量为 500 000 kg 时不同场地条件下桩顶位移时程曲线

3 结 论

本文通过对山地建筑结构桩基受力特点进行分析,利用有限元法,对桩静动力作用下,桩侧土体推力、抗力以及桩内力分布进行对比研究,同时分析了桩顶质量大小对桩顶水平位移的影响。

(1) 山地建筑结构桩基受力较为复杂,同水平场地条件下桩基的受力差别较大。在静力作用下,山地建筑结构桩基存在水平位移,但水平场地条件下的桩基不存在水平位移,所以水平场地条件下的桩基没有剪力和弯矩,但山地建筑桩基存在较大的弯矩和剪力。

(2) 在动力作用下,水平场地条件下的桩基剪力和弯矩呈抛物线分布,但山地建筑结构桩基剪力和弯矩在中部位置存在反弯点。

(3) 土层推力和抗力基本上呈梯形分布,动力作用对分布影响不大。当桩顶作用力增大时,会使桩顶位移增大,且开始增长较缓慢,当桩顶质量大到一定程度时,增长就较快。在山地建筑结构桩基设计中,应适当提高桩基的抗剪和抗弯能力。

(4) 本文利用 ANSYS 有限元软件中的 Goodman 单元来模拟桩 - 土之间的动力接触行为,其收敛性和计算效率有较大的局限性,采用更好的接触模型和分析方法来模拟桩 - 土之间的动力接触行为需要更进一步的研究。

参考文献:

[1] 中华人民共和国建设部. 建筑结构荷载规范: GB50009—2001[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2001.

[2] 中华人民共和国建设部. 建筑抗震设计规范: GB50011—2010[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2010.

[3] 中华人民共和国建设部. 建筑结构可靠度设计统一标准: GB50011—2001[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2001.

[4] 中华人民共和国建设部. 建筑地基基础设计规范: GB50007—2011[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2012.