

文章编号: 1674-2869(2016)02-0173-05

h型抗滑桩的受力特性及优化设计

李 洋, 李元松, 王亚军*

武汉工程大学资源与土木工程学院, 湖北 武汉 430074

摘 要: 在综合分析抗滑桩受力特点, 归纳总结多个工程经验的基础上, 提出了h型抗滑桩的三种土压力模式; 基于ANSYS软件建立有限元模型, 分析矩形、三角形和梯形等三种土压力作用下h型桩的内力分布特点, 同时考虑桩前滑体被动土压力作用对h型抗滑桩内力分布的影响; 利用桩顶位移与桩体最大弯矩双控指标对h型抗滑桩的几何参数进行了优化。结果表明: 对于矩形截面h型桩, 当前后桩间距取2.5~5倍桩截面宽度, 连梁高度为1~2倍桩截面宽度, 连梁刚度为桩身刚度的4~5倍时, 桩身受力最为合理。

关键词: h型抗滑桩; 土压力; 内力分布

中图分类号: TU473.1; TU43

文献标识码: A

doi: 10.3969/j.issn.1674-2869.2016.02.013

Mechanical Characteristics and Optimization Design of h-Type Antisliding Pile

LI Yang, LI Yuansong, WANG Yajun*

School of Resource and Civil Engineering, Wuhan Institute of Technology, Wuhan 430074, China

Abstract: Three patterns of earth pressure on the h-type anti-sliding pile were proposed based on a comprehensive analysis of the forces acting on the piles and a summary of previous engineering experiences. The stress distribution of the h-type anti-sliding pile under rectangular, triangular, and trapezoid patterns of earth pressure was explored using a finite element model constructed by the ANSYS software, and the effect of the passive earth pressure in front of the piles was also taken into consideration. The displacement of pile top and the maximum bending moment of pile were used as double control index to optimize the geometric parameters of the h-type anti-sliding pile. The results suggest that the h-type anti-sliding pile with a rectangular cross section is subject to the most reasonable stress when the spacing between adjacent piles is 2.5–5 times the width of the pile cross section, the height of coupling beam is 1–2 times the width of the pile cross section, and the stiffness of cross beam is 4–5 times that of the pile.

Keywords: h-type anti-sliding pile; earth pressure; distribution of stress

1 引 言

抗滑桩是边坡工程中常用的支护形式, 可布置单排或双排。h型抗滑桩作为双排抗滑桩的变化形式, 一般认为具有抵抗侧向变形能力强、受力分布合理、能承受滑坡推力大等优点^[1-2]。在大型滑坡工程治理中, 单排抗滑桩无法抵抗过大的滑坡推

力, h型抗滑桩具有显著优势。h型抗滑桩的受力机理复杂, 目前国内外还没有对应设计规范, 其几何形状、截面尺寸以及受力和变形特性研究也比较少。肖世国^[3]提出可用滑坡推力作用下的弹性地基约束的平面刚架模型, 将h型抗滑桩从滑面处分为上下两部分计算h型抗滑桩内力, 对锚固段的内力直接按弹性地基梁理论进行计算, 但未考虑滑面

收稿时间: 2015-12-25

基金项目: 武汉工程大学第六届研究生教育创新基金(CX2014051)

作者简介: 李 洋, 硕士研究生. E-mail: 351050137@qq.com

*通讯作者: 王亚军, 讲师, 博士. E-mail: 15041886@qq.com

以上桩间土的作用力,喻邦江^[4]在王家寨滑坡治理中应用了此模型.崔伟^[5]通过模型试验和ABAQUS软件模拟得出了桩体参数变化导致的抗滑桩弯矩和变形变化规律,对h型抗滑桩进行了优化设计.马青力^[6]采用数值分析方法结合工程实例对h型桩板墙桩土相互作用进行了分析,认为连系梁对主桩起到了显著支撑作用,增强了主桩的抗滑能力.赵海玲^[7]通过数值模拟分析了桩间距和锚固深度对h型抗滑桩受力的影响.张泽坤^[8]采用ANSYS对h型抗滑桩在加固膨胀土边坡不同结构尺寸参数的影响.

对h型抗滑桩计算模型的研究,有部分学者选择将滑面以下的部分利用弹性地基梁理论进行计算,但并未考虑桩间岩土体对桩的作用,部分学者并没有对受力进行讨论,仅将抗滑桩和桩周边岩土整体考虑放入数值模拟软件中计算.

本文通过对h型抗滑桩的受力特性进行分析,并使用ANSYS中BEAM 3梁单元,以广州某公路边坡实际岩土数据建立简化模型,模拟h型抗滑桩在大型滑坡中受力和变形情况,分析h型抗滑桩桩间距、连梁刚度等因素变化对桩受力和变形的影响,为h型抗滑桩的设计和施工提供借鉴.

2 实验部分

2.1 h型抗滑桩受力特点分析

h型抗滑桩的受力特性比较复杂,因其前、后桩间岩土体对桩体产生侧向压力,以及悬臂段的存在,其受力与单排桩和其他类型的双排桩有一定区别^[9-10].

根据前述各文献对h型抗滑桩的受力分析,参考现有规范对抗滑桩的相关规定,h型抗滑桩所受外力可分为推力、阻滑力、桩间土作用力3种(图1).

推力($\sigma_1-\sigma_2, P_{a1}-P_{a2}$):作用在后排桩的滑坡推力分布一般按照3种形式考虑,若滑体为粘聚力较大的地层,其推力分布图形按矩形考虑;若滑体以内摩擦角为主要抗剪特性,其推力分布图形按三角形考虑;介于以上两者之间的情况,假定为梯形.确定滑坡推力大小一般使用传递系数法与有限元强度折减法.滑面以下的滑坡推力可取主动土压力,推力分配按照经验取值,前桩推力:后桩推力=0.4:0.6.

阻滑力($\sigma_{p1}-\sigma_{p4}$):桩前土体对前排桩的阻滑力取剩余下滑力与被动土压力的较小值.一般可取桩前土体的被动土压力,若滑面以上的桩前土

处于下滑状态,滑面以上的桩前被动土压力可不考虑.

桩间土作用力($P_{s1}-P_{s4}$):桩间土体对后桩的作用力按弹性抗力考虑,大小等同于桩间土体对前桩的压力,前桩的土压力一般认为是后桩通过桩间岩土体传递到前桩的压力总和.

h型抗滑桩桩底边界条件确定需要根据实际情况,一般认为有固结、铰接两种.若抗滑桩锚固段深入坚硬岩体,则可认为桩底固结;若抗滑桩底部锚固段深入黏性土,则假设认为前后桩底同时滑动,桩底部间距变化不大,铰接比较贴近实际.

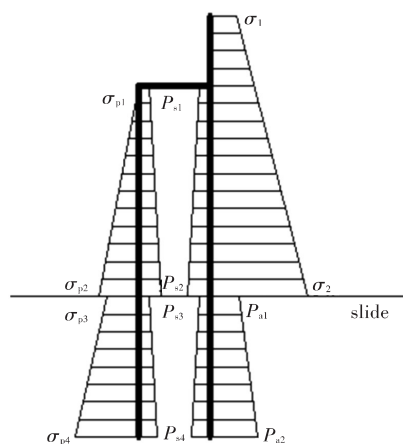


图1 h型抗滑桩受力分析图

Fig. 1 Stress analysis diagram of h-type anti-sliding pile

2.2 模型建立

h型抗滑桩在模拟中视为弹性材料,采用ANSYS中BEAM3单元,建立抗滑桩模型.抗滑桩的惯性矩、截面面积等参数利用实常数来定义.其中C30混凝土,弹性模量为 3.5×10^7 Pa,泊松比为0.3,密度为 $2\,500\text{ kg/m}^3$.桩的截面尺寸 $b \times d = 2\text{ m} \times 2\text{ m}$ (b 为截面长度, d 为截面宽度,下同),混凝土保护层厚度50 mm.取前桩长20 m,后桩长24 m(其中h型椅背长4 m),嵌固深度均为8 m,连梁截面为 $2\text{ m} \times 2\text{ m}$.滑坡推力假设为3 600 kN/m.不利荷载乘1.2的安全系数.

以广州某公路边坡实际情况,滑面以上为粘土层,粘聚力 $c_1=10\text{ kPa}$,内摩擦角 $\varphi_1=25^\circ$,密度 $\rho_1=2\,000\text{ kg/m}^3$,滑面以下为粘土层,粘聚力 $c_2=20\text{ kPa}$,内摩擦角 $\varphi_2=55^\circ$,密度 $\rho_2=2\,650\text{ kg/m}^3$.

本文建立了两种模型,首先使用模型一进行h型抗滑桩受力模式的比较,再利用受力分析模式比较的结果,建立模型二进行受力影响因素分析和优化:

1)h型抗滑桩的受力模式受多种因素影响:

①推力分布图形(矩形、三角形、梯形);②推力在前、后桩的分配比;③滑面以上是否考虑桩前被动土压力;④桩底边界条件.模型一选取①、③两种因素的变化进行比较,因素②推力分配比按工程经验取值,前桩推力:后桩推力=0.4:0.6.假定桩底嵌固深入黏性土,因素④桩底边界条件使用铰接.

2)h型抗滑桩受力的影响因素和普通单排桩不同在于前后桩间距、“椅背”长度、连梁截面、连梁刚度等.模型二使用模型一的讨论结果,选取前、后桩间距和连梁刚度两个影响因素进行分析.

3 结果与讨论

3.1 h型抗滑桩受力模式比较

1)改变推力分布图形.改变推力分布分别为矩形、三角形和梯形($\sigma_1:\sigma_2=1:2$),得到h型抗滑桩的弯矩图,前、后排桩弯矩对比见图2~图3.

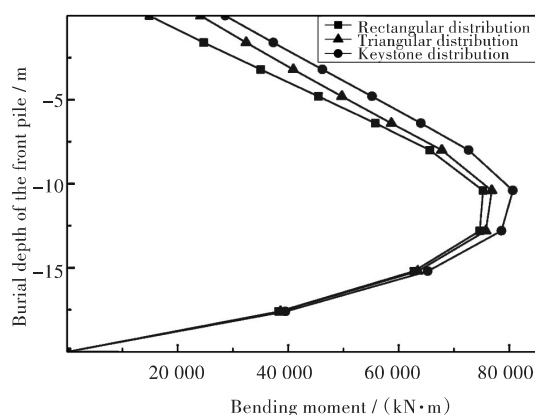


图2 前桩弯矩对比图

Fig. 2 Contrast figure of bending moment in the front pile

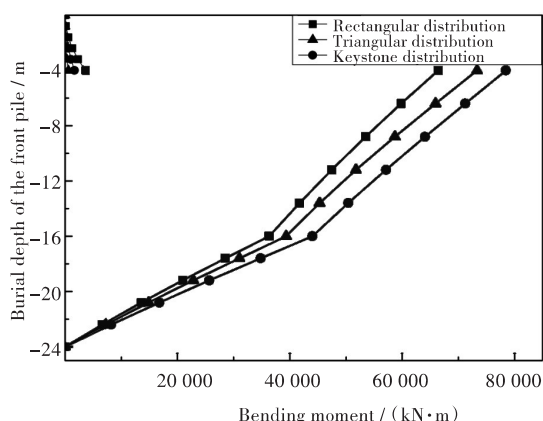


图3 后桩弯矩对比图

Fig. 3 Contrast figure of bending moment in the back pile

由图2、图3可看出,相同推力作用下,推力按照梯形分布进行假设时,前、后排桩弯矩绝对值远大于矩形分布和三角形分布假定的弯矩.设计时考虑梯形分布更安全.

2)桩前滑体的被动土压力对比.桩前滑体被动土压力在滑体仍在下滑状态可不考虑,图4、图5为前、后桩弯矩在是否考虑桩前滑体被动土压力时的对比.

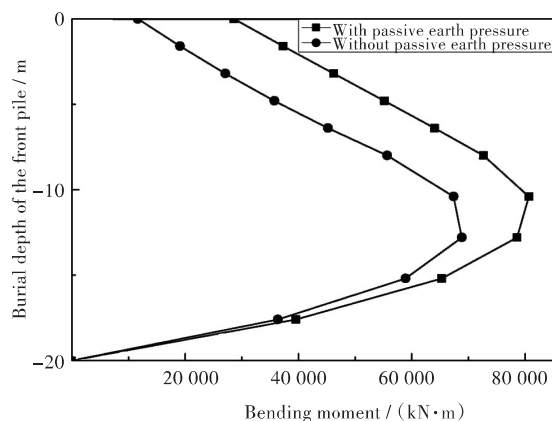


图4 前桩弯矩对比图

Fig. 4 Contrast figure of bending moment in the front pile

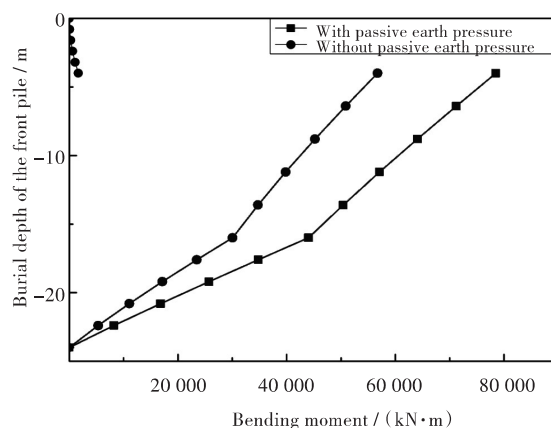


图5 后桩弯矩对比图

Fig. 5 Contrast figure of bending moment in the back pile

由图4、图5可以看出,有无滑体部分被动土压力对后桩椅背的弯矩无影响,但对桩体弯矩有改变,考虑滑体部分的被动土压力时桩身弯矩较不考虑滑体部分被动土压力时小.

综合图2~图5,可见梯形分布和不考虑桩前滑体被动土压力的情况下桩身弯矩明显更大,设计时考虑这两种情况,结构安全性能较高.

3.2 h型抗滑桩受力影响因素分析

滑坡推力分布假设为梯形分布($\sigma_1:\sigma_2=1:2$),考虑桩前滑体的被动土压力,建立模型并计算,比较各因素变化对桩顶位移及桩最大弯矩的影响.

3.2.1 前、后桩间距 对于前、后桩间距影响因素的模型,取桩间距在 $1.5d\sim 5d$ (d 为抗滑桩截面宽度).

1)与桩顶最大位移的关系.h型抗滑桩的前、

后桩间距对前、后排桩桩身位移变形影响显著,图6为不同前、后桩间距下,抗滑桩最大位移值(后排桩桩顶处)的变化关系。

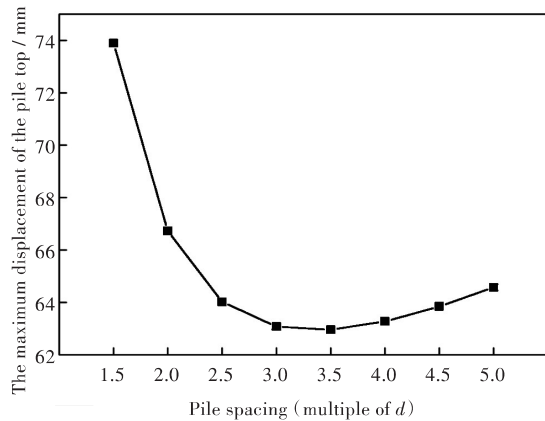


图6 前、后桩间距对最大桩顶位移的影响曲线

Fig. 6 Influence of pile spacing on the maximum displacement of pile top

通过图6可以看出,当前、后桩间距在 $1.5d \sim 5d$ 变化时,桩顶位移最大值急剧下降后缓慢上升,在 $3d \sim 3.5d$ 中达到最小值,此时h型抗滑桩的位移最小。

2)与前后桩最大弯矩的关系。h型抗滑桩的排距对前、后排桩桩身最大弯矩也有一定影响,图7为不同排距下,抗滑桩最大弯矩的变化关系。

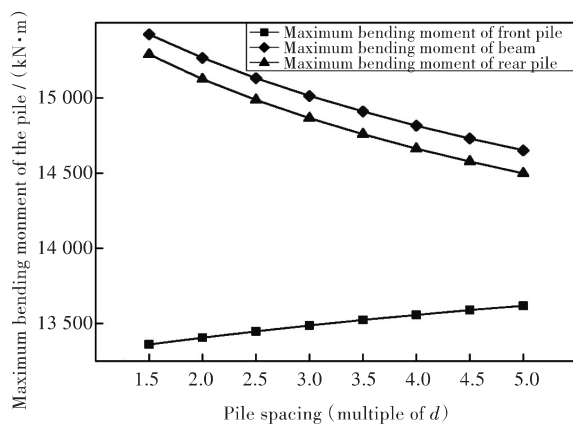


图7 前、后桩间距对桩最大弯矩的影响曲线

Fig. 7 Influence of pile spacing on the maximum bending moment of pile

从图7可以看出,随着前、后排桩间距的增大,前桩最大弯矩增大,连梁和后排桩最大弯矩减小。可见前、后桩间距的增加会改变前、后桩的弯矩分布,使前后桩的最大弯矩趋同。如在设计中采用前后桩相同配筋的情况下,这种改变是有益的。

综合图6、图7可得出,合适的前、后排桩间距为 $2.5 \sim 4$ 倍桩截面宽度。

3.2.2 连梁抗弯刚度 连梁抗弯刚度($E_0 I_0$)的提升可能是截面高度增加导致惯性矩 I_0 提升,也可能

是因为材料的改变导致弹性模量 E_0 的提升。

1)改变连梁高度。考虑连梁截面宽度为2 m,高度在1 m ~ 4.5 m变化的情况,连梁与前后桩为刚性接触,前后桩长和受力分布等条件与3.1当中所列相同。

①连梁高度与桩顶位移的关系。图8为连梁高度变化时,前、后排桩的桩顶位移变化曲线图。

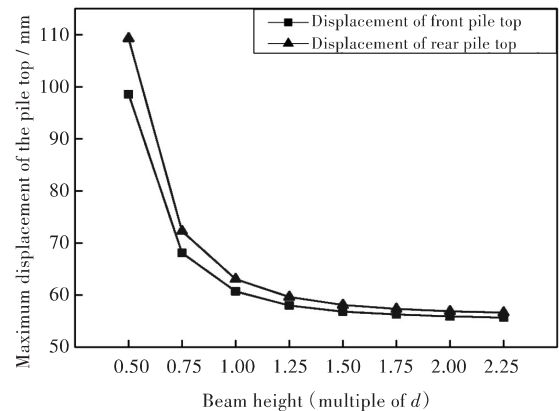


图8 连梁高度对最大桩顶位移的影响曲线

Fig. 8 Influence of beam height on the maximum displacement of pile top

由图8可看出,连梁高度增加会使前、后排桩的桩顶位移减小。当连梁高度大于 d 时,桩顶位移的变化明显减缓,超过 $2d$ 时变化已不明显。可见连梁高度达到 $2d$ 后继续增加对桩顶位移影响不大。

②连梁高度与桩身弯矩关系。图9为连梁高度对前、后排桩及连梁最大弯矩的影响曲线图。

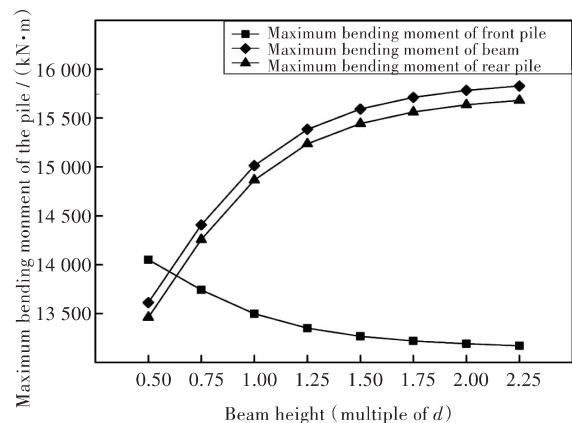


图9 连梁高度对构件位移的影响曲线

Fig. 9 Influence of beam height on displacement of components

从图9可看出,随着连梁高度增大,前排桩弯矩减小,后排桩和连梁弯矩增大,且变化的速度变小。可见连梁高度不宜过大,连梁高度增大会提升钢筋使用量。

综合图8、图9可得出,合适的连梁高度为 $1 \sim 2$ 倍的桩截面宽度。

2)改变连梁弹性模量.连梁高度取 d ,材料的抗弯刚度取桩抗弯刚度 EI 的0.5~4倍(参数同3.2.2中).

①与桩顶位移的关系.连梁抗弯刚度与前后排桩桩顶位移的曲线图如图10所示.从图10可以看出,连梁刚度增加,前、后排桩桩顶位移减小,连梁刚度大于4倍 EI 时,桩顶位移逐渐稳定.

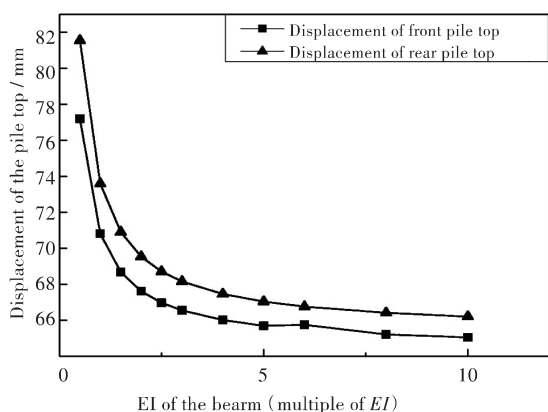


图10 连梁刚度对构件位移的影响曲线

Fig. 10 Influence of beam stiffness on displacement of component

②与桩最大弯矩的关系.连梁刚度对前、后排桩最大弯矩影响见图11.由图11可看出,随连梁刚度增大,前桩最大弯矩减小,后桩和连梁最大弯矩增加.

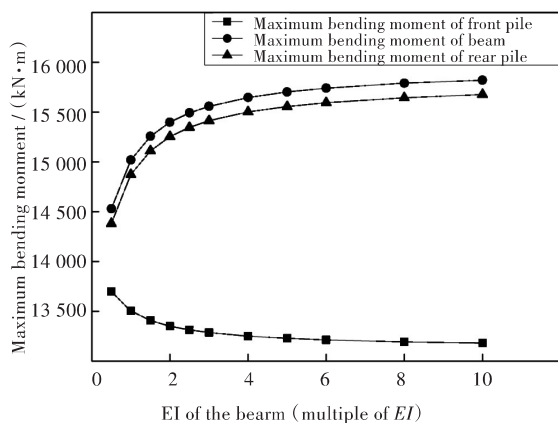


图11 连梁刚度对构件弯矩的影响曲线

Fig. 11 Influence of beam stiffness on bending moment of components

综合图10、图11,可得出合适的连梁抗弯刚度为3~5倍的桩身抗弯刚度.

4 结 语

1) 本文从滑坡下滑推力分布形式(矩形、三角形、梯形)和是否考虑桩前滑体被动土压力两个方面探究了h型抗滑桩的内力分布,发现梯形分布和不考虑桩前滑体被动土压力的情况下桩身弯矩明

显更大,设计时可以更多地考虑这两种情况,以提高安全性. 2) 随着前、后桩间距增加,桩顶位移先减小后增大,且前排桩最大弯矩增加,后排桩最大弯矩减小. 经过优化得出,最合适的桩间距为2.5~4倍桩截面宽度. 3) 连梁高度增加,前、后排桩桩顶位移减小,前排桩弯矩减小但后排桩和横梁弯矩增大. 优化得出,最合适的连梁高度为1~2倍桩截面宽度. 4) 随着连梁抗弯刚度的增加,前、后排桩位移减小,前桩弯矩减小,后桩弯矩增大. 优化得出,连梁抗弯刚度为3~5倍桩身抗弯刚度较合适.

参考文献:

- [1] 欧明喜. h型抗滑桩力学机理及其工程应用研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2012.
- [2] 杨晓珊, 莫海鸿, 陆兆成, 等. 带斜撑h型抗滑桩的力学机理研究[J]. 四川建筑科学研究, 2013(8): 160-164.
YANG X S, MO H H, LU Z C, et al. Simulation on deep foundation pit in complex environment research on mechanical mechanics of h type anti-slide pile with diagonal racing [J]. Sichuan building science, 2013(8): 160-164.
- [3] 肖世国. 边(滑)坡治理中h型组合抗滑桩的分析方法及工程应用[J]. 岩土力学, 2010, 31(7): 2143-2152.
XIAO S G. Analytical method for h-type combined anti-sliding pile retaining landslide or excavated slope and its application to practical projects [J]. Rock and soil mechanics, 2010, 31(7): 2143-2152.
- [4] 喻邦江, 舒海明, 鄢霞. h型组合抗滑桩在王家寨滑坡治理中的应用[C]//王思敬. 2011年全国工程地质学术年会论文集. 北京: 科学出版社, 2011: 498-501.
- [5] 崔伟. h型抗滑桩模型试验及数值模拟研究[D]. 南宁: 广西大学, 2009.
- [6] 马青力. h型桩板墙桩土相互作用数值分析[D]. 成都: 成都理工大学, 2006.
- [7] 赵海玲. h形抗滑桩变形性状的研究[D]. 成都: 四川大学, 2005.
- [8] 张泽坤. h型抗滑桩的有限元分析[D]. 成都: 西南交通大学, 2008.
- [9] 王羽. h型抗滑桩设计计算方法研究[D]. 成都: 成都理工大学, 2011.
- [10] 杜兴无, 彭友松, 刘传新. 基于ANSYS的门式抗滑桩有限元计算方法[J]. 公路交通技术, 2014(4): 67-71.
DU X W, PENG Y S, LIU C X. ANSYS based definite element calculation methods for portal framed anti-slide piles [J]. Technology of highway and transport, 2014(4): 67-71.

本文编辑: 龚晓宁