

抗滑桩设置位置对边坡上桥墩的加固效果分析

李程旭

(湖南华置规划设计研究院有限公司, 湖南 长沙 410076)

摘要: 对既有边坡进行加载, 边坡土体将发生较大位移, 影响边坡上建筑结构的稳定和安全。

文中对抗滑桩不同设置位置时某既有边坡在路堤加载完成后桥墩桩基的位移和应力进行有限元分析, 研究抗滑桩最优设置位置。结果表明, 无抗滑桩加固时, 在路堤加载下边坡表面黏土发生较大位移, 严重威胁桥墩桩基的安全; 设置前排抗滑桩能有效限制边坡黏土的位移, 改善桥墩桩基受力状况, 加固效果最明显; 后排抗滑桩处于坡脚位置, 对桥墩桩基的保护作用不明显, 不能起到有效加固作用。

关键词: 桥梁; 桥墩; 边坡; 抗滑桩; 加固效果**中图分类号:** U445.7**文献标志码:** A**文章编号:** 1671-2668(2022)03-0122-04

修建在软弱滑坡体上的桥墩, 其桩基既要承受桥墩及上部结构传递的竖向荷载, 还要承受滑坡体横向位移产生的水平荷载。为提高桩基水平承载能力, 常用抗滑桩来限制边坡滑坡体的横向位移, 减小桥基所受水平荷载。针对抗滑桩加固边坡岩体的研究很多, 如李浩等采用数值模拟方法, 分析了临界破坏时抗滑桩桩身内力及土体力学特性; 雷达等通过前后排抗滑桩加固滑坡桥基的振动台模型试验, 揭示了土体和桩基的动力特性; 赵明华等针对圆形桩建立桩间土拱计算模型, 分析了土体参数对桩间距的影响; 马俊伟等运用分形理论, 研究了抗滑桩加固斜坡失稳过程中坡面位移场的演化规律; 李柏春根据监测数据, 分析了抗滑桩施工中边坡的变形。该文通过建立三维实体有限元模型, 探究在市政边坡路堤加载条件下抗滑桩边坡及桥基的受力和变形规律, 为类似工程设计提供参考。

1 计算原理及方法

1.1 桩土相互作用理论

Terzaghi 活动门板试验(见图 1)证明桩体间的土颗粒与桩体上的土颗粒之间会产生相对位移, 桩体间的土颗粒将部分自重通过土体间的摩擦作用传递到桩体, 从而在桩土间产生土拱效应。抗滑桩通过土拱效应承担大部分滑坡体的下滑分力, 从而增大边坡安全系数, 达到加固效果。桩土应力比 n 是衡量桩、土应力分配的主要指标, 可用下式表示:

$$n = \delta_p / \delta_s \quad (1)$$

式中: δ_p 为桩体所受横向应力; δ_s 为土体所受横向应力。

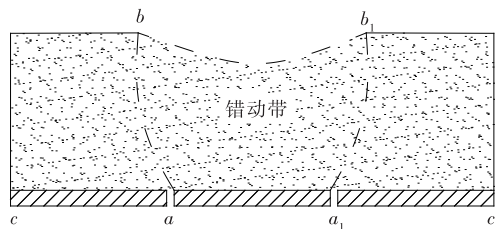


图 1 活动门板试验示意图

1.2 计算模型及参数

某边坡高 58 m, 长 144 m。上部路堤填土高度为 20 m, 分 10 次填筑完毕, 每层填筑高度为 2 m。桥墩桩基直径为 1 m, 桩间距为 1.5 m × 2.5 m, 桩长度为 30 m。前排抗滑桩截面尺寸为 2 m × 4 m, 长度 33 m; 后排抗滑桩尺寸为 2 m × 3 m, 长度 19 m, 抗滑桩桩端放置在基岩上(见图 2)。

建立该边坡有限元模型, 模型共包括 35 419 个网格单元(见图 3)。模型底部为固定端约束, 表面为自由边界。边坡加载直接采用激活路堤填土单元形式, 桥墩桩基础及抗滑桩均采用弹性强度准则, 其余土体采用 M-C 弹性强度准则。桥墩桩基础采用桩结构单元, 其余材料采用三维实体单元, 材料的物理力学参数见表 1。桩基与土体的接触采用界面单元模拟, 桩侧摩阻力及桩端承载力根据 JGJ 94—2008《建筑桩基技术规范》取值, 桩端弹簧刚度根据砂岩基床系数确定为 6 280 000 kN/m, 桩基础接触面参数见表 2。

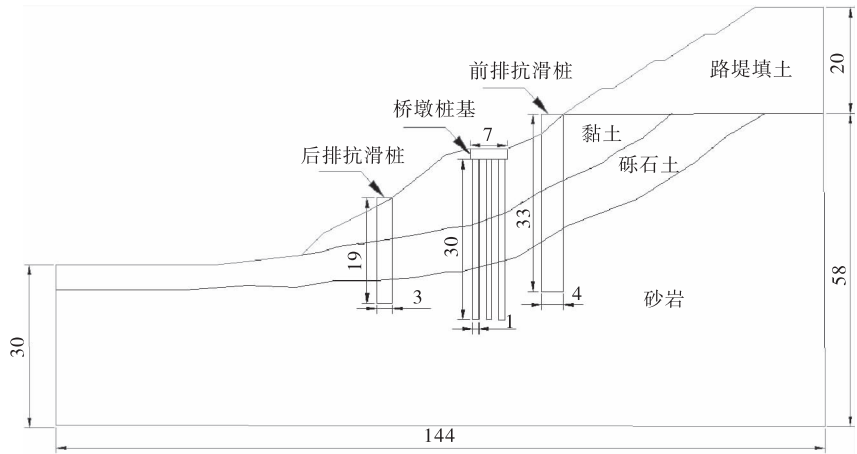


图 2 某边坡桥梁桩基、抗滑桩横剖面图(单位:m)

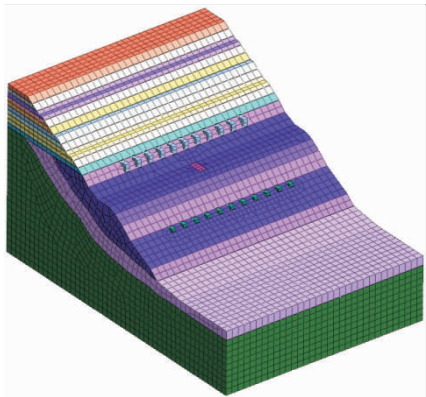


图 3 边坡的模型网格

1.3 计算工况

设置 3 种计算工况(见表 3)。在桥墩桩身及抗滑桩表面沿埋深设置 11 个监测点。

2 加固效果分析

2.1 桥墩及抗滑桩位移

工况一下边坡、桥墩横向位移分别见图 4、图 5。由图 4、图 5 可知:边坡加载对边坡稳定性的影响较大,随着边坡顶部路堤的加载,边坡表面黏土向下滑移,最大位移达 79 mm;桥墩桩基在黏土地层中发生 35 mm 横向位移,随着桩体埋深的增加,桩基的横

表 1 材料的物理力学参数

材料	弹性模量/MPa	泊松比	内摩擦角/(°)	黏聚力/kPa	密度/(g·cm ⁻³)
砂岩	15 000	0.20	36	120	2.3
黏土	15	0.30	25	30	2.1
砾石土	160	0.26	31	10	2.2
填土	90	0.30	20	30	2.1
抗滑桩(桥基)	25 000	0.20	—	—	2.4

表 2 桩界面参数

界面	最大剪力/(kN·m ⁻²)	剪切刚度/(kN·m ⁻³)	法向刚度/(kN·m ⁻³)
桩—黏土界面	96	96 154	1 057 692
桩—砾石土界面	110	846 500	9 311 500
桩—砂岩界面	220	80 000 000	880 000 000

表 3 工况设计

工况编号	加固措施	说明
工况一	无抗滑桩	无任何加固措施,作为对照组
工况二	仅有前排抗滑桩	在桥墩上部设置 11 根抗滑桩,抗滑桩间距 6 m
工况三	仅有后排抗滑桩	在桥墩下部设置 11 根抗滑桩,抗滑桩间距 6 m

向位移减小。

工况二下边坡横向位移见图 6,不同工况下桥墩桩顶横向位移见图 7。由图 6、图 7 可知:工况二下边坡黏土的最大横向位移减小为 64 mm,说明设置前排抗滑桩能有效限制桥墩上部黏土的滑移。仅设置后排抗滑桩时,桥墩桩基在加载结束后最大横向位移为 32 mm,略小于工况一时位移;设置前排抗

滑桩时,桥墩桩基最大横向位移仅 10 mm,设置前排抗滑桩对限制土体位移的效果最好。

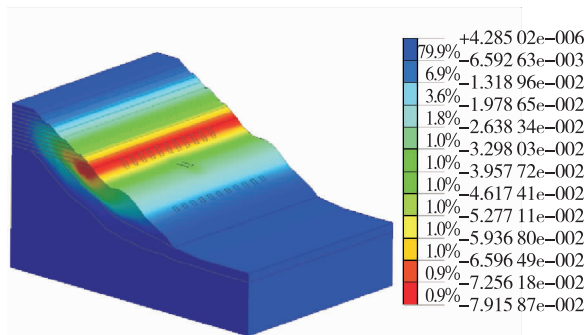


图4 工况一下边坡横向位移云图(单位:m)

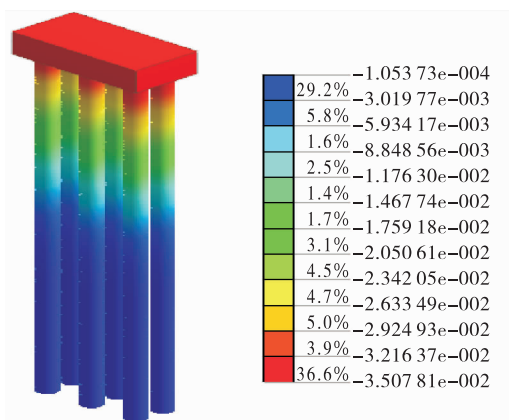


图5 工况一下桥墩横向位移云图(单位:m)

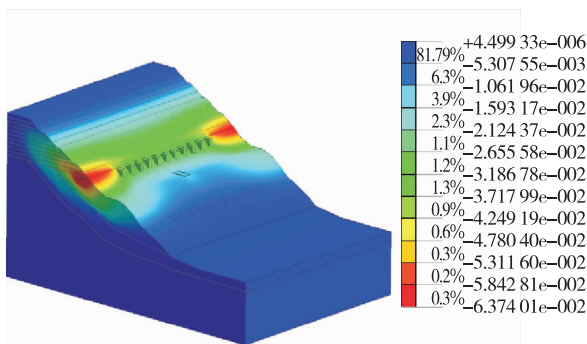


图6 工况二下边坡横向位移云图(单位:m)

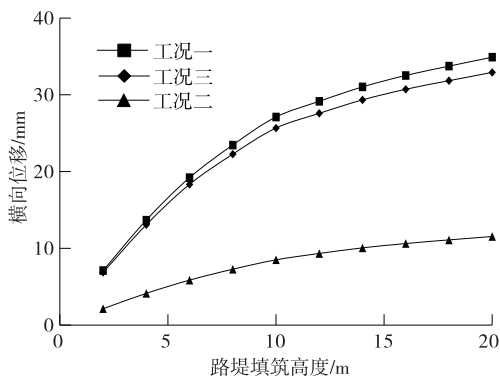


图7 不同工况下桥墩桩顶横向位移

2.2 桥墩桩基及抗滑桩应力

不同工况下桥墩桩基弯矩见图8。由图8可知:在埋深 13 m 处即黏土与砾石土层交界位置,桥墩桩基产生较大负弯矩。工况二时,桩基负弯矩值最小,为 1 157 kN·m;工况一、工况三时,桩基弯矩值较大,分别为 2 363 kN·m、2 094 kN·m。可见,设置前排抗滑桩对桥墩的减载效果最佳。

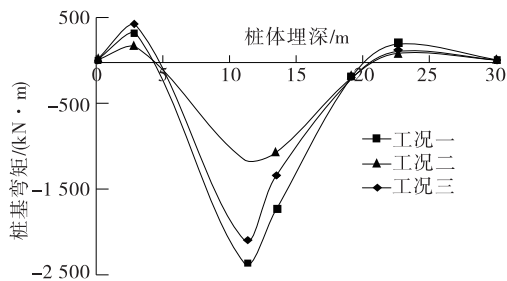


图8 不同工况下桥墩桩基弯矩

不同工况下桩土位移差见图9。由图9可知:随着路堤填筑高度的增加,工况二时桩土位移差大幅提高,而工况三时桩土位移差增长不明显。

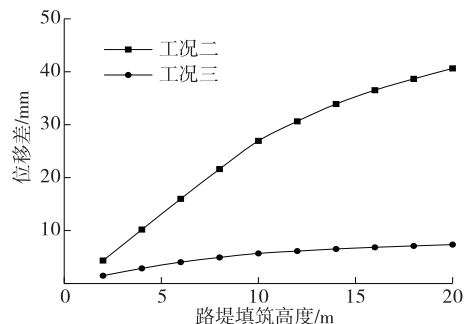


图9 不同工况下桩土位移差

不同工况下抗滑桩所受横向压力见图10,桩后土体所受横向压力见图11。由图10、图11可知:路堤填筑完成后,工况二、工况三时抗滑桩所受横向应力分别为 200 kPa、100 kPa,前排抗滑桩所受推力随着填筑高度的增加增幅较明显;工况二时桩后土体所受横向应力大幅增加,工况三时桩后土体所受推力没有明显变化。说明设置前排抗滑桩可在土体中形成理想的土拱效应,改善桥墩桩基受力状况。

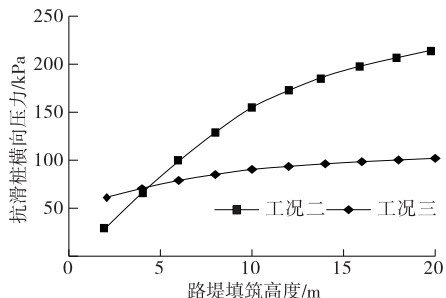


图10 不同工况下抗滑桩所受横向压力

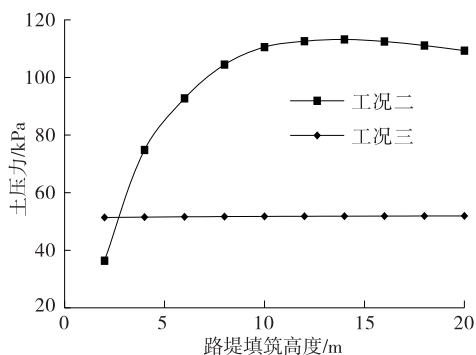


图 11 不同工况下桩后土体所受横向压力

3 结论

(1) 边坡加载对桥梁桩基影响较明显,路堤加载完成后,边坡表面黏土层发生滑移,最大位移达 79 mm;桥墩桩基最大横向位移达 35 mm,最大弯矩为 2 363 kN·m,对桥墩桩基进行减载加固十分必要。

(2) 前排抗滑桩可在土体中产生较理想的土拱效应,有效限制桥墩上部黏土的位移,改善桥墩受力,桥墩最大横向位移减小为 10 mm,最大弯矩减小为 1 157 kN·m。

(3) 后排抗滑桩处于滑坡黏土下部,不能有效约束土体位移,难以达到对桥墩桩基的减载效果。抗滑桩最好设置在被保护结构上方、土体发生位移最大处。

参考文献:

[1] 聂华杰.坡地条件下水平受荷桩的承载性能及计算方法

研究[D].长沙:湖南大学,2018.

[2] 武发辉.考虑边坡效应的桥梁桩基力学行为研究[D].兰州:兰州交通大学,2015.

[3] 李彰明,全国权,刘丹,等.土质边坡建筑桩基水平荷载试验研究[J].岩石力学与工程学报,2004,23(6):930—935.

[4] 单柏翔.较大水平推力下的承台灌注桩结构设计探讨[J].东北水利水电,2018,36(1):1—3+27.

[5] 李浩,殷德胜,吴海林.桩—土作用下桩间距及桩位对抗滑桩及土体力学特性的影响[J].科学技术与工程,2021,21(4):1529—1535.

[6] 雷达,蒋关鲁,刘伟豪,等.前后排抗滑桩加固滑坡桥基的振动台试验研究[J].岩石力学与工程学报,2017,36(9):2297—2304.

[7] 赵明华,陈耀浩,杨超炜.考虑土拱作用抗滑桩合理桩间距确定方法研究[J].岩土工程学报,2015,37(增刊2):16—21.

[8] 马俊伟,唐辉明,胡新丽,等.抗滑桩加固斜坡坡面位移场特征及演化模型试验研究[J].岩石力学与工程学报,2014,33(4):679—690.

[9] 李柏春.滑坡抗滑桩加固变形监测与参数识别[J].公路工程,2015,40(2):226—230+243.

[10] 张玲,陈金海,赵明华.考虑土拱效应的悬臂式抗滑桩最大桩间距确定[J].岩土力学,2019,40(11):4497—4505+4522.

[11] 中国建筑科学研究院.建筑桩基技术规范:JGJ 94—2008[S].北京:中国建筑工业出版社,2008.

[12] 丁桥军,董铁斌.抗滑桩参数变化对土质边坡稳定性的影响研究[J].公路与汽运,2020(1):68—71.

收稿日期:2021—12—20

长沙理工大学简介

长沙理工大学(Changsha University of Science & Technology)是国家交通运输部和湖南省人民政府共建高校,属于湖南省“国内一流大学建设高校”(A类),入选“中西部高校基础能力建设工程”、教育部“卓越工程师教育培养计划”、教育部“大学生创新性实验计划”,是中国电力高校联盟、绿色交通联盟、中俄交通大学联盟成员之一,是全国毕业生就业典型经验高校、全国深化创新创业教育改革示范高校。

长沙理工大学由原长沙交通学院、长沙电力学院于2003年合并组建。原长沙交通学院的前身是交通部1956年创办的长沙航务工程学校,原长沙电力学院的前身是电力工业部1956年创办的长沙水力发电学校。创办于1956年的湖南省水利水电学校和创办于1958年的湖南省轻工业学校(后更名为湖南轻工业高等专科学校)相继于2001年和2002年并入原长沙电力学院。

截至2020年11月,长沙理工大学占地面积2 980亩,校舍总建筑面积140余万平方米,图书馆纸本藏书360万册;有21个教学学院(系)、1个独立学院和1个继续教育学院,设有76个本科专业、6个一级学科博士学位授权点、27个一级学科硕士学位授权点;有全日制在校学生40 000余人,其中博士、硕士研究生6 500余人,独立学院学生6 900余人。