

前后桩夹角对人字型微型抗滑桩内力影响研究

胡毅夫^{1,2}, 乌青松^{1,2}

(1. 中南大学资源与安全工程学院, 湖南 长沙 410083;

2. 水能资源利用关键技术湖南省重点实验室, 湖南 长沙 410012)

摘要: 以实际边坡加固工程为依托, 通过数值分析, 研究了人字型微型抗滑桩(以下简称人字型桩)加固边坡。通过桩身弯矩分布图, 研究了不同夹角下人字型桩桩身弯矩分布规律, 并将结果与门型桩进行比较, 结果表明: 人字型桩在受力上优于门型桩; 夹角为负的人字型桩受力状况优于夹角为正的; 夹角为负时, 弯矩的最大值随着夹角绝对值增大而减小; 夹角为正时, 弯矩的最大值随着夹角增大而增大。

关键词: 微型抗滑桩; 异型抗滑桩; 边坡加固

中图分类号: P642. 2

文献标识码: A

文章编号: 1000-3665(2014)04-0092-05

微型抗滑桩桩径一般小于 400mm^[1], 内含加筋体, 一般采用机械钻孔的方法施工。微型桩施工机具小, 土层适应性好, 桩位布置灵活, 施工快速、安全, 在边坡加固和滑坡防治中应用越来越广泛^[2~6]。但微型抗滑桩的桩径小, 抗弯刚度小^[5], 抗弯性能不足是微型抗滑桩最大缺陷。为此, 很多学者提出了双排微型桩、多排微型桩甚至微型群桩^[7~9]。王树丰等^[10]通过模型试验研究了桩心配筋的微型群桩受力和破坏规律。周德培对多排微型桩进行了理论和模型试验研究, 并提出了基于弹性地基梁理论的设计方法^[11~12]。胡毅夫等^[13~14]通过大型的模型实验, 发现门型微型桩结构在前后桩之间动态的分配滑坡推力, 前后桩承受推力之比为 0.6:1。增加微型桩的数量在一定程度上解决了该问题, 但数量过多的微型桩破坏了原地层的结构, 并且桩身弯矩过大仍是桩结构破坏的主要原因。含斜桩的微型桩组合结构能通过斜桩的作用将下滑力较大程度地转化为桩的轴力, 提高了其抗弯能力, 在边坡加固中具有较大优势。然而目前对于微型桩组合结构的研究多处于对单桩、群桩和门型桩等规则结构的研究, 对异形桩(如人字型微型桩)的受力及影响因素缺乏研究。

湖南省新龙矿业公司 4 级浆砌块石挡土墙的边坡

高 16m、自然边坡角 64°, 已出现混凝土路面开裂、凹陷, 有滑移的趋势。该边坡人工填土较厚, 下滑力大, 地质条件复杂, 场地狭小, 人工挖孔桩缺乏施工平台, 而普通微型桩要求桩身弯矩不能过大, 因此拟采用人字型微型桩进行加固。但是, 人字型微型桩的设计, 目前尚无规范可依, 前后桩夹角的选取, 以及它对桩身弯矩的影响, 目前也缺乏研究。本文以该边坡工程为依托, 采用 FLAC^{3d} 软件计算不同前后桩夹角下人字型微型桩桩身弯矩, 研究了桩身弯矩的分布规律, 分析了前后桩夹角的影响效应, 同时与门型微型桩弯矩计算结果进行对比分析, 以期为实际工程提供依据。

1 模型的建立

1.1 相关定义

为便于说明问题, 将斜桩与竖直桩之间的夹角定义为: 以竖直桩为基准, 顺时针转为正, 逆时针转为负。后桩靠近滑坡后缘, 前桩靠近坡面(图 1)。

1.2 模型的建立及岩土参数取值

该边坡地层条件自上而下分别为人工填土、粉质粘土、全风化砂质板岩、强风化砂质板岩。填土层较厚, 10~15m, 为矿渣和粘土混合物, 性质不均一, 基岩埋藏较深, 推测滑面为人工填土与粉质粘土和全风化层的交界面。在滑面最陡一段末端布设一排桩径为 400mm 的人字型微型桩, 间距 2m, 前后桩夹角为 α , 嵌固端在强风化层。

微型桩采用 FLAC^{3d} 软件内置的桩单元(pile)进行模拟, 每个桩单元有 2 个节点, 在桩单元局部坐标系中, 每个节点有 3 个自由度: x 方向位移 u , y 方向挠度 v 和转角 θ , 则单元节点位移向量可以表示为:

收稿日期: 2014-01-27; 修订日期: 2014-03-19

基金项目: 水能资源利用关键技术湖南省重点实验室开放基金(PKLHD201308)

作者简介: 胡毅夫(1955-), 男, 教授, 主要从事边坡加固方面教学科研工作。

E-mail: huyifu6@163.com

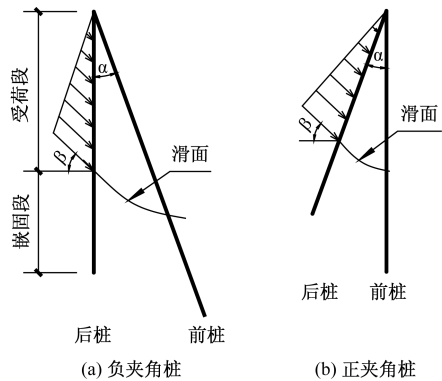


图 1 前后桩及夹角定义

Fig. 1 Definition of piles in front and back row and included angle(a. Piles with negative angle; b. piles with positive angle)

$$D_e = [u_1 \quad v_1 \quad \theta_1 \quad u_2 \quad v_2 \quad \theta_2]^T \quad (1)$$

每个节点有 3 个节点力:轴力 N 、剪力 Q 和弯矩 M ,则单元节点力向量可表示为:

$$F_e = [N_1 \quad Q_1 \quad M_1 \quad N_2 \quad Q_2 \quad M_2]^T \quad (2)$$

本文按平面应变问题进行考虑。模型长 43m,左边高 29m,右边高 13m(图 2)。

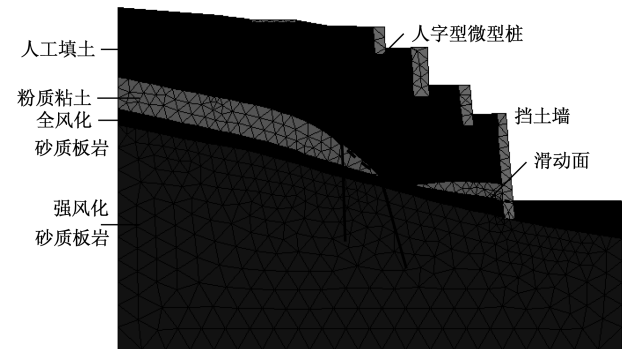


图 2 边坡模型

Fig. 2 Model of slope

模型左右两边施加水平约束,底边为固定端约束,上边界不施加约束。经钻孔取样和室内力学实验测得的岩土力学参数如表 1 所示。

表 1 岩土主要力学参数					
Table 1 Main mechanics parameters of rock and soil					
岩土名称	天然重度 (kN/m ³)	体积模量 (MPa)	泊松比	粘聚力 (kPa)	内摩擦角 (°)
人工填土	19.0	4.4	0.35	15	12
粉质粘土	19.5	5.0	0.33	15	14
全风化 砂质板岩	22.0	42.0	0.30	20	25
强风化 砂质板岩	24.0	133.0	0.25	150	35

人字型微型桩的前后桩之间的连接视为固定端连接,能传递弯矩和力。桩为钢筋混凝土材料,弹性模量 E 取 40GPa,截面积 A 和惯性矩均 I 可通过桩径求得,单元长度 l 取为 1m。

2 夹角对桩身弯矩的影响

2.1 夹角影响效应分析

根据实际工程条件,在同一设桩位置分别设置夹角为 -30° 、 -25° 、 -20° 、 -15° 、 15° 、 20° 、 25° 和 30° 的人字型微型桩,对桩身弯矩大小以及分布进行研究(由于滑面的原因,夹角为正时,斜桩长为 14m,夹角为负时,斜桩长为 21m)。经 FLAC^{3d} 计算(边坡安全系数均达到 1.20 以上),查看桩单元的弯矩图。图 3 是夹角为 -15° 时 FLAC^{3d} 计算的结果。

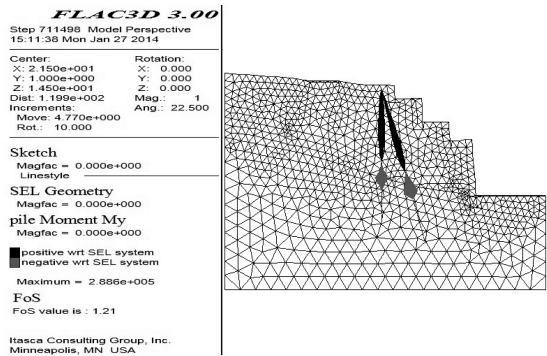


图 3 人字型微型桩弯矩计算结果

Fig. 3 Calculated results of moment of herringbone micro-pile

由图 3 可知,桩身弯矩分为正负两段,上半部分为正弯矩,下半部分为负弯矩,弯矩最大值是滑面附近的负弯矩,大小为 288KN·m。

为便于观察弯矩分布规律,将计算结果中的桩单元弯矩数据导出,以桩长为纵坐标,弯矩值为横坐标绘出弯矩图(图 4)。

总体上看,人字型微型桩的弯矩图呈倒“S”状分布,桩顶位置竖直桩和斜桩的弯矩大小相同,方向相反,说明桩顶节点能达到平衡,也证明了计算的正确性。滑面将弯矩图分成两部分,滑面以上部分主要为正弯矩,桩身弯矩随着桩长先增大后减小,极大值出现在正弯矩段的中间位置;滑面以下部分为负弯矩,负弯矩大小也是随桩长增加而先增加后减小,最终趋近于零,极大值出现在负弯矩段的中间位置。正弯矩和负弯矩最大值的绝对值相差不大,表明结构受力状态良好,材料强度得到充分利用。

对于相同角度的人字型桩,前后桩弯矩分布趋势基本一致。由于前后桩所处的滑面位置的不同,其极

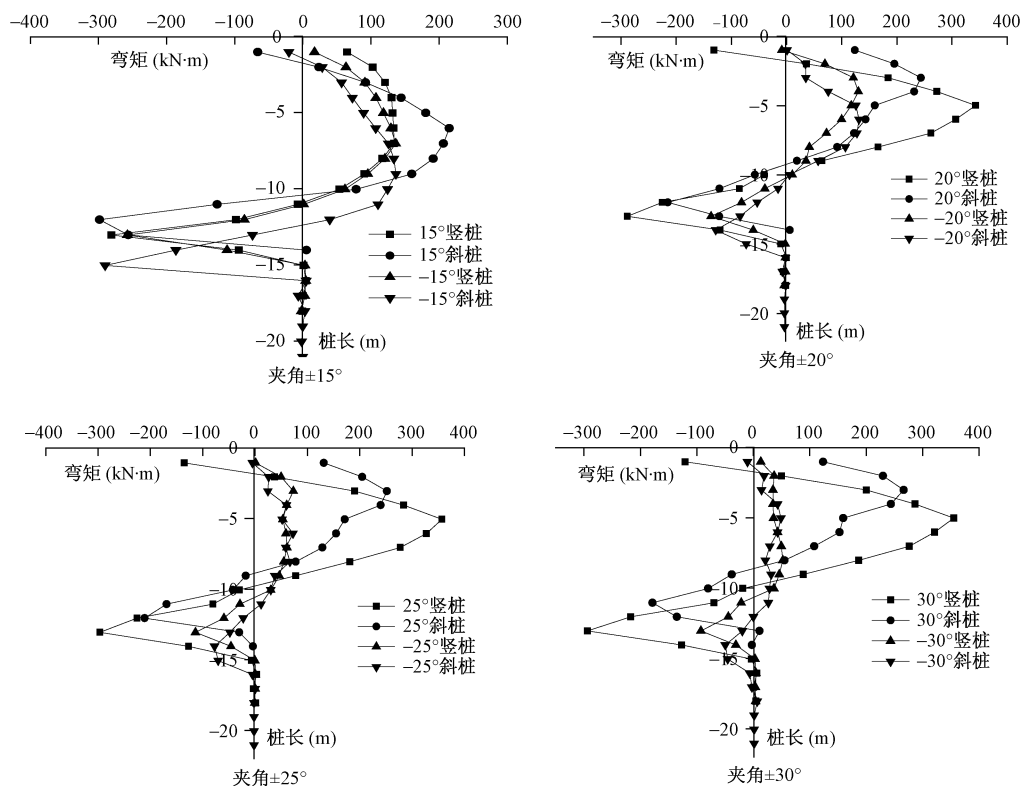


图4 不同夹角时弯矩图

Fig. 4 Diagram of moment with different included angle

值点也会随之上下波动,范围在1~2m之间。当夹角为负时,前后桩弯矩最大值相差不大,两者相差7%~13%;当夹角为正时,前后桩弯矩最大值相差较大,为40%~50%,对结构受力不利。

对于夹角绝对值相等而正负不同的人字型微型桩,负夹角桩的弯矩总体上小于正夹角桩。夹角为负时,随着夹角绝对值的增大,桩身弯矩减小;夹角为正时,夹角增大,桩身弯矩随之增大,但趋势不明显。

2.2 门型桩对比分析

将门型桩的连系梁和后桩一起视为人字型桩中的斜桩,则门型桩可以近似视作夹角为90°的特殊人字型桩,将其也纳入对比。在同一桩位设置一排门型桩,桩径400mm,连系梁为400mm×400mm,长度2m。同样,微型桩采用桩单元模拟,连系梁采用梁单元模拟,桩与梁之间的连接为固定端连接。利用计算结果数据绘出桩弯矩图,如图5所示。同人字型桩一样,门型桩在滑动面以上桩身弯矩为正,滑动面以下弯矩为负,负弯矩的绝对值先增大后减小。不同之处在于,由于连系梁的作用,门型桩的桩身弯矩分布规律在正弯矩段明显不同于人字型桩,在正弯矩段,未出现先增后减的情况,而是单调递减。将人字型桩和门型桩的最大弯矩列于表2中进行对比。

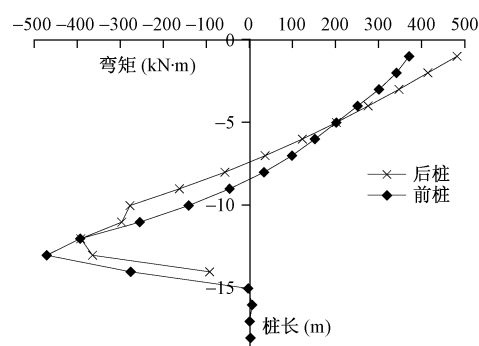


图5 门型桩弯矩图

Fig. 5 Diagram of moment of portal type anti-pile

由表2可知,人字型微型桩最大弯矩值比门型桩要小25%以上,其中夹角为-30°的人字型桩弯矩最大值比门型桩小80%,这说明人字型桩在受力上优于门型桩,能承受更大滑坡推力;对于夹角绝对值相同的人字型桩,负夹角桩弯矩最大值小于正夹角桩,说明前者受力要比后者好。负夹角的人字型桩,弯矩的最大值随着夹角绝对值增大而减小,可见夹角绝对值增大对负夹角桩的受力有利;正夹角的人字型桩,弯矩的最大值随夹角的增大而增大,可见夹角增大对正夹角桩的受力不利。EC Ang等人^[15]的研究成果表明“反斜桩”承载力最大,“直桩”次之,“正斜桩”最小,也证明了负夹角的人字型桩受力较好。

表 2 各桩弯矩比较

Table 2 Comparison of moments of the different pile

桩的种类	人字型桩								门型桩
	- 15°	- 20°	- 25°	- 30°	+ 15°	+ 20°	+ 25°	+ 30°	
最大弯矩 (kN · m)	288	135	111	94. 2	299	346	358	353	480
相对门型桩的比例	0. 6	0. 28	0. 23	0. 20	0. 62	0. 72	0. 75	0. 74	1

3 人字型桩加固方案的确定

根据以上分析,人字型桩宜选择负夹角的形式,且应选择较大的夹角,从而减小桩身弯矩,减少配筋,节约成本。结合本工程实际情况,人字型桩宜布置在滑面较陡段的末端,且施工不能破坏挡墙,最终选择桩位距挡土墙 2m,夹角选择为 - 15°。

图 6 为坡顶某点的水平位移的监测数据。人字型桩 2013 年 9 月施工完成,边坡位移经历了稳定蠕变、加速蠕变和位移收敛三个阶段。

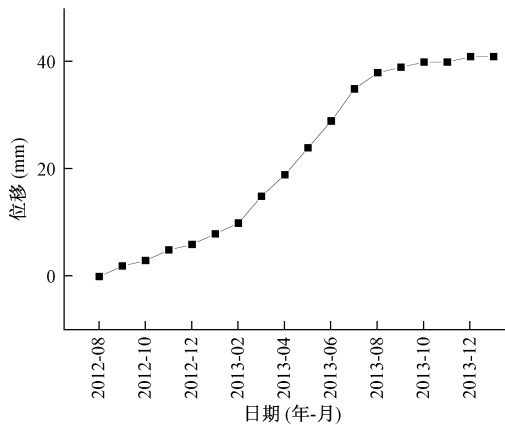


图 6 边坡位移监测数据

ig. 6 Monitoring data of displacement of slope

4 结论

- (1)微型桩组合结构(包括人字型微型桩和门型微型桩)能通过固定端连接,改善受力条件,使前后排桩的弯矩分布相对均匀,较大程度地发挥材料强度。
- (2)人字型微型桩弯矩最大值比门型桩小,其受力更好,能承受更大滑坡推力。
- (3)人字型微型桩的前后桩夹角对弯矩分布有较大影响,负夹角桩的受力优于正夹角桩,且角度越大,越有利于承受滑坡推力。因此在实际工程中,应尽量将夹角设计为负值,且根据施工条件适当增大夹角。

参考文献:

[1] 龚健,陈仁朋,陈云敏,等. 微型桩原型水平荷载试

验研究[J]. 岩石力学与工程学报,2004,23 (20) : 3541 - 3546. [GONG J, CHEN R P, CHEN Y M, *et al.* Prototype testing study on micropiles under lateral loading[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2004, 23 (20) : 3541 - 3546. (in Chinese)]

[2] 孙书伟. 微型桩结构加固边坡受力机制和设计计算理论研究[D]. 北京:中国铁道科学研究院,2009. [SUN S W. Study on loaded mechanics and calculation theory of micropiles structures for slop stabilization[D]. Beijing: China Academy of Railway Sciences, 2009. (in Chinese)]

[3] 周德培,王唤龙,孙宏伟. 微型桩组合抗滑结构及其设计理论[J]. 岩石力学与工程学报,2009,28 (7) : 1353 - 1362. [ZHOU D P, WANG H L, SUN H W. Micro-pile composite structure and its design theory[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2009, 28 (7) : 1353 - 1362. (in Chinese)]

[4] 姜春林,吴顺川,吴承霞,等. 复活古滑坡治理及微型抗滑桩承载机理[J]. 北京科技大学学报,2007,29(10) : 975 - 979. [JIANG C L, WU S C, WU C X, *et al.* Resurrection of ancient landslide and mechanism of micro anti-piles [J]. Journal of University of Science and Technology Beijing,2007,29 (10) : 975 - 979. (in Chinese)]

[5] 孙书伟,朱本珍,马惠民,等. 微型桩群与普通抗滑桩抗滑特性的对比试验研究[J]. 岩土工程学报,2009,31 (10) : 1564 - 1570. [SUN S W, ZHU B Z, MA H M, *et al.* Model tests on anti-sliding mechanism of micropile groups andanti-sliding piles [J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2009,31(10) : 1564 - 1570. (in Chinese)]

[6] 闫金凯,殷跃平,马娟. 滑坡防治独立微型桩性状的大型物理模型试验研究[J]. 水文地质工程地质,2012,39 (4) : 55 - 60. [YAN J K, YIN Y P, MA J. Large scale model test study on single micropile in landslide reinforcement. [J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 2012, 39 (4) : 55 - 60. (in Chinese)]

[7] 陈曦. 双排抗滑桩滑坡推力计算方法研究[D]. 成

- 都:西南交通大学,2010. [CHEN X. Study on the method of double row anti-slide piles calculation in thrust [D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2010. (in Chinese)]
- [8] 孙书伟,朱本珍,郑静. 基于极限抗力分析的微型桩群加固土质边坡设计方法[J]. 岩土工程学报,2010,32(11): 1671 – 1677. [SUN S W, ZHU B Z, ZHEN J. Design method of micropile group for soil slope stabilization based on ultimate resistance of analysis[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2010, 32(11): 1671 – 1677. (in Chinese)]
- [9] 黄新文. 多排抗滑桩的计算方法与工程应用研究 [D]. 成都:西南交通大学,2007. [HUANG X W. The study on computing method and application in project of multi-row anti-slide piles [D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University,2007. (in Chinese)]
- [10] 王树丰,张遵遵,赵欣. 桩心配筋微型桩抗滑特性试验研究 [J]. 水文地质工程地质,2012,39(3): 49 – 53. [WANG S F, ZHANG Z Z, ZHAO X. Model experimental research on anti-sliding characteristics of micropiles with center reinforcement arrangement [J]. Hydrogeology & Engineering Geology,2012,39(3): 49 – 53. (in Chinese)]
- [11] 吴文平,周德培,王唤龙. 微型桩结构加固边坡的模型试验与计算探讨[J]. 路基工程,2009,27(3): 139 – 140. [WU W P, ZHOU D P, WANG H L. Model test and calculation of micro-piles structure strengthening side slope [J]. Subgrade Engineering, 2009,27(3): 139 – 140. (in Chinese)]
- [12] 冯君,周德培,江南,等. 微型桩体系加固顺层岩质边坡的内力计算模式[J]. 岩石力学与工程学报,2006,25(2): 284 – 288. [FENG J, ZHOU D P, JIANG N, *et al.* A model for calculation of internal force of micropile system to reinforce bedding rock slope [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2006, 25 (2): 284 – 288. (in Chinese)]
- [13] 胡毅夫,王庭勇,马莉. 微型抗滑桩双排单桩与组合桩抗滑特性研究 [J]. 岩石力学与工程学报,2012,31(7): 1499 – 1505. [HU Y F, WANG T Y, MA L. Research on anti-sliding characteristics of single double-row and composite anti – slide micropiles [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2012,31(7): 1499 – 1505. (in Chinese)]
- [14] 胡毅夫,王庭勇,唐承铁. 微型抗滑桩组合结构模型试验与结构影响分析 [J]. 铁道科学与工程学报,2012,34(5): 54 – 58. [HU Y F, WANG T Y, TANG C T. Micro anti-slide pile composite structure model test and structure analysis [J]. Journal of Railway Science and Engineering,2012,34(5): 54 – 58. (in Chinese)]
- [15] Ec A. Numerical Investigation of Load Transfer Mechanisms in Slopes Reinforced with Piles [D]. University of Missouri-Columbia, 2005.

A study of the influence of internal force of herringbone micro-pile included angle

HU Yi-fu^{1,2}, WU Qing-song^{1,2}

(1. School of Resource and Safety Engineering, Central South University, Changsha, Hunan 410083 China;
2. Hunan Provincial Key Laboratory of Hydropower Development Key Technology, Changsha, Hunan 410012, China)

Abstract: Based on a practical slope reinforce project, herringbone micro-pile is studied using numerical analysis. By analysis of the moment distribution, the included angle between vertical and spur pile of herringbone micro-pile how to affected the piles' internal force and anti – slide performance is reseached. Compared with the portal type anti-pile, the results indicated that the herringbone micro-pile can stress better than portal type anti-pile; herringbone micro – pile with negative included angle can stress better than that with positive value; when the included angle is negative, the maximum value of moment decreased as the absolute value of included angle increased; when the included angle is positive, the maximum value of moment increased as the absolute value of included angle increased.

Key words: micro-pile; anisomorphic pile; slope reinforce

责任编辑:张明霞