

文章编号: 1000-7598 (2011) 06-1838-05

锚索双排桩与刚架双排桩的对比研究

申永江¹, 孙红月², 尚岳全², 刘 健³

(1. 中南大学 土木建筑学院, 长沙 410075; 2. 浙江大学 软弱土与环境土工教育部重点实验室, 杭州 310058;

3. 浙江省交通规划设计研究院, 杭州 310006)

摘 要: 在大型滑坡治理工程中常常采用双排抗滑桩, 锚索双排桩和刚架双排桩是常见的两种型式。采用有限元程序 ANSYS 分别建立锚索双排桩和刚架双排桩的有限元分析模型, 对比分析这两种型式双排桩的内力分布, 找出能更好发挥抗滑效果的结构型式。通过对比分析可知, 锚索双排桩的前后两排桩的内力分布差距十分明显, 刚架双排桩的前后两排桩的内力分布差距较小, 所以, 刚架双排桩能够更好地发挥抗滑效果。选取锚索双排桩和刚架双排桩 2 个工程实例, 监测分析发现锚索双排桩的前排桩侧向位移和弯矩均远小于后排桩, 刚架双排桩前后两排桩的位移和弯矩比较接近, 这与有限元分析结果相吻合, 因此, 双排抗滑桩的设计中建议采用刚架双排桩。

关 键 词: 锚索双排桩; 刚架双排桩; 滑坡; 监测

中图分类号: TU 473

文献标识码: A

Comparative study of anchor double-row piles and frame double-row piles

SHEN Yong-jiang¹, SUN Hong-yue², SHANG Yue-quan², LIU Jian³

(1. School of Civil and Architecture of Engineering, Central South University, Changsha 410075, China;

2. Key Laboratory of Soft Soils and Geoenvironmental Engineering, Ministry of Education, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China;

3. Zhejiang Provincial Plan, Design & Research Institute of Communications, Hangzhou 310006, China)

Abstract: Double-row piles are often used to the large-scale landslide. The anchor double-row piles and the frame double-row piles are the two common types. Based on the finite element program ANSYS, finite element models of the two types double-row piles are established separately. Compared the internal force distribution of anchor double-row piles with frame double-row piles, it is found that the frame double-row piles could be better able to play anti-slide effect. For the anchor double-row piles, the difference of internal force distribution between the front and back row piles is very obvious. For the frame double-row piles, the difference is very small. Taking two engineering cases, an anchor double-row piles and a frame double-row piles for examples, through monitoring and analyzing the stresses and displacements of the piles, it is shown that the results are consistent with the finite element analysis. So we suggest using the frame double-row piles in the design.

Key words: anchor double-row piles; frame double-row piles; landslide; monitoring

1 引 言

抗滑桩是治理滑坡的主要手段。在大型滑坡的治理中, 由于桩间距和滑坡体宽度的限制, 单排抗滑桩常常无法满足抗滑力的要求, 而又不便把多排抗滑桩分别布置到滑坡体的不同部位, 所以有些滑坡治理工程中就采用了双排抗滑桩。为了更好地发挥抗滑桩的抗滑效果, 常常在桩顶设置预应力锚

索^[1-4]或者在前后排之间设置连系梁^[5-11]。这两种型式的双排桩均能够起到减小桩顶位移的效果, 但它们的内力分布是完全不同的, 滑坡推力在前后排桩上的分配也是不一样的。本文通过对比分析这两种双排桩的内力分布来确定最佳的双排桩型式, 为双排抗滑桩的设计提供依据。

锚索双排桩已在贵州某滑坡^[1-2]、杭金衢高速公路 K103 滑坡和渝黔高速公路向家坡滑坡等滑坡

收稿日期: 2009-08-18

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (No. 40672185, No. 40502026); 浙江省重大科技专项社会发展重点项目资助 (No. 2006C13027)。

第一作者简介: 申永江, 男, 1979 年生, 博士, 讲师, 主要从事地质灾害的防治与治理研究。E-mail: shyj79@163.com

通讯作者: 孙红月, 女, 1970 年生, 博士, 副教授, 主要从事岩土体稳定性分析方面的研究与教学工作。E-mail: shy@zju.edu.cn

上有所应用。刘颖^[1]和孙岩辉^[2]分别对平面双排锚拉桩和空间多排锚拉桩的受力进行了分析,并分别进行了设计研究。

刚架双排桩主要应用于深基坑支护和大型滑坡的治理中,许多学者对此进行了研究,蔡袁强等^[5]、郑刚等^[6]分别运用有限元法,对基坑刚架双排桩的受力特性进行了研究。万智等^[7]运用土拱理论,对刚架双排桩进行了分析计算。孙勇^[8-9]对滑坡中刚架双排桩的受力机制、计算方法和设计方法进行了研究。周翠英等^[10]将门架式双排桩的桩间土体抗力简化为弹性支撑,提出了桩间土对前排桩的作用模式和作用力计算分析模型。吕美君等^[11]运用结构力学方法对门架式双排桩中滑坡推力在前后排抗滑桩的分配进行了研究。这些研究促进了对锚索双排桩和刚架双排桩结构相互作用机制的认识。

目前还没有锚索双排桩和刚架双排桩的对比研究,对这两者优劣性的了解还不够深入。本文从双排抗滑桩的监测入手,建立有限元分析模型,分析锚索双排桩和刚架双排桩内力分布的异同,来确定最佳的双排桩型式。

为便于陈述,作如下规定:位于滑坡体后部,首先承受滑坡推力的桩排为后排桩;靠近滑坡体前部的桩排则为前排桩。

2 有限元分析模型

2.1 基本假定

(1) 按平面应变考虑,有限元分析模型如图1所示。模型宽280 m,左边高75 m,右边高155 m。考虑模型四周与相邻土体的相互约束,边界条件为:对模型左右两边界加水平约束,对模型下边界加水平和竖向约束,上边界不加约束。桩顶加水平位移约束来模拟锚索对抗滑桩的作用。

(2) 滑坡岩土体采用Drucker-Prager弹塑性模型,滑床岩土体采用线弹性模型,抗滑桩和桩顶连系梁采用线弹性梁单元模型。

(3) 桩土界面不考虑相对的滑移,在临界面上共用有限元网格节点,以此来满足变形协调条件。通过岩土体的变形将滑坡推力传递到抗滑桩上。滑坡推力在前后排上的分配,主要通过前后排抗滑桩与桩顶连系梁及桩间土体的变形协调来实现。

(4) 抗滑桩与连系梁的连接点均为刚结点,可以传递力和弯矩。双排桩的细部构造图如图2所示。

2.2 材料参数

抗滑桩为钢筋混凝土结构,滑坡岩土体主要由

角砾土和可塑状态的黏土加角砾组成,滑床岩土体为强风化或弱风化砾岩。有限元分析时,抗滑桩、连系梁和滑床岩土体可看作线弹性材料,只需考虑弹性模量 E 、泊松比 μ 和重度 γ ,滑坡岩土体看作弹塑性材料,除上面3个参数外还要考虑黏聚力 c 和内摩擦角 φ 。抗滑桩、连系梁和岩土体的基本参数见表1。

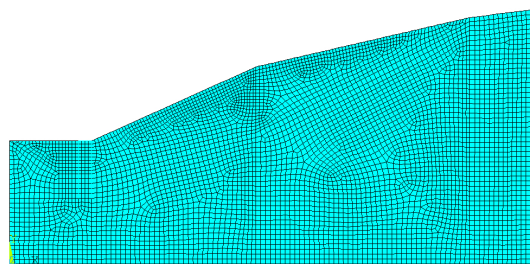


图1 有限元分析模型

Fig.1 Model of finite element analysis

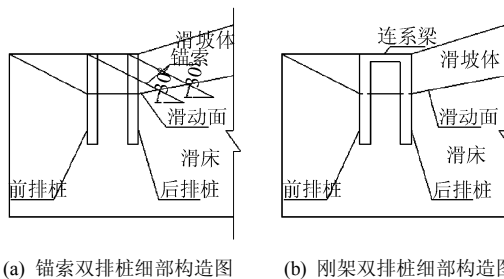


图2 双排桩的细部构造图

Fig.2 Layout of double-row anti-slide piles

表1 桩和岩土体的物理力学参数

Table 1 Mechanical parameters of pile and rock

材料类型	弹性模量 /MPa	泊松比	黏聚力 /kPa	内摩擦角 /(°)	重度 /(kN/m ³)
抗滑桩 及连系梁	30 000	0.2			25
滑坡岩土体	400	0.4	400	20	20
滑床岩土体	5 000	0.3			20

双排桩的桩截面尺寸为2.5 m×4 m,桩排距为8 m,桩长35 m,锚固段的长度为15 m。连系梁的截面尺寸为2 m×2.5 m。对抗滑桩的桩顶节点施加水平位移约束来模拟预应力锚索的作用。

3 数值模拟结果分析

在其他条件不变的情况下分别建立锚索双排桩和刚架双排桩的有限元分析模型,对比分析这两种双排抗滑桩弯矩和剪力分布的异同。

3.1 双排抗滑桩的弯矩分布

桩顶分别设置预应力锚索和连系梁,来模拟分

析双排抗滑桩的弯矩分布。图 3、4 为这两种双排桩的前、后排抗滑桩的弯矩分布。由图 3、4 可知, 对于前排桩上的弯矩分布, 刚架双排桩明显大于预应力锚索双排桩; 对于后排桩上的弯矩分布, 刚架双排桩要小于预应力锚索双排桩。预应力锚索双排桩的最大弯矩达到 $11 \text{ MN}\cdot\text{m}$, 刚架双排桩的最大弯矩为 $9.36 \text{ MN}\cdot\text{m}$ 。预应力锚索双排桩前后两排桩上的弯矩分布差距十分明显, 而刚架双排桩前后排桩上的弯矩分布差距很小, 这说明刚架双排桩能够使前后排桩更好的发挥抗滑作用。

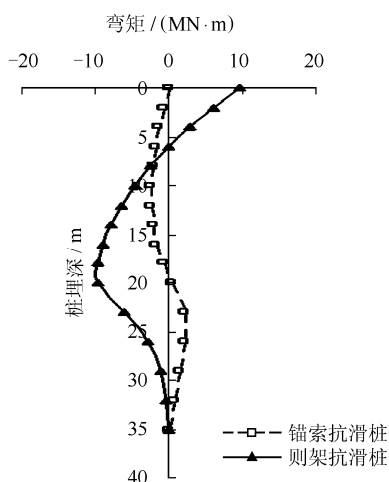


图 3 前排抗滑桩的弯矩图

Fig.3 Bending moment diagram of piles in the front row

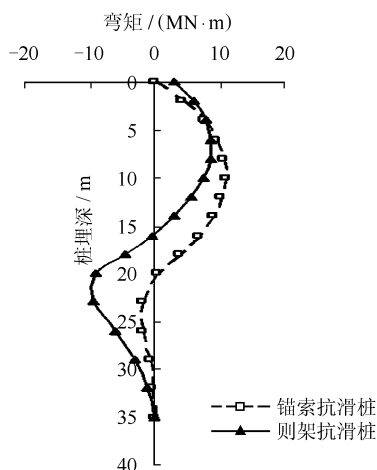


图 4 后排抗滑桩的弯矩图

Fig.4 Bending moment diagram of piles in the bank row

3.2 双排抗滑桩的剪力分布

桩顶分别设置预应力锚索和连系梁, 来模拟分析双排抗滑桩的剪力分布。图 5、6 分别为两种双排桩的前、后排抗滑桩的剪力分布。由图可知, 刚架双排桩前后排桩上的剪力分布均大于预应力锚索双排桩。与锚索双排桩相比, 桩顶附近, 刚架双排桩前排桩上的剪力明显增大, 而后排桩的剪力有所减

小; 在滑动面附近, 刚架双排桩前排桩上的剪力明显减小, 而后排桩的剪力有所增大。从前后排抗滑桩上的剪力分布的对比来看, 锚索双排桩差距明显, 而刚架双排桩的差距比较小。

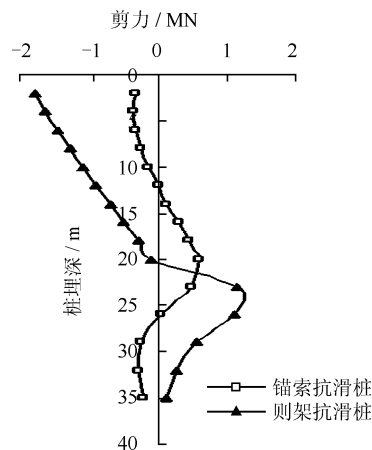


图 5 前排抗滑桩的剪力图

Fig.5 Shear stress diagram of piles in the front row

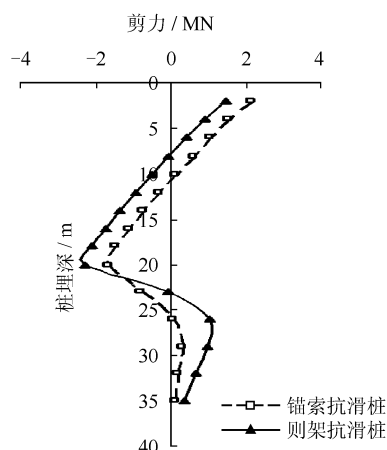


图 6 后排抗滑桩的剪力图

Fig.6 Shear stress diagram of piles in the bank row

综上分析, 刚架双排桩受连系梁的作用前后排抗滑桩的弯矩和剪力分布更加的接近, 这也说明连系梁使前后排桩的相互作用更加明显。对预应力锚索双排桩来说, 虽然锚索使后排桩的抗滑效果增加了, 但却削弱了前排桩的抗滑效果。

双排抗滑桩是个相互联系的结构体系, 必须同时考虑前后排抗滑桩的受力情况, 只有当前后排抗滑桩均充分发挥了其抗滑作用才是最合理的。所以, 在双排抗滑桩的设计中, 如果从锚索双排桩和刚架双排桩中进行选择, 建议采用刚架双排桩。

4 监测实例

在大型滑坡的治理中往往采用双排抗滑桩。双排桩的型式有多种, 其中锚索双排桩和刚架双排桩

是常见的两种型式。下面分别取锚索双排桩和刚架双排桩 2 个监测实例进行对比分析。

4.1 锚索双排桩的实例分析

杭金衢高速公路 K103 滑坡, 滑坡岩土体主要由角砾土和可塑状态的黏土加角砾组成, 滑床岩土体为弱风化或微风化砾岩。双排抗滑桩为主要加固手段, 48 根抗滑桩呈梅花形交错布置, 桩排距为 8 m。其中部分抗滑桩的顶部设置了预应力锚索。选取其中的 2 根预应力锚索抗滑桩(一根为前排桩, 另一根为与之对应的后排桩) 进行分析, 这 2 根桩上设置了测斜孔和钢筋计, 分别对其侧向位移和钢筋应力进行监测。由钢筋的应力监测数据计算得到的抗滑桩各监测截面的弯矩见表 2。测斜仪测得的前、后排抗滑桩的侧向位移-深度曲线图如图 7 所示。由表 2、图 7 可知, 预应力锚索双排桩, 在同一埋深处, 后排桩的位移、截面弯矩明显大于前排桩, 其中后排桩的最大位移约为前排桩的 1.8 倍, 滑面附近的弯矩约为前排桩的 2.3 倍。

表 2 前后两排桩不同部位的弯矩
Table 2 Bending moments of the piles

距桩顶长度/桩长	前排桩弯矩/(kN·m)	后排桩弯矩/(kN·m)
1/3	-238.30	0.00
1/2	1 822.95	4 151.58
2/3	1 637.11	2 876.84
3/4	3 404.60	4 033.74

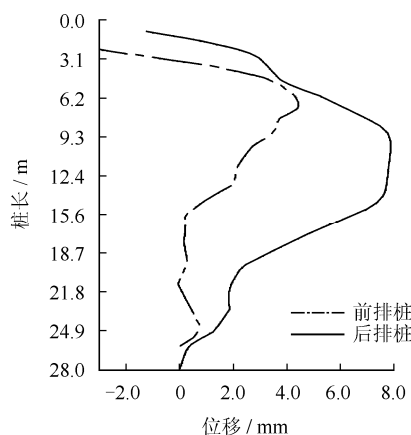


图 7 双排桩的位移曲线图

Fig.7 Displacement curves of the double-row piles

4.2 刚架双排桩的实例分析

这里引用文献[9]中的工程实例。某滑坡滑动面以上为黏土层与碎石土层, 滑动面以下为强风化岩层。采用了刚架双排抗滑桩治理措施。抗滑桩为人工挖孔桩, 桩截面尺寸为 1.25 m×2 m, 桩间距为 6 m, 桩排距为 7.25 m。在抗滑桩的纵向受力钢筋

上设置了钢筋计以推算桩身弯矩, 并用经纬仪来监测抗滑桩的桩顶位移。监测数据见表 3, 表中的数据均来自文献[9]。由表 3 的数据可知, 刚架双排桩, 前后两排桩的桩顶位移和桩身弯矩均比较接近, 后排桩的桩顶位移约为前排桩的 1.3 倍, 滑面附近的弯矩约为前排桩的 1.3 倍, 桩顶弯矩基本一致。所以, 采用刚架双排桩能使抗滑桩之间的位移和受力相协调, 达到更好的抗滑效果。

表 3 抗滑桩位移与弯矩的监测数据
Table 3 Monitoring data of displacement, and bending moment, of the piles

抗滑桩	桩顶位移/mm	桩顶弯矩/(kN·m)	滑面附近弯矩/(kN·m)
前排桩	4.9	10 076	6 346
后排桩	6.6	10 102	8 527

综上所述, 监测结果与数值分析的结果相一致。预应力锚索双排桩, 滑坡推力在前排桩上的分配是通过桩排间岩土体的变形来实现的, 而预应力锚索使后排桩的桩顶位移明显减小, 这也就减小了桩排间岩土体的变形, 从而削弱了前排桩的抗滑效果。刚架双排桩, 滑坡推力在前后两排桩上的分配主要是通过连系梁来实现的, 通过位移和受力的相互协调, 前后排抗滑桩能够同时发挥较好的抗滑效果, 因此今后在双排抗滑桩的设计中建议使用刚架双排桩。

5 结 论

(1) 预应力锚索双排桩, 前后两排桩的弯矩和剪力分布差距十分明显。滑坡推力在前后两排桩上的分配是通过桩排间岩土体的变形实现的, 预应力锚索对前后两排桩的相互作用基本没有影响。

(2) 与预应力锚索双排桩相比, 刚架双排桩前后两排桩的弯矩和剪力分布相差比较小。刚架双排桩的连系梁使前后两排桩的相互作用明显加强, 从而发挥更好的抗滑效果。

(3) 监测实例也证明了刚架双排桩能够使前后两排桩同时发挥较好的抗滑效果, 在双排抗滑桩的设计中建议使用刚架双排桩。

参 考 文 献

- [1] 孙岩松. 空间多排锚拉桩支护设计[D]. 贵阳: 贵州大学, 2008.
- [2] 刘颖. 平面双排锚拉桩受力分析及设计研究[D]. 贵阳: 贵州大学, 2007.
- [3] 申永江, 吕庆, 尚岳全. 桩排距对双排抗滑桩内力的影响[J]. 岩土工程学报, 2008, 30(7): 1033—1037.

- SHEN Yong-jiang, LÜ Qing, SHANG Yue-quan. Effect of pile row distance on internal stress of double-row anti-slide piles[J]. **Chinese Journal of Geotechnical Engineering**, 2008, 30(7): 1033—1037.
- [4] 祝辉, 唐红梅, 李明, 等. 重庆-贵州高速公路向家坡滑坡稳定性分析及防治对策研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2006, 25(增刊 1): 2687—2693.
- ZHU Hui, TANG Hong-mei, LI Ming, et al. Stability analysis and preventive treatment measures to Xiangjiapo landslide along Chongqing-Guizhou expressway[J]. **Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering**, 2006, 25(Supp.1): 2687—2693.
- [5] 蔡袁强, 赵永倩, 吴世明, 等. 软土地基深基坑中双排桩式围护结构有限元分析[J]. 浙江大学学报(工学版), 1997, 31(4): 442—448.
- CAI Yuan-qiang, ZHAO Yong-qian, WU Shi-ming, et al. FEM analysis of the deep pit excavation with retaining structure of the double piles in soft clay[J]. **Journal of Zhejiang University(Engineering Science)**, 1997, 31(4): 442—448.
- [6] 郑刚, 李欣, 刘畅, 等. 考虑桩土相互作用的双排桩分析[J]. 建筑结构学报, 2004, 25(1): 99—106.
- ZHENG Gang, LI Xin, LIU Chang, et al. Analysis of double row piles in consideration of the pile-soil interaction[J]. **Journal of Building Structures**, 2004, 25(1): 99—106.
- [7] 万智, 王贻荪, 李刚. 双排桩支护结构的分析与计算[J]. 湖南大学学报(自然科学版), 2001, 28(3): 116—120.
- WAN Zhi, WANG Yi-sun, LI Gang. Analysis and calculation of retaining structure with double-row piles[J]. **Journal of Hunan University (Natural Sciences Edition)**, 2001, 28(3): 116—120.
- [8] 孙勇. 滑坡面下双排抗滑结构的计算方法研究[J]. 岩土力学, 2009, 30(10): 2971—2977.
- SUN Yong. Research on calculation method of double-row anti-sliding structure under sliding surface[J]. **Rock and Soil Mechanics**, 2009, 30(10): 2971—2977.
- [9] 孙勇. 西部山区双排抗滑桩的机理及设计研究[J]. 工程地质学报, 2008, 16(3): 383—387.
- SUN Yong. Mechanical model and design of double-row anti-sliding piles for slope stabilization in mountainous regions of western China[J]. **Journal of Engineering Geology**, 2008, 16(3): 383—387.
- [10] 周翠英, 刘祚秋, 尚伟, 等. 门架式双排抗滑桩设计计算新模式[J]. 岩土力学, 2005, 26(3): 441—445.
- ZHOU Cui-ying, LIU Zuo-qiu, SHANG Wei, et al. A new mode for calculation of portal double row anti-sliding piles[J]. **Rock and Soil Mechanics**, 2005, 26(3): 441—445.
- [11] 吕美君, 晏鄂川. 埋入式双排抗滑桩滑坡推力分配研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2005, 24(增刊 1): 4866—4871.
- LÜ Mei-jun, YAN E-chuan. Study on distribution laws of landslide-thrust in double-row embedded anti-slide piles[J]. **Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering**, 2005, 24(Supp.1): 4866—4871.

“高海拔隧道”和“瓦斯隧道”两课题鉴定为国际先进水平

2011 年 5 月 16 日, 交通运输部西部交通建设科技项目管理中心在成都主持召开了“高海拔地区复杂地质条件下公路隧道设计与施工技术研究”和“西部地区公路瓦斯隧道设计与施工技术研究”项目成果鉴定验收会, 通过专家评议和鉴定, 该两研究项目成果分别被鉴定为国际先进水平, 共同顺利通过验收。

“高海拔地区复杂地质条件下公路隧道设计与施工技术研究”项目, 提出了离壁式保温衬砌结构及质量控制要求, 并通过试验验证了该结构的保温效果; 根据对不同海拔高度的汽车烟雾排放量实测, 提出了海拔 2200 米到 4400 米烟雾浓度的海拔高度修正系数, 为高海拔地区公路隧道营运通风设计提供了重要的基础参数, 填补了该领域研究的空白; 通过地质力学理论分析和数值模拟研究, 提出了隧道与活断层的最小合理安全距离; 项目研究成果总体上达到了国际先进水平。

“西部地区公路瓦斯隧道设计与施工技术研究”项目, 提出了公路瓦斯隧道分级(微瓦斯、低瓦斯、高瓦斯和突出危险瓦斯隧道), 为公路瓦斯隧道的勘察、设计和施工提供了依据; 通过对气密性混凝土的防渗研究, 提出了公路瓦斯隧道防渗结构分级及防渗对策措施; 分析了不同倾角煤层、围岩级别、埋深和开挖方式条件下瓦斯煤层稳定性, 提出了安全揭煤防突的方案; 研究了公路瓦斯隧道运营期间瓦斯渗流和运移规律, 提出了运营公路瓦斯隧道瓦斯监测、通风与信号联动方案; 根据研究成果编制了“公路瓦斯隧道设计与施工技术指南”, 具有较强的可操作性及适用性, 并应用于多座公路瓦斯隧道工程, 保证了施工安全, 取得了良好的社会及经济效益; 项目研究成果总体达到了国际先进水平。

(信息来源: 中国公路网)