

边坡抗滑桩的土拱效应和设计参数分析

付厚利,陈海燕,孔海龙

(山东科技大学 土木建筑学院,山东 青岛 266590)

摘要:通过对边坡抗滑桩土拱效应和桩的设计参数进行分析,研究抗滑桩设计的影响因素。土拱效应对桩间距有显著影响,因而应根据对土拱效应的分析,选择最具成本效益的桩间距,使桩间产生最大土拱效应。在其他条件不变的情况下,桩的成拱能力随桩后土体内摩擦角的增大而增大,随直径的增大而减弱;桩间距随内摩擦角的增大而增大。抗滑桩设计时应同时考虑土拱效应、地基刚度和埋置深度等多种因素的综合影响,在保证其安全的同时提高经济效益。

关键词:边坡工程;边坡抗滑桩;土拱效应;埋置深度;桩间距;参数分析

中图分类号:U418

文献标志码:A

文章编号:1672-3767(2013)04-0007-04

Soil-arch Effect and Design Parametric of Slope Stabilizing Piles

Fu Houli, Chen Haiyan, Kong Hailong

(College of Civil Engineering and Architecture, Shandong University of Science and Technology,
Qingdao, Shandong 266590, China)

Abstract: By analyzing soil arching and design parametric of slope stabilizing piles, their effecting factors were studied. The soil arching effect has significant influence on pile spacing, so the most cost-effective pile spacing should be chosen according to the analysis of soil arching to generate the largest spacing soil arching between the piles. If other conditions remain unchanged, the capacity of arching is increasing with the increase of internal friction angle of soil behind piles, and decreasing with the increase of diameter. The pile spacing increases with the increase of internal friction angle of soil behind piles. When slope stabilizing piles are designed, soil arching, foundation stiffness, the depth of pile embedment and other effective factors should be considered to ensure both the safety and the improvement of its economic efficiency.

Key words: slope engineering; slope stabilizing piles; soil arching; embedment depth; pile spacing; parametric analysis

在岩土工程灾害控制和结构工程加固中,抗滑桩发挥了重要作用,如用于基坑工程、地质灾害防治工程和公路、铁路路基边坡加固工程等。开展桩间土拱效应、桩间距、桩埋置深度的研究,对抗滑桩的设计与使用有重要意义^[1]。桩间土拱效应主要受桩间距的影响,桩间距较小时,土体在桩间形成土拱效应,桩对土体起到限制作用,使土体不会从桩间滑出;桩间距增大时,土拱效应随之减弱,桩距大于临界桩间距时,土体将从桩间滑出或绕桩滑动^[2]。桩距太小,则工程造价高;桩距太大,则起不到土拱作用。因此,进行边坡抗滑桩工程设计时,在考虑抗滑桩的土拱效应的基础上对桩间距进行优化有其理论和现实意义。同时,抗滑桩设计要考虑各参数的影响。

1 桩间土拱

1.1 桩间土拱的性质

前人在研究大量滑坡防治工程中发现,抗滑桩间的土体会形成类似桥梁拱圈和隧洞顶的作用机理,称为

收稿日期:2013-04-03

作者简介:付厚利(1966—),男,山东博兴人,教授,博士生导师,主要从事矿山建设工程、岩土工程等方面的研究。

E-mail: fuhouli@tom.com

陈海燕(1987—),女,山东鄄城人,硕士研究生,主要从事岩土工程方面的研究。E-mail: 601640901@qq.com

桩间土拱^[3-4]。抗滑桩桩土关系如图 1 所示。

介质的不均匀位移引起土拱效应,不仅粘性土会产生土拱效应,对无粘性土,只要桩间距设置合理,也会形成土拱效应^[5]。桩间土拱的形成改变了土壤中的应力状态,是土体自我应力调整的结果^[6]。桩间土拱效应如图 2 所示。

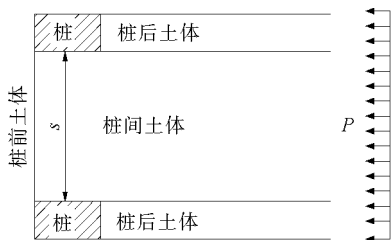


图 1 抗滑桩桩土关系示意图

Fig. 1 Relationship between slope pile and soil

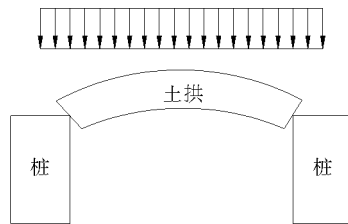


图 2 桩间土拱效应示意图

Fig. 2 Effect of soil arching between the piles

1.2 土拱效应的影响因素

为研究桩的土拱效应与内摩擦角、粘聚力、桩间距、直径等影响因素的关系,根据实验绘出关系曲线图。图 3—图 5 为桩间土体承担荷载分担比随内摩擦角变化的曲线图,其中, s 为桩间距, d 为直径, c 为土体粘聚力。

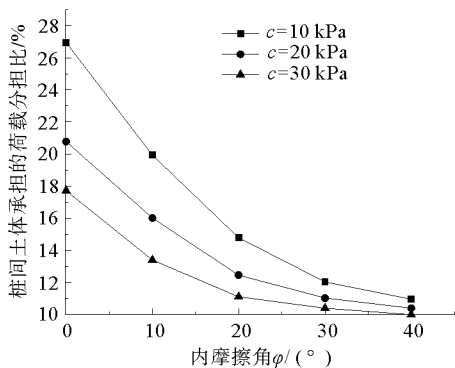


图 3 桩间土体承担的荷载分担比与内摩擦角关系曲线图 ($d=0.8\text{ m}, s/d=2$)

Fig. 3 Relationship curve between the soil bearing the load sharing ratio and internal friction angle

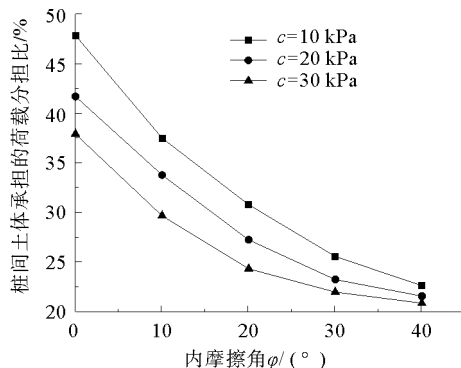


图 4 桩间土体承担的荷载分担比与内摩擦角关系曲线图 ($d=1.6\text{ m}, s/d=3$)

Fig. 4 Relationship curve between the soil bearing the load sharing ratio and internal friction angle

由图可以看出: s/d 一定时,随着土体粘聚力 c 与内摩擦角 φ 的增大,桩间土体承担的荷载减小,桩的成拱能力增大; s/d 一定时,桩径越大,桩间土体承担的荷载分担比越大,桩的成拱能力越弱;直径 d 一定时, s/d 越大,桩间土体承担的荷载分担比越大,桩的成拱能力越弱。粘聚力对成拱能力的影响随着内摩擦角的变化而变化,内摩擦角较小时,随着粘聚力的增加,桩间土体承担荷载显著减小,土体的成拱能力增大较快;内摩擦角较大时,随着粘聚力的增加,土体承担荷载变化缓慢,土体成拱能力变化不明显。其他条件不变时,粘聚力和内摩擦角较小的土体成拱能力比较弱。因此,抗滑桩的设计要充分

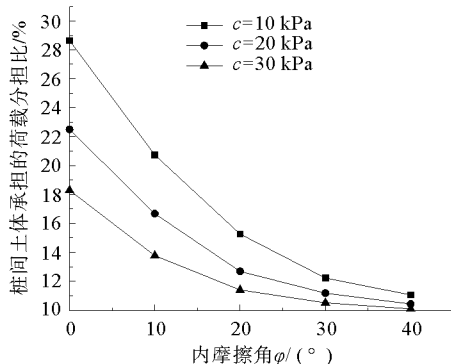


图 5 桩间土体承担的荷载分担比与内摩擦角关系曲线图 ($d=1.6\text{ m}, s/d=2$)

Fig. 5 Relationship curve between the soil bearing the load sharing ratio and internal friction angle

2 抗滑桩设计的影响因素分析

2.1 不同桩径和配筋率的影响

桩的承载力主要取决于桩的直径和配筋率,在相同地质条件下,增大桩径和配筋率,桩的承载力也随之增长。表 1 为混凝土强度为 C30 时,不同桩径和配筋率对应桩承载力的变化。由表 1 可知:桩径为 1 m 配筋率为 4% 桩的承载力,等于桩径为 1.1 m 配筋率为 3% 桩的承载力,同时等于桩径为 1.2 m 配筋率为 2% 桩的承载力,因此,桩径和配筋率对桩承载力的影响并不是线性相关的。

2.2 桩间距的影响

桩间土拱主要受桩间距的影响,桩间距越大,土拱效应越不明显,桩间土的承载力也相应降低。但从成本角度考虑,在保证边坡稳定的情况下,选择尽可能大的桩间距。工程实践中一般取 $s=3d\sim 5d$,实践证明, $s=4d$ 是最经济的桩间距。桩间距受内摩擦角影响显著,在其他条件不变的情况下,内摩擦角越大,滑坡体越稳定,桩间距可以随之适当增大。即,桩间距随着内摩擦角的增大而增大^[6-7],两者的关系如图 6 所示。

2.3 地基刚度和强度的影响

地基的刚度和强度与地层材料有关,材料的范围从松散的沙到岩石型材料。地基土壤的刚度和强度越大,地基越稳定。理想的稳定土层参数如下:

- 1) 松散的粉细砂 $\varphi=28^\circ, c=3 \text{ kPa}$;
- 2) 密沙 $\varphi=38^\circ, c=3 \text{ kPa}$;
- 3) 软岩 $\varphi=45^\circ, c=50 \text{ kPa}$;
- 4) 岩石 $\varphi=45^\circ, c=100 \text{ kPa}$ 。

根据以上参数,计算稳定土层的最终被动土压力 P_1 和不稳定层的最终被动土压力 P_2 。

$$P_1 = \frac{1}{2} \gamma H^2 K_p \quad (1)$$

对于无粘性土

$$P_2 = \alpha k_p \sigma_{vo}' \quad (2)$$

其中: α —参变量,范围 3~5; k_p —被动土压力系数; σ_{vo}' —超荷载压力。

对于粘性土壤

$$P_2 = N_p S_u \quad (3)$$

其中: N_p —参数,一般在 9~12(试验得到); S_u —不排水剪切强度。

理想土层中, P_1 和 P_2 存在如下关系:

- 1) 松散的粉细沙 $P_1/P_2=1$;
- 2) 密沙 $P_1/P_2=1.6$;
- 3) 软岩 $P_1/P_2=3$;
- 4) 岩石 $P_1/P_2=6$ 。

由此可见,随着地基刚度和强度的增加, P_1/P_2 的值越来越大,稳定土层的侧向抗压强度大于不稳定土层,地基的稳定性逐渐增强。桩在强度相对较低的地基中,不能产生和刚性地基同样的最终抗力,若产生同样的抗力,会导致桩产生过度变形;埋置在刚性的稳定地基中时,桩的自由扭转受到有效约束。因此,桩在软弱地层中更易发生位移和变形,相反,在刚度和强度好的地层中不易变形和扭转。在地基条件差的情况下施工时,应采取换土、置换、强夯等方法加固地基,改善地基强度和刚度,以利于桩的稳定。

2.4 桩锚固深度的确定

抗滑桩施工的锚固深度与稳定地层强度、桩间距、桩径、桩刚度等因素有关,同时兼顾安全和经济因素。

表 1 不同桩径和配筋率的桩结构极限弯矩承载力表

Tab. 1 Ultimate pile structural moment capacity for different pile diameters and reinforcement ratios

桩径/m	配筋率/%	承载力/kN
1.0	4	4.5
	3	3.5
	2	2.7
1.1	4	6.0
	3	4.5
	2	3.5
1.2	4	7.5
	3	6.0
	2	4.0
1.4	4	13.0
	3	10.0
	2	7.0

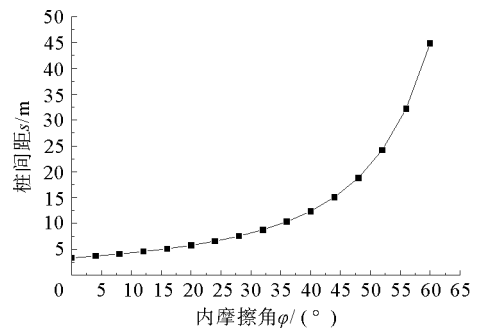


图 6 桩间距与内摩擦角的关系曲线图

Fig. 6 Relationship curve between pile spacing and internal friction angle

确定桩埋置深度时,一般先根据经验初步确定,然后,把各计算参数当做定值,进一步验算滑面以下桩的最大横向压应力是否小于或等于地基横向容许承载力^[8]。桩受到滑坡土推力后,根据其变形可以分为两种:弹性桩和刚性桩。弹性桩的桩头位移与桩周土的位移是一致的,即桩在深层土的作用下发生挠曲^[9];刚性桩在滑坡土推力作用下会绕着一点转动,当桩的抗力过大时会因转动使桩体破坏^[10]。对一般土层的地基,桩身对地基土的横向压应力应满足

$$\sigma_y \leq \frac{4}{\cos \varphi} (\gamma y \tan \varphi + c) \quad (3)$$

其中: σ_y —横向压应力,kPa; γ —地基土重度(kN/m³); y —地面至计算点的距离,m; φ —地基土的内摩擦角,(°); c —地基土的粘聚力,kPa。

3 结论

1)滑坡体有形成土拱的条件,土拱的形成引起了应力重新分布,是土体自我优化调整的结果。土拱效应随着桩间距的增加而减小,随着内摩擦角的增大而增大,随着桩径的增大而减小。土拱效应对抗滑桩的稳定性有显著影响,抗滑桩设计时应合理布置桩间距,充分发挥土拱效应,增加桩的稳定性。

2)增大桩径和配筋率可增加桩的承载力,但桩承载力的提高呈非线性;桩间距增大时,桩间土的承载力相应减小;地基的刚度和强度越大, P_1/P_2 的值越大,桩基越稳定;桩的埋置深度要满足桩身对地基土横向压应力的要求。

参考文献:

- [1]郑学鑫.抗滑桩桩间土拱效应及其有限元模拟研究[D].南京:河海大学,2007:1-4.
- [2]王乾坤.抗滑桩的桩间土拱和临界间距的探讨[J].武汉理工大学学报,2005,27(8):64-67.
Wang Qiankun. Discussion on the soil arching effect and the critical spacing between adjacent anti-slide piles[J]. Journal of Wuhan University of Technology, 2005, 27(8): 64-67.
- [3]吴子树,张利民.土拱的形成机理及存在条件的探讨[J].成都科技大学学报,1995(2):15-19.
Wu Zishu, Zhang Limin. Studies on the mechanism of arching action in loess[J]. Journal of Chengdu University of Science and Technology, 1995(2): 15-19.
- [4]王成华,陈永波,林立相.抗滑桩间土拱力学特性与最大桩间距分析[J].山地学报,2001,19(6):556-559.
Wang Chenghua, Chen Yongbo, Lin lixiang. Soil arch mechanical character and suitable space between one another anti-sliding pile[J]. Journal of Mountain Science, 2001, 19(6): 556-559.
- [5]熊良宵,李天斌.土拱效应在抗滑桩工程中的应用[J].防灾减灾工程学报,2005,25(3):275-277.
Xiong Liangxiao, Li Tianbin. Application of soil arching effect to the anti-sliding pile engineering[J]. Journal of Disaster Prevention and Mitigation Engineering, 2005, 25(3): 275-277.
- [6]贾海莉,王成华.关于土拱效应的几个问题[J].西南交通大学学报,2003,38(4):398-402.
Jia Haili, Wang Chenghua. Discussion on some issues in theory of soil arch[J]. Journal of Southwest Jiaotong University, 2003, 38(4): 398-402.
- [7]赵明华,廖彬彬,刘思思.基于拱效应的边坡抗滑桩桩间距计算[J].岩土力学,2010,31(4):1212-1215.
Zhao Minghua, Liao Binbin, Liu Sisi. Calculation of anti-slide piles spacing based on soil arching effect[J]. Rock and Soil Mechanics, 2010, 31(4): 1212-1215.
- [8]周德培,肖世国.边坡工程中抗滑桩合理桩间距的探讨[J].岩土工程学报,2004,26(1):132-135.
Zhou Depei, Xiao Shiguo. Discussion on rational spacing between adjacent anti-slide piles in some cutting slope projects[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2004, 26(1): 132-135.
- [9]高永涛,张友葩,吴顺川.土质边坡抗滑桩机理分析[J].北京科技大学学报,2003,25(2):118-122.
Gao Yongtao, Zhang Youpa, Wu Shunchuan. Mechanism analysis of anti-sliding piles in soil slope[J]. Journal of University of Science and Technology Beijing, 2003, 25(2): 118-122.
- [10]戴自航,彭振斌.土体滑坡治理的合理设计与计算[J].中南工业大学学报:自然科学版,2000,31(2):98-101.
Dai Zihang, Peng Zhenbin. The reasonable design and calculation of curing earth slides[J]. Journal of Central South University of Technology: Natural Science, 2000, 31(2): 98-101.