

基于 FLAC^{3D} 的抗滑桩设计方法研究

冯文娟¹, 琚晓冬¹

(河南理工大学土木工程学院, 河南 焦作 454000)

摘要: 边坡治理措施中最常用的就是抗滑桩工程, 但目前其设计与计算理论却非常不成熟, 设计过程中的很多问题都依赖于人为假设, 设计结果也非常保守。在 FLAC^{3D} 数值模拟的基础上, 提出了基于该软件的抗滑桩设计方法。由于数值计算能够相对准确的模拟滑坡传力和抗滑桩受力过程, 因而其设计结果也就更符合实际情况。本方法的提出, 突破了人们长期以来以经验为主的刚体极限平衡设计体系, 对指导实际抗滑桩的设计和施工, 以及今后抗滑桩的设计研究具有一定的参考价值。

关键词: 滑坡; 抗滑桩; FLAC^{3D}; 刚体极限平衡

中图分类号: TU473 文献标识码: A 文章编号: 1000-4548(2011)S2-0256-04

作者简介: 冯文娟(1980-), 女, 宁夏盐池人, 硕士, 讲师, 主要从事岩土工程方面的研究与教学工作。E-mail: fengwenjuan@hpu.edu.cn。

Design method for anti-slide piles based on FLAC^{3D}

FENG Wen-juan, JU Xiao-dong

(School of Civil Engineering, Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454000, China)

Abstract: China is a country full of mountains. Recently, with the increase of human activities, slope problems have become more and more serious. The anti-slope pile is the most popular way to cope with slope problems, but the design and theory are not mature. Lot of problems based on assumptions and the outcomes are very conservative. Based on the numerical simulation with FLAC^{3D}, and a new way is proposed to design anti-slide piles. Numerical simulation can well perform the simulation of slope moving and the load on piles, and it can give a more reasonable design. The proposed method can improve the design from artificial calculation to computer simulation and break the traditional design system based on the assumptions. It is useful for the pile design and construction and has reference value for the researches on anti-slide piles.

Key words: slope; anti-slide pile; FLAC^{3D}; rigid-body limit equilibrium method

0 引言

抗滑桩作为一种有效的滑坡支挡构件, 在世界各地得到了广泛的应用。但是目前人们对于桩结构设计计算理论的研究还处于初级阶段, 大部分的设计理论都是建立在假设和近似的基础之上, 设计结果保守, 造成了滑坡治理资金的巨大浪费。所以目前滑坡治理工程界急于寻求一种更加贴近实际的计算方法, 笔者正是在这种背景下对抗滑桩的数值设计方法进行了一定的探讨。

1 抗滑桩的 FLAC^{3D} 设计方法

目前在工程上评价滑坡稳定性, 最常用的是基于刚体极限平衡理论的一些计算方法, 抗滑桩的设计方法自然就是与这些计算方法相对应的一些方法。但是这些设计方法由于其设计的保守性和不确定性, 已越

来越不能适应目前形式的发展需要了。基于 FLAC^{3D} 软件的抗滑桩设计方法充分利用了数值模拟软件在计算方面的优越性, 将计算机模拟引入到抗滑桩的设计领域, 对今后抗滑桩设计方法的研究是一个有益的尝试。

1.1 基本思路

在 FLAC^{3D} 软件中, 安全系数是采用强度折减理论计算得到的, 所以本文也在此原理的基础上进行抗滑桩的设计。首先通过参考规范要求及简单计算得到滑坡的设计标准, 运用该标准对滑坡物质的强度进行折减; 之后在滑坡的抗滑段通过试算得到抗滑桩的最佳布置位置和布置间距; 随后可根据数值计算得到的桩身弯矩及剪力图进行抗滑桩的配筋设计。若有特殊

工况, 还需进行特殊工况的校核。由于规范规定的安全系数是基于二维刚体极限平衡理论计算而得的, 该安全系数和 FLAC^{3D} 软件计算得到的安全系数存在一定的差异, 不同滑坡差别并不相同。本文设计标准的取值原理为: 本文设计标准与规范设计标准之间的差值为 FLAC^{3D} 软件计算得到的安全系数和二维刚体极限平衡计算得到的安全系数的差。所以可通过计算边坡的普通安全系数和 FLAC^{3D} 安全系数, 以及查边坡设计规范, 得到本文的设计安全系数。

1.2 具体步骤

(1) 数值模型的建立

滑坡实体模型的建立有两种计算方法可以采用: 一是在一些实体建模方便的大型有限元软件中建立实体模型后导入 FLAC^{3D}; 二是运用 FLAC^{3D} 软件中的 Fish 语言编制自动生成模型的程序, 输入滑坡信息形成实体模型。本文采用第二种方法。

(2) 设计参数的选择

设计过程中对滑坡和抗滑桩采用两种不同的计算模型, 滑坡采用莫尔-库仑模型而抗滑桩考虑到桩体本身的特性采用完全弹性模型。根据不同的计算模型采用不同的参数: 在莫尔-库仑模型中要求输入材料的 BULK (体积模量 K)、SHEAR (剪切模量 G)、COHESION (黏滞力)、FRICTION (摩擦角)、TENSION (抗拉强度); 在完全弹性的模型中则要求输入材料的 BULK (体积模量 K)、SHEAR (剪切模量 G)。

在确定了滑坡体和抗滑桩的参数之后, 还有一项重要参数需要确定——抗滑桩桩身与土体的接触力学参数。一般来说这项参数有两类: 桩身切向参数, 包括切向剪切模量、切向黏滞力、切向摩擦角, 此类参数主要用于模拟桩体沿切向的力学性能; 桩身法向参数, 包括法向剪切模量、法向黏滞力、法向摩擦角, 此类参数主要用于模拟桩体法向的力学性能。这些参数在实际工程计算中一般要通过现场试验取得, 但是在现场试验有困难的情况下, 可依据一定的原则选取, 这在 FLAC^{3D} 软件的说明书中有详细论述^[1], 这里不再述及。设计中假设桩土之间的破坏发生在土体内部, 将桩身参数以及桩土接触参数设置的足够大。

(3) 天然状态下的数值分析

当滑坡的模型及其物理力学参数确定以后就可以进行滑坡天然状态下的数值分析。此时进行的计算有两方面的作用, 首先是根据计算得到的成果了解滑坡现在的状况; 另外通过 SOLVE FOS 命令计算得到天然状态下滑坡的安全系数, 通过与刚体极限平衡方法计算得到的安全系数相比较得到滑坡的“设计标准” K_s 值。

(4) 抗滑桩布置位置的确定

在抗滑桩设计中采用强度折减理论, 即对滑坡坡质的强度参数进行折减, 使得强度折减过后的坡体在抗滑桩的作用下处于稳定状态。也就是确保治理后的边坡有一定的安全度。

抗滑桩布置位置是通过一系列试算得到的, 具体作法为: 首先根据滑坡的规模及稳定性设置一个比较合理的抗滑桩截面尺寸和间距, 在计算程序中将抗滑桩的抗弯及抗剪能力设置无限大。在滑坡抗滑段横剖面上设置抗滑桩, 变换设桩位置, 并计算每一设桩位置上桩身所受的剪力和弯矩以及此时滑坡的安全系数。由于此时边坡不可能剪断抗滑桩而破坏, 那么实际计算得到的安全系数是滑坡产生越顶破坏的安全系数。找到各桩剪力和最小并且安全系数满足要求的设桩位置, 即为寻找的最优设桩位置。

(5) 抗滑桩间距与截面面积的确定

设桩位置确定后, 在最优设桩位置处调整桩的间距并进行计算, 得到相应各桩的受力, 根据桩身所受剪力就可确定此时所需抗滑桩的截面面积。通过一系列试算最终可得到抗滑桩的总截面面积随桩间距变化的关系曲线。根据经济性的原则选择总截面面积最小的一个间距, 那么此时就得到了最优的间距和截面尺寸。之后验算桩的截面尺寸是否满足抗弯要求, 若不满足还需进行调整。

2 工程实例

2.1 基本情况

古树包滑坡位于清江水布垭工程区域坝区附近的清江左岸岸坡上, 位于水布垭大坝下游 1.6 km。原为清江水布垭工程庙王沟土料场的一部分, 滑动前有移民迁入该地, 并伴随有相应的土方挖、填、建房等人工活动。是近坝区目前已发现的 13 处滑坡体中唯一发生过大规模滑移事件的滑坡体^[2]。

根据古树包滑坡的实际地形建立的地质模型见图 1, 材料参数^[3]见表 1。

刚体极限平衡方法得到的安全系数为 0.95, 设计标准为 1.05^[3]。而通过 FLAC^{3D} 软件计算得到滑坡在天然状态下的安全系数为 1.11, 那么本文的设计标准为 1.21。最终的设桩位置如图 2 所示。

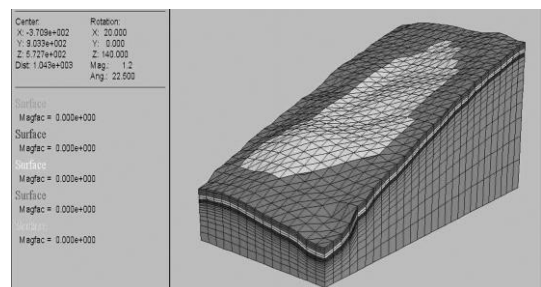


图 1 古树包滑坡计算模型图

Fig. 1 Computing model of Gushubao slope

表 1 古树包滑坡主要材料参数表

| Table 1 Material parameters of Gushubao slope | | | | | | |
|-----------------------------------------------|--------------|----------------------|-------------------|------------------|-------------|------------------------------|
| 材料 | 本构关系 | 体积模量 /Pa | 剪切模量 /Pa | 黏滞力 /Pa | 摩擦角 /(°) | 密度 /(kg·m ⁻³) |
| 滑体 | Mohr-Coulomb | 2.45×10^7 | 5.25×10^6 | 9.81×10^3 | 22 | 2250 |
| 滑带 | Mohr-Coulomb | 3.267×10^7 | 3.379×10^6 | 1.47×10^4 | 16 | 2110 |
| 强风化基岩 | Mohr-Coulomb | 5.444×10^8 | 2.256×10^8 | 2.55×10^5 | 30 | 2300 |
| 弱风化基岩 | Mohr-Coulomb | 2.722×10^9 | 1.136×10^9 | 3.5×10^5 | 33 | 2300 |
| 微风化基岩 | Mohr-Coulomb | 6.533×10^9 | 3.015×10^9 | 1.69×10^6 | 40 | 2500 |
| 新鲜基岩 | Mohr-Coulomb | 1.167×10^{10} | 5.698×10^9 | 2.45×10^6 | 42 | 2600 |

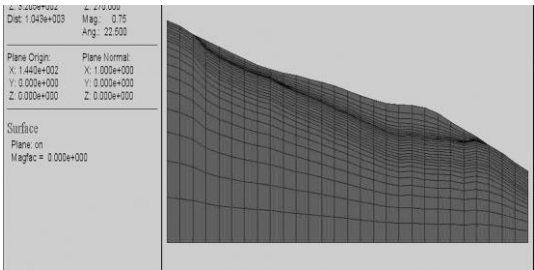


图 2 设桩位置图

Fig. 2 Location of piles

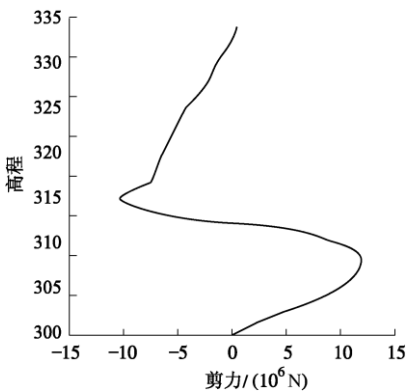


图 3 #10 桩剪力图

Fig. 3 Shearing force diagram of pile No. 10

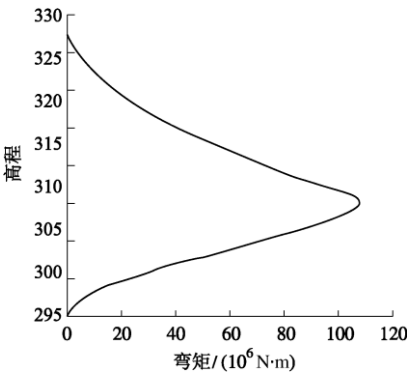


图 4 #10 桩弯矩图

Fig. 4 Moment of pile No. 10

2.2 结果比较

(1)抗滑桩布置位置比之原先的设计位置更加合理。通过计算得到滑坡运用单排桩进行治理,设桩的位置定在 418 m 处;而之前基于刚体极限平衡的设计,设三排桩分别在 266 m 处、407.5 m 处和 413.5 m 处,后两排桩的位置和本文得到的桩位相近,但是此处滑体厚度要比 418 m 处厚 6 m 左右。相比之下本文得到的桩位布置更加合理。

(2)本文设计得到的所有抗滑桩,都有与实际情况接近的剪力和弯矩图分布,桩身配筋可参考剪力和弯矩图的设计;而之前的配筋则是在假设力的分布图式的基础上设计得到的,不能准确反映沿桩长的内力分布情况。

(3)单桩的受力和本身截面面积匹配更加合理。本方案采用了四种不同的截面面积的桩型,各桩截面面积严格按照本桩的受力情况进行设计,可保证各桩的安全度相当,从而充分利用了各桩的强度;之前的设计方案统一采用直径为 3 m,面积为 7.065 m²的圆柱型桩。这样势必造成某些桩上安全度大,而另外一些桩处于危险状态。

(4)桩的最终设计结果更加经济。本设计方案需抗滑桩 19 根,总截面面积为 168.4 m²;而原来布置的抗滑桩为 36 根,总截面面积为 254.34 m²。而且由于本方案的桩位选择合理,所需桩长比原方案短,节约混凝土总体积约 45%左右,经济效益非常可观。

3 结论与建议

本文所做的工作具有一定的开创性。所得到的成果——基于 FLAC^{3D} 的抗滑桩辅助设计方法,比之以前的基于刚体极限平衡理论的方法有很多优越之处。主要体现在以下几个方面:①计算理论要比传统方法先进;②计算的维数更高;③桩位的选择更加合理;④计算桩体受力更准确。

当然本文所提方法还有许多的不足之处, 有待进一步的深入研究和探讨。

(1) 设计标准难于确定。国内外在滑坡弹塑性设计标准上的研究少有文献记载, 导致了本文的设计标准难于确定。要完全实现弹塑性数值方法的抗滑桩设计, 还需要该问题上进行系统的研究。

(2) 本文的一些设计参数需要一定量的试算才可得到, 这无疑增加了工作量, 如何运用更好的方法求解还是一个值得研究的问题。

(3) 数值计算模型的研究还需进一步深入。

总之, 基于 FLAC^{3D} 的设计方法比之以前的基于刚体极限平衡的设计方法有了很大的进步。目前在这方面进行研究的学者还很少, 设计思想和方法都还不成熟, 许多问题有待解决。但不可否认, 该方法有着巨大的优势和发展潜力, 只要投入更多的研究工作, 其前景不可限量。

参考文献:

[1] Itasca Consulting Group, Inc. FLAC 3D(Fast Lagrangian

analysis of continua in 3 dimension) user manuals, Version 2.1 Minneapolis, Minnesota, 2002, 6.

[2] 三峡大学土木水电学院. 清江水布垭水利枢纽古树包滑坡抗滑桩工程效果分析[R]. 宜昌: 三峡大学, 2003. (College of Civil and Hydraulic Engineering, Three Groges University. Analysis of anti-slide piles' engineering effect of Gushubao landslide in Shuibuya hydro-junction project of Qingjiang river[R]. Yichang: Three Gorges University, 2003. (in Chinese))

[3] 长江水利委员会长江勘测规划设计研究院. 滑坡治理安全标准及水布垭坝区大型滑坡稳定分析与治理方案措施研究[R]. 宜昌: 长江水利委员会, 2005. (Changjiang Institute of Survey; Planning; Design & Research, Changjiang Water Resources Commission. Research on slide safety standards and stability & treament measures of large-scale landslides in Shuibuya dam area[R]. Yichnag: Changjiang' Water Resources Commission, 2005. (in Chinese))

(本文责编 孙振远)