

316国道K25+040~+140段滑坡治理中的抗滑桩结构设计

史良¹, 张哲², 李寻昌¹, 门玉明¹

(1. 长安大学 地质工程与测绘工程学院, 陕西 西安 710054; 2. 陕西省建筑科学研究设计院 陕西 西安 710082)

[摘要] 介绍了316国道K25+040~+140段滑坡治理工程中的抗滑桩设计过程, 讨论了抗滑桩设计中滑推力的计算方法及公式、抗滑桩的结构设计及配筋, 将抗滑桩的内力计算简化成较为实用的公式来计算。还介绍了抗滑桩间土体的排水设计, 对排水管的具体做法作了详尽地阐述。

[关键词] 滑坡治理; 抗滑桩; 结构设计; 316国道

[中图分类号] TU753 [文献标识码] A [文章编号] 1672-6561(2004)03-0044-04

[作者简介] 史良(1978-), 女, 四川成都人, 助教, 硕士研究生, 现从事地下结构方面的教学与科研工作。

抗滑桩是一种大截面侧向受荷桩, 在推力作用下, 它可以调动起超过桩宽范围相当大一部分地层的抗力, 与之共同抗滑, 这种桩土共同作用的效应, 是其他许多被动承受荷载的支挡结构物, 包括抗滑挡土墙在内所没有和难以媲美的^[1]。

关于抗滑桩的抗滑原理, 简单地归纳为以下几点: ①抗滑桩依靠滑面以下部分的锚固作用和被动抗力来共同平衡作用在桩上的滑坡推力; ②抗滑桩受荷段承受滑坡推力, 计算时取一个桩距宽度的滑坡体作为计算单元, 即假定每根桩所承受的滑坡推力为桩间距范围内滑体所产生的滑坡推力; ③抗滑桩桩距在一定范围时, 可以借助桩的受荷段与桩背土体及桩两侧的摩阻力形成土拱效应, 使滑体不至于从桩间滑出。

现结合316国道K25+040~+140滑坡治理工程, 介绍用抗滑桩治理该滑坡的一些做法。

1 滑坡区工程地质特性

316国道K25+040~+140滑坡位于汉江I级阶地形成的丘陵地带, 在张家沟大桥以东、公路以北的山坡上, 属堆积层滑坡。滑坡后缘位于安康外贸车队围墙附近, 北边界为该斜坡北部的分水岭,

南边界已达公路内近3m, 剪出口在斜坡西挡墙外3~5m, 整个滑坡长近70m, 宽约110m, 约 $10 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。该滑坡总体运动方向向西, 由于其南部公路开挖所形成的 100 m^2 临空面, 使得该滑坡在运动过程中出现了向公路临空面方向运动的解体块, 该块体的滑动造成了公路挡墙的开裂和内侧公路路面的鼓胀破坏。事实上, 滑坡的剪出口已越过了挡墙底界, 使整个挡墙处在滑坡体中^[1]。

滑坡体由上向下主要分为三层, 第一层为黄色粘土, 夹少量灰白色粘土、褐色粘土或棕红色粘土, 硬塑—坚硬, 干—稍湿, 含铁锰质结核和钙质结核, 厚0~20m。其土层具有弱—中等膨胀潜势, 其中的灰白色粘土具有很强的膨胀性, 粘土含量不高, 且多以裂隙粘土的形式分布于该层的中部和下部。第二层为细、粉砂, 以粉砂为主, 厚0.1~1m, 在滑坡体以下12~16m, 干燥、密实。第三层为砾石层, 砾径6~8cm, 以石英砂岩和石英脉为主, 充填砂, 干燥、密实^[1]。

该滑坡属于低速运动, 其形成与公路建设中开挖坡脚和大气降水有关。从2000年开始出现变形活动以来, 滑坡前缘已向西累计位移了1~2m, 并出现逐级解体、牵引式滑动的运动特征。纵向上该滑坡已经出现了规模较大的五级解体裂隙, 且解体缝还有向后发展的趋势。大气降水沿这些裂缝下渗, 并在局部富积形成上层滞水。由于滑坡的后缘和北界已经达到或接近分水岭, 故该滑坡之外区域

[收稿日期] 2003-10-28

[基金项目] 国家自然科学基金资助项目(40272116)

的汇水面积不大。整个黄色粘土层均是该滑坡的滑动带, 黄色粘土中随处可见滑裂面和擦痕, 整个运动是滑带粘土的蠕变和地下水压力作用的结果。

2 防治工程安全等级

由于该滑坡南面有 316 国道通过, 西面有一块建筑场地, 一旦失事, 将会造成严重后果, 综合考虑各种不利因素, 确定本防治工程安全等级为二级。

3 方案选定

本项治理工程综合考虑土体下滑力及水的作用, 以安全经济为原则, 以保护公路、防止场地建筑破坏为目的, 在滑坡前沿公路内挡墙后设置抗滑桩 45 根, 采用人工挖孔现场灌注施工。抗滑桩设计选择主滑方向代表性剖面进行设计计算, 桩截面统一采用 1.5 m×2.0 m, 桩中心距 3.5 m。桩长依据滑动面深度及滑坡推力大小综合确定, 采用 3 种桩长, 分别为 14 m, 13 m, 17 m。滑坡边缘桩长依据滑面深度逐步变浅可依次缩短, 但相应桩的截面配筋率不变。坡体内设置疏排水管道 15 根, 以疏导出坡体中的地下水, 提高滑坡的稳定性。

4 设计计算

4.1 设计荷载确定

4.1.1 计算参数取值

滑坡体计算强度指标依据实验资料和滑坡的变形破坏特征反算综合给出, 最后根据现场实际情况, 强度指标选取为内摩擦角 $\varphi = 8^\circ$, 粘聚力 $C = 15$ kPa。在进行设计荷载计算时, 现状情况下的安全系数取 1.15, 地震时取 1.05, 地震+暴雨时取 1.02。

4.1.2 计算方法选取

滑坡推力的计算有多种方法, 在本项治理工程中, 采用了剩余下滑方法。如图 1, 根据滑动面的变坡点和抗剪强度指标变化点, 将滑体分成若干块, 从最上一块开始, 逐块计算剩余下滑力, 最后一块的剩余下滑力即为滑坡推力。

4.1.3 计算公式及荷载大小

第一块的剩余下滑力为:

$$E_1 = W_1 \sin \alpha_1 - \frac{1}{K} (W_1 \cos \alpha_1 \tan \varphi_1 + c_1 L_1)$$

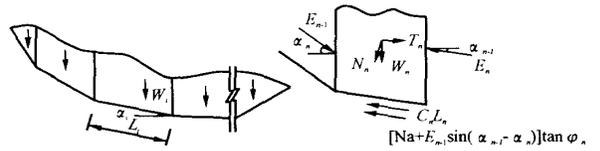


图 1 滑体分块计算

图 2 第 n 块滑体受力图

Fig. 1 Calculate of deviding landslide

Fig. 2 Supported by force of the number n slide block

如图 2, 其余各块的剩余下滑力为:

$$E_n = T_n + E_{n-1} \cos(\alpha_{n-1} - \alpha_n) - \frac{1}{K} \cdot$$

$$\{ [N_n + E_{n-1} \sin(\alpha_{n-1} - \alpha_n)] \tan \varphi_n + c_n L_n \},$$

$$T_n = W_n \sin \alpha_n, N_n = W_n \cos \alpha_n, (n = 1, 2, 3, \dots)$$

式中: W_i 为第 i 块滑体的重量; α_i 为滑推力与水平方向的夹角。抗滑桩上承受的荷载为:

$$q = \frac{LE_n}{l}$$

式中: L 为抗滑桩的间距; l 为抗滑桩受荷载段的桩长; E_n 为设桩处每延米滑体的滑推力; 在以上公式中代入数值算得 $E = 270$ kN/m; $q = 67.5$ kN/m。

4.2 抗滑桩设计计算

4.2.1 计算模型建立

由于整个抗滑桩群锚固段伸入基岩 4~6 m, 其中, 主滑面处深入基岩 6 m, 两侧深入基岩 4 m。因此下部支承可按固定端考虑。在计算抗滑桩的内力之前必须判定桩的类型。在抗滑桩计算中用到的变形系数有两个, 其中 α 适用于 m 法:

$$\alpha = \left(\frac{mB_p}{EI} \right)^{1/5}$$

β 适用于 K 法:

$$\beta = \left(\frac{kB_p}{4EI} \right)^{1/4}$$

式中: E 为桩的弹性模量; I 为桩的截面惯性矩; m 为地基系数随深度变化的比例系数; B_p 为抗滑桩的计算宽度; K 为地基系数值。

刚性桩和弹性桩的具体判定式如表 1。经计算, 本工程抗滑桩判定为刚性桩。

表 1 刚性桩与弹性桩判定

Table 1 Determine of rigidity and elasticity piles

类型	K 法	m 法
刚性桩	$\beta h_2 \leq 1.0$	$\alpha h_2 \leq 2.5$
弹性桩	$\beta h_2 \geq 1.0$	$\alpha h_2 \geq 2.5$

注: h_2 为桩在滑面以下的埋置深度。

4.2.2 抗滑桩内力计算

(1) 受荷段滑动面处桩身内力计算:

$$M_A = E_r h_0 = E_n L h_0,$$

$$Q_A = E_r = E_n L,$$

式中: M_A 、 Q_A 为滑动面处的弯矩和剪力; E_r 为每根桩受到的滑坡推力; E_n 为设桩处每延米滑坡推力; L 为桩的中至中间距; h_0 为滑坡推力分布图形重心至滑面的距离。

代入相应数值, 计算滑面处的内力为:

$$M_A = 6\,615 \text{ kN} \cdot \text{m},$$

$$Q_A = 945 \text{ kN}.$$

(2) 锚固段桩身内力计算。

图 3 为单一地层 K 法计算图式。单一地层 K 法的内力计算公式为:

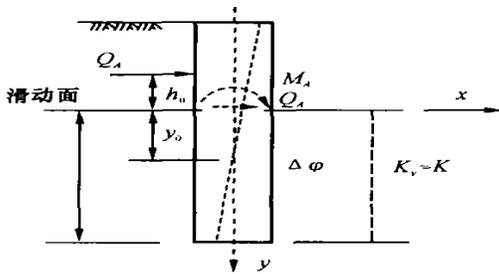


图 3 单一地层 K 法计算图式

Fig. 3 K means of calculating chat on one track stratum

$$Q_y = Q_A - \frac{1}{2} K B_p \Delta \phi_y (2y_0 - y),$$

$$M_y = Q_A (h_0 + y) - \frac{1}{6} K B_p \Delta \phi_y^2 (3y_0 - y).$$

y_0 和 $\Delta \phi$ 可按下式计算:

$$y_0 = \frac{h_2(3h_0 + 2h_2)}{3(h_2 + 2h_0)},$$

$$\Delta \phi = \frac{6Q_A(2h_0 + h_2)}{K B_p h_2^3},$$

式中:

$$h_0 = \frac{M_A}{Q_A},$$

代入相应数值, 计算桩的最大弯矩和剪力分别为:

$$M_{\max} = 7\,144 \text{ kN} \cdot \text{m},$$

$$Q_{\max} = 1\,021 \text{ kN}.$$

4.2.3 抗滑桩配筋计算

根据经验, 取抗滑桩的截面为 $1.5 \text{ m} \times 2 \text{ m}$, 混凝土保护层厚度为 60 mm ; 根据混凝土结构设计规范的要求, 依据下列公式对抗滑桩进行配筋计算。

受拉区纵向钢筋的面积:

$$\alpha_s = M / f_{cm} b h_0^2,$$

$$A_s = \xi f_{cm} b h_0 / f_y.$$

斜截面受剪承载力计算公式:

$$V \leq 0.7 f_c b h_0 + 1.25 f_{yv} A_{sv} h_0 / S.$$

纵向受拉钢筋配筋率计算公式:

$$\rho = A_s / b h_0$$

代入弯矩和剪力, 求得纵向钢筋为: $12\Phi 32$ 和 $6\Phi 22$, 箍筋为 $\Phi 12 @ 300$, 主筋及辅助钢筋的配置如图 4。经校核, 满足配筋要求。

4.2.4 抗滑桩护壁及锁口设计

抗滑桩的护壁采用 250 mm 厚的 C20 混凝土逐节浇注而成。每节护壁的钢筋搭接长度为 150 mm 。锁口出露地面 0.2 m , 配筋为 $\Phi 12 @ 200$, 如图 5。

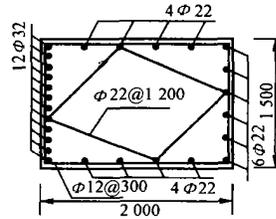


图 4 桩身结构配筋图

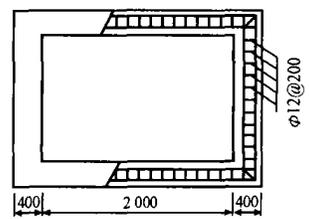


图 5 锁口配筋图

Fig. 4 Arranging reinforcing bar of the stake structure

Fig. 5 Arranging reinforcing bar of the top of stake

4.2.5 抗滑桩间土体排水设计

地下水是促使滑坡发生和发展的重要原因之一, 因此本治理工程在地下水较丰富处设置了 15 个地下排水孔, 排水孔的造孔孔径为 108 mm , 仰角为 7° 。排水管采用聚氯乙烯硬质管, 外径 76 mm , 管长 $4.05 \sim 1.10 \text{ m}$ 。在管周围钻 $\Phi 12$ 的渗水孔, 间距 45 mm , 底部不钻眼, 整个管壁钻 5 排孔, 呈梅花形分布。塑料管钻眼后, 用镀锌低碳钢丝平织网包裹两层, 并用 4# 镀锌丝绑扎结实, 丝间距 52 mm , 管头亦予以包裹。下塑料管时, 先用钻机成孔, 拔出套管后立即送入塑料排水管, 排水管细部见图 6。

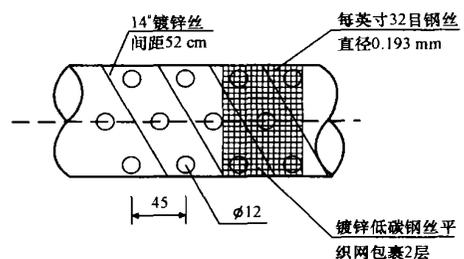


图 6 排水管详图

Fig. 6 Detailed figure of the water pipeline

4.2.6 抗滑桩施工要求

(1)治理工程施工顺序应先施工抗滑桩,后做排水孔。

(2)为保证施工安全,人工挖孔桩护壁应严格按照设计图进行。

(3)施工时桩位放样应该准确,尤其是起始和末尾两根必须准确,沿布桩方向,严禁间距超过3.5 m。

(4)抗滑桩开挖应间隔至少两个桩位以上,即隔2挖1。开挖过程中若确需放炮应严格控制药量,严禁放大炮,以免使滑坡产生新的滑动。

(5)桩身开挖过程应作好挖孔记录,应对最终滑面位置作出专门鉴定,以保证抗滑桩置入稳定地层所必须的深度。如开挖后滑面深度与设计图出入较大,应通知监理及设计单位,及时调整设计。

(6)桩身混凝土施工应严格按照混凝土施工规范进行,必须保证连续灌注,严格禁止断桩事故。

5 结语

介绍了在陕西省安康市316国道K25+040~+140段滑坡治理工程中抗滑桩结构设计的过程,该工程设计已经完成并通过了专家评审。其设计

可分为确定工程安全等级、方案选定、设计荷载确定、抗滑桩内力计算、抗滑桩配筋计算、抗滑桩护壁及锁口设计等步骤。设计荷载的计算采用了剩余下滑力法,内力计算采用K法,配筋按一般钢筋混凝土构件的方法进行。

[参 考 文 献]

- [1] 付荣华. 长安大学工程勘察研究院316国道K25+040~+140膨胀土滑坡治理工程设计施工图设计[R]. 西安: 长安大学, 2001.
- [2] 建筑边坡工程技术规范(GB50330—2002)[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2002.
- [3] 混凝土结构设计规范(GB50010—2002)[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2002.
- [4] 建筑地基基础设计规范(GB50007—2002)[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2002.
- [5] 吴家惠. 公路支挡构造物[M]. 西安: 西北工业大学出版社, 1996.
- [6] 李同录. 搜索简单土坡潜在滑动面的一种新方法[J]. 长安大学学报(地球科学版), 2003, 25(3): 56~59.
- [7] 姚瑞卿. 大柳树坝址区松动岩体中硐室围岩破坏变形特征[J]. 长安大学学报(地球科学版), 2003, 25(1): 62~65.
- [8] 卢全中. 略阳县地质灾害发育特征及其危害性初步评价[J]. 长安大学学报(地球科学版), 2003, 25(1): 52~56.
- [9] 毛新虎. 某滑坡稳定分析及处理方案探讨[J]. 长安大学学报(地球科学版), 2003, 25(2): 22~26.

Design of anti-sliding piles on landslide control

SHI Liang¹, ZHANG Zhe², LI Xun-chang¹, MEN Yu-ming¹

(1. School of Geological Engineering and Surveying Engineering, Chang'an University, Xi'an 710054, China;

2. Shaanxi Research Institute of Building Science, Xi'an 710082, China)

Abstract: In this paper, the whole design process of anti-sliding piles on landslide control engineering of a highway is introduced and the calculation method and formulas in design are dealt with. The formula for calculating the internal force of anti-sliding piles are transformed into a simple way that make the design more practical. Means about the water pipeline is presented.

Key words: landslide control; anti-sliding pile; structure design; 316 national road

[英文审定: 苏生瑞]