

苏州绕城高速公路 K19 滑坡的工程地质特征及治理

杨伟峰, 夏筱红, 崔新瑞

(中国矿业大学资源与地球科学学院, 江苏 徐州 221008)

摘 要: 以苏州绕城高速公路 K19 滑坡工程为例, 对滑坡工程地质条件及特征、滑坡成因和形成机制进行了研究。结果表明, 该滑坡受地形地貌和物质结构条件控制, 受人为工程切坡和降雨诱发而形成的。最后, 在确定影响滑坡稳定的主要控制因素和失稳机理的基础上, 分析和评价了不同工况条件下的稳定性, 提出了进行滑坡防治的工程对策。

关键词: 滑坡; 工程地质特征; 失稳机理; 治理

中图分类号: P642

文献标识码: A

苏州市绕城高速公路 H_A-4 标 K19+700~K19+820 段北侧滑坡是个中型牵引式滑坡。在勘测期间发现该处滑坡是区域性的、独立的滑坡体。滑坡的变形严重影响着高速公路的建设, 是本区中一个重要的工程地质问题。为有效治理滑坡, 采用地质与勘探相结合的方法, 对滑坡体的规模与滑动特征、发生滑坡的地质条件与成因进行了深入研究。对拟建抗滑桩地段的地质条件进行了详细勘测, 提出滑坡治理建议, 为工程治理提供科学依据。

1 工程地质特征

1.1 滑坡形态特征

苏州市绕城高速公路西南段滑坡位于 H_A-4 标 K19+700~K19+820 段北侧, 玉屏山东南坡, 坡面平均坡度 12° 左右。地表植被稀疏, 以马尾松林为主, 东边有略密的竹林, 草皮较少。坡的西侧地形复杂, 出露有泉眼, 终年不干, 植被生长情况基本正常, 偶见“马刀”树和“醉汉”林, 且已发生过浅部滑动, 可以认为是不稳定滑坡。2003—06 修建公路切坡时曾引起大规模滑动, 现仍可以看出地表发生滑移的痕迹, 故为复活滑坡。滑坡后壁最大落差达 2.5 m, 壁陡, 后缘最大张裂缝达 1.2 m 左右宽, 尾部形成封闭洼地。滑坡体东西两边有宽

约 50 cm 的剪裂缝, 形成圈椅状, 在滑坡体的中下部可见扇形裂缝。剪出口位于现修公路路基边上, 滑坡舌已将路面隆起, 形成滑动鼓丘, 滑坡底部积水。滑坡体主要由较厚的非均质含碎石粘性土(碎石土)组成, 结构松散, 雨季呈饱和状, 浸润线与地表相同, 半坡中也有地下水渗出。整个滑坡体, 中轴线线长约 120 m, 后缘宽约 55 m, 前缘宽约 90 m, 深度约 6~16 m, 如图 1。

1.2 滑坡的工程地质条件

滑坡地层岩性自上而下分别为:

1. 人工填土, 由就近推土移置的粘土和亚粘土组成, 黄褐色, 土层未压实, 结构松散, 厚度<5 m。

2. 含碎石粘土, 砖红、棕黄、灰白色, 地表略干燥, 向下呈饱和状, 软塑, 以粘土为主, 颜色多为棕黄, 偶有灰白团块状, 含碎石、砂砾, 碎石多为石英砂岩碎块, 一般在 5~100 mm 左右, 有的达 200 mm 以上, 棱角状, 坚硬。地表碎石量较多, 块径较小, 向下逐渐减少, 但块径增大, 局部含碎石达 40% 左右, 本层无分选性, 结构性差, 最大层厚达 16.10 m, 该层是组成滑坡体的主要层位。

3. 第四系亚粘土, 棕红、黄褐色, 很湿, 硬塑状, 以粘土为主, 不含或少含砾石, 本层土质较

收稿日期 (Received date): 2005-04-11 改回日期 (Accepted): 2005-08-30.

作者简介 (Biography): 杨伟峰 (1974-), 男, 讲师, 硕士, 从事岩土工程与环境地质工程方向的教学与科研。 [Yang Weifeng (1974-), man, lecturer, master, Mainly engaged in the teaching and researching of Geotechnical Engineering and Environmental Geology.]

©1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

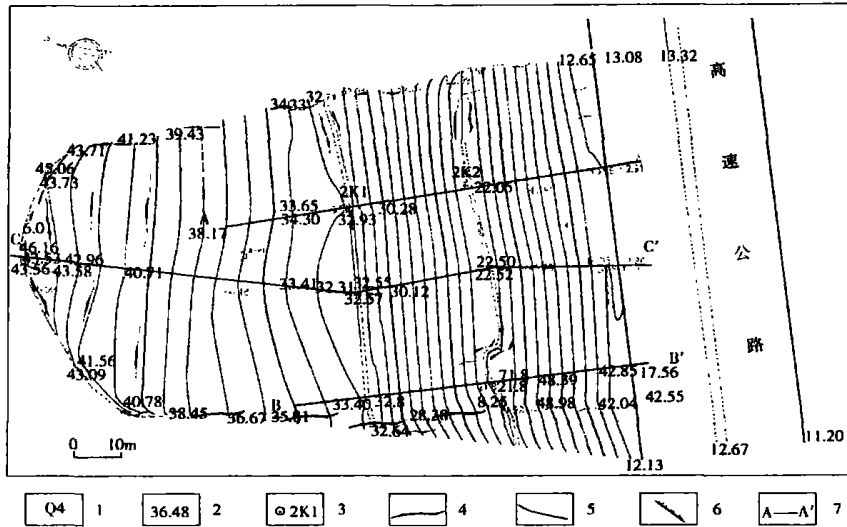


图 1 K19段滑坡地形地质示意图

Fig. 1 Sketch of the K19 section landslide

密实，结构性好，以山前坡积为主（图 2），厚 8.6 ~13.5 m。

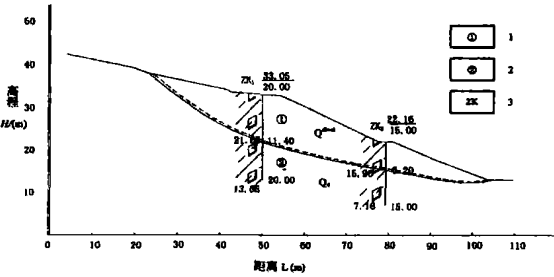


图 2 滑坡体物质结构剖面图

Fig. 2 The main profile of the landslide material construction

4. 粉砂质粘土：灰色和淡黄色，未揭穿此层，厚度不详。

组成滑坡的岩性以人工填土和含碎石粘土为主。

1.3 滑坡水文地质特征

滑坡地貌属山坡坡积地貌，坡上树木不密集，在山坡中间处有一洼地，有积水潭。坡体土质疏松，地表裂隙发育，土渗透性较好，给雨水下渗创造了良好的通道。晴天坡体土湿度小；雨天整个滑坡体土质处于饱和状态，坡中和坡脚均有大量地下水溢出，地下水浸润线与坡体相同。所以该滑坡体在雨天为饱和松软土体，结构松散，强度低。

1.4 滑坡表层变形破坏特征

滑坡地段的高速公路左侧路肩严重挤压隆起，

隆起带长约 30 m，并且隆起高度还在不断上升。公路左侧的排水沟已经完全被滑坡体上滑下的碎石土埋没，由滑坡体中流出的水已流向路面。该变形特征说明了滑坡体的变形正在不断地发展扩大。

2 滑坡变形破坏机制及稳定性分析

2.1 滑坡形成条件及原因

根据滑坡结构特征和成因分析，该滑坡区物质结构松散、有一定的地形坡度是滑坡产生的先决条件，降雨下渗和人为的工程活动是外部影响和激发因素。

在未进行建设公路之前已发生过浅部滑动，即为蠕滑阶段。经过切坡活动，促使下部土体滑移，从而造成新的临空面牵动上部土体滑移，依次牵动出现了 I、II、III 级滑体，再加之雨水浸泡使得滑动面贯通，前缘出现剪切口，在滑体的前后及两侧出现了不同力学机制的裂隙，并使得局部坍塌。最后，由于大量的地表水的补给，滑移体前部大量水流的冲出，使得滑体前部的松散土形成泥石流。至此，滑坡的发生过程即告形成。可以认为，滑坡的剪出口位于滑坡前缘，滑动顺序是先下部后上部逐级牵引向上发展，故该滑坡属于牵引式滑坡。由于滑坡的发生、形成与人类的工程活动（修建高速公路）关系密切，也可以认为是一个工程诱发滑坡。

2.2 滑坡稳定性分析

根据滑坡结构特征及形成机理, 选择具有代表性的剖面, 依据滑坡体后缘平台上裂隙出露情况及前缘滑舌的出露面, 确定边坡滑动主轴断面的位置, 利用瑞典条分法计算确定已滑边坡的滑动面——最危险滑动面, 可算得滑弧半径约为 56.57 m, 滑动主轴纵向长为 62.12 m, 滑动主轴平面内前、后缘高差为 33.31 m。稳定性计算时, 可考虑 4 种工况: 1) 天然状态; 2) 天然状态+人为切坡; 3) 暴雨状态; 4) 暴雨状态+人为切坡。

计算参数应用滑坡工程勘察试验成果, 如表 1。

表 1 滑坡稳定性计算参数表

Table 1 The table of physic and mechanic parameter of the layer						
岩性	重度 γ (kN/m ³)		天然状态强度参数		饱和状态强度参数	
	天然状态	饱和状态	C (kPa)	ψ (°)	C (kPa)	ψ (°)
含碎石粘土	19.6	19.8	26.6	8.8	16.9	4.7
亚粘土	20.0	20.2	33.8	13.8	25.0	9.8
泥质粉砂岩	22.8	22.9	1 183.0	30.2	1 125.0	28.4

根据滑坡实际情况, 将滑坡分为 3 个断面 (见图 1), 截取滑坡单位宽度 (1 m) 进行稳定系数和推力计算, 采用稳定性系数 (K 法) 评价滑坡体的稳定性。由于该滑坡表现为顺坡向滑动, 滑动面呈起伏不平的折线形, 因此可采用基于极限平衡理论折线形滑动条分法和 F 传递系数法来评价滑坡的稳定性和计算滑坡体推力。

滑坡稳定性系数

$$k = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} [R_i \prod_{j=i}^{n-1} \psi_j] + R_n}{\sum_{i=1}^{n-1} [T_i^{n-1} \psi_i] + T_n}$$

式中 R_i —作用于第 i 条块滑动面上的抗滑分力 (kN/m); T_i —作用于第 i 条块滑动面上的滑动分力 (kN/m); ψ —传递系数。

滑坡计算以 A—A' 剖面 (见图 2) 为实例, 计算结果见表 2。

2 3 滑坡稳定性评价

以 A—A' 剖面为例, 计算结果显示, 松散体滑坡稳定性系数在各种工况下相差较大, 即从工况① (天然状态) 的 1.07→工况② (天然状态+人为切坡) 的 1.01→工况③ (暴雨状态) 的 0.94→工况④ (暴雨状态+人为切坡) 的 0.82; 降低幅度 (以工况①的 1.07 为准) 依次为 5.60%、12.15%和 23.36%。由此可见, 该段滑坡在天然状态下就已处于极限状态并有蠕滑, 一旦持续降雨

和人为工程活动, 都将导致稳定性系数急剧降低。同时也表明滑坡的物质结构、含水状态和工程切坡活动是影响其稳定性的主要因素。总体判断本滑坡为不稳定滑坡, 必须及时治理。

表 2 稳定性系数计算结果表

Table 2 Computational results of slope stability

剖面	稳定性系数				计算状态
	工况①	工况②	工况③	工况④	
A—A'	1.07	1.01	0.94	0.82	潜在滑面
B—B'	1.21	1.04	0.97	0.87	潜在滑面
C—C'	1.11	1.02	0.96	0.84	潜在滑面

3 工程治理措施

根据滑坡特征, 经综合分析, 采取支挡为主, 辅以锚固、护坡和排水的综合治理措施。修建完善的排水系统, 构筑抗滑桩群, 削坡减轻荷载, 支撑稳固等措施, 提高滑体的整体稳定性。针对滑坡为牵引式, 从滑坡前缘到滑带, 分别设置不同的抗滑设施, 具体治理措施如下:

1. 支挡结构物位置以路基护脚墙处为宜, 其结构形式为桩板式挡土墙, 既抗滑又挡土, 还起护脚作用。即在 K19+700~K19+820 段北边坡护脚墙处设桩板墙, 设计抗滑桩 24 根, 桩间距为 5 m, 单根桩长 18~22 m, 桩截面路面下为 2 m×3 m 之矩形, 路面以上为 T 形, 即在桩前加侧翼, 宽度、厚度均为 0.5 m。挡土板为槽形预制板, 单块板长×宽×厚=3.6 m×1.0 m×0.38 m。挡土板下采用 M7.5 浆砌片石铺垫, 板后填反滤层。

2. 在滑坡中部设预应力锚索抗滑桩一排, 抗滑桩 20 根, 截面 1.5 m×2.0 m, 桩间距 6 m, 单根桩长 25~28 m, 每桩顶施加两根预应力锚索。单根锚索设计承载力 1 000 kN。

3. 滑坡顶端边坡高陡处, 采用预应力锚索锚锭板加固。

4. 修建完善的防、排水系统, 减轻水对滑坡体的侵害, 维护滑坡体岩土自身的稳定性。由于该滑坡的产生除了人为的切坡因素外, 主要是水的侵入造成的, 因此首先要在滑坡体后壁处, 根据山坡地形设计截水沟, 并在其迎水面沟壁上设置泄水孔; 在山坡和坡脚等湿地, 修排水沟或渗沟, 将水引出滑坡体; 在被保护的斜坡区或滑坡体内, 布置树枝状排水系统, 以阻止地表水冲刷坡面和渗入地下; 在滑坡体前缘作边坡渗沟疏干, 减缓水对滑坡

体的浸泡。平整坡面, 保证坡面干燥或直接采用钢筋混凝土喷浆, 使雨水不易渗入坡体土中。

4 结 论

1. 该段滑坡地质条件差, 滑体为第四系残坡积碎石土, 土体松散, 力学强度低, 软化系数小, 遇水易软化失稳, 为该滑坡的发生发展提供了内在条件。

2. 该滑坡多次滑动, 特殊的地质条件决定该段边坡无论高差大小, 只要有临空面, 就必然会向自然边坡发展的活动特征。

3. 根据滑坡特征, 经综合分析, 采取支挡(桩板墙和锚索桩)为主, 辅以锚固、护坡和排水的综合治理措施。

该段滑坡是在地形地貌、滑坡物质结构条件控制下, 受人为施工切坡及降雨诱发形成的滑坡, 所采取的治理措施须针对上述滑坡机制而选用。另外要重视滑坡监测, 不仅在施工前应建立监测系统获取防治工程设计必需的资料, 而且在施工过程中及治理竣工后, 应连续监测, 以了解施工干扰影响, 检测治理效果及预测滑坡复活可能性。

参考文献 (References):

- [1] Hu Xiewen, Lu Xiaoping, Li Tingqiang. Sliding mechanism and stability evaluation for mining slope at a mining area of Sichuan [J]. *Journal of Mountain Science*, 2004, **22** (2): 224~229 [胡卸文, 吕小平, 李廷强. 四川某矿山边坡失稳机理及稳定性

性评价 [J]. *山地学报*, 2004, **22** (2): 224~229]

- [2] Liu Chuanzheng, Zhang Mingxia, Zou Zhengsheng. Research on the stability of Diijapo Slope in Baoji City [J]. *Journal of Engineering Geology*, 1998, **6** (2): 103~113 [刘传正, 张明霞, 邹正盛. 宝鸡市狄家坡滑坡稳定性研究 [J]. *工程地质学报*, 1998, **6** (2): 103~113]
- [3] Lin Dongming, Pi Youkang, Huang Hailang. Study on engineering geological conditions for landslide at Badu K343 section Nankun Railway and control on it [J]. *Journal of Engineering Geology*, 2002, **10** (2): 220~224 [林懂明, 皮有良, 黄海浪. 南昆线八渡 K343 滑坡的工程地质条件及治理研究 [J]. *工程地质学报*, 2002, **10** (2): 220~224]
- [4] Zhu Pingsheng. The movable feature and control design of K399 landslide on Dalu Baoshan motorway, Yunnan [J]. *Journal of Geological Hazards and Environment Preservation*, 2002, **13** (4): 28~32 [朱平生. 云南大保高速公路 K399 滑坡活动特征及治理设计 [J]. *地质灾害与环境保护*, 2002, **13** (4): 28~32]
- [5] Zhang Jin, Li Minghai, Yin Guanghui. Formation cause analysis of Xujiawan Landslide in the No. 209 National Road and its treatment [J]. *Journal of Mountain Science*, 2003, **21** (2): 234~238 [张季如, 李明海, 尹光辉. 209 国道许家湾滑坡的成因及治理对策 [J]. *山地学报*, 2003, **21** (2): 234~238]
- [6] Bai Yunfeng, Zhou Peide. Development of landslides from Fuling to Pengshui section along the No. 319 National Road [J]. *Journal of Mountain Science*, 2003, **21** (6): 721~725 [白云峰, 周德培. 319 国道涪陵至彭水沿线滑坡发育特征 [J]. *山地学报*, 2003, **21** (6): 721~725]
- [7] Tang Hongmei. Stability analysis on base earth landslides along the bank of the Three Gorges Reservoir [J]. *Journal of Chongqing Jiaotong University*, 2002, **21** (4): 61~65 [唐红梅. 三峡库岸散体滑坡稳定性分析 [J]. *重庆交通学院学报*, 2002, **21** (4): 61~65]

The Engineering Geological Characteristics and the Treatment of Landslide at K19 Section of Highway Around Suzhou

YANG Weifeng, XIA Xiaohong, CUI Xinrui

(College of Mineral Resource and Geoscience, China University of Mining Technology, Xuzhou 221008, China)

Abstract: Based on study the landslide engineering of K19 section of highway around Suzhou, the engineering geological conditions and characteristics, cause and mechanism of the landslide are discussed. It shows that the landslide is controlled by landform and material-texture conditions, and induced by engineering excavation and precipitation. Eventually, based on the main control factors and sliding mechanism of the landslide, the slope stability is analyzed under different conditions. Some treatment ways are put forward to it.

Key words: landslide; engineering geological characteristic; sliding mechanism; treatment