

万州安乐寺滑坡前缘松散堆积体 成因与防治对策

简文星,殷坤龙,郑磊,姚林林,程传军,陈丽霞

中国地质大学工程学院,湖北武汉 430074

摘要:逐一分析了安乐寺滑坡前缘西溪铺、农机技校松散堆积体的144个勘探钻孔,根据土体物质成分进行分层并对其成因进行判断;对相邻钻孔的土层进行比较,将相同的土层连接起来,绘制工程地质剖面图;将工程地质剖面图进行综合对比分析,探讨每一土层的连续性、延伸性。按照“钻孔—剖面—成层”的研究方法,对安乐寺滑坡前缘松散堆积体的特征及成因进行详细的研究。研究表明:安乐寺滑坡前缘松散堆积体是以安乐寺滑坡前部的滑动解体作用为主,包括残积、坡积、冲积等共同作用形成的。前缘松散堆积体中存在多个滑动面,滑动面平直、光滑,可以分为2种类型:一类是中深层滑动面,数量较少,规模大;另一类是浅层滑动面,数量较多,规模小。滑动面的这种分布规律反映了前缘松散堆积体是一个长期的不连续的变形体。最后,考虑松散堆积体下伏卵石砂土层地质结构,对松散堆积体防治措施进行了探讨,认为安乐寺前缘松散堆积体采用抗滑桩支挡结合地表排水与护坡等措施进行治理是适宜的,但抗滑桩嵌固段必须深入到卵石砂土层以下稳定的基岩中,以避免抗滑桩随卵石砂土层产生整体位移。

关键词:安乐寺滑坡;勘探钻孔;松散堆积体特征;滑动面分布规律;成因;防治对策。

中图分类号:P642

文章编号:1000-2383(2005)04-0487-06

收稿日期:2004-12-13

Formation Mechanism and Slide Prevention Methods of Soil Deposits at the Toe of Anlesi Landslide in Wanzhou

JIAN Wen-xing, YIN Kun-long, ZHENG Lei, YAO Lin-lin, CHENG Chuan-jun, CHEN Li-xia

Engineering Faculty, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

Abstract: The material of 144 boreholes of Xixipu and Nongjijixiao soil deposits at the toe of Anlesi landslide was analyzed, types of soil were classified and the formation mechanism was analyzed based on the properties of soil deposits in a single borehole. The same type of soil was connected to one layer in a profile with several boreholes. The continuity and extent of a soil layer was determined with profiles. The results show that most of the soil deposits at the toe of Anlesi landslide slipped from the foot of the landslide, and other soil deposits are residual, colluvial, talus and alluvial. The soil deposits were formed by co-action of gravity, running water, mechanical and chemical weathering. In the soil deposits, many sliding surfaces which are plane and smooth were found, and these can be classified into two kinds. There are a few large scale sliding surfaces, which are found at some depth, and many small sliding surfaces, which occur near the surface of the soil deposits. The distribution of sliding surfaces mentioned above indicates that the soil deposits have been deformed discontinuously for a long time. Slide prevention methods, considering the geological structure underlain by gravel sand, include driven piles, rip-rap and surface drainage as a means of stabilizing the soil deposits. The driven piles should be embedded in stable ground under the gravel sand to avoid being displaced.

Key words: Anlesi landslide; exploration borehole; characteristics of soil deposit; distribution of sliding surface; mechanism; prevention method.

许多专家和学者对万州一些松散堆积体的成因与防治对策进行了研究. 孙云志等(2002a, 2002b)对万州和平广场松散堆积体行了研究, 认为和平广场松散堆积体是堆积于长江及其支流苕溪河台地上的以崩滑堆积为主、坡积、河流冲积等为辅的混合成因的松散堆积体. 陈喜昌等(2004)认为, 万州苕溪河一带分布的规模巨大的松散堆积体是由落石堆积而形成的. 唐红梅(2002)对万州清泉路松散堆积体滑坡稳定性进行了评价, 认为库水位降落是清泉路滑坡稳定性变化的控制工况, 此工况应该作为滑坡治理的设计工况. 乔建平(1994)对豆芽棚滑坡进行了研究, 认为豆芽棚滑坡的形成主要是由人工加载与降雨诱发作用引起的, 提出了减载和采用抗滑桩支挡的治理措施. 陶志平等(2003)分析了万州巨鱼沱滑坡形成条件和诱发变形因素, 评价了滑坡在各工况下的稳定性, 提出了以预应力锚索抗滑桩支挡为主的综合治理措施. 以上这些研究表明, 对松散堆积体的成因与稳定性进行研究是合理采取防治措施的基础. 安乐寺滑坡位于重庆市万州城区西北侧, 其前缘分布多个松散堆积体, 三峡大坝第三期 156 m、第四期 175 m 蓄水发电后, 这些松散堆积体的下部被浸在水中. 因此, 在三峡大坝第三期蓄水之前, 对安乐寺滑坡前缘松散堆积体的成因与防治对策进行研究, 具有很重要的现实意义.

1 安乐寺滑坡特征

安乐寺滑坡位于 NE 向隔挡式褶皱系万县弧形复向斜的核部, 出露地层主要为侏罗系沙溪庙组 (J_2s), 岩性为一套紫红色砂岩、灰白色长石石英砂岩、紫红色泥质粉砂岩、粉砂质泥岩、泥岩等, 分布稳定、产状近水平. 安乐寺滑坡分布高程 240~325 m, 纵长 600 m, 宽 2 100 m, 面积 1.01 km², 体积约 2.486×10^4 m³. 滑床为上部地层, 岩性为粉砂岩夹泥岩, 产状为 $150^\circ \angle 4^\circ \sim 5^\circ$. 滑面埋深 10~40 m 不等, 后部局部可达 48 m, 基本与层面平行(崔政权, 1993). 钻孔揭露滑带为粘土; 在实验中学附近地表揭露滑带厚度为 10~20 cm, 岩性为灰白色粘土, 内含灰白色泥岩角砾, 滑带底部擦痕清晰, 滑动方向为 100° . 从滑带的物质成分与分布特征分析: 安乐寺滑坡是沿灰白色软弱夹层顺层滑动而形成的.

安乐寺滑坡地表汇水面积大, 水塘比较多, 大部分分布在后缘拉裂槽一带, 地下水埋深 0~10 m, 水

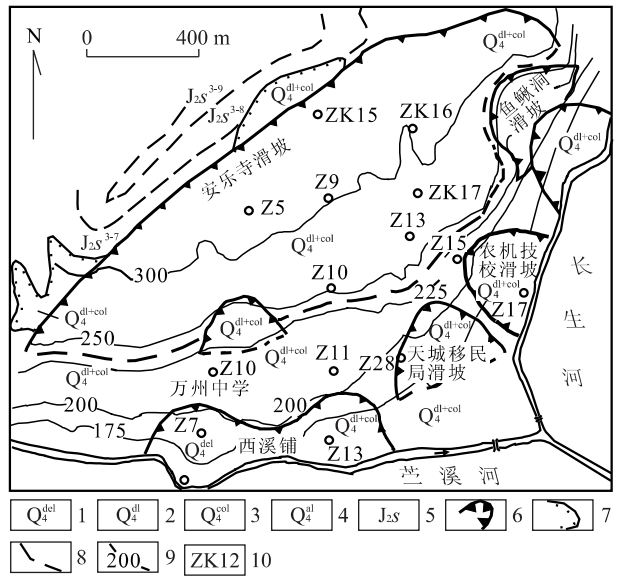


图1 安乐寺滑坡及其前缘松散堆积体工程地质平面图
Fig. 1 Geological map of Anlesi landslide and soil deposits at its toe

1. 滑坡堆积物; 2. 坡积物; 3. 崩积物; 4. 冲积物; 5. 侏罗系沙溪庙组;
6. 滑坡边界; 7. 不整合线; 8. 地层界限; 9. 等高线; 10. 钻孔及其编号

位在滑带以上.

安乐寺滑坡前缘松散堆积体、小型坡面泥石流较多, 已发现的规模较大的有: 西溪铺、移民局、农机技校与鱼鳅洞等松散堆积体(图1). 下文从分析勘探钻孔资料入手, 以西溪铺松散堆积体和农机技校松散堆积体为例, 对安乐寺滑坡前缘松散堆积体的成因与防治对策进行探讨.

2 西溪铺松散堆积体成因分析

对西溪铺松散堆积体 98 个勘探钻孔资料(张天友等, 2001)进行逐一分析, 依据土体物质成分的不同进行初步分层, 并对各层土体成因进行判断. 然后对相邻钻孔的土层进行比较, 将相同的土层连接起来, 绘制工程地质剖面图. 最后将工程地质剖面图进行综合对比分析, 找出相邻剖面之间的联系和差异, 分析每一土层的连续性、延伸性.

按照由点到线再到面即“钻孔—剖面—成层”的思路, 将该地的松散堆积物分为粉质粘土夹碎石土层、卵石砂土层及人工堆积层 3 种类型. 这 3 类土的分布特征及其成因阐述如下.

2.1 粉质粘土夹碎石土层形态特征及成因

粉质粘土夹碎石土层在该地分布广, 在统计的

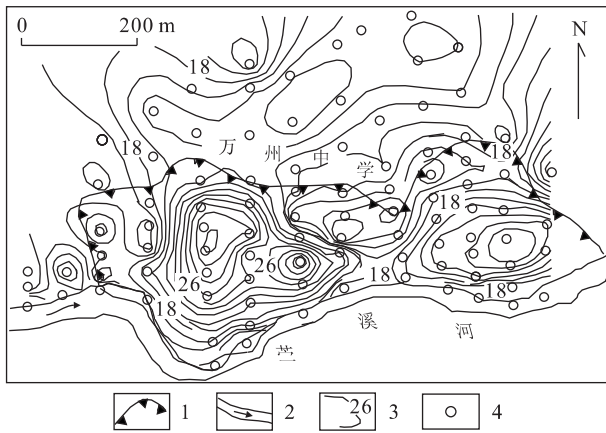


图 2 西溪铺粉质粘土夹碎石土层厚度等值线(m)

Fig. 2 Thickness isoline of gravel silty clay in Xixipu
1. 滑坡周界; 2. 河流; 3. 厚度等值线; 4. 钻孔

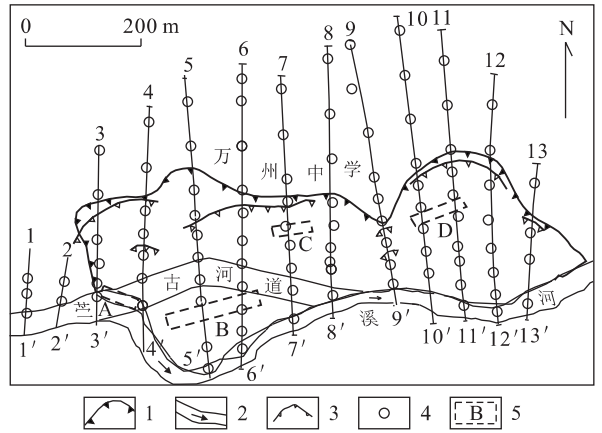


图 4 西溪铺苕溪河河道变迁与松散堆积体滑动面分布

Fig. 4 Change of Zhuxi River bed in Xixipu and the distribution of sliding surfaces in Xixipu soil deposit
1. 滑坡周界; 2. 河流; 3. 次级滑动面; 4. 钻孔; 5. 抗滑桩分布区

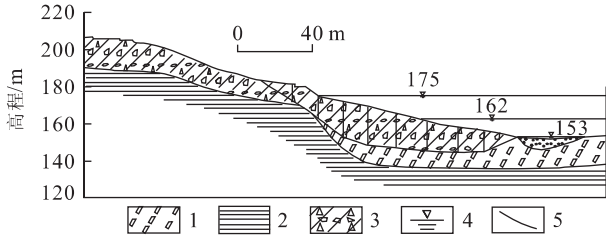


图 3 西溪铺松散堆积体 4—4' 工程地质剖面

Fig. 3 4—4' geological profile of Xixipu soil deposit

1. 卵石砂土; 2. 砂质泥岩; 3. 粉质粘土夹碎块石; 4. 水位; 5. 滑动面线

98 个钻孔中均有粉质粘土夹碎石土层出现。粉质粘土呈褐红色、褐黄色, 干燥时强度较高, 浸水湿润后, 呈可塑状。碎块石含量一般在 5%~30%, 成分以长石石英砂岩、泥质砂岩为主, 棱角状, 分选性差, 块径变化大, 一般 100~800 mm, 大者可达 6 m。

该土层的厚度为 1.3~34.8 m(图 2)。从图 2 分析可知, 该土层有 2 个明显的集中分布区: 即分布在苕溪河拐弯明显的凸岸, 基岩面高程为 190 m 以下的斜坡与 140~150 m 的平台上。在基岩面由陡坡转变为平台的地段, 厚度最大; 在基岩面坡度陡的地段及苕溪河边缘厚度相对较薄。剖面 4—4'(图 3) 显示, 粉质粘土夹碎石土层直接覆盖在卵石砂土层之上, 并且在该土层中发现多个滑动面, 少数滑动面规模较大。说明该土层 2 个厚度集中区是由滑坡作用形成的。

分布于基岩面高程 190 m 平台上的粉质粘土夹碎石土层, 厚度比较均匀, 一般为 12~18 m。钻孔中没有发现滑动面。由此说明, 此部分粉质粘土夹碎石土层是由崩积、坡积作用形成的。

2.2 卵石砂土层形态特征及成因

卵石砂土层成分以砂粒、卵石为主, 含少量岩屑及粘土, 呈松散—稍密状。卵石含量为 10%~30%, 粒径为 20~80 mm, 呈次圆状, 母岩成分为砂岩及少量灰岩、分选性较差。在统计的 98 个钻孔中有 18 个钻孔揭露了卵石砂土层, 分布在苕溪河沿岸。

卵石砂土层的厚度为 1.3~13.7 m。底面高程主要在 140~145 m, 顶面高程主要在 145~157 m。从卵石砂土分布形态及成分分析, 此层主要是由河流冲积作用形成的。根据基岩面的起伏特征及卵石砂土层的分布特征对苕溪河古河道进行了恢复(图 4)。从图 4 分析可知, 在滑坡发生之前, 在西溪铺一带苕溪河向北弯曲。后来由于河流的侵蚀作用, 造成松散堆积体发生滑动, 迫使苕溪河南迁, 向南弯曲。

2.3 人工堆积层形态特征

该区的人工堆积物为杂填土, 松散、稍湿, 主要由粘土、砂岩碎块、建筑垃圾、生活垃圾等构成。杂填土在该地区分布少, 但是相对比较集中。主要集中分布在万州中学及居民集中居住区。在统计的 98 个钻孔中有 17 个钻孔揭露了杂填土层。杂填土层厚度为 0.5~3 m, 主要与该处的人口集中程度有关系。

2.4 西溪铺松散堆积体滑动面特征

在西溪铺松散堆积体中发现多个滑动面, 经过统计, 该区 98 个勘探钻孔中有 37 个钻孔揭露了滑动面。绝大多数滑动面平直、光滑, 而且部分滑动面上有擦痕, 大部分擦痕与滑动面的倾向一致。滑带成分为可塑状—软塑状粘土, 褐黄色夹灰白色, 含少量泥岩角砾, 具搓揉磨光现象。

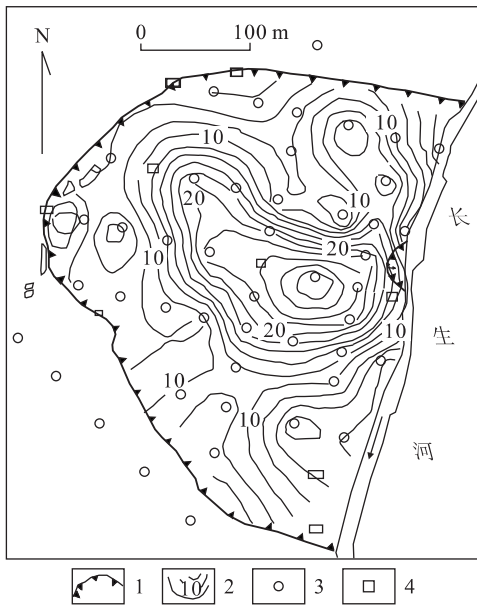


图 5 农机技校粉质粘土厚度等值线(m)

Fig. 5 Thickness isoline of silty clay at Nongjijixiao

1. 滑坡边界; 2. 厚度等值线; 3. 钻孔; 4. 探井

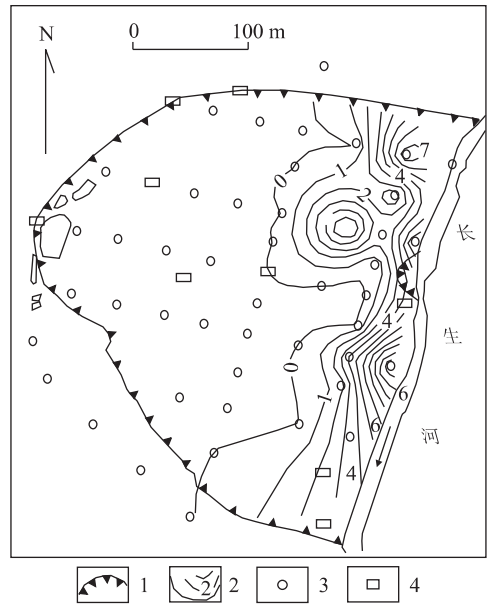


图 6 农机技校卵石土厚度等值线(m)

Fig. 6 Thickness isoline of gravel in Nongjijixiao

1. 滑坡边界; 2. 厚度等值线; 3. 钻孔; 4. 探井

滑动面在高程上可以分为 2 类:一类是中深部的滑动面,一类是浅层滑动面。中深部的滑动面在倾角和高程上具有空间上的连贯性和一致性。按照滑动面在钻孔中的分布高程、滑动面的倾角,在剖面上将滑动面向地面延伸,得滑动面的平面分布图(图 4)。从图 4 可知,在粉质粘土夹碎石土层的 2 个厚度集中区的后缘分布一个规模较大的滑动面,这充分证明了 2 个粉质粘土夹碎石层是由滑坡作用形成。浅层滑动面规模小,相邻滑动面在高程上和倾角上难于连接,说明滑动面在空间上不连续,是不同部位、不同期次的小型表层滑坡。由以上分析可知,西溪铺在地质历史上发生过一次大型的堆积体的滑动、多次小型的表层滑动。

3 农机技校松散堆积体成因分析

农机技校松散堆积体位于安乐寺古滑坡前缘东部(图 1)。地形西高东低,分布高程为 143.3~225.0 m,前后缘高差 74.7 m,东西长 340 m,南北宽 425 m,面积 $10.54 \times 10^4 \text{ m}^2$,平均厚度 14.20 m,体积 $149.7 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。后缘基岩斜坡总体坡角 $32^\circ \sim 35^\circ$,其形态呈圈椅状;前缘为 4~14 m 高的陡坎或斜坡。松散堆积体发育 3 级缓坡平台,其坡角为 $3^\circ \sim 8^\circ$,平台之间由斜坡相连,坡度角 $20^\circ \sim 25^\circ$ 。

对农机技校松散堆积体 46 个勘探钻孔资料(张天贵等,2001)进行逐一分析,将农机技校松散堆积物分为粉质粘土层、碎石土层、卵石层及人工堆积层。这四层土的分布特征及其成因如下。

3.1 粉质粘土层

该地粉质粘土层分布广泛,在统计的 46 个钻孔中 44 个钻孔揭露了粉质粘土。粉质粘土厚度为 2.5~30.8 m。从图 5 可知,粉质粘土中部分布厚,南、北分布薄。厚度集中区呈舌状分布。在粉质粘土中发现多个滑动面,少数滑动面规模较大,说明松散堆积体曾发生过多滑动并且规模较大。

3.2 卵石层

该地的卵石土,多呈暗灰、灰黄色,稍密,多夹有植物碎片,卵石之间为中细砂填充,卵石多呈次圆状,粒径在 2~8 cm 之间,成分多为砂岩。在统计的 46 个钻孔中共有 8 个钻孔揭露了卵石层,集中分布在长生河沿岸一线(图 6)。卵石层的厚度为 1.4~10.8 m。底面高程分布在 137 m 左右,顶面高程分布在 143 m 左右。卵石之间填充中细砂,且大部分卵石层夹杂有植物碎片。从卵石土分布形态及卵石土的成分分析,可以判断该地的卵石土为河流冲积作用所形成。

3.3 碎石土层

碎石土主要由碎石与粘土组成,碎石成分为砂质泥岩、砂岩。在统计的 46 个钻孔中仅 5 个钻孔揭

露了碎石土层. 碎石土层的厚度为 1.5~6.2 m. 碎石土层主要分布在松散堆积体后部, 基岩面较陡地段与低洼平缓地段的转换部位, 呈带状分布, 规模小, 厚度随基岩面的起伏有所变化. 由此可以判断, 碎石土是基岩较陡地带发生崩塌堆积形成的.

3.4 人工堆积层

该地的人工堆积物为素填土及杂填土, 松散、稍湿, 主要由粘土、砂岩碎块、建筑垃圾、生活垃圾等构成. 人工填土主要集中分布在公路、农机技校及居民集中居住区. 在统计的 46 个钻孔中共有 35 个钻孔中出现了人工填土地层. 人工填土地层厚度为 0.4~5 m, 变化较大、连续性较差.

3.5 滑动面特征

在该地的粉质粘土层中发现多个滑动面. 通过统计该地的 46 个钻孔资料, 有 18 个钻孔揭露了滑动面. 绝大多数滑动面平直、光滑, 且部分滑动面上有擦痕. 滑动面按高程可以分为 2 类: 一类是中深部的滑动面, 一类是浅层的滑动面. 中深部的滑动面在倾角和高程上具有空间上的连贯性和一致性. 按照滑动面在钻孔中的分布高程、滑动面的倾角, 在剖面上将滑动面向平面延伸, 得到滑动面的平面分布图(图 7). 从图 7 可知, 农机技校松散堆积体中分布多个剪切滑动面, 说明农机技校松散堆积体曾发生过多次滑动.

根据地面变形裂隙调查及探井探槽中滑面、擦痕方向判断, 农机技校松散堆积体最大一次滑动的主滑方向为 104° , 中后部滑面倾角 $4^\circ\sim 32^\circ$, 前部倾角 $1.5^\circ\sim 8^\circ$. 滑带土为棕红色、灰白、灰绿色粉质粘土, 局部为粘土, 厚度一般 0.1~2.6 m, 最薄的棕色粘土滑带 5~10 mm, 前部沿卵石层顶面滑移, 直接覆盖于河流卵石层之上.

4 松散堆积体防治对策探讨

从前述可知, 安乐寺滑坡前缘松散堆积体主要由滑坡作用形成, 滑坡堆积体直接覆盖在河流冲积物卵石砂土层之上. 卵石砂土层主要分布在河床, 其结构松散、透水性强, 是万州近水平地层滑坡前缘松散堆积体一种具有代表性的地质结构. 对安乐寺滑坡前缘松散堆积体的治理, 必须考虑下伏卵石砂土层的性质.

在三峡库区第二期地质灾害治理中, 对稳定性较差的西溪铺滑坡、农机技校滑坡与移民局滑坡进

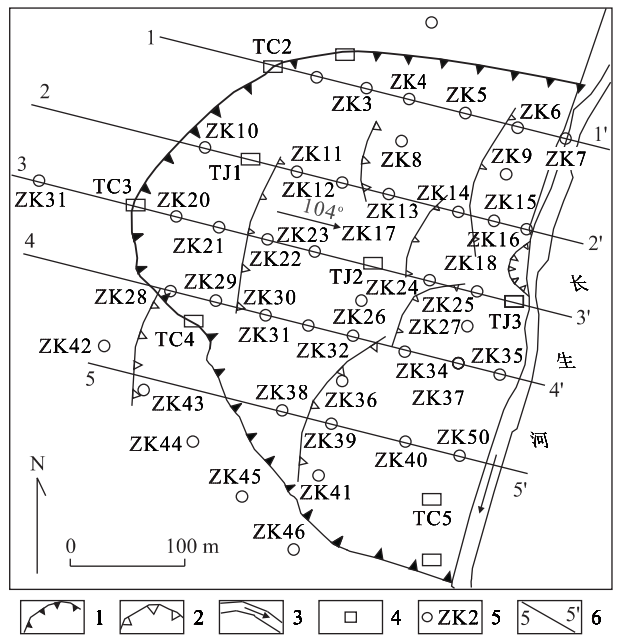


图 7 农机技校松散堆积体滑动面分布

Fig. 7 Distribution of sliding surfaces in the soil deposits at Nongjijiao

1. 滑坡周界; 2. 次级滑动面; 3. 河流; 4. 探井; 5. 钻孔; 6. 剖面位置

行了治理. 治理的主体工程为抗滑桩, 其次采用地表排水与护坡. 抗滑桩工程最大的优点是可以抵挡很大的推力, 治理安乐寺滑坡前缘厚度较大的松散堆积体是适宜的. 但是, 在治理中, 没有充分考虑下伏卵石砂土层松散的特性, 部分抗滑桩的嵌固段位于下伏卵石砂土中, 没有深入到稳定的基岩中去(图 8). 万州区国土局对西溪铺滑坡治理工程进行了监测. 西溪铺治理工程主要以抗滑桩工程为主, 分 A、B、C、D 四个区(图 4): A、B 两区抗滑桩位于苕溪河古河道中, 下伏厚度较大的卵石砂土层, 部分抗滑桩的嵌固段位于卵石砂土层中(图 8); C、D 两区抗滑桩分布在西溪铺滑坡的上部, 松散堆积层较薄, 抗滑桩嵌固段位于 J_2s 基岩中. 监测资料(胡波和李迎春, 2004)表明, 西溪铺滑坡 A 区深部位移量为 20 mm 左右, 后期趋于稳定. B 区深部位移量累计达 35 mm, 且一直缓慢增加; 地表位移达 18 mm, 目前仍处于变化之中. 由此说明, B 区抗滑桩随卵石砂土层一起移动, 治理效果不佳. C、D 两区变形不明显, 治理效果较好.

因此, 防治具有下伏卵石砂土层的滑坡, 必须考虑下伏卵石砂土层松散的工程特性, 抗滑桩嵌固段必须深入到卵石砂土层以下的基岩中, 以避免抗滑桩产生整体移动.

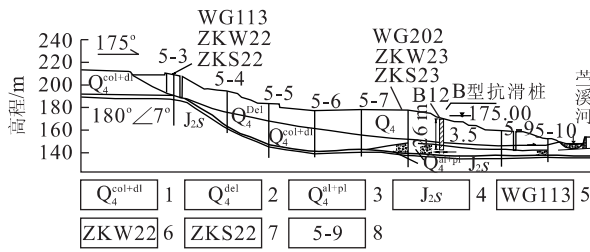


图 8 西溪铺滑坡治理工程 5—5' 剖面监测分布

Fig. 8 Monitoring in profile 5—5' of Xixipu landslide stabilized with driven piles

1. 崩塌积物; 2. 滑坡堆积物; 3. 冲积、洪积物; 4. 侏罗系沙溪庙组;
5. GPS 地表位移监测点编号; 6. 深部位移监测孔编号; 7. 地下水监测孔编号; 8. 钻孔及其编号

5 结论

(1) 安乐寺滑坡前缘松散堆积体是以安乐寺滑坡前部的滑动解体作用为主, 包括残积、坡积、冲积等共同作用形成的。(2) 前缘松散堆积体中存在多个滑动面。滑动面平直、光滑, 可以分为 2 种类型: 一种是中深部的滑动面, 数量较少, 规模大; 另一类是浅层的滑动面, 数量较多, 规模小。前缘松散堆积体内滑动面的分布规律反映了前缘松散堆积体是一个长期的不连续的变形体。(3) 对于安乐寺前缘松散堆积体下伏卵石砂土层地质结构, 采用抗滑桩支挡结合地表排水与护坡等措施进行治理是适宜的, 但抗滑桩嵌固段必须深入到卵石砂土层以下的稳定基岩中, 以避免抗滑桩产生整体移动。

References

- Chen, X. C., Huang, J. B., Yuan, Y. X., 2004. Structural characteristics of rock drop accumulation and transformation type of slopes failure. *The Chinese Journal of Geological Hazard and Control*, 15(1): 5—10 (in Chinese with English abstract).
- Cui, Z. Q., 1993. An introduction on safety evaluation of the Three Gorges Reservoir shores. Bureau of Geotechnique of Changjiang Water Resources Commission, Wuhan (in Chinese).
- Hu, B., Li, Y. C., 2004. Monitoring report of Anlesi landslide. Country Bureau of Wanzhou, Chongqing (in Chinese).
- Qiao, J. P., 1994. Douyapeng landslide in Wanxian city, Sichuan Province. *Mountain Research*, 12(4): 213—218 (in Chinese with English abstract).
- Sun, Y. Z., Su, A. J., Wang, J. H., et al., 2002a. Analysis on

characteristics of shear and fracture surfaces in slide deposit of Heping Square landslide in Wanxian city. *Yangtze River*, 33(6): 15—16 (in Chinese with English abstract).

- Sun, Y. Z., Zhang, Q. X., Wang, Y. P., 2002b. Substance characteristics and significance of accumulation of Heping Square landslide of Wanzhou in the Three Gorges Reservoir region. *Hubei Geology & Mineral Resources*, 16(4): 25—27 (in Chinese with English abstract).
- Tang, H. M., 2002. Stability analysis on loose earth landslides along the bank of Three Gorges Reservoir. *Journal of Chongqing Jiaotong University*, 21(4): 62—65 (in Chinese with English abstract).
- Tao, Z. P., Zhou, D. P., Wang, H. L., 2003. Geological characteristics and treatment of the Juyutuo landslide in the Three Gorges Reservoir area. *Journal of Engineering Geology*, 11(4): 406—410 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, T. G., Zhang, Y. Q., Xu, G. H., et al., 2001. Geotechnical exploration report of Nongjijixiao landslide in Shahezi, Wanzhou, Chongqing. 107 Geological Team, Mine Reconnaissance Company of Chongqing, Chongqing (in Chinese).
- Zhang, T. Y., Dai, J. M., Liu, X. Y., et al., 2001. Geotechnical exploration report of Anlesi landslide in Wanzhou, Chongqing, Three Gorges Reservoir. 607 Geotechnical Exploration Company of Chongqing, Chongqing (in Chinese).

附中文参考文献

- 陈喜昌, 黄金宝, 袁永旭, 2004. 落石堆积的结构特征与斜坡破坏型式之转换. *中国地质灾害与防治学报*, 15(1): 5—10.
- 崔政权, 1993. 三峡工程库岸稳态评价预测概念. 武汉: 长江水利委员会勘测局.
- 胡波, 李迎春, 2004. 安乐寺滑坡监测报告. 重庆: 重庆市万州区国土局.
- 乔建平, 1994. 四川省万县市豆芽棚滑坡. *山地研究*, 12(4): 213—218.
- 孙云志, 苏爱军, 王军怀, 等, 2002a. 万州和平广场滑坡堆积体剪裂面特征分析. *人民长江*, 33(6): 15—16.
- 孙云志, 张秋霞, 王永平, 2002b. 三峡库区万州和平广场滑坡区堆积体物质组成特征及其地质意义. *湖北地矿*, 16(4): 25—27.
- 唐红梅, 2002. 三峡库岸散体滑坡稳定性分析——以万州清泉路滑坡为例. *重庆交通学院学报*, 21(4): 62—65.