

岷山垭公路路堑滑坡膨胀土特性及机制探讨

余宏明,严春杰,王环玲

(中国地质大学工程学院,湖北武汉 430074)

摘要: 襄樊岷山垭地区膨胀土滑坡是影响公路交通的重大地质病害. 曾投入了大量资金进行整治均没有收到良好效果. 在探明岷山垭膨胀土滑坡的一些重要性质基础上, 利用 X 射线衍射仪(XRD)、X 射线荧光光谱(XRF)分析仪和扫描电子显微镜(SEM), 综合常规物理力学实验, 对滑坡膨胀土物理性质、微观结构进行了深入研究. 以此为基础, 探讨了该区膨胀土一些特性在滑坡形成演化中的作用, 进一步阐明了该滑坡的形成机制, 总结了膨胀土滑坡的一些重要规律, 对于深入研究膨胀土滑坡及滑坡整治有十分重要的意义.

关键词: 膨胀土; 形成机制; 微结构; 膨胀力.

中图分类号: TU44 文献标识码: A

文章编号: 1000-2383(2001)04-0429-04

作者简介: 余宏明(1952—), 男, 副教授, 1978 年毕业于武汉地质学院, 1992 年获硕士学位, 长期从事滑坡灾害地质及环境地质研究.

0 引言

岷山垭滑坡属于典型的膨胀土滑坡, 位于襄樊市城南 3 km 襄宜公路岷山垭处. 因改造加宽襄宜公路, 开挖路堑、坡脚削方加之暴雨作用产生滑坡. 前后 16 年间, 因各种原因产生多次变形破坏, 导致路面上鼓、坡体隆起胀裂, 经多次整治均不奏效, 其中关键原因是对斜坡土的膨胀性认识不足, 尤其对这类膨胀土滑坡的形成演化机制缺乏深入了解. 笔者通过对滑坡土体膨胀性的深入研究, 掌握了滑坡的形成演变规律, 有针对性施以综合整治, 取得了非常好的效果, 滑坡得到彻底根治, 同时, 该综合方案推广到本区同类滑坡整治, 效果很好.

1 滑坡基本概况

滑坡区为缓坡岗地, 主滑体纵长 247 m, 滑坡前部宽 140 m, 后缘宽 60 m, 滑体厚 4~15 m. 在主滑体基础上解体为 4 个次级滑坡、多级滑面. 滑体物质为更新统坡残积粘土, 大致分为 I、II 两层, 其性质比较相似, 略有差别, 均为粘土, 少量铁锰结核, 偶见

铝质斑块, 夹少量碎石. 微裂隙发育, 裂面呈腊状光泽. 主滑体主要表现为缓慢滑移伴之挤压隆起变形特征. 主滑面倾角总体为 12°左右. 次级滑体厚度均在 3~7 m 以内, 滑面倾角 8°~14°.

2 土体物性特征

2.1 物质组成

利用 X 射线衍射仪(XRD)、X 射线荧光光谱(XRF)分析仪, 对土样作了矿物和成分分析(表 1 及表 2), 表明土体矿物成分以伊利石为主, 蒙脱石、蛭石次之, 含少量高岭石、滑石, 其中 I 层含蒙脱石较高, 可称为伊利石—蛭石—蒙脱石复合体. SiO₂ 含量高是因为较多蒙脱石脱硅作用的结果; 土中含较多的蛭石、蒙脱石, 均是阳离子交换容量较大的矿物, 也是决定土体膨胀性的主要矿物; 土中的倍半氧化物(Al₂O₃, Fe₂O₃)含量较高, 也是该区膨胀土的重要特征之一.

表 1 土的矿物成分

Table 1 Mineral compositions of soil						%
土层	伊利石	滑石	蛭石	蒙脱石	高岭石	
I	20~25	5~10	30~32	20~30	8~10	
II	30~35	5	40~50	10~15	10	

表 2 粘土化学成分

Table 2 Chemical compositions of clay

土层	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	%
I	49.93~50.35	0.47~0.62	24.80~10.55	10.07~10.55	0.046~0.072	2.90	1.15~1.48	0.17	2.74~3.20	
II	49.72~50.12	0.51~0.64	26.25~28.14	9.19~9.41	0.00~0.03	2.08~2.37	1.04~1.32	0.11~0.22	2.70~2.82	

表 3 土体膨胀性指标

Table 3 Expansive parameters of soil mass

土层号	自由膨胀率/%	受荷膨胀率/%					膨胀力/kPa	活性指标	收缩系数	
		无荷	25 kPa	50 kPa	100 kPa	150 kPa				200 kPa
I	45~60	1.656	0.693	0.450	0.222	0.100	0.000	23	0.93~1.29	0.228
II	45~60	2.009	0.599	0.325	0.046	-0.119	-0.243	21~24	1.08~1.71	0.205

2.2 微观结构

研究表明,膨胀土破坏的根本原因往往并非粘土颗粒在压力下的破坏,而主要原因是特定的连结结构、连接强度,以及结构性质有利于水的参与作用。根据本区样品电镜扫描分析,可将膨胀土结构归纳为如下特征:(1)土体含较高粉粒,占 52%~69%,粘粒含量 24%~39%,同类矿物尤其蒙脱石含量具有局部富集和分带性特点,其粉粒呈聚集状形成粉粒基质结构。(2)土中粘土颗粒多呈聚集状,大小不一,形态各异。其中蒙脱石团聚体较大,一般 8~12 μm,个别较大者达 20~25 μm。团粒表面具有中腹隆起、边缘扁薄形态。蒙脱石团聚体大多周边卷曲起翘呈花瓣状,边面结合者交织成丁字状,这是由于蒙脱石反复吸水失水变形所致。(3)团聚体自身呈面—面方式叠集,排列紧密,略具定向性,而各团聚体之间无规律性零乱混合。(4)各团聚体之间发育许多大小不一、几何形态各异的微孔隙,其孔隙大小一般几 μm~十几 μm。粘土中微裂隙十分复杂,裂隙表象上杂乱无章,细观具有一定的优势方向。孔隙、裂隙有利于水的渗入渗出,为聚集体的胀缩提供了水分迁移变化的必要条件,同时引起土的各向异性,出现复杂的结构效应。

2.3 物理力学性质

大量实验表明,该区 I、II 两层土体性质略有差别, I 层较 II 层更具有膨胀性。归纳两层土体性质,有如下规律性:(1)较小的天然含水率,变化于 21.1%~28.7%,液限 41.5%~52.6%,塑限 18.1%~26.1%,塑性指数 20.1~34.5。(2)孔隙比 0.74 左右,具有中—低压缩性,压缩系数 0.09~0.21。抗剪强度 c 为 30~60 kPa,内摩擦角 15°~25°。多次重复剪 φ 值降低 12%~18%, c 值最大可

降低 50%左右,其 c, φ 值衰减系数分别为 0.77 及 0.31 左右。这些物性指标反映出该区土体具有高孔隙性、低密度、高强度、低压缩性、极富亲水性的特点,这些特征主要与土的微结构及化学特征有关。这些均从一个侧面表明土体具有较强的干燥坚硬、扰动吸水胀缩的不稳定潜势。(3)土层的各项膨胀性指标如表 3,结合上述物性指标,表明土体具有弱—中等膨胀性,并具有一定的膨胀潜势。加荷试验表明,在 100 kPa 压力下,即大约相当于地面 5 m 以下,土的膨胀性明显受到抑制。浅部土体自由膨胀力约为 21~24 kPa,而 3~5 m 深部土体自由膨胀力可达 100~200 kPa,呈 5~10 倍增大。

3 滑坡形成机制及一般规律

3.1 形成机制

岷山垭滑坡从前部及局部变形到整体滑动历经 14 年,先期发生多次分层滑动和解体崩滑。从其滑坡滑面倾角及地形坡度平缓的地质条件来看,一般不太可能产生滑坡。笔者试图从稳定性计算中寻找其促滑的动因,按照勘察的滑面及地质剖面,并根据膨胀土剪切试验统计指标,参考该区前人的试验成果^[1],选择抗剪强度 $c=32$ kPa, $\varphi=28^\circ$,对原始地质剖面进行稳定性计算,得到稳定性系数 2.72,表明坡体是稳定的。因此,笔者进一步考虑土的膨胀性特点,尤其计入土体膨胀力,并按试验值 24 kPa 的垂向力加入计算中,同时考虑土体受膨胀作用后产生膨裂,结构受到破坏,并模拟重复剪选取土体强度指标 $c_r=22$ kPa, $\varphi=14^\circ$,按土的充水 50% 条件,计算得到稳定系数为 1.27。在上述条件下,对坡脚按实际情况挖方卸荷,结果稳定性系数只有 0.92。这说

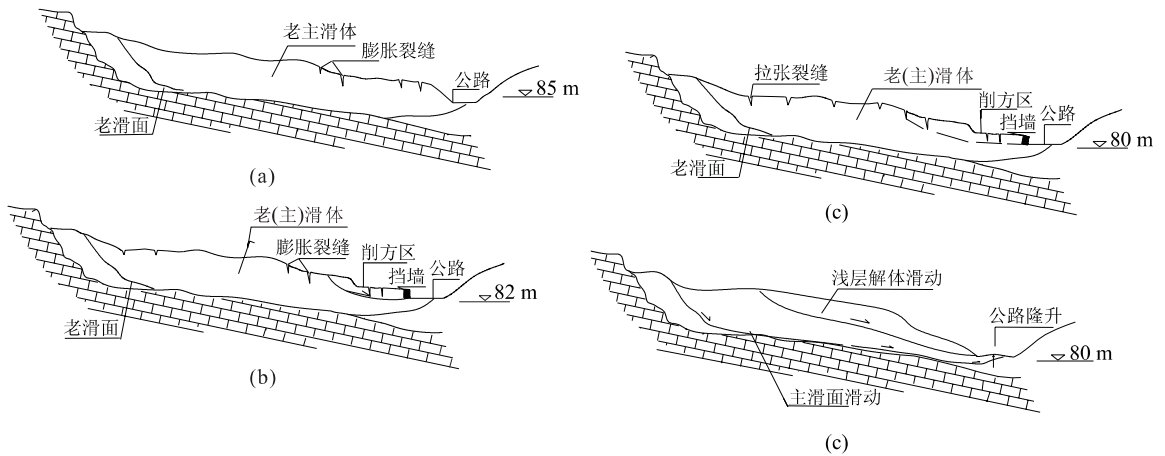


图1 滑坡演变发展过程示意图(a→b→c→d)

Fig. 1 Sketch map of evolvement and developing process of land slide (a→b→c→d)

明膨胀土的膨胀力作用及土体结构破坏降低抗剪强度的作用是十分显著的,在一定条件下它们是导致滑坡的直接原因。胡新丽等^[2]曾对重钢古滑坡滑面土膨胀力作用下数值分析证实,在稳定性计算中,土体膨胀力对滑坡滑移破坏作用十分显著。

从分析计算及滑坡变形发展过程来看,水作用强烈带的土体吸水膨胀并受上覆土体抑制产生膨胀力,在长期风化作用下,产生微裂破损,加之水对土体的软化,使其强度降低,使得薄弱地质界面转化成潜在滑面。在坡脚挖方削坡工程作用下,坡前部土体卸荷吸水膨胀产生局部变形,导致崩滑破坏,其破坏作用进一步削弱坡体前部土的整体强度,使前部土体丧失阻滑力,引起后部土体后退累积变形,前部滑移牵引,后部变形扰动,再加上降雨对滑面及裂缝产生水压力,最终促使坡体沿其潜在滑面产生整体滑动。岷山垭滑坡形成过程如图1所示。

3.2 一般规律

岷山垭滑坡不同于一般土体滑坡,存在膨胀土滑坡自身的特殊性,通过对该区同类膨胀土滑坡综合分析研究,总结出如下规律:(1)地形坡度、坡高、滑面倾角的大小对一般坡体而言是重要的地质因素,或者是先决条件,而对于膨胀土滑坡来说,有时不一定是先决条件。如岷山垭滑坡,地形坡度平均 $12^{\circ}\sim 15^{\circ}$,滑面倾角也只有 12° 左右,而前部滑面倾角只有 $3^{\circ}\sim 5^{\circ}$,按一般力学分析,这种地质条件不可能产生滑坡,而事实上,研究区内该条件下产生膨胀土滑坡者屡见不鲜,究其原因,实质在于膨胀土的特性,主要原因是:第一,膨胀土的裂隙有利于水向地下运移,在大雨季节,土体充分饱水,致使土体强度

大为降低,同时在滑面及裂面处形成巨大水压力。第二,滑面膨胀土吸水膨胀,产生膨胀力,膨胀力通常可达几十 kPa 或更大,它的作用在于抵消部分滑面法向应力,减小抗滑作用,在浅层滑坡情况下,其效应十分突出。第三,滑面土体多次胀缩变化,强度大幅降低,其降低幅度比一般土体大得多,如该区膨胀土实验表明, c, φ 值系数衰减分别达 0.77 及 0.31。

(2)滑体的浅层性。岷山垭滑坡滑体厚度 4~15 m,该区许多同类膨胀土滑坡厚度大多小于 17 m,个别不足 5 m,这种现象在其他膨胀土地区具有普遍性^[1]。其原因:①土的浅层风化特征,据廖世文^[1]研究,南方膨胀土弱风化层 2.5~5 m,襄樊地区,弱风化层 1~2.5 m 左右,微风化层估计 4 m 左右。风化层内土体膨缩变化发育大量裂隙,水作用活跃,整体强度大大降低,从而降低整体坡体自稳能力;②潜在滑面膨胀土产生膨胀力,在浅层条件下,该作用力相对于土的自重应力而言作用更显著;③往往在坡脚切坡不大的条件下,就可以诱发坡体滑移。因此,膨胀土滑坡在空间上呈现浅层群发性。(3)滑坡以牵引式启动后转化为推动式。从岷山垭滑坡的发展过程可以看出,主滑体启动之前在其前缘产生多次崩坍或大面积拉裂变形,并产生解体崩滑,在滑坡前缘丧失部分阻滑力后,牵引后部滑体整体滑移。这也与膨胀土性质有关,例如,膨胀土大多具有超固结性,而且干燥土强度高,坡脚更易产生应力集中,开挖路堑后,超固结土应力释放,形成较大应力集中区,同时,坡脚处开挖形成大暴露面及两面临空状态,土体受水面积加大,风化速度加快,卸荷扰动充分,扰动域大,必然在坡脚处先产生变形破坏,坡体抗滑能力也

随之降低. 这是许多膨胀土滑坡具有的共性. (4) 滑体内容易产生解体滑动及分层叠瓦状滑动. 这一特点在岷山垭滑坡及该区同类滑坡中表现很突出, 同时在其他膨胀土滑坡区也是常见现象^[1]. 产生这种现象的原因与膨胀土的局部矿物成分富集而导致膨胀性差异、土体浅层风化特征、局部微地形条件及人类活动比较容易促其滑坡有关. (5) 岷山垭地区浅层膨胀土滑坡, 大都没有剧烈滑动的迹象, 主要变形形迹是前部隆起鼓胀, 伴之大量拉张裂缝, 后部滑体有一定下错, 形成小的陷落凹地, 滑体大多没有快速滑出滑床, 前缘没有形成大量滑体散落堆积现象. 笔者曾考察该区膨胀土滑坡 22 处, 除一处深层滑动者以外, 均表现上述特征. 同时表现为蠕滑特性, 以及长期反复性, 如岷山垭滑坡直到整治好之前, 断续性变形发展历时 22 年, 其间多次出现路面变形, 坡体局部破坏等现象.

4 结论

(1) 岷山垭滑坡为膨胀土滑坡, 土体中的蛭石和蒙脱石是滑坡形成的重要因素之一. (2) 膨胀土滑坡

的本质在于膨胀土的特性, 进行滑坡的勘察研究时应重视膨胀土性质的研究, 它是滑坡形成原因及变化发展的基础. 特别指出的是, 过去对膨胀力在滑坡稳定性方面的作用没有引起足够的重视, 建议今后在评价滑坡稳定性时加以考虑. (3) 膨胀土地区路堑开挖往往首先出现前部变形破坏, 导致前部阻滑力丧失, 进而牵引后部大规模山体滑动. 施工中切记路堑适量开挖, 尽可能避免前部削方卸荷. (4) 滑坡整治设计中, 应充分注意地表地下水的危害性, 抓住膨胀土滑坡浅层性、牵引式、继发性等重要特点, 有针对性地进行综合治理, 尤其要精心设置防水排水工程, 强化坡体前部及浅层治理. 盲目地采用一般性治理方法, 往往花费大量的整治费用而收不到良好效果.

参考文献:

- [1] 廖世文. 膨胀土与铁路工程[M]. 北京: 中国铁道出版社, 1984.
- [2] 胡新丽, 殷坤龙. 滑带土膨胀性对重钢滑坡作用的数值研究[A]. 见: 唐辉明, 主编. 第四届全国青年工程地质大会文集[C]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1997.

SWELL SOIL CHARACTERISTICS AND FORMING MECHANISM ON CHASM LANDSLIDE OF XIANGFAN-YICHANG HIGHWAY

Yu Hongming, Yan Chunjie, Wang Huanling

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

Abstract: The swell soil landslide in Xianshanya area, Xiangfan, Hubei Province, is disastrous on the traffic. Plenty of funds have been invested to solve the problem but have not produced any good result. This is perhaps mainly due to the lack of understanding of the swell soil. Based on some characters of the landslide, the X-ray diffraction (XRD) and X-ray fluorescent (XRF) spectrum and scan electron microscope (SEM) are used to study the physical properties and the microstructure of the swell soil of landslide. Then, the effect of some characters in the formation and evolvement of the swell soil landslide is discussed with more illustration of the landslide formation mechanism. Meanwhile, some important rules of the swell soil of landslide are summed up combined with this area's geological conditions. This may serve as some references for the prevention in the swell soil area.

Key words: swell soil; forming mechanism; microstructure; swelling force.