

散体滑坡室内启动模型试验

陈洪凯, 唐红梅

(重庆交通学院岩土工程研究所, 重庆 400074)

摘 要: 为了分析重庆库区散体滑坡吸水、蠕变过程、强度衰减及滑移启动的宏观趋势, 本文利用重庆库区典型松散土体以江津艾坪山滑坡为原型, 采取几何相似(相似比 1:100)、物理近似相似的半定量模型, 进行了均匀降雨、均匀间隔及非均匀间隔三种工况试验。试验结果与现场情况基本相符。

关键词: 散体滑坡; 室内试验; 降雨; 启动; 位移

中图分类号: P642 **文献标识码:** A

重庆库区属于典型的山地、丘陵区, 仅重庆主城、涪陵、万州、等城市规划区内危岩滑坡就达 777 处, 面积 7 538 万 m², 体积 11.3 亿 m³。在“全国地质灾害防治工作规划纲要”中, 重庆主城位居全国地灾最严重的 70 座城市之首。滑坡、泥石流是重庆库区最严重的地质灾害, 给区内人民的生命财产带来巨大损失, 重庆市仅 1998—04~09 就因滑坡、泥石流等自然灾害直接造成至少 72 亿元的经济损失。重庆库区内, 发生在居民密集居住区及道路交通主干线沿线的滑坡 80% 以上属于松散土体滑坡^[1], 松散土体以中生代侏罗系泥岩及其风化物为主。土体吸水蠕变、强度衰减及突变是区内滑坡孕发的根本原因^[2]。

为了比较客观地分析库区内典型散体滑坡在降雨过程中的滑移特性, 本文以江津艾坪山滑坡为原型, 在重庆交通学院岩土工程研究中心进行了均匀降雨、均匀间隔降雨及非均匀间隔降雨三种工况的模型试验。艾坪山滑坡位于江津长江公路大桥南桥头, 为由松散土体组成的散体滑坡, 公路从滑坡体前端横向穿越, 该滑坡研究成果在重庆库区内具有典型意义。

1 滑坡室内启动模型研制

1.1 材料

1. 用砖块模拟浆砌成滑坡体的下卧岩层和滑坡坡体左、右两侧边缘及后边缘, 形成滑坡槽。原始的滑坡边缘及滑动面(下卧岩层)的平面地形见图 1。

2. 槽内滑坡体物质从现场采集的实际松散土体, 这样确保了物质材料的一致性。但是, 该滑坡启动试验仍属于半定性半定量性质的。

1.2 尺寸

基槽的尺寸如图 1 所示, 取模型几何尺寸相似比例为 1:100, 则模型的尺寸为: 长 150 cm 宽 100 cm, 最厚处厚度为 15 cm。基槽最高处标高为 30 cm, 最低处标高为 0, 基槽下部较为平缓, 坡度为 1:8.4, 上部较陡, 坡度为 1:1.5; 基槽的平均坡度为 1:3.33。

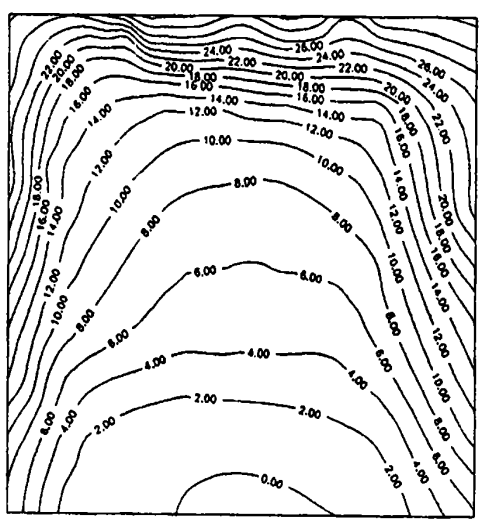


图 1 室内滑坡试验模型槽平面地形图(cm)

Fig. 1 Relief map of landslide testingtrough in Lab (cm)

收稿日期: 2001—09—05; 改回日期: 2001—11—26。
基金项目: 重庆市科学基金项目(199947)成果之一。
作者简介: 陈洪凯, (1964—), 男, 教授、博士。长期从事滑坡、泥石流、水工结构及建筑材料研究。

1.3 松散堆积物

在室内启动试验中, 采取不同的初始含水量来控制松散土体的初始物理、力学性质。堆积物堆积形式尽量与原来土体边坡的坡体表面尺寸一致。

1.4 降雨过程模拟

对于上面的滑坡体模型, 坡体面积为 $A=8\ 648\text{cm}^2$, 按照室内模拟降雨设备的降雨量, 在模拟降雨设备水头差 0.84 m 时, 三分钟内测得的降雨体积为 $4\ 029\text{ ml}$, 即速度为 $4\ 029\text{ cm}^3/3\text{min}$ 。这样可以推算出在流域面积内的降雨强度

$$q=1.55296\text{mm}/10\text{min}$$

同样, 在水头差为 0.57 m 时降雨强度为 $1.189\text{ mm}/10\text{min}$ 。如果按照这样的降雨强度一直进行

降雨模拟, 每小时降雨强度将分别达到 $9\ 31776\text{ mm/h}$ 和 7.134 mm/h 。由于边坡模型的最厚度仅 30 cm 左右, 对于这样的降雨量来讲是偏大的, 容易形成径流, 而土体又太容易饱和, 所以在室内启动试验中, 采用间隔洒水的办法, 控制降雨量在原始的 $1\text{ mm/h}\sim3\text{ mm/h}$ 左右, 这样能够较好地与实际状态下的降雨吻合。

2 试验情况

启动试验共进行了三次, 试验工况见表 1。每次试验在模型滑坡表面设置了八个变形观测点。试验过程中, 利用高精度经纬仪对每个测点进行每隔 5min 连续测试。

表 1 滑坡室内启动试验

Table 1 Testing model of landslide start-up in lab					
试验次数	滑动角	初始含水量 %	初始容重 kN/m^3	降雨形式	降雨过程 (mm/h)
第一次	21°	22.78	21.04	均匀	1.5(共降雨 30min); 3h 发生大变形
第二次	21°	15.5	18.98	均匀间	2.0(降 20min、停 60min、每降 5min 停 3min, 共持续 37min); 3h 发生大变形
第三次	46°	13.6	17.62	非均匀间隔	2.4(前期降雨 10min, 降 1min 停 2min 共重复 3 次, 停 6min, 降 1min, 停 15min, 降 5min, 停 20min, 降 5min, 共持续 100min); 蠕移显著

3 试验结果

3.1 第一次滑坡启动模型试验

第一次试验前的滑坡模型见图 2, 试验完成后的滑坡外貌见图 3。关键测点的变形情况见表 2, 表中数值负值表示高程降低; 滑坡体滑动后实测最大位移量达 12 cm 。

3.2 第二次滑坡启动模型试验

第二次试验以后的滑坡外貌见图 4, 测点变形情况见表 3。

表 2 第一次试验各测点的蠕变位移值 (cm)

Table 2 Creep displacement every point in No. 1 testing model (cm)

测点	蠕变位移
1	-1.615
2	-0.589
3	-0.383
4	-0.508
5	-0.019
6	-0.304
7	-0.045
8	-0.048

从表 3 可以看出, 蠕变阶段所有点的高程变化皆为正值, 说明土体边坡的坡体表面在蠕变阶段是升高的, 这正好是土体吸水蠕变中体积膨胀因素的外在体现; 在滑坡灾害发生以后, 土体边坡的后部坡体表面高程变化普遍呈现负值, 即坡体表面的高程在降低, 而前部坡体的表面标高在上升, 表明土体在滑坡体前部发生了堆积。这种现象与坡体滑动前部隆起是一致的; 滑坡体滑动后土体表面的高程变化量值明显大于蠕变阶段的各项高程变化量值; 就蠕变过程中的位移变化而言, 除 7、8 两测点以外, 其他各点都有向坡体前沿的蠕变位移, 且从第 1 至第 5 点, 其蠕变位移是逐渐降低的。这与土体的厚度是有关的, 位于坡体前沿的点, 其土体厚度相对较薄, 这样发生吸水渗透作用并达到饱和的时间较短, 在降雨初期即可达到饱和, 蠕变持续时间就相对长一些。当然在蠕变量上的体现就比较充分了; 第 7、8 两点位于坡体的侧后部, 在降雨过程中吸水蠕变却产生了向坡体后部的位移, 这种现象可能与坡体后部和测部的冲沟发育有很大关系, 即该位置的土体发生了向冲沟方向与主滑向相反。

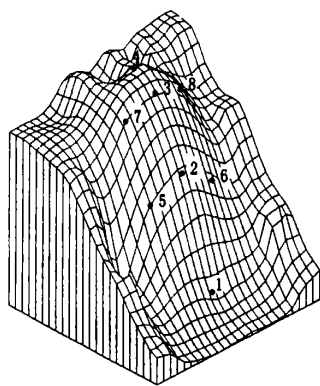


图 2 第一次试验滑试验完成后立体图
Fig. 2 Outline of No. 1 model landslide before testing

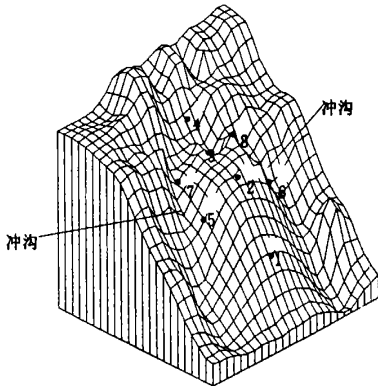


图 3 第一次试验滑试验完成后立体图
Fig. 3 Outline of No. 1 model landslide after testing

表 3 第二次试验各测点的蠕变位移值及滑坡位移值 (cm)
Table 3 Creep displacement every point in No. 1 testing mmodel (cm)

测点	高程变化值 (蠕变)	蠕变位移	高程变化值 (最后)	滑坡位移值
1	0.286	-0.525	1.866	-3.488
2	0.201	-0.531	2.367	-3.808
3	0.185	-0.271	-0.027	-0.310
4	0.112	-0.134	-4.250	-5.123
5	0.261	-0.107	0.280	-0.123
6	0.159	-0.255	0.098	-0.283
7	0.1621	0.726	-0.254	-0.374
8	0.034	0.689	-0.005	-0.084

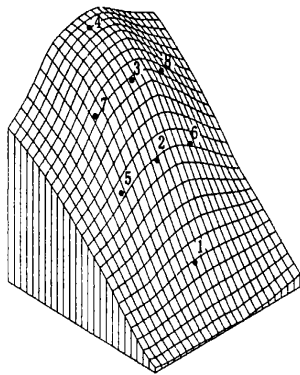


图 4 第二次试验滑试验完成后立体图
Fig. 4 Outline of No. 2 model landslide after

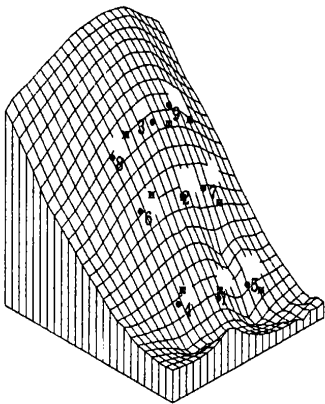


图 5 第三次试验滑试验完成后平面地形图
Fig. 5 Outline of No. 3 model landslide before testing

3.3 第三次滑坡启动模型试验

第三次滑坡启动试验前的滑坡外貌见图 5, 试验完成以后的测试结果见表 4。

4 结语

前述研究可见, 降雨是松散土体滑坡孕发的主

要因子, 滑坡的室内降雨启动试验迄今仍然是滑坡研究的重点和难点, 其根本原因体现在室内模拟降雨与实际情况的差异性和滑坡体组成结构的复杂性方面。但是, 鉴于重庆库区内部散体滑坡分布比较广泛、降雨是散体滑坡形成的统计主控因子, 本文在比较简陋的室内开展散体滑坡降雨启动试验, 对充分认识散体滑坡的降雨启动机理是有益的。

表 4 第三次试验各测点的蠕变位移值及滑坡位移值(cm)
Table 4 Creep displacement every point in No.3 testing model (cm)

测点	高程变化 值(蠕变)	蠕变位移	高程变化 值(最后)	滑坡位移值
1	0.163	-0.36	4.25	-1.53
2	-0.21	-0.02	-4.01	-6.07
3	-7.10	-7.51	-9.12	-9.51
4	0.127	0.043	2.56	-1.27
5	0.337	-1.15	1.56	-3.25
6	-3.76	-8.40	-4.56	-10.3
7	-3.18	-5.24	-3.76	-8.05
8	-5.49	-6.07	-7.80	-9.38
9	-8.53	-10.0	-10.2	-11.3

从散体滑坡蠕变过程的中高程变化可以看出, 所有测点皆为正值的高程变化, 反映了坡体表面在降雨吸水蠕变阶段具有膨胀性。在滑坡灾害发生以后, 土体边坡的后部坡体表面高程变化普遍呈现负值, 坡体表面的高程在降低, 而前部坡体的表面标高在上升, 表明土体在滑坡体前部发生了堆积, 这种现象与坡体滑动前部隆起是一致的; 同时滑坡体滑动后土体表面的高程变化量值明显大于蠕变阶段的各项高程变化值。

在蠕变阶段, 各点都有向坡体前沿的蠕变位移, 从坡体前端到坡体后端, 其蠕变位移逐渐降低, 这与土体的厚度是有关的, 在前面的点, 其土体厚度薄, 这样容易发生吸水渗透作用, 在降雨初期即可达到饱和, 蠕变时间就相对长一些, 冲沟附近的松散土体可能发生向冲沟方向的位移。

滑坡结束以后, 所有测点发生了沿坡体主滑方

向的位移, 并且主滑向上的点滑动位移相对要大一些, 这与实际能很好的符合。在土体边坡的初始滑动面较陡, 边坡的天然稳定性差的情况下, 降雨作用下土体边坡容易引发滑坡灾害。而在蠕变阶段内, 土体边坡就开始发生滑坡滑移过程, 在这两个过程的耦合作用下, 边坡位移将会产生一个突变位移阶段。而且在这种情况下破坏的土体边坡要比前面两种情况下破坏的土体边坡位移更大。

从本次试验中的观测数据可以看出, 在松散土体滑坡的启动过程中, 边坡物质总会发生一定量的蠕变量和一定时期的蠕变过程。尽管这种时间过程对于试验中的滑坡很短, 仅为 100min 左右, 但是对于实际边坡土体来说, 由于其松散物质体厚达 15m ~ 30m, 边坡土体吸水、渗透和蠕变过程就将持续很长的一段时间。如果最后物质体的强度衰减足够大, 边坡发生了滑坡灾害, 那这样的时间将持续 1d ~ 3d 不等, 这与前面讨论的前期降雨量作用导致滑坡的现象是一致的。

参考文献:

[1] 刘喜忠. 重庆地貌与经济建设[M]. 北京: 中国科学技术出版社. 1995. 15 ~ 18.
[2] 陈洪凯. 重庆库区松散土体吸水强度衰减、阈值及启动非线性预警研究[R]. 重庆自然科学基金项目研究报告. 2001. 30 ~ 38.
[3] 陈洪凯, 艾南山. 岩石边坡中地下水压力的基本特性及作用[J]. 兰州大学学报. 1998 34(4).
[4] [苏] C. C. 维亚洛夫. 土力学的流变原理[M], 北京: 科学出版社. 1987. 29— 32.
[5] [加] D.G. Fredlund, H. Rahardjo. 非饱和土土力学[M] (陈仲颐, 张在明, 陈愈炯译). 北京: 中国建筑工业出版社. 1997. 267 ~ 268.

Research on Start-up of Loose Landslide in Lab

CHEN Hong-kai and TANG Hong-mei

(Institute of Geotechnical Engineering, Chongqing University of Communications, Chongqing 400074 China)

Abstract: To analyze macro-trend for loose landslides in Chongqing reservoir to sop, creep and strength attenuate, authors take Aipingshan landslide , one typical loose landslide in Jiangjin city of Chongqing reservoir, as an example and make three testing, i. e. normal continuous precipitation, normal interval precipitation and non-Qinterval precipitation in the paper. All testing are from geometry kindred(kindred ration is 1: 200) and belong to semi-physical ration mode. The testing result are consistent to features in-situ.

Key words: loose landslide; testing in Lab; precipitation; start-up; deformation