

新型柔性滑坡模型试验箱研发与实验研究

陈 严 曾婧瑶 吴海鑫 王志强 向 婷
(长江师范学院 重庆 408100)

摘 要: 滑坡模型是研究滑坡地质灾害的重要实验载体, 基于滑坡变形规律的分析, 设计了一个柔性滑坡模型试验箱, 并设置了渗流、应力、坡体位移等各类传感器, 可以实现数据的实时观测。并通过开展具体滑坡实验, 进行坡体位移变形观测, 分析全过程数据变化, 发现水平变形会显著大于竖向变形, 这与试验中滑动体整体下滑、整个滑面有裂缝和不透水层面组成的 L 型滑动面完全吻合。实验证明, 本模型设计对研究滑坡灾害的产生机理能够提供很好的实验平台。

关键词: 滑坡试验箱; 滑坡机理; 试验研究

引言

我国地缘辽阔、资源丰富, 其中山区(包含丘陵和高原)面积占全国国土面积的 2/3 以上, 其具有丰富的地貌形式和复杂的地质结构, 使得我国成为自然灾害最为严重的国家之一^[1]。经国家防灾减灾救灾委员会各有关成员单位会商核定, 2023 年, 我国自然灾害以洪涝、台风、地震和地质灾害为主, 干旱、风雹、低温冷冻和雪灾、沙尘暴和森林草原火灾等也有不同程度发生。全年各种自然灾害共造成 9544.4 万人次不同程度受灾, 因灾死亡失踪 691 人, 紧急转移安置 334.4 万人次; 倒塌房屋 20.9 万间, 严重损坏 62.3 万间, 一般损坏 144.1 万间; 农作物受灾面积 10539.3 千公顷; 直接经济损失 3454.5 亿元^[2]。

为保证人民生命财产的安全, 许多研究者针对滑坡等自然灾害开展了一系列的研究工作。冯正华等^[3]采用了最小二乘支持向量机滚动窗算法实现滑坡模型实验箱抬升过程进行动态建模和预测控制, 实现了模型平台抬升过程中的倾角检测与控制。李鹏峰等^[4]建立了水工物理模型, 分析不同滑坡工况涌浪对特大桥及坝体稳定性的影响。娄万鹏^[5]提出一种基于 MEMS 技术的土体滑坡内部位移监测方案, 开展室内模型试验验证了其算法的准确性。杨鹏程等^[6]设计了一种针对山体滑坡灾害的监测预警原型系统, 利用拉线式位移传感器采集滑坡山体位移信息。郭富赟等^[7]在对灾害现场进行大量地质调查的基础上, 结合遥感、三维激光扫描等综合调查手段和现场视频监控资料, 对罗家坡滑坡演化滑动特征进行了详细描述, 对滑坡高速远程机制进行了解析。滑坡灾害是我国山区最常见的灾害之一, 往往受持续降雨、地震、人工挖掘等多种因素影响, 导致其具有突发性和难以预见性, 因此为避免其灾害影响, 加强对滑坡监测及预警尤为重要。本文针对滑坡灾害, 设计一种新型柔性滑坡模型试验箱, 开展滑坡实验研究, 进一步分析滑坡灾害的产生机理, 并有助于防灾减灾工作的开展。

一、模型箱体设计

滑坡模型试验系统是研究滑坡灾变演化过程和机理的重要研究途径,

在滑坡模型试验中重力荷载的真实模拟是关键。目前常采用的滑坡模型试验系统在模拟重力荷载、倾角模型实验、离心力实验等设计中存在试验复杂、成本较高等一系列问题。因此, 针对上述缺点, 研制了一套能真实模拟重力和地下水渗流作用、试验简便、成本低的滑坡模型试验系统, 通过开展渗流作用下的滑坡模型试验来验证试验系统的可靠性, 为降雨型滑坡的机理研究、监测预警和防治方法提供科学有效的技术支持。

为了便于在试验过程中观察滑坡体裂缝发育与破坏过程, 模型试验箱采用型钢架+透明有机玻璃板结构, 模型试验箱后部设制了相应高度可调节水位的水箱, 顶部设置可调水量大小的注水管。试验时, 在模型坡体内布置, 以实现对试验过程中模型滑坡体土中的渗流、应力、坡体位移等的变化规律的实时监测。

将模型滑坡体的土物理力学指标设置为与现场土一致, 在模拟滑坡时, 模型滑坡体的重力与实际滑坡体的重力比应为 1:1。为了模拟实际滑坡体的重力效应, 采用柔性气囊气压加载的方式。

二、滑坡物理模型试验

1. 滑坡物理模型介绍

实验模拟滑坡大小为长 12 米、宽 12 米、高 16 米, 按照 1:16 制作缩尺模型, 如图 1 所示, 为了模拟实际灌溉区距台缘有一定距离, 且滑坡深长裂缝均分布于灌溉区至台缘之间的实际情况, 因此试验时水从模型试验箱后部的水箱中向模型滑坡体深入, 而不是从滑坡顶部竖直向下灌入。

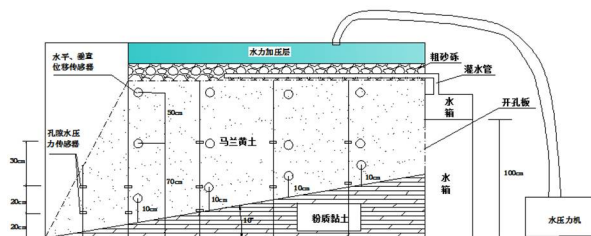


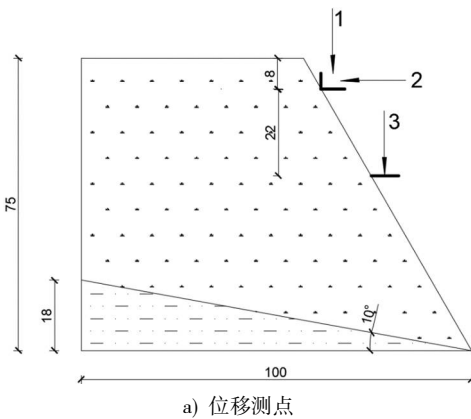
图 1 室内模型试验示意图

模型滑坡体的土物理力学指标与现场土一致,即为 1:1,因此在模拟滑坡时,模型滑坡体的重力与实际滑坡体的重力比应为 1:1。为了模拟实际滑坡体的重力效应,采用柔性气囊气压加载的方式,为了便于在试验过程中观察滑坡体裂缝发育与破坏过程,模型试验箱采用型钢架+透明有机玻璃板结构;模型试验箱后部设制了 0.75m 高可调节水位的水箱,顶部设置可调水量大小的注水管。为监测滑坡具体变化,在模型坡体内布置孔隙水压力传感器、位移传感器和土压力传感器。

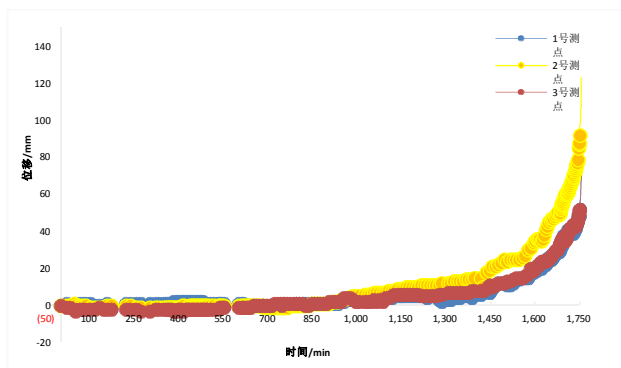
2. 试验开展

试验时在水箱中注水,使水从模型滑坡体后部向坡脚渗流,分析滑坡演变过程中的渗流、应力、坡体位移等的变化规律。

本次试验在模型坡面距坡顶 8cm 处设置了竖向变形测点 1、水平向变形测点 2,同时在坡面距坡顶 30cm 处设置了竖向变形测点 3,具体布置情况见图 2a,上述 3 个变形测点的变形与时间的关系曲线见图 2b。



a) 位移测点



b) 位移变化曲线

图 2 位移测试结果

从图 2 中可以看出,在试验进行到 700min 以前,测点 1、测点 3 两个位置的竖向位移均向上产生微小的变形,变形量为 0.3~2.1mm;在试验进行到 700min~1000min 阶段时,竖向变形转为向下的微小变形,并且变化很小,很稳定;在试验进行到 1000min~1450min 阶段时,测点 1、测点 3 两处的向下的竖向变形速率逐渐增大,但整体仍比较缓慢,在 1450min 时,两个测点位置向下的竖向变形量基本一致,约为 9.2mm,但是到了 1450min 后,竖向变形速率快速增大,竖向变形量也快速增大,

在 1450min~1700min 之间,两点的竖向变形量增加约 30mm,并在 1750min 时,突然急剧增大,即发生突发性滑动。

从整个试验过程来看,测点 1、测点 3 两处的竖向变形速率和变形量均基本一致,这说明在模型坡体在产生裂缝后,裂缝前部的滑动体产生的是整体性的滑动。此外,坡面距坡顶 8cm 处测点 2 的水平变形随着时间的变化规律与测点 1、测点 3 两处的竖向变形规律一致,不同在于测点 2 水平变形大于明显大于竖向变形,这也进一步证实裂缝前的滑体是整体滑动的,并且是沿着粉质黏土层(不透水层)面滑动,由于该滑动面与水平面的夹角为 15°,因此水平变形会显著大于竖向变形,这与试验中滑动体整体下滑、整个滑面有裂缝和不透水层面组成的 L 型滑动面完全吻合。

结论

通过设计滑坡模型试验箱,使内部土体的物理力学性能指标与现场土体一致,并设置柔性气囊气压加载的方式,模型内部布置孔隙水压力传感器、位移传感器和土压力传感器,外观采用型钢架+透明有机玻璃板结构,实现试验过程直观可信。通过开展滑坡实验,通过分析位移监测数据,验证了滑坡 L 型滑动面的真实情况,为今后分析滑坡发育机理提供了有利佐证,后续将完善滑坡渗流、应力等相关试验,为滑坡发育过程及灾害预警提供数据支撑。

参考文献:

- [1] 罗小杰,沈建.我国岩溶地面塌陷研究进展与展望[J].中国岩溶,2018,37(01):101-111.
 - [2] 中华人民共和国应急管理部. 2023 年全国自然灾害基本情况[EB/OL]. [2024-01-20]. https://www.mem.gov.cn/xw/yjglbgzdt/202401/t20240120_475697.shtml
 - [3] 冯正华,李智,程江洲.支持向量机建模的二维滑坡模型控制系统研究[J].测控技术,2015,34(01):62-65.
 - [4] 李鹏峰,荆海晓,贺翠玲,等.狭窄库区滑坡涌浪特征分析及工程影响模型试验研究[J].自然灾害学报,2024,33(01):109-118.
 - [5] 娄万鹏.基于 MEMS 技术的土体滑坡监测系统及试验研究[D].桂林电子科技大学,2023.
 - [6] 杨鹏程,茹学谦,刘畅,等.一种山体滑坡监测装置的原型系统设计[J].科技创新与应用,2021,11(28):42-44.
 - [7] 郭富赞,张龙生,王信,等.甘肃黑方台罗家坡滑坡演化过程及运动机制分析[J].中国地质灾害与防治学报,2023,34(02):11-20.
- 基金项目:重庆市大学生创新创业计划项目:新型柔性滑坡模型系统研究与应用(S202210647022)
- 作者简介:陈严(2002.01-),女,土木工程专业本科在读,主要从事土木工程领域学习与研究。