

崩滑土体运移堆积 实验研究

季宪军 · 著



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

崩滑土体运移堆积 实验研究

季宪军 • 著



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

崩滑土体运移堆积实验研究/季宪军著. —武汉: 武汉大学出版社, 2018. 10

ISBN 978-7-307-20544-4

I. 崩… II. 季… III. 土崩滑塌—土体滑动—实验—研究
IV. P642.2—33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 216657 号

责任编辑:刘小娟 李嘉琪

责任校对:方竞男

装帧设计:吴 极

出版发行: 武汉大学出版社 (430072 武昌 珞珈山)

(电子邮件: whu_publish@163.com 网址: www.stmpress.cn)

印刷: 北京虎彩文化传播有限公司

开本: 720 × 1000 1/16 印张: 10.5 字数: 204 千字

版次: 2018 年 10 月第 1 版 2018 年 10 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-307-20544-4 定价: 85.00 元

版权所有, 不得翻印; 凡购我社的图书, 如有质量问题, 请与当地图书销售部门联系调换。

前 言

崩滑灾害运移堆积研究属于山地灾害的基础性研究,模型实验是研究崩滑灾害运移堆积过程的常用方法。通过模型实验揭示物质组成、坡度和含水率对崩滑灾害运移过程和致灾范围的影响对保障国家重大建设的顺利实施、保护人民生命财产安全具有重大的现实意义。

本书主要内容包括:通过三轴实验,分析含水率对土体力学特性的影响,分析物质组成对土体力学特性的影响;在此基础上,制作崩滑实验物理模型,开展崩滑土体运移堆积模型实验,分析崩滑土体含水率、物质组成和崩滑坡度对崩滑土体运移过程和堆积范围的影响。为崩滑灾害危险度区划,崩滑灾害防治工程布局及工程结构设计提供参考。

本书由南阳理工学院季宪军撰写。本书研究工作得到如下资助:国家自然科学基金项目,黏性碎屑流坡面运移动力过程研究(41672357);河南省科技厅项目,中线调水工程水源地安全保障区降雨型崩滑灾害雨量预警阈值研究(182102310779);中线调水工程水源地安全保障区失稳土体坡面运移动力过程研究(162102310253);河南省教育厅重点项目,南水北调中线调水工程水源区黏性碎屑边坡运移实验研究(15A410005),在此一并表示感谢。

由于作者水平有限,加之时间仓促,书中难免存在不足之处,欢迎广大读者批评、指正。

著 者

2018年6月

目 录

1 绪论	(1)
1.1 研究的背景及意义	(1)
1.2 国内外研究现状与存在问题	(13)
1.3 主要研究内容与方法	(16)
1.3.1 主要研究内容	(16)
1.3.2 技术路线	(17)
2 含水率对土体力学特性的影响	(19)
2.1 实验原理及实验设备	(19)
2.1.1 实验原理	(19)
2.1.2 实验设备	(20)
2.2 试样组成及制备	(21)
2.2.1 试样组成	(21)
2.2.2 试样制备	(22)
2.3 实验过程及基本参数	(25)
2.3.1 实验过程	(25)
2.3.2 实验基本参数设定	(28)
2.4 实验结果	(31)
2.4.1 剪切试样	(31)
2.4.2 主应力差与应变关系	(32)
2.5 实验结果分析	(34)
2.5.1 含水率对应力与应变关系的影响	(34)
2.5.2 含水率对黏聚力及内摩擦角的影响	(37)
2.6 结论	(39)

3	物质组成对土体力学特性的影响	(41)
3.1	实验材料	(41)
3.1.1	滑坡实验确定土体物质组成及配比	(41)
3.1.2	含水率确定	(43)
3.2	三轴剪切实验	(45)
3.2.1	实验器材	(45)
3.2.2	实验材料准备	(46)
3.2.3	试样制备	(48)
3.2.4	实验流程	(50)
3.3	三轴剪切结果	(53)
3.3.1	主应力差与应变关系	(53)
3.3.2	试样剪切后的形态	(56)
3.3.3	抗剪强度指标	(58)
3.4	实验结果分析	(59)
3.4.1	同围压下主应力差与应变关系	(59)
3.4.2	物质组成对内摩擦角和黏聚力的影响	(60)
3.5	结论与讨论	(61)
4	含水率对崩滑体运移堆积的影响	(64)
4.1	实验准备	(64)
4.1.1	实验方案	(64)
4.1.2	实验材料	(64)
4.1.3	实验模型制作	(66)
4.1.4	实验试样试配制	(68)
4.2	实验要求与方法	(70)
4.2.1	实验要求	(70)
4.2.2	实验方法	(70)
4.2.3	实验试样组成及含水率	(71)
4.3	实验结果	(74)

4.3.1 正面运移形态	(74)
4.3.2 堆积形态	(79)
4.3.3 相同时间运动形态对比	(81)
4.4 实验结果分析	(82)
4.4.1 含水率对堆积形态的影响	(82)
4.4.2 含水率对堆积厚度的影响	(84)
4.4.3 含水率对运动速度的影响	(86)
4.5 结论与讨论	(88)
4.5.1 结论	(88)
4.5.2 讨论	(88)
5 坡度对崩滑体运移堆积的影响	(90)
5.1 研究方法和技术路线	(90)
5.1.1 研究方法	(90)
5.1.2 技术路线	(90)
5.2 实验模型制作与实验材料	(91)
5.2.1 实验模型制作	(91)
5.2.2 实验材料	(93)
5.2.3 实验准备	(94)
5.3 实验结果	(96)
5.3.1 崩滑实验一	(96)
5.3.2 崩滑实验二	(103)
5.4 实验结果对比分析	(108)
5.4.1 堆积形态对比	(108)
5.4.2 坡度对运动过程及堆积形态的影响	(110)
5.4.3 崩滑运移过程分析	(113)
5.4.4 崩滑实验各组堆积形状对比分析	(116)
5.5 结论与讨论	(117)
5.5.1 结论	(117)

5.5.2 讨论	(119)
6 物质组成对崩滑体运移堆积的影响	(121)
6.1 实验方法与技术路线	(121)
6.1.1 实验方法	(121)
6.1.2 技术路线	(121)
6.2 实验模型试制	(121)
6.3 实验材料	(124)
6.3.1 实验样品处理	(124)
6.3.2 坡度及含水率确定	(126)
6.4 物质组成滑坡实验的数据整理分析与对比	(127)
6.4.1 单物质组成的崩滑实验数据整理分析	(127)
6.4.2 混合物质组成崩滑实验结果	(130)
6.5 实验结果对比分析	(138)
6.5.1 自然状态下的单物质实验数据对比	(138)
6.5.2 混合物质组成实验对比(组别:103、204、301)	(142)
6.5.3 混合物质组成实验对比(组别:104、202、203、302)	(144)
6.5.4 混合物质组成实验对比(组别:100、105)	(148)
6.5.5 最大含水率实验数据分析对比	(150)
6.5.6 实验数据对照表	(154)
6.6 结论与讨论	(156)
6.6.1 结论	(156)
6.6.2 讨论	(157)
参考文献	(158)

1 绪 论

1.1 研究的背景及意义

滑坡灾害是自然状态下位于山体、斜坡上的土体或岩体,由于受河流冲刷、地下水活动、降雨作用、地震作用以及人为震动等影响,在重力作用下,沿一定软弱面或者软弱带,整体或分散地顺坡向下滑动的自然地质灾害。当这种灾害发生时,由于其不可预估、灾害成因复杂,造成严重后果。我国科研人员对其本身进行了深入的研究,对其成因大致有了一个系统性的总结,具体为以下四点:

(1)地形地貌。地形地貌是引发滑坡、崩塌、泥石流三种自然灾害的重要原因。

(2)地质条件,主要包括岩体性质与构成,土体性质与构成,地下水活动情况,这些因素都是崩滑流灾害发生的基本条件,甚至可以直接诱发崩滑流灾害。

(3)降水条件:降水量与降水时间也是非常重要的一个因素,甚至有些崩塌、滑坡、泥石流灾害就是降水直接引发的。

(4)植被条件:森林植被的破坏与消失是引起土地水土流失、土地荒漠化的重要原因。

崩塌、滑坡灾害发生的原因多为边坡失稳,其形成原因往往多有关联,根据崩塌、滑坡灾害的形成原因类型可划分为降雨引起型、地震诱发型、爆破振动诱发型、自然演变型、地下开挖型、工程堆载型、冻融渗透型、水库浸润型、灌溉渗透型、切坡卸荷型等 10 种。

在这些崩滑灾害类型当中呈现出来的灾害状况、运动过程、破坏程度都有很大差别,如果具体到每一种滑坡灾害会有多种因素并存,每种灾害类型的作用机理、破坏模式、运动特征和危害方式都会有所不同。如降雨引起的崩滑灾害,其主要原因是持续性降雨或前期降雨造成的短时期爆发,降雨会引发斜坡变形,土体的破坏模式主要表现为塑性流动、楔形冲出、平推式滑移或岩体结构崩溃破坏等,崩滑运

动特征表现为崩塌、滑坡、碎屑流,危害方式为冲击、摧毁、压覆、堵河;地震诱发型崩塌滑坡的破坏模式是层间脱离、脆性剪断、脆性拉断,运动特征为弹射、崩塌、落石、滑坡、碎屑流,危害方式为冲击、摧毁、压覆、堵河;爆破振动诱发型崩塌滑坡破坏模式表现为松动、蠕动、脱离、垮塌,运动特征为崩塌、落石、滑坡,危害方式为砸落、冲击、摧毁;自然演变型崩塌滑坡灾害破坏模式变为渐进式松动、开裂、蠕动、滑移,运动特征为崩滑、落石滑坡、碎石流,危害方式为冲击、摧毁、压覆;地下开挖型崩塌滑坡破坏形式表现为倾倒、滑移、塌落,运动特征为崩塌、滑坡,危害方式为冲击、摧毁、压覆;工程堆载型崩塌滑坡破坏形式表现为推移、蠕动、崩溃,运动特征为滑坡、碎屑(石)流,危害方式为冲击、摧毁、压覆;冻融渗透型崩塌滑坡灾害破坏模式表现为开裂、蠕动、塌落、滑移、冲出,运动特征为崩塌、滑坡、碎屑流,危害方式为冲击、摧毁、压覆;水库浸润型崩塌滑坡破坏形式表现为推移、塌落,运动特征为滑坡,危害方式为冲击、摧毁、涌浪、堵河;灌溉渗透型崩塌滑坡破坏形式表现为塌落、滑移,运动特征为滑坡,危害方式为冲击、摧毁、压覆;切坡卸荷型崩塌滑坡破坏形式表现为塌落、牵引,运动特征为崩塌、滑坡,危害方式冲击、摧毁、压覆。

由于我国地域辽阔,山川广布,地形多种多样,其中山区面积又占我国土地面积的 $\frac{2}{3}$ 。我国又是崩塌、滑坡、泥石流灾害危害十分严重的国家,其中山区又是崩塌、滑坡灾害的高发区,崩塌、滑坡常常淹埋房屋,毁坏田地、森林、道路、水利水电、机械设备等工程,并对人民生命和财产造成严重影响。在我国自然灾害当中,崩塌、滑坡常常具有爆发突然、来势凶猛、迅速等特点。据初步数据调查,在我国有灾害性滑坡数万处,泥石流沟 1.2 万条,崩塌和危岩体数十万处。

近几年,由于滑坡和泥石流的发生给工农业的生产造成了巨大的人员及财产损失,几乎每次发生的都是毁灭性的灾难。滑坡如果发生,带来的后果主要是摧毁田地、森林、道路等。而泥石流的危害更为严重,因其带有发生突然、来势凶猛的特点,它的危害要比单一的滑坡严重得多,它带有洪水冲击和滑坡崩塌的多层作用,给居民点、公路铁路、水利水电工程、矿山带来严重的破坏(图 1-1~图 1-4)。

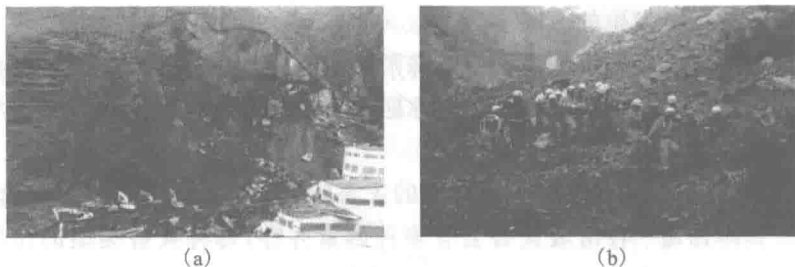


图 1-1 山体滑坡

(a)陕西山阳县山体滑坡;(b)昆明东川山体滑坡



图 1-2 黔恩高速重庆黔江舟白段山体滑坡



(a)



(b)

图 1-3 文家沟崩滑灾害

(a)文家沟崩滑堆积物;(b)文家沟沟道内滑坡-碎屑流堆积体



图 1-4 “8·13”文家沟泥石流在绵远河内堆积

2014年7月21日,云南德宏州芒市芒海镇发生崩滑地质灾害(图1-5),此次崩滑灾害造成21户105人受灾,倒塌房屋13户39间,3人死亡、19人失踪、4人受伤,道路损毁2条。



图 1-5 云南德宏州芒市芒海镇发生崩滑地质灾害

2008年5月12日,四川北川发生崩塌灾害(图1-6),由于发生崩塌灾害的规模一般较大,经常会阻断交通,并给交通运行安全带来很大的威胁,此次灾害发生区北川中学崩滑体为古滑坡和危岩体的复合。该区为乱石窖滑坡区。滑坡长为650m,宽200m,平均厚度20m,最后达到40m,前后缘高差达300m。

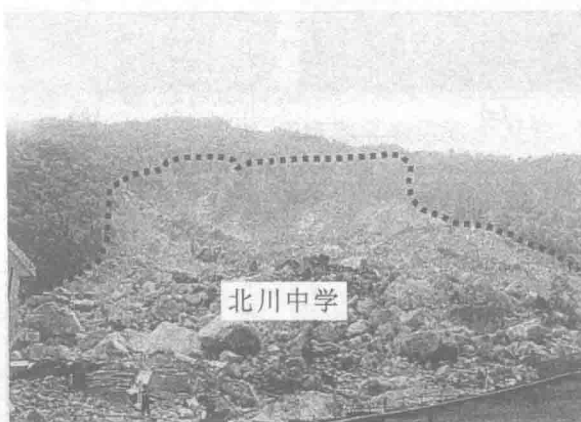


图 1-6 四川北川发生崩塌灾害

2017年8月29日,贵州毕节市纳雍县张家湾镇普洒社区大树脚组发生山体崩塌地质灾害(图1-7)。此次,崩塌山体的距离灾害地垂直落差约200m,崩塌岩体约为60余万立方米。灾害造成17人死亡,8人受伤,18人失踪。灾害中组织2000余人投入抢险救灾,机械30余台,各种救援车辆90余辆。

2015年12月20日,深圳市光明新区一个工业园附近发生山体滑坡,现场二十多栋厂房被埋,多人被困,塌方面积达10多万平方米,影响甚广(图1-8)。



图 1-7 贵州毕节市纳雍县张家湾镇普洒社区大树脚组崩塌灾害



图 1-8 深圳市光明新区工业园滑坡现场航拍图

2016 年 9 月 28 日傍晚,浙江省遂昌县北界镇苏村发生山体滑坡,山体滑坡塌方量 40 余万立方米,20 户房屋被掩埋,17 户房屋进水,3 名群众获救,27 名人员失联。



图 1-9 丽水市遂昌县北界镇苏村山体滑坡

2016年7月1日5时30分左右,贵州大方受连日强降雨影响,大方县理化乡偏坡村金星组发生一起山体滑坡灾害(图1-10)。



图 1-10 大方县滑坡现场

2014年6月30日,云南省福贡县腊土底村发生一起山体滑坡事故,初步核实造成15人失踪,2人受伤,1人死亡(图1-11)。



图 1-11 福贡县滑坡现场

2016年4月14日、16日在熊本县发生的连环强震,累计造成至少41人遇难,3000多人受伤。地震引发大规模山体滑坡、泥石流等二次灾害。熊本县东部山区南阿苏村地震后发生大规模山体滑坡,灾情严重。截至当地时间17日18时,仍有11人下落不明(图1-12)。

2010年8月7日,甘肃甘南藏族自治州舟曲县突然发生强降雨,县城北面的罗家峪、三眼峪的泥石流下泄,由北向南冲向县城,造成沿河房屋被冲毁,泥石流阻断了白龙江,形成堰塞湖(图1-13)。

G318国道102滑坡群位于西藏自治区波密县境内,通麦镇以东9km处,是川藏公路的重要地段,地质结构复杂,为世界级公路大型松散碎石土堆积层滑坡。1991年6月,滑坡体在复杂因素的综合作用下,形成大规模的快速滑动,滑坡影响



图 1-12 熊本县滑坡现场



(a)



(b)



(c)

图 1-13 舟曲泥石流灾害

(a)舟曲县城被泥石流淹没;(b)受灾的舟曲县城;(c)舟曲县城受灾前后

公路长达 550m。一直以来,每到夏季,这里泥石流、塌方不断,车辆过往异常艰难,很多部车辆藏身于此。102 滑坡地段以道路险峻而闻名于川藏线(图 1-14、图 1-15)。

暴雨洪涝灾害造成四川省成都、绵阳、德阳等 14 市(自治州)64 个县(区、市)



图 1-14 川藏公路滑坡航拍图



图 1-15 川藏公路滑坡现场

145 万人受灾,7 人死亡,31 人失踪。另外,都江堰市五里峰发生山体滑坡泥石流灾害,导致 11 户村民房屋被毁,造成村民和游客 2 人遇难、21 人失踪。

2004 年 9 月 5 日下午,四川省宣汉县天台乡义和村 1~9 社突发山体滑坡,滑坡量高达 5625 万立方米,是我国史无前例的最大一处滑坡。滑坡体地处位置为川东中低山区,所发滑坡体倾斜坡相对高差大约为 300m,估算平均坡度约为 15° ,滑体上所处的农房、农田全部被摧毁,截至晚上 11 时滑动距离大约 200m。滑坡体物质被冲进河床,形成堰塞湖(图 1-16、图 1-17)。造成直接经济损失 2500 多万元。

2007 年 7 月 7 日早上 6 点左右,四川省达县青宁乡突降暴雨,导致山体物质强度降低,致使岩门村发生山体滑坡,造成岩门村 11 个社 552 户



图 1-16 堵塞河道



图 1-17 冲毁房屋

2251 人口遭受灾害,据官方统计房屋倒塌 1658 栋,其余住宅农房受到不同程度的损伤,2700 亩耕地被损毁及山体所载植被无一幸存,人员伤亡为 0,直接造成经济损失 1.5 亿元。

2007 年 7 月 26 日中午,湖南省泸溪县潭溪镇朱雀洞村丛树坪吉常高速公路 VK190+200—650 段长 450m 路面出现裂缝,27 日凌晨 1:00 左右,发生大规模山体滑坡。此次山体滑坡所处的位置居住人数密集,共造成 117 户 583 人不同程度地受灾,公共基础设施严重被损坏(图 1-18),给国家造成直接经济损失 8178 万元。



图 1-18 切断公路