

色多沟泥石流动力特征及危险性评估研究

舒志乐, 史宝宁, 张德宇

(西华大学建筑与土木工程学院, 成都 610039)

摘要:黑水县是“5·12”汶川特大地震重灾区之一,此次地震不仅给当地造成了巨大的经济财产损失,同时还引发了较多的次生地质灾害,如泥石流、滑坡、崩塌等。以黑水县知木林村的泥石流形成条件为背景,详细介绍了该区域泥石流发生的地形、物源和水源条件,并且结合该地区泥石流勘测报告,以现场配浆法和查表法分别计算了该地区的泥石流容重,通过对比最终确定以查表法得到的数据作为色多沟泥石流发生时的泥石流容重,并以此计算出泥石流发生时的流速、流量以及峰值流量等数据,随后采用多因子综合判定模式对色多沟泥石流进行了危险性评估,得出该地区泥石流的发展正处于壮年阶段,危险等级为高度危险。在治理色多沟泥石流流域时应该主要采用以排为主、停排结合的总原则。

关键词:色多沟;泥石流;动力特征;危险性评价

中图分类号:TU 451

文献标志码:A

引言

四川省阿坝州黑水县是泥石流的重灾区,特别是受到“5·12”大地震的影响后,该县泥石流的发生频率显著增加,并且分别于 2007 年、2011 年、2012 年及 2015 年发生过规模较大的泥石流灾害,给当地居民的生活和生产造成了很大的影响。色多沟为岷江上游小黑水河右岸一条泥石流危害比较严重的沟谷。根据现场调查和文献资料记载,色多沟曾多次暴发泥石流灾害,并且具有再次发生大规模泥石流的可能性^[1-2]。目前,色多沟沟口及两侧有 70 多亩耕地,2500 m² 建筑面积房屋,172 人的生命安全和 400 多万元的资产仍然受到色多沟泥石流的巨大威胁。因此如何判断色多沟泥石流的危险度,以及治理方案的研究成了紧急任务。基于此,本文研究了色多沟泥石流灾害的动力特征及其危险性的评估等内容。

1 泥石流形成条件

1.1 地形条件

黑水县位于青藏高原岷山和邛崃山的北端,在横断山脉的东南边缘交界处,总体趋势上的地形变化西北高、东南低。境内山体连绵,峰峦层叠,峨大基峰为该处的最高峰,其海拔为 5286 m,山势走向为北西到南东方向,为切割状地形,山脊形态多数为尖山脊,并有少数的浑圆状山脊(图 1)。

色多沟所在区域主要为构造侵蚀高中山、深切河谷区,海拔高程在 2400 m ~ 3900 m 之间,该区域内山势高,河谷狭而窄,纵坡降大,其流域面积约为 5.11 km²。

现场实地调查资料显示,泥石流形成区(清水区)主要分布于色多沟上游海拔 3500 m 高程以上区域,其面积约为 1.0 km²,该区域水流较为分散,没有松散的碎片或石块与流动的水和植被的发展运动,松散堆积层是一层薄土,主要是岩质边坡,其特点为岩质边坡区域地震后不

收稿日期:2016-09-21

基金项目:国家自然科学基金创新群体基金(50621403);教育部春晖计划项目(14206503);西华大学重点基金项目(z1120635)

作者简介:舒志乐(1976-),男,湖南邵阳人,副教授,博士,主要从事地下结构与无损检测方面的研究,(E-mail)shuzhile0608@126.com

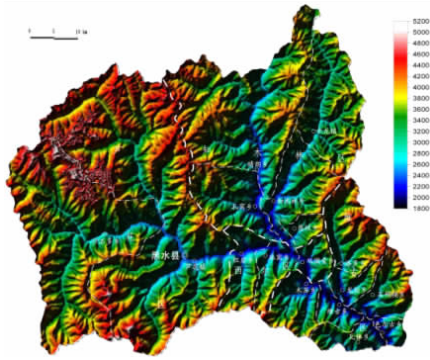


图 1 黑水县地形地貌图

良地质现象少,且几乎不会参加泥石流活动。所以,形成区的作用是为泥石流的形成提供水源和水动力条件等。

泥石流形成区(物源区)分布在海拔 2800 m ~ 3500 m 的范围内,主要由一个主通道,两个小水沟和三坡体组成,700 m 相对高程、长度约 2000 m,沟床平均比降 350‰,沟谷近东南走向,斜坡体坡度在 20° ~ 35° 之间。沟谷两岸山体较大面积没有植被,只有局部小片树林。

流通区位于色多沟中下游段,沟道高程范围 2500 m ~ 2800 m,全长约 950 m,沟道深且呈现“V”字型,沟底宽度为 0.5 m ~ 3.0 m,沟岸坡度陡,沟谷纵坡降约为 300‰,部分区段遗留有发生泥石流时树木被冲倒的痕迹(图 2)。第四系崩坡积物为岸坡的主要物质组成,厚度 3 m ~ 5 m。



图 2 色多沟泥石流流通区

1.2 物源条件

受“5·12”大地震的影响^[3,4],色多沟沟内松散固体物源丰富且主要集中在色多沟主沟的中游、上游段。根据调查资料,对 6 个主要物源点进行了调查,据调查统计结果,共有 $43.5 \times 10^4 \text{ m}^3$ 的松散固体物质来源,其中可能参与泥石流活动的动态储量约为 $15.3 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。色多沟沟域内被侵蚀的坡面物源总量约为 $38 \times 10^4 \text{ m}^3$,这其中可能参与泥石流活动的动储量约为 $12 \times 10^4 \text{ m}^3$;受

雨水及地震响应而崩滑堆积的固体物源总量约为 $0.5 \times 10^4 \text{ m}^3$,这其中可能参与泥石流活动的动储量约为 $0.3 \times 10^4 \text{ m}^3$;同时,沟域内经调查堆积的固体物源总量约为 $5 \times 10^4 \text{ m}^3$,其中可能参与泥石流活动的动储量约为 $3 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。上述各个物源情况汇总见表 1。

表 1 主要补给源数量特征统计表

序号	类型	补给形式	补给长度 /m	静储量 /(10^4 m^3)	动储量 /(10^4 m^3)
P1	1#斜坡体	集中补给	300	15.0	5
P2	2#斜坡体	集中补给	200	10.0	3
P3	3#斜坡体	集中补给	200	13.0	4
H	沟岸塌滑、崩滑	集中补给	50	0.5	0.3
Y	沿沟床松散物源	沿程补给	800	5.0	3
合计			1 550	43.5	15.3

堆积区面积约 $1 500 \text{ m}^2$,厚度约 1 m ~ 3 m,堆积物物质组成主要为深灰、灰黑色粉砂质板岩、钙质板岩、钙质粉砂岩和少量凝灰质砂岩,分层明显。沟口堆积扇上多为居民房屋和耕地,色多沟与小黑水河及渔卡公路垂直交汇,河道受泥石流冲积物挤压略有变形。

1.3 水源条件

泥石流发生的季节主要在夏季,春季融雪一般情况下不会造成山体滑坡,除非融雪水量十分巨大^[5]。因此夏季暴雨为此处发动泥石流的主要水源^[6]。

该区地处川西高原气候区的康定—雅江暖温带、温带气候区,夏季降水集中,多年平均降雨量为 835.8 mm,降雨量多集中在 5 ~ 10 月,占全年降雨量的 93%。查询《四川省中小流域暴雨洪水计算手册》中,有关暴雨量等值线图等有关内容得知,黑水县色多沟地区的 1/6 h 多年最大暴雨量平均值为 10 mm,1 h 多年最大暴雨量平均值为 20 mm,6 h 多年最大暴雨量平均值为 30 mm,24 h 多年最大暴雨量平均值为 40 mm,其变异系数分别为 0.5、0.4、0.3、0.3,在 $P = 2\%$ 的条件下,1/6 h、1 h、6 h、24 h 雨强可分别达到 24.2 mm、41.6 mm、53.1 mm、70.8 mm,因此,此处的降雨量完全能够引发泥石流灾害^[7]。

2 泥石流运动和动力学特征

2.1 泥石流容重的确定

2.1.1 现场配浆法

在色多沟的中游段和沟口泥石流残渣堆积区取一定量的泥石流残渣,通过询问当地发生泥石流时的目击者,配合沟水将其搅拌成近似泥石流浆体的浓度^[8],并进行称重,测量其体积,并计算出所配制浆体的重度作为色多沟泥石流发生时其实际泥石流的重度^[9]:

$$\gamma_c = \frac{G_c}{V}$$

式中: γ_c 为配制泥石流浆体模拟实际发生泥石流重度 (t/m^3); G_c 为配制泥石流浆体模拟实际发生泥石流浆重量 (t); V 为配制泥石流浆体的体积 (m^3)。

现场配置的沟口堆积区及泥石流流通区的泥浆重量及泥浆体积见表 2。计算发生泥石流的平均重度为 $1.593 t/m^3$ 。

表 2 色多沟泥石流浆体重度配方计算表

试验位置	配置泥浆重量 G_c / kg	配置泥浆体积 V / L	泥石流重度 $\gamma_c / (t/m^3)$
堆积区	8.34	5.26	1.586
流通区	10.65	6.65	1.601

2.1.2 查表法

按《泥石流灾害防治工程勘查规范》(DZ/T0220-2006)中附录 H 填写泥石流调查表,并按附录 G.1 内容对色多沟泥石流的易发程度评分,最后按附录 G.2 查表确定其重度和泥沙修正系数,其结果见表 3。

表 3 色多沟泥石流结果统计表

沟名	易发程度数 量化评分	易发程度 评价	重度 γ_c (t/m^3)	$1 + \varphi$ ($\gamma_h = 2.65$)
色多沟	84	轻度易发	1.579	1.549

由于之前并没有对色多沟泥石流进行数据监测,所以可通过泥石流的现场配浆法和查表法确定泥石流数据。其都有各自的适用性,其中配浆法需要满足两个条件,一是泥石流必须是发生过,二是必须得有泥石流目击者所见证,因此目击者的主观性对泥石流配浆法的结果影响较大,而且所得出的结果也只能代表当时一次泥石流所发生时的结果^[10],由于现场配浆法与查表法都是作为计算已发生泥石流重度的一种手段,但其计算结果倾向不同。现场配浆法倾向于配置泥浆的那次泥石流发生时的状况,需配制多个目击者所目击的泥浆浆体且浓度差别不大时才适用,并且泥石流发生时一般并无实际目击者,大部分目击者往往是目击到泥石流结束后,已发生颗粒沉降的泥石流浆体,因此与配浆法相对比,查表法则是在现实基础上带有一定的预测意义。因此查表法所得到的内容更适合作为泥石流设计的依据。基于此,泥石流的重度值采用查表法取得的结果。

2.2 泥石流流速计算

按照《泥石流灾害防治工程勘查规范》(DZ/T0220—2006)附录 I 中的式 I.8 计算色多沟泥石流流速为:

$$V_c = \frac{1}{a} \frac{1}{n} H^{\frac{1}{3}} I^{\frac{1}{3}} = KH^{\frac{1}{3}}$$

式中: V_c 为泥石流平均流速 (m/s); $\frac{1}{a}$ 为泥石流修正系数,取值为 0.638,此系数由泥石流中含沙量的变化而引起, $a = \sqrt{\gamma_H \Phi + 1}$, Φ 为泥石流泥砂修正系数: $\Phi =$

$(\gamma_c - \gamma_w) / (\gamma_H - \gamma_c)$; H 为沟域内水力半径 (m),一般可用泥石流泥位深代替,该处取值为 $1 m$; I 为沟域内泥石流水力坡度 ($\%$),取值为 100% ; $\frac{1}{n}$ 为沟域内清水河床糙率系数,取 20。以上取值均为现场调查实际取值。经过计算得出色多沟泥石流流速约为 $4.04 m/s$ 。

2.3 泥石流流量计算方法

本文采用雨洪修正法计算色多沟泥石流的流量。

2.3.1 清水流量计算

由于色多沟流域内没有观测调查资料,所有只能根据《四川省水文手册》中提供的暴雨资料等相关内容对色多沟泥石流进行流量计算,因此查阅《四川省水文手册》,色多沟降雨特征值见表 4。

表 4 色多沟降雨特征值计算表

时段	等值图		频率			
	H	C_v	K_p	H_p	K_p	H_p
$H_{1/6max}$ 均	10	0.5	2.42	24.2	1.99	19.9
H_{1max} 均	20	0.4	2.08	41.6	1.78	35.6
H_{6max} 均	30	0.3	1.77	53.1	1.57	47.1
H_{24max} 均	40	0.3	1.77	70.8	1.57	62.8

色多沟流域特征值见表 5。

表 5 色多沟流域特征值表

沟谷或 断面位置	流域面积 F/km^2	主沟长度 L/km	沟床纵比降 $J/\%$
色多沟	5.11	4.67	337

假定泥石流和暴雨的发生同频率、且同步,采用《四川省水文手册》中的相关公式,由暴雨量值推求泥石流洪峰流量值。

$$Q_p = 0.278 r_p i_B F$$

式中: Q_p 是频率为 p 时的暴雨发生时洪水的设计流量 (m^3/s); i_B 为产流系数,根据调查资料可知色多沟为砂性土,因此产流系数取 0.5; r_p 为一小时平均降雨强度 (mm/h); F 为泥石流所经过的流域面积 (km^2),对于超过 $10 km^2$ 的流域面积,因为降雨的不均匀性需要乘以一个修正系数, $10 km^2$ 以下的则不作调整。

根据计算,色多沟不同频率洪峰清水流量见表 6。

表 6 色多沟暴雨洪峰流量表

沟谷或断面位置	各频率设计洪峰流量 $Q_p / (m^3/s)$	
	$P = 2\%$	$P = 5\%$
沟口	17.73	15.17

2.3.2 泥石流峰值流量计算

在此假定泥石流与暴雨同时发生,且两者的频率相同,其次根据《四川省水文手册》中的关于水文计算的相关方法计算各个频率下相同断面的暴雨洪峰流量值,随后选用适当的堵塞系数,最后按照《泥石流灾害防治工

程勘查规范》(DZ/T0220-2006)附录 I 中的相关公式计算泥石流流量^[11-12]:

$$Q_c = (1 + \Phi)Q_p \cdot D_c$$

式中: Q_c 为频率为 p 时的泥石流洪峰流量值(m^3/s); Q_p 为暴雨洪水设计流量值(m^3/s),其频率为 p ; $1 + \Phi$ 参考《泥石流灾害防治工程勘查规范》(DZ/T0220-2006)附录 G 中表 G.2 确定; Φ 为泥石流泥砂修正系数: $\Phi = (\gamma_c - \gamma_w)/(\gamma_H - \gamma_c)$; γ_c 为泥石流重度(t/m^3),查附录 G 中表 G.2 确定; γ_w 为泥石流流域内的清水重度(t/m^3),为 $1.0t/m^3$; γ_H 为泥石流中固体物与泥石流泥浆的比重(t/m^3)取值为 2.6; D_c 为泥石流堵塞系数,按《泥石流灾害防治工程勘查规范》(DZ/T0220-2006)附录 I 中表 I.1 确定,色多沟泥石流介于中等程度与轻微程度之间,取值为 1.5。色多沟泥石流具体参数见表 7。

表 7 色多沟泥石流参数表

断面位置	综合评分	γ_w	γ_H	γ_c	D_c	$\frac{1}{a}$	$1 + \Phi$	$\frac{1}{n}$	T/s
沟口	84	1	2.6	1.5	1.5	0.6	1.55	20	1800

根据表 7 参数,色多沟泥石流的设计洪峰流量计算结果见表 8。

表 8 色多沟泥石流洪峰流量

沟谷或断面位置	各频率设计洪峰流量 $Q_c / (m^3/s)$	
	$p = 2\%$	$p = 5\%$
色多沟沟口	41.99	35.93

3 危险性评价

对于色多沟泥石流的安全性评估,本文采用多因子综合判定模式计算^[13-15]:

表 10 单沟泥石流危险性评价因子实际值及其转换值

项目	泥石流规模 $M/10m^3$	泥石流发生频率 $F/\%$	泥石流流域面积 S_1/km^2	泥石流流域相对长度 S_2/km^2	泥石流流域相对高差 S_3/km	泥石流流域切割密度 S_6/km	不稳定沟床比例 $S_9/\%$
实际值	14	80	5.11	2.95	1	2.04	54.6
转换值	0.382	0.952	0.435	0.519	0.667	0.102	0.910

按照 5 级泥石流危险性分级标准的划定,色多沟目前的危险等级为高度危险^[16-18]。根据对色多沟泥石流的调查资料分析,色多沟泥石流在以往属于低频泥石流。但是经过“5·12”地震后,沟内的不良地质现象较地震前相比明显增加,导致沟内的固体物源储量增加,若下次还将发生泥石流灾害,则下次泥石流灾害发生时参与其泥石流活动的物源量将增加,而且引发下次泥石流发生时的临界雨强将降低^[19]。同时,受“5·12”地震的影响,色多沟泥石流的发生频率将会在一定程度上提高,近几年其流域内,小规模泥石流的发生次数将会增加,因此色多沟泥石流会从低频泥石流区域,转变成中频或者高频泥石流区域。最后,随着震后植被的恢复以及大部分松散物源区

$$H = 0.2857M + 0.2857F + 0.1429S_1 + 0.0571S_3 + 0.1143S_6 + 0.0859S_2 + 0.286S_9$$

式中的危险度 (H) 和各危险因子 $M, F, S_1, S_2, S_3, S_6, S_9$ 的替代数值均介于 0~1 之间,其具体转换函数见表 9,其具体取值见表 10。

表 9 单沟泥石流危险性评价因子转换函数

评价因子及转换值(0~1)	转换函数($M, F, S_1, S_2, S_3, S_6, S_9$)为相应评价因子实际值
泥石流规模 $M/10^3 m^3$	$M = 0$, 当 $m \leq 1$ 时 $M = \lg m/3$, 当 $1 < m \leq 1000$ 时 $M = 1$, 当 $m > 1000$ 时
泥石流发生频率 $F/\%$	$F = 0$, 当 $f \leq 1$ 时 $F = \lg f/2$, 当 $1 < f \leq 100$ 时 $F = 1$, 当 $f > 100$ 时
泥石流流域面积 S_1/km^2	$S_1 = 0.2458s_1^{0.3495}$, 当 $0 \leq s_1 \leq 50$ 时 $S_1 = 1$, 当 $s_1 > 50$ 时
泥石流主沟长度 S_2/km	$S_2 = 0.2903s_2^{0.5372}$, 当 $0 \leq s_2 \leq 10$ 时 $S_2 = 1$, 当 $s_2 > 10$ 时
泥石流流域相对高差 S_3/km	$S_3 = 2s_3/3$, 当 $0 \leq s_3 \leq 1.5$ 时 $S_3 = 1$, 当 $s_3 > 1.5$ 时
泥石流流域切割密度 S_6/km	$S_6 = 0.05s_6$, 当 $0 \leq s_6 \leq 20$ 时 $S_6 = 1$, 当 $s_6 > 20$ 时
不稳定沟床比例 S_9/km	$S_9 = s_9/60$, 当 $0 \leq s_9 \leq 60$ 时 $S_9 = 1$, 当 $s_9 > 60$ 时

经计算得出黑水县色多沟泥石流危险性 H 为 0.564。

域稳定,色多沟又将变成低频泥石流沟。到目前为止,色多沟泥石流所处的阶段为壮年期^[20]。

4 结束语

色多沟泥石流按泥石流形成的原因及其分类属于典型的暴雨沟谷型泥石流,沟域内松散固体物源量及引发泥石流的暴雨规模是一个区域或一条沟域内泥石流发生的主要因素。特别是受到“5·12”地震的影响,色多沟沟域内岩土崩塌、坡面侵蚀增多,造成色多沟沟域内严重的水土流失,并且可介入泥石流活动的松散固体物源量增加^[21-22],并且色多沟目前处于活跃状态,一旦在合适条件下受到暴雨的影响,必然发生规模较大的泥石

流灾害。

根据色多沟流域的地质特点以及形成色多沟流域泥石流的条件,在治理色多沟泥石流流域时应该主要采用以排为主、停排结合的总体原则^[23]。

参考文献:

- [1] 张金山,王士革,孟国才,等.黑水县芦花沟泥石流灾害治理现状与建议[J].山地学报,2006,24(2):181-185.
- [2] 李坤.黑水县色尔古村泥石流发育特征研究[J].中国水运,2014,14(8):232-234.
- [3] 唐川.汶川地震区暴雨滑坡泥石流活动趋势预测[J].山地学报,2010,28(3):341-349.
- [4] 唐川,李为乐,丁军,等.汶川震区映秀镇“8·14”特大泥石流灾害调查[J].地球科学-中国地质大学学报,2011,36(1):172-180.
- [5] 崔鹏,刘世建,谭万沛.中国泥石流监测预报研究现状与展望[J].自然灾害学报,2000,9(2):10-15.
- [6] 李章树,郭毅.色多沟泥石流综合评价及防治措施研究[J].地下空间与工程学报,2013,9(2):437-442.
- [7] 李滨,冯振,赵瑞欣,等.三峡地区“14·9”极端暴雨型滑坡泥石流成灾机理分析[J].水文地质工程地质,2016,43(4):118-127.
- [8] 杨进兵,陈云长,汪惠,等.泥石流堆积物中细颗粒含量与渗透系数关系试验研究[J].岩土力学,2016,37(11):1-7.
- [9] 阴可,苟印祥,李承泽,等.四川绵竹走马岭特大泥石流动力特性的数值分析[J].中国地质灾害与防治学报,2012,23(4):1-5.
- [10] 庄建琦,崔鹏,葛永刚,等.“5.12”地震后都汶公路沿线泥石流沟危险性评价[J].四川大学学报:工程科学版,2009,41(3):131-139.
- [11] 徐皓.金川县大小俄沟泥石流发育特征与治理工程研究[D].成都:西南交通大学,2014.
- [12] 张维科,吴鑫沅.邻水县田家湾集群煤矿矿山泥石流形成机制分析及特征值计算[J].中国新技术新产品,2011(7):125-126.
- [13] 张劲松.“5.12”强震区四川省青川县碾子村五社地质灾害风险性评价[D].成都:成都理工大学,2011.
- [14] 周伟,陈宁生,邓明枫,等.四川省都江堰市八一沟泥石流动力学特征及危险性评估[J].水土保持通报,2011,31(5):138-143.
- [15] 王维早,曹秀玲,罗会来,等.四川省黑水县红水沟泥石流动力特征及危险性评估研究[J].水土保持通报,2008,28(5):140-143.
- [16] 刘希林,唐川.泥石流危险性评价[M].北京:科学出版社,1995.
- [17] 周比凡,李德基,罗德富.泥石流防治指南[M].北京:科学出版社,1991.
- [18] 唐邦兴.中国泥石流[M].北京:商务印书馆,2000.
- [19] 徐雨晴,何吉成.50a来中国铁路泥石流灾害的时空特征分析[J].水土保持通报,2016,36(1):337-342.
- [20] 马吉福,殷志强,魏刚,等.黄河上游贵德2盆地二连村泥石流堆积扇发育过程分析[J].水文地质工程地质,2016,43(4):78-83.
- [21] 余斌.根据泥石流沉积物计算泥石流容重的方法研究[J].沉积学报,2008,26(5):789-796.
- [22] 周伟,唐川,周春花.汶川震区暴雨泥石流激发雨量特征[J].水科学进展,2012,23(5):650-655.
- [23] 崔鹏,庄建琦,陈兴长,等.汶川地震区震后泥石流活动特征与防治对策[J].四川大学学报:工程科学版,2010,42(5):11-19.

Dynamics Features and Hazard Assessment of Mud-rock Flow in Seduogou

SHU Zhile, SHI Baoning, ZHANG Deyu

(College of Architecture and Civil Engineering, Xihua University, Chengdu 610039, China)

Abstract: Heishui county is one of the areas hit hardest by the “5·12” Wenchuan earthquake. The earthquake not only caused a lot of economic damage to property, at the same time also inspired more debris flows, landslides, collapses and secondary geological disasters. From the formation of the conditions of mud-rock flow in the Zhimulin village of heishui county, the topography, provenance and water conditions of mud-rock flow in the region are detailed. Combined the survey report in the mud-rock flow area, the scene with slurry method and look-up table method are used to calculate the mud-rock flow in the region. The data got by the look-up table method is taken as the debris flow concentration when mud-rock flow gully occurs; and by comparing the data, the mud-rock flow velocity, flow rate and peak flow etc. are calculated. Then using multi factor comprehensive decision model of multi colored debris flow of risk assessment, it is shown that the development of the area of mud-rock flow are in the prime stage with high risk of risk rating. Finally, it is proposed that the general principle of the main use of the combination of row and stop arrangement should be adopted in the management of Seduogou mud-rock flow.

Key words: Seduogou; mud-rock flow; dynamics feature; hazard assessment