

# 台湾土石流监测及警戒系统之综述<sup>\*</sup>

李明熹

(屏东科技大学 水土保持系, 台湾 屏东 91201)

**摘要:** 台湾因降雨量大、地形坡度陡峻、地质构造脆弱、地震规模大, 因此在坡面及河道上常有大量松散土石堆积, 加上山坡地土地的大量开发, 造成许多山坡地成为崩塌及土石流发生的敏感地区。针对台湾土石流监测及警戒系统的发展作一综合性的介绍。

**关键词:** 土石流; 土石流监测; 土石流警戒; 台湾

中图分类号: P642.23

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2009)06-0239-04

## Overview of Debris-Flow Monitoring and Warning System in Taiwan

LEE Ming-hsi

(Department of Soil and Water Conservation, Pingtung University of Science and Technology, Pingtung, Taiwan 91201, China)

**Abstract:** As a result of heavy rains, steep topography, young and weak geological formations, strong earthquakes, loose soils, land development in mountainous terrain, many mountainous areas in Taiwan are susceptible to landslides and debris flows. This paper introduced the debris-flow monitoring and warning system in Taiwan.

**Key words:** debris flow; debris-flow monitoring; debris-flow warning; Taiwan

台湾地区由于地质脆弱、地震频繁, 每逢台风暴雨常造成山区大规模土石灾害, 其中又以土石流(泥石流)灾害对人民生命财产安全威胁最大, 由于土石流具突发性、成因复杂、流动快速与破坏力强等特性, 为减轻或消除土石流灾害对人民之威胁, 台湾水土保持相关单位近几十年来陆续投入土石流监测及警戒系统之建置与发展, 以提供土石流发生之先期防范。经由监测系统所收集之土石流发生观测资料, 可提供学术研究单位进一步了解土石流发生机制, 并做为土石流防治、监测及警戒系统之参考依据, 该文针对台湾地区近几十年来土石流监测及警戒系统作一综合论述。

### 1 台湾土石流监测系统

土石流监测工作为土石流灾害发生前之灾害预警措施之一, 亦为台湾土石流防灾之重点工作, 借由监测系统的建置, 可了解土石流发生之先期征兆, 掌握土石流可能发生时间与运动现象, 提供各级防灾单位早期的警戒信息, 达到减灾、消灭及避灾之具体目标。台湾于1990年提出以预警系统作为土石流防治之先期措施, 1992年第一座土石流预警系统正

式设置在花莲县铜门村榕树部落, 同年花莲县法华寺、台东县华源村与南投县神木村、郡坑村及丰丘村等地共完成6座预警系统, 1998年又陆续增设6座, 截至1999年共建置18座预警系统于高危险度的土石流潜势溪流。另外于1999-2003年共建置12处灾害监测系统, 进行原住民居住部落的灾害观测<sup>[1]</sup>。由于维护经费的缺乏, 上述预警及观测系统目前已停止运作。

1998年台湾水土保持局邀集相关学者召开“土石流预警系统如何改善或改进座谈会”, 会中达成应将土石流预警与监测研究回归到决策支持系统之共识, 并将“土石流预警系统”修正名称为“土石流观测系统”, 并加强对土石流观测系统量测资料之研究, 作为发布防灾警报决策之参考。为此, 从2002-2004年选择13条高危险度的土石流潜势溪流, 建置13处固定式土石流观测站(图1)<sup>[2]</sup>。由于固定观测站设置经费及维护费用较高, 无法广泛设置于台湾1503条土石流潜势溪流, 因此从2004年开始建置机动性较高的行动式土石流观测站, 2004年及2005年分别研发出第1、2代行动式土石流观测站, 目前已发展至第3代行动式土石流观测站(图2)<sup>[3]</sup>, 希望借由气象预

<sup>\*</sup> 收稿日期: 2009-08-16

基金项目: 土石流监测及预报系统之研究(SWCB-098-028)

作者简介: 李明熹(1969-), 男, 广东梅县人, 博士, 助理教授, 研究方向: 土石流预警系统。E-mail: mhlee@mail.npu.edu.tw

报判定土石流可能发生地区, 预先将行动式土石流观测站进驻现地进行观测工作, 提升土石流防灾应变能力及灾情警戒通报效率。

另外, 台北市根据区域内具有高危险度之土石流潜势溪流设置土石流观测系统, 2002 年与 2005 年于北投水磨坑溪、士林猴洞溪庄顶路和至善路与湖内大沟溪等 4 处设置土石流观测系统。上述 13 处固定式土石流观测站与台北市 4 处土石流观测站, 目前仍持续运作。以下针对 13 处固定式土石流观测站进行说明。

固定式土石流观测站其结构主要分为 3 大部分, 分别为前端观测仪器、中端资料接收中心及后端防灾应变系统, 整体观测、接收、加值及应变作业概念如图 3 所示。现行固定式土石流观测站针对现场状况设置 2 种运作方式: 正常方式(normal mode) 及事件方式(event mode), 平时观测站运作皆为正常方式, 此时系统处于休眠状态, 一旦现场观测雨量超过预先设置的门槛(降雨强度 > 10 mm/h 或单日积累雨量超过 100 mm 时), 系统自动切换成事件方式, 各项设备立即开始运作并以简讯通知相关人员, 此外为能随时掌握各站实际情况, 系统另具备远端遥控功能, 工作人员可藉由 Symantec PCAnywhere 远端遥控软件, 从水土保持局直接控制现场观测设备, 包括 IPC 重新开机(reset)、调整 CCD 摄影机镜头远近和对焦、旋转附有回转台的摄影机角度、启闭投射灯及强制切换观测站运作方式等, 由于观测站规划时已考虑系统的扩充性, 因此其为半开放平台设计, 未来可配合相关科技研发成果增加不同的新兴观测仪器, 扩大现场观测的项目和范围。

目前观测站采用之观测仪器主要包括雨量计(rain gauge)、电荷耦合元件 CCD(charge coupled device)、摄影机(camera)、钢索检知器(wire sensor)、地声检知器(geophone) 及超声波水位计(ultrasonic distance measuring device) 等, 各观测站之主要仪器数量如表 1 所示。

## 2 台湾土石流警戒系统

台湾水土保持局自 2000 年开始进行土石流警戒系统之研发并将研发成果运用于土石流防灾应变, 建立土石流警戒发布机制与发布平台, 作为台风雨期间土石流警戒之发布依据。台湾地区早期的土石流警戒方式是参考日本做法, 应用降雨强度  $I$  及有效积累雨量  $R$  之线性关系, 建立土石流临界降雨线<sup>[4]</sup>。

$$R + aI = b \tag{1}$$

式中:  $R$ ——指有效积累雨量(包含本次降雨量及前期有效积累雨量); 系数  $a$  及常数  $b$  是因地而异之经

验参数, 需要利用过去土石流发生及不发生时之降雨资料推求之。有发生土石流的雨量参数都落于临界降雨线或临界降雨线的上方, 即  $R + aI \geq b$ ; 反之, 没有发生土石流的雨量参数大部分落于临界降雨线的下方, 即  $R + aI < b$ , 但是也有些没有发生土石流的雨量参数会落于临界降雨线或临界降雨线的上方。

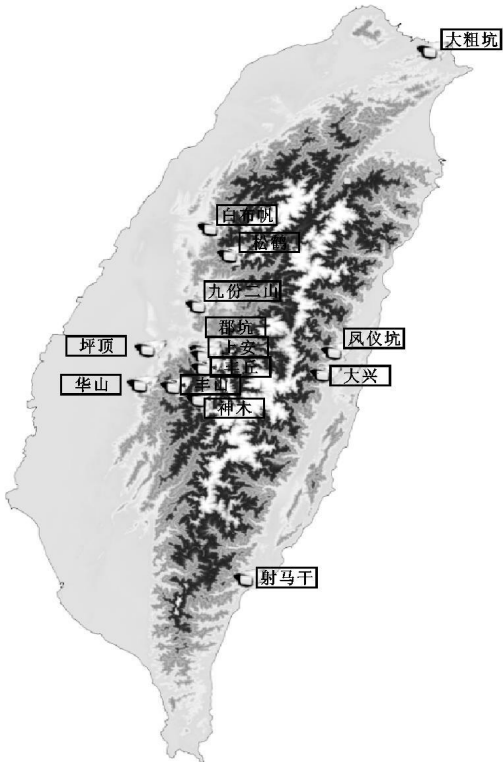


图 1 13 座固定式土石流观测站分布图



(资料来源: 台湾水土保持局)

图 2 第 3 代行动式土石流观测站



前端(现场端) 中端(资料接收中心) 后端(通报应度作业端)  
监测仪器 资料汇集传输 资料处理、整合、加值、通报  
(资料来源: 台湾水土保持局)

图 3 固定式土石流观测站整体运作概念图

表 1 13 处固定式土石流观测站主要仪器设备统计

仪器名称	白布帆	九份二山	神木	郡坑	上安	丰丘	大粗坑	凤义坑	射马干	华山	大兴	丰山	松鹤
仪器屋	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
CCD 摄影机	1	2	3	2	1	2	2	2	2	3	2	2	2
投射灯	1	3	3	3	2	2	3	2	2	2	1	2	1
雨量计	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1
钢索检知器	2	4	6	4	2	4	4	4	4	4	5	4	8
地声检知器	1	2	3	3	1	2	3	3	3	1	3	3	2
超声波水位计	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0
流速计	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
DTMF 传输器	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
太阳能模组	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1
无线网络 AP	0	0	2	2	0	0	0	2	2	2	2	0	0

资料来源: 台湾水土保持局。

前述式(1) 虽然是简单的线性关系式,但是它包含有两个待定之参数( $a$  及  $b$ ), 对于土石流发生样本资料不多的地区或是缺乏土石流发生资料的地区而言,要同时准确推估两个待定之参数是很困难的。而且由于各地土石流潜势溪流的地理条件(地质及地形条件)及潜在的稳定条件不一致,因此激发土石流所需之雨量也有很大的变化,即使是同一条土石流潜势溪流,因为土体的稳定程度不一样,各次土石流发生时的降雨量也有所不同。因此詹钱登与李明熏<sup>[5]</sup>提出以降雨事件某时刻的降雨强度  $I$  (mm/h) 和该时刻之前的有效积累雨量  $R$  (mm) 的乘积为降雨驱动指标  $RTI$  (Rainfall Triggering Index,  $RTI$ ) ( $\text{mm}^2/\text{h}$ ),即

$$RTI= I \times R \tag{2}$$

其中有效积累雨量的定义为本次前段降雨积累雨量及本次降雨开始时刻前 7 天的加权降雨量之和为影响土石流发生的有效积累雨量,即

$$R= R_0 + \sum_{i=1}^7 \alpha^i R_i = \sum_{i=0}^7 \alpha^i R_i \tag{3}$$

式中:  $R_0$  ——本次前段降雨量;  $R_i$  ——本次降雨开始时刻前  $i$  天日雨量;  $\alpha$  ——日雨量加权系数( $\alpha= 0.8$ )。

关系式建立后,依据以往土石流发生降雨事件的雨量资料,然后以统计分析,建立土石流发生各种不同可能性条件下所对应之降雨驱动指标警戒值( $RTI_P$ ),然后利用  $RTI_P$  值建立土石流警戒方式。詹钱登与李明熏<sup>[5]</sup>曾以线性分布方式推估不同发生可能性  $P$  所对应之  $RTI$  值(记为  $RTI_P$ ):

$$RTI_P= RTI_{10}+ (\frac{P-0.1}{0.8})(RTI_{90}-RTI_{10}) \tag{4}$$

其中  $RTI_{10}$  及  $RTI_{90}$  两个待定参数分别表示土

石流发生的可能性是 10% 及 90% 所对应之降雨警戒基准值。当降雨事件的  $RTI$  值低于  $RTI_{10}$  时,表示该次降雨激发土石流的可能性小于 10%;反之,当  $RTI$  值高于  $RTI_{90}$  时,表示该次降雨激发土石流的可能性大于 90%。当  $RTI$  值落于过渡区时( $RTI_{10}< RTI< RTI_{90}$ ), 则可由式(4) 推求土石流发生可能性  $P$  所对应之  $RTI$  值。

台湾地区虽然发生过很多土石流事件,但是同一条溪流发生土石流事件的次数却是不多的(一般少于 5 次),因此不容易用统计方法推求  $RTI_{10}$  及  $RTI_{90}$  两个参数值。为了改善此问题,詹钱登与李明熏<sup>[6]</sup>引入逻辑斯分布(Logistic distribution)来描述降雨条件下土石流发生之可能分布,建立不同土石流发生可能性  $P$  所对应之  $RTI$  值,即

$$RTI_P= \{1+ \lg[P/(1- P)]\} \times RTI_{50} \tag{5}$$

式中:  $P$  ——积累概率。由于降雨基准值  $RTI_P$  是大于零的实数,因此上式的适用范围为  $1/11< P< 1$ 。在使用(5)式作为评估土石流不同发生可能性降雨警戒值时,要事先决定的参数只有参数  $RTI_{50}$ 。当  $RTI_{50}$  已知时,由上式可以推求得不同发生可能性  $P$  所对应下的降雨基准值  $RTI_P$ 。

为了用统计方法分析触发土石流降雨事件的特征时,往往无法只用单一土石流潜势溪流所涵盖的集水区做考量,需要以邻近数条土石流所涵盖的集水区或乡镇区作为分析触发土石流降雨事件的考量单元。台湾目前使用乡镇区为单元,针对具有土石流潜势溪流之乡镇区,建立 159 个乡镇区土石流警戒基准值,并以村里为单元分为 209 个警戒区。

为便于社区民众及地方防灾单位对土石流警戒

基准值的了解, 落实地方单位防灾之应用, 从 2005 年开始, 遂将所订定之各乡镇区土石流警戒基准值  $RTI_{50}$  或  $RTI_{70}$  简化为土石流积累雨量警戒值  $R_{50}$  或  $R_{70}$ , 以 50 mm 为一级距, 将土石流积累雨量警戒值分成不同等级, 并考量每年新增降雨事件、土石流发生事件、地震事件及重大地文影响事件, 逐年更新土石流警戒基准值, 历年土石流积累雨量警戒值级距分布如图 4 所示。

利用上述方法订定各警戒区土石流警戒值后, 即可进行土石流降雨警戒。以屏东县三地门乡达来村土石流发生事件为例进行说明。2007 年 8 月 9 日因梧提台风过境夹带旺盛西南气流, 丰沛的雨量造成屏东县三地门乡达来村潜势溪流编号屏东 006 发生土石流。由图 5 可看出, 该地区有效积累雨量于 8 月 13 日早上 9:00 已经超过三地门乡土石流警戒基准值(550 mm), 水土保持局随即对此警戒区发布土石流红色警戒, 地方单位亦立即对居住在此危险地区之人民进行疏散避难作业, 晚上 19:00 编号屏东 006 之土石流潜势溪流即发生土石流, 冲毁好茶桥与主要对外联络道路, 由于土石流警戒系统提早告知, 人民已经疏散至安全的避难场所, 因此无人员伤亡。此次土石流发生警戒系统运作结果得知, 土石流红色警戒发布至土石流发生约有 10 h 的应变时间, 足够水土保持单位或地方防救灾单位进行避难疏散作业。

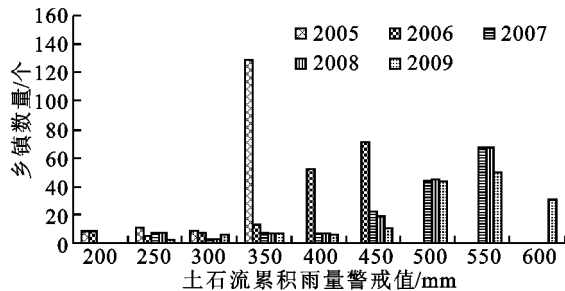


图 4 历年土石流积累雨量警戒值级距分布图

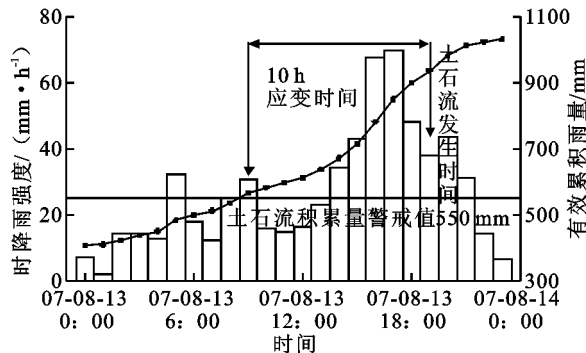


图 5 屏东三地门乡时雨量、积累雨量随时间变化图

3 结论

土石流的形成原因非常复杂, 在土石流的防灾方面, 不能完全依赖土石流监测与警戒系统, 也不能过度期望土石流防治工程来完全抑制土石流的发生或阻挡土石流的流动。人民必须要有风险的意识, 了解土石流的发生与流动具有很高的不确定。台湾目前除了有 17 座土石流监测站外, 近年来更积极发展“在地化、自主化土石流监测系统”, 以社区为单元, 教育人民要有风险的观念, 雨量大时, 土石流潜在地区(尤其地震灾区)发生土石流的机会就会比较高, 附近的居民就要有危机意识及减少灾害之准备与行动, 通过社区自主防灾观念, 加强在地化、自主化土石流灾害的防治工作。在暴雨土石流发生警戒系统方面, 台湾及世界其它地区, 目前大多是以积累雨量及降雨强度为基准。仅以雨量特性作为判定土石流发生与否之基准是不够的, 而且要有很高的准确度也是不可能的。纵然如此, 雨量基准仍然是最为方便且可行的判定土石流发生与否之方法, 因为雨量资料的取得仍是比较方便的, 而且雨量资料所涵盖的范围较为广泛。台湾目前依据土石流发生降雨驱动指标及土石流积累雨量警戒值两种警戒方法, 进行暴雨土石流发生警戒工作, 通过土石流降雨警戒信息的研判与通报系统的建立, 有效地提供各种降雨条件随时间变化的趋势及土石流发生可能性的信息, 提供相关单位作为不同程度土石流警戒信息发布之参考依据, 并且其准确度有逐年改善之情况, 对于土石流灾害防治工作有相当大的帮助。

参考文献:

[1] 成功大学防灾研究中心. 2003 年度原住民居住聚落灾害观测系统之研究与建立计划: 灾害观测系统建置完工报告书[R]. 2003.

[2] 逢甲大学地理资讯研究中心. 2007 年现地资料搜集暨观测站维护计划成果报告书[R]. 2007.

[3] 逢甲大学地理资讯研究中心. 行动式土石流观测站维运管理暨功能提高计划成果报告书[R]. 2007.

[4] 谢正伦, 陆源忠, 游保杉, 等. 土石流发生临界降雨线设置方法之研究[J]. 中华水土保持学报, 1995, 26(3): 167-172.

[5] 詹钱登, 李明熹. 土石流发生降雨警戒方式[J]. 中华水土保持学报, 2004, 35(3): 273-283.

[6] 詹钱登, 李明熹, 郭峰豪. 土石流发生空间及时间降雨警戒方式[J]. 地工技术, 2006(110): 55-64.