

台湾“莫拉克”台风诱发山地灾害成因与启示

崔鹏¹, 陈树群², 苏凤环¹, 张建强^{1,3}

(1. 中国科学院山地灾害与地表过程重点实验室, 中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所, 四川 成都 610041;

2. 中兴大学水土保持系, 台湾 台中; 3. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要: 2009-07“莫拉克”台风在台湾岛内滞留大于40 h, 受中央山脉地形以及西南季风的影响, 形成“北部风强, 南部雨大”的局面。本次降雨为台湾历年之冠, 24 h降雨量1 825 mm, 48 h雨量2 467 mm, 逼近世界降雨极值。全台湾计有31个雨量站过程降雨量超过1 000 mm, 23个雨量站超过1 500 mm, 15个雨量站超过2 000 mm, 南部部分区域甚至出现6~10日累积降雨量超过其年降雨量情形。最大总雨量位于阿里山, 2009-08-06~10累计雨量达2 884 mm。长时间持续强降雨, 造成了大量的泥石流、堰塞湖、崩塌、滑坡、山洪等山地灾害。大量的崩塌、滑坡阻塞河道, 形成了16处堰塞湖。这些灾害淤埋村镇, 毁坏道路、桥梁、堤防、建筑、输电和通讯设施。由于道路交通受损, 电力、通讯信号中断, 使得许多村庄与外部隔绝, 成为孤岛, 救援设施与救援物资无法到达灾区, 延缓救援进度。受灾较重的乡镇有高雄县甲仙乡、桃源乡、六龟乡、那玛夏乡、杉林乡, 南投县鹿谷乡、信义乡、国姓乡, 嘉义县阿里山乡、梅山乡、中埔乡, 屏东县高树乡、三地门乡、春日乡, 台南县南化乡, 台东县金峰乡等。截至2009-08, 造成全台共619人死亡、肢体74件、76人失踪, 其中小林村和新开部落被完全毁灭。台风暴雨、陡峭地形和丰富的松散固体物质等自然因素决定了山地灾害形成的基本因素, 高强度长历时的暴雨是直接激发因素, 坡地过度开发、道路建设、河道不合理利用等人为因素则加剧了灾情。莫拉克台风暴雨灾害对人们的启示是合理确定开发度, 科学利用土地资源; 确保山区溪流行洪空间, 把防洪需求作为河谷地开发的限制条件; 注意环境保育, 尽量减少工程建设对斜坡的扰动; 提高山地灾害预警标准, 建立巨灾监测预警机制; 进行灾害风险分析与管理, 开展有机结合资源利用与减灾防灾的流域理性开发。

关键词: “莫拉克”台风; 滑坡; 泥石流; 洪水; 灾害; 减灾防灾

中图分类号: P429 P62.2

文献标识码: A

台湾位于强地震带上, 构造运动强烈, 岩层破碎, 风化作用强烈, 松散固体物质丰富。受中央山脉隆起的影响, 地形高差大, 河川源短流急, 具备了形成山地灾害良好的地形条件。经常遭受台风袭击, 台风暴雨剧烈, 为山地灾害提供了高强度的水动力条件。尤其是1999年“9.21”集集大地震后, 中部山区岩层更加破碎, 使得土砂灾害频繁发生^[1]。

2009年第9号热带风暴“莫拉克”08-02T15:00在菲律宾东北部洋面上生成, 以每小时10~15 km的速度向北偏西方向, 向台湾东部海面靠近, 分别于5日凌晨和5日下午加强为强热带风暴和台

风, 于08-07T23:45在台湾省花莲市沿海登陆, 以偏西方向横穿台湾中部地区, 登陆时中心附近最大风力有13级(40 m/s)。受“莫拉克”台风影响, 台湾岛内出现暴雨到特大暴雨, 其中嘉义县奋起湖累计降水达2 778.5 mm, 阿里山乡达到2 884.0 mm。台风暴雨诱发大量山地灾害, 主要包括崩塌、滑坡、泥石流、堰塞湖、洪水, 严重破坏了山区城镇、村庄、道路、电力通讯等设施, 造成了大量人员伤亡。据台湾灾害应变中心09-08的统计, “莫拉克”台风共造成死亡人数619人、肢体74件、失踪人数76人, 撤离灾民24 950人, 经济损失近1 000亿新台币^[2]。

收稿日期 (Received date): 2009-10-17。

基金项目 (Foundation item): 国家重点基础研究发展(973)计划(2008CB425802)和中国科学院知识创新工程重要方向性项目KZCX2-YW-302资助。[This research is supported by state 973 Program project 2008CB425802 and the CAS project KZCX2-YW-302.]

作者简介 (Biography): 崔鹏(1957-): 博士, 研究员, 研究方向: 自然地理、山地灾害和水土保持。[Peng Cui(1957-): Ph.D, Professor, Specialized in physical geography, mountain hazards, water and soil conservation.] E-mail: pengcui@imde.ac.cn

1 台风暴雨激发的山地灾害

“莫拉克”台风在岛内滞留时间大于 40 h 长时间维持 12 级风力,受中央山脉地形以及西南季风的影响,形成“北部风强,南部雨大”的局面。2009-08-08~09,嘉义、高雄、屏东山区自动雨量站单日累积雨量超过 1 000 mm。其中屏東尾寮山雨量站最大单日雨量为 1 402 mm,台南 08-08 雨量 523.5 mm,玉山 08-09 为 709.2 mm,均创下该站单日降雨的最大纪录;阿里山站 8 日降雨 1 161.5 mm,9 日 1 165.5 mm,创台湾所有气象站中单日最大雨量纪录^[3]。

长时间持续强降雨,在台湾岛内造成了大量的泥石流、堰塞湖、崩塌、滑坡、山洪等山地灾害。这些灾害不仅直接造成严重损失,还堵断了进入灾区的道路,严重阻碍了救援人员和救援物资的进入,极大地增大了救援难度,严重延缓了救援进度,进一步加重了灾害。大量的崩塌、滑坡阻塞河道,形成了 16 处堰塞湖^[4]。堰塞湖蓄水后不仅造成上游的淹没损失,同时给下游城镇、村庄、道路和农田等造成了严重的溃决洪水威胁,成为可能造成重大损失的高风险山地灾害。台风暴雨激发的山地灾害的类型及其活动特征,具体表现在以下方面。

1.1 崩塌、滑坡

台湾“9.21”集集地震,造成山体松动,斜坡稳定性降低,形成大量的地表裂缝。在强降雨条件下,极易诱发崩塌、滑坡或使老滑坡复活。“莫拉克”台风暴雨激发了大量的滑坡和崩塌,滑坡和崩塌的发生表现为群发性,多沿道路分布。例如,位于高雄县境内的南横公路和台 27 公路被滑坡和崩塌损毁严重,道路路基被掏空,大型滑坡阻断交通,完全阻断甲仙乡、桃源乡与外界联系。照片 1 是通往高雄县六龟乡的台 27 公路路基被沿线的滑坡群毁坏的情形,照片 2 为桃源乡附近南横公路损毁情况。

在台风暴雨覆盖区,流域内发生了大量的滑坡和崩塌。据成功大学防灾中心对高屏溪等流域的调查,台风前的崩塌面积有 11 812 hm²,“莫拉克”台风后的崩塌面积增加到 51 304 hm²,崩塌面积比(崩塌面积占流域总面积的百分比)由原先的 1.27% 剧增为 5.52%。大量发生于流域内的滑坡和崩塌,为泥石流形成提供了丰富的松散固体物质,加大了本次台风暴雨激发泥石流的规模。

1.2 泥石流

桃芝飓风后,台湾地区水土保持局进行调查,确定具有土石流(即泥石流,台湾习惯这么称。编者注)的溪流共 1 503 条^[5]。台风发生以后,水土保持局发布了泥石流警戒预报,在“莫拉克”持续强降雨作用下,519 条泥石流沟为红色警戒,338 条黄色警戒,数量之多,为历史之最。台风暴雨期间,在大范围内频繁暴发大规模的泥石流,冲毁桥梁、路基,淹没农田、房舍,甚至整个村庄被掩埋,造成大量人员死亡和失踪。

受泥石流影响严重的有屏东县雾台乡、嘉义县中埔乡中兴村与中仑村、高雄县六龟乡、甲仙乡小林村、那玛夏乡民族村、桃源乡、台南县南化乡玉山村、关山村、南投县信义乡、水里乡新山村。其中高雄县六龟乡新开部落被泥石流淤埋,32 人被活埋,对外道路全部毁坏(照片 3)。08-09T6 1Q 位于高雄县甲仙乡的甲仙便桥被洪水冲断,上游小林村背后山坡发生滑坡,在暴雨作用下滑坡体迅速解体转化为泥石流,淤埋了小林村 200 余户。图 1 为台风以前的小林村,照片 4 和照片 5 为滑坡、泥石流发生以后小林村的情形。受泥石流严重危害的还有:高雄县那玛夏乡民族村遭土泥流淹没,对外道路中断;嘉义县梅山乡有 26 户被泥石流冲毁和掩埋。

1.3 堰塞湖

大规模滑坡堵塞河道形成堰塞湖,淹没上游的道路、村庄、城镇和农田等,堰塞湖溃决又将引发洪水,淹没和冲毁下游的城镇、村庄和道路、通讯等基础设施^[6-9]。

台湾中南部因台风诱发的堰塞湖有 16 处,包含两处“9.21”地震及 2006 年风灾遗留下来的堰塞湖(表 1 中的第 10 和第 11),总共现有 18 处堰塞湖。其中南投县 4 个,台南县 1 个,高雄县 8 个,屏东县 3 个,台东县 2 个。其中 10 处已溃决,5 处暂无立即危险,但需要进行观测,3 处仍处于警戒。堰塞湖详见表 1^[4]。

图 2 表明了高雄县桃源乡梅山村高屏溪支流荖浓溪堰塞湖(表 1 中 13 号堰塞湖)的发育过程,图 2A 是堰塞湖形成以前的地形;从图 2B(08-14 溃决以前影像)可见,由于溪流右岸大滑坡堵塞,形成了堰塞湖;图 7C 是 08-15 影像,表示堰塞湖溃决以后的沟道情形^[10]。对比 08-14 影像和 15 日影像,可以发现,溃决以后的沟床,在回水末端处由于泥沙继续堆积而使湖面和沟道变窄;而下游河道则由于

表 1 “莫拉克”台风形成堰塞湖分布及其危险性
Table 1 Distribution and risky degree of dammed lakes induced by Morac Typhoon

序次	名称	坐标	地点	等级	备注
1	沙里仙溪堰塞湖	X: 242271 Y: 2605978	南投县信义乡	C	1. 已溃决, 无安全问题。 2. 权责为国立台湾大学 (实验林管理处), 并由林务局协助。
2	和社溪上游堰塞湖	X: 234999 Y: 2604290	南投县信义乡神木村	C	1. 已于 08- 08溃决, 无安全问题。 2. 权责为水利署。
3	荖浓溪支流堰塞湖	X: 231000 Y: 2573500	高雄县桃源乡梅山村	C	1. 已于 08- 11溃决, 无安全问题。 2. 权责为林务局。
4	荖浓溪堰塞湖	X: 229171 Y: 2568207	高雄县桃源乡复兴村	C	1. 已于 08- 13T12 00溃决, 无安全问题。 2. 权责为水土保持局。
5	荖浓溪主流堰塞湖	X: 218000 Y: 2556400	高雄县六龟乡宝来一、二号桥间	C	1. 已于 08- 11T21 00溃决, 无安全问题。 2. 权责为水利署。
6	旗山溪堰塞湖	X: 213105 Y: 2563555	高雄县甲仙乡小林村	C	1. 已于 08- 09T06 00溃决, 无安全问题。 2. 权责为水利署。
7	荖浓溪支流浊口溪堰塞湖	X: 213148 Y: 2531484	屏东县高树乡新丰村	C	1. 已溃决, 无安全问题。 2. 权责为水土保持局。
8	口社溪上游堰塞湖	X: 217598 Y: 2524692	屏东县三地门乡口社村	C	1. 已于 08- 12溃决, 无安全问题。 2. 权责为水土保持局。
9	曾文溪支流後堀溪堰塞湖	X: 210100 Y: 2565800	台南县南化乡关山村	C	1. 已于 08- 17溢流, 无淤塞情形, 无安全问题。 2. 权责为林务局。
10	九份二山堰塞湖 (1999. 9. 21)	X: 234778 Y: 2649240	南投县国姓乡南港村	B	1. 已架设监测系统, 尚无立即危险。 2. 权责为水土保持局。
11	龙泉溪堰塞湖 (2006. 7. 15)	X: 267755 Y: 2563280	台东县海端乡龙泉村	B	1. 已架设监测系统且降控, 尚无立即危险。 2. 权责为林务局。
12	陈有兰溪上游霍萨溪堰塞湖	X: 234189 Y: 2601512	南投县信义乡神木村	B	1. 08- 17空勘已溃决且稳定溢流, 尚无立即危险。 2. 权责为国立台湾大学 (实验林管理处), 并由林务局协助。
13	荖浓溪上游主流堰塞湖	X: 240835 Y: 2581946	高雄县桃源乡梅山村	B	1. 08- 18空勘蓄水面积 5 hm ² , 已溃决且稳定溢流, 尚无立即危险。 2. 权责为林务局。
14	荖浓溪支流宝来溪上游堰塞湖	X: 234942 Y: 2561910	高雄县桃源乡宝山村	B	1. 08- 18空勘蓄水面积 1 hm ² , 已稳定溢流, 尚无立即危险。 2. 权责为林务局。
15	荖浓溪支流拉克斯溪上游堰塞湖	X: 232959 Y: 2569655	高雄县桃源乡樟山村	B	1. 08- 19空勘蓄水面积 2 hm ² , 已溃决且稳定溢流, 尚无立即危险。 2. 权责为林务局。
16	土文溪堰塞湖	X: 218313 Y: 2478254	屏东县春日乡土文村	A	1. 08- 18空勘蓄水面积 4 hm ² , 已溃决且稳定溢流, 尚无立即危险。 2. 权责为林务局持局。
17	旗山溪上游堰塞湖	X: 223850 Y: 2580587	高雄县那玛夏乡民生村	A	1. 已于 08- 18空勘蓄水面积 23 hm ² , 已溃决且稳定溢流, 尚无立即危险。 2. 权责为林务局。
18	太麻里溪上游堰塞湖	X: 230373 Y: 2498833	台东县金峰乡嘉兰村	A	1. 已于 08- 14空勘蓄水面积 70 hm ² , 已溃决且稳定溢流, 尚无立即危险。 2. 权责为林务局。

注: A: 处于警戒恐有危险; B 暂无立即危险; C: 已溃决, 无危险。
© 1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net



照片1 群发性滑坡崩塌沿道路发育。这是通往高雄县六龟乡的台27公路路基被沿线的滑坡群毁坏的情形。(齐柏林摄)

Photo. 1 The group-occurring landslides destroyed roadbeds of Taiwan No. 27 highway, which cut off the traffic to Liugui Township, Gaoxiong County. (Photo by Chi Polin)



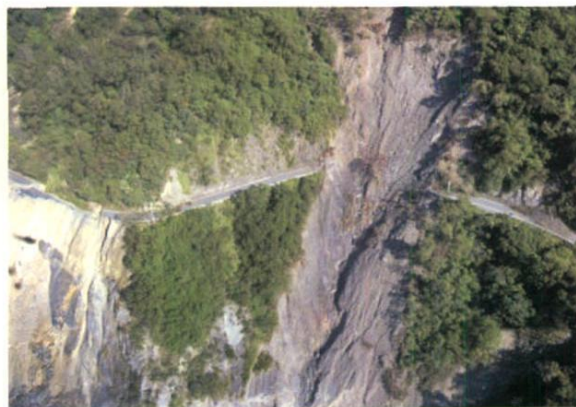
照片3 泥石流淤埋六龟乡新开部落,32人死亡,毁坏道路桥梁,中断对外交通(齐柏林摄)

Photo. 3 Buried Xinkai tribal of Liugui Township by debris flow, which resulted in 32 persons dead, road and bridges destroyed and transportation halted (Photo by Chi Polin)



照片5 小林村被毁灭以后的情形(陈树群摄)

Photo. 5 Completely destroyed Kobayashi (Xiaolin) village (Photo by Chen Suchin)



照片2 高雄县桃源乡附近南横公路路段损毁严重(图片来源:新华网)

Photo. 2 Seriously damaged section of Southern Cross-Island Highway at Taoyuan Township, Gaoxiong County (Picture source : Xinhua net)



照片4 滑坡和泥石流发生后被淤埋的小林村(陈树群摄)

Photo. 4 Buried Kobayashi (Xiaolin) village by landslide and debris flow (Photo by Chen Suchin)



照片6 高雄县双圆大桥被洪水冲毁(照片来源:台湾经纬卫星信息公司)

Photo. 6 The Shuangyuan bridge was destroyed by flood, Gaoxiong County (Photo source: GeoSat Informatics Technology Co.)

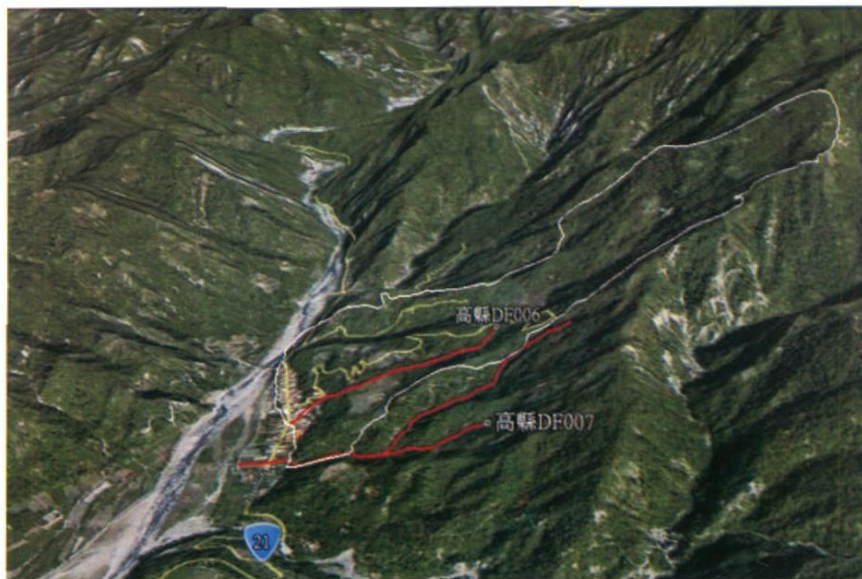


图 1 台风以前的小林村, 红线为泥石流危险溪流、白线为滑坡区 (图片来源: Google earth, 陈树群编制)

Fig 1 Kobayashi (Xiaolin) village before Morak Typhoon the red line for the debris flow streams white line for the landslide area (Picture source: Google earth, produced by Chen Suchin)

泄流携带大量泥沙导致河床剧烈淤积而展宽。

高雄县甲仙乡小林村除遭受滑坡和泥石流危害以外, 旗山溪上游楠峰桥附近的堰塞湖 (表 1 中 6 号堰塞湖) 发生溃坝, 又加剧了小林村的淹没淤埋灾害。

1.4 洪水

大甲溪以南 19 个流域受到莫拉克台风的影响, 降雨集中的流域有浊水溪、八掌溪、急水溪、曾文溪、高屏溪等。充沛的雨量, 使得许多溪流水位陡涨, 冲毁堤防、路基、桥梁 (照片 6)、村庄和旅游设施 (照片 7), 大量泥沙淤河道、隧道和农田, 许多低洼地区严重积水, 绝大多数县乡都遭受了不同程度的水灾, 洪水成为本次台风暴雨造成的分布范围最广的灾害类型之一。山洪携带大量漂流木, 进一步加剧了灾情 (照片 8)。由于台风带来的大量降雨以及适逢大潮期, 高雄市、嘉义县、台南县和屏东县的沿海地段严重淹水。太麻里溪 (出口和金峰乡) (图 3)、知本溪、林边溪、鹿野溪 (卑南乡)、荖浓溪 (六龟乡) 和高屏溪山洪灾害严重。洪水灾害以屏东县最为严重, 屏东所有沿海乡镇都遭遇到严重的水淹 (照片 9), 其中林边、佳冬两乡遭大水淹没, 最深达两层楼高, 崁顶、东港、新园、南州、新埤亦有多处地区淹水。另外, 塔罗溪、曾文溪、盐水溪、金崙溪、二仁溪、大武溪等流域山洪暴涨, 河道拓宽, 冲毁桥梁、道路、农田及民宅, 造成巨大损失。

2 山地灾害危害与损失

“莫拉克”台风引发的山地灾害, 不但造成重大人员伤亡, 同时对交通、通讯、电力等基础设施造成严重损害。由于道路交通受损, 电力、通讯信号中断, 使得许多村庄与外部隔绝, 成为孤岛, 救援设施与救援物资无法到达灾区, 延缓救援进度。受灾较重的乡镇有高雄县甲仙乡、桃源乡、六龟乡、那玛夏乡、杉林乡, 南投县鹿谷乡、信义乡、国姓乡, 嘉义县阿里山乡、梅山乡、中埔乡, 屏东县高树乡、三地门乡、春日乡, 台南县南化乡, 台东县金峰乡等。

2.1 居民点损毁与人员伤亡

1. 人员伤亡

根据台湾灾害应变中心数据, 截止 09-08T18 00 莫拉克台风造成全台共 619 人死亡、76 人失踪、74 件肢体。其中高雄县 491 人 (其中甲仙乡小林村死亡 318 人、失踪 24 人, 六龟乡新开部落死亡 26 人, 那玛夏乡死亡 20 人)、台南县 25 人、屏东县 28 人、南投县 11 人、嘉义县 17 人。撤离灾民共 24 950 人, 共开设 56 处收容所, 收容灾民 5 822 人, 目前仍开设 11 处收容所, 仍收容 392 人。

2. 居民点损毁

高雄县的山区乡镇六龟乡、甲仙乡、那玛夏乡与桃源乡则遭受大规模的洪水与泥石流侵袭, 其中甲仙乡小林村滑坡面积达 246 hm^2 , 200 余户民宅被滑

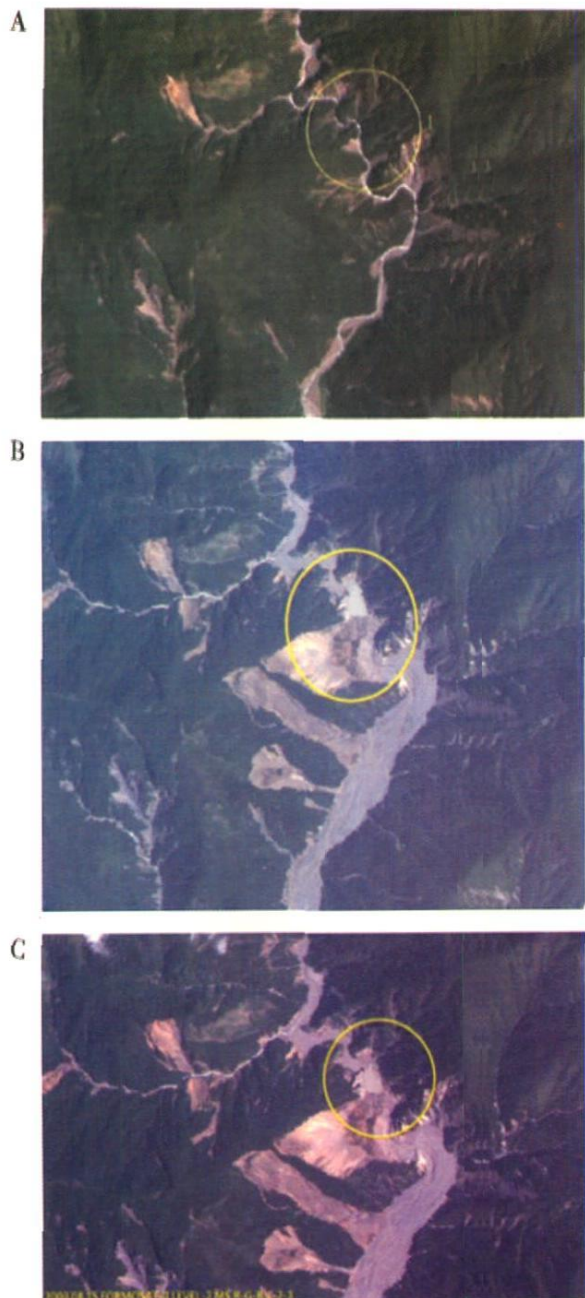


图 2 高雄县桃源乡梅山村堰塞湖: A 台风以前状况; B 堰塞湖溃决以前高水位状况 (08-14 影像); C 08-14 溃决以后状况 (08-15 影像) (影像来源: 成功大学防灾中心)

Fig. 2 Dammed lake in Meishan village, Taoyuan Township K aohsiung (Gaoxiong) County. A: Image before Moarc Typhoon B: The captured water with high water level in dammed lake before outburst (8- 14 in age) . C: The image shows the situation after outburst (8- 15 in age) (In age source National cheng Kung University Disaster Prevention Research Center)

坡和泥石流掩埋; 那玛夏乡民族村和六龟乡新开办落部分民宅被泥石流摧毁, 所有的基础设施全部损毁。台东县太麻里溪河水暴涨, 冲毁太麻里乡嘉兰

村 47 户民宅, 位于知本溪岸边的金帅饭店由于流水冲刷基础而倒塌。嘉义县的沿海低洼地区, 如东石、布袋、义竹严重积水; 阿里山乡、梅山乡、大埔乡受到泥石流严重危害, 其中梅山乡的太和村、瑞峰村和瑞里村、以及竹崎乡奋起湖等地区居民房屋也几乎全毁。南投县信义乡多个村落的房屋被泥石流淹没。台南县和台南市位于山区的南化乡玉山村、关山村遭受泥石流危害。

莫拉克台风同时对学校带来较大的损失。全台各类受损学校总共有 1 273 所, 31 所学校受损严重, 其中南投县信义乡神木村隆华国小全部被毁, 直接经济损失预估超过 18 亿 7 千多万元新台币。

2.2 道路交通损毁

山洪、泥石流、滑坡和堰塞湖对道路交通造成了严重危害, 冲毁路基、桥梁, 其中民族桥、建山桥、宝来桥、新发大桥、六龟大桥、水里桥、新安桥、曾文溪桥、中正桥、旗尾桥、新旗尾桥、大津桥、雾台桥、大武桥、双圆桥、林边溪桥、鹿野桥、太麻里桥等 18 座桥梁损毁。道路损毁使得山区道路几乎全部中断, 严重阻断山区交通, 增大了救灾的难度, 许多重灾乡村成为孤岛, 灾民被困。

1. 公路与桥梁灾情

高雄县境内, 台 17 线双园大桥毁坏, 屏东往来高雄的交通只得改道; 台 27 线北大津路段坍方, 大津桥毁坏; 台 27 甲线六龟大桥毁坏; 台 20 线桃源路段及甲仙通往六龟段坍方, 甲仙大桥毁坏; 台 21 线那玛夏至甲仙路段坍方, 民族桥毁坏; 台 3 线旗山镇新旗尾桥毁坏。南投县境内, 台 21 线损毁严重, 信义乡寿山桥毁坏, 龙神桥附近路基冲蚀, 信义乡对外道路不通; 台 16 线集集路段和地利路段路基被冲蚀, 水里台段路基蚀空, 7 辆车 15 人掉入浊水溪中。嘉义县境内, 台 18 线阿里山公路五湾仔路段坍方, 嘉义至阿里山公路不通; 台 3 线番路乡吴凤桥台和路基被冲蚀, 大埔段坍方; 县道 149 甲线来吉大桥桥面被冲毁, 梅山路段路基冲毁; 县道 169 线阿里山乡达邦三号便桥冲毁; 县道 162 甲线梅山乡瑞峰路段路基被蚀空。屏东县境内, 台 17 线东港林边路段积水封闭, 台 24 线三地门至雾台坍方, 台 9 线狮子乡路段路基被冲蚀, 南回公路亦中断。台南县境内, 台 3 线楠西段坍方。台东县境内, 台 9 线太麻里及达仁段路基被冲蚀, 台 20 线雾鹿路基被冲蚀。云林县境内, 县道 149 甲线古坑路段坍方。断桥、塌方和路基蚀空, 使得这些山区道路阻断, 中断了和外界的交通。

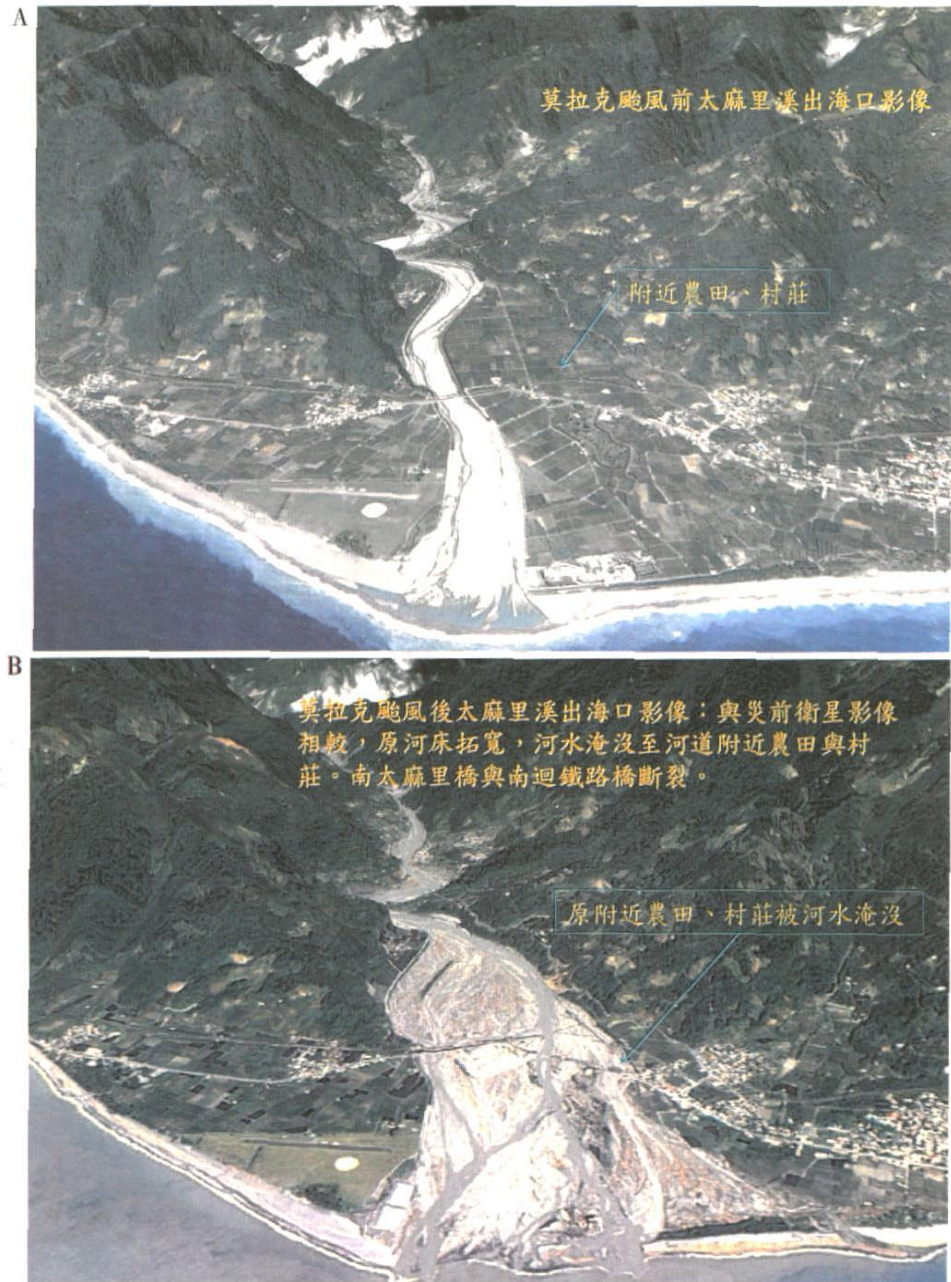


图 3 台东县太麻里溪出口洪水前后的对比

A: 台风前, FS2, 2008- 10- 05 影像; B 台风后, FS2, 2009- 08- 12 影像, 可见三角洲泛滥, 河道拓宽, 冲毁桥梁、农田及民宅。(影像来源: 中央大学太空及遥测研究中心))

Fig 3 The images for contrasting the statuses before and after flood at Tainan River mouth Taitung County

A. Image before Typhoon (FS2 image, 2008- 10- 05)

B. Image after Typhoon shows the flooded delta, widened river channel and destroyed bridges, farmlands and houses (FS2 image, 2009- 08- 12). (Image source: Center for Space and Remote Sensing Research, National Central University)

2. 铁路灾情

南回线金仑至太麻里间, 枋寮起 K71+ 200 至 K72+ 350(南太麻里溪桥), 路基蚀空 750 m, 2 座小桥被冲毁, 估计洪水退后修复工程需要 3 个月。屏東线林边至佳冬间, 高雄起 K55+ 700(林边溪桥),

3 座桥墩及 4 孔桥梁遭洪水冲毁, 南北路基各蚀空约 50 m, 估计修复工程需要 6 个月。台东线鹿野至山里间, 花莲起 K144+ 250(鹿野溪桥), 桥墩下陷, 桥面倾斜, 估计修复工程需要 3 个月。纵贯线隆田至善化间, 基隆起 K335+ 270- K335+ 310(曾文溪

桥), 桥台背后, 东西正线路基蚀空约 40 m, 深 5 m, 设备流失 4 具。南回线枋山至古庄间 k21+700 处, 枋野二号桥北端路基被蚀空。南回线大武至泷溪间 k50+450 附近, 泥石流淤埋股道约 60 m。

2.3 水利设施损毁

水利设施损毁主要表现为堤防和护岸的破坏。宜兰县兰阳溪、台中县大安溪和大甲溪、南投县乌溪和浊水溪、嘉义县朴子溪和八掌溪、台南县曾文溪、盐水溪、高雄县和屏东县的高屏溪、台东县的卑南溪等水系水利设施损毁严重。共计毁坏堤防和护岸 36 545 m, 受损堤防和护岸 11 555 m, 溢堤 11 处。这些堤防护岸的损毁, 进一步加剧了洪水灾害。

2.4 电力与通信损失

据台湾电力公司报告, 由于输电设备被毁, 约有 159 万户停电。据中华电信公司报告, 366 座基地台因受损而中断, 位于屏东与台东外海的 6 条国际海缆 (包含 SMW 3、APCN、APCN2、EAC、C2C 及 FNAL/RNAL) 被海底泥石流冲断, 约有 9 万 7 千户停话。电力和通讯中断, 使得许多村庄与外部隔绝, 为救援带来困难。

2.5 产业损失

据当地行政部门调查, 农业产物估计损失及民间设施毁损计 130×10^8 5 754 万元新台币 (以下同)。其中农作物受害面积 $72\,375\text{ hm}^2$, 农产损失约 41×10^8 526 万元, 农作物损失约 41×10^8 288 万元, 养蜂损约 238 万元, 畜禽损失约 14×10^8 2 342 万元, 渔产损失约 41×10^8 2 885 万元, 林产损失约 1×10^8 1 219 万元; 另外农业设施损失月 2×10^8 217 万元, 畜禽设施损失约 1×10^8 3 233 万元, 渔民设施损失约 2×10^8 6 134 万元, 农田损失约 26×10^8 9 199 万元; 农田流失及埋没 $2\,967\text{ hm}^2$ (损失较为严重的有: 嘉义 $7\,207\text{ hm}^2$ 、屏东 $6\,747\text{ hm}^2$ 、台东, $6\,467\text{ hm}^2$ 、高雄县 $6\,067\text{ hm}^2$)。

3 灾害成因

巨大灾害是自然因素与人为因素共同作用的结果。台风暴雨、陡峻地形和丰富的松散固体物质等自然因素决定了山地灾害形成的基本过程, 坡地过度开发、道路建设、河道不合理利用等人为因素则加剧了灾情。

3.1 自然因素

台湾岛位于西太平洋岛弧交会处, 岩层受挤压

褶曲, 断裂发育, 岩体破碎; 风化作用强烈, 风化层深厚, 松散固体物质丰富; 中央山脉隆升形成了陡峻的地形, 河流大多流程短, 河道比降大; 台风和季风影响, 降雨丰沛且多暴雨。因此, 台湾具备了形成山洪、泥石流和滑坡的条件, 是山地灾害最容易发生的区域。而此次山地灾害的直接诱发因素则是高强度、长历时的台风暴雨。

本次降雨为台湾历年之冠, 24 h 降雨量 1 825 mm, 48 h 雨量 2 467 mm, 逼近世界降雨极值。全台湾计有 31 个雨量站过程降雨量超过 1 000 mm, 23 个雨量站超过 1 500 mm, 15 个雨量站超过 2 000 mm, 南部部分区域甚至出现 6~10 日累积降雨量超过其年降雨量情形。最大总雨量位于阿里山, 08-06~10 累计雨量达 2 884 mm, 实测 1 h 降雨量 136 mm, 6 h 降雨量 548.5 mm, 24 h 降雨量 1 623.5 mm, 48 h 降雨量 2 361 mm。图 4 为台风降雨的空间分布, 嘉义县的阿里山一带为暴雨中心。表 2 为主要雨量站的累积雨量, 表 3 为降雨最多的前 10 个雨量站的降雨分析。由表 3 可见, 除八掌溪 2 个测站以外, 其余 8 个站降雨均超过 200 a 一遇的频率。

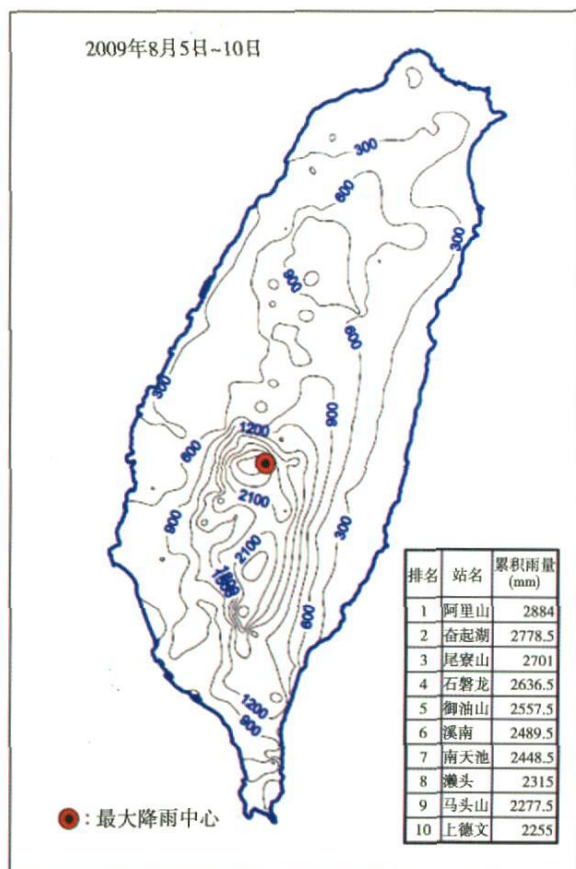


图 4 台湾莫拉克台风降雨量分布图 (水利署)

Fig. 4 Rainfall distribution induced by Morakot Typhoon in Taiwan



照片 7 高雄县六龟乡十八罗汉游客中心和道路
被洪水冲毁(照片来源:屏东科技大学)

Photo. 7 Visitor Center of Eighteen-arhats and highways were destroyed
by flood in Liugui Township, Gaoxiong County (Photo source:
National Pingtung University of Science and Technology)



照片 10 建筑物挤占河川低位阶地, 是造成洪
水灾害损失的重要原因(陈树群摄)

Photo. 10 Constructions locating on low river terrace resulted in
serious flood hazard and loss (Photo source: Chen Suchin)

A 大甲溪谷关地区温泉旅馆建于河流低阶地上, 于 2005 年玛莎台风期间被洪水泥沙淤埋。B 庐山温泉区的旅馆修建在河流低阶地上, 于 2008 年辛乐克台风洪水期间倒塌。A. Constructions of Ku Kuan (Guguan) Hotel built on the Dajaxi river terrace B. Collapsed hotel located in river terrace in Lushan Hot Spring Tourism Area during Typhoon Sinluku, 2008



照片 8 台东市富岗渔港受到漂流木危害的情形(陈树群摄)
Photo. 8 Fu-Gang Fishing Port damaged by Driftwood, Taitung
City (Photo by Chen Suchin)



照片 9 屏东县林边交流道遭受洪水灾害
(照片来源:台湾经纬卫星信息公司)

Photo. 9 The submerged town in Pingtung County, a badly suffered
county from floods (Photo source: National Pingtung University of
Science and Technology)

高强度集中降雨, 大大超过了滑坡和泥石流暴发的临界雨量值, 激发了大量滑坡、崩塌和泥石流。同时, 降雨产流远远大于溪流正常排泄能力, 导致山洪暴涨。在灾害发展过程中, 山洪冲蚀坡脚, 使得谷坡失稳, 诱发溪沟两岸群发性滑坡。滑坡的发生为泥石流形成提供了固体物质条件, 溪沟洪水为泥石流暴发提供了水动力条件。规模巨大的滑坡和泥石流进入沟道以后, 由于沟道狭窄, 形成壅塞, 堵断沟道, 形成堰塞湖。堰塞湖拦蓄上游洪水, 水位不断升高, 在持续高强度降雨作用下, 洪水溢流冲刷, 堰塞

体溃决,形成更大规模的洪水。因此,在持续高强度降雨作用下,崩塌、滑坡、泥石流、洪水等,形成灾害链,表现出成因上的互为因果、时序上的级联效应、空间上的严拓发展,从而导致了巨灾。例如,小林村

就是首先发生滑坡,滑坡的极短的时间和运动距离内在水分(土体内部水和高强度降水)作用下流态化,演化为泥石流,淤埋全村;此后又被溪流洪水冲过,进一步加剧了灾情。

表 2 台湾“莫拉克”台风降雨期间前 20 个最大降雨测站的累积降雨量
Table 2 A ccumulative rainfall of the top 20 m aximum rainfall station during M orac Typhoon

排序	雨量测站	河川流域	城镇名称	累积雨量 (mm)
1	阿里山	浊水溪流域	嘉义县阿里山乡	2 884. 0
2	奋起湖	八掌溪流域	嘉义县竹崎乡	2 778. 5
3	尾寮山	高屏溪流域	屏东县三地门乡	2 701. 0
4	石磐龙	八掌溪流域	嘉義县竹崎乡	2 636. 5
5	御油山	高屏溪流域	高雄县茂林乡	2 557. 5
6	溪南	高屏溪流域	高雄县桃源乡	2 489. 5
7	南天池	高屏溪流域	高雄县桃源乡	2 448. 5
8	濂头	曾文溪流域	嘉义县阿里山乡	2 315. 0
9	马头山	曾文溪流域	嘉义县大埔乡	2 277. 5
10	上德文	高屏溪流域	屏东县三地门乡	2 255. 0
11	大湖	八掌溪流域	嘉义县番路乡	2 243. 5
12	小关山	高屏溪流域	高雄县桃源乡	2 235. 5
13	新发	高屏溪流域	高雄县六龟乡	2 007. 5
14	玉山	浊水溪流域	嘉义县阿里山乡	2 057. 0
15	头冻	八掌溪流域	嘉义县阿里山公路	2 036. 5
16	高中	高屏溪流域	高雄县桃源乡	1 991. 5
17	新高口	浊水溪流域	嘉义县阿里山乡	1 970. 5
18	楠溪	高屏溪流域	高雄县桃源乡	1 969. 0
19	草岭	浊水溪流域	云林县古坑乡	1 952. 0
20	曾文	曾文溪流域	台南县楠西乡	1 948. 0

表 3 台湾莫拉克台风降雨 期间前 10 个最大降雨测站的 24 h 雨量分析
Table 3 24 hour rainfall analysis of the top 10 m aximum rainfall station duringM orac Typhoon

序号	雨量站	流域	乡镇名称	累计雨量 (mm)	发生时刻	相当重现 期 (a)	资料长 度 (a)
1	阿里山	浊水溪流域	嘉義县阿里山乡	1 623. 5	2009- 08- 09T14 00	> 200	28
2	石磐龙	八掌溪流域	嘉義县竹崎乡	1 583. 0	2009- 08- 09T11 00	159	51
3	奋起湖	八掌溪流域	嘉義县竹崎乡	1 570. 0	2009- 08- 09T12 00	153	51
4	南天池	高屏溪流域	高雄县桃源乡	1 443. 0	2009- 08- 09T12 00	> 200	30
5	尾寮山	高屏溪流域	屏东县三地门乡	1 414. 5	2009- 08- 08T23 00	> 200	50
6	马头山	曾文溪流域	嘉義县大埔乡	1 378. 5	2009- 08- 09T07 00	> 200	49
7	溪南	高屏溪流域	高雄县桃源乡	1 340. 5	2009- 08- 09T05 00	> 200	28
8	御油山	高屏溪流域	高雄县茂林乡	1 289. 5	2009- 08- 09T01 00	> 200	28
9	小关山	高屏溪流域	高雄县桃源乡	1 271. 5	2009- 08- 09T06 00	> 200	27
10	复兴	高屏溪流域	高雄县桃源乡	1 232. 0	2009- 08- 09T12 00	> 200	28

3.2 人为因素

人类不合理的工程活动和土地利用是造成巨大灾害损失的原因之一。人为因素从山洪、泥石流、滑坡的形成及其造成的灾害损失两方面加剧了灾害。人为因素主要有: 山区道路修筑造成的边坡开挖、山坡地过度开发和河谷过度利用。

山区道路修建时, 开挖坡脚, 形成临空面, 破坏了斜坡的稳定条件。切去坡脚的斜坡, 稳定性降低, 处于亚稳定或临界稳定状态, 在暴雨作用下, 土体强度降低或软弱结构面浸水, 形成崩塌和滑坡。同时, 大面积的垮塌为泥石流提供了丰富的松散固体物质, 当雨量充足时, 易形成泥石流。

大量报道表明, 台湾灾区对坡地的开发强度很大。过度开发山坡地会破坏原有植被, 使植被覆被降低, 易蚀性增强, 水土流失加剧。大暴雨作用下, 坡面侵蚀往往会演变成重力侵蚀, 导致崩塌、滑坡、泥石流等灾害的发生。

河谷区域地势平缓, 易于进行多种土地开发。人们往往在平缓的河谷区或冲积扇修建房屋, 发展旅游, 开垦农田, 同时忽视了预留足够的行洪通道; 甚至明知需要留有行洪空间, 为了经济利益需要利用土地, 反而挤占河道; 没有估计到山洪暴涨的风险, 把建筑建在河流的低阶地上 (照片 10)。暴雨期间水量迅速增加, 河道狭窄, 排洪不畅, 引起溪流暴涨, 形成洪水或泥石流, 冲毁堤防、房屋、农田、道路和桥梁, 造成人员伤亡。这次河谷区受灾地带许多是由开发用地挤占低位河流阶地而被洪水冲毁的, 如茂林管理处、六龟游客中心等、知本温泉区等。

4 灾害的教训与启示

“莫拉克”台风暴雨对台湾地区造成严重的人员伤亡和经济损失, 重创了灾区的社会生活和公共设施, 对灾区的社会经济发展造成了极大的困难。通过分析灾害成因, 吸取巨灾的教训, 对于两岸今后更有效地应对山地灾害, 最大限度地减轻灾害损失, 具有借鉴和启示作用。

1. 合理确定开发度, 科学利用土地资源

这次“莫拉克”台风暴雨灾害给我们的第一启示就是, 无论是山坡地还是河谷地的开发利用, 必须遵循合理适度的原则。过度开发山坡地、挤占河道、不加防护地盲目利用泥石流扇形地, 将会导致沉痛教训。利用这些土地时, 首先应进行科学的评估, 确

定其可开发利用的程度 (开发度), 在不致造成灾害隐患的前提下, 辅以相应的减灾措施, 可以进行适度的开发利用。

2. 确保山区溪流行洪空间, 把防洪需求作为河谷地开发的限制条件

河谷地是山区最有价值的开发用地, 也是山洪、泥石流等多种灾害的危险区, 是开发利益与灾害风险共存的区域, 开发利用时要处理好效益与安全的关系。河谷地开发利用前需要进行勘察与风险评估, 确定危险范围 (风险区), 根据人口密度和经济密度以及计划开发程度, 确定防洪标准, 把防洪需求作为河谷地开发的限制条件, 按照防洪要求, 保证留足排洪空间。

3. 注意环境保育, 尽量减少工程建设对斜坡的扰动

工程建设开挖与弃渣促进滑坡、泥石流等灾害发生, 是山区普遍存在的现象。在进行山区道路、城镇、水利水电工程、矿山开采等建设项目时, 要充分做好地质地貌调查, 进行环境评价, 合理设计工程, 尽可能地减灾少斜坡开挖, 做好弃渣防护, 减少由于工程扰动引发的灾害。同时, 还要注意生态的保护, 减少相邻地区的地面扰动和生态破坏。

4. 提高山地灾害预警标准, 建立巨灾监测预警机制

无论是大陆还是台湾, 已经初步建立了行之有效的山地灾害监测预警体系, 在减灾中发挥着重要作用。然而, 2009 年台湾“莫拉克”台风和 2008 年汶川地震引发大量超常规山地灾害造成巨灾的教训启示我们, 在进行山地灾害监测预警时, 除了按照历史灾害资料统计分析所确定的灾害预警临界值和预警标准实施预警以外, 一定要考虑到极端诱发因素的激发作用。建议在正常预警规范的基础上, 再考虑一套巨灾预案。也就是说, 考虑到可能发生的极端激发事件 (如强地震和强台风暴雨等), 提高预警标准, 扩大预警和临灾预案的范围。一旦出现极端触发事件, 立即启动巨灾预案, 以减轻灾害损失。

5. 以流域为单元进行开发规划, 开展灾害风险分析与管理

对于山区溪流开发利用, 应当打破行政管理界限, 把流域作为一个整体, 山坡与河谷、上游与下游统筹兼顾, 协调规划, 进行全流域综合开发与保护规划。进行流域开发时, 首先要开展系统的流域调查, 获取系统的资源、环境、成灾背景、灾害历史等数

据,作为流域开发的基础数据。接着,进行该流域的山地灾害危险度评价,确定可能出现灾害的危险区,分析潜在风险,制定相应的减灾规划,明确减灾目标对开发项目的要求。然后,进行资源和环境承载力评价和分区,确定适合不同小区的开发方式和开发强度。最后,要把开发规划的实施和减灾规划的实施相结合,并在行政管理和法规约束上保障减灾措施在开发项目实施以前落实到位。

由于条块管理和行政界线的分别,这种开发与减灾有机结合的全流域统筹规划的流域管理模式,存在着推行上的难度。但是,作者仍然希望沉痛的灾害教训和逝者宝贵的生命代价,能唤醒人们局部利益与整体利益兼顾、当代发展与永续利用并重、短期效益与长期安全共享的理性开发意识。

参考文献 (References)

- [1] Lee Chinyu, Young Wanji. Overview on debris flows in Taiwan [J]. *Science of Soil and Water Conservation*, 2006, 4(1): 109~114 [李锦育, 杨婉嘉. 台湾土石流研究综述 [J]. 中国水土保持科学, 2006, 4(1): 109~114]
- [2] 台湾灾害应变中心 [EB/OL]. <http://210.69.173.10/eoc/index.html>
- [3] 贾营, 气象局月长期天气展望 [EB/OL]. www.cwb.gov.tw/V6/

forecast/long/Data/FW14.pdf

- [4] Chen Su-chin, Hsu Chung-Li. Tyres and hazard assessment of dammed lakes induced by 8.8 flood [J]. *Engineering Science Technology Bulletin*, 2009(6): 106~112 [陈树群, 许中立. 八八水灾堰塞湖类型及其危险度评定 [J]. 工程科技通讯, 2009(6): 106~112]
- [5] Soil and Water conservation Bureau Council of Agriculture Executive Yuan. Statistics of 1503 debris flow potential stream [Z]. <http://www.swcb.gov.tw/School/school-potential-5.asp> [行政院农业委员会水土保持局. 1503条土石流潜势溪流统计表 [Z]. <http://www.swcb.gov.tw/School/school-potential-5.asp>]
- [6] Costa J E, Schuster R I. The formation and failure of natural dams [J]. *Geol. Soc. America bulletin*, 1988, 100: 1054~1068
- [7] Costa J E. Flood from Dam Failures [M]. U. S. Geological Survey Open File Report 1985, 85~560, 54
- [8] Dai F C, Lee C F, Deng J H, et al. The 1786 earthquake-triggered landslide dam and subsequent dam break flood on the Dadu River southwestern China [J]. *Geomorphology*, 2006, 73: 277~278
- [9] Cui Peng, Chen Xiaoping, Zhu Yingyan, et al. The Wenchuan Earthquake (12 May 2008), Sichuan Province, China and resulting geohazards: nature hazards [J]. *Landslides*, 2009, 6(6): 209~223
- [10] National Cheng Kung University Disaster Prevention Research Center [EB/OL]. <http://www.dprc.ncku.edu.tw/> [国立成功大学防灾研究中心 [EB/OL]. <http://www.dprc.ncku.edu.tw/>]

Formation and Mitigation Countermeasure of Geo-hazards Caused by Moarc Typhoon in Taiwan

CU I Peng¹, CHEN Suchin², SU Fenghuan¹, ZHANG Jianqiang^{1,3}

(1. Key Laboratory of Mountain Hazards and Land Surface Processes / Institute of Mountain Hazards and Environment Research, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041, China;

2. Department of Soil and Water Conservation of Chung Hsing University, Taichung, China;

3. Graduate University of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract Moarc Typhoon stood over 40 hours in Taiwan island and gave rise to intensive rainfall and many geo-hazards which resulted in a lot of lives casualty and properties loss. Due to the combination of central mountains in Taiwan Island and southwest monsoon, the weather had the features with intensive wind in the north and extreme rainfall when Moarc Typhoon control Taiwan Island. The rainfall intensity with the 1 825 mm of 24 hours rainfall and the 2 467 mm of 48 hours rainfall was the highest of Taiwan rainfall records and approached the terminal of the world rainfall. The data from rainfall observation stations of Taiwan show the rainfall exceeded 1 000 mm in 31 stations, 1 500 mm in 23 stations and 2 000 mm 15 stations. Furthermore, the accumulation rainfall from August 6th to August 10th was more than the annual rainfall in some areas of the south, and the maximal rainfall occurred at A li mountain areas and reached 2 884 mm. The durative intensive rainfall triggered large numbers of geo-hazards including flash floods, debris flows, collapses and landslides, which blocked river channels and created 16 dammed

lakes. These geo-hazards buried towns and villages and damaged quantity of highways, bridges, dikes, constructions, power and telecommunication facilities. Due to transportation block and power and telecommunication halted, many villages became isolated island so that the rescue facilities and materials could not be delivered and served in time, which postponed the rescue. When the Typhoon hit, 16 townships were heavily damaged, including Jiaxian, Taoyuan, Liguji, Nanaxia and Shanmu of Gaoxing County, Lugu, Xinyi and Guoxin of Nantou County, Alishan, Meishan and Zhongpu of Jiayi County, Gaoshu, Shandimen and Chunri of Pingdong County, Nanhua of Tainan County and Jinfeng of Taidong County. By September 8th, Moarc Typhoon and the geo-hazards had caused 619 persons dead, 76 persons missing and 74 persons injured, and Xiaolin village and Xinkai tribe had been destroyed completely. Through analyzing the formation causes of mountain hazards induced by Moarc Typhoon, it was found that Typhoon rainstorm, steep landform and abundant base solid material provided favorable natural conditions for mountain hazards forming, durative high-intensity rainstorm directly triggered mountain hazards and irrational human activities, including slope land overly development, highway construction and river channel unreasonable exploitation, aggravated the hazards loss. Then, based on the lessons of Moarc Typhoon and the induced geo-hazards, themitigation measures were put forward. Themitigation lessons and measures were put forward as follows: (1) scientifically utilizing and developing land resources on the basis of rational exploitation degree; (2) Ensuring adequate flashflood drainage channel in mountain stream and keeping the flood-prevention requirement as the precondition of valleys development; (3) strengthening environment protection and decreasing in utmost the disturbance and breakage of slopes induced by engineering construction; (4) improving early-warning standards of mountain hazards and building monitoring and warning systems of catastrophes; and (5) carrying out risk analysis and management of disasters and making rational watershed development integrating natural resources utilization and disaster prevention and mitigation.

Key words Moarc Typhoon; landslide; debris flow; flood; disaster; prevention and mitigation