

台湾土石流灾害与防治工法

李锦育

(屏东科技大学水土保持系, 台湾 屏东 91201)

摘 要: 由于近年来人类的活动空间渐往山区发展, 使得原本植生条件良好的山坡地, 在不当的开发情形下, 变成土石流发生的敏感地区, 导致灾害不断的传出。拟就土石流之定义, 及导致土石流发生机制的各项因子进行探讨, 其中包括自然成因: 地质、地形和水文等条件, 以及人类活动对土石流形成所造成的影响, 并依据土石流之各项特性整理, 提出有关土石流之防治及预警系统之工法。

关键词: 土石流; 防治工法; 预警系统

中图分类号: P642. 23

文献标识码: A

台湾的山坡地地形陡峭, 地质年代年轻、脆弱等因素, 当台风、暴雨、地震来临时, 易发生土壤冲蚀、崩塌、地滑及土石流等灾害, 近来由于人为开发, 更增加灾害的严重性, 使山坡地成为灾害的环境敏感区域; 当人类的活动与居住空间, 朝此环境敏感区渐次入侵重叠时, 坡地灾害的发生频率与规模的加剧是必然的。以台湾东部的花莲丰田村为例: 地形上可知丰田村位于由四条山谷溪流冲积而成的扇状地, 属土石流危险区域, 1961 年时本区并无入烟, 至今已发展成十余户的部落, 此种人类生活区域侵入环境敏感区的结果, 使此区灾害频传。其他如台北县林口、南投县丰丘、新竹县湖口、阳明山马槽 等地区亦曾传出灾害。

1 土石流发生之要件

大自然中地形、地貌的改变必定有其成因, 土石流的形成亦是如此, 由于土石流发生的原因相当复杂, 致使其定义也因研究观念的不同而有所差异, 但完整的土石流定义不外是由于溪床上未固结或经风化之砾石、岩屑等松散的堆积土体, 在豪雨(即暴雨, 编者注)所形成之地表径流或地下水位上升等作用

下, 使得原本安定的土体失去其稳定性, 大量的土砂砾石伴随着洪流在重力作用下沿着溪床形成一种高浓度(high-concentration mass movement)的水砂混合两相流。由上述定义可知, 土石流的形成条件比一般河道挟砂水流来得严苛, 以致土石流拥有其独特的流动形态。因此, 若将其危害情形与洪泛形成的灾害进行比较, 结果更是截然不同: 土石流不仅可在极短的时间内冲起大量的土砂砾石直接汇入江河, 或堵塞河道, 或顺流而下淤积水库, 或撞击、淹埋房舍, 对区域性农业生产、居住环境和生态之影响甚巨, 甚至改变了溪流长期之冲淤特性和输砂平衡状态, 直接或间接危害下游水工结构物及溪流两岸人口密集地区之安全; 其主要特征为突发性强、历时短暂、泥砂体积浓度高、冲蚀力强、遇阻碍不绕流而产生直接性撞击、破坏力极大, 常发生于地形陡峭之敏感地区。透过现场土石流发生后的迹地调查, 可明确归纳出土石流发生的四个基本条件, 分别叙述如下。

1.1 地质条件

经由基本定义得知, 土石流是水与土砂混合而成, 沿陡峭溪床作高速度运动的流动体, 因此其组成成分包括适量的水体和大量的土砂。从外观来看,

收稿日期(Received date): 2004- 05- 07; 改回日期(Accepted): 2004- 10- 31。

作者简介(Biography): 李锦育, (1959-), 男(汉), 台湾宜兰人, 博士。主要研究方向: 集水区经营、防砂工程和水文分析。美国科罗拉多州立大学访问学者。现任屏东科技大学水土保持系教授兼系主任。[Lee Chinyu(1959-), male, doctor, professor, mainly engaged in the research of watershed management, soil erosion control engineering and hydrologic analysis.]

编者注: 在台湾泥石流(debris flow)称之为土石流, 滑坡(landslid)称之为地滑。

土石流的先端部似乎仅巨砾在流动,而后续水流的泥砂粒径相对减小,故大量级配分布宽广之土砂是土石流流动的主体。由于台湾地处菲律宾海板块和欧亚大陆板块碰撞的交界处,地质构造运动相当频繁,岩体因受到挤压的应力作用呈现破碎且胶结不良的状态,若附加地震、风化等外营力的作用,则常可于陡峭的山坡面上发现大面积崩塌或地滑,这些崩落的土砂极易成为溪床上大量松散固体物质的来源,而人为开发或造路挖填方所产生的弃土,亦是促成土石流形成的土砂来源^[1]。

1.2 地形条件

地形条件的配合对土石流发生与否相当重要,当溪床上具备了形成土石流的基本材料——大量松散固体物质时,因自然堆积土体之摩擦阻力过大,若地形的坡度不足,在无任何外力的驱动下,即使是松散土体亦不可能造成大量集体的运动,因此,一般地形平缓区域甚少有土石流灾害发生。换言之,土石流是陡峻地形的特有产物。主要原因不外是,此种地形提供了溪床上松散固体物质足够的运动势能,用以克服其摩擦阻力而形成集体流动。通常完整的土石流溪床都具有明显的发生段、流动段及堆积段,一般都以溪床平均坡度急剧变化段进行区分。根据台湾土石流现场的调查结果显示:溪床平均坡度在 $15^{\circ} \sim 30^{\circ}$ 最容易发生土石流,以 15° 为土石流发生的临界坡度,作为土石流流动之溪床平均坡度约介于 $10^{\circ} \sim 20^{\circ}$,至于可以让土石流运动停止之堆积区平均坡度则是介于 $2^{\circ} \sim 10^{\circ}$,而统计显示以 6° 最多^[2]。

1.3 水文条件

水体不仅是土石流的组成成分,更是其形成的诱发因子,经国内外的研究学者统计结果显示,台风、豪雨来临的同时常伴随着土石流发生。此即说明水体渗入地质破碎且胶结不良的坡面后,容易造成大面积的土体崩落,当陡峻溪床上堆积大量松散固体物质时,经由水体的触发作用,使原堆积的大量土砂稳定性降低,并在地形条件的配合下形成集体流动,此时运动状态中的土石流水体则转变成润滑剂,用以减低大量土石流动时与溪床间的摩擦阻力。故一定强度的降雨,或地下水位上升等水体的提供,对土石流的形成是必要的。根据以往的研究显示,一场暴雨累积雨量达 60 mm 以上时,即有可能发生土石流的机会。

1.4 人类活动影响

为了减轻人口快速成长所造成之社会压力及增

加休憩地点,人类往山区活动或住居的情形有逐年增加的趋势。居民以不断的开发来从事经济性生产,而将原植生状况良好且安定的原始林木砍伐以改以农作物取代,使得大面积的土壤裸露,导致涵养水源的能力降低,间接增加地表径流;或是因增加造路、开辟社区等不当开发行为,所造成地表水流集中或顺着道路流下,促成地表径流集中等。由以上探讨可知,人类活动的影响不但造成大量土石流失,更缩短洪峰到达时间且提高尖峰流量,这些都是导致土石流更加快速形成的有利条件。

由上述四点的说明可知,土石流并非于任何单一的条件,或一朝一夕即可形成,必须要有各项的条件彼此配合,才能形成。因此,为了有效地防止土石流发生或减低其灾害规模,我们可经由降低每一个土石流发生的有利条件,令其无法发生。然就土石流发生的四个必备条件而言,其中的地质、地形及水文等因素都属于自然条件,不易为人类所能控制,而仅能从加速其发生的主要因素——人类活动影响因子予以抑制,以达到减低灾害的规模。

2 土石流特性

关于土石流的描述繁多,早在数十年前已有众多学者对此现象做过调查与研究,以下将列举数位学者对于土石流的性状描述:将土石流归为湿流(Wet Flow)的一种,其特征为含有高比例之粗质岩屑(Fragments),另外又提及土石流几乎都是发生异常降雨或突然解冻的土壤,由于径流之冲击而发生,尤以较深层土壤之植生覆盖被除去时更易形成。此种高密度流体含大约 60%~70%之固体,常沿着原来的水路混合着树木及低矮灌木,沿途各种土石堆积物均随之卷入;所经之处会形成V型的冲刷痕迹,当大量流体流过时,较粗大的砾石会在流路中堆积成天然坝。针对土石流提出以下之特性:(1)土石流为土石与水混合的集体搬运流体。(2)通常岩块、大砾石及流水集中于土石流之先端部,回转滑动而下。(3)流下时,其横断面中央部分突出,纵断面先端部隆起。(4)侵蚀力极强,溪床及两岸的土砂堆积被淘刷伴随而下,更增加其体积。(5)停止时,可保持其流下时之型态,后续部为含水量较多的土砂流。

有学者形容台湾的土石流:“土石流发生于陡峭的溪谷或斜坡面上,崩塌土石或风化砾石岩屑之松散土层,受豪雨形成的地表径流或土层地下水位上

升的作用, 而失去原有的安定状态, 高浓度的土砂石伴随洪水在重力作用下沿着自然坡面流动的现象”^[2]。

2 1 土石流之分类

土石流为具有高浓度的水、沙或石砾之混合流体, 由于其运动时受重力作用而冲击力极强、破坏力大, 并以段波型态作高速运动, 故有别于一般坡面崩塌、地滑及河川输沙现象。土石流以其位置及材料可区分为以两种不同型态。

1. 依位置分类
- 发生区域, 流下区域及停止、堆积区域。
2. 依土石流之型级或构成材料而分类
- (1) 砂砾型土石流(Debris Flow): 先端部含有巨

大的岩石砾群, 甚具冲击力及破坏力, 具直进性, 后续可有泥流或高浓度的土砂流。先端部在 $4^{\circ} \sim 10^{\circ}$ 的地形停止, 后续部继续流下, 长为灾害之主因。

(2) 泥流型土石流(Mud Flow): 依发生地区可分为泥流(第三纪地层较多)及火山泥流(火山地带较多), 二者流动的速度较快, 先端部成无砾石群的段波状较多。

(3) 土砂流(Sediment Flow): 为土砂流出最多的状态, 呈层状的流动与堆积, 其流速近于流水之流速。

今将砂砾型土石流与泥流型土石流特性描述如表 1 所示。

表 1 砂砾型土石流与泥流型土石流的区别^[3]
Table 1 The differences between sandy debris flow and mud flow

特性	砂砾型土石流	泥流型土石流
0.1 mm 粒径	含量一般< 10 %	含量一般> 50 %
主要地质	花岗岩、变质岩、古生代砂岩	火山灰堆积地区、第三纪地层之凝灰岩、页岩及粘、板岩地域
流速系数	5<	> 5(一般为 10~ 15)
防砂坝的举动	砂堆状之堆积	跳跃(有时)
土砂源的现象	溪床(> 15°) 堆积物的破坏	地滑性崩塌, 活火山的喷出
堆积特性	前端的停止界线明了	前端的停止界线不明了

2 2 土石流之流动与堆积特性

土石流系由大量土石和水混合所形成的高浓度集体流动, 在重力作用的配合下, 巨大砾石都集中于先端部, 并以段波的形态向下游溪床运动, 此与一般水流冲刷河岸、河床土石, 所形成的明渠挟砂水流截然不同, 故对河道中、下游的危害方式异于洪泛灾害, 其中包括淤埋、冲刷、撞击、堵塞、漫流改道及磨蚀等。因此, 了解土石运动特性就显得格外重要, 以河道下游溪床堆积区为例, 由于溪床坡度变缓与土石脱水现象, 使得土石流之流动性减弱, 甚至停止流动而造成堆积, 所以该区域土石流的危害方式, 主要以撞击和淤埋为主。但是此处往往人口较密集区, 因此, 让土石流发生后于安全地区停积, 是减低其危害程度最有效的方法。以下就土石流的流动与堆积分别予以探讨:

1. 流动性状
- (1) 土石流先端部常呈隆起状, 巨砾集中于先端部及表面, 乍看之下似乎只有石砾在运动, 整体为高浓度水砂混合流体的集体搬运。
- (2) 表面行进速度较土石流平均速度为快, 而近

床面的流速明显降低。当土石流先端部通过后, 后续流横断面中央部分则低下, 其中砾石大小、浓度及流量等相对减小。

(3) 典型的土石流流态, 是以间歇性段波形态作高速运动的流动体, 但其波的周期并没有一定的规则可循。

(4) 直进性强, 容易形成新的流路, 若通过弯道处时, 内外岸之流位高差大。

(5) 土石流的侵蚀力强, 流心部分之破坏大。

(6) 坡度至某值(一般约< 4°) 以下时, 全体之运动逐渐停止, 并开始堆积。

2. 堆积原因及堆积性状

(1) 流路坡度变缓之地形: 一般土石流发生区的地形坡度都> 15° 。当土石流于溪流上游发生区形成后, 因重力及水体润滑的作用, 可经由中游的流动段往下游快速输送。由于其流速快, 冲蚀力强, 对河道底床及两岸进行强烈的切割, 造成边坡的基脚流失, 且地形变化剧烈。但对下游区段进行输送时, 却因流路地形的坡度逐渐变缓, 所能提供土石流之流动势能减小, 导致其停止于地形坡度较缓的堆积区。

根据统计的结果显示,堆积区的坡度约介于 $2^{\circ} \sim 10^{\circ}$ 间。

(2) 流路宽度变大之地形: 土石流堆积的另一个原因是流路扩宽所致, 当其流出溪流谷口或流路变宽处时, 因原有的溪床边坡约束力突然消失, 以及急速的脱水现象产生, 使得土石流之流动性逐渐减弱, 而失去土石流的流动势能, 大量的土砂向溪岸两旁平坦地区扩张堆积, 经调查发现一般堆积扇平面扩张的角度都在 15° 以上, 但实际范围须视现场情况而定。因此, 若能将以上两个堆积因子予以结合, 令土石流在坡度平缓且流路宽阔之地区形成堆积, 必能使土石流停积的效果更佳。

(3) 阻挡堆积: 由现场土石流的调查可发现, 在不属于上述两种地形条件下, 亦能形成小规模土砂堆积, 探讨其堆积原因, 可分成自然法和人工法两种的弯曲度及缓冲林区, 都因阻挡作用使土石流的流速降低, 导致水与土砂分离而形成停积; 相同地, 人工法则是于溪床上构筑拦阻或淤积工, 利用人为的方法将土砂与水体强制分离, 造成工事上游溪床面的局部堆积, 但往往因所能拦蓄的土砂量有限, 必须建构相当数量的捕捉或停积工, 才能达到有效的堆积作用。以土石流研究先进的日本及奥地利等国家为例, 为减少土石流的土砂总流出量, 对人口密集地造成撞击及淤埋等灾害, 通常于中、下游溪床构筑一系列的工法, 包括开放式坝、沉砂池及缓冲林带, 以人为强制的方法, 令大量的流动土石停积。

(4) 堆积性状: 土石流之扇状或舌状堆积模式, 可由多次流向不定之土石流段波以辐射状扩散堆积组成。当土石流是由微细土砂含量高, 且粘稠性大的土砂主体所组成, 则常会形成数个耳状之堆积。一般常见的典型堆积形态, 因构成土石流的土砂粒径级配较不均匀, 堆积物前端部分之砾石常呈规则排列, 且皆为粗砾石块所组成, 挟带少量颗粒较细之砂砾及粘性土砂。由此可知: 土石流的堆积形态, 和其组成土砂之物理特性及地形有着直接且密切的关系。

4 土石流潜感溪流

土石流潜感溪流又称为土石流危险溪流, 为土石流防灾措施中最重要的一环, 其准确的判释可提早进行土石流灾害防治措施, 大大降低灾害程度。水不仅是土石流的组成条件, 更是激发土石流发生

的直接条件, 在一定的降雨特性及地质条件下, 集水区的大小可代表径流量及崩积物的多寡; 形成土石流除了需要足够的地面坡度外, 尚需丰富的砂砾堆积物及充沛的水量。于 1995 年公布台湾地区土石流危险溪流之调查结果, 共有 485 条危险溪流。台湾地区国有林地内土石流危险溪流, 在九二一震灾后有 260 处; 其中新竹(新竹、苗栗县辖) 16 处、东势(台中、苗栗县辖) 49 处、南投(南投、云林县辖) 109 处、嘉义(嘉义、云林县辖) 38 处、屏东(屏东高雄县辖) 3 处、台东(台东县辖) 24 处、花莲(花莲县辖) 19 处、罗东(宜兰县辖) 2 处。均已列图册请各林区管理处复查监测。

4.1 土石流潜感溪流判释因子

影响土石流潜感溪流危险度的因子很多, 在有限的时间及资料上, 无法将所有的因子纳入考量, 一般是选用几个较重要、具代表性且不难取得者, 作为其危险度之评估因子, 包括: 有效集水面积、水土保持状况、集水区溪床平均坡度、集水区形状系数、集水区之断层长度、集水区崩塌地面积及保护对象等。由现场调查台湾花莲土石流发生情形, 结果显示: 土石流发生频繁的地区, 其坡度 $> 10^{\circ}$ 的集水区面积均 $> 5 \text{ hm}^2$ [4]。因此, 运用坡度及集水区两个土石流发生的地形指针, 于地形图上寻找符合此地形指针表的溪流, 列为现场调查的对象, 进一步分析其地质、水文特性, 以判定土石流发生的可能性(图 1)。

1. 有效集水面积

流域内之集水面积愈大则蓄存雨量的能力愈大, 若溪床内所聚集的松散土石愈多, 土石流发生的机率愈大。依日本建设省显示土石流发生区约在溪

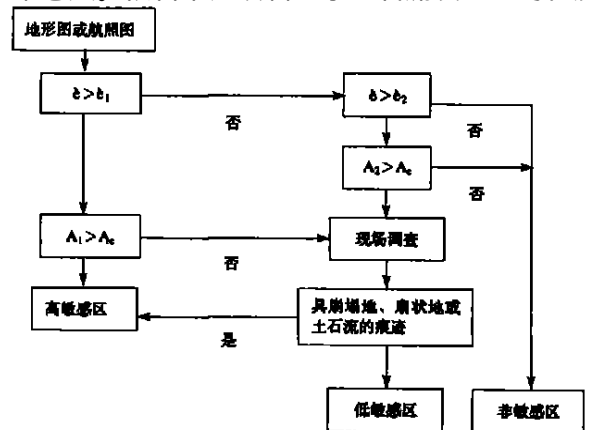


图 1 土石流潜势溪流判释流程^[5]

Fig. 1 Interpretative flow chart for potential stream of debris flow

床坡度 15° 以上, 故以溪床坡度 15° 以上之有效集水面积所汇集的雨水, 对土石流的诱发起较大的作用, 因此以有效集水面积作为危险度之评估因子。

2. 水土保持状况

土石流之发生需要足够的松散土砂, 而水土保持的好坏关系着集水区内土砂量与径流量的多寡。良好的林地覆盖可减少径流、防止地面冲蚀及增加土壤抗剪强度。

3. 溪床坡度

由于土石流的运动型态与坡度有密切的关系, 溪床坡度随纵断面由上游至下游皆有变化, 因此溪床坡度的大小决定土石流的运动型态, 亦决定土石流的发生与否, 故将溪床坡度列为危险指针。

4. 集水区形状系数 (Form factor, 简称 F)

集水区形状系数为集水面积与主要河川长度平方的比值, 为一无因次参数, 代表单位河川长度之平均宽度。当 $F < 1$ 时, 集水区成狭长型; 溪床边坡之坡度对溪谷边坡的稳定性有极大的影响, 集水区形状成狭长型时其溪流边坡之坡度较大, 愈导致边坡崩塌而堆置于溪床上, 因此形状系数对土石流潜

感溪流的评估扮演着相当重要的角色。

5. 断层长度

发生土石流的所在地一般为破碎带、风化层厚、地层胶结不良、断层带、褶皱多等环境中, 然而, 关于此点目前未有学者作出详细的归类。

6. 崩塌地面积

崩塌地崩落后所堆积的土石较为松软, 易被径流带至溪床堆积而成为土石流的料源, 因此可利用潜感溪流集水区内之崩塌地面积与集水区面积之比值, 做为评估潜感溪流危险度之指针。

7. 保护对象

虽然保护对象与土石流的发生原因无关, 但土石流的防治目的, 即削减或减轻土石流灾害对人民生命财产的威胁, 故保护对象为土石流潜感溪流评估时不可或缺的考虑因子。

4.2 土石流潜感溪流危险度之判定

根据前人提出的土石流潜感溪流之判定方法^[6], 将以上 7 个评估因子对土石流潜感溪流之评估方法, 列如表 2 所示。

表 2 土石流潜感溪流危险评估表
Table 2 Risk evaluation for portential stream of debris flow

项目		危险分级及指针(W_i)		
		低度危险 $W_i = 1$	中度危险 $W_i = 2$	高度危险 $W_i = 3$
危险因子	有效集水面积(hm^2)	< 30	30~ 90	> 90
	溪床平均坡度	$< 15^{\circ}$	$> 25^{\circ}$	$15^{\circ} \sim 25^{\circ}$
	集水区形状系数	> 0.7	0.35~ 0.7	< 0.35
	崩塌地面积比值(%) (崩塌面积与集水面积之比值)	< 0.5	0.5~ 0.1	> 0.1
	断层长度比值(%) (断层长与集水区周长之比值)	< 5	5~ 17	> 17
	水土保持状况 开垦面积, D (%)	$D < 10$	$10 < D < 30$	$D > 30$
危害因子	保护对象	作物(果园、农田等)	道路、桥梁等	房舍结构物
危险评定	土石流危险度指针(DI)	< 1.7	1.7~ 2.4	> 2.4

土石流危险度指针(Danger Index, DI)可依下列公式计算

$$DI = \frac{\sum_{i=1}^N \beta_i W_i}{\sum_{i=1}^N \beta_i}$$

式中 W_i 为各项影响因子之危险度指针; β_i 是各项影响因子之权重; N 为影响因子之个数。

W_i 指针分为 1、2、3 三种,各表示低度危险、中度危险及高度危险;于一般情况下 $\beta_i=1$,当 $\beta_i>1$ 时表示该因子较其他因子影响性较高;反之, $\beta_i<1$ 时表示该因子较其他因子影响性较低。土石流危险指针最低值为 1,最高为 3,一指针大小可将土石流潜感溪流的危险性区分为高、中、低三种等级,做为评定土石流潜感溪流危险度之依据。台湾与日本对土石危险区域所考虑的评估因子,如表 3 所示。

为消除土石流形成的机制与降低发生时所造成的灾害,大抵的防治原则如:抑制工法、拦阻工法、淤积工法、疏导工法及高密度缓冲林带等方法,详细的规划设计内容,于水土保持手册及水土保持技术规范中已有详细的介绍,本文中不再重复;另外,根据土石流的防治目的及发生地之地形、水文等条件的

考量;土石流防治的对策可分为预防对策及防治对策^[8],如图 2 所示。

表 3 台湾与日本土石流潜感溪流之评估因子^[7]
Table 3 Evaluation factors for portential stream of debris flow
between Taiwan and Japan

编号	台湾	日本
1.	有效集水面积	堆积前之坡度($4^{\circ} \sim 6^{\circ}$)
2.	溪床平均坡度	堆积土量($20\,000\text{ m}^3$)
3.	集水区形状系数	堆积停止长度
4.	崩塌地面积比值	堆积最大幅
5.	断层长度比值	堆积深度
6.	水土保持状况	最大粒径
7.	保护对象	分散角
8.		分散幅比

5 土石流防治工法

依前述的防治原则,各项工法之配置需以整体规划的方式相互运用,才能发挥其最大之功效,将灾害减至最低的程度。兹将常用工法分为抑制、拦阻、淤积、疏导及缓冲林带等工法介绍如下:

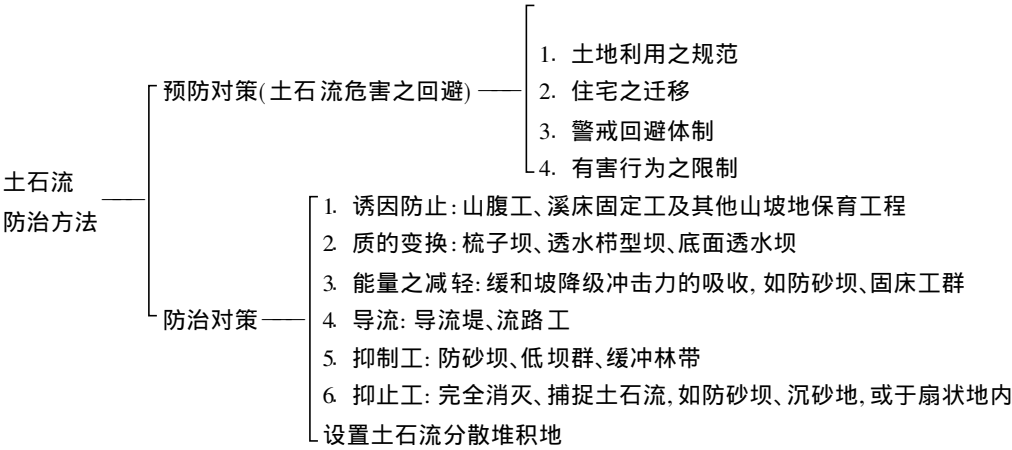


图 2 土石流之防治方法
Fig. 2 Conunter measurements for debris flow

5.1 抑制工法

1. 农地水土保持

农地的开发利用及不当的整地,容易造成土壤冲蚀、坡面裸露及崩塌等灾害,成为上游河床土石流的堆积料源。因此,需配合农地水土保持设施,以减低灾害的发生机会并提高生产效益;主要的方法如:山边沟、平台阶段、农地排水、蚀沟治理、植生覆盖与

敷盖等。

2. 崩塌地治理

崩塌地所产生的土石往往成为土石流发生的最佳料源,不可不重视之。一般来说,崩塌地处理的基本原则为消除外在的诱因及内在的素因,其处理原则包括:(1)消除或减少崩塌的诱发原因。(2)对坡脚或岸边施以稳定工程,如:挡土措施、护岸处理等。

(3) 施以坡面及地表下排水工程。(4) 崩塌面及坡面施以边坡稳定工程, 如: 整坡、砌石阶段、截泄沟、分段筑坡、坡面喷浆、自由梁法及锚锭工程等。(5) 植生工程加速植生导入, 迅速覆盖坡面, 完成立体、多样的复层植被, 使局部、暂时安定坡面。

5.2 拦阻工法(防砂坝)

为拦蓄河道泥沙、调节泥沙输送、稳定河床及两岸崩塌、防止冲蚀及抑制土石流所构筑 5 m 以上的横向结构物; 防砂坝可依现场时地需要, 加入其他的设施辅助, 将防砂坝加入阶段净水池。一般而言, 防砂坝依构造可分为透过性坝及非透过性坝, 非透过性坝在防治上虽有其优点, 但其透水性差、贮砂空间易被淤埋, 且常造成中下游河床的溪床淘刷等缺点, 近年来多采用透过性防砂坝; 透过性坝于土石流防治的应用中, 一般有梳子坝、切口式坝、立体格子坝及水平透水坝(Bottom Infiltration Screen)等, 其相关防治功能已有许多学者专家陆续发展、研究中, 台湾地区的土石流防治工程亦相继的采用之; 然而, 对于开放性坝与土石流的拦阻效应、效率、经济价值、坝距及梳距对拦阻的影响等未有深入研究与结论, 使得常有设计不当或误用的现象。

5.3 淤积工法

1. 导流工

其主要目的系将土石流引导至安全地带或沉砂设施中, 一般常以护岸、固床工及整流工等配合使用。

2. 沉砂设施

系使土石流淤积于特定范围, 以避免造成更大的灾害, 一般多设于河谷出口处坡度较缓的土石流淤积区, 以容纳自中下游流下的土石粒料; 沉砂设施常因受用地及经费的限制, 因此其容量很难满足实际需要, 需经常性地保持空库状态, 以承受土石流发生时的大量土石。

5.4 疏导工法(固床工)

于集水区上游溪床土石堆积较多的河段构筑固床工, 可抑制土石流的发生; 于土石流可能经过的河段构筑固床工, 可防止刷深溪床, 避免土石流获取更多的土石料源。固床工依现场需求可与其他设施结合相辅相成, 以固床工配合带工、护岸, 以防止基脚刷深。

5.5 缓冲林带

林地最佳的且符合自然生态的水土保持方法, 除了可防止土壤冲蚀、抑制土砂生产外, 对水资

源涵养、边坡稳定及维护生态环境等亦有相当大的助益。山坡地除了维持自然的林木生长外, 如有裸露地, 应即植生造林。

6 土石流之预警系统

根据调查估计, 台湾本岛具有土石流灾害危险性的溪流约 1 420 条, 全面施设硬件防治工程, 以抑制土石流之发生, 或降低已发生的土石流的成灾威力, 恐有缓不济急之虞。因此, 在未能全面地、可靠地控制土石流之发生及危害时, 采用预报与警报之软件避难措施, 对可能发生的土石流作出预报, 对已发生的土石流发出警报, 使人们有避难逃生之机会, 以避免或减轻人员伤亡及贵重财产损失, 是相当可行之对策。

6.1 土石流预警系统之种类

土石流之警报方式可概分为事前预警及事后警告两种, 分别说明如下:

1. 事前预警

系指利用某些与土石流密切相关的因子做为预警指针(Warning Index), 在土石流发生之前, 当预警指针超过其设定基准时, 即先向当地民众发出警报。此类预警系统一般采用降雨量为预警基准。目前普遍采用的方式, 是在土石流危险溪流上游的某处设置雨量站, 直接量测当地降雨量, 经过一定的统计程序处理后, 比较预先设定之雨量基准值, 若降雨量超过此基准值, 则立即对可能发生的土石流, 提前约若干小时作出预报。但是, 由于山区雨量于空间上之变异性大, 选择具有代表性的雨量站地址相当不易, 加上全岛已知多处土石流危险溪流, 逐一设置雨量站牵涉庞大的设备维护、管理、人员编制及训练等问题。

2. 事后警告

系指于土石流发生后, 利用土石流之运动特性与洪水、地滑等现象之运动特性差异, 达到触发警报之目的, 常用类型如下所述: (1) 钢索触动型警报系统: 系以土石流之冲击力拉动钢索而触发警报系统; (2) 震动型警报系统: 利用土石流在流动过程中所产生的震动, 当震动频率高于其设定基准时即发布警报; (3) 其他: 另有利用土石流运动中所发出的声响, 其音频特性与洪水大不相同, 因此, 当音频达到土石流繁为时即发布警报, 惟实用性尚待评估。

土石流撞击力感测装置具有多种不同型式, 例

如钢索、或钢索网、或压力转换器(pressure transducer)、或荷重计(load cell)等均属之。撞击力感测装置除了可固定于溪流两岸的岩盘上或其他较为牢靠之地点外,亦可将之安装于透过性或非透过性防砂

坝上,藉由降雨量及撞击力(或地声)感测装置传送土石流发生之正确信息,以适时发布警报,避免流至下游之土石流伤及人命,可谓一举两得。将以上两种警报系统之优缺点分析,如表 4 所示^[5]。

表 4 土石流事前、事后 预警系统优缺点之比较
Table 4 The differences of warning system before and after debris flow

优劣	土石流之事前预警	土石流之事后警告
优点	1. 接获警报后,居民的应变时间较充裕。 2. 警报基准较易设定。 3. 设备易于安装,不易损坏。	预警准确性较高
缺点	预警准确性较低	1. 接获警报后,居民的应变时间较短 2. 警报基准不易设定。 3. 设备不易安装,且损坏率高。

一般而言,对已发生或正在发生土石流之集水区发布警报,其准确度较高。例如,以“降雨”的时变过程,可据以判断土石流发生的可能时间;或利用“仪器”侦测土石流发生前溪流的水位,或土砂堆积层的水压,或发生后其运动先端部撞击感应之异常变化,即可精确获知土石流之发生。然而,土石流之发生和发展,除受地形、地质、水文、气象等多种自然因素之制约外,尚与溪流土砂生产速度、生产方式及不当土地开发等因素密切相关,非常复杂,故目前尚难获取较为可靠的因子,有效地预测土石流发生的各种条件、时间及其可能被害之规模。

6.2 台湾地区土石流预警系统之现况

台湾过去所作的土石流预警研究,多利用降雨资料推估土石流之发生时刻,以有效降雨强度及有效降雨量作回归。然而,对于结合台湾各集水区之水文、地文特性等来进行分析之相关研究甚为缺乏。岛内有关土石流发生与降雨特性及其他相关因子之研究^[9, 10]报道不多。因此土石流预警系统仍有以下缺点:

1. 准确性不足。

雨量型土石流预警系统仅以雨量做为预警指针,对于其他土石流的发生因子如堆积物状态等未加以考虑,导致预警系统的准确性降低。

2. 预警系统与各及防灾体系的联系薄弱。

现有之警报系统于警报发布时,仅以扩音装置通知该地居民,及利用自动电话系统通知指定单位或负责人(2个频道),若无人接听时则警讯无法进一步处理,使居民于疏散时慌乱而不知所措。

3. 对突发状况缺乏应变能力。

现有的警报系统于警报的发布或警讯的传递,完全仰赖通讯硬件,缺乏实时性的危机研判与应变。其装置及准确性等仍尚待改良、加强,整体架构仍思考不够周延,期待日后能更进一步探讨、研发。

7 结论与建议

7.1 土石流潜感溪流

台湾地区对于土石流潜感溪流的判定仍未尽周详,是否人烟稀少的地区也有发生土石流而危害居民的顾虑?是否当地所考虑的地形、水文及现地利用状况等因子已有完整的现场调查资料以供参考。对于土石流危险区域所考虑的评估因子是否可参考,比对日本、奥地利等国家所选用的评估因子及危险溪流的划定审核^[11],毕竟这些国家对于土石流的相关研究起步较早,他们成功或失败的例子可做为我们的借镜。

7.2 土石流预警系统

由于土石流发生临界降雨条件之设定不易,且须配合危险溪流的坡度、宽度、堆积的土石粒径、堆积厚度、堆积土石之含水量、降雨时间与空间之分布及地表径流发生的过程等加以评估。但上述影响因子资料的取得不易,最简单的方法即由历年暴雨资料配合土石流发生的与否,进行统计分析,故台湾地区土石流预警系统利用有效累积雨量及前期有效累积雨量做为临界降雨的指针。然而,却因土石流发生时的降雨资料不足,及山区的降雨时间与空间的变异过大等影响,导致土石流预警的准确性过低,及预警系统与各及防灾体系的联系薄弱的情形,是否

有另外的补救措施, 尚待专家学者们的发展与研究^[12]。

7.3 土石流防治工法

台湾地区对于土石流防治工法的相关研究尚嫌不足, 尤其是对于最常使用的开放式防砂坝, 对于坝体间距、开口大小与形状、计划淤沙坡度、上游可能土石之最大粒径等相关研究与调查未尽完善, 若能有影响拦砂效益的重要因子着手, 探讨现场的地文、水文特性与坝体特性, 如宽度、间距及开口大小与形状等之相互影响, 并以无因次的方式呈现, 可供规划人员即刻使用、参考之, 以减少设计不当的情形。

参考文献(References):

- [1] Chen Hsinhsiung. Investigation and Analysis of Landslides [M]. 1995. 10~ 14. Bo Hai Town Culture Foundation Co. [陈信雄. 崩塌地调查与分析 [M]. 渤海堂文化事业有限公司, 1995. 10~ 14.]
- [2] Jan Chyandeng. Introduction to Debris flow [M]. 2000. 4~ 11. Scientific Technology Book Co [詹钱登. 土石流概论 [M]. 科技图书股份有限公司, 2000. 4~ 11.]
- [3] Shieh Haojung. Sediment related disasters on slopeland and their control methods [J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 1997, **29**(2): 125~ 135. [谢豪荣. 坡地之泥沙灾害与其防治法 [J]. 水土保持学报, 1997, **29**(2): 125~ 135.]
- [4] Shieh Chenglun, Chen Lijen. A study on the danger ranks of potential debris- flows [J]. *Journal of Chinese Soil and Water Conservation*, 1993, **24**(1): 13~ 19. [谢正伦、陈礼仁. 土石流潜在溪流危险度之评估方法 [J]. 中华水土保持学报, 1993, **24**(1): 13~ 19.]
- [5] Shieh Chenglun, Chen Lijen. The present and future of debris-flow warning system [A]. Proceedings of the Second Debris Flow Conference [C]. Hualien, 1999. 308~ 315. [谢正伦、陈礼仁. 土石

流预警系统之现况与展望 [A]. 见: 花莲, 第二届土石流研讨会论文集 [C], 1999. 308~ 315.]

- [6] Chi Yunyao, Tu Lihua, Tsai Yuanfan, *et al.*. Study on the master planning of debris flow river [A]. Proceedings of the Second Debris Flow Conference [C]. Hualien, 1999. 190~ 201. [纪云曜、杜丽华、蔡元芳、赖文基. 土石流危险溪流整治规划之研究 [C]. 花莲, 第二届土石流研讨会论文集, 1999. 190~ 201.]
- [7] Huang Hungpin. Prevention works on debris hazards [A]. Proceedings of the Second Debris Flow Conference [C]. Hualien, 1999. 202~ 216. [黄宏斌. 土石流灾害之防治对策 [A]. 见: 花莲, 第二届土石流研讨会论文集 [C], 1999. 202~ 216.]
- [8] Shieh Haojung. The sediment related disaster of typhoon Herb and the control methods of debris flow [A]. Proceedings of the First Debris Flow Conference [C]. Chitou, 1997. 45~ 53. [谢豪荣. 贺伯台风之泥沙灾害与土石流之防治法 [A]. 第一届土石流研讨会论文集 [C], 1997. 45~ 53.]
- [9] Fan Jenchen, LIN Senrung. Application of the study on the hydrologic and physiographic criteria of debris flow to debris flow warning [A]. Proceedings of the First Debris Flow Conference [C]. Chitou, 1997. 125~ 139. [范正成、林森荣. 土石流发生之水文及地文条件应用于土石流预警之初步研究 [A]. 第一届土石流研讨会论文集 [C], 1997. 125~ 139.]
- [10] Fan Jenchen, Mao Chentai. Rainfall characteristics at the places where debris flows had ever occurred in Shou-Lin, Hualien [J]. *Journal of Chinese Soil and Water Conservation* [J]. 1997, **28**(1): 47~ 57. [范正成、毛振泰. 花莲县秀林乡土石流发生处降雨特性分析 [J]. 中华水土保持学报, 1997, **28**(1): 47~ 57.]
- [11] Huang Hungpin. Comprehensive review for debris flow studies in Japan [J]. *Journal of Chinese Soil and Water Conservation* [J]. 1993, **24**(1): 83~ 90. [黄宏斌. 日本之土石流研究回顾 [J]. 中华水土保持学报, 1993, **24**(1): 83~ 90.]
- [12] Jan Chyandeng. Assessment and prediction of debris flow hazards [J]. *Journal of Chinese Soil and Water Conservation* [J]. 1994, **25**(2): 95~ 102. [詹钱登. 土石流危险度之评估与预测 [J]. 中华水土保持学报, 1994, **25**(2): 95~ 102.]

Disaster and Counter Measurements of Debris Flow in Taiwan

LEE Chinyu

(Department of Soil and Water Conservation, National Pingtung University of Science and Technology, Pingtung, 912 Taiwan, China)

Abstract: In many densely populated mountain regions for centuries, governmental agencies or the inhabitants themselves try to protect settlements and traffic routes. Debris flows are usually initiated on hillsides or in channels on the upstream of a watershed. The main purpose of this paper is to undertake the relationships between the occurrence's mechanism of debris flow and the geologic, topographic, hydrologic characteristics and the human activities are reviewed in order to discuss the active counter measurements and warning system.

Key words: debris flow; counter measurement; warning system