

# 台湾地区山坡地之崩塌与地滑特性之探讨

谢豪荣\* 许中立

(中兴大学水土保持学研究所·台湾台中市)

**摘 要** 台湾地区由于地质上受到欧亚大陆板块与菲律宾海板块的挤压,褶皱剧烈、地质构造脆弱,加以受到地势陡峻、高温、台风与地震作用以及人为之不当开发等影响,造成山坡地之破坏面积相当广阔,而致使人民之生命财产蒙受重大损失。

本文乃以过去20年期间,对崩塌地与地滑地所进行之调查与研究资料予以整理比较,得知台湾地区发生崩塌与地滑的地质均属第三纪至第四纪的地层,滑动方向则以南向为主,滑动深度虽依不同崩滑型态而异,但其平均坡度则约在 $10\sim 20^\circ$ 之间,诱发滑动的原因仍以受台风豪雨与基脚遭受人为之开挖或溪床之淘刷为最。在防治工程中常采用地表水与地下水的排除工程和基脚压土工等之抑制工程,以及挡土墙与打桩等之抑止工程。上述之地质特性与破坏机制以及防治工程可供相关机关尔后对台湾地区之崩塌与地滑之相关研究与处理时参考。

**关键词** 边坡破坏 豪雨 地质

## Characteristics of Hillslope Failures in Taiwan

Hao-Jung Shieh Chung-Li Hsu

(Institute of Soil and Water Conservation, Chung Hsing University, Taichung Taiwan)

**Abstract** Taiwan is located in the mobile belt of the eastern side of Main Land—Asice and the Pacific Ocean, and highly susceptible to accidents of hillslope failures as a result of contributing factors such as geography, topography, geology, earthquake, typhoon, heavy rainfall, and improper landuses.

This paper based on data collected over past twenty years, summarizes the following results. Frequent slope failures in Taiwan are characterized by young geological formation of the Tertiary Period and the Quaternary Period, failure surfaces with southern aspect, and the average slope of  $10\sim 20^\circ$ . Triggering factors are heavy rains during typhoon, river erosion, and slope cultivation and development. Based on the cases studied, the engineering methods for slope protection are drainage ditch, drainpipe, drainage well, retaining wall, and piling work.

**Key words** hillslope failure heavy rain geology

## 1 前 言

在台湾由于地势陡峻,加上地质年代尚属年轻,又位于欧亚大陆板块与菲律宾海板块之交接

① 收稿日期 1995-05-10 ※ 中兴大学水土保持研究所教授。

处,因而地质结构较为脆弱且地层活动频繁。在气候方面由于位处亚热带气候区,全年高温而多雨且降雨又集中之故,使得面积高达全台湾的73%之山坡地随处可见崩塌与地滑之灾害。

据1964~1977年间之统计调查结果,发生崩塌与地滑之面积约占全台湾面积之0.4%(约15000hm<sup>2</sup>),面积可谓相当之广阔。然而近些年来由于社会、经济之繁荣进步,促使都会区之迅速发展及膨胀,使人们的活动逐渐地由平地而往山坡地扩展,而引起许多坡地的灾害,其中尤以崩塌与地滑为巨。如此在自然与人为因素的双重作用之影响下,使得坡地的稳定问题较往昔更趋为复杂。

一般而言,对于引发边坡产生滑动与崩坏的原因大致可分为“潜因”与“诱因”。潜因中包括地质构造、所含粘土矿物的种类与土壤化育情形等地层之内营力所引起者;而由外营力作用所引起之诱因者,有如降雨与其所衍生之地下水位的上升而造成之土壤抗剪强度减弱,以及道路的开辟等破坏土块内部之平衡行为等。

由于这些因素间的相互影响,需经大量的专业性之调查、观测与分析工作才可加以厘清,惟在台湾地区迄今仍未有天然灾害相关之汇报与统筹机关,因此可供参考之崩塌与地滑灾害的完善调查与分析以及规划之成果并不多,故本文乃以过去20年期间,在台湾地区所治理之崩塌地与地滑地以及参考其他学者之调查与研究资料加以整理比较,而予以归纳台湾之山坡地边坡破坏的原因与治理之规划方案,以供为尔后从事相关工作者之参考。

## 2 基本分类方法

地滑、山崩、土石流、落石、陷落(subsidence)等,由于受重力之直接作用而引起的土块或岩块的移动总称为(mass wasting)。一般以“山崩及地滑”或“山崩地滑”,甚至以“山崩”一语来概括之,在外国有时以(landslide)用于广义上,或以(landslide and slope land fall movement)总称(mass wasting)。

崩塌(land fall)与地滑(landslide)同为山坡地中经常发生之灾害,然而其间之分别却常受到个人的所学背景、观点或应用目的等之不同而有所差异。崩塌与地滑之相异处可列举如表1所示。

### 2.1 崩塌与地滑之分类

对于崩塌与地滑的分类,由于提出的学者所依循的方式或所根据之作用型态不同而产生分类上的许多差异,兹将过去有关之主要分类方式与项目逐列如下:

2.1.1 地滑之分类 一般言引发地滑现象之相关因素与诱因非常错综复杂,很难以单一基准而加以整理,现就以地质之分类(地质学的概念)、几何形状之分类(几何学的概念)与运动特性之分类(物理学的概念)而列举如下:

#### 1. 基於地质学的概念之分类

(1) 小出博(1953)。第三纪层地滑(tertiary slide);破碎带地滑(sheared slide);温泉余土地滑(solfatatic clay)。

(2) 中村(1966):依地质年代分类。第三纪层地滑;中生层地滑;古生层地滑;变质岩地区地滑;火成岩地区地滑。

(3) 渡正亮(1976)。岩盘(幼年型)地滑;风化岩(青年型)地滑;崩积土(壮年型)地滑;粘质土(老年型)地滑。

表1 崩塌与地滑的区分

项 目	地 滑	崩 塌
地质	大多发生于特定之地质或地质构造。	与地质关联性较少。
土质	主要以粘性土为滑动面而滑动。	砂质土亦常发生。
地形	发生于5~20°之缓斜面,特别是上部具有台地状之地形时最常发生。	大多发生在20°以上之陡峻倾斜地。
活动状况	继续性、再发性。	突发性。
移动速度	大多为0.01~10mm/d,一般速度慢。	速度很快,在10mm/d以上。
土 块	土块之扰动少,大多维持原状而移动	土块被扰动。
诱 因	受地下水之影响大。	受降雨影响,特别是雨量强度。
规 模	1~100hm <sup>2</sup> ,规模大。	规模小,1hm <sup>2</sup> 以下。
征 兆	发生前产生龟裂、下陷、隆起以及地下水变动等征兆	发生之征兆不明显,突发性滑落。

## 2. 基于几何学的概念之分类

(1) 谷口敏雄(1972)。圆弧型地滑;平面型地滑;匍匐型地滑。

(2) 山口真一(1976)。流动型;单层型;移动期间相同之多层型;移动期间不同之多层型;中间型;复合型。

3. 基于物理的概念之分类:主以斜面物质(土壤)之运动为主要基准。

(1) 植村:以运动形式分为:creep型;slide型;flow型;fall型。

(2) 驹村:以运动物质之质流性(rheological)的特性(物质)分为:粘弹性型;粘塑性型;粘弹性型。

2.1.2 山崩之分类 山崩之发生与地质无一定之关系,并且运动时间极为短促之故,很难用地质或运动样式而予以分类,因而只以几何学概念中之崩塌规模(崩塌之深度、面积、体积等)而予以分类。

1. 町田:以崩塌土量而分类。

(1) 巨大崩坏( $10^7 \sim 10^9 \text{m}^3$ )。

(2) 中间型基岩崩坏( $10^4 \sim 10^6 \text{m}^3$ )。

(3) 岩屑、表层崩坏( $10^1 \sim 10^3 \text{m}^3$ )。

2. 以深度而分类。

(1) 表层崩坏。

(2) 深层崩坏。

2.1.3 其他分类 除以上在日本方面之分类外,台湾地区与国外亦曾有学者将之分类并列举如下。

1. Varnes(1978):依据崩塌运动型态分类。(1) 崩落型破坏;(2) 倾倒型破坏;(3) 滑动型破坏(弧型滑动,移动型滑动);(4) 流动型破坏;(5) 移坍型破坏;(6) 复合型破坏。

2. 陈世芳、黄清益(1979):依滑动时机将地滑分为三类。(1) 继续型:系缓慢发生,一般其移动速率甚微;(2) 间歇型:具有安定期与活动期,两时期呈周期性间歇发生;(3) 突发型:地层突发急剧之滑动者。

综观以上的各种不同之分类再衡量台湾地区的特性以及过去之试验调查资料而采用小出博、中村与谷口之分类方式,亦即依据地质与土层特性,再配和边坡破坏后的平面形状,以及地形几何参数(如长度、宽度、深度与坡度等)而加以区分则可得到较佳成果。

## 2.2 治理工程种类

目前对于崩塌或地滑之治理方法,不外乎有下列三种:第一为抑制工法(control works)又称为诱因之除去法,即改善其地形、土质与地下水等状况,以除去发生破坏诱因或恢复边坡平衡状态之工法,如迳流渗透之防止工程、河工构造工程、地表排水工程与地下排工程;第二为抑止工程(restrain works),即靠著抑止构造物之兴建来调整其滑动体之力学平衡状态,以抑止滑落运动体之一部或全部,以抑止对区域内或附近地区之各种设施及住宅等发生危害之工事,如土块除去法、挡土墙工法、锚钉工法、打桩工法、基础桩工法与加劲工法等;第三为特殊工法,即改变滑动土体之土质特性的方法,如生石灰打桩工法、烧结法、电气排水法、灌浆工法与地盘改良法等。然而因为引起崩塌或地滑之因素错综复杂,再加上地层於滑动时会产生庞大的能量,实非单独的方法所能承担,故有效之治理对策必须运用多种方法并能同时配合进行,方能收事半功倍之效。

依据上述之治理工程分类方式,除可比较出过去所调查地区所采用的治理工法外,可经由归纳分析而得到不同类型的地层崩塌或滑动之对应治理,并供为今后处理相类似之灾害防治工程时的参考。

## 2.3 崩塌地之调查

由于迄今在台湾仍未有天然灾害汇报与统筹上较具规模之机关,因此甚少有关过去崩塌灾害的资料可供比较研究,唯一的调查工作系由水土保持局之前身“山地农牧局”于1982至1989年间对台湾地区山坡地之范围所实施的崩塌地调查工作。调查项目系已依各县市崩塌面积、不同标高崩塌处数与崩塌面积、不同区位崩塌处数与崩塌面积、不同地质条件与崩塌面积、不同坡度崩塌处数与崩塌面积等而加以整理。

据其分析大致可了解台湾山坡地的崩塌以西南部地区发生最多,且有一半以上的崩塌地分布在标高100m~500m之间地区;崩塌发生的区位以山腹者最多,山顶者次之;崩塌的面积在1hm<sup>2</sup>以下者占60%;地质则以卓兰层砂岩、泥岩最多。

如以造成崩塌的主要因素河岸冲蚀、溪流刷深、涌流、迳流集中、开垦、开路、地质因素与其他等之相关性予以分析,则以开垦开路与地质因素所引起之崩塌处数较多,其崩塌面积亦较大。以植被言南部地区之崩塌地其地表植生较为稀疏,北部地区之崩塌地其植生较为密。又低海拔地区之崩塌偏向宽、短型,其发生崩塌坡度在30°~40°之间较多。高海拔地区则较偏向上下狭长型较常发生在40°~60°之间。

本文系据上述的调查,以及近20年来所从事研究与治理过的崩塌地与地滑地,以进行不同分类间的大小差异性,而归纳台湾地区之崩塌地与地滑地的特性。

# 3 资料分析与讨论

搜集将近20年来在台湾地区曾经治理过之崩塌地与地滑地,共计45处,并参照国内、外之分类而予以分析比较。其结果如表2所示。

## 3.1 崩塌与方位

由统计的结果可看出在“东南”向的边坡发生之破坏频率最高,其次是南向,而东北与西南向则位居第三,如表3所示。又整个偏南方向(包括东南、南与西南)的百分比达63.64%,为本地区最主要的边坡破坏方位,此乃由于台风与热带低气压等之雨水大都由南向北经过,而促使较高频率的崩塌与地滑之故,至于其他方向的边坡破坏除东北向因季风作用外,均不显著并甚少出现大规模的破坏。此结果大致与水土保持局所做过之调查结果相类似,即南向之边坡比北向之边坡易发

生崩塌。

表2a 台湾地区近20年重大崩塌与地滑灾害调查统计表

名称	位置	调查年份	地质	规模	平均集水坡度	滑动面积	滑动方向	滑动深度	滑动层性质	滑动原因	滑动形状	治理工法
水湳洞崩塌地	台北县		第三纪更新世早期安山岩层倾向15°	面积3m <sup>2</sup>	45		北		堆积层	开路降雨	马蹄型	
高速公路八堵交流道地滑地	台北县		第三纪中新世中期南港砂岩层倾向30°		30				风化岩层	开路降雨		
大竿林地滑地	基隆市		第三纪中新世早期木山层砂岩走向N45E倾向22ES	面积12hm <sup>2</sup>	22		东南		风化岩层	降雨基脚人为开发		
半屏山地滑地	高雄市		第四纪更新世隆起珊瑚石灰岩层走向N40E倾向35ES	长度320m 宽度180m 面积6hm <sup>2</sup>	35		东南	25m	岩盘岩层	开发采矿降雨	马蹄型	
头份珊瑚湖地滑	苗栗县		第三纪更新世头科山层与第四纪更新世红土台地堆积走向N10E倾向15ES	长度250m 宽度75m 面积2hm <sup>2</sup>	6		东南	25m	风化岩层	溪流淘刷降雨	马蹄型	
龙潭三水崩塌地	桃园县	1975	第四纪更新世红土台地堆积	长度250m 宽度400m 面积10hm <sup>2</sup>	15		东	12m	堆积层	台风豪雨	角型	
中兴岭地滑地	台中市	1980	第三纪更新世头科山层与第四纪更新世红土台地堆积	长度270m 宽度210m 面积5.8hm <sup>2</sup>	9	8hm <sup>2</sup>	南	8m	堆积层	开路重车加载震动耕作增加渗排水不良	角型	地表水排除工(卵石混凝土沟)地下水排除工(集水井与横向集排水管)河工构造物(混凝土拦砂坝)挡土工(蛇笼式挡土墙)
屏遮那地滑地	嘉义县	1981	第三纪上新世卓兰层泥岩	长度1986m 宽度664m 面积80hm <sup>2</sup>	20		东南	9m	破碎堆积层	地震台风豪雨	马蹄型	地表水排除工(卵石混凝土沟)地下水排除工(集水井与横向集排水管)坡面整理工(平台阶段)边坡植生工(克育草与台湾赤杨)河工构造物(混凝土拦砂坝)挡土工(蛇笼式挡土墙与明隧道式挡土墙)
仁寿地滑地	嘉义县	1981	第三纪上新世卓兰层泥岩	长度384m 宽度128m 面积5hm <sup>2</sup>	28	8hm <sup>2</sup>	东北	4m	风化泥岩层	开路台风豪雨	马蹄型	地表水排除工(钢筋混凝土沟)坡面整理工(平台阶段)边坡植生工(萱草与狼尾草)
光正地滑地	台中市	1982	第三纪上新世卓兰层泥岩走向N5E倾向25E	长度470m 宽度200m 面积15hm <sup>2</sup>	17	37hm <sup>2</sup>	东南	8m	破碎堆积层	溪流淘刷排水不良	马蹄型	地表水排除工(卵石混凝土沟)地下水排除工(集水井与横向集排水管)坡面整理工挡土工(蛇笼式挡土墙)
台东杉原崩塌地	台东县	1983	第四纪更新世利吉层青灰泥岩	长度280m 宽度150m 面积4hm <sup>2</sup>	12	4hm <sup>2</sup>	西南	8m	风化泥岩层	向源侵蚀降雨地震	马蹄型	地表水排除工(高田管、铁皮沟与浅槽)地下水排除工(集水井与横向集排水管)挡土工(蛇笼式挡土墙)

表2b 台湾地区近20年重大崩塌与地滑灾害调查统计表(续)

名 称	位 置	调 查 年 份	地 质	规 模	平均集水坡度	滑动方向	滑动深度	滑动层 性 质	滑 动 原 因	滑 动 型 状	治 理 工 法
曾文水库八德桥地滑地	嘉义县	1984	第三纪上新世锦水页岩层走向N20E倾向15ES	长度625m 宽度300m 面积24hm <sup>2</sup>	16	北	30m	风化岩层	溪流淘刷台风豪雨开路	马蹄型	地表水排除工(混凝土沟)地下水排除工(集水井与横向集排水管)基脚填方挡土工(蛇笼式挡土墙)
内湖地滑地	台中市	1984	第三纪更新世头科山层与第四纪更新世红土台地堆积	长度350m 宽度90m 面积3.2hm <sup>2</sup>	13	东南	3m	堆积层	溪流淘刷耕作增加入渗排水不良	泽型	地表水排除工(卵石混凝土沟)地下水排除工(集水井与横向集排水管)河工构造物(混凝土拦砂坝)
麻竹窝地滑地	台中市	1984	第三纪更新世头科山层与第四纪更新世红土台地堆积走向N16E倾向26E	长度100m 宽度80m 面积1hm <sup>2</sup>	14	东南	5m	堆积层	溪流淘刷耕作增加入渗排水不良	马蹄型	地表水排除工(卵石混凝土沟)地下水排除工(集水井与横向集排水管)河工构造物(混凝土拦砂坝)挡土工(钢筋混凝土挡土墙)
松茂地滑地	台中县	1984	先第三纪变质岩层片岩与变性石灰岩	长度700 宽度500 面积30hm <sup>2</sup>	38	西北	20m	风化岩层	溪流淘刷台风豪雨	马蹄型	
汐止叭口港地滑地	台北县	1985	第三纪中新世早期大寮层走向N85W倾向30WS	长度135m 宽度78m 面积2hm <sup>2</sup>	15	西南	10m	风化岩层	溪流淘刷降雨	马蹄型	地表水排除工地下水排除工(集水井与横向集排水管)挡土工
金瓜石地滑地	台北县	1985	第三纪中新世中期南港砂岩层	长度250m 宽度90m 面积3hm <sup>2</sup>	22	东北	6m	风化岩层	台风豪雨排水不良采矿爆破震动	马蹄型	地表水排除工(混凝土沟)挡土工(混凝土挡土墙)河工构造物(混凝土拦砂坝)
大甲铁砧山崩塌地	台中县	1985	第四纪更新世红土台地堆积走向N85W倾向22EN	长度270m 宽度90m 面积2hm <sup>2</sup>	20	东北	3m	堆积层	溪流淘刷台风豪雨	马蹄型	河工构造物(混凝土拦砂坝与堤防护岸)边坡植生工(百喜草、银合欢与相思树)挡土工(蛇笼式挡土墙)
中寮仙峰岭地滑地	南投县	1985	第三纪上新世卓兰层走向N10W倾向40EN	长度570m 宽度430m 面积16hm <sup>2</sup>	17	东	15m	风化岩层	向源侵蚀	酒瓶型	地表水排除工(混凝土沟)河工构造物(混凝土拦砂坝)挡土工(蛇笼式挡土墙)
彰化民族新村地滑地	彰化县	1986	第三纪更新世头科山层与第四纪更新世红土台地堆积	长度97m 宽度88m 面积1hm <sup>2</sup>	15	南	9m	堆积层	降雨	角型	地表水排除工地下水排除工(集水井与横向集排水管)基脚填方工
中埔地滑地	嘉义县	1986	第三纪上新世锦水页岩层走向N17W倾向18W	长度439m 宽度247m 面积12hm <sup>2</sup>	23	西南	12m	风化泥岩层	溪流淘刷降雨	马蹄型	地表水排除工地下水排除工(集水井与横向集排水管)基脚填方工
石冈埤头地滑地	台中县	1986	第三纪上新世卓兰层走向N20E倾向23ES	长度280m 宽度100m 面积2hm <sup>2</sup>	25	东南	7m	风化岩层	开路排水不良	泽型	地表水排除工挡土工(蛇笼式挡土墙)
草岭地滑地	云林县	1986	第三纪上新世卓兰层与锦水页岩层以中新世早期桂竹林层走向N40W倾向12WS	长度2200m 宽度2300m 面积500hm <sup>2</sup>	22	西南	新鲜岩层	地震溪流淘刷降雨		角型	

表2c 台湾地区近20年重大崩塌与地滑灾害调查统计表(续)

名称	位置	调查年份	地质	规模	平均集水坡度	滑动面积	滑动方向	滑动深度	滑动层性质	滑动原因	滑动形状	治理工法
新增太平高地滑地	新竹县	1987	第三纪更新世头科山层与第四纪更新世红土地堆积走向 N80W 倾向 10WS	长度600m 宽度150m 面积9hm <sup>2</sup>	10	西南	7m		新鲜岩层	溪流淘刷	泽型	地表水排除工(卵石混凝土沟)地下水排除工(集水井与横向集排水管)挡土工(蛇笼与混凝土式挡土墙)
瑞芳深澳地滑地	台北县	1987	第三纪中新世中期南港砂岩层走向 N40E 倾向 35ES	长度190m 宽度100m 面积1hm <sup>2</sup>	20	2hm <sup>2</sup>	南	6m	风化岩层	台风豪雨基脚人为开发	马蹄型	地表水排除工(卵石混凝土沟)挡土工(蛇笼式挡土墙与喷浆)河工构造物(钢管格笼混凝土坝)
竹崎麻米薯山地滑地	嘉义县	1987	第三纪上新世卓兰层泥岩	长度375m 宽度210m 面积5hm <sup>2</sup>	37		南	7m	风化岩层	台风豪雨开路	马蹄型	
大坑浊水巷地滑地	台中市	1989	第三纪上新世卓兰层走向 N5E 倾向 26ES	长度200m 宽度50m 面积1hm <sup>2</sup>	22		南	4m	风化岩层	溪流淘刷开路排水不良	泽型	地表水排除工(混凝土沟)地下水排除工(横向集排水管)挡土工(蛇笼式挡土墙)
瑞芳侯硐煤崩塌地	台北县	1989	第三纪中新世中期石底层与现代堆积层走向 N45E	长度300m 宽度100m 面积2hm <sup>2</sup>	34		西南	10m	堆积层	溪流淘刷弃土堆积不实排水不良	角型	地表水排除工(混凝土沟)河工构造物(混凝土拦砂坝与堤防护岸)
曾文水库茅埔仔地滑地	台南县	1990	第三纪中新世早期十六份页岩走向 N35E 倾向 20E	长度300m 宽度150m 面积5hm <sup>2</sup>	17	7hm <sup>2</sup>	东	8m	风化岩层	水库蓄水淘刷排水不良	马蹄型	地表水排除工(钢筋混凝土沟与盲沟)河工构造物(箱笼护岸)挡土工(蛇笼式挡土墙)基脚填方工
造桥崩塌地	苗栗县	1990	第三纪上新世卓兰层现代堆积层	长度50m 宽度50m 面积.5hm <sup>2</sup>	16		东北	3m	堆积层	人为开发降雨	马蹄型	
竹崎溪心寮地滑地	嘉义县	1990	第三纪上新世卓兰层泥岩	长度630m 宽度290m 面积18hm <sup>2</sup>	7		东南	13m	风化岩层	开路降雨	马蹄型	
中横公路72K崩塌地	台中县	1990	第三纪亚变质岩卢山层板岩与片岩	长度200m 宽度100m 面积2hm <sup>2</sup>	25		东南	6m	破碎堆积层	开路降雨耕作增加入渗	马蹄型	
池上大坡地滑地	台东县	1991	第三纪上新世一更新世利吉层泥岩	长度100m 宽度225m 面积2hm <sup>2</sup>	18		西	3m	风化岩层	人为开发降雨	角型	
石门水库三光一号崩塌地	桃园县	1991	第三纪渐新世一中新世澳底层板岩走向 N40E 倾向 35ES	长度150m 宽度60m 面积1hm <sup>2</sup>	29		东南	6m	风化岩层	溪流淘刷	马蹄形	地表水排除工(混凝土沟)坡面整理工挡土工(自由梁工与喷浆)
石门水库三光二号崩塌地	桃园县	1991	第三纪渐新世一中新世澳底层板岩走向 N35E 倾向 70ES	长度150m 宽度90m 面积1hm <sup>2</sup>	45		南	2m	破碎堆积层	溪流淘刷	马蹄形	地表水排除工(混凝土沟)河工构造物(丁坝与混凝土堤防护岸)边坡植生工(铺网客土喷植)挡土工(锚钉、钢筋格与打桩编棚)

表2d 台湾地区近20年重大崩塌与地滑灾害调查统计表(续)

名称	位置	调查年份	地质	规模	平均集水坡度	滑动面积	滑动方向	滑动深度	滑动层性质	滑动原因	滑动形状	治理工法
石门水库三光三号崩塌地	桃园县	1991	第三纪渐新世一中 新世澳底层板岩	长度210m 宽度50m 面积1hm <sup>2</sup>	46		东南	2m	破碎堆积层	溪流淘刷 降雨	马蹄形	地表水排除工
石门水库三光四号崩塌地	桃园县	1991	第三纪渐新世一中 新世澳底层板岩 走向N40E 倾向55ES	长度280m 宽度60m 面积1hm <sup>2</sup>	40		东南	2m	破碎堆积层	溪流淘刷 开路排水不良	马蹄形	地下水排除工(横向 集排水管)河工构造 物(轮胎坝)挡土工 (卵石混凝土挡土 墙)边坡植生工
石门水库三光五号崩塌地	桃园县	1991	第三纪渐新世一中 新世澳底层板岩 走向N45E 倾向25WN	长度220m 宽度90m 面积2hm <sup>2</sup>	43		东南	2m	破碎堆积层	溪流淘刷	马蹄形	河工构造物(轮胎 坝)挡土工(锚钉,自 由梁与喷浆)
石门水库三光六号崩塌地	桃园县	1991	第三纪渐新世一中 新世澳底层板岩	长度200m 宽度180m 面积3hm <sup>2</sup>	37		北	6m	风化石层	溪流淘刷	马蹄形	地表水排除工(混凝 土沟)地下水排除工 (横向集排水管)边 坡植生工(客土喷 植)挡土工(混凝土 挡土墙与打桩编栅)
澎湖外土安地滑地	澎湖县	1992	第三纪更新世头科 山层与第四纪 更新世玄武岩	长度130m 宽度170m 面积3hm <sup>2</sup>	30		东	10m	新鲜岩层	降雨	角型	地表水排除工(钢筋 混凝土沟)地下水排 除工(集水井与横向 集排水管)基脚填方 工
曾文水库獐头崩塌地	嘉义县	1992	第三纪中新世早 期南庄层页岩 走向N45E 倾向35WN	长度1400m 宽度50m 面积7hm <sup>2</sup>	26		东北	7m	破碎堆积层	向源侵蚀 降雨	泽型	地表水排除工(跌水 与混凝土沟)地下水 排除工(横向集排水 管)坡面整理工(平 台阶段)河工构造物 (混凝土拦砂坝)挡 土工(箱笼护坡挡土 墙)
明潭水库地滑地	南投县	1993	第三纪渐新世水长 流层与白冷层以及 第四纪更新世红土 台地堆积与现代 堆积层	长度130m 宽度80m 面积1hm <sup>2</sup>	17		东南	8m	风化石层	水库水位 下降 台风暴雨	马蹄型	地表水排除工(卵石 混凝土沟)挡土工 (锚钉与蛇笼式挡土 墙)
曾文水库伊斯基安那崩塌地	嘉义县	1993	第三纪中新世中期 达邦层页岩走向 N45E 倾向20WN	长度285m 宽度230m 面积3hm <sup>2</sup>	23		东北	7m	破碎堆积层	向源侵蚀 降雨	酒瓶型	地表水排除工(跌水 与混凝土沟)坡面整 理工(平台阶段)边 坡植生工河工构造 物(混凝土拦砂坝)
新埔湖口台地南缘崩塌地	新竹县	1994	第四纪更新世红土 台地堆积与全新世 阶地堆积层走向 N18W 倾向86S	长度500m 宽度1200m 面积6hm <sup>2</sup>	8		南	25m	堆积层	溪流淘刷 降雨 (梅雨)	角型	地表水排除工(跌水 与皱纹钢板沟)地下 水排除工(集水井与 横向集排水管)边坡 植生工河工构造物 (丁坝与混凝土堤防 护岸)挡土工(全套 管桩,锚钉与加劲式 挡土墙)
太平湾槽地滑地	台中县	1995	第三纪上新世卓兰 层与现代堆积层走 向N5W 倾向40E	长度220m 宽度60m 面积2hm <sup>2</sup>	24		东	15m	堆积层	台风暴雨 弃土堆积 排水不良	泽型	地表水排除工(泄槽 与钢筋混凝土沟)坡 面整理工(平台阶 段)边坡植生工河工 构造物(钢筋混凝土 拦砂坝)挡土工(钢 管桩,蛇笼与混凝土 挡土墙)



表3 崩塌与地滑地区破坏方位统计表

方位	北向	东北	东向	东南	南向	西南	西向	西北	合计
破坏个数	3	6	5	15	7	6	1	1	44
百分比%	6.8	13.6	11.4	34.1	15.9	13.6	2.3	2.3	—

3.2 崩塌与平均坡度

边坡之平均坡度为较不易认定的项目之一,本文乃采用斜坡(主轴)长度与高程差相比之方式而计算其平均坡度值,将所得之结果再依10°、20°、30°、40°之分级方式而分别予於比较崩塌地与地滑地之分布情形,其结果如表4所示。在崩塌地中有75% 发生在20°以上之边坡,而30°以上之边坡仍占有43.75%;地滑地中则有58.62%发生在20°以下之边坡,而30°以下边坡之发生率则高达89.66%,可谓与崩塌地的平均坡度之分布趋势相反;如以崩塌与地滑合并计算之边坡破坏机率言最高者为10°~20°之边坡,其次为20°~30°之边坡。如再以台湾地区之平均坡度予于分类,其结果如表 5所示。即10°~30°之面积占全台湾面积的40%,因此如以坡地面积所占之比率而言则已超过50%,换言之台湾地区的山坡地经常有崩塌与地滑之灾害发生的可能。

3.3 崩塌与地滑之规模

一般言崩塌地之面积均较地滑地之面积为小,根据本文之调查分析亦得到类似之结果。崩塌地部份以2hm<sup>2</sup>以下的面积,占整个崩塌地个数的60%左右;而地滑地则以大于10hm<sup>2</sup>的面积最多,但小于2 hm<sup>2</sup>的地滑数量亦不算少,显见发生地滑的面积之介域(range)很大。如此整个边坡破坏的案例即包含崩塌与地滑言以面积为2 hm<sup>2</sup>以下者占44.2%,因此台湾地区的山坡地边坡破坏仍以小规模而多点式之崩坏或滑动为主(如表6所示)。至于大规模之边坡滑动虽亦由于地震等而有发生的可能,但为数不多。

表4 崩塌与地滑地区平均坡度统计表

坡度等级	< 10°	10°	— 20°	20°	— 30°	30°	— 40°	> 40°
崩塌个数	0		4		5	3		4
百分比%	0		25.0		31.3	18.7		25.0
地滑个数	5		12		9	3		0
百分比%	17.2		41.4		31.0	10.4		0
合计	5		16		14	6		4
百分比%	11.1		35.6		31.1	13.3		8.9

边坡破坏之平均坡度与面积的大小关系,则如图1所示,在图中扣除40hm<sup>2</sup>以上较大型之边坡滑动者,则可看出在坡度较缓时破坏的面积会随著坡度之增大而增加,但在坡度较陡时其破坏的面积则会随著坡度之增加而减低。此现象可用数值分析中,对非对称函数“指数型衰减跳动”之模式而予以测试其所涵盖的范围。

表5 台湾地区坡度与土地面积统计表

坡度等级	面积百分比(%)	面积(hm <sup>2</sup> )
< 10°	33	1187340
10°~20°	14	503720
20°~30°	26	935480
> 20°	27	971460
合计	100	3598000

表6 崩塌与地滑地区面积统计表

面积等级	<1hm <sup>2</sup>	1~2hm <sup>2</sup>	2~3hm <sup>2</sup>	3~5hm <sup>2</sup>	5~10hm <sup>2</sup>	>10hm <sup>2</sup>
崩塌个数	5	4	3	1	2	0
百分比%	33.3	26.7	20.0	6.7	13.3	0
地滑个数	5	5	2	4	4	8
百分比%	17.9	17.9	7.1	14.3	14.3	28.5
合计	10	9	5	5	6	8
百分比%	23.3	20.9	11.6	11.6	14.0	18.6

$$A = D * \exp(-k * D) * S$$

式中:A :面积(hm<sup>2</sup>);D :平均坡度(°);k :衰减系数;S :放大因子。

经最小平方法计算之结果,再采用平移放大后即可得如下之涵盖整个边坡破坏的面积与平均坡度关系的曲线式:

平均代表式:  $A = D * \exp(-0.079\ 71 * D) \ n = 41 \ , \ r = 0.635\ 9$

涵盖方程式:  $A = D * \exp(-0.079\ 71 * D) * 4.5$

3.4 崩塌地之深度

以边坡发生破坏的深度而言,小面积的崩塌地大部份之深度均不超过10m 左右,如表7所示,而破坏面积愈广则其深度亦愈深。又崩塌与滑动地区之破坏深度均以5~10m 的机率为最高之原因,可能系与台湾地区地质年代较轻而且堆积层与风化岩层厚度不深,以及泥岩与页岩层之分布深度位态有关。此外台湾地区虽常受台风豪雨与梅雨等季节性之强烈降雨作用,但其所影响到的地层深度可能只及10m 左右。至于深度达20m 以上之结构性边坡破坏,则只有在地震或其他地质作用的影响下才可引起。

3.5 崩塌与坡向和倾角

在比较边坡破坏之方向与地层之倾角走向时,如表8所示无论是崩塌地或地滑地其为顺向型或交错型(顺着地层倾向成某种角度的移动)破坏之机率均高达90% 以上。尤其是顺向型破坏的机率将近60% ,因此在顺向坡地区所进行之工程或人为的开发行为应特别加以注意其安全,至於逆向型破坏的情形则甚少发生,但大都以非自然因素所引起。

表7 边坡破坏深度统计表

深度等级	< 5m	5~10m	10~20m	>20m
崩塌个数	6	7	1	0
百分比%	42.9	50.0	7.1	0
地滑个数	5	13	5	4
百分比%	18.5	48.2	18.5	14.8
合计	11	20	6	4
百分比%	26.8	48.8	14.6	9.8

表8 边坡崩塌与地滑破坏方向与倾向关系统计表

破坏方向种类	顺向型破坏	交错型破坏	逆向型破坏
崩塌个数	6	4	1
百分比%	54.5	36.4	9.1
地滑个数	10	6	1
百分比%	58.8	35.3	5.9
合计	16	10	2
百分比%	57.1	35.7	7.1

3.6 崩塌地之平均代表数值

表9 崩塌与地滑地区规模平均数值统计表

项 目	宽度(m)	长度(m)	坡度(°)	深度(m)	面积(hm <sup>2</sup> )	倾角(°)
崩塌类个数	14	14	16	14	15	9
数 值	121.4	303.2	29.9	5.4	2.83	32.1
标准差	96.225	323.00	11.661	3.4409	2.5612	19.277
地滑类个数	27	27	29	27	28	17
数 值	227.6	392.6	19.8	11.2	9.75	29.2
标准差	242.46	366.54	8.6275	7.5245	15.661	17.027
全体之个数	41	41	45	41	43	26
数 值	191.3	362.1	23.4	9.2	7.34	30.2
标准差	209.33	350.83	10.834	6.9156	13.076	17.507

综观以上之统计分析,再依崩塌地与地滑地之平均数值间的差异性予以比较。以平均宽度、长度、破坏深度与面积而言,地滑地均较崩塌地之平均数值为高。以平均坡度与地层倾角部分言,则崩塌地明显大于地滑地之平均值。根据本文之分析台湾地区之崩塌地之平均坡度约为30°、破坏深度约为5m、崩坏面积约为2~3 hm<sup>2</sup>,而地滑地之平均坡度则约为20°、滑动深度约为10m 左右、滑动面积则约10hm<sup>2</sup>。此与以往其他学者所统计的结果极为接近,因而应可被视为台湾地区

之崩塌地与地滑地的指标值。又以倾角与平均坡度之关系而言，崩塌地之地层与崩塌角度间的错开情形并不大，亦即受地层之倾向其影响较大，加上由于地势陡峻使得边坡之平均坡度与倾角极为接近，至于地滑地则较无此现象，此两者间的差异仍系由彼此之机制不同所致。

3.7 崩塌与平面型态

在日本对于边坡破坏的平面形状以长、宽比值为基准归纳成角型、马蹄型、泽型与酒瓶型四种类型(角型为1 以下、马蹄型为0.8 ~1.5、泽型为1.5 以上、酒瓶型的不定)，据此可将台湾地区之地滑地分类成如表10的结果。其中出现机率最高者为马蹄型，而其他类型则较少。此乃由于台湾的地势陡峻再加上山势的蜿蜒与地层之褶皱促使向源侵蚀作用发达，因此当崩塌或滑动地之冠顶部尚未延伸至坚硬的山脊线之前，不易有向两侧扩大而形成角型边坡破坏。至于酒瓶型之边坡崩塌破坏，则易发生于盆地状之中腹斜面，并在斜面下部有较坚固之岩盘时；而泽型之地滑则由马蹄型或角型之地滑再发生第二度、第三度之地层滑动时所形成之细长型地滑，因而酒瓶型与泽型两种型态之地滑亦需在特殊的地形与地质条件下才有发生的可能。

边坡破坏形状的长、宽之比值关系则如图 2所示。其中除酒瓶型的长、宽比值尚不能确定外，长、宽比小于1 者为属于角型之破坏，介于1 ~3.5 者为属于马蹄型之破坏，而大于3.5 者为属于泽型之破坏，此结果虽与日本国内所统计者稍有差异但大致上略同。

表10 边坡破坏平面形状统计表

破坏形状	马蹄型	角型	泽型	酒瓶型	合 计
数量	26	7	7	2	42
百分比%	61.9	16.7	16.7	4.7	—

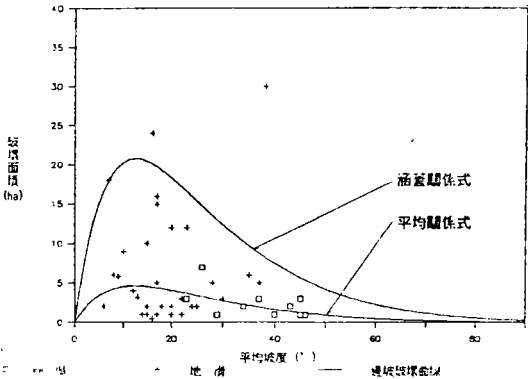


图1 边坡破坏面积与平均坡度关系

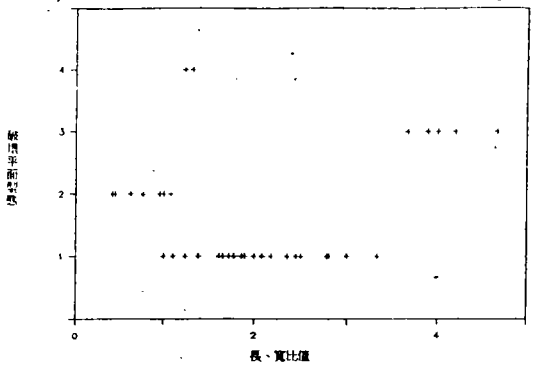


图2 不同平面破坏型态之长宽比值关系

3.8 崩塌与地质

崩塌地之地质年代与地层经统计其结果则如表11所示，以第三纪上新世卓兰层以及第四纪更新世头科山层与红土台地堆积之二个地层的边坡破坏最为频繁。其中头科山层与红土台地堆积在台湾地区均属人口集中之区域及其边缘，故经常引起直接或间接的灾情；至于卓兰层地层为一砂岩、页岩及泥岩互层的地层，胶结并不好故如遇水时其强度会降低，若再于经顺向开挖或受蚀沟与溪流之淘刷，则产生连续性阶段状之边坡破坏灾害，惟此种地层的分布较接近山区，原本对人民生命的威胁较低，但近年来由于坡地的开发与公共工程(如道路、水库等)兴建的频繁，故

亦逐渐地对人民之生命财产构成严重之威胁。

若单就地质年代而言则如表12所示,崩塌与地滑地中以第三纪层所占的比例最高,其次是第四纪层,二者之总计为八成左右。其中又以中新世与更新世的比例最高,上新世次之,但上新世地层则几乎都为卓兰层的破坏,而更新世亦集中在头科山层与红土台地堆积之地区。

表11 崩塌与地滑地区地层资料统计表

地质年代	地 层	统计数量	百分比(%)
先第三纪	变质石灰岩	1	2.2
	亚变质片岩	1	2.2
第三纪	中新世南港层	3	6.7
	木山层	1	2.2
	大寮层	1	2.2
	十六份页岩	1	2.2
	澳底层	6	13.4
	南庄层	1	2.2
	达邦层	1	2.2
	上新世卓兰层	10	22.3
	锦水页岩	2	4.4
	更新世安山岩层	1	2.2
第四纪	石灰岩层	1	2.2
	利吉泥岩层	2	4.4
	头科山层与红土台地堆积	10	22.3
	现代堆积	3	6.7

表12 崩塌与地滑地区地质年代分布统计表(一)

地质年代	先第三纪	第三纪层	第四纪层	现代堆积	合 计
数 量	2	27	13	3	45
百分比(%)	4.4	60.0	28.8	6.6	—

表13 崩塌与地滑地区地质年代分布统计表(二)

地质年代	变质岩	中新世	上新世	更新世	现 代	合 计
数 量	2	14	12	14	3	45
百分比%	4.4	31.1	26.7	31.1	6.7	—

### 3.9 崩塌与诱因

以边坡破坏的原因而言如表14所示,依序为溪流淘刷、降雨、开路与排水不良、台风豪雨等。在蜿蜒河溪的凸、凹岸必发生不同的水理作用而引起冲刷,进而影响到边坡的稳定性,此在台湾地区言为一极为普遍的情形;降雨对边坡稳定的影响更为不容置疑的,在台湾每年之锋面过境或春夏之际的梅雨,均会引起不少之灾害,若再遇上台风之豪雨,难免在土壤水分饱和和地层软弱的地区就发生较大规模的边坡灾害。近年来道路之兴建愈趋密集,不当的开挖与排水之不良以及弃土石堆积等所造成的新的边坡问题亦逐渐地浮现出,值得与边坡有关之工程单位尽早加以重视。

### 3.10 崩塌与防治工程

就理论上言,究明边坡破坏的主要原因后,紧接着就应针对其成因与地质特性,而选择最有效之防治工程法予以实施治理则可达“防治灾害”的目的。然而由于现场资料的掌握不易,再加上许多工程的期限紧急而限制了工程人员对该地区的通盘性认知,故经常是依赖经验而进行一连串的工程规划、设计与施工,因此难免造成许多“在错误中学习教训”或“且战且走”的事例。本文将治理的案例中仅选出成功的处理地区所使用之治理对策予以进行统计,其结果则如表15所示。其中以地表水之排除工为最常被采用的工法,其次为挡土工,而地下水之排除工与河川构造物之工法亦经常被采用。

表14 边坡破坏原因分析统计表

项 目	累积统计成因数	百分比(%)
溪流淘刷	20	21.5
降雨	19	20.4
开路	11	11.8
排水不良	11	11.8
台风豪雨	11	11.8
农地耕作	4	4.3
基脚开挖	4	4.3
向源侵蚀	4	4.3
地震	3	3.2
开矿	2	2.2
弃土问题	2	2.2
水库贮水	2	2.2

表15 治理对策统计表

项 目	累积统计成因数	百分比%
地表水排除工	29	26.6
挡土工	24	22.0
地下水排除工	17	15.6
河工构造物	17	15.6
边坡植生工	9	8.3
整坡工程	7	6.4
基脚填方工	6	5.5

4 结 论

由于崩塌与地滑之调查工作所需之经费与人力相当之庞大,在无大量预算支助下,研究工作之进行难免相当艰辛,本文乃就本人过去在台湾地区之山坡地边坡灾害区所进行过之调查与治理工程资料予以统计分析,并与国外的边坡破坏特性与分类方式比较而得如下的结论:

1. 台湾地区之地质年代虽较年轻,但地层构造却具有多样性,其中崩塌与地滑地出现比例最高者为第三纪上新世卓兰层以及第四纪更新世头科山层与红土台地堆积二种地层,此与水土保持局过去所调查之“崩塌地地质以卓兰层砂岩、泥岩最多”结果相同。由于这些地层的分布均在人们活动频繁的地区内,因此对人民生命财产之威胁也大,尤其是近年来山坡地的迅速开发,许多工程建筑未将地质因素考虑,而将重要建物构造设立在不稳定地层上,因此常引起地盘之不均匀沉陷或崩塌滑动的危害情形。

2. 在台湾地区除酒瓶型的长、宽比值由于案例较少,故尚不能确定外,其余之角型、马蹄型与泽型三者的长、宽比值具有依续递增的趋势。长、宽比值小于1 者为属于角型之破坏,介于1至1.5 之间者为属于马蹄型之破坏,而大于3.5 者则属于泽型之破坏。其中马蹄型之出现比例超过60% 为最高,而其他之平面形状则大都需在特殊的地形与地质条件下才有发生的可能,故在台湾地区绝大多数的崩塌与地滑均为马蹄型之平面破坏。

3. 崩塌地之平均坡度约为30°、崩坏深度约为5m、崩坏面积约为2~3 hm<sup>2</sup>;而地滑地之平均坡度约为20°、滑动深度约为10m 左右、滑动面积约为10hm<sup>2</sup>。至於倾角与平均坡度间的差异言,崩塌地之地层倾角与崩塌角度间之相差不大,而地滑地则相差较大。

4. 在破坏的方位言,以东南向为最高,其次为南向,而东北与西南向则位居第三。而整个偏南方向(包括东南、南与西南)则高达63.64%,为最主要的边坡破坏方位。此结果与水土保持局所做的调查结果相类似,即南向之边坡破坏比北向者为频繁。

5. 无论是崩塌或地滑地区其顺向型或交错型之破坏的比例均高达90% 以上,其中顺向型之破坏的比例亦将近60%,因此对于顺向坡的地区如无法避开时在工程之规划、设计与施工上,应予以特别注意以维安全。

6. 以引起边坡破坏的原因而言,依续为溪流淘刷、降雨、道路开辟与排水不良、台风豪雨等。其中除了溪流淘刷、降雨、台风豪雨为自然性灾害诱因外,道路之开辟与排水不良等之人为因素所引起之边坡破坏,近年来已逐渐成为破坏大自然之青山绿水的元凶。

7. 防治工程言以地表水之排除工为最有效且最常被采用的工法,其次是挡土工,而地下水排除工与河川构造物亦经常被使用。此外,防治工程中之特殊治理工法如烧结法、电气排水法等,目前在台湾地区尚未被采用,其适用性与可行性有待进一步之检测。

以上所得结论不仅能对过去近20年来的台湾地区之崩塌地与地滑地之研究与防治工作予以回顾,并经由统计分析使能了解其中诸多因子的代表性之平均数值、范围与比例,这些数据将是尔后对台湾崩塌地与地滑地研究与国土综合规划时的重要参据。然而由于过去的研究往往是在人力不足与经费受限的情况下所进行,加以近年来山坡地环境、气候等条件的急速变动,有必要彻底地进行再次之调查工作,并每三至五年就予以更正,如此才能掌握最新资讯以为相关单位尔后对崩塌与地滑灾害整治与土地开发管制时的参考。

## 参考文献

- 1 水土保持学会. 石门水库集水区三光地区崩塌地滑调查治理规划, 石门水库管理局委托报告, 1992
- 2 地调所. 新竹县新埔镇湖口台地南缘崩塌调查与整治方案规划, 水土保持局委托报告, 1994
- 3 工研院能资所. 梨山地区地层滑动调查与整治规划, 水土保持局委托报告, 1992
- 4 吴建兴、谢豪荣. 汐止叭港地滑地之研究, 中华水土保持学报第十七卷第一期, 1986, pp84~106
- 5 徐铁良, 地质与工程, 工程师学会, 1991, pp27~72
- 6 陈海胜. 池上大坡地滑地稳定性之探讨, 中兴大学硕士论文, 1993, 104pp
- 7 万献铭. 中横公路边坡崩塌地粘土矿物与坡面破坏之关系研究, 1987
- 8 谢豪荣. 中兴岭地滑地之观测, 中华水土保持学报第十一卷第二期, 1980, pp33~52
- 9 谢豪荣. 中兴岭与屏遮那两地滑地之研究, 中华水土保持学报第十二卷第一期, 1981, pp77~109
- 10 谢豪荣. 地滑地处理实验工程之研究, 水土保持学报第十四辑, 1981, 27pp
- 11 谢豪荣. 光正地滑地之研究, 水土保持学报第十五辑, 1982, pp23~44
- 12 谢豪荣. 曾文水库八德桥地滑区处理调查计划研究, 曾文水库管理局委托报告, 1984
- 13 谢豪荣. 大坑地区地滑地之研究, 农委会补助研究报告, 1985
- 14 谢豪荣. 台中县大甲镇铁砧山地区崩塌地治理调查规划, 台中县政府委托报告, 1985
- 15 谢豪荣. 中横公路台七甲69k 松茂地滑地之研究, 德基水库管理委员会委托报告, 1985
- 16 谢豪荣、陈庆雄. 彰化民族新村地滑地之研究, 农林学报第三十四卷第二期, 1986, pp39~56
- 17 谢豪荣、陈庆雄. 嘉义中埔石弄地滑地之研究, 中华水土保持学报第十七卷第二期, 1986, pp107~122
- 18 谢豪荣. 南投县中寮乡仙峰岭地滑地观测调查计划报告, 南投县政府委托报告, 1986
- 19 谢豪荣、王幸隆、蔡登茂. 台东杉原崩塌地处理工程效果之观测, 中华水土保持学报第十八卷第二期, 1987, pp63~76
- 20 谢豪荣. 瑞芳深澳地滑地之研究, 农委会补助研究报告, 1988
- 21 谢豪荣. 石冈埤头地滑地之研究, 水土保持学报第二十辑, 1988, pp1~16
- 22 谢豪荣、李正义. 基隆河沿岸矿碴堆积区边坡稳定与整治方法之研究, 台北县政府委托报告, 1989, 35pp
- 23 谢豪荣. 台中浊水巷地滑地之研究, 水土保持学报第二十三辑, 1991, pp1~23
- 24 谢豪荣、许中立. 澎湖县西屿乡外安地滑地之研究, 农林学报第四十一卷第三期, 1992, pp77~113
- 25 谢豪荣、吴建兴. 地滑地之调查与分析方法之研究(五), 1993, 100pp
- 26 谢豪荣. 曾文水库伊斯基安那崩塌地处理方法调查规划研究, 曾文水库管理局委托报告, 1994
- 27 谢豪荣. 水库边坡稳定分析之研究(一), 1994
- 28 简碧梧. 台湾的崩塌地灾害, 工程环境特刊第六期, 1995, pp. 23~47
- 29 渡正亮、小桥澄治. 地すべり・斜面崩壊の予知と対策, 山海堂, 1989, pp7~40