

台湾崩塌地调查研究方法综述

李锦育

(屏東科技大学水土保持系, 台湾 屏東 91201)

摘 要: 近年来, 在经济的快速发展与人口不断增加的双重压力下, 台湾平地开发已达饱和; 而对于崩塌地之关注与研究, 亦至少有三十几年的历史。本文首先针对崩塌地形成之种类与原因加以分类并探讨; 其次, 再就崩塌地传统地面之现场研究调查项目和结果分析加以说明; 最后, 则列举地理信息系统、遥感探测技术与航测技术在崩塌地调查与研究上的应用。如何防止灾害的发生和避免生命财产的损失, 以及防止自然灾害于未然, 确立和应用此类调查研究方法, 实为当务之急。

关键词: 崩塌; 地理信息系统; 遥感探测技术; 航测技术
中图分类号: P642.22 **文献标识码:** A

台湾地区山地面积约占全岛总面积 70%, 不但地质环境复杂, 地势陡峻, 土壤浅薄、河流短急, 降雨多、强度大且集中, 山坡地崩塌常随着台风、豪雨及地震、或伴随着人为的破坏而引起, 屡屡造成重大灾害。崩塌常发生于特定地质或地质结构上, 尤以坡地或台地的缓斜面为最多, 其移动缓慢而有持续性及周期(反复)性^[1]。

每当灾害之发生时, 如何在短时间内了解总共发生多少崩塌地? 在何处? 规模大小? 各个崩塌地周围环境为何? ……等是政府单位所必需掌握的课题。台湾气候潮湿温热, 地表植生恢复快速, 常在山崩发生后很短时间内, 崩塌地便被茂盛的植物所覆盖, 使野外现地调查困难, 甚至完全无法确认。应用现代化科技如地理信息系统、遥测技术进行崩塌地调查, 可减少传统调查在定量及空间性资料取得困难, 而无法进行监测之窘境。因此今后如何利用航遥测之空间资料, 配合地理信息系统, 发展准确的崩塌地灾害预测模式, 提供施政单位决策信息, 为目前天然灾害监测之研究重点。

1 崩塌地形成之种类、原因与研究

1.1 崩塌地形成之种类与原因

崩塌的分类方法由于分类的人员背景、分类观点以及应用的目的不同, 而产生各式各样之分类方式如表 1 所示^[2]。表 1 中之分类, 系依据崩塌的运动种类、运动速率、运动中所包含物质的性质, 崩塌的原因或动力作用, 崩塌发生的时间或发生之地理位置等。

崩塌亦可分为山崩和地滑两类, 两者皆属坡地之地质灾害。一般山坡地其坡面之一部分, 由于土块失去平衡, 向下或侧面移动的现象, 皆以崩塌称之。在国外也有以「斜坡运动」(Slope Movement)或「块体运动」(Mass Movement)称之。

山崩(Landslide)是指山坡坡面因土石失去稳定平衡而遭受破坏, 受重力影响而向下及向外发生移动的现象。亦即土石间之摩擦力小于滑动力所发生之崩塌的现象, 又可称为坍塌(Collapse)。

地滑(Landslide, Landcreep)为岩(土)层(体)滑动之简称, 多发生在较缓之坡面上。系因地下水或滑动面之存在, 地块受重力作用与基层间之作用力不平衡时, 地面呈缓慢移动的现象, 亦称为滑坡、走山等。

崩塌可依发生时间概分三大类, 即: 过去(老)崩塌、现在(新)崩塌与未来(潜在)崩塌^[3]。崩塌的形态相当复杂, 其主要的影 响因子可分成潜在因子

收稿日期(Received date): 2002-10-11; 改回日期(Accepted): 2003-01-15.

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。[Li Chir-yu(1959-), male, doctor, professor, mainly engaged in the research of soil erosion and soil water conservation.]

(Potential Factors)与诱导因子(Triggering Factors)。

表 1 崩塌的分类

Table 1 Classifications of landslides

学 者	分类依据	分 类
Varnes (1978)	主要以移动的种类, 再加上材料的种类, 作为分类依据	坠落(falls)、倾覆(topples)、滑动(slides)、侧向扩张(spreads)及流动(flows), 另一种为复合型式之滑动, 亦即上述五种类型中, 任何两种或两种以上移动的结合型式
申润植(1975)	(a)移动速度与有无滑动层(b)土块扰动程度(c)移动的规则性(d)移动显在性(e)移动速度及内剪断型式(f)滑动面之形状(g)力学条件(h)基盘走向(i)发生主从关系(j)发达型式(k)水文地质条件	
周恒(1978)	根据力学平衡原理和发生原因	崩(mass movement)、坍(slumps)、塌(failures)、滑(slides)、落(falls)、陷(subsidence)
小出博(1979)	以发生地区的地质条件分类	(a)第三纪地层滑动(b)破碎带地层滑动(c)温泉型地层滑动
中村(1979)	依质地条件	(a)第三纪地层滑动(b)中生代地层滑动(c)古生代地层滑动(d)变质岩地区地层滑动(e)火成岩地区地层滑动
陈世芳、黄清益(1979)	依滑动时机	(a)继续型(b)间歇型(c)突发型
Heim (1981)	以地质的观点, 作为分类依据	(a)砂土移动(soil movement)(b)岩石移动(rock movement)(c)混合型(compound case)(d)特殊类型(special case)

诱导因子主要包括自然降雨或人为扰动, 潜在因子一般而言比较复杂, 主要可归纳成构造、岩性、坡度、侵蚀与人为开挖等^[4]。

1.2 台湾崩塌地研究之演进

台湾崩塌地研究之演进过程可分述如表 2。

表 2 台湾崩塌研究之演进历史

Table 2 Historical researches of landslides area in Taiwan

发生年代	发展情形
1949 年以前	仅止于描述或局部性调查, 未能深入了解
1950 年代	与前期相同, 并无大进展
1960 年代	研究发展是由“八七水灾”所引起, 研究集中在河川上游集水区的调查, 属治山防洪计划的一部分, 是台湾崩塌研究的正式开始, 其中较具规模的研究调查地点, 为 1964 年阿里山附近的屏遮那崩塌地
1970 年代	延续了前期工作, 以培养人才为主
1980 年代	陆续引进航照调查技术、地电阻测法、变形计、伸缩计及地温调查法等技术, 并应用于崩塌地之研究。调查结果与治理方法此时尚未有效结合, 尤其是以调查结果解析崩塌机制方面之研究仍未十分完整
1983 年起	推动大型防灾计划, 进行较详细的专题研究
1991 年起	农委会推动「遥测技术应用于高山地质环境研究计划」, 将遥测技术应用于崩塌之探测。将崩塌地研究带入另一境界

2 崩塌地传统地面之现场研究调查

一般崩塌地之地面现场调查项目与结果分析可如表 3 所示。传统之地面调查, 多局限于研究已发生灾害之区域或个案, 针对不同之地区或个案, 去探讨其发生原因与其对应之防治工法, 或针对某调查项目深入进行影响机制之研究。如研究阿里山公路沿线边坡发生崩塌与降雨量之关系^[5~8]; 在地滑区域应用萤光剂与比电阻法追踪地下水流程^[9]。

3 地理信息系统与遥感探技术应用在崩塌地调查与研究

3.1 地理信息系统

地理信息系统(Geographic Information System, 简称 GIS)是一门整合各学科, 为了处理大量繁琐之地理空间信息, 并帮助人类完成空间决策之系统。它结合了计算机测绘技术、遥感探测技术、数据库管理技术及计算机辅助设计等四大领域。具备了地理信息之输入、存取、管理更新、转换、分析及输出展示之功能。

表 3 崩塌地现场调查与结果分析之主要项目

Table 3 Main items of field investigation and results analysis of landslides

项目	调查与分析方式
相关资料收集	1. 行政、交通等相关地理位置 2. 气候、降雨量、降雨强度与降雨延时等资料 3. 收集相关图集资料, 如地形图、地质图...等 4. 收集其它相关资料
地质调查	1. 钻探调查 2. 震波探测 3. 电气探测 4. 放射能探测 5. 地表勘查
滑动面调查	地中内部应变计之埋设
地盘变动量调查	1. 地盘倾斜计设置 2. 伸缩计设置
地下水调查	1. 垂直检层 2. 地下水追踪 3. 水位测定 4. 水质分析 5. 地温检层
土质调查	1. 采取不搅乱试料 2. 土质试验
测计调查	1. 应变计测定 2. 倾斜计测定。
总合分析	1. 测计值分析 ①应变计分析②倾斜计分析 ③伸缩计分析④水位分析 2. 崩塌地机制分析 ①地质分析②地下水分析 A. 垂直检层分析 B. 地下水追踪分析 C. 水质分析③安定分析④机制分析
防止工法	防止工法之检讨

GIS 所处理的数据, 依所呈现的几何特征, 可分为点(Point)、线(Arc)、多边形(Polygon)三种类型。「地理资料」不论在本质、内涵或外观上, 都是一种与地理位置有极为密切相关的资料形态; 在描述任何一笔地理数据时, 需具有空间位置(Spatial Position)、属性(Attribute)及空间位相关系(Topology)等三种基本特质, GIS 必须能涵盖这三种特质之处理模式, 地理资料才能完全呈现。

GIS 早期的发展受限于计算机硬件的处理速度及技术, 故大多着重于空间属性数据库的建立, 只能配合简单的图形能力。现今由于计算机软、硬设备之迅速发展, 大量之空间数据处理已不再是难事, 也由于图形使用者接口(Graphic User Interface, 简称GUI)的出现大大增加了地理信息系统的亲和力。要如何妥善利用地理信息系统所具有各种空间分析功能(如: 资料分类运算、叠图分析、网络分析、3D 仿真等)之特性, 并与如遥感探测技术等其它学科之结合, 不再只是地理数据库之建置、展示工具, 而是如何提供人类精确之决策参考, 将是今后研究发展之重要方向。

3.2 遥感探测技术

遥感探测(Remote Sensing, 简称RS)是一门利用仪器, 不需与目标、地区及物体接触便能获得分析

该类资料的艺术及科学^[10]。广义而言, 是对某物体不作直接接触而搜集所需之数据。严格而言, 只限于以电磁磁能量(包括光、热及无线电波)之方式来探测和度量目标性质^[11]。遥测的基本理论, 在于任何物体在绝对零度以皆能反射(Reflect)、放射(Emit)、吸收(Absorb)、散射(Scatter)及穿透(Transmit)电磁能, 此类电磁能以放射波的形态传递^[12]。卫星影像在不同的地表特征, 于不同波长之下有不同的波谱反射值^[13]。

在空间上相对于地面的位置可将遥测技术区分成三种, 太空遥测(Space-borne Remote Sensing)、航空遥测(Air-borne Remote Sensing)与地表遥测(Terrestrial Remote Sensing)。现今在台湾一般所称之遥测多指太空遥测之探测技术部分, 而另将航空遥测技术之航空摄影测量学独立成一门学科。

航空测量(Photogrammetry)系研究航空照片上影像, 以辨认目标, 评估价值为宗旨的一种活动^[14]。此技术于十九世纪初开始发展, 初期仅以测制较小比例尺之地形图为主。于第一二次世界大战期间, 因军事用途之需, 使得航测技术得以突飞猛进。

台湾于 1954 年将航测技术引进国内, 成立森林资源及土地利用航测调查队(今之农林航空测量所前身), 并实际应用于第一次森林资源及土地利用调查。目前台湾将此技术多利用于资源调查、灾害调查、台湾地区基本图测制及主题图系统建立等, 如表 4 所述。

3.3 数值地形模型

Dr. Miller 提出数值地形模型(Digital Terrain Model, 简称DTM)的理论与概念^[15]; 其为表示地形属性空间分布序列数字^[16], 而地形属性包括数值高程模型(Digital Elevation Model, 简称DEM)、坡度、坡向等, 其中以数值高程模型为主要之地形属性, 其它地形属性可藉以推导而得, 主要地形属性模型作业程序如图 1 示之。

地形坡度与降雨形成地表径流所行经之坡长, 为影响崩塌地形成之重要因素。航、遥测影像判释所得之结果, 可藉由数值高程模型推估发生崩塌之地形坡度、坡长, 再经由统计分析求出经验公式, 进而可预测附近发生崩塌之潜在地形。利用数值地形模型资料结合卫星影像, 可有效提升影像分类的准确度^[18-19]。

3.4 地理信息系统与遥感探测技术应用在崩塌地之研究

表 4 航测技术的应用

Table 4 Applications of photogrammetry

种类	应用状况
资源调查	<p>全省森林资源及土地利用 1954 年迄今, 共三次调查, 每次调查均采用航空照片配合地面取样调查方法, 为本省最大规模的资源调查</p> <p>农业资源及土地利用现状调查 1. 平地部分农业土地利用分类调查及资料建文件 2. 山坡地保育利用土地利用分类调查及资料建文件 3. 山坡地区外保安林地土地利用分类调查及资料建文件 4. 平地部分农业土地利用分类图修测调查及资料建文件</p> <p>绿色资源调查 1985 年陆续以航测技术进行绿色资源调查: 1. 都市绿色资源调查; 各县市 2. 工业区绿色资源调查: 自 1986 年起办理, 台湾地区主要工业区均予调查 3. 山坡地绿色资源调查: 自 1987 年开始, 如屏东山坡地、林口特定区及台湾西南地区泥岩裸露面积调查</p> <p>特定水库集水区、河川流域土地利用现状调查 区域包括翡翠水库、石门水库、曾文水库、德基水库、雾社水库、淡水河系流域</p> <p>粮政资料调查 为改进进行稻谷生产调查方法, 适时提供粮情资料, 作为厘订稻米生产政策及调节稻米供需平衡, 办理稻米计划收购、稻田转作及稻米保险等, 自 1980 年起, 以航测技术调查相关资料</p>
灾害调查	<p>台风灾害调查 历年调查计有: 艾达、珀西、莫瑞、六三水灾、韦恩及贺伯等灾害调查</p> <p>火灾迹地调查 历年森林火灾过后, 拍摄火灾迹地航空照片, 并制航照镶嵌图及判释火灾损害情形和界定火灾迹地面积</p> <p>崩塌地调查 1. 农航所曾对水库集水区进行崩塌地调查, 计有石门、德基、雾社、曾文等水库集水区 2. 山地农牧局(1982~1989 年)对山坡地进行全面性崩塌地调查工作</p> <p>植物灾害调查 农航所曾于 1984~1985 年间, 利用 1956、1965、1974 及 1984 年等四期航空照片, 对于桃园沿海地区植物受害地区进行调查分析</p>
台湾地区基本图与主题图系统建立	<p>像片基本图测制与修测 1. 台湾地区像片基本图其制图比例尺在海拔高 1 000 m 以下为 1/5, 000, 海拔 1 000 m 以上为 1/10 000 2. 1/5 000 林区像片基本图 3. 1/1 000 海岸像片地形图</p>
主题图测制	根据基本图可制各式主题图。如林业为例有林型图、林道路、土壤图等

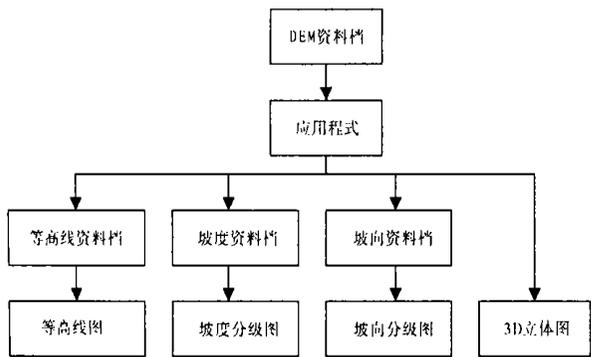


图 1 数值地形模型作业程序^[17]

Fig. 1 Operational procedures of DT M

刘进金利用 GIS 概念与技术, 建立一套用来评估区域性坡地安定的计量方法, 以不同灾害类型之因子组合评估坡地安定性, 并对可能发生之灾害类型进行预测, 避免了利用人为经验决定因子权重或计分大小之疑虑^[20]。整理出崩塌地在航照判释上所显现之特征, 并以不同年分之航空照片判释, 可以预知地面勘查所无法发觉之山区公路的潜在崩塌, 提供永久治理之参考。林务局农林航空测量所将 GIS 与航空测量技术应用在 921 地震所引发崩塌地范围之判释^[21]。

台湾在初期遥测技术应用在崩塌地研究上, 因受限于卫星影像分辨率之影响, 多在于如何提高卫

星影像分类之准确度^[22,23]。近年来高分辨率商业监测卫星陆续发射成功,如美国发射成功之 IKONOS 卫星,其 PAN 影像分辨率已达 $1\text{m} \times 1\text{m}$, 足可取代传统航空照片之使用。

遥测技术应用在崩塌地研究,大致可归纳为崩塌地之分类及探测、监测已存在之崩塌地、分析及预测崩塌地发生之时间分布与空间分布情形三方面^[24]。

刘进金等研究人员利用卫星影像来观察大区域景物,再从航照立体观察山崩附近的特征。工研院能资所曾执行农委会之「遥测技术应用于高山地环境研究计划」,利用航照判释崩塌地区,利用卫星影像判释高山地区地质分布情形,并配合 GIS 之建立,在交通困难之山区,短时间内可迅速获得大量地质信息^[4,21,25]。梁隆鑫利用卫星影像制作 6.25m 高解力影像,并加入数值高程资料,利用传统非监督性及监督性分类方法来萃取崩塌地有良好之结果;而利用晚上及白天之热红外光波段(Thermal Infrared)影像来判释崩塌地其效果不佳^[26]。陶翼煌尝试利用模糊逻辑来量化地质状况,帮助专家将其知识与经验模式化,用类神经网络仿真人类的学习模式,来找出地测并传承经验,综合判断山崩发生之潜因与诱因^[27]。

然而崩塌地之形成、再发生、扩大等,也是一种地形景观(Landscape)的变迁。王素芬应用地理信息系统,将六龟生态系经营土地利用型加以分析,并以地景生态学度指数,探究森林地景空间变化^[28]。而萧国鑫等人采用近 20 a 间的卫星影像,逐步分析浊水溪口环境各时间的变化,并推估其递变及推测未来变迁趋势。因此应用地景变迁之概念结合地理信息系统与遥测技术之特性,分析监测崩塌地,并推估未来可能之变化^[29]。张伟颢利用 SPOT 卫星影像侦测大甲业事区林地被覆的变迁,比较多种变迁侦测法,以主成分分析法及植生指针差异法较佳。当裸露崩塌地渐趋稳定时,植物陆续入侵而有植生演替之现象,因此地表植生覆盖之改变,可藉由遥测技术中植生绿度指针之变化,来监测崩塌地地景之变迁^[19]。蔡宗佑利用四期之 SPOT 卫星影像,以分类比较法、影像重叠法及影像相减法进行土地利用变迁分析;其结果分类比较法中以经过地形效应及主题切除后之影像分类准确度较高;证实影像重叠法可判释出土地利用变迁之位置亦为有效快速之方式;而影像相减法亦可快速将变迁区域找出可数量

化,但过程中亦发现误判情形^[30]。

4 结 论

传统崩塌地小尺度之研究调查与现今 GIS 与遥测技术结合之崩塌地中大尺度研究发展并不相冲突。一个健全正确之 GIS 数据库,需藉由现场调查资之提供建立与检核、左证遥测影像所获得之信息,而遥测影像可定时重复提供大面积之多谱影像资料,并由适当之萃取信息技术以提供决策者实时之相关信息。

关于遥测技术应用于崩塌地研究,所归纳之三个方向中,崩塌地分类、探测与变迁、监测与研究,现阶段已发展出相当之成果与技术。而如何准确预测发生崩塌地潜在之时间(何时)与空间(何处)?如何建立一套预测崩地发生之专家系统,将是今后应极力发展之方向。

参考文献(References):

- [1] LEE Chinyu. A Study on Groundwater Drainage in Landslide area. *Taiwan Forestry Journal*, 1989, 15(6): 10~17. [李锦育. 地滑区域地下水流脉调查相关性之探讨[J]. 台湾林业 15(6): 10~17, 1989.]
- [2] JHONG Pinchiang. Analysis of Slope Stability in Jhong Liao Area of Nantao County. 1997, Dissertation of Master Degree, Applied Geology Institute of National Central University. [钟平江. 南投县中寮地区边坡稳定分析[D]. 国立中央大学应用地质所硕士论文, 1997.]
- [3] LIU Jingjin, CHANG Paotang. Identifying Landslides on Remotely Sensed Images. *Remote Sensing Journal*, 1991; 14: 41~67. [刘进金, 张宝堂. 大山崩之遥测辨认[J]. 遥感探测, 14: 41~67, 1991.]
- [4] LIU Jinjing, CHANG Paotang, HUANG Jinghong, et al. A Study on Remote Sensing to High Mountain Geology. *Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 1996, 1(1): 1~23. [刘进金, 张宝堂, 黄金鸿, 等. 高山地区地质环境之遥测研究[J]. 航测及遥测学刊, 1996, 1(1): 1~23.]
- [5] GAO Shenchu. A Study on Relationship of Landslide and Rainfall along Jinlu Highway on Ali Mountain. 1994, Dissertation of master Degree Resources Engineering Department of National Cheng Kung University. [高申翥. 阿里山公路沿线公路边坡崩塌与雨量关系之研究[D]. 国立成功大学资源工程研究所硕士论文, 1994.]
- [6] WU Jiahon. A Study on Landslide Characteristics on Low-Altitude Slope along the Highway of Ali Mountain. 1995, Dissertation of master Degree. Civil Engineering Institute of National Cheng Kung University. [吴昭宏. 阿里山公路低海拔路段边坡崩滑特性之研究[D]. 国立成功大学土木工程研究所硕士论文, 1995.]
- [7] CHENG Chinciou. A Study on Relationship of Rainfall and Slope.

1995. Dissertation of Master Degree, Resources Engineering Department of National Cheng Kung University. [陈庆秋. 降雨与边坡关系之研究—以阿里山公路边坡为例[D]. 国立成功大学资源工程研究所硕士论文, 1995.]
- [8] JHENG Syuhua. Using Rainfall Data to Predict the Landslide along Highway of Ali Mountain. 1996. Dissertation of Master Degree, Resources Engineering Department of National Cheng Kung University. [郑序华. 利用雨量资源预测阿里山公路沿线边坡崩塌[D]. 国立成功大学资源工程研究所硕士论文, 1996.]
- [9] LEE Chinyu. A Study on Tracing Groundwater Drainage in Landslide zone. *Quarterly Journal of Chinese Forestry*, 1984, 17(2): 53 ~ 67. [李锦育. 地滑地内地下水脉追踪之研究[J]. 中华林学季刊, 1984, 17(2): 53 ~ 67.]
- [10] OU Yanghongyu (Translated). Remote Sensing, 1992. Da Zhong Guo Press. 欧阳钟裕. 译. 遥感探测学[M]. 大中国图书公司, 1992.
- [11] SYU Wanjuang (Translated). Remote Sensing, 1986. Syu Shih Foundation. 徐万桩. 译. 遥测学[M]. 徐氏基金会, 1986.
- [12] WANG Shin. Remote Sensing, 1997. Da Zhong Guo Press. 王鑫. 遥测学[M]. 大中国图书公司, 1997.
- [13] Li, X. Researches on Monitoring by Remote Sensing the Tropical Forests in Hainan Island, China [C]. Proceedings of the 20th Asian Conference on Remote Sensing. Joint Laboratory for GeoInformation Science of the Chinese University of Hong Kong, 11: 249 ~ 253, 1999.
- [14] JIAO Guomo. Forestry Photogrammetry Measurement, 1990. National Institute for Compilation and Translation. 焦国模. 森林航空测计学[M]. 国立编译馆, 1990.
- [15] Miller, C. L. The Digital Terrain Model Theory and Application [J]. *Photogrammetric Engineering*, XXIV, 3: 433, 1958.
- [16] Moore I. D., R. B. Grayson and A. R. Ladson. Digital Terrain Modeling: A Review of Hydrological [J]. *Geomorphological & Hydrological Process Biological Applications*, 1991., 5: 3 ~ 30
- [17] Tempfli, K. Lecture Notes on DTM, ITC Lecture Notes, 1998.
- [18] HUANG Guojhen. Application of Quaternion Method in Grouping Forest Type on SPOT image. 1995. Dissertation of Master Degree, Forestry Institute of National Taiwan University. [黄国祯. 利用四元素法在 SPOT 影像上作林型分类之研究[D]. 国立台湾大学森林研究所硕士论文, 1995.]
- [19] CHANG Weikai. Change Detection in Taichici Working Circle Forest Land via SPOT Image Analysis. 1996. Dissertation of Master Degree Forestry Institute of National Chong Hsin University. [张伟颢. 以 SPOT 卫星影像应用于大甲溪事业区林地被覆之变迁侦测[D]. 国立中兴大学森林研究所硕士论文, 1996.]
- [20] JIAN Leebin. Application of GIS in Establishing Quantitative Method on Evaluation of Slope Stability. 1991. Civil Engineering Institute of National Chong Hsin University. [简李滨. 应用地理信息系统建立坡地安定评估之计量方法[D]. 国立在兴大学土木工程研究所硕士论文, 1991.]
- [21] LIU Jingjin. Application of Photogrammetry on Engineering Geology. *Remote Sensing Journal*, 1984, 4: 97 ~ 122. [刘进金. 航照工程地质上之应用—崩塌调查之实例[J]. 遥感探测, 1984, 4: 97 ~ 122.]
- [22] DAI Derun. A Preliminary Study on Using SPOT Image as Identification Method for Large-scale Landslide along Central Cross-Section Highway. 1989. Dissertation of Master Degree Mine and Material Science Institute of National Cheng Kung University. [戴德润. 利用 SPOT 卫星影像作中棋公路沿线附近大规模崩塌地辨认方法之初步研究[D]. 国立成功大学矿冶及材料科学研究所硕士论文, 1989.]
- [23] LEE Senchi. Using Satellite Image to Identify Large-scale Landslides on Mountains. 1991. Dissertation of Master Degree, Mine and material Science Institute of National Cheng Kung University. [李森吉. 使用卫星影像做山区中大规模崩塌地之辨认[D]. 国立成功大学矿冶及材料科学研究所硕士论文, 1991.]
- [24] Mantovani, F., R. Soeters and C. J. V. Westen. Remote Sensing Techniques for Landslide Studies and Hazard Zonation in Europe [J]. *Geomorphology*, 1996, 15: 213 ~ 225.
- [25] LIU Jingjin, CHANG Paotang, SIAO Guohsin, et al. A Remote Sensing Study on the Geological Environment in Hseshan Tabachienshan Area. *Remote Sensing*, 1992, 17: 1 ~ 14. [刘进金, 张宝堂, 萧国鑫. 等. 雪霸地区地质环境之遥测研究[J]. 遥感探测, 1992, 17: 1 ~ 14.]
- [26] LIAN Longhsin. Application of Satellite Image for Investigation of Landslide and Hot Spring Areas. 1997. Dissertation of Master Degree Applied Geology Institute of National Central University. [梁隆鑫. 卫星影像应用于崩塌地及温泉区调查[D]. 国立中央大学应用地质所硕士论文, 1997.]
- [27] TAO Yihuang. Application of Neural Network and Fuzzy Logic to Predict the Possibility of Landslide. *Tung Nan Academic Journal*, 1997, 20: 117 ~ 12. [陶翼煌. 利用类神经网络与模糊逻辑预测山崩发生之可能性[J]. 东南学报, 1997, 20: 117 ~ 123.]
- [28] WANG Sufen. Application of GIS and Fractal Dimension on Variation of Landscape. 1998. Dissertation of Master Degree Forestry Institute of National Taiwan University. [王素芬. 地理信息系统和碎形维度于地景空间变化上之应用[D]. 国立台湾大学森林研究所硕士论文, 1998.]
- [29] SIAO Guohsin, LEE Yuanyan, WU Chinan, et al. Analysis on Environmental Change of Cho Shuei Estuary. *Remote Sensing Journal*, 1993, 19: 1 ~ 24. [萧国鑫, 李元炎, 吴启南. 等. 浊水溪口环境变迁分析[J]. 遥感探测, 1993, 19: 1 ~ 24.]
- [30] TSAI Jhongyou. Analysis on Land Use Change of Feng Shan Creek Upper Stream Watershed. 1998. Dissertation of Master Degree Soil and Water Conservation Institute of National Chong Hsin University. [蔡宗佑. 凤山溪上集水区土地利用变迁之研究[D]. 国立中兴大学水土保持学系硕士论文, 1998.]

Investigation and Research of Landslides in Taiwan

LEE Chinyu

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

Abstract: For a growing and progressive society with economic advancement, we have to do our best to manage intensively our soil and water resources. We have to use them for generations to come and therefore we must protect and improve them at the same time. This study describes the methodology and techniques developed to analyze landslide-prone areas in Taiwan. The methodology used are: classifications and causes of landslides, historical surface investigative methods for the field work, and geological information system (GIS), remote sensing (RS), and photogrammetry techniques were used to determine the movement of potential landslide areas. In landslide studies, the best results can only be obtained by a combination of both these approaches. It follows that the study of sliding phenomena is recognition of the causes, nature and development of landslides make it possible to appreciate the extent of any danger and find an adequate solution to the control and correction of sliding area

Key words: landslide; geographic information system; remote sensing; photogrammetry

《福建林学院学报》

《福建林学院学报》是福建农林大学主办的与林有关的综合性学术类期刊, 刊载全科学科的科研报告、学术论文、文献综述、专题讨论等文章。1960年创刊, 国内外公开发行, 面向全国组稿。

《福建林学院学报》鼓励学术创新, 推动科技成果的转化, 促进学术交流, 长期以来被确定为国家科技部中国科技论文统计源期刊、中国科学引文数据库源期刊、中国学术期刊综合评价数据库源期刊、中国自然科学核心期刊、万方数据(China Info)系统科技期刊群、《中国学术期刊(光盘版)》、福建省科技厅海峡信息网《福建出版物之窗》首批入编期刊。《福建林学院学报》被国际著名的检索机构, 如 ULRICH'S INTERNATIONAL PERIODICALS DIRECTORY(美国)、AGRIS、CAB、SCI、FA、FPA、CA、AJ、国内所有的林业文摘数据库、中国生物学文摘、中国农业文摘、竹类文摘、CSTA(英文版)国家数据库、中国农林文献数据库等 20 多种国内外重要数据库和权威检索期刊收录。所发表的论文被国内外同行专家大量引用, 根据中国科学引文数据库提供的“2000 年被引频次最高的中国科技期刊 300 名排行表”与“2000 年影响因子最调换中国科技期刊 300 名排行表”。总被引频与影响因子均进入中国科技期刊前 100 强。《福建林学院学报》国际标准刊号 ISSN 1001—389X, 国际刊名代码 CODEN FLXUE7, 国内统一刊号 CN35—1095/S。季刊, 大 16 开本, 定价 8.00 元, 全年订费 40.00 元(含邮资)。过刊有部分库存。国内读者请从邮局汇款到本刊编辑部订阅。联系人: 卢凤美。

联系地址: 353001 福建南平 福建林学院学报编辑部, 电话: 0599—8508082