

# 曾文水库保护带泰山滑坡之调查与治理

许中立<sup>1</sup>, 李金来<sup>2</sup>

(1. 屏東科技大学, 台湾 屏東 912 2 北门农工职校, 台湾 台南 727)

**摘要:** 崩塌与滑坡灾害之治理, 首重破坏诱因之了解与破坏机制之调查。再根据调查观测所得之资料与参数, 着手进行规划设计适当之防治对策, 方能得到良好的治理成效。泰山滑坡位于台湾南部极重要之曾文水库的保护带, 其边坡由陆陆续续的崩陷而逐渐演变为坍滑, 甚至造成交通中断受阻。调查发现本区为属浅层滑动, 滑动区平面类似酒瓶状, 主要原因为长期受到雨水之漫流与渗透软化的影响, 加上蚀沟之切割淘刷作用, 使得边坡容易失去支撑而滑动。经施以经济有效的蚀沟控制工程兴建多座潜坝、跌水与排水设施后, 发现确实提高了边坡之稳定性, 地区产业因而可以持续动作, 是一次相当成功的治理案例模式, 但由于施工便道之开辟不当, 遂再度诱发部份边坡的坍滑, 故尔后之维护管理工作极为重要。

**关键词:** 滑坡; 保护带; 蚀沟冲蚀; 防治工程

**中图分类号:** P642

**文献标识码:** A

由于台湾地区自然环境与人为开发等因素影响, 山坡地屡见崩塌与滑坡灾害。政府虽逐年编列经费进行防治及宣导工作, 但往往因为人力、专业技术与进度时效等问题而未尽理想, 甚至与边坡滑动机制、原理背道而驰的治理事例亦时有所闻。如此不但浪费公帑, 更由于治理工作的一再拖延而扩大受害程度。故为能提升防治成效并累积整治经验, 对于滑坡地区之事前调查监测分析以及事后之追踪评量等, 就灾害问题的了解与治理技术的提升而言, 实为不可或缺之步骤。

本文乃以台湾南部之曾文水库泰山滑坡的调查与治理规划之方法以及过程予以说明及探讨, 提供作为尔后应用之参考。

## 1 调查工作之源起

水库集水区之边坡稳定对水库安全的影响甚巨, 过去亦有不少的水库坝体崩坏、溢(越)流或造成大量淤积影响水库营运寿命之事件, 多肇因于水库集水区之大面积边坡土石崩落灾害, 尤以水库淹没区(impounding area)及其保护带(buffer zone)为最。然而一般水库在规划兴建时, 往往较着重于坝址与

坝型之选定工作上, 而甚少注意到水库贮水后淹没区及其保护带所引发之崩塌与滑坡。惟真正影响到水库营运寿命者, 却是水库集水区之崩塌与滑坡所带来的泥砂淤积问题, 尤其会直接影响到水库与坝体之安全。

一般而言, 引起水库集水区产生崩塌或滑动之原因, 除了受地质、地形、气象水文等潜在因素影响外, 其主要诱发破坏的因素有<sup>[1]</sup>: 1. 因不当的土地利用、开挖整理地或废弃土石之填筑等, 造成边坡之承载情况变动所引起者; 2. 因坡面之排水不良或因小蚀沟之扩大, 进而引起者; 3. 因道路的开辟修与坡面开发等因素, 而切除坡脚所引起者; 4. 因坡面土壤受到异常降雨影响, 使得间隙水压升高, 造成边坡之不平衡而引起者; 5. 水库贮水营运后, 因淹没区坡脚之土壤饱和软化而发生小规模之崩塌, 进而引发者; 6. 因水库贮水位急速下降, 使得地下水不能即时消散, 遂产生过剩间隙水压, 因而引发者; 7. 水库淹没区边坡受水波浪潮之不断冲击, 引起坡脚之淘刷, 进而产生者。

因此, 对水库淹没区及其保护带之潜在崩塌或滑坡, 应予完善地调查与研究, 盼能亡羊补牢而降低

收稿日期: 2001-08-09; 改回日期: 2002-04-02。

作者简介: 许中立(1963-), 男(汉族), 台湾省台中市人, 博士, 屏東科技大学水土保持系助理教授, 主要从事滑坡灾害调查、监测预警和防治工作。先后发表学术论文(著)30余篇(部)。

其威胁。本试验地之位置在台湾南部嘉义县之大埔乡,为台叁线公路 345km 泰山段之下边坡,为毗邻曾文水库保护带之一处边坡。由于长年受到雨水浸蚀冲刷之影响,于 1991~1992 年间引发严重之地层滑动灾害,其后每遇台风豪雨均发生断断续续的滑动,灾害逐渐扩大,造成路面龟裂下陷,影响交通安全。为能探究其滑移机制与防止其灾情的持续恶化,乃提出本调查研究计划,针对该地区之地形与地质特性、土层与岩层强度、地表移动量、滑动面深度以及其崩塌围等相关性质进行必要之调查、量测与解析工作,以便了解其产生滑动的确切因素,据此再规划有效而可行之治理对策,以供管理机关尔后在治理工作之上参考。

## 2 材料与研究方法

### 2.1 试验地概述

#### 2.1.1 地理位置与地形

本试验地系位于台叁线公路 345km 之下边坡,其行政区上归属于嘉义县大埔乡之茄寮村,距嘉义市之行车时间约 1.5 h,如图 1 所示。由于其毗邻曾文水库之保护带,而曾文水库又是供应嘉南地区之灌溉、公共给水与工业用水的重要水库,兼具发电、防洪、供水与观光等多重目标用途,有长期维护的必要。

试验地内坑沟密布,水系亦多呈现树枝状之分布,蚀沟底床块石散布,侵蚀作用发达,坑沟两岸因长期的冲蚀崩塌而多为陡峻之不稳定边坡,其下游滨临水库淹没区尚有数处之崩塌地存在。据现场踏勘与地形测量结果,本滑坡略呈[酒瓶型(杓子型)]之滑动地形<sup>[1]</sup>,上下段之纵长约为 280m,面积近 4hm<sup>2</sup>,如图 2 所示。

#### 2.1.2 地质与土壤

本试验地所出露之地层为第三纪上新世之北寮页岩,相当于台湾中部之卓兰层。北寮页岩整合于竹头崎层之上部,为由青灰色至灰黑色页岩所组成的薄互层所形成。本试验地下方坑沟内可发现明显之岩层位态变化,在滑动区东侧之岩层走向为北偏东 4°~10°,向西倾斜 60°~70°,而往西侧则逐渐变为走向北偏西 10°~30°,向东倾斜 70°~80°,形成一向斜构造(即所谓之玉井向斜)。并可发现一错动约 50cm 左右之小断层。由于此向斜轴之两翼,倾斜角度皆很大,故在轴部一带,岩层较为破碎,且其位态呈一扭曲状之变化。但轴部围不宽,约 20m~30m,故其影响程度较小。土壤地表土多属于第三纪岩所

风化之定域上,土质为棕黄色之砂质壤土,构造疏松,有机质颇丰,但底土较为坚实且略带粘性<sup>[3]</sup>。

#### 2.1.3 水文与气候

曾文水库集水区之气候型态属亚热带型气候,全年分为干湿两季,每年之 4~9 月为湿季,10 月至翌年 3 月为干季。根据 1975~1995 年的资料统计,其年平均降雨量为 2 915.3mm,年最大降雨量为 4 149.5mm(1977 年),年最小降雨量为 1 464.0mm(1980 年),湿季所降雨量占全年降雨量 80.4%。

又依据曾文气候站所观测资料其月平均气温为 24.7℃,而月平均气温以 1 月为最低,夏季之 6~8 月为最高。月平均最高气温以 7 月之 33.0℃最高,1 月之 23.9℃最低;月平均最低气温以 1 月之 12.7℃最低,7 月之 24.1℃最高。月相对湿度以 1 月之 78.3%为最大,而以 7 月之 70.5%为最小。月平均蒸发量以 7 月之 133.8mm 为最大,而以 12 月之 64.8mm 为最小<sup>[3]</sup>。

#### 2.1.4 土地利用

本试验地为毗邻水库的保护带,土地产权系为国有,地目为杂木林,惟长久以来承租予农民造林至今。滑动区内有产业道路沿山岭线贯通全区,目前所种植的作物系以当地特产之麻竹以及些许的杂粮(玉米)、蔬果等作物为主,植被之状况尚佳。

由于土地系属承租性质,加上人烟稀少地处山区,因此区内之排水系统与坡面保护措施等的投资较少,造成长期的冲蚀沟(gully erosion)的逐渐发展,进而影响边坡之稳定性。

### 2.2 调查与分析方法

对崩塌或滑坡灾害之治理规划与设计,首重滑动破坏诱因之了解与滑动破坏机制之调查、监测与研判。然后再根据调查监测所得资料予以解析,在究明其滑动破坏之潜因与诱因后,才着手规划与设计适当之防治对策,方能得到良好的治理成效。

然而崩塌或滑坡之调查项目繁多,若全部予以实施则不但费时、费事且不甚经济,故衡量人力、时效、经济性与灾害规模等因素后,乃规划下列之调查监测项目进行之<sup>[4~8]</sup>。

#### 2.2.1 一般调查

1. 资料之集与分析:集滑动区围内调查治理规划所需之历年水文、气象、地质、航照等有关之基本资料,以及以往附近之调查、规划、设计、施工资料与文献等,予以分析检讨。

2. 现场踏勘调查:于规划设计之初,须亲赴现场

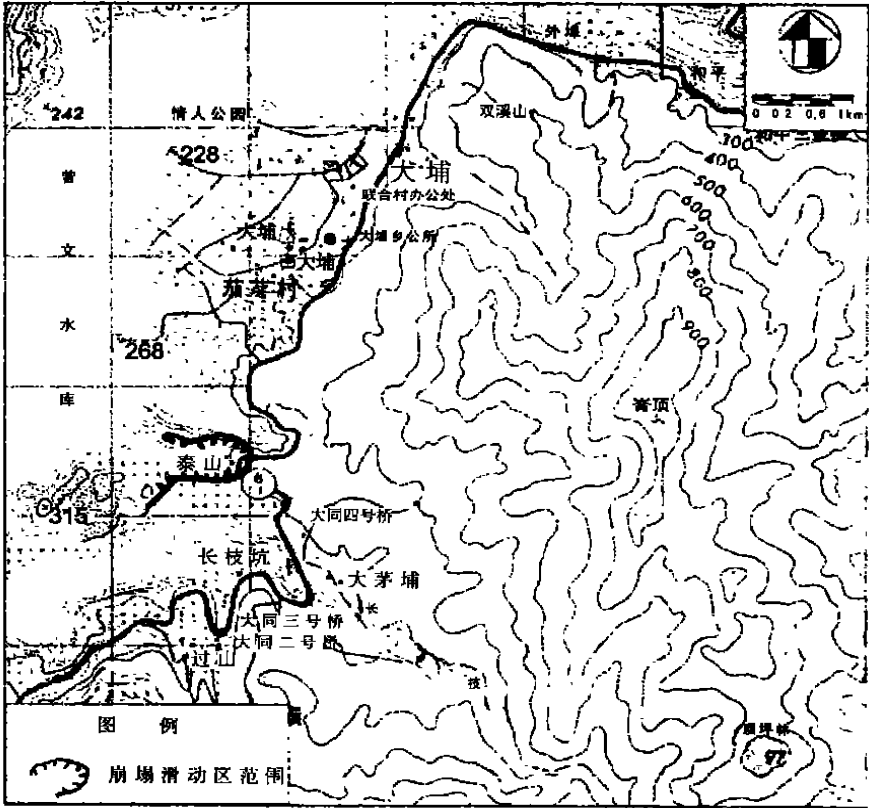


图 1 试验地地理位置图

Fig. 1 The treatment location of Tai-Shan landslide

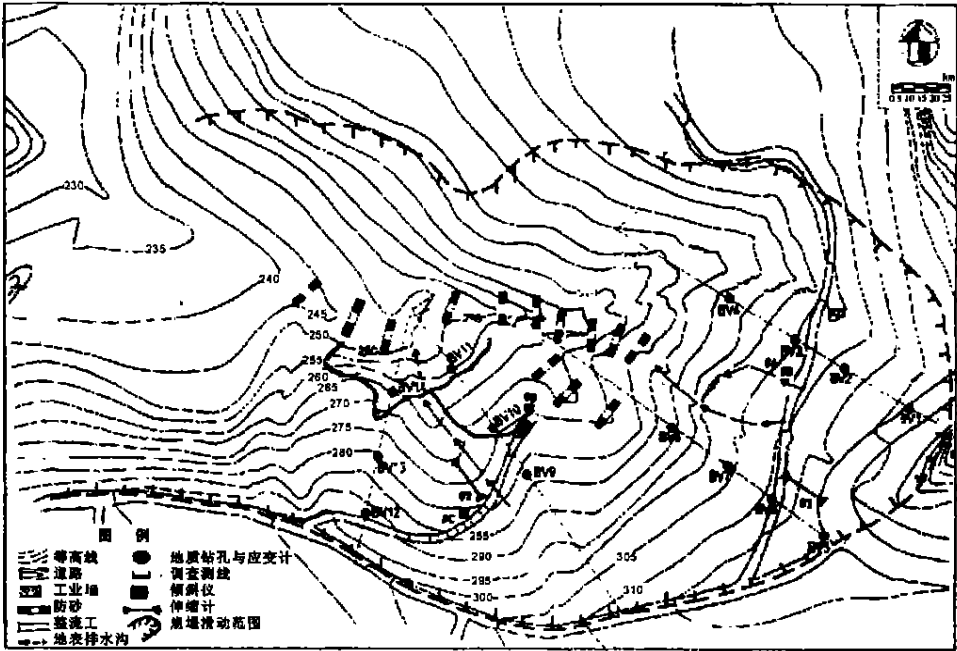


图 2 泰山滑坡地形及整治规划图

Fig. 2 The terrain and prevention work planning of Tai-Shan landslide

实地了解整个规划地区的情形,包括人口、住户、房舍、交通进出难易情况与受灾状况等。如此不仅有助于对滑动区灾害危险程度的了解,同时也关系到尔后工程规划之合理性与施工之难易度。

3. 地形测量: 由于滑动后之地形已与过去不同,故针对实际之滑动区域进行地形测量工作,比例尺通常为 1:500~1:1200,以便能提供作为治理工程规划设计时之底图。同时对区内之主要裂隙位置、滑落崩陷与涌水处等,经检测核对后记录于地形图上。

4. 地质调查与钻探: 为了解滑动区内之地形状况、土壤性质、地下水分布与土层参数,乃于滑动区适当位置实施地质钻探调查。钻孔布置方式是先确定滑动方向,再决定主、副测线位置,以间距 30 m~100 m 之方式布置一个钻孔。依现场地形与滑动方向,总计布设 5 条测线共 14 个钻孔,每孔施钻深度约 14.3 m。钻探系采用冲洗式(wash boring)为主,并辅以旋转式(rotary driving)及冲击式(percussion driving)两种配合作用。此外,地质钻探除可了解土壤与岩盘的分布与一般物理性质外,尚可利用此钻孔而埋设应变测定管或倾斜管等,予以侦测地层之滑动面位置与移动量大小等,并且可供为观测地下水位变化与进行相关试验之用。

5. 土壤力学试验: 岩芯样本除可研判该地区地层状况及可能滑动面位置,更可实施相关之土壤物理与力学试验,以为研判滑动面及治理工程规划设计参考。各孔原则上每 1.5 m 间隔或于地层之变化处,进行标准贯入试验,并以劈管采取土样,实施粒径分析、阿太堡界限分析、单位重与总体密度之测定以及土壤含水量等物理性质试验,此外各钻孔更进行三轴压缩及直接剪力试验。

### 2.2.2 特殊调查

为明了本试验地之地层滑动的实际规模及可能影响因子间的互动关系,乃于各钻探孔中埋设应变测定管以研判滑动面之位置与变动潜势,并于滑动区内适当之位置装设地表伸缩计以监测地层之移动情形。

1. 滑动面调查分析: 除依据钻探岩芯研判可能滑动弱面位置外,并藉所埋设之应变测定管来监测地层的移动变化。地中应变量的测定系采用管式应变计之方法而加以测定。所谓管式应变计系在室内预先用 PVC 塑胶管予以 strainer 之加工后,并在其上以 2 gauge A—A 法,每间隔 1~2 m 黏贴一对应变片,以细纱布及胶带缠绕塑胶管,再以连接方式埋入地质钻探调查之钻孔中,并回填细砂后予以压实固定。将管式应变计装置固定后,而以日制之 EM—92 数字型测定器每周予以检测一次。

2. 地下水位调查观测: 除现场调查地表涌水的分布状况外,并于所施设之钻孔中放入触针式水位

计定期量测地下水位变化,此外更可利用其进行地下水之追踪、检层与抽水等试验调查工作,以为治理工程规划设计与排水工法之成效评估的参考。

3. 地表移动与倾斜变动调查观测: 为掌握试验地之地表移动与量测其倾斜变动方向,以便能研判其滑动潜势与活动状态,乃于滑动区之边界或滑落崖至头部附近的适当位置,架设二组之地表移动伸缩计与叁组之地表倾斜仪,采半自动记录方式(即定期检测与更换记录器或纸方式)收集资料再予以分析。

### 2.2.3 综合判断与治理对策规划

就所集、调查与观测所得之资料应用相关之理论或模式进行必要之检讨与分析研究,以究明滑动之潜因与诱因,并依据限平衡之边坡稳定分析原理,探求适当之防治工程措施,使滑动坡面能尽速达到稳定平衡状态,减低其对公共设施与大众安全之危害。

经上述的调查、分析在明了其滑动机制后,即可着手整治对策之规划与设计。目前对于崩塌或滑坡之治理主要的对策(方法)可归纳如下:

1. 预防对策: 亦即尽可能避免因崩塌或地滑所造成之危害,例如危险地区之划定迁村、事前之预警措施或回避于可能灾害地区之各种活动等;

2. 抑制工法(control works): 又称为诱因之除去法,即改善其地形、土质以及地下水等状况,以去除发生破坏的诱因或恢复边坡平衡状态之工法。如迳流渗透防止工法、河工构造工法、地表排水工法与地下排水工法等;

3. 抑止工程(restrain works): 即靠着抑止构造物之兴而予以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,以防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、深基础桩工法与加劲工法等;

4. 特殊工法(special works): 即改变滑动土体特性的方法。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滑坡之因素错综复杂,再加上边坡于破坏时会产生庞大的能量与推力,实非单独的工法所参承担,故有效之治理对策必须因地制宜运用多种方法,而予以同时配合进行,方能收事半功倍之效。

## 3 结果与讨论

### 3.1 调查与试验结果

为能究明本地区发生滑动之机制,乃进行了上述的多项调查、监测与试验工作,根据相关资料集以及现场勘查观测结果得知:

1. 地质钻探与试验结果

据野外地表地质调查与钻探之岩芯样本研判结果, 可将地层概分为表土层、风化岩层以及新鲜砂岩、页岩与砂页岩之互层等 3 种。表土层之厚度约 1 m ~ 2 m, 组织疏松、构造软弱、极易受降雨迳流的侵蚀与冲刷。部份区域因地表迳流冲刷而形成深 2 m ~ 5 m 的蚀沟, 致使岩层裸露或为上方崩落之岩块所堆积; 风化岩层分布深度约 2 m ~ 10 m 不等, 多属中至高度的风化, 呈现黄棕色或黄褐色, 且相当破碎、透水性甚佳, 而强度较为软弱, 部份页岩区段已

整个风化成碎片状, 在边坡上甚易滑落, 而于坡趾处更形成小型之崖锥体积; 新鲜砂岩、页岩与砂页岩互层, 由出露之极细砂岩层中并夹有由薄层 3 cm ~ 1 m 之灰黑色页岩, 仅偶夹有灰色之细粒砂岩, 由岩芯与部份露头观察, 其胶结程度尚可, 岩石品质指标 (RQD) 亦大都为 40 % ~ 80 %, 推估其单压强度约为 25 MPa ~ 40 MPa, 属低强度之岩石, 岩石品质普通。又土壤物理与力学性质试验方法系依据一般之试验规而操作, 其结果如表 1 ~ 3 所示:

表 1 土壤之一般物理性质试验

Table 1 Some soil physical properties of boring hole

孔号	土样号	深度 (m)	颗粒分析			含水量 (%)	阿太堡限度			土体密度 (t/m³)	比重 (GS)	孔隙比 (e)	N 值	分类
			G	S	MC		LL	PI	PL					
BV1	S-1	1.05 ~ 1.50	00	58	42	13.6	NP	NP	NP	1.79	2.64	0.68	9	SM
	S-2	3.55 ~ 4.00	00	62	38	12.7	NP	NP	NP	1.86	2.67	0.62	9	SM
	S-3	5.05 ~ 5.50	00	43	57	11.2	16	10	6	1.85	2.65	0.59	9	ML
	S-4	6.25 ~ 6.70	00	46	54	11.9	15	11	4	1.91	2.63	0.54	47	ML
BV2	S-1	1.05 ~ 1.50	00	54	46	14.1	NP	NP	NP	1.84	2.68	0.66	7	SM
	S-2	3.05 ~ 3.50	00	69	31	12.6	NP	NP	NP	1.90	2.65	0.57	8	SC
	S-3	4.55 ~ 5.00	00	74	26	11.8	NP	NP	NP	1.94	2.66	0.53	14	SC
	S-4	5.75 ~ 6.20	00	59	41	10.9	NP	NP	NP	1.93	2.65	0.52	41	SC
BV3	S-1	1.05 ~ 1.50	00	56	44	12.8	NP	NP	NP	1.86	2.69	0.63	17	SM
	S-2	2.55 ~ 3.00	00	76	24	11.7	NP	NP	NP	1.78	2.64	0.66	10	SC
	S-3	4.05 ~ 4.50	00	67	33	10.9	NP	NP	NP	1.84	2.67	0.61	23	SC
	S-4	5.55 ~ 6.00	00	65	35	9.6	NP	NP	NP	1.96	2.70	0.51	> 50	SC
BV4	S-1	1.05 ~ 1.50	00	57	43	14.8	NP	NP	NP	1.80	2.64	0.68	8	SM
	S-2	2.55 ~ 3.00	00	80	20	13.7	NP	NP	NP	1.85	2.65	0.63	10	SC
	S-3	3.55 ~ 4.00	00	72	28	12.7	NP	NP	NP	1.90	2.67	0.58	17	SC
	S-4	6.55 ~ 7.00	00	75	25	11.0	NP	NP	NP	1.96	2.66	0.51	> 50	SC
BV5	S-1	1.55 ~ 2.00	00	42	58	13.5	NP	NP	NP	1.82	2.66	0.66	20	ML
	S-2	3.05 ~ 3.50	00	52	48	13.1	NP	NP	NP	1.88	2.64	0.59	30	SC
	S-3	4.20 ~ 4.65	00	56	44	11.6	NP	NP	NP	1.89	2.68	0.58	37	SC
BV6	S-1	1.55 ~ 2.00	00	55	45	13.4	NP	NP	NP	1.82	2.64	0.64	13	SM
	S-2	2.75 ~ 3.20	00	63	47	12.1	NP	NP	NP	1.88	2.68	0.60	26	SC
BV7	S-1	1.05 ~ 1.50	00	58	42	15.3	NP	NP	NP	1.80	2.67	0.71	10	SM
	S-2	2.55 ~ 3.00	00	61	39	12.7	NP	NP	NP	1.90	2.65	0.57	23	SC
BV8	S-1	1.05 ~ 1.50	00	53	47	11.8	NP	NP	NP	1.89	2.69	0.59	14	SC
BV9	S-1	1.05 ~ 1.50	00	58	42	14.6	NP	NP	NP	1.88	2.68	0.63	10	SC
	S-2	2.55 ~ 3.00	00	63	47	13.8	NP	NP	NP	1.96	2.64	0.53	11	SC
	S-3	4.05 ~ 4.50	00	38	62	13.7	18	11	7	1.85	2.64	0.62	14	CL
	S-4	5.55 ~ 6.00	00	49	51	11.5	NP	NP	NP	1.89	2.67	0.58	25	SC
BV10	S-1	1.05 ~ 1.50	00	56	44	14.5	NP	NP	NP	1.83	2.65	0.66	14	SM
	S-2	2.55 ~ 3.00	00	54	46	14.2	NP	NP	NP	1.83	2.66	0.66	14	SC
	S-3	5.55 ~ 6.00	00	32	68	12.8	28	17	11	1.90	2.67	0.59	16	CL
	S-4	7.05 ~ 7.50	00	27	73	11.7	26	18	8	1.94	2.67	0.54	30	CL
	S-5	8.28 ~ 8.70	00	48	52	10.5	NP	NP	NP	2.01	2.68	0.47	26	SC
	S-6	9.75 ~ 10.20	00	33	67	11.2	21	14	7	1.93	2.63	0.52	23	CL
BV11	S-1	1.05 ~ 1.50	00	55	45	14.2	NP	NP	NP	1.86	2.65	0.63	15	SM
	S-2	3.00 ~ 3.45	00	57	43	11.9	NP	NP	NP	1.90	2.67	0.60	24	CL
BV12	S-1	1.05 ~ 1.50	00	39	61	13.7	19	13	6	1.90	2.67	0.60	14	SM
	S-2	2.55 ~ 3.00	00	26	74	14.2	16	9	7	1.86	2.67	0.64	38	SC
	S-3	5.70 ~ 5.83	00	47	53	11.6	NP	NP	NP	1.93	2.65	0.65	> 50	SC
BV13	S-1	1.05 ~ 1.50	00	56	44	12.5	NP	NP	NP	1.79	2.66	0.67	10	SC
	S-2	2.35 ~ 2.60	00	31	69	8.5	20	12	8	1.92	2.69	0.52	> 50	SC
	S-3	3.55 ~ 3.70	00	40	60	9.3	17	11	6	1.96	2.70	0.51	> 50	SC
BV14	S-1	1.05 ~ 1.50	00	49	51	14.4	NP	NP	NP	1.84	2.63	0.64	8	SM
	S-2	2.55 ~ 2.75	00	52	48	9.8	NP	NP	NP	1.95	2.65	0.49	> 50	CL

表 2 土壤直接剪力试验  
Table 2 Results of soil shear stress test

孔号	编 号	深度 (m)	凝聚力 c (t/m <sup>2</sup> )	摩擦角 Ψ (°)
BV1	DS—1	4.22~4.43	1.5	24.5
BV2	DS—2	3.67~4.00	2.1	23.2
BV3	DS—3	3.60~4.00	1.2	27.0
BV4	DS—4	5.50~6.00	1.0	29.1
BV5	DS—5	3.76~4.00	1.7	26.3
BV6	DS—6	3.40~3.60	3.4	31.5
BV7	DS—7	3.00~3.20	2.8	28.4
BV8	DS—8	2.00~2.40	1.9	25.2
BV9	DS—9	2.18~2.41	1.1	26.7
BV10	DS—10	8.50~8.75	2.3	27.1
BV11	DS—11	2.72~3.00	2.8	27.5
BV12	DS—12	5.00~5.28	3.8	33.6
BV13	DS—13	3.00~3.30	2.7	29.8
BV14	DS—14	2.80~3.00	1.7	30.6

2. 滑动面调查结果

由地质钻探的资料配合地中应变测定管之观测结果,再根据累积应变量变化最大的深度之上、下1m位置即可能为滑动破坏面的原则<sup>[8]</sup>,研判可能滑动深度多在地表下1m~6m左右,除部份地区受地形之影响滑动深度较深外,其余均在3m~4m附近,属于浅层(≤5m)之地表滑动类型<sup>[9]</sup>,滑动深度均位

在表土层至高度风化层之间,并未深达新鲜岩盘。显见本地区之滑动层较浅,易受地表面侵蚀、蚀沟淘刷与降雨渗透浸润等之影响,而产生间歇性的向下滑移情形。

3. 地下水变动之观测结果

至于地下水位定期检测结果显示,于1996—05之梅雨季节与7~8月初因连绵降雨使得当地之地下水位明显升高,且大部份钻孔水位均已接近地表,惟在进入旱季后,地下水位则很快地降至甚低,显示此种地下水为属浅层之贮留水,易受天候的影响,尤其是位于测线末端之钻孔受地势陡峻作用,地下水易消散涌出,故其变动幅度较大,平时地下水位也较低,其地下水位之变动状况如表4所示。由于地下水位之大幅变动,必然促使地层中之间隙水压产生剧烈变化,进而减低坡面之抗剪强度,影响边坡之稳定性。

4. 地表倾斜与移动伸缩变动之观测结果

三组地表倾斜仪之观测结果得知地表日平均变动量分别为10.04 s、16.11 s、17.20 s,均属于确定变动型<sup>[4]</sup>,地层之滑移变动情况相当地活泼,其中又以滑动区左侧之变动最为剧烈,而右侧之变动则与降雨量之关系最密切,如图3所示。

表 3 土壤 3 轴试验  
Table 3 Results of soil triaxial test

孔号	编 号	深度 (m)	比重 (Gs)	试验 类别	凝聚力 c' (t/m <sup>2</sup> )	摩擦角 Ψ' (°)	凝聚力 c (t/m <sup>2</sup> )	摩擦角 Ψ (°)
BV1	TC—1	4.58~4.74	2.68	CD	1.7	24.8		
BV2	TC—2	4.00~4.18	2.66	CU	1.4	25.6	2.2	22.4
BV3	TC—3	4.75~5.00	2.65	CD	0.8	28.2		
BV4	TC—4	7.00~7.50	2.69	CD	2.1	22.4		
BV5	TC—5	4.00~4.22	2.65	CU	1.5	28.2	2.6	24.6
BV6	TC—6	3.66~3.85	2.65	CD	2.8	34.6		
BV7	TC—7	3.20~3.50	2.67	CD	4.2	26.7		
BV8	TC—8	3.20~3.50	2.68	CU	1.9	27.1	2.7	22.6
BV9	TC—9	3.70~4.00	2.66	CD	2.7	25.0		
BV10	TC—10	9.00~9.30	2.64	CD	1.1	32.6		
BV11	TC—11	3.70~3.90	2.69	CU	3.1	28.7	5.2	20.6
BV12	TC—12	5.80~6.00	2.66	CD	3.0	34.6		
BV13	TC—13	3.80~4.00	2.69	CD	1.8	31.6		
BV14	TC—14	3.60~4.00	2.68	CU	2.6	32.5	5.7	21.8

表 4 地下水位观测结果

Table 1 Results of groundwater table investigation

观测日期	BV1	BV2	BV3	BV4	BV5	BV6	BV7	BV8	BV9	BV10	BV11	BV12	BV13	BV14
1996/02/13	6.24	4.36	5.34	7.72	7.34	6.57	2.98	5.44	4.20	4.69	5.15	4.64	3.86	8.61
/02/21	6.24	4.36	5.34	7.72	7.34	6.57	2.98	5.44	4.20	4.69	5.15	4.64	3.86	8.61
/02/28	6.24	4.36	5.34	7.72	7.34	6.57	2.98	5.44	4.20	4.69	5.15	4.64	3.86	8.61
/03/06	6.23	4.39	5.45	8.18	7.49	6.31	3.30	6.00	4.24	4.94	5.53	4.57	4.16	8.62
/03/09	6.26	4.39	5.46	8.26	7.58	7.30	3.27	5.98	4.35	4.99	5.77	4.75	4.35	8.64
/03/16	6.29	4.59	5.55	8.53	7.74	7.36	3.40	6.22	4.50	5.24	5.94	4.94	4.65	8.65
/03/23	6.37	4.69	5.46	8.72	7.96	7.33	3.30	6.35	4.52	5.24	6.01	5.17	4.91	8.68
/03/31	6.42	4.79	5.78	8.94	8.22	7.62	3.50	6.44	4.52	5.38	6.41	5.40	5.26	8.70
/04/06	6.54	4.90	5.83	8.71	8.32	7.44	3.52	6.52	4.70	5.55	6.48	5.52	5.44	8.73
/04/13	6.56	4.89	5.89	8.36	8.46	7.44	3.58	6.55	4.78	5.66	6.58	5.63	5.64	8.66
/04/20	5.55	3.93	5.79	7.81	6.75	1.72	3.19	6.01	4.46	5.50	6.66	5.52	8.66	8.57
/04/24	6.20	4.60	5.66	7.42	7.12	6.20	2.80	6.57	4.12	5.34	6.74	6.36	5.65	8.58
/05/01	6.15	4.84	5.87	8.56	7.45	6.38	3.26	6.57	4.57	5.73	6.85	7.05	5.86	8.60
/05/08	4.55	3.38	0.35	4.51	2.20	1.28	0.89	2.28	3.27	0.42	6.91	2.39	0.93	8.59
/05/15	5.36	3.73	5.25	7.95	4.93	5.22	2.70	2.76	4.46	2.23	6.94	4.72	2.05	8.60
/05/25	5.19	2.79	4.39	8.81	3.80	8.80	2.23	2.45	4.72	2.01	6.97	4.01	1.49	8.44
/06/02	4.80	1.99	2.99	5.82	3.85	3.07	0.73	2.15	3.15	1.47	6.99	4.09	1.31	6.99
/06/10	4.91	2.45	3.21	5.99	4.17	2.94	0.97	2.34	2.88	1.45	7.03	4.20	1.30	7.83
/06/19	5.03	2.05	3.77	5.67	5.37	3.95	1.05	2.51	2.18	1.85	7.08	4.49	1.76	7.24
/06/28	5.22	2.04	2.67	5.69	6.50	4.68	1.11	2.56	2.18	2.02	7.13	4.74	1.99	8.24
/07/04	5.12	2.49	2.61	5.77	7.00	2.48	1.47	2.80	2.53	1.58	7.19	4.93	1.70	8.55
/07/12	5.25	2.78	2.58	5.85	5.50	5.10	1.61	2.88	2.68	2.46	7.23	4.87	2.45	8.54
/07/20	4.41	0.98	2.30	6.13	7.42	2.07	0.25	1.91	1.06	1.22	7.33	4.25	0.82	6.11
/07/27	2.83	0.50	0.48	4.07	7.30	1.39	0.17	1.39	0.31	0.65	7.31	2.41	0.56	4.61
/08/03	3.04	0.91	0.91	4.51	3.77	0.99	0.23	0.70	0.26	0.79	2.06	3.83	0.85	4.53
/08/10	3.06	0.82	0.00	4.42	3.78	0.96	0.22	1.05	0.08	0.85	1.42	3.60	0.82	4.73
/08/19	3.13	1.04	0.98	4.69	2.59	1.38	0.28	2.09	0.35	1.21	2.53	4.06	1.43	4.95
/08/28	3.83	1.30	1.47	4.97	3.52	1.54	0.43	2.44	0.92	1.41	1.91	4.48	1.68	5.99
/09/04	4.17	1.40	1.99	4.17	4.15	1.44	0.82	2.31	1.60	1.66	2.58	4.90	2.08	7.14
/09/11	4.00	1.35	1.39	5.07	4.51	1.97	1.01	2.49	1.29	1.62	2.43	4.23	1.71	6.20
/09/17	4.31	1.53	1.48	5.09	6.70	1.98	0.93	2.56	2.46	1.85	2.88	4.92	2.16	7.31
/09/25	4.31	1.33	1.80	5.18	6.43	2.41	0.43	2.23	1.54	1.68	3.19	4.13	1.81	6.00
/10/04	4.65	1.56	0.37	5.32	6.97	2.31	0.94	2.71	1.95	1.96	4.20	4.81	2.29	7.37
/10/16	4.74	0.22	2.51	5.43	7.48	4.55	2.59	2.49	2.05	1.96	4.14	4.90	2.28	7.37
/10/23	4.56	2.05	2.30	5.39	7.57	3.37	1.32	2.54	2.56	1.99	4.23	4.93	2.34	7.48
/10/31	5.07	2.20	3.51	5.59	7.73	3.67	1.06	2.40	2.68	2.15	4.21	4.78	2.70	7.19
/11/09	5.15	2.82	2.22	5.46	7.54	4.90	1.59	3.26	2.86	2.23	5.15	4.93	2.94	7.06
/11/20	5.31	2.85	3.18	6.37	8.06	5.35	1.60	3.10	2.79	2.36	4.79	4.77	3.15	7.94
/12/01	5.52	3.08	3.65	5.81	8.24	6.09	1.86	4.33	3.40	1.96	4.96	4.94	3.44	8.18
/12/07	5.55	3.08	2.83	6.24	8.32	2.78	2.19	4.18	2.98	2.53	4.83	4.98	3.43	7.21
/12/18	5.41	2.90	4.60	6.09	8.47	5.75	2.07	6.11	1.87	2.97	5.16	5.01	4.02	8.14
/12/28	5.64	3.26	4.64	6.78	8.58	2.67	2.33	3.93	3.32	3.32	5.18	5.30	4.32	7.89
1997/01/04	5.77	3.25	4.68	6.94	8.46	6.41	2.37	5.01	3.42	3.48	5.80	5.38	4.47	7.12
/01/11	5.74	3.57	4.76	6.90	8.45	3.66	2.43	3.96	3.35	3.44	4.72	5.43	4.61	8.55
/01/18	5.80	3.35	4.76	7.34	8.69	5.32	2.49	4.30	3.51	3.80	5.90	5.56	4.67	8.14
/01/29	5.72	3.42	4.89	7.59	8.63	6.15	2.49	4.73	3.53	4.02	4.76	5.67	4.95	8.11
/02/05	5.79	3.51	4.45	7.57	8.60	5.20	2.40	4.64	3.56	2.22	5.17	5.77	5.97	8.48
/02/13	5.46	3.54	4.92	7.64	8.73	6.02	2.52	4.84	3.82	2.62	5.18	5.80	5.17	8.12
/02/26	5.48	3.50	4.99	7.94	8.61	5.82	2.24	4.88	3.78	3.12	5.02	5.57	5.37	8.15
/03/10	5.56	3.21	4.90	7.94	8.93	5.17	2.65	4.94	3.87	3.38	5.17	5.74	5.37	8.13
/03/19	5.27	3.85	4.77	7.95	8.47	5.77	2.65	5.30	4.23	4.42	5.93	5.70	5.70	8.22
/03/29	4.96	2.35	4.42	7.89	8.49	3.76	1.94	2.35	3.73	4.86	6.12	4.57	2.11	7.02
/04/11	4.94	2.68	4.67	8.14	8.67	5.28	2.09	2.90	3.93	2.51	6.10	4.83	2.70	8.28
/04/27	5.16	2.99	4.67	8.27	8.50	5.29	2.22	2.52	4.01	3.09	6.09	5.03	3.85	8.33
最高水位	2.83	0.22	0.00	4.07	2.20	0.96	0.22	1.39	0.08	0.42	1.42	2.39	0.82	4.53
最低水位	6.56	4.90	5.89	8.94	8.93	7.62	3.58	6.57	4.78	5.73	7.33	7.05	5.86	8.68
变动幅度	3.73	4.68	5.81	4.87	6.73	6.66	3.36	5.18	4.70	5.31	5.91	4.66	5.04	4.15

注: 1. 表中数值为地表至地下水面之公尺数。

2. 一表全区之最高或最低水位。

3. □表全区变动幅度最大或最小者。

©1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

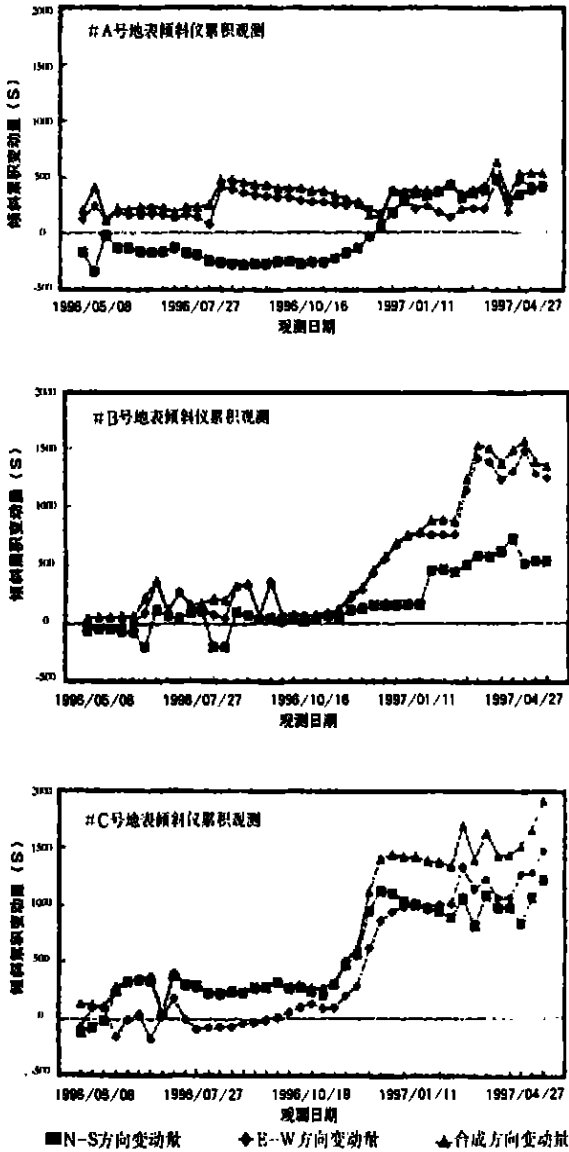


图 3 地表倾斜变动观测结果

Fig. 3 Variation of surface inclinometer record

而位于台叁公路下方之伸缩计, 其所检测的地表累积移动量达 3 cm, 以 5 月底、7 月中与 7 月底之移动量变化较明显。而位于滑动区左侧连络道入口处下方之伸缩计所检测的地表累积移动量则高达 14 cm, 且于 7 月底之台风豪雨使得地表裂隙增大, 更引起局部的崩塌, 显见灰山滑坡整体之活动力甚强, 尤其是左侧部份由于地势较陡的缘故, 应特别予以留意, 如图 4 所示。

### 3.2 综合分析治理规划

综合上述之资料分析, 本滑动区内虽已有连络道之设置, 然排水系统并未同时考量。因此降雨时雨水极易漫流或蓄积而渗入地下, 加上地层为向斜

轴的东翼, 属顺向坡(dip slope)构造, 地势陡峻, 且坑沟之侵蚀作用剧烈, 致使边坡末端趾部一再地受到下切淘刷, 导致上边坡因失去平衡支撑, 遂引起地层滑动灾害。一般而言, 滑坡的平面形状可分为[ 马蹄型]、[ 角型]、[ 泽型]、[ 酒瓶型] 等 4 种, 而本地区则应属酒瓶型之滑动。其主要特征为滑动面甚浅, 斜面中间具有软弱层, 而形成众多掌状坑沟<sup>[4]</sup>。

由上述的调查和分析可知, 主要造成本地区产生边坡破坏的原因, 除了地层上为属于顺向坡构造, 以及地质上的材料胶结度不佳外, 最重要的诱因则是雨水的漫流入参与坑沟的向源侵蚀作用所致, 是属于多种因素复合作用的结果。因此在防治对策上就应结合抑制与抑止工法而以地表水排除工法与基脚压土工法并用为主, 将主要之坑沟加以整治妥当, 使其迳流水能安全排出, 再配合必要之一般坡面挡土工法, 如此应可达到稳定边坡之功效。

根据上述的原则, 参照滑动的区块、坑沟位置、地形变化、滑动面与土壤性质参数等资料, 本滑动区之治理工程规划则如图 2 所示, 整治项目包括有:

1. 坑沟整治工程: 整建滑动区左侧钢筋混凝土排水沟长 245 m, 断面为 1 m×1 m, 并设置跌水 14 座及每 10 m 增设插墙以稳定沟身。

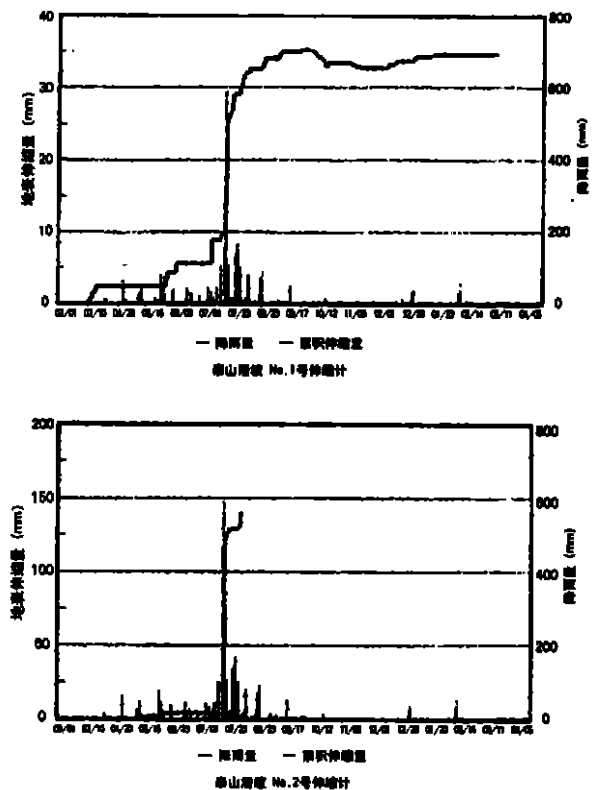


图 4 地表伸缩计观测结果

Fig. 4 Variation of surface tension record

2. 潜坝兴建工程: 沿主要坑沟及其支流之溪床上, 构高度为 1m ~ 4m 之混凝土潜坝共计十座。且在坝体基础之开挖时, 更以间隔 1m ~ 2m 打入深度 5m ~ 7m 之钢轨桩, 以增强坝体的稳定和淤砂拦土、控制冲刷之功效。

3. 道路排水工程: 整治滑动区内上、下两条连络道内侧之混凝土排水沟, 长度 160 m, 断面为 40 cm × 40 cm, 以利地表水能够安全与尽整地排入所整建的排水系统内。

4. 管制措施: 为避免本地区之土地利用不当而再度危害到边坡之稳定性, 若非必要不得有开挖或加载(盖)等行为, 同时对于工程期间所构之临时便道亦应尽量减少开挖或随意填弃土石, 以免影响治理成效。

5. 维护管理: 每年于雨季前后或水库发生 4 级以上地震时, 应派员赴本地区检视区内各项设施情形, 如有损坏应即刻予以修复为宜。

### 3.3 检讨与建议

由于实际的工程时效与预算经费编列(不足)等问题, 致使规划时不得不按原编列之总工程经费的上限而予以设计施工, 使得滑动区上边坡的处理并未列入一并考虑。基于调查监测结果分析与整体边坡稳定性的考量, 原则上本地区若依上述规划设计之方式进行整治, 应可达到防止再次发生大规模滑动灾害的效果。至于其上边坡的局部坡面之滑移崩塌以及道路驳坎修等, 则可待其坡面自然调整平衡后, 再予以施工整修较妥。

施工完成至今已二年余, 该地区之边坡滑动情形也确实得到改善, 主要的坑沟与支流并未再扩大, 所构的潜坝也已发生淤泥拦砂与挡土护坡的功效, 故以往边坡遇雨就滑陷崩塌的情况已不再发生。

惟整治工程实施的同时, 当地农民趁此之便乃将二条既有的连络道予以整修, 并且扩大路基。由于其自行争取的经费有限, 故在因陋就简的情况下, 施工中上边坡已有多处呈现不稳定迹象。至目前为止虽也增建有驳坎保护所开辟的道路边坡, 但当时为施工及农民为进出工作方便所拓宽修的道路, 却成为另一个造成边坡不稳定的肇因, 此乃是始料所未及。

综合来说, 有了事前详细的调查分析对崩塌或滑坡灾害的防治很有助益。尤其当有完善详尽的资料参数, 并确实掌握边坡破坏机制的情况下, 所规划的防治对策才能对症下药、事半功倍。惟整治工作的成败关键, 除了有效的防治对策规划外, 施工作业之过程, 安全监测系统的建立与尔后之维护管理等,

更是不可或缺的重要因素, 应一并纳入整治计划中, 长期实施追踪监控。

## 4 结论

曾文水库保护带的泰山滑坡灾害由调查、观测、规划设计至完成整治历经了 3 年的时间。由于本滑动区事先曾经过详细的调查分析, 因而能充分地掌握住滑动的实态与机制。并且针对滑动之诱因予以实施必要的防治对策, 如此才能经济而有效地抑止其滑动情势, 减少水库淤砂来源, 增加营运安全与寿命, 使得当地农民的生命财产获得必要的保障, 并维护公路交通之畅通。

崩塌或滑坡是台湾地区常见的坡地灾害之一, 要能对其预防与治理, 是十分复杂且不易处理的工作。尤其当整治工作完成后, 尔后的管理维护才往往是治理成效能否延续的重要关键, 许多整治工程的功败垂成多肇因于管理维护工作之未能确实执行所致, 不得不慎重为之。

本滑动区之治理成功, 除因调查规划与设计得宜外, 管理机关的配合以及事后之持续管制与维护实在功不可没, 应可供为往后坡地工程治理功效评量时的参考。惟美中不足的是, 为施工便利而拓宽修建的道路, 又诱发了上边坡的地层滑动现象, 实为始料未及, 有必要对此遭破坏的边坡再进行检讨, 构数座连续潜坝或挡土墙, 以稳定坡面, 防止其持续的下滑。

### 参考文献:

- [1] 中兴大学水土保持学系. 集水区地层滑动与崩塌地调查治理工法研究报告[R]. 2000.
- [2] 小桥澄治, 渡正亮. 地すべソ. 斜面崩坏の预知に对策[M]. 日本: 山海堂, 1987. 27 ~ 31.
- [3] 黎明水利工程顾问公司. 曾文水库集水区第四期治理调查规划报告[R]. 1989.
- [4] 藤原明敏. 地すべソ调查と解析[M]. 日本: 理工图书, 1970. 13 ~ 23, 89 ~ 98.
- [5] 工研院能资所. 崩塌地调查、规划与设计手册(地滑篇)[M]. 台湾: 水土保持局发行, 1992. 123 ~ 135.
- [6] 谢豪荣. 坡地之泥砂灾害与其防治法[J]. 中兴大学水土保持学报, 1997, 29(2): 125 ~ 135.
- [7] 陈信雄. 崩塌地调查及处理模式之研究—滑动稳定性之探讨[J]. 中华林季刊, 1990, 15(2): 33 ~ 59.
- [8] 陈信雄. 崩塌地调查与分析[M]. 台湾: 渤海堂书局, 1995. 125 ~ 135, 372 ~ 383.
- [9] 黄镇台. 地层滑动基本概念[A]. 见: 工研院能资所. 梨山地区地层滑动整治计划—监测系统技术转移研习会讲义[M]. 台湾: 水土保持局发行, 1996.

# The Investigation and Prevention Work Planning of Tai-Shan Landslide Disaster in the Tseng-Wen Reservoir Buffer Zone

HSU Chung-Li<sup>1</sup> and LEE Jin-Lai<sup>2</sup>

(1. *National Pingtung University of Science and Technology, Pingtung, Taiwan 912 China;*

2. *National Beei-Men Vocational High School of Agriculture Engineering, Tainan, Taiwan 727 China*)

**Abstract:** It was the most important thing to realize the temptation factor and to investigate the mechanism of slope failure before the prevention works planning. Then, there were very good efficacy depended on the data and parameter of investigation result for undertaking the suitable prevention works planning. In this study, the experimental site was Tai-Shan landslide, which located at the Tseng-Wen reservoir buffer zone in south Taiwan, and was unstable and giving rise to landslide disaster as a result of the influences of runoff overflow, rainfall infiltration and erosion of gully cutting. This successful example caused slope stability increased by way of efficient and economical prevention works construction such as concrete dam, ditch, drop structures, etc., but part of the slope was induced sliding again owing to the unsuitable road built. Thus, maintenance and management would become more important afterward on landslide area.

**Key words:** landslide; buffer zone; gully erosion; prevention work