

# 崩积层之分类与工程特性研究

董家钧<sup>1</sup>, 杨贤德<sup>2</sup>

(1 大地水保技师事务所, 台湾; 2 长硕工程顾问有限公司, 台湾)

摘要: 崩积层堆积之坡地常被列为不可开发区。然因崩积层不易取样以及取样后之代表性不足, 造成崩积层工程特性研究之困难。搜集整理多件台湾重要之山崩案例, 并按不同山崩机制进行分类统计, 以对于各类型山崩所产生之崩积层产状作一探讨。最后以不同型态之崩积层开发利用实例, 对于不同崩塌机制所产生之崩积层之工程特性调查作一探讨。

关键词: 崩积层; 分类; 研究

中图分类号: p642. 21      文献标识码: A      文章编号: 1005-3409(2001)01-0037-05

## The Categorization and Engineering Characteristics of Colluvial Deposit

DONG Jia-jun<sup>1</sup>, YANG Xian-de<sup>2</sup>

(1 Dadi Soil and Water Conservation Professional Engineers Office, Taiwan;

2 Changshuo Engineering Consultant Co., Ltd; Taiwan)

**Abstract:** The land use for a slope composed with colluvial deposit is restricted. The representative volume of colluvial deposit is larger than normal sized testing specimen. It is difficult to take representative samples from colluvial deposit. Therefore, the study for colluvial deposit is more difficult. This study collects some cases of landslide in Taiwan. The colluvial deposit is categorized into three types according to the mechanisms of landslide. The engineering characteristics of different colluvial deposit are studied through four cases.

**Key words:** colluvial deposit; categorization; study

### 1 前言

台湾因地质构造作用强烈, 加上雨量丰沛且降雨集中, 故山地经常崩滑。崩滑后于坡脚堆积之材料称为崩积层(Colluvial deposit)。崩积层强度低、变形性高且稳定性差, 故经常造成各类工程或土地利用之困扰, 梨山地区古崩积层造成大规模地滑即为一重要案例(詹连昌, 1999)。然因崩积层不易取样以及取样后之代表性不足, 造成其工程特性研究之困难。崩积层之工程特性受其产状、材料特性、堆积处之地形、地下水分布以及崩积层下方之地层与构造等因素控制。举例而言, 对于不同材料组成型态与地下地质相异之崩积层, 其底岩之孔隙水压上升以及地表径流对土石流之触发(Tri-gger)即有不同相关性(林美聆、王幼行, 1999); 不同山崩机制所产生之

崩积层, 不论于堆积规模或稳定性亦有相当高之差异(董家钧等, 1999), 为厘清不同型态崩积层对工程之影响, 崩积层工程特性之研究实有其必要性。

本文搜集 10 余件山崩案例, 按不同山崩机制进行分类统计, 并对各类型山崩所产生之崩积层产状作一探讨。根据目前搜集得之案例, 本研究将崩积层分为三类: (1) 岩块堆积崩积层; (2) 土石混合堆积崩积层; (3) 岩层滑动崩积层。最后以四处不同型态之崩积层为例, 对于崩积层之调查与工程特性作一探讨。

### 2 山崩种类与崩积层堆积型态

#### 2.1 山崩种类与台湾山崩案例统计

崩积层之特性多与山崩种类有密不可分之关系。山崩种类可按移动方式及移动物质之不同加以

\* 收稿日期: 2000-11-20  
作者简介: 董家钧, 大地水保技师事务所负责人; 杨贤德, 长硕工程顾问有限公司总经理。

分类如表 1 (Varnes, 1978)。

表 1 山崩之分类(Varnes, 1978)

移动方式	移动物质		
	岩石	土壤	
		粗粒	细粒
坠落	岩石坠落 <sup>1</sup>	土石坠落	土泥坠落
倾翻	岩石倾翻	土石倾翻	土泥倾翻
滑动	旋滑	岩石崩移 <sup>2</sup>	土石崩移
	平滑	岩层滑动 <sup>3</sup>	土石块滑动 <sup>3</sup>
		岩石滑动	土泥块滑动
		土石滑动 <sup>3</sup>	土泥滑动
侧滑	岩石侧滑	土石侧滑	土泥侧滑
	流动	岩石流动	土石流动 <sup>4</sup>

上标数字为统计自陈宏宇(2000)以及“经济部中央地质调查所”(2000)进行搜集、整理或调查之山崩案例,部份案例实属复合式山崩运动,本研究取主要崩滑机制进行统计。

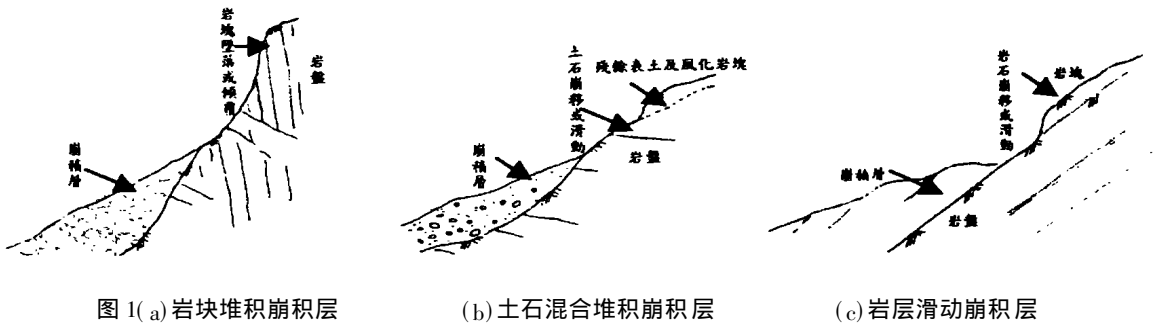
1. 基隆市中山二路落石事件、花莲崇德落石灾害、太极峡谷落石灾害、观音山凌云禅寺落石灾害; 2. 国姓乡长丰村地层滑动; 3. 中寮福

胜村粗坑以及梅山乡太平村山崩灾害; 4. 内湖路土石流灾变; 5. 新店北宜路土石流灾害、台北马槽土石流灾害、林口台地“8·11”水灾土石流灾害;

6. 中寮双坑地层滑动、健康博市地层滑动、左镇山豹 326 号电塔倒塌、龙崎兵仔舍山崩灾害、云林草岭大山崩、八堵连络道山崩、林肯大郡顺向滑动、高雄寿山大山崩、南投九份二山大山崩。

2.2 山崩种类与崩积层堆积型态

本研究按山崩型态与堆积材料特性将崩积层分为三类: (1) 岩石坠落或倾覆所形成之岩块堆积崩积层; (2) 土石崩移或滑动所形成之土石混合堆积崩积层; 以及(3) 岩石崩移或岩层滑动所形成之岩层滑动崩积层, 三类崩积层之示意图如图 1, 以下将以四个实际工程案例分别探讨此三类不同成因崩积层之工程特性。



3 岩块坠落或倾覆- 岩块堆积崩积层

因岩石坠落(表 1 附注中标示 1 之各案例)或倾覆型山崩机制所形成之崩积层规模多较小, 泥质含量低, 岩块多呈颗粒支持构造(请参阅图 1a), 亦即岩块间相互接触而填充少量之土壤。此类崩积层多分布于节理发达之陡坡坡址。然岩块堆积崩积层亦有规模较大者, 以下将介绍两处不同规模大小之岩块堆积崩积层之调查分析案例。

3.1 小规模岩块堆积崩积层

本案例(案例一)位于台中大坑, 崩积层堆积区地势平缓, 高程差仅 5 m。崩积层南侧即为一北向之悬崖陡坡。

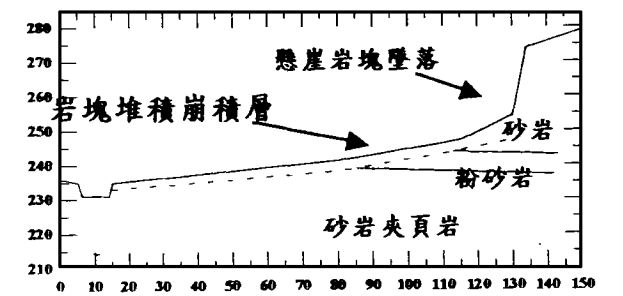


图 2 大坑某崩塌地之工程地质剖面图

3.1.1 工程地质分析 依据工研院能资所出版之环境地质图显示, 悬崖坡址有崩积层堆积。附近出露之地层属上新世卓兰层中段, 依地质调查结果悬崖附近岩层分为三岩段, 由下而上分别为: (1) 砂岩夹页岩: 为细粒砂岩夹页岩下段渐变为细粒砂岩偶夹薄层页岩。(2) 粉砂岩: 本层为青灰色粉砂岩夹黑色页岩, 偶夹黑色细粒薄煤层, 粉砂岩及页岩间层理不明显, 至本层下段渐变为页岩与粉砂岩互层。(3) 砂岩偶夹粉砂岩或页岩: 本层广泛出露于悬崖陡坡, 为灰色厚层中至细粒砂岩或灰色细粒砂岩偶夹灰黑色页岩或粉砂岩, 本层层间偶夹黑色细粒薄煤层及贝类化石。根据现地量测而得之层面位态分布为 N18 ~ 32°E/ 30 ~ 41°ES, 节理面则约略可分为两组, 其位态分布分别为 N23 ~ 86°E/ 60 ~ 80°WN 及 N40 ~ 50°E/ 60 ~ 70°WS。崩塌地附近之工程地质剖面图如图 2。

3.1.2 崩积层工程特性探讨 由崩塌地之地表地质调查成果研判, 崩塌型态为逆向坡之倾覆型岩块坠落。由钻探得知崩积岩块厚度仅 3.5 m, 其下方为 2 m 之河阶砾石, 再下方即为岩盘。因本崩积层范围小、深度浅、透水性佳, 故此类崩积层之工程问题应不大。

3.2 大规模岩块堆积崩积层

本案例(案例二)位于台中县和平乡谷关村龙谷

饭店附近。崩积层堆积形成南高北低之缓坡, 其南侧临陡坡, '9·21'地震后南侧陡坡曾发生大规模落石。

3.2.1 工程地质分析 崩积层基盘为始新至渐新世之达见砂岩与白冷层, 上覆河阶台地堆积层与巨厚之崩积层, 根据工研院能资所出版之环境地质图显示, 此一崩积层范围宽约 400 m, 长约 130 m (如图 3)。主要之地质构造包括以北东偏北之走向通过崩积层之谷关逆断层, 以及同一走向位于崩积层西侧之龙谷背斜, 附近之层面位态约为北偏西 40~50°, 倾斜向东南约 80°; 南侧北向崩坍严重之陡坡属逆向坡。

崩积层处布设两条折射震测线, 垂直坡面之测线速度剖面如图 4 所示。综合震测结果将此一剖面分为四层: (1) 表土或回填土层, 厚度介于 1~4 m 间, 波速在 0.23~0.35 km/s 间; (2) 疏松崩积层, 厚度介于 2~6 m 间, 波速在 0.61~0.68 km/s 间; (3) 崩积层, 厚度介于 12~32 m 间, 波速在 0.95~1.00 km/s 间; (4) 岩层, 震波速度 > 1.88 km/s。岩层中有部份区域波速较低, 可能为破碎带所致。由震测结果可知崩积层与岩层之界面约在地表下约 15~42 m。

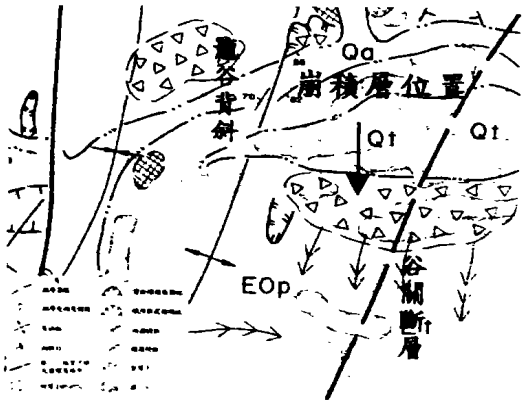


图 3 台中谷关某崩塌地环境地质图

除震测调查外, 崩积层分布区亦利用 KR804 型钻堡共施钻 5 孔, 最大深度为 30 m, 钻探结果显示地层以坚硬灰色岩块夹黄棕色砂土为主, 偶夹 1~3 m 厚之黄棕色细粒砂土。

3.2.2 崩积层工程特性探讨 地质钻探 SPT 试验之 N 值绝大多数均超过 50, 然于岩块含量较低之细粒砂土夹层处 N 值即下降至约为 22~23, 甚至有低至 7 者。为确定崩积层厚, 本区域亦利用传统钻机 KH-2 钻进, 结果于钻探深度内研判仍未达岩盘。另于钻孔内埋设之水位观测井及水压计, 然均未能量得水位, 惟埋设深度为 30 m 之倾度管内水位约

于地表下 26 m。地下水位低可能与崩积层之透水性高有关。

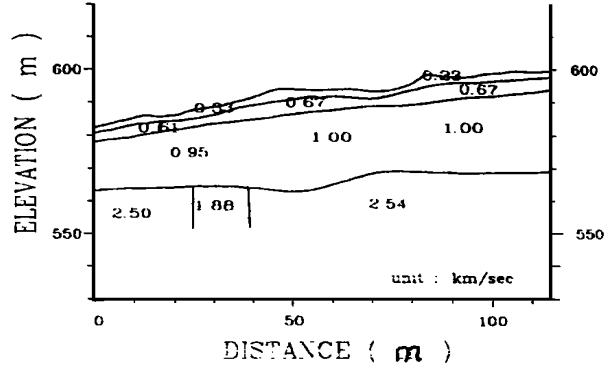


图 4 谷关某崩塌地之震测速度剖面

因崩积层本身之力学性质无法由一般钻探取得之土、岩样决定, 因此本研究以现有坡面进行逆分析。参考中央大学于网页所公布之 '9·21' 集集地震最大地表加速度分布图, 于谷关附近之最大地表加速度约为 0.485 g, 因此采用此一最大加速度。经以 STABLE5 M 逆运算分析, 当崩积层强度参数选择凝聚力为 0.1 kg/cm<sup>2</sup>, 内摩擦角为 35° 时, 分析所得之安全系数略大于 1, 此一强度参数值相较于一般崩积层而言并不算低, 故此类崩积层之稳定性较高。

#### 4 土石崩移或滑动- 土石混合堆积崩积层

土石崩移或滑动(表 1 附注中标示 3 之各案例)易形成土石混合堆积崩积层。本案例(案例三)位于新店某大型坡地社区入口道路下边坡, 此一道路边坡位处崩积层之上, 1989 年 9 月台风侵袭, 造成延道路中心线产生长约 200 m 左右之路段坍滑, 影响区域向下边坡延伸约 200 m。为了解此一发生坍滑之崩积土层特性, 1990 年 8 月间于本崩积层布设三条各 115 m 之折射震测线, 并进行地质钻探共 10 孔。然 1990 年 9 月本崩积层再次因台风暴雨而发生圆弧型滑动。

##### 4.1 工程地质分析

本坍方区位于一倾向西北之坡面, 此坡面平均坡度约 24°, 坡底与坡顶高差约 35 m。本区之基盘岩层由中新世南港层构成, 主要岩性为页岩、砂质页岩、疏松细粒砂岩以及细至中粒坚硬砂岩, 局部区域有台地砾石层不整合堆积于基盘之上。

本区岩层面走向约为 N45 E, 倾斜向东南约 60~80°, 倾角极陡。因新店断层以东北、西南走向通过本崩塌区之西北侧百余 m 处, 故本区构造作用强烈。本崩塌区地层概分两大层, 一为崩积土层, 其下

即为岩盘。综合震测结果, 本区范围内之地层约可分为三层: (1) 疏松崩积层, 厚度介于 1~3 m 间, 波速在 0.3~0.34 km/s 间; (2) 崩积层或风化岩盘, 厚度介于 1~12 m 间, 波速在 1.00~1.19 km/s 间;

(3) 岩盘, 波速约为 2.25 km/s。由震测结果可知崩积层与岩层之界面约在地表下约 2~15 m。工程地质剖面请参考图 5。

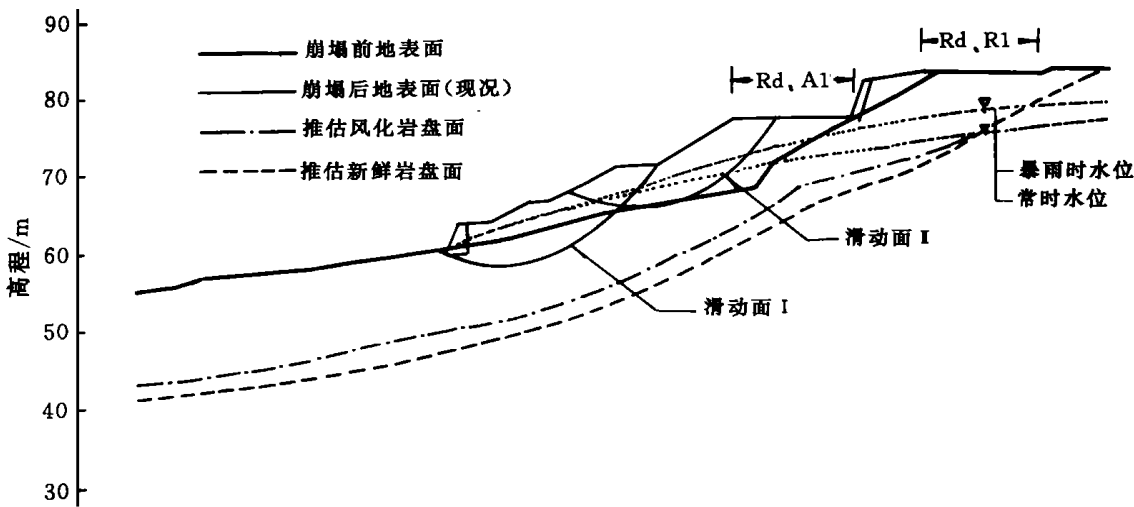


图 5 台北新店某社区道路边坡之工程地质剖面图

4.2 崩积层之崩滑机制探讨

首次坍方灾害于 1989 年 9 月发生时, 适逢台风暴雨, 大量水流经由路面漫流至下边坡, 产生坡面土石逐渐流动现象, 随后整个边坡发生严重崩落破坏, 原道路挡土墙崩落达 80 m, 然挡墙结构体尚称完整。经调查结果显示, 本坍方区首次之滑动模式为大量地表径流水与土石混杂而成之溃流破坏 (Debris flow), 研判本崩积层之堆积应为同一滑动模式发生多次后而形成。

此类崩积层与降雨所造成之地下水升高关系甚为密切, 由本案地下水位调查结果, 常时地下水位位于上边坡处约介于地表下 6~7 m, 下边坡则有长期渗水现象, 调查期间遇较大之暴雨时地下水位甚至可迅速升高约 5 m (地下水位调查成果参见图 5), 此类地下水造成土石溃流之情形, 与顺向岩块滑动案例中页岩下伏含水砂岩之水压造成破坏模式并不相同。林美聆与王幼行 (1999) 之研究亦提出此类土石溃流为土石流发生机制之一。1990 年 9 月又因连续两个台风造成向坡顶呈渐进式圆弧型滑动, 边坡数处有严重涌水现象。

4.3 崩积层工程特性探讨

由钻探取样结果, 本崩塌区之崩积土层为黄褐色砂质黏土或粉土质砂夹风化砂页岩块, 岩块大小不一, 由钻取之岩块可见最大达 60 cm, 平均约 25

cm, 土壤依统一分类法属 SC、ML 或 CL。依据钻探时之 SPT 试验之 N 值约介于 4~20 间, 偶有 N 值超过 50 者, 研判应为劈管贯至岩块所致。故研判本层应属于基质支持之崩积层 (请参阅图 1b), 亦即颗粒浮于土壤间, 颗粒未接触。

由于本崩塌区于 1990 年 9 月曾发生弧型滑动, 此一滑动恰可供此类土石混合堆积崩积层强度参数逆分析使用, 本分析以 1990 年 9 月未崩塌之地形进行, 且以崩塌发生前长时水位及暴雨时水位量测资料为分析之地下水位输入, 分析工具为美国普渡大学所发展之 PCSTABL5 边坡稳定二维极限平衡法中 Janbu 圆弧型滑动进行逆分析。分析条件为有效应力法, 逆分析结果如表 2。

表 2 新店地区某边坡崩积层强度参数逆分析结果统计表

分析结果	水位状况	安全系数	
		滑动面	滑动面
分析参数	常时	1.041	1.161
	暴雨	0.987	0.971
	土壤强度参数	凝聚力 $c$	摩擦角 $\psi$
	地下水位以上	0.11 kg/cm <sup>2</sup>	23°
	地下水位以下	0.06 kg/cm <sup>2</sup>	22°

经统计 8 组取自现场土壤三轴 CIU 试验结果, 平均凝聚力  $c = 0.56 \text{ kg/cm}^2$ , 平均摩擦角  $\psi = 22.7^\circ$ ; 土壤试体凝聚力平均值较逆分析所得崩积层

凝聚力为高, 可能为崩积层内地下水流动大符降低土壤凝聚力所致。土壤试体平均摩擦角试验值与逆分析所得崩积层摩擦角相当接近, 故土石混合堆积(基质支持)崩积层之强度参数与基质之土壤强度参数有其相关性。而此类崩积层逆分析结果与颗粒支持型态之崩积层(谷关案例)逆分析所得凝聚力  $0.1 \text{ kg/cm}^2$ 、内摩擦角为  $35^\circ$  相差较大。

5 顺向坡岩石滑动- 岩层滑动崩积层

属岩层滑动(表 1 附注中标示 6 之各案例)之崩积层堆积, 常与顺向坡滑动有极高之相关性。本案例(案例四)位于大坑风景区大里溪上游。由能资所出版之环境地质图显示此一崩积层分布范围甚广(如图 6), 本研究以地表地质调查、折射震测、钻探以及地盘位移与水位监测结果探讨其特性。

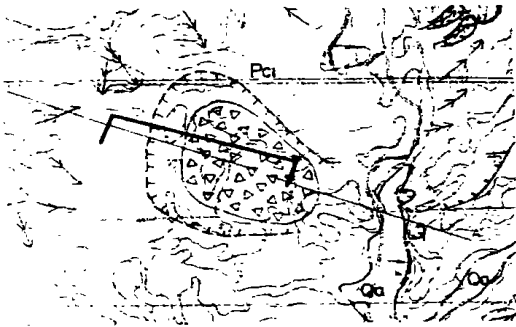


图 6 台中大坑某顺向坡崩塌地

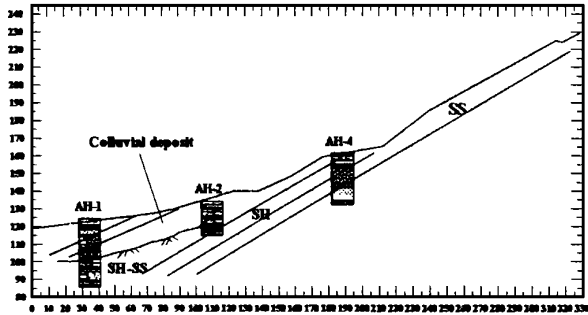


图 7 大坑某顺向坡崩塌地工程地质剖面图

5.1 工程地质分析

本崩积层所在坡度较缓, 平均坡度约  $30\%$ , 其西侧坡度较陡约  $55\%$  ( $28^\circ$ )。经现场量测层面位态发现, 此一坡面与岩层位态一致, 陡坡出露之岩层均为灰色厚层中至细粒砂岩, 岩质致密, 胶结良好。崩积层堆积附近地层为上新世之卓兰层下段。层面平均位态为北偏东  $8^\circ$ ; 倾向东南  $28^\circ$ ; 另节理面平均位态为北偏东  $54^\circ$ ; 向西北倾斜  $54^\circ$ ; 由野外实地地质调查与钻探岩心资料, 可将崩塌地出露岩层分为三

段岩性, 其层序与分布情形详细如图 7; 兹就各岩层由下而上分别叙述如后: (1) 砂岩: 以厚层灰色至青灰色砂岩为主, 因胶结致密, 故其强度颇佳, 此一岩段出露于崩积层西侧陡坡。砂岩颗粒多属细粒至中粒, 厚度约  $10 \text{ m}$ 。(2) 粉砂岩与页岩互层: 以黄棕色至灰黑色粉砂岩为主, 厚度约  $5 \text{ m}$ , 其上覆一厚度约  $3.5 \text{ m}$  之黑色页岩。(3) 细粒砂岩、粉砂岩与页岩互层: 本岩段普遍分布于陡坡东侧较平缓处, 位于剖面地层层序之最上部。

5.2 崩积层工程特性探讨

虽然钻探结果于崩积层处仍可取得岩心, 但震测结果显示地层波速低于  $1 \text{ km/s}$ , 此一波速远较一般新鲜且完整之岩盘波速为低, 低波速带最大厚度约达  $16 \text{ m}$ , 另根据推估崩积层中心钻孔结果亦显示地表下  $16 \text{ m}$  处岩心风化及破碎程度均较高, 故此一崩积层应属原边坡发生顺向滑动后堆积之岩层(请参阅图 1c)。由倾斜观测量得之地盘移动曲线, 推测此一崩滑块体已逐渐发生剪力变形, 研判此一滑动体与下方岩层应具有发展为滑动面之潜力。由崩积层上缘所埋设之水压计管中不断有水流出, 可知崩积层下方之水压甚高, 故此崩积层之剪力变形应与此一受压水层有相当之相关性。

另一方面, 崩积层上方陡坡出露之岩层虽为岩质坚硬胶结良好之砂岩, 然依据于陡坡埋设之倾度管量测结果显示, 此一坡面已产生一深约  $5 \text{ m}$  明显之滑动面, 由岩心判释结果得知此一滑动面位置约于粉砂岩与页岩之界面处, 依据水位量测结果亦显示页岩夹粉砂岩下方之厚层砂岩中其水压甚高, 故此一现象说明了此崩积层之产生机制应与大规模平面型顺向滑动有关。

此类崩积层普遍存在于西部丘陵与麓山带西缘山地之顺向坡坡址, 其中又以上新至更新世地层为最多, 诸如中寮双坑地区地层滑动、左镇山豹 326 号电塔倒塌、龙崎乡兵仔舍山崩灾害、云林草岭大山崩、南投九份二山大山崩等, 均于崩塌坡址堆积厚层岩层。此类崩积层之特色为续发性滑动, 规模大, 深度深, 常时之地下水压常甚高, 此类之崩积层受底岩构造所形成之孔隙水压 (Ala and Mathewson, 1990) 影响较高。

6 结论与建议

(1) 经由山崩案例整理统计, 不同山崩运动型态与材料所造成之崩积层其特性确实各有不同, 本研  
(下转第 46 页)

参考文献:

[ 1] 世界日报. 1999 年 10 月 15 日, A5 版.

[ 2] Ian Main. Is the reliable prediction of individual earthquakes a realistic scientific goal[ J]. Nature, 1999.

[ 3] 李咸亨. 第三代台北市震度微区图[ Z]. 第二届两岸地震学术研讨会, 台北市, 1994.

[ 4] 李咸亨, 陈东扬. 1992 年台北盆地地下地质与工程环境综合研究- 地球物理与土壤动态剪力模数研究( ) [ R]. 81EC2A 380009, “经济部中央地质调查所”, 台北: 1993.

[ 5] 李咸亨, 林嘉盛. 长期效应对于土壤动态参数之影响[ R]. 研究报告 GT 94006, 台北市: 台湾工业技术学院营建工程技术系, 1994.

[ 6] 李咸亨, 罗胜元. 台北市震度微区图之最佳化分析[ R]. 研究报告 GT 94002, 台北市: 台湾工业技术学院营建工程技术系, 1994.

[ 7] Lee, S. H. H. Analysis of multi-collinearity of regression equations of shear wave velocities[ J]. Journal of Soils and Foundations, 1992, 32, (1): 205 ~ 214.

[ 8] Powell, M. J. D. An iterative method for finding stationary values of a function of several variables withou calculation derivatives[ J]. Computer Journal, 1964, (7).

[ 9] 李咸亨, 李忠训. 台北盆地液化潜能图之研究[ R]. 研究报告 GT 94003, 台北市: 湾工业技术学院营建工程技术系, 1994.

[ 10] 李咸亨. 都市地震防灾原理与对策[ A]. 近代工程技术列研讨会论文集[ C], 台北市: 台湾科技大学营建系, 1996.

[ 11] 颜正平. 天灾地变与防灾减灾[ J]. 水土保持研究, 2001, 8( 1): 2 ~ 6.

( 上接第 41 页)

究将崩积层分为三类: ( 1) 岩块堆积崩积层; ( 2) 土石混合堆积崩积层; ( 3) 岩层滑动崩积层。

( 2) 一般而言, 岩石坠落或倾覆较易造成岩块堆积之崩积层; 土石崩移或滑动较易造成石混合堆积之崩积层; 岩层崩移或滑动较易造成岩层滑移之崩积层。

( 3) 岩块堆积之崩积层属颗粒支持, 由案例二崩积层钻探调查所得 SPT 之 N 值常超过 50, 因渗透性佳, 故地下水位对边坡稳定之影响较不明显。案例二崩积层之波传速度约为 0. 95 ~ 1. 0 km/s, 略低于土石混合堆积之崩积层, 可能原因为岩块支持崩积层之孔隙较大所致。经逆分析得岩块堆积崩积层其凝聚力为 0. 1 kg/cm<sup>2</sup>, 内摩擦角为 35°, 此一强度参数较基质支持之土石混合堆积崩积层逆分析所得为高。

( 4) 土石混合堆积之崩积层属基质支持, 由案例

四得知该崩积层之 N 值多小于 50, 地层渗透性明显较颗粒支持之岩块堆积崩积层为差, 故地下水位受降雨之影响较大, 亦即地表径流与其入渗对边坡稳定之影响大。由案例四崩积层调查所得之波传速度约为 1. 0 ~ 1. 19 km/s, 略高于岩块支持崩积层。经逆分析得地下水位以上之土石混合堆积崩积层其凝聚力为 0. 11 kg/cm<sup>2</sup>, 内摩擦角为 23°; 逆分析所得摩擦角与土壤三轴试验所得之平均摩擦角相当接近, 此一结果亦意味着土石混合堆积崩积层之强度参数与土壤之强度参数相关性较高。

( 5) 岩层滑动之崩积层多因岩石崩移或滑动型态之山崩造成, 此类崩积层不易由钻探柱状图探知, 因崩积地层层次多与斜坡坡面相同, 故若有透水岩层上覆不透水岩层, 则极易形成受压水层, 因而降低崩积层之稳定性, 然此类之崩积层移动方式应以潜变为主, 由调查发现存有此类崩积层之上边坡亦仍有高滑动潜能。

参考文献:

[ 1] 詹连昌. 梨山地区地滑整治技术之探讨[ A]. 水土保持实务与对策研讨会论文集[ C], 1999. 49 ~ 56.

[ 2] 林美聆, 王幼行. 地表水及地下水对土石流破坏型态之影响[ J]. 地工技术杂志, 1999, ( 74): 29 ~ 38.

[ 3] 董家钧, 廖志中, 潘以文. 大坑地区边坡崩塌型态与发生机制之探讨[ A]. 第 8 届大地工程研究讨论会[ C], 1998. 1.

[ 4] 陈宏宇. 台湾山崩之工程地质特性[ J]. 地工技术杂志, 2000. 79.

[ 5] “经济部中央地质调查所”. 台湾山崩灾害专辑[ J]. 2000. 第 1 号.

[ 6] Varnes, D. J. Slope movement types and processes. Landslides: Analysis and Control[ R]. National Acad. Sci., Trans. Res. Board, Special Report 176, Washington, D. C. 1978. 11 ~ 13.

[ 7] Ala, S., and Mathewson, C. C. Structural control of ground-water induced debris flow [ Z]. Hydraulics/ Hydrology of Arid Lands, 1990. 590 ~ 595.