

坡地社區邊坡之整治規劃案例研究

林商裕¹ 蔡佩勳¹ 張永義² 顏均承² 趙世傑² 梁家豪²

¹ 朝陽科技大學營建工程系 副教授、助理教授

² 朝陽科技大學營建工程系碩士班 畢業生、研究生

摘要

本研究使用該社區調查所得之現地土層參數及監測系統所得之成果，針對該社區潛在不穩定之坡地，利用 FLAC 及 STABL 進行邊坡穩定分析（平時、暴雨及地震三種狀況），以掌握該社區現況之破壞模式與破壞機制。邊坡工程規劃以地錨等五種不同方式整治，再以 FLAC 分析配合強度折減法建立安全係數。由研究結果顯示：(1) 該社區歸納為三個主要地層，第一層為崩積土層；第二層為頁岩夾粉砂岩層；第三層為頁岩層。(2) 該社區之地層滑動由傾斜觀測管監測結果，整個邊坡往西南方向緩慢移動的趨勢。(3) 以安全等 4 項目進行等權成效評估，建議本社區邊坡採用地錨工法，另於原排水溝旁增設一口集水井為輔助工程。

關鍵字：FLAC、STABL、監測系統、強度折減法、地錨工法。

The Case Study of Slope Stabilization Plan at the Community Area Shang-Yuh Lin, Pei-Hsun Tsai and Yung-Yi Chang

Abstract

This study was using numerical analysis with soil characteristics adopted from site investigations and datas from site monitoring system. On the areas with vulnerable unstable slopes, FLAC and STABL softwares were conducted under 3 conditions (normal, heavy storm and earthquake) to obtain slope failure mechanism of stability analysis. In addition, FLAC software was used with strength reduction method of five slope stabilization techniques (earth anchor etc.) to establish their safety factors. In summary, the result of the study are listed below: (1) The subgrade in the study area consists of 3 major strata: coluvium deposit, shale with silty sand, and shale. (2) Datas of the inclinometer revealed that the entire community slope exhibit a slowly movement towards southwest direction and with a constant rate. (3) After effective evaluation by four parameters (safety factor etc.), the earth anchor is recommended with the drainage well for the slope stability design in this community.

Keyword: FLAC, STABL, monitoring system, strength reduction, earth anchor.

一、前言

某坡地社區位處西部麓山帶，並位於地質不穩定的地盤上，社區內部分位置有地層滑動的現象，在九二一地震時發生部份邊坡滑動的情形。為避免邊坡再度坍塌再危及該社區，希望能深入瞭解該社區地盤穩定之情形，並進行該坡地社區邊坡之整治規劃。

本研究使用調查所得之現地土層參數及監測系統

所得之成果，針對該社區潛在不穩定之坡面，利用 FLAC 及 STABL 進行邊坡穩定分析（平時、暴雨及地震三種狀況），以掌握該社區現況之破壞模式與破壞機制，並與監測資料比對滑動面，進行討論與比較。邊坡工程規劃以地錨、止滑樁、集水井（輔助工法）、地錨+集水井（輔助工法）及止滑樁+集水井（輔助工法）等五種不同方式整治，再以 FLAC 分析配合強度折減法建立安全係數。最後考量安全、經濟及美觀生態各項因素，歸納出

適合該社區邊坡工程之整治規劃適合工法。

二、文獻回顧

邊坡設計或開挖時因涉及到人類生命財產與建築物安全性等問題，故邊坡穩定分析為相當重要的一環。邊坡穩定分析基本上可分為二種方法，其一為不考慮土壤應變行為之極限平衡法(Bishop,1955〔1〕;Morgenstern and Price,1965〔2〕;Spencer,1967〔3〕;Janbu,1973〔4〕)，極限平衡法分析邊坡問題時對材料特性加以分析，如土壤單位重、凝聚力與摩擦角等。另一種方法則採用土壤應力應變關係之數值分析法(Huang and Yamasaki,1993〔5〕)，數值分析邊坡時則需瞭解更多材料特性，如材料之應力應變關係、異向性、初始應力與孔隙水壓等。

2.1 砂頁岩邊坡破壞模式及破壞機制探討

山崩所形成的崩積土，其組成複雜，有巨石、塊石、粉土和粘土，甚至摻雜有機物，此種大小顆粒差異極大且分佈不均造成工程性質變化大。其內部組織甚為疏鬆易聚集流水，其表面因風化及植物之生長難於透水，因此易於產生高水壓，不利於邊坡穩定，土層越厚不穩定性也越高。

一般邊坡之破壞，我們通稱為坍方或崩坍，因地質條件不同、滑動速率及力學破壞機制不同，將其邊坡破壞模式分為(1)平面滑動破壞(2)傾倒破壞(3)落石(4)旋轉破壞(5)流動破壞等五大類(Chowdhury, 1978〔6〕)，如圖1所示。砂頁岩邊坡之破壞模式通常都屬於順向坡之平面滑動破壞。

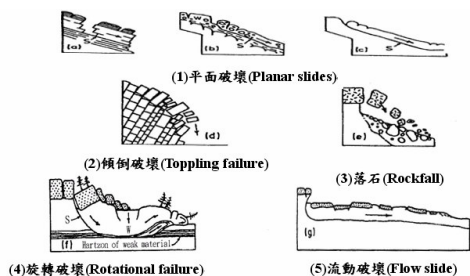


圖1 常見之邊坡破壞模式 (Chowdhury, 1978)

2.2 坡地社區監測系統之相關研究

藉由歷年來地層分佈調查資料，與監測系統所紀錄之雨量、地下水位變化及坡體變形量，探討影響坡體

持續變形之因素，據以建立簡化分析模式，進行邊坡穩定分析與滑動體變形之數值模擬，並與觀察到的現象比對，進而了解其地滑行為，前人之相關研究，略述如下。

黃國峰(2004)〔7〕針對台北市有潛在危險之山坡地社區，分析其缺失、改善方式及面臨的困境，緊接著探討山坡地社區安全與管理，並分成開發前、施工中、完工後及災害發生等四階段分析，包含各種階段不同儀器之規格需求、觀測頻率、容許值、管理人員分工及與政府單位之聯繫，期望提供一套完整的監測體系供未來規劃設計時之參考。

李昊哲(2005)〔8〕針對個別坡地社區、學校之特點，設計適合的坡地安全管理系統，並搭配傳統監測儀器進行安全觀測，並提供監測數據管理及查詢之功能，最終設計一套自主型坡地安全管理系統。

三、區域地質

3.1 地形與地質特性

3.1.1 地形與地勢

此坡地地形變化由東向西降低，如圖2所示。該社區之地形屬西部麓山丘陵地，高程由366m遞降至305m，社區東側邊坡較陡，坡度介於30~40%之間，部分邊坡的坡度高於70%，整個社區平均坡度介於20~30%間，在山坡地可利用限度分類中屬三級坡。

3.1.2 區域地質與土壤

本區域分佈之地層以樟湖坑頁岩為主，由中新世地層組成。本地區之地質構造為麓山帶之構造區域，構造較為複雜，另本社區位於集集大山向斜構造上，分述如下：

1. 樟湖坑頁岩(Ch)

以厚層暗灰色頁岩為主要岩性，偶夾薄層砂岩，頁岩為厚層或塊狀，極純淨，野外有時甚難與炭寮地頁岩區分；砂岩夾層較少，單層厚度一般小於3公尺，愈往頂部所夾砂岩層漸多，最後厚砂岩出現時即進入深坑砂岩層，全部厚度估計超過500公尺。

2. 集集大山向斜

本向斜以北北西走向通過集集大山，向南逐漸轉為南北向，過了濁水溪後轉為南微偏西續向南延，其

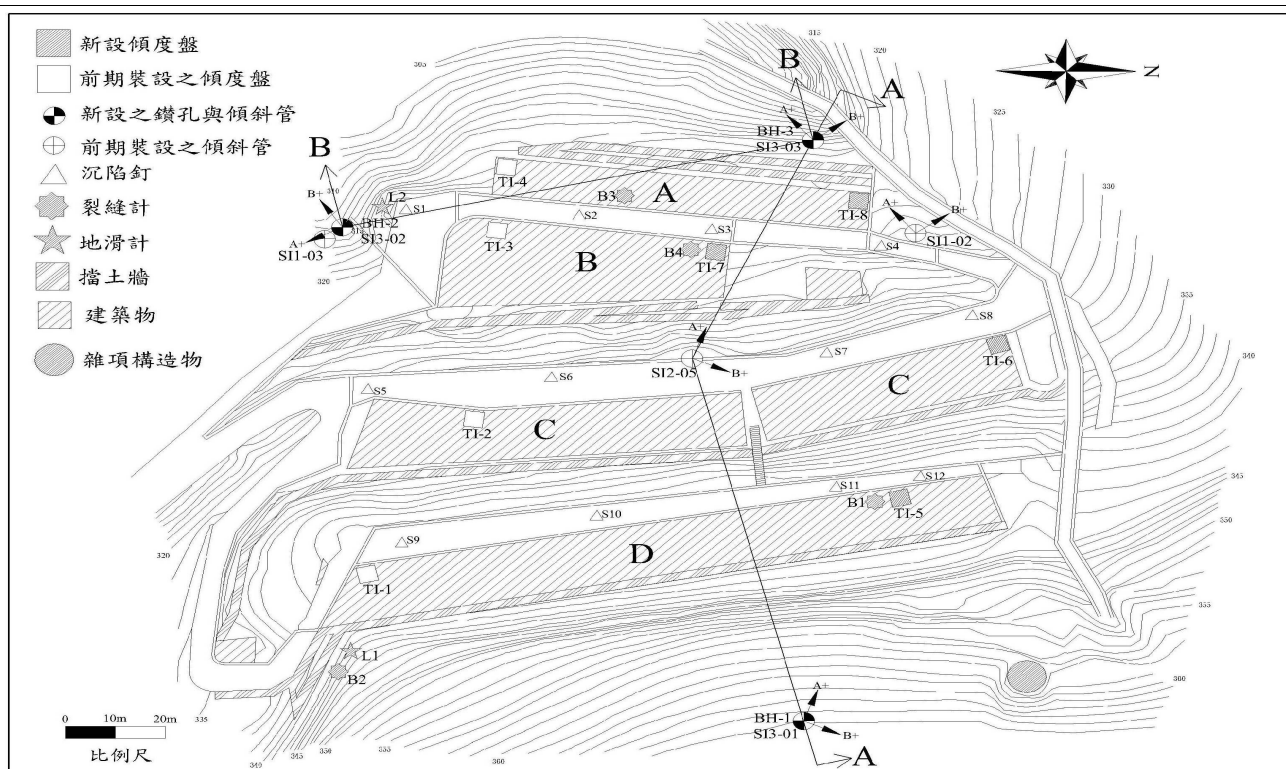


圖 2 地形、鑽孔位質及監測儀器配置示意圖

北端止於二尖山斷層，南北延長長達 14 公里以上。本向斜頗為寬廣開展，在集集大山地區，軸部為桂竹林層，往兩翼依次出露南莊層、深坑砂岩、樟湖坑頁岩，東西翼各止於深坑斷層、水里坑斷層及雙冬斷層。

3. 土壤

土壤係由山地河谷沖積而成，有黃壤、崩積土、石質土、砂岩土、砂頁岩及板岩混合沖積土等。土壤之生成受母岩及地形之影響較大，規劃區域屬崩積土，分佈於丘陵地及山地較陡之坡下，成土後較不穩定。

3.1.3 地震活動

依據 921 地震後台灣地區地震危險度分析，取迴歸週期 475 年等加速度分佈圖，依行政區調整台灣地區共劃分為地震甲區及乙區。其對應之水平加速度係數分別為 0.33 及 0.23，依此規範本計畫區域位於地震甲區，因此水平加速度係數為 0.33。

3.2 地質調查結果與評估

3.2.1 地質調查結果

於該社區進行 3 孔鑽探，其中一孔鑽探深度較深達 50 公尺，其餘 2 孔平均鑽探深度為 20 公尺，共計 90 公尺，並配合前期的 2 鑽孔，其位置如圖 2 所示，表 1 為該社區基地簡化地層及建議參數表。

3.2.2 地質評估

依地質鑽探、土壤及岩石之物理及力學試驗，彙整地質評估如下說明：

1. 地層層次分析本社區之地層在鑽探深度內，可歸納為三個主要地層層次：

(1) 覆蓋崩積土層

本層為黃棕色崩積土夾岩塊，分佈在地表面至地表下 3~15m 的區域，在基地東側的土層較厚，越往西邊其厚度漸薄，平均厚度約 8.6m，標準貫入試驗 N 值介於 14~105，本區土壤大多屬粘土質砂(SC)。

(2) 破碎頁岩夾粉砂岩層

本層分佈在覆蓋土層下方，本層在基地東側的土層較薄，越往西邊其厚度漸厚，厚度介於 2m~18m，主要由破碎的頁岩所組成，其間夾有粉砂岩，此岩層之 RQD 介於 0~56，屬破碎頁岩夾粉砂岩層。

(3) 破碎頁岩層

本層為深灰色頁岩，此岩層之 RQD 介於 0~84。

2. 覆蓋崩積土層之工程特性

由本次試驗結果崩積土壤之總體單位重建議取 1.9g/cm^3 ，飽和單位重建議取 2.0g/cm^3 。由三軸壓縮試

表 1 基地簡化地層及建議參數表

層別	地層分類	深度 (m)	平均厚度 (m)	SPT-N(平均值)	γ_t (g/cm ³)	w_n	LL	PI	e	c (kN/m ²)	ϕ	c' (kN/m ²)	ϕ'	E (kN/m ²)	q_u (kN/m ²)
崩積土	SC	3~15	8.6	24.5	1.9	4%~31%	23.6~42.5	4.7~13.1	0.38~1.24	22.4	24.8	49.2	34.4	38885	—
岩層	頁岩夾粉砂岩	—	10.7	—	2.95	24.8%~39.1%	—	—	—	—	—	9.3	26.1	781000	—
岩層	頁岩	—	—	—	2.95	—	—	—	—	—	—	340	22	781000	43700

驗之結果，本區的土壤剪力強度建議採用有效磨擦角為 34.4°。由三軸壓縮試驗之結果，有效凝聚力建議取 49.2kPa。楊氏係數建議取 3888.5 t/m²。覆蓋土層邊坡之滑動規模將僅侷限在崩積土層範圍，屬小型滑動規模。

3. 岩層之工程特性

破碎頁岩夾粉砂岩層的 RQD 值介於 0~56，其下方之破碎頁岩層之 RQD 介於 0~84，推測造成岩層破碎的原因可能係因本基地位處麓山帶，地層承受較大推擠力量。岩層之總體單位重建議取 2.95g/cm³，飽和單位重建議取 3.0g/cm³。

破碎頁岩夾粉砂岩層之凝聚力以弱面直接剪力試驗結果來估計建議取 c=9.3kPa，摩擦角 $\phi=26.1^\circ$ 。破碎頁岩層由單壓強度試驗結果，其 q_u 建議取 43700 kPa，楊氏係數 E 取 78100 kg/cm²。剪力強度參數凝聚力建議取 c=340kPa，磨擦角 $\phi=22^\circ$ 。

4. 地下水位概況

鑽孔 BH-3 鑽進中，曾從地表下 8.6m 開始陸續發現有湧水至地表現象，且傾斜管裝設完成後之水位也近乎在地表處，因此研判在這些位置有受壓水層存在，這也可能是破碎的岩層因地質活動累積較大的應力，若上覆透水性小的頁岩層，將造成其水壓無法宣洩。

四、監測系統設置

4.1 監測系統設置

為進一步瞭解本工址崩滑地的活動、發展情形、特徵信息和破壞機制，監測系統設置如圖 2 所示。包括傾

斜觀測管 5 支，量測邊坡各深度水平位移量；建物傾度盤 8 處，量測建物因受力而產生之角變量；水位計 3 處，係應用傾斜觀測管底部鑽孔，再以水位計量測地下水位；裂縫計 4 處，監測裂縫之變化量，以避免重大災害產生；地滑計 2 處，針對邊坡淺層滑動之觀測，掌握邊坡之穩定性以便早期採取應變措施；沉陷釘 12 支，量測安裝地點之沉陷量。

4.2 現地監測結果

基地佈設監測系統後，於每月至現地進行監測，另外在豪雨及颱風過後也增加對傾斜管，傾斜儀與地下水位之監測。

4.2.1 傾斜觀測管監測結果

本文中列出 SI3-01 之監測結果，SI3-01 鑽孔位於 D 排建物東側邊坡上方，其監測結果累計位移量圖（圖 3）及日變量、累積變位量紀錄表等，此處邊坡土體位移量不大，其主要之潛移趨勢往東北之方向。

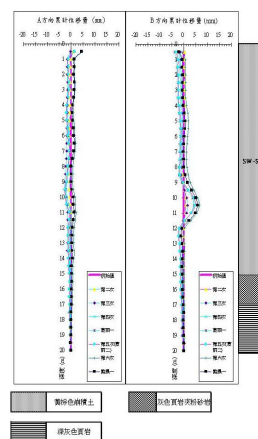


圖 3 SI3-01 累計位移量圖

4.2.2 建物傾度盤監測結果

根據量測資料顯示，如表 2 為建物傾度盤南-北方向記錄；本基地大部份區域的傾度盤西-東方向之傾斜量屬安全階段，傾度盤南-北方向之傾斜量均屬安全階段。但 TI-6 傾度盤南-北方向於民國 95 年 11 月 18 日的量測結果顯示該傾斜量為 1/333，已達警戒階段。

表 2 建物傾度盤西-東方向紀錄

量測日期	2006/2/15	2006/3/16	2006/4/6	2006/5/11	2006/6/13	2006/7/1	備註
傾度盤編號							
TI1	量測值(度) 0'33'58"	0'34'27"	0'34'47"	0'32'02"	0'35'12"	0'34'52"	西-東方向
	變化量(度) 0	0'00'29"	0'00'49"	-0'01'56"	0'14'14"	0'00'54"	
TI2	量測值(度) 0'48'12"	0'46'41"	0'46'54"	0'47'10"	0'47'10"	0'47'31"	西-東方向
	變化量(度) 0	-0'01'31"	-0'01'18"	-0'01'02"	-0'01'02"	-0'00'41"	
TI3	量測值(度) 1'14'53"	1'14'23"	1'14'32"	1'14'33"	1'14'45"	1'14'49"	西-東方向
	變化量(度) 0	-0'00'30"	-0'00'21"	-0'00'20"	-0'00'08"	-0'00'04"	
TI4	量測值(度) -0'11'00"	-0'11'37"	-0'11'04"	-0'10'35"	-0'10'44"	-0'10'56"	西-東方向
	變化量(度) 0	-0'00'37"	-0'00'04"	0'00'25"	0'00'46"	0'00'04"	
TI5	量測值(度) 0'10'35"	0'10'02"	0'09'17"	0'11'08"	0'10'11"	0'10'02"	西-東方向
	變化量(度) 0	-0'00'33"	-0'01'18"	0'00'33"	-0'00'24"	-0'00'33"	
TI6	量測值(度) 0'29'05"	0'28'24"	0'26'49"	0'25'59"	0'27'22"	0'26'12"	南-北方向
	變化量(度) 0	-0'00'41"	-0'02'16"	-0'03'06"	-0'01'43"	-0'02'53"	
TI7	量測值(度) 0'03'22"	0'03'10"	0'01'59"	0'02'20"	0'02'08"	0'01'14"	南-北方向
	變化量(度) 0	-0'00'12"	-0'01'23"	-0'01'02"	-0'01'14"	-0'02'08"	
TI8	量測值(度) 0'16'34"	0'16'30"	0'16'14"	0'15'41"	0'16'59"	0'15'28"	南-北方向
	變化量(度) 0	-0'00'04"	-0'00'20"	-0'00'53"	0'00'25"	-0'01'06"	

4.2.3 水位計監測結果

由圖 4 SI3-01 地下水監測結果得知，地下水位之變化量從地表面到地表下 1.4 m 相對變化量 1.4 m。

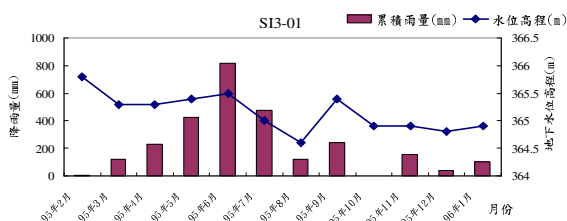


圖 4 累積雨量及 SI3-01 水位高程

4.2.4 裂縫計監測結果

裂縫計之監測結果如圖 5 所示，由結果顯示本社區內構造物的裂縫延伸量尚屬安全，不過裂縫計 B4 之讀數有變大趨勢。

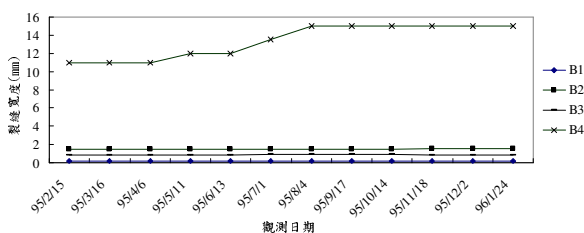


圖 5 裂縫計 B1~B4 於監測期間之累積變化圖

4.2.5 地滑計監測結果

地滑計之監測結果如圖 6 所示，地滑計 L1 及 L2 處若依日本地滑對策技術協會的建議來判斷，此邊坡分屬準確定變動及確定變動，朝西南方向緩慢滑動。

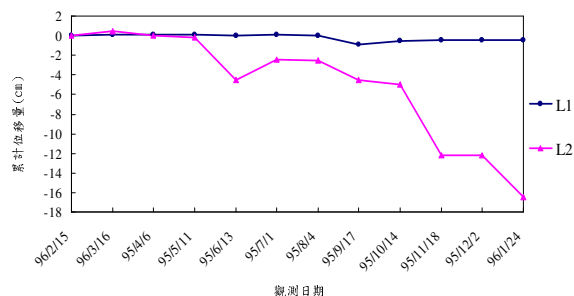


圖 6 地滑計 L1、L2 於監測期間之累積變化圖

4.2.6 沉陷釘監測結果

沉陷釘之監測結果如圖 7 所示。依 12 處沉陷釘之資料得知，其沉陷值約在 0.34cm 至 1.47cm 之間，其中編號 S08 沉陷釘的沉陷量較大，約為 1.47cm。依據建築物基礎構造設計規範，本基地的沈陷量皆屬安全範圍內。

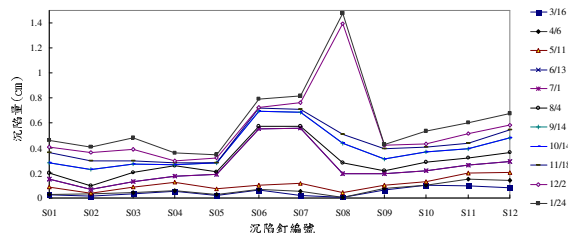


圖 7 沉陷釘 S01~S12 於監測期間之累積沉陷量對照圖

4.2.7 監測成果之討論

為了解決邊坡滑動問題及災害，必先將問題及災害歸納，探討原因之所在。透過 14 次監測結果，由傾斜觀測管、建物傾度盤、水位計、裂縫計、地滑計、沉陷釘綜合評估其滑動面位置及方位。

1. 邊坡土體內部的水平向位移情形可由傾斜觀測管累計位移量圖、變位速率分析之比較來討論與分析，平均日變量如果依日本高速道路調查會的建議來判斷，SI3-03 傾斜管最大日變量 0.516mm，已達「注意」的管理值 (0.5~1mm/天)；然而如果以日本地滑對策技術協會的建議，則屬「準確定變動」(0.1~1mm/天)。平均月變量，若以山坡地工程監測參考管理值的建議

來判斷，SI1-02 最大月變量 2.95mm，SI2-05 最大月變量 8.31mm，SI3-01 最大月變量 4.44mm，SI3-02 最大月變量 3.42mm，SI3-02 最大月變量 8.61mm，皆達「警戒」的管理值（2~10mm/月），初步研判整體社區邊坡呈緩慢滑動。

- 2.本基地各建物傾度盤在西-東方向和南-北方向之量測結果整體而言，屬於安全階段。
- 3.水位計的監測結果顯示此處的地下水位在豪雨、颱風過後有明顯上升之現象。
- 4.裂縫計 B4 最大位移量 1.5mm，依管理值評估裂縫寬度增量超過 1mm 即達預警值。
- 5.地滑計 L1 監測結果判斷為準確定變動，評估往西南方向緩慢移動。地滑計 L2 監測結果認定為確定變動，研判該地區有局部滑動現象。
- 6.依 12 處沉陷釘監測紀錄得知，其沉陷值約在 0.34cm 至 1.47cm 之間，尚屬安全範圍內。

五、邊坡穩定分析

5.1 FLAC 邊坡穩定分析

該社區邊坡之穩定性分成三個剖面來討論，如圖 8 所示。一是整個社區沿順向坡之整體穩定性分析(A-A 剖面)；另一則是社區內西南側在現地調查所發現可能崩滑的擋土牆邊坡之局部穩定性分析(C-C 剖面)，發現地面有張力裂縫，電纜線有逐漸拉緊現象等；還有是在社區東南側的邊坡之局部穩定性分析(D-D 剖面)，邊坡下方也發現有擋土牆龜裂情形；本章節先利用 FLAC 進行邊坡穩定分析。

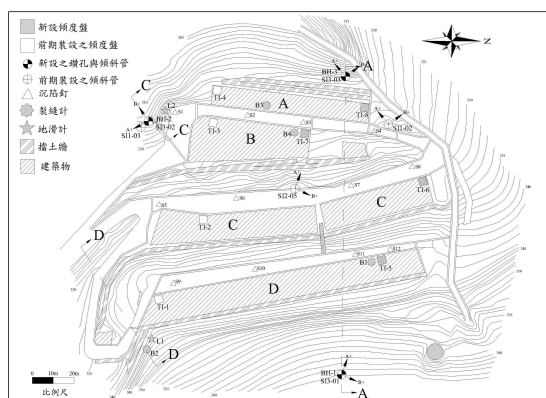


圖 8 穩定分析剖面位置圖

社區內建築為三層樓，故在穩定分析時，於其地

面位置加上 30kN/m² 均佈向下地表載重以模擬之。分析時，依地面的高程輸入程式中作為邊坡剖面，而地層界面將考慮該剖面附近鑽孔之鑽探結果，然後輸入之材料參數如表 1 基地簡化地層及建議參數表，另柏松比 ν 採 0.25，膨脹角 ψ 假設為 0°。

穩定分析考慮平時、暴雨與地震三種情形下之邊坡穩定性。平時與地震兩種情況下，崩積土層的設計地下水位將假設為地表下 6m 處；而在暴雨的情況下，設計地下水位將保守地假設在地表下 1m 處。因本區岩層中有受壓水層存在，因此岩層的地下水位將訂在地表處。

5.1.1 平時狀態之穩定分析

該社區現地邊坡之平時狀態穩定分析，採用莫爾-庫倫破壞準則作為分析模式，考慮崩積土的地下水位位於地表下 6m 處。由 FLAC 分析所得結果，三個邊坡平時狀態之安全係數分析結果如表 3 所示，A-A 邊坡平時狀態安全係數與可能滑動面位置如圖 9 所示。

表 3 FLAC 邊坡穩定分析結果

剖面編號	狀態	安全係數		
		平時	暴雨	地震
A-A 剖面		1.5	1.01*	0.70*
C-C 剖面		2.0	1.17	1.35
D-D 剖面		1.1*	0.79*	0.60*

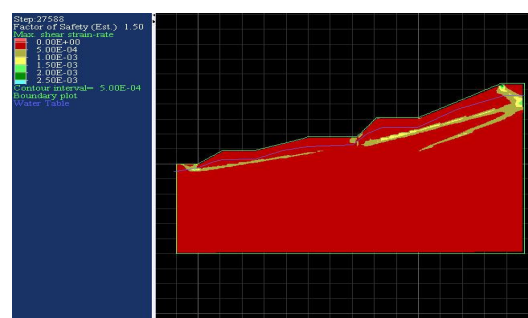


圖 9 A-A 邊坡安全係數及可能滑動面(平時)

5.1.2 暴雨狀態之穩定分析

暴雨狀態之邊坡穩定分析將地下水位假設在地表下 1m 處，邊坡 A-A 剖面可能滑動面約位於崩積土與頁岩夾粉砂岩之交界附近；C-C 剖面可能滑動面約呈圓弧並位於崩積土層內；D-D 剖面可能滑動面約於頁岩夾粉砂岩與底部頁岩層之交界處，且呈平面滑移趨勢，A-A 邊坡暴雨狀態安全係數與可能滑動面位置如圖 10

所示。

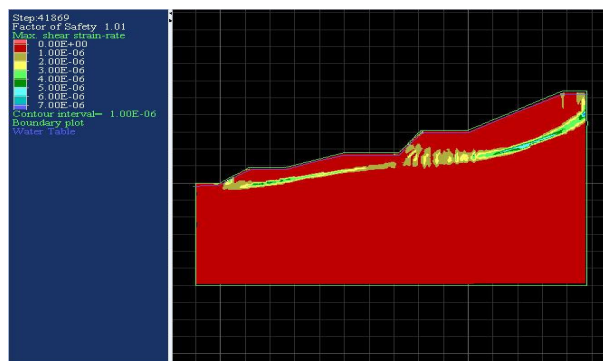


圖 10 A-A 邊坡安全係數及可能滑動面(暴雨)

5.1.3 地震狀況之穩定分析

FLAC 可模擬邊坡承受地震力的動態分析，加入雷利阻尼(阻尼比 0.05，自然頻率 2Hz)作為動態分析模式，將 0.33g 的水平加速度加在底部岩層進行動態分析。由 FLAC 分析所得結果顯示，邊坡 A-A 剖面可能滑動面約位於頁岩夾粉砂岩內；C-C 剖面可能滑動面約位於頁岩夾粉砂岩內；D-D 剖面可能滑動面約位於頁岩夾粉砂岩與底部頁岩層之交界處，且呈平面滑移趨勢，A-A 邊坡安全係數與可能滑動面位置如圖 11 所示。

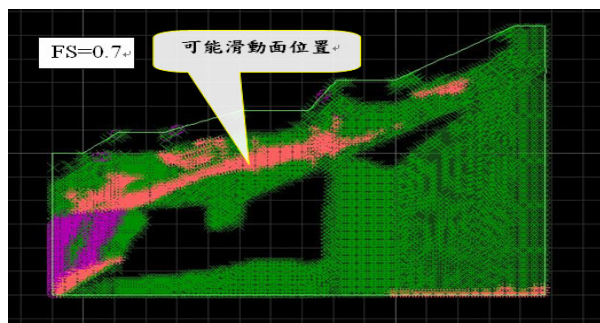


圖 11 A-A 邊坡安全係數及可能滑動面(地震)

5.2 STABL 邊坡穩定分析

本研究對邊坡穩定分析也利用 STABL 程式來進行分析，因考慮基地滑動破壞面可能不是圓弧型式，所以本研究假定滑動面呈不規則形狀。在最可能之破壞面搜尋上，將比較 400 多個滑動面之安全係數，而選擇其中安全係數最小者。其分析亦分為平時、暴雨及地震等三個狀態，茲將其分述如下：

5.2.1 平時狀況之穩定分析

該社區現地邊坡平時狀態穩定分析，採用莫爾-庫

倫破壞準則作為分析模式，考慮崩積土的地下水位於地表下 6 m 處。將三個邊坡平時狀態之安全係數分析結果整理成表 4 所示，A-A 邊坡平時狀態安全係數與可能滑動面位置如圖 12 所示。

表 4 STABL 邊坡穩定分析結果

剖面編號	滑動面形式	安全係數			備註
		平時	暴雨	地震	
A-A 剖面	不規則狀	1.28	1.16	0.52 *	「RANDOM」分析模式
C-C 剖面	不規則狀	2.0	1.32	1.32	「RANDOM」分析模式
D-D 剖面	不規則狀	1.06 *	0.61 *	0.94 *	「RANDOM」分析模式

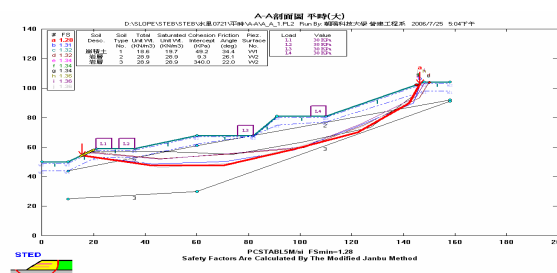


圖 12 A-A 邊坡安全係數及可能滑動面(平時)

5.2.2 暴雨狀況之穩定分析

暴雨狀態之邊坡穩定分析仍是將崩積土的地下水位假設在地表下 1 m 處。由 STABL 分析所得結果顯示，邊坡 A-A 剖面可能滑動面約位於頁岩夾粉砂岩內；C-C 剖面可能滑動面約呈圓弧並位於崩積土層內；D-D 剖面可能滑動面約位於頁岩夾粉砂岩層，且呈平面滑移趨勢，A-A 邊坡安全係數與可能滑動面位置如圖 13 所示。

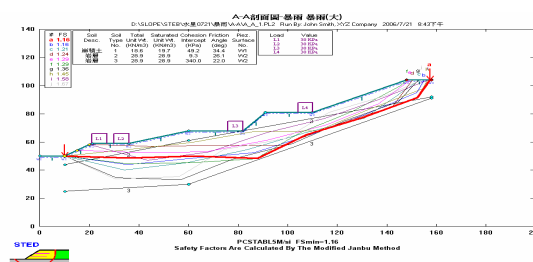


圖 13 A-A 邊坡安全係數及可能滑動面(暴雨)

5.2.3 地震狀況之穩定分析

STABL 分析時，水平向地震係數為 0.33。由 STABL 分析所得結果顯示，邊坡 A-A 剖面可能滑動面約位於頁岩夾粉砂岩內；C-C 剖面可能滑動面約位於崩積土與

頁岩夾粉砂岩之交界附近；D-D 剖面可能滑動面約位於頁岩夾粉砂岩內，A-A 邊坡地震狀態安全係數與可能滑動面位置如圖 14 所示。

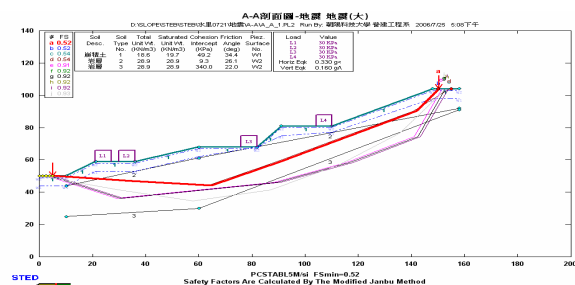


圖 14 A-A 邊坡安全係數及可能滑動面(地震)

5.3 分析結果與現地監測結果之討論

本研究以邊坡穩定分析軟體 FLAC 及 STABL 加以分析，亦對該社區進行 12 個月的監測工作，綜合其結果歸納成以下幾點：

1. 如邊坡 A-A 剖面在平時狀態下，以 FLAC 及 STABL 分析來看，其滑動面位置約在破碎的頁岩夾粉砂岩層，且離地表 10~20m。而傾斜管監測結果也顯示，傾斜管 SI3-01、SI2-05 分別在地表下 9~12 m、19 m 處有傾斜管錯動情形，所以此兩者所得滑動面位置有相似之處。
2. 傾斜管監測結果所預測滑動面與 FLAC 分析所得滑動面大致上是相近的。這可能可以說明本研究成果的土層剖面、土層材料參數、監測結果有其合理性。

六、邊坡穩定工程之整治規劃研究

6.1 利用 FLAC 進行邊坡工程不同工法穩定分析

本研究在進行 FLAC 分析時將分析暴雨、地震兩種狀況，其輸入條件平時水位地下 6m、暴雨水位地下 1m、地震水位地下 6m 及地震力 0.33g，整治方案將假設有地錨、止滑樁、集水井(輔助工法)、地錨+集水井(輔助工法)及止滑樁+集水井(輔助工法)等五種不同工法進行穩定分析。

邊坡工程不同工法其輸入條件地錨將採用 Cable 結構元件，且其錨碇位置將選擇在最下層之頁岩層，地錨預力假設為 100 公噸；止滑樁則利用 Pile 結構元件，混凝土直徑假設為 1m。然後嘗試以不同幾何配置以達規範所需安全係數。

6.1.1 地錨工法之穩定分析

本分析主要針對暴雨及地震狀態，A-A 剖面邊坡以五排地錨整治於暴雨狀況下如圖 15 所示，其 FLAC 分析之結果其安全係數達 1.28，可符合規範要求。邊坡以五排地錨整治於地震狀況下，其 FLAC 分析之結果其安全係數達 1.2，亦可符合規範要求。

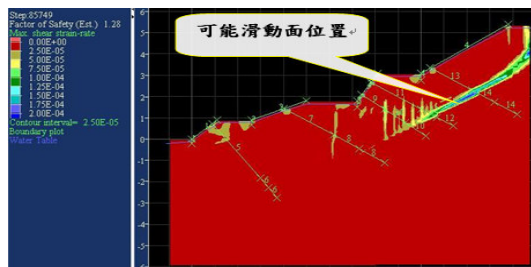


圖 15 A-A 邊坡可能滑動面(地錨、暴雨)

6.1.2 止滑樁工法之穩定分析

A-A 剖面邊坡以五排止滑樁來整治於暴雨狀況如圖 16 所示，分析結果其安全係數達 1.13；於地震狀況，分析結果其安全係數達 1.3，可符合規範要求。

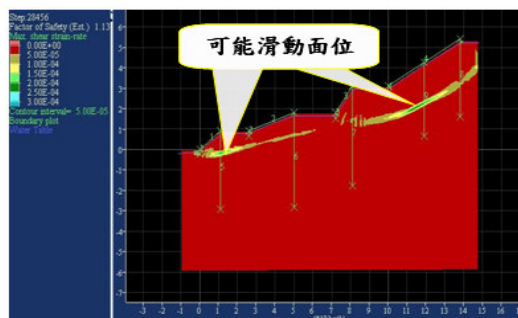


圖 16 A-A 邊坡可能滑動面(止滑樁、暴雨)

6.1.3 集水井(輔助工法)工法之穩定分析

A-A 剖面邊坡於暴雨狀況以集水井來整治，其 FLAC 分析之結果其安全係數達 1.7，如圖 17 所示。

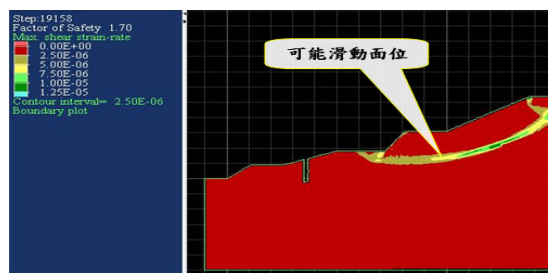


圖 17 A-A 邊坡可能滑動面(集水井、暴雨)

6.1.4 地錨+集水井(輔助工法)工法之穩定分析

A-A 剖面邊坡於暴雨狀況以三排地錨+集水井的配置，如圖 18 所示，分析結果其安全係數達 1.75，可符合規範要求。

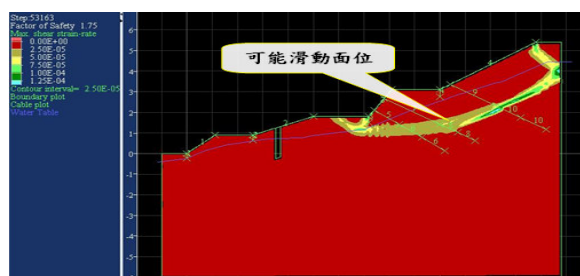


圖 18 A-A 邊坡安全係數及可能滑動面(地錨+集水井、暴雨)

6.1.5 止滑樁+集水井(輔助工法)工法之穩定分析

A-A 剖面邊坡於暴雨狀況以五排止滑樁+集水井的配置,如圖 19 所示,其 FLAC 分析之結果其安全係數達 1.75,可符合規範要求。

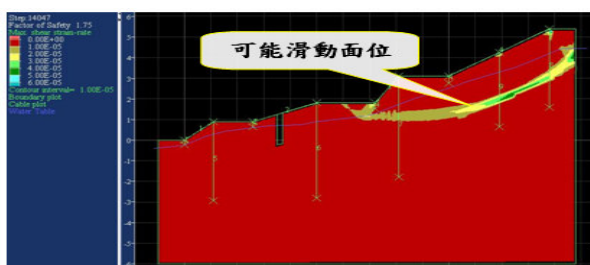


圖 19 A-A 邊坡安全係數及可能滑動面(止滑樁+集水井、暴雨)

6.2 邊坡工程不同工法之探討與比較

彙整前述 FLAC 軟體之所有分析結果,並探討與比較如下說明:

1.邊坡以各種不同工法整治,經 FLAC 軟體之分析,其安全係數皆可符合規範要求,如表 5 所示。

表 5 邊坡工程於三種狀態下之穩定分析結果

工法	剖面編號	狀態		
		A-A 剖面	C-C 剖面	D-D 剖面
原始邊坡	平時	1.50	2.00	1.10*
	暴雨	1.01*	1.17	0.79*
	地震	0.70*	1.35	0.60*
地錨	暴雨	1.28	1.37	1.12
	地震	1.20	1.40	1.21
止滑樁	暴雨	1.13	1.49	1.12
	地震	1.30	1.40	1.40
集水井(輔助工法)	暴雨	1.7	-	-
地錨 + 集水井(輔助工法)	暴雨	1.75	-	-
止滑樁 + 集水井(輔助工法)	暴雨	1.75	-	-

註: *指未達規範要求

2.A-A 剖面邊坡依據前述 FLAC 軟體之分析結果,將安全係數 FS 做相對比較,如表 6 所示。

表 6 邊坡 A-A 剖面安全係數相對比較

剖面編號	工法	狀況	FS	相對比較
A-A 剖面	地錨	暴雨	1.28	佳
	止滑樁		1.13	
	地錨	地震	1.20	
	止滑樁		1.30	佳

3.以經濟方面評估,單價查詢公共工程委員會工料價格資料庫第十一期(95.10.5)之資料做相對比較,如表 7 所示。

表 7 邊坡剖面經濟性相對比較

剖面編號	工法	單價	相對比較
A-A、C-C、D-D 剖面	地錨	1632 元/m(設計拉力 140t)	佳
	止滑樁	7053 元/m(反循環式鑽掘混凝土基樁 D=100cm)	

4.現場施工性相對比較,止滑樁於平面上(道路等)施工較佳,地錨於斜面上(邊坡)為佳,如表 8 所示。

表 8 邊坡剖面現場施工性相對比較

剖面編號	工法	現場施工性相對比較
A-A、C-C、D-D 剖面	地錨	斜面較佳
	止滑樁	平面較佳

5.以美觀與生態進行相對比較,以完工後做為判斷原則,如表 9 所示。

表 9 邊坡剖面現場美觀與生態相對比較

剖面編號	工法	現場美觀與生態相對比較
A-A、C-C、D-D 剖面	地錨	佳
	止滑樁	佳

6.綜上,建議本社區邊坡採用地錨工法,另於原排水溝旁增設一口集水井為輔助工程。

七、結論與建議

本研究依據現地調查、鑽探、試驗及監測結果,

初步研判潛在危險影響因子及可能發生機制，利用所得之參數配合數值分析軟體 FLAC 進行現況邊坡穩定分析，將分析結果與監測結果作比較，研判邊坡可能滑動機制後再進行地盤穩定之適當工法分析，彙整重要的結論與建議如下：

1. 該社區歸納為三個主要地層，第一層為崩積土層；第二層為頁岩夾粉砂岩層；第三層為頁岩層。
2. 該社區之地層滑動由傾斜觀測管監測結果，整個邊坡往西南方向移動的趨勢。
3. 由傾斜觀測管量測結果計算之坡地平均日變量，若以日本地滑對策技術協會的建議，屬「準確定變動」(0.1-1mm/日)，該社區邊坡呈緩慢滑動。
4. 以安全、經濟、施工、景觀與生態等 4 項目等權方式進行成效評估，建議本社區邊坡採用地錨工法，另於原排水溝旁增設一口集水井為輔助工程。
5. 坡地社區邊坡之整治規劃長期監測資料（一年以上）之取得，對於符合安全、經濟之適合工法之評估有其必要性。
6. 數值分析軟體（如 FLAC）應用於邊坡穩定分析上，可得變位量與監測結果進行比對，得印證土層剖面及土層材料之合理性。

參考文獻

- [1] Bishop, A. W., "The Use of the Slip Circle in the Stability Analysis of Slope," *Geotechnique*, Vol. 5, No. 1, pp. 7-17 (1955).
- [2] Morgenstern, N. R. and Price, V. E., "The Analysis of the Stability of General Slip Surfaces," *Geotechnique*, Vol. 15, No. 1, pp.79-93 (1965).
- [3] Spencer, E., "A Method of Analysis of the Stability of Embankments Assuming Parallel Interslice Forces," *Geotechnique*, Vol.17, No.1, pp.11-26 (1967).
- [4] Janbu, N., "Slope Stability Computations," *Embankment-Dam Engineering*, casagrande Volume, Hirschfield, R. C. and Poulos, S. J. (eds.), John Wiley and Sons., pp.47-86 (1973).
- [5] Huang, S. L., and Yamasaki, K., "Slope Failure Analysis Using Local Minimum Factor-of-Safety

Approach," *Journal of Geotechnical Engineering*, ASCE, Vol. 119, No. 12, pp.1974-1987 (1993).

- [6] Chowdury, C. J., "Slope Analysis", Elsevier Scientific Publishing Company (1978).
- [7] 黃國鋒，「台北市山坡地社區安全監測與管理之研究」，國立台北科技大學土木與防災研究所，碩士論文，台北 (2004)。
- [8] 李昊哲，「簡易坡地自主安全管理系統建立之研究」，中原大學土木工程研究所，碩士論文，桃園 (2005)。