

泥岩區地滑監測與分析之探討

傅桂霖⁽¹⁾ 吳瑞鵬⁽¹⁾ 黃祥慶⁽²⁾

摘要

莫拉克風災後位於臺南市南化區玉山里柚仔腳聚落發生邊坡滑動，對當地居民及鄰近聚落造成威脅。本研究遂針對該地區辦理崩塌地調查、監測與穩定分析，以做為後續整治規劃之參考。由於地質上屬台灣西南部泥岩分布區，本滑動邊坡由厚層泥岩所組成，地表面則由崩積層或風化泥岩所覆蓋。調查顯示研究區滑動體受地下水位影響顯著，未來辦理相關治理工程規劃，應著重於地表水及地下水之排除。調查結果發現，本崩塌地主裂隙整體呈馬蹄形，延伸性相當良好，為一典型之地滑裂隙型態。崩塌原因初步推論因新鮮岩盤屬不透水之泥岩，大量之降雨入滲後，累積於新鮮岩盤以上之地表覆蓋層、舊有崩積層或風化泥岩中，造成自重增加及孔隙壓力上升，終導致邊坡破壞而發生地層滑動。

(**關鍵詞**：泥岩、滑動面、穩定分析)

Discussion of Landslide Monitoring and Analysis for Mudstone Area

Gui-Lin Fu⁽¹⁾ Jui-Peng Wu⁽¹⁾ Shiang-Ching Huang⁽²⁾

Doctoral Student ⁽¹⁾, Department of Soil and Water Conservation, National Chung-Hsing University, Taichung, Taiwan, 402, R.O.C,

Professional geologist ⁽²⁾, Tectenic Engineering Consultants Co., Ltd.

ABSTRACT

Settlement occurs slope slip on local residents and threatens neighboring settlements at Yo-Tzu-Chao, Yuli district of NanHua area in Tainan city after typhoon Morakot. In this study, then apply for the collapse of the region to investigate, monitor and stability analysis to be used as a reference for subsequent remediation plan. Survey shows that the sliding slope composed by a thick layer of mud, the ground surface by colluvium or weathered mudstone covered. Geologically the study area is located in southwestern Taiwan mudstone, sliding body significantly affected by groundwater, the survey found that the collapse of the whole horseshoe-shaped fissure landlords, extensibility quite well for a typical fracture patterns of the slippery floor. Causes of Collapse preliminary inferences because fresh rock is impermeable to the mudstone, a lot of rainfall infiltration, the cumulative in fresh rock above the surface cover, old colluvium or weathered mudstone, causing

(1)國立中興大學水土保持學系博士生(通訊作者 e-mail：fgl@mail.swcb.gov.tw)

(1)國立中興大學水土保持學系博士生

(2)泰坦工程技術顧問有限公司 應用地質技師

weight increase and pore pressure rise, eventually leading edge slope landslides occurred damage. Future for the relevant management project planning should focus on surface water and groundwater are excluded.

(**Keywords** : Mudstone, sliding surface, stability analysis)

前言

台灣因地理位置與氣候因素特殊，平均每年約有 3.6 個颱風侵襲，且位處環太平洋地震帶上易發生災害性的地震。近年因極端氣候現象頻仍，臺灣南部地區因颱風侵襲降下超過百年頻率的豪雨，並於山坡地發生嚴重走山及崩塌等土砂災害。

臺南市南化區玉山里柚仔腳聚落，民國 98 年莫拉克風災時發生崩塌災害，受害面積約有 3 公頃。本地區在莫拉克風災之前並無重大之土地崩塌及人員傷亡事件，災害發現後已對當地及鄰近聚落造成嚴重威脅，為保全人民生命財產安全，水土保持局臺南分局遂針對崩塌地災害進行調查，研擬處理方案，以供下一階段保育治理實施計畫參考。工作項目與內容，主要包含地形測量、地表地質調查、地質鑽探、邊坡穩定監測及分析等。本地區屬台灣西南部的泥岩分布區，眾所皆知泥岩因其組成年代新，岩石膠結不良，遇水易於軟化、崩解，因此常造成沖蝕型的邊坡破壞，並形成廣大的蝕溝系統或惡地形。本研究區為覆蓋於泥岩上的崩積層及風化岩層，因下方蝕溝地形發育造成地形失穩，遂於豪雨後發生地滑破壞。在此匯整相關調查分析成果，以供國內類似地質區邊坡破壞調查分析及治理之參考。

研究區概況

1. 地理位置

柚仔腳地區行政區域屬臺南市南化區玉山里，主要聯外交通道路為省道台 20 線，由玉井經北寮往甲仙方向，大約在南化水庫西南方的玉山一帶，由一貫道道場寶光聖堂西側產業道路，往上方邊坡可達研究基地。



圖 1 調查區域位置圖

Fig. 1 The transportation map of the investigated area

2. 地形

柚仔腳地區屬後堀溪中游附近的丘陵山地，位於呈東北—西南走向的內烏山列西北側邊坡上，東南側可向上延伸至標高 730 公尺的烏山山脊，西北則漸次下降至標高約 90 公尺的後堀溪河谷，整個邊坡中段標高約 300 公尺左右。研究區在台灣地形分區上屬於阿里山山脈的西南段，因地質構造的因素，彼此呈平行狀，大致呈北北東—南南西走向，其間則隔著走向相近的山脊，為縱谷

地形相當發達的區域。(如圖 2)

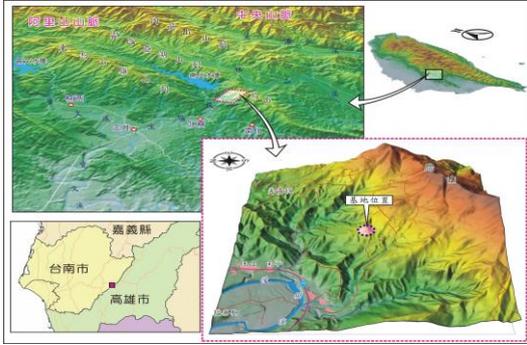


圖 2 調查區域地理位置及三維地形圖
Fig. 2 Location and three-dimensional view of topography of the investigated area

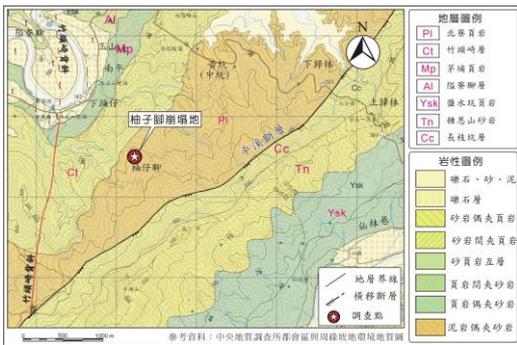


圖 3 區域地質圖 (中央地質調查所, 2004)
Fig. 3 The geological map around the studied region

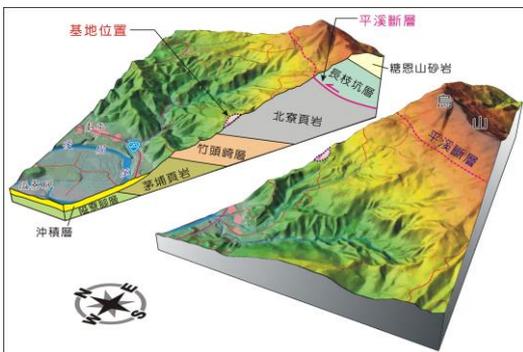


圖 4 三維地質構造剖面示意圖
Fig. 4 Three-dimensional view of the

geological structures

3.區域地質

研究區出露的地層主要為中新世上新世至更新世間的沉積岩，含茅埔頁岩、竹頭崎層和北寮頁岩等，岩性以砂岩、頁岩或泥岩等岩層交替出現(圖 3 與圖 4)。所在地層屬北寮頁岩，岩性以厚層的暗灰色泥岩為主，偶夾砂岩薄層，岩層層面並不明顯。地質構造方面，區域地質構造呈東北—西南走向，主要的地質構造有平溪斷層及竹頭崎背斜等。其中，平溪斷層位於研究區東南側約 600 公尺，大約通過研究區域與烏山山脊之間，為距離最近地質構造(水保局台南分局 2011)。

地質調查成果

1. 裂隙調查

研究區域之主裂隙整體呈馬蹄形，屬於一典型之地滑裂隙型態，地表裂隙調查成果如圖 5 所示。崩塌區頭部之主崩崖出現在雷音殿附近，約有 3~6 公尺之落差，地滑邊界之主裂隙延伸性良好，可由雷音殿往東北側延伸，以及往西北西側向下方延伸達 4 階平台，造成沿線擋土牆斷裂及地表錯位。

除地滑區邊界之主崩崖或裂隙外，區內也有相當多的規模較小的崩崖或裂隙，通常為地滑時因地層滑動量或滑動速率不均勻造成，一般均屬局部現象，延伸性往往不如主裂隙。這些局部的裂隙，多分布於地滑區的西南半側，東北半側因經過人為地形修整，地表裂隙多已被掩覆。



圖 5 調查區域地表裂隙分布圖

Fig. 5 Surface cracks distribution of the investigated area

2. 地表地質調查

(1) 岩性

本地區出露之岩性主要區分為崩積層、泥岩及風化泥岩等幾大類。地表地質調查成果則如圖 6。各岩性特質描述如下：

a. 崩積層

岩性主要為黃棕色或灰黑黏土，夾砂質粉土及泥岩或砂岩岩塊，組成結構較為凌亂鬆散。本層除本次地滑新生成崩積物質外，可能尚包含既有之古老崩積物，即本次地滑作用，部分乃既有之崩積層再次活動造成。

b. 泥岩

本地區之泥岩屬上新世至更新世間的北寮頁岩，岩性以厚層的暗灰色或青灰色泥岩為主，偶夾砂質泥岩或泥質薄層砂岩。工程性質屬軟岩，強度不高，易於風化崩解或

受侵蝕。新鮮完整的泥岩本身透水性不佳，地下水不易穿透或蓄積，但風化後則透水性漸增。

c. 風化泥岩

風化泥岩之由新鮮泥岩風化而成，顏色多為黃棕色，短柱狀或洋蔥狀風化現象發達，裂隙一般相當密集，地表水容易滲入，使得裂隙中常有泥質充填。因工程性質與新鮮泥岩已有差異，因應本調查分析之需要，特將之區分開來。

(2) 不連續面調查分析

本地區岩性屬厚層之泥岩，一般而言不連續面並不發達。主要的地質弱面為泥岩之層面，位態變化不大，頭部崩崖附近露頭所量得之位態約為 $N15^{\circ}E/20^{\circ}E$ 。可發現 3 組的節理，位態分別為 $N10^{\circ}W/80^{\circ}E$ 、 $N70^{\circ}E/60^{\circ}NW$ 及 $N80^{\circ}E/85^{\circ}S$ ，節理密度並不高，間距大約為 50 公分至 1 公尺以上，一般多屬閉合狀態，少數因地表逕流之沖蝕，有擴大之跡象。另靠近地表之泥岩常會出現密集之裂隙，通常為解壓或冷縮熱脹作用所造成，非原生或地質構造作用所形成。這些密集裂隙雖會改變岩體之整體性質，但其影響方式與一般岩坡分析所指的不連續面並不相同，故未在本分析考慮之內。考慮崩塌區頭部崩崖附近之坡面位態約為 $N45^{\circ}E/65^{\circ}NW$ ，岩坡穩定分析結果如圖 7 所示。分析結果顯示，相對於地層層面位態，本地區屬於逆向坡，並無順層滑動之危險，其他破壞模式之潛勢也不大。

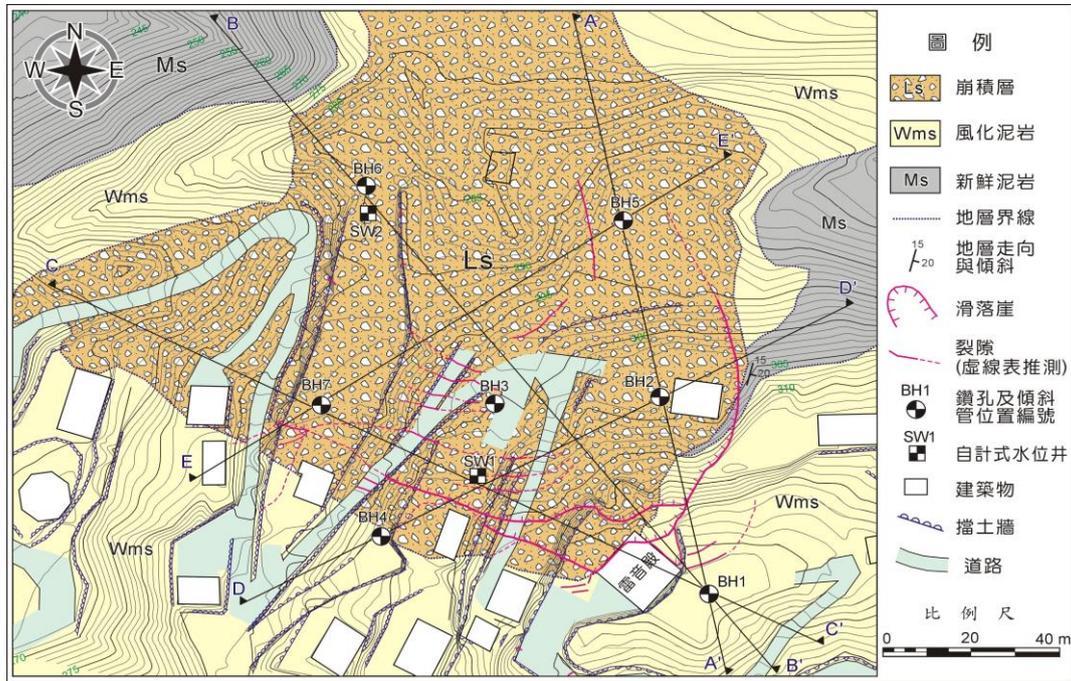


圖 6 調查區域地表地質圖(中央地質調查所 2004)
Fig. 6 The geological map of the investigated area

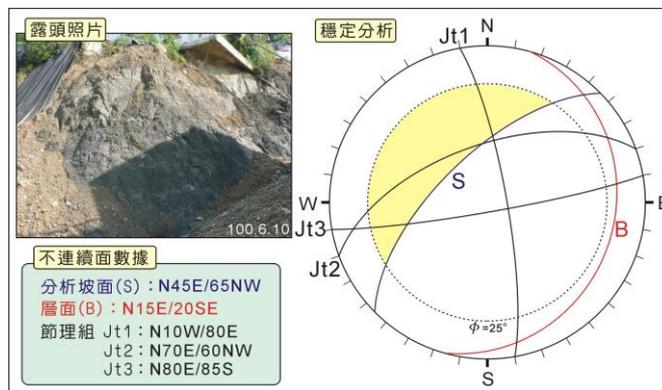


圖 7 露頭不連續面岩坡穩定分析成果
Fig. 7 Results of stability analysis using stereographic projection

3.地質鑽探

本研究共規劃 9 孔地質鑽探孔位，其中 BH1~BH7 作為傾斜管兼水位觀測井，SW1 與 SW2 作為自記式水位井，除 SW2 因緊鄰 BH6

不取樣外，餘均採 HQ 鑽孔取樣。根據地質鑽探及地表地質調查之成果，研究區域共進行三個縱剖面(A-A' 剖面、B-B' 剖面及 C-C' 剖面)及二個橫剖面(D-D' 剖面及 E-E' 剖面)之

地層分析，鑽孔及剖面位置如圖 6 所示。地質剖面分析成果如圖 8 所示。由各地質剖面成果可得知，本地區未破壞區原始地面為厚度約 2m 表土層或覆蓋層，其下則為風化泥岩，厚度約有數公尺不等，再往下則為新鮮的泥岩。而在地滑區方面，新鮮的泥岩岩盤之上，由崩積層取代原有的表土層及風化泥岩層，崩積層

厚度由數公尺至十餘公尺不等，最大厚度出現在 BH-5 的 13m。崩積層底部，有直接與新鮮泥岩接觸，但部分鑽孔(BH-3、BH-6 及 BH-7)中，崩積層及新鮮泥岩間仍有殘存部分風化泥岩層，顯示地層滑動面應於風化泥岩層中發育(傅桂霖等 2013)

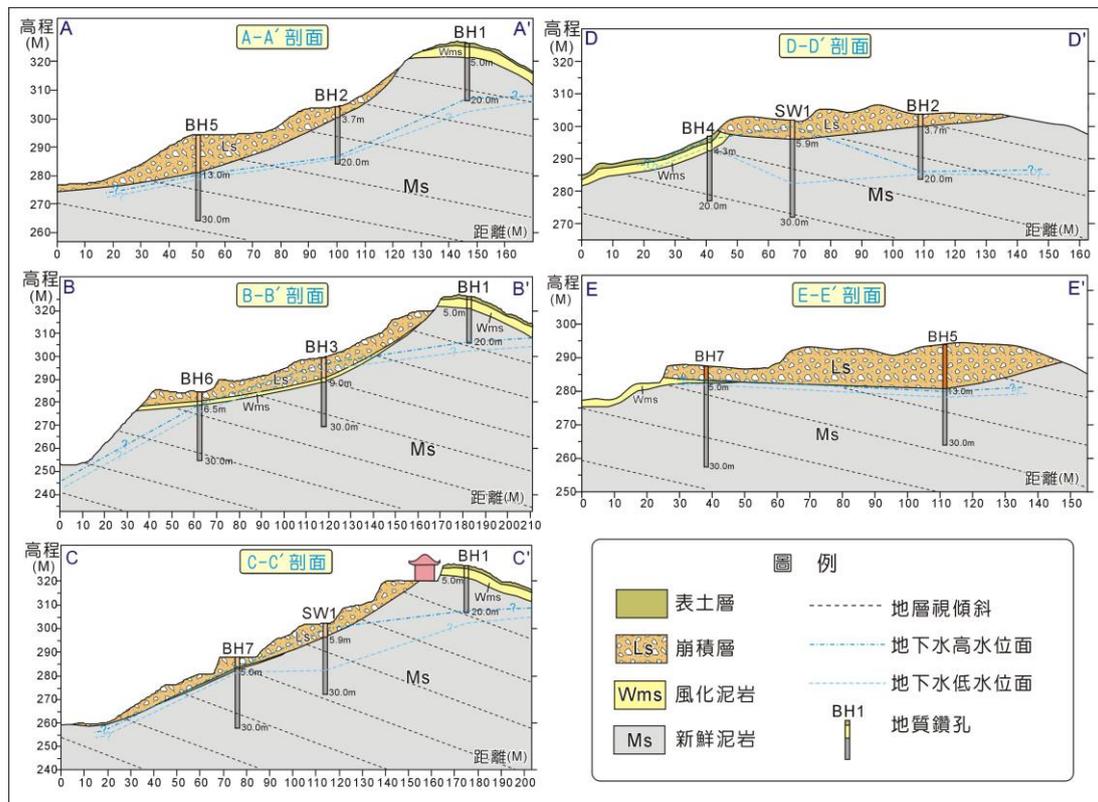


圖 8 調查區域地質剖面圖

Fig. 8 Geological profile of the investigated area

4. 土壤及岩石試驗成果

本研究土壤試驗於土層配合標準貫入試驗採劈管取樣共取土壤試體 19 組進行一般物理性質試驗，另薄管取樣 3 支進行土壤直接剪力試驗與土壤三軸壓縮試驗。在岩石

方面各鑽探孔位(BH1 至 BH7、SW1)取岩心試體共 8 組，分別辦理岩石單軸壓縮試驗及岩石弱面直剪試驗，並進行岩石物理性質試驗。相關試驗取樣位置及成果如表 1 及表 2。

表 1 土壤力學試驗成果表
Table1 Results of the soil mechanics tests

孔號	深度(m)	直接剪力		三軸 CU 試驗				土質敘述
				總應力		有效應力		
		C(kg/cm ²)	ψ(度)	C(kg/cm ²)	ψ(度)	c'(kg/cm ²)	ψ'(度)	
BH1	0.45~1.05	0.11	25.8	0.10	22.8	0.01	31.9	黃棕色粉土質 黏土夾砂質粉 土偶夾碎岩塊
BH2	0.45~1.05	0.09	26.0	0.04	24.2	0.00	33.3	
BH3	1.90~2.55	0.04	28.1	0.09	25.2	0.03	32.0	

表 2 岩石力學試驗成果表
Table 2 Results of the rock mechanics tests

孔號	深度(m)	單壓	弱面直接剪力試驗				岩心敘述
		q _u (kg/cm ²)	c _p (kg/cm ²)	Ψ _p (度)	c _r (kg/cm ²)	Ψ _r (度)	
BH1	6.50~7.00	128.25	1.62	29.9	1.44	28.7	灰色頁岩，岩質弱
BH2	8.50~9.00	91.76	0.13	35.5	0.08	33.6	灰色頁岩，岩質弱
BH3	14.00~14.50	106.75	0.51	36.8	0.44	33.0	灰色砂質頁岩，岩質弱
BH4	9.30~9.90	47.96	0.76	32.3	0.49	30.8	灰色頁岩，岩質甚弱
BH5	15.00~15.50	185.36	0.51	38.5	0.50	36.1	灰色砂質頁岩，岩質弱
BH6	23.50~24.00	185.58	0.98	39.8	0.96	35.3	灰色砂質頁岩，岩質弱
BH7	23.00~23.50	151.56	1.46	37.8	1.06	36.2	灰色砂質頁岩，岩質弱
SW1	12.50~13.00	18.67	0.64	30.3	0.63	27.9	灰色頁岩，岩質甚弱

支(SW1 及 SW2)、位移觀測點 50 點 (D01~D50)、建築物傾度盤 3 處(L1~L3)、裂縫觀測計 6 處(C1~C6)，觀測作業共持續 6 個月共 8 次以上。監測儀器數量及配置如表 3 及圖 9 所示。

監測系統規劃及相關成果

1. 監測系統規劃

本研究監測系統配置與數量規劃，含傾斜管 7 孔(BH1~BH7 深度共計 180 公尺)，水位觀測井 7 孔(BH1~BH7)、自記式水位計 2

表 3 調查區域監測儀器

Table 3 The observation instruments of the investigated area

編號	儀器名稱	數量	監測頻率	目的
1	自記式水位計	2 支	每小時 1 次	記錄計畫區域地下水水位變化情形
2	水位觀測井	7 孔	每個月 1 次	監測計畫區域地下水水位變化
3	傾斜管	7 孔	每個月 1 次	監測並推估潛在滑動面位置
4	位移觀測點	50 處	每個月 1 次	監測地表變位情形推估滑動範圍
5	建築物傾度盤	3 處	每個月 1 次	監測構造物傾斜變化
6	裂縫觀測計	6 處	每個月 1 次	監測構造物裂隙變化

備註：地震或暴雨後增加監測 1 次。

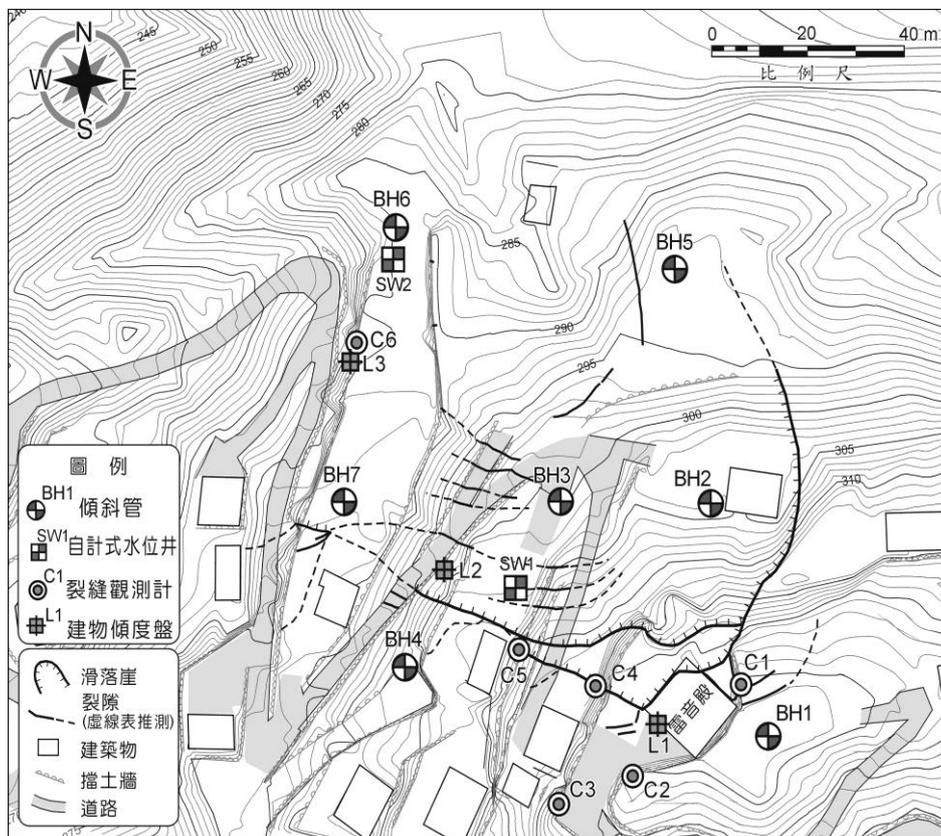


圖 9 監測系統配置圖

Fig. 9 The configuration of observation system

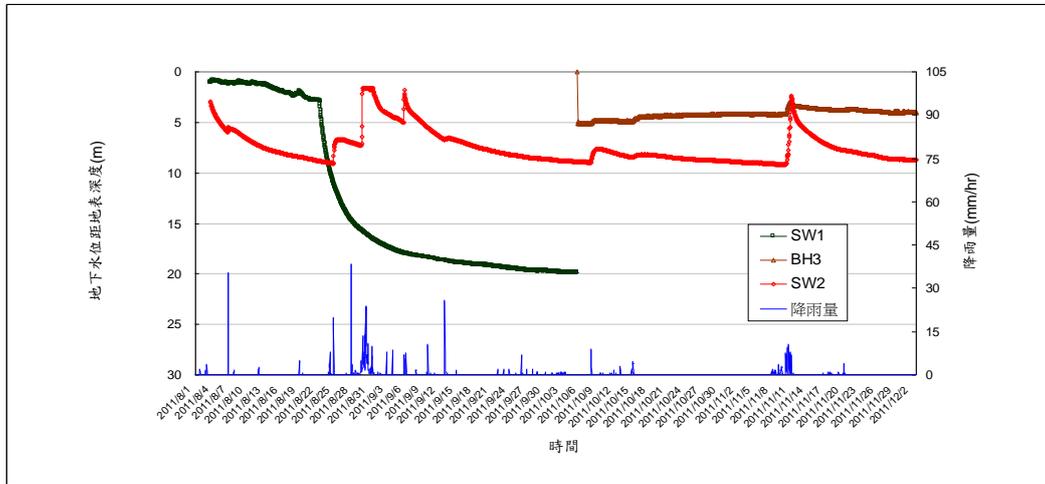


圖 10 自記式水位計量測成果

Fig. 10 Results of water level gauge observation

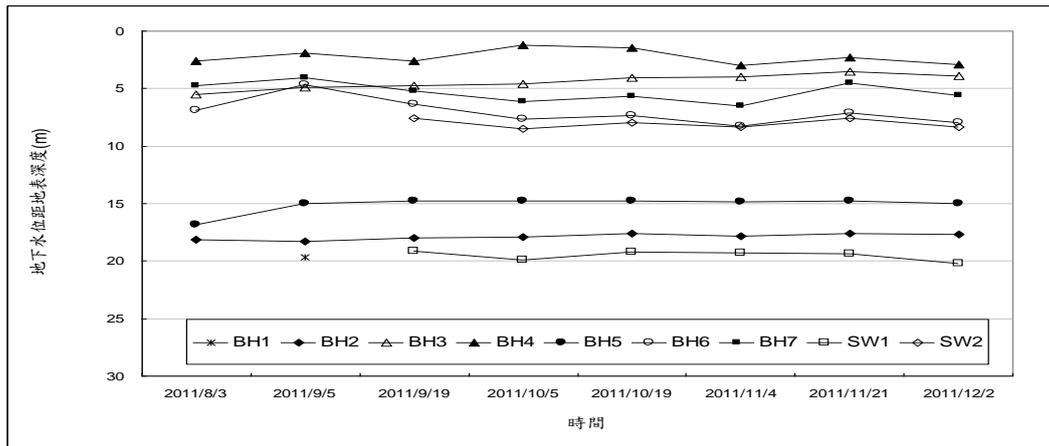


圖 11 水位觀測井人工量測成果

Fig. 11 Results of water table observation

2. 相關監測成果

(1) 地下水水位觀測

本研究裝設自記式水位計之鑽孔為 SW1 與 SW2，而 BH1 至 BH7 鑽孔埋設傾斜管，並作人工量測水位觀測井，觀測結果如

圖 9 與圖 10。其中，SW2 地下水位受降雨量影響明顯，在降雨後上升較快而在未降雨時又持續下降，研判係因崩積層地下水入滲較快，而崩積層下方之泥岩透水性低而緩慢消散所致。SW1 之地下水位自 2011 年 8 月 22 日快速下降，至 9 月中旬趨於穩定且幾乎保持不變。經現地檢測儀器功能正常後，10

月 5 日將該自記式水位計移至鄰近之 BH3 持續進行監測。

(2)傾斜管量測

研究區域共埋設 7 處總深度共 180 公尺

傾斜管進行監測，每個月測讀 1 次。各孔最大位移量量測結果如表 4 所示。由於觀測期程有限，量測成果各傾度管變化量微小，變位速率與位移量均屬可接受之變化量，且向量無明顯一致性，尚難判定滑動位置。

表 4 傾斜管量測成果表

Table 4 Results of inclinometer observation

孔號	監測深度(m)	最大位移 R(mm)	最大位移深度(m)	變位速率(mm/月)
BH1	20	3.24	0.5	0.81
BH2	20	4.21	0.0	1.05
BH3	30	4.72	11.5	1.18
BH4	20	1.73	3.0	0.43
BH5	30	2.44	9.0	0.61
BH6	30	3.29	0.0	0.82
BH7	30	3.25	0.0	0.81

最大位移 R 為 A 向及 B 向之合向量，A+方向為正向下邊坡方向，A-方向為正向上邊坡方向，B+方向為正向下邊坡左側方向，B-方向為正向下邊坡右側方向。

(3)構造物監測系統

本區共裝設建築物傾度盤 3 處，裂縫觀測計 6 處，主要安裝於滑動區內重要結構物及擋土牆裂隙。目前成果在裂縫觀測計方面，C5 的變位量相較稍大，其餘未有明顯變位量(表 5)。建物傾度盤方面，L2 似有持續傾斜趨勢，唯其傾斜量仍在經驗之容許範圍內(未達 1/500，即 413 秒)。

個月採導線測量方式監測 1 次，以掌握計畫區域地表位移情形。圖 12 為將各點 X、Y 方向差值合成以箭頭代表方向及大小，並將 Z 方向差值以不同顏色區分之成果示意圖。圖中調查區域地表似有一致性西北向變位，但因本研究位移觀測點監測定位精度在公分級，目前為止變位達公分之點位僅有 D19、D32、D45 及 D49，整體變位量微小，且仍不能排除測量誤差之影響，故尚無法論定邊坡是否滑動。

(4)位移觀測點監測

研究區域共埋設位移觀測點 50 處，每

表 5 裂縫觀測計監測情形
Table 5 Results of crack gauge observations

量測日期	C1		C2		C3		C4		C5		C6	
	量測值	變位量										
7/14	122	0	125	0	123	0	119	0	124	0	125	0
8/3	122	0	125	0	122	1	120	1	127	3	125	0
9/5	122	0	124	-1	123	0	119	0	127	3	124	-1
9/19	122	0	125	0	123	0	119	0	126	2	124	-1
10/5	122	0	124	-1	123	0	119	0	127	3	125	0
10/19	121	-1	125	0	123	0	119	0	127	3	124	-1
11/4	122	0	125	0	123	0	119	0	127	3	124	-1
11/21	121	-1	124	-1	123	0	120	1	128	4	125	0
12/2	122	-1	125	0	123	0	120	1	128	4	124	-1

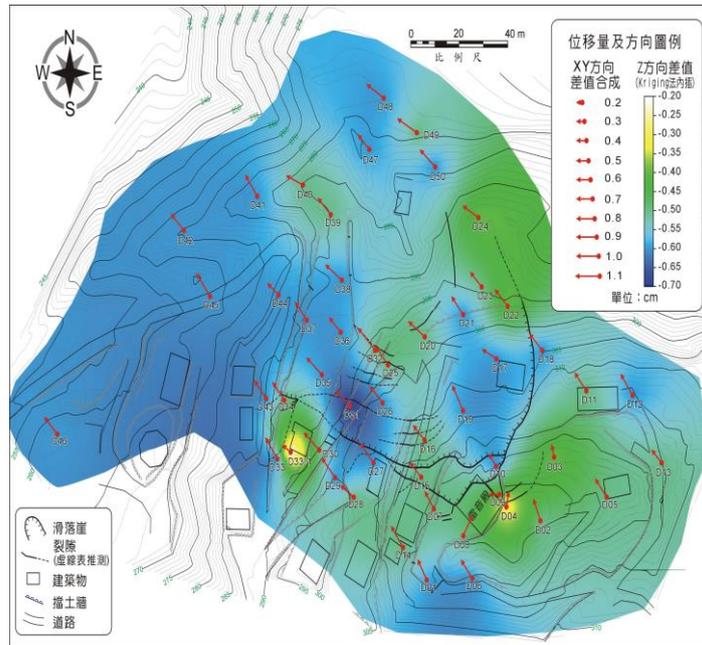


圖 12 位移觀測點位移向量與高程變化情形
Fig. 12 Results of displacement observation points

邊坡穩定分析

1. 邊坡穩定分析

邊坡穩定分析採 PC-STABL6 之圓弧型滑動模式，分別就常水位無地震、常水位+

地震、以及暴雨等三種狀況進行。

(1) 分析參數決定

依據地質鑽探結果，地層組成區分為泥岩、風化泥岩、崩積層及表土層所組成。其

中，泥岩及風化泥岩由鑽探岩心之岩石直剪試驗以求得岩層之強度參數；表土層由 BH1 所取之薄管試體進行之三軸試驗結果，其一般物理試驗土壤分類為 CL；崩積層因組成複雜較難取得合適性試體進行室內實驗求取參數，故採用反算分析方法取得強度參數 c 、 ϕ 值。採用之地層參數如表 6 所示。

(2)分析結果

分析結果整理如表 7 所示。分析結果可知，本研究崩塌地於常水位條件下，可維持邊坡安定，但在常水位發生地震時，則有可能產生滑動，而在暴雨時，計畫區邊坡有產生破壞之風險。由目前分析成果研判，計畫區滑動體受地下水位影響顯著，未來辦理相關治理工程規劃，應著重於地表水及地下水之排除。

表 6 邊坡穩定分析採用之地層參數

Table 6 Parameters for the strata

地層	$\gamma_m(\text{kN/m}^3)$	$\gamma_{\text{sat}}(\text{kN/m}^3)$	$c(\text{kN/m}^2)$	ϕ (度)
表土層	19.91	20.90	9.81	22.8
崩積層	19.03	19.72	3.92	24.2
風化泥岩	24.92	24.92	141.26	28.7
泥岩	24.72	25.02	94.18	35.3

表 7 邊坡安定分析結果

Table 7 Results of slope stability analysis

分析條件			安全係數	安全準則	分析結果
分析剖面 A-A'					
常時	常水位	$k_h=0.00$	1.795	1.50	OK
地震時	常水位	$k_h=0.13$	1.196	1.20	OK
暴雨時	暴雨	$k_h=0.00$	0.952	1.10	NG
分析剖面 B-B'					
常時	常水位	$k_h=0.00$	1.501	1.50	OK
地震時	常水位	$k_h=0.13$	1.056	1.20	NG
暴雨時	暴雨	$k_h=0.00$	0.776	1.10	NG

2.崩塌機制探討

本邊坡由厚層泥岩所組成，因泥岩強度低，易受風化作用之影響，靠近地表處常形成風化帶，不僅強度更為降低，且產生許多裂隙，使地下水易於下滲。而新鮮的泥岩本身則透水性不佳，故風化及新鮮岩層二者形成工程性質相異之岩體，其界面則大致平行

地表面分布。由於本區域新鮮岩盤屬不透水之泥岩，大量之降水量如無法經由排水設施宣洩，入滲之雨水受限於不透水泥岩，將累積於新鮮泥岩以上之風化泥岩、舊有崩積層等地表覆蓋層中。豪雨時地表覆蓋層蓄積大量下滲雨水，造成自重增加及孔隙壓力上升，終致沿著覆蓋層及新鮮泥岩界面附近產生破壞面，發生地層滑動。(圖 13)

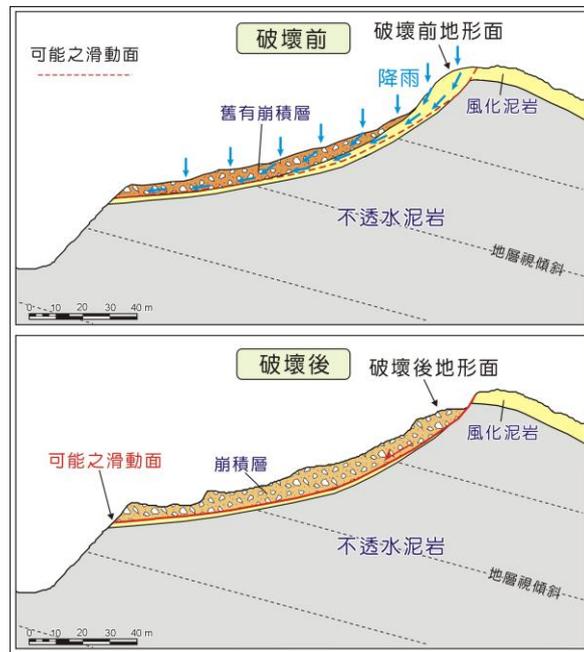


圖 13 崩塌機制示意圖

Fig. 13 The failure mechanism estimation of the investigated area

結論

1. 台灣西南部有廣大泥岩區分布，一般認知泥岩區常造成沖蝕型的邊坡破壞，本研究說明了適合條件下，泥岩區沖蝕結果易導致覆蓋於新鮮泥岩上方的崩積層及風化岩層發生地滑型破壞。
2. 崩塌地調查中，詳細的地質調查及地表裂隙測繪，有助於釐清崩塌原因並建立合理的崩塌機制，並可做為各項探測及監測系統規劃之重要依據。
3. 崩塌地監測需有延續多年的監測資料，較能準確掌握滑動情形及滑動面特性。本案例因觀測時程較短，且觀測期間颱風稀少，豪雨情況不若往年，各項監測數據缺乏明顯之變化，無法具體掌

握調查邊坡之滑動特性。雖然如此，本案例有關崩塌地之調查方法、監測系統規劃及資料分析呈現方式，應仍可提供國內類似工程調查之參考。

參考文獻

1. 中央地質調查所(2004)，二萬五千分之一「都會區及周緣坡地環境地質資料庫圖集-甲仙岩性組合圖」。
2. 傅桂霖、洪政義、陳慧玲、黃祥慶(2013)，「泥岩區地滑調查案例－柚仔腳崩塌地」第十五屆大地工程學術研討會論文集，pp.17。
3. 水土保持局台南分局(2011)，「柚仔腳崩塌地調查規劃」-成果報告書。

水土保持學報 46 (3): 1079 – 1092 (2014)

Journal of Soil and Water Conservation, 46 (3): 1079 – 1092 (2014)

103 年 02 月 19 日收稿

103 年 03 月 06 日修改

103 年 03 月 27 日接受