

## 和雅地區順向坡受地震影響滑動潛能分析

林美聆<sup>[1]\*</sup> 王國隆<sup>[2]</sup> 廖瑞堂<sup>[3]</sup> 余炳盛<sup>[4]</sup> 王元度<sup>[1]</sup>  
費立沅<sup>[5]</sup> 紀宗吉<sup>[5]</sup> 林錫宏<sup>[5]</sup>

**摘要** 南投縣鹿谷鄉和雅地區深坑聚落於 921 地震後 6 年，當地居民於順向坡上方發現裂縫，研判係為受 921 地震作用所引起，裂縫最深處達數公尺，其中「六耕」裂縫長約 80 公尺。本研究針對和雅地區順向坡進行各項現地調查及資料收集，經由各項調查及分析，探討和雅順向坡受地震影響之滑動潛能，並驗證 921 地震對該順向坡滑動之影響。經由地質及鑽探調查與歷年航照判釋分析比對，推測和雅順向坡於深度 60-65 公尺處存在可能滑動面，此外，利用擬靜態分析探討可能滑動深度，由鑽探結果之破裂面位置約為 60 公尺，與分析結果可能滑動深度頗為一致。因此由各項分析結果可驗證該處順向坡具高滑動潛能。

**關鍵詞：**和雅地區、順向坡、滑動潛勢、地震作用、擬靜態分析。

## Potential Analysis of Herya Dip-Slope Landslide Induced by Earthquakes

Meei-Ling Lin<sup>[1]\*</sup> Kuo-Lung Wang<sup>[2]</sup> Jui-Tang Liao<sup>[3]</sup> Bing-Sheng Yu<sup>[4]</sup>  
Yung-Du Wang<sup>[1]</sup> Li-Yuan Fei<sup>[5]</sup> Tzong-Jyi Jih<sup>[5]</sup> Shi-Hong Lin<sup>[5]</sup>

**ABSTRACT** Six years after the Chi-Chi Earthquake, severe cracks were found in the Herya dip-slope in the Senkern Community, Nantou County, and were postulated being induced by the Chi-Chi Earthquake. The crack in the Liougern area was several meters deep and 80m long. In this research, the potential of the Herya dip-slope landslide induced by earthquake was studied. Field investigations were conducted, and potential analysis was performed using pseudo-static procedures. The possible sliding surface identified from boring logs and topographic analysis was at about 60 meters deep, which appeared to be consistent with the results from pseudo-static analysis. Results of the study verified the high sliding potential of the Herya dip-slope subjected to a similar earthquake.

**Key Words:** Herya area, dip-slope, landslide potential, earthquake, pseudo-static analysis.

[1] 國立臺灣大學土木工程學系

Department of Civil Engineering, National Taiwan University, Taipei, Taiwan, R.O.C.

[2] 國立暨南國際大學土木工程學系

Department of Civil Engineering, National Chi Nan University, Nantou County, Taiwan, R.O.C.

[3] 青山工程顧問

Land Consultant Engineering Co., Taipei, R.O.C.

[4] 國立台北科技大學材料及資源工程學系

Department of Materials and Mineral Resources Engineering, National Taipei University of Science and Technology, Taipei, R.O.C.

[5] 經濟部中央地質調查所

Central Geological Survey, Ministry of Economics, Taipei, R.O.C.

\* Corresponding Author. E-mail : linml@ntu.edu.tw

## 一、前言

臺灣地區由於多山地形且位於環太平洋地震帶，受到降雨及地震所引致的邊坡災害一直是受到重視的課題，而有關深層滑動的研究，於莫拉克颱風後更逐漸受到重視。位於南投縣鹿谷鄉和雅村深坑聚落西側之和雅地區，北勢溪流經其東邊，附近交通要道主要為通往溪頭及杉林溪遊憩區之縣道 151 線公路。和雅地區於 921 地震後 6 年由鹿谷鄉民張錫煒、陳正雄等人在新開發的和雅村大崙山高山觀光茶園附近的「崙頭」及「六耕」兩處林地發現裂縫，裂縫位於坡體較高位置，研判係為受 921 地震作用所引起，因該處竹林密佈、人跡罕至，所以遲遲未發現裂縫。「崙頭」的裂縫長度雖長但寬度及深度較小，「六耕」裂縫長約 80 公尺，最深處則超過一支孟宗竹的長度，目前「六耕」裂縫已由水土保持局完成裂縫填補灌漿。

中央地質調查所勘察報告 (2006) 指出，此邊坡無論在地震前後均具有多處崩崖與滑動後造成的反斜崖，推測過去至少有 7 次規模與範圍都不同的滑動。其中有 4 次小規模滑動發生在鄰近聚落的下邊坡；另外則有 3 次屬於大規模的滑動。和雅地區係為砂頁岩互層之順向坡，順向坡下方有深坑部落居住。一般順向坡滑動經常導致嚴重之災損，主要係因其破壞坡體滑動速度極快而且難以預知。民國 86 年，台北縣汐止林肯大郡發生順向坡滑動造成 28 人罹難、921 大地震引致草嶺及九份二山大規模地滑皆為順向坡滑動的例子。台灣地區大多數大規模與中等規模的地滑災難，常由順向坡滑動所造成的。本研究針對和雅地區受 921 地震作用影響所產生之可能滑動情形進行調查與分析，以探討和雅順向坡受震之滑動潛能。

## 二、和雅研究區之地理位置與地質

研究地區位於南投縣鹿谷鄉和雅村深坑聚落西側，坡向大致由西南朝向東北方，北勢溪流經其東邊，附近交通主要為通往溪頭及杉林溪遊憩區之縣道 151 線公路，其地理位置如圖 1 所示。在地形上，本區位於阿里山山脈北緣，區域海拔高度約 900 至 1400 公尺，高差達 500 公尺，附近較高之山峰海拔約 1500 公尺，位於區域之西南緣，區域內有產業道路可達。區域內地質除北勢溪對岸有南莊層出露外，調查區域及其附近均為桂竹林層分佈，該區域之地質圖如圖 2 所示。桂竹林層標準地層是苗栗縣出磺坑油田附近的桂竹林層，在中部地區的桂竹林層分為三個岩段，分

別為下段的關刀山砂岩、中段的十六份頁岩及上段的大窩砂岩。調查區出露為上段大窩砂岩，以細粒至粉砂質砂岩為主，含有較多頁岩夾層。砂岩呈淡灰色到青灰色，細粒，厚層到中層，並有交錯層、波痕化石等淺水沉積之特徵，風化後呈黃棕色甚至紫紅色。本地區節理位態分布大致可區分為 2 組，分別為  $N82^{\circ}E/86^{\circ}S$  及  $N8^{\circ}E/78^{\circ}N$ 。以年度 36 年到 94 年之多期航照進行崩塌地之地貌特徵判釋分析，以確認個別滑動岩體單元，提供進一步瞭解崩塌滑動之機制與滑動規模。本次判釋分析所使用的航照由於航照年代並不連續，因此並無法得到每年之崩坍事件，但是從現有航照可發現每張均有不同規模的崩坍發生，判釋結果標示於 94 年航照如圖 3 所示。

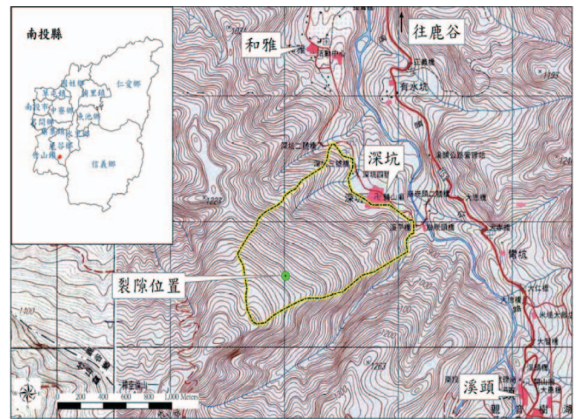


圖 1 南投縣和雅村深坑地區地理位置與地形圖

Fig.1 Location map of the study area in Herya Village, Nantou County

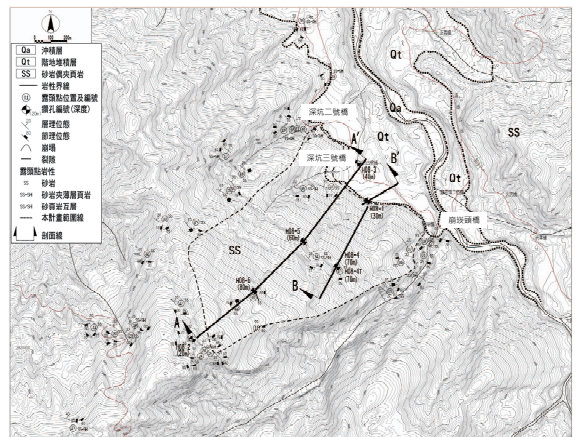


圖 2 南投縣和雅村深坑地區地質圖

Fig.2 Geological map of the study area in Herya Village, Nantou County

### 三、潛在滑動模式探討

依據圖 2 和雅地區地質圖中之地層層面走向與傾角分佈大致與坡面一致，故其應屬於順向坡地形，此類地形如果坡面正好位於同一岩層，且該岩層延伸良好的話，其地形等高線的延伸方向會與地層走向大約一致，而垂直等高線的方向將與地層的傾斜方向吻合，並且山坡坡度會與岩層傾角大致相同，由圖 1 和雅地區的地形等高線分佈狀況可以明顯觀察到上述現象。局部地區的等高線延伸方向與坡度，均與現地量測的地層走向與傾角吻合，或者可以推論其山坡地表是位於同一岩層面上。然而仔細觀察可以發現這種順向坡等高線與岩層位態吻合的現象無法一致延伸到全

調查區域，在調查區域與其上方，大致可以觀察到五個較大的地形區塊，如圖 4 所示，各區塊的山坡地表分別落於同一沉積系統中不同高程的岩層面上。茲將其暫以 A、B、C、D、E 五個地形區塊稱之。其中 A 區塊的岩層位置最高，其次為 B、C、D，而 E 區塊的岩層層位最低。C、D 兩區塊的高差較小。這些區塊間在圖 3 航照上可以清楚觀察到分別被一些線性構造所區隔。地形區塊 C 與 D 大致是被深節理所區隔，在個別的區塊中雖然會有許多薄頁岩存在，但是如果這些薄頁岩層的延續不夠廣闊，便較不具形成大規模滑動的潛能，而若在各別區塊內具延續夠廣的頁岩，則可以在各別的區塊內形成較小規模的滑動，此種較小規模的滑動面數目可能較多，但可能未延續到另一區塊。

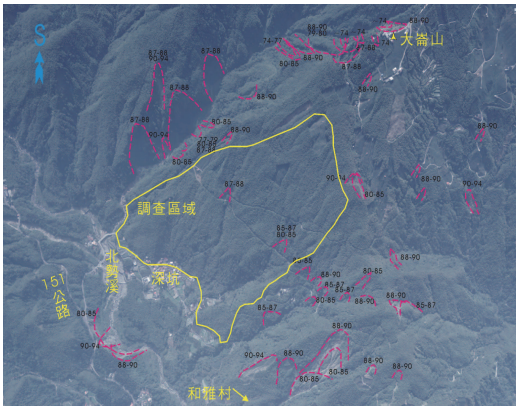


圖 3 南投縣和雅研究區歷年崩坍位置標示於 94 年航照圖

Fig.3 Historical landslide scarps marked on 2005 aerial photo of the Herya study area

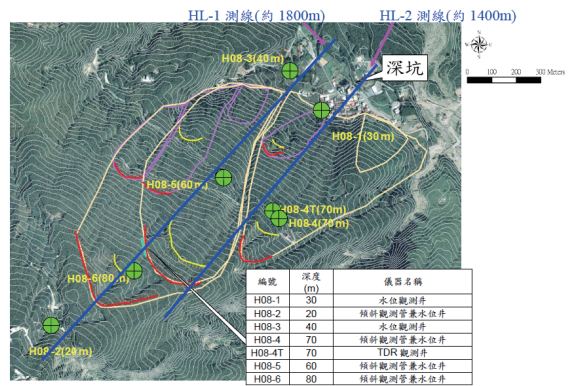


圖 5 和雅研究區地質鑽孔及監測儀器位置圖 (CGS, 2008)

Fig.5 Location of the bore-holes and instrumentation in the study area

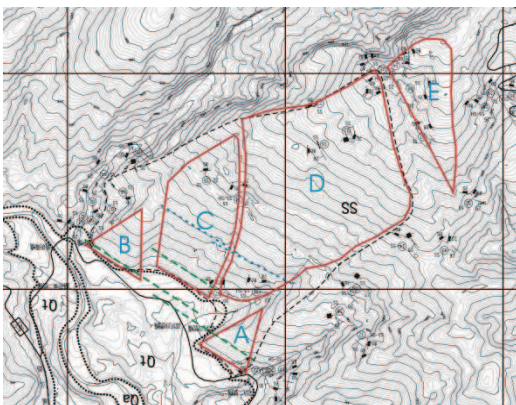


圖 4 調查區域的順向坡地形分為五個不同岩層位置的地形區塊

Fig.4 Five sliding blocks on the dip-slope terrain of the study area

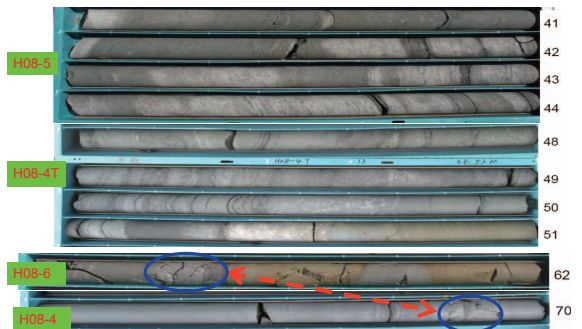


圖 6 部分 H08-4T 岩心與 H08-5 及 H08-6 的斷裂帶對比

Fig.6 Matching of fractured-zone in cores from bore holes H08-5, H08-4T, and H08-6

和雅研究區之滑動型態屬順向坡，岩層屬厚層砂岩夾薄層頁岩，研判地層分佈狀況應較為單純。中央地質調查所 (2008) 於此處進行地質鑽探及監測系統設置，其配置情形如圖 5 所示。根據地質鑽探結果研判，和雅研究區之地層，由上而下可概分為二個層次，分別為覆蓋土層或崩積層以及厚層砂岩夾薄層頁岩。地調所於研究區內共計鑽取七孔，因本地區屬順向坡地形，參照鑽井相對位置及其地形高程與地層分佈比對，可知其中 H08-4, H08-4T, H08-5 及 H08-6 大致鑽於同一層位的岩層，而 H08-1 與 H08-3 則是鑽取前述四個主要鑽井上方之岩層，而 H08-2 乃鑽取前述四個主要鑽井下方之岩層。

因此以四個主要鑽井 H08-4, H08-4T, H08-5 及 H08-6 之岩心進行對比分析。其中 H08-4(H08-4T) 與 H08-5 及 H08-6 的井距各約 300 餘公尺及 600 餘公尺，三者的岩心對比除了單調的砂岩外，彼此間的頁岩薄層、破裂面、化石段、以及銹染帶等出現位置無法完全對比得上，但在四口井的分別約 40~50 公尺不等的深度，各有約 2 公尺厚的沈積擾動帶可以彼此對應。圖 6 顯示 H08-4T 與 H08-5 的此岩段的照片，此外位於 H08-6 深度約 61m 處有厚達 10 公分的主要破裂帶也可以清楚相互對比，如圖 6 所示。同時藉由地化性質之對比，可以判定 H08-6 與 H08-5，

H08-4 破裂帶係為同一層，且明顯為黏土質地層。比對 H08-6 與 H08-4 在圖 4 所示地形區塊，大致可推定該破裂帶由上方 H08-6 所在之 D 區塊上緣延伸分布至 H08-4 所在之 D 區塊下緣，且此一主要區塊之地層具有較一致之分布情形，標示於圖 7 所示之 A-A' 剖面。由於各鑽井岩心均發現多處之破裂帶具有明顯剪動情形，且其多為黏土質地層，材料強度遠低於單調的砂岩，顯示出分區塊各別引致滑動之可能，與圖 4 所示地形區塊性狀相符。因此透過岩心比對以及前項地形分析，在各別的區塊內可能分別形成較小規模破裂滑動，但部分區塊滑動面可能未延續到另一區塊，由各孔岩心中存在許多各別破裂面，但未能完全延伸比對至其他孔岩心之破裂面位置可加以驗證。然而 H08-6, H08-5 與 H08-4 位於面積較大之 D 區塊，且有較大範圍之一致性地層及破裂滑動面延伸分布，研判應具有較大災害潛勢，故選取為後續穩定分析之主要位置。至於其他區塊所比對之破裂滑動面引致的滑動規模雖較小，但從現地跡象及圖 3 之航照判釋小規模滑動結果顯示其發生的次數較為頻繁，日後亦應加強注意。

依據地形分析及地質調查與岩心比對後，沿圖 5 所示兩處測線建立之地質剖面圖如圖 7 所示。

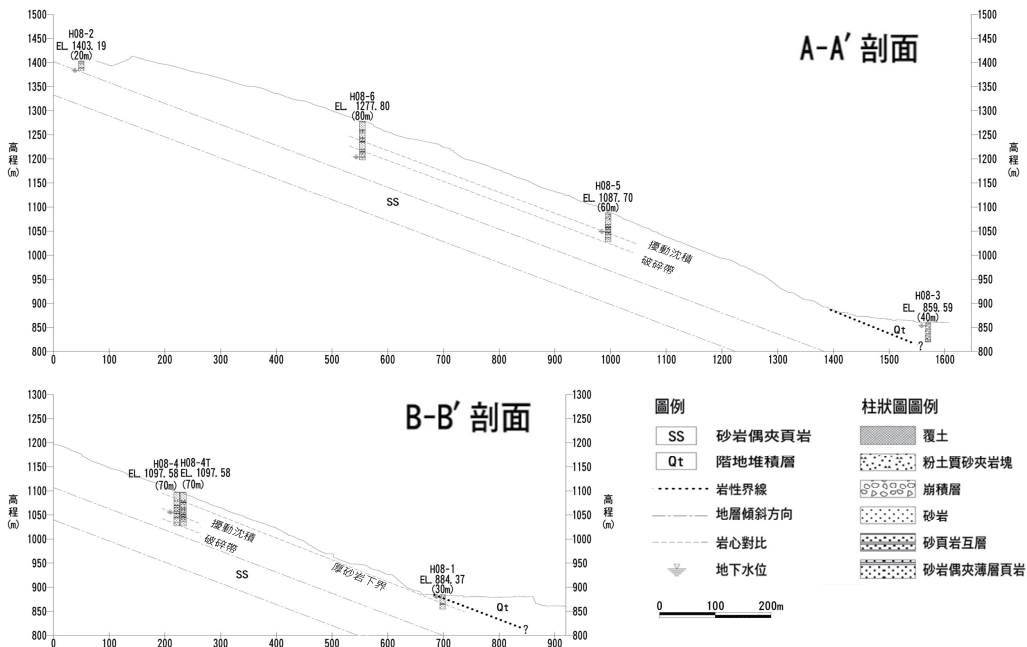


圖 7 和雅地區測線 HL-1 及測線 HL-2 之地質剖面

Fig.7 Geological profiles along survey profiles HL-1 and HL-2 of the study area

## 四、順向坡受震滑動潛能分析

和雅研究區根據前述分析研判係一砂頁岩互層的順向坡，本研究以擬靜態平面滑動模式進行分析，並針對其受震滑動潛能進行探討。擬靜態分析模式之應用主要係針對安全係數為 1 時之臨界加速度，以探討邊坡受震引致滑動之潛能。進行分析時首先針對單一砂岩地層下測試不同滑動面頂點位置與深度的破壞情況及臨界加速度，以瞭解對應不同滑動面引致邊坡滑動所需之地震地表加速度條件；其次加入所推估大範圍破碎頁岩層之位置，以探討破碎頁岩層對於引致邊坡滑動臨界加速度之影響，依臨界加速度之變動可提供對於和雅地區順向坡受震滑動潛能評估依據。

### 1. 分析地層剖面

根據前述地質鑽孔位置及地層與地形分析，選取和雅地區順向坡體中央可能之滑動剖面位置，如圖 8 所示。參考 92 年之數值地形資料，剖面地層主要為砂岩夾薄層頁岩，並有破碎帶出現，依據鑽探岩心及圖 7 之 A-A'地質剖面可協助研判破碎頁岩夾層位置，繪製岩體滑動分析用地層剖面圖，如圖 9 所示。由於各鑽孔岩心除單調砂岩可供對比之外，岩心中破碎頁岩夾層廣泛出現於各鑽孔中，其佔整體岩心之比例頗低。然而破碎頁岩的存在對坡體強度有深遠影響，因此在數值分析上不宜以單一砂岩地層代表實際情況。依據地調所 (2008) 之調查與材料試驗結果，較淺層與較深層的砂岩材料在強度的表現上差異不大，故在進行岩體滑動分析時，將岩體材料簡化為單一砂岩夾頁岩層 (SS-SH)，並由岩心比對結果推估大範圍破碎頁岩夾層之位置如圖 9 以進行分析，並討論破碎頁岩對岩體穩定之影響。

### 2. 材料參數選取

進行邊坡穩定分析時，所需之地層材料參數，包括材料單位重  $\gamma$ 、剪力強度參數之凝聚力  $c$  及摩擦角  $\phi$  值等。然而以上材料參數須由實驗室進行相關指數性質及力學試驗方可獲得。因此採用之材料相關參數係依據地調所 (2008) 之材料試驗結果及參考相關文獻資料來估算。破碎頁岩部分參考材料試驗結果(地調所, 2008) 及施國欽 (1996)、胡邵敏 (1979)、張吉佐等 (2004) 中之相關參數，以此做為分析模型中砂岩-頁岩及破碎頁岩之輸入材料參數。整理分析模型所採用材料參數設定如表 1 所示。

### 3. 可能滑動深度分析

首先利用有限元素數值模式 ABAQUS 軟體先行分析圖 9 所示之坡體剖面靜力平衡，結果顯示該剖面地形於坡上方凹陷處產生應力集中情形，而於現地實際觀測到之裂縫亦標示於圖 9 中，其並未與數值分析所得之應力集中處重疊，故於分析時，滑動面上之上界以實際裂縫所在位置及地形凹陷處應力集中位置兩種進行比對與分析，滑動面下界則以深坑聚落所在位置為其前緣。由於現地調查並無確切發現坡趾層面外露 (daylight) 證據，故分析著重於坡面中有鑽孔資料之位置。由於順向坡的滑動多屬平面滑動，且於各區塊鑽孔岩心有許多薄頁岩及破裂帶存在，故先將岩體材料簡化為單一砂岩夾頁岩層 (SS-SH)，選取不同可能滑動深度在受到不同地震加速度下進行分析，分析剖面如表 2 所列。分析時採用 STABL 程式以指定滑動面進行安全係數之分析，因現地觀察並未發現明顯之地下水情形，故滑動分析時暫不考慮地下水位之影響，分析結果如圖 10 所示。由表 2 及圖 10 可知，單一岩層同樣滑動頂點下，滑動深度越深，破壞的可能性越高。整理分析結果可知，在地震力小於 0.3g 的情況下，所有分析破壞面之安全係數皆大於 1，表示破壞可能性低；倘若地震力大於 0.4g，則滑動頂點在地形凹處的分析破壞面，在滑動深度 50 公尺以上都有破壞發生的機會，而滑動頂點在裂縫處的分析破壞面，滑動深度要達 70 公尺以上才有破壞發生的機會；當地震力大至 0.5g 時，滑動頂點在地形凹處的分析破壞面，只要滑動深度為 30 公尺以上就有破壞發生的可能，而滑動頂點在裂縫處的分析破壞面，滑動深度約在 50 公尺以上才有機會發生破壞。無論係以裂縫發生處或以地形剖面之不規則凹處 (易發生應力集中之現象) 為分析滑動面頂點，分析結果皆顯示有安全係數小於 1 的可能性。而滑動頂點在地形凹處的滑動面，其破壞發生的可能性遠較滑動頂點在裂縫處的分析滑動面顯著。

表 1 地體分析材料參數表

Table 1 Material properties for stability analysis

	濕單位重 (kN/m <sup>3</sup> )	飽和單位重 (kN/m <sup>3</sup> )	凝聚力 (kPa)	摩擦角 (°)
砂岩-頁岩層 (SS-SH)	23.50	23.60	300	30
破碎頁岩 (SH)	21.17	21.30	100	25

根據現有資料顯示，和雅地區坡面之裂縫可能係來自 921 地震，故對不同分析破壞面測試不同地震力所產生之影響，並找出分析破壞面安全係數為 1 時之臨界加速度，結果如表 2 所示。分析結果顯示破壞面臨界加速度由小而大依序為 J、I、H、E、G、D、F、C、B、A，臨界加速度值越小表示該滑動面破壞的可能性越高，如現地之地震加速度值超越表 2 所列臨界加速度，即可能於對應滑動面發生破壞。由於本項初步分析係將分析模型地層簡化為單一材料，故滑動深度破壞與否與重力有極大關係。

因此進一步考量鑽孔岩心有許多薄頁岩及破裂帶存在，於地層剖面加入推估之大範圍破碎頁岩層之位置約於 60 公尺深度，而破壞面位於破碎頁岩層中，故選取不同滑動頂點的分析破壞面，所得臨界加速度值如表 3 所示。比較分析滑動面 D 與分析滑動面 D<sub>1</sub>，同樣的滑動頂點在裂縫處，分析滑動深度也同樣在約 60 公尺處，但 D 的臨界加速度值為 0.425g 而 D<sub>1</sub> 的卻只有 0.205g，不到 D 的一半。相似的情形也發生在分析滑動面 I 與分析滑動面 I<sub>1</sub>，同樣的滑動頂點在地形凹處，分析滑動深度也同樣在約 60 公尺處，但 I 的臨界加速度值為 0.357g 而 I<sub>1</sub> 的卻只有 0.175g，同樣不到一半。由此結果可知，破碎頁岩層的存在會造成岩體

強度明顯減弱，若現地情形與由岩心推估的大範圍破碎頁岩相符，則和雅地區發生深層大規模滑動的潛勢相對升高。而滑動頂點在地形凹處的滑動面因受到應力集中之影響，其破壞發生的可能性仍遠較滑動頂點在裂縫處的分析滑動面顯著。

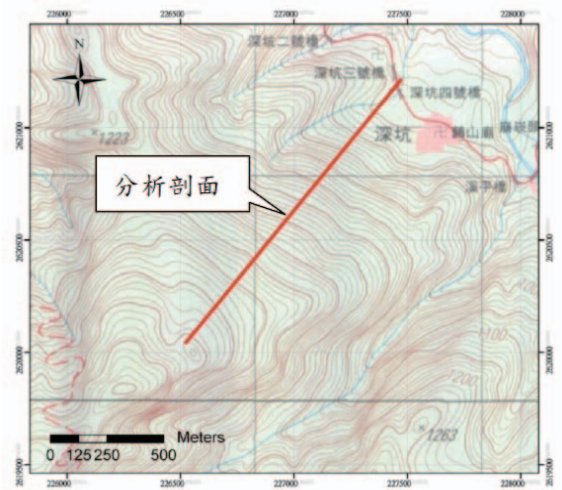


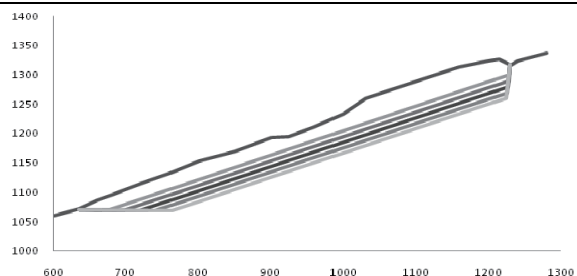
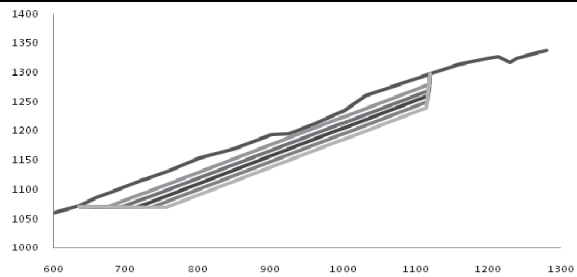
圖 8 和雅地區岩體滑動分析剖面位置圖  
Fig.8 Profile for stability analysis of the Her-ya dip-slope

表 2 單一岩層 (SS-SH) 不同分析滑動面之臨界加速度結果表

Table 2 Locations of different slip surfaces and corresponding critical accelerations for single formation SS-SH

滑動面	滑動面頂點	滑動深度 (m)	臨界加速度 (g)
A	裂縫處	30	0.780
B	裂縫處	40	0.583
C	裂縫處	50	0.475
D	裂縫處	60	0.425
E	裂縫處	70	0.395
F	地形凹處	30	0.485
G	地形凹處	40	0.420
H	地形凹處	50	0.380
I	地形凹處	60	0.357
J	地形凹處	70	0.343

不同分析滑動剖面位置圖



### 五、921 地震影響分析

為瞭解 921 地震作用力對於研究區域順向坡之影響，並與前節分析結果相比對，故先針對 921 地震時研究區所受地震力加速度進行推估。首先計算出研究區順向坡分析剖面之坡向為北 43 度東，參考氣象局強震觀測網選取距離研究區域最近的 5 個測站，分別為：林中國小 CHY024，東和國小 CHY101，草嶺 CHY080，阿里山氣象站 CHY074，及水里國小 TCU078，各測站與研究區域之相對位置如圖 11 所示。自氣象局網站擷取 921 地震時之各測站地震加速度歷時紀錄，將個別測站加速度紀錄之東西向與南北向之資料投影至分析剖面之坡向，再將兩向投影量相加後可得到各測站投影到邊坡坡向的加速度歷時資料，如表 4 所列。在求得各測站投影邊坡坡向最大加速度值後，以研究區到各測站距離平方反比法內插計算研究區域之邊坡坡向加速度值，做為分析時輸入之水平向加速度，計算所得為 450gal，即 0.46g。同樣以各測站距離平方反比法內插計算研究區域之垂直方向加速度值，做為分析所輸入之垂直地震力，該值約為 295gal，即 0.30g。將此項水平向加速度與表 2 所列單一岩層不同分析滑動面僅考慮水平向地震力下之臨界加速度比較，在滑動面 D，E，G，H，I，及 J 所得到之臨界加速度均低於研究區域內插所得之水平向加速度，顯示在這幾個滑動面位置均有可能引致順向坡滑動。其中滑動頂點在裂縫處的分析破壞面，滑動深度要達 60 公尺以上才有破壞發生的機會；而滑動頂點在地形凹處的分析破壞面，只要滑動深度為 40 公尺以上就有破壞發生的可能。

由於前節中所繪製之邊坡分析剖面採用之 DTM 資料為民國 92 年之資料，應屬 921 地震後所建立，

故重新利用民國 78 年 40m×40m 的 DTM 製作同樣位置之地形剖面，如圖 11 所示。由圖中發現邊坡上方之地形凹處，於民國 78 年 (921 地震前) 並未發現，有可能係日後開墾闢路或崩塌後之結果，但亦可能係精度及測量上之差異。依據前節分析剖面所推估大範

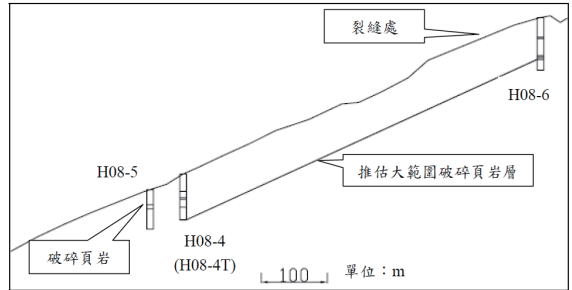


圖 9 地震穩定分析地層剖面圖  
Fig.9 Profile for slope stability analysis

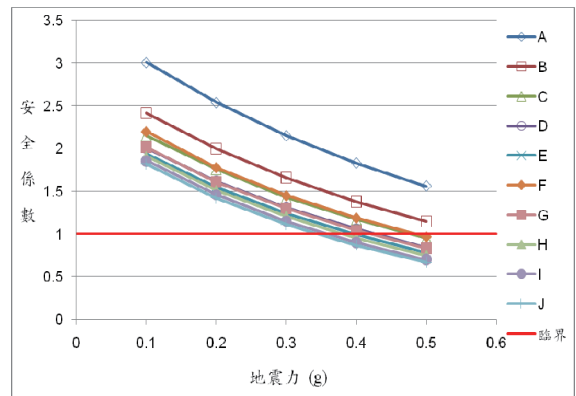


圖 10 單一岩層 (SS-SH) 不同分析滑動面之安全係數與地震力關係圖

Fig.10 The relationship between peak ground acceleration and safety factor of the slope for single formation SS-SH

表 3 具破碎頁岩地震滑動分析結果表

Table 3 Results of stability analysis with fractured-zone included in the profile

滑動面	滑動面頂點	滑動面深度	滑動面	滑動面頂點	滑動面深度
D <sub>1</sub>	裂縫處	約 60 公尺	I <sub>1</sub>	地形凹處	約 60 公尺

臨界加速度：0.205g

臨界加速度：0.175g

圍破碎頁岩層位置深度, 建立兩個民國 78 年的剖面, 分析破壞面分別位於 D<sub>2</sub> (滑動頂點為裂縫處) 和 I<sub>2</sub> (滑動頂點為地形凹處), 並輸入 921 的最大地震加速度進行分析, 分析結果如表 5 所列。其結果顯示, 兩者之安全係數均低於 1 甚多, 亦即最大地震加速度已遠超過臨界加速度, 表示 921 地震作用下, 和雅順向坡發生滑動的機會極高, 而且破壞面頂點仍以目前上方坡面地形凹處之安全係數較裂縫處為低, 顯示自上方坡面凹處發生大規模滑動破壞的可能性極高。雖表 5 之分析剖面地形未出現地形凹處, 但分析結果仍顯示以目前上方坡面凹處為滑動面頂點之滑動潛能極高, 故該地形凹處極為可能於 78 年以後, 邊坡即已於該位置發生部分崩塌所造成。

## 六、結 論

南投縣和雅地區深坑聚落於 921 地震後於順向坡上方發現裂縫, 研判係為受 921 地震作用所引起, 本研究針對和雅研究區滑動潛能進行調查分析。經由地表地質調查、鑽探及歷年航照判釋結果, 顯示該區岩層屬厚層砂岩夾薄層頁岩, 滑動型態屬順向坡。地形分析顯示該區有五個較大的地形區塊分別落於不同高程的岩層面上, 透過岩心比對發現各別區塊內有較多數目的破裂面, 而於面積較大之 D 區塊有較大範圍之一致性地層及破裂滑動面延伸分布, 研判應具有較大災害潛勢。

由擬靜態之滑動模式分析結果判定和雅順向坡在受震時存在高度之滑動潛能, 鑽探結果之破裂面位置約為 60 公尺, 與分析結果可能滑動深度頗為一致。由採用 921 地震之加速度分析結果顯示, 各滑動面位置形成滑動之可能性均相當高, 此外以順向坡上方坡面

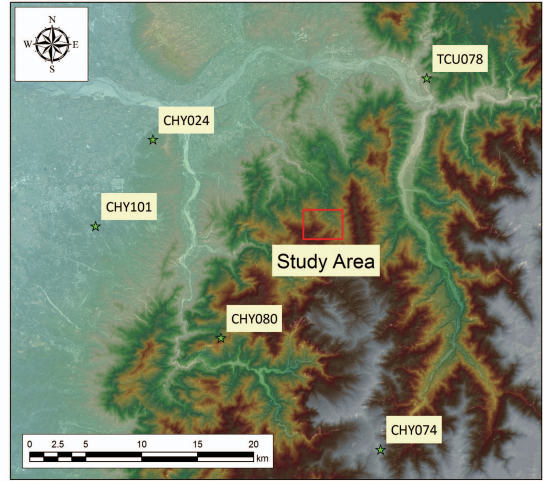


圖 11 和雅地區地震測站分布圖

Fig.11 Locations of the strong ground motion stations with respect to the study area

表 4 鄰近和雅地區地震測站 921 地震資料表

Table 4 The Chi-Chi Earthquake ground motion recorded by neighboring stations

測站代碼	CHY074	CHY101	CHY024	CHY080	TCU078	
測站名稱	阿里山氣象站	東和國小	林中國小	草嶺	水里國小	
座標 (TWD97)	x	231425	205955	211075	217150	235544
	y	2600573	2620563	2628301	2610566	2633791
與研究區水平距離 (km)	20.58	21.08	17.67	14.09	15.63	
最大加速度值 (gal)	垂直向	97.68	162.16	141.40	715.92	171.00
	南北向	157.02	390.10	162.16	841.52	302.48
	東西向	229.20	332.74	276.34	792.36	439.70
	投影向	197	334	235	785	365

表 5 921 地震前地形坡體滑動分析結果表

Table 5 Results of analysis using topography prior to the Chi-Chi Earthquake

滑動面	滑動面頂點	滑動面深度	滑動面	滑動面頂點	滑動面深度
D <sub>2</sub>	裂縫處	約 60 公尺	I <sub>2</sub>	地形凹處	約 60 公尺
安全係數: 0.81			安全係數: 0.78		



凹處為滑動面頂點之滑動潛能較地震後發現之坡面裂縫處為高。

目前和雅地區滑動型態呈現為不同區塊滑動，此類滑動規模雖較小，但從現地跡象及航照判釋結果顯示其發生的頻率較高，且研究區順向坡在承受類似 921 地震力時滑動潛能相當高，故仍應加強注意致災之可能。

## 參考文獻

1. 經濟部中央地質調查所 (2008), 「地質敏感區災害潛勢評估與監測, 重大山崩災害潛勢地區災害模擬與監測(2/4)」, 中央地質調查所報告第 97-14 號。(CGS (2008). *Simulation and Monitoring in Areas Susceptible to Landslide Hazard (2/4)*, Report No.97-14. (in Chinese))
2. 邵敏 (1979), 「砂岩與頁岩之邊坡穩定問題」, 邊坡穩定與坍方研討會論文集, 117-145。(Hu, S. M. (1979). "The slope stability problems of sandstone and shale," *Proceedings, Slope Stability and Landslide Conference*, 117-145. (in Chinese))
3. 施國欽 (1996), 「岩石力學」。(Shi, K. C. (1996). *Rock Mechanics*. (in Chinese))
4. 張吉佐、劉弘祥 (2004), 「砂泥層地盤之蘭潭隧道工程探討」, 土工技術, 99, 39-50。(Chang, C. T. and Liu, H. S. (2004). "Tunneling in Loosely Cemented Sand Layer/Stiff Clay. Lantan Tunnel," *Sino-Geotechnics*, 99, 39-50. (in Chinese))
5. 經濟部中央地質調查所 (2006), 「南投縣鹿谷鄉和雅村深坑聚落岩體滑動勘查報告」。(CGS (2006). *Investigation Report on Rock Slide at Senkern Community, Herya Village, Nantou County*. (in Chinese))

---

2011 年 05 月 24 日 收稿

2011 年 09 月 14 日 修正

2011 年 10 月 12 日 接受

(本文開放討論至 2012 年 6 月 30 日)