



2000 TAIWAN ROCK ENGINEERING SYMPOSIUM

岩盤工程研討會論文集



台灣 台中 國立中興大學
2000年 11月 16日 至 17日

九份二山崩塌機制之初步研究

壽克堅 蘇苗彬 王建峰

中興大學土木工程系

摘 要

1999年9月21日台灣發生規模為7.3 (ML, CWB)之大地震。本研究針對南投縣國姓鄉南港村之九份二山之大崩山，對於崩塌區之地形及地質背景加以瞭解，並配合現地取樣及室內試驗，初步了解現地岩層之基本物理及力學行為，並探討崩塌之發生機制，以極限平衡法分析邊坡穩定和反算分析岩材之 $C-\phi$ 關係曲線。對滑動面上之殘塊、殘餘滑動體及滑動體周邊區域之潛在危險進行研究，並初步提出危險區評估及建議。

一、前言

1999年9月21日台灣地區發生規模為7.3 (ML, CWB)之百年來最大地震。九二一大地震應為車籠埔斷層再度活動引起，除引起約略沿著車籠埔斷層，南起桶頭，經竹山、南投、草屯、霧峰、豐原、石岡、延伸至卓蘭之地表破裂(1至5公尺之錯動)，並誘發多處土壤液化及山崩之災害。其中發生在國姓鄉南港村北山坑溪支流澗子坑溪長石巷地區之大規模崩塌(俗稱九份二山大崩山)，是最為嚴重之災害之一；除了造成住戶二十餘人遭到活埋外，並在崩塌地下方堵塞澗子坑溪及韭菜湖溪形成二堰塞湖。針對此一崩塌地，有關堰塞湖之處理已受到相當重視；但是上方崩塌地是否安全實有必要進一步加以探討。

本研究針對此一崩塌之發生背景及發生機制進行初步探討。首先對於崩塌區之地形及地質背景加以瞭解，並配合航照圖對崩塌區進行地表調查；其次為推定滑動體之幾何形狀，配合現地取樣及室內物理、力學試驗；並初步探討崩塌之發生機制，以邊坡極限平衡法進行初步分析，未發生地震前岩坡之安全係數，和發生地震時之安全係數。最後，針對滑動面上之殘塊、殘餘滑動體及滑動體周邊區域之潛在危險進行研究，並提出初步危險區評估及因應對策建議。

二、地形及地質^[1]

九份二山崩塌區位在國姓鄉北山坑溪支流澗子坑溪，滑動體南側有韭菜湖溪

由南向北匯流入澀子坑溪；北側有粗坑溪流經，由西向東匯流入北山坑溪。由地震前之照片基本圖可知崩塌區滑動前即為一順向坡地形，層面向東南傾斜約 20° - 25° ；此次受地震力作用造成順向坡岩體沿層面脫落破裂而下滑，除了在滑動面上殘留浮石外並在滑動體下方形成兩個堰塞湖，高水位時在滑動體上方凹處也會積水成新潭。

崩塌區之地層主要為樟湖坑頁岩(相當於猴洞坑層)，出現在崩塌地南側有桂竹林層不整合於其上，樟湖坑頁岩之下為石門村層，分佈於北側並於崩塌區東北側形成石門峽谷。主要構造為南北向之大岸山向斜，軸線約略由滑動體趾部通過，東翼傾斜約 50° 西翼傾斜約 20° 為不對稱向斜。由地層分布及地形顯示向斜軸向北漸變為一斷層，約略在滑動體趾部通過。大岸山向斜西距雙冬斷層約 6 公里，東距水里坑斷層(北與國姓斷層相連)約 2 公里，其地形地質示意如圖一所示。

三、崩塌區調查

經過航照圖及地形圖判釋，以及現地之踏勘調查；其九份二山崩塌區以堰塞湖全景如照片一所示。初步之調查結果如下：

1. 滑動體沿順向坡之層面滑動，層面之走向及傾斜約為 $N35^{\circ}E/20^{\circ}SE$ ；在滑動面上留下擦痕及浮石，降雨及餘震引發之浮石繼續滑落，尤其是西南側滑動面因水量較大伴隨發生小規模土石流。經過穿越滑動面之臨時道路時，應注意外力(風力、降雨、地震等)引發之落石，如照片二所示。
2. 崩塌區頂部裸露殘坡有 30-50m 之斷崖，斷崖上方有農地及農舍。由地形研判層面沿斷崖底部向上延伸，崩塌區仍有向上延伸後退之潛能，其穩定性及危險範圍仍待仔細評估。
3. 斷崖下方兩側有崩積土石，東北側滑動面上有大型殘留斷塊，其體積及穩定仍待仔細評估。
4. 滑動面東北側粗坑溪坡面產生數個傾覆式或落石式邊坡破壞，土石崩落於溪谷中如照片三所示。
5. 下滑岩體受東南側石門峽之阻擋，除了少部份飛越外大多堆積在其西側；並堵塞韭菜湖溪及澀子坑溪形成兩個堰塞湖。此外，高水位時在滑動體上方凹處也會積水成潭，如照片四所示。
6. 堰塞湖積水或滑動體上方水潭造成地下水上揚，不僅對堆積體本身穩定構成威脅，也對順向坡之後續發展不利。
7. 滑動面下之岩層為不易透水之頁岩，岩層歷經解壓和脹縮作用，有不規裂縫和崩解風化之現象，如照片五所示。

四、試驗與結果^[2]

由現地取得新鮮崩落岩塊，帶回實驗室進行系列之物理試驗，首先進行單位

重試驗，求得該岩石之單位重約為 2.65t/m^3 ，將岩石充分浸泡數十日，發現其含水量極低。其次進行消散耐久性試驗，以鑽孔號深 105-110m 處之岩心敲碎進行試驗；每組試樣進行二次乾濕循環以了解其抗耐風化能力，消散耐久第一次乾濕循環指數為 0.88~0.91，第二次乾濕循環指數為 0.54~0.56，依國際岩石力學會 (ISRM) 取第二次循環指數為消散耐久指數 (Slake Durability Index)，可由 Gamble 之建議該岩石為低耐久性 (Low durability)，其試驗前和試驗後之岩樣如照片六、照片七所示。

最後進行直接剪力試驗，再鑽取岩心再以切割機切削並磨平，進行節理面直接剪力試驗岩心直徑 5 公分，置入剪力盒再以高強度石膏固定岩心。因模擬崩塌區滑動，滑動面上覆蓋深度約 50 公尺覆土應力約為 13.3kg/cm^2 ，當進行直剪試驗時以此為正向應力加載之依據，剪動速率控在 0.1mm/min 。求得常態下之 $\phi = 33.4^\circ$ ，浸水充份飽和時之 $\phi_s = 29.2^\circ$ 、 $C = 0.15\text{ kg/cm}^2$ 。由試驗得知該區岩材本身剪力強度佳，但抗風化不佳，故應特別注意其風化之後物理和力學性質，以供其他量測推估之用。

五、崩塌之岩坡穩定分析

參考崩塌前後地形變化，對崩塌區選取分析斷面 (如圖一 A-A 剖面)，以此幾何條件配合 921 地震測得之地震加速度 $\alpha_v = 0.30g$ ， $\alpha_h = 0.49g$ (雙冬國小與魚池兩測站內差)，及試驗求得之數據如表一所示，依邊坡穩定程式 PCSTABL 6^[3]，崩塌區之滑動面為塊狀滑動模式來分析；先模擬地震前之岩坡安全係數，以及發生地震時之岩坡安全係數。分析結果地震前之岩坡安全係數為 1.66，其岩坡應處於安全之範圍之內，發生地震時之岩坡安全係數為 0.56，其發生地震時之岩坡安全係數偏小，故推測當初誘發地震時地震加速度未達峰值 $\alpha_v = 0.30g$ ， $\alpha_h = 0.49g$ 岩坡就已產生滑動現象。其滑動前後之剖面如圖二所示，並由地震前岩坡之安全係數和發生地震時之岩坡安全係數，以反推分析所得 C- ϕ 關係曲線如圖三所示，發生地震時之 C- ϕ 關係之 ϕ 值最大約為 22° 與實際試驗上求得之 $\phi = 33.4^\circ$ 有明顯差異，故可推測當晚地震發生時其加速度未達峰值即產生滑動。此外，考慮臨界狀態下岩坡安全係數為 1.0 時，以極限平衡法反算分析其合理 α_v - α_h 之關係曲線，其結果如圖四所示亦可印証上述之發現。而實際上滑動坡面上方作有大約四分之一的土體尚未滑落，由空中攝影得知上方之有北側有多處拉力裂縫，推估滑動面仍延伸至坡頂，該四分之一的土體應處於臨界危險狀態，故應防範雨季雨水滲入張力裂縫內造成邊坡之二次滑落。

七、結論與建議

對於岩坡上方未滑落之土體，其上方仍有潛在張力裂縫，應仍處於臨界穩定狀況；應特別注意該滑動岩體的穩定，尤其雨季來臨時造成雨水滲入張力裂縫引起滑動之風險。於滑動面上方所開闢之橫向產業道路，每當降雨後便有大量土石崩落，造成產業道路損毀與阻斷；一方面是坡頂之土石鬆動滑落，另一方面是修

挖道路造成進一步之風化，應加強需監測其安全性；此外崩塌區新潭開闢之溢洪道應將水位高度控制至安全範圍內，以免水位上升造成順向坡因水壓上升產生更進一步滑動。該崩塌區之岩石材料為耐久性低，歷經地震後岩坡上之岩石裸露且有風化崩解之情形，使得材料之強度有所減弱，故應對於岩石風化造成岩坡穩定之影響作更深入之研究。

八、參考文獻

- [1]經濟部中央地質調查所(1999)：「九二一地震地質調查報告」，台北。
- [2]Brown, E.T.(1981): "Rock Characterization Testing and Monitoring", ISRM, TORONTO.
- [3]Paola, Bdinik,(1999): "PCSTABLE6 FOR DOS v6.0", Purdue University, U.S.

A Preliminary Study on the Failure Mechanism of the Chiufengershan Landslide

Keh-Jian Shou Miao-Bin Su Cheng-Fung Wang

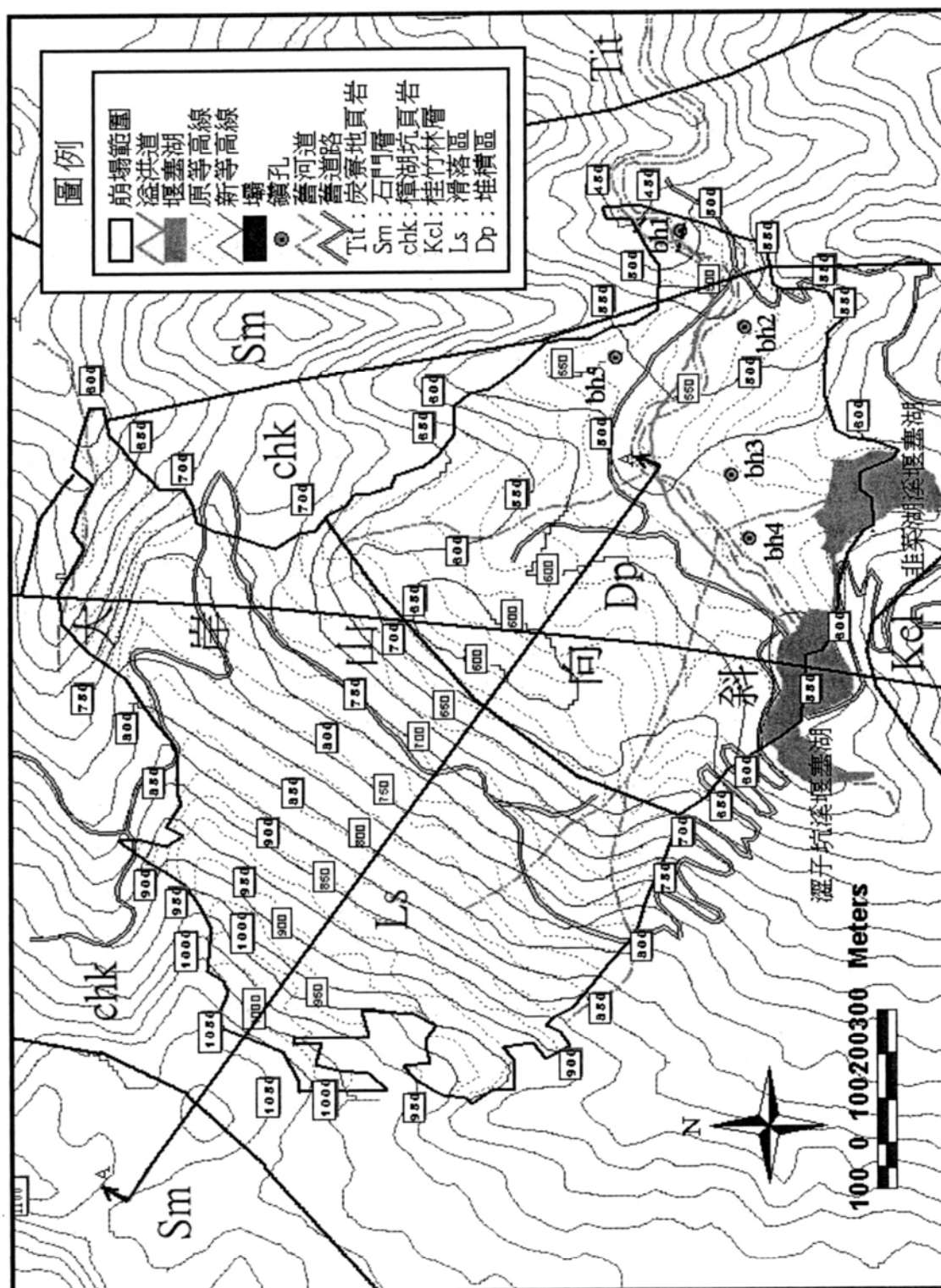
Department of Civil Engineering National Chung-Hsing University

Abstract

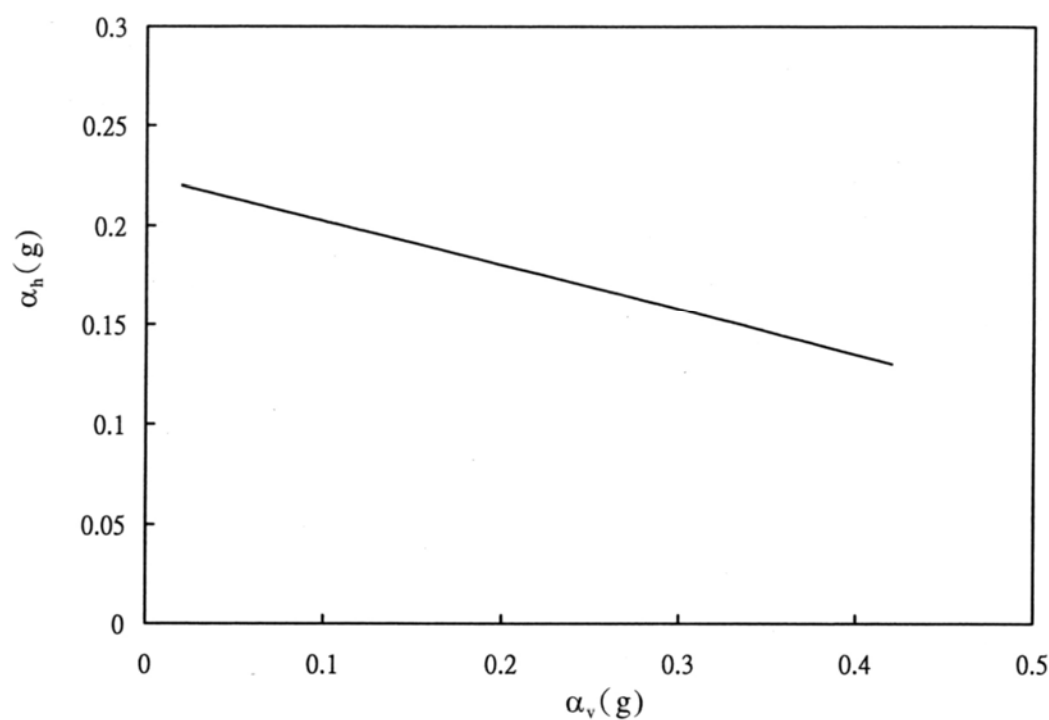
The 921 Quake rocked Taiwan on September 21, 1999, with epicenter near a small town CHI-CHI in central Taiwan. Due to the 921 Quake, the dip slope at the Chiufengershan was triggered to be a disastrous landslide. In this study, a topography and geology background of this area was first reviewed. A series of physical and mechanical tests were performed to understand more about the properties of the geomaterials composing the dip slope. Then, the back analyses were used out to picture the failure mechanism of the disastrous landslide. Besides, the potential danger of the residual rock mass above or around the dip slope was studied and revealed.

表一、九份二山岩坡之基本性質

單位重	2.65 t/m ³
基本摩擦角 ϕ	33.4°
凝聚力 C	0
消散耐久消數 Id_2	0.54-0.56
地震最大地震水平加速度 α_h	0.49 g
地震最大地震垂直加速度 α_v	0.3 g
地震前安全係數	1.66
地震後安全係數	0.56



圖一、九份二山崩塌區之地形地質示意圖



圖四、 $F_s=1$ 反算分析所得 $\alpha_v - \alpha_h$ 關係曲線



照片一、九份二山崩塌區與堰塞湖全景



照片二、滑動面西側之小規模土石流



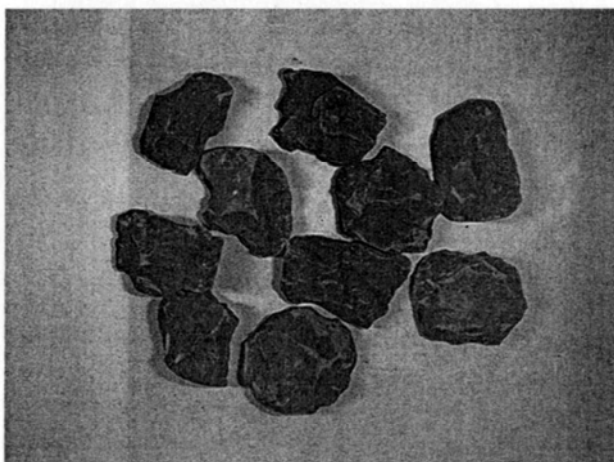
照片三、滑動面東北側之邊坡破壞



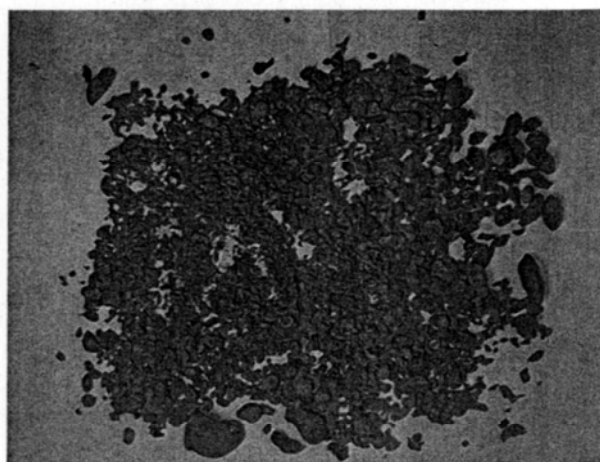
照片四、崩塌區上方之新潭



照片五、滑動面上之裂縫及落石



照片六、消散耐久試驗前之岩樣



照片七、消散耐久試驗二次循環後之岩樣