

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

台灣常見的由滑坡運動造成之地質災難之初步研究

Preliminary study on the innate geological disasters caused by downslope movement in Taiwan

計畫編號：NSC88-2116-M-002-005

執行期限：87年8月1日至88年7月31日

主持人：錢憲和 國立台灣大學地質學系

一、中文摘要

台灣由滑坡運動造成之自然地質災害與台灣山坡地區特有的1.土壤特性，2.岩層特性（破碎沒有膠結）以及3.極複雜的地質條件（多高山及不穩定的山坡地，包括膠結不良、壓縮及張裂性共存的地質結構、斷層帶的存在等）有密切的關連。加上台灣風化激烈，多雨的氣候、多地震等因素更促進了這類自然災害的形成。

所以本研究是希望由不同地區的地質條件認識台灣由滑坡運動造成之自然災變的類型，促成此類災害之機理，並作適當的分類。

關鍵詞：自然災害、滑坡運動、塊體運動、崩滑、土層滑動、岩層滑動、土壤特性、鐵結核、鈣結核

Abstract

Nature hazards and landslides in Taiwan are closely related with the Nature of Hillslope Materials such as: 1. Properties of Soil, 2. the special nature of the bedrocks (generally uncemented and broken) and 3. Complex geological conditions (high relief with unstable slopes, both compressional and extensional tectonism, fault zone etc.) of Taiwan. Coupled with special climatic condition (frequent typhoon, heavy rainfall, and frequent earthquakes etc.), the complex and unique geological condition causes innate disasters in Taiwan.

The purpose of this project is, therefore, to try to recognize and to try to classify the

types of nature hazards and landslides in Taiwan.

Keywords: Nature hazard, Downslope movement, Mass movement, Slump, Earth Slide, Bedrock Slide, Properties of Soil, Ferricrete, Calcretes

二、計畫緣由與目的

台灣的自然災害極多，國家每年投入極大的金錢資助一些大型的防災計畫，但是成果並不是很好。神木村年前傳出泥石流的災變，預報系統沒有生效，就是很好的例子。我曾經撰文說明，自然災害與基礎地質研究間之關係及重要。意思就是想間接地說明這些自然災害的研究不能忽略了台灣基礎地質的了解。但從審查人的對本計畫綜評，就可以看出一般的研究對基礎地質還是並不十分了解。這更說明基礎地質的研究必須加強。

三年前本人曾以「了解寶島地質，防災始能奏效」為題說明政府應該作些基礎地質的深入研究，了解我們居住的地質環境，才能對台灣常見的地質災害對症下藥，才能有效地防範將要發生的災害，減少損失及人員的傷害（錢憲和，1996）。兩年前本人也就「台灣的自然災害與基礎地質之關連」作了初步的研究，並提出了報告(NSC87-2116-M-002-009)。就台灣的1.洪水特性，2.泥流、泥石流之自然災害與地質環境的關係，3.岩石、地層崩落及地質環境的關係作了分析。

在兩年前的研究中並沒有放入另一項重要的地質災害：就是台灣常見的地質上的滑坡災變這一項複雜課題，所以本研究就以"台灣常見的由滑坡運動造成之地質災難"作了初步的觀察與研究。

我們普通所講的地質災害中極重要的一項為 Mass Movement 譯為塊體運動，又稱山崩(Landslide)。塊體運動的分類因人因地而異，目前常用的是 Sharpe (1938)、Varnes(1978)、Selby(1993)、Skinner and Porter(1987)的分類，我們也曾經提到這些分類都不適合於台灣並解說了原因，這主要是因為台灣的特殊地質環境的不同所造成的。但不論哪一種，在地質災害中的山崩或塊體運動中，滑坡運動(Downslope movement)是重要的一環，特別是在台灣這種特殊的地質環境下更顯得重要。所以本研究特別是以這些為目標。

三、結果與結論

在地質上 Mass movement，Mass-Wasting，Downslope movement 與 Slumping 有不同的生成機制與意義，它們的生成與地質環境與條件有關。所以本研究仍要再次說明環境地質的本質及定義，解說國內外的研究現況，說明不同的國家常因地質環境的不同，而對環境地質工作有不同的作法。更說明台灣的地質環境的特殊性，使大眾知道台灣的環境地質具有極大的本土色彩。因而要了解台灣的地質災難必須加入基礎地質的考量與研究，以提出具體的作法。

Downslope Movement 一般譯為下坡運動或滑坡運動，何春蓀先生在其普通地質教科書中譯為下坡運動，我認為譯為滑坡運動更能說明 Downslope 一詞的動態，不會引起混亂。在何先生的普通地質教科書中將 Debris flow 譯為岩屑流，Mud flow 為泥流，Earth flow 為土流，Solifluction 為土石流或解凍土流，除 Downslope 一詞外，其他名詞在教育部七十二年公佈的地質學名詞亦有同樣的翻譯。所以土石流一詞在地質上有一定的意思。一般工程界所用的土石流一詞不能涵蓋不同環境下形成

的 Mud flow、Debris flow 與 Earth flow，所以土石流一詞是不正確的。因為 Debris flow 是泥、石、水的混合體，所以我們將之譯為泥石流，而且泥石流有兩種。這兩種泥石流台灣都有，其中泥的因素是區分兩種類型極重要的關鍵，這是稱其為泥石流而不用岩屑流一詞的原因。這樣也可以避免與 Debris avalanche 造成混亂。另一方面"土"在地質上有一定的意義，它可以是指 Regolith (土層、風化土層) 或 Earth (土)，所以 Earth-flow 是指 Clayey or Silty regolith 加水造成，是有土和岩屑的意思，從這樣看來 Earth-flow 本應該譯為土石流才對。但長遠以來我們的地質教科書將 Mud flow 譯為泥流，Solifluction 譯為土石流或解凍土流，Earth-flow 譯為土流，加上教育部的官方譯詞亦是如此，應該尊重。另外 Debris avalanche 是指岩屑有如雪崩一樣的快速崩落，所以譯為岩屑崩落。從這些名詞我們也可看出 Earth-flow、Mud flow、Debris flow、Debris avalanche 在地質意義上和特性上都是極不相同的。

從這些名詞的意義的分析及關連，就可以知道它們的成因與地質條件極有關係，而台灣這些不同類的地質災變都可以見到。其中或多或少的幾乎都與滑坡運動有關。所以我們必須以專題來研究滑坡運動。

台灣的自然災害多發生在山坡地區及山區。台灣山坡地及山區的岩層，我們曾按其膠結強度為依據，將它們區分為三類(見去年報告)：

- I. 第一大類是沒有膠結的疏鬆岩層。
- II. 第二大類是節理發育極為良好的岩層。
- III. 第三類才是膠結良好的堅硬岩層。

從我們的野外調查知道岩層膠結的好壞與膠結物及節理的發育與台灣不同地區的成岩環境及造山運動有極大的關係。我們也發現，滑坡運動除與以上三因素有關外，與斷層帶的存在及地下水中的鐵質、鈣質有極大的關係。

我們一再強調這些不同類型的土層與這些不同類型的岩層在台灣特殊的山坡地

受地形、植被、氣候、風化作用的強烈及地震作用等因素，在不同地區就形成了當地不同的地質環境。在自然災害與基礎地質之關係的研究裡，尤其由在台灣這種特殊的環境裡，地質環境因素就尤顯得極為重要。因此地質環境的了解也就極為重要，所謂自然災害與地質環境、基礎地質的關係，就是指以地質學的基本原理，及以地質學的觀點來討論在不同的地質環境中所造成的自然災害的機理，同時也要討論其預防及避免的可能性。所以這還是關係到台灣不同地區地質環境的研究及深入的了解的重要。

台灣常見的滑坡運動 (Downslope movement) 類型以及它與當地地質條件或地質環境因素的關係如下。

I. 滑坡運動與不同土層的關係。

台灣的土層因原來岩層 (mother Rock) 的特性不同可分為以下不同類型：

1. 由沖積堆積或岩屑崩塌堆積而成的岩屑層，經風化而成，後一類的土層，分佈區域小，如其中無 Ferricrete 或 Calcrete 或其他膠結現象，就是疏鬆土層，是屬於危險地區，常會有災害發生。這類土層又可分為兩類。

a. 第一類為完全沒有膠結的土層，在這類地區中因重力滑動或水的加入常會造成土層崩落與土層滑動災害，在這類土層中常會因水的加入沿裂隙弱面而造成圓弧狀滑動面。滑落或崩落下之土層遇洪水時，又可造成土石流 (Earth flow)。這時稱土石流不稱泥石流。

b. 風化土層為鐵質、鋁質或鈣質完全膠結，或部份膠結，這類土層如無其他原因，造成的地質災害較少。

台灣很多的地區厚的風化土層常經受雨水的淋滲作用及地下水的作用，在土層中如含豐富的鐵質或鈣質，即會造成膠結作用而有硬化的現象形成堅硬的土層。在士林、恆春我們都曾見到鐵結核、鐵鋁結核層及鐵質膠結作用，有的土層厚到兩米以上。在恆春我們曾見到鈣結核與鈣殼層。有這些現象時，土層就變得堅固穩

定，如無其他地質原因就不會有滑坡崩落及 Earth flow 等災害。根據 Goudie (1973) 的估計與報導，形成 1 米厚的 Ferricretes 需要 0.3 到 2.3 個百萬年，形成 1 米厚的 Calcrettes 需要 0.3 個百萬年。我們所見到的台灣土層的硬化現象雖沒有達到標準的結核階段，但膠結現象已非常明顯，顯示這些土層，已有長期的安定時期，說明這些地區在長時間內都是穩定的。也說明這些地區，甚至是在山坡地區如有 Ferricretes 與 Calcrettes 的土層普遍存在，這時如無其他地質原因，這些地區是穩定的，是可以開發利用的。

2. 土層是由破碎的岩層 (包括沒有膠結的岩層與多節理的岩層) 風化而成。這時，

a. 在坡度大的山坡地帶會因重力作用造成崩落。

b. 在山坡地如有 planes of Weakness 就常會造成滑坡災害。土層這時也會因水的加入，而加重造成滑動。滑動面常為圓弧狀。滑動面如為岩層中之 planes of weakness 時就為平行層面。

3. 膠結良好的岩層地面因風化而形成薄層土壤，這時地基常是硬固的，這類地區，如無其他地質原因，甚至在山坡地區也可開發和利用。

II. 滑坡運動與岩層的關係

1. 順向坡地層，岩層破碎，其中又夾有薄頁岩層時，因水的加入，地層會加重，薄頁岩層也會因水的加入而變成滑動面 (Liquefied clay beds on impermeable hard beds)，形成滑動坡災害。

特別是在山坡地帶如坡腳的支持，被人為的破壞或消失時 (由不當的開發造成) 更會造成滑坡災害。這類的滑動面是跟岩層平行的。

2. 非順向坡如有斷層、斷層帶，斷層面或斷層帶以上之岩層會因水的加入，而加重，因水的加入使斷層面或斷層帶上的斷層泥或水帶入之泥，而使斷層面、帶變為滑動面造成災害。滑動

面常為Joints或Planes of weakness（這時為斷層面或帶）。

3. 膠結不良，多節理的岩層，會因水的加入受重力而造成崩裂，裂隙中又會因水帶來的泥、黏土而造成滑動面，造成滑動災害。這時造成的滑動面常為楔型滑動面或圓弧狀滑動面。

III. 滑坡運動與地質構造的關係。

1. 小型的斷層面常為滑動面。常會因水的加入，地震等因素造成滑坡運動。
2. 褶皺常可決定風化土層之不規則分佈，而引起以上的地質災害事件。

IV 滑坡運動與地質作用的關係

1. 由板塊擠壓形成低角度逆衝斷層，在山區坡地更會因此造成大規模的重力滑動。這時常在大地震之後，形成重大災害。
2. 由板塊碰撞之後的釋壓，而形成張力疏釋之張力性斷層造成重力滑動，形成災害。

四、計畫成果自評

由以上分析知道台灣山區地質環境極不穩定，風化、雨水及地震都會造成重力的不平衡而引起或大或小之滑坡災害。

台灣這類的重力不穩定的山坡地帶分佈極廣，地質環境極為複雜應詳加調查研究深入調查。這一初步研究只是一個“引子”

台灣近年來人口遽增，可利用的沿海地區是一定的。在人與天爭的情況下，我們必須善加利用我們的土地。因此山坡地的有條件開發及利用是需要的。但我們必需要以好的方式，經過深入研究各地區的環境地質之後來利用及改造我們的環境。我們在第一段就講過，台灣山區的岩層也有的是膠結良好的堅硬岩層，由這類岩層組成的山坡地是可以利用及開發的。要好好利用我們的限量土地就必須做好我們地質環境的深入了解。我們對我們所有的山坡地的地質環境的加強深入研究是重要的。可是目前我們還沒有入手作這方面

的研究。

五、參考文獻

- [1]何春燕編著，*普通地質學*，五南圖書出版公司，751頁，1989。
- [2]錢憲和，*地質學概論*（第四版），台大地質系地質系教材，1998。
- [3]Chernicoff, Stanley, and Venkatakrishnan, Ramesh, *Geology: an introduction to Physical Geology*, Worth Pub. Inc, 593pp., 1995.
- [4]Duff, P. Mcl. D., *Holmes' Principles of Physical Geology*, (4th ed.), Chapman & Hall, 791pp., 1993.
- [5]Hamblin, W. Kenneth, *Earth's Dynamic Systems* (6th ed.), Macmillan Publishing Company, 647pp., 1992.
- [6]Judson, Sheldon and Kauffman, Marvin E., *Physical Geology* (8th ed.), Prentice Hall, Inc., 534pp., 1990,.
- [7]Skinner, Brian J. and Porter, Stephen C. , *Physical Geology*, John Wiley & Sons, Inc., New York, 750pp., 1987 .
- [8]Skinner, Brian J. and Porter, Stephen C. , *The dynamic earth: an introduction to physical geology* (2nd ed.), John Wiley & Sons, Inc., New York, 570pp., 1992 .
- [9]Selby, M. J. *Hillslope Materials and Processes*, Oxford Univ. Press, 451pp., 1993.
- [10]Remoortere, van, J. *Notre Environment*, Meddens, 211pp. 1981.