

以法規沿革及土壤沖蝕機制探究現行山坡地劃定之準則

蘇郁婷¹ 廖婕雅² 洪啟耀^{3*}

摘 要

氣候變遷導致極端降雨事件頻率增加，進一步引發山坡地區的崩塌及土石流災害，對居民生命財產造成嚴重威脅。臺灣於民國 65 年制定以坡度 5%及標高 100 公尺為標準的山坡地劃定準則，並根據需求持續調整其範圍。然而，面對極端氣候變化，此劃定準則亟需重新檢視。本研究聚焦於坡度條件的分析，從兩個面向進行探討：(1)法規探討：廣泛蒐集國內外文獻與相關法規，檢視現行法規應對極端氣候變化的適應性。(2)實驗研究：透過縮尺實驗研究土壤沖蝕量與坡度的關係，包括土壤物理與力學測試，以及縮尺渠槽實驗以探討土壤啟動應力與水流特性的關聯。最終，本研究將綜合實驗與法規分析結果，提出山坡地劃定準則調適於氣候變遷的初步建議。

關鍵字：土壤沖蝕、山坡地劃定、縮尺渠槽試驗

Exploring the Current Criteria for Slope Land Delimitation Based on Legal Evolution and Soil Erosion Mechanisms

Yu Ting Su⁽¹⁾, Chieh-Ya Liao⁽²⁾, Chi-Yao Hung^{(3)}*

PhD student⁽¹⁾, Master student⁽²⁾, Associate Professor⁽³⁾, Department. of Soil and Water Conservation, National Chung Hsing University, Taiwan

Abstract

Climate change has led to an increased frequency of extreme rainfall events, resulting in more frequent landslides and debris flows in hillside regions, posing significant threats to life and property. In Taiwan, the criteria for delineating hillside areas were established in 1976, based on a slope of 5% and an elevation of 100 meters, and have since been adjusted to meet evolving needs. However, in the

¹ 國立中興大學水土保持學系 博士生

² 國立中興大學水土保持學系 碩士生

³ 國立中興大學水土保持學系 副教授(*通訊作者 e-mail:cyhung@nchu.edu.tw)

face of challenges posed by extreme climate conditions, these criteria require re-evaluation. This study focuses on analyzing slope conditions from two perspectives: (1) Regulatory analysis: A comprehensive review of domestic and international literature and regulations is undertaken to assess whether current regulations adequately address the impacts of extreme climate change. (2) Experimental research: Scaled experiments are conducted to investigate the relationship between soil erosion and slope. This includes basic soil physical and mechanical tests, followed by scaled flume experiments to examine the relationship between soil initiation stress and flow characteristics. Ultimately, this study synthesizes findings from both experimental and regulatory analyses to propose preliminary recommendations for adapting hillside delineation criteria in response to climate change.

一、前言

臺灣地勢高峻陡峭，山地與丘陵約占全島總面積之 2/3，可使用之平地面積僅占 1/3，且平原地帶南北狹長並與山地相連，因此開發土地時常遇到腹地不足的情形，這時就免不了往山區開發。然而臺灣本身地質條件脆弱，且常有颱風、地震等天災，若不當開發山坡地，就極易造成土砂災害，這不僅會使民眾生命受到威脅，也使自然生態遭到破壞，社會經濟也受到影響，產生社會成本。因此，合理地劃定山坡地範圍、限制和管理山坡地開發是必要的。

目前臺灣現行法規規範山坡地劃定之標準依據水土保持法第 3 條第 3 款之規定，採用坡度及標高之雙重準則，係指「國有林事業區、試驗用林地、保安林地，及經中央或直轄市主管機關參照自然形勢、行政區域或保育、利用之需要，就合於下列情形之一者劃定範圍，報請行政院核定公告之公、私有土地：一、標高在一百公尺以上者。二、標高未滿一百公尺，而其平均坡度在百分之五以上者。」符合此規定之山坡地面積約為 100 萬公頃，約佔臺灣土地總面積之 27%，所占範圍甚大，近 1/5 之臺灣土地屬山坡地，可見山坡地於臺灣屬重要之自然資源，有嚴加控管與保育的必要性。

在山坡地開發，即受到水土保持法之管制，必須繳納山坡地開發利用回饋金及擬具水土保持計畫，這將使人民之農業活動及公共建設等受到法規之限制，這樣一來便能有效地控管山坡地、防止山坡地超限利用。

然而現今之地質因近年來之地震及颱風之侵襲而產生變化、變得更加脆弱，在全球暖化下的氣候異常，極端降雨事件更加頻繁、暴雨更多，山區土砂流失變得更加嚴重、水庫也更容易淤積導致儲水、防洪能力下降，因此有必要以現今之地質狀況再重新審視山坡地劃定準則。圖 1 為 2022 年 9 月 18 日花東強震，以及 9 月 24 日~9 月 26 日之連日降雨所導致之花蓮玉里鎮赤柯山產業道路崩塌事件。



圖 1 赤柯山產業道路空拍景象

Figure 1 Aerial View of Chike Mountain Industrial Road"

根據通用土壤流失公式(USLE)，土壤流失量與坡度、坡面長度、降雨及土壤性質和地表覆蓋有關。其中，土壤流失量有隨著坡度上升而增加的趨勢，而在坡度 15%以後有急速增加之現象(蘇煒哲，1997)。地表逕流與土壤沖蝕量息息相關，因地表逕流流速上升，可增加逕流的挾沙力，使更多的土壤表面顆粒被水流帶走，進而增加土壤沖蝕量。而坡度的增加，會使地表逕流之流速增加，進而使土壤沖蝕量提高；在同一地表逕流流速下，土壤沖蝕

量大致隨坡度之平方根增加，因此，土壤沖蝕量與坡度成正相關(Fox et al., 1999)。

由圖 2(左)可知，沖蝕量隨坡度提升而增加，並在約 58%坡度時沖蝕量達到峰值；圖 2(右)為固定降雨強度下，坡度與逕流深度之關係圖，由圖中可知逕流深度隨坡度上升而增加，約 27%坡度時達到峰值(Fu et al., 2011)。

為了探究臺灣的山坡地在氣候變遷的情境下對於土壤沖蝕量的影響，本研究將以下列方式進行研究討論：一、收集國內外相關文獻及現行法規，討論山坡地的坡度條件及法規的適用性。二、以臺灣土壤條件作為基礎，設計縮尺實驗探討坡度對於土壤沖蝕量之影響。

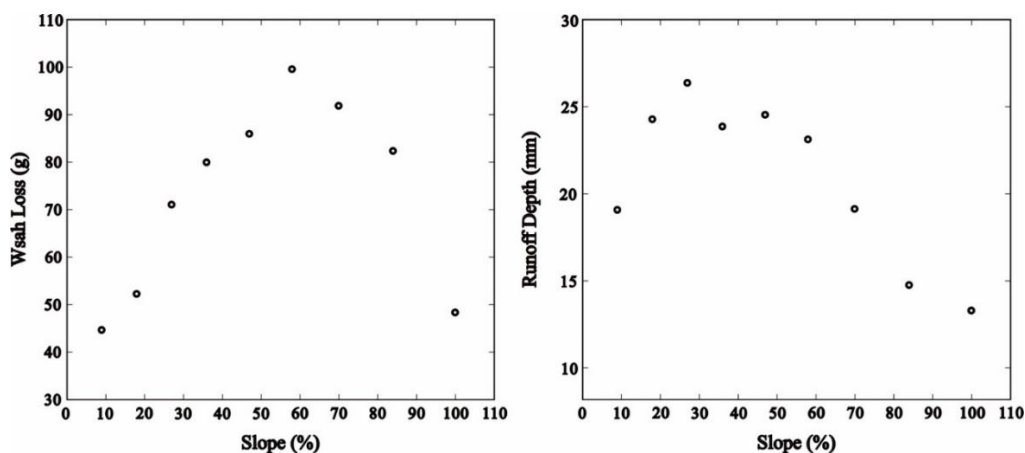


圖 2 沖蝕量（左）與冲刷深度（右）與坡度的關係 (Fu et al., 2011)

Figure 2. Relationship Between Erosion Volume (Left) and Scour Depth (Right) with Slope Gradient (Fu et al., 2011)

二、國內法規與文獻

1. 國內法規沿革與討論

《山坡地保育利用條例》於民國 65 年 4 月 29 日公布，至今最後修正日期為 108 年 1 月 9 日，將山坡地之保育與利用納入管理。第 3 條界定了山坡地之標準；第 16 條敘述了山坡地供農業使用時，應實施土地可利用限度分類，且不得超限利用，而土地可利用限度分類標準由中央主管機關定之。

《山坡地土地可利用限度分類標準》中詳述前述山坡地保育利用條例中，關於土地

之分級基準規定與可利用限度分類之標準。其中第 4 條詳述宜農、牧地、宜林地及加強保育地之分類。

《水土保持法》於民國 83 年 5 月 27 日公布，較《山坡地保育利用條例》晚約 18 年公布，而目前最近之修正日期為民國 105 年 11 月 30 日。目的為實施水土保持之處理與維護，保育水土資源、涵養水源、避免災害、促進土地合理利用，增進國民福祉。其中關於山坡地之規範與山坡地保育利用條例相同，本法第 3 條同樣定義了山坡地之標準。

《水土保持技術規範》由水土保持法之第 8 條第 2 項規定訂定而成，為實施水土保持之處理及維護建立技術依據，供從事水土資源保育、開發、經營或使用行為的依循。其中第 5 條內容限制山坡地之土地可利用的原則，不可超限利用。

2. 探討現行法規沿革

本研究邀請國立中興大學水土保持學系之資深教授：林俐玲教授、游繁結教授，針對法規沿革進行訪談，藉由資深教授的經歷及感想進一步了解法規緣起與訂定目的。

林俐玲教授提出了關於山坡地規劃與管理的幾個重要觀點。首先，在規劃山坡地時，應主要考慮避免土壤流失及土壤相對生產力的降低。早期僅有《[山坡地保育利用條例](#)》來規範山坡地，而當時大多數山坡地主要用於農業用途。[隨著八七水災的發生，政府意識到山坡地管理的重要性，於民國 50 年成立山地農牧局，並於民國 58 年擬定《水土保持法草案》後，於民國 65 年制定《山坡地保育利用條例》](#)（後稱，最後於民國 83 年制定了《水土保持法》，以加強對山坡地的保護與管理。

《[山坡地保育利用條例](#)》將土地分為農牧用地及宜林地，分類的標準包括土壤深度、母岩性質及土壤沖蝕程度，並以此為依據進行劃分。因此，若在宜林地上進行農業開發，便屬於超限利用。近年來，山坡地的開發需求不再僅限於農業用途，因此亟需更完整的法律規範來管理這些區域。這些法律規範應該將山坡地的土地利用型態細分為農業利用、

非農業利用、是否超限利用，並進一步規範哪些區域需要進行簡易水土保持規劃或是水土保持計畫。

根據現行條文推測當年訂定山坡地標準的立法者目的，可能考慮到坡度達到 5% 以上時，土壤沖蝕明顯增加，並且依據 ULSE 公式，標準試區坡度為 9%，屬於二級坡。因此，當年為了統一管理標準或便於管理，將山坡地的坡度限制訂為 5%。台灣地區的土壤多為壤土，且目前從事山坡地農業開發的比例較低，因此可能需要一份規範來說明如何劃定或調整山坡地範圍。山坡地劃定標準的核心目的是減少土壤流失和降低土砂災害，而 5% 的坡度只是其中的一項標準。

游繁結教授對於山坡地管理和《水土保持法》的觀點也有其深刻見解。他指出，《水土保持法》立法的初衷是為了界定農林使用的邊界，劃分一般土地、可農用坡地與林地，這與日本在 2010 年推動的里山文化（Satoyama Initiative，里山倡議）有相似之處。然而，在農林邊際土地的定義上，仍然存在一定的模糊性。早期農村復興聯合委員會（農復會）首先提出了“山坡地”的概念。由於當時並無具體的法律規範，僅有計畫草案，故對山坡地的管理僅停留在概括性的探討上，包括山坡地的栽種方法、如何引進農業及水源等，土地管理的概念並不明確。然而，隨著法律的制定與明確化，山坡地範圍得以落實，管理也能依法進行。

《[山坡地保育利用條例](#)》於民國 65 年通過，但早在 60 年代就開始擬定。當時負責擬定法律的主要是農業土地管理專家，並在農委會內部成立了一個專門負責山坡地的單位。他們訂立了坡度 5% 作為山坡地劃定的標準。經過學者專家的討論，確定 5% 的坡度標準，這不僅簡化了計算，也避免了採用 10% 時可能帶來的過多土壤沖蝕量。在此範圍內，仍能種植雜糧、蔬菜或作畦，這些耕作方式與平地的種植方式相似，但有一定的坡度存在。

再者，5% 的坡度標準主要基於流體力學的觀點，根據流速與水深的關係，當坡度小於 5% 時，沖蝕量較不明顯，而超過 5% 則需要加強保育以避免土砂流失。這一標準的目的是在合理開發土地的同時，確保其保育性。最後，游繁結教授強調，積極的管理能使土地利用有法可循，而不是完全禁止山坡地的開發利用。從力學的角度來看，當坡度超過 5% 時，雨水濺擊會引發沖蝕，進而將土砂帶至下游，這進一步強調了加強土壤保育的重要性。

3. 國內法規與沿革小節

藉由游繁結教授提供之歷史背景，可以了解有關水土保持法及[山坡地保育利用條例](#)的歷史沿革可追述至民國 48 年的八七水災開始，當時在農復會的支持下於臺中清水施作的水土保持示範區，受災影響較小，以此為契機政府開始推廣水土保持工作。並於民國 50 年代成立山地農牧局(今農村發展及水土保持署)；民國 65 年，省政府以水土保持法草案設立[山坡地保育利用條例](#)，為國內山坡地利用

之專法，內容主要以規定農業利用、水土保持工作等內容為主，可見初期之主要立法考量皆為農業使用所設定。隨時空變化，山坡地除農業利用外，其餘利用型態需求上升，原[山坡地保育利用條例](#)所規定項目不敷使用，因此於民國 83 年水土保持法以特別法之位階完成立法，詳盡規範全國國土須以保育水土資源，涵養水源，減免災害，促進土地合理利用等目標進行相關工作，及管理其他不同類型之開發型態。其中山坡地的設立標準主要基於以下幾個重要的理由。首先，通過劃定平地與山坡地的土地類別，能夠有效方便管理，實現土地的區域化管理。其次，5% 的坡度標準是基於土壤沖蝕量的考量，並且能夠簡化計算，這使得管理者在操作和管理上更為便利。此外，當坡度達到 5% 以上時，土壤沖蝕量顯著增大，因此這一坡度標準有助於預防和控制土壤流失。最後，將土地利用納入法律框架中，積極管理農業活動，使得農用行為有法律依據，保障土地的合理利用。

結合以上學者之訪談結論及剖析立法之目的，可以了解針對山坡地之坡度規範雖自 5% 以上即納入管理，但卻未禁止利用行為，回歸立法之目的，是為了使人民利用土地下同時避免水土流失、土砂災害，是為了保全人民生命財產安全之積極作為。且根據後來之相關法條，針對符合特定規範之區域，政府皆可以依法辦理劃出山坡地，提高土地利用價值。

三、國外現行法規

在文獻、法規資料的收集上，本研究以氣候條件相近之亞洲國家，如日本、中國及歐美國家如德國與美國進行法規之收集，其中美國因實行聯邦制，故各州依據憲法擁有獨立之主權實體，各州對與山坡地之行政法也皆不相同，本節將以兩個不同州之案例進行說明。

日本位於亞洲大陸東北岸外側，所屬各島成弧狀分布，南北細長，綿延約三千公里，氣候受其影響，面臨太平洋側較面臨日本海側暖和，南部又較北部溫暖，因與臺灣同位於環太平洋火山地震帶上，故日本地質條件同樣也較為年輕。全境大致上屬溫帶至亞寒帶，氣候溫和，四季分明，雨量均勻，五、六月間為梅雨季節，夏季多颱風。部分降雨性質、地質環境與臺灣相似。

由於該國多次發生崩塌、土石流等土砂災害，因此訂定了相關法規來加強管理與保護。《陡坡地崩塌災害防止法》於昭和 44 年（1969 年）制定，並於平成 17 年（2005 年）進行了最後一次修訂，該法的立法目的是為了保護國民生命安全，防止因陡坡地崩塌而造成的傷害。《土砂災害防止法》於平成 12 年（2000 年）公布，並於次年正式實施，最近一次修訂於平成 27 年（2015 年）。此部法規主要目的是保護其國民生命身體安全而設，對有發生災害之虞之區域為警戒避難體系之整備並限制開發行為及相關災害防治對策，其中若被指定為「土砂災害特別警戒區域」者，若需要在該區位進行開發，則需要得到開發

行為之許可。換句話說，即為列於「土砂災害特別警戒區域」者不能隨意進行開發，興建之建物等行為都受到特別的管制。

中華人民共和國的氣候主要受季風環流的影響，但因幅員遼闊、境內地勢多變而形成複雜的氣候。境內海拔超過 3000m 地區為高原氣候，其餘地區依照 500mm 等年降水量線分為季風區與乾燥區，而季風區依照緯度大致分為溫帶季風、亞熱帶季風、熱帶季風；乾燥區依降雨量大致分為溫帶沙漠、溫帶草原。而該國為了預防和治理水土流失，減少水和風砂之災害，並且合理利用國土資源，在 1991 年制定了《中華人民共和國水土保持法》，於 2010 年開始實施。

在法規第 17 條中，描述了不可在崩塌、地滑危險區及土石流易發區位從事取土、挖砂、採石等可能造成水土流失的活動；第 18 條則是禁止在水土流失與生態脆弱的地區進行生產與建設；第 20 條定義了開墾農作物的最高坡度，在 25 度以上之陡坡地種植經濟樹木需要採取水土保持措施；第 23 條則是規定了在 5 度以上，25 度以下之坡地開墾農作物時，需要進行適當的水土保持措施。

中華人民共和國法規中，與山坡地定義相關法律並未界定山坡地之坡度定義，僅規定在特定坡度，如 5 度以上進行開發利用時需要做水土保持措施，而 25 度以上之坡地則列為禁止開墾區域，僅能依科學方法種植經濟林並同時要採取水土保持措施，不能在此區域內開辦生產建設項目或活動。

德國位於歐洲大陸西側，區域內地形複雜多變，中南部多以山地、丘陵為主，北部則以平原地形為主。北部區域受西風帶影響為溫帶海洋性氣候，全年有雨，而東部及南部地區為溫帶大陸性氣候，降雨量多集中於夏季。為避免受水力及風力之營力造成土壤沖蝕危害，故該國制定法規，其中有關沖蝕區域劃定相關法規如下。

「農業政策條件性法規實施地方法令」最後修訂於西元 2022 年，依據水和風侵蝕的風險程度劃分農地方法，其中的第一條規定節錄：以坵塊法進行坡度計算，當平均坡度大於 3%，且土壤因子 K、坡度因子 S、再生侵蝕係數 R 的乘積超過「實施共同農業政策條例」附件三第二條之規定，則可將其分類至 KWasser1 和 KWasser2。

「實施共同農業政策條例」法案宗旨為實施歐盟對於企業管理的基本要求(GAP)及農業與生態之維繫標準(GAEC)，最後修正為西元 2022 年，其中附件三規定 KWasser1 和 KWasser2 兩等級劃分依據，如表 1。

表 1 KWasser1 和 KWasser2 兩等級劃分依據
Table 1. Classification Criteria for KWasser1 and KWasser2 Levels

計算公式/水 蝕危害等級	$K*S*R^2$	$K*S*R*L^3$
KWasser1	$15 < 27.5$	$30 < 55$
KWasser2	≥ 27.5	≥ 55

而有關 KWasser1 及 KWasser2 的管理方式，根據《2023 年農業直接支付條例》和綜合管理及控制系統資訊，針對限制土壤侵蝕的耕作要求，管理方式依據風蝕和水蝕的程度進行分類。各州根據這些程度將農田劃分為不同類別，以保護土壤免受侵蝕。

被劃分為水蝕等級 KWasser1 的農地，每年 12 月 1 日至次年 2 月 15 日期間不得進行耕種，除非在 12 月 1 日之前已完成新一輪的播種，才允許繼續耕作。此外，該等級的農地在此期間也不得進行犁田，除非符合相同的條件。

對於水蝕等級 KWasser2 的農地，在 12 月 1 日至次年 2 月 15 日期間同樣不得進行犁田操作。而從 2 月 15 日至 11 月 30 日期間，農民只有在準備直接進行下一輪播種時，才允許進行犁田。並且在耕作時，作物必須以條狀方式種植，且間距需大於等於 45 公分，才能符合耕作要求。德國對於農地沖蝕等相關規定，並沒有一個界定山坡地的範圍之法律，其界定有關農田水蝕危害度之分類及其標準，並給予耕作方式及時間上的限制，以減緩春季融雪造成的沖蝕現象。

由於美國國土幅員廣闊，氣候類型幾乎涵蓋全球各種氣候，例如東北部沿海與五大湖區屬於「溫帶大陸性濕潤氣候」，夏季溫和且多雨，冬季較冷，年平均降雨量約為 1000 毫米；東南部及墨西哥灣沿岸屬「副熱帶濕潤氣候」，溫暖且濕潤，年降雨量超過 2000 毫米；中部平原區氣候夏季炎熱、冬季寒冷，季

節差異大；西部內陸高原地區則較乾燥，年降雨量少於 500 毫米；而西部太平洋沿岸地區屬於「溫帶海洋性氣候」。美國的降雨量分佈情況如圖 3 所示。此外，由於美國採取聯邦制，五十個州都是獨立的主權實體，各自擁有州憲法和州政府。因此，大多數州以英國普通法為立法基礎，建立其各州的法律。這意味著，不同州的法律並非完全一致，本研究查詢的法規僅適用於特定州別，而非全美國。



圖 3 美國各地平均雨量示意圖

Figure 3 Schematic Diagram of Average Precipitation Across the United States

故本研究查詢到之法規並非適用於美國每一州，僅為制定此法律之州別遵守。而又因美國各地降雨量不盡相同，地形條件也不相同，故各地關於山坡地相關法規也不盡相同，本計畫將舉兩則不同州別之案例進行討論。

由於美國各地的降雨量和地形條件差異大，各州對山坡地的相關法規也有所不同，本研究將探討兩個州的具體案例。首先，華盛頓州的現行法律為《華盛頓法典》(RCW)，該法典是由立法機關制定並由州長簽署通過

的法律。由於華盛頓州包含許多縣市，因此該法進一步細分為各縣 (Counties) 的法律，例如《RCW 36.70A》涵蓋縣市土地利用規劃。根據《RCW 36.70A.010》，土地的保護和使用是共同目標，缺乏這種認知會對環境、經濟發展、健康和 safety 造成威脅。《RCW 36.70A.050》要求各部門不得晚於 1990 年 9 月 1 日採用該法，並將土地進行分類，包括(a)農業用地、(b)林地、(c)礦產資源地、(d)關鍵區域。《RCW 36.70A.060》進一步說明，通過規劃決議的縣以及該縣內的每個城市應在決議通過後一年內制定發展條例，確保農業、森林和礦產資源用地的保護。

根據這些法律，本研究查詢了華盛頓州皮爾斯郡埃奇伍德市的相關法規。在《埃奇伍德市市政法典》(Edgewood Municipal Code) 第 14 篇《關鍵區域》中，第 14.10.020 條明確了該法的目的，即減少關鍵區域及其周圍開發活動可能帶來的潛在危害，並為關鍵區域設立了最低開發標準，以保護這些區域免受開發影響。第 14.10.050 條規定，若在關鍵區域及其周圍 300 英尺內進行開發活動，需要取得許可證或政府的批准。第 14.90 章《地滑危險區》主要保護人類生命健康，並規範土地使用和地滑區域的開發許可程序。該章第 14.90.020 條通過五個指標定義了地滑危險區，包括：(一)歷史破壞區；(二)坡度超過 15%、垂直起伏 20 英尺以上的區；(三)具有地泡特徵且在過去一萬年中有破壞的區；(四)坡度超過 40%、垂直起伏超過 15 英尺的區域；(五)因地震風險而受到影響的區域。此外，該法還對水土流失危險區域進行了定義，根據

自然植被覆蓋、土壤地質狀況、坡度和降雨模式來確定土壤侵蝕危險區域。這些區域通常坡度超過 20%，並被美國農業部自然資源保護局（USDA）歸類為具有嚴重或非常嚴重侵蝕潛力的地區。

除此之外，紐澤西州的現行法律為《紐澤西州行政法典》（NJAC），其中第七篇第三十八章《高地水資源保護及規劃法案》於 2004 年 8 月 10 日實施。該法第一分章第 1.4 節定義了基本名詞，例如「陡坡」指的是坡度大於 10%的土地區域，包括窪地、峽谷以及人造區域等；而「線性開發」則指基礎設施、公用事業及其通行權，如污水與雨水管理管道、煤氣與電力管道等。對於陡坡的開發要求則在第三分章第 3.8 節進行了具體說明，包括：（一）陡坡上的開發需符合規定；（二）坡度應通過垂直量測確定；（三）若無其他替代方案，線性開發可在 20%或更陡的坡地進行；（四）坡度大於 10%但小於 20%的區域也允許三種情況下的開發：1.若陡坡為森林且無替代方案，則可允許線性開發；2.若非森林區域且土壤等級符合標準，則允許開發；3.另一類符合土壤標準的非森林區域也可進行開發。

通過紐澤西州的法律，可以明確得知該州對於陡坡的定義與管理範圍，該法律將坡度大於 10%的土地區域視為陡坡，且包括人造或天然峽谷等區域。法律還對這些區域內的開發方式作出詳細規定，且多數建設內容需符合公共利益或基礎設施需求。

總結以上四個國家關於坡地利用之相關法律，可了解位處於各種不同地理、水文環境之國家，皆對於防治沖蝕、土砂災害和水土

流失而制定的相關規定。其中不論有無利用坡度以界定坡地之範圍，對於開發利用之規定多數皆使用坡度做為界定之依據。部分國家除界定坡度外，還會於法規中加諸其他條件用以詳細劃分開發利用之限度，例如臺灣額外使用了土壤深度、沖蝕情形以及母岩性質；德國使用了土壤因子、再生侵蝕係數進行水蝕程度劃分。

可以從以上法規整理得出，關於定義山坡地之坡度選擇上，雖然臺灣對於坡度之定義為之中最為嚴格的，但其後續規範農牧用地、宜林地的標準並未特別高出於其他國家。且與其他國家比較，臺灣與日本皆擁有極端地理、水文環境(常地震、強降雨、地質年代年輕)等易造成沖蝕情形加劇及較易發生災害之背景原因，故單以法規探討下，本計畫認為目前之法律規範並無過度禁止土地利用之情形。

不過在學術之方向上，期望可以進行更多以臺灣本島之參數進行設置之實驗，以更全面探討關於各種坡度、土壤性質等設定下對於沖蝕之影響，使臺灣對於土地開發利用對於現有環境之衝擊影響有更全面之了解，並可針對未來氣候變遷、極端氣候進行預防性探討及全面性的討論。

四、研究方法

本研究以不同種類之土壤、地貌及坡度進行土壤沖蝕實驗，並選擇較具代表性之土壤，以採集現地土壤與模擬現地土壤沖蝕的方式盡可能地模擬現地狀況。在施作沖蝕實

驗前，需先了解土壤之基本物理及力學性質，再測試土壤顆粒之臨界啟動應力，最後再進行土壤沖蝕實驗。因此實驗可分為三個部分：一、土壤基本物理性質實驗；二、土壤力學實驗；三、沖蝕啟動應力實驗。

近年來因應民眾使用需求，山坡地的劃定範圍於原訂之標準下酌情修正，而解編區域多為都市及鬧區周遭，為探討此類解編是否合適，且面對極端氣候的挑戰是否可應對，故制定以下選點原則：第一，選點位置於人口稠密區周遭；第二，位於原訂標準下之山坡地上；第三，查證土壤調查報告中較具代表性之土樣種類。因此本次研究分別採集全臺四處地區的土樣，分別為北部的新北市新店區獅頭山地區、中部的南投縣仁愛鄉蘭島溪地區、南部的高雄市桃源區玉穗溪地區與東部的臺東縣卑南鄉知本地區。

北部地區選擇新北市新店區進行採樣，採樣點為新北市新店區獅頭山登山步道向上 100k 處，圖 4 為現地表層土壤樣貌。其近文山區及坪林區，為一平均坡度大於 55% 之丘陵地貌，地層為大陸棚至濱海環境沉積的石底層為主，岩性以灰色至白色砂岩及砂泥岩互層為主(游能梯、鄧屬予，1999)。依據台灣地區主要土壤圖輯(謝兆申、王明果，1991)採樣地區土樣種類為幼黃壤(Incipient yellow soil)，而依據美國新土壤分類系統(1997)，此區土樣性質應為 Ultisol-Inceptisol，該土樣介於極育土到弱育土之間，為一發育不完全之黃壤，整體質地多為砂質壤土至壤土，但因母

質經由弱度化育而生成之土壤，又受淋洗作用較強而使粘粒明顯往剖面下層移動，故表層土樣之粒徑分佈以砂質為主，表層土樣在有機質的作用下為灰褐色至灰黃色之間，常見於丘陵地上之地形相對安定、坡度較緩之處。



圖 4 獅頭山現地表層土壤樣貌

Figure 4. Surface Soil at Shitou Mountain

中部地區選擇位於國立中興大學惠蓀林場內之烏溪上游北港溪的支流蘭島溪匯流口，該集水區坡度陡峭，於 90 年桃芝颱風、93 年敏督利颱風皆有頗具規模之土石流事件，但因此地區較無保全對象故未發生公眾安全事件。以上事件之土砂來源大多為九二一地震後上游大規模崩塌所產生。本地區之地層主要為達見砂岩，岩性多為砂岩及板岩，故多數土壤來自於上游之達見砂岩，土壤表層多為風化未完全之砂岩顆粒與土壤碎屑，由此推測此處土壤粒徑分佈較為不均，圖 5 為採集之土樣情形。



圖 5 蘭島溪匯流口土樣採取點現況
Figure 5. Soil Sampling Site at the Confluence of Landao Creek

南部地區則是選擇位於高雄市桃源區高屏溪上游荖濃溪的支流玉穗溪沖積扇，位於南橫公路旁之玉穗溪於 110 年 8 月時因西南氣流大量降雨而導致大規模崩塌，進而引發土石流，而這場事件也使得作為重要聯外道路南橫公路的明霸克露橋遭到沖毀，而此事件當下之土石流僅挾帶總崩塌量體之 1/5 不到，因此伴隨著後續之降雨事件，可在沖積扇處採集到完整且新鮮之土石流堆積物。土樣多來自廬山層，岩性多為硬泥岩及板岩，圖 6 為土樣採取點現況。



圖 6 玉穗溪沖積扇土樣採取點現況

Figure 6 Soil Sampling Site at the Yusui Creek Alluvial Fan

東部地區土壤點位選擇臺東縣卑南鄉知本溪流域周遭，圖 7 為知本地區採樣現地情形，採樣區域位於臺東市、太麻里鄉、卑南鄉之間，坡度平緩，地層以廬山層為主岩性多為硬頁岩、板岩及深灰色硬砂岩互層為主。依據台灣地區主要土壤圖輯(謝兆申、王明果，1991)採樣地區土樣種類為淡色崩積土(Pale colluvial soils)，而依據美國新土壤分類系統(1997)此區土樣性質應為 Entisols-Inceptisols，此區土樣介於新成土到弱育土之間，崩積土形成原因為鄰近地區之土壤物質由高處滾落、滑降、崩塌、土石流等位移作用而生成者，又因時間較久其有機物已分解殆盡或因母岩性質而使推積顏色較淺，多發生於山區坡度較緩和的崩積地形上，但又因土體生成時間較短，故化育作用較不明顯，土壤含石量高。



圖 7 知本地區採樣現地情形

Figure 5. Soil Sampling Site at Zhiben

為瞭解土砂之基礎特性，需進行土壤基本性質測量；測量項目有含水量、顆粒密度、比重及粒徑分布(篩分析和比重計法)。土壤含水量試驗依美國材料和試驗協會 ASTM 標準 D2216-05 進行。測得含水量後，依土體之孔隙比計算空氣體積，獲得試驗土樣之體積並計算其顆粒密度；比重測量使用比重瓶，並依 ASTM 標準 D854-06 試驗程序測量，且採用烘乾土樣法進行；土壤顆粒之粒徑分布曲線分析以篩分析和比重計試驗進行，以研究土壤結構、分析土壤類型等，透過顆粒粒徑分析得到粒徑分布曲線。而粒徑分布曲線除可用於土壤分類外，尚可用來處理滲透、排水、濾層、填土、防凍脹等工程問題。

此外，土壤的強度與許多因素有關，包括圍束應力、土壤孔隙比、含水量多寡等因素，土壤之剪力強度常以「正向應力」與「剪應力」作圖來表示其大小，即使用莫爾庫倫破壞包絡線來定義。因此為求得土壤之剪力強度，須從現地採取土樣後在實驗室中進行試驗，試驗的選擇必須要考量土壤之類型或是與現地狀況之相似度，結合諸多因素後方能選定試驗種類，並得到其土壤剪力強度。本研究選定之試驗為直接剪力強度實驗。

完成以上基本實驗，即可得知土壤的性質與強度，接著則進行沖蝕啟動應力之實驗，針對河道之沖刷與沖蝕的現象進行進一步分析，其兩者主要差異在於河道沖刷多為再起動的機制，而沖蝕則以土壤材料分離起動的機制為主，故本研究以渠槽實驗探究臨界剪

應力時，製作土壤試體時已有考慮沖刷之現象。由於目前為止，較難以去預測沉積物的沖蝕特性，必須透過相關實驗來進行測量，再藉由目前已知模型與經驗關係來估算土樣之可蝕性(Pratolongo et al., 2010；Salehi and Strom, 2012；Moreau et al., 2006；Wang, Y.C. and Hung R.Y., 2023)。

土壤沖蝕啟動應力實驗擬以循環式矩型水工渠槽進行，該渠槽長 10 公尺、寬 0.4 公尺、深 0.4 公尺，具可調式坡降螺桿，坡度調整範圍為 0%至 8%。渠槽底部使用不鏽鋼材質，而邊壁則以強化玻璃製成。於頭水箱整流板後 5 公尺處的渠底設置了圓形孔洞及油壓土樣推進器，並配有拉線式位移記錄器，設備照片如所示圖 8。當渠道中流量達穩定後，透過油壓土樣推進器將土體樣本推至渠道內後，可觀察土體樣本受沖蝕的狀態，即可估算出土樣在不同流況下受水流沖蝕之狀況。

在實驗中，針對流況的設定，透過渠槽底部鋪設 3.5 毫米粒徑的礫石以增加粗糙度，模擬出完全發展的紊流，並使其更接近自然河道的流況。本實驗參考相同渠道研究的結果(Hobson, 2008)，其渠槽平均曼寧粗糙度係數 n 為 0.0165。接著進行蓄水槽三角堰之水深與流量的校正，並參考 Ravisangar (2001)和 Hobson (2008)的研究結果討論渠槽邊壁效應對粗糙係數的影響。使用曼寧公式並透過迭代法找出不同流量及底床坡度的正常水深，擬定不同坡度、流量及水深組合，以生成各種水流剪應力的參考依據。



圖 8 土砂啟動實驗設備整體側視照

Figure 8 Side View of the Sediment Initiation
Experiment Equipment

在試驗的準備工作中，主要以土體樣本的準備為主，先採集試驗用的土樣，並篩選出粒徑小於 2 毫米者作為實驗用樣品。將土樣加水至飽和狀態後，填入試驗用的鋼管土柱中靜置 24 小時。

試驗進行時，使用安全吸球將土樣最上層的水排出，並將裝有土樣的鋼管置入渠道底部的圓孔中，再以油壓推進器將土樣推至與渠底齊平，隨後覆蓋保護蓋以防止流量及水深調整過程中，土樣表面遭受額外的沖蝕。在控制水流及水深方面，使用手動流量控制閥來控制流量，並透過尾水堰來調整渠道水深，再使用水平雷射及測距儀將渠底坡度調整至試驗所需的角度的。

待流況穩定後，操作人員打開保護蓋，並連接拉線式位移紀錄器，開始測量三角堰的流量和水深。試驗過程中，土樣被上推 1 至 2 毫米後開始試驗，操作人員需觀察土樣表面的沖蝕情形，當土樣表面與周圍槽底齊平時，

需再度上推土樣，並同步記錄土樣隨時間變化的位置，直至土樣完全被沖蝕或操作人員無法清楚觀察沖蝕現象後，即可結束單場試驗。試驗結束後，進行坡度或流量的調整，進行下一組實驗。

單場試驗的時間依土樣抗蝕特性而異，可能持續 30 秒至數小時。本實驗記錄的數據包括沖蝕深度、不同土層的含水量以換算土樣密度，以及隨時間變化的沖蝕率 E ($\text{kg}/\text{m}^2/\text{s}$)。

沖蝕量速率公式為：

$$E_{(exp)} = 0.001 \frac{\Delta L}{\Delta T} \rho_d \quad (1)$$

式中， ρ_d 為乾總體密度 (kg/m^3) 由實驗結果求得； $\frac{\Delta L}{\Delta T}$ 為沖蝕最佳擬合斜率 (mm/s)。

臺灣現行法規中定義山坡地的第二項，有關「平均坡度在百分之五以上者」，為了取得此條目之科學依據，選擇了 0.02 至 0.07 不同坡度進行實驗。

五、研究成果與討論

本研究調查了全台四處土壤，分別位於北中南東四個區域，各土樣差別在於土壤化育與形成原因之差異，南投蘭島溪之土樣與高雄荖濃溪之土樣主要為石質土土，形成原因為上游河岸發生崩塌，生成土石流沖積於河口形成沖積扇，由於沖積扇形成於近代，土壤化育淋洗期間短暫，因此土體本身分層並不明顯，含石量極高，又母岩性質之關係，土體多為深灰色，由於粒徑多集中於大顆粒，粒徑分佈不均，故該兩地區所採集之土樣皆為不良級配。而獅頭山區域與知本地區採集之

土樣介於弱育土及極育土之間的幼黃壤，生成原因主要為母質弱度化育生成，由強烈的淋洗作用，土體具有明顯的分層，土體本身的細顆粒及鉀鈉鈣等也因降雨流失使土體顏色

轉為黃色或黃棕色，粒徑分佈均勻，故該兩地區之土樣為優良級配，表 3 為四種土樣各別的基本土壤性質。

表 3 各土樣之基本性質

Table 3. Basic Properties of Soil Samples

地區	北部	中部	南部	東部
土樣	新北獅頭山	南投蘭島溪	高雄玉穗溪	臺東知本
水份係數	1.0093	1.0086	1.0101	1.0151
顆粒密度	2.516	2.592	2.759	2.643
土壤級配	優良級配	不良級配	不良級配	優良級配
土壤質地	砂土	壤土砂質	砂土	砂土
內摩擦角	33°26'	43°48'	38°51'	29°33'
凝聚力(kpa)	9.116	19.715	23.808	19.381

而圖 9 為四種土樣之土壤粒徑曲線，由試驗中採用 2mm 以下之土樣，分別使用篩分析及比重計得到其粒徑分布曲線，經由內插法計算並平均兩次試驗結果，可得出中值粒徑(D₅₀)，表 4 為四種試驗土樣之中值粒徑(D₅₀)。

表 4 試驗土樣之中值粒徑(D₅₀)

Table 4. Median Grain Size (D₅₀) of Test Soil Samples

土樣	中值粒徑(D ₅₀)
新北獅頭山	0.151 mm
南投蘭島溪	0.662 mm
高雄荖濃溪	0.840 mm
臺東知本	0.400 mm

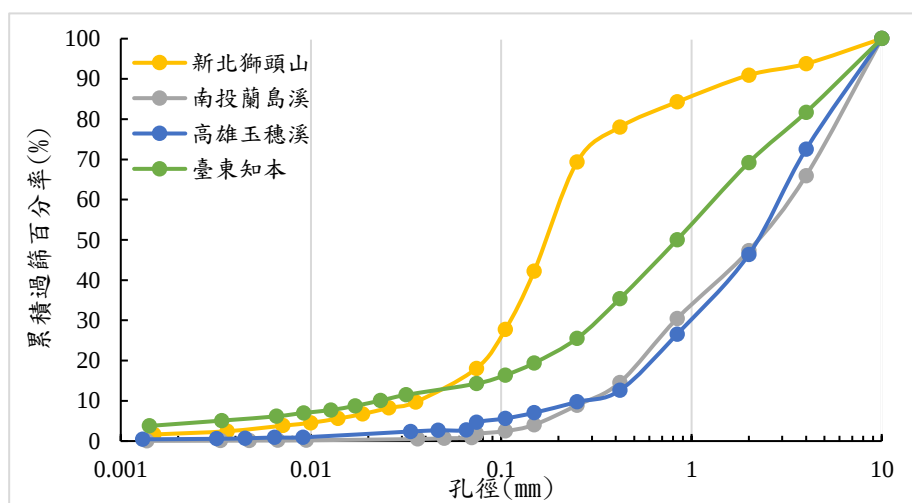


圖 9 試驗土樣之土壤粒徑分布曲線

Figure 9 Particle Size Distribution of Test Soil Samples

土壤沖蝕量是以拉線式位移紀錄器紀錄並以資料紀錄器收集，沖蝕深度的原始數據以(mm)為單位，記錄其與時間變化的關係。且比較不同流況下之沖蝕情況，故試驗流量選擇 0.00974cms 及 0.01370cms 進行，並藉由沖蝕最佳擬合斜率計算其質量沖蝕速率，經計算即可求得試驗土壤之各坡度之質量沖蝕速率。圖 10 為流量為 0.00974cms 之四種土樣質量沖蝕速率關係圖；圖 11 為流量為 0.01370cms 之四種土樣質量沖蝕速率關係圖。

由圖 10 與 11 可知，新北獅頭山、南投蘭島溪、高雄玉穗溪三者土樣於低坡度(即 5% 以下)相比，獅頭山之質量沖蝕率明顯大於蘭島溪及玉穗溪，推測質量沖蝕率的大小與土壤粒徑大小的可能有明顯的相關性，即當質

地為砂土時粒徑越小，其質量沖蝕率越大，如圖 9 所示，獅頭山粒徑大小大於另外兩者許多。而當坡度大於 5% 後關係變得較不明確，此現象為因實驗過程透過肉眼觀察並使用人力將土著向上推升，故有人力上的界定，因此當渠道達 7% 時，其沖蝕速度遠大於人力將土樣推進渠道時之速度，所以坡度 7% 的質量沖蝕速率並非實際值，僅具有參考價值。

知本土樣質地為壤土砂質，其細顆粒含量明顯高於其他三者，其中粉土約佔 12%、黏土約佔 4%。因為細顆粒的存在，土樣易形成團粒，以提高其抗沖蝕，而導致質量沖蝕速率與 D_{50} 粒徑雖一樣為正關係，但較獅頭山相比較關係不明確。

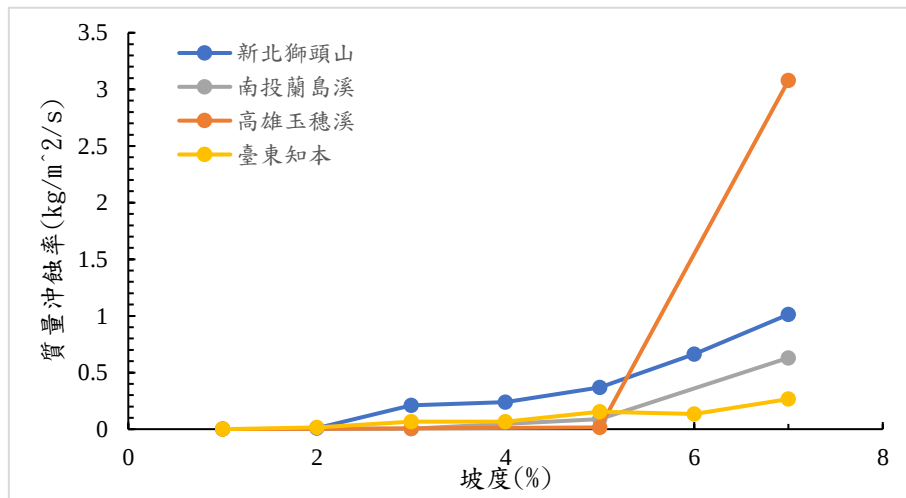


圖 10 流量為 0.00970cms 之坡度與質量沖蝕率之關係

Figure 10. Relationship Between Slope and Mass Erosion Rate at a Flow Rate of 0.00970 cms

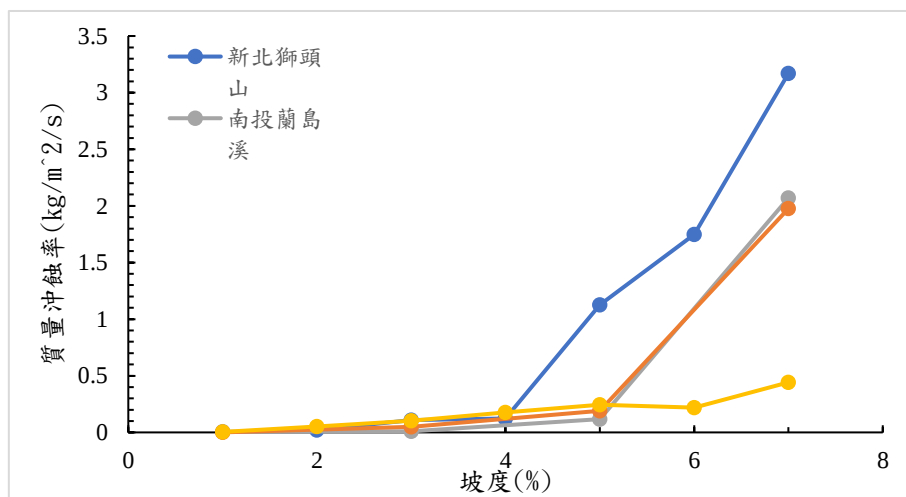


圖 11 流量為 0.01370cms 之坡度與質量沖蝕率之關係

Figure 11. Relationship Between Slope and Mass Erosion Rate at a Flow Rate of 0.01370 cms

依本次實驗成果表明，土樣沖蝕情形與坡度呈正相關。除知本土樣外，其餘土樣於粒徑分析中，砂粒占大宗，為砂土；於直接剪力實驗中，獅頭山的內摩擦角與凝聚力均小於

玉穗溪土樣及蘭島溪土樣。獅頭山之土樣於土壤粒徑分布性質上較先前實驗土樣之坵、黏粒比例高；於啟動應力實驗中，新北獅頭山之臨界坡度約為 4%，當坡度達到 4%時，其

質量沖蝕率相較於坡度 2%或 3%之實驗組數，有明顯上升的趨勢，而當坡度到達 7%時，質量沖蝕率較坡度較緩之組數有著更加顯著增長之趨勢。且相較於先前蘭島溪及玉穗溪土樣之實驗，獅頭山土樣於小坡度即坡度小於 5%時質量沖蝕率明顯較大，而當坡度到達 7%時，三種土樣皆有著更加顯著增長之趨勢，三種土樣趨勢皆表明土樣沖蝕情形與坡度呈正相關。

知本土樣中經由粒徑分析實驗中可知，其含有相當一部份之粉土及黏土，土壤質地為壤土砂質。於直剪試驗中，可土樣內摩擦角明顯低於其他三者，凝聚力與蘭島溪土樣較為接近。於啟動應力試驗中可發現，知本土樣似乎未有一明確之臨界坡度，其質量沖蝕速率為緩步上升之趨勢，推測可能因土體中的較大量之細顆粒而產生較大之范德瓦力有關。目前四組土樣當坡度達到 5%時，沖蝕量有大幅上升之趨勢。以目前僅有的四組實驗成果，大致呈現出土壤的粒徑分佈會與其質量沖蝕率有所關聯，土壤級配差異對沖蝕試驗結果的影響目前仍不明顯，待未來研究討論。

實驗結果對比現行水土保持法及[山坡地保育利用條例](#)中所規定之山坡地定義「平均坡度在百分之五以上者」，對應其法意「為實施水土保持之處理與維護，以保育水土資源，涵養水源，減免災害，促進土地合理利用，增進國民福祉，特制定本法。」中，因保育水土資源及減少災害，將山坡地範圍定義在坡度百分比達 5%以上者，似乎為合理之表述。

當坡度達 5%以上，土壤之流失量將會增加，此情況容易導致水土資源的流失。故當山坡地進行開發時需制定水土保持計畫，並進行足夠的排水設計及植生覆蓋等水土保持措施，以減少基地內土壤之流失，達成保育水土資源之目的。

於啟動應力實驗中，土樣雖採集至不同地區，但土壤分類為「砂土」、「壤土砂質」，無法反應全臺各地區多元之土壤質地，不同種類的土樣擁有不同之土壤結構、性質，對於土壤的抗沖蝕能力皆有影響。位於不同地區之土壤，當坡度改變時對於抗沖蝕的能力也會有所不同。若要建立全臺各地區土樣對沖蝕影響之實驗數據資料庫以確定現行法規之山坡地定義是否合理，需增加多種土樣來源及土樣之種類進行更多實驗。

六、結果與建議

從法規面來看，和與資深教授的訪談中，進一步了解當初設立山坡地標準的主要原因：首先，5%的坡度較易執行，便於管理；其次，當坡度超過 5%時，土壤的沖蝕趨勢明顯增加。再通過調查五個國家（州別）在坡地利用方面的相關法律，計畫了解到不同地理與水文環境對各國法規產生的影響。大多數國家（州別）採取坡度作為利用規範的界定標準，有些國家則在法規中附加更多條件以進一步劃分開發的限度。分析結果顯示，臺灣對於坡地開發的坡度限制相對嚴格，但對於農牧用地、宜林地的坡度標準並未顯著高於其他國家。由於臺灣地理位置特殊且水文環境極端，土壤沖

蝕及自然災害更為普遍，因此目前法規的嚴格標準並無立即性調整的必要。

而根據實驗結果，各地土樣沖蝕情形與坡度呈正相關，依據土樣採集地之地理分區，北中南東區皆有具有代表性之土樣，但仍無法反應全臺各地區多元之土壤質地，不同種類的土樣擁有不同之土壤結構、性質，對於土壤的抗沖蝕能力皆有影響。若要建立全臺灣各地區土樣之土壤沖蝕率資料庫，需以更多種臺灣本島土壤進行實驗，以更全面地探討不同土壤在不同坡度下對於沖蝕之影響，並確定現行法規之山坡地定義是否合理，不僅能對於臺灣土地開發利用與現有環境之衝擊影響有更全面的了解，也能針對未來氣候變遷、極端氣候進行預防性探討及全面性的討論。

七、參考資料

1. 謝兆申、王明果(1991)，台灣地區主要土類圖輯。國立中興大學土壤調查試驗中心。
2. 蘇煒哲(1997)，坡度影響地表逕流與土壤沖蝕之探討，國立中興大學水土保持學系，碩士論文，臺中。
3. 游能悌、鄧屬予(1999)，台灣北部大寮層與石底層之沈積環境，經濟部中央地質調查所彙刊 第十二號，第 99-131 頁。
4. 洪瑞陽(2020)，非黏性與黏性土砂沖蝕啟動應力閾值試驗研究-已壤質砂土、青灰泥岩沉積土、及紅土為例，國立中興大學水土保持學系，碩士論文。
5. Aydilek, A.H., Guler, M., and Edil, T.B. (2004). "Measurement of Particle Movement in Granular Soils Using Image Analysis". *Journal of Computing in Civil Engineering*, 18(1): 65-74.
6. Beasley, D. B., Huggins, L. F., Monke, E. J.(1980). "ANSWERS : A model for watershed planning". *Trans ASAE*, 23: 938-944.
7. Briaud, J. L., Ting, F. C. K., Chen, H. C., Cao, Y., Han, S. W., and Kwak, K. W. (2001). "Erosion function apparatus for scour rate predictions." *J. Geotech. Geoenviron.*, 127(2): 105-113.
8. Bryan, R., B. (1999). "The relationship of soil loss by interrill erosion to slope gradient". *Catena*, 38: 211-222.
9. Fox, D. M. and Bryan, R., B. (1999). "The relationship of soil loss by interrill erosion to slope gradient". *Catena*, 38: 211-222.
10. Fu, S.-H., Liu, B.-Y., Liu, H.-P. and Xu, L. (2011). "The effect of slope on interrill erosion at short slopes". *Catena*, 84: 29-34.
11. Hobson, P. M. (2008). "Rheologic and flume erosion characteristics of Georgia sediments from bridge foundations," Master Thesis, Georgia Institute of Technology, Atlanta, GA.
12. Moreau, A.L., Locat, J., Hill, P., Long, B. and Ouellet, Y. (2006) "Resuspension potential of surficial sediments in Saguenay Fjord

- (Québec, Canada) ", *Mar. Geol.*, 225 (1), pp. 85-101
13. Nord G. and Esteves M. (2010). "The effect of soil type, meteorological forcing and slope gradient on the simulation of internal erosion processes at the local scale". *Hydrological Processes*, 24: 1766–1780.
14. Pratolongo, P.D., Perillo, G.M., Piccolo, M.(2010). "Combined effects of waves and plants on a mud deposition event at a mudflat-saltmarsh edge in the Bahí'a Blanca estuary" *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, 87(2), pp.207-212;
15. Ravisangar, V., Dennett, K. E., Sturm, T. W., and Amirtharajah, A. (2001). "Effect of sediment ph on resuspension of kaolinite sediments." *J. Environ. Eng.*, 127(6): 531-538.
16. Ravisangar, V., Sturm, T. W. and Amirtharajah, A. (2005). "Influence of sediment structure on erosional strength and density of kaolinite sediment beds". *Journal of Hydraulic Engineering*, 131(5): 356-365.
17. Romero, C.C., Stroosnijder, L. and Gaigorria, G.A. (2007). "Interill and rill erodibility in the northern Andean Highlands". *Catena*, 70, 105-113.
18. Salehi, M. and Strom, K. B. (2012). "Measurement of critical shear stress for mud mixtures in the San Jacinto estuary under different wave and current combinations" *Continental Shelf Research*, 47, pp. 78-92
19. Wang, B., Zheng, F., Römkens, M.J.M., and Darboux, F. (2013). "Soil erodibility for water erosion: A perspective and Chinese experiences ". *Geomorphology*, 187: 1-10.
20. Wang, Y.C. and Sturm, T.W. (2016). " Effects of physical properties on erosional and yield strengths of fine-grained sediments. " *Journal of Hydraulic Engineering*, 142, 11.
21. Wang, Y., & Hung, R. (2023). Effects of sediment properties on the erosion resistance of natural cohesive soils in Taiwan. *Catena*, 223, 106950.
22. Zhang, K.-L., Shu, A.-P., Xu, X.-L., Yang, Q.-K., and Yu, B. (2008). "Soil erodibility and its estimation for agricultural soils in China ". *Journal of Arid Environments*, 72: 1002–1011.
-
- 113 年 11 月 04 日收稿
114 年 2 月 25 日修改
114 年 2 月 26 日接受