

計畫編號：113 保發-5.1-保-01-06-001(47)

以實驗、管理層面探究山坡地劃定準則

因應氣候變遷之調適作業

**Using laboratory experiments and regulations to
investigate the principle of defining Slope land under
the climate change scenario**

成果報告書

執行單位：國立中興大學水土保持學系

執行期間：113 年 2 月 7 日至 113 年 12 月 31 日

計畫主持人：洪啟耀 副教授

農業部農村發展及水土保持署 編印

中華民國 113 年 12 月

(本報書內容及建議純屬執行單位建議，僅供本署施政參考)

摘要

近年來氣候變遷的影響導致豪大雨的機率劇增，在山坡地區域崩塌、土石流事件頻傳，對於人民財產產生大量的威脅。臺灣山坡地的劃定準則為民國 65 年時因應當年時空背景所訂定，以坡度 5%及標高 100 公尺作為劃定的標準同時並據此劃定山坡地範圍，近年來也依照民眾使用需求，在同樣設定標準下酌情進行山坡地範圍的修正。然而，面對極端氣候的挑戰，山坡地劃定準則也需再次檢討。於前期計畫中，已針對山坡地之「坡度」劃定準則進行學理實驗面、法規面及管理面之探討，經計畫成果表明，將山坡地之坡度制定為 5%為合理之表述。為更全面地審視山坡地劃定準則，於本期計畫中，將針對山坡地劃定準則中之「標高 100 公尺」進行其合理性之檢討，除了以地理資訊系統分析在不同的條件下山坡地範圍的變化狀況外，本期計畫也將廣蒐國內外文獻及相關期刊論文作為劃定原則之佐證與論證；另外，為提升前期計畫中土壤啟動應力實驗的廣度與深度，本期計畫將使用不同性質之土壤進行實驗，以代表臺灣各地之土壤特性，進而使實驗結果能廣泛地應用至全臺灣。最後將總整以上成果，針對山坡地劃定準則因應氣候變遷的變化提出初步建議。

目次

摘要.....	II
目次.....	III
表次.....	V
圖次.....	VII
第一章 前言	1-1
第二章 前期計畫概要與本計畫目標	2-3
第一節 前期計畫內容概要	2-3
第二節 本期計畫目標	2-12
第三節 預定進度	2-14
第三章 各國文獻檢視	3-1
第四章 行政管理	4-1
第一節 疊圖分析	4-2
第二節 人口資料與山坡地相關分析	4-14
第五章 學理計算	5-1
第一節 土樣選擇說明	5-1
第二節 土壤基本物理性質實驗	5-14
第三節 土壤力學實驗	5-34
第四節 沖蝕啟動應力實驗理論基礎	5-39
第六章 結論與未來規劃	6-1
參考資料.....	參-1
期中意見回覆	意見-1

表次

表 2-1	各國關於坡地法規比較表	2-6
表 2-2	計畫進度表	2-14
表 3-1	泰國土地管理皇家公報（節錄）	3-1
表 3-2	限制條件彙整表	3-9
表 4-1	各標高之面積重合率和面積包覆率	4-10
表 4-2	兩指標正規化	4-12
表 4-3	兩指標正規化後相乘	4-13
表 5-1	北部地區土壤組成比較	5-3
表 5-2	石質土分布區位（依照土調報告彙整）	5-3
表 5-3	幼黃壤分布區位	5-3
表 5-4	新北市土壤類別面積統計表	5-7
表 5-5	東部地區土壤組成比較	5-7
表 5-6	沖積土分布區位	5-8
表 5-7	崩積土分布區位：海岸山脈中段至南段	5-8
表 5-8	黑色土分布區位：分布於海岸山脈地區	5-8
表 5-9	臺東縣卑南鄉土壤類別面積統計表	5-11
表 5-10	土樣種類與特性彙整表	5-11
表 5-11	土壤水分係數	5-16
表 5-12	本計畫土樣之土壤顆粒密度	5-18
表 5-13	新北獅頭山粒徑資料	5-23
表 5-14	新北獅頭山粒徑資料	5-23
表 5-15	臺東知本粒徑資料	5-24
表 5-16	臺東知本粒徑資料	5-24
表 5-17	臺東知本粒徑資料	5-25

表 5-18	土壤級配計算表	5-30
表 5-19	獅頭山土壤質地分布	5-30
表 5-20	知本溪土壤質地分布	5-32
表 5-21	直接剪力實驗之土壤內摩擦角與凝聚力數據.....	5-38
表 5-22	近年使用臨界剪應力概念之相關沖蝕模型及研究.....	5-41
表 5-23	坡度百分比與度數對照表	5-45
表 5-24	新北獅頭山實驗坡度對應之上下游水深.....	5-51
表 5-25	臺東知本實驗坡度對應之上下游水深.....	5-51
表 5-26	渠槽沖蝕新北獅頭山實驗各項流況參數.....	5-51
表 5-27	渠槽沖蝕臺東知本實驗各項流況參數.....	5-52
表 5-28	新北獅頭山實驗組數及沖蝕最佳擬合斜率與質量沖蝕率..	5-53
表 5-29	臺東知本實驗組數及沖蝕最佳擬合斜率與質量沖蝕率..	5-53
表 5-30	兩期計畫四點位土樣之土壤水分係數.....	5-57
表 5-31	兩期計畫四種土樣之土壤顆粒密度	5-57
表 5-32	兩期計畫四種土壤質地分布	5-57
表 5-33	兩期計畫四種土壤直接剪力實驗數據.....	5-57
表 5-34	兩期計畫四種土壤土壤級配計算表.....	5-58

圖次

圖 1- 1	南投仁愛鄉奧萬大地區災害情況.....	1-2
圖 2- 1	沖蝕量（左）與沖刷深度（右）與坡度的關係.....	2-3
圖 2- 2	與林俐玲教授討論現行法規沿革.....	2-4
圖 2- 3	不同坡度對應山坡地範圍示意圖.....	2-8
圖 2- 4	各分署管轄之山坡地範圍於不同坡度之面積比例圖.....	2-9
圖 2- 5	蘭島溪匯流口土樣採取點現況.....	2-10
圖 2- 6	荖濃溪支流玉穗溪沖積扇土樣採取點現況.....	2-11
圖 2- 7	坡度與質量沖蝕率關係圖.....	2-12
圖 3- 1	泰國蘇梅島土地利用限制範圍.....	3-10
圖 4- 1	臺灣現行法規之山坡地範圍.....	4-2
圖 4- 2	臺灣本島平均坡度 $\geq 5\%$ 之範圍.....	4-4
圖 4- 3	不同標高與坡度 5%以上之面積疊圖.....	4-5
圖 4- 4	不同標高與坡度 5%以上之面積疊圖.....	4-6
圖 4- 5	交集示意圖.....	4-7
圖 4- 6	標高範圍與坡度 5%之交集.....	4-8
圖 4- 7	面積重合率和面積包覆率交會圖.....	4-11
圖 4- 8	面積重合率和面積包覆率正規化交會圖.....	4-12
圖 4- 9	兩指標正規化後相乘之趨勢圖.....	4-14
圖 4- 10	標高 100 公尺以與《水土保持法》規定的山坡地面積疊圖.....	4-15
圖 4- 11	臺灣人口密度分布圖.....	4-16
圖 4- 12	臺灣人口稠密區與山坡地關係圖.....	4-17

圖 5-1	桃園縣龍潭區地圖	5-4
圖 5-2	宜蘭縣三星鄉地圖	5-4
圖 5-3	新北市石碇區地圖	5-5
圖 5-4	新北市新店區地圖	5-5
圖 5-5	獅頭山現地表層土壤樣貌	5-6
圖 5-6	臺東縣卑南鄉知本地區地圖	5-9
圖 5-7	花蓮縣玉里鎮地圖	5-9
圖 5-8	知本地區採樣現地情形	5-10
圖 5-9	美國新土壤分類系統(1997)為基礎之臺灣土樣分布圖	5-12
圖 5-10	美國舊土壤分類系統(1960)為基礎之臺灣土樣分布圖	5-13
圖 5-11	土壤水分係數實驗之水分秤量盒	5-15
圖 5-12	土壤顆粒密度實驗-比重瓶照片	5-17
圖 5-13	土壤顆粒分析實驗示意圖	5-20
圖 5-14	新北獅頭山(1)粒徑分布曲線	5-26
圖 5-15	新北獅頭山(2)粒徑分布曲線	5-26
圖 5-16	新北獅頭山土樣兩次試驗粒徑分布曲線圖	5-27
圖 5-17	臺東知本溪(1)粒徑分布曲線圖	5-27
圖 5-18	臺東知本溪(2)粒徑分布曲線圖	5-28
圖 5-19	臺東知本溪(3)粒徑分布曲線圖	5-28
圖 5-20	臺東知本溪土樣三次試驗粒徑分布曲線圖	5-29
圖 5-21	新北獅頭山(1)土壤質地分布圖	5-31
圖 5-22	新北獅頭山(2)土壤質地分布圖	5-31
圖 5-23	臺東知本溪(1)土壤質地分布圖	5-32
圖 5-24	臺東知本溪(2)土壤質地分布圖	5-33
圖 5-25	臺東知本溪(3)土壤質地分布圖	5-33

圖 5-26	土壤摩爾圓應力分佈圖	5-34
圖 5-27	土壤直接剪力儀	5-35
圖 5-28	土壤直剪實驗受力圖	5-36
圖 5-29	新北獅頭山剪應力與剪動變形關係圖	5-37
圖 5-30	臺東知本剪應力與剪動變形關係圖	5-37
圖 5-31	新北獅頭山正向應力與剪應力關係圖	5-39
圖 5-32	臺東知本正向應力與剪應力關係圖	5-39
圖 5-33	當水流剪應力(a)小於(b)大於土壤顆粒之臨界剪應力沖蝕過程.....	5-41
圖 5-34	土砂啟動實驗設備整體側視照	5-42
圖 5-35	啟動應力實驗流程圖	5-44
圖 5-36	高嶺土樣之試驗結果	5-45
圖 5-37	實驗流量控制閥與整流板	5-47
圖 5-38	三角堰流量校正回歸線	5-47
圖 5-39	新北獅頭山之沖蝕擬合線斜率(mm/s)	5-48
圖 5-40	新北獅頭山啟動應力試驗土樣之過篩百分比	5-49
圖 5-41	臺東知本啟動應力試驗土樣之過篩百分比	5-50
圖 5-42	不同流量新北獅頭山土樣質量沖蝕率與波度百分比關係圖	5-54
圖 5-43	不同流量臺東知本土樣質量沖蝕率與波度百分比關係圖..	5-54
圖 5-44	兩期計畫土樣採集點位	5-56
圖 5-45	前期與本期採集點之土樣粒徑分布曲線圖	5-59
圖 5-46	流量為 0.00970cms 兩期土樣坡度與質量沖蝕率之關係。	5-60
圖 5-47	流量為 0.01370cms 兩期土樣坡度與質量沖蝕率之關係。	5-

第一章 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，因此過去開發土地時常遇到腹地不足的情形，這時就免不了往山區進行開發。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有必要的。

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%，近 1/5 之臺灣土地屬山坡地，所占範圍甚大，由此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的地震及颱風侵襲而產生變化，也變得更加脆弱，在全球暖化下的氣候異常也使得極端降雨事件更加頻繁、暴雨更多，並使山區土砂流失變得更加嚴重、水庫也更容易淤積導致儲水、防洪能力下降等，如圖 1- 1 為 2023 年 8 月之卡努颱風所造成

之災情影像，由於其挾帶超過 200 年重現期之超大豪雨，倒置南投仁愛鄉災情嚴重，聯外道路多處崩塌，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。



(資料來源：水保署南投分署)

圖 1-1 南投仁愛鄉奧萬大地區災害情況

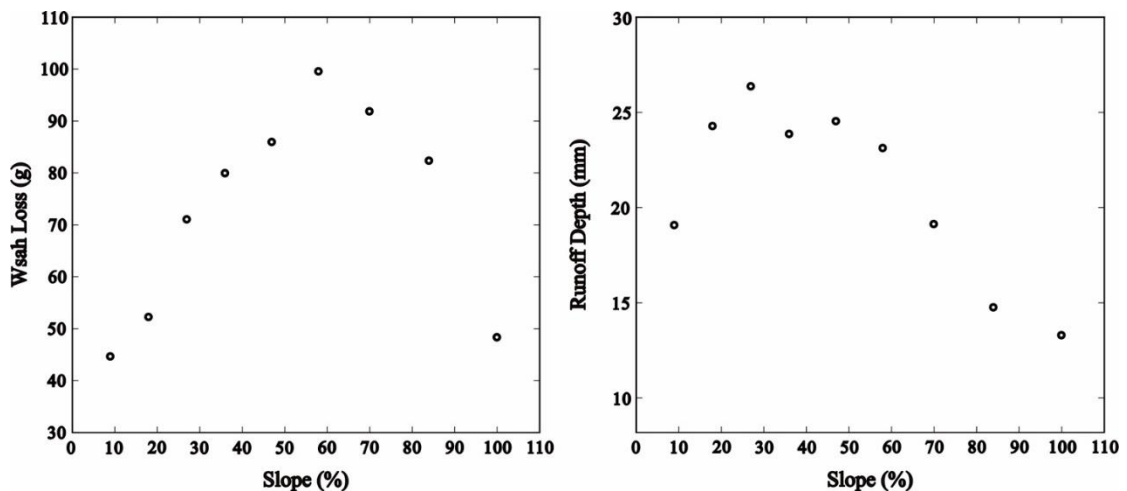
第二章 前期計畫概要與本計畫目標

第一節 前期計畫內容概要

前期計畫中，對於「坡度」之制定準則已有相當程度的了解，並且分別就法規面、行政管理面及學理計算面進行分析：

一、法規與文獻

山坡地劃定準則由兩項標準制定而成，分別為「坡度」以及「標高」。「坡度」與土壤沖蝕量成正相關，由圖2- 1 (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- 1 (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)。



(資料來源：Fox et al., 1999)

圖 2-1 沖蝕量（左）與冲刷深度（右）與坡度的關係

因坡度提升將使地表逕流流速上升，從而增加侵蝕力道，與此同時，坡度的提升也將減弱土壤顆粒間的穩定性，最終在種種因素作用下將使得土壤沖蝕量提高；「標高」與土地之脆弱程度相關，通常情況下，更脆弱之土地位於較高海拔的地區，土壤流失量也隨著海拔提

高有明顯增加(楊育琳，2017)。此外，土石流、地滑等自然災害也常發生於高山地區，因此需將一定海拔以上的土地劃為限制開發與管理區，以保護地質脆弱區域並防止水土流失。

法規面分為兩部分進行討論，分別為國內法規沿革探討，以及國內外現行法規之差異比較。於 112 年 5 月，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（圖 2-2），藉由資深教授的經歷及感想進一步了解國內法規緣起與訂定目的。



(資料來源：本計畫拍攝)

圖 2-2 與林俐玲教授討論現行法規沿革

經訪談後可知，山坡地的設立標準主要有以下理由：

- (一)藉由劃定平地與山坡地之土地類別，以方便管理。
- (二)設定 5% 主要為考量沖蝕量及方便計算。
- (三)當坡度達到 5% 以上時，土壤沖蝕開始有明顯增大的趨勢。

(四)積極的將土地利用納管，使農用行為有法律依據。

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，以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。

在國外文獻、法規資料的收集上，本計畫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，各國法規整理如表 2-1。總結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相關規定，不論是否有利用坡度以界定坡地之範圍，開發利用時之界定依據多使用坡度。

表 2-1 各國關於坡地法規比較表

國家/城市	相關坡地定義	坡地開發相關法規
臺灣	標高100公尺以上或平均坡度5%以上為山坡地。 宜林地定義： 1. 甚淺層之四級坡(>30%且≤40%)，且其土壤沖蝕嚴重或下接硬質母岩。 2. 甚淺層之五級坡(>40%且≤55%)。 3. 淺層之五級坡(>40%且≤55%)，且其土壤沖蝕嚴重或下接硬質母岩。 4. 六級坡(>60%)。	山坡地依照坡度級距、母岩性質、土壤深度及沖蝕程度區分為宜農牧地、宜林地或加強保育地。 其中宜林地及加強保育地均禁止開發及農牧利用行為。
日本	坡度大於57.7%以上為陡坡地	禁止未受許可之開發行為
中華人民共和國	無明確之坡地定義	針對坡度進行規範： 1. 8.7%以上未達46.6%開墾種植農作物，應當採取水土保持措施。 2. 46.6%以上之坡地禁止種植農作物。
美國/ 埃奇伍德市	無針對山坡地之定義但定義坡度15%為地滑危險區，坡度20%以上為水土流失危險區域。	規範為水土流失危險區域及地滑危險區之區域禁止未經允許之利用行為
美國/ 紐澤西州	坡度10%以上為陡坡	若坡度達10%以上未達20%則可依據現場情況分為可一般開發或只能線性開發。 坡度達20%以上者僅能依據情況進行線性開發；

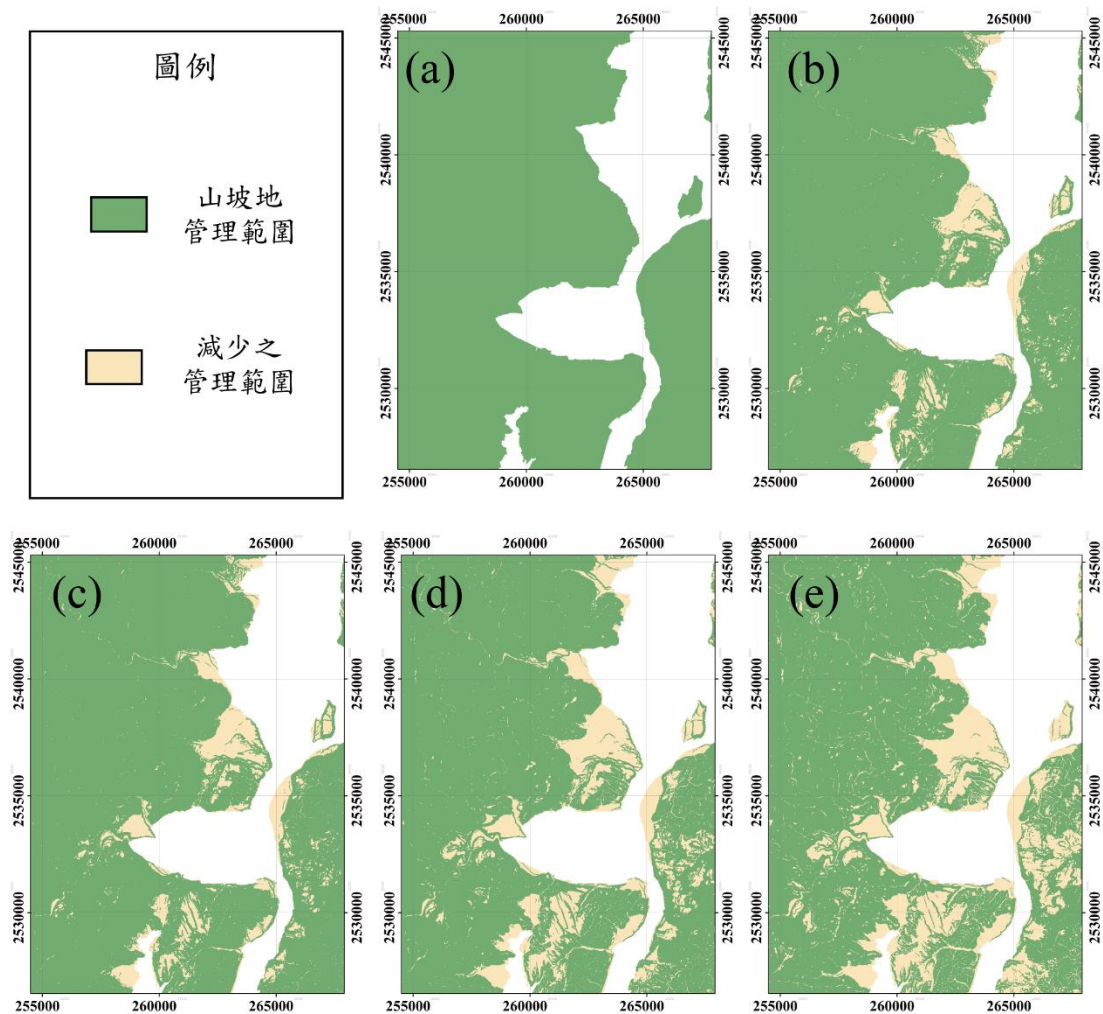
德國	無明顯之坡地定義	依據坡度大於3%之坡地情況依據其土壤因子K、坡度因子S、再生侵蝕係數R的乘積劃分為 Kwasser1 及 Kwasser2兩類之水蝕等級，並分別對其進行耕作之限制。
----	----------	--

(資料來源：本計畫統整)

經查找各國法規及訪談資深教授後可得出，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、宜林地等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。

二、行政管理面

行政管理面上，本計畫藉由地理資訊系統，進行全臺之 DEM 的坡度計算，並統計全臺現行山坡地之範圍，並繪製出於各坡度下山坡地面積之範圍，示意圖如圖 2-3。當增加山坡地之界定坡度後，減少之管理範圍多位於溪流之沖積扇、溪流兩岸等地勢較平坦之區域，這些區域皆可能與土石流潛勢溪流之範圍重疊，在圖中可清楚看到，若增加坡度，機關減少之管理範圍也會增加，同時管理範圍會變得較為破碎。



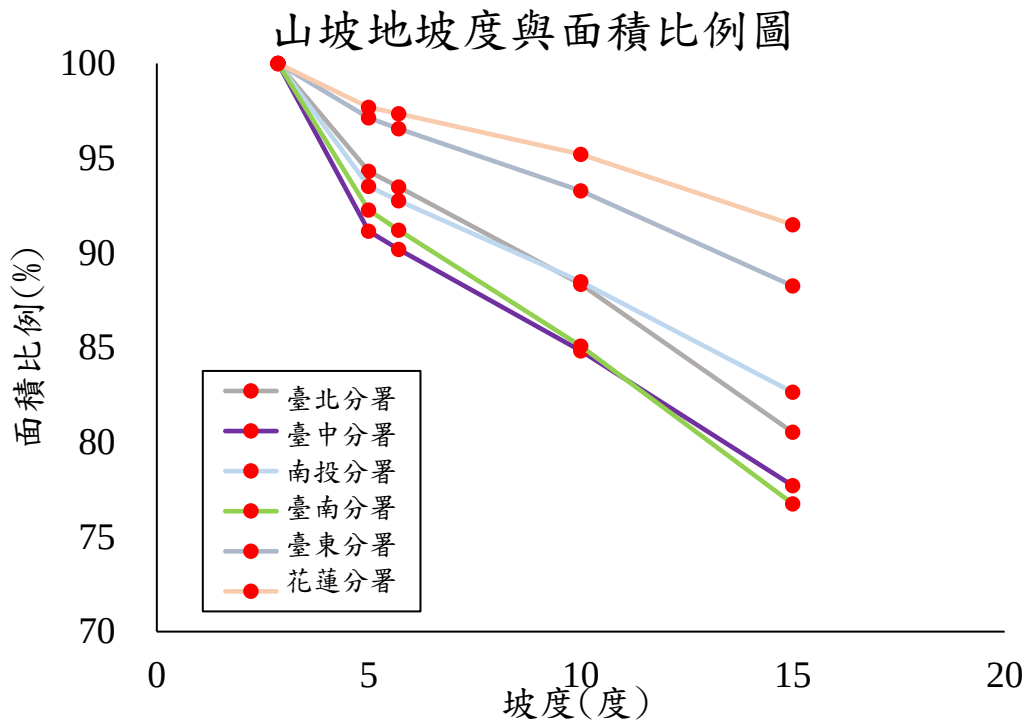
(資料來源：本計畫繪製)

圖 2-3 不同坡度對應山坡地範圍示意圖

(a)現行範圍(b)更動為 5 度範圍(c)更動為 10%範圍(d)更動為 10 度範圍(e)更動為 15 度範圍

於增加坡度條件下，會對山坡地之面積、範圍分布、各分署之管理等造成影響。圖 2-4 將各分署管轄範圍之山坡地進行不同坡度及對應面積比例繪製，於圖中所示，臺南分署山坡地管理面積於提高界定坡度至 15 度後，減少面積之比例是 6 個分署中最多的，因臺南分署所管轄範圍內多屬平原，故地勢相對較為平坦。而花蓮分署所管轄之

山坡地面積於提高界定坡度後，減少面積為分署中最少的，因其轄區範圍內多屬山地。當全臺之山坡地範圍於提高山坡地界定坡度至 15 度時，山坡地範圍會下降約 20%，會減少約 4412.707km² 之管理範圍。但若僅提高界定坡度至 5 度，可解編之山坡地面積其實並不多，約為 1531.522km²。



(資料來源：本計畫繪製)

圖 2-4 各分署管轄之山坡地範圍於不同坡度之面積比例圖

改變坡度之制定準則，便需將山坡地解編或劃入，易造成許多行政管理層面立即性之影響，如地方政府須即刻修正其山坡地取締規則等；另一方面，也可能提高水土流失風險並危急保全對象安全，且隨著未來之極端氣候、常態性強降雨的挑戰下，可能將導致更多災害的產生。綜合各種因素，改變坡度制定準則與所承擔的風險相比，其帶來的效益較低，故並不建議調整制定標準。

三、學理計算面

學理計算面上，進行土壤啟動應力實驗，以坡度作為變因，探討土砂顆粒於不同坡度下之沖蝕量變化。本次實驗所採用之土壤為於南投縣仁愛鄉烏溪上游北港溪的支流蘭島溪匯流口，以及高雄市桃源區高屏溪上游荖濃溪的支流玉穗溪沖積扇上所採集。

蘭島溪匯流口位於國立中興大學惠蓀林場內（圖 2- 5），本地區之地層主要為達見砂岩，且集水區地勢陡峭，故推測土壤之粒徑分佈較為不均，且表層多為風化未完全之砂岩顆粒與土壤，其實驗結果可用以模擬較陡峭之砂頁岩地區。



（資料來源：本計畫彙整）

圖 2-5 蘭島溪匯流口土樣採取點現況

位於南橫公路旁之玉穗溪（圖 2-6）於 110 年 8 月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

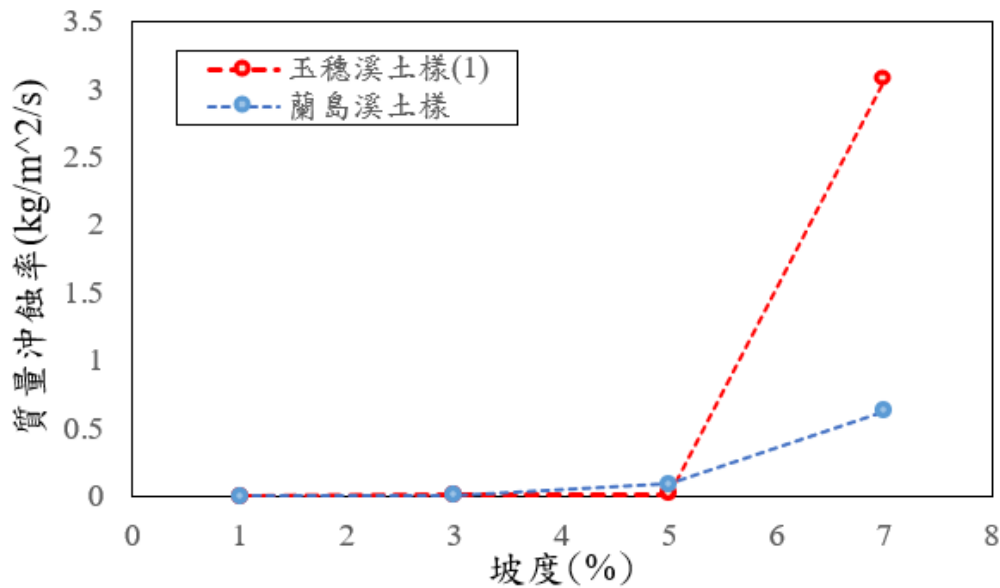
流約挾帶總崩塌量體之 1/5 不到，伴隨後續降雨事件可以在沖積扇處採集到較完整之新鮮土石流堆積物，而此土樣可充分模擬真實土石流之型態。



(資料來源：本計畫彙整)

圖 2-6 荖濃溪支流玉穗溪沖積扇土樣採取點現況

雖土樣僅有兩種，但依實驗成果表明，各地土樣沖蝕情形與坡度呈正相關。由於兩者土樣於各種性質上大致雷同，如粒徑分析中，兩者之砂、粉、黏粒之比例相近，皆為砂粒占大宗，故兩者皆為砂土；於直接剪力實驗中，兩者之內摩擦角與凝聚力類似；於啟動應力實驗中，兩者之實驗結果相似(如圖 2-7)，當坡度達到 5%時，其質量沖蝕率相較於坡度 1%或 3%之實驗組數，皆有明顯上升的趨勢，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。



(資料來源：本計畫繪製)

圖 2-7 坡度與質量沖蝕率關係圖

綜合以上可知，將山坡地範圍定義在坡度百分比達 5% 以上，為合乎現況且合理之規範標準。

第二節 本期計畫目標

在前期計畫中，已針對法規、行政管理及學理計算的角度進行山坡地定義中對於坡度的分析，根據研究成果，目前的法規不需立即進行調整，將山坡地的定義限制在坡度百分比 5% 為符合現實且合理的標準，若改變坡度標準可能會帶來立即性的影響與風險。

臺灣現行法規中山坡地定義之第一項，有關「標高在一百公尺以上者」，現今尚未有相關的研究支持，於本期計畫中將對此以文獻與地理資訊系統作為參考，研判於現今地理與氣候條件下此規定之適宜性和沿用性。此外，為使前期計畫結論更加有說服力，本期計畫將擴展前期計畫中「土壤啟動應力實驗」所使用之土壤，預計使用可代表全臺各地之顆粒材料，以分析全臺土壤於各傾斜角度下之土壤沖蝕率，

從而使實驗結果更加豐富並能應用至全臺灣，同時，將查找國內外相關文獻以佐證實驗之正確性。最後將整合前期與本期計畫，綜合研判山坡地劃定準則之修正與否。

總結本計畫預期達成之目標：

一、針對坡度變化以氣候變遷為情境設計室內渠槽縮尺實驗，探討坡度與土壤流失量、土壤類型之關係。

二、廣泛蒐集國內外劃定山坡地之文獻、管理制度、法規與組織權責等，借鑑他國經驗以提供本國規章之修正參考，與臺灣之自然環境、土地利用、坡度與標高等因子進行對照，探討本國法規之適用性。

三、利用地理資訊系統進行圖層套疊，探討於不同山坡地劃定條件下，其涉及範圍對於社會經濟、各級政府與相關利益方、國土安全等社會層面之影響，以確保制定出更符合現實需要之標準。

第三節 預定進度

表 2-2 計畫進度表

重要工作 項目	工作比重	113 年		
		～期中	～10 月	～12 月
收集國外文獻及相關 法規	10%			
進行圖層套疊，考量不 同山坡地劃分對行政面 之影響	30%			
現地取樣及基本土壤性 質測定	10%			
土壤啟動 應力實驗	20%			
製作成果 報告書				

(資料來源：本計畫彙整)

本計畫可分為三個面向進行討論：法規及文獻面、行政管理面及學理計算面。其中法規及文獻面包含本國現行山坡地相關法規之沿革，與國外現行法規之比較，進行相關法規面之討論；行政管理面則是使用現行山坡地範圍與全臺灣之數值高程模型(DEM)進行山坡地標高合理性的探討，討論為何當時會以此標高作為界定，若進行更改對於機關之行政管理會有何影響；最後則為學理計算面，本計畫分別採集不同地區之土樣進行相關實驗，包含土壤基本性質、土壤力學實驗及土壤啟動應力實驗，由實驗結果進行坡度對於土壤沖蝕量之探討，與前期計畫土樣進行比較，討論現行法規之山坡地坡度之定義是否合適。

第三章 各國文獻檢視

本計畫查詢各國資料檢視是否有法規、文獻、制度等中描述標高相關之議題，發現泰國蘇梅島建築相關法規有明定海拔、坡度及具海灘距離相關之建築規定及限制。

泰國蘇梅島為其國內的第二大島嶼，位於北緯 9°30'、東經 100°00'距首都曼谷約 500 公里，屬於熱帶氣候，年降雨量約為 1960 毫米，島上經濟以椰子種植及觀光業為主，海拔最高處為 635m。此土地管理公告，公布於皇家公報，第 131 卷，第 91 節，時間是 2014 年 5 月 30 日，公告內容廣泛，建築物的建築原則、建築用色、礦業、工業、觀光業的發展注意事項等。由於內容廣泛繁雜，故表 3-1 僅節錄由有關坡地建築要求及區域劃分原則之內容。

表 3-1 泰國土地管理皇家公報（節錄）

自然資源環境部公告 主題：區域劃分與環境保護措施位於 TalingNgam 街、BoPhut 街道地區、Maret 分區、MaeNam 分區、NaMueang 分區、AngThong 分區、LipaNoi 分區蘇梅島區、和帕岸島分區、班泰分區、濤島分區帕岸島區素叻府	
原文：	อาศัยอำนาจตามความในมาตรา ๔๕ แห่งพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. ๒๕๓๕ อันเป็นพระราชบัญญัติที่มีบทบัญญัติบางประการเกี่ยวกับการจำกัดสิทธิและเสรีภาพของบุคคล ซึ่งมาตรา ๒๙ ประกอบกับมาตรา ๓๓ มาตรา ๓๔ มาตรา ๔๑ และมาตรา ๔๓ ของรัฐธรรมนูญแห่งราชอาณาจักรไทย บัญญัติให้กระทำได้โดยอาศัยอำนาจตามบทบัญญัติแห่งกฎหมาย รัฐมนตรีว่าการกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม โดยความเห็นชอบของคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ และโดยอนุมัติของคณะรัฐมนตรี จึงออกประกาศกำหนดเขตพื้นที่และมาตรการคุ้มครองสิ่งแวดล้อมในบริเวณท้องที่ตำบลลี้จาม ตำบลบ่อผุด ตำบลมะเร็ด ตำบลแม่ น้ำ ตำบลลพน้ำ เมืองตำบล

	างทองตำบลลิปะน้อยอำเภอเกาะสมุยและตำบลเกาะพะงันตำบลบ้านใต้ตำบลเกาะเต่าอำเภอเกาะพะงันจังหวัดสุราษฎร์ธานีดังต่อไปนี้ข้อใดในประกาศนี้“แนวชายฝั่งทะเล”หมายความว่าแนวที่น้ำทะเลขึ้นสูงสุดตามปกติทางธรรมชาติข้อ๒ให้พื้นที่ที่ได้มีการกำหนดให้เป็นเขตอนุรักษ์และเขตควบคุมอาคารของจังหวัดสุราษฎร์ธานีดังต่อไปนี้เป็นเขตพื้นที่ที่ให้อำนาจมาตรการคุ้มครองสิ่งแวดล้อมตามหลักเกณฑ์ที่กำหนดไว้ในประกาศนี้
翻譯：	在行使《國家環境品質促進與保護法》第 45 條規定的權力時，B.E.第 2535 號法令，其中包含限制個人某些權利和自由的條款，包括泰國國憲法第 29、33、38、41 和 43 條，授權根據法律採取行動，並經國家環境委員會和泰國環境局批准。內閣、自然資源和環境部長特此發佈公告，指定以下地區的環境保護區域和措施： TambonTalingNgam、TambonBoPhud、TambonMaenam、TambonNakhame、TambonNakhon、TambonLipanoi、蘇梅島區，以及素叻他尼府帕岸島縣 TambonBanTai、TambonKohTao。
原文：	ให้จำแนกพื้นที่ตามวรรคหนึ่งเป็น๗บริเวณดังต่อไปนี้บริเวณที่๑ได้แก่พื้นที่น่านน้ำทะเลภายในเส้นล้อมรอบณจุดพิกัดยูทียเอ็มWGS๘๔ดังต่อไปนี้จุดที่๑x๕๕๕๐๐๐Y๑๐๘๕๐๐๐จุดที่๒x๖๓๗๓๐๐Y๑๐๘๕๐๐๐จุดที่๓x๖๓๗๓๐๐Y๑๐๒๗๐๐๐จุดที่๔x๕๕๕๐๐๐Y๑๐๒๗๐๐๐ทั้งนี้ไม่รวมพื้นที่แปลงสัมปทานปิโตรเลียมแปลงที่G๕/๔๓บริเวณที่๒ได้แก่พื้นที่บนแผ่นดินนับจากแนวชายฝั่งทะเลเข้าไปในแผ่นดินของเกาะสมุยเกาะเต่านอำเภอเกาะสมุยและเกาะพะงันอำเภอเกาะพะงันยกเว้นบริเวณที่๓บริเวณที่๓ได้แก่ (๑)พื้นที่ที่มีความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลางตั้งแต่๘๐เมตรถึง๑๔๐เมตรในพื้นที่เกาะสมุยอำเภอเกาะสมุยและเกาะพะงันอำเภอเกาะพะงัน (๒)พื้นที่ที่มีความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลางเกินกว่า๑๔๐เมตรขึ้นไปในพื้นที่เกาะสมุยอำเภอเกาะสมุยและเกาะพะงันอำเภอเกาะพะงัน

	(๓)พื้นที่ที่มีความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลางเกินกว่า๘๐เมตรขึ้นไปในพื้นที่เกาะเตตนอำเภอเกาะสมุยบริเวณที่ได้แก่พื้นที่บนแผ่นดินนับจากแนวชายฝั่งทะเลเข้าไปในแผ่นดินทั้งหมดของเกาะมัดหลังเกาะฟานเกาะวังในเกาะวังนอกเกาะราบเกาะมัดสุ่มอำเภอเกาะสมุยบริเวณที่ได้แก่พื้นที่บนแผ่นดินนับจากแนวชายฝั่งทะเลเข้าไปในแผ่นดินทั้งหมดของเกาะมัดแดงเกาะมัดโคงเกาะหัวตะเซ่เกาะดินเกาะแม่ทับเกาะแมลงป่องเกาะฟานใหญ่เกาะสั้มเกาะลุ่มหมุ่เกาะแหลมรายในเกาะแหลมรายนอกอำเภอเกาะสมุยเกาะกงเกลี้ยงเกาะม้าเกาะกงธารเสด็จเกาะเตตนอกเกาะเตในอำเภอเกาะพะงันบริเวณที่ได้แก่พื้นที่บนแผ่นดินนับจากแนวชายฝั่งทะเลเข้าไปในแผ่นดินทั้งหมดของเกาะกงทรายแดงเกาะกงเกาะกงนุ้ยเกาะกงรินอำเภอเกาะพะงันเกาะราใหญ่เกาะหลักเกาะทะลุเกาะเจดมูลเกาะพิงเกาะกงออกเกาะนาเทียนเกาะฟานน้อยเกาะราหินเกาะราเทียนอำเภอเกาะสมุยและเกาะอื่นๆที่อยู่ภายในน่านน้ำบริเวณที่ดยกเว้นที่ ี่ปรากฏในบริเวณที่๔ถึงบริเวณที่๗บริเวณที่๗ได้แก่ (๑)พื้นที่บนแผ่นดินนับจากแนวชายฝั่งทะเลเข้าไปในแผ่นดินทั้งหมดของเกาะเต่าเกาะนางยวนและเกาะหางเต่า
翻譯：	將區域劃分為七個區域如下： 區域 1：在座標 WGS84 上勾勒出的海洋邊界內的區域如下：X595000Y1085000 處的點 1、X637300Y1085000 處的點 2、X637300Y1027000 處的點 Y505030 處的點 4，但不含圖 G5/43 的石化轉化面積。 區域 2：從海岸線延伸至蘇梅島、譚島、蘇梅島和帕岸島、帕岸島土地的土地區域，3 區除外。 區域 3 包含： （一）蘇梅島區、帕岸島區域內海拔高度在 80 公尺至 140 公尺之間的區域。 （二）蘇梅島區、帕岸島區平均海平面高度超過 140 公尺的地區。

	(三) KohTan 地區平均海平面高度超過 80 公尺的地區。 區域 4：從海岸線到 KohMatlang、KohFan、KohWangNai、KohWangNok、KohRap 和 KohMadsum、AmphoeKohSamui 的所有土地的土地面積。 區域 5：從海岸線到 KohMatdang、KohMatKong、KohHuaTakhai、KohDin、KohMaeThap、KohMaleongPong、KohFanYai、KohSom、KohLumMuNoi、KohLaemRaiNai 所有土地的土地面積、蘇梅島區以及第 1 區海上邊界內的其他島嶼（如區域 4 至區域 7 所規定）。 區域 6：從海岸線到 KohKongSaiDaeng、KohKong、KohKongNui、KohKongRin、AmphoeKohPhangan、KohRayaYai、KohLuk、KohJedmun、KohPhung、KohKongOk、Koh 的所有土地的土地面積及 Natien、KohFanNoi、KohRahin、AmphoeKohSamui 和其他島嶼。 區域 7：從海岸線到濤島、南園島和杭濤島所有土地的土地面積。 (2)海洋邊界內的區域如下：X572000Y1100000 處的點 1、X610000Y1100000 處的點 2、X610000Y1102000 處的點 3、X572000 處的 Y000 處的 Y00 點。
原文：	ข้อ๔ในพื้นที่ตามข้อ๒การก่อสร้างดัดแปลงหรือเปลี่ยนการใช้อาคารหรือดำเนินการที่เกี่ยวข้องให้เป็นไปตามหลักเกณฑ์ดังต่อไปนี้ (๑)บริเวณที่๒ (ก)เขื่อนหรือกำแพงต้องไม่ปิดกั้นทางลงสู่ทะเลหรือหาดหรือพื้นที่สาธารณะประโยชน์อื่น

	(ข)อาคารพาณิชย์และโรงแรมตามกฎหมายว่าด้วยโรงแรมต้องติดตั้งบ่อดักไขมันและระบบบำบัดน้ำเสียตามมาตรฐานที่หน่วยงานราชการกำหนดก่อนเชื่อมต่อลงสู่ทางระบายน้ำสาธารณะ (ค)กิจการที่นำบ้านพักอาศัยตั้งแต่๑๐หลังขึ้นไปหรือกิจการที่นำห้องแถวตึกแถวหรือบ้านแถวตั้งแต่๑๐ห้องขึ้นไปไปให้บริการเป็นสถานที่พักในลักษณะโรงแรมตามกฎหมายว่าด้วยโรงแรมต้องติดตั้งบ่อดักไขมันและระบบบำบัดน้ำเสียตามมาตรฐานที่หน่วยงานราชการกำหนดก่อนเชื่อมต่อลงสู่ทางระบายน้ำสาธารณะ (ง)โรงแรมตามกฎหมายว่าด้วยโรงแรมและอาคารอยู่อาศัยรวมตามกฎหมายว่าด้วยการควบคุมอาคารต้องมีพื้นที่สีเขียวไม่น้อยกว่าร้อยละ๕๐ของพื้นที่ว่างที่กฎหมายว่าด้วยการควบคุมอาคารหรือกฎหมายว่าด้วยการผังเมืองกำหนดไว้โดยมีพันธุ์ไม้ยืนต้นที่เป็นไม้ท้องถิ่นเป็นองค์ประกอบหลัก (๒)บริเวณที่๓ (ก)ภายในบริเวณที่๓(๑)และ(๓)อนุญาตเฉพาะอาคารอยู่อาศัยที่เป็นอาคารเดี่ยวที่มีความสูงไม่เกิน๖เมตรขนาดแปลงที่ดินที่ยื่นขออนุญาตต้องมีเนื้อที่ไม่น้อยกว่า๑๐๐ตารางวาที่ว่างไม่น้อยกว่าร้อยละ๕๐ของพื้นที่ดินที่ขออนุญาตก่อสร้างอาคารมีพื้นที่สีเขียวไม่น้อยกว่าร้อยละ๕๐ของพื้นที่ว่างนั้นโดยมีพันธุ์ไม้ยืนต้นที่เป็นไม้ท้องถิ่นเป็นองค์ประกอบหลักกรมทั้งจัดให้มีการหน่วงน้ำหรือท่อที่สามารถลดอัตราการระบายน้ำออกสู่สาธารณะเพื่อป้องกันน้ำท่วมหรือน้ำหลากและมีลักษณะหลังคาลาดชันตามแบบสถาปัตยกรรมไทยสถาปัตยกรรมเมืองร้อนชื้นหรือสถาปัตยกรรมพื้นถิ่นพื้นที่หลังคาไม่น้อยกว่าร้อยละ๘๐ของพื้นที่อาคารและมีสีกลมกลืนธรรมชาติเช่นสีอิฐสีดินเผาสีน้ำตาลสีเทาสีเขียวใบไม้ เป็นต้น (ข)ภายในบริเวณที่๓(๒)อนุญาตเฉพาะอาคารอยู่อาศัยที่เป็นอาคารเดี่ยวความสูงไม่เกิน๖เมตรขนาดแปลงที่ดินที่ยื่นขออนุญาตต้องมีเนื้อที่ไม่น้อยกว่า๑๐๐ตารางวาพื้นที่อาคารคลุมดินต่อหลังสูงสุดไม่เกิน๙๐ตารางเมตรที่ว่างไม่น้อยกว่าร้อยละ๗๐ของพื้นที่ดินที่ขออนุญาตก่อสร้าง
--	---

	งอาคารและมีพื้นที่สีเขียวไม่น้อยกว่าร้อยละ๕๐ของพื้นที่ว่างนั้นโดยมี มียืนต้นที่เป็นไม้ท้องถิ่นเป็นองค์ประกอบหลักรวมทั้งจัดให้มีการหน่วง น้ำหรือท่อที่สามารถลดอัตราการระบายน้ำออกสู่สาธารณะเพื่อป้องกัน น้ำท่วมหรือน้ำหลากและลักษณะหลังคาลาดชันตามแบบสถาปัตยกรรม ไทยสถาปัตยกรรมเมืองร้อนชื้นหรือสถาปัตยกรรมพื้นถิ่นพื้นที่หลัก งคาไม่น้อยกว่าร้อยละ๘๐ของพื้นที่อาคารและมีสีกลมกลืนธรรมชาติ ชนสีอิฐสีดินเผาสีน้ำตาลสีเทาสีเขียวไปไม้เป็นต้น
翻譯：	第四條：在第二條規定的區域內新建、改建或改變用途 的建築物。或進行有關的應符合以下標準： （一）區域 2: (a)水壩或圍牆不得堵塞大海或海灘的入口或其他公共區 域。 (b)根據旅館法的商業建築和旅館必須安裝隔油池並廢水 處理系統符合政府機構所訂定的標準。 (c)擁有 10 棟或以上住宅的企業或擁有 10 棟或以上店 屋、店屋或聯排別墅以飯店形式依照旅館法提供住宿的 企業。必須根據政府機構制定的標準安裝隔油池和廢水 處理系統。 (d)依旅館法的旅館。和住宅建築按照法律樓宇控制法律 規定的綠地面積必須不少於可用面積的 50%。指定的建 築物或都市計畫法它以多年生植物為主，以當地樹木為 主要成分。 （二）區域 3: (a)在區域 3(1)和(3)區域內，僅允許建造獨立住宅建築。 申請許可的用地面積不得低於 100 平方米，高度不超過 6 米，且閒置面積不少於許可用地面積的 50%。綠地面積 不少於可用面積的 50%。它以多年生植物為主，以當地 樹木為主要成分。包括提供保水性。或可減少向公眾排 水的管道為了防止洪水或洪水，並具有泰式建築風格的 傾斜屋頂。熱帶建築或當地建築屋頂面積不低於建築面

	積的 80%還有與大自然融為一體的顏色，如磚色、赤土色、棕色、灰色、葉綠等。 (b)在區域 3(2)區域內，僅允許建造獨立住宅建築。申請許可的土地面積不得小於 100 平方米，建物高度不得超過 6 米。每間房屋的最大面積不超過 90 平方米，空置面積不低於申請建築許可用地面積的 70%。綠化面積不少於可用面積的 50%。它以當地樹木為主要成分的多年生喬木。包括提供保水性。或可減少向公眾排水的管道為了防止洪水或洪水，並具有泰式建築風格的傾斜屋頂。熱帶建築或鄉土建築屋頂面積不小於建築面積的 80%。還有與大自然融為一體的顏色，如磚色、赤土色、棕色、灰色、葉綠等。
原文：	(๗)พื้นที่บริเวณที่๒ถึงบริเวณที่๔ที่มีความลาดชันตั้งแต่ร้อยละ๕ถึงร้อยละ๕๐ ให้มีได้เฉพาะอาคารดังนี้ (ก)อาคารอยู่อาศัยที่เป็นอาคารเดี่ยวที่มีความสูงไม่เกิน๖เมตรขนาดแปลงที่ดินที่ยื่นขออนุญาตก่อสร้างต้องมีเนื้อที่ไม่น้อยกว่า๑๒๐ตารางวาและมีพื้นที่อาคารคลุมดินต่อหลังไม่เกิน๘๐ตารางเมตรและมีพื้นที่ว่างไม่น้อยกว่าร้อยละ๗๕ของแปลงที่ดินที่ยื่นขออนุญาตก่อสร้างอาคารนั้นและมีพื้นที่สีเขียวไม่น้อยกว่าร้อยละ๕๐ของพื้นที่ว่างนั้นโดยมีไม้ยืนต้นที่เป็นไม้ท้องถิ่นเป็นองค์ประกอบหลัก (ข)อาคารของทางราชการเพื่อสาธารณประโยชน์หรือกิจการสาธารณูปโภคของรัฐเฉพาะกิจการที่พิสูจน์ได้ว่าความสูงของพื้นที่เป็นปัจจัยหลักสำคัญที่มีผลทางวิศวกรรมต่อการผลิตหรือดำเนินการทั้งนี้ต้องได้รับความเห็นชอบจากคณะกรรมการกำกับดูแลและติดตามผลการคุ้มครองสิ่งแวดล้อมระดับจังหวัดตามข้อ๖
翻譯：	第四條：在第二條規定的區域內新建、改建或改變用途的建築物。或進行有關的應符合以下標準： (7)區域 2 至區域 4 中，坡度為 35%至 50%。

	只能用於以下建築物： (a)高度不超過 6 公尺的獨立式住宅大樓，擴大地塊面積申請建築許可，建築面積不得小於 120 平方米，建築佔地面積不超過 80 平方米，空地面積不少於地塊的 75%申請建造該建築物的許可。綠化面積不少於可用面積的 50%。植被須為多年生原生種樹木。 (b)供公眾使用的政府建築。或國家公用事業企業唯一證明區域高度是對生產產生工程影響的重要因素的案例。或進行這必須得到委員會的批准，以監督和追蹤保護結果。省級環境依第 6 項 (8)坡度超過 50%的區域 2 至區域 4 和區域 7(1)，禁止建造或改造任何建築物。
--	---

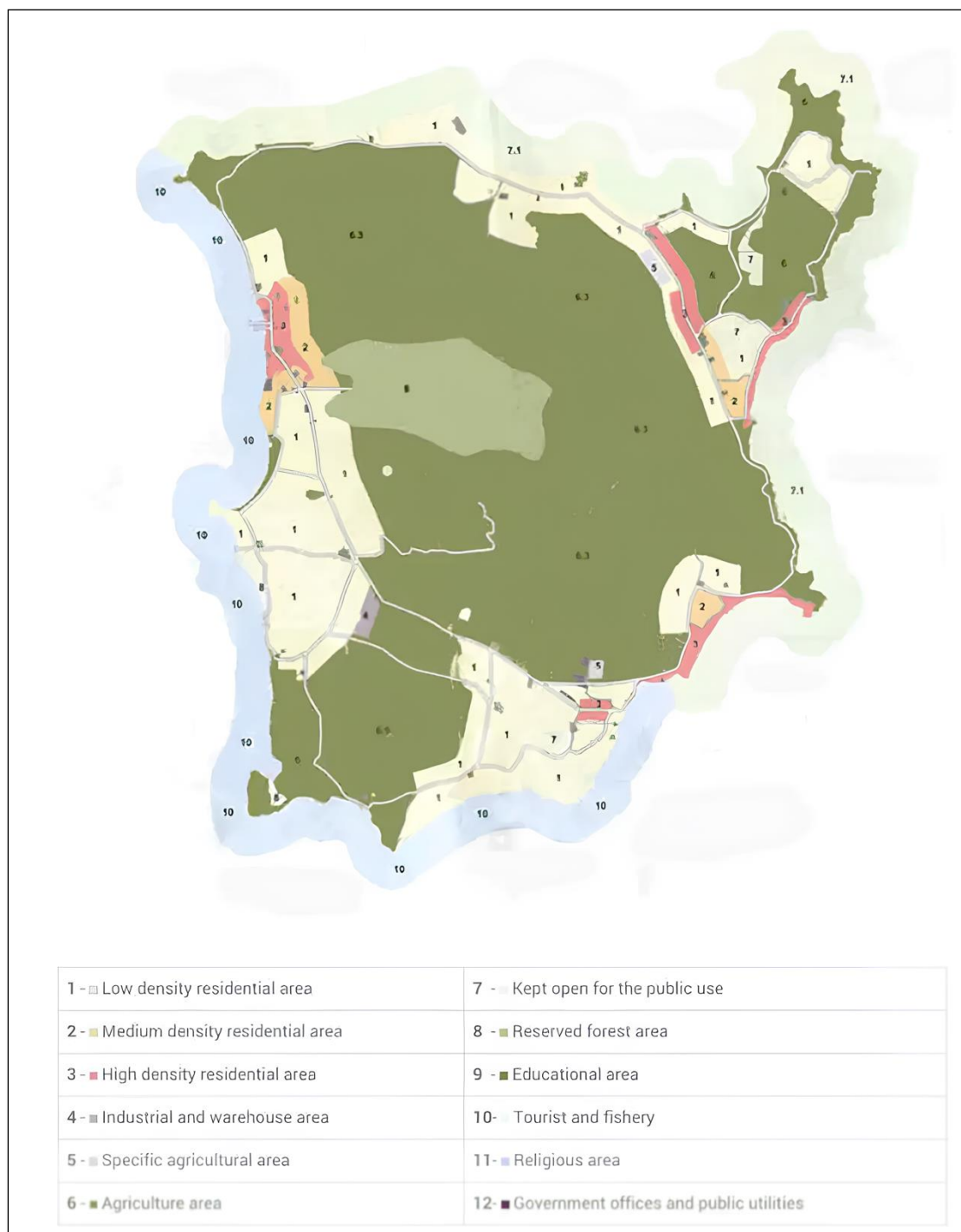
（資料來源：泰國皇家公報,2014）

泰國蘇美島之土地規劃相關原則，主要可以分為依照海拔及坡度進行劃分，其中坡度限制地區是否可以開發；海拔限制如何開發及開發時須注重什麼。限制內容包含建物高度、建物大小、基地範圍、排水設施、植被種類、建物顏色等。維一同時兼顧景觀規劃及水土保持之命令，相關條件及限制彙整如表 3-2，相關劃定範圍可參考圖 3-1。

表 3-2 限制條件彙整表

條件	限制
海拔高度低於 80m	需使用當地原生種
海拔高度大於 80m 小於 140m	基地面積不得低於 100 平方米。 建物高度不超過 6 米。 綠地面積不少於申請建築許可用地面積的 50%。 屋頂面積不低於建築面積的 80%。 需使用當地原生種
海拔高度大於 140m	基地面積不得小於 100 平方米。 建物不得超過 6 米。 建物的最大面積不超過 90 平方米。 綠地面積不低於申請建築許可用地面積的 70%。 綠化面積不少於基地面積的 50%。 需設置水保設施(如沉砂池、排水溝等)。 屋頂面積不低於建築面積的 80%。 需使用當地原生種。
坡度為 35%至 50%	高度不超過 6 公尺的獨棟建物，擴大建物高程需另外申請建築許可。 建築面積不得小於 120 平方米。 建築佔地面積不超過 80 平方米。 空地面積不少於建物的 75%。 綠化面積不少於基地面積的 50%。 屋頂面積不低於建築面積的 80%。 需使用當地原生種。
坡度超過 50%	禁止建造或改造任何建築物。

(資料來源：本計畫彙整)



(資料來源：Samui Island Realty)

圖 3-1 泰國蘇梅島土地利用限制範圍

由此得知不同國家對於標高限制開發的定義較為不同，泰國利用地形的高程限制開發的條件，其實與本國的山坡地限制不謀而合，

不過由於泰國對標高的開發限制更多著重於避免天際線的遮擋，以提供更完好的旅遊體驗，在這條件之虞，也同時注重土地的涵養與水土保持的重要性。而泰國在標高設定上選擇80公尺以上即有所限制，與本國的100公尺相比更為嚴苛，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，而本計畫在後續之行政管理層面的探討中將會持續對於標高進行討論。

第四章 行政管理

山坡地開發和違規使用的情形主要源於對土地的需求，由於臺灣人口密度極高，特別是在一些特定區域，如臺北、桃園和臺中等都會區，對於土地之需求更加迫切。

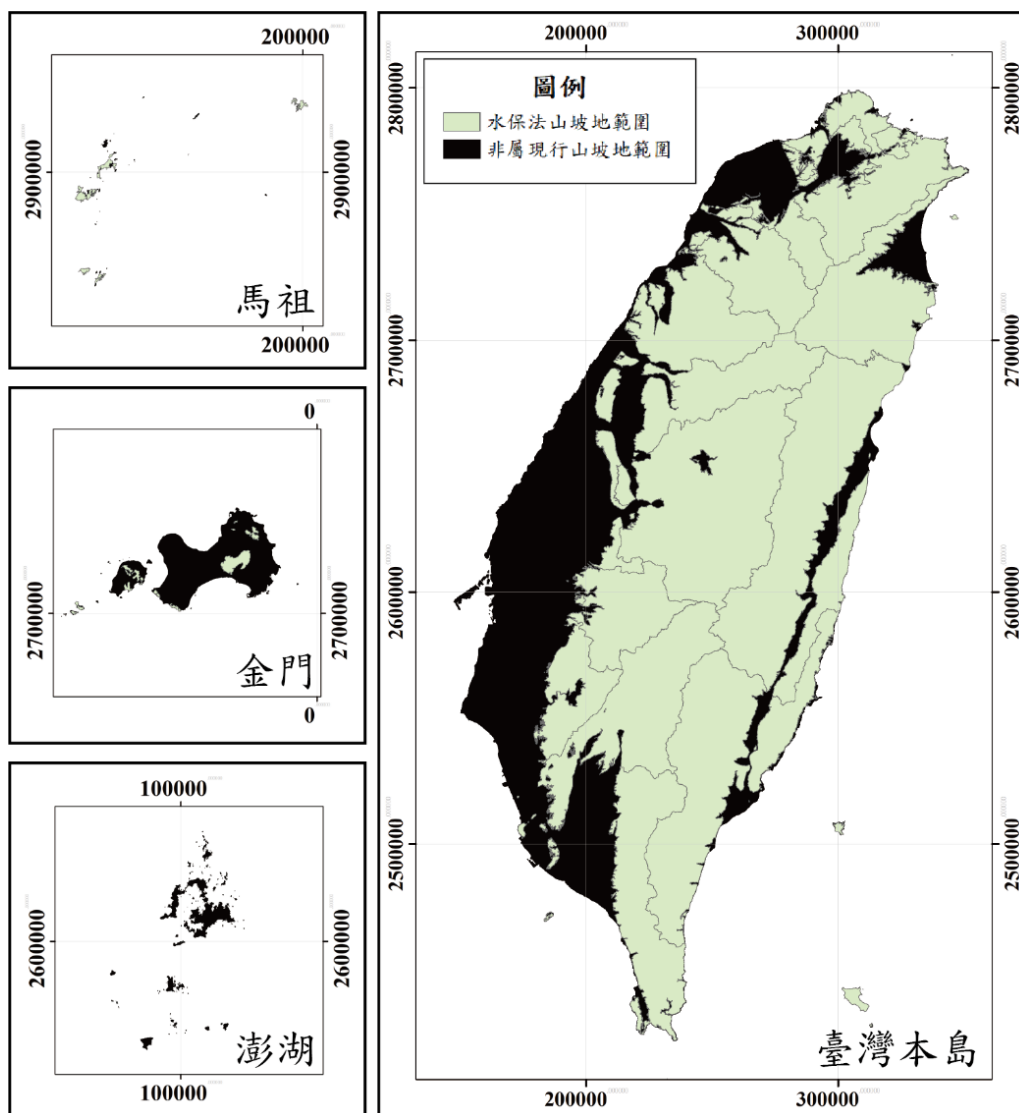
隨著人口增長和城市擴張，對於居住、商業以及農業用途的土地需求不斷增加，然而，過去在制定法規和制度規則上較不完備，使得一些環境敏感地區的土地被過度使用和開發，造成了嚴重的環境問題和生態破壞。此種開發行為不僅破壞了原有的自然景觀和生態系統，還可能引發土壤侵蝕、山崩、洪水等災害，對居民的生命財產安全構成威脅。為了解決這些問題，針對山坡地之劃定需要進行更加嚴格的管理和保護。

為此，政府制定並通過了《山坡地保育條例》、《山坡地土地可利用限度分類標準》、《水土保持法》及《國土計畫法》等，以便對山坡地的開發和使用進行規範。對標高在 100 公尺以上之土地，與標高未滿 100 公尺而其平均坡度在 5% 以上之土地，要求其需進行水土保持之規劃並經核可才能進行使用(有條件不可利用)，而於 55% 以上之土地，則不能進行利用。

於前期計畫中，已針對山坡地之「坡度」劃定準則進行學理實驗面、法規面及管理面之探討，經計畫成果表明，將山坡地之坡度制定為 5% 為合理之表述。為更全面地審視山坡地劃定對於「標高」之規則，於本期計畫中，進行全臺數值高程模型 (DEM) 的高程與坡度計算，並以此為基礎進行深入分析。

第一節 疊圖分析

比較全臺現行《水土保持法》規定的山坡地範圍，如圖 4-1，並探討標高分別在 50 公尺、100 公尺、150 公尺與 200 公尺以上的土地，以及坡度大於 5% 的山坡地之間的面積差異。通過這些比較，期望能夠更清晰地了解不同高程對於山坡地範圍劃定的影響，從而為未來的土地管理和規劃提供科學依據。這項研究不僅有助於現行政策的評估，還能夠為制定更加合理的山坡地利用方案提供參考。



(資料來源：本計畫繪製)

圖 4-1 臺灣現行法規之山坡地範圍

利用法規中對於山坡地之「坡度」定義進行後續針對「標高」的討論，探究標高與坡度的範圍差異。將臺灣本島平均坡度大於等於 5% 之範圍進行詳細分析後，可得到圖 4-2。並藉由此為依據與四種不同標高範圍 50 公尺、100 公尺、150 公尺與 200 公尺進行分析，其各自範圍如圖 4-3，通過將這些數據圖層進行疊加處理，並將重疊部分移除，能夠清晰地看到各個圖層相較於彼此所多出的部分，如圖 4-4 所示。

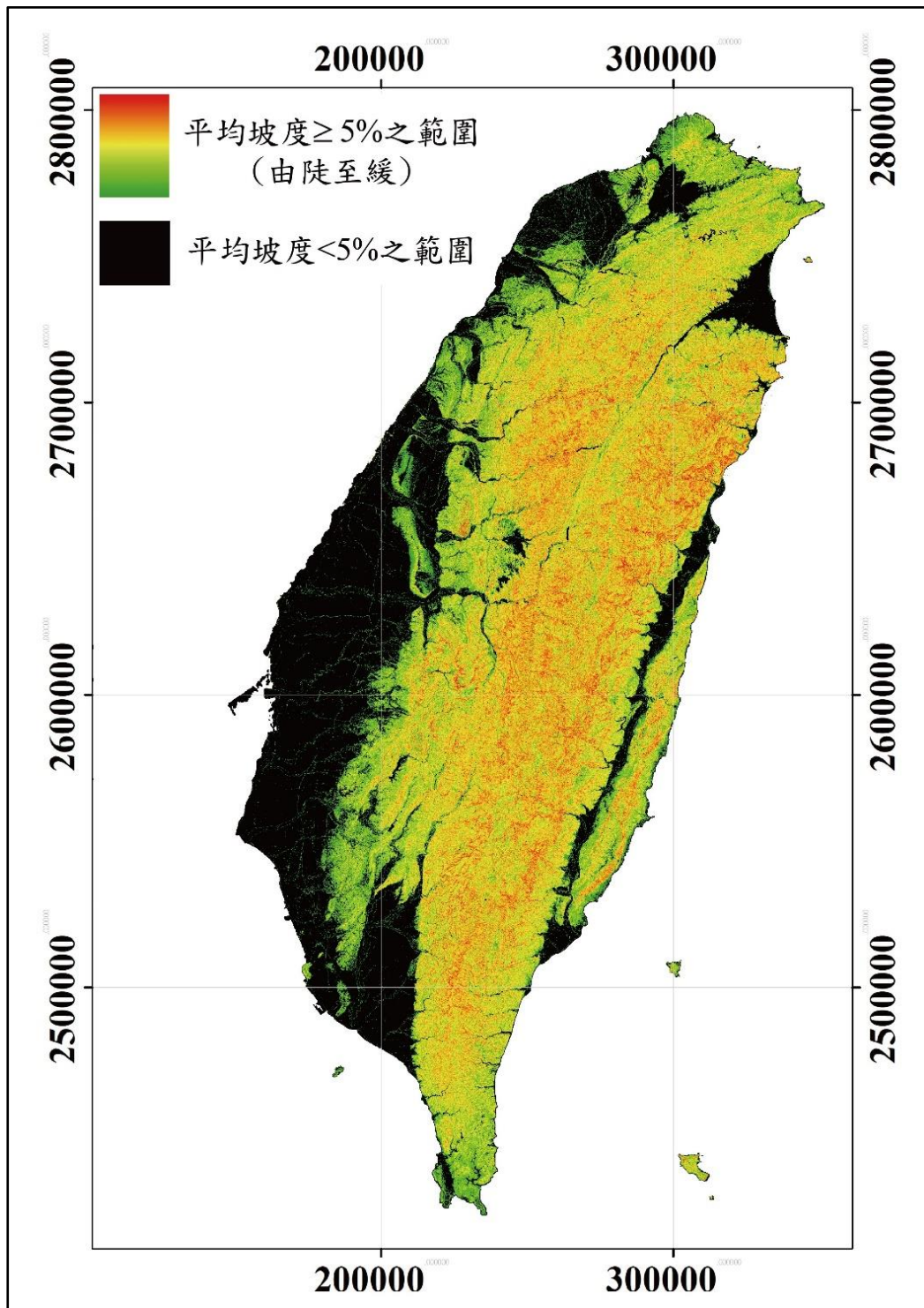
以標高 100 公尺為例，將區域分為兩種情況：

1. 綠色區域：滿足平均坡度大於 5%，但標高未達 100 公尺。
2. 紅色區域：滿足標高 100 公尺，但未達坡度 5% 以上。

從這兩種區域之間面積的差異，可以得出一些重要的結論：

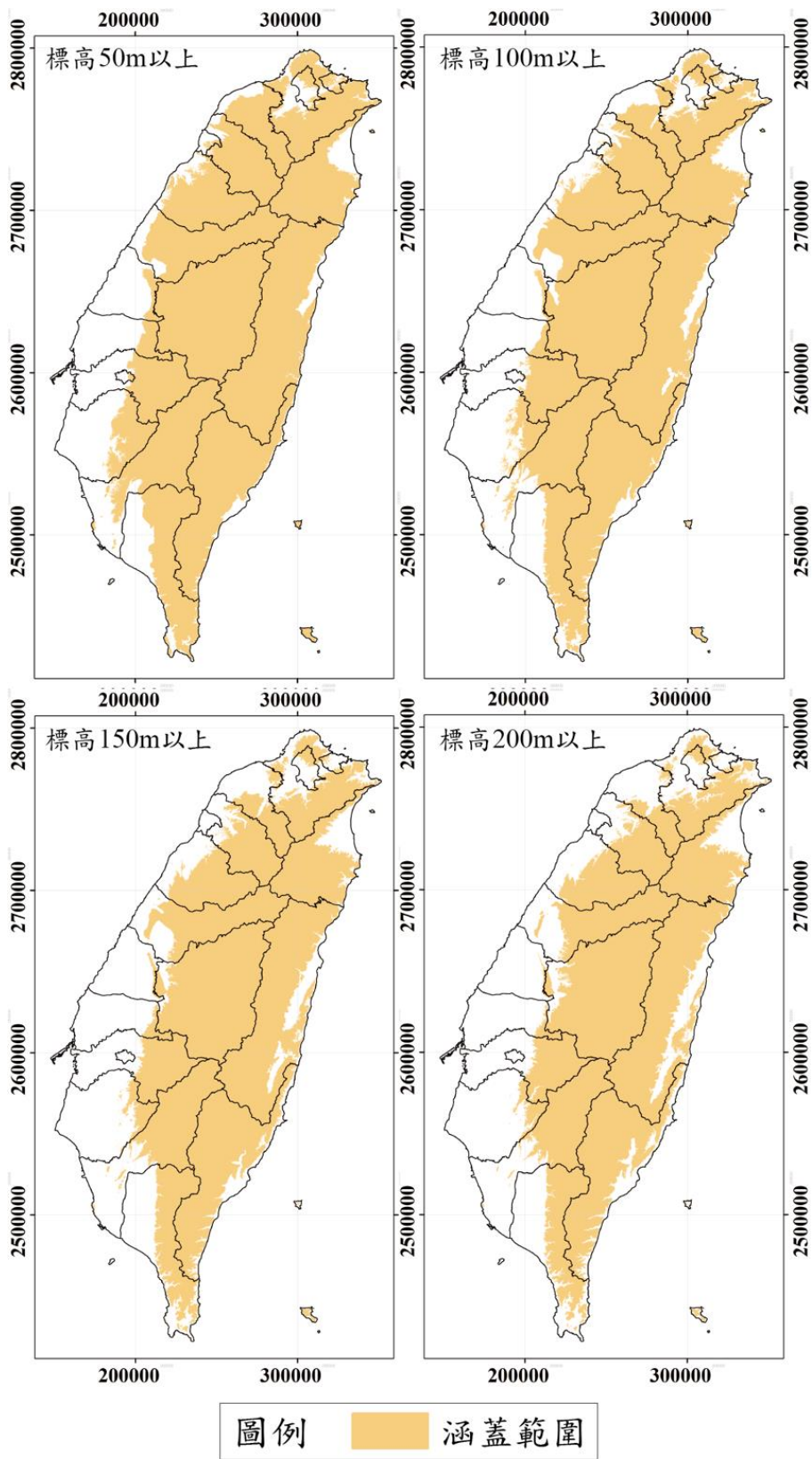
首先，有些區域雖然平均坡度達到了 5% 以上，但其標高未達到 100 公尺，因此這些區域在以標高為山坡地依據時，會被排除在外。然而，由於這些區域的坡度超過 5%，相較於標高更高但坡度較緩的區域，這些區域更容易發生危害，如土壤沖蝕和水土流失等問題。這表明單純依靠標高來界定山坡地可能會忽略一些存在高風險的地區。

另一方面，還有一些區域雖然標高大於 100 公尺，但其平均坡度較緩，未達到 5% 的標準。推測可能是該區域為臺地地形，其中央部分坡度平緩，而四周則相對陡峭。這樣的地形特徵使得這些區域在防止水土流失和保持生態平衡方面具有一定的優勢。



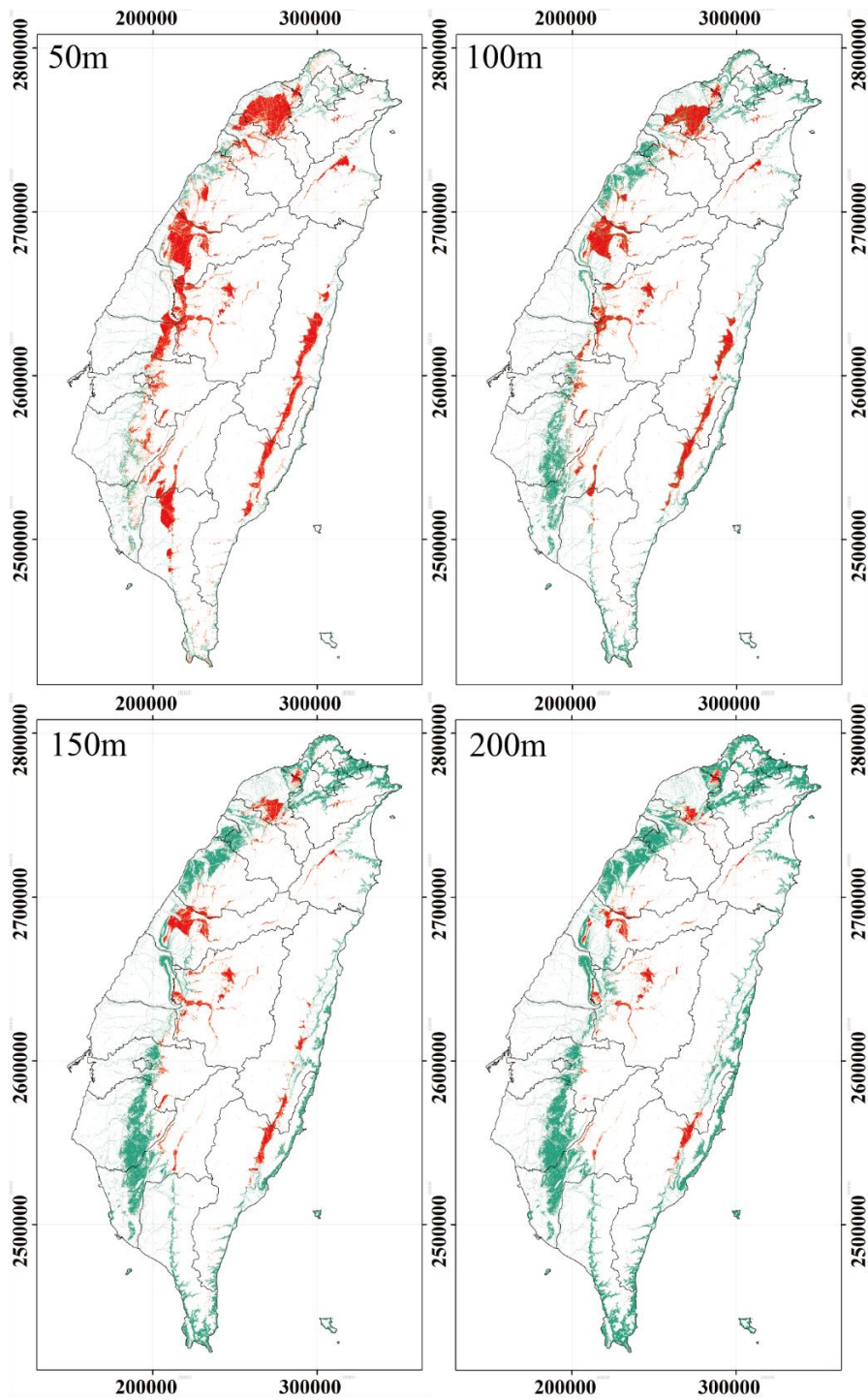
(資料來源：本計畫繪製)

圖 4-2 臺灣本島平均坡度 $\geq 5\%$ 之範圍



(資料來源：本計畫繪製)

圖 4-3 不同標高與坡度 5%以上之面積疊圖



滿足坡度>5%，不在標高範圍內者
 標高範圍內，未達坡度5%以上者

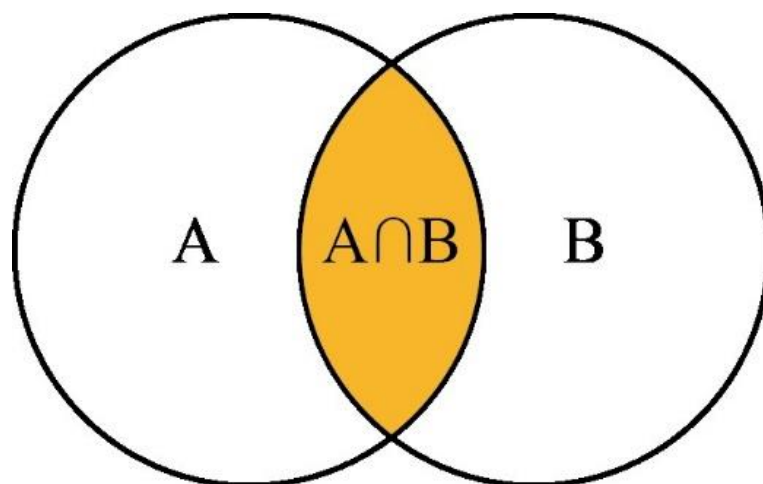
(資料來源：本計畫繪製)

圖 4-4 不同標高與坡度 5% 以上之面積疊圖

綜合以上觀察，可以看出僅僅依靠標高來界定山坡地並不完全科學，應該同時考慮坡度因素，以更全面地評估區域的風險和管理需求。

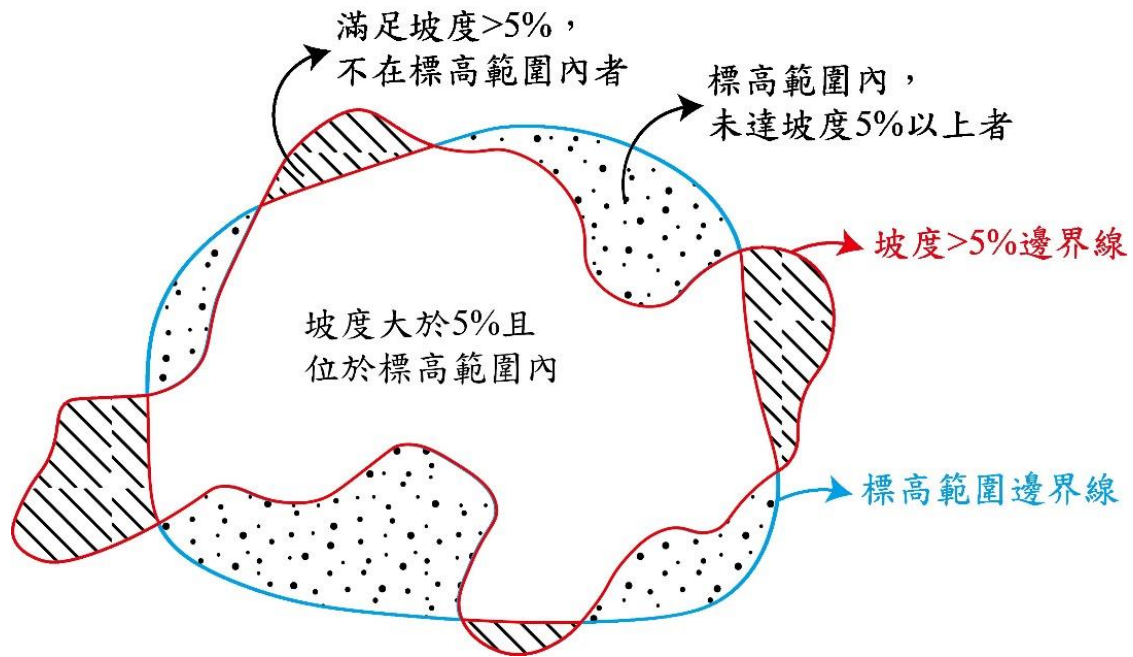
但之所以《水土保持法》規定的山坡地範圍會以標高 100 公尺作為界定，仍有其道理，由圖 4-5 中觀察，四種標高內，以 100 公尺的兩種圖層最為平衡，這樣較不會發生山坡地範圍界定之依據不同而影響土地利用和經濟發展，或應列管山坡地之範圍未納入列管而造成災害風險增加和環境影響加劇等，因此法規才選擇以 100 公尺作為標準。

綜上所述，由於《水土保持法》規定的山坡地標準為「標高在 100 公尺以上者。」及「標高未滿 100 公尺，而其平均坡度在 5%以上者。」。因此本計畫著重於以地形資料驗證山坡地定義之高程，100 公尺是否為判斷山坡地之最適高程。做法則為以平均坡度大於 5%以上之面積作為基準，針對標高介於 50 公尺至 200 公尺之間，以每 10 公尺為間隔，逐一計算各標高範圍內的土地面積，再分別計算各標高涵蓋範圍與平均坡度 5%以上所涵蓋範圍之交集($\cap$)，如圖 4-5 所示，找出一標高，其最適合做為山坡地判斷之依據。



(資料來源：本計畫繪製)

圖 4-5 交集示意圖



(資料來源：本計畫繪製)

圖 4-6 標高範圍與坡度 5%之交集

圖 4-6 為標高範圍與坡度大於 5%區域的交集示意圖。圖中的斜線部分  代表前文所述之情況，即某些區域雖然符合坡度大於 5% 的條件，但不在所選定的標高範圍內。這樣的情形可能導致山坡地範圍被少劃定，從而忽略了潛在的高風險地區。由於這些區域的坡度較陡，儘管其標高低於劃定範圍，實際上卻可能更容易發生危害，如土壤侵蝕和水土流失等問題。

此外，圖 4-6 中圓點部分  則代表位於標高範圍內，但未達到坡度 5% 的區域。這些區域可能具有臺地地形特徵，高程較高，但平坦而不陡峭，符合可供開發利用的土地條件。然而，將其錯誤劃入山坡地，可能會導致土地可利用面積減少，影響土地的合理利用與規劃。

因此，為了有效劃定山坡地範圍，需選取一適當標高，使圖 4-6 中圓點部分  的範圍盡可能縮小，亦即位於標高範圍內但未達坡

度 5% 的區域應儘量減少。同時，應增加白色部分  的面積，這代表符合標高和坡度條件的地區，或者減少斜線部分 ，這些是符合坡度大於 5% 但不在標高範圍內的區域。這樣的標高選擇將有助於精確界定山坡地範圍，使得劃定地區能夠既涵蓋具有較高坡度、易受環境危害的地區，又避免誤將適合開發的平緩地區納入山坡地範圍。

了解上述方法後，可以進一步透過分析山坡地範圍的兩項指標——「面積重合率」與「面積包覆率」，來確定最適合的標高選擇。這兩項指標有助於量化標高與坡度範圍的匹配程度，從而找到最佳高程。以下將詳細介紹這兩個指標的具體涵義及其計算方法：

(一) 面積重合率

1. 不同標高與坡度 5% 重疊之部分佔該標高面積之百分比。
2. 面積重合率 = $\frac{A_z \cap A_{5\%}}{A_z}$
3. 高程越高，此高程涵蓋面積越小，與 5% 重疊面積也越小，但能更精準涵蓋到 5% 之範圍，因此隨著高程提高，該高程與 5% 的重合率也隨之提升。

(二) 面積包覆率

1. 不同標高與坡度 5% 重疊之部分佔坡度 5% 面積之百分比。
2. 面積包覆率 = $\frac{A_z \cap A_{5\%}}{A_{5\%}}$
3. 高程越高，此高程涵蓋面積越小，同時符合 5% 的面積也隨之減少，因此隨著高程的提高，5% 包覆率也隨之降低。

透過面積重合率與面積包覆率這兩項指標的分析，可以有效確立最佳標高，不僅能確保劃定山坡地範圍的科學性，也能避免誤將不符合條件的區域納入其中。根據此種方法，能夠更精確地識別出可能面

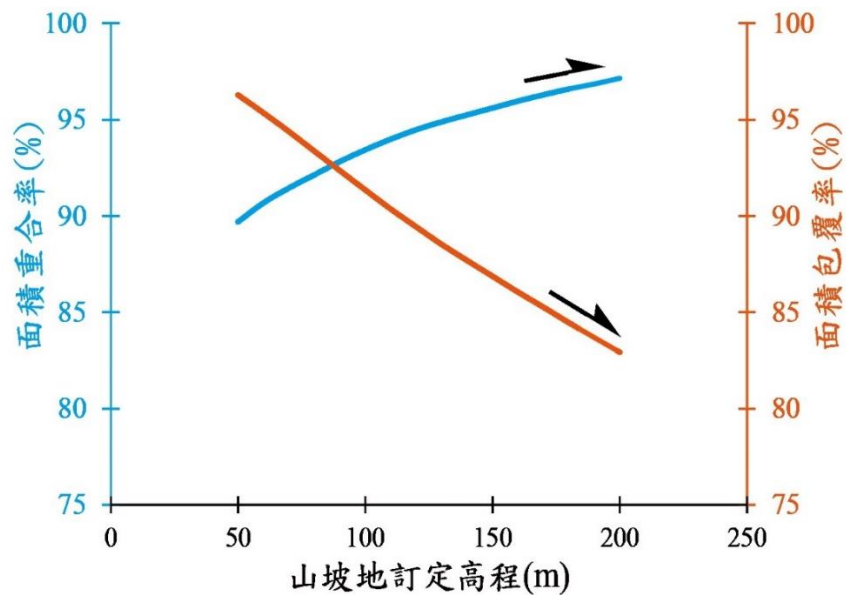
臨環境風險的高坡度區域，並排除那些雖位於標高範圍內但不具高坡度的土地，從而實現土地管理的最佳化。

表 4- 1 為利用地理資訊系統（GIS）根據上述計算方法所得到的面積重合率與面積包覆率之結果。根據表中數據，進一步繪製雙 Y 軸圖，如圖 4- 7 所示，該圖展示了這兩項指標在不同標高下的變化趨勢。且由圖可以觀察到，面積重合率和面積包覆率的曲線在接近 100 公尺處相交，這表明在此標高下，兩項指標均達到理想的平衡點。因此，標高 100 公尺被認為是劃定山坡地範圍的最佳參考標準。

表 4- 1 各標高之面積重合率和面積包覆率

標高(m)	面積重合率(%)	面積包覆率(%)
50	89.703	96.294
60	90.688	95.360
70	91.456	94.389
80	92.143	93.371
90	92.827	92.361
100	93.437	91.356
110	93.990	90.364
120	94.478	89.437
130	94.889	88.526
140	95.250	87.689
150	95.607	86.870
160	95.965	86.048
170	96.290	85.263
180	96.594	84.456
190	96.854	83.685
200	97.147	82.925

(資料來源：本計畫繪製)



(資料來源：本計畫繪製)

圖 4-7 面積重合率和面積包覆率交會圖

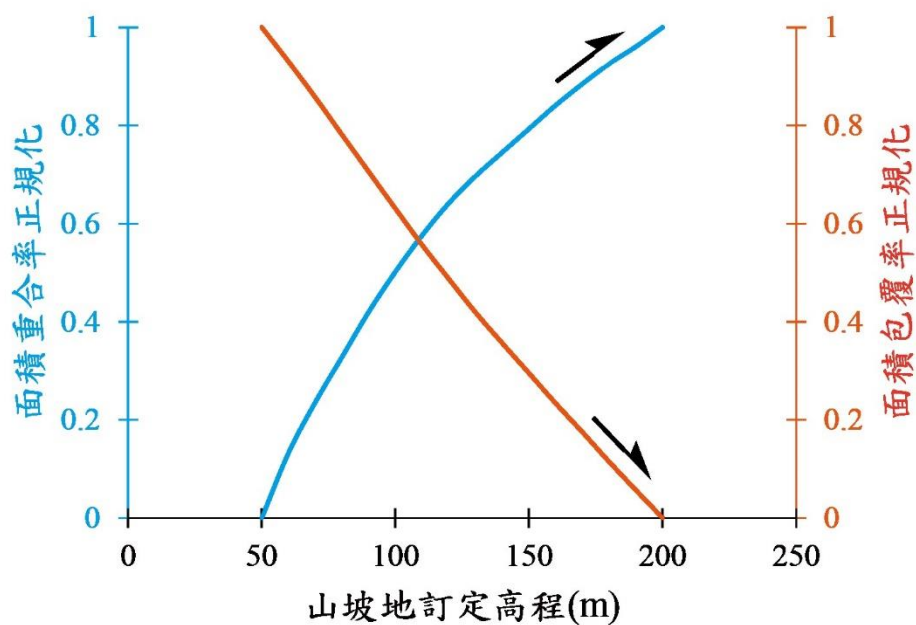
為了提高數據分析的準確性，再分別將面積重合率與面積包覆率正規化，數據如表 4-2 所示，此作法的意義在於將兩項指標置於相同的量尺上，使其具有可比較性與一致性，從而能夠更加直觀和精確地評估不同標高下的數據變化。正規化的基本原理是將原本分佈於不同範圍的數值壓縮到一個統一的尺度，介於 0 到 1 之間。這一轉換有助於消除數據量級上的差異，避免單一指標因其原始數值範圍過大或過小對分析結果造成不公平的影響。

正規化處理不僅能夠提升數據分析的準確性與直觀性，還有助於更全面地理解和比較不同標高下的面積重合率與面積包覆率的變化趨勢。圖 4-8 的結果清晰展示了兩項指標在同一尺度上交會於接近 100 公尺的標高，印證了這一標高作為山坡地劃定依據的合理性。

表 4-2 兩指標正規化

標高	面積重合率正規化	面積包覆率正規化
50	0	1
60	0.132	0.930
70	0.236	0.857
80	0.328	0.781
90	0.420	0.706
100	0.502	0.631
110	0.576	0.556
120	0.641	0.487
130	0.697	0.419
140	0.745	0.356
150	0.793	0.295
160	0.841	0.234
170	0.885	0.175
180	0.926	0.115
190	0.961	0.057
200	1	0

(資料來源：本計畫繪製)



(資料來源：本計畫繪製)

圖 4-8 面積重合率和面積包覆率正規化交會圖

若想再進一步驗證，可以通過將兩項正規化後的指標相乘，如表 4-3，並尋找乘積的最大值，確定最適合的標高。面積重合率和面積包覆率各自代表了不同的評估角度，前者側重於符合條件區域的精準性，後者側重於覆蓋範圍的全面性。將兩者的正規化結果相乘可以綜合考量兩項指標的表現，最大乘積值即代表兩者達到平衡的最佳點。

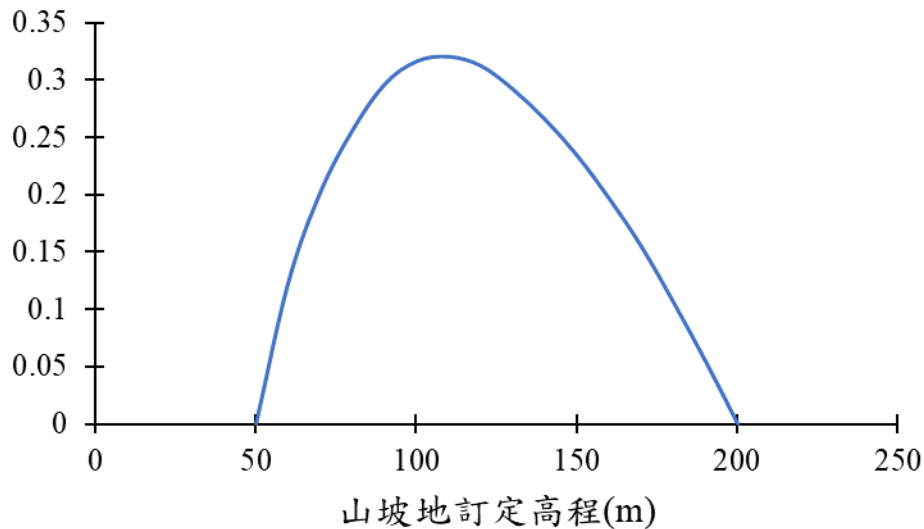
當正規化後的面積重合率和面積包覆率同時達到較高的值時，表明該標高既能很好地覆蓋符合坡度要求的區域，又能確保該區域與實際的山坡地範圍高度吻合。因此乘積的最大值表明其為最佳標高，該標高既能有效覆蓋高坡度區域，又能最大限度減少誤劃區域的風險。

圖 4-9 為面積重合率與面積包覆率經過正規化後相乘所得的趨勢圖。從該圖中可以清楚的看到，乘積的最大值出現在接近 100 公尺的標高處，這一結果與前述分析一致，進一步驗證了先前得出的結論：標高 100 公尺是劃定山坡地範圍的最佳參考標準。

表 4-3 兩指標正規化後相乘

標高	正規化相乘
50	0
60	12.308
70	20.198
80	25.607
90	29.622
100	31.638
110	32.043
120	31.248
130	29.187
140	26.551
150	23.405
160	19.646
170	15.473
180	10.602
190	5.459
200	0

(資料來源：本計畫繪製)



(資料來源：本計畫繪製)

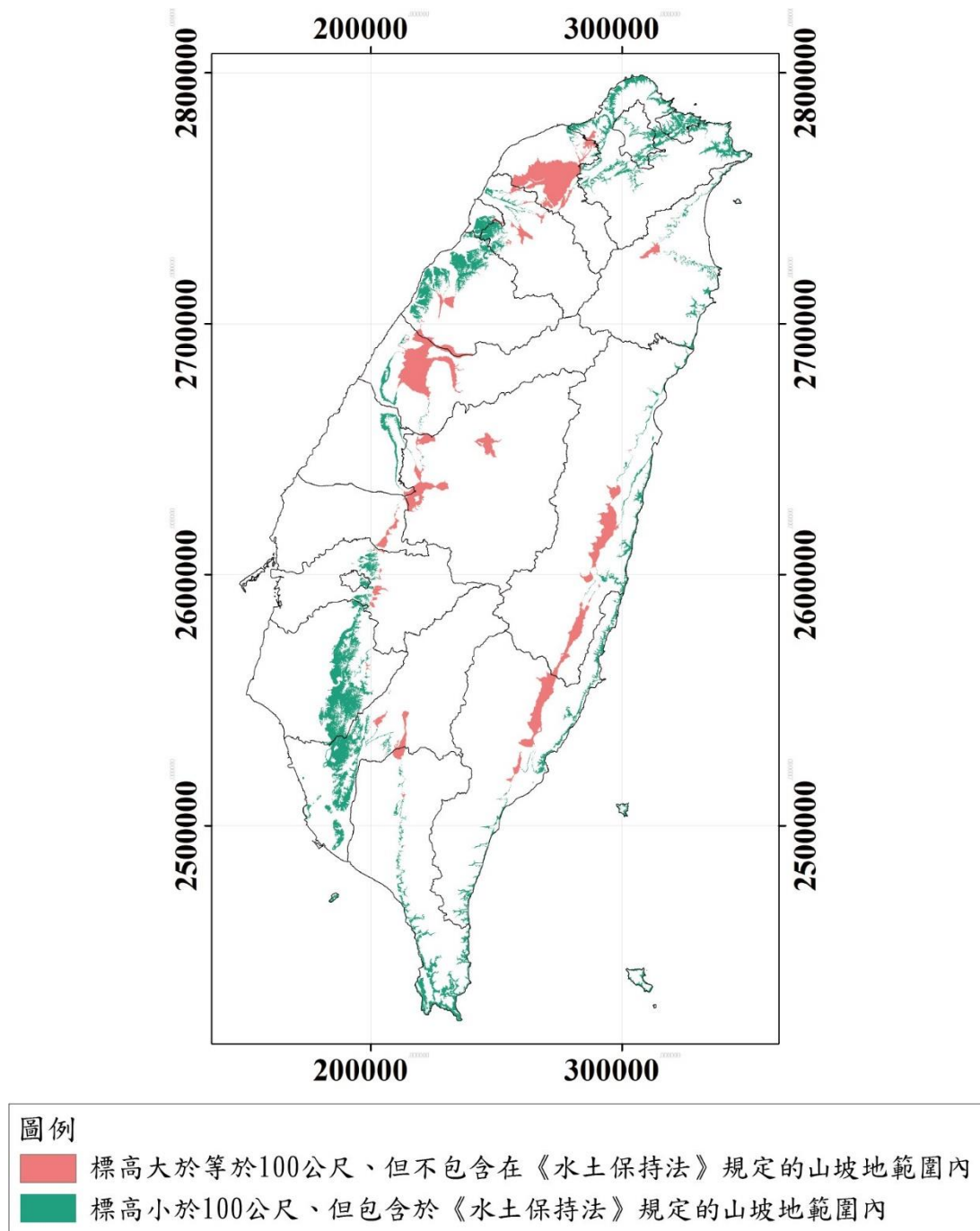
圖 4-9 兩指標正規化後相乘之趨勢圖

綜上所述，法規選擇使用 100 公尺作為判斷山坡地的標準，除了是考量前部分經地理資訊系統疊圖計算所得結果，同時也是基於機關人員在管理層面上的便利性，與民眾的接受度，才選擇使用 100 公尺作為標準。在實際操作中，使用整數標高 100 公尺也更為簡單易行，便於記憶和計算，更有助於統一管理標準，減少管理上的複雜性和潛在的爭議，避免因不同標準而產生的混淆和管理困難。

第二節 人口資料與山坡地相關分析

當我們比較臺灣現行《水土保持法》規定的山坡地範圍與標高超過 100 公尺的區域時，利用地理資訊系統（GIS）進行疊圖，將重疊部分刪除，如圖 4-10，可以觀察到一現象：粉色部分代表標高大於 100 公尺的地區，但未被包含在《水土保持法》規定的山坡地範圍內，這些地區擁有足夠的標高條件，理論上應該被規劃為山坡地，但卻有列入現行法律的保護範圍內。

造成這種現象的可能原因之一是地形特徵。這些被排除的粉色區域可能屬於臺地或較高海拔平原，不符合山坡地的嚴格定義。

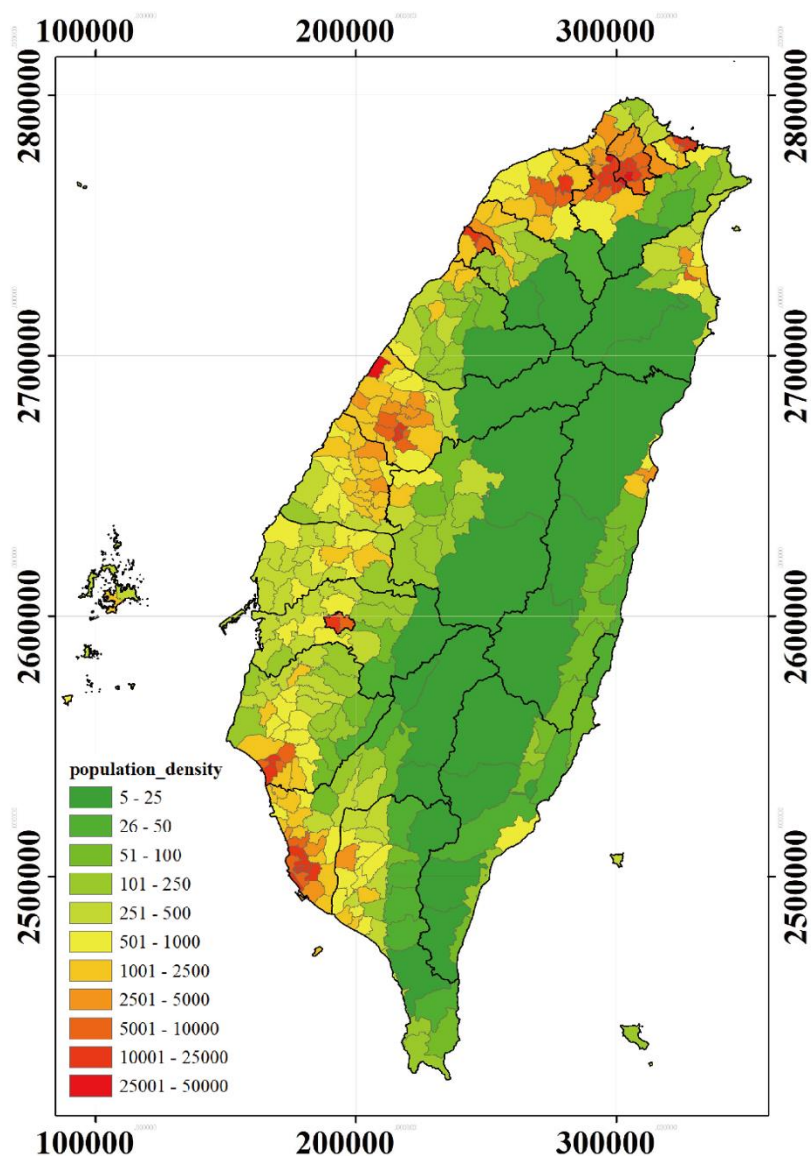


(資料來源：本計畫繪製)

圖 4-10 標高 100 公尺以與《水土保持法》規定的山坡地面積疊圖

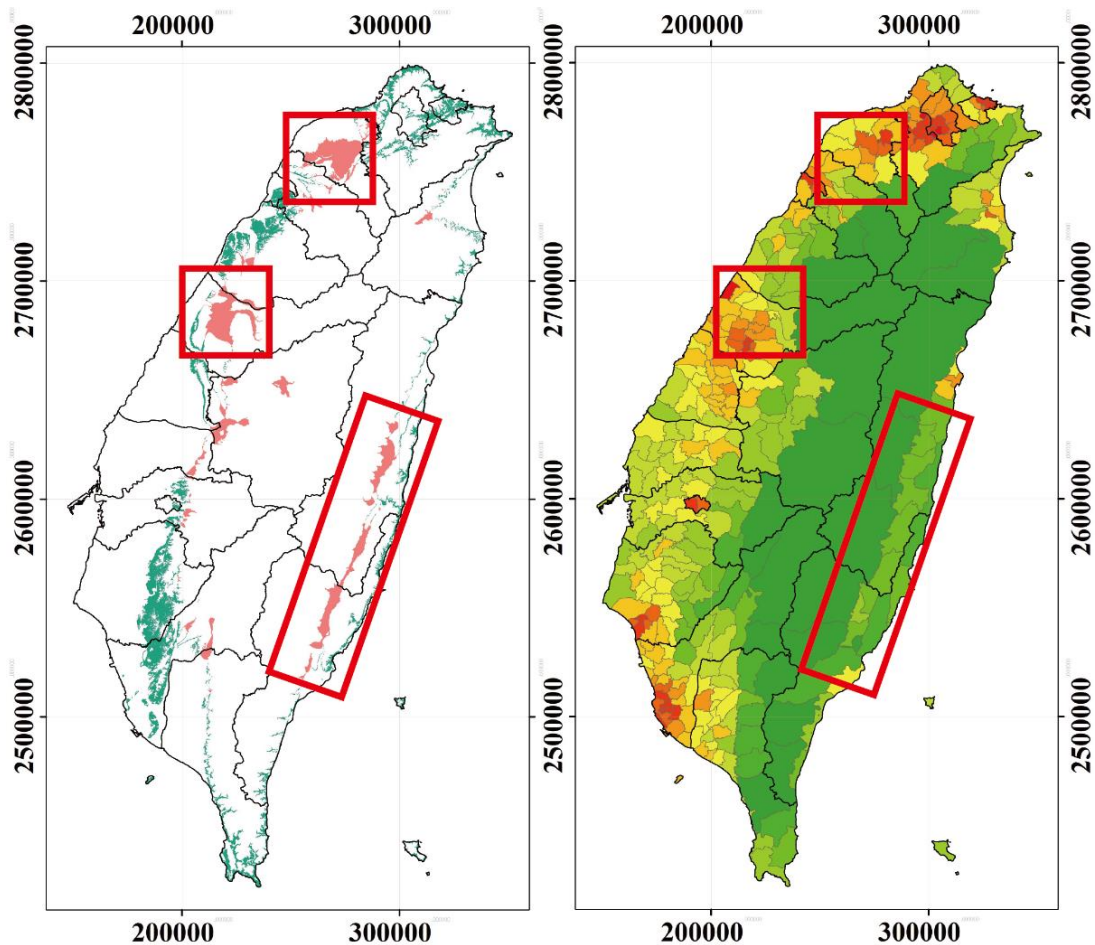
進一步對比《水土保持法》中山坡地範圍與人口密度圖(圖 4-11)，

可以發現這些被排除的粉色區域通常位於人口稠密的地方，這也與其作為發展重點區域的特性相符，如圖 4- 12 所示。例如，臺中地區的大肚臺地和桃園地區的桃園臺地，這些地方擁有較大的面積，同時也是人口稠密的重要發展區域；亦或是花東縱谷平原，因東西兩側有海岸山脈和中央山脈，中間較平坦，高程相對較高，是東部少數地形平坦適合農業活動和人類聚居，因此不列入山坡地範圍。



(資料來源：本計畫繪製)

圖4- 11 臺灣人口密度分布圖



(資料來源：本計畫繪製)

圖 4-12 臺灣人口稠密區與山坡地關係圖

雖然這些地區未被《水土保持法》保護範圍所覆蓋，但其環境管理和土地利用仍然需要特別注意，人口密集的地區通常面臨土地開發壓力，因此如何有效管理這些地區的水土資源尤為重要，應避免可能帶來的水土流失、生態破壞及其他環境問題。因此合理的地形分類和精確的法律規定對於保護和合理利用臺灣的山坡地資源至關重要。必須在保護自然環境和促進地區發展之間找到平衡，以實現可持續的土地利用和環境保護目標。

過去在訂定標高 100 公尺為山坡地判別標準，其中原因確實有其歷史背景和行政管理的便利性考量。在法律及科技不全面發展的時代，

政府需要一個簡單明確的標準來區分山坡地和其他地形，以便於行政管理和執行。標高 100 公尺是一個相對容易量化和標示的標準，適合用於行政區劃和土地利用規劃；在訂定此標準時，通常會考慮到當地地形的一般特徵，標高 100 公尺以上的地區通常具有較明顯的坡度和水土保持的需求，因此被視為需要特別管理和保護的區域；設定標高 100 公尺作為山坡地判別標準，有助於政府資源的合理分配，這些區域可能需要進行更多的水土保持工作或受到開發限制，因此需要明確的界定來確保資源的有效利用和環境保護。最後，隨著科技進步和法律環境的變化，現今可能需要更多元化和科學化的方法來評估和管理山坡地，例如：結合地形分析、坡度、土壤特性和水文過程等多重因素，可以更準確地界定和管理山坡地。

第五章 學理計算

在前期計畫中，已針對臺灣中部、南部土樣進行分析，故本計畫藉由採集北部、東部之代表土樣，以與前期計畫不同之土壤、地貌及坡度進行實驗，採集現地土壤與模擬土壤被水流沖刷的方式盡可能地模擬現地狀況。在施作相關實驗前，需先了解土壤之基本物理及力學性質，最後測試土壤顆粒之臨界啟動應力以供參考。

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：

1. 選點位置於人口稠密區周遭。
2. 位於原訂標準下之山坡地上。
3. 查證土壤調查報告中較具代表性之土樣種類。

於前期計畫已採集中區土樣(南投縣仁愛鄉烏溪上游北港溪的支流蘭島溪匯流口)，及南區土樣(高雄市桃源區高屏溪上游荖濃溪的支流玉穗溪沖積扇)，以代表臺灣中部及南部地區山坡地之代表土樣，了解不同地理分區下土壤沖蝕速率之差異。

第一節 土樣選擇說明

本計畫藉由選擇臺灣北部及東部兩處不同地區之土樣進行土壤沖蝕相關之實驗，在計畫初期階段，提供樣區選點供機關人員參考，如下：

一、北部土樣選擇

藉由農業部農業試驗所土壤資料供應查詢平臺，1986 年由臺灣省政府農林廳山地農牧局出版之「臺北縣市暨基隆市山坡地土壤調查報告 土調報告」及 1986 年由臺灣省政府農林廳山地農牧局出版之「宜蘭縣山坡地土壤調查報告 土調報告」進行土地資料的查找。由於土壤分布狀況短時間內並不會大幅度的變動，且在資料查找中，無法找到更新的資訊，故以目前資料為主，可彙整出北部地區土壤組成如表 5-1。由表中可知，北部地區具代表性的土壤為石質土，在各縣市皆具有一定的比例；若單以臺北、新北市及基隆市而言，具代表性之土壤為石質土及幼黃壤。兩者土樣分布區位分別表 5-2 及表 5-3。

表 5-1 北部地區土壤組成比較

出版時間	1986/12/1	1986/11/1	1962/6/1	1986/1/1
縣市 土壤	臺北縣市 暨基隆市	宜蘭縣	臺灣省桃園縣	桃園縣
第一多	幼黃壤	石質土	紅壤	石質土
第二多	石質土	崩積土	石質土	崩積土
第三多	黃壤	黃壤	沖積土	紅壤

(資料來源：本計畫彙整)

表 5-2 石質土分布區位（依照土調報告彙整）

縣市	臺北縣市 暨基隆市	宜蘭縣	桃園縣
地區	烏來鄉 三峽鎮 坪林鄉 平溪鄉 雙溪鄉 石碇鄉	大同鄉 南澳鄉 礁溪鄉 蘇澳鎮 三星鄉 頭城鎮 冬山鄉 員山鄉	店子湖（楊梅區、龍潭區） 油羅山、曙光、復興鄉 大溪鎮

(資料來源：本計畫彙整)

表 5-3 幼黃壤分布區位

縣市	臺北縣 (新北市)	臺北市	基隆市
地區	烏來鄉 三峽鎮 坪林鄉 石碇鄉 新店市	士林區 內湖區	七堵區 暖暖區

(資料來源：本計畫彙整)

本計畫提出幾處可供署裡進行採樣樣區之選擇：

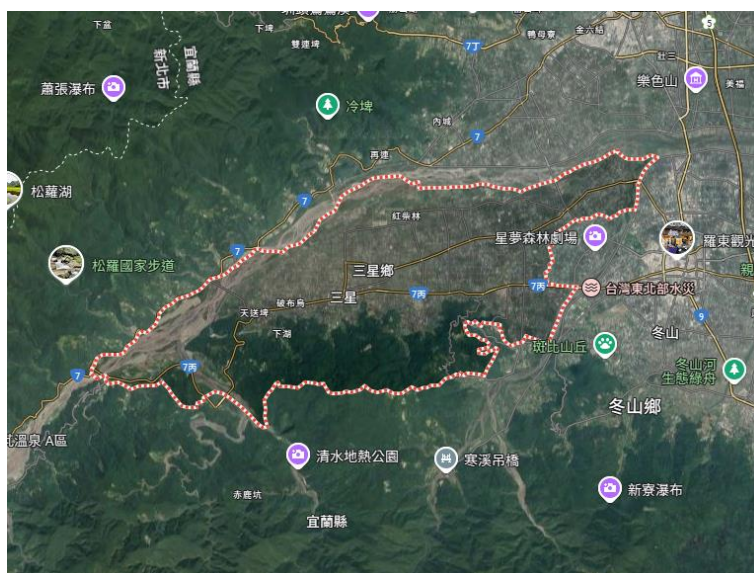
(一)桃園縣龍潭區(石質土)：種植茶葉及稻米、有機蔬菜等。



(資料來源：google map)

圖 5-1 桃園縣龍潭區地圖

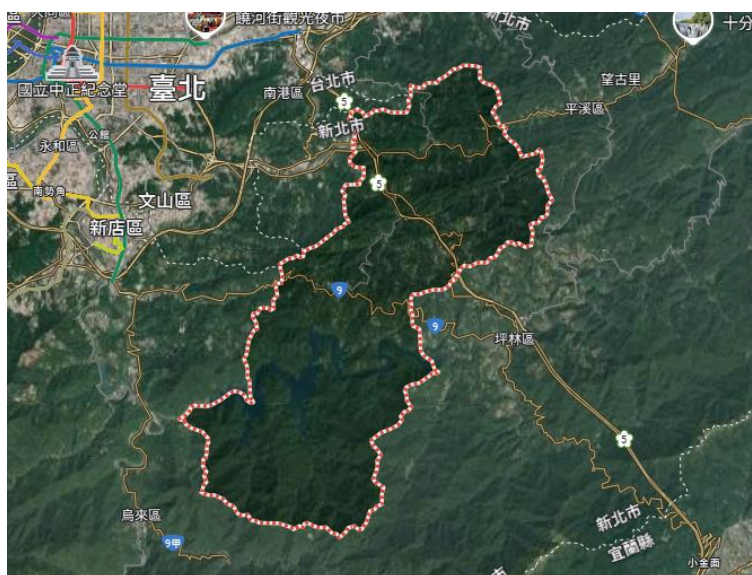
(二)宜蘭縣三星鄉(石質土)：多數為農業使用，種植多樣作物，包含蔥、蒜、銀柳、上將梨等皆為當地知名作物。



(資料來源：google map)

圖 5-2 宜蘭縣三星鄉地圖

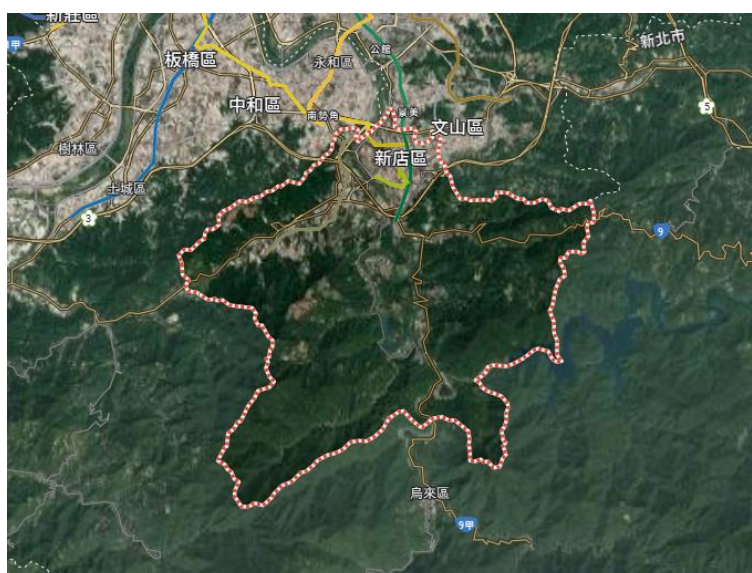
(三)石碇區(石質土、幼黃壤)：為地質敏感地區(地滑)、種植茶葉。



(資料來源：google map)

圖 5-3 新北市石碇區地圖

(四)新店區(幼黃壤)：可至山區進行採樣。



(資料來源：google map)

圖 5-4 新北市新店區地圖

本計畫與機關人員討論後，決議至新北市新店區進行採樣，採樣地點為新北市新店區獅頭山登山步道向上 100k 處，採樣現地如圖 5-5，以下為當地之介紹：

獅頭山位於新北市新店區，鄰近文山區及坪林區，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(游能悌、鄧屬予，1999)。依據臺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，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。



(資料來源：本計畫拍攝)

圖 5-5 獅頭山現地表層土壤樣貌

表 5-4 新北市土壤類別面積統計表

土壤	亞類	百分比
紅壤	洪積層紅壤	0.55
	安山岩紅壤	0.79
黃壤	砂頁岩黃壤	7.85
	安山岩黃壤	2.11
幼黃壤	砂頁岩灰黃色幼黃壤	50.60
	安山岩灰黃色幼黃壤	4.23
	砂頁岩暗灰色幼黃壤	2.06
	安山岩暗灰色幼黃壤	0
黑色土		0.35
沖積土		1.34
石質土	砂頁岩石質土	20.48
	安山岩石質土	2.38
雜地		7.26

(資料來源：農村水保署,1986)

二、東部土樣選擇

本計畫藉由農業部農業試驗所土壤資料供應查詢平臺於 1979 年出版之「花蓮臺東縣土壤調查報告 土調報告」及 1984 年出版之「花蓮臺東縣山坡地土壤調查報告 土調報告」資料進行查詢，彙整出東部地區土壤組成如表 5-5：

表 5-5 東部地區土壤組成比較

出版時間	1984/4/1	1979/12/1	
縣市 土壤	山地農牧局	農業試驗所	
	花蓮＋臺東	花蓮	臺東
第一多	崩積土	沖積土	沖積土
第二多	石質土	黃壤	黑色土
第三多	黑色土		

(資料來源：本計畫彙整)

山地農牧局之土調報告表示：考量農業試驗所已將沖積土的部分調查完畢，所以其不將沖積土納入，但根據山地農牧局之調查，沖積

土所佔花蓮、臺東比例為最高，如表 5-6，因此將其列為東部最具代表性土壤。其次為崩積土（表 5-7）與黑色土（表 5-8）。

表 5-6 沖積土分布區位

縣市	花蓮	臺東
地區	北埔 花蓮市西、西北、西南 吉安 壽豐 豐田 鳳林 富源 瑞穗 玉里	關山 臺東市西南豐里 臺東市西北利家 卑南 知本 美和

(資料來源：本計畫彙整)

表 5-7 崩積土分布區位：海岸山脈中段至南段

縣市	花蓮	臺東
地區	瑞穗 玉里 光復 壽豐	長濱 富里 東河 初鹿

(資料來源：本計畫彙整)

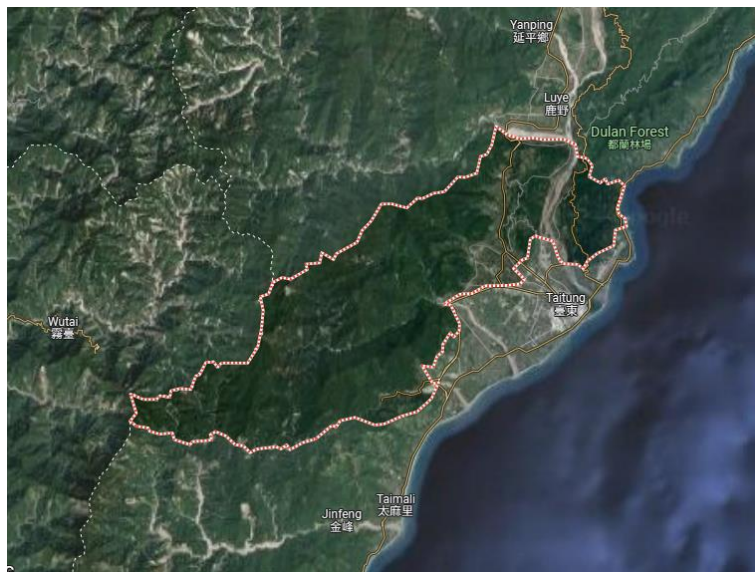
表 5-8 黑色土分布區位：分布於海岸山脈地區

縣市	花蓮	臺東
地區	壽豐 玉里以東之觀音至瑞穗東 秀姑巒溪南一帶 鳳林以東之六階鼻北行至 水連鄉之月眉以至山脈之 北端	池上 富里 東河至成功 初鹿至鹿野

(資料來源：本計畫彙整)

本計畫推薦採樣地點如下：

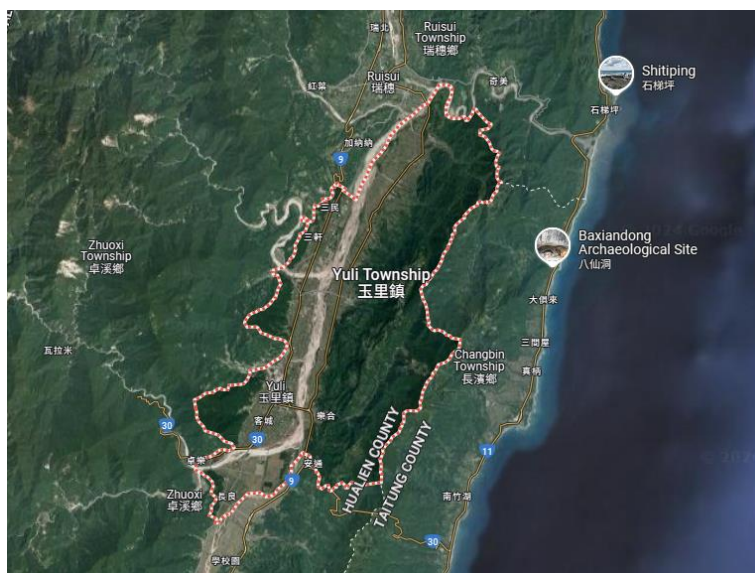
(一)卑南鄉知本地區：種植荖葉、荖花、茶、釋迦、柑桔等。



(資料來源：google map)

圖 5-6 臺東縣卑南鄉知本地區地圖

(二)花蓮縣玉里鎮：種植生產重要的農特產品有稻米、金針、文旦柚、茶葉、西瓜及火龍果等。



(資料來源：google map)

圖 5-7 花蓮縣玉里鎮地圖

本計畫與機關人員討論後，決議採用東部土壤點位為：臺東縣卑南鄉知本溪流域周遭，採樣現地如圖 5-8，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，土壤面積表如表 5-9。依據臺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。



(資料來源：本計畫拍攝)

圖 5-8 知本地區採樣現地情形

表 5-9 臺東縣卑南鄉土壤類別面積統計表

土壤	面積(公頃)	百分比
紅壤	88	0.9
黃壤	1576	16.5
黃棕色崩積土	1726	18.1
灰暗色崩積土	1725	18.1
石質土	1285	13.5
沖積土	13	0.1
其他	3120	32.7
合計	9533	100.0

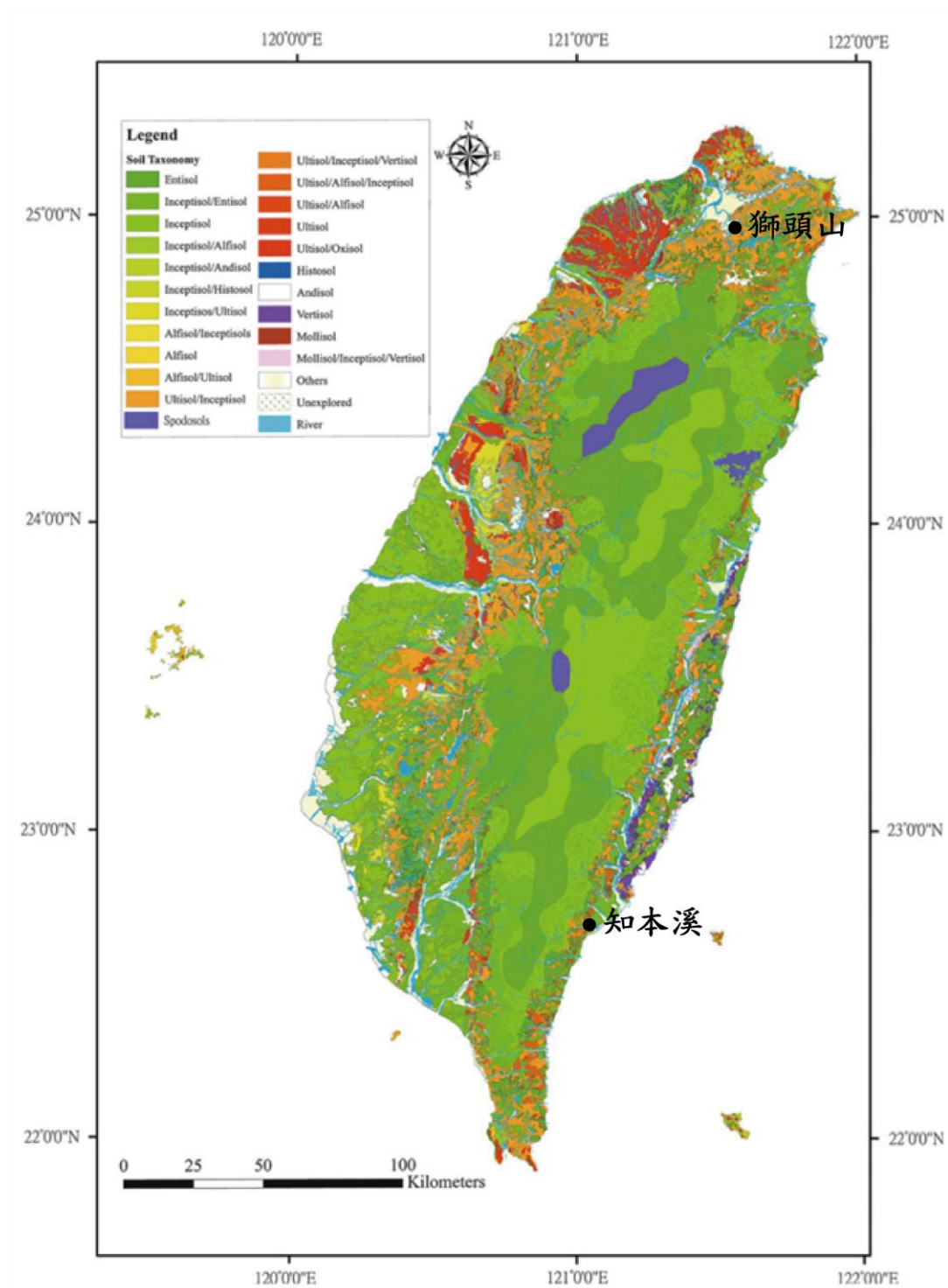
(資料來源：農村水保署,1984)

上述之北部、東部土樣採樣位置依據美國新土壤分類系統(圖 5-9)及土壤圖輯圖(圖 5-10)進行分析後可得到表 5-10 之結果。

表 5-10 土樣種類與特性彙整表

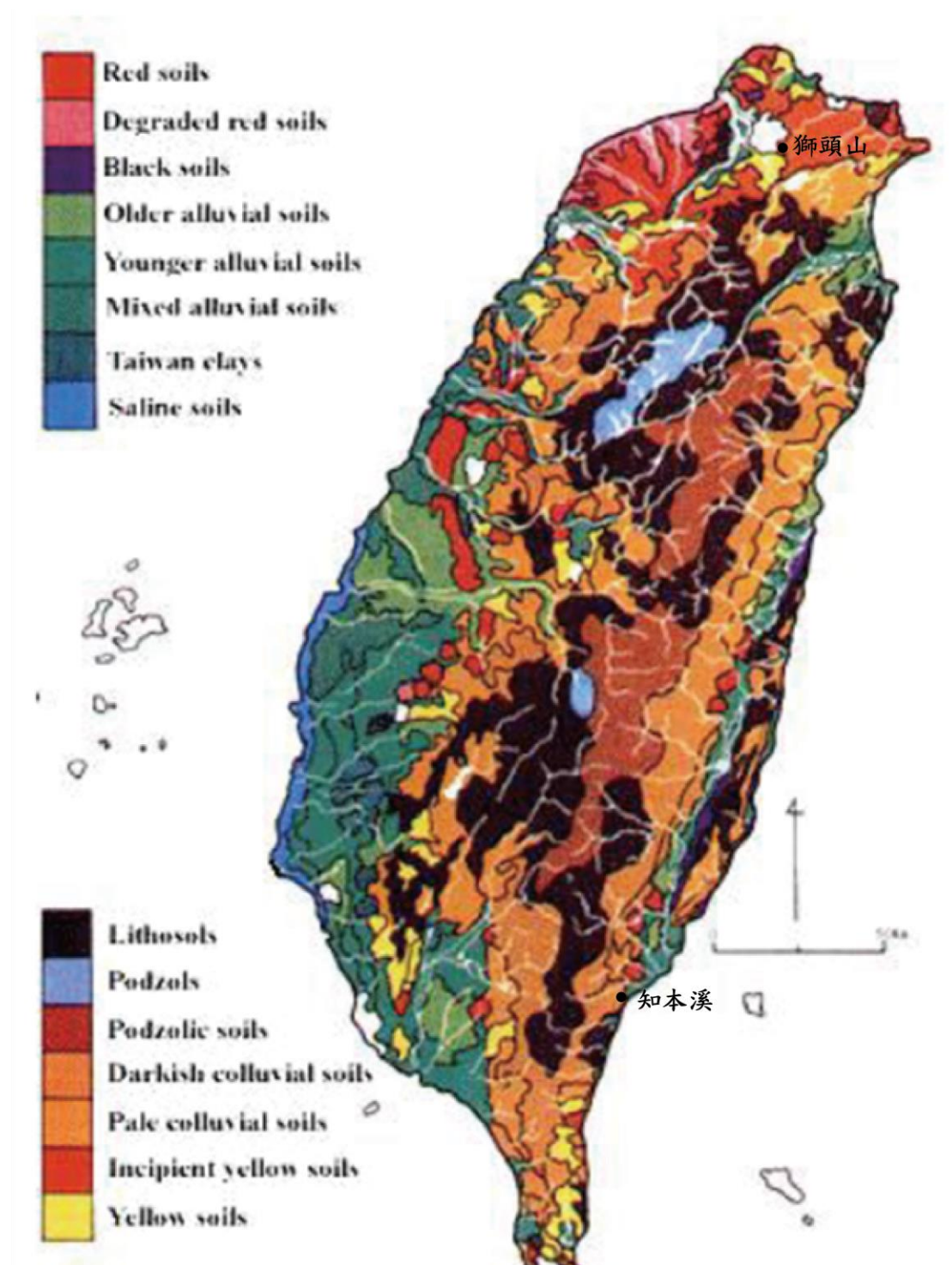
採樣地區	土壤種類	美國新土壤分類系統土壤性質	特性
北部地區	幼黃壤 (Incipient yellow soil)	Ultisol-Inceptisol	土樣介於極育土到弱育土之間，為一發育不完全之黃壤
東部地區	淡色崩積土 (Pale colluvial soils)	Entisols-Inceptisols	新成土到弱育土之間，崩積土形成原因為鄰近地區之土壤物質由高處滾落、滑降、崩塌、土石流等位移作用而生成者

(資料來源：本計畫彙整)



(資料來源：簡士豪,2015)

圖 5-9 美國新土壤分類系統(1997)為基礎之臺灣土樣分布圖



(資料來源：謝兆申、王明果,1991)

圖 5-10 美國舊土壤分類系統(1960)為基礎之臺灣土樣分布圖

第二節 土壤基本物理性質實驗

為瞭解土砂之基礎特性，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。

一、土壤水分係數

為了使實驗條件符合現地狀況，需測量水分係數。由於土壤經烘乾後將會改變部分基本性質，無法正確反應實驗使用，故需先將土壤的水分含量測出，以供所有實驗數據換算參考。

(一)實驗步驟如下：

- 1.使用 10 號篩(篩孔 2mm)過篩土樣。
- 2.使用水分稱量盒(M1)，並加入約 30g 之已過篩土樣(M2)。
- 3.放進 105°C的烘箱內 24~48 小時，注意水分稱量盒放置於烘箱內時，蓋子須留有空隙，方能使水氣逸出。
- 4.秤量烘乾後的土樣(M3)，計算求得土壤水分係數(MF)。

(二)利用以下相關公式計算結果：

- 1.土壤重量水分含量百分比(ω)：
$$\omega = \frac{M_2 - M_3}{M_3 - M_1} \times 100$$
，其中 M1 為秤量盒之重量，M2 為加入土壤之秤量盒重量(圖 5-11)，M3 為烘乾土與秤量盒之重量。

2.土壤水分係數則為土壤水分係數(MF)： $MF = 1.0 + \frac{\omega}{100}$



(資料來源：本計畫拍攝)

圖 5-11 土壤水分係數實驗之水分秤量盒

土壤水分係數測量之目的為測量土壤於自然風乾時，其土壤重量水分含量；土壤物理實驗多以經過 105°C，烘乾 24 小時之土樣為基礎，故計算 MF 值，整理為表 5-11，以利後續土壤基礎物理量換算，算出結果獅頭山土樣之土壤水分係數約為 1.0093，知本土樣之土壤水分係數約為 1.0151。在兩種土樣風乾過後，經實驗測量可知知本土樣之土壤保水能力高於獅頭山。

表 5-11 土壤水分係數

土樣	土壤水分係數	土樣	土壤水分係數
獅頭山(1)	1.0091	知本(1)	1.0173
獅頭山(2)	1.0081	知本(2)	1.0152
獅頭山(3)	1.0070	知本(3)	1.0142
獅頭山(4)	1.0091	知本(4)	1.0111
獅頭山(5)	1.0101	知本(5)	1.0152
獅頭山(6)	1.0121	知本(6)	1.0173
平均	1.0093	平均	1.0151

(資料來源：本計畫整理)

二、土壤顆粒密度

土壤顆粒密度是評估土壤結構、孔隙率、壓密特性的一項重要指標。對土壤而言，顆粒密度僅為固體部分密度，不包含顆粒間之空隙。

顆粒密度可由測量兩個數據求得，分別為「土壤質量」與「被土壤取代之水量」。被土壤取代之水的體積相當於土樣之體積，因此即可間接求得土壤顆粒密度。

(一)實驗步驟如下：

- 1.使用 10 號篩(篩孔 2mm)過篩土樣。
- 2.使用比重瓶，並加入約 10g 之已過篩土樣。
- 3.注入蒸餾水至比重瓶(圖 5-12)內約八分滿，蓋上瓶塞，搖動並旋轉比重瓶，使土壤完全浸濕。
- 4.取下瓶塞，將比重瓶放入水浴機內，加熱水溫至約 60°C，並不時搖晃比重瓶，使土壤顆粒間的氣泡排出，瓶內無氣泡時即可將其拿出水浴機。
- 5.待比重瓶降至室溫後，將蒸餾水注滿比重瓶，蓋上瓶塞，蓋上時須使水滿溢並噴出，且瓶塞內之毛細管也需充滿水分，如瓶塞附近仍有小氣泡，可用細針排出空氣，並分別秤重紀錄(M5)。

- 6.將比重瓶內的水與土倒掉，重新注滿蒸餾水，並分別秤量比重瓶與水之重量(M4)。
- 7.利用已知的土壤水分係數求得烘乾土重(Ms)，計算土壤顆粒密度。



(資料來源：本計畫拍攝)

圖 5-12 土壤顆粒密度實驗-比重瓶照片

(二)利用以下相關公式計算結果：

$$1. \text{烘乾土重}(M_s) : M_s = \frac{\text{試驗用濕土重}}{MF}$$

$$2. \text{被土壤取代之水重} = M_4 - M_5 + M_s$$

$$3. \text{被土壤取代之水體積}(V_s) : V_s = \frac{M_4 - M_5 + M_s}{\text{當時水的密度}} \quad (\text{此亦為土壤之體積})$$

$$4. \text{土壤顆粒密度} = \frac{M_s}{V_s} \quad (\text{g/cm}^3)$$

經實驗與計算可得表 5-12 知結果，可知獅頭山土樣之土壤顆粒密度平均約為 2.516 g/cm^3 ，知本土樣之土壤顆粒密度平均約為 2.643 g/cm^3 ，土壤中氧化鐵和各種礦物含量高時密度較高，有機質含量高

的土壤密度較低。

表 5-12 本計畫土樣之土壤顆粒密度

土樣	顆粒密度(g/cm^3)	土樣	顆粒密度(g/cm^3)
獅頭山(1)	2.522	知本(1)	2.626
獅頭山(2)	2.622	知本(2)	2.626
獅頭山(3)	2.510	知本(3)	2.654
獅頭山(4)	2.510	知本(4)	2.626
獅頭山(5)	2.466	知本(5)	2.661
獅頭山(6)	2.466	知本(6)	2.661
平均	2.516	平均	2.643

(資料來源：本計畫整理)

三、土壤顆粒分析

通過土壤顆粒的粒徑分析，可以研究土壤結構、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。

在本實驗中也可利用土壤顆粒分析所得結果之粒徑分析圖，得到代表現地顆粒代表粒徑 d_{50} ，可供後續於土壤沖蝕實驗中進行參考。

土壤的顆粒分析分為篩分析與比重計分析，由於經 ASTM 所認定之比重計分析適用範圍為粒徑小於 0.075mm(200 號篩)的顆粒(Keller and Gee, 2006)，因此通過 200 號篩之顆粒使用比重計分析、未通過 200 號篩之顆粒則使用篩分析進行粒徑分析。首先進行比重計分析，求得細小顆粒間之粒徑大小分佈，再進行篩分析，求得較大顆粒間之粒徑大小分佈。

比重計係利用阿基米德原理，在浸入不同密度之液體時，因所受壓力不同，而使物體沒入液體深度不同的關係製成之測定液體密度的儀器。依據 Stoke's Law，不同粒徑之土壤顆粒在懸浮液體中有不同

之沉降速度，故可利用比重計測定懸浮液之密度，當顆粒依粒徑大小依序沉降時，其懸浮液表面之密度隨時間增加而減小。

(一)實驗步驟如下：

- 1.將現地土樣進行篩分析，放入篩網(#5、#10、#20、#40、#60、#100、#140、#200)搖晃 10 分鐘後，分別秤重，得到各篩網之留篩土重。
- 2.將小於 0.075mm(200 號篩)之土壤加入錐形瓶中，進行比重計分析，加入 100ml 5%之偏磷酸鈉溶液，再將蒸餾水加到距瓶底 2/3 高度的地方，輕微搖晃使土體和水混合。
- 3.放入磁石，並用石臘膜封頂，將錐形瓶放置於磁石攪拌器，慢慢將強度調至最強，攪拌 15 分鐘。
- 4.用噴瓶使用蒸餾水將錐形瓶內的液體完全沖洗進 1000ml 的量筒內，直到無土砂殘留於燒杯中。
- 5.另準備一量筒加入 100ml 5%之偏磷酸鈉溶液，再加蒸餾水至 1000ml，並以此量筒和水溶液練習比重計之放置與讀數讀取。
- 6.將裝有土樣之 1000ml 量筒加入蒸餾水至 950ml，用橡皮塞封住瓶口，以手掌緊壓瓶口，上下翻轉 30 回，使量筒內的土粒完全均勻混合，搖晃完畢後將石臘膜或橡皮塞及瓶口上殘留之土樣沖洗至瓶內，加蒸餾水至 1000ml(圖 5-13)。
- 7.隨即放入比重計，並開始計時，依紀錄紙所需資料，測定時間、清水與含土樣溶液之量筒比重計刻度及溫度。

(二)完成上述步驟後，利用以下相關公式計算比重計所量測之各粒徑所占百分比：

1. 比重計法顆粒粒徑(D)： $D = K \sqrt{\frac{L}{T}}$ ，其中 D 為顆粒直徑，K 為由溫度和比重查 K 值查詢表，L 為比重計有效高，T 為時間。
2. 比重計過篩百分比(N)： $N = \frac{(\gamma - b)\alpha}{W_s} \times 100\%$ ，其中 N 為過篩百分率， γ 為比重計實際讀數，b 為比重計溫度校正值， α 為修正因子(查修正因子 α 查詢表)， W_s 為烘乾土重。



(資料來源：本計畫拍攝)

圖 5-13 土壤顆粒分析實驗示意圖

經篩分析與比重計可知各孔徑的累積過篩百分比，如表5-13為新北獅頭山(1)、表5-14為新北獅頭山(2)、

表5- 15為臺東知本溪(1)、表5- 16為臺東知本溪(2)、

表5- 17為臺東知本溪(3) (以下皆用(1)、(2)、(3)表示同來源土樣之試驗一、試驗二與試驗三)：

表 5-13 新北獅頭山粒徑資料

新北獅頭山(1)	
孔徑(mm)	累積過篩百分(%)
4	96.648
2	93.652
0.84	86.980
0.42	80.638
0.25	70.141
0.149	41.086
0.105	27.924
0.074	18.022
0.035	8.924
0.026	7.444
0.019	5.963
0.014	4.853
0.010	3.743
0.007	3.113
0.004	1.781
0.001	1.115

(資料來源：本計畫整理)

表 5- 14 新北獅頭山粒徑資料

新北獅頭山(2)	
孔徑(mm)	累積過篩百分比(%)
4	90.870
2	88.207
0.84	81.536
0.42	75.433
0.25	68.477
0.149	43.328
0.105	27.466
0.074	18.073
0.036	10.428
0.026	9.036
0.019	7.459
0.014	6.346
0.010	5.325
0.007	4.536
0.004	3.098
0.001	2.170

(資料來源：本計畫整理)

表5- 15 臺東知本粒徑資料

臺東知本(1)	
孔徑(mm)	累積過篩百分比(%)
4	82.586
2	70.228
0.84	50.355
0.42	32.914
0.25	22.162
0.149	15.553
0.105	12.676
0.074	10.694
0.064	9.308
0.032	7.858
0.023	6.645
0.017	5.362
0.013	4.553
0.009	3.816
0.007	3.127
0.003	1.962
0.001	1.001

(資料來源：本計畫整理)

表 5- 16 臺東知本粒徑資料

臺東知本(2)	
孔徑(mm)	累積過篩百分比(%)
4	80.760
2	68.067
0.84	40.146
0.42	33.524
0.25	23.914
0.149	18.614
0.105	15.297
0.074	13.785
0.068	12.339
0.027	10.252
0.020	9.198
0.015	8.021
0.011	7.194
0.008	6.347
0.006	5.335
0.003	4.074
0.001	2.330

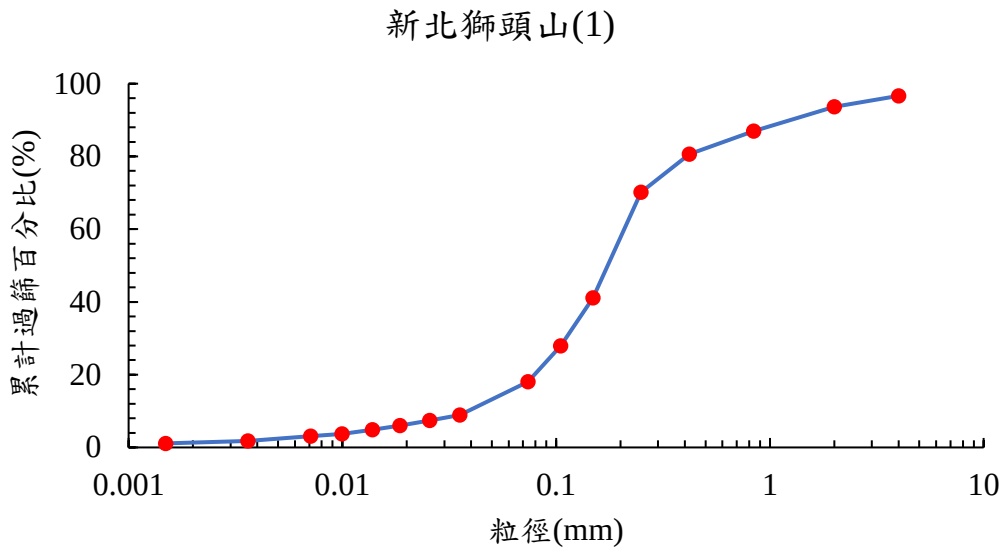
(資料來源：本計畫整理)

表 5- 17 臺東知本粒徑資料

臺東知本(3)	
孔徑(mm)	累積過篩百分比(%)
4	81.749
2	69.294
0.84	51.515
0.42	39.699
0.25	30.395
0.149	24.042
0.105	21.186
0.074	18.327
0.055	14.222
0.021	13.250
0.017	11.694
0.013	10.547
0.010	9.964
0.007	8.973
0.005	7.962
0.003	6.231
0.001	4.124

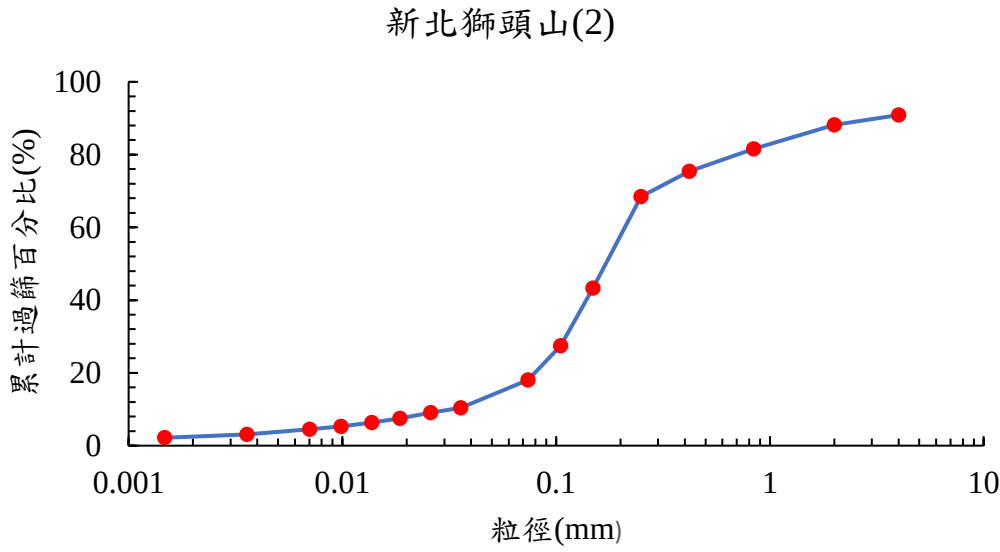
(資料來源：本計畫整理)

由實驗數據可繪製出粒徑分佈曲線，圖 5-14 為新北獅頭山(1)、圖 5-15 為新北獅頭山(2)，而圖 5-15 為新北獅頭山(1)與(2)合併比較；圖 5- 17 為臺東知本(1)、圖 5- 18 為臺東知本(2)和圖 5- 19 為臺東知本(3)，圖 5- 19 為臺東知本(1)、(2)與(3)合併比較：



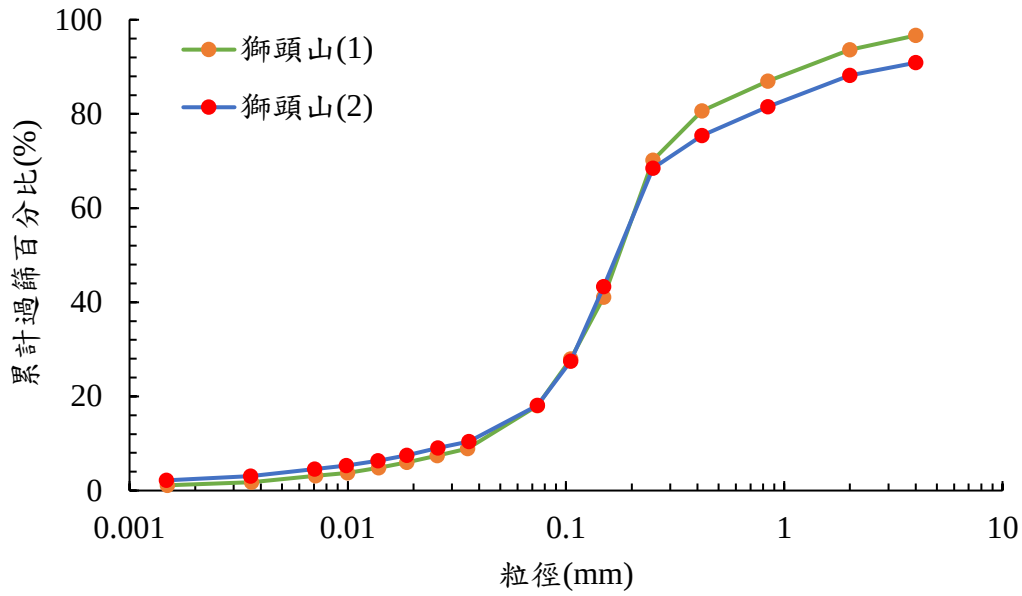
(資料來源：本計畫繪製)

圖 5-14 新北獅頭山(1)粒徑分布曲線



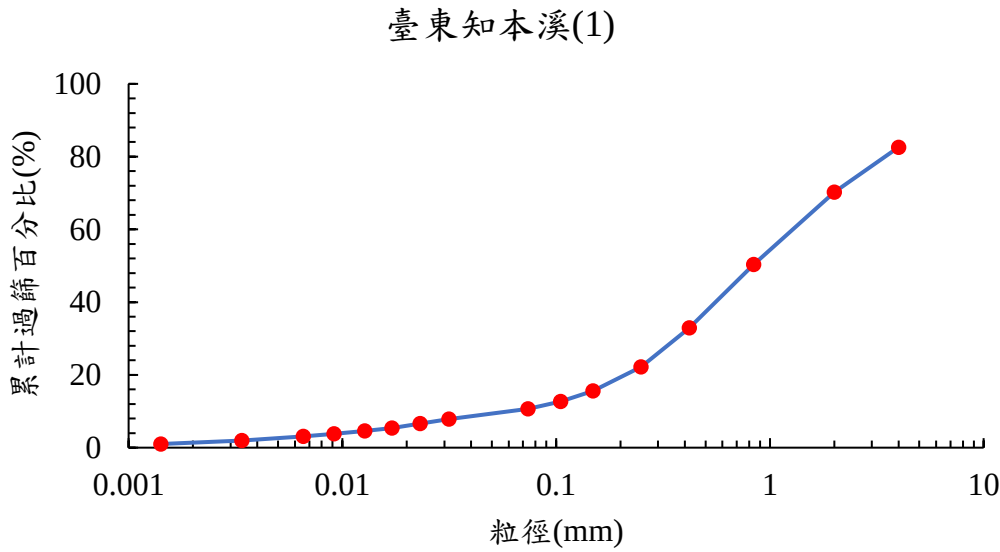
(資料來源：本計畫繪製)

圖 5-15 新北獅頭山(2)粒徑分布曲線



(資料來源：本計畫繪製)

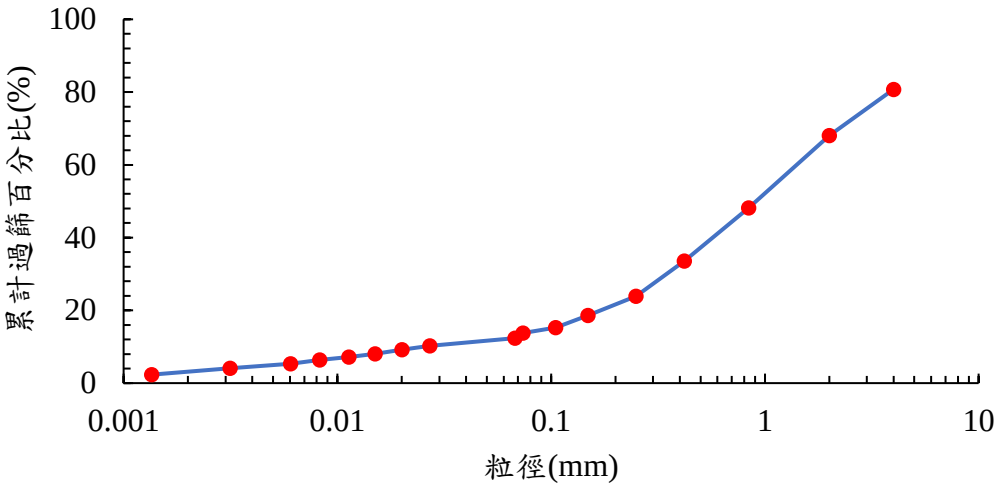
圖 5-16 新北獅頭山土樣兩次試驗粒徑分布曲線圖



(資料來源：本計畫繪製)

圖 5-17 臺東知本溪(1)粒徑分布曲線圖

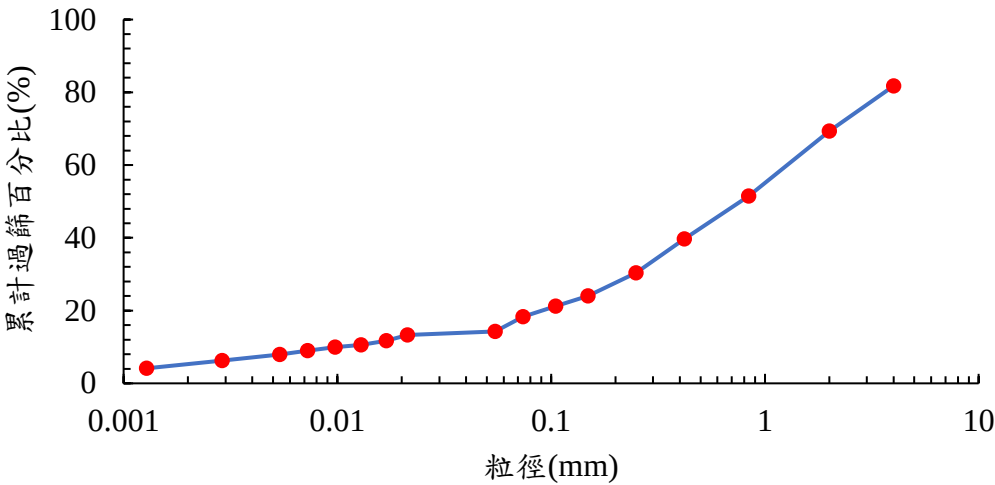
臺東知本溪(2)



(資料來源：本計畫繪製)

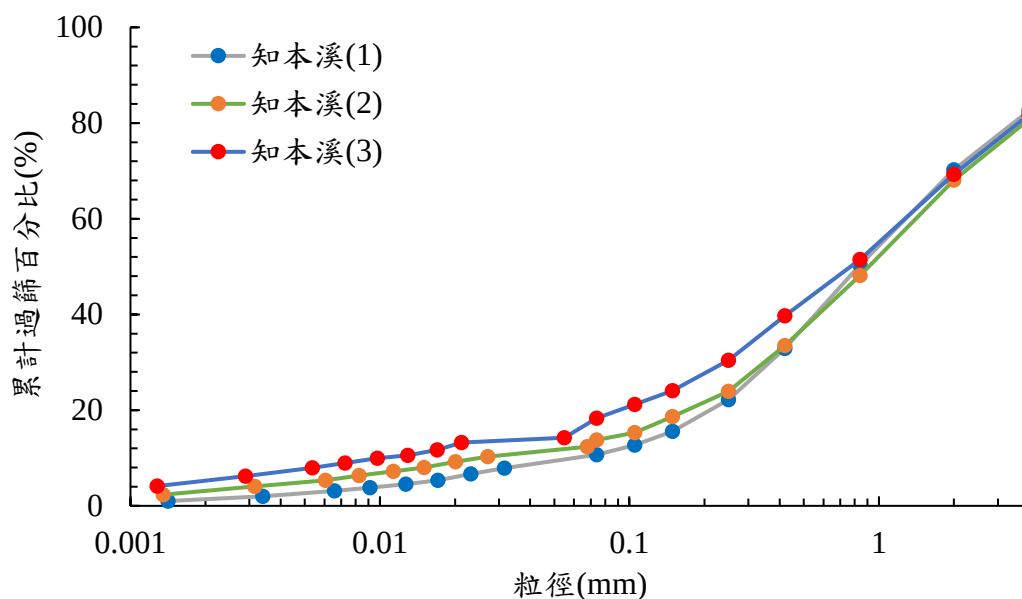
圖 5- 18 臺東知本溪(2)粒徑分布曲線圖

臺東知本溪(1)



(資料來源：本計畫繪製)

圖 5- 19 臺東知本溪(3)粒徑分布曲線圖



(資料來源：本計畫繪製)

圖 5-20 臺東知本溪土樣三次試驗粒徑分布曲線圖

由粒徑分佈曲線得知，新北獅頭山土樣的粒徑約小於 0.01mm 時，累積過篩百分比趨於零，表示在土樣中，粒徑小的土砂材料較低，粒徑大之材料較高。臺東知本土樣包含部分細顆粒，但整體土樣分布較均勻。再藉由土壤粒徑分布之數據進行計算，可得表 5-18：

$$1. \text{均勻係數 } C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

$$2. \text{曲率係數 } C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{60} \cdot D_{10}}$$

$$3. \text{優良級配: 砂土 } C_u \geq 4 ; 1 < C_c < 3$$

其中新北獅頭山(1)、新北獅頭山(2)和臺東知本(1)皆為優良級配，臺東知本(2)與臺東知本(3)為不良級配。土壤之優良級配，表示粒徑由大至小皆有，而大顆粒間的孔隙由中顆粒來填充，而中顆粒間的孔隙由小顆粒填充，形成一緊密的排列方式；若為不良級配，則排列方式較為鬆散。

表 5-18 土壤級配計算表

土樣	曲線係數Cc	均勻係數Cu	結果
新北獅頭山(1)	1.599	19.924	優良級配
新北獅頭山(2)	1.603	18.321	優良級配
臺東知本(1)	1.567	22.053	優良級配
臺東知本(2)	3.290	60.227	不良級配
臺東知本(3)	4.282	140.014	不良級配

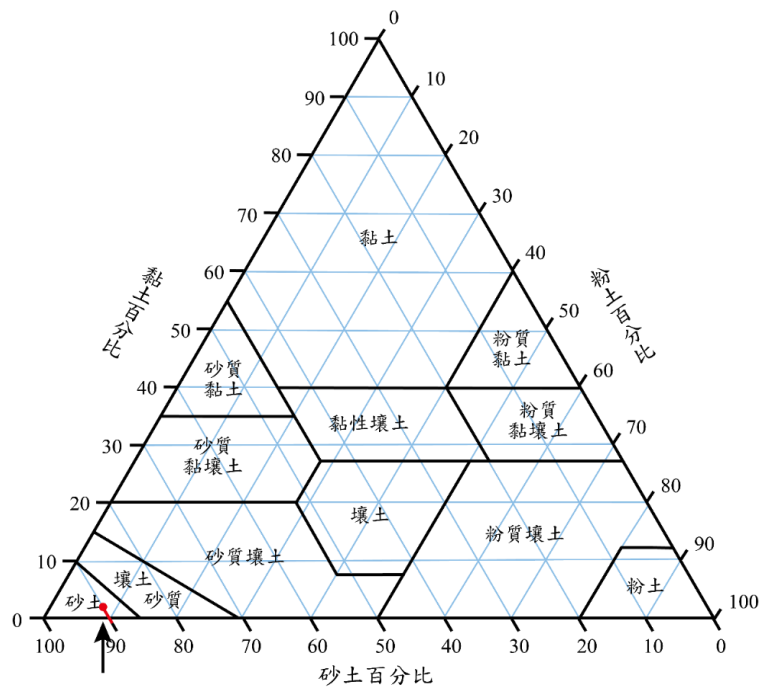
(資料來源：本計畫彙整)

再將土樣分類為：砂粒(2-0.05mm)、粉粒(0.05-0.002mm)與黏粒(<0.002mm)，並計算其所佔百分比，如表 5-19 和表 5-20。並藉由土壤質地三角分類圖進行土樣分類。分析結果顯示新北獅頭山的土樣為砂土，如圖 5-21、圖 5-22；臺東知本土樣為壤土砂質，如圖 5-23、圖 5-24、圖 5-25。

表 5-19 獅頭山土壤質地分布

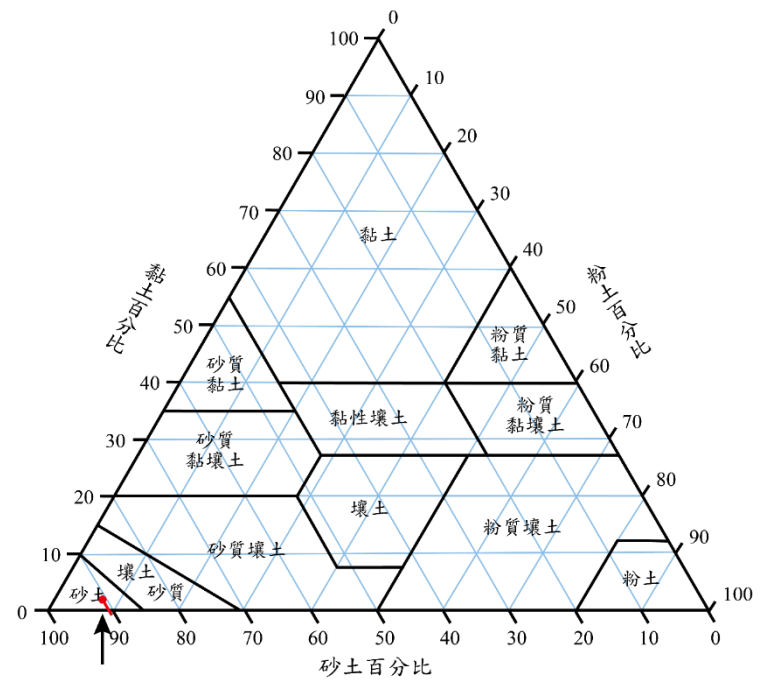
新北獅頭山(1)		新北獅頭山(2)	
分類	百分比	分類	百分比
砂粒	90.444%	砂粒	91.943%
粉粒	8.602%	粉粒	6.863%
黏粒	0.953%	黏粒	1.193%

(資料來源：本計畫整理)



(資料來源：本計畫繪製)

圖 5-21 新北獅頭山(1)土壤質地分布圖



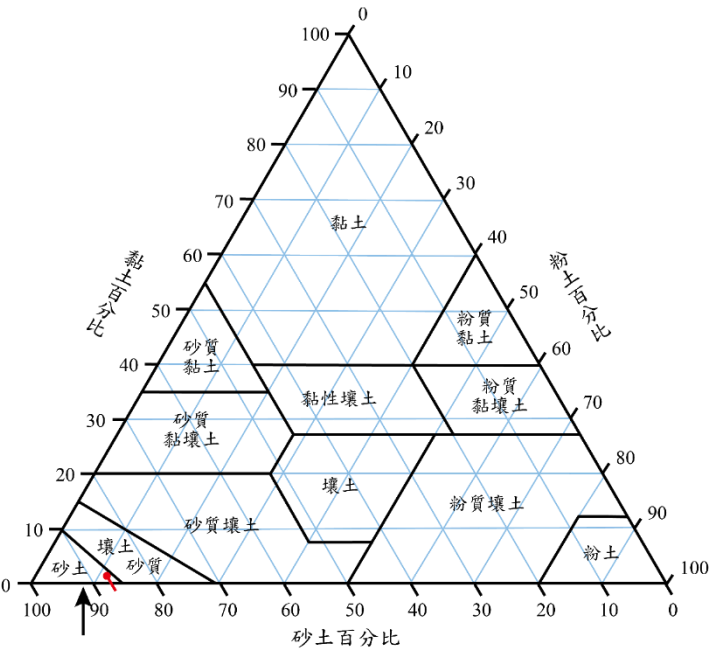
(資料來源：本計畫繪製)

圖 5-22 新北獅頭山(2)土壤質地分布圖

表 5- 20 知本溪土壤質地分布

臺東知本溪(1)		臺東知本溪(2)	
分類	百分比	分類	百分比
砂粒	87.1%	砂粒	83.2%
粉粒	11.1%	粉粒	12.4%
黏粒	1.83%	黏粒	4.34%
臺東知本溪(3)			
分類		百分比	
砂粒		79.7%	
粉粒		13.0%	
黏粒		7.30%	

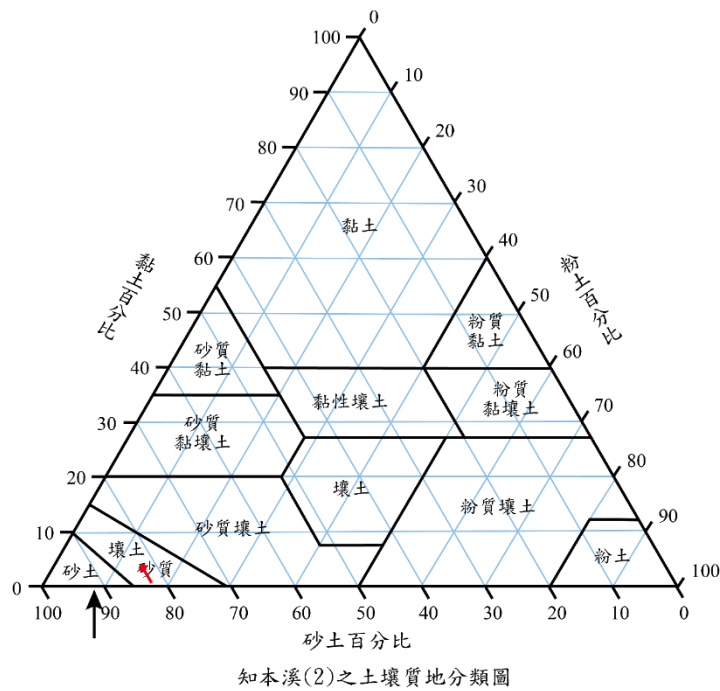
(資料來源：本計畫整理)



知本溪(1)之土壤質地分類圖

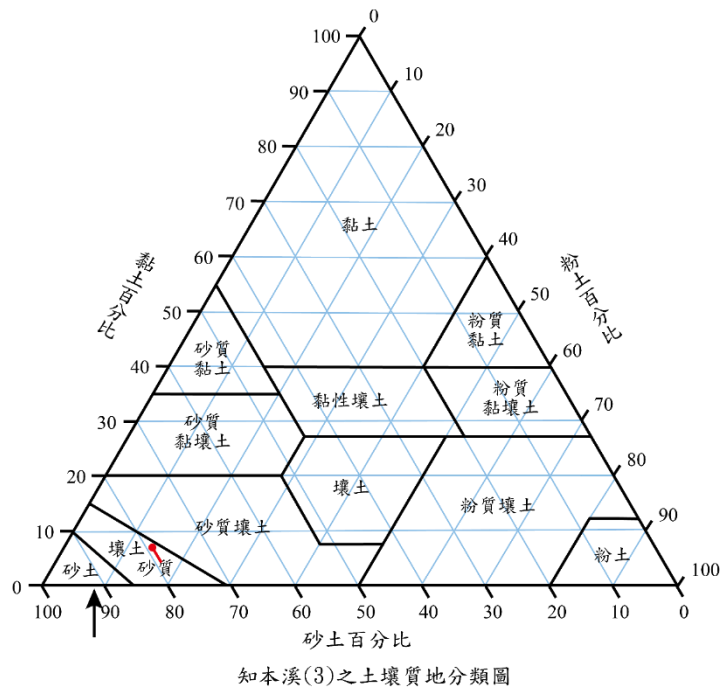
(資料來源：本計畫繪製)

圖 5- 23 臺東知本溪(1)土壤質地分布圖



(資料來源：本計畫繪製)

圖 5-24 臺東知本溪(2)土壤質地分布圖

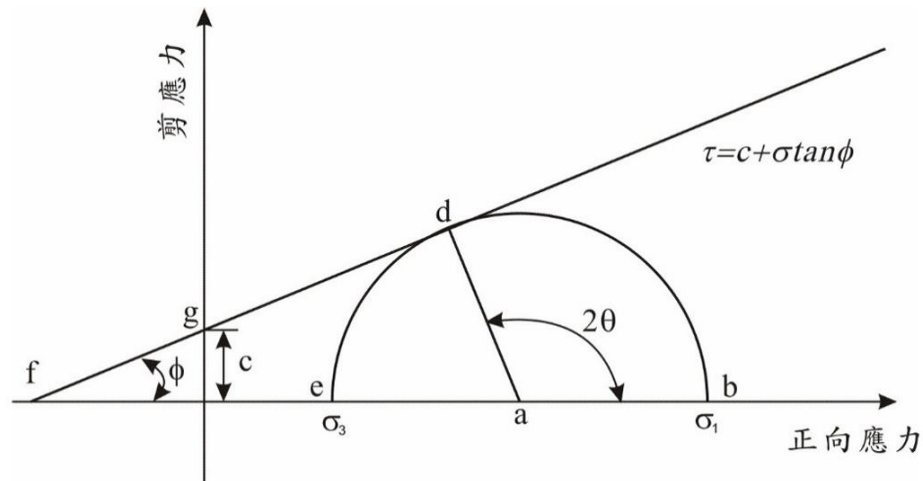


(資料來源：本計畫繪製)

圖 5-25 臺東知本溪(3)土壤質地分布圖

第三節 土壤力學實驗

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，如圖 5-26 所示。



(資料來源：本計畫彙整)

圖 5-26 土壤摩爾圓應力分佈圖

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。本計畫選定之試驗為直接剪力強度實驗。

一、直接剪力強度實驗(Direct shear test)：

將土體修整後(一般為圓柱型或方盒型)，將土壤試驗體放入剪力盒中，將剪力盒架設於直接剪力儀上進行試驗，如圖 5-27 所示。

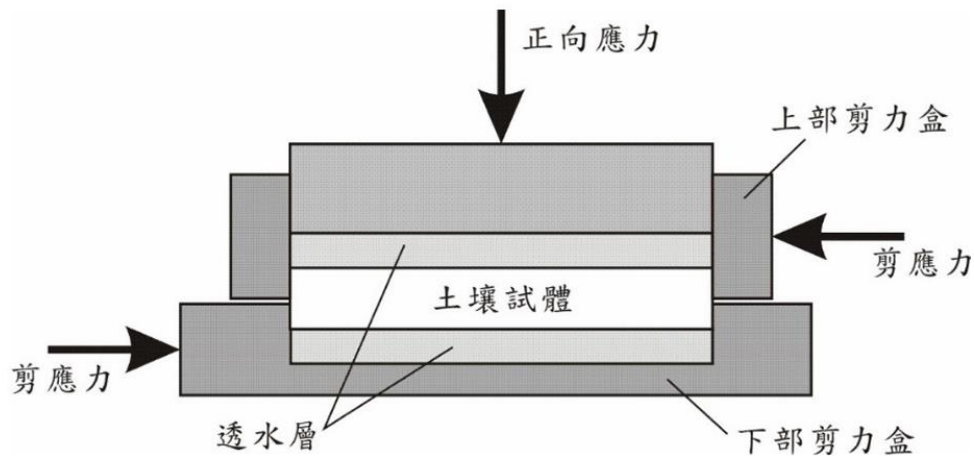


(資料來源：本計畫拍攝)

圖 5-27 土壤直接剪力儀

一般試驗將採用三組試體，在三種不同的正向應力下進行實驗。透過三種不同正向應力與求得之剪應力大小資料點，在直剪試驗中可求得兩組凝聚力與摩擦角，分別出現於最大強度及殘餘強度，進行回歸分析可求得該土體之破壞包絡線，根據破壞包絡線之定義可求得土體之凝聚力(Cohesion)與內摩擦角(Friction angle)。

直剪試驗主要適用於砂土之剪力強度，由於進行直剪試驗時不易控制其土體含水量及排水狀況，而對於細顆粒土樣之土壤剪力強度，含水量為其強度之主要影響因素，因此較不適用於求取細顆粒土壤之剪力強度。



(資料來源：本計畫彙整)

圖 5-28 土壤直剪實驗受力圖

(一)以下為實驗步驟：

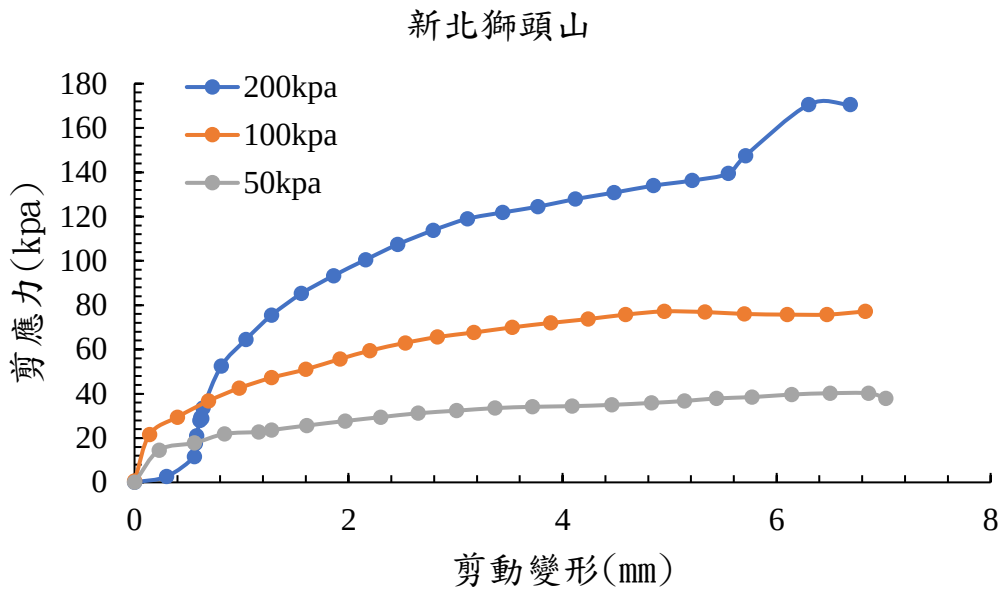
- 1.取風乾土土樣放置於直剪盒中，進行初步壓密。
- 2.將直剪盒放入直剪儀內，施加垂直壓力，分別以 50、100 和 200kpa 三組不同正向應力進行剪力試驗。
- 3.紀錄水平位移及壓力計之讀值。

(二)完成實驗後，利用以下相關公式計算結果：

$$1. \text{正向應力 } \sigma = \frac{\text{正向力}}{\text{試體橫斷面面積}}$$

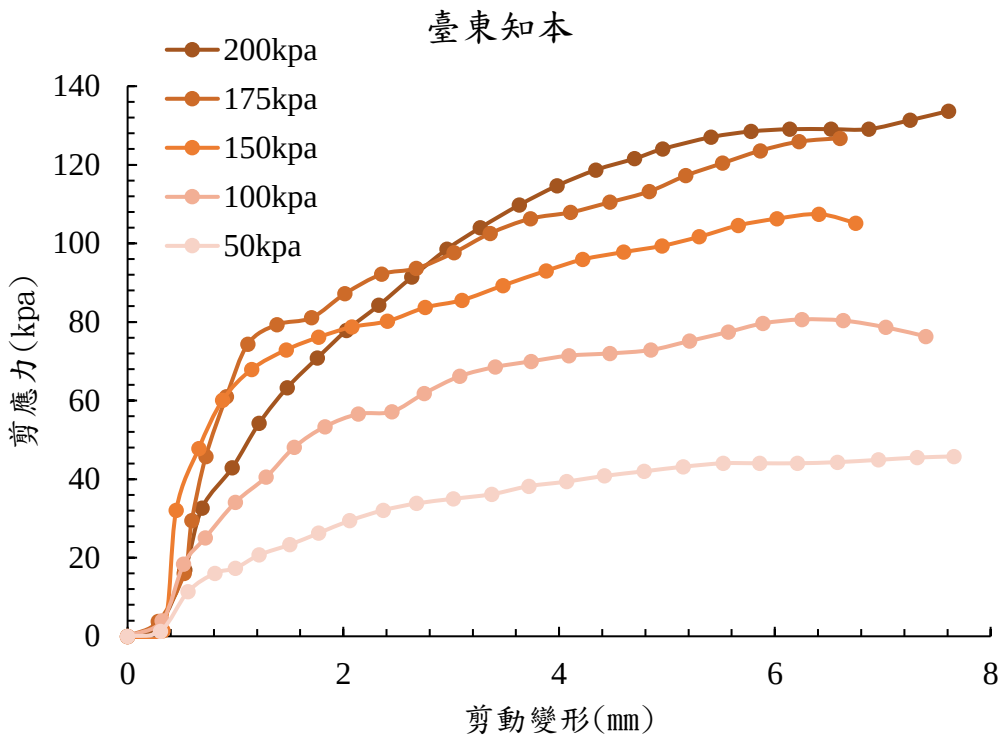
$$2. \text{剪應力 } \tau = \frac{\text{剪向阻力}}{\text{試體橫斷面面積}}$$

圖 5-29、圖 5-30 為土樣之剪應力與剪動變形的關係圖，直剪儀每秒推動固定的水平距離，當遇到較粗糙顆粒，其摩擦角較大，其所需啟動之剪應力也較大，又剪應力隨剪動變形增加，直到發生破壞，此時為尖峰剪力強度，而後剪動變形繼續增加，但剪應力隨著剪動變形降低，最後趨於一定值，達到極限剪力強度。



(資料來源：本計畫繪製)

圖5-29 新北獅頭山剪應力與剪動變形關係圖



(資料來源：本計畫繪製)

圖 5-30 臺東知本剪應力與剪動變形關係圖

將土樣之各正向應力所對應的尖峰剪力強度提出，可畫出其迴歸直線如圖 5-31，同時可求出此直線方程式：

$$\tau = \sigma \tan \varphi + c$$

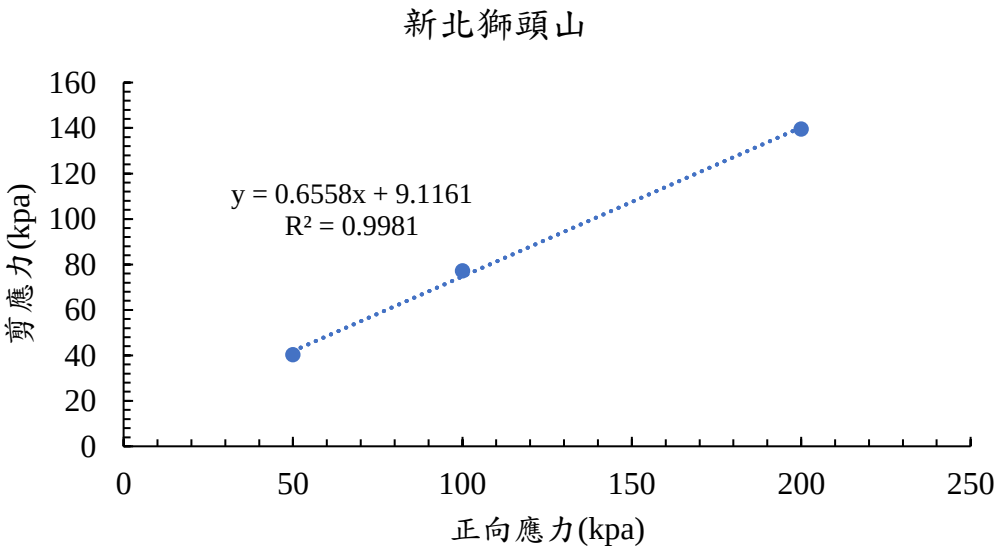
此方程式呈現出此土樣的內摩擦角(φ)與其凝聚力(c)，新北獅頭山之內摩擦角約為 $33^{\circ}26'$ 、土壤凝聚力為 9.1161kpa；臺東知本之內摩擦角約為 $29^{\circ}33'$ 、土壤凝聚力為 19.381kpa，彙整如表 5-21。

表 5-21 直接剪力實驗之土壤內摩擦角與凝聚力數據

土樣	內摩擦角	凝聚力
新北獅頭山	$33^{\circ}26'$	9.1161kpa
臺東知本	$29^{\circ}33'$	19.381kpa

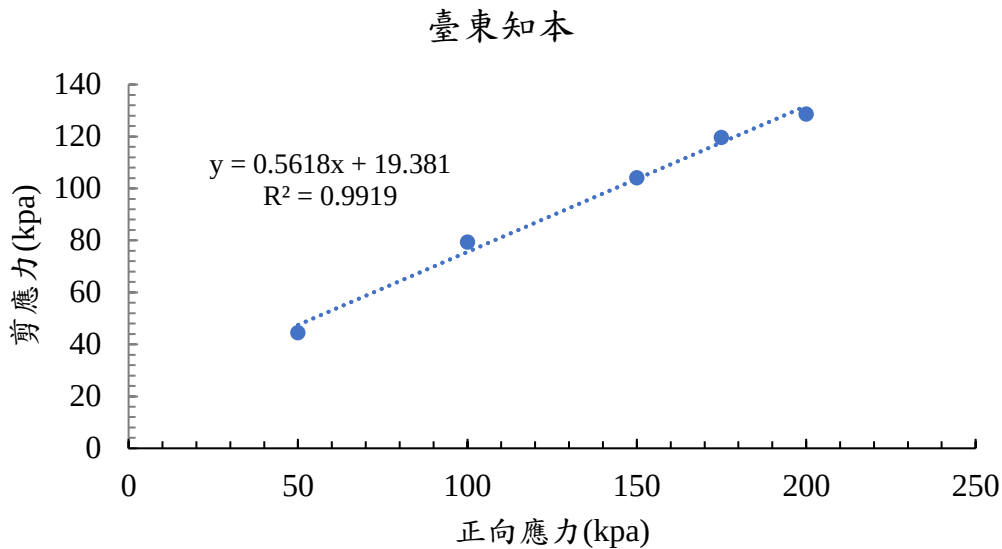
(資料來源：本計畫整理)

在上節土壤顆粒密度實驗中，測得新北獅頭山土樣及臺東知本為優良級配，推測其土壤顆粒間排列緊密，導致凝聚力較高，如圖 5-29、圖 5-30。



(資料來源：本計畫繪製)

圖 5-31 新北獅頭山正向應力與剪應力關係圖



(資料來源：本計畫繪製)

圖 5-32 臺東知本正向應力與剪應力關係圖

第四節 沖蝕啟動應力實驗理論基礎

針對河道之沖刷與沖蝕的現象，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啟動的機制為主，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。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)。

從力平衡之觀點，當水流作用土壤顆粒之運移能力大於土壤本身抵抗移動之抗沖蝕力時，平衡狀態受到破壞，使土壤顆粒、團粒脫離周圍土體開始移動，即發生沖蝕和土砂運移。在明渠流和坡面流中，前人研究分別以力平衡觀念，提出土壤沖蝕率或分散能力($\text{kg/m}^2/\text{s}$)與

水土交界面造成的摩擦剪力(τ)關係式(Foster et al., 1981; Lick, 1982; Eilliot et al., 1989)：

$$\text{明渠流：} E = M(\tau - \tau_c)^n$$

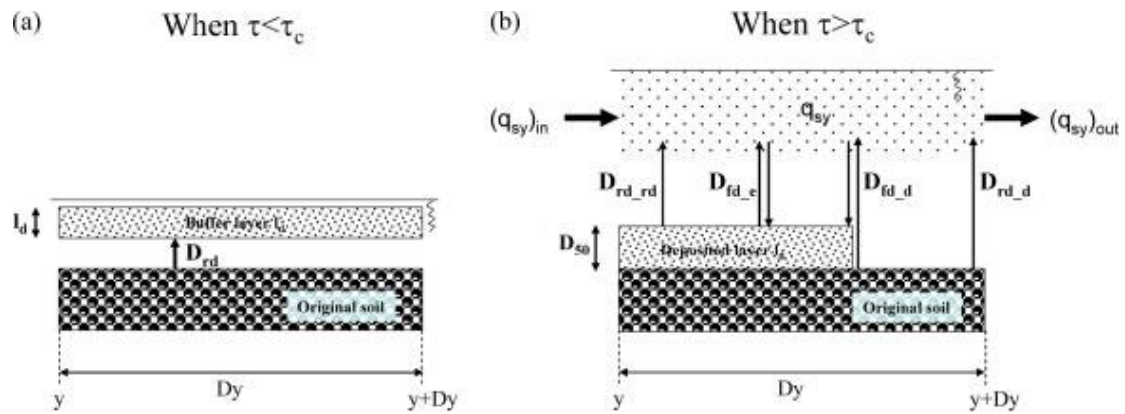
其中， E 表土壤沖蝕率($\text{kg/m}^2/\text{s}$)， τ_c 表土壤沖刷臨界剪應力， τ 表土壤之抗沖蝕能力(Pa)， M 、 n 表率定常數。

$$\text{坡面流：} D_c = K(\tau - \tau_c)$$

D_c 表土壤分離率($\text{kg/m}^2/\text{s}$)， τ_c 表土壤沖蝕臨界剪應力， τ 表土壤之抗沖蝕能力(Pa)， K 表土壤可蝕性係數。上述兩公式皆從水流作用剪應力與土壤抗沖蝕力之抗衡作用推導沖蝕現象之發生，並推估沖蝕率(或土壤分離率)，唯因明渠及坡面流之流況及水力條件不同，其正向關係亦有差異。

在土砂傳輸中，土壤沖刷臨界剪應力(τ_c)為眾多計算河床載(推移載, bed load)與懸浮載(suspended load)之重要參數，前人研究雖已指出粗顆粒非黏性土砂之 τ_c 可由土砂代表粒徑計算，但土體之細顆粒含量與水質條件則對非礫床為主之土體 τ_c 具影響力(Ravisangar et al., 2001; 2005; Wang and Sturm, 2016)，無法單由代表粒徑估算。

Nord and Esteves (2005) 提出 Plot Soil Erosion Model 2D (PSEM 2D)，考量入滲-逕流-沖蝕等三大物理過程，並發展坡面沖蝕物理模型；其沖蝕過程包括由降雨及坡面漫地流造成之土壤初次分離與再剝蝕，以及水層流動對非黏粒之鬆散層造成之土砂捲入與沉降等。在過去的研究中，分別討論水流剪應力大於或小於土壤沖蝕臨界剪應力(τ_c)時之沖蝕情況，並計算其土砂沖蝕與運移量，如，圖中 D_{rd} 表土粒受雨滴衝擊之分離與重新分布率， D_{rd_d} 表雨滴造成之土粒剝離原有土體率， D_{rd_rd} 表雨滴造成之沉積層土粒剝離率， D_{fd_d} 表逕流造成之原土體土粒剝離/沉降比例， D_{fd_e} 表逕流造成之沉積層土粒剝離/沉降比例。



(資料來源：Nord and Esteves, 2005)

圖 5-33 當水流剪應力(a)小於(b)大於土壤顆粒之臨界剪應力沖蝕過程

因此，土壤沖蝕臨界剪應力為土砂顆粒在坡面漫地流與河川渠道流中土壤抗蝕能力之量化力學參數，可作為坡面沖蝕及土砂運移物理模型之重要考量因子，近年使用臨界剪應力概念之相關沖蝕模型及研究整理。

表 5-22 近年使用臨界剪應力概念之相關沖蝕模型及研究

文獻	公式
Nord and Esteves, 2005; 2010 Plot Soil Erosion Model 2D (PSEM 2D)	$D_{fd_c} = K_r(\tau - \tau_c)(1 - \frac{q_s}{T_c})^\epsilon$
Romero et al., 2007	$D_c = K(\tau - \tau_c)$ $\tau_c = 2.65 + 6.5clay - 5.8 vfs$
Zhang et al., 2008	$D_r = K_r(\tau - \tau_c)(1 - \frac{q_c}{T_c})$
Wang et al., 2013	$\tau_{cb} = 2.67 + 6.5clay - 5.8 vfs$
Wang and Sturm, 2016	$E = M(\tau - \tau_c)^n$ $\hat{T}_c^* = 8.46 - 27.76w + 74.69CSF$ $+ 83.22(w \times CSF)$

(資料來源：本計畫整理)

一、實驗流程

土壤啟動應力實驗擬以循環式矩型水工渠槽進行。渠槽長 10 公尺、寬 0.4 公尺、深 0.4 公尺，具可調式坡降螺桿，調整坡度範圍為 0%~8%；渠底為不鏽鋼材質，邊壁以強化玻璃施作；於頭水箱整流板後 5 公尺之渠底設置圓型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 5-34。

土砂啟動實驗設備之流況參數率定，首先於渠槽底部以 3.5mm 粒徑之礫石鋪面，增加槽底粗糙度，產生完全發展之紊流；再進行蓄水槽三角堰之堰口水深與流量之率定關係式；參考 Ravisangar (2001) 和 Hobson (2008) 進行礫石渠槽邊壁效應對粗糙係數影響之討論，並使用曼寧公式，經迭代法找出不同流量及底床坡度之正常水深，擬定產生不同水流平均剪應力之坡度-流量-水深組合，作為實驗參考依據。



(資料來源：本計畫拍攝)

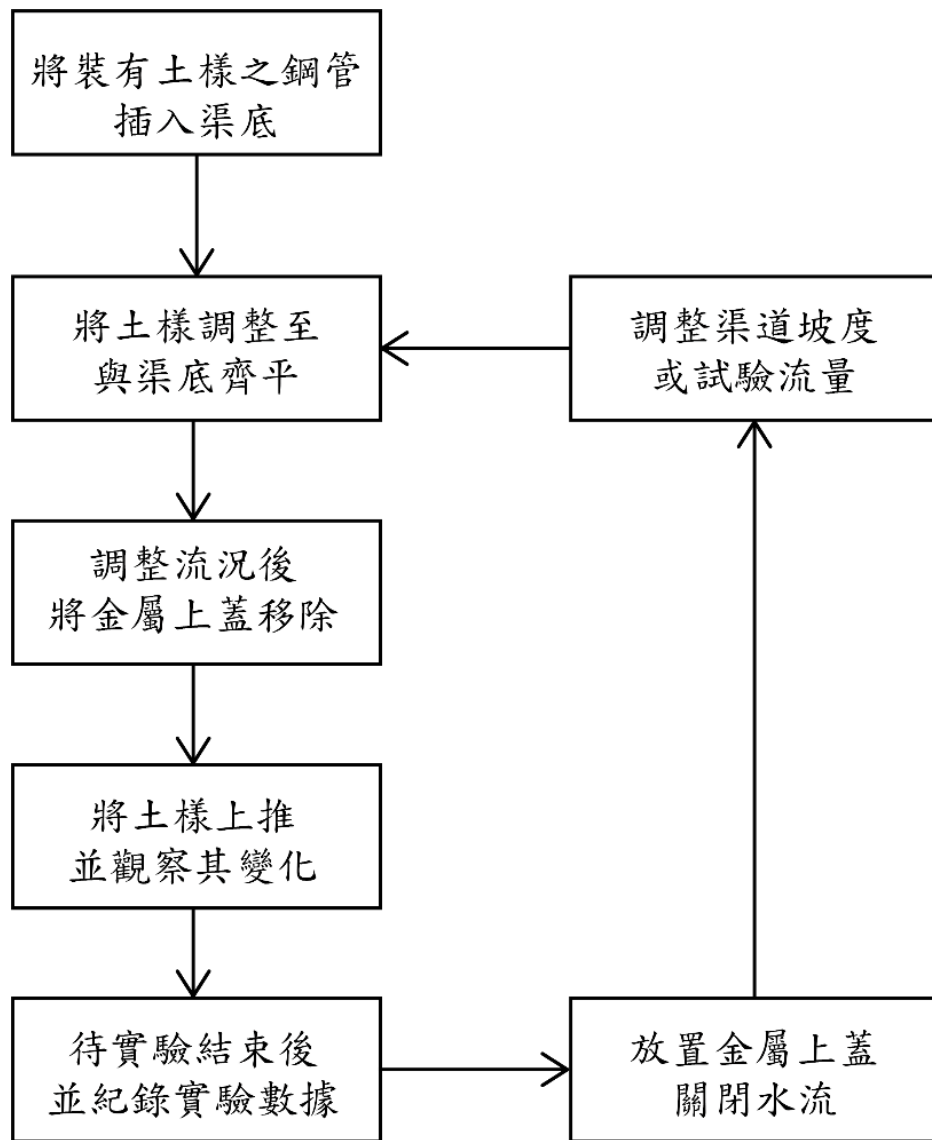
圖 5-34 土砂啟動實驗設備整體側視照

(一)試驗事前準備工作

- 1.本實驗採用新北獅頭山土樣做為試驗土樣，將現地採取之土樣篩選出粒徑小於 2mm 者為試驗土樣。
- 2.將試驗土樣加水調整至飽和狀態。
- 3.試驗土柱鋼管需先將土樣填入並靜置 24 小時，並於試驗當天，以安全吸球將土樣最上層水排出。
- 4.將裝有土樣之鋼管由渠道底部的圓孔，置入渠槽。
- 5.以油壓土樣推進器，使土樣與渠底齊平，後放置保護蓋。保護蓋之目的為避免調整流量及水深之過程中，土樣表面形成額外沖蝕。
- 6.使用手動流量控制閥控制流量，並運用手動調整之尾水堰調整渠道水深，達到控制流量及水深之目的。
- 7.使用水平雷射配合測距儀，調整渠底坡度至試驗所需坡度。

(二)試驗作業流程，流程圖如圖 5-35。

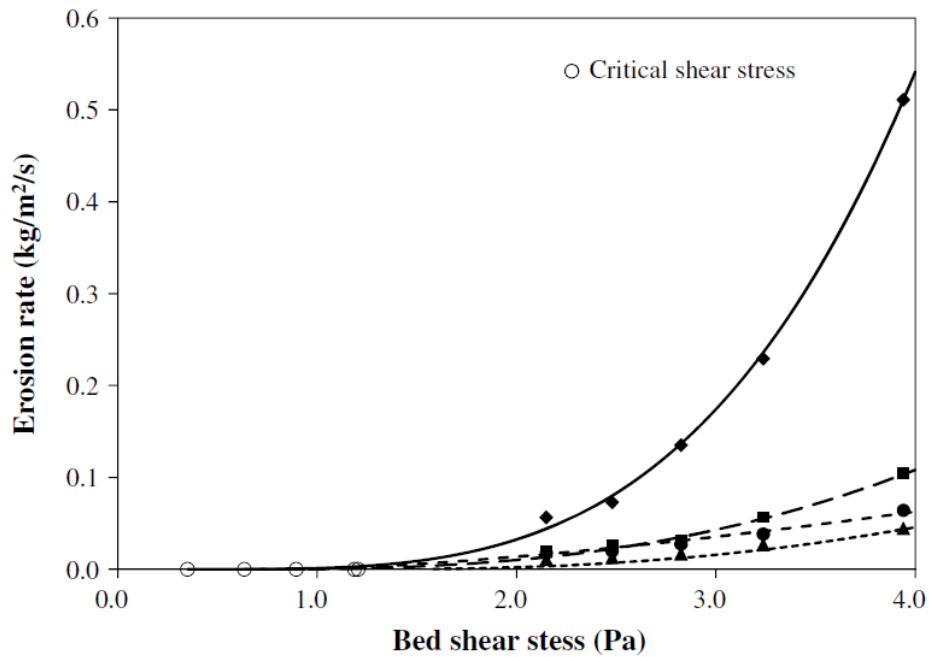
- 1.待流況穩定後，打開保護蓋，並連接拉線式位移紀錄器。
- 2.測量三角堰之流量與試驗之水深。
- 3.將土樣上推 1~2 mm 並開始試驗。
- 4.操作者觀察土面之沖蝕情形，當土面與周圍槽底齊平時，即上推土樣，連接之電位訊號設備同時記錄土樣隨時間之變化位置，直至土樣完全被沖蝕或操作者無法清楚觀察沖蝕情形，及終止單場試驗。
- 5.調整坡度或流量，進行下一組實驗。



(資料來源：本計畫繪製)

圖 5-35 啟動應力實驗流程圖

試驗時間依土樣抗蝕特性而異，延時範圍自 30 秒至幾小時不等。每場試驗記錄之資料包括：土樣之沖蝕深度、不同土層之含水量以換算土樣密度，以及隨時間變化之沖蝕率 E ($\text{kg}/\text{m}^2/\text{s}$)。本計畫擬於實驗結果中呈現兩種土樣之試驗沖蝕率(Erosion rate)與底床剪應力(Bed shear stress)散布圖與非線性擬合之結果，如圖 5-36，圖中土樣為 40% 高嶺土樣。



(資料來源：Wang and Sturm, 2016)

圖 5-36 高嶺土樣之試驗結果

二、試驗坡度選擇及流況

臺灣現行法規中山坡地定義之第二項，有關「平均坡度在百分之五以上者」，為取得此條目之科學依據，故坡度選擇分別為 0.02、0.03、0.04、0.05、0.06、0.07，與度數之對照表如表 5-23。依照不同流量，調整其水深至近似值，並且以流量公式計算渠道內流速等。

表 5-23 坡度百分比與度數對照表

坡度百分比	1%	2%	3%	4%	5%	6%	7%
坡度(°)	0.573	1.146	1.718	2.291	2.862	3.434	4.004

(資料來源：本計畫彙整)

三、渠槽流量校正

試驗渠槽兩面由光滑的玻璃壁及不鏽鋼底板組合而成，渠底於不鏽鋼底板上鋪設直徑為 3.3mm 之礫石，以增加其粗糙度，以接近自

然河道的狀態，本實驗參考使用相同渠道研究之結果(Hobson, 2008)，其渠道平均曼寧粗糙度(n)為 0.0165。

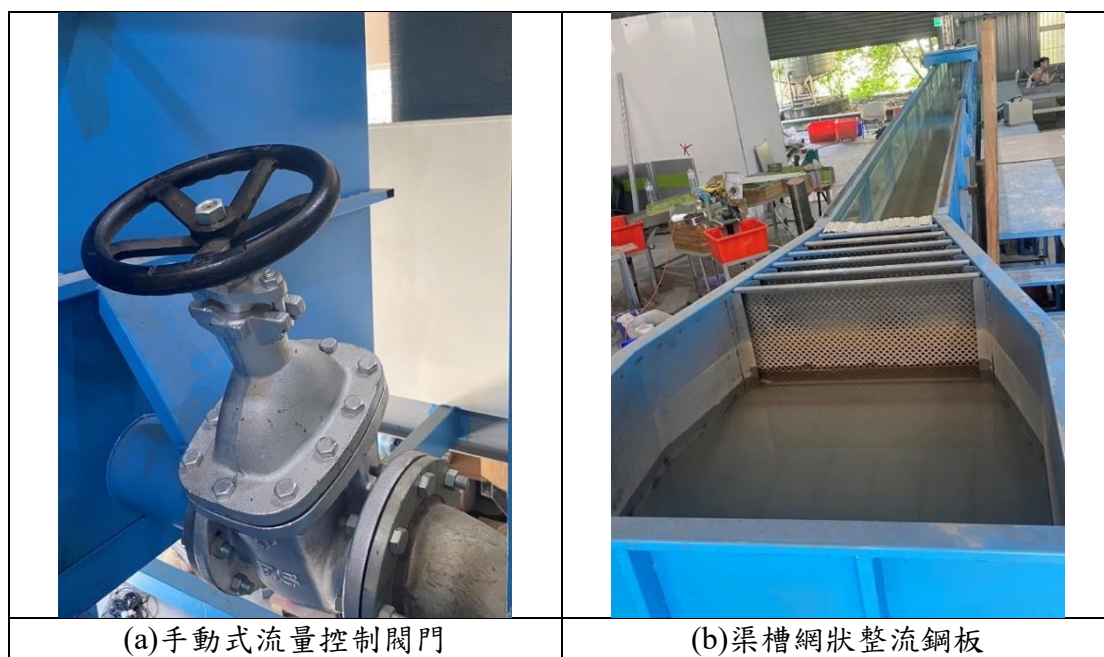
實驗流量可使用尾水堰後蓄水槽上之三角堰推估，故需對三角堰水深與流量間進行校正。為避免水流流入蓄水槽形成的水流擾動及渦流，故於蓄水槽中設置三組網狀鋼板(圖 5-37(b))。以渠槽定水頭之手動式流量控制閥門調整出水量(圖 5-37(a))，並於三角堰出流達到穩定後，以蓄水槽邊壁設置之測水尺，紀錄堰上水深。

使用已知容量之容器進行流量之校正。調整不同之流量自三角堰後裝入容器並開始計時，待容器裝滿即停止計時，相除可求得堰上水深對應之流量(L/s)，採用多組堰上水深及流量之組合重複操作，即可求其流量對堰上水深之回歸方程式。校正目的為找出堰上水深去換算流量之正確係數，並以傳統三角堰流量計算公式為基礎：

$$Q = C_d \times \frac{8}{15} \times \sqrt{2g} \times \tan \frac{\theta}{2} \times H^{2.5}$$

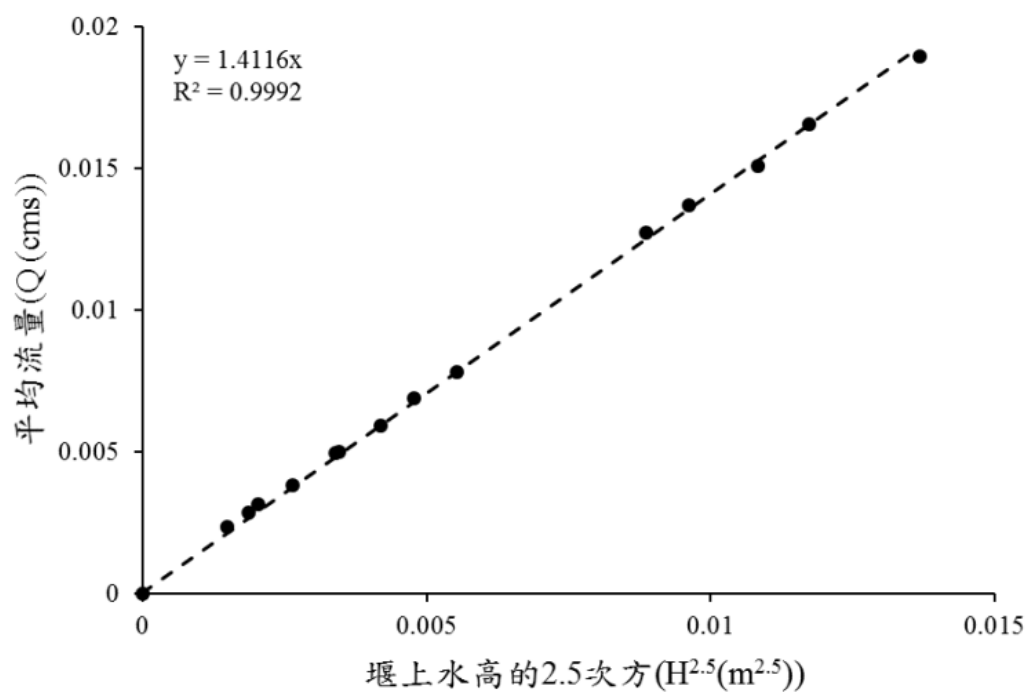
其中，Q 為流量、 C_d 為堰流係數，經由試驗率定求得，渠槽堰流係數約為 0.598； θ 為三角堰之頂角；H 為堰上水深(m)，可繪製一校正回歸曲線，如圖 5-38。經由換算可得方程式為：

$$Q = 1.4116 \times H^{2.5}$$



(資料來源：本計畫拍攝)

圖 5-37 實驗流量控制閥與整流板



(資料來源：Hong,2021)

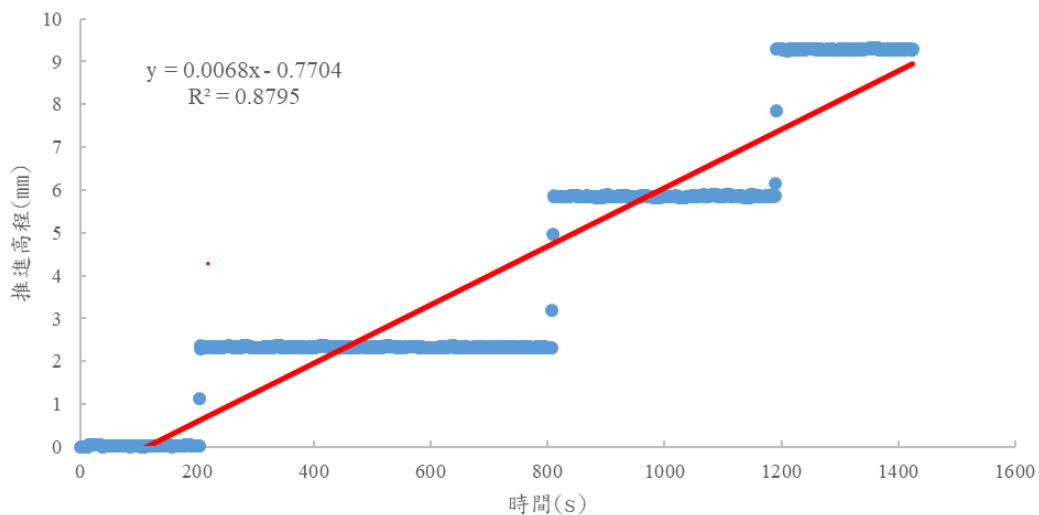
圖 5-38 三角堰流量校正回歸線

四、資料蒐集及整理

因本次試驗之坡度較大，水流無法調整至均勻流況，因此其水力坡降無法近似於底床坡降，故無法用此式估算本次實驗之底床剪應力。雖暫時無法藉由底床剪應力來擬合出臨界剪應力、質量沖蝕速率及坡度之關係。

土壤沖蝕量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。依據「洪瑞陽，2021」提及，由於土樣於不同流量、坡度等條件下，沖蝕情形有所不同。因此將每場實驗紀錄的的沖蝕深度及試驗延時，以線性回歸求其斜率，並以此斜率定義為沖蝕最佳擬合斜率(mm/s)，藉由土樣乾總體密度 ρ_d ；並以此去計算為實測質量沖蝕量速率 $E_{(exp)}(\frac{kg}{m^2}/s)$ ，。

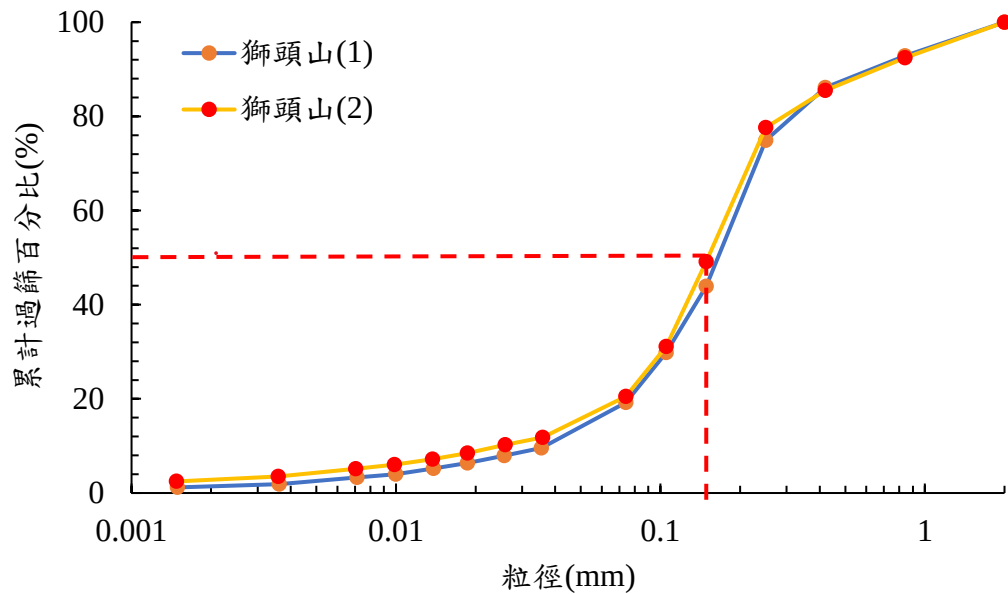
沖蝕量速率公式為： $E_{(exp)} = 0.001 \frac{\Delta L}{\Delta T} \rho_d$ ，式中， ρ_d 為乾總體密度(kg/m^3)由實驗結果求得； $\frac{\Delta L}{\Delta T}$ 為沖蝕最佳擬合斜率(mm/s)。



(資料來源：本計畫繪製)

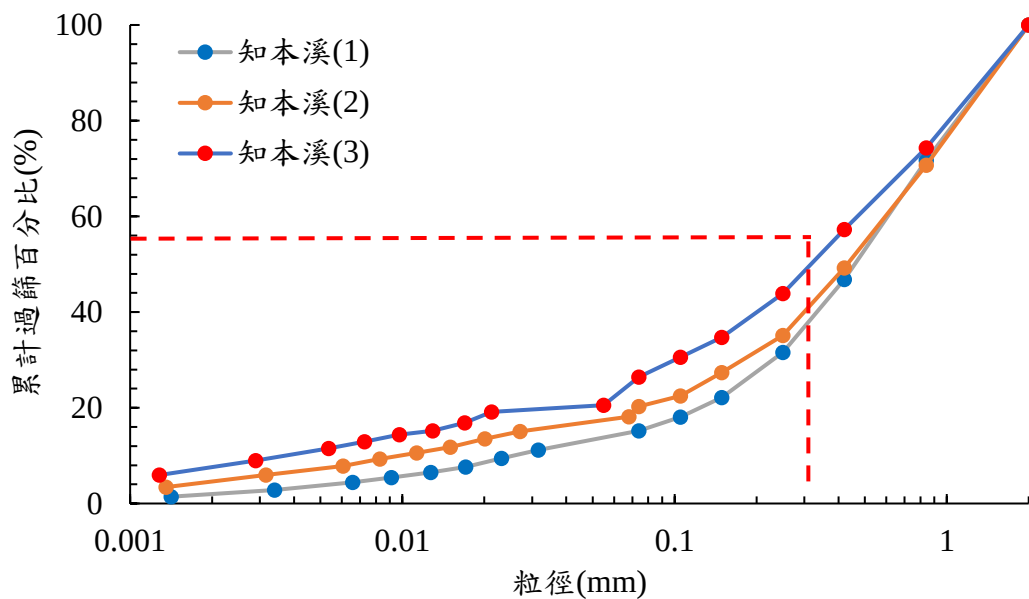
圖 5-39 新北獅頭山之沖蝕擬合線斜率(mm/s)

由於試驗中採用 2mm 以下之土樣，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，新北獅頭山試驗土樣之中值粒徑(D50)約為 0.151mm，如圖 5-40；臺東知本土樣試驗土樣之中值粒徑(D50)約為 0.400mm 如圖 5-41。



(資料來源：本計畫繪製)

圖 5-40 新北獅頭山啟動應力試驗土樣之過篩百分比



(資料來源：本計畫繪製)

圖 5-41 臺東知本啟動應力試驗土樣之過篩百分比

為與前期計畫試驗成果相互比較，並為了比較不同流況下之沖蝕情況，故試驗流量選擇與前期計畫相同的 0.00974cms 及 0.01370cms，對應前面章節流量校正，三角堰水深為分別為 13.66cm 及 15.66cm。並藉由沖蝕最佳擬合斜率計算其質量沖蝕速率，如表 5-28 與表 5-29，將數據繪整成圖 5-42 與圖 5-43。

表 5-24 新北獅頭山實驗坡度對應之上下游水深

流量 0.00974cms			流量 0.0137cms		
	上游水深	下游水深		上游水深	下游水深
2%	7.36	9.66	2%	7.04	10.26
3%	4.82	5.64	3%	5.48	5.18
4%	4.24	4.2	4%	4.72	5.08
5%	3.82	3.94	5%	4.28	4.62
6%	3.88	3.8	6%	4.32	4.52
7%	3.88	3.74	7%	4.36	4.14

(資料來源：本計畫實驗數據)

表 5-25 臺東知本實驗坡度對應之上下游水深

流量 0.00974cms			流量 0.0137cms		
	上游水深	下游水深		上游水深	下游水深
1%	7.32	6.68	1%	8.42	7.5
2%	5	4.96	2%	5.88	7.02
3%	4.48	4.42	3%	5.16	5.28
4%	4.4	4.34	4%	4.78	4.6
5%	3.72	3.86	5%	4.4	4.44
6%	3.7	3.64	6%	4.12	3.98
7%	3.46	3.54	7%	3.94	4.08

(資料來源：本計畫實驗數據)

表 5-26 渠槽沖蝕新北獅頭山實驗各項流況參數

流量(cms)	坡度(%)	平均水深(m)	流速(m/s)	福祿數	雷諾數
0.00974	2	0.0851	0.2861	0.31	17083.82
0.00974	3	0.0523	0.4656	0.65	19304.78
0.00974	4	0.0422	0.5770	0.90	20109.81
0.00974	5	0.0388	0.6276	1.02	20396.13
0.00974	6	0.0384	0.6341	1.03	20430.35
0.00974	7	0.0381	0.6391	1.05	20456.09
0.0137	2	0.0865	0.3960	0.43	23912.18
0.0137	3	0.0533	0.6426	0.89	27046.34
0.0137	4	0.0490	0.6990	1.01	27513.41
0.0137	5	0.0445	0.7697	1.16	28019.79
0.0137	6	0.0442	0.7749	1.18	28054.21
0.0137	7	0.0425	0.8059	1.25	28250.88

(資料來源：本計畫實驗數據)

表 5-27 渠槽沖蝕臺東知本實驗各項流況參數

流量(cms)	坡度(%)	平均水深(m)	流速(m/s)	福祿數	雷諾數
0.00974	1	0.07	0.34786	0.42	22427.47
0.00974	2	0.0498	0.48896	0.7	24241.06
0.00974	3	0.0445	0.54719	0.83	24766.53
0.00974	4	0.0437	0.55721	0.85	24847.83
0.00974	5	0.0379	0.64248	1.05	25453.62
0.00974	6	0.0367	0.66349	1.11	25582.66
0.00974	7	0.035	0.69571	1.19	25767.73
0.0137	1	0.0796	0.3059	0.35	21657.43
0.0137	2	0.0645	0.37752	0.47	22893.82
0.0137	3	0.0522	0.46648	0.65	24010.37
0.0137	4	0.0469	0.51919	0.77	24525.79
0.0137	5	0.0442	0.5509	0.84	24796.96
0.0137	6	0.0405	0.60123	0.95	25178.45
0.0137	7	0.0401	0.60723	0.97	25220.39

(資料來源：本計畫實驗數據)

表 5-28 新北獅頭山實驗組數及沖蝕最佳擬合斜率與質量沖蝕率

流量 (cms)	對應坡度 (%)	沖蝕單位土樣 所需時間(s)	沖蝕最佳 擬合斜率	質量沖蝕速率 (kg/m ² /s)
0.00974	2	289.61	0.0035	0.00881
	3	12.01	0.0833	0.20957
	4	10.5	0.0953	0.23976
	5	6.84	0.1463	0.36807
	6	3.8	0.2632	0.66218
	7	2.48	0.4026	1.01289
0.01370	2	119.78	0.0083	0.02088
	3	23.04	0.0434	0.10919
	4	20.53	0.0487	0.12252
	5	2.24	0.4472	1.12510
	6	1.44	0.6944	1.74703
	7	0.79	1.26	3.17001

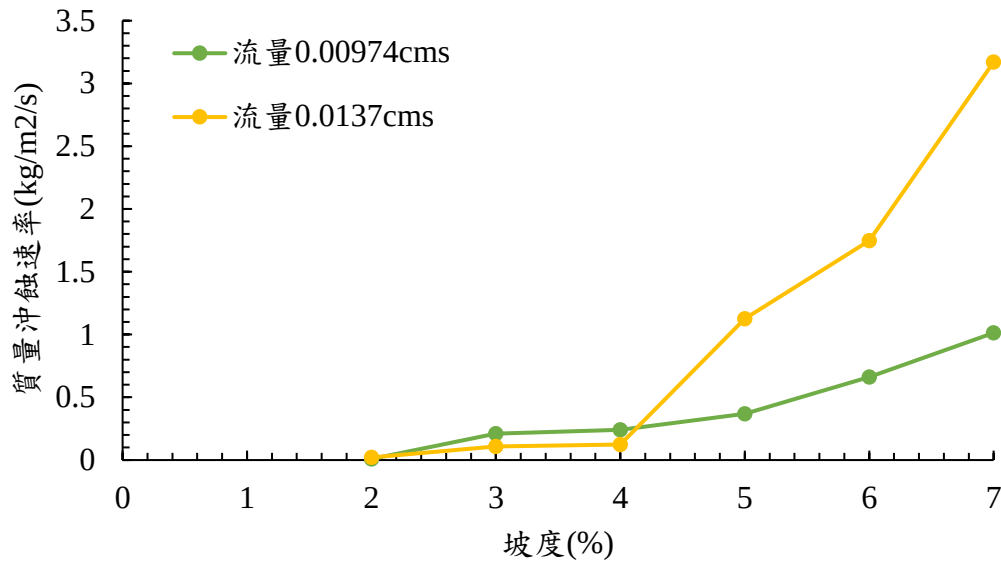
(資料來源：本計畫實驗數據)

表 5-29 臺東知本實驗組數及沖蝕最佳擬合斜率與質量沖蝕率

流量 (cms)	對應坡度 (%)	沖蝕單位土樣 所需時間(s)	沖蝕最佳 擬合斜率	質量沖蝕速率 (kg/m ² /s)
0.00974	1	0	0	0
	2	149.3208	0.0061	0.015346886
	3	31.29991	0.0263	0.066167723
	4	33.97143	0.0267	0.067174076
	5	14.56853	0.0609	0.153217275
	6	15.49735	0.0534	0.134348152
	7	7.848417	0.1056	0.265677245
0.01370	1	418.2208	0.0017	0.004277001
	2	45.6257	0.0204	0.051324013
	3	27.8694	0.0408	0.102648026
	4	17.53334	0.0696	0.175105457
	5	8.805818	0.0971	0.244292239
	6	9.421233	0.0875	0.220139763
	7	6.986284	0.1756	0.441789055

(資料來源：本計畫實驗數據)

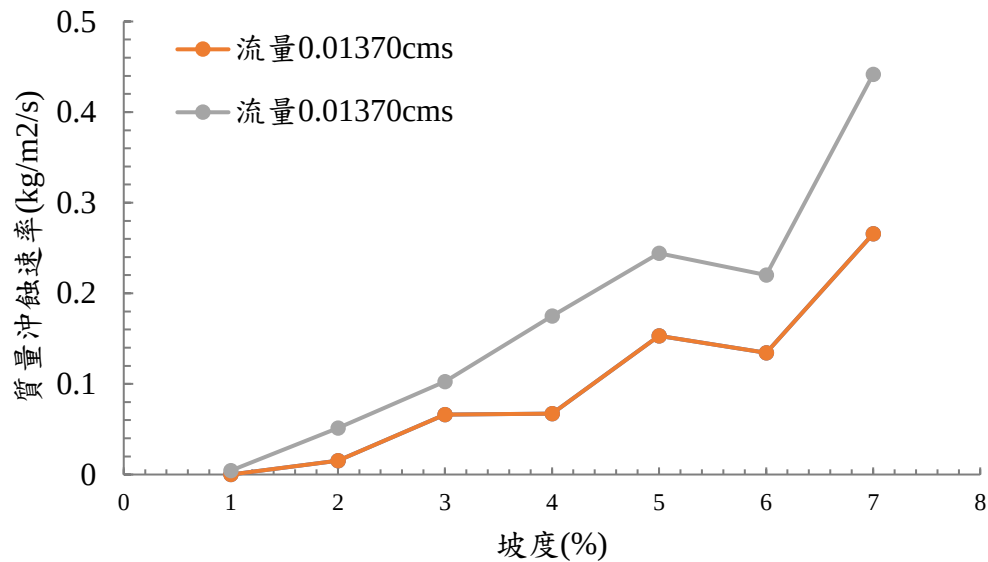
新北獅頭山沖蝕之情況



(資料來源：本計畫繪製)

圖 5-42 不同流量新北獅頭山土樣質量沖蝕率與坡度百分比關係圖

臺東知本沖蝕之情況



(資料來源：本計畫繪製)

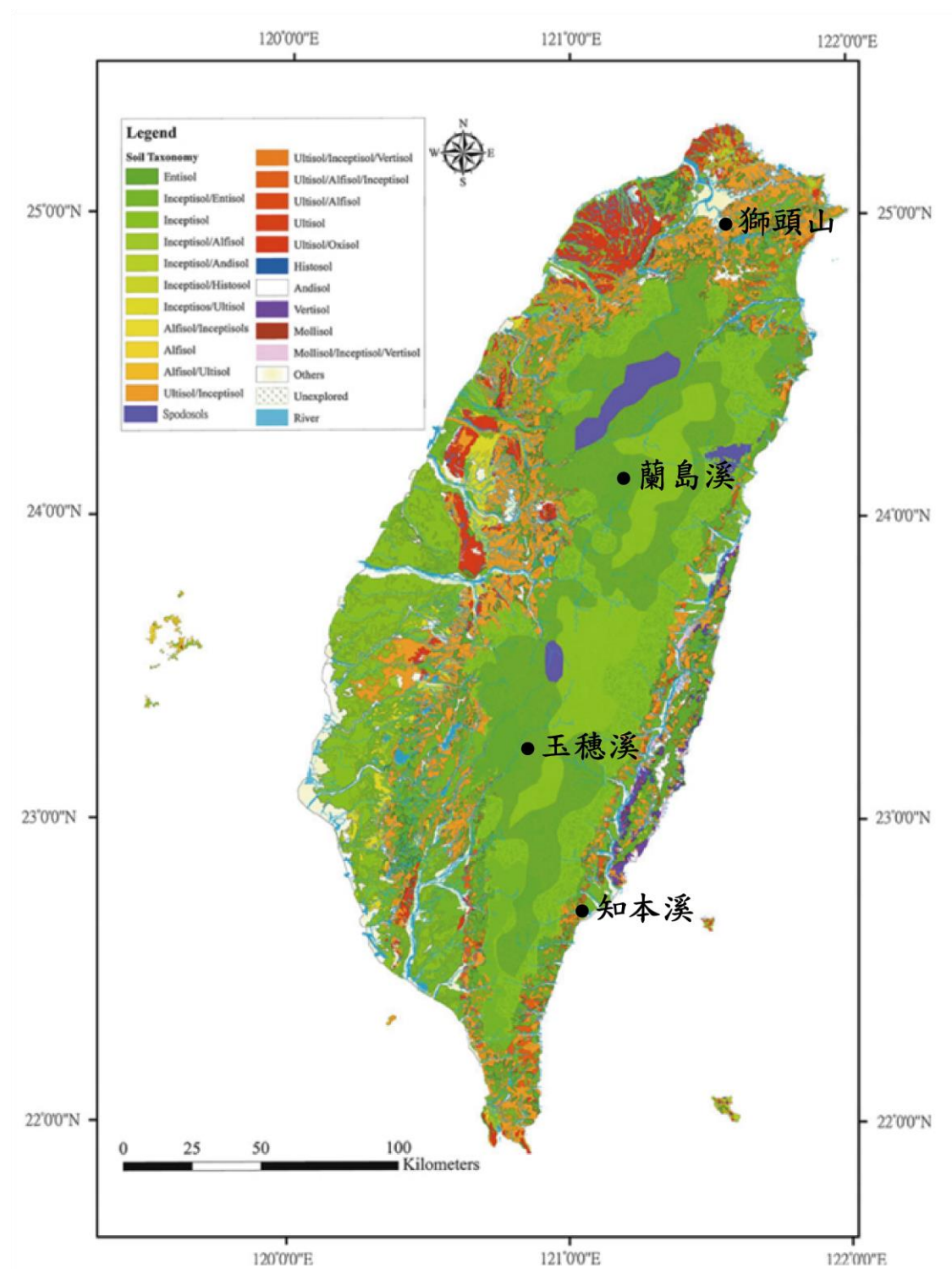
圖 5-43 不同流量臺東知本土樣質量沖蝕率與坡度百分比關係圖

因實驗用人力用油壓機將土樣向上推出，並使用肉眼觀察土樣是否完全沖蝕，故有人力上的界定，因此本實驗質量沖蝕速率並非實際值，僅具有參考價值。本期實驗水深及流量均與前期計畫相近，為與前期計畫相互比較，故選擇較深之水深。土樣在不同流量時，坡度較小之組數(4%以下)趨勢大致相同，但流量 0.0137cms 於坡度達 5%時，質量沖蝕率明顯上升，流量 0.00974cms 之質量沖蝕率則緩慢上升。

五、與前期計畫比較

前期計畫土樣採集點。中區土樣為南投縣仁愛鄉烏溪上游北港溪的支流蘭島溪匯流口，本地區之地層主要為達見砂岩，且集水區地勢陡峭，故推測土壤之粒徑分佈較為不均，且表層多為風化未完全之砂岩顆粒與土壤。依據臺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石質土(Lithosols)，而依據美國新土壤分類系統(1997)此區土樣性質應為新成土(Entisols)。

南區土樣為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。此事件當下之土石流約挾帶總崩塌量體之 1/5 不到，伴隨後續降雨事件可以在沖積扇處採集到較完整之新鮮土石流堆積物，而此土樣可充分模擬真實土石流之型態。依據臺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深色崩積土(Darkish colluvial soils)，而依據美國新土壤分類系統(1997)此區土樣性質應為新成土(Entisols)。



(資料來源：簡士豪,2015，本計畫改繪)

圖 5-44 兩期計畫土樣採集點位

表 5-30 兩期計畫四點位土樣之土壤水分係數

土樣	MF
新北獅頭山	1.0093
南投蘭島溪	1.0084
高雄玉穗溪	1.0101
臺東知本	1.0151

(資料來源：本期計畫整理)

表 5-31 兩期計畫四種土樣之土壤顆粒密度

土樣	顆粒密度(g/cm ³)
新北獅頭山	2.516
南投蘭島溪	2.592
高雄玉穗溪	2.759
臺東知本	2.643

(資料來源：本期計畫整理)

表 5-32 兩期計畫四種土壤質地分布

新北獅頭山		南投蘭島溪		高雄玉穗溪		臺東知本	
分類	百分比(%)	分類	百分比(%)	分類	百分比(%)	分類	百分比(%)
砂粒	91.194	砂粒	96.279	砂粒	98.306	砂粒	83.317
粉粒	7.733	粉粒	3.561	粉粒	1.512	粉粒	12.189
黏粒	1.073	黏粒	0.160	黏粒	0.182	黏粒	4.494

(資料來源：本期計畫整理)

表 5-33 兩期計畫四種土壤直接剪力實驗數據

土樣	內摩擦角	凝聚力(kpa)
新北獅頭山	33°26'	9.116
南投蘭島溪	43°48'	19.715
高雄玉穗溪	38°51'	23.808
臺東知本	29°33'	19.381

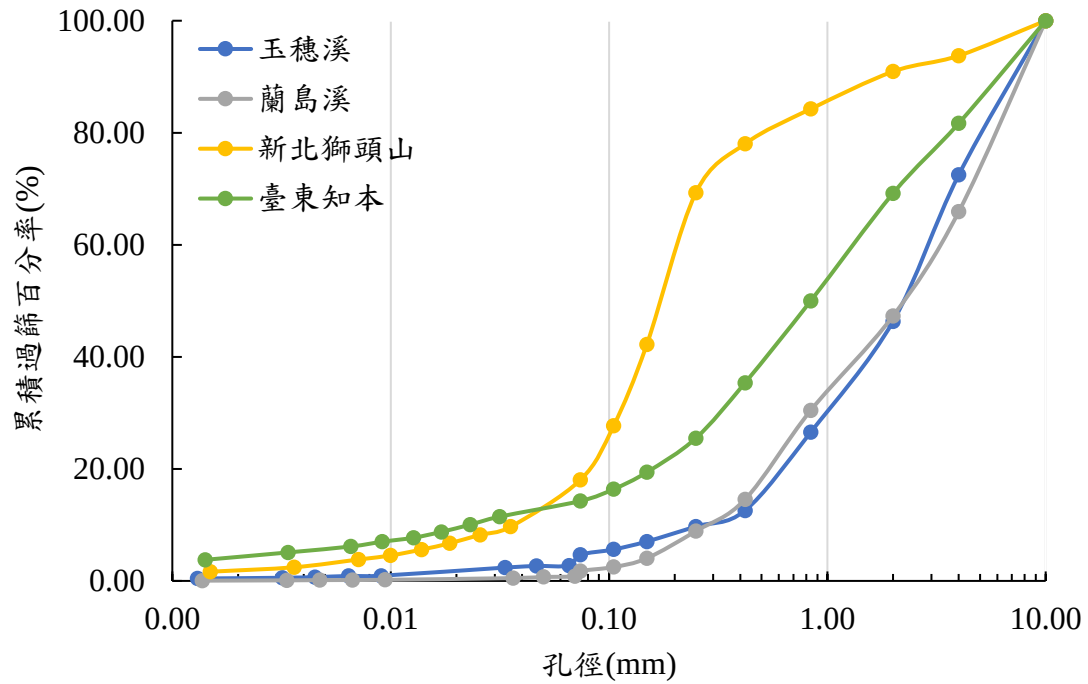
(資料來源：本期計畫整理)

表 5-34 兩期計畫四種土壤土壤級配計算表

土樣	曲線係數 C_c	均勻係數 C_u	結果
新北獅頭山	1.599	5.916	優良級配
南投蘭島溪	0.720	11.883	不良級配
高雄玉穗溪	0.895	5.752	不良級配
臺東知本	2.221	43.715	優良級配

(資料來源：本期計畫整理)

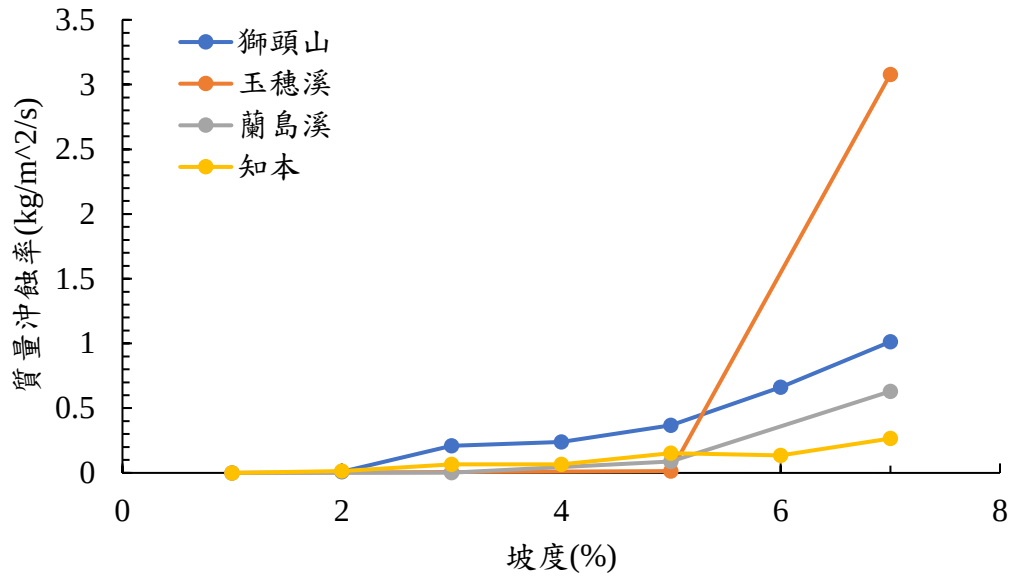
前期與本期土樣差別主要在於土壤化育與形成原因之差異，前期土樣主要為石質土，形成原因為上游河岸發生崩塌，生成土石流沖積於河口形成沖積扇，由於沖積扇形成於近代，土壤化育淋洗期間短暫，因此土體本身分層並不明顯，含石量極高，由於母岩性質之關係，土體多為深灰色，由於粒徑多集中於大顆粒，粒徑分佈不均，故前期計畫所採集之土樣皆為不良級配。本期土樣為介於弱育土及極育土之間的幼黃壤，生成原因主要為母質弱度化育生成，由強烈的淋洗作用，土體具有明顯的分層，土體本身的細顆粒及鉀鈉鈣等也因降雨流失使土體顏色轉為黃色或黃棕色，粒徑分佈均勻，故本期計畫所採集之土樣為優良級配。兩期不同的土樣其粒徑分佈比較如圖 5-45：



(資料來源：本期計畫繪製)

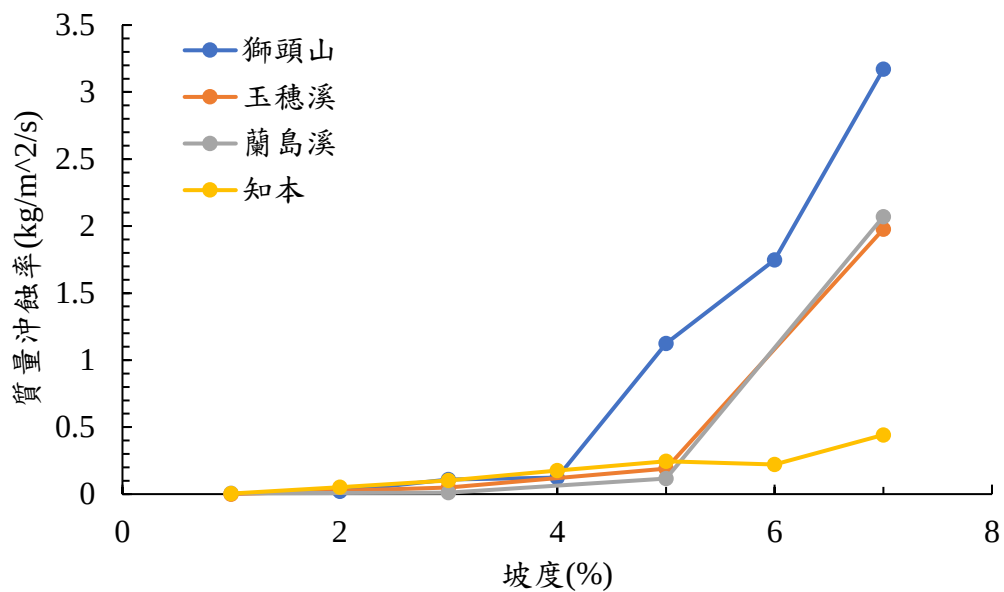
圖 5-45 前期與本期採集點之土樣粒徑分布曲線圖

前期與本期土樣粒徑分佈比較，可發現本期土樣與前期土樣雖皆為砂土，但本期土樣粒徑整體於前期粒徑相比來的更細小。以執行啟動應力實驗之土樣之 D50 相比，本期獅頭山之 D50 為 0.151mm、知本之 D50 為 0.400mm；前期蘭島溪之 D50 粒徑為 0.662mm、玉穗溪之 D50 粒徑為 0.840mm。



(資料來源：本期計畫繪製)

圖 5-46 流量為 0.00970cms 兩期土樣坡度與質量沖蝕率之關係。



(資料來源：本期計畫繪製)

圖 5-47 流量為 0.01370cms 兩期土樣坡度與質量沖蝕率之關係。

由圖 5-46、圖 5-47 可知，獅頭山、蘭島溪、玉穗溪三者土樣於低坡度(即 5%以下)相比，可發現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。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，因此將坡度 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 D50 粒徑雖一樣為正關係，但較獅頭山相比較關係不明確。

六、實驗小結

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。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粉、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，沖蝕量介有大幅上升之趨勢。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，待後續實驗繼續討論。

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。

第六章 結論與未來規劃

由法規文獻章節，可得知不同國家對於標高限制開發的定義較為不同，泰國利用地形的高程限制開發的條件，其實與本國的山坡地限制不謀而合，而泰國在標高設定上選擇80公尺以上即有所限制，與本國的100公尺相比更為嚴苛，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。

於行政管理章節，藉由 ArcGIS 進行不同標高與坡度之 DEM 圖層分析，了解到過去在訂定標高 100 公尺為山坡地判別標準，其中原因確實有其歷史背景和行政管理的便利性考量。在過去法律及科技尚未發展完善的時代，政府需要一個簡單明確的標準來區分山坡地和其他地形，以便於行政管理和執行。標高 100 公尺是一個相對容易量化和標示的標準，適合用於行政區劃和土地利用規劃；在訂定此標準時，通常會考慮到當地地形的一般特徵，標高 100 公尺以上的地區通常具有較明顯的坡度和水土保持的需求，因此被視為需要特別管理和保護的區域；設定標高 100 公尺作為山坡地判別標準，有助於政府資源的合理分配，這些區域可能需要進行更多的水土保持工作或受到開發限制，因此需要明確的界定來確保資源的有效利用和環境保護。

在學理計算章節中，綜合前期計畫與本期計畫之土樣，已有全臺四處地區之土壤作為實驗樣本，結合啟動應力實驗成果，其表明各地土樣沖蝕情形與坡度呈正相關，與前期計畫之結果相符。依據土樣採集地之地理分區，北中南東區皆具有代表性之土樣，但其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。

參考資料

1. 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。
2. 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。
3. 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.
4. Beasley, D. B., Huggins, L. F., Monke, E. J.(1980). "ANSWERS : A model for watershed planning". Trans ASAE, 23: 938-944.
5. 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.
6. da Cruz, F., Emam, S., Prochnow, M., Roux, J.N. and Chevoir, F. (2005). "Rheophysics of dense granular materials: Discrete simulation of plane shear flows". Physical Review E, 72: 021309.
7. Fox, D. M. and Bryan, R., B. (1999). " The relationship of soil loss by interrill erosion to slope gradient". Catena, 38: 211-222.
8. 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.
9. Foster et al., 1981; Lick, 1982; Elliot et al., 1989
10. Hobson, P. M. (2008). "Rheologic and flume erosion characteristics of Georgia sediments from bridge foundations," Master Thesis, Georgia Institute of Technology, Atlanta, GA.

11. Huang, C.-L (2014). "Debris fan morphology measured in the lab and field using digital photogrammetry". M.S. thesis, Graduate Institute of Civil Engineering, National Taiwan University, Taiwan.
12. Hung, C.-Y. and Capart, H. (2013). " Rotating laser scan method to measure the transient free-surface topography of small-scale debris flows". *Experiments in Fluids*, 54:1544.
13. Iverson, R. M. (2012). "Elementary theory of bed-sediment entrainment by debris flows and avalanches". *Journal of Geophysical Research*, 117, F03006.
14. Jop, P., Forterre, Y. and Pouliquen, O. (2005). "Crucial role of sidewalls in granular surface flows: consequences for the rheology ". *Journal of Fluid Mechanics*, 541:167-192.
15. 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
16. 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.
17. 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 Bahi'a Blanca estuary" *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, 87(2), pp.207-212
18. Ravisangar et al., 2001; 2005; Wang and Sturm, 2016
19. 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.

20. 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.
21. Romero, C.C., Stroosnijder, L. and Gaigorria, G.A. (2007). "Interill and rill erodibility in the northern Andean Highlands". *Catena*, 70, 105-113.
22. 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
23. Tai, Y.C. and Kuo, C.Y. (2008). "A new model of granular flows over general topography with erosion and deposition ". *Acta Mechanica*, 199: 71-96.
24. Tsorng, S.J., Capart, H., Lai, J.S. and Young, D.L. (2006). " Three-dimensional tracking of the long time trajectories of suspended particles in a lid-driven cavity flow". *Experiments in Fluids*, 40(2): 314-328.
25. Wang, B., Zheng, F., Römken, M.J.M., and Darboux, F. (2013). " Soil erodibility for water erosion: A perspective and Chinese experiences ". *Geomorphology*, 187: 1-10.
26. Wang, Y.-C. (2013). "Effects of physical properties and rheological characteristics on critical shear stress of fine sediments" .PhD Dissertation, Georgia Institute of Technology, Atlanta, GA.
27. Wang, Y.-C. and T. W. Sturm. (2016). "Effects of soil physical properties on erosional and yield strengths of fine-grained sediments". *Journal of Hydraulic Engineering*, 10: 1061.
28. Wang, Y.-C. and Hung, Rui-Yang (2023). "Effects of sediment properties on the erosion resistance of natural cohesive soils in Taiwan". *CATENA*, Volume 223,

29. Woolhiser D A, Smith R E, Goodrich D C. (1990). "KINEROS, a kinematic runoff and erosion model : documentation and user manual". ARS-77 USDA—ARS.
30. 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.
31. Ziadat , F. M. and Taimeh , A. Y.(2013) " Effect of rainfall intensity, slope, land use and antecedent soil moisture on soil erosion in an arid environment". Land Degrad. Develop., 24: 582–590.
32. Van Boxel, J. (1998). Numerical model for the fall speed of raindrops in a rainfall simulator, I.C.E. Special Report, 1998/1, 77-85.
33. Ni, S., Zhang, D., Wen, H. et al. Erosion processes and features for a coarse-textured soil with different horizons: a laboratory simulation. J Soils Sediments 20, 2997–3012 (2020).

行政院農業部農村發展及水土保持署
「以實驗、管理層面探究山坡地劃定準則
因應氣候變遷之調適作業」案

期中意見回覆

委員意見	意見回覆
唐委員琦	
1. P4-9 依圖 4-5 均是在坡度為 5%時於各標高下之差值百分比，何以不採用差值百分比為 0 時之標高，而僅以標高 100 m之面積最接近坡度為 5%之面積進行說明，是否酌增坡度大於 5%之面積進行比較，以足應管理層面之需求，請確認。	謝謝委員意見，已於 P4-14 進行說明採用標高 100 公尺作為判斷山坡地標準之原因，其考量到管理層面上的便利性。坡度選擇 5%之原因已於前期計畫討論說明之。
2. P4-12 當地區有足夠標高卻未被劃入山坡地之理由，請酌加說明。	謝謝委員意見，已於 P4-16 進行說明，因部分地區位於人口稠密區或重點區域，因此不列入山坡地範圍。
3. P4-14 花東縱谷平原高程相對較高，不列入山坡地範圍，請檢視原因再行立論。	謝謝委員意見，已於 P4-16 補充說明。
4. P5-14 本頁符號與 P5-16 頁之符號，請統一或調整名稱。	謝謝委員意見，已修正 P5-16 頁之符號。
5. P5-30「圖 5-22 與圖 5-23 內有圖說重覆，可調整。	謝謝委員意見，已調整圖 5-27 之圖說。
6. P5-31 圖 5-23 相關正向應力應可酌增 100~200 kpa 間之處理，以確認其剪應力之密切關聯。	謝謝委員意見，已於後續臺東知本土樣的實驗更近。
7. P5-36 將土壤水分達飽和之土樣上推高於渠底 1~2 mm 以進行渠道試驗，以	謝謝委員意見，本期計畫所進行之實驗主要著重的目的，於計算不同

委員意見	意見回覆
作業啟動應力實驗，建請補充沖蝕型態為條件。	中土樣於不同流量、坡度時其質量沖蝕率之變化，較不涉及形貌學上之研究。
8. P5-42 本期選用試驗流量對應水深下，顯非坡面流而是明渠流，建議就沖蝕型態為條件進行相關說明。	謝謝委員意見，水深已於 P5-44 中補充說明，沖蝕型態由於本實驗較不涉及形貌學上之變化，較難以此條件進行討論。
9. P5-43 表 2-6 建請調整為積淹水統計，其餘各表意見均同。	謝謝委員意見，遵照按理。
10. P5-49 圖 5-35 與次之頁圖 5-36，請統一刻度以利比較，又由二圖應可推估相對最小質量沖蝕率之坡度，此結果應可提供山坡地管理層面之參考。	謝謝委員意見，已統一圖 5-46、圖 5-47(期末報告之圖表順序有更換)之刻度，實驗結果供山坡地管理層面參考部分，已於實驗小結中補充說明。
坡地管理組	
1. 各國文獻檢視章節中，團隊分析泰國建築相關法規，惟並未將臺灣山坡地建築相關法規納入研究分析，建議於期末報告中加入臺灣建築相關法規進行研究。	謝謝委員意見，遵照辦理，將於期末報告時補上相關內容。
2. P4-1 第二段文字說明使用「超限利用」字眼，超限利用屬山坡地保育利用條例定義之名詞，建議報告書內文字修正。	謝謝委員意見，已針對超限利用之說法進行修正。
3. 第四章行政管理章節： (1) 請繪製不同海拔高度與臺灣土地累積面積關係圖。 (2) 比較不同海拔高度行政管理面積，	謝謝委員意見： (1) 以新增表 4-1 補充說明不同標高與臺灣土地累積面積關係圖。 (2) 針對破碎程度的判釋標準已於

委員意見	意見回覆
其相對破碎程度判釋標準為何?請加強說明。 (3)圖 4-4，套疊目的建議加強分析，標高 100 公尺最為平衡，評估標準為何亦請說明。	P4-3 進行說明。 (3)已於 P4-9 對圖 4-4 與標高 100 公尺最為平衡進行說明。
4. 土壤級配差異對沖蝕試驗是否產生不同結果?請說明。	謝謝委員意見，以目前僅有的三組實驗成果，大致呈現出土壤的粒徑分佈會與其質量沖蝕率有所關聯，而土壤級配差異對沖蝕試驗結果的影響目前仍不明確，有待後續實驗繼續討論。另已於實驗小結中補充說明。

行政院農業部農村發展及水土保持署
「以實驗、管理層面探究山坡地劃定準則
因應氣候變遷之調適作業」案

期末意見回覆

委員意見	意見回覆
1. 地質及土壤是否影響 5%的沖蝕成果以及對應的降雨特性。	感謝委員意見，地質與土壤條件的確會影響土壤沖蝕率，但整體來看，在相同土壤及地質條件得情況下，沖蝕量仍然會在 5%坡度時產生相對較大沖蝕量的結果。不過未來若有機會，可透過地形條件進行山坡地範圍的檢討，針對容易降雨地區的特性進行修正。
2. 考量到山坡地的沖蝕因素,是否可進一步建議在未來山坡地解編時應維持的管理措施?	感謝委員意見，針對山坡地解編的部分，未來若有機會可以透過相對應的地質災害條件、降雨特性及對應的致災因子進行檢討，了解其對應的退縮距離計算。
3. 針對老師前期與本期之計畫成果,可明確提供本署在山坡地管理上的妥通性。	感謝委員意見，未來會再持續進行相關研究，希望可提供署內參考使用。