

計畫編號：112 保發-5.1-保-01-06-001(5)

**以實驗及法規面探究山坡地劃定準則
因應氣候變遷之變化**

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

執行單位：國立中興大學水土保持學系

執行期間：112 年 2 月 8 日至 112 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 112 年 12 月

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於民國 65 年即因應當年的時空背景所訂定，以坡度 5%及標高 100 公尺作為劃定的標準，近年來也因應民眾使用需求在同樣設定標準的情況下進行山坡地範圍的修正。然而，面對極端氣候的挑戰，山坡地的劃定準則也需再次檢討。本研究將以兩個面向進行探討：(1)以實驗室縮尺實驗探究土壤沖蝕量與坡度的關係：首先以基礎土壤物理實驗及土壤力學實驗量測土壤的基礎性質，再經過縮尺渠槽實驗的方式探究土壤啟動應力與流速、流量的變化關係，最後再以縮尺的降雨沖蝕實驗量測在地形變化情況下沖蝕量的變動情況。(2)以法規面進行探討：本研究預計透過廣泛的收集國內外相關期刊論文及各國相關法規，進而檢討目前國內現行的規定是否足以因應極端氣候的變化，並且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。最後，總整以上成果，針對山坡地劃定準則因應氣候變遷的變化，提出初步的建議。

**以實驗及法規面探究山坡地劃定準則因應
氣候變遷之變化
目次**

摘要.....	I
目次.....	II
表次.....	IV
圖次.....	VII
第一章 前言	1-1
第二章 計畫構想與目標	2-1
第一節 計畫目標	2-1
第二節 預定進度	2-2
第三章 法規與文獻	3-1
第一節 國內法規沿革與討論	3-1
第二節 國外現行法規	3-11
第四章 行政管理	4-1
第一節 由土石流潛勢溪流範圍進行討論	4-7
第二節 由各水土保持分署管理範圍進行探討	4-10
第三節 行政管理面小結	4-26
第五章 學理計算	5-1
第一節 土壤基本物理性質實驗	5-4
第二節 土壤力學實驗	5-19
第三節 沖蝕啟動應力實驗理論基礎	5-25
第四節 土壤降雨沖蝕實驗	5-43
第六章 結論與未來規劃	6-1
第一節 總合各章之結論	6-1
第二節 未來規劃	6-5
參考資料.....	參-1

期中意見回覆	意見-1
期末意見回覆	意見-1

表次

表 2-1	計畫進度表	2-3
表 3-1	「山坡地保育利用條例」節錄	3-1
表 3-2	「山坡地土地可利用限度分類標準」節錄	3-2
表 3-3	「水土保持法」節錄	3-4
表 3-4	「水土保持技術規範」節錄	3-5
表 3-5	「陡坡地崩塌災害防止法」原文節錄與翻譯	3-12
表 3-6	「土砂災害防止法」原文節錄與翻譯	3-12
表 3-7	「中華人民共和國水土保持法」第 17 條原文節錄	3-15
表 3-8	「中華人民共和國水土保持法」第 18 條原文節錄	3-15
表 3-9	「中華人民共和國水土保持法」第 20 條原文節錄	3-16
表 3-10	「中華人民共和國水土保持法」第 23 條原文節錄	3-16
表 3-11	「華盛頓法典」RCW36.70A.010 原文節錄	3-18
表 3-12	「華盛頓法典」RCW36.70A.050 原文節錄	3-19
表 3-13	「華盛頓法典」RCW36.70A.060 原文節錄	3-20
表 3-14	「埃奇伍德市法規」14.10.020 原文節錄	3-21
表 3-15	「埃奇伍德市法規」14.10.050 原文節錄	3-21
表 3-16	「埃奇伍德市法規」14.90.010 原文節錄	3-22
表 3-17	「埃奇伍德市法規」14.90.020 原文節錄	3-23
表 3-18	「埃奇伍德市法規」14.110.020 原文節錄	3-24
表 3-19	「紐澤西州行政法典」(NJAC 7:38-1.4)原文節錄	3-25
表 3-20	「紐澤西州行政法典」(NJAC 7:38-3.8)原文節錄	3-26
表 3-21	「農業政策條件性法規實施地方法令」原文節錄	3-29
表 3-22	「實施共同農業政策條例」原文節錄	3-30
表 3-23	「實施共同農業政策條例」原文節錄	3-31

表 3-24	各國關於坡地之法規比較.....	3-34
表 4-1	坡度對應角度比較表.....	4-3
表 4-2	臺灣不同坡度對應山坡地面積表.....	4-5
表 4-3	於標高 100 公尺以下之不同坡度對應山坡地面積及比例表	4-6
表 4-4	土石流潛勢溪流影響範圍之坡度、面積與面積比例表.....	4-9
表 4-5	臺北分署之不同坡度對應山坡地範圍面積與比例表.....	4-12
表 4-6	臺中分署之不同坡度對應山坡地範圍面積與比例表.....	4-14
表 4-7	南投分署之不同坡度對應山坡地範圍面積與比例表.....	4-16
表 4-8	臺南分署之不同坡度對應山坡地範圍面積與比例表.....	4-19
表 4-9	臺東分署之不同坡度對應山坡地範圍面積與比例表.....	4-21
表 4-10	花蓮分署之不同坡度對應山坡地範圍面積與比例表.....	4-23
表 4-11	全臺分署不同坡度對應山坡地範圍面積與比例表.....	4-24
表 5-1	本計畫兩點位土樣之土壤水分係數.....	5-5
表 5-2	本計畫兩種土樣之土壤顆粒密度.....	5-8
表 5-3	玉穗溪土樣(1)粒徑資料.....	5-11
表 5-4	玉穗溪土樣(2)粒徑資料.....	5-11
表 5-5	蘭島溪土樣粒徑資料.....	5-12
表 5-6	土壤級配計算表.....	5-15
表 5-7	土壤質地分布.....	5-15
表 5-8	直接剪力實驗之土壤內摩擦角與凝聚力數據.....	5-23
表 5-9	近年使用臨界剪應力概念之相關沖蝕模型及研究.....	5-28
表 5-10	坡度百分比與度數對照表.....	5-32
表 5-11	玉穗溪實驗組數及沖蝕最佳擬合斜率與質量沖蝕率.....	5-37

表 5- 12	蘭島溪實驗組數及沖蝕最佳擬合斜率與質量沖蝕率.....	5-38
表 5- 13	土壤質地分布	5-46
表 5- 14	土壤沖蝕實驗組別	5-46

圖次

圖 1-1	赤柯山產業道路空拍景象.....	1-2
圖 1-2	沖蝕量（左）與沖刷深度（右）與坡度的關係.....	1-3
圖 3-1	與林俐玲教授討論現行法規沿革.....	3-7
圖 3-2	中國農村復興聯合委員會工作報告內容.....	3-9
圖 3-3	美國各地平均雨量示意圖.....	3-17
圖 4-1	臺灣現行法規之山坡地範圍.....	4-2
圖 4-2	不同坡度對應山坡地範圍示意圖.....	4-4
圖 4-3	山坡地範圍比例圖.....	4-6
圖 4-4	土石流潛勢溪流影響範圍-坡度對山坡地管理範圍之影響(以高雄荖濃溪支流布唐布納斯溪沖積扇為例).....	4-8
圖 4-5	土石流潛勢溪流影響範圍-坡度與面積比例圖.....	4-10
圖 4-6	臺北分署之不同坡度對應山坡地範圍.....	4-11
圖 4-7	臺北分署之不同坡度對應山坡地比例圖.....	4-12
圖 4-8	臺中分署之不同坡度對應山坡地範圍.....	4-13
圖 4-9	臺中分署之不同坡度對應山坡地比例圖.....	4-14
圖 4-10	南投分署之不同坡度對應山坡地範圍.....	4-15
圖 4-11	南投分署之不同坡度對應山坡地比例圖.....	4-16
圖 4-12	臺南分署之不同坡度對應山坡地範圍.....	4-18
圖 4-13	臺南分署之不同坡度對應山坡地比例圖.....	4-19
圖 4-14	臺東分署之不同坡度對應山坡地範圍.....	4-20
圖 4-15	臺東分署之不同坡度對應山坡地比例圖.....	4-21
圖 4-16	花蓮分署之不同坡度對應山坡地範圍.....	4-22
圖 4-17	花蓮分署之不同坡度對應山坡地比例圖.....	4-23

圖 4- 18	各分署管轄之山坡地範圍於不同坡度之面積比例圖.....	4-26
圖 4- 19	界定坡度更動之管理範圍示意圖(a)5%(b)8.75%(c)26.8%	4-28
圖 5- 1	蘭島溪匯流口土樣採取點.....	5-2
圖 5- 2	蘭島溪匯流口土樣採取點現況.....	5-2
圖 5- 3	荖濃溪支流玉穗溪沖積扇土樣採取點.....	5-3
圖 5- 4	荖濃溪支流玉穗溪沖積扇土樣採取點現況.....	5-3
圖 5- 5	土壤水分係數實驗之水分秤量盒.....	5-5
圖 5- 6	土壤顆粒密度實驗-比重計照片.....	5-7
圖 5- 7	土壤顆粒分析實驗.....	5-10
圖 5- 8	玉穗溪(1)粒徑分布曲線.....	5-12
圖 5- 9	玉穗溪(2)粒徑分布曲線.....	5-13
圖 5- 10	蘭島溪粒徑分布曲線.....	5-13
圖 5- 11	玉穗溪兩採集點之土樣粒徑分布曲線圖.....	5-14
圖 5- 12	玉穗溪(1)土壤質地分布圖.....	5-16
圖 5- 13	玉穗溪(2)土壤質地分布圖.....	5-17
圖 5- 14	蘭島溪土壤質地分布圖.....	5-18
圖 5- 15	土壤摩爾圓應力分佈圖.....	5-19
圖 5- 16	土壤直接剪力儀.....	5-20
圖 5- 17	土壤直剪實驗受力圖.....	5-21
圖 5- 18	剪應力與剪動變形關係圖-玉穗溪(2).....	5-22
圖 5- 19	剪應力與剪動變形關係圖-蘭島溪.....	5-22
圖 5- 20	正向應力與剪動應力之關係圖-玉穗溪(2).....	5-24
圖 5- 21	正向應力與剪動應力之關係圖-蘭島溪.....	5-24

圖 5- 22	兩種土樣剪力參數比較圖	5-25
圖 5- 23	當水流剪應力(a)小於(b)大於土壤顆粒之	5-27
圖 5- 24	土砂啟動實驗設備整體側視照	5-29
圖 5- 25	土砂沖蝕試驗過程	5-30
圖 5- 26	啟動應力實驗流程圖	5-31
圖 5- 27	高嶺土樣之試驗結果	5-32
圖 5- 28	實驗流量控制閥與整流板	5-34
圖 5- 29	三角堰流量校正回歸線	5-34
圖 5- 30	玉穗溪之沖蝕擬合線斜率(mm/s)	5-35
圖 5- 31	玉穗溪土樣(1)試驗土樣之過篩百分比	5-36
圖 5- 32	不同流量下玉穗溪土樣質量沖蝕率與波度百分比之關係圖	5-37
圖 5- 33	蘭島溪沖蝕試驗土樣之過篩百分比	5-38
圖 5- 34	不同流量下蘭島溪土樣質量沖蝕率與波度百分比之關係圖	5-39
圖 5- 35	玉穗溪(1)及蘭島溪沖蝕試驗土樣之過篩百分比比較圖	5-40
圖 5- 36	兩種土樣於相同流量(0.000974(cms))比較圖	5-40
圖 5- 37	蝕溝發展示意圖	5-44
圖 5- 38	沖蝕箱分割示意圖	5-45
圖 5- 39	流量計及壓力計配置圖	5-47
圖 5- 40	雨滴大小與終端速度之落下距離	5-48
圖 5- 41	曙紅法測定之雨滴大小	5-48
圖 5- 42	降雨設備雨量測定	5-49

圖 5- 43	降雨設備雨量分布圖	5-50
圖 5- 44	降雨沖蝕試驗示意圖	5-51
圖 5- 45	實驗配置圖	5-52
圖 5- 46	(左)雷射掃描線性滑軌(右)線性雷射掃描結果示意圖 ...	5-53
圖 5- 47	透過 MetaShape 進行地型掃描所得到之數位地形資料	5-54
圖 5- 48	部分建模影像展示圖	5-54
圖 5- 49	產出之模型點雲與影像相對位置圖	5-55
圖 5- 50	模型內重疊影像張數示意圖(紅色框線為沖蝕箱範圍)..	5-55
圖 5- 51	建模結果(a)數值高程模型(b)正攝影像	5-56
圖 5- 52	玉穗溪土樣於坡度 5%沖蝕箱內影像(a)沖蝕前(b)沖蝕後	5-58
圖 5- 53	玉穗溪土樣於 5%坡度之 DOD	5-59
圖 5- 54	兩現地土樣於 1%坡度沖蝕後之影像(a)蘭島溪(b)玉穗溪	5-60
圖 5- 55	蘭島溪(上半)及玉穗溪(下半)土樣於 1%坡度之 DOD ..	5-60
圖 5- 56	標準砂於 5 度(上半)及 5%(下半)坡度之 DOD.....	5-61
圖 5- 57	標準砂於 5 度(上半)及 5%(下半)坡度之正射影像	5-62

第一章 前言

依據農業部農村發展及水土保持署「創新研究計畫公開徵求計畫領域說明」領域一，「前瞻策略與管理」中提及「山坡地範圍，從民國69年劃定迄今，以標高「一百公尺以上者」或平均坡度在「百分之五以上者」，並參照法定裁量空間，劃定山坡地範圍，惟近年臺灣山坡地土砂災害問題受極端氣候與地質破碎影響，與當時環境背景不同，為因應極端氣候事件帶來之衝擊，爰研析土壤沖蝕與坡度之關係，提出劃定基準是否需調整之依據，提供後續處理參考。」為本計畫之研究核心。

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。

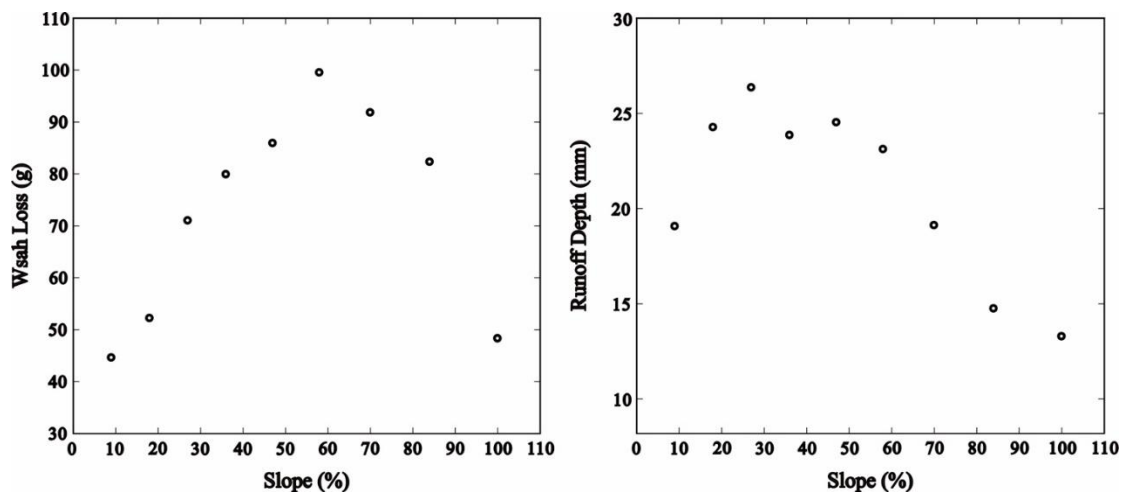
然而現今之地質因近年來之地震及颱風之侵襲而產生變化、變得更加脆弱，在全球暖化下的氣候異常，極端降雨事件更加頻繁、暴雨更多，山區土砂流失變得更加嚴重、水庫也更容易淤積導致儲水、防洪能力下降，因此有必要以現今之地質狀況再重新審視山坡地劃定準則。圖1- 1為2022年9月18日花東強震，以及9月24日~9月26日之連日降雨所導致之花蓮玉里鎮赤柯山產業道路崩塌事件。



（資料來源：農村發展及水土保持署花蓮分署）

圖 1- 1 赤柯山產業道路空拍景象

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(蘇瑋哲，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)。



(資料來源：Fox et al., 1999)

圖 1-2 沖蝕量（左）與冲刷深度（右）與坡度的關係

由圖1-2(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1-2(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。

三、透過收集的文獻資料以及實驗資料，設定不同坡度條件探討山坡地法規是否需要修正之依據。

第二章 計畫構想與目標

目前山坡地之劃定基準，自民國65年起做為管制依據，至今已40餘年，考量到近年來氣候變遷的影響，強降雨事件的增加，崩塌事件頻傳，針對山坡地的管理議題再次浮上檯面，針對山坡地劃定的條件可再次進行檢討設定。

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」，現今仍無較明確之科學根據支持，因此本研究將以臺灣現地土壤條件下針對坡度對土砂流失量之影響作為主要研究方向，以縮尺實驗、國內外之文獻及山坡地規章及資深水土保持學者進行法源依據的探討，並作為參考，且透過地理資訊系統進行探討因應氣候變遷條件下山坡地之劃定條件。

第一節 計畫目標

一、全程目標

本研究配合農業部農村發展及水土保持署112年度創新研究計畫徵求領域「前瞻策略與管理」中「因應極端氣候探討山坡地劃定基準之研究」研究項目進行。期望能透過本研究探討山坡地劃定之準則是否仍適用於臺灣現今氣候變遷下之條件，進而提供給各單位未來進行山坡地規劃使用之參考依據，總結本研究預期達成之目標：

- (一)針對坡度變化以氣候變遷為情境設計實驗，探討坡度與土壤流失量之關係。
- (二)廣泛蒐集國外劃定山坡地之文獻、管理制度、法規與組織權責，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、坡度與標高等因子做對照。

(三)使用地理資訊系統進行圖層套疊，探討不同山坡地劃定條件下，其涉及範圍對社會經濟之發展、國土安全等社會層面之影響。

(四)與水土保持學系資深學者進行訪談，了解法規的歷史沿革與當時設定此標準之主要原因。

二、年度目標

本計畫為單一年度計畫，年度目標與全程目標相同。

第二節 預定進度

本計畫之工作項目依照作業內容可分為內業及外業部分，其中內業部分之工作項目為：1. 收集國內外文獻及相關法規、2. 進行圖層套疊，考量不同山坡地劃分對行政面之影響；而外業部分之工作項目為：1. 進行現地取樣，量測基礎土壤物理及力學性質、2. 土樣之土壤啟動應力實驗、3. 降雨沖蝕實驗。

而本計畫已於期末階段完成全數工作，包含內業工作、兩種土樣之基本性質、力學實驗、土壤啟動應力及土壤沖蝕實驗。(詳見表2-1)

表 2-1 計畫進度表

重要工作項目	工作比重	112 年			備註
		～期中	～10 月	～12 月	
收集國外文獻及相關法規	15%				
與資深教授討論國內法規沿革	10%				
進行圖層套疊，考量不同山坡地劃分對行政面之影響	15%				
現地取樣及基本土壤性質測定	10%				
土壤啟動應力實驗	20%				
土壤降雨沖蝕實驗	30%				
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)進行坡度的分類與計算，探討若更改山坡地之限制坡度，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、土壤啟動應力實驗及土壤沖蝕實驗，由實驗之結果進行坡度對於土壤沖蝕量之探討，為了解現行法規之限制坡度是否合適。

第三章 法規與文獻

本計畫已於112年5月與國立中興大學水土保持學系之資深教授進行訪談與討論，探討本國訂定山坡地法規之沿革，並與各國現行法規進行差異比較，探討法規面。

第一節 國內法規沿革與討論

一、相關法規-現行法規

(一)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，原文如表3-1。

表 3-1 「山坡地保育利用條例」節錄

「山坡地保育利用條例」第3條：
本條例所稱山坡地，係指國有林事業區、試驗用林地及保安林地以外，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，就合於左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： 1. 標高在一百公尺以上者。 2. 標高未滿一百公尺，而其平均坡度在百分之五以上者。
「山坡地保育利用條例」第16條：
1. 山坡地供農業使用者，應實施土地可利用限度分類，並由中央

或直轄市主管機關完成宜農、牧地、宜林地、加強保育地查定。
土地經營人或使用人，不得超限利用。

2. 前項查定結果，應由直轄市、縣（市）主管機關於所在地鄉（鎮、市、區）公所公告之；公告期間不得少於三十日。
3. 第一項土地可利用限度分類標準，由中央主管機關定之。
4. 經中央或直轄市主管機關查定之宜林地，其已墾殖者，仍應實施造林及必要之水土保持處理與維護。

（資料來源：山坡地保育利用條例）

（二）山坡地土地可利用限度分類標準：

此項法規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，如表3-2。

表 3-2 「山坡地土地可利用限度分類標準」節錄

「山坡地土地可利用限度分類標準」第4條：
山坡地土地之可利用限度分類標準如下： 1. 宜農、牧地：應符合下列規定之一，並依水土保持技術規範實施水土保持處理與維護： (1) 一級坡至三級坡。 (2) 甚深層、深層及淺層之四級坡。 (3) 甚淺層之四級坡，且其土壤沖蝕輕微或中等及下接軟質母岩。 (4) 甚深層、深層之五級坡。

- (5) 淺層之五級坡，且其土壤沖蝕輕微或中等及下接軟質母岩。
2. 宜林地：應符合下列規定之一，並造林或維持自然林木或植生覆蓋，不宜農耕之土地：
- (1) 甚淺層之四級坡，且其土壤沖蝕嚴重或下接硬質母岩。
- (2) 甚淺層之五級坡。
- (3) 淺層之五級坡，且其土壤沖蝕嚴重或下接硬質母岩。
- (4) 六級坡。
3. 加強保育地：屬沖蝕極嚴重、崩塌、地滑、脆弱母岩裸露之土地。

(資料來源：山坡地土地可利用限度分類標準)

(三)水土保持法

此法於民國83年5月27日公布，較山坡地保育條例晚約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條例相同，本法第3條同樣定義了山坡地之標準，如表3-3。

表 3-3 「水土保持法」節錄

「水土保持法」第3條：
本法專用名詞定義如下： 1. 水土保持之處理與維護：係指應用工程、農藝或植生方法，以保育水土資源、維護自然生態景觀及防治沖蝕、崩塌、地滑、土石流等災害之措施。 2. 水土保持計畫：係指為實施水土保持之處理與維護所訂之計畫。 3. 山坡地：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： (1) 標高在一百公尺以上者。 (2) 標高未滿一百公尺，而其平均坡度在百分之五以上者。 4. 集水區：係指溪流一定地點以上天然排水所匯集地區。 5. 特定水土保持區：係指經中央或直轄市主管機關劃定亟需加強實施水土保持之處理與維護之地區。 6. 水庫集水區：係指水庫大壩（含離槽水庫引水口）全流域稜線以內所涵蓋之地區。 7. 保護帶：係指特定水土保持區內應依法定林木造林或維持自然林木或植生覆蓋而不宜農耕之土地。 8. 保安林：係指森林法所稱之保安林。

(資料來源：水土保持法)

(四)水土保持技術規範

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，其中只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，原文如表3-4。

表 3-4 「水土保持技術規範」節錄

「水土保持技術規範」第5條： （農林漁牧地之開發利用） 於山坡地或森林區內從事農、林、漁、牧地開發利用之水土保持處理與維護原則如下： 1. 應依山坡地土地可利用限度分類標準查定結果合理利用，不得超限利用。 2. 林地應加強造林。林地之育林、伐木、集材、運材、林道修築等作業，應加強沖蝕控制，並儘速復舊造林。 3. 漁塭之開發，除應加強開挖整地作業之水土保持處理與維護外，應以不妨礙水利、危害河川安全及地下水資源為原則。 4. 牧地之開發，以維持原地形及自然排水系統為原則，如需整坡作業，則應分區處理，並加強水土保持處理與維護。
--

（資料來源：水土保持技術規範）

二、探討現行法規沿革

本計畫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。

(一)林俐玲教授觀點：

- 1.規劃山坡地主要考量因素：避免土壤流失、避免土壤的相對生產力降低。
- 2.早期僅有山保條例，當時多數山坡地都是農業用途。於八七水災發生後，政府重新審視坡地管理之必要性，制定了水土保持法。
- 3.山保條例中將土地分成農牧用地及宜林地，分類標準考量因素包含土壤深度、母岩性質、及土壤沖蝕程度，以此為依據來進行劃分。因此於宜林地的上從事農業開發，為超限利用。
- 4.近年對於山坡地的開發需求已經不限於農業利用，因此需要一份規劃更完整的法律來進行管理。將山坡地的土地利用型態分成農業利用、非農業利用、是否超限利用、需要做簡易水土保持規劃或是水土保持計畫等。
- 5.以現行的條文去推測當時訂定山坡地標準立法者之目的，可能考量以下幾點：
 - (1)沖蝕量增加。在坡度達到 5%以上時，土壤沖蝕開始明顯有增大的趨勢。
 - (2)為了方便管理。以 ULSE 公式為出發，標準試區為

9%，此範圍已到二級坡，故當年為統一管理標準或為方便管理，將山坡地的限制訂定為 5%。

6. 臺灣地區的土壤大多為壤土，而現在從事山坡地農業開發的比例較少，故可能需要一規範說明如何劃出與劃入山坡地。

7. 山坡地的劃定標準是為了減少土壤流失、降低土砂災害，而 5% 只是其中的標準。



(資料來源：本計畫拍攝)

圖 3-1 與林俐玲教授討論現行法規沿革

(二) 游繁結教授觀點：

1. 水土保持法之立法起源是為界定農林使用邊界，界定一般土地、可農用坡地、林地，類似於日本在推動的里山文化 (satoyama initiative，里山倡議，2010)，但農林邊際土地定義較為含糊。

2. 早期農復會(中國農村復興聯合委員會)訂定了「山坡地」一

詞之概念，因當時無法條、僅有計畫，故僅概括性地研擬，包含山坡地之栽種方法、如何於山坡地引進農業、水源等，對土地管理方面概念不明確(如圖3- 2)。而後續藉由法條明定山坡地之範圍可落實界定並使管理面可依法行政。

- 3.山坡地保育條例於民國67年通過，但其實60年代就已開始擬定。當時擬定法律之人員主要以農業土地管理專家構成，於農委會內部成立一山坡地單位，訂定坡度5%為山坡地劃定準則。經學者專家討論，5%之坡度訂定可使計算簡化，不採用10%為避免過多之土壤沖蝕量，且訂定範圍內還是能夠種植雜糧蔬菜、作畦，類似一般平地的耕作，但是有斜度。
- 4.5%之依據，為根據流體力學觀點下流速與水深之關係，當坡度為小於5%之沖蝕量較不明顯，而5%以上則需要加強保育避免土砂流失，目的為土地合理開發為主，但需要保育。
- 5.積極的管理可使土地之利用有法可循，而不是使山坡地完全禁止利用。
- 6.以力學觀點來看，當坡度超過5%，雨濺沖蝕也將會使土砂被帶往下游。

原起：

第一章 原起與組織

中國乃一農業國家，中國各種根本問題之解決，必須經由農業途徑。此雖為一般早所週知之事實，然引起中外人士之深切注意者則方自最近開始。若干年來，下列事實業已成為一種普遍之常識。即：中國人口百分之八十以上以農為生，然平均每一農戶佔有耕地面積僅為十五畝（二·五英畝）；農民每年收入在近代進步國家中乃最低之一國；中國人民生活水準之提高縱極微小，對於中國與世界經濟政治之安定仍具有極大影響。

中國當前問題，除上述外，尚有種種其他現實問題。在政治方面，則政府形式，國際關係，政黨等問題，首先為一般人所重視，其餘國防，教育，社會事業及工商業之重建等問題，亦均獲得各方注意。良以此等問題，除少數具有深切見解之人士外，類多為社會一般領袖所最感關切與需要者，因此，社會各方面及政府各部門均集中注意於此等現實問題之解決。

第二次大戰以後，在中國所引起之各種複雜問題，如共產主義，工業復興以及政治制度等，雖均要求首先解決，然若干有識之士均瞭解不問其他問題如何急切，社會福利乃解決目前一切問題之基本，而改進農業尤為促進社會福利之要件，否則一切經濟政治等問題之解決均將落空。因此，戰後仍有若干設施致力於農業改進工作，其中最足稱道者為中美農業技術合作團對於中國各項有關農業問題之調查與研究。

民國三十四年十月，中國國民政府向美國政府建議農林事業之技術合作，結果兩國政府同意合組一中美農業技術合作團，以設計一中國農業改進之方案並建議完成此方案所需之各種機構，合作團曾對歷年輸出佔重要地位之外銷農產品特加注意，並曾對農業教育，農業研究，農業推廣之機構及事業，農業生產，加工與運銷，以及與農民生活及水土利用有關之各項經濟與技術問題，加以研究。在留華三個月期間，合作團對於中國農業及其重要問題獲有一相當確切之認識。其結論為中國農業生產如能應用現代化科學知識以改良土壤，作物，牲畜及農具等可以大量增加，並相信目前農村之貧乏可由改進地租，農貸，及農產品之銷售等予以減輕，而增加農民收入。合作團充分了解為解決此一深遠之農業問題，需要一綜合而縝密之方案，並需要一強有力之農業行政系統以推行此一方案。該團所作十項建議，除純粹屬於農業技術部份外，並包含外匯率之調整，農貸利率及運費之減低，出口農產品之獎勵與標準化，農業研究機關及農業機構之調整，建立農業銀行制度，並節制人口之過度增加等項。合作團報告書公布於卅六年五月，在美國國會討論經濟援華時為一極具價值之參考資料。合作團不僅供給可靠之材料，並貢獻有關農業之寶貴意見，此項意見對於此後本會之產生貢獻甚大。

此外有助於本會之產生者，尚有下述若干因素。二次大戰期間，美國農業部曾與拉丁美洲各國順利完成一文化交流方案，此方案乃中美技術合作團重要背景之一。另一因素為對於中國技術協助觀念之改變，由於以往協助多數屬於救濟性質，故當經濟合作總署展開工作之際，發現自助人助之原則，在中國農村應用最為適宜。因經濟合作方案之目標在以經濟建設抵抗共產主義，

(一)

(資料來源：中國農村復興聯合委員會工作報告)

圖 3-2 中國農村復興聯合委員會工作報告內容

三、國內法規與沿革小結

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，使農用行為有法律之依據。

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。

第二節 國外現行法規

在文獻、法規資料的收集上，法規，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。

一、日本

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。因多發生崩塌、土石流等土砂災害，該國訂定了相關的法規，其中關於山坡地劃定的相關法規如下：

- (一)「陡坡地崩塌災害防止法」，於昭和 44 年(西元 1969 年)制定，截至目前最後修訂日期為平成 17 年(西元 2005 年)，主要立法之目的係為了保護國民生命安全，免於因陡坡地崩塌造成傷害。其中「陡坡地崩塌災害防止法」第二條對於陡坡地有其定義，節錄如表 3-5。

表 3-5 「陡坡地崩塌災害防止法」原文節錄與翻譯

「陡坡地崩塌災害防止法」第二條節錄	
原文：	この法律において「急傾斜地」とは、傾斜度が三十度以上である土地をいう。
翻譯：	本法所稱「陡坡地」，係指坡度超過三十度以上之土地。

(資料來源：陡坡地崩塌災害防止法)

(二)「土砂災害防止法」則是於平成 12 年(西元 2000 年)公布、次年實施，其最後修改日期為平成 27 年(西元 2015 年)。主要立法目的為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，原文節錄如表 3-6。

表 3-6 「土砂災害防止法」原文節錄與翻譯

「土砂災害防止法」第七條節錄	
原文：	都道府県知事は、基本指針に基づき、急傾斜地の崩壊等が発生した場合には住民等の生命又は身体に危害が生ずるおそれがあると認められる土地の区域で、当該区域における土砂災害(河道閉塞による湛水を発生原因とするものを除く。以下この章、次章及び第二十七条において同じ。)を防止するために警戒避難体制を特に整備す

	べき土地の区域として政令で定める基準に該当するものを、土砂災害警戒区域(以下「警戒区域」という。)として指定することができる。
翻譯：	都道府縣知事依基本方針之規定，就陡坡崩塌發生時可能造成危害居民生命身體之災害的潛勢區，為防止該區域發生土砂災害（發生原因為河道阻塞形成迴水者除外。以下本章、次章第二十七條相同。），應將其認定為須特別整備警戒避難體制之土地區域。該土地區域符合政令規定之基準者，指定為土砂災害警戒區域（以下稱為「警戒區域」）。
「土砂災害防止法」第九條節錄：	
原文：	都道府県知事は、基本指針に基づき、警戒区域のうち、急傾斜地の崩壊等が発生した場合には建築物に損壊が生じ住民等の生命又は身体に著しい危害が生ずるおそれがあると認められる土地の区域で、一定の開発行為の制限及び居室(建築基準法(昭和二十五年法律第二百一十号)第二条第四号に規定する居室をいう。以下同じ。)を有する建築物の構造の規制をすべき土地の区域として政令で定める基準に該当するものを、土砂災害特別警戒区域(以下「特別警戒区域」という。)として指定することができる。
翻譯：	都道府縣知事依據基本方針，對於警戒區域內陡坡地崩塌等情形發生時，可能出現建築物損毀或嚴重危害居民生命、身體等區域，得限制為特定開發行為，並認定該區域

	為有居室（建築基準法（一九五〇年法律第二百零一號）第二條第四款規定稱為居室。以下亦同。）建築物構造應管制區域，其符合政令所定基準者，得指定為土砂災害特別警戒區域（以下稱「特別警戒區域」。）
--	--

（資料來源：土砂災害防止法）

日本與山坡地劃分之相關法律主要定義了陡坡地的界線，30度以上定義為陡坡地。因陡坡崩塌發生時容易造成人民生命安全財產的災害，故設立警戒區，限制區內的土地開發利用，不可進行不受許可的開發。

二、中華人民共和國

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」，而在2010年開始實施。

在第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，如表3-7。

表 3-7 「中華人民共和國水土保持法」第 17 條原文節錄

「中華人民共和國水土保持法」第17條節錄
禁止在崩塌、滑坡危險區和泥石流易發區從事取土、挖砂、採石等可能造成水土流失的活動。崩塌、滑坡危險區和泥石流易發區的範圍，由縣級以上地方人民政府劃定並公告。崩塌、滑坡危險區和泥石流易發區的劃定，應當與地質災害防治規劃確定的地質災害易發區、重點防治區相銜接。

(資料來源：中華人民共和國水土保持法)

而第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，如表3-8。

表 3-8 「中華人民共和國水土保持法」第 18 條原文節錄

「中華人民共和國水土保持法」第18條節錄
水土流失嚴重、生態脆弱的地區，應當限制或者禁止可能造成水土流失的生產建設活動，嚴格保護植物、沙殼、結皮、地衣等。

(資料來源：中華人民共和國水土保持法)

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，如表3-9。

表 3-9 「中華人民共和國水土保持法」第 20 條原文節錄

「中華人民共和國水土保持法」第20條節錄
禁止在二十五度以上陡坡地開墾種植農作物。在二十五度以上陡坡地種植經濟林的，應當科學選擇樹種，合理確定規模，採取水土保持措施，防止造成水土流失。

(資料來源：中華人民共和國水土保持法)

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，如表3- 10。

表 3- 10 「中華人民共和國水土保持法」第 23 條原文節錄

「中華人民共和國水土保持法」第23條節錄
在禁止開墾坡度以下、五度以上的荒坡地開墾種植農作物，應當採取水土保持措施。具體辦法由省、自治區、直轄市根據本行政區域的實際情況規定。

(資料來源：中華人民共和國水土保持法)

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：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。

三、美國

美國因國土幅員廣闊，幾乎有著世界上所有的氣候類型，如：東北部沿海與五大湖區屬「溫帶大陸性濕潤氣候」，夏季氣候溫和，較多雨，而冬季較冷，平均年降雨量為1000毫米左右；東南部及墨西哥

灣沿岸屬「副熱帶濕潤氣候」，溫暖濕潤，年降雨量為2000毫米以上；中部平原區域則夏季與冬季之氣候相差較大，夏季炎熱，冬季寒冷；西部內陸高原部分則較為乾燥，年降雨量為500毫米以下；最後則為西部太平洋沿岸地區，為「溫帶海洋性氣候」，美國之雨量示意圖如圖3-3。又因美國的聯邦制度，五十個州都是獨立的主權實體，擁有自己的州憲法與州政府，故多數州以英國普通法作為立法基礎，建立其各州的法律。

故本計畫中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。



(資料來源：美國內政部各地平均降雨圖)

圖 3-3 美國各地平均雨量示意圖

(一)華盛頓州：

華盛頓州之現行法律為華盛頓法典(RCW)，為會議法的集合(由立法機關制定，並由總督簽署獲通過倡議程序制定)，立法年份為1973年。因州內許多縣市，故在此法規中向下細分出縣(Counties)的法律(Title36)，在其中的36.70A為縣市土地利用規畫之法規：

RCW36.70A.010中敘述了保護、使用土地是共同目標，若缺乏此認知則會對環境、經濟發展、健康、安全等造成威脅，原文如表3- 11。

表 3- 11 「華盛頓法典」RCW36.70A.010 原文節錄

「華盛頓法典」RCW36.70A.010節錄	
原文：	The legislature finds that uncoordinated and unplanned growth, together with a lack of common goals expressing the public's interest in the conservation and the wise use of our lands, pose a threat to the environment, sustainable economic development, and the health, safety, and high quality of life enjoyed by residents of this state.

(資料來源：華盛頓法典(RCW))

RCW36.70A.050中描述各部門不可以晚於1990年9月1日採用此法，需要將土地進行分類，類別為(a)農業用地；(b)林地；(c)礦產資源地；(d)關鍵區域，原文如表3- 12。

表 3- 12 「華盛頓法典」RCW36.70A.050 原文節錄

「華盛頓法典」RCW36.70A.050節錄	
原文：	(1) Subject to the definitions provided in RCW 36.70A.030, the department shall adopt guidelines, under chapter 34.05 RCW, no later than September 1, 1990, to guide the classification of: (a) Agricultural lands; (b) forestlands; (c) mineral resource lands; and (d) critical areas. The department shall consult with the department of agriculture regarding guidelines for agricultural lands, the department of natural resources regarding forestlands and mineral resource lands, and the department of ecology regarding critical areas.

(資料來源：華盛頓法典(RCW))

RCW36.70A.060 中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製定發展條例，以確保根據RCW 36.70A.170指定的農業、森林和礦產資源用地的保護，原文如表3-13。

表 3- 13 「華盛頓法典」RCW36.70A.060 原文節錄

「華盛頓法典」RCW36.70A.060節錄	
原文：	Each county that adopts a resolution of partial planning under RCW 36.70A.040(2)(b), and each city within such county, shall adopt development regulations within one year after the adoption of the resolution of partial planning to assure the conservation of agricultural, forest, and mineral resource lands designated under RCW 36.70A.170. Regulations adopted under this subsection (1)(c) must comply with the requirements governing regulations adopted under (a) of this subsection.

(資料來源：華盛頓法典(RCW))

藉由上述法規，本計畫查詢到關於華盛頓州中的皮爾斯郡埃奇伍德市(Edgewood, Pierce County, Washington)所制定之法規中明確界定了上述的土地分類，法律於Edgewood Municipal Code, Title 14 Critical areas, Chapter14.10進行描述。

14.10.020為此法之目的為減輕關鍵區域及其附近開發的潛在危害。其訂定了包含相鄰關鍵區域(Critical areas)與其緩衝區上開發活動的最低標準，來保護埃奇伍德的關鍵區域免受開發的影響，原文節錄如表3- 14。

表 3- 14 「埃奇伍德市法規」 14.10.020 原文節錄

「埃奇伍德市法規」 Edgewood Municipal Code, 14.10.020 節錄	
原文：	The purpose of this title is to protect the critical areas of Edgewood from the impacts of development by establishing minimum standards for development activity on sites that contain or adjoin any critical area or its buffer(s). Further, the purpose of these regulations is to mitigate the potential hazard(s) to development in and near critical areas.

(資料來源：Edgewood Municipal Code)

14.10.050規定若要在關鍵區域已及其周圍300英尺以內進行開發活動，需要擁有許可證或必須或是政府的批准，原文節錄如表3- 15。

表 3- 15 「埃奇伍德市法規」 14.10.050 原文節錄

「埃奇伍德市法規」 Edgewood Municipal Code, 14.10.050 節錄	
原文：	Critical Areas Permit or Approval Required. In order to conduct any development activity or regulated activity on any property located within 300 feet of a critical area, as each critical area is defined in this title or as shown on the city's critical areas map(s), a critical areas permit or an approval must be obtained from the city.

(資料來源：Edgewood Municipal Code)

14.90此章為地滑危險區，其中**010**為本章目的，主要保護人類生命健康、規範土地使用、界定地滑危險區、減少地滑對濕地、魚類與野生動物棲地造成之不良影響與可能發生地滑區的開發許可案程序，原文節錄如表3- 16。

表 3- 16 「埃奇伍德市法規」 14.90.010 原文節錄

「埃奇伍德市法規」 Edgewood Municipal Code, 14.90.010節錄	
原文：	The purpose of this chapter is to: A : Protect human life and health. B : Regulate uses of land in order to avoid damage to structures and property being developed and damage to neighboring land and structures. C : Identify and map active landslide hazard areas. D : Minimize the ill effects on wetlands and critical fish and wildlife habitat that can result from landslides. E : Establish permit requirement and review procedures for development proposals in areas with potential landslides.

(資料來源：Edgewood Municipal Code)

14.90.020中定義了何為地滑危險區，由五個指標來辨別：

- 1.歷史破壞區位；
- 2.包含三個特徵的區位，分別為：(a)坡度超過15%，垂直起伏20英尺或以上者；(b)上層岩層為透水層，下層不透水層或基岩之地層；(c)有泉水或地下水滲出之區位；
- 3.近一萬年中地層有破壞之地泡特徵區位；
- 4.坡度為40%以上且垂直起伏為15英尺以上之任何區域
- 5.因地震事件而有風險之地區，原文節錄如表3- 17。

表 3- 17 「埃奇伍德市法規」 14.90.020 原文節錄

「埃奇伍德市法規」 Edgewood Municipal Code, 14.90.020 節錄	
原文：	Landslide Hazard Areas. Landslide hazard areas are areas potentially subject to mass movement due to a combination of geologic, seismic, topographic, hydrologic, or manmade factors. Landslide hazard areas are identified by the presence of any of the following five indicators. 1. Areas of historic failures, including areas of unstable, old and recent landslides or landslide debris within a head scarp. 2. Areas with all three of the following characteristics: a. Slopes steeper than 15 percent with a vertical relief of 20 feet or more; and b. Hillsides that intersect geologic contacts with a relatively permeable sediment overlying a relatively impermeable sediment or bedrock; and c. Springs or groundwater seepage. 3. Areas exhibiting geomorphological features indicative of past slope failure within the last 10,000 years, such as hummocky ground, back-rotated benches on slopes, tension cracks, etc. 4. Any area with a slope of 40 percent or steeper and with a vertical relief of 15 or more feet. 5. Areas that are at risk of mass movement due to seismic events.

(資料來源：Edgewood Municipal Code)

在**14.110.020**中有與水土流失危險區相關之定義，土壤侵蝕危險區域會根據是否存在自然植被覆蓋、土壤地質狀況、坡度與降雨模式或由人為改變的這些特徵造成之土壤侵蝕影響確定的。土壤侵蝕危險區域包含坡度20%以上之區域，並且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之區域，原文節錄如表3- 18。

表 3- 18 「埃奇伍德市法規」14.110.020 原文節錄

「埃奇伍德市法規」Edgewood Municipal Code, 14.110.020 節錄	
原文：	Soil Erosion Hazard Areas. Soil erosion hazard areas are identified by the presence or absence of natural vegetative cover, soil texture condition, slope, and rainfall patterns, or man-induced changes to such characteristics that create site conditions which are vulnerable to erosion of the upper soil horizon. Soil erosion hazard areas include those areas with slopes of 20 percent or greater and that are classified as having severe or very severe erosion potential by the USDA Natural Resources Conservation Service.

(資料來源：Edgewood Municipal Code)

藉由上述華盛頓州與埃其伍德市之法律可得知，在華盛頓州中並沒有界定山坡地範圍之法律，其界定了關於水土流失危險區域與地滑危險區域的範圍。水土流失危險區域為坡度20%以上之區域。地滑危險區的條件較為複雜，分為五點，已於上文分別闡述。

(二)紐澤西州

紐澤西州之現行法律為紐澤西州行政法典(NJAC)，其中第七篇第三十八章為高地水資源保護級規劃法案，於2016年11月7日實施，其中的第一分章的1.4節為其基本名詞定義，如表3- 19。

表 3- 19 「紐澤西州行政法典」(NJAC 7:38-1.4)原文節錄

「紐澤西州行政法典」(NJAC 7:38-1.4)節錄	
原文：	"Steep slope" means a land area with a grade greater than 10 percent and includes, but is not limited to, natural swales, ravines and manmade areas such as those created for road grading or mining for sand, gravel or fill. "Linear development" means infrastructure, utilities and the rights-of-way therefor, such as sewerage and stormwater management pipes; gas and water pipelines; electric, telephone and other transmission lines; and the rights-of-way therefor.
翻譯：	陡坡：指坡度大於10%的土地區域，但不限於窪地、峽谷、人造區域，例如，為道路平整或開採砂、礫石或填料而創造的區域。 線性開發：指基礎設施、公用事業及其通行權。如污水與雨水管理管道、煤氣與管道；電力、電話與其他傳輸線路。

(資料來源：紐澤西州行政法典)

而對於陡坡開發等相關規定則是位於第三分章中的第3.8節，規定節錄如表3- 20。

表 3- 20 「紐澤西州行政法典」(NJAC 7:38-3.8)原文節錄

「紐澤西州行政法典」(NJAC 7:38-3.8)節錄	
原文：	a.A major Highlands development on a steep slope shall meet the requirements of this section. b.The percent of slope (rise in feet per horizontal distance) shall be established by measurement of distance perpendicular to the contour of the slope. The percent of slope shall be calculated for each two-foot contour interval. For example, any location on the site where there is a one-foot rise over a 10-foot horizontal run constitutes a 10 percent slope; a 1.5 foot rise over a 10-foot horizontal run constitutes a 15 percent slope; a two-foot rise over a 10-foot horizontal run constitutes a 20 percent slope. c.Linear development as defined at N.J.A.C. 7:38-1.4 shall be permitted on a slope with a grade of 20 percent or greater provided that there is no feasible alternative for the linear development outside the steep slope. In order to demonstrate "no feasible alternative for linear development," the applicant shall demonstrate that there is no other location, design and/or configuration for the proposed linear development that would reduce or eliminate the disturbance to a slope with a grade of 20 percent or greater. The additional limitations at (c)1 and 2 below apply for proposed linear development that would

	provide access to an otherwise developable lot. d. For a steep slope with a grade greater than 10 percent but less than 20 percent: 1. If the steep slope is a forest as defined at N.J.A.C. 7:38-1.4, linear development as defined at N.J.A.C. 7:38-1.4 shall be permitted if there is no feasible alternative for the linear development outside the steep slope; 2. If the steep slope is not a forest and the appropriate Soil Survey for the onsite soil series and percent slope states that the soil capability class of the soil is III or higher or the soil capability class and subclass are IIe or IIs, linear development shall be permitted provided that there is no feasible alternative for the linear development outside the steep slope; or 3. If the steep slope is not a forest and the appropriate Soil Survey for the onsite soil series and percent slope states that the soil capability class is I or the soil capability class and subclass is IIw, major Highlands development shall be permitted provided: i. The proposed development meets all other standards in this chapter; and ii. The applicant demonstrates that there is no other location, design and/or configuration for the proposed development that would reduce or eliminate the disturbance to steep slopes and
--	--

	still fulfill the basic purpose of the proposed development.
翻譯：	a.在陡坡上的開發需符合本節的需求。 b.坡度百分比應透過量測垂直於坡度之距離確定。 c.線性開發可在20%或更陡的斜坡上進行。前提是在此地區開發沒有其他的替代方案。 d.對於坡度大於10%小於20%者，有三種的方案也被允許開發。 1. 若陡坡為森林，若沒有其他替代開發方案，則可允許線性開發。 2. 若不是森林，且土壤等級符合標準，若沒有其他替代開發方案，則可進行線性開發。 3. 非森林，且土壤等級符合另一種標準，也可進行。

(資料來源：紐澤西州行政法典)

藉由上述紐澤西州的法律可得知，在紐澤西州有明確界定陡坡坡度範圍的法律，界定的範圍為坡度10%以上的土地區位，且包含人造或是天然峽谷皆在此範圍內，並有明確規定此範圍內的開發方式需遵守的規定及其替代方案，且建設內容多為符合公共利益或基礎建設之項目。

四、德國

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，北部則以平原地型為主。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如表 3-21。

表 3-21 「農業政策條件性法規實施地方法令」原文節錄

「農業政策條件性法規實施地方法令」第一條節錄	
原文：	Feldblöcke werden in die Wassererosionsgefährdungsklassen-KWasser1 oder KWasser2 eingestuft, wenn die durchschnittliche Hangneigung ihrer Rasterzellen im 10 Meter-Raster größer als 3 % ist und zusätzlich der arithmetische Mittelwert des Produktes aus Bodenerodierbarkeitsfaktor K, Hangneigungsfaktor S und Regenerositätsfaktor R ihrer Rasterzellen die Schwellenwerte nach Anlage 3 Spalte 2 der GAPKondV erreicht oder überschreitet.
翻譯：	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。

(資料來源：農業政策條件性法規實施地方法令)

「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，節錄如表 3- 22。

表 3- 22 「實施共同農業政策條例」原文節錄

「實施共同農業政策條例」原文節錄				
原文：		Berechnungsfaktor Erosionsgefährdung/ Wassererosionsgefährdungsklasse	$K * S * R^2$	$K * S * R * L^3$
		KWasser1	15- <27.5	30- < 55
		KWasser2	≥ 27.5	≥ 55
		1. Bestimmung der potenziellen (standortbedingten) Erosionsgefährdung durch Wasser in Anlehnung an DIN 19708 (Bodenbeschaffenheit – Ermittlung der Erosionsgefährdung von Böden durch Wasser mit Hilfe der ABAG, DIN – Deutsches Institut für Normung e.V.). Die DIN-Methode ist zu beziehen beim Beuth Verlag Berlin. 2. Der Regenerositätsfaktor R (R-Faktor) ist verpflichtend zu verwenden. Er ist gemäß DIN 19708 Abschnitt 4.2 bzw. Tabelle C.1 gebietsspezifisch zu ermitteln und anzuwenden. 3. Der Hanglängenfaktor L ist optional zu verwenden. Er ist gemäß DIN 19708 Abschnitt 4.5 standortspezifisch zu ermitteln und anzuwenden.		
翻譯：		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

	1. 根據 DIN 19708 方法可確定土壤潛在的侵蝕風險。DIN 方法可以從 Beuth Verlag Berlin 獲得。 2. 必須使用再生侵蝕係數 R (R 係數)。根據 DIN 19708 第 4.2 節及表 C.1，應根據特定區域挑選係數。 3. 坡長係數 L，根據 DIN 19708 第 4.5 節，根據具體地點選用。
--	--

(資料來源：實施共同農業政策條例)

而有關 Kwasser1 及 Kwasser2 的管理方式，依據「2023 年農業直接支付條例、綜合管理及控制系統資訊」節錄如下：

表 3- 23 「實施共同農業政策條例」原文節錄

「實施共同農業政策條例」原文節錄	
原文：	5.3.5 Mindestpraktiken der Bodenbewirtschaftung zur Begrenzung der Bodenerosion (GLÖZ 5) Der Schutz des Bodens vor Erosion ist durch Maßnahmen zu gewährleisten, die sich nach dem Grad der Wasser- oder Winderosionsgefährdung richten. Hierzu teilen die Länder die landwirtschaftlichen Flächen je nach Grad der Wasser- oder Winderosionsgefährdung bestimmten Klassen zu. Ackerflächen, die der Wassererosionsstufe KWasser1 zugewiesen sind, dürfen vom 1. Dezember bis zum Ablauf des 15. Februar nicht gepflügt werden. Das Pflügen nach der Ernte der Vorfrucht ist nur bei einer Aussaat vor dem 1. Dezember zulässig. Ist eine Ackerfläche der Wassererosionsstufe KWasser2 zugewiesen, darf sie vom 1. Dezember bis zum 15. Februar nicht gepflügt werden. Das Pflügen zwischen dem 16. Februar und dem Ablauf des 30. November ist nur bei einer unmittelbar folgenden Aussaat zulässig. Spätester Zeitpunkt der Aussaat ist der 30. November. Vor der Aussaat von Reihenkulturen mit einem Reihenabstand von 45 Zentimetern

	und mehr ist das Pflügen verboten.
翻譯：	限制土壤侵蝕的耕作要求：為保護土壤免受沖蝕，根據風蝕和水蝕程度來分類。為此，由各州將農田依據水蝕和風蝕程度法分為不同的類別。 被劃分為水蝕等級KWasser1程度的農地，在每年12月1日至次年2月15日期間不得耕種，除非於12月1日前完成新一輪的播種才允許耕種。 被劃分為水蝕等級KWasser1程度的農地，在每年12月1日至次年2月15日期間不得犁田，除非於12月1日前完成新一輪的播種才允許耕種。 被劃分為水蝕等級KWasser2程度的農地，在每年12月1日至次年2月15日期間不得犁田。2月15日至11月30日期間，除非直接進行下一輪耕種才可以犁田。且作物需以條狀耕作、間距大於等於45公分時，才可耕作。

(資料來源：實施共同農業政策條例)

上述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。

五、法規小結

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，如表3- 24。

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。

表 3-24 各國關於坡地之法規比較

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$\leq$40%)，且其土壤沖蝕嚴重或下接硬質母岩。 2. 甚淺層之五級坡(>40%且$\leq$55%)。 3. 淺層之五級坡(>40%且$\leq$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：本計畫彙整)

第四章 行政管理

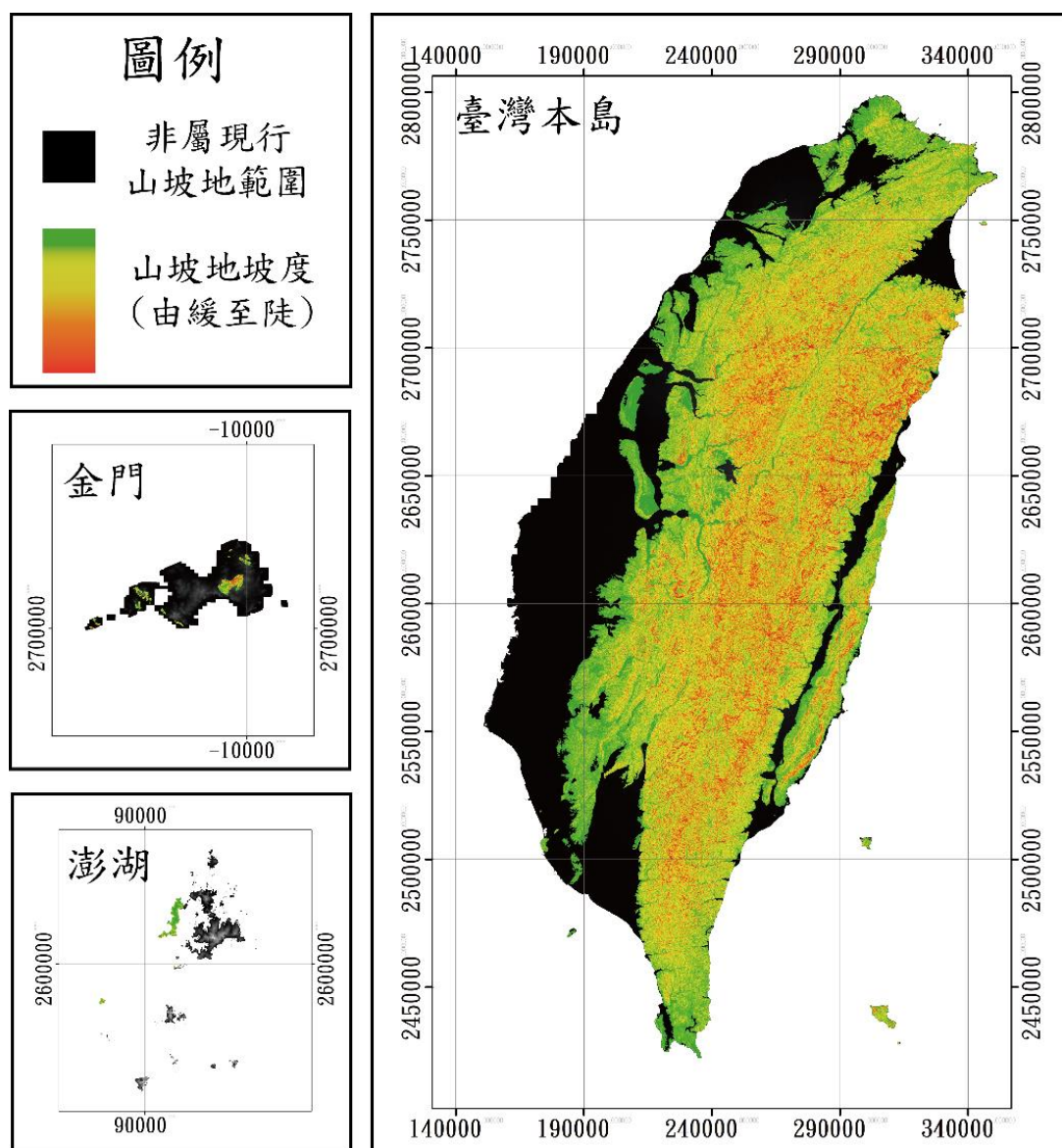
山坡地開發與違規使用問題源自使用需求，由於臺灣於固定區域人口密度高，對於土地利用的需求自然也較大。過去缺乏完善管理的概念及制度，造成環境敏感地區的土地超限利用，因此政府透過「山坡地保育條例」及「水土保持法規」將山坡地劃入管理。對坡度5%以上之土地要求進行水土保持之規劃並經核可才能進行使用，而於55%以上之土地，則不能進行利用(坡度介於30~55%者有條件不可利用)。

結合上述之管理情形對應至現今人們對土地利用之需求增加，近年來人們對於中央機關訂定之山坡地範圍提出諸多疑慮。又因山坡地的管理涉及到農業、林業、水利、保育、交通、觀光及原住民等各種面向，議題多元而複雜。本計畫為了解此議題，於行政管理中，本計畫單純聚焦於「山坡地保育條例」及「水土保持法規」中改變山坡地之坡度造成之影響進行討論。

本計畫進行全臺DEM的坡度計算，並統計全臺現行山坡地之範圍。藉由改變不同坡度，探討坡度對於現行山坡地之範圍有何種影響。

利用政府資訊開放平台中之土石流潛勢溪流影響範圍資料進行討論，比較各水土保持分署於各自管轄範圍內，土石流潛勢溪流影響範圍在變更不同之山坡地坡度條件時有何變化，同時探討其對於山坡地之管理方面有何影響。

利用政府開放平台中之全臺DEM相關資料(網格大小為20m×20m)進行初步處理，於地理資訊系統(GIS)內建立坡度之圖層，而因馬祖目前在政府資訊開放平台中無資料，故僅能製作金門與澎湖之山坡地面積的估算。再藉由現行臺灣山坡地範圍進行全臺山坡地範圍與坡度地疊圖，可得圖4- 1。



(資料來源：本計畫繪製)

圖 4-1 臺灣現行法規之山坡地範圍

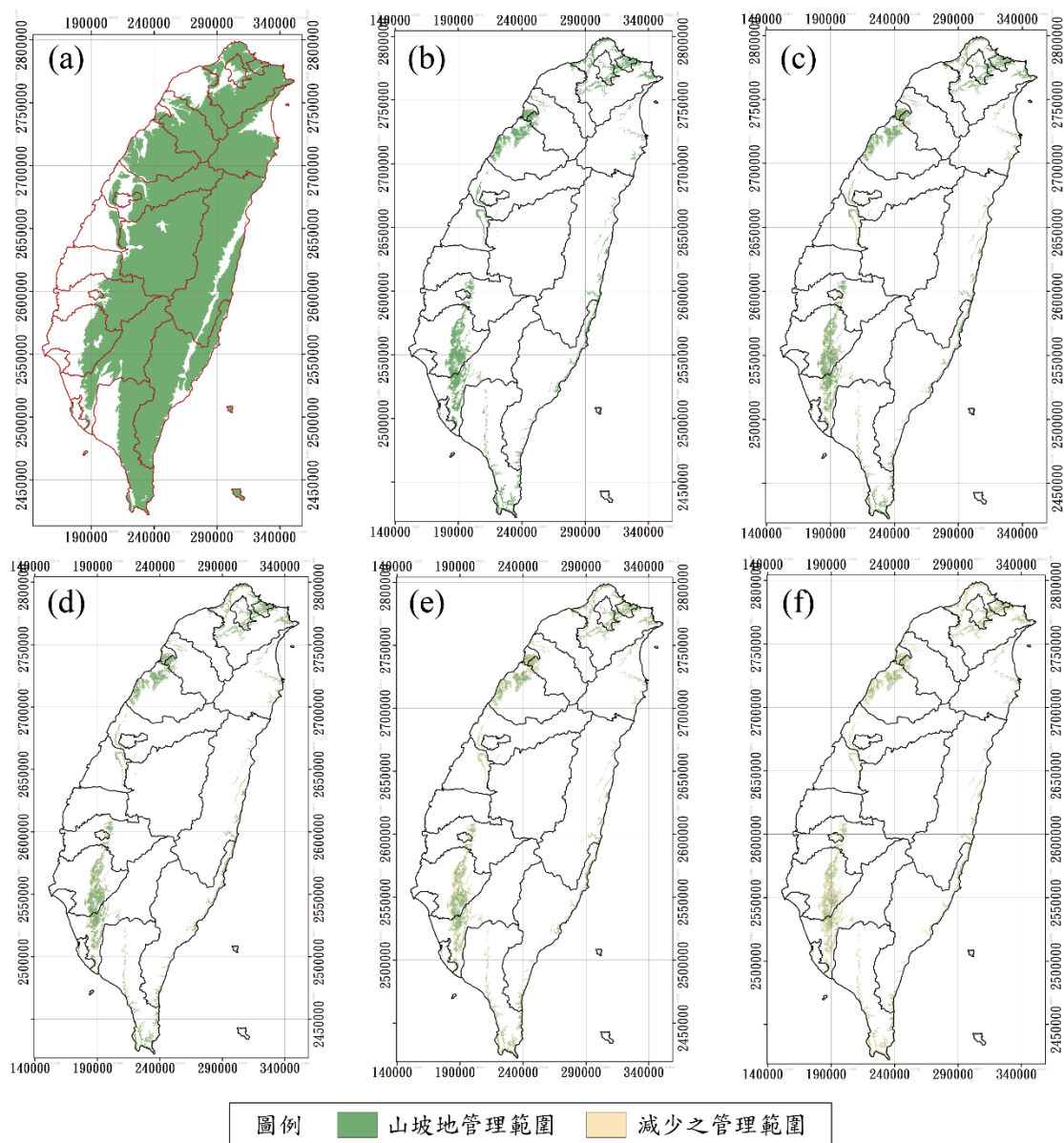
將臺灣之現行山坡地範圍之高程資料進行坡度分析，由於坡度之改變僅對標高未滿100公尺之山坡地進行影響，故以標高未滿100公尺之山坡地為範圍，再進行坡度分類，因本計畫主要針對坡度界定所造成之鬆綁結果，故以5%(現行法規)為基礎，於不同坡度百分比下：5%、8.75%、10%、17.6%、26.8%，進行坡度分析與面積分類，而坡度分級以三級坡為上限，與其餘國家相同，上述坡度百分比對應角度(deg)之參照表格如表4-1。

表 4-1 坡度對應角度比較表

坡度百分比	角度(度)	坡度分級
5%	2.862	一級
8.75%	5	二級
10%	5.711	二級
17.6%	10	三級
26.8%	15	三級

(資料來源：本計畫彙整)

藉由地理資訊系統，可繪製出各坡度界定下，標高100公尺以下山坡地面積之範圍，示意圖如圖4- 2。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 4-2 不同坡度對應山坡地範圍示意圖

(a)山坡地範圍(b)現行範圍(c)8.75%範圍(d)10%範圍(e)17.6%範圍
(f)26.8%範圍

進行現行臺灣山坡地面積如表4- 2，而目前有爭議之山坡地為標高100公尺以下之界定坡度5%之山坡地，故本計畫於後續皆以標高100公尺以下，坡度5%以上之山坡地進行討論。

於標高100公尺以下進行5種坡度之山坡地分類，可得表4-3。先由

臺灣本島之山坡地面積進行說明：由於臺灣本島之山坡地組成主要由較陡之坡地，與其他離島相比，當山坡地界定坡度提升至26.8%(15度)時，減少之面積比例是最小的，亦即將坡度更動為26.8%(15度)時，機關之管理面積範圍縮小約63%。而可以從離島的變化圖中得知，澎湖之主要坡地面積組成為5%至8.75%(5度)間；金門之主要坡地面積組成為17.6%(10度)至26.85%(15度)間。結合上述之情況，可了解若只將坡度之界定值由5%調整至8.75%(5度)至26.85%(15度)之任意一個條件，於臺灣本島解編面積為213.5 km²，比例約占全部之63%；而澎湖及金門這類坡度較緩之地區受到之影響更大，基本上80%左右之山坡地範圍皆進行解編。若針對人民土地利用之考量上希望將坡地之利用最大化而將山坡地界定範圍改為26.85%(15度)，雖然可在本島上獲得約213.5 km²的土地面積，但卻要承擔相較於現行法規多出12度山坡地帶來的土壤沖蝕量及可能的災害風險。以下將分為兩節，分別針對土石流潛勢溪流之範圍以及各分署之管理範圍進行探討。

表 4-2 臺灣不同坡度對應山坡地面積表

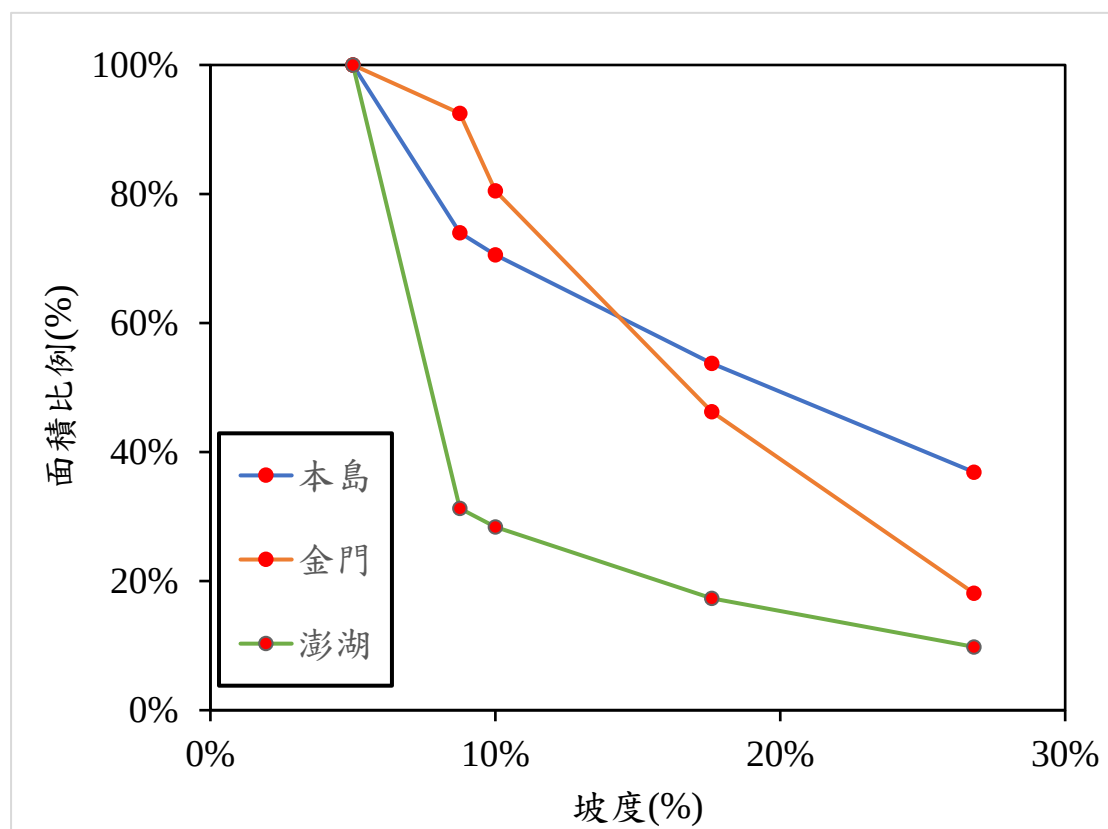
區域	山坡地 總面積(km ²)
金門	16.3
澎湖	23.831
臺灣本島	26299.046
合計	26339.177

(資料來源：本計畫整理)

表 4-3 於標高 100 公尺以下之不同坡度對應山坡地面積及比例表

坡度(%)	5% (一級坡)	8.75% (二級坡)	10% (二級坡)	17.6% (三級坡)	26.8% (三級坡)
金門(km ²)	0.8956	1.4424	4.0972	3.3704	2.1712
澎湖(km ²)	23.831	7.453	6.768	4.130	2.338
臺灣本島(km ²)	509.7364	67.5056	328.9608	330.5182	723.2368
合計(km ²)	534.463	76.401	339.826	338.0186	727.746
坡度(%)	5% (一級坡)	8.75% (二級坡)	10% (二級坡)	17.6% (三級坡)	26.8% (三級坡)
金門(%)	100	92.522	80.479	46.269	18.128
澎湖(%)	100	31.273	28.401	17.33	9.8125
臺灣本島(%)	100	73.992	70.548	53.764	36.901
合計(%)	100	73.495	69.706	52.853	36.090

(資料來源：本計畫整理)



(資料來源：本計畫繪製)

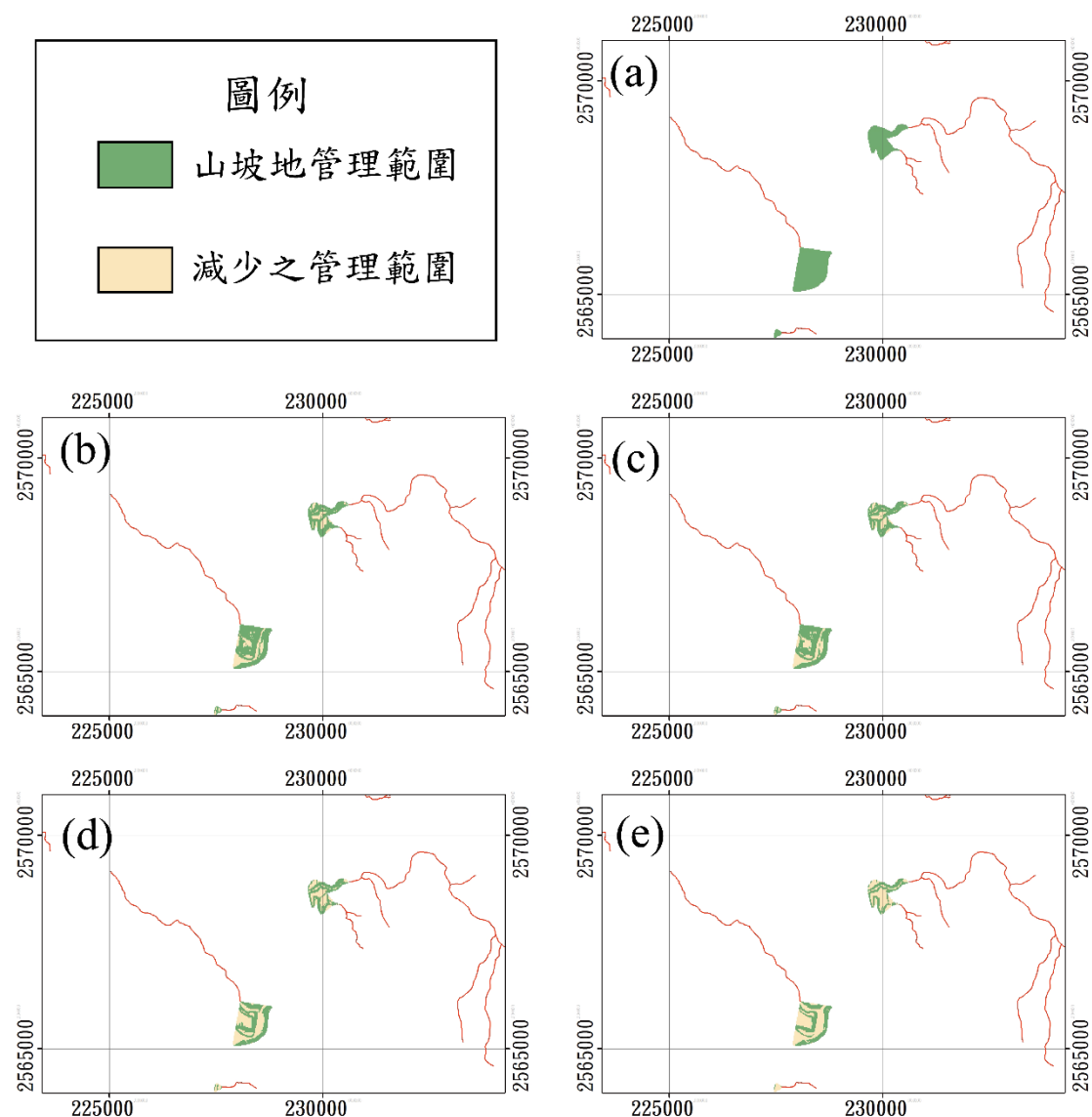
圖 4-3 山坡地範圍比例圖

第一節 由土石流潛勢溪流範圍進行討論

因臺灣地質條件較為脆弱、地形多樣、降雨豐沛，導致發生土石流、崩塌等災害之風險較高，故本節由土石流潛勢溪流之範圍進行臺灣山坡地範圍界定坡度條件之劃分做行政管理方面之探討。

依據「農業部農村發展及水土保持署土石流潛勢溪流及大規模崩塌潛勢區劃設作業要點」中，第二點中定義土石流潛勢溪流，係指依據現地土石流發生之自然條件，其影響範圍內具有保全住戶等因素，綜合評估後，判斷有可能發生土石流災害之溪流。其中，影響範圍定義為土石流或大規模崩塌災害發生時可能遭土石沖擊、淤埋之範圍。土石流潛勢溪流目前皆進行重點管理，確保其影響範圍內，保全住戶之安全。

本節就土石流潛勢溪流影響範圍作探討，使用政府開放平臺中關於土石流潛勢溪流範圍之資料與全臺DEM資料進行分析，再進行坡度之計算，由地理資訊系統可繪製坡度與土石流潛勢溪流影響範圍面積比例圖可得圖4-4，圖中舉臺南分署中，以高雄市荖濃溪支流布唐布納斯溪沖積扇為例，於現行山坡地5%範圍內，土石流潛勢溪流之影響範圍全部包含於內，但隨著坡度增加，管理之潛勢溪流影響範圍則會減少。



(資料來源：本計畫繪製)

圖 4-4 土石流潛勢溪流影響範圍-坡度對山坡地管理範圍之影響(以高雄荖濃溪支流布唐布納斯溪沖積扇為例)

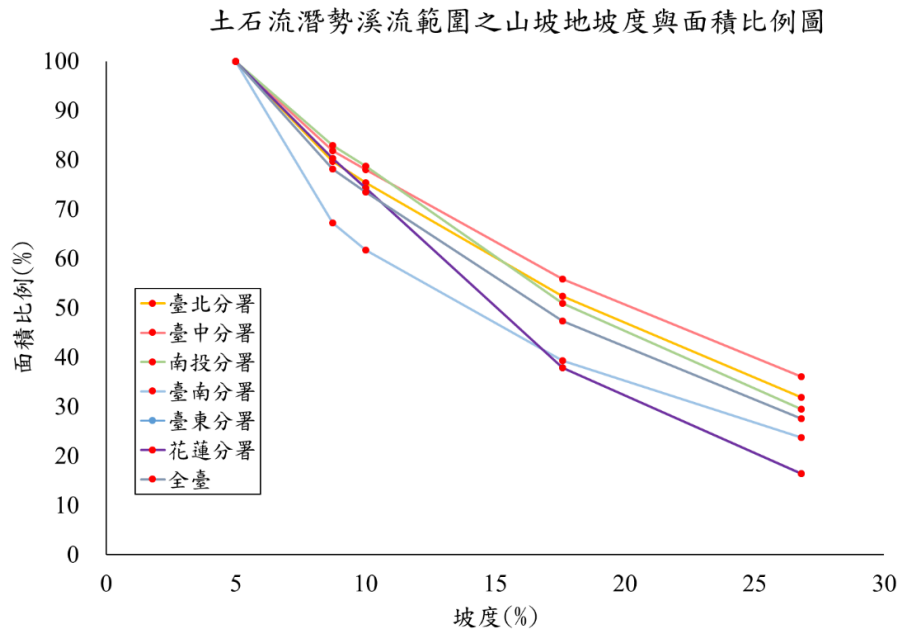
(a)現行範圍(b)8.75%範圍(c)10%範圍(d)17.6%範圍(e)26.8%範圍

回推各目標坡度中土石流潛勢溪流範圍之真實面積(表4-4)，可得圖4-5。於數據中可發現，坡度對於土石流潛勢溪流影響範圍極大，提升至5度時，就已縮小管理面積約20%，當坡度提升至26.8%(15度)時，各分署管轄範圍內之土石流潛勢溪流影響範圍面積會縮小近3/2，甚至於臺東、花蓮等山地面積較廣之分署會縮小至僅剩原本的1成。

表 4-4 土石流潛勢溪流影響範圍之坡度、面積與面積比例表

臺北分署					
坡度(%)	5%(一級坡)	8.75%(二級坡)	10%(二級坡)	17.6%(三級坡)	26.8%(三級坡)
面積(km ²)	10.576	8.428	7.981	5.542	3.370
比例	100.000	79.683	75.462	52.400	31.867
臺中分署					
坡度(%)	5%(一級坡)	8.75%(二級坡)	10%(二級坡)	17.6%(三級坡)	26.8%(三級坡)
面積(km ²)	9.492	7.776	7.408	5.307	3.432
比例	100.000	81.929	78.048	55.910	36.154
南投分署					
坡度(%)	5%(一級坡)	8.75%(二級坡)	10%(二級坡)	17.6%(三級坡)	26.8%(三級坡)
面積(km ²)	23.307	19.333	18.370	11.892	6.892
比例	100.000	82.949	78.820	51.022	29.572
臺南分署					
坡度(%)	5%(一級坡)	8.75%(二級坡)	10%(二級坡)	17.6%(三級坡)	26.8%(三級坡)
面積(km ²)	10.257	6.904	6.338	4.042	2.440
比例	100.000	67.308	61.797	39.404	23.785
臺東分署					
坡度(%)	5%(一級坡)	8.75%(二級坡)	10%(二級坡)	17.6%(三級坡)	26.8%(三級坡)
面積(km ²)	5.519	4.432	4.102	2.090	0.909
比例	100.000	80.309	74.322	37.875	16.466
花蓮分署					
坡度(%)	5%(一級坡)	8.75%(二級坡)	10%(二級坡)	17.6%(三級坡)	26.8%(三級坡)
面積(km ²)	5.064	3.332	2.977	1.543	0.723
比例	100.000	65.795	58.796	30.468	14.274
全臺					
坡度(%)	5%(一級坡)	8.75%(二級坡)	10%(二級坡)	17.6%(三級坡)	26.8%(三級坡)
面積(km ²)	64.233	50.211	47.181	30.418	17.768
比例	100.000	78.170	73.453	47.355	27.661

(資料來源：本計畫彙整)



(資料來源：本計畫繪製)

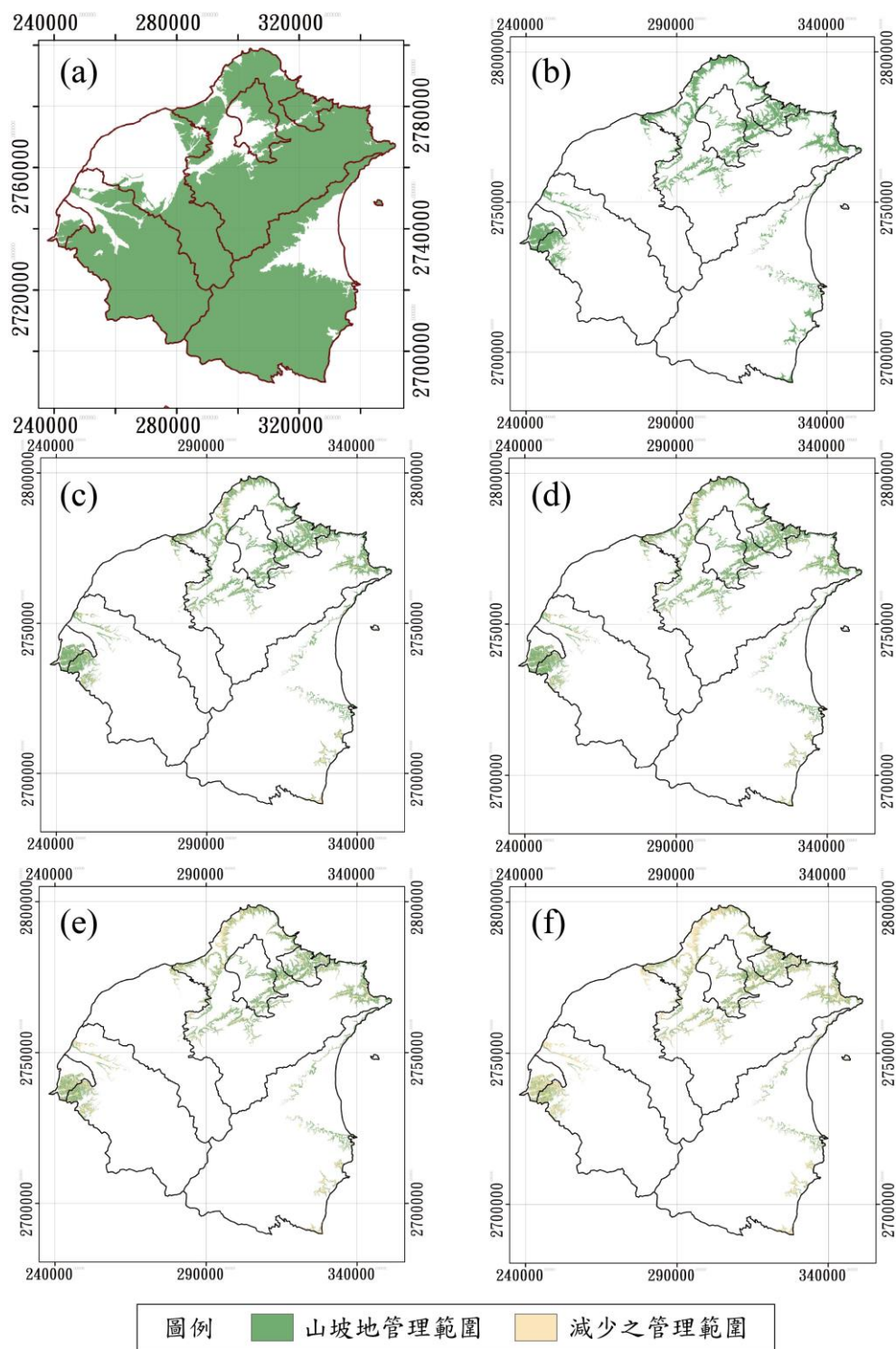
圖 4-5 土石流潛勢溪流影響範圍-坡度與面積比例圖

此情形將會影響許多方面，例如：災害來臨時，機關因當地不屬於管理範圍而難以界定管理範圍進行災後復原、治理等工作；同時因不納入管理(非屬山坡地)，在社會發展層面，潛勢區域範圍內之居民則可能較不積極參與災害教育訓練，對於人民或保全對象會造成安全及居住上的威脅；另外，土石流潛勢溪流影響範圍之機關管理面積隨坡度提高而降低，導致範圍破碎，不易於機關管理的問題。

第二節 由各水土保持分署管理範圍進行探討

一、臺北分署

農村發展及水土保持署臺北分署之管理範圍涵蓋臺北、新北、基隆、桃園、新竹等五市以及宜蘭、新竹及連江等三縣，地處臺灣北部、東北部，分別與苗栗、臺中、花蓮等縣交界，現行山坡地面積為6分署內最大者。藉由地理資訊系統進行坡度之分類，可繪製圖4-6，山坡地之坡度越大，其管理範圍就變得愈加破碎。



(資料來源：本計畫繪製)

圖 4-6 臺北分署之不同坡度對應山坡地範圍

(a)山坡地範圍(b)現行範圍(c)8.75%範圍(d)10%範圍(e)17.6%範圍
(f)26.8%範圍

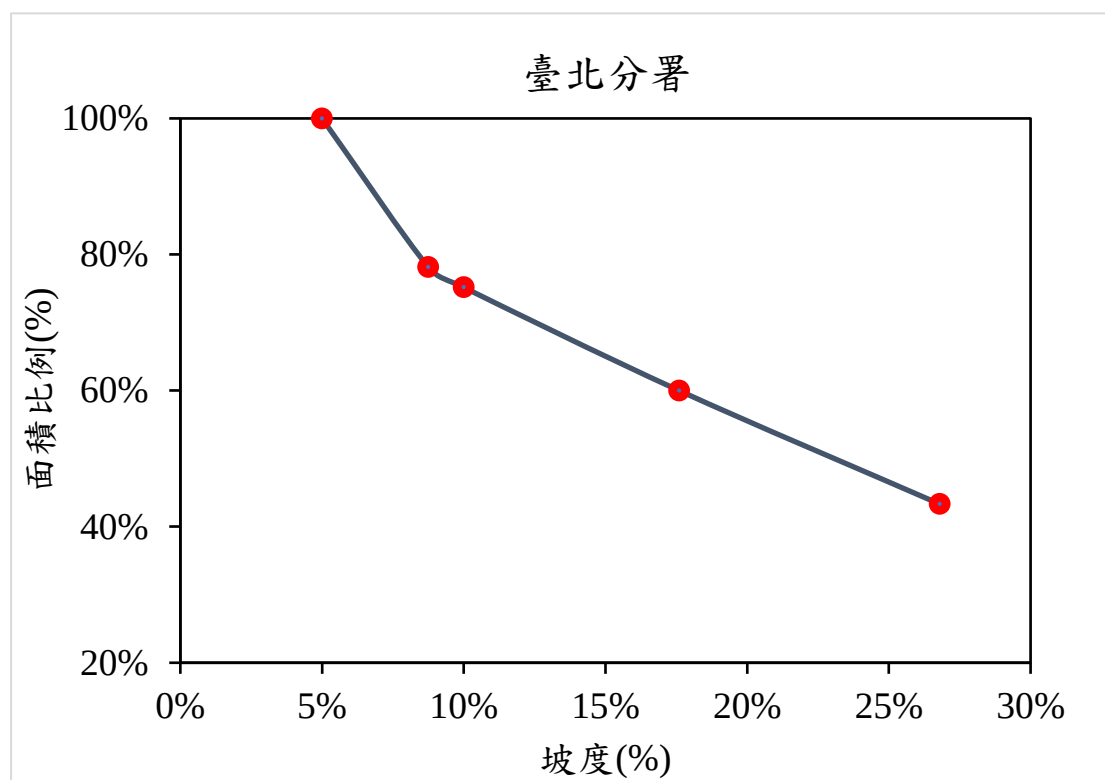
由地理資訊系統進行坡度分類後，可藉由DEM之網格大小進行簡

單之計算，得到真實之面積。當山坡地面積在坡度5%時，臺北分署之管轄範圍內共有5682.46km²之山坡地，在標高100公尺以下之山坡地面積占544.21km²，針對標高100公尺以下之山坡地，當坡度增加至8.75%(5度)時，減少之範圍約占現行山坡地之22%，而若坡度增加至26.8%(15度)時，會減少近57%之管理範圍如表4-5，可由表格繪製坡度與面積比例圖如圖4-7。

表 4-5 臺北分署之不同坡度對應山坡地範圍面積與比例表

坡度(%)	5% (一級坡)	8.75% (二級坡)	10% (二級坡)	17.6% (三級坡)	26.8% (三級坡)
面積(km ²)	544.21	425.3608	409.064	326.5044	235.7284
比例(%)	100	78	75	60	43
臺北分署山坡地面積總和(km ²)					5682.460

(資料來源：本計畫彙整)

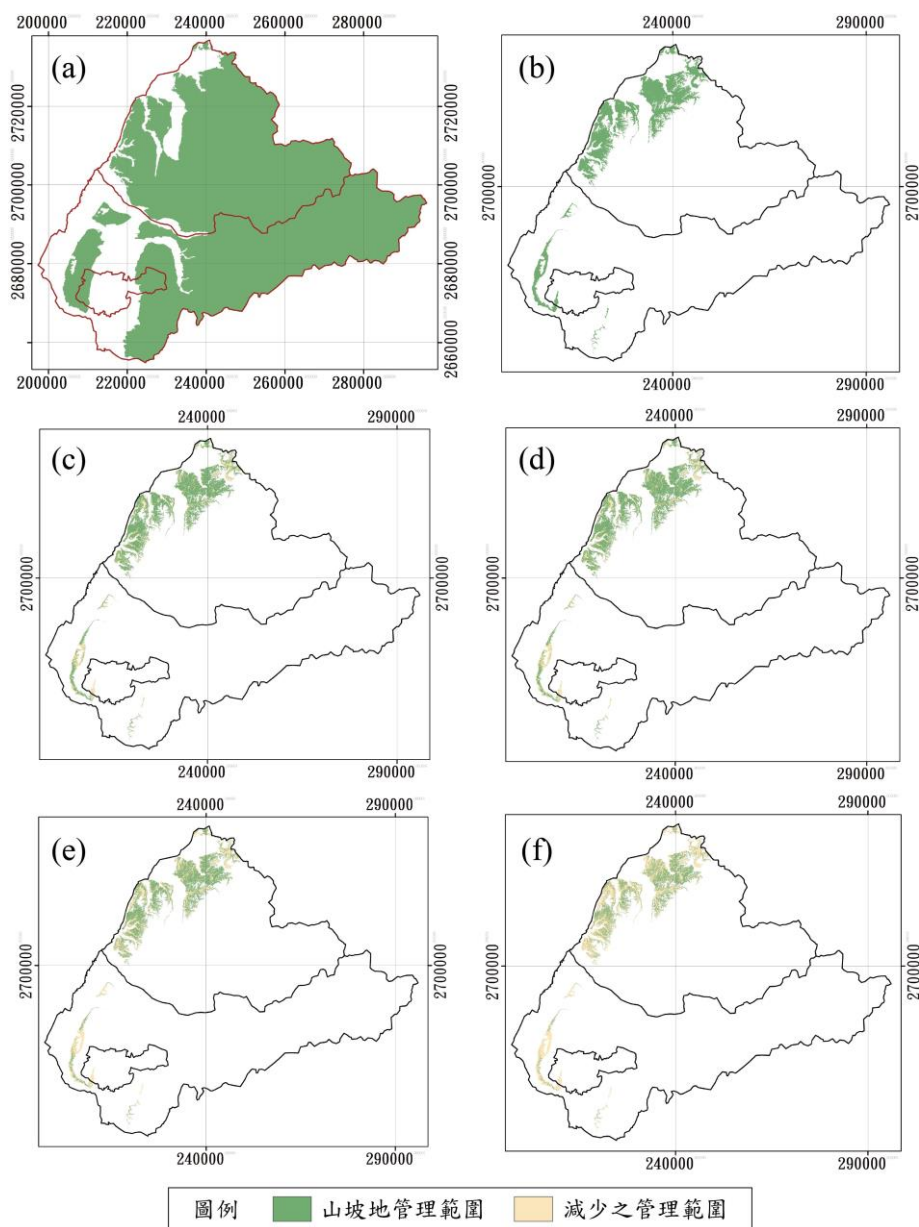


(資料來源：本計畫繪製)

圖 4-7 臺北分署之不同坡度對應山坡地比例圖

二、臺中分署

農村發展及水土保持署臺中分署之管理範圍涵蓋苗栗縣、苗栗市及臺中市，地處臺灣中部，分別與新竹、南投、彰化為交界。藉由地理資訊系統進行坡度之分類，可繪製圖4-8。



(資料來源：本計畫繪製)

圖 4-8 臺中分署之不同坡度對應山坡地範圍

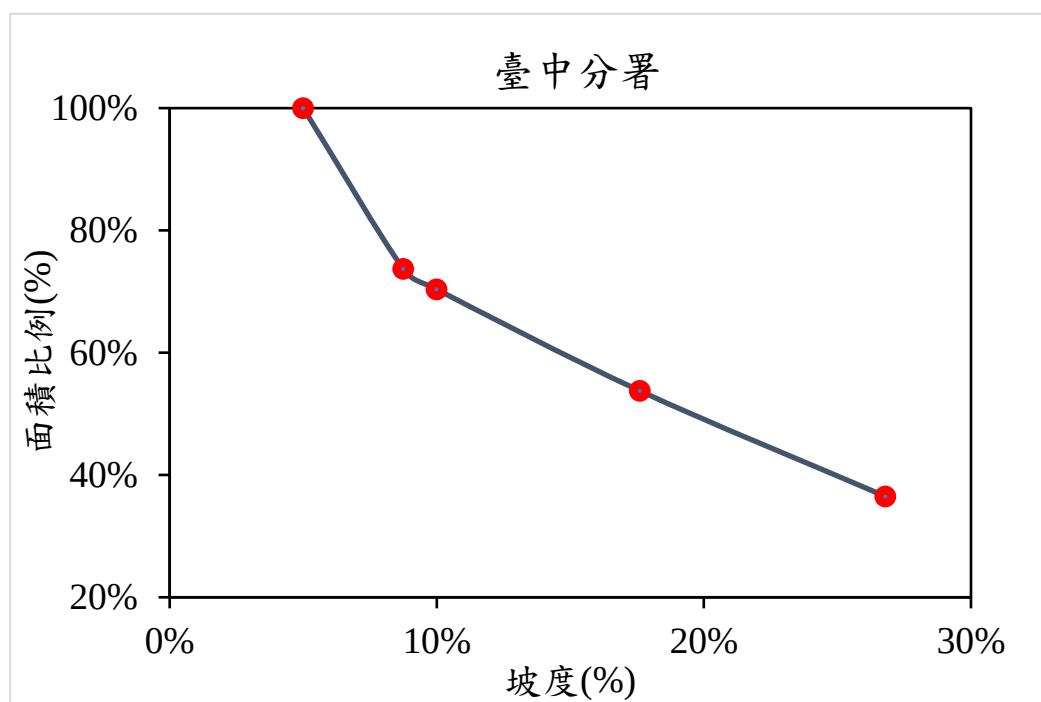
(a)山坡地範圍(b)現行範圍(c)8.75%範圍(d)10%範圍(e)17.6%範圍
(f)26.8%範圍

利用坡度分類資料進行簡單之統計與計算，現行之臺中分署山坡地面積為3118.803km²之山坡地，在標高100公尺以下之山坡地面積占256.984km²，針對標高100公尺以下之山坡地，若坡度增加至8.75%(5度)，會減少26%之管理面積；若增加至26.8%(15度)時，則會減少64%之管理範圍，如表4-6，可由表格繪製坡度與面積比例圖如圖4-9。

表 4-6 臺中分署之不同坡度對應山坡地範圍面積與比例表

坡度(%)	5% (一級坡)	8.75% (二級坡)	10% (二級坡)	17.6% (三級坡)	26.8% (三級坡)
面積(km ²)	256.984	189.388	180.8004	138.176	93.7912
比例(%)	100	74	70	54	36
臺中分署山坡地面積總和(km ²)					3118.803

(資料來源：本計畫彙整)



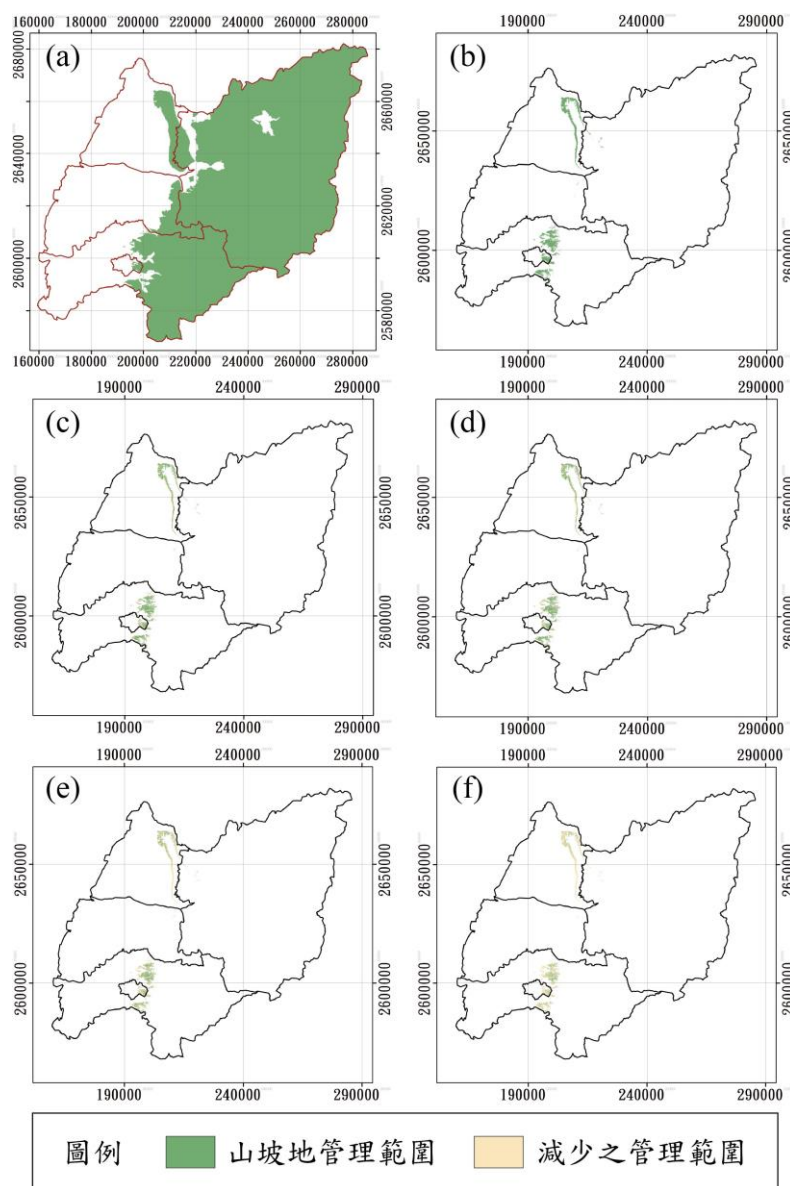
(資料來源：本計畫繪製)

圖 4-9 臺中分署之不同坡度對應山坡地比例圖

三、南投分署

農村發展及水土保持署南投分署之管理範圍涵蓋彰化縣、南投縣、

雲林縣、嘉義縣及嘉義市等五個縣市，地處臺灣中部，與臺中、臺南為交界。該區域之山坡地面積為六個分署中第二大者。藉由地理資訊系統進行坡度之分類，可繪製圖4- 10。



(資料來源：本計畫繪製)

圖 4- 10 南投分署之不同坡度對應山坡地範圍

(a)山坡地範圍(b)現行範圍(c)8.75%範圍(d)10%範圍(e)17.6%範圍
(f)26.8%範圍

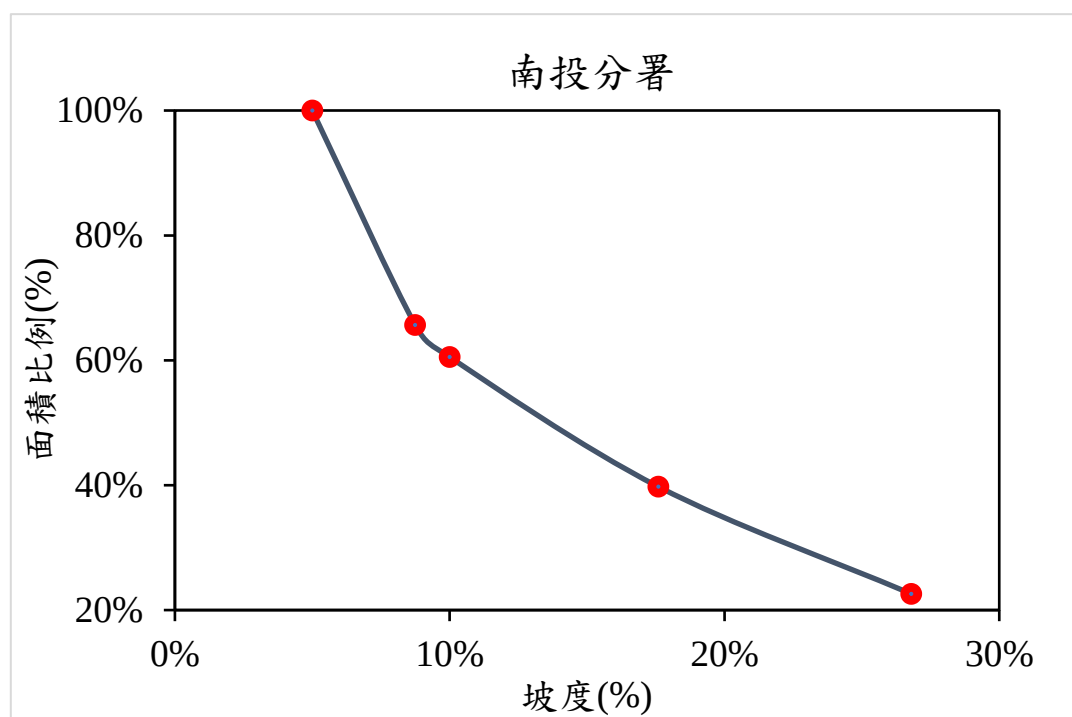
利用坡度分類資料進行簡單之統計與計算，現行之南投分署山坡地面積為5339.104km²之山坡地，在標高100公尺以下之山坡地面積占

105.0604km²，針對標高100公尺以下之山坡地，若坡度增加至8.75%(5度)時，減少面積約為34%；增加至26.8%(15度)時，會減少77%之管理範圍，如表4-7，可由表格繪製坡度與面積比例圖如圖4-11。

表 4-7 南投分署之不同坡度對應山坡地範圍面積與比例表

坡度(%)	5% (一級坡)	8.75% (二級坡)	10% (二級坡)	17.6% (三級坡)	26.8% (三級坡)
面積(km ²)	105.0604	68.9532	63.5856	41.7532	23.744
比例(%)	100	66	61	40	23
南投分署山坡地面積合計(km ²)					5339.104

(資料來源：本計畫整理)

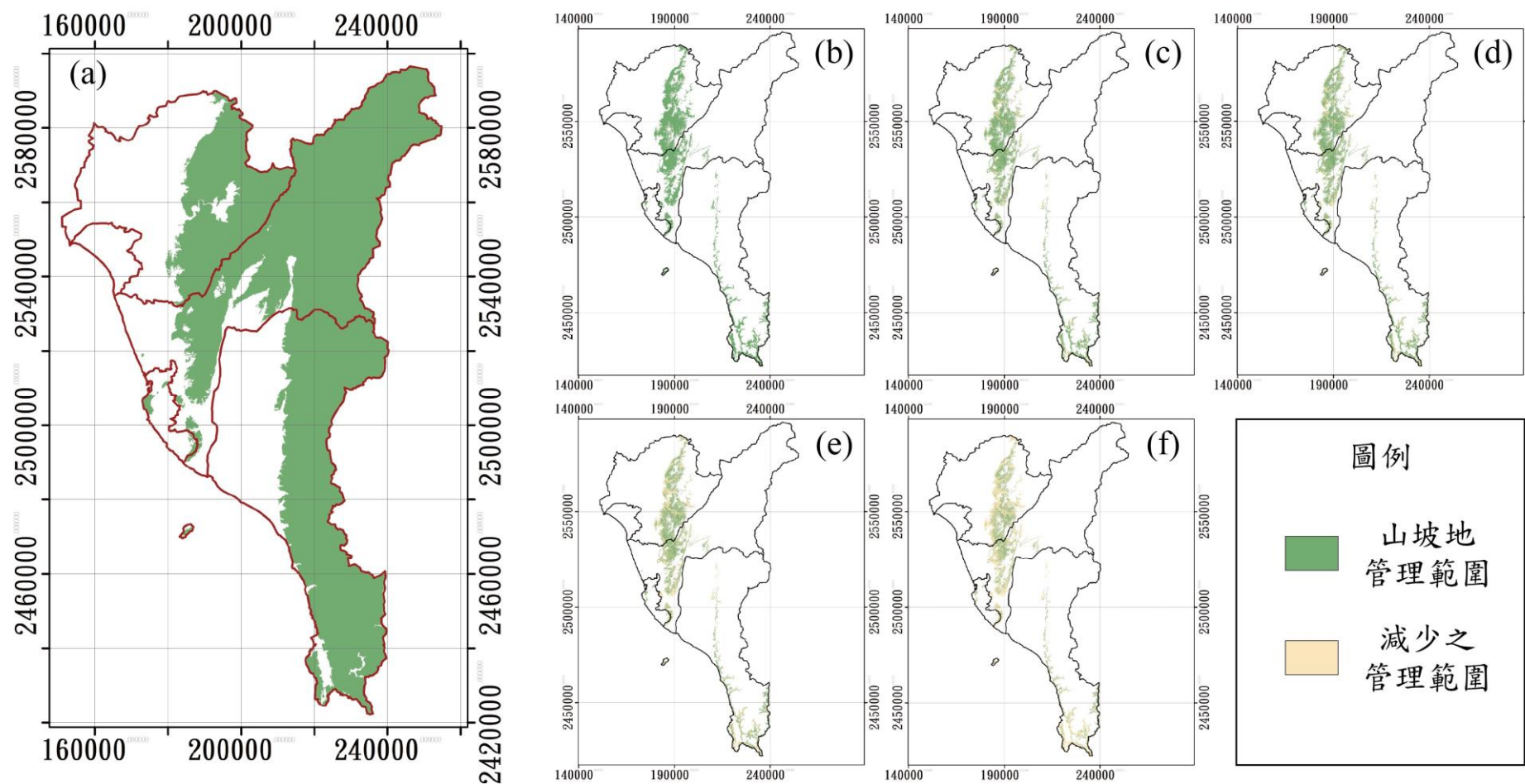


(資料來源：本計畫繪製)

圖 4-11 南投分署之不同坡度對應山坡地比例圖

四、臺南分署

農村發展及水土保持署臺南分署之管理範圍涵蓋臺南市、高雄市、屏東縣、金門縣及澎湖縣，位處臺灣西南部，地勢較為平坦，以農業起家。藉由地理資訊系統進行坡度之分類，可繪製圖4-12。



(資料來源：本計畫繪製)

圖 4-12 臺南分署之不同坡度對應山坡地範圍

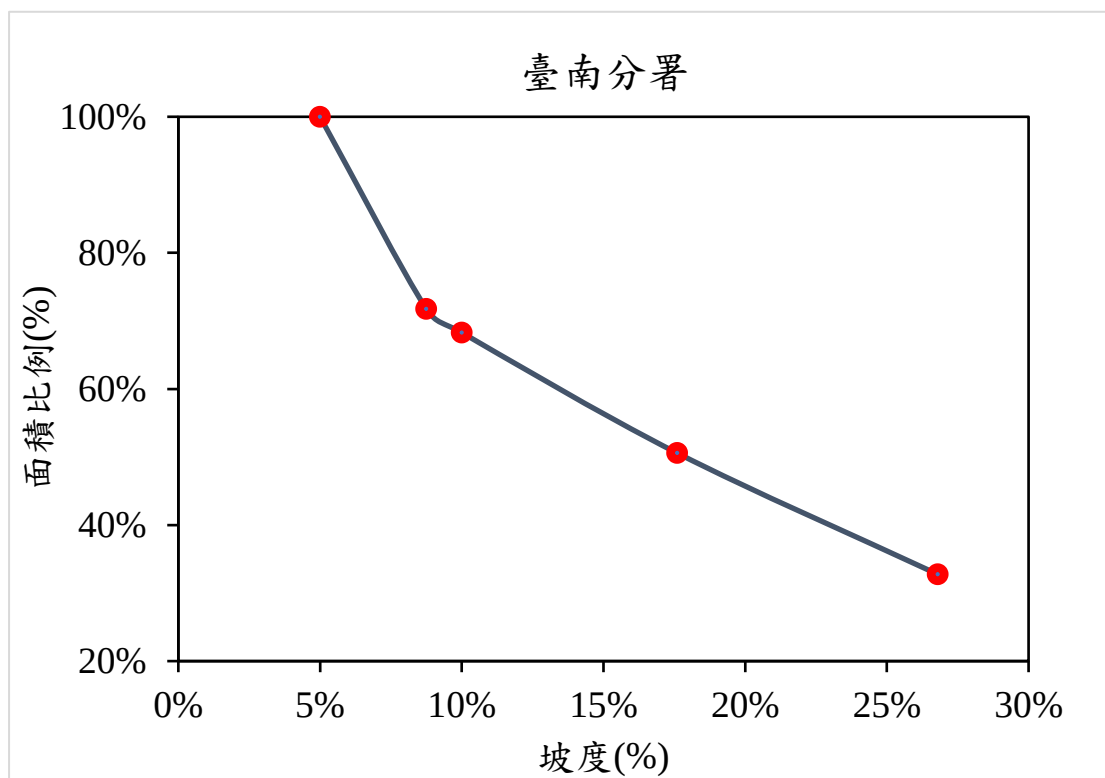
(a)山坡地範圍(b)現行範圍(c)8.75%範圍(d)10%範圍(e)17.6%範圍(f)26.8%範圍

利用坡度分類資料進行簡單之統計與計算，現行之臺南分署山坡地面積為4813.188km²之山坡地，在標高100公尺以下之山坡地面積占816.7124km²，針對標高100公尺以下之山坡地，若坡度增加至26.8%(15度)時，則會減少67%之管理範圍（表4-8），減少之面積大約為西南邊之靠近嘉南平原處，為六個分署中最大之影響比例。由比例資料可繪製坡度與面積比例圖如圖4-13。

表 4-8 臺南分署之不同坡度對應山坡地範圍面積與比例表

坡度(%)	5% (一級坡)	8.75% (二級坡)	10% (二級坡)	17.6% (三級坡)	26.8% (三級坡)
面積(km ²)	816.7124	586.2504	557.6956	413.1048	267.4808
比例(%)	100	72	68	51	33
臺南分署山坡地面積合計(km ²)					4813.188

(資料來源：本計畫整理)

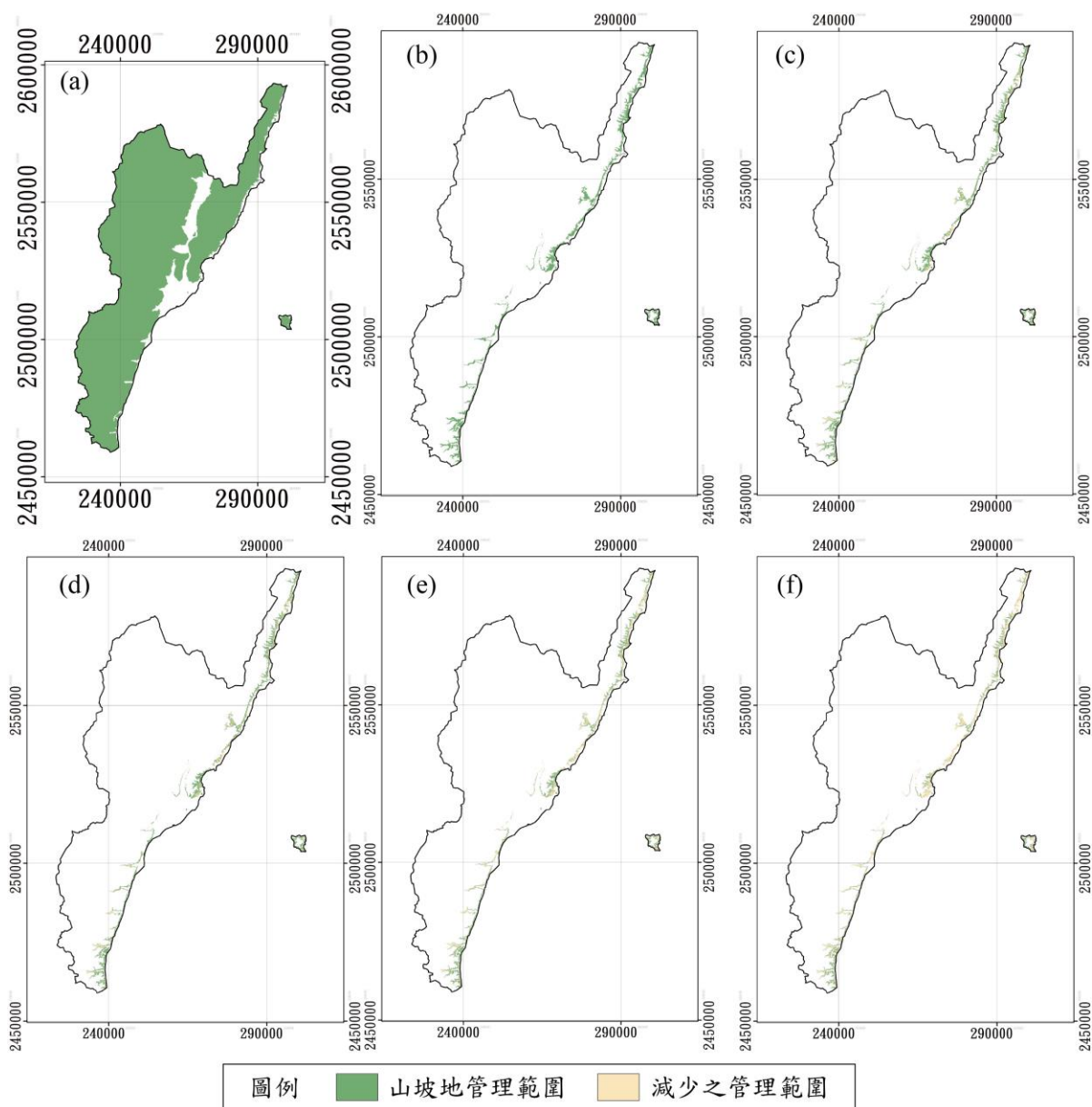


(資料來源：本計畫繪製)

圖 4-13 臺南分署之不同坡度對應山坡地比例圖

五、臺東分署

農村發展及水土保持署臺東分署之管理範圍為臺東縣，地形狹長，山地區域遼闊水土保持工作量龐大。藉由地理資訊系統進行坡度之分類，可繪製圖4- 14。



(資料來源：本計畫繪製)

圖 4- 14 臺東分署之不同坡度對應山坡地範圍

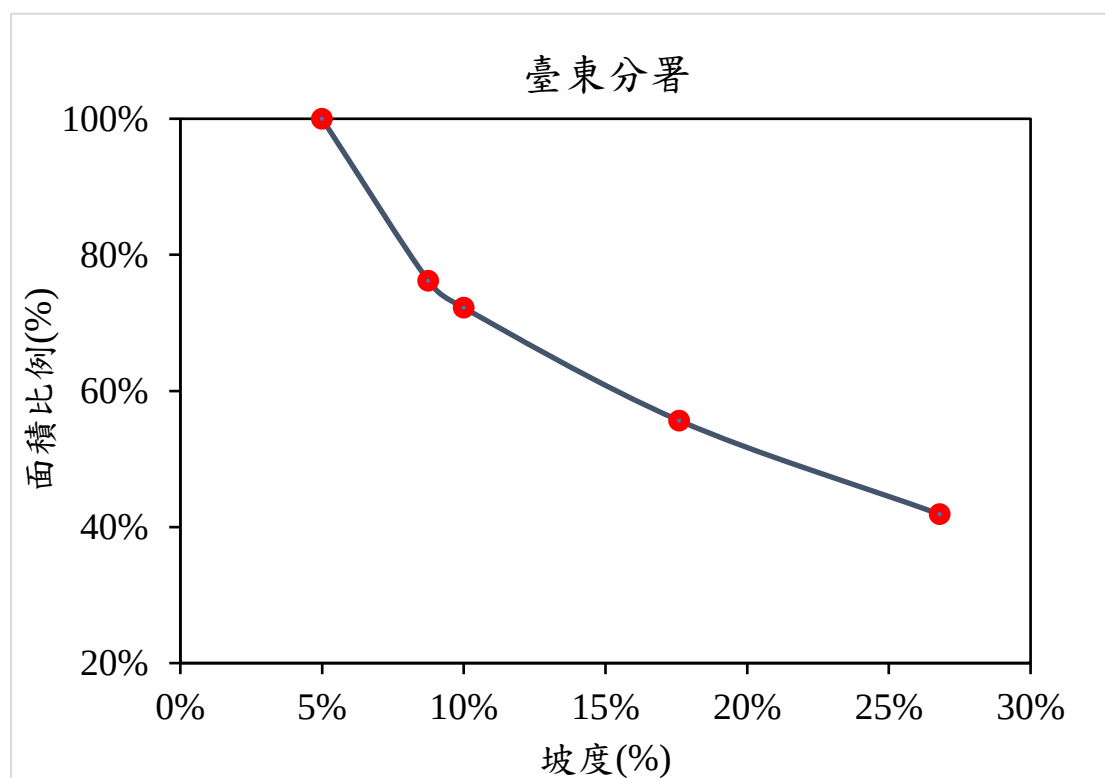
(a)山坡地範圍(b)現行範圍(c)8.75%範圍(d)10%範圍(e)17.6%範圍
(f)26.8%範圍

利用坡度分類資料進行簡單之統計與計算，現行之臺東分署山坡地面積為3231.098km²之山坡地，在標高100公尺以下之山坡地面積占143.364km²，針對標高100公尺以下之山坡地若坡度增加至26.8%(15度)時，則會減少58%之管理範圍(表4- 9)，因臺東山區較多，故提高坡度後，減少之管理範圍也較中央山脈以西之地區少。利用資料可繪製比例圖，如圖4- 15。

表 4- 9 臺東分署之不同坡度對應山坡地範圍面積與比例表

坡度(%)	5% (一級坡)	8.75% (二級坡)	10% (二級坡)	17.6% (三級坡)	26.8% (三級坡)
面積(km ²)	143.364	109.2452	103.538	79.7808	60.0328
比例(%)	100	76	72	56	42
臺東分署山坡地面積總和(km ²)					3231.098

(資料來源：本計畫整理)

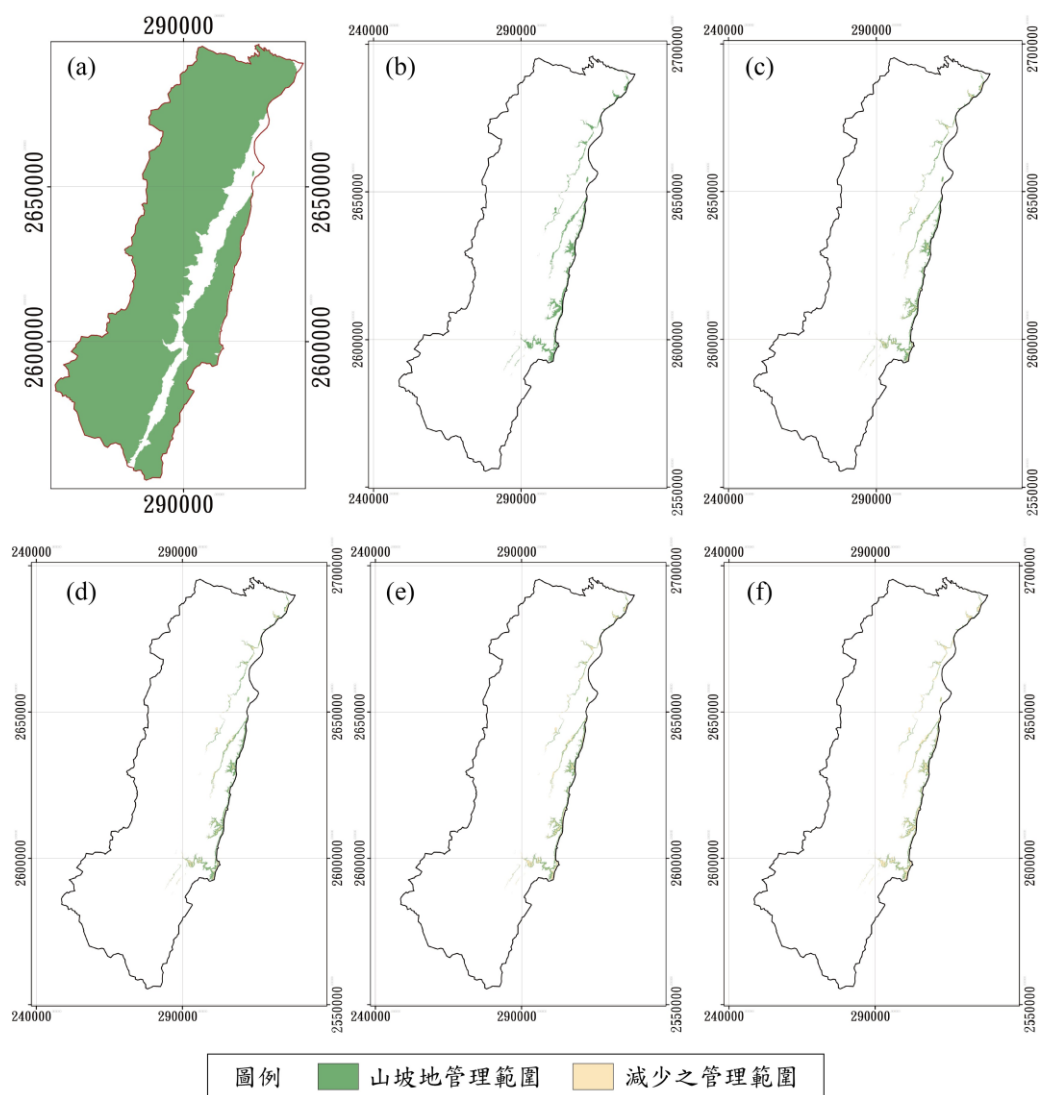


(資料來源：本計畫繪製)

圖 4- 15 臺東分署之不同坡度對應山坡地比例圖

六、花蓮分署

農村發展及水土保持署花蓮分署之管理範圍為花蓮縣，位於臺灣東部，北接宜蘭，南銜臺東，東臨太平洋，西側則以中央山脈與臺中、南投、高雄為界，山多平地少，地形陡峻，地質脆弱。面臨太平洋，夏秋兩季常受颱風豪雨侵襲，造成沖蝕、崩坍及河川氾濫等災害。藉由地理資訊系統進行坡度之分類，可繪製圖4- 16。



(資料來源：本計畫繪製)

圖 4- 16 花蓮分署之不同坡度對應山坡地範圍

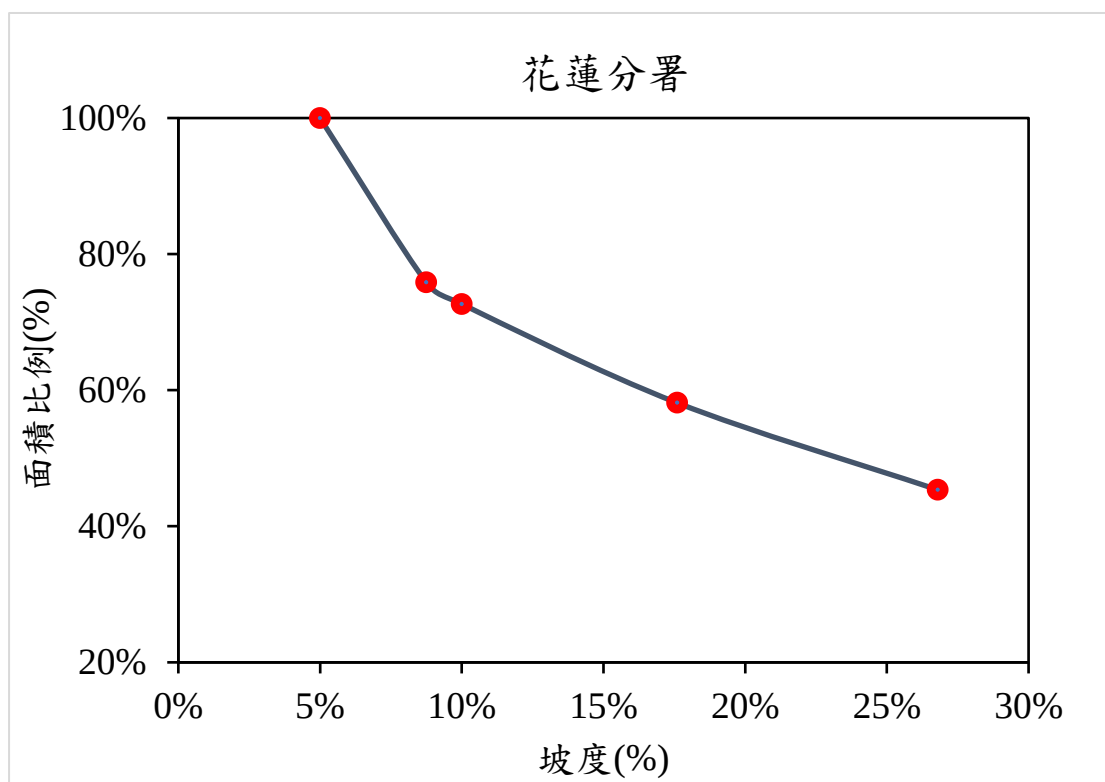
(a)山坡地範圍(b)現行範圍(c)8.75%範圍(d)10%範圍(e)17.6%範圍
(f)26.8%範圍

利用坡度分類資料進行簡單之統計與計算，現行之花蓮分署山坡地面積為4101.053km²之山坡地，在標高100公尺以下之山坡地面積占93.628km²，針對標高100公尺以下之山坡地若坡度增加至26.8%(15度)時，則會減少55%之管理範圍(表4-10)，利用表格資料可繪製圖4-17。

表 4-10 花蓮分署之不同坡度對應山坡地範圍面積與比例表

坡度(%)	5% (一級坡)	8.75% (二級坡)	10% (二級坡)	17.6% (三級坡)	26.8% (三級坡)
面積(km ²)	93.628	71.0248	68.0332	54.4368	42.4596
比例	100	76	73	58	45
花蓮分署山坡地面積總和(km ²)					4101.053

(資料來源：本計畫整理)



(資料來源：本計畫繪製)

圖 4-17 花蓮分署之不同坡度對應山坡地比例圖

表4-11彙整上節各分署之面積比例數據，並繪製成圖4-18，圖中所示，南投分署山坡地管理面積於提高界定坡度至26.8%(15度)後，減

少面積之比例是6分署中最多的，原因為南投分署所管轄範圍內多屬平原，故地勢相對較為平坦；而花蓮分署則是減少面積為分署中最少的，因其所管轄區範圍內多屬山地，高程落差大，當提高山坡地界定坡度後，則較不影響目前的管轄區域。討論標高100公尺以下之山坡地範圍，當全臺之山坡地範圍於提高山坡地界定坡度至26.8%(15度)時，山坡地範圍會減少約63%，會減少約1236.722km²之管理範圍，若僅提高界定坡度至8.75%(5度)，也就是目前法律界定之二級坡之範圍，山坡地範圍會減少約26%，約有509.736km²之山坡地面積被解編，但以上兩者對於標高100公尺以下之山坡地解編面積並不多，分別占全臺山坡地面積之5%及2%，根據以上之分析結果，解編效益不大。

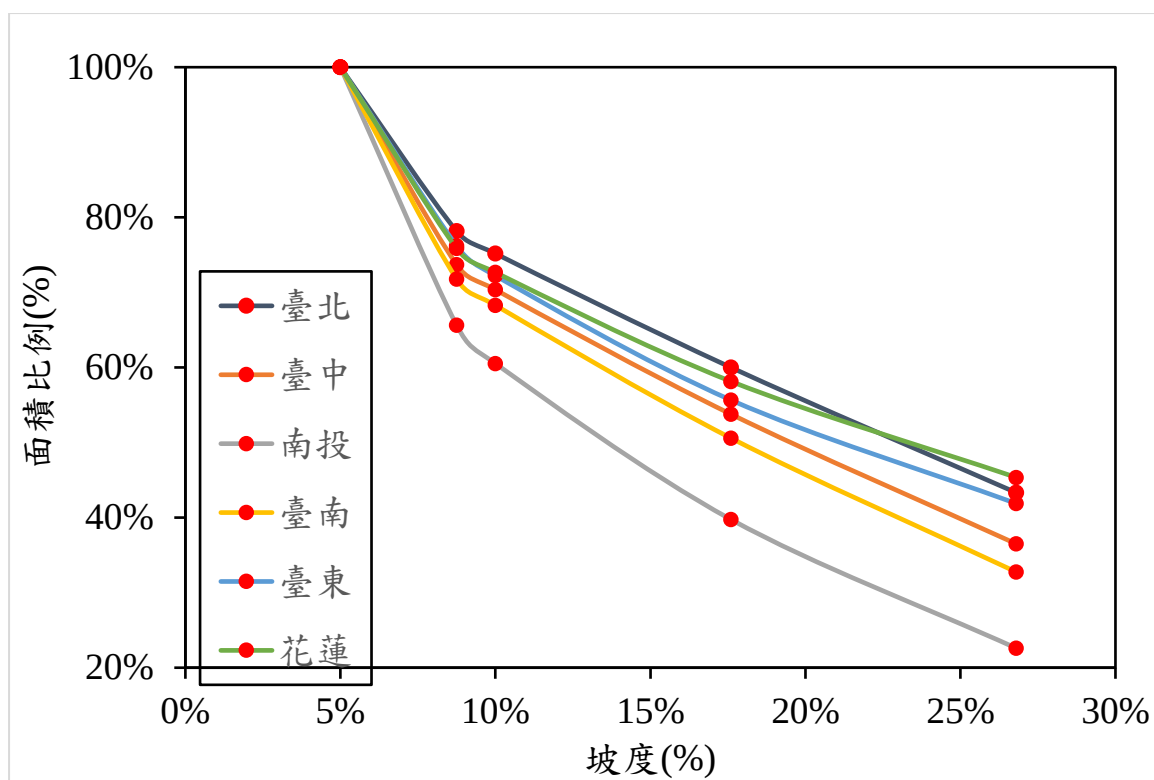
且隨著界定坡度提升，各機關之管理範圍將會變得破碎，不利於整體性之管理。同時，臺灣地質條件脆弱，若提高界定坡度，於開發時則會面臨較多坡度較陡之地區無進行山坡地之水土保持設計，此情形易導致山坡地之土壤流失，可能造成日後強降雨事件發生時更大的災害發生。

表 4-11 全臺分署不同坡度對應山坡地範圍面積與比例表

臺北分署	5% (一級坡)	8.75% (二級坡)	10% (二級坡)	17.6% (三級坡)	26.8% (三級坡)
面積(km ²)	544.21	425.3608	409.064	326.5044	235.7284
比例(%)	100	78	75	60	43
臺中分署	5% (一級坡)	8.75% (二級坡)	10% (二級坡)	17.6% (三級坡)	26.8% (三級坡)
面積(km ²)	256.984	189.388	180.8004	138.176	93.7912
比例(%)	100	74	70	54	36
南投分署	5%	8.75%	10%	17.6%	26.8%

	(一級坡)	(二級坡)	(二級坡)	(三級坡)	(三級坡)
面積(km ²)	105.0604	68.9532	63.5856	41.7532	23.744
比例(%)	100	66	61	40	23
臺南分署	5% (一級坡)	8.75% (二級坡)	10% (二級坡)	17.6% (三級坡)	26.8% (三級坡)
面積(km ²)	816.7124	586.2504	557.6956	413.1048	267.4808
比例(%)	100	72	68	51	33
臺東分署	5% (一級坡)	8.75% (二級坡)	10% (二級坡)	17.6% (三級坡)	26.8% (三級坡)
面積(km ²)	143.364	109.2452	103.538	79.7808	60.0328
比例(%)	100	76	72	56	42
花蓮分署	5% (一級坡)	8.75% (二級坡)	10% (二級坡)	17.6% (三級坡)	26.8% (三級坡)
面積(km ²)	93.628	71.0248	68.0332	54.4368	42.4596
比例(%)	100	76	73	58	45

(資料來源：本計畫彙整)



(資料來源：本計畫繪製)

圖 4- 18 各分署管轄之山坡地範圍於不同坡度之面積比例圖

第三節 行政管理面小結

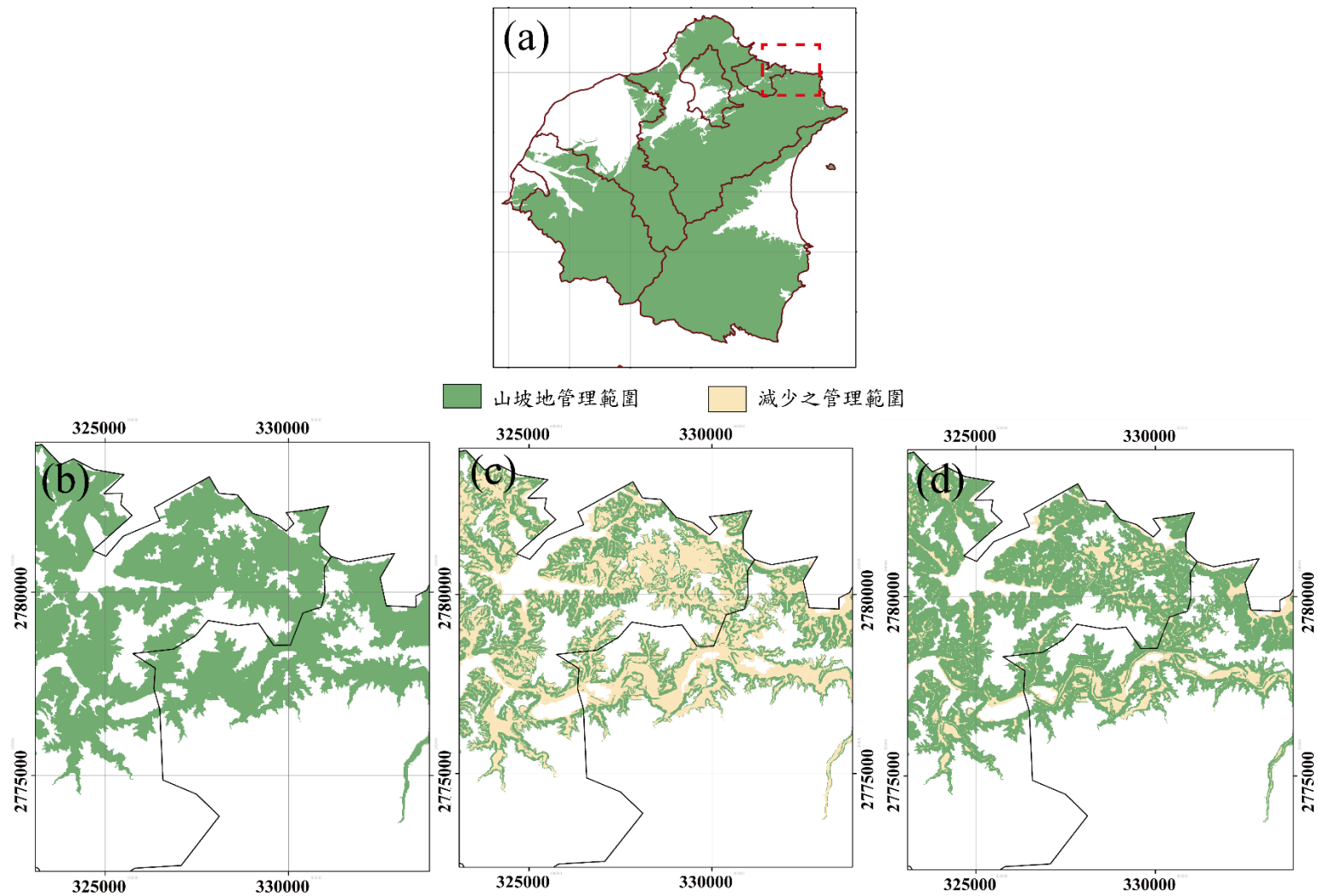
綜上兩節所述，若增加標高100公尺以下之山坡地範圍之界定坡度，山坡地面積、範圍、各分署之管理方向及土石流潛勢溪流範圍等皆會受到影響，會導致機關管理範圍面積破碎(圖4- 19)；當有災害來臨，因災害範圍非屬管轄範圍，進而導致水土保持治理之困難。

若一味追求山坡地面積解編使更多之土地做開發使用，而改變現行法規規定之山坡地坡度界定範圍，使原需進行水土保持規劃之區域能直接使用，則需承擔全臺土壤流失加劇、坡地災害發生頻度劇增、山坡地之不安定土砂增加、居民安全威脅等風險，同時容易造成機關於山坡地之行政管理上之困難。若解編範圍僅至8.75%(5度，二級坡之範圍)，解編面積也僅多開放了5%，對於上述所需承擔的風險相比，

不符合其效益；而若提升至26.8%(15度，三級坡範圍)雖解編面積提升了20%，但所需承擔之威脅更加嚴峻。

現行法規之管理方式，並非將山坡地設為全面禁止開發，而是使規定坡度以上之土地納入管理，並針對不同之開發行為進一步進行規範，換句話說，如需進行坡度5%以上之土地(坡度介於30~55%者有條件不可利用)，只要進行水土保持之規劃並經機關核可後即能進行開發利用。故本計畫針對行政管理面之建議為：若無進行相關水土流失實驗、先前案例可依循或參考，並保證界定坡度增加，造成之水土流失風險以及保全對象的安全性，則不可貿然將山坡地界定坡度鬆綁。

若只考量解編可利用土地面積而將山坡地界定坡度鬆綁，行政管理單位不僅需耗費大量行政經費、人力進行相關規定的重新擬定，大量過往已完成的相關計畫也需要進行全盤之檢討。除此之外更要面對可利用之土地坡度變陡所帶來的相關水土流失風險，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。



(資料來源：本計畫繪製)

圖 4-19 界定坡度更動之管理範圍示意圖(a)5%(b)8.75%(c)26.8%

第五章 學理計算

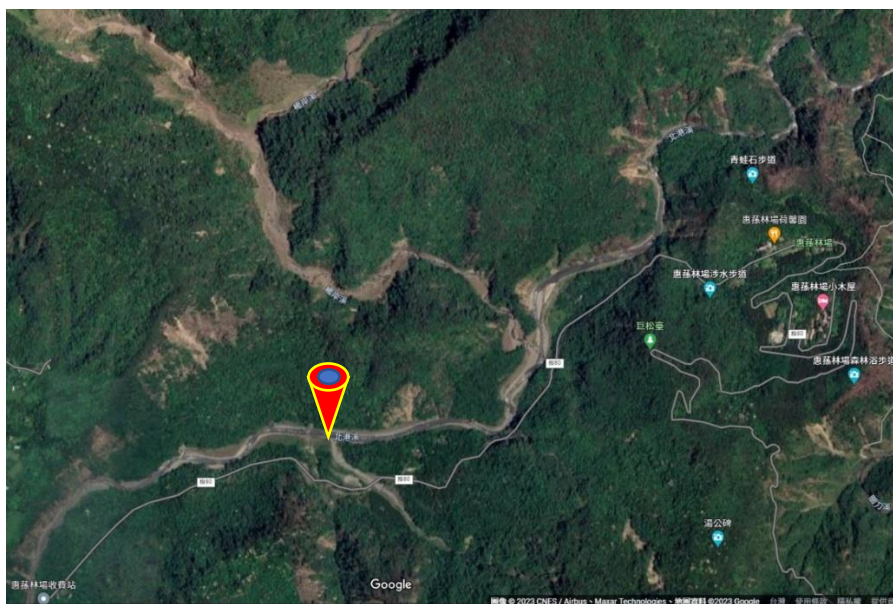
本計畫以不同種類之土壤、地貌及坡度進行土壤沖蝕實驗，並選擇較具代表性之土壤，以採集現地土壤與模擬現地降雨的方式盡可能地模擬現地狀況。在施作沖蝕實驗前，需先了解土壤之基本物理及力學性質，再測試土壤顆粒之臨界啟動應力，最後再進行土壤沖蝕實驗。

本計畫使用由兩處不同地區採集之土樣進行縮尺實驗。實驗可分為四個部分：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；四、降雨沖蝕實驗。

兩處土樣分別由南投縣蘭島溪匯流口以及高雄市玉穗溪沖積扇採集：

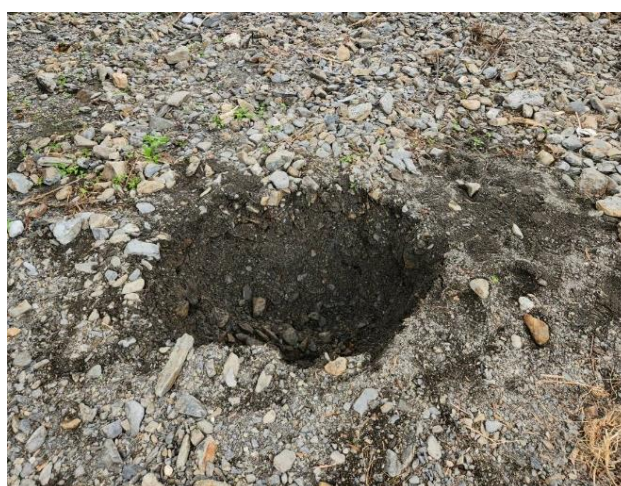
一、南投縣仁愛鄉烏溪上游北港溪的支流蘭島溪匯流口

位於國立中興大學惠蓀林場內之蘭島溪，其集水區坡度陡峭，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。因此集水區地勢陡峭，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，因此推測此處土壤粒徑分佈較為不均。地點如圖5-1，採集之土樣情形如圖5-2。



(資料來源：本計畫彙整)

圖 5-1 蘭島溪匯流口土樣採取點



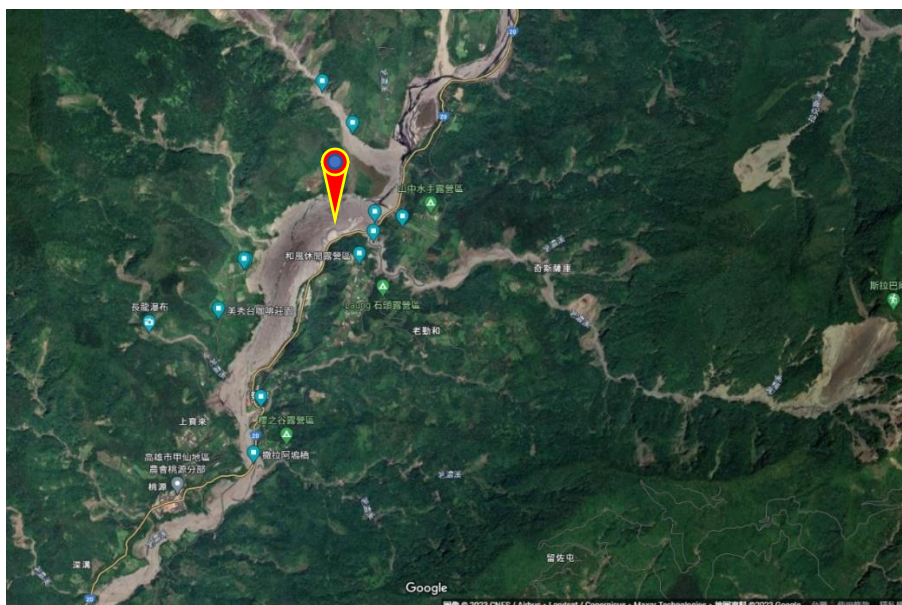
(資料來源：本計畫彙整)

圖 5-2 蘭島溪匯流口土樣採取點現況

二、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，採集地點如圖5-3。本計畫分別採集了玉穗溪沖積扇上不同位置(相距500公尺內)之土樣，以更完整的了解玉穗溪的土樣特性，為方便說明故區分為玉穗溪(1)及玉穗溪(2)。採取點位現況如圖5-4。



(資料來源：本計畫彙整)

圖 5-3 荖濃溪支流玉穗溪沖積扇土樣採取點



(資料來源：本計畫彙整)

圖 5-4 荖濃溪支流玉穗溪沖積扇土樣採取點現況

第一節 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5-5)，M3為烘乾土與秤量盒之重量。

1. 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 5-5 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，以利後續土壤基礎物理量換算，結果如下：玉穗溪(1)約為1.01005，玉穗溪(2)為1.00983，兩者很相近，而蘭島溪約為1.008581，如表5-1。在兩種土樣風乾過後，經實驗測量可之玉穗溪之土壤水分含量高於蘭島溪。

表 5-1 本計畫兩點位土樣之土壤水分係數

土樣	MF
玉穗溪(1)	1.010
玉穗溪(2)	1.010
蘭島溪	1.009

(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(M1)，並加入約10g之已過篩土樣(M2)。
- 3.注入蒸餾水至比重瓶(圖5- 6)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(M3)。
- 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(M_s)，計算土壤顆粒密度。



(資料來源：本計畫拍攝)

圖 5-6 土壤顆粒密度實驗-比重計照片

(二)利用以下相關公式計算結果：

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

$$2. \text{被土壤取代之水重} = M_4 - M_3 + M_s$$

$$3. \text{被土壤取代之水體積}(V_s) : V_s = \frac{M_4 - M_3 + M_s}{\text{當時水的密度}} \quad (\text{此亦為土壤之體積})$$

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

經實驗與計算，結果如下：玉穗溪兩處採樣點之顆粒密度皆為 2.759 g/cm^3 ，蘭島溪約為 2.592 g/cm^3 ，如表5-2。顆粒密度的大小與土壤的礦物組成和有機質有關，土壤中氧化鐵和各種重礦物含量高時密度較高，有機質含量高的土壤密度較低。

表 5-2 本計畫兩種土樣之土壤顆粒密度

土樣	顆粒密度
玉穗溪(1)	2.759 g/cm ³
玉穗溪(2)	2.759 g/cm ³
蘭島溪	2.592 g/cm ³

(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。
- 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 5-7 土壤顆粒分析實驗

經篩分析與比重計可知各孔徑的累積過篩百分比，如表5- 3為玉穗溪(1)、表5- 4為玉穗溪(2)，表5- 5為蘭島溪：

表 5-3 玉穗溪土樣(1)粒徑資料

玉穗溪(1)			
孔徑(mm)	累積過篩百分比(%)	孔徑(mm)	累積過篩百分比(%)
10	100	0.069831	0.557
4	74.643	0.050117	0.522
2	47.299	0.036331	0.438
0.84	23.543	0.00944	0.150
0.42	6.354	0.006677	0.146
0.25	3.548	0.004727	0.116
0.149	1.823	0.00334	0.097
0.105	1.199	0.00137	0.081
0.074	0.801	-	-

(資料來源：本計畫整理)

表 5-4 玉穗溪土樣(2)粒徑資料

玉穗溪(2)			
孔徑(mm)	累積過篩百分比(%)	孔徑(mm)	累積過篩百分比(%)
10	100	0.069831	4.917
4	70.359	0.050117	4.814
2	45.358	0.036331	4.325
0.84	29.598	0.00944	1.701
0.42	18.810	0.006677	1.623
0.25	15.893	0.004727	1.241
0.149	12.253	0.00334	1.035
0.105	10.046	0.00137	0.777
0.074	8.523	-	-

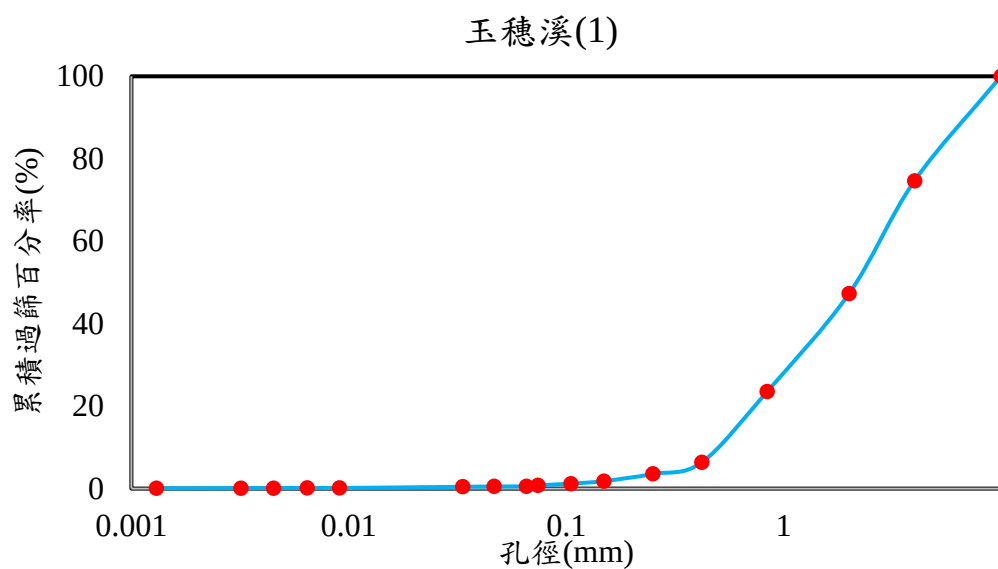
(資料來源：本計畫整理)

表 5-5 蘭島溪土樣粒徑資料

蘭島溪			
孔徑(mm)	累積過篩百分比(%)	孔徑(mm)	累積過篩百分比(%)
10	100	0.069831	0.844
4	65.925	0.050117	0.702
2	47.308	0.036331	0.503
0.84	30.466	0.00944	0.198
0.42	14.557	0.006677	0.163
0.25	8.901	0.004727	0.143
0.149	4.042	0.00334	0.103
0.105	2.480	0.00137	0.052
0.074	1.761	-	-

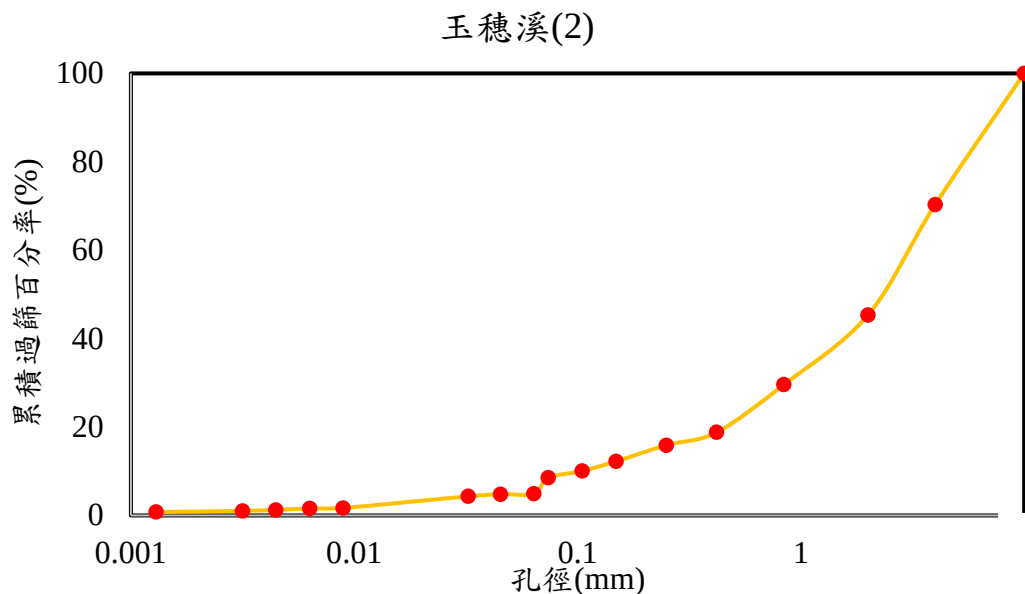
(資料來源：本計畫整理)

由實驗數據可繪製出粒徑分佈曲線，圖5-8、圖5-9為玉穗溪，
圖5-10為蘭島溪：



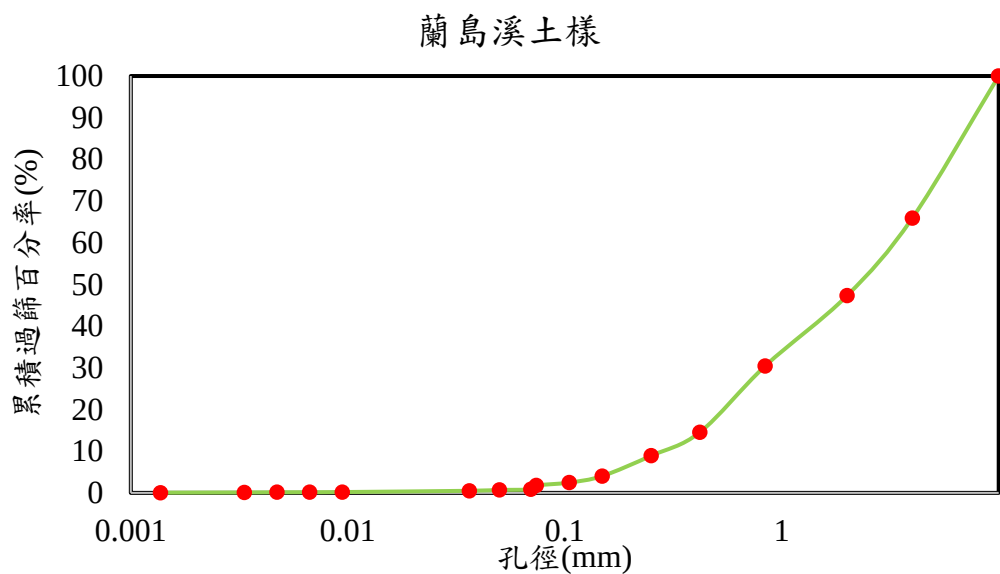
(資料來源：本計畫繪製)

圖 5-8 玉穗溪(1)粒徑分布曲線



(資料來源：本計畫繪製)

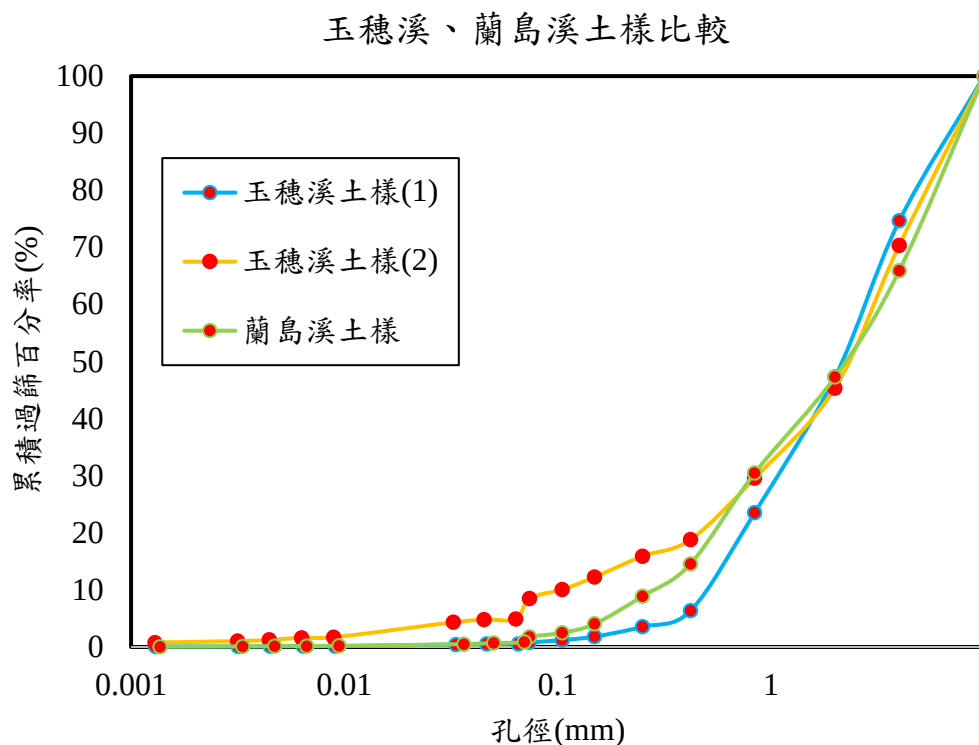
圖 5- 9 玉穗溪(2)粒徑分布曲線



(資料來源：本計畫繪製)

圖 5- 10 蘭島溪粒徑分布曲線

圖5- 11中比較玉穗溪兩取樣點及蘭島溪土樣之顆粒粒徑分布圖，於玉穗溪本身之土樣比較中，可明顯看出取樣點(2)之土壤細顆粒部分較多；而玉穗溪(1)之細顆粒部分則比起其他兩者少。



(資料來源：本計畫繪製)

圖 5- 11 玉穗溪兩採集點之土樣粒徑分布曲線圖

本計畫於土壤啟動應力實驗中所使用之玉穗溪土樣為玉穗溪(1)，故比較玉穗溪(1)及蘭島溪之土樣：由粒徑分佈曲線得知，粒徑約小於0.25mm時累積過篩百分比仍趨於零，而在粒徑大於約0.42mm時，粒徑所佔百分比上升幅度大，表示在土樣比較中，兩者粒徑較小的土砂材料極低，粒徑較大之材料較高。再藉由土壤粒徑分布之數據進行計算，優良及配之定義為：1.曲線係數代號(C_d 、 C_e 或 C_c)須經公式計算($D_{30}^2/D_{10} * D_{60}$)落在1~3內，2.均勻係數 C_u 需大於等於6。可得表5-6。其中玉穗溪(1)與蘭島溪皆為不良級配，玉穗溪(2)為優良級配。

表 5-6 土壤級配計算表

土樣	曲線係數 C_c	均勻係數 C_u	結果
玉穗溪(1)	0.895	5.752	不良級配
玉穗溪(2)	2.291	30.474	優良級配
蘭島溪	0.720	11.883	不良級配

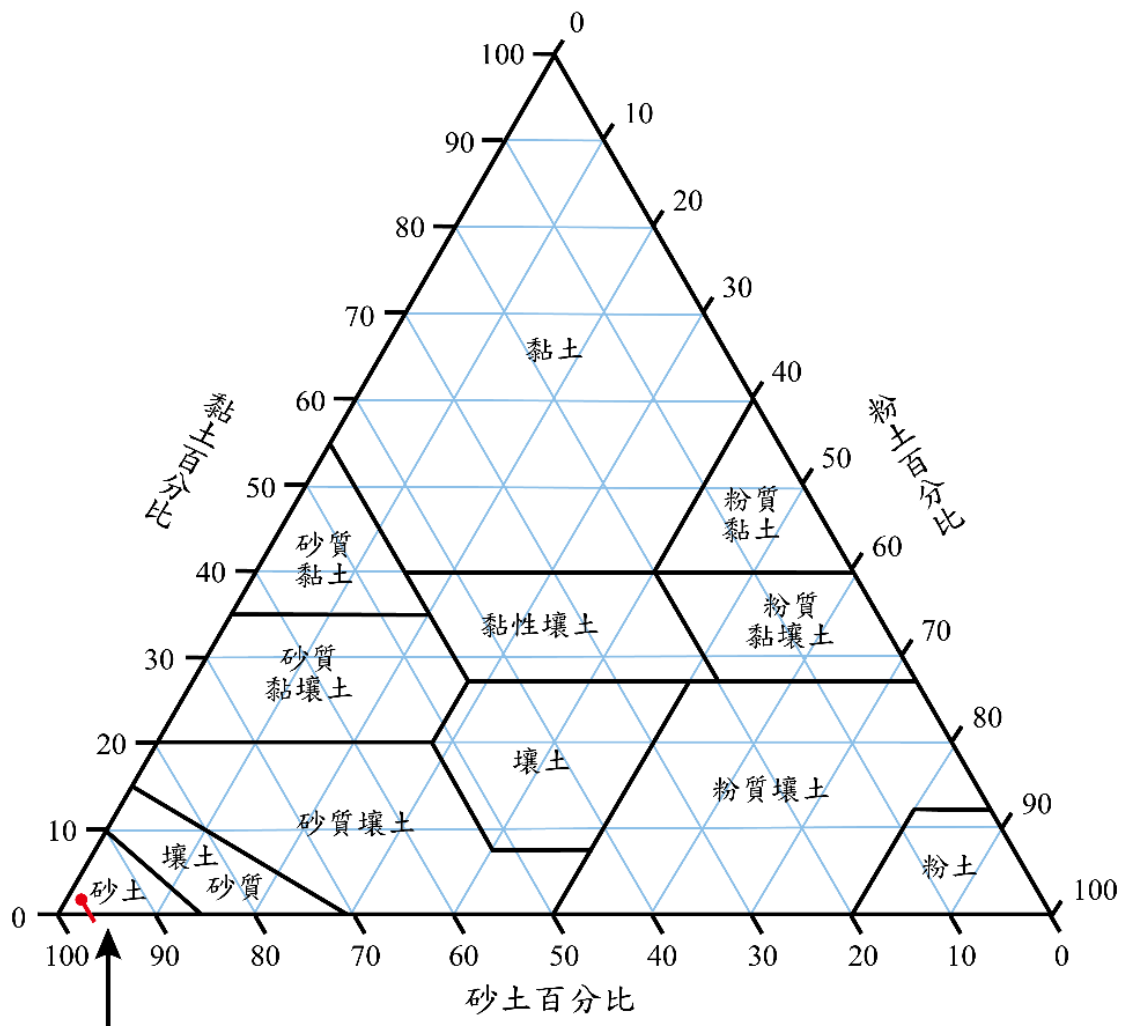
(資料來源：本計畫彙整)

因此，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- 7。再藉由土壤質地三角分類圖進行土樣分類。分析結果顯示玉穗溪與蘭島溪的土樣皆為「砂土」，如圖5- 12、圖5- 13、圖5- 14。

表 5-7 土壤質地分布

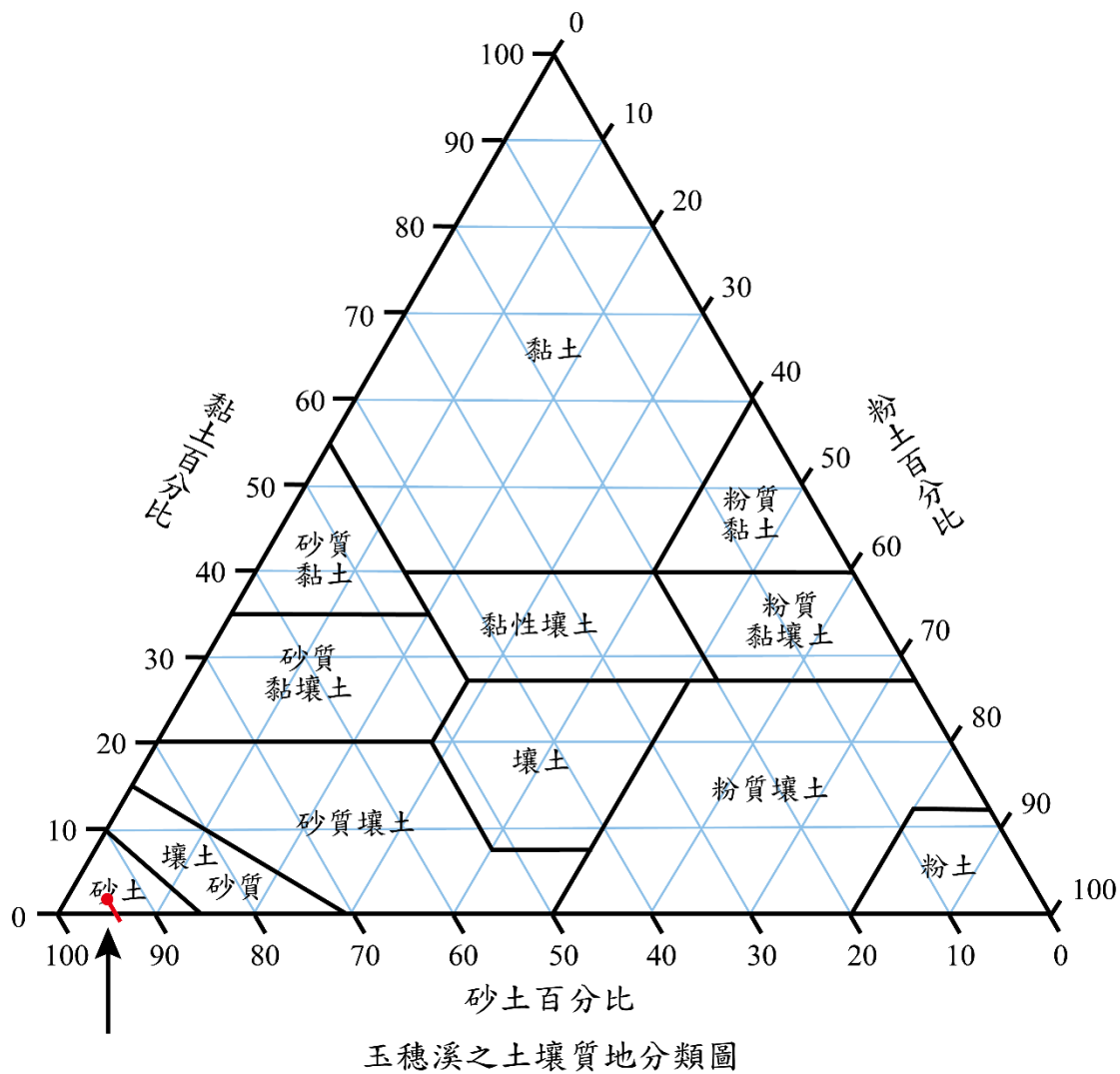
玉穗溪(1)		玉穗溪(2)		蘭島溪	
分類	百分比	分類	百分比	分類	百分比
砂粒	98.306%	砂粒	95.160%	砂粒	96.279%
粉粒	1.512%	粉粒	3.966%	粉粒	3.561%
黏粒	0.182%	黏粒	0.874%	黏粒	0.160%

(資料來源：本計畫整理)



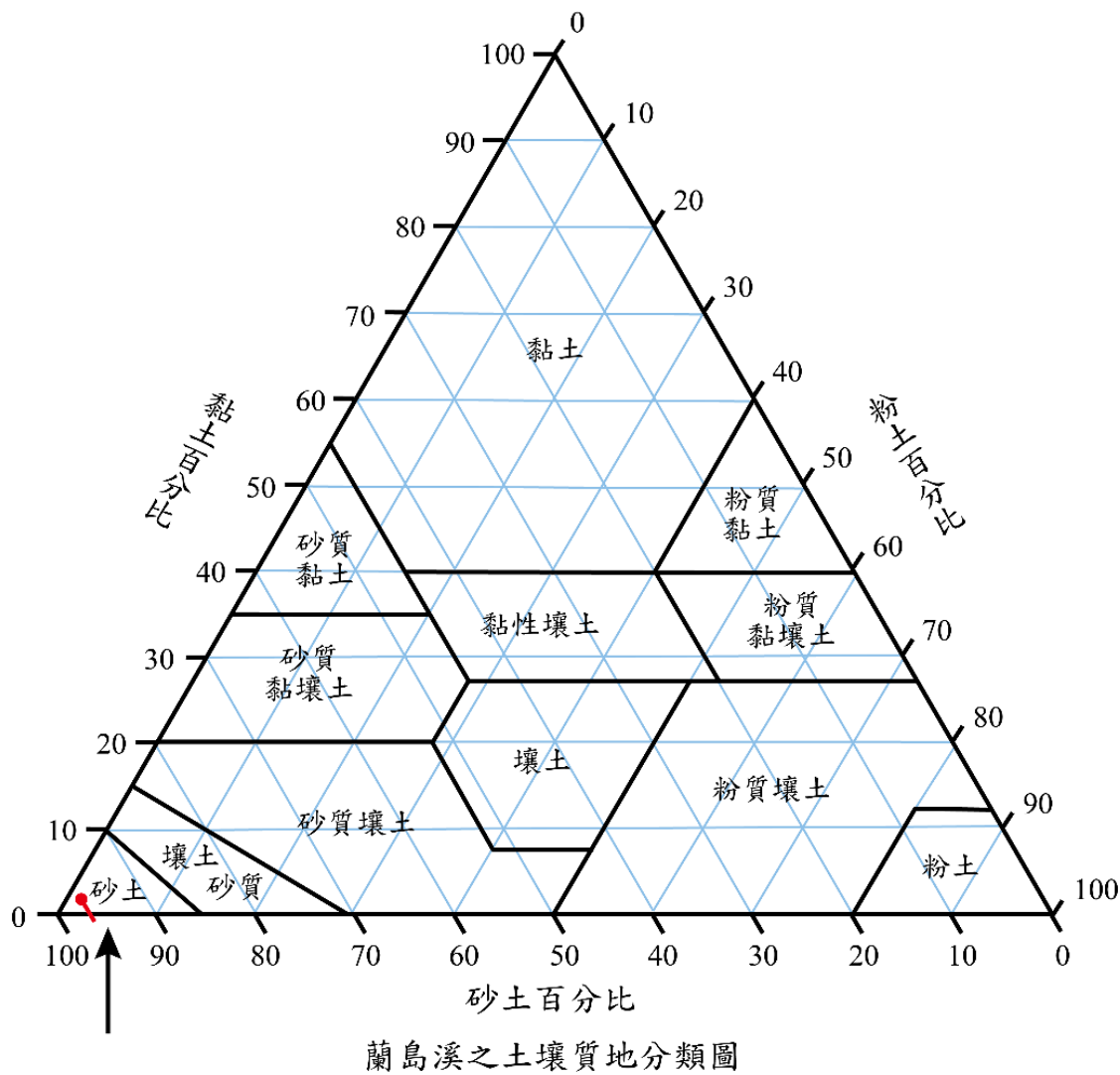
(資料來源：本計畫繪製)

圖 5- 12 玉穗溪(1)土壤質地分布圖



(資料來源：本計畫繪製)

圖 5- 13 玉穗溪(2)土壤質地分布圖

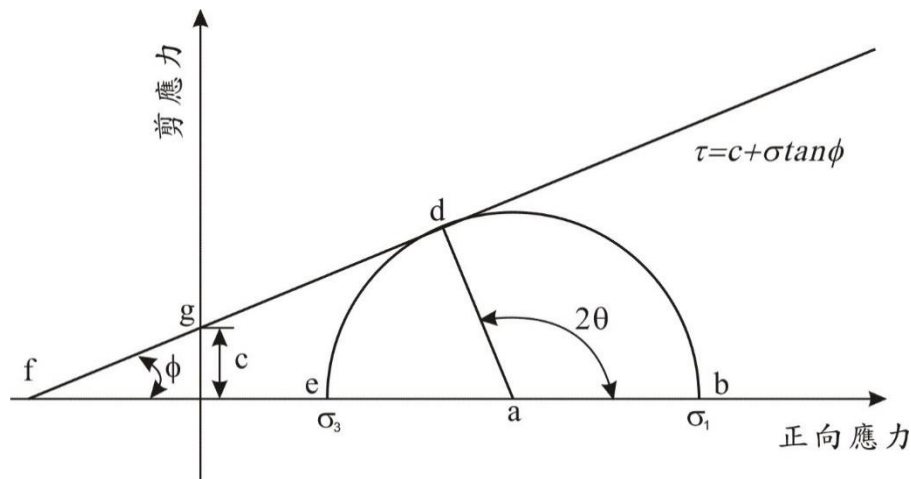


(資料來源：本計畫繪製)

圖 5- 14 蘭島溪土壤質地分布圖

第二節 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5-15所示。



(資料來源：本計畫彙整)

圖 5-15 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5-16所示。

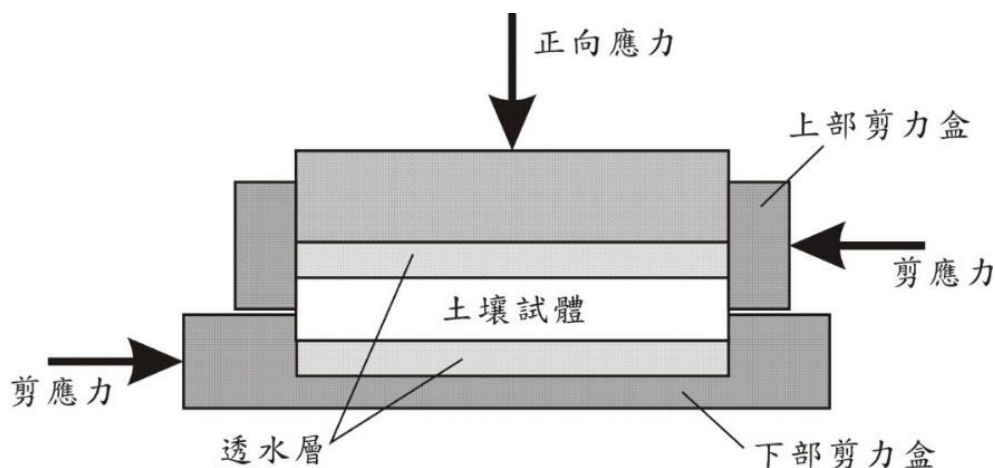


(資料來源：本計畫拍攝)

圖 5- 16 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- 17 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：

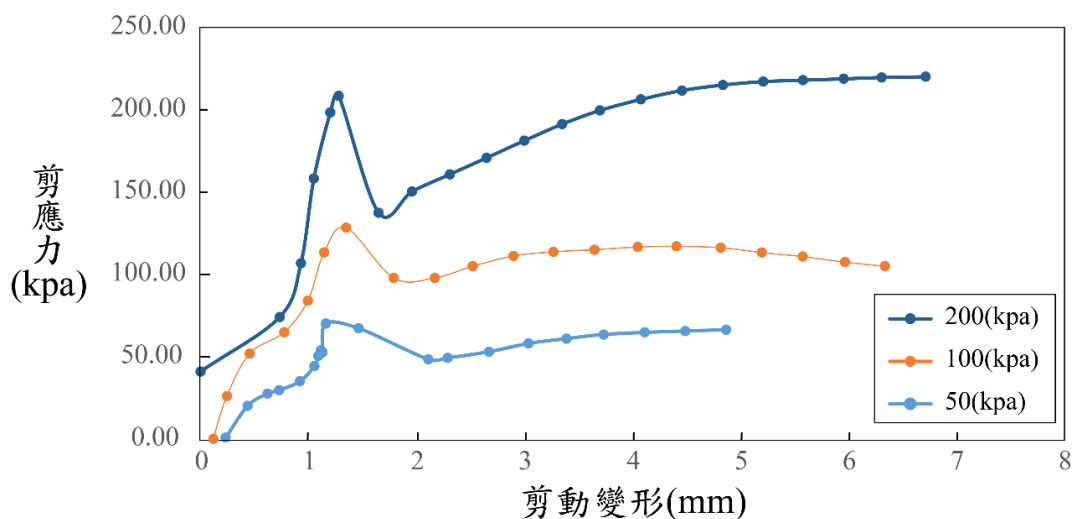
$$1. \text{正向應力 } \sigma = \frac{\text{正向力}}{\text{試體橫斷面面積}}$$

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

實驗操作之順序中，因本計畫先完成基本物理實驗及土壤啟動應力實驗，當做完前述實驗後，玉穗溪(1)之土樣因數量過少，不足利用剩餘土樣進行土壤直剪實驗。故本計畫採用同樣位於玉穗溪，但於不同地點之採樣土樣玉穗溪(2)之土樣進行直接剪力實驗作為玉穗溪之代表點位。

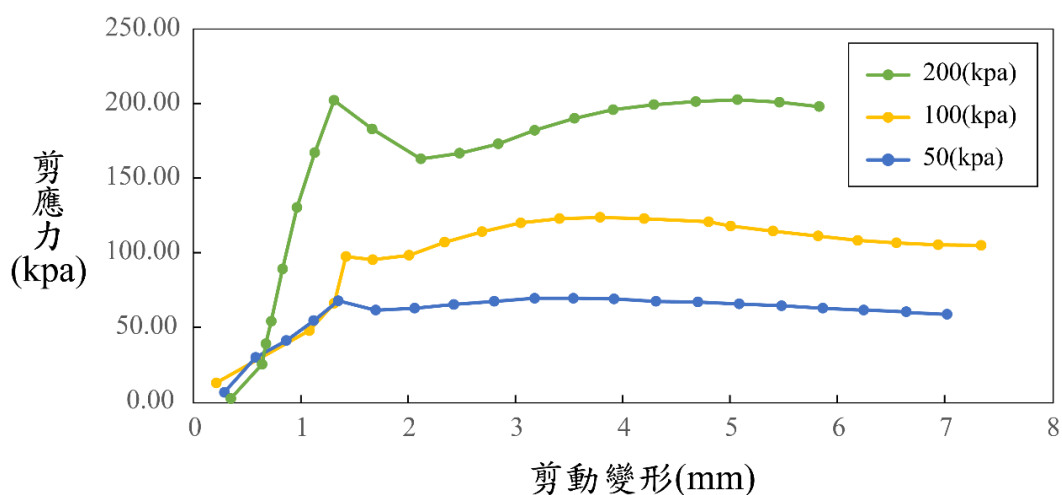
圖5- 18與圖5- 19分別為兩種土樣之剪應力與剪動變形的關係

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 5-18 剪應力與剪動變形關係圖-玉穗溪(2)



(資料來源：本計畫繪製)

圖 5-19 剪應力與剪動變形關係圖-蘭島溪

將兩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- 20、圖 5- 21，兩者剪力參數比較圖如圖 5- 22。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)，玉穗溪(2)之內摩擦角約為 $38^{\circ}51'$ 、土壤凝聚力為 23.808kpa，蘭島溪之內摩擦角約為 $43^{\circ}48'$ 、土壤凝聚力為 19.715kpa，彙整如表 5- 8。

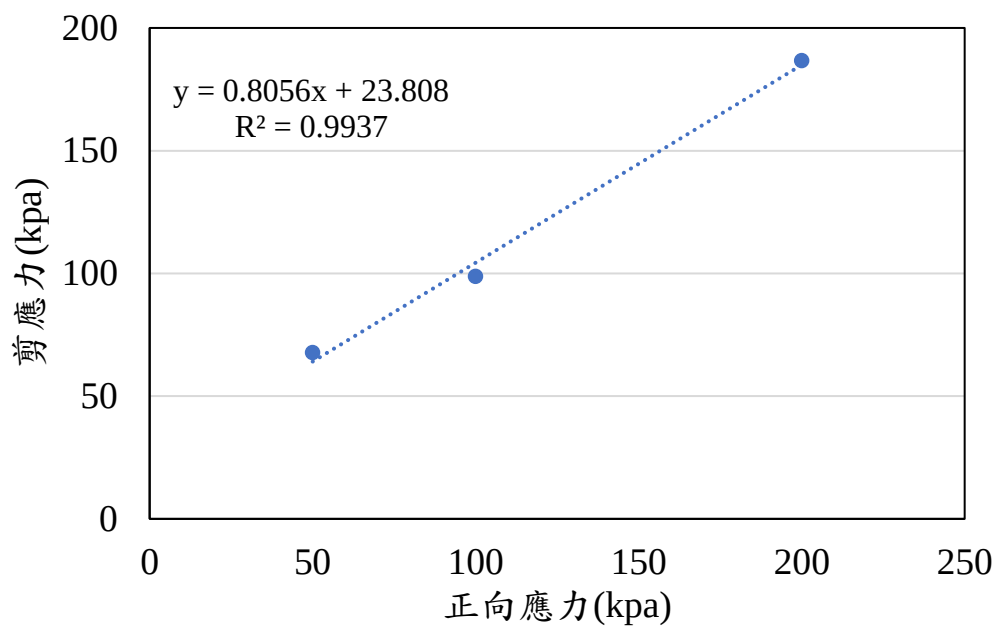
表 5- 8 直接剪力實驗之土壤內摩擦角與凝聚力數據

土樣	內摩擦角	凝聚力
玉穗溪(2)	$38^{\circ}51'$	23.808kpa
蘭島溪	$43^{\circ}48'$	19.715kpa

(資料來源：本計畫整理)

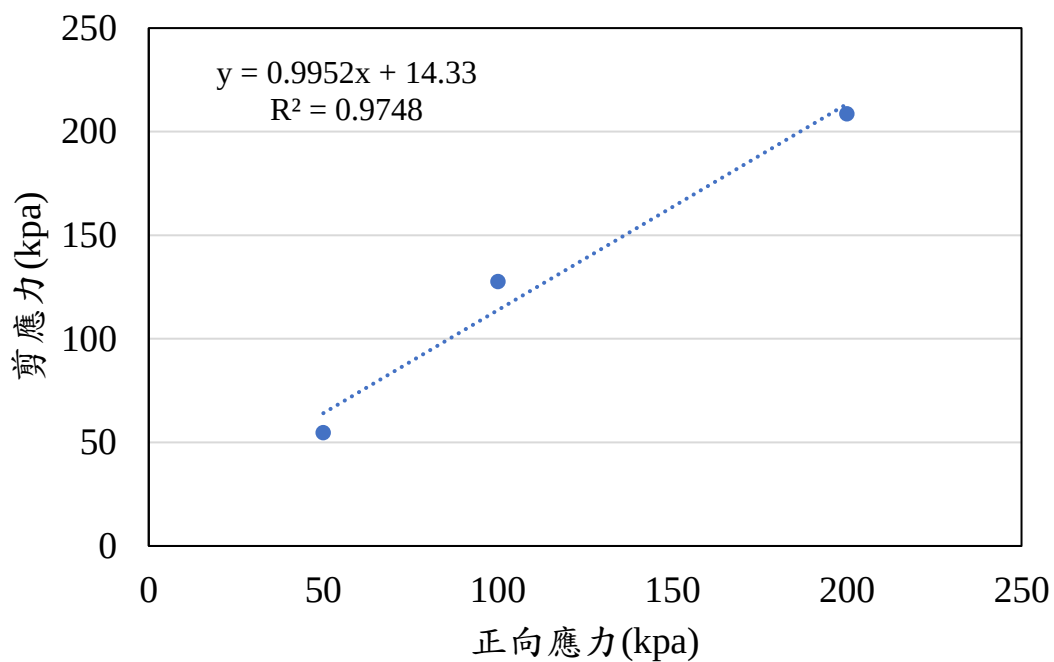
在上節土壤顆粒密度實驗中，測得玉穗溪(2)之土樣為優良級配。土壤之優良級配，表示粒徑由大至小皆有，而大顆粒間的孔隙由中顆粒來填充，而中顆粒間的孔隙由小顆粒填充，形成一緊密的排列方式；若為不良級配，則排列方式較為鬆散。

由級配好壞分析可知，雖然三組土樣分類皆為砂土，但玉穗溪(2)之土樣為優良級配，推測其土壤顆粒間排列緊密，導致凝聚力較蘭島溪高；而蘭島溪為不良級配，缺乏細顆粒材料填充，使其較鬆散，相較於玉穗溪(2)之土樣的凝聚力低。而此兩種土樣的內摩擦角接近，反映其土粒之摩擦特性及抗剪強度可能類似，可能造成兩者抗沖蝕能力相似。因兩者土樣皆為砂土，故此實驗也驗證兩者為類似之土樣種類。



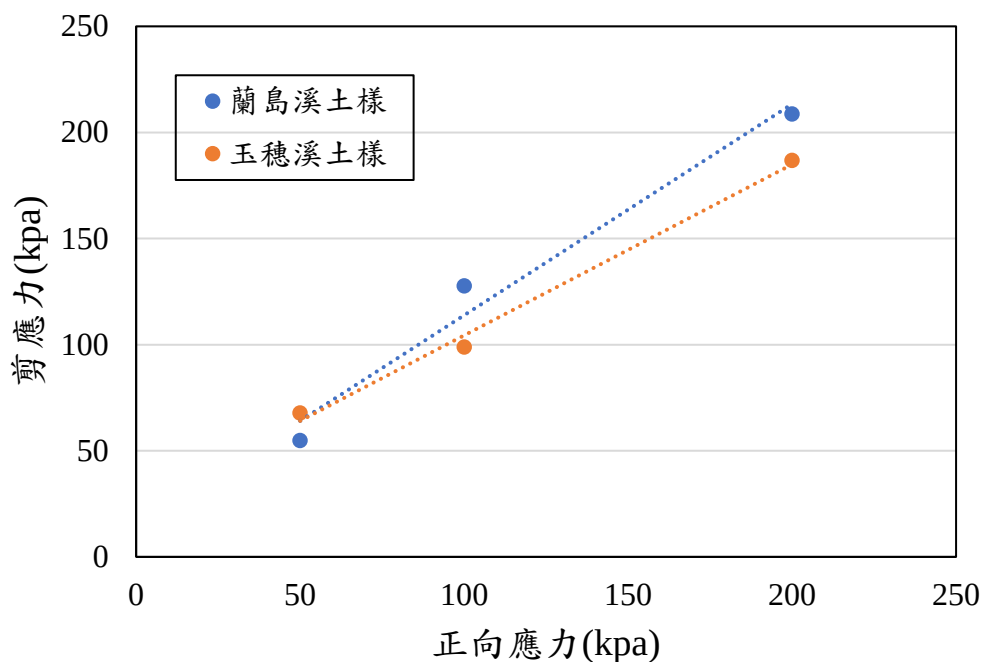
(資料來源：本計畫繪製)

圖 5- 20 正向應力與剪動應力之關係圖-玉穗溪(2)



(資料來源：本計畫繪製)

圖 5- 21 正向應力與剪動應力之關係圖-蘭島溪



(資料來源：本計畫繪製)

圖 5-22 兩種土樣剪力參數比較圖

第三節 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(kg/m²/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。

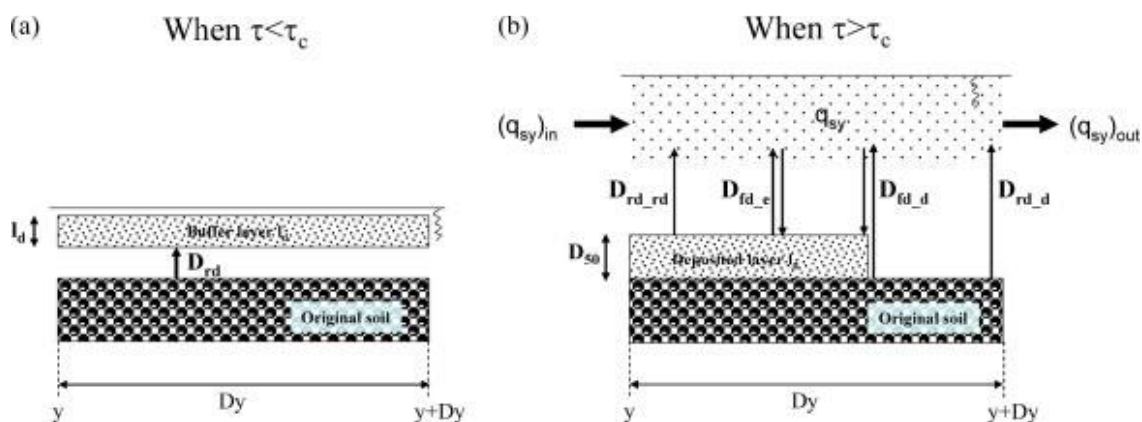
$$\text{坡面流：} D_c = K(\tau - \tau_c)$$

D_c 表土壤分離率(kg/m²/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5- 23，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- 23 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- 9。

表 5-9 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)	$D_{fd-c} = K_r(\tau - \tau_c)(1 - \frac{q_s}{T_c})^\varepsilon$
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、土壤啟動應力實驗流程

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；設備照片如圖5- 24所示。

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 5-24 土砂啟動實驗設備整體側視照

(一)試驗事前準備工作

- 1.本實驗採用玉穗溪土樣(1)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)試驗過程

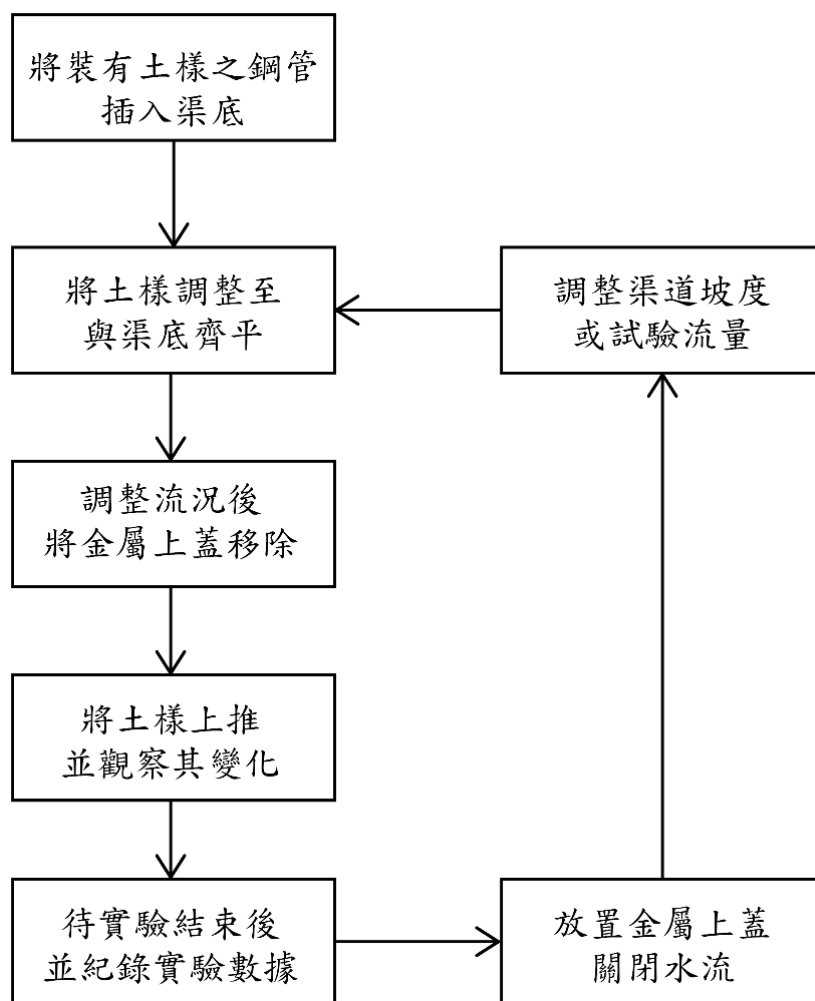
- 1.待流況穩定後，打開保護蓋，並連接拉線式位移紀錄器。
- 2.測量三角堰之流量與試驗之水深。
- 3.將土樣上推1~2 mm並開始試驗。
- 4.操作者觀察土面之沖蝕情形，當土面與周圍槽底齊平時，即上推土樣，連接之電位訊號設備同時記錄土樣隨時間之變化位置，直至土樣完全被沖蝕或操作者無法清楚觀察沖蝕情形，及終止單場試驗。
- 5.調整坡度或流量，進行下一組實驗。

土樣沖蝕過程如圖5- 25，流程圖如圖5- 26。



(資料來源：本計畫拍攝)

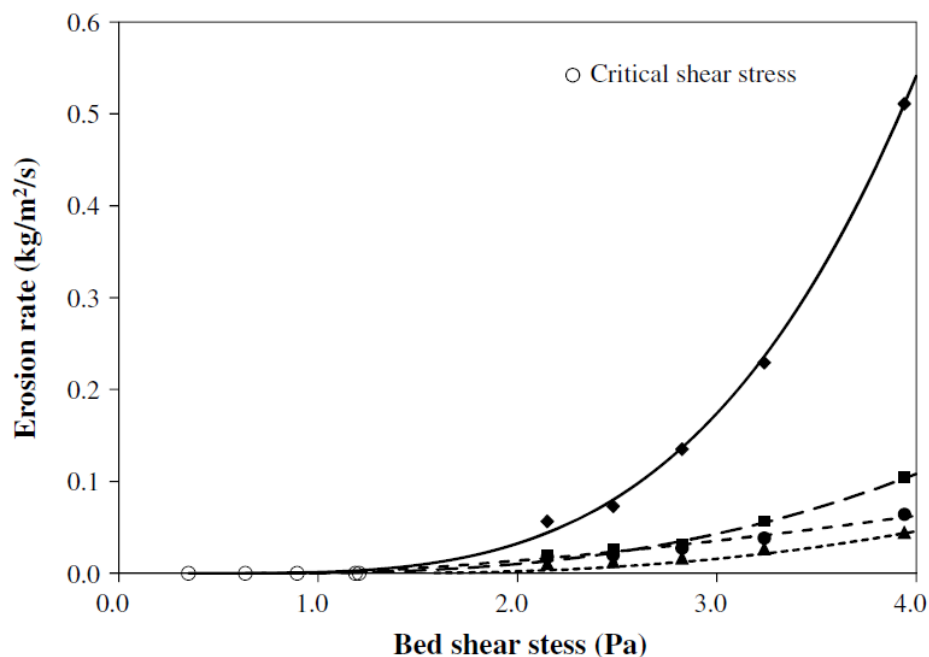
圖 5- 25 土砂沖蝕試驗過程



(資料來源：本計畫繪製)

圖 5-26 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 (kg/m²/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5-27，圖中土樣為40%高嶺土樣。



(資料來源：Wang and Sturm, 2016)

圖 5-27 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 0.01、0.03、0.05、0.07，與度數之對照表如表 5-10。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 5-10 坡度百分比與度數對照表

坡度百分比	度數(度)
1%	0.573
3%	1.718
5%	2.862
7%	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。

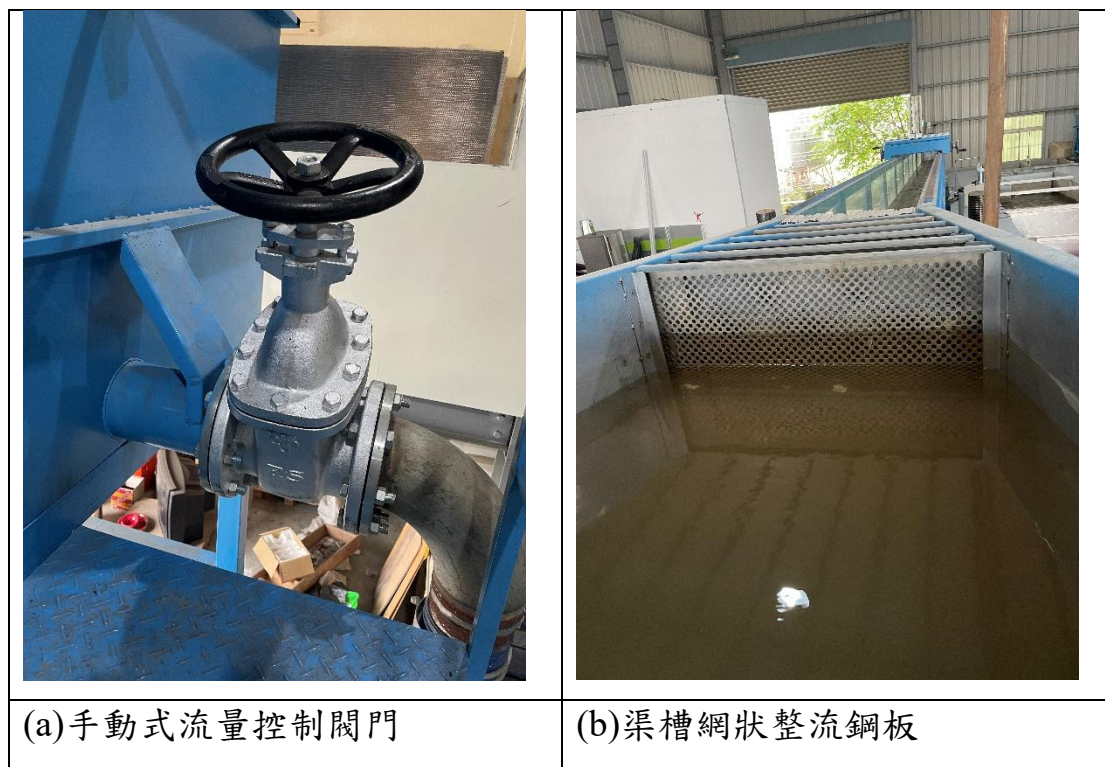
實驗流量可使用尾水堰後蓄水槽上之三角堰推估，故需對三角堰水深與流量間進行校正。為避免水流流入蓄水槽形成的水流擾動及渦流，故於蓄水槽中設置三組網狀鋼板(圖 5-28(b))。以渠槽定水頭之手動式流量控制閥門調整出水量(圖 5-28(a))，並於三角堰出流達到穩定後，以蓄水槽邊壁設置之測水尺，紀錄堰上水深。

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：

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

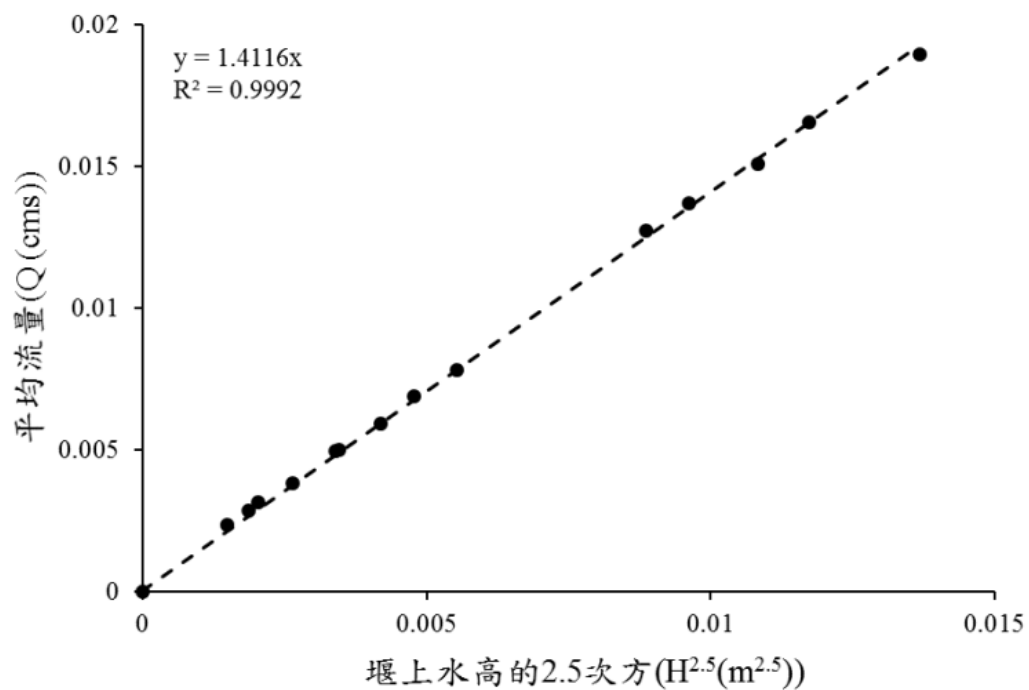
其中，Q 為流量、 C_d 為堰流係數，經由試驗率定求得，渠槽堰流係數約為 0.598； θ 為三角堰之頂角；H 為堰上水深(m)，可繪製一校正回歸曲線，如圖 5-29。經由換算可得方程式為：

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



(資料來源：本計畫拍攝)

圖 5-28 實驗流量控制閥與整流板



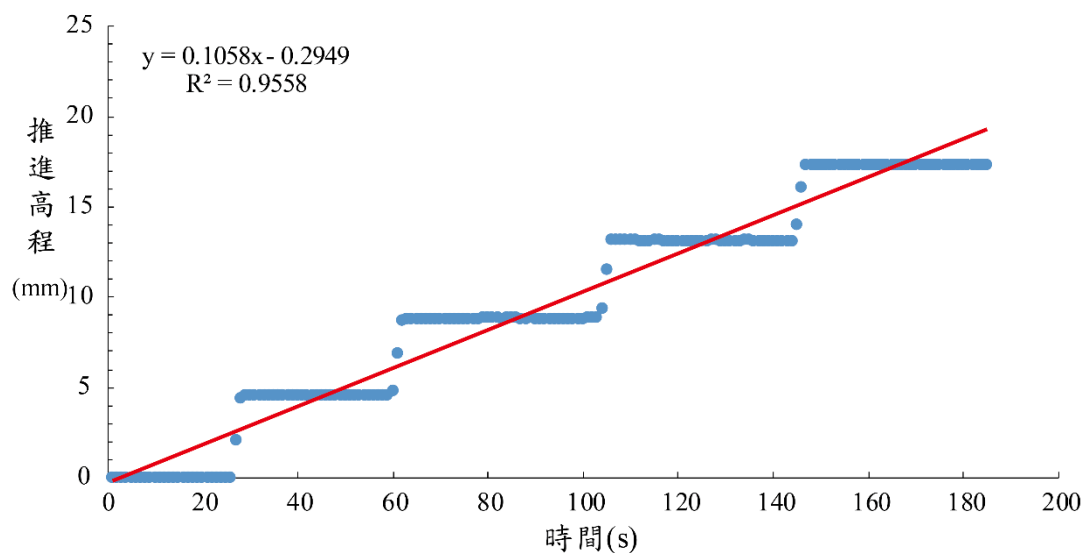
(資料來源：(Hong,2021))

圖 5-29 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速率 $E_{(exp)}(\frac{kg}{m^2}/s)$ ，圖 5- 30 以玉穗溪土樣(1)為例，於坡度 5%、流量 0.0137cms，水深約 0.1m 時之土壤沖蝕情況最佳沖蝕擬合斜率。



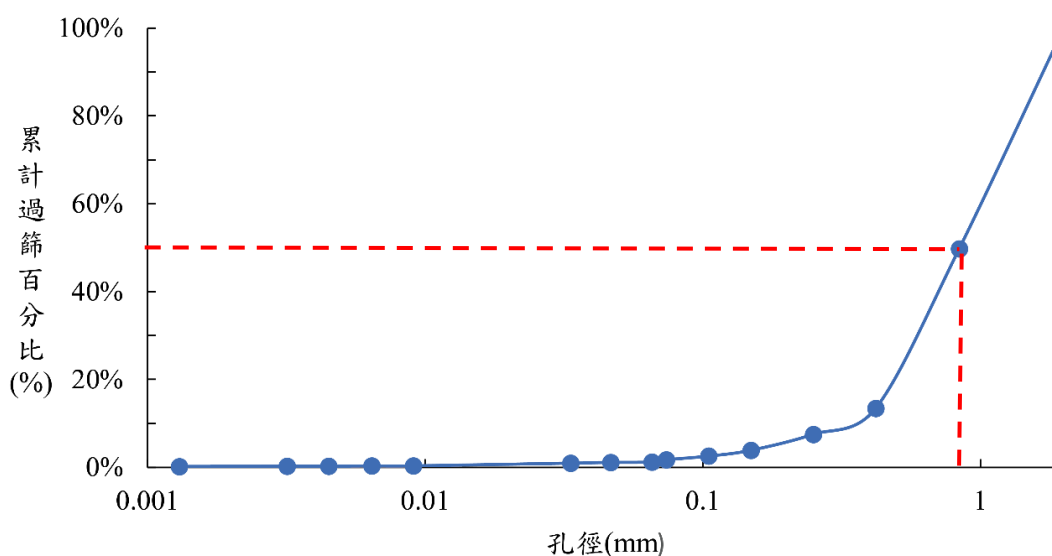
(資料來源：本計畫繪製)

圖 5- 30 玉穗溪之沖蝕擬合線斜率(mm/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)。

(一)玉穗溪土樣(1)試驗成果

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取線，經由內插法計算，玉穗溪試驗土樣(1)之中值粒徑(D50)約為0.84mm，如圖5-31。土壤類型為砂土。



(資料來源：本計畫繪製)

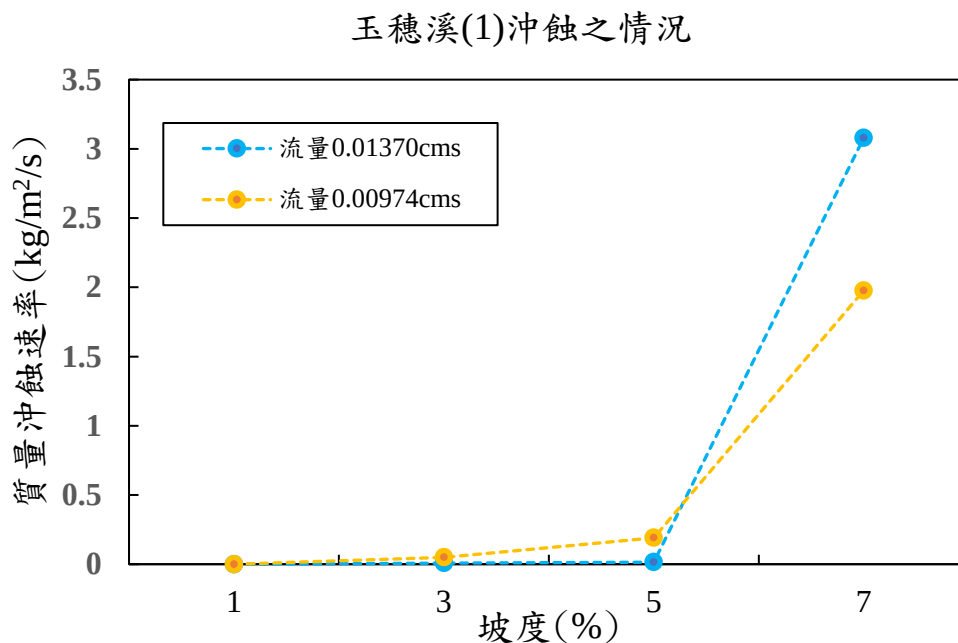
圖 5-31 玉穗溪土樣(1)試驗土樣之過篩百分比

試驗流量選擇為0.00974及0.01370cms，對應前面章節流量校正，三角堰流量分別為52及54cm。並藉由沖蝕最佳擬合斜率計算其質量沖蝕速率，如表5-11，並將數據繪整成圖5-32。

表 5-11 玉穗溪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
	3	341.6	0.0044	0.00792
	5	159.73	0.0084	0.0151
	7	0.7	1.7103	3.0785
0.01370	1	900	0.00005	0.00009
	3	42.1	0.0279	0.0502
	5	10.6	0.1058	0.1904
	7	0.96	1.0981	1.9766

(資料來源：本計畫實驗數據)

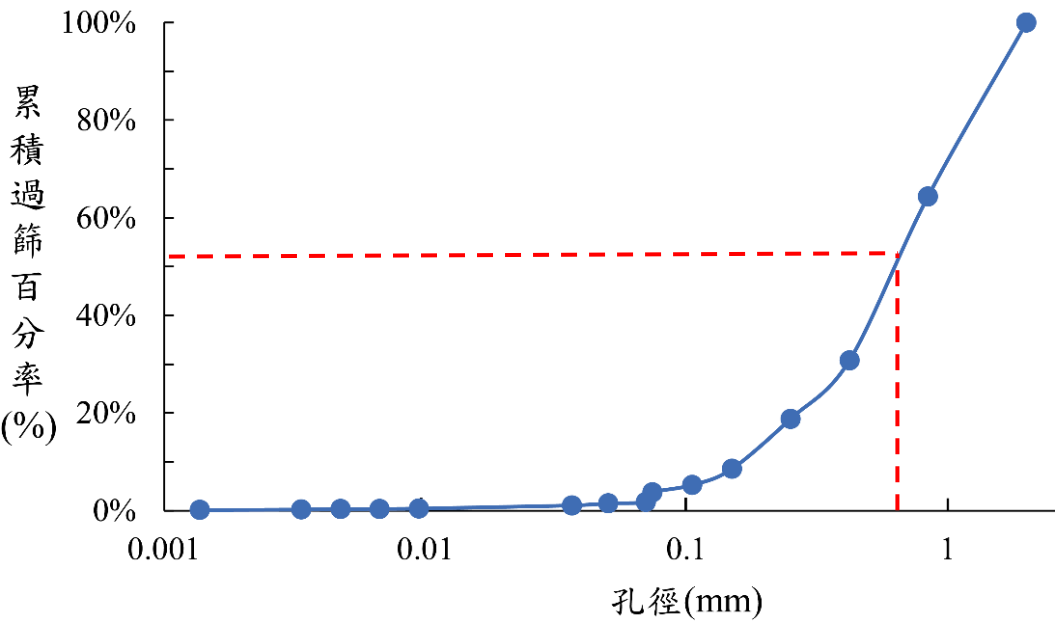


(資料來源：本計畫繪製)

圖 5-32 不同流量下玉穗溪土樣質量沖蝕率與坡度百分比之關係圖

(二)蘭島溪土樣試驗成果

由於試驗中僅會與用2mm以下之土樣，使用篩分析及比重計得到其粒徑分布取線，經由內插法計算，蘭島溪沖蝕試驗土樣之中值粒徑(D50)約為0.662mm，如圖5-33。



(資料來源：本計畫繪製)

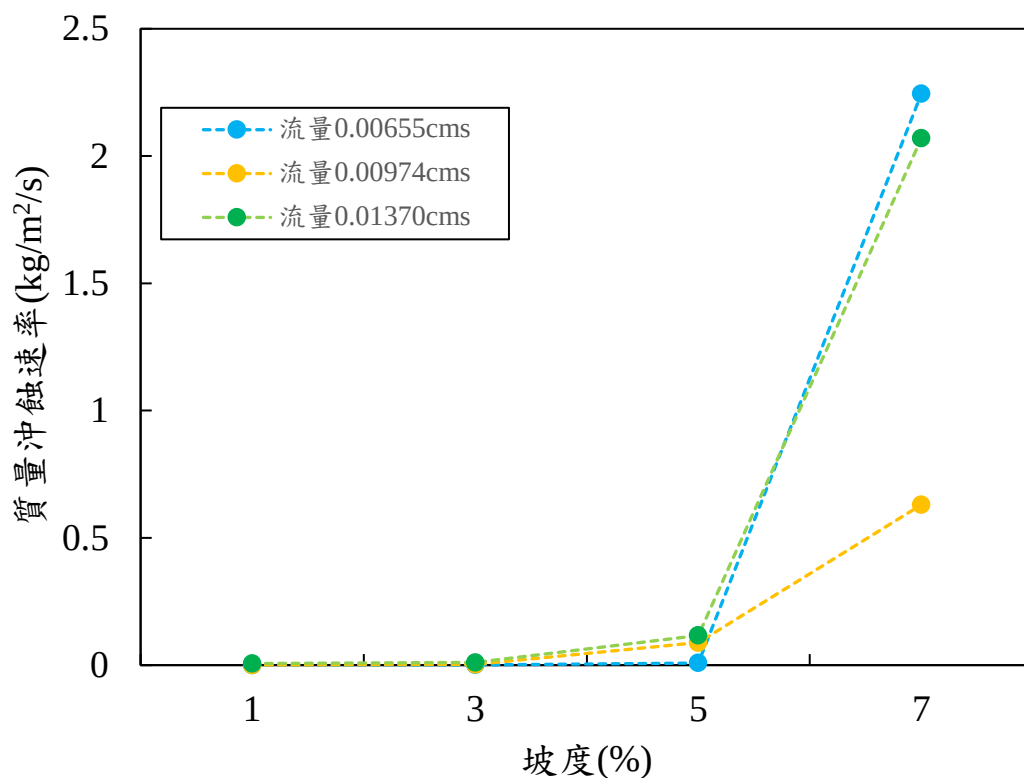
圖 5- 33 蘭島溪沖蝕試驗土樣之過篩百分比

試驗流量選擇為0.00655、0.00974及0.01370cms，對應前面章節流量校正，三角堰流量分別為50、52及54cm。並藉由沖蝕最佳擬合斜率計算其質量沖蝕速率，如表5- 12，並將數據繪製如圖5- 34。

表 5- 12 蘭島溪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	質量沖蝕率 (kg/m ² /s)
0.00655	1	0	0	0
	3	1955	0.0006	0.00108
	5	162.26	0.0046	0.00828
	7	5.4	1.247	2.2446
0.00974	1	3600 以上	0.0001	0.00018
	3	468.3	0.0016	0.00288
	5	62.75	0.0491	0.08838
	7	5.6	0.35	0.63
0.01370	1	141.5	0.0035	0.0063
	3	151.8	0.0058	0.01044
	5	14.7	0.0649	0.11682
	7	0.9	1.15	2.07

(資料來源：本計畫實驗數據)

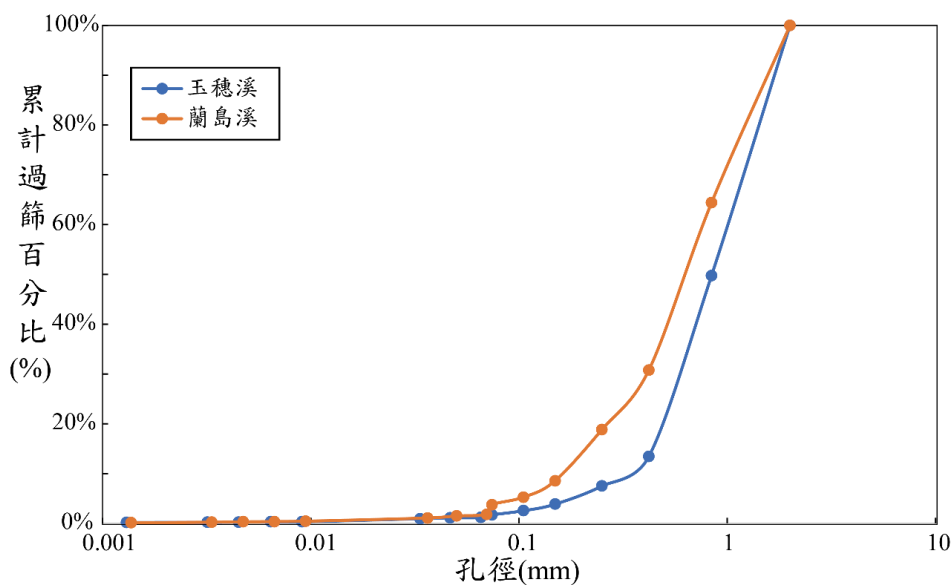


(資料來源：本計畫繪製)

圖 5- 34 不同流量下蘭島溪土樣質量沖蝕率與坡度百分比之關係圖

(三)玉穗溪土樣(1)及蘭島溪試驗成果比較

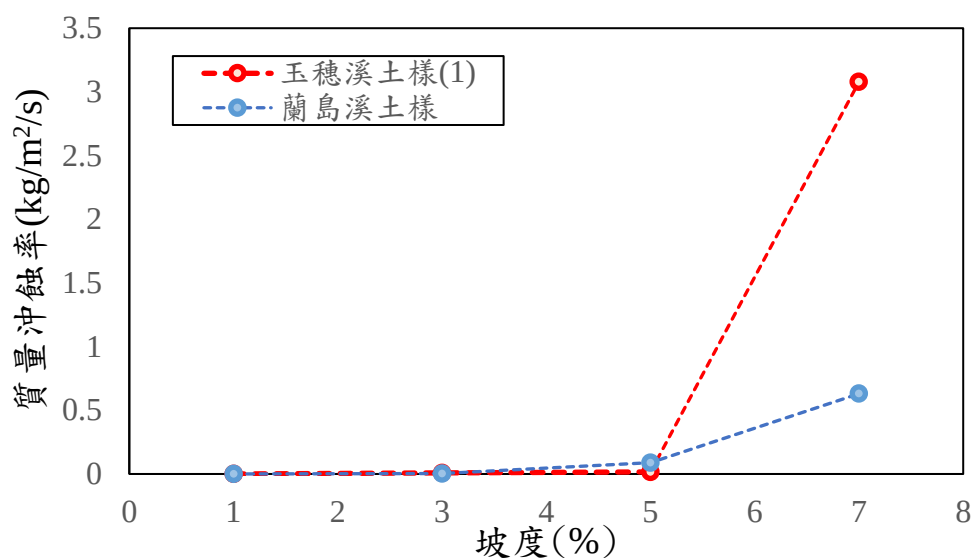
玉穗溪土樣(1)及蘭島溪土樣雖皆為砂土，藉由比較兩土樣之中值粒徑，可明確兩土樣間粒徑大小的差別。由於玉穗溪土樣(1)之中值粒徑(0.84mm)大於蘭島溪土樣之中值粒徑(0.662mm)，可知玉穗溪之整體粒徑大小大於蘭島溪，如圖5-35。



(資料來源：本計畫繪製)

圖 5- 35 玉穗溪(1)及蘭島溪沖蝕試驗土樣之過篩百分比比較圖

圖5- 36為蘭島溪及玉穗溪土樣(1)於流量為0.00974cms時，不同坡度、沖蝕情形比較圖，圖中可觀察到，蘭島溪及玉穗溪土樣(1)，兩者其質量沖蝕速率與坡度之關係，大致相同，皆有因坡度上升，使其質量沖蝕率上升的趨勢。



(資料來源：本計畫繪製)

圖 5- 36 兩種土樣於相同流量(0.000974(cms))比較圖

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，而渠道達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。圖5-36中，兩種土樣在不同流量時，坡度較小之組數(5%以下)趨勢大致相同，且兩者皆於坡度達5%時，質量沖蝕率明顯上升。兩土樣於坡度百分比達到5時，似乎進入臨界值的狀態，從5%開始質量沖蝕率，幾乎成指數上升。

五、小結

雖目前土樣僅有兩種，但依目前實驗成果表明，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，僅玉穗溪土樣(2)較蘭島溪土樣稍大一些；於啟動應力實驗中，兩者之實驗結果相似，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。

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。

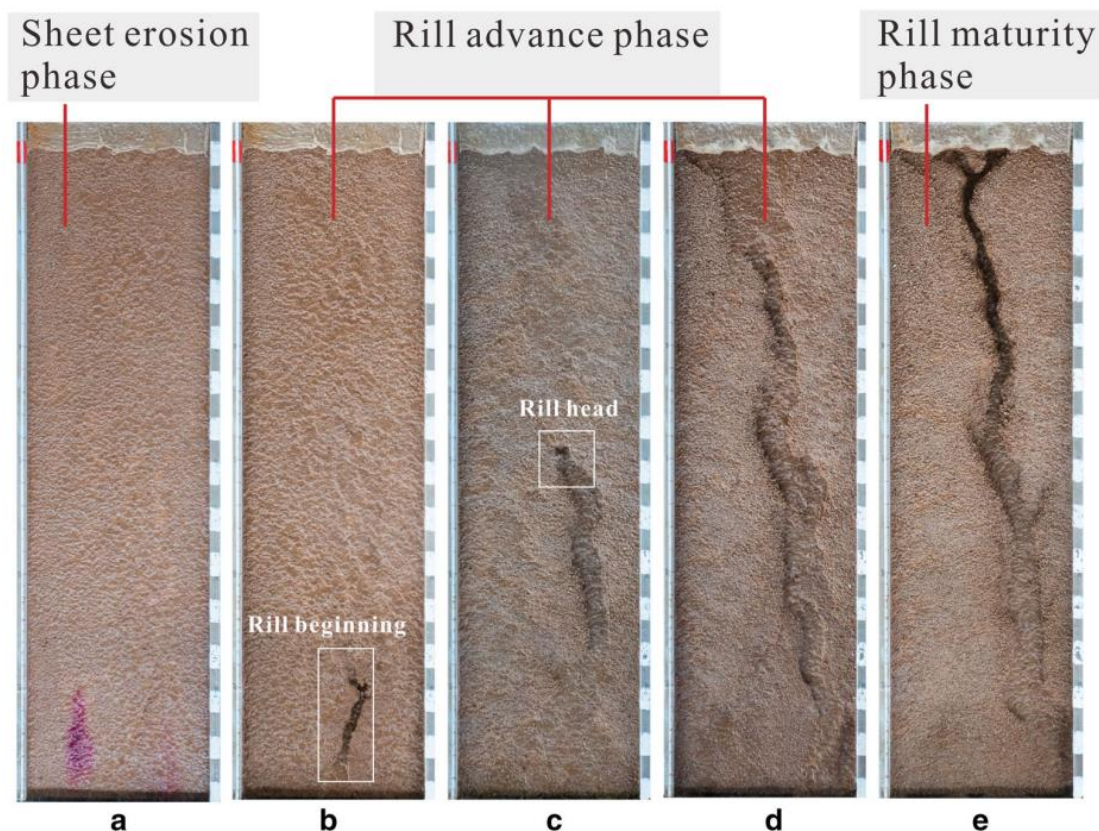
於啟動應力實驗中，土樣雖採集至不同地區，但土壤分類皆為「砂土」。而全臺各地區土樣相當多元，並非僅有砂土一種土壤類型，不同種類的土樣擁有不同之土壤結構、性質，對於土壤的抗沖蝕能力皆有影響。故位於不同地區之土壤，當坡度改變時對於抗沖蝕的能力也會有所不同。若要建立全臺各地區土樣對沖蝕影響之實驗數據資料庫以確定現行法規之山坡地定義是否合理，需增加多種土樣來源及土樣之種類進行更多實驗。

第四節 土壤降雨沖蝕實驗

對於土壤流失之量體，各界通常使用USLE公式計算之，同時USLE公式也是臺灣水土保持手冊中明確定義之土壤沖蝕量計算方式，於過往的計劃以及研究中，已針對降雨沖蝕指數(Rm)、土壤沖蝕指數(Km)進行探討並配合臺灣之降雨、土壤沖蝕調查結果並得出建議於臺灣使用之參數，但針對此公式之使用目前仍無完整實驗探討臺灣各地不同種類土壤於坡度改變下之沖蝕量變化，考量目前因應氣候變遷，擬進行實驗討論現有法規之山坡地坡度定義及治理建議，本計畫使用臺灣現地土壤進行降雨沖蝕實驗，以坡度、臺灣土壤性質試圖建立屬於臺灣之土壤降雨沖蝕資料庫。

相對於前節所述之沖蝕啟動應力實驗，降雨沖蝕實驗中並無一恆定水流提供可做為啟動應力分析之試驗環境，但相較於恆定水流，降雨系統提供之降雨環境，可使土壤獲得與現實較為貼近之沖蝕環境。降雨後，雨滴會使土體產生雨濺沖蝕，待土壤飽和後產生層狀水流，後藉由層狀水流之水流匯集造成表面逕流，並隨著表面逕流進而發展出紋溝等地表樣貌(如圖5-37)，此時所獲得之土壤沖蝕量體，相較於恆定水流所沖蝕之現象相比啟動應力之沖蝕量，能更適合模擬現地中土壤沖蝕之情形。

本實驗採用玉穗溪與蘭島溪之土樣進行實驗，並藉由調整坡度作為實驗之變因，藉由降雨前後之地形之測量及沖蝕實驗中，由表面逕流帶出之土壤經烘乾後進行重量測定以探討土壤沖蝕前後之地形變化以及土壤流失量。



(資料來源：Ni, S., Zhang, D., Wen, H. et al. (2020))

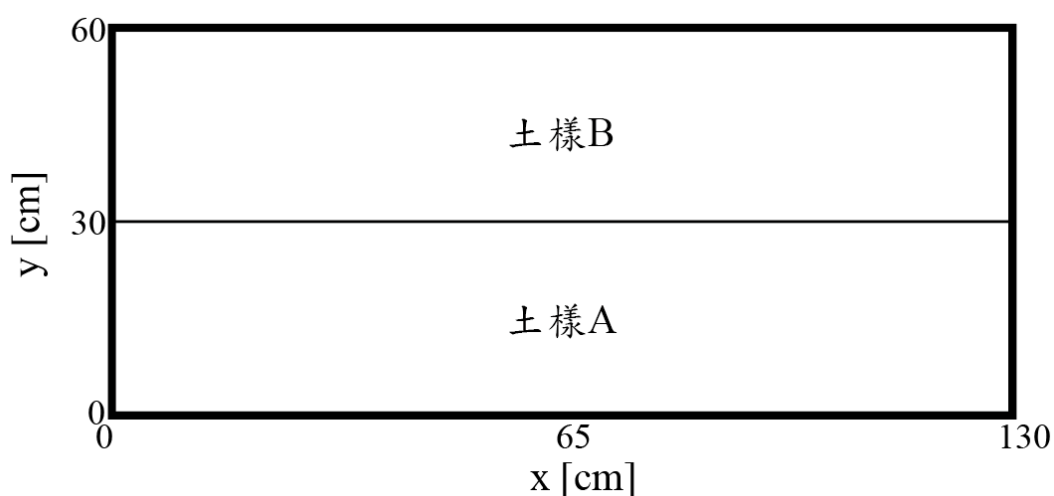
圖 5-37 蝕溝發展示意圖

本計畫選定之土壤樣區：玉穗溪以及蘭島溪，原預計藉由不同土壤樣區之沖蝕實驗進行探討並歸納出兩區域之不同坡度下沖蝕量體之差異。但於本實驗中，當試驗土體飽和後，於土體表面產生層狀水流產生沖蝕現象，此層狀水流僅能搬運表面之細小顆粒。但由於本計畫選定之土壤皆屬於砂土(表5-13)，細顆粒稀少的情況下使層狀水流將表面細顆粒搬運後，即難以對剩餘之砂粒產生沖蝕，且因為層狀水流搬運之顆粒皆小於沖蝕箱出流口設置之攔砂網(#200號篩：0.075mm)，無法經由重量測定其土壤流失量，僅能透過地形建模之結果了解沖蝕後之地形變化。

由於現地土樣之粒徑分佈使沖蝕之結果較無法做為坡度變化與沖蝕量的探討，故本計畫調整後續實驗之方向，並於第一組玉穗溪土

樣沖蝕實驗後，將沖蝕箱內區域分為上下兩部份(如圖5-38)，同時將兩現地土樣填入，並設置相同坡度(1%)，期望可從過程中觀察不同土樣所產生之沖蝕差異，以作為後續實驗之參考依據。

從兩土樣同時沖蝕之過程中，發現同為砂土的兩個土樣其沖蝕發展皆停留在層狀沖蝕，當表面細顆粒被沖走後，留下之砂粒皆無法被水流沖蝕。



(資料來源：本計畫繪製)

圖 5-38 沖蝕箱分割示意圖

由於以上藉由本計畫選定之土樣皆無法產生良好之沖蝕發展，故於試驗土樣選擇上改用固定粒徑之石英砂與高嶺土之混合砂，並以坡度為變因將沖蝕箱內上下兩部分區域分別設定為5%以及5度之坡度，以探討坡度對於沖蝕之影響。本計畫共進行三組實驗如表5-14，本節先進行實際設置說明，後介紹分析方法及實驗步驟，最後闡述各組實驗之分析結果，並給予後續實驗之改正方向及研究方向。

表 5- 13 土壤質地分布

玉穗溪(1)		玉穗溪(2)		蘭島溪	
分類	百分比	分類	百分比	分類	百分比
砂粒	98.306%	砂粒	95.160%	砂粒	96.279%
粉粒	1.512%	粉粒	3.966%	粉粒	3.561%
黏粒	0.182%	黏粒	0.874%	黏粒	0.160%

(資料來源：本計畫整理)

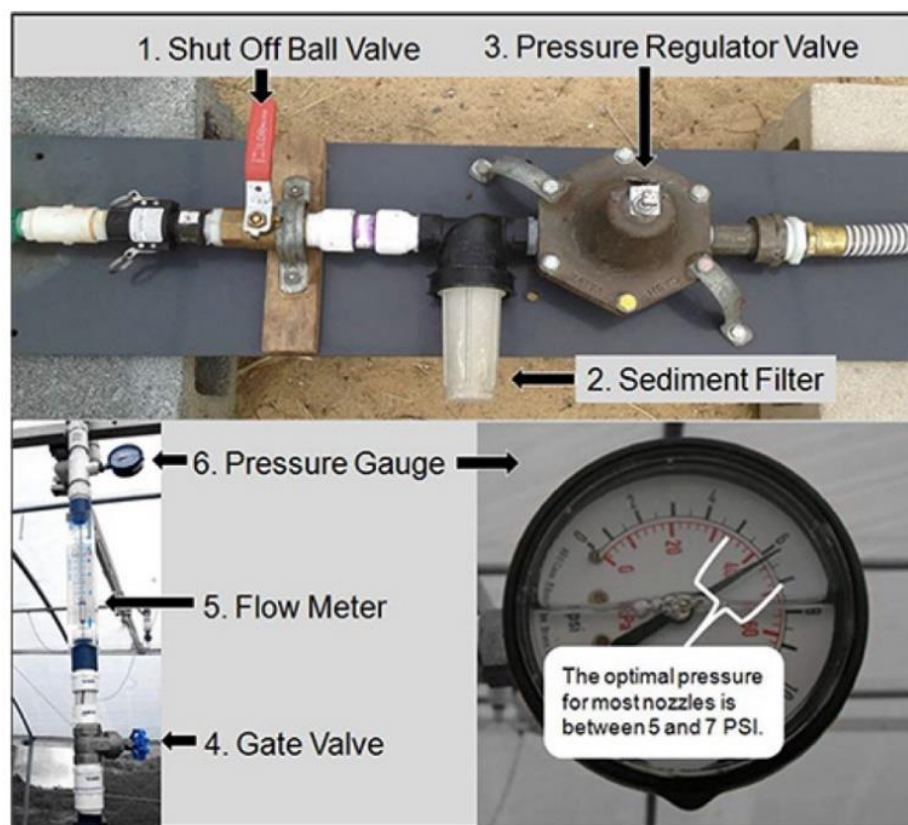
表 5- 14 土壤沖蝕實驗組別

組別	土樣	坡度
1	玉穗溪	5%
2	蘭島溪	1%
	玉穗溪	1%
3	試驗砂 (石英砂混和高嶺土)	5%
	試驗砂 (石英砂混和高嶺土)	5度

(資料來源：本計畫整理)

一、實驗設置

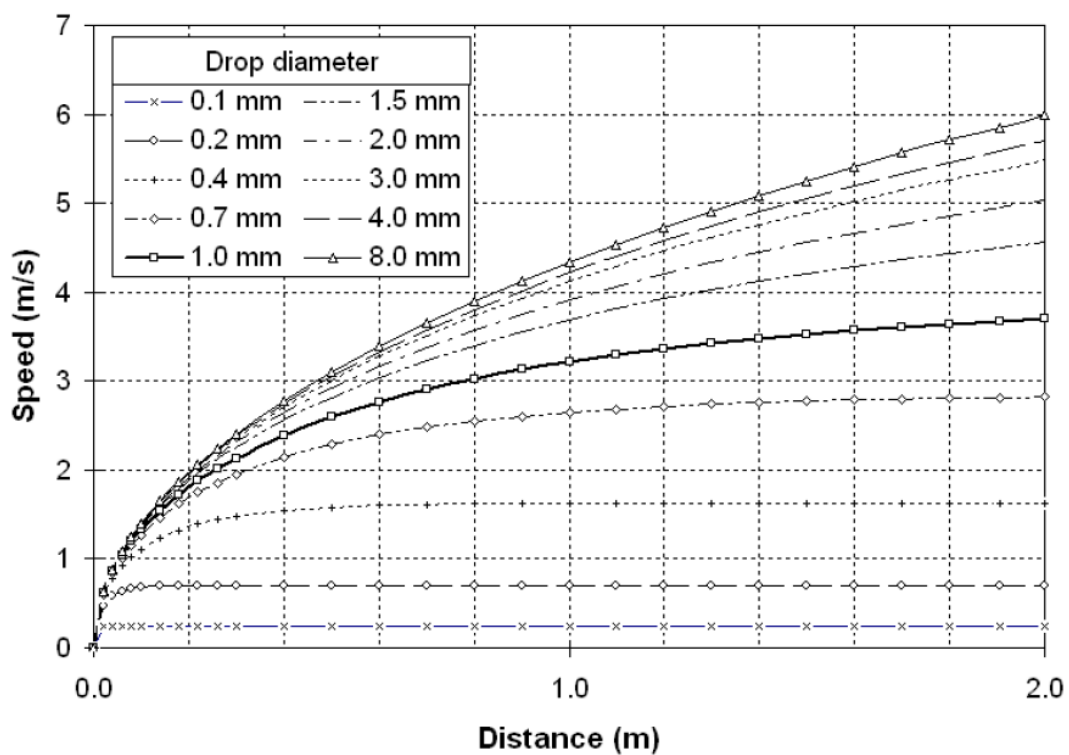
在降雨設備的規劃上參考 Kibet et al, (2014)的實驗規劃流程進行設備的建置。為了模擬現地之降雨情況，本研究將特別針對(1)雨滴大小；(2)降雨強度與均勻度，故將在降雨設備上架設壓力計 (圖5- 39)，透過壓力計可調整並固定幫浦之出流量，使實驗室內的小尺度實驗重現出現地的降雨情況。



(資料來源：本計畫繪製)

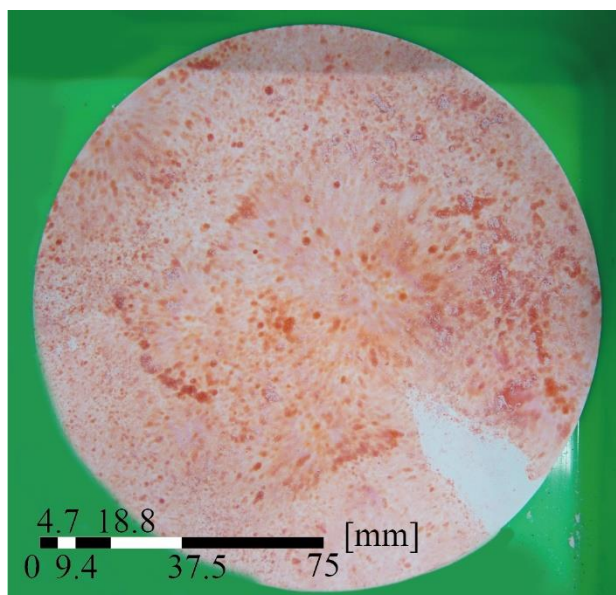
圖 5- 39 流量計及壓力計配置圖

根據van Boxel, J. (1998)之文章，在一定雨滴大小範圍內雨滴之終端速度達一定高度後即維持一致，且當雨滴越小其達到終端速度之所需高度越低，如圖5- 40。故本實驗架設一組角鋼框架，使降雨設備與沖蝕土樣間保持約2.2公尺高之距離，配合調整降雨設備之噴頭，使其僅噴出細小之雨滴，而雨滴之最終大小也藉由曙紅法測定之，如圖5- 41，藉由以上之設置，可確保雨滴終端速度與現實的一致性，減少額外動能差異對沖蝕之影響。



(資料來源：本計畫繪製)

圖 5-40 雨滴大小與終端速度之落下距離



(資料來源：本計畫拍攝)

圖 5-41 曙紅法測定之雨滴大小

於降雨均勻性方面，本實驗將降雨設備之噴頭盡量均勻分布於實驗平面上，並計算其雨滴空間分佈-降雨均勻度指數(Christiansen coefficient, CuC)；而降雨強度方面則利用雨量筒進行點位計算，於本實驗中各組皆使用相同降雨條件，其平均降雨強度為208.2mm/hr，達到交通部中央氣象署之豪雨等級。

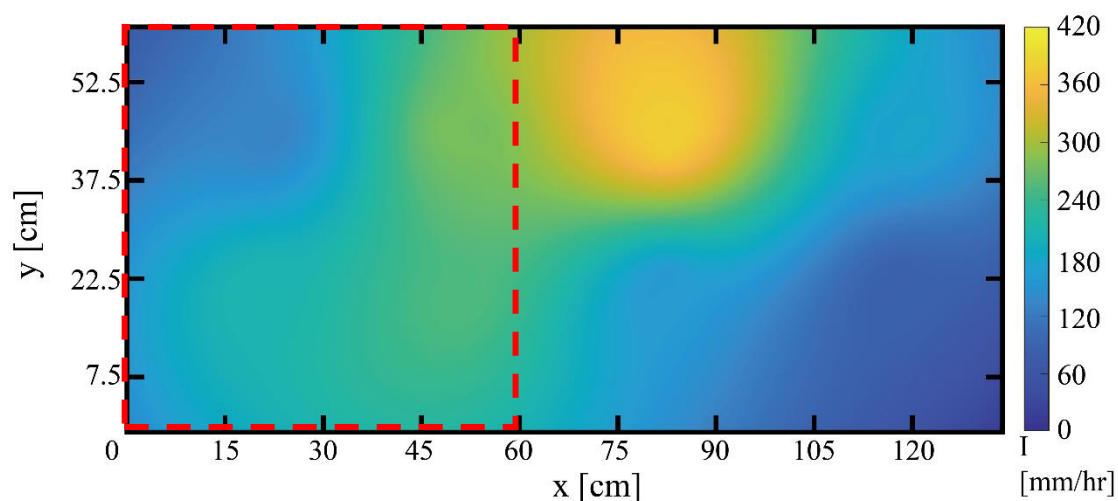
(一)降雨分布

本實驗之降雨設備雨量測定採用雨量筒進行，於沖蝕箱各區位放置一雨量筒並記錄其平面座標(如圖5- 40)，並開啟降雨設備進行定量時間下的雨量收集，即可得到各雨量筒位置之降雨深度。運用外插法進行雨量分布圖可得圖5-43，其中，紅色範圍為本次實驗之觀察段，故不被雨量集中處影響($x=0$ 至 $x=60$ 處)。



(資料來源：本計畫繪製)

圖 5- 42 降雨設備雨量測定



(資料來源：本計畫繪製)

圖 5-43 降雨設備雨量分布圖

(二)降雨空間分布計算

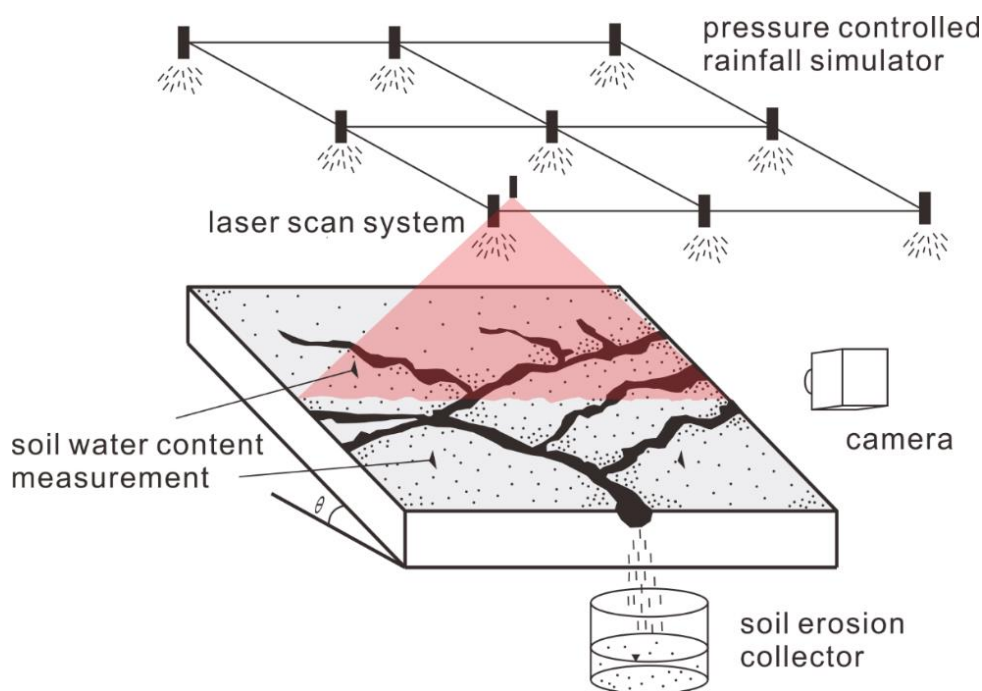
本計畫使用降雨均勻度指數(C_u)進行計算，其公式如下：

$$C_u = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n |R_i - M|}{nM}$$

(資料來源：Abudi et al. 2012)

其中， R_i 為各雨量筒之雨量； M 為雨量筒之平均雨量； n 為雨量筒數量。藉由以上公式得出本實驗設置之降雨均勻度指數為72%。

沖蝕箱之設置如圖5-44所示，由一可變坡度之木箱搭配上上述之降雨設備，並結合下游邊界擋板之開孔以及攔截土砂之篩網。



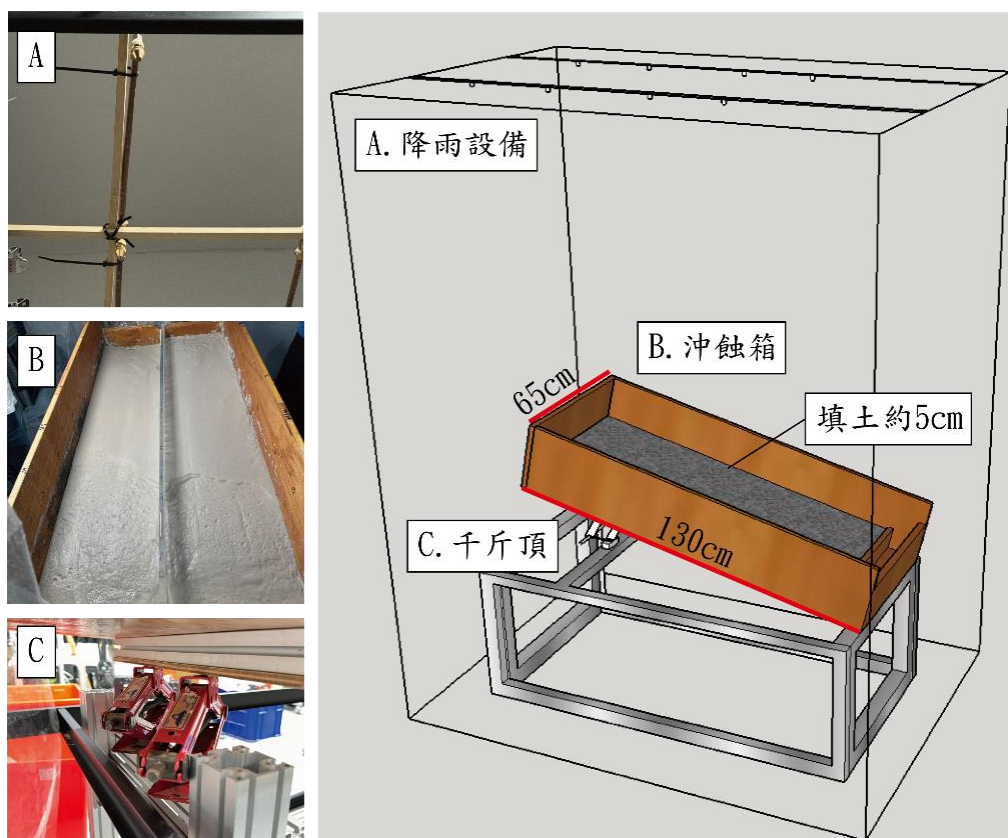
(資料來源：本計畫繪製)

圖 5-44 降雨沖蝕試驗示意圖

在實際尺寸中，考量沖蝕箱邊界以及坡長對於沖蝕地形之影響，因此採用一長130公分、寬60公分、高15公分之木箱進行(圖5-45右)，而寬度較大之沖蝕箱，也可使實驗設計並不局限於一次僅能進行一種土樣，可於沖蝕箱中間設立一壓克力擋板，同時進行兩土樣之沖蝕變化比較。

下游排水設計，使用一固定高度沒有開孔之壓克力擋板，使土體可以充分飽和並發展出地表之逕流，而超過擋板之逕流則會排入下游排水孔中，並配合濾網將水流中之土壤收集。

由於實驗中將坡度設為探討之變因之一，故藉由沖蝕箱底部架設之兩座千斤頂，達到彈性調整所需角度之沖蝕箱設計(如圖5-45(c))。



(資料來源：本計畫拍攝)

圖 5- 45 實驗配置圖

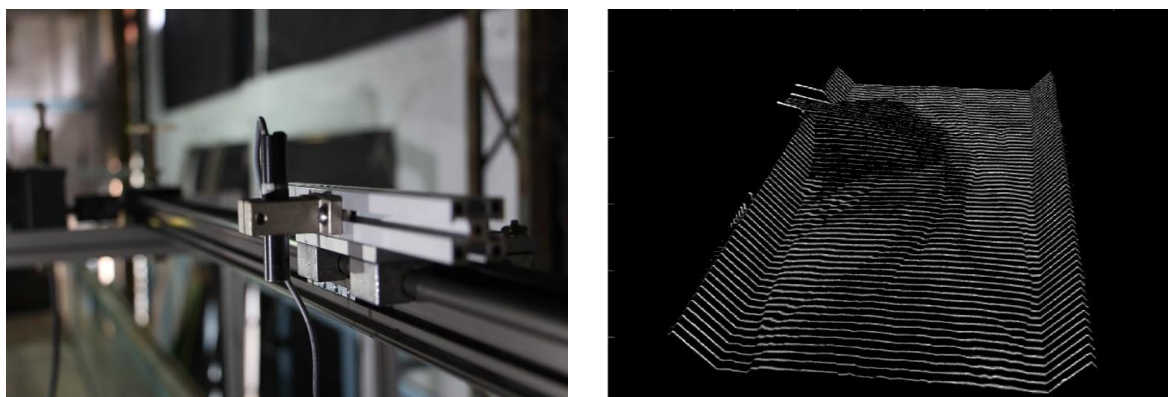
二、實驗分析方法

針對沖蝕變化之分析，本計畫採用非接觸式量測方法進行地形變化之測量。而本計畫對於沖蝕箱內地形之建置方面提出以下兩種方法：

(一)雷射掃描

在雷射掃描的部分，使用線性滑軌(圖5- 46(左))搭配雷射切頁移動，搭配高解析度攝影機進行紀錄。透過拍攝掃描影片紀錄雷射線在地形上形成之曲線(圖5- 46(右))，進行影像的座標轉換將平面的影像資料轉換成地形高程資料，最後透過內差即可以得到數值地形資料。透過使用雷射掃描的技術可產出相當高精度(<1 mm)的地形資料，利用高精度的數值地形資料便可以詳細的紀錄所有

因為沖蝕造成的土壤流失狀況，以初始之地形與沖蝕結束之地形之高程相減可知地表的沖蝕量與變化。



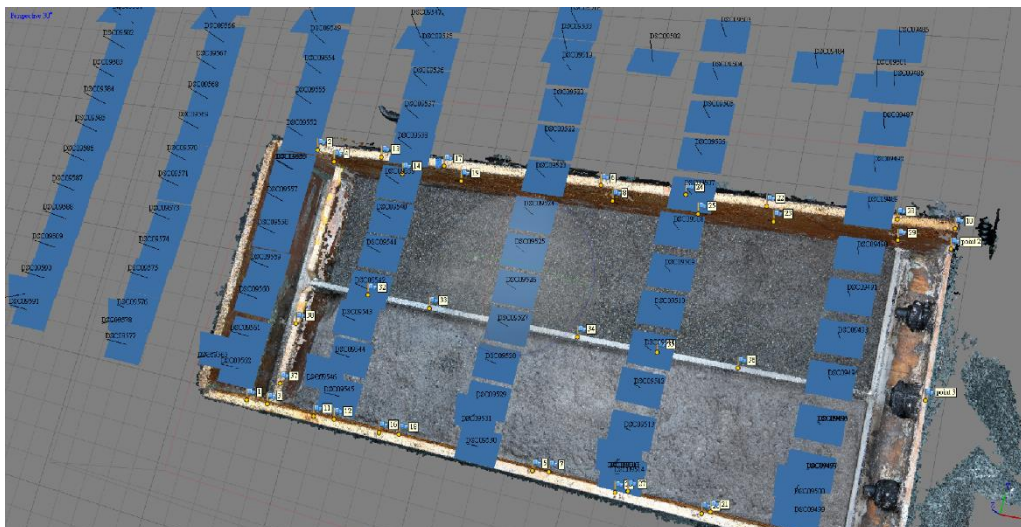
(資料來源：本計畫整理)

圖 5-46 (左)雷射掃描線性滑軌(右)線性雷射掃描結果示意圖

(二)攝影測量建模

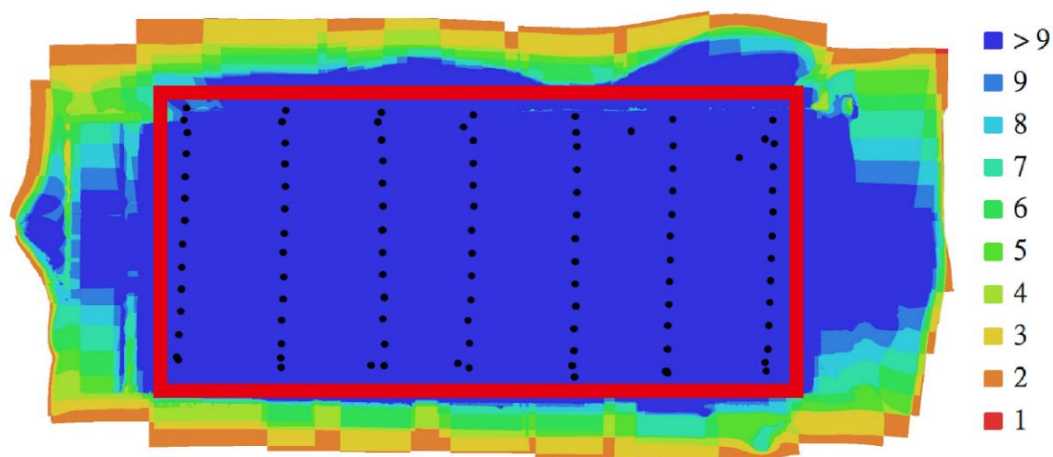
攝影測量為一種廣泛運用於建置物體三維樣貌的技術，本計畫使用運動推斷結構(Structure from Motion)之方法，拍攝多張涵蓋被攝物(沖蝕箱內土體)不同重疊區域之影像，搭配使用新一代的攝影測量軟體MetaShape (Agisoft)，可產出相當高品質的數值地形(圖5-47,Huang, 2014)。而利用攝影測量建模的方式，相較於雷射掃描可有較為便利之實驗操作性，節省線性滑軌、雷射等設備需要高精確度位置之架設時間，故本實驗最終選擇以第二種方式：攝影測量建模進行實驗分析。

影像之拍攝位置及間距皆依照預先設定之拍攝點位(如圖5-46)，以達到橫向重疊率：75%、縱向重疊率85%以上之規格(如圖5-47)，以上之設定可增加產出高程模型之精確度。



(資料來源：本計畫整理)

圖 5-49 產出之模型點雲與影像相對位置圖

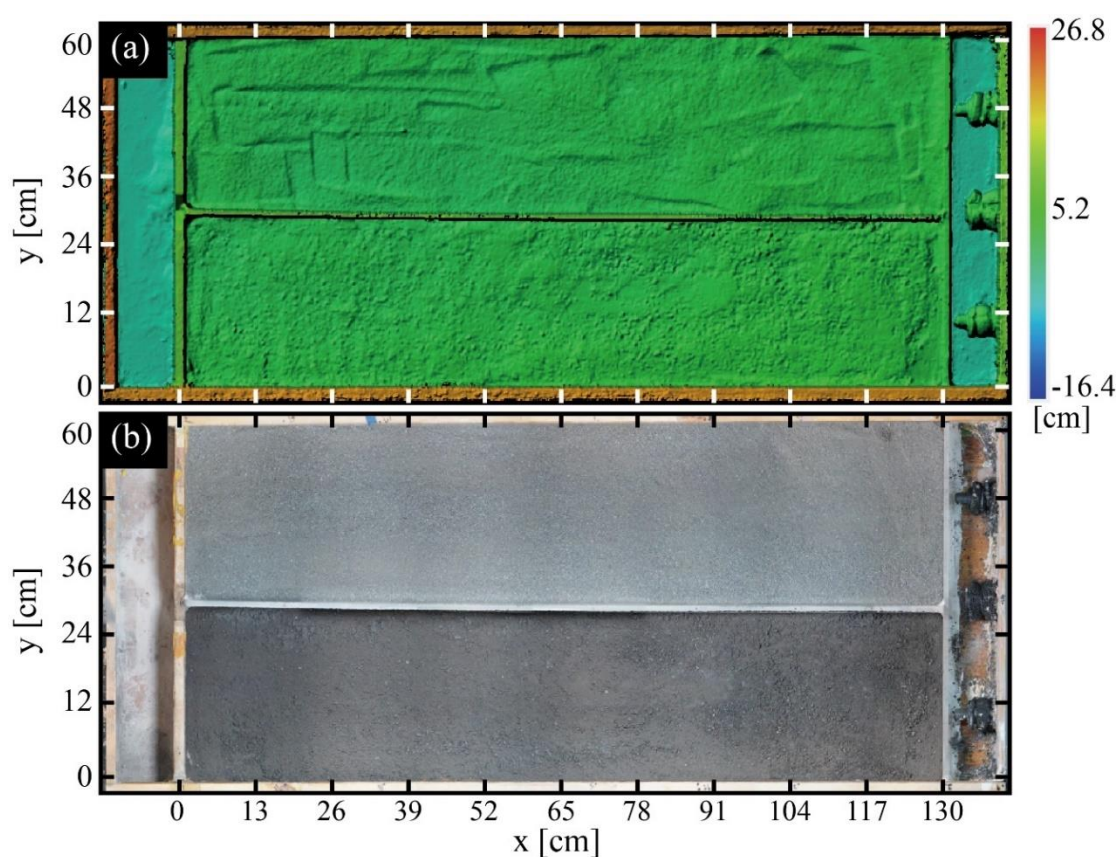


(資料來源：本計畫整理)

圖 5-50 模型內重疊影像張數示意圖(紅色框線為沖蝕箱範圍)

為提升高程模型之精確度除了藉由以上操作方法獲取良好之影像外，本實驗於沖蝕箱之外框上標記控制點，並藉由測距儀及水平尺建立沖蝕箱內之三維座標系統及控制點之精準座標。

最後，即可利用新一代的攝影測量軟體MetaShape (Agisoft)建立密集點雲，並藉由點雲資訊產出高程模型(如圖5- 48(a))及正攝影像(如圖5- 48(b))，而本實驗之後續結果將藉由沖蝕箱前後期之高程模型相減，探討各組實驗設置下之沖蝕前後地形變化。



(資料來源：本計畫整理)

圖 5- 51 建模結果(a)數值高程模型(b)正攝影像

三、實驗步驟

- (一)將試驗土樣鋪平沖蝕箱。
- (二)調整千斤頂使沖蝕箱至指定試驗坡度。
- (三)拍攝沖蝕前之實驗影像並記錄座標數值。
- (四)開啟降雨設備進行沖蝕實驗。
- (五)關閉降雨設備結束沖蝕實驗，並拍攝沖蝕後之實驗影像。
- (六)決定下組試驗條件並重複步驟(一)~(五)。

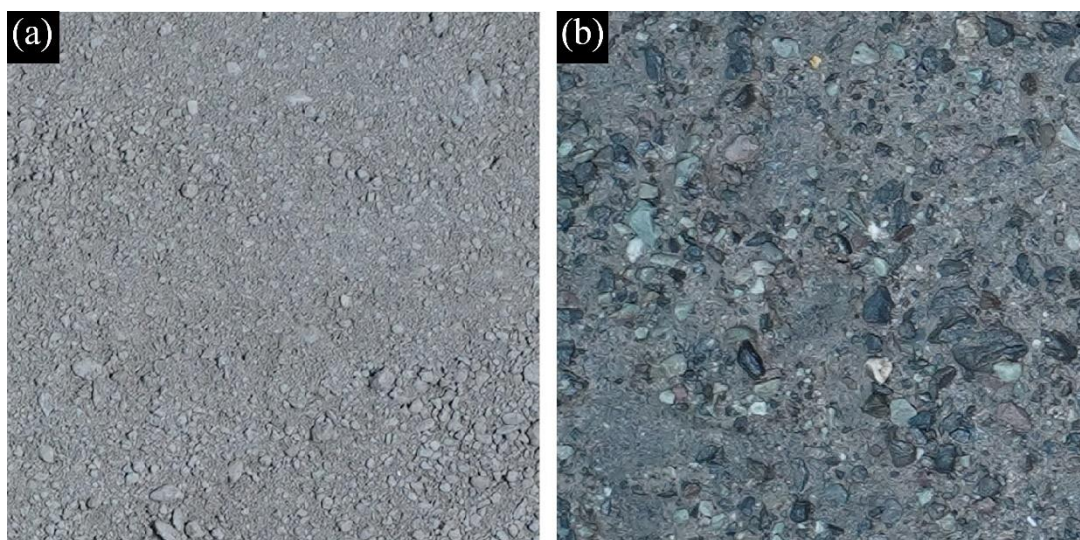
四、實驗結果

根據本節開頭所述，本計畫之土壤沖蝕實驗，原預期可藉由更換不同之土壤樣本、調整不同之坡度進行沖蝕實驗，待試驗土壤發生入滲、逕流、沖蝕等現象並進一步發展出地表形貌，並經由實驗設計之土壤流失測量方式搭配地形建模分析結果探討土樣與坡度變因下，土壤沖蝕量差異以及地貌變化。然本次採樣之現地土樣之土壤分類皆屬於砂土，且90%以上之粒徑分佈於砂粒範圍內，導致沖蝕實驗中當土體飽和後，僅能形成層狀沖蝕將表層之細顆粒材料帶離沖蝕箱；且土體被水流沖蝕的細顆粒含量過少，故於逕流排出孔所設置的土砂攔截網也幾乎沒有攔截到任何土砂量。故以下結果將藉由沖蝕前後兩期之數值高程模型相減得到之數值高程變化模型(Different of DEM)進行各組別實驗下沖蝕前後之形貌說明，並以此結過作為後續實驗改進之方向。

(一)玉穗溪土樣於5%坡度

第一組沖蝕實驗為將玉穗溪土壤樣本獨立填入整個沖蝕箱內，並將坡度調至5%之條件，而實驗設計之降雨時間為30分鐘，但從過程中發現土體飽和後雖於土體表面形成層狀沖蝕之現象，卻並無蝕溝之形成，且排出之逕流雖因挾帶土壤而變得混濁，卻無法經由篩網攔截土壤顆粒，完成沖蝕後建模影像之拍攝後，為確認並非降雨量不足而沒有進一步之沖蝕現象，故將試驗時間拉長至2個小時，但仍然與30分鐘之實驗結果相同。

藉由圖5-52之影像中也可看到，經過沖蝕後，表面之細顆粒被帶走，剩下之大顆粒土壤形成與現地中沖積扇類似之泥濘狀表面。

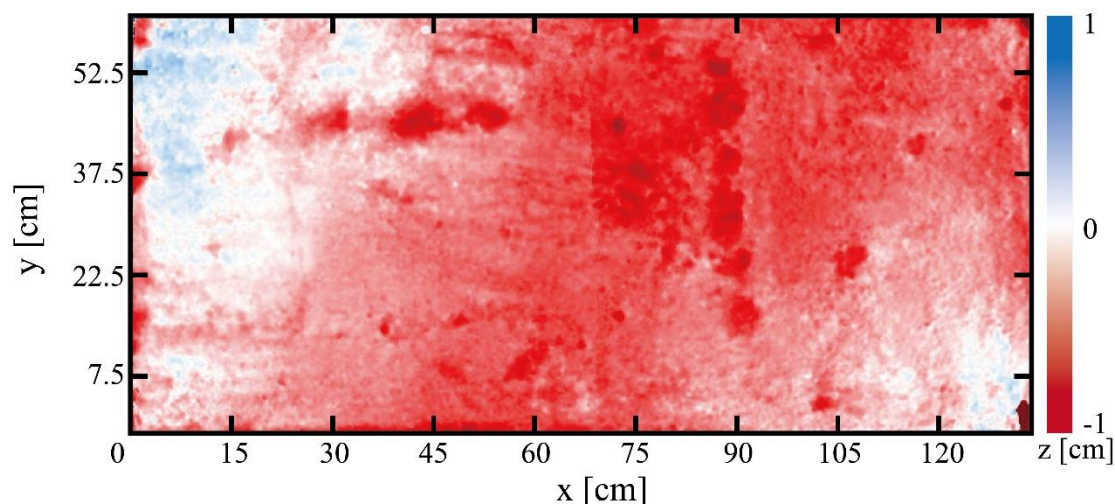


(資料來源：本計畫拍攝)

圖 5-52 玉穗溪土樣於坡度 5%沖蝕箱內影像(a)沖蝕前(b)沖蝕後

由於無法藉由土壤流失量進行分析及比較，故將沖蝕前後之數值高程模型進行相減，以數值高程模型之變化(DOD)進行沖蝕樣貌之觀測(如圖5-53)。

由地形之變化可以看出，因只產生層狀沖蝕使細顆粒流失，故整體之沖刷量皆不超過1公分；而於上游($x=0-30\text{cm}$)處之沖蝕現象較不明顯，主要之沖蝕範圍發生於中下游處，原因為逕流匯流後產生較大沖刷力所造成。



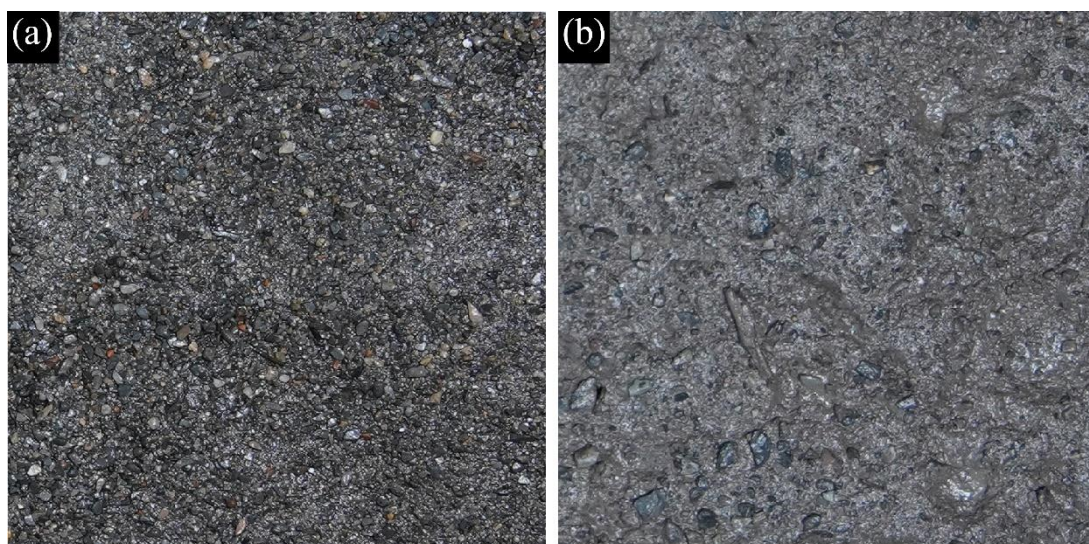
(資料來源：本計畫整理)

圖 5-53 玉穗溪土樣於 5% 坡度之 DOD

(二) 玉穗溪、蘭島溪土樣於 1% 坡度

經第一組現地土樣之實驗後，為驗證分類同為砂土之兩現地土樣皆無法產生明顯之蝕溝樣貌，並進一步探討坡度減緩之實驗組別是否降低沖刷現象，故將第二組之實驗設置為：沖蝕箱分為兩部份，同時將兩現地土樣填入沖蝕箱之兩區域並將坡度調為 1%。

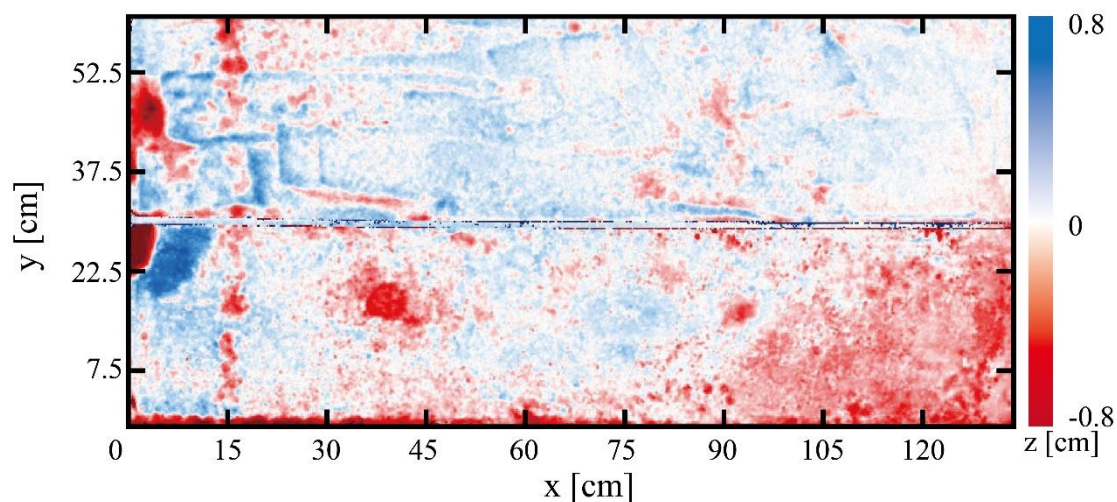
於實驗結果中發現，由於兩土樣之粒徑分佈較為相似，故仍無法於表面發展出明顯蝕溝，僅細顆粒會遭到沖刷，但於沖蝕後之土壤表面影像中可以看出，於相同降雨時間下，玉穗溪之土體表面呈現較為泥濘狀之樣貌(如圖 5-54)，而蘭島溪則較無明顯之類似樣貌。



(資料來源：本計畫整理)

圖 5-54 兩現地土樣於 1%坡度沖蝕後之影像(a)蘭島溪(b)玉穗溪

藉由前後期數值高程模型相減之DOD(如圖5- 55)，相較於5%坡度下之玉穗溪土樣沖蝕實驗，本組之最大沖刷深度明顯減少，代表即使僅形成表面之層狀沖蝕條件下，坡度降低對沖蝕現象之減緩仍具有一定之能力。



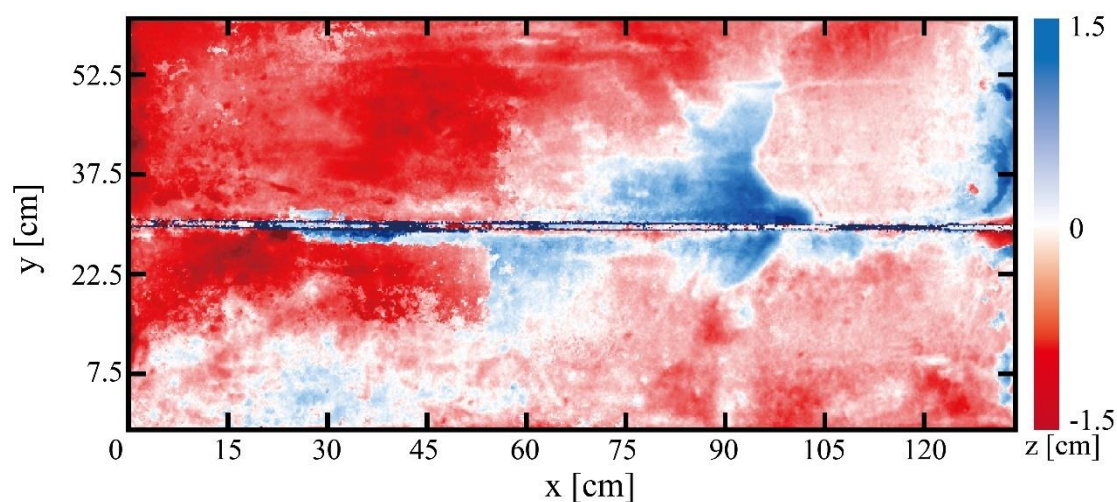
(資料來源：本計畫整理)

圖 5-55 蘭島溪(上半)及玉穗溪(下半)土樣於 1%坡度之 DOD

(三)標準砂於坡度5%及5度條件下

因前兩組實驗組中，現地土樣皆無法發展出明顯之蝕溝，故將試驗用砂改為石英砂及高嶺土之混合砂，藉由降低土壤之顆粒粒徑，使沖蝕現象較為明顯，同時針對坡度之變化，將沖蝕箱兩半部設定為坡度5%以及坡度5度之實驗組別。

藉由前後期數值高程模型相減之DOD(如圖5- 56)可以看到當土樣替換成標準砂後，不論是坡度5度(圖5- 56上半)或是坡度5%(圖5- 56下半)其沖蝕深度相較前兩組實驗皆變得較為明顯。而除了比對前兩組之實驗外，藉由本組不同坡度之標準砂實驗，可以在沖蝕箱上半部($x=0-50\text{cm}$)看到坡度5度之沖刷情形明顯大於坡度5%，代表坡度提高對於沖刷範圍具有較大之影響。



(資料來源：本計畫整理)

圖 5- 56 標準砂於 5 度(上半)及 5%(下半)坡度之 DOD

但於本組實驗中，為了於單一沖蝕箱內設置不同之坡度，導致土樣之填置方式與前兩者實驗不同，為了達成不同坡度之設定，此實驗組別之土體並沒有與下邊界填至齊平導致本組實驗中皆發生下游端淤水之情形(如圖5-57)，而此積水導致土體坡長縮短，

而波長縮短將導致沖蝕之發展受到限縮，也是此次實驗並無明顯蝕溝之主因，且此實驗組別對於沖刷之探討也僅能侷限於為受到淤水干擾之中上游端($x=0-90\text{cm}$)。



(資料來源：本計畫拍攝)

圖 5-57 標準砂於 5 度(上半)及 5%(下半)坡度之正射影像

五、實驗結論與未來改善方向

結合上述實驗結果，可總結本實驗目前之結果以及未來可改善之方向。

為了量測沖蝕所產生之地形變化，本計畫設置一可調整坡度之沖蝕箱，並以攝影測量建模之技術建置實驗分析流程，其高程精度經過檢算後可達1.5毫米內，對於實驗結果之地形變化分析已十分足夠，未來可維持此實驗設置及流程。

於最後一組實驗中，由於沖蝕箱之土壤樣體以不同之坡度設置，故於下邊界產生逕流淤積之水體，此固定位置之水體導致坡面長度縮短，進而改變了沖蝕的發展，後續之實驗應特別留意現有沖蝕箱之設計無法於同組實驗中進行不同坡度之土體設置，皆須將土體填至與下邊界擋板齊平。

於沖蝕實驗中之土壤樣體選擇，因本計畫目前選擇之樣體粒徑分佈較為相似且大多屬於砂粒，故無法於沖蝕實驗中發展出明顯之形貌變化，後續若仍擬探討坡度、現地土樣之沖蝕情形，本計畫建議可改變現地土樣之選擇方向，以本國坡地有沖蝕疑慮之地點進行挑選，例如：茶園、果園、畜牧用地等之土壤，避免挑選河道等含有較大粒徑材料之點位，並且以選定地點之土樣進行粒徑分析，再藉由各種粒徑之標準砂還原符合現地土樣粒徑之標準砂土樣，減少有機質、黏性、團粒穩定等變因干擾，並以此土樣進行試驗，減少直接使用現地土樣所產生之差異性。

除土樣選擇為造成沖蝕不顯著之原因外，也可能與沖蝕箱尺度甚小有關，由於現地之土樣之顆粒性質相較於其他沖蝕實驗文獻中所使用之標準砂粒徑差異甚大，所以使用現地土樣時，室內沖蝕實驗之土樣尺度不足以使水流發展出足以搬運大顆粒土壤之沖蝕環境，但若由本計畫之沖蝕啟動應力實驗之水流探討現地土樣之沖蝕性質，渠槽提供之水流搬運能力是足以討論現地土樣對於坡度之差異性。

最後回到本實驗所獲得之數據以及過程，可發現若同時比對三組實驗之坡度、土壤差異，仍可看出坡度提升對於加強沖蝕現象之結果，且現地土樣之沖蝕實驗相較於標準砂也更具有現實沖蝕判斷依據之參考性，故希望未來之延續性實驗，能以本計畫之實驗缺陷處進行改善，並以沖蝕啟動應力實驗為主軸，針對坡度以及不同土體進行更多組數之實驗，藉由結果進一步建置屬於臺灣本國土壤之沖蝕量資料庫。

第六章 結論與未來規劃

於本章，將會進行本計畫各方面之工作內容總結，並簡單說明完成之工作，並且說明本計畫於未來之規劃。

第一節 總合各章之結論

一、法規面

水土保持法及山坡地保育條例的歷史沿革可追溯至民國48年的八七水災，直至民國65年，省政府才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。因山坡地之利用型態轉變，土地利用需求上升，導致原山坡地保育條例之規定項目不敷使用，故於民國83年，水土保持法以特別法之位階完成立法。

與資深教授進行訪談後，得知當初山坡地設立標準主要有以下理由：

(一)5%較容易執行，方便管理。

(二)當坡度達到5%以上時，土壤沖蝕開始有明顯增大的趨勢。

本計畫共調查了五個國家(州別)關於坡地利用之相關法律，並了解位處於各種不同地理、水文環境之國家，其對於防治沖蝕、土砂災害和水土流失而制定的相關規定。大多數國家(州別)通常以坡度作為開發利用規定的界定標準，且部分國家除界定坡度外，還會於法規中加諸其他條件以詳細劃分開發利用限度。

本計畫進行法規整理後可得出，雖然臺灣對於坡度之定義為各國中最為嚴格，但對於農牧用地、宜林地的坡度標準並未特別高出於其他國家。相較其他國家，臺灣因地理位置特殊，水文環境極端，故更容易造成土壤沖蝕及自然災害。總而言之，以法規探討下，目前之法

律規範並立即調整之必要性。

二、行政管理面

本計畫以地理資訊系統就行政管理面討論後可得出，於增加坡度下，會對山坡地之面積、範圍分佈、各分署之管理方向及土石流潛勢溪流範圍造成影響。且若改變現行規範之山坡地坡度，使得部分山坡地解編、可利用面積增加，但同時，易造成許多管理層面的立即性之影響，如：需耗費大量行政經費、人力進行相關規定的重新擬定，大量過往已完成的相關計畫也需要進行全盤之檢討。除此之外更要面對可利用之土地坡度變陡所帶來的相關水土流失風險，且隨著未來之極需承擔的風險大於所產生的利益，最終恐無法達到預期之效益。

現行法規管理方式，也並非將山坡地全面禁止開發，而是將其納入管理，並對山坡地開發行為有進一步的管理與規定。經以上分析後本計畫認為，若無相關實驗、案例佐證，保證對於改變山坡地界定坡度不會導致水土流失風險與危及保全對象安全，則不可貿然將山坡地界定坡度鬆綁。

三、學理計算面

雖目前實驗土樣僅有兩種，但仍可看出趨勢；依啟動應力實驗成果表明，各土樣沖蝕情形與坡度呈正相關。由於兩者土樣各種性質大致雷同，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，故於土壤質地分類上皆屬於砂土；於直接剪力實驗中，兩者之內摩擦角與凝聚力類似，僅玉穗溪土樣(2)因為其屬於優良級配，故稍較其他土樣大一些；於啟動應力實驗中，當坡度達到5%時，其質量沖蝕率相較於坡度1%或3%之實驗組數有明顯上升的趨勢，而當坡度到達7%時，質量沖蝕率相較於其他組別有更加顯著之增長趨勢。

以上實驗成果可表明，坡度到達5%以上時容易導致水土資源的流失。因此，當山坡地進行開發時需制定水土保持計畫，並設計足夠的排水設施、擋土構造物、植生覆蓋等水土保持措施，以減少基地內之土壤流失，達成保育水土資源之目的。

降雨沖蝕實驗中，本計畫以1.5毫米之高程精度分析沖刷深度，以量測沖蝕對地形的影響。在實驗中，由於沖蝕箱土壤樣本的不同坡度設置，下邊界形成逕流淤積水體，影響坡面長度，改變沖蝕發展。對於未來實驗，需注意沖蝕箱設計無法同時進行不同坡度土體設置的限制。針對土壤樣本的選擇，目前選擇的樣本粒徑相似，難以呈現形貌變化。建議改變土樣選擇方向，挑選本國坡地具沖蝕疑慮的地點進行研究。比對三組實驗之坡度與土壤差異，雖無法產出明顯之地形變化差異，但仍能看出坡度將造成沖蝕現象加劇之趨勢，而由於現地土樣之顆粒性質、粒徑分佈尺度較大，導致小尺度實驗之降雨沖蝕箱內無法產出足以沖蝕現地土樣之水流環境，但透過啟動應力實驗之水流環境，仍能進行臺灣各地區土壤對於坡度改變之沖蝕能力探討，故希望未來可將土壤啟動應力實驗作為重心，將臺灣各地區有沖蝕疑慮之土壤納為研究樣區，建立屬於臺灣土壤之坡度、沖蝕性質資料庫。

總上所述，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。」為保育水土資源及減少災害，綜合以上判斷，將山坡地範圍定義在坡度百分比達5%以上為合理之表述。

本計畫之土樣雖採集兩個不同地區，但土壤分類皆為「砂土」。而全臺各地區土樣相當多元，並非僅有「砂土」一種土壤類型，且不

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，故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。

第二節 未來規劃

本計畫已完成全數工作項目，包含收集國內外文獻相關法規資料、與資深教授討論國內法規沿革、考量不同山坡地畫定對行政層面影響、現地取樣及土壤性質測定、啟動應力實驗以及土壤降雨沖蝕實驗。

本計畫藉由法規、行政管理、學理計算三方面探究山坡地劃定準則因應氣候變遷之變化，目前對於前兩者已有明顯之結論建議，故未來將著重於學理計算面之探討。

臺灣之地理位置、水文環境造就了豐富之地表樣貌，使臺灣得以擁有多種差異性高且多元之土壤。但在實驗方面，本計畫因當初規劃之沖蝕及啟動應力實驗僅為初步之土壤沖蝕結果，故各地區土壤之沖蝕實驗以及坡度變化之探討仍屬缺乏，目前之實驗樣本數仍不足以給定完整、具體之結論。因此，期望未來可更系統性地針對具臺灣代表性之土壤進行多種坡度之實驗，建立更完整之啟動應力、沖蝕變化資料庫，並使此數據庫成為本國水土保持相關法規之治理建議。

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 Bahí'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).

農業部農村發展及水土保持署

「以實驗及法規面探究山坡地劃定準則因應氣候變遷之變化」案

期中意見回覆

委員意見	意見回覆
吳委員嘉俊	
1. 期中報告的英文題目宜再確認。	感謝委員意見，經確認後本計畫之英文題目為「Using laboratory experiments and regulations to investigate the principle of defining Slope land under the climate change scenario」
2. P.4-2 圖 4-1，建議以目前技術規範的坡度分級繪製。	感謝委員意見，因本計畫探討到三級坡，已將原先坡度圖中坡度以技術規範的坡度進行分類。
3. P.5-1「實驗結果可用以模擬較陡峭之砂頁岩地區」，及 P.5-3「可充分模擬真實土石流之型態」的敘述，有再商榷的必要。	感謝委員意見，P.5-1 修正為「且土樣來源多來自上游達見砂岩，岩性多為砂岩及板岩。」P.5-3 部分修正為「土樣多來自廬山層，岩性多為硬泥岩及板岩，」。
4. P.5-5 表 5-4、P.5-11 表 5-3 及表 5-4、P.5-12 表 5-5，請注意數字呈現的有效位數。同時，表 5-3 及表 5-4 的孔徑，請採小數點後 3 位。	謝謝委員意見，已遵照辦理進行內文表格之修正。
5. P.5-18「推測若在此處……，能力越強」的陳述或推論請再商榷，並請考量取樣地點的立地條件；尤其是土砂來源為上游大規模崩塌所提供。	感謝委員意見，此次土樣材料採樣位置確實是因土石流所形成之沖積扇上，故可能無法充分說明此支流夾帶土砂之能力，已修正對應的文字。
6. 自 P.5-31 起，圖及表的編碼與本文不符，請再檢校。報告中錯別字，例如：P.5-22「資加」、P.5-41「燒大」。	感謝委員意見，遵照辦理，已完成修正。
7. 渠槽試驗土樣之準備屬非黏滯土壤，是否可反映土壤沖蝕臨界剪應力(P.5-26)；同時，請注意沖刷與沖蝕兩者在臨界剪應力的學理上差異。	謝謝委員意見，針對沖刷與沖蝕的現象，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，因此本研究

委員意見	意見回覆
	以渠槽實驗探究臨界剪應力時，製作土壤試體時已有考慮本現象。此外，實驗土體雖為非凝聚性土砂材料，但其中仍有包含細顆粒材料，使土壤具有部分凝聚效果。再者，本計畫也多收集數篇相關文獻做為佐證材料，說明本計畫之可適用性，已新增說明於 5-25。
8. 本試驗採渠槽；如 P5-23「模擬河道中的……」之敘述，似乎與將「土壤沖蝕量」與「輸砂量」混為一談，請再檢討。同時，以渠道之輸砂試驗來做山坡地坡度 5% 的佐證是否妥適，宜再評估。	感謝委員意見，在文字說明上有所誤導，因此已修正對應的文字。本計畫主要透過渠槽實驗探究材料之臨界剪力，並且探究其對應之沖蝕率，在實驗中也發現有當坡度提升超過 5% 時，其沖蝕率有顯著的上升。除了渠槽實驗外，本計畫也預計透過降雨沖蝕實驗進行沖蝕量的觀測，驗證結果是否一致。
9. 土壤降雨沖蝕實驗的目的為何？實驗條件為何？與本案的委辦目標關聯為何？應盡速與承辦科確認。	感謝委員意見，降雨沖蝕實驗同樣希望透過在同樣的降雨強度情況下，調整不同坡度，進而驗證沖蝕量的變化狀況，同時進行沖蝕溝的形貌變化量測。透過量體的量測與形貌變化的探討探究沖蝕量與坡度的關係，已新增說明於 5-43。
坡地管理組	
1. 各國法規比較中，其餘國家皆用「%」表示坡度單位，中國及日本則是採用「度」，建議在表 3-24 中作單位轉換，以利判讀。	感謝委員意見，遵照辦理。5 度部分修正為 8.7%；25 度部分修正為 46.6%；30 度部分修正為 57.7%。已完成修正，修正完成圖表呈現於 3-34。
2. 第四章第一節以各分局管理範圍進行山坡地範圍探討，請於該節最後以表格統計各分局不同坡度對應山坡地範圍面積與比例。	感謝委員意見，遵照辦理，圖表新增於 4-21。
3. 第四章及結論章節皆有提到「解編之面積量體並無法達到預期之效益」，是否可說明何謂預期之效益，是否有	感謝委員意見，關於量體的定量計算，本計畫預計於期末報告中呈現。目前計算成果發現當門檻坡度

委員意見	意見回覆
量化數據。	變動時，所變化之面積量體並沒有顯著成長或減少。本計劃將在期末報告進行完整說明。
4. 因應組織改造，請修正機關名稱及 logo。	感謝委員意見，遵照辦理。已完成修正。

農業部農村發展及水土保持署

「以實驗及法規面探究山坡地劃定準則因應氣候變遷之變化」案

期末意見回覆

委員意見	意見回覆
1. 有關文獻參考之日本陡坡區，禁止未受許可之開發行為，建議宜有如何申請後即可開發之規定或日本當地其他管制事宜等說明。	感謝委員意見，因本計畫僅就山坡地之制定「坡度」進行探討與比較，故無進行相關論述，將於未來與機關人員進行深度探討。
2. 建議可參考第5屆中日農業技術交流會議報告書中1971年農復會以當時台灣測繪面積、日本農機可運作坡度、5%等、當年台灣面積與森林比例管理等資料，是否為當年立法之參考？以利後續法規調適參考。(農業知識入口網/圖書影音)	感謝委員意見，本計畫將進行資料查找並於後續與機關進行探討。
3. 本研究計畫結果表示劃入山坡地以平均坡度5%以上尚屬合理，原則認同，惟如有特殊情形，例如易致災地區或有特殊保全對象時，需劃入山坡地受水保法管制時，可加註什麼條件或文字，以利日後水保法修法時參考。	感謝委員意見，建議可納其他風險因子納入劃定準則，將於未來與機關人員進行探討。