

中華民國第 63 屆中小學科學展覽會  
作品說明書

---

國小組 地球科學科

探究精神獎

080507

滾滾沙塵～探討不同因素對土石崩塌的影響

學校名稱：高雄市三民區愛國國民小學

作者：  小五 謝如婷  小五 施昀彤  小五 盧佩君  小五 郭芷安  小五 陳瑞德	指導老師：  陳建良  王雅柔
---	-----------------------------

關鍵詞：山坡、坡度、土石崩塌

# 摘要

本研究透過資料蒐集了解臺灣邊坡土石概況，得知臺灣約有 50% 的土地，坡度都在 40° 以上，山坡多且地勢陡峭，因此山坡地災害層出不窮。

經設計實驗探究發現：泥沙適量含水可以增加安定角，使泥沙在坡地上較不易掉落，實驗中以顆粒 0.21-0.42mm 的中砂安定角最大。而混合不同顆粒大小的泥沙及有坡腳的山坡地也可以增加坡地的安定角。當山坡屬順向坡時，土石較不穩定，而加設岩錨可以增加土石的穩定性。

另外，發現震動次數越多及震動力量越大，泥沙掉落量會較多；當山坡坡度達到約 35° 時，地面震動會有較明顯的影響，土石掉落量也會較多。

最後建議：在順向坡位置，或地震發生頻繁、交通流量大及超過 35° 坡度的山坡地附近都較可能出現土石崩塌情況，應適度做防範。

# 壹、前言

## 一、研究動機

去年 11 月初，國道 1 號發生邊坡坍方意外，主要是因為連日大雨，使得土石鬆動導致山壁崩塌，大規模的土石傾瀉而下，造成南下車道受阻，不過幸好當時無人員傷亡。回顧 13 年前，國道 3 號也曾無預警的發生大規模的山崩，災害當天不僅無風無雨，也沒有發生地震，大量土石卻掩沒國道南北向，還造成人員傷亡。心想：「常聽說下大雨容易造成山壁坍塌，但無風無雨卻也可能使土石鬆動，到底是什麼原因使土石邊坡坍塌呢？」於是，就找了同學一起來進行這個研究。

## 二、研究目的

- (一)了解臺灣近年邊坡土石崩塌的概況。
- (二)探討不同模擬條件在坡度變化時的穩定性。
- (三)探討不同條件對邊坡土石崩塌的影響。
- (四)提出防範邊坡土石崩塌的建議。

## 三、文獻回顧

研究者針對過去相關之實驗研究，閱讀後整理部份重點摘要如下：

作品名稱	主要探討	研究方法	發現結果
「立」挽狂瀾-坡地崩塌現象及防治研究- 中華民國第 61 屆中小學科展國中組作品	1.不同 <b>降雨強度</b> 對坡地崩塌影響 2.不同 <b>角度</b> 及 <b>粒徑</b> 的坡地在強降雨下崩塌的情形	1.資料分析 2.自製器材進行實驗探討	1.降雨強度越大，坡面崩塌體積越大，崩塌時間則越短 2.砂石粒徑越大，排水良好，崩塌現象較不易發生 3.分層混合粒徑時趨於粒徑越大砂石越在上的現象，當砂石間縫隙充滿水後，極易因細微擾動而造成大規模崩塌，粒徑越大砂石崩塌現象越明顯 4.若坡面植樹及加裝立柱均有助於減緩崩塌現象

作品名稱	主要探討	研究方法	發現結果
水土比一比- 中華民國第 59 屆中小學科展國中組作品	1.土壤 <u>含水量</u> 不同與水流侵蝕土石量之關係 2.泥流與土石流的發生條件與特徵 3.了解桃園區土石流潛勢溪流成因	1.實地考察 2.資料收集 3.模擬實驗	1.土壤含水量越達飽和時，土壤黏性越高，較不易因水流而沖刷，發生部崩塌坡度也大，較不易崩塌與滑動 2.土壤含水量一超過飽和，黏滯性下降，大量崩塌滑落的發生部坡度快速下降，表示此時的土石因泥水下滑力容易滑動且造成土石流
牆要 double L 邊坡防護更 OK~創新雙層 L 型懸臂式擋土牆邊坡防護效益之探討- 中華民國第 58 屆中小學科展國中組作品	1.了解臺北市邊坡住宅區較多採用的擋土牆工法 2.自創不同型式 <u>擋土牆</u> 探討護坡效果 3. <u>擋土牆</u> 排水管數量、排列方式及排水孔間距對邊坡防護的影響	1.實地探勘 2.資料分析 3.自製器材進行實驗探討	1.自行設計的新式double L雙層懸臂式擋土牆，比現行之單面L型懸臂式擋土牆防護邊坡效果更佳 2.擋土牆必須加裝排水設施，但並非排水管越多越好 3.排水管的排列形式，下層多上層少，有利排水，防護邊坡效益佳 4.單一排水管上的排水孔密集，有利排水，防護邊坡效益佳 5.擋土牆材料若以既能吸水，又能排水材質施作牆鋪面，更能有效防護邊坡
坡地土石災難成因的探討—以特富野和觸口為例- 中華民國第 58 屆中小學科展國小組作品	1.特富野及觸口附近野外地質調查 2.探討 <u>坡度</u> 、 <u>降水量</u> 、 <u>堆積物</u> 對坡地崩塌的影響	1.野外地質調查 2.資料分析 3.實驗探討	1.特富野村曾文溪兩側的岩層是砂頁岩互層，差異侵蝕明顯，區內有兩處崩塌較嚴重，豪大雨時要多留意 2.坡度越陡、水量越多及堆積物體積越大，沖蝕量越多 3.擋土牆可以減少雨水沖蝕，在崩塌較嚴重河道建造防砂壩可減少土石災難
預測山崩否？以我們的故鄉九份為例- 中華民國第 57 屆中小學科展高中組作品	1.探討九份地區潛在的山崩因子與發生機制 2.九份地區可能發生潛在危險的山崩災害模型及地區探討	1.資料整理 2.野外實察 3.數據分析 4.模型建置	1.野外實察找出九份山崩地點的坡度、坡向、地質構造、人為開發等因子，建立九份地區的山崩目錄；推測九份聚落潛在的山崩危險地帶及其模型 2.數據分析推測當地雨量每增加10mm，其山崩比增加10.29倍；且雨量累積至67.5mm，就可能有部分山崩的危險機率；若每日雨量累積至234mm，則發生部分山崩的機率幾乎是100%

作品名稱	主要探討	研究方法	發現結果
坍與不坍－崩塌地之土粒研究-  中華民國第 53 屆中小學科展國中組作品	1.崩塌地形的判釋方法及田調 2. <b>地形</b> 對崩塌之影響 3.各種土壤所能承受水量之程度 4.崩塌與未崩塌之 <b>土壤組成及結構</b>	1.田野調查及採樣 2.模擬實驗	1.崩塌的發生地點受土壤坡度、含水量、孔隙的影響 2.崩塌多發生於坡度>20°的陡峭處 3.崩塌地之礫石(≥2mm)含量較多，固結程度沒那麼緊密，較易崩塌 4.孔隙比大於100%，越容易崩塌 5.土壤含水比約為38.5%、孔隙比88.3%~245.6%以及土壤粒子多為≥1.2mm，三者增量交互作用時，容易形成崩塌地
「水砂共舞」-探討坡地土壤沖刷之特性-  中華民國第 53 屆中小學科展國中組作品	1.不同因素對沖刷量之影響探討 2.以人工智慧推估沖刷量的多寡並進行實驗對比驗證	1.實地探訪採樣 2.實驗探討 3.數據運算	1.坡地土壤沖刷現象相當複雜，受到相當多因素影響，除了土壤本身構造外，還受到植被種類、降雨強度變化等因素影響 2.利用簡單人工智慧方法，配合平均坡度、粒徑、累積雨量、植被情形、集水區面積等五個因數，推估土壤沖刷量有一定準確度
深層崩壞的秘密-  中華民國第 51 屆中小學科展國小組作品	1.調查獻肚山地質現況及了解深層崩塌的原因 2.獻肚山的地質脆弱的證據探討	1.文獻分析 2.實地調查 3.實驗探討	1.當雨量過大、頁岩地形、有斷層經過、崩塌的岩塊有許多擦痕、岩層裂縫充填許多方解石脈、危險順向坡及破壞順向坡破腳，這些原因可能都是造成獻肚山大量崩塌的原因
落落大(坍)方---邊坡土石崩塌下滑之探討-  中華民國第 49 屆中小學科展國中組作品	1.探討 <b>接觸面介質、形狀、及大小、物體重量、物體與接觸面角度、地震波及摩擦力</b> 等因素對邊坡下滑的影響	1.資料分析 2.實驗變因操作探討	1.當下滑坡度35度左右，只要負載過重、地震、雨量過多或水土保持不好時，超過35度必定下滑 2.負載重量到某個程度之後，增加摩擦力對於防止邊坡土石下滑無效

根據以上資料的統整分析，我們發現過去較多研究針對水(雨)量及坡度進行土石崩塌的探討，發現：降雨強度越大及坡度越大時，坡面崩塌的體積會越大，崩塌的時間會越短；少部份研究針對地震、地形、地質結構、植被及排水等條件進行探究，也發現：地震、地形、地質結構等都會影響土石的崩塌，而山坡表層的植被及良好的排水可以減緩坡地崩塌的現象；另外，發現山坡的崩塌可能都是因為具備多項不同條件的交互作用所發生的。

本研究除了蒐集資料認識山坡地的特性及了解近年臺灣發生的山坡崩塌事件外，將透過自製實驗器材觀測不同的土石模擬條件在坡度變化時的穩定性及其運動情形，並設計實驗變因，探討不同條件對邊坡土石崩塌的影響進行觀測。

## 貳、研究設備及器材

濾沙篩網(#5-4.000m/m、#10-2.000m/m、#18-1.000m/m、#40-0.420m/m、#70-0.210m/m)、泥沙、自製坡度觀測板、固定夾、壓克力板、電子傾斜儀、手機 APP、噴霧器、量筒、量杯、震動平台、方盒、螺帽、電子秤、果凍粉、色素、墊板、鋼杯、計時器、電磁爐、DV 攝影機。

## 參、研究過程或方法

### 研究一、了解臺灣近年邊坡山石崩塌的概況

#### (一)認識臺灣的山坡地

##### 1.臺灣的地形

臺灣地勢東高西低，地形主要以山地、丘陵、盆地、臺地、平原為主體。山地、丘陵約佔全島總面積的三分之二。地殼被擠壓抬升而形成的山脈，縱貫南北，其中以中央山脈為主體，地勢高峻陡峭。山地主要在東部，而丘陵主要在西部。

##### 2.臺灣的山坡地

根據教育部國語辭典，山坡是指「山頂與平地間的斜面地帶」。而據維基百科所述，坡地也稱坡面或斜坡面，是傾斜角大於 2°的傾斜地面。坡地佔了全部陸地表面的 80%以上，是地貌的主要組成部分，因此坡地的發展變化導致了地貌形體的變化。

而山坡的外部特徵包括坡度、坡形、坡向、坡長，其中的坡度是指坡地「(片)面」和水平面的夾角，還可以細分為：2°-5°極緩坡、5°-15°緩坡、15-25°緩陡坡、25°-35°陡坡、35°-55°極陡坡、>55°直立坡。**坡度是影響坡地崩塌的重要因素之一。**

在臺灣，高度在 100 公尺以上的山坡地占全島面積的 2 / 3 以上，其中坡度在 10°以下的土地僅有 34%，介於 10°到 40°的占 16%，剩下的約 50%的土地，**坡度都在 40°以上。可見臺灣的山坡多且地勢陡峭，因此山坡地災害也層出不窮。**

另外，根據行政院農業委員會水土保持局資料，說明山坡地的劃設主要是因為臺灣位處亞熱帶地區、地質脆弱且年降雨量高，屬天然災害易發生地區，為了避免因土地不當開發造成土砂災害並減緩災害規模，因此，頒布「山坡地保育利用條例」及「水土保持法」，以促進土地合理利用、保育水土資源並減免災害。**根據法規定義的山坡地，標高在 100 公尺以上，或標高未滿 100 公尺但平均坡度在 5%以上的都是劃定範圍。**

### 3.山崩的發生

根據維基百科，山崩又稱山泥傾瀉、山體滑坡或土溜，是指在重力的影響下塊體沿著一段山坡下滑的坍方現象。而地滑(也稱走山)是指融合岩屑和土壤的整片岩體完整往下較慢的滑動或移動，屬於規模較大、滑動面較深的坡體移動現象，與山崩不同。若是土體坍方時，混合雨水或河水則演變成土石流。

山崩最主要的原因是山坡上的岩石或土壤吸收了大量的水，所以導致岩石或土壤內部的摩擦力降低，土壤或岩石喪失其穩固性便會下滑。當斜坡上的下滑力比摩擦力還大時，斜坡便會變得不穩固，並有倒塌的危險。

從經濟部中央地質調查所資料我們也得知：山崩的因素主要包括內在、外在及人為因素。內在因素存在於土石材料本身，主要包括岩石性質或岩層中多節理或破碎帶等、地質構造、地形、植生。而觸發山崩的外在因素，主要包括岩層的風化、孔隙水壓增加、加重負載、移去坡趾支撐、下伏地層塌陷、橫壓力的增加、地震與振動、豪雨等。

山崩的外在因素有部份也屬於人為因素，例如選址不當、在斜坡上方興建房屋、結構物增加荷重、開挖移除斜坡下方的一部份而使斜坡變陡等。

#### (二)近年邊坡土石崩塌事件

臺灣近年來，有關土石崩塌的事件，部份報導摘要如下：

媒體報導	內容摘要	災害可能原因
聯合報 2023/1/12	於 2023/1/12，研判受到地震、降雨綜合影響，造成大清水隧道連接 13 號隧道的明隧道上方約 30 公尺處邊坡節理破碎，坍方量達 1200 立方公尺；明隧道難以承受衝擊，長達 25 公尺被壓毀，混凝土和鋼構部分都受損。	地震、降雨
自由時報 2022/12/6	2018 年 1 月，民眾懷疑日軍在壽山藏有大批寶藏，向國產署提出「掘發日據時代埋留在鼓山區壽山千光寺附近國有埋沉財產工作計畫書」獲准後，卻因沒做好水土保持又超挖，導致雨水無法及時渲洩，造成大面積土石滑落。	人為開挖干擾山坡、未做好水土保持
TVBS 新聞網 2022/11/2	國道一號南下 10 公里汐止路段，於 2022 年 11 月 1、2 日皆發生走山，嚴重坍方，大片土石滑落，南下 7K 到 10K 主線道、汐止南出口和五堵入口全線封閉。	連日降雨

中時新聞網 2022/10/31	2022 年 10 月 31 號下午 4 時 48 分，臺東縣東河鄉發生芮氏規模 5.0 地震，地震深度 10 公里，造成臺 23 線 22.9 公里處土石坍方。	地震
聯合報 2022/10/17	2022 年 10 月，因連日大雨造成汐止多處發生土石崩塌災情，最嚴重的是伯爵街 3 巷山坡崩塌，伯爵街 6 巷底高壓電塔下方護坡土石滑落。	連日降雨
NOWnews 今日新聞 2022/10/16	宜蘭縣大同鄉地區因為強烈雨勢，導致臺 7 線等道路多處嚴重坍方大片土石沿山壁崩塌。	超大豪雨
ETtoday 新聞雲 2022/7/7	2022 年 2 月份，基隆槓子寮路上發生大規模的走山，因非法偷埋工程廢棄物又未做好水土保持，開挖干擾山坡導致雨後大規模土石滑落。	人為開挖干擾山坡、未做好水土保持、降雨
自由時報 2022/6/12	2022 年 6 月，屏東卡悠峰的大片山壁突然滑落，原本一片綠意的樹木，全被土黃色的山壁掩埋，而滾落的土石還不斷激起大片煙塵，令人觸目驚心。	連日降雨、山壁含水量飽和
聯合報 2022/6/8	高雄市桃源區臺 20 線 84.789 公里處，塔拉拉魯芙隧道東端出口於 2022 年 6 月 8 日中午，發生邊坡土石滑落。	降雨
ETtoday 新聞雲 2022/4/26 中時新聞網 2022/4/3	2022 年 3、4 月，臺 8 線中橫公路 117.4K 處花蓮縣秀林鄉關原路段，因地震及持續降雨，發生大量土石坍方的意外，造成道路中斷。	地震、連日降雨
自由時報 2010/4/26	昨天國道三號七堵段發生史上第一次邊坡嚴重走山掩埋高速公路重大災害。十萬立方公尺的土石，瞬間把大埔跨越橋攔腰折斷，埋掉高速公路北上南下全部六車道，汐止以北交通中斷，有六輛車向警消通報失聯。	沒風沒雨、沒地震？

根據以上整理臺灣近幾年土石崩塌之相關報導，我們發現：造成土石崩塌的主要原因是降雨，尤其連續的降雨或強降雨，其次是人為的開發山坡地、地震及未做好水土保持等原因。我們也發現造成山坡土石崩塌可能非單一原因，而是有兩種以上的因素交互發生而造成，其中的「降雨」應該是不可或缺的因素；另外發現，同一地點有時在短期內可能發生兩次以上的土石崩塌情況，應該更加留意。

綜上所述，由於過去的科展研究已經大量針對降雨(水量)及坡度對土石崩塌的影響進行探討，因此，本研究主要針對順(逆)向坡及地震(或震動)條件，進行以下實驗操作討論。由於使用之材料模擬與真實情境無法完全相同，所以先針對不同模擬材料及情境下，土石在坡度變化時的穩定性進行觀測，以了解實驗材料特性，做為後續實驗操作之參考。

## 研究二、探討不同模擬條件在坡度變化時的穩定性

### (一)泥沙準備

為了觀察不同條件泥沙在邊坡的運動情形，因此，我們事先準備不同顆粒大小的泥沙，並使用不同網目規格的篩網(#70-0.210m/m、#40-0.420m/m、#18-1.000m/m、#10-2.000m/m、#5-4.000m/m)分別篩出 0.21mm 以下、0.21-0.42mm、1-2mm 及 2-4mm 的泥沙顆粒，提供各變因條件使用，泥沙顆粒規格及說明如下：

名稱	泥土	細砂	中砂	極粗砂	極細礫
泥沙顆粒	0.21mm 以下	0.21mm 以下	0.21-0.42mm	1-2mm	2-4mm

### (二)自製坡度觀測板

本實驗為觀測不同的模擬條件在坡度變化時的穩定性，自製坡度觀測板，裝置及說明如下：

1. **底板**：做為固定坡度觀測板使用，一側設計固定邊條頂住坡度觀測板前側，當抬升坡度板後側時才不會使板子移動位置，影響觀測結果。
2. **泥沙鋪設**：在坡度觀測板上，依各泥沙條件在事先圍框的 15cm×20cm 大小、1.5cm 高度的區域內，將泥沙鋪平，準備實驗的進行。
3. **觀測標線**：距離泥沙鋪設區域前緣的 2cm 處，事先畫設觀測記錄之標線，作為坡度板抬升時的觀測記錄標準線。



坡度觀測板頂在底板的固定邊條



泥沙開始掉落，觀測是否超過標準線

### (三)觀測記錄方式

- 1.操作：操作時慢慢將坡度板抬升，當泥沙掉落超過觀測記錄標準線時，即停止抬升並將坡度板固定。
- 2.記錄：開啟手機 APP(測斜儀量角器)並放置在斜板上，記錄此時坡度板傾斜角度。
- 3.定義：安定角，表示該泥沙條件在坡度板上穩定不崩落之臨界角度，後續實驗使用做為記錄項目。



利用手機 APP，測量坡度板坡度

### (四)濕泥沙含水控制

#### 1.原設計：模擬下雨情境

為減少水在落入泥沙中的力量及均勻的分布，利用噴霧器噴灑，並先行測試噴霧器的水量：

- (1)電動噴霧器：每 1 分鐘可以噴出 6mL 的水量，5 分鐘可噴出 30mL 的水量。
- (2)手動噴霧器：每按壓 10 次，可以噴出 8mL 的水量，按壓 50 次，可以噴出 40mL 的水量。



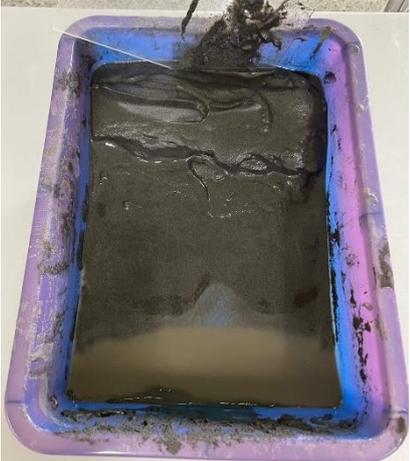
電動噴霧器出水水量實測

經過實驗的實測及討論後，我們發現上述方法無法精準將水加入到乾泥沙中，可能造成實驗的重大誤差，因此，放棄此作法。

#### 2.重新修正

為了調配實驗使用之濕泥沙，我們重新調整方式，改以泥沙直接加水混合的方式來準備使用之濕泥沙。經測試決定使用量杯裝 1000cm<sup>3</sup> 的泥沙量倒入盒內，再加入 600mL 的水後均勻混合，成為待用不同顆粒大小的濕泥沙，操作過程如下圖示。

時間點 顆粒大小	泥沙加水調配混合後	每次操作前傾斜瀝乾 10 秒
0.21mm 以下 泥土		

<p>0.21mm 以下 細砂</p>		
<p>0.21-0.42mm 中砂</p>		
<p>1-2mm 極粗砂</p>		
<p>2-4mm 極細礫</p>		

## (五)濕泥沙鋪設

經實測發現濕泥沙與乾泥沙特性不同，將濕泥沙鋪設至原有坡度觀測板抬起後，濕泥沙會和木框邊黏住，無法觀測，因此鋪設方式改良如下：

- 1.自製集沙框：做為鋪設濕泥沙時使用。在鋪設濕泥沙前，先將集沙框置於坡度觀測板上的泥沙鋪設區域後固定。



自製集沙框

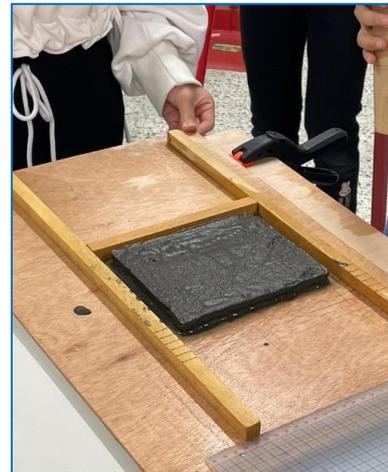


坡度觀測板上的鋪沙區

- 2.泥沙鋪設：在坡度觀測板上，依各泥沙條件在 12.5cm×17cm 大小、1.5cm 高度的自製集沙框區域內，將瀝乾過的泥沙鋪平於集沙框中，鋪好後再將集沙框移除，準備實驗的進行。



在集沙框內鋪設濕泥沙



移除集沙框，準備實驗操作

## (六)手機 APP 與傾斜儀校正

為確認手機測斜儀量角器 APP 的準確度，將手機 APP 開啟，與電子傾斜儀同時置放在斜坡上，進行傾斜角度對照檢視，經檢視無誤，如右圖示。



## (七)變因條件

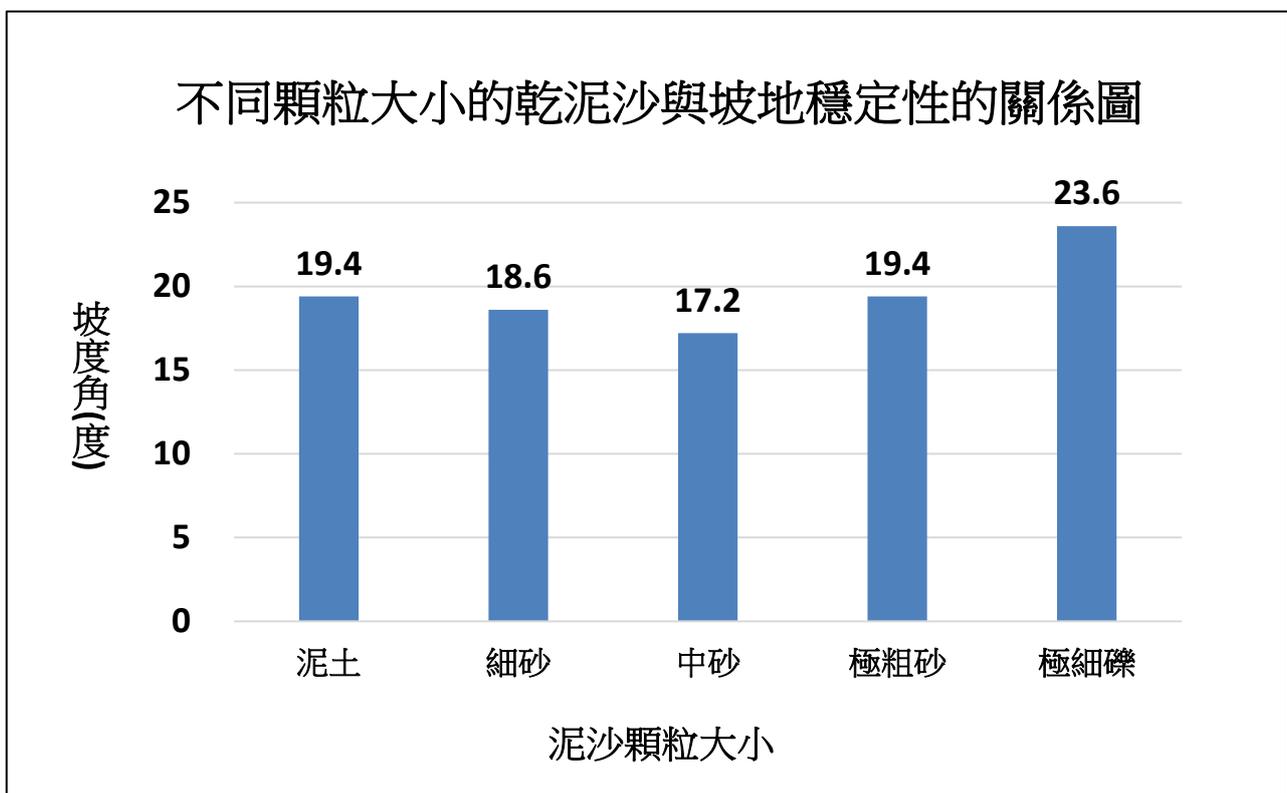
本實驗先針對不同的泥沙顆粒大小，分別探討乾濕泥沙在坡度觀測板坡度變化時的穩定性，再進行顆粒大小混合及坡腳設計、順(逆)向坡等變因探討，依條件操控各項變因，實驗進行如下。

### 實驗(一)不同顆粒大小的乾泥沙對坡地穩定性影響

- 步驟：1.將乾的泥土鋪平於自製的坡度觀測板泥沙鋪設區內，觀測板前側固定於底板木條。
- 2.從坡度觀測板後側慢慢將板子往上抬起形成斜坡，直到泥沙掉落超過設定的標準線(2cm 處)，停止抬升坡度板並固定。
- 3.利用手機 APP(測斜儀量角器)觀測及記錄此時的坡度角。
- 4.重複 1-3 步驟實驗操作 5 次，觀測並記錄坡度角。
- 5.依序改變不同顆粒大小的乾泥沙，重複 1-4 步驟，觀測並記錄坡度角。

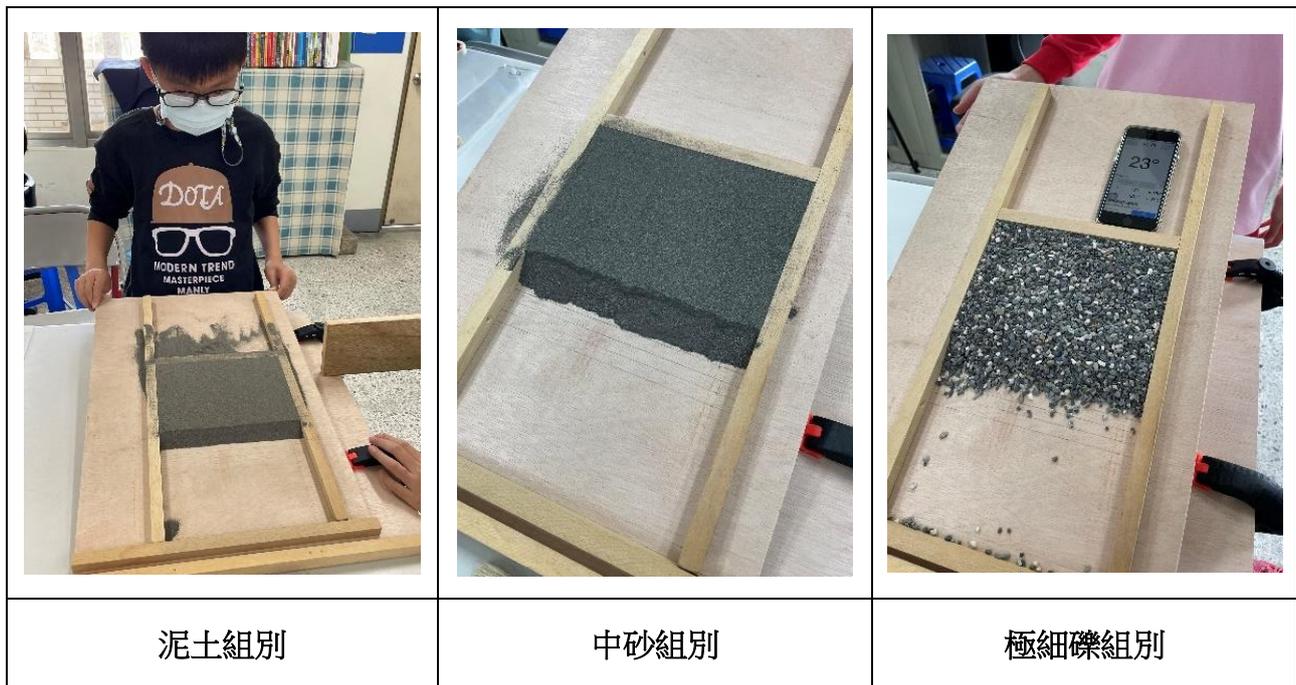
泥沙顆粒 坡 次數	0.21mm 以下 泥土	0.21mm 以下 細砂	0.21-0.42mm 中砂	1-2mm 極粗砂	2-4mm 極細礫
第一次	19	19	16	18	23
第二次	17	19	18	20	25
第三次	20	18	18	19	23
第四次	20	18	17	20	25
第五次	21	19	17	20	22
平均	19.4	18.6	17.2	19.4	23.6

單位：度



### ※結果與討論：

- 1.發現泥沙顆粒較大的 2-4mm 極細礫，安定角較大；而 0.21-0.42mm 中砂的安定角最小，其次是 0.21mm 以下的細砂。
- 2.發現泥沙顆粒較大的極細礫，雖然安定角較大，但是當超過安定角時，泥沙顆粒會較大量的崩落，推測應該是顆粒較大重量較重的關係。
- 3.發現較小顆粒的泥土，安定角卻比細砂及中砂還大，推測應該是泥土本身的重量較輕的關係。

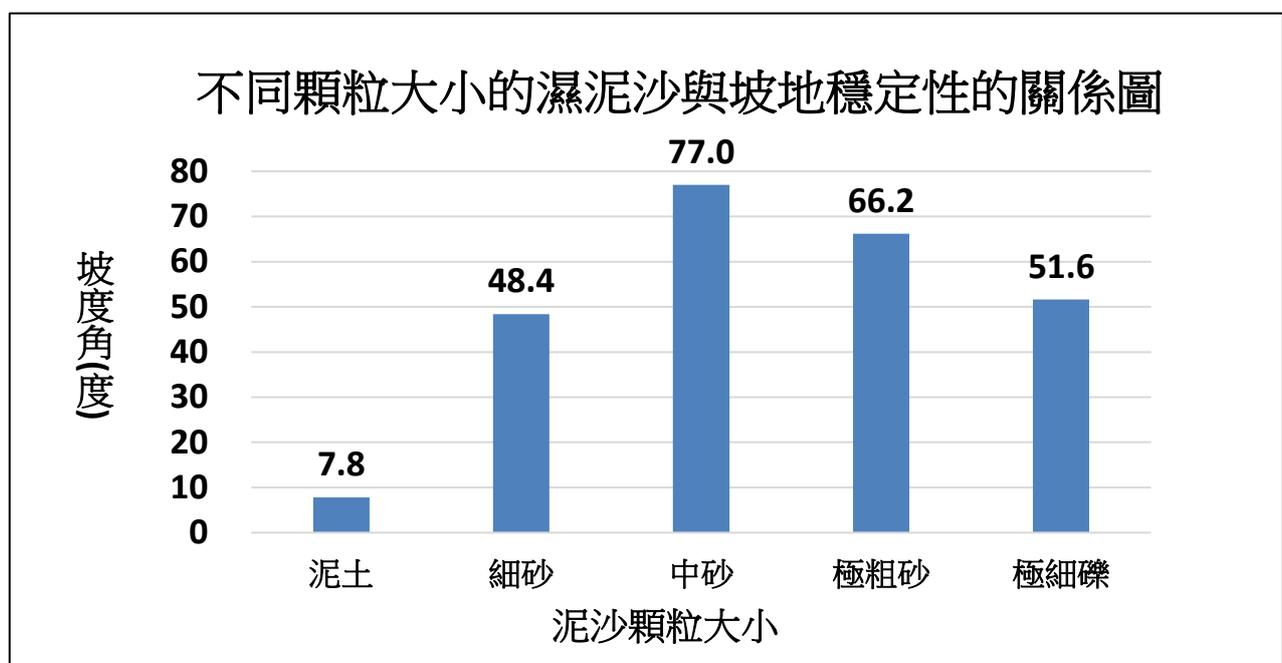


### 實驗(二)不同顆粒大小的濕泥沙對坡地穩定性影響

- 步驟：1.將準備好的濕泥土在操作前先傾斜瀝乾 10 秒，再鋪平於自製的坡度觀測板的集沙框內，觀測板前側固定於底板木條。
- 2.從坡度觀測板後側慢慢將板子往上抬起形成斜坡，直到泥沙掉落超過設定的標準線 (2cm 處)，停止抬升坡度板並固定。
  - 3.利用手機 APP(測斜儀量角器)觀測及記錄此時的坡度角。
  - 4.重複 1-3 步驟實驗操作 5 次，觀測並記錄坡度角。
  - 5.依序改變不同顆粒大小的濕泥沙，重複 1-4 步驟，觀測並記錄坡度角。

泥沙顆粒 坡 大小 次數	0.21mm 以下 泥土	0.21mm 以下 細砂	0.21-0.42mm 中砂	1-2mm 極粗砂	2-4mm 極細礫
第一次	8	49	79	63	48
第二次	6	48	73	70	56
第三次	8	47	80	66	50
第四次	9	50	78	68	53
第五次	8	48	75	64	51
平均	7.8	48.4	77.0	66.2	51.6

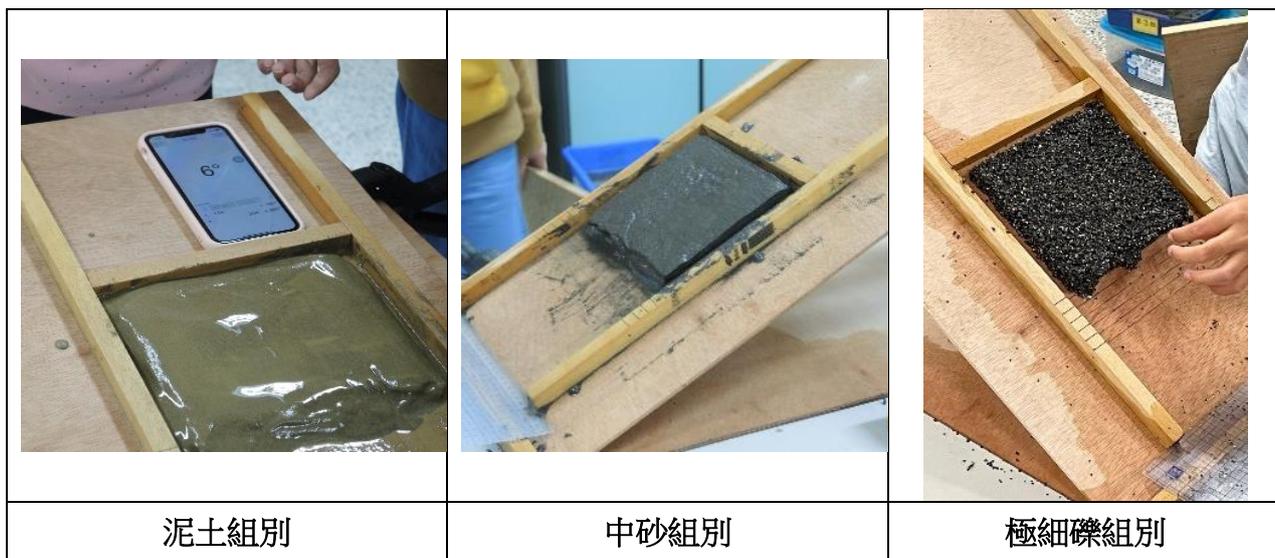
單位：度



※結果與討論：

- 1.發現濕泥沙中顆粒較大的 1-2mm 極粗砂及 2-4mm 極細礫含水量較少、排水量較多，其中以較大顆粒 2-4mm 的極細礫的安定角較小。
- 2.發現顆粒 0.21-0.42mm 大小的中砂含水量較多、排水量較少，安定角最大，代表在坡度板上最為穩定。
- 3.發現顆粒最細小的泥土會與水混合後形成泥水流動，當含水較多時易導致泥流，安定角也因此變得很小。

4.發現濕泥沙當坡度抬升時通常水會先留下來，之後泥沙才會開始慢慢滑落；崩落時會先從坡腳處開始以塊狀泥沙掉落，當超過安定角時便會大量崩落。



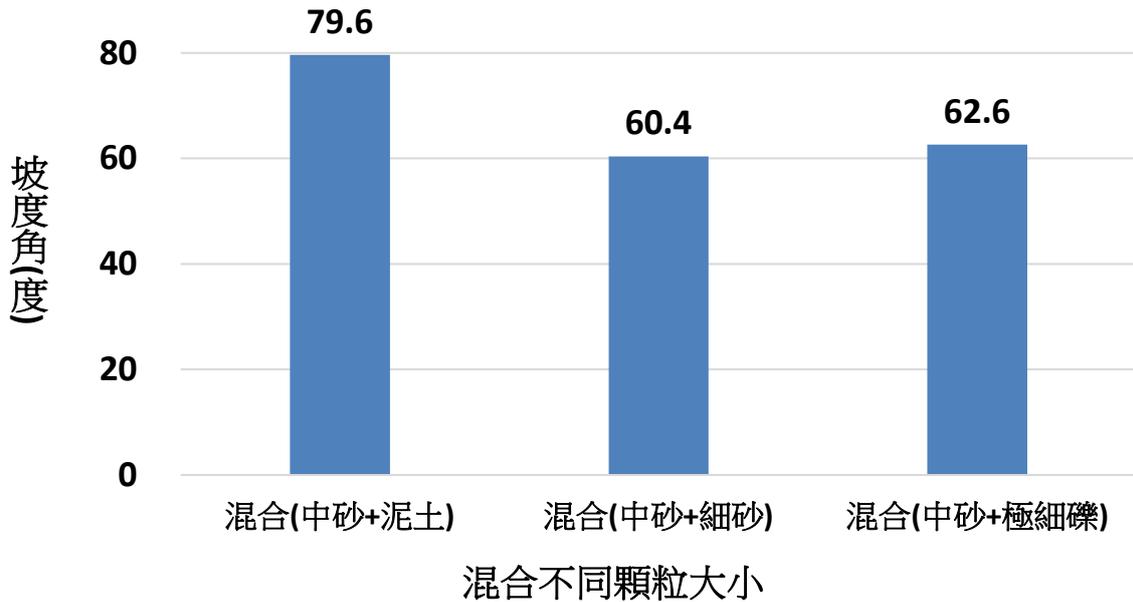
### 實驗(三)混合不同顆粒大小的泥沙對坡地穩定性影響

- 步驟：1.將準備好的泥土、細砂、中砂及極細礫濕泥沙在操作前先傾斜瀝乾 10 秒，再依條件等量混合鋪平於自製坡度觀測板的集沙框內，觀測板前側固定於底板木條。
- 2.從坡度觀測板後側慢慢將板子往上抬起形成斜坡，直到泥沙掉落超過設定的標準線 (2cm 處)，停止抬升坡度板並固定。
- 3.利用手機 APP(測斜儀量角器)觀測及記錄此時的坡度角。
- 4.重複 1-3 步驟實驗操作 5 次，觀測並記錄坡度角。
- 5.依序改變泥沙混合條件，重複 1-4 步驟，觀測並記錄坡度角。

顆粒大小 坡 次數 \ 度	<b>0.21-0.42mm + 0.21mm 以下 混合(中砂+泥土)</b>	<b>0.21-0.42mm + 0.21mm 以下 混合(中砂+細砂)</b>	<b>0.21-0.42mm + 2-4mm 混合(中砂+極細礫)</b>
第一次	85	63	66
第二次	78	62	60
第三次	80	61	61
第四次	73	57	64
第五次	82	59	62
平均	79.6	60.4	62.6

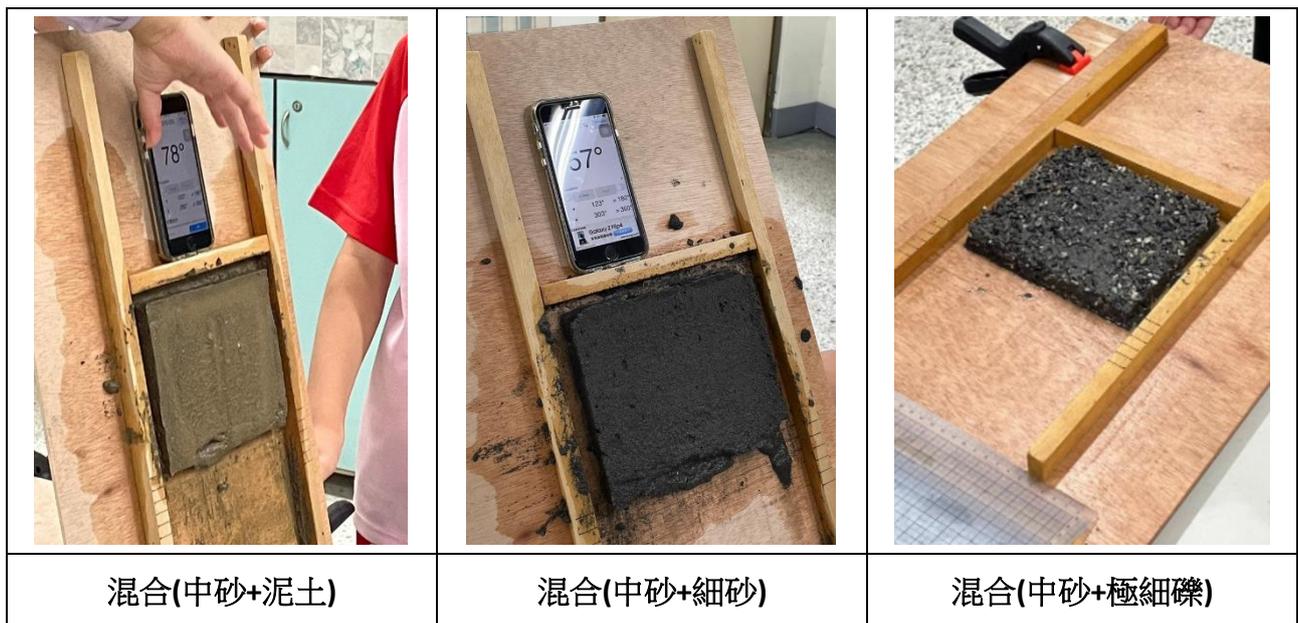
單位：度

混合不同顆粒大小泥沙與坡地穩定性的關係圖



※結果與討論：

- 1.發現原先安定角較小的泥土、細砂及極細礫，加入安定角較大的中砂等量混合，混合後的泥沙安定角都比單一顆粒的泥土、細砂及極細礫的安定角還大。
- 2.發現中砂和泥土混合後的安定角還比單一中砂的安定角大，推測可能是在等量混合後，顆粒較小的泥土填補了顆粒較大的中砂顆粒間的縫隙，加水後具有黏滯力，使混合後的泥沙形成某種程度的類膠結，因而增加了安定角。

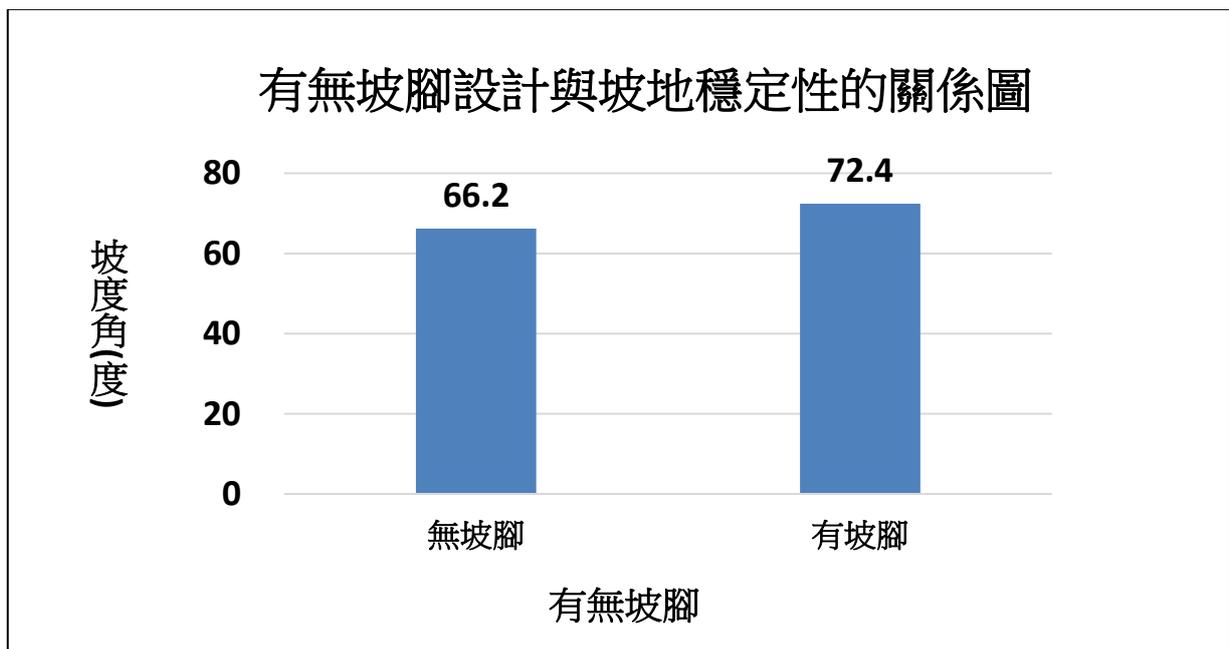


### 實驗(四)有無坡腳設計對坡地穩定性影響

- 步驟：1.將準備好濕泥沙顆粒 1-2mm 大小的極粗砂在操作前先傾斜瀝乾 10 秒，再鋪平於自製坡度觀測板的集沙框內(無坡腳組別)，觀測板前側固定於底板木條。
- 2.從坡度觀測板後側慢慢將板子往上抬起形成斜坡，直到泥沙掉落超過設定的標準線 (2cm 處)，停止抬升坡度板並固定。
- 3.利用手機 APP(測斜儀量角器)觀測及記錄此時的坡度角。
- 4.重複 1-3 步驟實驗操作 5 次，觀測並記錄坡度角。
- 5.改變鋪平於坡度觀測板上之泥沙成為有坡腳設計，重複 1-4 步驟，觀測並記錄坡度角。

次數 \ 有無坡腳 坡 度	1-2mm 極粗砂 無坡腳	1-2mm 極粗砂 有坡腳
第一次	63	70
第二次	70	73
第三次	66	72
第四次	68	76
第五次	64	71
平 均	66.2	72.4

單位：度



## ※結果與討論：

- 1.發現泥沙鋪設有坡腳時的安定角較大，無坡腳的安定角較小。
- 2.雖然有坡腳的土堆安定角會較大，但是當它到超過安定角時，大量土石會瞬間掉落。



## ※進一步研究

根據資料報導：2010 年的國道三號大規模走山所在位置屬「順向坡」，也加上了「岩錨」，因此本實驗將針對順(逆)向坡條件對邊坡土石崩塌的影響進行探究，實驗裝置說明如下：

(一)模擬岩層準備：使用定量 250ml 熱水(滴入藍、黃色素染色)+6g 果凍粉均勻攪拌，再倒入 20×15cm 的方形盤中，開始進行冷卻，計時約 10 分鐘，在快凝固時定量撒上顆粒 1-2mm 的極粗砂(黃色果凍)及顆粒 2-4mm 的極細礫(藍色果凍)，調製不同顏色的模擬岩層各 4 塊。



(二)製作順向坡及逆向坡模型：以 2 種顏色模擬岩層的果凍各 4 塊，交錯堆疊成 8 層，再切去部份調整成順向坡及逆向坡模型，進行實驗操作。

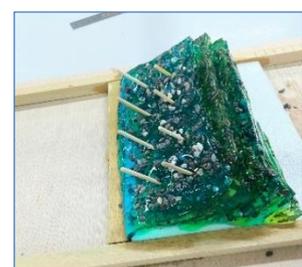


順向坡模型



逆向坡模型

(三)模擬岩錨：在順向坡位置以 8cm 長竹籤 8 支，排列成 2 排以間隔 4cm 的間距插入順向坡模型，如右圖。

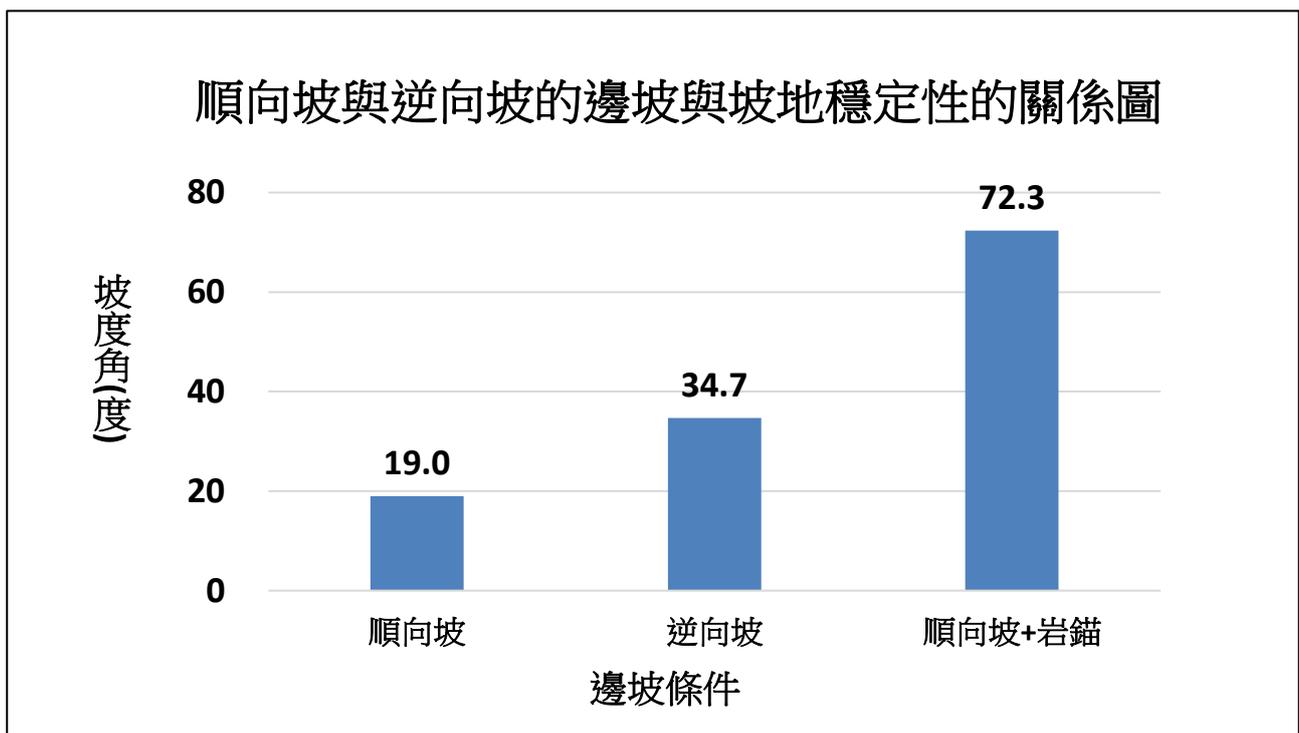


### 實驗(五)順向坡與逆向坡的邊坡對坡地穩定性影響

- 步驟：1.將準備好的模擬岩層排列成順向坡模型，再放置於自製坡度觀測板的框架內，觀測板前側固定於底板木條。
- 2.從坡度觀測板後側慢慢將板子往上抬起形成斜坡，直到模擬岩層往前掉落超過設定的標準線(2cm 處)，停止抬升坡度板並固定。
- 3.利用手機 APP(測斜儀量角器)觀測及記錄此時的坡度角。
- 4.重複 1-3 步驟實驗操作 3 次，觀測並記錄坡度角。
- 5.依序改變模擬邊坡條件，重複 1-4 步驟，觀測並記錄坡度角。

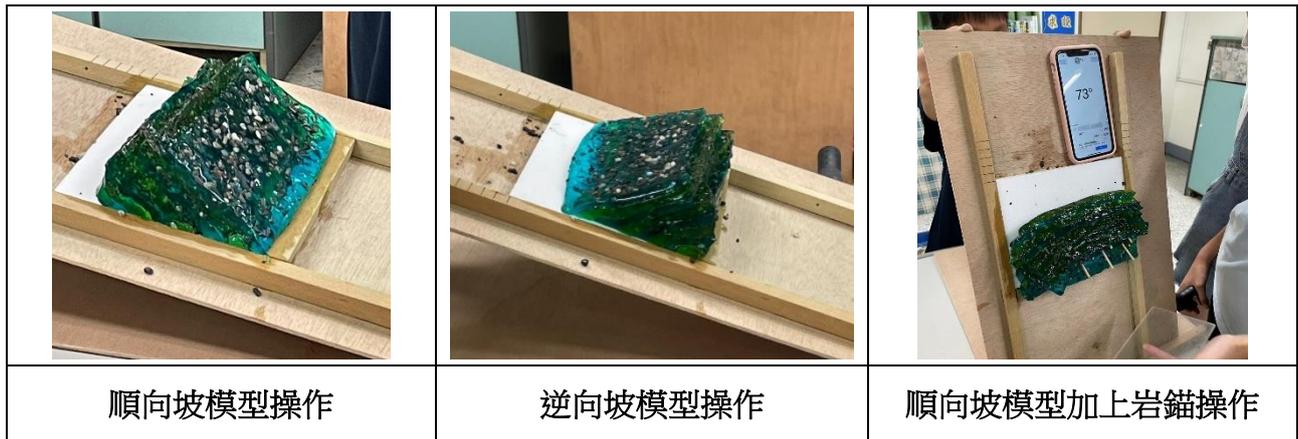
邊坡條件 坡 次數 \ 度	順向坡	逆向坡	順向坡+岩錨
第一次	20	34	73
第二次	19	34	68
第三次	18	36	76
平均	<b>19.0</b>	<b>34.7</b>	<b>72.3</b>

單位：度



### ※結果與討論：

- 1.發現當模擬岩層是順向坡時，觀測安定角較小；模擬岩層是逆向坡時，安定角較大。
- 2.發現在順向坡的模擬岩層上，插入模擬岩錨的竹籤時，觀測到安定角會變得很大。
- 3.為較符合真實情境的山坡地岩層，我們在模擬岩層的製作過程分別撒上極粗砂及極細礫，用來增加果凍模擬岩層的摩擦力；也利用藍、黃色作為不同岩層的區分，提升實驗的觀測及記錄的方便性。



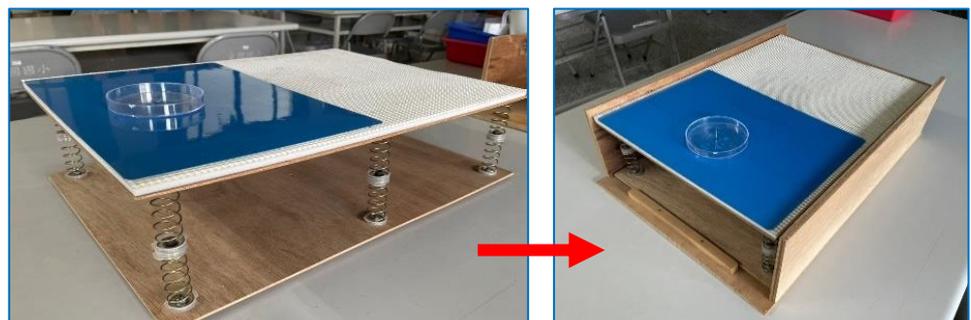
### 研究三、探討不同條件對邊坡土石崩塌的影響

山坡土石會受到震動的影響而發生崩落，在大自然中的地震及車輛行進都有可能造成對山坡土石的震動；本實驗主要針對震動條件對邊坡土石崩塌的影響進行探究，為觀測不同震動及坡度條件對土石崩落的影響，設計以下實驗，裝置及說明如下：

- (一)泥沙準備：本實驗使用 0.21-0.42mm 顆粒大小的乾泥沙裝在壓克力盒中，傾倒後形成約 35°的自然斜坡，再定位到震動平台上，準備實驗操作與觀測。



- (二)震動平台：利用彈簧及木板自製震動平台，並放置於固定箱中，如右圖示。

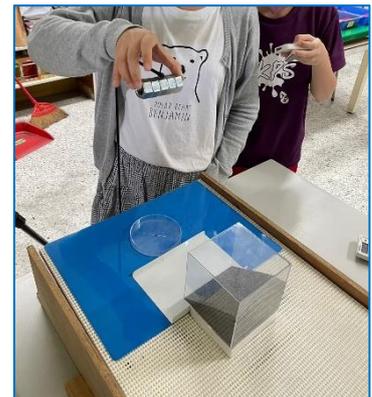


(三)螺帽重物：產生震動可以利用人工左右搖晃平台的方式進行，但實測發現可能產生較大誤差。因此決定使用重物掉落震動平台的方式來模擬震動。為使規格一致，**實驗中**以一個重約 35 克的大螺帽作為重物。

(四)觀測記錄：為使數個螺帽可以同時掉落至平台上，先以膠帶將 2 個以上的螺帽黏起來，讓他們在操作可以同時落至平台。實驗進行中，標準組使用 3 個螺帽，震動 6 次進行實驗觀測，每次間隔 5 秒鐘掉落一次。



(五)器材配置



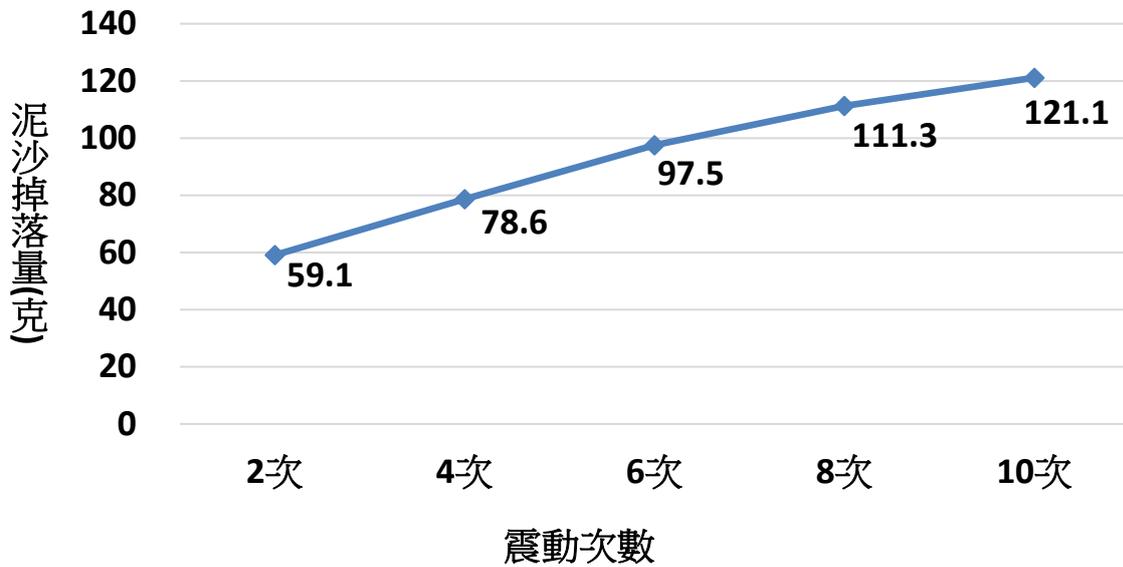
### 實驗(六)不同的震動次數對土石崩落的影響

- 步驟：1.將 0.21-0.42mm 顆粒大小的泥沙裝在壓克力盒中，傾倒後形成自然斜坡(約 35°)，並放置在自製震動平台上。
- 2.利用固定重量之 3 個螺帽重物每 5 秒掉落一次產生震動，連續掉落 2 次。
- 3.測量泥沙掉落的重量，觀測及記錄震動對泥沙的影響情形。
- 4.重複 1-3 步驟實驗操作 5 次，觀測並記錄掉落的泥沙重量。
- 5.依序改變不同的震動次數，重複 1-4 步驟，觀測並記錄泥沙的掉落量。

震動次數 掉落 次數	2 次	4 次	6 次	8 次	10 次
第一次	61.0	79.0	100.3	113.4	116.8
第二次	60.0	77.5	95.3	115.7	120.5
第三次	56.3	77.2	97.2	109.6	119.1
第四次	58.3	80.6	94.9	106.5	123.4
第五次	59.8	78.8	99.7	111.3	125.8
平均	59.1	78.6	97.5	111.3	121.1

單位：克

### 不同震動次數與泥沙掉落量的關係圖



#### ※結果與討論：

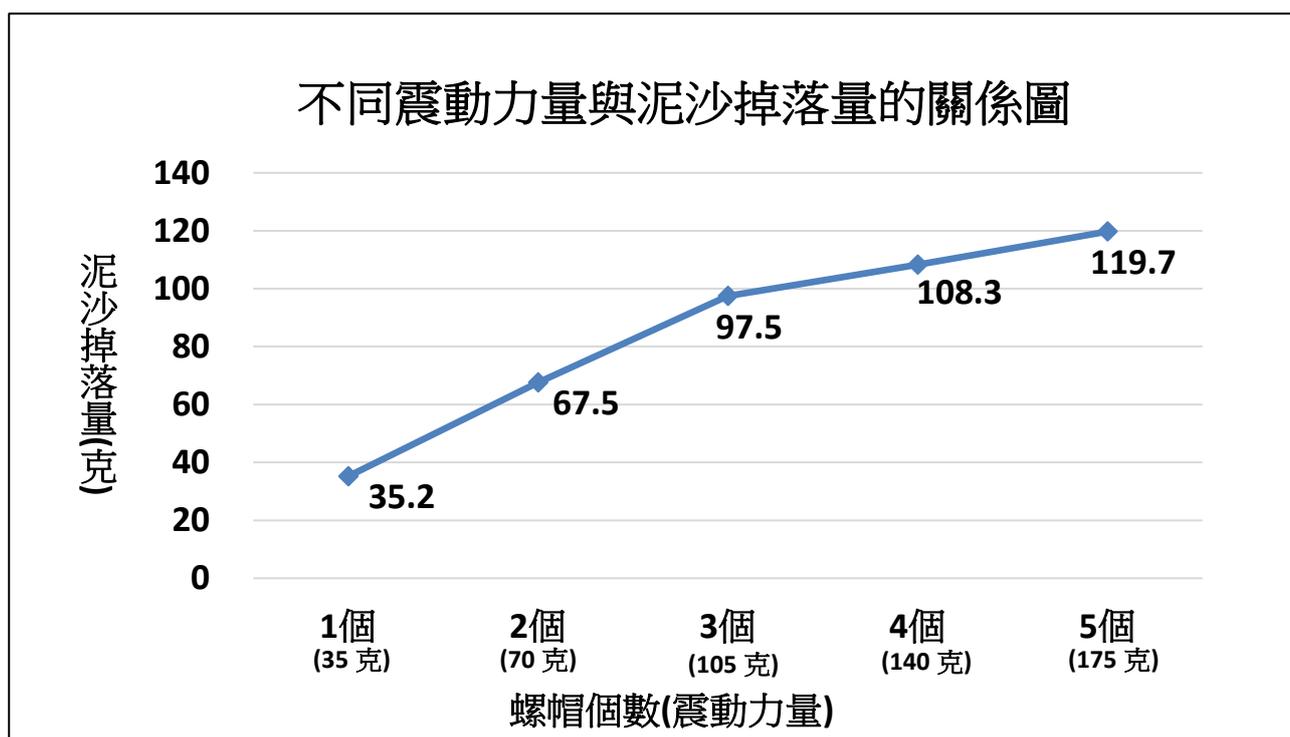
- 1.實驗中發現螺帽重物掉落所造成的震動次數越多，從斜坡上掉落的泥沙量就越多；震動次數越少，掉落的泥沙量就越少。
- 2.發現泥沙在自然斜坡中，當受到震動，一開始會掉落比較多，但隨著震動的次數增加，泥沙掉落的量卻漸漸變少，觀察及推測應該是坡度已經漸漸變小造成的。
- 3.實驗操作中觀察發現在震動過程中，斜坡面下半部靠近坡腳的地方仍然維持固定的坡度，但斜坡面的上半部位置，泥沙量減少許多，坡度明顯變緩，而且隨著震動次數增加，斜坡面上半部坡度變緩的區域就越大，也就是土堆高度降低許多。

#### 實驗(七)不同的震動力量對土石崩落的影響

- 步驟：1.將 0.21-0.42mm 顆粒大小的泥沙裝在壓克力盒中，傾倒後形成自然斜坡(約 35°)，並放置在自製震動平台上。
- 2.利用固定重量之 1 個螺帽重物每 5 秒掉落一次產生震動，連續掉落 6 次。
  - 3.測量泥沙掉落的重量，觀測及記錄震動對泥沙的影響情形。
  - 4.重複 1-3 步驟實驗操作 5 次，觀測並記錄掉落的泥沙重量。
  - 5.依序改變不同的螺帽個數(震動力量)，重複 1-4 步驟，觀測並記錄泥沙的掉落量。

螺帽個數 掉 落 量 次 數	1 個 (35 克)	2 個 (70 克)	3 個 (105 克)	4 個 (140 克)	5 個 (175 克)
	第一次	34.9	65.7	100.3	103.6
第二次	31.0	69.1	95.3	105.0	120.7
第三次	35.5	70.0	97.2	112.6	121.4
第四次	38.9	64.2	94.9	110.5	115.5
第五次	35.6	68.7	99.7	109.8	118.4
平 均	35.2	67.5	97.5	108.3	119.7

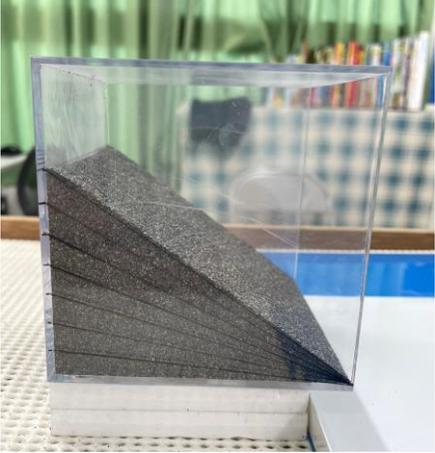
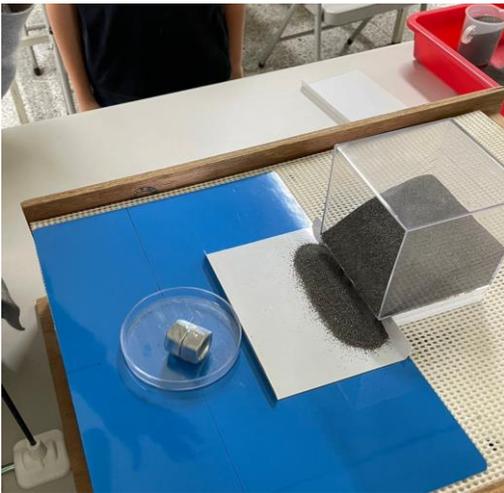
單位：克



#### ※結果與討論：

- 1.實驗中發現螺帽重物掉落個數越多，表示震動力量越大，從斜坡上掉落的泥沙量就越多；震動力量越小，掉落的泥沙量就越少。
- 2.發現泥沙在自然斜坡中，當受到震動，一開始會掉落比較多，但隨著震動的次數增加，泥沙掉落的量卻漸漸變少，觀察及推測應該是坡度已經漸漸變小造成的。

3.實驗操作中觀察發現在震動過程中，斜坡面下半部靠近坡腳的地方仍然維持固定的坡度，但斜坡面的上半部位置，泥沙量減少許多，坡度明顯變緩，而且隨著震動力量較大時，斜坡面上半部坡度變緩的區域就越大，也就是土堆高度降低許多。

	
<p>實驗前-泥沙成自然斜坡(約 35°)</p>	<p>震動後泥沙掉落，上半部坡度變緩</p>
	
<p>以 2 個螺帽重物(70 克)進行操作</p>	<p>秤重泥沙掉落量</p>

### 實驗(八)不同坡度受到震動後對土石崩落的影響

步驟：1.將 0.21-0.42mm 顆粒大小的泥沙裝在壓克力盒中，傾倒後形成 15°斜坡，並放置在自製震動平台上。

2.利用固定重量之 3 個螺帽重物每 5 秒掉落一次產生震動，連續掉落 6 次。

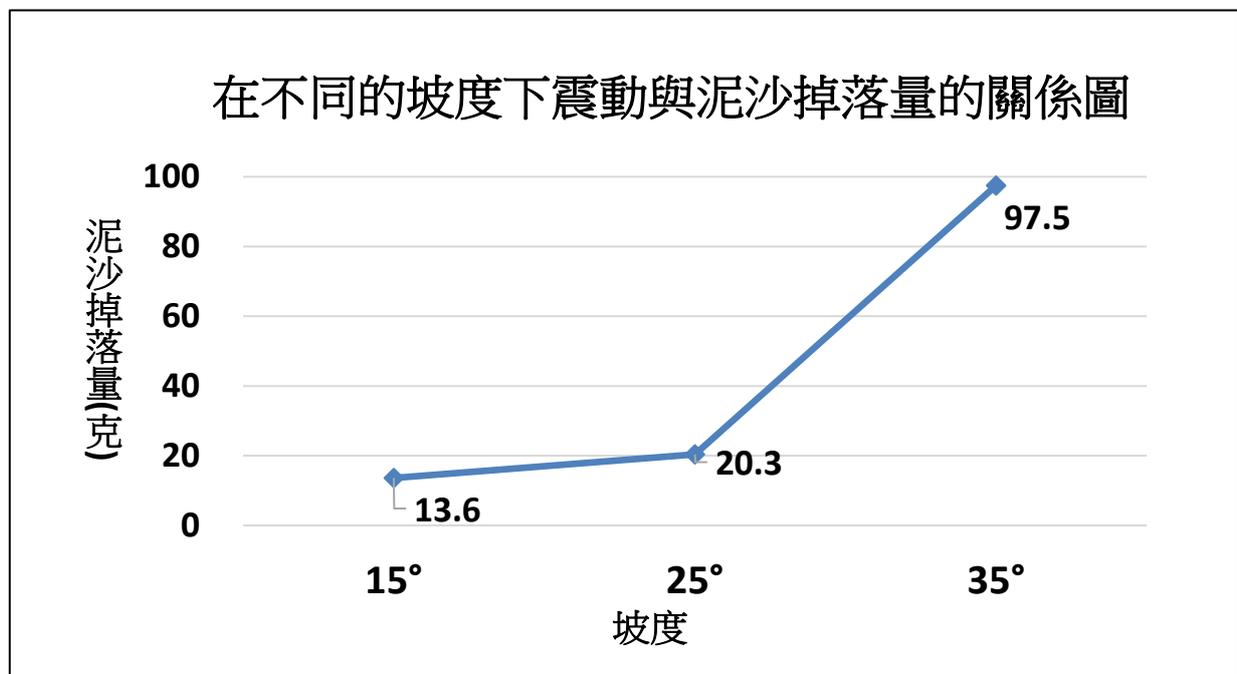
3.測量泥沙掉落的重量，觀測及記錄震動對泥沙的影響情形。

4.重複 1-3 步驟實驗操作 5 次，觀測並記錄掉落的泥沙重量。

5.依序改變不同的泥沙坡度，重複 1-4 步驟，觀測並記錄泥沙的掉落量。

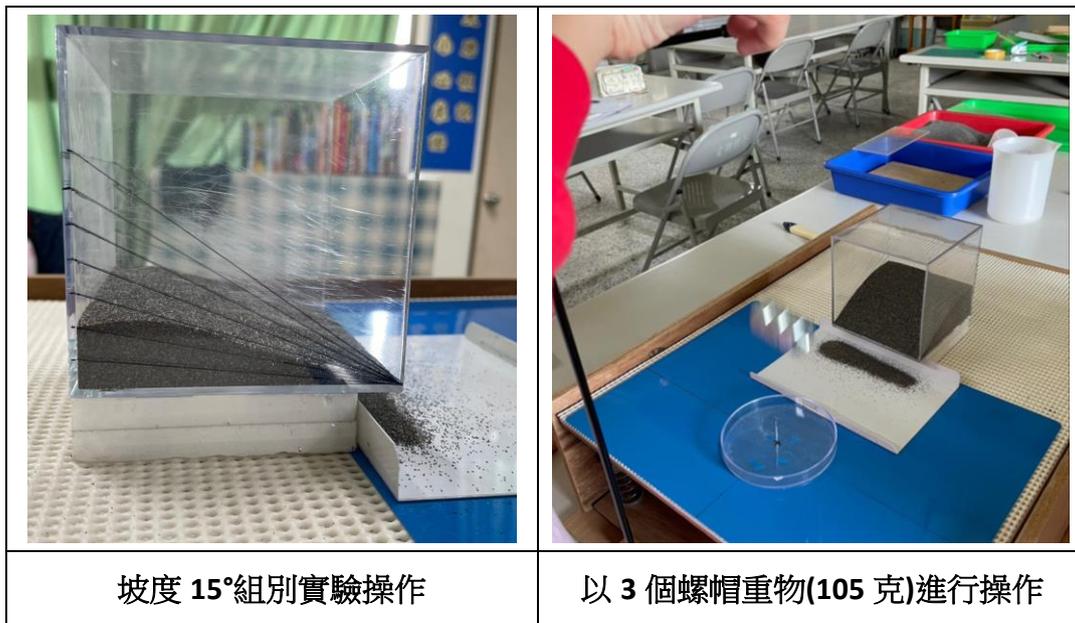
次數 \ 坡度 掉 落 量	15°	25°	35°
	第一次	13.6	19.5
第二次	13.6	18.6	95.3
第三次	13.8	19.3	97.2
第四次	13.2	23.7	94.9
第五次	13.8	20.6	99.7
平 均	13.6	20.3	97.5

單位：克



※結果與討論：

- 1.實驗中發現泥沙坡度越大，當受到震動時，從斜坡上掉落的泥沙量就越多；坡度越小，掉落的泥沙量就越少。
- 2.發現泥沙坡度越小時，當受到震動，一開始只有微量的掉落，隨著震動的次數增加時，泥沙掉落的量才漸漸變多，但泥沙掉落的總量還是很少。
- 3.發現當坡度到達自然斜坡的坡度時，地面的震動才會較明顯的影響土石の掉落量，實驗操作中以 35°的坡度，泥沙的掉落量最多；但因為是乾沙，因此無法再鋪成更大的角度進行探討。



## 肆、討論

- 一、根據實驗(一)(二)乾濕泥沙的實驗中比較發現：除了顆粒小的泥土外，其他組別的沙礫在含水後都會使其在坡度板上的安定角加大，操作觀察中發現「水」與「沙礫」間可能產生一股黏滯力，使泥沙膠結在一起，增加安定角。
- 二、實驗(二)中發現顆粒最小近似粉末狀的泥土與水混合後會形成泥巴流動，表層有許多水，表示含水性不佳，坡度很小時就會在坡度板上流動，安定角很小；而顆粒較大的泥沙在坡度板抬升過程中會先有水流出來，表示排水性較好。
- 三、實驗(三)中發現將安定角較大的中砂加入安定角較小的泥土、細砂及極細礫中等量混合後，泥沙在坡度板上的安定角都增加了；其中的中砂和泥土混合的組別安定角最大，推測可能是顆粒較小的泥土填補了顆粒較大的中砂顆粒間的縫隙，加水後具有黏滯力，使混合後的泥沙形成某種程度的膠結，增加了安定角。
- 四、實驗(四)中發現泥沙鋪設時，有坡腳的土堆安定角較大，但當坡度到達或超過安定角時，大量土石會瞬間掉落，推測應該是整片土石的下滑力已經超過摩擦力，而整片下滑。
- 五、實驗(五)中為探討模擬岩錨的效果，需在順向坡模型底部設置一片珍珠板，插入模擬岩錨時需要插到珍珠板才算設置完成；未來可以針對岩錨插入岩層的深度對順向坡穩定性的影響再繼續探究。
- 六、在研究三震動實驗測試中發現，螺帽掉至平台後有時會往旁邊彈跳可能導致誤差，因此，我們使用一個容器來盛裝掉落的螺帽，並作為掉落時的目標位置，精準操控實驗。
- 七、實驗(六)及(七)中發現螺帽掉落所造成的震動次數越多，及螺帽掉落個數越多震動力量越大時，從斜坡上掉落的泥沙量都會越多。在真實情境中地震發生頻繁，或是交通流量大

的山坡地道路旁，都較有可能發生泥沙的掉落；另外，如果山坡地的泥沙太乾也有可能因為小動物在山坡上活動導致震動而發生土石崩落的情形，近期在南橫公路發生的落石意外可能是如此。

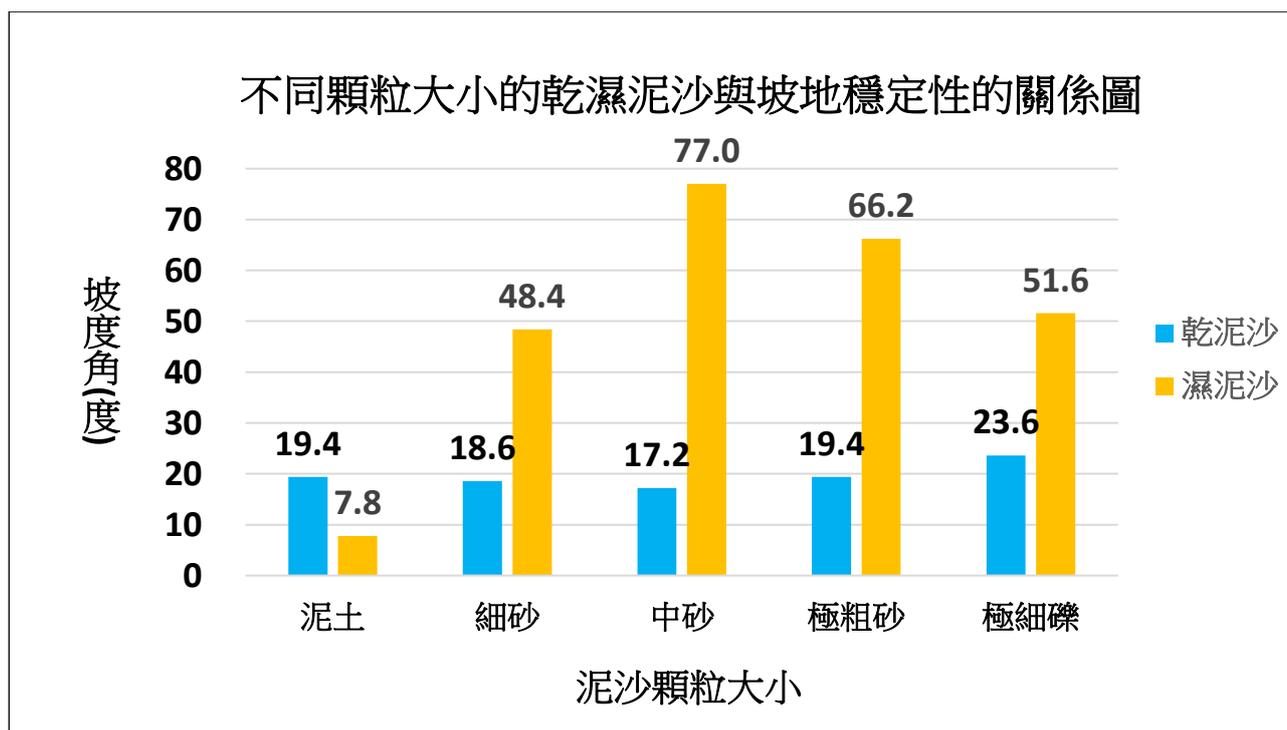
八、實驗發現泥沙在自然斜坡中，當受到震動，一開始會掉落比較多，但隨著震動的次數增加，泥沙掉落的量卻漸漸變少，觀察及推測應該是坡度已經漸漸變小造成的。與實驗(八)坡度實驗的觀測吻合，當坡度越小，掉落的泥沙量就會越少。

九、在實驗(八)中發現當坡度到達自然斜坡的坡度時，地面的震動才會較明顯的影響土石的掉落量，實驗操作中以 35° 的坡度，泥沙的掉落量最多；如果是含水的濕泥沙可能會有膠結的情況，安定角的坡度可能會再更大一點才會大量掉落，不過，當含水量超過泥沙含水量的負荷時可能隨時就會產生土石流。因此，在真實情境的山坡地坡度，當超過 35° 的坡度時，都應隨時留意山坡地狀況。

## 伍、結論

一、臺灣全島面積 2 / 3 以上都是高度超過 100 公尺的山坡地，大約有 50% 的土地，坡度都在 40° 以上。可見臺灣的山坡地眾多且地勢陡峭，因此山坡地災害層出不窮。過去研究得知造成土石崩塌的主因是降雨，其次是人為開發、地震及未做好水土保持等，這些土石崩塌災害的出現通常都不是單一因素造成的。

二、研究發現不含水的乾泥沙中，以顆粒 2-4mm 的極細礫安定角較大，而顆粒 0.21-0.42mm 的中砂安定角較小，但整體差異並不大。



- 三、乾濕泥沙的實驗中比較發現含水的濕泥沙中，除了顆粒較小的泥土外，其他組別的沙礫在含水後都會使其在坡度板上的安定角加大，顯示泥沙中含有適量的水可以加大土石的安全角。其中以顆粒 0.21-0.42mm 的中砂安定角最大，顆粒最小的泥土含水性差，安定角最小。
- 四、研究發現將安定角較大的泥沙種類加入安定角較小的泥沙中混合，可以增加山坡土石的安全角。實驗中將中砂加入安定角較小的泥土、細砂及極細礫中等量混合後，泥沙的安定角都增加了；因此建議可以在某些情境下使用該方法，減少泥沙土石掉落的機會。
- 五、研究發現有坡腳的山坡地，泥沙土石的安全角較大，建議在開發山坡地時盡量不要移除坡腳，並做適當保護，以增加山坡地的安全性。
- 六、透過模擬岩層實驗的操作，我們明顯發現逆向坡的安全角比順向坡的安全角來得大，表示在順向坡的位置土石的安全性較差；而在順向坡面上加上模擬岩錨後，可以使安定角變大，是一種加強順向坡山坡穩定性的方法。
- 七、研究發現螺帽震動的次數越多及震動力量越大時，泥沙的掉落量就越多；因此，推測在真實情境中地震發生頻繁，或是交通流量大的山坡地附近可能出現土石崩塌的情況會較明顯，應當適度的做防範，以免發生災難。
- 八、研究發現山坡坡度達到或超過自然斜坡(約 35°)的坡度時，地面的震動會有較明顯的影響，土石掉落量也會較多；但是如果土石中含有適量的水，可以增加其安定角，或許情況有所不同。因此，在真實情境的山坡，超過 35°坡度的山坡地都應隨時留意土石狀況。

## 陸、參考資料

- 一、于可、邱奕旻、林億和(2019)。水土比一比。中華民國第 59 屆中小學科學展覽會。  
<https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/59/pdf/NPHSF2019-030508.pdf>
- 二、山崩(2022 年 2 月 23 日)。載於維基百科。<https://zh.wikipedia.org/zh-tw/山崩>
- 三、王兆麟(2022 年 4 月 26 日)。中橫關原段又斷！大規模山崩...土石掩埋 200m 至少 5 天才  
能搶通。ETtoday 新聞雲。<https://www.ettoday.net/news/20220426/2237881.htm>
- 四、王咨翔、陳楷洋、顏士程(2021)。「立」挽狂瀾-坡地崩塌現象及防治研究。中華民國第  
61 屆中小學科學展覽會。<https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/61/pdf/NPHSF2021-030503.pdf?0.3818671417210895>
- 五、王燕華、王思惠(2023 年 1 月 2 日)。仍有落石！蘇花大清水隧道嚴重坍方 兩面搶修持  
續推進。聯合報。<https://udn.com/news/story/123080/6905198>
- 六、行政院農業委員會水土保持局-認識山坡地。  
[https://www.swcb.gov.tw/Home/Seo/hillside\\_list?id=82fb2b4905364a53bef5c7c8a36cc115](https://www.swcb.gov.tw/Home/Seo/hillside_list?id=82fb2b4905364a53bef5c7c8a36cc115)

- 七、李潔、吳軒彤(2022年11月2日)。國一汐止段又大坍方 土石埋半輛砂石車。TVBS新聞網。<https://news.tvbs.com.tw/local/1951485>
- 八、何宜信(2023年3月18日)。又是小動物害的！太乾旱緣石少摩擦力 南橫8天3度落石。TVBS新聞網。<https://news.tvbs.com.tw/life/2071879>
- 九、沈宗逸、丁應章、蘇子傑(2013)。「水砂共舞」-探討坡地土壤沖刷之特性。中華民國第53屆中小學科學展覽會。<https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/53/pdf/030505.pdf>
- 十、坡地(2018年6月11日)。載於維基百科。<https://zh.wikipedia.org/zh-tw/坡地>
- 十一、邱瑞杰(2022年10月17日)。汐止汐萬路土石滑落危及民宅 緊急疏散3戶14人。聯合報。<https://udn.com/news/story/7323/6693896>
- 十二、國家災害防治科技中心-災害主題-山崩、土石流(坡地災害潛勢)。<https://dmap.ncdr.nat.gov.tw/1109/disaster-topics/山崩-土石流-坡地災害潛勢/>
- 十三、教育部重編國語辭典修訂本。  
<https://dict.revised.moe.edu.tw/dictView.jsp?ID=130607&la=0&powerMode=0>
- 十四、粒徑(2022年7月12日)。載於維基百科。<https://zh.wikipedia.org/zh-tw/粒徑>
- 十五、莊哲權(2022年10月31日)。臺東規模5.0地震「土石坍方、地板驚現大裂縫」居民嚇到不敢睡。中時新聞網。<https://www.chinatimes.com/realtimenews/20221031004695-260405?chdtv>
- 十六、許祐誠、陳柏展、陳郁翔(2013)。坍與不坍一崩塌地之土粒研究。中華民國第53屆中小學科學展覽會。取自 <https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/53/pdf/030506.pdf>
- 十七、郭世文、林侑輝(2017)。土石流與大規模崩塌災害。科學發展。538期，48-53。  
<https://ejournal.stpi.narl.org.tw/sd/download?source=10610-08.pdf&vId=643285f708424e13a895d7f34a41223a&nd=1&ds=1>
- 十八、陳泓逸(2022年6月8日)。高雄桃源塔拉拉魯芙隧道口傳土石滑落花2小時清除。聯合報。<https://udn.com/news/story/7320/6373198>
- 十九、陳彥廷(2022年6月12日)。疑連日大雨山壁含水量飽和滑動 屏東卡悠峰中午山崩揚塵。自由時報。<https://news.ltn.com.tw/news/life/breakingnews/3957987>
- 二十、黃佳琳(2022年12月6日)。日軍藏寶壽山？挖寶釀土石崩塌 開挖人、軍備局都被判賠。自由時報。<https://news.ltn.com.tw/news/society/breakingnews/4146292>
- 二十一、楊子嫻(2022年7月7日)。非法埋廢棄物釀走山 6個球場面積土石滑。ETtoday新聞雲。<https://www.ettoday.net/news/20220707/2289029.htm>
- 二十二、楊培華等8人(2010年4月26日)。國道3七堵段走山 疑活埋6車。自由時報。  
<https://news.ltn.com.tw/news/focus/paper/390786>
- 二十三、經濟部中央地質調查所-常見問答-造成山崩的因素有那些？  
[https://www.moeacgs.gov.tw/faqs/faqs\\_more?id=5bb03e3e8a794ab09051e7b5bab49357](https://www.moeacgs.gov.tw/faqs/faqs_more?id=5bb03e3e8a794ab09051e7b5bab49357)

- 二十四、臺灣地理(2023 年 1 月 16 日)。載於維基百科。https://zh.wikipedia.org/zh-tw/臺灣地理
- 二十五、劉重均、李靜君、馮毓庭、黃暉竣(2009)。落落大(坍)方---邊坡土石崩塌下滑之探究。中華民國第 49 屆中小學科學展覽會。https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/49/pdf/030508.pdf
- 二十六、編輯中心(2022 年 10 月 16 日)。直擊宜蘭走山！臺七甲線嚴重坍方。NOWnews 今日新聞。  
https://tw.news.yahoo.com/%E7%9B%B4%E6%93%8A%E5%AE%9C%E8%98%AD%E8%B5%B0%E5%B1%B1-%E5%8F%B0%E4%B8%83%E7%94%B2%E7%B7%9A%E5%9A%B4%E9%87%8D%E5%9D%8D%E6%96%B9-094950798.html
- 二十七、蔡沁鵠、張魁元、陳偉傑、黃如羚、蔡沁蓉、李紫菁(2011)。深層崩壞的祕密。中華民國第 51 屆中小學科學展覽會。https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/51/pdf/080513.pdf
- 二十八、鄭貽心、張季晴、林欣蓉(2017)。預測山崩否？以我們的故鄉九份為例。中華民國第 57 屆中小學科學展覽會。https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/57/pdf/051906.pdf
- 二十九、謝冠廷、吳承樺、曾柏鈺、邱笠綸(2018)。坡地土石災難成因的探討－以特富野和觸口為例。中華民國第 58 屆中小學科學展覽會。https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/58/pdf/NPHSF2018-080506.pdf
- 三十、羅亦琳(2022 年 4 月 3 日)。降雨不斷！中橫臺 8 線 117.4K 關原段土石坍方管制通行。中時新聞網。https://www.chinatimes.com/realtimenews/20220403001734-260405?chdtv
- 三十一、蘇宸翰、Daniel Chen、李圓凱(2018)。牆要 double L 邊坡防護更 OK～創新雙層 L 型懸臂式擋土牆邊坡防護效益之探討。中華民國第 58 屆中小學科學展覽會。  
https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/58/pdf/NPHSF2018-030503.pdf



果凍粉秤重



染色及攪拌粉末



堆疊 8 層模擬岩層



製作順向坡模型

## 【評語】 080507

研究主題與減災和生活相關，具社會應用可能。實驗參數設計考量實際狀況，具探究精神。作品與實驗過程完整，詳實整理相關文獻與研究成果，包含歷屆科展的相關研究之調查。另外，海報報告時，藉由清晰的圖例與圖表說明，看出該團隊所有作者對於作品都理解並有所貢獻。

# 作品海報

滾滾沙塵—探討不同因素  
對土石崩塌的影響

# 壹、前言

## 一、研究動機

去年11月初，國道1號發生邊坡坍塌意外，主要是因為連日大雨，使得土石鬆動導致山壁崩塌，大規模的土石傾瀉而下，造成南下車道受阻，不過幸好當時無人員傷亡。回顧13年前，國道3號也曾無預警的發生大規模的山崩，災害當天不僅無風無雨，也沒有發生地震，大量土石卻掩沒國道南北向，還造成人員傷亡。心想：「常聽說下大雨容易造成山壁坍塌，但無風無雨卻也可能使土石鬆動，到底是什麼原因使土石邊坡坍塌呢？」於是，就找了同學一起來進行這個研究。

## 二、研究目的

- (一) 了解臺灣近年邊坡土石崩塌的概況。
- (二) 探討不同模擬條件在坡度變化時的穩定性。
- (三) 探討不同條件對邊坡土石崩塌的影響。
- (四) 提出防範邊坡土石崩塌的建議。



## 三、文獻回顧

作品名稱	主要探討	作品名稱	主要探討	作品名稱	主要探討
「立」挽狂瀾-坡地崩塌現象及防治研究 中華民國第61屆中小學科展國中組	1.不同降雨強度對坡地崩塌影響 2.不同角度及粒徑的坡地在強降雨下崩塌的情形	坡地土石災難成因的探討—以特富野和觸口為例 中華民國第58屆中小學科展國中組	1.特富野及觸口附近野外地質調查 2.探討坡度、降水量、堆積物對坡地崩塌的影響	「水砂共舞」-探討坡地土壤沖刷之特性 中華民國第53屆中小學科展國中組	1.不同因素對沖刷量之影響探討 2.以人工智慧推估沖刷量的多寡並進行實驗對比驗證
水土比一比 中華民國第59屆中小學科展國中組	1.土壤含水量不同與水流侵蝕土石量之關係 2.泥流與土石流發生條件與特徵 3.了解桃園區土石流潛勢溪流成因	預測山崩否？以我們的故鄉九份為例 中華民國第57屆中小學科展高中組	1.探討九份地區潛在山崩因子與發生機制 2.九份地區可能發生潛在危險的山崩災害模型及地區探討	深層崩壞的秘密 中華民國第51屆中小學科展國中組	1.調查獻肚山地質現況及了解深層崩壞的原因 2.獻肚山的地質脆弱的證據探討
牆要double L邊坡防護更OK~創新雙層L型懸臂式擋土牆邊坡防護效益之探討 中華民國第58屆中小學科展國中組	1.了解臺北市邊坡住宅區較多採用的擋土牆工法 2.探討不同型式擋土牆護坡效果 3.擋土牆排水管數量、排列方式及排水孔間距對邊坡防護影響	坍塌不塌—崩塌地之土粒研究 中華民國第53屆中小學科展國中組	1.崩塌地形的判釋方法及田調 2.地形對崩塌之影響 3.各種土壤所能承受水量之程度 4.崩塌與未崩塌之土壤組成及結構	落落大(坍)方--邊坡土石崩塌下滑之探討 中華民國第49屆中小學科展國中組	1.探討接觸面介質、形狀及大小物體重量、物體與接觸面角度、地震波及摩擦力等因素對邊坡下滑的影響

## 貳、研究設備及器材

濾沙篩網 (#5-4.000m/m、#10-2.000m/m、#18-1.000m/m、#40-0.420m/m、#70-0.210m/m)、泥沙、自製坡度觀測板、集沙框、固定夾、壓克力板、電子傾斜儀、手機APP、量筒、量杯、自製震動平台、支架、方盒、量角器、螺帽、電子秤、果凍粉、色素、墊板、鋼杯、計時器、電磁爐。

## 參、研究過程或方法

### 研究一、了解臺灣近年邊坡土石崩塌的概況

從蒐集的資料中發現：高度100公尺以上的山坡地占了全台面積的2/3以上，其中坡度在10°以下的只有34%，坡度在40°以上卻佔了約50%的土地；可見臺灣的山坡多且地勢陡峭，因此山坡地災害才會層出不窮。而根據相關報導資料也得知：「降雨」是造成土石崩塌的主要原因，尤其是連續的降雨或強降雨，其次是人為的開發、地震及未做好水土保持等原因。

由於過去的科展研究已經大量針對降雨及坡度對土石崩塌的影響進行探討，因此，本研究主要針對順(逆)向坡及地震(或震動)的變因條件，進行實驗操作討論。由於使用之材料模擬與真實情境無法完全相同，所以先針對不同模擬材料及情境下，土石在坡度變化時的穩定性進行觀測，以了解實驗材料特性，做為後續實驗操作之參考。

### 研究二、探討不同模擬條件在坡度變化時的穩定性

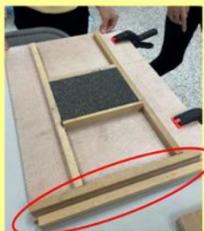
#### (一) 泥沙準備

名稱	泥土	細砂	中砂	極粗砂	極細礫
泥沙顆粒	0.21mm 以下	0.21mm 以下	0.21-0.42mm	1-2mm	2-4mm



網目不同的篩網

#### (二) 自製坡度觀測板 55cm×40cm



坡度觀測板及底板固定邊條



將泥沙鋪平，準備操作鋪沙區--長20cm、寬15cm、高1.5cm



泥沙開始掉落，觀測是否超過標線

#### (三) 觀測記錄方式

1. 操作：慢慢將坡度板抬升，當泥沙掉落超過觀測標線時，即停止抬升並將坡度板固定。
2. 記錄：開啟手機APP(測斜儀量角器)並放置在斜板上，記錄此時坡度板傾斜角度。
3. 安定角定義：表示該泥沙條件在坡度板上穩定不崩落之臨界角度，後續實驗使用做為觀測項目。



利用手機APP，測量坡度板角度

#### (四) 濕泥沙含水控制

使用量杯裝1000cm<sup>3</sup>的泥沙量倒入盒內，再加入600mL的水後均勻混合，成為待用不同顆粒大小的濕泥沙



0.21mm以下泥土



0.21mm以下細砂



0.21-0.42mm中砂



1-2mm極粗砂



2-4mm極細礫

#### (五) 濕泥沙鋪設



自製集沙框 長17cm、寬14cm、高1.5cm



坡度觀測板上的鋪沙區



在集沙框內鋪設濕泥沙



移除集沙框，準備實驗操作

## 實驗(一) 不同顆粒大小的乾泥沙對坡地穩定性影響

顆粒大小 次數 坡度	0.21mm以下 (泥土)	0.21mm以下 (細砂)	0.21-0.42 mm(中砂)	1-2mm (極粗砂)	2-4mm (極細礫)
第一次	19	19	16	18	23
第二次	17	19	18	20	25
第三次	20	18	18	19	23
第四次	20	18	17	20	25
第五次	21	19	17	20	22
平均	19.4	18.6	17.2	19.4	23.6



### ※結果與討論：

單位：度

1. 發現泥沙顆粒較大的2-4mm極細礫，安定角較大；而0.21-0.42mm中砂的安定角最小，其次是0.21mm以下的細砂。
2. 發現泥沙顆粒較大的極細礫，雖然安定角較大，但是當超過安定角時，會較大量崩落，推測應該是顆粒較大較重的關係。
3. 發現較小顆粒的泥土，安定角卻比細砂及中砂還大，推測應該是泥土本身的重量較輕的關係。

## 實驗(二) 不同顆粒大小的濕泥沙對坡地穩定性影響

顆粒大小 次數 坡度	0.21mm以下 (泥土)	0.21mm以下 (細砂)	0.21-0.42 mm(中砂)	1-2mm (極粗砂)	2-4mm (極細礫)
第一次	8	49	79	63	48
第二次	6	48	73	70	56
第三次	8	47	80	66	50
第四次	9	50	78	68	53
第五次	8	48	75	64	51
平均	7.8	48.4	77.0	66.2	51.6



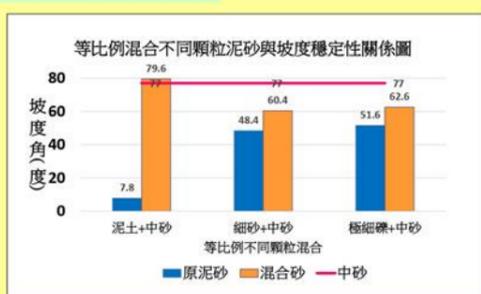
### ※結果與討論：

單位：度

1. 發現濕泥沙中顆粒較大的1-2mm極粗砂及2-4mm極細礫含水量較少、排水量較多，其中以較大顆粒2-4mm極細礫的安定角較小。
2. 發現顆粒0.21-0.42mm大小的中砂含水量較多、排水量較少，安定角最大，代表在坡度板上最為穩定。
3. 發現顆粒最細小的泥土會與水混合後形成泥水流動，當含水較多時易導致泥流，安定角也因此變得很小。
4. 發現濕泥沙當坡度抬升時通常水會先流下來，之後泥沙才會開始慢慢滑落；崩落時會先從坡腳處開始以塊狀泥沙掉落，當超過安定角時便會大量崩落。

## 實驗(三) 混合不同顆粒大小的泥沙對坡地穩定性影響

顆粒大小 次數 坡度	0.21mm以下+ 0.21-0.42mm混合 (泥土+中砂)	0.21mm以下+ 0.21-0.42mm混合 (細砂+中砂)	2-4mm+0.21- 0.42mm混合 (極細礫+中砂)
第一次	85	63	66
第二次	78	62	60
第三次	80	61	61
第四次	73	57	64
第五次	82	59	62
平均	79.6	60.4	62.6



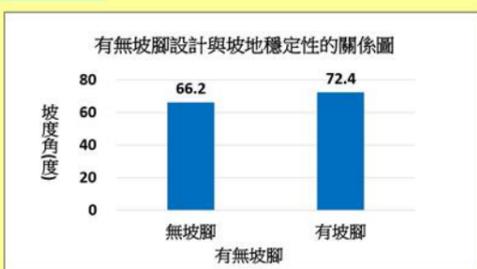
### ※結果與討論：

單位：度

1. 發現原先安定角較小的泥土、細砂及極細礫，加入安定角較大的中砂等量混合，混合後的泥沙安定角都比單一顆粒的泥土、細砂及極細礫的安定角還大。
2. 發現中砂和泥土混合後的安定角還比單一中砂的安定角大，推測可能是在等量混合後，顆粒較小的泥土填補了顆粒較大的中砂顆粒間的縫隙，加水後具有黏滯力，使混合後的泥沙形成某種程度的類膠結，因而增加了安定角。

## 實驗(四) 有無坡腳設計對坡地穩定性影響

有無坡腳 次數 坡度	1-2mm(極粗砂) 無坡腳	1-2mm(極粗砂) 有坡腳
第一次	63	70
第二次	70	73
第三次	66	72
第四次	68	76
第五次	64	71
平均	66.2	72.4



### ※結果與討論：

單位：度

1. 發現泥沙鋪設有坡腳時的安定角較大，無坡腳的安定角較小。
2. 雖然有坡腳的土堆安定角會較大，但是當它超過安定角時，大量土石會瞬間掉落，推測應該是整片土石的下滑力已經超過摩擦力，而整片下滑。

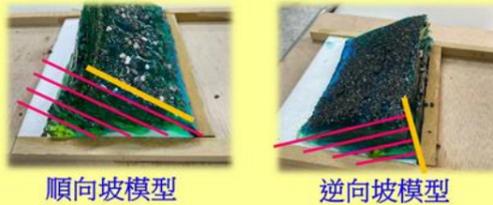
## 進一步研究

### (一) 模擬岩層準備

以果凍粉製作  
模擬岩層



### (二) 模型製作

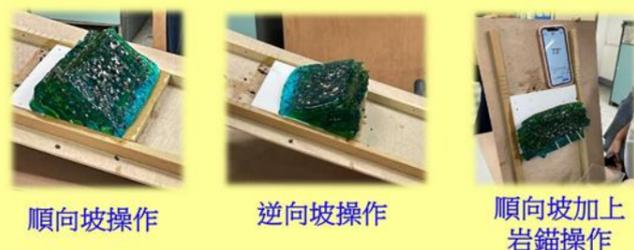
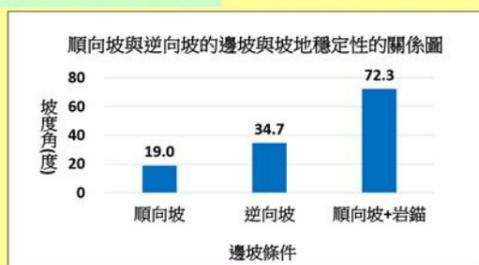


### (三) 模擬岩錨



## 實驗(五) 順向坡與逆向坡的邊坡對坡地穩定性影響

邊坡條件 次數 坡度	順向坡	逆向坡	順向坡+岩錨
第一次	20	34	73
第二次	19	34	68
第三次	18	36	76
平均	19.0	34.7	72.3



### ※結果與討論：

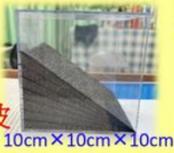
單位：度

1. 發現當模擬岩層是順向坡時，觀測到安定角較小；模擬岩層是逆向坡時，安定角較大。
2. 發現在順向坡的模擬岩層上，插入模擬岩錨的竹籤時，觀測到安定角會變得很大。
3. 為較符合真實情境的山坡地岩層，我們在模擬岩層的製作過程分別撒上極粗砂及極細礫，用來增加果凍模擬岩層的摩擦力；也利用藍、黃色作為不同岩層的區分，提升實驗的觀測及記錄的方便性。

### 研究三、探討不同條件對邊坡土石崩落的影響

#### (一) 泥沙準備

使用中砂形成約35°的自然斜坡



#### (二) 螺帽重物

一個重約35克



#### (三) 震動平台及器材配置



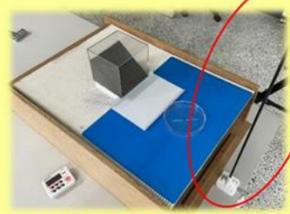
55cm×40cm×15cm 震動平台設計



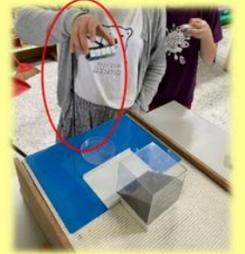
震動平台底部設置彈簧

### 實驗(六) 不同的震動次數對土石崩落的影響

震動次數 掉落量	2次	4次	6次	8次	10次
第一次	61.0	79.0	100.3	113.4	116.8
第二次	60.0	77.5	95.3	115.7	120.5
第三次	56.3	77.2	97.2	109.6	119.1
第四次	58.3	80.6	94.9	106.5	123.4
第五次	59.8	78.8	99.7	111.3	125.8
平均	59.1	78.6	97.5	111.3	121.1



器材配置(右側有立架)



操作-固定高度使螺帽掉落

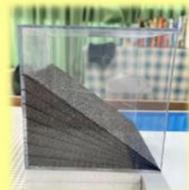
※結果與討論：

單位：克

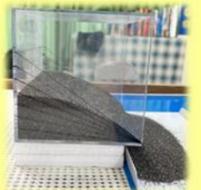
1. 發現螺帽重物掉落所造成的震動次數越多，從斜坡上掉落的泥沙量就越多；震動次數越少，從斜坡上掉落的泥沙量就越少。
2. 發現泥沙在自然斜坡中，當受到震動，一開始會掉落比較多，但隨著震動的次數增加，泥沙掉落的量卻漸漸變少，觀察及推測應該是坡度已經漸漸變小造成的。

### 實驗(七) 不同的震動力量對土石崩落的影響

螺帽個數 掉落量	1個	2個	3個	4個	5個
第一次	34.9	65.7	100.3	103.6	122.6
第二次	31.0	69.1	95.3	105.0	120.7
第三次	35.5	70.0	97.2	112.6	121.4
第四次	38.9	64.2	94.9	110.5	115.5
第五次	35.6	68.7	99.7	109.8	118.4
平均	35.2	67.5	97.5	108.3	119.7



操作前



操作後

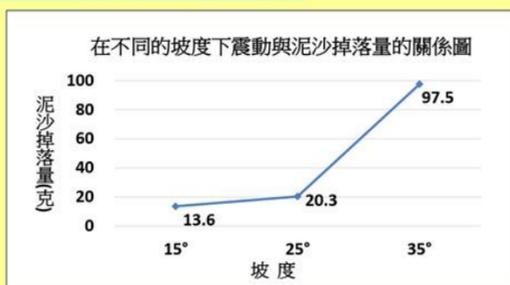
※結果與討論：

單位：克

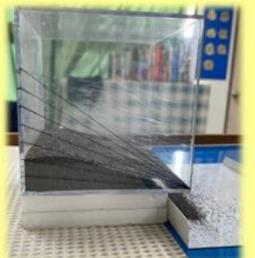
1. 發現螺帽重物掉落個數越多，表示震動力量越大，從斜坡上掉落的泥沙量就越多；震動力量越小，從斜坡上掉落的泥沙量就越少。
2. 發現震動過程中，斜坡面下半部靠近坡腳處會維持固定坡度，但上半部泥沙量會減少許多使坡度明顯變緩，而且隨著震動力量較大時，斜坡面上半部坡度變緩的區域就越大，也就是土堆高度降低許多。

### 實驗(八) 不同坡度受到震動後對土石崩落的影響

坡度 掉落量	15°	25°	35°
第一次	13.6	19.5	100.3
第二次	13.6	18.6	95.3
第三次	13.8	19.3	97.2
第四次	13.2	23.7	94.9
第五次	13.8	20.6	99.7
平均	13.6	20.3	97.5



操作中-螺帽重物掉落



坡度15°的組別操作

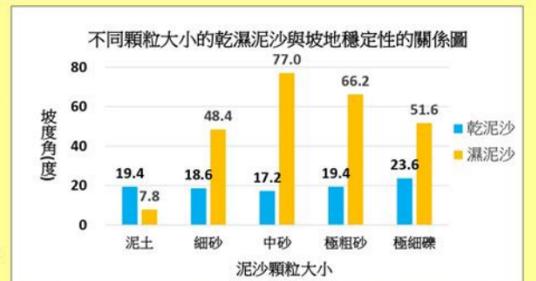
※結果與討論：

單位：克

1. 發現泥沙坡度越大，當受到震動時，從斜坡上掉落的泥沙量就越多；坡度越小，掉落的泥沙量就越少。
2. 發現當坡度到達自然斜坡的最大坡度時，地面的震動才會較明顯的影響土石掉落量，實驗操作中以35°的坡度，泥沙的掉落量最多；但因為是乾沙，因此無法再鋪成更大的角度進行探討。

## 肆、結論

- 一、資料得知臺灣全島面積2 / 3以上都是高度超過100公尺的山坡地，大約有50%的坡度都在40°以上。可見臺灣山坡多且地勢陡峭，因此山坡地災害層出不窮。過去研究得知造成土石崩塌的主因是降雨，其次是人為開發、地震及未做好水土保持等，這些土石崩塌災害的出現通常都不是單一因素造成的。
- 二、研究發現不含水的乾泥沙中，以顆粒2-4mm的極細礫安定角較大，而顆粒0.21-0.42mm的中砂安定角較小，但整體差異並不大。
- 三、乾濕泥沙的實驗比較發現含水的濕泥沙中，除了顆粒較小的泥土外，其他組別的沙礫在含水後都會使其在坡度板上的安定角加大，顯示泥沙中含有適量的水可以加大土石的安定角。其中以顆粒大小0.21-0.42mm的中砂安定角最大，顆粒最小的泥土含水性差，安定角最小。
- 四、研究發現將安定角較大的泥沙種類加入安定角較小的泥沙中混合，可以增加山坡土石的安定角。實驗中將中砂加入安定角較小的泥土、細砂及極細礫中等量混合後，混合後的泥沙安定角都增加了；因此建議可以在某些情境下使用該方法，減少泥沙土石掉落的機會。
- 五、研究發現有坡腳的山坡地，泥沙土石的安定角較大，建議在開發山坡地時盡量不要移除坡腳。
- 六、透過模擬岩層實驗，明顯發現順向坡安定角比逆向坡安定角來得小，表示在順向坡位置土石的穩定性較差；而在順向坡面上加上模擬岩錨後，可以使安定角變大，是一種加強順向坡山坡穩定性的方法。
- 七、研究發現螺帽震動的次數越多及震動力量越大時，泥沙的掉落量就越多；因此，推測在真實情境中地震發生頻繁、或是交通流量大的山坡地附近可能出現土石崩塌的情況會較明顯，應適度做防範。
- 八、研究發現山坡坡度到達或超過自然斜坡(約35°)的坡度時，地面的震動會有較明顯影響土石掉落，土石掉落量也會較多；因此，在真實情境中，超過35°坡度的山坡地都更應該隨時留意土石狀況。



## 伍、參考資料(略)