

中華民國第 58 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國中組 地球科學科

團隊合作獎

030503

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

學校名稱：臺北市立天母國民中學

作者： 國一 蘇宸翰 國一 Daniel Chen 國一 李圓凱	指導老師： 王禮章 張硯茶
---	-----------------------------

關鍵詞：double L 創新雙層懸臂式擋土牆、
護坡效益、排水與排沙

摘要

本作品旨在探究擋土牆的形式以及排水管兩部分對護坡效益的影響。所謂的「護坡效益」在研究中的操作者定義是「排水量最多；同時排沙量最少」。研究結果如下：

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，在單次降雨中，過多的排水管對排水量的增加沒有顯著差異，反而增加施工成本並減少擋土牆的剛性建材，減弱結構強度。
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. 擋土牆的材料若以既能吸水，又能排水的材質施作牆鋪面，更能有效防護邊坡。

壹、研究動機

去年暑假，正當我們要依照原先預定的環台旅遊行程開心出遊之際，卻非常不湊巧的遇上 50 年首見的「雙陸警--海棠、尼莎」雙颱風連襲，精心規劃的美好假期泡湯不說，住在南部的阿公家更是飽受水淹之苦。

年年來襲的颱風，雖然是臺灣紓解旱象、水情進帳的重要管道，但重要回顧過往，造成的災情也讓災區民眾承擔「不可承受之重」，財務上的損失就已經夠苦的了，若再加上屋損、傷亡，這種風災過後、家破人亡、天倫夢碎的可怕情景，任誰都不希望發生。

臺灣許多住宅地處邊坡，颱風、豪大雨來襲時，邊坡擋土牆是否穩固，能否發揮保障居民深加安全的功效，在暑假旅遊泡湯之後，引發我們的研究動機，想對對擋土牆的結構、形式、排水設施做更深入的探討，期許我們能找到邊坡防護效益更佳，讓坡地住宅區的民眾住得更安心的方法。

教材相關性：康軒版國中自然生活與科技

- 1.第 2 冊單元 6「人類與環境」
- 2.第 6 冊單元 3「千變萬化的天氣」
- 3.第 6 冊單元 4「永續發展」

貳、研究目的

在提高擋土牆防護邊坡效益的主旨下，本研究希望透過實驗，以及各項變因的探討，期許達到以下目的：

- 一、實地勘查臺北市曾發生土石流災情，及邊坡滑動地區，採集災區土樣、測量邊坡傾斜角度，分析環境條件與土質成份，了解災情的潛在因素。
- 二、分析文獻，訪問臺北市工務局大地工程處，了解臺北市邊坡住宅區較多採用的擋土牆工法。
- 三、以自創的綜合式擋土牆，以及 L 型懸臂式、半重力式、乾砌卵石、漿砌卵石、蛇籠式共計 6 種擋土牆，進行第一階段護坡實驗，比較在相同土質成分、降雨量、邊坡傾斜坡度等控制變因下，哪種擋土牆護坡時間最長。
- 四、挑選第一階段實驗勝出護坡時間最長的擋土牆，予以設計改良成新式擋土牆，再與傳統擋土牆進行第二階段護坡時間比較。
- 五、針對第二階段勝出的擋土牆，進行第三階段排水系列實驗，探討擋土牆排水管數量對防護邊坡效益的影響。
- 六、探討排水管排列方式對防護邊坡效益的影響。
- 七、探討排水管排水孔間距對防護邊坡效益的影響。
- 八、依據實驗結果，針對邊坡擋土牆之形式、排水管數量、排水管排列方式、排水孔之設置，提出具體建議，做為防護邊坡施工之參考。

參、研究設備與器材

本研究所使用之設備與器材如圖 1。

		篩號(mm) #4 (4.75) #8 (2.36mm) #16 (1.18mm) #30 (0.6mm) #50 (0.3mm) #100 0.15mm	
細料搖篩機 (90 下/分, 轉速 290RPM)		標準篩網	
			
實驗裝置擋土牆		雨量筒	
			
平板 APP : ON 水平儀	採集土樣	調配模擬土樣 3 種沙土	
			
膠泥、冰棒棍	尺、菜刀、砧板	土壤乾濕度檢測儀	
			
電鑽	鏟子、抹泥板	電子秤	
			
六段式澆水器、水管	彈珠、排水孔濾網		

圖 1 研究設備與器材

肆、研究過程與方法

一、前導研究 pilot study

(一) 查詢臺北市曾發生土石流、邊坡滑動地區

本研究主要的參考文獻：「兩來樹擋水來管通～降雨、地震、邊坡、防災之探討」，以四獸山為主要勘查地點。本研究決定進一步提高精確度，鎖定真實在臺北市發生過土石流災情之地區為



圖 2 行政院土石流防災資訊網擷取畫面

研究環境，並以該區之土質成分調配擬真的實驗樣本。研究成員對蘇迪勒颱風造成文山區土石流的災情報導猶有記憶，故以「土石流 文山區」為關鍵字在 google 新聞搜尋，查得相關線索。再進一步上「行政院土石流防災資訊網」/災害紀實網頁（如圖 2），查得在文山區福興路 116 號確有此筆災情，故決定至該區實地勘查。

(二) 訪問專業單位：臺北市政府工務局大地工程處坡地住宅科

經訪問得知，臺北市於 102 年將 10,457 筆人工邊坡完成調查，並進行分級管理如表 1。

表 1 臺北市山坡地人工邊坡調查結果

類別	狀態	數量/筆	百分比	處理對策
第一類	有立即危險之虞	9	0.02%	維護義務人應緊急補強及補強後追蹤監測
第二類	有潛在危險	45	0.25%	維護義務人應安全鑑定及定期監測
第三類	有明顯徵兆	89	0.73%	但尚無危險之虞 維護義務人應定期監測追蹤評估
第四類	有輕微徵兆	4,924	41.71%	維護義務人應定期目視觀察
第五類	沒有異常徵兆	5,390	57.29%	維護義務人應不定期目視觀察

再者，北市山坡地人工邊坡需改善樣態，主要為混凝土剝落、龜裂、牆面突出及鋼筋外露等四種，比例佔近 9 成，如圖 3；而護坡的施工方式經統計如圖 4。

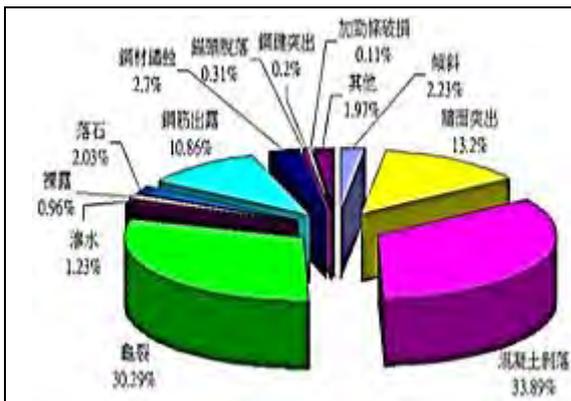


圖 3 臺北市山坡地人工邊坡需改善樣態

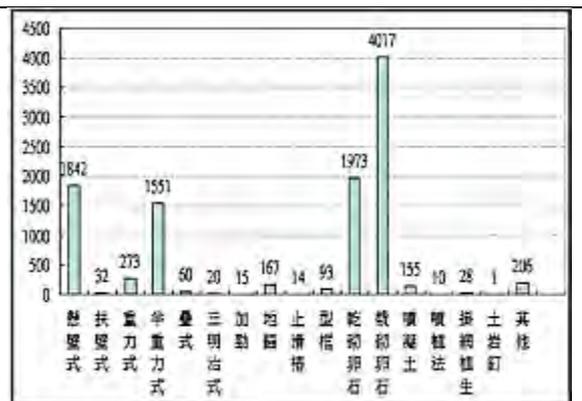


圖 4 臺北市山坡地人工邊坡類型

(三) 實地勘查

1. 篩選勘查地點：

由於臺北市文山區福興路 116 號是「行政院土石流防災資訊網」登記有案的災害記錄，故列為勘查首選標的。再以此標地點為中心，於 google 地圖上「衛星模式」檢視鄰近坡地道路，在「大地工程處/人工邊坡查詢」（如圖 5），得知景華街有風險等級第二類¹的危險邊坡，一併前往勘查，並於採集點各採取 2000g 土樣送檢。



2. 勘查結果如下：



¹ 訪問邊坡住宅科股長得知：經過輔導地主配合工務局施工，將危險邊坡予以結構補強，臺北市截至 107 年底，已經無第一類高風險等級的邊坡。

(四) 文獻探討：

我們在科展群傑廳以「土石流」、「邊坡」、「擋土牆」為關鍵詞搜尋，查得相關文獻 15 篇，逐一詳讀後，篩選其中 2 篇與本研究相關性高的作品做交叉分析，比較結果如表 2

表 2 與本研究相關性高之歷屆科展作品分析比較表

作品	落落大(坍)方---邊坡土石崩落下滑之探究	紅色警戒	
摘要	<p>土石流依土石組成的粒徑特性可分類為礫石型土石流、一般型土石流及泥流型土石流。研究結果顯示礫石型土石組成吸水性差，激發此類型土石流的主因是瞬間的豪雨快速滙集河道產生強烈推力而非含水量；一般型土石流具相當程度的吸水性，同時因土體間隙較大水分下滲較泥流型為快，當含水量達到飽和時會出現土體下滑現象，此時若有較大雨勢即可能在 30° 坡度引發土石流，含水量愈多發生區坡度愈小；泥流型土石流有最大的吸水性及飽和含水量，因土體間隙較密水分下滲較慢，前期雨量(累積雨量)為激發泥流型土石流的主因。</p> <p>本次研究五條潛勢溪流除新社東興溪屬泥流型外，其餘四條皆屬偏礫石型。根據第九河川局所提供潛勢溪相關地文資料進行礫石型土石流條件因子分析，結果顯示大興南清水溪再度發生嚴重土石流機會仍為最高，而與花蓮市民生活最親近的七腳川溪河川推力與土石含量皆不小，應是需加強監控與大雨優先撤離的潛勢溪流。</p>	<p>坡度超過 35° 最好不要住人，更不宜開發或變更為住宅區。實驗結果顯示，終極下滑坡度 35° 左右，只要負載過重、地震、雨量過多或水土保持不好時，35° 以上坡度必下滑。</p> <p>原以為增加摩擦力可防止土石下滑，實驗發現，負載重量到某個程度之後，增加摩擦力對於防治邊坡土石下滑無效。</p> <p>貓纜方面，發現插上支架的岩盤，下滑角度會下降很多。另外從電視畫面看到，T16 纜車支架坡度超過 40°，若支架沒有深入岩盤，一旦岩層一有破碎會導致下滑。</p>	
研究歷程	  <p>模擬岩塊在腐植土、濕土、碎屑岩層（以蘇打餅乾模擬）上的下滑情形</p>	 <p>水土比 4/40 攪拌土石相</p>	 <p>水土比 13/40 時土石流</p>
部分擷取	  <p>模擬貓纜鐵柱與岩盤下滑情形，鐵柱在相同重量、下滑條件、接觸介面，橫/直放置對下滑程度的影響</p>	 <p>水土比 4/40 崩塌瞬間</p>	 <p>水土比 10/40 崩塌瞬間</p>

二、實驗設計

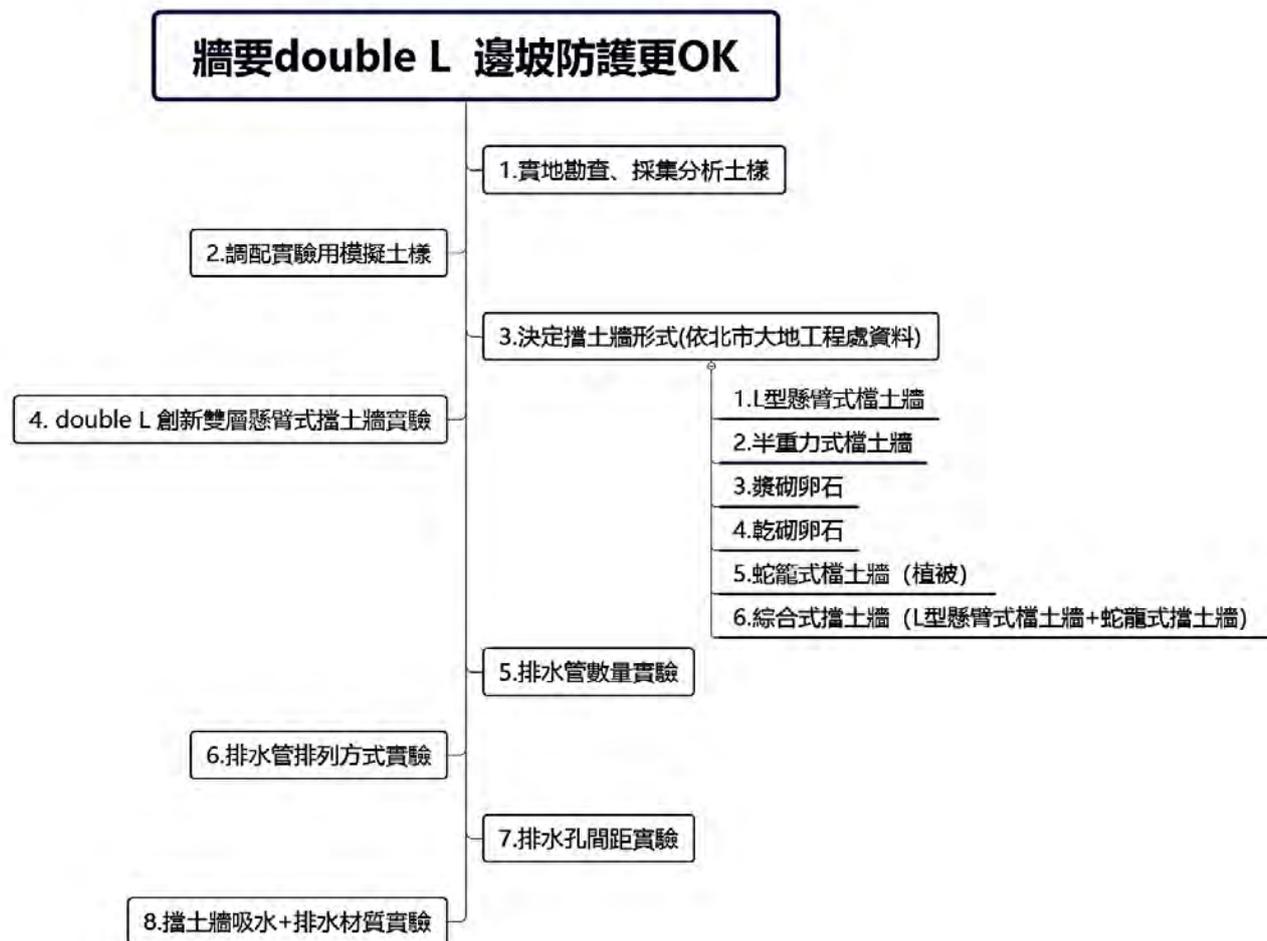


圖 15 實驗設計圖

三、分析土樣、調配實驗用模擬土

因分析土樣成分需專業設備，經接洽國立臺灣科技大學營建工程所獲得允許，我們親送土樣至研究所，在教授、碩士班學長指導下，將土樣予以烘乾、敲碎、搖篩，得到土樣分析結果如表 3，由於景華街 92 號於勘查時已有崩塌事實，故選取該區土樣（細度模數：2.44）調配實驗用模擬土石。

表 3 景華街 92 號土樣細度模數

篩號	粒徑 (mm)	weight retained (g)	停留百分率(%)	累積停留百分率(%) (CPGT)	累積通過百分率(%) (CPFT)	經教授指導，將實驗用模擬土簡化為石、砂、土 3 種，並在每 1000g 中，依照如下比例調配		
#4	4.75	175.8	35.18	3.49	96.51	實驗用模擬土		
#8	2.36	142.7	28.56	32.05	67.95			
#16	1.18	70.7	14.15	46.20	53.80			
#30	0.6	25.3	5.06	51.26	48.74	篩號	類別	重量 (g)
#50	0.3	16	3.20	54.46	45.54	#4 以上	石	351.8
#100	0.15	12.2	2.44	56.90	43.10	#4-#100	沙	534.1
底盤		57	11.41	68.31	31.69	#100 以下	土壤	114.1
景華街 92 號土樣細度模數：2.44						總重量 1000g		

四、實驗過程：

我們依據臺北市工務局大地工程處統計，選用臺北市邊坡擋土牆最多的型式，分別為：懸臂式、半重力式、漿砌卵石、乾砌卵石列入實驗設計，再加上符合生態工法的蛇籠式擋土牆，並自行設計新式「綜合型擋土牆（結合懸臂式與蛇籠工法）」，共計 6 種擋土牆，在刻意不設計排水設施的情況下，模擬降下超大豪雨時，6 種擋土牆的護坡能力。（降雨強度符合中央氣象局 500mm/24h 以上）

※前置作業：製作擋土牆模型

●製作擋土牆底板：

用膠泥將擋土牆之趾板與踵板簡化，製作一塊長、寬、高各為 46*5*1（cm），總重量為 500g 的長方體底板，內部放置 5 根冰棒棍，模擬擋土牆內的鋼筋建材（如圖 16），且此底板為控制變因，六種擋土牆的底板皆為此規格。



圖 16 製作擋土牆底板

●製作擋土牆牆面

分別用以下材料，做出 6 種長、厚、高各為 46*1*9（cm），總重量 500g 之長方體擋土牆牆面，擋土牆總重量為 1000g（如圖 17-圖 22）。

<p>圖 17 L 型懸臂式擋土牆 材料：膠泥+冰棒棍*5</p>	<p>圖 18 半重力式擋土牆 材料：膠泥+冰棒棍*5</p>	<p>圖 19 漿砌卵石式擋土牆 材料：膠泥</p>
<p>圖 20 乾砌卵石式擋土牆 材料：膠泥</p>	<p>圖 21 蛇籠式擋土牆 材料：彈珠、排水孔濾網</p>	<p>圖 22 自創懸臂蛇籠綜合擋土牆 材料：膠泥、彈珠、排水孔濾網</p>

製作擋土牆歷程如下：



(一) 實驗一、六種擋土牆護坡堅固度實驗

1-1：L 型懸臂式擋土牆堅固度實驗

實驗步驟：

- (1) 將總重量 1000g 的 L 型懸臂式擋土牆（如圖 17）置入實驗裝置箱。
- (2) 將模擬土樣 32kg 置入實驗箱內、擋土牆後方（如圖 26）。
- (3) 用抹泥板將邊坡調整至坡高 60°，如圖 27（允許誤差值 ± 2 度）。
- (4) 用六段式灑水器澆水從實驗箱上方澆水，模擬「超豪大雨」降水條件，直至擋土牆崩塌為止（如圖 28），記錄擋土牆在邊坡土石滑動後的耐重時間。
- (5) 重複步驟 1~4 四次，計算平均崩塌時間。



1-2：半重力式擋土牆堅固度實驗

實驗步驟：

- (1) 將半重力式擋土牆置入實驗裝置箱（如圖 18）。
- (2) 其餘步驟同實驗 1-1. L 型懸臂式擋土牆之步驟 2~5，記錄 5 次崩塌時間（圖 29）。

1-3：漿砌卵石擋土牆堅固度實驗

實驗步驟：

- (1) 把漿砌卵石擋土牆置入實驗裝置箱（如圖 19）。
- (2) 其餘步驟同實驗 1-1. L 型懸臂式擋土牆之步驟 2~5，記錄 5 次崩塌時間（圖 30）。

1-4：乾砌卵石擋土牆堅固度實驗

實驗步驟：

- (1) 把乾砌卵石擋土牆置入實驗裝置箱（如圖 20）。
- (2) 其餘步驟同實驗 1-1. L 型懸臂式擋土牆之步驟 2~5，記錄 5 次崩塌時間（圖 31）。

1-5：蛇籠式擋土牆堅固度實驗

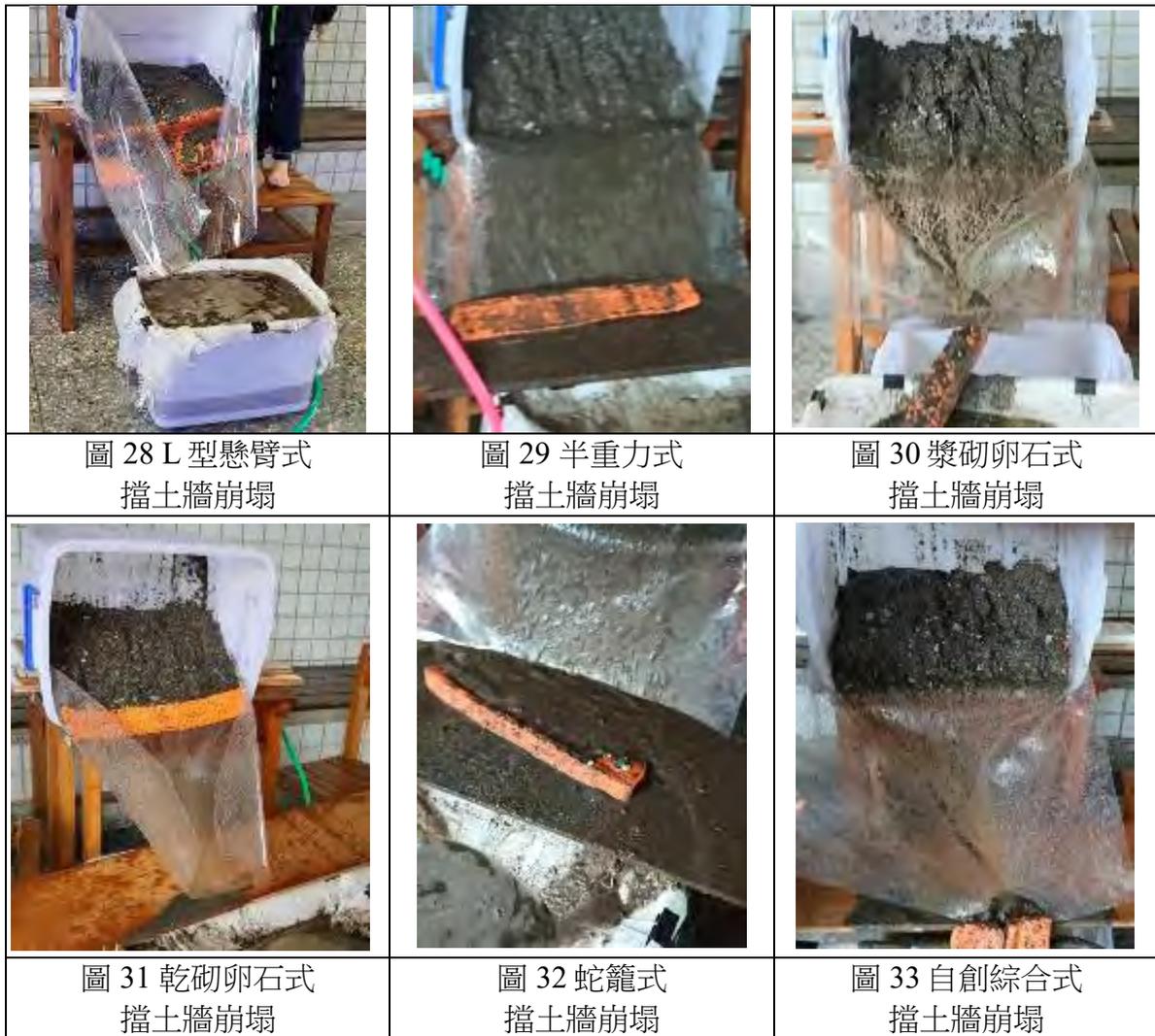
實驗步驟：

- (1) 將蛇籠式擋土牆置入實驗裝置箱（如圖 21）。
- (2) 其餘步驟同實驗 1-1. L 型懸臂式擋土牆之步驟 2~5，記錄 5 次崩塌時間（圖 32）。

1-6：綜合式擋土牆堅固度實驗（自行研發設計：結合懸臂式與蛇籠式擋土牆）

實驗步驟：

- (3) 將綜合式擋土牆置入實驗裝置箱（如圖 22）。
- (4) 其餘步驟同實驗 1-1. L 型懸臂式擋土牆之步驟 2~5，記錄 5 次崩塌時間（圖 33）。



（二）實驗二、創新「雙 L 型懸臂式擋土牆」護坡護坡堅固度實驗

依據一階段實驗結果，選取勝出的懸臂式擋土牆進行第二階段實驗，我們發揮創意，將原本單純 L 型的擋土牆，自行設計改良出新式的「雙 L 牆面」形式，再依據「高牆」、「矮

牆」不同擺放方式，研發 2 款新式「雙 L 懸臂式擋土牆」（圖 35、36），規格說明如下：



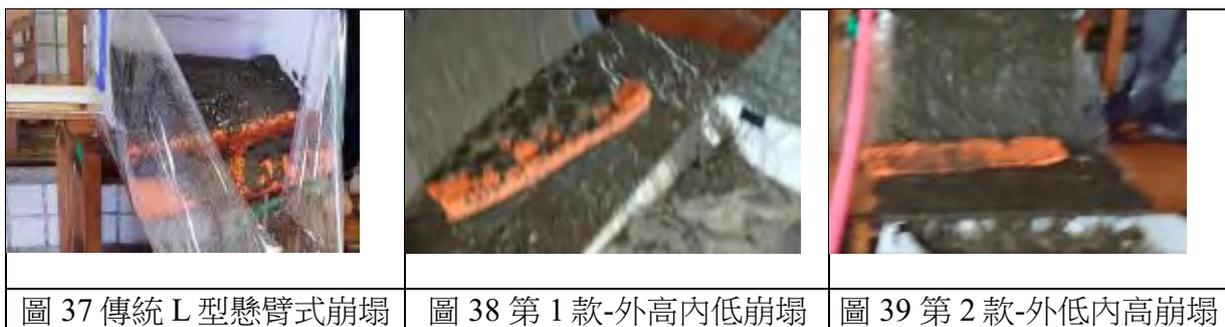
擋土牆規格：

牆底：46*8*1+6 支（長*寬*厚）；模擬鋼筋：6 支，底重 800g

外牆：高 9 cm + 4 支模擬鋼筋；內牆高：4 cm + 2 支模擬鋼筋，牆重 1200g

實驗步驟：

- (1) 將傳統 L 型懸臂擋土牆增加材料至 2000g，再將擋土牆置入實驗裝置箱內。
- (2) 其餘步驟同實驗 1-1 L 型懸臂式擋土牆之步驟 2~5，記錄 5 次崩塌時間（圖 37）。
- (3) 將第一款外高內低的雙 L 擋土牆置入實驗裝置箱內。
- (4) 其餘步驟同實驗 1-1 L 型懸臂式擋土牆之步驟 2~5，記錄 5 次崩塌時間（圖 38）。
- (5) 將第二款外低內高的雙 L 擋土牆置入實驗裝置箱內。
- (6) 其餘步驟同實驗 1-1 L 型懸臂式擋土牆之步驟 2~5，記錄 5 次崩塌時間（圖 39）。



（三）實驗三、排水管數量實驗

本實驗針對排水管數量做定量探討，以得知排水管數量多寡對擋土牆護坡效益的影響。在實驗前，對於「護坡效益」實驗者界定的的操作型定義，以及排水管設置、降雨方式改為「噴霧式緩降雨」加以說明：

1. 護坡效益定義：

本研究所指的護坡效益最佳，是指在施工成本、土質條件、降雨條件、擋土牆施作建材.....等因素均為為控制變因的前提下，每一次強降雨時，擋土牆的排水量越多；同時排沙量越少，即為護坡效益越好，這是本研究的操作型定義。

2. 排水管數量增減時設置方式說明：

- * 因擋土牆牆面長 46cm，將擋土牆左右邊緣各留 2cm 距離，取中間值在 21cm 處設置上排第 1 根排水管，每間隔 2cm 依序向左、右增設，完成後上排安置 13 根排水管；下排則在兩排水孔中間設置排水管，共計 25 根排水管（如圖 40、41）。
- * 每次實驗逐步減少 4 根排水管，分別操作 21 根、17 根、13 根、9 根排水管，做定量探討，測量其排水量與排沙量（如圖 43~46）。
- * 為了避免實驗中反覆增、刪排水管，導致模擬檔土牆的結構被變更，故排水管數量減少時，不採取抽出排水管的方式，而是將實驗設計中不排水的孔洞以膠泥塞住，使其強制無法排水。

3. 噴霧式緩降雨備註說明：

- * 實驗一、實驗二為得知 6 種擋土牆在「超豪大雨」的降水條件下，擋土牆於邊坡土石發生滑動之耐受程度，所以我們以最大水量模擬降雨。從實驗三起為排水管系列實驗，需要收集精確的排水量，若降雨速度太快，實驗箱內的積水量大，容易導致逕流雨水誤流入排水箱，造成實驗誤差，故決定從本實驗起，降雨方式改為置於箱內降雨，且降雨強度改為噴霧式降雨（六段式噴水器之最小出水量）。
- * 在此降雨條件下，5 分鐘平均降雨高度 431.5 mm，平均降雨量 4277ml，符合中央氣象局超大豪雨之標準（500mm/24h）。

（四）實驗四、排水管數量對「外高內低雙 L 擋土牆」護坡效益之影響

實驗步驟：

- (1) 將裝設 25 根排水管（如圖 40）的「外高內低雙 L 擋土牆」（以下簡稱 double L 擋土牆）置入實驗裝置箱內，裝設方式如圖 41。



圖 40 擋土牆 25 根排水管

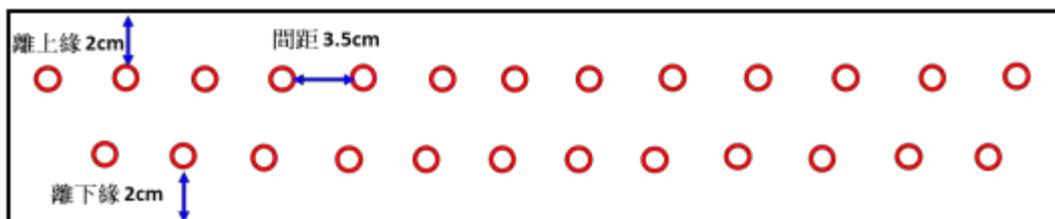


圖 41 排水管 25 根裝設示意圖

(2) 將模擬土樣 32kg 置入實驗箱內、擋土牆後方、用抹泥板將邊坡調整至坡高 60°。

(3) 用灑水器澆水置入實驗箱內，將水量調整至噴霧式，模擬持續緩降雨（如圖 42）。



(4) 持續模擬降雨 5 分鐘之後，將實驗裝置尼龍網袋上所蒐集到的排沙，以及集水箱內所蒐集到的排水，分別予以秤重，記錄排水量與排沙量。

(5) 用膠泥塞住 4 根排水管（如圖 43），重複步驟 1~4 實驗 5 次，取排水、排沙量數值，計算 21 根排水管的護坡效益。

(6) 重複上述 1~5，排水管數量減少為 17 根（如圖 44）實驗 5 次，取排水、排沙量數值，計算其護坡效益。

(7) 重複上述 1~5，排水管數量減少為 13 根（如圖 45）實驗 5 次，取排水、排沙量數值，計算其護坡效益。

(8) 重複上述 1~5，排水管數量減少為 9 根（如圖 46）實驗 5 次，取排水、排沙量數值，計算其護坡效益。

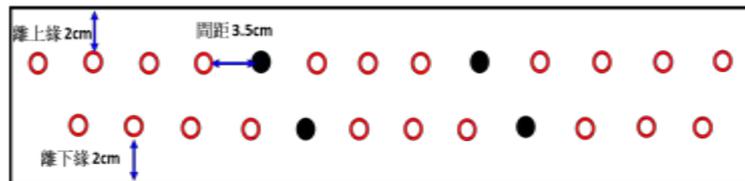


圖 43 排水管 21 根裝設示意圖

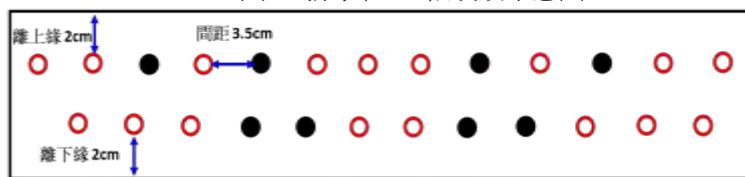


圖 44 排水管 17 根裝設示意圖

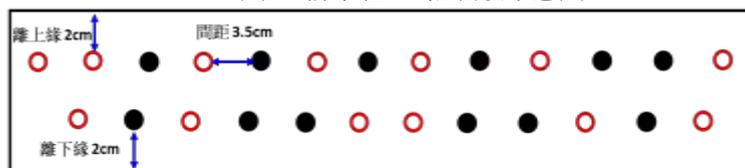


圖 45 排水管 13 根裝設示意圖

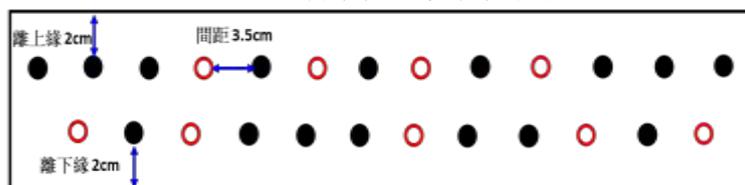


圖 46 排水管 9 根裝設示意圖

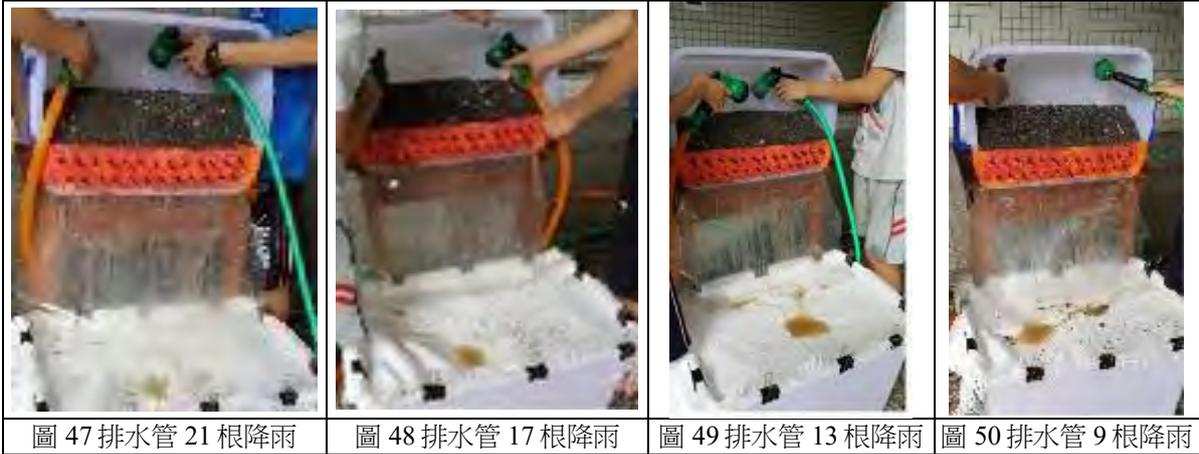


圖 47 排水管 21 根降雨

圖 48 排水管 17 根降雨

圖 49 排水管 13 根降雨

圖 50 排水管 9 根降雨

(五) 實驗五、排水管排列方式對 double L 擋土牆護坡效益之影響

實驗步驟：

- (1) 選取實驗四中勝出的 17 根排水管為本排列方式實驗的基準排水管數量。
- (2) 在 double L 擋土牆上，將排水管以上 8 根；下 9 根，共計 2 層的裝設方式，進行模擬降雨實驗 5 次，取排水、排沙量數值。

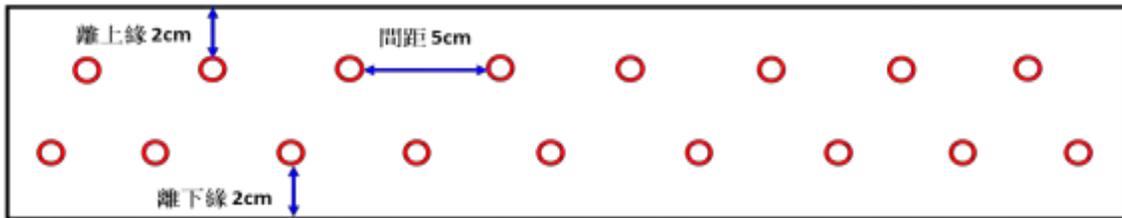


圖 51 排水管 17 根上 8 下 9 裝設示意圖

- (3) 排水管裝設方式改為下 12 根；上 5 根，2 層，重複實驗 1 步驟 5 次取平均。
- (4) 排水管裝設方式改為下 15 根；上 2 根，2 層，重複實驗 1 步驟 5 次取平均。
- (5) 排水管裝設方式改為上 12 根；下 5 根，2 層，重複實驗 1 步驟 5 次取平均。
- (6) 排水管裝設方式改為上 15 根；下 2 根，2 層，重複實驗 1 步驟 5 次取平均。
- (7) 排水管裝設方式改為上 5 根；中 6 根；下 7 根，3 層，實驗 1 步驟 5 次取平均。

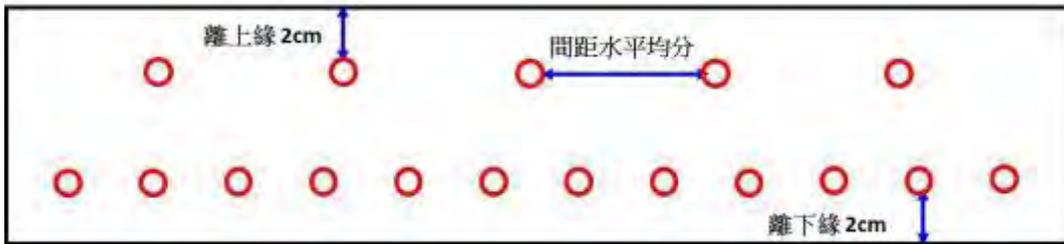


圖 52 下 12 根；上 5 根，2 層

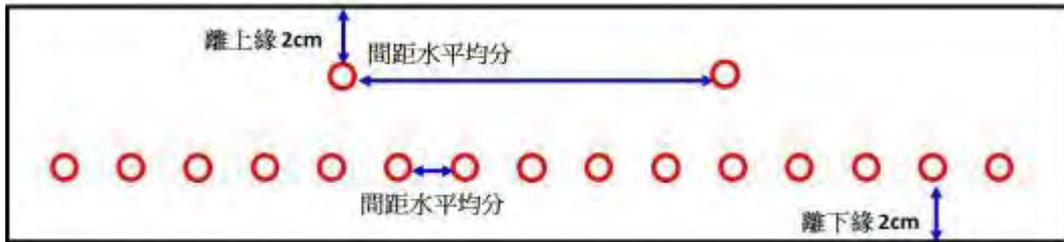


圖 53 下 15 根；上 2 根，2 層

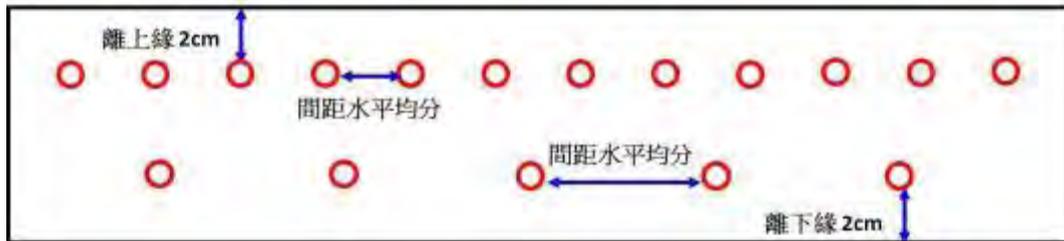


圖 54 上 12 根；下 5 根



圖 55 上 15 根；下 2 根，2 層

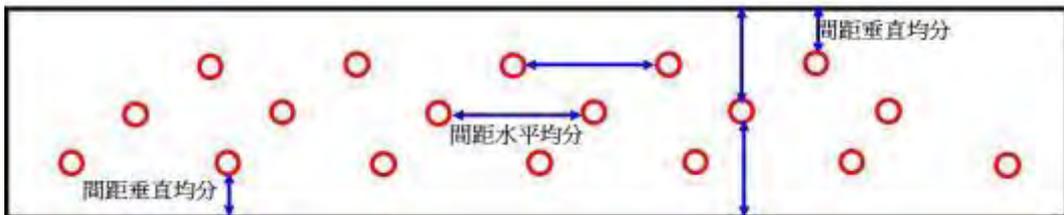


圖 56 上 5 中 6 下 7，共計 3 層

(六) 實驗六單一排水管上排水孔間距對 double L 擋土牆護坡效益實驗

實驗步驟：

- (1) 選取實驗四中勝出的上 8 下 9，為本排列方式實驗的基準排水管裝設法。
- (2) 將 17 根排水管以每隔 1cm、2cm、3cm 的間距，以焊錫筆燒鑄出排水孔。
- (3) 將 17 根間距 1cm 的排水管，裝設在 double L 擋土牆上，進行模擬降雨實驗 5 次，取排水、排沙量數值。
- (4) 重複步驟 3，排水孔間距改為 2cm，實驗 5 次，取排水、排沙量數值。
- (5) 重複步驟 3，排水孔間距改為 3cm 實驗 5 次，取排水、排沙量數值。

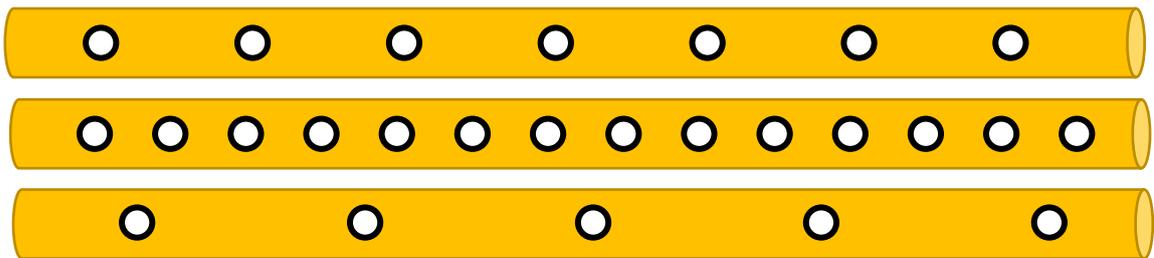


圖 57 排水孔間距示意圖

(七) 實驗七、採用既吸水又排水的材質作為擋土牆建材對 double L 擋土牆護坡效益實驗

- (1) 選取實驗 1-6 蛇籠式擋土牆為本研究擋土牆之設定原型，將排水孔濾網內的 10 顆彈珠更改為 8 顆發泡煉石 + 2 顆彈珠。

*發泡煉石是既能吸水又能排水的材質，一般使用於魚菜共生上方蔬菜種植箱固定植栽之用，吸水性佳以提供植物根系所需水分，整體材質應用毛細現象，也能將多餘水分排入下方養魚箱中。

- (2) 裝設方式如圖 16。
- (3) 重複實驗 3 步驟 3~6，進行模擬降雨實驗 5 次，取排水、排沙量數值。

伍、研究結果

實驗一、六種擋土牆護坡堅固度實驗

實驗結果：

表 4 六種擋土牆護坡時間（單位：秒）

擋土牆形式 次數	L 型懸臂式	半重力式	漿砌卵石	乾砌卵石	蛇籠式	綜合式
第 1 次	58	54	42	27	28	33
第 2 次	69	47	45	30	29	26
第 3 次	68	52	36	42	27	31
第 4 次	62	45	44	30	24	28
第 5 次	68	57	38	36	32	32
平均崩塌時間	65	51	41	33	28	30

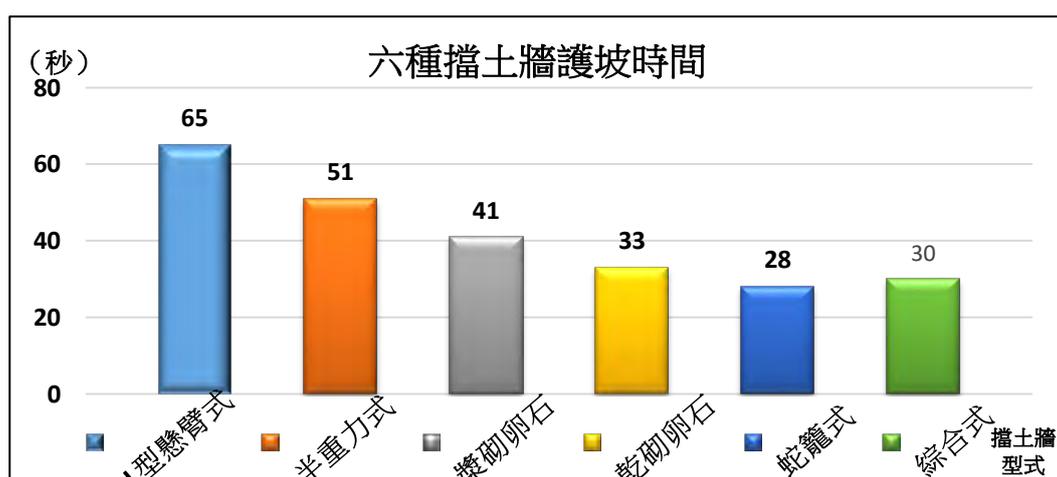


圖 58 六種擋土牆護坡時間

實驗發現：

在第一階段實驗刻意不設計排水裝置前提下，針對 6 種不同形式的擋土牆護坡耐重力的承受實驗，結果顯示：L 型懸臂式擋土牆的護坡效果最佳，達 65 秒，半重力式擋土牆為第 2 強（51 秒），漿砌卵石擠入前三名之列（41 秒）。

實驗二、創新「double L 擋土牆」護坡堅固度實驗

實驗結果：

表 5 三款懸臂式擋土牆護坡時間（單位：秒）

擋土牆形式 次數	L 型懸臂式	第 1 款 外高內低	第 2 款 外低內高
第 1 次	58	74	46
第 2 次	69	76	39
第 3 次	68	84	44
第 4 次	62	72	40
第 5 次	68	77	46
平均崩塌時間	65	78	43

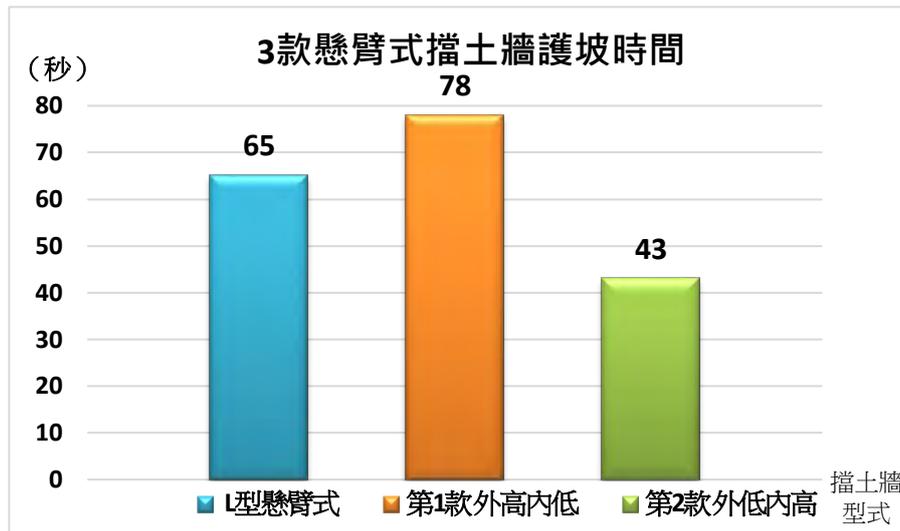


圖 59 三款懸臂式擋土牆護坡時間（單層 L 懸臂式擋土牆 vs 雙層 L 懸臂式擋土牆）

實驗發現：

第二階段針對 3 種不同形式的 L 型懸臂式擋土牆進行護坡耐重力的承受實驗，結果顯示：我們設計的創新「第 1 款外高內低-雙 L 型懸臂式擋土牆」的護坡效果最佳（78 秒），勝過傳統單面牆式款式（65 秒）。5 次實驗過程中發現：在超大豪雨的襲擊下，邊坡土石迅速崩塌，然而外高內低的雙 L 擋土牆形式，內牆與外牆的間距成為容納崩塌土石的空間，有類似沉沙池的作用，不僅可以延長擋土牆的護坡時間，一旦擋土牆崩塌，沖刷下來的土石量也比傳統的單牆 L 型懸臂式擋土牆少。而「第 2 款外低內高-雙 L 型懸臂式擋土牆」表現反而不如傳統的單牆式（43 秒），原因為何？我們推論是類似「骨牌效應」，高牆無法承受沖刷下來的沙土重量，崩塌之後壓垮矮牆，但實際原因，值得進一步探討。

實驗三、排水管數量對 double L 擋土牆護坡效益實驗

繼延續第二階段實驗，篩選勝出的 double L 擋土牆作為控制變因，以排水管數量為操作變因，以 17 根排水管為基準量，做排水、排沙量實驗，再分別逐次增加、減少為 21 根、12 根、25 根、9 根排水管，取得數據如表 6：

表 6 排水管數量與 double L 擋土牆之排水、排沙實驗（單位：g）

排水量	9 根	13 根	17 根	21 根	25 根	排沙量	9 根	13 根	17 根	21 根	25 根
第 1 次	431.5	597.7	747.1	731.4	695.4	第 1 次	4.0	2.0	0.0	1.0	2.0
第 2 次	468.2	574.3	715.9	741.5	711.2	第 2 次	3.0	4.0	0.0	2.0	2.0
第 3 次	449.6	569.4	729.2	687.8	701.5	第 3 次	2.0	2.0	1.0	2.0	1.0
第 4 次	468.1	584.9	698.9	705.6	673.1	第 4 次	4.0	3.0	2.0	3.0	3.0
第 5 次	469.2	616.2	736.1	726.4	625.8	第 5 次	4.0	4.0	0.0	3.0	5.0
排水平均	457.3	588.5	725.4	718.5	681.4	排沙平均	3.4	3.0	0.6	2.2	2.6

將實驗三不同數量的排水管實驗，取 5 次實驗的排水、排沙量取平均值，計算護坡效益，得到實驗結果如表 7：

表 7 排水管數量與 double L 擋土牆之護坡效益（單位標註於欄位內）

排水管數量	排水量 (g)	排沙量 (g)	排出總量 (g)	排水比 (%)	排沙比 (%)	護坡效益排序
9 根	457.3	3.4	460.7	99.3%	0.7%	5
13 根	588.5	3.0	591.5	99.5%	0.5%	4
17 根	725.4	0.6	719.1	99.9%	0.1%	1
21 根	718.5	2.2	727.6	99.7%	0.3%	2
25 根	681.4	2.6	684.0	99.6%	0.4%	3

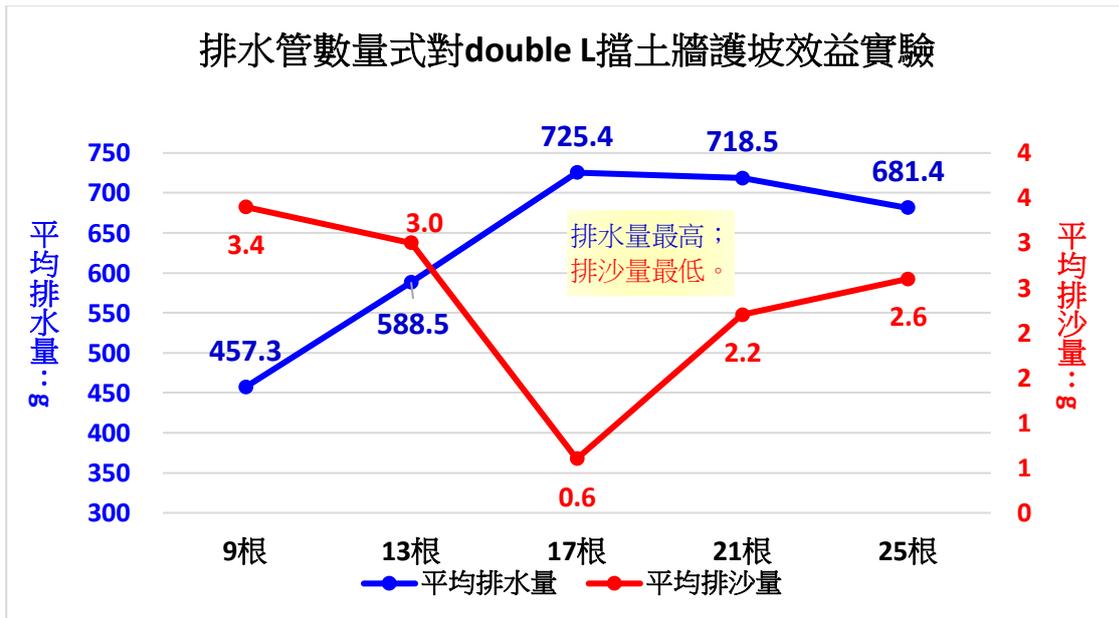


圖 60 排水管數量對 double L 擋土牆護坡效益實

再將數據計算標準誤，繪製排水管數量與排出水量關係標準誤圖（如圖 61）。

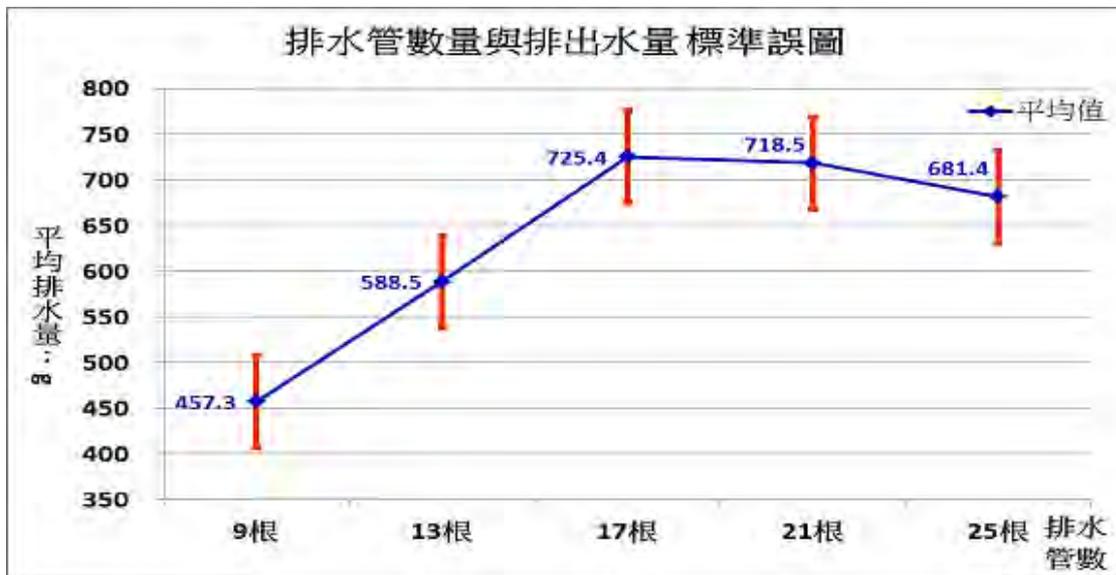


圖 61 排水管數量與排出水量標準誤圖

實驗四、排水管排列方式對 double L 擋土牆護坡效益實驗

表 8 排水管排列方式與 double L 擋土牆之排水、排沙 3 次實驗記錄表（單位：g）

		排水量					排沙量							
層數		2 層				3 層	層數	2 層					3 層	
排列方式	排水量	上 2 下 15	上 5 下 12	上 8 下 9	上 12 下 5	上 15 下 2	上 5 中 6 下 7	排列方式	上 2 下 15	上 5 下 12	上 8 下 9	上 12 下 5	上 15 下 2	上 5 中 6 下 7
第 1 次		532.6	555.2	488.1	432.5	377.7	401.8	第 1 次	0.8	1.8	2.5	2.7	3.3	1.6
第 2 次		599.4	508.7	540.8	406.8	401.5	455.6	第 2 次	0.8	3.1	2.4	3.3	3.4	1.9
第 3 次		542.3	548.0	543.7	417.4	365.0	454.2	第 3 次	0.9	2.4	3.3	3.4	2.7	1.8
第 4 次		552.3	524.9	533.3	433.1	355.0	444.8	第 4 次	0.8	2.2	2.6	2.6	3.4	1.7
第 5 次		563.9	549.7	515.1	404.7	407.8	429.6	第 5 次	2.2	2.0	2.7	2.5	2.7	2.0
排水量 平均		558.1	537.3	524.2	418.9	381.4	437.2	排沙量 平均	1.1	2.3	2.7	2.9	3.1	1.8

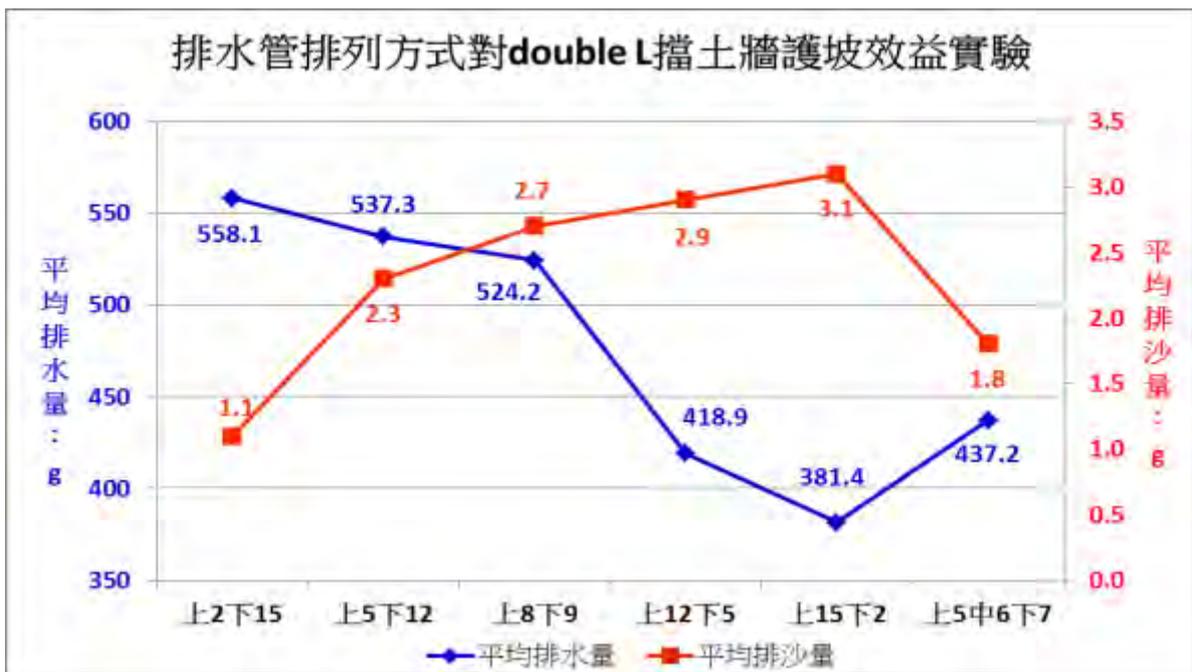


圖 62 排水管排列方式對 double L 擋土牆護坡效益實驗



圖 63 排水管數量與排水量關係 標準誤圖

實驗五、單一排水管上排水孔間距對 double L 擋土牆護坡效益實驗

表 9 排水孔間距之排水、排沙 5 次實驗平均記錄表（單位標註於欄位內）

排水孔間距	5 次平均排水量 (g)	5 次平均排沙量 (g)	平均排出總量 (g)	平均排水比 (%)	平均排沙比 (%)	護坡效益排序
3 公分	430	153.4	583.4	74%	26%	3
2 公分	563	71.2	634.2	89%	11%	2
1 公分	602	53.7	655.7	92%	8%	1

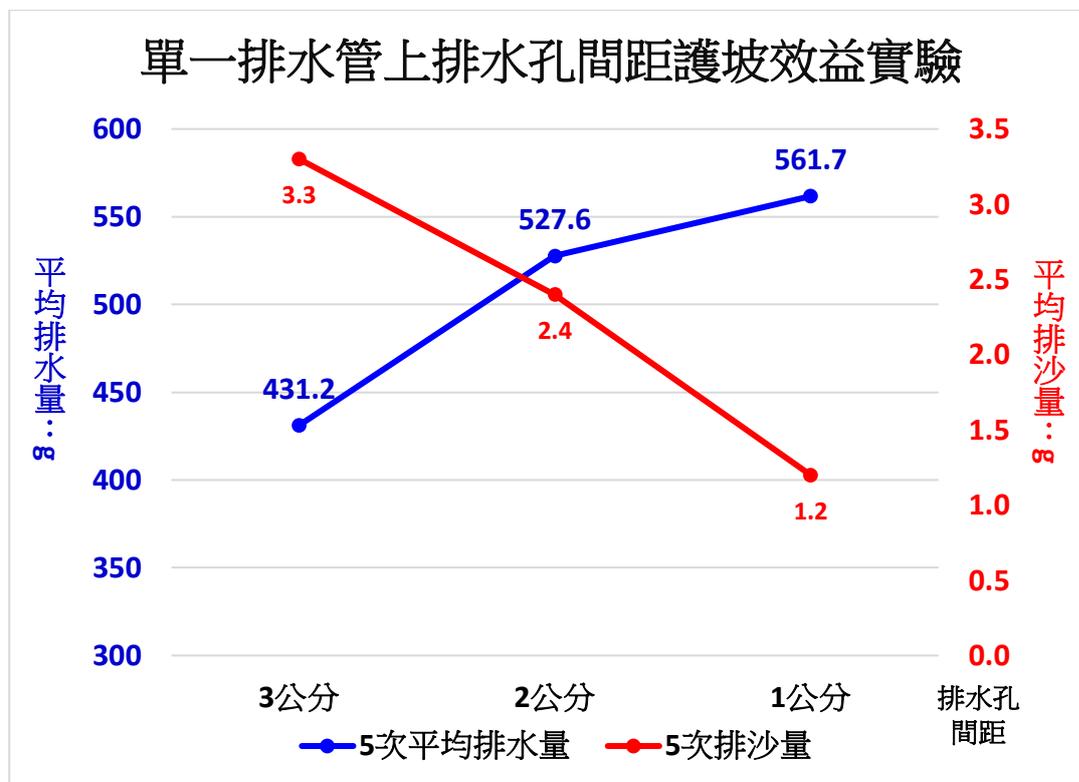


圖 64 單一排水管上排水孔間距護坡效益實驗

實驗六、發泡煉石模擬吸水排水材質對 double L 擋土牆護坡效益實驗

表 10 實驗六、發泡煉石模擬吸水排水材質 5 次實驗記錄（單位標註於欄位內）

擋土牆材質	5 次平均排水量 (g)	5 次平均排沙量 (g)	平均排出總量 (g)	平均排水比 (%)	平均排沙比 (%)	護坡效益排序
發泡煉石	349.0	166.2	515.5	32%	48%	2
雙 L 懸臂式	580.9	64.6	645.5	10%	11%	1

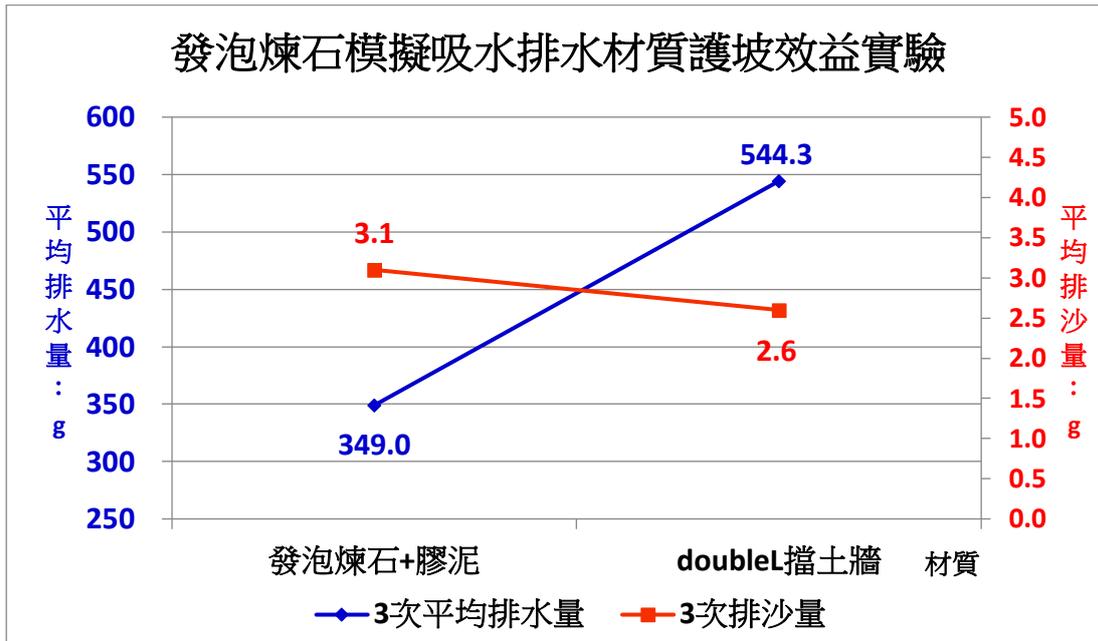


圖 65 吸水排水材質護坡效益實驗

陸、討論

一、本研究與主要文獻交叉比較與分析

主要參考文獻作品名稱： 雨來樹擋 水來管通～降雨、地震、邊坡、 防災之探討	本研究作品名稱： 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						
擋土牆形式							
1.L 型懸臂式擋土牆 2.蛇籠式擋土牆	<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%;">1.L 型懸臂式擋土牆</td> <td style="width: 50%;">2.半重力式擋土牆</td> </tr> <tr> <td>3.漿砌卵石</td> <td>4.乾砌卵石</td> </tr> <tr> <td>5.蛇籠式擋土牆</td> <td>6.綜合式擋土牆 (自行設計)</td> </tr> </table>	1.L 型懸臂式擋土牆	2.半重力式擋土牆	3.漿砌卵石	4.乾砌卵石	5.蛇籠式擋土牆	6.綜合式擋土牆 (自行設計)
1.L 型懸臂式擋土牆	2.半重力式擋土牆						
3.漿砌卵石	4.乾砌卵石						
5.蛇籠式擋土牆	6.綜合式擋土牆 (自行設計)						
研究焦點與研究結果比較							
➤ 植被有助於減少土砂沖刷，若植物的根部都在同一深度者，會造成均勻沉陷，然吸水效果不同者，造成之影響也不同。改種根吸能力較差的經濟作物(如檳榔)，雖產生經濟效益，但也容易導致邊坡破壞的情形發生；若植被相豐富，根系深淺交錯，則更較優於根系同一深度者，不過植被需配合其他工法會更好。	➤ 擋土牆形式方面，本研究針對 L 型懸臂式擋土牆有創新的 double L 雙層式設計 ➤ 針對排水管做一系列更深入的探討，包含排水管的數量、排列方式、單一排水管上排水孔的間距（與排水孔數量有關） ➤ 以既能吸水；又能排水的材質加入原模擬擋土牆建材（材質：發泡煉石）。						

二、double L 型雙層擋土牆護坡效益最佳之推論

以右圖說明：double L 雙層擋土牆黃色框起部分，雙牆中的空間類似沈沙池的作用，被強降雨沖刷而下的土石雨水，會落入此空間，減緩土石落下的衝擊力、延緩擋土牆崩塌的時間，也相對為居民爭取到相對安全的住宅品質。



圖 66 double L 雙層擋土牆護坡原因分析

三、蛇籠式擋土牆發揮護坡效益時間推論

蛇籠式擋土牆是符合生態工法的「非剛性」擋土牆，在前作品研究中，以發泡煉石為蛇籠式擋土牆的材料，實驗結果發現擋土效果佳，但若以實際施工而言，是把大顆卵石裝入袋中堆疊，放置一段時間，等植被自然生長，植物根系深入卵石間縫隙，達到固土護坡的效果。然而剛設置，植被來不及生長，即發生超大豪雨的情況下，蛇籠式擋土牆未必能發揮護坡效益，故本研究修正前作品，將發泡煉石更換為彈珠，以求更接近剛施作完畢的情境，實驗結果發現，未被植物根系纏繞的彈珠，很快就被沖刷至崩塌。

柒、結論

- 一、針對 6 種擋土牆的護坡時間，比較結果發現 L 型懸臂式擋土牆（傳統單面 L）能維持最長時間 65 秒 崩塌，其次是半重力式擋土牆 51 秒 > 漿砌卵石擋土牆 41 秒 > 乾砌卵石擋土牆 33 秒 > 綜合式擋土牆 30 秒 > 蛇籠式擋土牆 28 秒。
- 二、本研究自行設計的 double L 型雙層擋土牆在 3 次模擬降雨實驗中，表現比傳統單面 L 型懸臂式擋土牆護坡時間更長（原因分析參照討論二）。
- 三、在排水管數量方面，研究結果同 49 屆「雨來樹擋 水來管通～降雨、地震、邊坡、防災之探討」，並非越多的排水管，就能提高擋土牆的護坡效益。每次降雨的雨量分級不同，若未達大雨、豪雨、大豪雨、超大豪雨之等級，過多的排水管不僅不符合建築成本、也可能相對減少鋼筋、混泥土的料件，甚至可能影響擋土牆結構，降低護坡功能。

- 四、本研究的實驗裝置箱長 46cm、寬 36 cm、高 29cm，在 32kg 模擬土樣，以及 double L 型雙層擋土牆的模擬邊坡環境下，最合適的排水管數量為 17 根，裝設方式為離牆上、下緣各 2 cm，每根排水管水平間距則均分牆面，達到排水量 725.4g，排沙量 2.2g，總降雨量為 4277ml，亦即 17 根排水管的排水量與總降雨量之比值為 1：5.896，排出水量達總降雨量的 16%，其次為 21 根護坡效益>25 根>13 根>9 根。
- 五、在排水管的排列方式上，以上層 2 根；下層 15 根的排列方式，達到最佳護坡效益，其餘護坡效益的排列法依序為：

上 5 下 12>上 8 下 9>上 5 中 6 下 7>上 12 下 5>上 2 下 15

整體來說，在排水管總數量相同的前提下，排水管排列方式與護坡效益的趨勢為：邊坡越低處裝設較多的排水管，邊坡防護效益越佳。推論是降雨時，土壤內的含水量是由頂端往下逐漸浸濕土壤，再從底部向上蓄積水分，水位累積升高，直到邊坡含水量過高，造成重力過大、土石間摩擦力降低、最終導致土石崩塌。所以若能在邊坡底端即將往上升高水位時，即將土壤中的水分排出，便可減少邊坡土壤中的含水量，使上方土石保持相對乾燥，保持土石間適當的穩定度，便可避免發生邊坡滑動，甚而釀致土石流災情。

- 六、就單一排水管上的排水孔間距而言，間距越密集，越能收集到越多的土壤含水量，所以能排出更多水分。
- 七、本研究除了提供新式的 double L 型雙層擋土牆供未來擋土牆型式設計之參考外，在擋土牆的建築材料方面，也以發泡煉石進行模擬，發現如果擋土牆牆面本身是以「既能吸水；又能排水」的材料所建，在邊坡防護的效益上或許能更為提高，此點發現，提供給政府大地工程處等公務單位，以及建材業者做為施作擋土牆工程的參考。

捌、參考資料及其他

TVBS 新聞台（2017）。北市福興路出現土石流 緊急撤離 21 人。取自

https://www.youtube.com/watch?v=wrErQ-AS_90

丁鸞瑩等（2017）。單元 3 變動的大地。南一版國小自然生活與科技第 7 冊。臺南市：南一。

行政院土石流防災資訊網（2017）。災害紀實。取自

<https://246.swcb.gov.tw/debrisClassInfo/disasterrebuild/disasterrebuild3.aspx>

臺北市政府工務局大地工程處（2017）。北市創先人工邊坡建檔定期安檢 保障坡地安全。

取自 <http://tcgwww.taipei.gov.tw/ct.asp?xItem=5533675&ctNode=82924&mp=108051M>

劉重均、李靜君、馮毓庭、黃暉竣（2010）。落落大(坍)方---邊坡土石崩落下滑之探究。中

華民國第 49 屆中小學科學展覽會 國中組 地球科學科第三名。取自科展群傑廳。

<https://activity.ntsec.gov.tw/activity/race-1/49/pdf/030508.pdf>

賴真吾、李博生、陳柔妤（2012）。紅色警戒。中華民國第 51 屆中小學科學展覽會 國中組

地球科學科第三名。取自科展群傑廳。[https://activity.ntsec.gov.tw/activity/race-](https://activity.ntsec.gov.tw/activity/race-1/51/pdf/030508.pdf)

[1/51/pdf/030508.pdf](https://activity.ntsec.gov.tw/activity/race-1/51/pdf/030508.pdf)

熊祥宏、陳諭杉、邱怡郡（2016）。雨來樹擋 水來管通～降雨、地震、邊坡、防災之探

討。臺北市第 49 屆中小學科學展覽會 國小組 地球科學科佳作。取自。

<http://content.sups.tp.edu.tw/glory2/view.asp?ID=1674>

【評語】 030503

1. 探討排水管排列方式以提高擋土牆防護邊坡之效益，相當具有實用價值。
2. 進行邊坡滑動地區之調查工作，以資訊的整合，現場的勘查，實驗室的試驗，以及排水的模擬分析工作，展現了團隊工作人員的周全合作，以及相互協助的精神，值得肯定。
3. 排水管的試驗規劃工作相當完整，團隊成員回答各項問題都能夠思考縝密，聚焦研究的重點，清楚的展示每一個人共同一致的論點。
4. 護坡效益實驗的比較，能夠鉅細靡遺的找出每一次試驗的優缺點，不僅具有科學性的系統，設計不同層次的排水管，更是相當具有實用價值。

壹、研究動機

去年暑假出現50年首見的「雙陸警--海棠、尼莎」雙颱連襲，精心規劃的環台之旅泡湯了。臺灣許多住宅地處邊坡，颱風、豪大雨來襲時，邊坡擋土牆是否穩固？引發我們的研究動機，想針對擋土牆做更深入的探討，期許能找到邊坡防護效益更佳，讓坡地住宅民眾住得更安心的方法。

貳、研究目的

- 一. 比較自創的綜合式擋土牆，以及目前的L型懸臂式、半重力式、乾砌卵石、漿砌卵石、蛇籠式共計6種擋土牆的護坡時間與堅固程度。
- 二. 設計2款新式double L擋土牆，與傳統L型懸臂式擋土牆，比較3款擋土牆護坡時間、堅固程度。
- 三. 探討排水管的數量對擋土牆邊坡防護效益之影響。
- 四. 探討排水管的排列方式對邊坡防護效益的影響。
- 五. 探討單一排水管上排水孔間距對邊坡防護效益的影響。

參、研究設備與器材



圖1 細料搖篩機、標準篩網 (90下/分, 轉速290RPM)



圖2 雨量筒

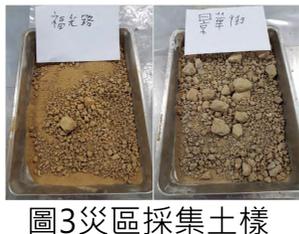


圖3 災區採集土樣



圖4 水平儀APP



圖5 膠泥、冰棒棍



圖6 實驗用模擬土樣



圖7 乾濕度計



圖8 實驗裝置

肆、研究過程、方法與結果

一、pilot study

(一) 查詢臺北市曾發生邊坡滑動災區

為提高研究的精確度，鎖定真實在臺北市曾發生邊坡崩塌情之災區為研究環境，並以該區之土質成分調配擬真的實驗樣本。研究成員對蘇迪勒颱風造成文山區土石流的災情報導猶有記憶，故以「土石流 文山區」為關鍵字在google新聞搜尋，查得相關線索。再進一步上「行政院土石流防災資訊網」/災害紀實網頁，查得在「臺北市文山區福興路116號」確有此筆災情，故決定至該區實地勘查。

(二) 訪問市政府工務局大地工程處坡地住宅科

經訪問得知，臺北市將10,457筆人工邊坡完成調查，需改善樣態主要為：混凝土剝落、龜裂、牆面突出及鋼筋出露四種，比例近9成 (圖9)，加以分級管理 (表1)，護坡的施工方式經統計如圖10。

表 1 臺北市山坡地人工邊坡調查結果

類別	狀態	數量/筆	百分比	處理對策
第一類	有立即危險之虞	9	0.02%	維護義務人應緊急補強及補強後追蹤監測
第二類	有潛在危險	45	0.25%	維護義務人應安全鑑定及定期監測
第三類	有明顯徵兆	89	0.73%	但尚無危險之虞 維護義務人應定期監測追蹤評估
第四類	有輕微徵兆	4,924	41.71%	維護義務人應定期目視觀察
第五類	無異常徵兆	5,390	57.29%	維護義務人應不定期目視觀察

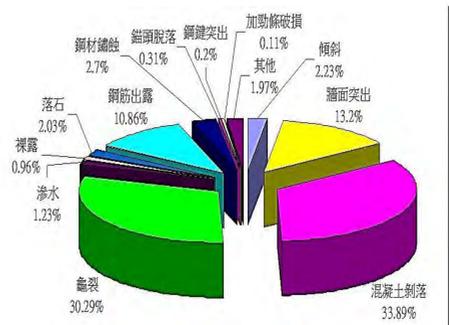


圖 9 山坡地人工邊坡需改善樣態

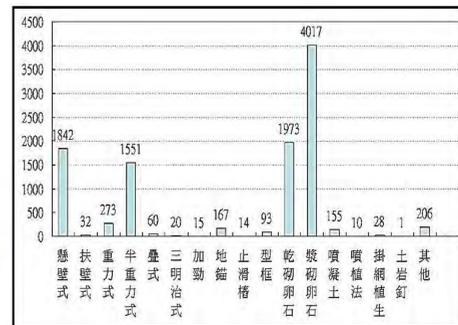


圖 10 山坡地人工邊坡類型

(三) 實地勘查



圖 11 福興路擋土牆



圖 12 福興路沈沙池-①



圖 13 福興路沈沙池-②



圖 14 漿砌卵石



圖 15 乾砌卵石



圖 16 蛇籠式擋土牆



圖 17 網格護坡



圖 18 景華街崩塌現場



圖 19 景華街崩塌處採集土樣



圖 20 擋土牆施工

二、分析土樣、調配實驗用模擬土樣

表 2：景華街92號土樣細度模數

篩號	粒徑 (mm)	weight retained (g)	停留百分率 (%)	累積停留百分率 (%) (CPGT)	累積通過百分率 (%) (CPFT)	景華街128巷92號土樣細度模數為2.44，故將實驗用模擬土樣簡化為石、砂、土3種，並在每1000g中，依照如下比例調配
#4	4.75	175.8	35.18	3.49	96.51	實驗用模擬土
#8	2.36	142.7	28.56	32.05	67.95	
#16	1.18	70.7	14.15	46.20	53.80	
#30	0.60	25.3	5.06	51.26	48.74	
#50	0.30	16.0	3.20	54.46	45.54	
#100	0.15	12.2	2.44	56.90	43.10	> #4 石 351.8
底盤		57.00	11.41	68.31	31.69	#4~#100 沙 534.1
景華街128巷92號						< #100 土 114.1
						總重量1000g



圖 21 景華街崩塌修復



圖 22 修復工法：網格護坡



圖 23 丈量網格尺寸



圖 24 丈量排水管長度



圖 25 丈量排水管口徑

三、實驗過程與結果

第一部分：擋土牆系列實驗

選用工務局大地工程處統計邊坡擋土牆最多的型式：懸臂式、半重力式、漿砌卵石、乾砌卵石、蛇籠式擋土牆列入實驗設計，加上自行設計新式「綜合型擋土牆（結合懸臂式與蛇籠工法）」，共計6種擋土牆。在刻意不設置排水設施前提下，模擬降下「超大豪雨」時，6種擋土牆的護坡能力（中央氣象局「超大豪雨」定義：500mm/24h以上）。

前置作業：製作六種擋土牆模型

基底尺寸：46*5*1（cm），總重357g。
牆體尺寸：46*1*9（cm），總重643g。

此底板為控制變因，六種擋土牆的底板皆為此規格。

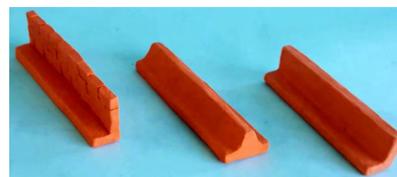


圖 26 擋土牆模型乾砌卵石（左）半重力式（中）L型懸壁式（右）

實驗步驟

（一）實驗一、六種擋土牆護坡堅固度實驗

- 1.將總重量1000g的六種擋土牆置入實驗裝置箱，並倒入32kg模擬土樣。
- 2.用抹泥板將邊坡調至坡高60°（允許誤差值+/-2°）。
- 3.澆水模擬「超豪大雨」降水至擋土牆崩塌為止，記錄、計算六種擋土牆，每種擋土牆5次平均崩塌時間。



圖 27 擋土牆崩塌

實驗發現：在刻意不設計排水裝置前提下，6種不同形式擋土牆護坡承重依序：L型懸臂式擋土牆 > 半重力式擋土牆 > 漿砌卵石

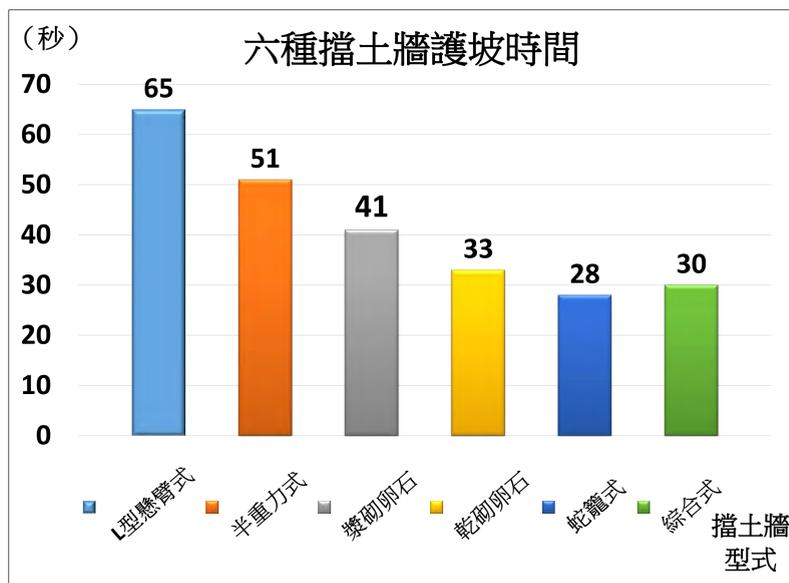


圖 28 六種擋土牆模型護坡時間長條圖

（二）實驗二、創新「double L擋土牆」護坡堅固度實驗

- 1.依據一階段實驗結果，選取勝出的L型懸臂式擋土牆進行第二階段實驗，發揮創意改良傳統單L形式，設計新式的「雙L擋土牆」形式，再依據「高牆」、「矮牆」內外不同擺放方式，設計出2款新式「雙L懸臂式擋土牆」，以下簡稱double L擋土牆。

double L擋土牆尺寸：

牆底：46*8*1，總重762g。

外牆：46*9*1，內牆：46*4*1，總重1238g

double L擋土牆總重2000g。



圖 29 外高內低 double 擋土牆



圖 30 內高外低 double 擋土牆

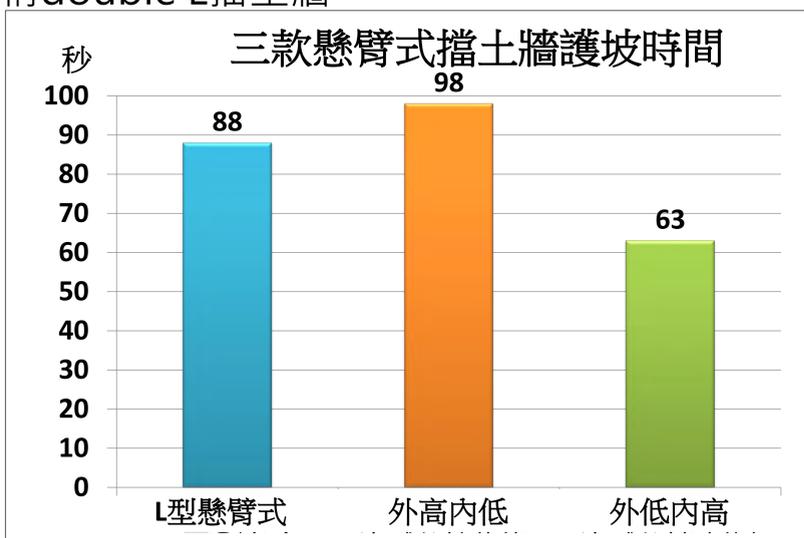


圖 31 三款懸臂式擋土牆護坡時間

實驗發現：
1.內、外牆的間距有類似沉沙池作用。
2.沖刷下來的土石量比傳統單面L型懸臂式擋土牆少。

第二部分：排水管系列實驗

（三）實驗三、排水管數量對double L擋土牆護坡效益影響

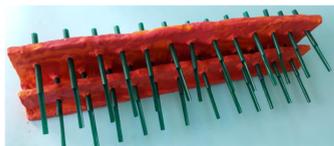


圖 32 排水管25根設置法

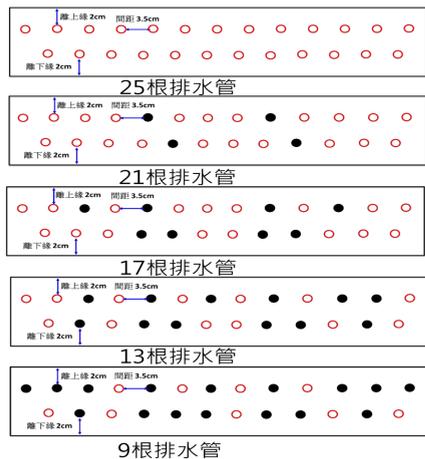


圖 34 排水管數量示意圖



圖 33 排水管25根實驗

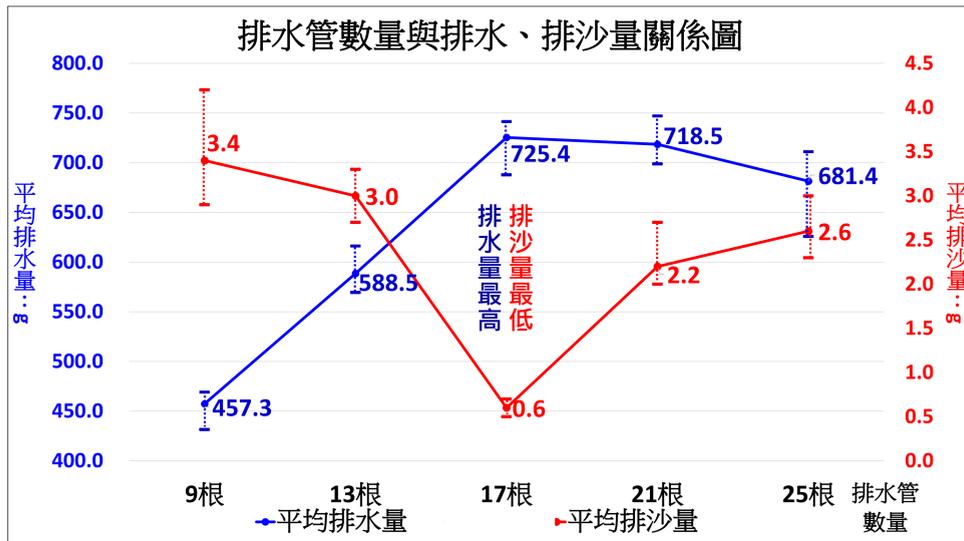


圖 35 排水管數量與排水、排沙量關係圖

實驗發現：排水管的數量與排水量在9~17根時呈正相關，超過17根以後，排水量無顯著差異，多達25根時排水量反而下降。說明並非一味增加排水管有助於排水；反而可能相對減少鋼筋混凝土等建材，影響擋土牆結構安全，增加建築成本，同時降低護坡功能。在排沙量方面：9、13、21根呈排水管數量越多，排沙量越少。在17根時出現平均0.6g的最低排沙量，一開始懷疑是操作誤差，但經過反覆實驗，結果依然具一致性。

(四) 實驗四、排水管排列方式對double L擋土牆護坡效益影響

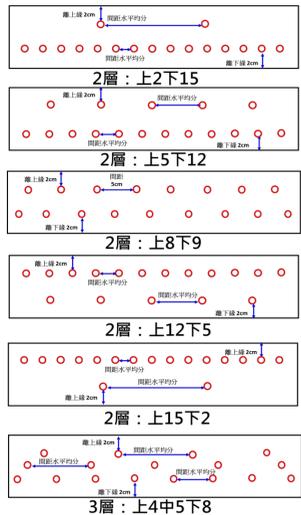


圖36排水管排列方式示意圖

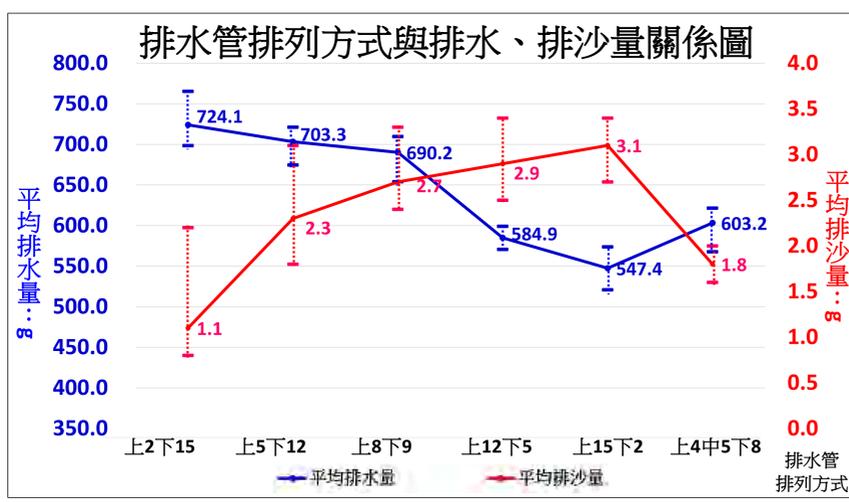


圖 37 排水管排列方式與排水、排沙量關係圖

選取實驗四中勝出的17根排水管為本實驗的基準數量，實驗結果發現：在排水量方面，排水管的排列方式在上少下多時，排水量較多；反之上多下少的排列法，排水量減少；在排沙量方面，上少下多時，排沙量較少，上多下少時增加。比對實驗三結果發現，合適的排水管數量、搭配上少下多的排列方式，呈現「排水量最多；排沙量最少」具有良好護坡效益。

(五) 實驗五、排水孔間距對double L擋土牆護坡效益影響

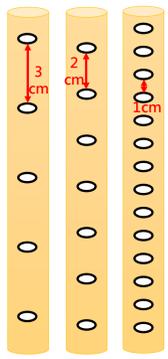


圖 38 排水孔間距示意圖

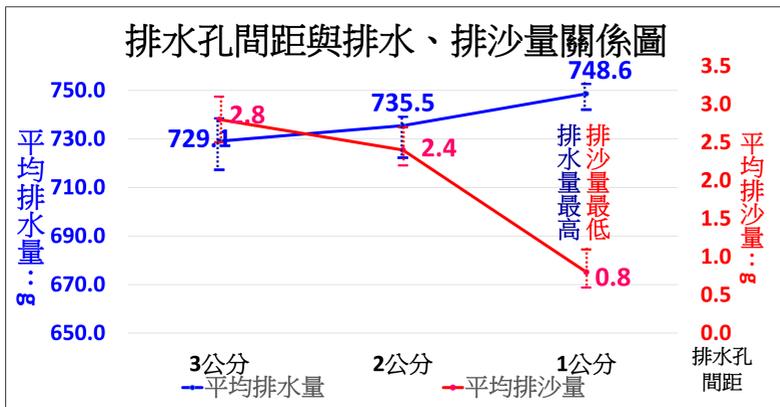


圖39排水孔間距與排水、排沙量關係圖

選取實驗四中勝出的上2下15，共計17根為本實驗的基準排列法。從折線圖可看出在單一排水管上鑽鑿越多的排水孔，排水量越多；同時排沙量越少，護坡效益越佳。



圖 40 內外牆間距可容納崩塌土石

伍、討論

一、double L擋土牆護坡效益之推論

double L雙層擋土牆箭頭所指部分，內外牆間距具有類似沉沙池作用，被強降雨沖刷而下的土石，雨水會落入此空間，減緩土石落下的衝擊力，延緩擋土牆崩塌的時間，也相對為居民爭取到緊急逃生時間與相對較安全的住宅品質。至於外低內高double L擋土牆反而是三款擋土牆中護坡時間最短、堅固度最低的。推論是這種結構，使最內層的高牆與邊坡土石互為接觸面，當土石含水量多、壓力大，超過高牆承載負荷，一旦高牆被沖垮之後，出現「骨牌效應」繼而壓垮矮牆，但實際原因需進一步探討。

二、排水管數量之探討

本研究發現：並非越多的排水管，擋土牆的護坡效益就越高。因為排水啟動之前提，是因為邊坡土石中含水量趨近飽和。若未達排水條件，例如：降雨量不多，土石與積水重量在擋土牆可承重範圍內，過多的排水管不僅不符合建築成本，也可能相對減少鋼筋、混凝土等建材，甚至影響擋土牆結構，降低護坡功能。

三、排水管數量之探討

本研究的實驗裝置長寬高分別為57.3*41.3*34.5 (單位：cm)，在使用double L擋土牆，以及32kg土樣的模擬邊坡環境下，總降雨量4277ml條件下，最合適的排水管數量為17根，排水量與總降雨量之比1：5.896，排出水量達總降雨量的17.0%，其次護坡效益依序為21根>25根>13根>9根。

四、排水管排列方式之探討

在排水管總數量相同的前提下，排水管排列方式與護坡效益的趨勢為：在邊坡低處裝設較多排水管，邊坡防護效益較佳。推論是降雨時，土壤含水量是由頂端往下逐漸浸濕，再從底部向上蓄積水分，水位累積升高，壓力也逐漸增大。直到邊坡含水量過多，土石間的摩擦力降低，導致土石大面積滑動，最終造成邊坡崩塌。所以若能在水位逐漸往上升高時，即將水分排出，便可減少邊坡土壤中的含水量，使土石保持相對乾燥，維持適當的穩定度，即可降低邊坡崩塌的災情。

陸、結論

- 6種擋土牆的護坡時間依序為：L型懸臂式>半重力式>漿砌卵石>乾砌卵石>綜合式>蛇籠式。
- 比較自行設計的double L擋土牆與傳統單面L型懸臂式擋土牆，護坡時間依序為：外高內低double L > 傳統單面L型懸臂式 > 外低內高double L。
- 排水管數量方面，在本實驗中，護坡效益依序為：17根>21根>25根>13根>9根。
- 排水管的排列方式，在本實驗中，護坡效益依序為：上2下15 > 上5下12 > 上8下9 > 上4中5下8 > 上12下5 > 上15下2。
- 單一排水管上排水孔的間距越密集，排水量越高；排沙量越低，護坡效益更高。

柒、參考資料

- 臺北市政府工務局大地工程處 (2017)。北市創先人工邊坡建檔定期安檢保障坡地安全。取自 <http://tcgwww.taipei.gov.tw/ct.asp?xItem=5533675&ctNode=82924&mp=108051M>
- 劉重均、李靜君、馮毓庭、黃暉竣 (2010)。落落大(坍)方---邊坡土石崩落下滑之探究。中華民國第49屆中小學科學展覽會 國中組 地球科學科第三名。取自科展群傑廳。
<https://activity.ntsec.gov.tw/activity/race-1/49/pdf/030508.pdf>