

臺北市第 43 屆中小學科學展覽會

作品說明書封面

科 別：地球科學科

組 別：國小組

作品名稱：我「擋」得住你

關鍵詞：擋土牆、土石流、坡度

編號：



摘 要

因為木柵貓纜 T16 塔柱附近的土石崩塌關係，所以我們試著做出各種不同形狀、重量、弧度的擋土牆，進行衝擊力的測試及觀察，並比較出哪一種型式的擋土牆支撐抗力性最佳，最不易被破壞、倒塌。經實驗結果我們得知當相當的材料量時，不同形狀的擋土牆以底面積較大及受力面角度較小者的支撐抗力性最好，而相同的擋土牆若以凸形的弧面支撐效果會更佳，另外山坡的坡度大小亦會影響擋土牆的支撐抗力，當坡度越大時，擋土牆的支撐抗力量相對會變小，此時更需加強擋土牆本身的抗力性，如此才能確保山坡地的安全。

壹、研究動機

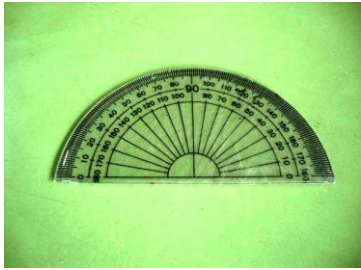
先前聽聞新聞報導說木柵貓纜 T16 塔柱因為土石流侵襲而傾斜、受損，造成停駛和修復等的問題，而我們台北市四周郊區更存在著許多的山坡地形，故「擋土牆」的設置在山坡地災害防治上更顯得重要，所以我們決定做出各種形狀、弧度不同的擋土牆，試著找出抗力最佳的擋土牆形狀及弧度，並配合六年級上學期「地表的組成與改變」的單元，最後比較出哪一種擋土牆的支撐抗力性最好。

相關教材：牛頓教科書自然與生活科技 第六冊五下第四單元「力的世界」及第七冊六上第二單元「地表的組成與改變」。

貳、研究目的

- 一、哪一種剖面形狀的擋土牆所能承受的支撐抗力比較強？
- 二、不同弧度的擋土牆其支撐抗力有何不同？
- 三、山坡坡度的改變對擋土牆的支撐抗力有何影響？

參、研究設備及器材

一．紙黏土（製作擋土牆）	二．砝碼(10g 重)	
		
三．電子秤	四．調整式支架	五．量角器
		
六．塑膠杯		七．活動量尺
		
八．木板(製作坡道模型 及 坡度調整器)及塑膠袋		
		

肆、研究過程或方法

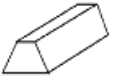
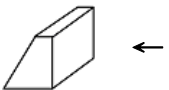
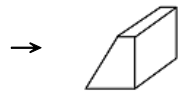
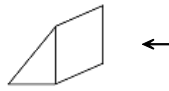
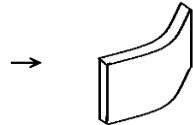
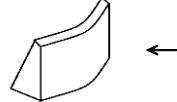
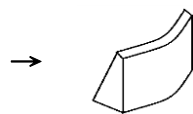
一、擋土牆模型及模擬坡道的製作：

(一) 用重量 1000g 的紙黏土，製做寬 15cm、高 9cm 各種不同剖面形狀的擋土牆(如圖 1)，並測量各種擋土牆的基本資料(如表 1)。

A：長方體	B：等腰梯形體
	
C：等腰三角體	D：等雙凹形體
	
E：直角梯形體	F：直角三角體
	
G：弧形長方體(A 的變形)	H：弧形直角梯形體(E 的變形)
	

(圖 1 - 紙黏土擋土牆模型)

(表 1 - 各種形狀擋土牆模型基本資料表)

代號	形狀 (剖面)	圖形描繪	寬度 (cm)	高度 (cm)	頂部 厚度 (cm)	底部 厚度 (cm)	底面積 (cm ²)	受力面 角度
A	長方形		15	9.1	3.2	3.2	48	90°
B	等腰梯形		15	8.3	1.0	5.6	84	70°
C	等腰三角		15	8.1		7.0	105	60°
D	等雙凹形		15	8.1		9.2	138	約 45°
E1	直角梯形		15	9.5	1.8	3.9	59	90° 平面
E2	直角梯形							80° 斜面
F1	直角三角		15	8.6		5.8	87	90° 平面
F2	直角三角							60° 斜面
G1	長方形		約 16	7.8	3	4.2	約 67.2	90° 平面
G2	長方形							90° 平面
H1	直角梯形		約 19	7.5	1.7	4.5	約 85.5	90° 平面
H2	直角梯形							75° 斜面

【註：G、H分別為A長方體、E直角梯形體的弧形變形體，但是因為弧形擋土牆較不易製作，且風乾後整體大小因重力等因素影響，會有所改變，所以與原本之本體A、E之寬度、高度及厚度有些許差異】

(二) 用木板釘成長 90cm、寬 16cm、斜度可以調整的坡道 (10~45 度)，表面塗上 3 層油漆、貼上塑膠袋，減少摩擦力。(如圖 2)



(圖 2 - 模擬坡道)

二、實驗一：【不同剖面形狀擋土牆之支撐抗力的測試比較】。

(一) 測量方法：用塑膠杯裝一定數量的砝碼，由坡道的頂端沿斜坡滾落並撞擊坡道底部的擋土牆，若擋土牆倒下或移動 0.5cm(以橡皮筋作為標示)，測試即結束，測量計算坡道內砝碼的總重量，記錄為該擋土牆所能承受的支撐抗力量。(三重複取平均值計算)

※說明：撞擊測試時，每次砝碼數量以 5、10、15、20、25、30、35 個漸增的七個階段依序進行測試，每個階段進行五次，若仍未達結束的標準則進入下個階段進行測試，直到實驗結束。(例如：剛開始每次以 5 個砝碼進行撞擊測試，共 5 次後若未結束，則進入下個階段以 10 個砝碼進行測試，直至測試有結果或全部砝碼使用完後即為結束)

(二) 操作步驟：(如圖 3)

- 1.使用調整式支架及坡度調整器將坡道斜度調整固定於 45 度。
- 2.分別將 A~F 六種不同形狀的擋土牆模型放置在斜坡末端的平地。
- 3.先將 40 個 10g 重的砝碼(共 400g)，平均放置於擋土牆和斜坡之間。
- 4.將一片木板蓋在坡道上，以防止測試中砝碼的掉落。
- 5.用塑膠杯裝一定數量的砝碼，從坡道的頂端沿斜坡滾落，並撞擊擋土牆，觀察記錄擋土牆受力後的情形。
- 6.若未達到測試結束的標準，則繼續進行下一階段的測試，直至實驗結束並測量計算出擋土牆能承受的支撐抗力量。

		
測量 1000g 的紙黏土	測量各種形狀擋土牆模型的基本資料	
		
調整坡度至 45 度	將擋土牆置於坡道底部	再將 400g 砝碼置於坡道底
		
砝碼固定由坡道頂端落下	進行斜坡砝碼撞擊測試	實驗結束測量砝碼總重
		
觀察記錄各種形狀擋土牆模型受力後的情形		

(圖 3 - 不同剖面形狀擋土牆支撐抗力實驗過程圖示說明)

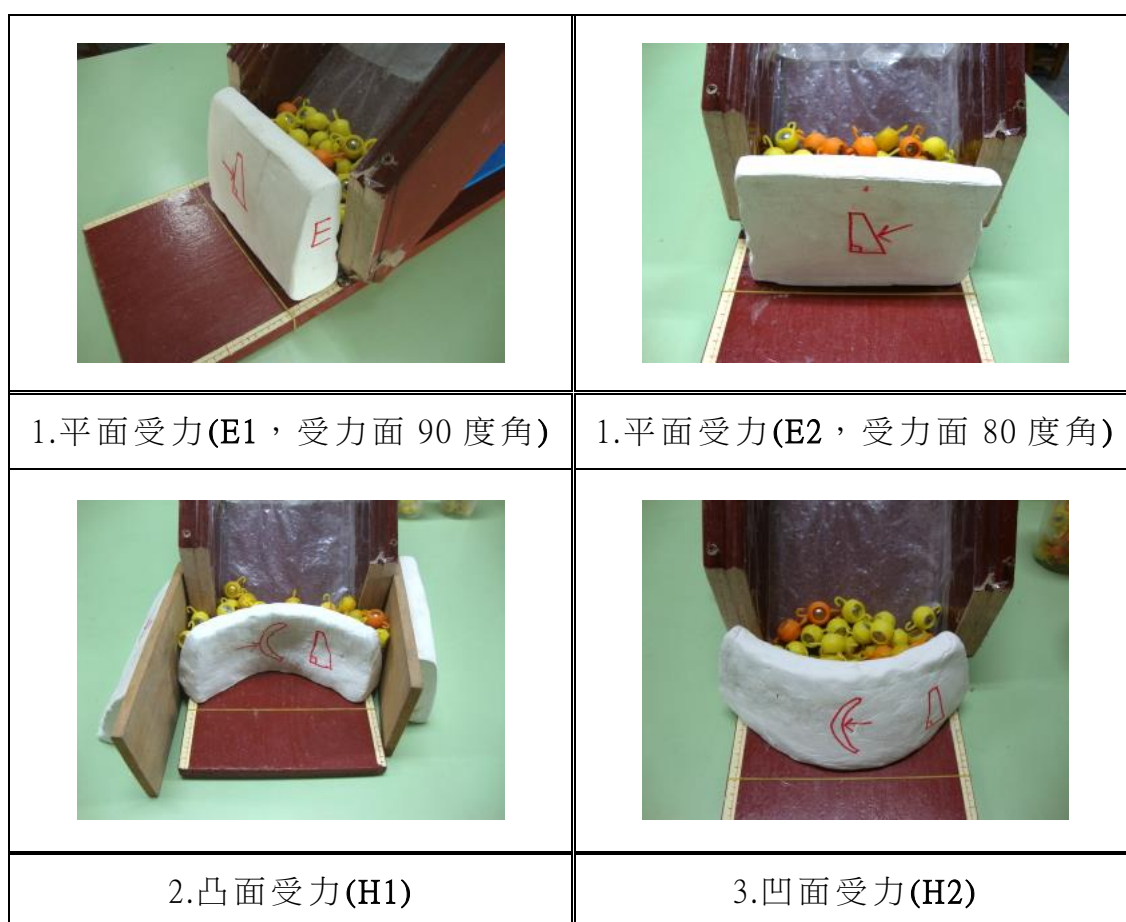
三、實驗二：【不同弧度的擋土牆之支撐抗力的測試比較】。

(一) 同實驗一的操作過程步驟，進行長方體擋土牆受力面分別為 1.平面(擋土牆 A)、2.凸面〈拱形〉(擋土牆 G1)及 3.凹面(擋土牆 G2)的支撐抗力量的測量比較。(如圖 4)



(圖 4 - 不同弧度的長方體擋土牆支撐抗力實驗圖示)

(二) 同實驗一的操作過程步驟，進行直角梯形體擋土牆受力面分別為 1.平面(擋土牆 E1、E2)、2.凸面〈拱形〉(擋土牆 H1)及 3.凹面(擋土牆 H2)的支撐抗力量的測量比較。(如圖 5)



(圖 5 - 不同弧度的直角梯形體擋土牆支撐抗力實驗圖示)

四、實驗三：【不同坡度對擋土牆之支撐抗力的測試比較】。

- (一) 使用擋土牆 A 及 E1 二種形狀不同的擋土牆進行本項實驗操作。
- (二) 調整改變坡道的坡度，選擇坡度 30 度、35 度、40 度及 45 度共四種不同的坡度，進行擋土牆支撐抗力的測試比較。
- (三) 其他操作過程步驟則與實驗一相同。(如圖 6)

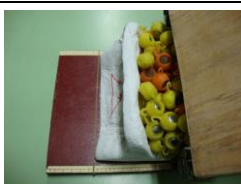
			
30 度坡度	35 度坡度	40 度坡度	45 度坡度
			
擋土牆 A 不同坡度測試		擋土牆 E1 不同坡度測試	

(圖 6 - 不同坡度對擋土牆支撐抗力實驗圖示)

伍、研究結果

一、實驗一：【不同形狀擋土牆之支撐抗力的測試比較】。

(一)坡道坡度 45 度，不同形狀的擋土牆支撐抗力(單位 g)測試結果如下：

代 號	擋土牆形狀 (重量約 800g)		受力面 角度	底面積 (cm^2)	第1次	第2次	第3次	平 均 排 名
					狀 態 說 明			
A	長 方 形		90^0	48	500	550	500	517
					倒 下			⑧
B	等 腰 梯 形		70^0	84	3400	2900	3150	3150
					移動 0.5cm			③
C	等 腰 三 角		60^0	105	5650	7400	6700	6583
					移動 0.5cm			①
D	等 雙 凹 形		約 45^0	138	6000	3900	3900	4600
					移動 0.5cm			②
E1	直 角 梯 形		90^0 平面	59	850	850	850	850
					移動 0.5cm			⑥
E2	直 角 梯 形		80^0 斜面	59	950	850	1050	950
					移動 0.5cm			⑤
F1	直 角 三 角		90^0 平面	87	850	750	750	783
					移動 0.5cm			⑦
F2	直 角 三 角		60^0 斜面	87	1750	1600	1600	1650
					移動 0.5cm			④

(二)當擋土牆重量相同(經濟成本相同)時，經實驗測試結果，不同剖面形狀的擋土牆能承受的支撐抗力大小如下：【C 等腰三角〉D 等腰凹形〉B 等腰梯形〉F 2 直角三角(斜面)〉E 2 直角梯形(斜面)〉E 1 直角梯形(平面)〉F 1 直角三角(平面)〉A 長方形】。其中除了長方形擋土牆有倒下的情形，其他形狀的擋土牆僅有**移動**的現象，且不容易整個倒下。

(三)當擋土牆重量相同時，若以擋土牆的底面積大小比較觀察，則以底面積**越大**者(如 D - 138 cm^2 、C - 105 cm^2)，其支撐抗力也**越大**(4600g、6583g)；反之，底面積**越小**者(如 A - 48 cm^2)，其支撐抗力也**越小**(517g)。

(四)當擋土牆重量相同時，若以擋土牆的受力面角度大小比較觀察，則以受力面角度**越小**者(如 D -約 45° 、C - 60°)，其支撐抗力會**越大**(4600g、6583g)；反之，受力面角度**越大**者(如 A - 90° 、F 1- 90°)，其支撐抗力也會**越小**(517g、783g)。

二、實驗二：【不同弧度的擋土牆之支撐抗力的測試比較】。

(一)坡道坡度 45 度，不同弧度的擋土牆支撐抗力(單位 g)測試結果：

代 號	擋土牆形狀 (實際重量約 800g)		受力面 角度	底面積 (cm ²)	第 1 次	第 2 次	第 3 次	平 均 排 名
					狀 態 說 明			
A	長 方 形		90 ⁰	48	500	550	500	517
					倒 下			③
G1			90 ⁰	約 67.2	1450	1600	1900	1650
					移動 0.5cm			②
G2			90 ⁰	約 67.2	7400	7400	7400	7400
					移動 0.4cm			①
E1	直 角 梯 形		90 ⁰	59	850	850	850	850
					移動 0.5cm			④
E2			80 ⁰	59	950	850	1050	950
					移動 0.5cm			③
H1			90 ⁰	約 85.5	2900	2900	2700	2833
					移動 0.5cm			②
H2			75 ⁰	約 85.5	7400	7400	7400	7400
					移動 0.5cm			①

《擋土牆 A、E 重量約 800g，G、H 重量約 840g》

(二)經實驗測試結果，不論擋土牆剖面形狀是長方形或直角梯形，擋土牆能承受的支撐抗力大小，以**凹面**受力時**最好**，其次為凸面(拱形)受力，**最差的則是平面**受力的情形。【長方形：G 2〉G 1〉A】、【直角梯形：H 2〉H 1〉E 2〉E 1】。

三、實驗三：【不同坡度對擋土牆之支撐抗力的測試比較】。

(一)不同坡度，擋土牆支撐抗力(單位 g)測試結果：

代 號	擋土牆形狀 (重量約 760g)		底面積 (cm ²)	斜坡 坡度	第1次	第2次	第3次	平 均 排 名
					狀 態 說 明			
A	長 方 形		48	30 ⁰	500	600	550	550
					倒 下			①
				35 ⁰	500	500	450	483
					倒 下			②
				40 ⁰	450	500	450	468
					倒 下			③
				45 ⁰	450	450	450	450
					倒 下			④
E1	直 角 梯 形		59	30 ⁰	2100	1600	1750	1817
					移動 0.5cm			①
				35 ⁰	950	950	850	917
					移動 0.5cm			②
				40 ⁰	650	750	650	683
					移動 0.5cm			③
				45 ⁰	600	750	600	650
					移動 0.5cm			④

(二)經實驗測試結果，不論擋土牆剖面形狀是長方形或直角梯形，當坡道**坡度越大**時(45°)，擋土牆能承受的支撐抗力會**越小**；反之，當坡道**坡度越小**時(30°)，擋土牆能承受的支撐抗力則會**變大**。

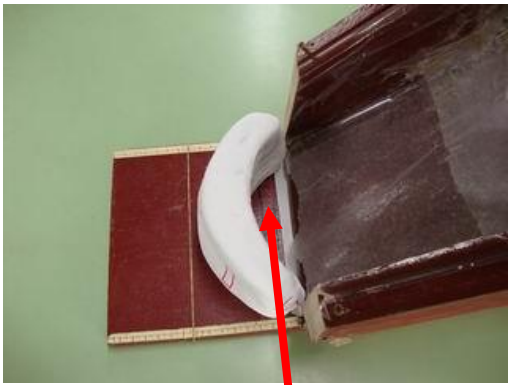
陸、討 論

一、為什麼等重但剖面形狀不同的擋土牆，其支撐抗力的大小會不同？

因為當擋土牆的重量相同且寬度、高度也相同時，不同剖面形狀的擋土牆，**底面積及受力面角度**會隨之改變，當擋土牆底面積越大時，相對的產生的摩擦力也會越大，所以擋土牆較不容易移動或倒下；而受力面角度越小時，發現下滑的土石向下壓住擋土牆的情形會更明顯，所以也會使擋土牆較不易移動或傾倒。因此之故，A 擋土牆(長方形)的支撐抗力是最差的且會倒落(其他擋土牆僅滑動，不易倒落)，因為它的底面積是最小(48cm^2)，而受力面角度卻是最大(90°)。

二、為什麼相同剖面形狀但受力面弧度不同的擋土牆，其支撐抗力的大小會不同？

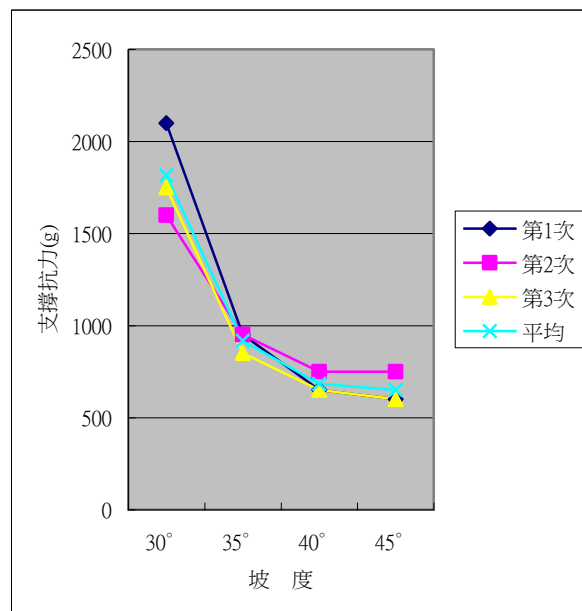
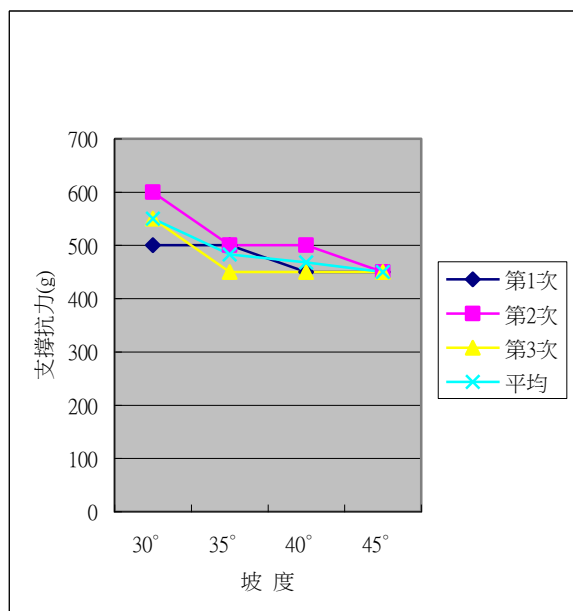
因為當擋土牆以凸形的弧面(拱形)承受撞擊力時，受力的部位容易**集中在中間的同一區域**，所以產生的撞擊力相對增大，故擋土牆容易因撞擊而移動；但若以凹形的弧面承受撞擊力時，土石的撞擊力會較分散，且實驗中發現撞擊前尚有一段平坦的緩衝距離(如圖 7)，所以可能因此而能承受較大的撞擊力；另外若以平面承受撞擊力時，就如同討論一所述的原因，其支撐抗力是最差的。

凸形弧面受力	凹形弧面受力
 受力部位易向中間集中	 平坦的緩衝區
(圖 7- 不同弧面受力位置圖)	

在實驗之前，由相關資料的瞭解，一般的建築物多以拱形的方式支撐能力是最好的，如橋樑、水壩等，但是我們實驗的結果卻是相反，拱形面(凸形的弧面)的支撐抗力並沒有預期的比凹形的弧面來的好，但是經過長方形與直角梯形兩次的測試，結果都是凹形的弧面承受抗力最好，因此我們推測應是與先前的推論相關。

三、為什麼坡道坡度的改變，會影響擋土牆支撐抗力的大小？

由力學的相關知識我們知道物體由斜坡滾落時，當坡度越大其滾動的速度會越大，相對的其衝擊力也是會變大，所以當我們將坡道的坡度慢慢增大時($30^{\circ} \rightarrow 35^{\circ} \rightarrow 40^{\circ} \rightarrow 45^{\circ}$)，等量砝碼的衝擊力會隨之加大，因而擋土牆的支撐抗力也就相對的變小了。(如圖 8、9)



(圖 8-不同坡度 長方形擋土牆支撐抗力比較圖)

(圖 9-不同坡度 直角梯形擋土牆支撐抗力比較圖)

四、為什麼測量擋土牆支撐抗力時所用的砝碼要分不同數量的階段來進行，而不是用固定的一個數量來測試？

因為在實際的狀況上，坡地的土石因地震或雨水的作用，坍塌的量應會逐漸的增加，衝擊的力量也應會一次比一次的強，而非固定保持一定的量依序滾落衝擊，所以我們模擬實際的情形，將一次同時滾落砝碼的數量分階段(每階段 5 次)慢慢的增加(5 個 $\rightarrow$ 10 個 $\rightarrow$ 15 個 $\rightarrow$ 20 個 $\rightarrow$ 25 個 $\rightarrow$ 30 個 $\rightarrow$ 35 個)，以能越符合實際的現況。

五、用紙黏土作為擋土牆模型的材料適不適宜？

先前參閱過擋土牆模型製作的相關作品，有的是以木材為材料，有的則是用黏土或以水泥來製作，最後我們選擇了「紙黏土」，因為紙黏土的重量較重也容易製作，亦較便宜容易取得，是製作擋土牆模型的一種不錯的材料；可是在實驗中我們也發現了用紙黏土製作擋土牆模型的一些缺點，例如：紙黏土會隨著時間逐漸風乾，重量會明顯的改變減少(例如由原本 1000g 重 $\rightarrow$ 水份慢慢減少至 800g 重 $\rightarrow$ 最後成較穩定的 750g 重)，而影響實驗的一致性，所以實驗前最好能先使紙黏土完全確實的風乾，以避免因重量的變因而影響實驗的結果；另外當紙黏土的量過多時，模型易因重力的作用而變形，故模型完成後需確實的保持定形，才能製作出規格一致的擋土牆模型。

柒、結 論

- 一、當建材成本固定時，擋土牆的建造，除配合當地自然環境現狀及結構力學外，或許應可考量並計算出擋土牆最大的底面積及最小的受力面角度，如此擋土牆才能提供最好的支撐抗力，確保坡地的安全。
- 二、擋土牆整體受力面的弧度雖與當地的地形現狀相關，但因受力面弧度的不同，確實會影響擋土牆本身的支撐抗力，所以除配合當地現況(平面或凸面或凹面)外，或許應對不同的受力面弧度作不同程度的補強措施；另外，亦有以小面積外凸形狀所組合成的擋土牆，亦是種不錯的建造方式。
- 三、當坡地的坡度越大時，因山坡土石滑落的衝擊力加劇，同款式的擋土牆支撐抗力相對的也會變低，因此更需設法增加原有擋土牆的支撐抗力度，如此才能有效的抵擋較強的土石衝擊力量。
- 四、現今擋土牆的施作，依據所需擋護的土體性質、擋土高度、擋土構築建材與施工方法等特性，有許多不同的建造種類(例如砌石擋土牆、蛇籠擋土牆、加勁擋土牆及重力式擋土牆等)，亦與結構力學有相當的關聯，絕非我們這次基礎的實驗測試所能瞭解知悉的；但是我們還是覺得滿高興的，因為透過本次的科展活動，使我們對於擋土牆有了初步的基本認識，也對科學實驗的操作、過程及物理力學有進一步的認知收穫，期待以後能有機會再進行更深入的相關研究與探討。

捌、參 考 資 料 及 其 他

- 一、國小自然與生活科技第六冊第四單元「力的世界」。台北：牛頓教科書。
- 二、自然與生活科技第七冊第二單元「地表的組成與改變」。台北：牛頓教科書。
- 三、建築物基礎構造設計規範。第七章擋土牆。內政部營建署全球資料網。民國 99 年 1 月 22，取自 <http://w3.cpami.gov.tw/br/ref/dir.htm>

四、歷屆優勝作品。國立臺灣科學教育館。民國 99 年 1 月 22，取自
<http://www.ntsec.gov.tw/ml.aspx?sNo=0000263>

五、土石流防災資料網。行政院農業委員會水土保持局。民國 99 年 1 月 24，取自
<http://246.swcb.gov.tw/School/school-toknew.asp#>

《附錄一》未來的延伸與檢討：

原本一開始我們想以土壤及水來實際模擬擋土牆模型的支撐抗力度測試(如圖 10)，但是因為成效不佳(部分的擋土牆在實驗測試中沒有明顯的影響與改變)、控制不易及變因過多，又需大量的土壤及場地整理的不便，而我們實驗的重點主要是在相同的情境下(控制變因)，測試觀察不同剖面形狀、不同的受力面弧度及不同的坡度(操縱變因)對於其支撐抗力(應變變因)的影響程度，所以第一階段我們先選用了學校現有的實驗器材-砝碼-來替代原本的土石，以利實驗的測試進行，待第一階段結果後我們將進入第二階段，以實際的土壤及水來實測進行對照比較，以進一步研究探討實際現況中各種變因的影響情形。但是因為在第一階段的變因控制方式及測試準備過程中，耽誤了過多的時間，以致於無法如期的完成第二階段的實驗，故只能期待下一次的機會再來繼續完成。



(圖 10 - 剛開始以土壤及水實測的情形)