

中華民國 第 49 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國中組 地球科學科

第三名

030508

落落大(坍)方---邊坡土石崩落下滑之探究

學校名稱：臺北縣立三和國民中學

作者： 國三 劉重均 國三 李靜君 國三 馮毓庭 國三 黃暉竣	指導老師： 劉昭宏 李正誼
---	-----------------------------

關鍵詞：邊坡土石 、 邊坡下滑 、 岩層下滑

落落大(坍)方 - 邊坡土石崩落下滑之探究



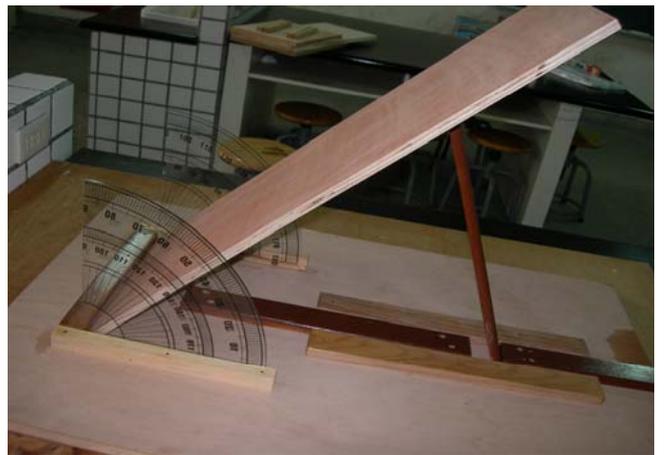
蒐集到粗細不同的下滑接觸面之『介面介質』



利用水泥自製岩塊，並以砂紙稍加磨平表面



觀察岩塊在不同粗細砂紙介面的下滑情形



自製的觀察邊坡土石下滑的實驗操作台



插入鐵夾模擬貓空纜車，觀察影響下滑情況



觀察標準化岩塊在不同介面下的下滑情形

摘要

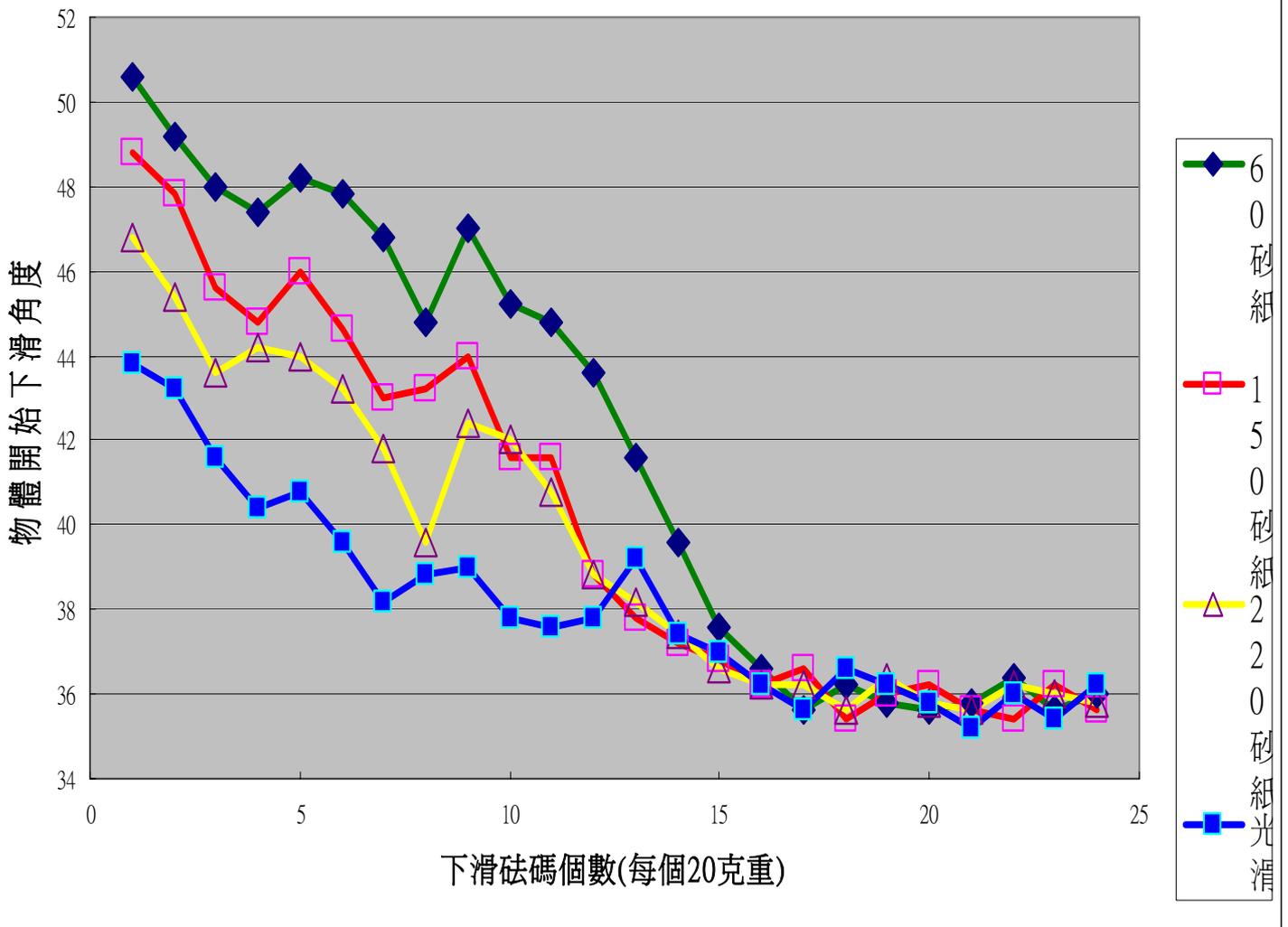
科展是蠻享受、愜意的體驗。行經山林，腦海會湧出邊坡相關畫面，真是有趣。我們從中學到科學探究的方法，關於邊坡下滑的成因，也有深入的認識。得到的結論跟既有認知有衝突，這是很棒的經驗與成長。

坡度超過 35 度最好不要住人，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 度左右，只要負載過重、地震、雨量過多或水土保持不好時，35 度以上坡度必下滑。

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。

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 度，若支架沒有深入岩盤，一旦岩層一有破碎會導致下滑。

當下滑物體的重量大到某程度之後，增加下滑接觸面的摩擦力或增加介面粗糙程度，對於防止物體下滑是無效的



壹、研究動機

颱風常常侵襲台灣。颱風的造訪，不僅讓大家的旅遊因此泡湯，另外，也常常造成民眾生命和財產的重大損害。每次在電視上總會看到颱風肆虐的災害報導，爸爸說：『政府每年都要花費好幾百億經費在做相關的道路維修和邊坡重建等，可是錢花了效果卻不好。』這句話令我疑惑好幾天，因此，腦子裡對於『土石流與邊坡重建』的議題很感興趣，由於這樣的懷疑和想探究的好奇心，便是朝此方向探討的動機了。

貳、研究目的

1. 探討『造成邊坡下滑的危險因素和條件』有哪些?(書面探討)
2. 探討『接觸面介質粗糙程度』是否對於邊坡下滑有影響?
3. 探討『上層物體重量』是否對於邊坡下滑有影響?
4. 探討『接觸面間若有微粒或水的介入』是否對於邊坡下滑有影響?
5. 探討『上層物體與接觸面的傾斜程度』是否對於邊坡下滑有影響?
6. 探討『實體顆粒介質』對於邊坡下滑有影響?
7. 探討『接觸面積的大小』是否對於邊坡下滑有影響?
8. 探討『地震波』是否對於邊坡下滑有影響?
9. 探討『插入直立棒體於接觸面上』是否對於邊坡下滑有影響?
10. 探討『接觸面的形狀』是否對於邊坡下滑有影響?
11. 探討質量因素與摩擦力因素對『邊坡下滑』，何者影響較大?

參、研究設備及材料

- | | | |
|---------------|-------------------|---------------|
| 1.各種粗細不同的砂石泥土 | 2 模擬上層地殼自製滑落物 | 3.自製木板支架與實驗平台 |
| 4.各種粗操係數砂紙數張 | 5.磚塊和水泥 | 6.尺及量角器 |
| 7.餅乾 | 8.麵粉 | 9.食鹽及冰糖 |
| 10.黏土 | 11.保鮮膜 | 12.雙面膠 |
| 13.磅秤 | 14.沙拉油 | 15.沐浴乳 |
| 16.撲克牌 | 17.標準 20 克砝碼 30 個 | 18.海沙 |



自己構思自製的實驗平台，讓實驗更好操作



11 種粗細不同的礫石、砂石、泥土、腐植土

肆、研究過程或方法

對於邊坡土石下滑現象產生疑惑和疑問
產生一連串的問題



上網及圖書館查資料、討論並詢問師長
釐清研究方向與範圍



動腦設計實驗器材與規劃欲探討的主題
多面向觀察與初步實驗



進行初步實驗結果的討論、啓發與檢討
再精進與修正實驗設計與探討



細心地繼續做實驗、討論與驗證假設
挖掘科學真相與應用



一連串實驗後得到的實驗結果與啓發
我們的實驗結論與討論



實驗前的溝通與討論，讓實驗進行更順暢



按照實驗的規劃，但有時候必須加以修正



利用水泥土和泥沙混合酌量清水，放入訂製木盒中，自製實驗用水泥土塊。



自製實驗水泥土塊成形後，讓他們曝曬及晾乾數日，變成為我們的實驗器材之一。



實驗時踢到鐵板，電子秤無法讀出土塊重量，緊急找磅秤解決，並模擬了一連串實驗。



想原先規劃中沒有想到的影響因素和器材，實驗方法是一連串的討論和嘗試之後才確立的。



在校園中找來的磚塊和造型磚(有跟警衛伯伯報告)，以及晾乾五天的自治水泥磚塊。



泥塊成後，表再經過沙紙磨盡量使表面光。

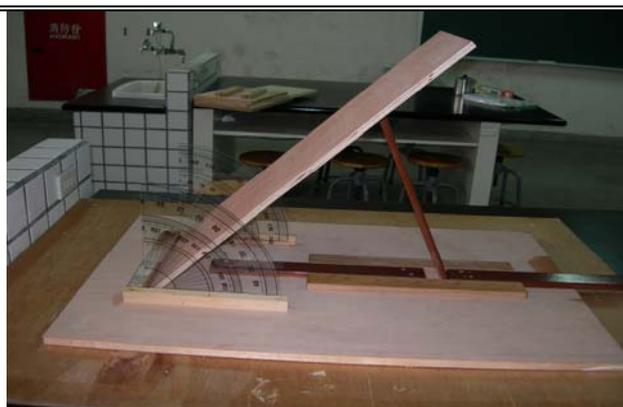
先了解磚塊在所探討因素下的下滑狀況。



我們記錄的數據是下層地層和海平面的夾角，由傾斜角度讀出上層物體下滑的難易程度。



兩塊、三塊、四塊磚塊疊一起，觀察下滑角度和狀況(有點危險，手被紅磚塊 K 到好幾次)。



手常被 K，量角尺太小，所以腦力激盪，規劃並自製出更便利的可轉動實驗平台。



可轉動實驗平台在進行各種實驗時，因為便利好用，所以好有成就感，我們實在太聰明了。



到各地及河川選取所需的礫石、砂石、泥土、腐植土等樣品，進行邊坡土石下滑實驗。



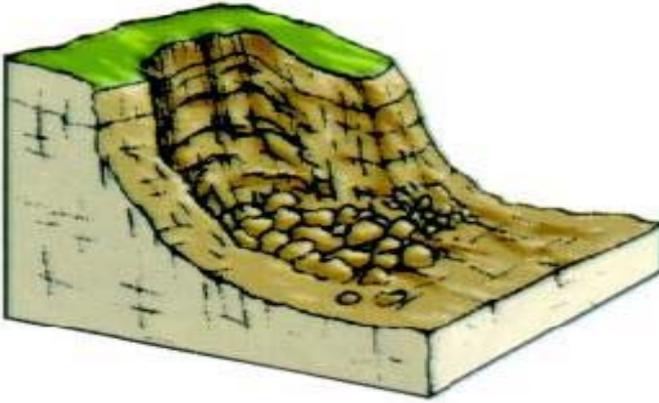
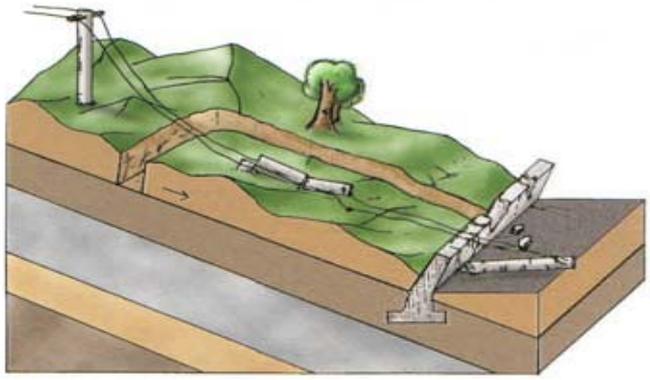
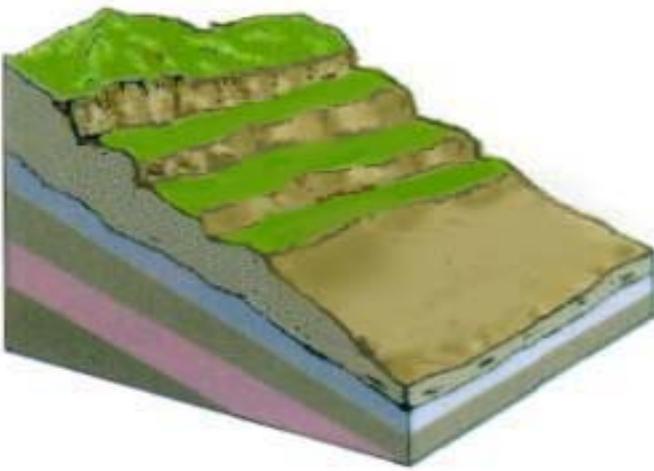
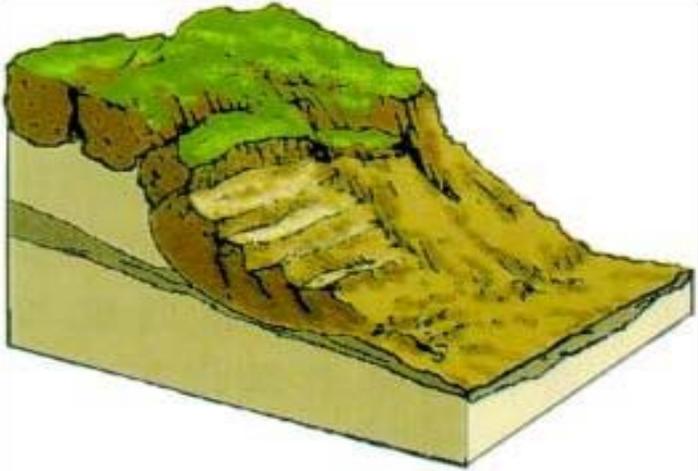
岩塊在腐植土及濕土界面上，觀察其因坡度改變的下滑狀況實驗操作圖。

伍、研究結果

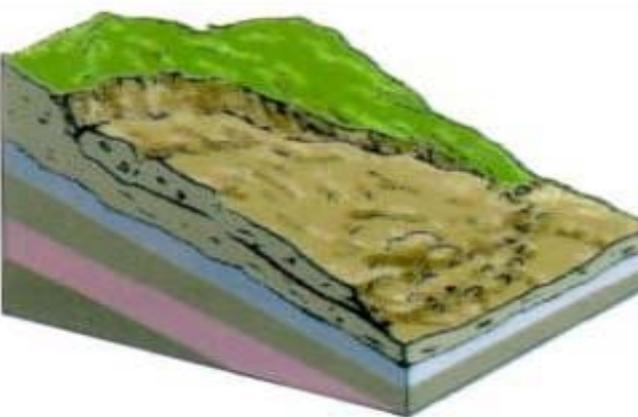
針對研究目的進行探究與實驗。把相關的實驗項目，放在一起記錄和討論。

1. 探討『造成邊坡下滑的危險因素和條件』有哪些? (書面探討)

七種邊坡下滑的主要類型摘自「山上的房子」(中國地質學會)

	
<p style="text-align: center;">落石</p>	<p style="text-align: center;">順向坡滑動</p>
<p>單一或數個岩塊土塊，以自由落體、跳動或滾動的方式，從山坡懸崖或陡坡零星地驟然墜落，於下坡處堆積如傘狀，落石經常發生於地形較陡峭的山坡地或窄小、高峭的道路邊坡。</p>	<p>一般多發生於岩層內。坡地坡面傾斜方向與地層層面或不連續面傾斜方向相同稱「順向坡」。當「順向坡」地層層面沿著此地層之一個或數個層面，或不連續面產生滑動破壞者，則稱為「順向坡滑動」。</p>
	
<p style="text-align: center;">地層潛變位移</p>	<p style="text-align: center;">近圓弧形滑動破壞</p>
<p>多發生於厚層均質的土體中，如回填土坡、崩積土坡等。滑動面深度約 3 m 以下，下半部則沿著土壤與岩石界面滑動。</p>	<p>多發生於厚層均質土體，滑動面深度 3m 以上，且破壞面呈圓弧或近圓弧形狀。亦可能邊坡之上半部發生圓弧破壞，下半部則沿著土壤與岩石界面滑動（複合式破壞）。</p>

	
<p>沖蝕滑動</p>	<p>表層土壤沖蝕(土石流)</p>
<p>多發生於坡面植被覆蓋不良的土層表面，沖蝕動力主要來自雨滴的打擊力及地表逕流的曳引力，依不同動力及發展過程所造成之土壤沖蝕型態分為：(1) 飛濺沖蝕、(2) 層狀沖蝕、(3) 指狀沖蝕、(4) 溝狀沖蝕。</p>	<p>發生於土壤、岩塊及水三者混合在一起向下流動。泛指土、石與水混合後所形成一種集體流動體。其中「土」指泥、砂、黏土等土壤材料，「石」指岩石、礫石等單獨個體岩塊，「水」則是指雨水、地表水及地下水。發生山嶺溝谷間。</p>

	<p>淺層土壤滑動破壞</p> <p>多發生於坡度較陡的邊坡，滑動面常發生於土層與岩層交界面之上，或僅發生於土層，滑動破壞的土體厚度不大、厚度均勻，約介於1~3 m間。常發生於降雨時，雨水直接入滲土層，形成土壤飽和，或地表逕流匯集衝擊土層。</p>
--	---

邊坡破壞的原因 邊坡發生災害的原因相當的複雜，包括人為開發、地質、地形、重力、降水、地震等等。一般可依其特性將之分類如下。主要原因如下：

1. 地質性質：岩層相當破碎或是空隙多，又受到水的滲透，便容易構成潛在的滑動面。所以，岩曾膠結不好，較鬆散時，或節理、斷層發達，則較易崩落。
2. 坡地與地形：坡度愈大，山崩發生的機率愈高；順向坡也容易造成岩層的滑動。
3. 氣候與植被：潮濕多雨或氣候變化，會使風化侵蝕作用加劇，易造成山崩。山坡地若缺乏積物覆蓋，坡體也會因為受到侵蝕、沖刷的作用，而增加崩塌的可能性。
4. 水的影響：雨水滲入形成地下水，地下水在岩層形成特殊水壓力，進而弱化岩石或土壤的力學強度。且水量多、風化和侵蝕作用加強，地層中含水量會使整體重量如大，容易崩落；此外，水會降低岩層間的摩擦力，造成山崩。
5. 人為開發：人為的開發山坡地，往往會破壞植被，使山坡地的坡度變大，建築建築物使山坡地的負荷過重，這些作用會增加山坡地的不穩定造成山崩，目前此因素可能是山崩發生最重要的因素。
6. 其他因素：地震會對山坡地的結構造成傷害，稍有不穩即發生山崩。

2.探討『接觸面粗糙程度』是否對於邊坡下滑有影響?

3.探討『上層物體重量』是否對於邊坡下滑有影響?

樣本：520 克水泥塊 (水泥塊一面有磨平、另一面未磨平)

砂紙編號	砂紙粗糙程度	未磨平面的下滑仰角	已磨平面的下滑仰角
不放砂紙	光滑面	20.5	23.7
400	↓	28.4	29.2
220		30.2	31.6
150		33.5	35.0
100		36.3	39.4
60	顆粒最大最粗糙	38.5	42.5

樣本：720 克水泥塊 (水泥塊一面有磨平、另一面未磨平)

砂紙編號	砂紙粗糙程度	未磨平面的下滑仰角	已磨平面的下滑仰角
不放砂紙	光滑面	21.2	24.6
400	↓	25.9	27.3
220		27.0	29.6
150		28.2	32.8
100		30.6	35.0
60	顆粒最大最粗糙	32.4	38.8

樣本：1800 克水泥塊 (水泥塊一面有磨平、另一面未磨平)

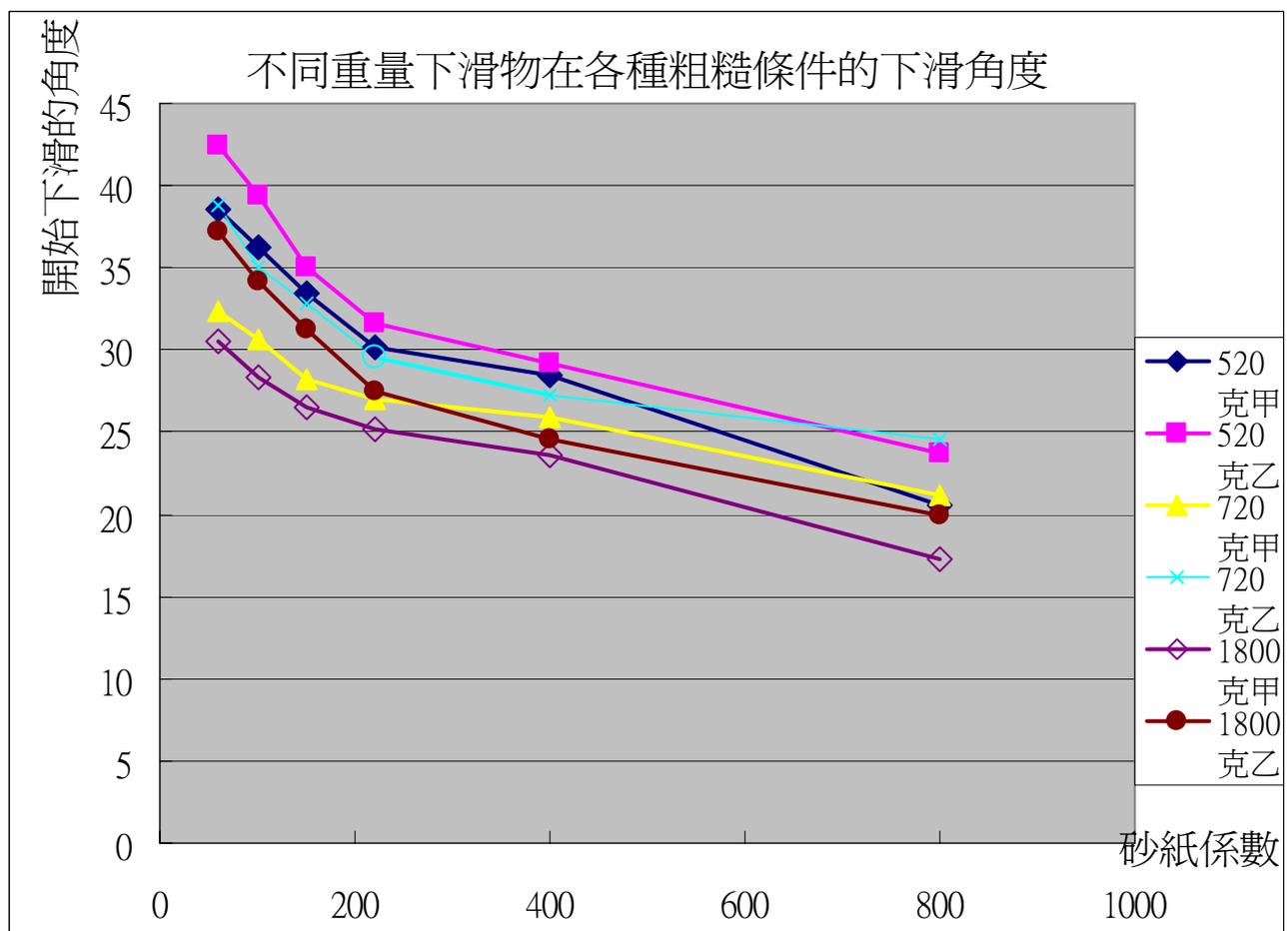
砂紙編號	砂紙粗糙程度	未磨平面的下滑仰角	已磨平面的下滑仰角
不放砂紙	光滑面	17.3	20.0
400	↓	23.6	24.6
220		25.2	27.5
150		26.5	31.2
100		28.3	34.2
60	顆粒最大最粗糙	30.5	37.2



將水泥塊『有磨平』的接觸面和『未磨平』的接觸面，在光滑面上做下滑實驗。



將水泥塊『有磨平』的接觸面和『未磨平』的接觸面，在砂紙面上做下滑實驗。

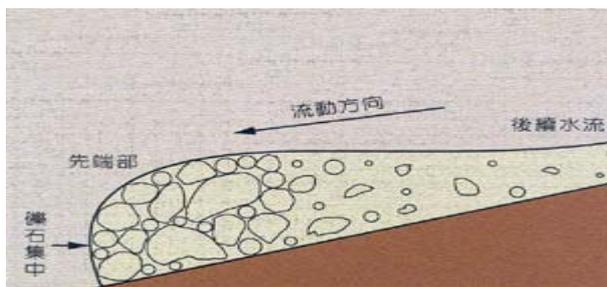


結果：

1. 依據砂紙編號，砂紙編號數字越小，砂紙上的沙子顆粒越大，會讓接觸面越粗糙。
2. 由實驗結果發現，砂紙越粗糙時，物體下滑的仰角角度越大，代表物體越不容易下滑；而當上層物體越重時，其下滑時的仰角越小，越容易產生邊坡下滑情形。
3. 物體的接觸面有磨平整的，跟接觸面的砂紙『鑲鉗』程度越好，越不容易下滑。這裡的『磨平』並非完全光滑，而只是讓水泥跟砂紙能有更緊密接觸，而不因有凸起而接觸不好，所以我們發現『真實的接觸面積』和『真正的接觸面積』其實有所不同。

4.探討『接觸面間若有微粒或水的介入』是否對於邊坡下滑有影響?

5.探討『上層物體與接觸面的傾斜程度』是否對於邊坡下滑有影響?



土石流流動示意圖



土石堆積及滑動坡動示意圖

1800 克水泥塊 (砂紙 150 號)

物質編號	介入物質	未磨平面下滑仰角	已磨平面下滑仰角
01	滋潤少水	41.5	43.0
02	濕潤較多水	36.5	39.0
03	整塊餅乾下(角度稍平)	28.6	30.5
04	多水(水流出接觸面)	28.0	28.5
05	無物質介入	27.6	32.2
06	麵粉	28.0	29.5
07	餅乾碎屑	26.5	29.0
08	整塊餅乾上(角度較陡)	25.3	26.7
09	顆粒不均的粗鹽	22.0	23.0
10	洗手乳	15.0	15.0
11	沙拉油	5.0	7.0



利用碎餅乾(蘇打餅)壓在接觸面之間，模擬碎屑岩上方岩層的下滑情形



水泥塊擺上去後，會形成一個小角度，再改變餅乾的位置，會形成另一個角度。



餅乾擺在靠地面這樣擺的實驗，之後，改用不規則形狀的冰糖模擬礫岩。



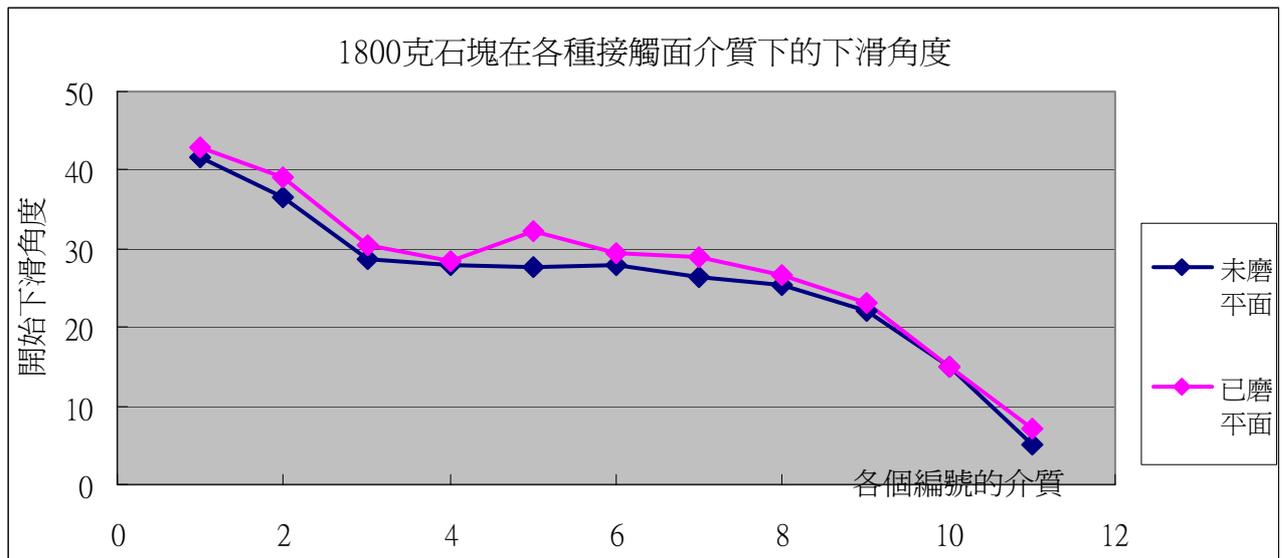
碎冰糖做完，改以精鹽和澱粉來做，食鹽的顆粒很均勻，澱粉的顆粒最細小。



同一種砂紙，用少量水和多量水，比較下滑情形。再改用光滑面加上清水，岩層下滑情形。



桌上有點濕，還好沒有積水。之後，我們又使用洗手乳和沙拉油當接觸面介質，再做做看，發現實驗結果和預期的情形吻合。



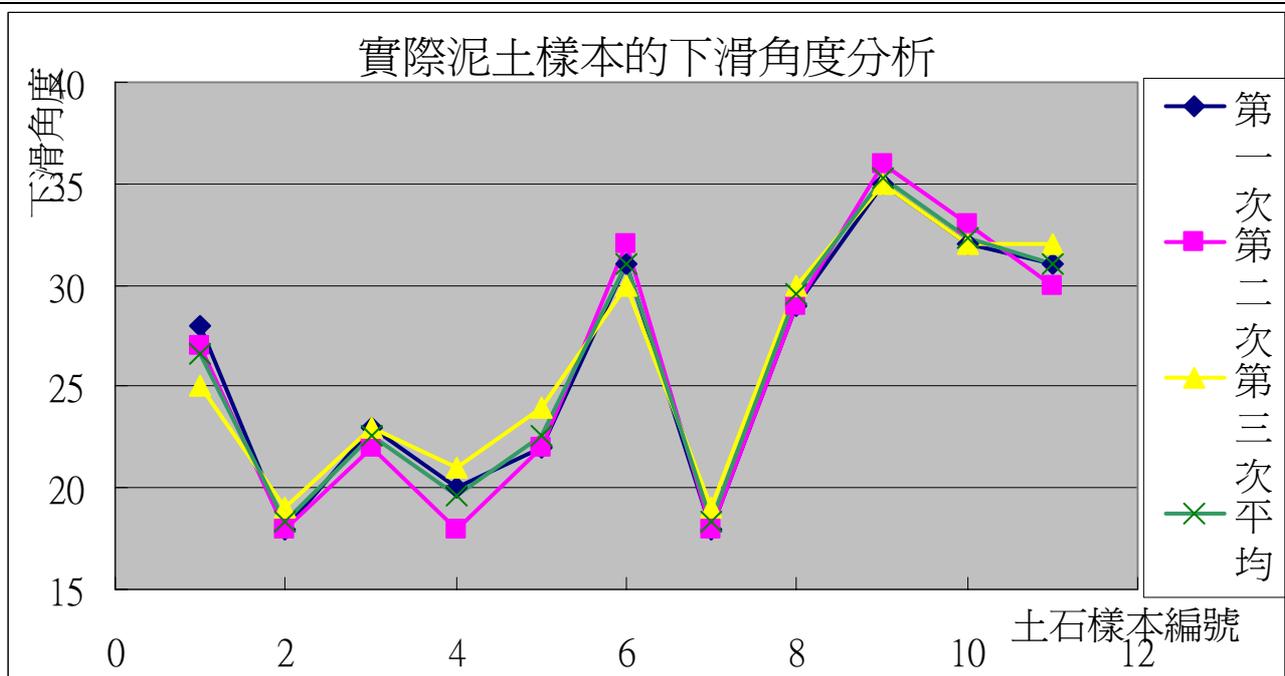
結果：

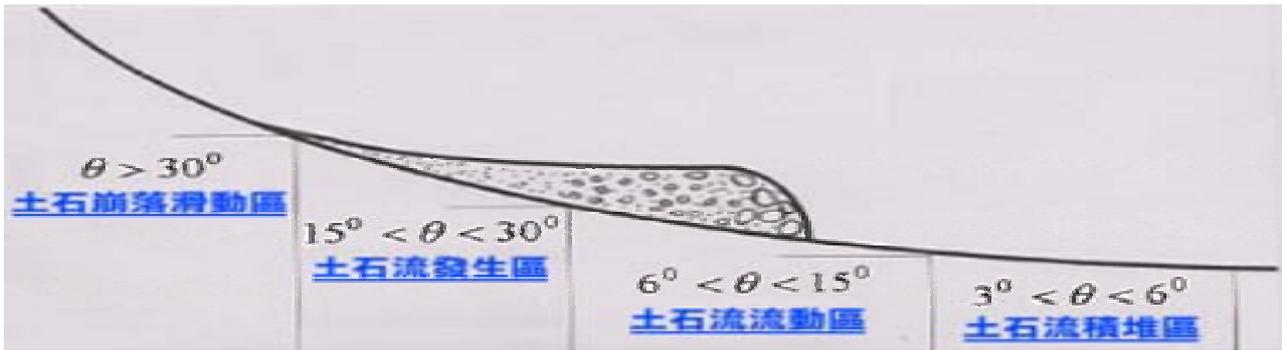
- 1.實驗發現接觸面之間，若有微粒或介質存在時，會影響邊坡下滑情形。
- 2.接觸面之間若存在著『滋潤作用』少許的水時，反倒會促使接觸面『鑲鉗』程度更好，越不容易下滑。當水越來越多時，下滑仰角也跟著降低。
- 3.洗手乳和沙拉油的存在，使接觸面之間完全喪失摩擦力，所以下滑仰角很小。
- 4.整片餅乾在下時，反倒會使得上層物體的仰角變小，提高了上層物體下滑時的仰角，所以由此可知，接觸面與上層物體的傾斜角度會影響邊坡下滑。

6.探討『實體顆粒介質』對於邊坡下滑的影響?

利用 1950 克石塊樣本 (顆粒由粗到細，各實驗五次，取中間三次平均)

接觸介面	01 號	02 號	03 號	04 號	05 號	06 號	07 號	08 號	09 號	10 號	11 號
	大礫石	中礫石	小礫石	粗砂石	中砂石	細砂石	乾礫土	泥 土	濕泥土	腐植土	對照組
下滑角度	28 度	18 度	23 度	20 度	22 度	31 度	18 度	29 度	35 度	32 度	31 度
下滑角度	27 度	18 度	22 度	18 度	22 度	32 度	18 度	29 度	36 度	33 度	30 度
下滑角度	25 度	19 度	23 度	21 度	24 度	30 度	19 度	30 度	35 度	32 度	32 度
平均角度	26.6 度	18.3 度	22.6 度	19.6 度	22.6 度	31.0 度	18.3 度	29.6 度	35.3 度	32.6 度	31.0 度





結果：

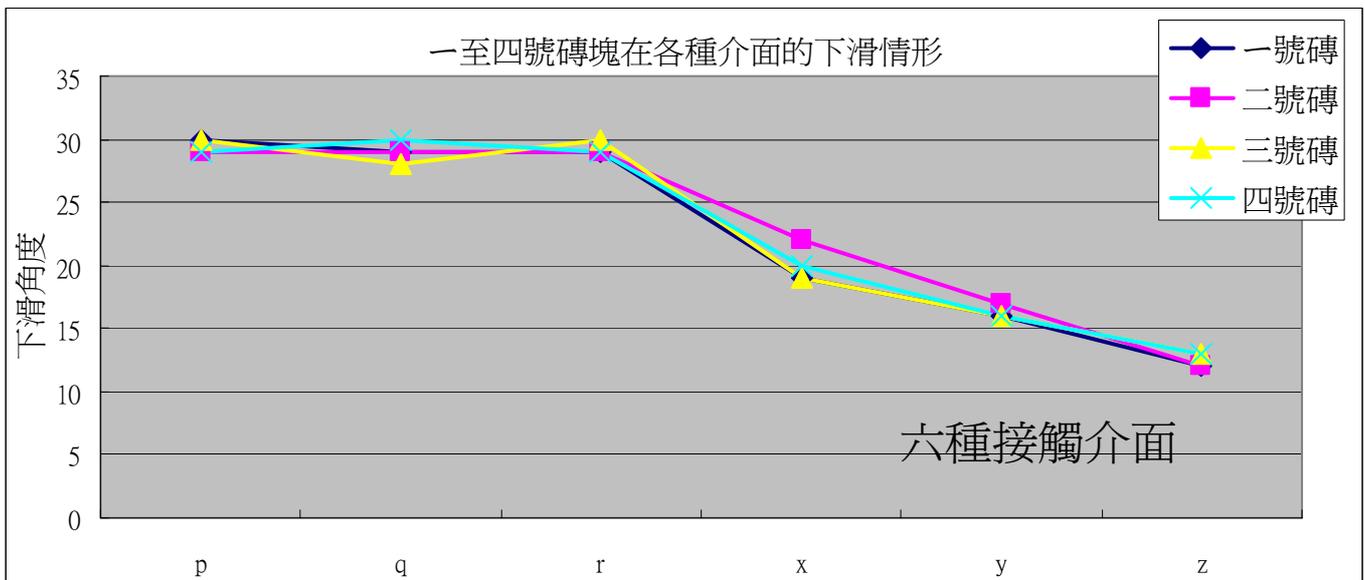
1. 實驗發現：顆粒大小不同，邊坡下滑的角度也有不同，有點滋潤的泥土最不易下滑。
2. 編號 2 號、4 號、7 號的介質，形狀偏圓之外，大致上可以發現最容易下滑。
3. 存在於接觸面之間的介質顆粒大小，對於邊坡土石下滑，並無絕對的影響。
4. 存在介質情形下，在角度 30 度之下，隨即下滑，所以除非是整個岩盤，否則大於坡度 30 度以上的山坡地，其實並不適合居住。

7. 探討『接觸面積的大小』是否對於邊坡下滑有影響?

8. 探討『地震波』是否對於邊坡下滑有影響?

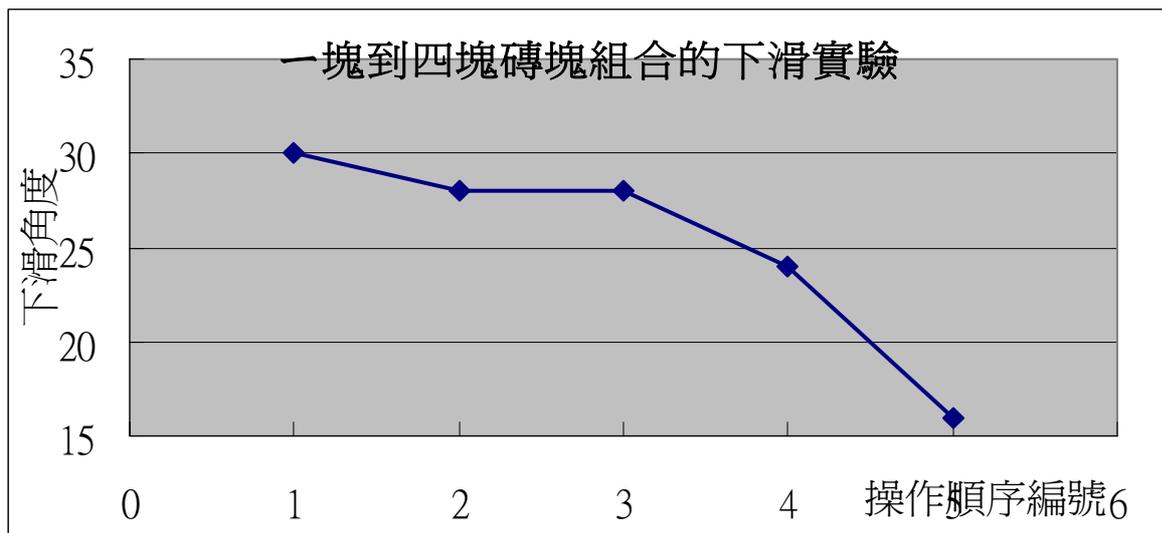
四塊紅磚塊個別實驗

砂紙編號	擺正面	擺反面	擺側面	包保鮮膜	有震波時	擺第三面
一號磚	30	29	29	19	16	12
二號磚	29	29	29	22	17	13
三號磚	30	28	30	19	16	13
四號磚	29	30	29	20	16	13



四塊紅磚塊一起實驗

磚塊組合	1	1+2	1+3	1+2+3	1+2+3+4
仰角角度	30	28	28	24	16



結果：

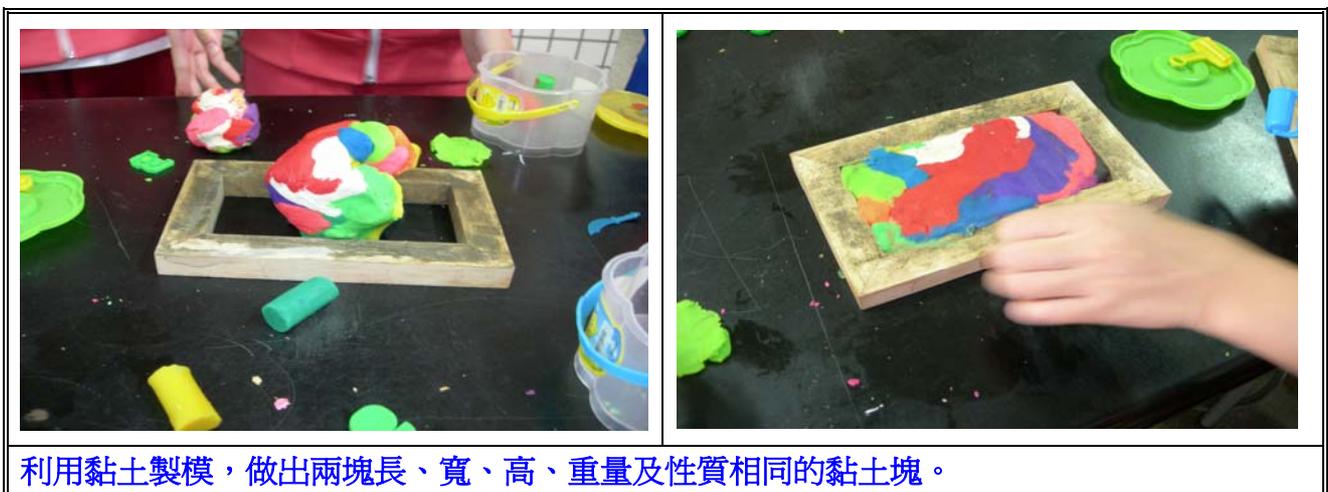
1. 實驗發現上層物體的厚度越厚，越容易下滑。
2. 紅磚塊有三個對稱面，不論擺正面、反面、側面，下滑程度差不多；但是擺面積最小的那一面，因為高度太高，重心不穩，很容易下滑。
3. 地震波出現時，會使得接觸面之間鑲鉗程度降低，降低摩擦力，所以下滑仰角變小。
4. 上層物體的重量在某個範圍內時，下滑時的仰角差距不大，但是超過每個數值，上層物體的傾斜角度會大幅下滑。

9. 探討『插入直立棒體於接觸面上』是否對於邊坡下滑有影響？

10. 探討『接觸面的形狀』是否對於邊坡下滑有影響？

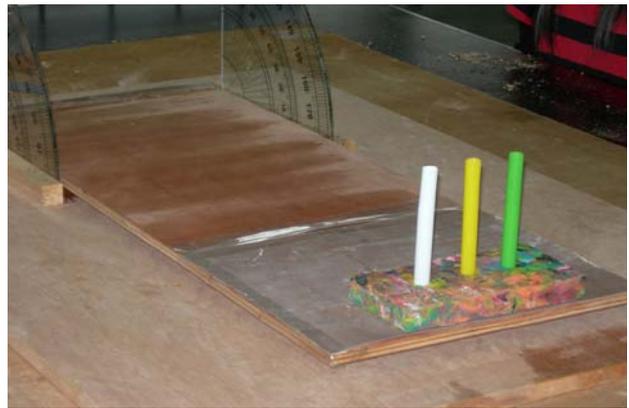
1. 岩塊部分實驗數據顯示大部分的假設和探討結果，黏土部分是想再做做看的。我們原本想利用冬至的『生湯圓』來做，生湯圓和麵皮其實也很適合，不過感覺太浪費，所以腦力激盪，改用十元店買『黏土』來做。黏土可重複使用，也可久置，希望可以因黏土實驗又得到一些啟發，也希望可真正呈現並了解邊坡土石下滑的影響因素。

黏土實驗部份：利用黏土、吸管、鐵棒和夾子，研究貓纜 T16 直立柱對於岩層下滑的影響





黏土塊邊坡下滑實驗，記錄下滑瞬間的角度。接觸面進行十字形刮痕後，下滑角度變大。



鐵夾模擬貓空纜車的鐵柱，觀察下滑情形，下滑角度大幅縮小。



兩塊交疊但插入條型棒，有穩定的成效。



黏土塊上插上三支空吸管下滑圖

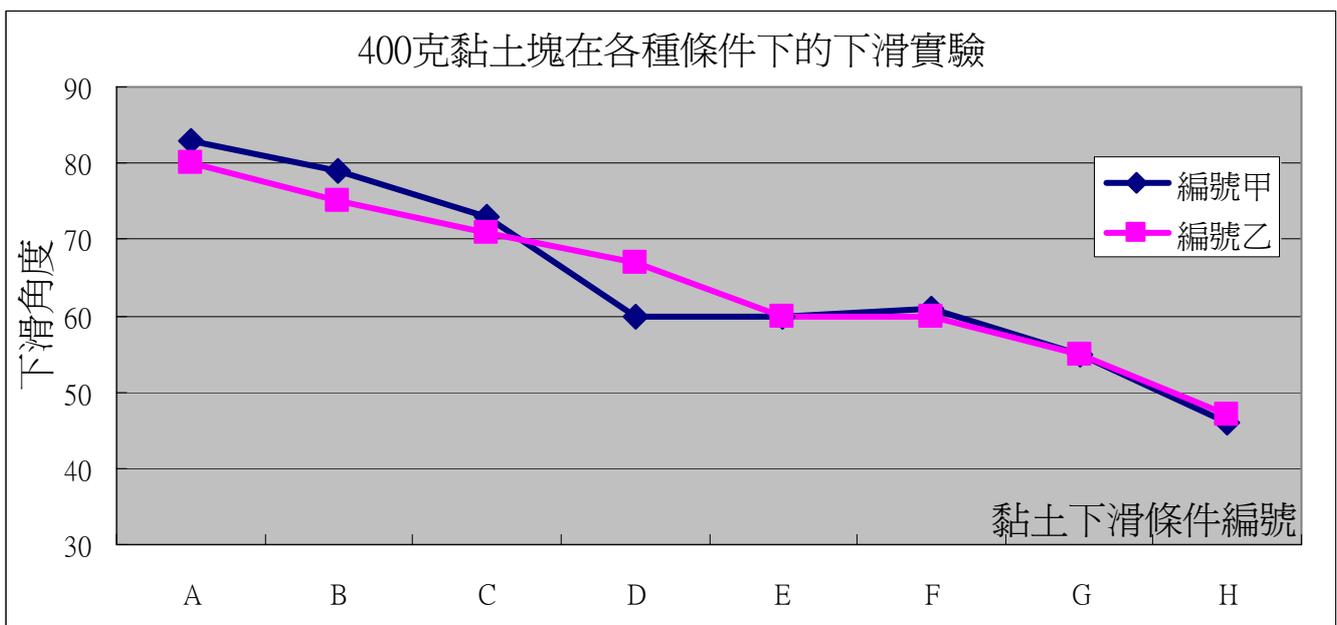
三支空吸管中放入鐵塊的下滑操作圖



插上三支管子(分為空心管和放入鐵棒管)，插鐵棒管的岩塊下滑角度大幅下降。

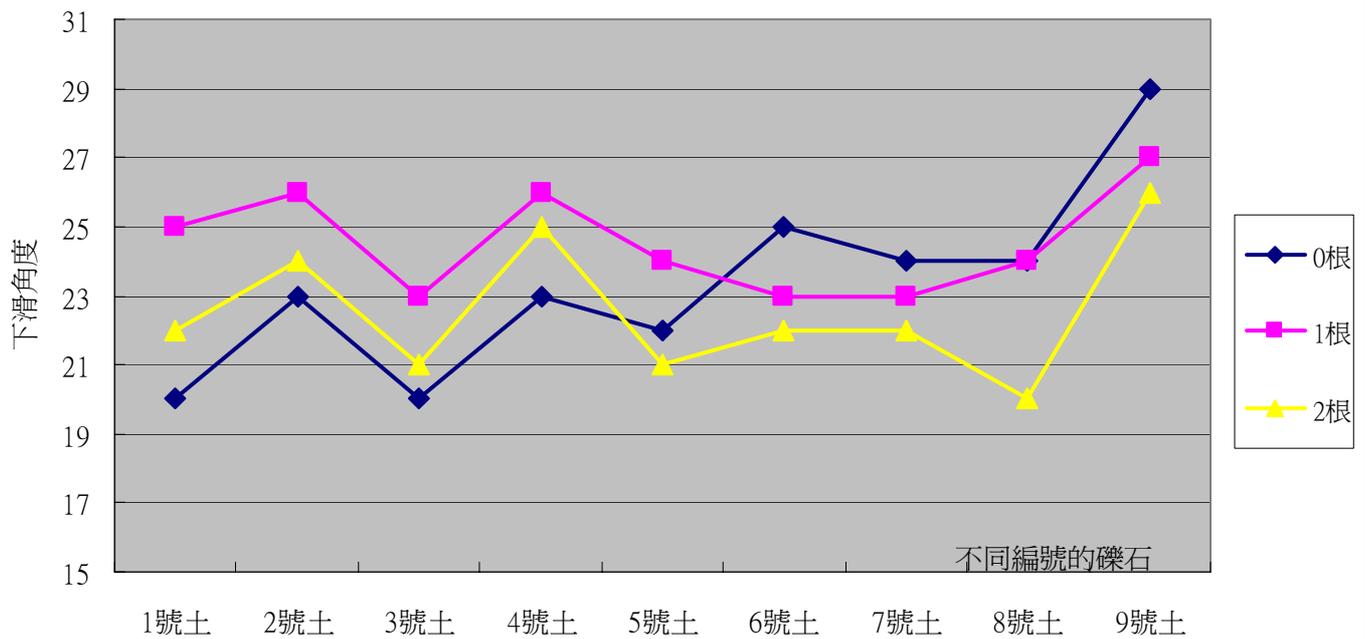
樣本：400 克黏土塊

編號	加橫縱紋	加入橫紋	單純下滑	插上鐵夾	雙層夾劍	插三支空吸管	甲乙雙層	插三支有鐵條吸管
甲	83	79	73	60	60	61	55	46
乙	80	75	71	67	60	60	55	47



利用黏土塊插上兩根鐵塊(重量非控制變因)，改變接觸介面的介質種類，觀察下滑情形。

黏土塊插入不同數目的鐵棒後，在九種接觸面礫石間的下滑情形



直立木塊下滑和往上拉時，皆易出現『坡角』導致岩層不穩，直立棒傾斜，循環下去。

木塊貓纜實驗：控制**相同總重量**、**相同下滑條件**、**相同接觸介面**下，操縱**平放與直立變因**



利用木塊及壓克力空管，拼出兩塊重量相同和接觸面相同的木塊。



沒插橫立式鐵條的木塊。



沒插直立式鐵條的木塊。



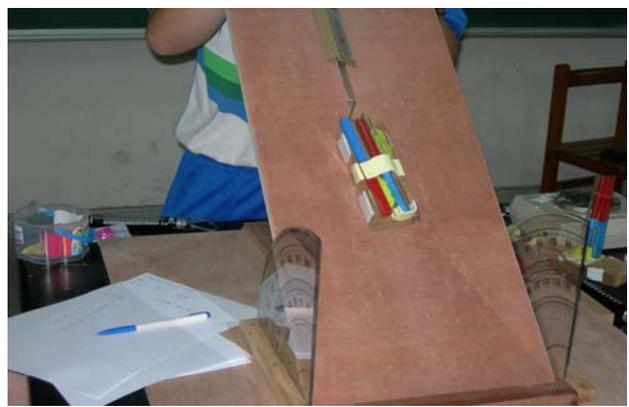
插有一根橫立式鐵條的木塊。



插有一根直立式鐵條的木塊。



插有兩根直立式鐵條的木塊。



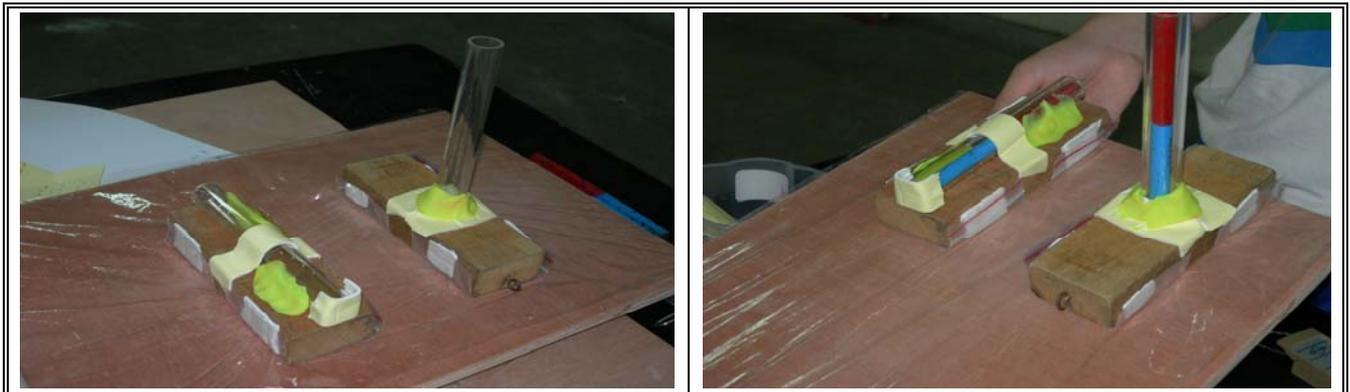
插有兩根橫立式鐵條的木塊。



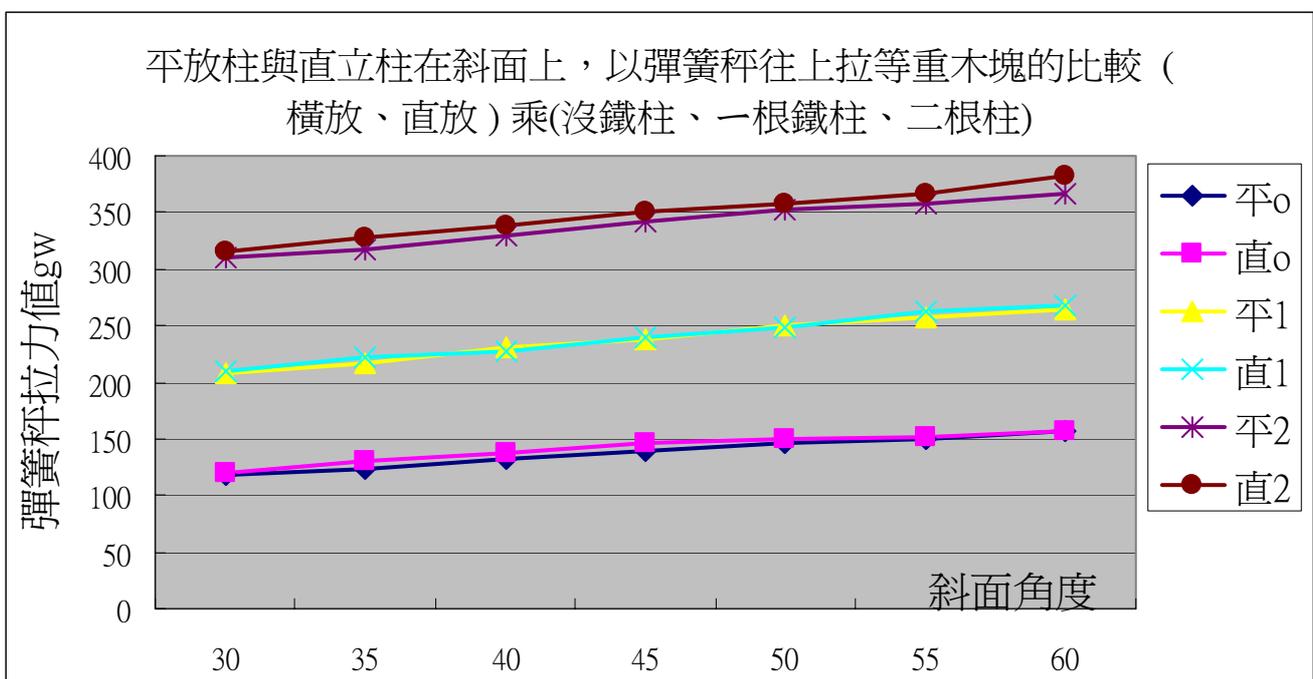
插上兩支鐵條，將木塊放在斜面上，發現彈簧秤讀數並無明顯變化，但出現坡角。



木塊貓纜實驗：控制**相同總重量**、**相同下滑條件**、**相同接觸介面**下，操縱**橫放與直立變因**



橫放與直立空心管和木塊粘在一起，重量相同，接觸面也相同。右圖為插入鐵條情形。



結果：

- 實驗發現接觸面形狀會影響下滑，加入橫紋和縱紋讓接觸面『鑲鉗』程度更好，接觸面之間磨擦力變大，所以下滑仰角最大。
- 上下層若中間出現連結物不易下滑，所以在易發生邊坡下滑的區域，打入鋼材鋼條，是可以降低邊坡下滑的發生。
- 利用鐵夾子模擬貓空纜車的鐵柱來做實驗，發現插有鐵條鐵夾子的黏土塊較容易下滑。因此，在山坡上豎立『鐵柱或鐵塔』等，皆會大幅降低岩層下滑角度。
- 岩層之間夾有破碎礫石，上面有黏土塊，實驗發現：由於黏土塊重量輕，當插入一根重量約為黏土塊三分之一的鐵柱時，因為重量增加穩住下盤，反倒不容易下滑，插有一根鐵棒的下滑角度平均值是最大的。此外，夾有較粗的礫石，有下滑角度：『插一根』大於『插兩根』大於『沒插鐵棒』的實驗規則。
- 木塊實驗顯示：控制**相同總重量**、**相同下滑條件**、**相同接觸介面**下，操縱**鐵條橫放與直立變因**時，發現彈簧秤在拉木塊時，不管鐵條是直立柱與橫立柱，彈簧秤拉力的讀數，並無明顯差異。但直立柱會造成岩層的坡角顯現，直立柱有傾倒傾向，傾倒的直立柱再造成更大的坡角出現，因果循環，導致直立鐵柱結構體和岩層易於崩垮。

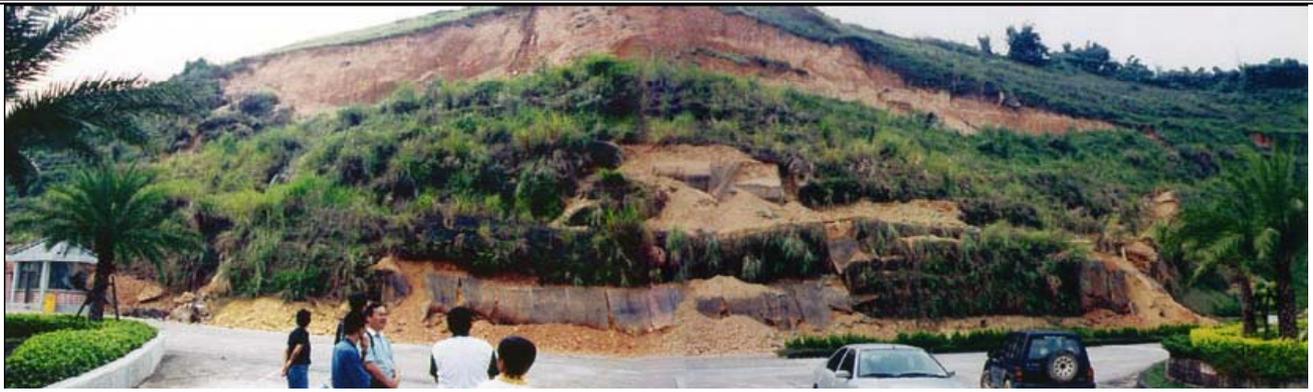
11. 探討質量因素與摩擦力因素對『邊坡下滑』，何者影響較大？（在空撲克牌裡放入砝碼，每個砝碼都是 20 公克重）紀錄不同接觸面，裝有砝碼撲克牌下滑的角度，各做五次球平均值。

類別碼數	1 顆	2 顆	3 顆	4 顆	5 顆	6 顆	7 顆	8 顆	9 顆	10 顆	11 顆	12 顆
60 砂紙	50.6	49.2	48.0	47.4	48.2	47.8	46.8	44.8	47.0	45.2	44.8	43.6
150 砂紙	48.8	47.8	45.6	44.8	46.0	44.6	43.0	43.2	44.0	41.6	41.6	38.6
220 砂紙	46.8	45.4	43.6	44.2	44.0	43.2	41.8	39.6	42.4	42.0	40.8	38.8
光滑面	43.8	43.2	41.6	40.4	40.8	39.6	38.2	38.8	39.0	37.8	37.6	37.8

類別碼數	13 顆	14 顆	15 顆	16 顆	17 顆	18 顆	19 顆	20 顆	21 顆	22 顆	23 顆	24 顆
60 砂紙	41.6	39.6	37.6	36.6	35.6	36.2	35.8	35.6	35.8	36.4	35.6	36.0
150 砂紙	37.8	37.2	36.8	36.2	36.6	35.4	36.0	36.2	35.4	35.6	36.2	35.6
220 砂紙	38.2	37.2	36.6	36.2	36.2	35.6	36.4	35.8	35.6	36.2	36.0	35.8
光滑面	39.2	37.4	37.0	36.2	35.6	36.6	36.2	35.8	35.2	36.0	35.4	36.2

下圖為『探討摩擦介面和岩層重量，何者是邊坡下滑的主要原因』照片

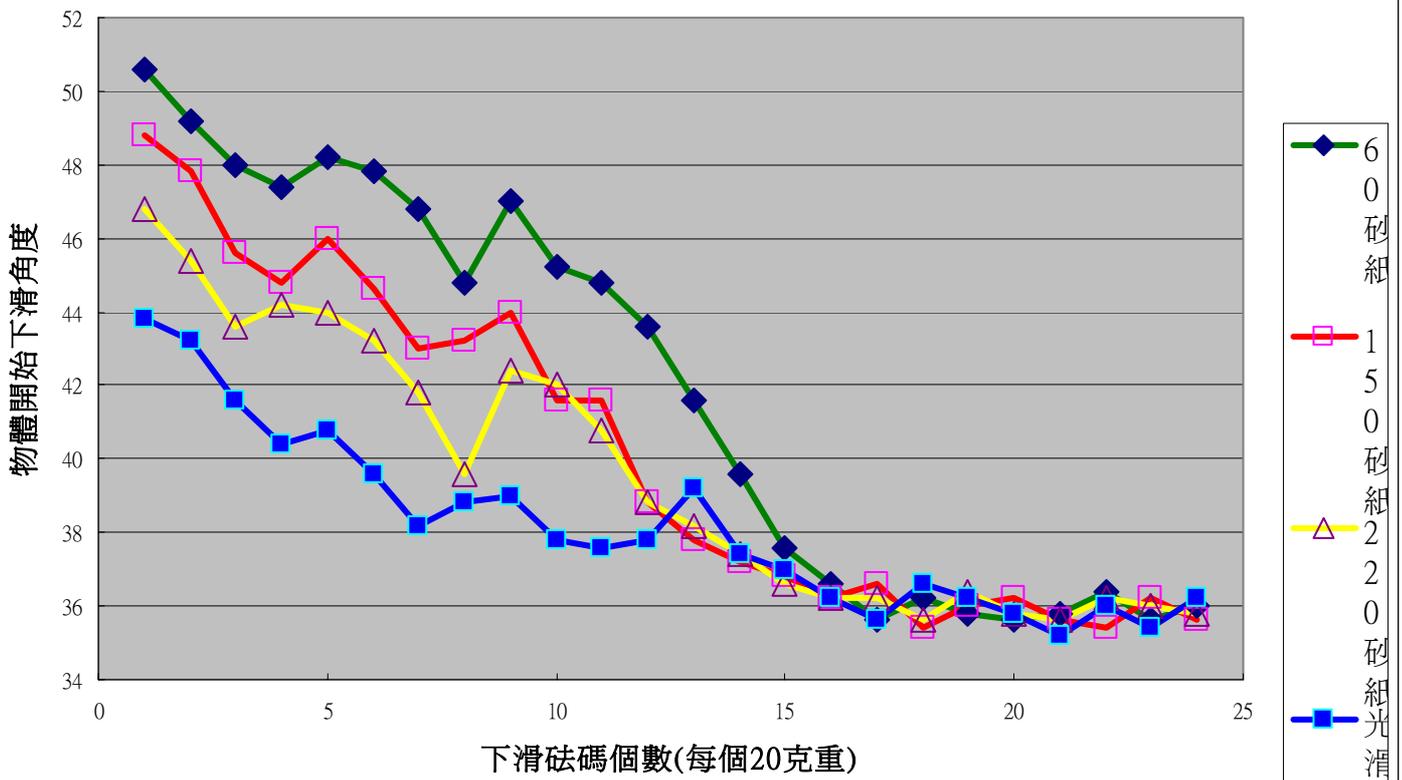
<p>在撲克牌盒中放入每個 20 克重的砝碼塊</p>	<p>觀察紀錄撲克牌下滑瞬間的角度及砝碼數</p>
<p>砝碼超過十五顆後，黏在雙面膠上的下滑圖</p>	<p>重量和摩擦力對下滑影響誰重的操作圖</p>



921 地震後大邊坡崩塌區裸露情形(地震和豪雨常讓破碎岩層崩落下滑對照實驗結果)

下表為『探討摩擦介面和岩層重量，何者是邊坡下滑的主要原因』曲線圖

當下滑物體的重量大到某程度之後，增加下滑接觸面的摩擦力
或增加介面粗糙程度，對於防止物體下滑是無效的

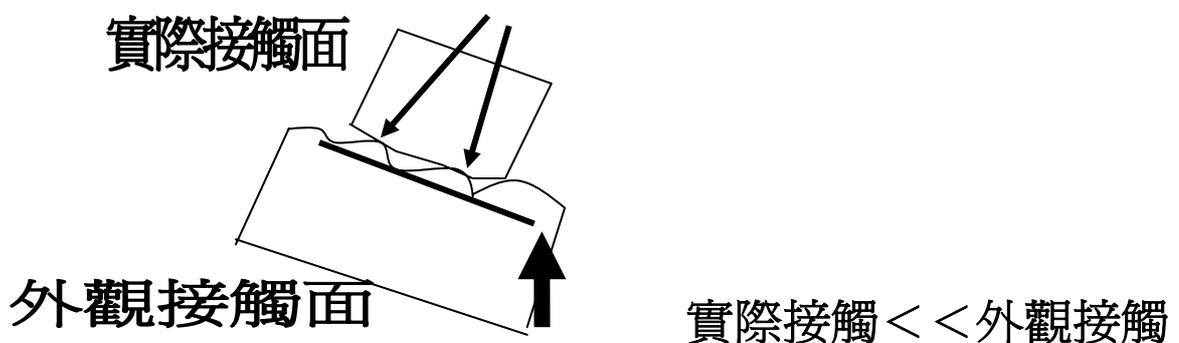


<結果>

- 1.經由實驗結果顯示，山坡地的坡度只要是超過 35 度，最好不要住人，更不宜開發或變更為住宅區。根據實驗結果顯示，終極下滑坡度約在 35 度左右，只要負載過重、地震、或雨量過多、水土保持不好時，35 度以上的坡度必下滑。
2. 自己原本以為，只要增加摩擦力效果，便可以防止邊坡土石下滑，經過實驗發現，這樣的想法是錯的。實驗結果顯示，負載重量到某個程度之後，增加摩擦效果對於防治邊坡土石下滑無效。

陸、討 論

1. 實驗中發現邊坡土石下滑時，必有有下原因出現：可轉動坡度角度過大時；岩層間出現不連續面；岩石或岩屑受摩擦力減弱；岩層整體重量變大；和地震等因素影響，使岩層沿同一滑動面向下滑動。
2. 我們後續疑問有二：一是隨著介面粗糙度的提昇，介面所能承受的最大重量是否有正比關係的增大？而重量隨著介面粗糙度增大後，何時或什麼條件下有略減的趨勢？另一是直立柱對於岩層的力矩作用，是否尚有其他影響？
3. 使用微粒和其他細沙填入接觸面後，因細沙能填入粗糙縫內造成填平現象，使得下滑仰角劇減變小。如此一來可知，當接觸面之間的『鑲鉗』程度變差時，會造成上層物體容易下滑。
4. 我們以手輕微的搖晃來模擬『地震現象』，實驗結果可確知地震會對邊坡下滑造成影響，因為地震時，接觸面之間的搖晃，會造成『鑲鉗』程度變差。另外，地震時，岩層的擠壓錯動，會造成接觸面之間，存在碎屑和相互摩擦產生的微粒，而成爲上下地層間的『微粒潤滑劑』，讓邊坡容易下滑。
5. 自然雜誌(Nature)曾報導，地震時地殼摩擦產生奈米級微粒，用以解釋地殼摩擦所產生巨大熱量的去處。我們在上下地層接觸面間添加介質實驗顯示，當存在微粒或介質後，邊坡更容易下滑，特別是在黏土實驗更是明顯。而後續地震的震撼較小，餘震常是較主震微小的原因，有可能是因爲主地震將能量釋放，且主地震後，會出現新的『鑲鉗』環境。至於是否其中仍有因出現“微粒潤滑劑”而使得能量無法再巨量累積，則也值得我們繼續探究。
6. 課本教『接觸面積對摩擦力毫無影響』。經過這實驗，探討其主要原因，應該是與介面間的真正接觸面積有關或與『鑲鉗』程度有關。但真正的接觸面積，一般肉眼是無法察覺和計算的。真正有相互接觸的面積其實是遠小於其外觀表面積。當介面粗糙度增加到一定程度以後，介面真正相互接觸的面積就不再增加了。使得對所能承受的重量就無助益。這現象也是造成摩擦力基本上只與正向力有關，而與表面接觸面積無關的最主要原因。因此，我們會假設：在某些特別介面與鑲嵌程度處理之下，是不是摩擦力大小會與接觸面積大小有關。



7.經由我們的實驗可以推敲出『邊坡下滑的危險因素或條件』大概如下：

潛在危險因素 邊坡破壞類型	環境本質因素					外在誘發因素		
	地形	地質材料	地質構造	地表植被	地下水	降雨	地震	人爲因素
淺層土壤滑動破壞	○	○	-	◎	-	◎	○	○
土石流	◎	○	-	○	○	◎	○	-
表層土壤沖蝕	○	○	-	◎	-	◎	-	○
近圓弧形滑動破壞	○	◎	-	○	◎	◎	○	○
地層潛變位移	◎	◎	-	-	◎	◎	○	○
順向坡滑動破壞	○	◎	◎	-	◎	◎	○	◎
落石	○	○	◎	-	-	◎	○	○

8.我們找出一份『邊坡專業安全檢查綜合評估表』，可以做爲一般評估使用。這份評估表跟我們的相關實驗結果，大致上都可以互相說明。

邊坡專業安全檢查綜合評估表			
項次	項目	項次	項目
●	邊坡地形(實驗心得：地形破壞)	●	沖蝕植生因素(水土保持不良)
1	以前曾經發生崩塌	15	向源侵蝕
2	坡角隆起	16	坑溝侵蝕
3	不當填方	17	一般土壤沖蝕
4	不當挖方	18	上邊坡植生被覆不良
5	邊坡陡峭(土波)	●	水文排水因素(岩層重量增加)
6	坡頂出現明顯解壓裂縫或凹陷	19	地下水湧出
7	坡面樹木或電線桿有傾斜現象	20	行水路受阻
8	坡面出現裂縫或小坍方	21	縱橫向排水設施不足
9	鄰近道路路面出現裂縫或陷落	22	排水設施淤積或容量不足
●	工程地質(易發生崩落土石流地質)	23	排水溝有斷裂或基礎下陷情形
10	順向坡	●	擋土設施因素(人工暫時阻擋破損)
11	崩積層	24	擋土設施出現明顯外凸變形或龜裂
12	斷層破碎帶	25	擋土設施表面出現不正常出水現象
13	落石	26	牆腳和邊坡出現崩土或排水不良
14	發生土石流	27	洩水口或排水管堵塞或排水不良
		28	地錨錨頭出現開裂、剝離或銹蝕

9.目前在邊坡防護上有許多工法，也都有一時的成效，但至於爲何常修修補補，我們推測其實跟颱風、豪雨、地震多有關。以下是一些邊坡維護圖，看似安全，實則不然。



上邊坡道內移 35 M(可減緩崩落但破壞環境)



上邊坡採自然邊坡完工後植生良好(大致還好)



加勁邊坡完工照片(實驗心得:還會再度崩落)



邊坡完工正面照片(實驗心得:還是會再度崩落)

柒、結論

1. 實驗中發現土石下滑的破壞力真的很大。體積大小不一的岩塊或土石，受重力影響滑落，運動進行得極快，衝擊力大，來勢凶悍，常會摧毀道路邊的結構體，掩埋房舍、阻塞交通等狀況，偶而也會不幸擊中來往車輛，造成人員的傷亡。另外，岩層受風化、侵蝕之後會分解成小岩塊岩屑。一旦雨水持續沖刷，岩塊或岩屑便會崩落下滑。而發生豪雨、地震等震動因素也會產生同樣的效果。甚至，助長下滑機率。

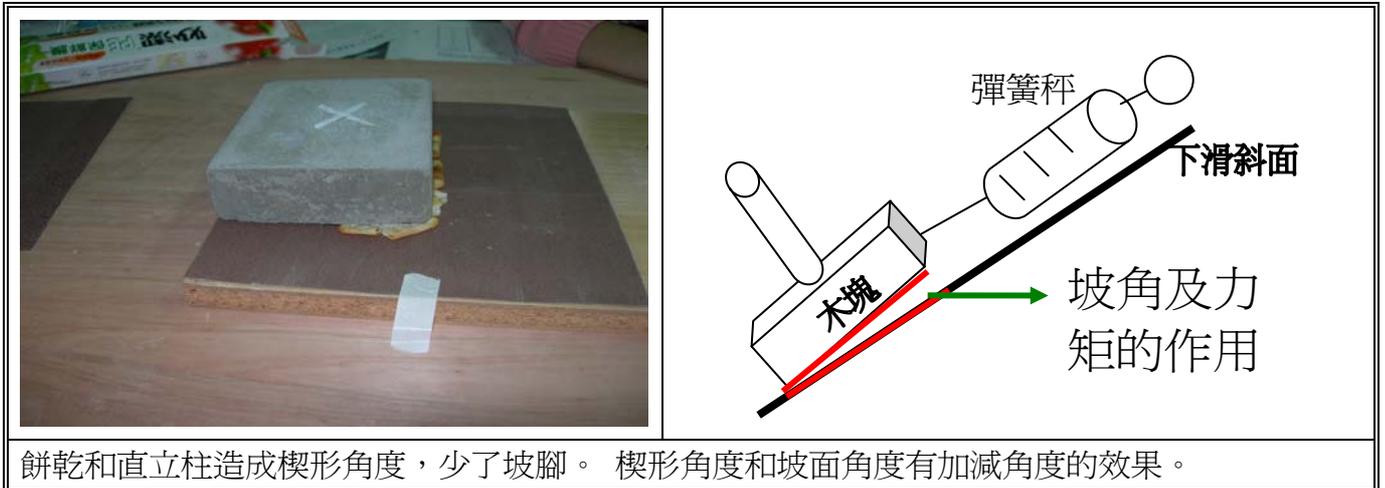


岩層下滑的破壞力很大。



本實驗有許多『順向坡下滑』的實驗方式。

2. 本實驗有許多是『順向坡下滑』的實驗方式，發現：當岩層從滑動面向下滑時。此滑動面的裂面多半是岩層的地層面或節理面，所以一般可以推測：當岩層層面間的結合力比較弱時，尤其是砂岩、頁岩岩層互層時，頁岩因組成顆粒細，透水性差，水容易聚集在頁岩上方，如此會增加上方砂岩岩體重力及減少兩岩層間的摩擦力，容易造成整片岩層沿著順向坡下滑。若山坡下方擋土牆等結構措施未能有效抵擋下滑，則岩體必然下滑。



3. 當坡面地岩層存在不連續面切割，成為楔形岩塊或楔形坡。楔形坡容易因為坡腳的挖除或岩體內的水壓過大，向下位移的的不連續面其下滑力大於山坡上的摩擦力，而產生向外位移滑動的現象，造成岩層下滑崩塌。



4. 垂直擺放的磚塊，超容易下滑的，很容易向前翻落，類似垂直節理崩落。當岩層被垂直節理切割成類似柱狀的岩塊，在有坡度的坡道上，垂直的不連續面或破裂面，最容易發生自上而下的向前傾翻或下滑。例如坡腳有開挖工程或是河岸之沖刷、淘刷作用造成山坡內岩塊之不連續或破裂面，坡腳一旦稍有移動，被不連續面或破裂面切開的岩體或土體，便會因本身的重力而突然折斷，產生倒塌破壞。



磚塊以各種方式平面擺放時，下滑角度差不多，但垂直擺放時，非常容易下滑。

5. 實驗中也做了很多在岩層與坡面的接觸面間放置鬆散岩石碎屑，結果發現：當岩層多節理或斷層等脆弱面、岩石風化破碎厲害、地震頻繁，以及山崩災害的地區，擁有豐富的鬆散岩石碎屑，岩層較容易下滑。而當累積降雨量大或集水區容易匯流成大量地表逕流或地下逕流，尤其是在暴雨的情形下，都是容易發生土石流的地區。另外，山區中坡度大的狹窄溝谷，則提供了鬆散岩石碎屑順坡向下的理想滑動通道，容易形成土石流。



很多在岩層與坡面的接觸面間放置鬆散岩石碎屑的實驗發現，岩層較容易下滑。

6. 山坡地的坡度只要是超過 35 度，最好不要住人，更不宜開發或變更為住宅區。根據實驗結果顯示，終極下滑坡度約在 35 度左右，只要負載過重、地震、或雨量過多、水土保持不好時，35 度以上的坡度必下滑。

7. 原本以為只要增加摩擦力效果，便可以防止邊坡土石下滑，經過實驗發現，這樣的想法是錯的。實驗結果顯示，負載重量到某個程度之後，增加摩擦效果對於防治邊坡土石下滑無效。

8. 貓纜問題方面，發現插上支架的岩盤，下滑角度下降很多。另外也從電視畫面看到，那支纜車支架坡度不僅超過 45 度，且支架沒有深入岩盤，所以一有地層的變化，是一定會下滑。
木塊貓纜實驗：控制**相同總重量**、**相同下滑條件**、**相同接觸介面**下，操縱**平放與直立變因**



貓纜相關實驗：左為改變接觸介質實驗

改變鐵條的擺放方式，橫放式與直立式

9.岩層之間夾有破碎礫石，實驗發現：由於黏土塊重量輕，當插入一根重量約為黏土塊三分之一的鐵柱時，因為重量增加穩住下盤，反倒不容易下滑，插入兩根後，便開始容易下滑。此外，夾有較粗的礫石，下滑角度比較有規則：『插一根』大於『插兩根』大於『沒插鐵棒』。

10.木塊實驗顯示：控制相同總重量、相同下滑條件、相同接觸介面下，操縱鐵條橫放與直立變因時，發現彈簧秤在拉木塊時，不管鐵條是直立柱與橫立柱，彈簧秤拉力的讀數，並無明顯差異。但直立柱造成岩層的坡角顯現，直立柱有傾倒傾向，而傾倒的直立柱再造成更大的坡角出現，因果循環，導致直立鐵柱的結構體和岩層易於崩垮。



自製泥塊失敗品，我們曾利用來探討相同重量下，碎裂和完整的下滑偏向研究

捌、參考資料及其他

壹、中文部份

- 1.國中自然與生活科技第五冊。修訂一版。台南。翰林出版社。97年。
- 2.國中自然與生活科技第六冊。修訂一版。台南。翰林出版社。97年。
- 3.周南山。2005年。山區道路邊坡災害防治。林務局育樂工程計畫。P2-1~P2-22。
- 4.陳宏宇。2002年。山上的房子。中國地質協會。台大地質材料科學實驗室。
- 5.詹錢登。2000年。土石流的發生與運動。土石流概論。科技圖書公司。

【評語】 030508

優點：動手做實驗並改進實驗方法。

缺點：實驗結果未深入分析與討論。

建議改進事項：可考慮減少變數，深入探討某幾項因子。