

中華民國第 54 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國小組 物理科

第一名

080110

「剛」「柔」並進、「硬」「軟」兼施～探討流體的「固化」與固體的「液化」現象

學校名稱：臺北市私立復興實驗高級中學(附設國小)

作者：	指導老師：
小六 蔡昀芸	張 慎
小六 吳臻育	鄭及蘭
小六 林承頤	
小六 陳宗駿	
小六 徐謙德	

關鍵詞：固化、液化、粉漿

得獎感言

剛柔並進軟硬兼施--科學奧密妙不可言

這次科展比賽，隊友中有參加過多次比賽的老手，也有第一次接觸科展的菜鳥，但在張慎老師和鄭及蘭老師軟硬兼施，剛柔並進的指導下，我們團隊花了一年的時間培養了很好的默契。正式比賽的前一天颱風來搗蛋，打亂了預訂的行程，但也給了我們更多的時間複習。那一天，我們全待在老師的房間一次又一次反覆的演練，外面風大雨大我們全然不覺，大家全力以赴展現強大的耐力，雖然錯過了參觀蘭陽平原美麗的景致，但是大家一點也不抱怨。那一天的急訓讓因為放暑假好久未碰面的夥伴重新找回默契，除了感謝老師的陪伴與指導外，也第一次由衷感謝來搗亂的颱風。

在這次的科展中，我們的實驗題目是探討「非牛頓流體」，參考了各方資料，調配了各種粉漿，再加上簡單的自製儀器，希望能製造出完美的非牛頓流體現象。但天不從人願，實驗過程始終無法順利。我們常因實驗數據差距太大，可信度不足而重做，搞得筋疲力盡。而且時間很緊湊，只有禮拜六、日大家才有空做實驗。實驗完成後還要練習口頭報告，熟悉專有名詞，了解其中的原理，每次都很晚才能回家，比上課還累。雖然有些氣餒，但我們仍不斷嘗試，終於有了成果。

在研究的過程中，我們除了學到許多的知識、專有名詞和物理方面的觀念外，更重要的是了解到做事情的技巧、方法，還有碰到困難時該如何解決。剛開始做科展時，我們五個人配合得並不好，常常為了一些雞毛蒜皮的小事紛爭不斷。可是經過一次一次、反覆不斷的練習，我們也越來越有默契、越來越成熟，能學習如何包容夥伴的一點小錯誤，而不是一味的責怪。在學習科學的路上，我們都會碰到各式各樣的困難、挫折及瓶頸，但就算是一時無法突破或者實驗失敗，也不能氣餒，而且要能從中學到教訓，唯有不斷的改正、修正、練習及檢討，才能做

出好的研究報告。

初審當天，我們的心情七上八下，雖然自覺準備得很充分，還是擔心會有閃失，但初審老師的親切提問，讓我們信心十足的將我們的所學所知傾囊而出，而複審時更讓我們覺得不是在參加比賽，而是在和評審老師們一同討論專題報告，希望老師能再多給我們一些指教，如何讓我們的實驗精益求精，甚至為下一階段做準備，真是獲益良多！

頒獎當天，我們全都坐立難安，雖然認為自己已經盡了全力並打了一場美好的仗，但心裡還是非常渴望能為校、為市爭光。當司儀唱出我們的名字時，我們全都熱淚盈眶，終於體會到何謂喜極而泣，苦盡甘來，回想起之前的努力，所有辛苦都值得回票價。

我們都升上國中了，是否要繼續更進一步探討這個研究主題雖然還未定案，但對我們而言，在小學生涯中，能得到全國第一的最高榮譽，是這輩子永遠也不會忘記的美好回憶！



合作無間的團隊，美好學習的校園！

「剛」「柔」並進、「硬」「軟」兼施

~ 探討流體的「固化」與固體的「液化」現象

摘要

新聞常報導土壤「液化」，難道固體會變「軟」？那流體會變「硬」嗎？我們實驗生活上粉漿來探討流體受到外力後變硬的現象(簡稱流體的「固化」)；接著自製各種物理的實驗和測量工具：「自製滑輪黏滯度檢測器」測量粉漿黏滯度、「自製喇叭垂直震動器」和「自製水平震動器」有效控制變因，探討流體跳動或固體粒子流動現象(簡稱固體的「液化」)。主要發現：不同流體會有不同流動表現，玉米粉漿、太白粉漿表現近似「非牛頓流體膨脹型」特徵；震動實驗發現細砂具有比粗砂容易流動的特質；砂、水、粉混合後具有凝聚特質，可以減緩震動時「液化」情形。透過我們這個物理實驗的想法和發現，或許可以對未來的科學探究或生活問題具有價值。

壹、研究動機

有一天看到電視報導 1999 年台灣集集發生大地震，造成地層下陷，爸爸在旁說那是土壤「液化」造成的嚴重後果，剛好五下自然課本又提到台灣處於地震頻繁地帶，在蒐集資料時，看到一些有關非牛頓流體的網路影片，影片中提到流體會變「硬」的現象，忽然想到曾經幫忙媽媽煮湯勾芡時準備的那一碗不容易攪拌的太白粉漿，所以想進一步了解這兩種現象是否有關聯，於是決定和同學一起進行實驗研究。

貳、研究目的

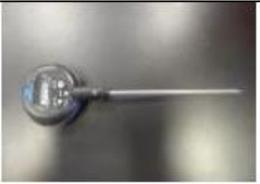
- 一、探討可以產生「固化」現象的粉漿
- 二、探討外力對粉漿黏滯度的影響
- 三、探究粉漿「固化」現象的科學體驗
- 四、利用「自製喇叭垂直震動器」探討「固化」與「液化」現象
- 五、利用「自製水平震動器」探討「固化」與「液化」現象

參、研究設備和器材

一、自製器材

		
自製滑輪黏滯度檢測器	自製喇叭垂直震動器 (詳細製作說明於後)	自製水平震動器

二、電子器材

			
電磁爐	電子秤	水溫計	節拍器

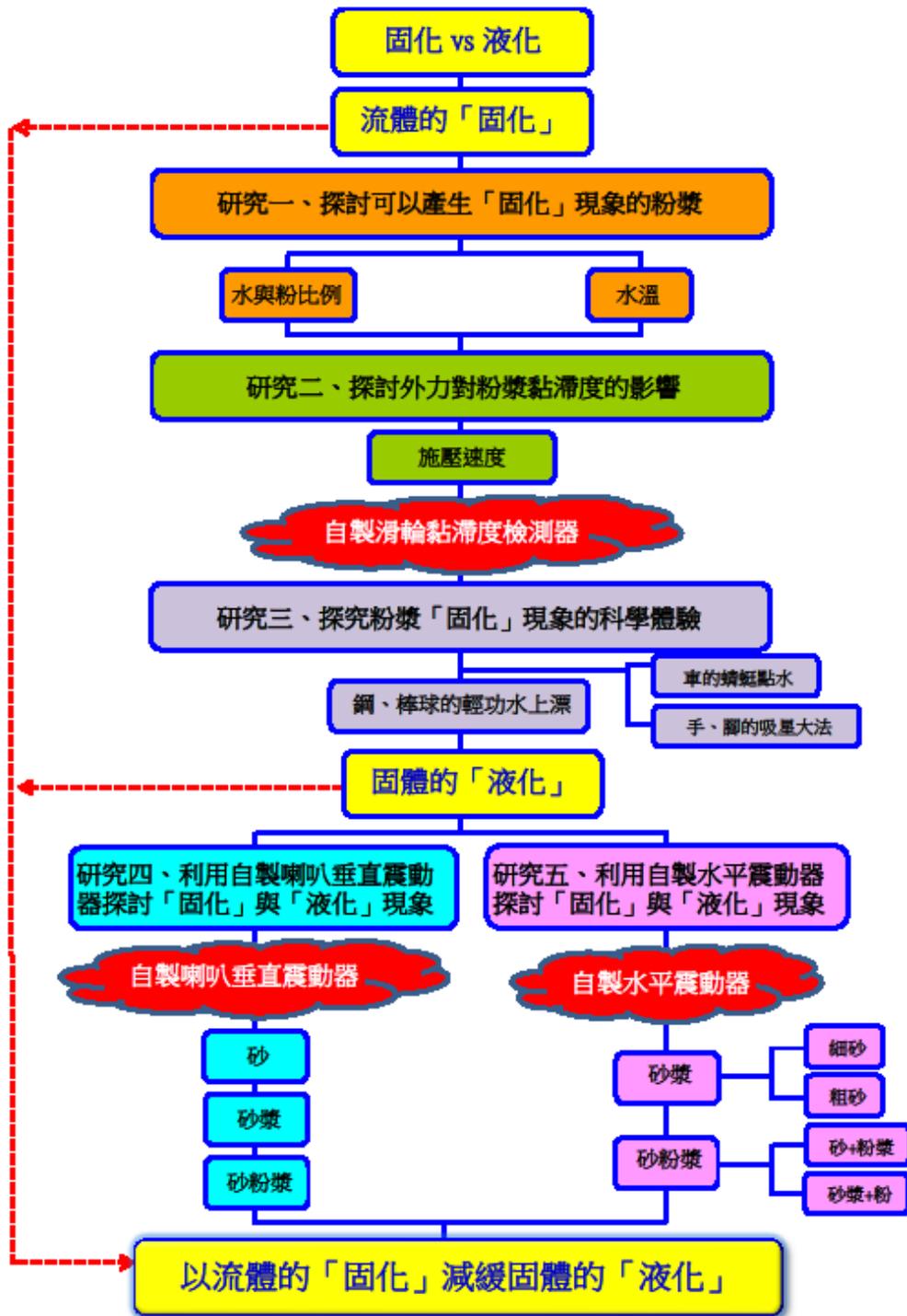
三、實驗器材

粉				
砂				

四、一般器材

1. 鐵鎚	5. 起子	9. 攪拌棒	13. 迴紋針	17. 過篩器
2. 木材	6. 試管	10. 塑膠盆	14. 釣魚線	18. 鐵尺
3. 強力膠	7. 燒杯	11. 保鮮膜	15. 鋁門窗滾輪	19. 竹筷
4. 鉗子	8. 量杯	12. 護目鏡	16. 針筒	20. 砝碼

肆、研究架構和流程圖



伍、研究過程和結果

由網路資料得知，流體分成兩類：

一、牛頓流體：

流體的黏滯度與溫度有關，但與流體所受的力無關，阻力是固定的，例如：水是一種標準的牛頓流體，因為不管對它攪拌得多快，都能繼續表現出流體性質。

二、非牛頓流體：

(一) 非牛頓流體假塑型現象：

只要一攪拌，受力導致流體變得稀薄，黏滯度下降使它流動得更多；也就是，原來看起來凝結固定形狀的溶液好像是一種暫時的型態，只要一被攪拌，這種原本的黏稠凝結固定的狀態很快不見，成為一般容易流動的溶液，這就是非牛頓流體假塑型，例如：蕃茄醬受震動向上形成長條絲狀。

(二) 非牛頓流體膨脹型現象：

只要一攪拌，受力讓黏滯度增加，流動變困難，體積也會脹大，這就是非牛頓流體膨脹型，例如：太白粉漿、玉米粉漿很難攪拌。

一、研究一・探討可以產生「固化」現象的粉漿

(一) 實驗一・探討「水與粉比例」對粉漿的影響

1. 方法

(1) 準備生活中易取得的麵粉、玉米粉、太白粉、蓮藕粉共四種粉。

(2) 分別調製五種不同的水：粉比例的粉漿：

水：粉	1：0.5	1：1.0	1：1.25	1：1.5	1：2.0
水	20 克	20 克	20 克	20 克	20 克
粉	10 克	20 克	25 克	30 克	40 克

(3) 水溫常溫，攪拌 20 下後，觀察粉漿現象。

		
不同比例粉漿	用力握在手中會「固化」	鬆開手會變回流體

2. 結果

水：粉	麵粉	太白粉	玉米粉	蓮藕粉
1 : 0.5	糰狀，不具非牛頓流體現象，攪拌無阻力，黏在攪拌棒上	流體狀，攪拌有阻力，粉會溶於水，但水和粉有輕微分離現象，用力握在手中會變成固體(但不明顯)，鬆開手會變回液體	同太白粉	流體狀，攪拌無阻力，粉會溶於水，但水和粉有輕微分離現象，用力握在手中不會變成固體
1 : 1.0		流體狀，攪拌有阻力，用力握在手中會變成固體，鬆開手會變回液體	同太白粉	流體狀，攪拌無阻力，用力握在手中不會變成固體
1 : 1.25		黏稠狀流體，很難攪拌，用力握在手中會變成固體，鬆開手會慢慢變回黏稠狀液體	同太白粉	黏稠狀流體，很難攪拌(太乾了)，用力握在手中不會變成固體
1 : 1.5		像黏稠狀液體，很難攪拌，用力握在手中會變成固體，鬆開手會慢慢變回黏稠狀液體	同太白粉	像固體粉末，水太少無法攪拌
1 : 2.0		像固體粉末，水太少無法攪拌	同太白粉	像固體粉末，水太少無法攪拌

3. 討論

- (1) 麵粉加水呈糰狀，不具有「固化」現象，所以只調配到水：粉比例(1 : 0.5)時，就被排除在後續實驗。
- (2) 太白粉和玉米粉加水呈流體狀，用力握在手中會有「固化」的感覺，鬆開手會慢慢變回流體，而當水和太白粉或玉米粉比例為 1 : 1.25 時，「固化」現象最明顯。所以後續實驗均用「水：粉比例(1 : 1.25)」進行。
- (3) 蓮藕粉漿攪拌無阻力，用力握在手中不會「固化」。水：粉比例(1 : 1.5)時，已經像固體粉末，無法攪拌。

(二) 實驗二・探討「水溫」對粉漿的影響

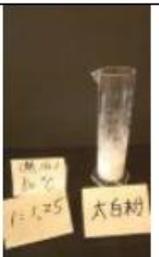
1. 方法

- (1) 準備三種溫度的水(每份 20cc 各 4 杯)：常溫水 22°C(±1 °C)、溫水 50°C(±1 °C)、熱水 80°C(±1 °C)。
- (2) 準備四種粉(每份 25 克各 3 份)：麵粉、太白粉、玉米粉、蓮藕粉。(在此水溫實驗中，我們還是納入蓮藕粉和麵粉，雖然蓮藕粉和麵粉在水與粉比例實驗中並沒有表現出明顯黏滯度，但是我們覺得在不同水溫下，蓮藕粉和麵粉可能會有不同的變化)。

- (3) 按照水:粉比例(1:1.25), 先將三種溫度的水各 20cc 倒入燒杯(共 12 杯), 再將四種粉各 25 克, 分別倒入不同水溫的燒杯。
- (4) 觀察並記錄攪拌前和攪拌後的粉漿現象。

				
22°C	50°C	80°C		
3 種水溫(±1 °C)			4 種粉	攪拌形成粉漿

2. 結果

	攪拌前			攪拌後		
	常溫水 22°C(±1 °C)	溫水 50°C(±1 °C)	熱水 80°C(±1 °C)	常溫水 22°C(±1 °C)	溫水 50°C(±1 °C)	熱水 80°C(±1 °C)
麵粉						
	水和粉分離非常明顯；粉在上、水在下			糰狀，無流體現象		
太白粉						
	水和粉稍微混合；水在上、粉在下			流體狀，水和粉有分離現象，粉沉入水底，且不易攪動		
玉米粉						
	水和粉稍微混合；水在上、粉在下			流體狀，水和粉有分離現象，粉沉入水底，且不易攪動		

(接下頁)

(接上頁)

蓮藕粉						
	水和粉分離明顯；水在上、粉在下			像固體粉末，水太少無法攪拌		
	常溫水 22°C(±1 °C)	溫水 50°C(±1 °C)	熱水 80°C(±1 °C)			
攪拌前						
攪拌後						

3. 討論

- (1) 相同粉但不同水溫形成的粉漿，發現並無太大差異，所以決定以「常溫」的水進行後續實驗就可以了。
- (2) 相同水溫但不同粉形成的粉漿，以麵粉、蓮藕粉較易攪拌，較不具黏滯度，所以後續以「太白粉、玉米粉」進行實驗。

4. 小結論

研究一的小結論因為受限於規定篇幅的關係，請參考第 28 頁的「陸、結論」的第一點的第(一)、(二)、(三)點，以下研究的小結論雷同。

二、研究二・探討外力對粉漿黏滯度的影響

將裝有太白粉漿的燒杯放倒時，看見粉漿緩緩流出，和普通的黏稠流體沒什麼不同，但是以手指快速按壓太白粉漿時，卻明顯按不下去，而且我們在攪拌粉漿時，越快阻力越大，但是靜放在粉漿上的筷子卻可以慢慢插入粉漿，所以我們想試著改變筷子戳粉漿的速度來記錄粉漿變硬的現象。

(一) 實驗一・探討「施壓速度」對粉漿的影響

實驗構想

剛開始有同學建議可以依照節拍器穩定的速度戳粉漿，但是又有同學認為很難控制手的力量，後來討論才想到如果在固定的高度距離下移動，應該可以控制手的力量，所以大家最後還是決定做實驗看看結果。

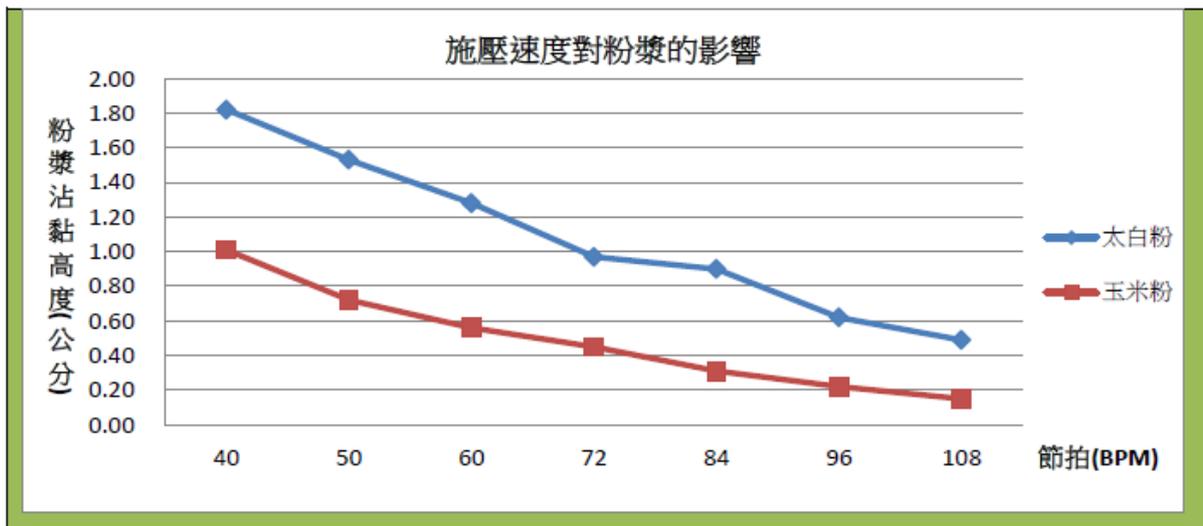
1. 方法

- (1) 分別於燒杯中調製水：粉比例(1：1.25)的玉米粉漿及太白粉漿。
- (2) 用攪拌棒攪拌均勻。
- (3) 將節拍器設定為以下的節拍頻率 ♪ =40、50、60、72、84、96、108BPM (BPM=Beats Per Minute；拍/秒)。
- (4) 用手抓住竹筷在限制高度間(10cm 距離)上下移動，依照節拍器的節奏，穩定戳向玉米粉漿。每戳十次後，測量並記錄竹筷下方沾黏粉漿的高度。
- (5) 重複步驟(2)和(4)12次，取中間 10 次的數據。
- (6) 太白粉漿也重覆步驟(2)-(5)。
- (7) 平均實驗數據後再做成表格並製成曲線圖。



2. 結果

cm	太白粉							玉米粉						
	BPM	40	50	60	72	84	96	108	40	50	60	72	84	96
第1次	1.5	1.4	1.5	1.0	0.9	0.6	0.6	1.0	0.7	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1
第2次	2.0	1.4	1.3	1.0	1.0	0.6	0.4	0.8	0.6	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2
第3次	2.5	1.5	1.2	0.8	0.8	0.6	0.4	0.8	0.5	0.4	0.5	0.3	0.2	0.1
第4次	1.5	2.0	1.2	1.0	1.0	0.7	0.6	1.1	0.7	0.6	0.4	0.3	0.3	0.2
第5次	1.5	1.5	1.0	1.0	1.0	0.7	0.5	1.0	0.8	0.5	0.5	0.3	0.2	0.1
第6次	1.5	1.3	1.1	0.9	0.8	0.6	0.5	0.9	0.6	0.6	0.4	0.3	0.2	0.2
第7次	1.8	1.6	1.4	1.1	0.8	0.6	0.5	1.2	1.0	0.7	0.4	0.4	0.3	0.2
第8次	1.9	1.6	1.4	1.0	0.8	0.6	0.5	1.1	0.9	0.6	0.6	0.4	0.2	0.2
第9次	2.0	1.5	1.4	0.9	0.9	0.6	0.5	1.1	0.7	0.7	0.5	0.3	0.2	0.1
第10次	2.0	1.5	1.3	1.0	1.0	0.6	0.4	1.1	0.7	0.7	0.5	0.3	0.2	0.1
平均值	1.82	1.53	1.28	0.97	0.90	0.62	0.49	1.01	0.72	0.56	0.45	0.31	0.22	0.15



3. 討論

- (1) 太白粉漿和玉米粉漿受力後明顯「固化」，當頻率變快，粉漿的阻力變大，所以竹筴下方沾黏粉漿的高度漸漸減少，這個結果與預期相符。
- (2) 本實驗想要利用竹筴上沾黏粉漿的高度來呈現粉漿「固化」的程度，但是發現以手持筴子進行實驗，用力大小很難穩定控制，而且沾黏在筴子上的粉漿高度也很難斷定測量，此外當頻率變快時，不管粉漿是否「固化」，都不容易沾黏到筴子上，所以我們決定設計較新而且較客觀的實驗方法。

(二) 實驗二・設計「自製滑輪黏滯度檢測器」

剛開始試著設計較客觀的實驗方法以測量粉漿受力時的黏滯度變化時，本來想在竹筴上掛砝碼加壓，觀察粉漿產生阻力的變化，但是筴子總是倒來倒去，既然插的不行，那就不用「拉的」吧！於是開始了「自製滑輪黏滯度檢測器」的設計並用它來做進一步的實驗。

設計構想

先把鐵尺插入粉漿中，利用砝碼受重力向下拉的力量，經過滑輪轉換成將鐵尺向上拉的力量，然後記錄鐵尺移動 10 公分所需的時間，便可算出鐵尺移動的平均速度。接著改變砝碼的重量，可以看出流體的黏滯度是否會隨著拉力大小而有所改變。下圖就是我們從構想到實現的過程圖。



(接下頁)

(接上頁)



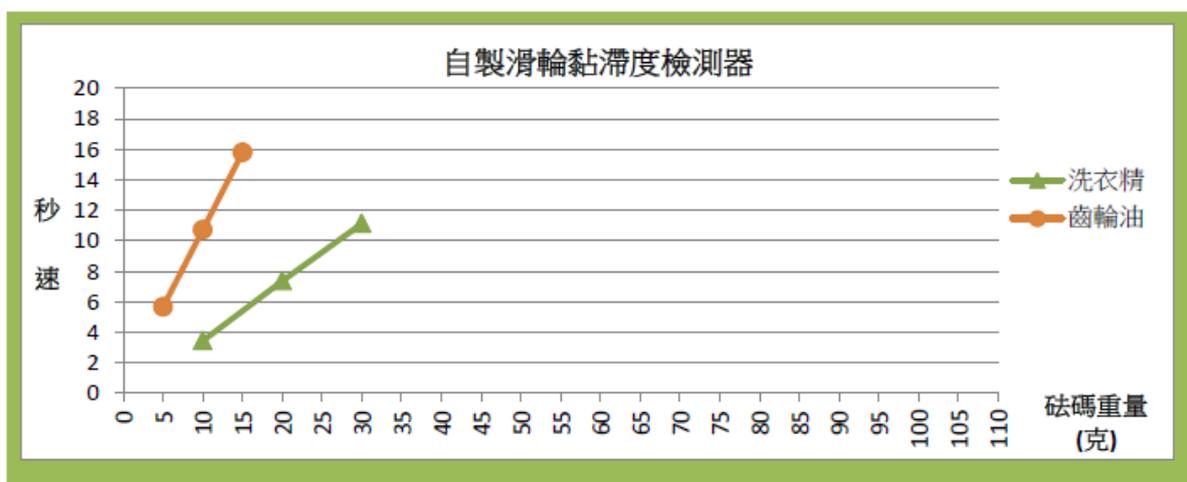
1. 「自製滑輪黏滯度檢測器」的方法

- (1) 利用瓦楞紙板做成橫樑，並在左右兩端裝上滑輪，將一條細繩的兩端綁上鐵尺後掛在兩個滑輪上保持平衡，再利用紙箱將橫樑架高，之後在左側鐵尺上加掛不同重量的砝碼來拉動右側的鐵尺向上移動。
- (2) 滑輪裝置：本來用縫衣機上的小線軸，但找不到適合的軸心，滾動時阻力太大。後來改用附有軸心的鋁窗滾輪，可以順利滾動。
- (3) 選擇細繩：本來用細棉線來拉鐵尺，但表面有點粗糙，阻力較大，後來改用多芯尼龍線，但沒用幾次就斷，最後選擇細釣魚線，表面光滑又耐用。
- (4) 從竹筷到鐵尺：竹筷表面粗糙，從粉漿中拉出時會沾上粉漿，接著用圓柱形的光滑鐵棒，但是拉出鐵棒的體積太大，最後選用長約 15 公分，寬約 1.5 公分的鐵尺，表面光滑、接觸面積大又不佔體積。
- (5) 計算鐵尺移動距離：將直尺貼在橫樑上兩個滑輪中間，並標示出 10 公分的距離，先將鐵尺以固定的深度插入粉漿中，再用髮夾夾在 10 公分間距的起點位置，放手後就可以觀察髮夾移動到終點所需的時間。
- (6) 實際操作，發現右側鐵尺離開粉漿表面時，會因為拉力整支飛起來，所以在橫樑右方以一根折彎迴紋針製成阻擋器，以限制鐵尺繼續向上移動。
- (7) 自製器材完成後，測試拉動鐵尺時阻力的大小，發現當兩側鐵尺靜止不動時，在左側掛上重約 2 公克的迴紋針，右側鐵尺就向上移動。
- (8) 在塑膠筒(直徑 6 公分)內，分別加入 15 公分深的洗衣精和齒輪油。選用齒輪油與洗衣精的理由是因為，它們的黏滯度不會因受力大小而改變，是何用來作為校正我們設計的檢測器的標準。
- (9) 接下來將裝有流體的塑膠筒放在「自製滑輪黏滯性檢測器」的右方，並將右側鐵尺放入流體至鐵尺刻度 13 公分處固定鐵尺，以黑髮夾當作指針停留在橫樑起點處。
- (10) 在左側掛上砝碼，右側放手後，測量黑髮夾移動 10 公分所需要的時間，測試 7 次並取中間 5 次的數值，計算移動的平均秒速(cm/秒)。
- (11) 以不同的流體，配合不同重量的砝碼，重複步驟(9)~(10)。

2. 結果

洗衣精 (cm/秒)	砝碼重量		
	10 克	20 克	30 克
第 1 次	3.37	7.09	11.63
第 2 次	3.69	6.90	10.64
第 3 次	3.45	8.06	11.11
第 4 次	3.33	7.35	11.11
第 5 次	3.42	7.52	11.24
平均值	3.45	7.38	11.15

齒輪油 (cm/秒)	砝碼重量		
	5 克	10 克	15 克
第 1 次	5.29	8.77	16.95
第 2 次	5.71	9.09	15.63
第 3 次	5.46	11.24	15.63
第 4 次	5.62	12.20	15.63
第 5 次	6.25	12.35	15.15
平均值	5.67	10.73	15.80



3. 討論

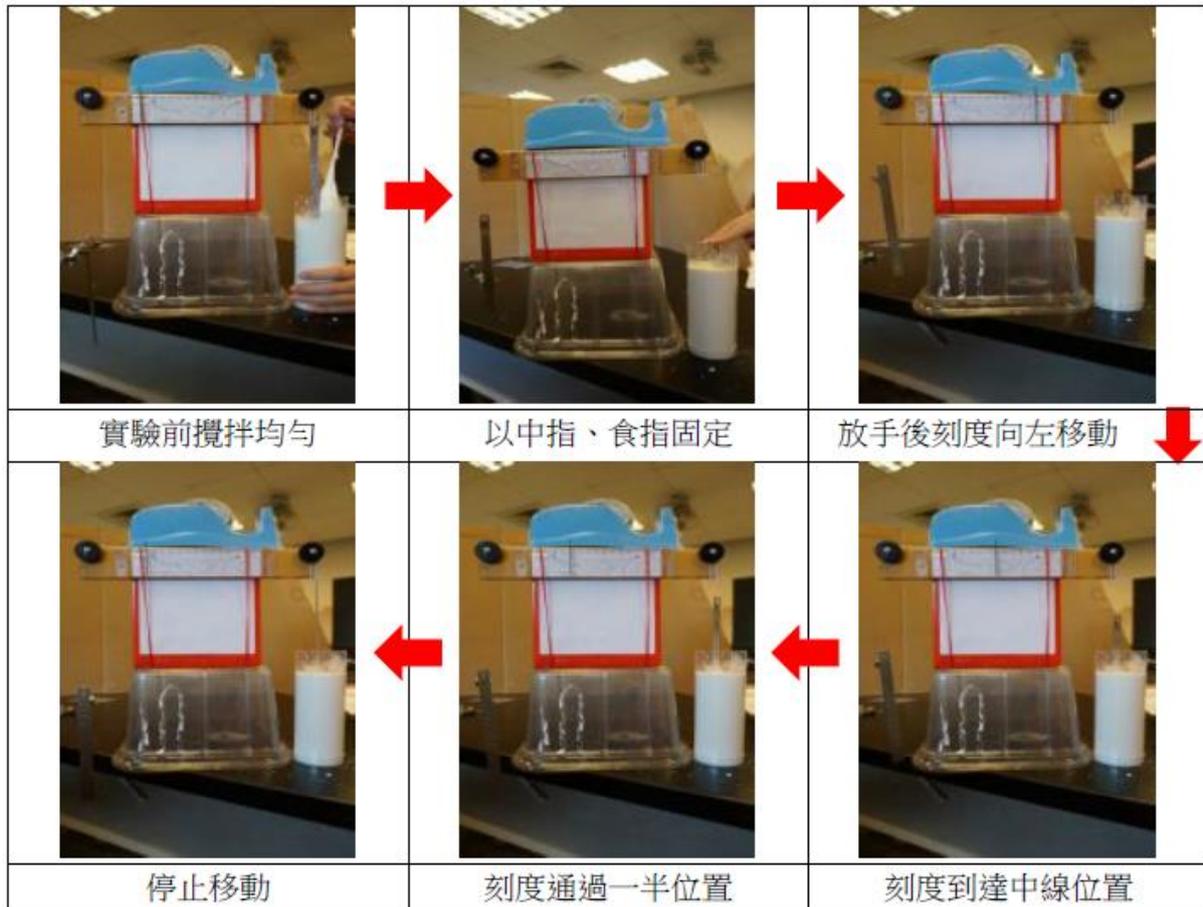
- (1) 齒輪油與洗衣精的黏滯度不會因受力大小而改變，隨著左側砝碼重量增加，鐵尺移動的速度也成正比增加。根據實驗的數據和呈現的曲線圖可以看出施力與速度成正比，所以「自製滑輪黏滯度檢測器」具有可信度。
- (2) 本自製器材受限於橫樑的 10 公分，只能測量很稠的流體，同時鐵尺也會附著粉漿，這些都會影響實驗的準確性。
- (3) 利用手邊常見的材料組成簡單的器材，經過不斷的修改，也能用來觀察到較真實的物理現象。

(二) 實驗三·利用「自製滑輪黏滯度檢測器」探討不同粉漿的「黏滯度」

1. 方法

- (1) 先調製水：粉比例(1：1.25)的玉米粉、太白粉漿，另備蕃茄醬。
- (2) 在塑膠筒(直徑 6 公分)內加入 15 公分深的流體，並在每次測試前，用竹筷攪拌均勻。
- (3) 將裝有流體的塑膠筒放在「自製滑輪黏滯度檢測器」的右方，並將右側鐵放入流體至鐵尺刻度 13 公分處，再以食指及中指固定鐵尺，在中央測量尺 14 公分處以黑髮夾夾在釣魚線上標示出起點。

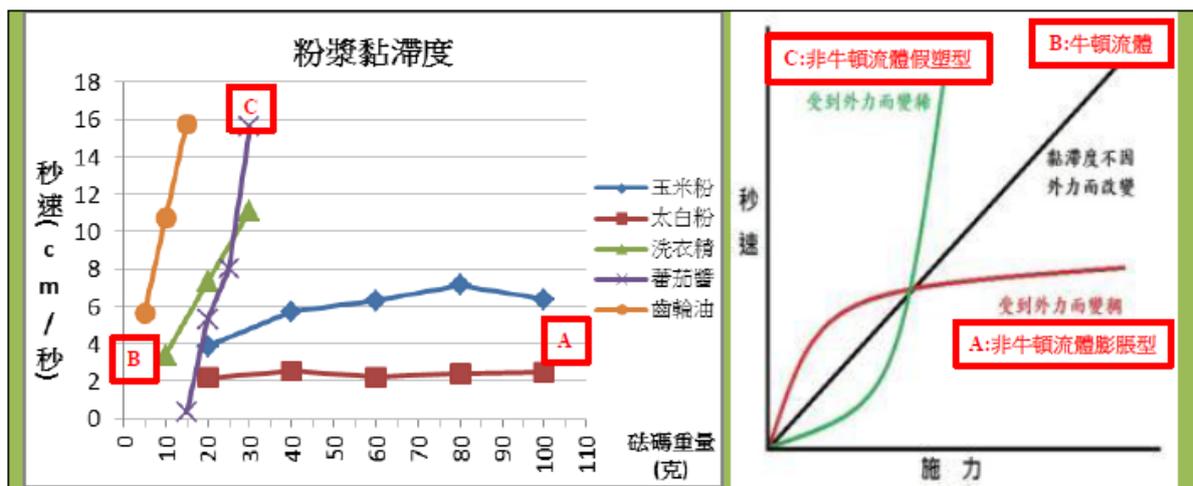
- (4) 在左側掛上砝碼，右側放手後，測量黑髮夾從中央測量尺 14 公分處移動到 4 公分處需要多少時間，並測試 7 次，結束後取中間 5 次的數值，計算移動的平均秒速(cm/秒)。
- (5) 以不同的流體，配合不同重量的砝碼，重複步驟(2)~(4)。實驗操作圖如下。



2. 結果

砝碼 重量(克)	玉米粉					太白粉					蕃茄醬			
	20	40	60	80	100	20	40	60	80	100	15	20	25	30
第 1 次	4.10	5.65	6.1	6.41	6.62	2.33	2.96	2.10	2.87	2.64	0.33	4.67	7.63	15.38
第 2 次	3.17	6.06	6.54	6.8	6.49	2.25	2.51	2.29	2.15	2.65	0.33	5.10	8.13	16.39
第 3 次	4.07	5.05	6.14	6.54	6.76	2.75	2.99	1.91	1.88	2.76	0.43	5.88	7.94	15.38
第 4 次	4.41	6.59	6.37	8.62	5.88	1.77	1.67	2.37	3.19	2.31	0.34	5.88	8.26	14.29
第 5 次	3.76	5.35	6.54	7.41	6.25	2.00	2.70	2.57	2.19	2.15	0.33	5.26	8.13	16.67
平均值	3.90	5.74	6.34	7.16	6.40	2.22	2.57	2.25	2.46	2.50	0.35	5.36	8.02	15.62

以下將玉米粉、太白粉、番茄醬，以及上一個校準實驗的洗衣精和齒輪油，共五組數據製成曲線圖，並將參考資料的三種代表性流體的現象畫成示意圖，放在右邊作對照：



3. 討論

- (1) 「太白粉漿」和「玉米粉漿」受力後有「固化」現象，雖然砝碼重量增加，但是鐵尺移動速度先稍微增加，但後來都保持在一定範圍內，曲線較水平，增大砝碼後，觀察到反而速度減慢，這應該是因為粉漿變稠變硬而把鐵尺拉住。與參考資料(右圖)的 **A** 線段「受到外力而變稠」一致，為「非牛頓流體膨脹型」。
- (2) 洗衣精與齒輪油的黏滯度，沒有因為受力不同而改變，所以鐵尺移動速度與施力幾乎成正比，與參考資料(右圖)的 **B** 線段「黏滯度不因外力而改變」一致，為「牛頓流體」。
- (3) 蕃茄醬的曲線有略微向上彎的現象，表示蕃茄醬是受力後會變稀的一種流體，與參考資料(右圖)的 **C** 線段「受到外力而變稀」一致，為「非牛頓流體假塑型」。
- (4) 透過這個實驗，我們了解到原本陌生的名詞其實就在我們身邊，一點都不疏遠。
- (5) 我們也發現，對於「太白粉漿」和「玉米粉漿」的測量比較困難，變數也比較多，這也顯示「受到外力而變稠」的這些流體，可能還有很多有趣的影響因素隱藏在裏面，值得未來繼續探討。

三、研究三・探究粉漿「固化」現象的科學體驗

(一) 實驗一・探討玩具車蜻蜓「點」水

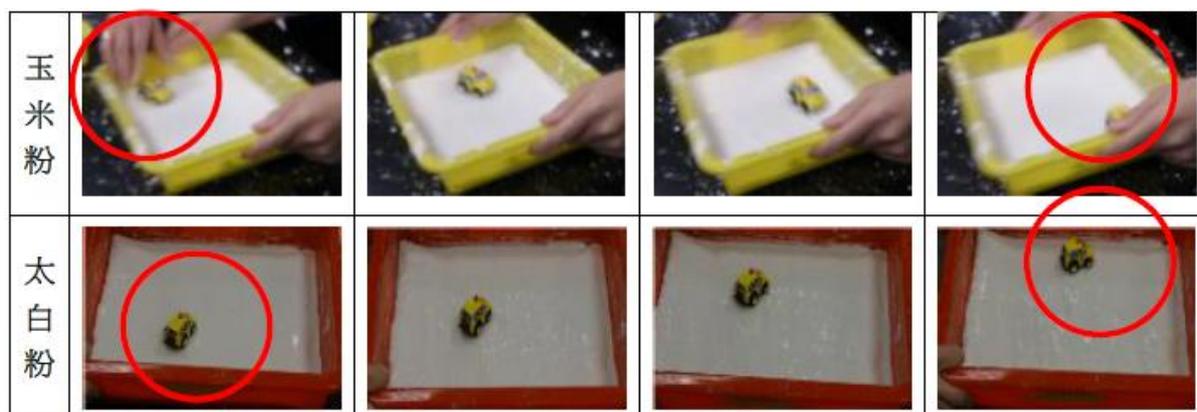
1. 方法

- (1) 塑膠盆內調製水：粉比例(1：1.25)的太白粉和玉米粉兩種粉漿。
- (2) 以雙手來回搖動塑膠盆(33x27 公分)。
- (3) 將玩具車(車長 5 公分)放在太白粉和玉米粉兩種粉漿表面行駛。
- (4) 以照相機快門(1/800)連拍，觀察結果及拍攝玩具車行駛瞬間狀態，

(5) 重複步驟(2)-(4)10次。

2. 結果

(1) 以雙手來回搖動塑膠盆，玩具車在搖動的玉米粉漿表面行走一段距離，不會沉沒。



(2) 但是當停止搖動塑膠盆，玩具車很快就下沉。



3. 討論

(1) 太白粉漿和玉米粉漿來回搖動受力，讓黏滯度增加而變硬、「**固化**」，玩具車可以在粉漿表面行走一段距離不會沉沒。

(2) 一旦停止搖動，受力消失讓黏滯度回復變成原先流體狀態，玩具車很快就下沉。

(二) 實驗二·探討手和腳的「吸」星大法

1. 方法

(1) 調製出水：粉比例(1：1.25)的太白粉漿，重量 90 克，並放入塑膠盆中。

(2) 將塑膠盆放在桌上，以單手慢慢放入塑膠盆底部，沉浸於太白粉漿中。

(3) 分別以左 右和前 後，搖動太白粉漿的塑膠盆 3、5、10、15 下，立刻舉起單手，分別觀察單手被太白粉漿吸住的時間。

(4) 重複步驟(2)-(3)10次。

(5) 接著，將塑膠盆放在地上，雙腳以跑步速度在粉漿上原地快踏 10 秒，同時觀察雙腳是否會沉入太白粉漿中。

(6) 停止踏步，觀察雙腳是否會沉浸於太白粉漿中。

(7) 雙腳沉浸粉漿後立刻跳起，觀察停留時間。

(8) 再將太白粉漿分成兩小盆，雙腳分別各踏入一小盆中。

- (9) 以走路速度，離地 5 公分抬腳來回走 10 步，觀察腳是否可被粉漿吸住。
 (10) 重複步驟(5)-(9)10 次。

2. 結果

- (1) 從實驗中觀察到，搖動 3~5 下的結果，單手被塑膠盆的太白粉漿吸住的時間較長；搖動 10~15 下的結果，吸住的時間較短。
 (2) 當搖動次數越少，單手被塑膠盆的太白粉漿吸住的時間就越長；當搖動次數越多而手痠，造成力氣變小，搖動速度變慢，單手被塑膠盆的太白粉漿吸住的時間會縮短。



- (3) 雙腳連續快踏於粉漿上，雙腳並不會沉入盆子中，一旦停止踏步後，雙腳就會慢慢沉入太白粉漿裡。
 (4) 當雙腳各沉浸於粉漿中，粉漿吸住雙腳並可以平時走路速度行走和跳躍 (詳見影片)。
 (5) 單腳往上抬高可在空中停留 3-5 秒鐘。





3. 討論

- (1) 剛開始我們以為搖動次數會影響粉漿的黏滯度，但實驗發現影響並不大。
- (2) 實驗中發現以不同方向搖動粉漿，黏滯度影響並不明顯。

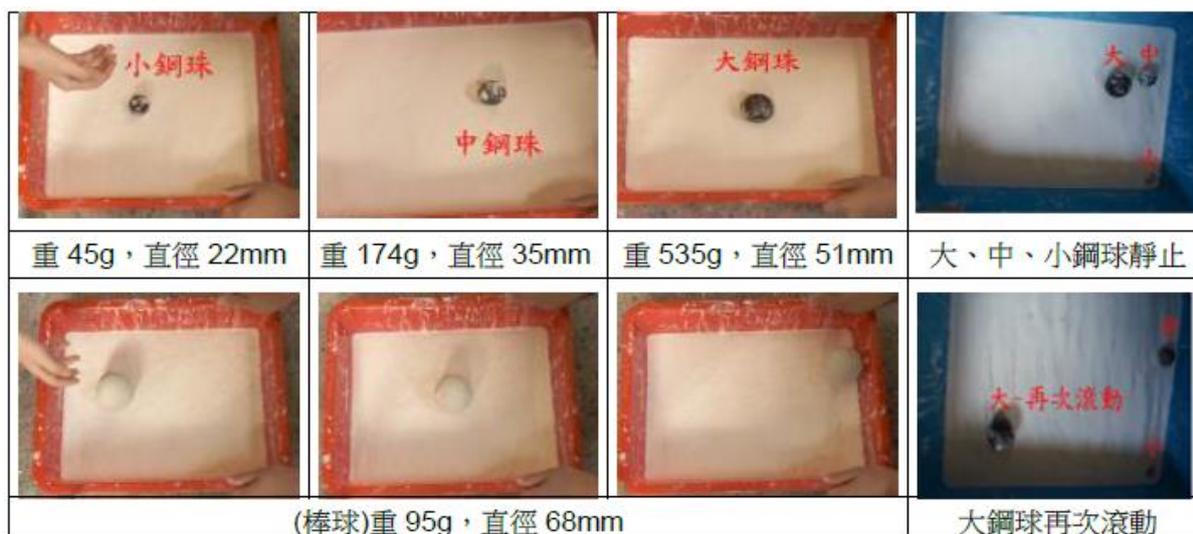
(三) 實驗三·探討鋼球和棒球的輕功「水上漂」

1. 方法

- (1) 塑膠盤內調配水：粉比例(1：1.25)的太白粉漿。
- (2) 以雙手左右來回搖動塑膠盤。
- (3) 將小、中、大鋼球分別放在太白粉漿表面。
- (4) 觀察小、中、大鋼球滾動的結果。
- (5) 停止搖動塑膠盤，觀察小、中、大鋼球的現象。
- (6) 再以雙手左右來回搖動塑膠盤，觀察沉入粉漿中的小、中、大鋼球的變化。
- (7) 將家中的棒球放在太白粉漿表面，重複上述實驗步驟(2)~(6)。

2. 結果

- (1) 以雙手左右來回搖動塑膠盤，鋼球和棒球在搖動的粉漿表面連續滾動，不會沉沒；停止時，鋼球和棒球很快就下沉。
- (2) 再次以雙手來回搖動塑膠盤，小鋼球、中鋼球被粉漿黏得很緊，搖動不起來，只有大鋼球和棒球會再重新滾動起來。



3. 討論

- (1) 實驗中，我們收集十種以上各式材質、大小的球進行實驗，發現表面材質會影響滾動，所以我們決定以鋼球和軟式棒球進行實驗。
- (2) 搖動太白粉漿，受力讓黏度增加而變硬、「**固化**」，鋼球和棒球可以在粉漿表面上滾動，不會沉沒。
- (3) 一旦停止搖動，受力消失，粉漿恢復成液體狀態，所以鋼球和棒球都下沉。
- (4) 當我們再次搖動粉漿，大鋼球和棒球會再重新滾動起來，可能是重心高過於粉漿液面，所以可以再次滾動起來。
- (5) 於是以重心高於粉漿液面的棒球進行下一個實驗。

(四) 實驗四・探討棒球滾動與粉漿搖動速度的關係

1. 方法

- (1) 塑膠盆內調配水：粉比例(1:1.25)的太白粉漿，並訂搖動距離為 15 公分。
- (2) 以節拍器頻率 200、176、160、152、144、132BPM，雙手來回搖動塑膠盆。
- (3) 將棒球放在太白粉漿表面中央。
- (4) 分別觀察並記錄棒球在太白粉漿中滾動的情形。
- (5) 重覆步驟(2)~(4)10 次，並記錄於下。

2. 結果

BPM	<div style="display: flex; justify-content: space-around; border: 1px solid black; padding: 2px;"> ○ 明顯滾動 ✗ 無法滾動 △ 不明顯 </div>									
	第 1 次	第 2 次	第 3 次	第 4 次	第 5 次	第 6 次	第 7 次	第 8 次	第 9 次	第 10 次
200	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
176	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
160	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
152	✗	✗	△	○	○	○	○	○	○	○
144	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	○	○
132	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	△	△	△

3. 討論

- (1) 以不同頻率，雙手左右來回搖動塑膠盆的速度越快時，棒球比較容易在粉漿表面連續滾動，且較不容易沉沒。
- (2) 發現搖動速度會影響粉漿「固化」的現象。

四、研究四・利用「自製喇叭垂直震動器」探討「固化」與「液化」現象

(一) 實驗一・設計「自製喇叭垂直震動器」

設計構想

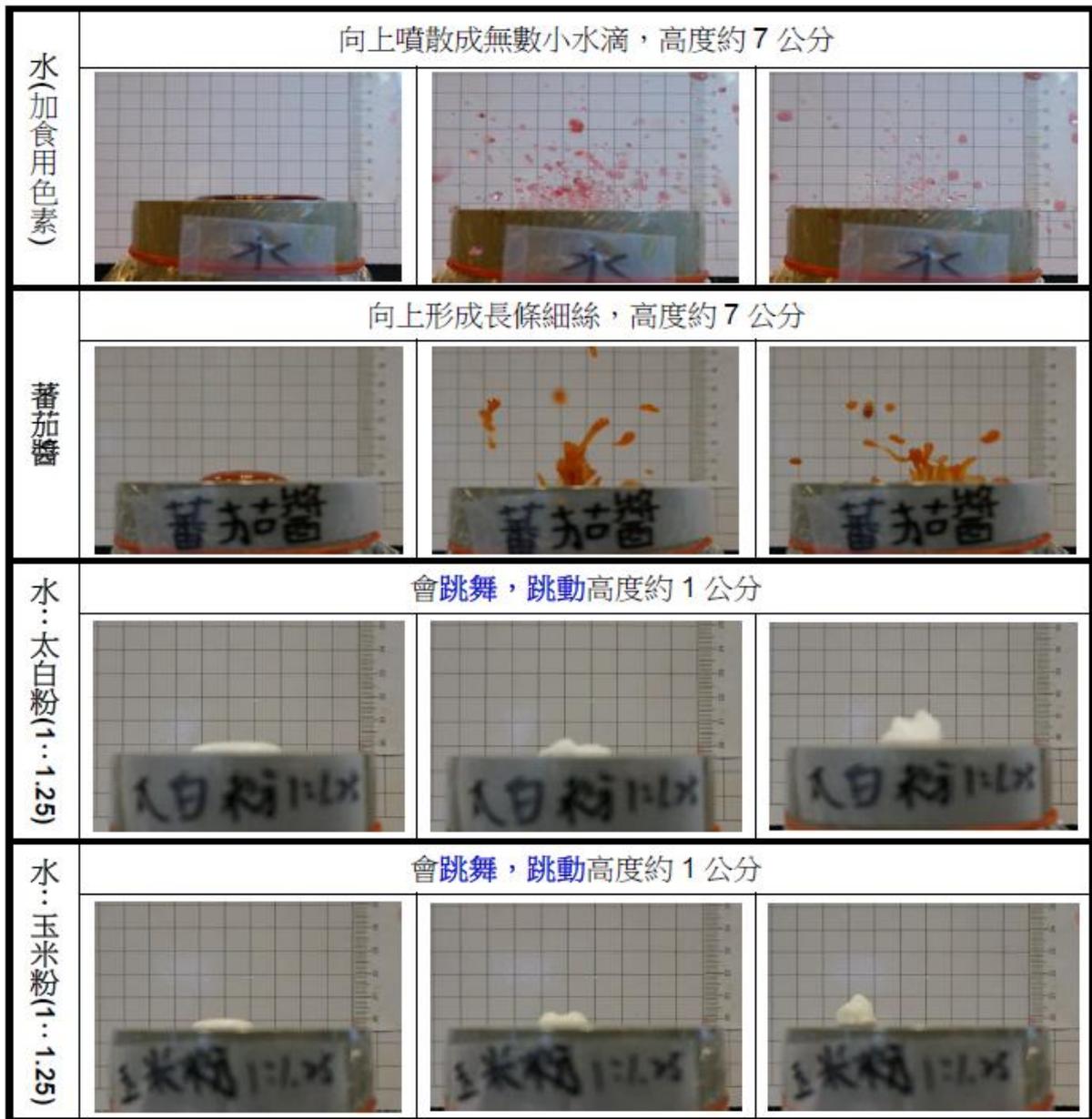
為了模擬砂石受到震動的情形、瞭解不同流體在受力和震動時的現象，我們需要製作一個能夠提供穩定振動的的機器。因為要被震動的物質是細砂，所以我們決定採用我們常看到的喇叭來提供振動，下面是我們設計過程圖：



1. 「自製喇叭垂直震動器」的方法

- (1) 我們利用廢棄音響喇叭，套上一個塑膠水管，可以用來聚集聲波產生震動。
- (2) 然後把保鮮膜套在塑膠水管，分別倒上約 1 克的水、番茄醬、粉漿。
- (3) 輸入訊號震動頻率固定在 100Hz，固定音量。
- (4) 後方放置方格紙(每格 1cm)，貼上有刻度的紙尺，用以觀察跳動情形。
- (5) 最後經過擴大器放大訊號，傳給喇叭產生聲波，上下震動。
- (6) 以照相機快門(1/800)連拍，拍攝流體震動瞬間狀態。
- (7) 觀察並記錄。

2. 結果



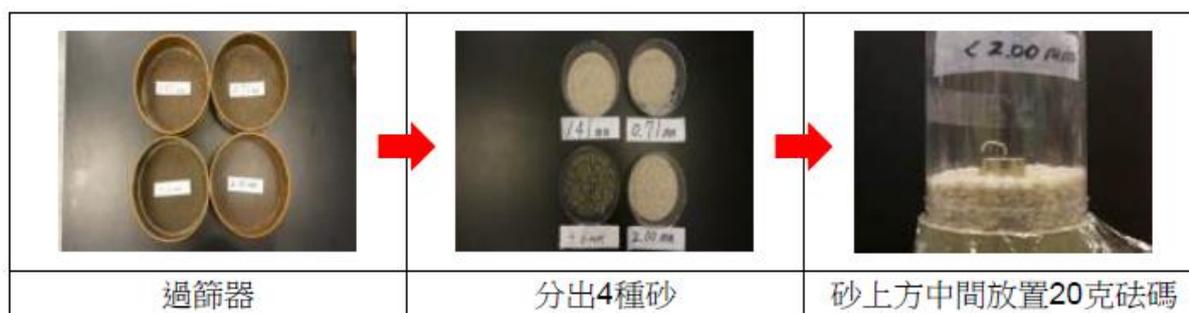
3. 討論

- (1) 不同流體在「自製喇叭垂直震動器」一定頻率下，會有不同的跳動現象：
- ① 水受震動向上噴成無數小水滴，高度超過 5 公分，顯示完全流體現象。
 - ② 蕃茄醬受震動向上形成長條絲狀，高度超過 5 公分，顯示黏滯度下降，使它流動得更多。
 - ③ 玉米粉和太白粉漿受力讓黏滯度增加，顯示流動變困難的現象。
- (2) 比較跳動高度：水>蕃茄醬>玉米粉漿>太白粉漿
- (3) 我們很高興透過喇叭聲波產生上下方向震動，真得很神奇。而且學會找到隨手可得的材料，解決我們所遇到的問題。

(二) 實驗二・探討不同粗細的「砂」在震動下的流動狀況

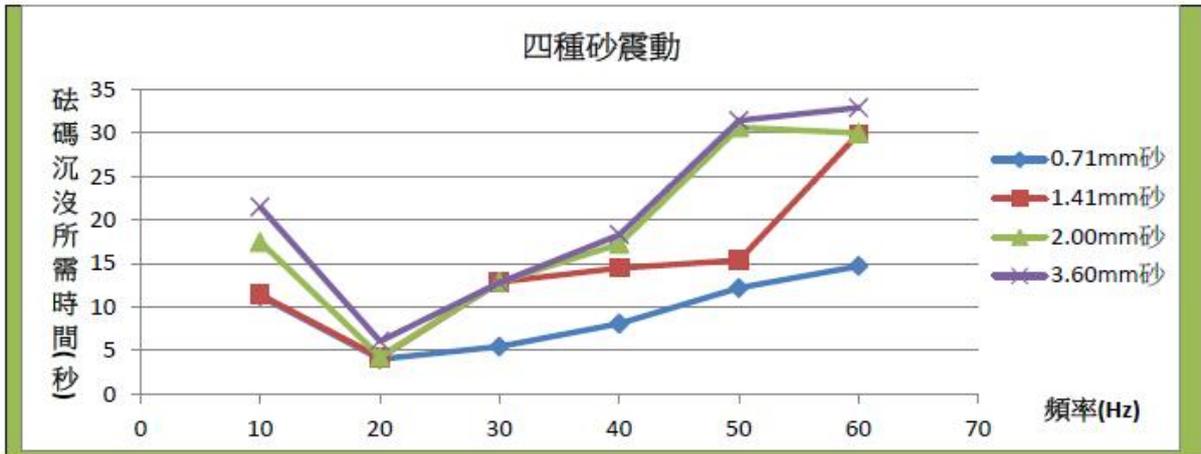
1. 方法

- (1) 將直徑 6cm 的塑膠筒底部挖空，包上保鮮膜，再將塑膠筒裝在「自製喇叭垂直震動器」上。
- (2) 拿過篩器分出 4 種粗細的砂：
- ① 3.60mm 砂：通過 3.60mm 但無法通過 2.00mm 過篩器
 - ② 2.00mm 砂：通過 2.00mm 但無法通過 1.41mm 過篩器
 - ③ 1.41mm 砂：通過 1.41mm 但無法通過 0.71mm 過篩器
 - ④ 0.71mm 砂：只能通過 0.71mm 過篩器
- (3) 將不同粗細的砂各 100 克分別放進塑膠筒裡，砂上方中間放置 20 克砝碼(直徑 1.8cm、厚度 0.9cm)。
- (4) 輸入訊號震動頻率 10Hz、20Hz、30Hz、40Hz、50Hz、60Hz 推動「自製喇叭垂直震動器」上方的塑膠筒震動，觀察 4 種砂的震動情形。
- (5) 每種震動頻率重複測試 12 次、取中間 10 次的數據。



2. 結果

砂 (顆粒直徑)	砝碼沉沒 所需時間(秒)	10Hz	20Hz	30Hz	40Hz	50Hz	60Hz
0.71mm	第 1 次	10.3	3.3	6.2	7.5	12.2	12.4
	第 2 次	9.9	3.7	5.0	9.5	14.2	13.0
	第 3 次	12.4	3.9	4.9	5.6	12.3	18.7
	第 4 次	12.3	4.5	4.5	7.1	14.1	15.5
	第 5 次	10.5	3.8	6.8	5.7	11.5	15.1
	第 6 次	11.4	5.4	6.6	10.9	10.4	16.7
	第 7 次	12.0	5.3	4.2	6.7	9.8	15.8
	第 8 次	11.6	3.2	4.7	7.8	10.5	13.7
	第 9 次	10.6	3.2	6.8	10.0	14.5	12.6
	第 10 次	11.2	3.7	4.7	9.8	12.2	13.4
	平均值	11.22	4.00	5.44	8.06	12.17	14.69
1.41mm	第 1 次	12.0	3.2	15.2	12.0	12.7	28.0
	第 2 次	11.8	3.4	12.7	12.6	14.8	26.0
	第 3 次	10.6	5.2	13.1	17.0	18.0	36.0
	第 4 次	9.8	3.4	15.8	14.3	14.3	33.0
	第 5 次	12.6	3.3	13.5	12.5	12.5	31.0
	第 6 次	12.5	4.9	14.8	12.6	12.6	28.2
	第 7 次	11.4	3.5	12.4	15.4	18.0	29.0
	第 8 次	11.6	3.5	11.0	15.8	15.8	32.0
	第 9 次	10.8	5.3	10.8	16.3	18.1	28.0
	第 10 次	11.0	6.1	9.5	16.2	16.7	27.6
	平均值	11.41	4.18	12.88	14.47	15.35	29.88
2.00mm	第 1 次	15.9	3.1	12.0	14.9	33.1	24.9
	第 2 次	15.7	5.5	15.2	15.7	29.8	33.0
	第 3 次	16.4	3.4	13.5	22.2	30.1	25.6
	第 4 次	16.5	3.6	11.2	22.4	31.5	32.0
	第 5 次	22.2	4.0	11.8	16.5	32.7	31.5
	第 6 次	18.0	5.8	15.0	15.6	29.1	29.7
	第 7 次	17.8	4.2	13.4	18.4	30.4	29.2
	第 8 次	18.3	4.0	11.9	15.4	29.5	30.4
	第 9 次	16.0	4.5	12.4	15.1	28.7	31.0
	第 10 次	17.6	4.8	12.2	16.3	31.3	32.3
	平均值	17.44	4.29	12.86	17.25	30.62	29.96
3.60mm	第 1 次	20.9	10.6	13.8	16.7	31.0	32.0
	第 2 次	20.5	5.3	12.1	16.0	32.3	31.5
	第 3 次	29.0	4.5	11.5	20.1	31.2	33.1
	第 4 次	30.5	10.1	12.6	19.8	29.8	32.4
	第 5 次	15.6	4.9	12.5	17.8	30.4	34.0
	第 6 次	16.1	3.9	13.2	18.2	31.6	33.7
	第 7 次	22.0	6.0	13.6	17.6	31.2	32.8
	第 8 次	23.0	5.8	12.4	19.3	30.8	31.2
	第 9 次	18.0	4.2	13.8	18.3	32.6	34.5
	第 10 次	19.0	5.4	12.4	19.1	33.0	33.5
	平均值	21.46	6.07	12.79	18.29	31.39	32.87



砂(顆粒直徑)	頻率		
	10Hz	20Hz	30Hz
0.71mm			
1.41mm			
2.00mm			
3.60mm			

3. 討論

- (1) 利用「自製喇叭垂直震動器」，觀察不同粗細的砂在震動時的流動現象。
- (2) 砂粒越細，震動時砝碼沉沒所需時間較短，代表砂粒流動現象較明顯。
- (3) 不同粗細的砂粒，震動頻率「20Hz」時砝碼沉沒所需時間最短。
- (4) 從實驗中觀察得知，砂在震動時出現流動的現象。自然界中，也有許多砂粒流動的現象，這些流動經常會造成自然災害。我們現在可以用「自製喇叭垂直震動器」和特定的沙粒來模擬土壤類似流動的現象。我們也將在接下來的實驗試著加入粉漿，觀察粉漿對泥土「液化」的可能影響。

(三) 實驗三·探討「砂、粉漿混合液」在震動中的變化

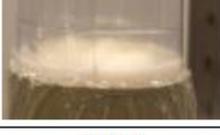
1. 方法

- (1) 先調製水：粉比例(1：1.25)的玉米粉漿及太白粉漿。
- (2) 取 3 種不同粗細(0.71mm、1.41mm、2.00mm)的砂。
- (3) 將砂與粉漿各 15 克，混合成砂粉漿。

(4) 將砂粉漿放在「自製喇叭垂直震動器」上，觀察在不同震動頻率下的變化。

粉漿	砂(顆粒直徑)		
	0.71mm	1.41mm	2.00mm
玉米粉			
太白粉			

2. 結果

頻率		20Hz	30Hz	40Hz	50Hz
玉米粉漿	0.71mm	稍微震動	有長高現象	有跳舞現象	震動不明顯
					
	1.41mm	稍微震動	有長高現象	有跳舞現象	震動不明顯
					
	2.00mm	稍微震動	稍微震動	稍微震動	震動不明顯
					
太白粉漿	0.71mm	稍微震動	明顯花朵形狀	震動不明顯	震動不明顯
					
	1.41mm	明顯上下震動	明顯上下震動	稍微翻動	只有波紋
					
	2.00mm	明顯翻動	明顯翻動	翻動	只有波紋
					

3. 討論

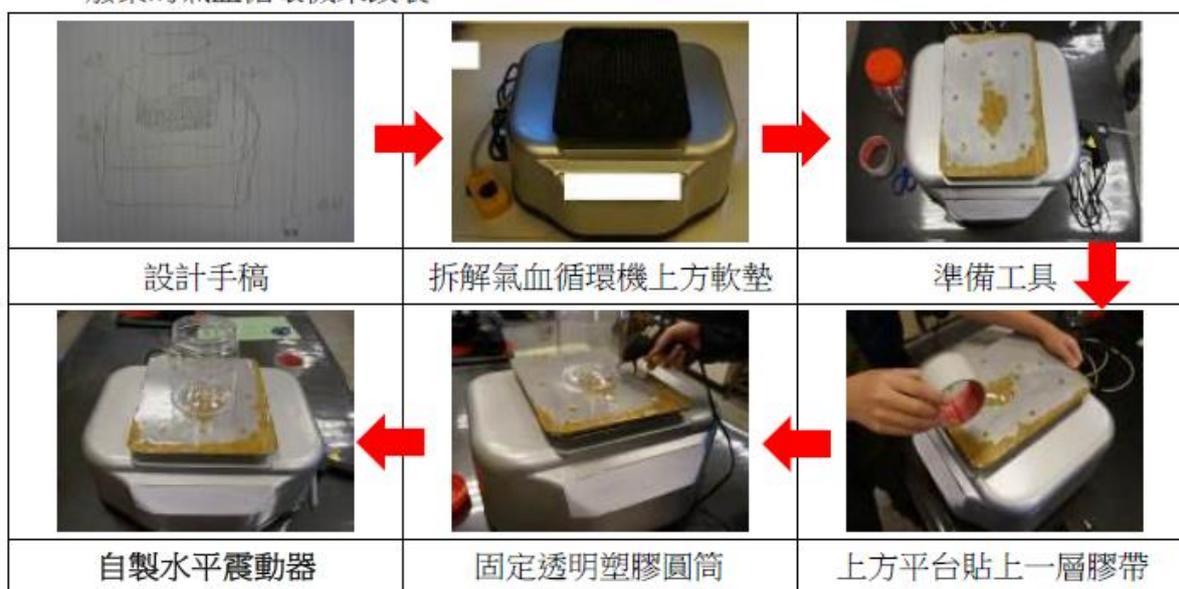
- (1) 細砂粉漿跳動較明顯，粗砂粉漿跳動較不明顯。
- (2) 喇叭頻率「30Hz 和 40Hz」，跳動較為明顯；頻率 50Hz 以上跳動不明顯。
- (3) 砂粉漿震動效果不明顯，可能是喇叭功率不夠大，砂粉漿重量太重的緣故。

五、研究五·利用「自製水平震動器」探討「固化」與「液化」現象

(一) 實驗一·設計「自製水平震動器」

設計構想

因為「自製喇叭垂直震動器」：(1)功率不夠大，無法推動較重的流體和砂粉漿，(2)只能推動垂直方向震動，沒有水平方向震動。我們需要自製一個能夠推動較重的流體和砂，在水平方向震動的裝置，這也可能可以模擬地震時產生的水平震動波對地表沙土的影響。而且因為我們已經有了自製器材的經驗，所以很快的我們就決定用廢棄的氣血循環機來改裝。



1. 「自製水平震動器」的方法

- (1) 利用氣血循環機(輸出功率 150W，振動頻率 7200rpm=120Hz)，拆解氣血循環機上方軟墊。
- (2) 因為熱熔膠無法黏在金屬板上，所以加貼一層透明膠帶。
- (3) 再用熱溶膠固定透明塑膠圓筒(直徑 10.5cm)。
- (4) 為避免內容物噴濺，所以事先準備蓋子。

2. 結果

改裝完成後，開電源實際測試產生水平震動，並進行觀察它的運動情形，發現它確實能提供穩定規律的水平震動。

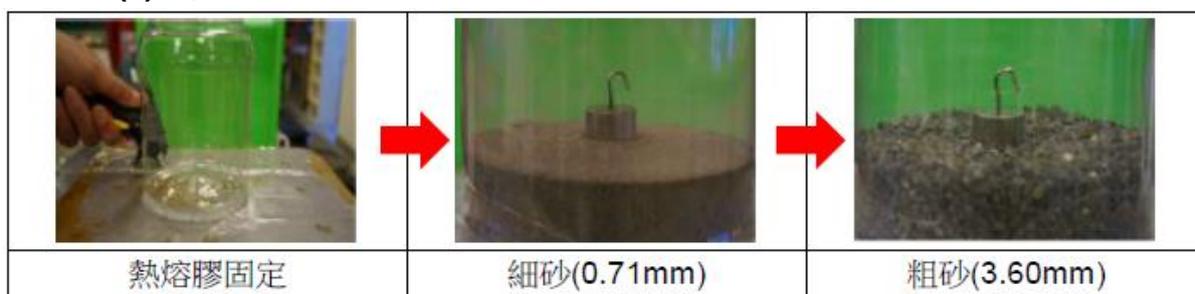
3. 討論

- (1) 氣血循環機的規格顯示它的振動頻率是 120Hz，它這震動頻率是由馬達的轉速來決定，基本上我們插頭供給的電一樣，轉速一樣，震動的頻率就一樣，所以這是一個可提供穩定的水平震動頻率的裝置。
- (2) 利用廢棄的氣血循環機改裝成我們需要的水平震動裝置，來模擬地震的情形，真的是丟棄物再回收利用的好點子。

(二) 實驗二·探討「細砂加水和粗砂加水」遇震動時，砝碼沉沒情形，以觀察土壤「液化」現象

1. 方法

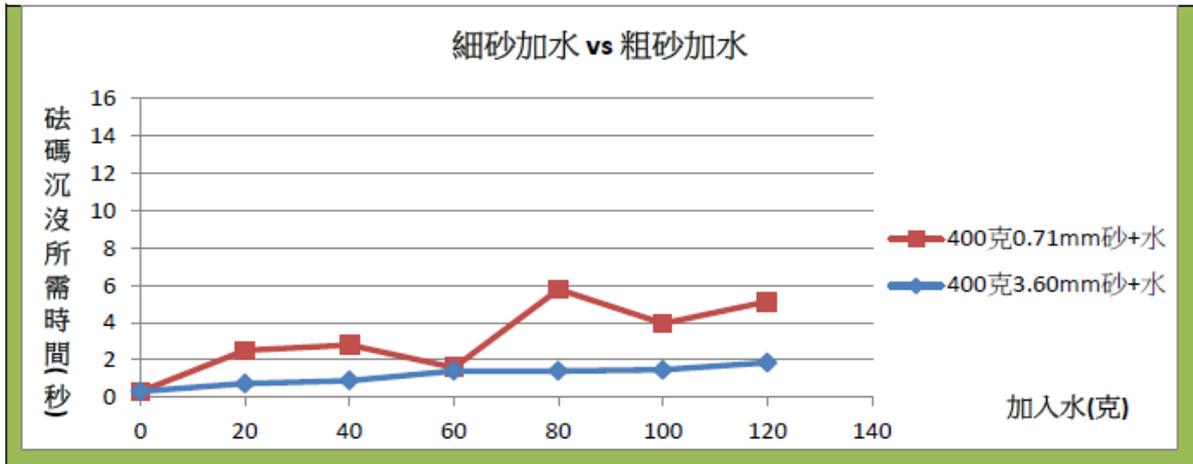
- (1) 分別將 0.71mm 細砂和 3.60mm 粗砂各 400 克，放進透明塑膠筒裡，依次加入水 20 克、40 克、60 克、80 克、100 克、120 克。
- (2) 將 20 克砝碼放置於砂上方正中間，啟動「自製水平震動器」，觀察砝碼沉沒所需時間。
- (3) 每次測試 7 次，取中間 5 次的數據。



2. 結果

400 克 0.71mm 砂		* 液面超過砂的表面						
加入水(克)		0	20	40	60	80	100	120*
砝碼沉沒所需時間(秒)	第 1 次	0.3	3.0	4.0	1.8	8.1	3.5	6.4
	第 2 次	0.3	2.5	2.0	1.7	3.5	4.4	6.8
	第 3 次	0.3	2.7	2.3	1.6	3.7	3.9	3.9
	第 4 次	0.4	2.1	3.1	1.5	5.3	3.9	4.0
	第 5 次	0.3	2.2	2.5	1.3	8.3	4.0	4.5
	平均值	0.30	2.50	2.78	1.58	5.78	3.94	5.12

400 克 3.60mm 砂		* 液面超過砂的表面						
加入水(克)		0	20	40	60	80	100	120*
砝碼沉沒所需時間(秒)	第 1 次	0.2	0.8	0.9	1.4	1.8	1.5	2.0
	第 2 次	0.3	0.7	1.0	1.7	1	1.3	1.6
	第 3 次	0.4	0.8	0.8	1.3	1.7	1.6	2.2
	第 4 次	0.3	0.6	0.8	1.2	1.4	1.2	1.5
	第 5 次	0.4	0.7	0.9	1.4	1.1	1.7	1.9
平均值		0.30	0.72	0.88	1.40	1.40	1.46	1.84



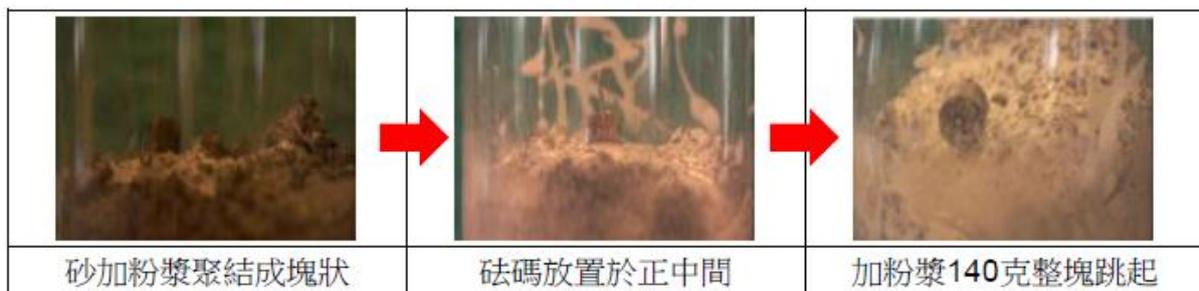
3. 討論

- (1) 剛開始我們取砂 200 克加水 60 克來進行實驗，發現砂漿深度不夠，所以後續我們以砂 400 克來進行實驗。
- (2) 比較細砂和粗砂，粗砂砝碼沉沒所需時間較短。
- (3) 由於細砂加水後，遇震動時砝碼沉沒所需時間較不穩定，原因目前尚無法解釋，所以後續我們選擇變化穩定的「粗砂」做實驗。

(三) 實驗三・利用「充分混合的砂和粉漿」減緩土壤「液化」現象

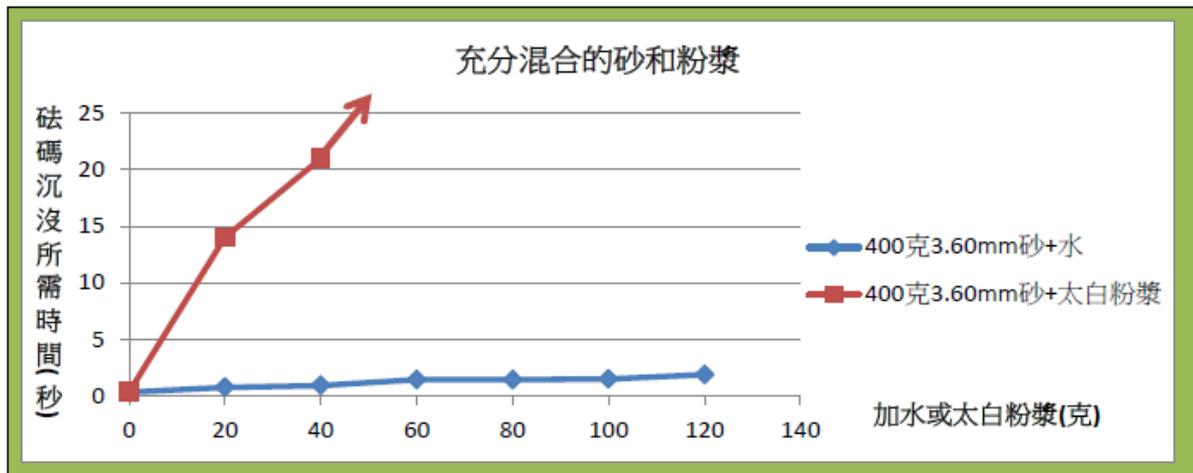
1. 方法

- (1) 將 3.60mm 砂 400 克，放進透明塑膠筒裡，分別加入太白粉漿(水粉比 1 : 1.25)20 克、40 克、60 克、80 克、100 克、120 克、140 克。
- (2) 再將砝碼放置於正中間，啟動「自製水平震動器」，觀察砝碼沉沒所需時間。



2. 結果

400 克 3.60mm 砂	* 整塊跳起							
加入太白粉漿(克)	0	20	40	60	80	100	120	140*
砝碼沉沒所需時間(秒)	0.32	14	21	>30	>30	>30	>30	>30



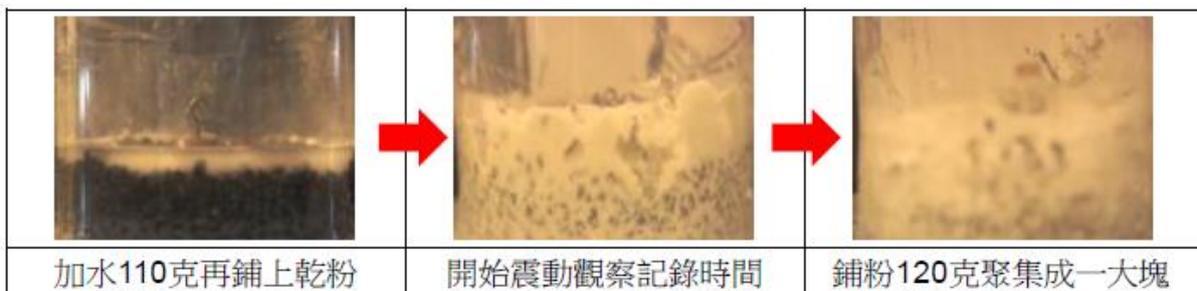
3. 討論

- (1) 由前一個實驗，看到經過震動的粗砂漿會有「液化」現象(上圖的藍色曲線)，也就是說如果沒有加入太白粉漿，砂上面的物品(砝碼或房子)下沉的時間都會比較接近。
- (2) 但當，粗砂和太白粉漿，砂粉漿結成塊狀，使得砝碼不易下沉，當加太白粉漿超過 60 克以後，砝碼沉沒所需時間大於 30 秒(如上圖的紅色曲線)。當加太白粉漿到 140 克時，砂粉漿聚結成一大塊，震動時會出現整塊跳動。
- (3) 所以，我們可以確知將太白粉漿和粗砂混合中，可以產生「凝聚」粗砂的現象。

(四) 實驗四・利用「將粉鋪在砂漿表面」減緩土壤「液化」現象

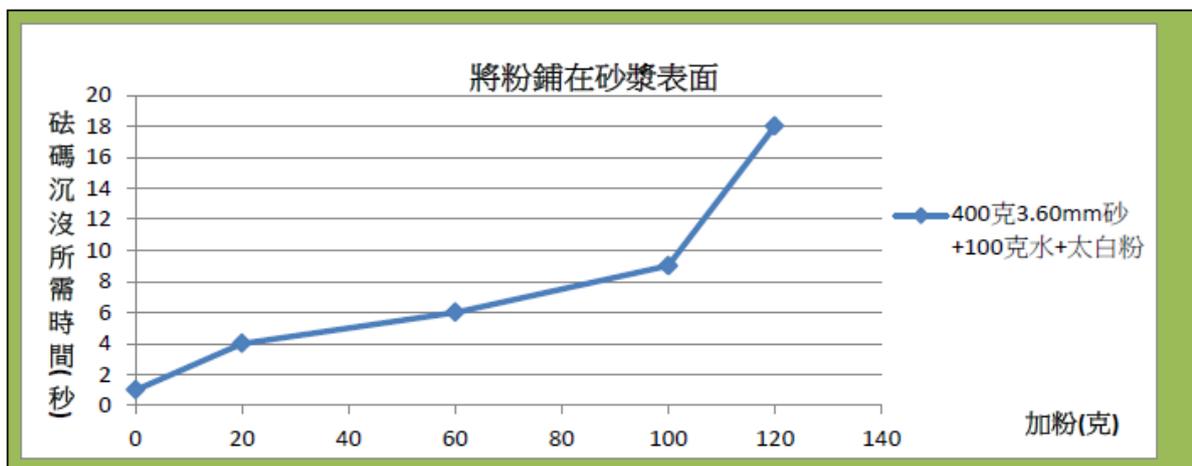
1. 方法

- (1) 拿 3.60mm 砂 400 克，放進透明塑膠筒裡，先加入 110 克水後，再分別鋪上太白粉 20 克、60 克、100 克、120 克。
- (2) 將砝碼放置於正中間，啟動「自製水平震動器」，觀察砝碼沉沒所需時間。



2. 結果

400 克 3.60mm 砂+110 克水	* 成塊狀				
鋪上太白粉(克)	0	20	60	100	120*
砝碼沉沒所需時間(秒)	1	4	6	9	18



3. 討論

- (1) 400 克粗砂加入 110 克水，模擬土壤「液化」，再鋪上太白粉，使得砝碼不易下沉。
- (2) 當鋪上太白粉 120 克後，需要更長時間砝碼才沉沒，表示鋪上太白粉可減緩土壤「液化」現象。
- (3) 這個實驗顯示，為避免物體因為砂鬆動(「液化」)而沉沒，在砂和水混合物的表面鋪上太白粉末，就可達到相當避免物體沉沒的效果。

陸、結論

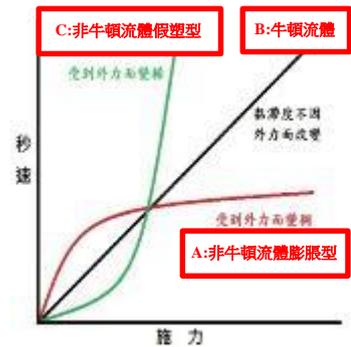
一、探討可以產生「固化」現象的粉漿

- (一) 太白粉和玉米粉加水呈流體狀，用力握在手中會「固化」，鬆開手會慢慢變回流體，為「非牛頓流體膨脹型」。水：粉比例(1：1.25)，「固化」現象最明顯。
- (二) 相同粉但不同水溫形成的粉漿，並無太大差異。
- (三) 相同水溫但不同粉形成的粉漿，麵粉、蓮藕粉較易攪拌，較不具黏滯度，而以「太白粉、玉米粉」最具黏滯度。

二、探討外力對粉漿黏滯度的影響

- (一) 經由反覆測試，利用釣魚線光滑、鐵尺表面積大不會黏附粉漿，而且可忽略固定的阻力(約2克)，並經由齒輪油和洗衣精來校正黏滯度的測量。發現「自製滑輪黏滯度檢測器」的設計能有效地測量施力與速度的關係。

- (二) 從太白粉漿中拉出鐵尺的平均時間較長、速度較慢，所以「太白粉漿」的黏滯度較大。
- (三) 太白粉漿和玉米粉漿受力後速度變化相近，接近「非牛頓流體膨脹型」。本研究在生活中找到的流體，已能與參考資料中的現象符合。
- (四) 「太白粉漿」和「玉米粉漿」受力後有「固化」現象，粉漿變稠變硬而把鐵尺拉住。與參考資料(右圖)的A線段「受到外力而變稠」一致，為「非牛頓流體膨脹型」。
- (五) 洗衣精與齒輪油的黏滯度，沒有因為受力不同而改變，所以鐵尺移動速度與施力幾乎成正比，與參考資料(右圖)的B線段「黏滯度不因外力而改變」一致，為「牛頓流體」。
- (六) 蕃茄醬的曲線有略微向上彎的現象，表示蕃茄醬是受力後會變稀的一種流體，與參考資料(右圖)的C線段「受到外力而變稀」一致，為「非牛頓流體假塑型」。



三、探究粉漿「固化」現象的科學體驗

- (一) 搖動粉漿的次數與方向，對於黏滯度沒有明顯的影響。
- (二) 太白粉漿和玉米粉漿來回搖動受力，讓黏滯度增加而變硬、「固化」，這種物理現象可以帶來許多生活中的新科學經驗。
- (三) 透過粉漿「固化」現象的體驗，流體的粉漿竟然可以支撐起固體的手、腳、玩具車，未來也可能有更大的利用。

四、利用「自製喇叭垂直震動器」探討「固化」與「液化」現象

- (一) 經由反覆測試，「自製喇叭垂直震動器」上的喇叭加水管可以集中聲音，覆蓋保鮮膜可以觀察流體受聲波震動後跳動的情形。
- (二) 水受震動後向上噴散成無數小水滴，高度超過5公分，顯示完全流體現象，為「牛頓流體」現象。
- (三) 蕃茄醬受震動後向上形成長條絲狀，高度超過5公分，顯示黏滯度下降，使它流動得更多，可能為「非牛頓流體假塑型」的現象。
- (四) 玉米粉和太白粉漿受力讓黏滯度增加，顯示流動變困難，為「非牛頓流體膨脹型」的現象。
- (五) 不同粗細的砂粒，震動頻率在20Hz時砝碼沉沒所需時間，以0.71mm砂(4秒)最短、3.60mm砂(6.07秒)最長；砂粒越細，震動時砝碼沉沒所需時間較短，代表砂粒流動現象較明顯。
- (六) 細砂粉漿在喇叭頻率「30Hz和40Hz」時，明顯呈現花朵狀翻滾；頻率50Hz以上跳動不明顯。

五、利用「自製水平震動器」探討「固化」與「液化」現象

- (一) 我們設計的「自製水平震動器」，能提供穩定的水平震動頻率，適宜用來做為觀察物體受水平震動時的變化。
- (二) 以「自製水平震動器」進行實驗，看到水進入砂的空隙，經過震動後砂漿內部產生壓力的變化，而造成流動現象。
- (三) 「充分混合的砂和粉漿」或「將粉鋪在砂漿表面」，都會產生凝聚現象，所以可以模擬減緩土壤「液化」的情形。

柒、未來展望及感想

五下的自然與生活科技提到台灣位於地震帶，1999年921地震造成彰化、南投地區土壤「液化」，原本是固態的土壤展現出液態的性質，或變成黏稠的流體。土壤「液化」造成房屋傾斜沉陷，探討土壤「液化」的緊急應變對策對於災區居民非常重要。

我們以「自製滑輪黏滯性檢測器」探討不同流體的黏滯度，太白粉漿具有非牛頓流體受力後的「固化」現象；以「自製喇叭垂直震動器」探討不同流體的特性，砂在震動時會出現流動現象；以「自製水平震動器」探討非牛頓流體與和砂混合後的狀態，結果顯示太白粉漿類的非牛頓流體可以讓砂凝聚成塊狀，模擬降低土壤「液化」現象。

在地震土壤「液化」發生當時的緊急對策，除了灌水泥混凝土之外，非牛頓流體將是另一個可考慮的替代選擇，因為太白粉漿是家中廚房隨手可得、且超市容易買到的物品，希望未來能以自製器材再深入探討如何以非牛頓流體來模擬防止土壤「液化」。

我們這個研究，是從自然界獲得靈感，但我們採用的是自然與生活科技中的一些物理探究方法，從過程中，我們很高興能發現許多新而有意義的物理現象和規律，這對於認識我們的世界或解決一些生活上的問題，都提供一些重要的經驗和基礎。

捌、參考資料

- 一、張美玉（2009）。國民小學自然和生活科技五上。台南市：翰林。
- 二、張美玉（2009）。國民小學自然與生活科技五下。台南市：翰林。
- 三、牛頓流體（無日期）。維基百科。2013年12月8日，取自：
<http://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E9%9D%9E%E7%89%9B%E9%A0%93%E6%B5%81%E9%AB%94>
- 四、非牛頓流體（無日期）。維基百科。2013年12月8日，取自：
<http://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E7%89%9B%E9%A1%BF%E6%B5%81%E4%BD%93>
- 五、土壤液化（無日期）。維基百科。2012年10月29日，取自：
<http://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E5%9C%9F%E5%A3%A4%E6%B6%B2%E5%8C%96>
- 六、陳宏宇（無日期）。土壤液化 soil liquefaction，台灣大百科全書。民國98年9月24日，取自：<http://taiwanpedia.culture.tw/web/content?ID=1017>
- 七、z 陳銘鴻（無日期）。土壤液化成因、災害與復建，國家地震工程研究中心。取自：<http://cgsweb.moeacgs.gov.tw/Result/921/9.%E9%99%B3%E9%8A%98%E9%B4%BB.pdf>

【評語】 080110

討論粉漿的固化現象，想藉此提出可以改善土壤固化的情況，在研究過程中比較各種粉漿條件之下之固化情況，並開發垂直震動器與黏滯度檢測器來做定量分析。最後並提出改進土壤液化的方法，研究過程有系統且分析結果詳盡。