

中華民國第 65 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國小組 物理科

080105

非牛頓流體在力學的測試與應用

學校名稱：臺南市東區勝利國民小學

作者：	指導老師：
小五 郭品葳	林啟鴻
小六 陳勇至	林尚玟
小五 吳潔儒	
小五 張牧天	
小五 張牧晴	

關鍵詞：非牛頓流體、衝擊與緩衝、耐震測試

摘要

科展以非牛頓流體為主題，想要瞭解不同澱粉漿加 PVA 膠水混合，以硼砂或碳酸鈉進行交聯作用形成聚合物，在靜止或運動中受碰撞或衝擊時，在力學測試的變化與效應，進行實驗設計。

實驗設計與結果說明：

- 1.玉米粉、地瓜粉及糯米粉混合 PVA 膠水，以硼砂或碳酸鈉進行交聯作用，彈珠在不同高度落下可緩衝 58.6%~70.0%位能；彈珠自 40 cm軌道滑落，可緩衝 88.0%~95.3%動能；彈珠自 240 cm高度落下，以撞痕深度計算可緩衝 70.0%~85.0%位能。
- 2.非牛頓流體為彈性物質，無法取代剛性物質作為結構垂直柱體，以(糯米粉漿+PVA 膠水)+硼砂或碳酸鈉製成緩衝器，可考慮取代剛性物體作為鋼斜撐物質。

實驗結果說明，澱粉漿+PVA 膠水+碳酸鈉有較佳的垂直與水平緩衝效果，並可考慮作為結構鋼斜撐的緩衝器及防撞器。

壹、前言

一、研究動機：

在南一版自然與生活科技第三冊單元一「力與運動」，第五冊單元四「力與運動」，談到力的效應、物體運動狀態改變及動能等相關課程與實驗，在準備科展主題時，以力學的相關測試進行搜尋，搜尋到「非牛頓流體」，非牛頓流體經過多次科展相關實驗的測試，說明具有力學上緩衝的效應，在進階搜尋相關科展作品，搜尋到 64 屆台南市科展國中組生活與應用科學(二)第二名作品「玉米漿混合 PVA 聚合物做為緩衝裝置的探討」，將 PVA 膠水與玉米漿混合製成非牛頓流體，進行水平的碰撞測試，相關的實驗設計引起我們的興趣，想要延伸進行實驗。

首先以不同的澱粉取代玉米粉進行混合，比較不同澱粉製成的聚合物，搜尋硼砂時，發現硼砂在食品科學的分類上具有中等毒性(資料來源:環境部化學物質管理署)，再進階搜尋時，發現碳酸鈉水溶液可以取代硼砂水溶液進行交聯作用，因此，測試物質調整為不同澱粉漿混合 PVA 膠水，以硼砂或碳酸鈉進行交聯作用，測量聚合物的硬度，在垂直及水平碰撞測試中的緩衝效應，並考慮以非牛頓流體製成緩衝器，測試在水平震動下的緩衝效果，實驗動機及設計，希望回答兩個待答問題：

- (一) 不同澱粉漿混合 PVA 膠水，以硼砂或碳酸鈉進行交聯作用，製成的非牛頓流體在垂直及水平碰撞測試中的緩衝效應。
- (二)非牛頓流體為彈性物體，是否可以考慮取代剛性物體作為結構補強的鋼斜撐物質。

經過與指導老師討論並確認實驗架構後，進行相關實驗設計。

二、研究目的：

- (一)不同澱粉漿混合 PVA 膠水及硼砂，聚合物的比較。
- (二)不同非牛頓流體進行硬度及燃燒測試。
- (三)不同非牛頓流體於靜止間受自由落體碰撞的緩衝效果。
- (四)不同非牛頓流體進行碰撞運動後的緩衝效果。
- (五)不同非牛頓流體作為垂直彈性結構，在水平震動測試的緩衝效果。
- (六)不同非牛頓流體作為鋼斜撐彈性結構，在水平震動測試的緩衝效果。
- (七)不同非牛頓流體在慢速撞擊下的保護效果。

三、文獻回顧：

(一)非牛頓流體：

流體的物理行為可以透過幾個因素描述，包括密度、壓力、溫度與黏度等。其中，黏度是衡量流體內部摩擦力大小的物理量。當流體黏度愈高，流體的流動性愈差。

根據黏度對流體的影響可分為牛頓流體和非牛頓流體兩類，牛頓流體的特點是黏度在一定條件下保持不變，意味著牛頓流體的流動性不會因外力改變而改變，像是水和空氣就是典型的牛頓流體。非牛頓流體是一種流動性質不隨剪切速率而定的流體，簡單來說，當攪拌或擠壓非牛頓流體時，非牛頓流體的阻力或流動性並不固定，流動性會因為外力改變而改變。

資料來源：科技雞湯

(二)玉米漿：

玉米漿和一般水溶液的差別是，玉米漿是非牛頓流體，水溶液是牛頓流體。非牛頓流體的主要特徵是，流體的黏度會因為受到的壓力或速度而變化，壓力越大，黏度會增加，甚至成為暫時性的固體。因此當以物體用力搥打玉米漿時，接觸面因為壓力大而黏度增加，物體就無法進入流體內部。

資料來源：國立台中教育大學 NTCU 科學教育與應用學系「科學遊戲實驗室」

(三)碰撞測試：

碰撞測試是一種破壞性試驗，操控各類交通工具進行碰撞以測試其安全性的測試，最常見的碰撞測試類型就是汽車碰撞測試，可以分為(1)100%正面重疊碰撞測試，汽車車頭與鋼性屏障的碰撞面積重疊率為 100%，(2)40%偏置碰撞測試，(3)25%偏置碰撞測試

資料來源：維基百科 碰撞測試

(四)結構補強：

結構補強工法介紹

- 1.方法一：在既有框架內加設整片鋼筋混凝土牆體；或將原有牆體置換為鋼筋混凝土牆。
- 2.方法二：在既有柱旁加設單片或雙片之鋼筋混凝土(RC)牆體。
- 3.方法三：將既有柱斷面的尺寸擴大，同時增加柱的強度和韌性。
- 4.方法四：隔震墊、棒式液態阻尼器、壁式阻尼器、金屬阻尼器

資料來源：台灣省結構工程技師公會

(五)非牛頓流體等彈性物體是否可以作為結構補強的物質？

非牛頓流體具有獨特性質，例如剪切稀化和剪切增稠。這些特性使它們在某些動態負荷下能夠提供額外的阻尼效果，從而減少結構的振動和損壞。然而，非牛頓流體通常不會直接用於結構補強，而是作為一種輔助材料，例如在地震防護中用於延長土壤液化的時間。

總的來說，非牛頓流體和彈性物質在結構補強中的應用需要根據具體的工程需求和條件來決定。資料來源：ChatGpt

(六) 歷屆科展作品：

以關鍵詞：非牛頓流體、(防衝擊/緩衝)及(抗震/防震)，分別進行查詢歷屆科展作品，發現近 25 件相關作品，非牛頓流體主要以玉米漿進行相關研究，本次科展以 PVA 膠水混合不同的澱粉漿，混合硼砂或碳酸鈉水溶液，製成非牛頓流體，進行硬度及燃燒測試，以針筒製成緩衝器，進行靜態或動態碰撞後計算緩衝效果，防震部分進行水平振動測試，希望以不同配製的非牛頓流體製成的緩衝器，進行力學的相關測試，未來可以進行更多的應用測試。

屆別	組別	學校	題目	關鍵詞		
				非牛頓流體	防衝擊/緩衝	抗震/防震
48 屆	高中組物理科	國立新竹女子高級中學	不亦「彈」乎——黏滯液體彈跳的探討	√	√	√
49 屆	國小組物理科	台北市松山區敦化國民小學	真能落得輕鬆嗎?	√	√	√
51 屆	國中組生應科	彰化縣立陽明國民中學	天不搖，地不動——非牛頓流體在建築結構抗震的應用	√	√	√
51 屆	國小組生應科	嘉義縣朴子市朴子國民小學	過強則強的玉米漿	√	√	√
55 屆	高中組物理科	國立臺中女子高級中學	一躍而起——非牛頓流體在簡諧運動下的跳躍現象	√	√	√
57 屆	國中組物理科	臺中市立居仁國民中學	兵來將擋——非牛頓流體防衝撞力之研究	√	√	√
58 屆	高中組物理與天文學科	雲林縣福智高級中等學校	從天降——緩衝材料吸收撞擊之實驗探討	√	√	√
58 屆	國小組物理科	臺北市大安區龍安國民小學	不可思議!小小流體力量大-非牛頓流體與腳踏車減速帶之研究	√	√	√
58 屆	國小組物理科	高雄市三民區陽明國民小學	天「柱」我也	√	√	√
59 屆	國小組生應科(二)	桃園市桃園區南門國民小學	告別心碎——膨性流體手機保護套	√	√	√
60 屆	國小組生應科(二)	新北市永和區永和國民小學	「粉」飾太平——探究不同粉漿之抗震表現	√	√	√
60 屆	國小組生應科(二)	新北市板橋區中山國民小學	地震疏散有一「套」——自製防災頭套保護效果之探討	√	√	√
63 屆	國中組生應科(一)	花蓮縣波斯頓實驗教育機構	抗震結構 468	√	√	√
63 屆	高中組物理與天文學科	高雄市普門高級中學	探討非牛頓流體對安全帽結構吸收衝擊力的影響	√	√	√
64 屆	國小組生應科(三)	澎湖縣馬公市馬公國民小學	就是砂得住——公路緩速道影響因素探究	√	√	√
64 屆	國中組地球科學科	新北市立海山高級中學	「非」天「頓」地——非牛頓流體阻尼的減震效果與建物即時監測研究	√	√	√

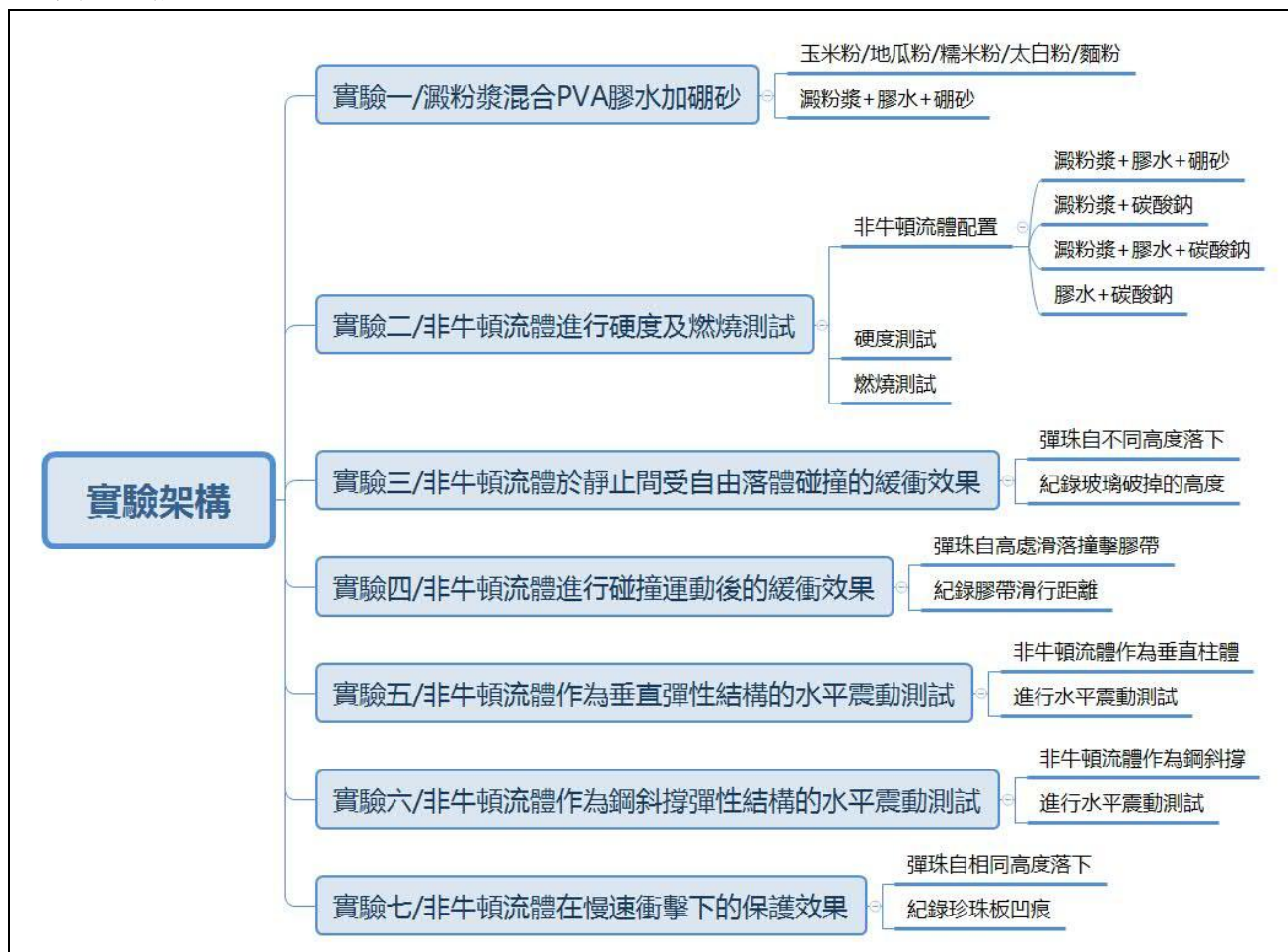
貳、研究設備及器材

耗材	玻棒、竹筷、夾鏈袋、塑膠袋、珍珠板、木條、木板、塑膠針筒 美工用具(尺、美工刀、膠帶及雙面膠等)、玻璃片、熱熔膠條、打火機 酒精燈組、火柴、塑膠盒
澱粉及其他	玉米粉、地瓜粉、太白粉、糯米粉、麵粉、PVA 膠水、
藥品	硼酸鈉(硼砂)、碳酸鈉、蒸餾水
設備	筆記型電腦、數位相機、塑膠罐(約 20 個)、硬度計、割圓器、滑軌 一公斤重砝碼、120 公分透明塑膠管、鋁梯、計算機、電子秤、玻璃彈珠 熱熔槍、篩網、紅外線測溫儀、鐵盤、鑷子、鋁製軌道(鋁門窗用)、鉗子

【說明】本次科展使用相片，均使用指導老師及學生之數位相機、平板拍攝，所有圖表均自行製作，未有抄襲、複製及修改情事，特此說明

參、研究過程及方法

【實驗架構】



一、實驗一：不同澱粉漿混合 PVA 膠水及硼砂，聚合物的比較。

【實驗發想】

在準備科展題目時，參考臺南市 64 屆科展，國中組生活與應用科學(二)環保與民生，作品名稱為「玉米漿混合 PVA 聚合物做為緩衝裝置的探討」，結合玉米漿及(PVA 膠水加硼砂)，兩種不同的非牛頓流體，進行碰撞過程的緩衝測試，實驗主題「非牛頓流體」引起我們的興趣，經過討論後，與原科展主題不同的是，首先以不同的「澱粉漿」(地瓜粉、玉米粉、太白粉、糯米粉及麵粉)進行差異比較，澱粉漿與 PVA 膠水混合後，再加入硼砂混合攪拌，比較混合後聚合物的是否容易成形、外觀的差異、軟硬程度，靜置一週後聚合物的狀態，進行相關實驗設計。

【實驗步驟】

- 1.參考「玉米漿混合 PVA 聚合物做為緩衝裝置的探討」科展實驗結論，玉米漿：水：PVA 膠水：硼砂=40：17：40：10 的混合比例下，有較佳的延展性、載重能力及緩衝效果(81.88%)，實驗一澱粉漿的混合比例，參考前述作品的混合比例進行混合(如圖 1~3)。
- 2.取地瓜粉 40 克，水 17 克，先以玻棒攪拌混合均勻，再加入 40 克 PVA 膠水(PVA 比例 12%，水 88%)，攪拌均勻後，以滴管慢慢加入 10 毫升飽和硼酸鈉溶液，過程中攪拌成形後，以手

慢慢揉捏直到成為不黏手的團狀物，聚合物成團後，放置在塑膠杯中，共完成 6 杯(代號分別為①②③④⑤⑥)，完成後靜置待測(如圖 4~8)。

3.重複步驟 2，將地瓜粉分別改成玉米粉、太白粉、糯米粉及麵粉，各完成 6 杯，完成後靜置待測。

4.完成聚合物後，自塑膠杯中取出，以手揉捏測試觸覺、柔軟度及是否黏手。

5.將步驟 2 及 3 五種非牛頓流體，靜置一週後，依步驟 4 方法再測試一次。

6.將步驟 2 及 3 五種非牛頓流體，靜置五週後，依步驟 4 方法再測試一次。

7.團隊成員對 5 種澱粉漿進行評分，取積分較高的 3 種進行實驗二。

【實驗圖片說明】

			
圖 1：玉米粉與膠水攪拌	圖 2：地瓜粉與膠水攪拌	圖 3：糯米粉與膠水攪拌	圖 4：地瓜粉
			
圖 5：玉米粉	圖 6：太白粉	圖 7：糯米粉	圖 8：麵粉

二、實驗二：不同非牛頓流體進行硬度及燃燒測試。

【實驗發想】

完成實驗一的測試後，經過討論，保留玉米粉、糯米粉及地瓜粉進行後續測試，在搜尋相關資料時，發現碳酸鈉可以取代硼砂，形成類似交聯作用的聚合物，在實驗二的實驗設計討論中，我們以玉米粉、糯米粉及地瓜粉製成澱粉漿，與 PVA 膠水混合後，分別使用硼砂水溶液及碳酸鈉水溶液，製成不同的非牛頓流體，再比較性質的差異，進行第一階段的實驗設計。

完成不同組成及配置方式的非牛頓流體後，想要更深入瞭解非牛頓流體的物理性質及化學性質，討論過程中，有團隊成員提到，非牛頓流體是彈性物體，硬度與後續的緩衝及碰撞測試是否有對應的關係，接著討論到碰撞過程中若產生高溫，非牛頓流體在燃燒過程中，會產生哪些效應？作為進行實驗三實驗設計的討論基準。

有了以上的討論過程，決定以硬度測試及燃燒測試進行實驗二的實驗設計。

【實驗步驟】

1.取玉米粉 20 克，加水 37 克混合攪拌均勻，另取一個塑膠杯，在電子秤上歸零後，秤取 40 克 PVA 膠水，將玉米漿再攪拌均勻後，以刮勺刮出倒入裝有 PVA 膠水的塑膠杯中，再以量筒量取 13 毫升飽和硼砂水溶液，以滴管慢慢吸取後滴入，慢慢攪拌直到聚合物成團，以手慢慢揉捏成形，共完成兩份，分別編號為玉米粉-1 及玉米粉-2。

2.查詢相關資料，碳酸鈉水溶液，可以取代硼砂水溶液，製成非牛頓流體，同步驟一，以玉

米粉 20 克，水 37 克，加入 13 毫升 20%碳酸鈉水溶液，慢慢揉捏成形，再放入夾鏈袋中，共完成兩份，分別編號為玉米粉-3 及玉米粉-4(如圖 9~11 及 12~14)。

3.步驟 2 完成的非牛頓流體，靜置後容易碎裂，測試效果較差，經過幾次討論及試做後，調整實驗步驟，比照步驟 1，將玉米粉、水及 PVA 膠水攪拌均勻混合後，倒入 40 毫升碳酸鈉水溶液中，以玻棒攪拌，待成團後將非牛頓流體倒在篩網上，以鐵製湯匙慢慢壓製成形，再放入夾鏈袋中，共完成兩份，分別編號為玉米粉-5 及玉米粉-6。

4.玉米粉 1/2、玉米粉 3/4 及玉米粉 5/6 配置方式說明如下：

編號	玉米粉	水	PVA 膠水	硼砂	碳酸鈉	說明
玉米粉 1/2	20 克	37 克	40 克	13 毫升	無	以手揉捏成團
玉米粉 3/4	20 克	37 克	無	無	13 毫升	以手揉捏會碎裂
玉米粉 5/6	20 克	37 克	40 克	無	40 毫升	以篩網及鐵湯匙壓製成團

5.重複步驟 1~3，將玉米粉改成地瓜粉及糯米粉，各製成 6 份非牛頓流體(如圖 15~17)。

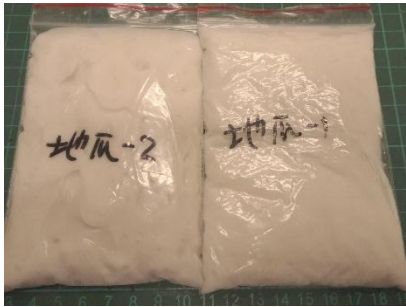
6.取硬度計，先取夾鏈袋，以硬度計測試夾鏈袋硬度，再將非牛頓流體緊貼在塑膠盒側面，手持硬度計，壓向非牛頓流體，測量並記錄不同非牛頓流體(共 18 個)的硬度數值，扣除夾鏈袋硬度數值，設定為非牛頓流體硬度數值(如圖 18~20)。

7.本次科展使用的硬度計為邵氏硬度計，硬度計 1 個單位，會產生 0.025mm 位移，硬度計數值越大，代表硬度越大。

8.取酒精燈組，取步驟 4 的 18 個非牛頓流體，以電子秤秤取 3 公克，以鑷子夾住，點燃酒精燈，將非牛頓流體放置在酒精燈火焰上直接加熱(如圖 21~23)，加熱時間 3 分鐘，觀察非牛頓流體是否起火燃燒？是否產生氣體或氣味？作為後續實驗設計的參考依據。

【實驗圖片說明】

		
圖 9：玉米漿加碳酸鈉	圖 10：玉米漿加碳酸鈉過濾後	圖 11：以湯匙慢慢壓製成型
		
圖 12：PVA 膠水加碳酸鈉	圖 13：以湯匙慢慢壓製成型	圖 14：膠水加碳酸鈉非牛頓流體

		
圖 15：玉米粉 1/2	圖 16：地瓜粉 1/2	圖 17：糯米粉 1/2
		
圖 18：硬度計	圖 19：以硬度計進行測量	圖 20：秤 3.0 克非牛頓流體
		
圖 21：進行燃燒測試-1	圖 22：進行燃燒測試-2	圖 23：玉米粉燃燒測試結果

三、實驗三：不同非牛頓流體於靜止間受自由落體碰撞的緩衝效果。

【實驗發想】

從實驗一及實驗二的實驗結果，經過討論後，保留玉米粉、地瓜粉及糯米粉進行後續實驗，麵粉漿及太白粉漿因為靜置後會產生分層，予以排除。

非牛頓流體的定義是流動性會因為外力改變而改變，以手揉捏發現也可視為彈性物體，在碰撞過程中，非牛頓流體受重力撞擊後產生形變，碰撞過程屬於「非彈性碰撞」，可達到部分減震的效應，實驗設計讓玻璃彈珠自高處落下，對照組在上方不放置非牛頓流體，紀錄玻璃片破掉的最高高度，實驗組在玻璃片上方放置非牛頓流體，逐步提高玻璃彈珠落下高度，直到玻璃片破裂為止，紀錄玻璃片破掉的最低高度，與對照組相較，計算緩衝距離及能量。

【實驗步驟】

1.取 1 公升(內徑 10cm*10cm*10cm)的塑膠盒，放入厚度 0.2 公分的玻璃片，取實驗二步驟 1~5 製成的 18 份非牛頓流體，以電子秤量取 20 克的非牛頓流體，放入 3 號夾鏈袋中，以手揉捏整平，再放入塑膠袋中，以膠帶黏貼維持非牛頓流體形狀(如圖 24)。

2.取 PVA 膠水加碳酸鈉，以篩網壓製成形，依步驟 1 的作法，將 PVA 膠水加碳酸鈉製成的非牛頓流體，放置於夾鏈袋中，靜置備用。

- 3.取 100cm 鐵尺，黏貼於牆上，將 1 公升塑膠盒及玻璃片靠緊放好，取玻璃彈珠，從 20cm 處自由落下，觀察玻璃是否破裂，如未破裂，依次提高 10cm，直到玻璃片破料為止，步驟 7 的高度為對照組高度(如圖 25~29)。
- 4.同步驟 3 的作法，依次取步驟 1 共 18 份非牛頓流體及步驟 2 的非牛頓流體，若高度超過 100cm，以透明塑膠管作為自由落體軌道，讓彈珠可以落在非牛頓流體上方，紀錄讓玻璃片破裂的最高高度。
- 5.紀錄並計算非牛頓流體在靜止間受自由落體碰撞的緩衝效果。

【實驗圖片說明】

		
圖 24：秤取 20.0 克非牛頓流體	圖 25：玻璃上方放非牛頓流體	圖 26：彈珠自不同高度落下
		
圖 27：基礎測試-玻璃破掉	圖 28：實驗三實驗裝置圖	圖 29：以塑膠管固定彈珠方向

四、實驗四：不同非牛頓流體進行碰撞運動後的緩衝效果。

【實驗發想】

從實驗三非牛頓流體，於靜止間受自由落體碰撞後的緩衝效果，比較不同非牛頓流體的實驗結果，彈珠受重力作用後自由落下，重力為保守力，保守力做的功等於位能的變化，觀察彈珠撞擊非牛頓流體後的彈跳高度，幾乎都小於 1.0 cm，查詢碰撞運動的分類，屬於「非彈性碰撞」，彈珠的位能轉成動能，碰撞後部分動能轉換為非牛頓流體的內能(產生形變)，使系統動能無法守恆，以衝量與動量的角度分析($F \Delta t = m \Delta V$)，非牛頓流體撞擊過程中因為產生形變並恢復形狀，碰撞過程因形變增加接觸時間，降低碰撞過程的應力，在彈珠自由落體落下過程中，緩衝碰撞過程中的部分衝擊力量，達到減振及緩衝的效應。

本次科展使用的非牛頓流體，成分中有相當比例的組成是水，形狀會受外力改變以及有乾燥及保存的問題，透過腦力激盪後，嘗試將非牛頓流體保存於針筒中，透過針筒前後端的密封後，可以利用針筒的形狀保持非牛頓流體的形狀，同時可長時間保存，避免非牛頓流體乾燥的問題，考慮後續實驗設計及實驗裝置大小，經過討論後，以 6ml 的針筒進行實驗設計。

比較實驗三的非牛頓流體及實驗結果，發現編號 3/4 的非牛頓流體比較容易結塊並脆化，不容易塞進針筒中，塞進去後也會有空隙，經過討論後，先排除編號 3/4(澱粉加水加 20%碳酸鈉)，以其他四種編號非牛頓流體進行後續實驗。

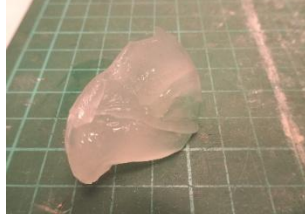
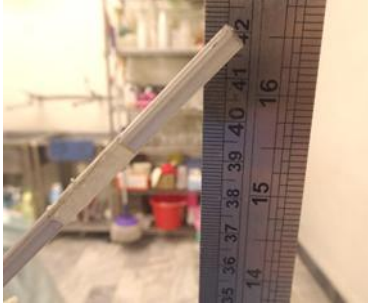
從實驗三的實驗設計是靜止間受自由落體碰撞的緩衝效果，實驗四想要探討受碰撞後的運動條件及緩衝效果，參考伽利略實驗的滑行軌道，將玻璃彈珠自約 40.0cm 高的軌道滑落而下，撞擊絕緣膠帶，因為絕緣膠帶與軌道面的摩擦係數較大，可以透過絕緣膠帶的滑行距離，計算非牛頓流體受碰撞運動後的緩衝效果，以此構想，進行實驗四的實驗設計。

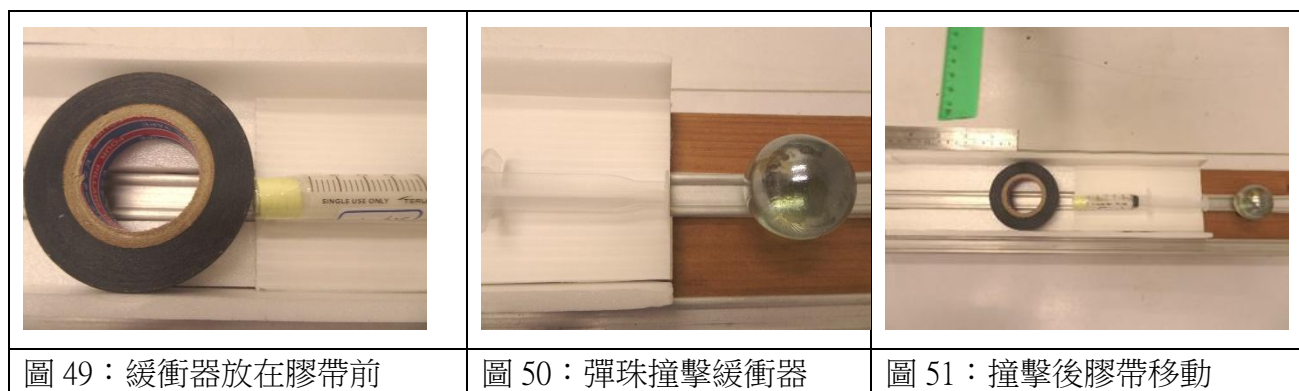
【實驗步驟】

- 1.取一長條木板及一條鋁門窗軌道，以雙面泡棉將軌道約 1.5 公尺處，黏貼在木板上，再以一公升塑膠燒杯將另一端軌道架高，以鐵尺測量，讓彈珠在滑行軌道上的高度為 40cm，在軌道水平段以珍珠板製作側邊的固定架，在水平軌道的起點處，放置絕緣膠帶，進行對照組實驗(如圖 46~47)。
- 2.將絕緣膠帶放置在水平軌道起點，彈珠在 40cm 高的軌道上，開始滑落，當彈珠碰撞到絕緣膠帶時，絕緣膠帶會向前滑行後停止，紀錄絕緣膠帶受碰撞後的滑行距離，取五次有效數值後平均，作為對照組數值(如圖 48)。
- 3.取 6 毫升針筒數十隻，取實驗二配置的 18 個非牛頓流體，排除編號 3/4 共計 12 個非牛頓流體，以玉米粉-1 為例，先取出部分非牛頓流體，以手揉捏成條狀，慢慢塞入針筒中，直到非牛頓流體裝到針筒的活塞入口，取活塞慢慢擠入針筒，直到活塞到達刻度 5.0 毫升處，以熱熔膠將針筒出口封住，取 10mm 雙面泡棉，沿著針筒口環繞，直到雙面泡棉的直徑接近針筒外徑，再以透明膠帶固定，共製作四隻備用(如圖 30~35)。
- 4.重複步驟 3，12 個非牛頓流體各製作四支針筒緩衝器，靜置備用(如圖 36~41)。
- 5.取步驟 2 的滑行軌道，將以玉米粉-1 製作的針筒緩衝器放在水平軌道前緣，針筒口(有包覆雙面泡棉的那一端)朝向彈珠落下的方向，在針筒活塞末端放置絕緣膠帶，將彈珠自 40 公分高處滑下，撞擊針筒緩衝器，紀錄絕緣膠帶的滑行距離，取 5 次有效數字，平均後紀錄為滑行距離(如圖 49~51)。
- 6.取 PVA 膠水加碳酸鈉，以篩網壓製成形，依實驗二步驟 3 的作法，完成 6 隻針筒緩衝器，靜置備用(如圖 42~45)。
- 7.重複步驟 5，測試 12 個(編號 1/2/5/6)及步驟 6 的非牛頓流體的滑行距離，並計算緩衝效果。

【實驗圖片說明】

		
圖 30：6ml 針筒	圖 31：將非牛頓流體擠出	圖 32：完成非牛頓流體緩衝器

			
圖 33：以熱熔膠封住針筒出口	圖 34：以雙面泡棉貼住針筒口	圖 35：完成非牛頓流體緩衝器	
			
圖 36：玉米粉 1/2 緩衝器	圖 37：地瓜粉 1/2 緩衝器	圖 38：糯米粉 1/2 緩衝器	
			
圖 39：玉米粉 5/6 緩衝器	圖 40：地瓜粉 5/6 緩衝器	圖 41：糯米粉 5/6 緩衝器	
			
圖 42：膠水加碳酸鈉	圖 43：以湯匙壓製成型	圖 44：形成非牛頓流體	圖 45：製成緩衝器
			
圖 46：鋁製軌道圖	圖 47：以鐵尺標定彈珠高度	圖 48：基礎測試-彈珠撞擊膠帶	



五、實驗五：不同非牛頓流體作為垂直彈性結構，在水平震動測試的緩衝效果。

【實驗發想】

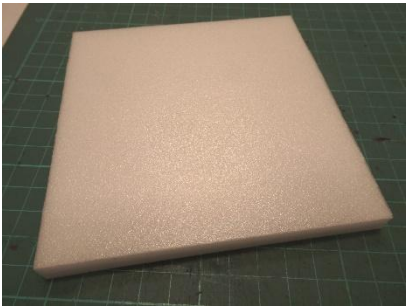
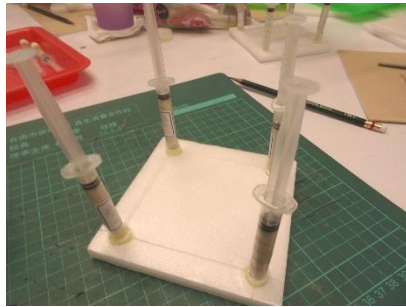
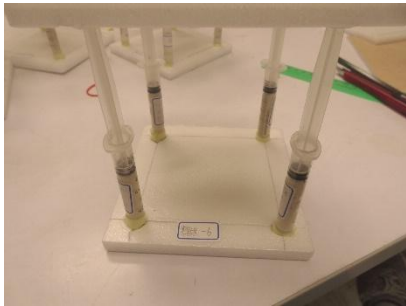
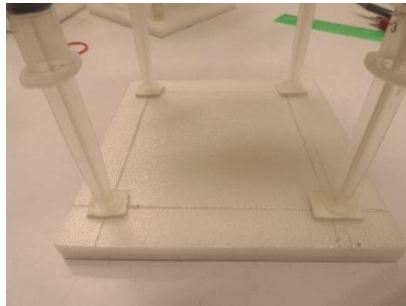
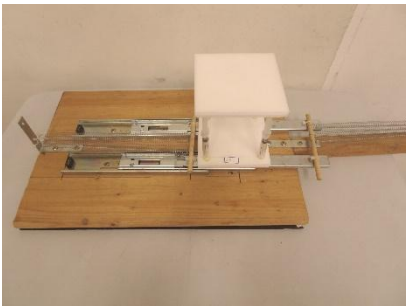
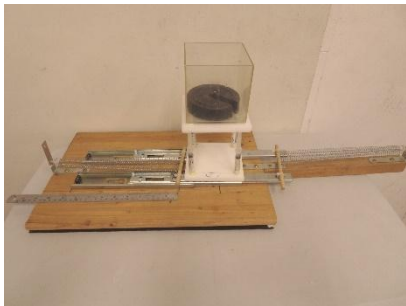
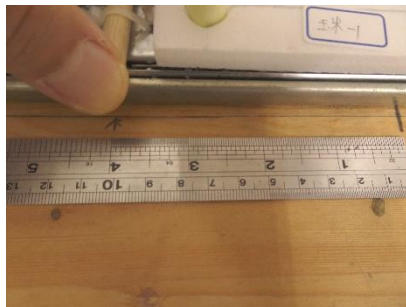
實驗三及實驗四分別進行靜止間及行進間的碰撞，實驗結果發現非牛頓流體受撞擊時具有緩衝效果，在實驗五的討論過程中，團隊成員發現很多房屋結構補強都是採用鋼筋水泥或鋼條等剛性物質進行補強，搜尋 ChatGpt，非牛頓流體等彈性物質是否可以作為房屋結構補強的物質，ChatGpt 說明，非牛頓流體和彈性物質在特定的工程需求和條件下可以用於房屋結構補強，非牛頓流體具有獨特的性質，在某些動態負荷下能夠提供額外的阻尼效果，從而減少結構的振動和損壞，非牛頓流體通常不會直接用於結構補強，而是作為一種輔助材料。

土木技師公會針對房屋結構補強，曾提出「強柱弱樑」的補強建議，實驗五設計以柱體的補強為主，查詢房屋結構補強，以垂直補強及鋼斜撐為主，實驗五以非牛頓流體作為垂直彈性補強結構為主體，比較剛性物質與彈性物質在垂直結構的差異，進行實驗設計。

【實驗步驟】

- 1.取珍珠板，裁切成 12cm*12cm 共兩片，一片為地板，一片為天花板，考慮實驗裝置的控制變因，不另行設計樑體的結構及材質，在珍珠板中間標示 10cm*10cm 的位置，作為垂直柱體的位置，作為地板的一片，以鉛筆筆尖穿過，將實驗四製成的玉米粉-1 針筒四隻，針筒口朝下，以熱熔膠固定，活塞部分朝上，以雙面泡棉黏貼固定，將作為天花板的珍珠板黏貼上去，完成實驗測試裝置，另裁切等長的木條作為剛性垂直柱體，設為對照組(如圖 52~53)。
- 2.重複步驟 1，將玉米粉-1 改為實驗四製作的其他 17 份非牛頓流體及非牛頓流體加碳酸鈉製作的非牛頓流體，標記為碳酸鈉-1 及碳酸鈉-2(如圖 54~57)。
- 3.取木板及相關木工零件，取鋁門窗滑行軌道兩個，固定在木板上，以兩個木條以束帶固定在滑行軌道的兩端，將玉米粉-1 製作的結構黏貼在滑行軌道的起點處，以鐵尺標記起點及振幅長度，再取彈簧 8 條，各取 4 條固定在木條兩端及測試台末端，讓測試結構可以利用彈簧的恢復力左右擺動(如圖 58、60、61)。
- 4.將玉米粉-1 測試結構放在步驟 3 的滑行軌道上，取 1 公升容器，放置 1 公斤重砝碼，以手拉開振幅 10cm 後放開，觀察並記錄結構受水平震動後的結構狀況(如圖 59、62、63)。
- 5.重複步驟 4，將玉米粉-1 改成步驟 2 的其他共 14 份測試裝置。
- 6.比較不同非牛頓流體受水平震動後，對結構穩定度的影響。

【實驗圖片說明】

		
圖 52：裁切珍珠板	圖 53：在珍珠板挖 4 個孔	圖 54：以緩衝器作為垂直柱體
		
圖 55：在柱體上方貼雙面泡棉	圖 56：再黏貼一片珍珠板	圖 57：測試結構仰視圖
		
圖 58：放在水平震動測試台上	圖 59：結構上方放 1 公斤砝碼	圖 60：測試台左方彈簧
		
圖 61：測試台右方彈簧	圖 62：以鐵尺標定震幅	圖 63：以手拉開震幅 10cm

六、實驗六：不同非牛頓流體作為鋼斜撐彈性結構，在水平震動測試的緩衝效果。

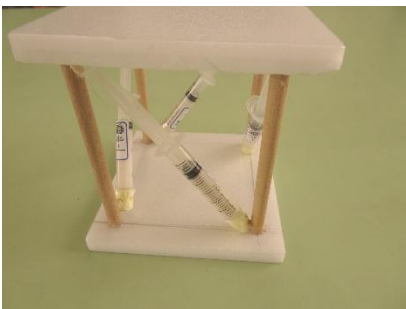
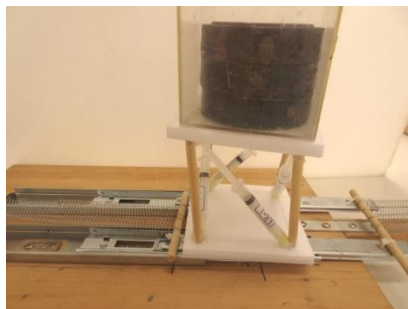
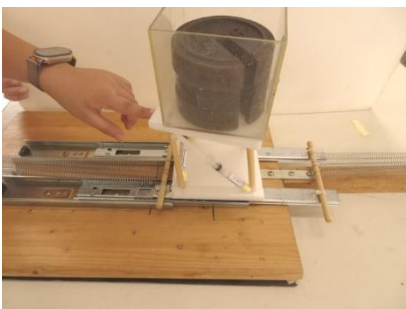
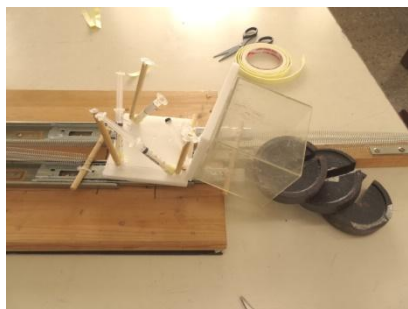
【實驗發想】

從實驗五的實驗結果來看，非牛頓流體製作的彈性結構，在水平震動測試中，大部分可以承受振幅 10cm 的水平震動，實驗六的實驗設計，以非牛頓流體作為鋼斜撐的彈性結構，測試不同結構在水平震動測試時，對剛性結構(木條作為柱體)的緩衝效果。

【實驗步驟】

- 1 依實驗五步驟 1 的作法，裁切珍珠板約 40 片，取割圓器，裁切長度 12 公分的木條數十隻，以熱熔膠固定木條作為垂直柱體，共完成 20 個木條垂直柱體結構(如圖 64)。
- 2.取實驗五的玉米粉-1 的針筒緩衝器 4 隻，依相同的斜角方向，以熱熔膠固定作為鋼斜撐，共完成 20 個鋼斜撐緩衝結構，另裁切等長的木條作為剛性鋼斜撐，設為對照組(如圖 65)。
- 3.取實驗五的水平震動測試台，將 8 條彈簧分別固定在兩側，將測試結構固定在滑行軌道起點，上方放置 1 公斤重砝碼，依實驗五步驟 4 測試方法，觀察並比較結構穩定度，若結構未傾倒，於上方容器再增加砝碼，直到砝碼重量達 3 公斤重(如圖 66~69)。
- 4.若測試結構依步驟 3 作法仍未傾倒，操作人員持續拉動結構，紀錄讓結構傾倒的拉動次數，比較非牛頓流體作為鋼斜撐彈性結構的緩衝效果(如圖 70~72)。

【實驗圖片說明】

		
圖 64：以割圓器材切木條	圖 65：以木條作為垂直柱體	圖 66：以緩衝器作為鋼斜撐-1
		
圖 67：以緩衝器作為鋼斜撐-2	圖 68：將結構放在測試台	圖 69：結構上方放 3 公斤砝碼
		
圖 70：以手拉開後放開	圖 71：測試結構倒塌-1	圖 72：測試結構倒塌-2

七、實驗七：不同非牛頓流體在慢速撞擊下的保護效果。

【實驗發想】

從實驗六的實驗結果來看，使用非牛頓流體作為垂直支撐及鋼斜撐，在水平震動的實驗條件下，都可以緩衝震動造成的衝擊力，接下來在實驗七，我們想要測試非牛頓流體在垂直撞擊下的緩衝效果，測試是否可以考慮作為類似防彈背心的材質，查詢相關資後，發現許多輕型的防彈背心會採用類似蜘蛛網重放疊加的方式，來逐層減輕子彈高速撞擊的衝擊力，經過討論後，採用實驗三的透明塑膠管二隻(合計 240 公分)，將大彈珠從 240 公分長的塑膠管自由落下，在待測物中間放入網狀的止滑墊，用以固定及平均非牛頓流體的形狀，在待測物下方放置珍珠板，比較不同待測物在珍珠板上的撞痕深度，藉以比較緩衝效果，以此構想進行實驗設計。

【實驗步驟】

- 1.取 4 號夾鏈袋，再取市售的止滑墊，裁成 4 號夾鏈袋的大小，放入夾鏈袋中，再取實驗二中以玉米粉製成的非牛頓流體，先取一塊放入空夾鏈袋中(沒有止滑墊)，以手慢慢推擠讓非牛頓流體平均分布在夾鏈袋中，編號為玉米粉-0，再以手分次揉捏小塊放入放有止滑墊的夾鏈袋中，再慢慢推及擠壓夾鏈袋，讓非牛頓流體平均分布在止滑墊上，共完成 4 份，分別編號為玉米粉 1/2/5/6，以電子秤測量重量，以游標卡尺記錄厚度(如圖 73~76 及 82)。
- 2.重複步驟 1，將玉米粉改成實驗二的地瓜粉、糯米粉及碳酸鈉，分別編號為地瓜粉 0 及 1/2/5/6，糯米粉 0 及 1/2/5/6 及碳酸鈉 0 及 1/2/3/4(如圖 77~79)。
- 3.取裁成 4 號夾鏈袋大小的珍珠板，將兩隻透明塑膠管以膠帶黏貼固定(合計 240cm)，下端緊貼珍珠板，上方取實驗三的大彈珠，從塑膠管頂端讓彈珠自由落下，撞擊珍珠板會留下撞痕，將珍珠板翻面，再操作一次(如圖 79~81)。
- 4.重複步驟 3，將待測物改為空的夾鏈袋，止滑墊及步驟 1~2 的非牛頓流體(共 20 個)，每個戴測物均測試兩次。
- 5.取市售的樹脂土，再取步驟 3~4 的珍珠板，以手揉捏小塊樹脂土，平鋪在珍珠板的撞痕上，從側面確認樹脂土與珍珠板維持水平面，靜置三天等待樹脂土乾燥(如圖 84~85)。
- 6.小心取下步驟 5 的樹脂土，再取數位型游標卡尺，量取樹脂土的厚度，換算為珍珠板撞痕的深度，比較不同待測物的緩衝效果(如圖 86~87)。

【實驗圖片說明】

		
圖 73：止滑墊放入夾鏈袋	圖 74：非牛頓流體平鋪在止滑墊	圖 75：以第二層夾鏈袋保護

		
圖 76：緩衝袋完成圖	圖 77：玉米粉緩衝袋	圖 78：地瓜粉緩衝袋
		
圖 79：糯米粉緩衝袋	圖 80：150cm 塑膠管	圖 81：黏貼 2 隻塑膠管
		
圖 82：塑膠管下方緊貼珍珠板	圖 83：以游標卡尺測量厚度	圖 84：對照組彈珠撞痕
		
圖 85：將輕質黏土覆蓋在撞痕上	圖 86：以游標卡尺測量厚度 (撞痕深度)-1	圖 87：以游標卡尺測量厚度 (撞痕深度)-1

肆、研究結果

【實驗結果編號說明】

(一)澱粉代號：

	玉米粉	地瓜粉	太白粉	糯米粉	麵粉
英文	cornmeal	sweet potato powder	taibai powder	glutinous rice flour	flour
編號	C	S	T	G	F

(二)化學物質代號：

物質	PVA 膠水	硼砂	碳酸鈉
編號	P	Bo	Na

(三)實驗結果編號說明：

原編號	配置	調整後實驗編號
玉米粉 1/2	玉米漿+PVA 膠水+硼砂	CPBo-1/2
玉米粉 3/4	玉米漿+碳酸鈉	C0Na-3/4
玉米粉 5/6	玉米漿+PVA 膠水+碳酸鈉	CPNa-5/6
PVA 膠水加碳酸鈉	PVA 膠水+碳酸鈉	0PNa

【研究結果】

一、實驗一：不同澱粉漿混合 PVA 膠水及硼砂，聚合物的比較。

(一)(澱粉漿混合 PVA 膠水)及硼砂，形成聚合物後，實驗結果說明：

編號	玉米粉/ CPBo	地瓜粉/ SPBo	
①	較軟，延性及展性較佳，變黏，較臭	較硬，延性及展性較差，味道較臭	
②	較硬，延性及展性較佳	較軟，延性及展性較佳，味道較臭較黏	
③	較硬，延性較差及展性較佳	較軟，延性較好及展性較差	
④	較硬，延性及展性較佳	較軟，延性及展性較佳	
⑤	較硬，延性及展性較差，較臭	較軟，延性及展性較佳，味道較臭	
⑥	較軟，延性及展性較差	較軟，延性及展性較佳	
編號	太白粉/ TPBo	糯米粉/ GPBo	
①	較軟，延性及展性較佳，最軟，一週後變黏	較軟，延性及展性較佳，有點黏	
②	較軟，延性及展性較佳	較軟，延性及展性較佳	
③	較軟，延性及展性較佳	較軟，延性及展性較佳，味道較香	
④	最硬，延性及展性較佳	較軟，延性及展性較佳	
⑤	較硬，延性及展性較佳，最軟	較軟，延性及展性較佳	
⑥	較軟，延性及展性較佳	較軟，延性及展性較佳	
編號	麵粉/ FPBo	編號	麵粉/ FPBo
①	較軟，延性及展性略差，一週後產生分層	④	較軟，延性及展性較佳，一週後產生分層
②	較軟，延性及展性略差，一週後產生分層	⑤	較軟，延性及展性較佳，一週後產生分層
③	較軟，延性及展性較佳，一週後產生分層	⑥	較軟，延性及展性較佳，一週後產生分層

(二)不同澱粉漿製成的非牛頓流體，靜置一週後進行評分，保留分數較高的四種，評分標準為不黏手且柔軟為 1 分，略為黏手為 3 分，會碎裂或分層(不成團)為 5 分

澱粉	評分員-1	評分員-2	評分員-3	評分員-4	評分員-5	評分員-6	總分	排序	結論
地瓜粉	3	1	2	3	3	3	15	3	保留
玉米粉	1	2	3	2	2	1	11	1	保留
太白粉	4	4	4	4	1	2	19	4	保留
糯米粉	2	3	1	1	4	4	15	2	保留
麵粉	5	5	5	5	5	5	25	5	排除

表：靜置一週後，因麵粉會產生分層，予以排除。

(三)靜置五週後，觀察並測試非牛頓流體，保留分數較高的三種；評分標準為是否成團(1 分)、是否柔軟(1 分)，是否黏手(3 分)，是否分層(5 分)

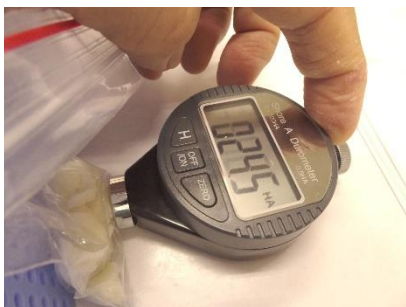
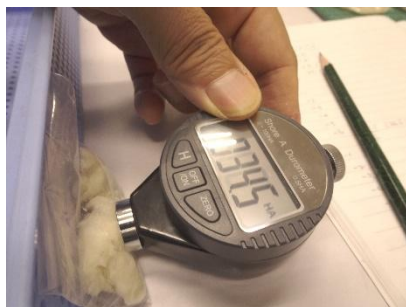
	評分員-1	評分員-2	評分員-3	評分員-4	評分員-5	評分員-6	綜合
玉米粉 保留	成團(1 分) 柔軟(1 分)	成團(1 分) 柔軟(1 分)	成團(1 分) 柔軟(1 分)	成團(1 分) 柔軟(1 分)	成團(1 分) 略黏手(2 分)	成團(1 分) 柔軟(1 分)	總分 13 排序 1/4
糯米粉 保留	成團(1 分) 柔軟(1 分)	成團(1 分) 柔軟(1 分)	成團(1 分) 略黏手(2 分)	成團(1 分) 略黏手(2 分)	成團(2 分) 柔軟(1 分)	成團(2 分) 柔軟(1 分)	總分 16 排序 3/4
地瓜粉 保留	成團(1 分) 柔軟(1 分)	成團(1 分) 柔軟(1 分)	成團(1 分) 柔軟(2 分)	成團(1 分) 柔軟(2 分)	成團(1 分) 柔軟(1 分)	成團(1 分) 柔軟(1 分)	總分 14 排序 2/4
太白粉	分層(5 分)	分層(5 分)	分層(5 分)	分層(5 分)	分層(5 分)	分層(5 分)	4/4 排除

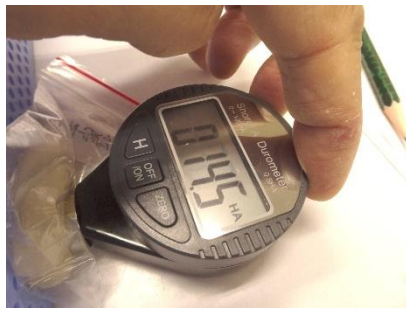
【實驗一結果說明】

排除太白粉及麵粉，保留地瓜粉、玉米粉及糯米粉進行後續實驗。

二、實驗二：不同非牛頓流體進行硬度及燃燒測試。

(一)硬度測試實驗結果(如圖 88~105)：

		
圖 88：CPBo-1 硬度 7.5	圖 89：CPBo-2 硬度 6.5	圖 90：C0Na -3 硬度 12.0
		
圖 91：C0Na -4 硬度 13.5	圖 92：CPNa -5 硬度 24.5	圖 93：CPNa -6 硬度 34.5

		
圖 94：SPBo -1 硬度 6.5	圖 95：SPBo -2 硬度 6.5	圖 96：S0Na -3 硬度 14.5
		
圖 97：S0Na -4 硬度 13.5	圖 98：SPNa -5 硬度 26.0	圖 99：SPNa -6 硬度 25.5
		
圖 100：GPBo -1 硬度 11.0	圖 101：GPBo -2 硬度 11.5	圖 102：G0Na -3 硬度 16.5
		
圖 103：G0Na -4 硬度 16.5	圖 104：GPNa -5 硬度 25.0	圖 105：GPNa -6 硬度 24.5

(二)玉米粉製成不同非牛頓流體硬度測試實驗結果整理：

註：夾鏈袋硬度 3.0，換算非牛頓流體硬度(硬度計 1 個單位，產生 0.025mm 位移)

編號	CPBo -1	CPBo -2	C0Na -3	C0Na -4	CPNa -5	CPNa -6
測試硬度	7.5	6.5	12.0	13.5	24.5	34.5
換算硬度	4.5	3.5	9.0	10.5	21.5	31.5
平均硬度	4.0		9.75		26.5	

(三)地瓜粉製成不同非牛頓流體硬度測試實驗結果整理：

編號	SPBo -1	SPBo -2	S0Na -3	S0Na -4	SPNa -5	SPNa -6
測試硬度	6.5	6.5	14.5	13.5	26.0	25.5
換算硬度	3.5	3.5	11.5	10.5	23.0	22.5
平均硬度	3.5		11.0		22.75	

(四)糯米粉製成不同非牛頓流體硬度測試實驗結果整理：

編號	GPBo -1	GPBo -2	G0Na -3	G0Na -4	GPNa -5	GPNa -6
測試硬度	11.0	11.5	16.5	16.5	25.0	24.5
換算硬度	8.0	8.5	13.5	13.5	22.0	21.5
平均硬度	8.25		13.5		21.75	

(五)不同澱粉漿製成非牛頓流體硬度測試結果整理(硬度計 1 個單位，產生 0.025mm 位移)：

物質	CPBo	C0Na	CPNa	SPBo	S0Na	SPNa	GPBo	G0Na	GPNa	0PNa
硬度	4.00	9.75	26.50	3.50	11.0	22.75	8.25	13.50	21.75	7.60
位移	0.10mm	0.24mm	0.66mm	0.09mm	0.28mm	0.57mm	0.21mm	0.34mm	0.54mm	0.19mm

【實驗二實驗結果說明】

- 1.澱粉漿+PVA 膠水+硼砂，測試後硬度較低。
- 2.澱粉漿+碳酸鈉製成的非牛頓流體，不易成團，容易碎裂，測試後硬度次之。
- 3.澱粉漿+PVA 膠水+碳酸鈉，測試後硬度較硬。
- 4.PVA 膠水+碳酸鈉製成的非牛頓流體，硬度與糯米粉+PVA 膠水+硼砂約略相當。

(六)燃燒測試實驗結果說明(如圖 106~111)：

原編號	調整後實驗編號	出現焦黑	冒出黑煙	產生火星	產生火焰	焦臭味
玉米粉 1/2	CPBo	✓	X	X	X	✓
玉米粉 3/4	C0Na	✓	X	X	X	X
玉米粉 5/6	CPNa	✓	X	X	X	✓
地瓜粉 1/2	SPBo	✓	✓	✓	X	✓
地瓜粉 3/4	S0Na	✓	✓	✓	X	X
地瓜粉 5/6	SPNa	✓	✓	✓	X	✓
糯米粉 1/2	GPBo	✓	X	X	X	✓
糯米粉 3/4	G0Na	✓	X	X	X	X
糯米粉 5/6	GPNa	✓	X	X	X	✓

【燃燒測試實驗結果圖片】



圖 106：CPBo -1/2



圖 107：SPBo -1/2



圖 108：GPBo -1/2



圖 109：C0Na -3/4

圖 110：S0Na -3/4

圖 111：G0Na -3/4

三、實驗三：不同非牛頓流體於靜止間受自由落體碰撞的緩衝效果。

(一)彈珠自由落體測試：玉米粉製成不同非牛頓流體玻璃片破掉時彈珠高度(單位：cm)

編號	對照組	CPBo -1	CPBo -2	C0Na -3	C0Na -4	CPNa -5	CPNa -6
高度	60	140	150	110	110	170	170
平均	60	145		110		170	

(二)彈珠自由落體測試：地瓜粉製成不同非牛頓流體玻璃片破掉時彈珠高度(單位：cm)

編號	對照組	SPBo -1	SPBo -2	S0Na -3	S0Na -4	SPNa -5	SPNa -6
高度	60	140	150	120	130	180	150
平均	60	145		125		165	

(三)彈珠自由落體測試：糯米粉製成不同非牛頓流體玻璃片破掉時彈珠高度(單位：cm)

編號	對照組	GPBo -1	GPBo -2	G0Na -3	G0Na -4	GPNa -5	GPNa -6
高度	60	160	170	140	130	200	200
平均	60	165		135		200	

(四)實驗三彈珠自由落體測試，玻璃破掉最低高度實驗結果整理(單位：cm)：

對照組	CPBo	C0Na	CPNa	SPBo	S0Na	SPNa	GPBo	G0Na	GPNa	0PNa
60	145	110	170	145	125	165	165	135	200	170

【實驗三實驗結果說明】

- 1.澱粉漿+PVA 膠水+硼砂或碳酸鈉，玻璃破掉的最低高度較高，予以保留。
- 2.澱粉漿+碳酸鈉製成的非牛頓流體，玻璃破掉的最低高度較低，討論後予以排除。
- 3.PVA 膠水+碳酸鈉，玻璃破掉的高度澱粉漿+PVA 膠水+硼砂約略相當，討論後予以排除。

四、實驗四：不同非牛頓流體進行碰撞運動後的緩衝效果。

(一)澱粉漿加 PVA 膠水+硼砂製成非牛頓流體，受彈珠滑落碰撞後膠帶滑行距離(單位：cm)：

	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均	總平均
對照組	24.3	24.1	23.2	24.5	25.1	24.24	24.24
CPBo -1	1.7	1.6	2.1	2.0	2.3	1.94	1.20
CPBo -2	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5	0.46	
SPBo -1	3.0	3.0	2.6	3.1	3.1	2.96	2.91
SPBo -2	3.0	2.8	3.0	2.4	3.1	2.86	
GPBo -1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.20	1.13
GPBo -2	2.0	2.0	2.1	2.2	2.0	2.06	

(二)澱粉漿加 PVA 膠水+碳酸鈉製成非牛頓流體，受彈珠滑落碰撞後膠帶滑行距離(單位:cm)：

	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均	總平均
對照組	24.3	24.1	23.2	24.5	25.1	24.24	24.24
CPNa -5	0.3	0.3	0.4	0.4	0.3	0.34	1.20
CPNa -6	2.1	2.0	2.0	2.1	2.1	2.06	
SPNa -5	1.0	1.2	1.0	1.0	1.1	1.06	1.49
SPNa -6	1.9	2.0	1.8	2.0	1.9	1.92	
GPN a -5	2.4	2.4	2.4	2.5	2.5	2.44	1.70
GPN a -6	1.0	0.9	1.0	0.9	1.0	0.96	

(三)PVA 膠水+硼砂製成非牛頓流體，受彈珠滑落碰撞後膠帶滑行距離(單位：cm)：

	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均	硬度
對照組	24.3	24.1	23.2	24.5	25.1	24.24	
OPNa-1	1.5	1.5	1.5	1.4	1.4	1.46	8.0
OPNa-2	0.8	0.7	0.8	0.7	0.8	0.76	12.5
OPNa-3	1.0	1.0	1.1	1.0	0.9	1.00	11.5
OPNa-4	0.9	1.0	0.9	0.9	1.0	0.94	12.5
OPNa-5	1.1	1.2	1.0	1.0	1.2	1.10	11.5
OPNa-6	2.9	3.0	2.9	3.0	2.9	2.94	7.5

(四)不同澱粉漿製成非牛頓流體，彈珠滑落撞擊膠帶，膠帶滑行距離實驗結果整理(單位:cm)：

對照組	CPBo	CPNa	SPBo	SPNa	GPBo	GPN a	OPNa
24.24	1.20	1.20	2.91	1.49	1.13	1.70	1.37

【實驗四實驗結果說明】

- 1.不同澱粉漿+PVA 膠水+硼砂或碳酸鈉，在水平碰撞測試中，均有緩衝效果。
 - 2.玉米漿及糯米漿製成的非牛頓流體，水平緩衝效果較地瓜粉佳。
- 五、實驗五：不同非牛頓流體作為垂直彈性結構，在水平震動測試的緩衝效果。

【實驗結果紀錄】

編號	CPBo 1	CPBo 2	CPNa 5	CPNa 6	SPBo 1	SPBo 2	SPNa 5	SPNa 6
結果	倒塌	未倒塌	未倒塌	未倒塌	倒塌	未倒塌	未倒塌	未倒塌
結構重量	35.1	34.4	35.5	36.1	31.4	34.5	35.1	35.0
編號	GPBo 1	GPBo 2	GPN a 5	GPN a 6	OPNa 1	OPNa 2	對照組 1	對照組 2
結果	未倒塌	未倒塌	未倒塌	未倒塌	倒塌	倒塌	未倒塌	未倒塌
結構重量	32.7	32.1	35.4	34.0	36.8	36.1	36.4	37.0

【實驗五實驗結果說明】

對照組	CPBo	CPNa	SPBo	SPNa	GPBo	GPN a	OPNa
√ √	X √	√ √	X √	√ √	√ √	√ √	XX

- 1.對照組未倒塌，PVA 膠水+碳酸鈉，測試結構均倒塌。
- 2.澱粉漿+PVA 膠水+硼砂，作為垂直柱體的支撐力及穩定度較差，各有一個測試結構倒塌。
- 3.澱粉漿+PVA 膠水+碳酸鈉，作為垂直柱體的支撐力及穩定度較佳，測試結構均未倒塌。

六、實驗七：不同非牛頓流體在慢速撞擊下的保護效果(單位：mm)。

編號	厚度(mm)	重量(gw)	第一次深度(mm)	第二次深度(mm)	平均深度(mm)
對照組	0		3.7	3.3	3.30
CPNa -0	3.7	44.0	0.6	0.5	0.50
CPBo -1	5.2	44.3	0.8	0.9	0.800
CPBo -2	4.5	40.7	0.8	0.7	
CPNa -5	4.2	45.7	0.6	0.6	0.70
CPNa -6	5.5	45.0	0.9	0.8	
SPNa -0	2.9	47.1	0.6	0.6	0.60
SPBo -1	4.3	47.6	0.7	0.6	0.60
SPBo -2	6.9	50.0	0.7	0.6	
SPNa -5	6.8	48.5	0.7	0.7	0.70
SPNa -6	5.6	48.6	0.6	0.7	
GPNa -0	3.4	43.7	0.7	0.8	0.80
GPBo -1	4.3	48.3	0.8	0.9	0.85
GPBo -2	4.5	43.3	0.9	0.8	
GPNa -5	4.7	40.3	0.8	0.9	0.95
GPNa -6	3.0	33.2	1.2	1.0	
OPNa -0	3.0	20.8	1.0	1.0	1.0
OPNa -1	3.6	22.1	0.9	0.8	0.95
OPNa -2	3.4	21.3	1.0	1.0	
OPNa -3	2.6	23.2	0.8	0.9	
OPNa -4	2.8	21.3	1.0	1.1	

【實驗七實驗結果說明】彈珠自 240cm 自由落下，珍珠板撞痕平均深度實驗結果(單位：mm)

對照	CPNa-0	CPBo	CPNa	SPNa-0	SPBo	SPNa	GPNa-0	GPBo	GPNa	OPNa-0	OPNa
3.30	0.50	0.80	0.70	0.60	0.60	0.70	0.80	0.85	0.95	1.00	0.95

- 1.不同澱粉漿製成非牛頓流體，在彈珠自 240cm 高處落下，撞擊珍珠板後，均具有保護效果。
- 2.在非牛頓流體中加入止滑墊(網狀物，讓非牛頓流體流動減緩)，保護效果略低。
- 3.玉米漿+PVA 膠水+碳酸鈉製成的非牛頓流體，有較佳的保護效果。

七、實驗六：不同非牛頓流體作為鋼斜撐彈性結構，在水平震動測試的緩衝效果。

(一)不同非牛頓流體，在測試結構倒塌前，結構水平震動次數，實驗結果紀錄：

CPBo -1	CPBo -2	CPNa -5	CPNa -6	SPBo -1	SPBo -2	SPNa -5	SPNa -6
5 次	6 次	8 次	7 次	71 次	81 次	77 次	79 次
平均 5.5 次		平均 7.5 次		平均 76 次		平均 78 次	
GPBo -1	GPBo -2	GPNa -5	GPNa -6	OPNa -1	OPNa -2	對照組-1	對照組-2
32 次	34 次	25 次	22 次	22 次	26 次	15 次	16 次
平均 33 次		平均 23.5 次		平均 24 次		平均 15.5 次	

(二)不同非牛頓流體，在測試結構倒塌前，結構水平震動次數，實驗結果整理(單位：次)：

對照組	CPBo	CPNa	SPBo	SPNa	GPBo	GPNa	OPNa
15.5	5.5	7.5	76	78	33	23.5	24

【實驗六實驗結果說明】作為鋼斜撐支撐架構，地瓜粉漿製成的非牛頓流體，緩衝效果最佳，玉米粉漿較差，對照組略優於玉米漿製成的非牛頓流體，其餘緩衝效果約略相當。

伍、 討論

一、實驗一：不同澱粉漿混合 PVA 膠水及硼砂，製成非牛頓流體的比較。

(一)比較玉米粉、地瓜粉、太白粉、糯米粉及麵粉，麵粉放置大約 2~3 天即產生發酵現象，並產生分層，太白粉放置五週後產生油狀分層，因為實驗配製的非牛頓流體最後要應用在結構緩衝器及產生類似防撞器的保護作用，經過討論及比較後，先排除太白粉及麵粉進行後續實驗。

(二)比較(玉米粉、地瓜粉及糯米粉)加 PVA 膠水及硼砂製成的非牛頓流體，玉米粉製成的聚合物揉捏後較容易成團，糯米粉成團後具有較明顯的流動性，地瓜粉則略黏手，經過討論後，予以保留，以玉米粉、地瓜粉及糯米粉進行後續實驗測試。

二、實驗二：不同非牛頓流體進行硬度及燃燒測試。

(三)實驗一以硼砂進行交聯作用，讓澱粉漿及 PVA 膠水可以成團，因為硼砂具有中等毒性，本次科展實驗設計均非食品科學相關實驗，團隊成員仍希望以對環境較無汙染的物質進行實驗，搜尋後發現碳酸鈉可以取代硼砂進行交聯作用，以碳酸鈉進行實驗設計。

(四)實驗二非牛頓流體配置方式調整為以下幾種：

配製	非牛頓流體說明
澱粉漿+PVA 膠水+硼砂	容易成團，較柔軟，部分具有流動性
澱粉漿+碳酸鈉	不易成團，結構較硬且容易碎裂
澱粉漿+PVA 膠水+碳酸鈉	配製過程會滲出水分，不易以手揉捏成團，以湯匙壓製成團
PVA 膠水+碳酸鈉	不易以手揉捏成團，以湯匙壓製成團，具流動性

(五)硬度測試討論及圖表：

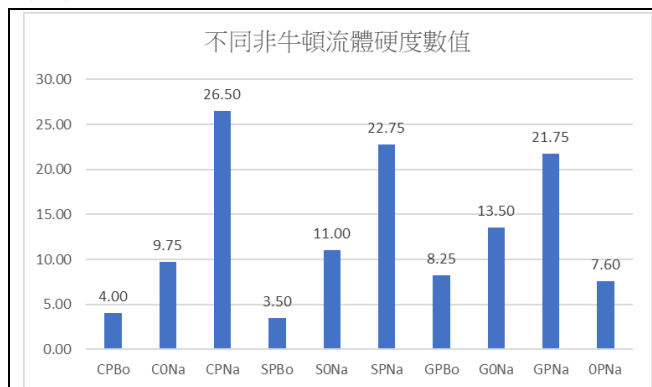


圖 112：不同非牛頓流體硬度平均數值

討論：

- 1.比較不同配製方式的硬度：以玉米粉為例 $CPNa > COna > CPBo$ ，不同澱粉漿趨勢相同。
- 2.比較不同澱粉漿配置方式的硬度，無一致性趨勢，因配製過程為不同團隊成員以手揉捏及壓製成團，推測因力道不同，產生硬度差異，經過討論後，不進行相關討論。

(六)燃燒測試討論：

- 1.實驗二配製的非牛頓流體均含有澱粉，燃燒測試均呈現焦黑狀，地瓜粉燃燒測試會出現黑

煙及火星，均未產生火焰，推測是澱粉加熱過程會產生二氧化碳及水蒸氣，PVA 膠水含有 88% 的水分，推測會延緩非牛頓流體起火燃燒時間。

2.有加入 PVA 膠水製成的非牛頓流體燃燒測試均具有焦臭味，PVA 為聚乙烯醇，為塑膠製品之一，燃燒測試產生焦臭味。

3.實驗二製成的非牛頓流體在燃燒測試中均未產生火焰，可考慮作為汽車保險桿的替代物質，具緩衝效果及延緩起火燃燒時間。

三、實驗三：不同非牛頓流體於靜止間受自由落體碰撞的緩衝效果。

(七)彈珠自不同高度落下，讓玻璃破掉的最低高度紀錄(第二列)及緩衝效果(第三列)：

對照組	CPBo	CONa	CPNa	SPBo	S0Na	SPNa	GPBo	G0Na	GPNa	OPNa
60 cm	145 cm	110 cm	170 cm	145 cm	125 cm	165 cm	165 cm	135 cm	200 cm	170 cm
0.0%	58.6%	45.5%	64.7%	58.6%	52.0%	63.6%	63.6%	55.6%	70.0%	64.7%

緩衝效果計算方式：以 CPBo 為例，彈珠自 145cm 落下，讓玻璃破掉，等於緩衝(145-60=85cm)的位能，緩衝效應為 85/145=58.6%。

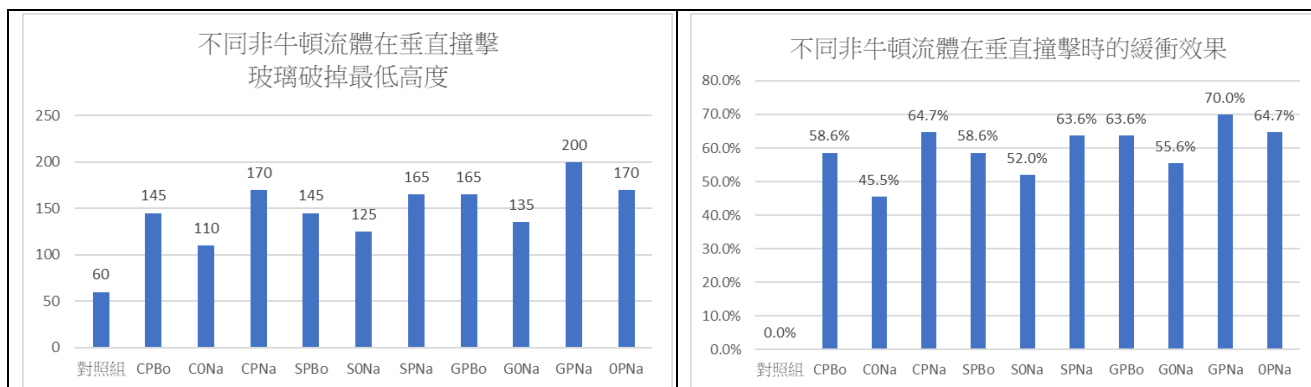


圖 113：彈珠自由落下時，玻璃破掉的最低高度

圖 114：玻璃破掉時，不同非牛頓流體的緩衝效果

1.比較不同配置方式，澱粉漿+碳酸鈉製成的非牛頓流體，緩衝效果較差，加上容易碎裂，不容易放進針筒中製成緩衝器，經過討論後，予以排除。

2.(澱粉漿+PVA 膠水)加硼砂或碳酸鈉，彈珠在垂直方向不同高度自由落體撞擊下，可以緩衝 58.6%~70.0%的位能，與指導老師討論後，非牛頓流體為彈性物質，碰撞過程歸類為「非彈性碰撞」，彈珠位能轉成動能後，在碰撞過程部分動能轉換成非牛頓流體內能(形變或溫度變化)，達到緩衝效果(註：本次科展相關碰撞過程，非牛頓流體表面溫度沒有明顯變化，排除溫差)。

3.實驗三以(糯米漿+PVA 膠水+碳酸鈉)在垂直方向的緩衝效果最佳，達 70.0%。

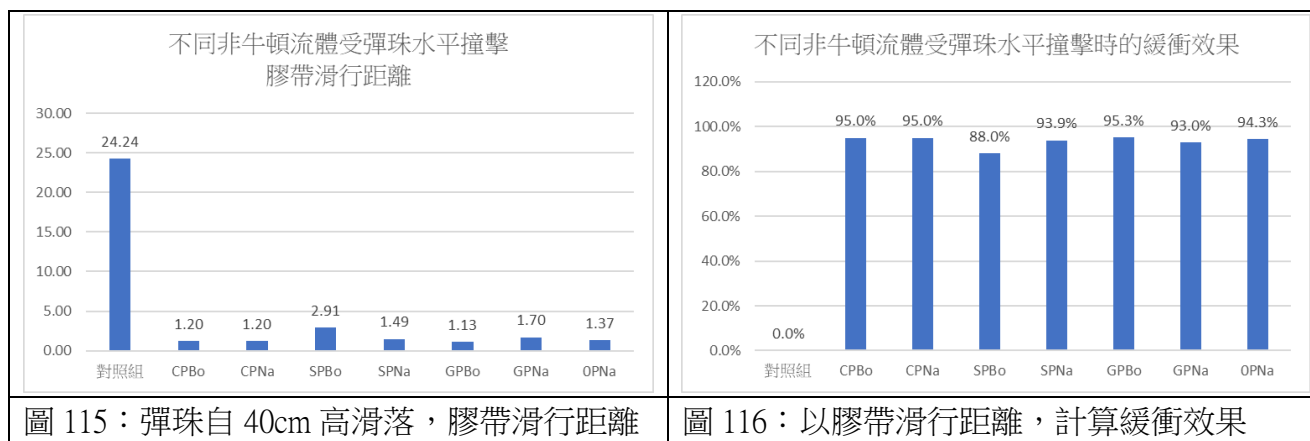
4.以(澱粉漿+PVA 膠水)+硼砂或碳酸鈉及 PVA 膠水+碳酸鈉，製作實驗四的緩衝器。

四、實驗四：不同非牛頓流體進行碰撞運動後的緩衝效果。

(八)彈珠自相同高度滑落，絕緣膠帶的滑行距離(第二列)及緩衝效果(第三列)：

對照組	CPBo	CPNa	SPBo	SPNa	GPBo	GPNa	OPNa
24.24 cm	1.20 cm	1.20 cm	2.91 cm	1.49 cm	1.13 cm	1.70 cm	1.37 cm
0.0%	95.0%	95.0%	88.0%	93.9%	95.3%	93.0%	94.3%

緩衝效果計算方式：彈珠自相同高度滑落，水平撞擊膠帶時彈珠動能相同，膠帶與軌道間會產生摩擦力，對照組膠帶平均滑行 24.24cm，摩擦力*24.24=彈珠動能，以 CPBo 為例，膠帶滑行 1.20cm，緩衝器緩衝(24.24-1.20=23.04cm)的能量，緩衝效果=23.04/24.24=95.0%。

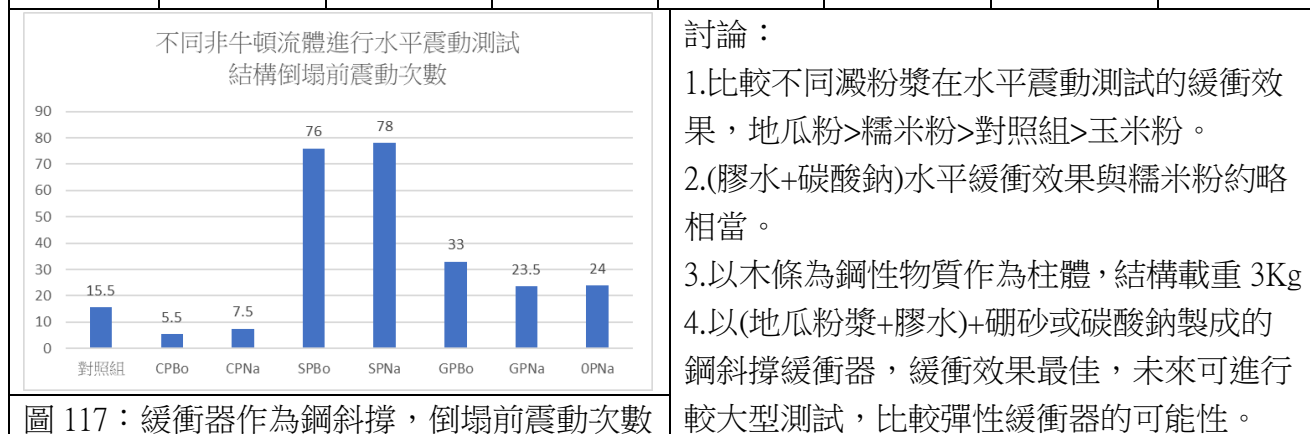


- 實驗三為彈珠自不同高度落下，以玻璃破掉的最低高度計算緩衝效果，實驗四以實驗三保留的實驗編號製作緩衝器，彈珠在相同高度自軌道滑落，撞擊膠帶，以滑行距離計算效果。
 - 實驗四計算的緩衝效果為 88.0%~95.3%，推測原因 a. 實驗四彈珠的高度較低，計算基準不同，可推測彈珠位能或動能較小時，非牛頓流體緩衝效果較佳，b. 實驗四緩衝器長度較長，等同厚度較厚，碰撞過程中相對接觸時間較長，緩衝效果較佳。
 - 為了排除緩衝器內的空氣，以針筒製作緩衝器，未來可以考慮設計不同的實驗裝置，例如：以保鮮膜包住非牛頓流體，在管狀物鑽幾個小孔，再放入非牛頓流體，製成第二代緩衝器。
- 五、實驗五：非牛頓流體製成緩衝器，作為垂直彈性結構(柱體)，在水平震動測試的緩衝效果。
- (九)以緩衝器作為結構柱體，進行水平震動測試：(X：結構倒塌，√：結構未倒塌)

對照組	CPBo	CPNa	SPBo	SPNa	GPBo	GPNa	OPNa
√ √	X √	√ √	X √	√ √	√ √	√ √	XX

- 以緩衝器作為結構柱體，進行水平震動測試，以糯米漿的緩衝效果較佳，膠水+碳酸鈉的緩衝效果較差，測試結構均倒塌，對照組均未倒塌。
 - 以非牛頓流體製作緩衝器，緩衝器作為垂直結構柱體，水平震動測試時，結構上方載重 1 公斤重砝碼，測試時結構均產生歪斜，再增加砝碼重量時(2 公斤重)，未進行水平震動測試，結構就歪斜後倒塌，以非牛頓流體為單一垂直柱體，結構穩定度較差，排除以針筒緩衝器作為單一柱體結構，可以考慮作為老屋結構中，安裝在柱子側邊，作為垂直柱體的輔助緩衝器。
- 六、實驗六：不同非牛頓流體製成緩衝器，作為鋼斜撐彈性結構，水平震動測試的緩衝效果。
- (十)以非牛頓流體製成緩衝器，作為結構鋼斜撐，在水平震動測試的結果(單位：次)：

對照組	CPBo	CPNa	SPBo	SPNa	GPBo	GPNa	OPNa
15.5	5.5	7.5	76	78	33	23.5	24



七、實驗七：不同非牛頓流體在慢速撞擊下的保護效果。

(十一)彈珠自 240cm 高處落下，撞擊非牛頓流體製成的防撞器，珍珠板撞痕深度(第二列，單位：mm)及防撞器保護效果(第三列)，實驗結果整理：

對照	CPNa-0	CPBo	CPNa	SPNa-0	SPBo	SPNa	GPNa-0	GPBo	GPNa	OPNa	OPNa
3.30	0.50	0.80	0.70	0.60	0.60	0.70	0.80	0.85	0.95	1.00	0.95
0.0%	84.8%	75.8%	78.8%	81.8%	81.8%	78.8%	75.8%	74.2%	71.2%	69.7%	71.2%

緩衝效果計算說明：彈珠自相同高度落下(240cm)，撞擊防撞器時能量相同(位能轉換為動能)，以 CPNa-0 為例，撞痕深度為 0.50mm，假設撞痕深度與撞擊能量成正比(註：指導老師說明，撞痕深度與能量應該呈正相關，未必是正比，相關計算太複雜，經過討論將撞痕深度與碰撞能量是為正比)，保護效果計算方式為 $(3.30-0.50)/3.30=84.8\%$ 。

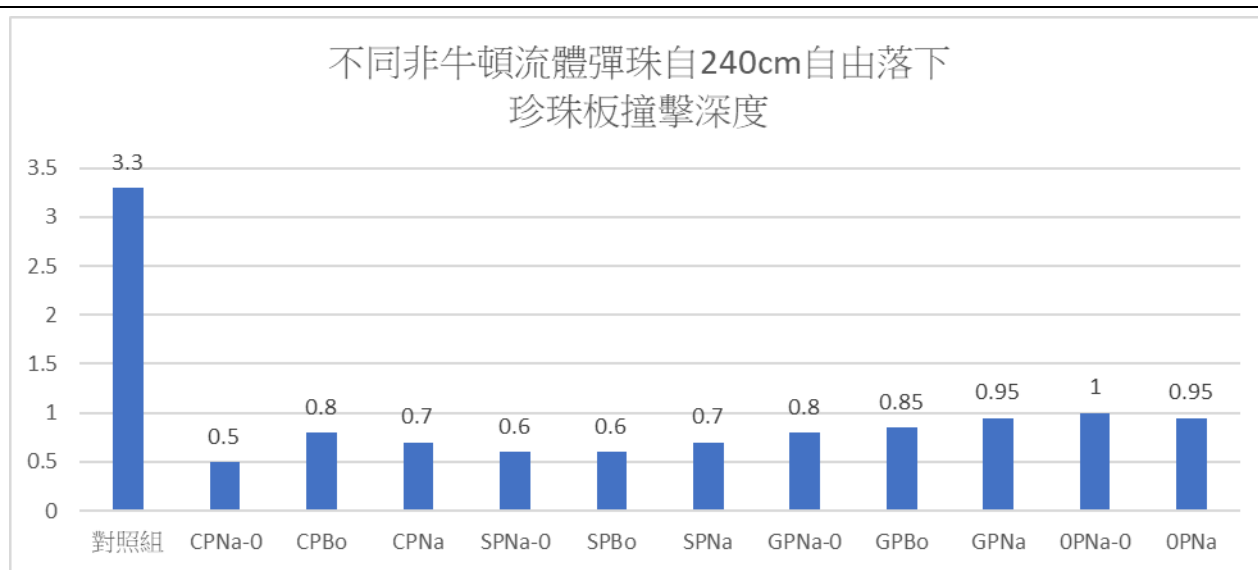


圖 118：彈珠自 240cm 自由落下，珍珠板平均撞痕深度

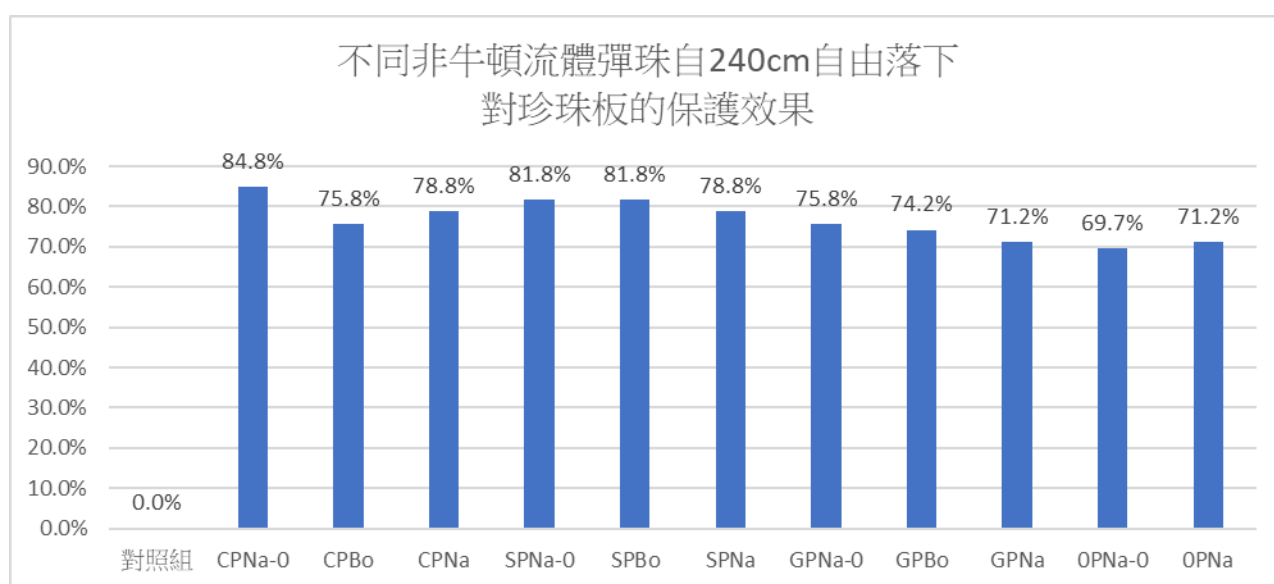


圖 119：彈珠自 240cm 自由落下，對珍珠板平均保護效果

- 1.不同的非牛頓流體製成的防撞器，經過計算保護效果為 71.2%~84.8%，防撞器可緩衝約 70.0%~85.0%的衝擊能量。
- 2.去年高雄市科展有非牛頓流體與緩衝能量的作品，文末談到，非牛頓流體在高速撞擊下，碰撞過程動能可能會轉換為熱能，造成非牛頓流體裂解或熔化，影響緩衝效果，本次科展實驗七，彈珠自 240cm 高處落下，換算速度為 6.85m/s($V=\sqrt{2gh}$)，換算時速為 24.7km/hr，查詢車子碰撞速度測試，將時速設定在 64km/hr，實驗七測試速度約為汽車撞擊時測速度的 38.6%，因此實驗七主題調整為「慢速撞擊下的保護效果」。
- 3.原本科展討論發想時，嘗試將非牛頓流體製成「防彈背心」，查詢新制的防彈背心有類似蜘蛛網狀的多層結構，可以逐層緩衝子彈對人體的傷害，因此才嘗試以止滑墊模擬網狀物及固定非牛頓流體(減緩流動的速度)，實驗結果說明，CPNa-0(保護效果 84.8%)沒有放置止滑墊，比 CPBo(75.8%)及 CPNa(78.8%)的保護效果為佳，與實驗設計時的想定不同，未來可以再測試不同的網狀物，比較保護效果。
- 4.PVA 膠水+碳酸鈉製成的防撞器，與澱粉漿保護效果趨勢略有不同，加上止滑墊後保護效果由 69.7%提升到 71.2%(約 1.5%)，保護效果雖有提升但仍在誤差範圍內，不予另行討論。
- 5.比較實驗七不同非牛頓流體製成防撞器，保護效果在 70.0%~85.0%之間，與防彈背心的發想仍相去甚遠，非牛頓流體可考慮作為防撞器物質，達到緩衝能量的效果，未來需要進行碰撞時產生的高溫、旋轉與碎片等問題，以及更高速的撞擊，才能模擬防彈背心的保護效果。
- 6.本次科展相關實驗操作，均經過多次操作，計算平均值後進行實驗結果統計、分析及相關討論，實驗結果有相當的穩定性，由他人操作應可得到一致性的結果，實驗結果與數據具有可重複性與再現性。

【科展綜合討論】

待答問題：

(一)不同澱粉漿混合 PVA 膠水，以硼砂或碳酸鈉進行交聯作用，製成的非牛頓流體在垂直及水平碰撞測試中的緩衝效應。

答：(玉米粉漿、地瓜粉漿及糯米粉漿)混合 PVA 膠水，以硼砂或碳酸鈉進行交聯作用，彈珠在不同高度落下，約可緩衝 58.6%~70.0%的位能。

彈珠自 40cm 高軌道滑落，以摩擦力及滑行距離計算，約可緩衝 88.0%~95.3%動能。

彈珠自 240cm 高度落下，以珍珠板撞痕深度計算，約可緩衝 70.0%~85.0%的位能。

(二)非牛頓流體為彈性物體，是否可以考慮取代剛性物體作為結構補強的鋼斜撐物質。

答：非牛頓流體為彈性物質，無法取代剛性物質作為結構垂直柱體，

可以考慮作為老屋垂直柱體的輔助緩衝器

以糯米粉漿混合 PVA 膠水，加硼砂或碳酸鈉製成緩衝器，

可以考慮取代剛性物體作為結構補強的鋼斜撐物質。

陸、結論

- 一、以玉米粉、地瓜粉及糯米粉混合 PVA 膠水，加入硼砂製成的非牛頓流體，較易揉捏成團，形成的非牛頓流體在密封條件下可以保存 6 個月以上。
- 二、硬度測試，(澱粉漿+膠水+碳酸鈉)>(澱粉漿+碳酸鈉)>(澱粉漿+膠水+硼砂)。
- 三、所有測試物質在燃燒測試中，均未產生火焰，地瓜粉漿會出現黑煙及火星，含 PVA 膠水的非牛頓流體燃燒測試會有焦臭味，燃燒測試 3 分鐘未產生火焰，可考慮取代部分汽車保險桿內放置的保麗龍塊防撞器。
- 四、彈珠自不同高度自由落下，以玻璃破掉的最低高度計算緩衝效果，不同的非牛頓流體約可緩衝 58.6%~70.0%的彈珠位能，以(糯米粉漿+膠水+碳酸鈉)緩衝效果最佳(70.0%)。
- 五、彈珠自 40cm 高鋁製軌道滑落，將非牛頓流體裝進針筒做成緩衝器，彈珠撞擊絕緣膠帶，以膠帶與鋁製軌道產生的摩擦力及滑行距離計算緩衝效果，約可緩衝 88.0%~95.3%動能，以(玉米粉漿+膠水)+硼砂或碳酸鈉的緩衝效果最佳(95.3%)。
- 六、非牛頓流體等彈性物質，無法取代剛性物質作為結構的垂直柱體，可以考慮作為老屋垂直柱體的輔助緩衝器。
- 七、以非牛頓流體製成緩衝器，作為鋼斜撐結構，以(地瓜粉漿+PVA 膠水)+硼砂或碳酸鈉，在水平震動測試的緩衝效果最佳。
- 八、彈珠自 240cm 高處自由落下，撞擊非牛頓流體製成的防撞器，以珍珠板撞痕深度計算，約可緩衝 70.0%~85.0%的位能，以(玉米粉漿+PVA 膠水+碳酸鈉)的保護效果最佳(84.8%)。

綜合結論

(玉米粉漿、地瓜粉漿及糯米粉漿)混合 PVA 膠水+碳酸鈉

有較佳的垂直與水平緩衝效果，

並可考慮作為結構鋼斜撐的緩衝器及作為水平或垂直撞擊過程的防撞器。

未來應用與展望

一開始選擇「非牛頓流體」為科展主題，主要因為攪拌揉捏的過程很好玩，透過指導老師一步一步引導團隊成員進行解析、說明、腦力激盪及討論實驗設計，科展採用不同以往的方式製作非牛頓流體，完成實驗操作並分析實驗結果，實驗結果說明，在小模型的測試範圍內，非牛頓流體在力學能(位能及動能)的緩衝效應以及耐震測試，有明顯的緩衝及耐震效果，檢視實驗條件及實驗結果，實驗條件具有穩定性，實驗數據具有再現性，經過團隊成員集思廣益，非牛頓流體未來還有許多方向的應用：

1. 製成不同防撞器，例如：桌角與牆角，3C 產品保護殼，汽車保險桿內裝物。
2. 製成防摔衣、防彈背心(一開始的實驗發想，未來的挑戰)等。
3. 針筒緩衝器作為垂直柱體的輔助緩衝器，

可緩衝地震時上下震動時產生的衝擊及破壞。

4. 針筒緩衝器作為結構補強的鋼斜撐，

可緩衝地震時左右震動時產生的衝擊及破壞。

科展，從好玩開始，一路上團隊成員相互支持，共同探索，逐漸找到解決問題的方向與方法，也發覺非牛頓流體在力學與結構上，更多的應用潛力

科展之路，仍要繼續前行

柒、參考資料

壹、中文部分：

【一本書】

國民中學 自然與生活科技第五冊 南一出版社

貳、英文部分：

無

參、網路資源：

一、中文部分：

【摘要及資料庫資料】國立台中教育大學 NTCU 科學教育與應用學系「科學遊戲實驗室」

<https://niurl.cc/7w4OuO>

【摘要及資料庫資料】科技雞湯

<https://niurl.cc/1AZcxe>

【摘要及資料庫資料】維基百科 碰撞測試

<https://niurl.cc/WZAFhA>

【摘要及資料庫資料】台灣省結構工程技師公會

<https://niurl.cc/3KdnZI>

【摘要及資料庫資料】中央氣象署數位科普網「地震的律動哪裡來？認識地震波」

<https://niurl.cc/YBWR0a>

【摘要及資料庫資料】ChatGpt 非牛頓流體等彈性物質是否可以作為房屋結構補強的物質？

二、英文部分：

無

三、歷屆科展作品：<https://niurl.cc/IJYL1r>

歷屆科展作品索引(資料來源：國立臺灣科學教育館歷屆優勝作品索引系統)<https://twsf.ntsec.gov.tw/Article.aspx?a=41&lang=1>

屆別	組別	學校	題目	關鍵詞		
				非牛頓流體	防衝擊/緩衝	抗震/防震
48 屆	高中組物理科	國立新竹女子高級中學	不亦「躍」乎—黏滯液體彈跳的探討	√	√	√
49 屆	國小組物理科	台北市松山區敦化國民小學	真能落得輕鬆嗎?	√	√	√
51 屆	國中組生應科	彰化縣立陽明國民中學	天不搖，地不動—非牛頓流體在建築結構抗震的應用	√	√	√
51 屆	國小組生應科	嘉義縣朴子市朴子國民小學	過強則強的玉米漿	√	√	√
55 屆	高中組物理科	國立臺中女子高級中學	一躍而起—非牛頓流體在簡諧運動下的跳躍現象	√	√	√
57 屆	國中組物理科	臺中市立居仁國民中學	兵來墨擋—非牛頓流體防衝擊力之研究	√	√	√
58 屆	高中組物理與天文學科	雲林縣福智高級中等學校	簍從天降—緩衝材料吸收撞擊之實驗探討	√	√	√
58 屆	國小組物理科	臺北市大安區龍安國民小學	不可思議!小小流體力量大—非牛頓流體與腳踏車減速帶之研究	√	√	√
58 屆	國小組物理科	高雄市三民區陽明國民小學	天「柱」我也	√	√	√
59 屆	國小組生應科(二)	桃園市桃園區南門國民小學	告別心碎—膨性流體手機保護套	√	√	√
60 屆	國小組生應科(二)	新北市永和區永和國民小學	「粉」飾太平—探究不同粉漿之抗震表現	√	√	√
60 屆	國小組生應科(二)	新北市板橋區中山國民小學	地震疏散有一「套」—自製防災頭套保護效果之探討	√	√	√
63 屆	國中組生應科(一)	花蓮縣波斯頓實驗教育機構	抗震結構 468	√	√	√
63 屆	高中組物理與天文學科	高雄市普門高級中學	探討非牛頓流體對安全帽結構吸收衝擊力的影響	√	√	√
64 屆	國小組生應科(三)	澎湖縣馬公市馬公國民小學	就是砂得住—公路緩速道影響因素探究	√	√	√
64 屆	國中組地球科學科	新北市立海山高級中學	「非」天「頓」地—非牛頓流體阻尼的減震效果與建物即時監測研究	√	√	√

【評語】 080105

本作品想嘗試用不同的澱粉漿與聚合物組合，來比較它們的差異和特性。過程中自製多種實驗裝置，例如針筒緩衝器、結構模型，來進行多個面向的物理性質與緩衝效果評估，包括硬度、燃燒特性及在不同衝擊下的表現。實驗結果說明，澱粉漿+PVA 膠水+碳酸鈉有較佳的垂直與水平緩衝效果，並可考慮作為結構鋼斜撐的緩衝器及防撞器。

作品海報

非牛頓流體在力學的測試與應用



摘要

科展以非牛頓流體為主題，想要了解不同澱粉漿加PVA膠水混合，以硼砂或碳酸鈉進行交聯作用形成聚合物，在靜止或運動中受碰撞或衝擊時，在力學測試的變化與效應，進行實驗設計。

實驗設計與結果說明：

- 1. 玉米粉、地瓜粉及糯米粉混合PVA膠水，以硼砂或碳酸鈉進行交聯作用，彈珠在不同高度落下可緩衝58.6%~70.0%位能；彈珠自40cm道滑落，可緩衝88.0%~95.3%動能；彈珠自240cm高度落下，以撞痕深度計算可緩衝70.0%~85.0%位能。
- 2. 非牛頓流體為彈性物質，無法取代剛性物質作為結構垂直柱體，以(糯米粉漿+PVA膠水)+硼砂或碳酸鈉製成緩衝器，可考慮取代剛性物體作為鋼斜撐物質。

實驗結果說明，澱粉漿+PVA膠水+碳酸鈉有較佳的垂直與水平緩衝效果，並可考慮作為結構鋼斜撐的緩衝器及防撞器。

壹、前言

一、研究動機：

在準備科展題目時，老師讓我們試做膠水加硼砂混合攪拌揉捏成團，放在手掌中以手擊打，發現有緩衝的效果，也試做玉米漿，經過討論後決定科展以「非牛頓流體」為主題，想要瞭解不同澱粉漿加PVA膠水均勻攪拌混合後，以硼砂或碳酸鈉水溶液進行交聯作用，形成聚合物，在靜止或運動中受碰撞或衝擊時，在力學測試的變化與效應，進行實驗設計，並嘗試解答以下兩個待答問題：

- (一)不同澱粉漿混合PVA膠水，以硼砂或碳酸鈉進行交聯作用，製成的非牛頓流體在垂直及水平碰撞測試中的緩衝效應。
 - (二)非牛頓流體為彈性物體，是否可以考慮取代剛性物體作為結構補強的鋼斜撐物質。
- 經過與指導老師討論並確認實驗架構後，進行相關實驗設計。

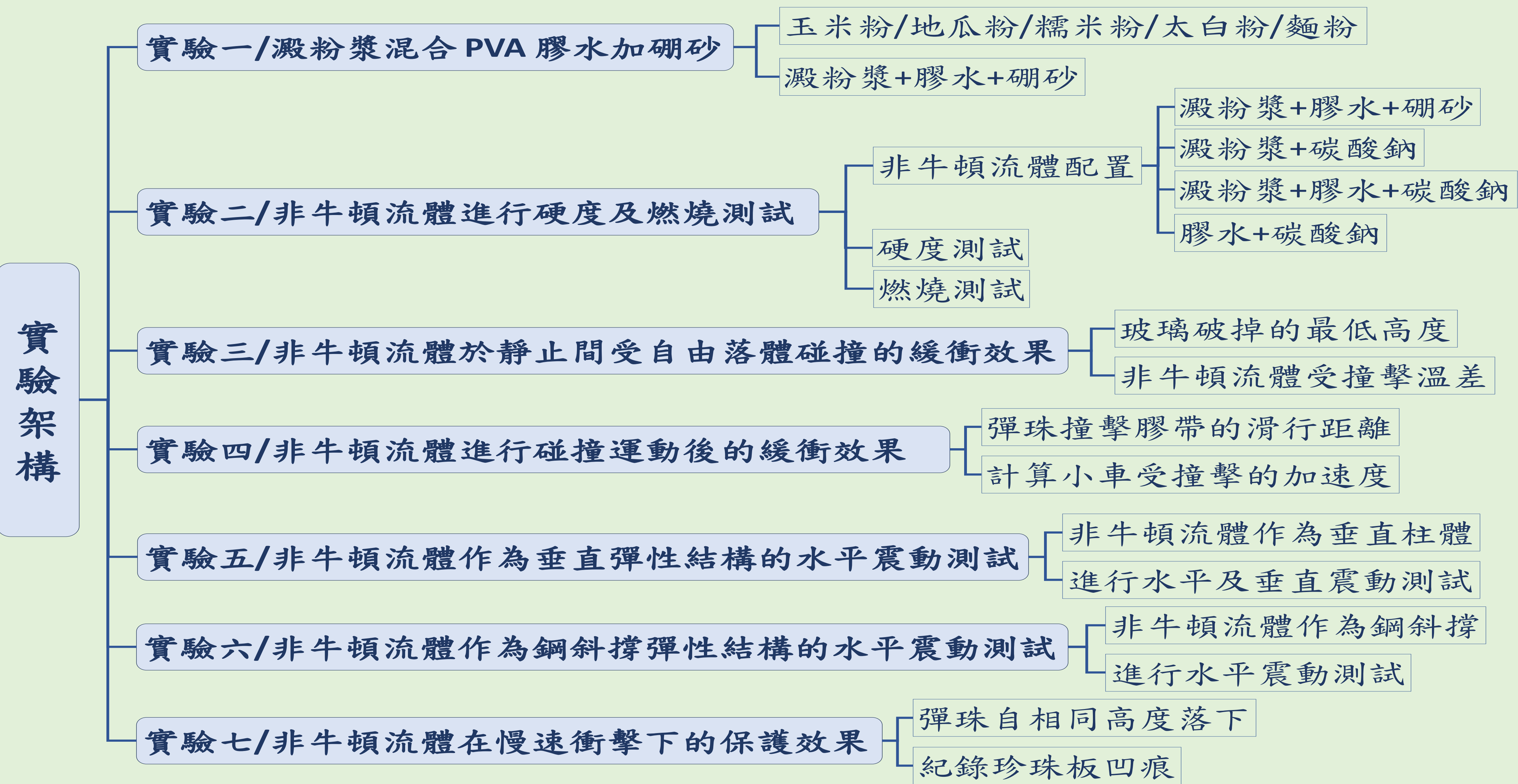
二、研究目的：

- (一)不同澱粉漿混合PVA膠水及硼砂，聚合物的比較。
- (二)不同非牛頓流體進行硬度及燃燒測試。
- (三)不同非牛頓流體於靜止間受自由落體碰撞的緩衝效果。
- (四)不同非牛頓流體進行碰撞運動後的緩衝效果。
- (五)不同非牛頓流體作為垂直彈性結構及垂直輔助結構，在水平及垂直震動測試的緩衝效果。
- (六)不同非牛頓流體作為鋼斜撐彈性結構，在水平及垂直震動測試的緩衝效果。
- (七)不同非牛頓流體在慢速撞擊下的保護效果。

三、文獻回顧(略)

貳、研究設備及器材(略)

參、研究過程及方法(實驗架構)



肆、研究結果/伍、實驗討論

【實驗編號說明】(一)澱粉代號：玉米粉/編號C，地瓜粉/編號S，太白粉/編號T，糯米粉/編號G，麵粉/編號F

(二)化學物質代號：PVA膠水/編號P，硼砂/編號Bo，碳酸鈉/編號Na

編號	CPBo	C0Na	CPNa	SPBo	S0Na	SPNa	GPBo	G0Na	GPNa	0PNa
組合說明	玉米漿+膠水+硼砂	玉米漿+碳酸鈉	玉米漿+膠水+碳酸鈉	地瓜粉漿+膠水+硼砂	地瓜粉漿+碳酸鈉	地瓜粉漿+膠水+碳酸鈉	糯米粉漿+膠水+硼砂	糯米漿+碳酸鈉	糯米漿+膠水+碳酸鈉	PVA膠水+碳酸鈉

一、實驗一：不同澱粉漿混合PVA膠水及硼砂，聚合物的比較。

實驗一配置不同的非牛頓流體，與歷屆科展作品不同，實驗採用五種不同澱粉加水製成澱粉漿，再加入PVA膠水均勻攪拌混合後，加入飽和硼砂水溶液進行交聯作用，攪拌揉捏成團後進行相關測試，並由六位測試員測試後評分，評分及實驗結果說明，太白粉及麵粉會產生分層及發酵，予以排除，以玉米粉、地瓜粉及糯米粉混合膠水及硼砂，製成的非牛頓流體，較易揉捏成團，在密封條件下可保存6個月以上。

							
麵粉	地瓜粉	玉米粉	太白粉	糯米粉	糯米粉加膠水	玉米粉加膠水	地瓜粉加膠水

【實驗一結果說明】 排除太白粉及麵粉，保留地瓜粉、玉米粉及糯米粉進行後續實驗。

【說明】 本次科展使用相片，均使用指導老師及學生之數位相機、平板拍攝，所有WORD表格及EXCEL相關圖表均自行製作，未有抄襲、複製及修改情事，特此聲明。

二、實驗二：不同非牛頓流體進行硬度及燃燒測試。

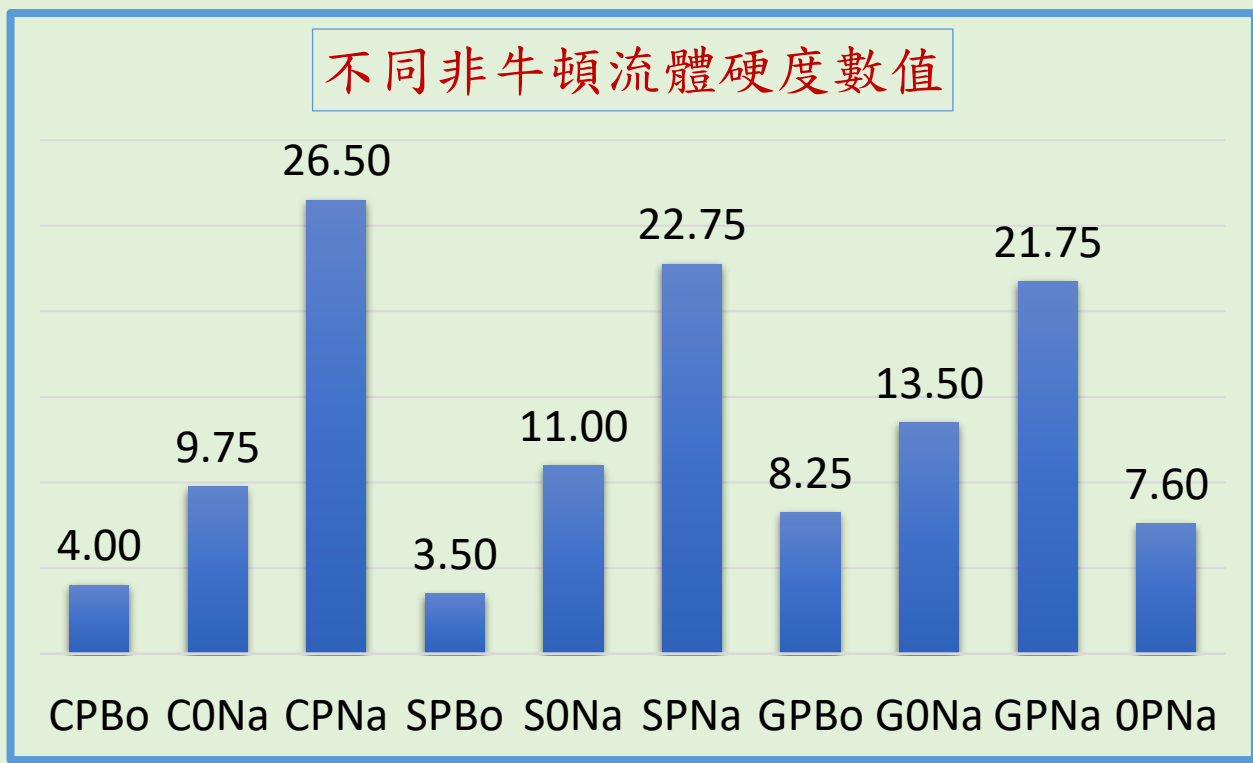
查詢相關資料，發現碳酸鈉可以進行交聯作用，讓非牛頓流體成團，經過討論後，非牛頓流體的配置方式調整為1.(澱粉漿+膠水+硼砂)，2.(澱粉漿+碳酸鈉)，3.(澱粉漿+膠水+碳酸鈉)，4.(膠水+碳酸鈉)，經過一段時間的觀察及測試，(澱粉漿+碳酸鈉)製成的非牛頓流體會碎裂，予以排除，硬度測試結果為3>4>1，(澱粉漿+膠水+碳酸鈉)>(澱粉漿+碳酸鈉)>(澱粉漿+膠水+硼砂)。所有測試物質在燃燒測試中，均未產生火焰，地瓜粉漿會出現黑煙及火星，含PVA膠水的非牛頓流體燃燒測試會有焦臭味，燃燒測試3分鐘未產生火焰，可考慮取代部分汽車保險桿內放置的保麗龍塊防撞器，避免保麗龍受碰撞後燃燒產生的有毒氣體及濃煙，爭取逃生的機會。

不同澱粉漿非牛頓流體硬度測試結果：（硬度計1單位，產生0.025mm位移）

物質	CPBo	C0Na	CPNa	SPBo	S0Na	SPNa	GPBo	G0Na	GPNa	OPNa
硬度	4.00	9.75	26.50	3.50	11.0	22.75	8.25	13.50	21.75	7.60
位移(mm)	0.10	0.24	0.66	0.09	0.28	0.57	0.21	0.34	0.54	0.19

燃燒測試結果整理：

實驗編號	焦黑	冒黑煙	有火星	產生火焰	焦臭味
CPBo	✓	X	X	X	✓
C0Na	✓	X	X	X	X
CPNa	✓	X	X	X	✓
SPBo	✓	✓	✓	X	✓
S0Na	✓	✓	✓	X	X
SPNa	✓	✓	✓	X	✓
GPBo	✓	X	X	X	✓
G0Na	✓	X	X	X	X
GPNa	✓	X	X	X	✓



第一次測試		第二次測試	
碰撞前溫度	碰撞後溫度	碰撞前溫度	碰撞後溫度
28.2 °C	28.9 °C	28.6 °C	29.4 °C
上升0.7 °C		上升0.8 °C	

以湯匙慢慢壓製成型	以湯匙慢慢壓製成型	膠水加碳酸鈉非牛頓流體	玉米粉	以硬度計進行測量	進行燃燒測試	玉米粉燃燒測試結果	碰撞小車	以應用程式計算加速度
彈珠自不同高度落下	基礎測試-玻璃破掉	以塑膠管固定彈珠方向	非牛頓流體緩衝器	鋁製軌道圖	撞擊後膠帶移動	水平震動測試台	結構放置一公斤砝碼	以鐵尺標定震幅

三、實驗三：不同非牛頓流體於靜止間受自由落體碰撞的緩衝效果。

實驗設計讓彈珠自不同高度自由落下，非牛頓流體放入夾鏈袋中做為防撞器，下方放置玻璃片，記錄不同非牛頓流體讓玻璃破掉的最低高度，實驗觀察發現，彈珠從120cm高自由落下，撞擊非牛頓流體時，表面溫度約上升**0.7~0.8°C**，彈珠反彈高度最大約為10cm以下，碰撞為「非彈性碰撞」，彈珠的重力位能轉換為動能，撞擊非牛頓流體後造成形變，部分能量轉為內能，達到緩衝效果，實驗結果說明，對照組高度為60cm，不同非牛頓流體約可緩衝**58.6%~70.0%**的彈珠位能，以(糯米粉漿+膠水+碳酸鈉)高度200cm，緩衝效果最佳，達**70.0%**。

四、實驗四：不同非牛頓流體進行碰撞運動後的緩衝效果。

實驗設計讓彈珠自40cm高的鋁製軌道滑落，撞擊自行設計的針筒緩衝器，以膠帶與鋁製軌道產生的摩擦力及滑行距離計算緩衝效果，對照組平均滑行24.24cm，不同非牛頓流體約可緩衝**88.0%~95.3%**動能，以(糯米粉漿+PVA膠水)+硼砂，平均滑行1.13cm，靜止狀態下緩衝效果最佳達**95.3%**，設計補充實驗測試，以小車進行撞擊測試，以phyphox應用程式測量受撞擊後加速度，與對照組相比，珍珠板可緩衝42.9%，非牛頓流體可緩衝**75.4%**的撞擊加速度。

實驗四補充實驗，進行撞擊測試，以應用程式測量受撞擊後小車加速度：

加速度(m/s²)	對照組		珍珠板		非牛頓流體	
	第一次測試	第二次測試	第一次測試	第二次測試	第一次測試	第二次測試
	0.60	0.66	0.37	0.35	0.15	0.16
平均加速度(m/s²)	0.630		0.360		0.155	
緩衝比例	0.0%		42.9%		75.4%	

五、實驗五：不同非牛頓流體作為垂直彈性結構，在水平震動測試的緩衝效果。

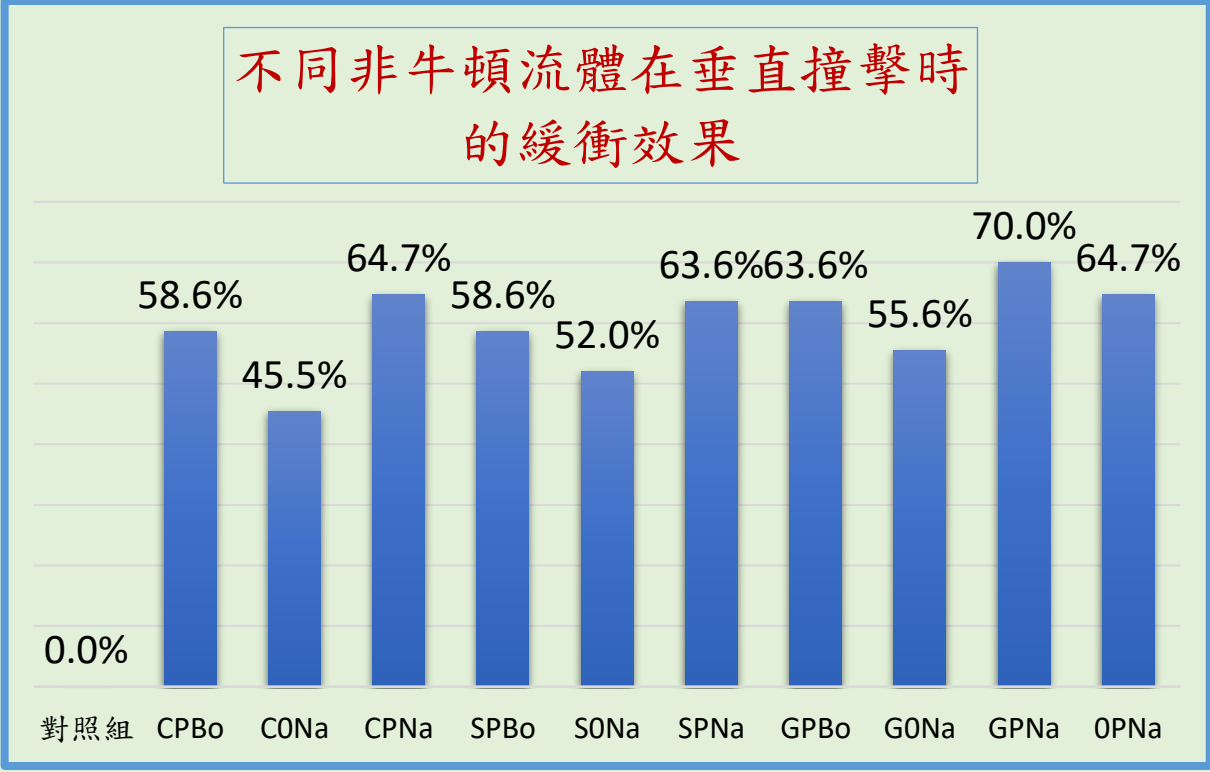
實驗設計以針筒緩衝器作為垂直柱體，進行水平震動測試，實驗結果說明，非牛頓流體等彈性物質，無法取代剛性物質作為單一垂直柱體結構，進行補充實驗測試，以不同非牛頓流體為垂直輔助緩衝器，在水平震動測試中，糯米粉最佳，可緩衝**63.6%**加速度，在垂直震動測試中，地瓜粉最佳，可緩衝**78.3%**的加速度，對於防震係數較低的老屋，針筒緩衝器可以考慮作為柱子的垂直輔助緩衝器。

實驗五補充實驗，以緩衝器為垂直輔助，進行水平震動測試：

	對照組	玉米粉	地瓜粉	糯米粉
加速度(m/s²)	0.66	0.35	0.51	0.24
換算gal	66gal	35gal	51gal	24gal
換算震度	4級	4級	4級	3級
緩衝比例	0.0%	47.0%	22.7%	63.6%

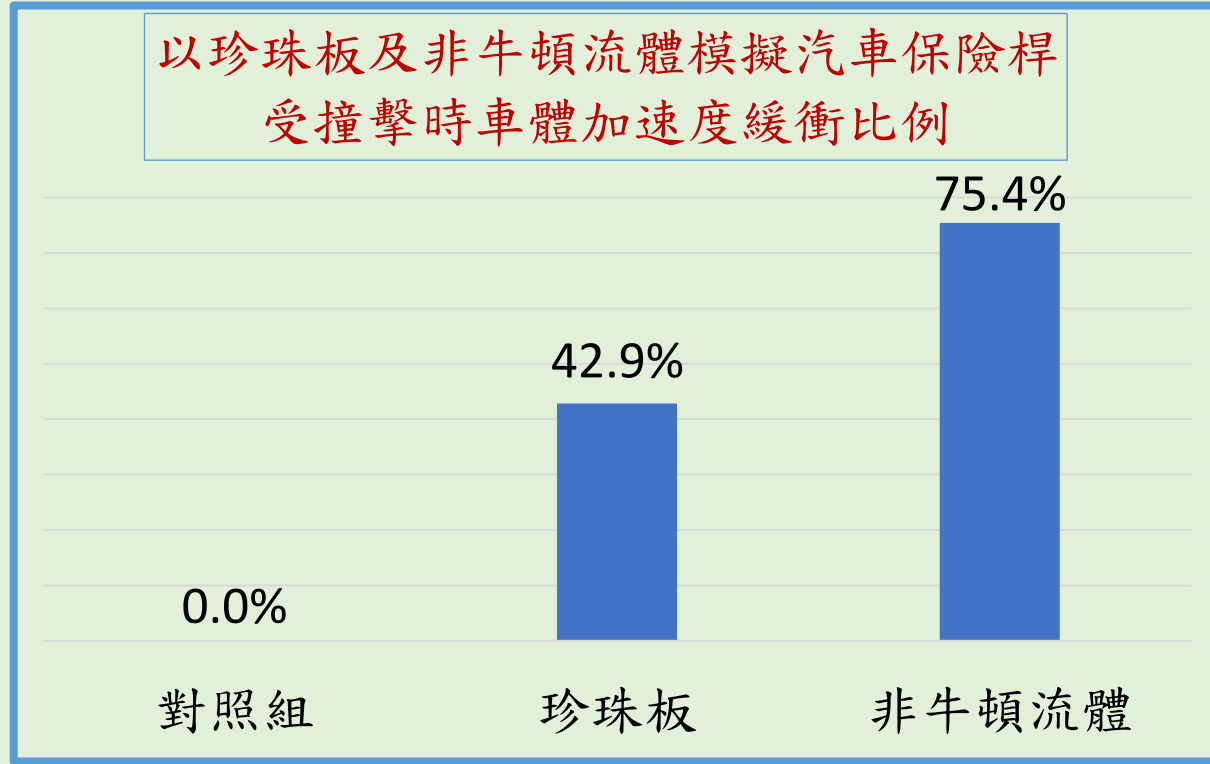
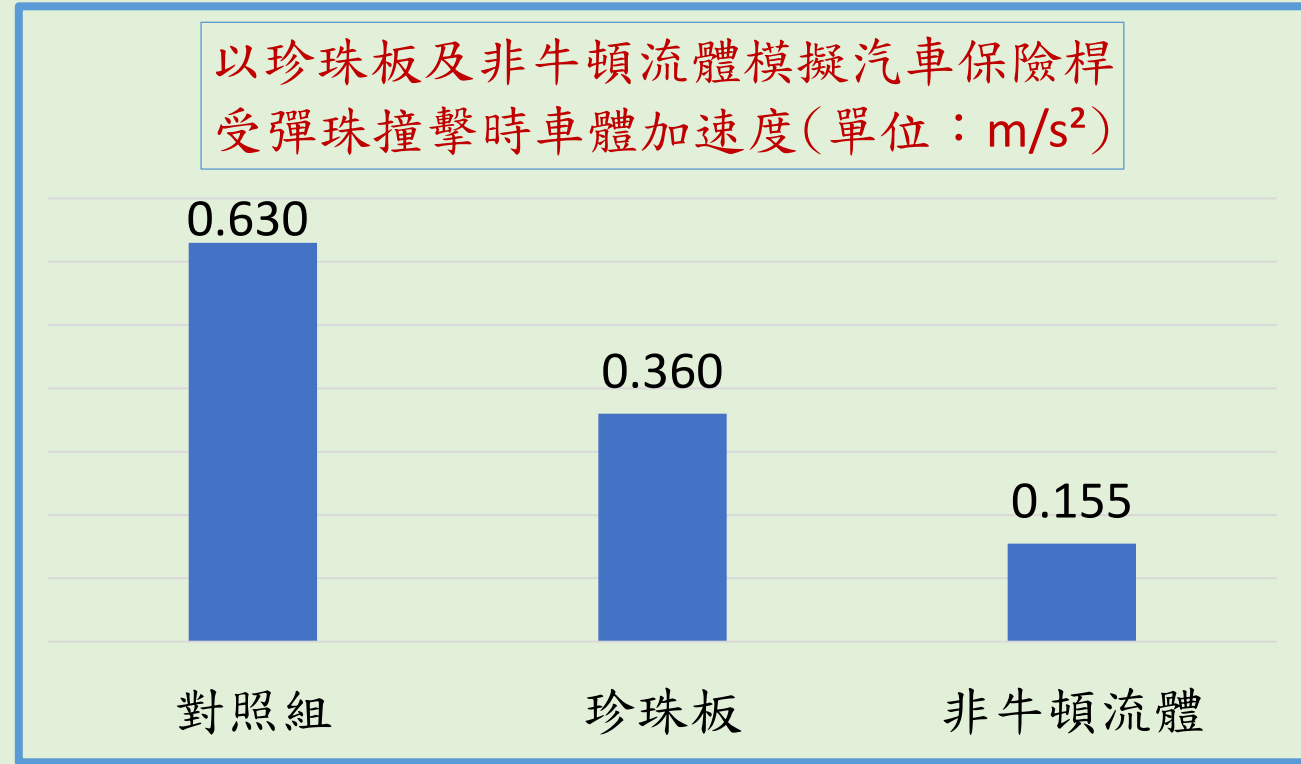
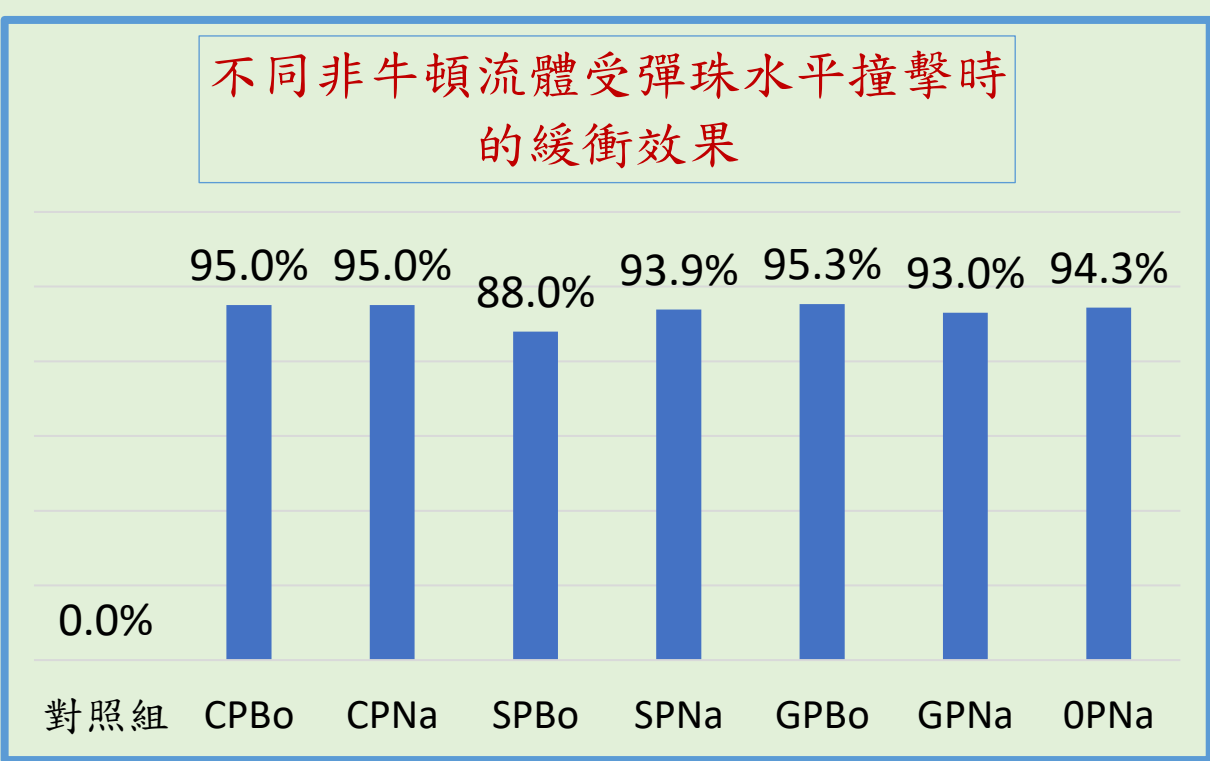
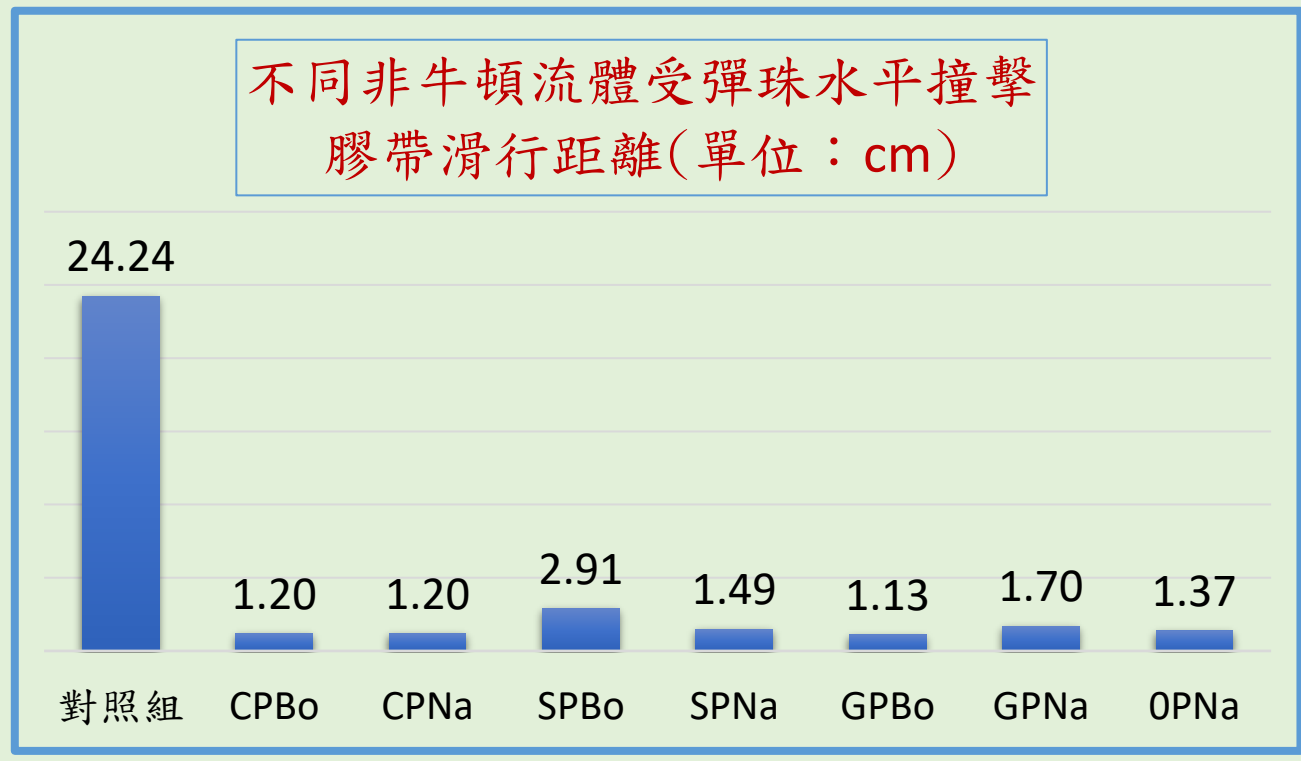
彈珠自不同高度落下，玻璃破掉最低高度紀錄(第二列)及緩衝效果(第三列)：

對照組	CPBo	C0Na	CPNa	SPBo	S0Na	SPNa	GPBo	G0Na	GPNa	OPNa
60cm	145cm	110cm	170cm	145cm	125cm	165cm	165cm	135cm	200cm	170cm
0.0%	58.6%	45.5%	64.7%	58.6%	52.0%	63.6%	63.6%	55.6%	70.0%	64.7%



彈珠自相同高度滑落，膠帶滑行距離(第二列)及緩衝效果(第三列)：

對照組	CPBo	CPNa	SPBo	SPNa	GPBo	GPNa	OPNa
24.24cm	1.20cm	1.20cm	2.91cm	1.49cm	1.13cm	1.70cm	1.37cm
0.0%	95.0%	95.0%	88.0%	93.9%	95.3%	93.0%	94.3%

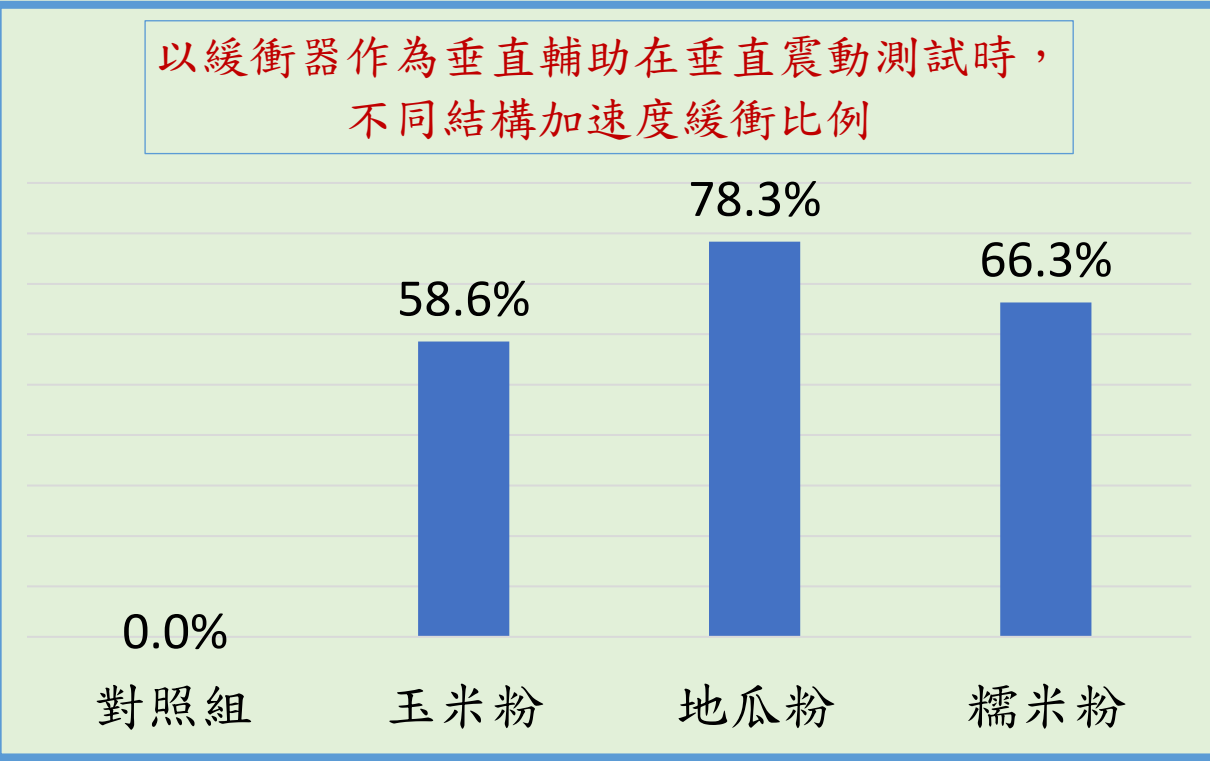
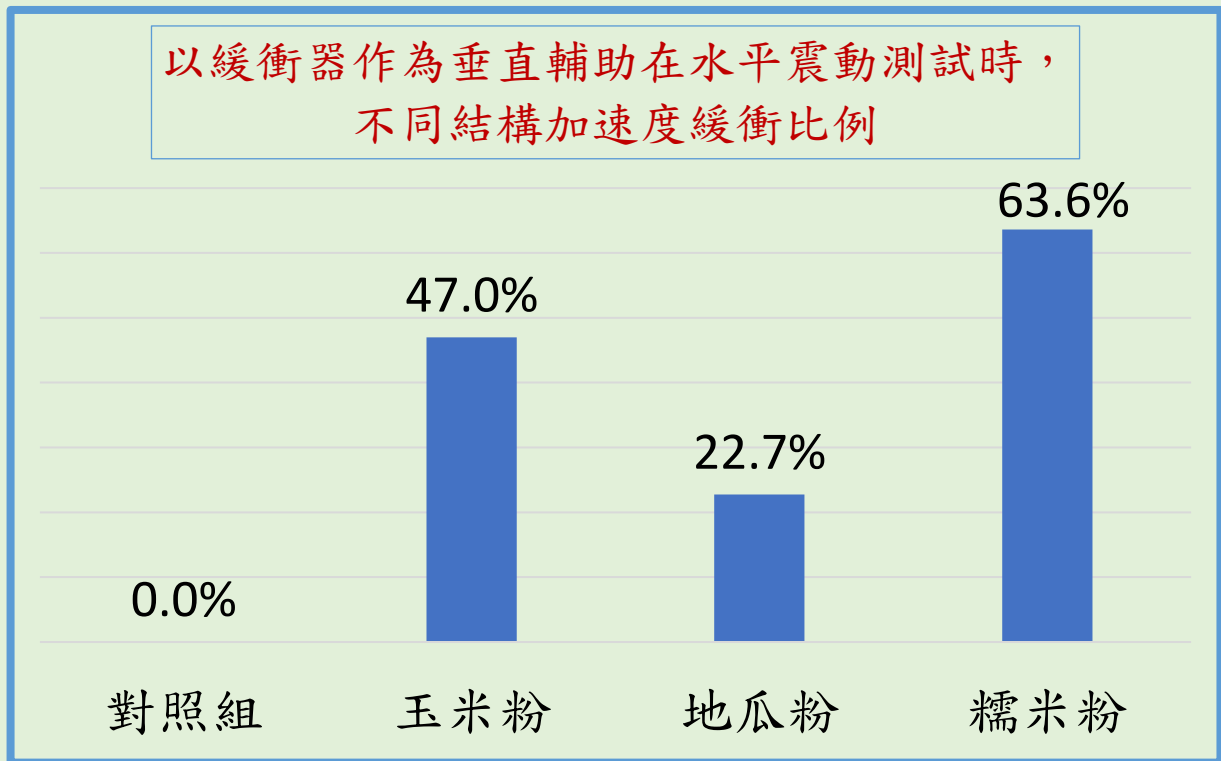


實驗五實驗結果說明：（✓：未倒塌，X：倒塌）

對照組	CPBo	CPNa	SPBo	SPNa	GPBo	GPNa	OPNa
✓✓	X✓	✓✓	X✓	✓✓	✓✓	✓✓	XX

實驗五補充實驗，以緩衝器為垂直輔助，進行垂直震動測試：

	對照組	玉米粉	地瓜粉	糯米粉
加速度(m/s²)	6.83	2.83	1.48	2.30
緩衝比例	0.0%	58.6%	78.3%	66.3%



六、實驗六：不同非牛頓流體作為鋼斜撐彈性結構，在水平震動測試的緩衝效果。

實驗設計以針筒緩衝器取代剛性物質作為結構的鋼斜撐，進行水平震動測試，實驗結果說明以(地瓜粉漿+PVA膠水)+硼砂或碳酸鈉，在水平震動測試的緩衝效果最佳，結構倒塌前承受震動次數最多，分別為**76及78次**，進行補充實驗測試，以不同非牛頓流體為鋼斜撐，在水平震動測試中，糯米粉最佳，可緩衝**86.4%**加速度，在垂直震動測試中，地瓜粉最佳，可緩衝**58.4%**的加速度，針筒緩衝器可以考慮取代部分剛性物質作為結構補強的鋼斜撐物質。

實驗六補充實驗，以緩衝器為鋼斜撐，進行水平震動測試：

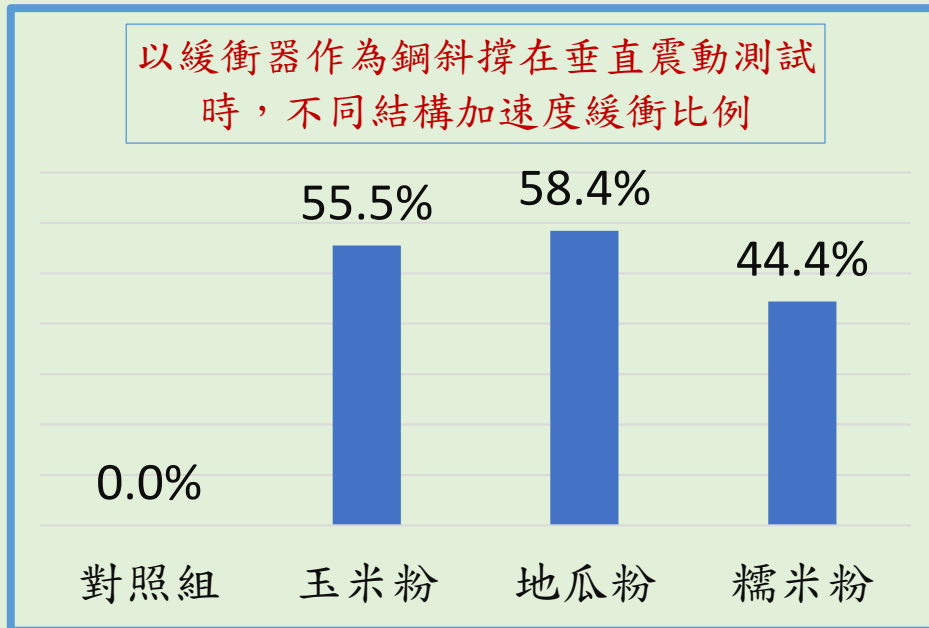
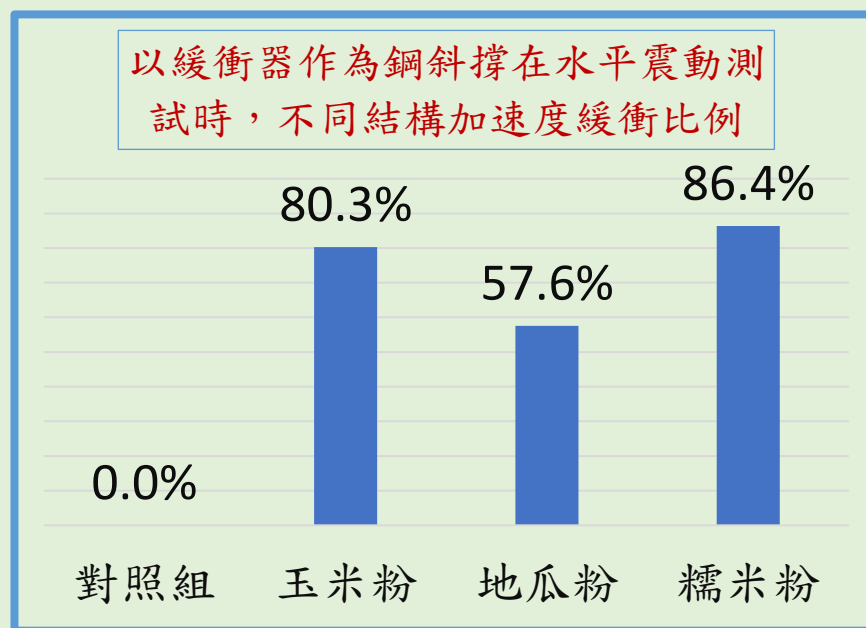
	對照組	玉米粉	地瓜粉	糯米粉
加速度(m/s²)	0.66	0.13	0.28	0.09
換算gal	66gal	13gal	28gal	9gal
換算震度	4級	3級	4級	3級
緩衝比例	0.0%	80.3%	57.6%	86.4%

不同非牛頓流體，在測試結構倒塌前，結構水平震動次數，實驗結果整理(單位：次)：

對照組	CPBo	CPNa	SPBo	SPNa	GPBo	GPNa	OPNa
15.5	5.5	7.5	76	78	33	23.5	24

以緩衝器為鋼斜撐，進行垂直震動測試：

	對照組	玉米粉	地瓜粉	糯米粉
加速度(m/s²)	6.83	3.04	2.84	3.80
緩衝比例	0.0%	55.5%	58.4%	44.4%



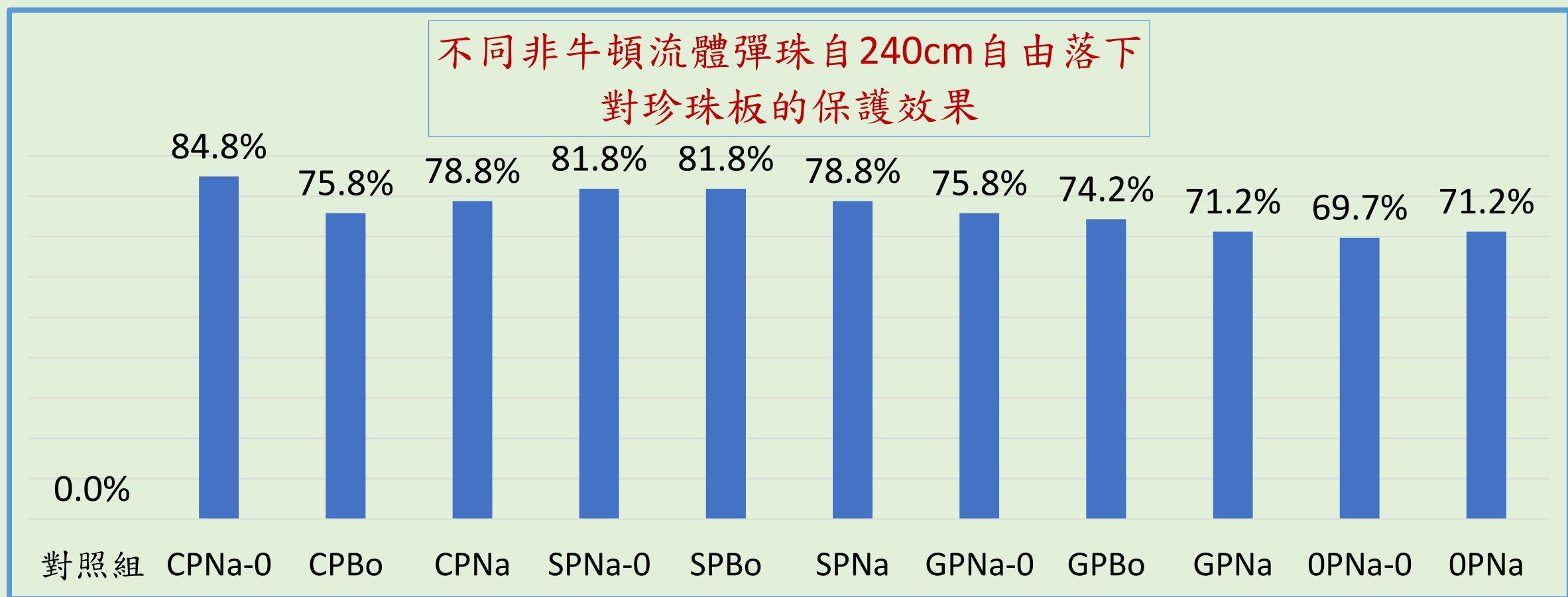
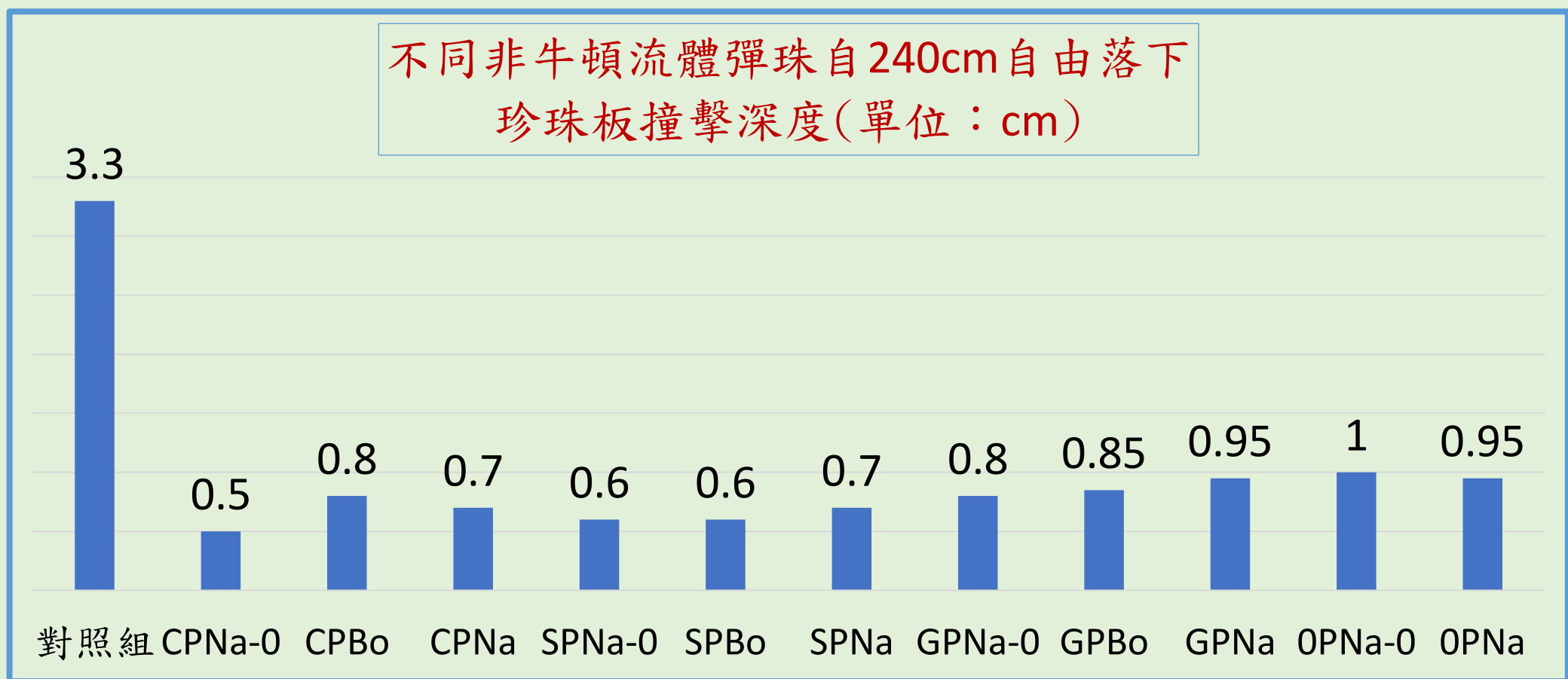
以緩衝器作為鋼斜撐	結構上方放3公斤砝碼	塑膠管下方緊貼珍珠板	對照組彈珠撞痕	以游標卡尺測量厚度(深度)	水平震動測試(對照組)	垂直震動測試(鋼斜撐)	垂直震動測試(垂直輔助)

七、實驗七：不同非牛頓流體在慢速撞擊下的保護效果。

實驗三彈珠高度為操作變因，實驗四彈珠高度為控制變因，讓彈珠從240cm高的透明塑膠管自由落下，使用與實驗三相同的防撞器做為操作變因，防撞器下方放置珍珠板，以珍珠板撞痕深度為計算緩衝效果，實驗結果說明，對照組撞痕深度為3.30mm，不同防撞器約可緩衝**70.0%~85.0%**的位能，以(玉米粉漿+PVA膠水+碳酸鈉)撞痕深度最淺為0.50mm，保護效果最佳達**84.8%**。

彈珠自240cm高處落下，撞擊非牛頓流體製成的防撞器，珍珠板撞痕深度及防撞器保護效果，實驗結果整理：

對照組	CPNa-0	CPBo	CPNa	SPNa-0	SPBo	SPNa	GPNa-0	GPBo	GPNa	OPNa	OPNa
3.30	0.50	0.80	0.70	0.60	0.60	0.70	0.80	0.85	0.95	1.00	0.95
0.0%	84.8%	75.8%	78.8%	81.8%	81.8%	78.8%	75.8%	74.2%	71.2%	69.7%	71.2%



陸、結論

- 一、以玉米粉、地瓜粉及糯米粉混合PVA膠水，加入硼砂製成的非牛頓流體，較易揉捏成團，形成的非牛頓流體在密封條件下可以保存6個月以上。
- 二、硬度測試，(澱粉漿+膠水+碳酸鈉)>(澱粉漿+碳酸鈉)>(澱粉漿+膠水+硼砂)。
- 三、所有測試物質在燃燒測試中，均未產生火焰，地瓜粉漿會出現黑煙及火星，含PVA膠水的非牛頓流體燃燒測試會有焦臭味，燃燒測試3分鐘未產生火焰，可考慮取代部分汽車保險桿內放置的保麗龍塊防撞器。
- 四、彈珠自不同高度自由落下，以玻璃破掉的最低高度計算緩衝效果，不同的非牛頓流體約可緩衝58.6%~70.0%的彈珠位能，以(糯米粉漿+膠水+碳酸鈉)緩衝效果最佳(70.0%)。
- 五、彈珠自40cm高鋁製軌道滑落，將非牛頓流體裝進針筒做成緩衝器，彈珠撞擊絕緣膠帶，以膠帶與鋁製軌道產生的摩擦力及滑行距離計算緩衝效果，約可緩衝88.0%~95.3%動能，以(玉米粉漿+膠水)+硼砂或碳酸鈉的緩衝效果最佳(95.3%)。
- 六、非牛頓流體等彈性物質，無法取代剛性物質作為結構的垂直柱體。
- 七、以非牛頓流體製成緩衝器，作為鋼斜撐結構，以(地瓜粉漿+PVA膠水)+硼砂或碳酸鈉，在水平震動測試的緩衝效果最佳。
- 八、彈珠自240cm高處自由落下，撞擊非牛頓流體製成的防撞器，以珍珠板撞痕深度計算，約可緩衝70.0%~85.0%的位能，以(玉米粉漿+PVA膠水+碳酸鈉)的保護效果最佳(84.8%)。

【綜合結論】

(玉米粉漿、地瓜粉漿及糯米粉漿)混合PVA膠水+碳酸鈉有較佳的垂直與水平緩衝效果，

可作為垂直柱體的緩衝輔助及結構鋼斜撐的緩衝器，及作為水平或垂直撞擊過程的防撞器。

柒、參考文獻(略)

【未來應用與展望】

一開始選擇「非牛頓流體」為科展主題，主要因為攪拌揉捏的過程很好玩，透過指導老師與團隊成員進行資料蒐集、討論與分析、腦力激盪及討論實驗設計，科展採用不同的方式製作非牛頓流體，完成實驗操作並分析實驗結果，實驗結果說明，在小模型的測試範圍內，非牛頓流體在力學能的相關實驗與測試，有明顯的緩衝及耐震效果，檢視實驗條件與結果，實驗條件具有穩定性，實驗數據具有再現性，經過討論，非牛頓流體未來還有許多的應用：

1. 製成不同防撞器，例如：桌角與牆角，3C產品保護殼，汽車保險桿內裝物。
2. 製成防摔衣、防彈背心等。
3. 針筒緩衝器作為垂直柱體的輔助緩衝器，及作為結構補強的鋼斜撐，

可緩衝水平及垂直震動測試時產生的衝擊及加速度。

科展，從好玩開始，一路上團隊成員相互支持，共同探索，逐漸找到解決問題的方向與方法，也發覺非牛頓流體在力學與結構上，更多的應用潛力~~科展之路，仍要繼續前行~~