

中華民國第 63 屆中小學科學展覽會  
作品說明書

---

高中組 物理與天文學科

(鄉土)教材獎

051813

探討非牛頓流體對安全帽結構吸收衝擊力的影響

學校名稱：佛光山學校財團法人高雄市普門高級中學

作者：  高二 趙家亨  高二 孫珮凰  高二 林聖傑	指導老師：  李淑鈴  黃守玄
---	-----------------------------

關鍵詞：非牛頓流體、安全帽、衝擊力

# 摘要

本研究希望透過測試安全帽結構提升其吸收撞擊力能量能力，以期增加日常生活經常使用的安全帽之安全性。而根據過往經驗，我們選擇具彈性的橡膠墊、刮泥板及受力時可變硬且吸收衝擊力的非牛頓流體，以及作為改變安全帽結構的實驗材料，並在文獻研究後自行設計出縮小尺寸的安全帽結構模型（後文稱測試模型），與模擬安全帽遭受撞擊的裝置來進行實驗。從實驗結果與影像軟體分析及動、位能相關公式分析可知，橡膠墊、刮泥板及非牛頓流體對測試模型吸收衝擊力能量有幫助。我們也以此為依據討論將橡膠墊、非牛頓流體加入真實安全帽的可行性，期望以此研究對生活有實質性幫助。

## 壹、前言

### 一、研究動機

觀看網路影片學習到非牛頓流體的黏度會隨著所受壓力增加而變大，甚至成為暫時性的固體，所以思考其是否能提升撞擊防護設備之安全性。進行文獻查詢及融合生活經驗後，我們從小論文《來個碰碰-彈力橡皮筋球之非彈性碰撞分析》作者林惠葶等人之彈力球撞擊研究，與旺宏科學獎《軟性防禦力場—論非牛頓流體性質與手機殼應用》作者陳家葦提及的防撞物品發想得到靈感，決定以模擬撞擊實驗，研究將非牛頓流體及其他材料加入安全帽基本結構是否能提升其安全性，及其可行性及未來研究方向。

### 二、研究目的

- （一）增加各種材料之模擬安全帽結構（測試模型）的能量吸收率為何？
- （二）保麗龍對於安全帽基本結構吸收撞擊力能量是否有實質幫助？
- （三）何種特殊材料加入模擬安全帽結構（測試模型）對吸收能量最有幫助？
- （四）探討加入特殊材料後的安全帽是否比一般安全帽更具安全性及可行性為何？

### 三、文獻回顧

#### (一) 安全帽結構

摩托車安全帽的結構一般由帽殼 (Shell)、墊料 (Liner)、頭墊 (Comfort Padding)、頤帶 (Chin Strap) 組成 (圖 1-1) (莊智宏, 2001) 1、帽殼：安全帽最外層、也是最堅硬的部分，利用變形將衝擊力分散至較大面積，避免尖銳物穿刺。材料通常為 ABS、纖維強化塑膠或 PC 樹脂所構成。2、墊料：利用壓潰、破壞封閉氣室的結構吸收大量衝擊能量，材料多為發泡聚苯乙烯 (俗稱保麗龍)。3、頭墊：材料多為聚胺基甲酸乙酯之發泡體，或聚乙烯樹酯及乙烯醋酸乙稀混和之發泡體，無吸收能量作用。4、頤帶：繫在下顎骨處，固定帽體用，避免安全帽因衝擊或晃動脫離頭部。

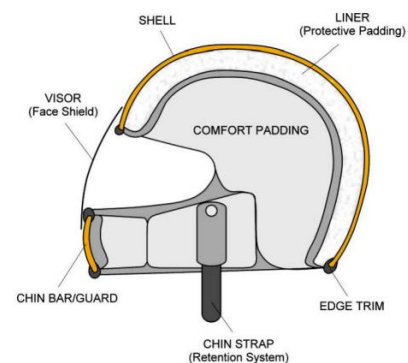


圖 1-1 安全帽結構 (來源： T. J. Gibson, K. Thai, Helmet protection against basilar skull fracture, ATSB Reserch and Analysis Report Road Safety, Australian Transport Safety Bureau, 2007. )

綜合以上資料，我們可得知安全帽上半部分結構為帽殼、墊料以及頭墊，而其中吸收衝擊能量的重要材料則為帽殼與墊料。因此，為方便進行實驗，我們將實驗所需安全帽模擬結構層範圍鎖定在帽殼、墊料以及頭墊，並將欲探討吸收衝擊力的材料加入在帽殼與墊料層中以進行實驗。

#### (二) 撞擊測試

當今大部分國家都設有自身的安全帽檢驗法則，因各地國情不同，檢測的方法、裝置和標準存在些許差異，但其規範其實大同小異，常見的裝置如下：

- 1、「墜落裝置」(圖 1-2)：在頭型內部設有球狀接頭及加速度計，用以檢測安全帽受撞擊時所產生的加速度。
- 2、「鋼砧」：鋼砧是在測試撞擊測試時於裝置底部承受撞擊用，一般以鋼材製作而成，分為平面、半球、角型、街沿石 (圖 1-3) (林志融, 2015)。

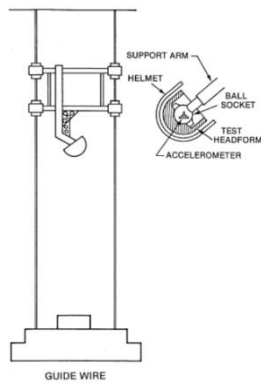


圖 1-2 墜落裝置

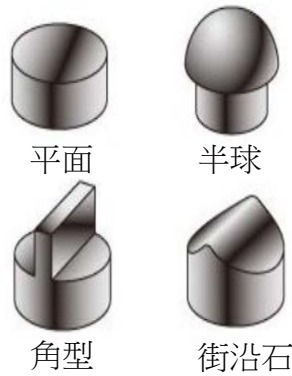


圖 1-3 鋼砧

(來源：應用有限元素人偶頭頸模型評估安全帽之顱顏防護效果，林志融。2015)

表 1 測試標準

(來源：應用有限元素人偶頭頸模型評估安全帽之顱顏防護效果，林志融。2015)

	DOT/ FMVSS 218 (美國)	Snell m2010 (美國)	ECE 22.05 (歐盟)	BSI 6658 (英國)	CNS 2396 (台灣)
撞擊次數	2 次	2 次	1 次	2 次	2 次
撞擊部位	4 處	4 處	5 處	3 處	4 處
鋼砧型式	平面 半球	平面 半球 角型	平面 街沿石	平面 半球	平面 半球
測試速度	6/5.2	7.75/6.78	7.5/5.5	7.5/5.3	7/5
加速度容許值	400 G	300 G	275G	300G	300G

根據以上資料，我們可知正規安全帽撞擊測試之一，是透過利用裝置將安全帽由高處進行加速撞擊，以此檢驗其安全性的過程。基於此，我們在設計模擬撞擊實驗的裝置時也採用相似的方法進行實驗。

### (三) 非牛頓流體

1、牛頓流體：流體在層流時，流動行為符合牛頓黏度定律者稱之。牛頓流體的黏度不隨速度而變，而其速度分佈呈拋物線形。大部份流體如水、酒精、空氣等屬於此類。

2、非牛頓流體：流體行為不符合牛頓黏度定律者，如牙膏、強力膠、水泥漿等。

非牛頓流體是一種流體力學中的概念，與牛頓流體相對。其中一種易為製作的方式為玉米粉加水（比例約十比七）。

## 貳、研究設備及器材

### 一、實驗裝置

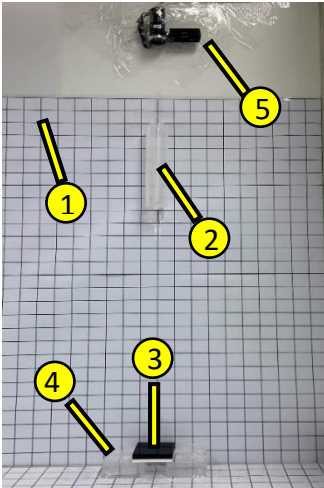


圖 2-1 實驗裝置平視近圖



圖 2-2 實驗裝置平視遠圖



圖 2-3 實驗裝置俯瞰圖


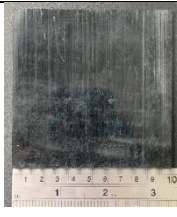



（來源：自行拍攝）






表 2 實驗裝置器具說明（來源：自行繪製）

編號	器具	說明
1	格線板	規格 1.2m* 1.2m，每小格邊長 0.05m，作為擷取下墜高度及彈跳高度等各項數據用。
2	軌道	以透明資料夾製作，用膠帶固定以確保球體每次下墜軌道相同，減少球體在水平方向的偏移。
3	測試模型	每組以相同規格（長 0.1m*寬 0.1m）、不同材料組成，以測試不同結構吸收的衝擊力。
4	壓克力支架	支撐、固定測試模型。
5	攝影機	紀錄球體運動過程中多項物理量。

## 二、實驗器材

表 3 實驗器材說明（來源：自行繪製）

器材		規格	說明
壓克力板	 圖 3-1（來源：自行拍攝）	長 0.1m 寬 0.1m 厚 0.005m 質量 0.05428kg	模擬安全帽結構分層 帽殼：壓克力 ABS 墊料：保麗龍 頭墊：泡綿紙
ABS	 圖 3-2（來源：自行拍攝）	長 0.1m 寬 0.1m 厚 0.005m 質量 0.05761kg	
保麗龍	 圖 3-3（來源：自行拍攝）	長 0.1m 寬 0.1m 厚 0.01m 質量 0.00343kg	
泡綿紙	 圖 3-4（來源：自行拍攝）	長 0.1m 寬 0.1m 厚 0.01m 質量 0.00122kg	
橡膠墊	 圖 3-5（來源：自行拍攝）	長 0.1m 寬 0.1m 厚 0.005m 質量 0.08314kg	

氣泡紙	 圖 3-6 (來源：自行拍攝)	長 0.1m 寬 0.1m 厚 0.01m 質量 0.00004kg	刮泥板材質為 PVC
刮泥板	 圖 3-7 (來源：自行拍攝)	長 0.1m 寬 0.1m 厚 0.01m 質量 0.01877kg	
非牛頓流體	 圖 3-8 (來源：自行拍攝)	長 0.1m 寬 0.1m 厚 0.005m 質量 0.09000kg	非牛頓流體比例 太白粉：水=5：4 重量百分濃度 55%
鐵球	 圖 3-9 (來源：自行拍攝)	直徑 0.0507m 質量 0.5kg	撞擊球體：鐵球 彈力球 為實驗變因的材料層 帽殼：彈力層
彈力球	 圖 3-10 (來源：自行拍攝)	直徑 0.0800m 質量 0.64555kg	由於橡皮筋不易形塑成正方形材料層，故將其纏繞在鐵球上替代並進行實驗。

### 三、實驗軟體

(一) Tracker：一款物理實驗影像分析軟體，我們將實驗影像以此軟體擷取球體撞擊測試體過程中多項物理量。

(二) Excel：作為統整、計算數據、製作圖表的工具。

## 參、研究過程與方法

### 一、實驗流程

#### (一) 實驗一：以壓克力模擬安全帽殼

- 1、進行鐵球及彈力球撞擊測試模型 a、b、c、d 各 20 次，共 160 次的實驗。
- 2、利用 Tracker 擷取實驗過程中多項物理量後，再用 Excel 整理數據並代入公式計算數據，進行數據分析與圖表製作。

#### (二) 實驗二：以 ABS 模擬安全帽殼

- 1、進行鐵球撞擊測試模型 A、B、C、D、E、F、G 各 20 次，共 140 次的實驗。
- 2、利用 Tracker 擷取實驗過程中多項物理量後，再用 Excel 整理數據並代入公式計算數據，進行數據分析與圖表製作。




### 二、研究方法


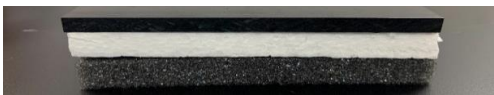



#### (一) 實驗前置步驟（實驗一、二皆相同）

- 1、使用膠帶將兩個格線板分別固定於牆面及地面且兩者相互垂直，使其穩定且不彎折。
- 2、用資料夾製成球體下落軌道，以減少球體墜落時在水平方向的偏移。
- 3、架設兩台攝影機分別於裝置正前方和正上方，以拍攝實驗影片。
- 4、將壓克力磚作為支架，用膠帶固定在地面上。
- 5、調製 0.09kg 的非牛頓流體，太白粉：水比例為 5：4，將其倒入夾鏈袋中膠帶固定成長 0.1m\*寬 0.1m\*厚 0.005m 的長方體並排出空氣。
- 6、將各項材料切割成長 0.1m\*寬 0.1m 的正方形，並依各組順序堆疊，最後以膠帶黏貼固定。
- 7、製作測試模型做為實驗對象，實驗一為測試模型 a、b、c、d 各兩組；實驗二為測試模型 A、B、C、D、E、F、G 各一組。



表 4 測試模型說明（來源：自行繪製）

組別		模擬材料層（由上至下）	重量
測試模型 a	鐵球	 圖 4-1（來源：自行拍攝）	0.05893kg
	彈力球		
測試模型 b	鐵球	 圖 4-2（來源：自行拍攝）	0.14933kg
	彈力球		
測試模型 c	鐵球	 圖 4-3（來源：自行拍攝）	0.14973kg
	彈力球		

			泡綿紙	
測試模型 d	鐵球		壓克力 非牛頓流體 保麗龍 泡綿紙	0.14893kg
	彈力球	圖 4-4 (來源：自行拍攝)	彈力層 壓克力 非牛頓流體 保麗龍 泡綿紙	
測試模型 A	鐵球		ABS 板 保麗龍 泡綿紙	0.05761kg
測試模型 B			ABS 板 橡膠墊 保麗龍 泡綿紙	0.14015 kg
測試模型 C			ABS 板 刮泥板 保麗龍 泡綿紙	0.07638 kg
測試模型 D			ABS 板 非牛頓流體 保麗龍 泡綿紙	0.14761 kg
		圖 4-5 (來源：自行拍攝)		
		圖 4-6 (來源：自行拍攝)		
		圖 4-7 (來源：自行拍攝)		
		圖 4-8 (來源：自行拍攝)		

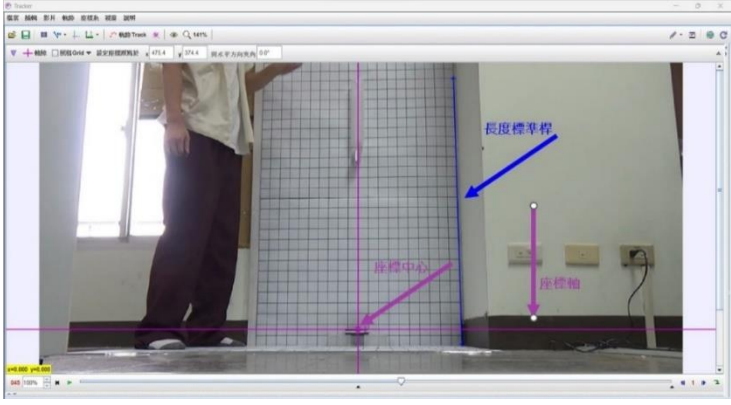
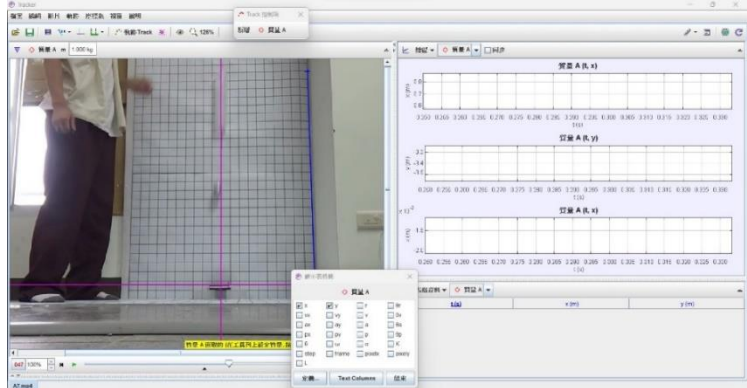
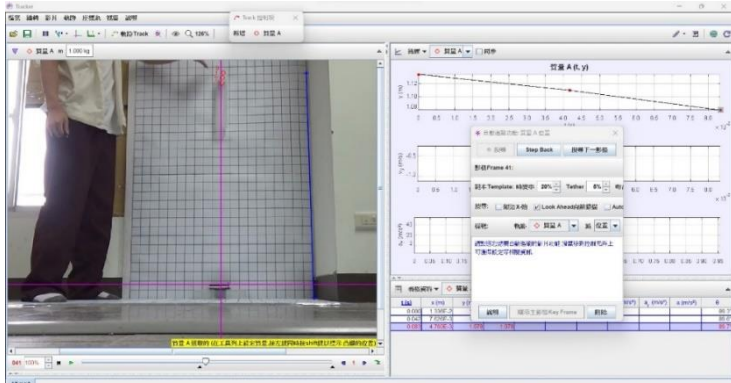
測試模型 E	 圖 4-9 (來源：自行拍攝)	ABS 板 非牛頓流體 泡綿紙	0.14418 kg
測試模型 F	 圖 4-10 (來源：自行拍攝)	ABS 板 橡膠墊 非牛頓流體 保麗龍 泡綿紙	0.23075 kg
測試模型 G	 圖 4-11 (來源：自行拍攝)	橡膠墊 ABS 板 非牛頓流體 保麗龍 泡綿紙	0.23075 kg

## (二) 實驗步驟

- 1、將測試模型放置於支架上並用膠帶固定，避免實驗過程中晃動。
- 2、使球體由離地面 1.2m 高處掉落並撞擊測試模型，且實驗全程以攝影機錄影。
- 3、每組實驗重複 20 次：實驗一為鐵球及彈力球分別撞擊測試模型 a、b、c、d；實驗二為鐵球撞擊測試模型 A、B、C、D、E、F、G
- 4、觀察測試模型受損情形並拍攝記錄。
- 5、以 Tracker 擷取球體由墜落瞬間至撞擊測試體後第一次彈跳過程中位移、速率變化情形及數據。
- 6、以 Excel 整理數據，並以落下高度和反彈高度差及彈起後球體動能計算其能量變化，計算出測試模型吸收能量。

(三) 數據分析及計算

表 5 數據分析說明 (來源：自行繪製)

步驟	說明
一	 <p>圖 5-1 (來源：自行截圖)</p> <p>匯入欲分析的影像，設定座標原點及長度標準桿。</p>
二	 <p>圖 5-2 (來源：自行截圖)</p> <p>新增欲追蹤質點後，於右方表格處點選想要追蹤的數據及想繪製的圖表。</p>
三	 <p>圖 5-3 (來源：自行截圖)</p>

將影像開頭設為鐵球開始釋放下落時，並且設定目標色塊以讓電腦自動追蹤，並以手動進行調整。

四

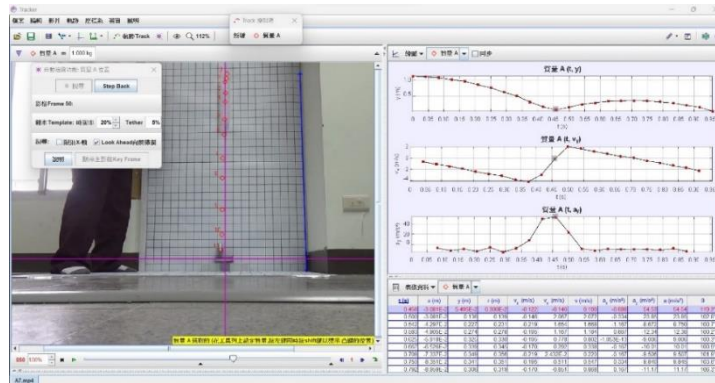


圖 5-4 (來源：自行截圖)

追蹤到球體第一次彈跳並落地。完成後將數據匯出。

## 肆、研究成果

### 一、實驗數據與紀錄

#### (一) 實驗代號說明

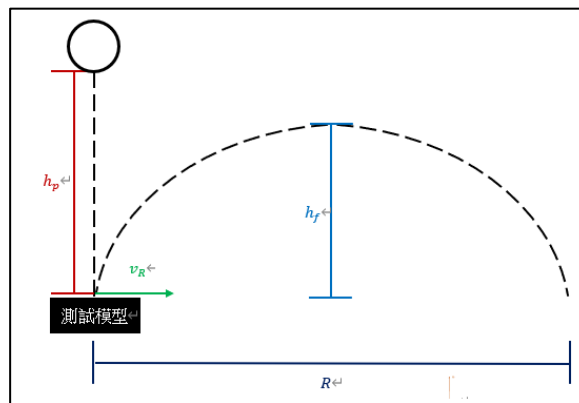


圖 6-1 球體下落到第一次彈跳落地示意圖 (來源：自行繪製) (未依實際比例)

- 1、 $m$  ( $kg$ ): 球體質量，鐵球  $0.5kg$ 、彈力球  $0.64555kg$ 。
- 2、 $h_p$  ( $m$ ): 球體墜落前與測試模型距離皆固定為  $1.2m$ 。
- 3、 $h_f$  ( $m$ ): 球體撞擊至測試模型後，第一次彈跳過程中與測試模型的平面最大垂直距離。
- 4、 $R$  ( $m$ ): 球體撞擊至測試模型後，第一次彈跳的水平偏移距離。
- 5、 $V_R$  ( $m/s$ ): 球體撞擊至測試模型後，彈起時水平方向之速度。
- 6、 $U_p$  ( $J$ ): 球體撞擊至測試模型前之位能 (位能公式  $m \times g \times h_p$ )。

- 7、 $U_f (J)$ ：球體撞擊至測試模型後，彈起最大高度之重力位能（位能公式  $m \times g \times h_f$ ）。
- 8、 $K_f (J)$ ：球體撞擊至測試模型後，彈起時之水平動能（動能公式  $0.5 \times m \times V_R^2$ ）。
- 9、 $E (J)$ ：球體掉落過程中減損能量，也代表測試模型所吸收的能量（公式  $U_p - (U_f + K_f)$ ）。
- 10、吸收率（%）：測試模型吸收衝擊能量之比率（公式  $\left(\frac{E}{U_p}\right) \times 100\%$ ）。

## （二）實驗數據

由於總計十五組、300 次實驗數據篇幅過多，我們將詳細的實驗數據紀錄置於附錄，而以下表格則是我們將每組 20 次的實驗數據平均值，四捨五入至小數點後兩位得出的數據。

### 1、實驗一（壓克力模擬帽殼）：鐵球－測試模型 a-d 實驗數據平均值

表 6 鐵球與測試模型 a、b、c、d 實驗數據平均值（來源：自行繪製）

項目組 別	垂直方向			水平方向		總和
	$h_p$ (m)	$h_f$ (m)	$U_f$ (J)	$V_R$ (m/s)	$K_f$ (J)	$E$ (J)
鐵球－測試模型 a	1.20	0.39	0.12	1.92	0.01	3.96
鐵球－測試模型 b	1.20	0.38	0.08	1.85	0.00	4.03
鐵球－測試模型 c	1.20	0.41	0.16	1.99	0.01	3.89
鐵球－測試模型 d	1.20	0.25	0.13	1.22	0.01	4.65

附註：鐵球－測試模型 a（壓克力板－保麗龍－泡綿紙）

鐵球－測試模型 b（壓克力板－氣泡紙－保麗龍－泡綿紙）

鐵球－測試模型 c（壓克力板－氣泡紙\*2－保麗龍－泡綿紙）

鐵球－測試模型 d（壓克力板－非牛頓流體－保麗龍－泡綿紙）

2、實驗二（壓克力模擬帽殼）：彈力球－測試模型 a-d 實驗數據平均值

表 7 彈力球與測試模型 a、b、c、d 實驗數據平均值（來源：自行繪製）

組別 \ 項目	垂直方向			水平方向		總和
	$h_p$ (m)	$h_f$ (m)	$U_f$ (J)	$V_R$ (m/s)	$K_f$ (J)	$E$ (J)
彈力球－測試模型 a	1.20	0.60	0.26	3.77	0.03	3.79
彈力球－測試模型 b	1.20	0.59	0.18	3.76	0.02	3.81
彈力球－測試模型 c	1.20	0.59	0.38	3.71	0.06	3.82
彈力球－測試模型 d	1.20	0.45	0.31	2.82	0.04	4.74

附註：彈力球－測試模型 a（彈力層－壓克力板－保麗龍－泡綿紙）

彈力球－測試模型 b（彈力層－壓克力板－氣泡紙－保麗龍－泡綿紙）

彈力球－測試模型 c（彈力層－壓克力板－氣泡紙\*2－保麗龍－泡綿紙）

彈力球－測試模型 d（彈力層－壓克力板－非牛頓流體－保麗龍－泡綿紙）

3、實驗二（ABS 模擬帽殼）：鐵球－測試模型 A-G 實驗數據平均值

表 8 鐵球與測試模型 A、B、C、D、E、F、G 實驗數據平均值（來源：自行繪製）

組別 \ 項目	垂直方向			水平方向		總和
	$h_p$ (m)	$h_f$ (m)	$U_f$ (J)	$V_R$ (m/s)	$K_f$ (J)	$E$ (J)
鐵球－測試模型 A	1.20	0.46	0.22	2.26	0.01	3.61
鐵球－測試模型 B	1.20	0.30	0.43	1.45	0.05	4.37
鐵球－測試模型 C	1.20	0.35	0.34	1.70	0.04	4.14
鐵球－測試模型 D	1.20	0.25	0.23	1.21	0.02	4.65
鐵球－測試模型 E	1.20	0.32	0.20	1.55	0.01	4.32
鐵球－測試模型 F	1.20	0.16	0.31	0.77	0.03	5.08
鐵球－測試模型 G	1.20	0.17	0.34	0.85	0.04	4.99

附註：鐵球－測試模型 A（ABS 保麗龍泡綿紙）

鐵球－測試模型 B（ABS－橡膠墊－保麗龍－泡綿紙）

鐵球－測試模型 C（ABS－刮泥板－保麗龍－泡綿紙）

鐵球－測試模型 D（ABS－非牛頓流體－保麗龍－泡綿紙）

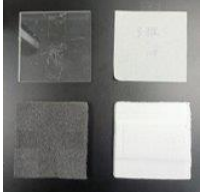
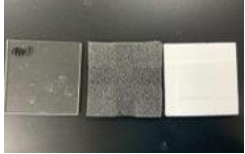
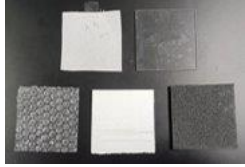
鐵球－測試模型 E（ABS－非牛頓流體－泡綿紙）

鐵球－測試模型 F（ABS－橡膠墊－非牛頓流體－保麗龍－泡綿紙）

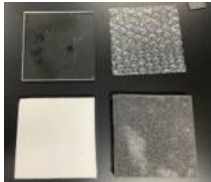
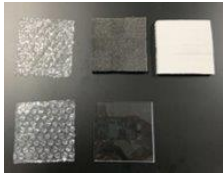
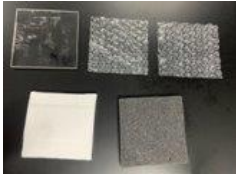
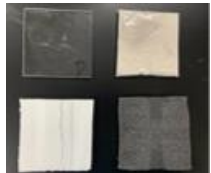

鐵球－測試模型 G（橡膠墊－ABS－非牛頓流體－保麗龍－泡綿紙）

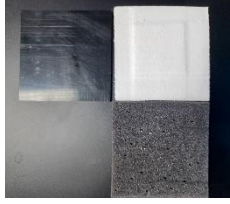
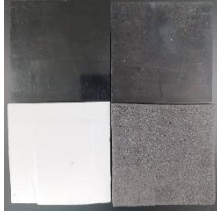
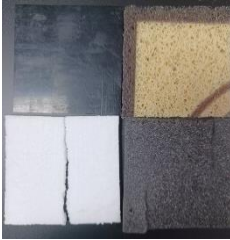
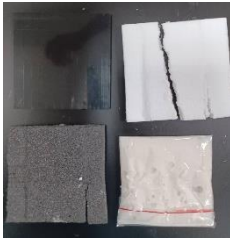
### （三）測試模型受損情形紀錄

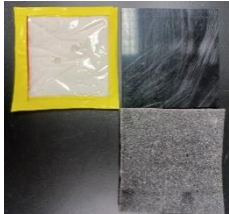
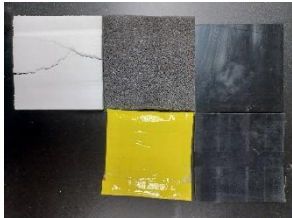
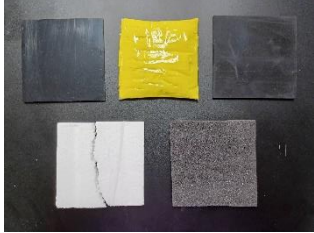
表 9 十五組實驗測試模型受損情形 （來源：自行繪製）

組別		材料層（由上至下）	受損情形
測試模型 a	鐵球	壓克力 保麗龍 泡綿紙	 <p>圖 7-1（來源：自行拍攝） （註：右上為標籤紙） 保麗龍有膠帶壓痕，其餘維持原樣。</p>
	彈力球	彈力層 壓克力 保麗龍 泡綿紙	 <p>圖 7-2（來源：自行拍攝） 保麗龍有膠帶壓痕，其餘維持原樣。</p>
測試模型 b	鐵球	壓克力 氣泡紙 保麗龍 泡綿紙	 <p>圖 7-3（來源：自行拍攝） （註：左上為標籤紙）</p>



			保麗龍有膠帶壓痕，其餘維持原樣。
	彈力球	彈力層 壓克力 氣泡紙 保麗龍 泡綿紙	 <p>圖 7-4 (來源：自行拍攝) 全數材料維持原樣。</p>
測試模型 c	鐵球	壓克力 氣泡紙 *2 保麗龍 泡綿紙	 <p>圖 7-5 (來源：自行拍攝) 保麗龍有膠帶壓痕，其餘維持原樣。</p>
	彈力球	彈力層 壓克力 氣泡紙 *2 保麗龍 泡綿紙	 <p>圖 7-6 (來源：自行拍攝) 保麗龍有膠帶壓痕，其餘維持原樣。</p>
測試模型 d	鐵球	壓克力 非牛頓流體 保麗龍 泡綿紙	 <p>圖 7-7 (來源：自行拍攝) 保麗龍破裂，其餘維持原樣。</p>
	彈力球	彈力層 壓克力 非牛頓流體 保麗龍 泡綿紙	 <p>圖 7-8 (來源：自行拍攝) 全數材料維持原樣。</p>

測試模型 A	鐵球	ABS 保麗龍 泡綿紙	 <p>圖 7-9 (來源：自行拍攝) 保麗龍有膠帶壓痕，其餘維持原樣。</p>
測試模型 B	鐵球	ABS 橡膠墊 保麗龍 泡綿紙	 <p>圖 7-10 (來源：自行拍攝) 保麗龍破裂，其餘維持原樣。</p>
測試模型 C	鐵球	ABS 刮泥板 保麗龍 泡綿紙	 <p>圖 7-11 (來源：自行拍攝) 保麗龍、泡綿紙破裂，其餘維持原樣。</p>
測試模型 D	鐵球	ABS 非牛頓流體 保麗龍 泡綿紙	 <p>圖 7-12 (來源：自行拍攝) 保麗龍、泡綿紙破裂，其餘維持原樣。</p>

測試模型 E	鐵球	ABS 非牛頓流體 泡綿紙	 <p>圖 7-13 (來源：自行拍攝) 全數材料維持原樣。</p>
測試模型 F	鐵球	ABS 橡膠墊 非牛頓流體 保麗龍 泡綿紙	 <p>圖 7-14 (來源：自行拍攝) 保麗龍破裂，其餘維持原樣。</p>
測試模型 G	鐵球	橡膠墊 ABS 非牛頓流體 保麗龍 泡綿紙	 <p>圖 7-15 (來源：自行拍攝) 保麗龍破裂，其餘維持原樣。</p>

由於未設置模擬安全帽內頭部模型，因此以上受損情形，為我們判斷測試模型在吸收撞擊能量的同時，是否有保護頭部不吸收大部分能量的重要依據。而由於以上 15 組測試模型受損情形為：帽殼（壓克力、ABS）皆維持原樣，而墊料（保麗龍）及頭墊（泡綿紙）維持原樣或破裂，測試模型整體未因撞擊而整體朝反向變形、凹陷且墊料（保麗龍）破裂代表吸收大部分撞擊能量，因此判斷以上 15 組測試模型皆 能保護頭部且吸收大部分撞擊能量。

## 二、數據分析

整合實驗數據與紀錄，我們根據幾項變因分析出以下幾點事實：

### (一) 實驗一（壓克力為帽殼）

#### 1、鐵球撞擊至測試模型 a、b、c、d 數據比較圖

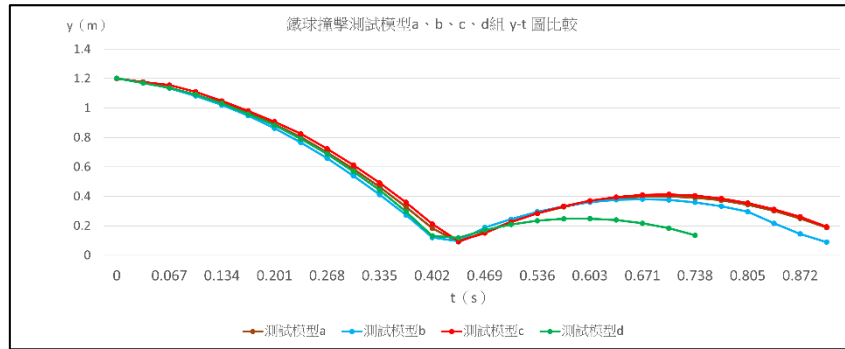


圖 8-1 鐵球撞擊至測試模型 a、b、c、d 後第一次彈跳高度之比較（來源：自行繪製）

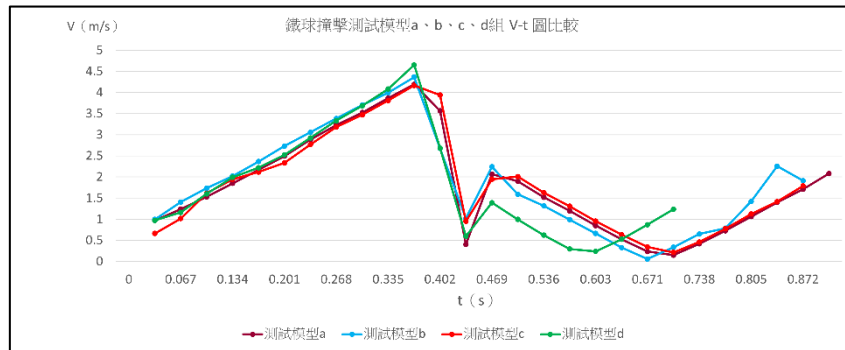


圖 8-2 鐵球撞擊至測試模型 a、b、c、d 後第一次彈跳速度之比較（來源：自行繪製）

鐵球撞擊 a 能量差計算：

$$5.88 - (0.39 \times 0.5 \times 9.8) - (0.5 \times 0.5 \times 0.12^2) = 3.96 \text{ (J)}$$

鐵球撞擊 b 能量差計算：

$$5.88 - (0.38 \times 0.5 \times 9.8) - (0.5 \times 0.5 \times 0.08^2) = 4.03 \text{ (J)}$$

鐵球撞擊 c 能量差計算：

$$5.88 - (0.41 \times 0.5 \times 9.8) - (0.5 \times 0.5 \times 0.21^2) = 3.89 \text{ (J)}$$

鐵球撞擊 d 能量差計算：

$$5.88 - (0.25 \times 0.5 \times 9.8) - (0.5 \times 0.5 \times 0.13^2) = 4.65 \text{ (J)}$$

從以上數據圖我們進行下列分析：

(1) 鐵球撞擊至增加非牛頓流體的測試模型 d 較測試模型 a 彈跳高度及彈起初

速下降，表示非牛頓流體有助測試模型吸收衝擊能量。

(2) 鐵球撞擊至增加單或雙層的測試模型 b、c 較測試模型 a 彈跳高度及彈起初速沒有變動，表示氣泡紙對測試模型吸收衝擊能量沒有顯著影響。

## 2、彈力球撞擊至測試模型 a、b、c、d 數據比較圖

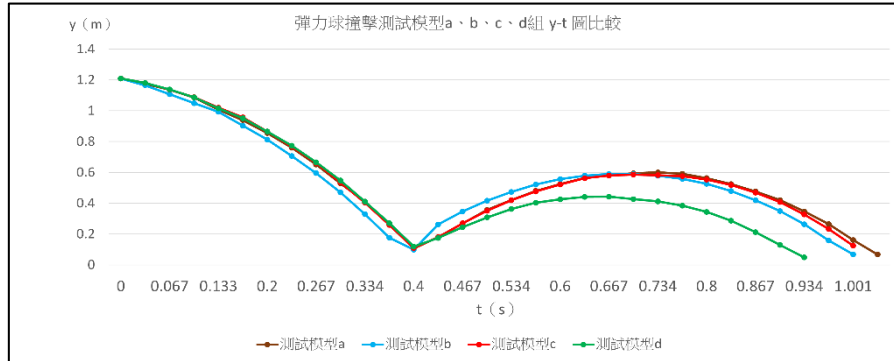


圖 8-3 彈力球撞擊至測試模型 a、b、c、d 後第一次彈跳高度之比較（來源：自行繪製）

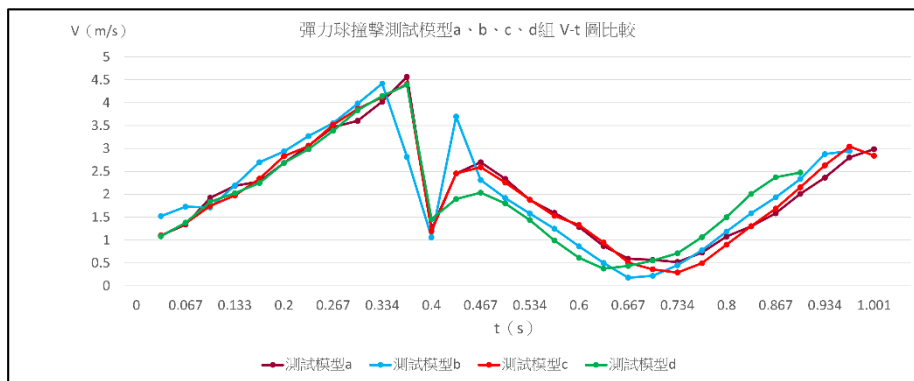


圖 8-4 彈力球撞擊至測試模型 a、b、c、d 後第一次彈跳速度之比較（來源：自行繪製）

彈力球撞擊 a 能量差計算：

$$5.88 - (0.60 \times 0.64555 \times 9.8) - (0.5 \times 0.64555 \times 0.26^2) = 3.79 \text{ (J)}$$

彈力球撞擊 b 能量差計算：

$$5.88 - (0.59 \times 0.64555 \times 9.8) - (0.5 \times 0.64555 \times 0.18^2) = 3.81 \text{ (J)}$$

彈力球撞擊 c 能量差計算：

$$5.88 - (0.59 \times 0.64555 \times 9.8) - (0.5 \times 0.64555 \times 0.38^2) = 3.82 \text{ (J)}$$

彈力球撞擊 d 能量差計算：

$$5.88 - (0.45 \times 0.64555 \times 9.8) - (0.5 \times 0.64555 \times 0.31^2) = 4.74 \text{ (J)}$$

從以上數據圖我們進行下列分析：

(1) 彈力球撞擊至增加非牛頓流體的測試模型 d 較測試模型 a 彈跳高度及彈起

初速下降，表示非牛頓流體有助測試模型吸收衝擊能量。

- (2) 彈力球撞擊至增加單或雙層的測試模型 b、c 較測試模型 a 彈跳高度及彈起初速沒有變動，表示氣泡紙對測試模型吸收衝擊能量沒有顯著影響。

### 3、實驗一總數據比較圖

表 10 實驗一中測試模型 a、b、c、d 數據記錄表（來源：自行繪製）

組別	測試模型 a (壓克力板 保麗龍 泡綿紙)	測試模型 b (壓克力板 氣泡紙 保麗龍 泡綿紙)	測試模型 c (壓克力板 氣泡紙*2 保麗龍 泡綿紙)	測試模型 d (壓克力板 非牛頓流體 保麗龍 泡綿紙)
吸收能量	3.96 J	4.03 J	3.89J	4.65J
吸收率	67.32%	68.54%	66.08%	79.11%
組別	測試模型 a (彈力層 壓克力板 保麗龍 泡綿紙)	測試模型 b (彈力層 壓克力板 氣泡紙 保麗龍 泡綿紙)	測試模型 c (彈力層 壓克力板 氣泡紙*2 保麗龍 泡綿紙)	測試模型 d (彈力層 壓克力板 非牛頓流體 保麗龍 泡綿紙)
吸收能量	3.79 J	3.81 J	3.82 J	4.74 J
吸收率	49.98%	50.19%	50.36%	62.44%

從以上數據表我們進行下列分析：

- (1) 增加彈力層作為帽殼：平均降低安全帽結構吸收衝擊能量 0.0925 J 及吸收率 17.02%，可總結以彈力球製成之彈力層對吸收衝擊力沒有幫助。
- (2) 增加氣泡紙作為墊料：單層氣泡紙平均提高安全帽結構吸收衝擊能量 0.045J 及吸收率 0.715%；雙層氣泡紙平均降低安全帽結構吸收衝擊能量 0.02J 及吸收率 0.43%，無法總結氣泡紙是否對吸收衝擊力有幫助。
- (3) 增加非牛頓流體作為墊料：平均提高安全帽結構吸收衝擊能量 0.82J 及吸收率 1.25%，可總結以太白粉製成之非牛頓流體對吸收衝擊力有幫助。

(二) 實驗二 (ABS 為帽殼)

1、鐵球撞擊至測試模型 A、B、C、D 數據比較圖

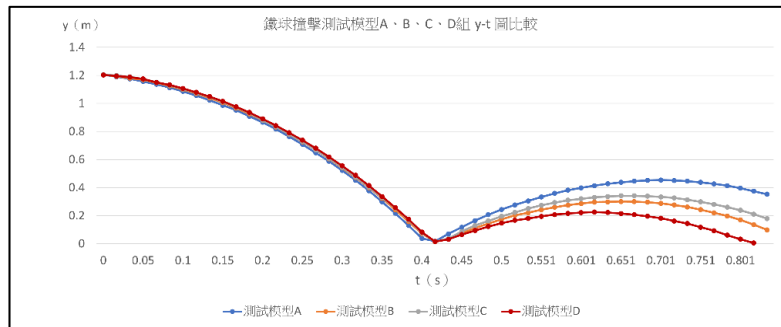


圖 8-5 鐵球撞擊至測試模型 A、B、C、D 時彈起高度的差異比較 (來源：自行繪製)

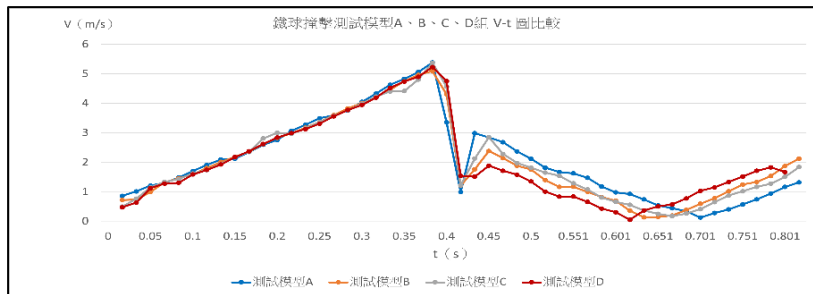


圖 8-6 鐵球撞擊至測試模型 A、B、C、D 時彈起高度的差異比較 (來源：自行繪製)

鐵球撞擊 A 能量差計算：

$$5.88 - (0.46 \times 0.5 \times 9.8) - (0.5 \times 0.5 \times 0.22^2) = 3.61 \text{ (J)}$$

鐵球撞擊 B 能量差計算：

$$5.88 - (0.30 \times 0.5 \times 9.8) - (0.5 \times 0.5 \times 0.43^2) = 4.37 \text{ (J)}$$

鐵球撞擊 C 能量差計算：

$$5.88 - (0.35 \times 0.5 \times 9.8) - (0.5 \times 0.5 \times 0.34^2) = 4.14 \text{ (J)}$$

鐵球撞擊 D 能量差計算：

$$5.88 - (0.25 \times 0.5 \times 9.8) - (0.5 \times 0.5 \times 0.23^2) = 4.65 \text{ (J)}$$

從以上數據圖我們進行下列分析：

- (1) 鐵球撞擊至測試模型的彈跳高度及彈起初速由高到低依序為：原結構的測試模型 A、增加刮泥板的測試模型 C、增加橡膠墊的測試模型 B 及增加非牛頓流體的測試模型 D。
- (2) 有助測試模型吸收衝擊能量大小為非牛頓流體、橡膠墊及刮泥板。

## 2、鐵球撞擊測試模型 A、D、E 數據比較圖

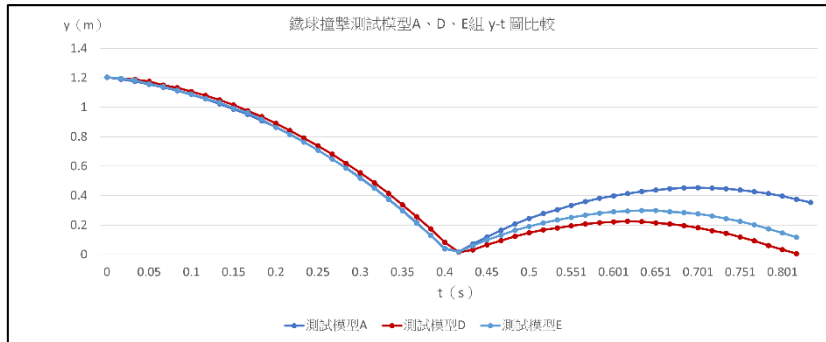


圖 8-7 鐵球撞擊至測試模型 A、D、E 時彈起高度的差異比較（來源：自行繪製）

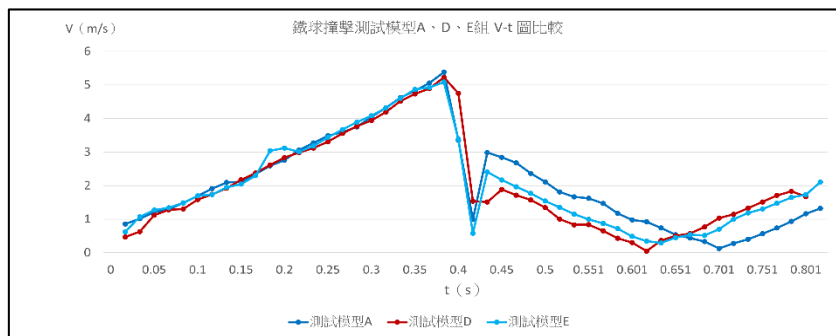


圖 8-8 鐵球撞擊至測試模型 A、D、E 時彈起速度的差異比較（來源：自行繪製）

鐵球撞擊 A 能量差計算：

$$5.88 - (0.46 \times 0.5 \times 9.8) - (0.5 \times 0.5 \times 0.22^2) = 3.61 \text{ (J)}$$

鐵球撞擊 D 能量差計算：

$$5.88 - (0.25 \times 0.5 \times 9.8) - (0.5 \times 0.5 \times 0.23^2) = 4.65 \text{ (J)}$$

鐵球撞擊 E 能量差計算：

$$5.88 - (0.32 \times 0.5 \times 9.8) - (0.5 \times 0.5 \times 0.20^2) = 4.32 \text{ (J)}$$

從以上數據圖我們進行下列分析：

- (1) 鐵球撞擊至測試模型的彈跳高度及彈起初速由高到低依序為：原結構的測試模型 A、增加非牛頓流體且減少保麗龍的測試模型 E 及增加非牛頓流體的測試模型 D。
- (2) 驗證保麗龍有助測試模型吸收衝擊能量。



### 3、鐵球撞擊測試模型 A、D、F 數據比較圖

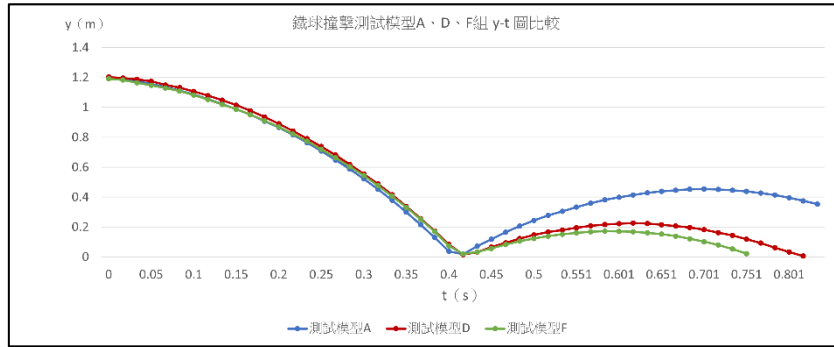


圖 8-9 鐵球撞擊至測試模型 A、D、F 時彈起高度的差異比較（來源：自行繪製）

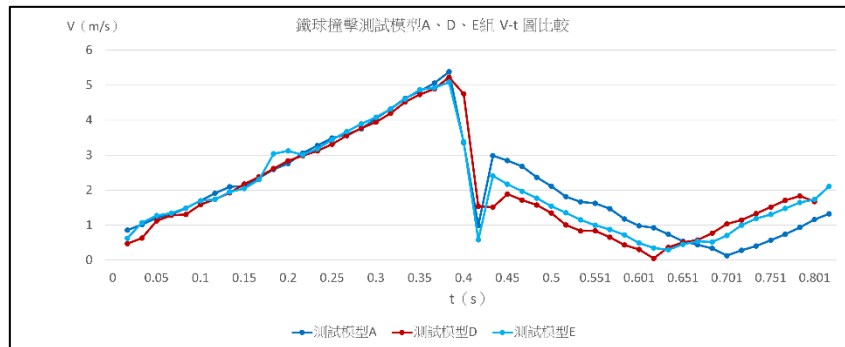


圖 8-10 鐵球撞擊至測試模型 A、D、F 時彈起速度的差異比較（來源：自行繪製）

鐵球撞擊 A 能量差計算：

$$5.88 - (0.46 \times 0.5 \times 9.8) - (0.5 \times 0.5 \times 0.22^2) = 3.61 \text{ (J)}$$

鐵球撞擊 D 能量差計算：

$$5.88 - (0.25 \times 0.5 \times 9.8) - (0.5 \times 0.5 \times 0.23^2) = 4.65 \text{ (J)}$$

鐵球撞擊 F 能量差計算：

$$5.88 - (0.16 \times 0.5 \times 9.8) - (0.5 \times 0.5 \times 0.31^2) = 5.08 \text{ (J)}$$

從以上數據圖我們進行下列分析：

- (1) 鐵球撞擊至測試模型的彈跳高度及彈起初速由高到低依序為：原結構的測試模型 A、增加非牛頓流體的測試模型 D 及增加橡膠墊及非牛頓流體的測試模型 F。
- (2) 有助測試模型吸收衝擊能量能力大小分別為橡膠墊加非牛頓流體、非牛頓流體。

#### 4、鐵球撞擊測試模型 F、G 數據比較圖

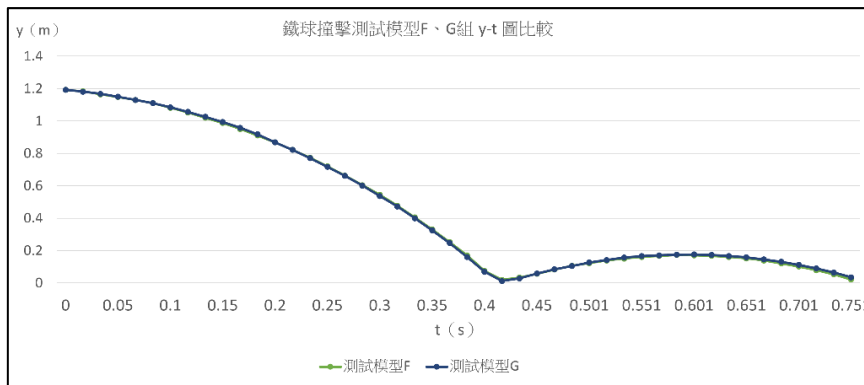


圖 8-11 鐵球撞擊至測試模型 F、G 時彈起高度的差異比較（來源：自行繪製）

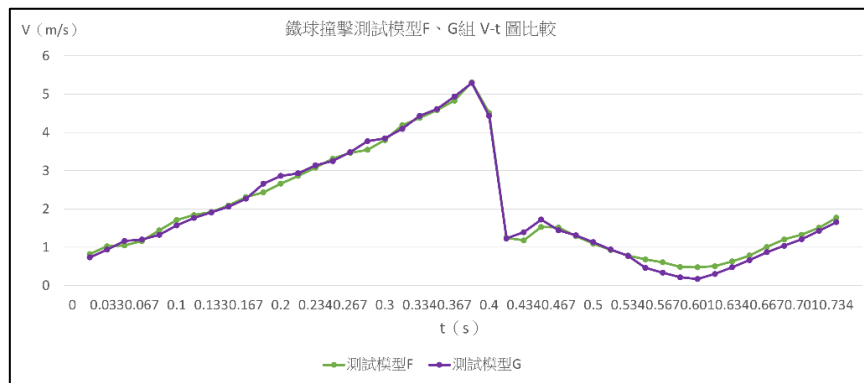


圖 8-12 鐵球撞擊至測試模型 F、G 時彈起速度的差異比較（來源：自行繪製）

鐵球撞擊 F 能量差計算：

$$5.88 - (0.16 \times 0.5 \times 9.8) - (0.5 \times 0.5 \times 0.31^2) = 5.08 \text{ (J)}$$

鐵球撞擊 G 能量差計算：

$$5.88 - (0.17 \times 0.5 \times 9.8) - (0.5 \times 0.5 \times 0.34^2) = 4.99 \text{ (J)}$$

從以上數據圖我們進行下列分析：

- (1) 鐵球撞擊至測試模型的彈跳高度並無太大的差異，但測試模型 F 的彈起初速較測試模型 G 來得小。
- (2) 表示橡膠墊作為墊料較帽殼有助測試模型吸收衝擊能量。

## 5、實驗二總數據比較圖

表 11 實驗二中測試模型 A、B、C、D、E、F、G 數據記錄表（來源：自行繪製）

組別	測試模型 A (ABS 保麗龍 泡綿紙)	測試模型 B (ABS 橡膠墊 保麗龍 泡綿紙)	測試模型 C (ABS 刮泥板 保麗龍 泡綿紙)	測試模型 D (ABS 非牛頓流體 保麗龍 泡綿紙)
吸收能量	3.61 J	4.37 J	4.14 J	4.65 J
吸收率	61.32%	74.39%	70.46%	79.14%
組別	測試模型 E (ABS 非牛頓流體 泡綿紙)	測試模型 F (ABS 橡膠墊 非牛頓流體 保麗龍 泡綿紙 )	測試模型 G (橡膠墊 ABS 非牛頓流體 保麗龍 泡綿紙)	
吸收能量	4.32 J	5.09 J	4.99 J	
吸收率	73.40%	86.43%	84.82%	

從以上數據表我們進行下列分析：

- (1) 鐵球撞擊測試模型 B、C、D 與 A 比較：增加橡膠墊作為墊料提高安全帽基本結構吸收衝擊能量 0.76J 及吸收率 13.07%；增加刮泥板作為墊料提高安全帽基本結構吸收衝擊能量 0.53J 及吸收率 9.14%；增加非牛頓流體作為墊料提高安全帽基本結構吸收衝擊能量 1.04J 及吸收率 17.82%，可總結為以橡膠墊、刮泥板製成之彈力層及非牛頓流體對吸收衝擊力有幫助。
- (2) 鐵球撞擊測試模型 D、E 與 A 比較：增加非牛頓流體替代保麗龍作為墊料提高安全帽基本結構吸收衝擊能量 0.71J 及吸收率 12.08%；減少保麗龍作為墊料降低安全帽基本結構吸收衝擊能量 0.33J 及吸收率 5.74%，可驗證以保麗龍作為墊料對吸收衝擊力有幫助。
- (3) 鐵球撞擊測試模型 F 與 A 比較：增加橡皮墊及非牛頓流體作為墊料提高安全帽基本結構吸收衝擊能量 1.48J 及吸收率 25.11%，可總結橡皮墊加非牛頓流體為實驗中吸收衝擊力最好組合。

(4) 鐵球撞擊測試模型 F 與 G 比較：橡皮墊作為帽殼較墊料提高安全帽基本結構吸收衝擊能量 0.1J 及吸收率 1.61%，可總結橡皮墊作為墊料較作為帽殼吸收衝擊力好。

## 伍、討論

### 一、實驗結果統整

#### (一) 實驗一討論

- 1、彈力球：彈力球製成之彈力層對吸收衝擊能量沒有幫助，推論是彈力層本身具有彈性，受到地面正向力後形變產生作用於測試模型的恢復力，搭配以彈跳高度計算吸收能量之計算方式使得數據呈現此結果，可找尋相關材料橡膠墊及刮泥板進行實驗二。
- 2、氣泡紙：氣泡紙對吸收衝擊力並沒有顯著的幫助，因此不進行下一步實驗。
- 3、非牛頓流體：非牛頓流體對吸收衝擊力有幫助，進行實驗二以獲更精確結果。
- 4、為進行實驗初步測試及研究上述材料能量吸收情形，實驗一使用價格較實惠且較易取得之壓克力板作為帽殼進行實驗；而為了獲得更精確之實驗結果，應使用一般安全帽帽殼材質之一 ABS 進行實驗二。

#### (二) 實驗二討論

表 12 實驗二中測試模型 A-G 數據記錄比較表（來源：自行繪製）

組別	帽殼	墊料	吸收能量	吸收率	重量
測試模型 A	ABS	保麗龍	3.61 J	61.32%	0.05761kg
測試模型 B	ABS	保麗龍、橡膠墊	4.37 J	74.39%	0.14015 kg
測試模型 C	ABS	保麗龍、刮泥板	4.14 J	70.46%	0.07638 kg
測試模型 D	ABS	保麗龍、非牛頓流體	4.65 J	79.14%	0.14761 kg
測試模型 E	ABS	非牛頓流體	4.32 J	73.40%	0.14418 kg
測試模型 F	ABS	保麗龍、橡膠墊、非牛頓流體	5.09 J	86.43%	0.23075 kg
測試模型 G	橡膠墊、ABS	保麗龍	4.99 J	84.82%	0.23075 kg

- 1、提升安全帽結構吸收率多寡之單項墊料材料：非牛頓流體 17.82% > 橡膠墊 13.07% > 刮泥板 9.14% > 保麗龍 5.74%。

- 2、單項墊料材料重量：非牛頓流體 0.09kg > 橡膠墊 0.08254kg > 刮泥板 0.01877kg > 保麗龍 0.00343kg。
- 3、將吸收率前二高的單項材料橡膠墊與非牛頓流體加入基本安全帽結構（測試模型 A），吸收率由 61.32% 提升至 86.43%，雖為實驗二中吸收效果最好組別但增加四倍重量。
- 4、橡膠墊與刮泥板皆為實驗一中彈力球替代材料，且吸收率較刮泥板高，故將橡膠墊從墊料換為帽殼進行實驗後發現吸收率降低 1.61%，表示橡膠墊較適合作為墊料而非帽殼。
- 5、觀察上表發現提升吸收率也相對會增加重量，並推論現今通用之安全帽墊料為保麗龍的原因為其重量輕、成本低、方便塑型且有一定吸收能量效果等優點。
- 6、以橡皮墊與非牛頓流體作為墊料、ABS 作為帽殼的測試模型 F 對衝擊力的吸收率為 86.43%，在十五組測試模型中效果最佳。

## 二、未來研究建議

- （一）由於曲面材料訂製困難，以小尺寸平面材料製作測試模型進行實驗，與安全帽彎曲形狀不同，未來若欲將其結構應用至安全帽，需進行如側面撞擊實驗等後續實驗。
- （二）由於無法取得正規測試安全帽安全性之墜落裝置及設備，我們使用自行設計的撞擊實驗及裝置代替進行實驗，並使用物理影像分析軟體 tracker 進行實驗影像分析，模擬情形及所得數據皆為初步資料，未來若欲將其結構應用至安全帽，需與正規測試廠或大學端合作，以求得較準確且適用於正規測試標準的數據。
- （三）經由實驗可知由太白粉製成的非牛頓流體加入安全帽結構有助於吸收衝擊能量，但根據實驗過程觀察，若欲將其應用至安全帽或生活中各類防護撞擊用品，需找尋其他材料在維持高吸收率的前提下實現安全帽輕量化。

## 陸、結論

- 一、增加各特殊材料之模擬安全帽結構（測試模型）的吸收率多寡依序為：非牛頓流體 79.14%、橡膠墊 74.39%及刮泥板 70.46%，三者皆能幫助吸收撞擊能量、提升安全性，未來可將此初步測試結果應用於安全帽結構層研發。
- 二、保麗龍普遍成為安全帽的墊料之原因，為其在幫助吸收撞擊能量、提升安全性前提下，同時擁有重量輕、成本低及方便塑型等優點。
- 三、以橡皮墊與非牛頓流體作為墊料、ABS 作為帽殼的測試模型 F 對衝擊力的吸收率為 86.43%，在十五組測試模型中效果最佳。
- 四、若欲將測試模型應用至安全帽或生活中各類防護撞擊用品，需改良上述材料並用正規裝置進行測試，在維持高吸收率的前提下，實現符合標準之安全帽輕量化。

## 柒、參考文獻資料

林瀟葶 陳柏諺 張翔荏（2021）。來個碰碰-彈力橡皮筋球之非彈性碰撞分析。取自

<https://reurl.cc/0E6dGl>

陳家葦（2019）。軟性防禦力場—論非牛頓流體性質與手機殼應用。取自

<https://reurl.cc/lvZNvA>

鄭煜勳（2016）。具頭顱之安全帽動態衝擊分析。高雄市：正修科技大學機電工程研究所。

林志融（2015）。應用有限元素人偶頭頸模型評估安全帽之顱顏防護效果。臺南市：國立

成功大學機械工程學系。

牛頓流體及非牛頓流體的定義&在化學及物理學上有何不同&牛頓流體及非牛頓流體的分子結構有何不同？取自

<https://reurl.cc/o0ZVLI>

莊志宏（2001）。複合密度墊料於機車安全帽之有限元素分析。臺南市：國立成功大學醫學工程研究所。

謝瑋庭（2016）。剪切增稠高分子混合物抗衝擊與能量耗散性質之研究。台北市：臺灣師

範大學材料科學與工程系。

T. J. Gibson, K. Thai, Helmet protection against basilar skull fracture, ATSB Reserch and Analysis.

Report Road Safety, Australian Transport Safety Bureau, 2007.

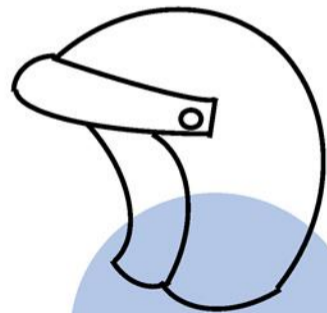
## 【評語】 051813

本作品探討以非牛頓流體提升安全帽結構吸收撞擊力能量之能力，作品探討的問題為本土機車騎士安全防護的重要議題。由結果與影像軟體分析及動、位能相關公式分析可知，橡膠墊、刮泥板及非牛頓流體對測試模型吸收衝擊力能量有幫助。本作品在實驗設計、分析上，雖能顯現議題，但對於非牛頓流體的那一個性質或參數可以增加吸收撞擊力之能量並沒有著墨，相當可惜。



# 作品海報

探討非牛頓流體對安全帽結構  
吸收衝擊力的影響





## 摘要

本研究期望透過研究成果提供安全帽結構安全性提升之改變基礎。從數據分析與結論可知橡膠墊、刮泥板及非牛頓流體在不傷害頭部之餘對安全帽模擬結構(後文皆稱測試模型)吸收衝擊能量有幫助，我們也以此為依據討論上述特殊材料成為安全帽結構的可行性。

## 壹、前言

### 一、研究動機

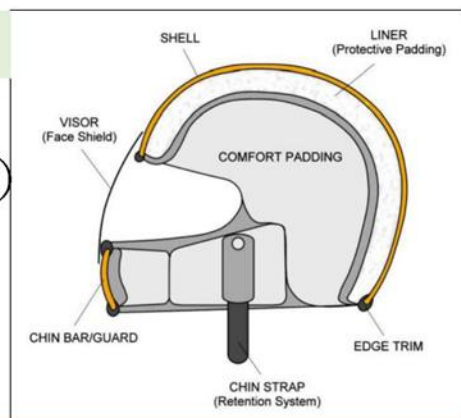
觀看科普影片學習到非牛頓流體的黏度會隨著所受壓力增加而變大，甚至成為暫時性固體，所以思考其是否能提升撞擊防護設備之安全性？進行文獻查詢及融合生活經驗後，我們決定以模擬撞擊實驗，研究將非牛頓流體及其他材料加入安全帽基本結構是否能提升其安全性，以及可行性及未來研究方向建議。

### 二、研究目的

- (一) 增加各種材料之測試模型的能量耗散率為何？
- (二) 保麗龍對於安全帽基本結構吸收撞擊能量是否有實質幫助？
- (三) 何種特殊材料加入測試模型對吸收能量最有幫助？
- (四) 探討加入特殊材料後的安全帽是否比一般安全帽更具安全性及可行性為何？

### 三、文獻回顧

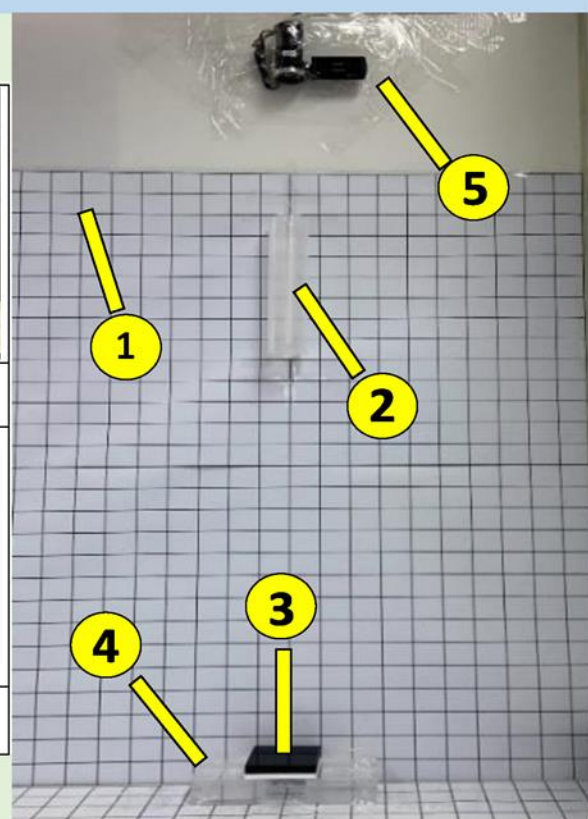
安全帽上半部分結構：1、帽殼 (Shell) 安全帽最外層，利用變形將衝擊力分散，避免尖銳物穿刺，ABS為材料之一。2、墊料 (Liner) 利用破壞封閉氣室的結構吸收衝擊能量，材料多為保麗龍。3、頭墊 (Comfort Padding) 無吸收能量作用，泡綿為材料選擇之一。(莊智宏，2001)



## 貳、研究設備及器材

### 一、實驗器材及軟體

ABS	保麗龍	泡綿紙	壓克力板	氣泡紙	橡膠墊
刮泥板	非牛頓流體	鐵球	彈力球	Tracker	Excel



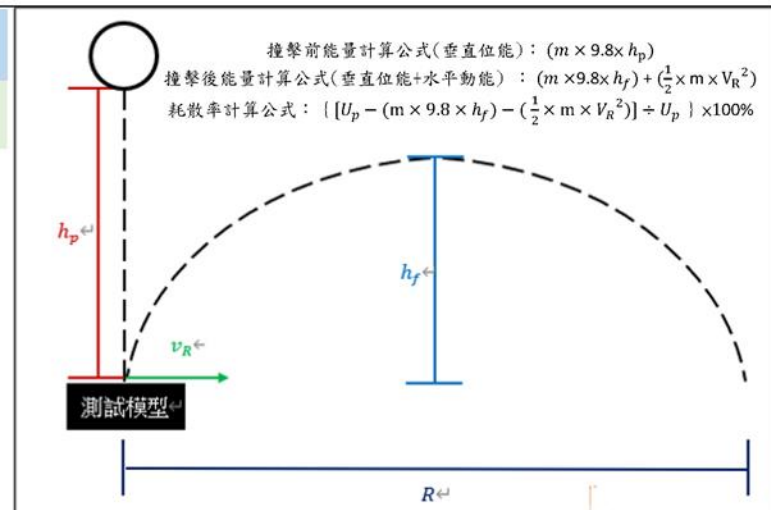
### 二、實驗裝置

1	格線板	每格邊長5cm，為擷取實驗數據長度標準。
2	軌道	確保球體下墜軌道固定。
3	測試模型	同規格、不同材料組成，測試不同結構吸收的衝擊能量。
4	支架	支撐、固定測試模型。
5	攝影機	記錄球體運動過程中各種物理量。

## 參、研究過程與方法

### 一、研究方法

- (一) 實驗一：以壓克力模擬安全帽殼  
鐵球及彈力球撞擊測試模型a、b、c、d各20次後，進行數據分析並製成圖形並討論。
- (二) 實驗二：以ABS模擬安全帽殼  
鐵球撞擊測試模型A、B、C、D、E、F、G各20次後，進行數據分析並製成圖形並討論。



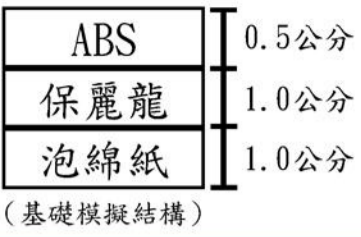
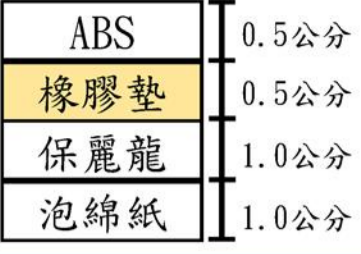

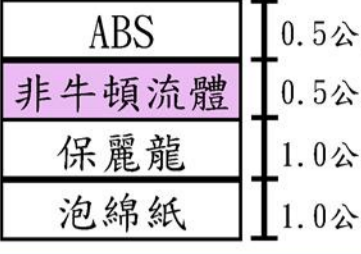
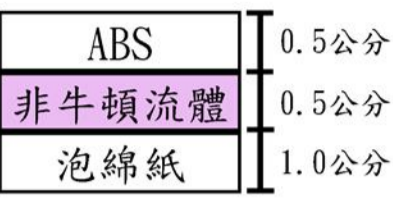
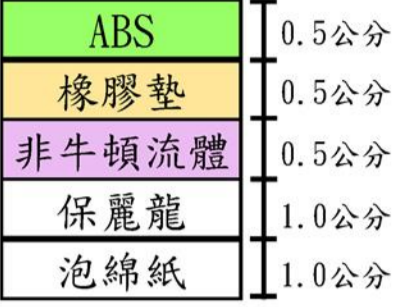
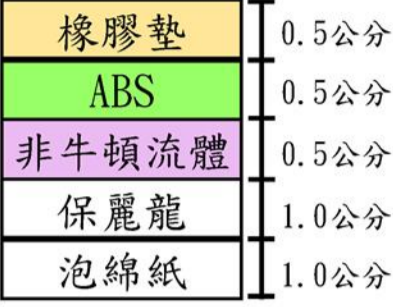
### 二、測試模型說明

- (一) 實驗一：以壓克力模擬安全帽殼

測試模型a	測試模型b	測試模型c	測試模型d																														
<table border="1"><tr><td>壓克力</td><td>0.5公分</td></tr><tr><td>保麗龍</td><td>1.0公分</td></tr><tr><td>泡綿紙</td><td>1.0公分</td></tr></table> (基礎模擬結構)	壓克力	0.5公分	保麗龍	1.0公分	泡綿紙	1.0公分	<table border="1"><tr><td>壓克力</td><td>0.5公分</td></tr><tr><td>氣泡紙</td><td>0.1公分</td></tr><tr><td>保麗龍</td><td>1.0公分</td></tr><tr><td>泡綿紙</td><td>1.0公分</td></tr></table>	壓克力	0.5公分	氣泡紙	0.1公分	保麗龍	1.0公分	泡綿紙	1.0公分	<table border="1"><tr><td>壓克力</td><td>0.5公分</td></tr><tr><td>雙層氣泡紙</td><td>0.2公分</td></tr><tr><td>保麗龍</td><td>1.0公分</td></tr><tr><td>泡綿紙</td><td>1.0公分</td></tr></table>	壓克力	0.5公分	雙層氣泡紙	0.2公分	保麗龍	1.0公分	泡綿紙	1.0公分	<table border="1"><tr><td>壓克力</td><td>0.5公分</td></tr><tr><td>非牛頓流體</td><td>0.5公分</td></tr><tr><td>保麗龍</td><td>1.0公分</td></tr><tr><td>泡綿紙</td><td>1.0公分</td></tr></table>	壓克力	0.5公分	非牛頓流體	0.5公分	保麗龍	1.0公分	泡綿紙	1.0公分
壓克力	0.5公分																																
保麗龍	1.0公分																																
泡綿紙	1.0公分																																
壓克力	0.5公分																																
氣泡紙	0.1公分																																
保麗龍	1.0公分																																
泡綿紙	1.0公分																																
壓克力	0.5公分																																
雙層氣泡紙	0.2公分																																
保麗龍	1.0公分																																
泡綿紙	1.0公分																																
壓克力	0.5公分																																
非牛頓流體	0.5公分																																
保麗龍	1.0公分																																
泡綿紙	1.0公分																																



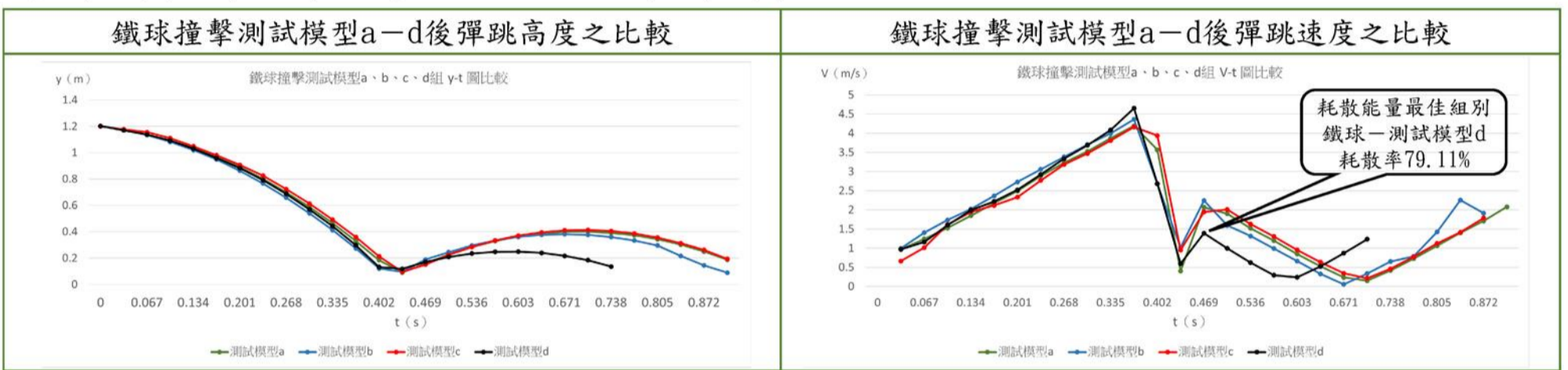
(二) 實驗二：以ABS模擬安全帽殼

測試模型A	測試模型B	測試模型C	測試模型D
			
測試模型E	測試模型F	測試模型G	
			

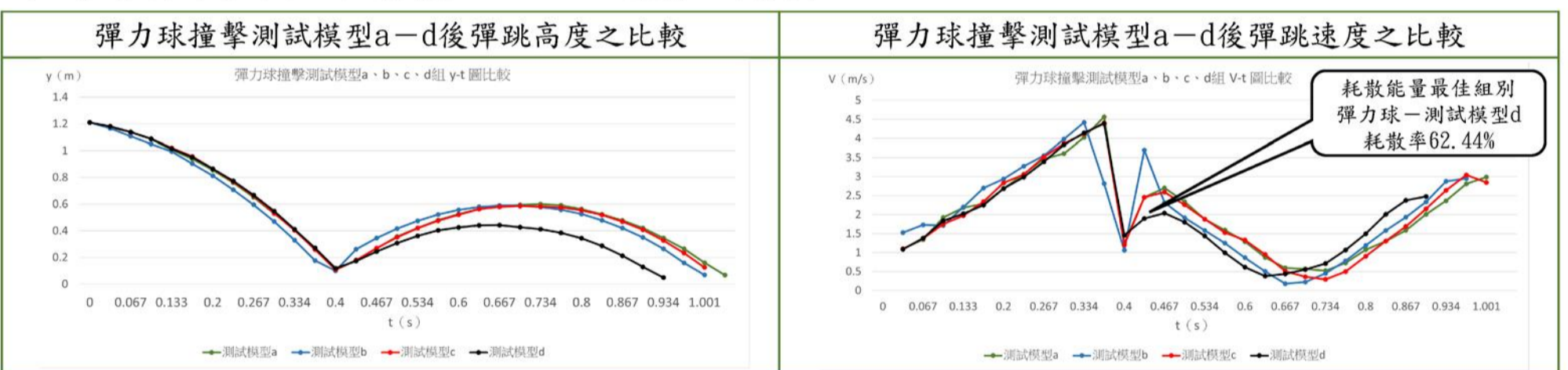
肆、研究成果

一、實驗一數據分析

(一) 鐵球撞擊至測試模型a、b、c、d數據比較圖表



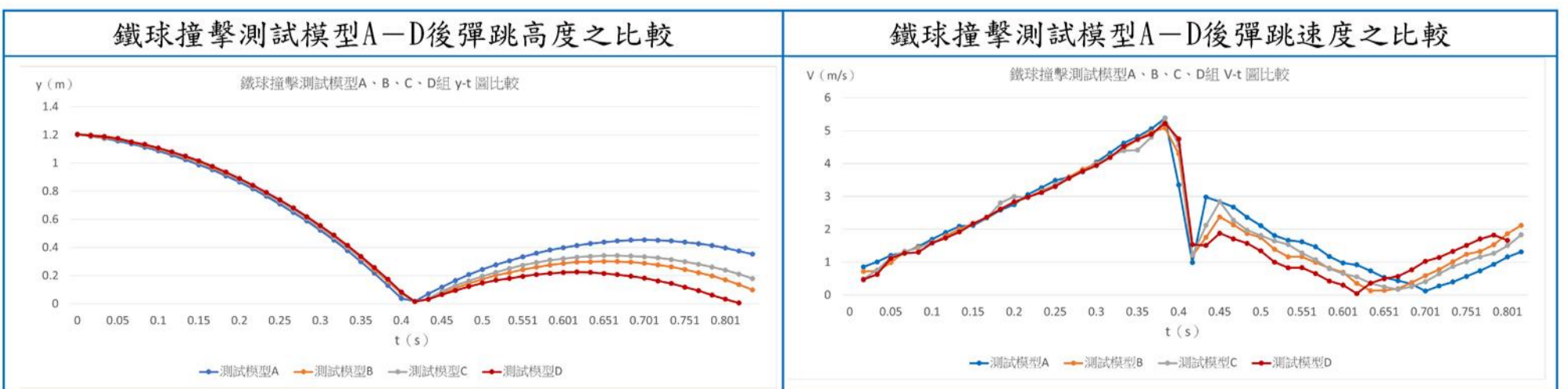
(二) 彈力球撞擊至測試模型a、b、c、d數據比較圖表



模擬材料層	鐵球-測試模型a	鐵球-測試模型b	鐵球-測試模型c	鐵球-測試模型d
吸收能量	3.96J	4.03J	3.89J	4.65J
耗散率	67.32%	68.54%	66.08%	79.11%
模擬材料層	彈力球-測試模型a	彈力球-測試模型b	彈力球-測試模型c	彈力球-測試模型d
吸收能量	3.79J	3.81J	3.82J	4.74J
耗散率	49.98%	50.19%	50.36%	62.44%

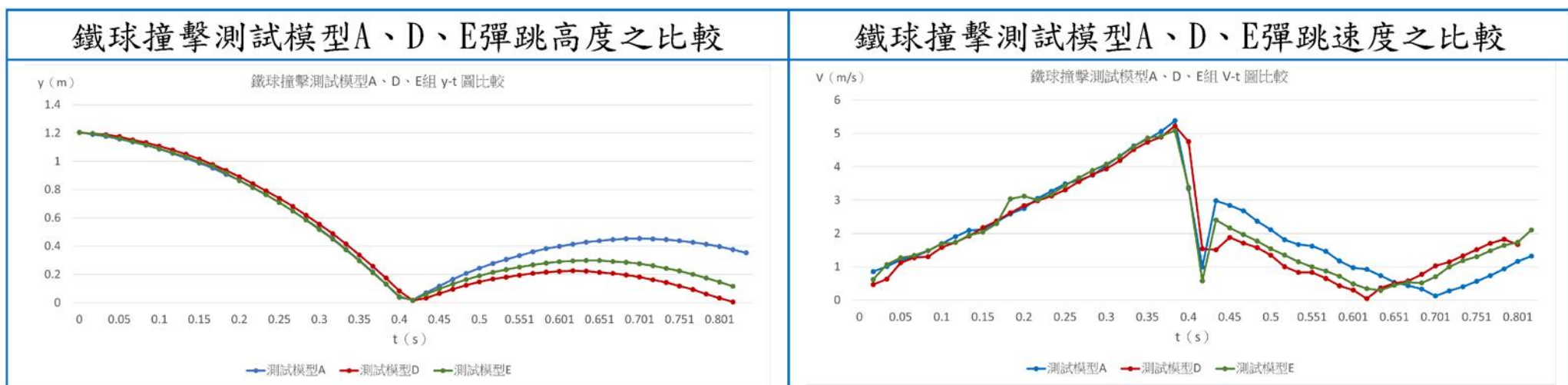
二、實驗二數據分析

(一) 鐵球撞擊測試模型A、B、C、D實驗數據比較圖表

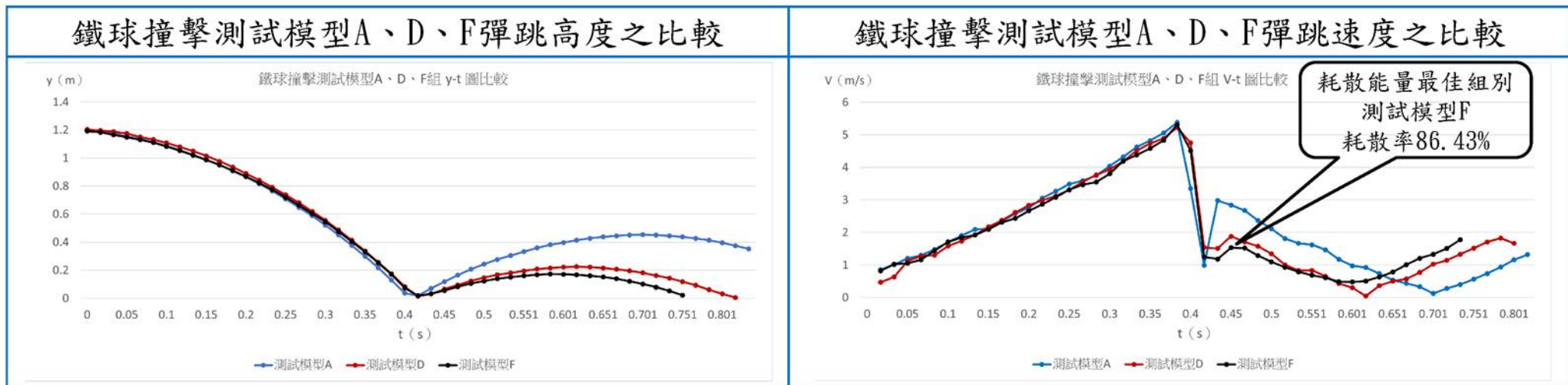




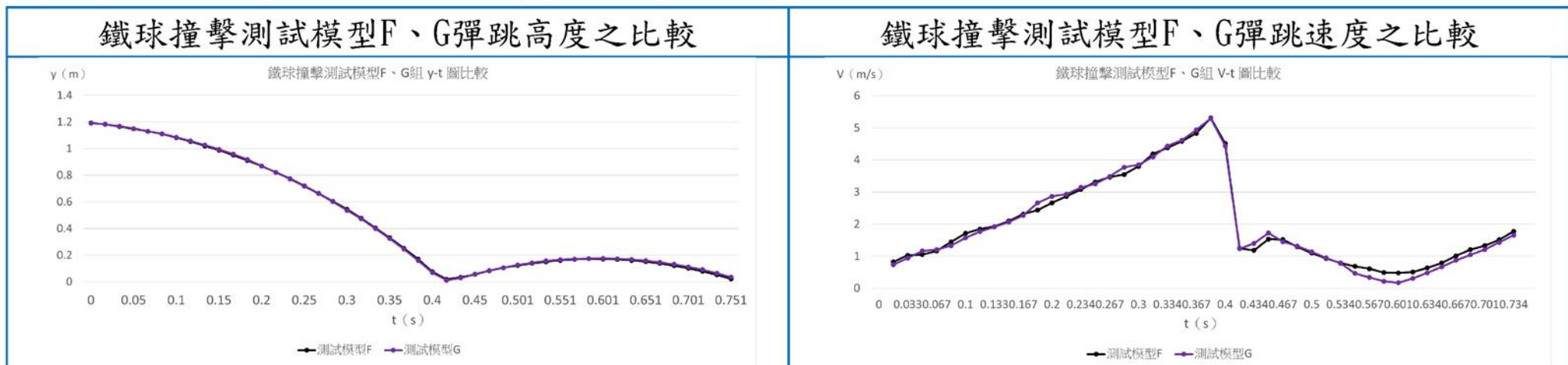
## (二) 鐵球撞擊測試模型A、D、E實驗數據比較圖表



## (三) 鐵球撞擊測試模型A、D、F實驗數據比較圖表



## (四) 鐵球撞擊測試模型F、G實驗數據比較圖表



模擬材料層	鐵球—測試模型A	鐵球—測試模型B	鐵球—測試模型C	鐵球—測試模型D
吸收能量	3.61J	4.37J	4.14 J	4.65J
耗散率	61.32%	74.39%	70.46%	79.14%
測試模型質量	0.06kg	0.14kg	0.076kg	0.15kg
模擬材料層	鐵球—測試模型E	鐵球—測試模型F	鐵球—測試模型G	
吸收能量	4.32J	5.09J	4.99J	
耗散率	73.40%	86.43%	84.82%	
測試模型質量	0.14kg	0.23kg	0.23kg	

## 伍、討論

- 一、單項墊料提升耗散率為非牛頓流體17.82% > 橡膠墊13.07% > 刮泥板9.14% > 保麗龍5.74%；重量依序為非牛頓流體90.00g > 橡膠墊83.14g > 刮泥板18.77g > 保麗龍3.43g。
- 二、測試模型對衝擊能量耗散率的計算公式： $\{ [U_p - (m \times 9.8 \times h_f) - (\frac{1}{2} \times m \times V_R^2)] \div U_p \} \times 100\%$ ；測試模型A的 $U_p = 5.88 \text{ J}$ 、 $h_f = 0.46 \text{ m}$ 、 $V_R = 0.22 \text{ m/s}$ ；測試模型F的 $U_p = 5.88 \text{ J}$ 、 $h_f = 0.16 \text{ m}$ 、 $V_R = 0.31 \text{ m/s}$ ，可分別得出耗散率61.32%及86.43%。
- 三、測試模型F的 $U_p = 5.88 \text{ J}$ 、 $h_f = 0.16 \text{ m}$ 、 $V_R = 0.31 \text{ m/s}$ ；測試模型G的 $U_p = 5.88 \text{ J}$ 、 $h_f = 0.17 \text{ m}$ 、 $V_R = 0.34 \text{ m/s}$ ，可分別得出耗散率86.43%及84.82%。推測是因ABS屬硬質材料，相較於橡膠墊等軟質材料可以使衝擊力道分散並減少衝擊力的接觸時間，因此可以有效吸收撞擊能量。

## 陸、結論

- 一、增加各單層材料之測試模型的耗散率多寡依序為：非牛頓流體79.14%、橡膠墊74.39%及刮泥板70.46%，三者皆能提升安全性，未來可應用於安全帽結構層。
- 二、所有測試模型中以測試模型F的耗散率（86.43%）最佳，由此可以得知以ABS作為帽殼，加入非牛頓流體及橡膠墊作為墊料的安全帽結構有最好的吸收衝擊能量的能力。
- 三、以ABS作為帽殼的測試模型耗散率較較以橡膠墊作為帽殼多出1.61%，可知ABS等硬質材料相較於軟質材料作為帽殼效果較佳。
- 四、同時加入橡膠墊及非牛頓流體層的測試模型可以吸收最多的衝擊能量，但是測試模型的重量也相對較重，因此若欲實現此測試模型於安全帽結構中，基於舒適性的考量，需改良為輕量化材料以符合配戴的可行性。

## 柒、參考文獻資料

1. 林鴻華 陳柏諺 張翔荳 (2021)。來個碰碰-彈力橡皮筋球之非彈性碰撞分析。取自 <https://reurl.cc/0E6dG1>
2. 陳家華 (2019)。軟性防禦力場—論非牛頓流體性質與手機殼應用。取自 <https://reurl.cc/lvZNVa>
3. 鄭煜勳 (2016)。具頭顱之安全帽動態衝擊分析。高雄市：正修科技大學機電工程研究所。
4. 林志融 (2015)。應用有限元素人偶頭頸模型評估安全帽之顛顛防護效果。臺南市：國立成功大學機械工程學系。
5. 牛頓流體及非牛頓流體的定義&在化學及物理學上有何不同&牛頓流體及非牛頓流體的分子結構有何不同？取自 <https://reurl.cc/o0ZVL1>
6. 莊志宏 (2001)。複合密度墊料於機車安全帽之有限元素分析。臺南市：國立成功大學醫學工程研究所。
7. 謝璋庭 (2016)。剪切增稠高分子混合物抗衝擊與能量耗散性質之研究。台北市：臺灣師範大學材料科學與工程系。
8. T. J. Gibson, K. Thai, Helmet protection against basilar skull fracture, ATSB Reserch and Analysis . Report Road Safety, Australian Transport Safety Bureau, 2007.