

2023 年【科學探究競賽-這樣教我就懂】

國中組 成果報告表單

題目名稱：扭轉乾坤

一、摘要

地震頻傳，讓我們重視起建築的減震設計。我們搜尋資料發現，扭轉柱擁有可扭轉與壓縮的特性，遂決定以減震做結合，探討不同扭轉柱晃動程度之比較。本實驗將分別探討：不同底面形狀、不同磅數的扭轉柱與大小彈簧，及不同乳膠圓面的半徑大小之減震比較。實驗結果顯示，1.扭轉柱在相同衝擊力下皆有顯著的減震效果 2.底面為正五邊形的扭轉柱之效能為最好 3.大部分柱體隨著乳膠圓膜面積增加，下沉深度也增加，但五邊形 200 磅的扭轉柱反而下降 4. 以 200 磅的紙製作五邊形扭轉柱的減震效果明顯優於其他種類的扭轉柱。

二、探究題目與動機

台灣位於地震帶上，時常發生大大小小的地震。在去年 9 月 18 日，台灣也發生了芮氏規模 6.8 的大地震，全台有感。也喚起台灣人對於 921 的恐懼。這也讓我們重視起建築的穩定性，探討什麼建築設計可以減少搖晃。在一次社團的課程中，聽到學長們發表「三浦摺疊報告」覺得十分有趣，發現利用三浦摺疊的方式摺紙，可以讓小小一張紙承載很重的重量。原來不同的折疊方式竟然可以使原本紙張的效能多上千倍。在上網搜尋資料後，我們想：「如果我們使用 *Kresling* 結構的立轉柱，以可以扭轉與壓縮的特性，是否可以減少晃動的幅度？對於減震是否有幫助？」遂開始了我們的研究。

三、探究目的與假設

(一)名詞釋義：

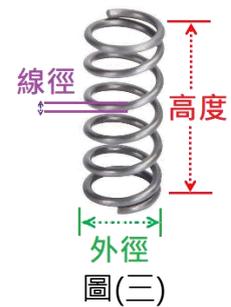
1. ***Kresling origami module***：Kresling 褶皺是一種在扭轉下自然產生的褶皺圖案。是由平行四邊形排列成一排，對應於柱體結構中的一「層」，連續性的平行四邊形向左或向右傾斜固定角度，而且每一層可以相互堆疊，它的特性是一個頂點有六個邊，兩邊是谷摺，四邊是山摺。這種特殊的幾何形狀呈現，透過特殊角度，可以向右傾斜壓縮，非常類似彈簧。如圖(一)便是利用此模式製作的紙袋。本研究利用「菱形」堆疊四層，菱形內角因底面不同而有不同角度，我們將底面區分為「正五邊形」(菱形面一內角 108°)、「正六邊形」(菱形面一內角 120°)與「正八邊形」(菱形面一內角 135°)。如圖(二)所示。



圖(一)利用 Kresling 摺紙模式所生產的葡萄酒手提袋

圖片引自：<https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/2003/2003.10411.pdf> 及 <https://reurl.cc/ml7rkW>

- 減震：將一顆小球懸吊距離乳膠圓膜或實驗物品 20cm 的距離下墜，計算乳膠圓膜因重力衝擊所下沉的深度，深度越淺，表示減震越佳。
- 小彈簧：線徑 2mm，外徑 30mm，高度 50mm 的彈簧，形如圖(三)。
- 大彈簧：線徑 2.5mm，外徑 30mm，高度 50mm 的彈簧。



圖(二)利用 Kresling 模式，自製側面為菱形堆疊四層、底面為正多邊形可壓縮立體柱

(二)研究目的

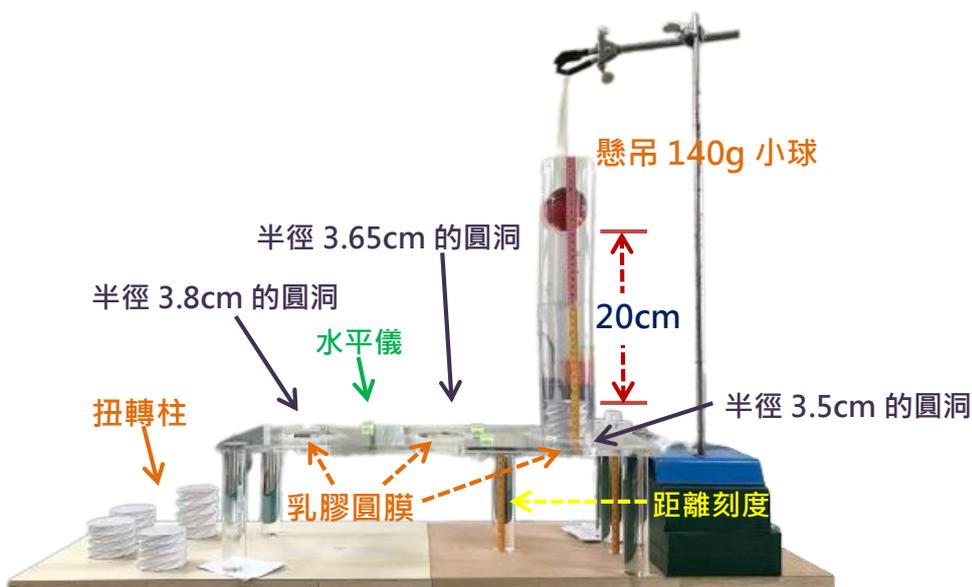
本研究採用兩種不同磅數的紙張，為 140 磅的圖畫紙與 200 磅的道林紙，底面積皆為 25 平方公分來製作 Kresling 模式堆疊四層的柱體，以下皆稱呼該柱體為「扭轉柱」

- 探討沒有放置扭轉柱和放置扭轉柱的減震比較。
- 探討相同磅數下，不同底面形狀的扭轉柱之減震比較。
- 探討不同底面形狀的 140 磅扭轉柱與大小彈簧的減震比較。
- 探討不同底面形狀的 200 磅扭轉柱與大小彈簧的減震比較。
- 探討不同乳膠圓面的半徑大小與不同紙張磅數在同底面形狀時的扭轉柱減震比較。

四、探究方法與驗證步驟

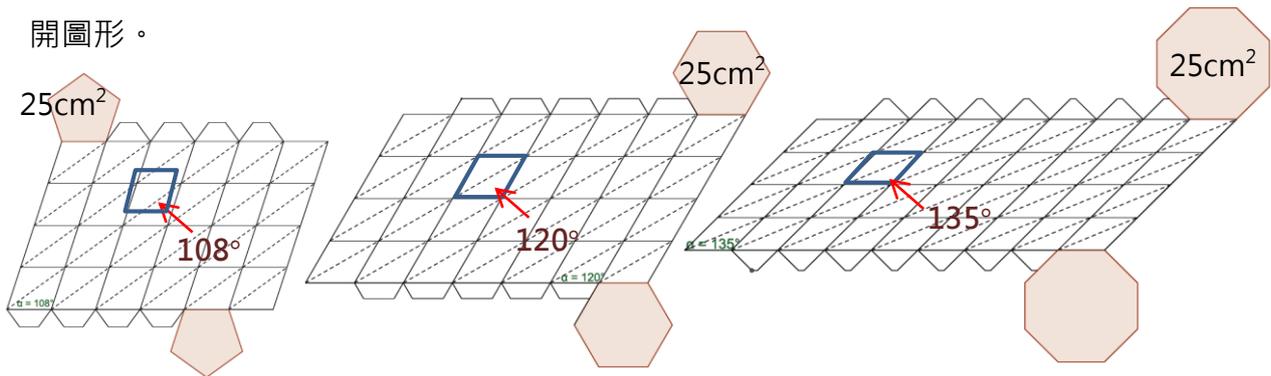
(一)研究設備

本次研究用到的設備有 Excel、GeoGebra、手機、140 磅圖畫紙、200 磅道林紙、雙面膠、大小彈簧、140 克壓克力小球、乳膠薄膜.....等，如下圖所呈現的實驗硬體設備。



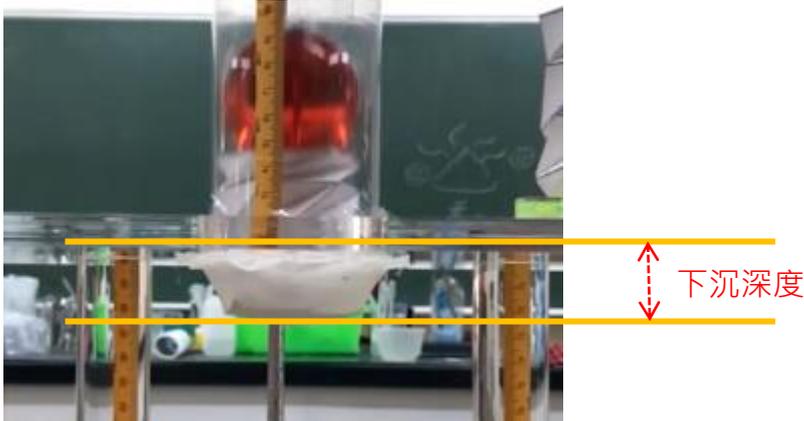
(二)實驗流程

1. 利用數學軟體 GeoGebra 繪製扭轉柱的展開圖，並將之切割黏貼成柱，如圖(五)呈現的展開圖形。



圖(五) 底面為正五、六、八邊形的 Kresling 模式扭轉柱展開圖

2. 對照組：空白實驗，不放置彈簧和扭轉柱，使用慢速錄影看小球下沉深度，共實驗五次。
實驗組：乳膠圓膜上擺放彈簧與扭轉柱，使用慢速錄影看小球下沉深度，各實驗五次。
圖(六)為慢速錄影下，扭轉柱因重力衝擊所下沉的深度。



圖(六) 扭轉柱因重力衝擊所下沉的深度示意圖

3. 將數據紀錄於 Excel 軟體，並利用 Excel 中的資料分析中的 t 檢定、單因子變異數分析 來進行減震效果比較。

(三)實驗數據

我們將實驗結果的數據列出表(一)，單位是 cm。

表(一) 小球底部距離物品高度 20cm 自由下墜時，乳膠圓面因受重力加速度影響下沉深度

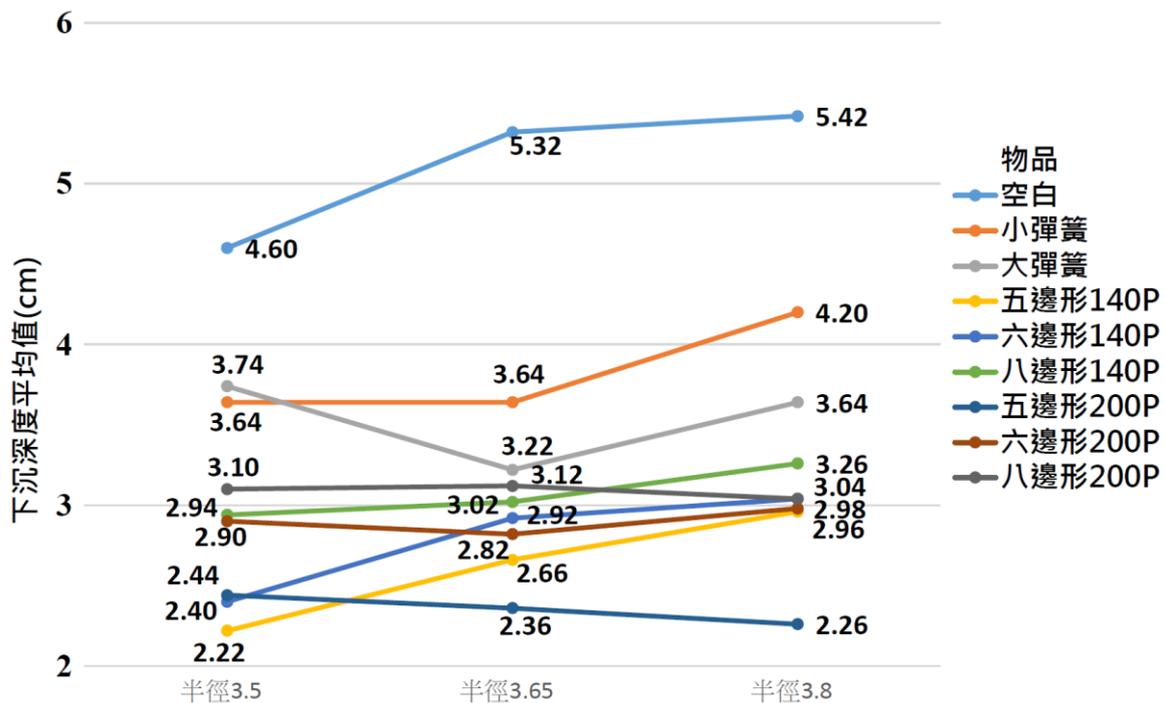
		空白	小彈簧	大彈簧	五-140P	六-140P	八-140P	五-200P	六-200P	八-200P
1 號 洞 半徑 3.50	1	4.4	3.5	3	2.5	2.7	3.10	2.4	3	3
	2	4.5	3.8	3.9	2.1	2.4	3	2.3	2.9	3.3
	3	4.6	3.6	4.1	2.1	2.2	2.7	2.4	3	3.1
	4	4.8	3.8	3.7	2.2	2.5	2.9	2.5	3	3
	5	4.7	3.5	4	2.2	2.2	3	2.6	2.6	3.1
2 號 洞	1	5.3	3.6	3.1	2.6	2.3	3.1	2.1	2.9	2.9
	2	5.2	3.6	3.5	3.6	3.5	3.2	3.1	2.8	3.1
	3	5.2	3.5	3.1	2	3.5	2.7	2.3	2.9	3.3

半徑	4	5.2	3.7	3.3	2.3	2.6	3	2.1	2.9	3.2
	3.65	5.7	3.8	3.1	2.8	2.7	3.1	2.2	2.6	3.1
3 號 洞 半徑	1	5	4.2	3.6	3	3.1	3.4	2.3	3	3.1
	2	5	4.3	3.5	3	3.1	3.4	2.1	3	3.2
	3	5.6	4.1	3.8	2.9	3	3.4	2.2	2.9	3.2
	4	5.8	4.3	3.6	2.9	3	3.1	2.4	3.1	2.8
3.80	5	5.7	4.1	3.7	3	3	3	2.3	2.9	2.9

五、結論與生活應用

(一)結論

- 我們將上述數據繪成平均下沉深度的折線圖，發現對照組空白實驗下沉深度最深，而五邊形 200 磅的扭轉柱，下沉深度最淺，且隨著乳膠圓膜面積增加，下沉深度反而下降。



圖(六) 不同圓洞半徑下，不同實驗物品小球下沉的平均深度

- 將對照組(空白)與實驗組(扭轉柱 140P、200P)下沉深度進行單因子變異數分析，如表(二)，發現不論乳膠圓膜面積大小，兩者下沉深度差異 p 值皆達到 <0.05 的顯著水準，表示只要放上 140 或 200 磅的扭轉柱，在相同的衝擊力下，皆可以有效達到減震的效果。

表(二) 對照組(空白)與實驗組(扭轉柱 140、200P)單因子變異數分析的 F 值與 p 值

圓洞(乳膠圓膜)半徑	F 值	p 值
半徑 3.5	125.9326	$6.2 \times 10^{-19} < 0.05$
半徑 3.65	34.53484	$1.09 \times 10^{-11} < 0.05$
半徑 3.8	138.8755	$1.66 \times 10^{-19} < 0.05$

註：* 表示達 0.05 的顯著水準

- 在同磅數的扭轉柱，不同形狀的下沉深度差異比較，如表(三)。除了在半徑 3.65，140 磅的扭轉柱的下沉深度無明顯差異之外，其餘皆有達到 p 值 <0.05 的顯著水準，表示五邊形

的下沉深度較淺，減震效果比六邊形和八邊形好。

表(三) 140 磅與 200 磅不同底面形狀的扭轉柱的單因子變異數分析之 F 值與 p 值

	140 磅		200 磅	
	F 值	p 值	F 值	p 值
半徑 3.5	22.16842	$9.34 \times 10^{-5*} < 0.05$	29.62069	$2.28 \times 10^{-5*} < 0.05$
半徑 3.65	0.732673	0.50 > 0.05	10.12903	$0.003^* < 0.05$
半徑 3.8	8.227273	$0.006^* < 0.05$	53.32075	$1.07 \times 10^{-6*} < 0.05$

註：* 表示達 0.05 的顯著水準

4. 不同圓洞半徑下，140 磅的扭轉柱與大小彈簧的小球下沉深度差異比較如表(四)所示。發現大小彈簧在半徑為 3.5cm 的圓洞下沉深度無明顯差異；此外，若與 140 磅底面不同的扭轉柱比較，發現下沉深度和彈簧相比有顯著差異，所以我們製作的 140 磅扭轉柱的減震效果比彈簧佳。

表(四) 140 磅的扭轉柱與彈簧的單因子變異數分析、大小彈簧 t 檢定之值

	140 磅與彈簧(共 5 組)		大小彈簧	
	F 值	p 值	t 值	p 值
半徑 3.5	38.7556	$3.74 \times 10^{-9*} < 0.05$	0.48112	0.32 > 0.05
半徑 3.65	4.4720	$0.009^* < 0.05$	4.42718	$0.001^* < 0.05$
半徑 3.8	96.8656	$8.53 \times 10^{-13*} < 0.05$	8.25674	$1.74 \times 10^{-5*} < 0.05$

註：* 表示達 0.05 的顯著水準

5. 三種圓洞半徑下，200 磅的扭轉柱與大小彈簧的小球下沉深度差異比較如表(五)所示。發現 200 磅底面不同的扭轉柱與彈簧相比，其下沉深度有顯著差異，所以我們製作的 200 磅扭轉柱的減震效果比彈簧佳。

表(五) 200 磅的扭轉柱與彈簧的單因子變異數分析之 F 值與 p 值

	200 磅與彈簧(共 5 組)	
	F 值	p 值
半徑 3.5	26.3759	$9.93 \times 10^{-8*} < 0.05$
半徑 3.65	21.6908	$4.86 \times 10^{-7*} < 0.05$
半徑 3.8	176.6710	$2.67 \times 10^{-5*} < 0.05$

註：* 表示達 0.05 的顯著水準

6. 在同底面形狀、同乳膠圓面的半徑時，我們比較不同磅數之扭轉柱下沉深度的差異，如表(六)所呈現，發現只有在圓膜半徑 3.5 與 3.65、底面為正五邊形 200 磅下沉深度明顯較低，顯示 200 磅的五邊形明顯減震的效果最好。

表(六) 在同底面形狀、同乳膠圓面的半徑時，不同磅數之扭轉柱下沉深度差異之 t 檢定

		t 值	p 值
半徑 3.5	五邊形(140 磅、200 磅)比較	2.459675	$0.019^* < 0.05$

	六邊形(140 磅、200 磅)比較	0.907841	0.195245 > 0.05
	八邊形(140 磅、200 磅)比較	12.37437	$8.48 \times 10^{-7} < 0.05$
半徑 3.65	五邊形(140 磅、200 磅)比較	4.082483	$0.001^* < 0.05$
	六邊形(140 磅、200 磅)比較	0.395904	0.356193 > 0.05
	八邊形(140 磅、200 磅)比較	1.341641	0.110801 > 0.05
半徑 3.8	五邊形(140 磅、200 磅)比較	1.835326	0.051893 > 0.05
	六邊形(140 磅、200 磅)比較	0.920575	0.192096 > 0.05
	八邊形(140 磅、200 磅)比較	1.846199	0.051035 > 0.05

註：* 表示達 0.05 的顯著水準

7. 根據以上的討論得知，我們的實驗以 200 磅的紙製作五邊形扭轉柱的減震效果明顯優於其他種類的扭轉柱。

(二)生活應用

1. 可使用特殊材料，放在車頭燈鋼板的後方，減低汽車發生對撞事故時所造成的損傷
2. 因為具備彈性，可以設計成可放置多個於魚缸下方，地震來襲時應可減少缸裡的水晃動，使水不易濺出。或者氣墊鞋之氣墊也可以使用。
3. 按照其外型，可以縮小體積，未裝物品時可以壓縮成小體積好攜帶，盛裝時也有足夠容量，方便性佳，兼具美感與功能性，可用於餐盒、購物袋...等

參考資料

1. The Kresling-Pattern and our origami world : <https://youtu.be/gqxvdqq82Pw>
2. N. Kidambi and K.W. Wang.(2020) On the Dynamics of Kresling Origami Deployment. 引自 <https://journals.aps.org/pre/abstract/10.1103/PhysRevE.101.063003>(僅參考圖片與摘要)
3. The Fifth Fold: Complex Symmetries in Kresling-origami Patterns : <https://reurl.cc/ml7rkW>(僅參考圖片與摘要)