

新北市 113 學年度秀朗國小
一般智能資優學生獨立研究作品

減震撐樓，歪層不愁！

研究者：申綸、盧以霏、許珈綺、莊宜恩

摘要

前陣子發生的大小地震引發我們對地震時建築物何處最易受損的好奇，因報導存在不同說法（1、2 樓或 $\frac{1}{3}$ 處），讓我們想探討建築物在地震下可能產生的歪斜程度，並進一步測試加裝斜撐是否能有效改善建築物的穩定性。我們自製了樂高建築模型與模擬洛夫波水平晃動的地震平台，並探討不同樓層數（三層、四層、五層）、單一樓層不同高度（7 洞、9 洞、15 洞積木）建築物在地震晃動下的歪斜程度，以及加裝單一斜撐結構後的改善效果。我們利用層間變位角（ $\frac{\Delta}{h}$ ）作為衡量建築物歪斜程度的標準，並嚴謹控制實驗變因與重複測量。

實驗結果顯示，不論樓層數，中間樓層的節點位移最大，可能是建築物中較脆弱的位置；一樓的層間變位角最大，顯示地震時底部較容易受損，頂樓次之。關於單一樓層高度越高似乎導致更大位移，但對層間變位角的影響仍需更多實驗確認。而加裝單一斜撐結構能顯著降低建築物的節點位移與層間變位角，顯示其在地震時對降低結構損傷有重要作用。實驗也初步顯示，隨著斜撐數量增加，對降低建築物結構損傷的效果可能隨之提升，但兩者關聯仍需更多實驗驗證。透過模型實驗，我們初步發現了底層與頂層在地震時的相對脆弱性，以及斜撐結構在減震方面的潛力。

壹、研究動機

前陣子發生了很多大大小小的地震，我們很好奇關於地震的那些知識，於是就決定到網路上尋找答案。我們在查資料時，就看到了去年 403 地震時，有報導指出，在地震時，建築物 1、2 樓最容易受損，還有報導指出，地震時，建築物的 1/3 處會最嚴重，兩者的主張有出入，這讓我們好奇哪一個是對的？不同樓層數的建築物受損狀況會不會有差異呢？因此，我們想藉由測量樓層歪斜程度，來模擬建築物在地震時樓層的受損狀況，自己實驗找答案。隨著研究深入，我們查資料時看到「減震器」，有了一定的認識，我們好奇有些高樓大廈側邊的減震器的效果好不好？於是，我們就決定使用樂高來測試，看看對於地震時建築物歪斜的改善效果如何，希望這次的研究能讓我們對抗震這方面的知識有更多的收穫。

貳、研究目的

- (一) 自製建築物模型
- (二) 自製地震晃動平台
- (三) 探討不同樓層數建築物在地震平台晃動下的歪斜程度狀況。
- (四) 探討單一樓層不同高度之建築物在地震平台晃動下的歪斜程度差異。
- (五) 探討建築物加裝單一斜撐結構後，歪斜程度的改善效果。

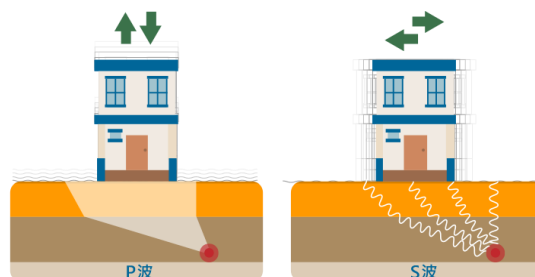
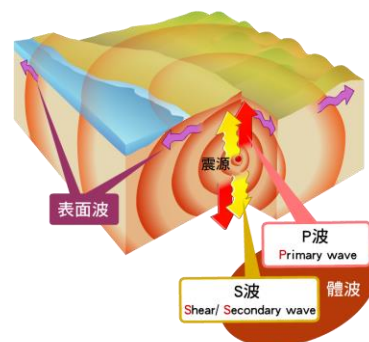
參、文獻探討

(一)地震波

我們從《中央氣象局數位科普網》的「天搖地動感受地震波」和「地震的律動哪裡來？認識地震波」中找到了下列資訊：

地震波分為兩種，分別是體波和表面波，經過地球內部傳播的稱為體波，地震來到地球表面形成的波稱為表面波，表面波只能沿地球表層傳播，是威力最強、水平傳播距離最遠的地震波，雖然能量會隨著傳播距離而減少，但是頻率低、振幅大的表面波仍可以傳到幾千公里外的地區。體波只在地球內部傳播。體波細分為P波和S波；表面波細分為洛夫波和雷利波。

以地表對於地震的感受來說，P波帶給人的感受是地表、房屋等上下震動，不過震動通常較小。而S波帶給人的感受，則是歷時較長而且強烈的水平搖晃，所帶來的破壞性通常也較高。



體波 (body wave)	P波 (primary wave, 縱波或壓縮波)	縱波，質點運動和波同方向傳播，傳遞速度快，通常是地震發生後，最早被地震儀偵測到的地震波，傳播速度比S波快。波的行進方式，就像抓住彈簧的一端前後推拉，產生波動一樣，波的行進方向與介質運動的方向平行，藉由介質的壓縮和伸張，能量向外傳遞。
	S波 (shear wave or secondary wave, 橫波或剪力波)	橫波，質點運動與波傳播方向垂直，傳遞速度較慢，破壞力比P波強，S波的行進就像將彈簧的一端固定在牆上，另一端用手抓住上下甩動，波的行進方向與介質的振動方向是垂直的，藉由介質的變形，能量向外傳遞。
表面波 (surface wave)	雷利波 (Rayleigh wave)	質點在震波傳播的垂直面上，上下混合震動，運動軌跡為橢圓形震動，它的運動方式就像海浪一樣，而震動振幅會隨深度增加而減少。
	洛夫波 (Love wave)	振動方向和波前進方向垂沿著水平面形成，質點運動方向和波傳播方向垂直，振動只發生在水平方向上，沒有垂直分量，只有左右震動，側向震動振幅會隨深度增加而減少。

我們的地震平台是模擬表面波中的洛夫波，是地震振動只發生在水平方向上，沒有垂直分量，只有左右震動的地震波型。

(二) 地震平台需具備的要素

我們從《地動山不搖—隔震裝置在建築物之應用與探究》科展作品中看到研究自製地震晃動平臺之研發歷程中得知成功的地震平台應兼具以下兩要素：一、晃動平頓不卡頓；二、可進行多段連續調控晃動頻率，以進行多震度之實驗模擬。我們參考此篇的成功的地震晃動頻台要素，製作了自製地震晃動平台。

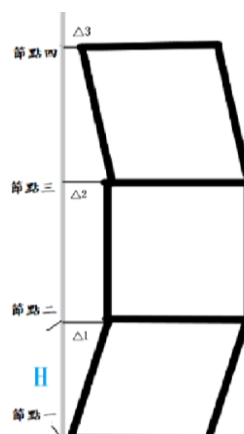
(三) 歪斜程度測量方式

我們從《應用層間變位角於結構損傷指標》的研究中得知，建築物歪斜的測量方式可以透過層間變位角來計算，層間變位角是將單一樓層相鄰樓板位移除上樓高。該研究提到，層間變位角應用於結構物損傷評估，已有相當多的研究（ICBO，2010），層間變位角概念也在 2010 年被納入美國加州建築規範內。層間變位角的定義為：

$$\theta = \frac{\Delta}{h}$$

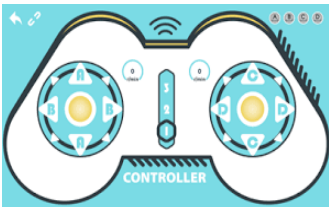
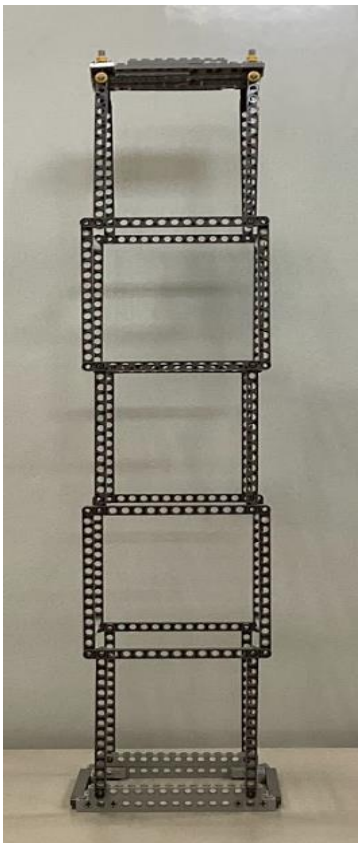
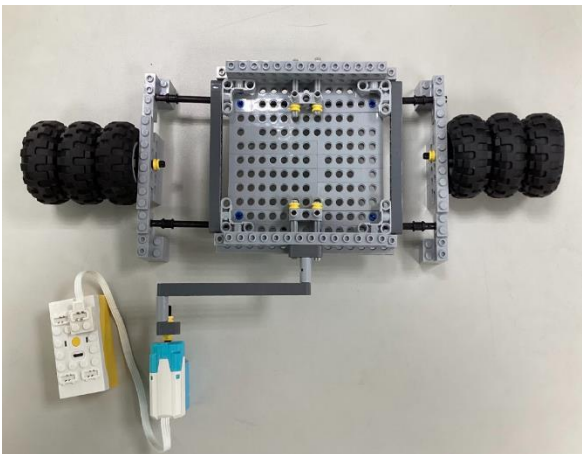
θ ：層間變位角
 Δ ：該樓層相對於下層的水平位移
 h ：樓層高度

在我們的實驗中，樓層高度分為三種：4.8 cm（7 洞）、6.4 cm（9 洞）與 11.2 cm（15 洞）。



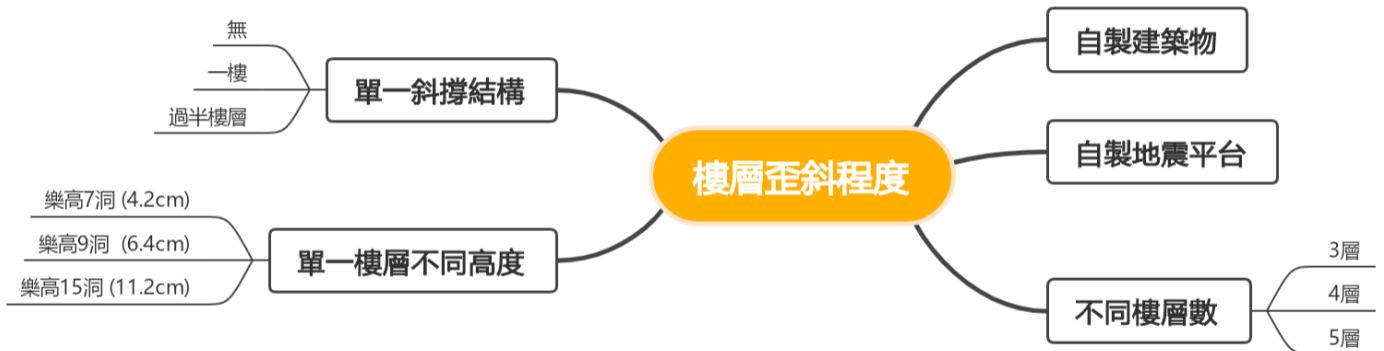
根據內政部國土管理署的評估標準，依照台灣的建築設計規範，在 50 年重現期的風力作用下，建築物的層間變位角不得超過 5/1000（即 0.005 弧度）。

肆、研究設備及器材

研究工具	樂高積木 	吸管 	平板 	鐵尺 	量角器 
	Excel 軟體 	萬用黏土 	手機(app)、馬達 (可控制頻率)和電池組  		
自製器材	自製建築物 		自製地震平台 		

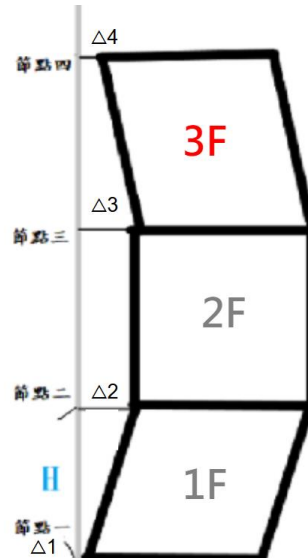
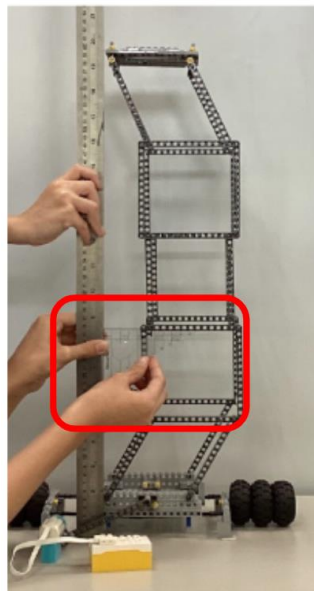
伍、研究過程與結果

一、研究架構



二、測量工具與方法

測量工具



測量每層樓節點的位移距離 $\Delta\#$ ，再換算每層樓變位角，公式為：

$$\text{層間變位角 } \theta = |\Delta 2 - \Delta 1| / H$$

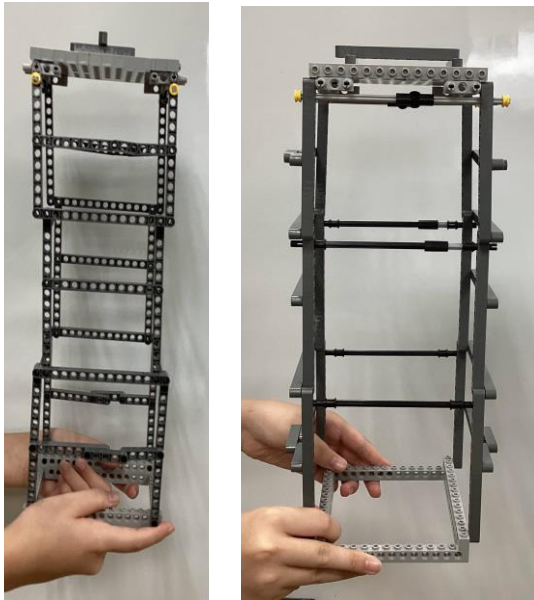
(每層樓節點的位移相減取絕對值後除以樓高)

例如：建築物3樓的層間變位角為節點4位移 ($\Delta 4$) - 節點3位移 ($\Delta 3$) 的絕對值除以樓高。

【實驗一：自製建築物模型】

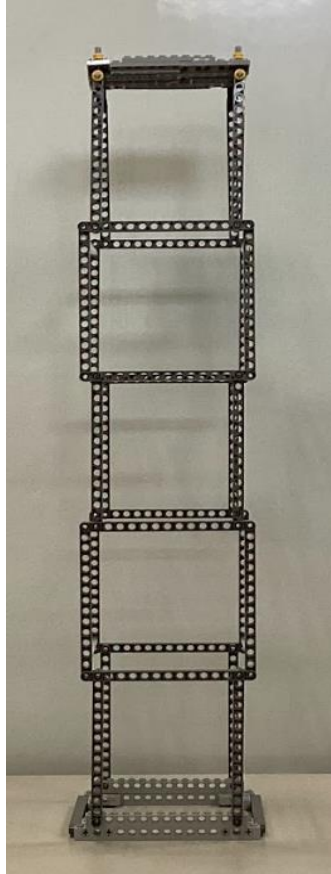


我們用樂高積木做建築物，一開始的研究中要測量建築物的水平加速度，所以我們在建物頂樓裝設手機架，後來為了改善手機架會一直按到 SOS 鍵的狀況，我們製作了第二代頂樓並用黏土固定手機。第三代建築物，因為我們把馬達裝在地震平台時發現馬達不夠力搖不動建築物，所以就試試看把馬達連接在建築物上並幫建築物加輪子直接晃動建築物，但後來經過討論，我們認為這樣不符合地震實際晃動的方式。最後，我們拿掉馬達，完成第四代，成為我們實驗用的五層樓建築模型。

代	照片	迭代說明
第一代		我們是用樂高做的，但是因我們組得太堅固了，效果不明顯，也有點歪斜，不對稱，再加上放手機的架子太重，會影響阻尼效果。另外測量水平加速度的手機放上去後，SOS 鍵會被按到，我們因而開始製作第二代建築物。

第二代		我們將頂樓平台拆除，製作了一新的，並改用黏土代替手機架，就不會按到 SOS 鍵了，也減輕了頂樓平台的重量。 我們調整了側邊結構，讓建築物不會太牢固，方便實驗測試，而且整體看起來更對稱。
第三代		因為地震平台搖不動，於是我們嘗試把晃動的機構連接在主建築物上。並且我們把電壓 1.5V 的馬達換成 3V 馬達，然後我們也加裝了輪子，希望能讓建築物晃起來。 我們嘗試把晃動機構加裝在建築物上，看看能不能直接推動建築物，不用推很重的平台。但我們設計的裝置較不符合地震晃動的方式，所以最後我們還是決定不將晃動機構連接在建築物上，並單獨解決晃動機構以及馬達不夠力的問題。

第四代



因為樂高積木數量不夠，所以我們用吸管代替原本大樓建築側邊的積木。

一開始我們使用美勞用的彩色吸管減半兩條組合一個側邊結構，不過長度太短以至於很容易鬆落，看起來又太花俏。因此，我們改用單一跟普通的透明吸管剪成每條一樣的長度使用。

我們的長積木太少，不夠蓋五樓，因此去跟其他老師借長積木，最後終於成功蓋完五層樓建築模型，成為我們實驗用的主要建築物模型。

【實驗二：自製地震晃動平台歷程】

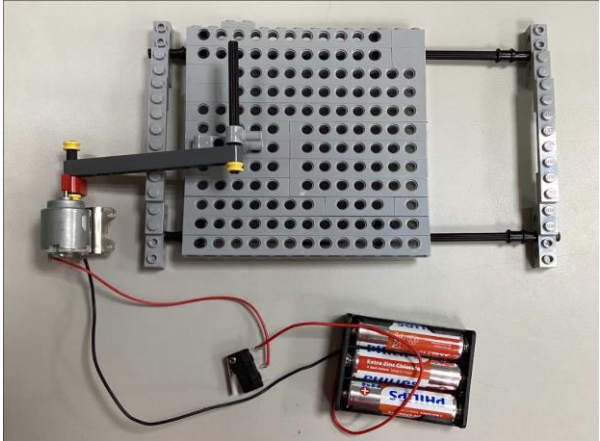
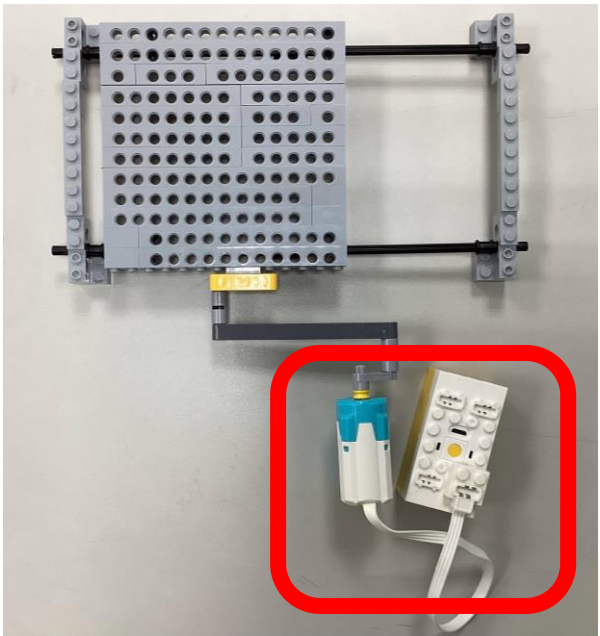
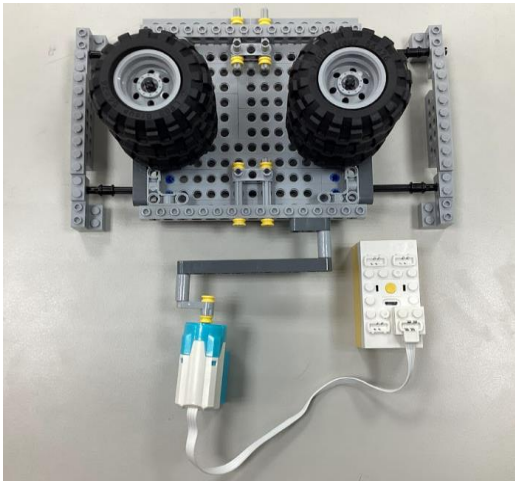


第一代，我們本想用科學玩具直接當地震平台，但我們發現科學玩具在搖晃過程中會有些微不規則上下晃動問題，考量變因的控制，我們決定自製地震晃動平台。第二代，是我們製作的第一版地震平台，但從我們從 1.5V、3V 到 9V 電壓，馬達都不夠力，無法搖動五樓建築物。

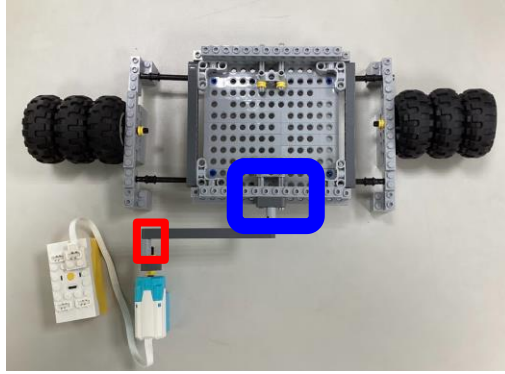
第三代，我們把馬達換成可用手機控制的 15V 馬達，才終於可以搖動 5 樓建築物。第四代，我們發現了地震平台會有偏移軌道的問題，因此把連接軌道的裝置換成長一點的藍色突起積木加強，再加裝輪子想要增加地震平台重量讓他不要那麼容易偏移軌道，後來又因太重搖不動且會撞到地震平台上的建築物，把輪子拿掉，就變成第五代。

最後，我們把輪子裝在兩側變成把手以更好固定建築物並把馬達連接平台的積木改在平台中間，並用黏土標示初始位置來減少實驗誤差，也加長了地震平台晃動的軌道，讓地震平台能穩定且有更大幅度的晃動。

代	照片	迭代說明
第一代		一開始我們決定用地震科學玩具的晃動平台，但是它的晃動過程會輕微的上下移動，很難控制變因。所以我們決定自己做一個地震晃動平台。

第二代		我們改用樂高積木做軌道和晃動平台，軌道可以控制平台只往一個方向晃動，但是電壓 1.5V 的馬達沒有足夠的力氣帶動平台晃動。
第三代		我們後來把軌道加長，讓他晃動空間較足，我們也把電壓 1.5V 升級到 9V 再換成 15V 的馬達，最後終於可以拉動建築物，把這個晃動平台做成功了。因為馬達拉動平台的機構在轉動時會撞到桌面，所以我們用積木架高了馬達和平台。 紅框中的馬達可以用「程式積木初級版」app 控制馬達轉速也能夠成功調整地震晃動的晃動頻率。但目前的平台不夠穩，會因搖晃而偏離軌道，且還沒有辦法固定建築物在上面的裝置，因為積木間距沒抓好。
第四代		我們加裝了 8 個黃色固定建築物的裝置。因為震度太大晃動平台會偏離軌道，所以我們加裝輪子來增加重量使搖晃機構不會在搖晃時跳來跳去而偏離軌道。 另外，我們也把連接軌道的裝置換成長一點的藍色卡榫(紅框)，讓他更不容易偏離軌道。

第五代



經實驗後我們發現其實沒有輪子也不會偏離軌道。後來我們發現當馬達啟動時手會常常不小心碰到建築物，所以我們把輪子加以利用，把它改裝在地震平台旁邊，既減少實驗誤差，扶著也比較輕鬆。我們加長了地震平台晃動的軌道，讓地震平台能穩定且有更大幅度的晃動。

另外，我們還用黏土標示初始位置，確保地震平台不會移動。把馬達連接的位置，由偏右邊改成中間，以免實驗誤差(藍框)，我們實驗要用的地震平台便完成了。

【實驗三：探討不同樓層數建築物在地震平台晃動下的歪斜程度狀況】

(一) 實驗假設：

在疊積木時，積木越高越容易倒，所以我們覺得樓層數越多的建築物，搖晃後，歪斜程度應該會越大。

(二) 研究方法

1. 變因說明

操作變因	不同樓層數建築物
控制變因	地震平台的馬達轉速與搖晃持續時間、建築模型的材質與結構、建築物的初始位置
應變變因	節點位移距離、層間變位角

2. 實驗步驟

- A. 將建築物固定在地震平台，並使用等腰直角三角板 90 度角校正每層樓，確保其垂直且無歪斜。
- B. 使用「程式積木初級版」App，將馬達轉速設定為 90 r/min，啟動地震平台並搖晃 20 秒。
- C. 將建築物置中於平台上，拍照後，測量並記錄每層樓節點的位移距離 Δ 。
- D. 為減少實驗誤差，進行五次測量。
- E. 考量儀器穩定性、操作失誤，剔除一組離群值(實驗結果表格中灰字)，並計算各節點位移距離的平均值。
- F. 用 Excel 將每層樓節點的位移距離平均值轉換成層間變位差，作為最終結果。

(三)實驗結果

表 3-1 節點位移距離 (單位：公分)

建築樓層數		節點位移距離(公分)						歪斜程度照片				
		1	2	3	4	5	平均	1	2	3	4	5
三層	節點 2	-4.0	-4.1	-4.2	-4.2	-4.2	-4.18					
	節點 3	-4.0	-3.8	-4.4	-4.2	-5.0	-4.35					
	節點 4	-0.5	-0.1	-1.0	-0.5	-1.6	-0.8					
四層	節點 2	5.0	5.2	5.0	5.4	5.2	5.15					
	節點 3	4.5	5.2	4.6	4.5	4.6	4.7					
	節點 4	4.5	4.7	4.5	3.7	3.1	3.7					
	節點 5	0.7	1.2	0.9	0.2	0.5	0.75					
五層	節點 2	5.0	4.9	5.0	5.0	4.8	4.92					
	節點 3	4.5	4.4	4.9	5.0	4.2	4.50					
	節點 4	4.4	4.2	4.8	5.3	4.5	4.48					
	節點 5	4.0	4.0	4.6	5.5	4.4	4.25					
	節點 6	0.7	0.3	1.3	2.1	0.1	0.6					

表 3-2 節點平均位移比較 (單位：公分)

節點位置	三層建築物	四層建築物	五層建築物
1	0	0	0
2	4.18	5.5	4.92
3	4.35	4.7	4.5
4	0.8	3.7	4.48
5		0.75	4.25
6			0.6

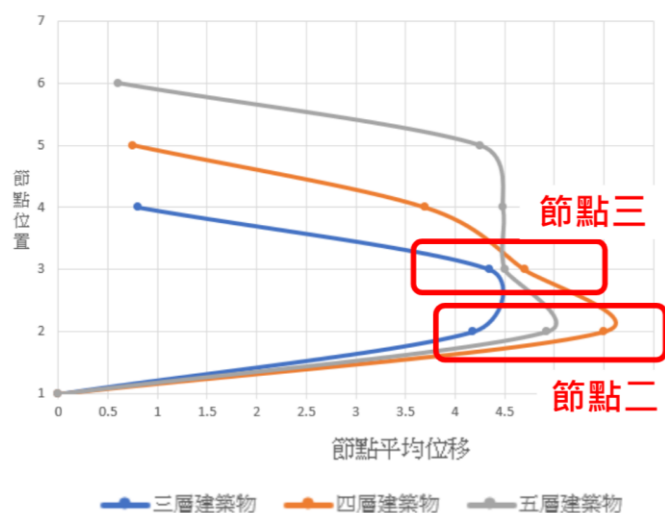
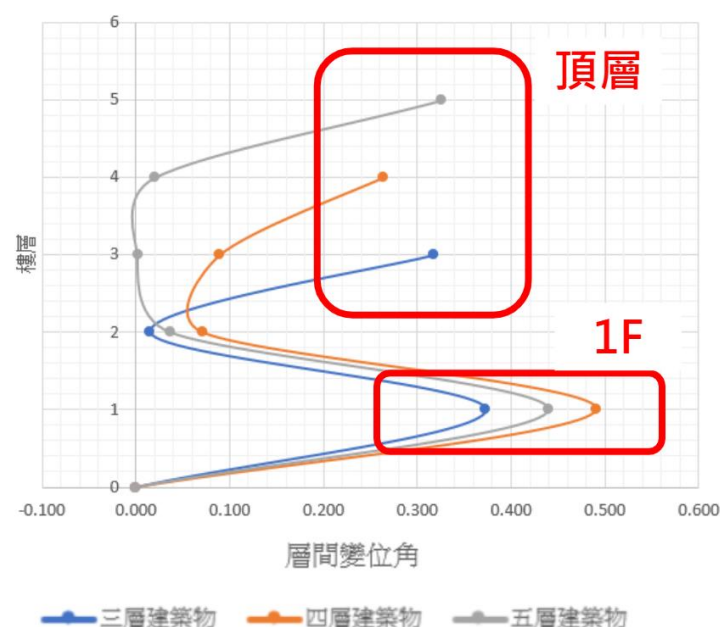


表 3-3 層間變位角分析(單位：弧度)

樓層位置	三層建築物	四層建築物	五層建築物
0	0.000	0.000	0.000
1	0.373	0.491	0.439
2	0.015	0.071	0.038
3	0.317	0.089	0.002
4		0.263	0.021
5			0.326



(四)實驗發現與討論

1. 節點平均位移結果顯示，三層建築物的節點位置 2、3、4 的節點平均位移分別為 4.18、4.35、0.8，而四層建築物的節點位置 2、3、4、5 的節點平均位移分別為 5.5、4.7、3.7、0.75，五層建築物的節點位置 2、3、4、5、6 的節點平均位移分別為 4.92、4.5、4.48、4.25、0.6，皆可看出節點位置二、三的節點平均位移最多，由此可知無論是三層、四層或五層建築物，節點位置 2 和 3 的位移量都最大，代表建築物在地震中，靠近底部的區域容易有較大的移動。
2. 節點平均位移結果顯示，三層建築物節點位置 2、3、4 的節點平均位移為 4.18、4.35、0.8，四層建築物的節點位置 2、3、4、5 的節點平均位移分別為

5.5、4.7、3.7、0.75，五層建築物的節點位置 2、3、4、5、6 的節點平均位移分別為 4.92、4.5、4.48、4.25、0.6，因此可以發現不同樓層數的建築物節點平均位移皆呈現「由少到多再到少」的月亮形變化，顯示中間樓層通常有較大的位移量，這也可能是建築物較脆弱的位置。

3. 層間變位角分析結果顯示，從三層建築物樓層 1、2、3 的層間變位角分別為 0.373、0.015、0.317 度，四層建築物樓層 1、2、3、4 的層間變位角分別為 0.491、0.071、0.089、0.263 度，五層建築物樓層 1、2、3、4、5 的層間變位角分別為 0.439、0.038、0.002、0.021、0.326 度來看。從實驗結果可發現在第一層樓的層間變位角最大，最頂層則次之，中間樓層較小。這表示地震時，建築物的底層和頂層受到的變形或結構損傷可能比較明顯。

4. 後續實驗：

- (1)比較更多樓層數建築物，探討建築物樓層數與歪斜程度是否存在關聯性。
- (2)比較不同形狀的建築物(獨棟、三棟連一起沒有防火巷、三棟連一起 L 型)，探討不同形狀的建築物在地震時的歪斜情況差異。
- (3)聽說臺北市有一棟建築物用三個停車格蓋成的很細的房子，讓我們想探討不同粗細大小的建築物在地震時的歪斜情況差異。

【實驗四：探討單一樓層不同高度之建築物在地震平台晃動下的歪斜程度差異】

(一) 實驗假設：

如果用一支長筆豎著放在桌上，輕推它，筆很容易倒。因為筆越長，離桌面越遠，受力後的變形越大。但若是短筆，推筆時就不容易倒，因為它的長度較短，受力後的變形就較小。所以我們覺得單一樓層高度越高，搖晃程度應該越大。

(二) 研究方法：

1. 變因說明

操作變因	不同建築物樓高（7 洞、9 洞、15 洞樂高積木）
控制變因	地震平台的馬達轉速與搖晃持續時間、建築模型的材質與結構、建築物的初始位置
應變變因	節點位移距離、層間變位角

2. 實驗步驟

- 將建築物固定在地震平台，並使用等腰直角三角板 90 度角校正每層樓，確保其垂直且無歪斜。
- 使用「程式積木初級版」App，將馬達轉速設定為 90 r/min，啟動地震平台並搖晃 20 秒。
- 將建築物置中於平台上，拍照後，測量並記錄每層樓節點的位移距離 Δ 。
- 為減少實驗誤差，進行五次測量。
- 考量儀器穩定性、操作失誤，剔除一組離群值，並計算各節點位移距離的平均值。
- 用 Excel 將每層樓節點的位移距離平均值轉換成層間變位差，作為最終結果。

(三)實驗結果

表 4-1-1 節點位移距離 (單位：公分)

樓高 7 洞 (4.8 cm)	建築物偏移地震平台軌道，無法測量。
--------------------	-------------------

表 4-1-2 節點位移距離 (單位：公分)

表 4-1-2 節點位移距離（單位：公分）												
樓高 9 洞 (6.4 cm)		節點移動距離(公分)						歪斜程度照片				
		1	2	3	4	5	平均	1	2	3	4	5
三層	建築物偏移地震平台軌道，無法測量。											
四層	建築物偏移地震平台軌道，無法測量。											
五層	節點 2	2.1	2.1	2.5	2.3	2.2	2.28					
	節點 3	1.6	1.7	2.0	2.6	2.5	2.20					
	節點 4	0.0	0.6	0.3	0.4	0.4	0.42					
	節點 5	-0.9	-0.1	0.2	0.5	0.5	0.28					
	節點 6	-3.1	-0.6	-0.2	-0.5	-1.0	-0.58					

表 4-1-3 節點位移距離 (單位：公分)

樓高 15 洞 (11.2 cm)		節點移動距離(公分)						歪斜程度照片				
		1	2	3	4	5	平均	1	2	3	4	5
三層	由於樓高 9 洞建築物偏移地震平台軌道無法測量，不比較此項。											
四層	由於樓高 9 洞建築物偏移地震平台軌道無法測量，不比較此項。											
五層	節點 2	5.0	4.9	5.0	5.0	4.8	4.92					
	節點 3	4.5	4.4	4.9	5.0	4.2	4.50					
	節點 4	4.4	4.2	4.8	5.3	4.5	4.48					
	節點 5	4.0	4.0	4.6	5.5	4.4	4.25					
	節點 6	0.7	0.3	1.3	2.1	0.1	0.6					

表 4-2 節點平均位移比較 (單位：公分)

節點位置	7洞五層	9洞五層	15洞五層
1	0	0	0
2		2.28	4.92
3		2.2	4.5
4		0.42	4.48
5		0.28	4.25
6		-0.58	0.6

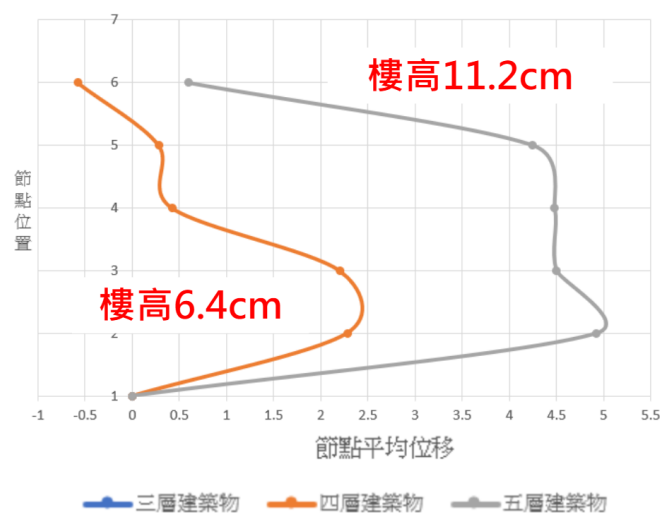
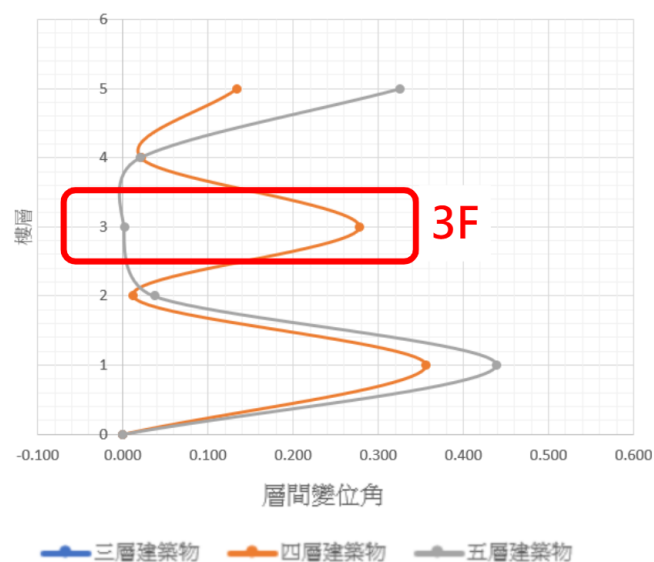


表 4-3 層間變位角分析(單位：弧度)

樓層位置	7洞五層	9洞五層	15洞五層
0	0.000	0.000	0.000
1		0.356	0.439
2		0.012	0.038
3		0.278	0.002
4		0.022	0.021
5		0.134	0.326



(四)實驗發現與討論

1. 樓高為 7 洞(4.8 公分)的建築物在實驗中偏移軌道，因此無法進行分析。
2. 節點平均位移結果顯示，樓高 15 洞(11.2 公分)的節點平均位移分別為 4.92、4.5、4.48、4.25、0.6 公分，樓高 9 洞(6.4 公分)節點的平均位移為 2.28、2.2、0.42、0.28、0.58。除了節點位置 1 都是 0 公分以外，15 洞建築的每個節點平均位移都比 9 洞多。不過，我們需要更多實驗才能確定「節點平均位移是否會隨樓層高度增加而變多」
3. 層間變位角分析結果顯示，樓高 9 洞的層間變位角分別為 0.356、0.012、0.278、0.022、0.134 度，而樓高 15 洞的則是 0.439、0.038、0.002、0.021、0.326 度。我們原本預測單一樓層高度越高，每一層的層間變位角會比較大。樓高 9 洞的圖形像 S 型，若符合我們的預測，樓高 11.2cm 會呈現更大的 S 型，雖然一、二、四、五樓皆符合我們的假設，但三樓並不符合。因此還需要更多實驗才能確認單一樓層不同高度，會不會對建築物的結構損傷造成影響。
4. 後續實驗：
 - (1)因為我們的樂高積木只有 7 洞、9 洞、15 洞高度的樹量足夠蓋五層樓，所以無法比較其他單一樓層樓高高度。在我們的實驗中可以看到樓高 15 洞節點的平均位移皆比樓高 9 洞多，我們還想比較其他單一樓層樓高，探討節點的平均位移是否會隨著樓高增加而變多。
 - (2)原本因為做掛重錘阻尼器的實驗，所以頂樓才設計成這樣，後來發現地震平台搖不動加了重錘的建築物、重錘擺動時也會撞毀建築物，因此取消實驗。也因為積木數量不夠無法換掉頂樓。頂樓或許可以再買積木改成一般的頂樓，來探討頂樓重量對建築物歪斜狀況的影響。
 - (3)如果重心位置可能會影響建築物歪斜情況，那重心改變對建築物歪斜有什麼影響，我們也想到可以試試放一個重物在不同樓層改變重心位置，探討重心不同對建築物歪斜狀況的影響。

【實驗五：探討建築物加裝單一斜撐結構後，歪斜程度的改善效果】

(一)實驗假設：

減震器能在高樓遇到強風時當作一支斜撐棒，讓高樓不會晃得太厲害，我們想嘗試能不能在自製建築物上也裝一個減震器，看看減震器是否能让自製建築物的歪斜程度變小。查資料說，斜撐只要過半樓就有用，所以我們就決定試試看。

(二)研究方法

1. 變因說明

操作變因	單一斜撐結構安裝數量(無、一樓、過半樓層)
控制變因	地震平台的馬達搖晃持續時間、建築模型的材質與結構、建築物的初始位置、五層樓建築
應變變因	節點位移距離、層間變位角

2. 實驗步驟

- 將建築物固定在地震平台，並使用等腰直角三角板 90 度角校正每層樓，確保其垂直且無歪斜。
- 使用「程式積木初級版」App，將馬達轉速設定為 90 r/min，啟動地震平台並搖晃 20 秒。
- 將建築物置中於平台上，拍照後，測量並記錄每層樓節點的位移距離 Δ 。
- 為減少實驗誤差，進行五次測量。
- 考量儀器穩定性、操作失誤，剔除一組離群值，並計算各節點位移距離的平均值。
- 用 Excel 將每層樓節點的位移距離平均值轉換成層間變位差，作為最終結果。

(三)實驗結果

表 5-1 節點位移距離（單位：公分）

表 5-1 節點位移距離（單位：公分）												
減震結構安裝 數量與位置		節點位移距離(公分)						歪斜程度照片				
		1	2	3	4	5	平均	1	2	3	4	5
無 斜撐	節點 2	5.0	4.9	5.0	5.0	4.8	4.92					
	節點 3	4.5	4.4	4.9	5.0	4.2	4.50					
	節點 4	4.4	4.2	4.8	5.3	4.5	4.48					
	節點 5	4.0	4.0	4.6	5.5	4.4	4.25					
	節點 6	0.7	0.3	1.3	2.1	0.1	0.60					
一樓 斜撐	節點 2	0.5	0.6	0.5	0.6	0.6	0.58					
	節點 3	4.3	4.1	4.0	3.9	4.2	4.05					
	節點 4	4.3	3.9	4.0	3.8	3.1	3.70					
	節點 5	4.3	3.7	3.8	3.7	3.2	3.60					
	節點 6	0.7	0.1	0.1	0.2	0.2	0.15					
過半 樓斜 撐	節點 2	0.5	0.6	0.5	0.6	0.5	0.55					
	節點 3	0.4	0.4	0.3	0.4	0.4	0.4					
	節點 4	0.1	0.2	0.2	0.1	0.1	0.13					
	節點 5	0.0	0.2	1.6	0.1	0.0	0.08					
	節點 6	4.8	6.0	6.8	5.0	4.4	5.05					

表 5-2 節點平均位移比較 (單位：公分)

節點位置	無斜撐	一樓斜撐	過半樓斜撐
1	0	0	0
2	4.92	0.58	0.55
3	4.5	4.05	0.4
4	4.48	3.7	0.13
5	4.25	3.6	0.08
6	0.6	0.15	5.05

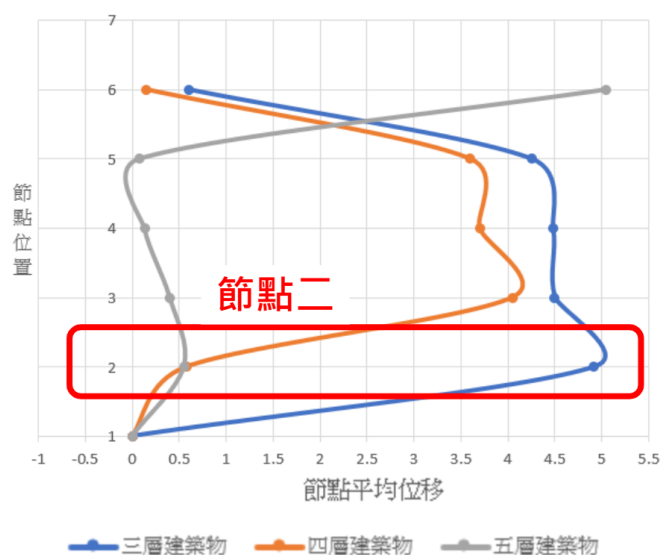
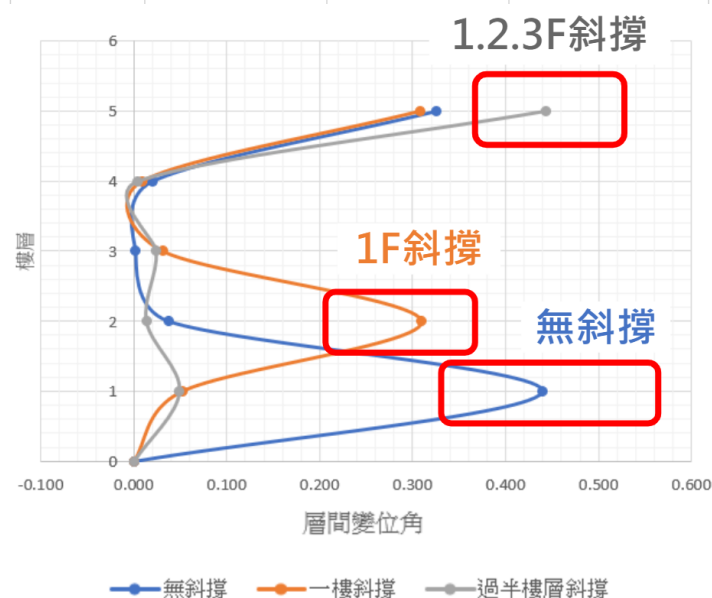


表 5-3 層間變位角分析(單位：弧度)

樓層位置	無斜撐	一樓斜撐	過半樓層斜撐
0	0.000	0.000	0.000
1	0.439	0.052	0.049
2	0.038	0.310	0.013
3	0.002	0.031	0.024
4	0.021	0.009	0.004
5	0.326	0.308	0.444



(四)實驗發現與討論

1. 節點平均位移與層間變位角分析結果顯示，無斜撐時，節點 2 的節點平均位移為 4.92 公分，而加了一樓斜撐和過半樓斜撐後變成 0.55 和 0.58 公分，減少了 4.37 和 4.34 公分，且無斜撐時一樓的層間變位角為 0.439 度，但當加了一樓斜撐和過半樓斜撐後，一樓的層間變位角變為 0.052 和 0.049 度，減少了 0.387 和 0.393 度。加裝斜撐後，節點位移和層間變位角都大幅減少，表示單一斜撐結構在地震時對降低建築物結構損傷有重要的作用。
2. 層間變位角與節點平均位移分析結果顯示，在無斜稱結構時，一樓出現較大的層間變位角 0.439 度；而在一樓加裝斜稱結構時，到了二樓才出現較大的層間變位角 0.31 度；當過半樓層(一、二、三樓)都加裝斜稱結構時，可以發現到五

樓才出現較大的層間變位角 0.444 度。加上，節點 5（四樓天花板位置）的節點平均位移在無斜撐的狀況下是 4.25 公分，但加裝過半樓層（一、二、三樓）斜撐後，節點平均位移大幅減少至 0.08 公分，明顯改善了節點的位移狀況。實驗結果顯示，若在一、二、三樓皆增加斜撐結構，不僅可以降低一、二、三樓的層間變位角，也對上層樓層產生穩定效果，降低了四樓的層間變位角，表示**隨著斜撐數量增加，對降低建築物結構損傷的效果可能也隨之提升**。但還需要更多實驗才能解釋建築物過半樓層加裝斜撐結構是否能改善整棟建築物在地震時的歪斜程度。

3. 後續實驗：

(1)調整三個斜撐安置位置，例如一二三樓改成二三四樓或一三五樓，**探討斜撐安置位置對建築物歪斜程度改善效果是否有差異。**

(2)比較不同高度或更高的樓層數建築物，**探討在建築物過半樓層加裝斜撐是否能改善整棟建築物在地震時的歪斜程度。**

陸、結論

（一）自製建築物模型與地震晃動平台

本研究成功以樂高積木自製三層至五層不同高度的建築物模型，並設計模擬洛夫波的水平晃動地震平台，能模擬建築物在地震時的晃動情況，供進行節點位移與層間變位角的測量分析。

（二）不同樓層數建築物在地震平台晃動下的歪斜狀況

1. 無論為三層、四層或五層建築，節點 2 與節點 3 的平均位移量普遍偏高，顯示中間樓層通常有較大的位移量，這可能是建築物較脆弱的位置。
2. 三至五層樓建築的一樓層間變位角皆最大（分別約為 0.373 度、0.491 度、0.439 度），其次為頂樓，中間樓層則相對較小。這表示地震時，建築物的一樓和頂樓受到的變形或結構損傷可能比較嚴重。

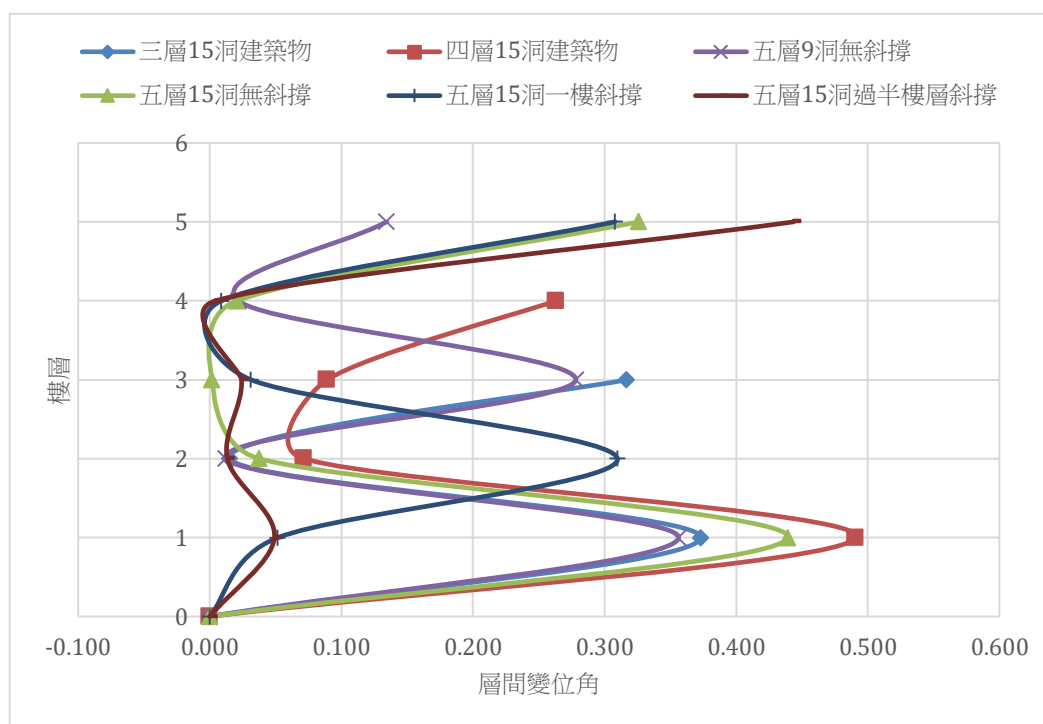
（三）單一樓層不同高度之建築物在地震平台晃動下的歪斜程度差異

1. 在五層建築中，樓高 15 洞（11.2 公分）的建築物節點平均位移皆高於樓高 9 洞（6.4 公分），例如：節點 2 分別為 4.92 公分與 2.28 公分。不過，因為樓高 7 洞會偏移軌道，無法實驗，所以需要更多實驗才能確定「節點平均位移是否會隨樓層高度增加而變多」。
2. 樓高 15 洞（11.2 公分）在一、二、四五樓的層間變位角普遍大於樓高 9 洞（6.4 公分）的角度，但並非所有樓層皆呈現明顯差異，初步結果顯示單一樓層不同高度與層間變位角間的關係尚不明確，仍需更多數據支持。

（四）加裝單一斜撐結構對歪斜程度的改善效果

1. 五層樓建築物中，節點 2 的平均位移在未加斜撐時為 4.92 公分，加裝一樓斜撐後降至 0.58 公分，加裝一至三樓斜撐後為 0.55 公分，表示單一斜撐結構在地震時對降低建築物結構損傷有重要的作用。
2. 未加裝斜撐結構時，一樓層間變位角為 0.439 度；而加裝一樓斜撐結構後，二樓的層間變位角為 0.31 度；在一、二、三樓皆增加斜撐結構，不僅可以降低一、二、三樓的層間變位角，降低了四樓的層間變位角，發現到五樓才出現較大的層間變位角 0.444 度。表示隨著斜撐數量增加，對降低建築物結構損傷的效果可能也隨之提升，但仍需更多實驗來驗證。

（五）綜合整理與發現



1. 無論建築物樓層數，節點平均位移量皆是中間樓層相對較大；層間變位角則是一樓與頂樓相對較大。
2. 單一樓層樓高較高的建築物，節點平均位移有增大的趨勢，但對層間變位角的影響仍需進一步驗證。
3. 斜撐結構在減震與提升結構穩定方面可能具有一定效果。加裝一樓或過半樓層的斜撐，可明顯降低這些樓層的節點平均位移與層間變位角。隨著斜撐數量增加，對減少建築損傷的效果可能也會提升，但仍需更多實驗加以驗證。

（六）未來研究方向

對於目前的研究發現，我們還有很多想探索的方向，以進一步驗證與補充研究成果：

1. 比較更高的建築物樓層數，深入探討樓層數與結構穩定性的關聯。
2. 比較不同形狀（如：獨棟、連棟、L型）或寬度的建築模型，探討建築物平面配置形狀對歪斜程度的影響。
3. 測試其他樓高（如：10洞、12洞），探討樓高高度與層間變位角的關係。
4. 在建築物不同樓層加重物，研究重心改變對歪斜狀況的影響。
5. 調整斜撐位置（如：一、三、五樓等組合）分析其效果差異。
6. 設計不同數量與樣式的斜撐結構，進一步比較其減震效果。
7. 比較除了斜撐以外更多不同的減震結構，探討其減震效果差異。
8. 探討不同震波類型（如雷利波、洛夫波）與建築物結構損傷位置之關聯性。

柒、心得

(一)申綸

我一開始以為做實驗會很好玩，但沒想到途中需要一直重複做相同的事情，越做越無聊，一直不停地重校準搖晃後的建築，模擬地震、測量結果、紀錄數據.....原本以為會有一些驚人的數字結果，但事實上，每次測試的過程幾乎沒有太大差異，感覺沒必要測試那麼多次。不過，我發現這種重複的步驟其實是科學研究的必經之路，要透過反覆測試，才能確保數據的準確性，確認誤差狀況。雖然過程無趣，但最後看到完整的實驗結果，還是讓我很有成就感，也更了解科學研究的方法。

我覺得很可惜的是，原來這個研究中我們原本有更多實驗目的，但是因為有些因為建築物還是搖不動而且時間不夠，所以很多實驗都刪掉了，我也很好奇刪掉的實驗結果會如何。最後，我要感謝指導我們的王老師與和我一起做實驗的同學。

(二)許珈綺

我們做實驗的過程中，遇到了很多問題需要解決，例如我們的建築物樓層要改變時出現了無法對齊的問題，所以我們想既然拆掉上面行不通，不如拆掉第一層吧，沒想到居然成功了。我也發現實驗崗位分工上因為有些工作比較累，所以需要輪流擔任，在換工作時要做好交接，一定要主動說明每個崗位需要注意的地方，才能降低因換人操作而產生的實驗誤差。有一次我幫忙拍攝每一次實驗結果的照片，但是照片沒整理好，讓大家不知道哪些才是需要的照片，幸好後來老師有提醒我可以看時間，要不然就需要重新拍攝了，我也因此知道適時刪除不要的照片的重要性，還有以後要用紙寫第幾次實驗一起拍進去照片、影片。

做實驗時有時會出現意料之外的狀況，所以我們要仔細思考，推理出原因，最後就能成功解決了。另外，我們四個是六年級才進資優班的，總覺得如果有更多時間，我們的研究一定可以再做得更好，但還是很開心學到了很多研究技能，我們也努力地做完了。希望以後國中也能繼續做研究。最後我很感謝一路上一直耐心教導並幫助我們的緣圓老師，還有我的資優班同學們。

(三)盧以霏

我們在進行實驗時遇到了很多困難，尤其是在變因控制的方面上，我們為此做了許多改變，例如為了固定地震平台的初始位置時，我們想了很久，最後決定用黏土當作標記物，還有當我們要改變建築物的不同樓層數時，就面臨了要拆除多餘樓層數的困難，因為我們不知道要拆哪一樓層的樂高才能使建築物每層樓都是個完整的矩形，所以我們就選擇慢慢嘗試不同的方式，我發現我們要非常有默契，每個人各司其職，互相幫忙，只要有一個人在發呆，實驗就很容易失敗或有誤差，所以在實驗時團隊合作非常重要，大家要一起努力才能成功。因此我很感謝和我一起做實驗的同學們，在實驗發生問題時，願意一起想辦法解決問題、一起克服難關。

另外，我發現在實驗結果的解釋要很小心，在要提出宣稱或自己的主張時，必須要有足夠的證據像是資料或數據，且要先有數據才會有宣稱，否則宣稱後所得到的結論就比較沒有公信力。另外，在整理實驗結果時，我發現如果要有足夠證據解釋觀察到的現象，其實還需要延伸出更多實驗才行，如果我們的時間充足，就能夠將報告做得更具體且完整，希望升上國中後我們還能繼續做實驗，認識更多有關這一方面的知識。

(四)莊宜恩

我們在實驗過程中，遇到了許多挑戰，也因為我們是六年級才進資優班，因此研究的時間非常緊迫，所以我們不但要顧及時間還要顧及實驗內容。儘管如此，我們還是都抱著積極的態度，並且不斷改進實驗內容。我們起初的問題是在於自製地震平台和建築物（例如：搖後沒有變化、會一直撞到）。因此，我們一步步修正做了好多版本，才真正保證的實驗的公正性。在真正做實驗時，我們為了減少實驗誤差，也要一直確認有把控制的變因控制好。做實驗雖然要一直修改，但是很有趣，可以了解不足的地方把它改進，和大家一起集思廣益，分工合作真的很好玩，也謝謝老師及同伴們，我們才能在短時間做出這麼棒的作品！

參考資料

張登翔、鄭婕、施尚辰、蔡念潔（2004）。小球大功用。中華民國第 44 屆中小學科學展覽會。

劉芊妤、歐東霖、吳奕廷（2021）。地動山不搖—隔震裝置在建築物之應用與探究。中華民國第 61 屆中小學科學展覽會。

余以諾（2020）。應用層間變位角於結構損傷指標。三聯技術，(115)，17-21。

<https://www.airitilibrary.com/Article/Detail?DocID=P20140320001-202003-202003250007-202003250007-17-21>

內政部國土管理署（n.d.）。建築物層間變位角與最高居室樓層側向加速度之控制。取自

<https://www.nlma.gov.tw/uploads/files/3ca198a12069488b8b018b8195d49fda.pdf>

地震的律動哪裡來？認識地震波。中央氣象署數位科普網。取自

<https://edu.cwa.gov.tw/PopularScience/index.php/kids/earthquake/181>

天搖地動感受地震波。中央氣象署數位科普網。取自

<https://edu.cwa.gov.tw/PopularScience/index.php/earthquake/139>

國家地震工程研究中心（n.d.）。軟弱層建築物的耐震力不佳。取自

https://www.ncree.org/safehome/ncr03/pc5_6.htm

國家地震工程研究中心（n.d.）。減震器的功用。取自

<https://www.ncree.org/safehome/ncr05/ncr2.htm>