

中華民國第 59 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國小組 地球科學科

第三名

080509

Hold 得住嗎？～不同耐震補強方式對改善建築物穩固性的成效探討

學校名稱：高雄市三民區愛國國民小學

作者： 小五 游在行 小五 陳妍臻 小五 李珈羽 小五 陳亮羽	指導老師： 陳建良 王雅柔
---	---------------------

關鍵詞：地震、耐震補強、建築物

摘要

研究在得知學校建物耐震補強事由展開了探究。透過資料蒐集了解學校建物較常見的補強工法有擴柱、增設 RC 翼牆及剪力牆補強。

經實驗探究發現不同耐震補強方式都能改善建物的穩固性，通常補強樓層越多，耐震效果就越好。研究中補強效果較佳的方式是翼牆補強，其次是剪力牆補強與斜支撐補強方式。另外，發現擴柱和增設剪力牆補強方式，補強 3 層和補強 4 層效果差異不大，未來設計如有特殊考量，可在安全無虞下減少最高樓層的補強。也發現斜支撐補強可增加建物的穩固性，其中以 W 字形及具彈簧的 V 字形結構補強效果較佳。

最後提出建議：對於學校建物的長方形結構，當地震振動方向與建物短邊同方向時會影響劇烈，應該特別注意建物短邊結構的補強。

壹、研究動機

暑假學校為了安全問題拆除了一棟老舊校舍，接著也將進行另一棟舊校舍的「耐震補強」工程。近日從新聞報導得知：「監察院報告指出，全國有 1569 棟校舍待補強、401 棟校舍待拆除，逾 14 萬學生在待拆、待補強的教室上課。」學校校舍耐不耐震的問題又再次被討論。

也還記得老師在社會課【家鄉的自然環境與生活】(南一版四上第二單元)單元中，曾經和我們討論過建築物受到地震的影響，令我記憶深刻也感到震憾，於是，就找了幾位好朋友一起來探討在我們生活周遭的問題。

貳、研究目的

- 一、了解建築物受地震影響及耐震補強的概況。
- 二、探討不同耐震補強方式對建築物穩固性的影響。
- 三、提出可以減少建築物受地震影響的較佳補強方式。

參、研究設備與器材

自製振動平台、珍珠板、圓木棍、V 字形水位高度管、熱熔膠槍、積木盤、彈珠、透明方盒、透明圓形筒、彈簧、計時器、攝影機、數位相機、ImageJ 影像分析軟體、影像軟體。



肆、研究過程及方式

研究一、了解建築物受地震影響及耐震補強的概況

(一)統計台灣過去二十年(1998~2018)較大地震影響建築物的情形

1.台灣近二十年來曾發生規模較大的地震，部份有關建築物受損情況如下：

年(西元)	月	日	地點	芮氏規模	深度(公里)	備註
2018	2	6	花蓮縣政府東北方 16.5 公里	6.4	6.3	數棟房屋倒塌、傾斜
2016	2	6	屏東縣政府北偏東方 27.1 公里(高雄市美濃區)	6.6	14.6	466 棟房屋全毀
2013	6	2	南投縣政府東方 29.3 公里(南投縣魚池鄉)	6.5	14.5	19 棟房屋全毀
2009	12	19	花蓮市地震站南偏東方 21.4 公里	6.9	43.8	多棟房屋毀損
2006	12	26	屏東墾丁地震站西南方 38.4 公里	7.0	44.1	3 棟房屋全毀，4 棟房屋半毀
2006	4	1	台東卑南地震站北方 7.0 公里	6.2	7.2	14 棟房屋全毀，7 棟房屋半毀
2002	3	31	花蓮秀林地震站東方 44.3 公里	6.8	9.6	6 棟房屋全毀
1999	9	21	南投魚池地震站西南方 10 公里	7.3	8.0	51,711 棟房屋全毀，53,768 棟房屋半毀
1998	7	17	嘉義阿里山地震站西方 14.4 公里	6.2	3.8	瑞里飯店嚴重受損，嘉南地區多處房屋毀損，合計共 18 棟房屋全毀，165 棟房屋半毀

2.我們也蒐集了近年地震影響學校建物的部份相關報導訊息，整理如下：

地震發生	相關報導內容	新聞來源
2018.2.6 花蓮近海	花蓮市中華國小校門口鐵門變形、脫軌，迎客高柱岌岌可危。建築與地面出現數百道的裂縫，形成多處危險區域，水管也被震到破裂，已修復補強。 學校透過災後心理輔導、校園修復補強，打造穩定學生心靈的避風港。	2018/05/24 遠見雜誌整合傳播部企劃製作系列報導－花蓮不讓學童教育被震毀(下)

	<p>花蓮市明禮國小位於米倫斷層上，地震造成校園圍牆傾斜、水管斷掉、化糞池與牆面龜裂、水泥破損、操場與地板隆起等損害，目前已修復補強。</p> <p>學校推出「地震教育媒體行動學習」課程，帶領孩子觀察、紀錄震災現場，教育他們不怕地震，養成防震救災的能力。</p>	
1999.9.21 南投魚池	<p>台中大同國小前棟大樓興建於民國 23 年，建築本體牆身屬磚牆構造，外牆以洗石手法裝飾；然而建築本體在地震時受損，樑柱龜裂、天花板滲水，相關木作、裝修、粉刷層連帶損壞，磨石子地板也產生裂縫破損，前棟大樓修復暨再利用落成。</p>	2018/10/26 台灣新生報 大同國小前棟大樓落成
	<p>彰化縣東芳國小創校 70 多年，位於學校右後方有棟使用已將近半世紀的老舊教室，在歷經 921 大地震及多次地震摧殘後，出現多處龜裂、鋼筋裸露、柱子中空等危樓現象。為有效降低地震所造成的災害，辦理老舊校舍拆除重建計畫，即將動工。</p>	2019/02/20 中廣新聞網 彰化縣長展魄力重建東芳 國小校舍維護安全
	<p>台中市學生數最多的「南陽國小」，仁愛樓、信義樓使用逾 40 年，921 地震後進行結構補強，仍有多處牆面滲水、水泥剝落。經專業鑑定耐震能力不足，經中央及地方籌編近億元已動工辦理拆除重建。</p>	2019/01/19 中時電子報 告別舊校舍南陽國小獲新生

(二)國內建築物耐震補強的實施現況

1.耐震補強的意義與重要性

為什麼要耐震補強呢？其實幾十年前人們蓋房子時並不會想太多，不太會考慮到防震強度的問題，而台灣位於歐亞大陸板塊與菲律賓海板塊的交接處，屬於地震頻繁的地方，在歷經「921 大地震」後，人們才驚覺地震的威力及對建築物帶來的破壞，開始關注建築物的防震、耐震及補強的問題。因為學校承擔了重要的社會責任，因此，政府展開對學校建築物的總體檢，希望提供給下一代一個安全的學習環境。




「耐震補強」是指原來的建築物因為之前在蓋的時候未能設計較高強度的防震或是建築物使用較久而老化了，因此，當幾十年後發現建築物防震的強度可能不夠了，想要外加在原有建築物本體的一種方式。

本研究後續實驗的設計都以學校教室為參考依據，結合「耐震補強」的概念，在建物模型上外加材料，進行實驗的操作。

2.耐震補強的工法

根據資料蒐集(來源：<https://school.ncee.org.tw/files/common/education/20131226-retrofit-sample.pdf>)，我們得知一般常見的工法包括：擴柱補強、RC 翼牆補強、剪力牆補強、鋼

斜撐框架、碳纖維包覆、復合柱補強等；其中擴柱補強、RC 翼牆補強、剪力牆補強是學校建築物較常見的補強工法。各項工法簡述內容如下表：

常見補強工法	施工方式	圖說
擴柱補強	擴大既有柱子之斷面以同時增加建築物之強度與韌性	
RC 翼牆補強	於既有的獨立柱子兩旁加設單片或雙片的牆體	
剪力牆補強	於既有梁、柱構架內加設整片 RC 翼牆	
其他補強工法	施工方式	
鋼斜撐框架	於原有梁柱內增設鋼斜撐或鋼框架斜撐，減輕原有梁柱的負擔	
碳纖維包覆	利用重量輕強度高的碳纖維網包覆梁柱，增加結構物耐震的能力	
復合柱補強	於牆之前、後兩側配置主筋用以夾住隔間磚牆，此工法具備省時、省工之特性	

本研究依據上述常見工法，進行各項實驗設計，探討不同補強工法對改善建築物穩固性的成效。

3.目前學校校舍耐震補強現況

(1)經資料蒐集（參考資料十三：監察委員新聞稿附表）發現，近些年政府全面檢視各級學校的建築物防震強度，全國公立國中小學經評估需拆除校舍及需詳評辦理的情形如下統計：（統計至 107 年 10 月 2 日止）

縣市	需拆除		經評估需補強	
	棟數	教室間數	棟數	教室間數
國立附小			15	122
臺北市	38	573	613	12,091
新北市	145	2,569	774	16,313
桃園市	59	545	360	5,593

臺中市	179	2,327	563	10,681
臺南市	187	1,949	408	6,034
高雄市	226	2,977	441	7,782
基隆市	40	400	85	1,086
新竹市	24	348	55	940
嘉義市	29	253	29	330
新竹縣	55	512	111	1,240
苗栗縣	87	682	165	1,950
彰化縣	68	755	368	5,300
南投縣	88	265	226	1,927
雲林縣	70	620	313	3,491
嘉義縣	80	639	170	1,366
屏東縣	118	1,054	201	2,354
宜蘭縣	28	187	115	1,017
花蓮縣	25	142	227	1,717
臺東縣	45	256	238	1,609
澎湖縣	17	114	13	110
金門縣	30	102	5	20
連江縣	34	80	6	11
總計	1,672	17,349	5,501	83,084

(2)至資料統計截止，國內尚有 1672 棟校舍需拆除(17349 間教室)；5501 棟校舍經評估需補強(83084 間教室)。另外，也有許多學校已經陸續完成耐震補強的工程，列舉部份已完工學校的補強工法如下：

補強方法	補強完畢的中小學			
RC 擴柱補強	高雄市龍肚國小	新竹市東園國小	高雄市莒光國小	台北市興隆國小
RC 翼牆補強	台北市大安國小	台北市成德國中	高雄市龍肚國小	台南市北門農工
RC 剪力牆補強	台南市安順國中	台東縣池上國中	台南市國立台南高工	花蓮縣吳江國小
鋼斜撐補強	桃園縣中壢高商	台中市國立台中啟明學校		

資料來源：校舍耐震資訊網。 <https://school.ncree.org.tw/school/home/news.php>

(三)文獻分析探討建築物防震或補強的相關實驗研究

研究者針對過去相關之實驗研究，閱讀後整理部份重點摘要如下：

1.中華民國第 58 屆中小學科展高中組作品---制震阻尼系統在縮尺建物消能運用之初步評估探討

本研究透過實驗模擬不同地震波下，比對制震阻尼系統模型之位移、軸力、加速度

是否相同之消能效益趨勢，並探討他們在實驗後各方面特性差異做比較。研究結果發現：利用不同週期性所得到阻尼器適用於中週期效果呈現最佳，符合高樓層制震建築所需；另外，研究所建構之實驗模組評估，認為安裝阻尼器約在 2/3 樓層以上的位置是較佳的。

2. 中華民國第 58 屆中小學科展國小組作品---天「柱」我也

本研究透過文獻與實驗模擬大樓剛性結構搭配輔助軟性結構的設備來分析樓層遇到地震時在物理上的變化與影響。結果發現：樓層內的施重所在區域之力柱承重最重；力柱加裝彈簧座可減低振幅，而加裝阻尼器可以緩衝地震的強度；最後建議：良好的大樓防震結構是越高樓層面積越小、中間樓層加裝阻尼器、使用加裝彈簧座的正方形力柱。

3. 中華民國第 56 屆中小學科展國小組作品---水塔超人震得住-液體阻尼器的防震效果研究

本研究以自製液體阻尼器做為研究探討重點，發現圓柱體容器的阻尼效果最好；在控制重量下以液面高度 6.5 公分阻尼效果最好，無控制重量以液面高度 8 公分阻尼效果最好；若在建物上方懸吊不同長度、相同重量(懸吊質塊)擺長週期越接近震盪器週期的阻尼效果最好；若擺長固定，改變懸吊質塊的重量來實驗，則以質塊越重的，阻尼效果最好。

4. 中華民國第 55 屆中小學科展國中組作品---扭一扭，地震滾出去！

本研究利用 14 種建物模型在不同條件下進行實驗，觀測晃動情形及倒塌時間，結果發現：大多數建物模型是震幅越大倒塌率越大，某些模型在特定的頻率最容易引起倒塌，此為共振現象的影響；另外，發現 SS 建物(類鋼骨結構建物)加入滾動鋼珠，可以消耗地震能量以大幅降低倒塌率，並延長倒塌時間，是本次研究認為最有效的制震方式。

5. 中華民國第 55 屆中小學科展國小組作品---震不震「阻」了就知道—從阻尼器看地震對鋼骨大樓的影響

本研究主要探討可以使建築物較穩固不易倒塌的方法，研究者使用頂點珠及造型棒來模擬各種形狀的鋼骨大樓。結果顯示大部分鋼骨大樓的形狀設定在最長的邊與地震方向平行時及鋼骨大樓的重心在高樓層時振動幅度都比較小；他們也利用彈簧、槓桿及磁力原理分別製作不同阻尼器，探討裝設自製阻尼器的鋼骨大樓在地震時的振動幅度是否有所改善，結果發現三種自製阻尼器都可以達到減震的效果。

6. 中華民國第 53 屆中小學科展國中組作品---“城市殺手”直下型地震

本研究利用自製振動台來測試建築制震器的抗震能力，進行探討城市直下型地震抗

震的方法。結果發現黏滯阻尼器、斜撐式制震器抗震的效能較佳；也發現火成岩(安山岩)抗震能力較佳；另外，發現軟弱地層厚度越高，到達共振的情形就越明顯，而且軟弱地層對震波有放大效果，因此，建議建築物應建置在岩盤上，安全性較佳。

7.中華民國第 52 屆中小學科展高中組作品---探討常見建物斜撐形式之最佳化抗震效應

本研究主要是在研究加上斜支撐的建築在地震時的穩固性會不會比較好，研究者利用木板和木條來模擬建築物及做為斜支撐。結果發現：最佳化的抗震斜撐型式為交叉型斜撐型式；也發現建物結構補強方式對稱性越高，能夠達到較佳之抗震效應；此外斜撐桿件如果能直接透過適當連結方式，則可減低樑柱受到地震所造成的能量衝擊，也就可以使建物達到較佳的減震程度。

從歷屆科展相關作品中，我們可以發現過去的研究主要以防震概念為主，較常針對大樓結構做為探討對象，以震幅大小、阻尼器條件、地質條件及斜撐式結構等變項做為主要探討的依據。也得知震幅越大建物倒塌率越大，但透過阻尼器的裝設或斜撐結構等都可增加建物的防震效果。

研究二、探討不同耐震補強方式對建築物穩固性的影響

(一)去年研究重點及後續研究方向說明

去年我們分別針對不同的柱子數量、柱子結構、單一樓層高度、樓層數量、牆壁數量及排列方式與隔間方式等變因，進行探討其與建築物穩固性的關係。研究明顯發現在柱子數量越多、樓層高度越低及樓層數量越少的條件，其建物模型的穩固性都較好。

在這次的研究中，運用過去的研究經驗，做為實驗設計的主要依據。本次研究主要針對學校校舍的補強方式做為探討，經資料閱讀及討論後我們決定以不同的擴柱補強方式、翼牆補強方式、剪力牆補強方式、斜支撐結構等變因作為本研究之操縱變因，進行實驗觀測，並且先進行討論、設計及測試。

(二)器材設計說明

1.自製振動平台：

我們使用改裝過的搖擺機，在振動裝置上固定長 50cm、寬 50cm 的實驗操作平台，做為模擬地震振動時使用的平台。我們事先經調速測試練習及觀測，測得實驗中振動速度的資料數據如下（振幅固定為 30cm）：

控制開關(級數)	1 級	2 級	3 級	4 級
實測來回(次/分)	110	120	124	130
頻率(次/秒)Hz	1.83	2.00	2.07	2.17
週期(秒/次)	0.55	0.50	0.48	0.46

2.自製建物模型：

(1)本研究擬以本校預備耐震補強之建築物

(建造於民國 69 年，如右圖 1)教室尺寸(大約長 10m、寬 7.5m、高 3.5m)做為建物模型製作尺寸依據，以 25：1 之比例製作為長 40cm、寬 30cm、高 14cm 的建物模型(一間教室)。



圖 1

(2)每樓層以一間教室做為實驗建物模型基準，共計 4 層樓。每層樓地板以 40cm×30cm 的珍珠板(5mm 厚)製作，並在 4 個角落及長邊中央位置分別穿入 1 支圓木棍(4m/m)做為模擬建物的柱子，標準組以 5 片珍珠板組合成 4 個樓層，每層樓高 14cm，如右圖 2。



圖 2

(三)模擬測試與觀察

由於去年實驗的經驗，我們發現以螺帽掉落(如右圖 3)做為觀測振動情形的說明有時不易呈現各樓層受振動的影響差異，因此，本研究除了改變建物模型的尺寸外，也希望修正觀測記錄的方式；所以，我們著手準備各項材料，進行模擬實驗觀測，修正並決定後續實驗操作之方式，過程如下：



圖 3

1.器材配置及材料準備：

(1)事先將振動平台使用之電源接好，並調速至最小的

1 級，再將測試材料固定於振動平台中央。

(2)準備網格狀積木盤+彈珠、透明方形盒(10cm×10cm×10cm)、透明方形盒

(5cm×5cm×10cm)、透明圓形筒(直徑 5cm、高 10cm)等。

2.測試及觀察結果

(1)第 1 次測試-觀測記錄：

①想法：透過可以滾動的彈珠，在振動平台左右擺動的過程中使彈珠移位，藉由彈珠移位的距離來觀測說明受振動後的力量大小，再利用網格結構使彈珠不會直接滾動到外面。



圖 4

②材料：網格狀積木盤 2 種、彈珠。

③操作：將彈珠置於網格狀積木盤中央位置，啟動振動平台控制開關，從最小的 1 級開始振動，每隔 30 秒增加一個級數，觀測彈珠在振動平台上的移動情形。(如圖 4、5)



圖 5

④結果：在較小的振動級數時，彈珠都立於網格中

未能移動，在振動級數越來越大後，有時彈珠就會突然移位快速滾開，也沒能停留在網格中，經討論認為不適合做為觀測的方式，需修正。

(2)第 2 次測試-觀測記錄：

①想法：地震時水族箱中的水會因為受到震動而產生水的波動，有時還會濺出，因此，想要藉由水波波動的高度變化來進行觀測，說明不同情境下建物模型受振動的影響。

②材料：透明方形盒(10cm×10cm×10cm)、透明方形盒(5cm×5cm×10cm)。

③操作：先將 2 個方形盒分別盛裝 2cm 高的水位再固定於振動平台中央，啟動控制開關，從最小的 1 級開始振動，每隔 30 秒增加一個級數，觀測水波在盒內的波動情形。(如圖 6)

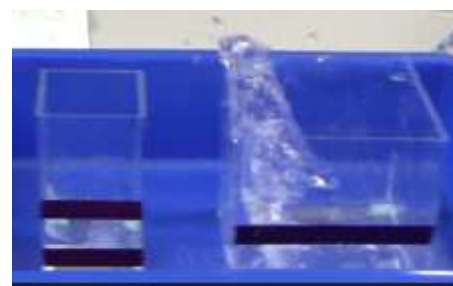


圖 6

④結果：經過級數慢慢增加到 3 級後，大型方盒的水就被振動到濺出來了，我們討論認為大方盒不適合做為實驗觀測用的器材，需修正。

(3)第 3 次測試-觀測記錄：

①想法：較大的方形盒不適用於觀測，因此保留小方形盒，並取一個和小方形盒尺寸接近的圓形筒再做觀測比較，並分別測試水位 2cm 及 5cm 的組別。

②材料：透明方形盒(5cm×5cm×10cm)、透明圓形筒(直徑 5cm、高 10cm)。

③操作：先將方形盒及圓形筒分別盛裝 2cm 高的水再固定於振動平台中央，啟動控制開關，從最小的 1 級開始振動，每隔 30 秒增加一個級數，觀測水波在盒內的波動情形。(如圖 7)



圖 7

④結果：經過級數慢慢增加到 4 級後，方形盒內的水就被振動到不規則狀上下，而圓形筒內的水波仍穩定的上下；另外，我們也測試了 5cm 水位的組別，方形盒內的水也一樣不規則波動(如圖 8)；因此，經我們討論認為以圓形筒較適合做為實驗觀測盛水用的容器。



圖 8

(4)第 4 次測試-觀測記錄

- ①正式將裝有 2cm 水位的圓形筒 4 個分別固定於 4 個樓層的中央位置，進行正式測試。
- ②操作：從最小的 1 級開始啟動控制開關振動，每隔 30 秒增加一個級數，觀測水波在圓筒內的波動情形。(如圖 9)
- ③結果：4 個樓層都放置裝水的圓形筒，明顯增加了各樓層的重量，經振動觀測發現建物模型的擺盪受到影響，經討論再次提出修正。

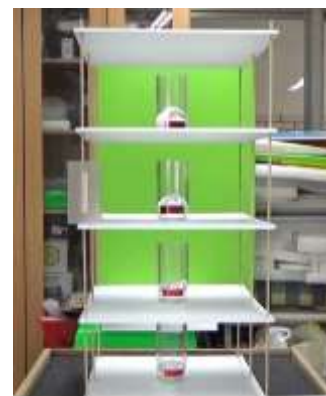


圖 9

(5)第 5 次測試-觀測記錄

- ①修正觀測方式：將圓形筒更換為 V 字形管狀結構，再次進行測試。
- ②操作：從最小的 1 級開始啟動控制開關振動，每隔 30 秒增加一個級數，觀測水波在 V 字形管狀內的波動情形。(如圖 10、11)
- ③結果：上下波動明顯且穩定，可方便測量與記錄，經討論決議使用此方式進行後續實驗觀測與記錄。

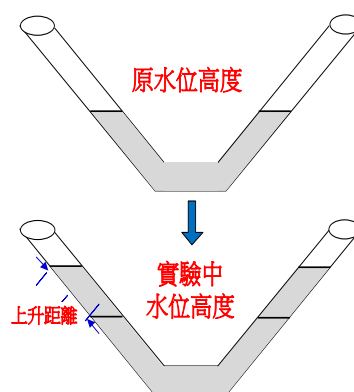


圖 10

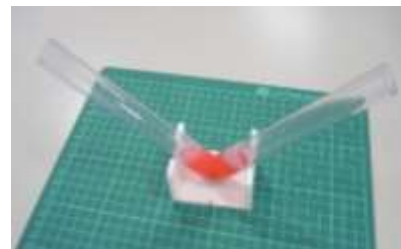


圖 11

(四)正式實驗觀測記錄方式

藉由以上的準備及測試，我們經討論後決議依各變因組別條件完成器材配置，觀測記錄方式說明如下：

- 1.標準組建物模型：以珍珠板自製建物模型，固定每層建物大小長 40cm、寬 30cm、高 14cm，樓高 4 層，柱子數量 6 根，無牆壁及隔間。
- 2.將自製振動平台開關調至 1 級(每次都以振動頻率 1.83 次/秒進行操作)，再把建物模型固定在平台中央，建物模型長邊與振動同方向，在每個樓層中央位置固定觀測用之 V 字形水位高度管，做為振動後測量記錄的指標。(如圖 12)
- 3.實驗操作中為清楚觀測水位上升高度，事先將水染色，方便觀測水在 V 字形水位高度管中上升高度的變化。(如圖 10)



圖 12 實驗器材操作圖

4.啟動電源開關，每次振動 20 秒，錄影觀測後再擷取單張圖片利用 ImageJ 軟體測量出水位上升的距離並記錄。

5.水位上升距離測量：以單側的水位高度管(長 12cm)作為比例尺，換算水位上升的距離對照，利用 ImageJ 軟體測量出水位上升的最大距離。(如圖 13)

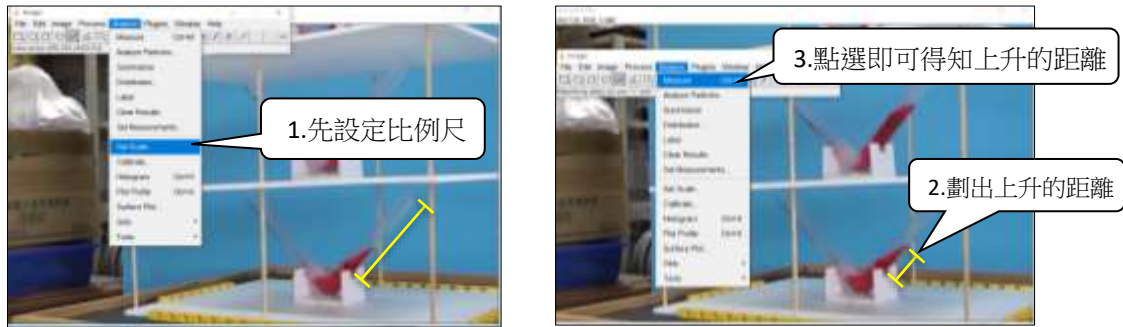


圖 13 以 ImageJ 軟體計算出水位上升的距離

(五)實做標準組

- 1.將自製振動平台速度調至 1 級，再把建物模型固定在振動平台中央位置，並在每一個樓層中央位置各固定 V 字形水位高度管，裝入染色的水，做為振動後觀測的指標。
- 2.啟動電源開關，每次實驗觀測 20 秒，同時錄影記錄實驗的過程，觀測振動時水在 V 字形水位高度管中上升的最大距離及建物模型擺動的情形，並重複實驗三次。
- 3.標準組之數據記錄，將做為後續各實驗比較之對照組別。

(六)數據處理說明-水位高度下降率

本研究每次實驗均操作 3 次予以記錄後計算其平均，再與標準組之平均值做比較；為更清楚呈現不同組別水位變化之差值意義，經討論後定義「水位高度下降率」做為輔助各實驗變因之結果說明。水位高度下降率越大，表示建物模型在補強後穩固性越好。

$$\text{水位高度下降率(\%)} = \frac{\text{標準組平均值} - \text{各組別平均值}}{\text{標準組平均值}}$$

實驗(一)不同的擴柱補強位置與建築物穩固性的關係

步驟：1.以自製建物模型樓高 4 層，在長邊雙側的第 1 層中間柱子兩側各加上 1 根柱子。

2.將自製振動平台速度調至 1 級，再把建物模型固定在平台中央位置，並在每一個樓層中央各固定 V 字形水位高度管，裝入染色的水做為振動後觀測的指標。

3.啟動電源開關，每次實驗觀測 20 秒，同時錄影記錄實驗的過程，觀測振動時水在 V 字形水位高度管中上升的最大距離及建物模型搖動的情形，並重複實驗三次。



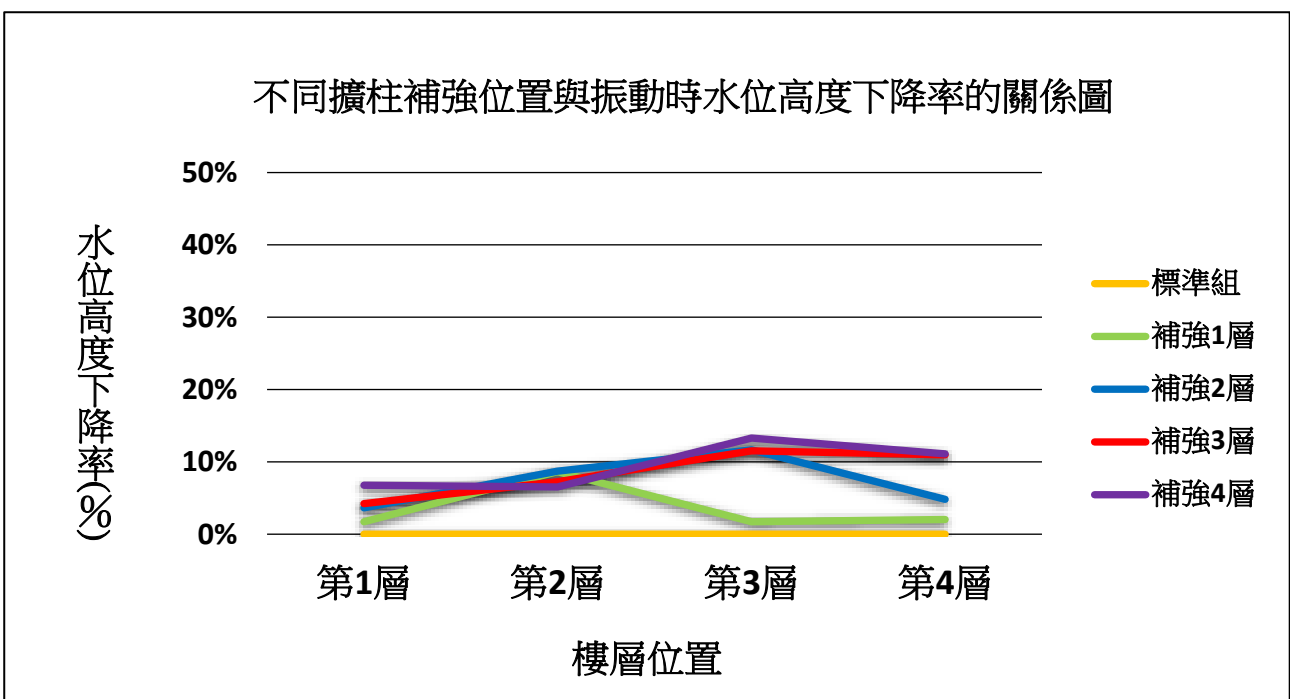
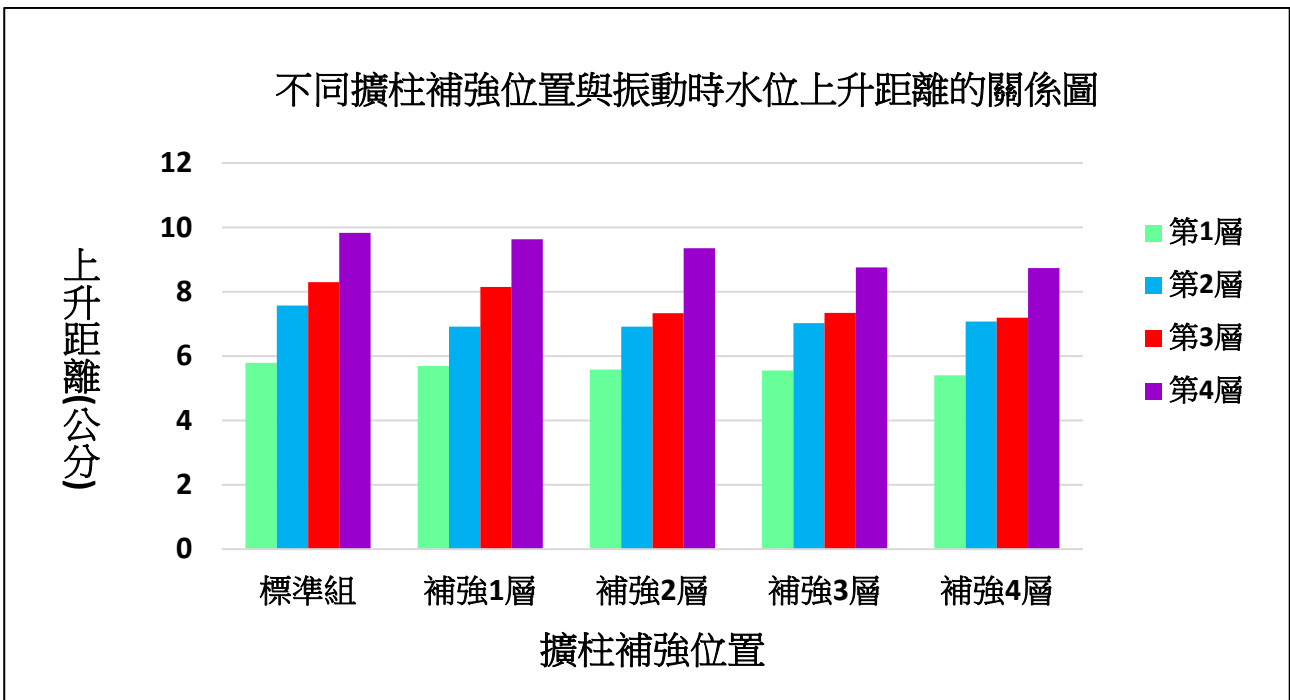
4.依序改變增加擴柱補強的層數，重複上述 1-3 步驟，觀測並記錄結果。

樓層	擴柱位置 次數	標準組 (對照組)	擴柱補強 雙側 1 層	擴柱補強 雙側 2 層	擴柱補強 雙側 3 層	擴柱補強 雙側 4 層
第 1 層	第一次	5.98	5.65	5.51	5.41	5.56
	第二次	5.66	5.74	5.78	5.59	5.33
	第三次	5.75	5.70	5.46	5.66	5.33
	平均	5.80	5.70	5.58	5.55	5.40
	水位高度下降率	0%	1.72%	3.64%	4.23%	6.75%
第 2 層	第一次	7.63	7.03	6.90	7.05	6.96
	第二次	7.79	7.00	6.92	7.12	7.06
	第三次	7.30	6.73	6.92	6.89	7.22
	平均	7.57	6.92	6.91	7.02	7.08
	水位高度下降率	0%	8.65%	8.71%	7.25%	6.53%
第 3 層	第一次	8.42	8.29	7.43	7.21	7.11
	第二次	8.35	8.05	7.23	7.48	7.24
	第三次	8.13	8.12	7.33	7.32	7.23
	平均	8.30	8.15	7.33	7.34	7.19
	水位高度下降率	0%	1.74%	11.66%	11.52%	13.30%
第 4 層	第一次	10.03	9.66	9.40	8.76	8.64
	第二次	9.58	9.55	9.39	8.69	8.75
	第三次	9.89	9.68	9.28	8.80	8.82
	平均	9.83	9.63	9.36	8.75	8.74
	水位高度下降率	0%	2.04%	4.84%	10.98%	11.12%

單位：公分

***結果與討論：**

- 1.與標準組比較後發現：擴柱後的建物模型經振動時水位上升的最大距離都變小了，表示擴柱補強的方式能改善建築物的穩固性。尤其是在有擴柱補強的樓層之上，效果較為明顯，例如：第1層補強時，第2層的水位上升距離減少許多；第2層再補強時，第3層的水位上升距離也減少許多。
- 2.當擴柱補強增加到第4層後，發現整座建物模型的搖晃變得較平均，經實測，水位上升的距離並沒有明顯減少。
- 3.分析數據後發現擴柱補強4層水位上升的距離並沒有特別減少，與補強3層差異不大。



實驗(二)不同的翼牆補強位置與建築物穩固性的關係

步驟：1.以自製建物模型樓高 4 層，在長邊雙側的第 1 層中間柱子兩側各加上 1 片翼牆。

2.將自製振動平台速度調至 1 級，再把建物模型固定在平台中央位置，並在每一個樓層中央各固定 V 字形水位高度管，裝入染色的水做為振動後觀測的指標。

3.啟動電源開關，每次實驗觀測 20 秒，同時錄影記錄實驗的過程，觀測振動時水在 V 字形水位高度管中上升的最大距離及建物模型搖動的情形，並重複實驗三次。



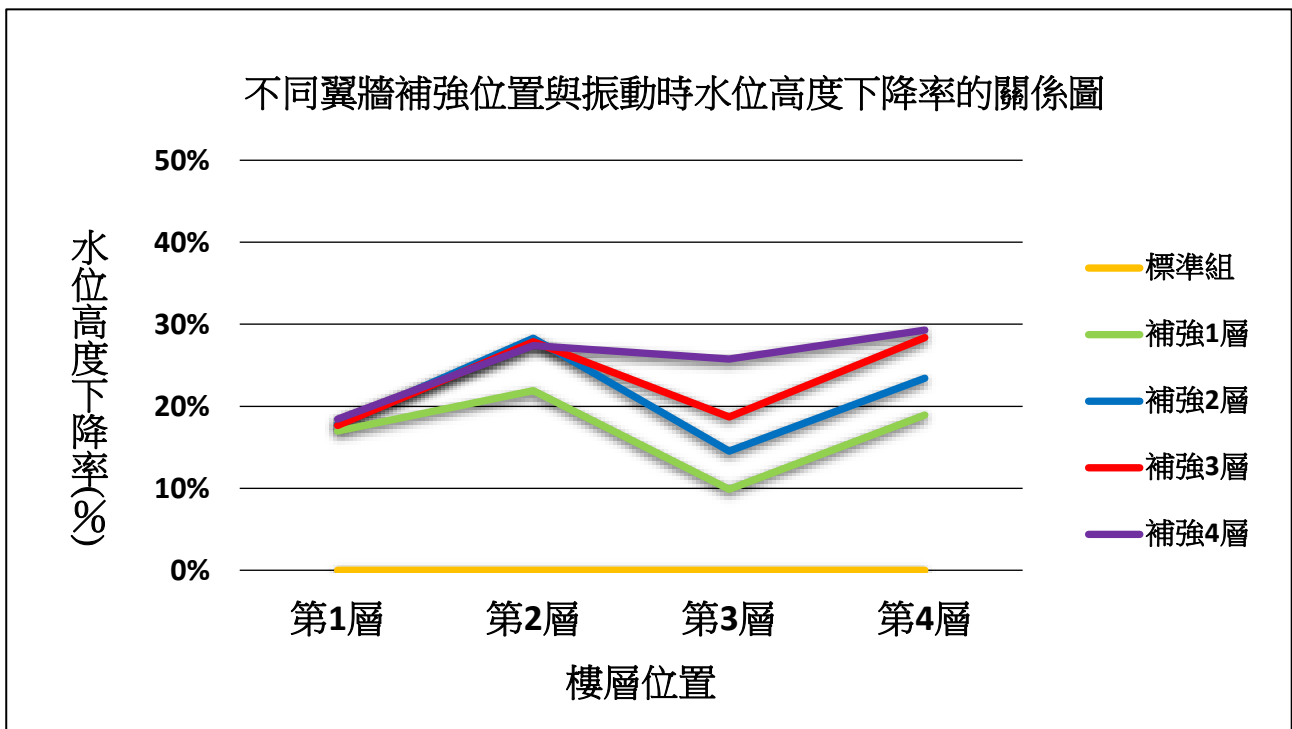
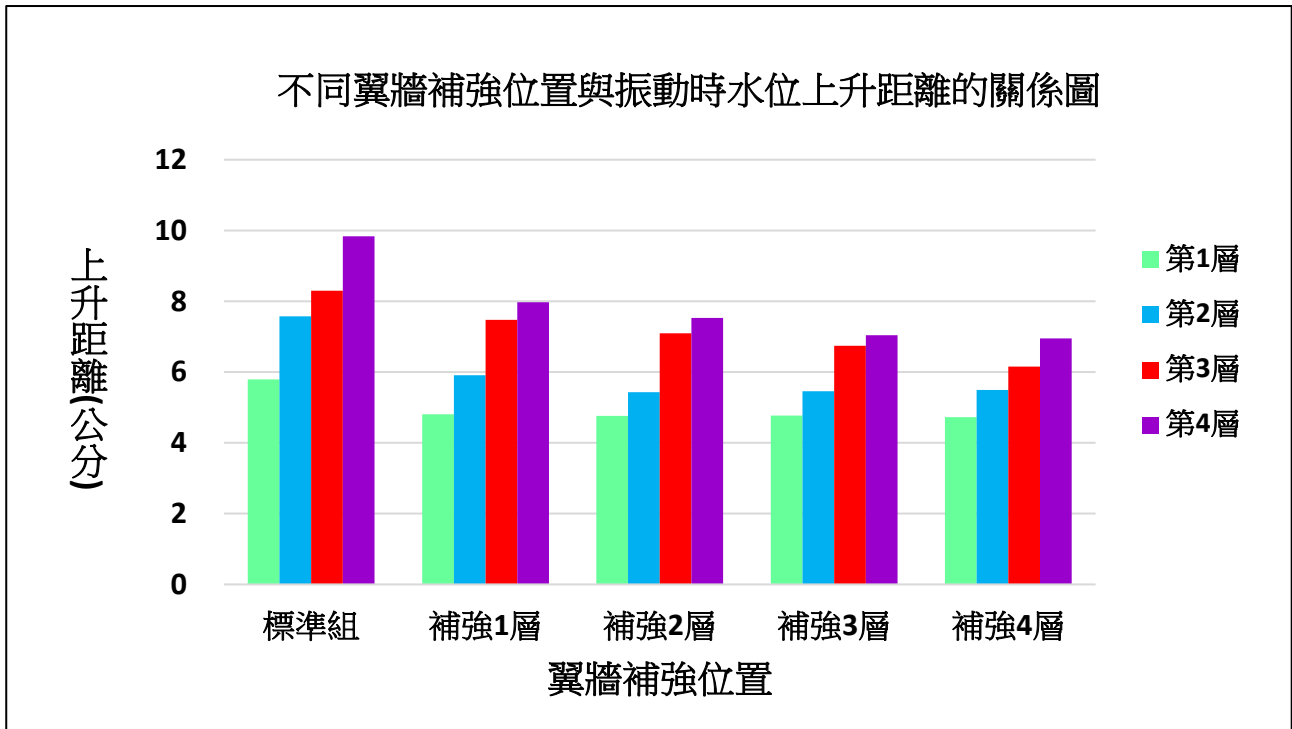
4.依序改變增加翼牆補強的層數，重複上述 1-3 步驟，觀測並記錄結果。

樓層	翼牆位置 次數	標準組 (對照組)	翼牆補強 雙側 1 層	翼牆補強 雙側 2 層	翼牆補強 雙側 3 層	翼牆補強 雙側 4 層
第 1 層	第一次	5.98	4.65	4.82	4.95	4.68
	第二次	5.66	4.97	4.77	4.71	4.72
	第三次	5.75	4.82	4.71	4.66	4.79
	平均	5.80	4.81	4.76	4.77	4.73
	水位高度下降率	0%	16.99%	17.82%	17.66%	18.43%
第 2 層	第一次	7.63	5.88	5.63	5.25	5.29
	第二次	7.79	5.82	5.37	5.61	5.54
	第三次	7.30	6.05	5.30	5.54	5.65
	平均	7.57	5.91	5.43	5.46	5.50
	水位高度下降率	0%	21.90%	28.29%	27.87%	27.42%
第 3 層	第一次	8.42	7.45	7.19	6.61	6.07
	第二次	8.35	7.43	6.96	6.84	6.20
	第三次	8.13	7.55	7.12	6.79	6.21
	平均	8.30	7.48	7.09	6.75	6.16
	水位高度下降率	0%	9.87%	14.53%	18.70%	25.78%
第 4 層	第一次	10.03	7.83	7.50	7.12	6.97
	第二次	9.58	7.76	7.62	6.91	7.00
	第三次	9.89	8.33	7.46	7.10	6.89
	平均	9.83	7.97	7.53	7.04	6.95
	水位高度下降率	0%	18.92%	23.43%	28.37%	29.29%

單位：公分

***結果與討論：**

- 1.與標準組比較後發現：加上翼牆後的建物模型振動時水位上升的最大距離都變小了，表示翼牆補強的方式能改善建築物的穩固性。裝設翼牆的樓層增加，振動時水位上升的最大距離就變得越小，表示補強效果越好。
- 2.發現 1、2 樓低樓層的部份，加上翼牆補強後的水位高度下降率明顯增加，表示補強的效果較佳。



實驗(三)不同的剪力牆補強位置與建築物穩固性的關係

步驟：1.以自製建物模型樓高 4 層，在長邊雙側的第 1 層中間外側加上一面剪力牆。

2.將自製振動平台速度調至 1 級，再把建物模型固定在平台中央位置，並在每一個樓層中央各固定 V 字形水位高度管，裝入染色的水做為振動後觀測的指標。

3.啟動電源開關，每次實驗觀測 20 秒，同時錄影記錄實驗的過程，觀測振動時水在 V 字形水位高度管中上升的最大距離及建物模型搖動的情形，並重複實驗三次。



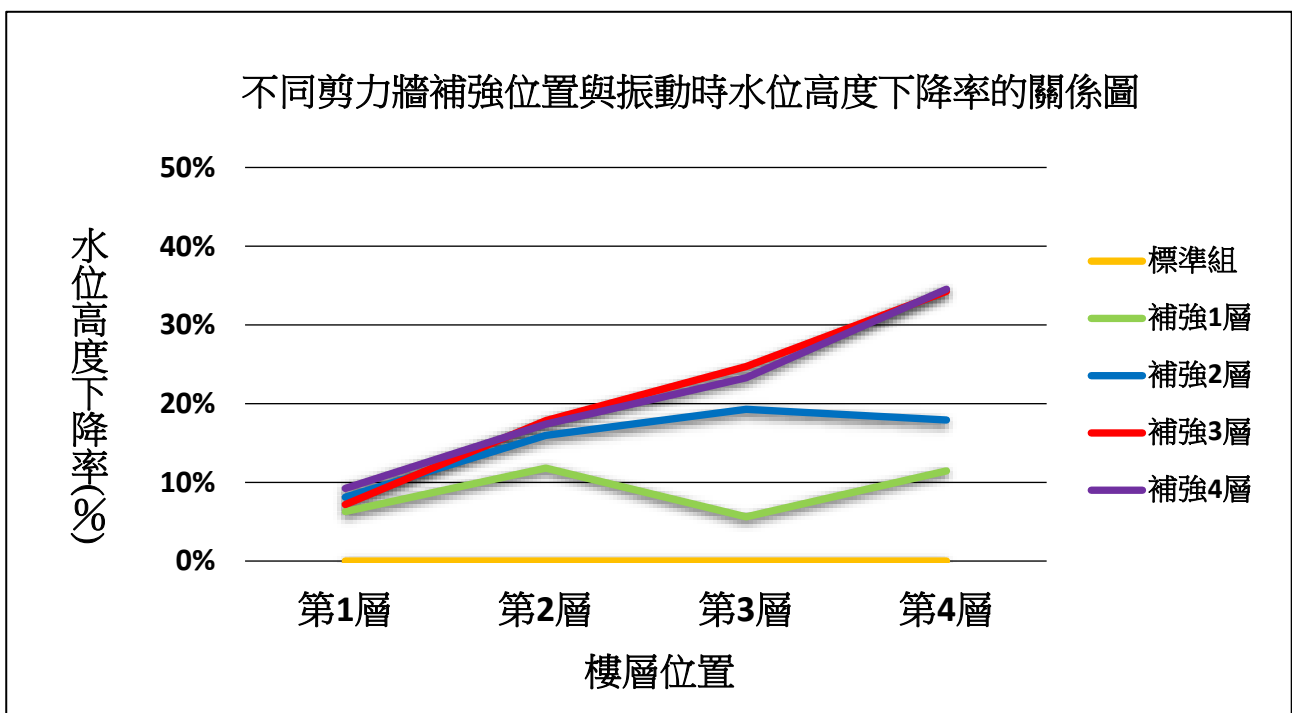
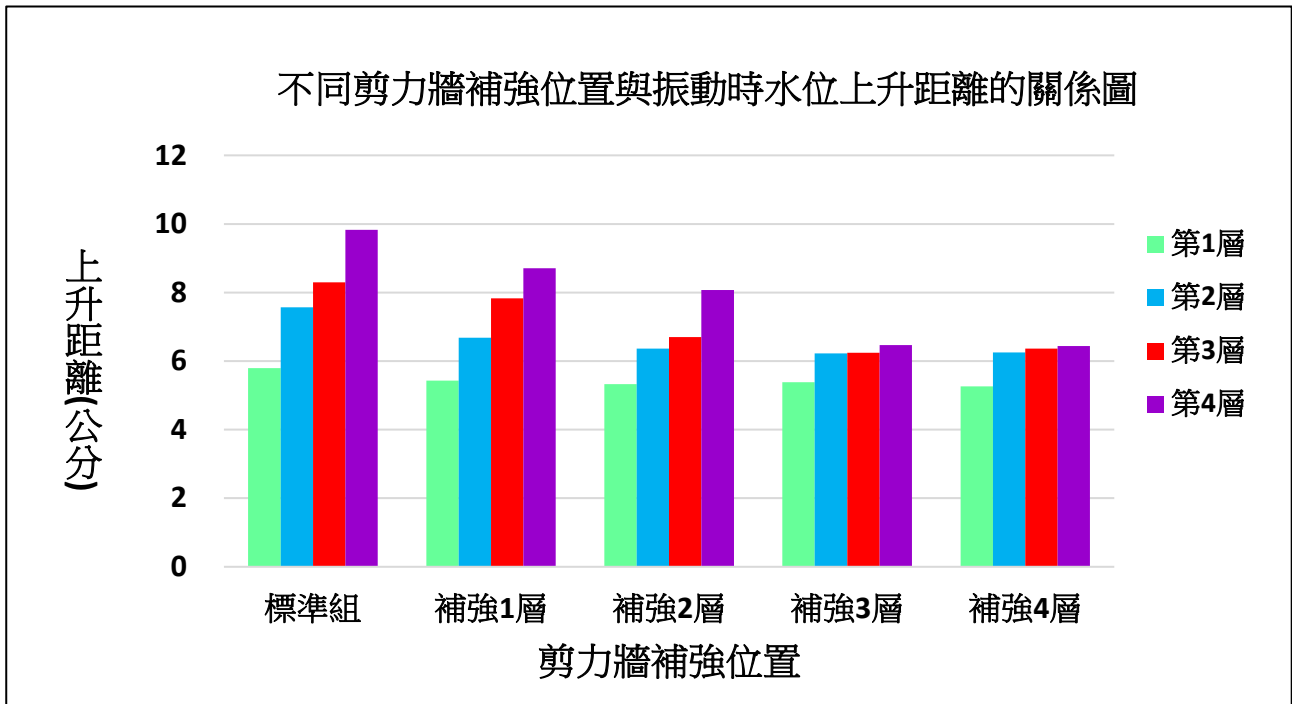
4.依序改變增加剪力牆補強的層數，重複上述 1-3 步驟，觀測並記錄結果。

樓層	剪力牆位置	標準組 (對照組)	剪力牆補強 雙側 1 層	剪力牆補強 雙側 2 層	剪力牆補強 雙側 3 層	剪力牆補強 雙側 4 層
	次數					
第 1 層	第一次	5.98	5.50	5.19	5.06	5.33
	第二次	5.66	5.56	5.37	5.50	5.40
	第三次	5.75	5.24	5.42	5.58	5.05
	平均	5.80	5.43	5.33	5.38	5.26
	水位高度下降率	0%	6.27%	8.11%	7.18%	9.23%
第 2 層	第一次	7.63	6.77	6.24	6.02	6.46
	第二次	7.79	6.44	6.49	6.39	6.06
	第三次	7.30	6.83	6.37	6.26	6.25
	平均	7.57	6.68	6.36	6.22	6.26
	水位高度下降率	0%	11.81%	15.96%	17.84%	17.39%
第 3 層	第一次	8.42	7.81	6.46	6.26	6.32
	第二次	8.35	7.83	7.03	6.09	6.42
	第三次	8.13	7.85	6.60	6.39	6.36
	平均	8.30	7.83	6.70	6.25	6.37
	水位高度下降率	0%	5.61%	19.28%	24.71%	23.27%
第 4 層	第一次	10.03	8.42	8.44	6.90	6.29
	第二次	9.58	8.86	7.78	6.06	6.46
	第三次	9.89	8.84	7.99	6.44	6.57
	平均	9.83	8.71	8.07	6.46	6.44
	水位高度下降率	0%	11.45%	17.93%	34.27%	34.53%

單位：公分

***結果與討論：**

- 1.與標準組比較後發現：加上剪力牆後的建物模型振動時水位上升的最大距離都變小了，表示剪力牆補強的方式能改善建築物的穩固性。裝設剪力牆的樓層增加，振動時使水位上升的最大距離就變得越小，表示補強效果越好。
- 2.發現 3、4 樓高樓層的部份，加上剪力牆補強後的水位高度下降率明顯增加，表示補強的效果較佳。
- 3.數據分析後發現剪力牆補強 4 層水位上升的距離與補強 3 層差異不大。



實驗(四)不同 V 字形斜支撐補強位置與建築物穩固性的關係

步驟：1.以自製建物模型樓高 4 層，在長邊雙側的第 1 層中間柱

子兩側各加上 1 根斜支撐，形成 V 字形。

2.將自製振動平台速度調至 1 級，再把建物模型固定在平台中央位置，並在每一個樓層中央各固定 V 字形水位高度管，裝入染色的水做為振動後觀測的指標。

3.啟動電源開關，每次實驗觀測 20 秒，同時錄影記錄實驗的過程，觀測振動時水在 V 字形水位高度管中上升的最大距離及建物模型搖動的情形，並重複實驗三次。



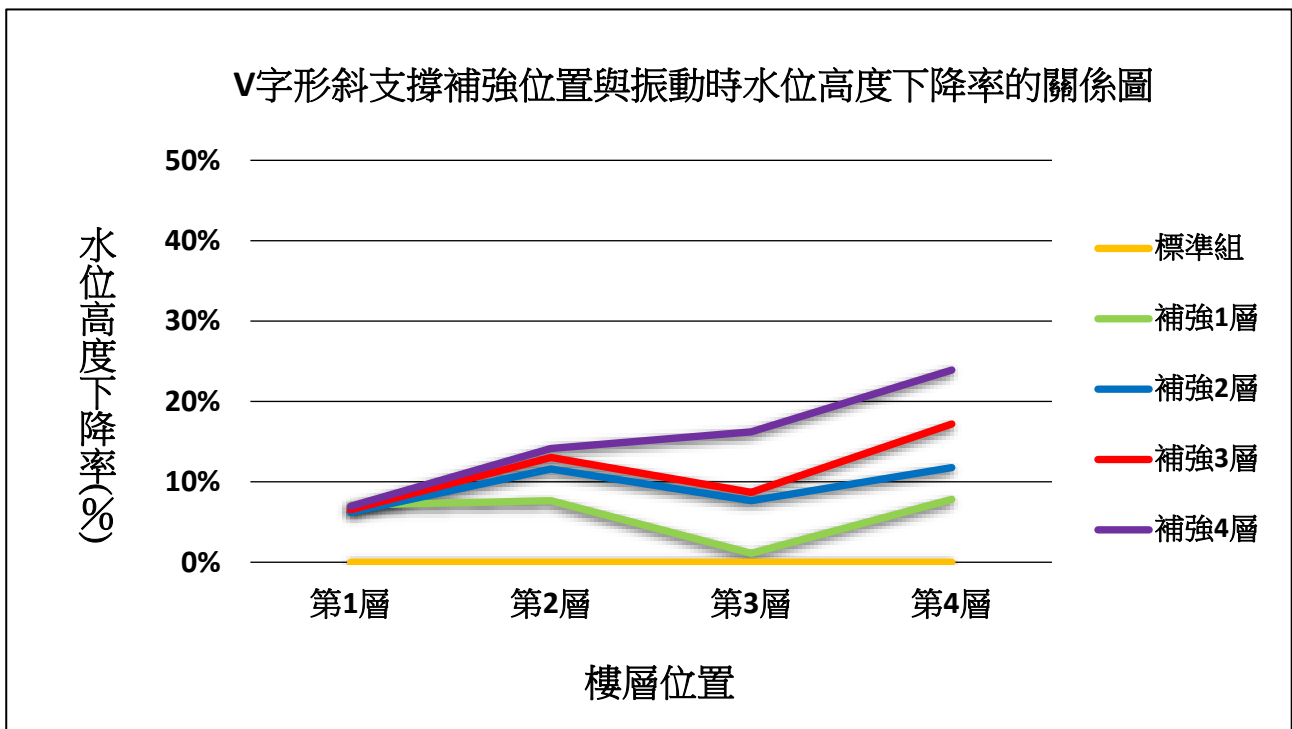
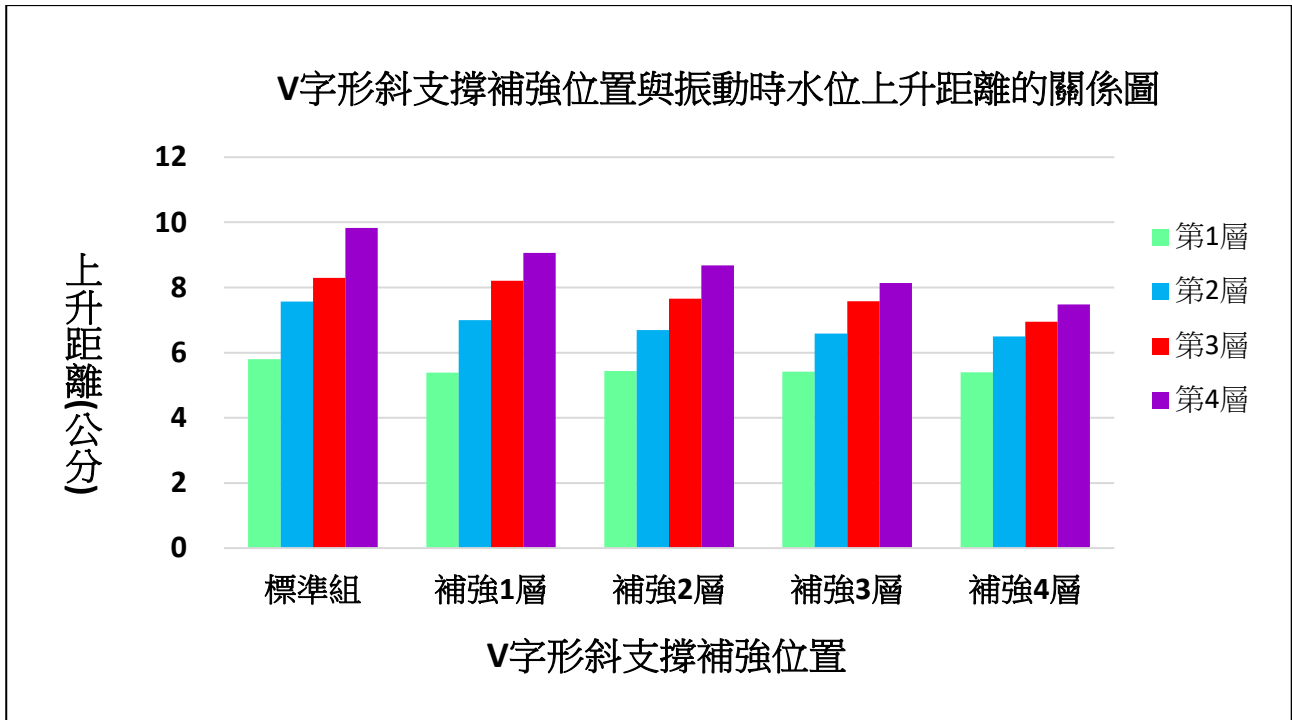
4.依序改變增加 V 字形斜支撐補強的層數，重複上述 1-3 步驟，觀測並記錄結果。

樓層	V 字形斜支撐 位置 次數	標準組 (對照組)	斜支撐補強 雙側 1 層	斜支撐補強 雙側 2 層	斜支撐補強 雙側 3 層	斜支撐補強 雙側 4 層
第 1 層	第一次	5.98	5.65	5.16	5.69	5.28
	第二次	5.66	5.27	5.49	5.36	5.42
	第三次	5.75	5.23	5.66	5.20	5.48
	平均	5.80	5.38	5.44	5.42	5.39
	水位高度下降率	0%	7.09%	6.20%	6.53%	6.96%
第 2 層	第一次	7.63	7.09	6.65	6.35	6.45
	第二次	7.79	6.73	6.65	6.76	6.55
	第三次	7.30	7.16	6.78	6.65	6.50
	平均	7.57	6.99	6.69	6.59	6.50
	水位高度下降率	0%	7.65%	11.60%	13.03%	14.16%
第 3 層	第一次	8.42	8.48	7.82	7.67	6.90
	第二次	8.35	8.16	7.38	7.82	6.93
	第三次	8.13	7.98	7.78	7.23	7.03
	平均	8.30	8.20	7.66	7.57	6.95
	水位高度下降率	0%	1.11%	7.66%	8.71%	16.23%
第 4 層	第一次	10.03	8.86	8.65	8.35	7.60
	第二次	9.58	9.15	8.63	8.12	7.73
	第三次	9.89	9.18	8.74	7.95	7.12
	平均	9.83	9.06	8.67	8.14	7.48
	水位高度下降率	0%	7.83%	11.77%	17.20%	23.91%

單位：公分

***結果與討論：**

1.與標準組比較後發現：加上V字形斜支撐後的建物模型振動時水位上升的最大距離都變小了，表示V字形斜支撐補強的方式能改善建築物的穩固性。裝設V字形斜支撐的樓層增加，振動時水位上升的最大距離就變得越小，表示補強效果越好。



實驗(五)不同 W 字形斜支撐補強位置與建築物穩固性的關係

步驟：1.以自製建物模型樓高 4 層，在長邊雙側的第 1 層中間柱

子兩側各加上 2 根斜支撐，形成 W 字形。

2.將自製振動平台速度調至 1 級，再把建物模型固定在平台中央位置，並在每一個樓層中央各固定 V 字形水位高度管，裝入染色的水做為振動後觀測的指標。

3.啟動電源開關，每次實驗觀測 20 秒，同時錄影記錄實驗的過程，觀測振動時水在 V 字形水位高度管中上升的最大距離及建物模型搖動的情形，並重複實驗三次。



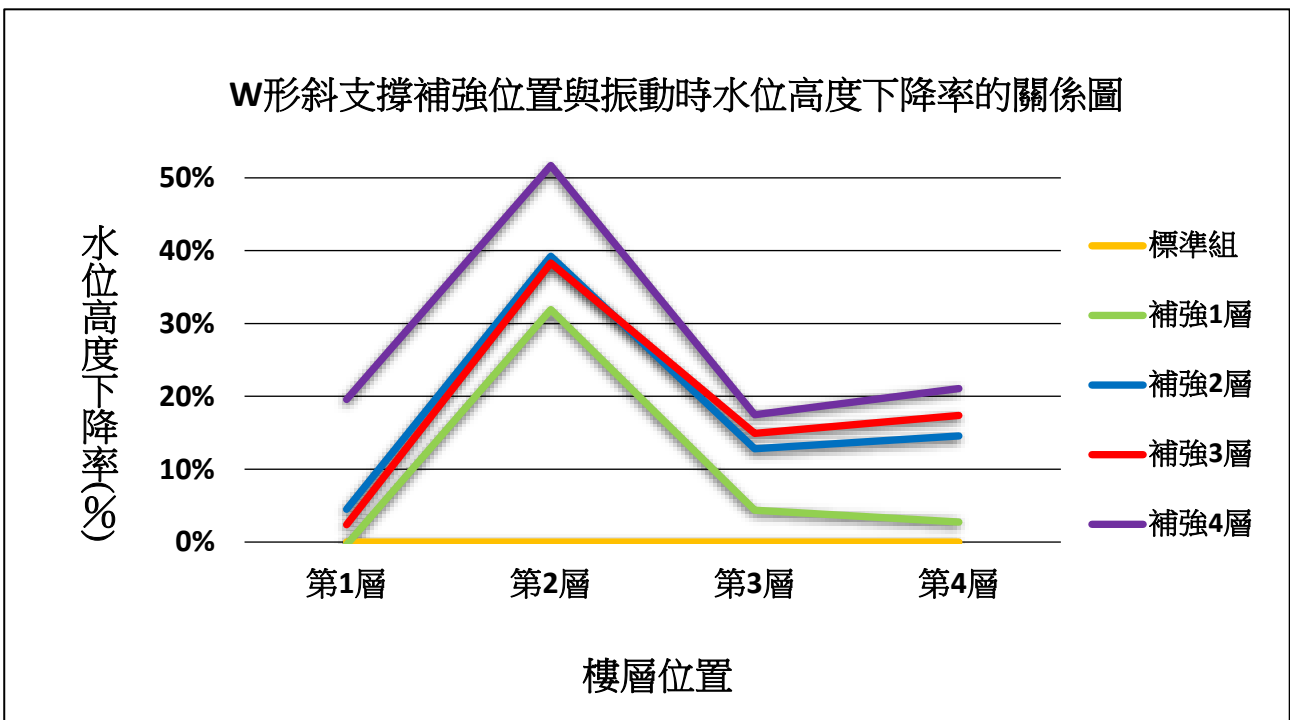
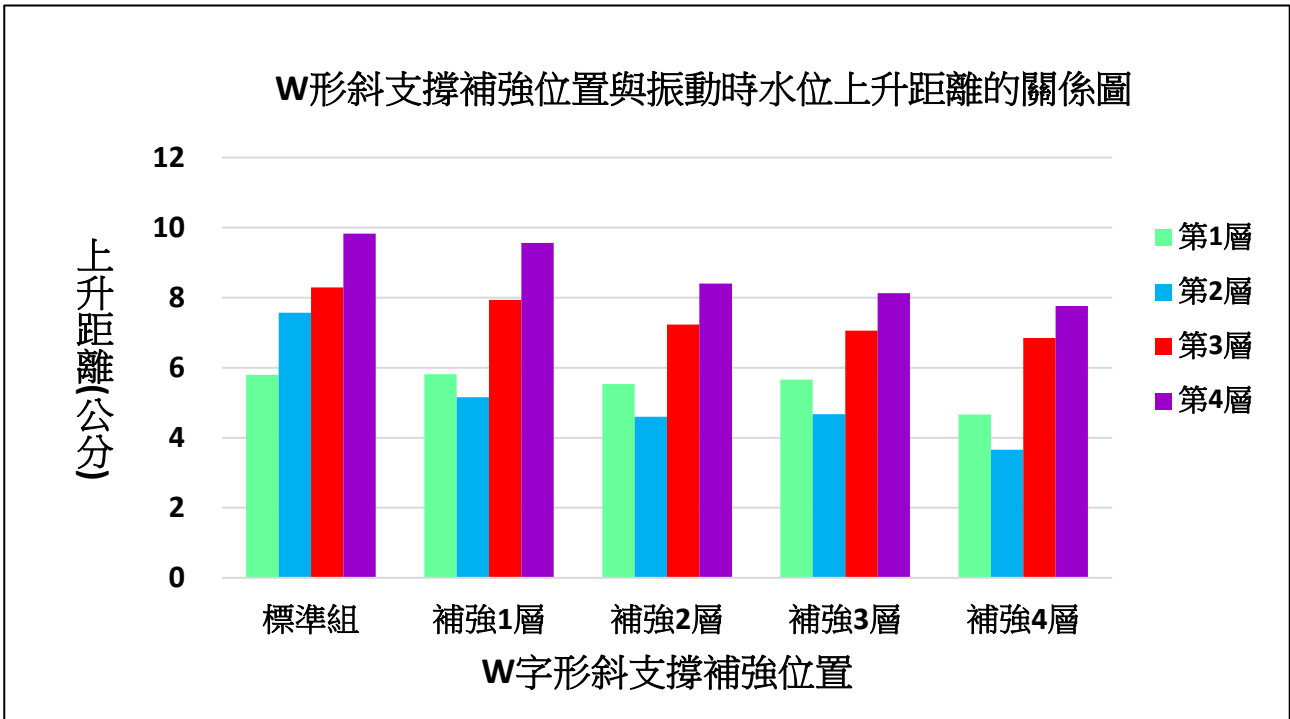
4.依序改變增加 W 字形斜支撐補強的層數，重複上述 1-3 步驟，觀測並記錄結果。

樓層	W 字形斜支撐 位置 次數	標準組 (對照組)	斜支撐補強 雙側 1 層	斜支撐補強 雙側 2 層	斜支撐補強 雙側 3 層	斜支撐補強 雙側 4 層
第 1 層	第一次	5.98	5.74	5.35	5.75	4.70
	第二次	5.66	5.61	5.78	5.52	4.69
	第三次	5.75	6.10	5.48	5.70	4.59
	平均	5.80	5.82	5.53	5.66	4.66
	水位高度下降率	0%	-0.37%	4.50%	2.38%	19.58%
第 2 層	第一次	7.63	4.29	4.54	4.91	3.68
	第二次	7.79	4.59	4.93	4.47	3.63
	第三次	7.30	6.58	4.34	4.63	3.66
	平均	7.57	5.16	4.60	4.67	3.66
	水位高度下降率	0%	31.91%	39.23%	38.31%	51.70%
第 3 層	第一次	8.42	7.86	7.06	7.32	6.82
	第二次	8.35	8.17	7.35	6.98	6.96
	第三次	8.13	7.77	7.29	6.87	6.75
	平均	8.30	7.93	7.23	7.06	6.85
	水位高度下降率	0%	4.38%	12.82%	14.93%	17.48%
第 4 層	第一次	10.03	9.51	7.89	8.24	8.03
	第二次	9.58	9.21	9.71	7.99	7.66
	第三次	9.89	9.97	7.60	8.15	7.59
	平均	9.83	9.56	8.40	8.12	7.76
	水位高度下降率	0%	2.74%	14.59%	17.37%	21.08%

單位：公分

***結果與討論：**

- 1.與標準組比較後發現：加上 W 字形斜支撐後的建物模型振動時水位上升的最大距離都變小了，表示 W 字形斜支撐補強的方式能改善建築物的穩固性。裝設 W 字形斜支撐的樓層增加，振動時水位上升的最大距離就變得越小，表示補強效果越好。
- 2.發現補強在不同樓層位置時，都是以第 2 層的水位高度下降率較大，表示 W 字形斜支撐的補強方式對第 2 層樓有較佳效果。
- 3.觀察發現加上 W 字形斜支撐補強的方式使建物模型相當堅固，建物模型的搖晃明顯減緩。



實驗(六)結合彈簧的 V 字形斜支撐運用在不同補強位置與建築物穩固性的關係

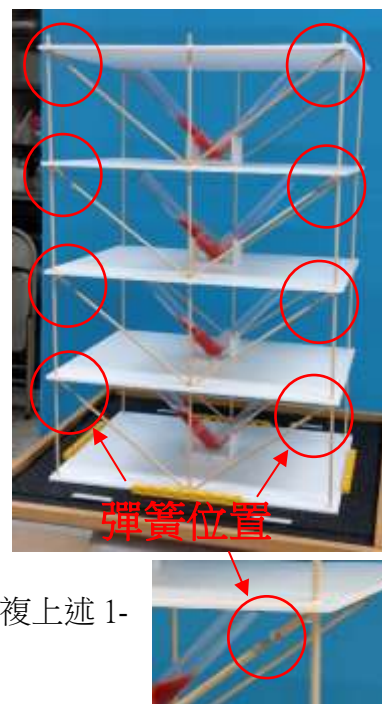
步驟：1.以自製建物模型樓高 4 層，在長邊雙側的第 1 層中間

柱子兩側各加上 1 根結合彈簧的斜支撐，形成 V 字形。

2.將自製振動平台速度調至 1 級，再把建物模型固定在平台中央位置，並在每一個樓層中央各固定 V 字形水位高度管，裝入染色的水做為振動後觀測的指標。

3.啟動電源開關，每次實驗觀測 20 秒，同時錄影記錄實驗的過程，觀測振動時水在 V 字形水位高度管中上升的最大距離及建物模型搖動的情形，並重複實驗三次。

4.依序改變增加結合彈簧的 V 字形斜支撐補強的層數，重複上述 1-3 步驟，觀測並記錄結果。

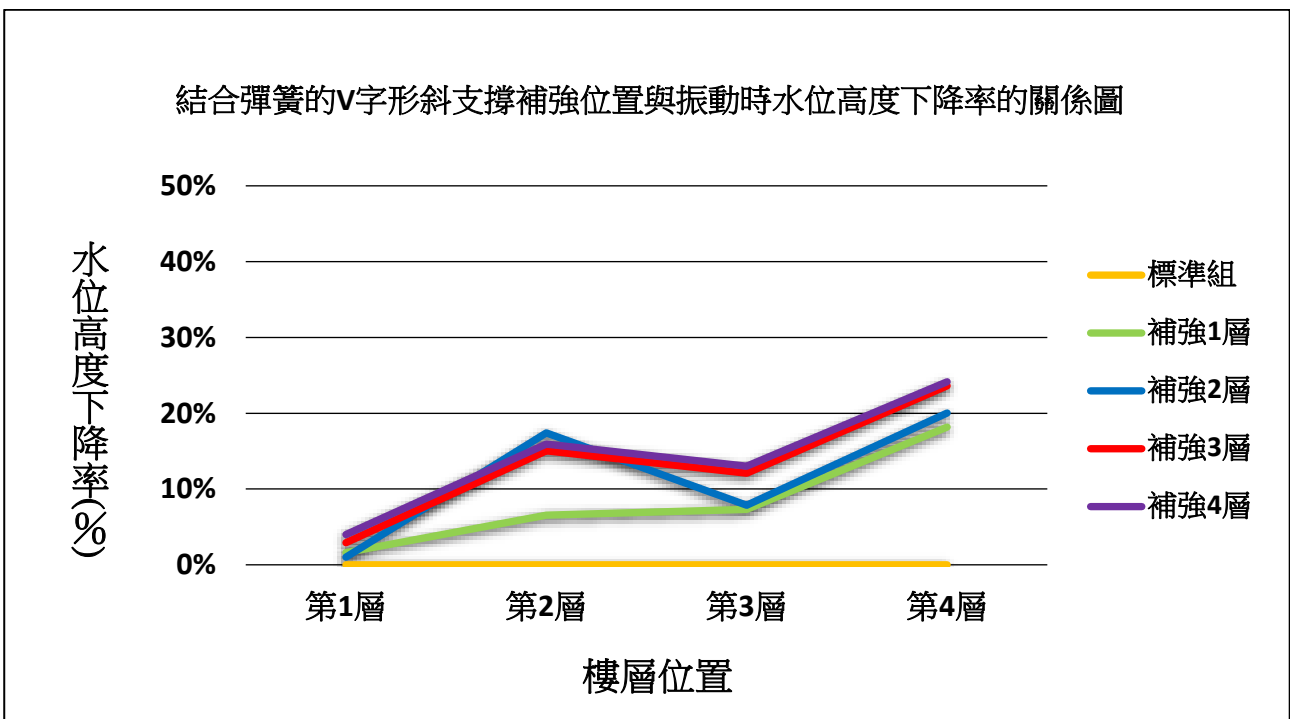
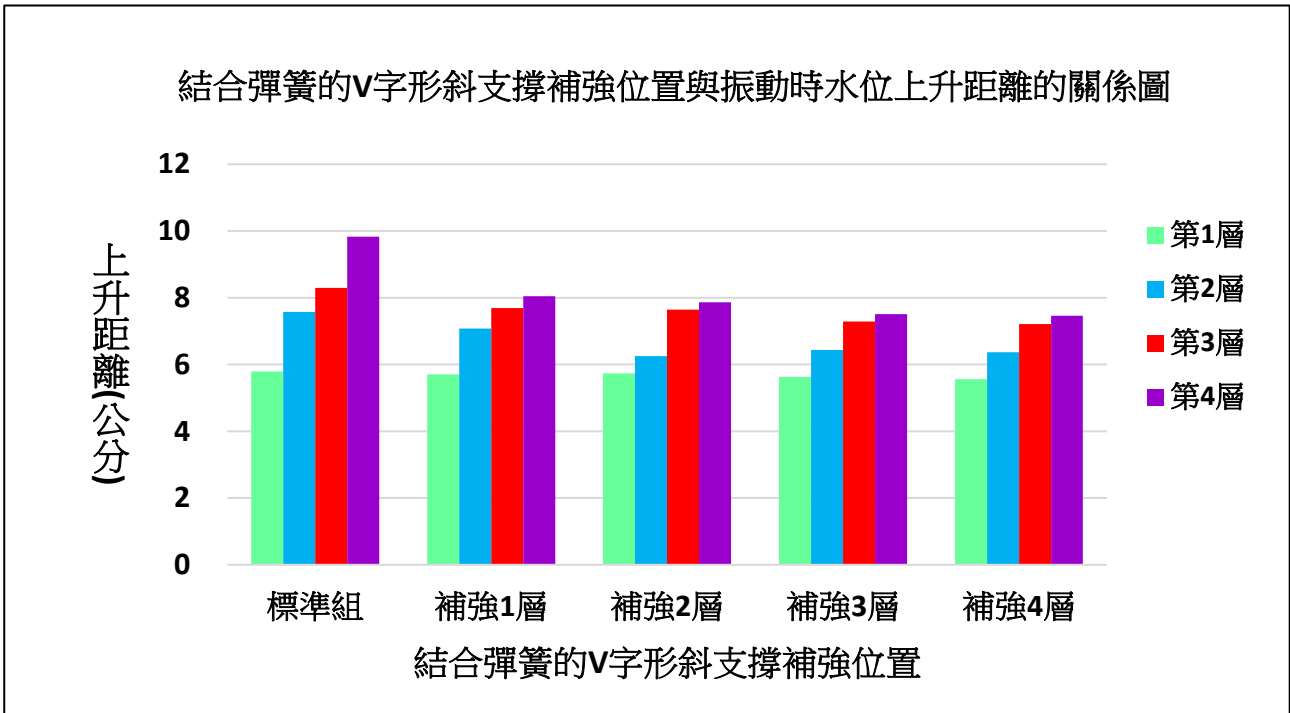


樓層	彈簧斜支撐 位置 次數	標準組 (對照組)	結合彈簧 斜支撐補強 雙側 1 層	結合彈簧 斜支撐補強 雙側 2 層	結合彈簧 斜支撐補強 雙側 3 層	結合彈簧 斜支撐補強 雙側 4 層
第 1 層	第一次	5.98	5.677	5.355	5.667	5.52
	第二次	5.66	5.515	6.029	5.588	5.712
	第三次	5.75	5.914	5.827	5.625	5.461
	平均	5.80	5.70	5.74	5.63	5.56
	水位高度下降率	0%	1.62%	1.01%	2.92%	3.99%
第 2 層	第一次	7.63	7.642	6.307	6.183	6.589
	第二次	7.79	6.946	6.405	6.466	6.116
	第三次	7.30	6.642	6.053	6.651	6.397
	平均	7.57	7.08	6.26	6.43	6.37
	水位高度下降率	0%	6.55%	17.40%	15.04%	15.91%
第 3 層	第一次	8.42	6.936	7.56	7.104	7.312
	第二次	8.35	7.917	7.895	7.362	7.004
	第三次	8.13	8.213	7.475	7.411	7.332
	平均	8.30	7.69	7.64	7.29	7.22
	水位高度下降率	0%	7.32%	7.87%	12.10%	13.02%
第 4 層	第一次	10.03	7.731	7.882	7.275	7.037
	第二次	9.58	8.136	7.684	7.552	7.853
	第三次	9.89	8.268	8.022	7.703	7.483
	平均	9.83	8.05	7.86	7.51	7.46
	水位高度下降率	0%	18.17%	20.03%	23.61%	24.15%

單位：公分

***結果與討論：**

- 1.與標準組比較後發現：加上結合彈簧的V字形斜支撐後的建物模型振動時水位上升的最大距離都變小了，表示V字形斜支撐補強的方式能改善建築物的穩固性。裝設結合彈簧的V字形斜支撐的樓層增加，振動時水位上升的最大距離就變得越小，表示補強效果越好。
- 2.發現補強 2、3、4 層時，在樓層的第 2 層及第 4 層水位高度下降率較大，表示結合彈簧的V字形斜支撐補強方式對第 2 及第 4 層樓有較佳效果。



實驗(七)剪力牆在建物短邊與建築物穩固性的關係

步驟：1.以自製建物模型樓高 4 層，調整建物模型短邊與振動同方向，先行操作記錄標準組。

2.將自製振動平台速度調至 1 級，再把建物模型固定在平台中央位置，並在每一個樓層中央各固定 V 字形水位高度管，裝入染色的水做為振動後觀測的指標。

3.啟動電源開關，每次實驗觀測 20 秒，同時錄影記錄實驗的過程，觀測振動時水在 V 字形水位高度管中上升的最大距離及建物模型搖動的情形，並重複實驗三次。



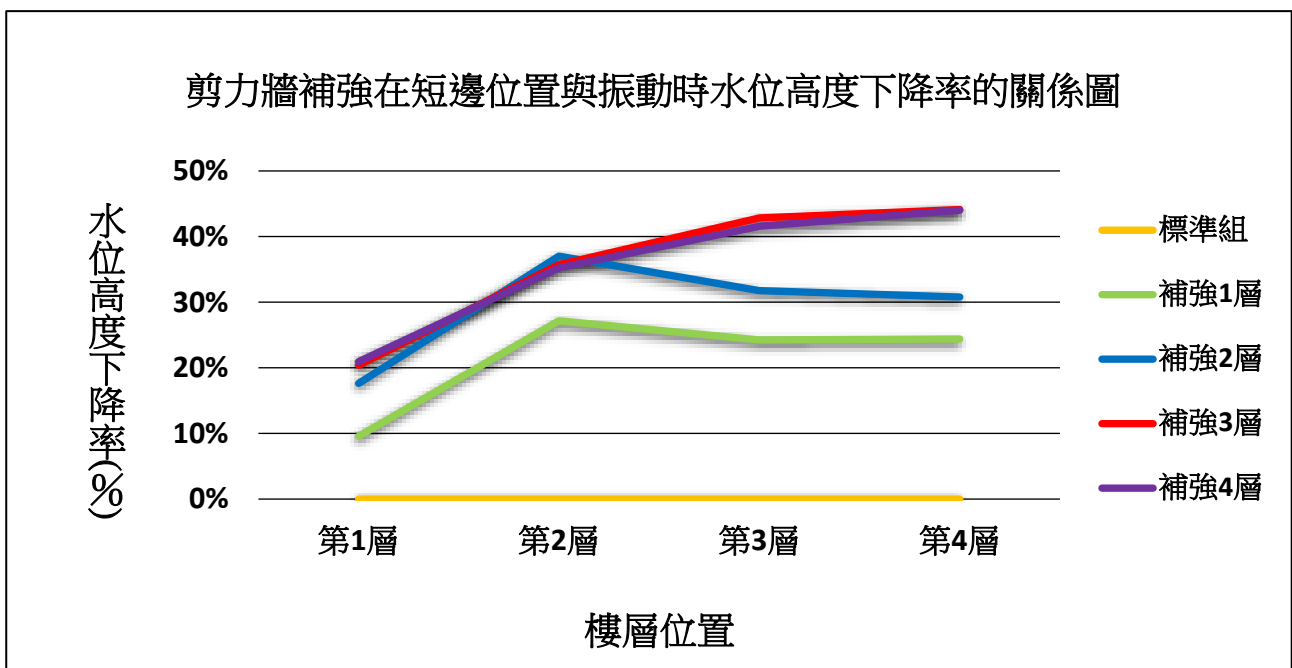
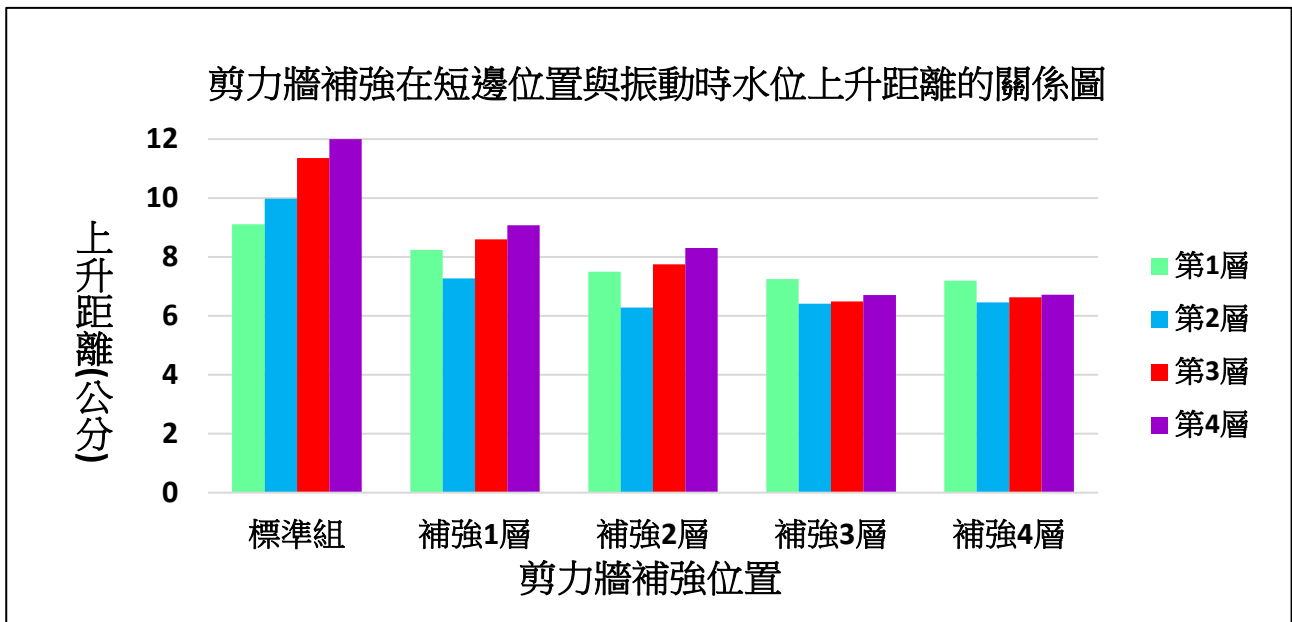
4.依序改變增加剪力牆補強的層數，在短邊的外側依條件加上片狀剪力牆，重複上述 1-3 步驟，觀測並記錄結果。

樓層	剪力牆位置 次數	短邊振動 標準組 (對照組)	剪力牆補強 雙側 1 層	剪力牆補強 雙側 2 層	剪力牆補強 雙側 3 層	剪力牆補強 雙側 4 層
第 1 層	第一次	9.00	8.23	7.64	7.50	7.01
	第二次	9.27	8.48	7.48	7.15	7.33
	第三次	9.06	7.99	7.38	7.10	7.26
	平均	9.11	8.24	7.50	7.25	7.20
	水位高度下降率	0%	9.57%	17.62%	20.40%	20.94%
第 2 層	第一次	10.13	7.26	6.10	6.35	6.34
	第二次	9.86	7.15	6.20	6.39	6.60
	第三次	9.94	7.39	6.56	6.50	6.46
	平均	9.98	7.27	6.28	6.42	6.46
	水位高度下降率	0%	27.17%	37.02%	35.71%	35.24%
第 3 層	第一次	11.03	8.67	7.74	6.55	6.41
	第二次	11.35	8.58	7.53	6.27	6.78
	第三次	11.69	8.55	7.98	6.67	6.70
	平均	11.36	8.60	7.75	6.49	6.63
	水位高度下降率	0%	24.26%	31.77%	42.82%	41.59%
第 4 層	第一次	12.00	8.90	8.14	6.82	6.66
	第二次	12.00	9.34	8.54	6.45	6.86
	第三次	12.00	8.99	8.24	6.85	6.63
	平均	12.00	9.08	8.31	6.71	6.72
	水位高度下降率	0%	24.38%	30.79%	44.12%	44.01%

單位：公分

***結果與討論：**

- 1.當振動方向與建物模型短邊同方向時，發現建物受到振動的影響，搖動非常的明顯，水位上升的最大距離也都變大了，尤其是第 4 層樓，水都已經噴出管子了，表示當地震搖動的方向與建物的短邊同方向時，對建物的影響較大。
- 2.在加上剪力牆的補強後進行實驗，與標準組比較後發現：加上剪力牆後的建物模型振動時水位上升的最大距離明顯變小了，表示剪力牆補強的方式能改善建築物的穩固性，尤其是裝置在建物短邊的位置。同實驗(三)裝設剪力牆的樓層增加，振動時水位上升的最大距離就變得越小，表示補強效果越好。
- 3.發現 3、4 樓高樓層部份，加上剪力牆補強後水位上升的距離明顯較少，補強的效果較佳。另外，發現剪力牆補強 4 層水位上升的距離與補強 3 層差異不大。



研究三、提出可以減少建築物受地震影響的較佳補強方式

我們根據前述實驗(一)至(六)，分別將相同補強樓層而不同補強工法的數據進行比較分析，結果整理如下表：

(一)相同補強樓層 - 2 層比較

樓層	工法 水位	標準組	擴柱 補強	翼牆 補強	剪力牆 補強	V 字形 斜支撐	W 字形 斜支撐	結合彈簧 斜支撐補強
第 1 層	上升最大距離	5.80	5.58	4.76	5.33	5.44	5.53	5.74
	高度下降率	0%	3.64%	17.82%	8.11%	6.20%	4.50%	1.01%
第 2 層	上升最大距離	7.57	6.91	5.43	6.36	6.69	4.60	6.26
	高度下降率	0%	8.71%	28.29%	15.96%	11.60%	39.23%	17.40%
第 3 層	上升最大距離	8.30	7.33	7.09	6.70	7.66	7.23	7.64
	高度下降率	0%	11.66%	14.53%	19.28%	7.66%	12.82%	7.87%
第 4 層	上升最大距離	9.83	9.36	7.53	8.07	8.67	8.40	7.86
	高度下降率	0%	4.84%	23.43%	17.93%	11.77%	14.59%	20.03%

(二)相同補強樓層-3 層比較

樓層	工法 水位	標準組	擴柱 補強	翼牆 補強	剪力牆 補強	V 字形 斜支撐	W 字形 斜支撐	結合彈簧 斜支撐補強
第 1 層	上升最大距離	5.80	5.55	4.77	5.38	5.42	5.66	5.63
	高度下降率	0%	4.23%	17.66%	7.18%	6.53%	2.38%	2.92%
第 2 層	上升最大距離	7.57	7.02	5.46	6.22	6.59	4.67	6.43
	高度下降率	0%	7.25%	27.87%	17.84%	13.03%	38.31%	15.04%
第 3 層	上升最大距離	8.30	7.34	6.75	6.25	7.57	7.06	7.29
	高度下降率	0%	11.52%	18.70%	24.71%	8.71%	14.93%	12.10%
第 4 層	上升最大距離	9.83	8.75	7.04	6.46	8.14	8.12	7.51
	高度下降率	0%	10.98%	28.37%	34.27%	17.20%	17.37%	23.61%

(三)相同補強樓層-4 層比較

樓層	工法 水位	標準組	擴柱 補強	翼牆 補強	剪力牆 補強	V 字形 斜支撐	W 字形 斜支撐	結合彈簧 斜支撐補強
第 1 層	上升最大距離	5.80	5.40	4.73	5.26	5.39	4.66	5.56
	高度下降率	0%	6.75%	18.43%	9.23%	6.96%	19.58%	3.99%
第 2 層	上升最大距離	7.57	7.08	5.50	6.26	6.50	3.66	6.37
	高度下降率	0%	6.53%	27.42%	17.39%	14.16%	51.70%	15.91%
第 3 層	上升最大距離	8.30	7.19	6.16	6.37	6.95	6.85	7.22
	高度下降率	0%	13.30%	25.78%	23.27%	16.23%	17.48%	13.02%
第 4 層	上升最大距離	9.83	8.74	6.95	6.44	7.48	7.76	7.46
	高度下降率	0%	11.12%	29.29%	34.53%	23.91%	21.08%	24.15%

 表示水位高度下降率介於 20%~30%之間

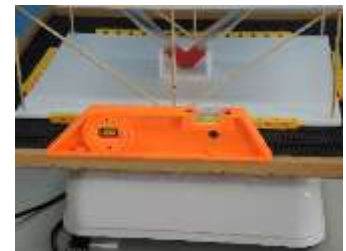
 表示水位高度下降率 > 30%

*結果與討論：

- 1.發現不管用哪一種補強方式，補強 4 層的穩固性效果都是最好的。整體來看，補強效果較佳的方式是翼牆補強，其次是剪力牆補強與斜支撐補強方式。
- 2.補強 2 個樓層時，採翼牆的補強方式效果較佳，其次是剪力牆和 W 字形斜支撐補強。
- 3.補強 3 個樓層時，其效果較佳的是翼牆及剪力牆補強，其次是 W 字形斜支撐補強。
- 4.補強 4 個樓層時，可以發現補強效果較好的是翼牆補強，其次是 W 字形斜支撐及剪力牆補強。

伍、討論

一、各實驗操作中發現振動一開始的瞬間，振動平台上的建物模型搖晃是最劇烈的，隨著振動時間越長，建物模型的搖晃情形就慢慢穩定了。



二、實驗(一)發現在擴柱補強的樓層之上，水位上升距離減少的效果較為明顯，例如：第 1 層補強時，第 2 層的水位上升距離減少許多；第 2 層再補強時，第 3 層的水位上升距離也減少許多。



三、由實驗(二)發現增設翼牆補強的方式在低樓層水位高度下降率較高，表示對低樓層效果較好；由實驗(三)及(七)發現增設剪力牆補強的方式在高樓層水位高度下降率較大，表示對高樓層效果較好。

四、實驗(五)發現加上 W 字形斜支撐補強的方式使建物模型相當堅固，建物模型的搖晃明顯減緩，補強在不同樓層位置時，都是以第 2 層的水位高度下降率較大，表示 W 字形斜支撐的補強方式對第 2 層樓有較佳效果。



五、實驗(六)結合彈簧的 V 字形斜支撐補強比實驗(四)沒有加彈簧的 V 字形斜支撐補強穩固性效果稍佳，顯示在斜支撐結構上加上具彈簧的結構可以使建物模型在受到振動時較為穩固，與文獻探討提及的阻尼結構有類似的效果，值得未來再深入探究。

六、實驗(一)、(三)及(七)中發現擴柱補強和增設剪力牆補強的方式，補強 3 層和補強 4 層的水位上升的最大距離差異不大，表示以這 2 種工法施做補強 3 層和補強 4 層的耐震效果差異不大。

七、實驗中發現，不管使用何種補強的方式，同一建築物高樓層受到振動後水位上升的距離都是較大的，表示高樓層搖晃都是最嚴重的。

八、實驗(七)發現當振動的方向與建築物的短邊同方向時，建物受到振動的影響搖動非常的明顯，水位上升的最大距離也都變大了，尤其是在第 4 層樓，表示當地震搖動的方向與建築物的短邊同方向時，對建物的影響較大。

陸、結論

一、建築物耐震補強的工法包括擴柱補強、增設 RC 翼牆補強、增設剪力牆補強、鋼斜撐框架、碳纖維包覆、復合柱補強等；其中擴柱補強、增設 RC 翼牆補強、增設剪力牆補強是學校建築物較常見的補強工法。

二、研究中發現增設不同的耐震補強方式都能改善建築物的穩固性。通常補強的樓層越多，耐震補強的效果越好。

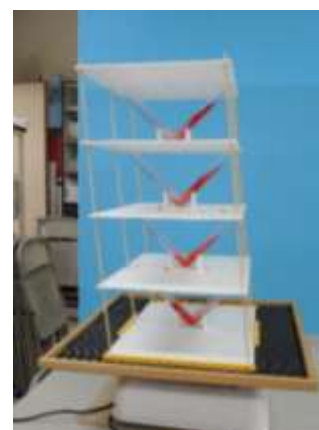
三、研究中發現，不管使用何種補強方式，建築物的高樓層受到振動後的搖晃都是最嚴重的。

四、不同的耐震補強方式有不同的穩固建築物效果，依本實驗研究的器材搭配設計，發現補強效果較佳的方式是翼牆補強，其次是剪力牆補強與斜支撐補強方式。另外，對低樓層效果較好的是增設翼牆補強，對高樓層效果較好的是增設剪力牆補強的方式。

五、研究中發現擴柱補強和增設剪力牆補強的方式，補強 3 層和補強 4 層的效果差異不大，因此，建議未來設計補強如有特殊考量，也可以在安全無虞下減少最高樓層的補強。

六、研究中發現不同的斜支撐補強方式都會使建物模型有不同的穩固性效果，其中以W 字形及加上彈簧的 V 字形結構對於建物模型的穩固性效果較佳，表示補強效果較好。

七、如果是長方形的建築物，當地震振動的方向與建築物的短邊同方向時，振動對於建築物搖晃影響較劇烈，應該特別注意建築物短邊的補強。



柒、參考資料

- 一、王子誥(2016)。水塔超人震得住-液體阻尼器的防震研究。中華民國第 56 屆中小學科學展覽會。取自 <https://activity.ntsec.gov.tw/activity/race-1/56/pdf/080109.pdf>
- 二、王均倍、戴宸洋(2015)。扭一扭，地震滾出去！中華民國第 55 屆中小學科學展覽會。取自 <https://activity.ntsec.gov.tw/activity/race-1/55/pdf/030505.pdf>
- 三、王紫楹、鄭芷庭、張芷軒、劉志煦、王識傑(2015)。震不震「阻」了就知道-從阻尼器看地震對鋼骨大樓的影響。中華民國第 55 屆中小學科學展覽會。取自 <https://activity.ntsec.gov.tw/activity/race-1/55/pdf/080510.pdf>
- 四、中央氣象局-地震測報中心。取自 <https://scweb.cwb.gov.tw/>
- 五、安全耐震的家-認識地震工程。國家地震工程研究中心。取自 <http://www.ncee.org/SafeHome/ncr03/ncr1.htm>
- 六、姜添輝(2017)。第二單元-家鄉的自然環境與生活。國民小學社會第三冊(4 上)。臺南：南一。
- 七、施泓丞、邱連春、周家仔(2013)。“城市殺手”直下型地震。中華民國第 53 屆中小學科學展覽會。取自 <https://activity.ntsec.gov.tw/activity/race-1/53/pdf/030507.pdf>
- 八、科學人雜誌第 33 期 11 月號(2004)。建築的吸震裝置。取自 <http://sa.ylib.com/MagArticle.aspx?Unit=columns&id=581>
- 九、孫振巖、曾聖祐、徐子修、林湍儒、顏定陞、蔡承志(2018)。天「柱」我也。中華民國第 58 屆中小學科學展覽會。取自 <https://activity.ntsec.gov.tw/activity/race-1/58/pdf/NPHSF2018-080117.pdf>
- 十、校舍耐震資訊網。取自 <https://school.ncee.org.tw/school/home/news.php>
- 十一、許官平、謝亞璇、洪峻巖(2012)。探討常見建物斜撐型式之最佳化抗震效應。中華民國第 52 屆中小學科學展覽會。取自 <https://activity.ntsec.gov.tw/activity/race-1/52/pdf/040501.pdf>
- 十二、陳純森。現代營建 446---建築物耐震補強方法及施工技術。取自 <http://www.arch.net.tw/modern/month/446/446-1.htm>
- 十三、監察委員新聞稿(2019 年 1 月 10 日)。取自 https://www.cy.gov.tw/sp.asp?xdURL=./di/Message/message_1t2.asp&ctNode=2394&mp=1&msg_id=6925
- 十四、劉昆忻、黃聖閔、楊凱鈞(2018)。制震阻尼系統在縮尺建物消能運用之初步評估探討。中華民國第 58 屆中小學科學展覽會。取自 <https://activity.ntsec.gov.tw/activity/race-1/58/pdf/NPHSF2018-052401.pdf>
- 十五、撼天動地-地震科學探索。國立科學工藝博物館。取自 <http://www3.nstm.gov.tw/earthquake/index.htm>

【評語】 080509

由學校建築補強來防震的生活化主題，產生科學探究靈感的作品，具有清晰且實用性的研究問題，並透過嚴謹的探究來解決問題以及提出具體結論。能設計實驗不同建物補強方式探討建築結構之減震效果，尤其利用連通管量測震動時水高表示減震成效很有創意。唯實驗中有各式各樣的耐震補強結構，缺乏單一工法放在不同樓層時的效果值得進一步探討。另外未來也可以嘗試複合性工法的效應。整體而言，對於各項耐震補強措施均有詳盡的實驗和科學詮釋，也能針對問題歸納資料提出具體結論。

壹、研究動機

學校在暑假為了安全問題拆除了一棟老舊校舍，接著也將進行另一棟舊校舍的「耐震補強」工程。近日也有新聞報導：「監察院報告指出，全國有1569棟校舍待補強、401棟校舍待拆除，逾14萬學生在待拆、待補強的教室上課。」學校教室耐不耐震的問題再次被討論。

也還記得老師在社會課【家鄉的自然環境與生活】(南一版四上第二單元)單元中，曾經和我們討論過建築物受到地震的影響，令我記憶深刻也感到震撼，於是，就找了幾位好朋友一起來探討在我們生活周遭的問題。

貳、研究目的

- 一、了解建築物受地震影響及耐震補強的概況。
- 二、探討不同耐震補強方式對建築物穩固性的影響。
- 三、提出可以減少建築物受地震影響的較佳補強方式。



「耐震補強」工程校舍



實驗操作-錄影觀測

參、研究設備與器材

自製振動平台、珍珠板、圓木棍、V字形水位高度管、彈簧、熱熔膠槍、積木盤、彈珠、透明方形盒、透明圓形筒、水平儀、計時器、攝影機、數位相機、ImageJ 影像分析軟體、影像編輯軟體。

肆、研究過程及方式

研究一、了解建築物受地震影響及耐震補強的概況

耐震補強是什麼呢？耐震補強主要是指外加在原有建築物本體的一種增加防震強度的方式。一般常見的工法包括擴柱補強、RC翼牆補強、剪力牆補強、鋼斜撐框架、碳纖維包覆、複合柱補強等；其中擴柱補強、RC翼牆補強、剪力牆補強是學校建築物較常見的補強工法。

補強的工法	施工方式
擴柱補強	擴大既有柱子之斷面以同時增加建築物之強度與韌性
翼牆補強	於既有的獨立柱子兩旁加設單片或雙片的牆體
剪力牆補強	於既有梁、柱構架內加設整片RC翼牆
鋼斜撐框架	於原有梁柱內增設鋼斜撐或鋼框架斜撐，減輕原有梁柱的負擔
碳纖維包覆	利用重量輕強度高的碳纖維網包覆梁柱，增加結構物耐震的能力
複合柱補強	於牆之前、後兩側配置主筋用以夾住隔間磚牆，此工法具備省時、省工之特性

從文獻分析中我們發現過去研究者多數針對建築物的防震及抗震進行探討，也提出阻尼器在防震中的效果很好。本研究主要針對學校校舍的補強方式做為探討，經資料閱讀及討論後我們決定以不同的擴柱補強方式、翼牆補強方式、剪力牆補強方式、斜支撐結構等變因進行實驗設計。

研究二、探討不同耐震補強方式對建築物穩固性的影響

(一) 器材設計說明

1. **自製振動平台**：使用改裝搖擺機，在振動裝置上固定長50cm、寬50cm的實驗操作平台，做為模擬地震振動時使用的平台。我們事先經調速測試練習及觀測，測得實驗中振動速度的資料數據如右（振幅固定為30cm）。
2. **自製建物模型**：根據本校預備耐震補強之建築物教室尺寸(大約長10m、寬7.5m、高3.5m)，以25：1之比例製作每層樓長40cm、寬30cm、高14cm的建物模型，並在4個角落及長邊中央位置分別穿入1支圓木棍(4mm)做為模擬建物的柱子，標準組以5片珍珠板組合成4個樓層，如右圖。

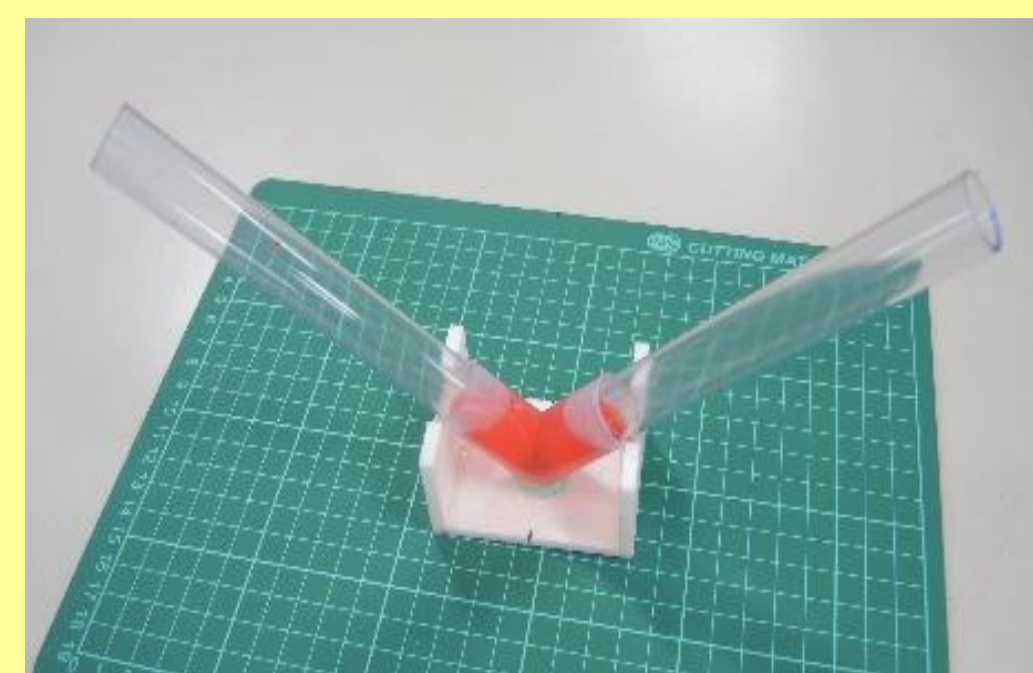
控制開關(級數)	1級	2級	3級	4級
實測來回(次/分)	110	120	124	130
頻率(次/秒)Hz	1.83	2.00	2.07	2.17
週期(秒/次)	0.55	0.50	0.48	0.46



自製振動平台及建物模型

(二) 模擬測試與觀察

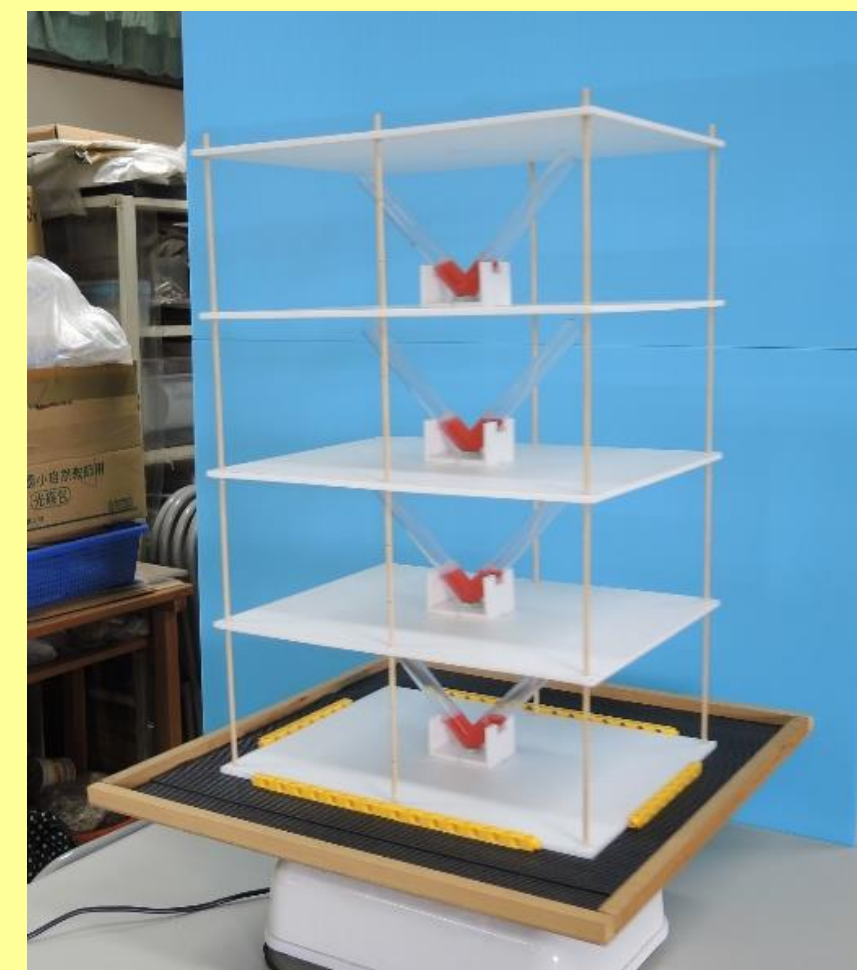
本研究經多次測試與討論，逐步修正觀測記錄方式，最後決定運用水在V字形水位高度管中上升的距離做為振動後觀測的指標，並固定以1級振動的模式進行操作實驗。



V字形水位高度管

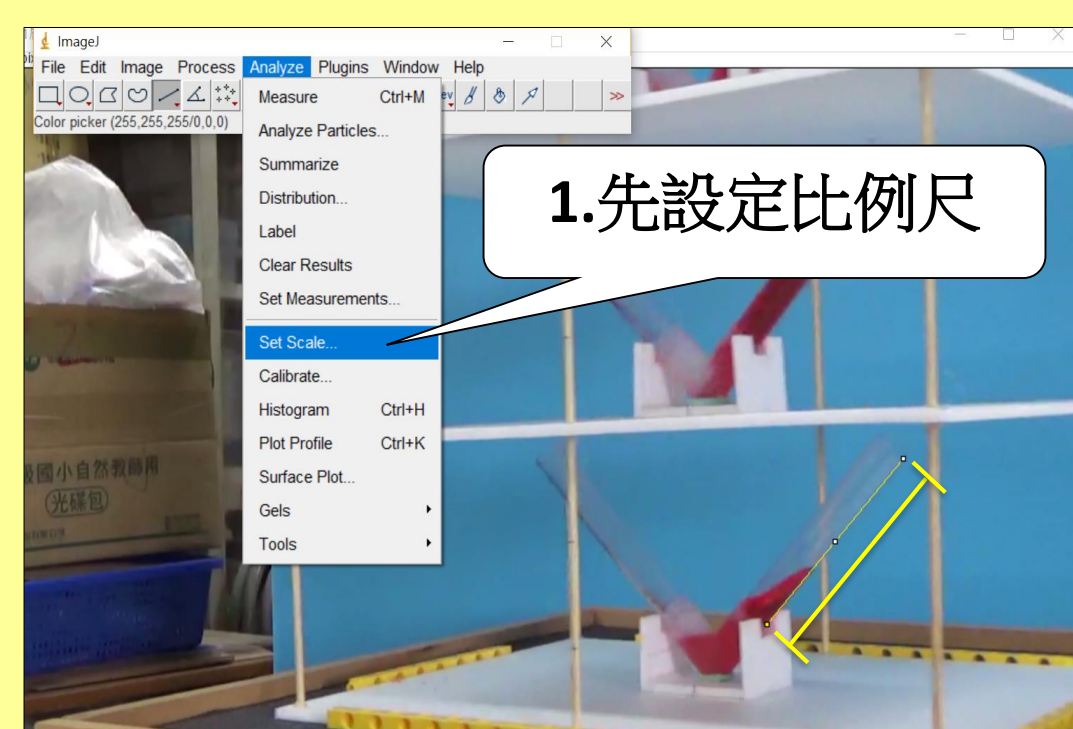
(三) 正式實驗觀測記錄方式

1. 將自製振動平台速度調至1級，再把建物模型固定在振動平台中央，並在每一個樓層中央位置各固定V字形水位高度管，裝入染成紅色的水，做為振動後觀測的指標。
2. 啟動電源開關，每次實驗觀測20秒，同時錄影記錄實驗的過程，觀測振動時水在V字形水位高度管中上升的最大距離及建物模型擺動的情形，並重複實驗三次。
3. 實驗數據取得依錄影觀測後擷取單張圖片，利用ImageJ軟體測量出水位上升的最大距離。

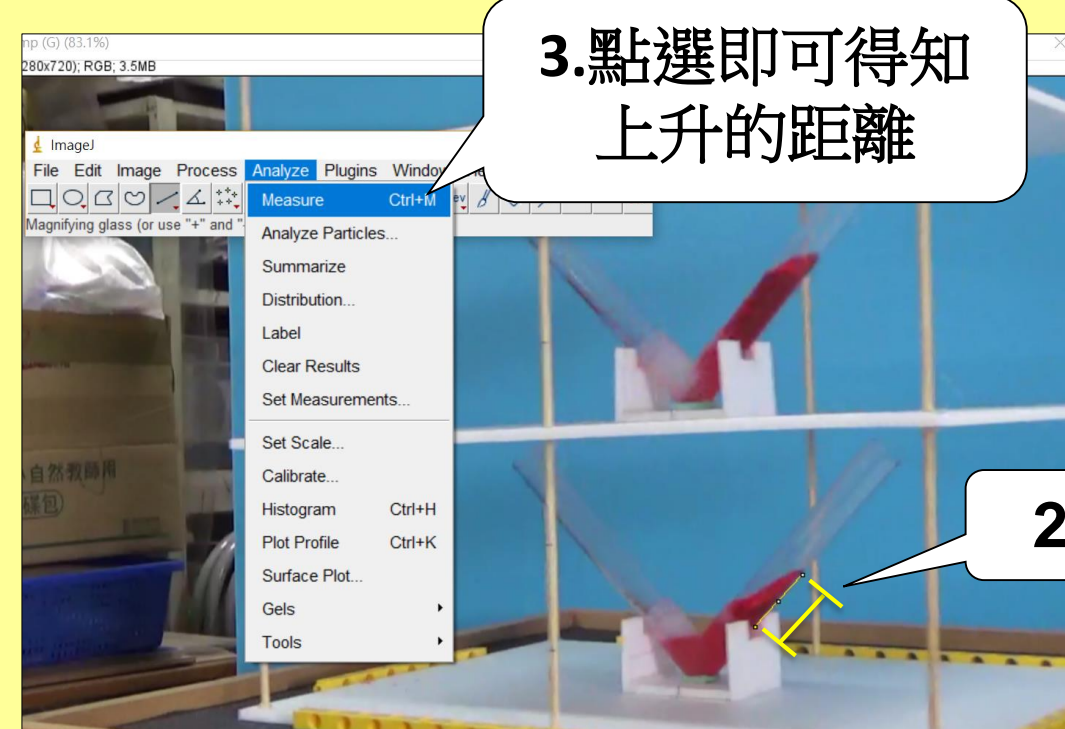


實驗器材操作圖

4. **水位上升高度測量**：以單側的水位高度管(長12cm)設定比例尺，作為換算水位上升距離的對照，計算出水位上升的最大距離。



1.先設定比例尺



3.點選即可得知上升的距離

2.畫出上升的距離

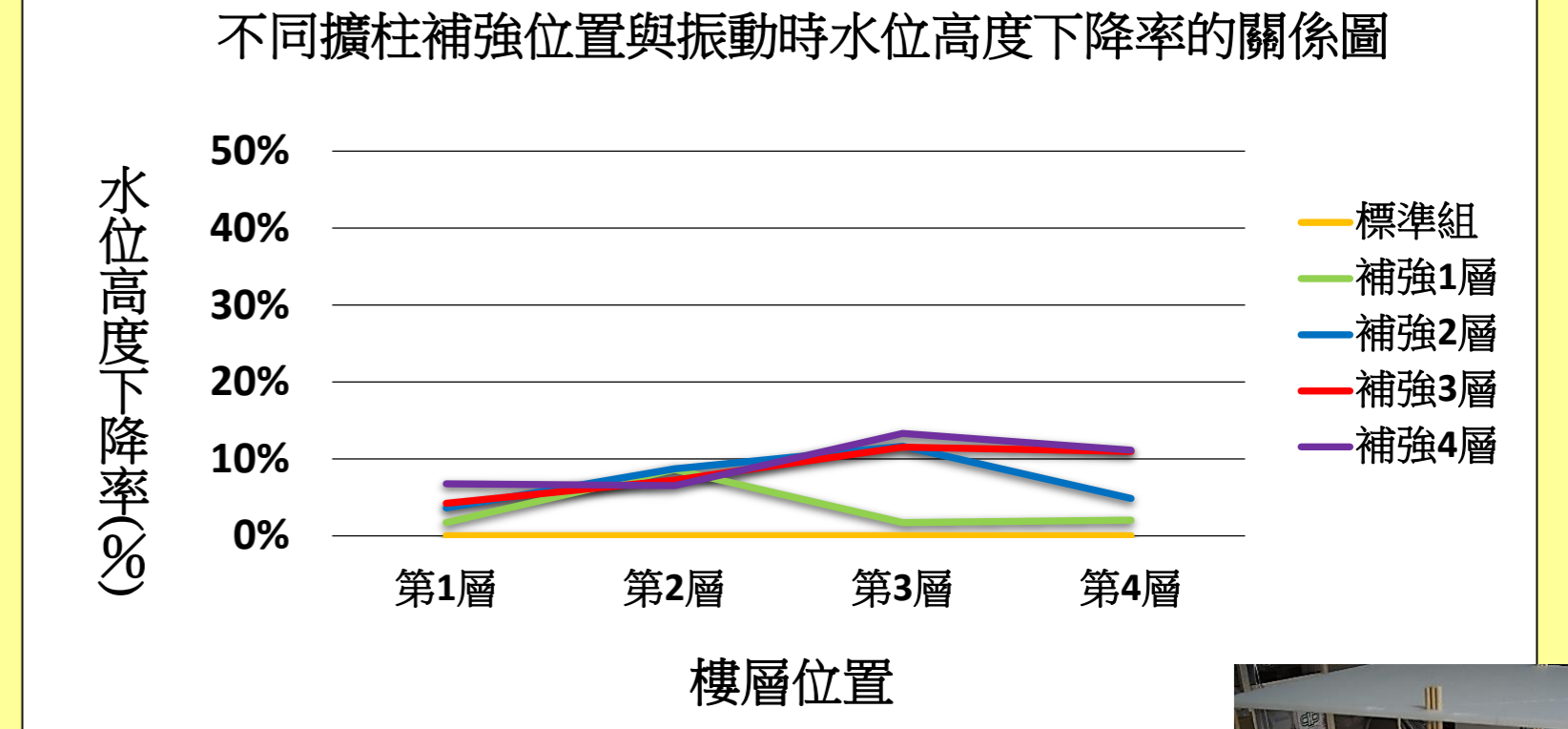
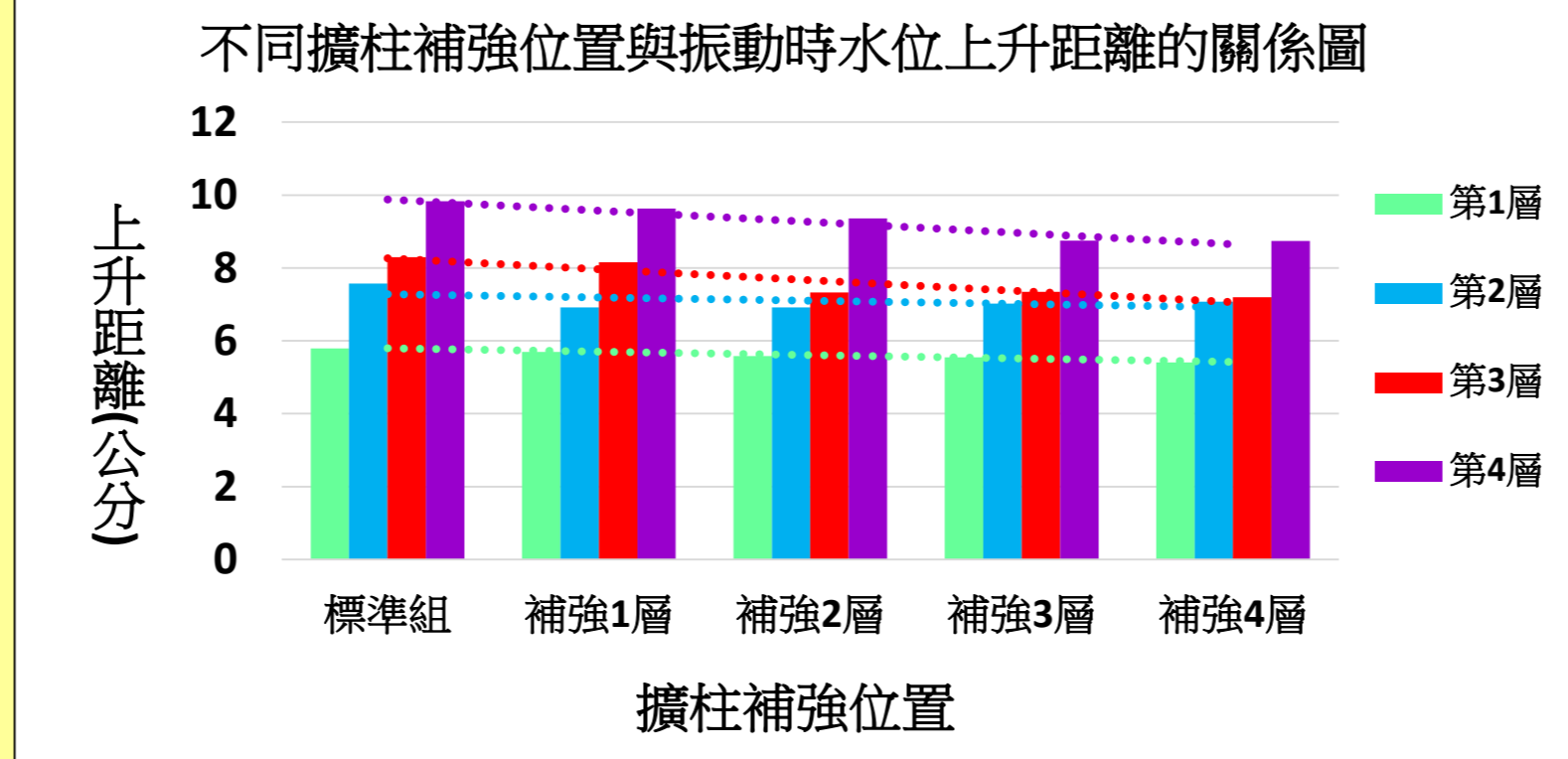
5. 數據處理說明-水位高度下降率

實驗數據均以3次記錄計算平均，再與標準組比較；為更清楚呈現不同組別水位變化之差值意義，定義「水位高度下降率」做為輔助結果說明。水位高度下降率越大，表示建物模型在補強後穩固性越好。

$$\text{水位高度下降率(\%)} = \frac{\text{標準組平均值} - \text{各組別平均值}}{\text{標準組平均值}}$$

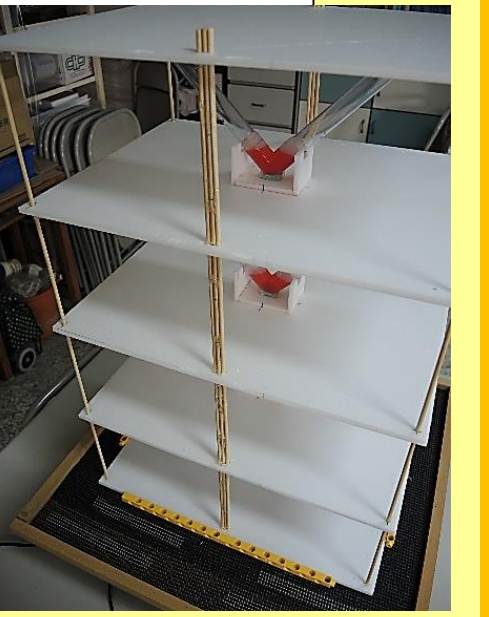
實驗(一) 不同的擴柱補強位置與建築物穩固性的關係

樓層	擴柱補強位置 次數	標準組 (對照組)	擴柱補強位置			
			雙側1層	雙側2層	雙側3層	雙側4層
第1層	平均(cm)	5.80	5.70	5.58	5.55	5.40
	水位高度下降率	0%	1.72%	3.64%	4.23%	6.75%
第2層	平均(cm)	7.57	6.92	6.91	7.02	7.08
	水位高度下降率	0%	8.65%	8.71%	7.25%	6.53%
第3層	平均(cm)	8.30	8.15	7.33	7.34	7.19
	水位高度下降率	0%	1.74%	11.66%	11.52%	13.30%
第4層	平均(cm)	9.83	9.63	9.36	8.75	8.74
	水位高度下降率	0%	2.04%	4.84%	10.98%	11.12%



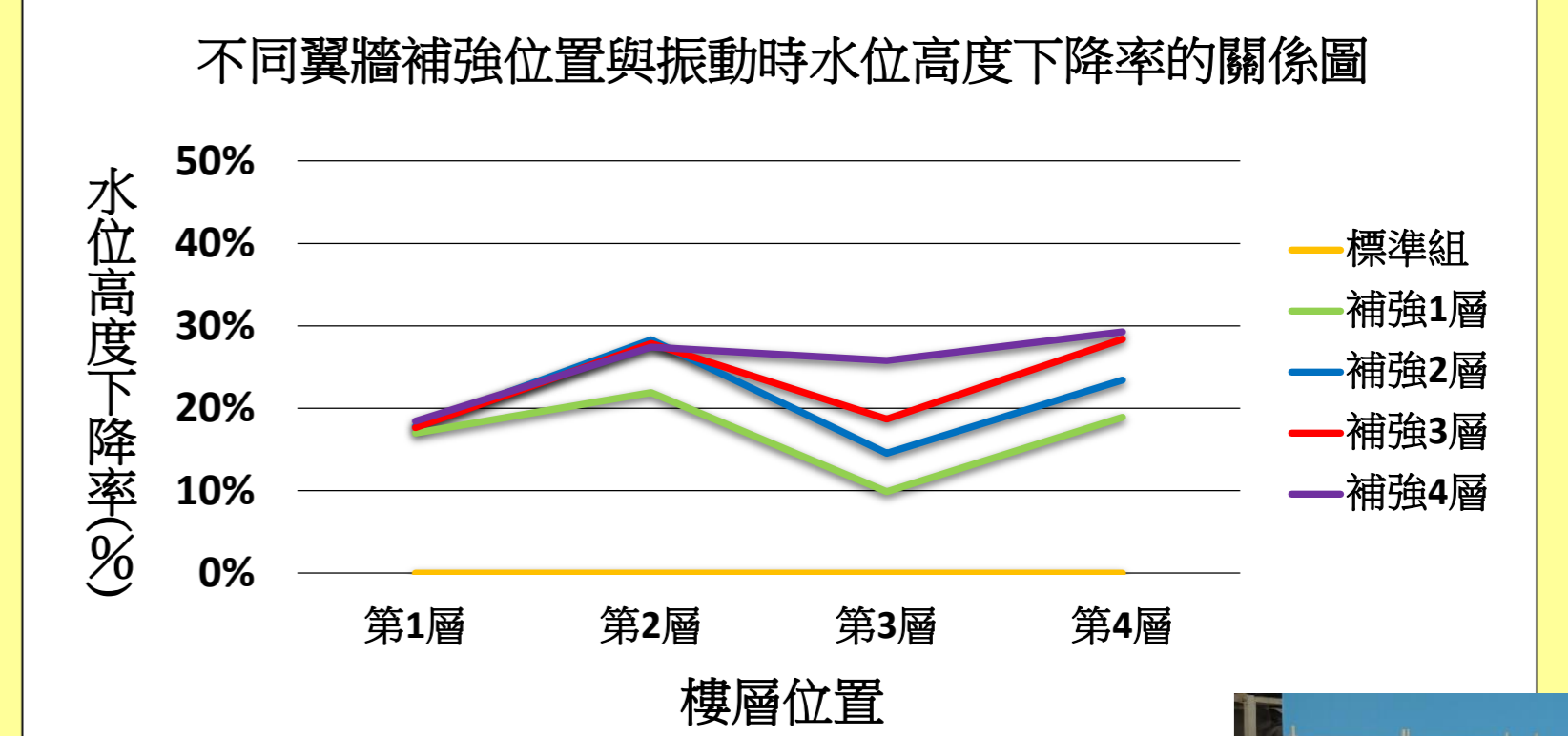
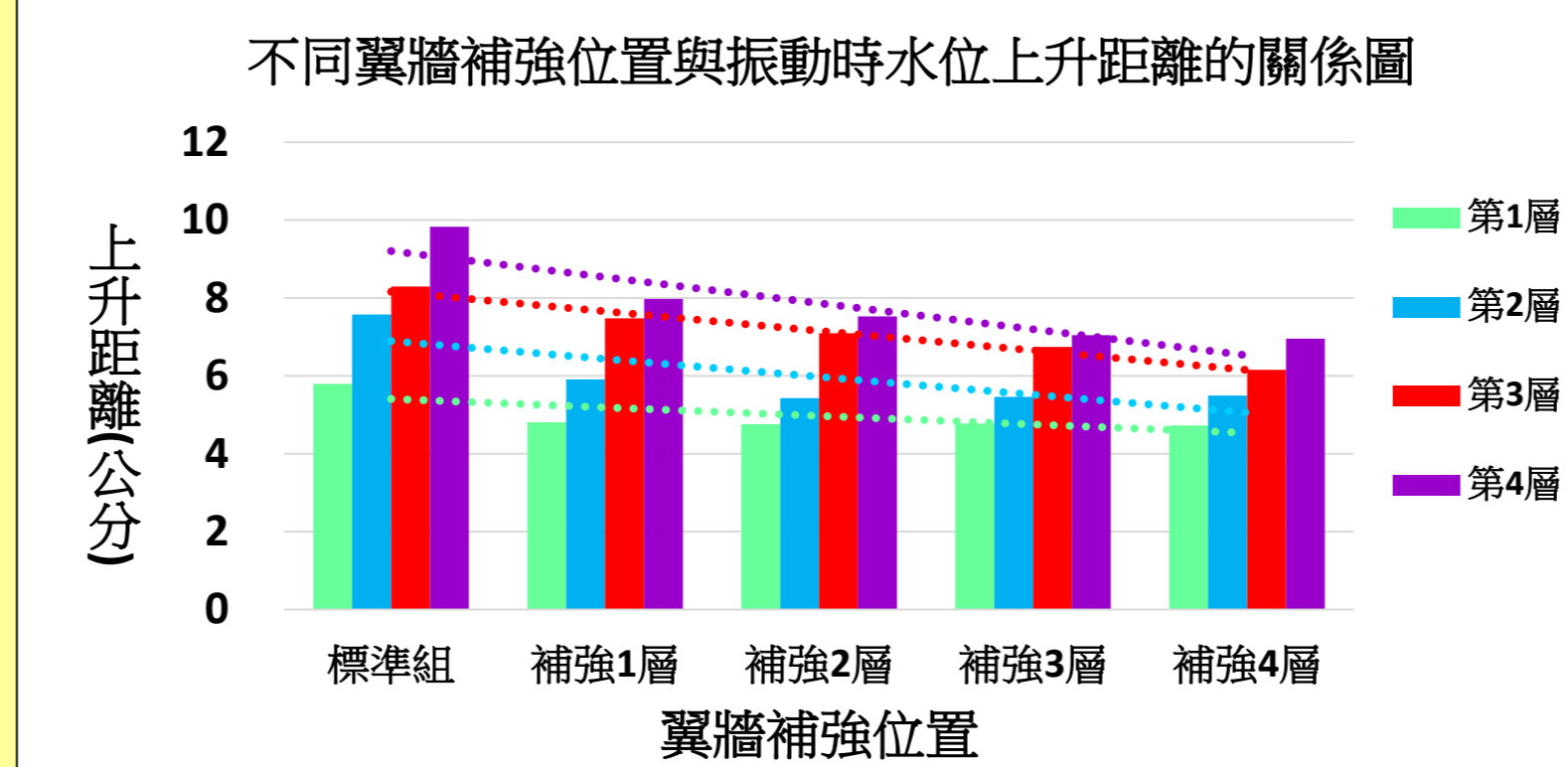
* 結果與討論：

發現水位上升最大距離都變小了；在有擴柱補強的樓層之上，效果較明顯；擴柱補強4層水位上升的距離與補強3層差異不大。



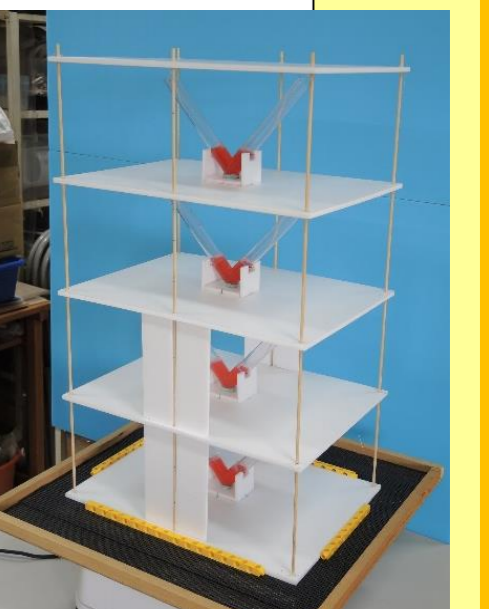
實驗(二) 不同的翼牆補強位置與建築物穩固性的關係

樓層	翼牆補強位置 次數	標準組 (對照組)	翼牆補強位置			
			雙側1層	雙側2層	雙側3層	雙側4層
第1層	平均(cm)	5.80	4.81	4.76	4.77	4.73
	水位高度下降率	0%	16.99%	17.82%	17.66%	18.43%
第2層	平均(cm)	7.57	5.91	5.43	5.46	5.50
	水位高度下降率	0%	21.90%	28.29%	27.87%	27.42%
第3層	平均(cm)	8.30	7.48	7.09	6.75	6.16
	水位高度下降率	0%	9.87%	14.53%	18.70%	25.78%
第4層	平均(cm)	9.83	7.97	7.53	7.04	6.95
	水位高度下降率	0%	18.92%	23.43%	28.37%	29.29%



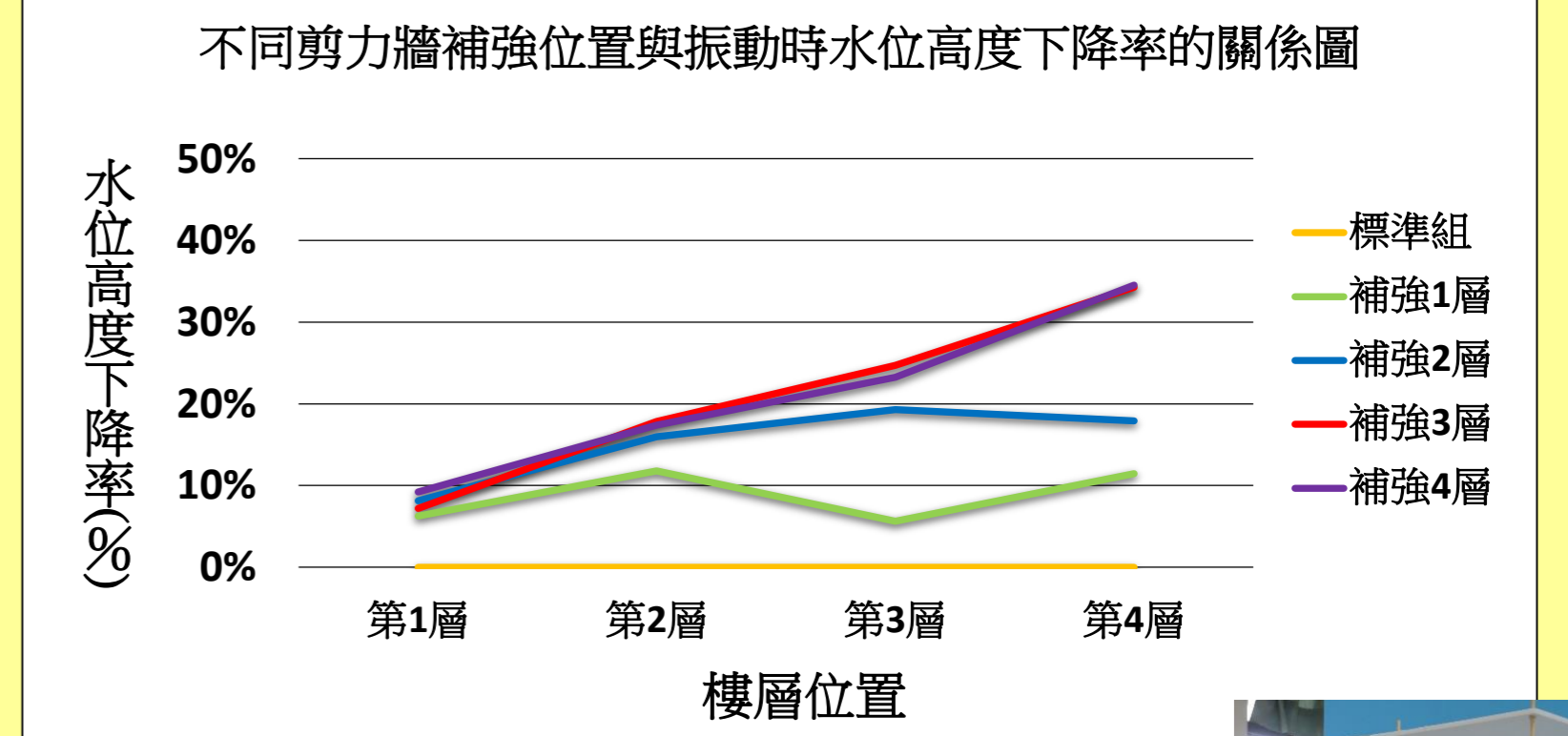
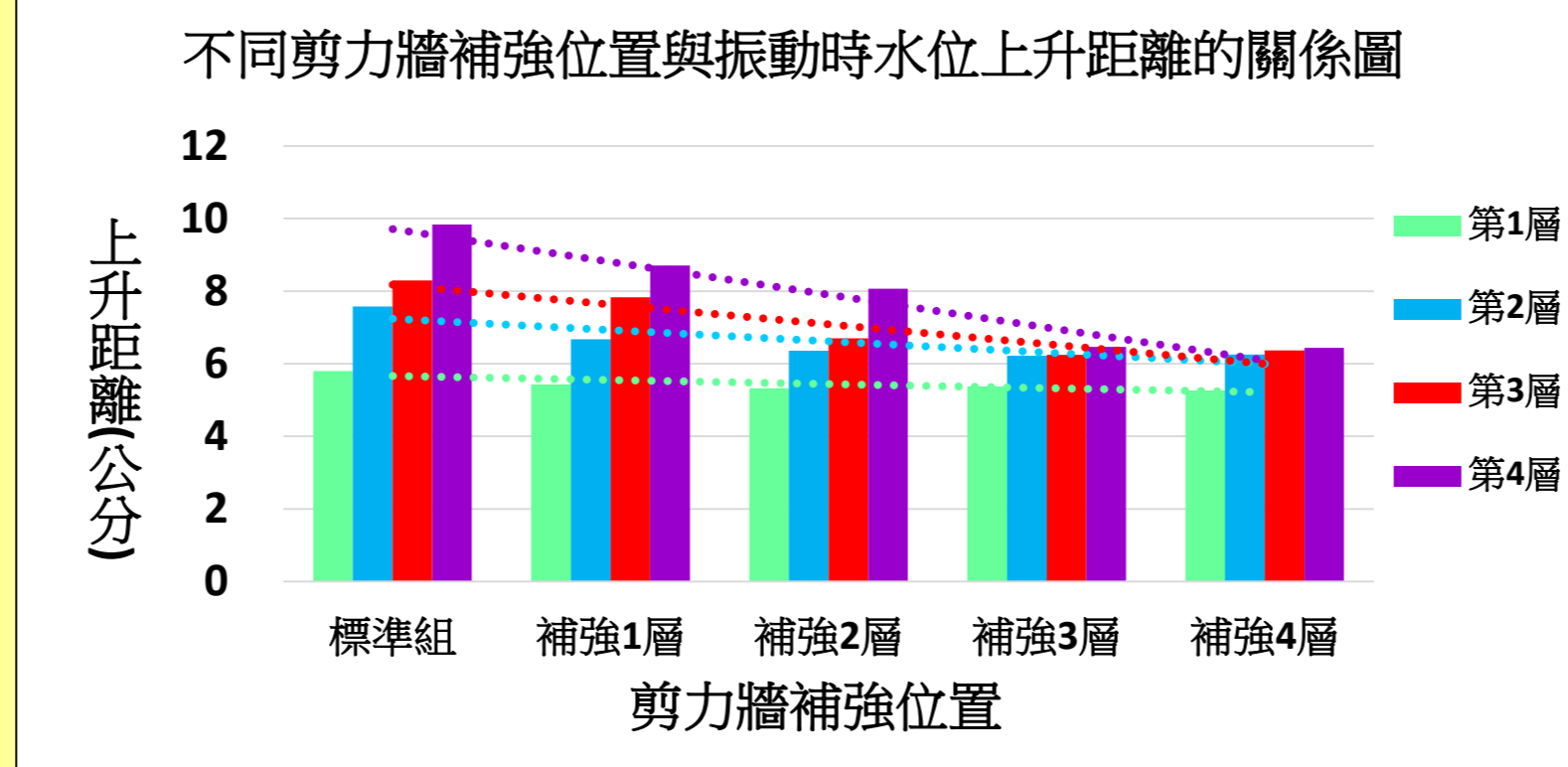
* 結果與討論：

發現水位上升最大距離都變小了；裝設樓層越多補強效果越好；在低樓層加上翼牆補強後的水位高度下降率明顯增加，補強效果較佳。



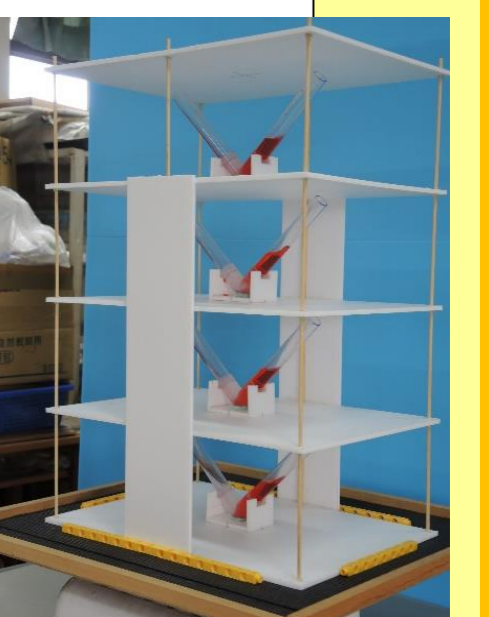
實驗(三) 不同的剪力牆補強位置與建築物穩固性的關係

樓層	剪力牆補強位置 次數	標準組 (對照組)	剪力牆補強位置			
			雙側1層	雙側2層	雙側3層	雙側4層
第1層	平均(cm)	5.80	5.43	5.33	5.38	5.26
	水位高度下降率	0%	6.27%	8.11%	7.18%	9.23%
第2層	平均(cm)	7.57	6.68	6.36	6.22	6.26
	水位高度下降率	0%	11.81%	15.96%	17.84%	17.39%
第3層	平均(cm)	8.30	7.83	6.70	6.25	6.37
	水位高度下降率	0%	5.61%	19.28%	24.71%	23.27%
第4層	平均(cm)	9.83	8.71	8.07	6.46	6.44
	水位高度下降率	0%	11.45%	17.93%	34.27%	34.53%



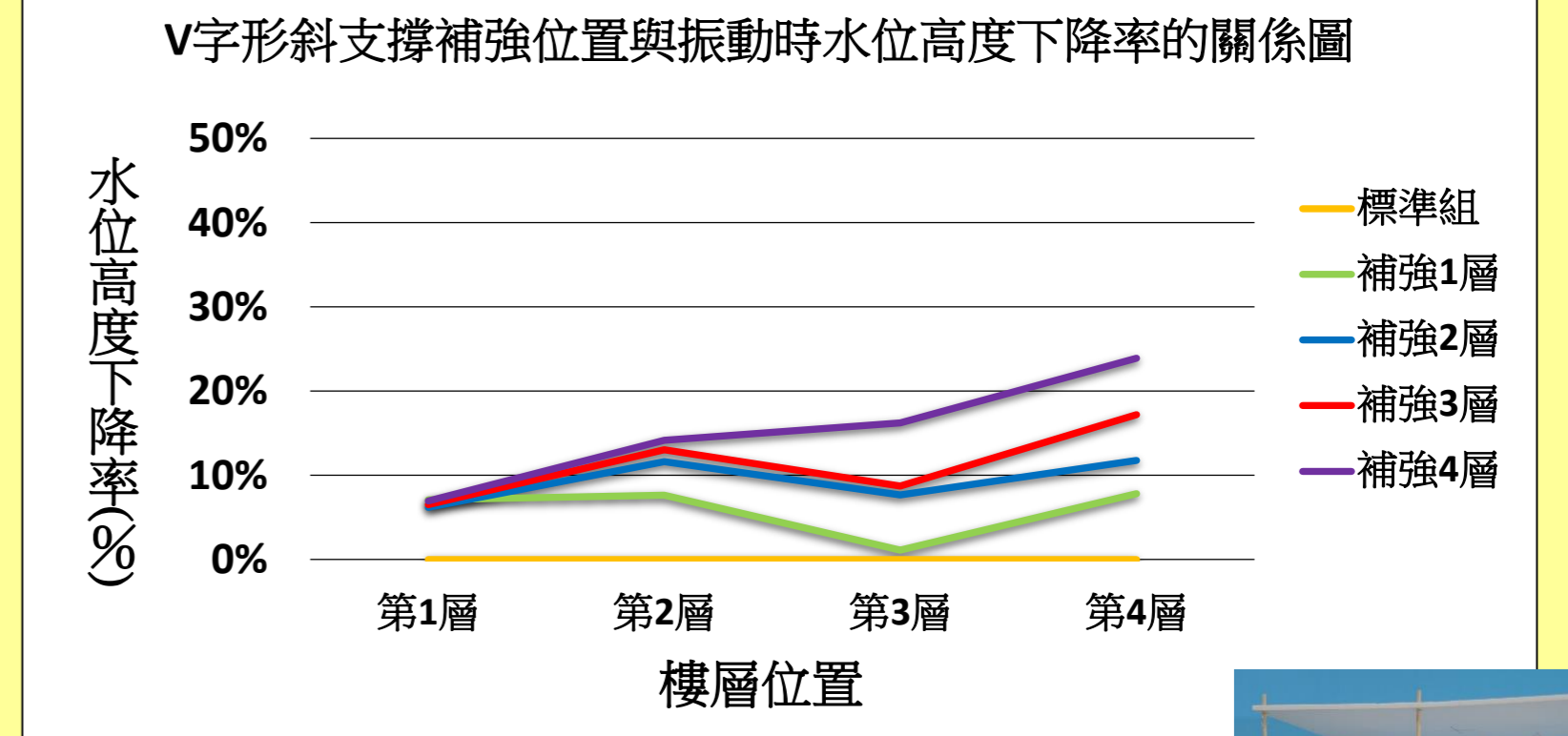
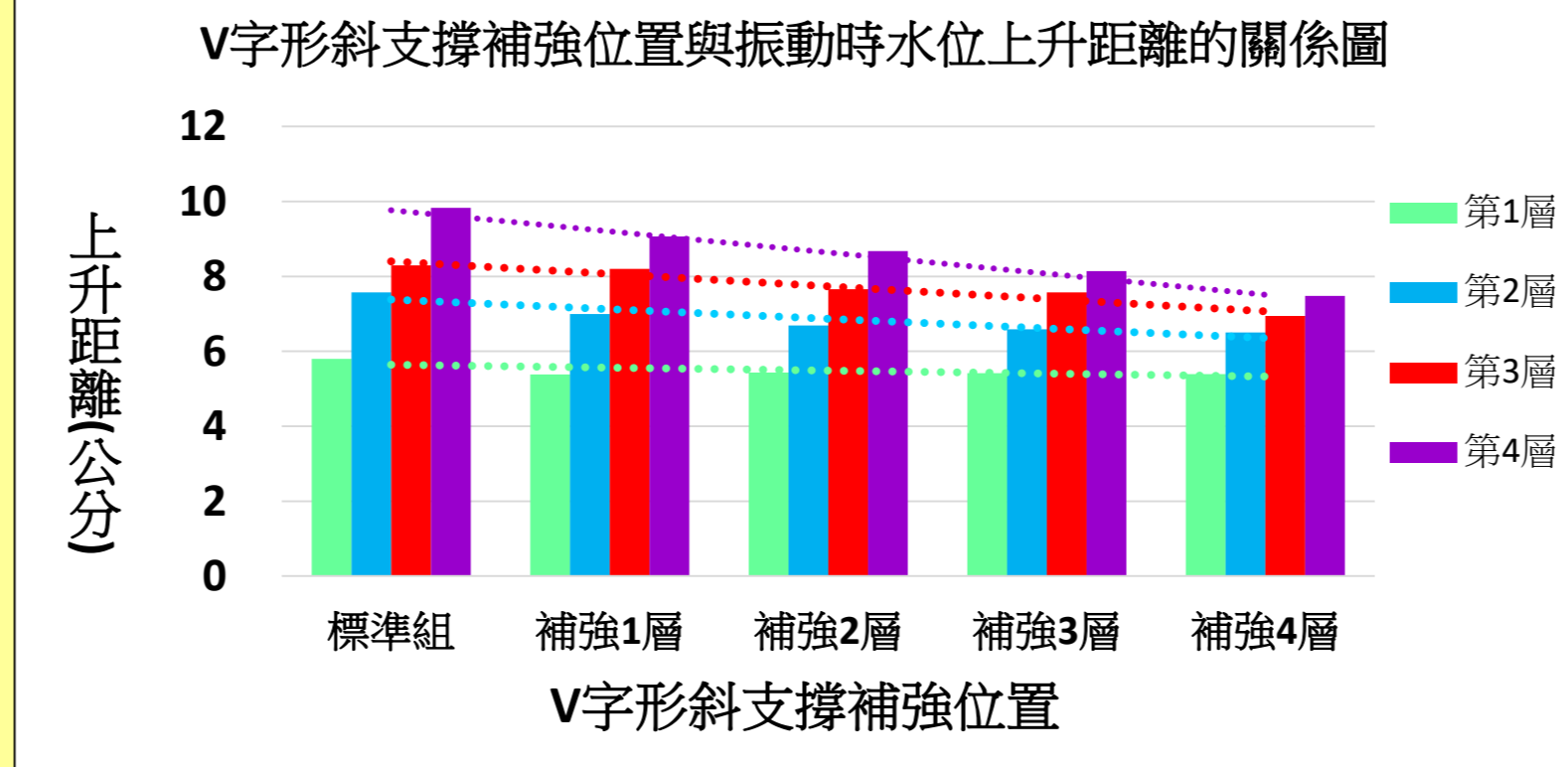
* 結果與討論：

發現水位上升最大距離都變小了；裝設樓層越多補強效果越好；在高樓層加上剪力牆後的水位高度下降率明顯增加，補強效果較佳。



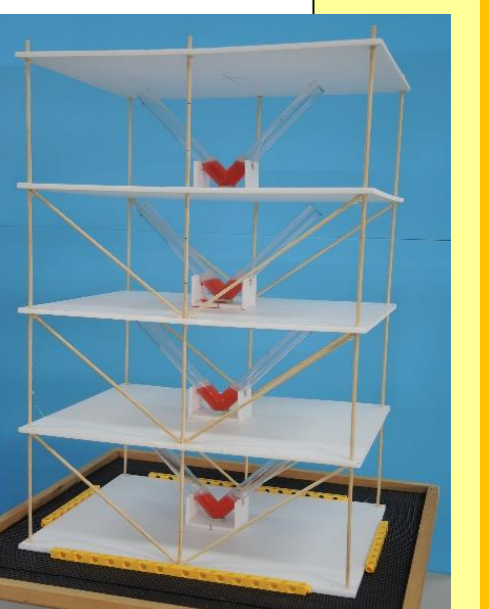
實驗(四) 不同V字形斜支撐補強位置與建築物穩固性的關係

樓層	V字形斜支撐補強位置 次數	標準組 (對照組)	V字形斜支撐補強位置			
			雙側1層	雙側2層	雙側3層	雙側4層
第1層	平均(cm)	5.80	5.38	5.44	5.42	5.39
	水位高度下降率	0%	7.09%	6.20%	6.53%	6.96%
第2層	平均(cm)	7.57	6.99	6.69	6.59	6.50
	水位高度下降率	0%	7.65%	11.60%	13.03%	14.16%
第3層	平均(cm)	8.30	8.20	7.66	7.57	6.95
	水位高度下降率	0%	1.11%	7.66%	8.71%	16.23%
第4層	平均(cm)	9.83	9.06	8.67	8.14	7.48
	水位高度下降率	0%	7.83%	11.77%	17.20%	23.91%



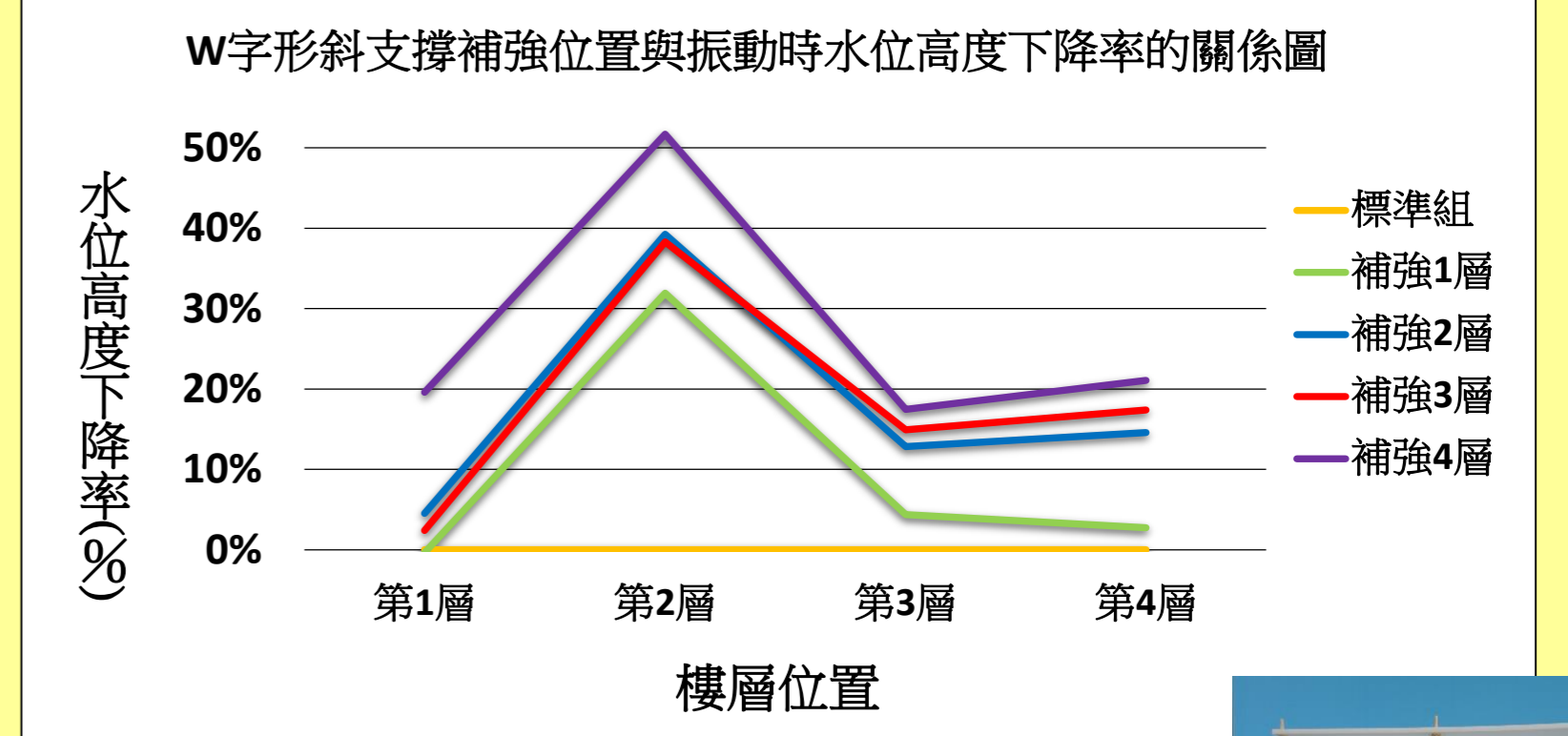
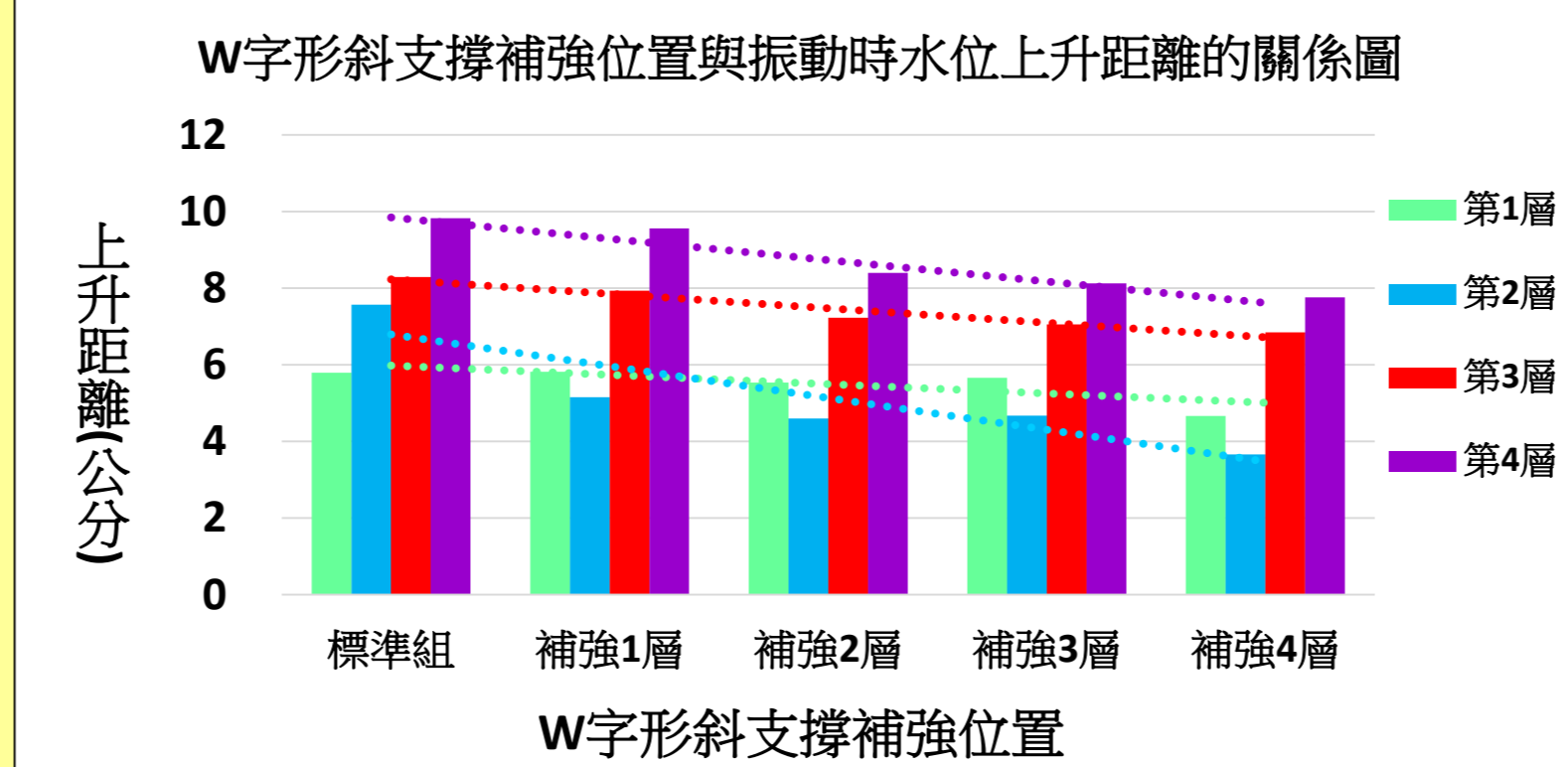
* 結果與討論：

發現水位上升最大距離都變小了；裝設V字形斜支撐的樓層增加，振動時水位上升的最大距離就變得越小，表示補強效果越好。



實驗(五) 不同W字形斜支撐補強位置與建築物穩固性的關係

樓層	W字形斜支撐補強位置 次數	標準組 (對照組)	W字形斜支撐補強位置			
			雙側1層	雙側2層	雙側3層	雙側4層
第1層	平均(cm)	5.80	5.82	5.53	5.66	4.66
	水位高度下降率	0%	-0.37%	4.50%	2.38%	19.58%
第2層	平均(cm)	7.57	5.16	4.60	4.67	3.66
	水位高度下降率	0%	31.91%	39.23%	38.31%	51.70%
第3層	平均(cm)	8.30	7.93	7.23	7.06	6.85
	水位高度下降率	0%	4.38%	12.82%	14.93%	17.48%
第4層	平均(cm)	9.83	9.56	8.40	8.12	7.76
	水位高度下降率	0%	2.74%	14.59%	17.37%	21.08%



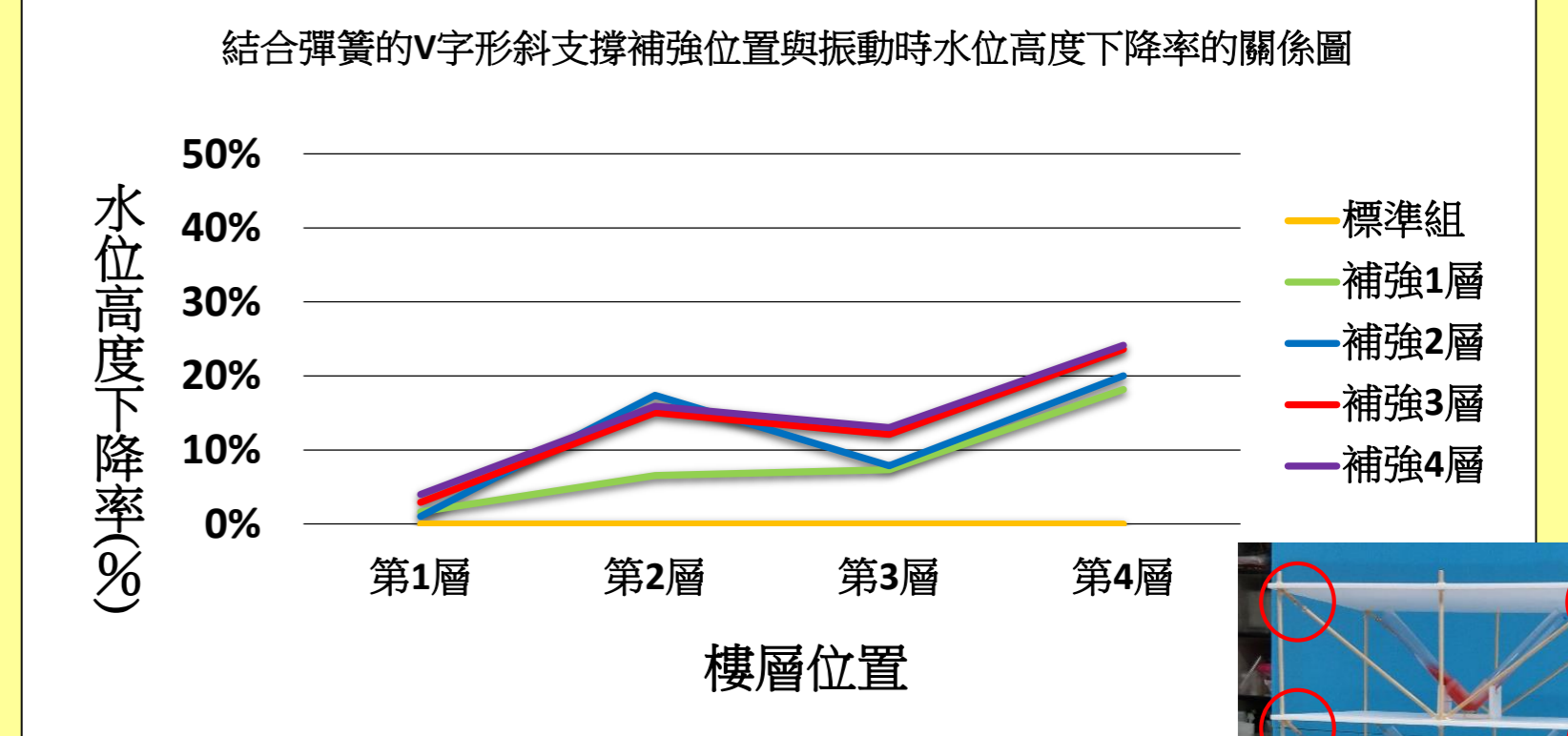
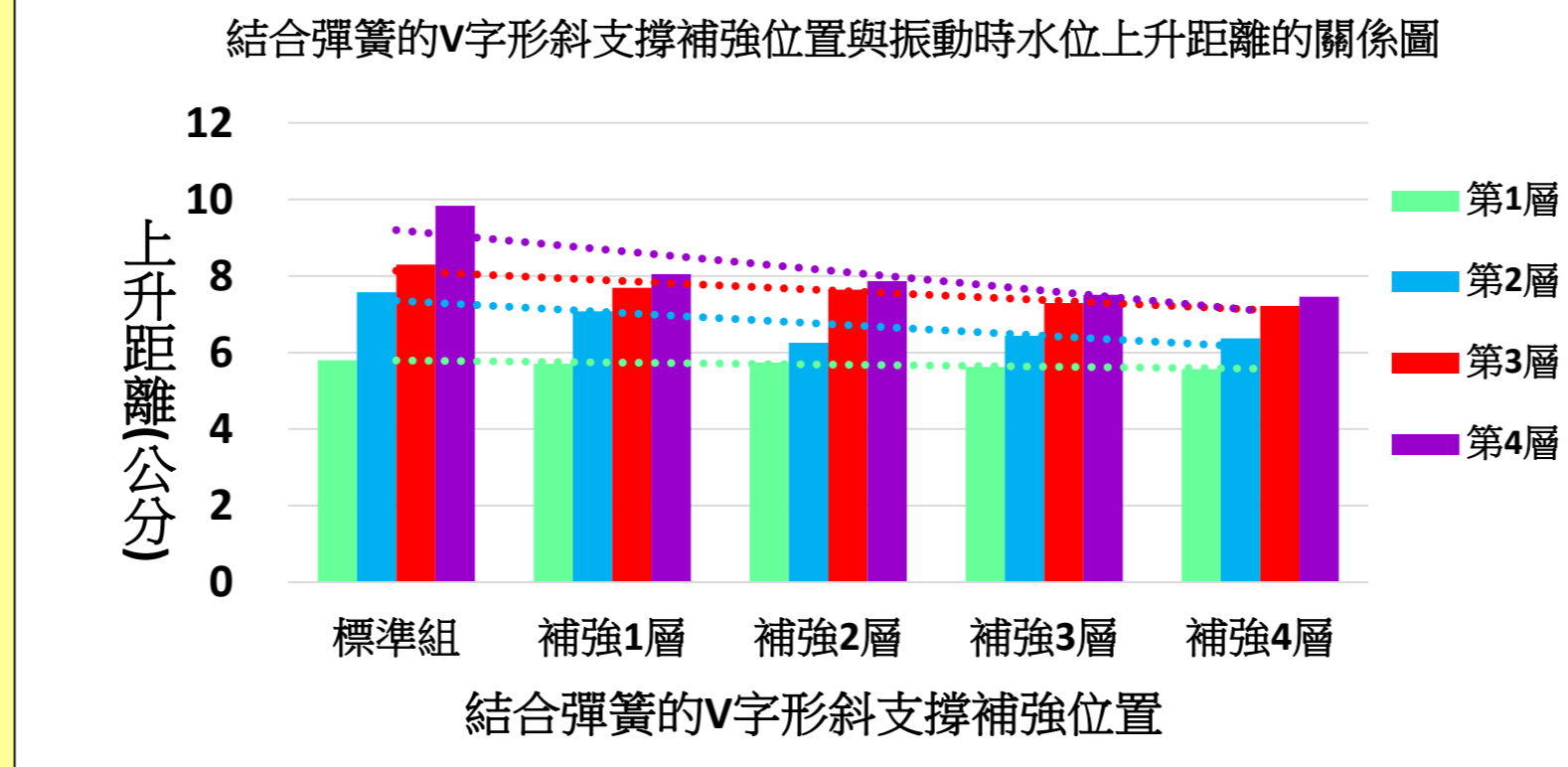
* 結果與討論：

發現水位上升最大距離都變小了；也發現都是以第2層的水位高度下降率較大，表示W字形斜支撐的補強方式對第2層樓有較佳效果。



實驗(六) 結合彈簧的V字形斜支撐運用在不同補強位置與建築物穩固性的關係

樓層	彈簧斜支撐補強位置 次數	標準組 (對照組)	結合彈簧的V字形斜支撐補強位置			
			雙側1層	雙側2層	雙側3層	雙側4層
第1層	平均(cm)	5.80	5.70	5.74	5.63	5.56
	水位高度下降率	0%	1.62%	1.01%	2.92%	3.99%
第2層	平均(cm)	7.57	7.08	6.26	6.43	6.37
	水位高度下降率	0%	6.55%	17.40%	15.04%	15.91%
第3層	平均(cm)	8.30	7.69	7.64	7.29	7.22
	水位高度下降率	0%	7.32%	7.87%	12.10%	13.02%
第4層	平均(cm)	9.83	8.05	7.86	7.51	7.46
	水位高度下降率	0%	18.17%	20.03%	23.61%	24.15%



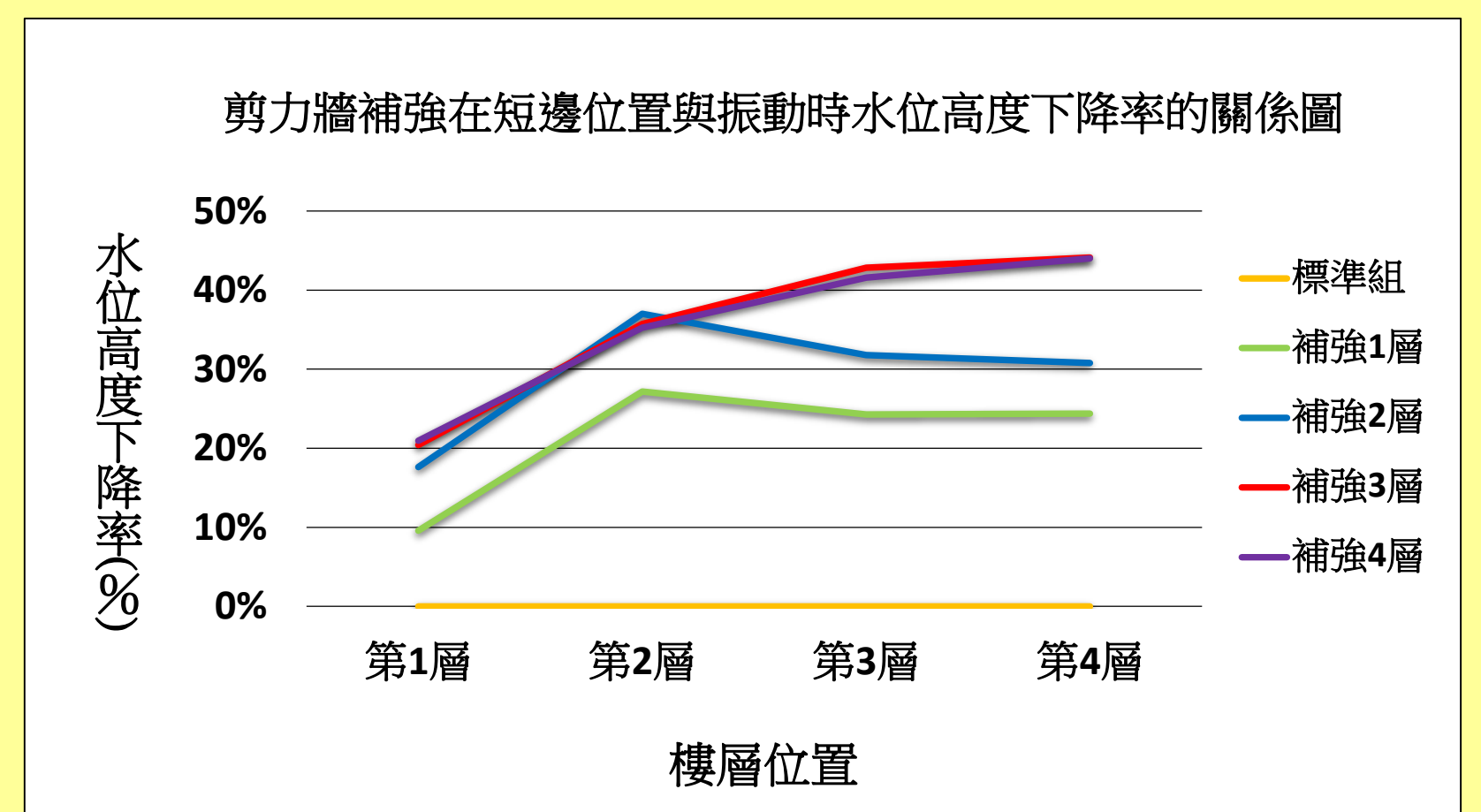
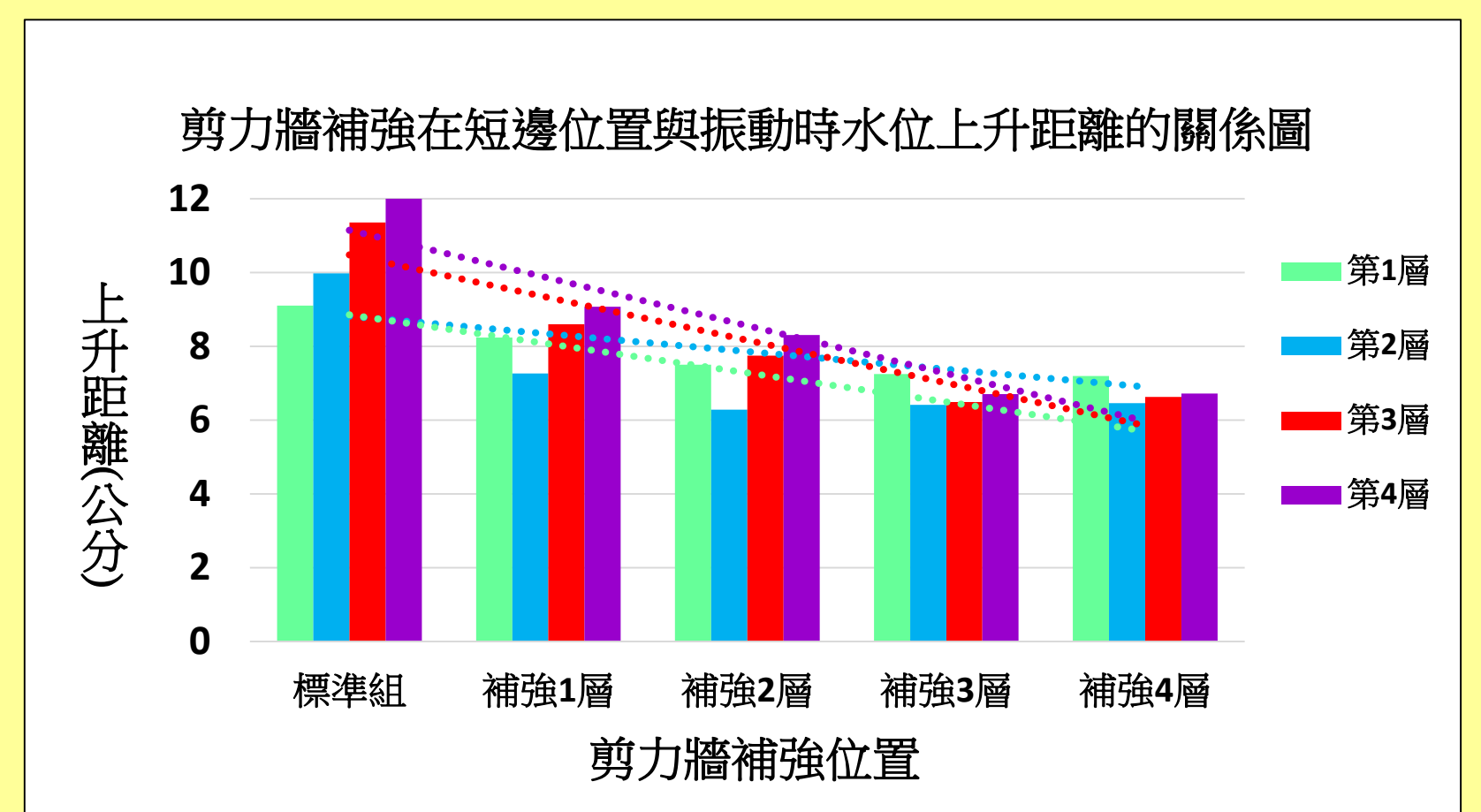
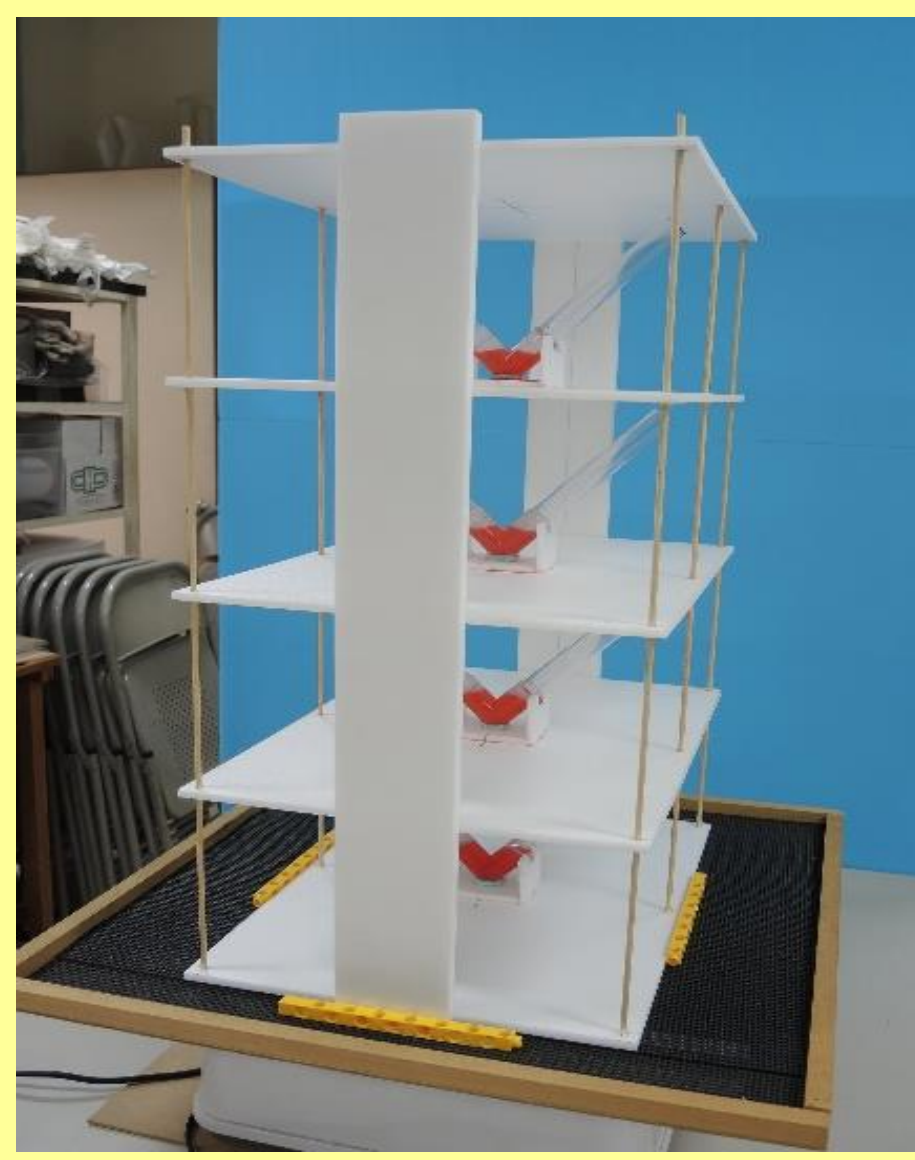
* 結果與討論：

發現水位上升的最大距離都變小了；也發現結合彈簧的V字形斜支撐補強方式對第2及第4層樓有較佳效果。



實驗(七) 剪力牆在建物短邊與建築物穩固性的關係

樓層	剪力牆位置 次數	標準組 (對照組)	剪力牆補強	剪力牆補強	剪力牆補強	剪力牆補強
			雙側1層	雙側2層	雙側3層	雙側4層
第1層	平均(cm)	9.11	8.24	7.50	7.25	7.20
	水位高度 下降率	0%	9.57%	17.62%	20.40%	20.94%
第2層	平均(cm)	9.98	7.27	6.28	6.42	6.46
	水位高度 下降率	0%	27.17%	37.02%	35.71%	35.24%
第3層	平均(cm)	11.36	8.60	7.75	6.49	6.63
	水位高度 下降率	0%	24.26%	31.77%	42.82%	41.59%
第4層	平均(cm)	12.00	9.08	8.31	6.71	6.72
	水位高度 下降率	0%	24.38%	30.79%	44.12%	44.01%



* 結果與討論：

1. 發現建物受振動影響，水位上升最大距離都變大了，尤其在第4層樓；當地震搖動方向與建物短邊同方向時，對建物影響較大。
2. 加上剪力牆後水位上升的最大距離明顯變小了，表示剪力牆補強能改善建築物的穩固性，尤其是裝置在建物短邊的位置。

研究三、提出可以減少建築物受地震影響的較佳補強方式

(一) 相同補強2層樓比較

(二) 相同補強3層樓比較

(三) 相同補強4層樓比較

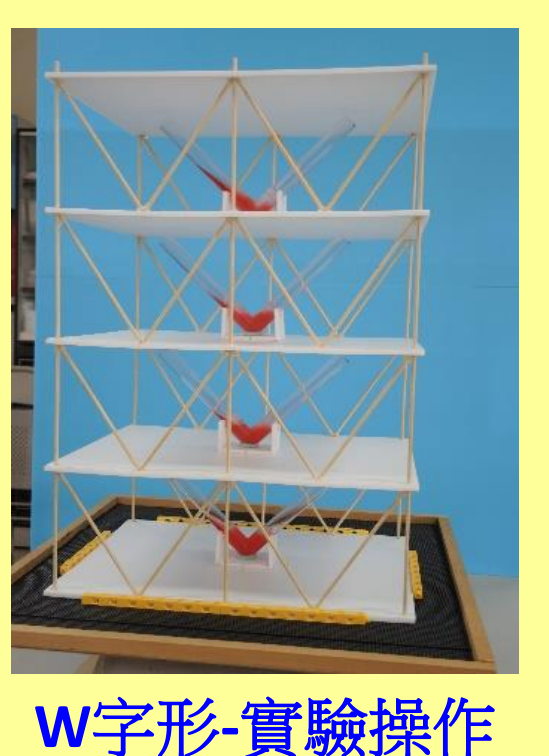
樓層	工法 水位	(一) 相同補強2層樓比較							(二) 相同補強3層樓比較							(三) 相同補強4層樓比較						
		標準組	擴柱補強	翼牆補強	剪力牆補強	V字形斜支撐	W字形斜支撐	結合彈簧斜支撐補強	擴柱補強	翼牆補強	剪力牆補強	V字形斜支撐	W字形斜支撐	結合彈簧斜支撐補強	擴柱補強	翼牆補強	剪力牆補強	V字形斜支撐	W字形斜支撐	結合彈簧斜支撐補強		
第1層	上升最大距離	5.80	5.58	4.76	5.33	5.44	5.53	5.74	5.55	4.77	5.38	5.42	5.66	5.63	5.40	4.73	5.26	5.39	4.66	5.56		
	高度下降率	0%	3.64%	17.82%	8.11%	6.20%	4.50%	1.01%	4.23%	17.66%	7.18%	6.53%	2.38%	2.92%	6.75%	18.43%	9.23%	6.96%	19.58%	3.99%		
第2層	上升最大距離	7.57	6.91	5.43	6.36	6.69	4.60	6.26	7.02	5.46	6.22	6.59	4.67	6.43	7.08	5.50	6.26	6.50	3.66	6.37		
	高度下降率	0%	8.71%	28.29%	15.96%	11.60%	39.23%	17.40%	7.25%	27.87%	17.84%	13.03%	38.31%	15.04%	6.53%	27.42%	17.39%	14.16%	51.70%	15.91%		
第3層	上升最大距離	8.30	7.33	7.09	6.70	7.66	7.23	7.64	7.34	6.75	6.25	7.57	7.06	7.29	7.19	6.16	6.37	6.95	6.85	7.22		
	高度下降率	0%	11.66%	14.53%	19.28%	7.66%	12.82%	7.87%	11.52%	18.70%	24.71%	8.71%	14.93%	12.10%	13.30%	25.78%	23.27%	16.23%	17.48%	13.02%		
第4層	上升最大距離	9.83	9.36	7.53	8.07	8.67	8.40	7.86	8.75	7.04	6.46	8.14	8.12	7.51	8.74	6.95	6.44	7.48	7.76	7.46		
	高度下降率	0%	4.84%	23.43%	17.93%	11.77%	14.59%	20.03%	10.98%	28.37%	34.27%	17.20%	17.37%	23.61%	11.12%	29.29%	34.53%	23.91%	21.08%	24.15%		

伍、討論

表示水位高度下降率介於20%~30%之間

表示水位高度下降率 > 30%

- 一、由實驗(二)發現增設翼牆補強方式在低樓層水位高度下降率較大，表示對低樓層效果較好；由實驗(三)及(七)發現增設剪力牆補強方式在高樓層水位高度下降率較大，表示對高樓層效果較好。
- 二、實驗(五)發現加上W字形斜支撐補強的方式使建物模型相當堅固，建物模型的搖晃明顯減緩，補強在不同樓層位置時，都是以第2層的水位高度下降率較大，表示W字形斜支撐的補強方式對第2層樓有較佳效果。
- 三、實驗(六)結合彈簧的V字形斜支撐補強比實驗(四)沒有加彈簧的V字形斜支撐補強穩固性效果稍佳，顯示在斜支撐結構上加上具彈簧的結構可以使建物模型在受到振動時較為穩固，與文獻探討提及的阻尼結構有類似的效果，值得未來再深入探究。
- 四、實驗(一)、(三)及(七)中發現擴柱補強和剪力牆補強的方式，補強3層和補強4層的水位上升的最大距離差異不大，表示以這2種工法施做補強3層和補強4層的耐震效果差異不大。



W字形-實驗操作

陸、結論

- 一、研究中發現增設不同的耐震補強方式都能改善建築物的穩固性。通常補強的樓層越多，耐震補強的效果越好。
- 二、研究中發現，不管使用何種補強方式，建築物的高樓層受到振動後的搖晃都是最嚴重的。
- 三、不同的耐震補強方式有不同的穩固建築物效果，依本實驗研究的器材搭配設計，發現補強效果較佳的方式是翼牆補強，其次是剪力牆補強與斜支撐補強方式。另外，對低樓層效果較好的是增設翼牆補強，對高樓層效果較好的是增設剪力牆補強的方式。
- 四、研究中發現擴柱補強和剪力牆補強的方式，補強3層和補強4層的效果差異不大，因此，建議未來設計補強如有特殊考量，也可以在安全無虞下減少最高樓層的補強。
- 五、研究中發現不同的斜支撐補強方式都會使建物模型有不同的穩固性效果，其中以W字形及加上彈簧的V字形結構對於建物模型的穩固性效果較佳，表示補強效果較好。
- 六、如果是長方形的建築物，當地震振動的方向與建築物的短邊同方向時，振動對於建築物搖晃影響較劇烈，應該特別注意建築物短邊的防震或補強。



水平儀檢視平台是否水平

柒、參考資料

- 一、中央氣象局-地震測報中心。取自<https://scweb.cwb.gov.tw/>
- 二、安全耐震的家-認識地震工程。國家地震工程研究中心。取自<http://www.ncree.org/SafeHome/ncr03/ncr1.htm>
- 三、姜添輝(2017)。第二單元-家鄉的自然環境與生活。國民小學社會第三冊(4上)。臺南：南一。
- 四、科學人雜誌第33期11月號(2004)。建築的吸震裝置。取自<http://sa.ylib.com/MagArticle.aspx?Unit=columns&iid=581>
- 五、校舍耐震資訊網。取自<https://school.ncree.org.tw/school/home/news.php>
- 六、陳純森。現代營建446---建築物耐震補強方法及施工技術。取自<http://www.arch.net.tw/modern/month/446/446-1.htm>
- 七、監察委員新聞稿(2019年1月10日)。取自https://www.cy.gov.tw/sp.asp?xdURL=./di/Message/message_1t2.asp&ctNode=2394&mp=1&msg_id=6925
- 八、撼天動地-地震科學探索。國立科學工藝博物館。取自<http://www3.nstm.gov.tw/earthquake/index.htm>



短邊-實驗操作