

中華民國第 56 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國中組 地球科學科

佳作

030501

屹立不搖

-以積木模型模擬建築物探討地震 S 波的影響

學校名稱：南投縣立大成國民中學

作者： 國二 彭宇呈	指導老師： 王百恒 徐敏益
---------------	---------------------

關鍵詞：形狀、S 波、積木

摘要

本實驗目的在探討哪種建築結構可得到最佳的抗震效果，我們下載軟體(AccelView)測量地震時的加速度大小，自製滑車及橡皮筋製造震動平台模擬地震情況。實驗後發現(AccelView)軟體可測得精確的加速度大小經高精密度加速度感測器證明。建築座向需考慮台灣附近斷層位置，減少地震所產生的破壞。加強地基深度時，可增加建物的抗震能力。建物高度越低，底面積越大抗震能力越佳。目前常見的建物造型如 L 形、U 形、H 形、十字形、T 形不影響抗震效果。建物突出造型，連結處會在地震發生時造成受損情形。當梁柱位置不對稱或梁柱不足時，地震會使建物產生轉動現象，容易因扭轉而倒塌。土壤顆粒較小的粉沙地質產生土壤液化，會使地震造成建物下陷或倒塌的結果。

壹、研究動機

台灣長期處於環太平洋地震帶，再加上台灣處於歐亞板塊與菲律賓海板之間，因此地震頻繁，所以經常都會有地震的發生。加上最近的美濃大地震導致維冠金龍大樓倒塌，因此引起了我對此事件的大樓的建築構造產生了懷疑，到底要使用什麼樣的建築結構才能達到最好的防震效果。漸漸的我開始懷疑到底為什麼這棟大樓會就這樣硬生生地倒下？難道是因為他的外部建築形狀？建築高度？建築所占的底面積？到底要怎麼做才能達到最好的防震效果？這些變因到底有什麼意義？愈多來愈多的疑問就這樣波濤洶湧的冒了出來，為了解開這些百思不解的疑惑，因此我開始做了一串的實驗。

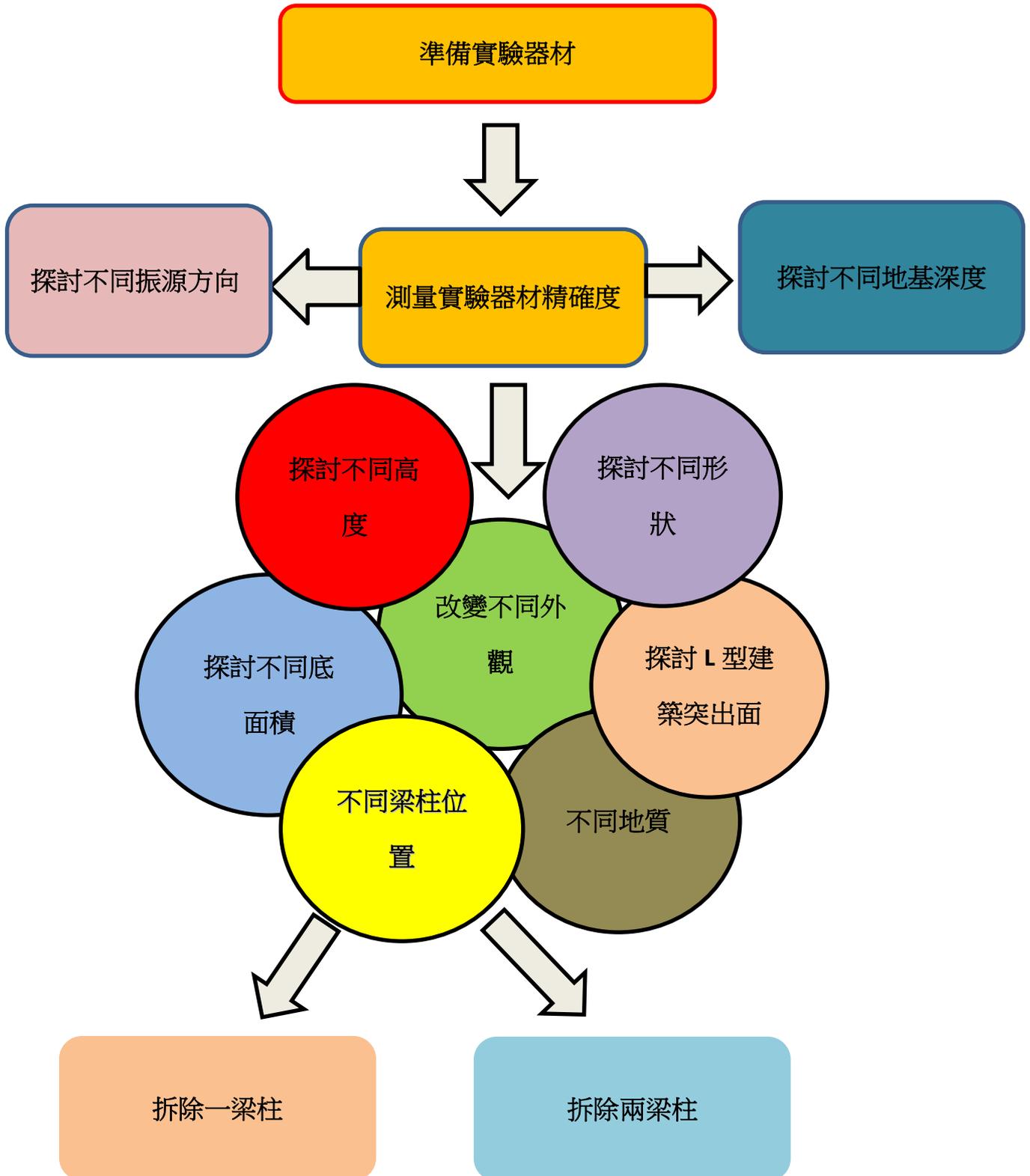
貳、研究目的

- 一、探討不同震源對建築物的影響
- 二、探討不同地基深度建築抗震性
- 三、探討不同建築高度抗震性
- 四、探討不同底面積抗震性
- 五、探討不同建築造型抗震性
- 六、探討突出造型建築抗震性
- 七、探討不同梁柱位置建築抗震性
- 八、探討梁柱減量後建築抗震性
- 九、探討軟土地質上建築抗震性

參、研究設備

- | | | | | |
|------|------|---------|-------------|-----------|
| 一、積木 | 二、手機 | 三、慢速攝影機 | 四、滑車 | 五、橡皮筋 |
| 六、砂紙 | 七、吸管 | 八、黏土 | 九、AccelView | 十、SPSS 22 |

肆、研究方法



一、 測定方法

為了模擬地震S波的情況，我自製了一台滑車(圖1)，並將滑車上方貼上砂紙增加摩擦力。

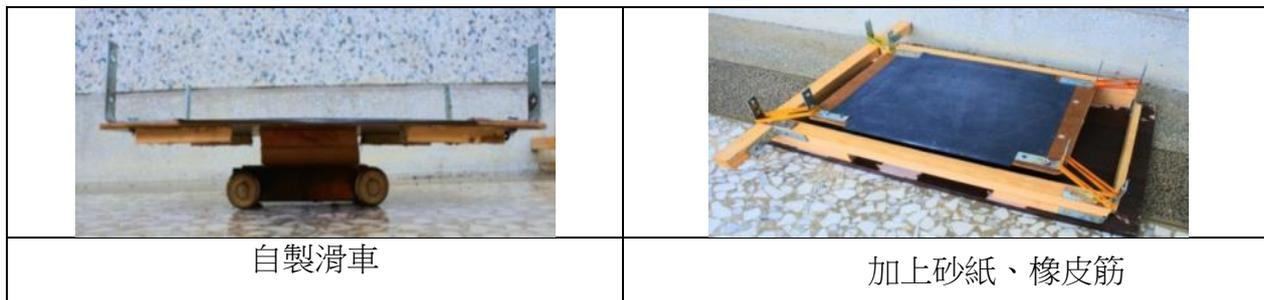


圖 1:將滑車上方加上砂紙增加摩擦力

利用橡皮筋彈力當作震動的動能，再將手機黏至於上方後，手拉滑車，利用拉動滑車不同的位移大小產生所需的震動能量，觀察建物倒塌情形，當出現倒塌時，記錄其加速度大小

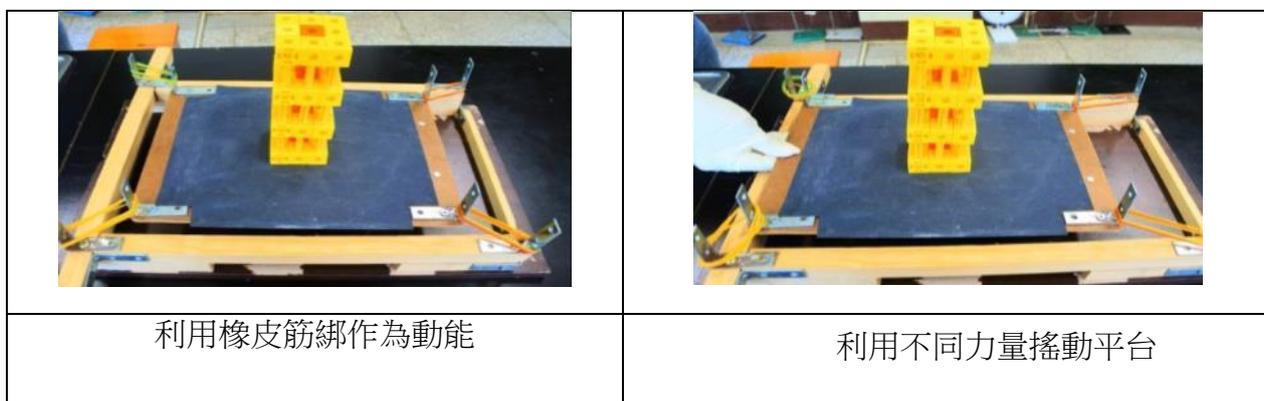


圖 2:利用橡皮筋彈力進行測量

最後每種不同形狀搖晃利用手機取數據 8 次，做單因子變異數分析，探討建物結構及震動加速度的關係。

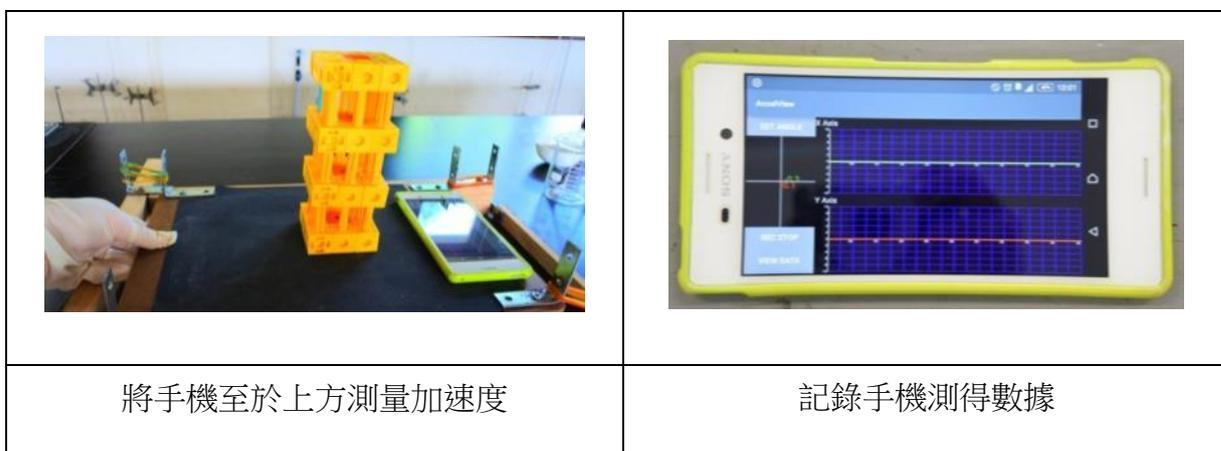


圖 3:利用手機測量加速度

二、實驗原理

(一) 地震原理

地震發生時，在震源引起的擾動，彈性波自震源向四面八方傳播，經過地球內部或沿地球表面傳播，產生體波和表面波。如果先不考慮地震波動的衰減與幾何擴散特性，那麼在地表所感受到的振動應該是由 P 波引起的短週期上下振動，隨後為由 S 波引起的短週期水平振動，最後是由表面波引起的長週期振動。但是，由於地震波的能量一方面會因幾何擴散而分散到空間中，當地震波傳得愈遠，其單位體積內的能量愈少，因此距離震源愈近的地區所感受到的振動愈大；另一方面地震波的能量會因岩層之間的摩擦阻力作用而衰減，當地震波穿過地層愈久，衰減得愈多，而且以 P 波的衰減量最大，因此淺層地震的地表上下振動較為明顯，而深層地震的地表上下振動常衰減到下場為人所察覺。此外，在地質鬆軟的地區，常由於地震波的重複反射引起限波共振現象，使得地表振動程度更加嚴重。

(二) 影響建物抗震性的因素

1. 結構平面不規則

規則性建築的平面形狀可為方形、矩形或圓形。一棟方形或矩形的建築若僅具有輕微的凸角時，仍可視為大致規則的建築結構系統，但若凸角的尺寸過長、過大時，則應視為建築結構平面不規則。因為這類具有較大、較長凸角建築，當遇到地震時會與結構平面規則建築的地震反應大不相同。當地震來臨時，結構平面不規則的建築會造成更大的額外扭力及伴隨而來的應力集中問題。且將改變房屋各個柱子所受的側力分佈，而導致房屋扭轉在轉角處形成集中應力容易造成破壞，因此我們將這類建築歸類為平面不規則結構。故在建築結構設計時，必須將凸角長度降至規定的範圍內，或做特別的加強設計，來克服不規則平面的建築，特別會有的扭轉及應力集中的問題。

2. 結構立面不規則

在 921 地震損毀的房屋中，發現房屋結構配置不良的不規則性結構，是致使房屋結構發生破壞的主要原因。房屋若結構具立面不規則性，在地震來襲時，各層樓震動後所導致的樓層側向力，會與平常靜止狀況有明顯的差異，所以房屋結構屬立面不規則時，就更必須以特別的動態分析進行規劃設計，以確保建物結構安全。

3. 柱子太少

以房屋的結構設計而言，最簡單的傳遞力量途徑就是最好的傳遞力量途徑。當地震來襲時，房屋所承受之地震力的傳遞途徑是先由柱子傳到大樑，再由大樑傳至小樑，

最後由小樑傳至樓版，因此，柱子可說是房屋中最重要的抗震結構體。在「遇到強震，即使損毀，也不立即崩塌」，這是房屋結構設計的最高指導原則。就是說明就算是遇到強震時，也要儘可能做到柱子絕對不能崩塌，或至少也要延緩崩塌的時間，讓住在房屋裡面的人有足夠的時間逃生。在 921 大地震中，有許多倒塌案例均有柱子太少及柱子間距過大的缺失，其中大多是 1 排 2 支柱子，而柱子與柱子間的距離甚至長達十公尺以上的情形。很顯然在原始的房屋設計中，為了增加使用空間而犧牲了房屋的結構安全。這種在設計之初，如果沒有作特別加強設計與補強，將使房屋存在於受地震損毀的高風險中。在大地震來襲時，若 1 排只有 2 支柱子，1 支柱子損毀了，往往就很容易拖垮僅存的另 1 支柱子，那整棟房子當然就跟著垮了；但若 1 排 3 支柱子，就算是 1 支柱子損毀了，剩餘的 2 支柱子，往往還可以將那整棟房子撐起，就大大降低強震來襲時生命財產遭受威脅的風險。所以，在充分利用房屋空間使用設計及美學觀感設計的同時，如何將柱子至少保有 1 排 3 支柱子的規劃，建議也應該儘可能用心一併考慮及配置，以確保建築之安全。

4. 「勁心」介紹

用手指輕推放在桌上的直尺，如果推動的點位於直尺中點，直尺會「移動」，但如果施力的位置不在直尺的中點，直尺會「轉動」兼「移動」。建築物在地震時的受力情形，就如同推動橫桿讓鞦韆擺動一樣。造型簡單對稱的建築物，勁心和樓板重心，同樣位於中心點，地震時建築物單純地左右搖晃，並不會發生扭轉。

造型簡單對稱的建築物，勁心和重心在同一點，地震時，建築物單純地左右搖晃，如果建築的樓板形狀對稱，但柱子粗細不同，勁心與重心不在同位置上，地震時建築物除了左右搖晃外，還容易發生扭轉。地震時建築物如果發生扭轉行為，柱子，同時承受水平力量與扭轉力量，加重柱子的負擔。扭轉力量宛如扭毛巾，使柱子受損更嚴重。

5. 什麼是「土壤液化」

在地下水位高、土層為疏鬆細砂，地下水位以下的土壤顆粒間充滿水分，顆粒暫時維持穩定的狀態。發生震度大、持續時間長的地震，激烈的搖動使得土壤顆粒間的水壓增高，土壤顆粒彼此間的接觸力霎時消失，土壤顆粒懸浮在水中，而失去承載能力，稱為土壤液化。當孔隙水壓過高時，水與部分砂土會經由地層中的裂隙，往上衝出地面，造成噴砂現象。土壤液化發生時，地表的建築結構因為土壤失去

承載能力，致使房屋下陷、龜裂，及電線竿傾斜等災情。強烈震動過後，因震動增高的水壓逐漸消散，土壤顆粒逐漸沉降，造成進一步的地表沈陷。

土壤液化所引致的災害，容易造成大範圍的建築物下陷與傾斜及維生管線系統的損壞，甚少直接造成人命傷亡。土壤液化引致災害情況相當廣泛，若依地盤受地震引起變位型態，可主要分為兩類：(1) 水平地盤中常會造成噴砂與地盤沉陷等現象，經常造成房舍下陷與傾斜，而造成房舍完全倒塌的案例較少；(2)在傾斜地盤中則由於土壤失去強度且地盤因重力作用而產生側潰甚至流動現象，由高程較高的地方往高程低的一方發生側向變位，其可能造成橋墩傾斜下陷與落橋、擋土牆、堤防及河岸邊結構物崩塌傾覆、道路與農田開裂或塌陷與地下管線斷裂或上浮等破壞。

三、實驗一：探討實驗器材精確度

為求手機軟體(AccelView)所測得的加速度準確性，我們請學校發文至 921 地震園區，由他們助理研究員王哲夫博士熱心地利用園區模擬用的地震平台及王博士研究用的日本“東京測振”公司出品的高精密度速度感測器(如下圖 4)，以相同震動大小、頻率，同時進行比較(如下圖 5)，驗證手機測量與加速度計測量的準確度，以確定後面實驗數據的精確可靠。

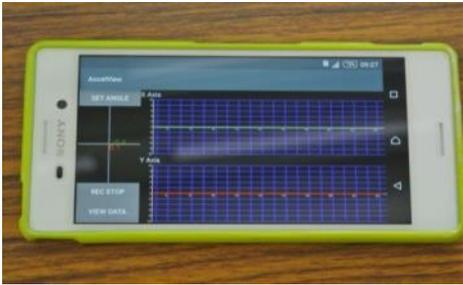
		
<p>手機軟體加速度計(AccelView)</p>	<p>高精密度速度感測器</p>	
		
<p>高精密度速度感測器(上)</p>	<p>高精密度速度感測器(中)</p>	<p>高精密度速度感測器(側面)</p>

圖 4:探討實驗器材精確度



圖 5:共同測量加速度

四、實驗二:探討不同震源方向對建築的影響

為了知道不同受力的方向角度對建築抗震影響，我利用了寬度同為 5x2 三層樓的積木進行測量(如下圖 6)，以不同的受力方向進行測量，角度分別為 0 度、30 度、60 度及 90 度(如下圖 6)，四種不同震源方向進行模擬，每種不同受力方向分別測量 8 次，並記錄，來探討不同受力方向是否會對建築產生影響。

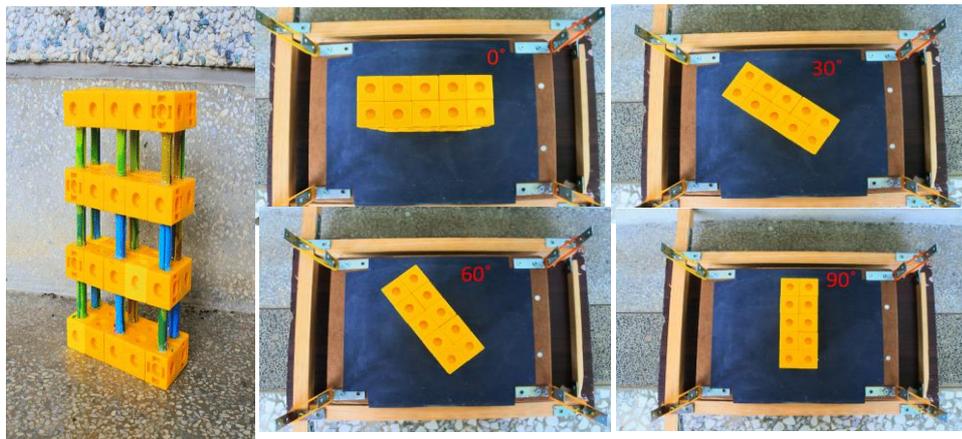


圖 6:5x2 三樓高積木、4 種不同受力方向圖

五、實驗三:探討地基深度建築抗震性

為了探討地基深度對建築物的影響，我利用了高度同為三層樓的 2x2 積木，地基分別為一層地基、兩層地基以及三層地基，在將積木插入裝有砂土的容器中測量(如下圖 7)，每種地基測量 8 次，並記錄，觀察不同地基深度是否會影響建築物抗震性。

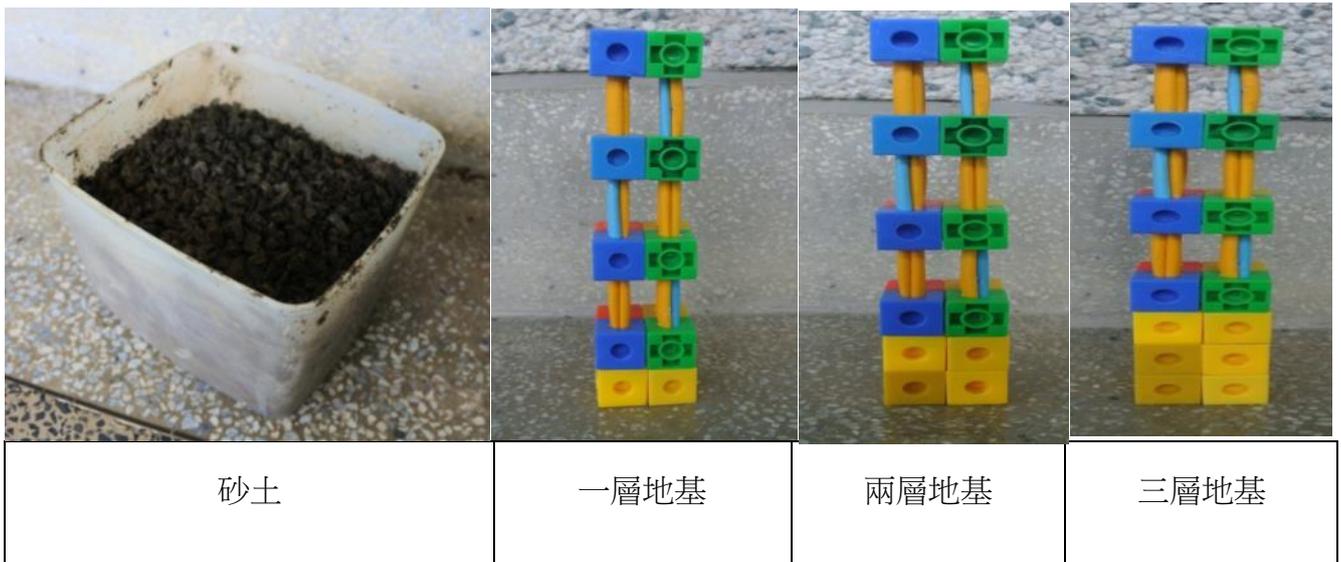


圖 7:不同的地基深度圖

六、實驗四:探討不同高度建築抗震性

為了模擬不同高度是否會對建築物產生影響，利用高度分別為 1 層樓、2 層樓、3 層樓，地基相同為 2x2 的三種積木(如下圖 8)，進行測量並記錄，每種高度共測量 8 次，並記錄，觀察高度對建築抗震性的影響。

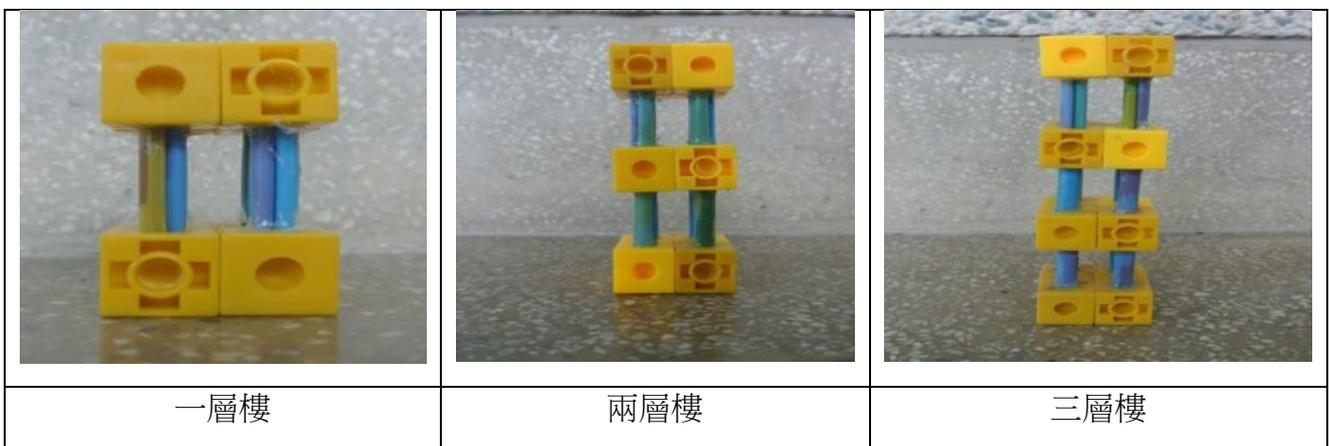
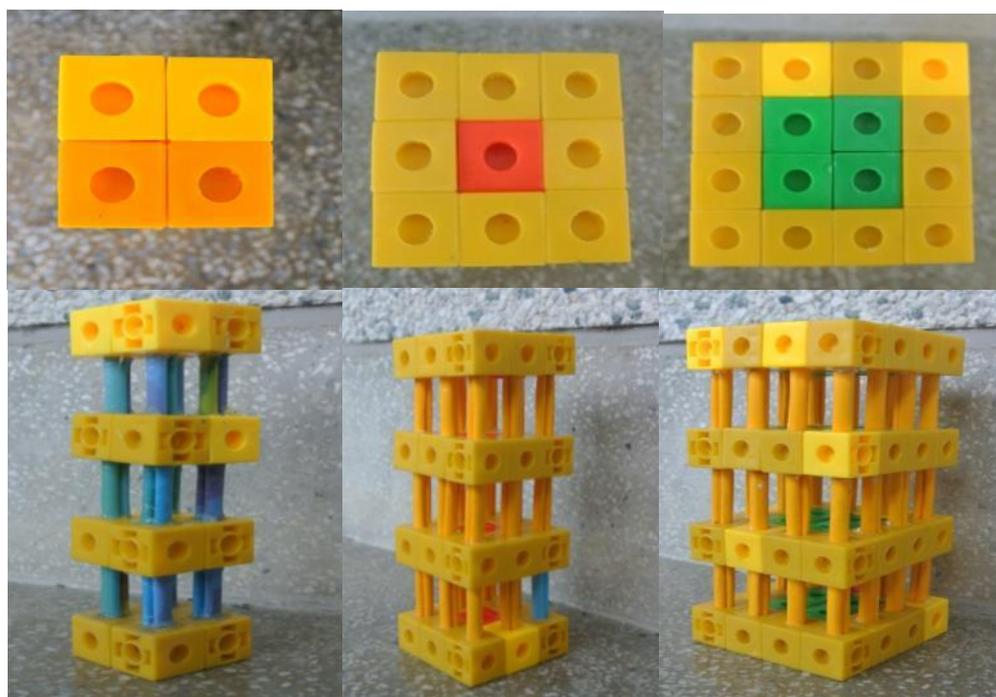


圖 8:不同高度積木

七、實驗五:探討不同底面積建築抗震性

為了探討不同底面積大小對建築物影響，我利用高度同為三樓，底面積分別為 2x2、3x3、4x4 的積木(如下圖 9)，進行測量，將各種不同的底面積大小分別測量 8 次，並記錄，觀察不同底面積建築抗震性。



2x2

3x3

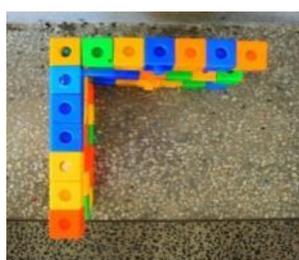
4x4

圖 9:探討不同底面積建築抗震性

八、實驗六:探討不同造型建築抗震性

(一) 低樓層

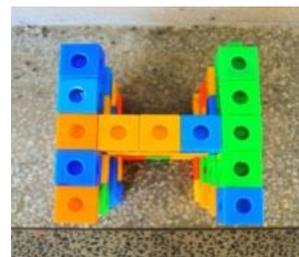
為了探討哪種建築造型較為耐震，分別設計了高度同為三層樓的 5 種積木，形狀分別為 L 形、匚形、H 形、十字形、T 形；其底面積木數量控制在 13 個(如下圖 10)，進行測量，每種形狀各測量 8 次數據，並記錄，探討不同造形對建築物抗震性的影響。



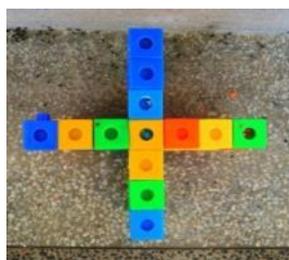
L 形



匚形



H 形



十字形



T 形

圖 10:不同形狀積木

(二) 高樓層

為了探討不高度對不同形狀積木的影響，我另外設計了高度為 12 層樓高不變的 7 種積木，形狀分別為 H 形、M 形、L 形、 \sqcap 形、 \square 形、十字形、T 形(如下圖 11)，進行測量，每種形狀各測量 8 次數據，並記錄，探討高度對不同造形建築物抗震性的影響。

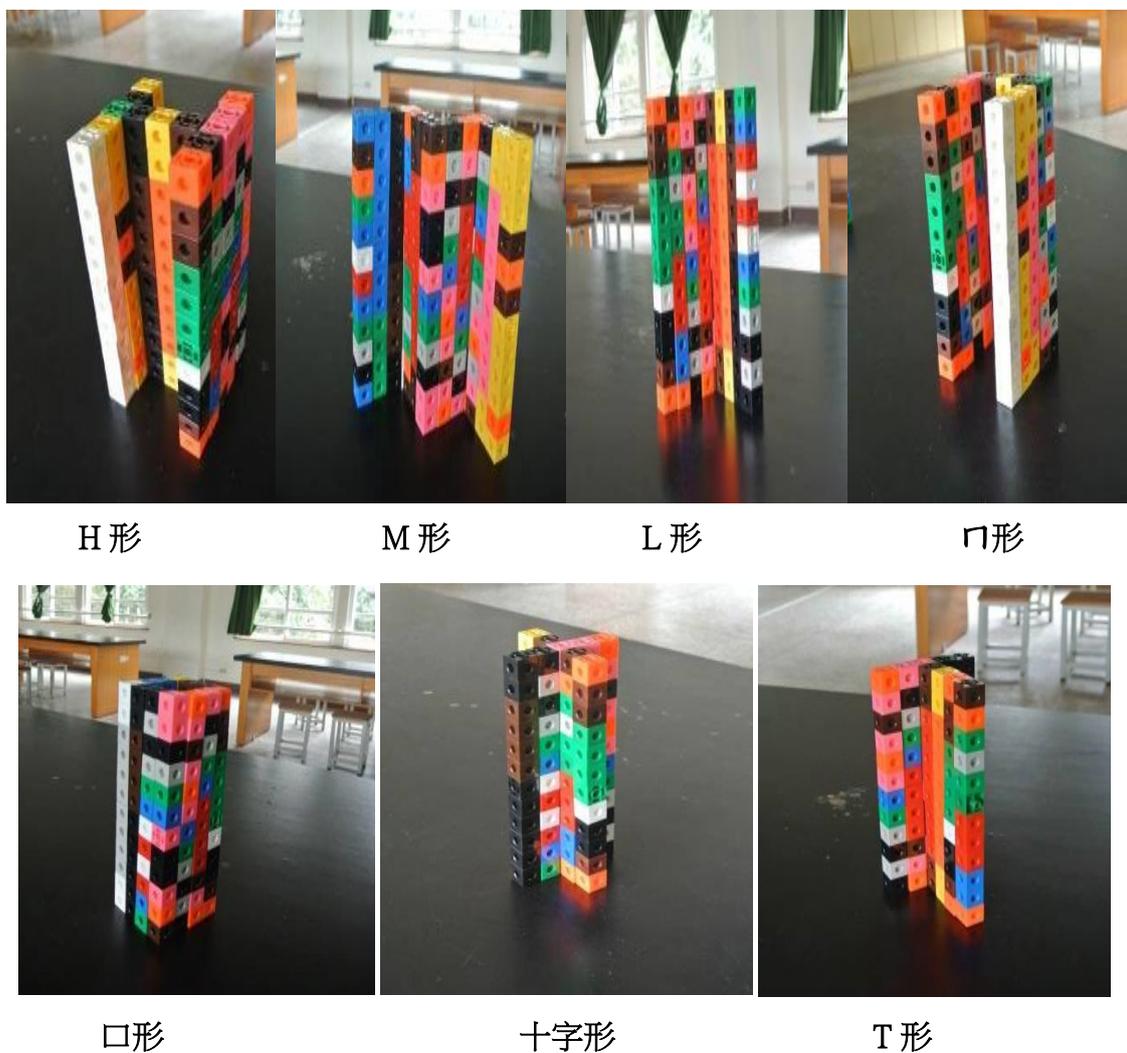


圖 11:七種不同形狀積木

九、實驗七:探討突出造型建築抗震性

為了探討突出造型是否會對建築抗震產生影響，將積木排成 L 型，再將凸出位置利用吸管及黏土連接，製作出梁柱連接處軟弱的效果，連接方法(如下圖 12)，分別為連接一條、連接兩條以及連接三條，每個分別測量 8 次，測量並記錄。



連接一條

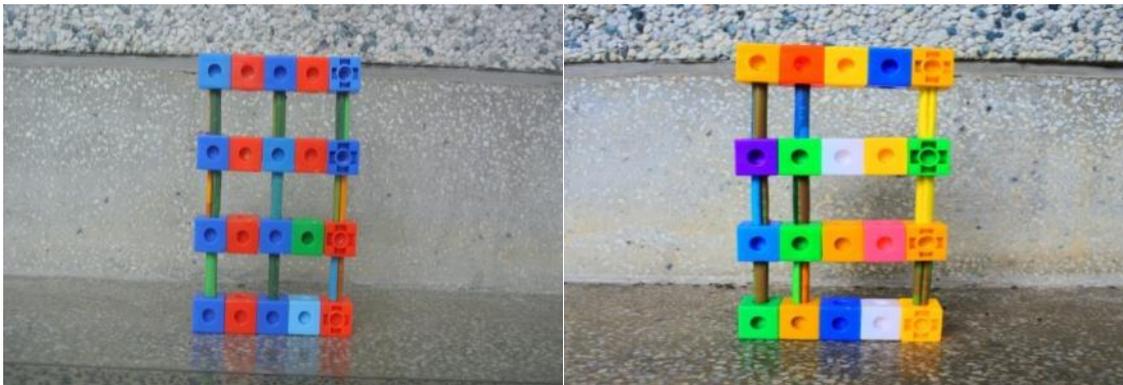
連接兩條

連接三條

圖 12:突出造型積木

十、實驗八:探討不同樑柱位置建築抗震性

為了探討不同樑柱位置對建築物的影響，我利用了高度同為三層樓，樑柱數量皆相同的積木，樑柱位置分別為 1、3、5 和 1、2、5(如下圖 13)，進行測量，兩種方式分別測量 8 次，來探討不同梁柱位置對建築抗震性造成的影響。



1、3、5

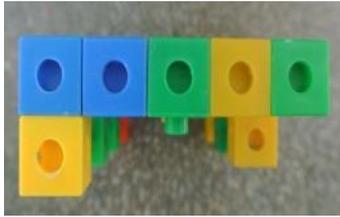
1、2、5

圖 13:不同梁柱位置積木

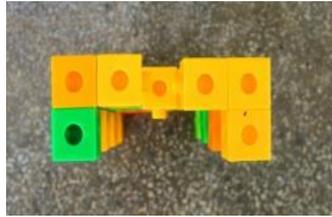
十一、實驗九:探討拆除不同樑柱位置建築抗震性

為了探討建築取出梁柱是否易造成建築倒塌，我利用了積木分別排成高為三層的「U」字型建築，利用取出一梁柱及兩梁柱兩種取出方法，拆除方法(如下圖 14、圖 15)，每種拆除方法各測量 8 次，來探討梁柱拆除位置是否對建築抗震性造成影響。

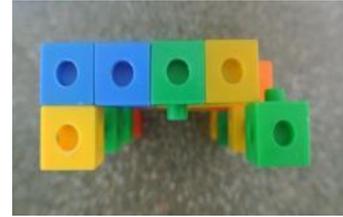
(一) 拆除一樑柱



前邊



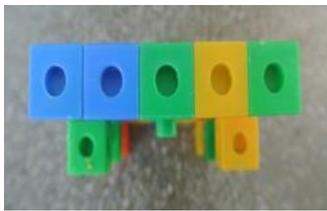
中央



後邊

圖 14:拆除一梁柱位置

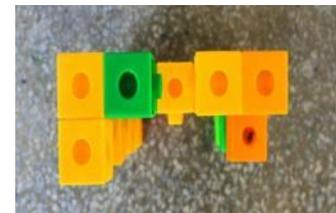
(二) 拆除兩樑柱



前邊角



後邊角



前後對稱

圖 15:拆除不同樑柱位置

十二、實驗十:探討軟土層地質建築抗震性

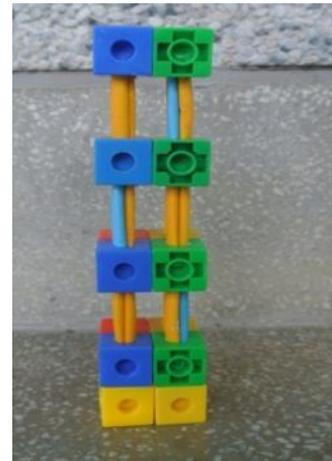
為了模擬近期大眾所關心的土壤液化現象，利用了高度為三層樓高，底面積為2x2，地基為一層的積木，並挖掘田裡含水爛泥(粉砂岩)模擬軟土地質(如下圖 16)，進行測量，最後再以一般砂土地質的一層地基進行比較，探討土壤液化對建築物抗震性的影響。



軟土地質



一般地質



一層地基積木

圖 16:探討不同地質建築抗震性

伍、研究結果

一、實驗一：探討實驗器材精確度

為求利用手機軟體(AccelView)所測得的加速度準確性，我們利用了日本“東京測振”公司出品的高精密度速度感測器，以相同震動大小、頻率，進行比較，驗證利用手機測量與加速度計測量的準確度，以求後面實驗數據的準確。以所得數據如下(表一)，由(圖 17)可看出，

表一:手機及精密速度計在震動模擬平台所測出加速度大小

時間(s)	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7
手機軟體	-2.224	0.965	0.858	-3.578	0.617	0.383	-0.386
精密速度計	-2.314	0.923	0.846	-3.306	0.492	0.547	-0.311
時間(s)	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4
手機軟體	-2.528	0.973	0.492	-3.426	0.564	0.498	-0.384
精密速度計	-2.665	1.026	0.956	-3.353	0.447	0.304	-0.277

規律的地震平台移動時，手機軟體所測得的最大加速度為 0.923~0.973 之間，彼此間產生的誤差相當小，經由 t-test 檢驗， $t=-0.056$ ， $p=0.96$ ，無顯著差異，所以我認為手機軟體(AccelView)所測得的準確加速度可做為探討加速度大小使用。

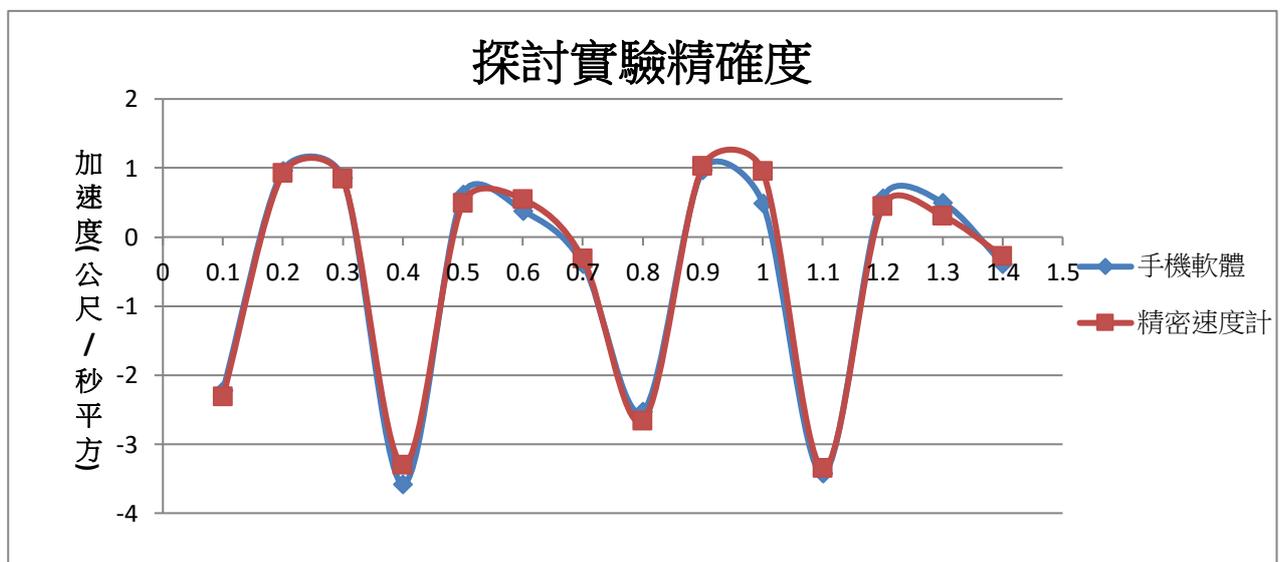


圖 17: 手機及精密速度計在震動模擬平台所測出加速度大小

此外，由中央氣象局所定義的震度與加速度大小關係(如下表二)，可觀察出我們所使用的震動平台震度約為 5-7 級(0.8-2.5 m/s²)，大小適中，可供為實驗檢驗使用。

表二:震度大小與地震加速度

震度(級)	0	1	2	3	4	5	6	7
加速度 (m/s ²)	0.008 以下	0.008 ~0.025	0.025 ~0.08	0.8 ~0.25	0.25 ~0.8	0.8 ~2.5	2.5 ~4	4 以上

二、實驗二: 探討不同振源方向對建築的影響

利用底面積 5x2 三層樓高的積木，受力方向分別為 0 度、30 度、60 度、90 度，搖晃並測量，經實驗後可得加速度: 0 度為 >4(約為 7.58)±0.34(m/s²)；30 度實為 3.96±0.35(m/s²)；60 度時為 3.15±0.27；90 度時為 2.64±0.24(m/s²) (如下表三及圖 18)。由此可知，當建築長度與受力方向平行時(0 度)所受加速度最大及抗震性最佳，完全垂直時最差(90 度)，經統計後可得 $F_{(31, 3)} = 439.967$ ； $P < 0.001$ 具顯著差異。

表三:不同震源方向加速度 (N=8) 單位: (m/s²)

角度	平均數	標準差	F
0度	>4(7.58)	±0.34	
30度	3.96	±0.35	
60度	3.15	±0.27	439.97***
90度	2.64	±0.24	

***=P<0.05

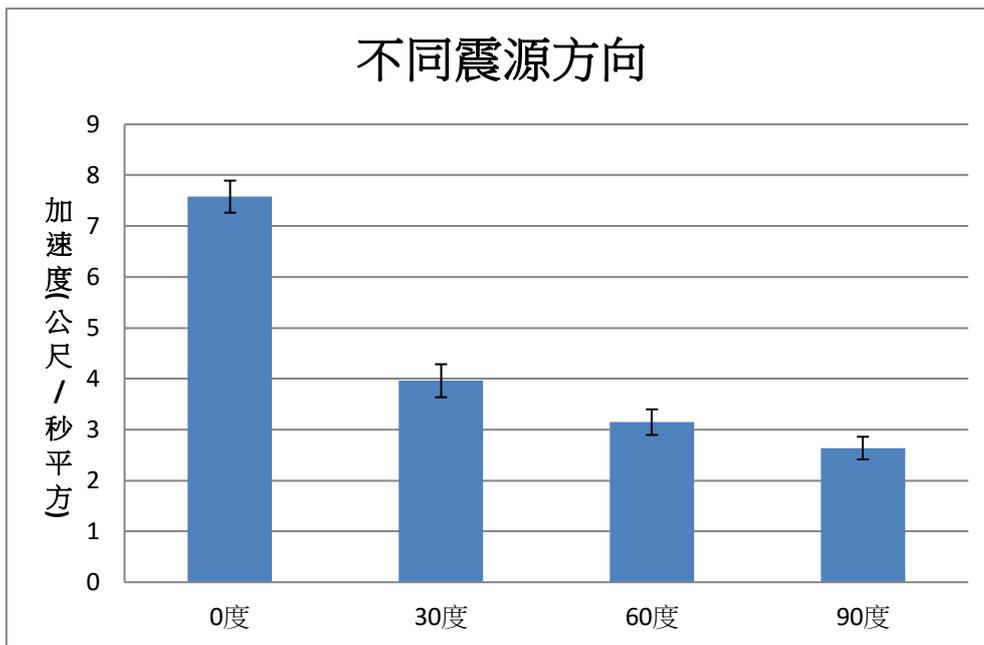


圖 18:不同受力角度直條圖

三、實驗三:探討不同地基深度建築抗震性

利用高度同為三樓高，地基分別為一層地基、兩層地基、三層地基，搖晃並測量，經實驗後可得加速度，一層地基為 $3.39 \pm 0.27 (m/s^2)$ ，兩層地基為 $4.29 \pm 0.27 (m/s^2)$ ，三層地基為 $16.43 \pm 0.92 (N/A) (m/s^2)$ (如下表四及圖19)。得知當地基為三層深時 <4 的加速度仍無法倒塌，最後我將加速度加到達極限 $16.43 (m/s^2)$ ，但建物依然沒有倒塌的現象，可得知:當建物地基愈深，

表四:不同地基深度加速度 (N=8) 單位: (m/s²)

地基深度	平均數	標準差	F
一層地基	3.39	± 0.27	
兩層地基	4.29	± 0.27	1279.06***
三層地基	$>4(16.42^{**})$	± 0.92	

抗震效果愈好，經統計後可得 $F_{(2, 23)}=1279.06$ ； $P<0.001$ 具顯著差異。

***=P<0.001； **無法倒塌

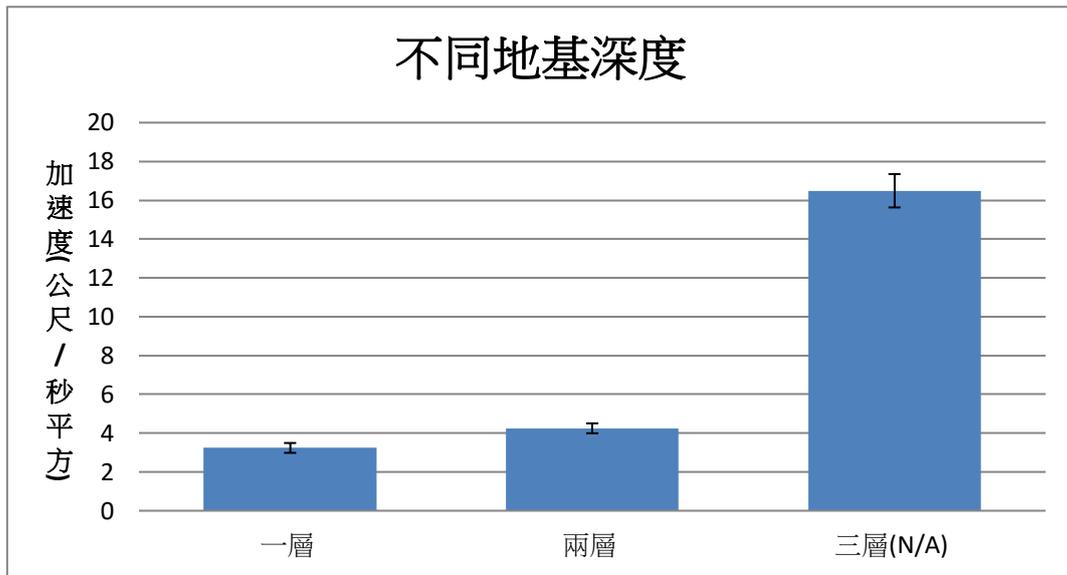


圖 19:不同地基深度直條圖

四、實驗四:探討不同高度建築抗震性

為了模擬高度對建築影響，我利用了底面積同為 2x2 高度為一層樓、兩層樓、三層樓，搖晃並測量，經實驗後可得加速度，一層樓為 $5.58 \pm 0.58(m/s^2)$ ，兩層樓為 $2.63 \pm 0.35(m/s^2)$ ，三層樓為 $0.29 \pm 0.16(m/s^2)$ (如下表五及圖 20)。由此可知，當建物高度愈高，抗震效果愈差，經統計後可得 $F_{(2, 23)}=159.87$ ； $P<0.001$ 具顯著差異。

表五:不同高度加速度 (N=8) 單位: (m/s²)

建築高度	平均數	標準差	F
一層樓高	>4(5.58)	±0.58	
兩層樓高	2.63	±0.35	159.87***
三層樓高	2.29	±0.16	

***=P<0.001

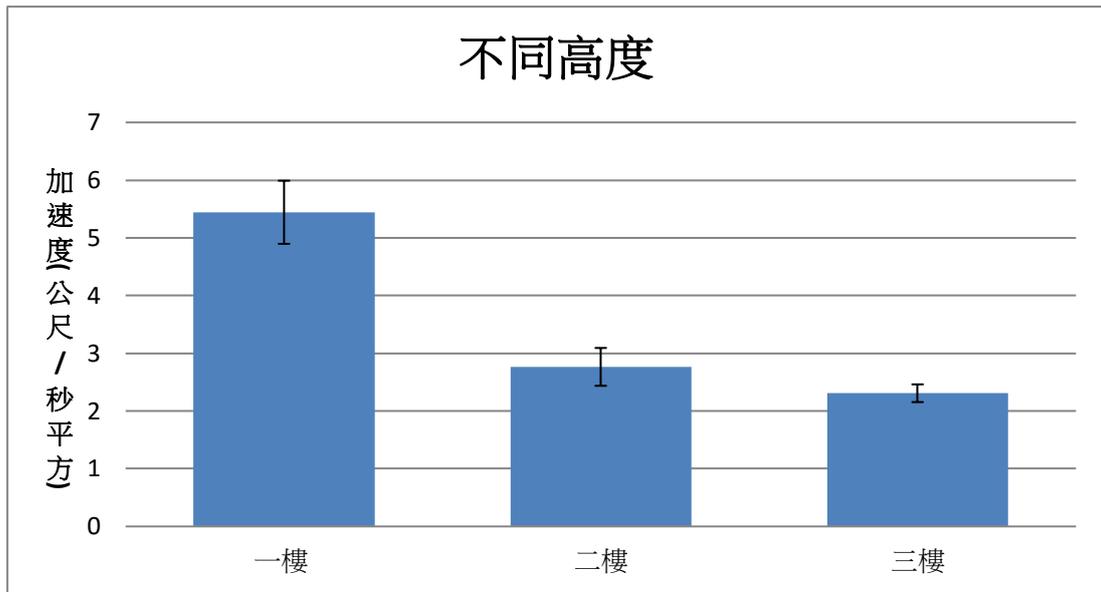


圖 20:不同建築高度直條圖

五、實驗五:探討不同底面積建築抗震性

為了模擬底面積對建築抗震性影響，設計了底面積分別為 2x2、3x3、4x4，高度同為三層樓高的積木，搖晃並測量，經實驗後可得加速度，2x2時為 $2.21 \pm 0.13(m/s^2)$ 。3x3 為 $3.66 \pm 0.24(m/s^2)$ ，4x4 為 $5.21 \pm 0.22(m/s^2)$ (如下表六及圖 21)因當加速度為 4 時仍無法造成倒塌，故我將加速度加大使得建物能達到倒塌的現象。由此可知，當底面積愈大，抗震效果就愈佳。經統計後可得 $F_{(2, 23)}=422.55$ ； $P<0.001$ 具顯著差異。

表六:不同底面積加速度 (N=8) 單位: (m/s²)

底面積大小	平均數	標準差	F
2x2	2.21	± 0.13	422.55***
3x3	3.66	± 0.24	
4x4	>4(5.21)	± 0.22	

***=P<0.001

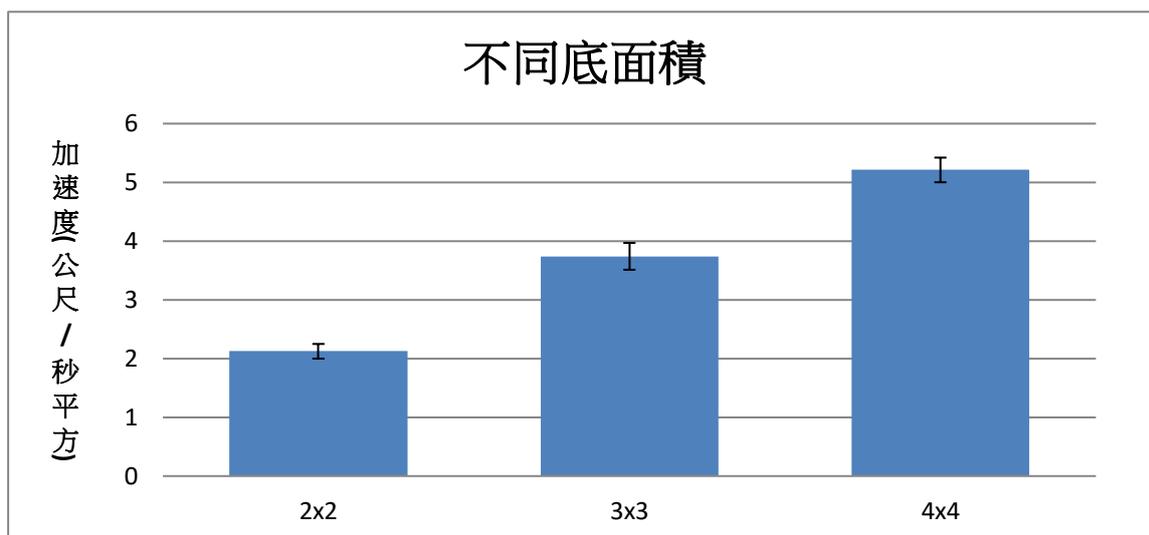


圖 21:不同底面積建築抗震性

六、實驗六:探討不同造型建築抗震性

(一) 低樓層

為了探討哪種建築形狀較為抗震，設計高度為三層樓，底面同為 13 個積木的建築物，形狀分別為 L 形、冂形、H 形、十字形、T 形，搖晃並測量，經實驗後可得加速度，L 形為 $6.13 \pm 0.14(m/s^2)$ ，冂形為 $5.94 \pm 0.11(m/s^2)$ ，H 形為 $6.40 \pm 0.20(m/s^2)$ ，十字形時為 $6.47 \pm 0.26(m/s^2)$ ，T 形時為 $6.21 \pm 0.21(m/s^2)$ (如下表七及圖 22)。經統計後可得 $F_{(4, 39)}=9.85$ ； $P < 0.001$ 。其中 L 型與十字型及 T 型具顯著差異，冂形與 H 形 T 形及十字形具顯著差異，T 形及十字形也具顯著差異。

表七:不同造型加速度 N=8 單位: (m/s²)

形狀	平均數	標準差	F
L形	>4(6.13)	±0.14	9.85
冂形	>4(5.94)	±0.11	
H形	>4(6.40)	±0.20	
十字形	>4(6.47)	±0.26	
T形	>4(6.20)	±0.21	

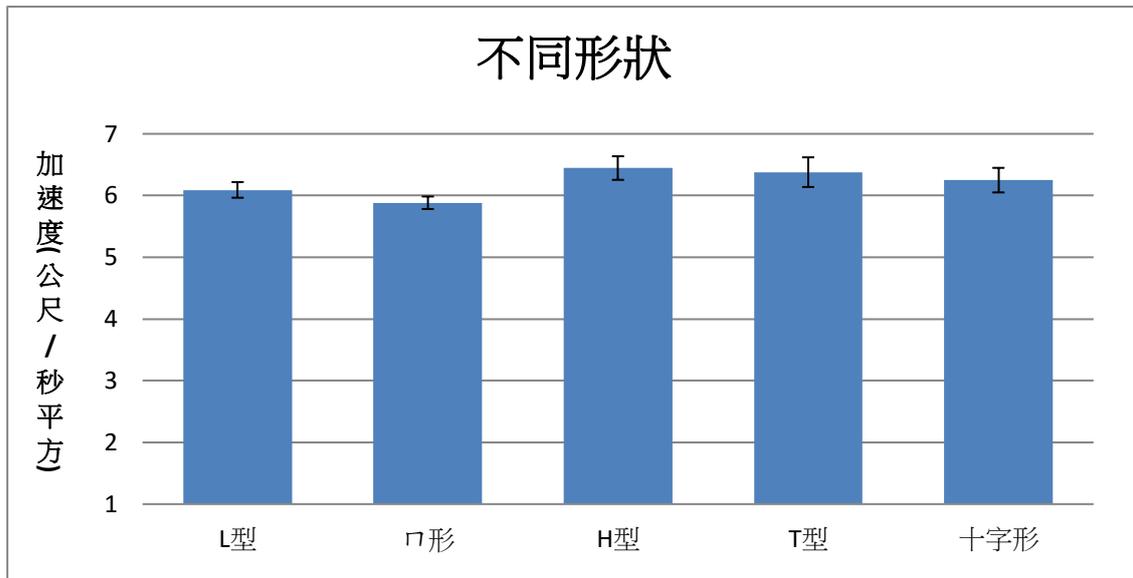


圖 22:低樓層不同形狀加速度直條圖

(二)高樓層

我利用不同的形狀的建築進行測量，形狀分別為 H 字形、M 字形、L 字形、冂字形、口字形、十字形、T 字形高度同為 12 層樓高不變，搖晃測量，經實驗後可得加速度，H 字形 $5.11 \pm 0.32(m/s^2)$ ，M 字形 $5.74 \pm 0.38(m/s^2)$ ，L 字形 $4.92 \pm 0.45(m/s^2)$ ，冂字形 $4.75 \pm 0.59(m/s^2)$ ，口字形 $4.95 \pm 0.78(m/s^2)$ ，十字形 $5.31 \pm 0.25(m/s^2)$ ，T 字形為 $5.18 \pm 1.03(m/s^2)$ (如下表八及圖 23)。經統計後可得 $F=1.47$ ； $P=0.272$ 並無顯著差異。

表八:不同造型對建築的影響 (N=5) 單位: (m/s²)

個數	平均數	標準差	F
H 字形	5.11	0.32	
M字形	5.74	0.38	
L字形	4.92	0.45	
冂字形	4.75	0.59	1.47
口字形	4.95	0.78	
十字形	5.31	0.25	
T字形	5.18	1.03	

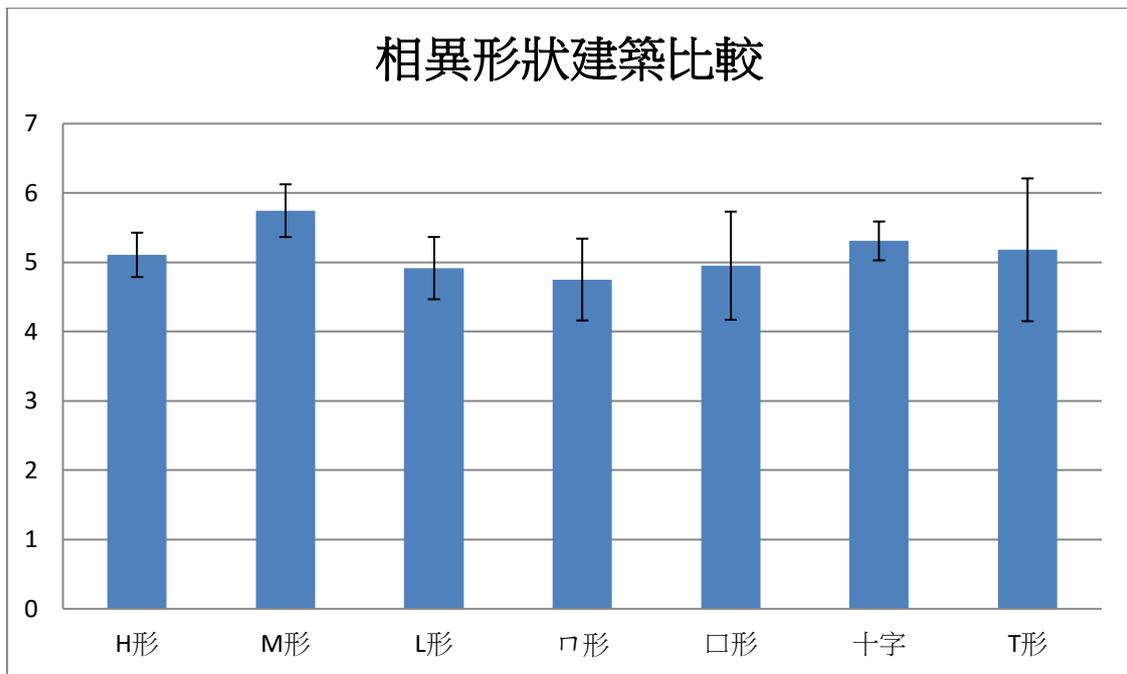


圖 23:高樓層不同形狀加速度直條圖

七、實驗七:探討突出造型建築抗震性

為了探討突出造型時否會對建築抗震性產生影響,利用了高度同為三層樓高的L形建築,分別突出連接一條、兩條、三條,搖晃並測量,經實驗後可得加速度,一條時為 $3.79 \pm 0.32(m/s^2)$; 兩條時為 $3.03 \pm 0.24(m/s^2)$; 三條時為 $2.62 \pm 0.27(m/s^2)$ (如下表九及圖 24), 可得知當突出造型越多時, 建物損害程度較越高, 經統計後可得 $F_{(2, 23)}=36.20$; $P<0.001$ 具顯著差異。

表九:突出造型加速度 N=8 單位: (m/s^2)

突出數量	平均數	標準差	F
突出一條	3.79	±0.32	
突出兩條	3.03	±0.24	36.20***
突出三條	2.62	±0.27	

***=P<0.001

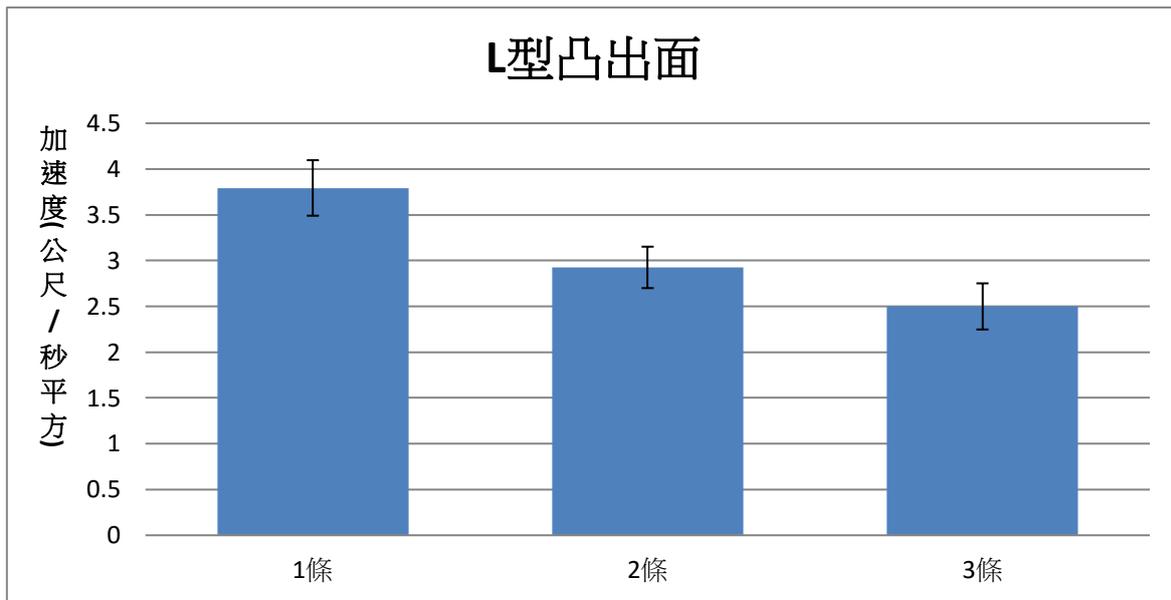


圖 24:L 型圖突出面抗震性直條圖

八、實驗八:探討不同樑柱位置建築抗震性

為了探討不同梁柱位置是否會對建築物產生影響，我利用了高度為三層樓高，梁柱位置分別為 1、3、5 及 1、2、5，搖晃並測量，經實驗後可得加速度，1、3、5 時為 $2.16 \pm 0.33 (m/s^2)$ ，1、2、5 時分別為 $1.75 \pm 0.22 (m/s^2)$ (如下表十及圖 25)。可知當梁柱不對稱時，建物易受損，經統計後可得 $T=2.99$ ； $F_{(2, 23)}=1.69$ ； $P<0.001$ 具顯著差異。

表十:探討不同梁柱位置建築抗震性 N=8 單位: (m/s²)

梁柱位置	平均數	標準差	t	F
1、3、5	2.17	±0.33	2.99	1.69***
1、2、5	1.75	±0.22		

***=P<0.001

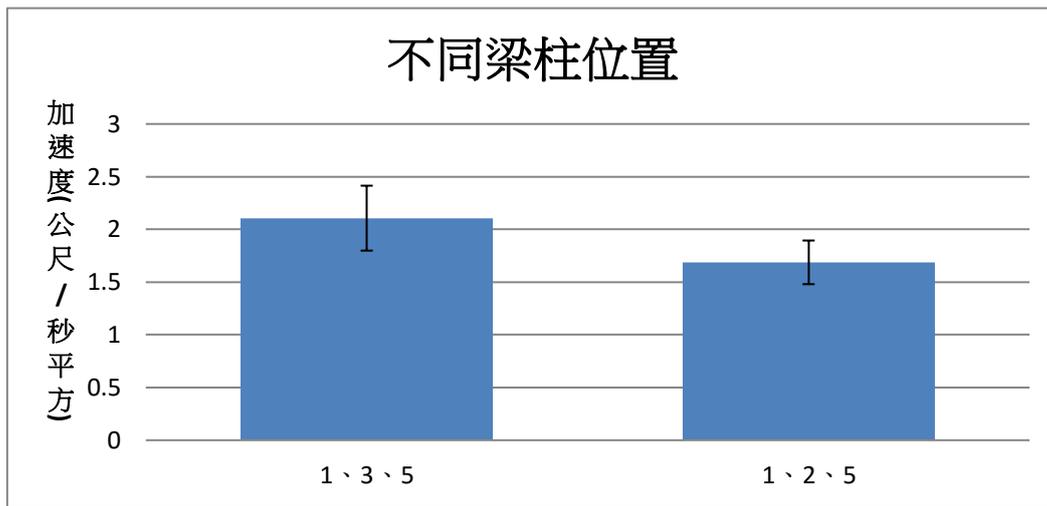
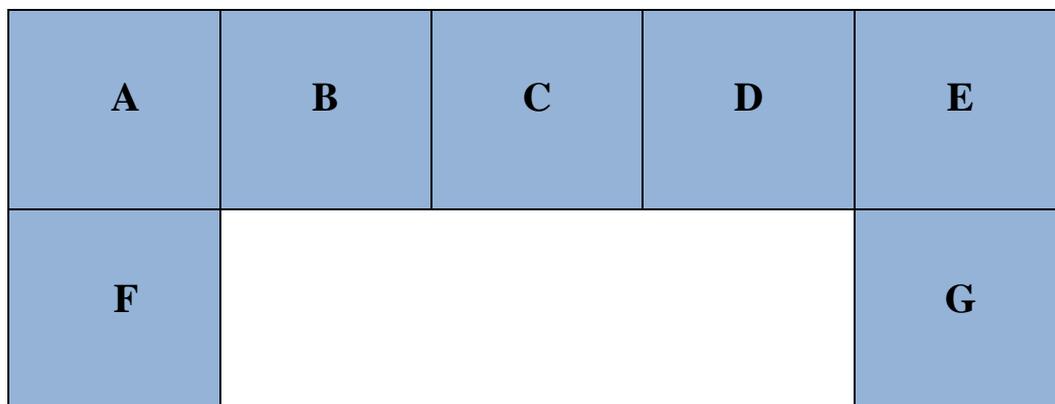


圖 25:探討不同梁柱位置建築抗震性直條圖

十、實驗九:探討拆除不同樑柱位置建築抗震性

為了探討不同梁柱位置是否會對建築物產生影響，我利用了U字型的積木分別拆除一梁柱、兩梁柱、拆除一梁柱位置分別為拆除前邊角(F)、中央(C)及後邊角(E)如下圖(圖 26)所視，拆除兩梁柱位置分別為前邊角(F、G)、後邊角(A、E)以及前後對稱(C、F)如下圖(圖 26)所示，搖晃並測量，經實驗後可得加速度，拆除一梁柱位置為前邊角時為 $2.21 \pm 0.18(m/s^2)$ ，後邊角時為 $2.37 \pm 0.19(m/s^2)$ ，中央時為 $2.96 \pm 0.20(m/s^2)$ (如下表十一及圖 27)。拆除兩梁柱位置前邊角為 $1.50 \pm 0.12(m/s^2)$ ，後邊角時為 $3.18 \pm 0.14(m/s^2)$ ，前後對稱時為 $2.83 \pm 0.36(m/s^2)$ (如下表十二及圖 28)。由上可知當拆除梁柱時，拆除後邊角有較佳的抗震效果，而拆除兩梁柱時拆除後邊、前後對稱有較佳的抗震效果，由上可得知，拆除梁柱時需要考慮到拆除對稱的造型，使建築物不會硬生倒下。經統計後可得，拆除一梁柱時 $F_{(2, 23)}=35.09$ ； $P<0.001$ 具顯著差異，拆除兩梁柱時 $F_{(2, 23)}=115.12$ ； $P<0.001$ 具顯著差異。



(圖26):U形建築拆除梁柱示意圖

(一)拆除一梁柱

表十一:探討拆除一梁柱位置建築抗震性 N=8 單位: (m/s²)

拆除一梁柱位置	平均數	標準差	F
前邊角	2.21	±0.18	
中央	2.37	±0.19	35.09***
後邊角	2.96	±0.20	

***=P<0.001

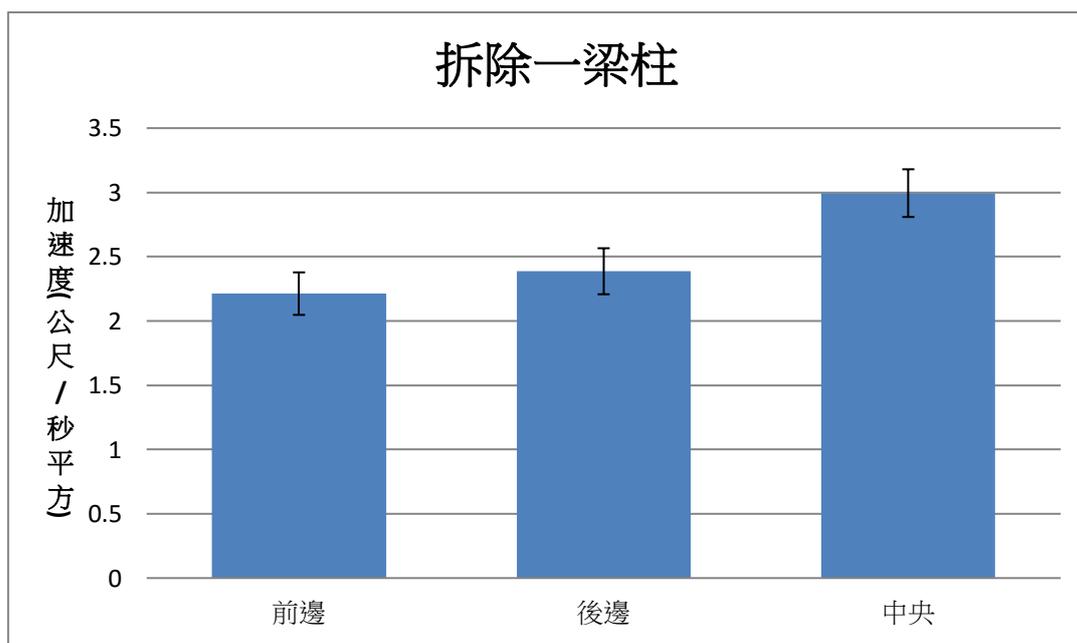


圖 27:拆除一梁柱建築抗震性直條圖

(二) 拆除兩梁柱

表十二:拆除兩梁柱抗震性 N=8 單位: (m/s²)

拆除位置	平均數	標準差	F
前邊	1.50	±0.12	
後邊	3.18	±0.14	115.12***
前後對稱	2.83	±0.36	

***=P<0.001

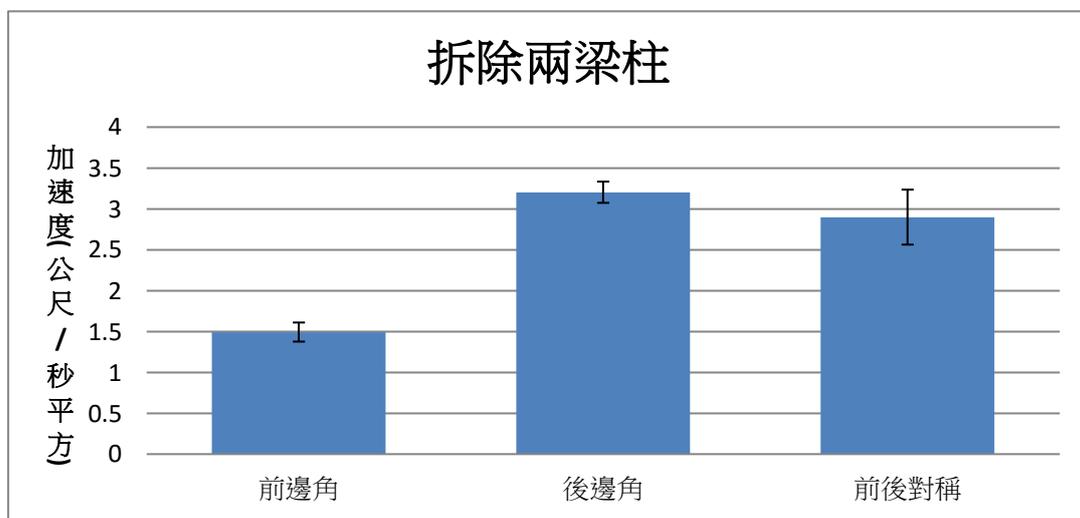


圖 28:拆除兩梁柱建築抗震性直條圖

十一、實驗十:探討軟土層地質建築抗震性

為了模擬土壤液化對建築物的影響，利用了液化的土壤及一般的土壤用高度同為三層樓高，地面積都為 2x2 的積木，地基都是一層地基，搖晃並測量，經實驗後可得加速度，軟土液化地質為 $2.41 \pm 0.09(m/s^2)$ ，一般液化地質為 $3.39 \pm 0.27(m/s^2)$ (如下表十三及圖 29)。由上實驗可得知，軟土地質液化對建物抗震性影響最大，且經統計後發現具顯著差異，符合近期大眾關心的土壤液化議題。經統計後可得 $F_{(1, 15)}=93.31$ ； $P<0.001$ 具顯著差異。

表十三:探討不同地質建築抗震性 N=8 單位: (m/s²)

地質	平均數	標準差	t	F
軟土地質	2.41	±0.09	-9.66	93.31***
一般地質	3.36	±0.27		

***=P<0.001

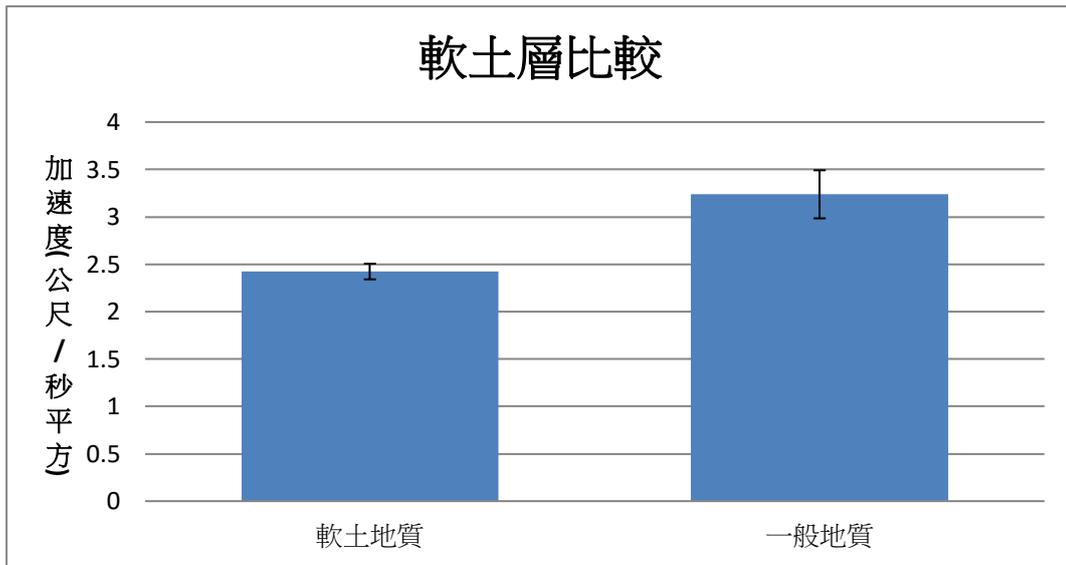


圖 29:不同地質抗震性比較直條圖

陸、討論

台灣位處環太平洋地震帶，地震發生的次數很多，並且經常有強烈的地震發生。依據中央氣象局過去九十年的觀測資料顯示，台灣地區平均每年約發生 2200 次地震(1991 年中央氣象局地震網經過更新後大幅提升偵測能力，所以 1991-1994 年之平均值增為 8217 次)，其中多數為無感地震，有感地震每年平均約為 214 次(1991-1994 年為 489 次)。地震發生最多是在一九五一年，台灣有感地震竟達八百五十八次之多。根據以往紀錄，災害性地震，平均每年可能發生一次。根據彈性回跳理論，造成地震的原因是斷層破裂。

斷層破裂時，兩側的岩體會相對移動，並釋放出累積的能量。大部分的能量在克服摩擦力中損失，並以熱能呈現，另一部分能量則造成岩體快速的位移，形成彈性波，釋放到附近的地殼中。當岩體快速位移時，所產生的推力會形成壓縮波，即所謂的 P 波，沿著斷層面的相對位移則形成剪力波，即所謂的 S 波。

斷層錯動所造成的震動，會同時引發 P 波與 S 波向外傳遞，但是 P 波的行進速度比 S 波快，因此地震儀上的記錄常可以看出 P 波與 S 波抵達的時間差。

然而 P 波帶給人的感受是地表、房屋等上下震動，不過震動量通常較小；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。

而為了測量震度我利用了手機軟體(AccelView)進行測量，為了驗證手機的精確性我利用手機下載的(AccelView)所測得的的加速度在(1 秒取得 10 組加速度值)，與專業使用的東京測振公司出品的高精密度速度感測器(每秒 500 組加速度值)比較後，所產生的數據相當接近，可供本次實驗使用。

一、當受力方向與建築長度相互平行時，建物抗震能力大於受力方向與抗震能力垂直，效果相當於骨牌效應。所以如果可以依據斷層帶位置，設計建築座向，可增加抗震能力。

二、在探討不同地基深度的實驗中，我發現當地基越深時，建物抗震能力越強。理論上當建物地基達到一定的深度後，建物可在任何地震強度下，依然屹立不搖，我們可依建物的外形結構設計適合的地基深度，達到節約建材及抵抗地震的效果。

三、在探討不同高度的實驗中當建築度越高時，重心位置越高，建物抗震能力越差，如果建築高度造成倒塌危險，需增加補強機制，如更深的地基或阻尼器的設立等。

四、在探討不同底面積大小的實驗中當建物底面積越大時，抗震能力越好，由於底面積越大可讓建物が搖晃時重心仍可保持在建物上方，使建物穩定。

五、在探討不同形狀對建築抗震性的實驗當中，我發現當建物高度為低樓層進行搖晃時，可能會受到重心的影響使得重心向前偏移造成建物倒塌，所以不同形狀為低樓層時抗震性具

顯著差異。而建物高度為高樓層時，使用的建材通常為 RC 鋼骨結構，所以我們並無使用梁柱以及樓板進行測量，而是時改用積木戶相連接的方法，最後我發現鋼骨結構重心通常較為固定，使得地震來臨時不同形狀並不會對其抗震性產生影響，經實驗後發現並無顯著差異。

六、當梁柱位置不對稱時，因勁心及重心不重合，導致地震發生時，產生轉動現象，使建物因扭動作用而倒塌。

七、在探討突出造型(H 字型、T 字型、十字型、 Γ 字型)時，選擇 L 字型做研究，在地震發生造成兩邊產生的慣性不同，會產生受力不均勻的情況，當突出部分與本體質量差距越大時，受力越大，造成建築結構破壞情形越嚴重。

八、取下的梁柱位置及數量會影響建物抗震能力，當取下的梁柱數量越多，或取下後的梁柱不對稱時(單邊邊角)，會改變建物的平衡結構，造成建物崩塌，就也就是一般民眾建物倒塌所質疑的是否有偷工減料，或不當改變結構等情形。

九、當土壤液化時，軟土地質(粉砂岩)會造成抗震效果變差，建物容易倒塌。除了購屋時注意當地地質外，也可用打設砂樁、置換土壤、將基樁打入岩盤等方式處理。

柒、結論

一、accelview 軟體可測得精確的加速度大小，用來做測量地震震動強度使用。

二、建築座向需考慮台灣附近斷層位置可能引發的地震傳播方向，可減少地震所產生的破壞性。

三、加強地基深度時，可增加建物的抗震能力，避免危險。

四、不考慮共振情形下，建物高度越低，底面積越大(類似正方體)抗震能力越佳。

五、目前常見的建物造型如 L 形、 Γ 形、H 形、十字形、T 形不影響抗震效果。

六、建物突出造型，連結處會在地震發生時因慣性影響，產生不同的作用力大小，造成受損情形。

七、當梁柱位置不對稱或梁柱不足時，會造成重心與勁心位置不重疊，當地震發生時，會使建物產生轉動現象，容易因扭轉而倒塌。

八、土壤液化時，土壤顆粒較小的粉沙地質含水後，地震時更容易晃動，造成建物下陷或倒塌的結果。

九、由以上數點，我們在選購建築時，要選擇建築座向適當、非軟土地質、地基方正深度足夠、外型對稱無突出造型、梁柱數量及支撐力足夠且對稱、符合建築結構設計需求的建築。

捌、參考文獻

1. 林英智等，2016，國民中學自然與生活科技第六冊，康軒書局，台北
2. 林英智等，2016，國民中學自然與生活科技第六冊教師手冊第一本，康軒書局，台北
3. 作者未明，安全耐震的家-認識地震工程，<http://www.ncree.org/SafeHome/>
4. 作者未明，921 大地震房屋倒塌研究分析－結構設計 6 問題
http://extra.rakuya.com.tw/house_news/
- 3.國立科學工藝博物館 <http://www.nstm.gov.tw/>

【評語】 030501

1. 研究方法有趣，富創意，具獨立研究精神。
2. 可以更進一步與所學的力學概念結合，加入到解釋建築物耐震實驗。
3. 可以進一步探討不同重量、底面積建築物的耐震實驗。