

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：房子穩了，然後呢？--探討地震對房屋非結構物穩定性的影響

一、摘要

房屋中非結構物的損壞也會在地震中造成民眾在疏散過程中受到傷害，因此本研究以地震儀模擬地震，分別討論招牌、隔間牆、管線等非結構物的設置方式的安全穩定性。研究結果發現：(1)必須依據招牌類型的不同，考慮招牌的配重及架設方式；(2)隔間牆的厚度需要適中，過重，且沒有連接到天花板的隔間牆較容易倒塌；(3)學校和集合住宅興建時，如果有不同方向排列的建築物，需考慮對管線造成的拉扯效應，加強建築物本身的連結穩定性是最好的方式。

二、探究題目與動機

地震是台灣無法避免的天然災害，因此許多的建築物在興建時都會致力增加本身的耐震程度。但從過去的震災經驗，我們發現建築物中的非結構物，如招牌、隔間牆、水管、瓦斯管線等非結構物在地震後造成的財務、人員損傷，也是防範地震災害中不可忽視的一部份。由於地震的 S 波不易受距離影響而減弱消失，因而會引發較大範圍的地震災害，因此本研究以能製造 S 波的地震儀來探討地震對非結構物穩定性的影響，進而能運用於改善非結構物的架設、安裝安全等問題，降低地震災情。

三、探究目的與假設

(一) 探究目的：探討地震的 S 波對建築物招牌、隔間牆、管線穩定性的影響。

(二) 實驗假設：

1. 建築物招牌的重量、架設方式會影響其在地震波的穩定度
2. 房屋中與主結構安全無乾的隔間牆大小與修建方式會影響其在地震波的穩定度
3. 建築物中的管線架設方式會影響其在地震波的穩定度

四、探究方法與驗證步驟

(一) 探究方法：我們以地震儀模擬 S 波，分別進行以下的實驗：

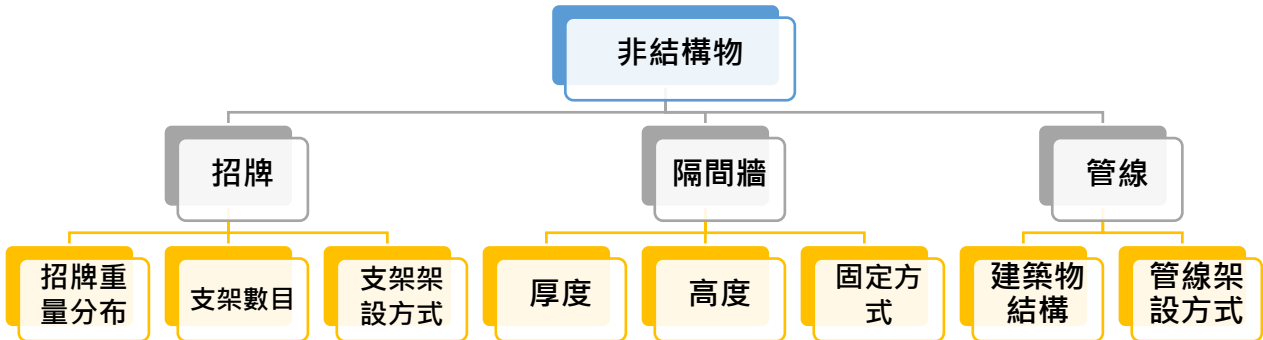
1. 實驗一：招牌的穩定性——以壓克力層架作為房屋，並分別架設立式招牌、側懸式招牌、正面式招牌，討論發生地震時，不同招牌重量、安裝支架數目、支架安裝方式的穩定度差異。
2. 實驗二：隔間牆的穩定性——以壓克力層架作為房屋，並以木板作為隔間牆，討論隔間牆高度、厚度在地震搖晃時的穩定性差異
3. 實驗三：管線的穩定性——以積木堆疊學校建築結構，並以棉線作為管線架設，討論不同建築物與管線架設情況在地震時的受災狀況。

(二) 探究步驟：

1. 閱讀文獻：得知主要影響非結構物倒塌之震度為 4 級、5 弱、5 強。
2. 計算地震模擬器的搖晃速度，得出地震儀設置數字與震度的關係：數字 375 約為 4 級；數字 375~800 是 5 弱的範圍；800~1000 就是 5 強的範圍了。

3. 因為地震平均劇烈搖晃的時間大概 60 秒，故每次的實驗時間上限為 60 秒。
4. 每個實驗都重複三次，紀錄平均值。

(三) 實驗架構：



(四) 主要探究器材：

地震模擬器： 主要模擬 S 波	實驗一、二的主結構 45cm x30cm x60cm 壓克力層架	實驗三主結構物：以積木排列出模擬學校校舍的建築物架構

(五) 探究結果說明：

實驗一：招牌的穩定性

(1) 招牌重量對穩定性的影響：

- 甲、設定震度 500、統一招牌尺寸 7.5cm X7.5cm X18.5cm，招牌原始重量 57.5gw。
- 乙、立式招牌、側懸式招牌、正面式招牌分別以砝碼增加重量。立式招牌是指直接放置在地上的招牌、側懸式招牌是指架設在建築物側方的招牌、正面式招牌則是指架設在建築物正面的招牌。
- 丙、每次增加 100 公克的重量，增重的位置區分為平均增重、只在下半部增重、只在上半部增重。
- 丁、紀錄搖晃 60 秒內的倒塌掉落時間，搖晃三次後計算平均時間。
- 戊、實驗結果：
 - i. 立式招牌須在下半部增重就能防止在地震時倒塌
 - ii. 側懸式招牌的配重最好是「頭重底輕」，會較穩固。
 - iii. 正面式招牌不宜太重，是三種中最易倒塌的；不同配重方式對正面式招牌是否容易掉落影響不明顯，但以下半部較重的配重方式的招牌較慢掉落。





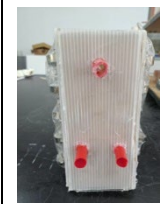



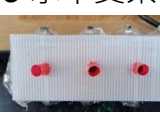

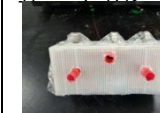
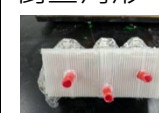


立式招牌	<ul style="list-style-type: none"> ● 平均增重與上半部增重的結果相同，增加重量愈多愈容易在地震時掉落，且均無法增重超過 700 公克。 ● 僅下半部增重的立式招牌最穩固，無論增重多少皆不會倒塌。
側懸式招牌	<ul style="list-style-type: none"> ● 平均增重 400 公克以下的招牌，地震搖晃時不易掉落，500 公克以上就會掉落。 ● 僅下半部增重的招牌在增重 700 公克以下，不會掉落。在增重 1000 公克時尚且可以支撐 12.8 秒。 ● 僅上半部增重的招牌最穩固，在增重 1000 公克的範圍內，地震搖晃皆不會倒塌。
正面式招牌	<ul style="list-style-type: none"> ● 正面式招牌在增重 100 公克時，皆不會掉落。增重 200 公克以上就會因地震搖晃掉落，增重 500 公克以上均無法支撐。 ● 平均增重和下半部增重的正面式招牌，在增重 200~400 公克的範圍內，增加重量愈多，招牌愈快掉落。 ● 僅上半部增重的正面式招牌，則是在增重 200~400 公克的範圍內，增加重量愈多，招牌愈慢掉落。 ● 比較不同的增重方式，發現當增加重量相同時，以下半部增重的正面式招牌最晚掉落。

(2) 招牌支架的排列方式對穩定性的影響：

甲、統一招牌尺寸 7.5cm X7.5cm X18.5cm，招牌重量 300gw

乙、改變招牌固定在建築物上的支架的排列方式以及地震搖晃方向。

側懸式招牌 2 水平支架 	側懸式招牌 2 垂直支架 	側懸式招牌 3 水平支架 	側懸式招牌 3 垂直支架 	側懸式招牌 正三角形 	側懸式招牌 倒三角形 
正面式招牌 2 水平支架 	正面式招牌 2 垂直支架 	正面式招牌 3 水平支架 	正面式招牌 3 垂直支架 	正面式招牌 正三角形 	正面式招牌 倒三角形 

丙、紀錄搖晃 60 秒內的掉落時間，搖晃三次後計算平均時間。

丁、實驗結果整理：()內的數字表示地震儀上的數字，800 約為 5 弱，900 約為 5 強。秒數表示地震開始搖晃到招牌掉落倒塌的平均時間(整理表格在下一頁)。

戊、實驗結果發現：

- i. 在增重 300 公克的情況下，3 支支架的招牌都不會有掉落的情形，顯示支架數目愈多，招牌的穩定性愈佳。
- ii. 在僅架設 2 支支架的情況下，水平架設的穩定性較佳。
- iii. 地震波平行房屋正面方向搖晃時，正面式的招牌和側懸式招牌都容易在大地震發生時掉落；但地震波垂直房屋正面方向搖晃時，正面式的招牌就不易掉落。

招牌類型	支架排列方式	左右搖晃 (平行房屋正面方向)	前後搖晃 (垂直房屋正面方向)
側懸式	平行	不會掉落	3.24 秒(900)
	垂直	26.36 秒(800)	25.12 秒(600)
正面式	平行	不會掉落	不會掉落
	垂直	2.95 秒(900)	不會掉落

(3) 招牌架設位置對倒塌的影響

甲、統一招牌尺寸 7.5cm X7.5cm X18.5cm，招牌重量 300gw，2 根垂直支架，地震為前後搖晃方向

乙、改變招牌固定在建築物上的高低位置。

丙、紀錄搖晃 60 秒內的掉落時間，搖晃三次後計算平均時間。

丁、實驗結果：距地面越高，且震度越大，側懸式招牌越容易掉落

掉落時間 (sec)	375~700(4 級以下)	800(約 5 弱)	900(約 5 強)
頂端距屋頂 5cm	皆不會掉落	3.6	3.5
頂端距屋頂 15cm		12.8	3.6
頂端距屋頂 25 cm		11.1	4.1

實驗二：隔間牆的穩定性

(1) 隔間牆厚度對穩定性的影響

甲、分別設定隔間牆高度為整個樓層高(28cm)與一半樓層高(14cm)、地震方向分別為平行隔間牆方向與垂直隔間牆方向

乙、每次操作變因：隔間牆厚度，分別為 0.3 公分、0.6 公分、0.9 公分。

丙、紀錄不同震度搖晃 60 秒內的倒塌掉落時間，搖晃三次後計算平均時間。

丁、實驗結果整理：()內的數字表示地震儀上的數字，375~700 為震度 4 級範圍，800 約為 5 弱。秒數表示地震開始搖晃到倒塌的平均時間。

隔間牆高度	地震方向	隔間牆厚度		
		0.3 公分	0.6 公分	0.9 公分
整層	垂直	3.48 秒(700)	2.77 秒(600)	2.93 秒(600)
	平行	3.44 秒(800)	4.77 秒(700)	2.83 秒(700)
半層	垂直	13.56 秒(375)	13.22 秒(375)	80.31 秒(375)
	平行	11.98 秒(800)	50.00 秒(800)	23.49 秒(800)

戊、實驗結果發現：厚度越厚的隔間牆越容易倒塌，半層樓高的隔間牆比整層樓高的隔間牆更易倒塌，地震方向與隔間牆方向垂直時，隔間牆較容易倒塌。

(2) 隔間牆固定方式對穩定性的影響

甲、分別設定隔間牆高度為半樓層高(14cm)且厚度 0.9 公分、地震方向分別為平行隔間牆方向與垂直隔間牆方向

乙、每次操作變因：隔間牆固定的位置。

丙、紀錄不同震度搖晃 60 秒內的倒塌掉落時間，搖晃三次後計算平均時間。

丁、實驗結果發現：將隔間牆固定在牆壁上會比只固定在地板上穩定。

隔間牆 高度	地震 方向	隔間牆固定方式		
		只固定在地板上	只固定在牆壁上	固定在牆壁與地板上
半層	垂直	8.03 秒(375)	都不會倒塌	
	平行	23.49 秒(600)		

實驗三：管線的穩定性

(1) 跨棟建築物裝設管線的穩定性

甲、探討管線穿越不同棟的互相平行的建築物時，管線架設方式對管線穩定性的影響。

乙、地震儀設定為 250

丙、實驗結果紀錄：



管線架設方式	管線受破壞情形
一樓連到一樓	裝設方式最穩固，牆壁不易受地震影響而倒塌，管線無鬆脫，穩定性最高
二樓連到二樓	樓層高較脆弱，牆壁易受到震影響發生錯動，管線鬆脫，穩定性最差
一樓連接到二樓	裝設方式第二穩固，牆壁較不易受地震影響，管線無鬆脫，穩定性略差。

(2) 建築物轉角裝上管線的穩定性

甲、探討當管線穿越有垂直交角的建築物時，管線穿越方式對管線穩定性的影響。

乙、建築物修建方式：二棟僅轉角頂點相連的垂直建築物結構。

丙、地震儀設定為 250。

丁、實驗結果紀錄：管線架設位置低且沒有跨樓層架設的情況下，最為安全；跨樓層架設管線很容易因地震發生，發生扭曲變形。



管線架設方式	管線受破壞情形
一樓連到一樓	穿越方式最穩固，房屋不易受地震影響而位移，管線穩定性最高
二樓連到二樓	穿越方式穩固，即使後方建築部分倒塌，管線不易受影響，但最後仍受到牆壁的崩落而鬆脫
一樓連接到二樓	管線無鬆脫，但因平行地震方向的房屋會錯動，管線會扭曲變形

(3) 房舍在轉角處設計的差異對管線穩定性的影響

- 甲、探討當管線穿越有垂直交角的建築物時，建築物修建方式管線穩定性的影響。
分為二棟建築物緊密連結、轉角接觸以及完全沒有碰觸三種。緊密連結的建築物形式又分為建築物結構平行地震方向延伸和垂直地震方向延伸二種。
- 乙、以棉線作為管線，統一固定在建築物一層高的轉角位置。
- 丙、地震儀設定為 250
- 丁、實驗結果發現：
- i. 當建築物緊密連結恰好地震方向與建築物延伸方向垂直時，建築物的轉角處最為穩定，也因此此處的管線幾乎不受影響。
 - ii. 當管線必須跨越二棟建築物分離時，地震發生時，管線最容易因為建築物的邊緣碎落而毀壞。

建築物修建方式 / 管線受破壞情形	建築物修建方式 / 管線受破壞情形
 <p>地震搖動方向</p> <p>地震搖動方向</p> <p>建築結構平行地震方向延伸，較易受到房屋的錯動，導致水管位移程度略為嚴重</p>	 <p>地震搖動方向</p> <p>地震搖動方向</p> <p>建築結構垂直地震方向延伸，房屋不易錯動，管線穩定性高</p>
 <p>地震搖動方向</p> <p>地震搖動方向</p> <p>建築結構最脆弱，管線會因兩棟建築的牆壁剝落而鬆脫，是四種建築結構最嚴重的</p>	 <p>地震搖動方向</p> <p>地震搖動方向</p> <p>建築結構僅兩棟轉角頂點相連，平行地震方向的房屋易錯動，水管位移嚴重程度為第三</p>

五、結論與生活應用：

我們的研究結果發現建築物中非結構物的穩定性與非結構物的設計和架設方式有關。(1)建築物外不同類型廣告招牌的重量與配重都必須分別審慎評估，並以較多的支架支撐。(2)隔間牆的設計也不能只注重隔間需求和美觀，隔間牆厚度、高度以及固定方式也都會影響隔間牆穩定性。(3)學校的校舍都是由好幾棟建築物共同組成的，許多重要的管線，例如水管、電線、網路線都需要跨越不同棟的建築物，研究結果建議這些管線盡量在低樓層的位置跨越，且管線直接穿過二棟平行建築物架設，比固定於轉角處架設的穩定性更高。建築物的交接處形式也會影響管線的安全。

參考資料

- 房子安全了，然後呢？取自國家實驗研究院網站。
<https://www.narlabs.org.tw/xcscience/cont?xsmsid=01148638629329404252&sid=0K232527880178283282>
- 國立科學工藝博物館：地震體驗屋展覽
- 國立自然科學博物館_921 地震園區：地震工程教育館展示品