

磚牆的結構、座向能減輕地震損害嗎？

高小組應用科學第三名

宜蘭縣成功國民小學

作者：張慈瑩等 4 名

指導老師：張春發

楊鏗准

一、研究動機：

在一個清風送爽，風和日麗的星期天，老師帶領我們全班同學到圓山（冬山鄉）郊遊，順便分組採集植物製作標本，忽然我們發現，山腳下一家四合院式古老農家整潔的庭院茂密的樹木而右邊二幢房屋的磚牆却倒塌了，左邊的二幢房屋也龜裂了，唯獨中間二幢房屋完整無缺，好奇怪啊？我們幾個人由於好奇心的趨使，便勇敢的去請教屋主，細問之下，才知道，眼前這些情況，都是由於地震給帶來的災害，頓時，打從內心浮現出一股莫名的疑問，為什麼？同樣一家四合院式農家，同樣的建造方式，又在同一個地方，為何會有三種不同情況的發生？倒塌！龜裂！完整！好不奇怪呢？便決心揭開這個疑問，返校後，便邀請老師指導，從事實驗，竭力探求答案。

二、研究目的：

- (一) 探求四合院式的農家，在遭受地震震動後為什麼有的磚牆會倒塌，有的却不會呢？
- (二) 研究用那種方式堆排的磚牆比較能耐震？
- (三) 新蓋房屋在選擇座向或砌造磚牆時應該注意什麼，比較能減輕地震的損害？

三、研究設備器材：

- (一) 圓形震動台
- (二) 固定架及撞球鐵球
- (三) 紀錄和統計用紙
- (四) 木磚（ $4 \times 2 \times 1$ ）130 塊 （ $2 \times 2 \times 1$ ）30 塊

四、研究過程：（實驗觀察紀錄 探討比較 結果報告）

（一）實驗觀察紀錄：每項實驗各做廿次

1 實驗方法：

- (1)每四位同學分成一組（二人負責堆排及整理木磚，一人負責拉動擺錘，一人負責觀察並做紀錄和統計）。
- (2)在試驗用的圓形震動台將木磚用各種方式堆排在指定位置，每次堆排的木磚長、高都要一樣）。
- (3)將撞震鐵球用海棉裹包，外層再包布，用線牽在 50 公分高的固定架上。
- (4)拉動鐵球其撞震角度與固定架柱子成 30° 角及 60° 角來分別震擊震動台上的 \cup 、 \sphericalangle 、 \sqcap 三點，使震動台產生震動好像地震一樣。
 \cup 點表示撞震點與木磚堆排面成一直線。
 \sphericalangle 點表示撞震點與木磚堆排面成 45° 角。
 \sqcap 點表示撞震點與木磚堆排面成 90° 角。
- (5)每次每項都做震動十次的實驗，並用符號作成紀錄，其代表符號 \bigcirc 一代表不倒， \triangle 一代表搖晃， \times 一代表倒塌。

2 實驗因素的控制：

- (1)每次實驗時，木磚的堆排都用長為 32 公分，高為 8 公分，寬為 1 公分、2 公分或 4 公分的各種方式來堆排。
- (2)每撞震一次，不論木磚倒塌、搖晃或沒有倒塌，必須整理以增加實驗的可靠性。
- (3)在撞震前，必須要使震動台成靜止狀態。
- (4)撞震鐵球固定架柱子的角度控制要確實，並且不要讓鐵球有再撞震第二次的情形。
- (5)特別注意木磚的變化情形，隨時紀錄。

3 實驗經過：分四個方式進行研究實驗將實驗結果詳細紀錄，並求出震倒次數的百分比（用四捨五入法）

- (1)磚牆較薄，震動力小的實驗
- (2)磚牆較薄，震動力大的實驗

(3) 磚牆較厚，震動力小的實驗

(4) 磚牆較厚，震動力大的實驗

A. 以一塊木磚寬的堆排方式來實驗——磚牆較薄

研究一：震動力小時：用撞震鐵球與固定架柱成 30° 角的震力來觀察 ㄅ、ㄆ、冂 三處經撞震後木磚的耐震情形並做成紀錄。

實驗一：木磚橫豎疊（井字形縫）法堆排：（如圖一）

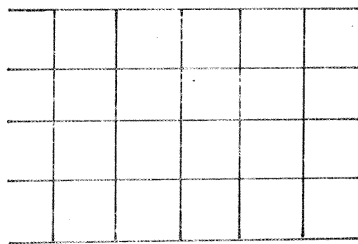
結果 統計

使用木磚卅二塊	倒塌次數 撞震位置	實 驗 次 別																				平均震倒百分比
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
ㄅ 處		1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	2%
ㄆ 處		3	5	4	4	3	5	5	4	3	3	5	3	4	6	4	5	4	3	5	4	42%
冂 處		10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	100%

觀察發現：(1) 撞震點在 ㄅ 處的木磚較不會倒塌。

(2) 撞震點在 冂 處的木磚都倒塌下來了。

(3) 堆排比較快。



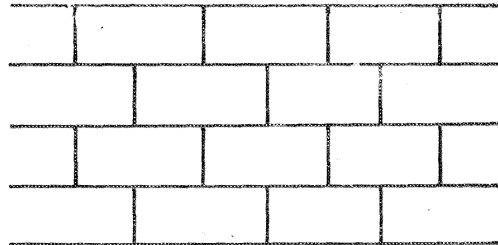
橫豎疊

井字形縫堆排（圖一）

實驗(二)：木磚橫豎疊(破縫)法堆排：(如圖二)
結果 統計

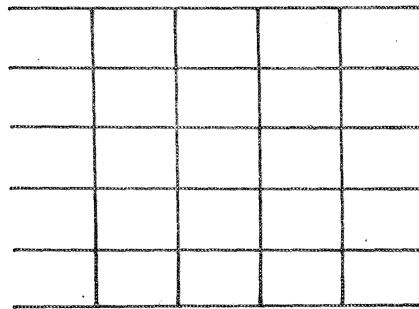
使用木磚卅二塊	倒塌次數 撞震位置	實 體 次 別																				平 均 震 倒 百 分 比
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
勺 處		1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1 %
夕 處		3	4	3	3	4	4	4	3	4	3	4	3	4	4	3	4	3	4	2	4	35 %
冂 處		10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	100 %

- 觀察發現：(1)撞震點在勺處的木磚較不會倒塌。
(2)撞震點在冂處的木磚都倒塌下來。
(3)木磚先產生搖晃再倒塌。



橫豎疊破縫堆排(圖二)

實驗(三)：木磚橫疊(井字形縫)法堆排：(如圖三)



橫疊井字形縫堆排(圖三)

結果 統計

使用木磚塊	倒塌次數 撞震位置	實 驗 次 數																				平 均 震 倒 百 分 比	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20		
64塊	勺 處	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	女 處	2	1	1	1	2	1	2	2	2	1	1	2	1	2	3	3	2	10	1	2	17%	
	冂 處	3	4	4	3	5	4	5	3	2	4	5	4	4	3	3	4	5	4	2	5	38%	

- 觀察發現：
- 1 撞震點在勺處的木磚都不會倒塌。
 - 2 撞震點在冂處的比實驗一、實驗二比較不容易倒塌。
 - 3 倒塌的木磚都是比較輕。

結果 統計

使用木磚塊	倒塌次數 撞震位置	實 驗 次 別																				平 均 震 倒 百 分 比	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20		
64塊	勺 處	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	女 處	1	0	2	1	1	1	0	1	2	0	0	1	1	2	1	1	2	1	1	1	10%	
	冂 處	2	1	3	2	2	3	2	2	3	1	2	1	3	1	2	2	2	3	2	2	21%	

- 觀察發現：
- 1 倒塌的次數比實驗一、二、三都少。
 - 2 木磚堆排面不整齊時容易倒塌。
 - 3 堆排速度比較慢。

研究二：震動力大時：用撞震鐵球與固定架柱成 60° 角的震力來觀察勺女冂三處經撞震後，木磚的耐震情形，並做成紀錄。

實驗一：木磚橫豎疊（井字形縫）法堆排：

結果 統計

使用木磚塊	倒塌次數 撞震位置	實 驗 次 別																				平 均 震 倒 百 分 比
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
32塊	勺 處	2	3	2	1	3	2	3	2	2	3	1	3	2	2	1	3	2	3	3	2	23%
	文 處	6	7	7	6	5	8	6	7	7	6	7	7	8	6	6	7	7	8	7	6	67%
	冂 處	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	100%

- 觀察發現：
- 1 木磚倒塌時都發生在震動後的那一剎那間。
 - 2 沒有被震動的木磚都有裂縫出現（馬齒形）。
 - 3 木磚倒塌時有前後倒塌現象。

實驗(二)：木磚橫豎（破縫）法堆排：

結果 統計

使用木磚塊	倒塌次數 撞震位置	實 驗 次 別																				平 均 震 倒 百 分 比
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
32塊	勺 處	2	3	2	2	3	2	1	2	3	2	2	2	3	1	2	3	2	2	3	2	22%
	文 處	6	5	6	6	4	5	5	6	6	7	4	6	6	5	5	7	5	6	6	5	56%
	冂 處	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	100%

觀察發現：1 半倒的木磚餘震都不會再使沒有倒的發生第二次倒塌的情形。

2 木磚倒塌時都發生在震動後的那一剎那間。

實驗(三)：木磚橫疊（井字形縫）法堆排：

結果 統計

使用木磚塊	倒塌次數 撞震位置	實 驗 次 別																				平均震倒百分比
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
64塊	勺 處	2	2	2	1	2	3	1	2	2	2	1	2	1	2	2	1	2	1	2	3	18%
	女 處	5	4	3	4	4	4	5	4	4	3	4	4	5	3	4	4	4	5	4	4	41%
	冂 處	8	9	8	8	7	8	7	8	8	8	7	9	7	8	8	8	7	6	7	8	77%

觀察發現：1 被震動的木磚最基層都移離了指定位置。

2 基層先移離後木磚再倒塌。

實驗四：木磚橫疊（破縫）法堆排：

結果 統計

使用木磚塊	倒塌次數 撞震位置	實 驗 次 別																				平均震倒百分比
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
64塊	勺 處	1	0	1	2	1	1	0	1	2	1	1	1	2	0	1	1	1	1	1	1	10%
	女 處	3	4	3	3	3	3	4	3	3	3	4	4	3	3	2	2	2	4	5	4	33%
	冂 處	6	7	6	6	7	5	6	5	5	6	4	7	6	5	5	6	6	5	7	6	58%

觀察發現：1 沒被震動的木磚都有裂縫出現。

2 餘震都不會使木磚再次倒塌。

3 有彎曲木磚的堆排容易倒塌。

B.：以兩塊木磚寬的堆排方式來實驗 磚牆較厚

研究三：震動力小時：方法如同研究一

實驗一：木磚橫豎疊（井字形縫）法堆排：

結果 統計

使用木磚塊	倒塌次數 撞震位置	實 驗 次 別																				平均 震倒 百分比
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
64塊	勺 處	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	夕 處	1	1	2	2	1	1	0	1	1	2	1	1	2	2	1	0	2	1	2	0	12%
	冂 處	6	5	4	5	5	5	4	4	5	5	5	4	6	5	4	5	5	4	5	5	52%

- 觀察發現：1 不見得比一塊木磚寬堅固。
2 撞震在冂處最容易倒塌下來。

實驗二：木磚橫豎疊（破縫）法堆排：

結果 統計

使用木磚塊	倒塌次數 撞震位置	實 驗 次 別																				平均 震倒 百分比
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
64塊	勺 處	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	夕 處	1	1	1	0	2	1	2	1	1	0	1	1	2	1	1	0	1	1	1	1	10%
	冂 處	5	5	4	5	5	4	4	4	4	3	4	5	4	4	4	3	4	4	4	3	41%

- 觀察發現：1 撞震點在勺處不容易倒塌。
2 撞震點在冂處最容易倒塌。
3 有先搖晃再倒塌的現象。

實驗(三)：木磚橫疊（井字形縫）法堆排：

結果 統計

使用木磚塊	倒塌次數 撞震位置	實 驗 次 別																				平均震倒百分比	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20		
128塊	勺 處	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	夕 處	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	冂 處	2	2	3	2	2	2	1	2	2	3	2	2	1	2	2	2	2	1	3	2		20%

觀察發現：1 木磚被震倒的次數減少了。

2 木磚的堆排，有彎曲木磚在裏面的容易倒塌。

實驗四：木磚橫疊（破縫）法堆排：

結果 統計

使用木磚塊	倒塌次數 撞震位置	實 驗 次 別																				平均震倒百分比	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20		
128塊	勺 處	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	夕 處	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	冂 處	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

觀察發現：1 木磚都沒有被震動。

研究四：震動力大時：方法如同研究二

實驗一：木磚橫豎疊（井字形縫）法堆排：

結果 統計

使用木磚塊	倒塌次數 撞震位置	實 驗 次 別																			平均 震倒 百分比	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19		20
64塊	ㄅ 處	2	2	2	2	3	1	2	3	2	2	2	1	2	3	2	2	2	3	1	2	21%
	ㄆ 處	4	4	4	3	5	3	4	3	4	4	3	4	4	2	3	5	3	4	3	4	36%
	ㄇ 處	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	100%

- 觀察發現：1 木磚的倒塌，幾乎在撞震後的那一剎那間。
 2. 大小不一律的木磚堆排面容易倒塌。
 3. 排面不整齊的木磚也容易倒塌。

實驗(二)：木磚橫豎疊（破縫）法堆排：

結果 統計

使用木磚塊	倒塌次數 撞震位置	實 驗 次 別																			平均 震倒 百分比	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19		20
64塊	ㄅ 處	2	1	2	2	1	1	1	2	2	3	1	1	1	2	2	2	1	2	2	2	17%
	ㄆ 處	3	3	4	3	2	3	3	3	3	2	3	3	3	3	4	3	2	3	4	4	31%
	ㄇ 處	6	4	6	6	5	5	4	6	6	6	5	5	4	5	4	6	6	4	5	5	52%

觀察發現：1 沒有倒塌的木磚都有裂縫出現。

實驗(三)：木磚橫疊（井字形縫）法堆排：

結果 統計

使用木磚塊	倒塌次數 撞震位置	實 驗 次 別																				平均 震倒 百分比
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
128塊	勺 處	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	文 處	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	3%
	冂 處	5	4	5	5	5	4	4	3	4	4	5	4	3	4	5	4	4	5	4	4	43%

觀察發現：1 基層的木磚有移離的現象。

2 撞震點在冂處的木磚都被震動變形了。

實驗(四)：木磚橫疊(破縫)法堆排：

結果 統計

使用木磚塊	倒塌次數 撞震位置	實 驗 次 別																				平均 震倒 百分比
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
128塊	勺 處	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	文 處	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	冂 處	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

觀察發現：木磚都不會被震倒。

B. 探討比較：

根據上面各項研究實驗結果統計的情形我們做了一個歸納，
如表解：

- 1 不論撞震力的大小，橫豎疊堆排的木磚被震倒的次數最多，表示這種疊法較不耐震。
- 2 撞震點在冂處，不論撞震力的大小，木磚被震倒的次數較多。

3. 撞點在 \curvearrowright 處，不論撞震力的大小，木磚被震倒的次數較少表示這種座向最好。
4. 用兩塊木磚寬的橫疊破縫法堆排方式震動力大時，被震動的次數幾乎為零表示這種疊法較耐震。
5. 兩塊木磚寬的堆排，如果堆排的方式不好，不一定比一塊木磚寬的堆排堅固。

C. 結果報告：

1 木磚的結構好耐震力較強。

(1)木磚的堆排方式橫豎疊以井字形縫的堆排最不耐震。震倒機會為 88/100。

(2)木磚的堆排方式以橫疊破縫法堆排較耐震。震倒機會為 24/100。

2 木磚的堆排面和震動發生處，有十分密切的關係：

(1)木磚的堆排面和震動點(\curvearrowright)成一直線時，最不容易倒塌，震倒率 7/100。

(2)木磚的堆排面和震動點(\curvearrowleft)成 45° 角時搖晃厲害有時也會倒塌，震倒率 24/100。

(3)木磚的堆排面和震動點(\sqcap)成 90° 角時最容易倒塌或龜裂。震倒率 56/100。

(4)木磚的堆排面與震動點成 90° 角時的倒塌機會是與震動點成一直線的 8 倍，所以是不良的座向。

3 木磚大小輕重不一律時的堆排面也容易倒塌。

4. 堆排面不整齊的木磚容易倒塌，有彎曲木磚的堆排面也容易倒塌。

5. 基礎排得整齊的木磚比較不容易倒塌。

五、結論：

(一)磚塊大小輕重較相同四角要方正，所砌造的牆面比較耐震（如研究一實驗三、木磚大小不一或較輕的容易倒塌）。

(二)地震時感到初動甚急或震動強烈，能將壁上懸掛物摔下，則必有大地震之來臨，大地震時，最先一分鐘間為致命危險期。（

如研究二之實驗一發現木磚倒塌都發生在震動後的那一剎那間)。

(三)震動後將倒未倒的磚牆(建築物)，餘震無力將其震倒，如研究二之實驗一、二，半倒未倒的木磚以後的餘震都不會使沒倒的木磚發生第二次倒塌的情形。

(四)被震倒的木磚最基層都移離了指定位置，基層先移離後木磚再倒塌，所以建築物的基礎須要穩固而深入土中。

(五)磚窯廠砌製磚塊或烘燒磚塊時，選免磚塊的彎曲或變形，並且應注意大小應一律不可減料。新蓋房屋的磚牆注意砌造面的整齊以及牆面的垂直，更須選擇大小一樣的磚塊來砌造，不可偷工，以免影響居住人的生命與財產的安全。

(六)本縣三年來(67.1.1~70.2.14.)共發生了八十四次有感地震，其中一級的有五十四次，二級的有十六次，三級的有十一次，四級的有三次且震央大都發生在本縣的東方和東南方位置(宜蘭氣象測候所提供資料)又根據我們實驗的結果證明磚牆的座向與震動點確有密切的關係，例如：67年9月2日和同年12月23日的兩次四級地震中，將冬山鄉八寶村張火金及張光雄兩位先生的二棟房屋給震倒，及黃阿章先生的二棟房屋的磚牆給震裂，這四棟房屋磚牆的座向都和震央成九十度角(實地調查)，所以在同一地方同樣建造房屋，因為座向不同，一遇強震就有倒塌、龜裂、完整三種不同情況的發生。因此本縣居民在購屋或建屋(普通住宅)時，應盡量選擇座向東或東南方比較好，可減輕地震損害。

六、參考資料

(一)小學氣象——小學館。

(二)應用氣象學——要(天地書庫)。

(三)地震波動——本多弘吉(岩波文庫)。

七、研究心得：

(一)在研究實驗過程中始終無法設計出一個和地震一樣的震動台，最後我們只好選用彈簧來替代震動。

(二)在這次研究實驗中，我們忙得十分高興，興奮得意的心境洋溢臉上，因為我們終於揭開了內心一股莫名的疑問；倒塌？龜裂？完整？啊！此次的實驗研究真是獲益良多。

評語：①本作品係地震對磚牆的損害之模擬實驗，而從中求得各種因素所生之影響，加以分析提出結論，故就問題研究的觀點上看甚符合科學方法。

②本作品各項因素的分類及實驗記錄詳盡層次分明。

③對參考資料的運用甚為恰當並能配合實驗結果提出磚牆座落的有利方向。而且對所提出的問題均能一一答覆甚屬難得。