

# 屏東縣第60屆國中小學科學展覽會 作品說明書

科別：物理科

組別：國小組

作品名稱：「摩」力石板屋

關鍵詞：石版屋、摩擦力、穩定度

編號:A2011

## 摘要

本研究主要是針對排灣族傳統的建築——石板屋的堆疊方式來進行探討。本實驗藉由自製的最大靜摩擦力測試裝置及穩固性測驗裝置來進行實驗。使用整齊堆疊法以及大小交疊法來比較出不同堆疊法是否會產生不同的最大靜摩擦力，其穩固性是否會有不同的現象。

在研究過程中發現，不同的堆疊方式的確會產生不同的最大靜摩擦力及穩定度。本實驗研究結果發現大小交疊法相較於整齊堆疊法較穩固，最大靜摩擦力也較大。

往後可以將實驗擴大、深入，使用更精密的儀器觀察抗震效果及力學在傳統石板屋上的運用及討論。

## 壹、研究動機

我們在五年級的自然與生活科技課程<sup>1</sup>上，聽到了老師在第四單元講述摩擦力時，用石板屋來當作例子，他說vuvu（長輩們）搭建石板屋不用水泥卻可以如此穩固，是因為摩擦力起了很大的作用。但是我們自己練習搭建石板屋模型的時候，覺得搭起來都晃來晃去，非常不穩固。後來在某一次的文化課程上，請部落很會搭石板屋的vuvu幫我們看一下，我們的石板屋不穩固的問題在哪裡？他告訴我們不可以一直用大小相近的石板堆疊，在堆疊的過程中有時要放一些小石板在大石板中間。這樣參差不齊的石板堆疊方式才會穩固。

## 貳、研究目的











因此本研究想要釐清，不同的堆疊方式是否真的會影響石板的穩定度？穩定能力和摩擦力有沒有關係？如果因為不同的堆疊方式所產生的摩擦力真的有很大的差異。那用不同的堆疊方式所建造的石板牆的穩定能力如何？綜上所論，本研究將使用兩種不同的堆疊方式來做為此研究的主要變因。研究目的如下：

- 一、設計石板屋牆的最大靜摩擦力的實驗方法。
- 二、設計石板屋牆的穩固性實驗方法。
- 三、探討石板堆疊的方式不同，是否會產生不同的最大靜摩擦力。
- 四、探討石板堆疊的方式不同，是否會有不同的穩固能力。

---

<sup>1</sup> 我們使用的課本為排灣族本位自然教科書由屏東縣政府出版發行。內容在第五冊第四單元 picul 與 undu，活動二摩擦力，85 頁。

參、 研究設備及器材

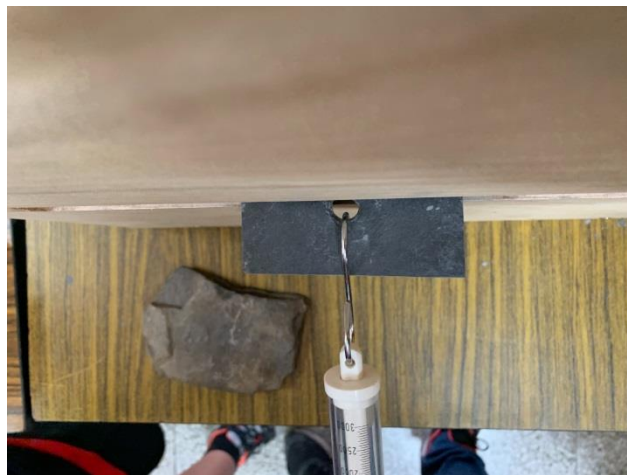
	
<p>石板</p>	<p>木板</p>
	
<p>電子秤(月陽圓型 3kg 家用 SF-400C)</p>	<p>彈簧秤(限重 3 公斤)</p>
	
<p>直尺</p>	<p>量角器</p>
	
<p>石板專用摩擦力設備</p>	<p>穩定性測試系統</p>
	
<p>手機(水平儀及拍攝功能)Iphone11</p>	<p>繩子</p>

## 肆、研究過程或方法

研究一:探討不同堆疊方式所產生的最大靜摩擦力是否不同。



圖一:摩擦力實驗裝置實體



圖二:彈簧秤勾住石板狀況

- 一、由於先前實驗發現，摩擦力實驗裝置底部至石板出口處距離過遠，底下需要疊上大量的石板，既耗時又沒有關鍵性的意義。經過討論協議後，決定在底下先用木板墊高後再開始堆疊石板。此實驗方式的修正，不影響實驗數據。因此決定繼續使用這個方式繼續試驗。
- 二、找部落的石板工藝師幫我們切割一塊形狀工整的石板，並在頂端打洞，方便我們鉤上彈簧秤以測得數據。形狀工整的目的是為了減少實驗的變因。
- 三、摩擦力實驗分為兩項:第一種為整齊疊法；第二種為大小不同的石板交疊法。

- 四、兩種疊法都需要疊至摩擦力實驗裝置的石板出口處，接著疊上測量摩擦力用的工整石板，接著繼續用該實驗疊法，繼續疊在工整石板上。
- 五、為確保兩種疊法與工整石板都有達到最大接觸面積，堆疊的石板長寬皆必須要大於等於工整石板。
- 六、由於最大靜摩擦力的公式為最大靜摩擦係數 $\times$ 正向力（ $f_s = \mu_s N$ ），因此同一組實驗，不論哪一種疊法，疊在工整石板上的石板堆，重量必須相等，以確保正向力相同以測得不同疊法的最大靜摩擦力。
- 七、藉由慢速錄影觀察彈簧秤所記錄到的最大值，作為該次實驗的最大靜摩擦力數據。

(一)整齊堆疊法：



圖三：整齊堆疊法

1. 將大小相似的石板堆疊在一起，疊至自製的摩擦力裝置出口處。
2. 放上工整石板，並將有孔端露出，並勾上彈簧秤。（避免工整石板接觸到裝置，以免造成實驗的誤差。）
3. 將要繼續疊上的石板秤重並記錄下來，總重量不得超過2.0Kgw（此彈簧秤的最大限重為3Kgw）。
4. 將秤重完的石板繼續使用整齊疊法堆疊於工整石板上。



5. 抽拉彈簧秤至工整石板移動，並使用慢速攝影紀錄。
6. 回放慢速攝影影像，記錄最大靜擦力。

(二)大小交疊法：



圖四：大小交疊法

1. 將大小不同的石板堆疊在一起，使用大石頭壓小石頭的方式疊至自製的摩擦力裝置出口處。
2. 放上工整石板，並將有孔端露出，並勾上彈簧秤。（避免工整石板接觸到裝置，以免造成實驗的誤差。）
3. 將要繼續疊上的石板秤重並記錄下來，重量不得超過2.0Kgw（此彈簧秤的最大限重為3Kgw），且須與整齊堆疊法所使用的石板總重相等。
4. 將秤重完的石板繼續使用大小交疊法堆疊於工整石板上。
5. 抽拉彈簧秤至工整石板移動，並使用慢速攝影紀錄。
6. 回放慢速攝影影像，記錄最大靜擦力。

研究二:探討不同堆疊方式是否會有不同的穩固能力。

一、我們在四年級下學期<sup>2</sup>有學到單擺實驗。在擺角不大時，其特性為週期穩定，速度穩定，可用來計時，且擺重不影響其週期。因此我們想到石板可能因為疊法不同，石板總重量有可能不同，但鐘擺的特性恰好可以克服這一點，於是我們

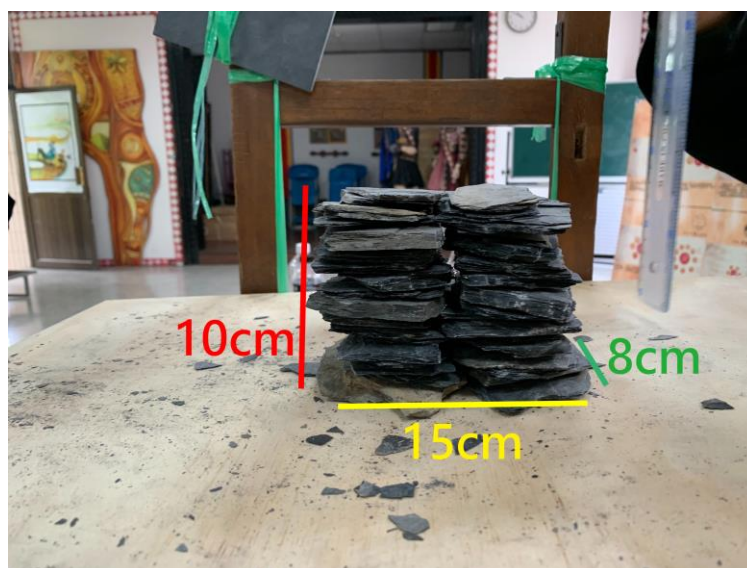
<sup>2</sup>排灣族本位自然教科書由屏東縣政府出版發行。第四冊單元一 kirimu!ru segaljuanga sun!活動 2-2 單擺實驗。

利用了鐘擺的原理製作了穩固性實驗的裝置。

二、穩固性實驗分為兩項：第一種為整齊疊法；第二種為大小交疊法。

三、隨著擺角的增加，振幅也因此增加。觀察不同的堆疊方式於多大的擺角時倒塌，並記錄下來。

四、兩種疊法所疊出來的石板堆長、寬、高皆須相似（ $\pm 5\text{mm}$ ）；長 $15\text{cm}$ 、寬 $8\text{cm}$ 、高 $10\text{cm}$ 。



圖五：長、寬、高示意圖。

五、每做完一次實驗，皆使用水平儀測量裝飾是否有保持水平。

(一)整齊堆疊法：

1. 將大小相似的石板堆疊在一起，長 $15\text{cm}$ 、寬 $8\text{cm}$ 、高 $10\text{cm}$ 須符合（ $\pm 5\text{mm}$ ）。
2. 將裝置依照 $5^\circ$ 、 $10^\circ$ 、 $15^\circ$ 、 $20^\circ$ 、 $25^\circ$ 、 $30^\circ$ 順序拉起後放下，使其自由擺動。

若在過程中明顯晃動或是倒塌，即為其實驗數據。



圖六：角度測量示意圖



(二)大小交疊法:

1. 將大小不同的石板堆疊在一起，使用大石頭壓小石頭的方式堆疊，長15cm、寬8cm、高10cm須符合 ( $\pm 5\text{mm}$ )。
2. 將裝置依照 $5^\circ$ 、 $10^\circ$ 、 $15^\circ$ 、 $20^\circ$ 、 $25^\circ$ 、 $30^\circ$ 順序拉起後放下，使其自由擺動。若在過程中明顯晃動或是倒塌，即為其實驗數據。

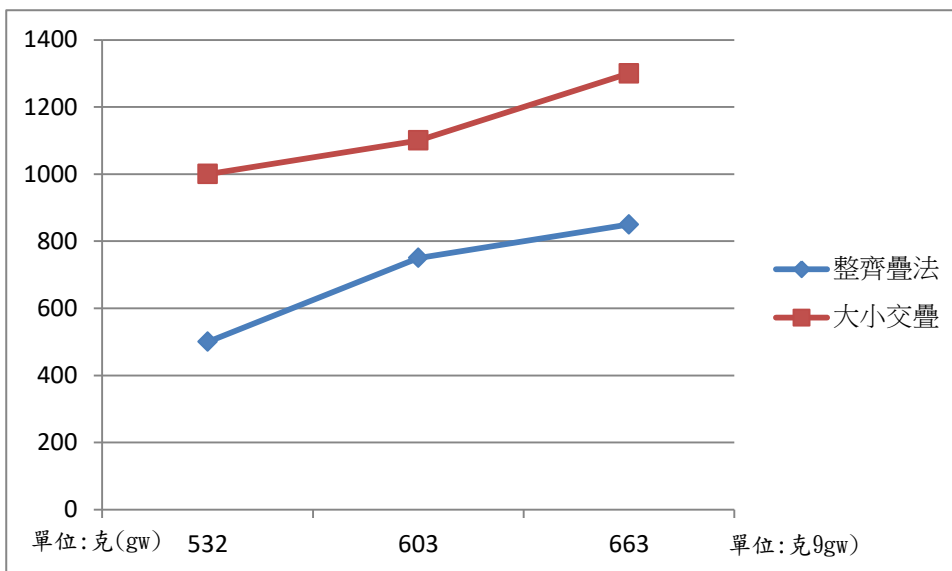
## 伍、研究結果

一、利用不同的石板堆疊方式，探討堆疊方式對於最大靜摩擦力的影響。

表1：同重量不同堆疊方式所產生的最大靜摩擦力

次項	第一次試驗		第二次試驗		第三次試驗	
石板重量	532gw		603gw		663gw	
疊法	整齊疊法	大小交疊	整齊疊法	大小交疊	整齊疊法	大小交疊
最大靜摩擦力	500gw	1000gw	750gw	1100gw	850gw	1300gw

表 1-a：同重量不同堆疊方式所產生的最大靜摩擦力



成對樣本t檢定(Paired Sample t test) \*:  $p < 0.05$  ( 0.033650742)

研究發現:透過成對樣本t檢定發現，不同的石板堆疊法會產生不同的摩擦力。大小交疊法的最小靜摩擦力大於整齊疊法的最小靜摩擦力，且兩種疊法的最小靜摩擦力皆會隨著重量的增加而增加。

二、利用不同的石板堆疊方式，探討堆疊方式的穩固性。

表2：同重量不同堆疊方式

角度	次項	第一次試驗		第二次試驗		第三次試驗	
	疊法	整齊疊法	大小交疊	整齊疊法	整齊疊法	大小交疊	整齊疊法
5°		倒塌		倒塌		明顯晃動	
10°			明顯晃動			倒塌	
15°			倒塌		明顯晃動		明顯晃動
20°					倒塌		明顯晃動
25°							倒塌

研究發現：不同的石板堆疊法會產生不同的穩固性。整齊交疊法幾乎都在10°以內時就倒塌；

而大小交疊法則是在15°以後才會倒塌。值得注意的是，大小交疊法要倒塌前，都會有明顯的晃動，但是還不至於倒塌。可以推測大小交疊法是具有「彈性」的堆疊方式。

## 伍、 討論

- 一、 本研究所使用的石板除了「工整石板」以外，其餘都是使用傳統技法的切割方式來進行形狀整理。目的是要還原過去排灣、魯凱族在蓋石板屋時的切割技法，也要藉由科學實驗，驗證部落長輩的石板牆堆疊方式的確是有其原因。但石板的密度、質地及石板表面的平整形況都可能成為實驗的變因。這是往後可以藉由精密儀器來繼續研究及克服的重點。



圖六：傳統切割石板的方式是利用鐵片及錘子

- 二、 摩擦力和穩固程度兩著看似沒有直接關係，但是閱讀過石板屋的演變相關文獻發現，近代的石板屋有需多使用鐵釘及水泥來增加石板間的穩固（李玉芬，2007），因此我們才會推定摩擦力與石板屋的穩固有直接相關的關係。
- 三、 大小交疊法會因為每一次所使用的石頭大小不同，交疊方式不同，而使得在堆疊的時候產生不同的穩固性。大小交疊法的不同所產生的穩固性，是可以繼續延伸研究的方向。
- 四、 本研究的設計有一個最大的目的，就是希望每一間學校都可以藉由此實驗來了解石板屋的科學原理，且不用花大把的經費就可以完成的實驗。因此使用的實驗器材及工具都是垂手可得的。例如：穩固性測試實驗的裝置就是利用尼龍繩、課桌及畫板完成。但可能效果沒有辦法準確的模擬地震時的晃動情況。若下次有地震模擬器可以使用，本實驗的數據情況或許可以更豐富及精確。

## 陸、 結論

一、石板堆疊的方式不同，會產生不同的最大靜摩擦力。且大小交疊法的最大靜摩擦力大於整齊堆疊法的最大靜摩擦力。當重量增加時，最大靜摩擦力也隨著增加。同時也符合了  $f_s = \mu sN$  這項公式。摩擦力的大小與負重成正比 (Amontons, 1966)。

二、石板堆疊的方式不同，會有不同的穩固能力。大小交疊法的穩固能力明顯好於整齊堆疊法的穩固能力。值得注意的是大小交疊法的在裝置晃動的過程中，會出現明顯晃動但不至於倒塌。可以推測和「剪力」的相抵有關係。根據「底部剪力」的公式<sup>3</sup>：

$$F_i = \frac{G_i H_i}{\sum_{j=1}^n} F_{Ek} (1 - \delta_n)$$

$F_i$  : 質點*i*的水準地震作用標準值。

$G_j$ 、 $G_j$  : 分別為集中於質點*i*、*j*的重力荷載代表值。

$H_i$ 、 $H_j$  : 分別為質點*i*、*j*的計算高度。

$\delta_n$  : 頂部附加地震作用係數。

有此公式可以了解到越高的地方所產生的剪力越強，而大石板壓小石板的方式可以增加最大靜摩擦力，讓石板堆不至於倒塌。

三、應用與展望：本研究希望透過科學實驗的方式，驗證排灣族及魯凱族在傳統知識上的科學原理，並結合教育部所頒定的課綱，落實轉型正義之精神。石板屋的傳統建法還有許多值得去探究的地方，期許我們往後能繼續朝原住民族科學實驗之旅邁進。

---

<sup>3</sup> 參考之料來源：<http://manual.midasuser.com/building/cn/code/03/htm311/fb.htm>



## 捌、參考資料

林祺皓、楊承道 (2019)。2019抗震盃耐震創意大挑戰。國家地震工程研究中心簡訊，112，9。

鄭劭家 (2011)。微觀尺度下的摩擦力定律。科學研習月刊，11(50)，16-19。

李玉芬 (2007)。魯凱族多納部落石板屋建築文化景觀調查與維護。(碩士論文，國立台東大學，2007)。全國博碩士論文資訊網。

Amontons, G. (1966) " De la resistance cause dans les machines" Mem. Acad. R. A 275-282