

中華民國第 65 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國中組 地球科學科

佳作

(鄉土)教材獎

030504

「風」形萬變：探討地形效應對風速變化的影響

學校名稱： 高雄市立陽明國民中學

作者：	指導老師：
國二 李俞諺	侯依伶
國二 鄭丞喆	廖家賢
國二 謝婷亦	

關鍵詞： 風速、地形、蘭嶼

「風」形萬變：探討地形效應對風速變化的影響

摘要

本研究從老師在蘭嶼旅行時發現各地風速差異很大，推測風向和地形是影響風速差異的重要因素，進而探討不同類型地形障礙對風速變化的影響。研究方法包括製作蘭嶼地形模型及不同尺寸的地形障礙模型，利用風洞、風袋和熱線式風速計測量不同情況下的風速和風向。實驗設計考慮尺度問題，確保風洞流場符合大氣動力特徵。研究結果顯示，地形對風速影響複雜且多元，在自然界中，各種地形因素交互影響，形成複雜的風場環境。

壹、研究動機

我們從一年級獨立研究中，發現落葉受風吹動後，會受到不同類型建築物的影響，而聚集在某些特定的區域。二年級選擇科展題目時，我們決定繼續研究風與地形相關的主題。但是影響落葉堆積的變因實在太多了，包括了乾燥程度、大小、外型，經過幾次討論後，我們將焦點放在風與地形障礙的關係。老師提到他去蘭嶼旅行時發現，同一天蘭嶼每一個地點的風速差異很大，尤其在蘭嶼西北角海岸(紅頭岩附近)以及半山腰上的蘭嶼燈塔的風超級無敵大。我們詢問老師是什麼因素造成了這種情況的差異？老師說影響風速的原因很多，風向和地形都是重要的因素，鼓勵我們進一步探討。因此，我們決定從製作蘭嶼的地形模型開始，逐步了解不同的地形障礙對風速的影響，希望能完整的了解地形與風速之間的關係。

貳、研究目的與問題

根據文獻資料閱讀的結果，本研究擬定的研究問題如下：

一、不同風向下的蘭嶼各位置的風速差異情形為何？

擬以蘭嶼模型探討在不同風向條件下，蘭嶼各個位置的風速差異情況，分析其可能的原因及影響因素。

二、不同地形障礙對周遭風向和風速的影響情形為何？

擬設計不同尺寸的地形障礙進行模擬實驗，討論地形障礙的形狀、大小對周遭風向及風速的影響。

三、改變地形障礙大小和形狀對各種地形效應的影響為何？

以積木和保麗龍設計製作不同尺寸的地形障礙，探討各種地形效應對風速的影響情形。

根據上述的研究問題，本研究擬定了下圖 1 的研究設計：

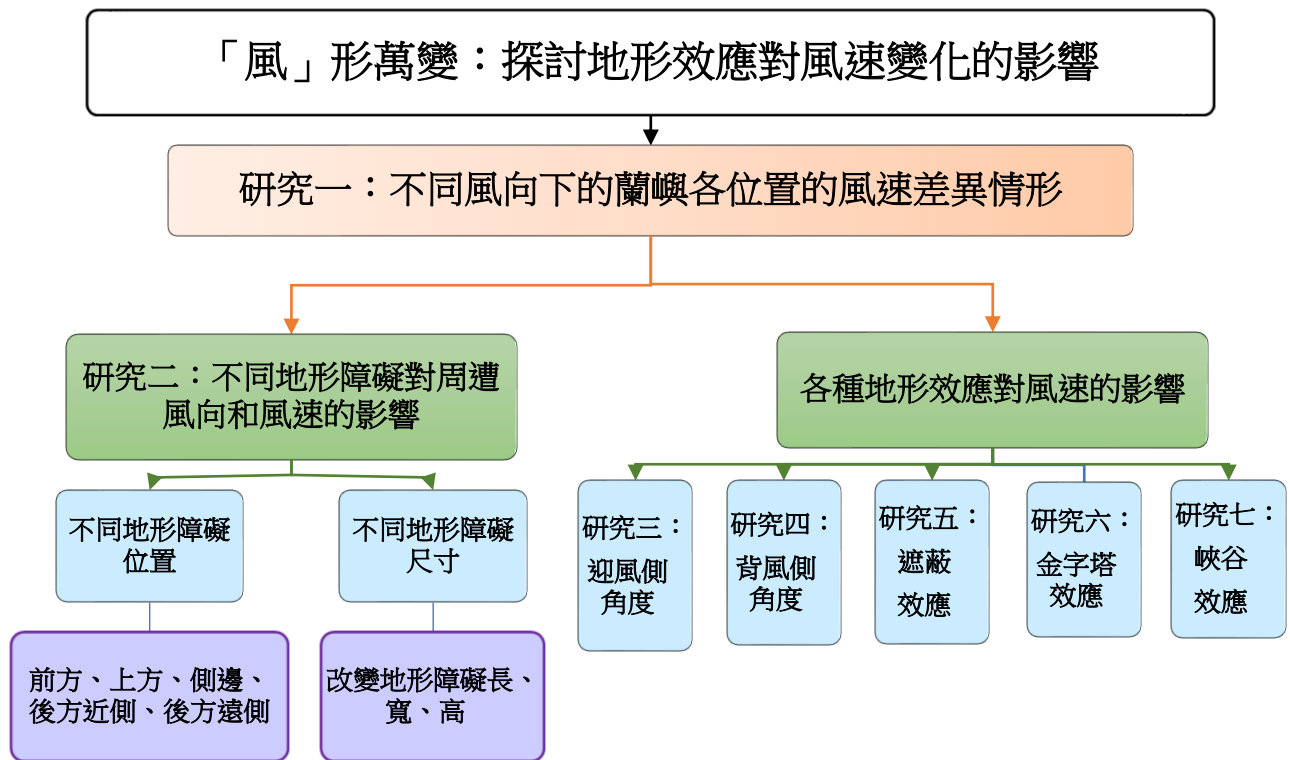


圖 1：研究設計(由研究者自行繪製)

參、文獻探討

一、地形障礙對氣流造成的影響

根據朱佳仁(2006)指出，建築物周遭氣流的特性包括了迎風面渦旋、角隅強風、建築物尾流區、縮流效應、渠化效應、金字塔效應、遮蔽效應等等。

這些效應，同樣適用於風受到地形影響時的變化。以下針對本研究所使用到的地形效應加以進一步說明。

二、峽谷效應(Valley effect)

峽谷效應，和朱佳仁(2006)指出建築物的縮流效應相同，是指當氣流流經狹窄空間時，空氣被擠壓導致風速增大，並在流出時減緩。這種效應會使風速增強，可能達到強風等級，對廣告牌、窗戶等造成危害。風在城市中的流動也會因建築物阻擋而變得紊亂，形成湍流，對街道風速和風向產生影響。

三、遮蔽效應(shelter effect)與風影區(wind shadow region)

遮蔽效應是指當多個大小相似的建築物相鄰排列時，會使風從建築物上方及側邊流過，而從建築物上方流過的風，在經過建築物阻擋後，會在背風側形成一風力較弱甚至接近無風區域，該區域在地面上的投影即稱為風影區。

四、角隅強風(Corner acceleration)

當氣流由建築物四周繞過去時，氣流會有加速的現象，造成建築物角隅有較強的風速，建築物角隅的幾何形狀和細部設計會影響到風場。

五、金字塔效應(Pyramid effect)

隨著高度升高而逐漸退縮的建築物，風場會受到漸次升高的影響，匯聚成向上的強勁氣流。在自然地形中，可以把山看作是一個巨大的金字塔，當風遇到山時，會被迫上升並沿坡面流動，使得風速加快。

六、影響蘭嶼機場風場的因素

鄧仁星等人(2020)針對蘭嶼機場風場進行研究，提出以下幾點主要發現：

- (一) 地理環境影響風場擾動：蘭嶼地形加劇了東北季風的強風，容易引發低空風切與亂流，增加飛行風險。
- (二) 冬季風速較高，因此會加劇機場的亂流。
- (三) 地形影響亂流分布：機場周邊的山脊和背風側對亂流分布有顯著影響。

七、歷屆科展分析

表 1：歷屆科展分析		
作品名稱	對未來研究可能有幫助的結論	可延續探討的主題
風水與科學：天斬煞與氣流的關係(2020)	<ul style="list-style-type: none">● 若兩建築物長度太長，導致氣流被拉長，會使中間風速降低。● 兩建築物間隙的寬度若大於受風面，中間風速會降低。● 當兩建築物間隙過大或過小時，中間風速皆會下降。	建築物尺寸對峽谷效應強弱的影響
風回霧轉(2024)	<ul style="list-style-type: none">● 建築物的高度和長度會影響後方回流。	建築物大小和回流長度的關係
轉角呼見風：大樓樓型與風的關係(2019)	<ul style="list-style-type: none">● 當風廊的寬度為特定寬度時，風最容易流進風廊中。● 風廊的開口越大，風越容易流進風廊。● 當風可以完整包圍建築物時，會在角落形成角隅強風。	建築物擺放方式對流進風廊的風量有甚麼影響
掀風倒谷—都市風場峽谷效應的觀察與研究(2022)	<ul style="list-style-type: none">● 來風角度正對街口時，峽谷效應最明顯。● 並非兩建築物間距越窄風速越強，而是有其臨界值。	在各種建築物尺寸下，何種來風角度峽谷效應會最明顯

肆、研究器材

本研究的研究器材可以分為風速測量、模型製作、風洞設置等三部分，分別說明如下：

一、風速測量

			手機軟體 Protractor
圖 2：自製風袋	圖 3：風扇式風速計 (由研究者自行拍攝)	圖 4：熱線式風速計 (由研究者自行拍攝)	圖 5：測量角度 app

(一)在研究二中，我們使用自製風袋進行風速和風向的測量，並先以風扇式風速計以及手機軟體 Protractor 確認自製風袋被風吹起的角度和風速的關係。

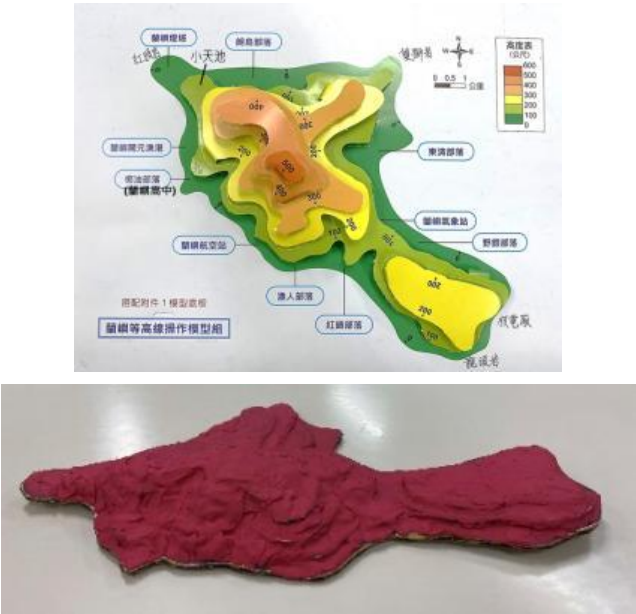
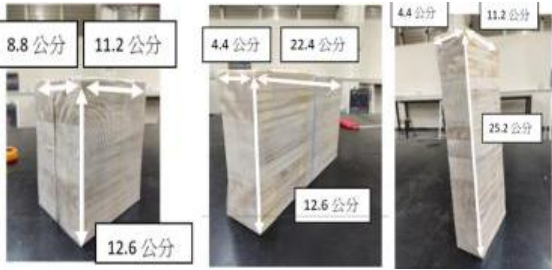
(二)其他的研究則以熱線式風速計測量風速變化。

二、模型製作

(一) 在研究一中，以國一地理習作附件中的蘭嶼等高線模型為參考，用紙板和黏土製作合適大小的蘭嶼模型，製作完成的蘭嶼模型和實際的蘭嶼的比例約為 1：50000。

(二) 在研究三及研究四中，因為需要討論不同角度對風速的影響，因此以保麗龍板切割出需要的地形角度進行實驗。

(三) 在其他研究中，則依照需要，用積木排列出不同尺寸的地形障礙，探討不同地形變因造成的影響。

	
圖 6：蘭嶼模型(由研究者自行拍攝)	圖 7：各種不同尺寸的積木排列

三、風洞設置

本次研究的所有實驗都是在風洞內進行，下圖 8~11 為使用風洞的大小及配置。



圖 8：風洞照片

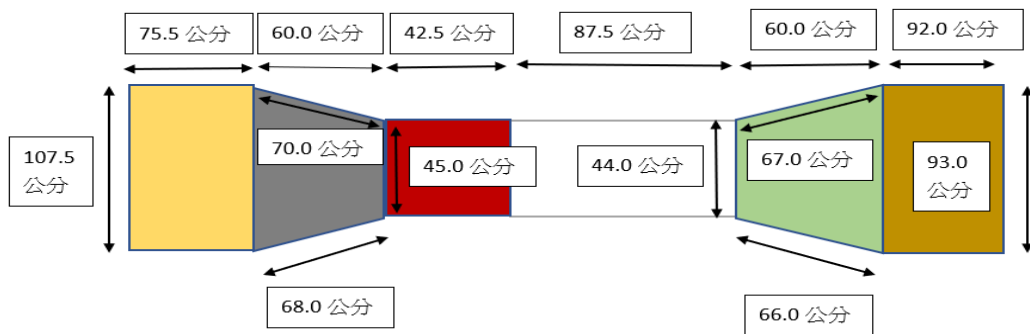


圖 9：風洞側視圖與尺寸

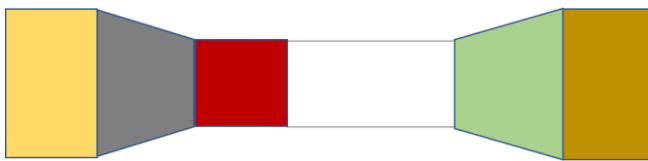


圖 10：風洞上視圖

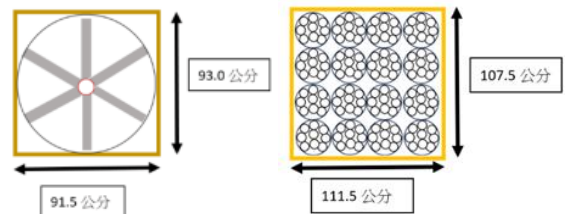


圖 11：後視圖(風扇)、前視圖(整流器)

(以上圖形由研究者自行拍攝、繪製)

伍、研究過程及方法

為了完成上述的研究，我們首先進行了以下的前置工作：

一、測量風袋被風吹起的角度與風速的關係

我們打算模擬機場風袋來測量風速及風向變化，因此在正式實驗前，需要先製作適合的風袋與地形模型，並測量風袋與風速間的關係。

(一)風袋製作

1. 材質選擇：我們試過擠花袋、垃圾袋、皺紋紙和布料。最終選擇皺紋紙作為風袋材質，因為它輕便且穩定。黏貼方式採用雙面膠加膠帶，再用棉線將風袋與吸管固定，發現綁四個洞和短棉線可增加穩定性。
2. 形狀與尺寸的設計：風袋設計為梯形，捲成喇叭狀。經測試後，選擇底 13 公分、高 12 公分的梯形，但風袋體積過大無法放入風洞，於是將尺寸縮小，發現縮小為 2/3 倍後穩定性較佳，最終確定尺寸為底 8.7 公分、高 8 公分(圖 12)。

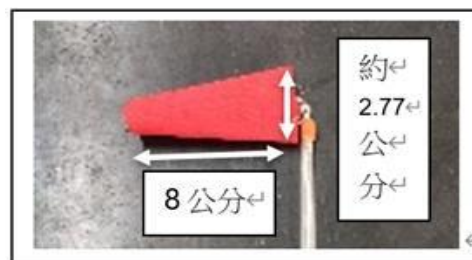


圖 12：風袋尺寸圖
(研究者自行拍攝)

(二)實驗過程與分析

1. 我們使用手機軟體 *Protractor* 測量風袋角度，並關閉風洞門以減少外界影響，確保手機與風袋平行，減少誤差。
2. 共測量 117 次不同風速下風袋被風吹起的角度差異。將風袋的角度轉換成 \sin 值，以做出風速與角度 \sin 值的關係(圖 13)。由於在風速小於 1.2 m/s 的情況下，風袋無法被吹起。因此以風速扣除 1.2 作為 y 軸變項，得出風袋角度與風速的關係方程式，作為後續轉換風速的依據。方程式如下：

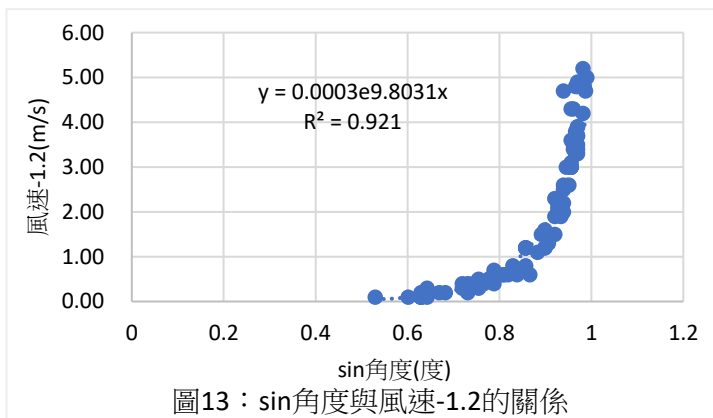


圖13：sin角度與風速-1.2的關係

$$y = 0.0003e^{9.8031x}$$

註：y=實際風速-1.2m/s

x=風袋角度 \sin 值

二、蘭嶼地形模型的製作與測試

- (一) 我們將國一地理習作附件的蘭嶼等高線地圖放大影印，用合適厚度的瓦楞紙板裁剪，並用黏土填補等高線間的高度差，模擬成較真實的坡度地形，並避免紙板縫隙影響風速測量。製作完成的蘭嶼模型和實際的蘭嶼的比例約為 1：50000。
- (二) 考慮空氣流動時會與風洞底部產生摩擦力，可能使風速減弱。而蘭嶼四面環海，空氣流經海面的阻力應會小於流經地面的阻力。因此，我們裁切了兩塊與蘭嶼相同大小的保麗龍板，將蘭嶼架高，測量風速，並比較差異。結果發現把蘭嶼模型直接放在風洞底部和

將蘭嶼架高對風速的影響並不大，故後續的實驗，我們就按照原先規劃，直接將蘭嶼模型放置風洞底部測量。

三、不同地形障礙的製作

- (一) 研究二和研究五～七中利用堆疊積木來模擬不同樣式的地形障礙。每個積木的長、寬、高度分別為 2.2 公分、寬 5.6 公分、高 0.7 公分。測試後，我們選定以長 2 塊(4.4 公分)、寬 2 塊(11.2 公分)、高 18 塊(12.6 公分)的積木組作為對照組，並以長、寬、高的積木數量簡稱各種地形障礙形式(圖 14)。
- (二) 研究三、四中我們用切割保麗龍的方式來模擬不同的地形障礙。我們分成兩種切割模型，模型一是分別切成頂角 30°、60°、90°、120°、150°和 180°且高度相等的等腰三角形(圖 15)，模型二是先切成正方形，再從其中一邊的一半位置畫到鄰邊四分之一、二分之一、四分之三和頂角的位置(圖 16)，做成不同的地形障礙。

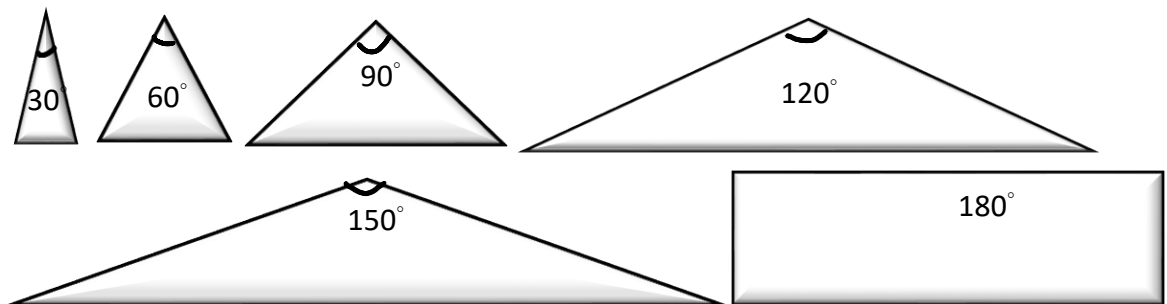
● 單個積木尺寸：

長 2.2 公分 高 0.7 公分
寬 5.6 公分

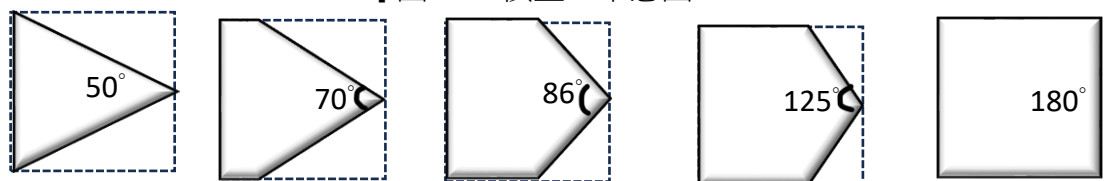
● 對照組積木組 2×2×18：

長 4.4 公分 高 12.6 公分
寬 11.2 公分

圖 14：積木尺寸示意圖



↑圖 15：模型一示意圖



↑圖 16：模型二示意圖

四、尺度問題

在本研究中，我們將蘭嶼按照 1:50000 的比例縮小來進行實驗，也用積木和保麗龍板模擬不同的地形障礙。但這樣的實驗結果必然與實際狀況不符，因為我們將地形縮小了，卻不能將空氣分子也縮小，更無法得知當地形縮小時，空氣流動與地形間的交互關係是不是也會隨之改變？查閱文獻後，發現需要進行尺度分析(Scale analysis)，才能換算成真實的影響結果。因此我們嘗試著用「外插法」來比較模擬實驗的結果與真實情況。

(一) 探討以外插法進行尺度分析的可能性

1. 實驗設計：

- (1) 先製作了 5 個不同大小，但等比例放大的積木模型，以及 3 個大小不同的蘭嶼模型。
- (2) 分別探討積木模型和蘭嶼模型的前方、側邊、頂部等位置在 3 種不同環境風場作用下的風速差異。

2. 實驗結果：

- (1) 當風速變大時，各模型各位置的風速也大部分會隨之變大。
- (2) 相同風速條件下，模型前方和側邊的風速會隨著模型變大而減少。但是模型頂部的風速則會隨著模型變大而增加。
- (3) 由於前方、側邊、頂部不一致的變化趨勢，使我們無法用外插法推算；且即使用其中一種變大或變小的趨勢，以外插法推算到實際的建築物或地形障礙大小，則所需要的風速可能是極小或極大，超出實驗室可以模擬的能力。

3. **解決辦法：**我們改由流體力學的理論，來探討這一個問題，以尋求理論上合理的風洞風速。

(二) 計算和實際的大氣流場具有相同的動力特徵

考慮實驗設計需保持模型模擬與實際大氣有相同的動力特性而進行雷諾數(Re)的估計。雷諾數是用來判斷「水或空氣會不會變亂」的指標。它是根據三個東西決定的：

$$Re(\text{雷諾數}) = \frac{U \cdot L}{\nu}$$

其中 U 為風速， L 為特徵長度， ν 為動力黏滯係數

以蘭嶼為例，冬季風速約為 7 m/s ，地形作用的空間尺度約為 10 公里寬，大氣的動力黏滯係數約為 $1.5 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ ，所計算出的雷諾數約為 4.67×10^9 ，為完全湍流(亂流)主導(慣性力 \gg 黏滯力)的動力環境，若要保持模擬有完全相同的雷諾數需使風洞的風速達到 $350,250 \text{ m/s}$ ，在理論上是無法達成的，因此本實驗設計只追求保持與大氣相同的慣性力主導的流場，並透過量測來分析平均風場在不同風速大小的作用下的相對大小變化為主，不涉及細部動力過程的討論。在此前提下，定義雷諾數需達 20000 以上才會有完全湍流的特徵，1:50000 的蘭嶼模型展現的地形作用空間尺度約為 0.2 公尺，

$$U = \frac{Re \cdot \nu}{L} = \frac{20000 \cdot 1.5 \cdot 10^{-5}}{0.2} = 1.5 \text{ (m/s)}$$

計算出**模擬風速應達 1.5 公尺每秒**以上才能與大氣流場有相似動力特徵，因此本實驗中的風場模擬皆會以此為基準進行設計。

陸、 研究結果

研究一：不同風向下的蘭嶼各位置的風速差異情形

一、夏季蘭嶼不同位置的風速差異

由於老師是去年 6 月 8 日左右去蘭嶼遊玩的，我們就先上中央氣象署的網站 (<https://codis.cwa.gov.tw/StationData>)，查詢 2024 年 6 月 8 日前後蘭嶼的風向風速。結果發現蘭嶼有一個署屬氣象測站，且為在蘭嶼中部的的位置(圖 17)，以及另外 2 個自動氣象站，分別為在蘭嶼高中和蘭嶼燈塔。這三個地方與老師吹到強風的紅頭岩位置不同，但我們仍然先將收集到的資料進行分析。

我們整理了這三個測站 2024 年 6 月 8 日的風速資料，如下表 2。由這些資料得知，當天氣象站測得的風向皆為西風或西偏南風，但各位置的風速差異很大。

表 2：2024 年 6 月 8 日當日蘭嶼測站風速狀況				
測站	平均風向	平均風速	最大風速	最小風速
蘭嶼燈塔	西風	4.0 m/s	6.3 m/s	1.2 m/s
蘭嶼高中	西南風	2.5 m/s	3.9 m/s	1.3 m/s
蘭嶼氣象站	西南風	6.9 m/s	10.9 m/s	4.5 m/s

對照蘭嶼地圖(圖 17)，可以得知蘭嶼燈塔位在蘭嶼西北側，約 200 公尺高的山上；蘭嶼高中位在蘭嶼西側海邊的椰油部落；蘭嶼氣象站位在蘭嶼中部高約 300 多公尺的山上。由此推論，地形的差異會造成風速有極大的不同：位在較高山上的蘭嶼氣象站的風速遠大於位在海邊的蘭嶼高中。根據這樣的結果，我們後續將討論地形障礙對風速的影響情形。

除了蘭嶼燈塔和蘭嶼氣象站因為位在山坡上，風速比蘭嶼高中還要強之外，老師在旅行的過程中，也發現幾乎同一個時間，蘭嶼各地海岸位置的風速差異也很大。因此，我們製作了蘭嶼模型，以夏季時蘭嶼最常出現的西南風，來模擬測試蘭嶼海岸各地的風速差異。

(一) 吹西南風時，紅頭岩的風速比環境風場大

我們以蘭嶼模型模擬當時的風向，比較環境風場和紅頭岩的風速差異。結果如圖 18 所示，吹西南風時，紅頭岩測量到的風速比環境風場的風速略大，約為環境風場風速的 1.02 倍。

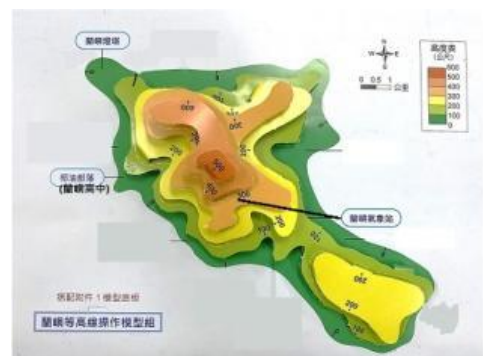
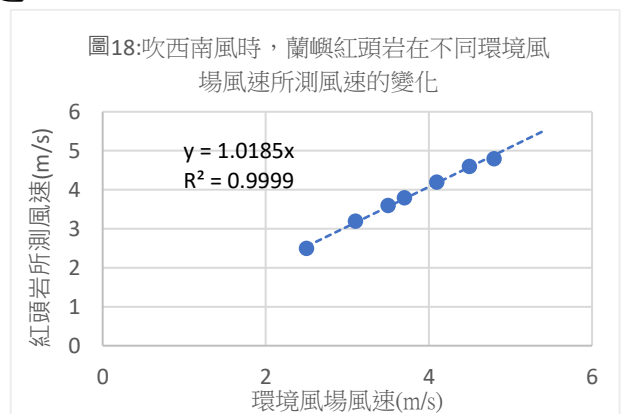
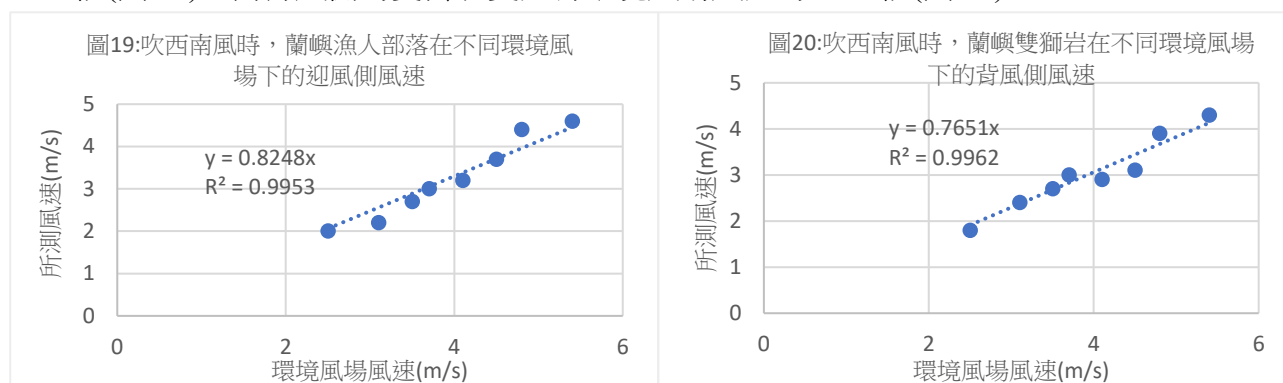


圖 17:蘭嶼燈塔、蘭嶼高中與蘭嶼氣象站位置
(研究者自行拍攝、繪製)



(二) 吹西南風時，漁人部落的風速大於雙獅岩的風速，但都小於環境風場風速

我們又選定了漁人部落(迎風側)以及雙獅岩(背風側)進行實驗，結果發現漁人部落和雙獅岩測得風速都小於環境風場風速，其中同樣是迎風側的漁人部落風速僅是環境風場風速的 0.82 倍(圖 19)，而背風側的雙獅岩更只有環境風場風速的 0.77 倍(圖 20)。



比較上述的研究結果，我們發現位在背風側的雙獅岩風速是三地中最小的，因為西南風到達雙獅岩須越過 500 公尺高的丘陵，推測風速減弱是因為位在背風側的影響。我們也發現即使紅頭岩和漁人部落同樣是位在迎風側，但卻測量到不同的風速，推測可能跟當地的地形有關。因此我們決定在後續的研究中，設計相關的實驗來進行探討。

二、不同環境風場下的紅頭岩的風速差異

做完了上述的實驗後，我們很好奇，紅頭岩的風速會一直這麼大嗎？如果環境風場的風向改變，紅頭岩的風速又會如何變化呢？由於台灣地區的夏季風向，大約有西南風、南風、東南風三種狀況；冬季的風向則可能有西北風、北風、東北風三種風向。我們選擇了會造成紅頭岩迎風的南風和西北風，以及使紅頭岩成為背風側的東南風等三種不同風向，進一步進行實驗，再將實驗結果與圖 18 吹西南風時紅頭岩風速進行比較。

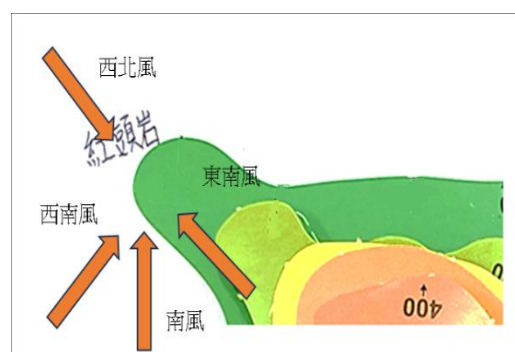
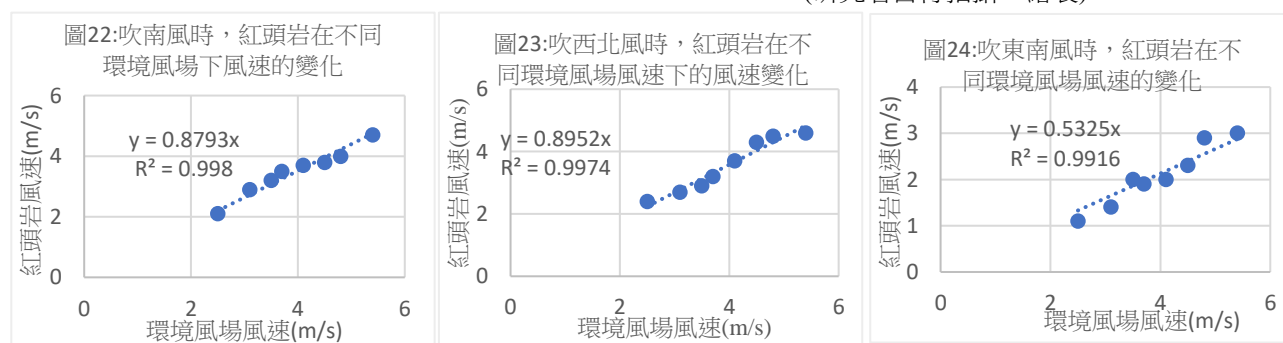


圖 21：不同風向示意圖

(研究者自行拍攝、繪製)



由圖 18、圖 22~圖 24 的分析結果發現：吹南風和西北風時，紅頭岩位迎風側，測量到的風速略小於環境風場風速。然而吹西南風時，紅頭岩的風速卻略大於環境風場風速。這樣的結果顯示，在吹西南風的狀況下，可能有其他原因造成了此處的風速增加。

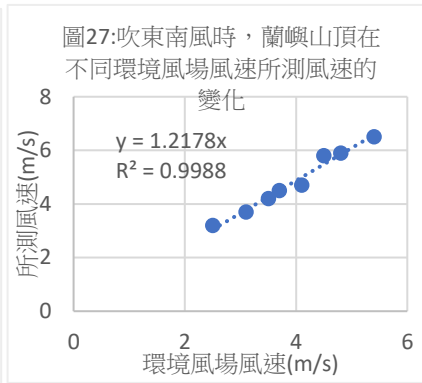
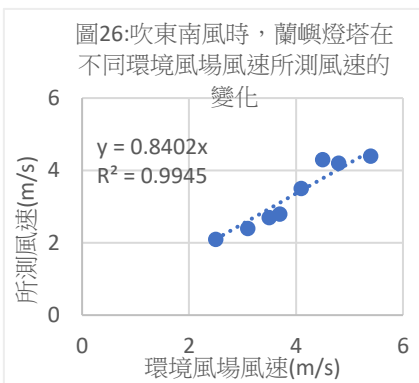
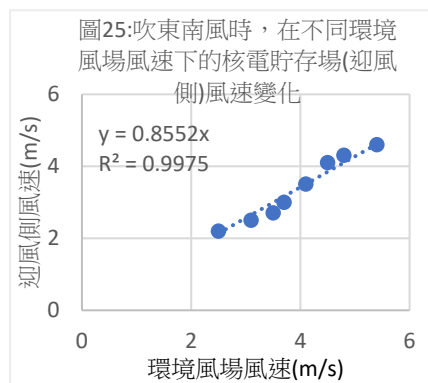
觀察紅頭岩的位置與地形可以發現，當西南風從海面吹來時，會受到紅頭岩周圍山壁的阻擋，風流因此被迫繞道通過紅頭岩，這可能是當地風速增加的原因之一。接下來，我們將

設計實驗，進一步探討地形阻擋造成氣流繞行時，對風速所產生的影響。

此外，吹東南風時，紅頭岩風速幾乎變成環境風場風速的一半，可見位在背風側對風速減弱的影響很明顯。

三、不同地勢高低對蘭嶼各位置風速的影響

老師說他在蘭嶼遊玩時，除了紅頭岩外，也發現山上的蘭嶼燈塔和小天池、蘭嶼氣象站的風也是很大，甚至比紅頭岩的風還大，我們猜測地勢的高低可能對風速也會造成影響。我們在環境風場風向為東南風的情況下，分別測量了迎風側的核電貯存場、蘭嶼最高點，背風側的蘭嶼燈塔、紅頭岩等位置的風速，以進行比較。



比較圖 25~27，結果發現空氣上收到蘭嶼山頂時，風速會比環境風場大上許多，在背風側又逐漸下降，以紅頭岩測得的風速最小。整體而言，在吹東南風的情況下，空氣過山時的風速，會呈現先上升後下降的趨勢。在後續實驗中，我們也會針對空氣上下坡的風速變化進一步探討。

四、影響背風側風速的差異的原因

當我們以蘭嶼地形模型進行研究時，發現吹西北風時，位在背風側的核電貯存場以及吹東南風時，位在背風側的紅頭岩(圖 28)，雖然空氣流動的過程，遇到相同長度與相同地勢變化，但兩處背風側的風速卻有很大的差異(圖 29、圖 30)。在同樣風速的背風側情況下，蘭嶼核電貯存場的風速明顯大於紅頭岩的風速。

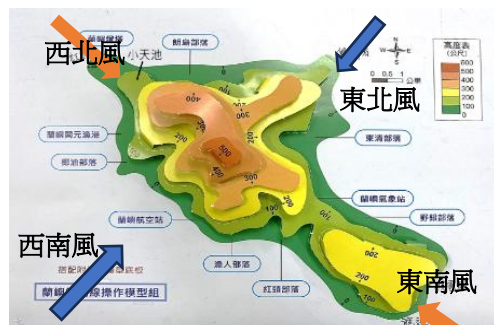
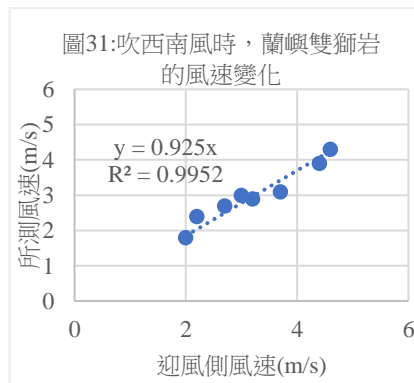
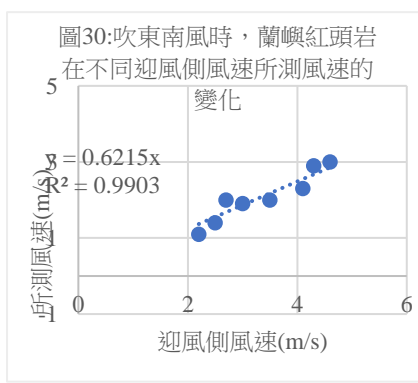
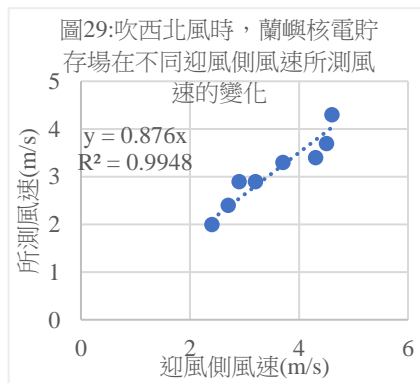
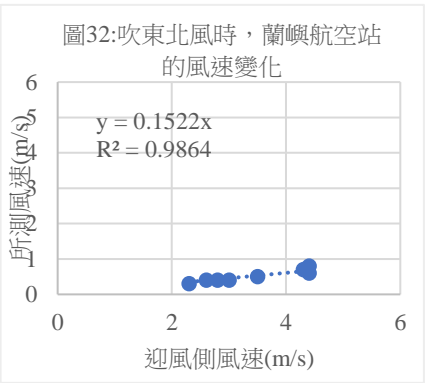


圖 28：風向與背風側位置示意圖(研究者自行拍攝、繪製)



相同的，吹西南風時，位在背風側的雙獅岩以及吹東北風時，位在背風側的蘭嶼航空站，測得的風速與迎風側風速之間的差異也不相同(圖 31、圖 32)。在同樣風速的背風側的情況下，雙獅岩的風速明顯大於蘭嶼航空站的風速。

這樣的結果，讓我們想要進一步討論地形對背風側風速的影響情形。在觀察了蘭嶼的地形模型後，我們將這個問題分成了背風側地形角度以及地形障礙造成的風影區進行模擬實驗來討論。



五、峽谷效應對風速的影響

此外，以蘭嶼模型模擬各種風向，不同地點的風速差異時，我們也發現吹東北風時，蘭嶼航空站與紅頭部落的風速有顯著差異(圖 34、圖 35)。根據蘭嶼地形圖(圖 33)，我們推測除了氣流必須翻越高度 500 公尺的山丘才能到達蘭嶼航空站外，東北風要吹到紅頭部落前，必須經過兩個山丘中間的丘陵，可能也是導致風速差異很大的原因。因此我們設計了實驗來模擬此處地形，討論峽谷效應對風速的影響。

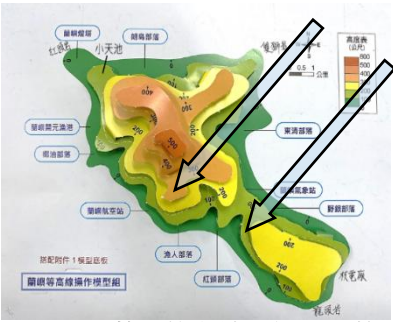
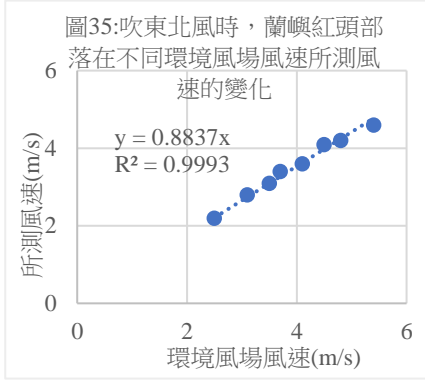
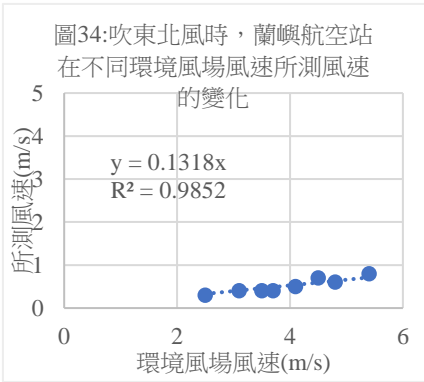


圖 33：蘭嶼航空站和紅頭部落位置(研究者自行拍攝、繪製)



綜上所述，我們利用蘭嶼模型所做的實驗，初步發現地形和風向造成的各種風速差異。接下來，我們就設計一系列的實驗，來探討各種變因對風向、風速的影響。

研究二：不同長、寬、高比例的地形障礙對周遭風向和風速的影響

在研究一中，我們發現風在吹過地形障礙時，無論是迎風側、背風側，或是山頂的風速都會發生變化。據此，我們初步想探討不同地形障礙周遭風速的差異。我們的實驗設計如下：

- 分別測量環境風場風速、地形障礙前方、地形障礙上方、側邊、後方近側以及後方遠側的風向與風速。風袋放置的位置分別如下表 3：

表 3：研究二風袋放置的位置						
測量位置	環境風場	前方	上方	側邊	後方近側	後方遠側
風袋放置位置	距離在障礙物前方 22 公分	距離障礙物前方 1 公分 (熱線測量)	距離障礙物上方 4 公分	距離障礙物側邊 5 公分	距離障礙物後方 12 公分	距離障礙物後方 28 公分

- 以不同積木的堆疊方式表示不同的地形障礙，用以探討在不同地形障礙下，周圍的風速。研究設計如圖 36。

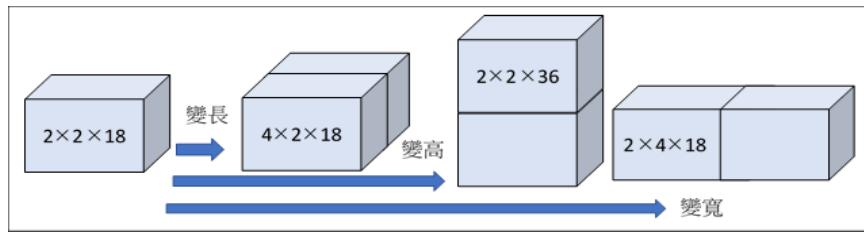
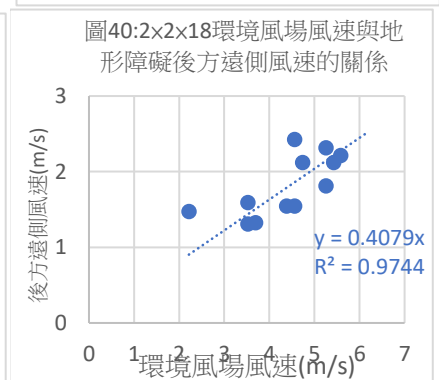
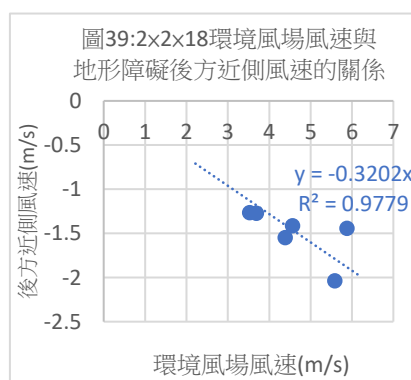
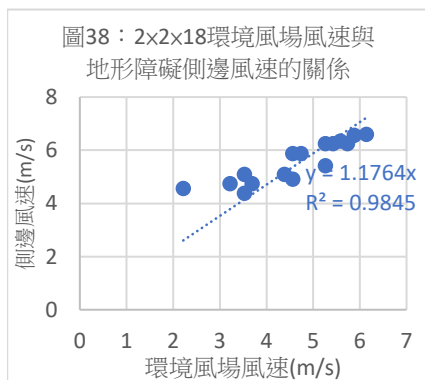
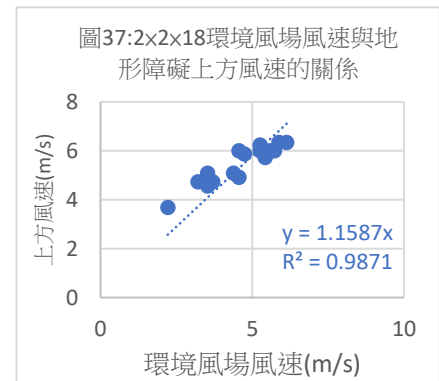


圖 36：研究二實驗設計

一、積木組合為 $2 \times 2 \times 18$ 時($4.4\text{cm} \times 11.2\text{cm} \times 12.6\text{cm}$)，地形障礙周遭的風速變化(圖 37~圖 40)

- (一) **地形障礙上方的風速**：環境風場風速越大，地形障礙上方的風速也會增加，由趨勢線分析可以得知環境風場風速每增加 1m/s ，上方風速約增加 1.16m/s ，表示上方風速會大於環境風場風速。
- (二) **地形障礙側邊的風速**：環境風場風速越大，側邊的風速也會隨之變大，由趨勢線分析可以得知環境風場風速每增加 1m/s ，側邊風速則增加約 1.18m/s ，因此可推測側邊風速會大於環境風場風速。
- (三) **地形障礙後方近側的風速**：後方近側的風向會朝反方向吹且較不固定，風袋搖晃幅度大，導致有很多個實驗都無法測量風袋的角度，也因此無法得知風速。由測量的幾個實驗結果發現地形障礙後方近側的風速大多位在 $1.2 \sim 1.5\text{m/s}$ ，僅有一個數據超過 2m/s 。
- (四) **地形障礙後方遠側的風速**：在地形障礙後方遠側的風向會和環境風場風向相同，但風袋穩定性較低，也有大幅度的擺動的狀況發生。由散布圖發現，當環境風場風速增大時，地形障礙後方遠側的風速會隨之增加，當環境風場風速每增加 1m/s ，後方遠側風速增加約 0.41m/s ，可得知後方遠側風速會小於環境風場風速。

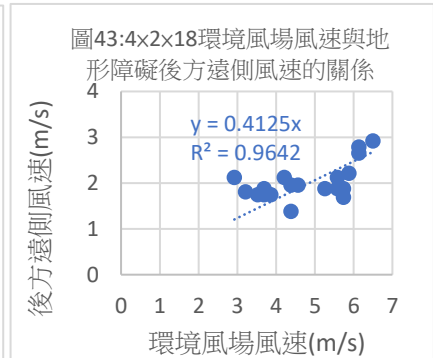
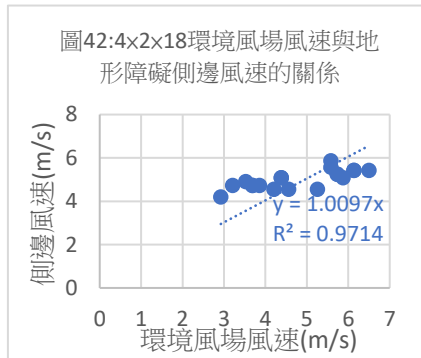
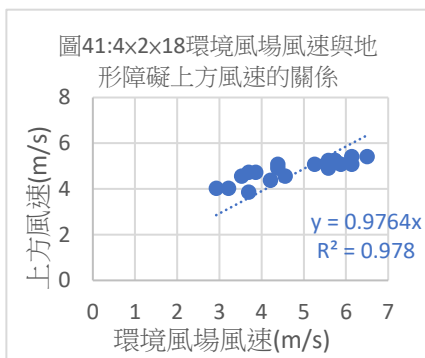


小結：環境風場風速增加時，僅後方近側風速會減少，且風向相反，其餘位置的風速皆會隨之增加，而上方及側邊風速會略大於環境風場風速，後方遠側則略小。

二、當地形障礙變長(積木組合 4×2×18，實際大小 8.8cm×11.2 cm×12.6 cm)

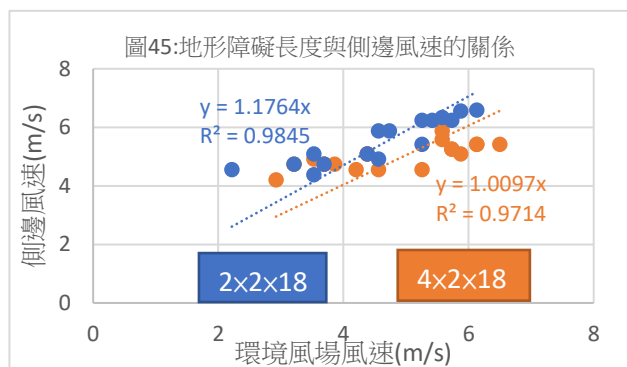
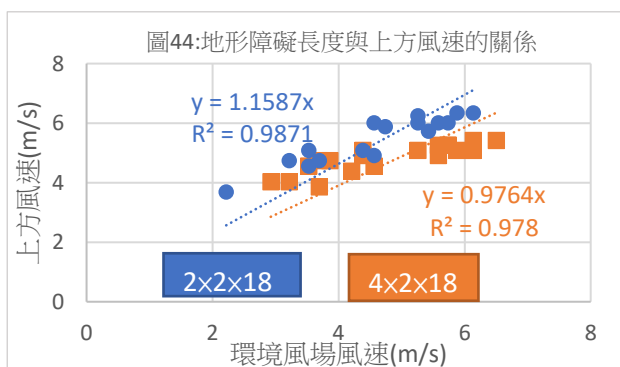
時，地形障礙周遭的風速變化(圖 41~圖 43)

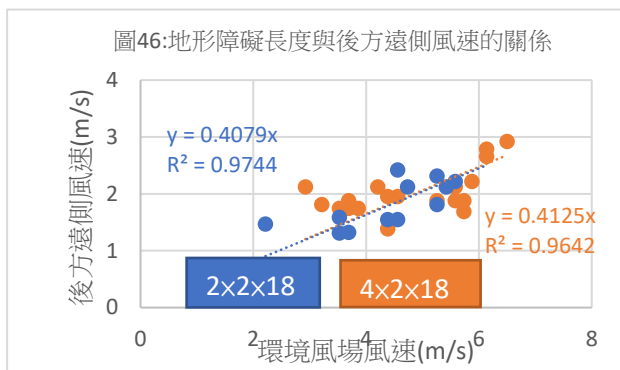
- (一) 地形障礙上方的風速：環境風場風速增加時，地形障礙上方風速也會增加。由趨勢線分析可以得知，環境風場風速每增加 1m/s，上方風速約增加 0.98m/s。
- (二) 地形障礙側邊的風速：環境風場風速越大，地形障礙側邊的風速也會增大。趨勢線分析可以得知，環境風場風速每增加 1m/s，側邊風速約增加 1.01m/s，幾乎等於環境風場風速。
- (三) 地形障礙後方近側的風速：後方近側的風袋風向不穩定，且風袋角度很小，換算後風速接近零。風袋多呈現前後晃動，偶爾在風速較小時會朝反方向吹，由於數據不足，因此無法分析環境風場風速與後方近側風速之間的相關性。
- (四) 地形障礙後方遠側的風速：當環境風場風速增加時，地形障礙後方遠側風速也會增大，且風袋相比後方近側更加穩定，這使得我們可以獲得更多數據來分析環境風場風速與後方遠側風速之間的關係，環境風場風速每增加 1m/s，後方遠側風速約增加 0.41m/s，因此可推測後方遠側風速會小於環境風場風速。



比較積木組合 2×2×18 和 4×2×18 的實驗結果，發現當地形障礙長度變成原來的 2 倍時：

- (一) 地形上方的風速會較小，其與環境風場相比的放大倍率從 1.16 下降為 0.98，環境風場風速越大時，兩者之間差距也會越多(圖 44)。
- (二) 地形側邊的風速會較小，其與環境風場相比的放大倍率從 1.18 下降為約 1.01，環境風場風速越大時，兩者之間差距也會越多(圖 45)。
- (三) 地形障礙後方近側的風向，由反方向吹變成變化不固定，且風速極小。
- (四) 地形障礙後方遠側的風速與對照組的趨勢線相似，放大倍率幾乎不改變，且風袋穩定度高(圖 46)。



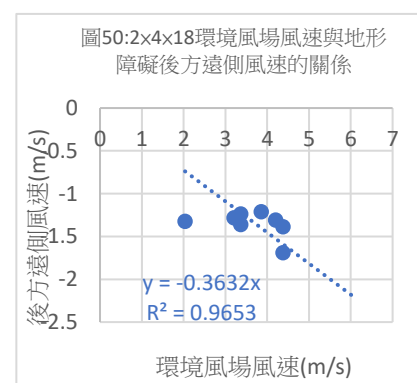
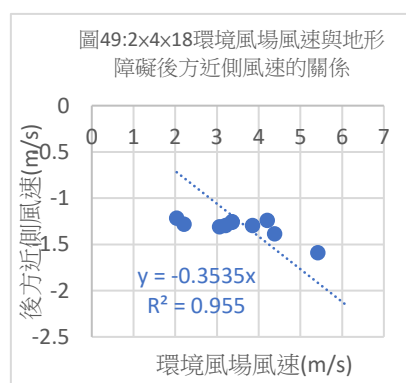
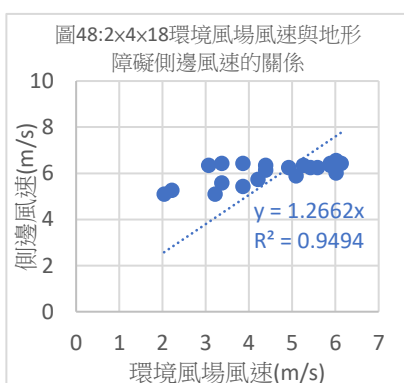
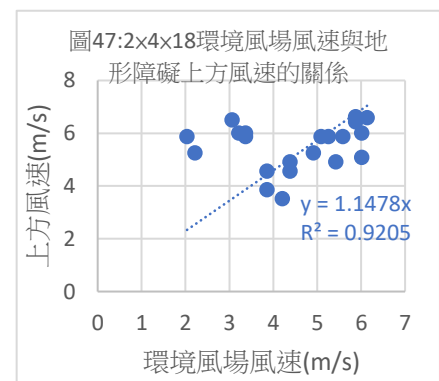


小結:和對照組相比,當地形障礙長度變長時,地形障礙上方及側邊之風速減少,但後方遠側的風速變化不明顯。此外,當地形障礙變長時,後方近側的風會更微弱。

三、當地形障礙變寬(積木組合 2×4×18，實際大小 4.4cm×22.4 cm×12.6 cm)

時，地形障礙周遭的風速變化(圖 47~圖 50)

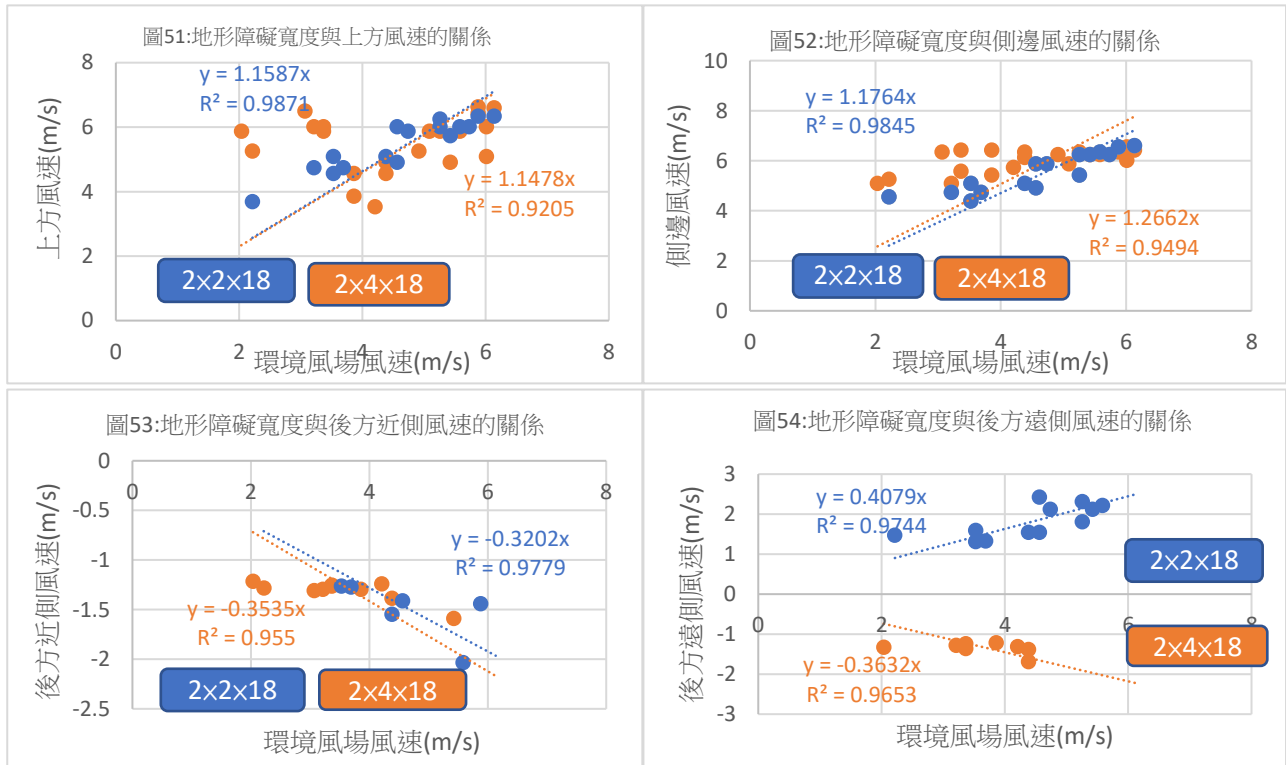
- (一) 地形障礙上方的風速：地形障礙上方風速會大於環境風場風速。由趨勢線分析得到，環境風場風速每增加 1m/s，上方風速約增加 1.15m/s。
- (二) 地形障礙側邊的風速：地形障礙側邊風速約在 6.0m/s 上下變動。環境風場風速小時，側邊風速會略小一些。
- (三) 地形障礙後方近側的風速：後方近側風速會小於環境風場風速。當環境風場風速較小時，地形障礙後方近側的風向大多數與環境風場風向相反，且風速約在 1.2 m/s~1.5 m/s 左右。當環境風場風速增大時，後方近側的風速也有些微增加的趨勢。
- (四) 地形障礙後方遠側的風速：風向不穩定，可能是前後晃或朝反方向吹，但在大多情況下以反向吹為主。環境風場風速增加時，地形障礙後方遠側的風速也會隨之上升，環境風場風速每增加 1m/s，後方遠側的風速增加約 0.36m/s，可知後方遠側風速會小於環境風場風速。



當地形障礙為 2×4×18 時，四個測量位置測得的風速與環境風場風速的相關性都不如前兩種地形障礙明顯。地形障礙後方的風向多與環境風場相反，且風速較小；地形障礙上方及側邊的風速則有隨環境風場風速略為增加的趨勢。

比較積木組合 $2 \times 2 \times 18$ 和 $2 \times 4 \times 18$ 的實驗結果，發現當地形障礙寬度變成原來的 2 倍時：

- (一) 地形上方的風速會些微下降，但不明顯(圖 51)。
- (二) 地形側邊的風速會變大，其與環境風場相比的放大倍率從 1.18 上升為約 1.27，環境風場風速越大時，兩者之間差距也會越多(圖 52)。
- (三) 地形障礙後方近側的風向仍然維持反方向吹(圖 53)。
- (四) 地形障礙後方遠側的風向與對照組相反，且放大倍率由 0.41 下降為 0.36，風袋穩定度低(圖 54)。



小結：當地形障礙寬度增加時，地形側邊的風速會比對照組大。然而我們也發現當地形障礙變寬時，地形障礙的側邊與風洞的距離會變近，使得風可通過的路徑變窄，這可能是導致風速增大的原因。此外，後方遠側的風向與對照組是相反的。可以推知，當地形障礙變寬，會使得更遠的後方仍出現反向的氣流，亦即較寬的地形會造成更長的回流。

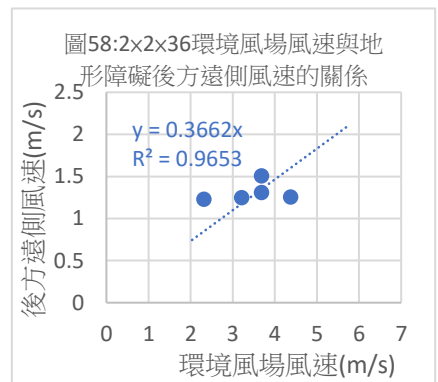
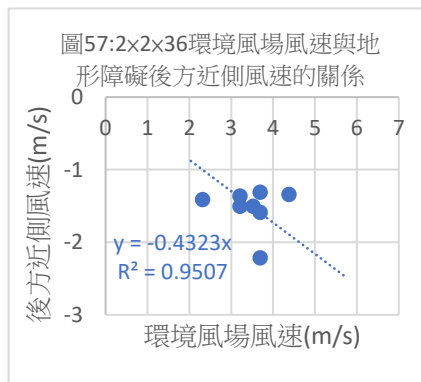
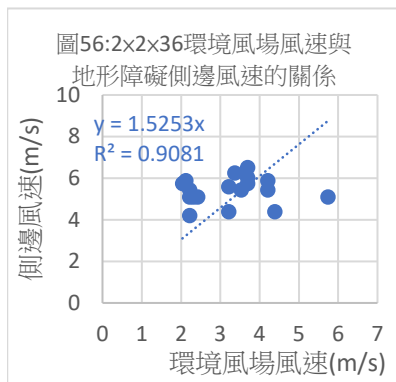
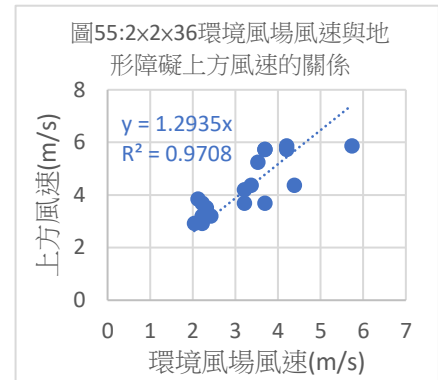
四、當地形障礙變高(積木組合 $2 \times 2 \times 36$ ，實際大小 $4.4\text{cm} \times 11.2\text{cm} \times 25.2\text{cm}$)

時，地形障礙周遭的風速變化(圖 55~圖 58)

- (一) 地形障礙上方的風速：環境風場風速越大，地形障礙上方的風速也會越大，由趨勢線分析可以得知環境風場風速每增加 1m/s ，上方風速約增加 1.29m/s ，可推測上方風速會大於環境風場風速。
- (二) 地形障礙側邊的風速：環境風場風速增大時，地形障礙側邊的風速也會隨之增大，但風速變化大，穩定性較差，風速多在 $4.00 \sim 6.00\text{ m/s}$ 之間變動。

(三)地形障礙後方近側的風速：在此狀況下，地形障礙後方近側的空氣流動很不穩定，大部分風向與環境風場相反，風袋角度變化幅度大，測得的數據是根據風袋飄動時大部分時間所呈現的數值記錄下來。雖然由趨勢線分析可以得知環境風場風速每增加 1m/s，後方近側風速約增加 0.43m/s，但是由散布圖可以得知二者的相關並不明顯。

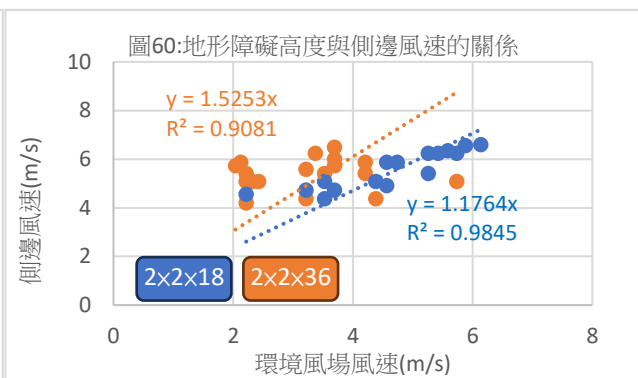
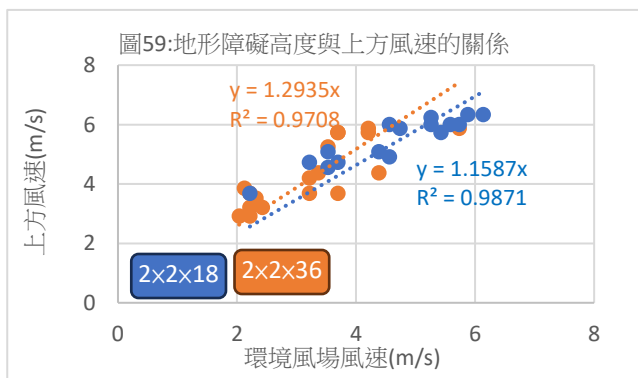
(四)地形障礙後方遠側的風速：在此狀況下，地形障礙後方遠側的風向和風速很不穩定，風袋晃動幅度很大，導致能測得的數據較少，風向通常與環境風場風向相同。雖然由趨勢線分析可以得知環境風場風速每增加 1m/s，後方遠側風速約增加 0.37m/s。但是由散布圖可以得知二者的相關並不明顯，風速多在 1.00~1.50 m/s 之間變動。

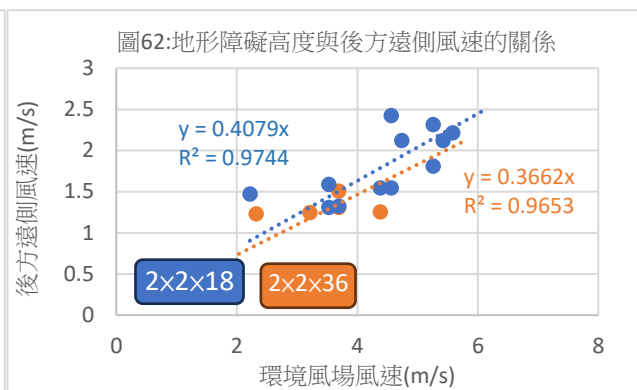
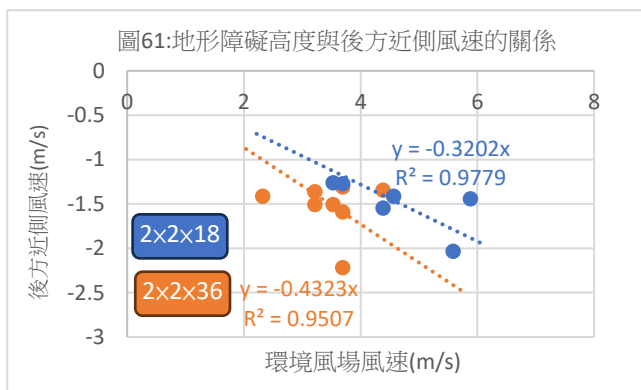


當環境風場風速增大時，地形障礙上方風速會隨之增加，且大於環境風場風速，側邊風速隨環境風場風速變化趨勢不明顯。後方二個位置則都出現風向不定，風速減弱的狀況，且環境風場的風速與後方二個位置測得的風速沒有明顯的關聯。

比較積木組合 2x2x18 和 2x2x36 的實驗結果，發現當地形障礙高度變成原來的 2 倍時：

- (一) 地形上方的風速會比對照組大，且隨著環境風場風速增加，兩者的差距也會變大(圖 59)。
- (二) 地形側邊的風速會比對照組大，且增加幅度明顯(圖 60)。
- (三) 地形後方近側的風向皆維持與原環境風場風向相反。由趨勢線分析可以得知趨勢線斜率有小幅的增加(從 -0.32 增加至 -0.43)，顯示地形障礙後方回流的風速更強(圖 61)。
- (四) 後方遠側的風袋晃動幅度變得更不穩定，雖趨勢線分析顯示風速隨環境風場的變化與對照組相近，但實際的觀測結果可以知道高度增加時，會使後方遠側的空氣，變的很不穩定，可以用來分析的數值不多(圖 62)。





小結：當地形障礙增高時，地形障礙上方、側邊及後方近側的風速都會隨之增加，且會隨環境風場風速增加而變大。後方遠側的風速變化不大，但與對照組相比卻是更不穩定。

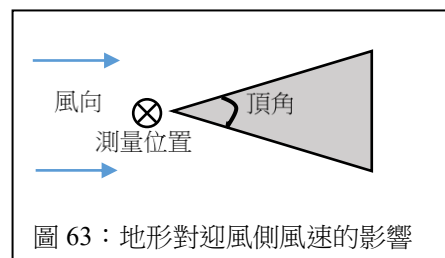
總結上述的研究結果，可以得知地形的變化對地形周遭的風速有不同的影響：

- (一) 地形障礙會造成地形上方及側邊的風速增強，且在地形障礙後方形形成回流區以及風速較弱的區域。
- (二) 較長的地形障礙，會使得上方和側邊的風速增加的幅度減少。
- (三) 較高的地形障礙，會造成上方和側邊的風速更加增強。
- (四) 較寬的地形障礙，會造成側邊的風速增強，且在後方形形成距離更長的回流區。

研究三：地形對迎風側風速的影響

我們從研究一中發現蘭嶼在不同環境風場下，不同位置的地形差異會對各地點風速產生的影響。為了進一步量化地形對風速的影響，我們使用保麗龍板和積木來模擬不同形狀的地形，並探討其對周遭風速的影響。

蘭嶼的紅頭岩在迎風時，會有明顯偏大的風速。我們推測迎風側角度的不同可能會影響風速。因此，我們使用保麗龍切割的等腰三角形(模型一)，以三角形的頂角模擬不同迎風側角度，並改變環境風速測量迎風側角度對風速的影響。實驗分別設計 6 種風速×6 種迎風側角度(圖 63、表 4)。



風速(m/s)	5.0	4.7	4.3	3.7	3.1	2.6
迎風側頂角(度)	30	60	90	120	150	180

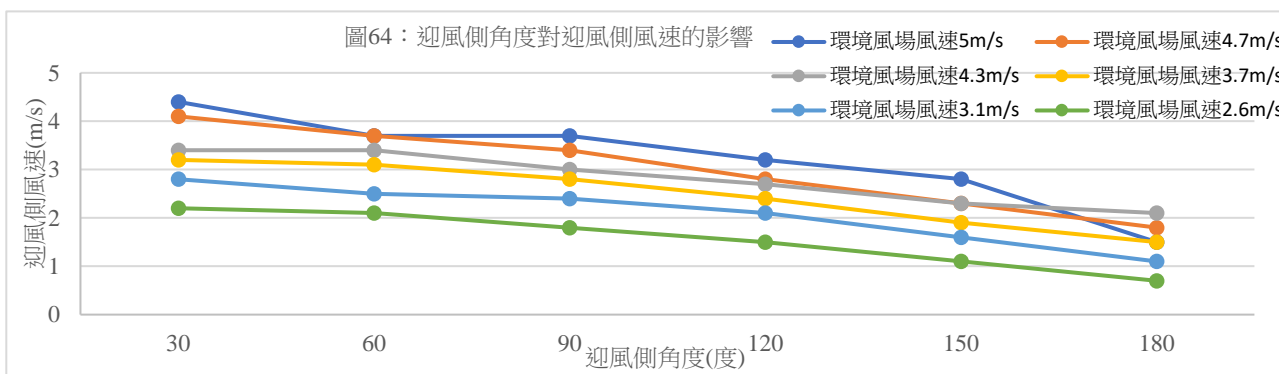
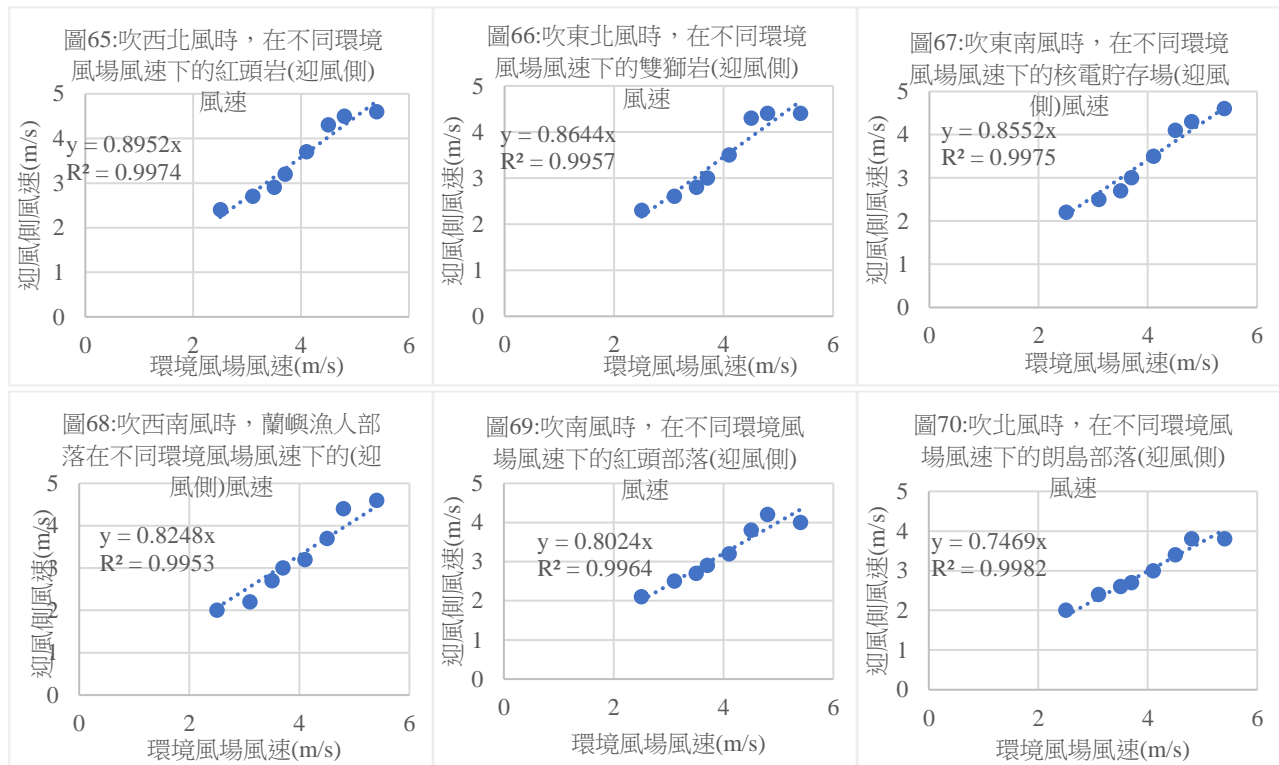


圖 64 的研究結果發現，無論環境風場風速及迎風側角度為何，迎風側的風速都會小於環境風場風速，且當迎風側角度越小時，迎風側風速會愈大。我們再使用蘭嶼模型來驗證這個實驗結果。我們模擬不同風向時，迎風側位置風速的差異。結果同樣發現迎風側的風速都會小於環境風場風速。將迎風側風速依序排列如圖 65~圖 70，可以發現迎風側地形較突出的紅頭岩、雙獅岩等處，與環境風場的差異最小；而迎風側地形相對平坦的紅頭部落和朗島部落等處，風速與環境風場風速落差較大。這樣的實驗結果與前述實驗的結果相同——迎風側的地形愈尖銳，風速就會愈大。



研究四：背風側地形角度對背風側風速的影響

我們使用模型一(圖 71)及模型二(圖 72)模擬背風側海岸地形的差異進行實驗，以討論造成背風側風速差異的原因：

一、**模型一**：將尖端朝向熱線風速計，測量背風側頂角(圖 71)的風速，實驗設計 6 種風速×6 種背風側頂角角度(表 5)，實驗結果如圖 72。

發現：

- (一) 背風側風速必小於環境風場風速。
- (二) 在背風側角度為 30、90 和 120 度時風速減弱幅度較小。
- (三) 在背風側角度為 60、150 和 180 度時風速大幅減弱，幾乎為 0。

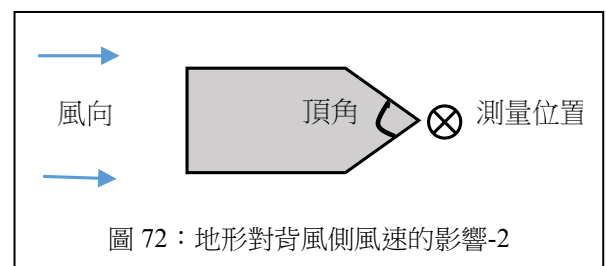
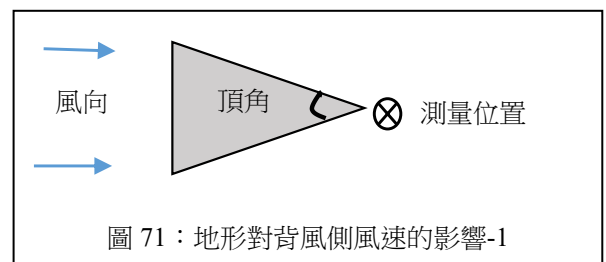
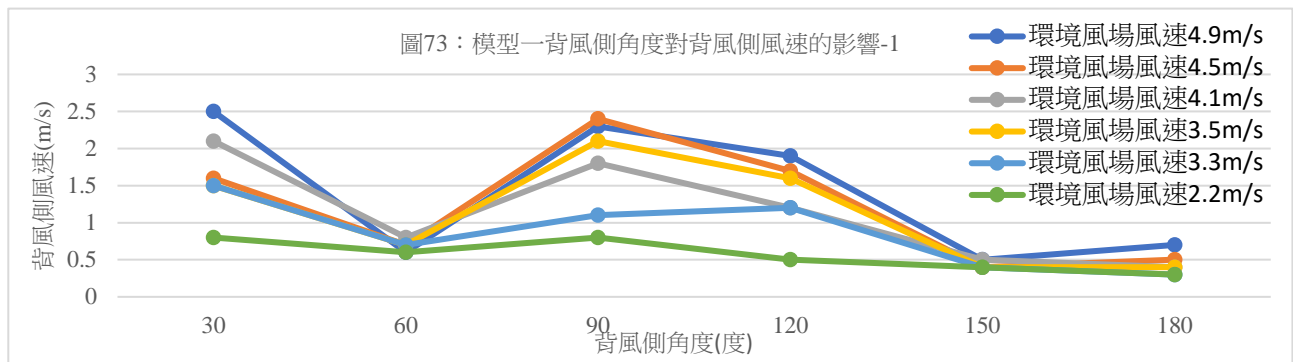
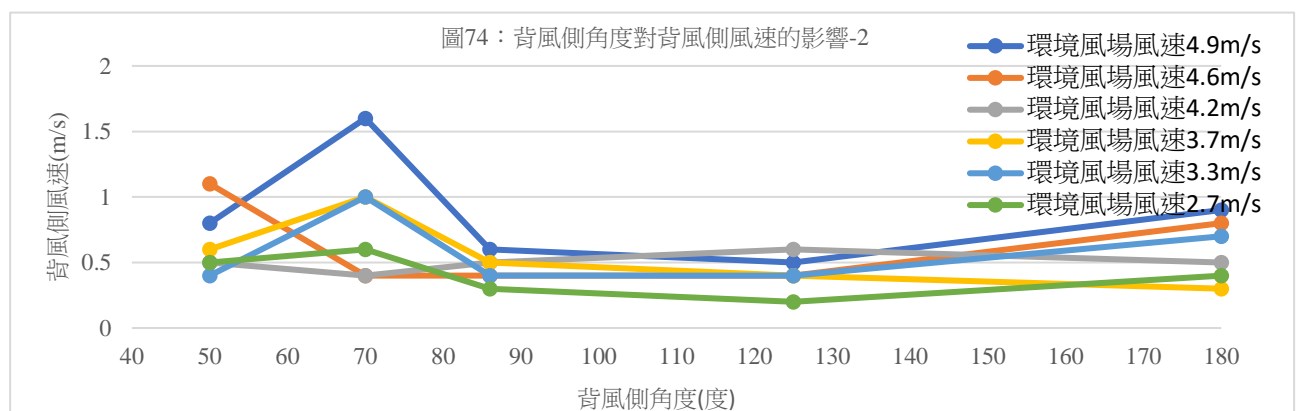


表 5：地形對背風側風速的影響(1)-實驗設計							表 6：地形對背風側風速的影響(2)-實驗設計						
風速 (m/s)	4.9	4.5	4.1	3.5	3.3	2.2	風速(m/s)	4.9	4.6	4.2	3.7	3.3	2.7
背風側角 度(度)	30	60	90	120	150	180	背風側角 度(度)	50	70	86	125	180	



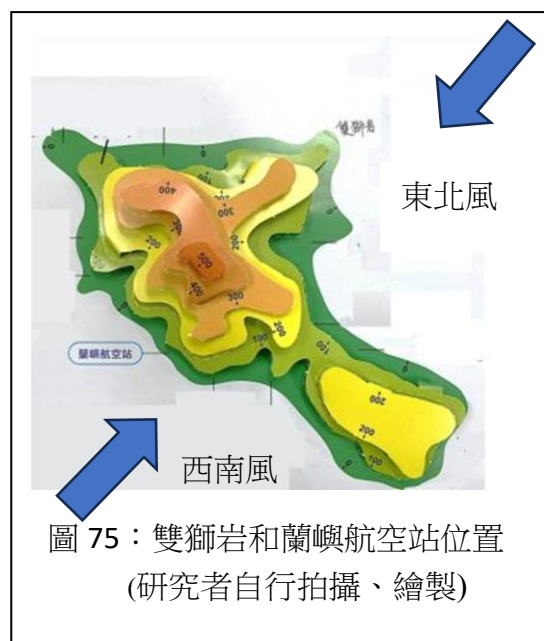
二、 **模型二**：將尖端朝向熱線風速計，測量背風側頂角(圖 72)的風速，實驗設計 6 種風速 × 5 種背風側角度(表 6)，實驗結果如圖 74。實驗結果發現：

(一) 當背風側角度為 70 度時，風速較大，其餘風速都很小。



小結：

- 背風側地形的角度會影響風速，但並不存在線性關係。
- 模型一和模型二的形狀不同，即使背風側角度相近時，風速仍然有很大的差異。可見空氣在流動時會同時受到地形障礙外形各種因素的影響，故在推論此研究結果時須很謹慎。
- 雙獅岩是一個凸出的岬角，蘭嶼航空站則位在平直的海岸上，兩地在背風情況下的風速差異，可能來自於海岸形狀的不同。
- 考慮建築物後方的外型設計，也會對風場造成影響。



研究五：地形的遮蔽效應和風影區的範圍

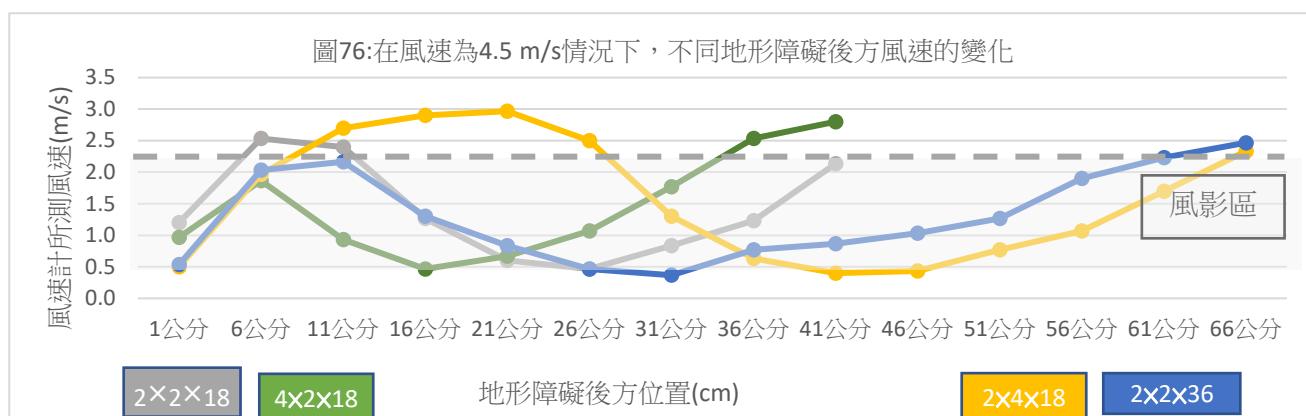
在研究一(p.11~12)中，討論吹東北風時，位在背風側的蘭嶼航空站的風速以及吹西南風時，位在背風側的雙獅岩風速(圖 75)差異時，我們也考慮到了地形遮蔽效應的影響。在文獻探討中我們發現，在建築物背風側會形成一塊近乎無風的風影區，而在查找文獻時，我們發現有些資料提到建築物的尺寸可能會影響風影區的長度，因此我們想透過改變地形障礙尺寸，來討論不同地形障礙對後方風影區的影響。

一、研究方法：

分別以研究二中的不同地形障礙大小來進行實驗，測量障礙物後方不同距離的風速大小。我們設定風速為 4.5 m/s，從地形障礙後方 1 公分開始測量，每隔 5 公分測量一次風速，並改變地形障礙的長、寬、高，重複進行實驗。

二、研究結果(圖 76)：

- (一) 每一種地形障礙後方風速變化皆呈一致的趨勢：隨著與地形障礙後方的距離增加，風速會先逐步上升，達到某一個高點後，就會開始下降，大約降至 0.5 m/s 左右，風速又會再穩定上升。
- (二) 以積木組合 $2 \times 2 \times 18$ 為比較基礎，當地形障礙變長時($4 \times 2 \times 18$)：後方近側的最大風速會降低，且風速降至最低點的位置會更靠近地形障礙。
- (三) 以積木組合 $2 \times 2 \times 18$ 為比較基礎，當地形障礙變寬時($2 \times 4 \times 18$)：後方近側的最大風速會增加，且出現的位置較遠離地形障礙；風速降低至最低點的位置也會向後移動了 15 公分的距離。
- (四) 以積木組合 $2 \times 2 \times 18$ 為比較基礎，當地形障礙變高時($2 \times 2 \times 36$)時：後方近側的最大風速會稍微降低，且風速降至最低點的位置會稍微遠離地形障礙。
- (五) 查閱文獻後，發現風影區的定義是障礙物後方，風速小於環境風場 0.5 倍的區域。我們計算各地形障礙的風影區範圍如下：
 - 1. 積木組合 $2 \times 2 \times 18$ 的實際尺寸為 $4.4\text{cm} \times 11.2\text{cm} \times 12.6\text{cm}$ ，風影區的範圍大約到達在積木後方 41cm 的位置。
 - 2. 迎風側更長的地形障礙，風影區的位置會更靠近地形障礙，但風影區的範圍大約到達在積木後方 33cm 的位置，約減少了 0.25 倍的長度。
 - 3. 更寬的地形障礙，風影區的位置會更遠離地形障礙，但風影區的範圍大小有明顯增加。當地形障礙變成 2 倍寬時，風影區的範圍大約到達積木後方 66cm 的位置，約增加為原來的 1.5 倍。
 - 4. 更高的地形障礙，風影區出現的位置不變，但範圍會向後延伸更遠的距離，風影區的範圍大小有明顯增加。當地形障礙變成 2 倍高時，風影區的範圍大約到達在積木後方 61cm 處，約增加為原來的 1.5 倍。



三、 綜上所述，可以得知：

- (一) 地形的遮蔽效應與地形障礙的外型有關，更高和更寬的地形，會有更寬廣的風影區，對風的屏蔽效果愈好。
- (二) 較寬的地形障礙後方，會明顯出現風速先上升後下降的寬廣區域，對照研究二的結果，可以得知此區域就是地形障礙後方的回流區。
- (三) 蘭嶼航空站的位置離丘陵較近，因此吹東北風時，容易受地形遮蔽效應的影響，風速偏低。吹西南風時，雙獅岩距離丘陵較遠，可能已經離開風影區的範圍。

研究六：從金字塔效應探討氣流上坡、下坡的風速變化

在研究一(p.11~12)中，我們發現吹東南風時，核電貯存場、蘭嶼山頂、蘭嶼燈塔與紅頭岩幾乎位於同一直線上，僅有高度差異，但測得風速卻明顯不同。我們在文獻中發現有一個名詞叫「金字塔效應」，是指氣流在上坡時，風速會逐漸提高，形成強勁的上升氣流。因此，我們想探討空氣在上坡與下坡的過程，風速依序的變化情形。

一、 研究方法：

- (一) 我們利用積木堆疊成階梯狀地形障礙(圖 77)，並用黏土填成三角形，使坡度更接近真實地形。
- (二) 在每階中點設置測量點(上坡與下坡各 4 個，共 8 點)，將模型放入風洞，固定環境風場風速，依序測量各點風速，變更 6 種環境風場風速(4.7、4.4、4.0、3.7、3.1、2.4m/s)，以觀察不同環境風場風速下的風速變化。
- (三) 從背風側後方 1 公分處開始，每隔 5 公分測量風速，分析風速隨著距離的變化。

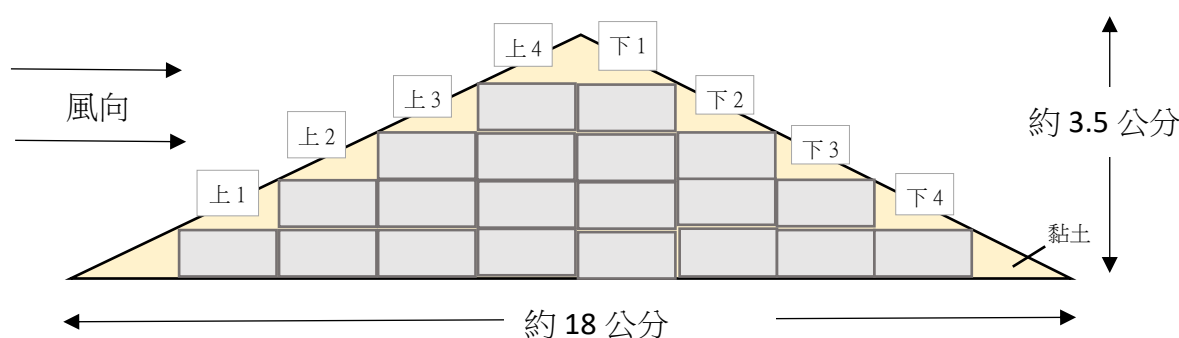
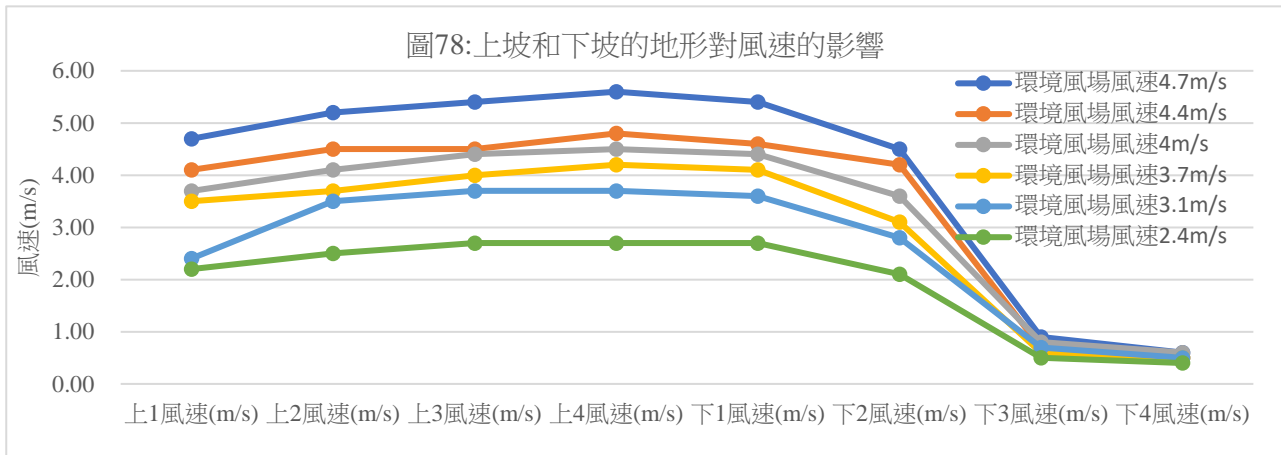


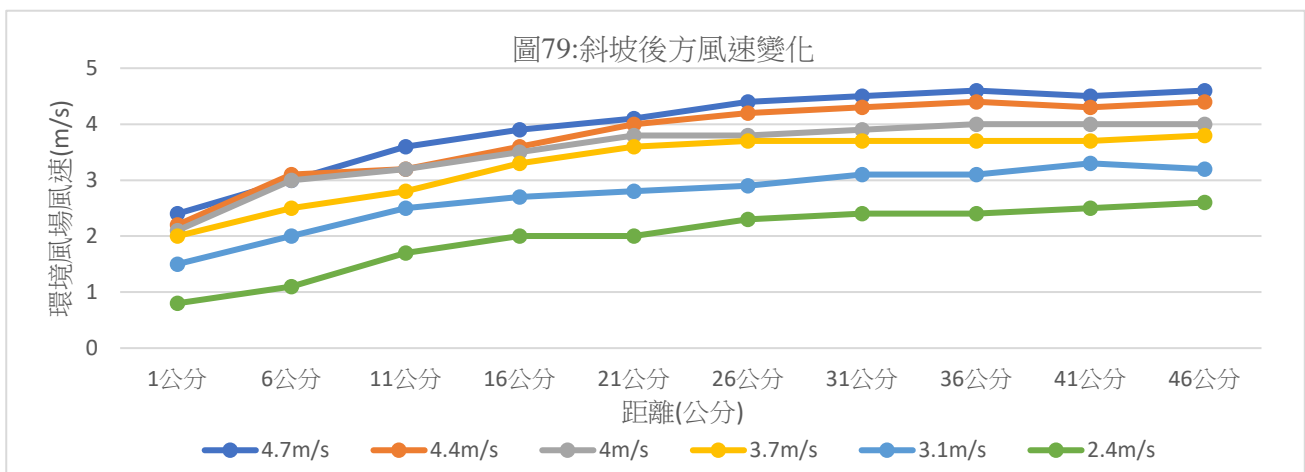
圖 77：氣流上坡、下坡實驗設置

二、 研究結果：

- (一) 實驗結果發現，氣流在上坡的過程，風速會逐步的增強，當空氣過了山頂，風速就會開始快速降低。不管初始風速為何，到了背風側山腳位置，風速幾乎都接近 0(圖 78)。



- (二) 根據我們的實驗結果，可以說明研究一中，在蘭嶼燈塔和小天池的位置可以感受到比地面更強的風速的原因，是因為這二個位置位在當天西南風的迎風坡上，風在爬山的過程，使得風速增加所導致。此外，本研究的結果亦可用來推論蘭嶼航空站在吹東北風時的情況下，風速極低的原因，是因為剛好坐落於山丘背風側山腳下位置的關係。
- (三) 在研究五中，我們做過風影區的研究，發現雖然因為地形的遮蔽效應，在地形障礙後方會形成風速極低的風影區。但在風影區的後方，風速也會慢慢回升。本研究也繼續測量斜坡後方的風速變化，發現斜坡後方的風速會隨著距離增加而變大，且在距離斜坡底端 26 公分(相當於距離山頂位置 35 公分)處回復到接近原來的環境風場風速(圖 79)。這個距離大約就是本實驗中山坡高度的 10 倍。



研究七：峽谷效應

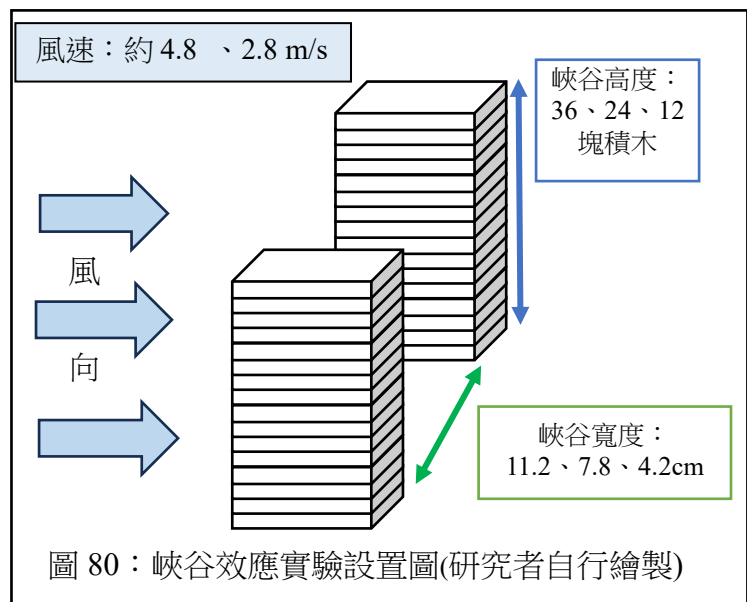
以蘭嶼模型模擬各種風向，不同地點的風速差異時，我們發現吹東北風時，蘭嶼航空站與紅頭部落的風速有顯著差異。我們推測除了氣流必須翻越高度 500 公尺的山丘才能到達蘭嶼航空站外，東北風要吹到紅頭部落前，必須經過山谷中間的高地，可能也是導致風速差異很大的原因。因此我們設計了模擬此處地形的峽谷效應實驗，討論峽谷效應對風速的影響。

一般而言，進行峽谷效應的實驗變因都是探討峽谷長度、高度、寬度對峽谷內風速的影響。但由文獻探討的過程，我們發現文獻一致支持峽谷長度愈長，峽谷內的風速也會隨之增加，因此我們決定不再討論這個變因。僅就峽谷高度、峽谷寬度進行討論。此外，觀察蘭嶼紅頭部落附近的地形後，我們發現此處的峽谷內也是一個小山坡，所以我們加上峽谷內山坡角度影響的變因。

一、峽谷高度對峽谷效應的影響：

(一) 實驗設計(圖 80)：

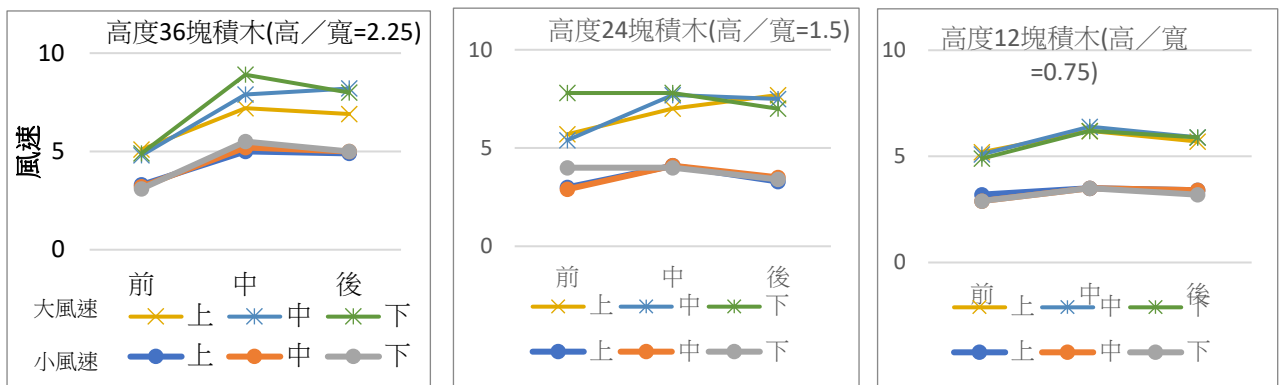
1. 由於文獻指出峽谷的高／寬比需大於 0.7，才會有明顯的峽谷效應，因此實驗設計以積木堆疊出峽谷兩側高度，分別為 36、24、12 塊積木(對應 25.2cm、16.8cm、8.4cm)，峽谷寬度固定為 11.2 公分，分別作出高／寬比 2.25、1.5 以及 0.75 的峽谷。
2. 分別以大風速(4.8m/s)和小風速(2.8m/s)二種環境風速進行實驗。測量峽谷內上、中、下，以及峽谷前、中、後共 9 個測量點的風速。



(二) 實驗結果(圖 81)：

1. 無論是大風速還是小風速，9 個測量點的風速都大於原來的環境風場風速。
2. 當風進入峽谷時，風速會大幅上升，離開峽谷後，風速略為下降，但仍大於進入峽谷前的風速。
3. 峽谷高度會影響風速，峽谷高度愈高，高／寬比愈大，峽谷效應愈明顯。
4. 峽谷高度較高時，峽谷中下位置的風速較大；峽谷高度較低時，此現象就不明顯。

圖 81：峽谷高度對峽谷效應的影響



二、峽谷寬度對峽谷效應的影響：

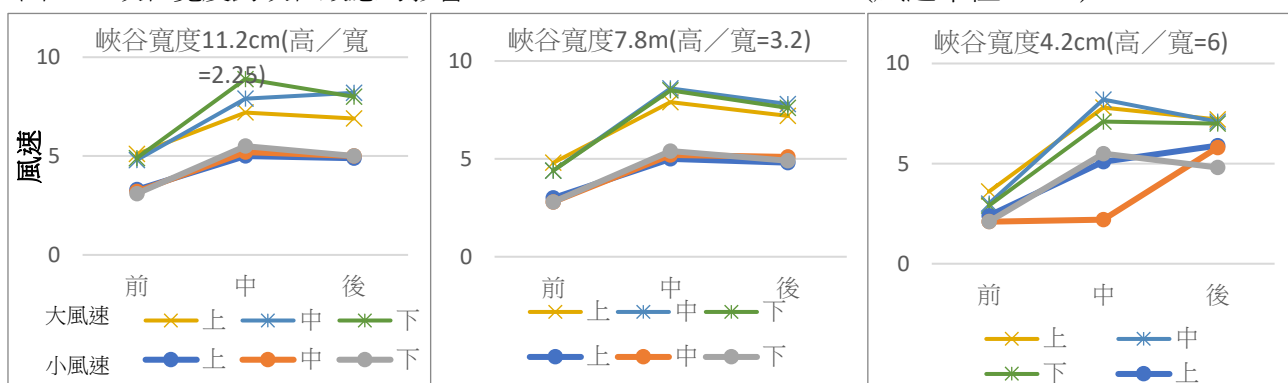
(一) 實驗設計：

1. 由於前述實驗發現峽谷愈高，高／寬比愈大時，峽谷效應愈明顯。在此實驗中，我們就將峽谷高度設定為 36 塊積木高度(25.2cm)，並逐步縮小峽谷寬度至 7.8cm 和 4.2cm，使其有更大的高／寬比(3.2 和 6)。
2. 分別以大風速(4.8m/s)和小風速(2.8m/s)二種環境風速進行實驗。測量峽谷內上、中、下，以及峽谷前、中、後共 9 個測量點的風速。

(二) 實驗結果(圖 82)：

1. 當風進入峽谷時，風速會大幅上升，離開峽谷後，風速略為下降，但仍大於進入峽谷前的風速。峽谷愈窄，風進入峽谷時的風速上升的幅度也愈大。
2. 當峽谷寬度太窄時，峽谷前方測得的風速會小於環境風場的風速。且峽谷內和峽谷後方測得的風速會比較寬的峽谷小。
3. 峽谷的寬度對峽谷前方的風速影響較明顯，峽谷愈寬，風速愈大。峽谷內部及峽谷後方的風速差異不大。

圖 82：峽谷寬度對峽谷效應的影響



三、峽谷內地形的影響

根據前述實驗結果，將峽谷寬度設定為 11.2 公分，峽谷高度設定為 36 塊積木高度，探討峽谷內地形對峽谷後方風速的影響。以積木疊置三種不同坡度的小山丘，分別稱為緩坡、中坡和陡坡(圖 83)。將小山丘放在峽谷中央，測量斜坡後方 5 公分處峽谷地面的風速，並增加一個沒有放置小山丘的實驗，作為對照組。

實驗結果如圖 84，可以得知峽谷內的小山丘愈高、坡度越陡峭，空氣吹到背風側時，風速減弱愈明顯，風速愈小。

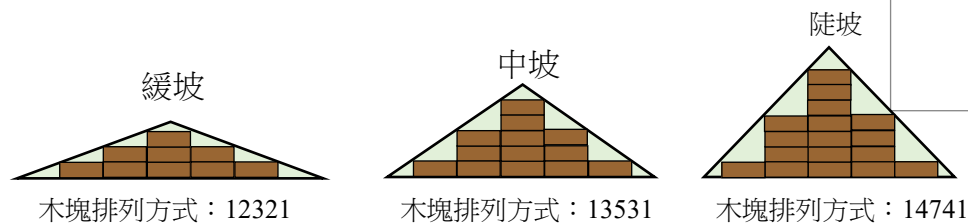
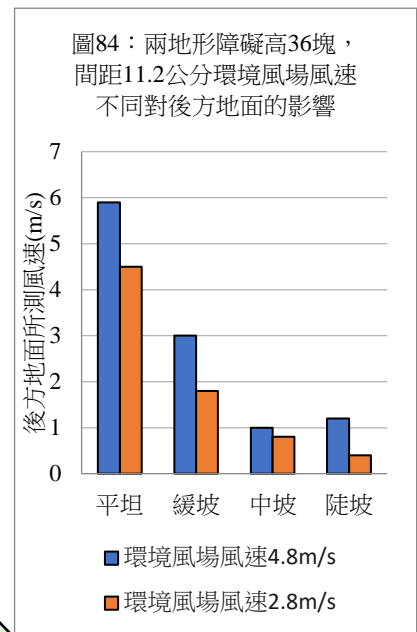


圖 83：峽谷內小山坡模型示意圖



四、小結：

- (一) 風速大的情況下，空氣流經峽谷時，風速增加的情況較為明顯。
- (二) 高／寬太大時(深峽谷)，空氣可能會被阻擋在峽谷之外，使得峽谷前方的風速降低
- (三) 峽谷效應不只在峽谷內發生，在空氣剛離開峽谷位置，也有較強的風速。
- (四) 峽谷效應發生時，峽谷中下位置的風速會較上方強。
- (五) 峽谷內的地形若不是平坦的，則峽谷後方的風速會受到峽谷內地形陡峭程度的影響。峽谷內的山勢愈陡峭，背風側的風速也會愈小。

柒、 討論

一、實驗結果與新竹九降風、恆春落山風的差異來源探討

在峽谷效應的實驗中，我們想到台灣有些地區有特殊的強風，例如新竹的九降風和恆春半島的落山風。那這些特殊的風是否也是當地的特殊地形造成的？跟峽谷效應有關嗎？

(一) 新竹九降風

「九降風」是台灣新竹地區冬季特有的強勁季風，每年農曆九月開始，受到東北季風及地形影響，風勢特別強勁。新竹外海的台灣海峽，寬度僅約 170 公里，是臺灣海峽的最窄的地方，形成一個地理瓶頸。東北季風通過此瓶頸，會因峽谷效應而使風速增強。而東北季風進入新竹平原後，又因為新竹三面環山，形成所謂畚箕嘴地形，風進去後不容易出來，風勢猛烈橫掃新竹平原。加上從桃園台地吹來的東北季風，受台地擡升後，形成下坡風，也增強了新竹地區的風勢。因此新竹的九降風主要是東北季風受峽谷效應和下坡風的共同影響。

(二) 恆春半島落山風

落山風是臺灣恆春半島特有的強烈東北向季節性下降風。主要成因是冷高壓系統帶來的強烈東北季風，經過中央山脈後在恆春半島形成下沉增強的乾燥強風。中央山脈在台灣的中北部高度都在 3000 公尺以上，直至高雄、屏東才漸漸降至 1500 公尺，到了台東的大武以南，更降至 400 公尺。當東北季風帶來的冷空氣到達台灣東部時，厚度約只有 1500 公尺的東北季風，無法翻越中央山脈，只能沿著山脈東側南下。到了大武以南，才能翻山越嶺，形成強勁的下坡風。強風從東方山上直衝而下，吹向西方海上，故稱之為「落山風」。



圖 85：九降風示意圖(研究者自行繪製)



圖 86：落山風示意圖(研究者自行繪製)

(三) 實驗結果的差異來源探討

從文獻中了解了九降風和落山風形成原因後，我們出現了一個疑問：文獻中提到九降風和落山風的形成原因都有「空氣翻越山脈時，會形成強勁的下坡風」，然而，在我們的研究七「峽谷內地形的影響」，卻發現峽谷內的小山的存在反而會減少背風側的風速。這樣不一致的結果，讓我們想進一步探討這類型的下坡風。

查閱文獻後，才得知恆春落山風的形成原因之一，是因為翻越山坡的東北季風溫度較低，而位在背風側的恆春相對高溫。冷空氣過山後，受到重力影響，會沿著山坡下沉造成的，此時山坡會像溜滑梯一樣，引導冷空氣往下流動，使風勢集中，速度變快。因此我們設計了一個模擬實驗，試著來觀察這樣的現象。

1. 以模擬實驗探討迎風側與背風側溫度差異對風速的影響：

(1) 實驗設計：

- 以冰塊降低迎風側的溫度，並以吹風機加熱背風側的溫度，模擬冷空氣翻越山坡後，因背風側較溫暖而快速下沉的狀態(圖 87)。
- 啟動風扇後，測量背風側 6 個不同位置的風速。
- 將實驗結果與相同裝置，但不改變迎風側與背風側溫度的氣流風速進行比較。

(2) 實驗結果：

- 上方 3 個測量位置的風速差異大，最大的風速出現在上方遠處的測量點。
- 迎風側與背風側溫度差異較大的實驗組，在上方 3 個測量位置的風速都稍大於無溫差的對照組。在下方 3 個測量位置的風速都稍小於無溫差的對照組。但這樣的差異並不明顯。
- 相同的狀況，我們分別進行了 3 次實驗，每一次實驗的數據差異頗大，因此不適合推論到實際狀況。

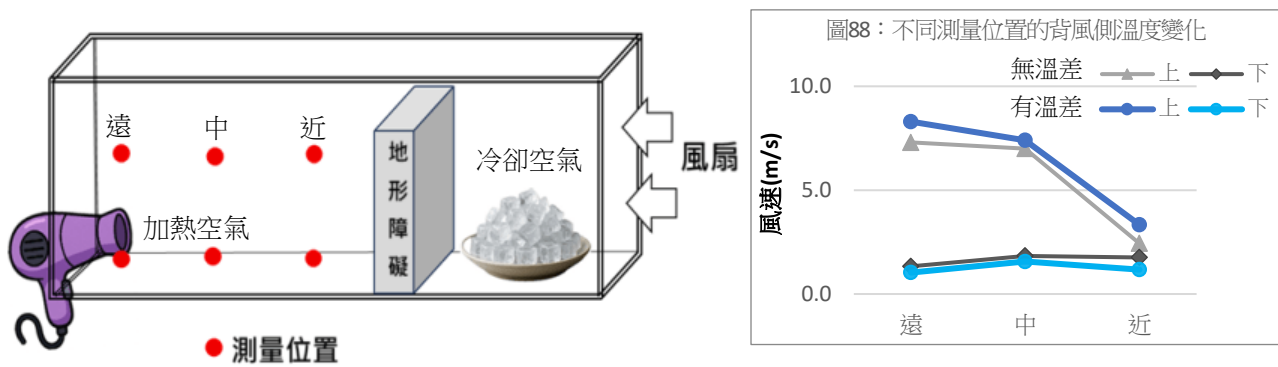


圖 87：實驗裝置－迎風側與背風側溫度差異對風速的影響
(本圖由研究者自行繪製)

2. 從流體力學的理論探討下坡風在研究七「峽谷內地形的影響」的實驗中未發生的原因→風速太大，導致類似的下坡風在實驗模擬中並未發生：

(1) 無因次山高(Nondimensional mountain height)，是為表示慣性力與重力間關係的無因次參數(Froude number)的倒數，可表示為：

$$\hat{h} = \frac{N \cdot h}{U} \frac{(\text{重力})}{(\text{慣性力})}$$

其中： $N = \frac{g}{\theta} \frac{\partial \theta}{\partial z}$ ，為大氣靜力穩定度，本實驗假設為定值 0.012 1/s^2 ， h 為山體高度， U 為徑向風速。根據 Nondimensional mountain height 相關的理論，若 $\hat{h} \ll 1$ ，即 $\hat{h} < O(10^{-1})$ ，氣流可以過山；若 $\hat{h} \gg 1$ ，即 $\hat{h} > O(10^1)$ ，則氣流無法過山，並產生平行山體的速度分量，形成繞山的運動。

在研究七「峽谷內地形的影響」實驗中，高 0.7cm 的積木疊了四層， $h = 2.8 \text{ cm}$ ， $U = 4.7, 4, 3.7, 3.1, 2.4 \text{ m/s}$ ，經計算後 \hat{h} 結果如下表：

表 7：徑向風速(環境風場風速)換算無因次山高(Nondimensional mountain height)			
$N \text{ (1/s}^2\text{)}$	$h \text{ (cm)}$	$U \text{ (cm/s)}$	\hat{h}
0.012	2.8	470	7.14×10^{-5}
0.012	2.8	400	8.40×10^{-5}
0.012	2.8	370	9.08×10^{-5}
0.012	2.8	310	1.08×10^{-4}
0.012	2.8	240	1.40×10^{-4}

由表可知， \hat{h} 的算值皆遠小於 1，可以推斷氣流會有過山的運動，也能從實驗中(圖 77)看到在下 1 與下 2 皆有風速的測值。

然而觀察到 \hat{h} 的算值極小，表示 Froude number 極大，即在此系統中慣性力作用遠大於重力的作用，也代表著慣性力作用的時間尺度遠小於重力作用的時間尺度，白話地來說就是因為風速太快了，導致風吹過這個山體時來不及感受重力使他有向下的運動就快速的通過山體，很可能是研究七的實驗中下 3 和下 4 的位置測不到風速的原因。

二、研究結果的應用

根據本研究的研究結果，我們發現空氣流動時會受到地形很大的影響，在建築物的興建規劃時，可以配合長時間的氣象資料，考慮避風設計與通風流動。

- (一) **避風設計與風害預防**：高風速區域（例如角隅加速區、峽谷效應明顯區）應避免設置臨時構造物、帳篷或廣告牌。
- (二) **風影區的應用**：較不耐風的植物和戶外建築設計可以置放於風影區內，以避免強風傷害。
- (三) **建築物配置與通風設計**：在設計社區、學校或大型建物時，考慮風的流動。例如可以將活動場地、教室設計於迎風坡或高處，增加通風與散熱效率。也可以避免在背風側山腳設置密閉空間，容易產生悶熱與空氣滯留問題。利用迎風面開口、背風區不要擺設太多障礙物，保留空間，可以讓氣流流動更順暢。可提升自然通風效率與舒適度，如此善用自然風以降低冷氣使用，達到節能與減碳目標。
- (四) **應用於風力發電**：根據地形影響風速的分析，可用於評估風力發電的電場選址，提高風機效率。在風速特別強的小範圍區域，也可以考慮興建小型風力發電機組，可以達到電力自給自足的功效。
- (五) 要注意的是：自然界的 terrain 複雜多元，風速的差異往往不是一種地形效應因素所造成，要應用本研究結果時，需多方面考量各種影響因子。

捌、結論

我們的實驗從觀察到蘭嶼特殊的風速情況開始，透過模擬各種地形，並設計了許多實驗，試圖找到地形與風速變化之間的關係。依據我們的研究問題，本報告的研究結論如下：

一、不同風向下的蘭嶼各位置的風速差異很大

- (一) 蘭嶼雖然範圍不大，南北長僅 8 公里，但最高處的紅頭山頂有海拔 525 公尺，是一個高低落差很劇烈的島嶼。在不同風向的作用下，各位置的風速差異很大。
- (二) 風向、地勢高低、海岸地形、與丘陵的距離以及峽谷效應都可能是造成蘭嶼各位置風速差異很大的原因。

二、不同長、寬、高比例的地形障礙對周遭風向和風速的影響並不相同

- (一) 只要環境風場風速增加，地形障礙周遭各個位置的風速也必然增加。
- (二) 地形障礙會造成空氣繞流，因此在地形上方及側邊的風速會增強。地形障礙後方會形成回流區以及風速較弱的風影區。
- (三) 較長的地形障礙，會使得上方和側邊的風速增加的幅度減少；較高的地形障礙，會造成上方和側邊的風速更加增強；較寬的地形障礙，會造成側邊的風速增強，且在後方形成距離更長的回流區。

三、海岸地形的角度會造成風速的差異

- (一) 當海岸迎風側的地形是尖銳突出的岬角時，風速會較強；反之，迎風側若是平直的海岸，風速則會較弱。此與波浪作用在海岸線地形時的效果相同。
- (二) 即使位在背風側，風速仍會受到海岸地形影響。特定的地形角度會有較大的風速。

四、地形的遮蔽效應與地形障礙的外型有關

- (一) 更高和更寬的地形，會有更寬廣的風影區，對風的屏蔽效果愈好。
- (二) 較寬的地形障礙後方，會明顯出現寬廣的回流區與風影區。

五、風在上坡時，其風速會逐漸上升；下坡時，風速會快速下降，並在山腳下降至極小。

(一) 空氣在上坡過程受到擠壓，所以風速會變快，但在下坡時，空氣發散，所以風速就降低了。

(二) 在背風側山腳的風速會幾乎降為 0，隨後再緩慢上升回到原來的環境風場風速。

六、當風進入峽谷時，風速會大幅上升，離開峽谷後，風速略為下降，但仍大於進入峽谷前的風速。

(一) 高／寬比太大時(深峽谷)，空氣可能會被阻擋在峽谷之外，使得峽谷前方的風速降低，峽谷效應也會不明顯。

(二) 峽谷內的地形若不是平坦的，則峽谷後方的風速會受到峽谷內地形陡峭程度的影響。峽谷內的山勢愈陡峭，背風側的風速也會愈小。

七、下坡風是風越過山頂後，受到重力作用加速下沉造成的。在模擬實驗中，因為風速太大，導致慣性作用大於重力作用，而無法發生。

玖、研究省思與展望

在我們決定了以風為研究主題後，老師就帶著我們去參觀位在台南的內政部建築研究所風雨風洞實驗室，學習有關風洞實驗室以及風的知識。我們進入了比人還要高的風洞內部，也聆聽研究員介紹如何縮小模型，進行研究。這一次參訪讓我們修正了一些實驗的細節，也決定加入熱線風速計幫助我們獲取更精確的實驗數據。

在進行實驗的過程中，即使我們已經盡量減少誤差，仍有改進空間。例如，若能擴大風洞尺寸，便能放入更大的地形模型，更精確地觀察風速與風向的變化。此外，熱線儀的測量角度也是一大挑戰。我們在風洞上打孔以便測量，但為避免影響風洞準確度，孔不能太大，導致測量範圍受限。未來若能改進熱線儀的安裝方式，將有助於降低誤差並提高數據準確性。

這次研究讓我們累積了寶貴經驗，從資料查找、擬定實驗、執行測試到報告撰寫，每個步驟都充滿挑戰，也讓我們學到如何解決問題。我們發現，有些誤差可透過仔細操作實驗器材來減少，但尺度分析以及許多更深的流體力學原理，可能需要我們擁有更好的數學、物理能力才能加以解釋，這也是我們未來努力的方向。

壹拾、重要參考文獻

《手繪圖解·天氣動態全知道 生活萬用氣象學》：台東焚風、恆春落山風、新竹九降風。取自關鍵評論 <https://reurl.cc/A6QnOY>

王苡蕎、連啓斌、蘇涌鑫、汪宸甫、陳昱翔、許博閔(2020)。風水與科學~探討天斬煞與氣流的關係。中華民國第 60 屆中小學科學展覽會國小組物理科。

王德名、陳品諺(2019)。轉角「呼」見風—探討大樓樓型與風的關係。中華民國第 59 屆中小學科學展覽會國中組地球科學科。

莊敏暄、蔡沛妤(2024)。風回霧轉。高雄市第 64 屆中小學科學展覽會國中組地球科學科。

鄧仁星、陳建蒲、曾俊傑、王文清、祝世全(2020)。蘭嶼機場風場研究。飛航天氣第三十四期。

取自 <http://www.aeromet.org.tw/chinese/aeromet/aw034/aw034-2.pdf>。

朱佳仁(2006)。風工程概論。科技圖書。

本研究報告所有圖形、表格均為研究者自行拍攝、繪製。

【評語】 030504

本研究主題以蘭嶼為啟發，與鄉土研究相關，探討不同地形如何影響風速。研究主題清楚，研究方法適切。海報報告呈現生動，所使用之教具清楚讓評審瞭解研究結果。研究團隊回答問題適切，也能說明該模型之限制與未來可能繼續之研究議題，是個值得稱許的研究工作。

作品海報

「風」形萬變：

探討地形效應對風速變化的影響

摘要

本研究從夏季蘭嶼各地地風速差異很大，推測風向和地形是影響風速差異的重要因素，進而探討不同類型地形障礙對風速變化的影響。研究方法包括製作蘭嶼地形模型及不同尺寸的地形障礙模型，利用風洞、風袋和熱線式風速計測量不同情況下的風速和風向。實驗設計考慮尺度問題，確保風洞流場符合大氣動力特徵。研究結果顯示，地形對風速影響複雜且多元，在自然界中，由於各種地形因素交互影響，形成複雜的風場環境。

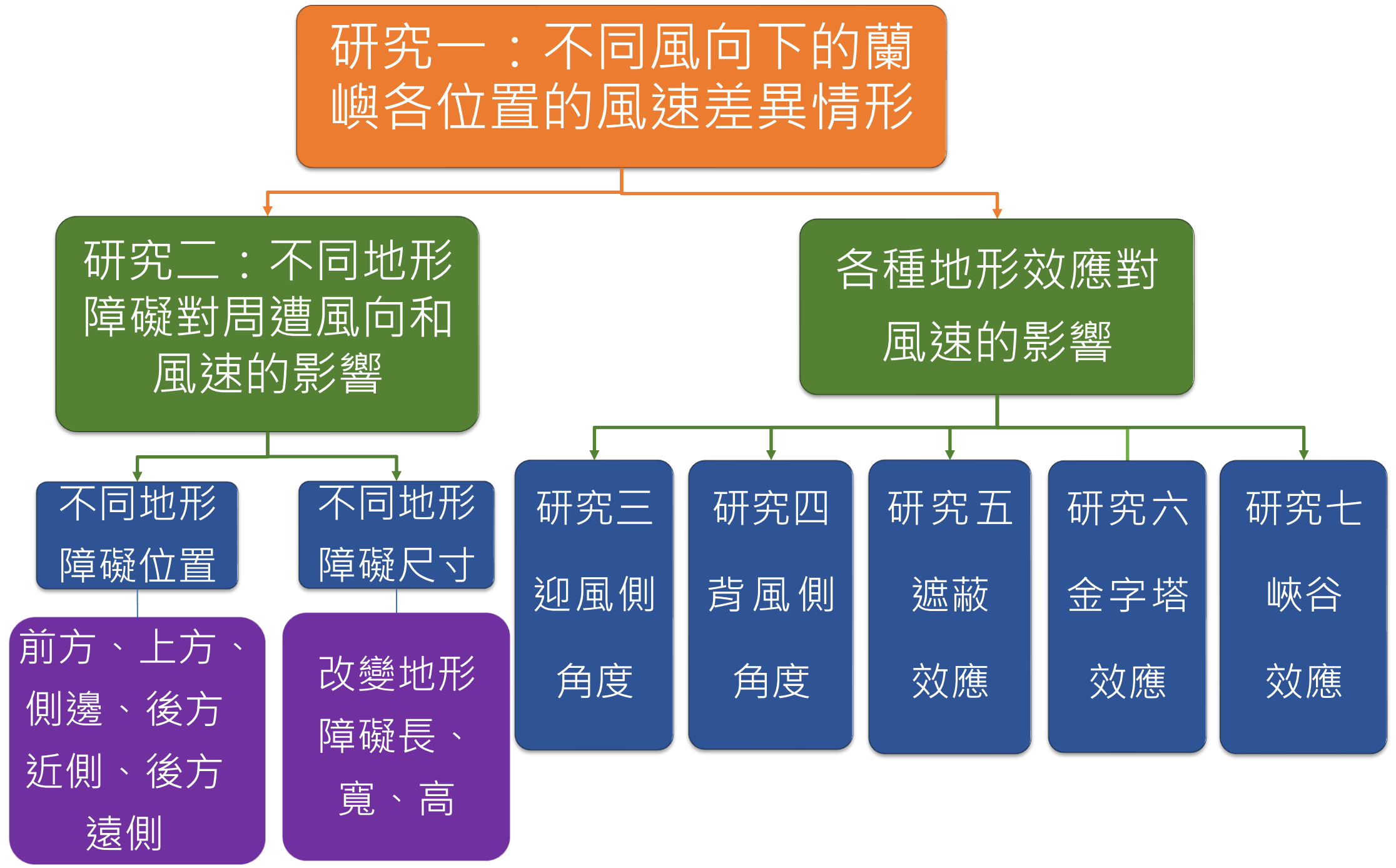
壹、研究動機

我們從一年級獨立研究中，發現落葉受風吹動後，會受到不同類型建築物的影響，而聚集在某些特定的區域。二年級選擇科展題目時，我們決定繼續研究風與地形相關的主題。但是影響落葉堆積的變因實在太多了，包括了乾燥程度、大小、外型，經過幾次討論後，我們將焦點放在風與地形障礙的關係。老師提到他去蘭嶼旅行時發現，同一天蘭嶼每一個地點的風速差異很大，尤其在蘭嶼西北角海岸(紅頭岩附近)以及半山腰上的蘭嶼燈塔的風超級無敵大。我們詢問老師是什麼因素造成了這種情況的差異？老師說影響風速的原因很多，風向和地形都是重要的因素，鼓勵我們進一步探討。因此，我們決定從製作蘭嶼的地形模型開始，逐步了解不同的地形障礙對風速的影響，希望能完整的了解地形與風速之間的關係。

貳、研究問題

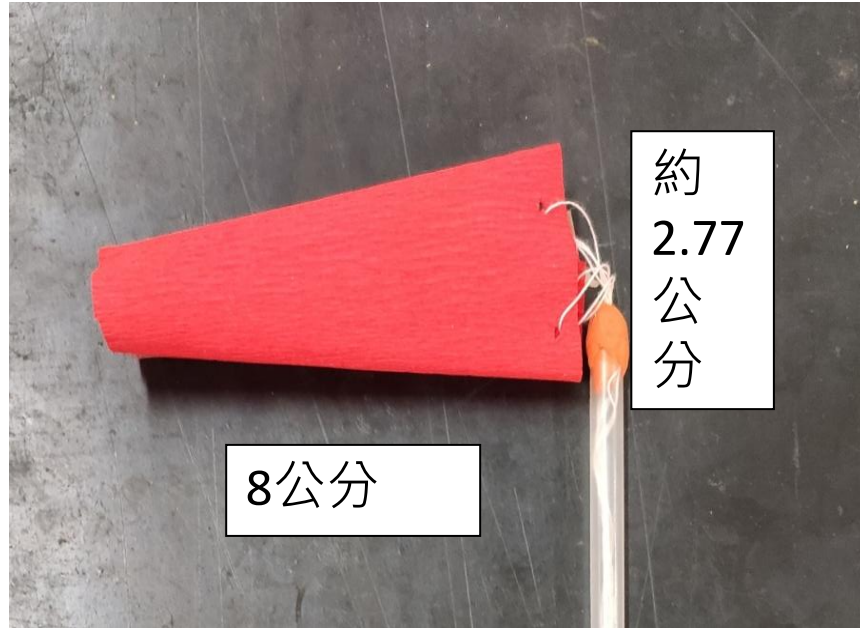
- 一、不同風向下的蘭嶼各位置的風速差異情形為何？
- 二、不同地形障礙對周遭風向和風速的影響情形為何？
- 三、改變地形障礙大小和形狀對各種地形效應的影響為何？

參、研究架構



肆、研究器材

一、風速測量



風袋風速計



風扇風速計

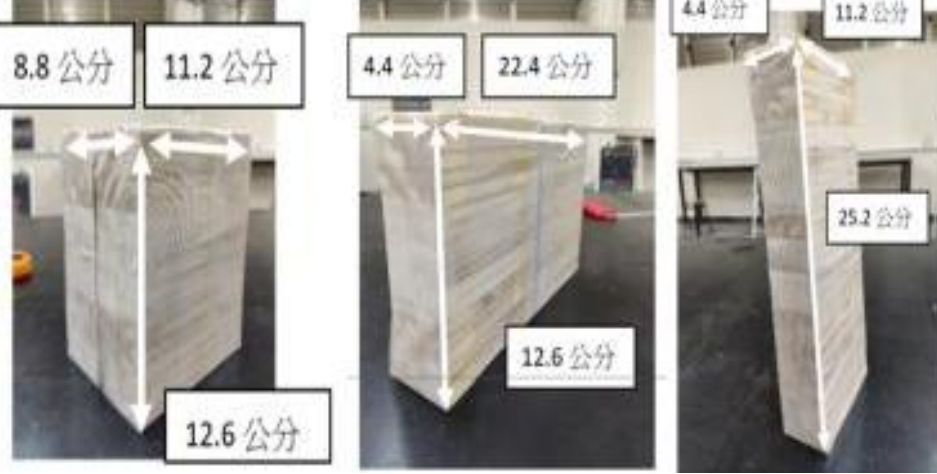


熱線式風速計

二、模型製作

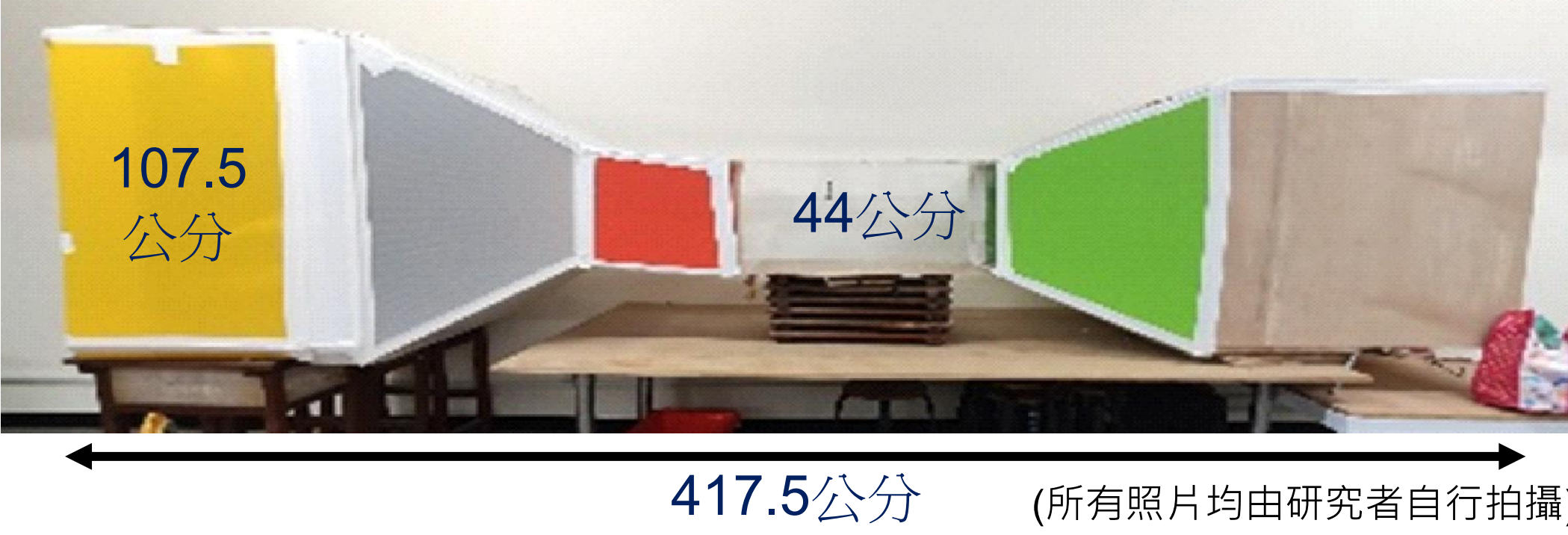


蘭嶼地形模型



積木模型

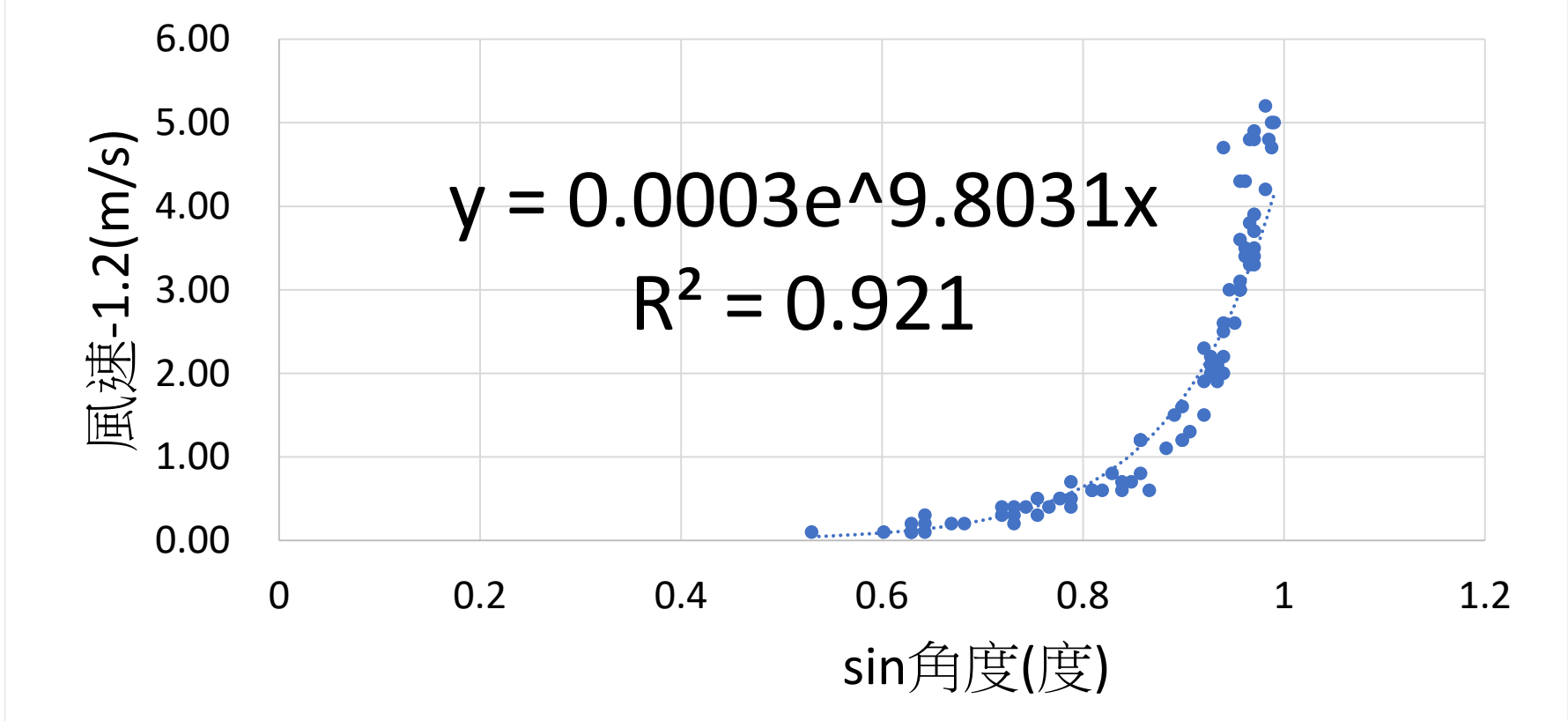
三、風洞裝置



伍、研究方法

一、測量風袋被風吹起的角度與風速的關係

- (一)風袋原料：皺紋紙、膠帶、吸管、棉線。
- (二)風袋尺寸與形狀：底8.7公分、高8公分的梯形，捲成喇叭狀。
- (三)將風袋被吹起的角度轉換成sin值，在風速小於1.2m/s時風袋無法被吹起，因此以風速-1.2m/s作為y軸。



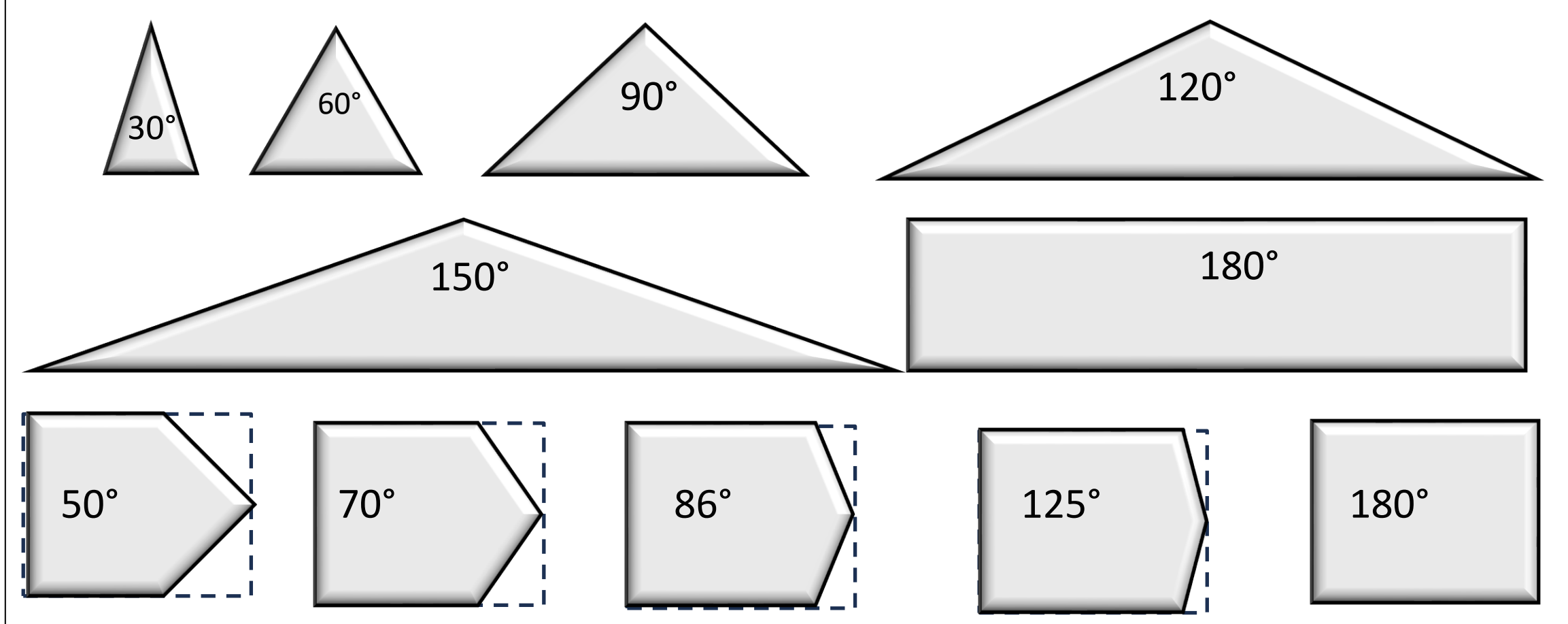
二、蘭嶼地形模型的製作與測試

(圖片由研究者自行繪製)

- (一)利用習作附件，製作蘭嶼的等比例縮小模型。
- (二)發現是否將蘭嶼墊高，對風速的影響不大。

三、不同地形障礙的製作

- (一)利用堆疊積木來模擬不同樣式的地形障礙。
- (二)用切割保麗龍的方式來模擬不同角度的模型。



(所有圖片均由研究者自行繪製)

四、尺度問題

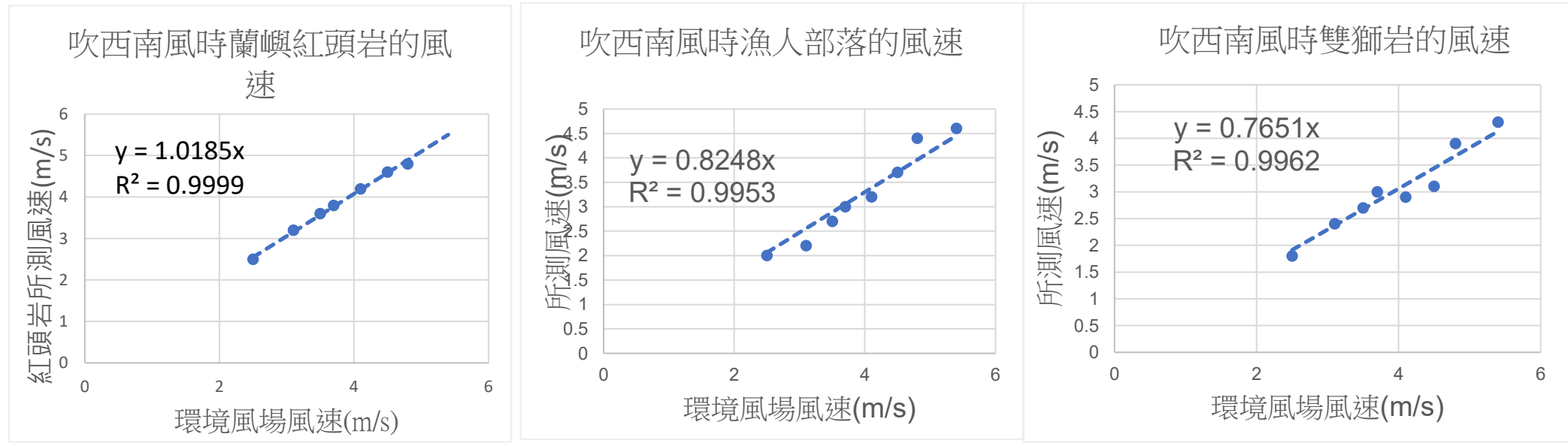
- (一)等比例放大積木和蘭嶼模型，但因無一致趨勢，且即使使用外插法，所需風速極大或極小，因此改由流體力學來討論。
- (二)利用雷諾數的估計，計算出模擬風速應達1.5m/s以上，才能與大氣流場有相同的動力特徵。

陸、研究結果

研究一：不同風向下的蘭嶼各位置的風速差異情形

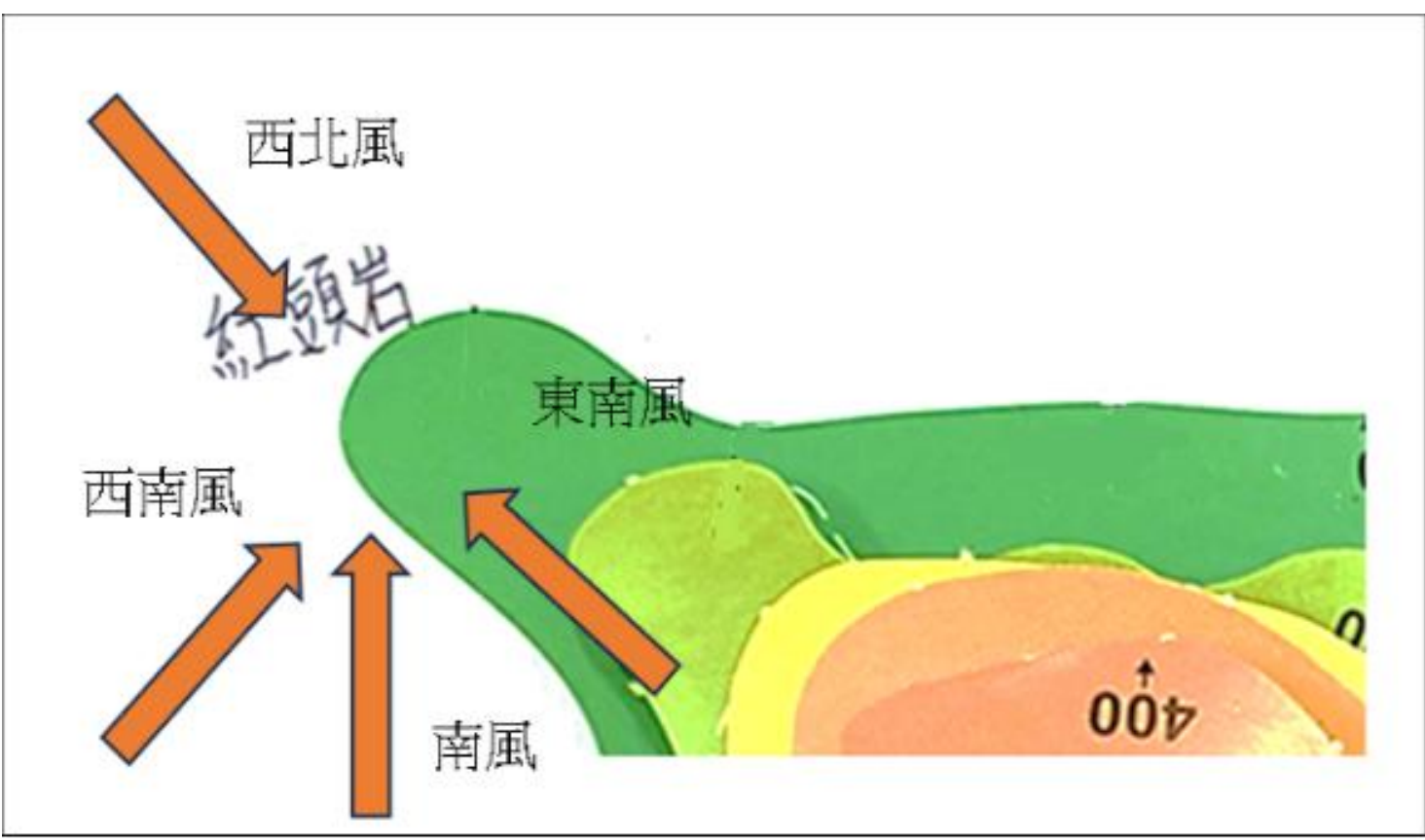
一、夏季蘭嶼不同位置的風速差異

- (一)吹西南風時，紅頭岩的風速比環境風場大。
- (二)吹西南風時，漁人部落的風速大於雙獅岩的風速，但都小於環境風場風速。



推測→1.背風側風速會減弱
2.迎風側地形會影響風速

二、不同環境風場下紅頭岩的風速差異

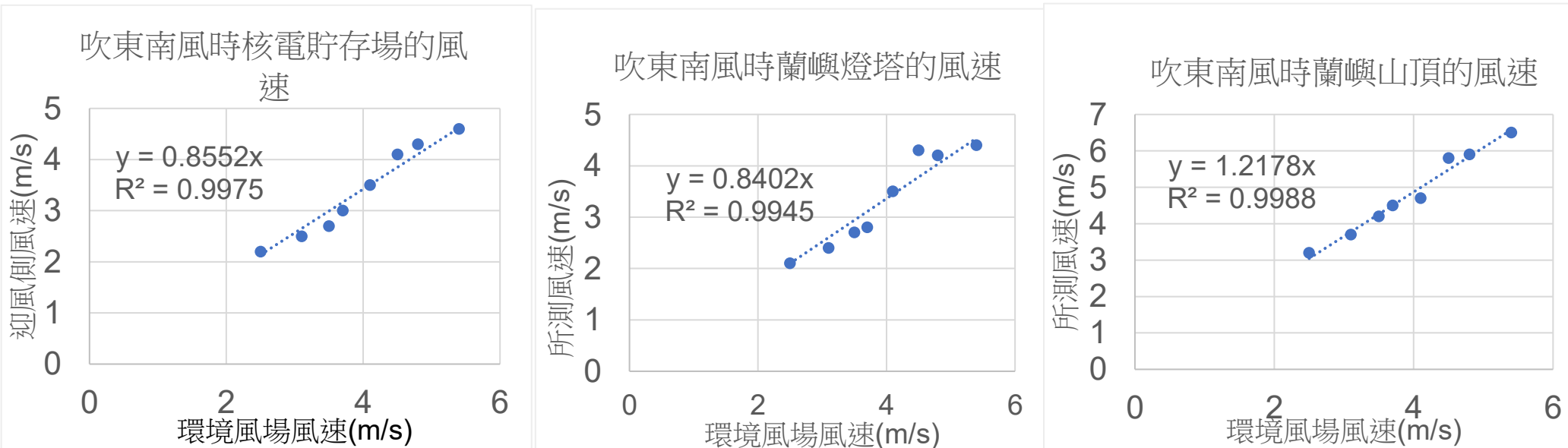


(本研究所有圖片由研究者自行拍攝繪製)

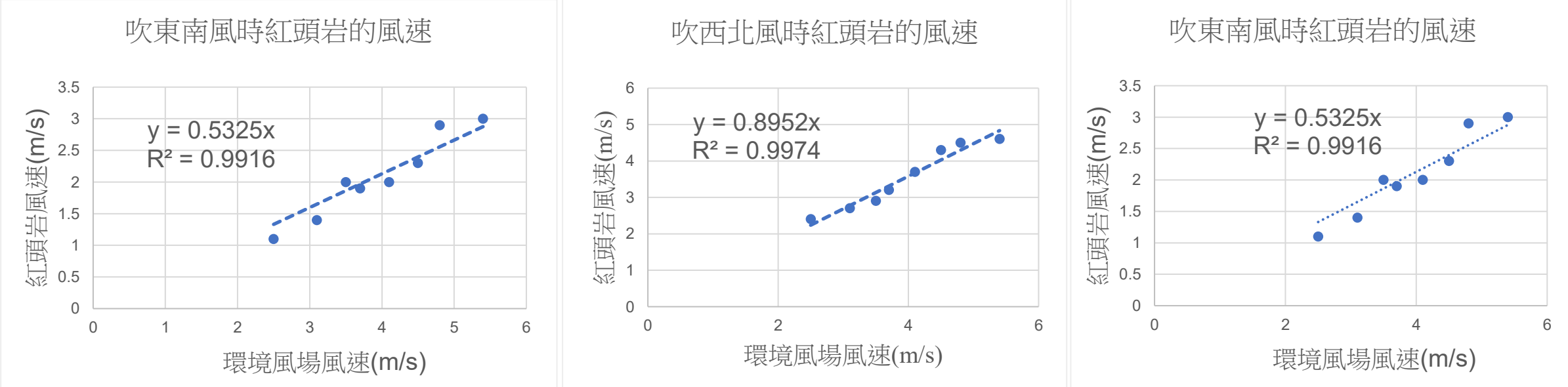
三、不同地勢高低對蘭嶼各位置風速的影響

- (一)吹東南風時，空氣過山時的風速，會呈現先升後降的趨勢。

後續實驗→針對空氣上下坡的風速變化進一步探討。

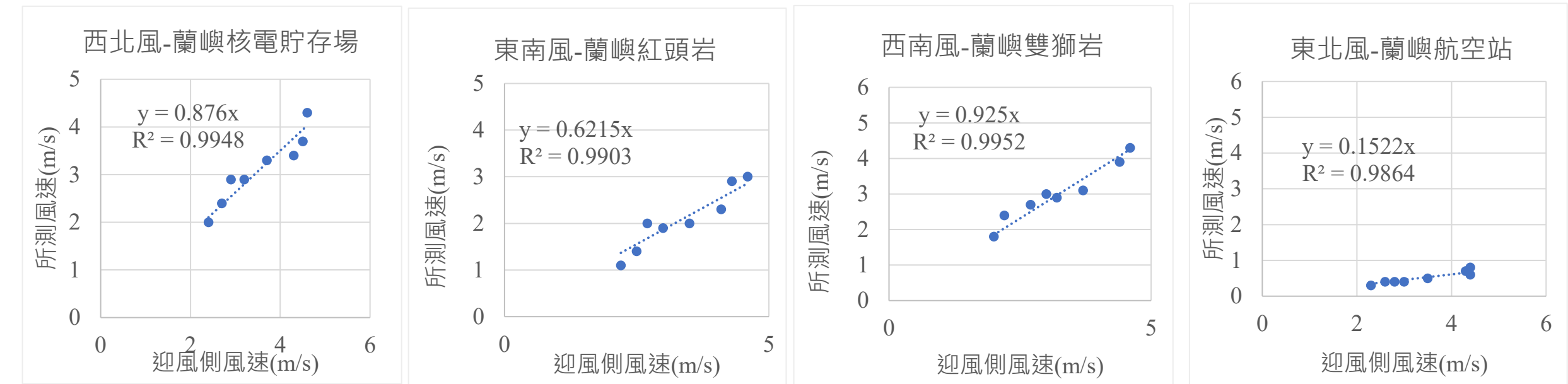


- (一)南風、西北風，紅頭岩位迎風側風速小於環境風場風速。
 - (二)西南風，紅頭岩風速大於環境風場風速。
 - (三)東南風，紅頭岩風速幾乎變成環境風場風速的一半。
- 推測→1.背風側對風速減弱的影響很明顯。
2.風速增加的原因之一可能是因為風被迫繞道通過紅頭岩。



四、影響背風側風速的差異的原因

- (一)吹西北風時，背風側核電貯存場的風速 > 吹東南風時，背風側紅頭岩。
- (二)吹西南風時，背風側的雙獅岩風速 > 吹東北風時，背風側蘭嶼航空站。

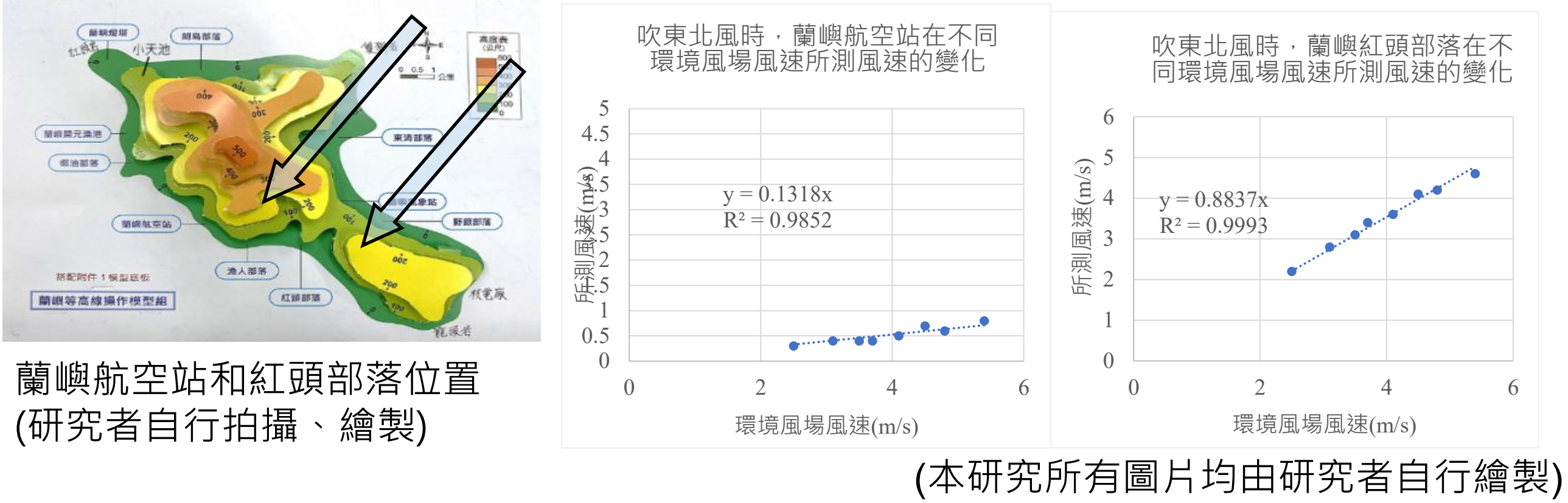


後續實驗→分成背風側地形角度和地形障礙造成的風影區模擬實驗來討論。

五、峽谷效應對風速的影響

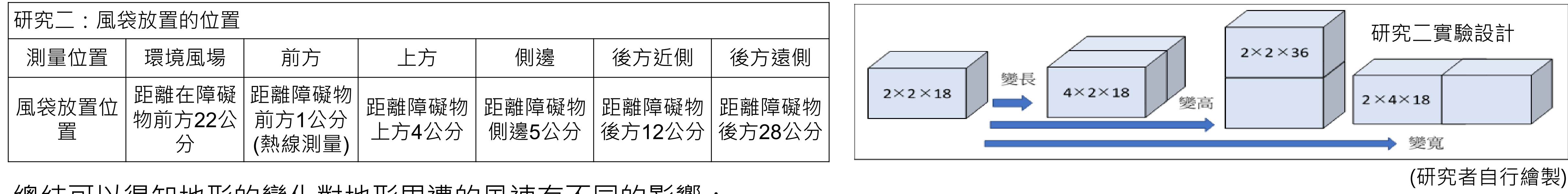
以蘭嶼模型模擬各種風向，發現吹東北風時，蘭嶼航空站與紅頭部落的風速有顯著差異。根據地形圖，推測除了氣流必須翻越500公尺的山丘才能到航空站外，東北風要吹到紅頭部落前，必須經過兩個山丘中間的丘陵，也是導致風速差異大的原因。因此我們設計了實驗來模擬此處地形，討論峽谷效應對風速的影響。

後續實驗→探討各種變因對風向、風速的影響。

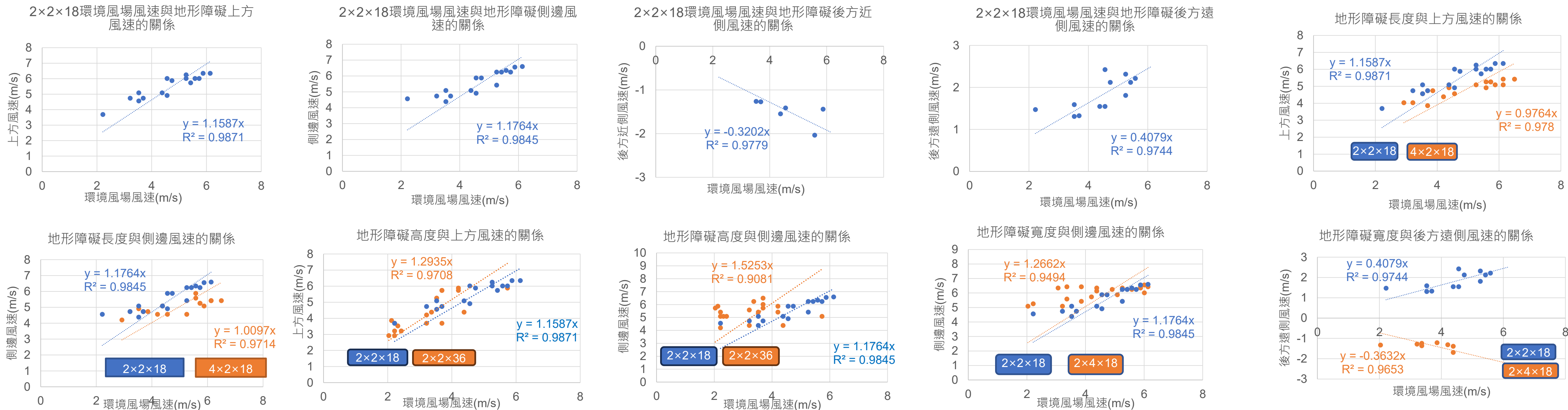


研究二：不同長、寬、高比例的地形障礙對周遭風向和風速的影響

我們在研究一中發現風吹過地形障礙時，迎、背風側及山頂的風速都會發生變化。據此，我們想探討不同地形障礙周遭風速的差異。



- 總結可以得知地形的變化對地形周遭的風速有不同的影響：
- 一、地形障礙會造成地形上方及側邊的風速增強，且在地形障礙後方形成回流區以及風速較弱的區域。
 - 二、較長的地形障礙，會使得上方和側邊的風速增加的幅度減少。
 - 三、較高的地形障礙，會造成上方和側邊的風速更加增強。
 - 四、較寬的地形障礙，會造成側邊的風速增強，且在後方形成距離更長的回流區。



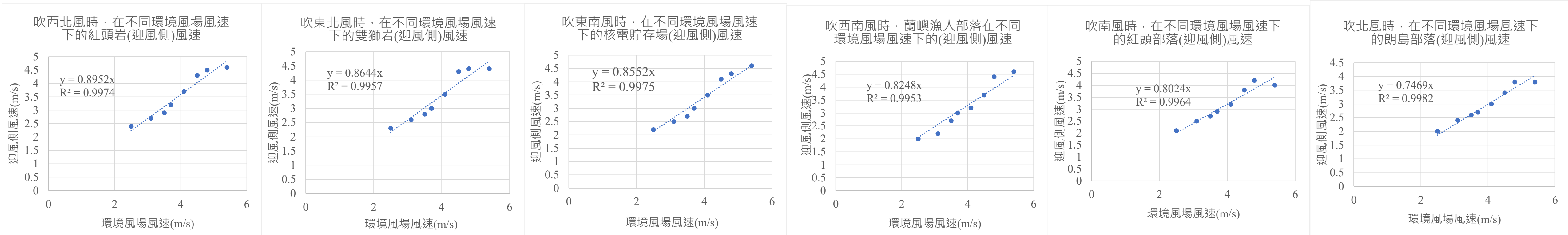
研究三：地形對迎風側風速的影響

研究一發現，蘭嶼在不同環境風場下，不同位置的地形差異會對各地點風速產生的影響。因此我們設計了以下實驗：

一、使用保麗龍板和積木來模擬不同形狀的地形，並探討其對周遭風速的影響。

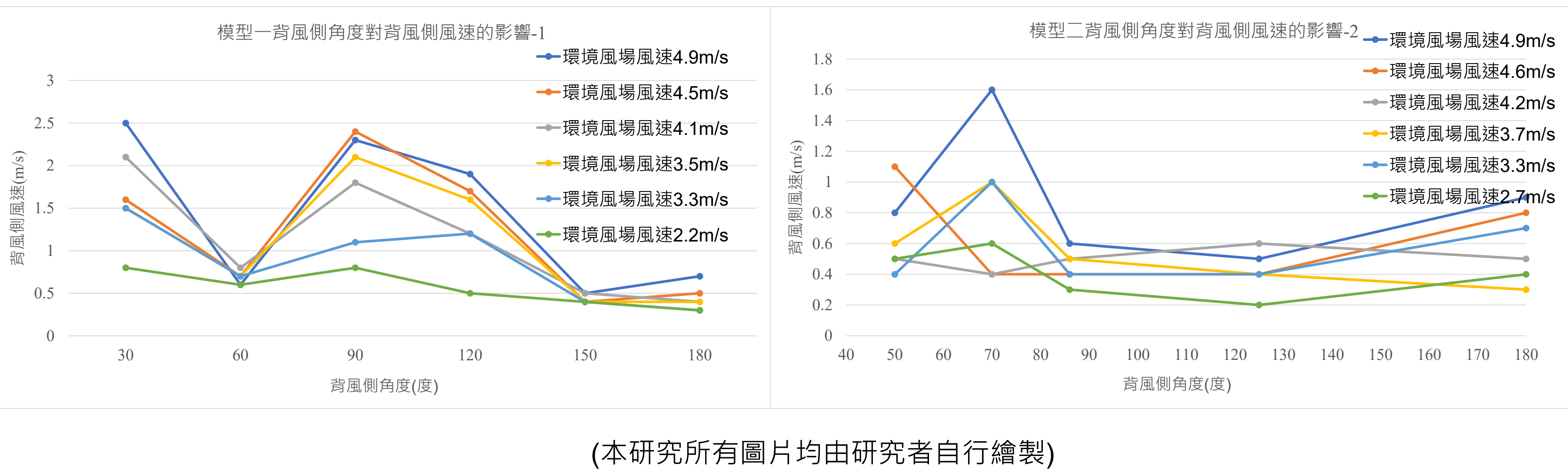
→無論環境風場風速及迎風側角度為何，迎風側的風速都會小於環境風場風速，且當迎風側角度越小時，迎風側風速會愈大。

- 二、利用蘭嶼模型來驗證此實驗結果：
- (一)迎風側的風速都會小於環境風場風速。
- (二)迎風側地形較突出的紅頭岩、雙獅岩等處，與環境風場的差異最小。
- (三)迎風側地形相對平坦的紅頭部落和朗島部落等處，風速與環境風場風速落差較大。
- 這樣的實驗結果與前述實驗的結果相同——迎風側的地形愈尖銳，風速就會愈大。



研究四：背風側地形角度對背風側風速的影響

我們使用不同形狀的模型一及模型二模擬背風側海岸地形的差異進行實驗，以討論造成背風側風速差異的原因。

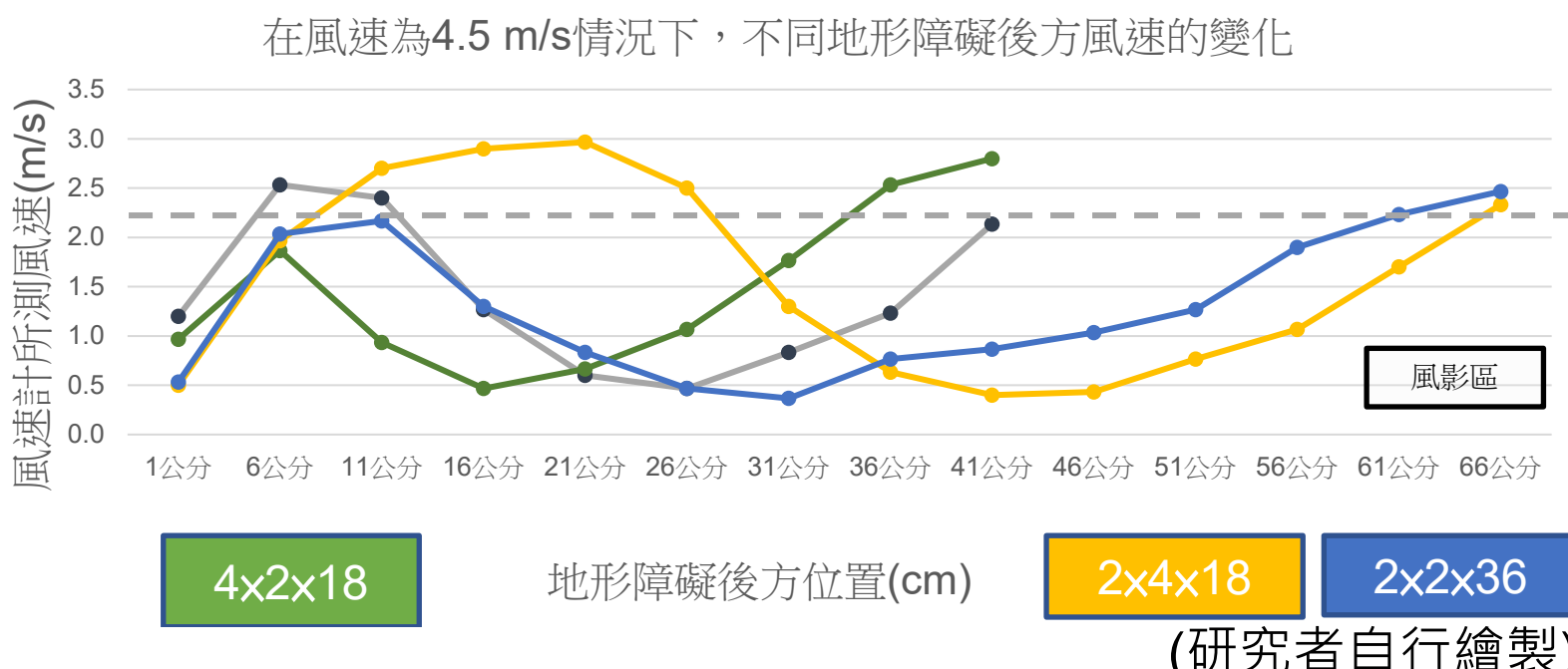


- 1.背風側地形的角度會影響風速，但不存在線性關係。
- 2.背風側角度相近時，風速仍有很大的差異。可見空氣在流動時會同時受到地形障礙外形各種因素的影響。
- 3.雙獅岩是凸出的岬角，蘭嶼航空站則在平直的海岸上，兩地在背風時的風速差異，可能來自於海岸形狀的不同。
- 4.建築物後方的外型設計，也會對風場造成影響。

研究五：地形的遮蔽效應和風影區的範圍

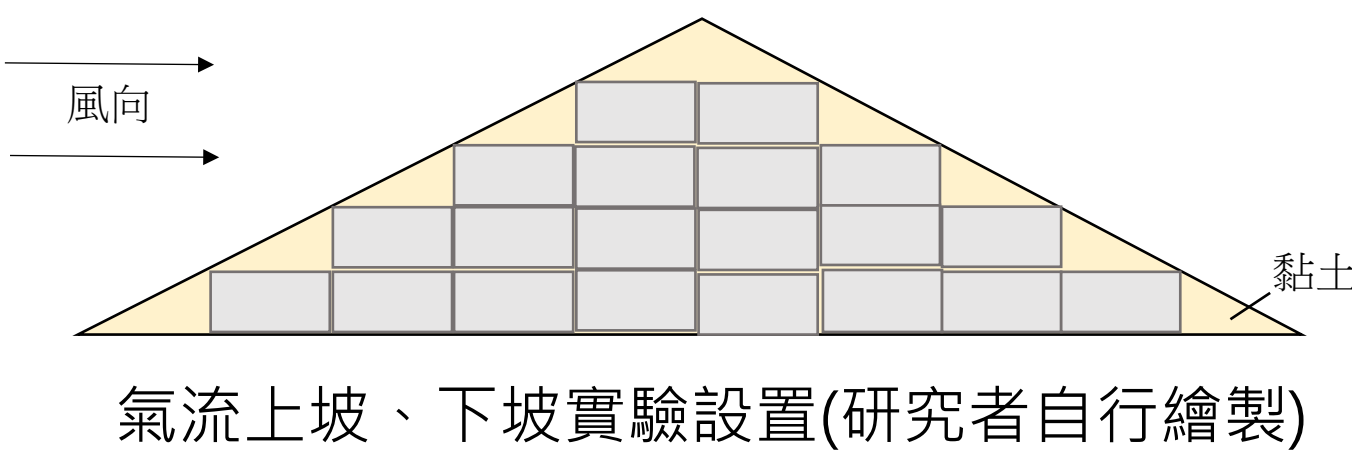
測量障礙物後方不同距離的風速大小，並改變地形障礙的長、寬、高，重複進行實驗。

- 1. 更高和更寬的地形障礙，會有更寬廣的風影區，對風的屏蔽效果愈好。
- 2. 較寬的地形障礙後方，會明顯出現風速先上升後下降的寬廣區域，對照研究二的結果，可以得知此區域就是地形障礙後方的回流區。



研究六：從金字塔效應探討氣流上坡、下坡的風速變化

- 1. 「金字塔效應」是指氣流在上坡時，風速會逐漸提高，形成強勁的上升氣流。因此，我們想探討空氣在上坡與下坡的過程，風速依序的變化情形。
實驗結果發現，氣流在上坡的過程，風速會逐步的增強，當空氣過了山頂，風速就會開始快速降低。不管初始風速為何，到了背風側山腳位置，風速幾乎都接近0。
- 2. 延伸研究五風影區的研究，測量斜坡後方的風速變化。
斜坡後方的風速會隨著距離增加而變大，且在距離斜坡底端26公分、距離山頂位置35公分處回復到接近原來的環境風場風速。

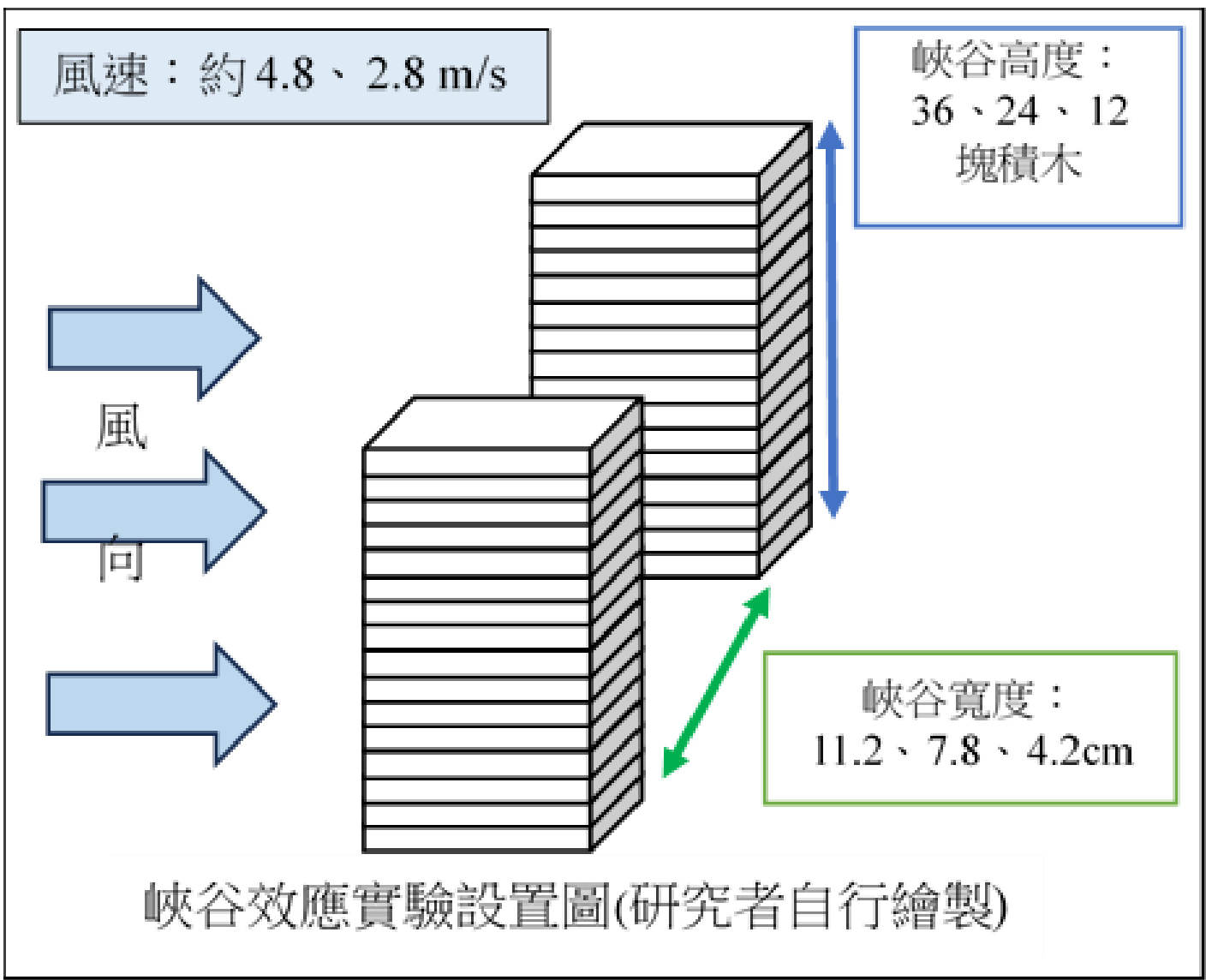


研究七：峽谷效應

在文獻探討的過程，我們發現過去研究皆支持峽谷長度愈長，峽谷內的風速也會隨之增加，因此我們決定不再討論這個變因。僅就峽谷高度、峽谷寬度進行討論。

探討峽谷高度、峽谷寬度以及峽谷內山坡角度的影響：

- 1. 峽谷較深時，空氣可能會被阻擋在峽谷之外，使得峽谷前方的風速降低。
- 2. 不只峽谷內的風速較大，在空氣剛離開峽谷位置，也會有較強的風速。
- 3. 峽谷內的山勢愈陡峭，背風側的風速也會愈小。



捌、討論

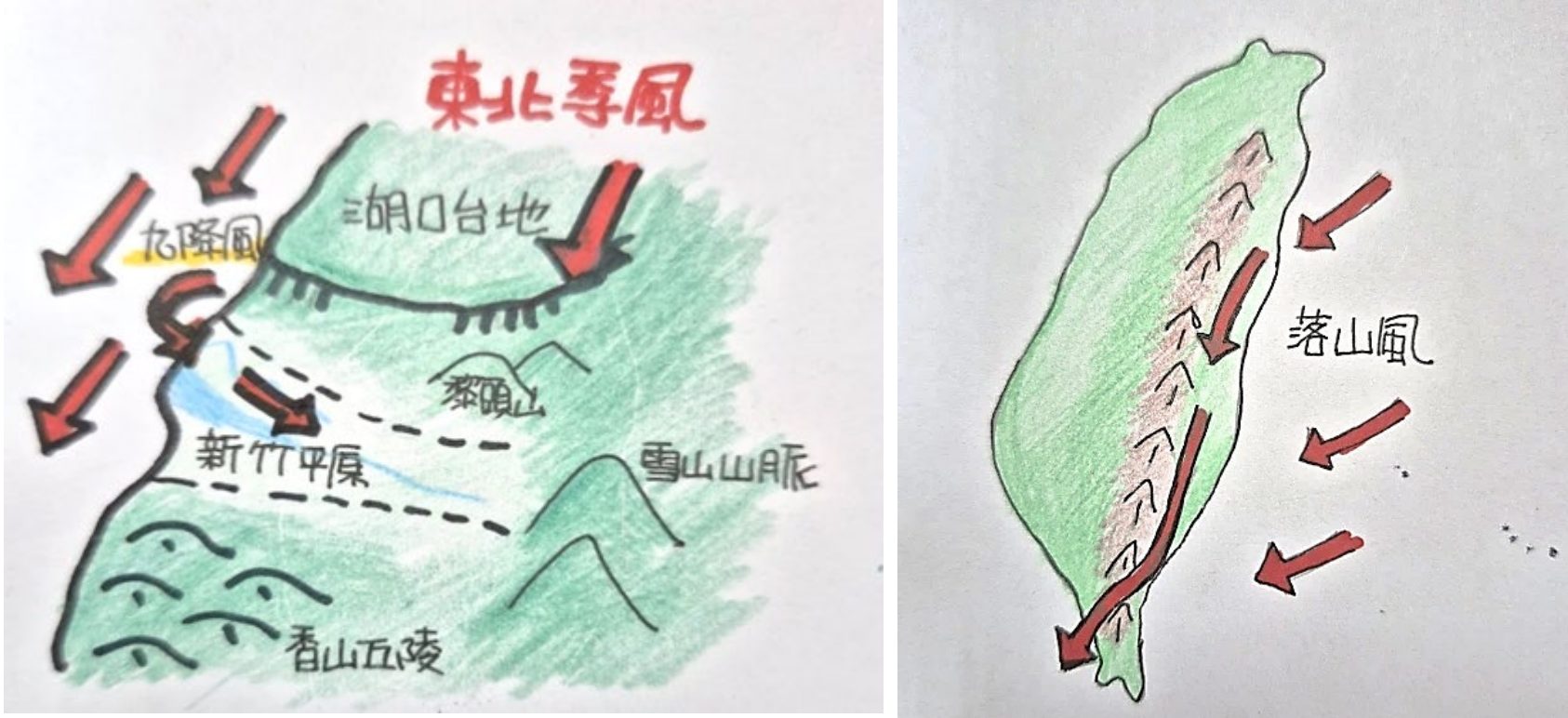
一、實驗結果與新竹九降風、恆春落山風的差異來源探討

(一) 新竹九降風

「九降風」是台灣新竹地區冬季特有的強勁季風。新竹的九降風主要是東北季風受峽谷效應和下坡風的共同影響。

(二) 恆春半島落山風

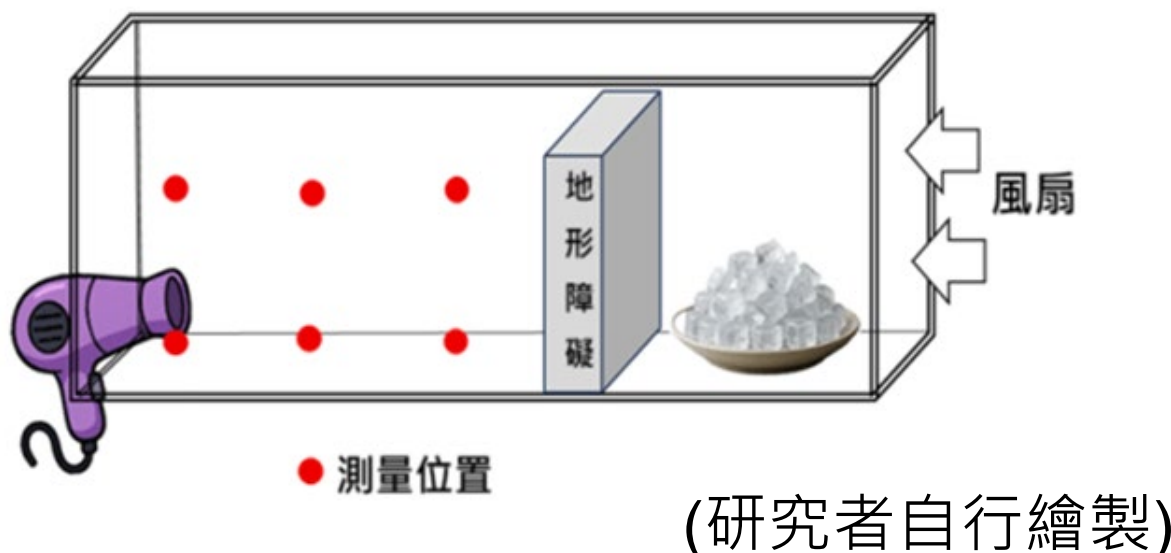
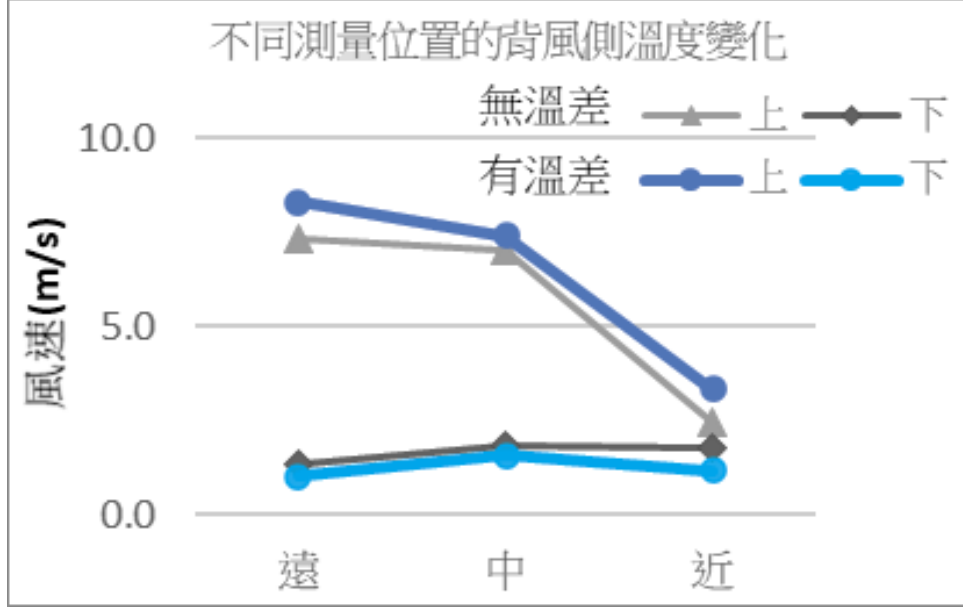
落山風是臺灣恆春半島特有的強烈東北向季節性下降風。當東北季風帶來的冷空氣到達台灣東部時，無法翻越中央山脈，沿著山脈東側南下。到了大武以南，翻越山嶺，形成強勁的下坡風。



新竹九降風示意圖
恆春落山風示意圖
(研究者自行繪製)

► 實驗結果的差異來源探討：

1. 模擬實驗探討迎風側與背風側溫度差異對風速的影響



2. 從流體力學的理論探討下坡風未發生的原因

$$\hat{h} = \frac{N \cdot h}{U} \frac{(\text{重力})}{(\text{慣性力})}$$

換算發現，在此系統中慣性力作用遠大於重力的作用。

相對於模型的尺寸，實驗的風速太快了，導致風吹過山體時來不及因重力影響，產生向下的運動，空氣就快速的通過了。

二、研究結果的應用

(一) 避風設計與風害預防：

高風速區域（例如角隅加速區、峽谷效應明顯區）應避免設置臨時構造物、帳篷或廣告牌。

(二) 風影區的應用：

較不耐風的植物和戶外建築設計可以置放於風影區內，以避免強風傷害。

(三) 建築物配置與通風設計：

將活動場地、教室設計於迎風坡或高處，增加通風與散熱效率。也可以避免在背風側山腳設置密閉空間，容易產生悶熱與空氣滯留問題。

(四) 應用於風力發電：

根據地形影響風速的分析，可用於評估風力發電的電場選址，提高風機效率。

玖、結論

「風」形萬變：探討地形效應對風速變化的影響

蘭嶼各位置的風速差異很大：風向、地勢高低、海岸地形、與丘陵的距離、峽谷效應都可能是造成蘭嶼各位置風速差異很大的原因。

不同地形障礙對
周遭風向風速的影響

上方及側邊→風速增強。

後方→回流區、風影區。

長→上方和側邊的風速較小。
高→上方和側邊的風速強。
寬→側邊風速強，後方回流區長。

各種地形效應對風速的影響

海岸岬角：

迎風側角度小→風速較強。
背風側角度→沒有線性關係。

遮蔽效應：

高、寬→寬廣的風影區。

金字塔效應：

上坡→風速增加。
下坡→風速降低。

峽谷效應：

峽谷內山勢陡峭→背風側風速小。

拾、研究省思與展望

我們一開始在變因設計上難以找到合適的尺寸，進入實驗後，也因未考慮周全便匆忙開始，導致許多變因控制不當。為了提高實驗精確度，我們重新調整。雖然過程艱辛，但我們學習到完整的實驗設計流程，並且學會了撰寫研究報告。參觀台南的內政部建築研究所風雨風洞實驗室讓我們修正了一些實驗的細節，也決定加入熱線風速計幫助我們獲取更精確的實驗數據，得到更多收穫。

拾壹、主要參考文獻

- 一、莊敏暄、蔡沛妤(2024)。風回霧轉。高雄市第64屆中小學科學展覽會國中組地球科學科。
- 二、鄧仁星、陳建蒲、曾俊傑、王文清、祝世全(2020)。蘭嶼機場風場研究。飛航天氣第三十四期。取自 <http://www.aeromet.org.tw/chinese/aeromet/aw034/aw034-2.pdf>。