

中華民國第 59 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國中組 地球科學科

030501

轉角「呼」見風—探討大樓樓型與風的關係

學校名稱：新竹縣立東興國民中學

作者： 國二 王德名 國二 陳品諺	指導老師： 劉芷帆 黃錫裕
---------------------------------	-----------------------------

關鍵詞：角隅強風、大樓風、縮流效應

摘要

本實驗利用風扇與自製導口製作風洞機，模擬風經過各種不同樓型的風速變化與不同形狀的風廊所造成的風速變化。風洞機吹出的風會受到建築物的阻擋而向外擴散，且若建築物迎風面的形狀對稱，吹出來的風範圍也是對稱的。

在風無法完整包圍建築物時，改變不同的樓型與樓型距風洞機的距離，側面與正面的風速都比無建築物時來得小；縮小建築物後，風可以完整將建築物包圍，此時再改變不同的樓型與樓型距風洞機的距離時，皆有看到角隅強風的現象產生，與現實生活中測得結果相符。

利用不同樓型組合成風廊時，組合的情形不會影響風速變化的趨勢，但組合後開口角度越大的風廊，受到縮流效應的影響，使得測得風速越強。

壹、研究動機

風，無所不在，走到哪裡處處都有風的存在。我們每次回家時，總是在建築物的轉角處，或是走到兩大樓中間時，突然吹來一陣很強的風，把身上所有的東西都吹亂了，恨不得趕緊進入室內，躲避強風的吹襲。我們對此現象感到非常好奇，便著手搜尋資料，發現這是因為角隅強風和縮流效應的關係。到底不同的樓型會造成怎麼樣的風速變化？如果風從不同的地方吹來，會有什麼不同？種種問題都使我們想要去找答案，於是我們便著手研究此份主題。






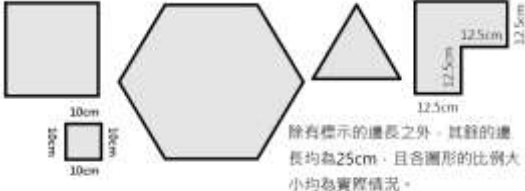

貳、研究目的

- 一、探討風扇風速大小與建築物旁測得風速變化的關係
- 二、探討無建築物時，出風口的距離與風速大小的關係
- 三、探討不同建築物對風流動範圍的影響
- 四、探討在風垂直吹向建築物時，不同建築物（轉角角度不同）與風速變化的關係
- 五、探討在風偏移 45 度角吹向建築物時，不同建築物（轉角角度不同）與風速變化的關係
- 六、探討建築物距出風口的距離與風速變化的關係
- 七、探討風廊寬度和形狀與風速變化的關係
- 八、探討現實生活中的建築物風速變化與本研究結果的差異

參、研究器材與設備

一、實驗器材

1. 風洞機：由風扇、導口和自製風洞裝置組成，導口可將風扇的風引進風洞裝置，利用風洞裝置中的吸管，使風洞機流出的風是同一方向，減少實驗誤差。
2. 建築物：利用木板及木條製作出五個迎風面積皆為 1125 平方公分(25*45 公分)、高度為 45 公分的建築物，有正方形、正六角形、正三角形、L 形、「**Г**」形(將 L 形向右轉 90 度)、**一**形(將 L 形向右轉 180 度)，規格如圖一所示。因木材使用的量不同，導致建築物重量不同，我們在建築物中添加砝碼與重物，使最後每一個建築物皆為 3.5 公斤。另外，作出一個迎風面積為 180 平方公分(10*18)、高度為 18 公分、重 265 公克的小正方形建築物。
3. 口袋型液晶顯示測風速計：風帶動風速計上六葉的風輪轉動，進而測得風速大小。

			
風扇	導口	自製風洞裝置	風洞機
			
各種建築物	各建築物俯視規格圖		風速計

圖一、實驗器材

肆、研究過程與方法

一、研究過程與方法

- (一) 架設好風洞機，打開風扇，調整成風扇風速為強、中、弱三種。
- (二) 蒐集對照組(空曠無建築物的環境)資料：於風洞機前方不同距離處量測風速並記錄；在量測位置向(由風洞機看向建築物的方向)緩慢平移，直到風速計完全靜止，此

時為風所能吹拂的邊界，紀錄風的範圍。

(三) 將各種不同形狀的待測建築物置於風洞機前，使風垂直吹向建築物，如圖二所示。

(四) 以風速計於固定位置分別測量正面和側面的風速並記錄，如圖三所示。

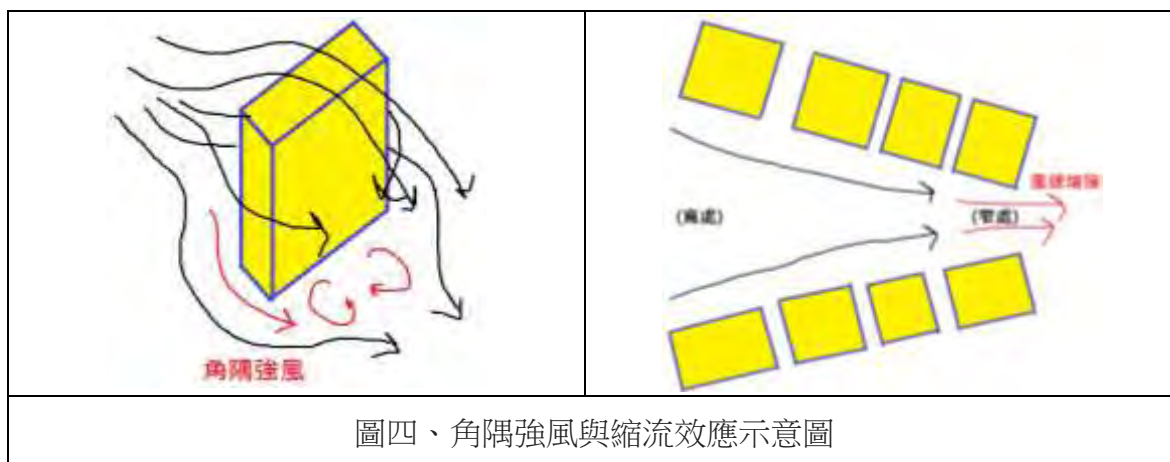
1. 面對風洞機的牆壁定義為正面牆壁，與正面牆壁相接的兩牆壁定義為側面牆壁
2. 於正面牆壁的左、右末端設置正面測量風速，側面牆壁前端設置側面測量風速

	
圖二、將各種不同形狀的待測建築物放置於風洞機前方	圖三、正面風速及側面風速測量位置

二、實驗原理

(一) 角隅強風(corner flow)：當氣流要由建築物兩側繞過去時，流體會有加速的現象。同時在角隅處，會產生渦流分流現象，造成建築物角隅兩側有較強的風速。

(二) 縮流效應(venturi effect)：當風由一寬廣之區域吹進狹窄的街道時，由於流通斷面積減小，氣流會有加速的現象，形成高風速區出現。氣流加速的現象會隨著建築物之間距離的增大而明顯減低。



伍、研究結果與討論

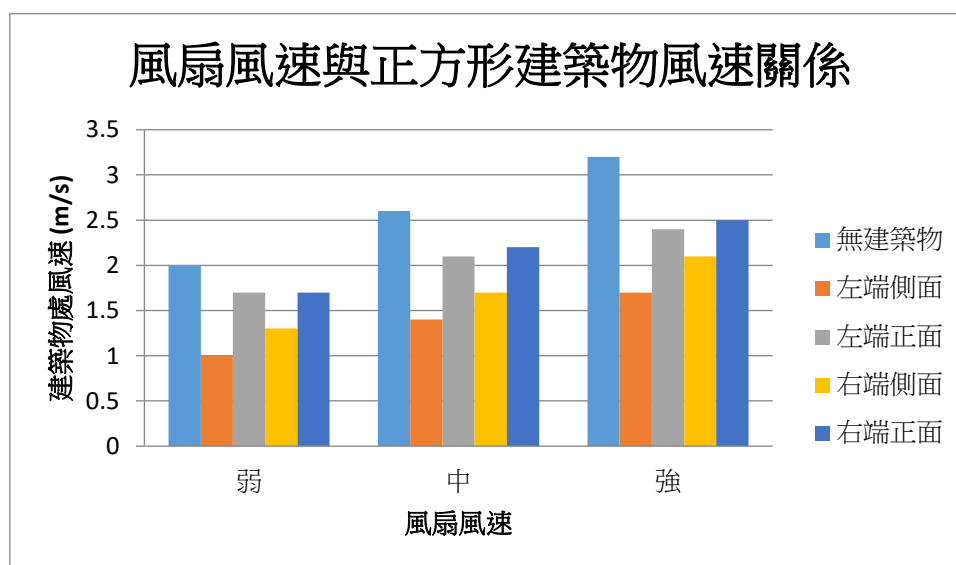
一、探討風扇風速大小與建築物旁測得風速變化的關係

(一) 實驗步驟

1. 架設好風洞機，調整風扇風速為弱。
2. 將建築物置於風洞機前方 30 公分處量測風速。
3. 調整風扇風速為中、強，重複上述步驟。

(二) 研究結果與討論

1. 由圖五可知，量測到的風速均會隨著風扇風速的增強而有規律地增加，但都比無建築物時所測量到的風速還要小。
2. 經計算後得到風速變化量(量測到的風速-無建築物風速)如表一所示。在風扇風速調整為「強」時，風速的變化量最為明顯，故以下實驗皆使用最大風速來進行實驗。
3. 不同的建築物風速變化趨勢相近，故只放上大正方形建築物為代表。



圖五、風扇風速與建築物處測量到的風速關係

表一、風扇風速與在建築物旁測得風速變化的關係

	風扇風速	無建築物風速(m/s)	左側風速變化 (m/s)	左正風速變化 (m/s)	右側風速變化 (m/s)	右正風速變化 (m/s)
正方形	強	3.2	-1.5	-0.8	-1.1	-0.7
	中	2.6	-1.2	-0.5	-0.9	-0.4
	弱	2.0	-1.0	-0.3	-0.7	-0.3

二、 探討無建築物時，出風口的距離與風速大小的關係

(一) 實驗步驟

1. 於風洞機正前方 30、60、90、120、150、180、210、240 公分處量測四次風速並記錄，計算出標準差如表二所示。
2. 分別在各量測位置向左、右緩慢平移，直到風速計讀數為 0 時，紀錄此時水平偏移位置，以量測風的範圍如圖八所示。

(二) 研究結果與討論

1. 從表二、表三和圖六、圖七可看出無論導口面積多大，所量測到的風速均隨著距離風洞機越遠而越小，且標準差越大，推測是因為距風洞機越遠，風越易向外飄散，而增加了量測的誤差。但標準差皆在平均值的 10% 以內，可知風速變異不大，故爾後在測量風速時皆待風速穩定後測量一次。
2. 由圖八可知，無建築物時風的範圍大致上左右對稱，無明顯偏向任何一邊，可見風是以穩定幅度向左右兩側流動。

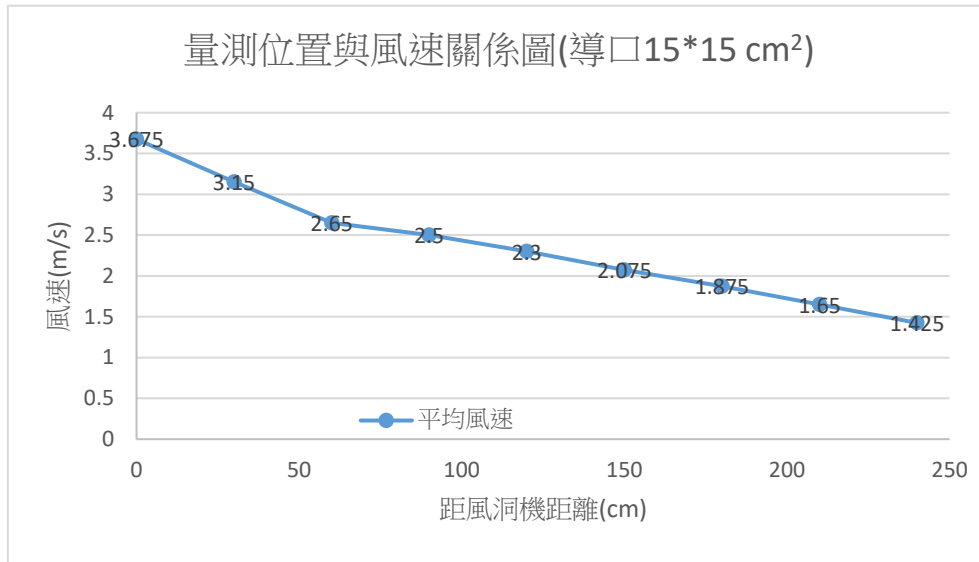
表二、無建築物時各距離的風速(導口面積 15*15 cm²)

	第一次風速 (m/s)	第二次風速 (m/s)	第三次風速 (m/s)	第四次風速 (m/s)	平均風速 (m/s)	標準差 (m/s)
0	3.7	3.7	3.7	3.6	3.675	0.050
30	3.2	3.1	3.1	3.2	3.15	0.058
60	2.7	2.6	2.6	2.7	2.65	0.058
90	2.6	2.5	2.4	2.5	2.5	0.082
120	2.2	2.4	2.2	2.4	2.3	0.115
150	2.2	2	2	2.1	2.075	0.096
180	2	1.8	1.8	1.9	1.875	0.096
210	1.8	1.5	1.6	1.7	1.65	0.129
240	1.6	1.3	1.4	1.4	1.425	0.126

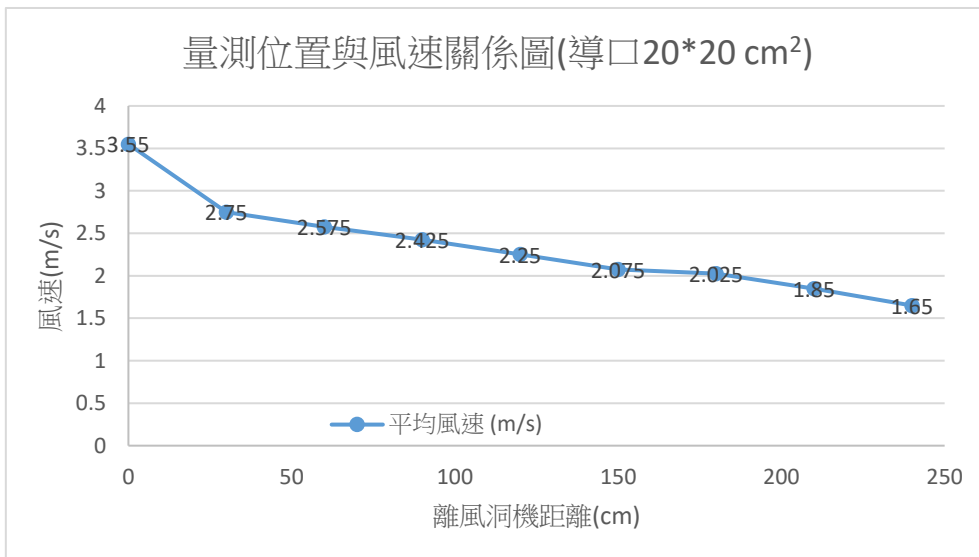
表三、20*20 無建築物時各距離的風速(導口面積 20*20 cm²)

	第一次風速 (m/s)	第二次風速 (m/s)	第三次風速 (m/s)	第四次風速 (m/s)	平均風速 (m/s)	標準差 (m/s)
0	3.5	3.5	3.6	3.6	3.55	0.058
30	2.8	2.7	2.8	2.7	2.75	0.058
60	2.6	2.6	2.6	2.5	2.575	0.050
90	2.4	2.4	2.4	2.5	2.425	0.050

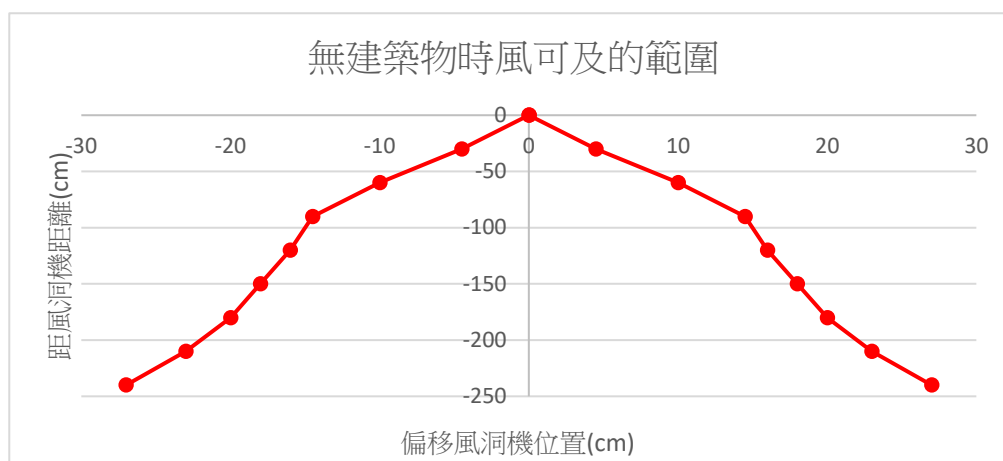
120	2.3	2.2	2.2	2.3	2.25	0.058
150	2.1	2.1	2.0	2.1	2.075	0.050
180	2.0	2.1	2.0	2.0	2.025	0.050
210	1.9	1.8	1.9	1.8	1.85	0.058
240	1.7	1.6	1.7	1.6	1.65	0.058



圖六、無建築物時，量測位置與風速關係圖(導口面積 15*15 cm²)



圖七、無建築物時，量測位置與風速關係圖(導口面積 20*20 cm²)



圖八、無建築物時風可及的範圍

三、探討不同建築物對風流動範圍的影響

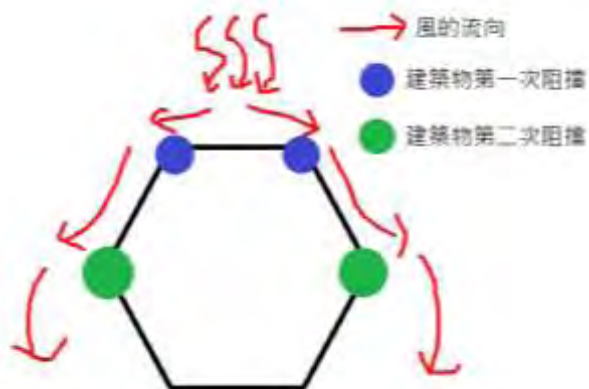
(一) 實驗步驟

1. 將建築物長方形面面對風洞機放在距風洞機 60 公分處，在 60 公分處開始每隔 60 公分進行量測，於量測位置向左、右緩慢平移，直到風速計讀數為 0 時，紀錄此時水平偏移位置，以量測風的範圍。
2. 將建築物長方形面面對風洞機放在距風洞機 210 公分處，在 60 公分處開始每隔 60 公分進行量測，由於在量測位置 180 公分以內得到的數據都與無建築物時相同，故將 180 公分的量測位置換成了 210 公分，量測方法同上述步驟。

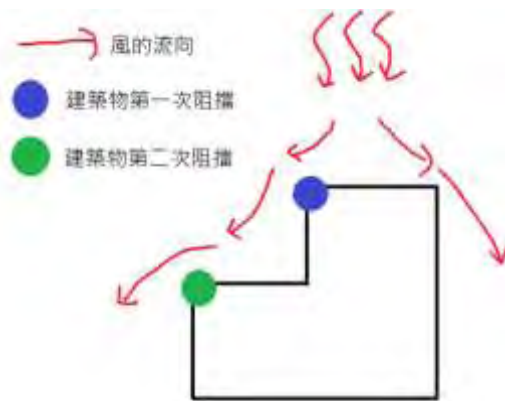
(二) 研究結果與討論

1. 如圖十一~十五所示，建築物放 210 公分時，風的範圍大致與無建築物時差不多，僅在距風洞機 120 公分時，風開始受到建築物的影響而稍微向兩側擴散。
2. 建築物放 60 公分時，正方形、三角形及 L 形建築物的風流動範圍趨勢均相近，左右兩側風的範圍皆受到建築物的阻擋而擴大了約 5 倍，且左右對稱。
3. 建築物放 60 公分時，六角形建築物在距風洞機前 180 公分以內與其他建築物比起來風的範圍縮減許多，但仍然左右對稱。推測風在受到六角形建築物的阻擋而向兩旁流動時，在左右兩頂點處又受到第二次的阻擋，如圖九所示，使風無法成功向外部擴散。
4. 建築物放 60 公分時，「形建築物的左側風的範圍與其他建築物相似，但在右

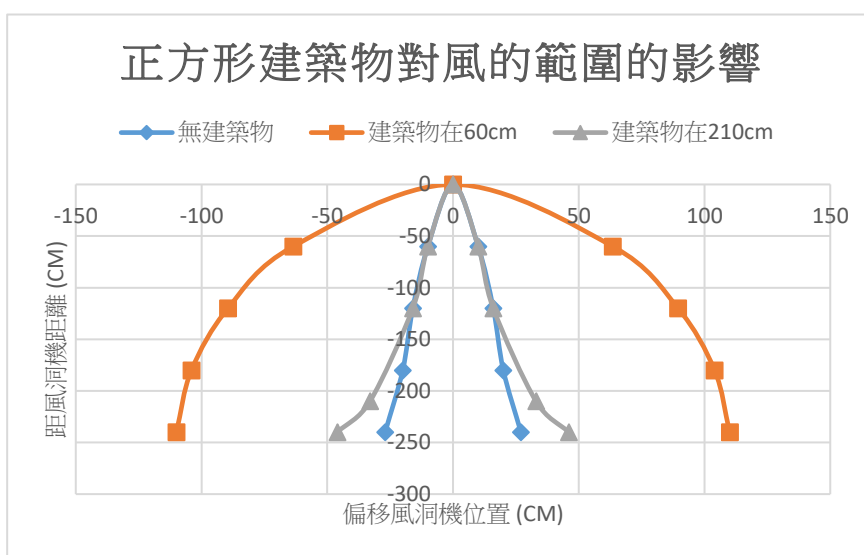
側卻較左邊還要擴大許多，可能是在右側有一個小缺口影響了風的流向，風在碰到牆壁要轉彎時又碰到了第二個牆壁，致使風向更外面流，如圖十所示。



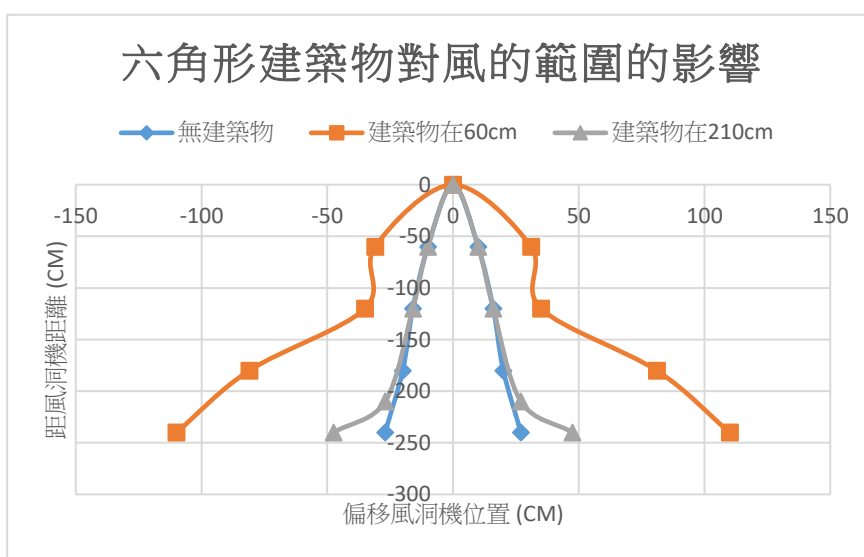
圖九、六角形建築物對於風的阻擋



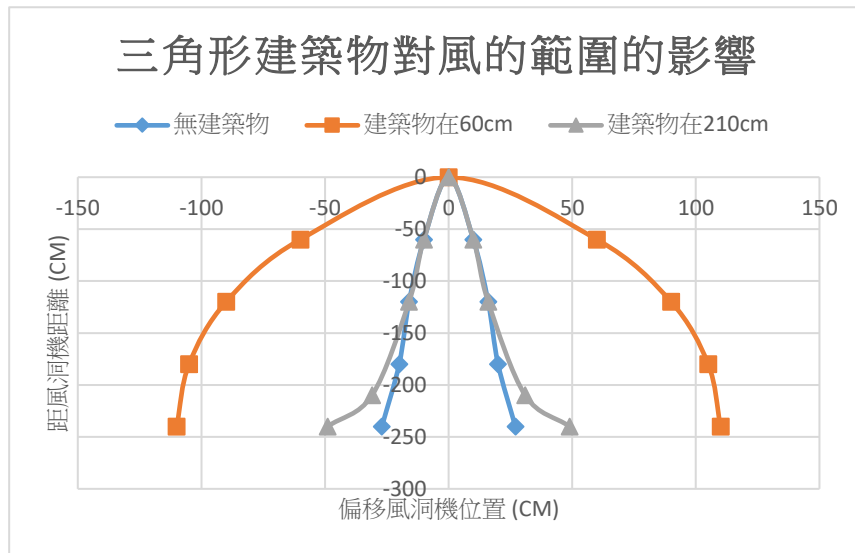
圖十、「L」形建築物對於風的阻擋



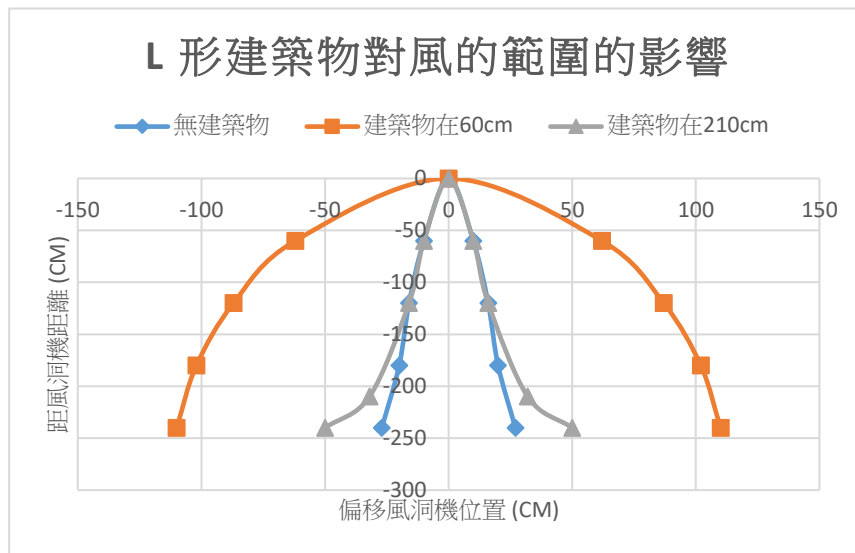
圖十一、正方形建築物對風的範圍的影響



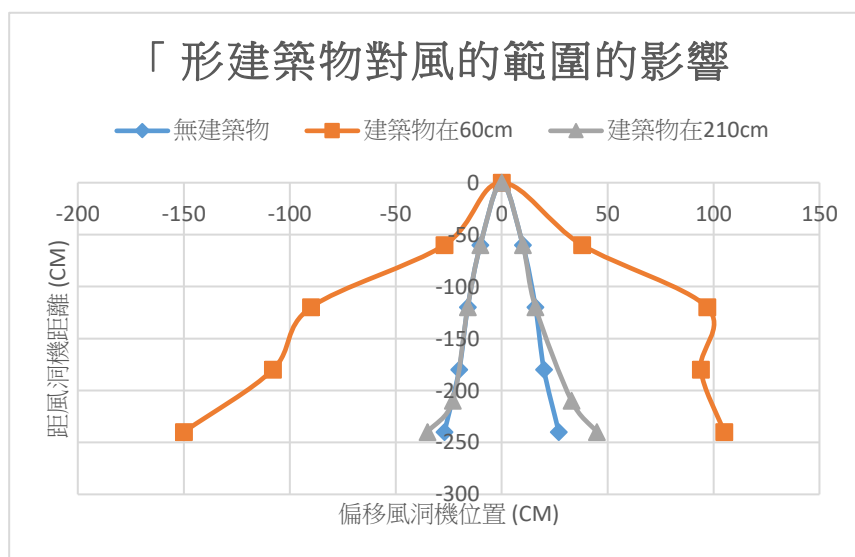
圖十二、六角形建築物對風的範圍的影響



圖十三、三角形建築物對風的範圍的影響



圖十四、L 形建築物對風的範圍的影響



圖十五、「 形建築物對風的範圍的影響

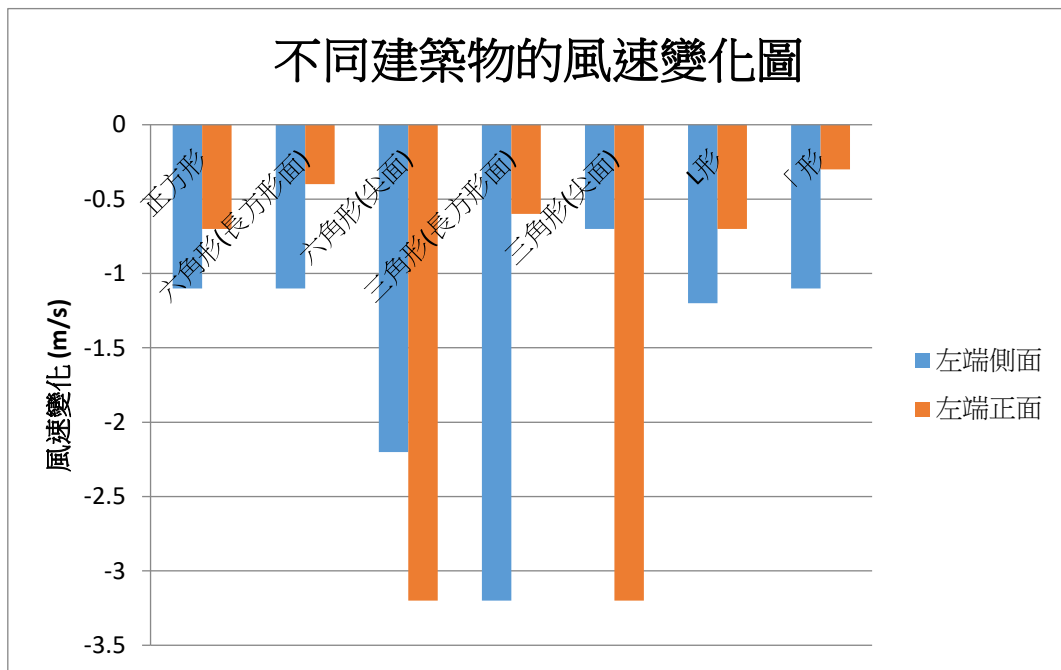
四、探討在風垂直吹向建築物時，不同建築物（轉角角度不同）與風速變化的關係

(一) 實驗步驟

1. 將六種不同的待測建築物放置於距離風洞機 30 公分處，以風速計於固定位置量測側面和正面風速並記錄，計算風速變化量(量測到的風速-無建築物風速)。

(二) 研究結果

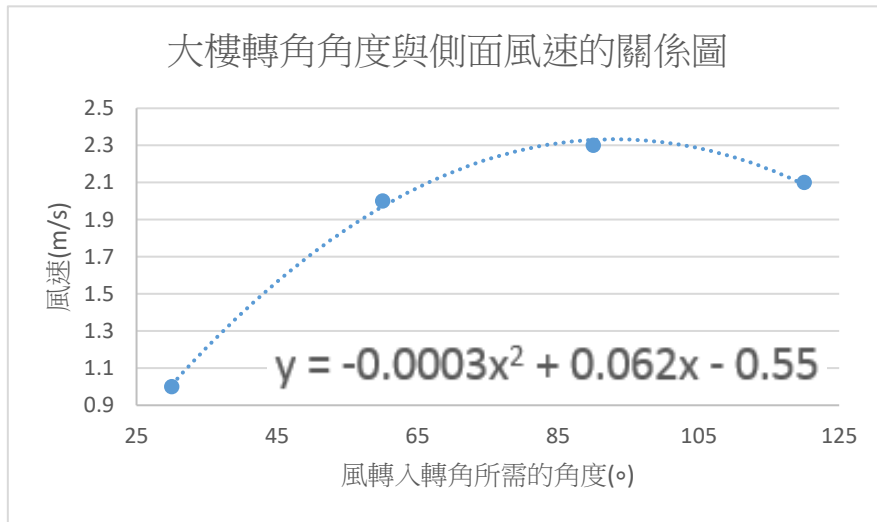
1. 從圖十六可看出無論是側面或正面的風速變化量皆為負值，可知此時風速皆比無建築物時測到的風速來得小，無角隅強風的現象發生，推測此時出風導口太小、建築物太大，風無法完整包圍整個建築物所造成。
2. 此時側面風速變化量大都大於正面風速變化量，故可推測風在經過建築物後，大部分的風因受到建築物的阻擋而流向較外側，少部分的風則順著大樓側邊牆壁而行。但三角形、六角形尖面朝風洞機反而與其他形狀的建築物相反，推測原因可能是風並沒有受到正面牆壁阻擋，直接流進側邊牆壁，導致正面測不到風，顯示並無風流向正面測量位置。



圖十六、不同建築物的風速變化圖(垂直風)

3. 我們在此實驗又做了更深入的探討，想要推導出此實驗的大樓轉角角度變化與風速的關係方程式。在推導側面風速的方程式時，將大樓轉角角度定義為風受到正面牆壁阻擋後，要流進側面牆壁所需的轉角角度。共分為 30°(六角形尖面)、60°(三角形尖面、六角形長方形面)、90°(正方形、L形、「形)、120°(三

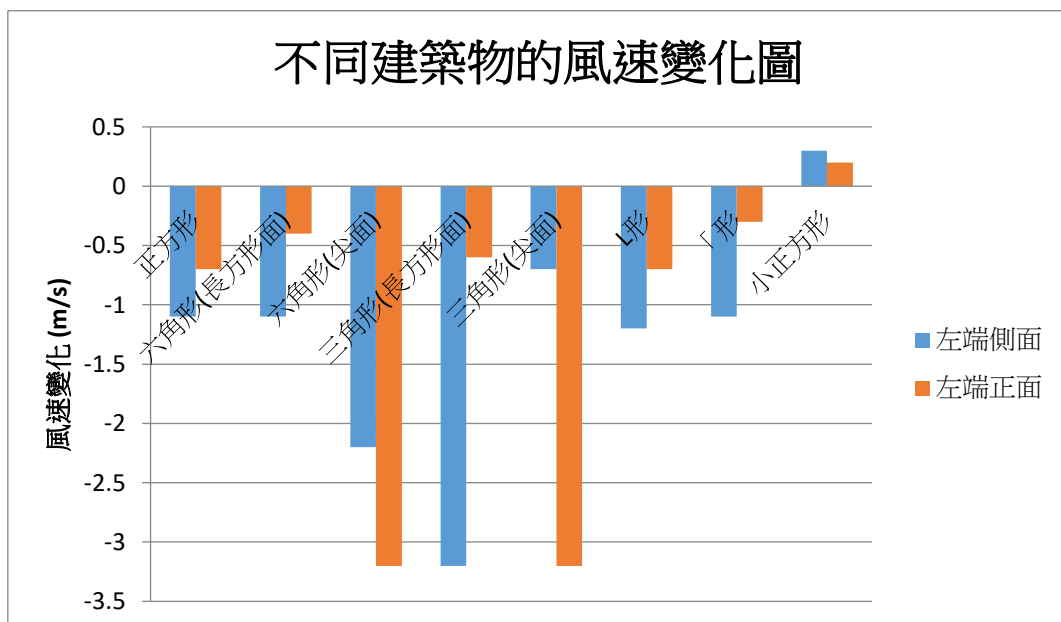
角形長方形面)四種，並將此四種角度所測得的風速取平均值，運用 excel 趨勢線運算得到的結果如圖十七所示，此方程式代表在攝氏 20 度，無其他氣流干擾且距離風洞機 30 公分時，大樓轉角角度不同所對應的風速方程式。



圖十七、距風洞機 30 公分處，大樓轉角角度與側面風速的關係圖

(三) 修正後的實驗結果與討論

- 為了更能模擬風吹拂的實際情況，我們縮小建築物、擴大導口面積，使風能完整地包圍建築物。將小正方形建築物放入比較得到如圖十八所示，可看出風速皆增強了，表示風在經過建築物後產生了角隅強風；而小正方形的風速變化量則為側面變化量大於正面，但因前面的推論為風不易流向側面牆壁，大都流向較外側，故在此推論側面風速較正面大是因為角隅強風的關係。



圖十八、實驗修改後，不同建築物的風速變化圖(垂直風)

五、探討在風偏移 45 度角吹向建築物時，不同建築物（轉角角度不同）與風速變化的關係

(一) 實驗步驟

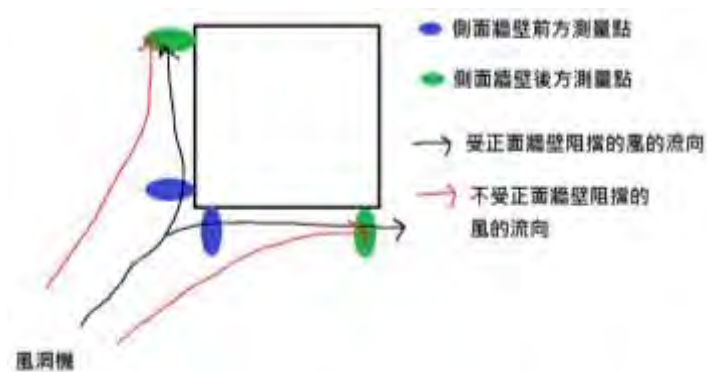
1. 將風扇向左平移，使風以 45 度角吹向建築物的左下角(模擬西南季風)。

註 1：因我們實驗所用的建築物皆對稱，故模擬東北季風的風速變化情形應與模擬西南季風是相同的，所以我們在此實驗只模擬西南季風。

註 2：此實驗只測量當長方形面朝風洞機時，偏移風扇角度所造成的風速變化。因當尖面朝風洞機時，偏移風扇之後，所造成的情況與風垂直吹向建築物時的實驗架設雷同。

2. 將待測建築物置於風洞機前端 30 公分。
3. 以風速計於固定位置量測側面和正面風速並記錄。

註 3：因此實驗受正面牆壁的影響較小，風可以順利地順著側面牆壁而行，故將此實驗的風速量測點改為左端側面前、後及右端側面前、後，觀察風受阻擋流經牆壁的風速變化情形，如圖十九所示。

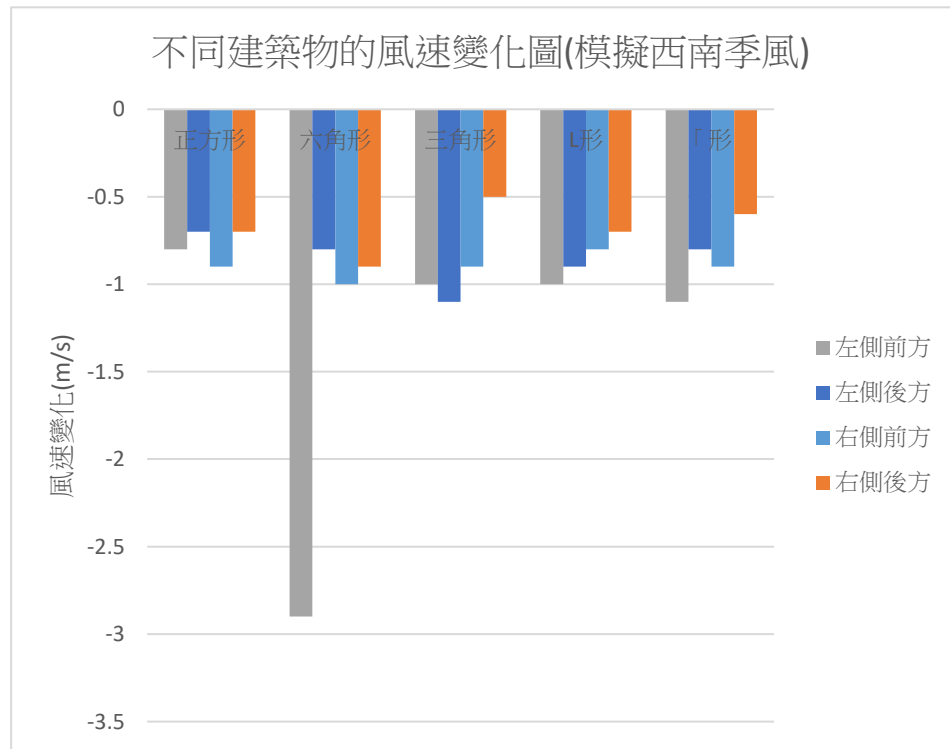


圖十九、風從 45 度角吹向建築物時的量測示意圖

(二) 研究結果與討論

1. 由圖二十可知，各建築物的風速變化量均為負值，表示無角隅強風的現象發生。無論是左側還是右側，前方的風速變化量都大於後方。推測是在風吹向建築物時，有少部分的風不受建築物正面牆壁的阻擋而先流向側面牆壁（因風洞機寬度大於正面牆壁，並不會所有風皆受到正面牆壁的阻擋而向兩旁流散），導致在側面牆壁後方的風量大於前方，如圖十九所示。
2. 六角形的左端側面前方的風速變化量明顯高於其他測量點。推測是因為當風遇到正面牆壁要轉彎時，轉入左側及右側牆壁的角度不同（左側 105 度、右側

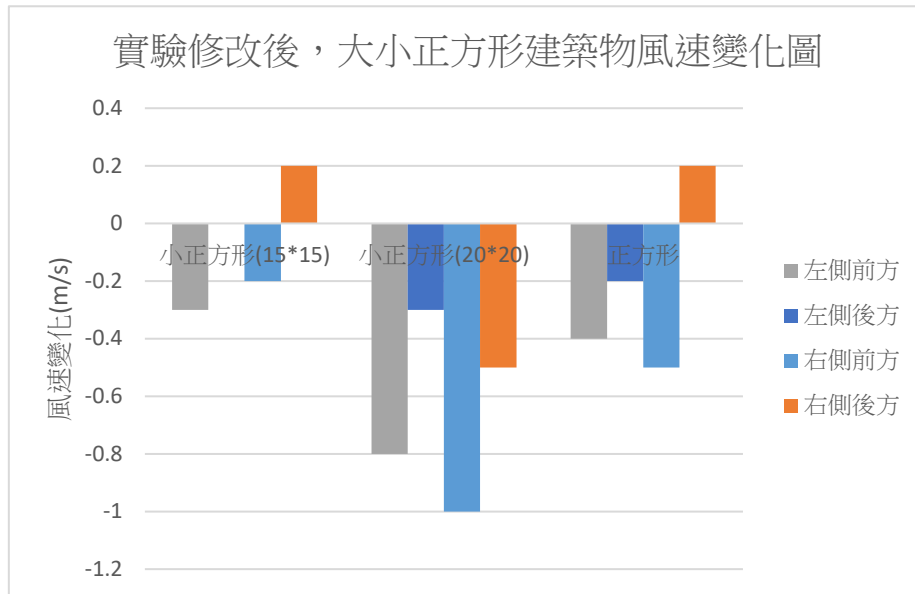
90度)，因風不易轉入過大的轉角，致使左端側面前方的風速較右端側面前方小。



圖二十、無角隅強風時，不同建築物的風速變化圖(西南季風)

(三) 修正後的實驗結果與討論

1. 經過縮小建築物、擴大導口面積的修改後，如圖二十一所示，我們比較了三種不同的情況:大正方形建築物搭配導口 15*15 平方公分、小正方形建築物搭配導口 15*15 平方公分、小正方形建築物搭配導口 20*20 平方公分的風速變化。其前方的風速變化量皆大於後方。小正方形建築物搭配導口 15*15 平方公分及大正方形建築物搭配導口 15*15 平方公分的變化量均小於圖十九的風速變化量，表示風速有增強，但變化量依然為負值，表示仍無角隅強風的發生。而小正方形建築物搭配導口 20*20 平方公分時，雖然風可以完全將建築物包圍，卻沒有看到角隅強風的現象，實際測量的風速反而比大正方形建築物還小(風速變化量較大)，推測因正面牆壁太小(阻力小)，風可輕易流過牆壁，不需花費力氣通過，致使風速不增強。



圖二十一、實驗修改後，大小正方形建築物的風速變化圖

六、探討建築物距出風口的距離與風速變化的關係

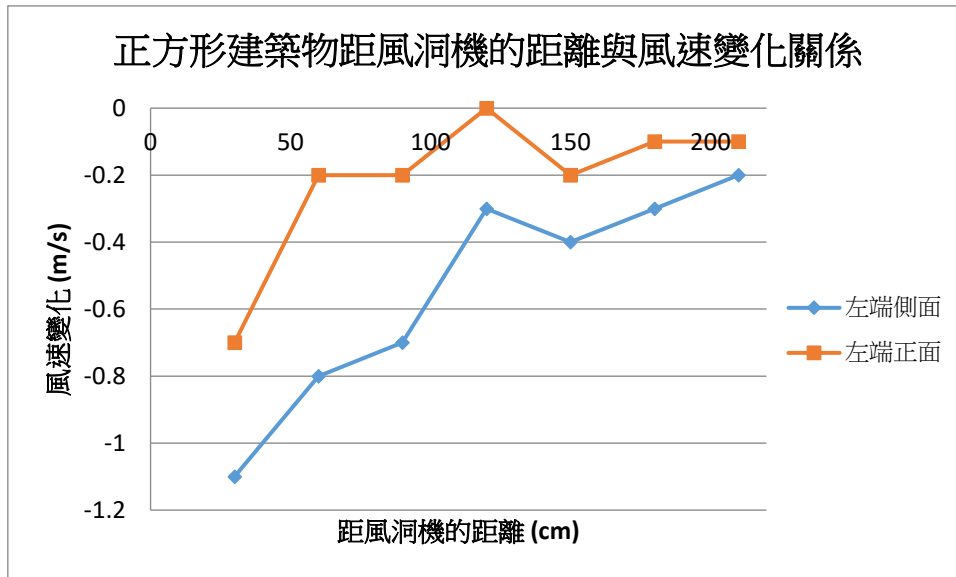
(一) 實驗步驟

1. 將六種不同的待測建築物放置於距離風洞機 30、60、90、120、150、180、210 公分處，以風速計於固定位置量測側面和正面風速，計算風速變化量(量測到的風速-無建築物風速)。

(二) 研究結果與討論

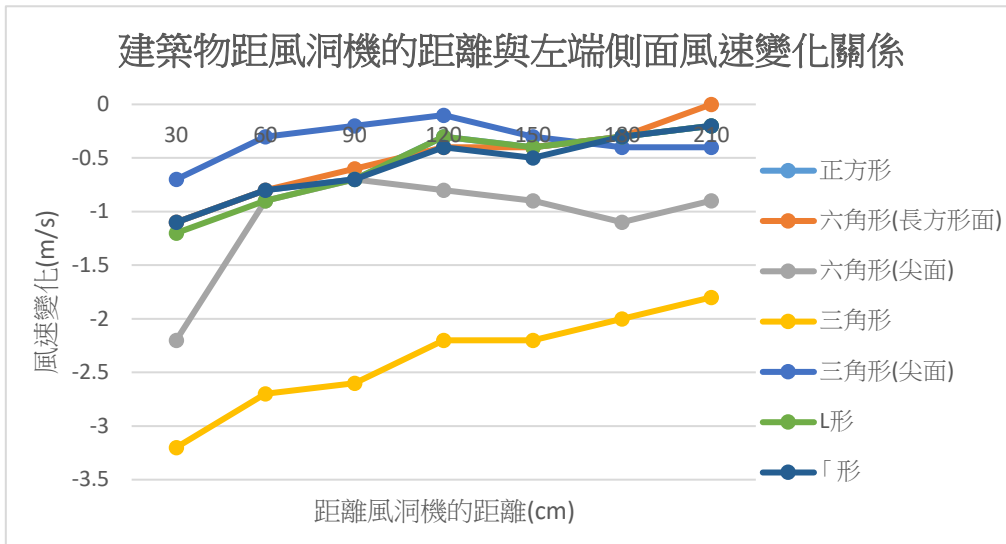
1. 正方形建築物離風洞機的距離與風速變化關係

從圖二十二的风速變化量皆為負值來看，風速並未因通過轉角而增強，且側面風速變化量均比正面風速變化量大，可知大部分的風直接流向旁邊而未順著側面牆壁而行。但隨著具風洞機的位置越遠，風可以吹到的範圍變廣，導致數據與無建築物時接近。

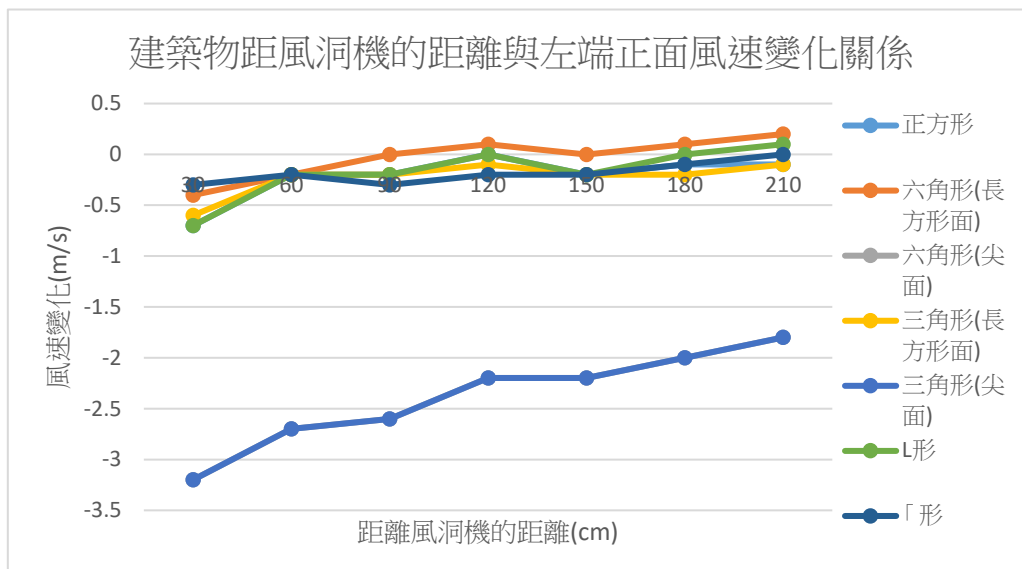


圖二十二、正方形建築物距風洞機的距離與風速變化關係

2. 所有建築物距風洞機的距離與左端側面和左端正面風速變化
 - (1) 從圖二十三可知，大部分建築物都如正方形建築物，風速變化隨距風洞機的位置越遠而越小，推測是因距風洞機越遠，風越易向兩旁流散，致使變化量不明顯。且將 L 形建築物轉 90 度後變成「」形建築物，得到的實驗結果差距不大，也可得知迎風面面積大小並不影響側面的風速變化。
 - (2) 從圖二十四可知，除三角形、六角形(皆尖面朝風洞機)外，其餘建築物的變化量及變化趨勢均相近，推測是因長方形面朝風洞機的建築物的迎風面積、迎風面長寬均相同，故當風在受到正面牆壁阻擋後的流向及流速均相近，造成正面風速均相近。
 - (3) 三角形建築物(長方形面朝風洞機)側面風速變化量為-3.2，代表此時側面風速為 0，推測此時因為建築物不易轉入過大的轉角，風向較外側流，而無沿著建築物側邊流動，因此在側面位置才會都測不到風。
 - (4) 三角形及六角形建築物(均為尖面朝風洞機)的正面風速都是 0。推測是因為此兩種形狀並無所謂的「正面牆壁」，因此風在碰到正面牆壁時，正面牆壁會直接引導風進入側面牆壁，因此風並不會沿著側面牆壁流動，導致所測得的風速為 0。



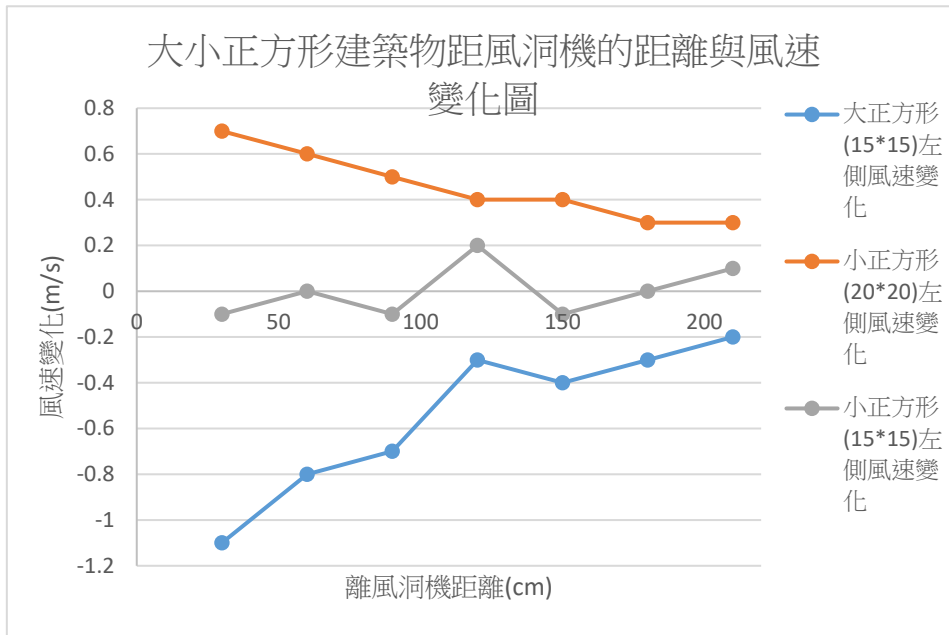
圖二十三、建築物距風洞機的距離與左端側面風速變化關係



圖二十四、建築物距風洞機的距離與左端正面風速變化關係

(三) 修正後的實驗結果與討論

1. 經過縮小建築物、擴大導口面積的修改後，圖二十五可看出，將正方形建築物縮小了之後，風得以包圍整個建築物，因此小正方形(擴大導口)在此實驗形成了角隅強風的現象，導致此形所造成的風速變化量均為正值。其風速變化量隨距風洞機越遠，越趨近於0，推測是風隨距風洞機越遠，越易向外飄散(範圍增大)，無法集中在量測點。而大正方形則因風無法包圍建築物以產生角隅強風，所以風速變化量均為負值，且與無建築物時的風速變化趨勢相近，均是距風洞機越遠，變化量越趨近於0。




圖二十五、實驗修改後，大小正方形建築物距風洞機的距離與風速變化關係

七、探討風廊寬度和形狀與風速變化的關係

(一) 實驗步驟

1. 選擇任兩種待測建築物放置於距離風洞機 30 公分處，如圖二十七所示。
2. 各建築物組合的俯視圖如圖二十六所示，組合的建築物不同，風廊開口的角度也不同。

一形+六角形 (150 度->0 度)	一形+三角形 (30 度)	三角形+六角形 (90 度)
正方形+一形 (0 度)	正方形+三角形 (30 度)	正方形+六角形 (150 度->0 度)

正方形+正方形 (0 度)		
		

圖二十六、各建築物組合的俯視圖

3. 調整兩建築物之間最窄處の間距(風廊寬度)為 5、10、15、20、25、30、35 公分，並以風速計於固定位置量測側面和正面風速。



圖二十七、任兩種待測建築物平行放置於距離風洞機 30 公分處

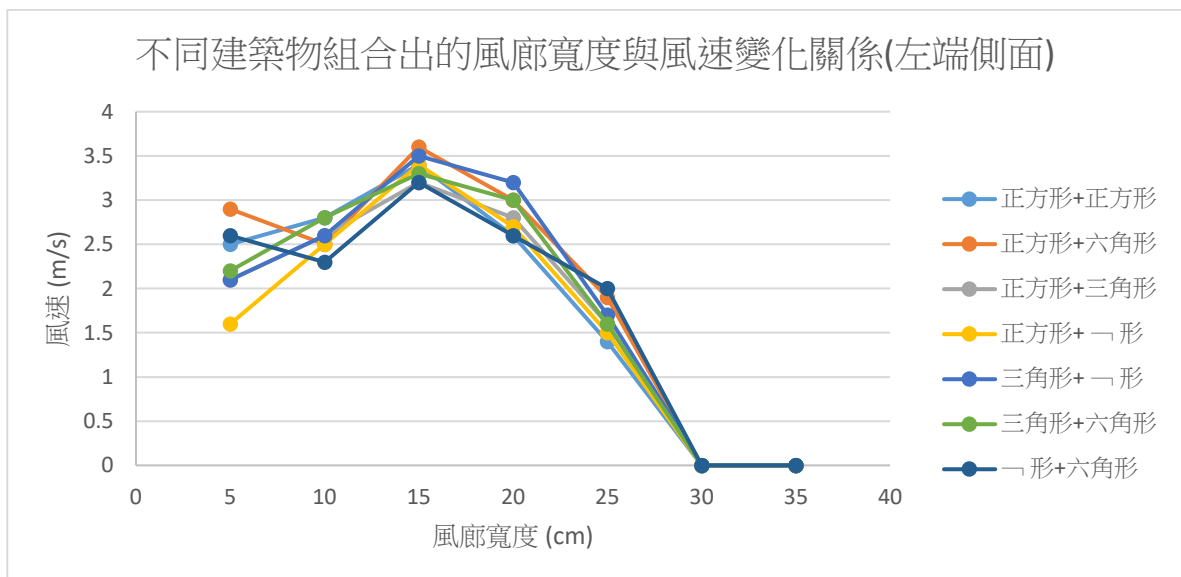
(二) 研究結果與討論

1. 風廊左端風速

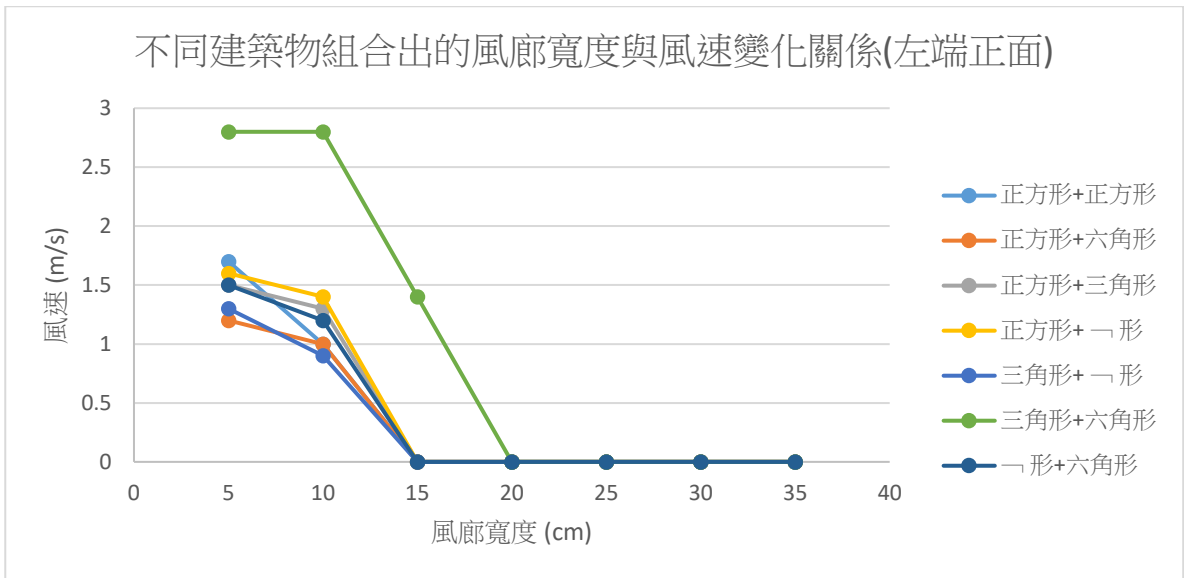
- (1) 側面風速如圖二十八所示，所有建築物組合的變化趨勢均相似，可見不同形狀的建築物組合對側面風速變化影響很小。一開始風廊寬度太小，風無法順利流入，隨著風廊的寬度增加，風速也隨著增加，在風廊寬為 15 公分時，風速達到最大，風廊寬度超過 15 公分後，風速開始下降，推測在風廊寬為 15 公分時，大部分的風都已流入風廊，風速達本實驗最大值。
- (2) 在風廊寬 15 公分中，側面風速又以正方形+六角形的組合最強，由於正方形建築物能阻擋風向外擴散，風能很順利流進風廊，又因此擺放狀態使風流入與流出風廊的開口角度變化最大，產生縮流效應，造成風速最強。
- (3) 側面風速在風廊寬為 30 公分之後就測不到風，推測是因為風扇寬度僅 25 公分，風廊寬度超過 25 公分後，風洞機吹出的風會直接經過風廊，而不受建築

物的影響而偏移。

- (4) 正方形+六角形與一形+六角形在風廊寬 5 公分時的風速會偏大，推測是因為六角形的角度較大，風在打到六角形時容易全部被收集起來匯入風廊，但因風廊小，縮流效應的關係導致風速增強，而當風廊變為寬 10 公分的時候，兩建築物之間的距離拉大，縮流效應的影響因而減弱。
- (5) 比較正方形+六角形與一形+六角形的風速變化，在風廊寬 5 到 20 公分時趨勢幾乎相同，僅因為一形+六角形的左側建築物有缺口，導致有部分的風流向外面，沒有流進風廊，使得一形+六角形的風速在風廊寬 5 到 20 公分時均比正方形+六角形小。
- (6) 正面風速變化如圖二十九所示，大部分的正面風速均是隨著風廊寬度越寬而越小，可得知風廊越寬，風越容易流進風廊，不再流到旁邊，導致正面風速為 0。且在風廊寬 20 公分以後所有風都會流進風廊，而不會逸散到旁邊。
- (7) 三角形+六角形在風廊寬 5、10、15 公分時，正面風速明顯較其他來的大，此時因三角形尖面朝風洞機，風廊開口大且風廊空間也最大，使風容易向周圍亂竄，量測到的風有可能是向周圍溢散的與進入風廊的風的總和，才會使風速增大。
- (8) 一形+三角形在左端正面的風速都偏小，是由於一形建築物左側有缺口，把風導向更外側而無法流入風廊。



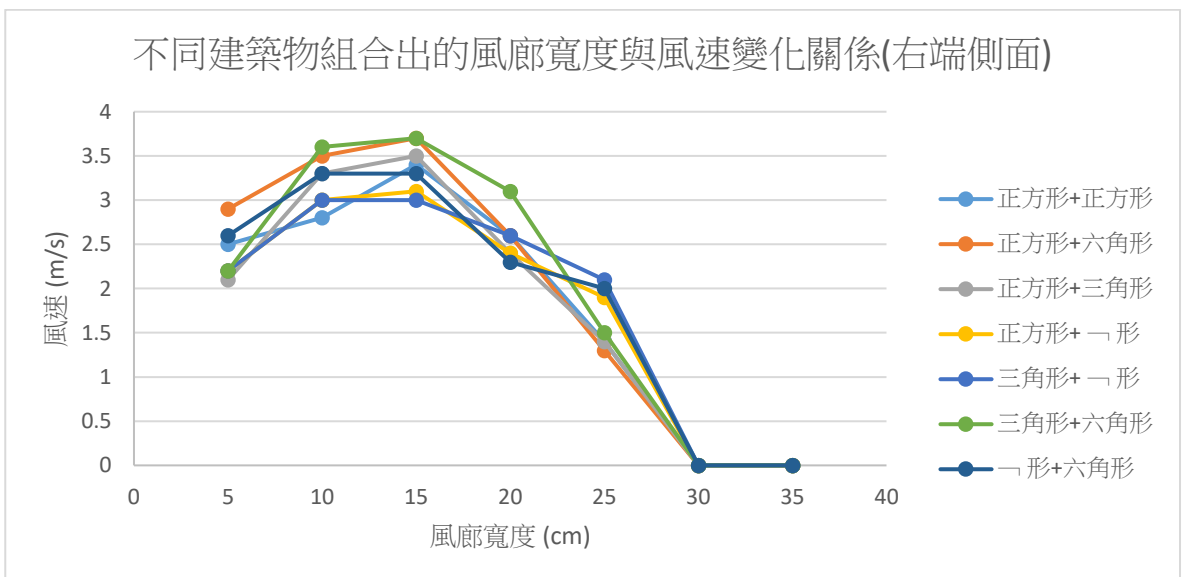
圖二十八、不同建築物組合出的風廊寬度與風速變化關係(左端側面)



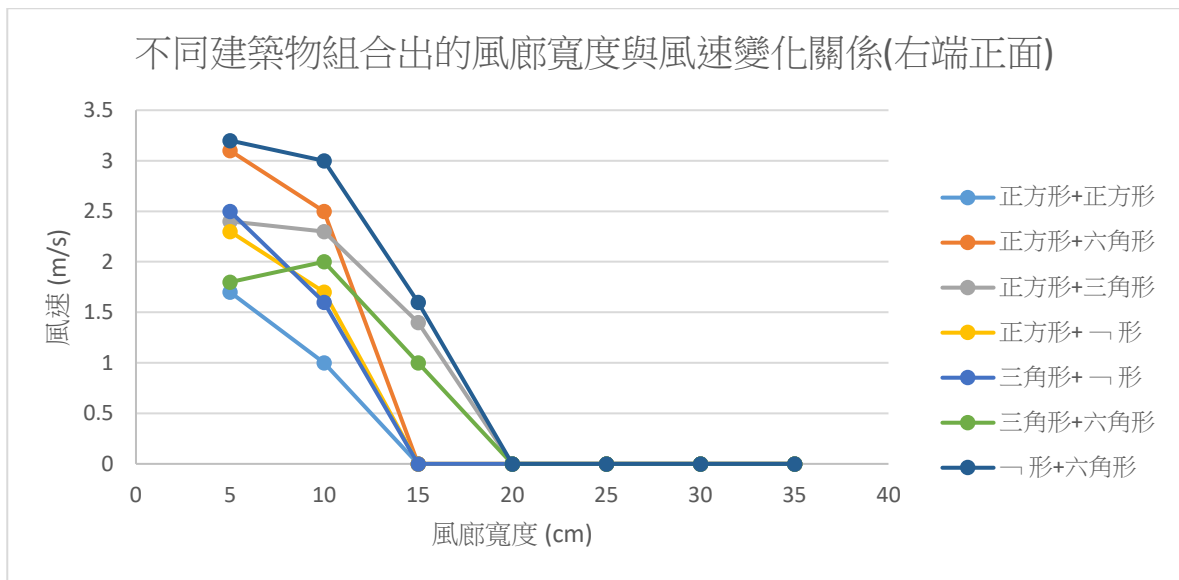
圖二十九、不同建築物組合出的風廊寬度與風速變化關係(左端正面)

2. 風廊右端風速變化

- (1) 側面風速變化如圖三十所示，趨勢大致與左端相符，所有圖形組合在 5 到 15 公分的時候均是呈現穩定上升。除了兩正方形之外，其他組合在風廊寬為 10 公分時的風速均較左側的大，推測可能是因為右端所放置的建築物都是容易收集風進入風廊的建築物(角度較大及缺口)，在風廊寬為 10 公分的時候就已達到所能收集風的最大量。
- (2) 正面風速變化如圖三十一所示，右端正面風速大多較左端大，而正方形+凹形與凹形+三角形的風速與左端相近，是因為風速較大者右側擺放的都是容易收集風進入風廊的建築物(角度較大)。



圖三十、不同建築物組合出的風廊寬度與風速變化關係(右端側面)



圖三十一、不同建築物組合出的風廊寬度與風速變化關係(右端正面)

八、探討現實生活中的建築物風速變化與本研究結果的差異

(一) 實驗步驟

1. 觀察所經過的建築物，尋找合適的測量點
2. 設計該建築物的測量點，並留意風向。待風向合適便前去觀測

(二) 研究結果與討論

1. 風經過正方形建築物(勝利七街、莊敬北路)轉角時所造成的風速

建築物	當時氣象局資料(僅做參考)	左端側面 (m/s)	左端正面 (m/s)
正方形	西風、3.0	4.7	4.2

風經過正方形建築物(勝利七街、莊敬北路)轉角時，所造成的風速符合先前有角隅強風時得出的結論：側面風速因產生角隅強風，導致側面風速大於正面風速。實際測量時發現，在量測側面風速時，若是太靠近建築物的牆壁會測不到風，印證前面所推論的風不會完全沿著側面牆壁流，而是稍稍向外面一點流過轉角。



圖三十二、風經過正方形建築物轉角時的測量示意圖(取自 google 地圖街景)

2. 風經過兩正方形建築物組成風廊(勝利八街、莊敬三路口)所造成的風速

風廊寬度(m)	當時氣象局資料(僅做參考)	風廊左端側面(m/s)	風廊左端正面(m/s)	風廊右端側面(m/s)	風廊右端正面(m/s)
15	西風、3.0	4.1	3.3	4.0	2.7

風經過兩正方形建築物組成風廊(勝利八街、莊敬三路口)時，所造成的風速也符合先前風廊實驗的結論：風速會因風吹入風廊裡產生縮流效應的影響而增大。而實際的建築物也是側面風速大於正面風速，推測如實驗六所述，風可以很順利的吹進風廊而較少有風受建築物的阻擋逸散至旁邊。但是當時氣象局資料顯示風向為西，可是實際測量時發現風向為南。可能是因為受到了其他建築物的影響，也有可能是因為風向在此時突然轉變為南。



圖三十三、風經過風廊時的測量示意圖

3. 風斜吹向轉角時(臨港路三段、建七路口)，所造成的風速

建築物	當時氣象局資料(僅做參考)	風廊左端側面(前)(m/s)	風廊右端側面(前)(m/s)
正方形	南南東風、4.9	3.2	1.7

風斜吹向轉角時(臨港路三段、建七路口)，所造成的風速符合先前實驗的推論。因風完整地包圍建築物，但正面牆壁太小，風可輕易流過牆壁，不需花費力氣通過，致使風速不增強。導致所測得的風速均較原本的風速小。理論上在此情況下的左、右端側面風速應相近，但此建築物所造成的左、右端側面的風速卻相差很多，推測是風並不是完全正對著正面牆壁吹，而是稍偏向左側吹。而當風是如此吹時，風要轉入左的牆壁所需的角小於轉入右邊，而先前我們的實驗結論為風不易轉入過大的轉角，導致右邊測得風速較小。故此建築物左端所測量到的風速才會較右端的大。



圖三十四、風斜吹向轉角時的測量示意圖

陸、結論

- 一、風洞機吹出的風會受到建築物的阻擋而向外擴散，且若建築物受風面形狀對稱，吹出來的風的範圍也是對稱的。
- 二、無建築物時，離風洞機越遠，風速越小、標準差越大、且風的範圍也越大。是因為距風洞機越遠，風越易向兩旁飄散，增加了量測的誤差。
- 三、在風無法包圍整個建築物的情況下，側面風速變化量會大於正面風速變化量。是因為風在受到正面牆壁的阻擋，要轉入轉角時，不易順著側面牆壁流，而是稍微向外側繞。
- 四、在風無法包圍整個建築物的情況下，建築物離出風口不同距離時，風速均未因通過轉角而增強，且隨著具風洞機的位置越遠，風可以吹到的範圍變廣，導致數據與無建築物時接近。
- 五、當風無法完整包圍建築物時(無角隅強風)，因大部分的風因受到建築物的阻擋而流向旁邊，少部分的風則順著大樓側邊牆壁而行，導致側面風速較原本小。
- 六、當風可以完整包圍建築物時，便可以在角落處形成角隅強風，導致風速較原本大。
- 七、若是風斜吹向建築物，則風能完整包圍建築物時所測得的風速比風無法包圍建築物時還小，是因為正面牆壁小，所受阻力小，風不須增強以通過牆壁。又因導口面積大，導致由風扇吹出的風平均風速變小，致使風速小於風無法完整包圍建築物時所測得的風速。
- 八、角度大的建築物，三角形(尖面朝風洞機)及六角形(尖面朝風洞機)，容易把風收集至風廊中，且發生縮流效應，故風速都較大。
- 九、在兩建築物形成風廊的實驗裡，同樣風速下，不同形狀的建築物組合成風廊不會影響側面風速的變化情形。而所有圖形組合均在風廊寬為 15 公分時測得的風速最強，由此可見風廊寬 15 公分時是風最容易流進風廊的時候，甚少有風逸散到風廊外(正面風速較小)，全部都可以擠進風廊。
- 十、在現實生活中所測得的數據均符合實驗所得出的數據。觀察到風在經過建築物時會有角隅強風的現象發生、風經過風廊時也會因縮流效應的影響而增強、風斜吹向建築物時也會因正面牆壁小(阻力小)，風不需增強以流進側面牆壁，而導致風較原本小。

柒、未來展望

- 一、我們的實驗僅探討了單一建築物及任兩種建築物的組合的風速變化情形。但因現實生活中的風場並不單單只受到單一或任兩種建築物的影響，而是受到更多建築物的影響。所以若以一個街區的模型來進行實驗，更可以模擬真實環境情況，也能減少實驗誤差。
- 二、以上實驗僅探討正多邊形及 L 形建築物的情況。就實驗結果說明，在無角隅強風、單一建築物的情況下，角度若越大，風越不易轉入，可形成無風的區域。有角隅強風、單一建築物的情況下，則是以轉角面向風可以有效減緩風速。但現實生活中不乏有尖塔、不規則狀的建築物，故影響風場的層面過於複雜，十分難以創造能有效減緩風速的建物。若是要減緩風速，可以尖角+圓弧狀做研究，彌補此實驗的不足。
- 三、此實驗所得知的結論大致上可套用在實際建築物上，作為設計時的參考。
- 四、若風在經過建築物時會產生較原先風速大的角隅強風、在從寬處流向窄處(即兩大樓中間時)會產生縮流效應，風速亦較原先大。何不利用此特性，發展一套風力發電系統?這樣即便風速並不是很大，也可利用此現象增強風速，達到發電的效率。

捌、參考資料及其他

- 一、林碧亮、曾明性。高層建築物風場環境評估準則研議。內政部建築研究所。
- 二、賴重祐、陳正宗。台北都會區風場模擬。

【評語】 030501

本實驗利用風扇與自製導口製作風洞機，模擬風經過各種不同樓型的風速變化與不同形狀的風廊所造成的風速變化。利用簡單的工具，模擬實際生活中會看到的現象，頗具巧思。風廊寬度和形狀與風速的關係實驗，係利用之前實驗建築物之模型，拼組而成，較無系統之概念，不易表達實驗之目的。利用風扇與導口製成風動機。模擬大樓樓型如何影響風的變化，模擬如何應用於現實情況可以再思考。

摘要

本實驗利用風扇與導口製作風洞機，模擬風經過不同樓型的風速變化與不同形狀的風廊所造成的風速變化。風洞機吹出的風會受到建築物的阻擋而向外擴散，若建築物迎風面的形狀對稱，吹出來的風範圍也是對稱的。

在風無法完整包圍建築物時，改變不同的樓型與樓型距風洞機的距離，側面與正面的風速都比無建築物時來得小；縮小建築物後，風可以完整將建築物包圍，此時再改變不同的樓型與樓型距風洞機的距離時，皆有看到角隅強風的現象產生，與現實生活中測得結果相符。

利用不同樓型組合成風廊時，組合的情形不會影響風速變化的趨勢，但組合後開口角度越大的風廊，受到縮流效應的影響，使得測得風速越強。

壹、研究動機

風，無所不在，走到哪裡處處都有風的存在。我們每次回家時，總是在建築物的轉角處，或是走到兩大樓中間時，突然吹來一陣很強的風，把身上所有的東西都吹亂了，恨不得趕緊進入室內，躲避強風的吹襲。我們對此現象感到非常好奇，便著手搜尋資料，發現這是因為角隅強風和縮流效應的關係。到底不同的樓型會造成怎麼樣的風速變化？如果風從不同的地方吹來，會有什麼不同？種種問題都使我們想要去找答案，於是我們便著手研究此份主題。

貳、研究目的

- 一. 探討風扇風速大小與建築物旁測得風速變化的關係
- 二. 探討無建築物時，出風口的距離與風速大小的關係
- 三. 探討不同建築物對風流動範圍的影響
- 四. 探討在風垂直吹向建築物時，不同建築物與風速變化的關係
- 五. 探討在風偏移45度角吹向建築物時，不同建築物與風速變化的關係
- 六. 探討建築物距出風口的距離與風速變化的關係
- 七. 探討風廊寬度和形狀與風速變化的關係
- 八. 探討現實生活中的建築物風速變化與本研究結果的差異

參、研究設備及器材

一. 建築物:

利用木板、木條組成正方形、六角形、三角形、L形建築物。共有高45公分、迎風面積皆1125平方公分及高18公分、迎風面積皆180平方公分兩種

二. 其他器材:

風扇、自製風洞裝置、導口、風速計



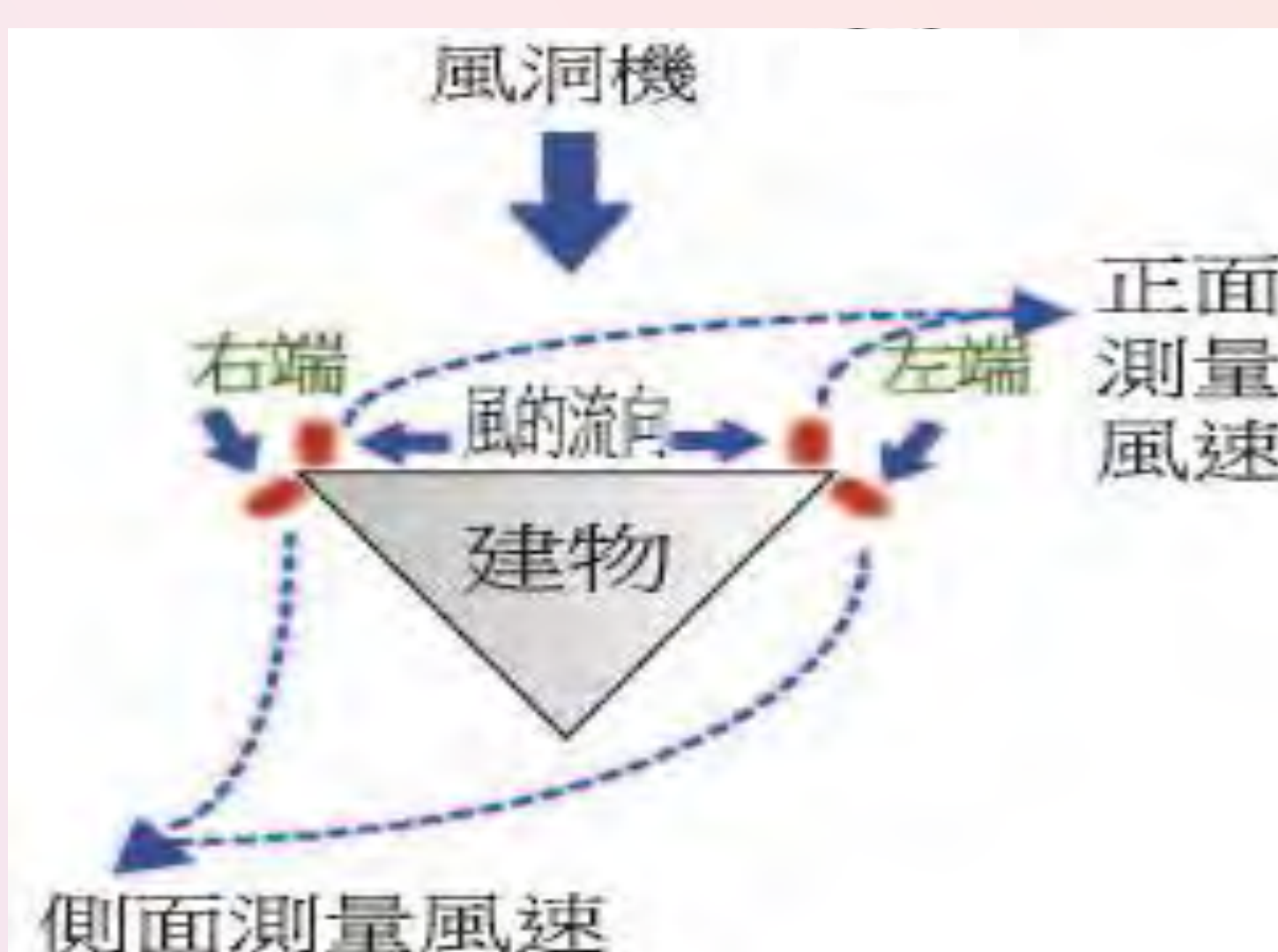
圖一、自製風洞裝置



圖二、各種建築物



圖三



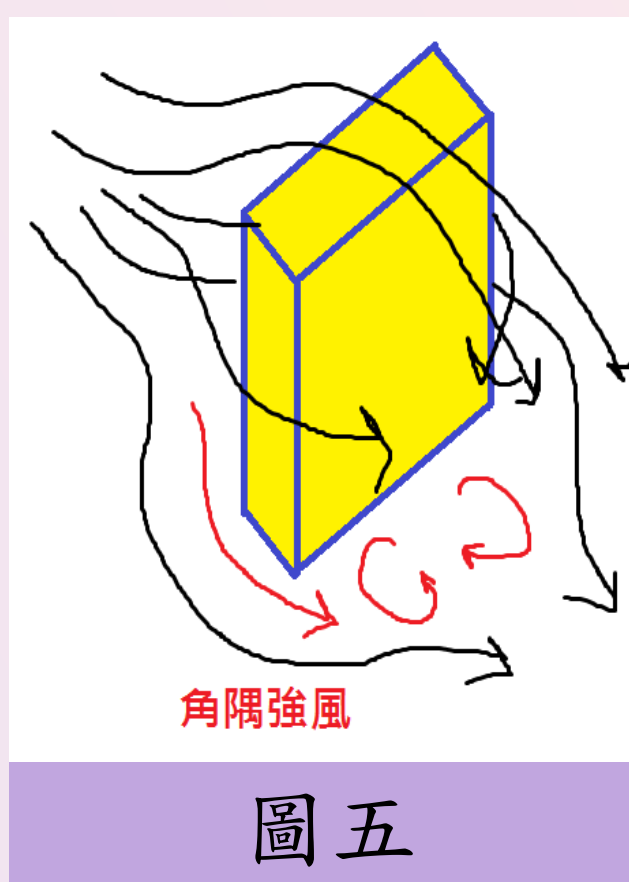
圖四

肆、研究方法

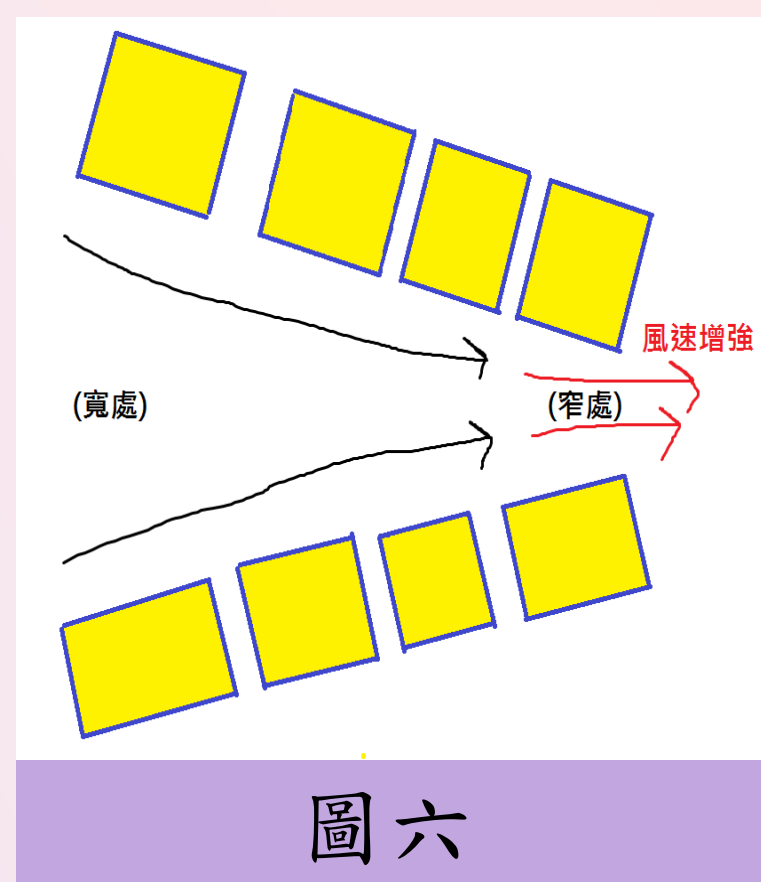
- 一. 架設好風洞機，打開風扇，調整風扇風速為強、中、弱三種。
- 二. 蒐集無建築物時的資料：於風洞機前方不同距離處量測風速並記錄；在量測位置向左右緩慢平移，直到風速計完全靜止，此時為風所能吹拂的邊界，紀錄風的範圍，並將測得風速減無建築物風速形成變化量。
- 三. 將各種不同形狀的待測建築物置於風洞機前方，使風垂直吹向建築物，如圖三所示。
- 四. 以風速計於固定位置分別測量正面和側面的風速並記錄，如圖四所示。

• 實驗原理

- 一. 角隅強風(corner flow)：當氣流要由建築物兩側繞過去時，會產生加速的現象。並在角隅處形成渦漩分流，造成角隅兩側有較強風速，如圖五所示。
- 二. 縮流效應(venturi effect)：當風由寬處吹進窄處時，由於流通斷面積減小，氣流會有加速的現象。氣流加速的現象會隨著建築物之間距離的增大而明顯減低，如圖六所示。



圖五



圖六

伍、研究結果及討論

• 風速變化量: 量測風速 - 無建築物風速

• 正值: 風速較原本大(增強)

• 負值: 風速較原本小(減弱)

• 實驗一: 風扇風速大小與建築物旁測得風速變化的關係

操縱變因: 風扇強度

討論:

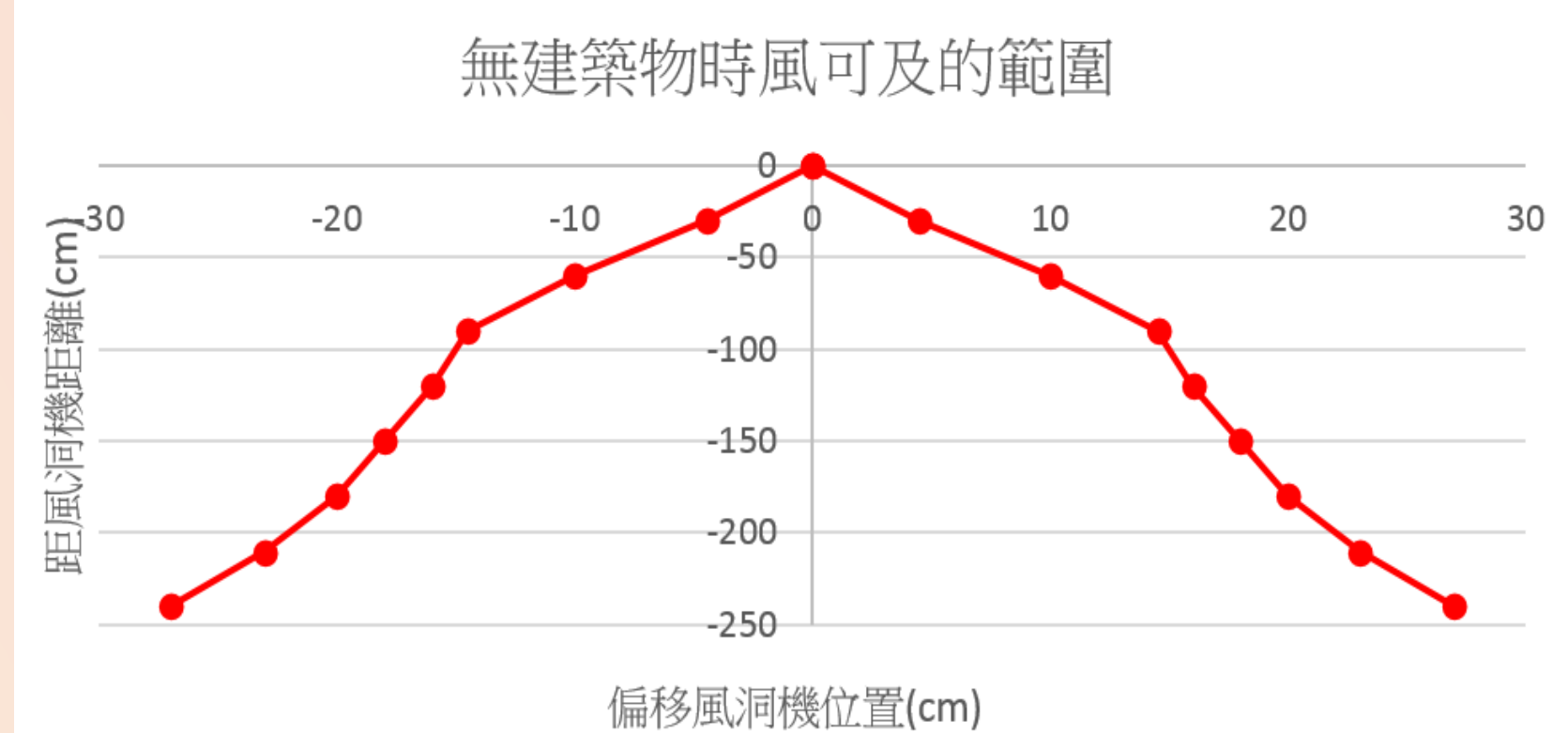
1. 由表一可知，測得風速均會隨著風扇風速增強而增加，且在風扇風速為強時風速的變化量最為明顯。故以下實驗皆使用最大風速來進行實驗。
2. 不同的建築物風速變化趨勢相近，故只放上正方形建築物為代表。

表一	風扇風速	無建築物風速 (m/s)	左側風速變化 (m/s)	左正風速變化 (m/s)	右側風速變化 (m/s)	右正風速變化 (m/s)
正方形	強	3.2	-1.5	-0.8	-1.1	-0.7
	中	2.6	-1.2	-0.5	-0.9	-0.4
	弱	2.0	-1.0	-0.3	-0.7	-0.3

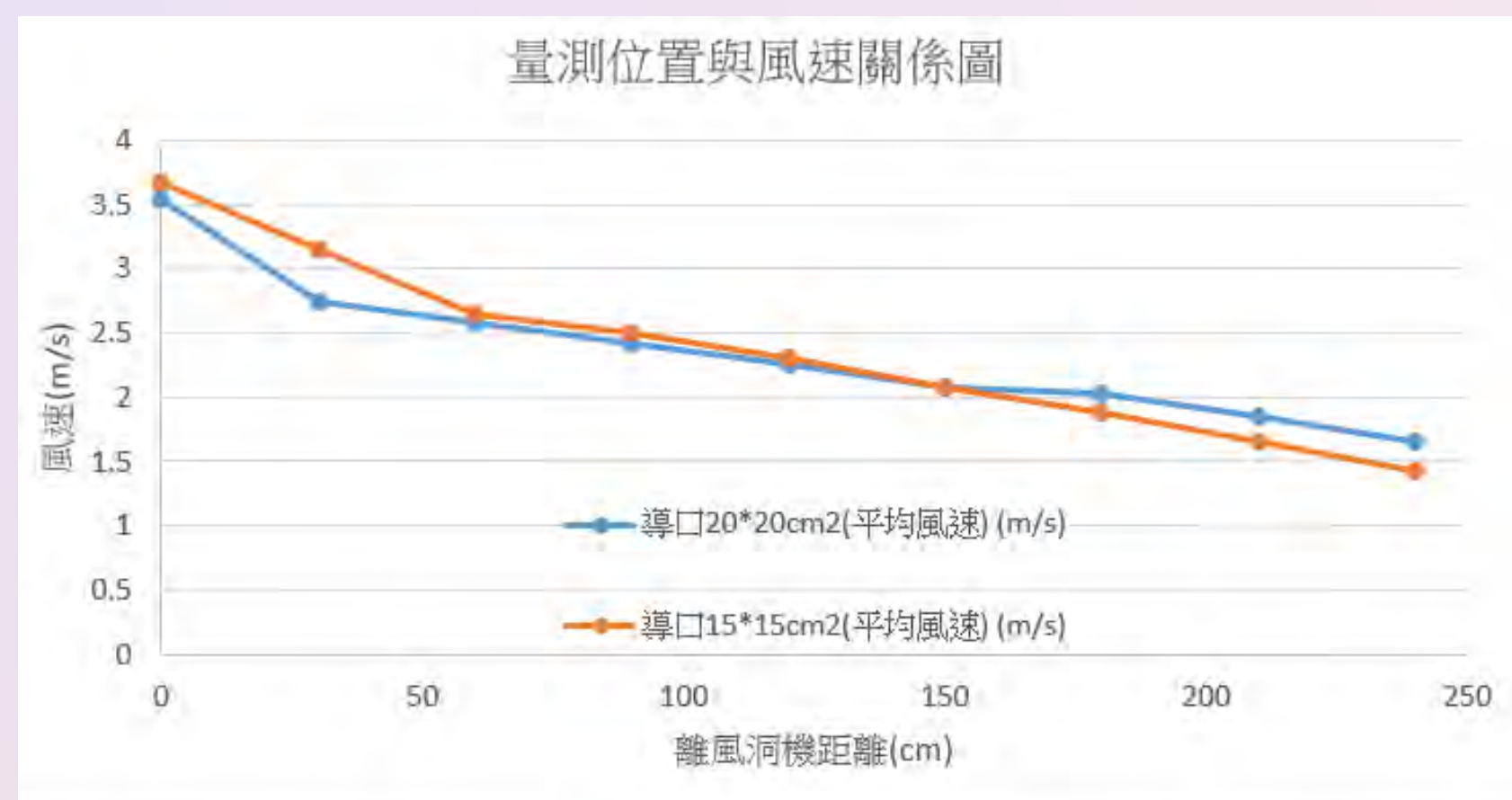
• 實驗二: 無建築物時，風洞機造成風的流動範圍與風速大小

實驗步驟:

1. 使用導口15*15cm²於風洞機正前方每30公分(至240公分)量測4次風速取平均值，計算標準差。再使用導口20*20cm²進行上述步驟。
2. 在各量測位置(導口15*15cm²)，量測風的範圍。



- 無建築物時風的範圍大致上左右對稱，無明顯偏向任何一邊，可見風是以穩定幅度向左右兩側流動。

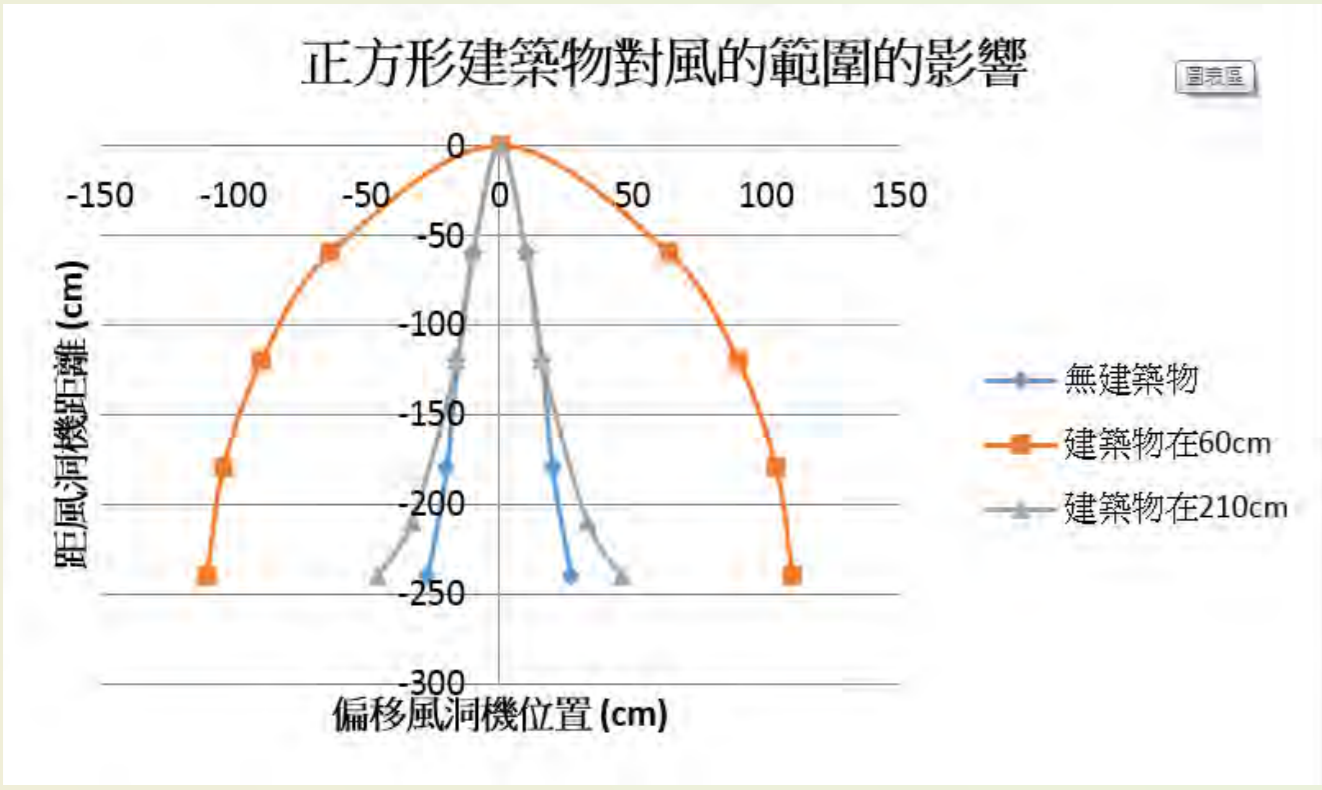


- 風速隨距風洞機越遠而越小，且標準差越大，推測是因距風洞機越遠，風越易向外飄散。但標準差皆在平均值的10%以內，可知風速變異不大，故爾後在測量風速時皆待風速穩定後測量一次即可。

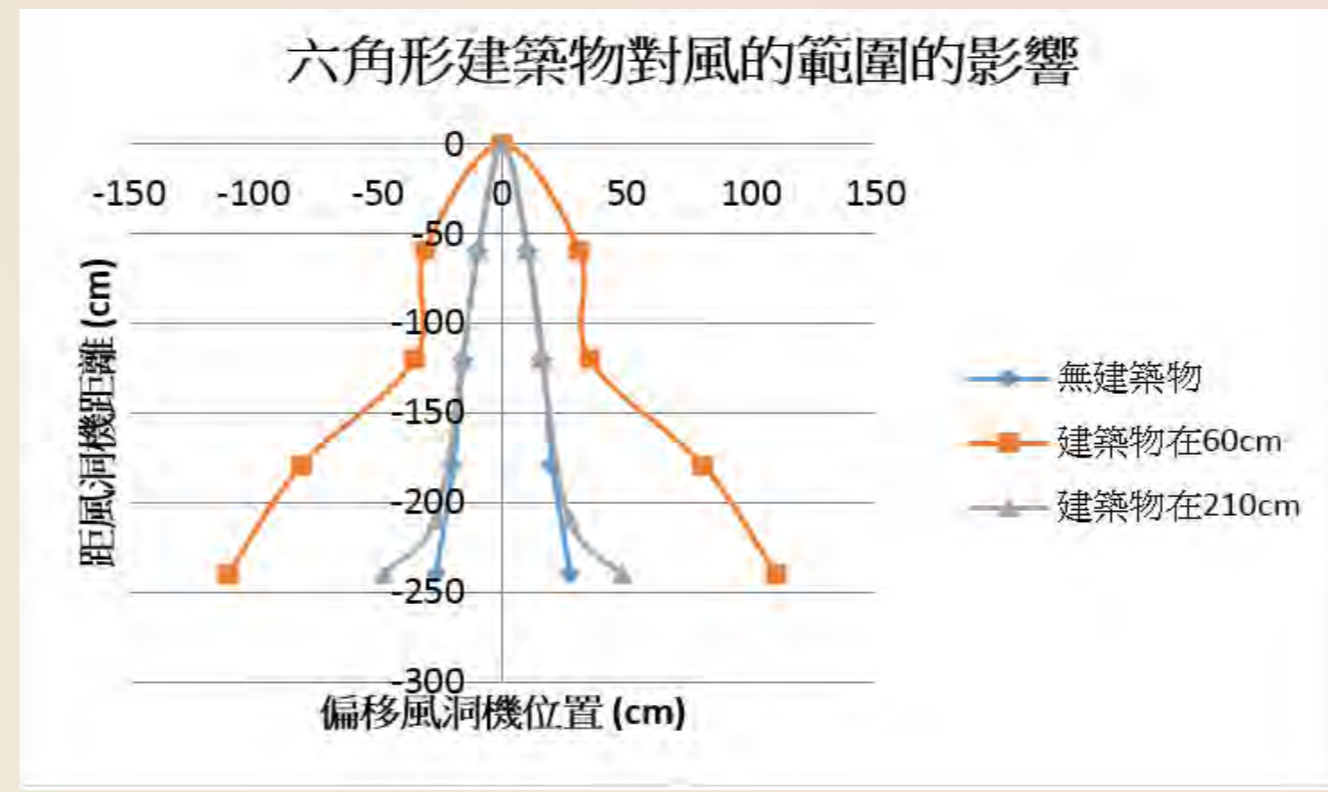
● 實驗三：不同建築物對風流動範圍的影響

實驗步驟：

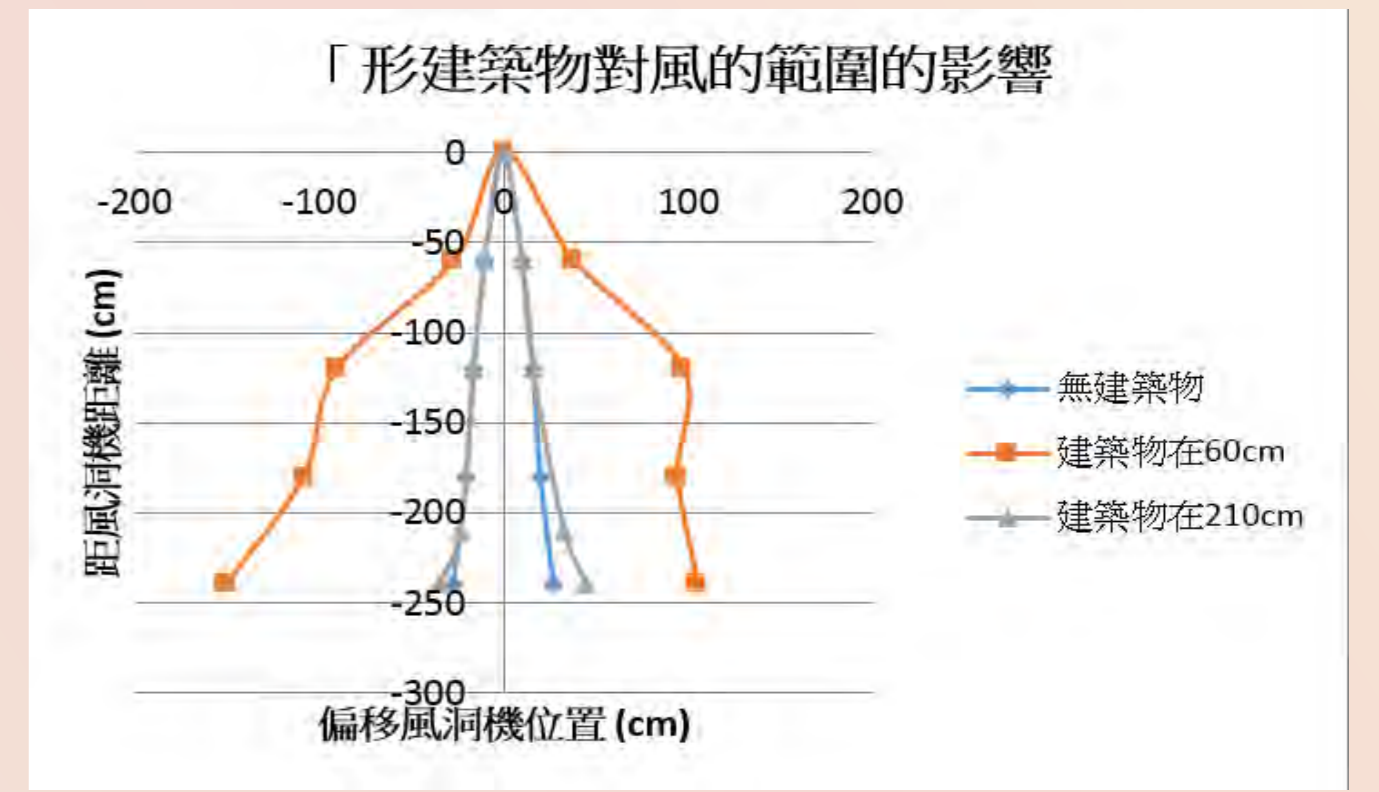
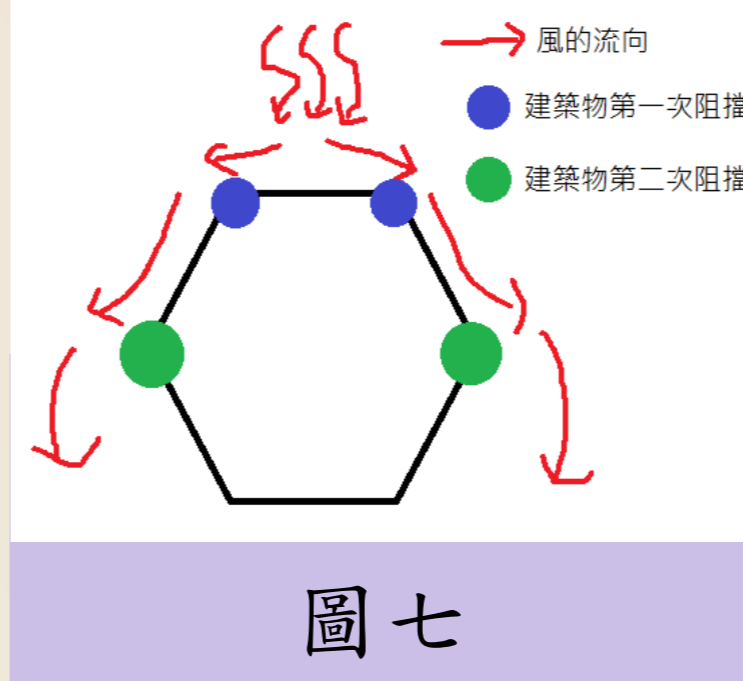
1. 將建築物置於風洞機前60公分處，每60公分量測一次範圍(至240公分)。
2. 再將建築物置於風洞機前210公分處量測範圍，量測點與上述相同，僅風洞機前180公分處因與無建築物實範圍相同，故改為210公分測量。
3. 此實驗測量時，皆使用長方形面朝風洞機。



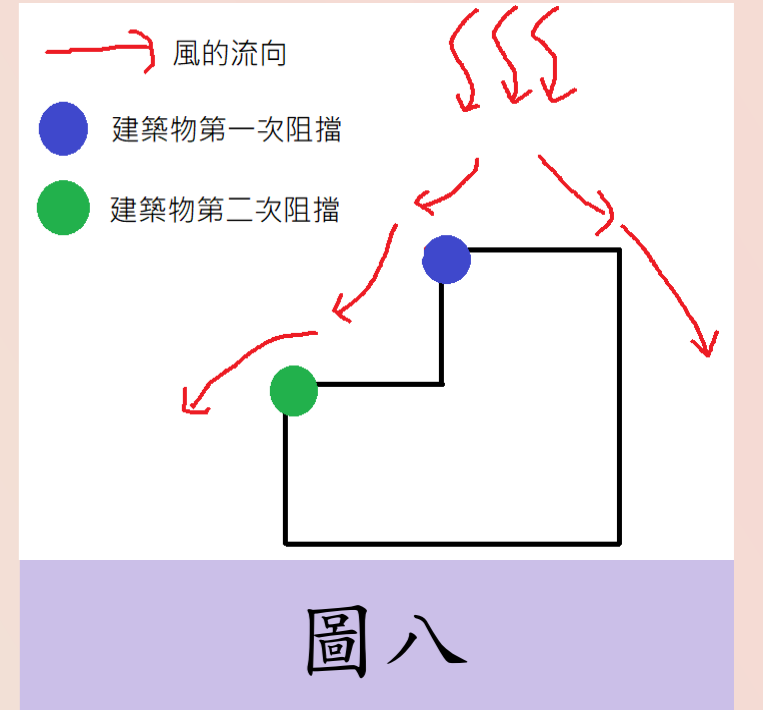
● 正方形、三角形、L形的風的範圍趨勢相近，且風的範圍左右對稱。



● 建築物放60公分時，六角形在距風洞機較近時所造成的風的範圍較其他建築物小，推測是受頂點阻擋，如圖七所示。



● 建築物放60公分時，「形建築物的右側風的範圍較左邊大許多，推測是受到右側的一個小缺口的影響，如圖八所示，使風往外面流。



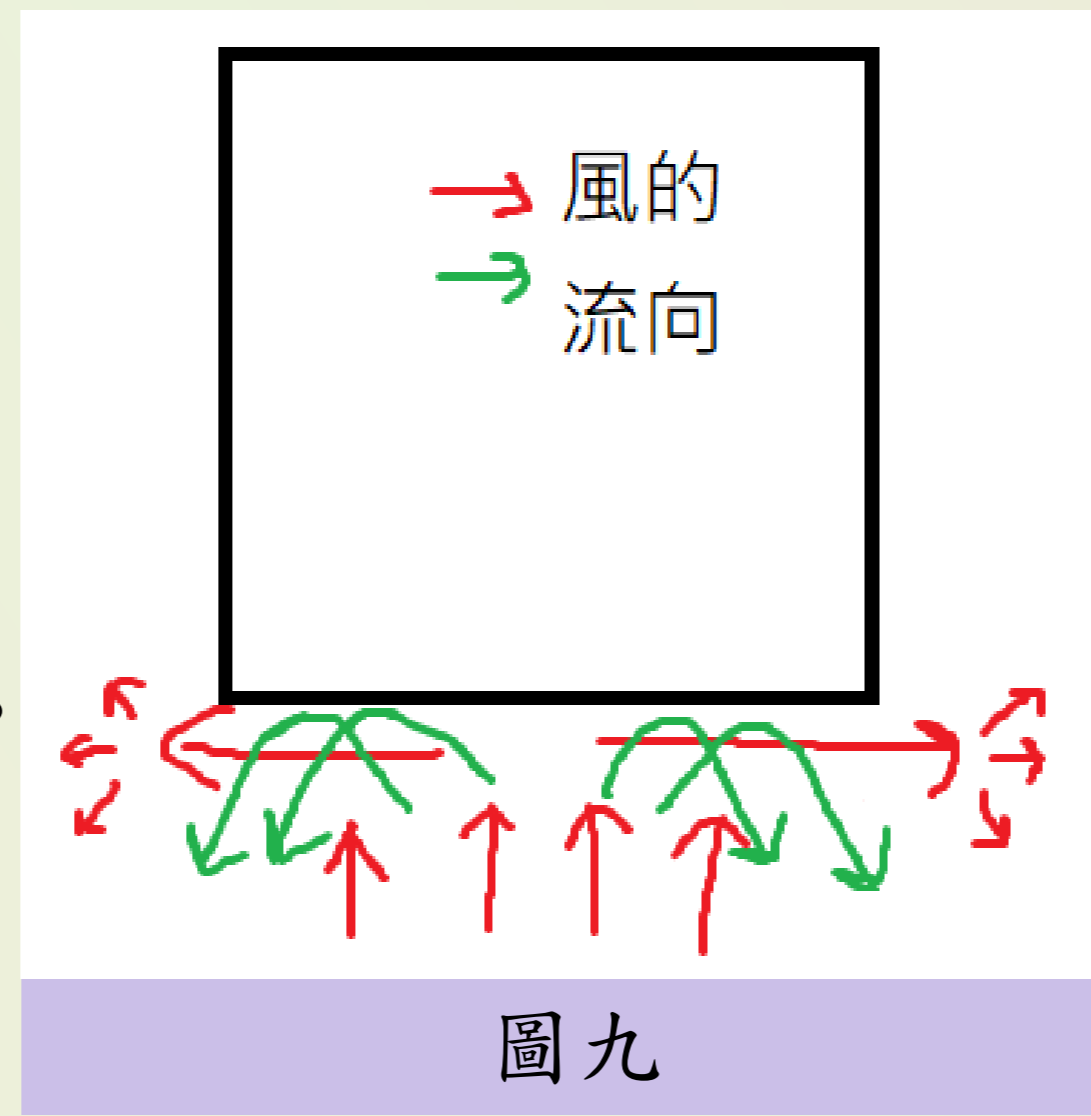
● 實驗四：不同建築物（轉角角度不同）與風速變化的關係

實驗步驟：

1. 將建築物放置於距風洞機30公分處，量測風速。

討論：

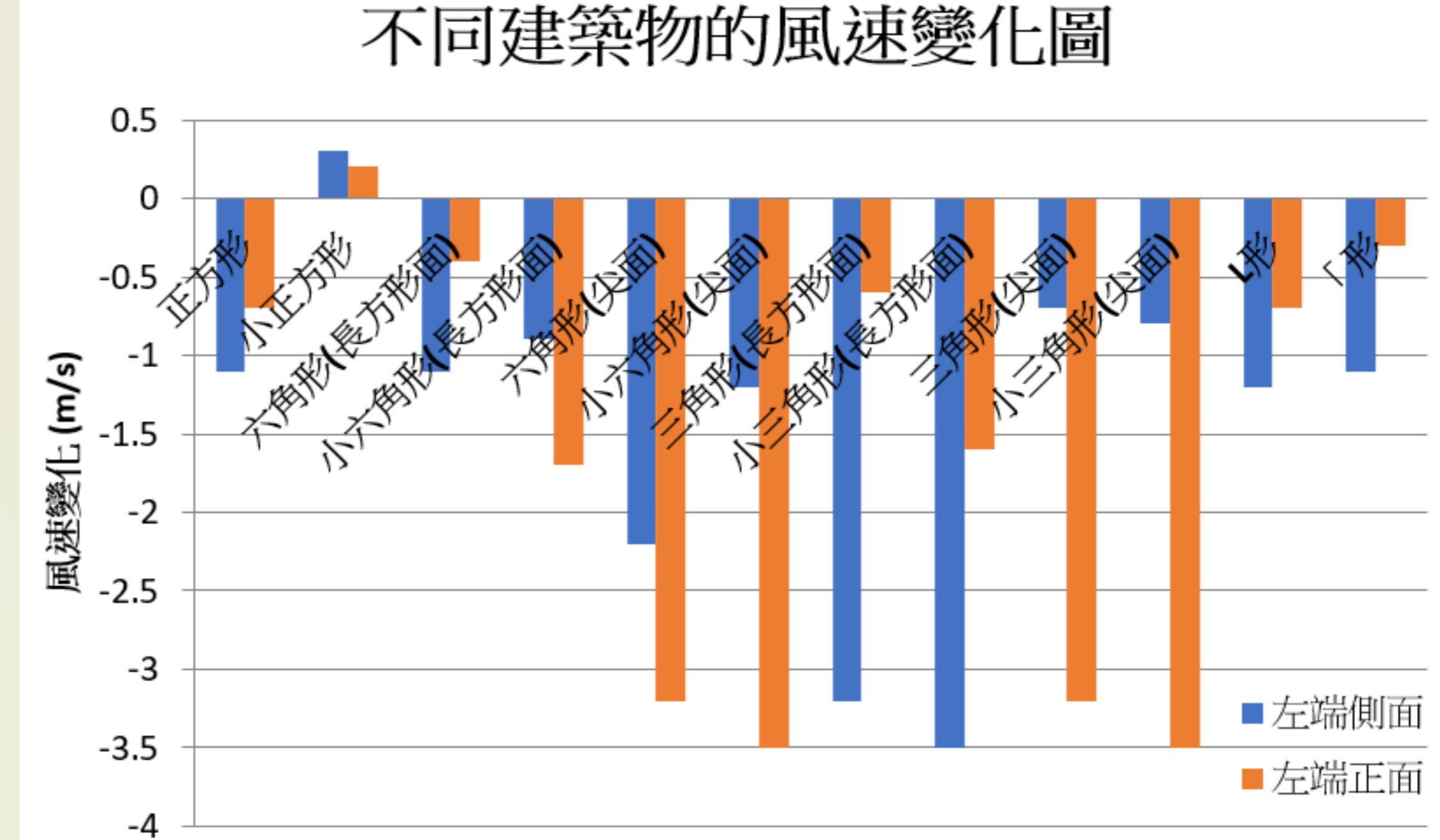
1. 原本未縮小之建築物的風速變化量為負值。表示無角隅強風的現象發生，推測此時出風導口太小、建築物太大，風無法完整包圍整個建築物所造成。
2. 除尖面朝風洞機外，大多數建築物均是側面風速變化量大於正面。推測如圖九所示，當風打到正面牆壁時，會有些許的風反彈，使風逸散，風速變小。而順著正面牆壁流的風在流出正面牆壁時範圍會變寬，帶動反彈的風流進側面牆壁，故側面風速較正面風速小。



促使我們修正實驗

修正方式：

縮小建築物、擴大導口面積，使風能完整地包圍建築物。



● 縮小建築物後，小正方形的風速變化量為正值，代表有角隅強風發生。其他小建築物雖沒有產生角隅強風，但側面風速變化量都較大建築物小，表示風逸散的情形減少了。

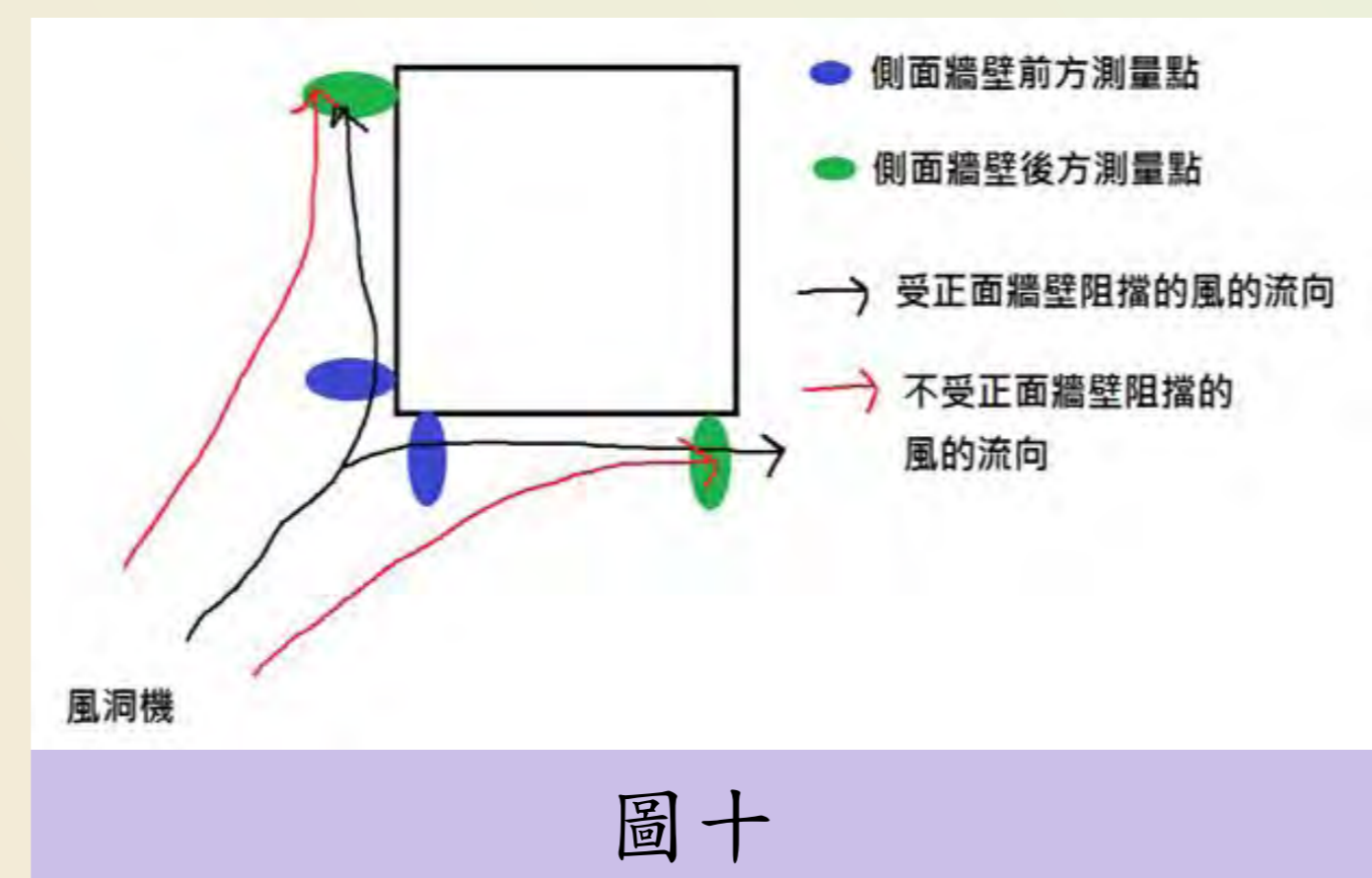
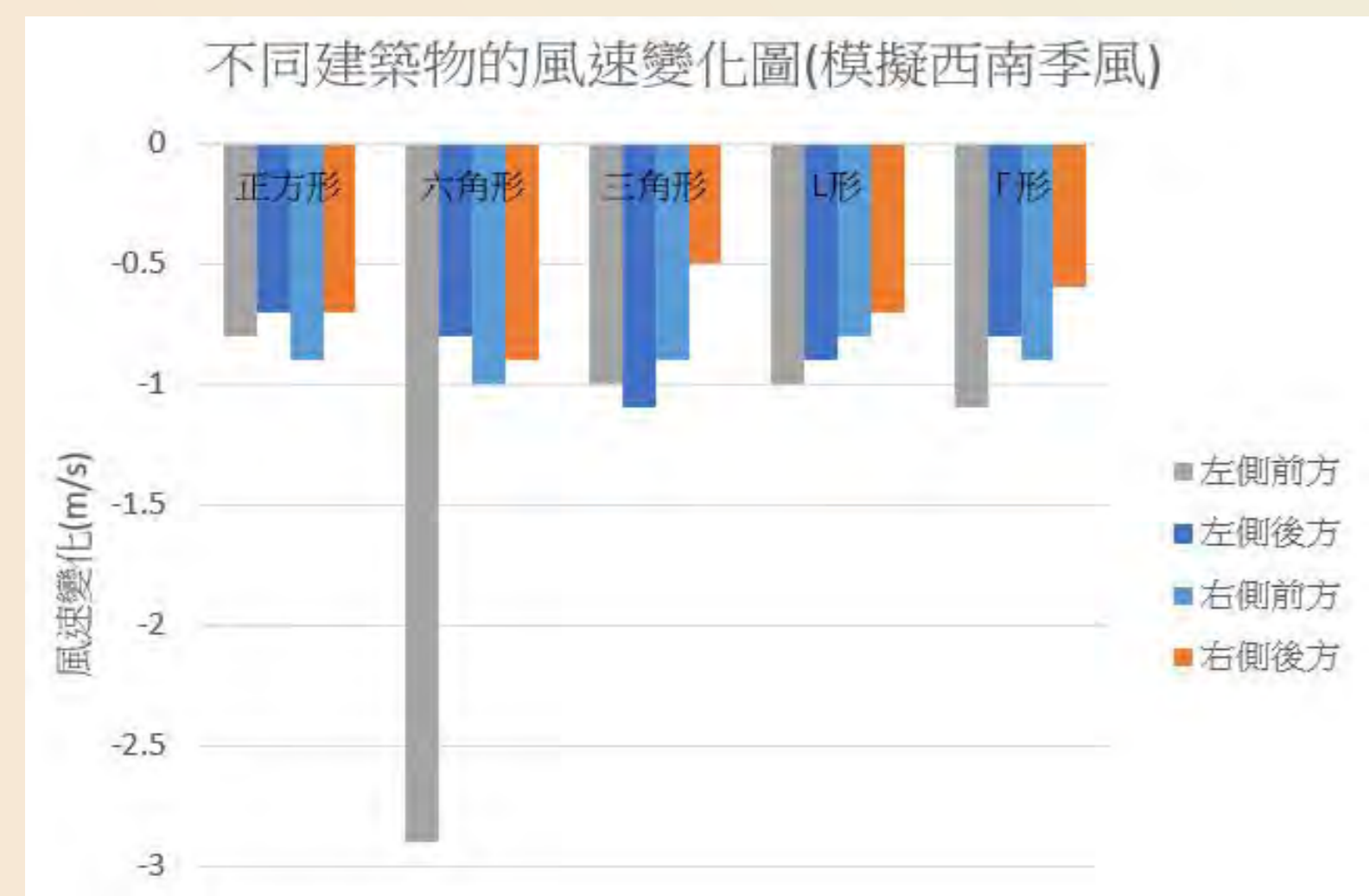
● 實驗五：風偏移45度角吹向建築物時，不同建築物與風速變化的關係

實驗步驟：

1. 將風扇偏移45度角，使風洞機距建築物30公分，量測風速。

討論：

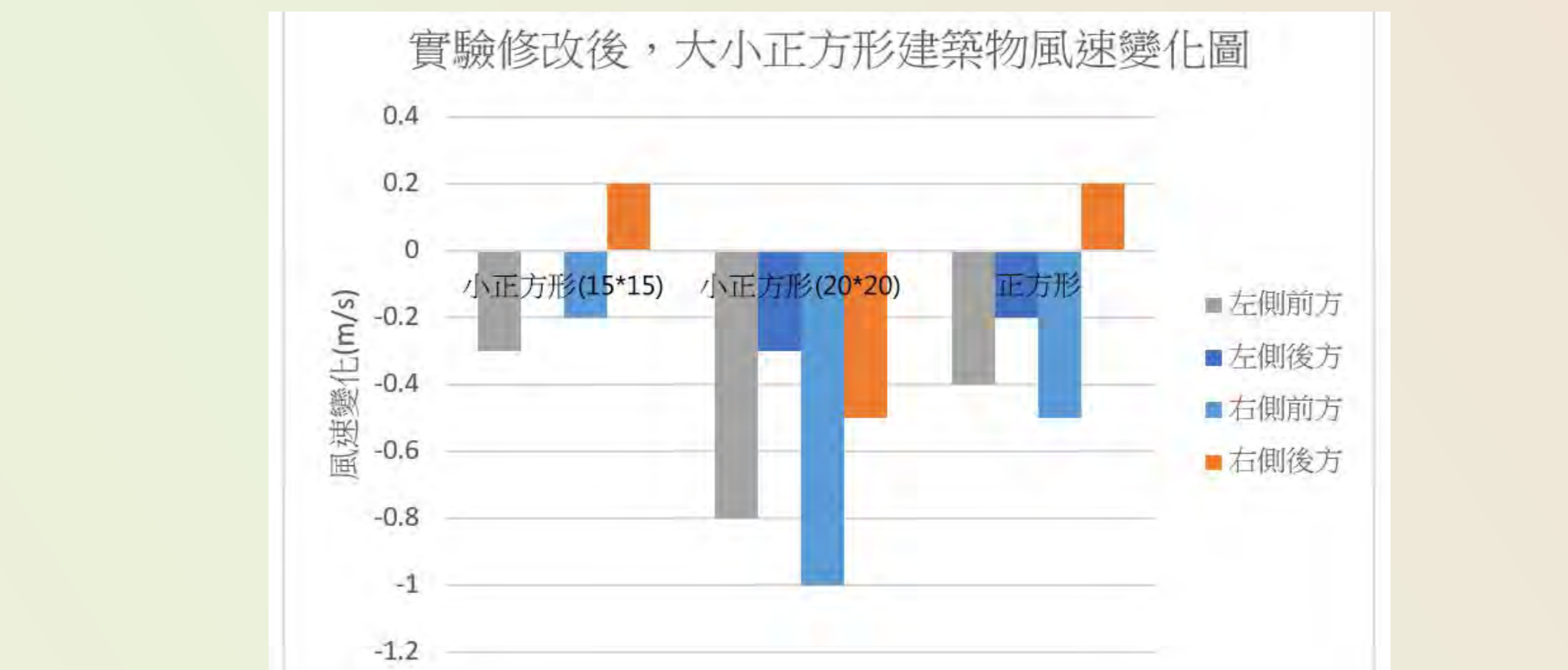
1. 風速變化量均為負值，無角隅強風的現象發生。
2. 無論左側還是右側，前方的風速變化量都大於後方。推測是在風吹向建築物時，因風洞機寬度大於正面牆壁，有些風不受到正面牆壁的阻擋，直接流向後方，如圖十所示。



促使我們修正實驗

修正方式：

縮小建築物、擴大導口面積，使風能完整地包圍建築物。



● 比較三種不同的情況：前方的風速變化量皆大於後方。小正方形(導口15*15cm²)及大正方形(導口15*15cm²)的變化量大都為負值，但風速有稍增強。
● 小正方形(導口20*20cm²)：風可以完全將其包圍，卻無角隅強風，風速比上兩個建築物還小(變化量較大)，推測因正面牆壁太小(阻力小)，風可輕易流過牆壁，不需花費力氣通過。

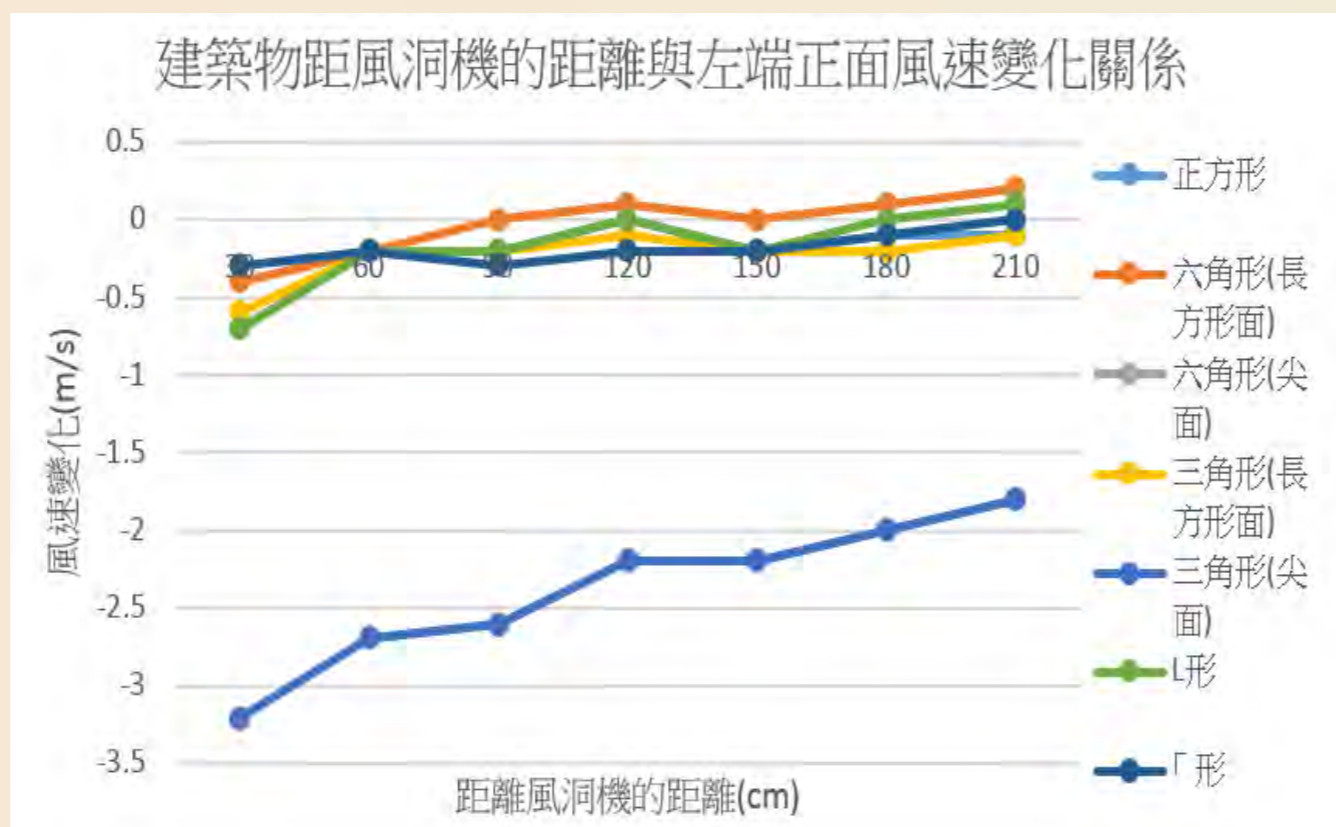
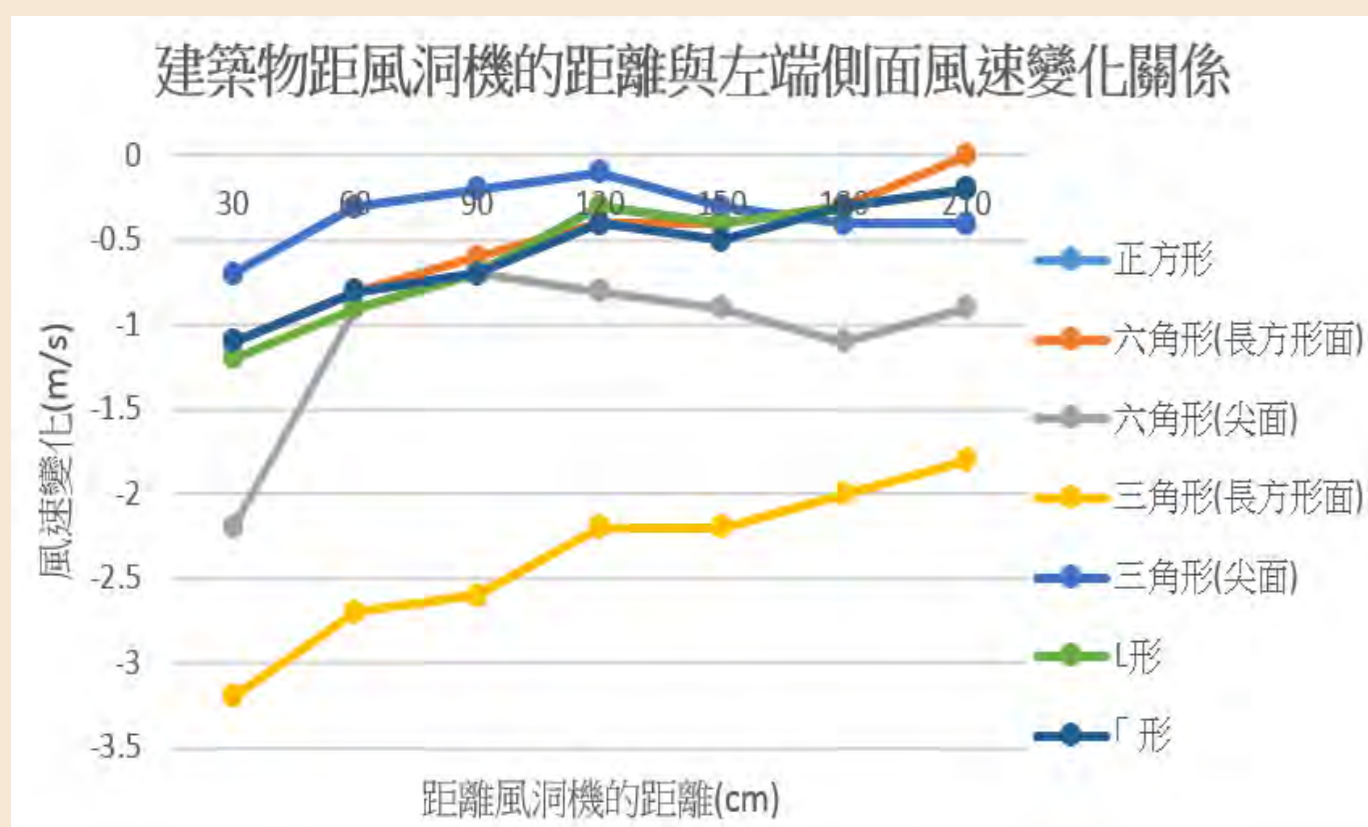
● 實驗六：建築物距出風口的距離與風速變化的關係

實驗步驟：

1. 將五種不同的建築物每30公分(至210公分)量測風速。

討論：

1. 風速變化量大多為負值，無角隅強風的現象發生。



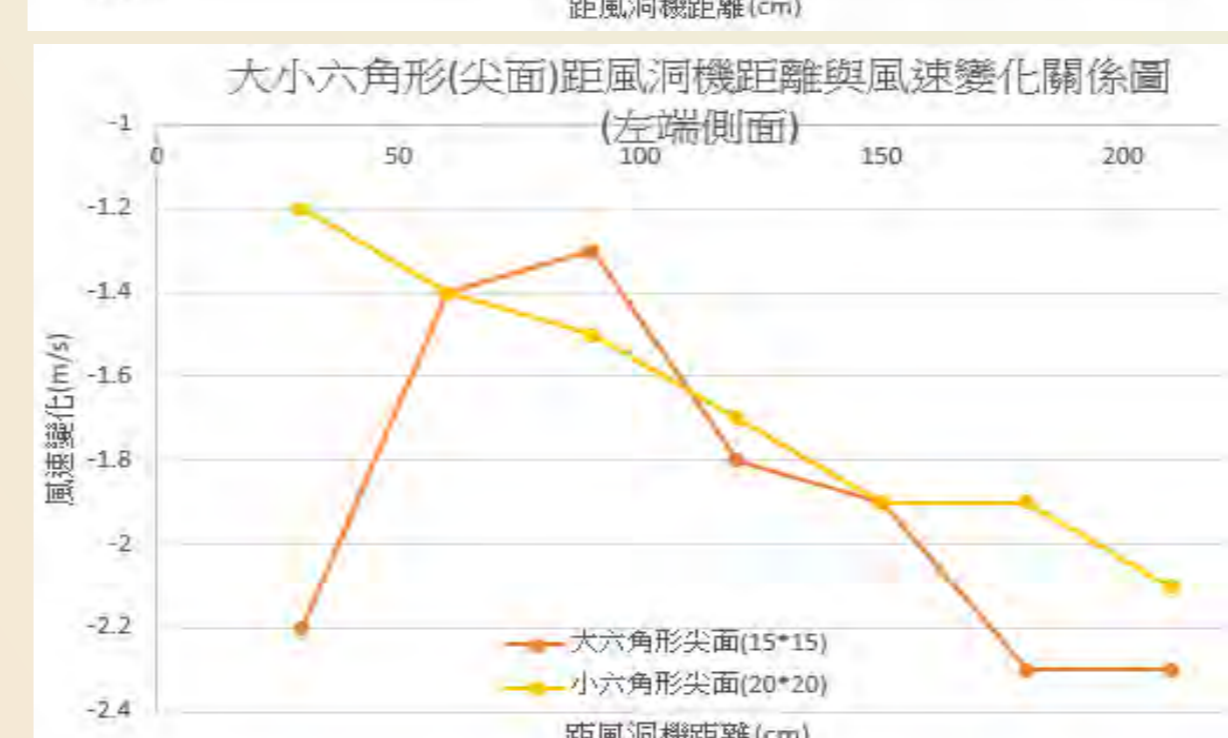
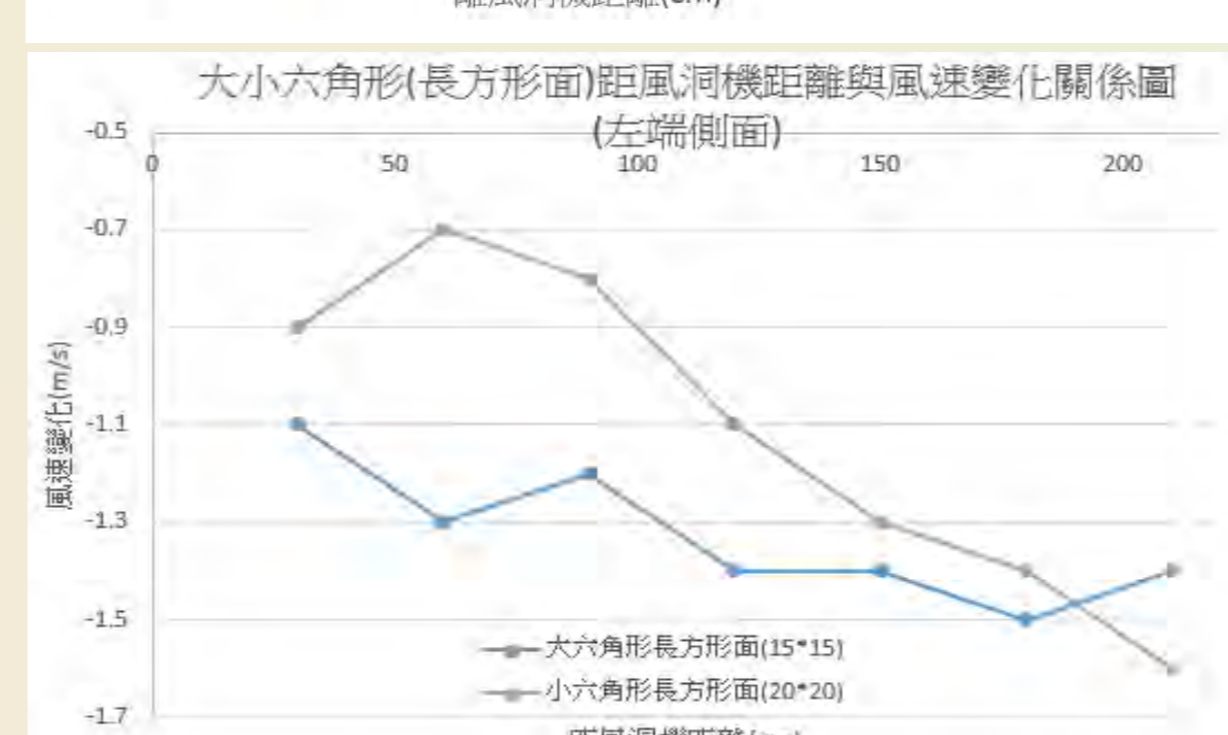
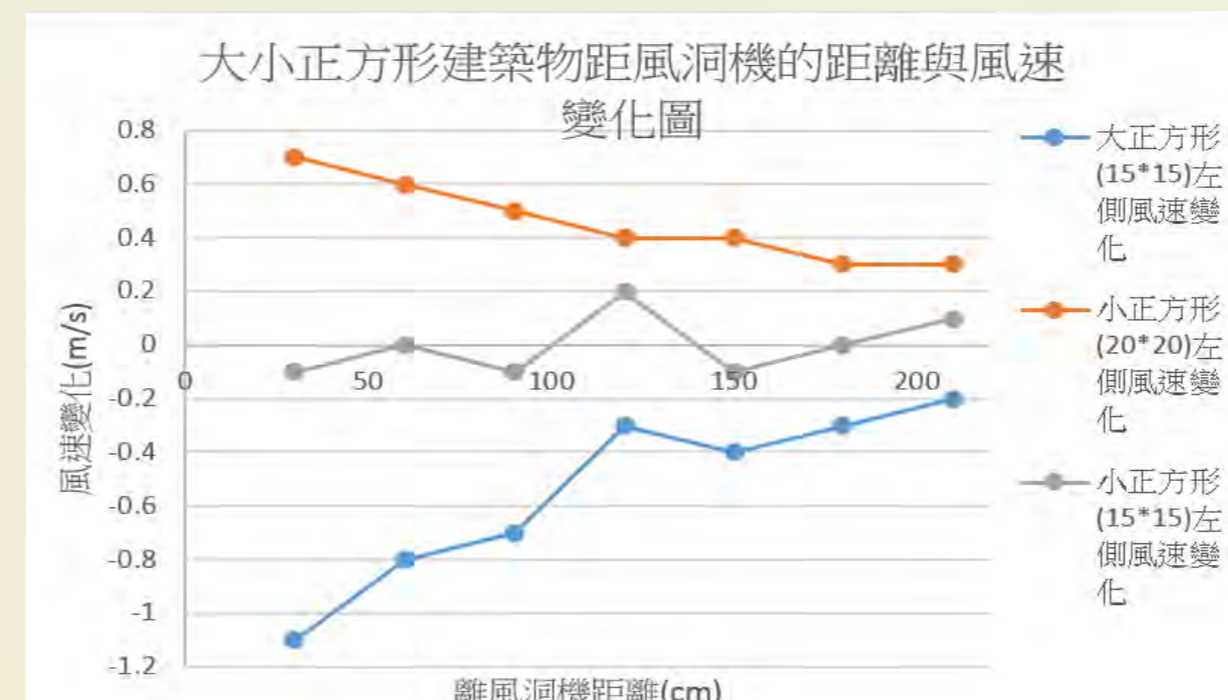
● 三角形(長方形面)，因風無法轉入角度過大的側面轉角，導致側面位置測不到風。
● 建築物側面隨著距離越遠，風的範圍變廣，風速的變化量越不明顯。

● 建築物正面變化量均相近，是因正面牆壁的面積、長寬均相同，當風在受到阻擋後的流向及流速均相近，造成正面變化量均近。

促使我們修正實驗

修正方式：

縮小建築物、擴大導口面積，使風能完整地包圍建築物。



● 將正方形建築物縮小、擴大導口之後，風得以包圍整個建築物，因此小正方形(導口20*20cm²)在此實驗形成了角隅強風的現象，風速變化量均為正值。

● 小六角形無論是長方形面、尖面朝風洞機的風速變化量大都小於大六角形長方形面、尖面朝風洞機，表示風速有增強，是因為形成角隅強風的關係。
● 風速變化量依然為負值，推測是有部分風逸散至周圍。

● 實驗七：風廊寬度和形狀與風速變化的關係

實驗步驟：

1. 組合任兩種建築物，至於風洞機前30公分，並調整最窄處的間距(風廊寬度)為5、10、15、20、25、30、35公分，量測風速。

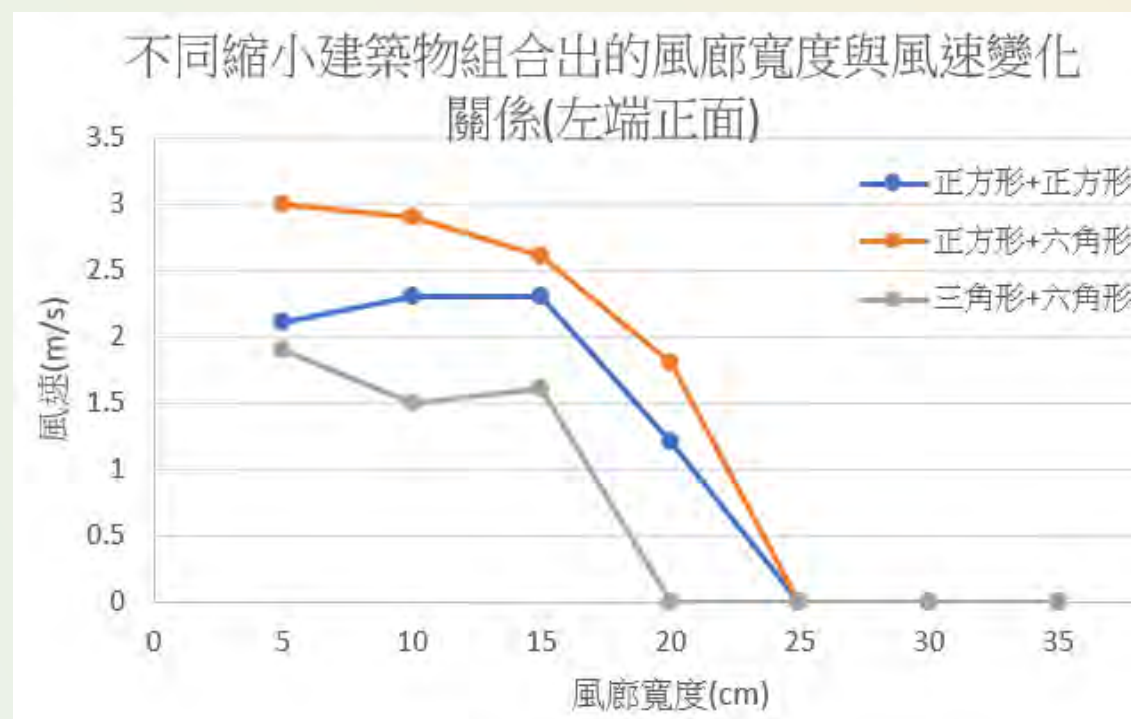
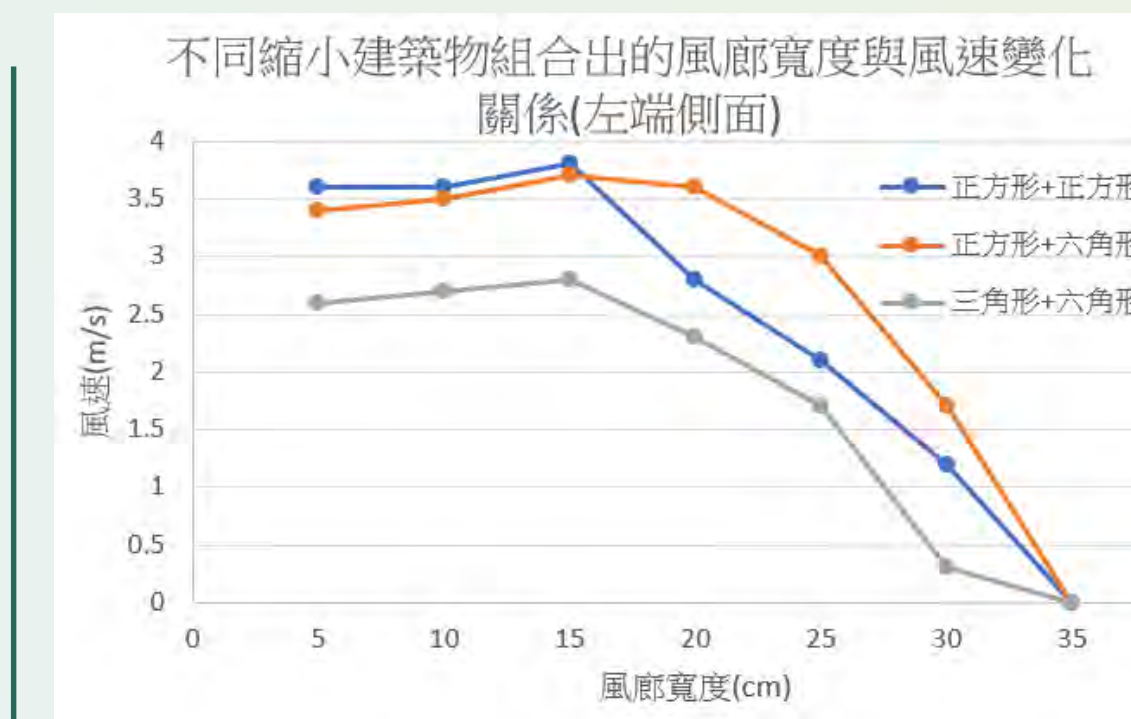
討論：

1. 風無法完整包圍建築物，無法模擬實際情況
2. 風廊寬15公分時，側面風速達最大值。因此時風廊寬=導口寬，風可全部吹進風廊。
3. 風廊開口角度大，易將風導入風廊，產生縮流效應，故側面風速較強。
4. 正面風速隨風廊越寬而越小，因風廊越寬，風越不易受到建築物的阻擋而逸散。當風廊寬超過導口寬時，便不再逸散。

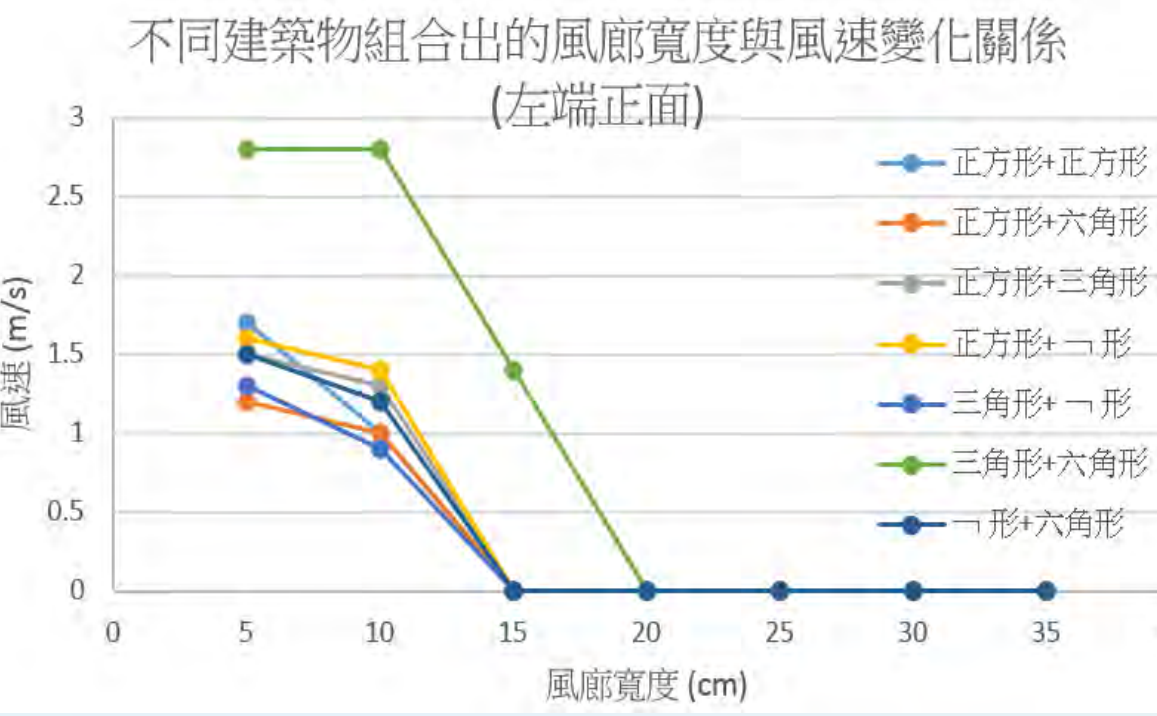
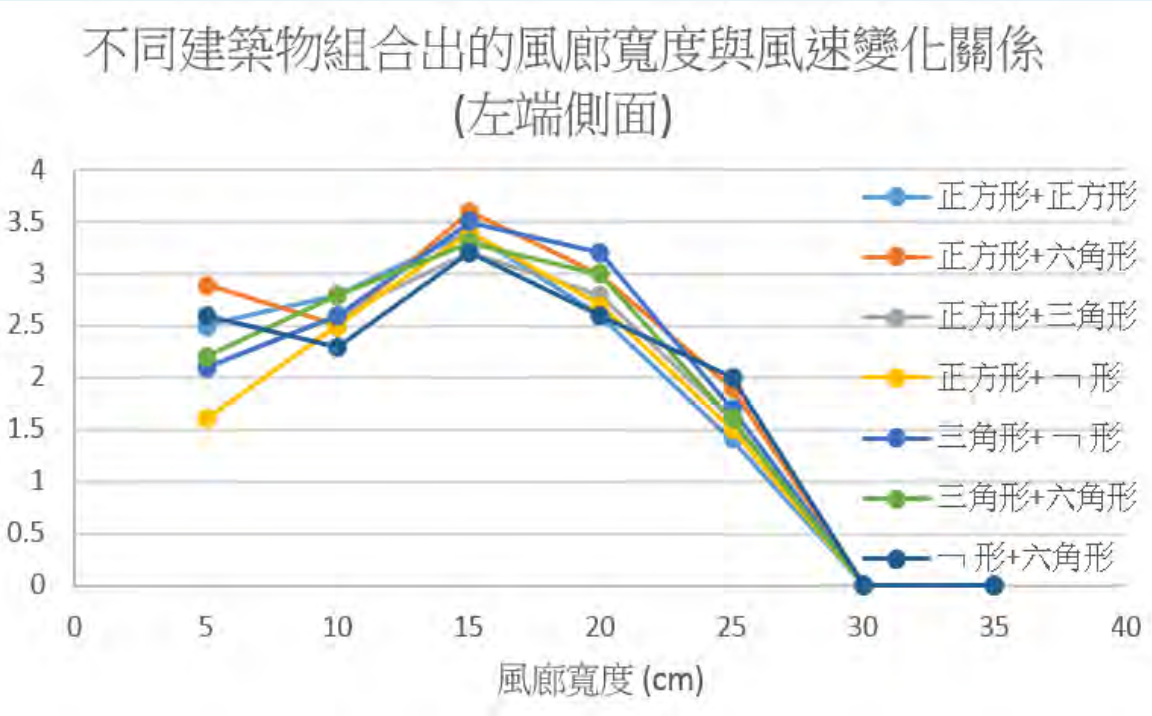
促使我們修正實驗

修正方式：

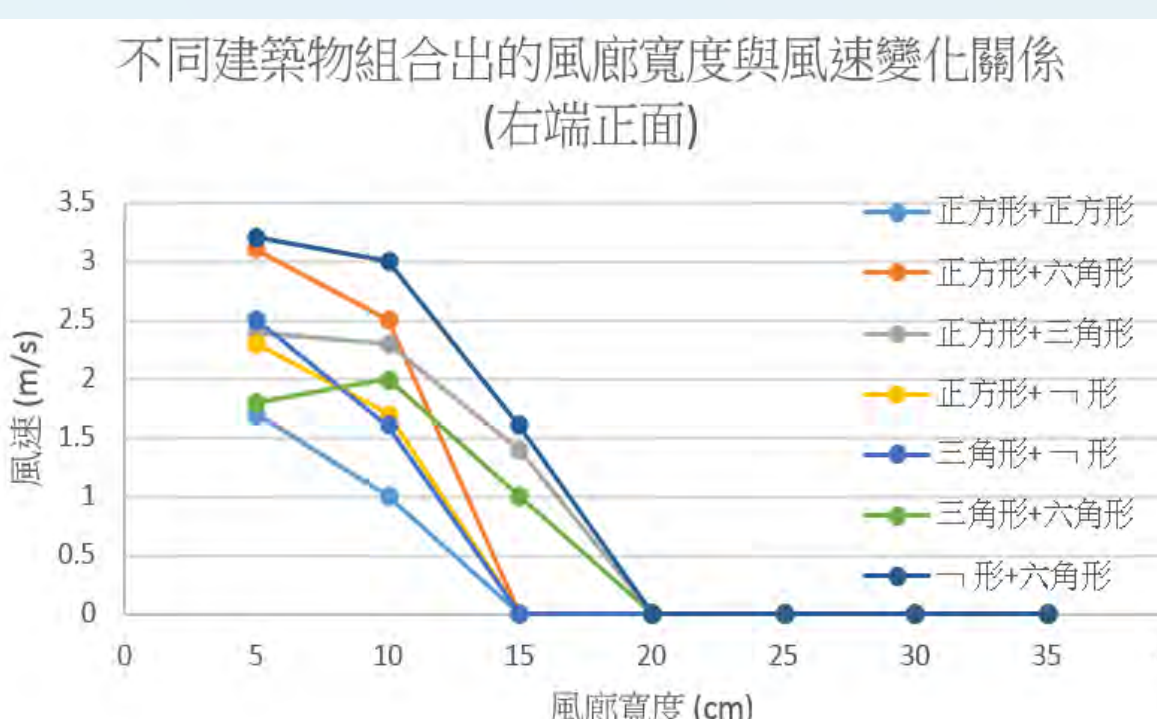
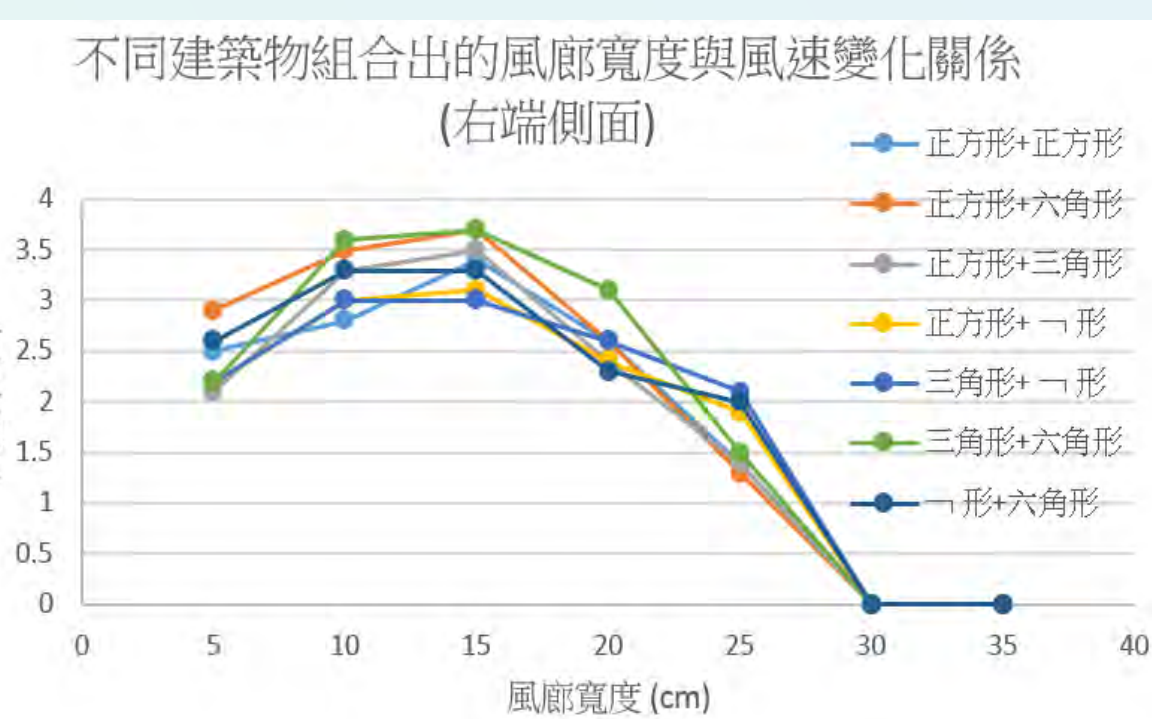
縮小建築物、擴大導口面積，使風能完整地包圍建築物。



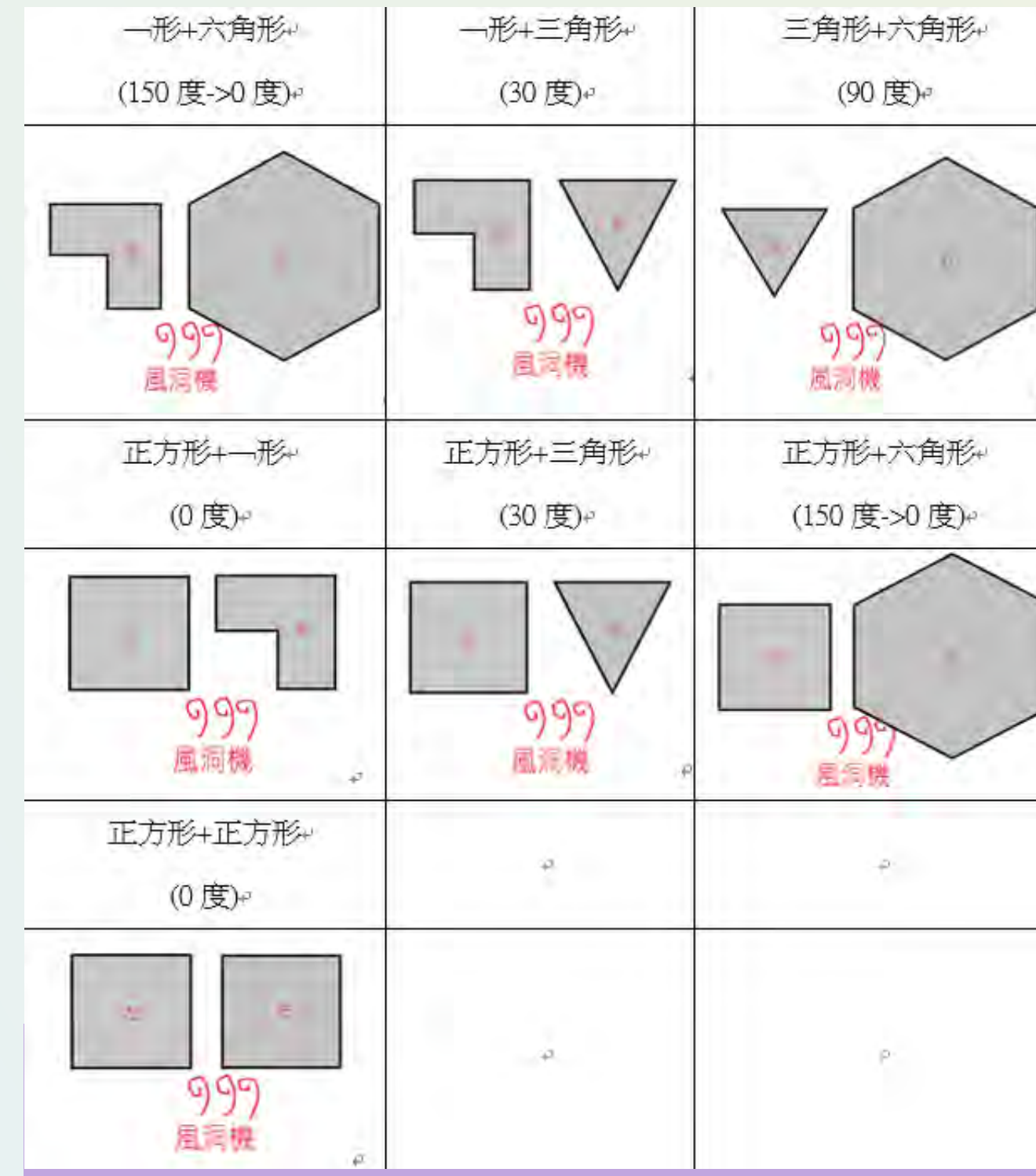
- 縮小建築物後，側面風速變化趨勢均相似於大建築物。
- 且風廊開口角度大，所造成的風速也較強。在風廊寬15公分時有最強的風速，也與大建築物的情況相符。
- 縮小建築物後，正面風速變化趨勢均相似於大建築物。
- 因導口寬度增加，故此時風速變為0所需的寬度均大於大建築物。



- 三角形+六角形的正面風速明顯較大，是因風打到六角形時，一部分風的體積較三角形大，風打到六角形轉彎時正好吹向量測點。



- 右端風速較左端大是因為實驗設計緣故，剛好在右側擺放的是角度大、較能收集風進風廊的建築物。



● 實驗八：現實生活中的建築物風速變化與本研究結果的差異

實驗步驟：

1. 找尋現實生活中符合本實驗所量測的建築物形狀及組合，實際量測該建築物的風速變化(風皆能完整包圍建築物)。

風經過單一建築物轉角(90°)



轉角角度	當時氣象局資料	左端側面(m/s)	左端正面(m/s)
90°	西風、3.0	4.7	4.2

- 風經過此建築物轉角時，所造成的風速符合實驗四經修改後的結論。
- 實際測量時發現，量測側面風速時，表示：風不會完全沿著側面牆壁流而是稍稍向外面一點流過轉角，若是太靠近建築物牆壁會測不太到風。

風經過兩正方形組合成風廊(0°)



風廊寬度(m)	當時氣象局資料	左端側面(m/s)	左端正面(m/s)	右端側面(m/s)	右端正面(m/s)
15	西風、3.0	4.1	3.3	4.0	2.7

- 風經過此風廊時，所造成的風速符合實驗七經修改後的結論。
- 實際測量時側面風速大於正面風速，因風可順利吹進風廊，加上縮流效應的關係。
- 實際測量時發現當時風向為南。可能是受到了其他建築物的影響，也可能是因此時風向突然轉變為南。不過這並不影響實驗結果。

風斜吹向正方形建築物轉角



轉角角度	當時氣象局資料	左端側面(前)(m/s)	右端側面(前)(m/s)
90°	南南東風、4.9	3.2	1.7

- 風斜吹向此轉角時，所造成的風速符合實驗五經修改後的結論。
- 此建築物的左、右端側面的風速相差很多，推測是風轉入轉角的角度不同。轉入左邊牆壁所需的角角度小於轉入右邊，相較之下風較容易轉入角度較小的那邊。

陸、結論

1. 風會受到建築物的阻擋而向外擴散，若建築物受風面形狀對稱，吹出來的風的範圍也是對稱的。
2. 無建築物時，離風洞機越遠，風速越小、標準差越大、且風的範圍也越大。是因為距風洞機越遠，風越易向兩旁飄散，增加了量測的誤差。
3. 風無法包圍整個建築物時，風速均未因通過轉角而增強，且隨著距風洞機的位置越遠，風可以吹到的範圍變廣，導致數據與無建築物時接近。少部分的風順著大樓側邊牆壁而行，大部分的風受到建築物的阻擋而流向旁邊。
4. 風可以完整包圍建築物時，有機會在角落處形成角隅強風，導致風速較原本大。風正或斜吹向建築物尖面時，因為正面牆壁小，所受阻力小，風不須增強以通過牆壁。而當導口面積大，平均風速小，致使風可完整包圍建築物時風速較小。
5. 風廊開口角度大的建築物，例：正方形+六角形，容易把風收集至風廊中，且發生縮流效應，故風速都較大。
6. 同樣風速下，風廊形狀與導口面積不會影響風速的變化情形。而所有風廊均在寬為15公分時測得的風速最強，可知在風廊寬15公分時有最強的縮流效應。
7. 現實生活中所測得的數據均符合實驗所得出的數據。風在經過建築物時會有角隅強風的現象發生、風經過風廊時也會因縮流效應的影響而增強、風斜吹向建築物時也因正面牆壁小(阻力小)，風不需增強以流進側面牆壁，而導致風較原本小。

柒、未來展望

1. 現實生活中的風場，是受到許多建築物的影響。如果以一個街區的模型來進行實驗，更可以模擬真實環境情況，也能減少實驗誤差。
2. 以上實驗僅探討正多邊形及L形建築物的情況。但現實生活中不乏有尖塔、不規則狀的建築物，故影響風場的層面過於複雜，十分難以創造能有效減緩風速的建築物。若是要減緩風速，可以尖角+圓弧狀做研究，彌補此實驗的不足。
3. 若風在經過建築物時會產生角隅強風、縮流效應，何不利用此特性，發展一套風力發電系統?即便風速並不是很大，也可利用此現象增強風速，達到發電的效率。抑或讓城市內通風，加以散熱，避免因高溫所苦?

捌、參考資料及其他

- 一. 林碧亮、曾明性。高層建築物風場環境評估準則研議。內政部建築研究所。
- 二. 賴重祐、陳正宗。台北都會區風場模擬。
- 三. Google地圖街景。